# Ｖ-3-3-7-2-1-2　管の基本板厚計算書

（消火設備）

K7 ① Ｖ-3-3-7-2-1-2 R1

まえがき

本計算書は，Ｖ-3-1-4「クラス 3 機器の強度計算の基本方針」及びＶ-3-2-7「クラス 3 管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお，評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については，Ｖ-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

水系消火設備

| 管No. | 既設or新設 | 施設時の技術基準に対象とする施設の規定があるか | クラスアップするか | | | | 条件アップするか | | | | | 既工認における評価結果の有無 | 施設時の適用規格 | 評価区分 | 同等性評価区分 | 評価クラス |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | クラスアップの有無 | 施設時機器クラス | ＤＢクラス | ＳＡクラス | 条件アップの有無 | ＤＢ条件 | | ＳＡ条件 | | | | | | |
| | | | | | | | | 圧力(MPa) | 温度(℃) | 圧力(MPa) | 温度(℃) | | | | | |
| 1,2,4,5<br>E1～E10 | 既設 | 有 | 有 | Non | DB-3<br>—* | — | 無 | 0.98 | 66 | — | — | — | 設計・建設規格 | 設計・建設規格 | — | DB-3 |
| 3,6,7 | 既設 | 有 | 有 | Non | DB-3<br>—* | — | 無 | 1.37 | 66 | — | — | — | 設計・建設規格 | 設計・建設規格 | — | DB-3 |

＊：ＤＢクラス「—」である管については，ＳＡ設備を防護する設備であり，評価クラス「DB-3」としてクラス３管の評価を行う。

二酸化炭素消火設備

| 管No. | 既設or新設 | 施設時の技術基準に対象とする施設の規定があるか | クラスアップするか | | | | 条件アップするか | | | | | 既工認における評価結果の有無 | 施設時の適用規格 | 評価区分 | 同等性評価区分 | 評価クラス |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | クラスアップの有無 | 施設時機器クラス | ＤＢクラス | ＳＡクラス | 条件アップの有無 | ＤＢ条件 | | ＳＡ条件 | | | | | | |
| | | | | | | | | 圧力(MPa) | 温度(℃) | 圧力(MPa) | 温度(℃) | | | | | |
| 1～3 | 既設 | 有 | 有 | Non | DB-3 | — | 無 | 10.8 | 40 | — | — | — | S55告示 | 設計・建設規格又は告示 | — | DB-3 |

小空間固定式消火設備

| 管No. | 既設or新設 | 施設時の技術基準に対象とする施設の規定があるか | クラスアップするか | | | | 条件アップするか | | | | | 既工認における評価結果の有無 | 施設時の適用規格 | 評価区分 | 同等性評価区分 | 評価クラス |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | クラスアップの有無 | 施設時機器クラス | ＤＢクラス | ＳＡクラス | 条件アップの有無 | ＤＢ条件 | | ＳＡ条件 | | | | | | |
| | | | | | | | | 圧力(MPa) | 温度(℃) | 圧力(MPa) | 温度(℃) | | | | | |
| 1～16 | 新設 | — | — | — | DB-3<br>—* | — | — | 4.8 | 40 | — | — | — | — | 設計・建設規格 | — | DB-3 |
| 17～28 | 新設 | — | — | — | DB-3<br>—* | — | — | 5.2 | 40 | — | — | — | — | 設計・建設規格 | — | DB-3 |

＊：ＤＢクラス「—」である管については，ＳＡ設備を防護する設備であり，評価クラス「DB-3」としてクラス３管の評価を行う。

SLC ポンプ・CRD ポンプ局所消火設備

| 管No. | 既設or新設 | 施設時の技術基準に対象とする施設の規定があるか | クラスアップするか | | | | 条件アップするか | | | | | 既工認における評価結果の有無 | 施設時の適用規格 | 評価区分 | 同等性評価区分 | 評価クラス |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | クラスアップの有無 | 施設時機器クラス | ＤＢクラス | ＳＡクラス | 条件アップの有無 | ＤＢ条件 | | ＳＡ条件 | | | | | | |
| | | | | | | | | 圧力(MPa) | 温度(℃) | 圧力(MPa) | 温度(℃) | | | | | |
| 1～6 | 新設 | — | — | — | DB-3 | — | — | 5.2 | 40 | — | — | — | — | 設計・建設規格 | — | DB-3 |

電源盤・制御盤消火設備

| 管No. | 既設or新設 | 施設時の技術基準に対象とする施設の規定があるか | クラスアップするか | | | | 条件アップするか | | | | | 既工認における評価結果の有無 | 施設時の適用規格 | 評価区分 | 同等性評価区分 | 評価クラス |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | クラスアップの有無 | 施設時機器クラス | ＤＢクラス | ＳＡクラス | 条件アップの有無 | ＤＢ条件 | | ＳＡ条件 | | | | | | |
| | | | | | | | | 圧力(MPa) | 温度(℃) | 圧力(MPa) | 温度(℃) | | | | | |
| 1～2 | 新設 | — | — | — | DB-3 | — | — | 4.6 | 40 | — | — | — | — | 設計・建設規格 | — | DB-3 |

ケーブルトレイ消火設備

| 管No. | 既設or新設 | 施設時の技術基準に対象とする施設の規定があるか | クラスアップするか | | | | 条件アップするか | | | | | 既工認における評価結果の有無 | 施設時の適用規格 | 評価区分 | 同等性評価区分 | 評価クラス |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | クラスアップの有無 | 施設時機器クラス | ＤＢクラス | ＳＡクラス | 条件アップの有無 | ＤＢ条件 | | ＳＡ条件 | | | | | | |
| | | | | | | | | 圧力(MPa) | 温度(℃) | 圧力(MPa) | 温度(℃) | | | | | |
| 1 | 新設 | — | — | — | DB-3 | — | — | 4.6 | 40 | — | — | — | — | 設計・建設規格 | — | DB-3 |

中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備

| 管No. | 既設or新設 | 施設時の技術基準に対象とする施設の規定があるか | クラスアップするか | | | | 条件アップするか | | | | | 既工認における評価結果の有無 | 施設時の適用規格 | 評価区分 | 同等性評価区分 | 評価クラス |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | クラスアップの有無 | 施設時機器クラス | ＤＢクラス | ＳＡクラス | 条件アップの有無 | ＤＢ条件 | | ＳＡ条件 | | | | | | |
| | | | | | | | | 圧力(MPa) | 温度(℃) | 圧力(MPa) | 温度(℃) | | | | | |
| 1～6 | 新設 | — | — | — | DB-3 | — | — | 5.2 | 40 | — | — | — | — | 設計・建設規格 | — | DB-3 |

5号機原子炉建屋内緊急時対策所消火設備

| 管No. | 既設or新設 | 施設時の技術基準に対象とする施設の規定があるか | クラスアップするか | | | | 条件アップするか | | | | | 既工認における評価結果の有無 | 施設時の適用規格 | 評価区分 | 同等性評価区分 | 評価クラス |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | クラスアップの有無 | 施設時機器クラス | ＤＢクラス | ＳＡクラス | 条件アップの有無 | ＤＢ条件 | | ＳＡ条件 | | | | | | |
| | | | | | | | | 圧力(MPa) | 温度(℃) | 圧力(MPa) | 温度(℃) | | | | | |
| 1～3 | 新設 | — | — | — | —* | — | — | 5.2 | 40 | — | — | — | — | 設計・建設規格 | — | DB-3 |

＊：ＤＢクラス「—」である管については，ＳＡ設備を防護する設備であり，評価クラス「DB-3」としてクラス３管の評価を行う。

・適用規格の選定

水系消火設備

| 管No. | 評価項目 | 評価区分 | 判定基準 | 適用規格 |
|---|---|---|---|---|
| 1～7 | 管の板厚計算 | 設計・建設規格 | — | 設計・建設規格 |
| E1～E10 | 伸縮継手の強度計算 | 設計・建設規格 | — | 設計・建設規格 |
| SP1 | 管の穴と補強計算 | 設計・建設規格 | — | 設計・建設規格 |

二酸化炭素消火設備

| 管No. | 評価項目 | 評価区分 | 判定基準 | 適用規格 |
|---|---|---|---|---|
| 1～3 | 管の板厚計算 | 設計・建設規格<br>又は告示 | 差異無し | 設計・建設規格 |
| SP1, SP2 | 管の穴と補強計算 | 設計・建設規格<br>又は告示 | 差異無し | 設計・建設規格 |

小空間固定式消火設備

| 管No. | 評価項目 | 評価区分 | 判定基準 | 適用規格 |
|---|---|---|---|---|
| 1～28 | 管の板厚計算 | 設計・建設規格 | — | 設計・建設規格 |
| SP1, SP2,<br>SP3 | 管の穴と補強計算 | 設計・建設規格 | — | 設計・建設規格 |

SLC ポンプ・CRD ポンプ局所消火設備

| 管No. | 評価項目 | 評価区分 | 判定基準 | 適用規格 |
|---|---|---|---|---|
| 1～6 | 管の板厚計算 | 設計・建設規格 | — | 設計・建設規格 |
| SP1 | 管の穴と補強計算 | 設計・建設規格 | — | 設計・建設規格 |

電源盤・制御盤消火設備

| 管No. | 評価項目 | 評価区分 | 判定基準 | 適用規格 |
|---|---|---|---|---|
| 1,2 | 管の板厚計算 | 設計・建設規格 | — | 設計・建設規格 |

ケーブルトレイ消火設備

| 管No. | 評価項目 | 評価区分 | 判定基準 | 適用規格 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 管の板厚計算 | 設計・建設規格 | — | 設計・建設規格 |

中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備

| 管No. | 評価項目 | 評価区分 | 判定基準 | 適用規格 |
|---|---|---|---|---|
| 1～6 | 管の板厚計算 | 設計・建設規格 | — | 設計・建設規格 |
| SP1 | 管の穴と補強計算 | 設計・建設規格 | — | 設計・建設規格 |

5号機原子炉建屋内緊急時対策所消火設備

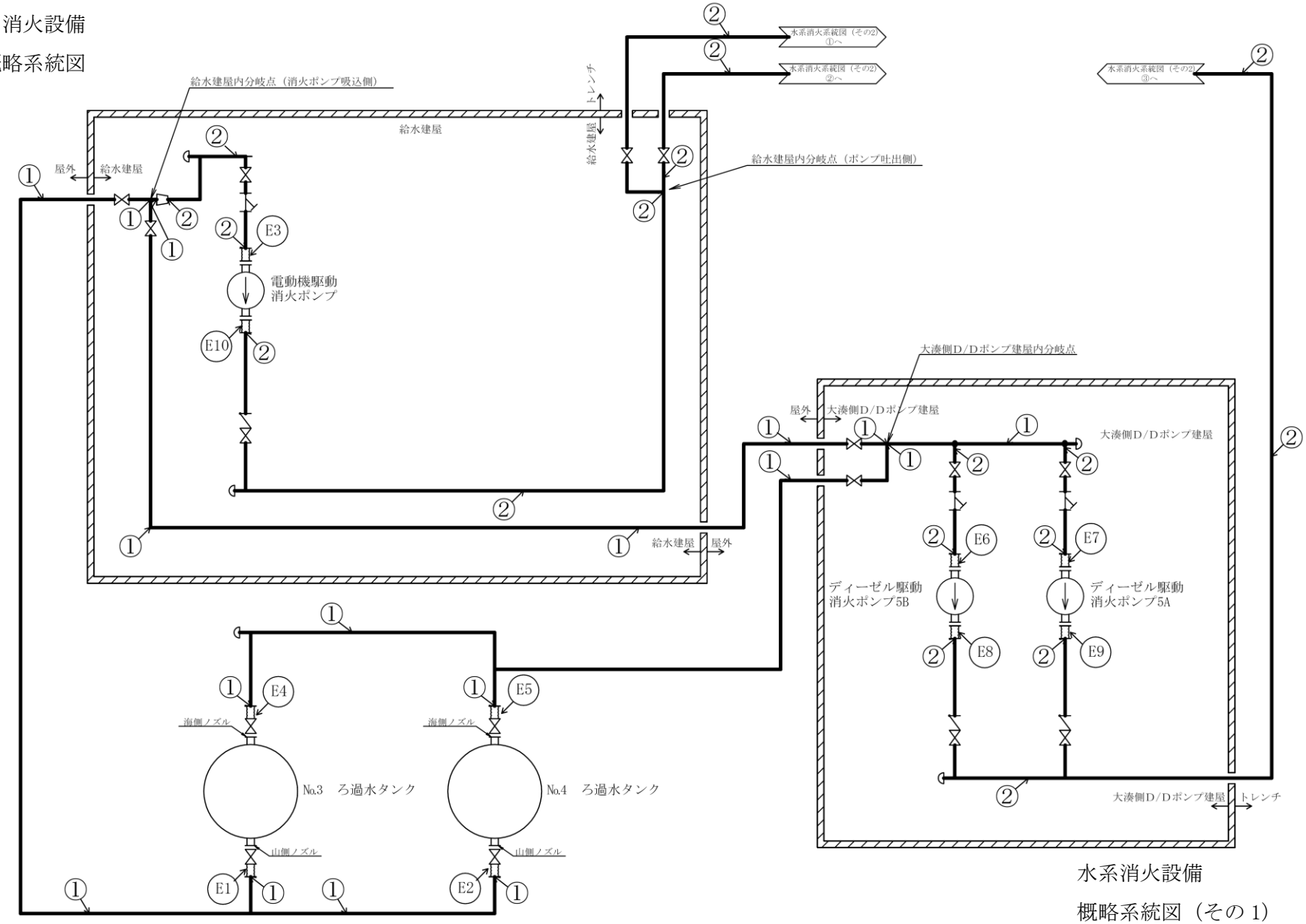
| 管No. | 評価項目 | 評価区分 | 判定基準 | 適用規格 |
|---|---|---|---|---|
| 1～3 | 管の板厚計算 | 設計・建設規格 | — | 設計・建設規格 |
| SP1 | 管の穴と補強計算 | 設計・建設規格 | — | 設計・建設規格 |

目次

1.　水系消火設備
1.1　概略系統図 …… 1
1.2　管の強度計算書 …… 4
1.3　伸縮継手の強度計算書 …… 5
1.4　管の穴と補強計算書 …… 6
2.　二酸化炭素消火設備
2.1　概略系統図 …… 7
2.2　管の強度計算書 …… 9
2.3　管の穴と補強計算書 …… 10
3.　小空間固定式消火設備
3.1　概略系統図 …… 12
3.2　管の強度計算書 …… 107
3.3　管の穴と補強計算書 …… 110
4.　SLC ポンプ・CRD ポンプ局所消火設備
4.1　概略系統図 …… 113
4.2　管の強度計算書 …… 117
4.3　管の穴と補強計算書 …… 118
5.　電源盤・制御盤消火設備
5.1　概略系統図 …… 119
5.2　管の強度計算書 …… 124
6.　ケーブルトレイ消火設備
6.1　概略系統図 …… 125
6.2　管の強度計算書 …… 179
7.　中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備
7.1　概略系統図 …… 180
7.2　管の強度計算書 …… 181
7.3　管の穴と補強計算書 …… 182
8.　5 号機原子炉建屋内緊急時対策所消火設備
8.1　概略系統図 …… 183
8.2　管の強度計算書 …… 185
8.3　管の穴と補強計算書 …… 186

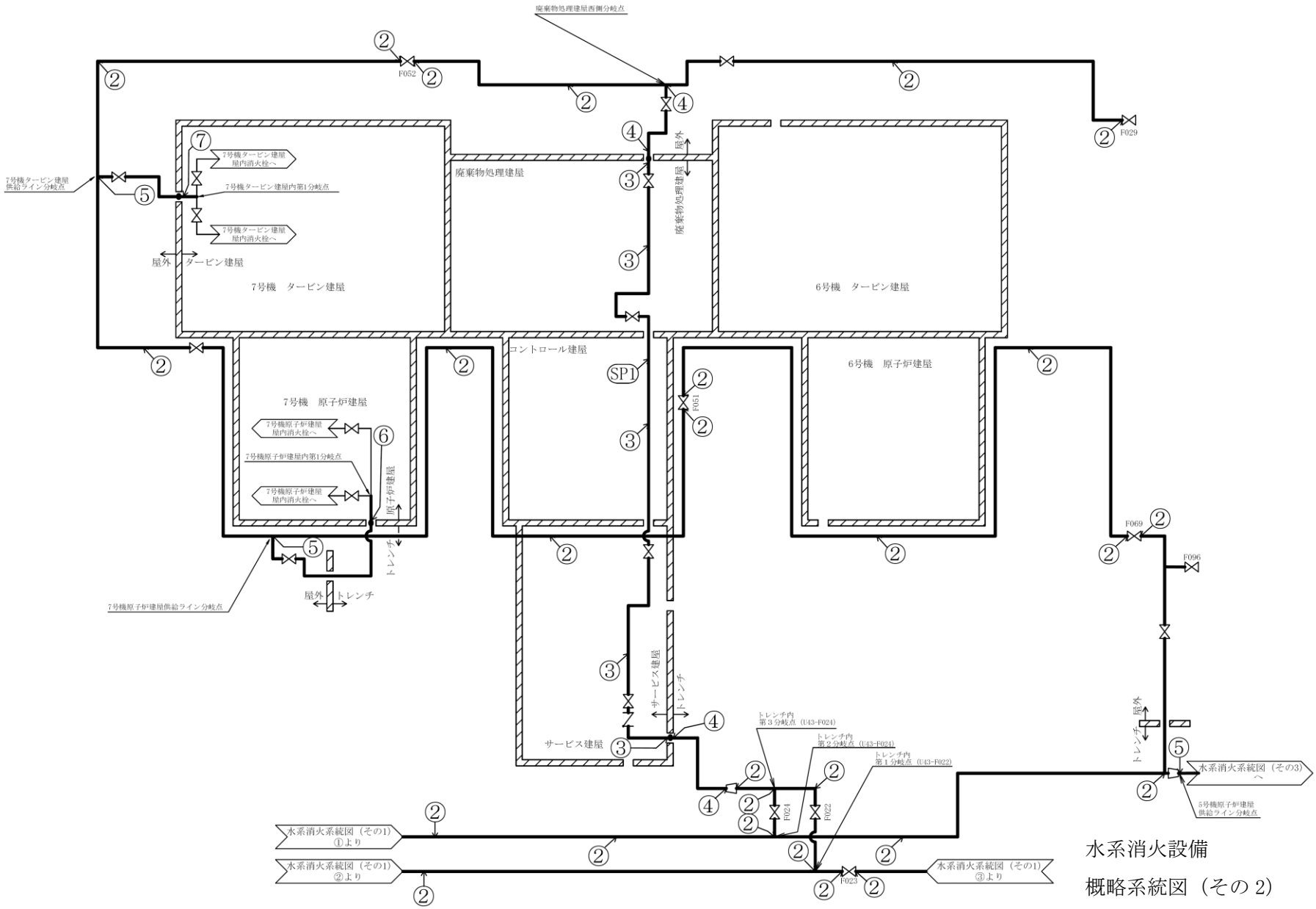
# 1. 水系消火設備

## 1.1 概略系統図



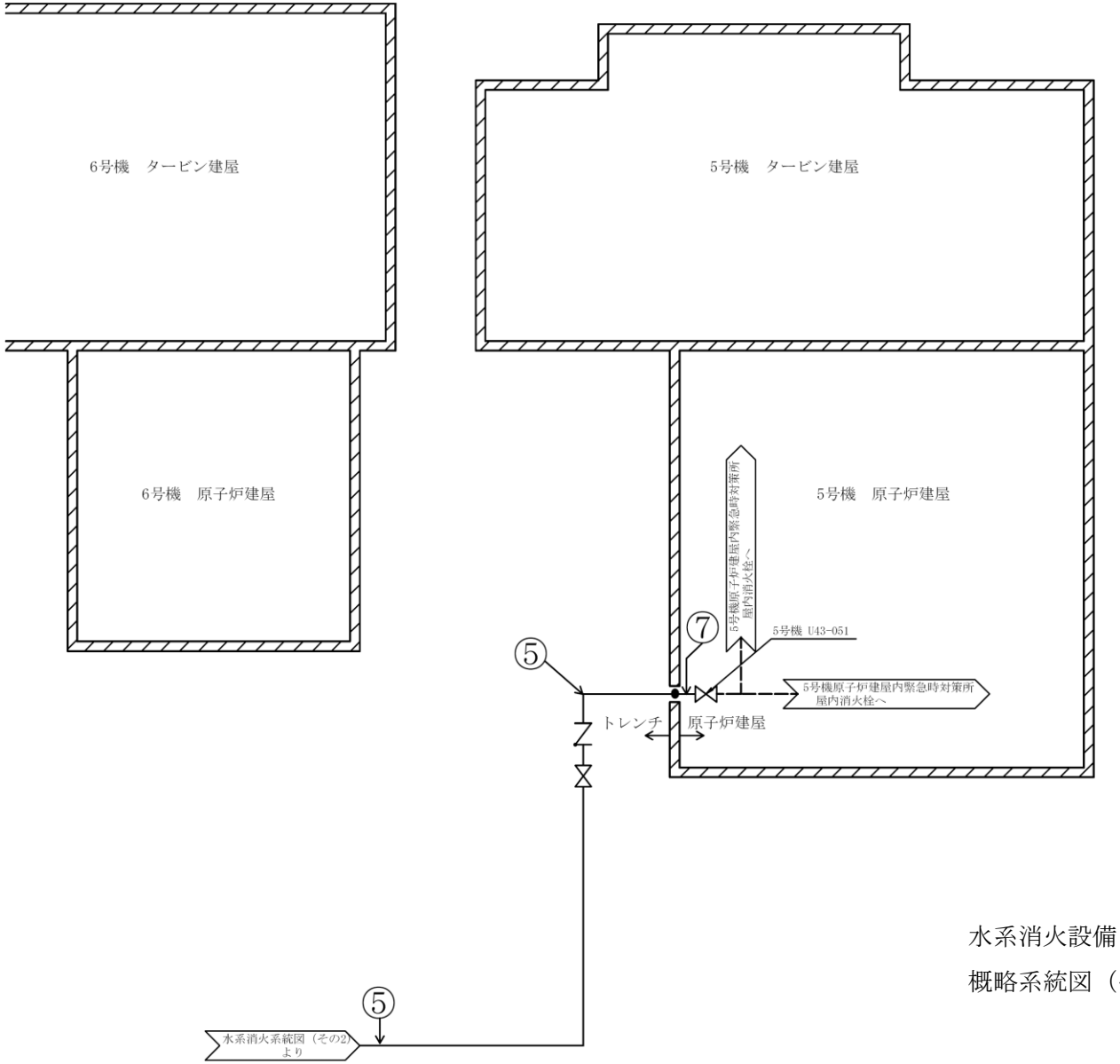

水系消火設備

概略系統図（その 1）




水系消火設備

概略系統図（その 2）




水系消火設備

概略系統図（その 3）

1.2　管の強度計算書（クラス３配管）

設計・建設規格　PPD-3411

| ＮＯ． | 最高使用圧力 P (MPa) | 最高使用温度 (℃) | 外径 $D_0$ (mm) | 公称厚さ (mm) | 材料 | 製法 | クラス | S (MPa) | η | Q (%, mm) | $t_s$ (mm) | t (mm) | 算式 | $t_r$ (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.98 | 66 | 318.50 | 10.30 | STPG370 | S | 3 | 93 | 1.00 | 12.5% | 9.01 | 1.68 | C | 3.8 |
| 2 | 0.98 | 66 | 216.30 | 8.20 | STPG370 | S | 3 | 93 | 1.00 | 12.5% | 7.17 | 1.14 | C | 3.8 |
| 3 | 1.37 | 66 | 165.20 | 7.10 | STPG370 | S | 3 | 93 | 1.00 | 12.5% | 6.21 | 1.21 | C | 3.8 |
| 4 | 0.98 | 66 | 165.20 | 7.10 | STPG370 | S | 3 | 93 | 1.00 | 12.5% | 6.21 | 0.87 | C | 3.8 |
| 5 | 0.98 | 66 | 114.30 | 6.00 | STPG370 | S | 3 | 93 | 1.00 | 12.5% | 5.25 | 0.60 | C | 3.4 |
| 6 | 1.37 | 66 | 114.30 | 6.00 | SUS304TP | W | 3 | 100 | 1.00 | 10.0% | 5.40 | 0.78 | A | 0.78 |
| 7 | 1.37 | 66 | 114.30 | 6.00 | STPG370 | S | 3 | 93 | 1.00 | 12.5% | 5.25 | 0.84 | C | 3.4 |

評価：$t_s \geqq t_r$，よって十分である。

1.3　伸縮継手の強度計算書（クラス３配管）

設計・建設規格　PPD-3416

| NO. | 最高使用圧力<br>P<br>(MPa) | 最高<br>使用<br>温度<br>(℃) | 材　料 | 縦弾性係数<br>E<br>(MPa) | t<br>(mm) | 全伸縮量<br>δ<br>(mm) | b<br>(mm) | h<br>(mm) | n | c | 算<br>式 | 継手部応力<br>σ<br>(MPa) | N<br>$\times 10^3$ | $N_r$<br>$\times 10^3$ | U |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| E1 | 0.98 | 66 | SUS304 | 191720 | 1.50 | 4.87 | 25.00 | 60.00 | 12 | 1 | B | 115 | 8767.1 | 7.00 | 0.0008 |
| E2 | 0.98 | 66 | SUS304 | 191720 | 1.50 | 18.50 | 25.00 | 60.00 | 12 | 1 | B | 326 | 226.8 | 7.00 | 0.0309 |
| E3 | 0.98 | 66 | SUS316 | 191720 | 0.60 | 4.00 | 7.40 | 14.90 | 64 | 1 | A | 371 | 143.2 | 7.00 | 0.0489 |
| E4 | 0.98 | 66 | SUS316 | 191720 | 1.08 | 27.04 | 8.85 | 18.30 | 110 | 1 | A | 469 | 63.3 | 7.00 | 0.1106 |
| E5 | 0.98 | 66 | SUS316 | 191720 | 1.08 | 9.61 | 8.85 | 18.30 | 110 | 1 | A | 258 | 516.6 | 7.00 | 0.0136 |
| E6 | 0.98 | 66 | SUS316 | 191720 | 0.60 | 0.32 | 7.40 | 14.90 | 64 | 1 | A | 308 | 275.8 | 7.00 | 0.0254 |
| E7 | 0.98 | 66 | SUS316 | 191720 | 0.60 | 0.52 | 7.40 | 14.90 | 64 | 1 | A | 312 | 265.3 | 7.00 | 0.0264 |
| E8 | 0.98 | 66 | SUS316 | 191720 | 0.60 | 1.21 | 7.40 | 14.90 | 64 | 1 | A | 323 | 232.7 | 7.00 | 0.0301 |
| E9 | 0.98 | 66 | SUS316 | 191720 | 0.60 | 0.95 | 7.40 | 14.90 | 64 | 1 | A | 319 | 244.3 | 7.00 | 0.0287 |
| E10 | 0.98 | 66 | SUS316 | 191720 | 0.60 | 4.00 | 7.40 | 14.90 | 64 | 1 | A | 371 | 143.2 | 7.00 | 0.0489 |

評価：U≦1，よって十分である。

1.4　管の穴と補強計算書（クラス３配管）

設計・建設規格　PPD-3420，PPD-3422

| ＮＯ． | | SP1 | |
|---|---|---|---|
| 形　　式 | | | A |
| 最高使用圧力 | | Ｐ　(MPa) | 1.37 |
| 最高使用温度 | | (℃) | 66 |
| 主管と管台の角度 | | α　(°) | 90 |
| 主管 | 材　料 | | STPG370 |
| | 許容引張応力 | $S_r$　(MPa) | 93 |
| | 外　径 | $D_{or}$　(mm) | 165.20 |
| | 内　径 | $D_{ir}$　(mm) | 152.78 |
| | 公称厚さ | $t_{ro}$　(mm) | 7.10 |
| | 厚さの負の許容差 | $Q_r$ | 12.5% |
| | 最小厚さ | $t_r$　(mm) | 6.21 |
| | 継手効率 | η | 1.00 |
| 管台 | 材　料 | | PT370 |
| | 外　径 | $D_{ob}$　(mm) | 67.00 |
| | 内　径 | $D_{ib}$　(mm) | 49.50 |
| | 公称厚さ | $t_{bn}$　(mm) | 8.75 |
| 穴の径 | | d　(mm) | 49.50 |
| $d_{r1}=D_{ir}/4$ | | (mm) | 38.20 |
| 61，$d_{r1}$の小さい値 | | (mm) | 38.20 |
| K | | | 0.2154 |
| 200，$d_{r2}$の小さい値 | | (mm) | 74.89 |
| 補強不要な穴の最大径 | | $d_{fr}$　(mm) | 74.89 |

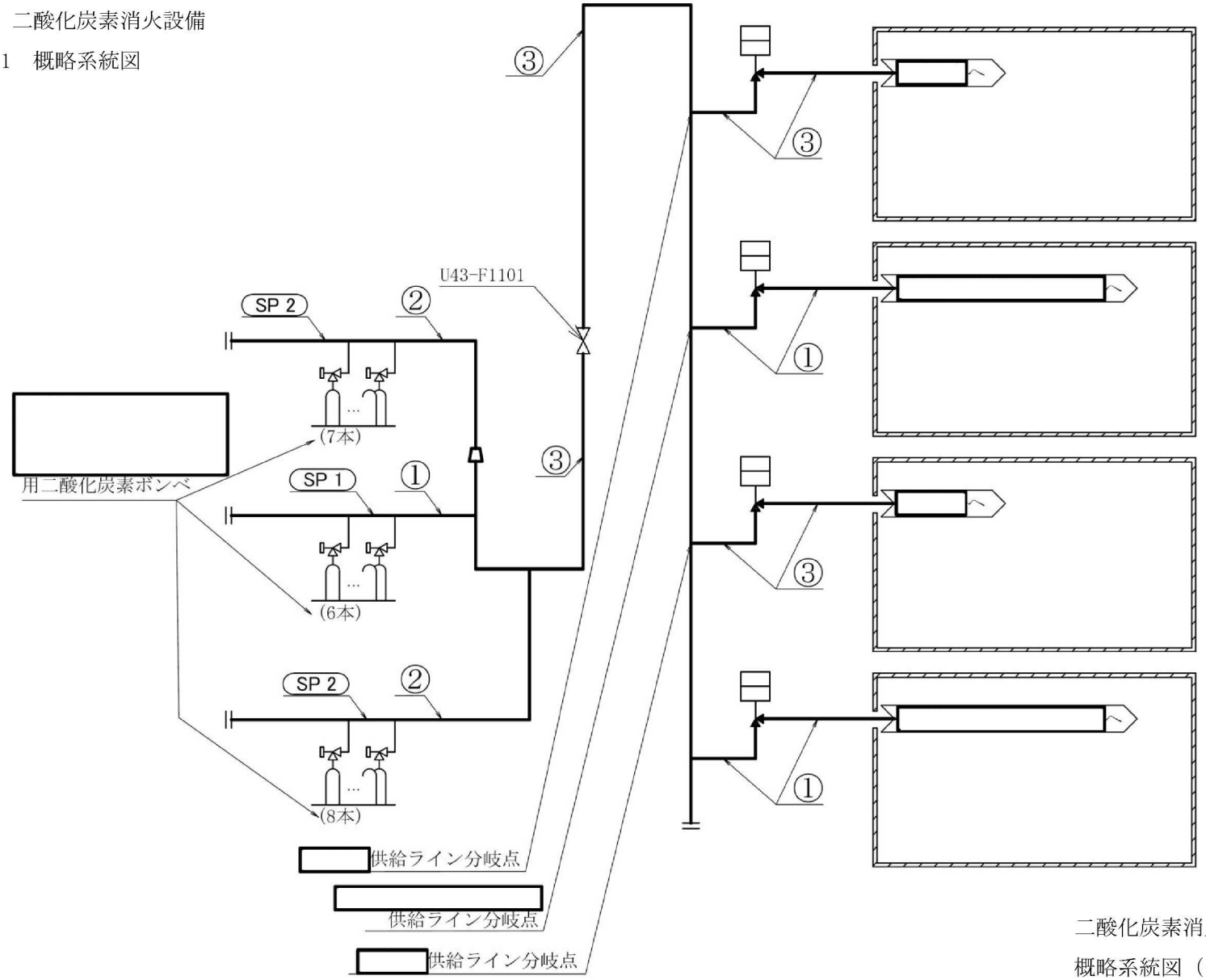
評価：　$d \leqq d_{fr}$

よって管の穴の補強計算は必要ない。

K7 ① V-3-3-7-2-1-2 R1

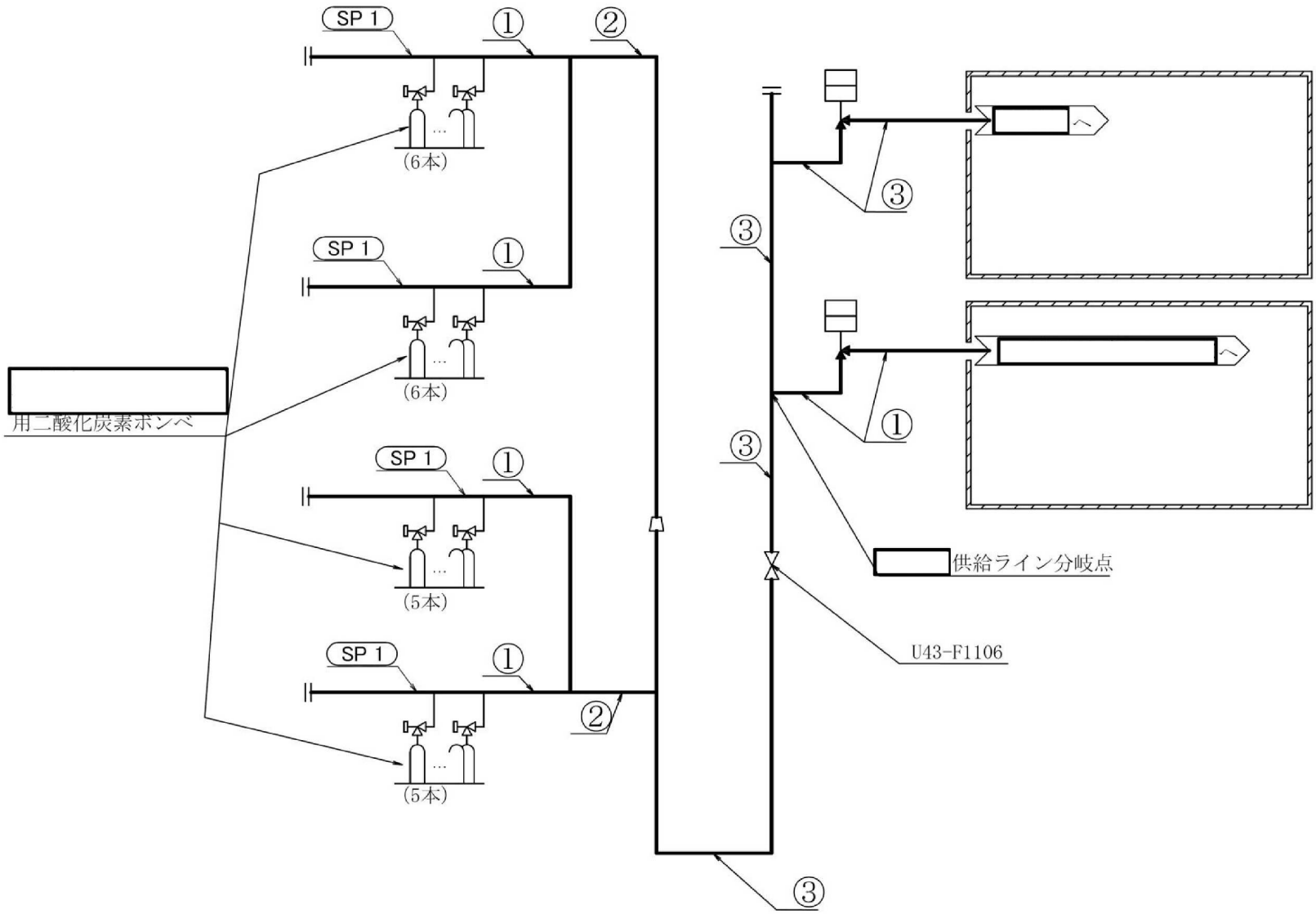
2.　二酸化炭素消火設備

2.1　概略系統図




二酸化炭素消火設備

概略系統図（その 1）




二酸化炭素消火設備

概略系統図（その 2）

2.2　管の強度計算書（クラス３配管）

設計・建設規格　PPD-3411

| ＮＯ． | 最高使用圧力<br>Ｐ<br>(MPa) | 最高使用<br>温　　度<br>(℃) | 外　径<br>$D_0$<br>(mm) | 公称厚さ<br>(mm) | 材　　料 | 製<br>法 | クラス | Ｓ<br>(MPa) | η | Ｑ<br>(%,mm) | $t_s$<br>(mm) | ｔ<br>(mm) | 算<br>式 | $t_r$<br>(mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 10.80 | 40 | 42.70 | 4.90 | STPG370 | S | 3 | 93 | 1.00 | 12.5% | 4.28 | 2.37 | A | 2.37 |
| 2 | 10.80 | 40 | 48.60 | 5.10 | STPG370 | S | 3 | 93 | 1.00 | 12.5% | 4.46 | 2.70 | A | 2.70 |
| 3 | 10.80 | 40 | 76.30 | 7.00 | STPG370 | S | 3 | 93 | 1.00 | 12.5% | 6.12 | 4.24 | A | 4.24 |

評価：$t_s \geqq t_r$，よって十分である。

2.3　管の穴と補強計算書（クラス３配管）

設計・建設規格　PPD-3420，PPD-3422

| NO. | | SP 1 | |
|---|---|---|---|
| 形　　式 | | | A |
| 最高使用圧力 | | P　(MPa) | 10.80 |
| 最高使用温度 | | (℃) | 40 |
| 主管と管台の角度 | | α　(°) | 90 |
| 主管 | 材　料 | | STPG370 |
| | 許容引張応力 | $S_r$　(MPa) | 93 |
| | 外　径 | $D_{or}$　(mm) | 42.70 |
| | 内　径 | $D_{ir}$　(mm) | 34.14 |
| | 公称厚さ | $t_{ro}$　(mm) | 4.90 |
| | 厚さの負の許容差 | $Q_r$ | 12.5% |
| | 最小厚さ | $t_r$　(mm) | 4.28 |
| | 継手効率 | η | 1.00 |
| 管台 | 材　料 | | S25C |
| | 外　径 | $D_{ob}$　(mm) | 19.50 |
| | 内　径 | $D_{ib}$　(mm) | 14.20 |
| | 公称厚さ | $t_{bn}$　(mm) | 2.75 |
| 穴の径 | | d　(mm) | 20.0 |
| $d_{r1}=D_{ir}/4$ | | (mm) | 8.54 |
| 61，$d_{r1}$の小さい値 | | (mm) | 8.54 |
| K | | | 0.6366 |
| 200，$d_{r2}$の小さい値 | | (mm) | 32.60 |
| 補強不要な穴の最大径 | | $d_{fr}$　(mm) | 32.60 |

評価：　$d \leqq d_{fr}$

よって管の穴の補強計算は必要ない。

K7 ① V-3-3-7-2-1-2 R1

設計・建設規格　PPD-3420，PPD-3422

| NO. | | SP 2 | |
|---|---|---|---|
| 形　　式 | | | A |
| 最高使用圧力 | | P　(MPa) | 10.80 |
| 最高使用温度 | | (℃) | 40 |
| 主管と管台の角度 | | α　(°) | 90 |
| 主管 | 材　料 | | STPG370 |
| | 許容引張応力 | $S_r$　(MPa) | 93 |
| | 外　径 | $D_{or}$　(mm) | 48.60 |
| | 内　径 | $D_{ir}$　(mm) | 39.68 |
| | 公称厚さ | $t_{ro}$　(mm) | 5.10 |
| | 厚さの負の許容差 | $Q_r$ | 12.5% |
| | 最小厚さ | $t_r$　(mm) | 4.46 |
| | 継手効率 | η | 1.00 |
| 管台 | 材　料 | | S25C |
| | 外　径 | $D_{ob}$　(mm) | 19.50 |
| | 内　径 | $D_{ib}$　(mm) | 14.20 |
| | 公称厚さ | $t_{bn}$　(mm) | 2.75 |
| 穴の径 | | d　(mm) | 20.00 |
| $d_{r1}=D_{ir}/4$ | | (mm) | 9.92 |
| 61，$d_{r1}$の小さい値 | | (mm) | 9.92 |
| K | | | 0.6953 |
| 200，$d_{r2}$の小さい値 | | (mm) | 32.54 |
| 補強不要な穴の最大径 | | $d_{fr}$　(mm) | 32.54 |

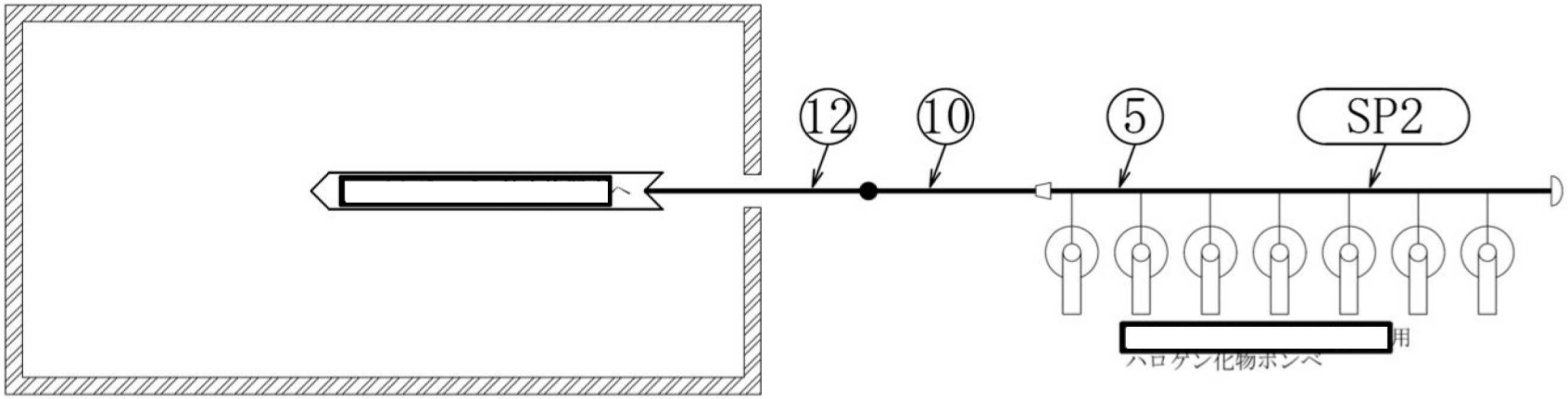
評価：　$d \leqq d_{fr}$

よって管の穴の補強計算は必要ない。

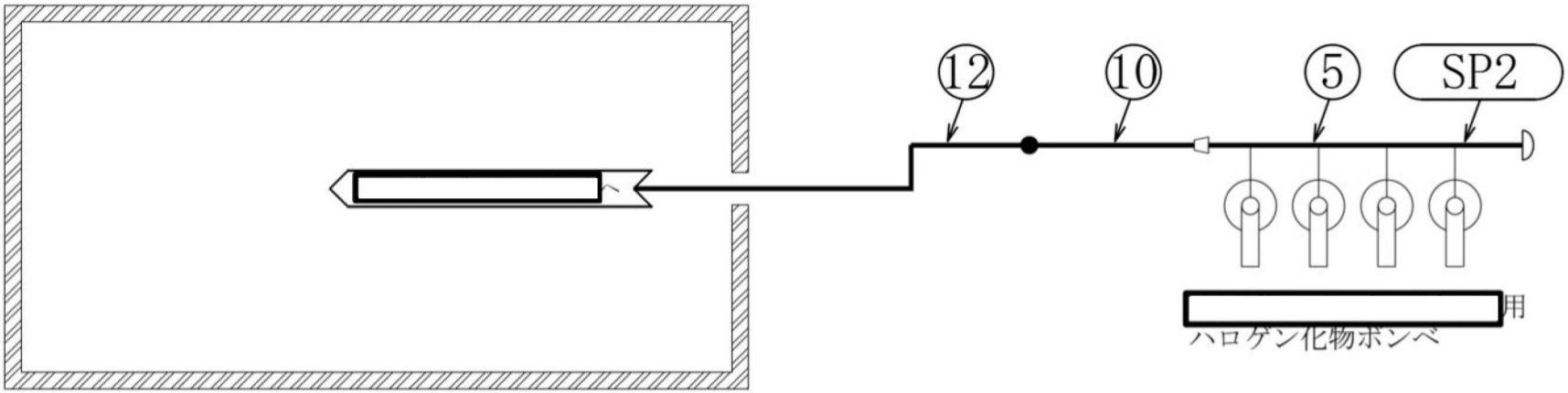
K7 ① V-3-3-7-2-1-2 R1

3.　小空間固定式消火設備

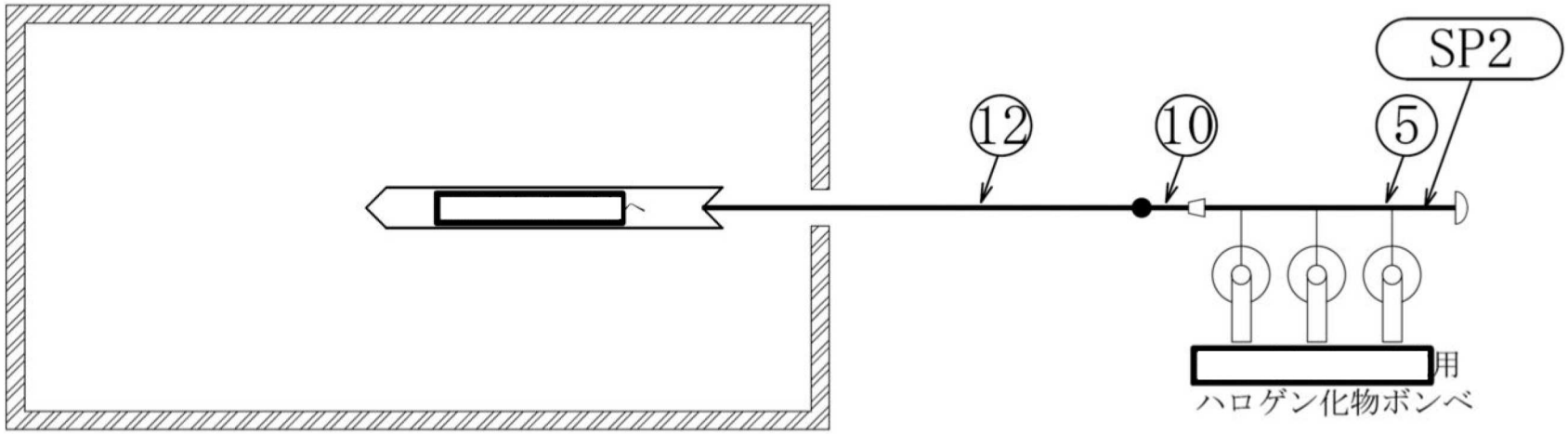
3.1　概略系統図



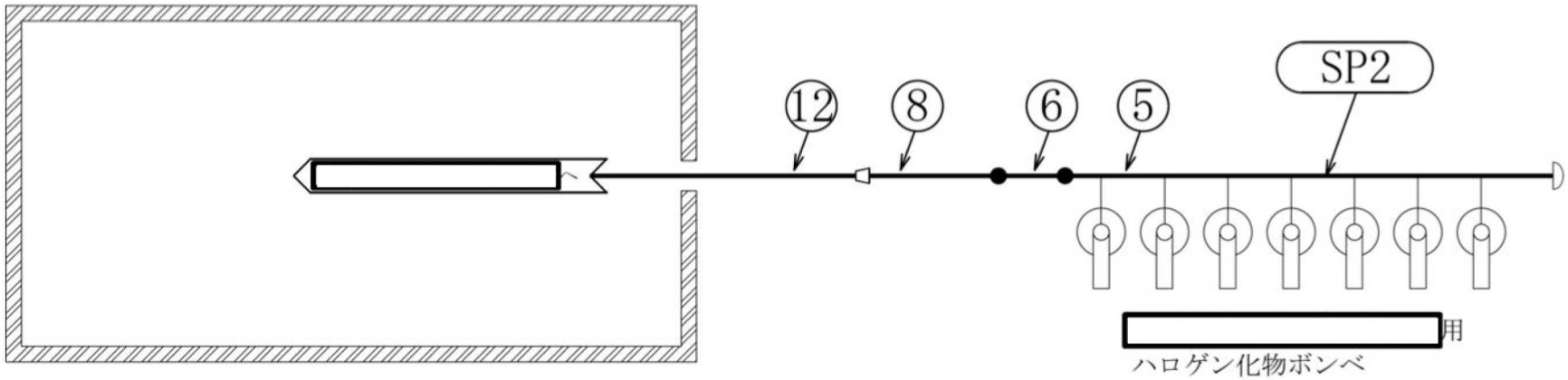

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 1）



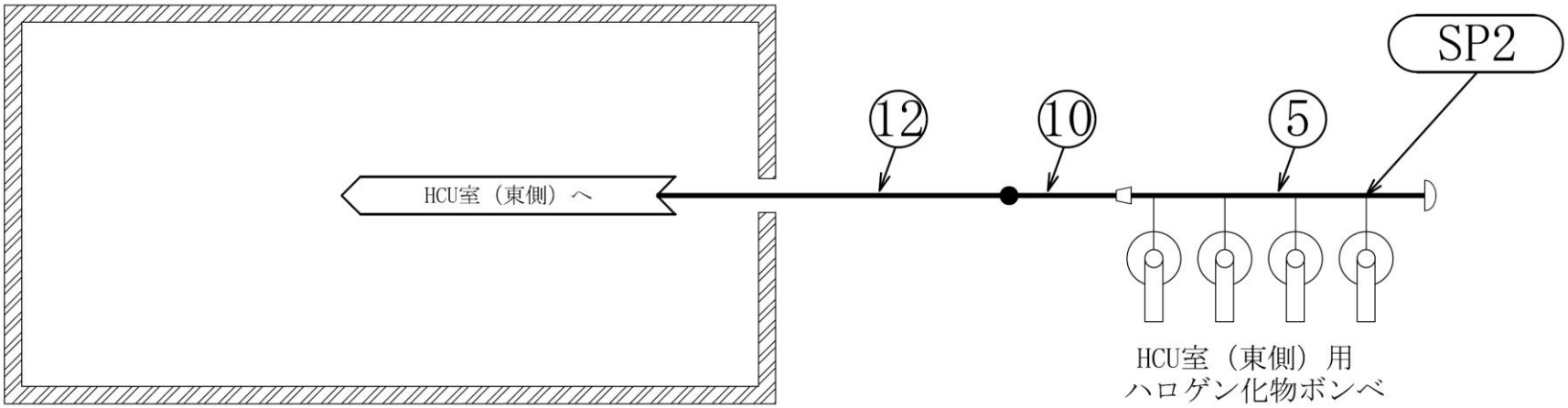

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 2）



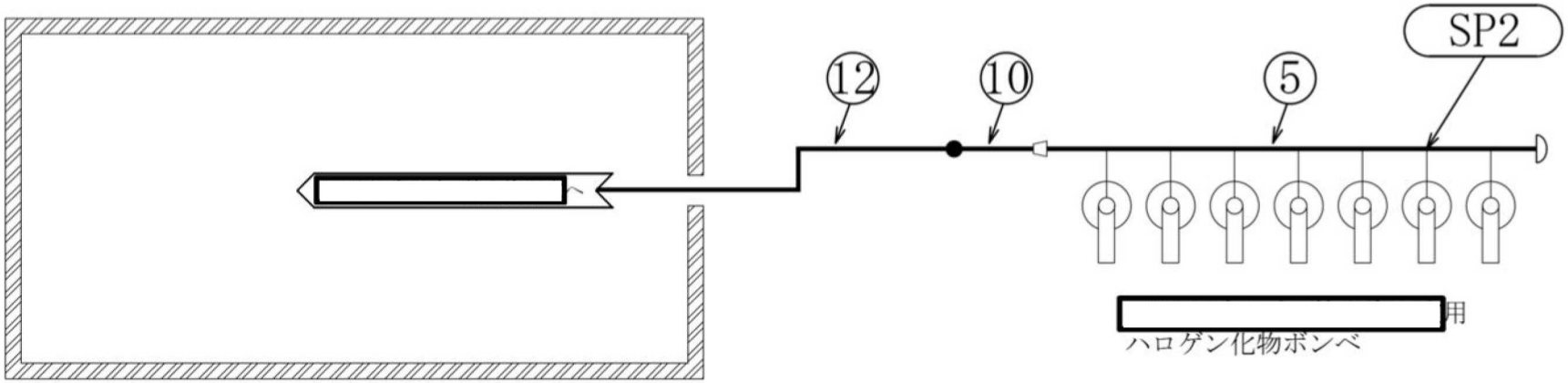

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 3）



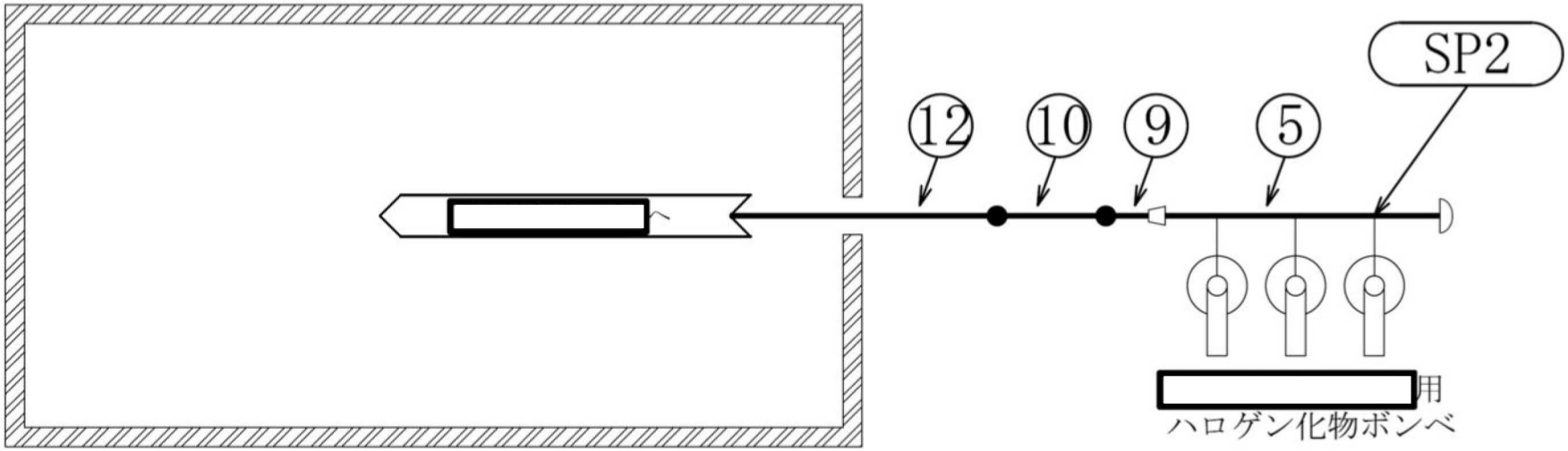

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 4）



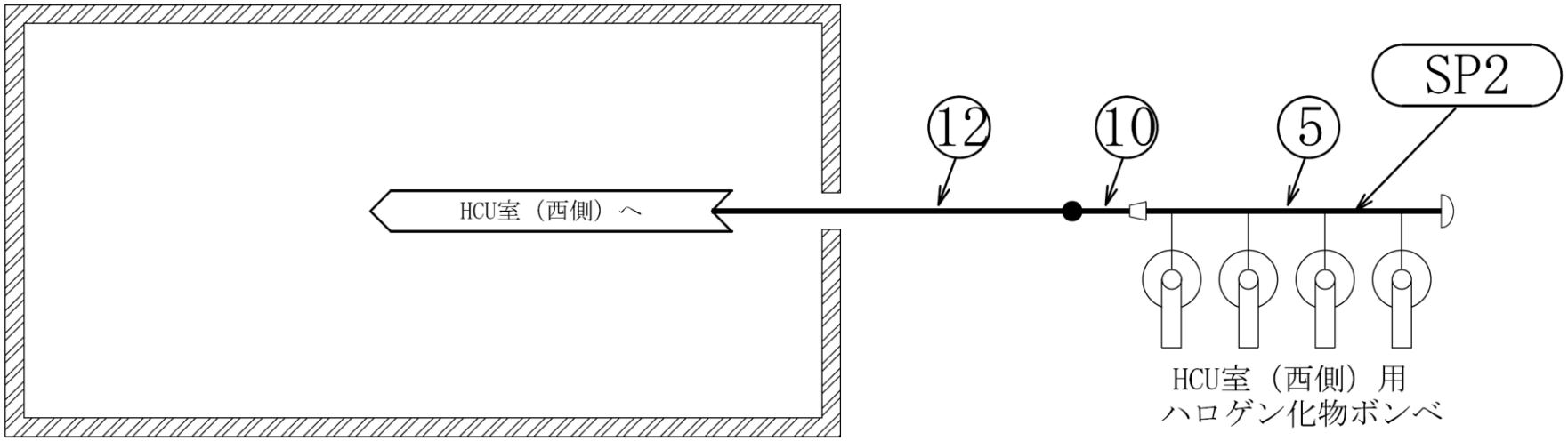

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 5）



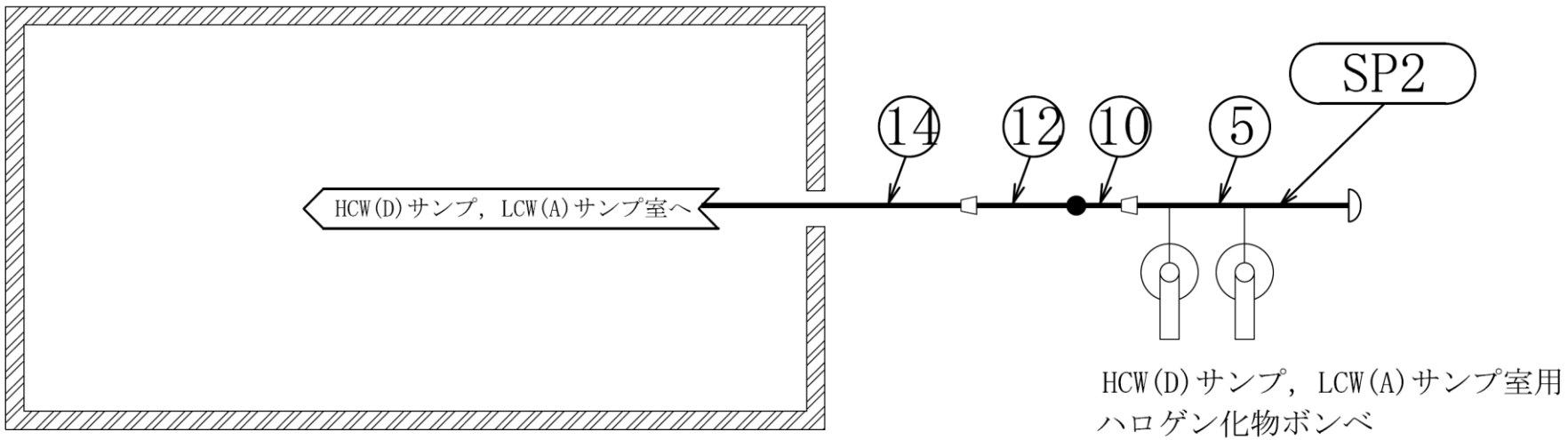

小空間固定式消火設備
概略系統図（その6）



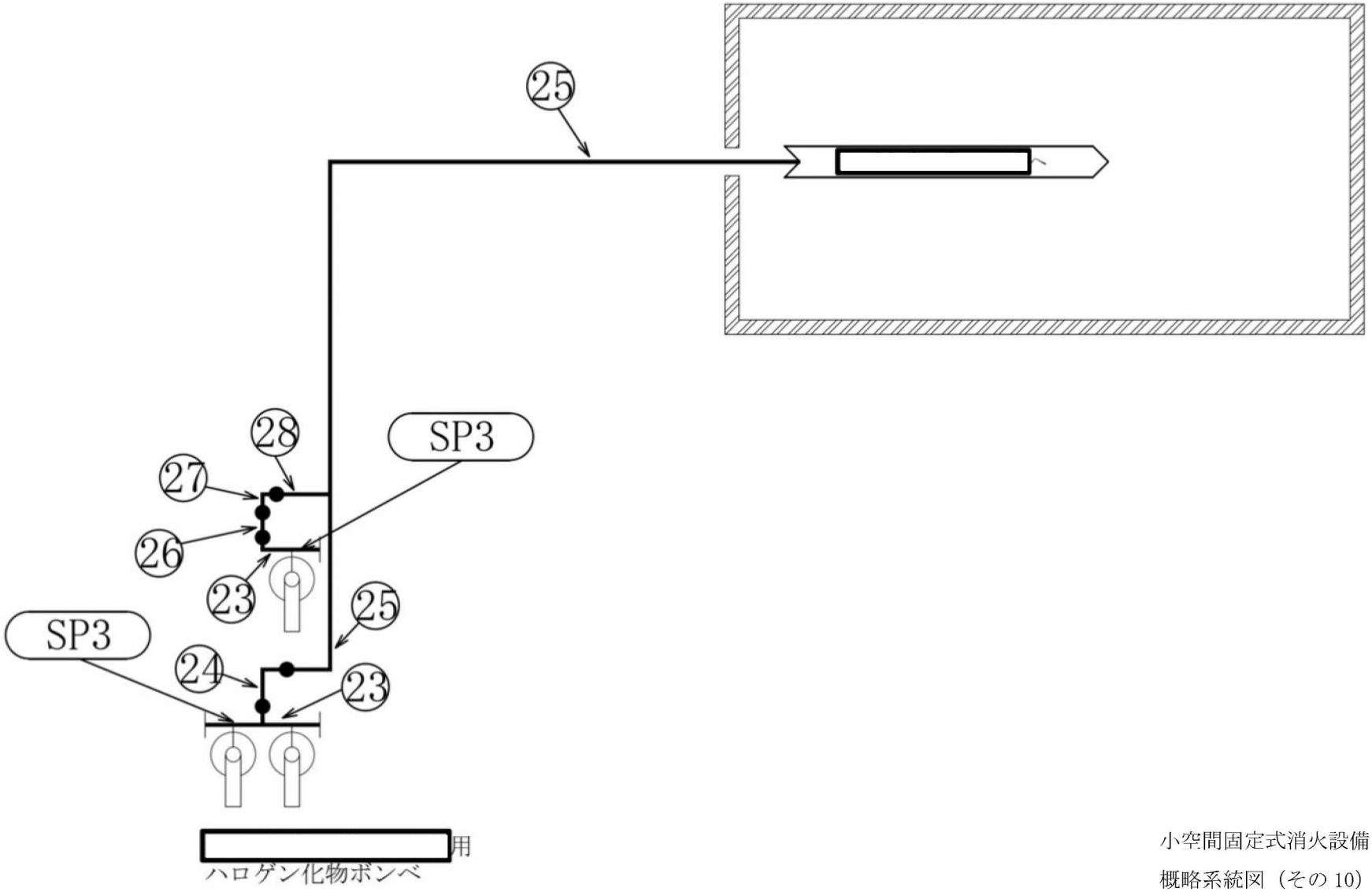

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 7）



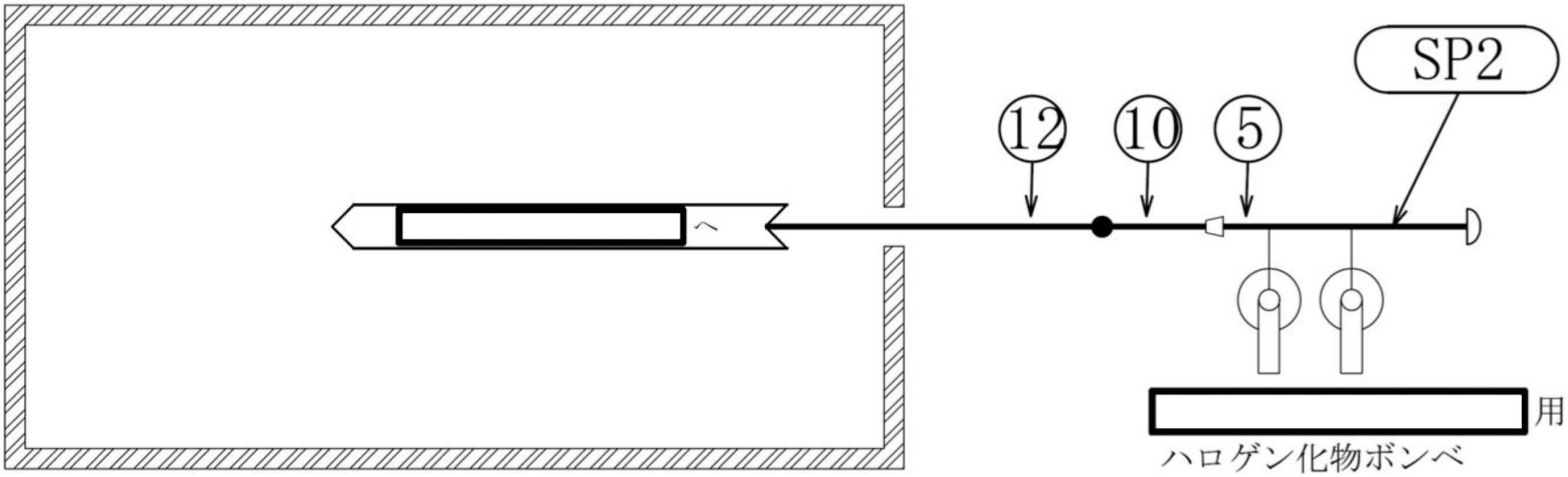

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 8）



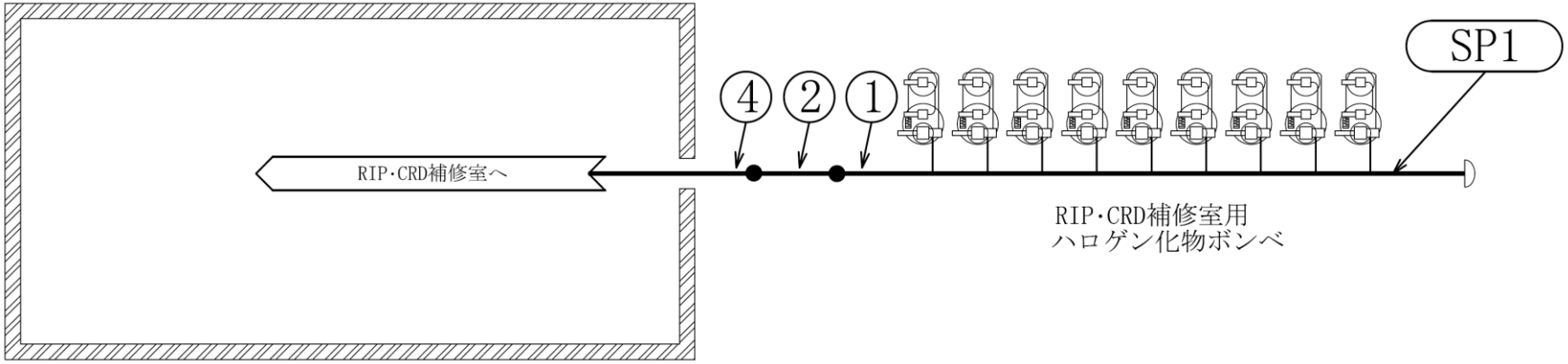

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 9）



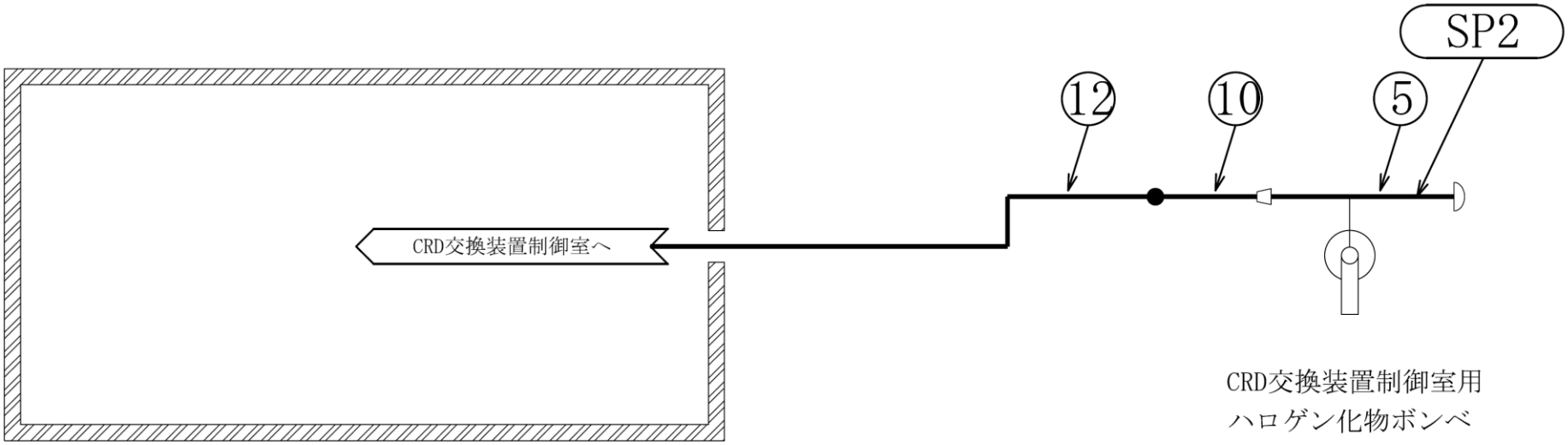

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 10）



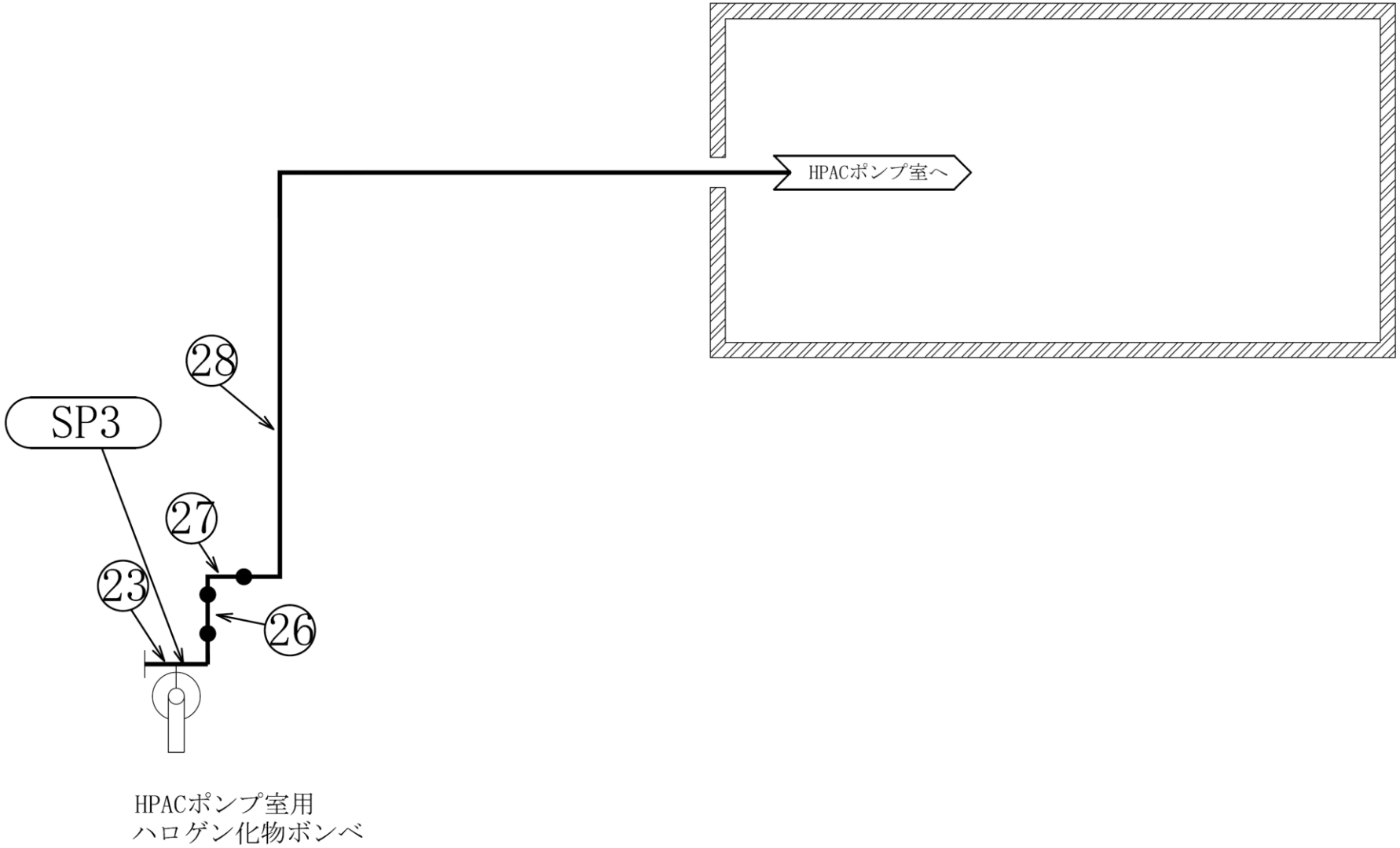

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 11）




小空間固定式消火設備
概略系統図（その 12）

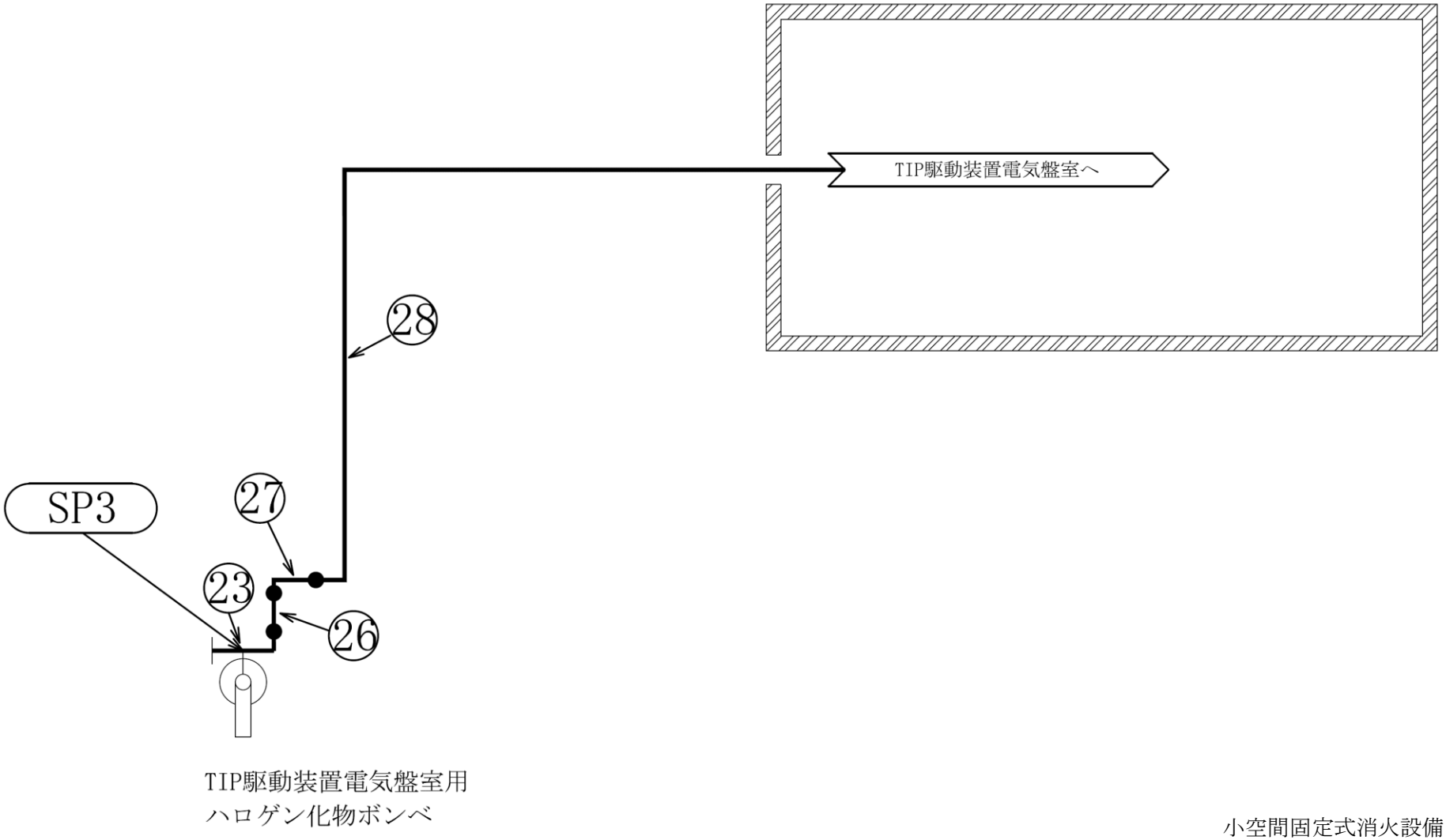



小空間固定式消火設備
概略系統図（その 13）

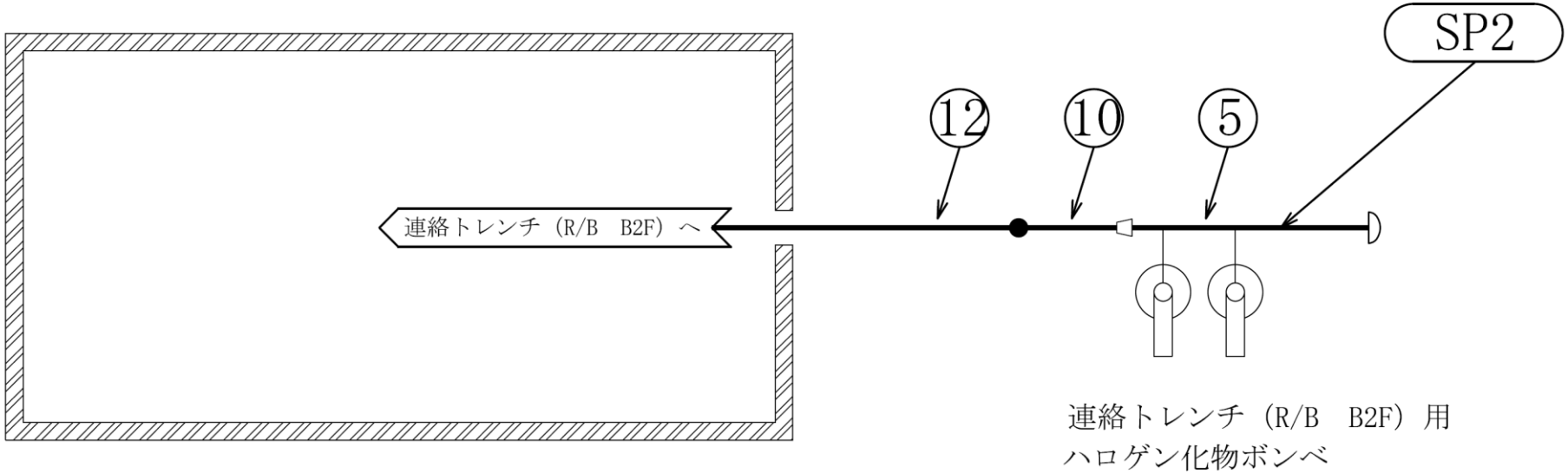



小空間固定式消火設備

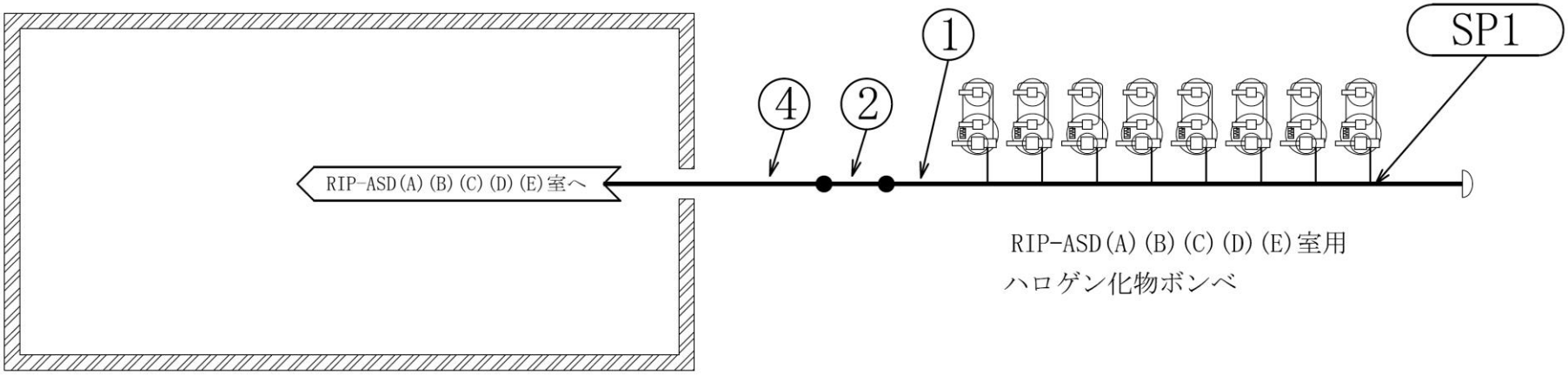
概略系統図（その 14）



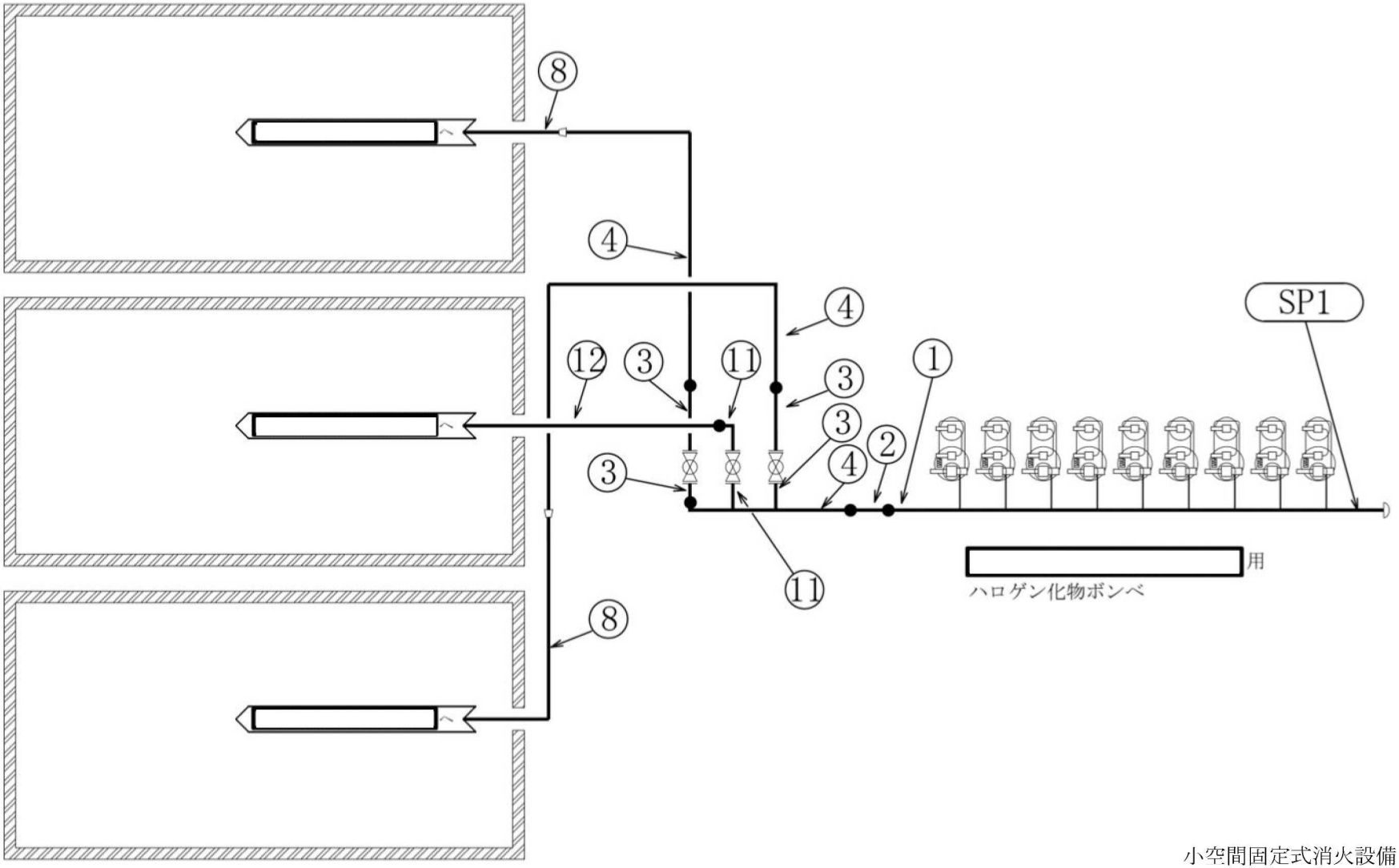

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 15）




小空間固定式消火設備
概略系統図（その 16）

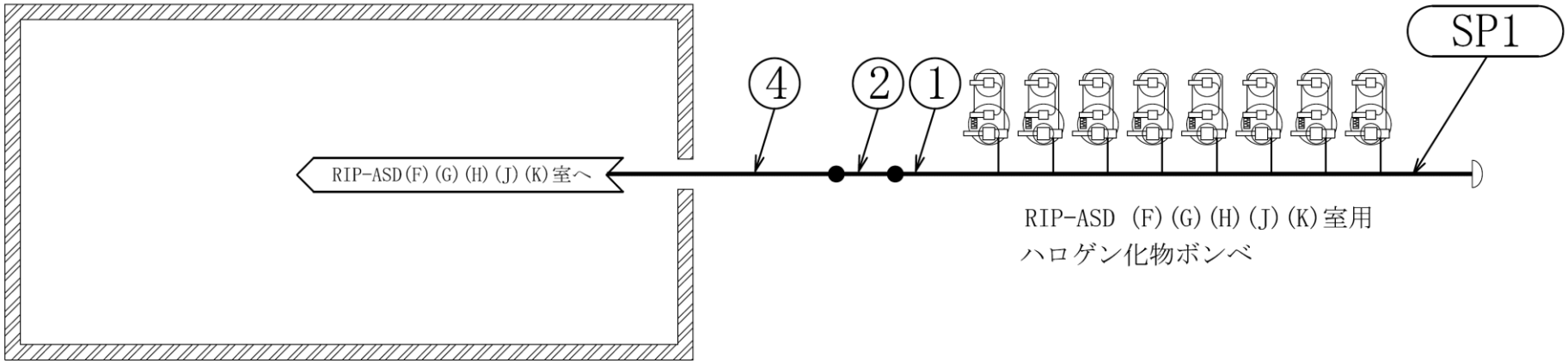



小空間固定式消火設備
概略系統図（その 17）

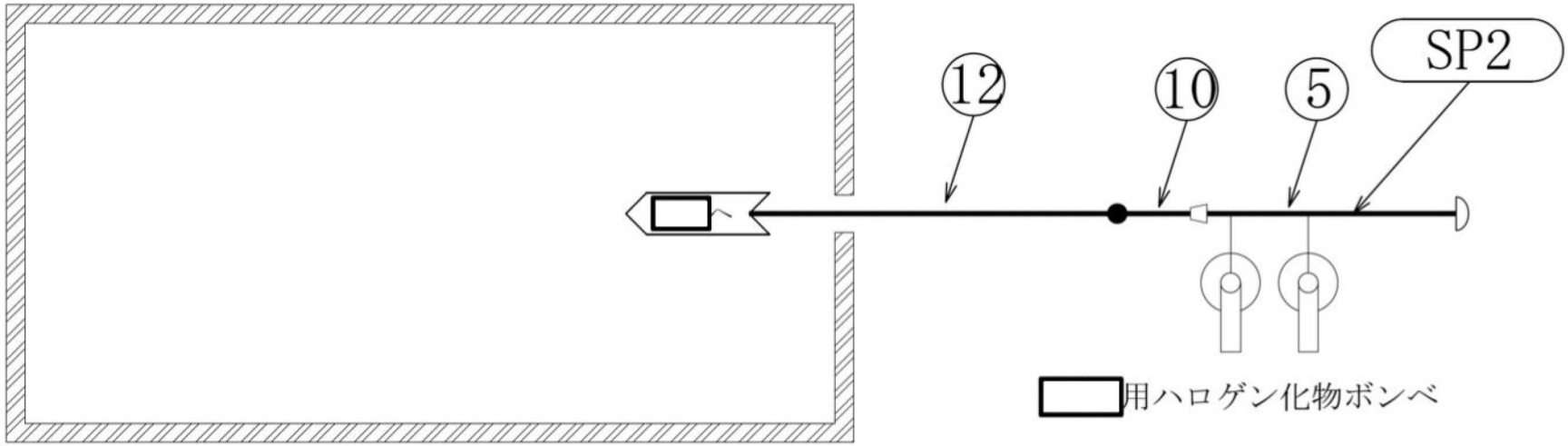



小空間固定式消火設備

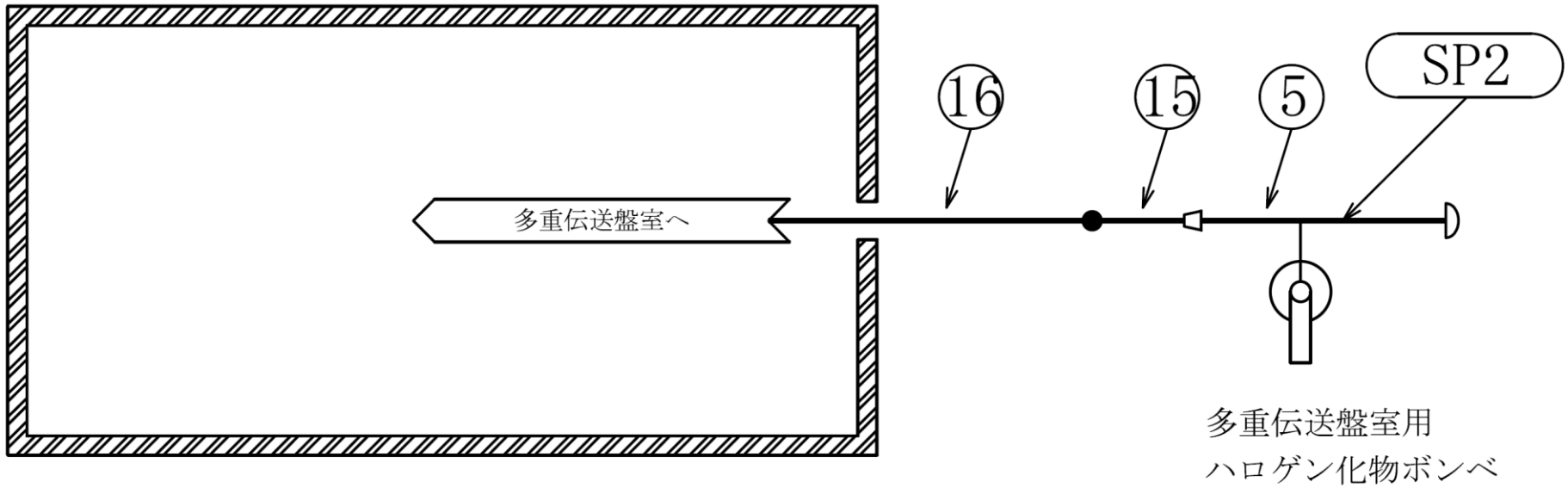
概略系統図（その 18）



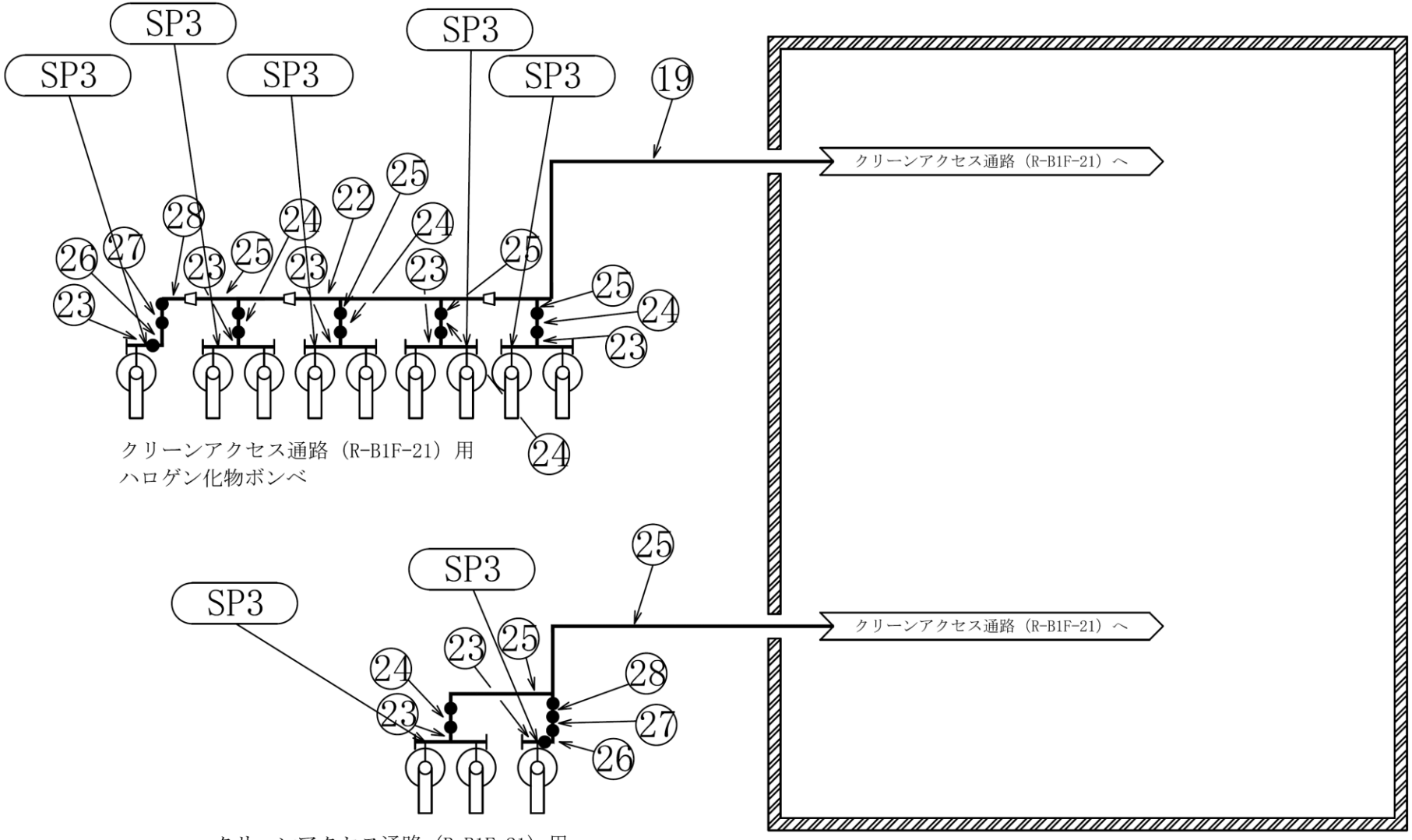

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 19）




小空間固定式消火設備
概略系統図（その 20）

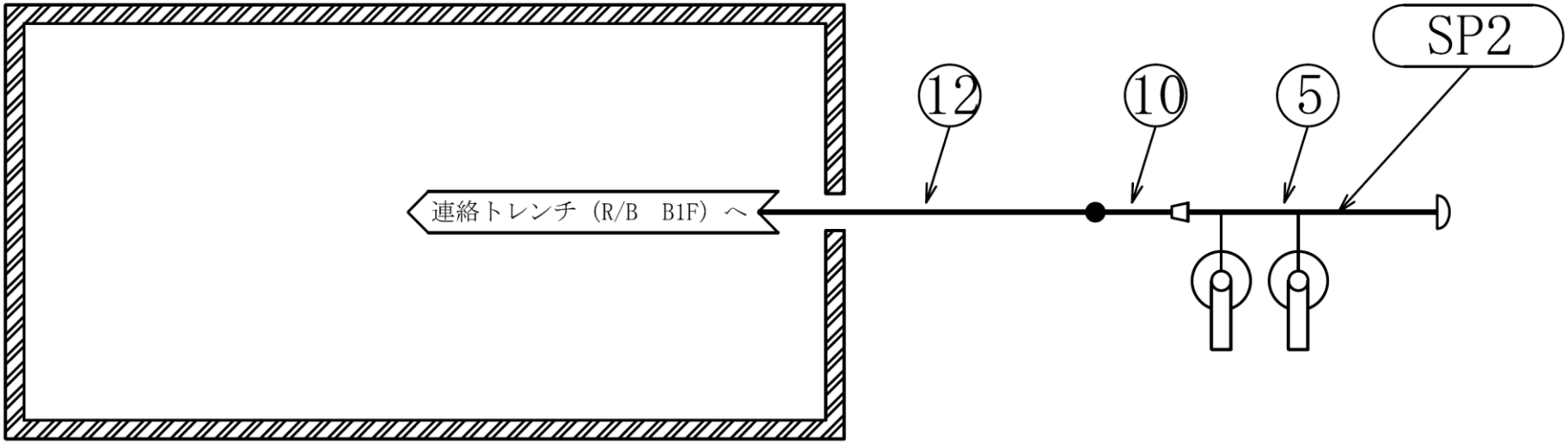



小空間固定式消火設備
概略系統図（その 21）



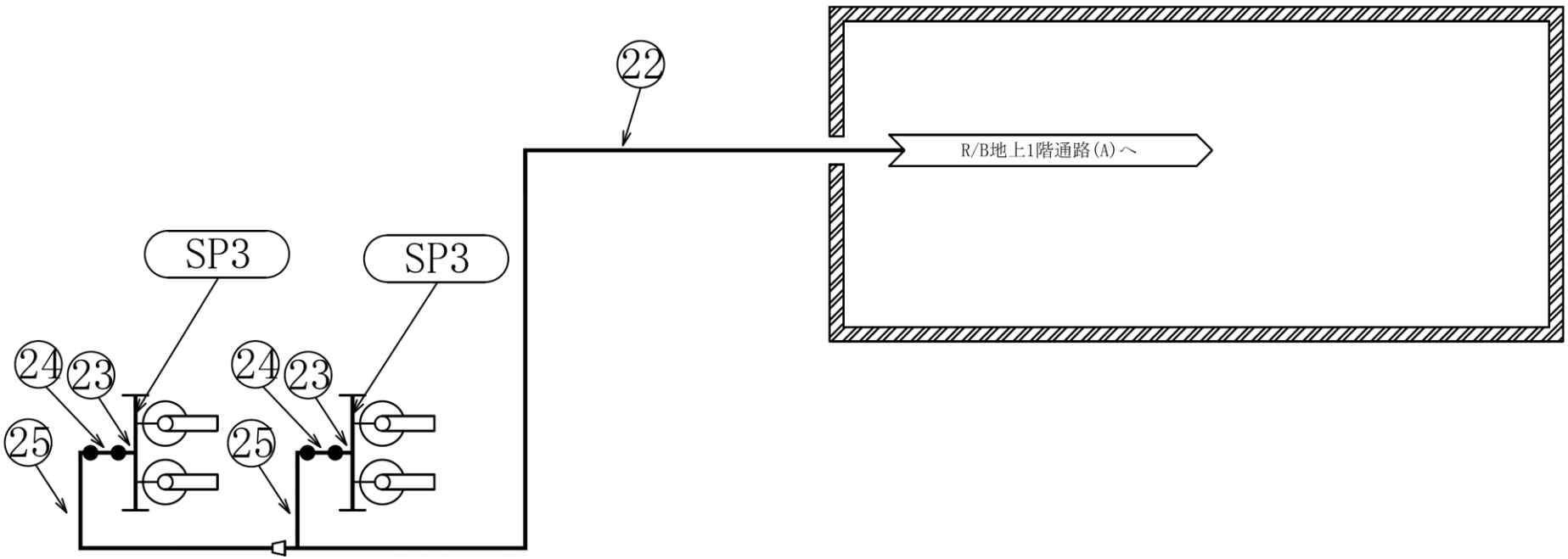

小空間固定式消火設備

概略系統図（その 22）



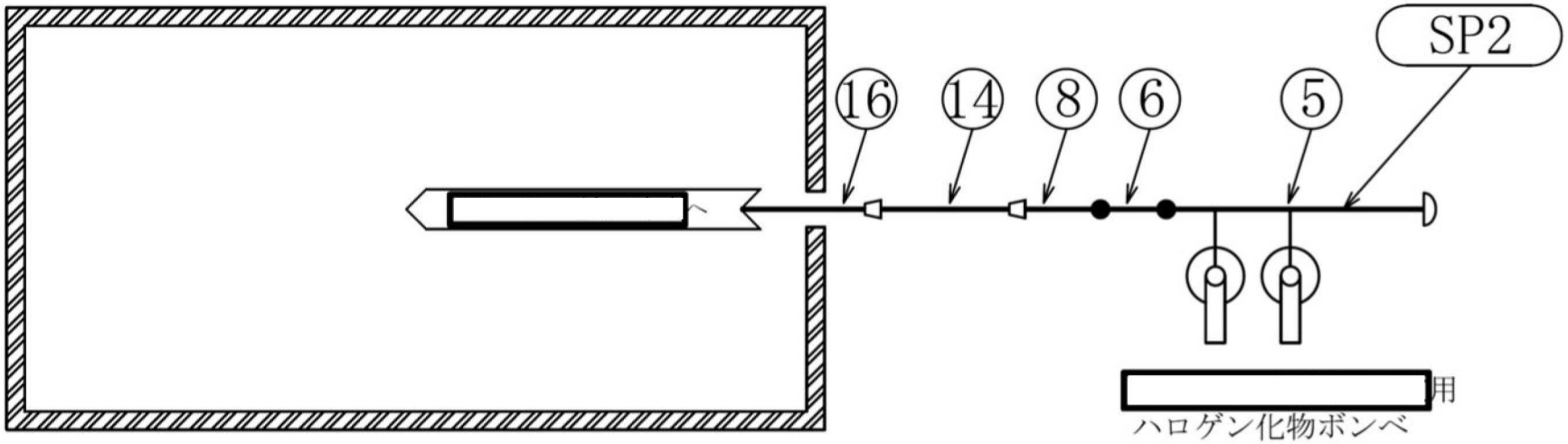

連絡トレンチ（R/B　B1F）用
ハロゲン化物ボンベ

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 23）

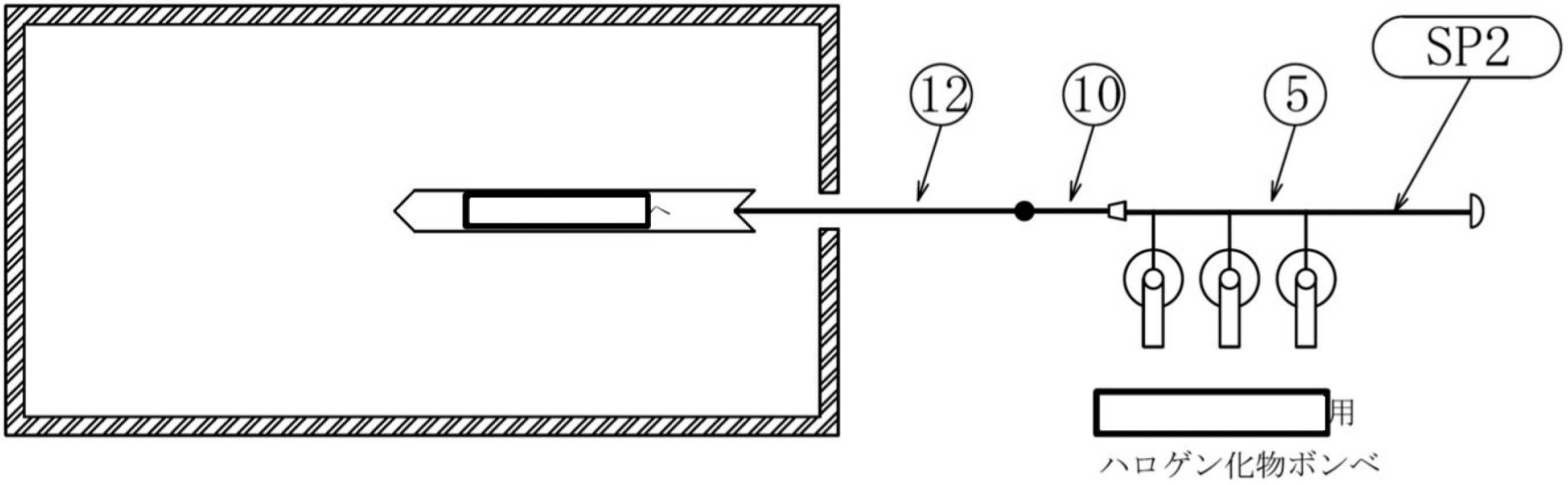



R/B地上1階通路(A) 用
ハロゲン化物ボンベ

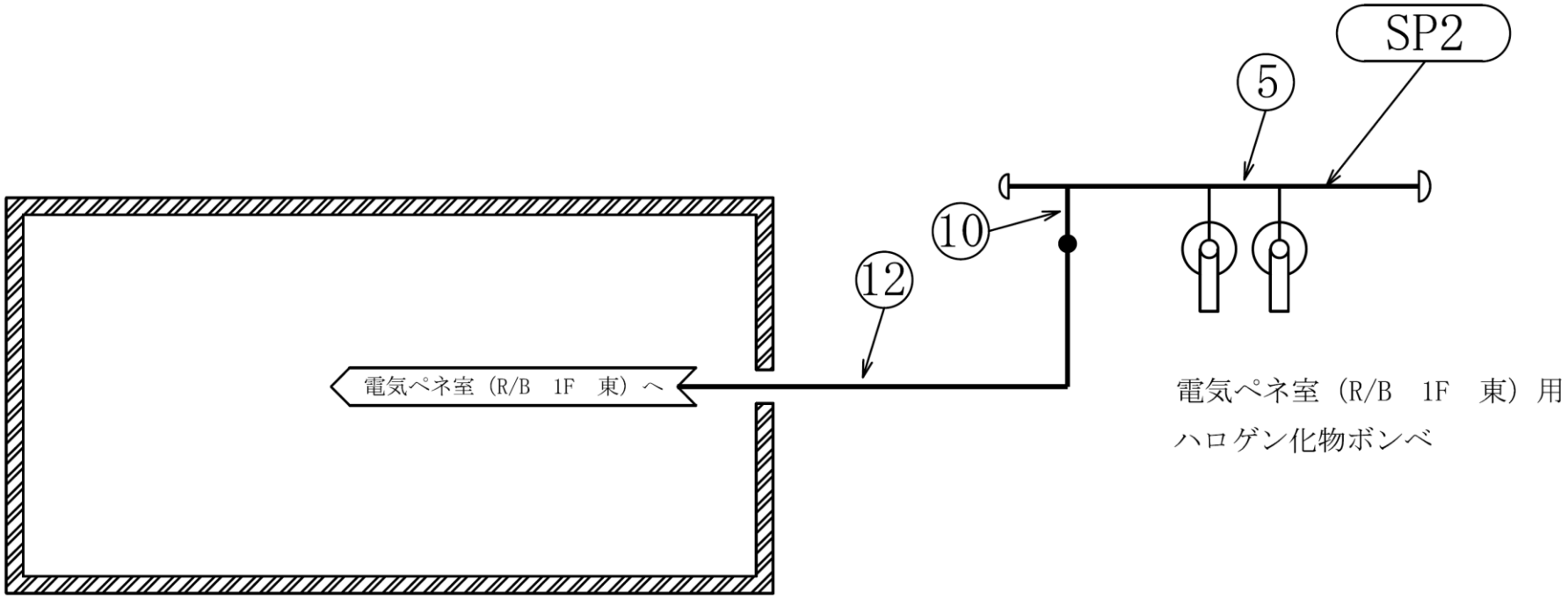
小空間固定式消火設備
概略系統図（その 24）



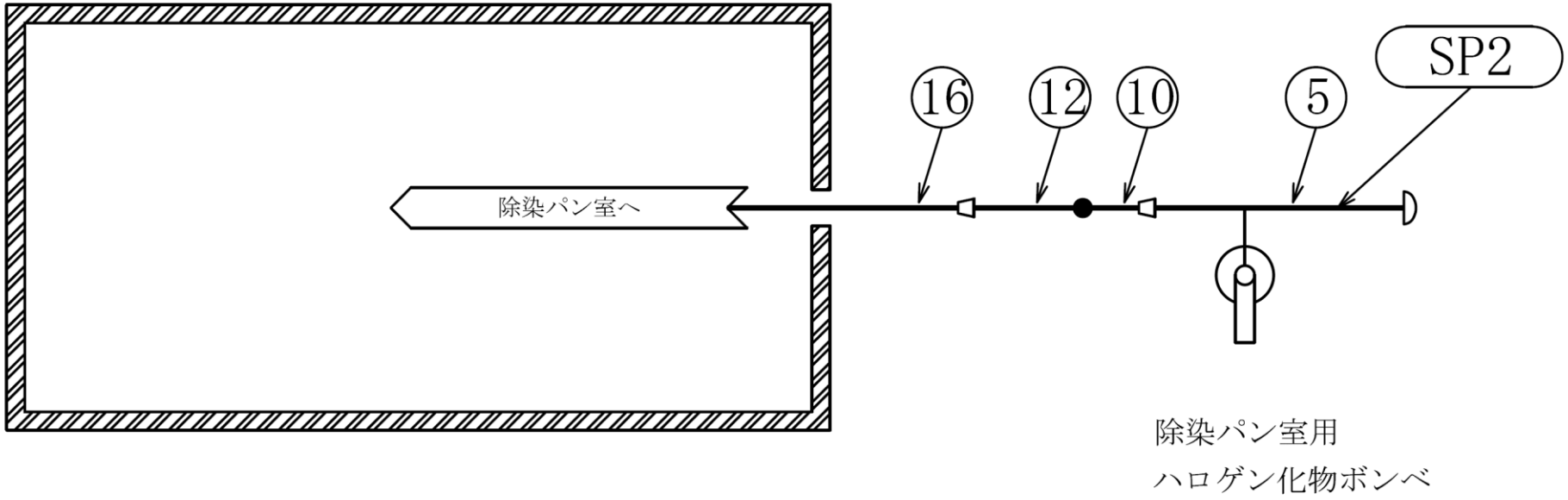

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 25）



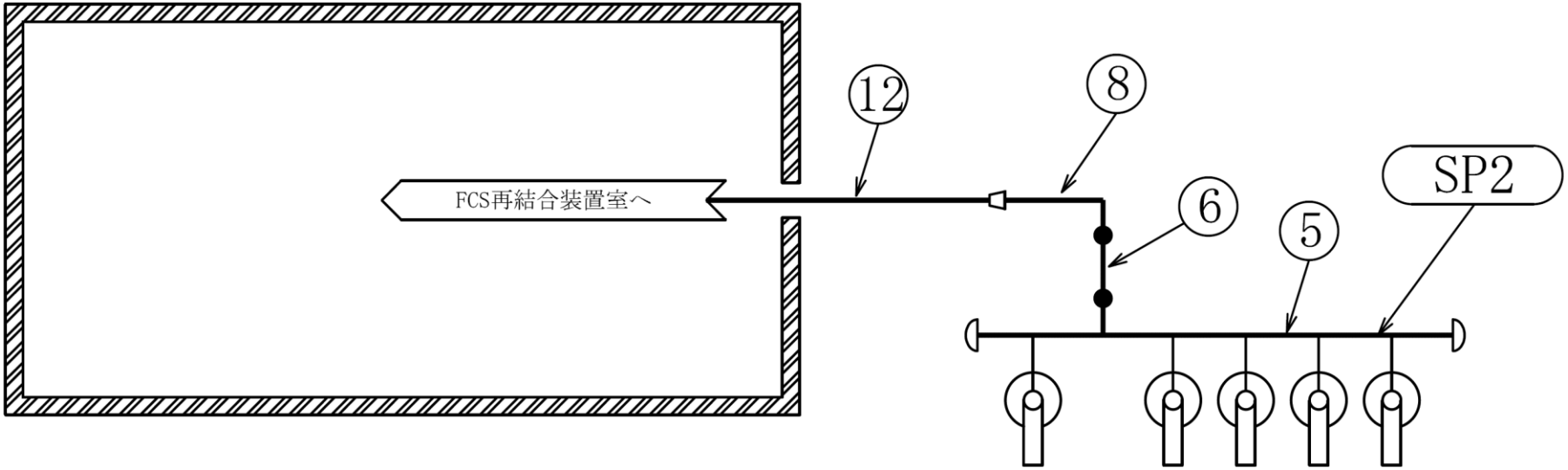

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 26）




小空間固定式消火設備
概略系統図（その 27）

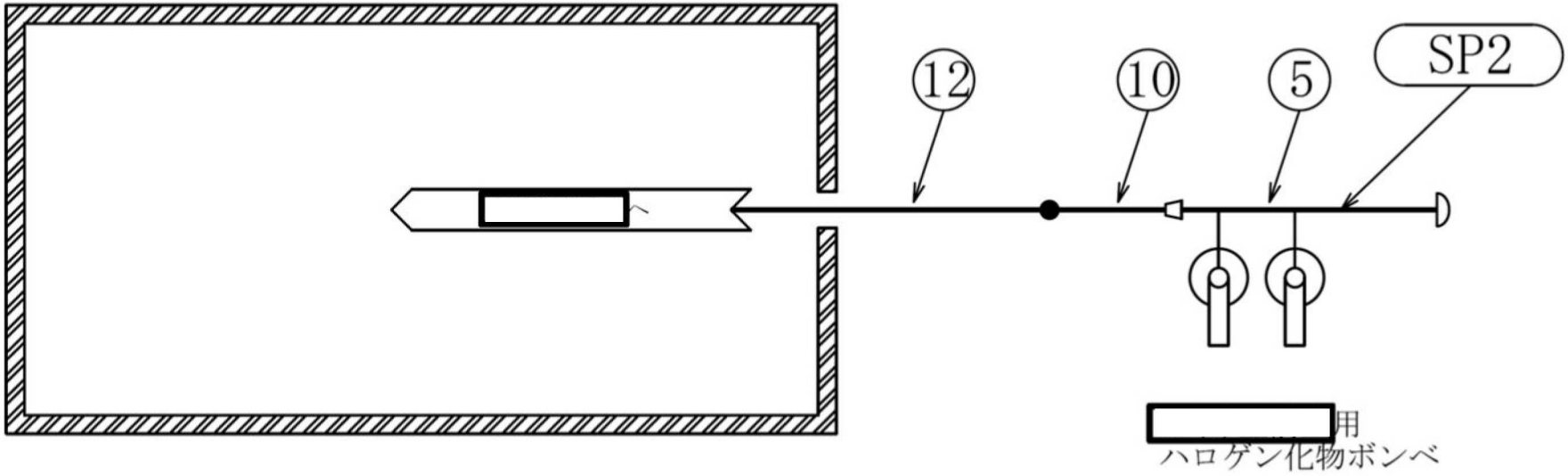



小空間固定式消火設備
概略系統図（その 28）

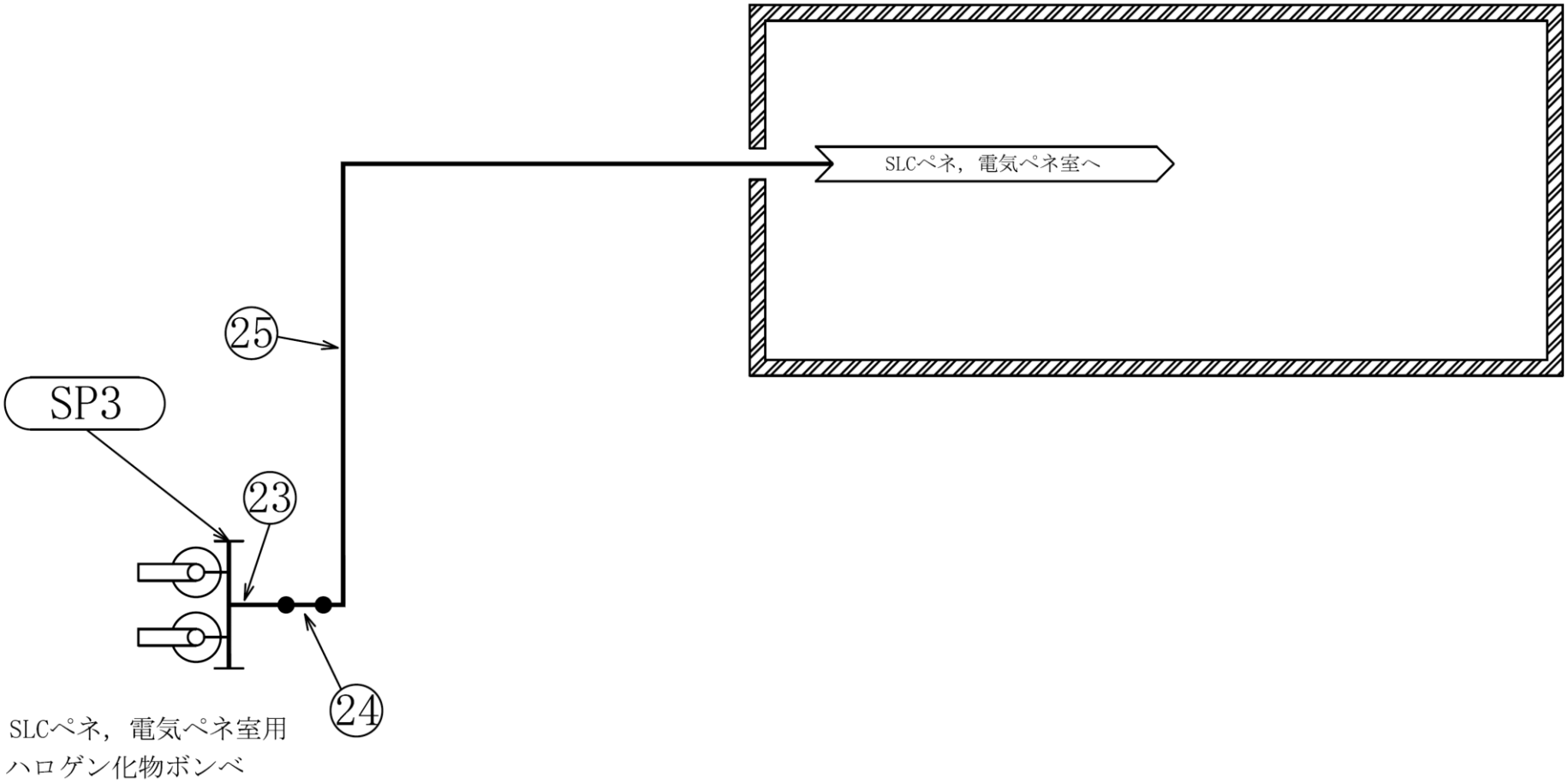



FCS再結合装置室用
ハロゲン化物ボンベ

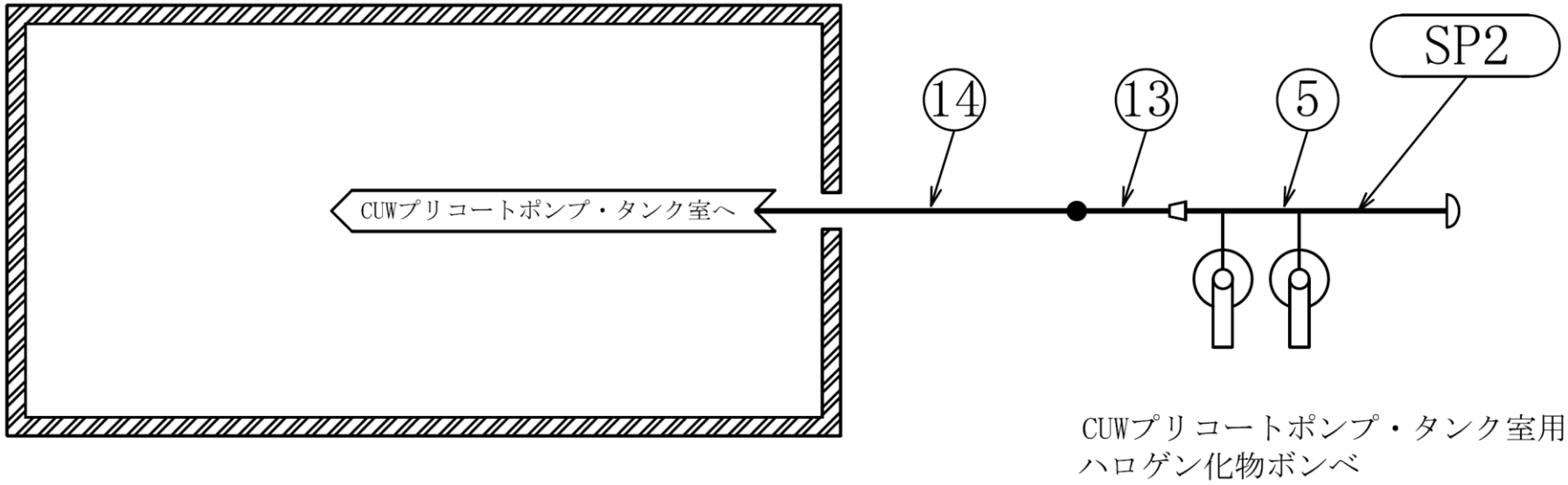
小空間固定式消火設備
概略系統図（その 29）




小空間固定式消火設備
概略系統図（その 30）

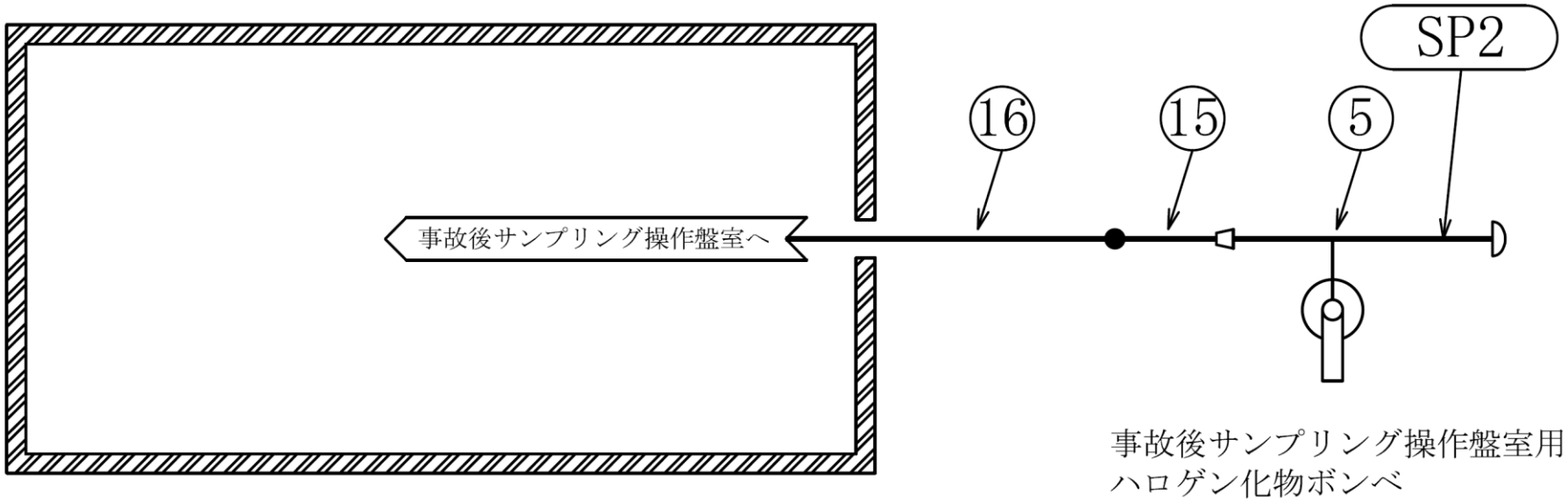



小空間固定式消火設備
概略系統図（その 31）



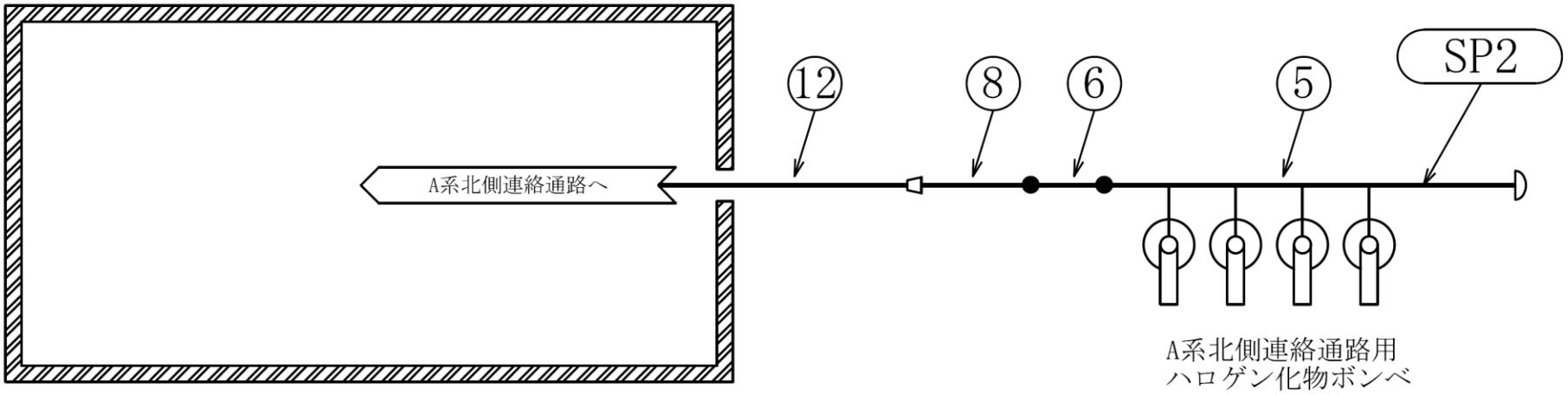

小空間固定式消火設備

概略系統図（その 32）



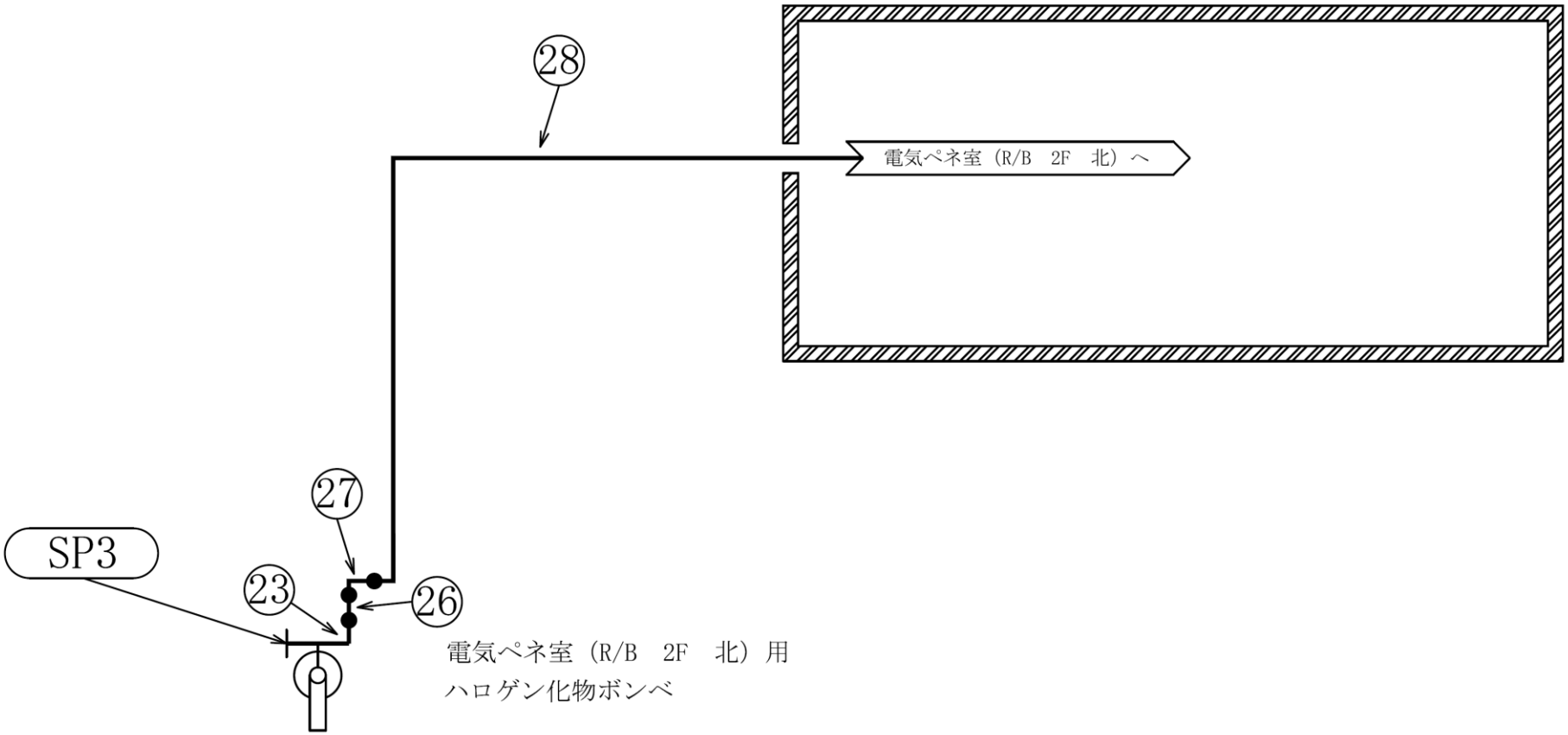

小空間固定式消火設備

概略系統図（その 33）

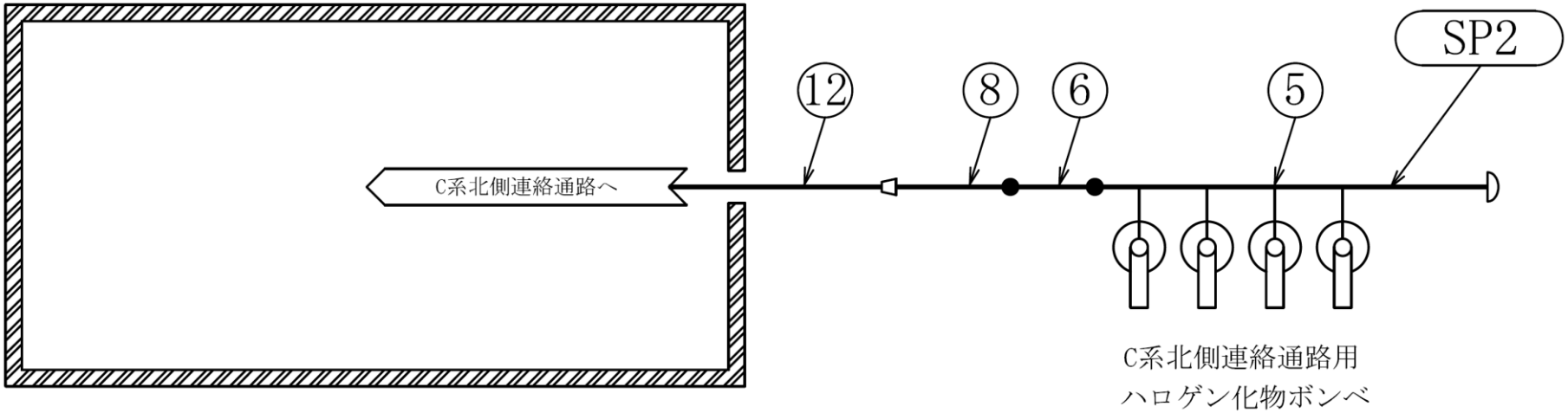



小空間固定式消火設備

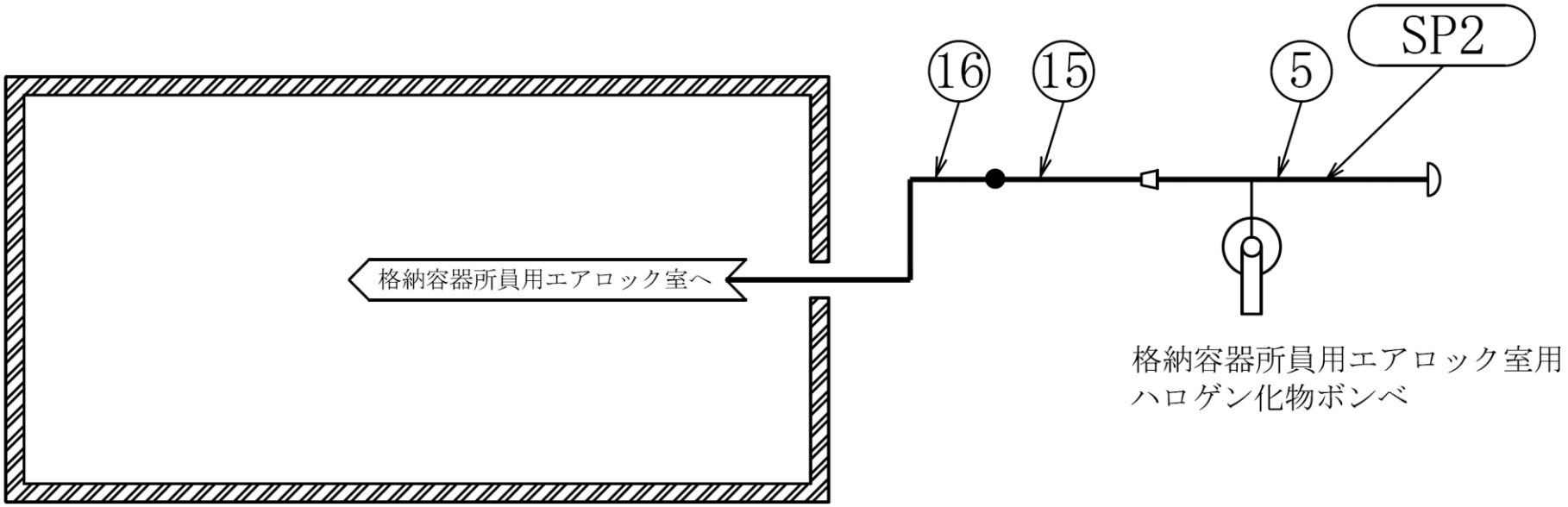
概略系統図（その 34）



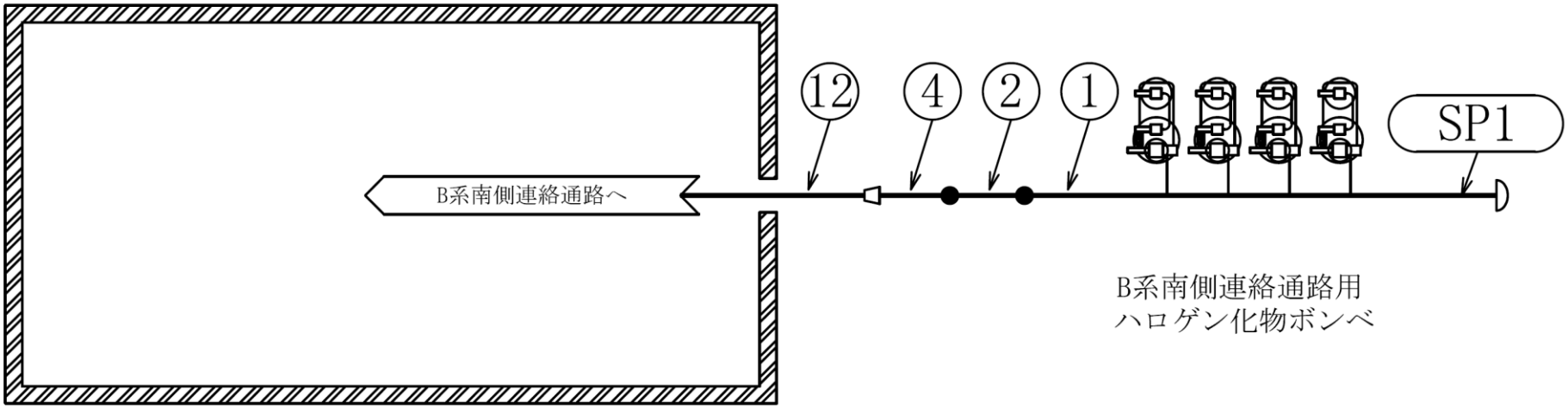

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 35）




小空間固定式消火設備
概略系統図（その 36）

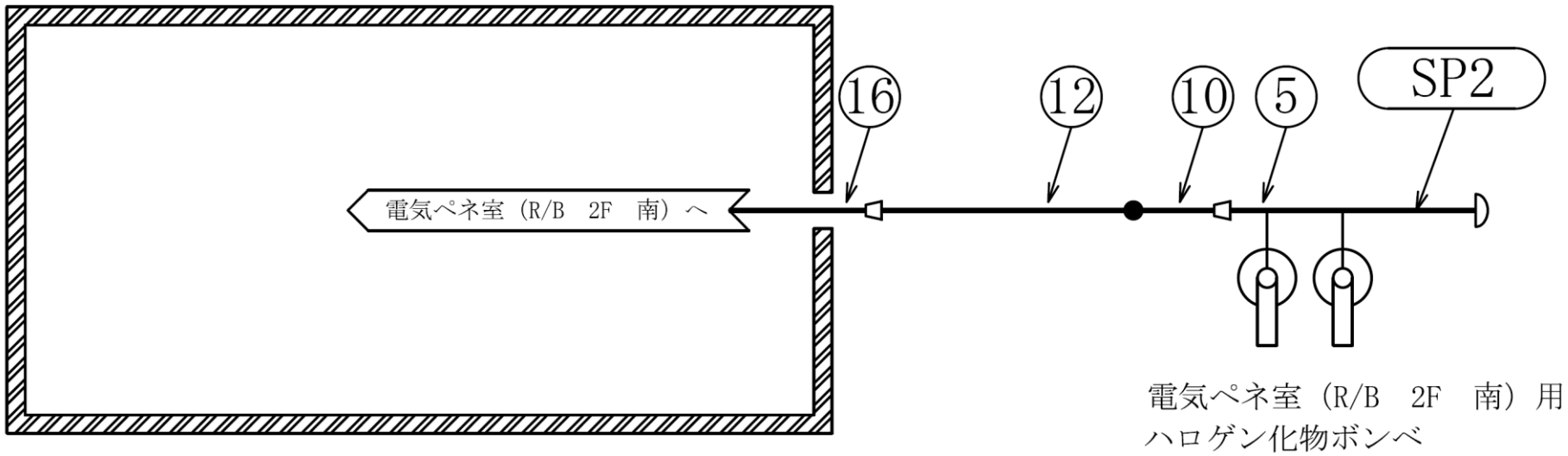



小空間固定式消火設備
概略系統図（その 37）

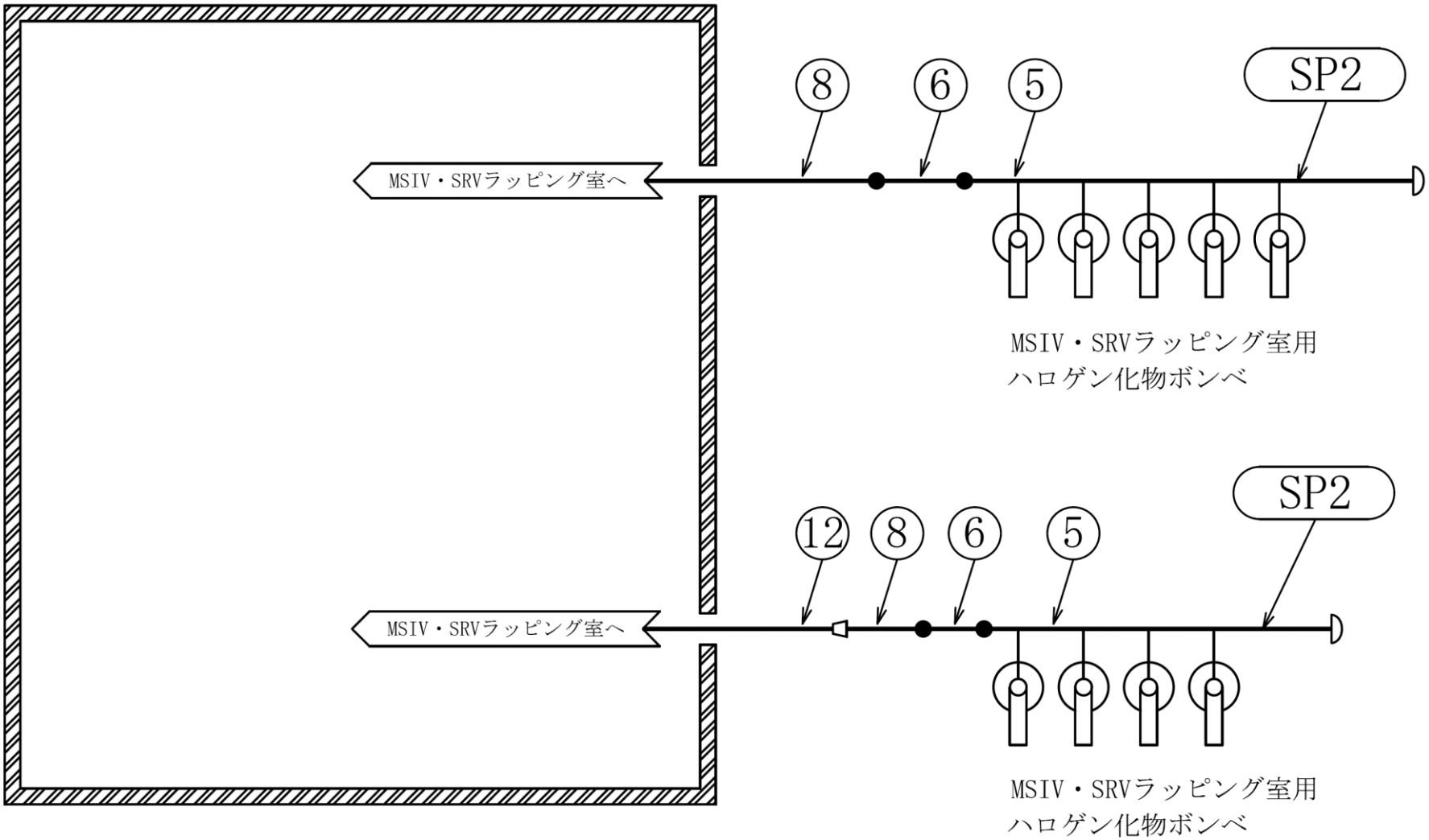



小空間固定式消火設備

概略系統図（その 38）

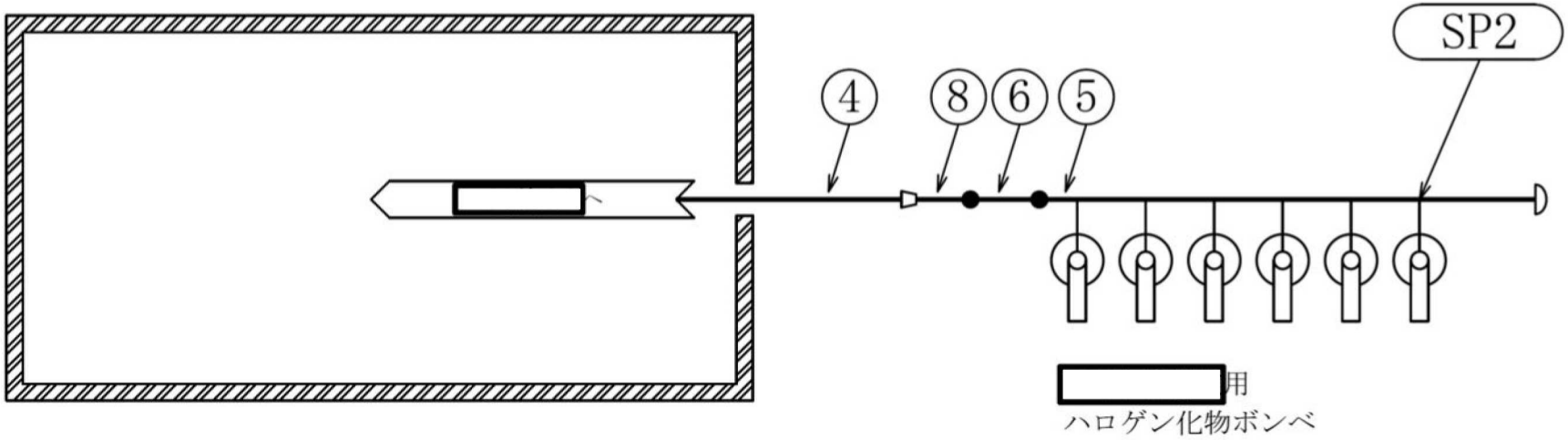



小空間固定式消火設備
概略系統図（その 39）

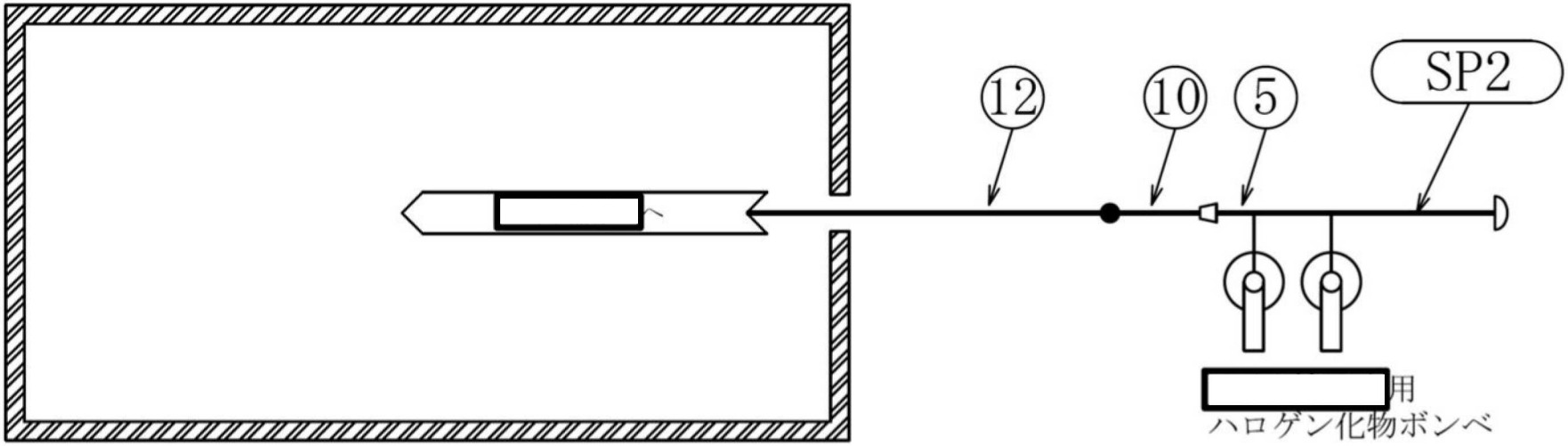



小空間固定式消火設備

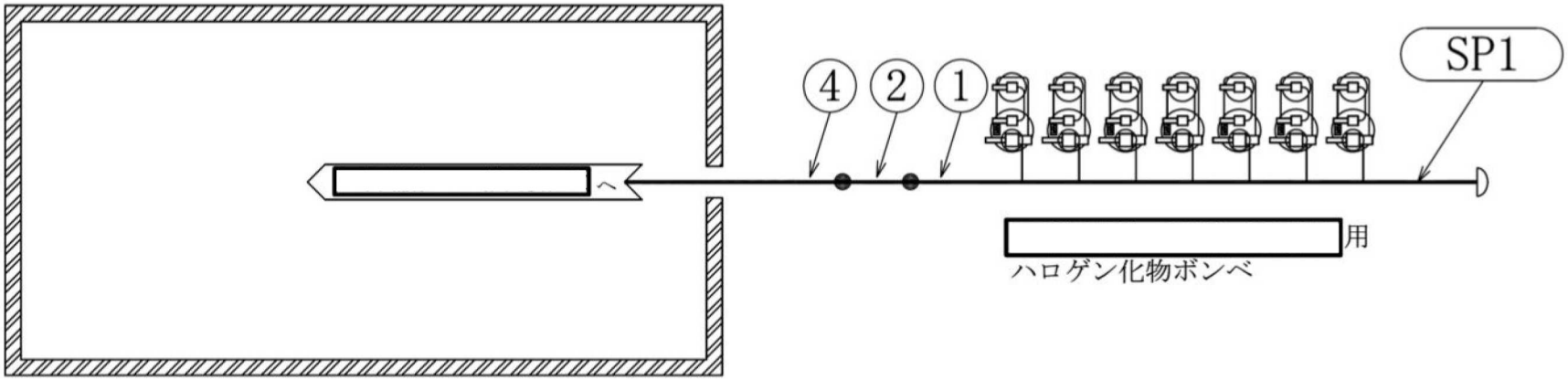
概略系統図（その 40）



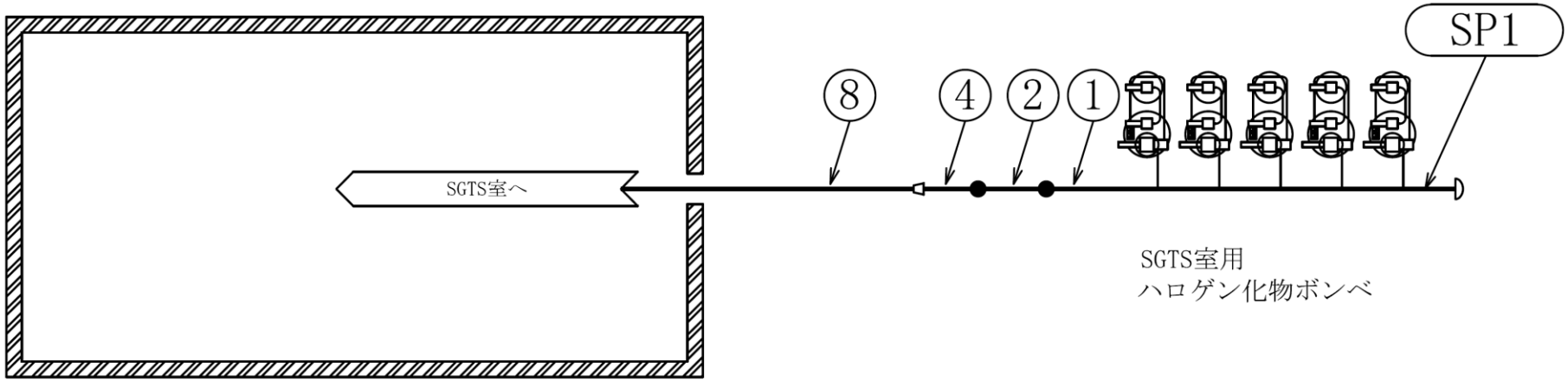

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 41）



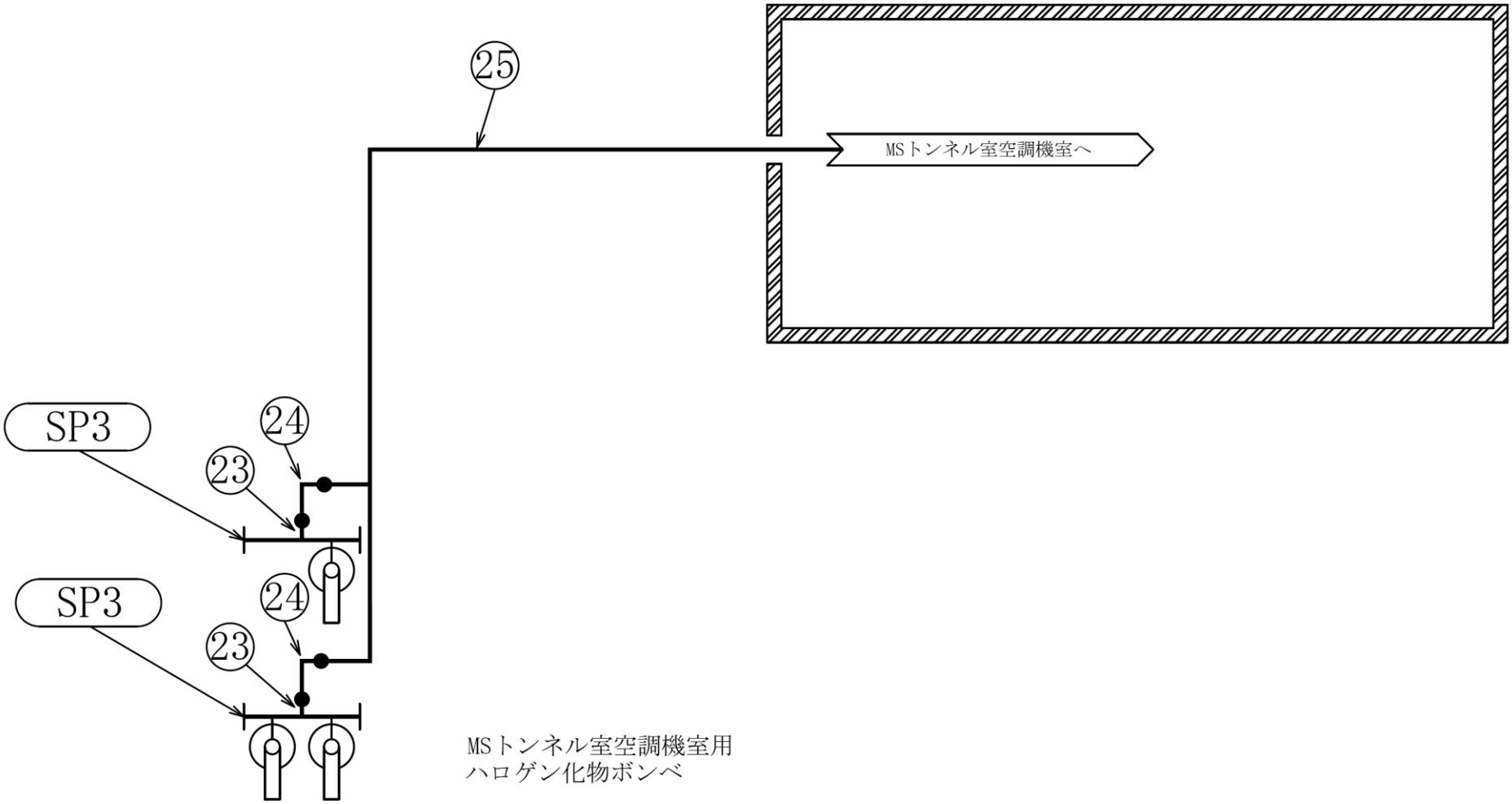

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 42）



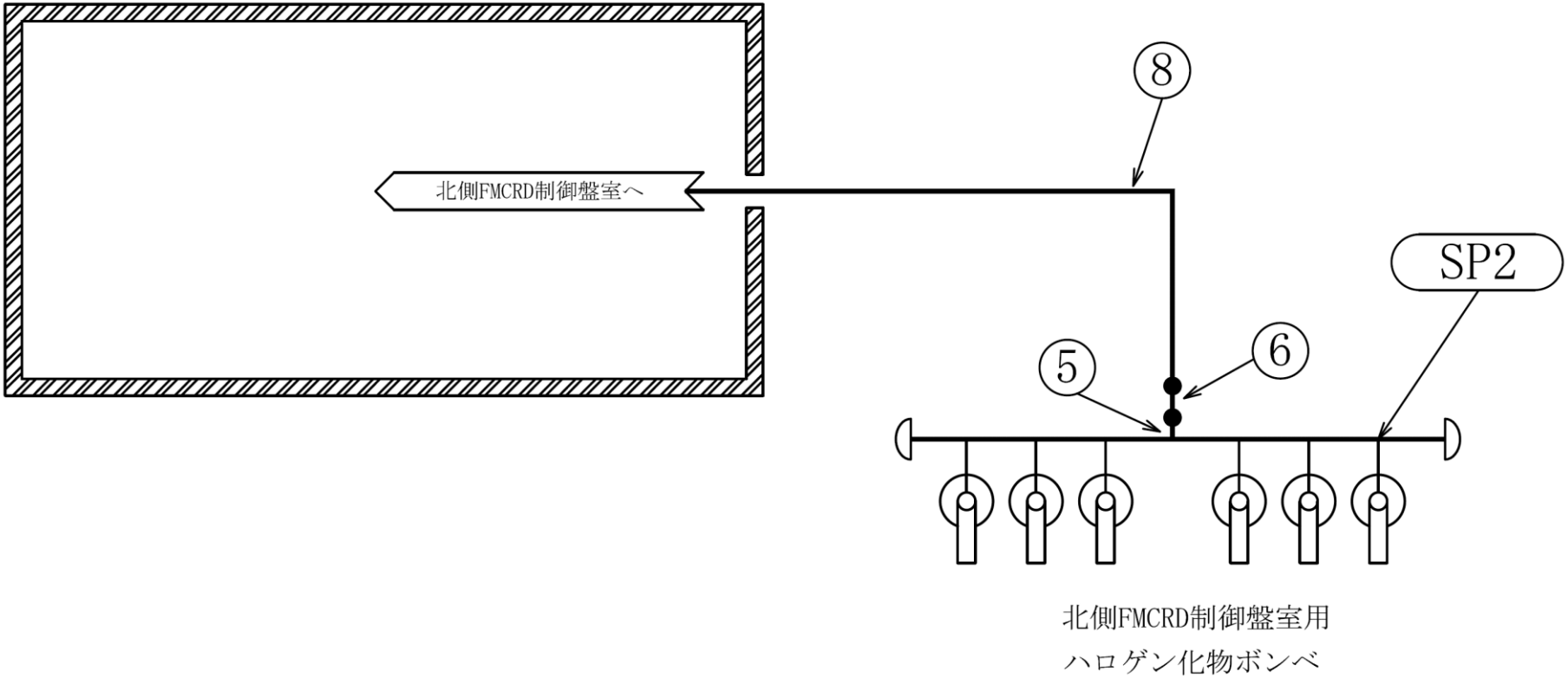

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 43）



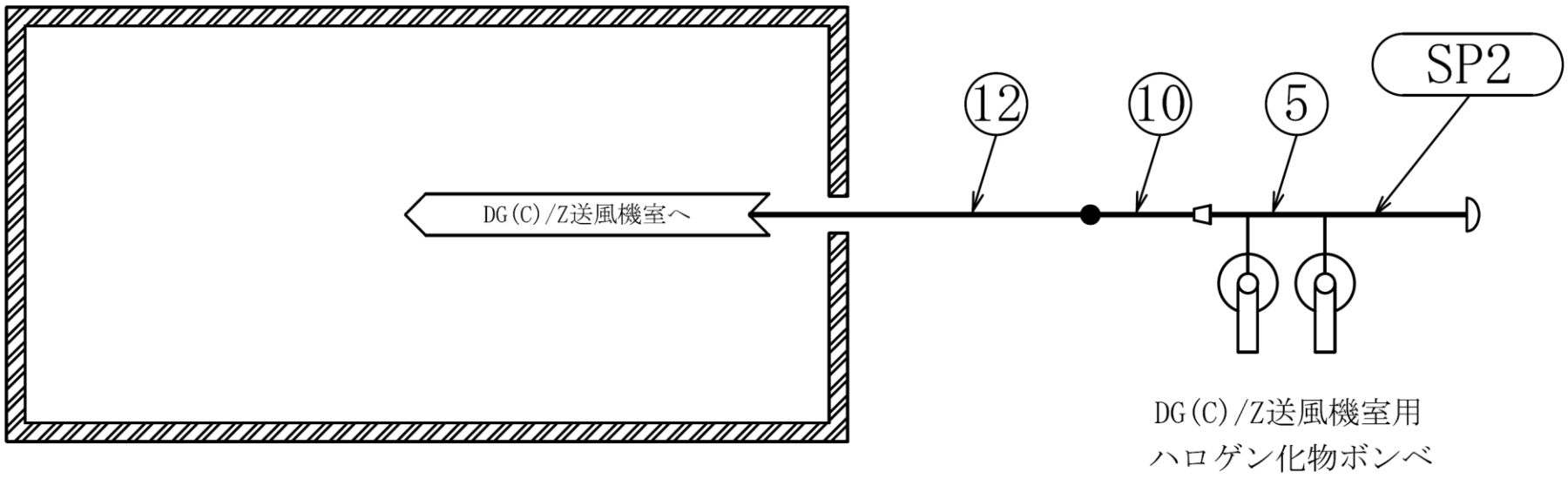

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 44）



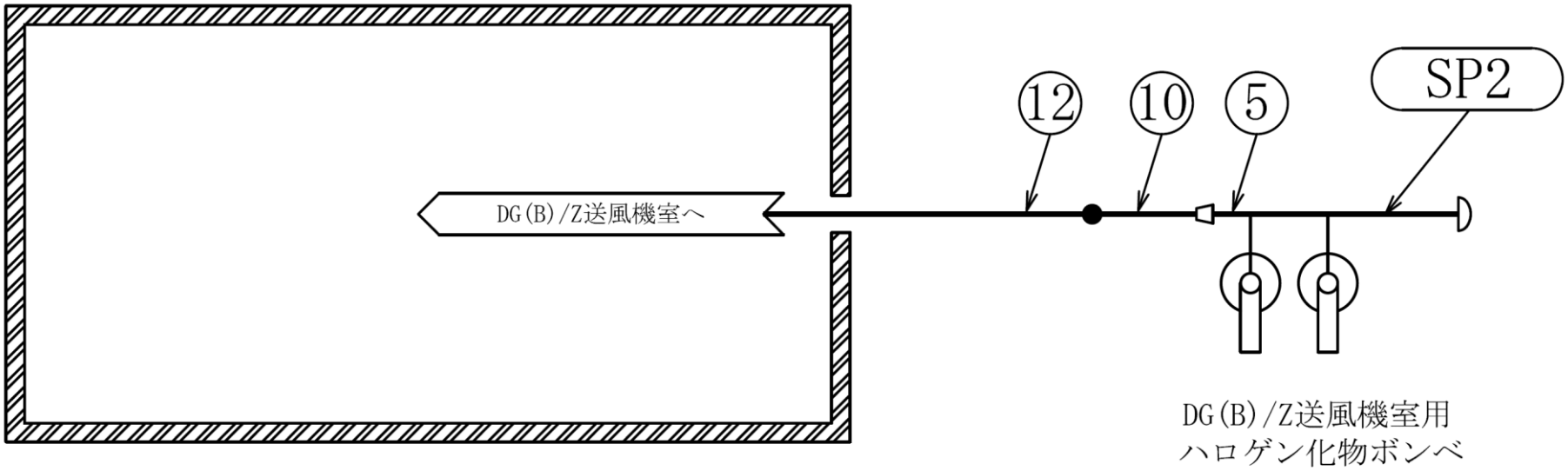

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 45）



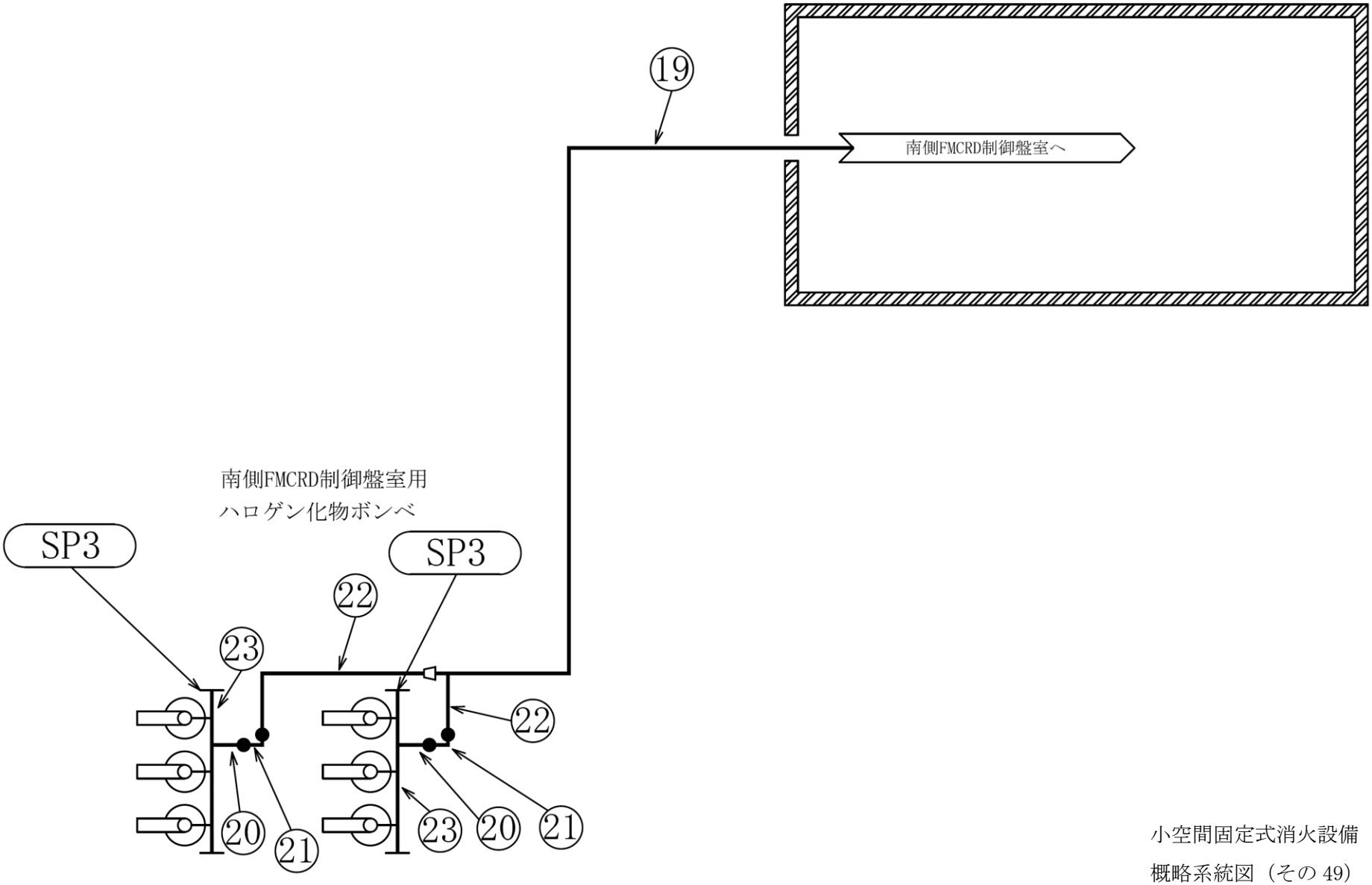

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 46）



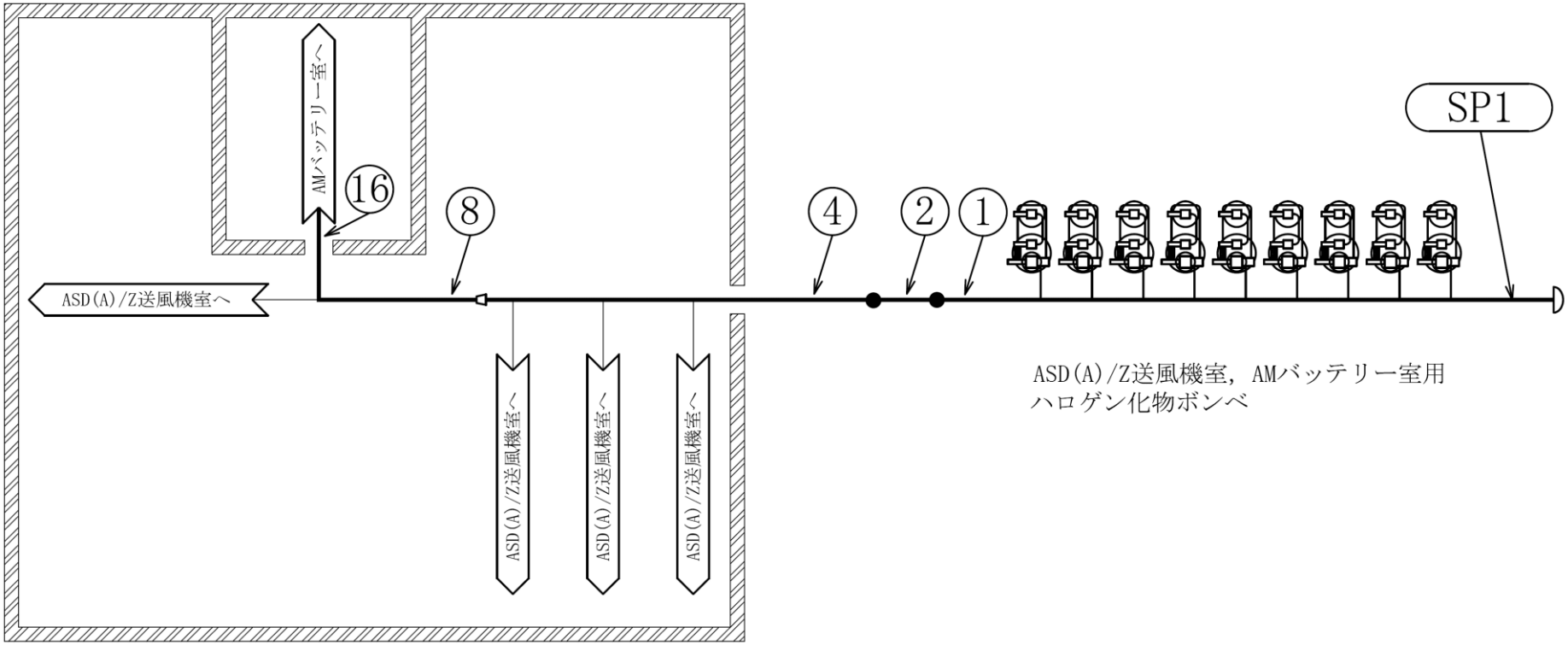

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 47）




小空間固定式消火設備
概略系統図（その 48）

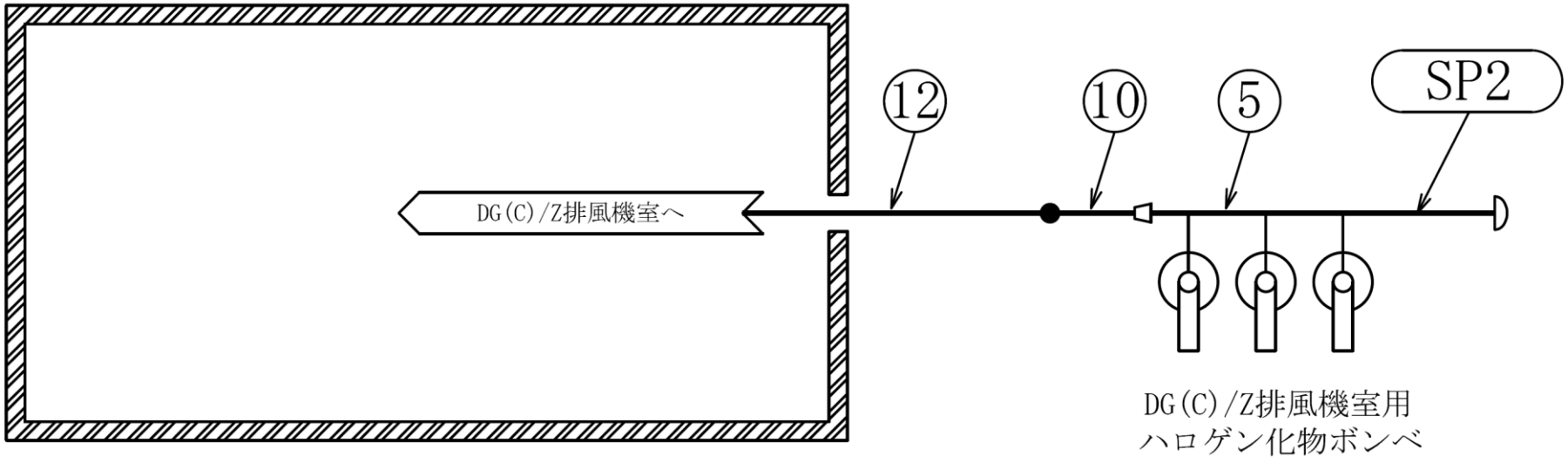



小空間固定式消火設備
概略系統図（その 49）

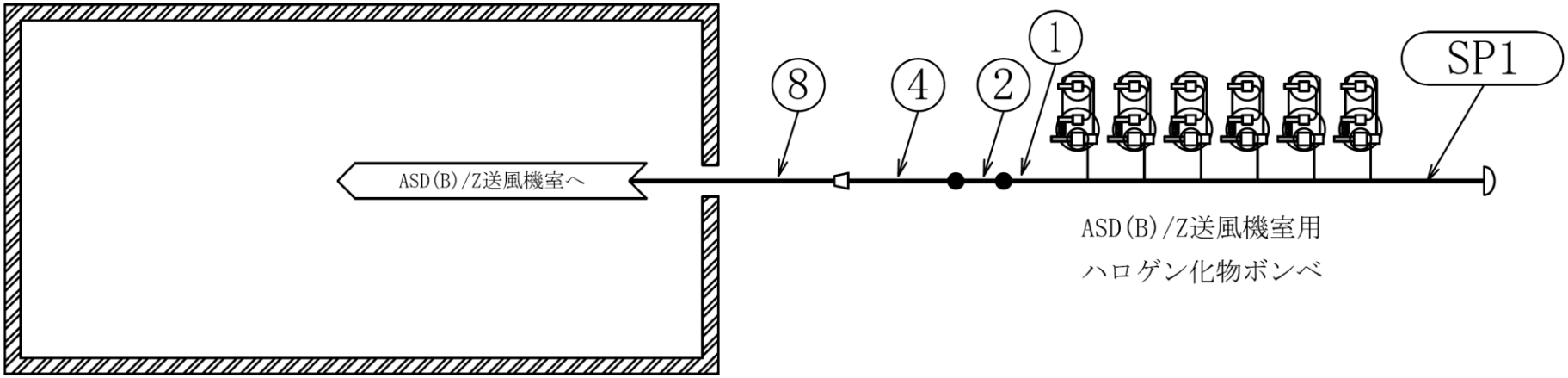



小空間固定式消火設備

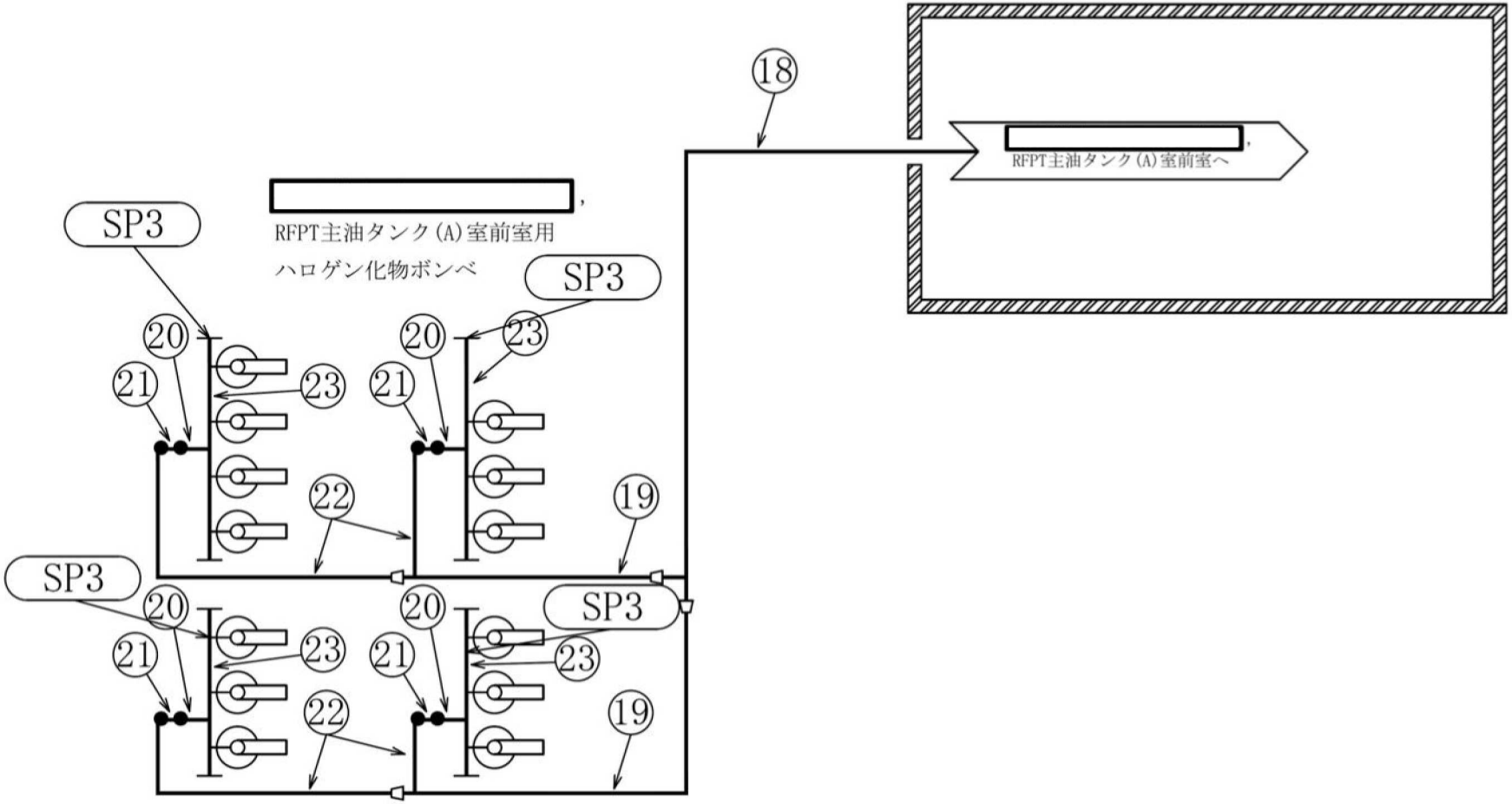
概略系統図（その 50）



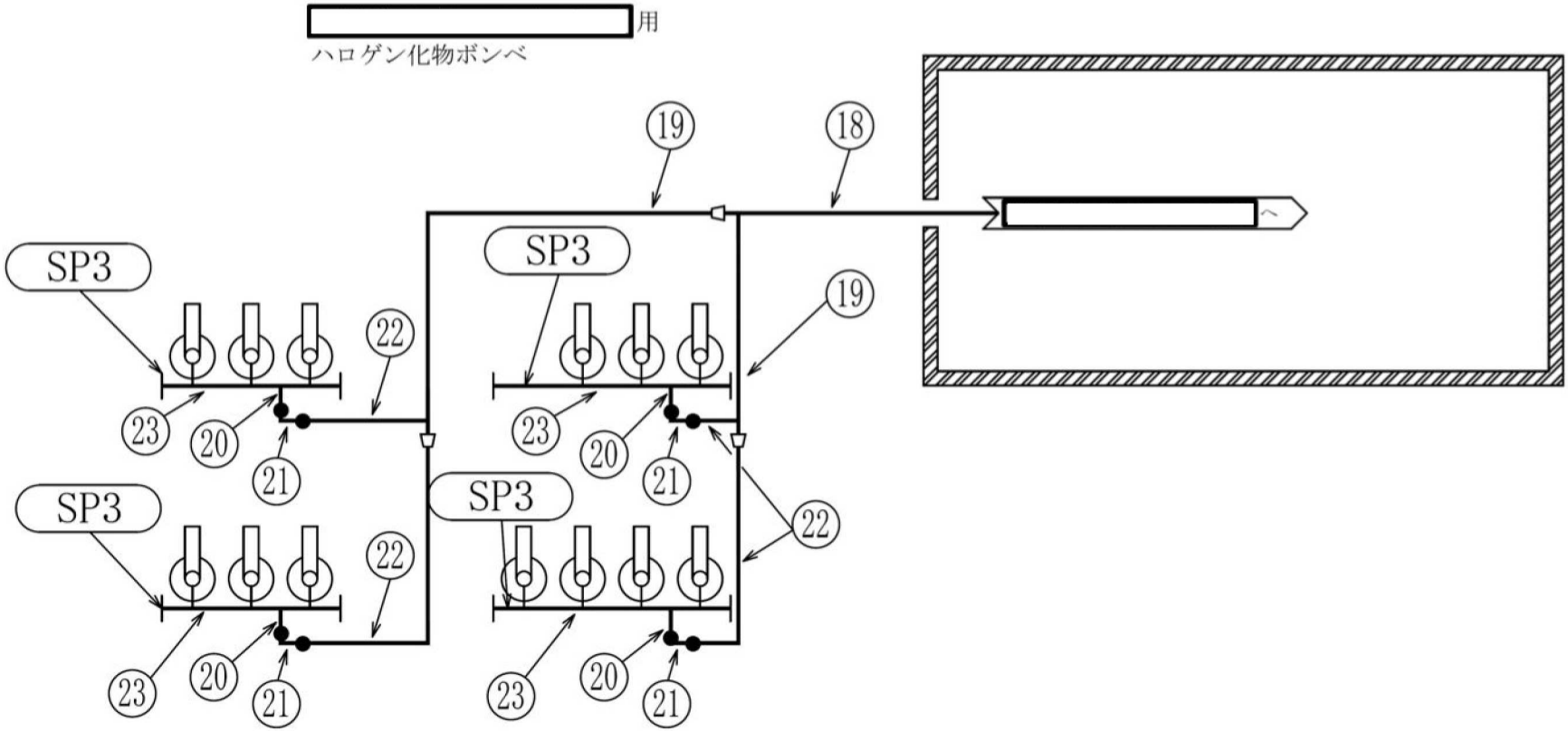

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 51）



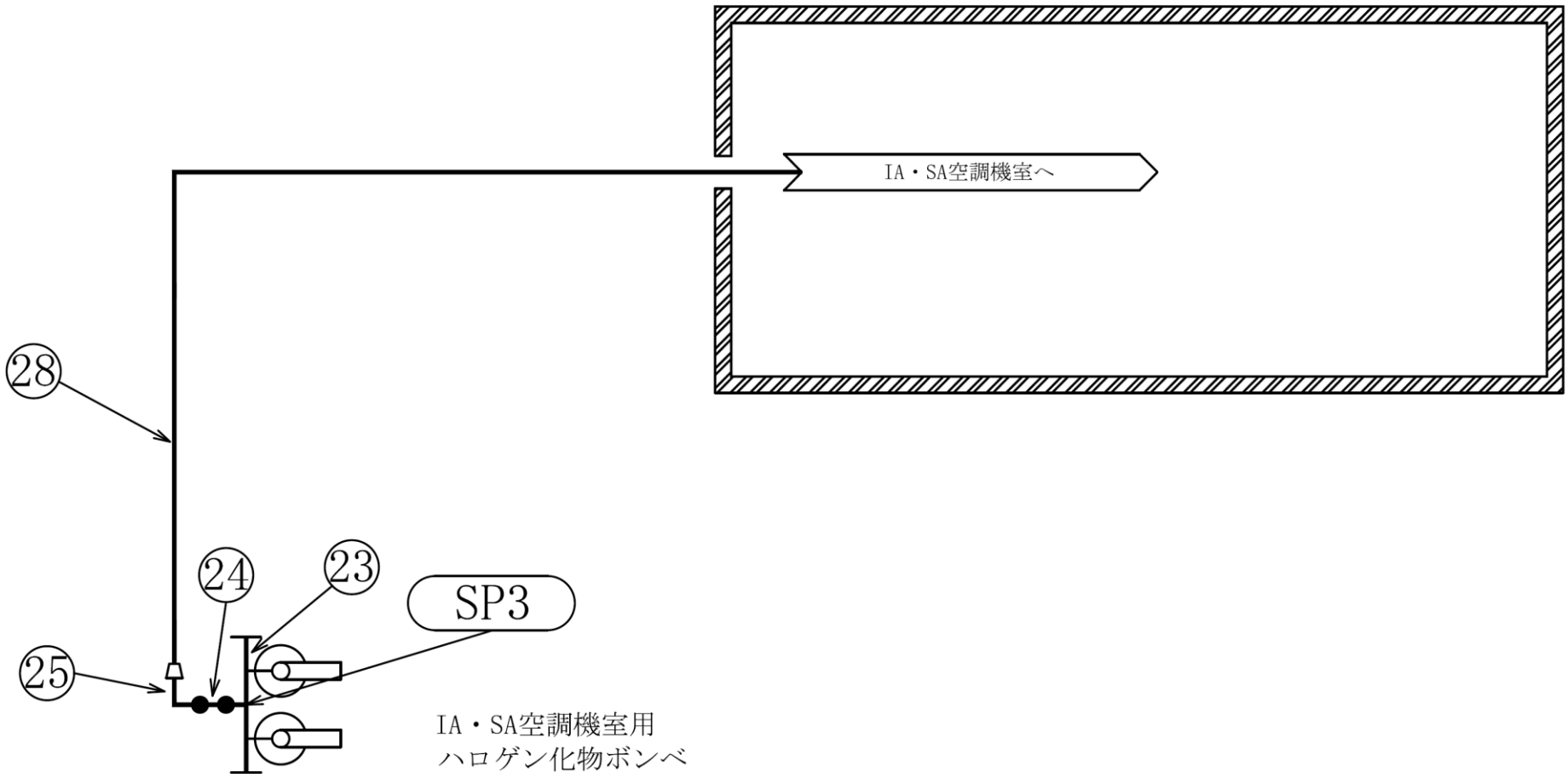

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 52）



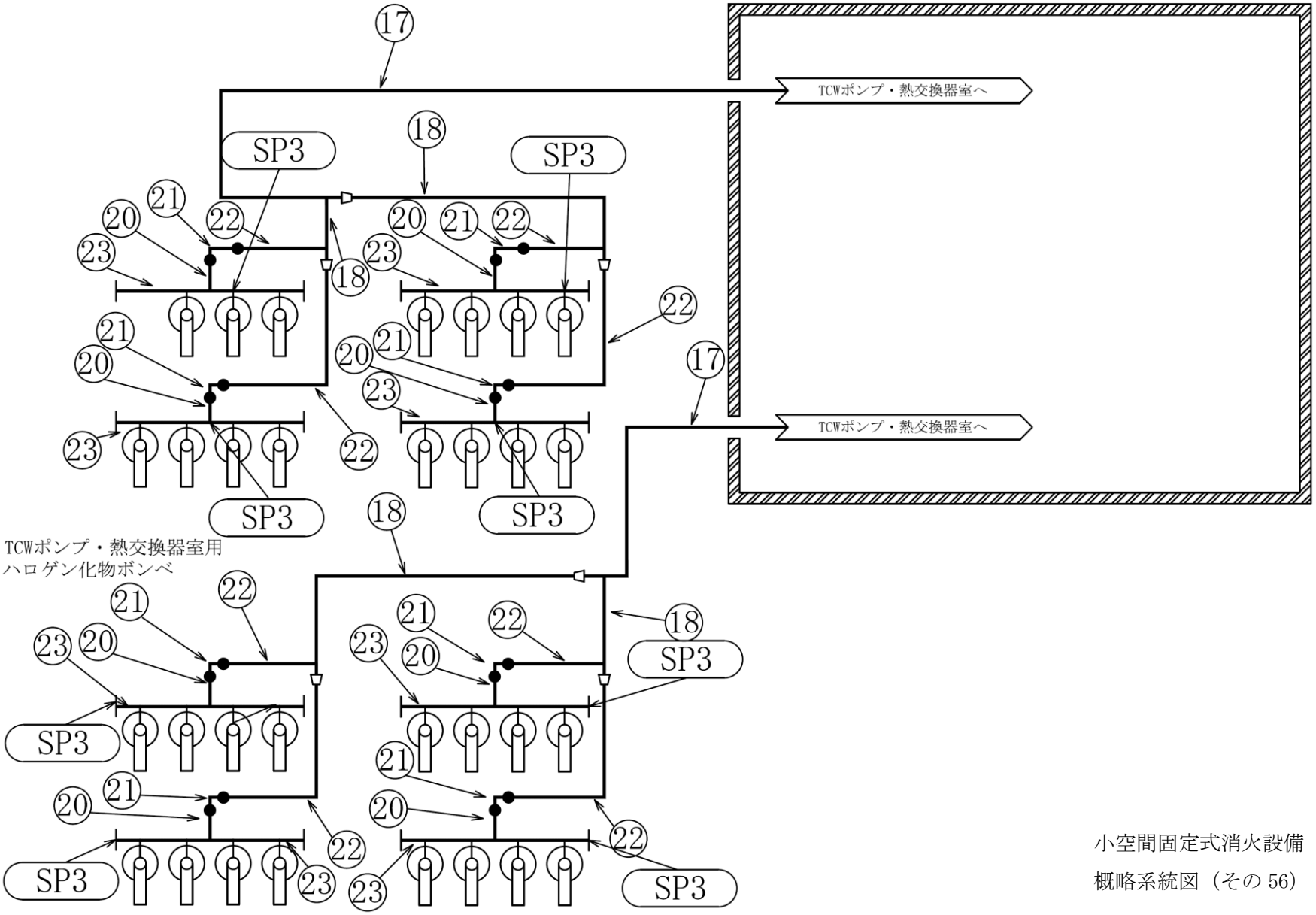

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 53）



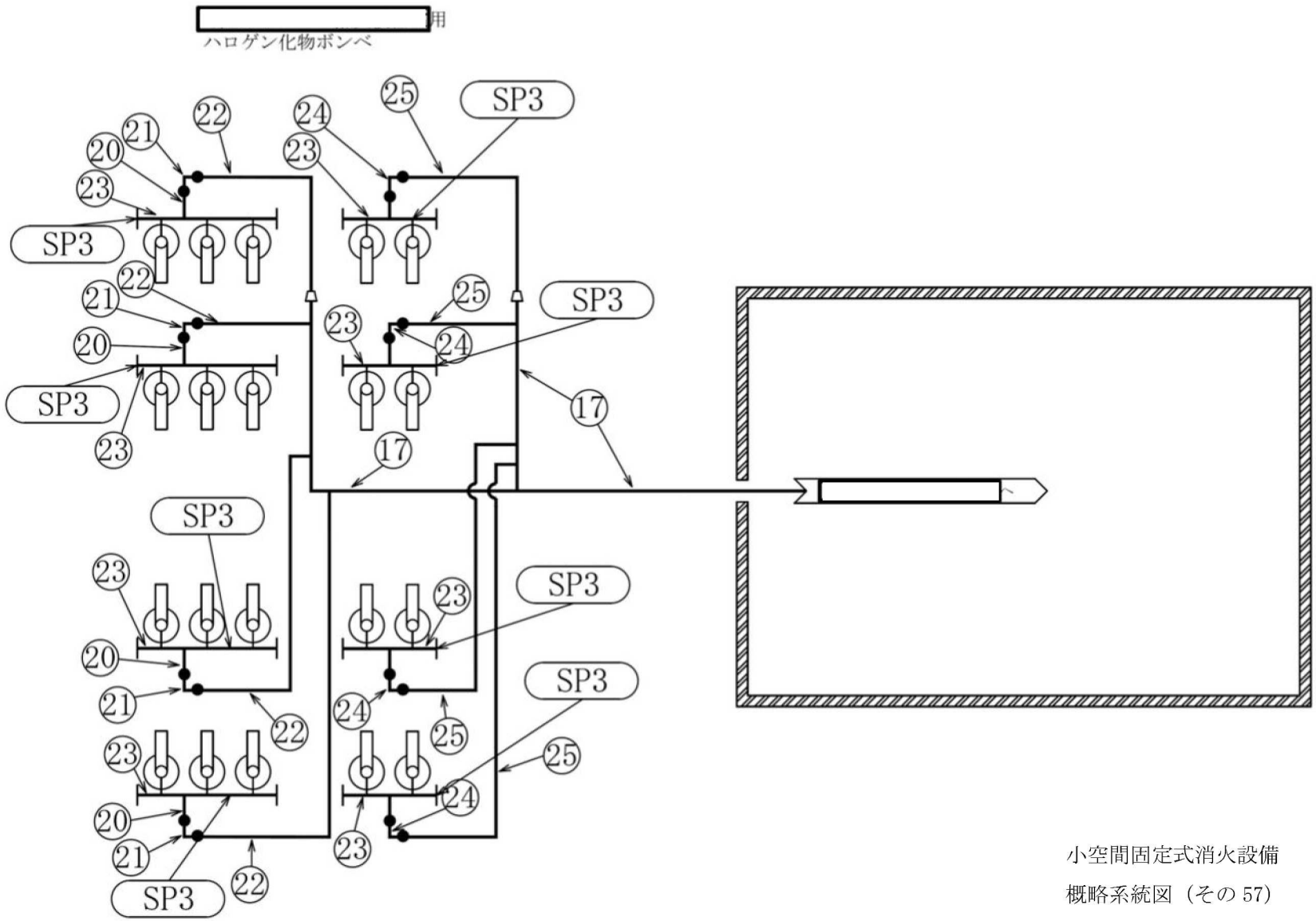

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 54）



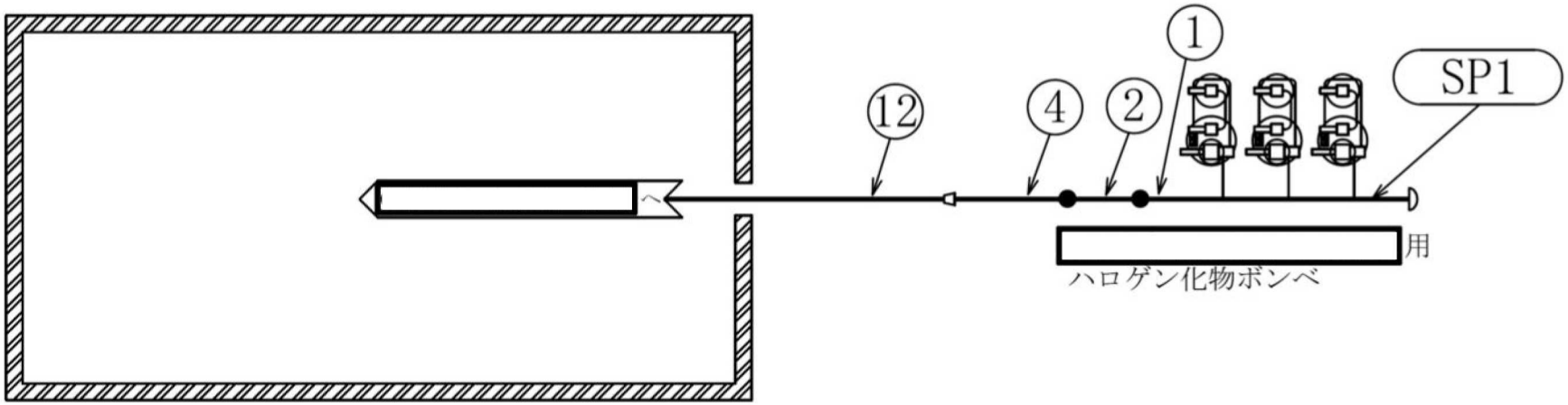

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 55）



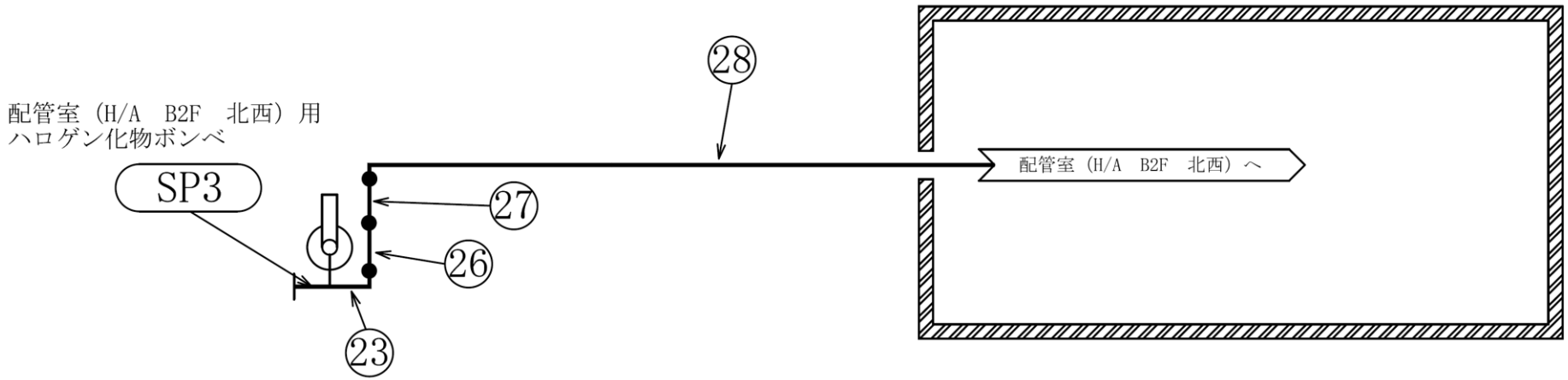

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 56）



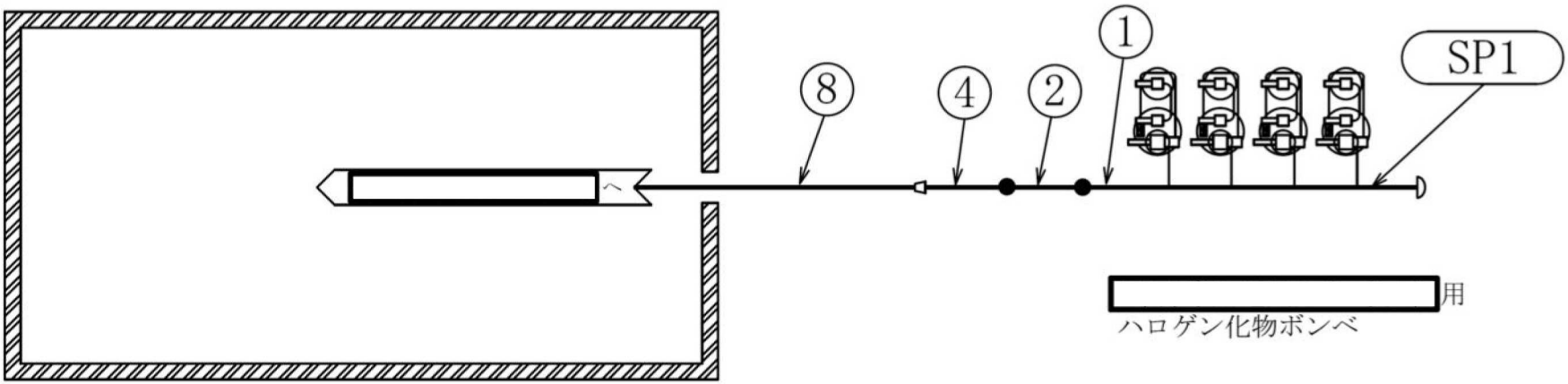

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 57）



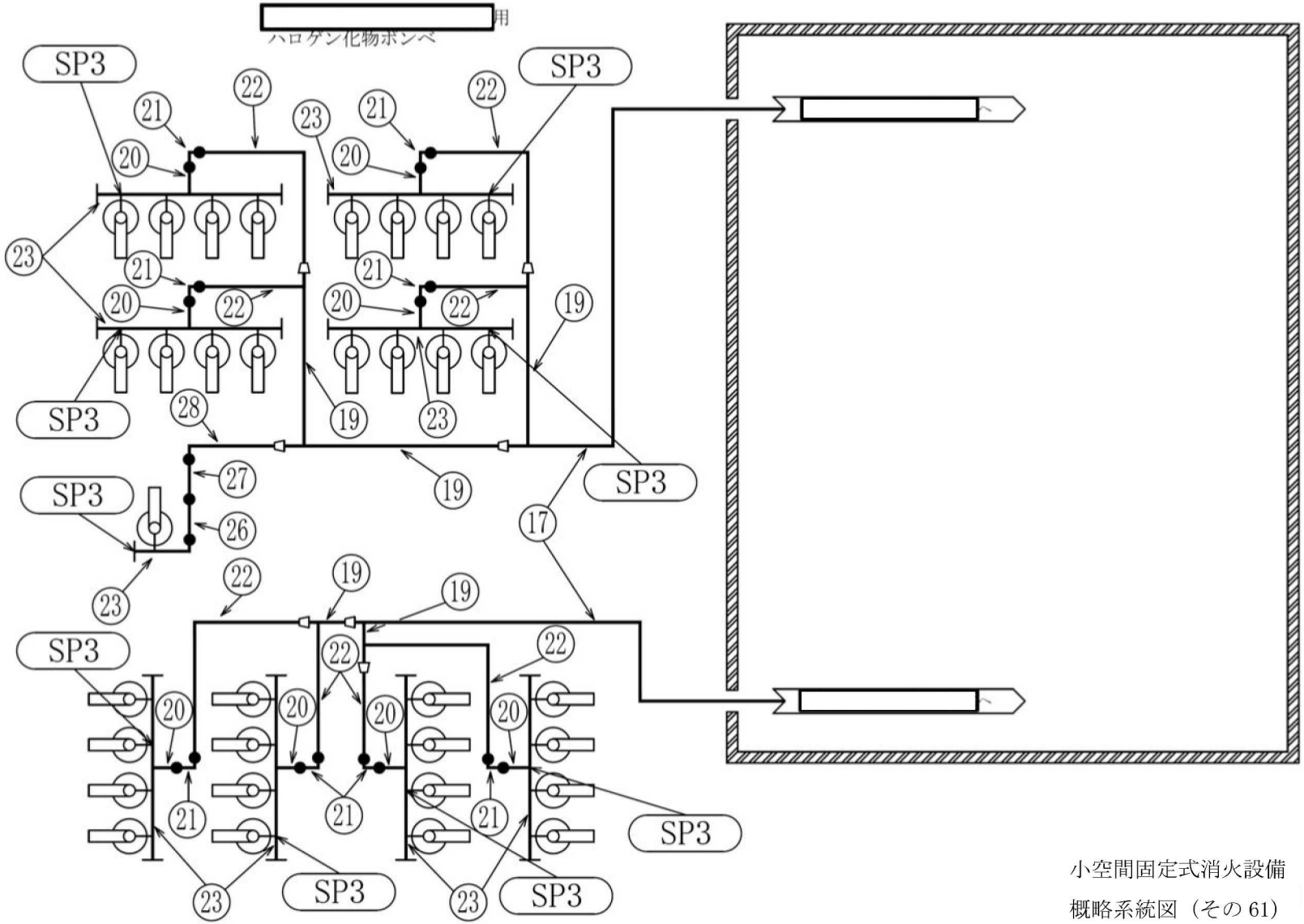

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 58）



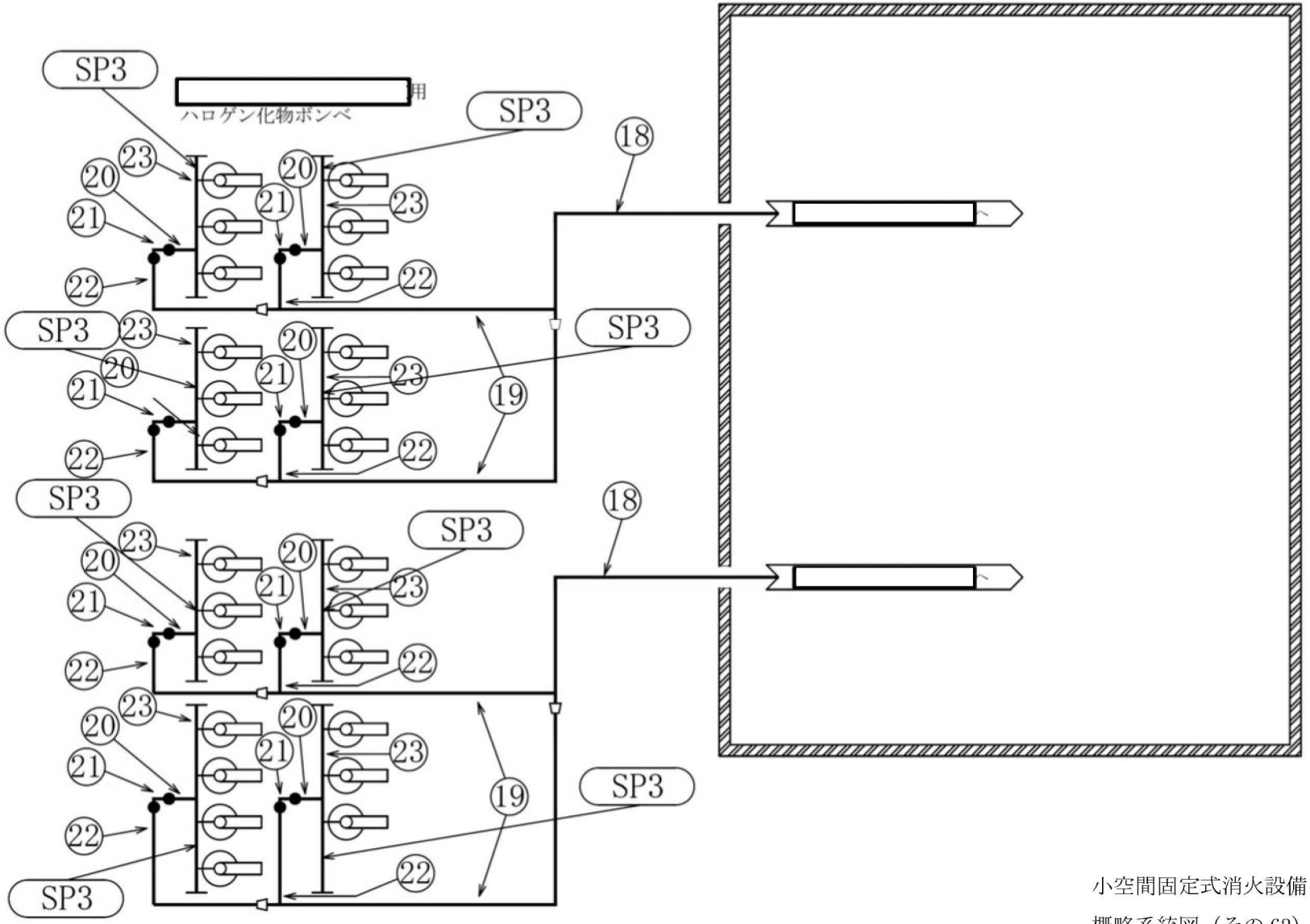

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 59）



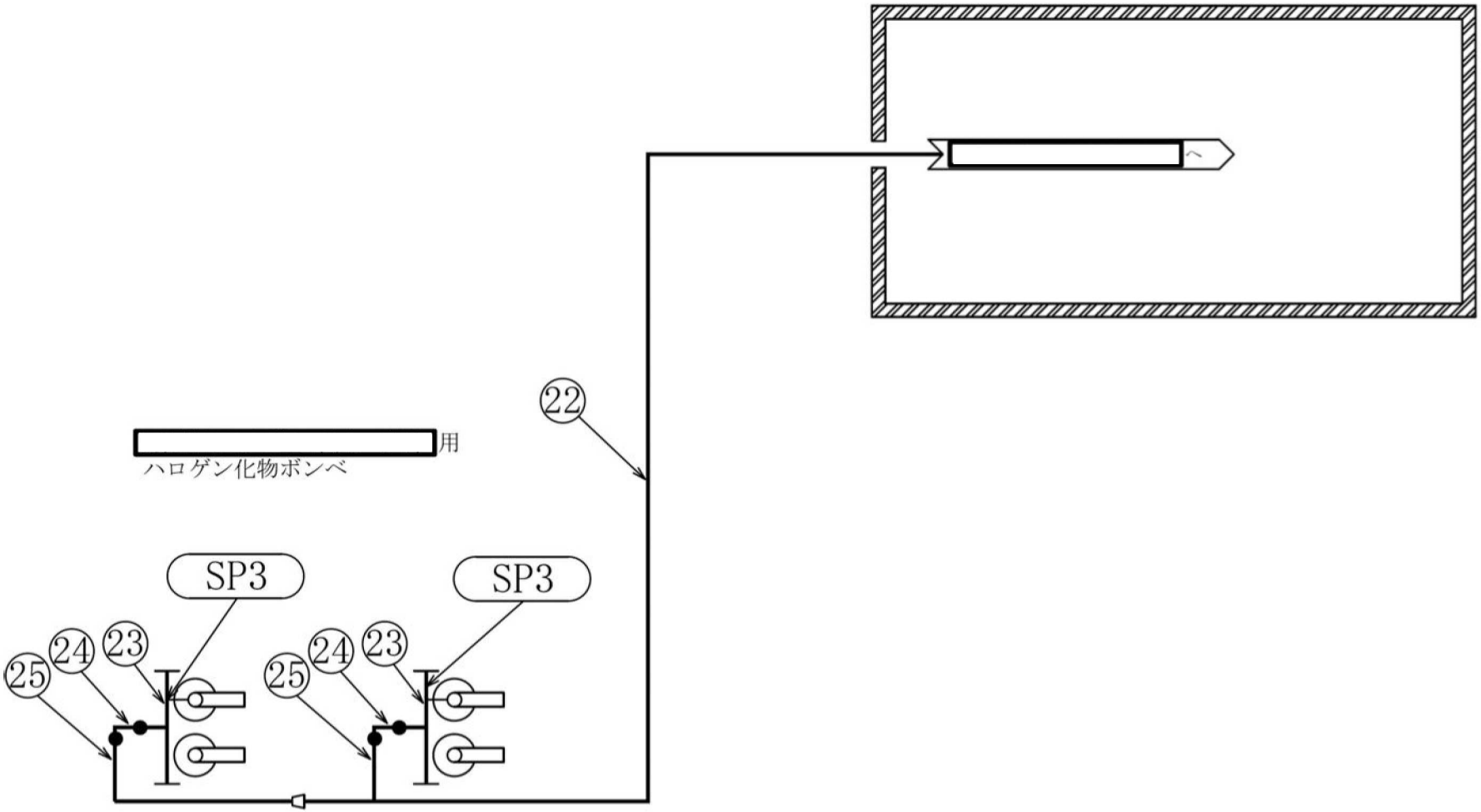

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 60）



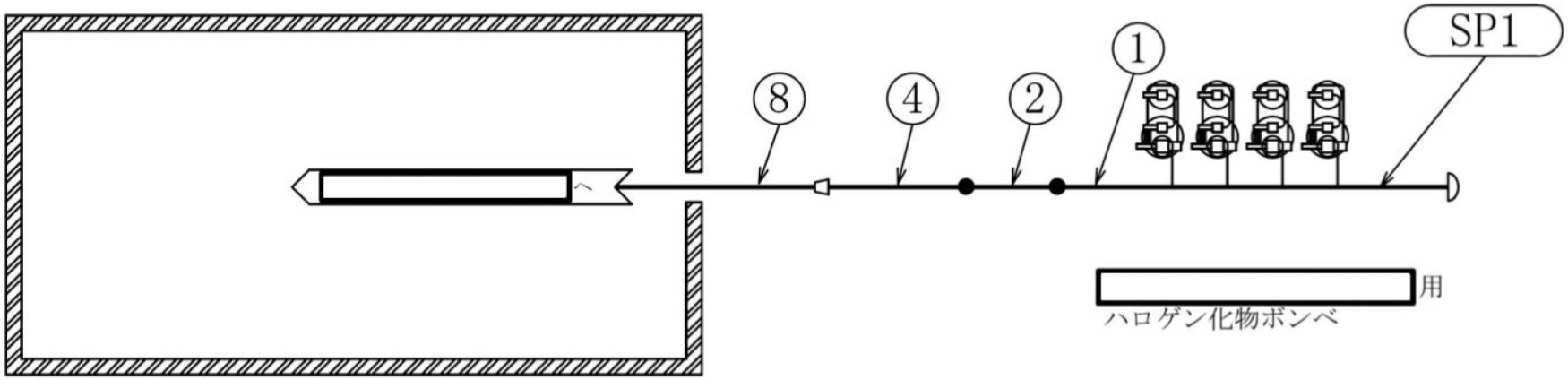

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 61）



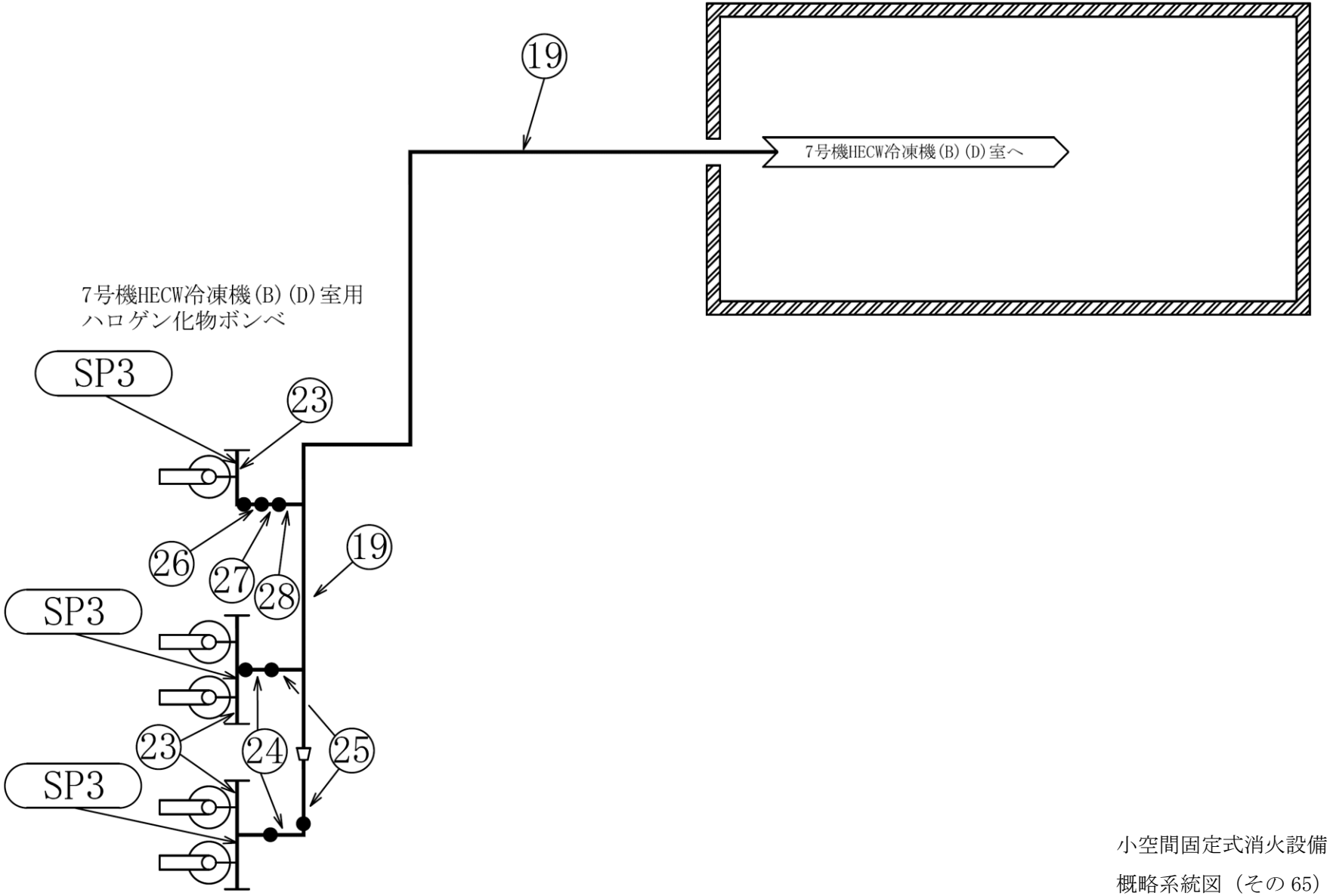

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 62）



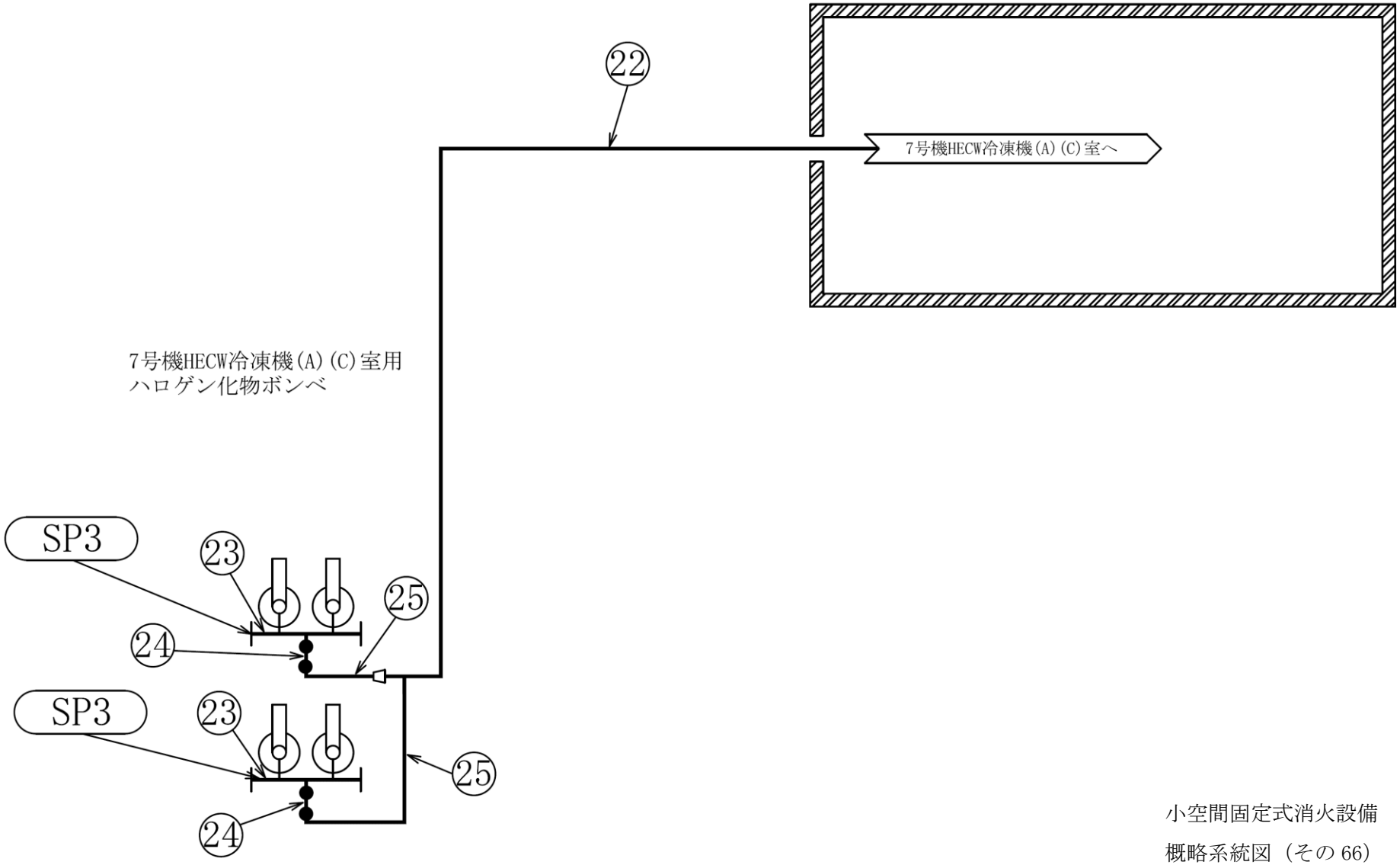

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 63）



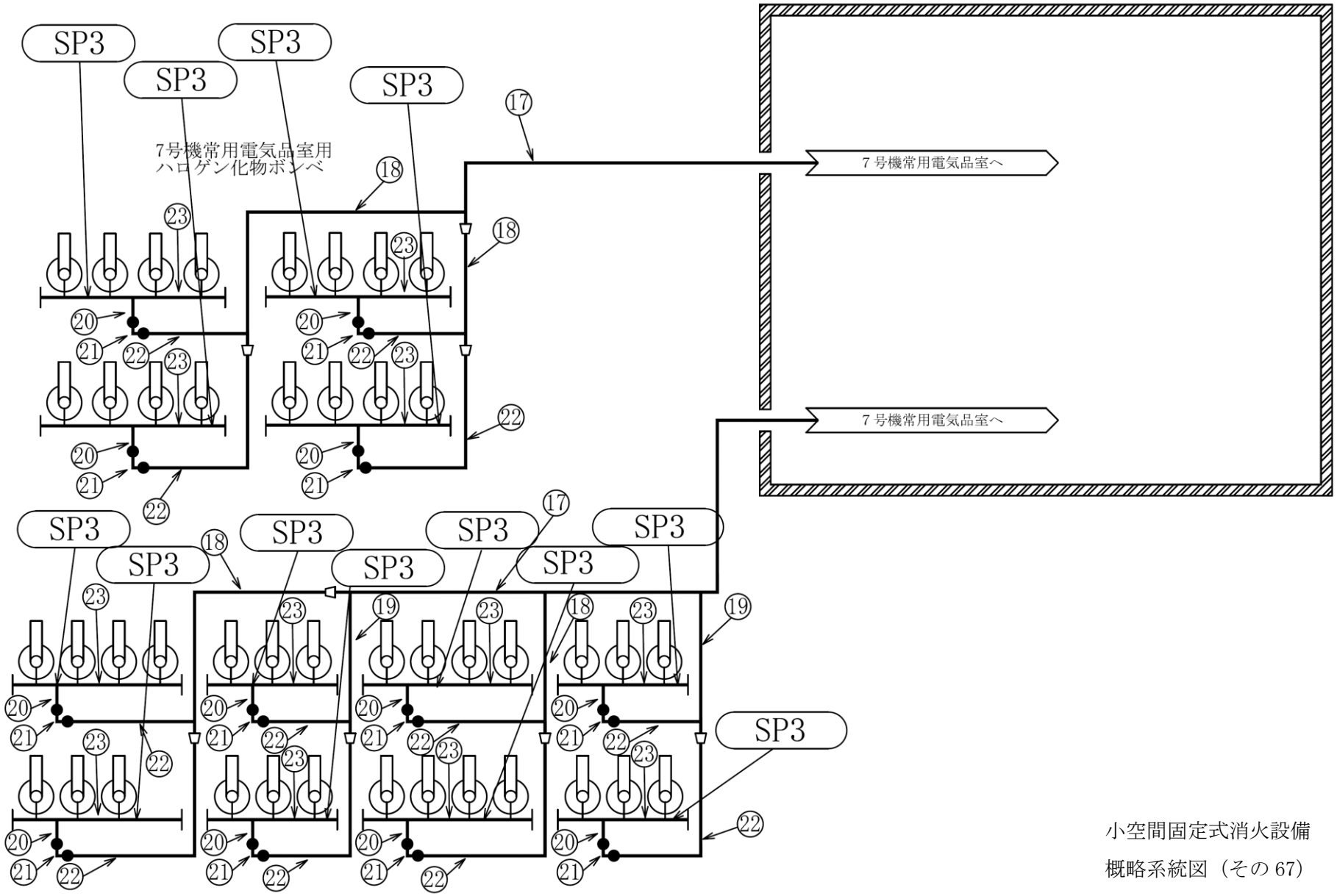

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 64）



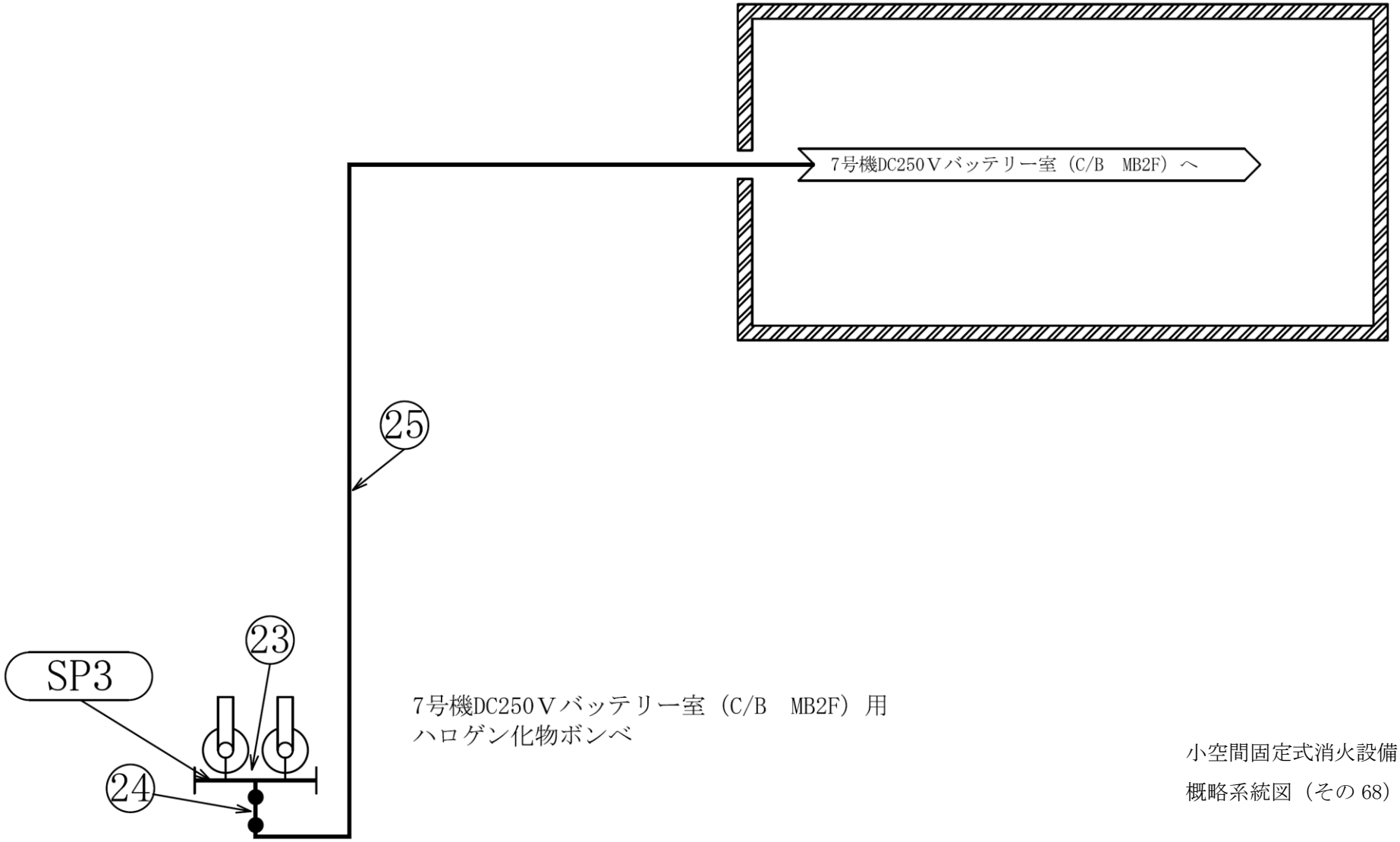

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 65）



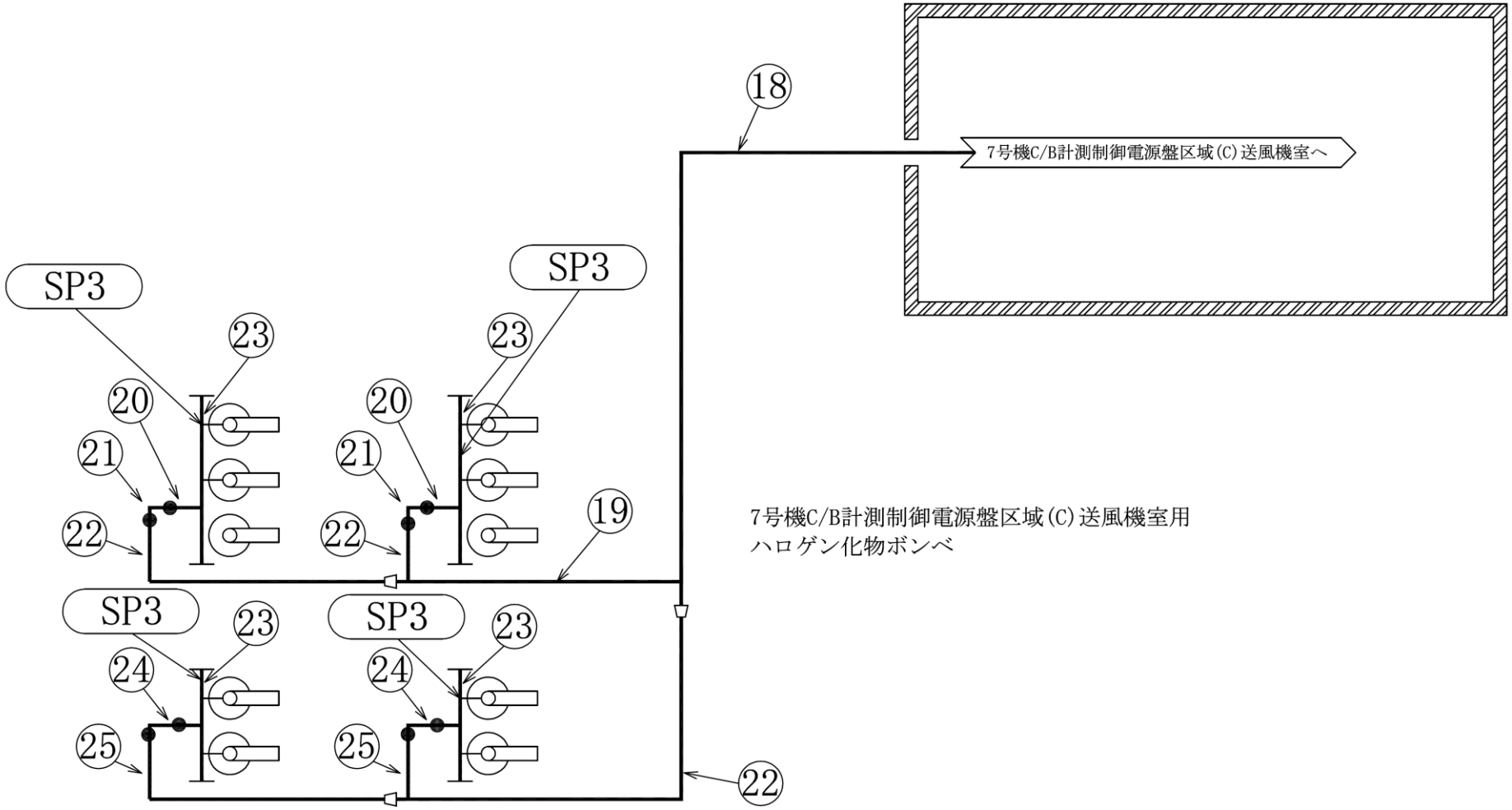

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 66）




小空間固定式消火設備
概略系統図（その 67）

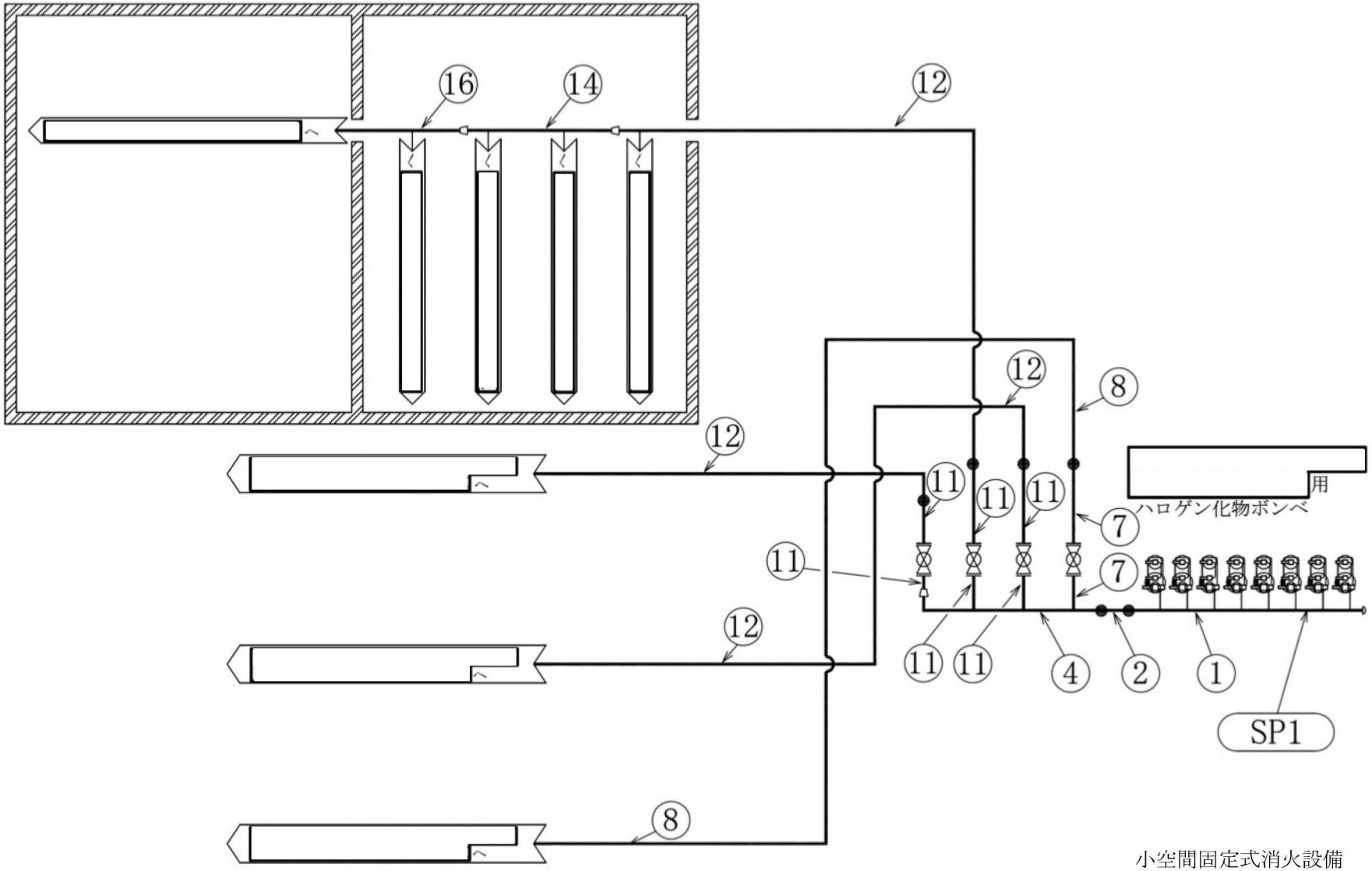



小空間固定式消火設備
概略系統図（その 68）

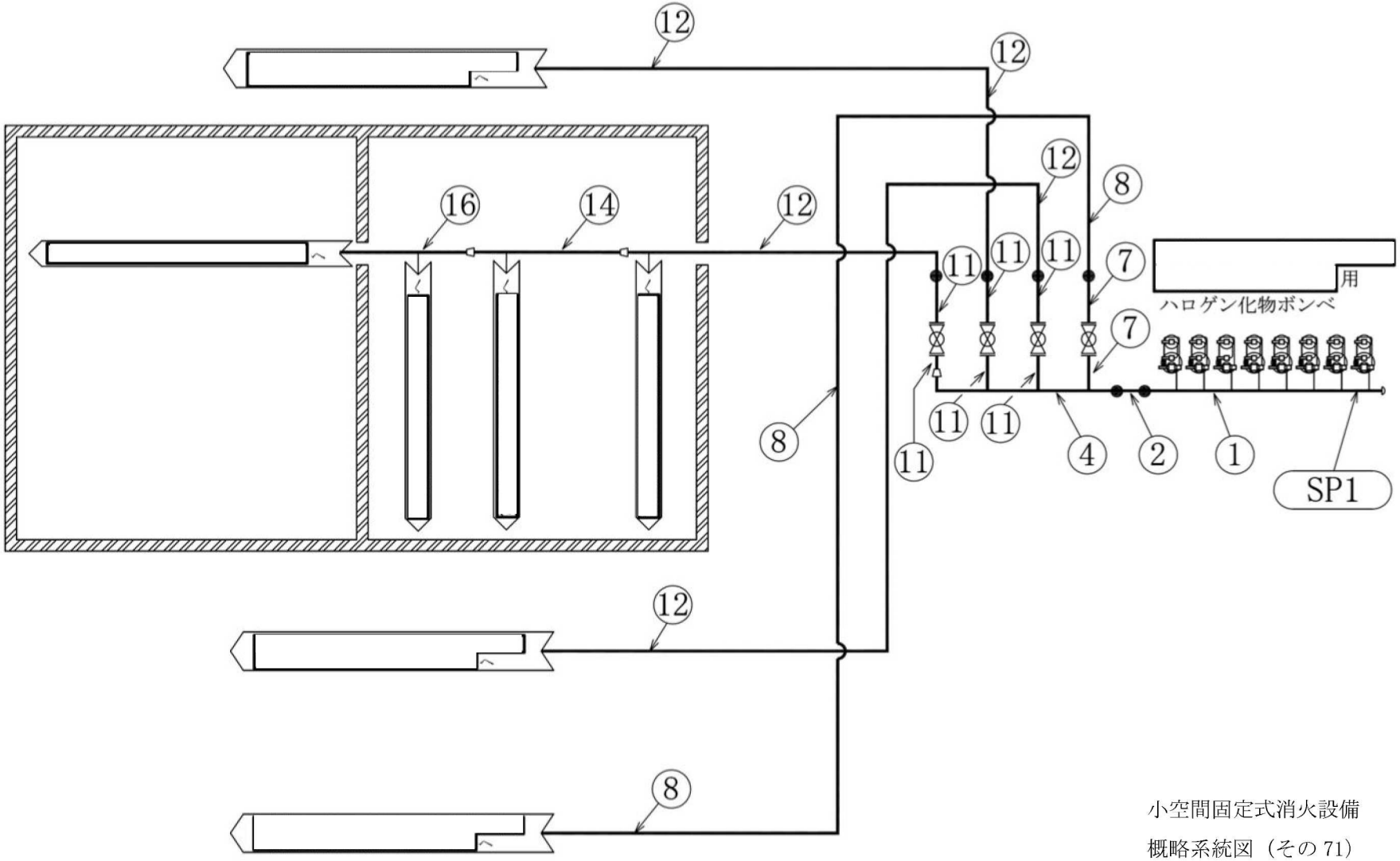



小空間固定式消火設備

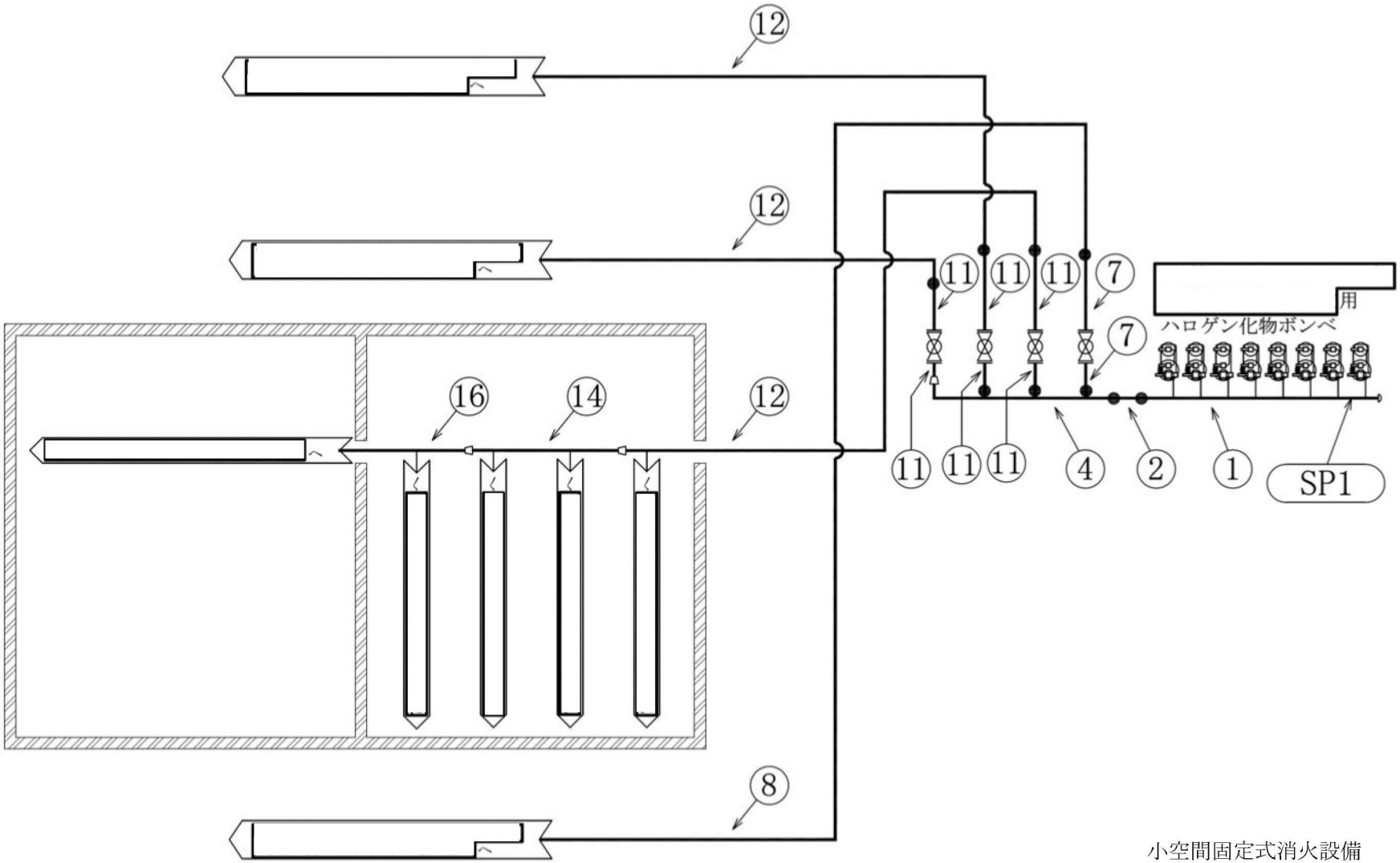
概略系統図（その 69）



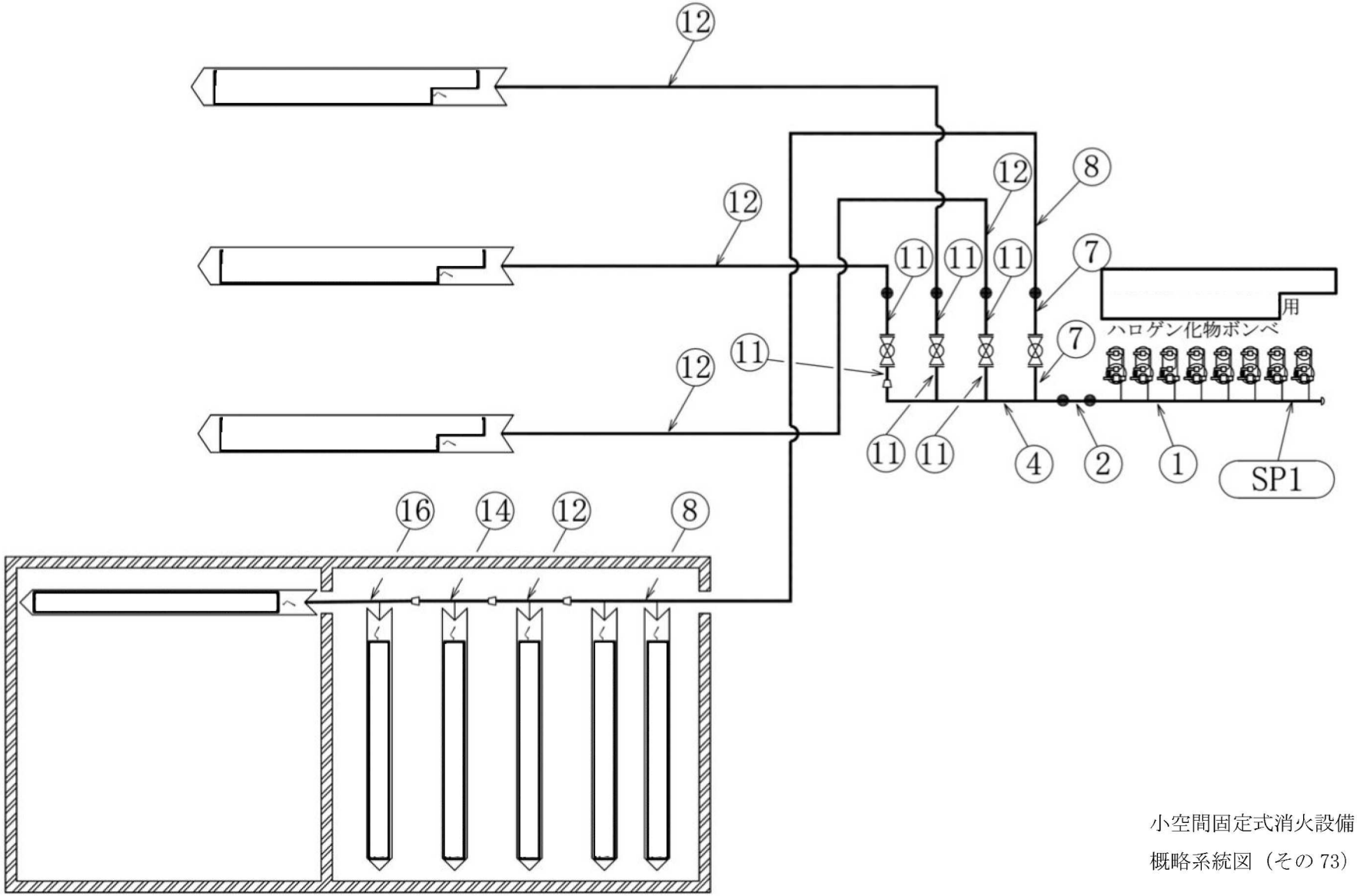

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 70）



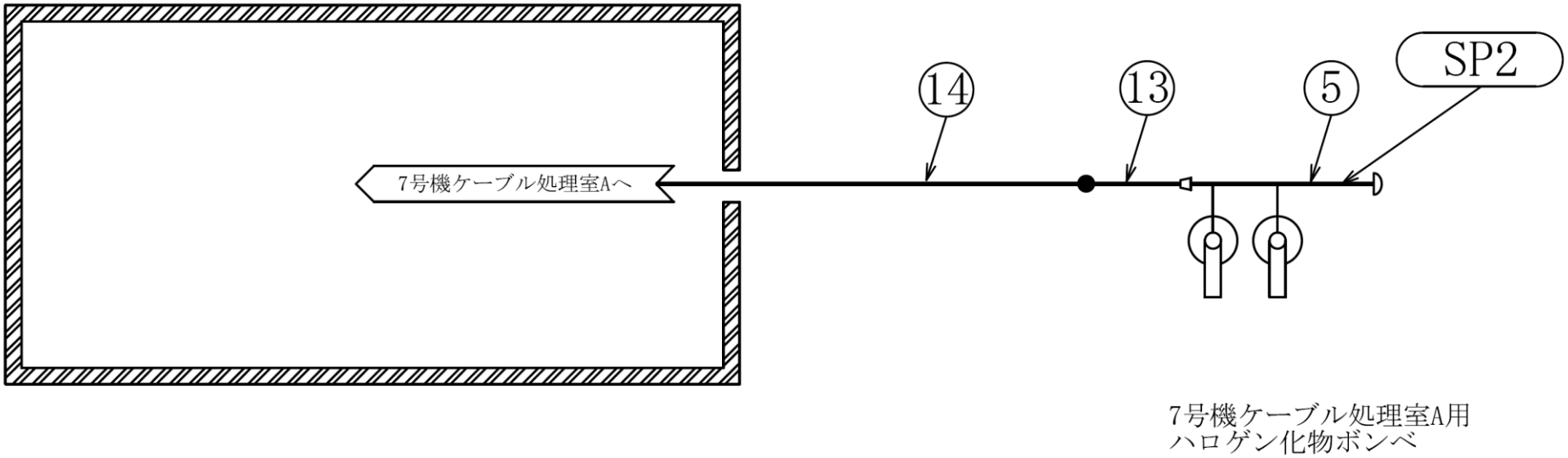

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 71）




小空間固定式消火設備
概略系統図（その 72）

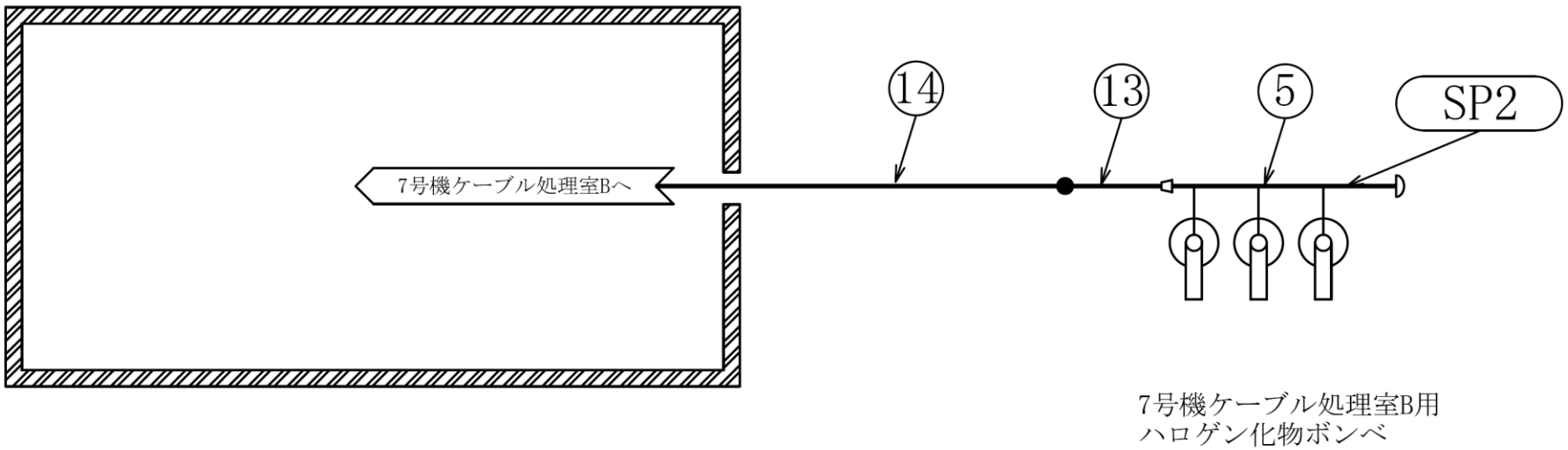



小空間固定式消火設備
概略系統図（その 73）



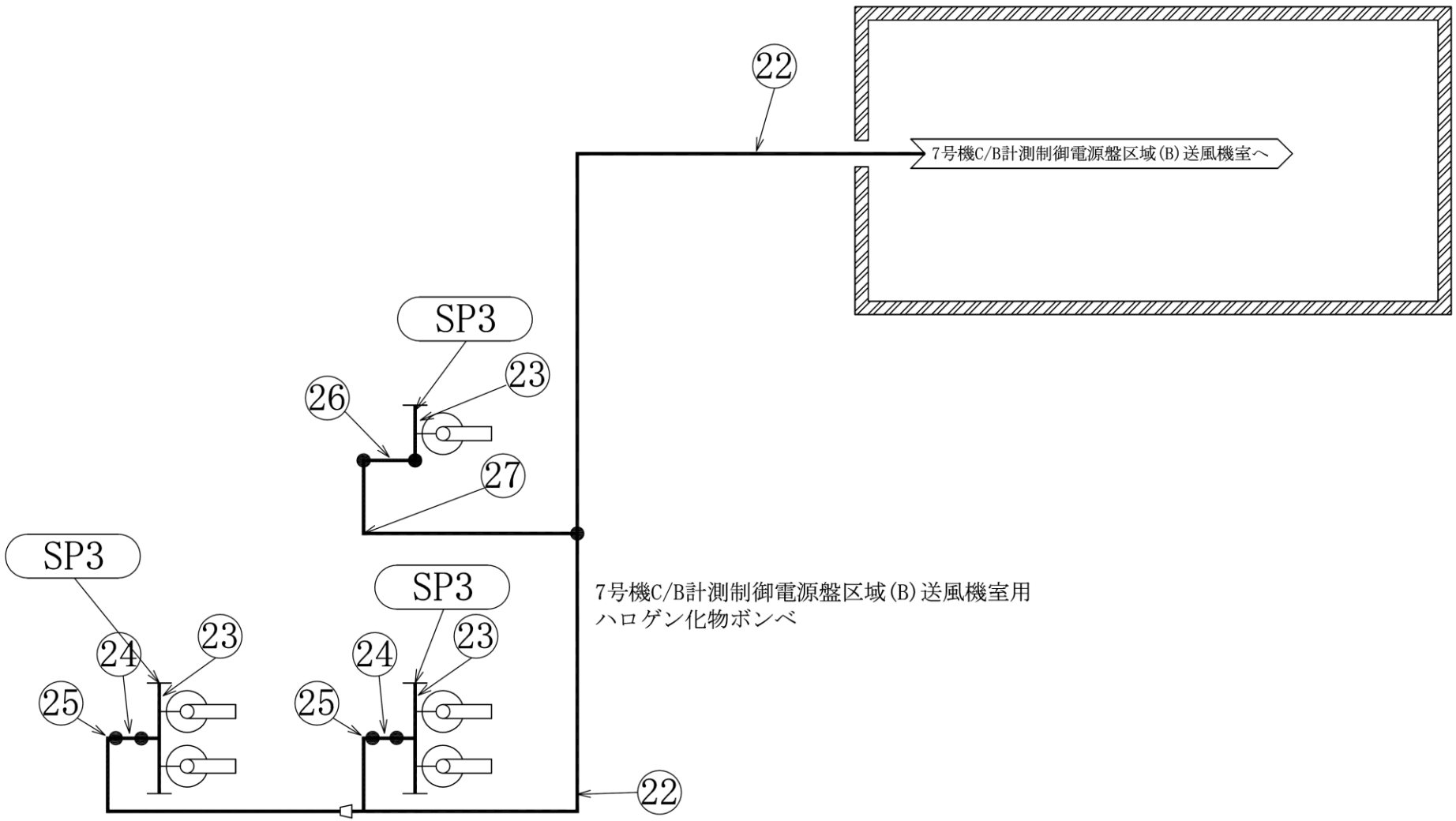

小空間固定式消火設備

概略系統図（その 74）

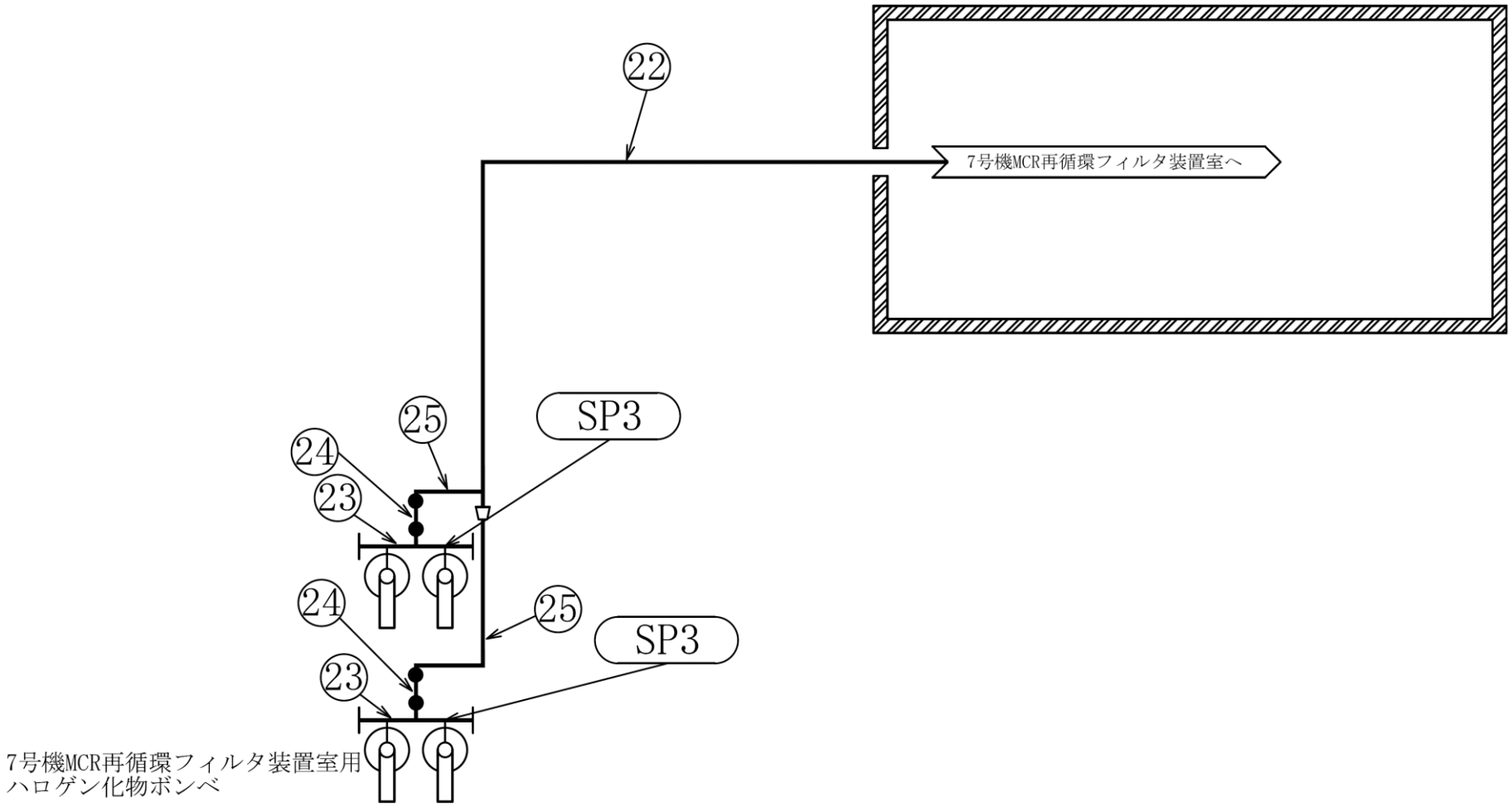



小空間固定式消火設備

概略系統図（その 75）

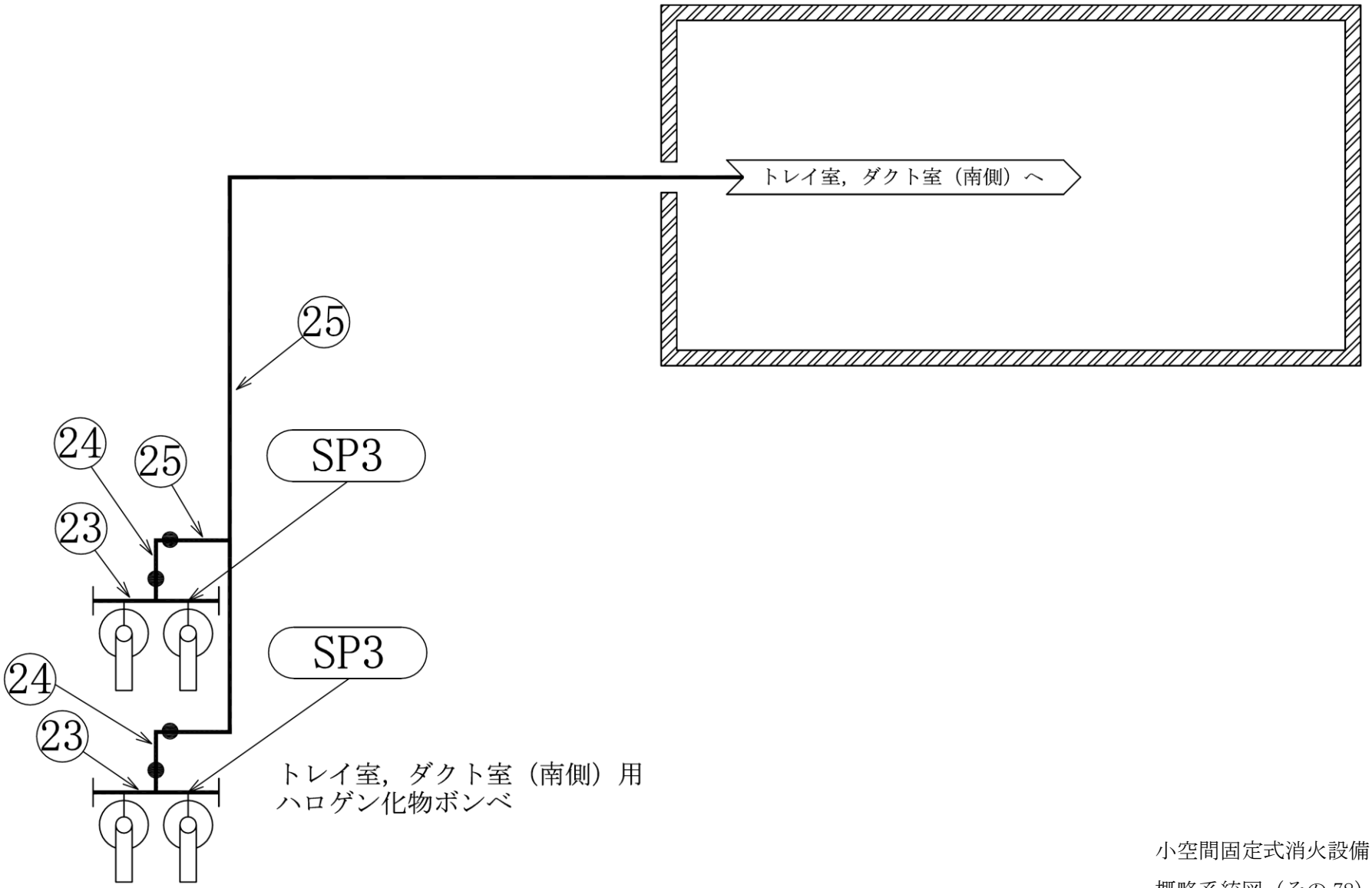



小空間固定式消火設備
概略系統図（その 76）

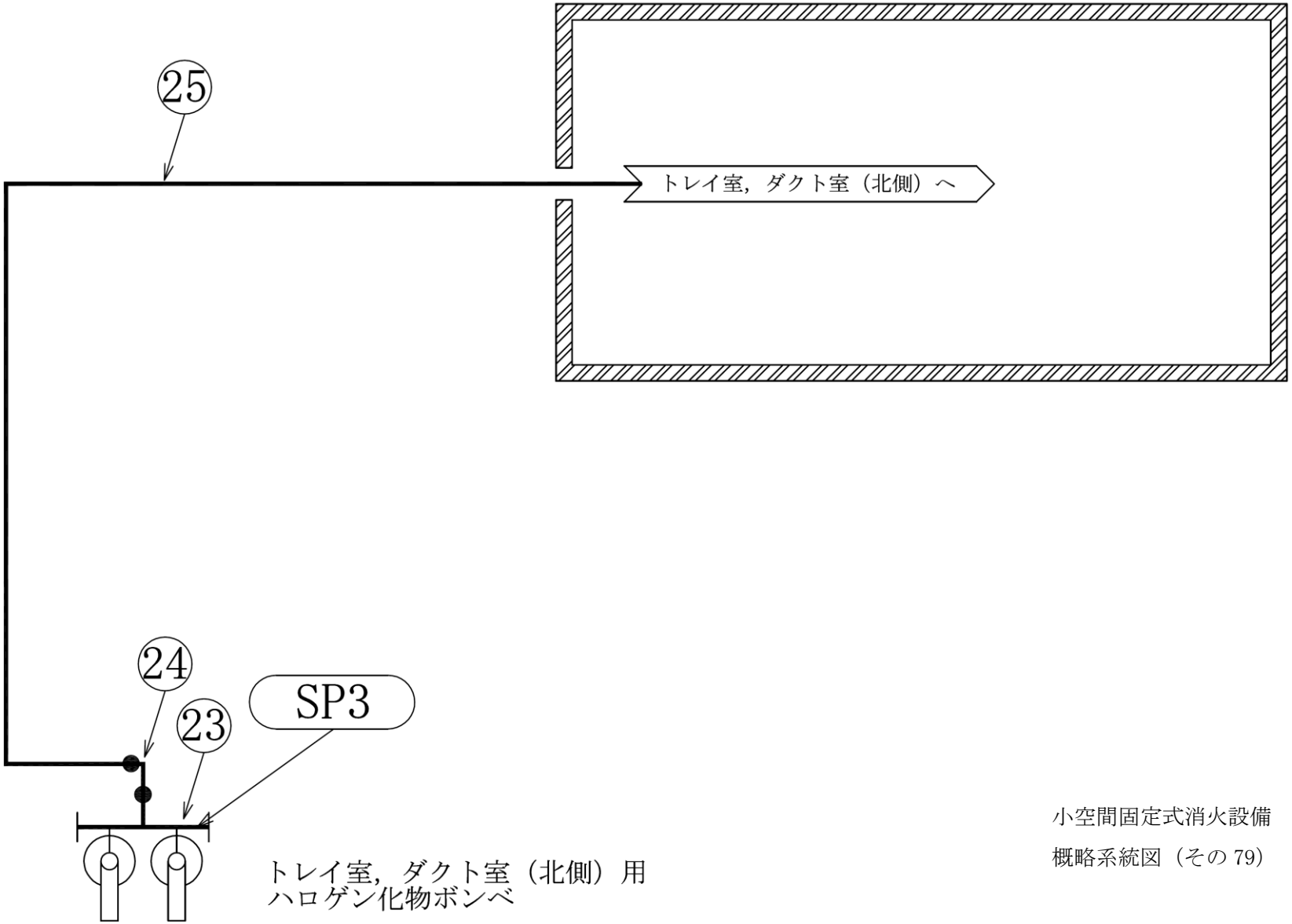



小空間固定式消火設備

概略系統図（その 77）

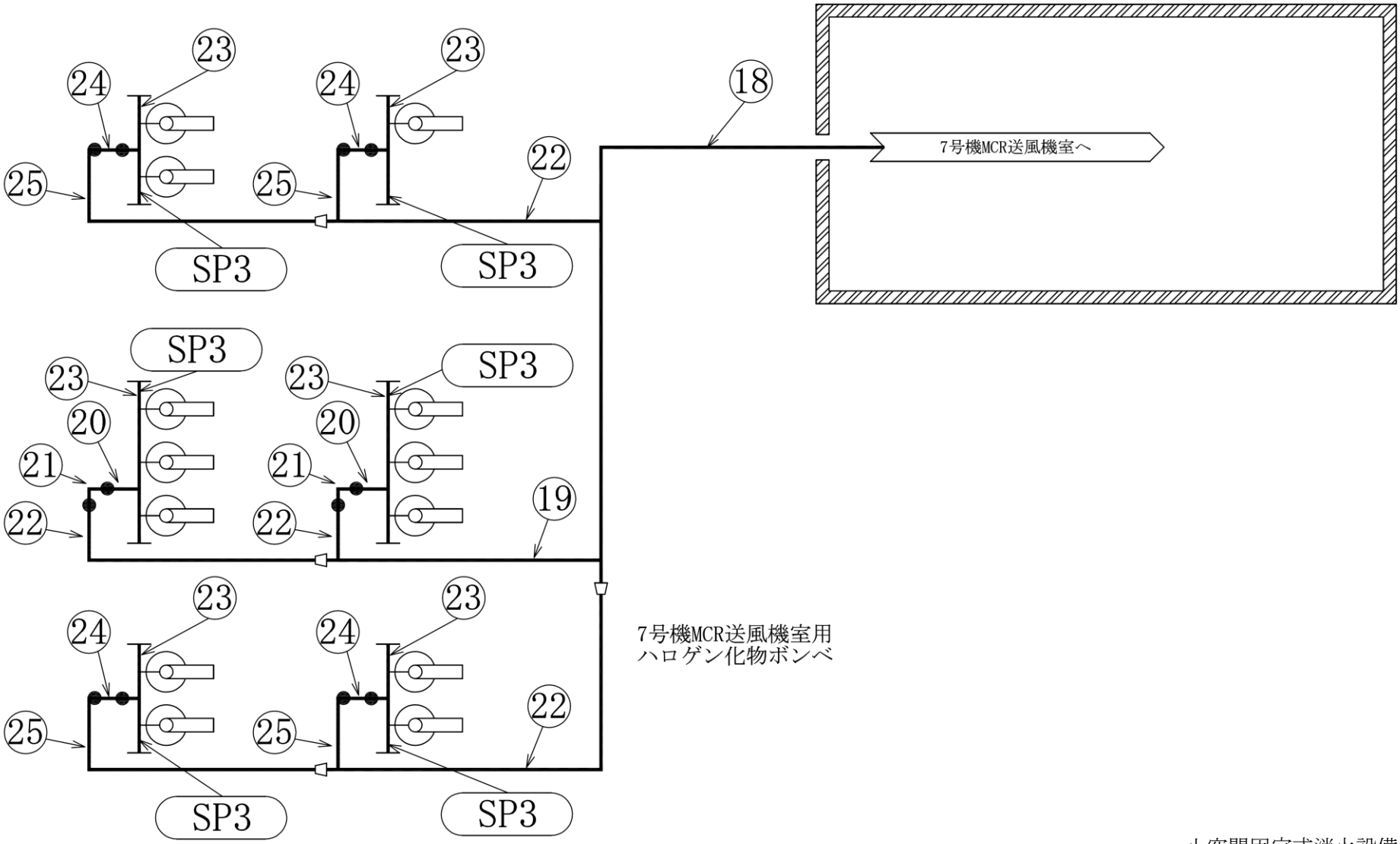



小空間固定式消火設備
概略系統図（その 78）



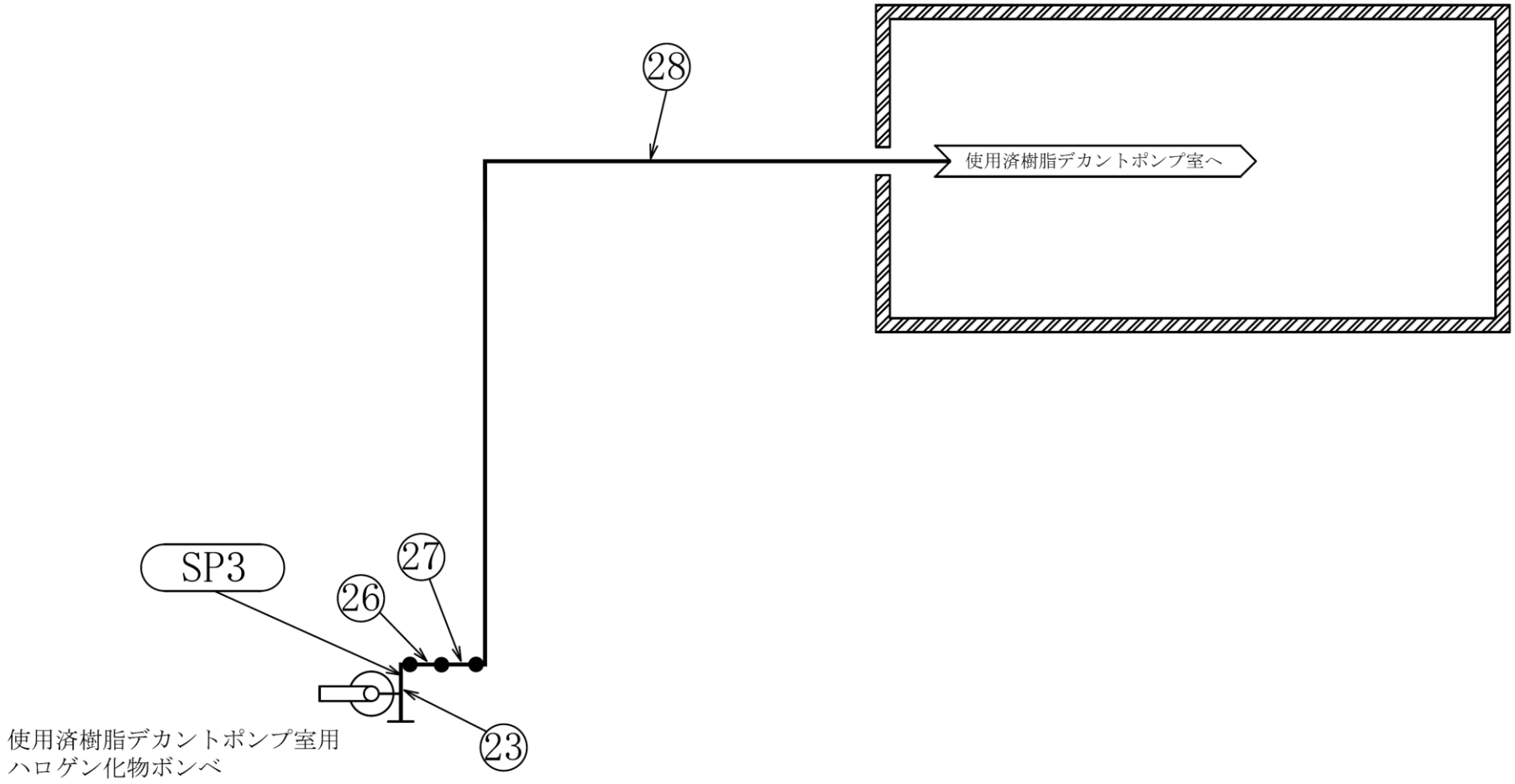

小空間固定式消火設備

概略系統図（その 79）



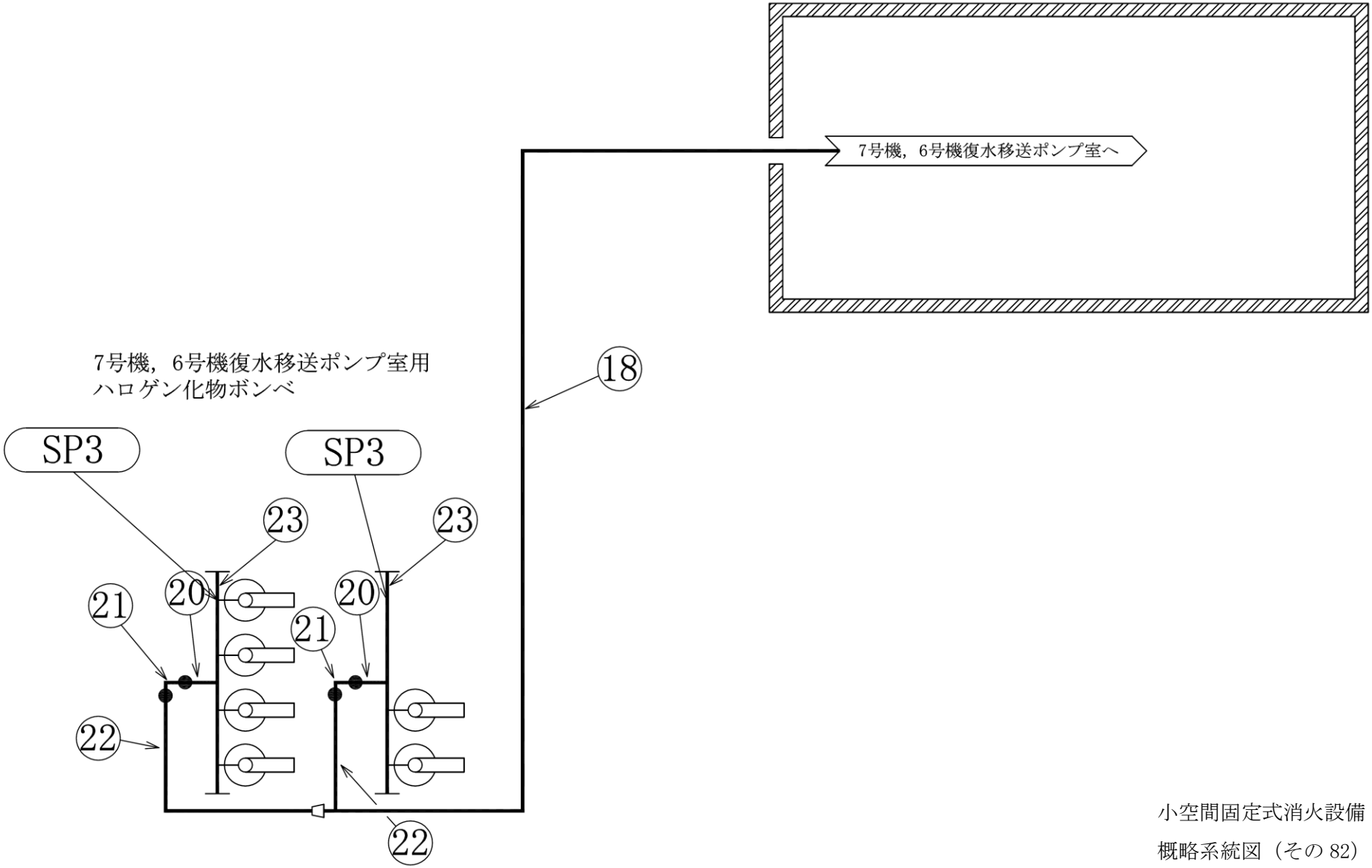

小空間固定式消火設備

概略系統図（その 80）

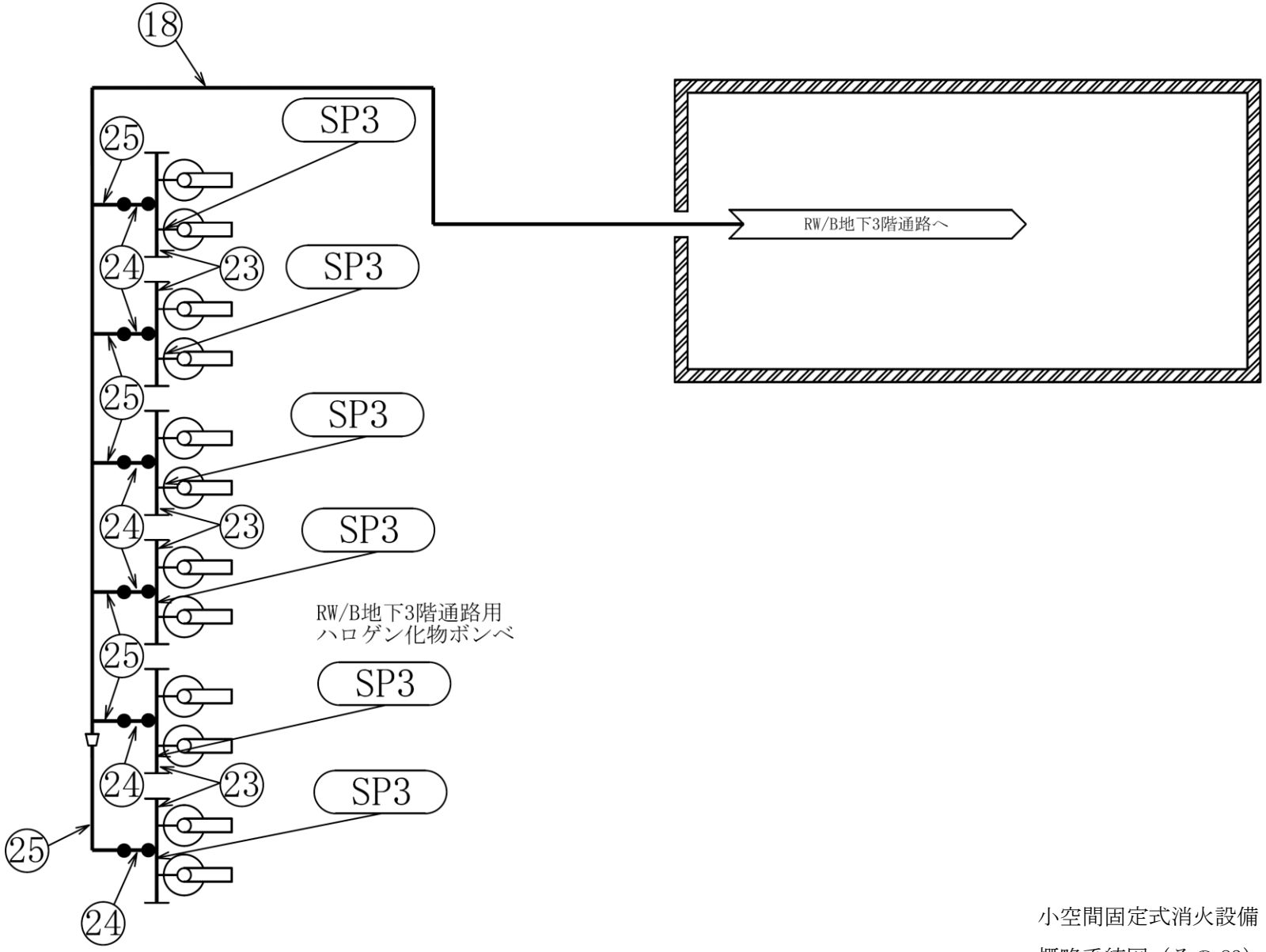



小空間固定式消火設備

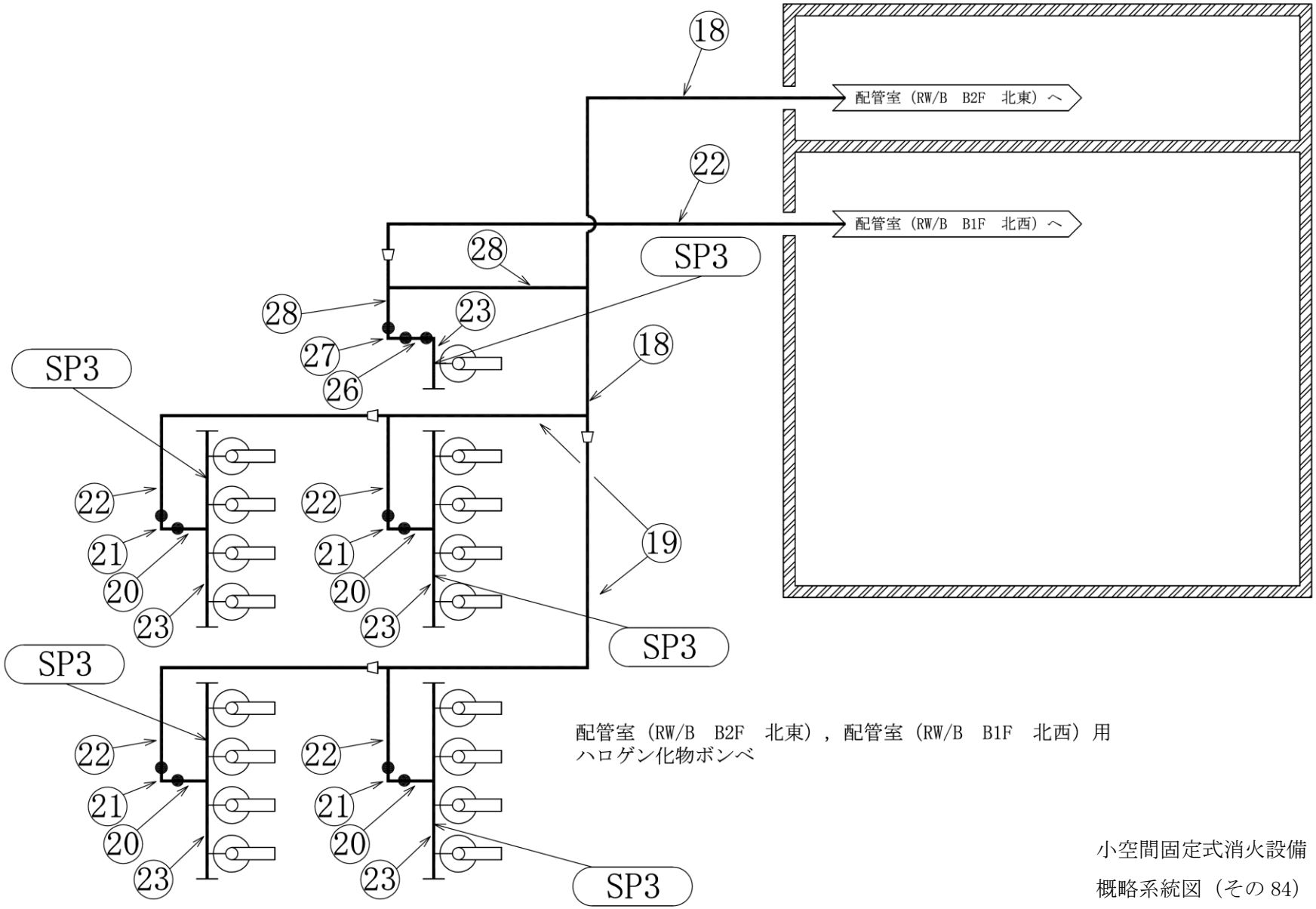
概略系統図（その 81）




小空間固定式消火設備
概略系統図（その 82）

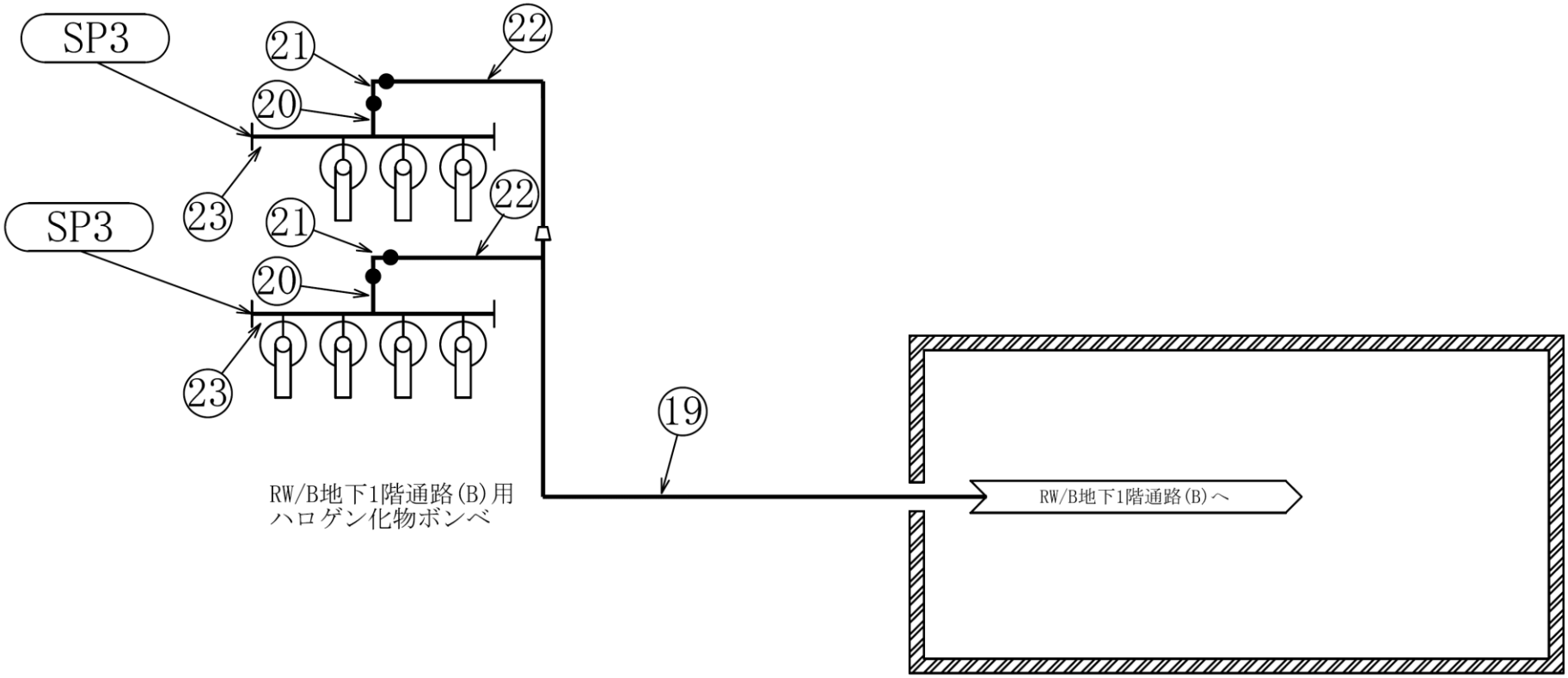



小空間固定式消火設備
概略系統図（その 83）



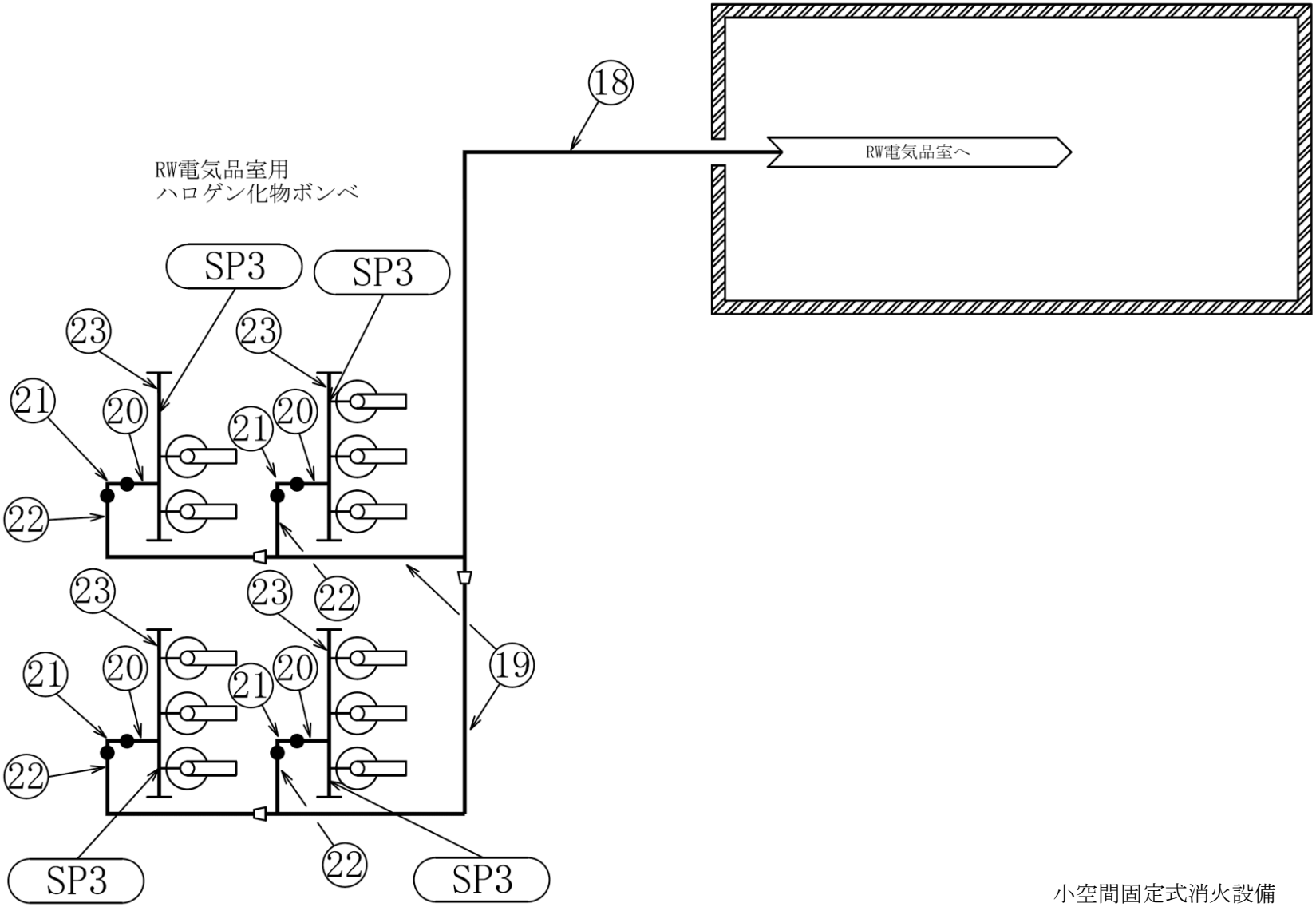

配管室（RW/B　B2F　北東），配管室（RW/B　B1F　北西）用
ハロゲン化物ボンベ

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 84）



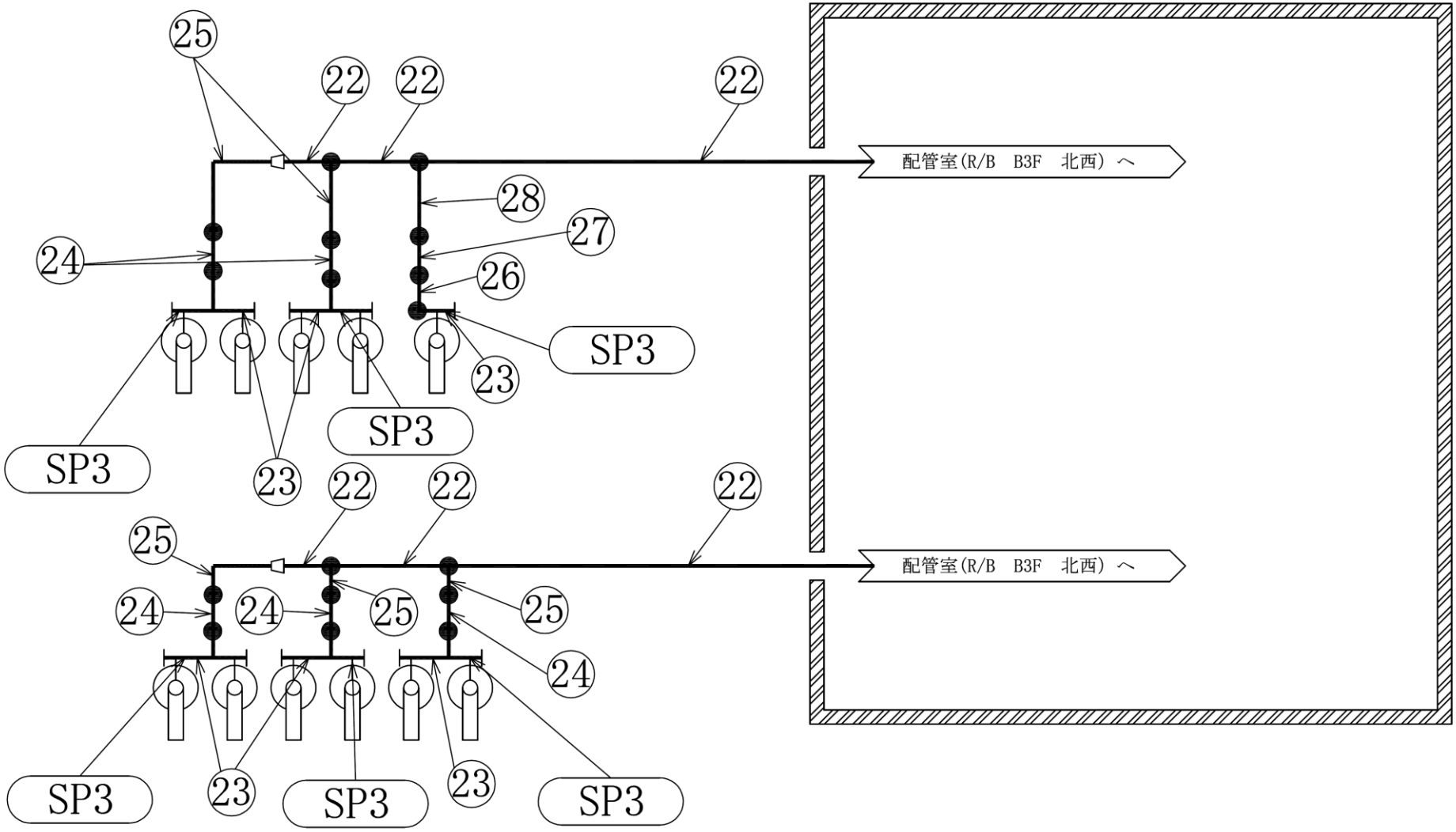

小空間固定式消火設備

概略系統図（その 85）



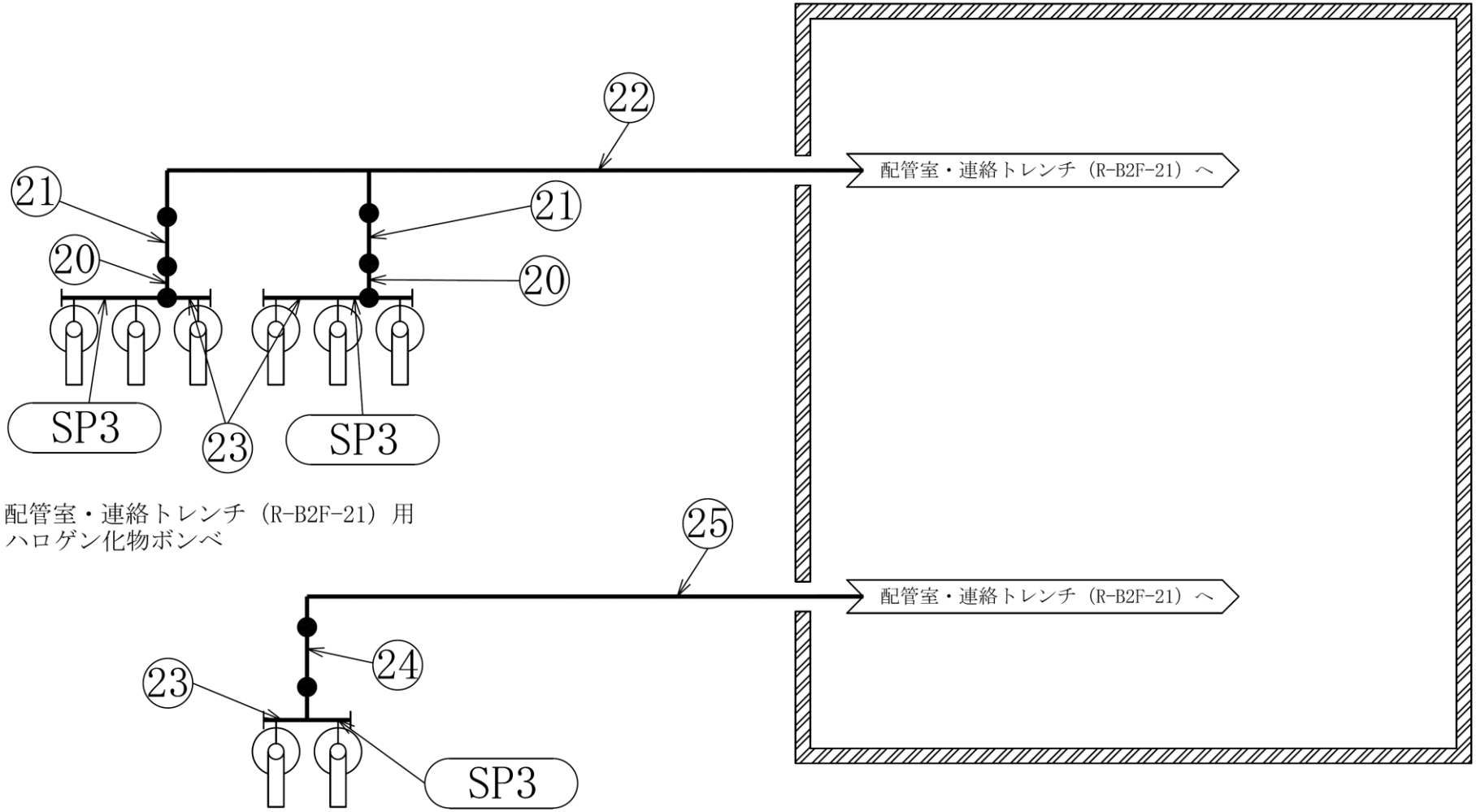

小空間固定式消火設備

概略系統図（その 86）



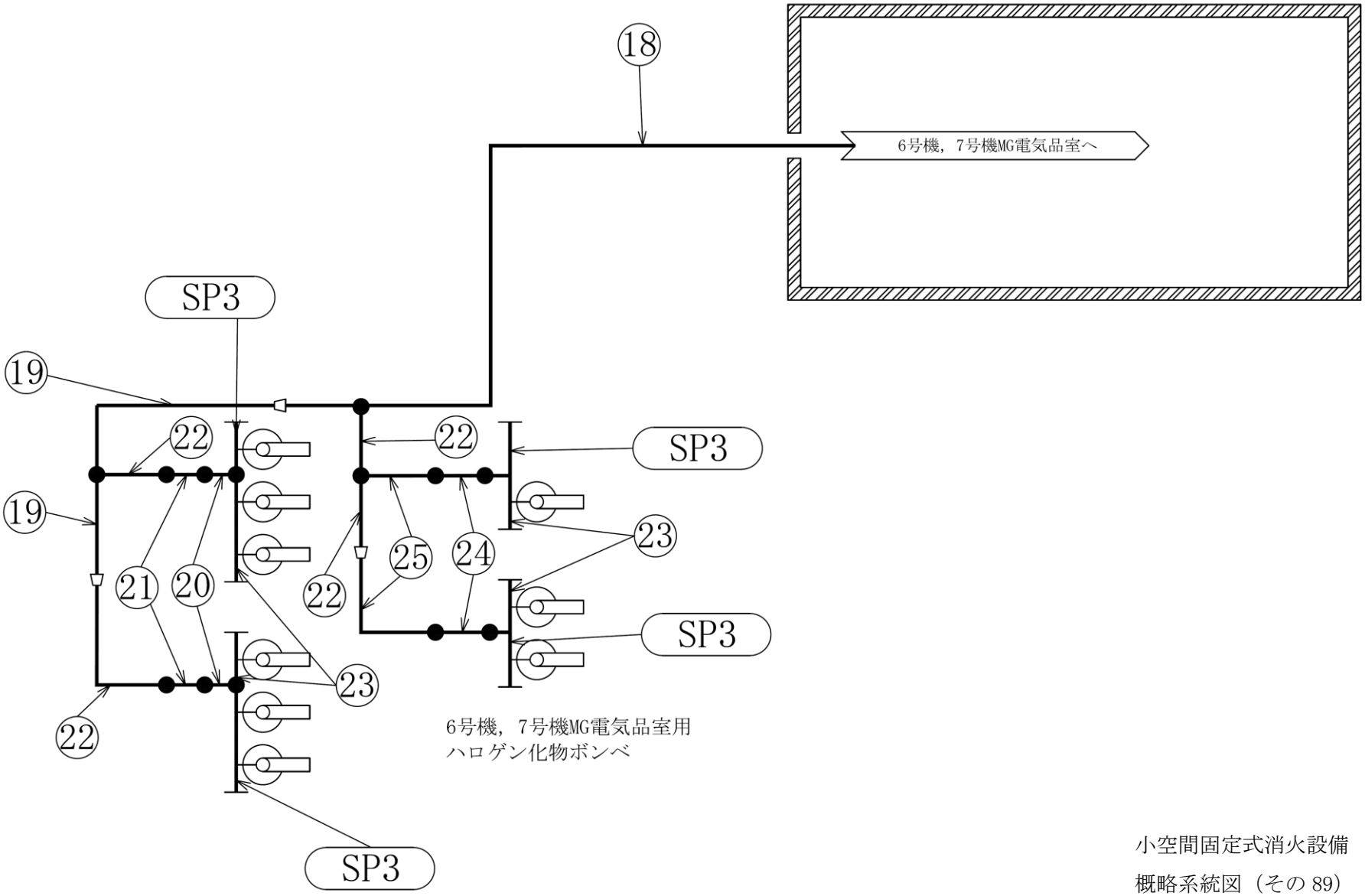

配管室(R/B　B3F　北西) 用
ハロゲン化物ボンベ

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 87）

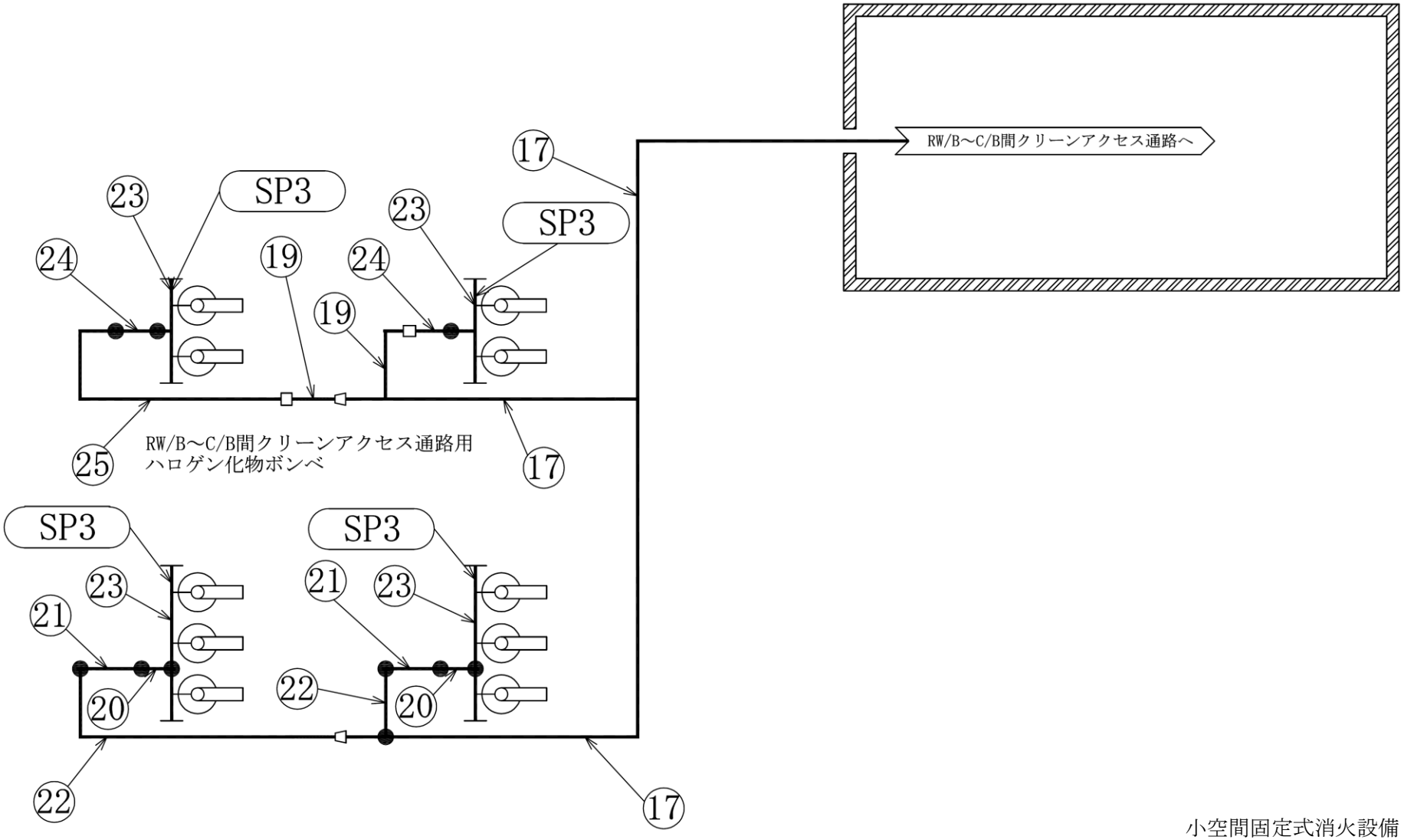



小空間固定式消火設備

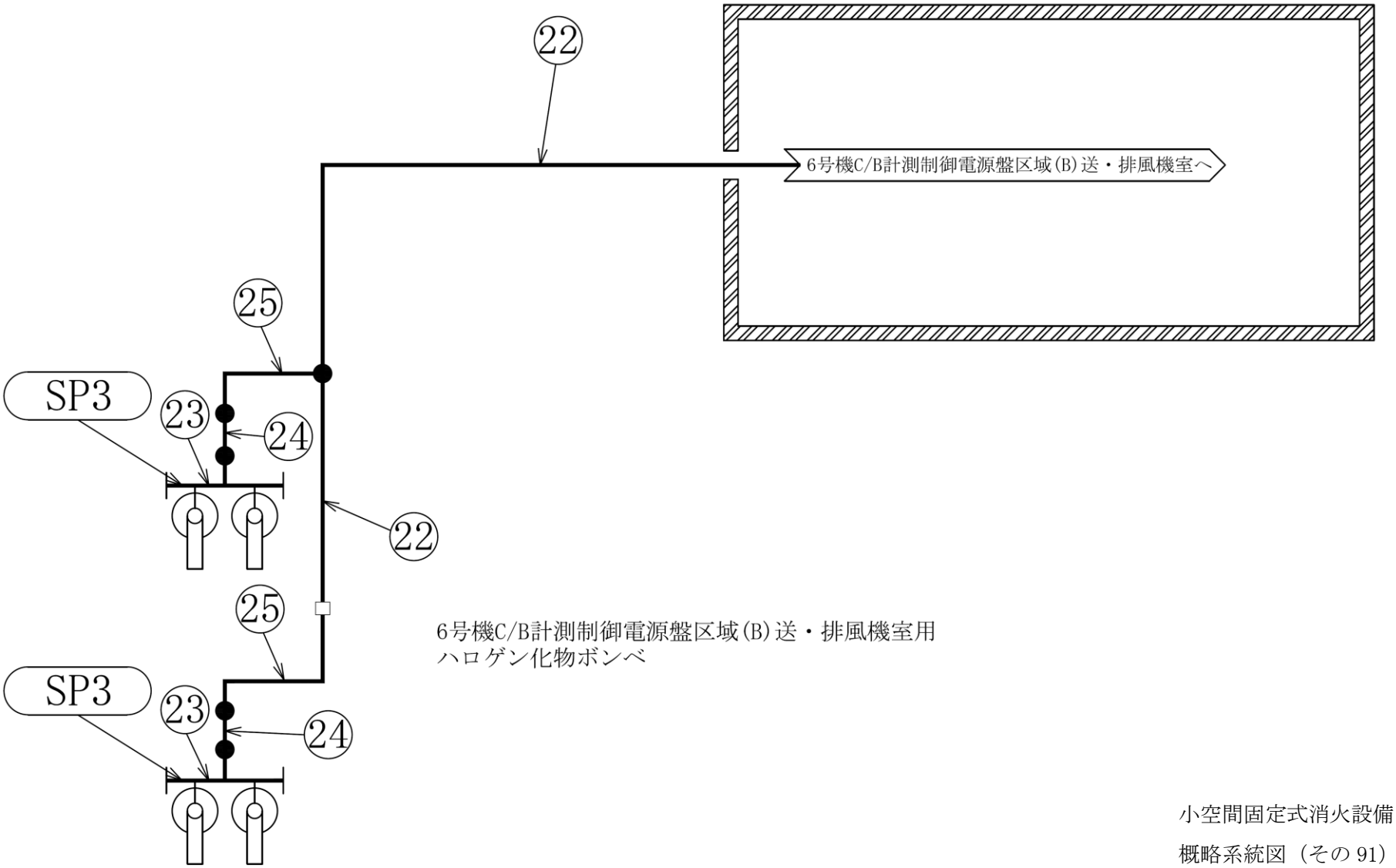
概略系統図（その 88）




小空間固定式消火設備
概略系統図（その 89）

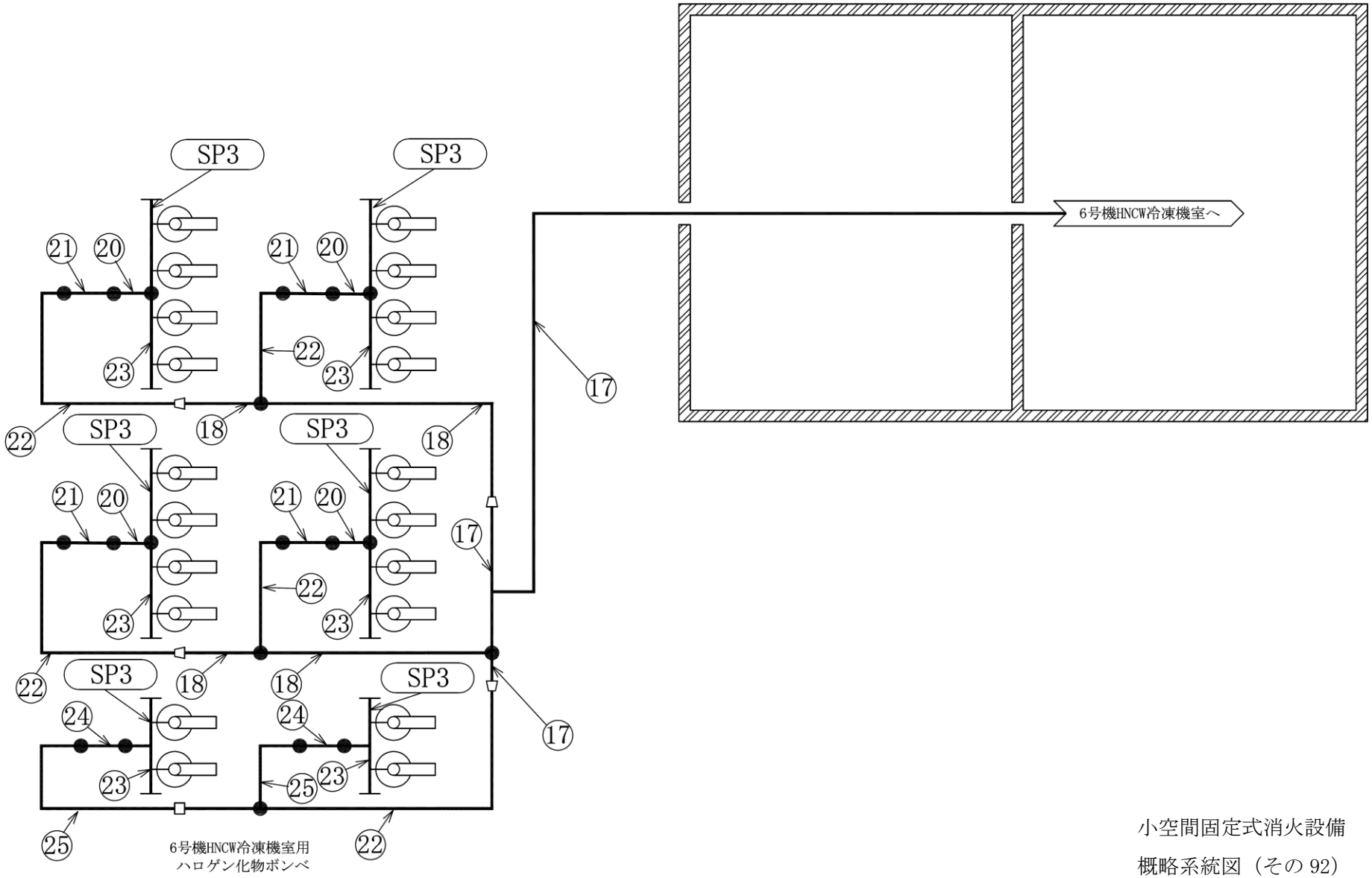



小空間固定式消火設備
概略系統図（その 90）

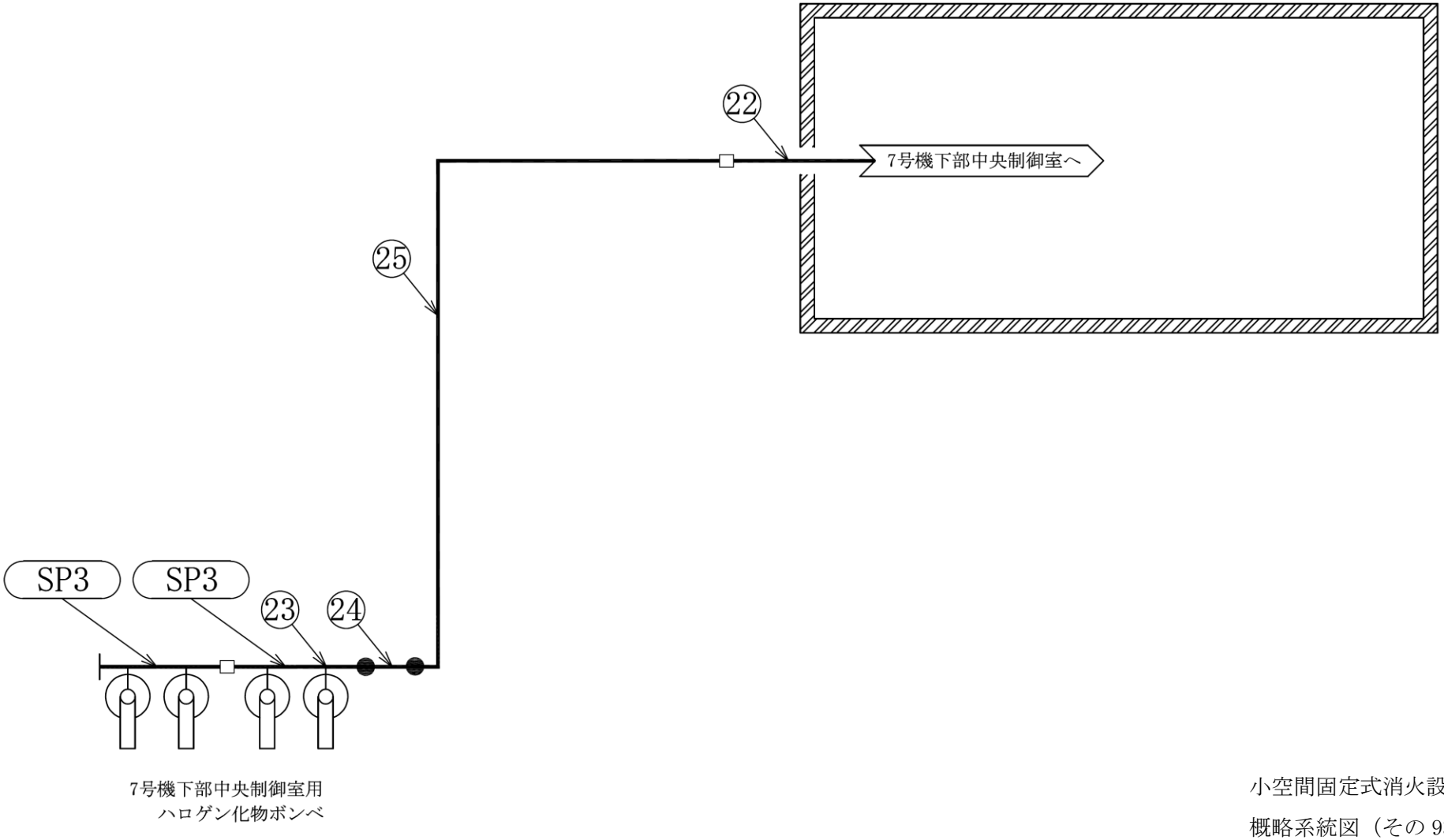



小空間固定式消火設備

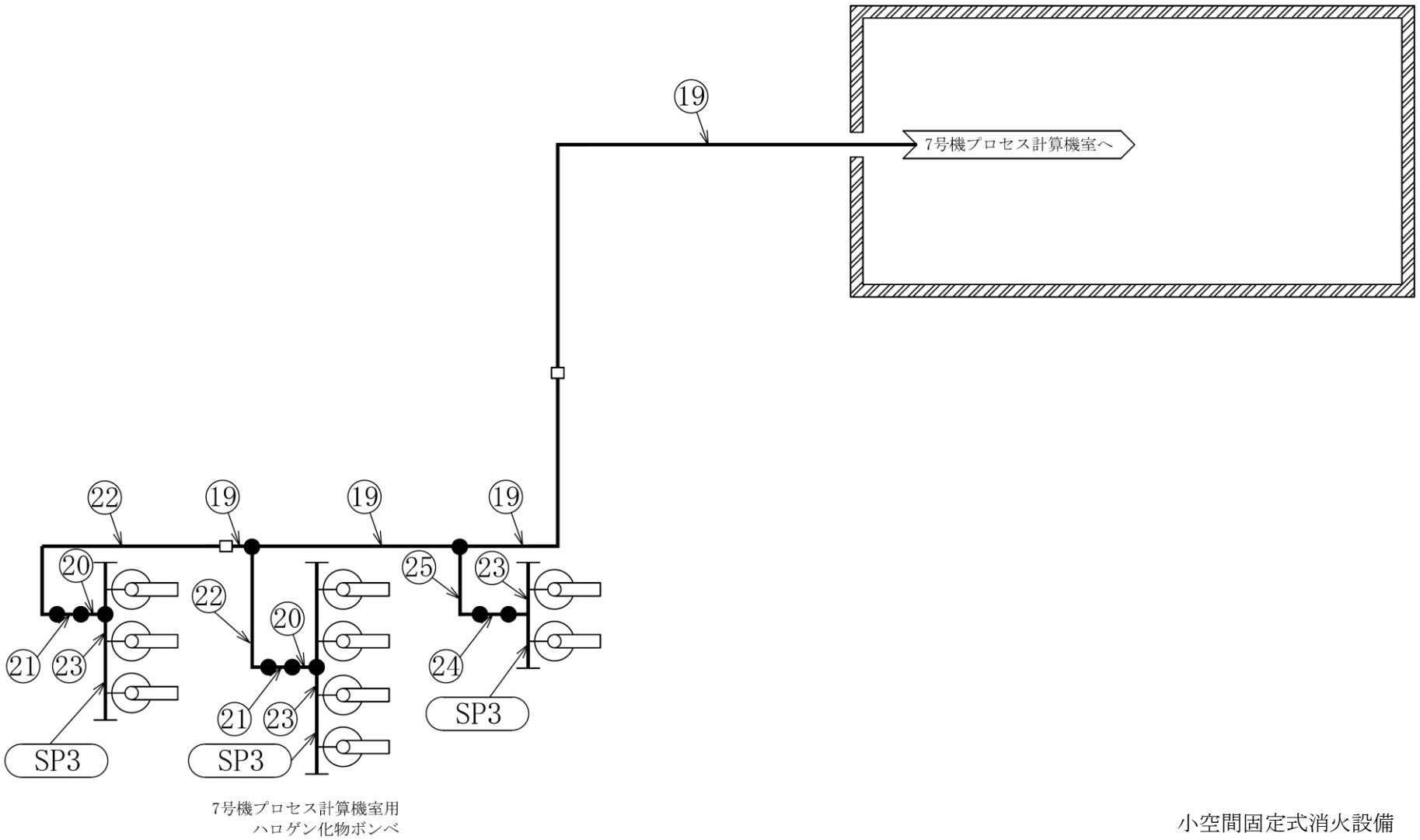
概略系統図（その 91）



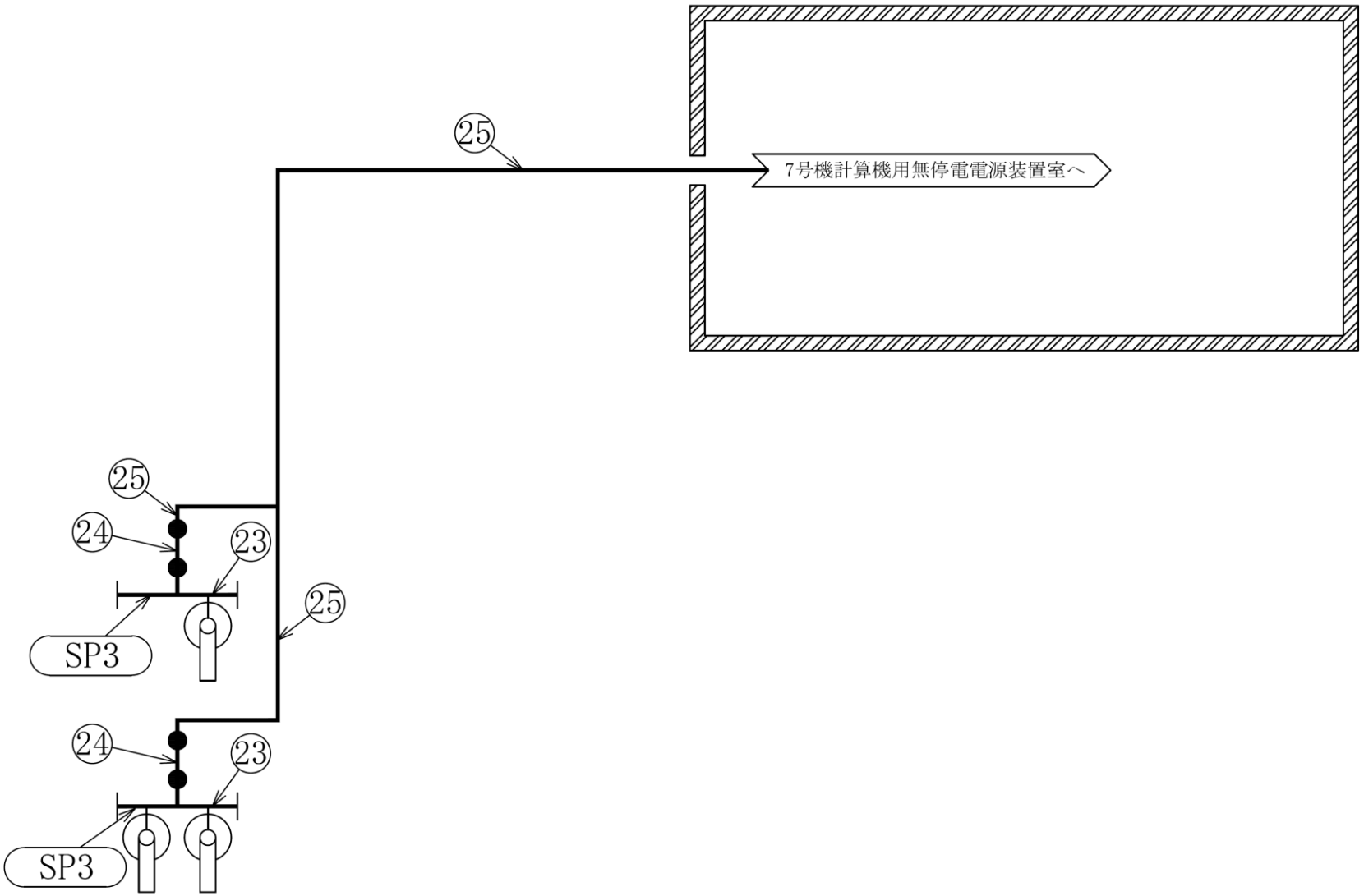

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 92）




小空間固定式消火設備
概略系統図（その 93）




小空間固定式消火設備
概略系統図（その 94）




7号機計算機用無停電電源装置室用
ハロゲン化物ボンベ

小空間固定式消火設備
概略系統図（その 95）

3.2　管の強度計算書（クラス３配管）

設計・建設規格　PPD-3411

| NO. | 最高使用圧力 P (MPa) | 最高使用温度 (℃) | 外径 $D_0$ (mm) | 公称厚さ (mm) | 材料 | 製法 | クラス | S (MPa) | η | Q | $t_s$ (mm) | t (mm) | 算式 | $t_r$ (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 4.80 | 40 | 114.30 | 8.60 | STPG370 | S | 3 | 93 | 1.00 | 12.5% | 7.52 | 2.89 | C | 3.40 |
| 2 | 4.80 | 40 | 114.30 | 8.60 | SUS304TP | S | 3 | 129 | 1.00 | 12.5% | 7.52 | 2.10 | A | 2.10 |
| 3 | 4.80 | 40 | 114.30 | 6.00 | STPG370 | S | 3 | 93 | 1.00 | 12.5% | 5.25 | 2.89 | C | 3.40 |
| 4 | 4.80 | 40 | 114.30 | 6.00 | SUS304TP | S | 3 | 129 | 1.00 | 12.5% | 5.25 | 2.10 | A | 2.10 |
| 5 | 4.80 | 40 | 89.10 | 7.60 | STPG370 | S | 3 | 93 | 1.00 | 12.5% | 6.65 | 2.26 | C | 3.00 |
| 6 | 4.80 | 40 | 89.10 | 7.60 | SUS304TP | S | 3 | 129 | 1.00 | 12.5% | 6.65 | 1.64 | A | 1.64 |
| 7 | 4.80 | 40 | 89.10 | 5.50 | STPG370 | S | 3 | 93 | 1.00 | 12.5% | 4.81 | 2.26 | C | 3.00 |
| 8 | 4.80 | 40 | 89.10 | 5.50 | SUS304TP | S | 3 | 129 | 1.00 | 12.5% | 4.81 | 1.64 | A | 1.64 |
| 9 | 4.80 | 40 | 76.30 | 7.00 | STPG370 | S | 3 | 93 | 1.00 | 12.5% | 6.12 | 1.93 | C | 2.70 |
| 10 | 4.80 | 40 | 76.30 | 7.00 | SUS304TP | S | 3 | 129 | 1.00 | 12.5% | 6.12 | 1.40 | A | 1.40 |
| 11 | 4.80 | 40 | 76.30 | 5.20 | STPG370 | S | 3 | 93 | 1.00 | 12.5% | 4.55 | 1.93 | C | 2.70 |
| 12 | 4.80 | 40 | 76.30 | 5.20 | SUS304TP | S | 3 | 129 | 1.00 | 12.5% | 4.55 | 1.40 | A | 1.40 |
| 13 | 4.80 | 40 | 60.50 | 5.50 | SUS304TP | S | 3 | 129 | 1.00 | 12.5% | 4.81 | 1.11 | A | 1.11 |

| NO. | 最高使用圧力 P (MPa) | 最高使用温度 (℃) | 外径 $D_0$ (mm) | 公称厚さ (mm) | 材料 | 製法 | クラス | S (MPa) | η | Q | $t_s$ (mm) | t (mm) | 算式 | $t_r$ (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 14 | 4.80 | 40 | 60.50 | 3.90 | SUS304TP | S | 3 | 129 | 1.00 | 0.50mm | 3.40 | 1.11 | A | 1.11 |
| 15 | 4.80 | 40 | 48.60 | 5.10 | SUS304TP | S | 3 | 129 | 1.00 | 12.5% | 4.46 | 0.89 | A | 0.89 |
| 16 | 4.80 | 40 | 48.60 | 3.70 | SUS304TP | S | 3 | 129 | 1.00 | 0.50mm | 3.20 | 0.89 | A | 0.89 |
| 17 | 5.20 | 40 | 89.10 | 5.50 | SUS304TP | S | 3 | 129 | 1.00 | 12.5% | 4.81 | 1.77 | A | 1.77 |
| 18 | 5.20 | 40 | 76.30 | 5.20 | SUS304TP | S | 3 | 129 | 1.00 | 12.5% | 4.55 | 1.52 | A | 1.52 |
| 19 | 5.20 | 40 | 60.50 | 3.90 | SUS304TP | S | 3 | 129 | 1.00 | 0.50mm | 3.40 | 1.20 | A | 1.20 |
| 20 | 5.20 | 40 | 48.60 | 5.10 | STPG370 | S | 3 | 93 | 1.00 | 12.5% | 4.46 | 1.33 | C | 2.20 |
| 21 | 5.20 | 40 | 48.60 | 5.10 | SUS304TP | S | 3 | 129 | 1.00 | 12.5% | 4.46 | 0.97 | A | 0.97 |
| 22 | 5.20 | 40 | 48.60 | 3.70 | SUS304TP | S | 3 | 129 | 1.00 | 0.50mm | 3.20 | 0.97 | A | 0.97 |
| 23 | 5.20 | 40 | 42.70 | 4.90 | STPG370 | S | 3 | 93 | 1.00 | 12.5% | 4.28 | 1.17 | C | 1.90 |
| 24 | 5.20 | 40 | 42.70 | 4.90 | SUS304TP | S | 3 | 129 | 1.00 | 12.5% | 4.28 | 0.85 | A | 0.85 |
| 25 | 5.20 | 40 | 42.70 | 3.60 | SUS304TP | S | 3 | 129 | 1.00 | 0.50mm | 3.10 | 0.85 | A | 0.85 |
| 26 | 5.20 | 40 | 34.00 | 4.50 | STPG370 | S | 3 | 93 | 1.00 | 12.5% | 3.93 | 0.93 | C | 1.70 |
| 27 | 5.20 | 40 | 34.00 | 4.50 | SUS304TP | S | 3 | 129 | 1.00 | 12.5% | 3.93 | 0.68 | A | 0.68 |

| NO. | 最高使用圧力 P (MPa) | 最高使用温度 (℃) | 外径 $D_0$ (mm) | 公称厚さ (mm) | 材料 | 製法 | クラス | S (MPa) | η | Q | $t_s$ (mm) | t (mm) | 算式 | $t_r$ (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 28 | 5.20 | 40 | 34.00 | 3.40 | SUS304TP | S | 3 | 129 | 1.00 | 0.50mm | 2.90 | 0.68 | A | 0.68 |

評価：$t_s \geqq t_r$，よって十分である。

3.3　管の穴と補強計算書（クラス３配管）

設計・建設規格　PPD-3420，PPD-3422

| NO. | | | | SP1 |
|---|---|---|---|---|
| 形　　式 | | | | A |
| 最高使用圧力 | | P | (MPa) | 4.80 |
| 最高使用温度 | | | (℃) | 40 |
| 主管と管台の角度 | | α | (°) | 90 |
| 主管 | 材　　料 | | | STPG370 |
| | 許容引張応力 | $S_r$ | (MPa) | 93 |
| | 外　　径 | $D_{or}$ | (mm) | 114.30 |
| | 内　　径 | $D_{ir}$ | (mm) | 99.26 |
| | 公称厚さ | $t_{ro}$ | (mm) | 8.60 |
| | 厚さの負の許容差 | $Q_r$ | | 12.5% |
| | 最小厚さ | $t_r$ | (mm) | 7.52 |
| | 継手効率 | η | | 1.00 |
| 管台 | 材　　料 | | | S25C |
| | 外　　径 | $D_{ob}$ | (mm) | 44.40 |
| | 内　　径 | $D_{ib}$ | (mm) | 31.85 |
| | 公称厚さ | $t_{bn}$ | (mm) | 6.27 |
| 穴の径 | | d | (mm) | 32.00 |
| $d_{r1}=D_{ir}/4$ | | | (mm) | 24.82 |
| 61，$d_{r1}$の小さい値 | | | (mm) | 24.82 |
| K | | | | 0.4311 |
| 200，$d_{r2}$の小さい値 | | | (mm) | 63.43 |
| 補強不要な穴の最大径 | | $d_{fr}$ | (mm) | 63.43 |

評価：　$d \leqq d_{fr}$

よって管の穴の補強計算は必要ない。

設計・建設規格　PPD-3420，PPD-3422

| NO. | | SP2 |
|---|---|---|
| 形　　式 | | A |
| 最高使用圧力　P　(MPa) | | 4.80 |
| 最高使用温度　(℃) | | 40 |
| 主管と管台の角度　α　(°) | | 90 |
| 主管 | 材　料 | STPG370 |
| | 許容引張応力　$S_r$　(MPa) | 93 |
| | 外　径　$D_{or}$　(mm) | 89.10 |
| | 内　径　$D_{ir}$　(mm) | 75.80 |
| | 公称厚さ　$t_{ro}$　(mm) | 7.60 |
| | 厚さの負の許容差　$Q_r$ | 12.5% |
| | 最小厚さ　$t_r$　(mm) | 6.65 |
| | 継手効率　η | 1.00 |
| 管台 | 材　料 | S25C |
| | 外　径　$D_{ob}$　(mm) | 44.40 |
| | 内　径　$D_{ib}$　(mm) | 31.85 |
| | 公称厚さ　$t_{bn}$　(mm) | 6.27 |
| 穴の径　d　(mm) | | 32.00 |
| $d_{r1}=D_{ir}/4$　(mm) | | 18.95 |
| 61，$d_{r1}$の小さい値　(mm) | | 18.95 |
| K | | 0.3780 |
| 200，$d_{r2}$の小さい値　(mm) | | 57.66 |
| 補強不要な穴の最大径　$d_{fr}$　(mm) | | 57.66 |

評価：　$d \leqq d_{fr}$

よって管の穴の補強計算は必要ない。

K7 ① V-3-3-7-2-1-2 R1

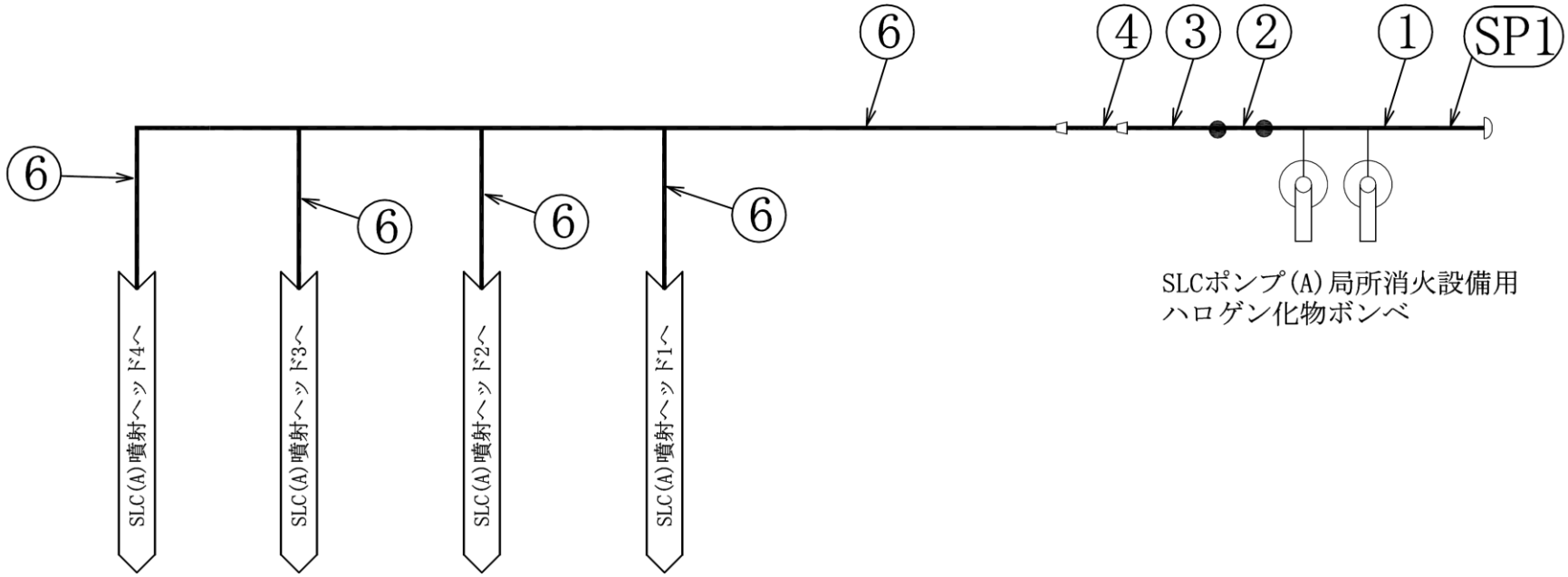
設計・建設規格　PPD-3420，PPD-3422

| NO. | | SP3 |
|---|---|---|
| 形　　式 | | A |
| 最高使用圧力　P　(MPa) | | 5.20 |
| 最高使用温度　(℃) | | 40 |
| 主管と管台の角度　α　(°) | | 90 |
| 主管 | 材　料 | STPG370 |
| | 許容引張応力　$S_r$　(MPa) | 93 |
| | 外　径　$D_{or}$　(mm) | 42.70 |
| | 内　径　$D_{ir}$　(mm) | 34.14 |
| | 公称厚さ　$t_{ro}$　(mm) | 4.90 |
| | 厚さの負の許容差　$Q_r$ | 12.5% |
| | 最小厚さ　$t_r$　(mm) | 4.28 |
| | 継手効率　η | 1.00 |
| 管台 | 材　料 | S25C |
| | 外　径　$D_{ob}$　(mm) | 46.00 |
| | 内　径　$D_{ib}$　(mm) | 27.20 |
| | 公称厚さ　$t_{bn}$　(mm) | 9.40 |
| 穴の径　d　(mm) | | 25.00 |
| $d_{r1}=D_{ir}/4$　(mm) | | 8.54 |
| 61，$d_{r1}$の小さい値　(mm) | | 8.54 |
| K | | 0.3066 |
| 200，$d_{r2}$の小さい値　(mm) | | 40.44 |
| 補強不要な穴の最大径　$d_{fr}$　(mm) | | 40.44 |
| 評価：　$d \leqq d_{fr}$<br>よって管の穴の補強計算は必要ない。 | | |

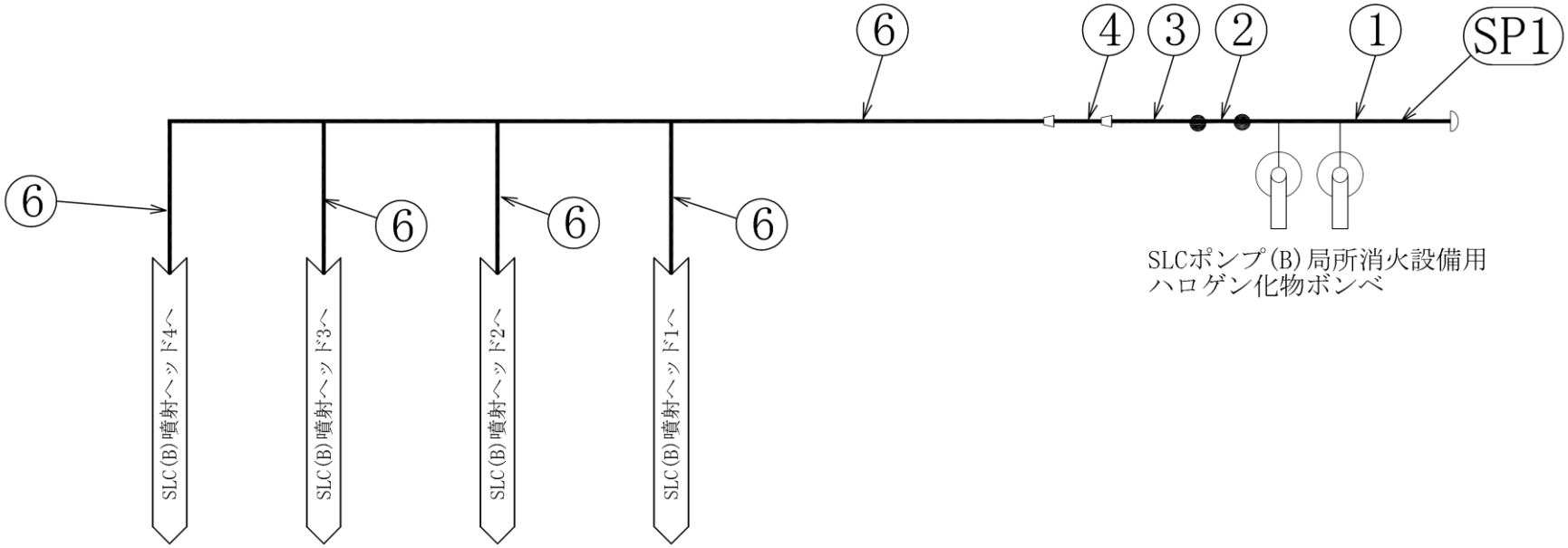
K7 ① V-3-3-7-2-1-2 R1

4. SLC ポンプ・CRD ポンプ局所消火設備

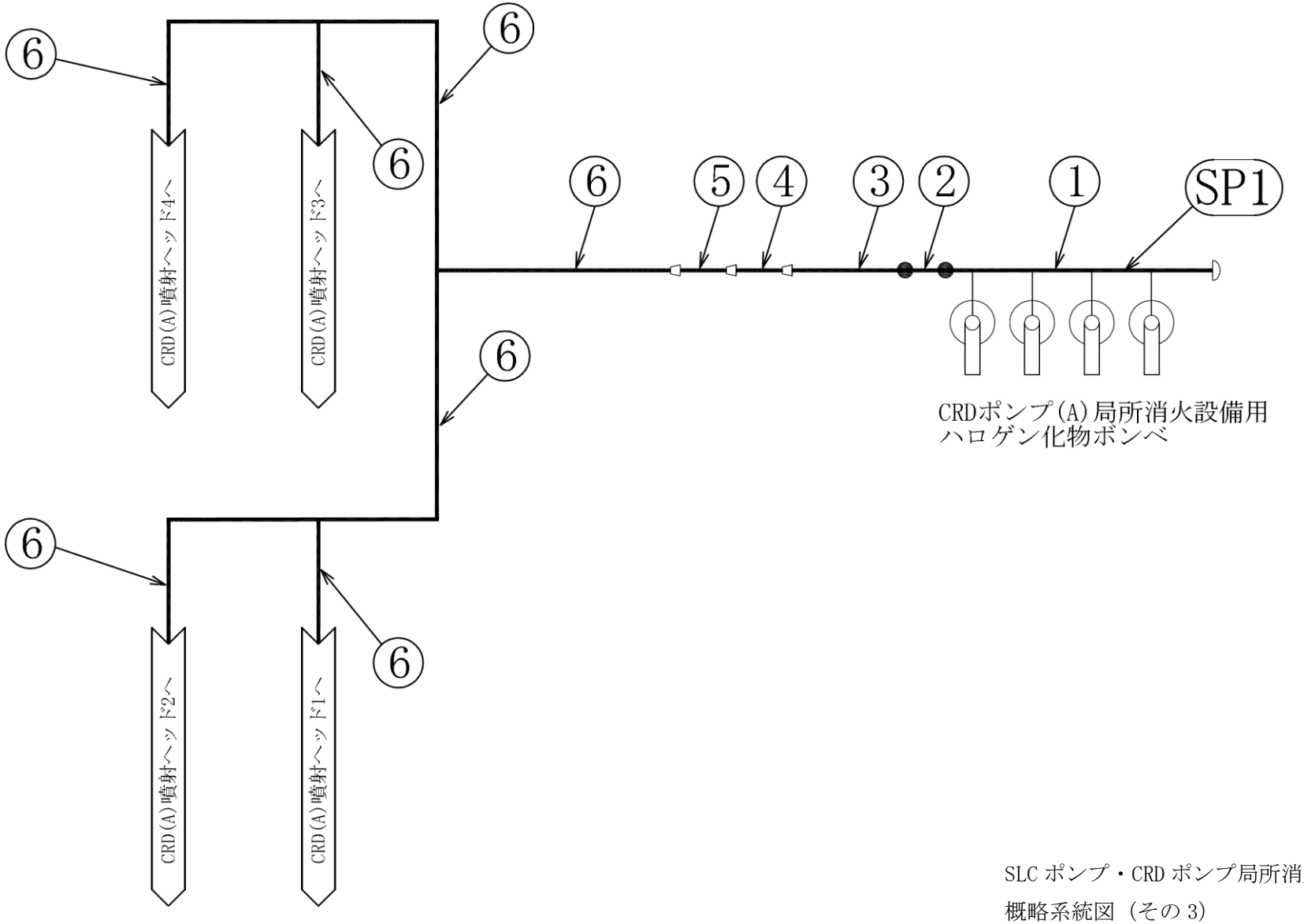
4.1 概略系統図



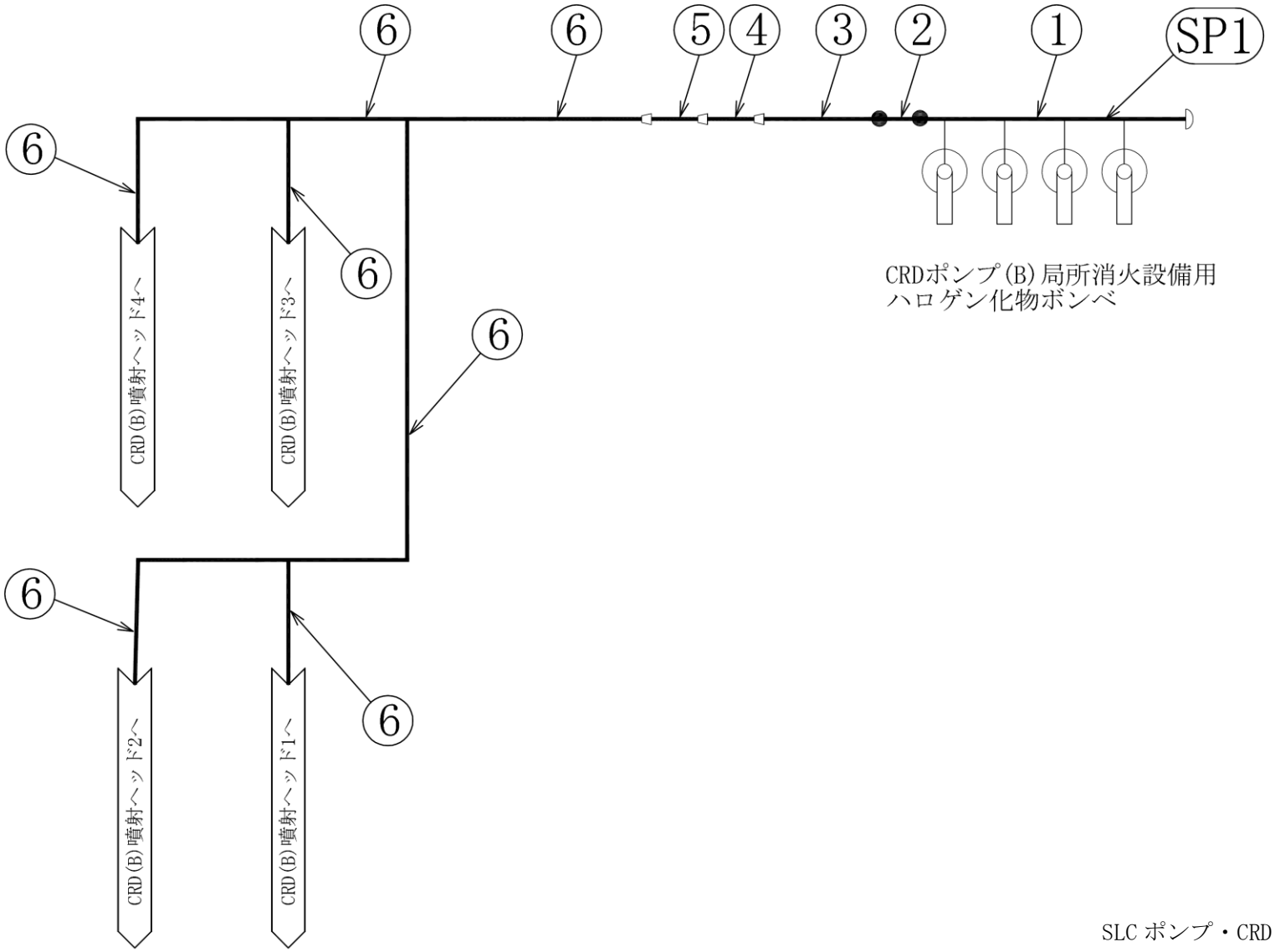

SLC ポンプ・CRD ポンプ局所消火設備
概略系統図（その 1）




SLC ポンプ・CRD ポンプ局所消火設備
概略系統図（その 2）




SLC ポンプ・CRD ポンプ局所消火設備
概略系統図（その 3）




SLC ポンプ・CRD ポンプ局所消火設備
概略系統図（その 4）

4.2　管の強度計算書（クラス３配管）

設計・建設規格　PPD-3411

| ＮＯ． | 最高使用圧力 P (MPa) | 最高使用温度 (℃) | 外径 $D_0$ (mm) | 公称厚さ (mm) | 材料 | 製法 | クラス | S (MPa) | η | Q (%, mm) | $t_s$ (mm) | t (mm) | 算式 | $t_r$ (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 5.20 | 40 | 89.10 | 7.60 | STPG370 | S | 3 | 93 | 1.00 | 12.5% | 6.65 | 2.44 | C | 3.00 |
| 2 | 5.20 | 40 | 89.10 | 7.60 | SUS304TP | S | 3 | 129 | 1.00 | 12.5% | 6.65 | 1.77 | A | 1.77 |
| 3 | 5.20 | 40 | 89.10 | 5.50 | SUS304TP | S | 3 | 129 | 1.00 | 12.5% | 4.81 | 1.77 | A | 1.77 |
| 4 | 5.20 | 40 | 60.50 | 3.90 | SUS304TP | S | 3 | 129 | 1.00 | 0.50mm | 3.40 | 1.20 | A | 1.20 |
| 5 | 5.20 | 40 | 48.60 | 3.70 | SUS304TP | S | 3 | 129 | 1.00 | 0.50mm | 3.20 | 0.97 | A | 0.97 |
| 6 | 5.20 | 40 | 34.00 | 3.40 | SUS304TP | S | 3 | 129 | 1.00 | 0.50mm | 2.90 | 0.68 | A | 0.68 |

評価：$t_s \geqq t_r$，よって十分である。

4.3 管の穴と補強計算書（クラス３配管）

設計・建設規格　PPD-3420，PPD-3422

| ＮＯ． | | SP1 | |
|---|---|---|---|
| 形　　式 | | | A |
| 最高使用圧力 | | P　(MPa) | 5.20 |
| 最高使用温度 | | (℃) | 40 |
| 主管と管台の角度 | | α　(°) | 90 |
| 主管 | 材　料 | | STPG370 |
| | 許容引張応力 | $S_r$　(MPa) | 93 |
| | 外　径 | $D_{or}$　(mm) | 89.10 |
| | 内　径 | $D_{ir}$　(mm) | 75.80 |
| | 公称厚さ | $t_{ro}$　(mm) | 7.60 |
| | 厚さの負の許容差 | $Q_r$ | 12.5% |
| | 最小厚さ | $t_r$　(mm) | 6.65 |
| | 継手効率 | η | 1.00 |
| 管台 | 材　料 | | S25C |
| | 外　径 | $D_{ob}$　(mm) | 42.70 |
| | 内　径 | $D_{ib}$　(mm) | 26.00 |
| | 公称厚さ | $t_{bn}$　(mm) | 8.35 |
| 穴の径 | | d　(mm) | 26.00 |
| $d_{r1}=D_{ir}/4$ | | (mm) | 18.95 |
| 61，$d_{r1}$の小さい値 | | (mm) | 18.95 |
| K | | | 0.4117 |
| 200，$d_{r2}$の小さい値 | | (mm) | 56.66 |
| 補強不要な穴の最大径 | | $d_{fr}$　(mm) | 56.66 |

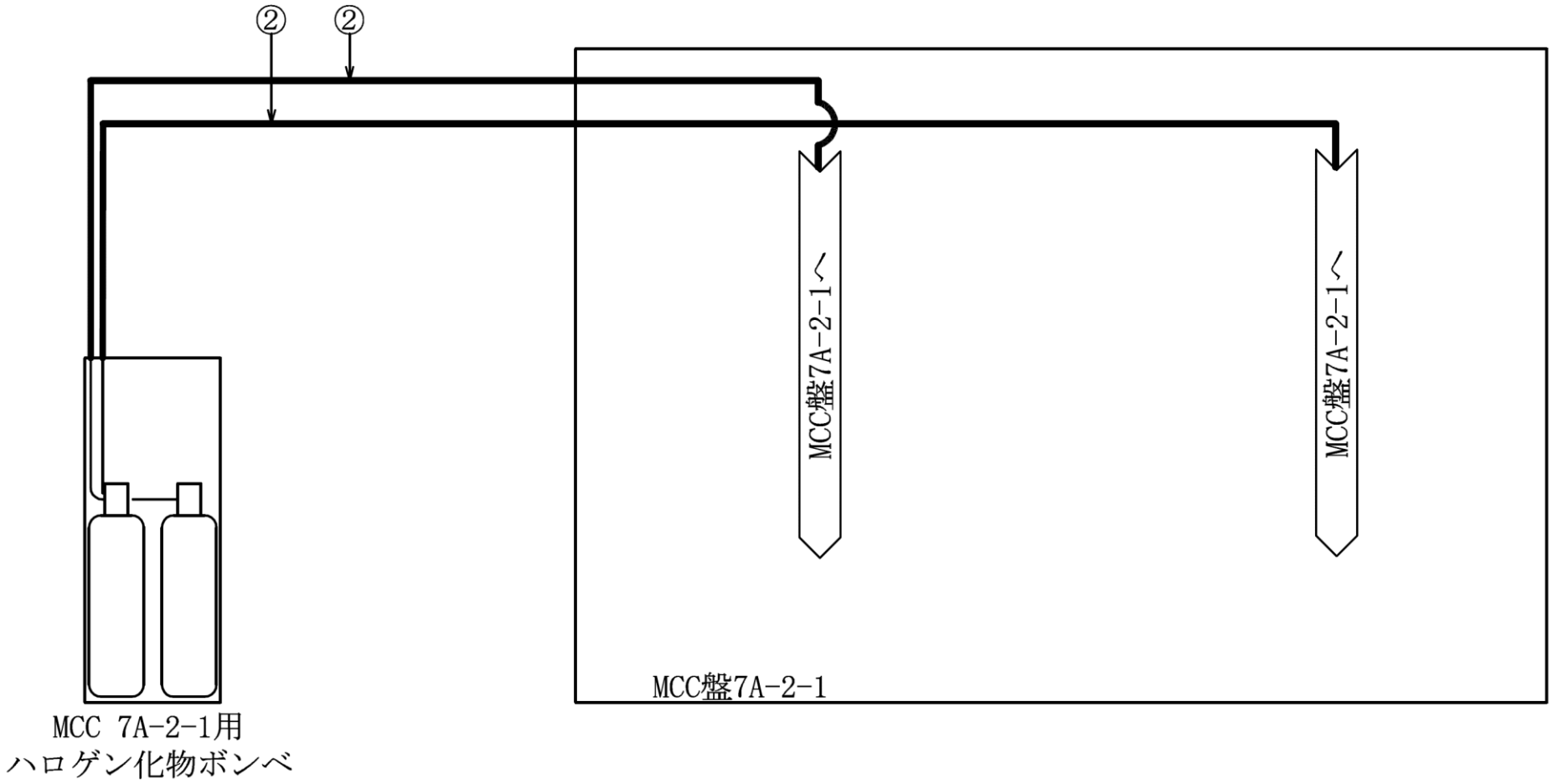
評価：　$d \leqq d_{fr}$

よって管の穴の補強計算は必要ない。

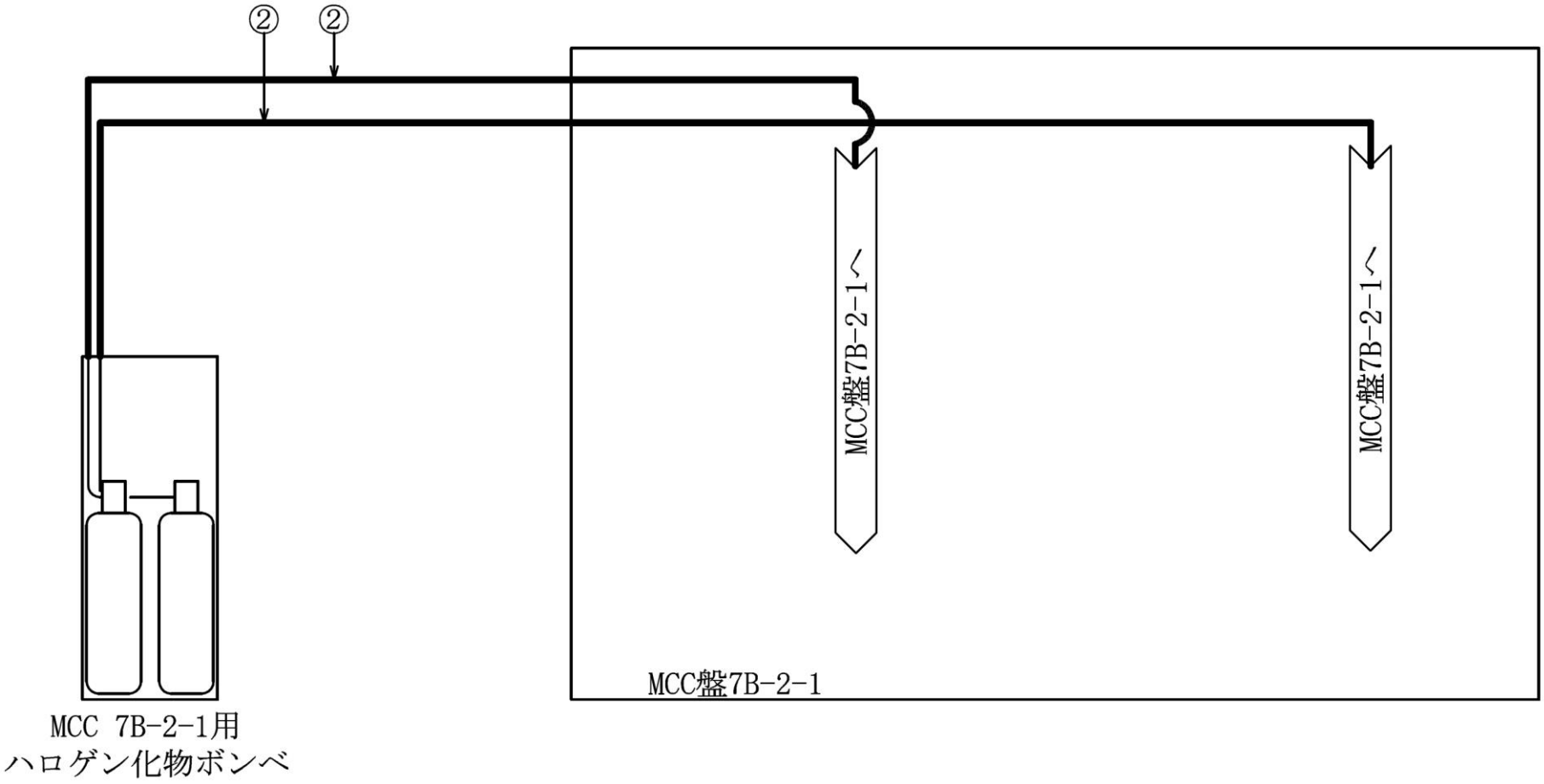
K7 ① V-3-3-7-2-1-2 R1

5.　電源盤・制御盤消火設備

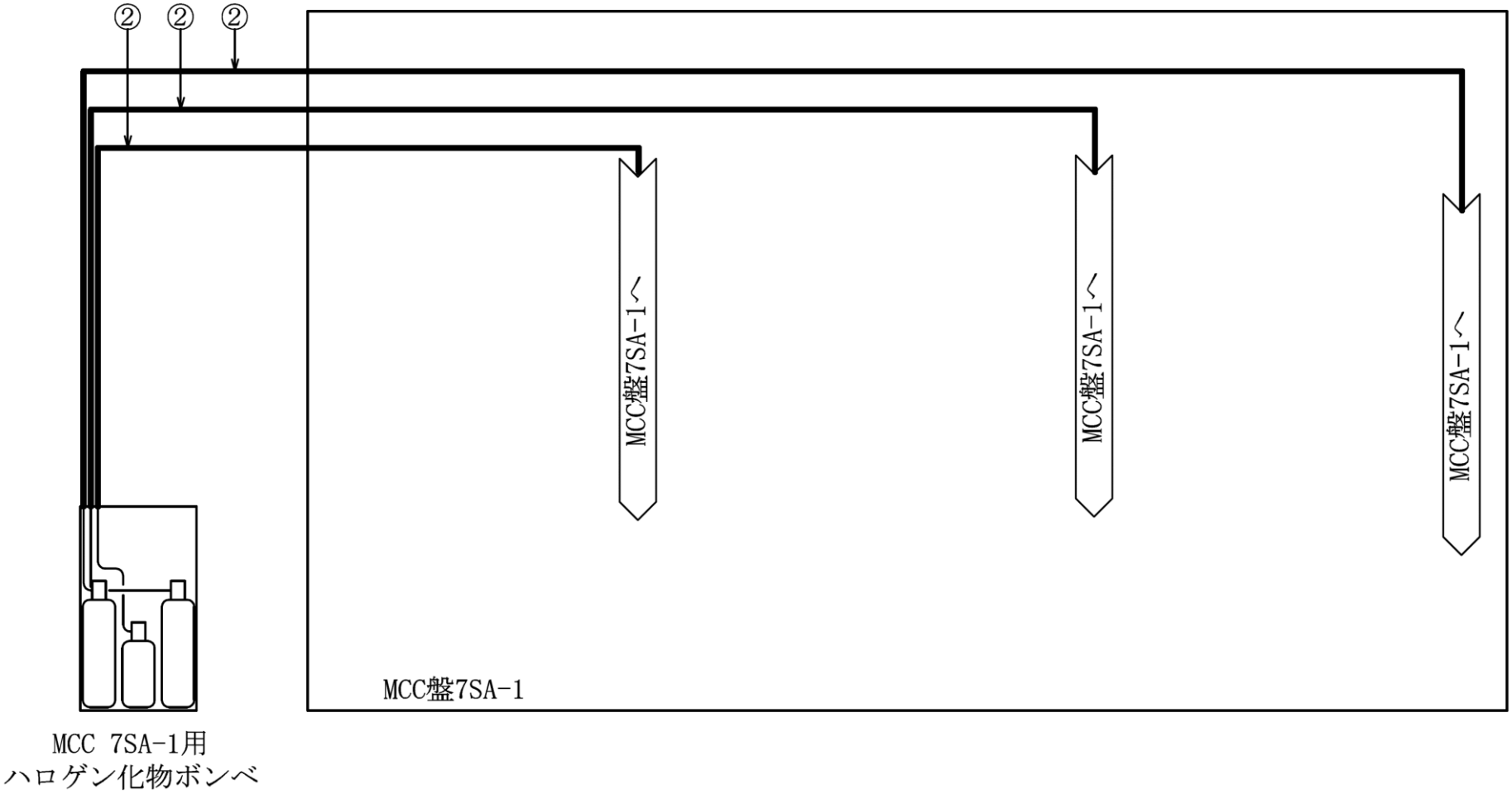
5.1　概略系統図



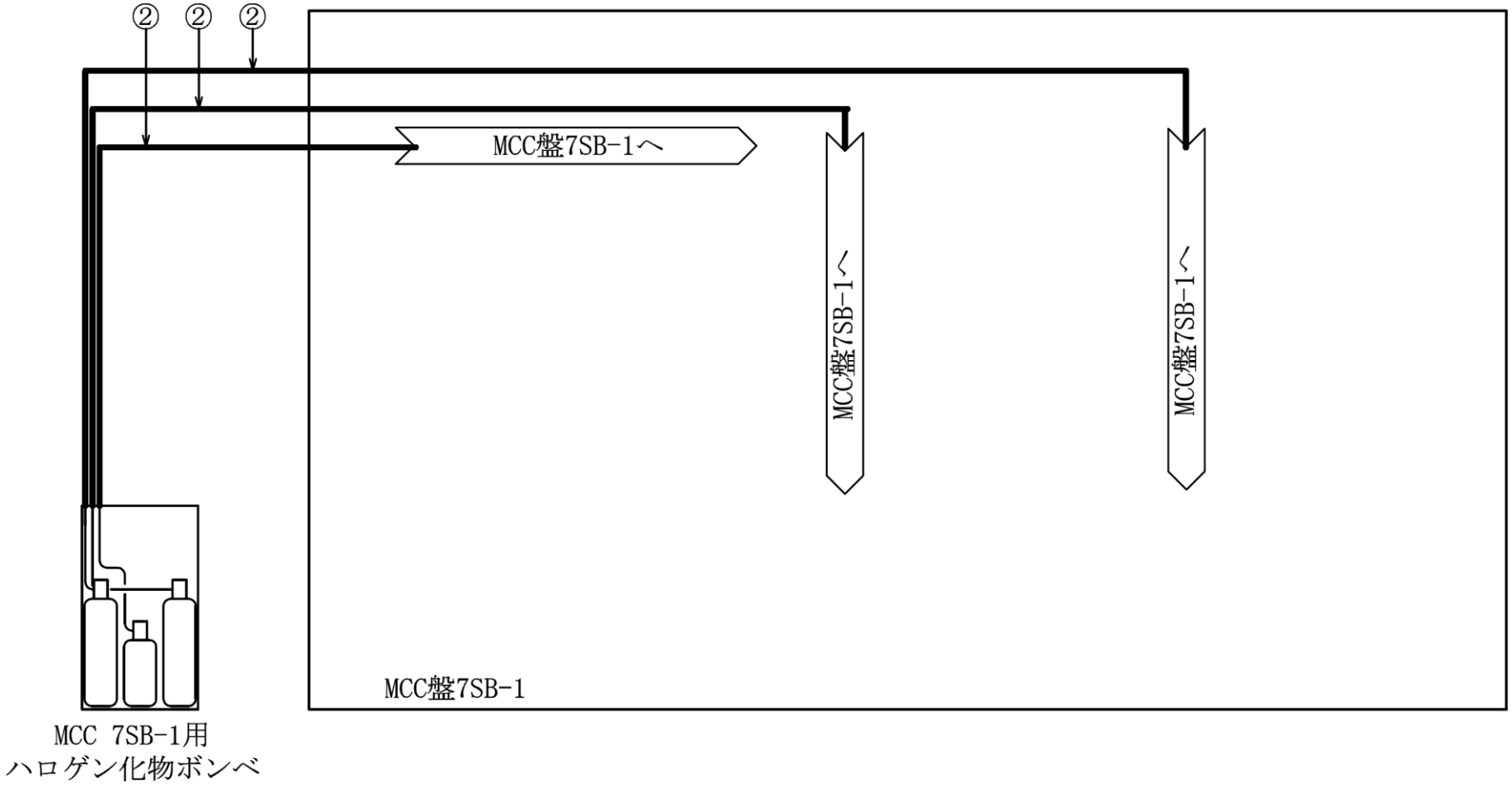

電源盤・制御盤消火設備
概略系統図（その1）



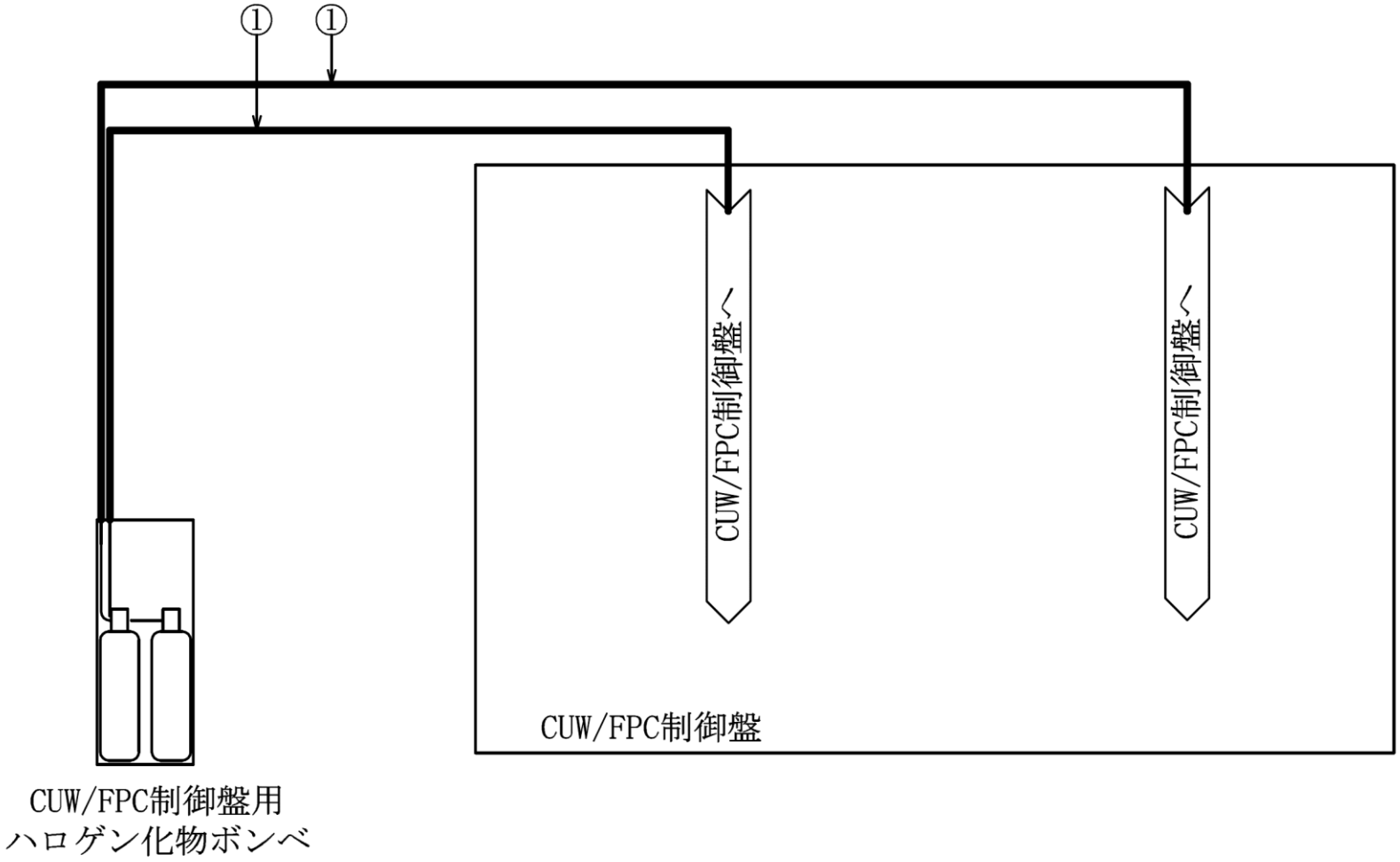

電源盤・制御盤消火設備
概略系統図（その 2）




電源盤・制御盤消火設備
概略系統図（その 3）




電源盤・制御盤消火設備
概略系統図（その 4）




電源盤・制御盤消火設備
概略系統図（その 5）

5.2　管の強度計算書（クラス３配管）

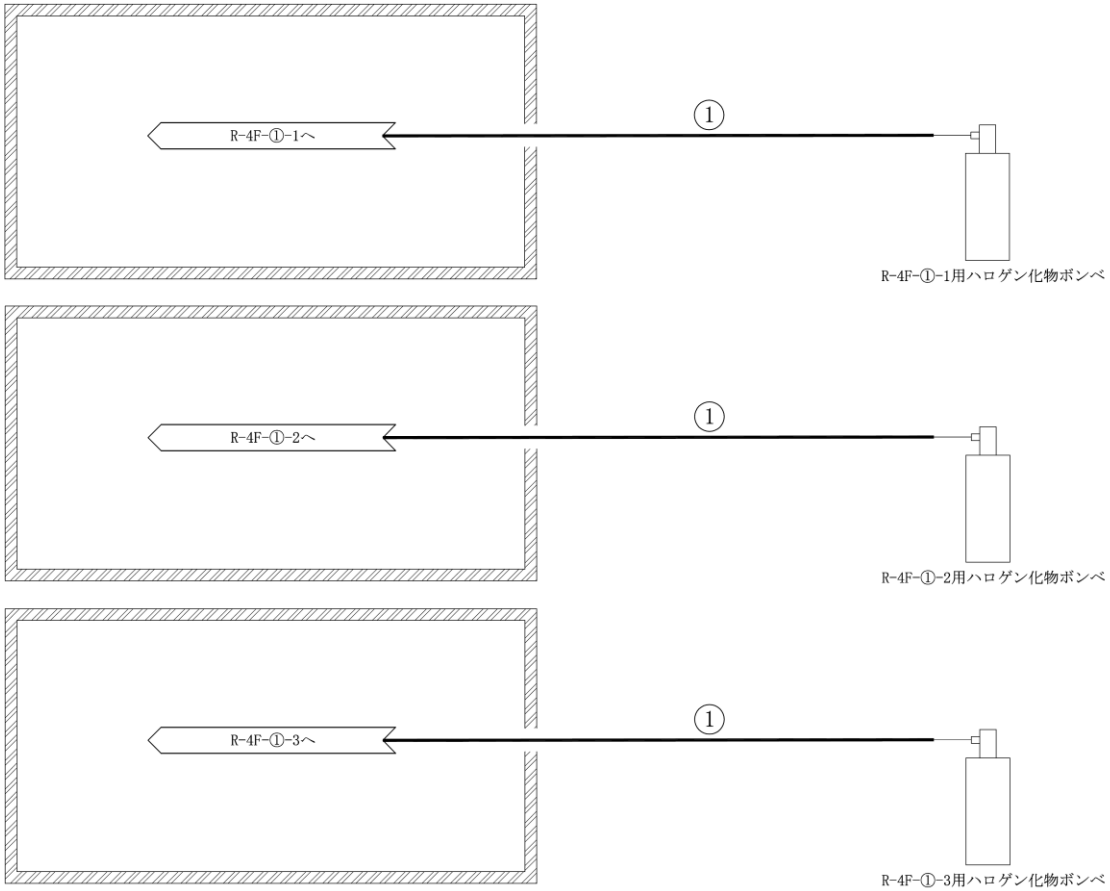
設計・建設規格　PPD-3411

| NO. | 最高使用圧力 P (MPa) | 最高使用温度 (℃) | 外径 $D_o$ (mm) | 公称厚さ (mm) | 材料 | 製法 | クラス | S (MPa) | $\eta$ | Q (%, mm) | $t_s$ (mm) | t (mm) | 算式 | $t_r$ (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 4.60 | 40 | [redacted] | | C1220T | S | 3 | 41 | 1.00 | [redacted] | | | A | 0.81 |
| 2 | 4.60 | 40 | | | C1220T | S | 3 | 41 | 1.00 | | | | A | 0.54 |

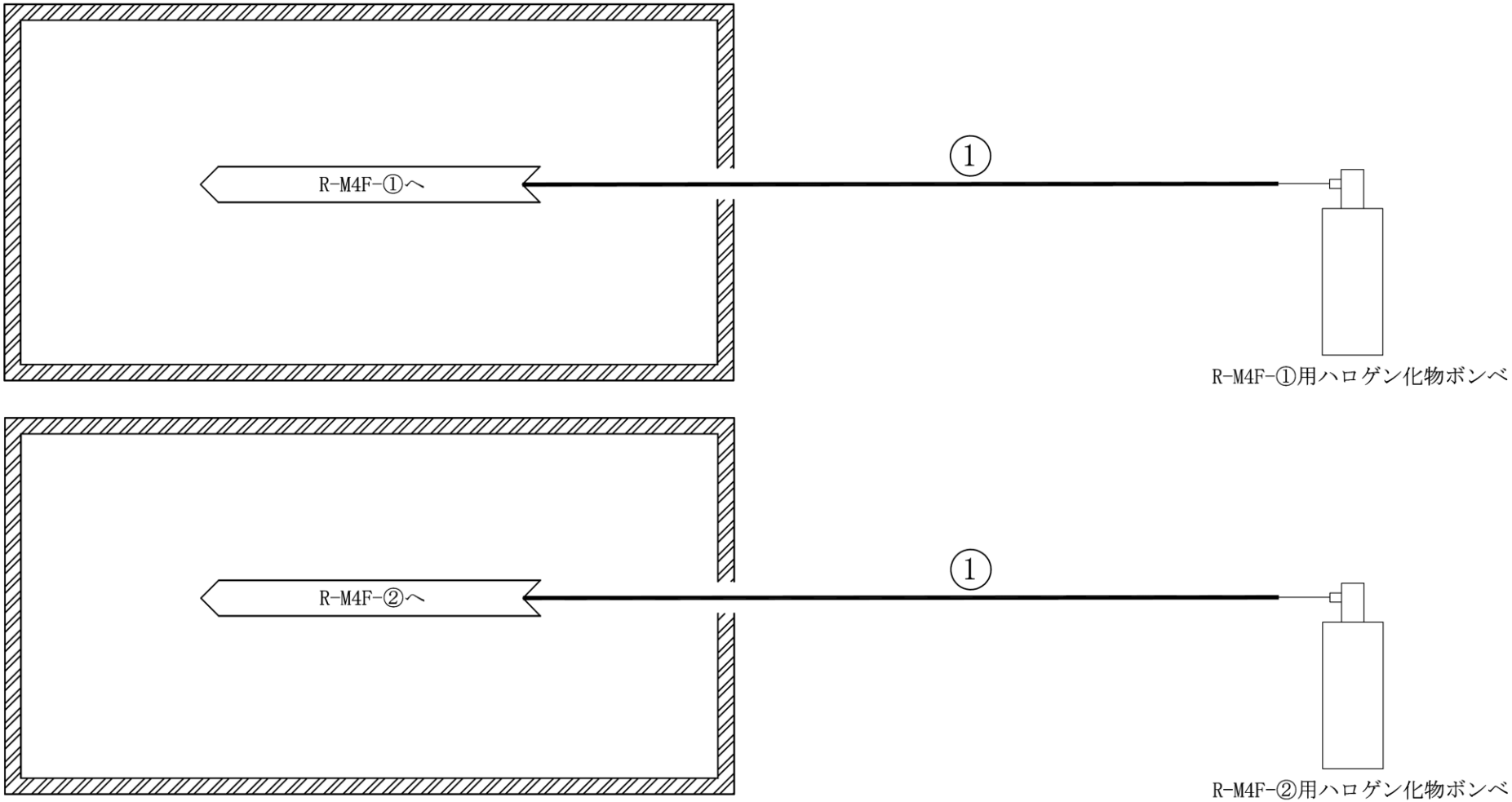
評価：$t_s \geqq t_r$，よって十分である。

# 6. ケーブルトレイ消火設備

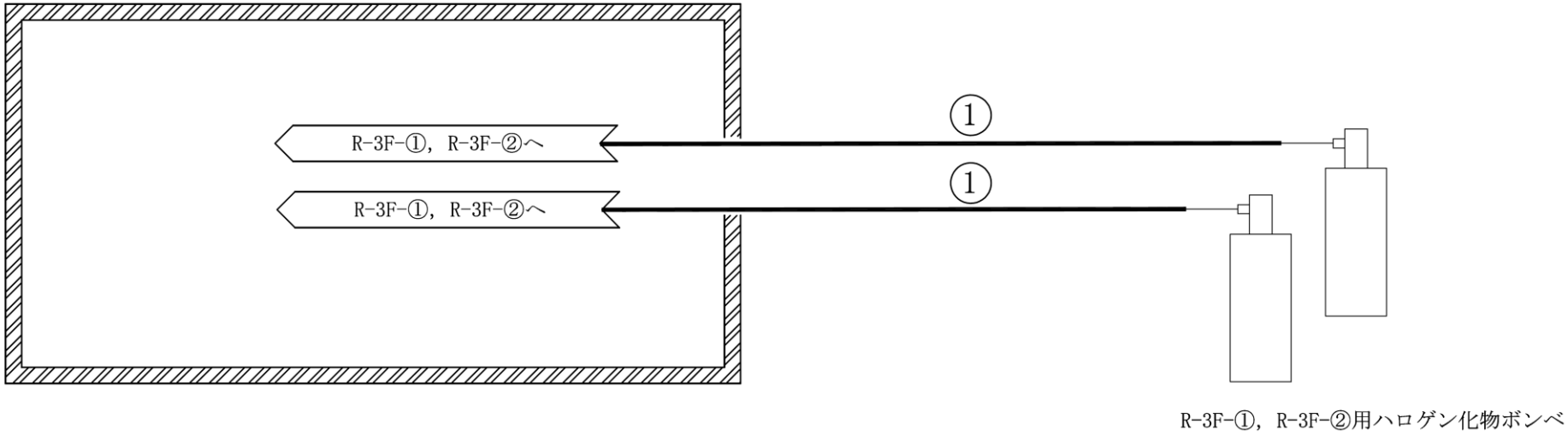
## 6.1 概略系統図



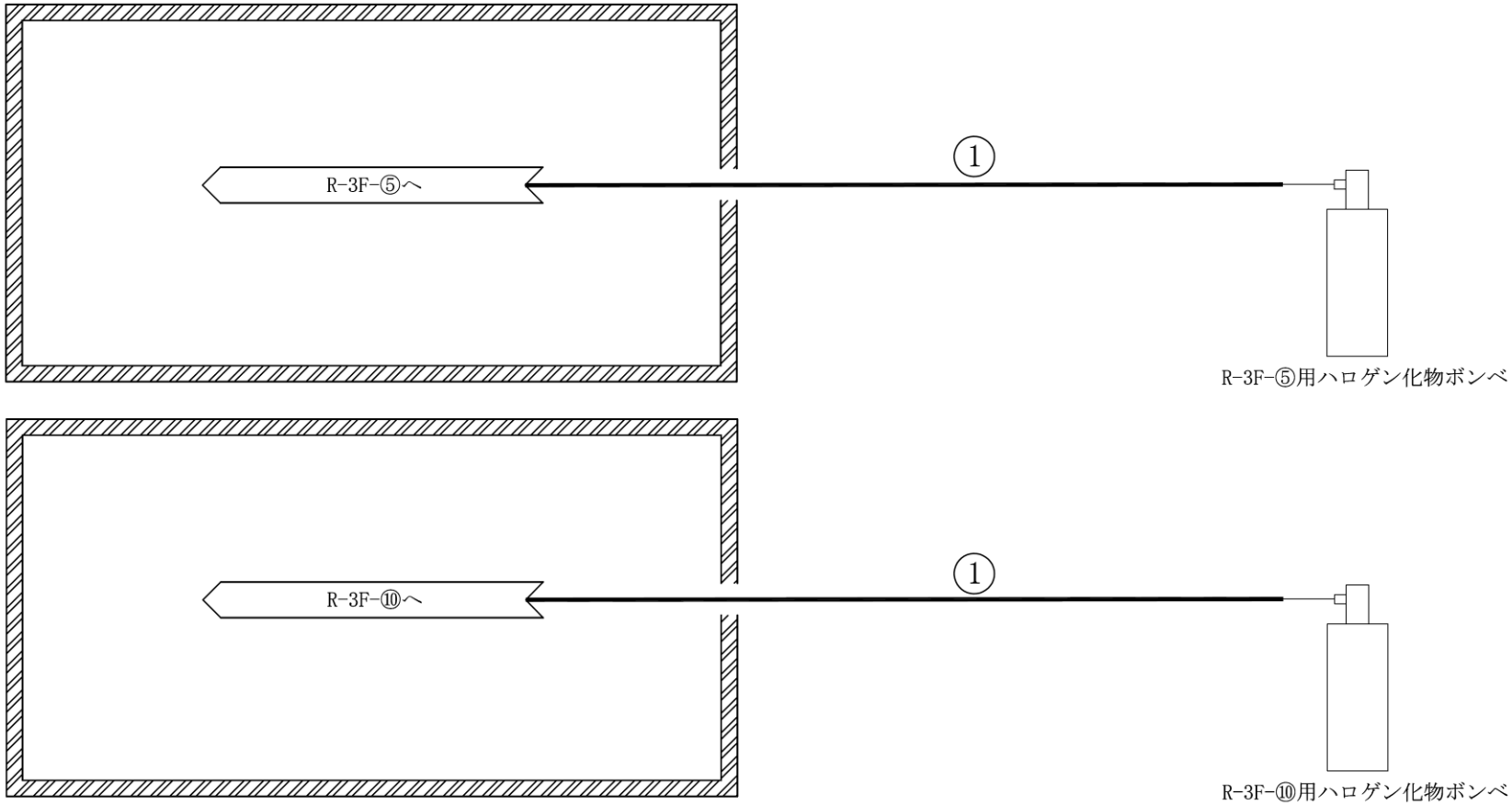

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 1）



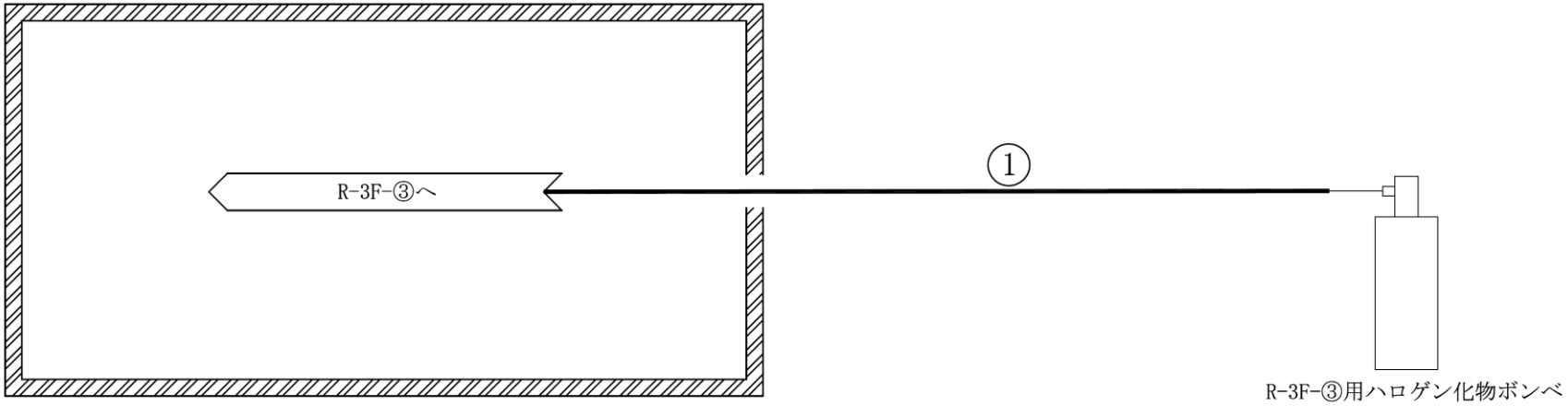

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 2）



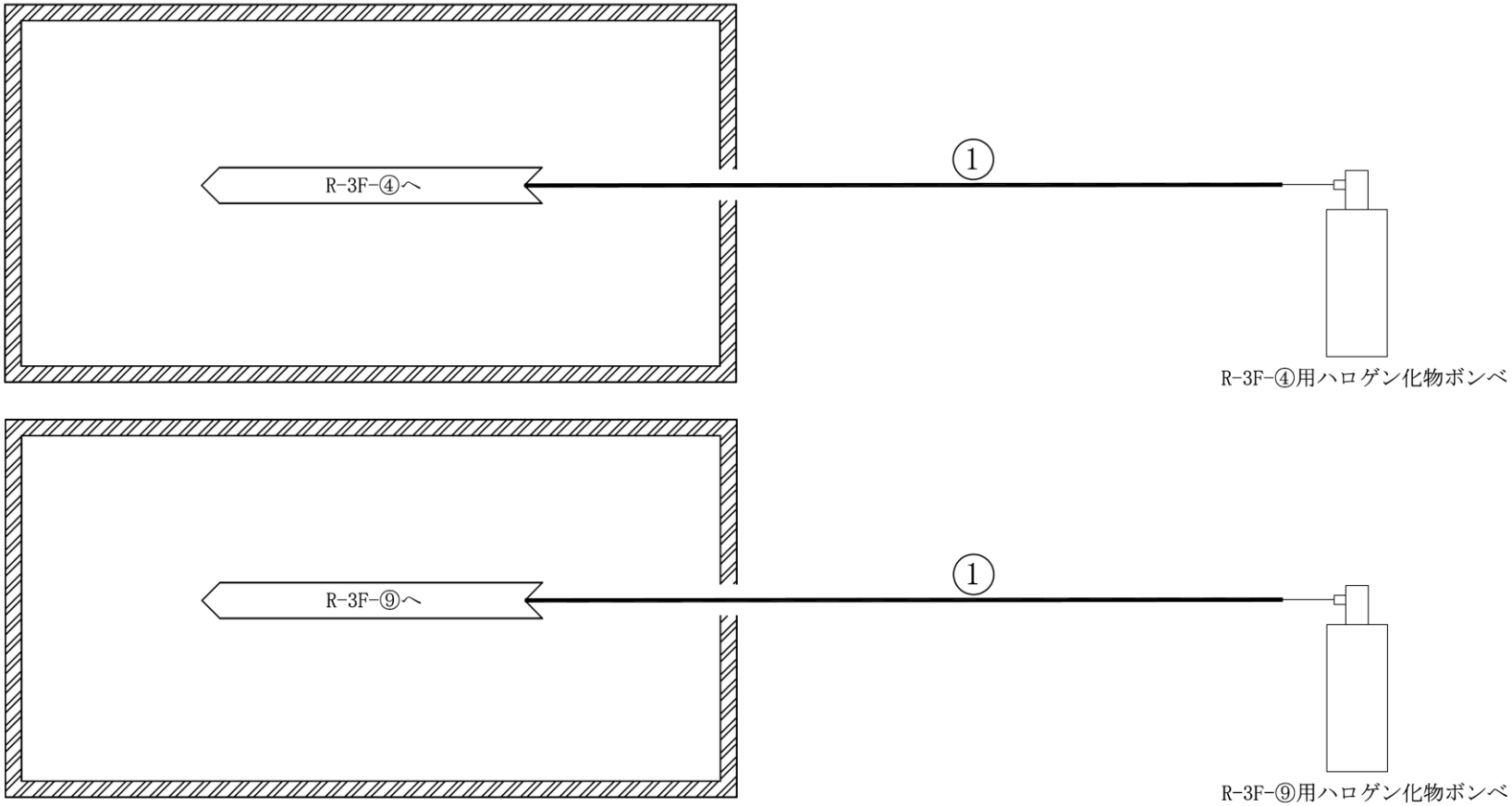

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 3）



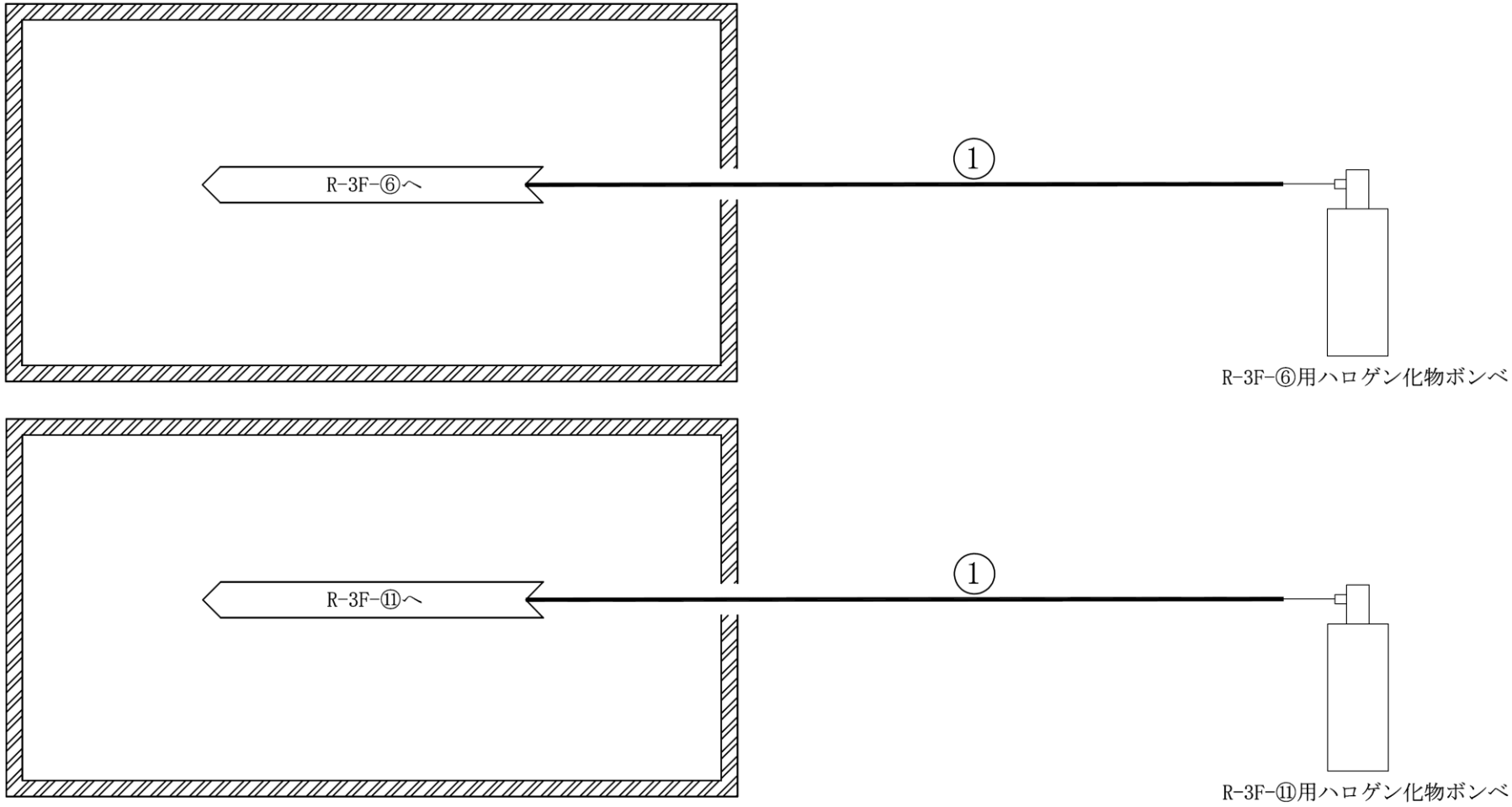

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 4）



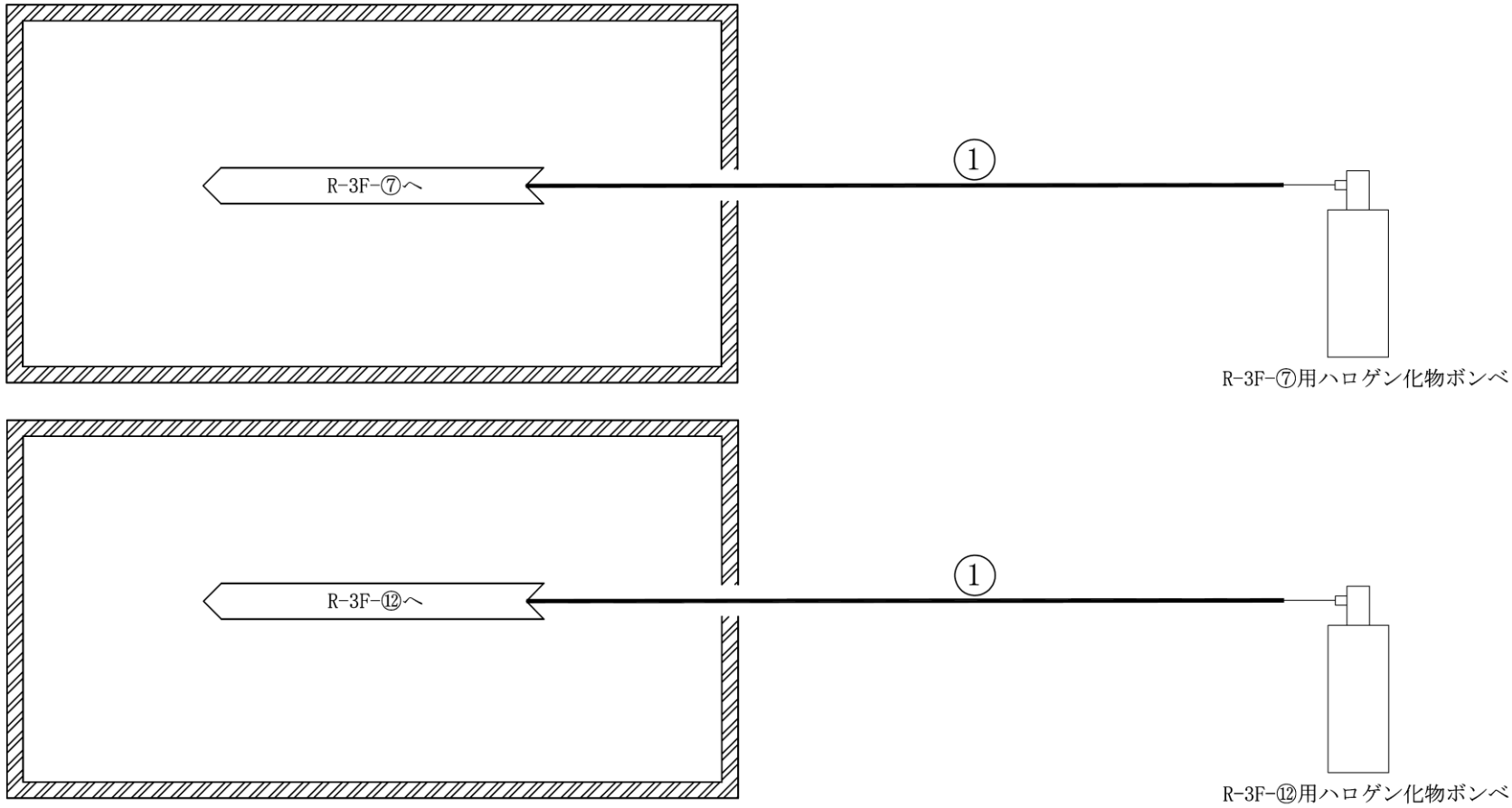

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 5）



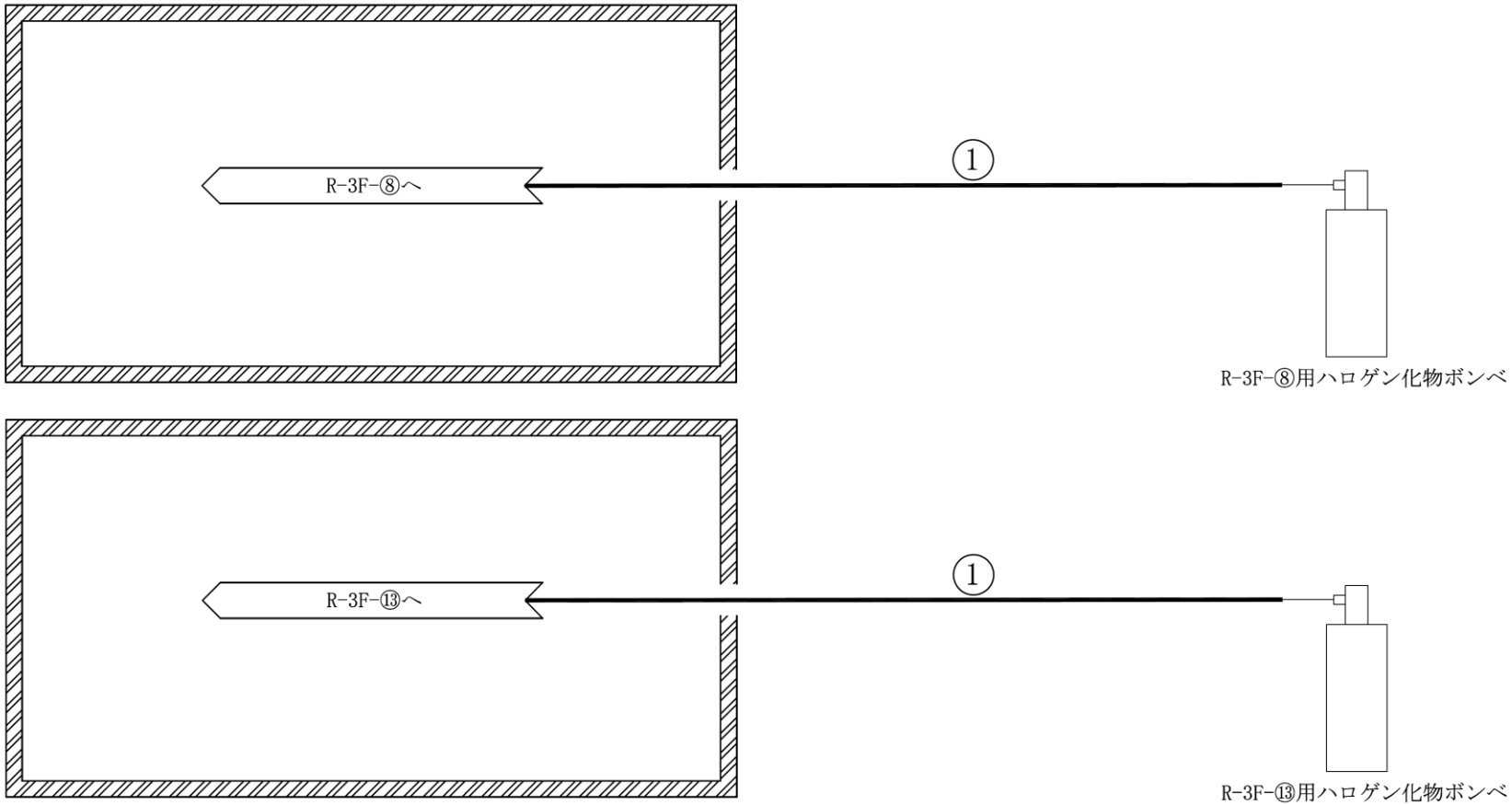

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 6）



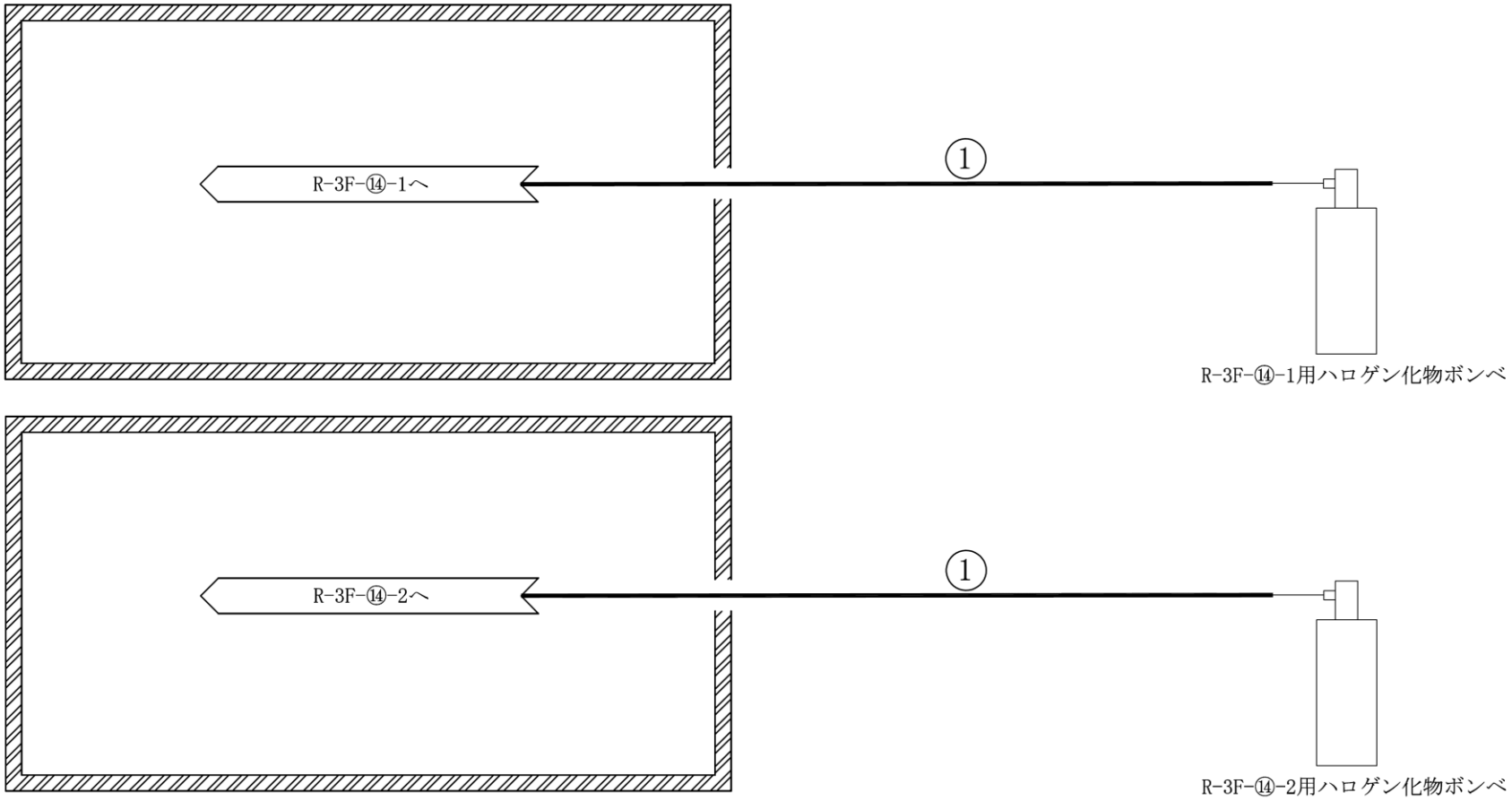

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 7）



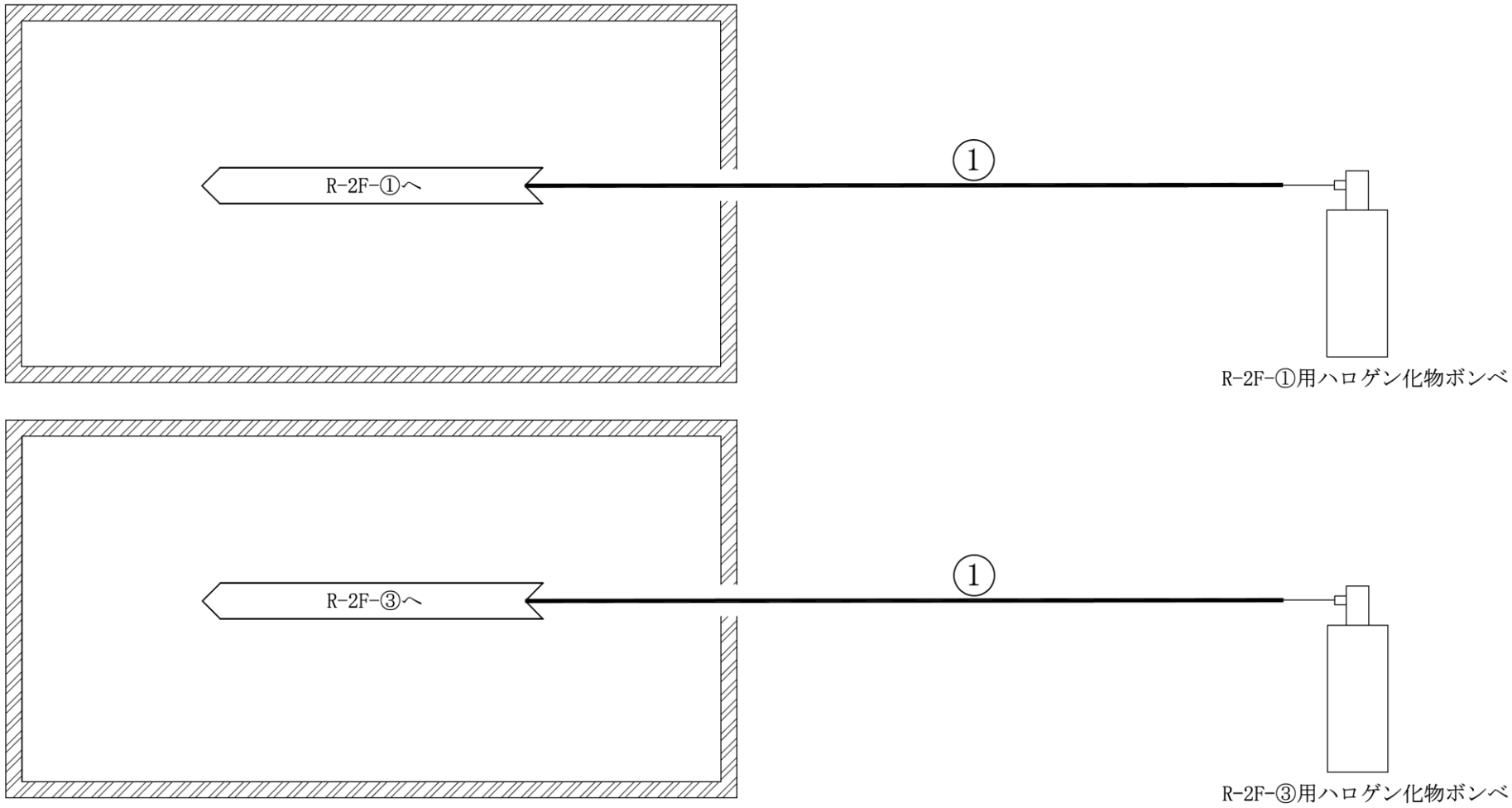

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 8）



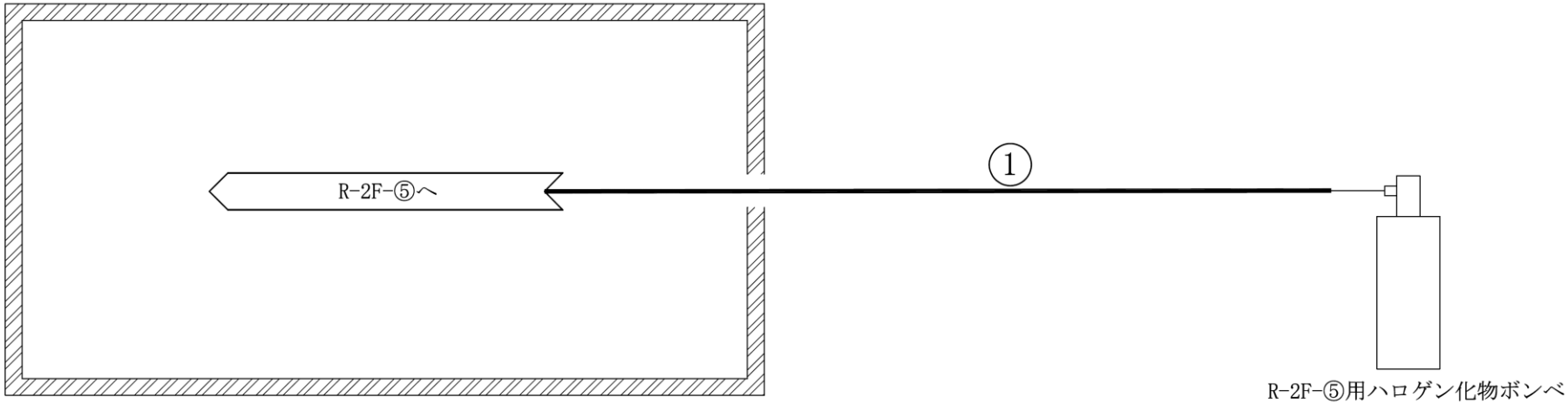

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 9）



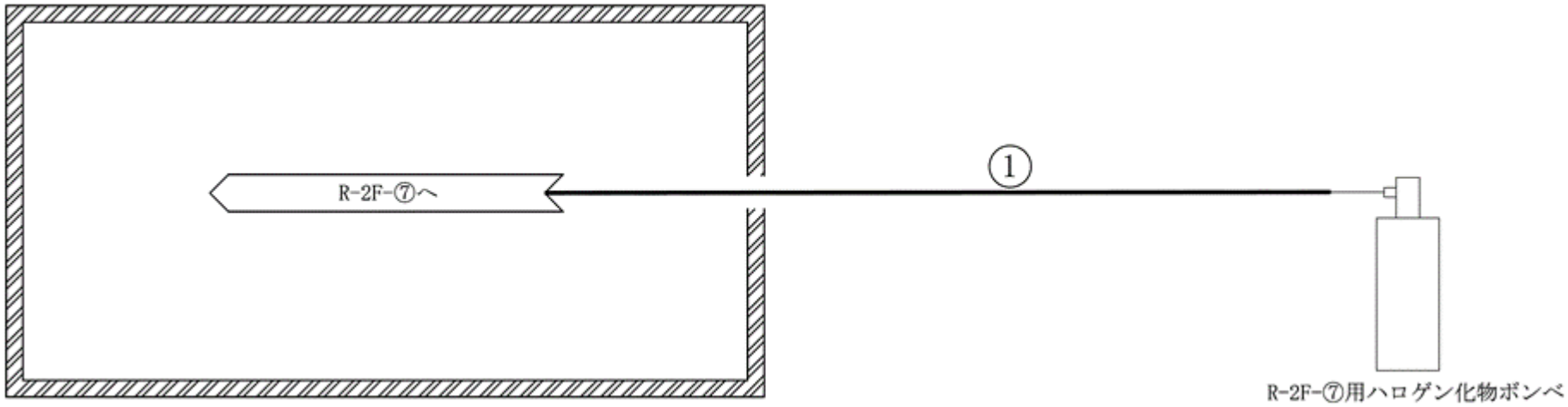

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 10）



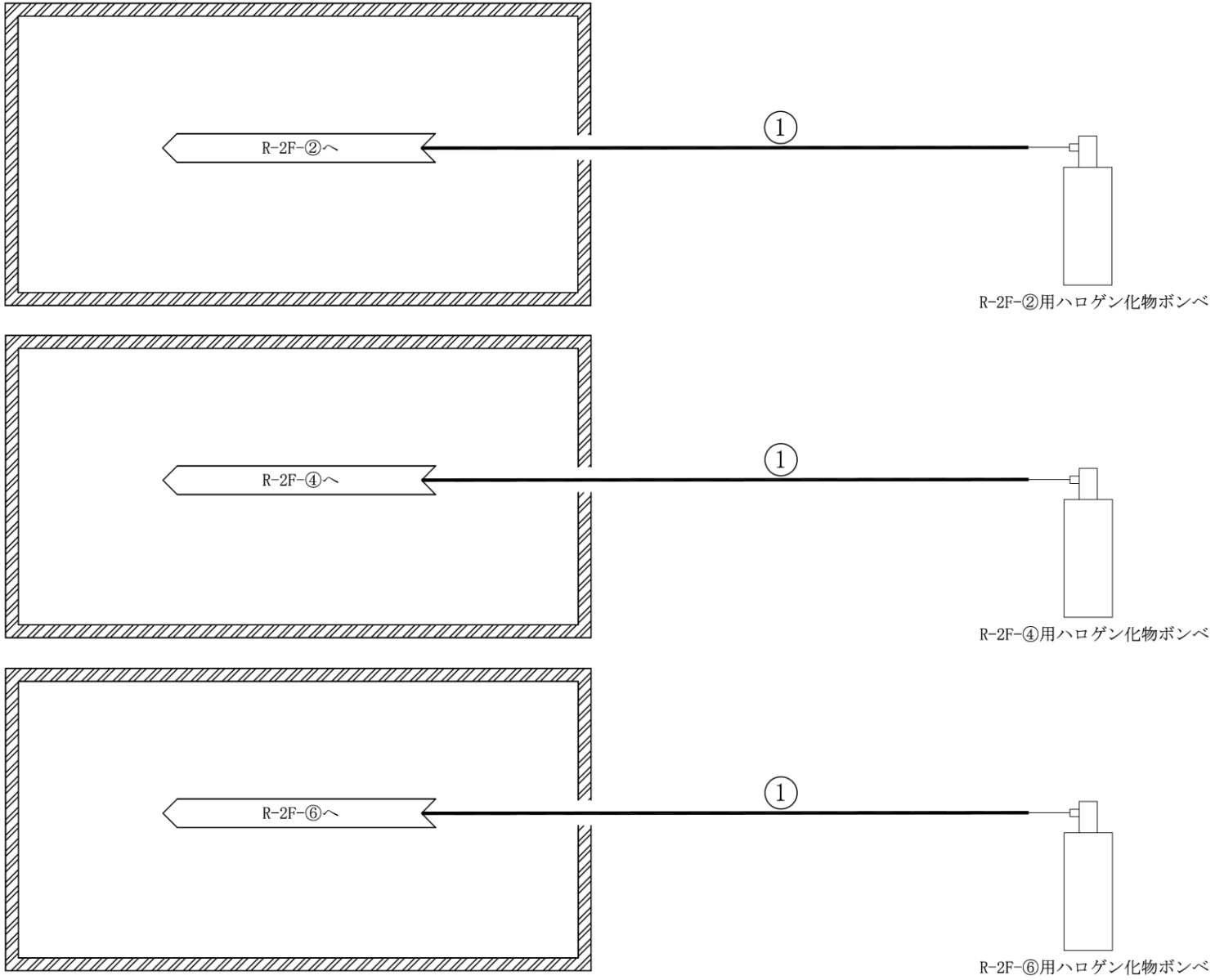

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 11）



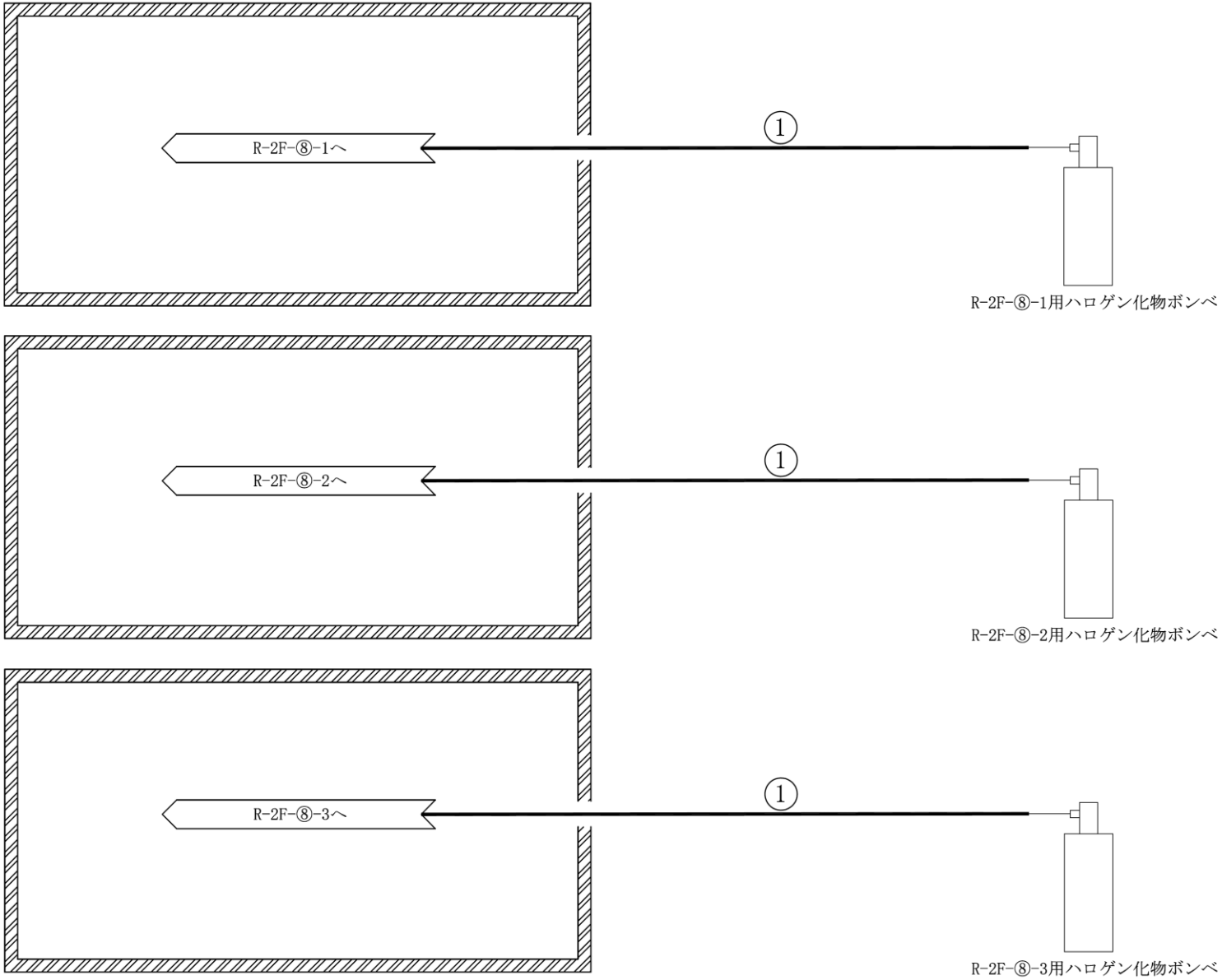

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 12）



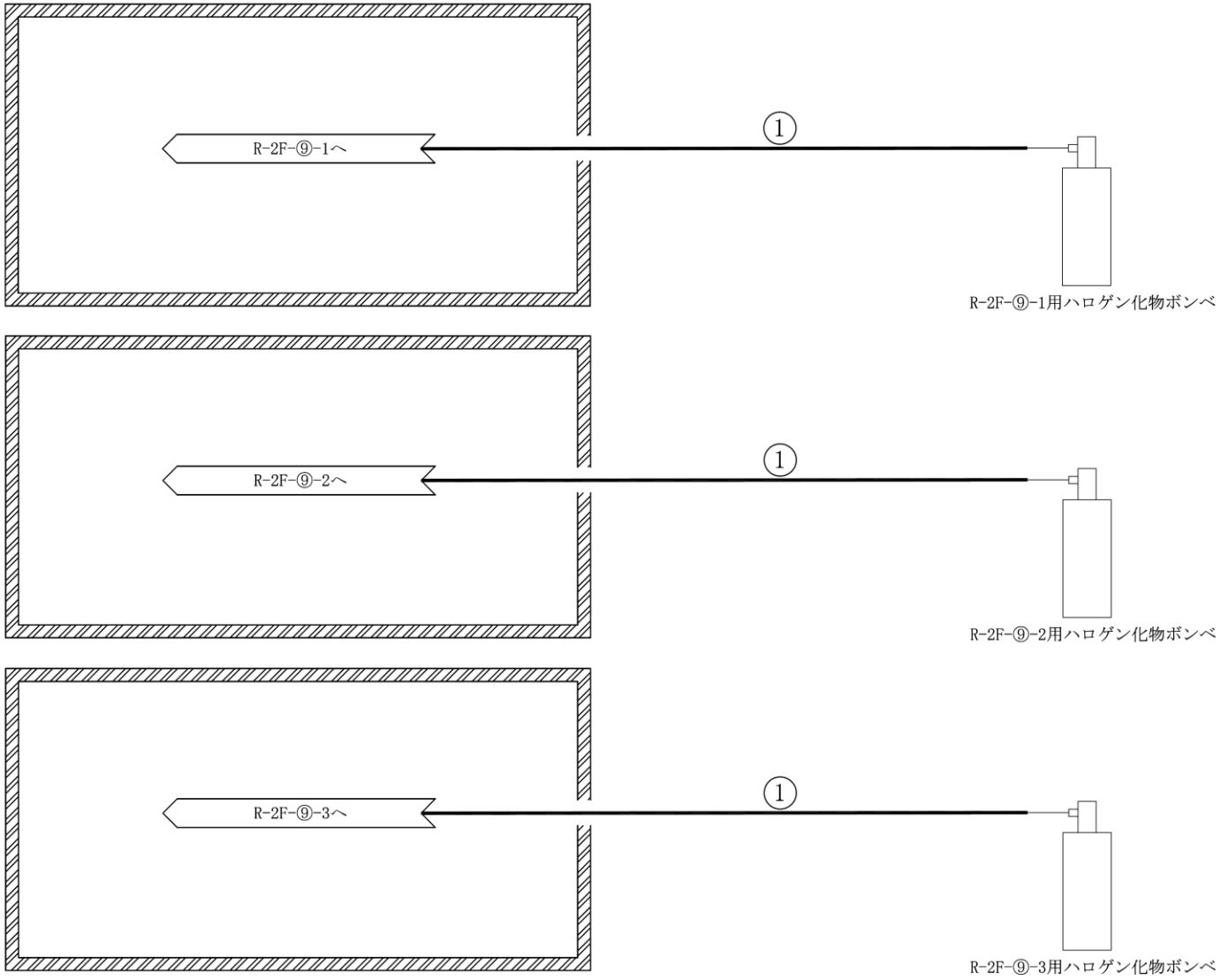

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 13）



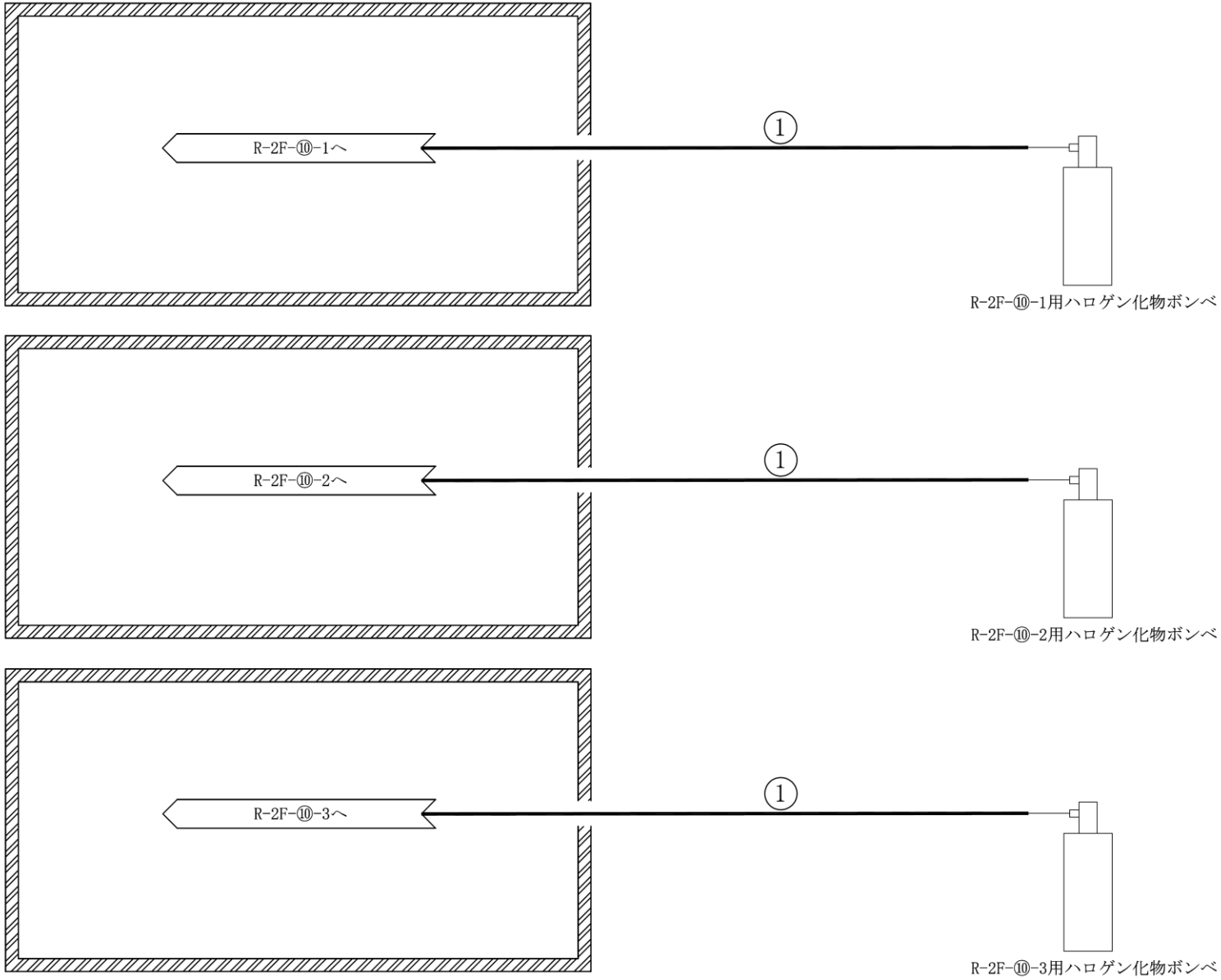

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 14）



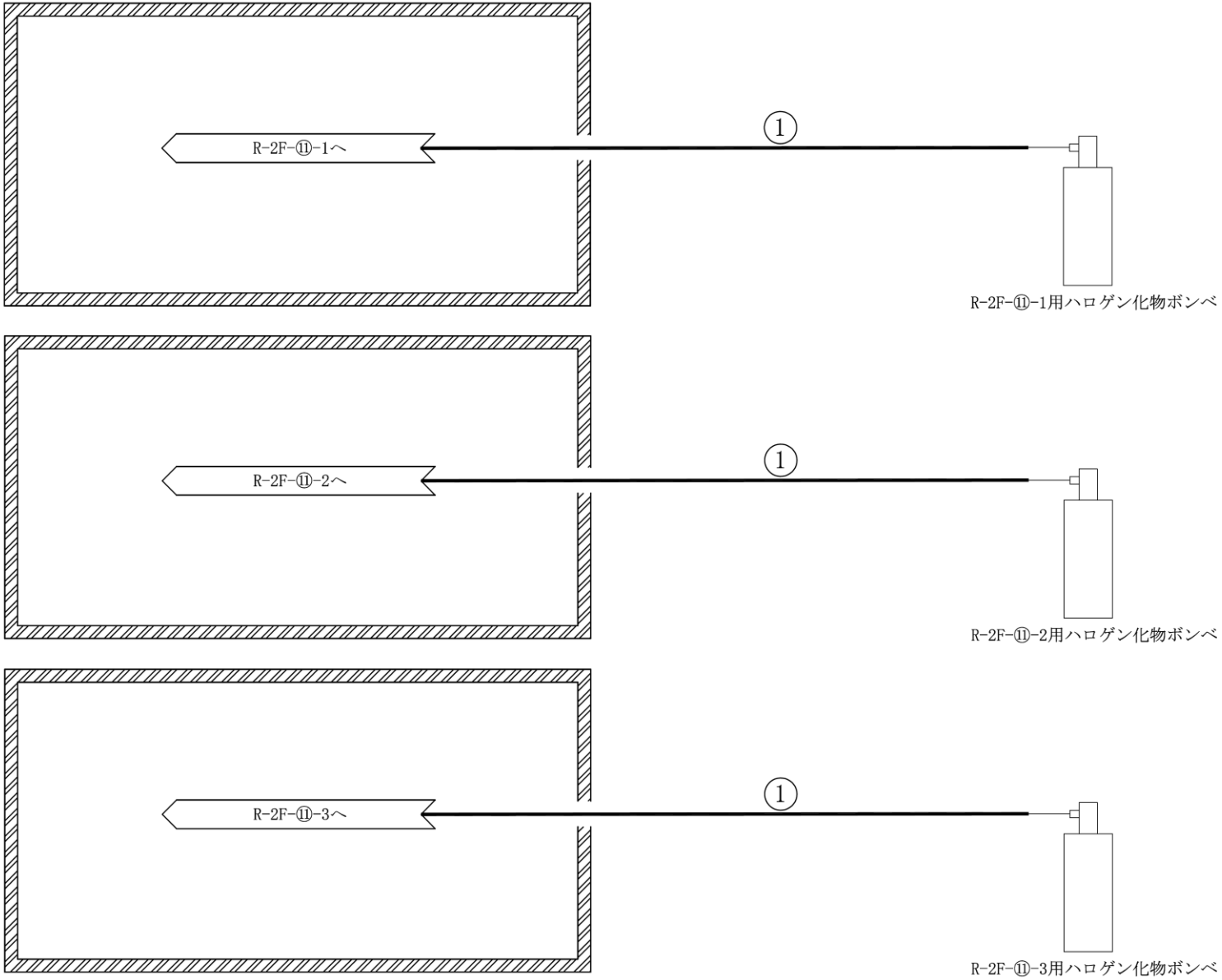

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 15）



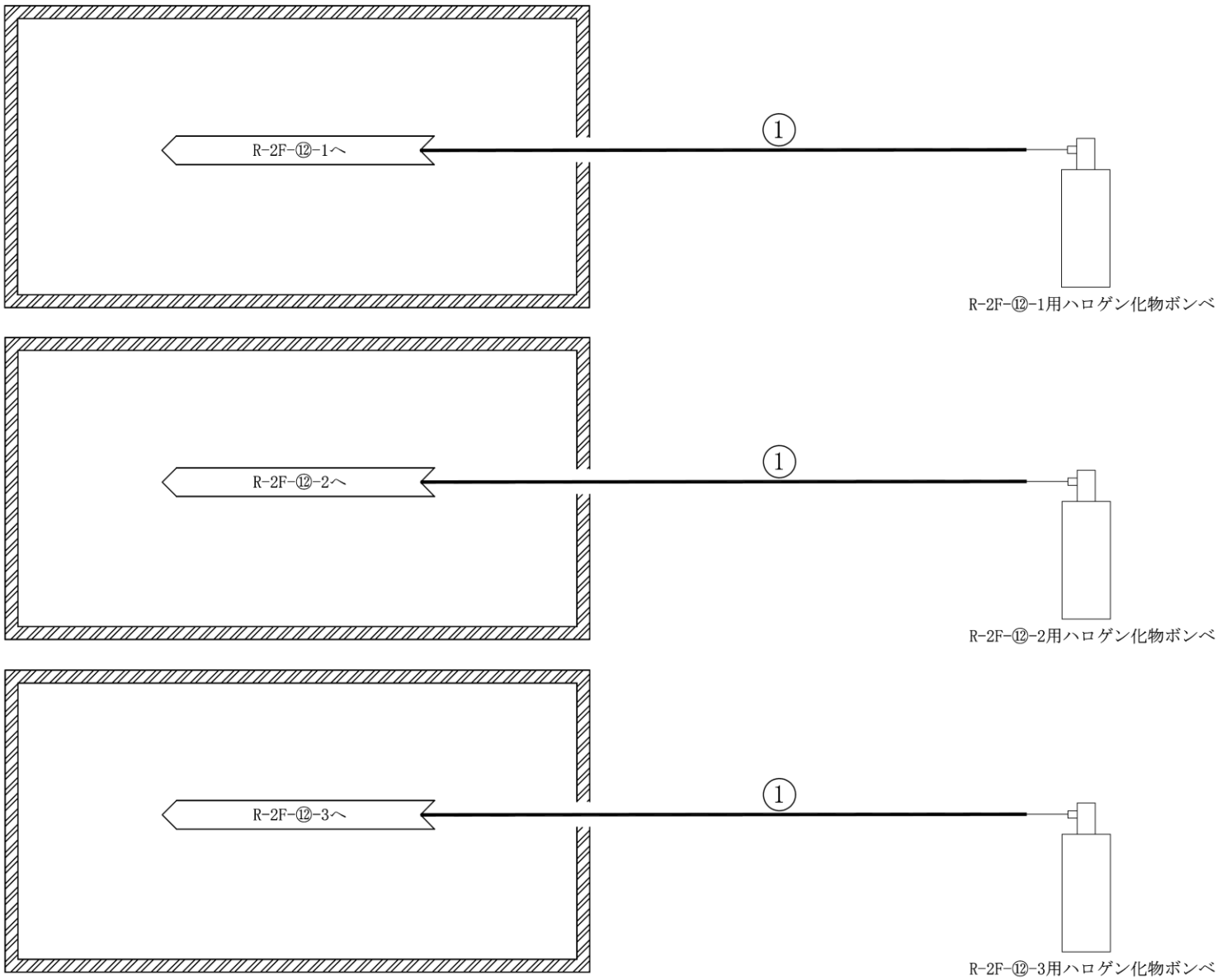

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 16）



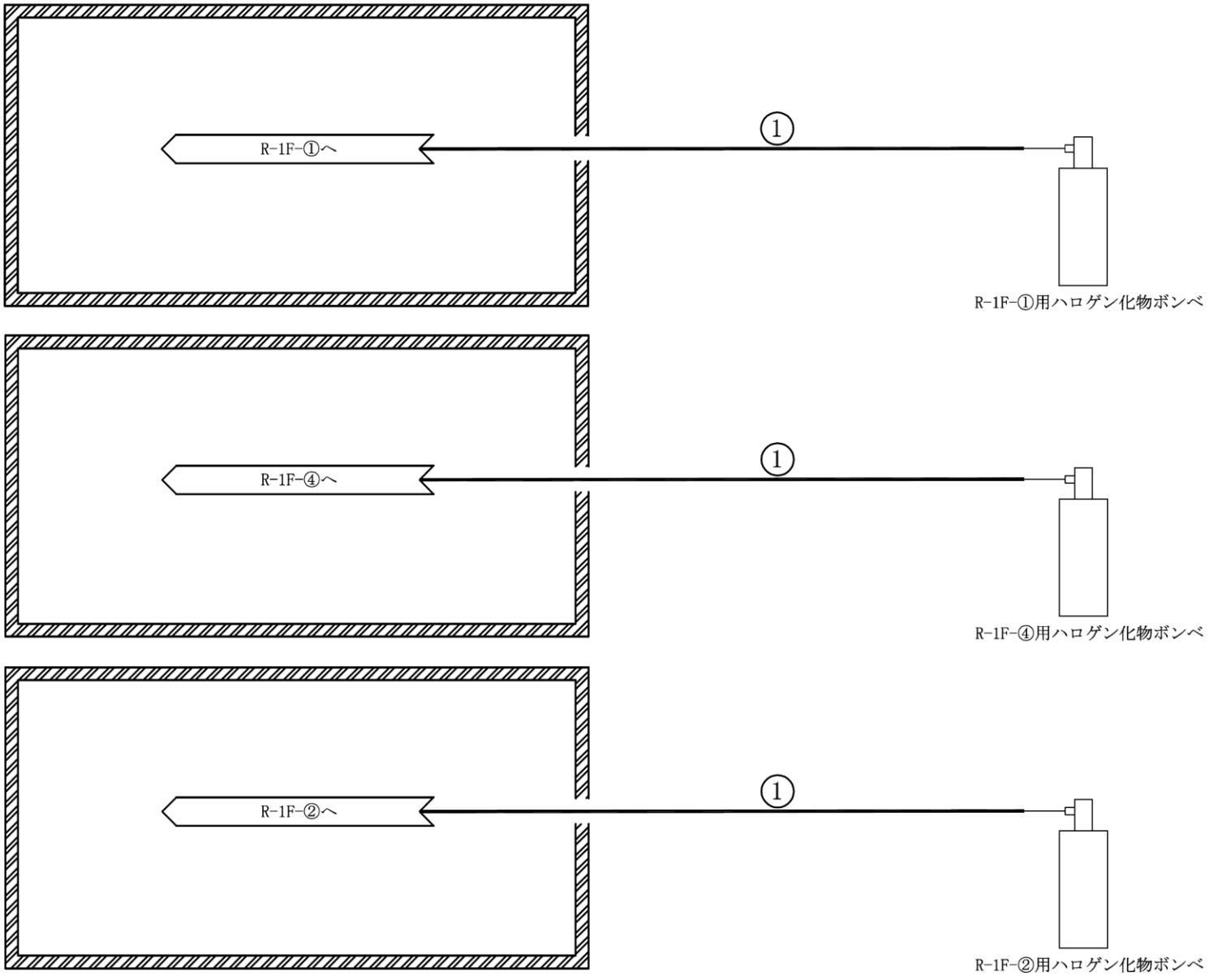

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 17）



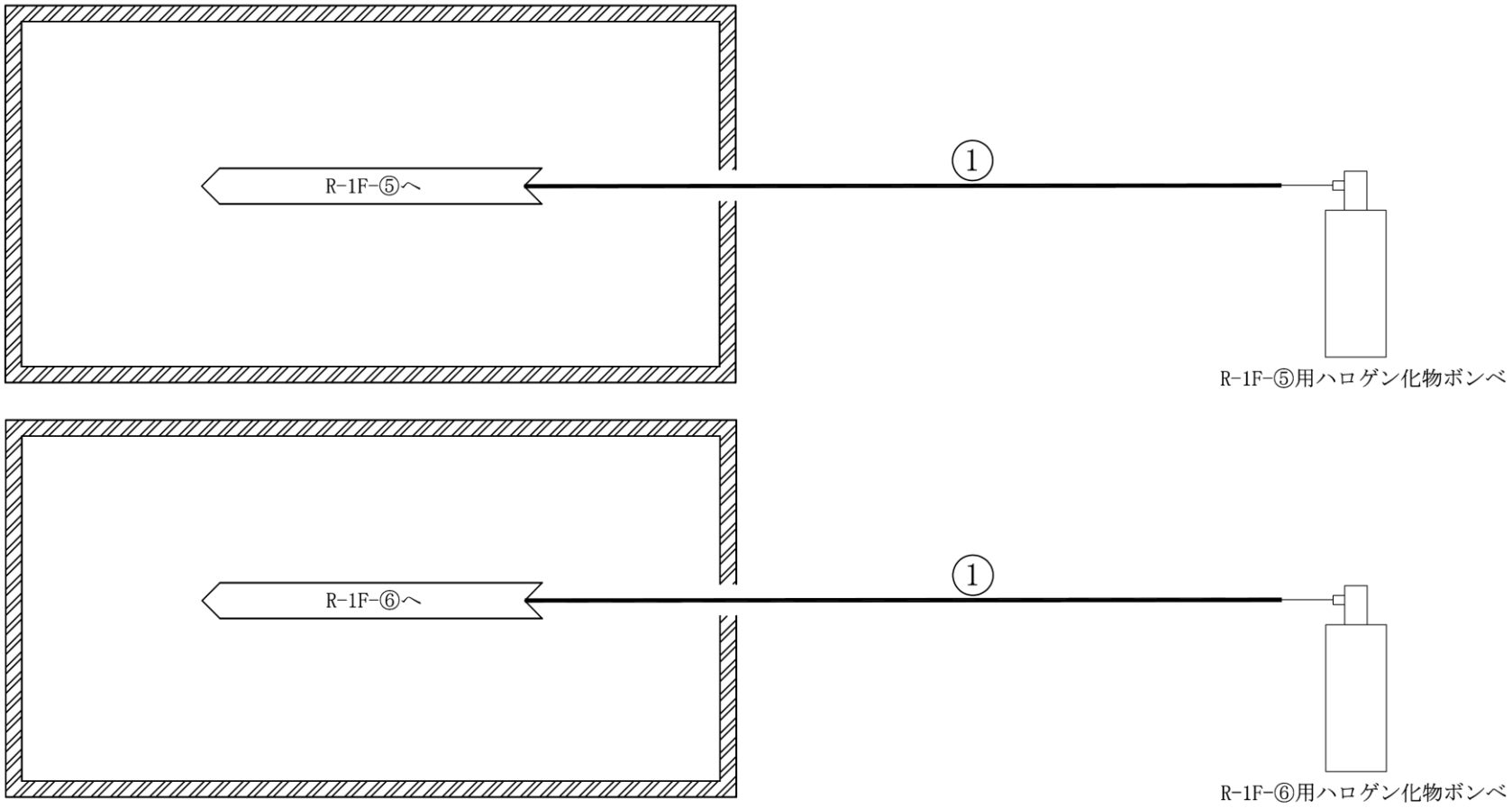

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 18）



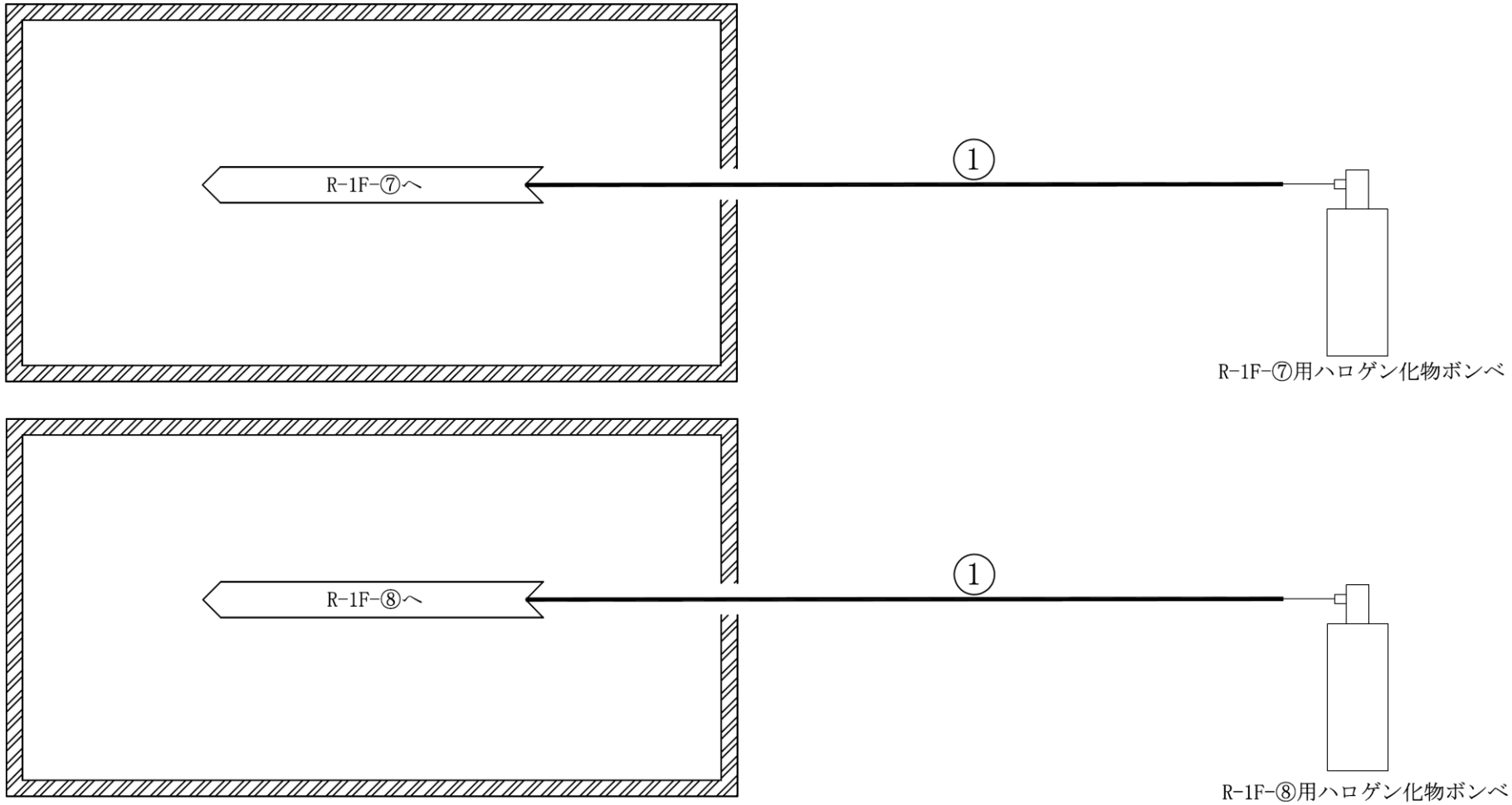

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 19）



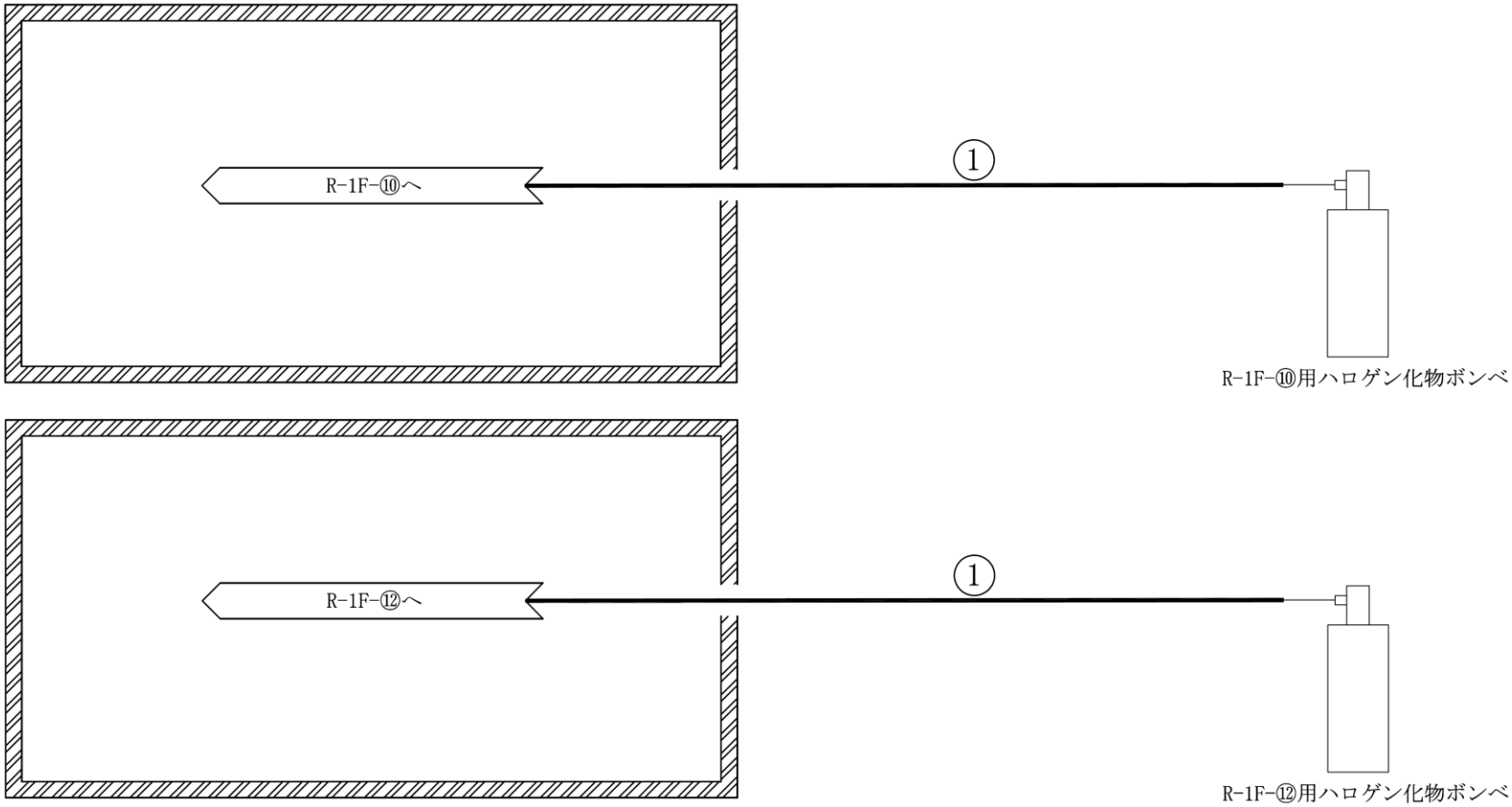

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 20）



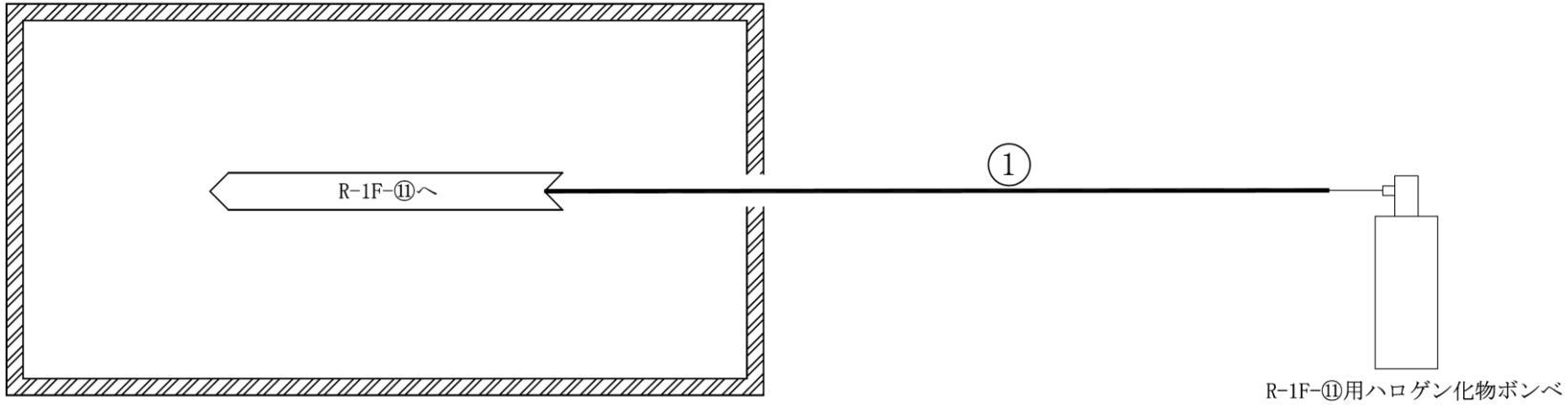

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 21）



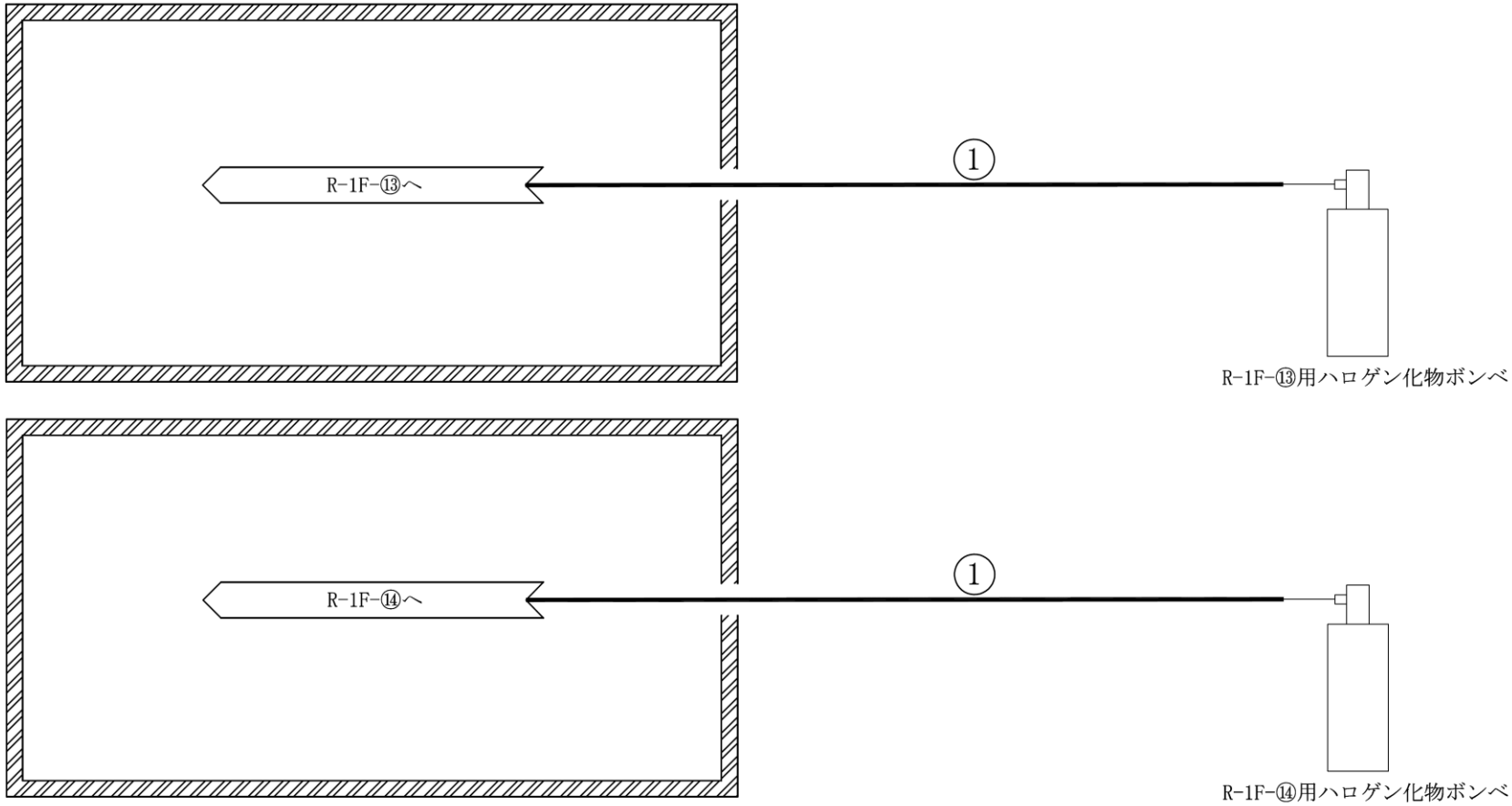

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 22）



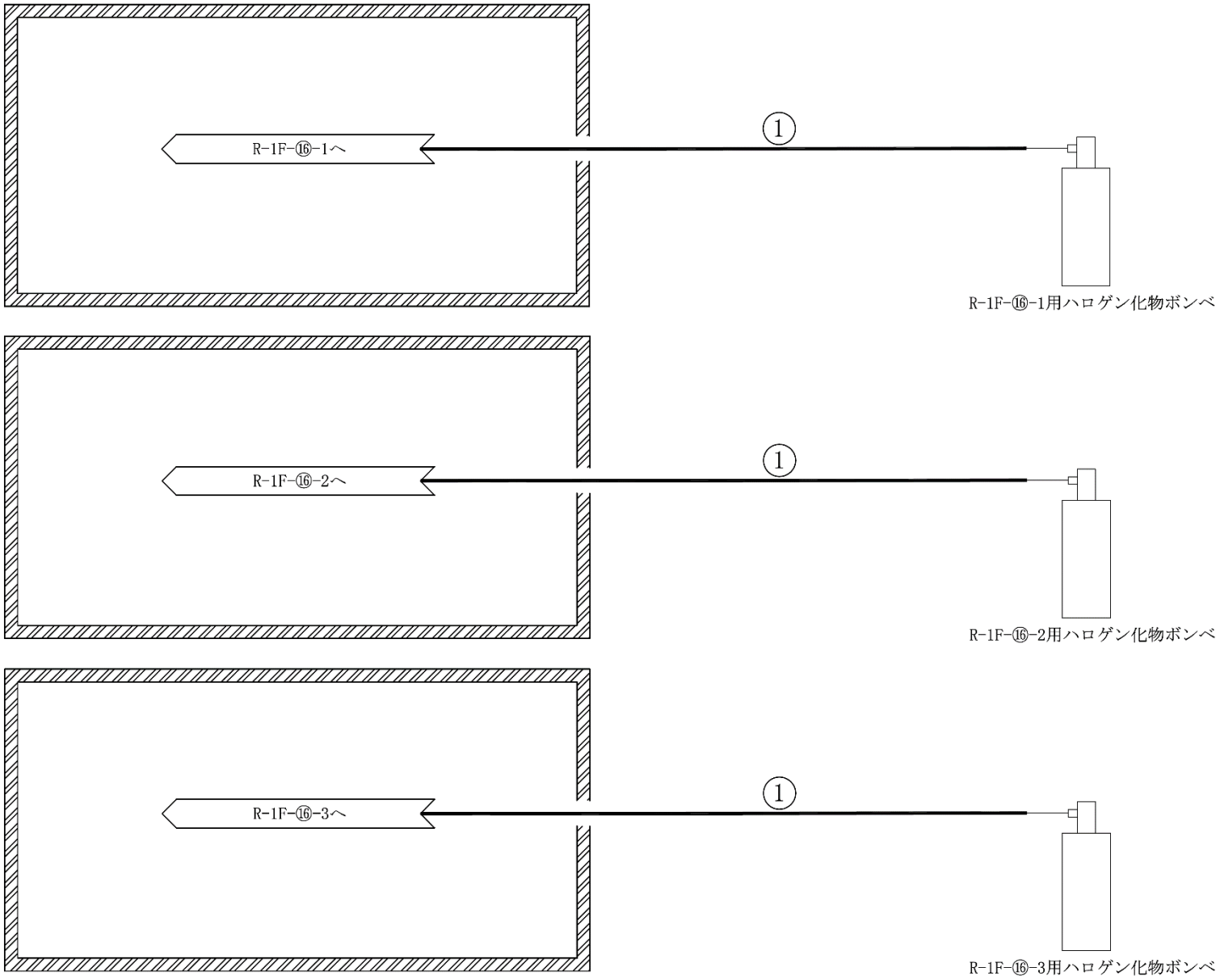

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 23）



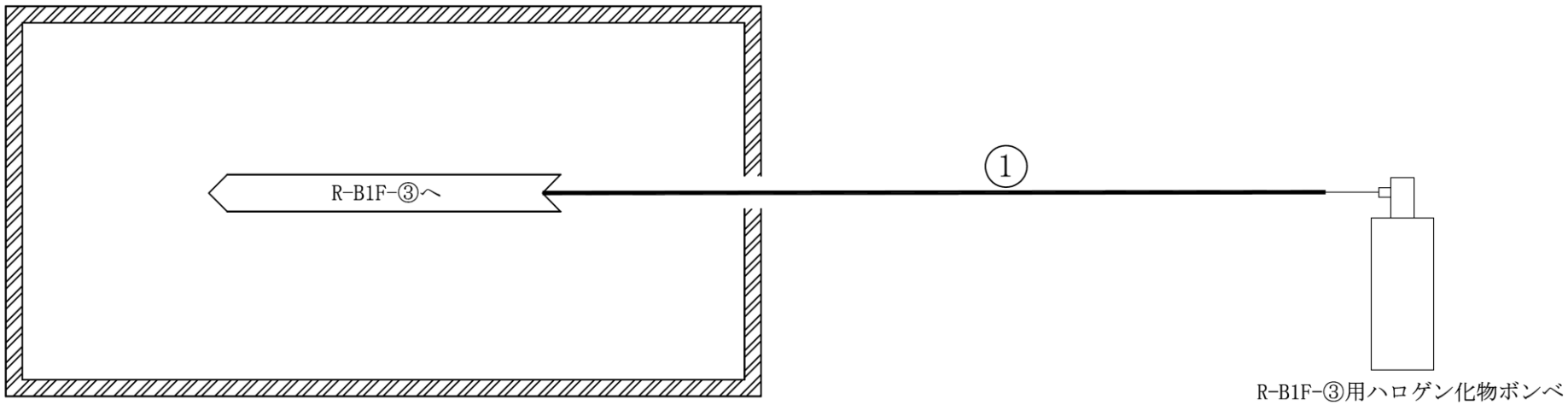

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 24）



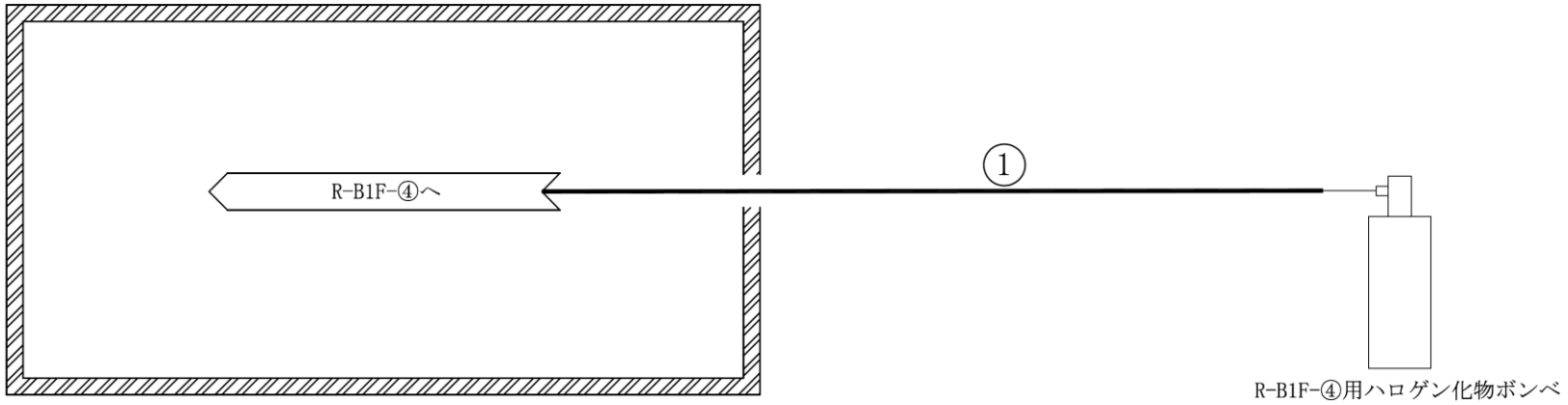

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 25）



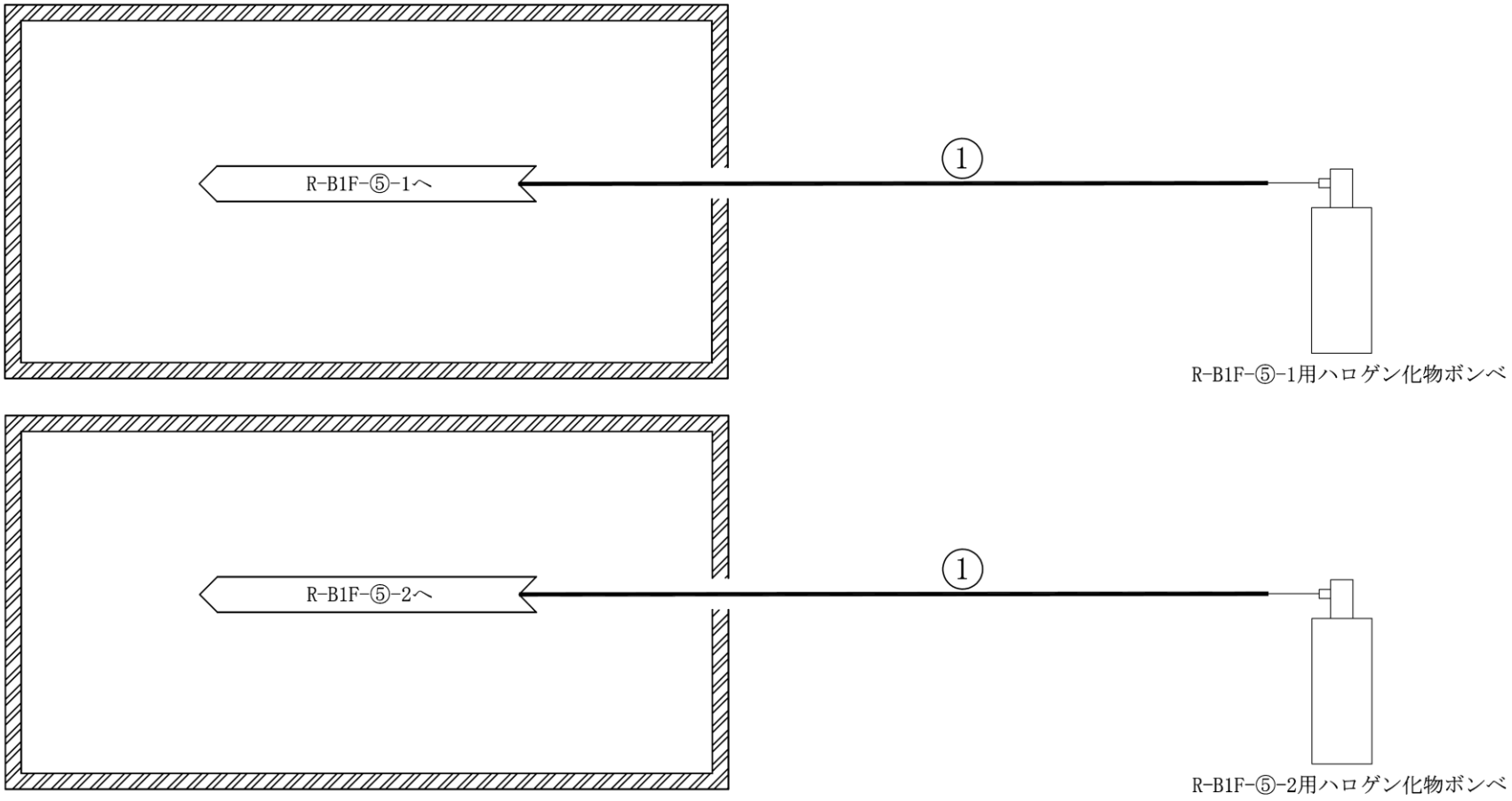

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 26）



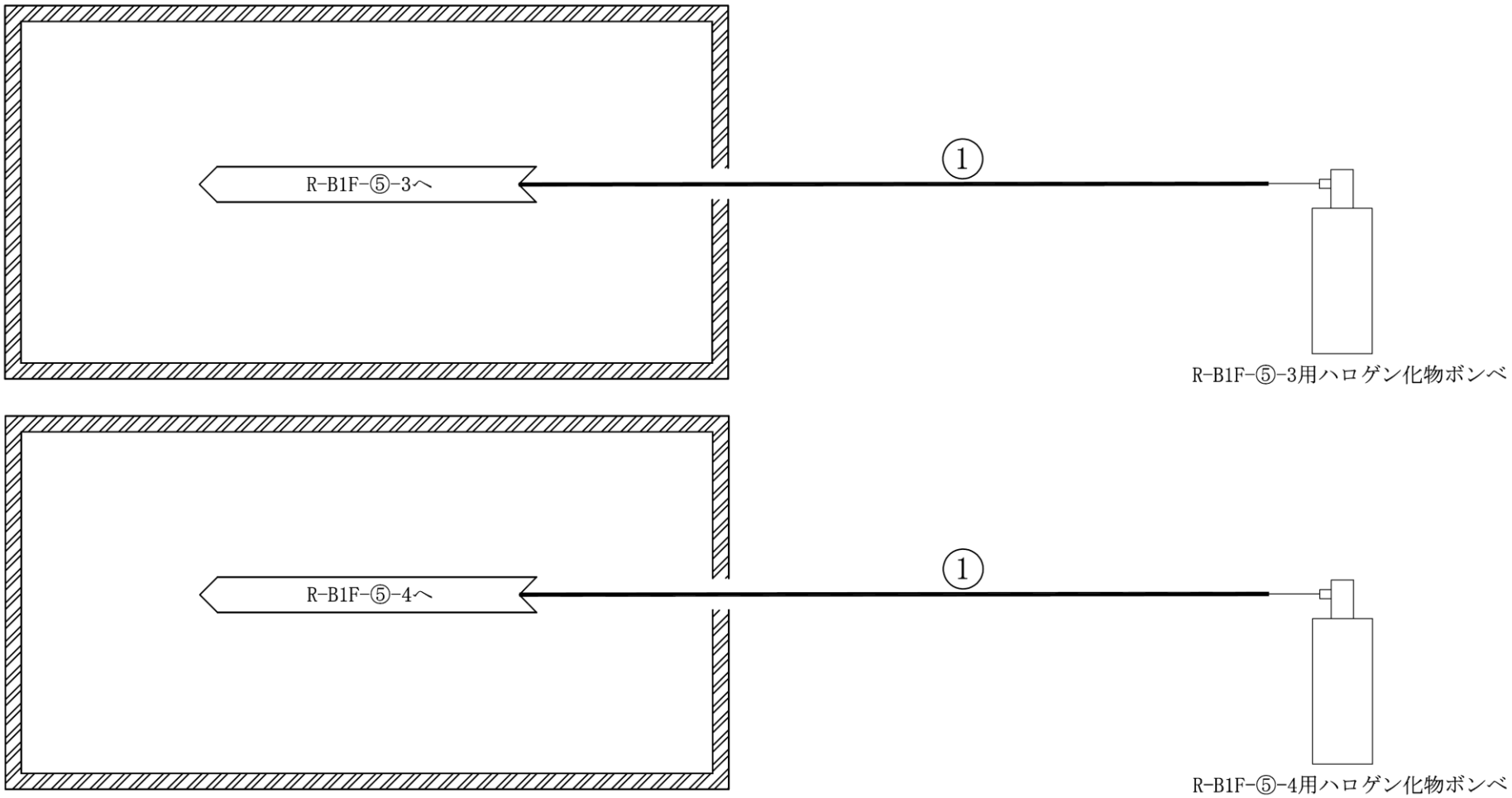

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 27）



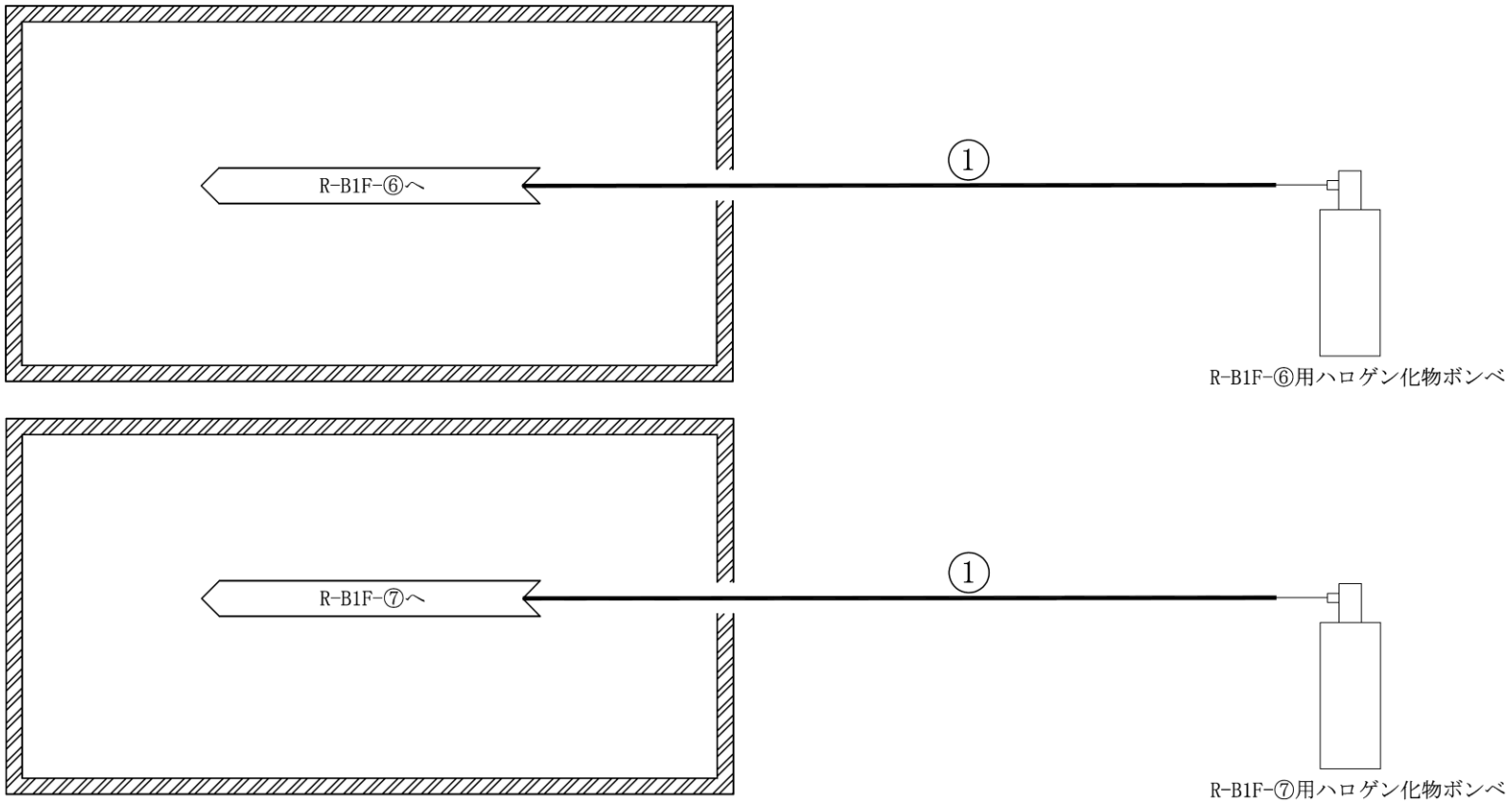

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 28）



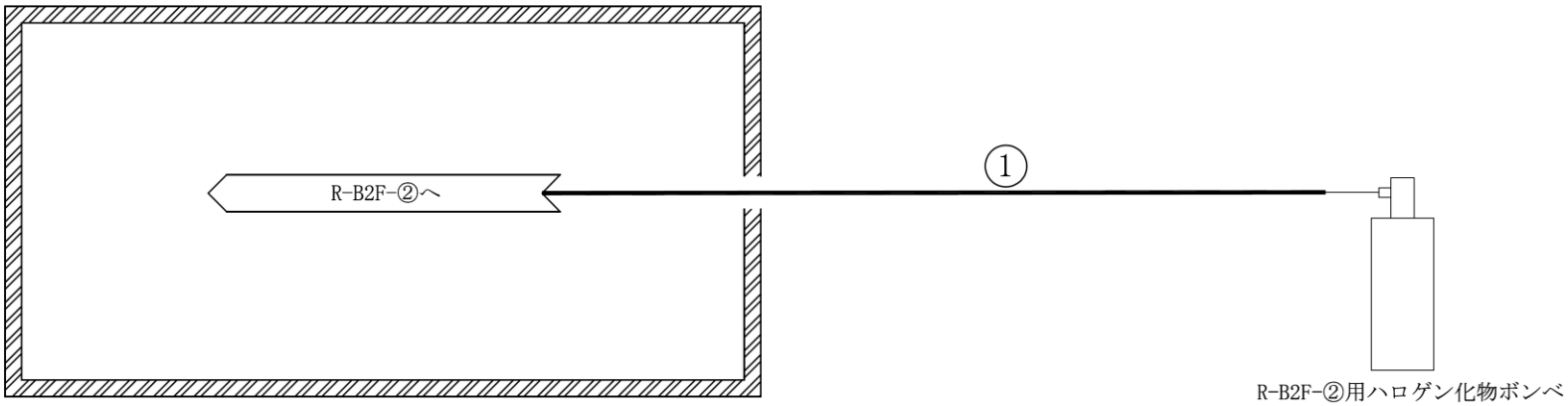

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 29）



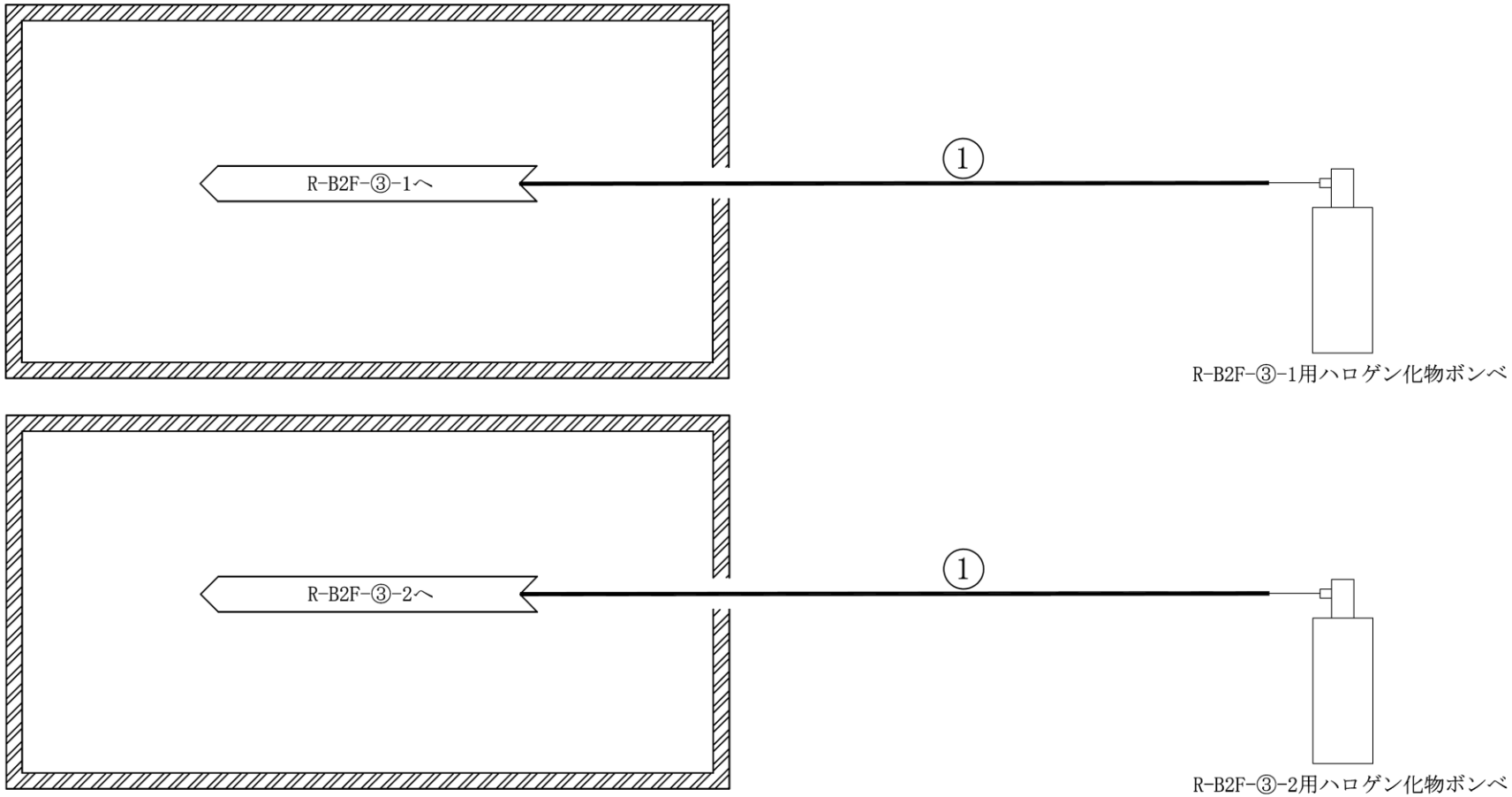

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 30）



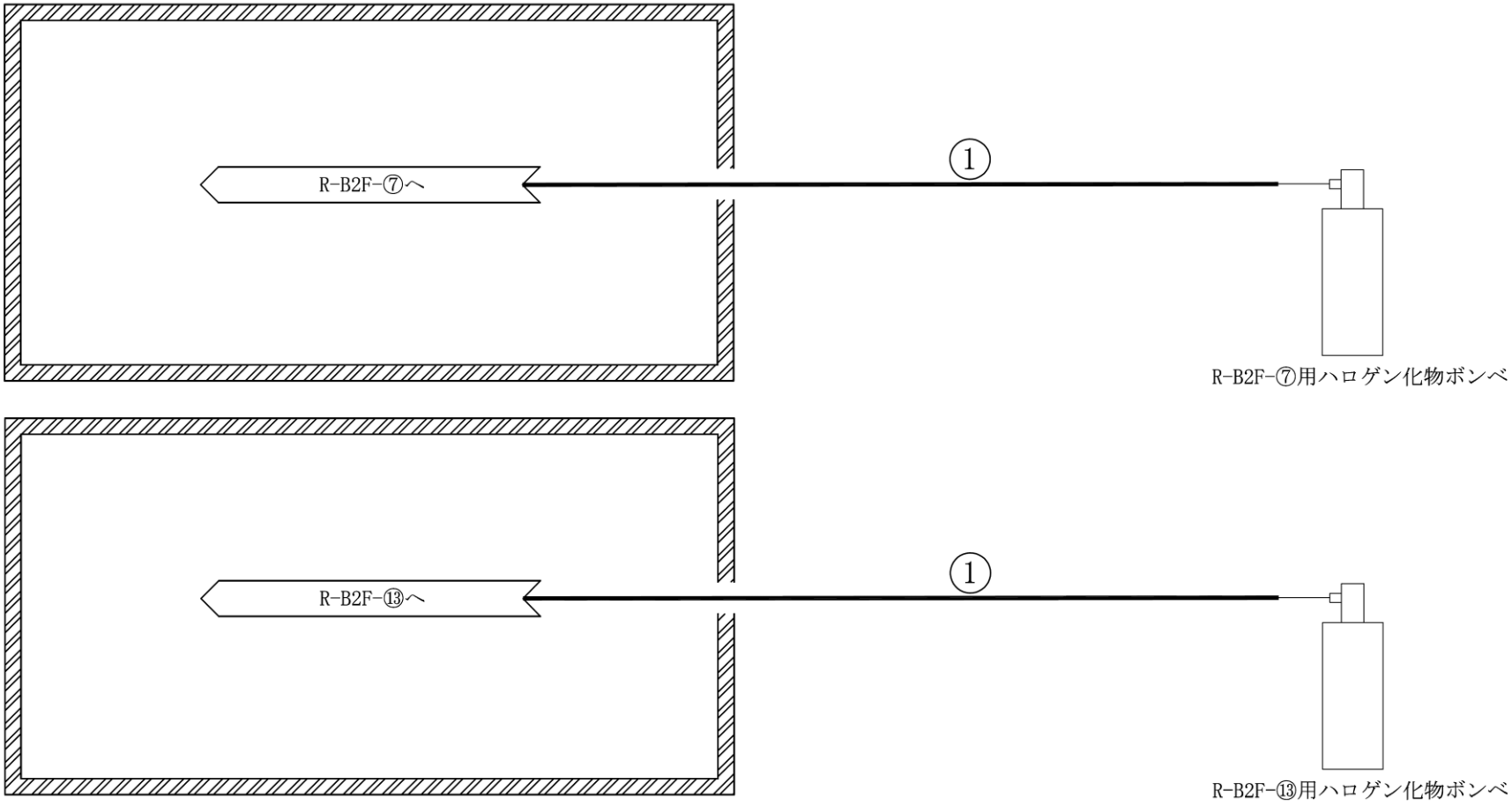

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 31）



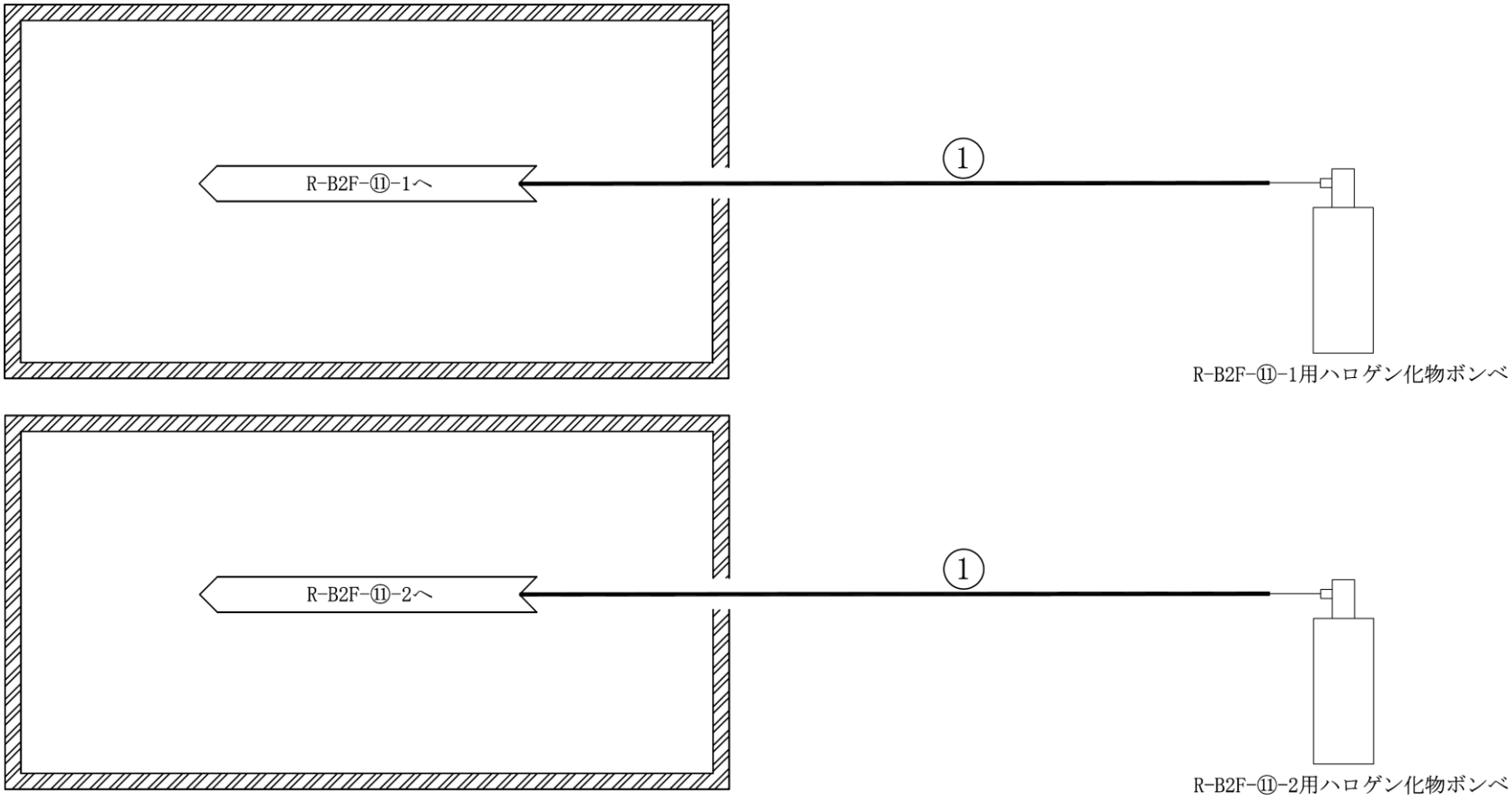

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 32）



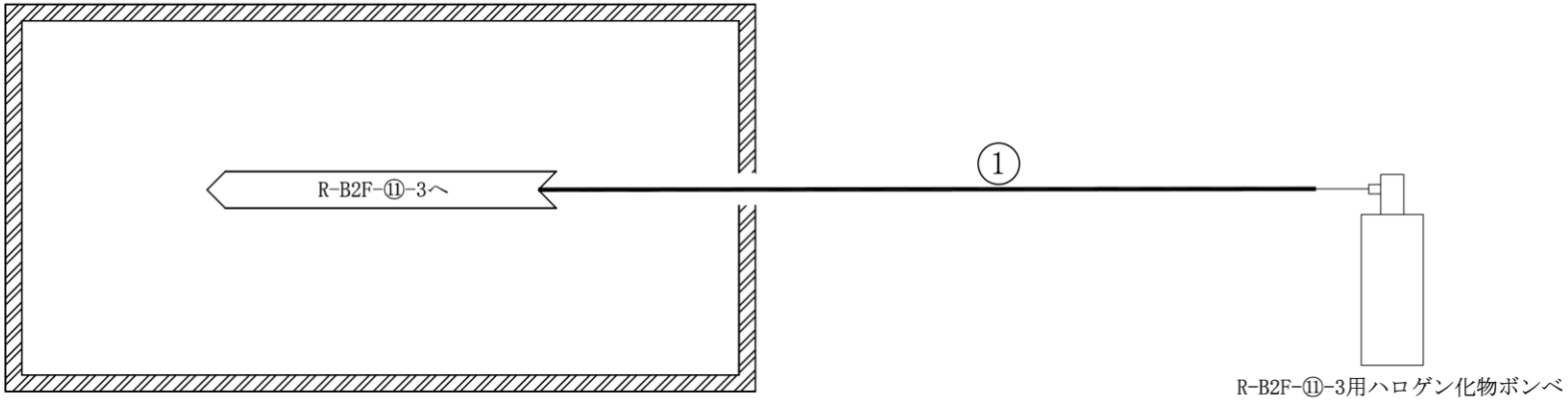

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 33）



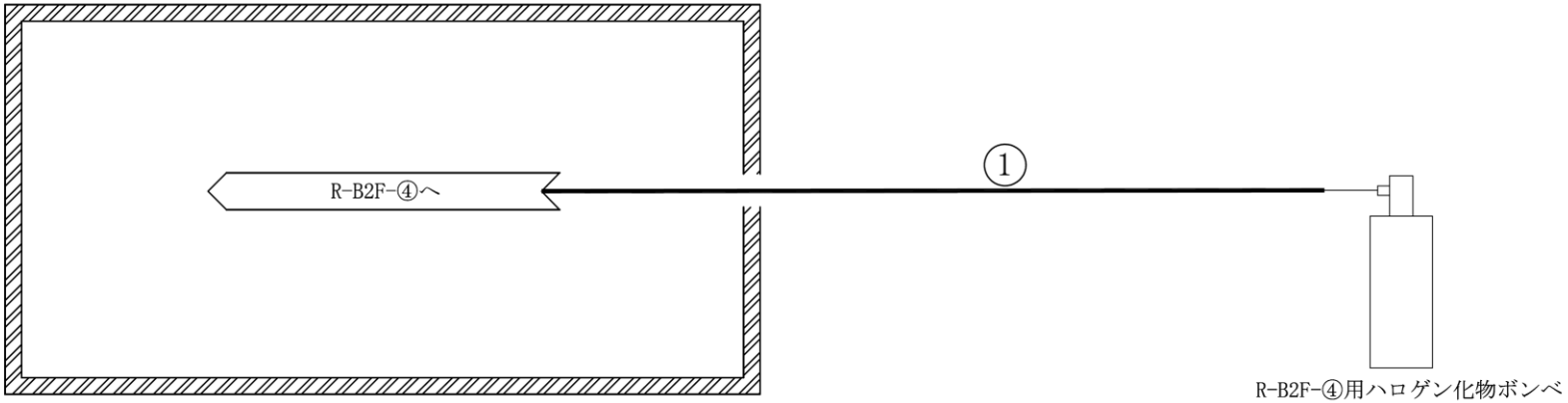

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 34）



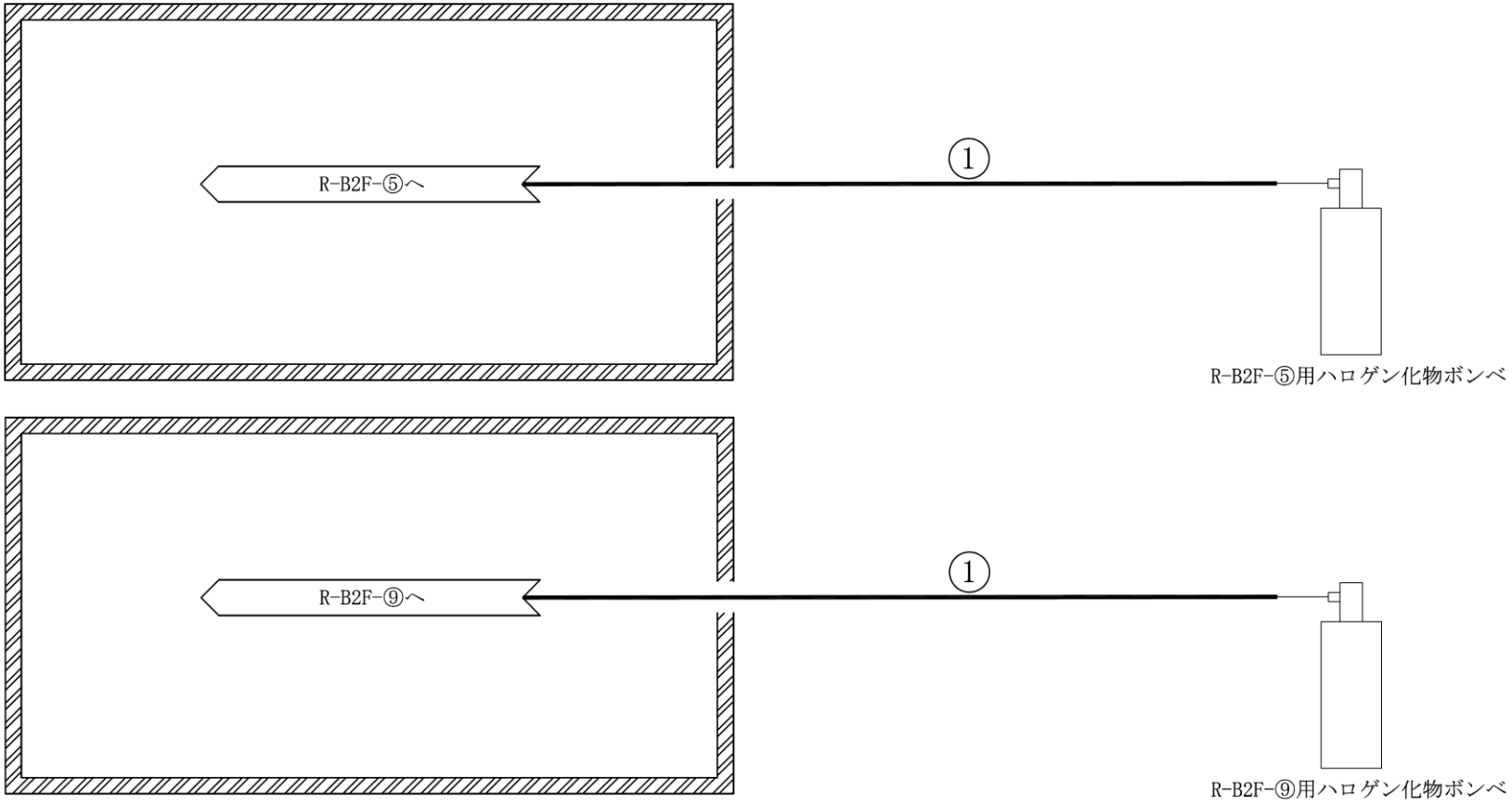

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 35）



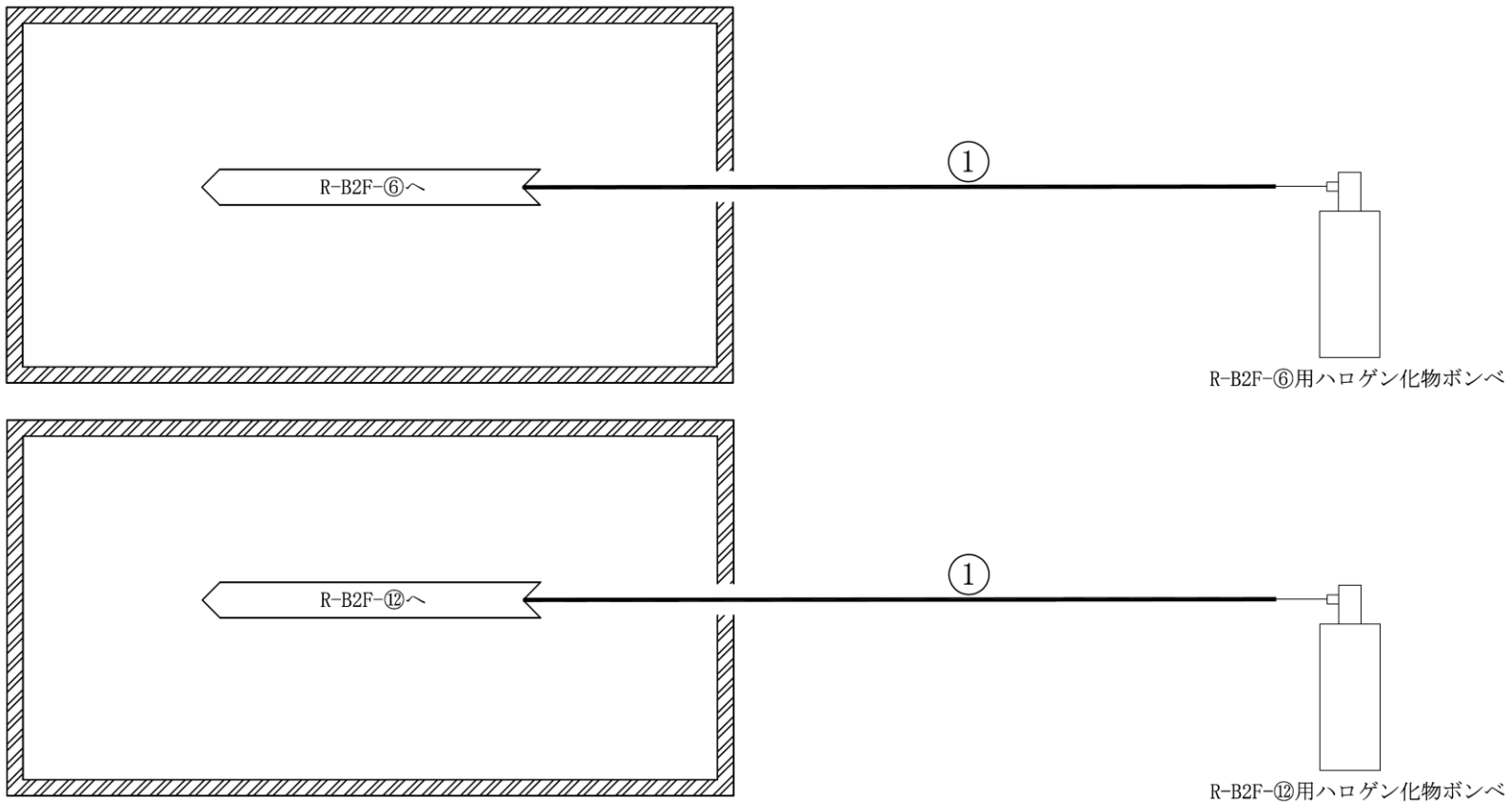

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 36）



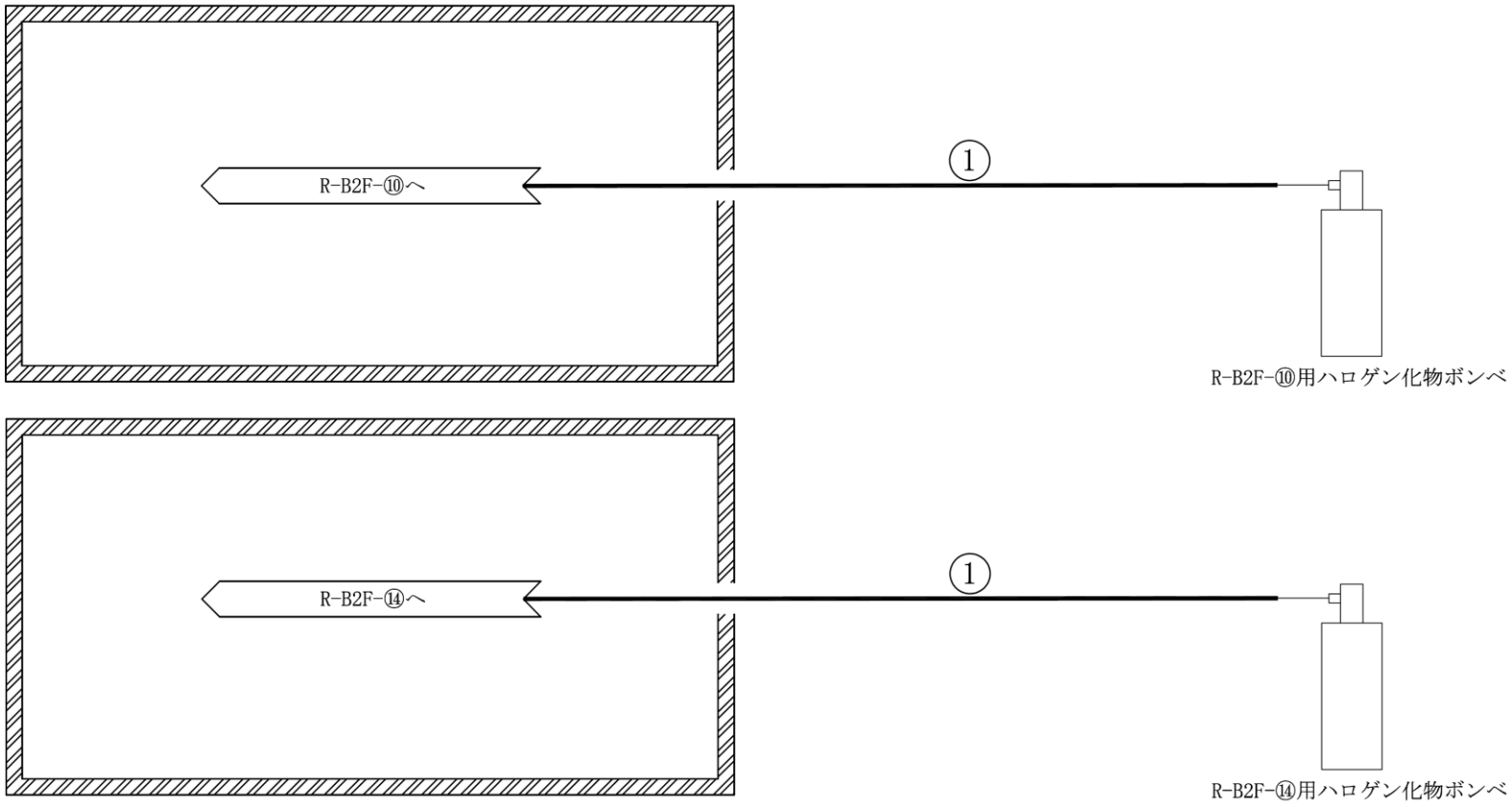

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 37）



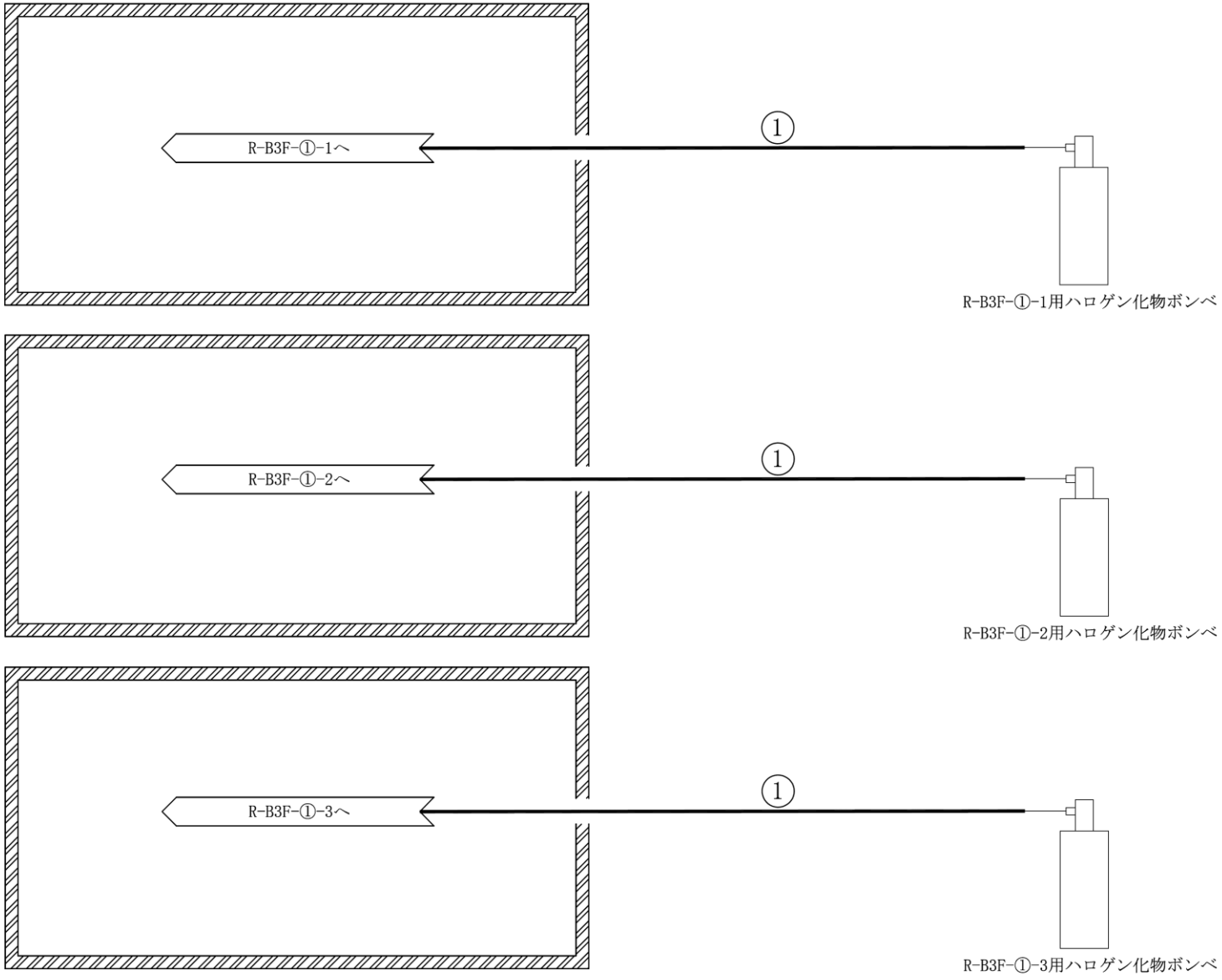

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 38）



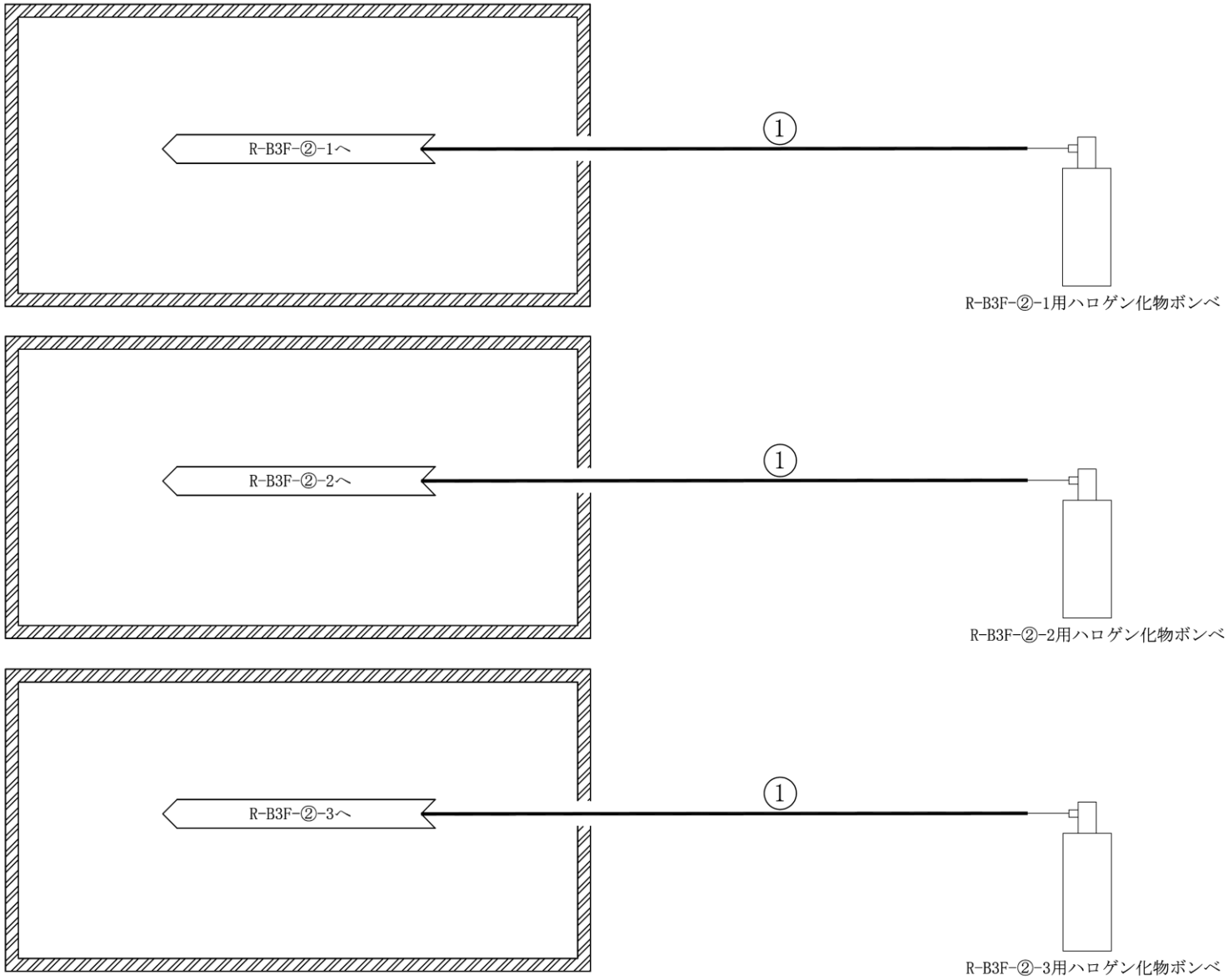

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 39）



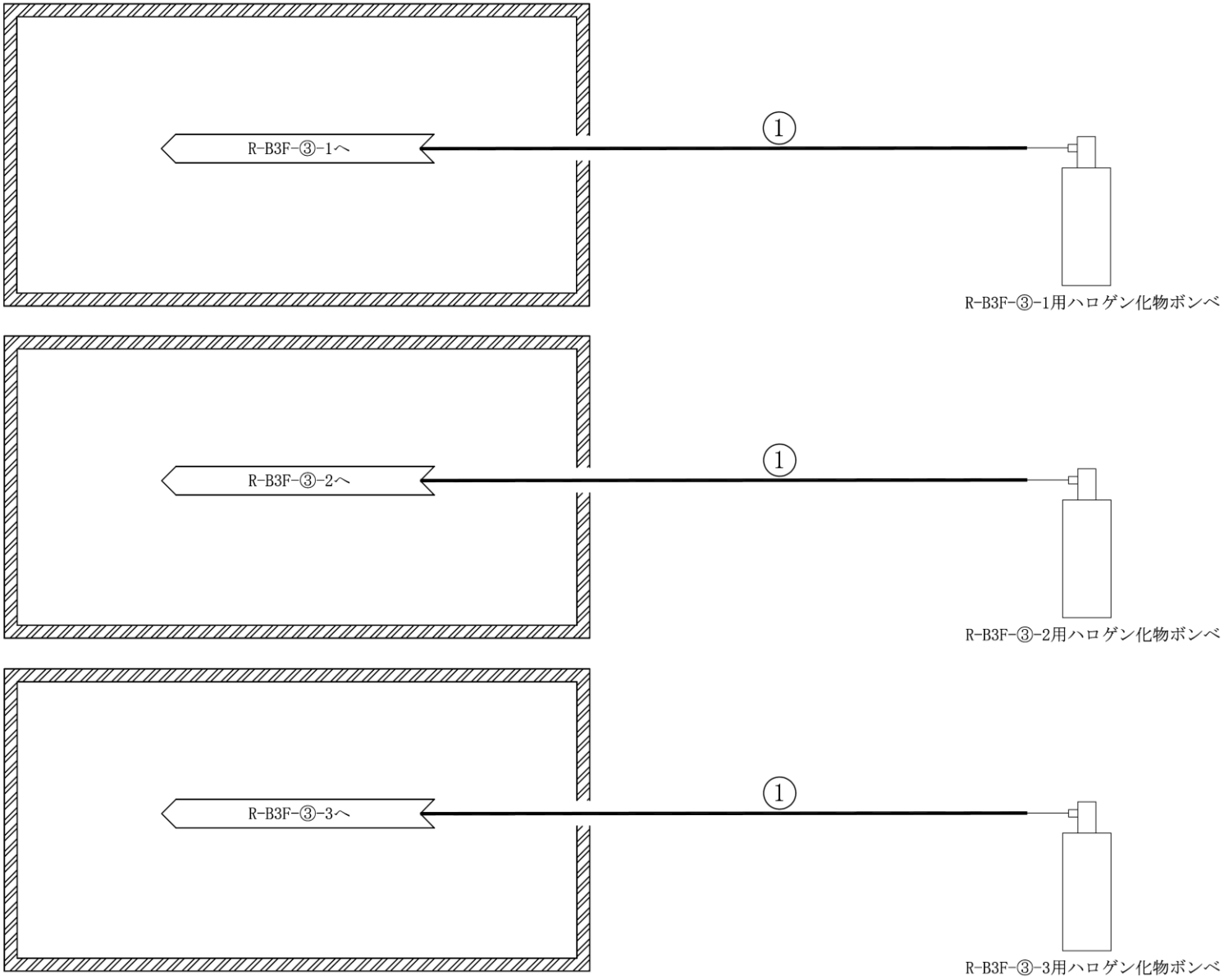

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 40）



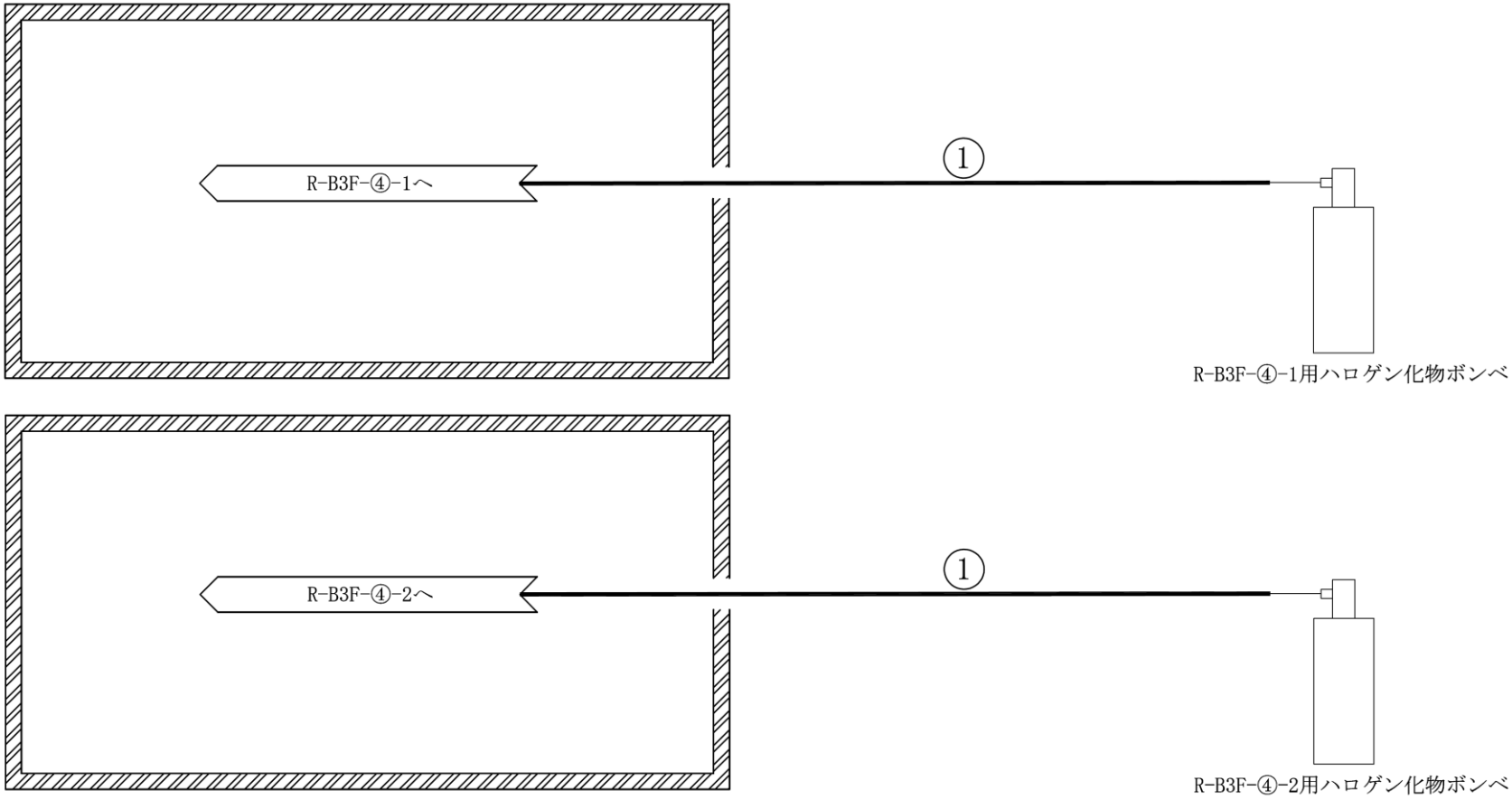

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 41）



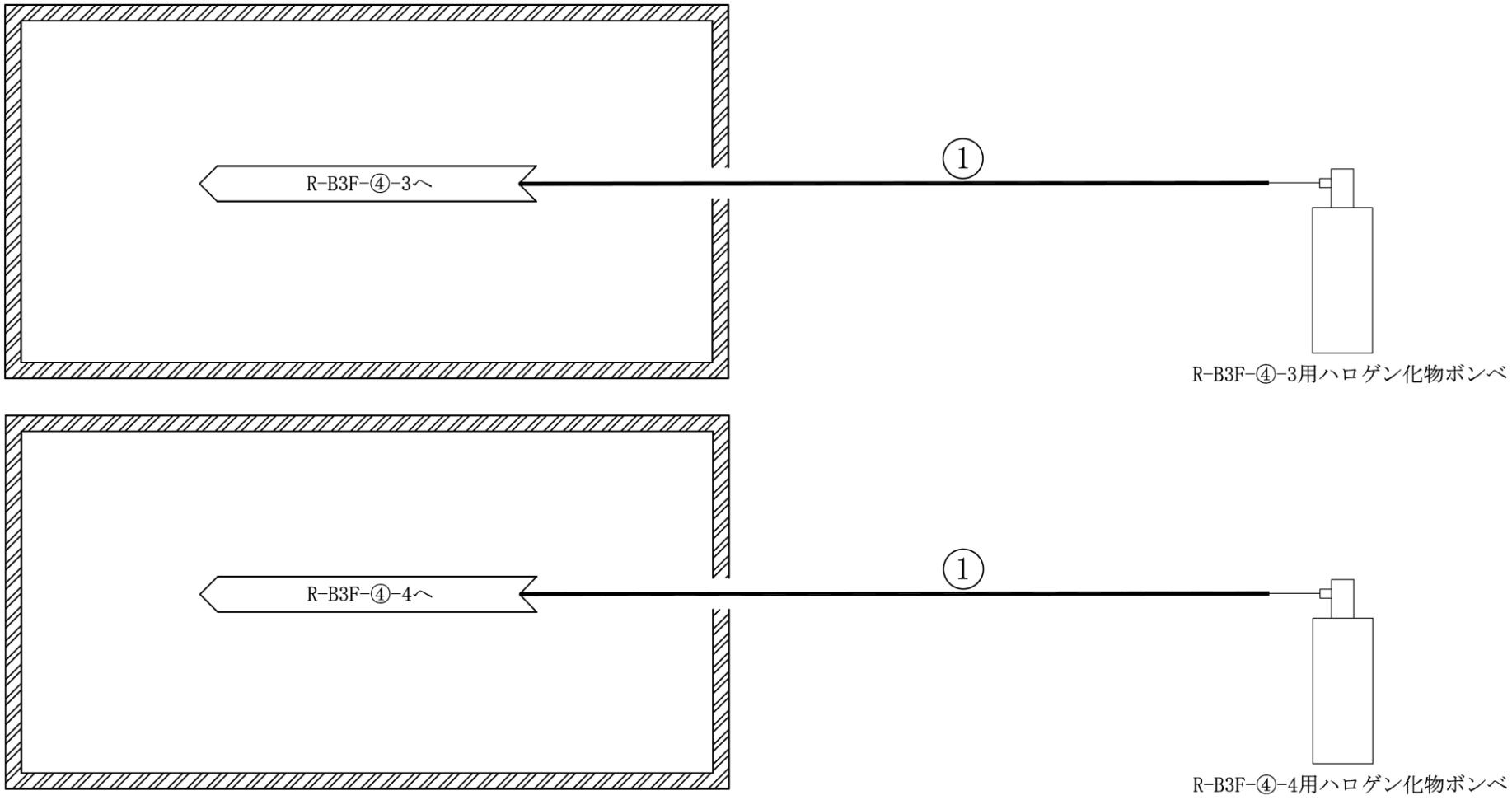

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 42）



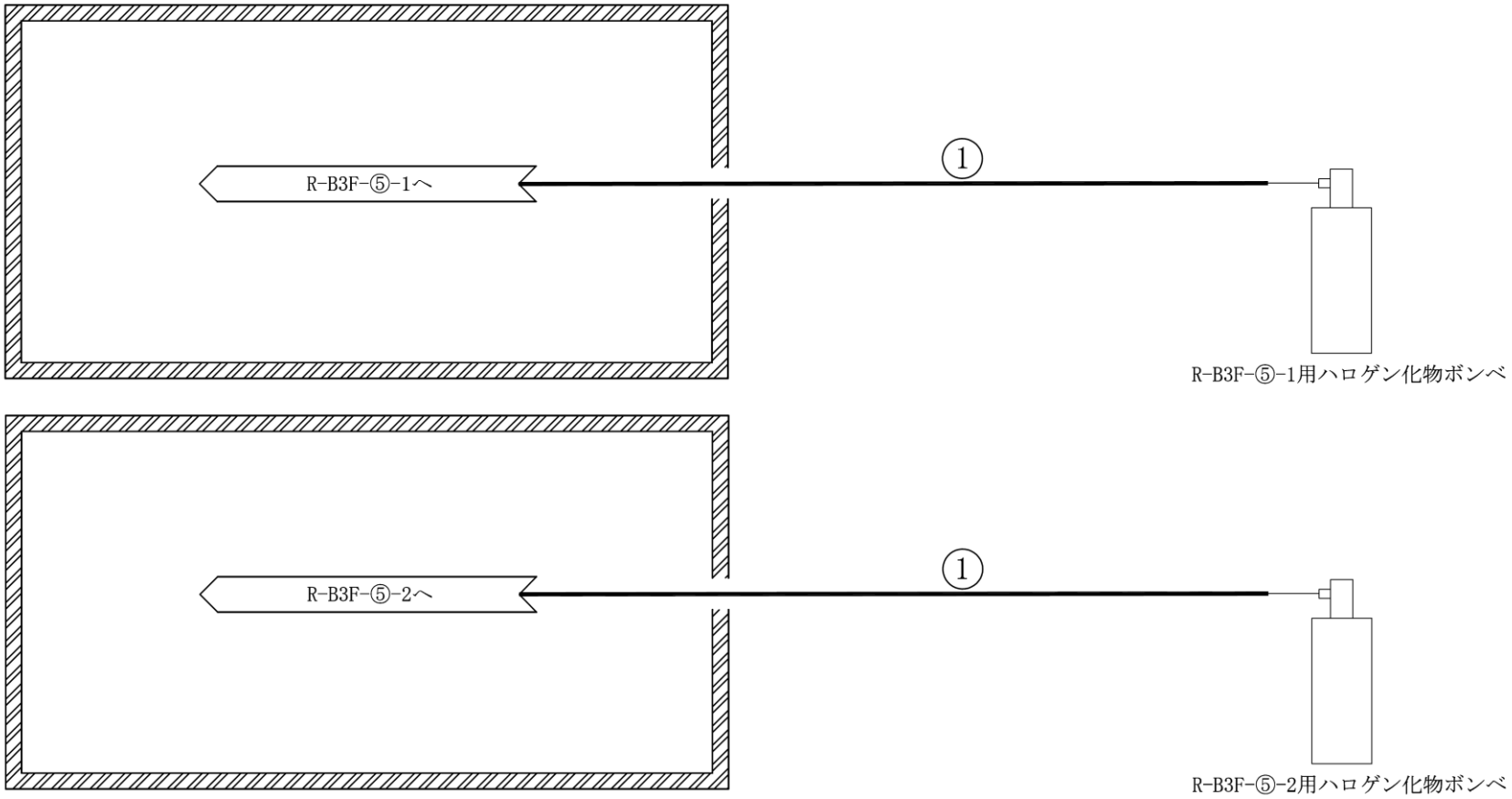

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 43）



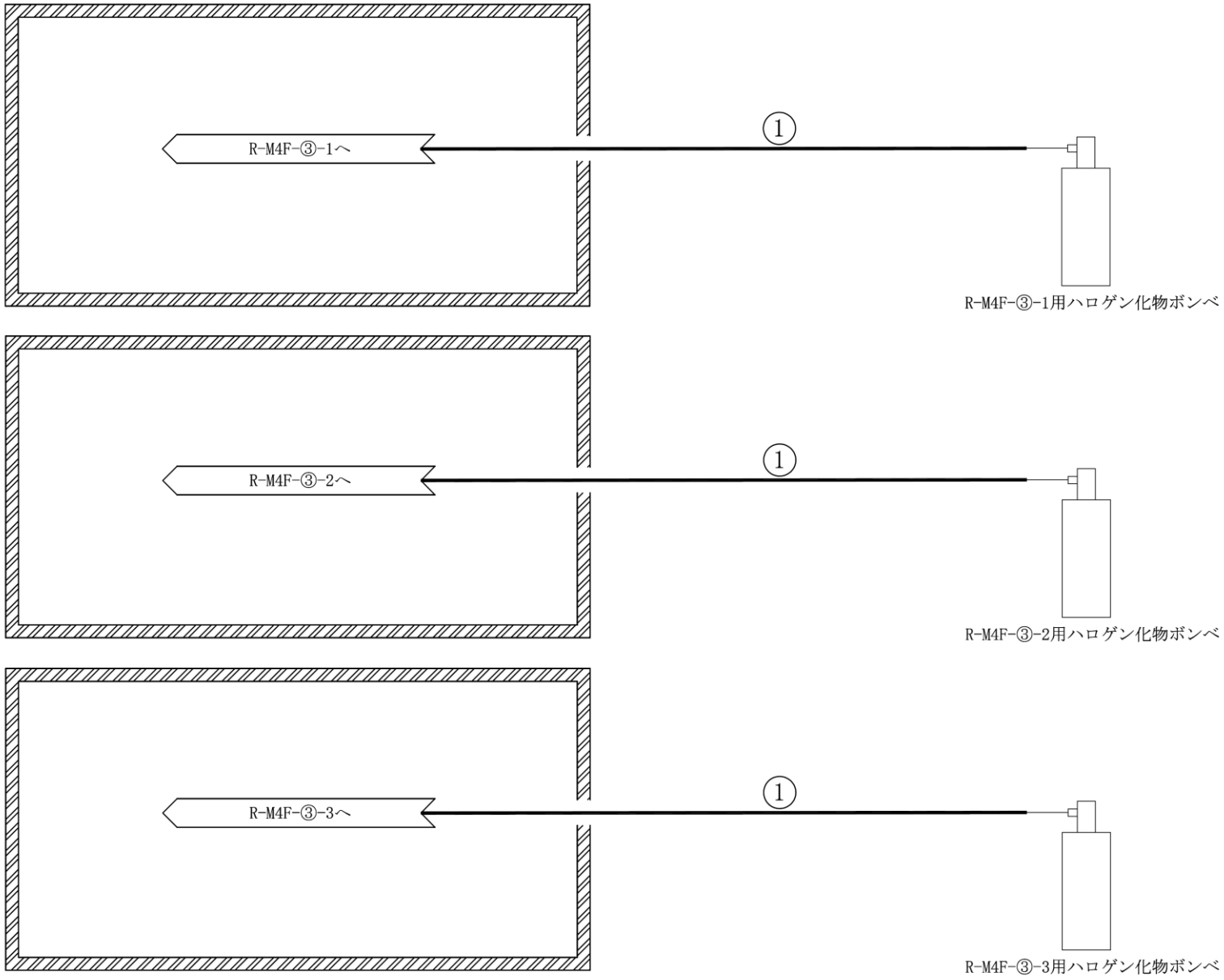

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 44）



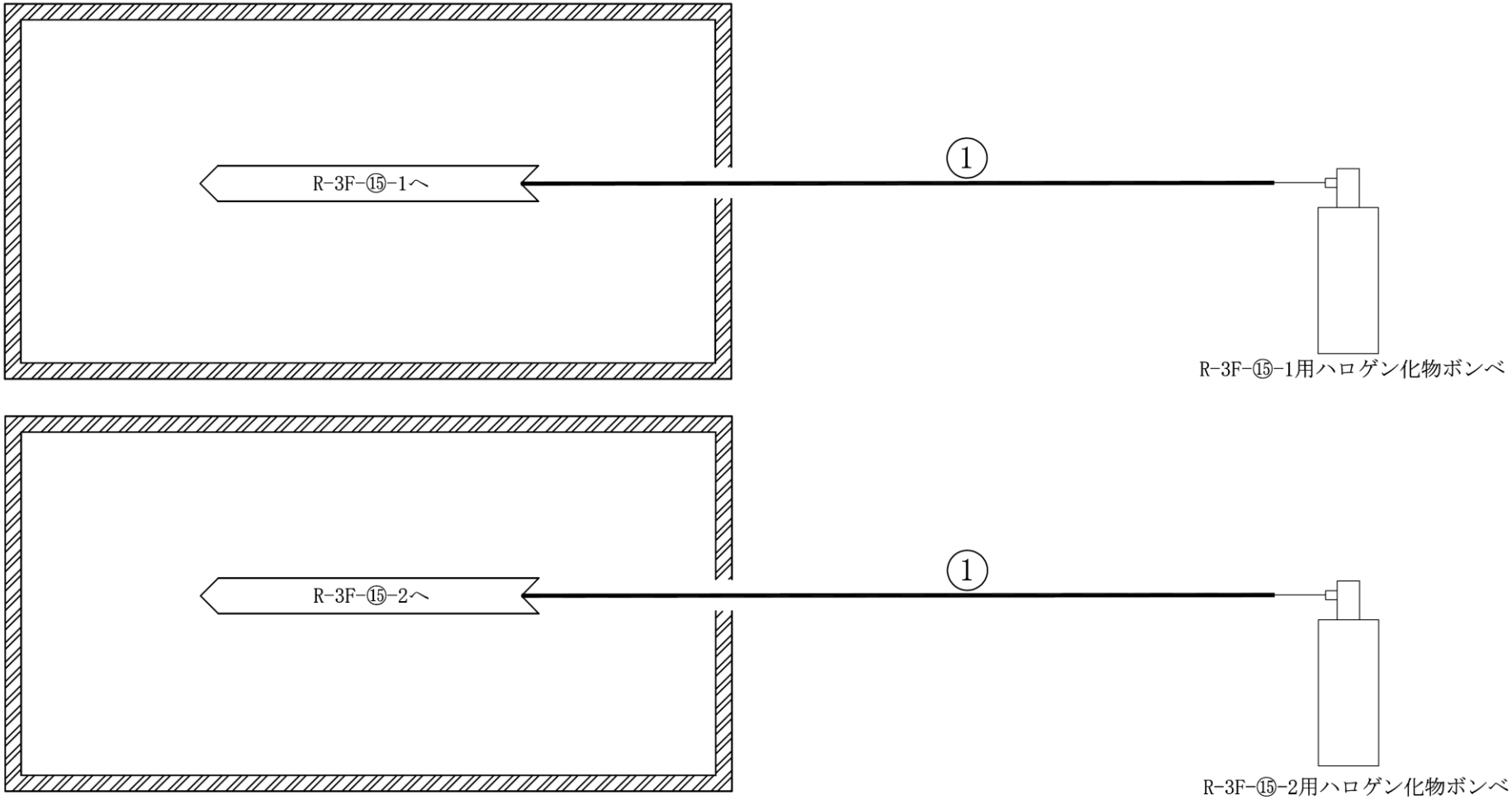

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 45）



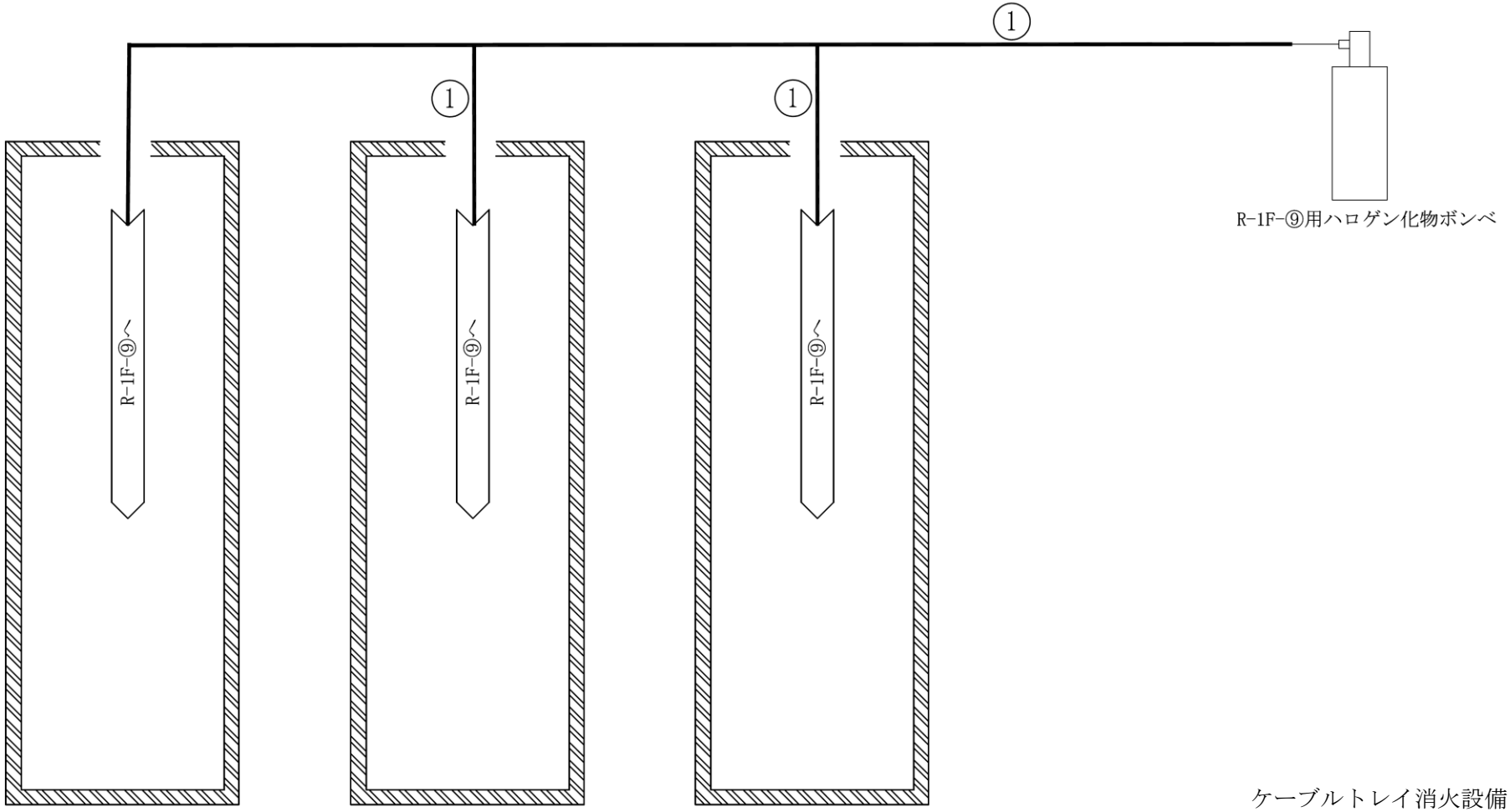

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 46）



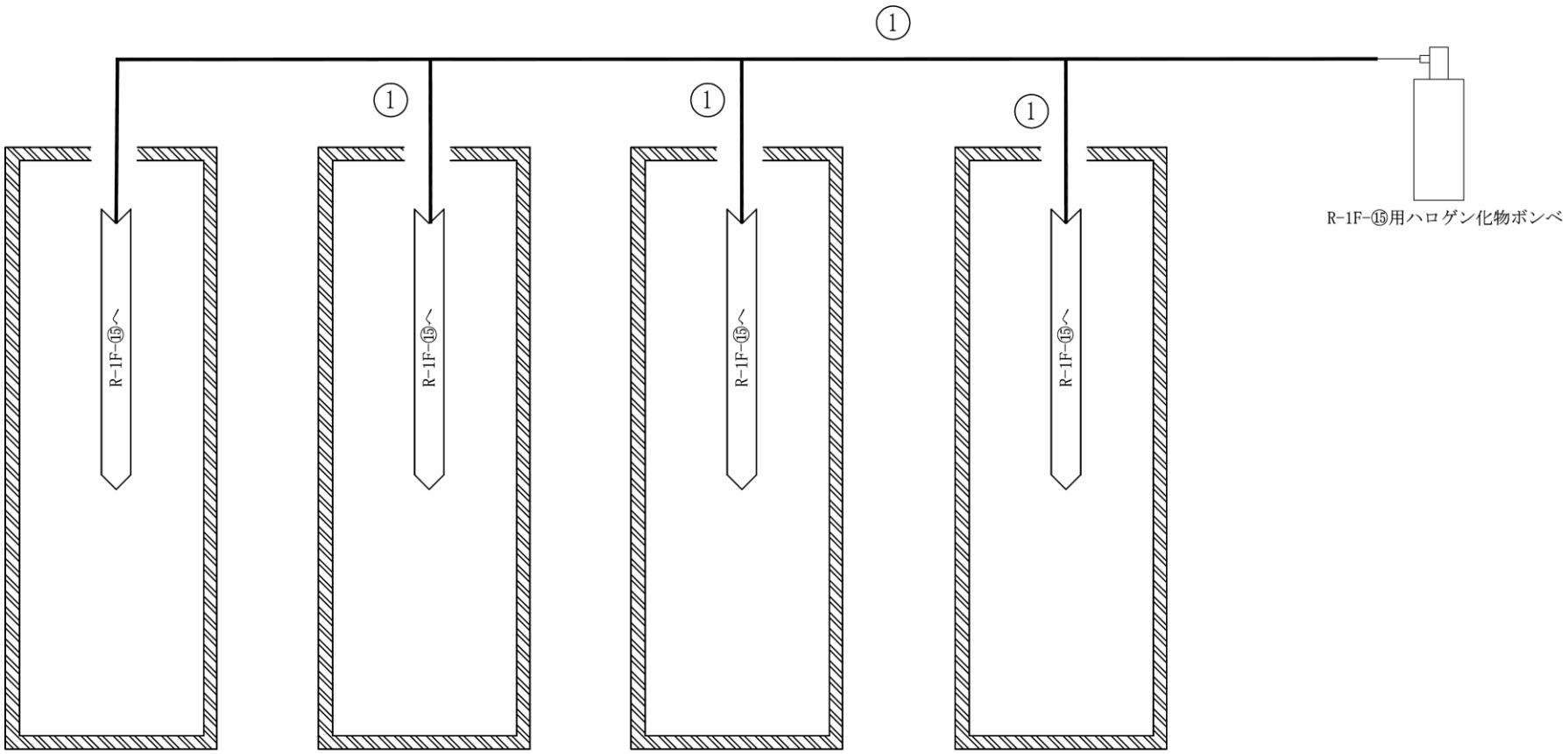

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 47）



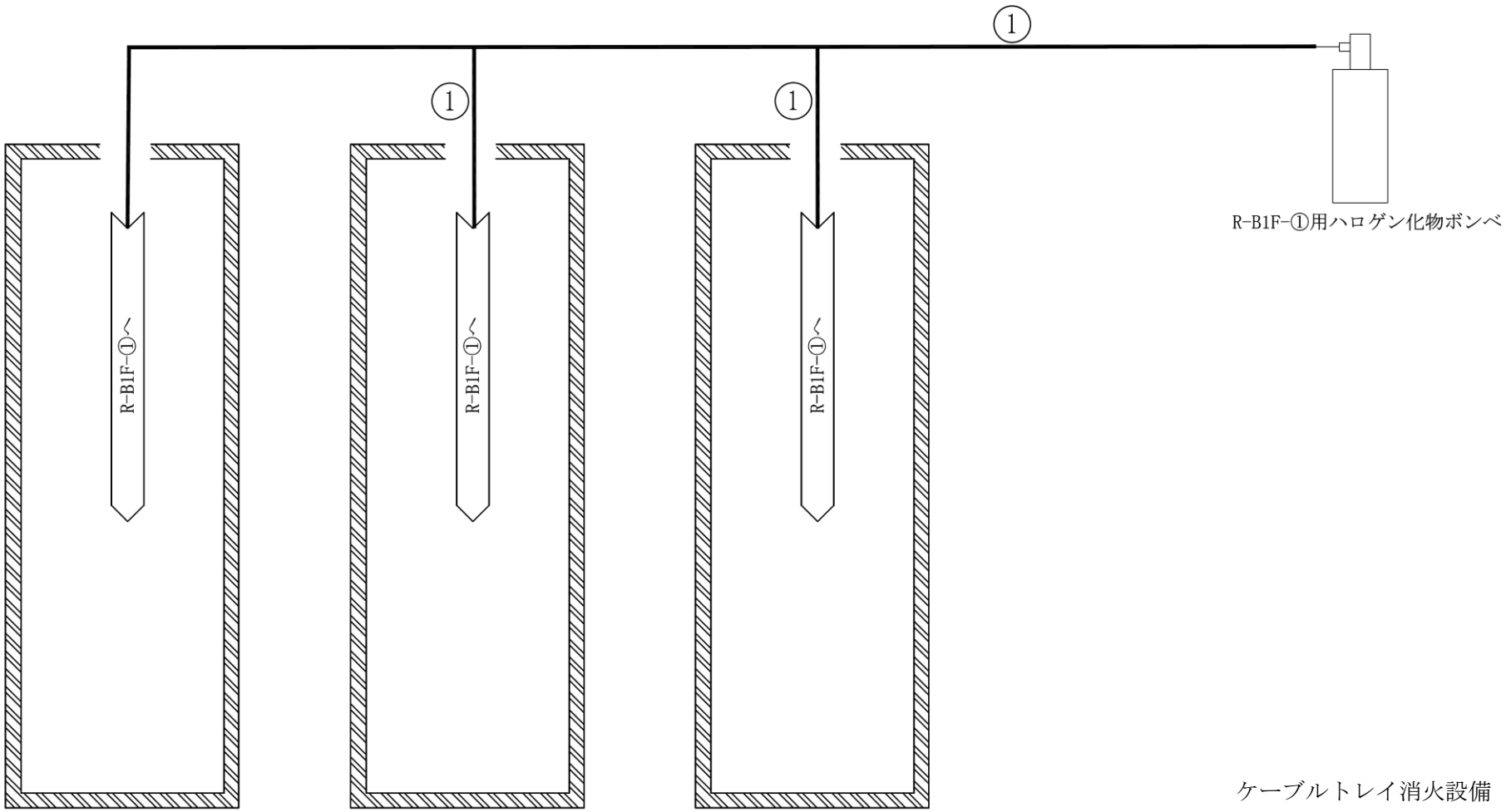

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 48）



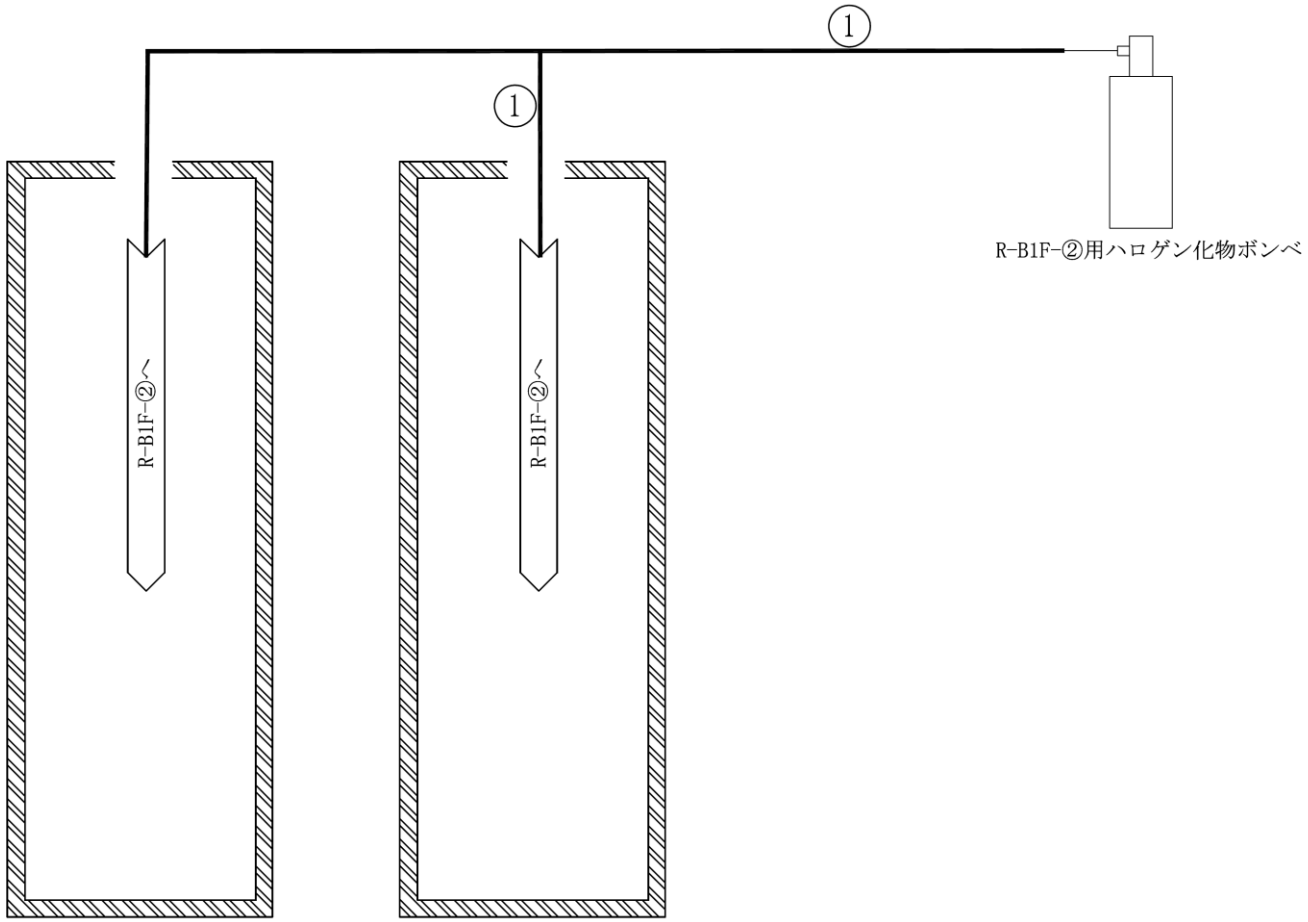

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 49）



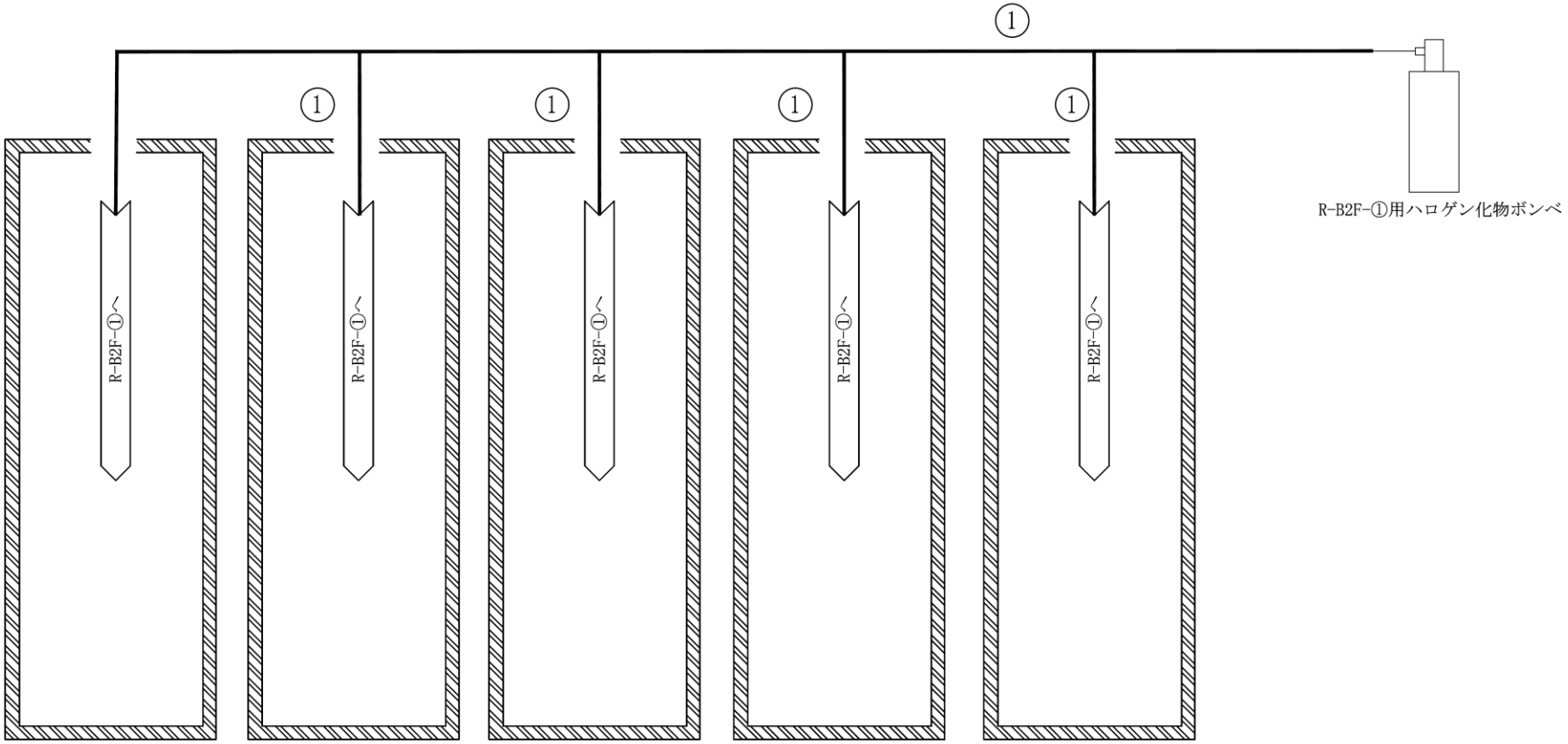

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 50）



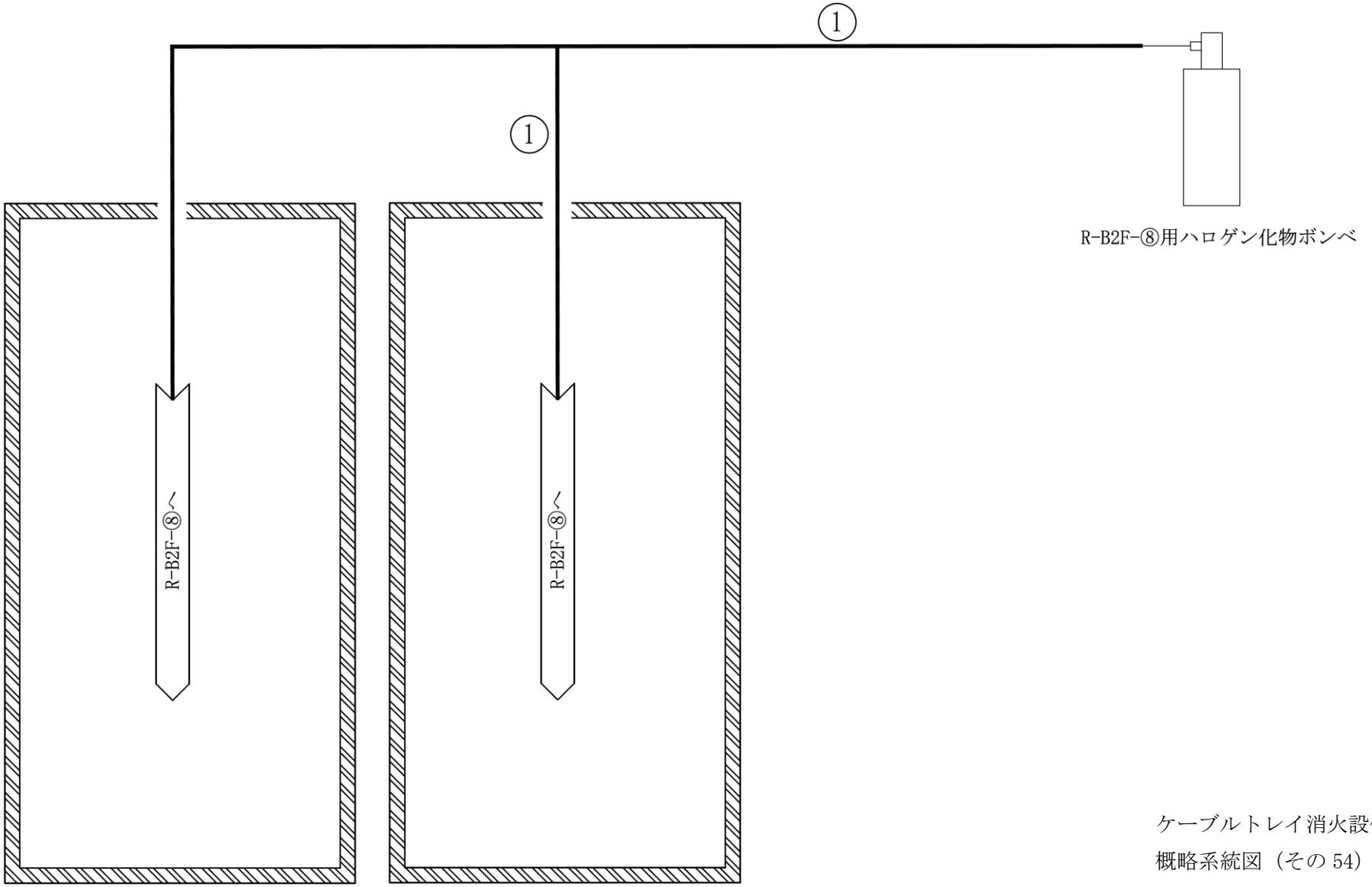

ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 51）




ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 52）




ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 53）




ケーブルトレイ消火設備
概略系統図（その 54）

6.2　管の強度計算書（クラス３配管）

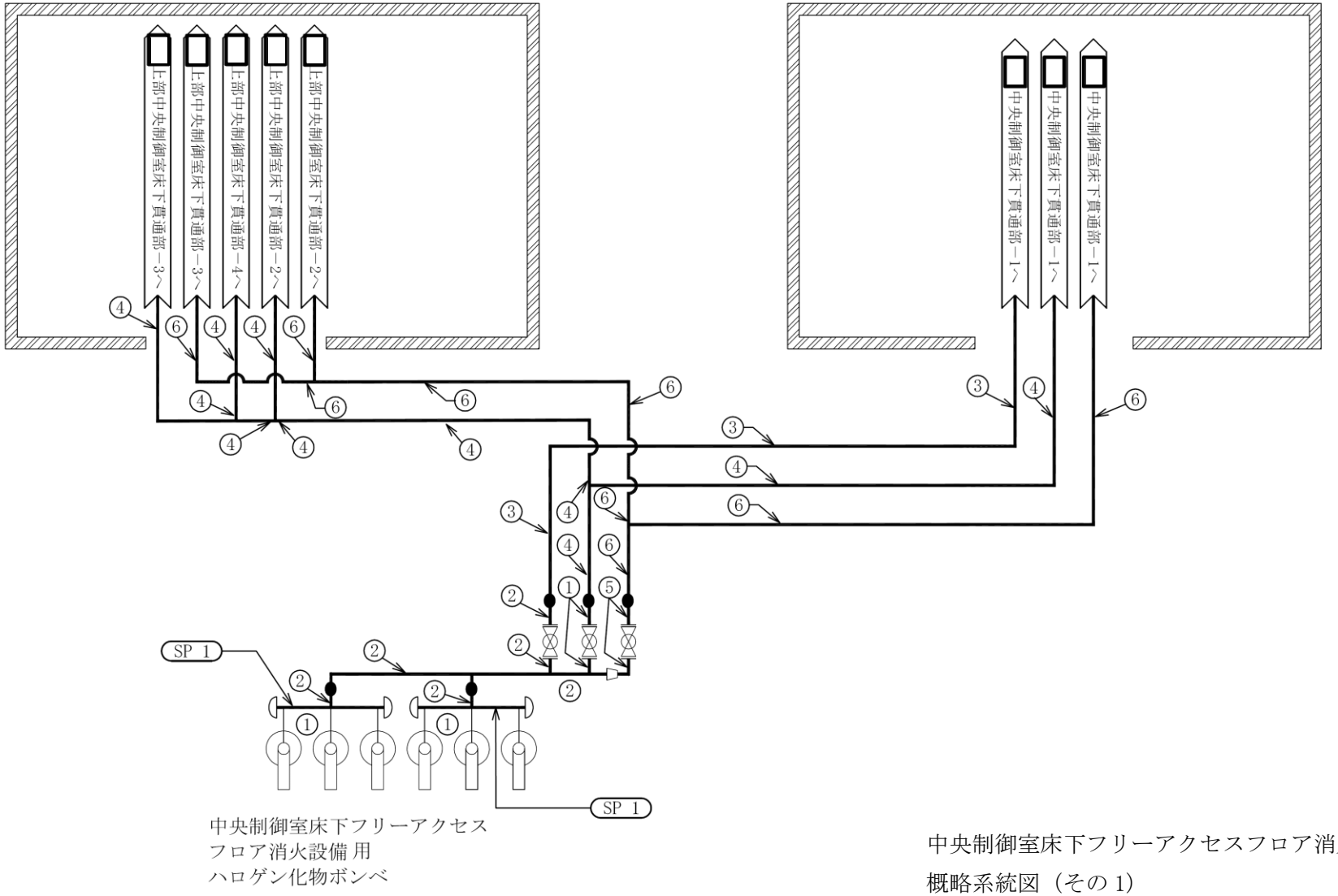
設計・建設規格　PPD-3411

| NO. | 最高使用圧力<br>P<br>(MPa) | 最高使用温度<br>(℃) | 外径<br>$D_o$<br>(mm) | 公称厚さ<br>(mm) | 材料 | 製法 | クラス | S<br>(MPa) | $\eta$ | Q<br>(%, mm) | $t_s$<br>(mm) | t<br>(mm) | 算式 | $t_r$<br>(mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 4.60 | 40 | | | C1220T | S | 3 | 41 | 1.00 | | | | A | 0.54 |

評価：$t_s \geqq t_r$，よって十分である。

# 7. 中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備

## 7.1 概略系統図




中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備
概略系統図（その 1）

7.2　管の強度計算書（クラス３配管）

設計・建設規格　PPD-3411

| NO. | 最高使用圧力 P (MPa) | 最高使用温度 (℃) | 外径 $D_0$ (mm) | 公称厚さ (mm) | 材料 | 製法 | クラス | S (MPa) | η | Q (%, mm) | $t_s$ (mm) | t (mm) | 算式 | $t_r$ (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 5.20 | 40 | | | STPG370 | S | 3 | 93 | 1.00 | | | | C | 1.90 |
| 2 | 5.20 | 40 | | | STPG370 | S | 3 | 93 | 1.00 | | | | C | 2.20 |
| 3 | 5.20 | 40 | | | SUS304TP | S | 3 | 129 | 1.00 | | | | A | 0.97 |
| 4 | 5.20 | 40 | | | SUS304TP | S | 3 | 129 | 1.00 | | | | A | 0.85 |
| 5 | 5.20 | 40 | | | STPG370 | S | 3 | 93 | 1.00 | | | | C | 1.70 |
| 6 | 5.20 | 40 | | | SUS304TP | S | 3 | 129 | 1.00 | | | | A | 0.68 |

評価：$t_s \geqq t_r$，よって十分である。

7.3　管の穴と補強計算書（クラス３配管）

設計・建設規格　PPD-3420，PPD-3422

| ＮＯ． | | SP1 |
|---|---|---|
| 形　　式 | | A |
| 最高使用圧力 | P　(MPa) | 5.20 |
| 最高使用温度 | (℃) | 40 |
| 主管と管台の角度 | α　(°) | 90 |
| 主管 | 材　料 | STPG370 |
| | 許容引張応力　$S_r$　(MPa) | 93 |
| | 外　径　$D_{or}$　(mm) | [redacted] |
| | 内　径　$D_{ir}$　(mm) | [redacted] |
| | 公称厚さ　$t_{ro}$　(mm) | [redacted] |
| | 厚さの負の許容差　$Q_r$ | [redacted] |
| | 最小厚さ　$t_r$　(mm) | [redacted] |
| | 継手効率　η | 1.00 |
| 管台 | 材　料 | S25C |
| | 外　径　$D_{ob}$　(mm) | [redacted] |
| | 内　径　$D_{ib}$　(mm) | [redacted] |
| | 公称厚さ　$t_{bn}$　(mm) | [redacted] |
| 穴の径 | d　(mm) | 25.00 |
| $d_{r1}=D_{ir}/4$ | (mm) | [redacted] |
| 61，$d_{r1}$の小さい値 | (mm) | [redacted] |
| K | | 0.3066 |
| 200，$d_{r2}$の小さい値 | (mm) | 40.44 |
| 補強不要な穴の最大径 | $d_{fr}$　(mm) | 40.44 |

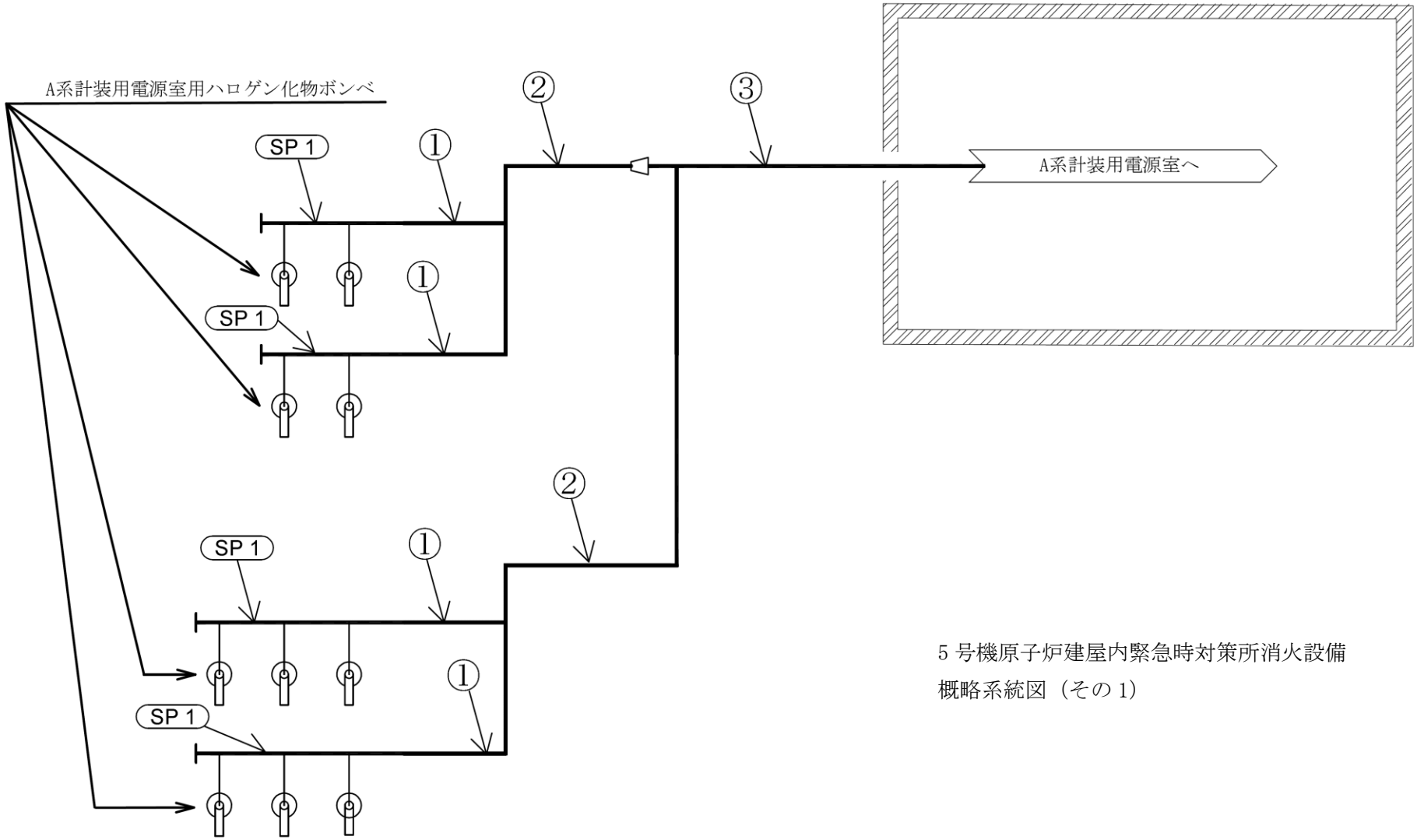
評価：　$d \leqq d_{fr}$

よって管の穴の補強計算は必要ない。

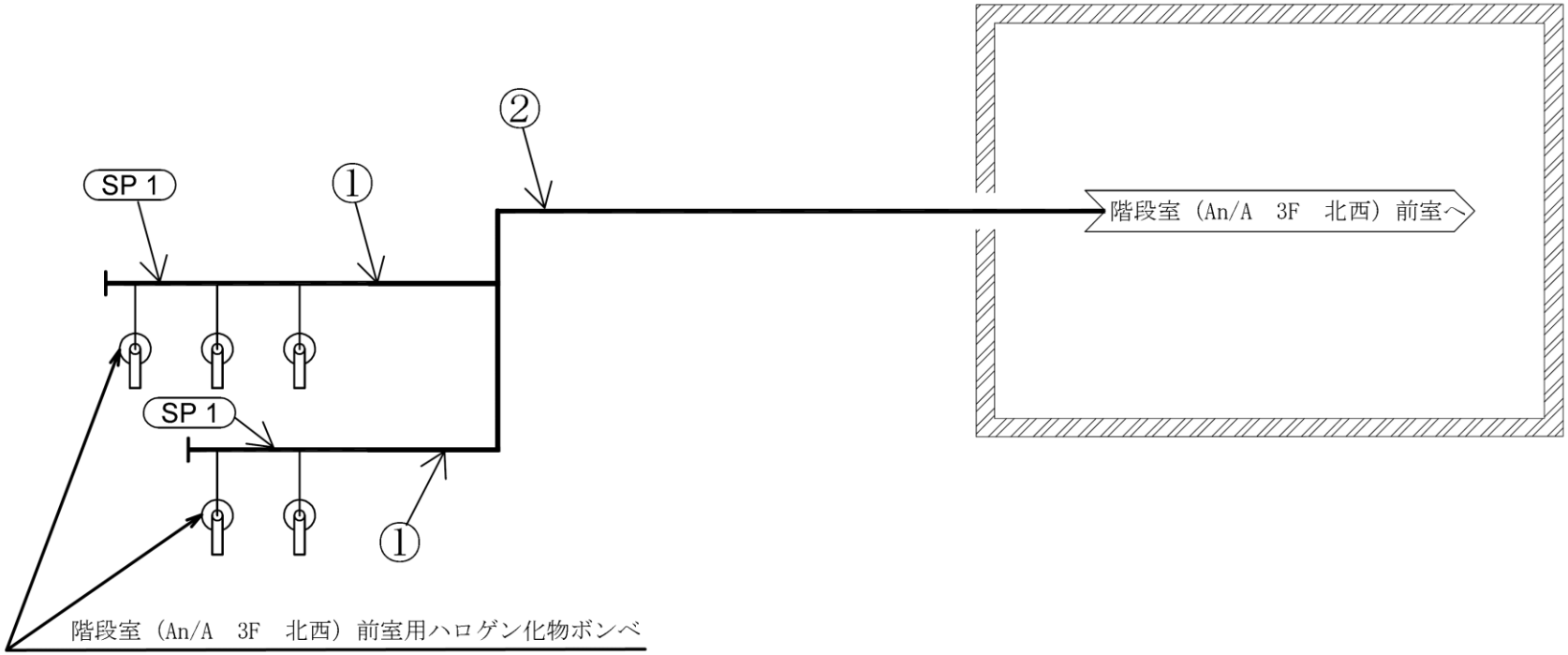
K7 ① V-3-3-7-2-1-2 R1

8.　5号機原子炉建屋内緊急時対策所消火設備

8.1　概略系統図




5号機原子炉建屋内緊急時対策所消火設備
概略系統図（その1）




5 号機原子炉建屋内緊急時対策所消火設備
概略系統図（その 2）

8.2　管の強度計算書（クラス３配管）

設計・建設規格　PPD-3411

| NO. | 最高使用圧力 P (MPa) | 最高使用温度 (℃) | 外径 $D_0$ (mm) | 公称厚さ (mm) | 材料 | 製法 | クラス | S (MPa) | η | Q | $t_s$ (mm) | t (mm) | 算式 | $t_r$ (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 5.20 | 40 | 60.50 | 5.50 | SUS304TP | S | 3 | 129 | 1.00 | 12.5% | 4.81 | 1.21 | A | 1.21 |
| 2 | 5.20 | 40 | 60.50 | 3.90 | SUS304TP | S | 3 | 129 | 1.00 | 12.5% | 3.41 | 1.21 | A | 1.21 |
| 3 | 5.20 | 40 | 76.30 | 5.20 | SUS304TP | S | 3 | 129 | 1.00 | 12.5% | 4.55 | 1.52 | A | 1.52 |

評価：$t_s \geqq t_r$，よって十分である。

8.3　管の穴と補強計算書（クラス３配管）

設計・建設規格　PPD-3420，PPD-3422

| NO. | | SP 1 | |
|---|---|---|---|
| 形　　式 | | | A |
| 最高使用圧力 | | P　(MPa) | 5.20 |
| 最高使用温度 | | (℃) | 40 |
| 主管と管台の角度 | | α　(°) | 90 |
| 主管 | 材　料 | | SUS304TP |
| | 許容引張応力 | $S_r$　(MPa) | 129 |
| | 外　径 | $D_{or}$　(mm) | 60.50 |
| | 内　径 | $D_{ir}$　(mm) | 50.88 |
| | 公称厚さ | $t_{ro}$　(mm) | 5.50 |
| | 厚さの負の許容差 | $Q_r$ | 12.5% |
| | 最小厚さ | $t_r$　(mm) | 4.81 |
| | 継手効率 | η | 1.00 |
| 管台 | 材　料 | | SUS304 |
| | 外　径 | $D_{ob}$　(mm) | 33.00 |
| | 内　径 | $D_{ib}$　(mm) | 16.00 |
| | 公称厚さ | $t_{bn}$　(mm) | 8.50 |
| 穴の径 | | d　(mm) | 16.00 |
| $d_{r1}=D_{ir}/4$ | | (mm) | 12.72 |
| 61，$d_{r1}$の小さい値 | | (mm) | 12.72 |
| K | | | 0.2786 |
| 200，$d_{r2}$の小さい値 | | (mm) | 47.85 |
| 補強不要な穴の最大径 | | $d_{fr}$　(mm) | 47.85 |

評価：　$d \leqq d_{fr}$

よって管の穴の補強計算は必要ない。

# Ⅴ-3-3-7-3　浸水防護施設の強度に関する説明書

K7 ① Ⅴ-3-3-7-3 R1

# Ⅴ-3-3-7-3-1　管の基本板厚計算書（7 号機地下水排水設備）

まえがき

本計算書は，Ｖ-3-1-4「クラス３機器の強度計算の基本方針」及びＶ-3-2-7「クラス３管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお，評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については，Ｖ-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

| 管No. | 既設or新設 | 施設時の技術基準に対象とする施設の規定があるか | クラスアップするか | | | | 条件アップするか | | | | | 既工認における評価結果の有無 | 施設時の適用規格 | 評価区分 | 同等性評価区分 | 評価クラス |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | クラスアップの有無 | 施設時機器クラス | ＤＢクラス | ＳＡクラス | 条件アップの有無 | ＤＢ条件 | | ＳＡ条件 | | | | | | |
| | | | | | | | | 圧力(MPa) | 温度(℃) | 圧力(MPa) | 温度(℃) | | | | | |
| 1,2,<br>E1,E2,E3,E4 | 新設 | — | — | — | DB-3※ | — | — | 0.75 | 40 | — | — | — | — | 設計・建設規格 | — | DB-3※ |

注記＊：当該配管は設計・建設規格で規定する機器等の区分に当てはまらないため，DB-3 として評価を行う。

・適用規格の選定

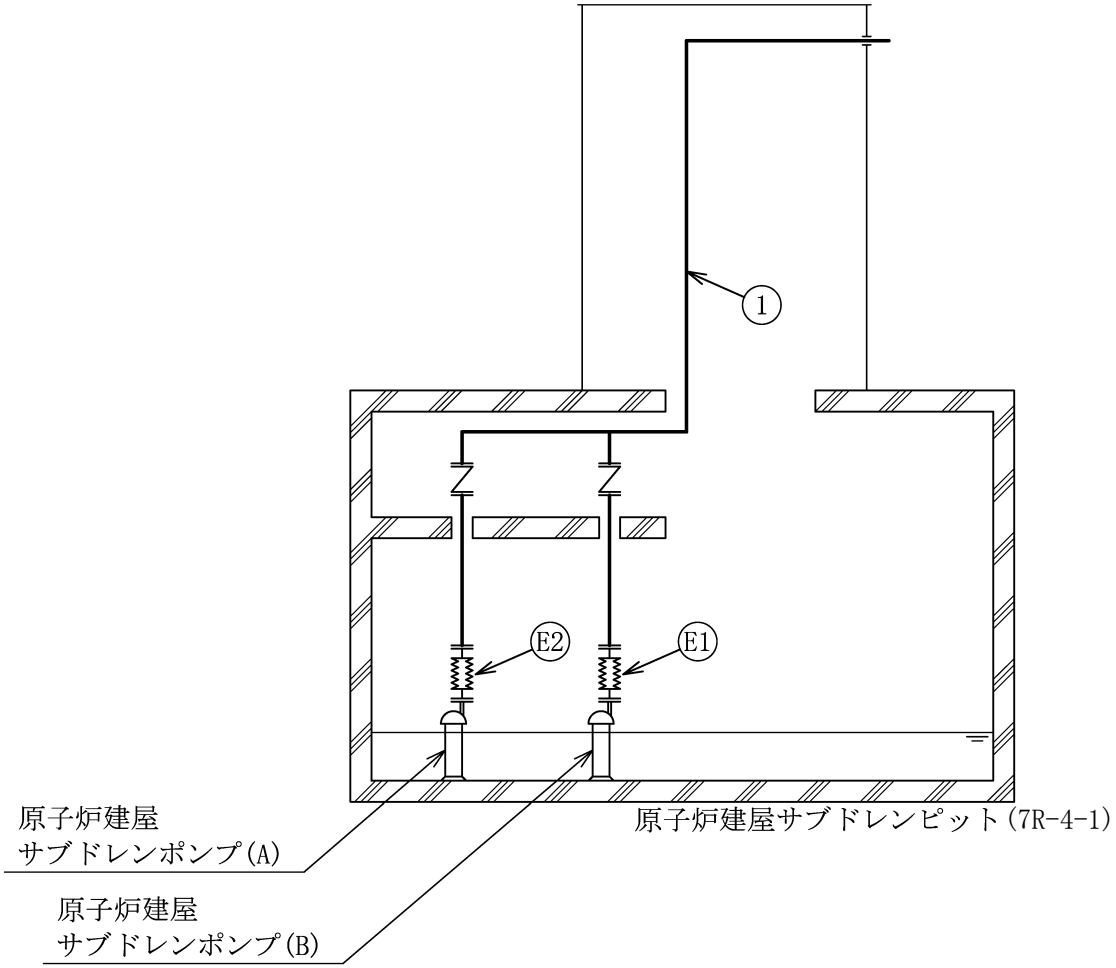
| 管No. | 評価項目 | 評価区分 | 判定基準 | 適用規格 |
|---|---|---|---|---|
| 1,2 | 管の強度計算 | 設計・建設規格 | — | 設計・建設規格 |
| E1,E2,E3,E4 | 伸縮継手の強度計算 | 設計・建設規格 | — | 設計・建設規格 |

目　　次

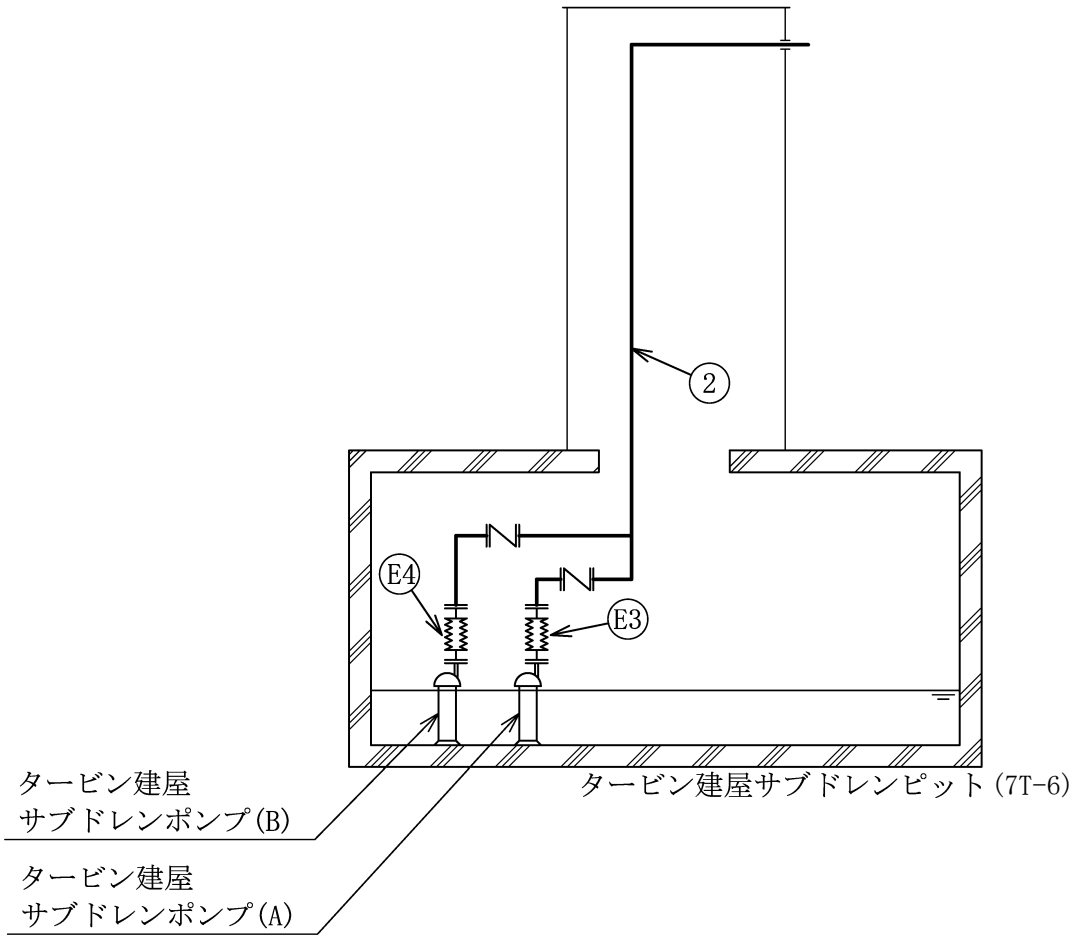
1.　概略系統図 …… 1
2.　管の強度計算書 …… 3
3.　伸縮継手の強度計算書 …… 4

K7 ① V-3-3-7-3-1 R1

1. 概略系統図




7 号機地下水排水設備　概略系統図（その 1）




7号機地下水排水設備　概略系統図（その2）

2.　管の強度計算書（クラス３配管）

設計・建設規格　PPD-3411

| ＮＯ． | 最高使用圧力<br>Ｐ<br>(MPa) | 最高使用<br>温　度<br>(℃) | 外　径<br>$D_0$<br>(mm) | 公称厚さ<br>(mm) | 材　料 | 製<br>法 | クラス | Ｓ<br>(MPa) | $\eta$ | Ｑ<br>(%,mm) | $t_s$<br>(mm) | ｔ<br>(mm) | 算<br>式 | $t_r$<br>(mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.75 | 40 | 114.30 | 6.00 | SUS316LTP | S | 3 | 111 | 1.00 | 12.5% | 5.25 | 0.39 | A | 0.39 |
| 2 | 0.75 | 40 | 114.30 | 6.00 | SUS316LTP | S | 3 | 111 | 1.00 | 12.5% | 5.25 | 0.39 | A | 0.39 |

評価：$t_s \geqq t_r$，よって十分である。

3.　伸縮継手の強度計算書（クラス３配管）

設計・建設規格　PPD-3416

| NO. | 最高使用圧力<br>P<br>(MPa) | 最高<br>使用<br>温度<br>(℃) | 材　料 | 縦弾性係数<br>E<br>(MPa) | t<br>(mm) | 全伸縮量<br>δ<br>(mm) | b<br>(mm) | h<br>(mm) | n | c | 算<br>式 | 継手部応力<br>σ<br>(MPa) | N<br>$\times 10^3$ | $N_r$<br>$\times 10^3$ | U |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| E1 | 0.75 | 40 | SUS316L | 194000 | 1.00 | 6.00 | 15.00 | 25.00 | 28 | 1 | B | 148 | 3574.7 | 10 | 0.0028 |
| E2 | 0.75 | 40 | SUS316L | 194000 | 1.00 | 2.00 | 15.00 | 25.00 | 28 | 1 | B | 62 | 75124.4 | 10 | 0.0002 |
| E3 | 0.75 | 40 | SUS316L | 194000 | 1.00 | 5.00 | 15.00 | 25.00 | 28 | 1 | B | 126 | 6278.5 | 10 | 0.0016 |
| E4 | 0.75 | 40 | SUS316L | 194000 | 1.00 | 5.00 | 15.00 | 25.00 | 28 | 1 | B | 126 | 6278.5 | 10 | 0.0016 |

評価：U≦1，よって十分である。

# Ⅴ-3-3-7-4　補機駆動用燃料設備の強度に関する説明書

K7 ① Ⅴ-3-3-7-4 R1

# Ⅴ-3-3-7-4-1　燃料設備の強度計算書

K7 ① Ⅴ-3-3-7-4-1 R1

# Ⅴ-3-3-7-4-1-1　可搬型代替注水ポンプ（A-1 級）燃料タンクの強度計算書

K7 ① Ⅴ-3-3-7-4-1-1 R1

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果

（可搬型代替注水ポンプ（A-1 級）燃料タンク）
可搬型代替注水ポンプ（A-1 級）燃料タンクは，可搬型代替注水ポンプ（A-1 級）の附属機器であり，一体構造品の完成品として一般産業品の規格及び基準により強度評価を実施している。Ⅴ-3-3-2-2-2-1「可搬型代替注水ポンプ（A-1 級）の強度計算書」に示すとおり，可搬型代替注水ポンプ（A-1 級）燃料タンクは，一般産業品としてメーカ規格及び基準に適合し，重大事故等時における使用条件において要求される強度を有している。

# Ⅴ-3-3-7-4-1-2　可搬型代替注水ポンプ（A-2 級）燃料タンクの強度計算書

K7 ① Ⅴ-3-3-7-4-1-2 R1

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果

（可搬型代替注水ポンプ（A-2 級）燃料タンク）
可搬型代替注水ポンプ（A-2 級）燃料タンクは，可搬型代替注水ポンプ（A-2 級）の附属機器であり，一体構造品の完成品として一般産業品の規格及び基準により強度評価を実施している。Ⅴ-3-3-2-2-2-2「可搬型代替注水ポンプ（A-2 級）の強度計算書」に示すとおり，可搬型代替注水ポンプ（A-2 級）燃料タンクは，一般産業品としてメーカ規格及び基準に適合し，重大事故等時における使用条件において要求される強度を有している。

# Ⅴ-3-3-7-4-1-3　大容量送水車（原子炉建屋放水設備用）燃料タンクの強度計算書

K7 ① Ⅴ-3-3-7-4-1-3 R1

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果

（大容量送水車（原子炉建屋放水設備用）燃料タンク）
大容量送水車（原子炉建屋放水設備用）燃料タンクは，大容量送水車（原子炉建屋放水設備用）の附属機器であり，一体構造品の完成品として一般産業品の規格及び基準により強度評価を実施している。Ｖ-3-3-6-2-4-3-1「大容量送水車（原子炉建屋放水設備用）の強度計算書」に示すとおり，大容量送水車（原子炉建屋放水設備用）燃料タンクは，一般産業品としてメーカ規格及び基準に適合し，重大事故等時における使用条件において要求される強度を有している。

# Ｖ-3-3-7-4-1-4　大容量送水車（海水取水用）燃料タンクの強度計算書

K7 ① Ｖ-3-3-7-4-1-4 R1

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果

（大容量送水車（海水取水用）燃料タンク）
大容量送水車（海水取水用）燃料タンクは大容量送水車（海水取水用）の附属機器であり，一体構造品の完成品として一般産業品の規格及び基準により強度評価を実施している。Ｖ-3-3-3-3-5-1「大容量送水車（海水取水用）の強度計算書」に示すとおり，大容量送水車（海水取水用）燃料タンクは，一般産業品としてメーカ規格及び基準に適合し，重大事故等時における使用条件において要求される強度を有している。

# Ｖ-3-3-7-4-1-5　大容量送水車（熱交換器ユニット用）燃料タンクの強度計算書

K7 ① V-3-3-7-4-1-5 R1

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果

（大容量送水車（熱交換器ユニット用）燃料タンク）
大容量送水車（熱交換器ユニット用）燃料タンクは，大容量送水車（熱交換器ユニット用）の附属機器であり，一体構造品の完成品として一般産業品の規格及び基準により強度評価を実施している。Ｖ-3-3-3-5-2-3「大容量送水車（熱交換器ユニット用）の強度計算書」に示すとおり，大容量送水車（熱交換器ユニット用）燃料タンクは，一般産業品としてメーカ規格及び基準に適合し，重大事故等時における使用条件において要求される強度を有している。

# Ｖ-3-別添１　竜巻への配慮が必要な施設の強度に関する説明書

K7 ① Ｖ-3-別添１ R1

# Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針

目　　次

1.　概要 ･･････････････････････････････････････････････････････ 1
2.　強度評価の基本方針 ･･････････････････････････････････････････ 2
2.1　評価対象施設 ････････････････････････････････････････････ 2
2.2　評価方針 ････････････････････････････････････････････････ 3
2.2.1　評価の分類 ････････････････････････････････････････････ 3
3.　構造強度設計 ･･･････････････････････････････････････････････ 6
3.1　構造強度の設計方針 ･･････････････････････････････････････ 6
3.2　機能維持の方針 ･････････････････････････････････････････ 10
4.　荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界 ･･･････････････････････････ 33
4.1　荷重及び荷重の組合せ ････････････････････････････････････ 33
4.2　許容限界 ･･･････････････････････････････････････････････ 43
4.2.1　建物・構造物 ･････････････････････････････････････････ 44
4.2.2　機器・配管系 ･････････････････････････････････････････ 48
5.　強度評価方法 ･･････････････････････････････････････････････ 60
5.1　建物･構造物に関する評価式 ･･･････････････････････････････ 61
5.1.1　鉄筋コンクリート造構造物 ･････････････････････････････ 61
5.1.2　主排気筒 ･････････････････････････････････････････････ 65
5.2　機器･配管系に関する評価式 ･･･････････････････････････････ 69
5.2.1　軽油タンク ･･･････････････････････････････････････････ 69
5.2.2　吸気配管 ･････････････････････････････････････････････ 77
5.2.3　ダンパ（換気空調系） ･････････････････････････････････ 79
5.2.4　角ダクト（換気空調系） ･･･････････････････････････････ 84
5.2.5　丸ダクト（換気空調系） ･･･････････････････････････････ 87
5.2.6　バタフライ弁（換気空調系） ･･･････････････････････････ 90
5.2.7　ファン（換気空調系） ･････････････････････････････････ 94
5.2.8　消音器 ･･･････････････････････････････････････････････ 96
5.2.9　排気管及びミスト管 ･･･････････････････････････････････ 99
6.　適用規格 ････････････････････････････････････････････････ 102

1. 概要

本資料は，「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第7条及びその「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「解釈」という。）に適合し，技術基準規則第54条及びその解釈に規定される「重大事故等対処設備」を踏まえた重大事故等対処設備に配慮する設計とするため，Ⅴ-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちⅤ-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」（以下「Ⅴ-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」」という。）に基づき，竜巻の影響を考慮する施設が，設計竜巻に対して要求される強度を有することを確認するための強度評価方針について説明するものである。

強度評価は，Ⅴ-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちⅤ-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」（以下「Ⅴ-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」」という。）に示す適用規格を用いて実施する。

なお，防護対策施設の設計方針については，Ⅴ-3-別添 1-2「防護対策施設の強度計算の方針」に示し，具体的な計算の方法及び結果は，Ⅴ-3-別添 1-4「防護対策施設の強度計算書」に示す。また，屋外の重大事故等対処設備の固縛装置の設計方針については，Ⅴ-3-別添1-3「固縛装置の強度計算の方針」に示し，具体的な計算の方法及び結果は，Ⅴ-3-別添 1-10「固縛装置の強度計算書」に示す。

その他の竜巻の影響を考慮する施設の具体的な計算の方法及び結果は，Ⅴ-3-別添1-5「竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書」からⅤ-3-別添1-9「波及的影響を及ぼす可能性がある施設の強度計算書」に示す。

## 2.　強度評価の基本方針

強度評価は，「2.1　評価対象施設」に示す評価対象施設を対象として，「4.1　荷重及び荷重の組合せ」で示す設計竜巻荷重及びそれと組み合わせる荷重を適切に組み合わせた荷重により生じる応力等が「4.2　許容限界」で示す許容限界内にあることを「5.　強度評価方法」に示す計算方法を使用し，「6.　適用規格」に示す適用規格を用いて確認する。

### 2.1　評価対象施設

Ⅴ-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」にて構造強度上の性能目標を設定している竜巻の影響を考慮する施設を強度評価の対象とする。強度評価を行うにあたり，評価対象施設を以下のとおり分類することとし，表2－1に示す。

(1)　竜巻より防護すべき施設を内包する施設（建屋）

設計竜巻荷重及びそれと組み合わせる荷重に対し構造強度を維持する必要がある，屋外の外部事象防護対象施設のうち，屋内の竜巻より防護すべき施設を防護する外殻となる，竜巻より防護すべき施設を内包する施設（建屋）とする。

(2)　屋外の外部事象防護対象施設（建屋を除く。）

設計竜巻荷重及びそれと組み合わせる荷重に対し構造強度を維持する必要がある，屋外の外部事象防護対象施設（建屋を除く。）とする。

(3)　外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設

設計竜巻荷重及びそれと組み合わせる荷重に対し構造強度を維持する必要がある，外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設とする。

(4)　外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設

設計竜巻荷重及びそれと組み合わせる荷重に対し構造強度を維持する必要がある，外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設とする。

## 2.2　評価方針

竜巻の影響を考慮する施設は，V-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」にて設定している構造強度設計上の性能目標を達成するため，「2.1　評価対象施設」で分類した施設ごとに，竜巻に対する強度評価を実施する。

強度評価の評価方針は，それぞれ「衝突評価」の方針及び「構造強度評価」の方針に分類でき，評価対象施設はこれらの評価を実施する。

外部事象防護対象施設及び外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設の強度評価は，防護措置として設置する防護対策施設，竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度評価を踏まえたものであるため，防護対策施設，竜巻より防護すべき施設を内包する施設について示したうえで，外部事象防護対象施設及び外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設について示す。

### 2.2.1　評価の分類

(1)　衝突評価

衝突評価は,竜巻による設計飛来物による衝撃荷重に対する直接的な影響の評価として,評価対象施設が，貫通，貫入，ひずみの変形が生じた場合においても，当該施設の機能を維持可能な変形に留めることを確認する評価とする。

評価対象施設の構造及び当該施設の機能を考慮し，設計飛来物の衝突により想定される損傷モードを以下のとおり分類し，それぞれの評価方針を設定する。

a.　建屋・構造物

(a)　貫通

(b)　ひずみ

b.　機器・配管系

(a)　貫入

(b)　ひずみ

(2)　構造強度評価

構造強度評価は，竜巻の風圧力による荷重，気圧差による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重により生じる応力等に対し，評価対象施設及びその支持構造物が，当該施設の機能を維持可能な構造強度を有することを確認する評価とする。構造強度評価は，構造強度により閉止性及び開閉機能を確保することの評価を含む。

構造強度評価は,評価対象施設の構造を考慮し,以下の分類ごとに評価方針を設定する。

a.　建屋・構造物

以下の「(a)　鉄筋コンクリート造構造物」は，構造を踏まえた評価項目を抽出し分類する。

(a)　鉄筋コンクリート造構造物

イ．　裏面剥離

ロ．　転倒及び脱落

ハ．　変形

(b)　主排気筒

b.　機器・配管系

(a)　軽油タンク

(b)　吸気配管

(c)　ダンパ

(d)　ダクト

(e)　バタフライ弁

(f)　ファン

(g)　消音器

(h)　排気管及びミスト管

表2－1　強度評価における施設分類

| 強度評価における分類 | 施設名称 |
|---|---|
| (1)　竜巻より防護すべき施設を内包する施設（建屋） | ・原子炉建屋<br>・タービン建屋海水熱交換器区域<br>・コントロール建屋<br>・廃棄物処理建屋 |
| (2)　屋外の外部事象防護対象施設（建屋を除く。） | ・軽油タンク |
| (3)　外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設 | ・非常用ディーゼル発電設備吸気配管<br>・ダンパ（換気空調系）<br>・角ダクト（換気空調系）及び丸ダクト（換気空調系）<br>・バタフライ弁（換気空調系）<br>・ファン（換気空調系） |
| (4)　外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設<br>a.　機械的影響を及ぼす可能性がある施設<br>b.　機能的影響を及ぼす可能性がある施設 | a.　機械的影響を及ぼす可能性がある施設<br>・サービス建屋<br>・6号機及び7号機主排気筒<br>b.　機能的影響を及ぼす可能性がある施設<br>・非常用ディーゼル発電設備排気消音器<br>・非常用ディーゼル発電設備排気管<br>・ミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料ドレンタンク） |

3.　構造強度設計

Ⅴ-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」で設定している設計竜巻に対し，「2.1　評価対象施設」で設定している施設が，構造強度設計上の性能目標を達成するよう，Ⅴ-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「4.　機能設計」で設定している各施設が有する機能を踏まえ，構造強度の設計方針を設定する。

各施設の構造強度の設計方針を設定し，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，各施設の構造強度を維持するよう構造設計と評価方針を設定する。

3.1　構造強度の設計方針

Ⅴ-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するための設計方針を「2.1　評価対象施設」で設定している評価対象施設分類ごとに示す。

(1)　竜巻より防護すべき施設を内包する施設（建屋）

原子炉建屋，タービン建屋海水熱交換器区域，コントロール建屋及び廃棄物処理建屋は，Ⅴ-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.1(2)c.性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，設計飛来物が竜巻より防護すべき施設に衝突することを防止するために，設計飛来物が竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材を貫通せず，また，竜巻より防護すべき施設に波及的影響を与えないために，竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材自体の転倒及び脱落が生じない設計とする。また，原子炉建屋は上記に加え，放射性物質の閉じ込め機能を維持するために，設計飛来物が建屋の外殻を構成する部材を貫通せず，また裏面剥離が生じず，Ⅴ-2「耐震性に関する説明書」のうちⅤ-2-1-9「機能維持の基本方針」の「4.3　気密性の維持」を踏まえ，屋根スラブ及び耐震壁に生じる応力やひずみが，おおむね弾性状態にとどまる設計とする。

(2)　屋外の外部事象防護対象施設（建屋を除く。）

a.　軽油タンク

軽油タンクは，Ⅴ-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.1(1)c.　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，屋外の軽油タンクエリアに設けた基礎に基礎ボルトで固定し，軽油タンクの主要な構造部材が非常用所内母線へ7日間の電源供給が継続できるよう燃料を保有する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

また，設計竜巻による設計飛来物による衝撃荷重に対し，有意な変形を生じない設計とする。

(3)　外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設

a.　非常用ディーゼル発電設備吸気配管

非常用ディーゼル発電設備吸気配管は，Ｖ-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.1(3)c.　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，原子炉建屋の壁面等にサポートで支持し，主要な構造部材が流路を確保する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

b.　ダンパ（換気空調系）

ダンパ（換気空調系）は，Ｖ-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.1(3)c.　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，換気空調系のダクトに固定し，開閉可能な機能及び閉止性の維持を考慮して主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

c.　角ダクト（換気空調系）及び丸ダクト（換気空調系）

角ダクト（換気空調系）及び丸ダクト（換気空調系）は，Ｖ-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.1(3)c.　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，原子炉建屋，タービン建屋，コントロール建屋の壁面等にサポートで支持し，主要な構造部材が流路を確保する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

d.　バタフライ弁（換気空調系）

バタフライ弁（換気空調系）は，Ｖ-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.1(3)c.　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，換気空調系のダクトに固定し，開閉可能な機能及び閉止性の維持を考慮して主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

e.　ファン（換気空調系）

ファン（換気空調系）は，Ｖ-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.1(3)c.　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，原子炉建屋，タービン建屋，コントロール建屋の床面等に基礎ボルトで固定し，主要な構造部材が非常用電気品区域，非常用ディーゼル発電機，中央制御室，コントロール建屋計測制御電源盤区域及び海水熱交換器区域の冷却に必要な風量を送風する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

「(3)　外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設」の屋内の外部事象防護対象施設の設計フローを図3－1に示す。

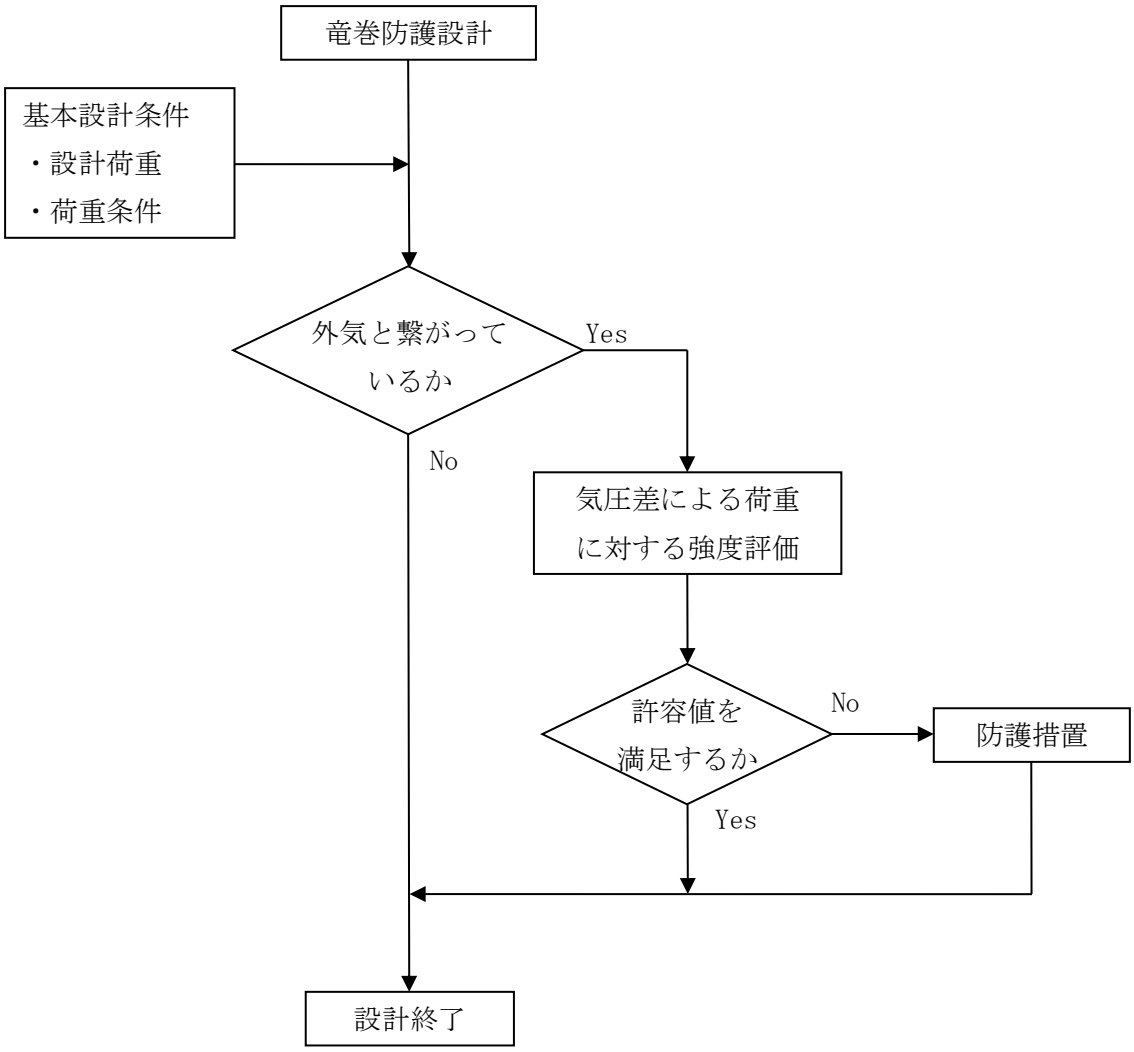



図 3－1　屋内の外部事象防護対象施設の設計フロー

(4)　外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設

a.　機械的影響を及ぼす可能性がある施設

(a)　サービス建屋

サービス建屋は，Ⅴ-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.4(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，竜巻より防護すべき施設を内包するコントロール建屋に接触による影響を及ぼさない設計とする。

(b)　6 号機及び 7 号機主排気筒

6 号機及び 7 号機主排気筒は，Ⅴ-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.4(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，竜巻より防護すべき施設を内包する原子炉建屋及びコントロール建屋に倒壊による影響を及ぼさない設計とする。

b.　機能的影響を及ぼす可能性がある施設

(a)　非常用ディーゼル発電設備排気消音器

非常用ディーゼル発電設備排気消音器は，Ⅴ-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.4(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻の風圧力による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，排気機能を維持するために，建屋屋上に設けたコンクリート基礎にボルトで固定し，主要な構造部材が排気機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

(b)　非常用ディーゼル発電設備排気管

非常用ディーゼル発電設備排気管は，Ⅴ-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.4(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻の風圧力による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，排気機能を維持するために，サポートによる支持で建屋床面等に固定し，主要な構造部材が排気機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

(c)　ミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料ドレンタンク）

ミスト管は，Ⅴ-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.4(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻の風圧力による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，通気機能を維持するために，サポートによる支持で建屋壁面等に固定し，主要な構造部材が通気機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

3.2　機能維持の方針

Ⅴ-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」で設定している構造強度上の性能目標を達成するために，「3.1　構造強度の設計方針」に示す設計方針を踏まえ，Ⅴ-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2)　荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を適切に考慮して，各施設の構造設計及びそれを踏まえた評価方針を設定する。

(1)　竜巻より防護すべき施設を内包する施設（建屋）

竜巻より防護すべき施設を内包する施設の機能維持の方針は，施設の設置状況に応じ，以下の方針とする。

a.　建屋（原子炉建屋，タービン建屋海水熱交換器区域，コントロール建屋及び廃棄物処理建屋）

(a)　構造設計

建屋は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びⅤ-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2)　荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

建屋に作用する荷重は，外殻を構成する屋根スラブ及び外壁に作用し，建屋内に配置された耐震壁又は鉄骨架構を介し，直接岩盤等に支持する基礎版へ伝達する構造とする。

建屋の構造計画を表3－1に示す。

(b)　評価方針

イ．　衝突評価

建屋の衝突評価については，設計飛来物が竜巻より防護すべき施設の外殻を構成する部材を貫通しない設計及び原子炉建屋の放射性物質の閉じ込め機能を維持する設計とするために，設計飛来物による衝撃荷重に対し，当該部材が設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.1.1(3)強度評価方法」に示す限界厚さ評価式により算出した厚さを基に評価を行う。最小厚さ以上であることの確認ができない屋根スラブについては，鉄筋又はデッキプレートが終局状態に至るようなひずみが生じないことを解析により確認する。評価方法としては，FEMを用いた解析により算出したひずみを基に評価を行う。

ロ．　構造強度評価

建屋の構造強度評価については，竜巻より防護すべき施設に波及的影響を与えない確認として，設計飛来物による衝撃荷重に対し，建屋の外殻を構成する部材自体の脱落を生じない設計及び原子炉建屋の放射性物質の閉じ込め機能を維持する設計とするために，外殻となる屋根スラブ及び壁面のうち，コンクリートの裏面剥離により内包する外部事象防護対象施設への影響が考えられる箇所については，裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。評価

方法としては，「5.1.1(3)　強度評価方法」に示す限界厚さ評価式により算出した厚さを基に評価を行う。最小厚さ以上であることの確認ができない屋根スラブについては，デッキプレートが終局状態に至るようなひずみが生じないことを解析により確認する。評価方法としては，FEM を用いた解析により算出したひずみを基に評価を行う。

また，建屋を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計及び原子炉建屋の放射性物質の閉じ込め機能を維持する設計とするため，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，屋根スラブのデッキプレート，屋根スラブのスタッド及び外壁に終局状態に至るような応力又はひずみが生じないこと，加えて鉄骨架構に終局状態に至る変形を生じないことを計算及び解析により確認する。評価方法としては，「5.1.1(3)強度評価方法」に示す強度評価式により算出した応力並びに建屋の地震応答解析モデルを用いて算出したせん断ひずみ又は層間変形角を基に評価を行う。

表 3－1　建屋の構造計画（1/5）

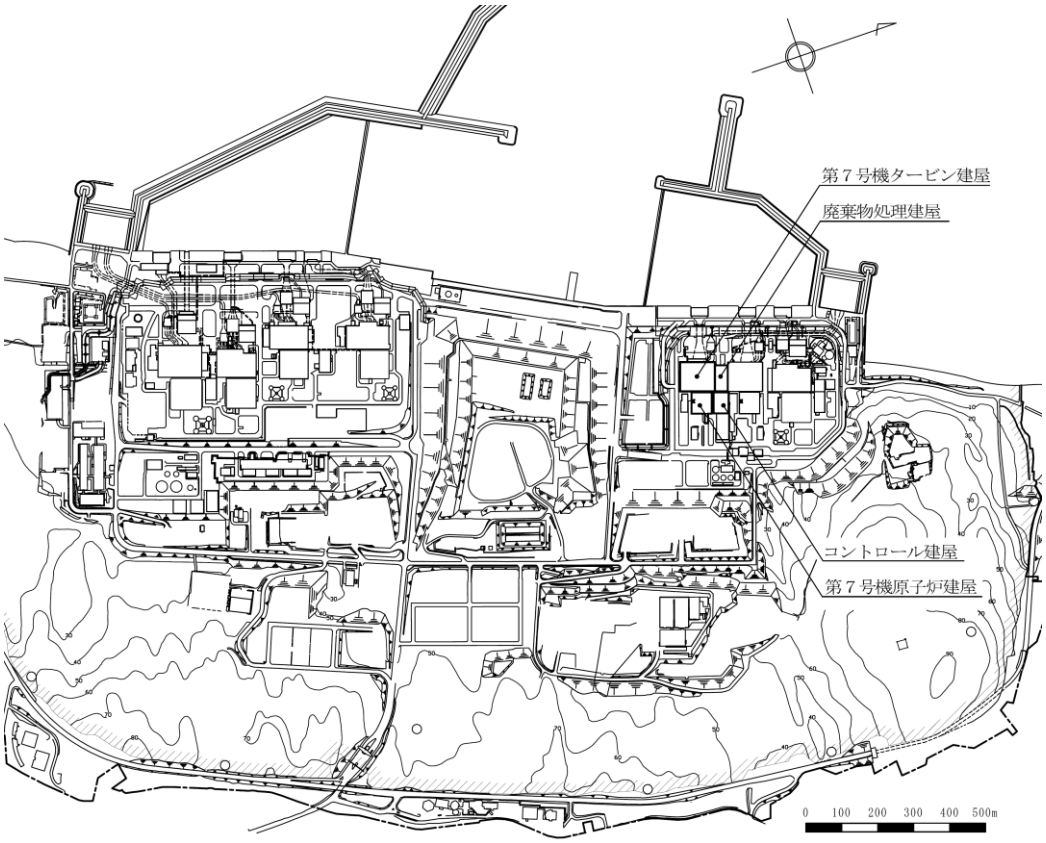
| 施設分類 | 施設名称 | 計画の概要 | | 説明図 |
|---|---|---|---|---|
| | | 主体構造 | 支持構造 | |
| 建屋 | 【位置】<br>  <br> | | | |

表 3－1　建屋の構造計画（2/5）

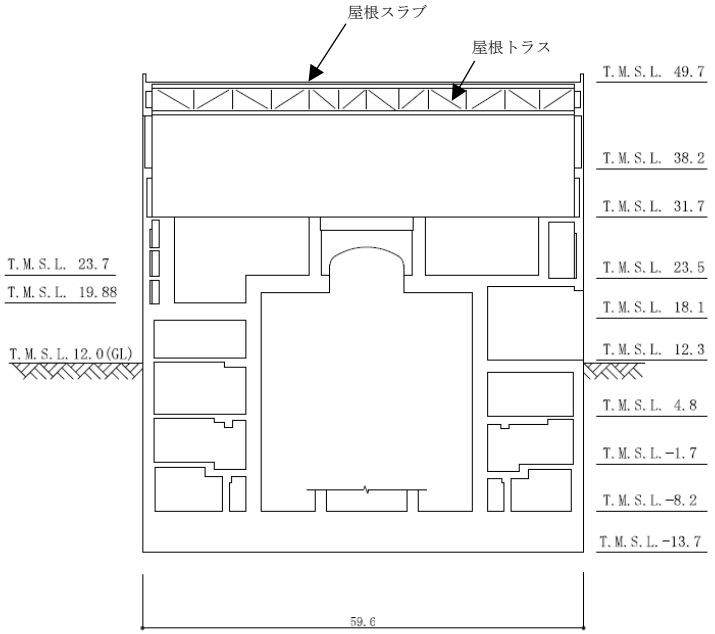
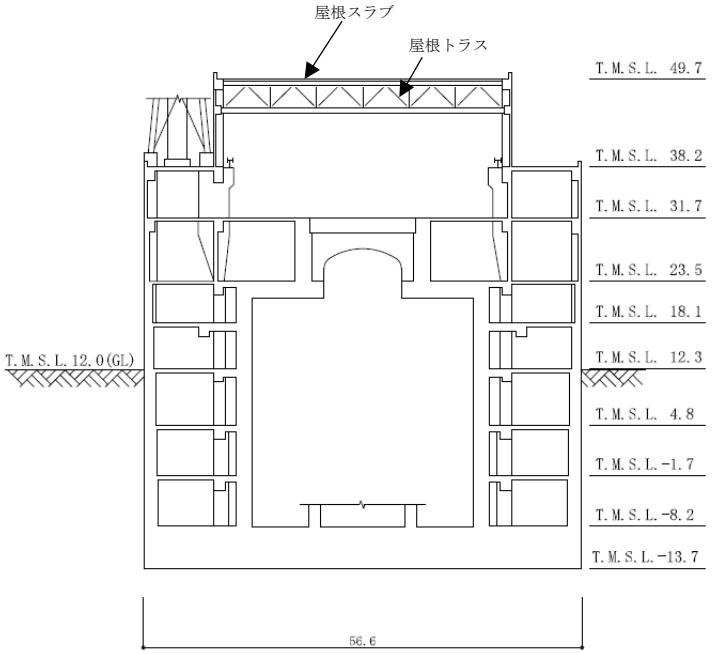
| 施設名称 | 計画の概要 | | 説明図 |
|---|---|---|---|
| | 主体構造 | 支持構造 | |
| 原子炉建屋 | 鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）で構成する。 | 荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し，建屋内に配置された耐震壁等を介し，基礎版へ伝達する構造とする。 |  <br>（単位：m）<br>（東西方向断面）<br>  <br>（単位：m）<br>（南北方向断面） |

表 3－1　建屋の構造計画（3/5）

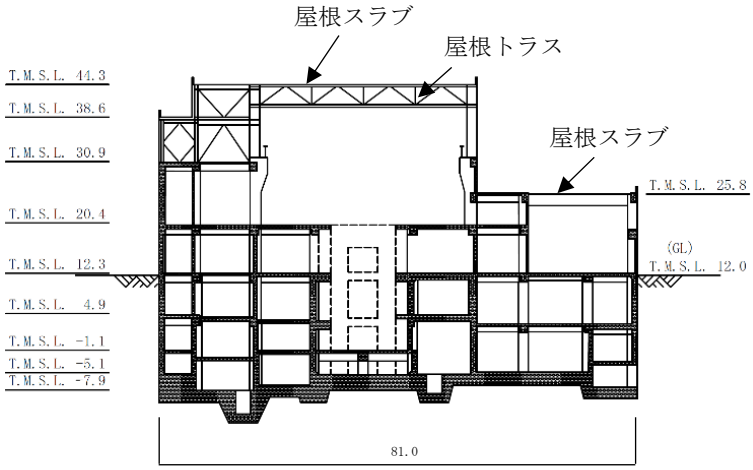
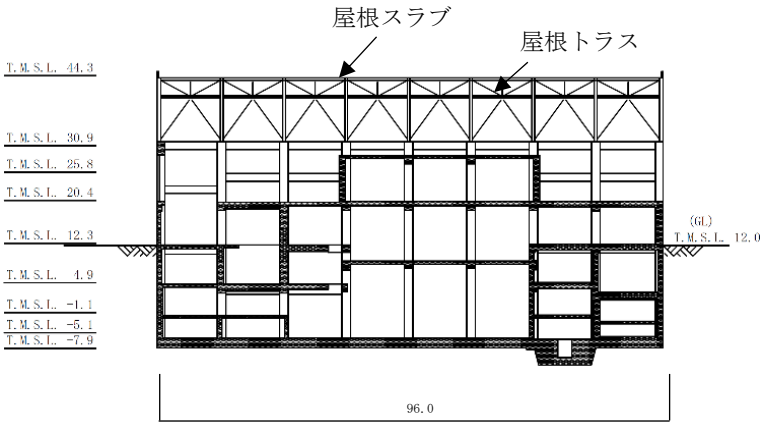
| 施設名称 | 計画の概要 | | 説明図 |
|---|---|---|---|
| | 主体構造 | 支持構造 | |
| タービン建屋海水熱交換器区域 | 鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）で構成する。 | 荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し，建屋内に配置された耐震壁等を介し，基礎版へ伝達する構造とする。 |  <br>（単位：m）<br>（東西方向断面）<br>  <br>（単位：m）<br>（南北方向断面） |

表 3－1　建屋の構造計画（4/5）

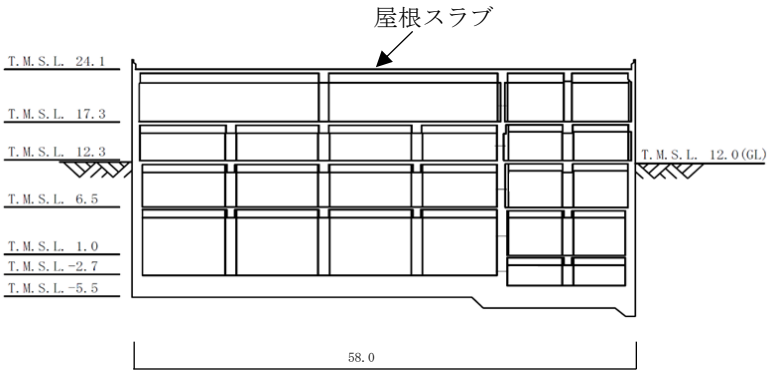
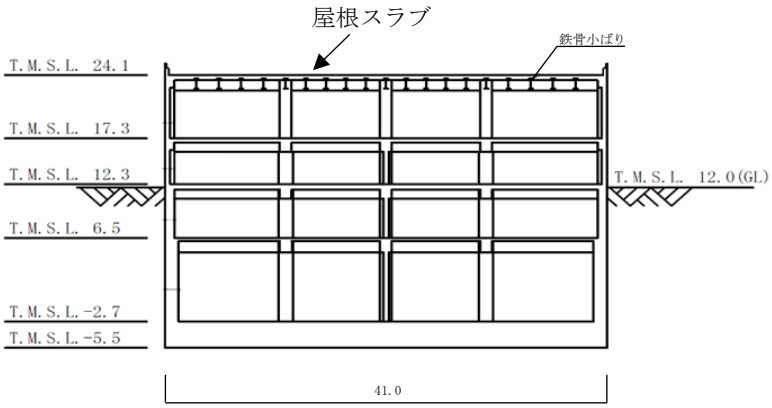
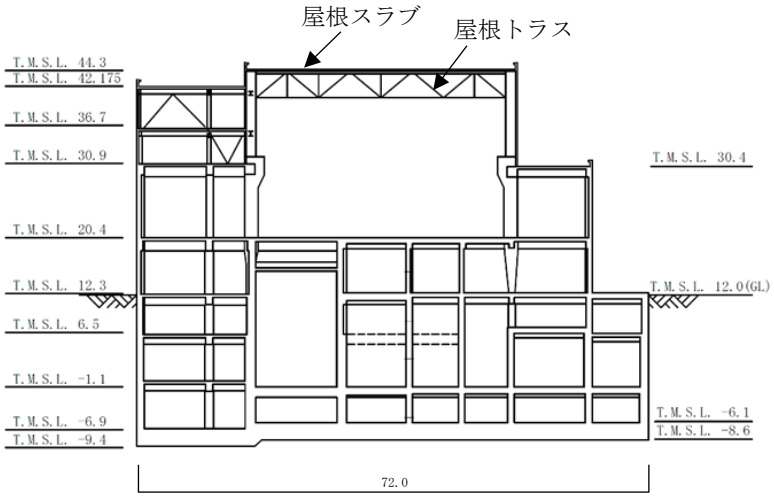
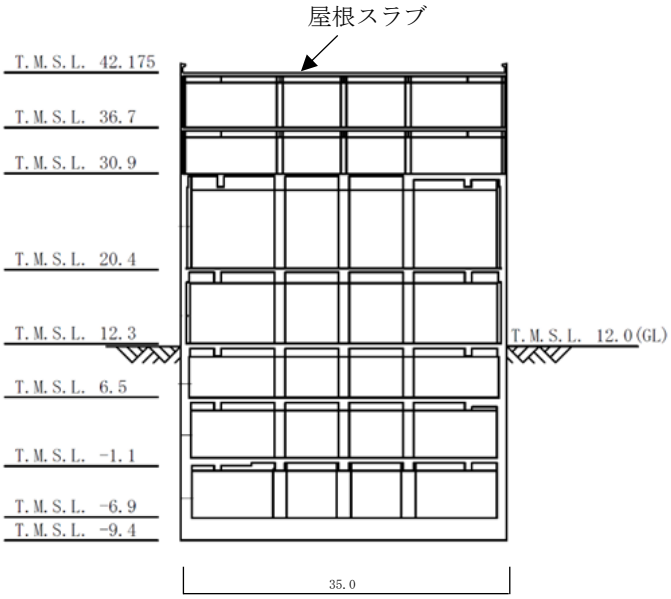
| 施設名称 | 計画の概要 | | 説明図 |
|---|---|---|---|
| | 主体構造 | 支持構造 | |
| コントロール建屋 | 鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造）で構成する。 | 荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し，建屋内に配置された耐震壁等を介し，基礎版へ伝達する構造とする。 |  <br>（単位：m）<br>（東西方向断面）<br>  <br>（単位：m）<br>（南北方向断面） |

表 3－1　建屋の構造計画（5/5）

| 施設名称 | 計画の概要 | | 説明図 |
|---|---|---|---|
| | 主体構造 | 支持構造 | |
| 廃棄物処理建屋 | 鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）で構成する。 | 荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し，建屋内に配置された耐震壁等を介し，基礎版へ伝達する構造とする。 |  <br>（単位：m）<br>（東西方向断面）<br>  <br>（単位：m）<br>（南北方向断面） |

(2)　屋外の外部事象防護対象施設（建屋を除く。）

a.　軽油タンク

(a)　構造設計

軽油タンクは，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びV-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2)　荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

軽油タンクは鋼製の平底たて置円筒形容器を主体構造とし，コンクリート基礎に基礎ボルトで固定する構造とする。また，作用する荷重については，胴板を介して基礎ボルトに伝達する構造とする。

軽油タンクの構造計画を表3－2に示す。

(b)　評価方針

イ.　衝突評価

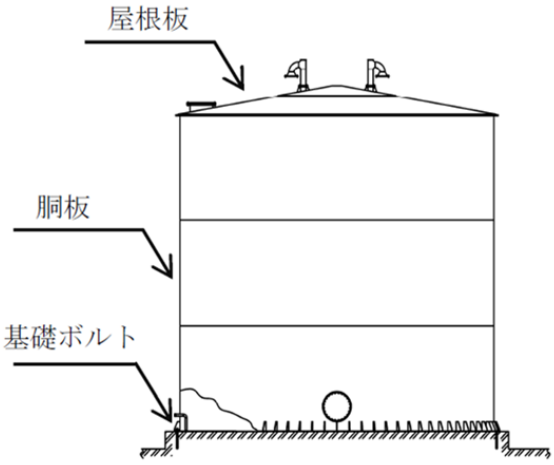
軽油タンクの衝突評価については，設計飛来物が軽油タンクの外殻を構成する部材を貫通しない設計とするために，設計飛来物による衝撃荷重に対し，当該部材が設計飛来物の貫通を生じない貫通限界厚さ以上であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.1(3)　強度評価方法」に示す強度評価式により算出した厚さを基に評価を行う。

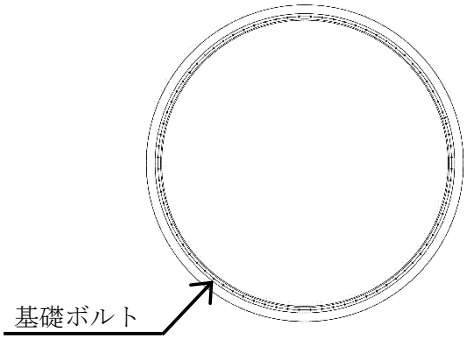
更に終局状態に至るようなひずみを生じないことを解析により確認する。評価方法としては，FEMを用いた解析により算出したひずみを基に評価を行う。

ロ.　構造強度評価

軽油タンクの構造強度評価については，設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，軽油タンクを構成する胴板及び基礎ボルトに生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.1(3)　強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3－2　軽油タンクの構造計画

<table>
<tr><th rowspan="2">施設名称</th><th colspan="2">計画の概要</th><th rowspan="2">説明図</th></tr>
<tr><th>主体構造</th><th>支持構造</th></tr>
<tr><td colspan="4">【位置】<br>軽油タンクは，軽油タンクエリアに設置する設計としている。</td></tr>
<tr><td>軽油タンク</td><td>鋼製の胴板で構成する平底たて置円筒形容器</td><td>容器底部をコンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。</td><td> 

正面図<br> 

基礎図</td></tr>
</table>

(3)　外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設

a.　非常用ディーゼル発電設備吸気配管

(a)　構造設計

非常用ディーゼル発電設備吸気配管は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びV-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2)　荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

非常用ディーゼル発電設備吸気配管は鋼製の配管を主体構造とし，支持構造物により床等に支持する構造とする。また，作用する荷重については，配管本体に作用する構造とする。

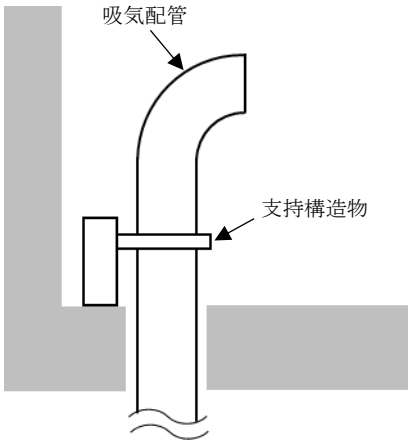
非常用ディーゼル発電設備吸気配管の構造計画を表3－3に示す。

(b)　評価方針

イ．　構造強度評価

非常用ディーゼル発電設備吸気配管の構造強度評価については，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，配管本体に生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.2(3)　強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表3－3　非常用ディーゼル発電設備吸気配管の構造計画

| 施設名称 | 計画の概要 | | 説明図 |
|---|---|---|---|
| | 主体構造 | 支持構造 | |
| 【位置】<br>非常用ディーゼル発電設備吸気配管は，十分な強度を有する建屋（原子炉建屋）内に設置する設計としている。 | | | |
| 非常用ディーゼル発電設備吸気配管 | 鋼製の配管で構成する。 | 配管は，支持構造物により床等から支持する。 |  |

b.　ダンパ（換気空調系）

(a)　構造設計

ダンパ（換気空調系）は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びⅤ-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2)　荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

ダンパ（換気空調系）は鋼製のケーシング，ベーン及びシャフトを主体構造とし，接続ダクトにより支持する構造とする。また，作用する荷重については，ケーシング及びベーンに作用し，ベーンを介してシャフトに伝達する構造とする。

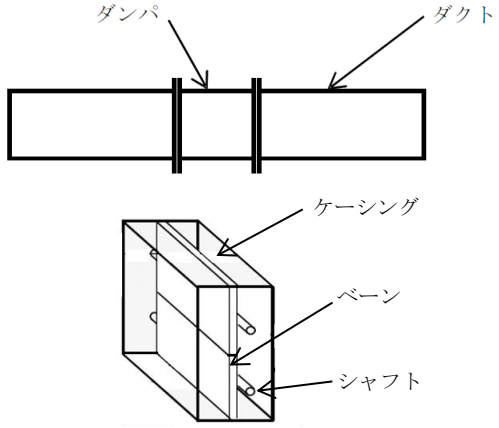
ダンパ（換気空調系）の構造計画を表3－4に示す。

(b)　評価方針

イ．　構造強度評価

ダンパ（換気空調系）の構造強度評価については，開閉可能な機能及び閉止性を考慮して，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，発生する応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.3(3)強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表3－4　ダンパ（換気空調系）の構造計画

| 施設名称 | 計画の概要 | | 説明図 |
|---|---|---|---|
| | 主体構造 | 支持構造 | |
| 【位置】<br>ダンパ（換気空調系）は，十分な強度を有する建屋（原子炉建屋，タービン建屋海水熱交換器区域及びコントロール建屋）内に設置する設計としている。 | | | |
| ダンパ（換気空調系） | ケーシング，ベーン及びシャフトで構成する。 | 接続ダクトにより支持する。 |  |

c.　角ダクト（換気空調系）及び丸ダクト（換気空調系）

(a)　構造設計

角ダクト（換気空調系）及び丸ダクト（換気空調系）は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びＶ-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2)　荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

角ダクト（換気空調系）及び丸ダクト（換気空調系）は，鋼製のダクトを主体構造とし，支持構造物により建屋壁，床及び梁等に支持する構造とする。また，作用する荷重については，ダクト鋼板に作用する構造とする。

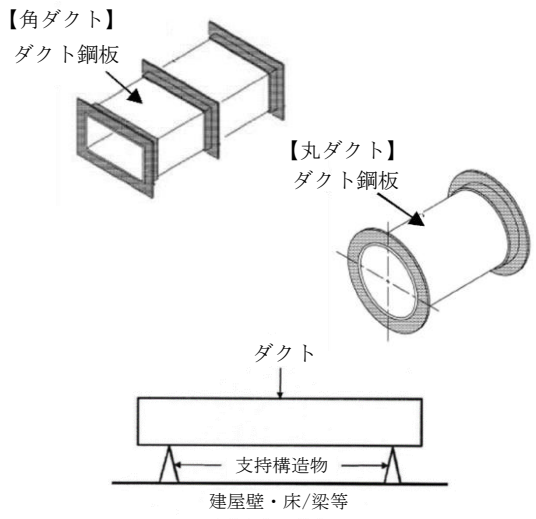
角ダクト（換気空調系）及び丸ダクト（換気空調系）の構造計画を表 3－5 に示す。

(b)　評価方針

イ．　構造強度評価

角ダクト（換気空調系）及び丸ダクト（換気空調系）の構造強度評価については，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，角ダクト（換気空調系）及び丸ダクト（換気空調系）を構成するダクト鋼板に生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，ダクト形状で評価方法を分類し「5.2.4(3)　強度評価方法」及び「5.2.5(3)　強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3－5　角ダクト（換気空調系）及び丸ダクト（換気空調系）の構造計画

| 施設名称 | 計画の概要 | | 説明図 |
|---|---|---|---|
| | 主体構造 | 支持構造 | |
| 【位置】<br>角ダクト（換気空調系）及び丸ダクト（換気空調系）は，十分な強度を有する建屋（原子炉建屋，タービン建屋海水熱交換器区域及びコントロール建屋）内に設置する設計としている。 | | | |
| 角ダクト（換気空調系）及び丸ダクト（換気空調系） | 鋼製のダクトで構成する。 | ダクトは，支持構造物により建屋壁，床及び梁等から支持する。 |  |

d.　バタフライ弁（換気空調系）

(a)　構造設計

バタフライ弁（換気空調系）は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びＶ-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2)　荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

バタフライ弁（換気空調系）は鋼製の弁箱，弁体及び弁棒で構成し，接続ダクトにより支持する構造とする。内部の弁体，弁棒が回転することにより弁の開閉動作を行う構造とし，閉止時には，上流と下流の圧力差が気密性を有する弁の耐圧部に作用する構造とする。

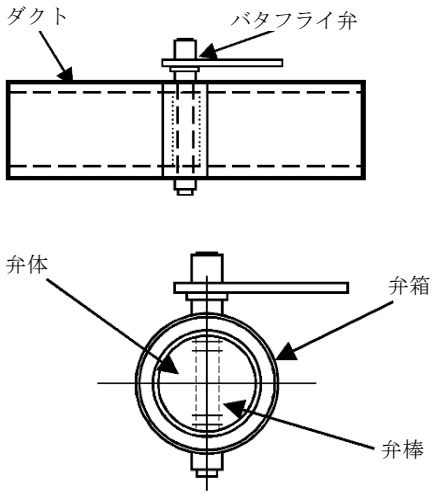
バタフライ弁（換気空調系）の構造計画を表 3－6 に示す。

(b)　評価方針

イ．　構造強度評価

バタフライ弁（換気空調系）の構造強度評価については，開閉可能な機能及び閉止性を考慮して，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，発生する応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.6(3)　強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3－6　バタフライ弁（換気空調系）の構造計画

| 施設名称 | 計画の概要 | | 説明図 |
|---|---|---|---|
| | 主体構造 | 支持構造 | |
| 【位置】<br>バタフライ弁（換気空調系）は，十分な強度を有する建屋（コントロール建屋）内に設置する設計としている。 | | | |
| バタフライ弁（換気空調系） | 弁箱，弁体及び弁棒で構成する。 | 接続ダクトにより支持する。 |  |

e.　ファン（換気空調系）

(a)　構造設計

ファン（換気空調系）は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びⅤ-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2)　荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

ファン（換気空調系）は流路を形成するケーシング，冷却するための空気を送り込む羽根車及び原動機からの回転力を伝達する主軸で形成し，床に基礎ボルトで支持する構造とする。

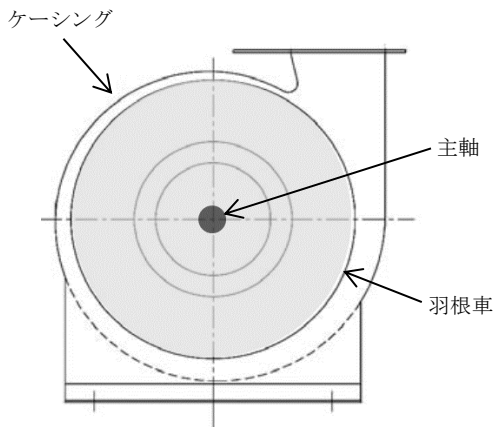
ファン（換気空調系）の構造計画を表3－7に示す。

(b)　評価方針

イ．　構造強度評価

ファン（換気空調系）の構造強度評価については，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，発生する応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.7(3)　強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表3－7　ファン（換気空調系）の構造計画

| 施設名称 | 計画の概要 | | 説明図 |
|---|---|---|---|
| | 主体構造 | 支持構造 | |
| 【位置】<br>ファン（換気空調系）は，十分な強度を有する建屋（原子炉建屋，タービン建屋海水熱交換器区域及びコントロール建屋）内に設置する設計としている。 | | | |
| ファン（換気空調系） | ケーシング及びケーシング内の羽根車，主軸で構成する。 | 床に基礎ボルトで支持する。 |  |

(4)　波及的影響を及ぼす可能性がある施設

a.　機械的影響を及ぼす可能性がある施設

(a)　サービス建屋

イ.　構造設計

サービス建屋は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びV-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2)　荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

サービス建屋は，鉄筋コンクリート造の耐震壁付きラーメン構造とし，荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し，建屋内に配置された耐震壁等を介し，基礎版へ伝達する構造とする。

サービス建屋の構造計画を表3－8に示す。

ロ.　評価方針

（イ）　構造強度評価

サービス建屋の構造強度評価については，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，サービス建屋がコントロール建屋に接触する変形を生じないことを計算により確認する。評価方法としては，サービス建屋の地震応答解析モデルを用いて算出した層間変形角及びサービス建屋とコントロール建屋間の最大相対変位を基に評価を行う。

表3－8　サービス建屋の構造計画（1/2）

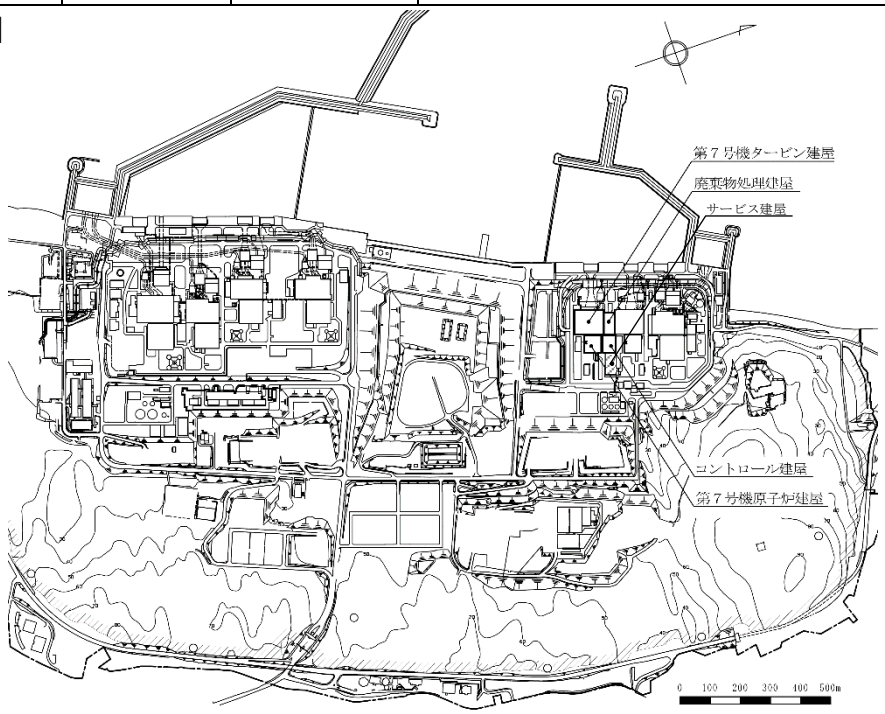
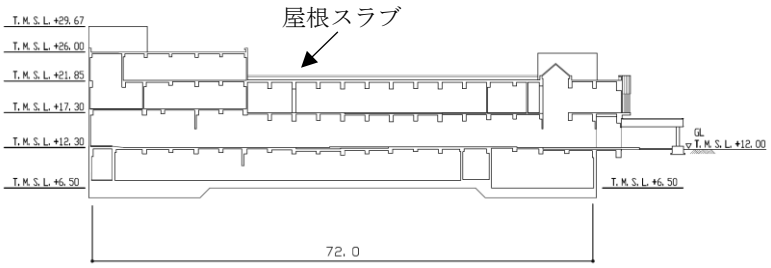
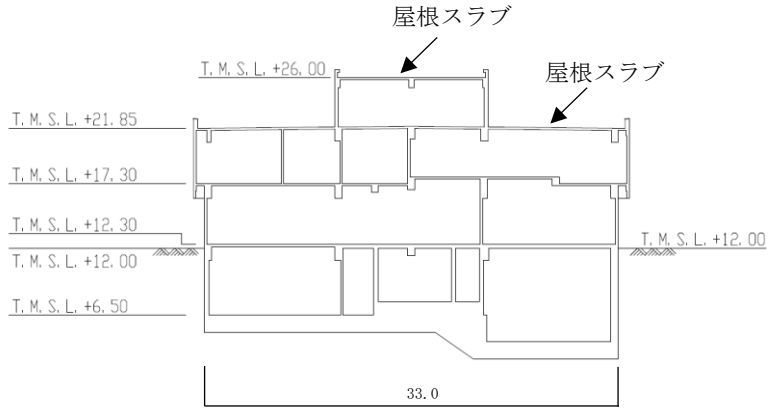
| 施設分類 | 施設名称 | 計画の概要 | | 説明図 |
|---|---|---|---|---|
| | | 主体構造 | 支持構造 | |
| 建屋 | 【位置】  | | | |

表 3－8　サービス建屋の構造計画（2/2）

| 施設名称 | 計画の概要 | | 説明図 |
|---|---|---|---|
| | 主体構造 | 支持構造 | |
| サービス建屋 | 鉄筋コンクリート造の耐震壁付きラーメン構造で構成する。 | 荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し，建屋内に配置された耐震壁等を介し，基礎版へ伝達する構造とする。 |  <br>（単位：m）<br>（東西方向断面）<br>  <br>（単位：m）<br>（南北方向断面） |

(b)　6 号機及び 7 号機主排気筒

イ．　構造設計

主排気筒は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びＶ-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2)　荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

主排気筒の筒身は，鋼管を主体構造とし，筒身を支持する鉄塔にサポート及びダンパで支持する構造とする。また，作用する荷重については，筒身及び鉄塔を介して基礎ボルトに伝達する構造とする。

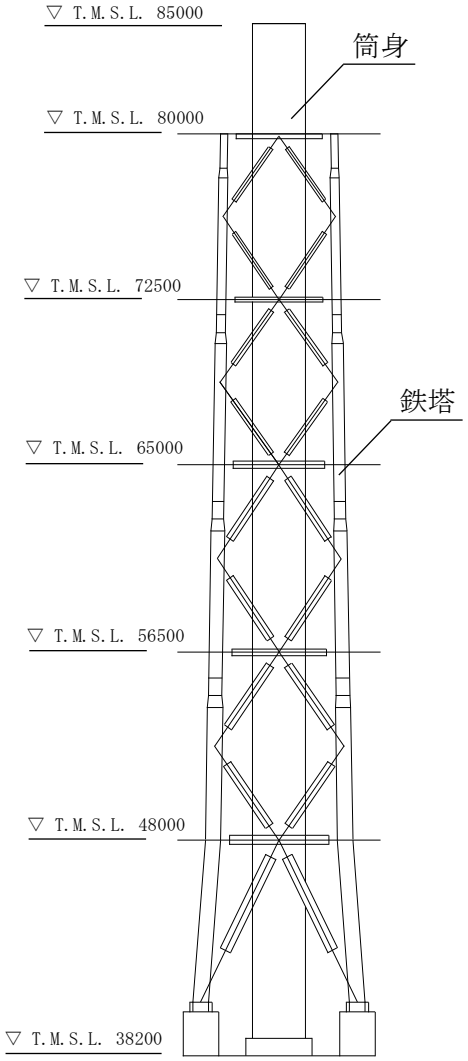
主排気筒の構造計画を表 3－9 に示す。

ロ．　評価方針

（イ）　構造強度評価

主排気筒の構造強度評価については，設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，鉄塔に生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.1.2(3)　強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3－9　主排気筒の構造計画

<table>
<tr><th rowspan="2">施設名称</th><th colspan="2">計画の概要</th><th rowspan="2">説明図</th></tr>
<tr><th>主体構造</th><th>支持構造</th></tr>
<tr><td colspan="4">【位置】<br>主排気筒は，6号機及び7号機原子炉建屋屋上面に設置する設計としている。</td></tr>
<tr><td>主排気筒</td><td>鋼管で構成する。</td><td>筒身を支持する鉄塔にサポート及びダンパで支持する。</td><td> 

（単位：mm）</td></tr>
</table>

b.　機能的影響を及ぼす可能性がある施設

(a)　非常用ディーゼル発電設備排気消音器

イ．　構造設計

非常用ディーゼル発電設備排気消音器は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びV-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2)　荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

非常用ディーゼル発電設備排気消音器は，鋼製の胴板を主体構造とし，原子炉建屋屋上面に設けたコンクリート基礎部金物に本体を取付ボルトで固定する構造とする。また，作用する荷重については，非常用ディーゼル発電設備排気消音器を介し，取付ボルトに伝達する構造とする。

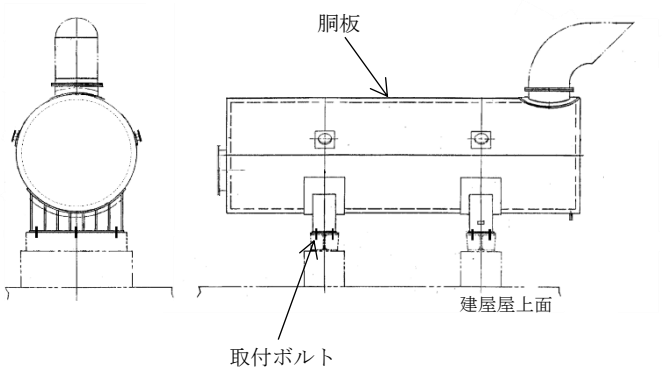
非常用ディーゼル発電設備排気消音器の構造計画を表3－10に示す。

ロ．　評価方針

（イ）　構造強度評価

非常用ディーゼル発電設備排気消音器の構造強度評価については，設計竜巻の風圧力による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，非常用ディーゼル発電設備排気消音器の取付ボルトに生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.8(3)　強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表3－10　非常用ディーゼル発電設備排気消音器の構造計画

| 施設名称 | 計画の概要 | | 説明図 |
|---|---|---|---|
| | 主体構造 | 支持構造 | |
| 【位置】<br>非常用ディーゼル発電設備排気消音器は，原子炉建屋屋上面に設置する設計としている。 | | | |
| 非常用ディーゼル発電設備排気消音器 | 鋼製の胴板で構成する。 | 原子炉建屋屋上面に設けたコンクリート基礎部金物に本体を取付ボルトで固定する。 |  |

(b) 非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料ドレンタンク）

イ． 構造設計

非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料ドレンタンク）は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びＶ-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料ドレンタンク）は，鋼製の配管を主体構造とし，支持構造物により建屋床面等に固定する構造とする。また，作用する荷重については，配管本体に作用する構造とする。

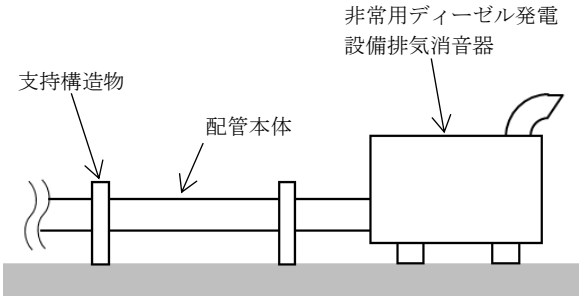
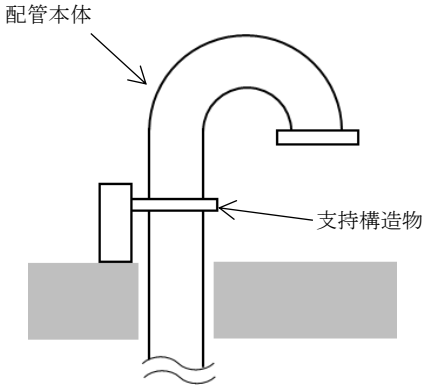
非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料ドレンタンク）の構造計画を表 3－11 に示す。

ロ． 評価方針

（イ） 構造強度評価

非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料ドレンタンク）の構造強度評価については，設計竜巻の風圧力による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料ドレンタンク）の配管本体に生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.9(3) 強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3－11　非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料ドレンタンク）の構造計画

<table>
<tr><th rowspan="2">施設名称</th><th colspan="2">計画の概要</th><th rowspan="2">説明図</th></tr>
<tr><th>主体構造</th><th>支持構造</th></tr>
<tr><td colspan="4">【位置】<br>非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料ドレンタンク）は，原子炉建屋屋上面に設置する設計としている。</td></tr>
<tr><td>非常用ディーゼル発電設備排気管</td><td rowspan="2">鋼製の配管で構成する。</td><td rowspan="2">配管は，支持構造物により建屋床面等に固定する。</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>ミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料ドレンタンク）</td><td> 
</td></tr>
</table>

「3.2　機能維持の方針」に示す構造設計と作用する荷重の伝達を基に，表3－12に示すとおり評価対象部位を設定する。

表3－12　竜巻の影響を考慮する施設　強度評価対象部位（1/3）

| 分類 | 施設名称 | 評価対象部位 | 評価項目 | 評価項目分類 | 選定理由 |
|---|---|---|---|---|---|
| 竜巻より防護すべき施設を内包する施設 | 原子炉建屋<br>タービン建屋海水熱交換器区域<br>コントロール建屋<br>廃棄物処理建屋 | 屋根スラブ（デッキプレート含む。）<br>スタッド<br>壁面<br>構造躯体 | 衝突 | 貫通<br>ひずみ | 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し，当該部に貫通が生じないことを確認するため，竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる屋根スラブ及び壁面を評価対象部位として選定する。 |
| | | | 構造強度 | 裏面剥離 | 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し，当該部の脱落による影響が生じないことを確認するため，竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる屋根スラブ及び壁面を評価対象部位として選定する。 |
| | | | | 転倒及び脱落 | 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計竜巻荷重の作用を考慮し，当該部の転倒及び脱落を生じないことを確認するため，屋根スラブのデッキプレート，屋根スラブを固定するスタッド及び構造躯体を評価対象部位として選定する。 |
| 屋外の外部事象防護対象施設 | 軽油タンク | 胴板<br>屋根板 | 衝突 | 貫入<br>ひずみ | 軽油タンクの外殻を構成する部材への設計飛来物の衝突を考慮し，当該部に貫通が生じないこと及び終局状態に至るようなひずみが生じないことを確認するため，軽油タンクの胴板及び屋根板を評価対象部位として選定する。 |
| | | 胴板<br>基礎ボルト | 構造強度 | 軽油タンク | 設計竜巻の風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は，胴板に作用し胴板を介して基礎ボルトに作用する。これらは，外荷重として作用する地震荷重と同様なものであるため，ＪＥＡＧ４６０１の平底たて置円筒形容器の計算方法を準用し，胴板及び基礎ボルトを評価対象部位として選定する。 |

表 3－12　竜巻の影響を考慮する施設　強度評価対象部位（2/3）

| 分類 | 施設名称 | 評価対象部位 | 評価項目 | 評価項目分類 | 選定理由 |
|---|---|---|---|---|---|
| 外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設 | 非常用ディーゼル発電設備吸気配管 | 配管本体 | 構造強度 | 吸気配管 | 非常用ディーゼル発電設備吸気配管は，建屋内に設置されていることから竜巻の風圧力による荷重は直接受けないが，竜巻の気圧差による荷重が考えられるため，配管本体を評価対象部位として選定する。 |
| | ダンパ（換気空調系） | ケーシング<br>ベーン<br>シャフト | 構造強度 | ダンパ | 換気空調系のダンパは，建屋内に設置されていることから竜巻の風圧力による荷重は直接受けないが，閉止しているダンパには，竜巻の気圧差による荷重がケーシング，ベーン及びシャフトに作用することから，ケーシング，ベーン及びシャフトを評価対象部位として選定する。 |
| | 角ダクト（換気空調系）及び丸ダクト（換気空調系） | ダクト鋼板 | 構造強度 | ダクト | 換気空調系のダクトは，建屋内に設置されていることから竜巻の風圧力による荷重は直接受けないが，竜巻の気圧差による荷重が考えられるため，ダクト本体の鋼板部を評価対象部位として選定する。 |
| | バタフライ弁（換気空調系） | 弁箱<br>弁体<br>弁棒 | 構造強度 | バタフライ弁 | 換気空調系のバタフライ弁は，建屋内に設置されていることから竜巻の風圧力による荷重は直接受けないが，閉止しているバタフライ弁には竜巻の気圧差による荷重が耐圧部に作用することから，耐圧部である弁箱，弁体及び弁棒を評価対象部位として選定する。 |
| | ファン（換気空調系） | ケーシング | 構造強度 | ファン | 換気空調系のファンは，建屋内に設置されていることから竜巻の風圧力による荷重は直接受けないが，竜巻の気圧差による荷重が耐圧部に作用することから，耐圧部であるケーシングを評価対象部位として選定する。 |

表 3－12　竜巻の影響を考慮する施設　強度評価対象部位（3/3）

| 分類 | 施設名称 | 評価対象部位 | 評価項目 | 評価項目分類 | 選定理由 |
|---|---|---|---|---|---|
| 外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設 | サービス建屋 | 構造躯体 | 構造強度 | 変形 | 竜巻より防護すべき施設を内包する施設への接触による波及的影響を考慮し，サービス建屋の構造躯体である耐震壁を評価対象部位として選定する。 |
| | 6号機及び7号機主排気筒 | 鉄塔部<br>基礎 | 構造強度 | 主排気筒 | 設計竜巻の風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は，筒身又は鉄塔部に作用し，基礎を経由して建屋の屋根スラブに伝達するため，筒身の支持部材である鉄塔部及び基礎を評価対象部位として選定する。 |
| | 非常用ディーゼル発電設備排気消音器 | 取付ボルト | 構造強度 | 消音器 | 消音器に設計竜巻の風圧力による荷重が作用した際に，本体を支持するための主要な支持部材である取付ボルトを評価対象部位として選定する。 |
| | 非常用ディーゼル発電設備排気管 | 配管本体 | 構造強度 | 排気管及びミスト管 | 排気管の主要な機能である排気機能を維持するために，主要な構成部材である配管本体を評価対象部位として選定する。 |
| | ミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料ドレンタンク） | 配管本体 | 構造強度 | 排気管及びミスト管 | ミスト管の主要な機能である通気機能を維持するために，主要な構成部材である配管本体を評価対象部位として選定する。 |

## 4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

竜巻の影響を考慮する施設の強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せを，「4.1　荷重及び荷重の組合せ」に，許容限界を「4.2　許容限界」に示す。

### 4.1 荷重及び荷重の組合せ

竜巻の影響を考慮する施設の強度評価にて考慮する荷重及び荷重の組合せは，V-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2)　荷重の組合せ及び許容限界」を踏まえ，以下のとおり設定する。

(1) 荷重の種類

a. 常時作用する荷重（$F_d$）

常時作用する荷重は，持続的に生じる荷重であり，自重，水頭圧及び上載荷重とする。

b. 竜巻による荷重（$W_T$）

竜巻による荷重は，設計竜巻の以下の特性を踏まえ，風圧力による荷重，気圧差による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重とする。設計竜巻の特性値を表4－1に示す。

・竜巻の最大気圧低下量（$\Delta P_{max}$）

フジタモデルにおける竜巻の最大気圧低下量は，流れの連続式と運動量保存則から導出される以下の圧力ポアソン方程式を用いる。

$$\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial^2 p}{\partial \chi_1^2}+\frac{\partial^2 p}{\partial \chi_2^2}+\frac{\partial^2 p}{\partial \chi_3^2}\right)=-\sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{3}\frac{\partial}{\partial \chi_i}\left(U_j\frac{\partial U_i}{\partial \chi_j}-\nu\frac{\partial^2 U_i}{\partial \chi_j \partial \chi_j}\right)$$

$\rho$ ：空気密度(kg/m$^3$)

p ：圧力(N/mm$^2$)

$\chi$ ：座標(—)

U ：風速ベクトル(—)

$\nu$ ：動粘性係数(m$^2$/s)

・竜巻の最大接線風速（$V_{Rm}$）

$V_{Rm}=V_D-V_T$

$V_D$：竜巻の最大風速(m/s)

$V_T$：竜巻の移動速度(m/s)

・竜巻の移動速度（$V_T$）

$V_T=0.15\cdot V_D$

$V_D$：竜巻の最大風速(m/s)

表 4－1　設計竜巻の特性値

| 最大風速<br>$V_D$<br>(m/s) | 移動速度<br>$V_T$<br>(m/s) | 最大接線風速<br>$V_{Rm}$<br>(m/s) | 最大気圧低下量<br>$\Delta P_{max}$<br>(N/m$^2$) |
|---|---|---|---|
| 92 | 14 | 78 | 6400 |

(a)　風圧力による荷重（$W_W$）

風圧力による荷重は，竜巻の最大風速による荷重である。

竜巻による最大風速は，一般的には水平方向の風速として設定されるが，鉛直方向の風圧力に対して脆弱と考えられる竜巻の影響を考慮する施設が存在する場合には，鉛直方向の最大風速等に基づいて算出した鉛直方向の風圧力についても考慮する。

風圧力による荷重は，施設の形状により変化するため，施設の部位ごとに異なる。そのため，各施設及び評価対象部位に対して厳しくなる方向からの風を想定し，各施設の部位ごとに荷重を設定する。

ガスト影響係数（G）は設計竜巻の風速が最大瞬間風速をベースとしていること等から，施設の形状によらず「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」を参照して，G＝1.0 とする。空気密度（ρ）は「REGULATORY GUIDE 1.76,DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS,Revision1」（米国原子力規制委員会）より ρ＝1.226 kg/m$^3$ とする。

設計用速度圧については施設の形状に影響を受けないため，設計竜巻の設計用速度圧（q）は施設の形状によらず，q＝5188.43 N/m$^2$ とする。

(b)　気圧差による荷重（$W_P$）

外気と隔離されている区画の境界部など，気圧差による圧力影響を受ける設備及び竜巻より防護すべき施設を内包する施設の建屋の壁，屋根等においては，竜巻による気圧低下によって生じる施設等の内外の気圧差による荷重が発生する。閉じた施設（通気がない施設）については，この圧力差により閉じた施設の隔壁に外向きに作用する圧力が生じるとみなし設定することを基本とする。

部分的に閉じた施設（通気がある施設等）については，施設の構造健全性を評価する上で厳しくなるよう作用する荷重を設定する。

気圧差による荷重は，施設の形状により変化するため，施設の部位ごとに異なる。そのため，各施設の部位ごとに荷重を算出する。

最大気圧低下量（$\Delta P_{max}$）は圧力ポアソン方程式から，$\Delta P_{max}$＝6400 N/m$^2$ とする。

(c)　設計飛来物による衝撃荷重（$W_M$）

設計飛来物である足場パイプ及び鋼製足場板の衝突による影響が大きくなる向きで外部事象防護対象施設等に衝突した場合の衝撃荷重を算出する。

衝突評価においても，設計飛来物の衝突による影響が大きくなる向きで衝突すること

を考慮して評価を行う。

なお，Ｖ-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.2(2)　設計飛来物」において，評価対象物の設置場所その他環境条件に応じて，砂利についても設計飛来物として設定しているが，砂利の貫通限界厚さは 1mm 未満であり，また，砂利等の極小飛来物の衝突は瞬間的で衝突時間が極めて短く，設備全体にもたらす荷重としての影響は軽微であると考えられることから，砂利による影響は考慮しない。

設計飛来物の寸法，質量及び飛来速度を表 4－2 に示す。設計飛来物の飛来速度については，設置（変更）許可を受けたとおり設定する。

表 4－2　設計飛来物の諸元

| | 足場パイプ | 鋼製足場板 |
|---|---|---|
| 寸法（m） | 4×0.05×0.05 | 4×0.25×0.04 |
| 質量（kg） | 11 | 14 |
| 水平方向の飛来速度（m/s） | 42 | 55 |
| 鉛直方向の飛来速度（m/s） | 38 | 18 |

c.　運転時に作用する荷重（$F_P$）

運転時の状態で作用する荷重として，配管等にかかる内圧やポンプのスラスト荷重等の運転時荷重とする。

(2)　荷重の組合せ

竜巻の影響を考慮する施設の設計に用いる竜巻の荷重は，気圧差による荷重（$W_P$）を考慮した荷重$W_{T1}$並びに設計竜巻の風圧力による荷重（$W_W$），気圧差による荷重（$W_P$）及び設計飛来物による衝撃荷重（$W_M$）を組み合わせた複合荷重$W_{T2}$を以下のとおり設定する。

$W_{T1}=W_P$

$W_{T2}=W_W+0.5\cdot W_P+W_M$

竜巻の影響を考慮する施設には$W_{T1}$及び$W_{T2}$の両荷重をそれぞれ作用させる。各施設の荷重の組合せについては，施設の設置状況及び構造を踏まえ適切な組合せを設定する。施設分類ごとの荷重の組合せの考え方を以下に示す。

a.　竜巻より防護すべき施設を内包する施設（表 4－3（1/3））

設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重として，風圧力による荷重，気圧差による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。

b.　屋外の外部事象防護対象施設（表 4－3（1/3））

軽油タンクは，風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。軽油タンクは屋外施設であり閉じた施設ではないため，気圧差による荷重は考慮しない。運転時の状態で作用する荷重については作用しないため考慮しない。

c.　外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設（表 4－3（2/3））

外気と繋がっている屋内の施設である非常用ディーゼル発電設備吸気配管，換気空調系のダンパ，角ダクト，丸ダクト，バタフライ弁及びファンは建屋内に設置しているため，風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は考慮しないが，外気と繋がっているために施設に作用する気圧差による荷重と常時作用する荷重を組み合わせることを基本とする。

非常用ディーゼル発電設備吸気配管については，運転時に内圧が作用するため，運転時の状態で作用する荷重も考慮する。また，非常用ディーゼル発電設備吸気配管の自重は内圧荷重に比べ十分小さいことから，自重を考慮しない。

換気空調系については，運転時の内圧が給気側は負圧，排気側は正圧となるが，保守性を考慮し気圧差による荷重と同等の向きに作用するものとして，運転時の状態で作用する荷重を組み合わせる。なお，ダンパ及びバタフライ弁については閉止していることから，運転時の状態で作用する荷重は考慮しない。また，ファンの自重は内圧荷重に比べ十分小さいことから，自重を考慮しない。

d.　外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設（表 4－3（3/3））

機械的影響を及ぼす可能性がある施設のうち，サービス建屋に関しては，風圧力による荷重，気圧差による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。運転時の状態で作用する荷重については作用しないため考慮しない。

主排気筒に関しては，風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。主排気筒は屋外施設であり閉じた施設ではないため，気圧差による荷重を考慮しない。運転時の状態で作用する荷重については，気圧差同様考慮しない。

機能的影響を及ぼす可能性がある施設のうち，非常用ディーゼル発電設備排気消音器に関しては，風圧力による荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。非常用ディーゼル発電設備排気消音器は，排気機能が健全であれば良く，仮に設計飛来物による衝撃荷重によって貫通しても，その貫通箇所又は本来の排気箇所から排気されるため，設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重は考慮しない。また，非常用ディーゼル発電設備排気消音器は屋外施設であり閉じた施設ではないため，気圧差による荷重を考慮しない。運転時の状態で作用する荷重については，評価対象部位に対し作用しないため考慮しない。

非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料ドレンタンク）に関しては，風圧力による荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料ドレンタンク）には，運転時に内圧が作用するため，運転時の状態で作用する荷重も考慮する。非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料ドレンタンク）は，排気又は通気機能が健全

であれば良く，仮に設計飛来物による衝撃荷重によって貫通しても，その貫通箇所又は本来の箇所から排気又は通気されるため，設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重は考慮しない。また，非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料ドレンタンク）は屋外施設であり閉じた施設ではないため，気圧差による荷重を考慮しない。

上記の施設分類ごとの荷重の組合せの考え方を踏まえ，各評価対象施設における評価項目ごとの荷重の組合せを表 4－3 に示す。

表 4－3　竜巻の影響を考慮する施設の荷重の組合せ（1/3）

| 分類 | 強度評価の対象施設 | 評価項目 | 荷重 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 常時作用する荷重（$F_d$） | | | 風圧力による荷重（$W_W$） | 気圧差による荷重（$W_P$） | 設計飛来物による衝撃荷重（$W_M$） | 運転時の状態で作用する荷重（$F_P$） |
| | | | 自重 | 水頭圧 | 上載荷重 | | | | |
| 竜巻より防護すべき施設を内包する施設 | 原子炉建屋<br>タービン建屋海水熱交換器区域<br>コントロール建屋<br>廃棄物処理建屋 | 衝突 | — | — | — | — | — | ○ | — |
| | | 構造強度 | ○ | — | ○ | ○ | ○ | ○ | — |
| 屋外の外部事象防護対象施設 | 軽油タンク | 衝突 | — | — | — | — | — | ○ | — |
| | | 構造強度 | ○ | ○ | — | ○ | — | ○ | — |

（○：考慮する荷重を示す。）

表 4－3　竜巻の影響を考慮する施設の荷重の組合せ（2/3）

| 分類 | 強度評価の対象施設 | 評価項目 | 荷重 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 常時作用する荷重（$F_d$） | | | 風圧力による荷重（$W_W$） | 気圧差による荷重（$W_P$） | 設計飛来物による衝撃荷重（$W_M$） | 運転時の状態で作用する荷重（$F_P$） |
| | | | 自重 | 水頭圧 | 上載荷重 | | | | |
| 外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設 | 非常用ディーゼル発電設備吸気配管 | 構造強度 | — | — | — | — | ○ | — | ○ |
| | ダンパ（換気空調系） | 構造強度 | ○ | — | — | — | ○ | — | — |
| | 角ダクト（換気空調系）及び丸ダクト（換気空調系） | 構造強度 | ○ | — | — | — | ○ | — | ○ |
| | バタフライ弁（換気空調系） | 構造強度 | ○ | — | — | — | ○ | — | — |
| | ファン（換気空調系） | 構造強度 | — | — | — | — | ○ | — | ○ |

（○：考慮する荷重を示す。）

表 4－3　竜巻の影響を考慮する施設の荷重の組合せ（3/3）

| 分類 | 強度評価の対象施設 | 評価項目 | 荷重 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 常時作用する荷重（$F_d$） | | | 風圧力による荷重（$W_W$） | 気圧差による荷重（$W_P$） | 設計飛来物による衝撃荷重（$W_M$） | 運転時の状態で作用する荷重（$F_P$） |
| | | | 自重 | 水頭圧 | 上載荷重 | | | | |
| 外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設 | サービス建屋 | 構造強度 | ○ | — | ○ | ○ | ○ | ○ | — |
| | 6号機及び7号機主排気筒 | 構造強度 | ○ | — | — | ○ | — | ○ | — |
| | 非常用ディーゼル発電設備排気消音器 | 構造強度 | ○ | — | — | ○ | — | — | — |
| | 非常用ディーゼル発電設備排気管 | 構造強度 | ○ | — | — | ○ | — | — | ○ |
| | ミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料ドレンタンク） | 構造強度 | ○ | — | — | ○ | — | — | ○ |

（○：考慮する荷重を示す。）

(3)　荷重の算定方法

「4.1(1)　荷重の種類」で設定している荷重の算出式を以下に示す。

a.　記号の定義

荷重の算出に用いる記号を表 4－4 に示す。

表 4－4　荷重の算出に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| A | $m^2$ | 施設の受圧面積 |
| C | ― | 風力係数（施設の形状や風圧力が作用する部位（屋根，壁等）に応じて設定する。） |
| G | ― | ガスト影響係数 |
| g | $m/s^2$ | 重力加速度 |
| H | N | 自重による荷重 |
| m | kg | 質量 |
| q | $N/m^2$ | 設計用速度圧 |
| $R_m$ | m | 最大接線風速半径 |
| $V_D$ | m/s | 設計竜巻の風速 |
| $W_M$ | N | 設計飛来物による衝撃荷重 |
| $W_P$ | N | 気圧差による荷重 |
| $W_W$ | N | 風圧力による荷重 |
| $\rho$ | $kg/m^3$ | 空気密度 |
| $\Delta P_{max}$ | $N/m^2$ | 最大気圧低下量 |

b.　自重による荷重の算出

自重による荷重は以下の通り計算する。

$$H = m \cdot g$$

c.　竜巻による荷重の算出

(a)　風圧力による荷重（$W_W$）

風圧力による荷重は，「建築基準法施行令」及び「建築物荷重指針・同解説」（日本建築学会）に準拠して，次式のとおり算出する。

$$W_W = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ここで，$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^{\ 2}$



K7 ① V-3-別添 1-1 R1

(b)　気圧差による荷重（$W_P$）

気圧差による荷重は，次式のとおり算出する。

$$W_P = \Delta P_{max} \cdot A$$

(c)　設計飛来物による衝撃荷重（$W_M$）

設計飛来物による衝撃荷重は，設計飛来物が衝突する施設，評価対象部位及び評価方法に応じて適切に設定する必要があるため，個別計算書にその算出方法を含めて記載する。

評価条件を表 4－5 に示す。

表 4－5　評価条件

| 最大風速<br>$V_D$<br>(m/s) | 空気密度<br>$\rho$<br>(kg/m$^3$) | ガスト影響係数<br>G<br>(—) | 最大気圧低下量<br>$\Delta P_{max}$<br>(N/m$^2$) |
|---|---|---|---|
| 92 | 1.226 | 1.0 | 6400 |

4.2　許容限界

許容限界は，Ｖ-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標及び「3.2　機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて，評価項目ごとに設定する。

「4.1　荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めた，評価項目ごとの許容限界を表4－8に示す。

各施設の許容限界の詳細は，各計算書で評価対象部位の損傷モードを踏まえ評価項目を選定し，評価項目ごとに許容限界を定める。

「原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」（日本電気協会），「原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987」（日本電気協会）及び「原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版」（日本電気協会）（以下「ＪＥＡＧ４６０１」という。）を準用できる施設については，ＪＥＡＧ４６０１に基づき「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007」（日本機械学会）（以下「ＪＳＭＥ」という。）の付録材料図表及びＪＩＳの材料物性値により許容限界を算出している。その他施設や衝撃荷重のみを考慮する施設については，ＪＳＭＥや既往の実験式に基づき許容限界を設定する。

ただし，ＪＳＭＥの適用を受ける機器であって，供用状態に応じた許容値の規定がＪＳＭＥにないものは機能維持の評価方針を考慮し，ＪＥＡＧ４６０１に基づいた許容限界を設定する。

4.2.1　建物・構造物

(1)　許容限界の設定

a.　衝突評価

(a)　貫通（表 4－8（1/4））

建物･構造物の衝突による貫通評価においては,設計飛来物による衝撃荷重に対し，設計飛来物が竜巻より防護すべき施設の外殻を構成する部材を貫通しない設計及び原子炉建屋の放射性物質の閉じ込め機能を維持する設計とするために，設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材の最小厚さを許容限界として設定する。

(b)　ひずみ（表 4－8（1/4））

建屋・構造物の衝突による貫通評価のうち，設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることの確認ができない建屋の屋根スラブにおいては，設計飛来物による衝撃荷重に対し，屋根スラブの鉄筋又はデッキプレートが終局状態に至るようなひずみを生じないことを解析により確認する評価方針としていることを踏まえ，鉄筋又はデッキプレートの破断ひずみを許容限界として設定する。鉄筋又はデッキプレートの破断ひずみは，ＪＩＳ規格値／ＴＦ（ＴＦ＝[redacted]）を許容限界とする。

b.　構造強度評価

(a)　裏面剥離（表 4－8（1/4））

設計飛来物による衝撃荷重に対し，竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材自体の脱落を生じない設計及び原子炉建屋の放射性物質の閉じ込め機能を維持する設計とするために，裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，施設の最小部材厚さを許容限界として設定する。また，許容限界を超えた場合は，裏面剥離に至るようなひずみを生じないことを解析により確認する評価方針としていることを踏まえ，デッキプレートの破断ひずみを許容限界として設定する。デッキプレートの破断ひずみは，ＪＩＳ規格値／ＴＦ（ＴＦ＝[redacted]）を許容限界とする。

(b)　転倒及び脱落（表 4－8（1/4））

鉄筋コンクリート造構造物の転倒及び脱落の評価については，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計及び原子炉建屋の放射性物質の閉じ込め機能を維持する設計とするために，構造躯体のうち耐震壁に終局状態に至るようなひずみが生じないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，コンクリートの終局せん断ひずみに基づく制限値を許容限界として設定する。制限値はＪＥＡＧ４６０１に基づき $2.0\times10^{-3}$ とする。また，構造躯体のうち鉄骨架構に終局状態に至るような変形が生じないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，

「2015 年版建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）（以下「技術基準解説書」という。）」に基づく層間変形角の制限値を許容限界として設定する。

屋根スラブのデッキプレートに生じる応力については，ＪＩＳ及び「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」に基づく短期許容応力度を許容限界とし，屋根スラブのスタッドについては，「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく許容耐力を許容限界として設定する。

(c) 構造躯体の変形（表 4－8（4/4））

外部事象防護対象に波及的影響を及ぼす可能性のある施設については，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，サービス建屋がコントロール建屋に接触する変形を生じないことを計算及び解析により確認する評価方針としていることを踏まえ，コントロール建屋との離隔距離を許容限界として設定する。

(d) 主排気筒（表 4－8（4/4））

主排気筒の構造強度評価においては，設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，竜巻より防護すべき施設を内包する原子炉建屋及びコントロール建屋に倒壊による影響を及ぼさないために，鉄塔に生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」等に応じた材料強度を許容限界として設定する。

(2)　許容限界設定方法

a.　記号の定義

許容限界式に使用する記号を表 4－6 に示す。

表 4－6　許容限界式に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| $A_c$ | mm$^2$ | コーン状破壊面の有効投影面積 |
| $A_0$ | mm$^2$ | スタッド頭部の支圧面積 |
| ${}_{ac}a$ | mm$^2$ | スタッドの断面積で，軸部断面積とねじ部有効断面積の小なる方の値 |
| D | mm | スタッドの頭部直径 |
| d | mm | スタッドの軸部直径 |
| $F_C$ | N/mm$^2$ | コンクリートの設計基準強度 |
| $f_n$ | N/mm$^2$ | コンクリートの支圧強度 |
| $\ell_{ce}$ | mm | スタッドの強度計算用埋込み長さ（$\ell_{ce}=\ell_e$） |
| $\ell_e$ | mm | スタッドのコンクリート内への有効埋込み長さ |
| $p_a$ | N | スタッド1本あたりの許容引張力 |
| $p_{a1}$ | N | スタッド鋼材の降伏により定まる場合のスタッド1本あたりの許容引張力 |
| $p_{a2}$ | N | 定着したコンクリート躯体のコーン状破壊により定まる場合のスタッド1本あたりの許容引張力 |
| $p_{a3}$ | N | コンクリートの支圧破壊により定まるスタッド1本あたりの許容引張力 |
| $\pi$ | — | 円周率 |
| ${}_c\sigma_t$ | N/mm$^2$ | コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度 |
| ${}_s\sigma_{pa}$ | N/mm$^2$ | スタッドの引張強度 |
| ${}_s\sigma_y$ | N/mm$^2$ | スタッドの規格降伏点強度 |
| $\Phi_1$ | — | 低減係数 |
| $\Phi_2$ | — | 低減係数 |

b.　許容限界式

(a)　スタッドの許容限界式

コンクリート躯体中に定着されたスタッド 1 本あたりの許容引張力 $p_a$ は，以下の 3 式で算定される値のうち，いずれか小なる値とする。

「各種合成構造設計指針・同解説：日本建築学会　2010 年改定」より

$p_{a1}=\Phi_1 \cdot {}_s\sigma_{pa} \cdot {}_{ac}a$

$p_{a2}=\Phi_2 \cdot {}_c\sigma_t \cdot A_c$

$p_{a3}=f_n \cdot A_0$

ここで，

${}_s\sigma_{pa}={}_s\sigma_y$

${}_c\sigma_t=0.31\sqrt{F_c}$

$A_c=\pi \cdot \ell_{ce}(\ell_{ce}+D)$

$f_n=\sqrt{A_c/A_0} \cdot F_c$　　ただし，$\sqrt{A_c/A_0}$ が 6 を超える場合は 6 とする。

$A_0=\pi(D^2-d^2)/4$

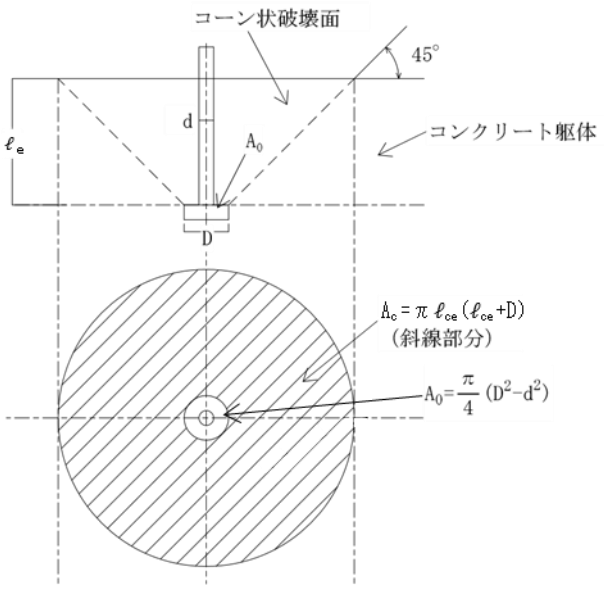



図 4－1　スタッド側面の有効投影面積

4.2.2　機器・配管系

(1)　許容限界の設定

a.　衝突評価

(a)　貫入（表4－8（2/4））

軽油タンクの衝突による貫入評価においては，設計飛来物による衝撃荷重に対し，軽油タンクの外殻を構成する部材が，設計飛来物の貫通を生じない貫通限界厚さ以上であることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，部材厚さを許容限界として設定する。ただし，耐圧部については部材厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さを許容限界として設定する。

(b)　ひずみ（表4－8（2/4））

軽油タンクの衝突によるひずみの評価においては，設計飛来物による衝撃荷重に対し，軽油タンクの外殻を構成する部材が，終局状態に至るようなひずみを生じないことを解析により確認する評価方針としていることを踏まえ，軽油タンク胴板及び屋根板の破断ひずみを許容限界として設定する。軽油タンク胴板及び屋根板の破断ひずみは，ＪＩＳ規格値／ＴＦ（ＴＦ＝[redacted]）を許容限界とする。

b.　構造強度評価

(a)　軽油タンク（表4－8（2/4））

軽油タンクの構造強度評価においては，設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，軽油タンクを構成する胴板及び基礎ボルトが，おおむね弾性状態に留まることにより，その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓ及び座屈に対する評価式を満足する許容応力を許容限界として設定する。

(b)　吸気配管（表4－8（3/4））

吸気配管の構造強度評価においては，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，配管本体が，おおむね弾性状態に留まることにより，その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓの許容応力を許容限界として設定する。

(c)　ダンパ（表4－8（3/4））

ダンパの構造強度評価においては，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，ダンパを構成するケーシング，ベーン及びシャフトが，おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓの許容応力を許容限界として設定する。

(d)　ダクト（表４－８（3/4））

ダクトの構造強度評価においては，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，ダクトを構成するダクト鋼板が，おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓ及び座屈に対する評価式を満足する許容応力又はクリップリング座屈に応じた許容応力を許容限界として設定する。

(e)　バタフライ弁（表４－８（3/4））

バタフライ弁の構造強度評価においては，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，バタフライ弁が，おおむね弾性状態に留まることにより，その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓ及びクリップリング座屈に応じた許容応力を許容限界として設定する。

(f)　ファン（表４－８（3/4））

ファンの構造強度評価においては，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，ファンを構成するケーシングが，おおむね弾性状態に留まることにより，その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，クリップリング座屈に応じた許容応力を許容限界として設定する。

(g)　消音器（表４－８（4/4））

消音器の構造強度評価においては，設計竜巻の風圧力による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，消音器を支持する取付ボルトが，おおむね弾性状態に留まることにより，その施設の安全機能に影響を及ぼすおそれがないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓの許容応力を許容限界として設定する。

(h)　排気管及びミスト管（表４－８（4/4））

排気管及びミスト管の構造強度評価においては，設計竜巻の風圧力による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，配管本体が，おおむね弾性状態に留まることにより，その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓの許容応力を許容限界として設定する。

(2)　許容限界設定方法

a.　記号の定義

許容限界式に使用する記号を表 4－7 に示す。

表 4－7　許容限界式に用いる記号（1/2）

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| c | mm | ダクト板・バタフライ弁弁箱・ファンケーシングの長さ |
| $d_1$ | mm | ダクト内径 |
| $d_2$ | mm | ダクト外径 |
| E | MPa | ヤング率 |
| F | MPa | ＪＳＭＥ　SSB-3121.1(1)により規定される値 |
| $f_1$ | N | ダクト自重による圧縮荷重 |
| $f_2$ | N | 設計竜巻による内外圧差と運転圧による圧縮荷重 |
| $f_b$ | MPa | 曲げモーメントにより生じる座屈応力 |
| $f_c$ | MPa | 軸圧縮荷重により生じる座屈応力 |
| $f_t$ | MPa | ＪＳＭＥ　SSB-3121.1により規定される供用状態A及びBでの許容引張応力 |
| $f_{ts}$ | MPa | ＪＳＭＥ　SSB-3131により規定されるせん断力と引張力を同時に受けるボルトの許容引張応力 |
| g | $m/s^2$ | 重力加速度 |
| $k_p$ | — | 座屈係数 |
| $M_{cr}$ | N･mm | 弾性座屈曲げモーメント |
| n | — | 座屈モードの次数 |
| $P_m$ | N | ダクト板1枚あたりの限界荷重 |
| r | mm | 半径 |
| $R_B$ | mm | 胴平均半径 |
| t | mm | 容器の外殻・ダクト板・バタフライ弁弁箱・ファンケーシングの肉厚 |
| $Z_c$ | — | 円筒殻の座屈応力の式における係数 |
| Z | $mm^3$ | 断面係数 |
| $\alpha_1$ | — | 安全率 |
| $\beta$ | — | 円筒殻の座屈応力の式における係数 |
| $\eta_B$ | — | $R_B$／t |
| $\eta_1$ | — | 1200×g／F |
| $\eta_2$ | — | 8000×g／F |
| $\eta_3$ | — | 9600×g／F |

表 4－7　許容限界式に用いる記号（2/2）

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| $\nu$ | ― | ポアソン比 |
| $\pi$ | ― | 円周率 |
| $\sigma_b$ | MPa | ダクト自重により作用する曲げ応力 |
| $\sigma_{cr1}$ | MPa | クリップリング座屈が発生する際に生じる周方向応力 |
| $\sigma_{cr2}$ | MPa | 弾性座屈曲げ応力 |
| $\sigma_{xb}$ | MPa | 曲げモーメントにより生じる圧縮応力 |
| $\sigma_{xc}$ | MPa | 軸圧縮荷重により生じる圧縮応力 |
| $\sigma_y$ | MPa | 降伏応力 |
| $\sigma_{Pb}$ | MPa | 設計竜巻による内外圧差と運転圧による軸方向圧縮荷重による応力 |
| $\tau_b$ | MPa | せん断応力 |
| $\phi_b$ | MPa | 座屈応力$f_b$を算出する際の関数 |
| $\phi_c$ | MPa | 座屈応力$f_c$を算出する際の関数 |

b.　許容限界式

(a)　支持構造物の許容限界式

イ．　ボルト

引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力$f_{ts}$は，次式で算出される。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}\{1.4(1.5f_t)-1.6\tau_b,\ 1.5f_t\}$$

(b)　軽油タンクの許容限界式

胴の座屈評価は以下の式による。

$$\frac{\alpha_1\cdot\sigma_{xc}}{f_c}+\frac{\alpha_1\cdot\sigma_{xb}}{f_b}\leqq 1$$

イ．　軸圧縮荷重により生じる座屈応力$f_c$は，次の式で算出する。

$$f_c=\begin{cases} F & (\eta_B\leqq\eta_1) \\ F\left[1-\dfrac{1}{6800\times g}\left\{F-\phi_c(\eta_2)\right\}\left(\eta_B-\eta_1\right)\right] & (\eta_1<\eta_B<\eta_2) \\ \phi_c(\eta_B) & (\eta_2\leqq\eta_B\leqq 800) \end{cases}$$

ここで，$\phi_c(\eta_B)=0.6\dfrac{E}{\eta_B}\left[1-0.901\left\{1-\exp\left(-\dfrac{1}{16}\sqrt{\eta_B}\right)\right\}\right]$

ロ．　曲げモーメントにより生じる座屈応力$f_b$は，次の式で算出する。

$$f_b=\begin{cases} F & (\eta_B \leqq \eta_1) \\ F\left[1-\dfrac{1}{8400\times g}\left\{F-\phi_b(\eta_3)\right\}\left(\eta_B-\eta_1\right)\right] & (\eta_1<\eta_B<\eta_3) \\ \phi_b(\eta_B) & (\eta_3 \leqq \eta_B \leqq 800) \end{cases}$$

ここで，$\phi_b(\eta_B)=0.6\dfrac{E}{\eta_B}\left[1-0.731\left\{1-\exp\left(-\dfrac{1}{16}\sqrt{\eta_B}\right)\right\}\right]$

ハ．　安全率 $\alpha_1$

安全率は，各荷重の組合せに対して

$$\alpha_1=\begin{cases} 1.0 & (\eta_B \leqq \eta_1) \\ 1.0+\dfrac{F}{13600\times g}\left(\eta_B-\eta_1\right) & (\eta_1<\eta_B<\eta_2) \\ 1.5 & (\eta_2 \leqq \eta_B) \end{cases}$$

ここで，$\eta_B=\dfrac{R_B}{t}$，$\eta_1=1200\times g/F$，

$\eta_2=8000\times g/F$，$\eta_3=9600\times g/F$

(c)　角ダクトの許容限界式

イ．　常時作用する荷重（自重）＋設計竜巻の気圧差による荷重及び運転時の状態で作用する荷重に対する許容限界

ダクト自重による圧縮荷重$f_1$と設計竜巻による内外圧差及び運転圧による圧縮荷重$f_2$の和が，許容荷重$P_m$以下であることを確認する。

なお，ダクト自重による圧縮荷重$f_1$はダクト板 1 枚あたりの圧縮荷重として算出され，設計竜巻による内外圧差及び運転圧による圧縮荷重$f_2$はダクト板 4 枚あたりの圧縮荷重として算出される。許容荷重$P_m$はダクト板 1 枚あたりとして算出されるため，関係は以下の式で表わされる。

$4\cdot f_1+f_2 \leqq 4\cdot P_m$

ここで，

$$P_m=\frac{\pi}{\sqrt{3\left(1-\nu^2\right)}}\sqrt{E\cdot\sigma_y}\cdot t^2$$

(d)　丸ダクトの許容限界式

イ．　外圧に対する許容限界

外圧により生じる周方向応力は，クリップリング座屈が発生する際に生じる周方向応力（座屈応力）$\sigma_{cr1}$を超えないこととする。

外圧によるクリップリング座屈が発生する際に生じる周方向応力 $\sigma_{cr1}$は，円筒殻の座屈応力の式より算出する。

$$\sigma_{cr1}=\frac{k_P\cdot\pi^2\cdot E}{12\left(1-\nu^2\right)}\left(\frac{t}{c}\right)^2$$

$$k_P=\frac{\left(1+\beta^2\right)^2}{0.5+\beta^2}+\frac{12\cdot Z_c^2}{\pi^4\left(1+\beta^2\right)^2\left(0.5+\beta^2\right)}$$

$$\beta=\frac{c\cdot n}{\pi\cdot r}$$

$$Z_c=\frac{c^2}{r\cdot t}\sqrt{1-\nu^2}$$

ここで，座屈モードの次数ｎは，$k_p$が最小となる時の次数とする。

ロ．　常時作用する荷重（自重）＋設計竜巻の気圧差による荷重及び運転時の状態で作用する荷重に対する許容限界

ダクト自重により作用する曲げ応力$\sigma_b$と設計竜巻による内外差圧及び運転圧による軸方向圧縮荷重による応力$\sigma_{Pb}$の和が，弾性座屈曲げ応力 $\sigma_{cr2}$以下であることを確認する。

$$\sigma_b+\sigma_{Pb}\leqq\sigma_{cr2}$$

ここで，

$$\sigma_{cr2}=\frac{M_{cr}}{Z}$$

$$M_{cr}=\frac{0.72\cdot E\cdot r\cdot t^2}{\left(1-\nu^2\right)}$$

$$Z=\frac{\pi}{32}\cdot\frac{d_2^4-d_1^4}{d_2}$$

(e)　バタフライ弁の許容限界式

イ．　弁箱の外圧に対する許容応力

外圧により生じる周方向応力は，クリップリング座屈が発生する際に生じる周方向応力（座屈応力）$\sigma_{cr1}$を超えないこととする。

外圧によるクリップリング座屈が発生する際に生じる周方向応力 $\sigma_{cr1}$は，円筒殻の座屈応力の式より算出する。

$$\sigma_{cr1}=\frac{k_P\cdot\pi^2\cdot E}{12\left(1-\nu^2\right)}\left(\frac{t}{c}\right)^2$$

$$k_P=\frac{\left(1+\beta^2\right)^2}{0.5+\beta^2}+\frac{12\cdot Z_c^2}{\pi^4\left(1+\beta^2\right)^2\left(0.5+\beta^2\right)}$$

$$\beta=\frac{c\cdot n}{\pi\cdot r}$$

$$Z_c=\frac{c^2}{r\cdot t}\sqrt{1-\nu^2}$$

(f)　ファンの許容限界式

イ．　外圧に対する許容応力

外圧により生じる周方向応力は，クリップリング座屈が発生する際に生じる周方向応力（座屈応力）$\sigma_{cr1}$を超えないこととする。

外圧によるクリップリング座屈が発生する際に生じる周方向応力 $\sigma_{cr1}$は，円筒殻の座屈応力の式より算出する。

$$\sigma_{cr1}=\frac{k_P\cdot\pi^2\cdot E}{12\left(1-\nu^2\right)}\left(\frac{t}{c}\right)^2$$

$$k_P=\frac{\left(1+\beta^2\right)^2}{0.5+\beta^2}+\frac{12\cdot Z_c^2}{\pi^4\left(1+\beta^2\right)^2\left(0.5+\beta^2\right)}$$

$$\beta=\frac{c\cdot n}{\pi\cdot r}$$

$$Z_c=\frac{c^2}{r\cdot t}\sqrt{1-\nu^2}$$

表 4－8　施設ごとの許容限界（1/4）

<table>
<tr><th rowspan="2">施設分類</th><th rowspan="2">施設名称</th><th rowspan="2">荷重の組合せ</th><th rowspan="2" colspan="2">評価対象部位</th><th rowspan="2">評価項目</th><th colspan="2">機能損傷モード</th><th rowspan="2">許容限界</th></tr>
<tr><th>応力等の状態</th><th>限界状態</th></tr>
<tr><td rowspan="10">竜巻より防護すべき施設を内包する施設</td><td rowspan="10">原子炉建屋<br>タービン建屋海水熱交換器区域<br>コントロール建屋<br>廃棄物処理建屋</td><td rowspan="4">$W_M$</td><td rowspan="4" colspan="2">屋根スラブ<br>壁面</td><td rowspan="2">衝突</td><td rowspan="2">変形</td><td rowspan="2">貫通<br>ひずみ</td><td>施設の最小部材厚さが貫通限界厚さ以上とする。</td></tr>
<tr><td>鉄筋又はデッキプレートの発生ひずみが，ＪＩＳ規格値／ＴＦ（ＴＦ＝[redacted]）を考慮した値以下とする。</td></tr>
<tr><td rowspan="8">構造強度</td><td rowspan="2">変形</td><td rowspan="2">裏面剥離による<br>コンクリート片の飛散</td><td>施設の最小部材厚さが裏面剥離限界厚さ以上とする。</td></tr>
<tr><td>デッキプレートの発生ひずみが，ＪＩＳ規格値／ＴＦ（ＴＦ＝[redacted]）を考慮した値以下とする。</td></tr>
<tr><td rowspan="6">$F_d+W_T$（$W_W$，$W_P$，$W_M$）</td><td colspan="2">デッキプレート</td><td>曲げ，せん断</td><td rowspan="6">部材の破断による部材自体の転倒及び脱落</td><td>発生応力が，ＪＩＳ及び「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」に基づく許容応力度以下とする。</td></tr>
<tr><td colspan="2">スタッド</td><td>引張</td><td>発生荷重が，「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく許容耐力以下とする。</td></tr>
<tr><td rowspan="2">構造躯体</td><td>耐震壁</td><td rowspan="2">変形</td><td rowspan="2">コンクリートのせん断ひずみが制限値（$2.0\times10^{-3}$）以下とする。</td></tr>
<tr><td>鉄骨架構</td></tr>
<tr><td colspan="2">変形</td><td>変形が，「技術基準解説書」に基づく層間変形角以下とする。</td></tr>
</table>

表４－８　施設ごとの許容限界（2/4）

| 施設分類 | 施設名称 | 荷重の組合せ | 評価対象部位 | 評価項目 | 機能損傷モード | | 許容限界 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 応力等の状態 | 限界状態 | |
| 屋外の外部事象防護対象施設 | 軽油タンク | $W_M$ | 胴板<br>屋根板 | 衝突 | 変形 | 貫入 | 評価式により算定した貫通限界厚さが，外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満とする。 |
| | | | | | | ひずみ | 胴板及び屋根板の発生ひずみが，ＪＩＳ規格値／ＴＦ（ＴＦ＝[redacted]）を考慮した値以下とする。 |
| | | $F_d+W_T$（$W_W$，$W_M$） | 胴板 | 構造強度 | 一次一般膜，組合せ，座屈 | 部材の降伏 | ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態$Ⅲ_AS$ *1 *2及び座屈に対する評価式を満足する許容応力以下とする。 |
| | | | 基礎ボルト | | 引張，せん断，組合せ | | |

注記＊1 ：ＪＥＡＧ４６０１を基に，表４－９　クラス１・クラス２，３・その他の支持構造物の許容限界を準用する。

＊2 ：ＪＥＡＧ４６０１を基に，表４－10　クラス２，３容器の許容限界を準用する。

表 4－8　施設ごとの許容限界（3/4）

| 施設分類 | 施設名称 | 荷重の組合せ | 評価対象部位 | 評価項目 | 機能損傷モード | | 許容限界 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 応力等の状態 | 限界状態 | |
| 外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設 | 非常用ディーゼル発電設備吸気配管 | $W_P+F_P$ | 配管本体 | 構造強度 | 周方向応力 | 部材の降伏 | ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態$Ⅲ_AS$ *2 の許容応力以下とする。 |
| | ダンパ（換気空調系） | $F_d+W_P$ | ケーシング<br>ベーン<br>シャフト | 構造強度 | 曲げ，せん断 | 部材の降伏 | ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態$Ⅲ_AS$ *1 の許容応力以下とする。 |
| | 角ダクト（換気空調系）及び丸ダクト（換気空調系） | $F_d+W_P+F_P$ | ダクト鋼板 | 構造強度 | 曲げ，座屈 | 部材の降伏 | ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態$Ⅲ_AS$ *1 及び座屈に対する評価式を満足する許容応力以下又はクリップリング座屈に応じた許容応力以下とする。 |
| | バタフライ弁（換気空調系） | $F_d+W_P$ | 弁箱<br>弁体<br>弁棒 | 構造強度 | 座屈，曲げ，せん断 | 部材の降伏 | ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態$Ⅲ_AS$ *1 及びクリップリング座屈に応じた許容応力以下とする。 |
| | ファン（換気空調系） | $W_P+F_P$ | ケーシング | 構造強度 | 座屈 | 部材の降伏 | クリップリング座屈に応じた許容応力以下とする。 |

注記＊1 ：ＪＥＡＧ４６０１を基に，表 4－9　クラス１・クラス２，３・その他の支持構造物の許容限界を準用する。

＊2 ：ＪＥＡＧ４６０１を基に，表 4－11　クラス２，３配管の許容限界を準用する。

表4－8　施設ごとの許容限界（4/4）

| 施設分類 | 施設名称 | 荷重の組合せ | 評価対象部位 | 評価項目 | 機能損傷モード | | 許容限界 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 応力等の状態 | 限界状態 | |
| 外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設 | サービス建屋 | $F_d+W_T$（$W_W$，$W_P$，$W_M$） | 構造躯体 | 構造強度 | 変形 | 接触 | 隣接するコントロール建屋との相対変位が建屋間の離隔距離以下とする。 |
| | 6号機及び7号機主排気筒 | $F_d+W_T$（$W_W$，$W_M$） | 鉄塔部，基礎 | 構造強度 | 引張，曲げ，せん断，圧縮，組合せ | 部材の降伏 | 「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」等に応じた許容応力度以下とする。 |
| | 非常用ディーゼル発電設備排気消音器 | $F_d+W_W$ | 取付ボルト | 構造強度 | 引張，せん断，組合せ | 部材の降伏 | ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態$Ⅲ_AS$ *1の許容応力以下とする。 |
| | 非常用ディーゼル発電設備排気管 | $F_d+W_W+F_P$ | 配管本体 | 構造強度 | 一次応力（曲げ応力を含む） | 部材の降伏 | ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態$Ⅲ_AS$ *2の許容応力以下とする。 |
| | ミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料ドレンタンク） | $F_d+W_W+F_P$ | 配管本体 | 構造強度 | 一次応力（曲げ応力を含む） | 部材の降伏 | ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態$Ⅲ_AS$ *2の許容応力以下とする。 |

注記＊1 ：ＪＥＡＧ４６０１を基に，表4－9　クラス１・クラス２，３・その他の支持構造物の許容限界を準用する。

＊2 ：ＪＥＡＧ４６０１を基に，表4－11　クラス２，３配管の許容限界を準用する。

表 4－9　クラス１・クラス２，３・その他の支持構造物の許容限界

| 許容応力状態 | 許容限界*1，*2，*3（ボルト以外） | | | | 許容限界*2（ボルト等） | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 一次応力 | | | | 一次応力 | |
| | 引張 | せん断 | 圧縮 | 曲げ | 引張 | せん断 |
| $\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$ | $1.5f_{t}$ | $1.5f_{s}$ | $1.5f_{c}$ | $1.5f_{b}$ | $1.5f_{t}$ | $1.5f_{s}$ |

注記＊1　：「鋼構造設計規準　ＳＩ単位版」（2002 年日本建築学会）等の幅厚比の制限を満足させる。

＊2　：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊3　：耐圧部に溶接等により直接取り付けられる支持構造物であって耐圧部と一体の応力解析を行うものについては，耐圧部と同じ許容応力とする。

表 4－10　クラス２，３容器の許容限界

| 許容応力状態 | 許容限界 | | |
|---|---|---|---|
| | 一次一般膜応力 | 一次膜応力＋一次曲げ応力 | 一次＋二次応力 |
| $\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$ | $S_{y}$，と$0.6S_{u}$の小さい方。<br>ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については1.2Ｓとする。 | 左欄の1.5倍の値 | $2S_{y}$ |

表 4－11　クラス２，３配管の許容限界

| 許容応力状態 | 許容限界 | |
|---|---|---|
| | 一次一般膜応力 | 一次応力（曲げ応力を含む） |
| $\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$ | $S_{y}$と$0.6S_{u}$の小さい方。<br>ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については1.2Ｓとしてもよい。 | $S_{y}$<br>ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については1.2Ｓとしてもよい。 |

5.　強度評価方法

評価手法は，以下に示す解析法により，適用性に留意の上，規格及び基準類や既往の文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

・FEM 等を用いた解析法

・定式化された評価式を用いた解析法

「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」を参照して，設計竜巻による荷重は地震荷重と同様に施設に作用する場合は，地震荷重と同様に外力として評価をするため，ＪＥＡＧ４６０１を適用可能とする。

風圧力による荷重の影響を考慮する施設については，建築基準法施行令等に基づき風圧力による荷重を考慮し，設備の受圧面に対して等分布荷重として扱って良いことから，評価上高さの 1/2 又は荷重作用点より高い重心位置に集中荷重として作用するものとする。

設計竜巻による荷重が作用する場合に強度評価を行う施設のうち，強度評価方法として容器，配管及び建屋等の定式化された評価式を用いた解析法を以下に示す。ただし，以下に示す強度評価方法が適用できない施設及び評価対象部位については，個別計算書にその強度評価方法を含めて記載する。

## 5.1 建屋・構造物に関する評価式

### 5.1.1 鉄筋コンクリート造構造物

(1) 評価条件

a. 貫通限界厚さは，NEI07-13 に示されている Degen 式を用いて算定する。Degen 式における貫入深さは，「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日原子炉安全専門審査会）」で用いられている修正 NDRC 式を用いて算定する。

b. 裏面剥離限界厚さは，NEI07-13 に示されている Chang 式を用いて算定する。

c. 荷重及び応力は力学における標準式を用いて算定する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5－1 に示す。

表 5－1 評価対象部位及び評価内容

| 評価対象部位 | 応力等の状態 |
|---|---|
| 屋根スラブ<br>壁面<br>構造躯体 | ・変形<br>・曲げ<br>・せん断 |
| スタッド | ・引張 |

(3) 強度評価方法

a. 記号の定義

Degen 式による貫通限界厚さの算定に用いる記号を表 5－2 に，Chang 式による裏面剥離限界厚さの算定に用いる記号を表 5－3 に，力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号を表 5－4 に示す。

表 5－2 Degen 式による貫通限界厚さの算定に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 | |
|---|---|---|---|
| D | $kgf/cm^3$ | 設計飛来物直径密度（D＝W／$d^3$） | |
| d | cm | 設計飛来物直径 | |
| e | cm | 貫通限界厚さ | |
| $F_c$ | $kgf/cm^2$ | コンクリートの設計基準強度 | |
| N | ― | 設計飛来物の形状係数 | |
| V | m/s | 壁面 | 設計飛来物の衝突速度（水平） |
| | | 屋根 | 設計飛来物の衝突速度（鉛直） |
| W | kgf | 設計飛来物重量 | |
| X | cm | 貫入深さ | |
| $\alpha_e$ | ― | 低減係数 | |

表 5－3　Chang 式による裏面剥離限界厚さの算定に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 | |
|---|---|---|---|
| d | cm | 設計飛来物直径 | |
| $f_c'$ | kgf/cm$^2$ | コンクリートの設計基準強度 | |
| S | cm | 裏面剥離限界厚さ | |
| V | m/s | 壁面 | 設計飛来物の衝突速度（水平） |
| | | 屋根 | 設計飛来物の衝突速度（鉛直） |
| $V_0$ | m/s | 飛来物基準速度 | |
| W | kgf | 設計飛来物重量 | |
| $\alpha_s$ | ― | 低減係数 | |

表 5－4　力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号（1/2）
（設計飛来物による衝撃荷重）

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| $F_m$ | N | 設計飛来物による衝撃荷重 |
| $L_1$ | m | 設計飛来物の最も短い辺の全長 |
| m | kg | 設計飛来物質量 |
| V | m/s | 設計飛来物の衝突速度（水平） |
| $\tau$ | s | 設計飛来物と被衝突体の接触時間 |

表 5－4　力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号（2/2）
（屋根スラブのデッキプレート及びスタッド）

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| L | m | デッキプレートの支持スパン |
| M | kN･m | 設計竜巻による単位幅あたりの曲げモーメント<br>（＝Max｛$M_1$，$M_2$｝） |
| $M_1$ | kN･m | 支持スパン中央部における単位幅あたりの曲げモーメント |
| $M_2$ | kN･m | 支持位置における単位幅あたりの曲げモーメント |
| p | mm | スタッドの間隔 |
| Q | kN/m | デッキプレートに生じる単位幅のせん断力 |
| T | kN | スタッドに生じる引張力 |
| $\omega_d$ | kN/m | 常時作用する荷重による単位幅あたりの荷重 |
| $\omega_T$ | kN/m | 設計竜巻による単位幅あたりの荷重<br>（＝Max｛$\omega_{T1}$，$\omega_{T2}$｝） |
| $\omega_{T1}$ | kN/m | 複合荷重$W_{T1}$による単位幅あたりの荷重 |
| $\omega_{T2}$ | kN/m | 複合荷重$W_{T2}$による単位幅あたりの荷重（設計飛来物による衝撃荷重$W_M$は考慮しない） |

b.　評価方法

(a)　Degen 式による貫通限界厚さの算定

Degen 式を以下に示す。

1.52≦X／d≦13.42 の場合

$$e=\alpha_e\{0.69+1.29(X/d)\}\cdot d$$

X／d≦1.52 の場合

$$e=\alpha_e\{2.2(X/d)-0.3(X/d)^2\}\cdot d$$

修正 NDRC 式を以下に示す。

X／d≦2.0 の場合

$$X/d=2\left\{\left(12145/\sqrt{F_c}\right)\cdot N\cdot d^{0.2}\cdot D\cdot\left(V/1000\right)^{1.8}\right\}^{0.5}$$

X／d≧2.0 の場合

$$X/d=\left(12145/\sqrt{F_c}\right)\cdot N\cdot d^{0.2}\cdot D\cdot\left(V/1000\right)^{1.8}+1$$

(b)　Chang 式による裏面剥離限界厚さの算定

Chang 式を以下に示す。

$$S=1.84\cdot\alpha_s\cdot\left(\frac{V_0}{V}\right)^{0.13}\cdot\frac{\left(\frac{W\cdot V^2}{0.0980}\right)^{0.4}}{d^{0.2}\cdot f_c{}'^{0.4}}$$

(c)　力学における標準式による荷重及び応力の算定

イ.　設計飛来物による衝撃荷重

$$F_m=m\cdot V/\tau=m\cdot V^2/L_1$$

ロ.　デッキプレートに発生する単位幅あたりの曲げモーメント

$M=\mathrm{Max}\{M_1,\ M_2\}$

ここで,

$$M_1=\frac{9}{128}\left(\omega_T-\omega_d\right)\cdot L^2$$

$$M_2=\frac{1}{8}\left(\omega_T-\omega_d\right)\cdot L^2$$

ハ.　デッキプレートに発生する単位幅あたりのせん断力

$$Q=\frac{5}{4}\left(\omega_T-\omega_d\right)\cdot L$$

ニ.　スタッド１本あたりの発生引張力

$$T = Q \cdot \frac{p}{1000}$$

ここで,

$$Q = \frac{\omega_T \cdot L}{2}$$

5.1.2　主排気筒

(1)　評価条件

主排気筒の強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　主排気筒は筒身と鉄塔が一体となって構成されるため，施設全体で風圧力による一様な荷重を受けるモデルとして評価を行う。この際，設計竜巻による設計飛来物の衝撃荷重は鉄塔の部材を損傷させたモデルとして考慮することとし，$W_M=0$ とする。

主排気筒のモデル図を図 5－1 及び 5－2 に示す。

b.　計算に用いる寸法は公称値を使用する。

(2)　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5－5 に示す。

表 5－5　評価対象部位及び評価内容

| 評価対象部位 | 評価内容 |
|---|---|
| 鉄塔部 | ・組合せ（圧縮＋曲げ） |
| 基礎 | ・引張<br>・せん断<br>・曲げ<br>・圧縮 |

(3)　強度評価方法

a.　記号の定義

主排気筒の強度評価に用いる記号を表 5－6 に示す。

表 5－6　主排気筒の強度評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| $f_b$ | N/mm$^2$ | 鋼材の曲げ材料強度 |
| $f_c$ | N/mm$^2$ | 鋼材の圧縮材料強度 |
| $\sigma_b$ | N/mm$^2$ | 鋼材の曲げ応力度 |
| $\sigma_c$ | N/mm$^2$ | 鋼材の平均圧縮応力度 |
| A | mm$^2$ | 断面積 |
| Z | mm$^3$ | 断面係数 |
| $\sigma_{tl}$ | N/mm$^2$ | 鉄塔の引張応力度 |
| $T_a$ | kN | 鉄塔部基礎ボルト1本当たりの引張力 |
| $\sigma_t$ | N/mm$^2$ | 鋼材の引張応力度 |
| $f_{ts}$ | N/mm$^2$ | 鋼材の引張材料強度 |
| n | 本 | 鉄塔部基礎ボルトの本数 |
| $A_0$ | mm$^2$ | 鉄塔部基礎ボルトのねじ部有効断面積 |
| $Q_a$ | kN | 鉄塔部基礎ボルト1本当たりのせん断力 |
| $\tau$ | N/mm$^2$ | せん断応力度 |
| $f_s$ | N/mm$^2$ | 鋼材のせん断材料強度 |

b.　計算モデル

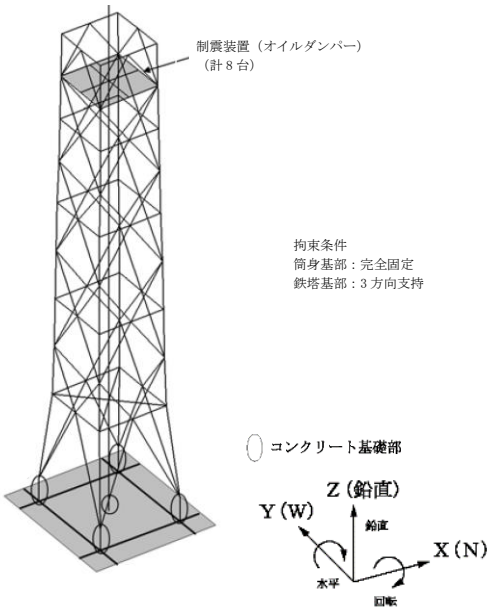



図５－１　６号機主排気筒の計算モデル図

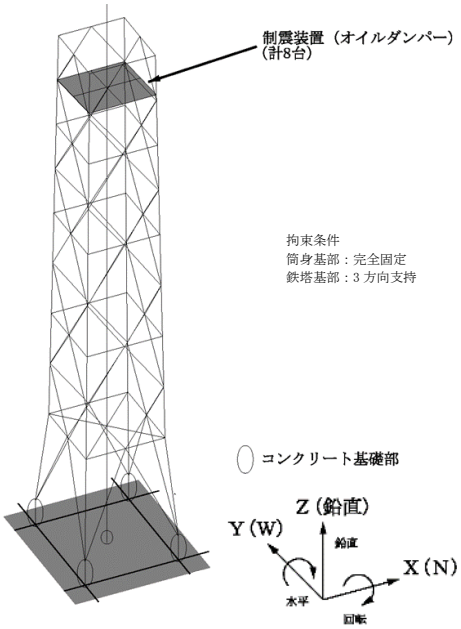



図５－２　７号機主排気筒の計算モデル図

c.　評価方法

(a)　応力評価方法

主排気筒について，3 次元 FEM を用いた弾性応力解析を実施する。

(b)　断面の評価方法

主排気筒の断面の評価に用いる応力は，3 次元 FEM モデルを用いた応力解析により得られた各荷重による断面力（軸力，曲げモーメント，せん断力）を組み合せることにより算定する。

イ．　鉄塔主要部材に対する断面の評価方法

（イ）　応力検定

機能維持検討時の応力に対する断面算定は，「建築基準法施行令第 90 条，第 96 条」及び「平 13 国交告第 1024 号」に準拠して行う。

・組合せ（圧縮＋曲げ）

$$\frac{\sigma_c}{f_c}+\frac{\sigma_b}{f_b}\leqq 1$$

・曲げ，引張

$$\frac{\sigma_t}{f_{ts}}\leqq 1$$

・せん断

$$\frac{\tau}{f_s}\leqq 1$$

・圧縮

$$\frac{\sigma_c}{f_c}\leqq 1$$

（ロ）　機能維持検討時に対する材料強度

機能維持検討時は，「平 12 建告第 2464 号」に準拠し，材料強度Ｆ値を 1.1 倍した値を用いて算出した許容応力度に対して，部材に発生する応力が超えないことを確認する。

5.2　機器・配管系に関する評価式

5.2.1　軽油タンク

(1)　評価条件

軽油タンクの強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　貫通計算においては，評価対象部位に設計飛来物が衝突した際に跳ね返らず，貫入するものとして評価する。

b.　設計竜巻の風圧力による荷重,設計飛来物による衝撃荷重,水頭圧及び自重に対する,胴板及び基礎ボルトの構造強度を1質点系モデルとして計算を行う。ここで，風荷重の作用点は胴板高さの1/2とし,設計飛来物による衝撃荷重の作用点は胴板最上部とする。軽油タンクのモデル図を図5－3に示す。

c.　自重については，設計荷重の抗力として作用する場合は質量が小さい方が安全側の評価となることから，基礎ボルトの構造強度評価においては，空重量による評価を実施する。

d.　計算に用いる寸法は公称値を使用する。

(2)　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5－7に示す。

表5－7　評価対象部位及び評価内容

| 評価対象部位 | 応力等の状態 |
|---|---|
| 屋根板 | ・変形 |
| 胴板 | ・変形<br>・一次一般膜<br>・組合せ<br>・座屈 |
| 基礎ボルト | ・引張<br>・せん断<br>・組合せ |

(3)　強度評価方法

a.　記号の定義

軽油タンクの衝突評価に用いる記号を表 5－8 に，強度評価に用いる記号を表 5－9 に示す。

表 5－8　軽油タンクの衝突評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| A | $mm^2$ | 設計飛来物の諸元から算出される等価面積 |
| d | m | 設計飛来物が衝突する衝突断面の等価直径 |
| K | — | 鋼板の材質に関する係数 |
| m | kg | 設計飛来物の質量 |
| T | m | 貫通限界厚さ |
| v | m/s | 設計飛来物の衝突速度 |
| π | — | 円周率 |

表 5－9　軽油タンクの強度評価に用いる記号（1/2）

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| $A_b$ | $mm^2$ | 基礎ボルト呼び径断面積 |
| $C_c$ | — | 基礎ボルト計算における係数 |
| $C_t$ | — | 基礎ボルト計算における係数 |
| $D_c$ | mm | 基礎ボルト中心円直径 |
| $D_i$ | mm | 胴内径 |
| $D_{bi}$ | mm | ベースプレート内径 |
| $D_{bo}$ | mm | ベースプレート外径 |
| e | — | 基礎ボルト計算における係数 |
| $F_c$ | N | 基礎に作用する圧縮力 |
| $F_t$ | N | 基礎ボルトに作用する引張力 |
| g | $m/s^2$ | 重力加速度 |
| $H_h$ | mm | 液面高さ |
| k | — | 基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数 |
| $\ell_g$ | mm | 胴板高さの1/2＋底板 |
| $\ell_M$ | mm | 胴板最上部の高さ |
| $\ell_1$，$\ell_2$ | mm | 基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離 |
| $M_{T2}$ | N･mm | 設計竜巻による複合荷重により作用するモーメント |
| $m_e$ | kg | 空質量 |

表５－９　軽油タンクの強度評価に用いる記号（2/2）

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| n | — | 基礎ボルト本数 |
| s | — | 基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比 |
| t | mm | 胴板厚 |
| $t_1$ | mm | 基礎ボルト面積相当板幅 |
| $t_2$ | mm | 圧縮側基礎相当幅 |
| $W_M$ | N | 設計飛来物による衝撃荷重 |
| $W_W$ | N | 設計竜巻の風圧力による荷重 |
| $W_{T2}$ | N | 設計竜巻による複合荷重（$W_{T2}=W_W+W_M$） |
| z | — | 基礎ボルト計算における係数 |
| $\alpha_2$ | rad | 基礎ボルト計算における中立軸を定める角度 |
| $\pi$ | — | 円周率 |
| $\rho$ | — | 軽油の比重 |
| $\sigma_1$ | MPa | 胴に生じる組合せ一次応力 |
| $\sigma_b$ | MPa | 基礎ボルトに生じる引張応力 |
| $\sigma_c$ | MPa | 基礎に生じる圧縮応力 |
| $\sigma_x$ | MPa | 胴に生じる軸方向応力の和 |
| $\sigma_{x2}$ | MPa | 自重（空質量）により胴に生じる軸方向応力 |
| $\sigma_{x4}$ | MPa | 設計竜巻による胴に生じる軸方向応力 |
| $\sigma_{xb}$ | MPa | 曲げモーメントにより生じる圧縮応力 |
| $\sigma_{xc}$ | MPa | 軸圧縮荷重により生じる圧縮応力 |
| $\sigma_\phi$ | MPa | 胴に生じる周方向応力の和 |
| $\sigma_{\phi1}$ | MPa | 静水頭により胴に生じる周方向応力 |
| $\tau$ | MPa | 設計竜巻により胴に生じるせん断応力 |
| $\tau_b$ | MPa | 基礎ボルトに生じるせん断応力 |

b.　計算モデル

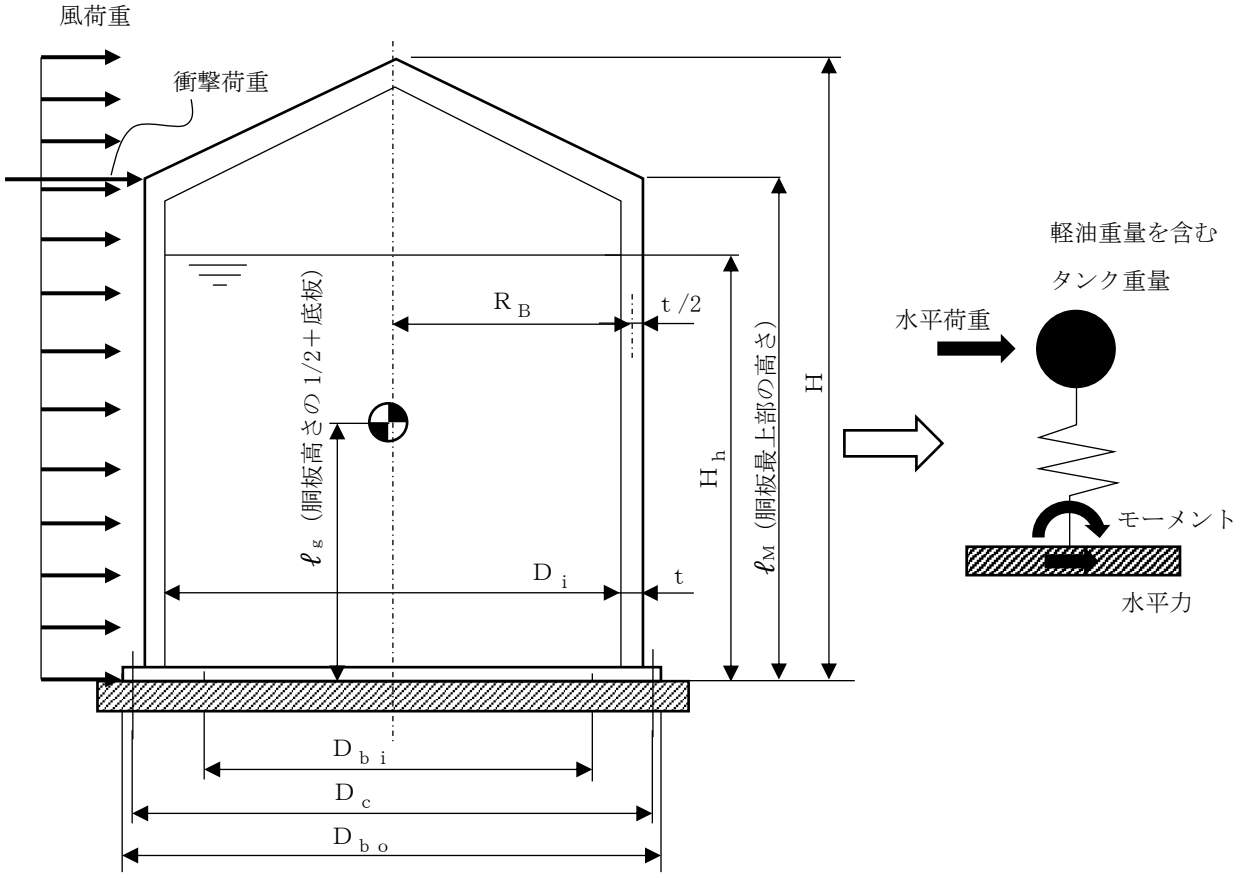



図 5－3　軽油タンクのモデル図

c.　評価方法

(a)　BRL 式による貫通限界厚さの算出

設計飛来物が軽油タンクに衝突する場合の貫通限界厚さを，「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日原子炉安全専門審査会）」で用いられている BRL 式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}}=\frac{0.5\cdot m\cdot v^{2}}{1.4396\times10^{9}\cdot K^{2}\cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

ここで，等価直径 d は下式のとおり。

$$d=\sqrt{\frac{4\cdot A}{\pi}}$$

(b)　設計竜巻により発生するモーメント

設計竜巻により作用するモーメント$M_{T2}$は以下のようにして計算する。

$M_{T2}=W_W\cdot\ell_g+W_M\cdot\ell_M$

(c)　胴に生じる応力

イ．　静水頭により胴に生じる周方向応力

$$\sigma_{\phi1}=\frac{10^{-6}\cdot g\cdot\rho\cdot H_h\cdot D_i}{2t}$$

ロ．　胴の自重（空質量）により胴に生じる軸方向応力

$$\sigma_{x2}=\frac{m_e\cdot g}{\pi\left(D_i+t\right)\cdot t}$$

ハ．　設計竜巻により生じる応力

設計竜巻により胴に生じる軸方向応力

$$\sigma_{x4}=\frac{4M_{T2}}{\pi\left(D_i+t\right)^{2}\cdot t}$$

設計竜巻により胴に生じるせん断応力

$$\tau=\frac{2W_{T2}}{\pi\left(D_i+t\right)\cdot t}$$

ニ.　組合せ応力

胴に生じる周方向応力の和

$$\sigma_{\phi}=\sigma_{\phi 1}$$

胴に生じる軸方向応力の和

$$\sigma_{x}=\sigma_{x2}+\sigma_{x4}$$

胴に生じる組合せ一次応力

$$\sigma_{1}=\frac{1}{2}\left\{\left(\sigma_{x}+\sigma_{\phi}\right)+\sqrt{\left(\sigma_{x}-\sigma_{\phi}\right)^{2}+4\tau^{2}}\right\}$$

ホ.　軸圧縮荷重及び曲げモーメントにより生じる圧縮応力

軸圧縮荷重により生じる圧縮応力

$$\sigma_{xc}=\sigma_{x2}$$

曲げモーメントにより生じる圧縮応力

$$\sigma_{xb}=\sigma_{x4}$$

(d)　基礎ボルト評価

イ.　基礎ボルトに生じるせん断応力

$$\tau_{b}=\frac{W_{T2}}{n\cdot A_{b}}$$

ロ.　基礎ボルトに生じる引張応力

基礎ボルトに引張力が発生しないのは，$\alpha_2$ が $\pi$ に等しくなったときであり，$\alpha_2$ を $\pi$ に近づけた場合の値 $e=0.75$ 及び $z=0.25$ を $F_t$ を求める式に代入し，得られる $F_t$ の値によって引張力の有無を次のように判断する。

・$F_t \leqq 0$ ならば，引張力は作用しない。

・$F_t > 0$ ならば，引張力は作用しているので次の計算を行う。

転倒モーメント $M_{T2}$ が作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については，荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。基礎の荷重説明図を図 5－4 に示す。

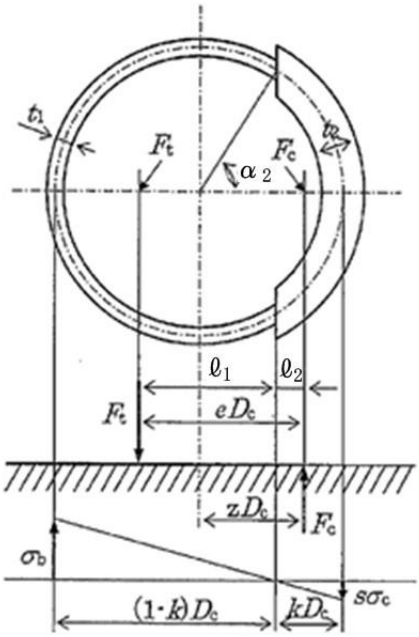



図５－４　基礎の荷重説明図（ＪＥＡＧ４６０１-1987 より抜粋）

（イ）　$\sigma_b$，$\sigma_c$を仮定して係数ｋを求める。

$$k=\frac{1}{1+\dfrac{\sigma_b}{s\cdot\sigma_c}}$$

（ロ）　$\alpha_2$を求める。

$$\alpha_2=\cos^{-1}(1-2k)$$

（ハ）　各定数ｅ，ｚ，$C_t$及び$C_c$を求める。

$$e=\frac{1}{2}\left\{\frac{(\pi-\alpha_2)\cos^2\alpha_2+\frac{1}{2}(\pi-\alpha_2)+\frac{3}{2}\sin\alpha_2\cdot\cos\alpha_2}{(\pi-\alpha_2)\cos\alpha_2+\sin\alpha_2}\right\}$$

$$+\frac{1}{2}\left\{\frac{\frac{1}{2}\alpha_2-\frac{3}{2}\sin\alpha_2\cdot\cos\alpha_2+\alpha_2\cdot\cos^2\alpha_2}{\sin\alpha_2-\alpha_2\cdot\cos\alpha_2}\right\}$$

$$z=\frac{1}{2}\left\{\cos\alpha_2+\frac{\frac{1}{2}\alpha_2-\frac{3}{2}\sin\alpha_2\cdot\cos\alpha_2+\alpha_2\cdot\cos^2\alpha_2}{\sin\alpha_2-\alpha_2\cdot\cos\alpha_2}\right\}$$

$$C_t=\frac{2\{(\pi-\alpha_2)\cos\alpha_2+\sin\alpha_2\}}{1+\cos\alpha_2}$$

$$C_c = \frac{2\left(\sin\alpha_2 - \alpha_2 \cdot \cos\alpha_2\right)}{1 - \cos\alpha_2}$$

（ニ） 各定数を用いて$F_t$，$F_c$を求める。

$$F_t = \frac{M_{T2} - m_e \cdot g \cdot z \cdot D_c}{e \cdot D_c}$$

$$F_c = F_t + m_e \cdot g$$

（ホ） $\sigma_b$，$\sigma_c$を求める。

$$\sigma_b = \frac{2F_t}{t_1 \cdot D_c \cdot C_t}$$

$$\sigma_c = \frac{2F_c}{\left(t_2 + s \cdot t_1\right)D_c \cdot C_c}$$

ここで，

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi \cdot D_c}$$

$$t_2 = \frac{1}{2}\left(D_{bo} - D_{bi}\right) - t_1$$

5.2.2　吸気配管

(1)　評価の条件

吸気配管の強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　吸気配管は建屋内に設置されているため，気圧差による荷重を配管内部に受けるものとして計算を行う。吸気配管のモデル図を図 5－5 に示す。

b.　計算に用いる寸法は公称値を使用する。

(2)　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5－10 に示す。

表 5－10　評価対象部位及び評価内容

| 評価対象部位 | 応力等の状態 |
|---|---|
| 配管本体 | ・周方向応力 |

(3)　強度評価方法

a.　記号の定義

吸気配管の強度評価に用いる記号を表 5－11 に示す。

表 5－11　吸気配管の強度評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| $P_1$ | Pa | 運転圧 |
| $P_b$ | Pa | 配管に作用する圧力 |
| $r_m$ | mm | 平均半径 |
| t | mm | 配管厚さ |
| $\Delta P$ | $N/m^2$ | 設計竜巻の気圧低下量 |
| $\sigma_\theta$ | MPa | 周方向応力 |

b.　計算モデル

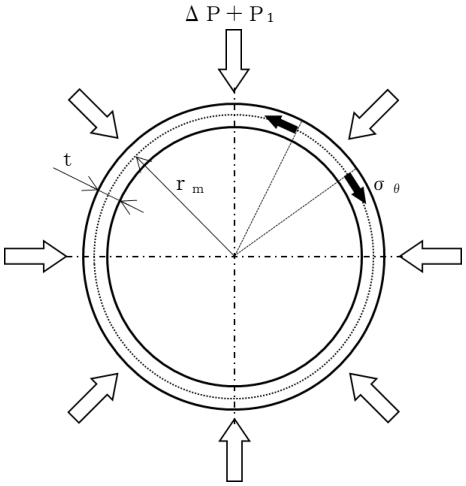



図 5－5　吸気配管のモデル図

c.　評価方法

配管にかかる外圧は，設計竜巻により発生する気圧差及び運転圧が影響するので，

$$P_b = \Delta P + P_1$$

(a)　外圧により生じる周方向応力

$$\sigma_\theta = \frac{P_b \cdot r_m}{t}$$

5.2.3　ダンパ（換気空調系）

(1)　評価の条件

ダンパの強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　ケーシングは，ケーシング板材を 4 辺に分割し，その 1 辺を同等の断面性能を持つ単純支持梁として計算を行う。ケーシングのモデル図を図 5－6 に示す。

b.　ベーンは，四辺支持長方形板に等分布荷重がかかるものとし，曲げ応力による計算を行う。ベーンのモデル図を図 5－7 に示す。

c.　シャフトは，内部圧力及び自重により発生する荷重が両端のシャフトに作用するが，片端に作用するものとし，シャフト断面についてせん断応力による計算を行う。シャフトのモデル図を図 5－8 に示す。

d.　計算に用いる寸法は公称値を使用する。

(2)　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5－12 に示す。

表 5－12　評価対象部位及び評価内容

| 評価対象部位 | 応力等の状態 |
|---|---|
| ケーシング | ・曲げ |
| ベーン | ・曲げ |
| シャフト | ・せん断 |

(3)　強度評価方法

a.　記号の定義

ダンパの強度評価に用いる記号を表 5－13 に示す。

表 5－13　ダンパの強度評価に用いる記号（1/2）

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| $A_s$ | $mm^2$ | シャフト断面積 |
| E | MPa | ヤング率 |
| $e_c$ | mm | ケーシングにおける断面の重心高さ |
| $F_{1b}$ | $N/mm^2$ | ベーンの内部圧力による分布荷重 |
| $F_{1c}$ | N/mm | ケーシングの内部圧力による分布荷重 |
| $F_{1s}$ | N | 内部圧力によりシャフトにかかるせん断荷重 |
| $F_{2b}$ | $N/mm^2$ | ベーンの自重による分布荷重 |
| $F_{2c}$ | N/mm | ケーシングの自重による分布荷重 |
| $F_{2s}$ | N | ベーンの自重によりシャフトにかかるせん断荷重 |

表 5－13　ダンパの強度評価に用いる記号（2/2）

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| g | $m/s^2$ | 重力加速度 |
| $H_b$ | mm | ベーン幅 |
| $I_c$ | $mm^4$ | ケーシングの断面二次モーメント |
| $L_c$ | mm | 面間寸法 |
| $L_s$ | mm | シャフト直径 |
| $\ell_b$ | mm | ベーン長さ |
| $\ell_c$ | mm | ケーシング長さ |
| $M_c$ | N･mm | ケーシングに作用する最大曲げモーメント |
| $m_b$ | kg | ベーン質量 |
| $m_c$ | kg | ケーシング質量 |
| P | MPa | 内部圧力 |
| $t_b$ | mm | ベーン板厚 |
| $Z_c$ | $mm^3$ | ケーシングの断面係数 |
| $\delta_{bmax}$ | mm | 面外荷重によるベーンの最大変位量 |
| $\Delta P$ | $N/m^2$ | 設計竜巻の気圧低下量 |
| $\nu$ | ― | ポアソン比 |
| $\pi$ | ― | 円周率 |
| $\sigma_{bmax}$ | MPa | ベーンの中心に生じる面外荷重による最大応力 |
| $\sigma_{cmax}$ | MPa | ケーシングに生じる最大曲げ応力 |
| $\sigma_{smax}$ | MPa | シャフトに生じる最大せん断応力 |

b.　計算モデル

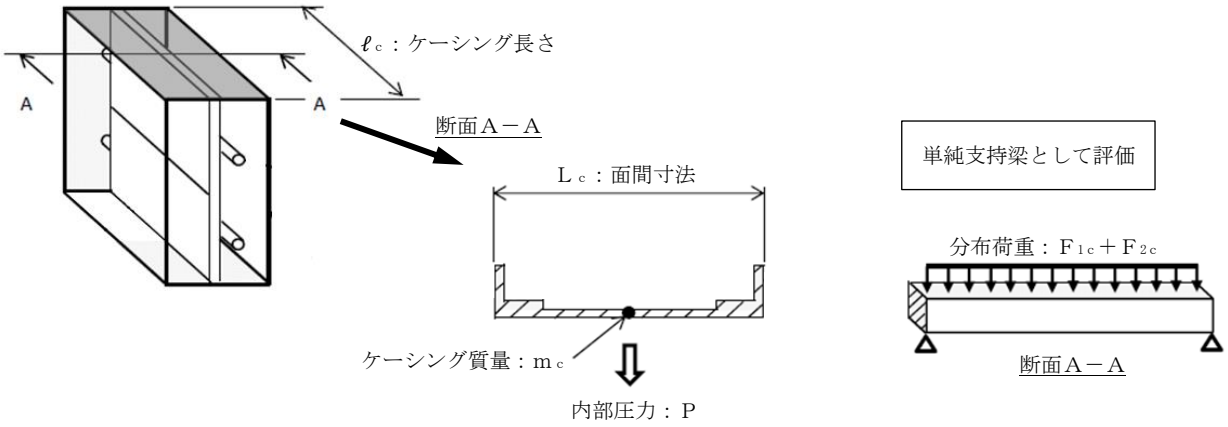



図 5－6　ケーシングのモデル図

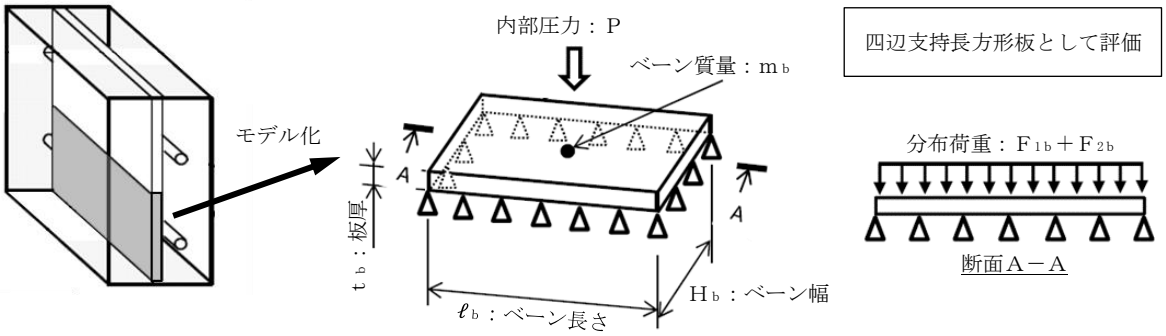



図 5－7　ベーンのモデル図

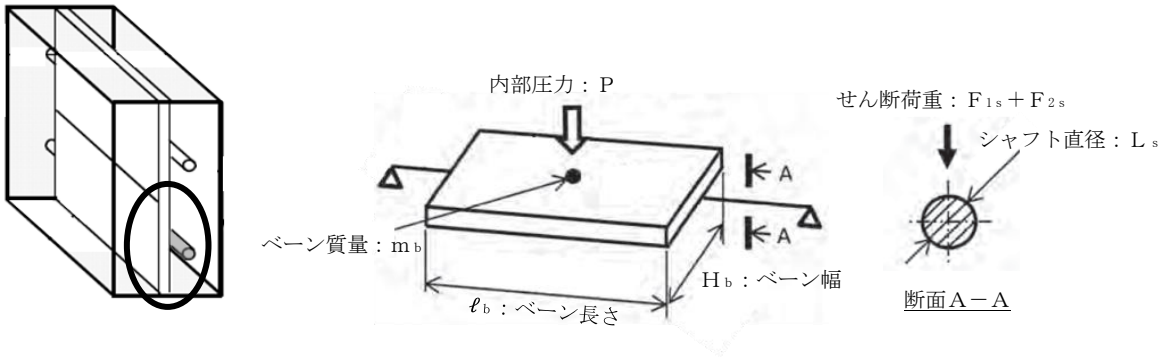



図 5－8　シャフトのモデル図

c.　評価方法

内部圧力は，設計竜巻により発生する気圧差によって発生するので，

$P = \Delta P$

(a)　ケーシング

ケーシングに作用する最大曲げモーメント

$$M_c = \frac{\ell_c^{\,2}\left(F_{1c} + F_{2c}\right)}{8}$$

ここで，

$F_{1c} = P \cdot L_c$

$$F_{2c} = \frac{m_c \cdot g}{\ell_c}$$

ケーシングに生じる最大曲げ応力

$$\sigma_{cmax} = \frac{M_c}{Z_c}$$

ここで，

$$Z_c = \frac{I_c}{e_c}$$

(b)　ベーン

ベーンに生じる発生応力は，四辺単純支持の長方形板が等分布荷重を受ける場合において，中心に生じる外圧及び自重による面外荷重により作用する最大応力$\sigma_{bmax}$とその面外荷重によるベーンの最大変位量$\delta_{bmax}$との関係は，以下の式で表わされる。

機械工学便覧に記載されている四辺単純支持の長方形板が等分布荷重を受ける場合の長方形板の大たわみ式を引用する。

$$\sigma_{bmax} = \frac{\pi^2 E \delta_{bmax}}{8\left(1-\nu^2\right)}\left\{\frac{\left(2-\nu^2\right)\delta_{bmax} + 4t_b}{\ell_b^{\,2}} + \frac{\nu\left(\delta_{bmax} + 4t_b\right)}{H_b^{\,2}}\right\} \quad \cdots\cdots (5.1)$$

$$\frac{256\left(1-\nu^2\right)\left(F_{1b} + F_{2b}\right)}{\pi^6 E t_b^{\,4}} = \frac{4}{3}\left(\frac{1}{\ell_b^{\,2}} + \frac{1}{H_b^{\,2}}\right)^2 \frac{\delta_{bmax}}{t_b} + \left\{\frac{4\nu}{\ell_b^{\,2} H_b^{\,2}} + \left(3-\nu^2\right)\left(\frac{1}{\ell_b^{\,4}} + \frac{1}{H_b^{\,4}}\right)\right\}\left(\frac{\delta_{bmax}}{t_b}\right)^3 \quad \cdots\cdots (5.2)$$

ここで,

$F_{1b}=P$

$$F_{2b}=\frac{m_b \cdot g}{\ell_b \cdot H_b}$$

式（5.2）より得られる$\delta_{bmax}$の値を式（5.1）へ代入し，$\sigma_{bmax}$を算出する。

(c) シャフト

シャフトに生じる最大せん断応力

$$\sigma_{smax}=\frac{F_{1s}+F_{2s}}{A_s}$$

ここで,

$F_{1s}=P \cdot H_b \cdot \ell_b$

$F_{2s}=m_b \cdot g$

$$A_s=\left(\frac{L_s}{2}\right)^2 \cdot \pi$$

5.2.4　角ダクト（換気空調系）

(1)　評価の条件

角ダクトの強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　角ダクトは，任意のダクト面に着目すると，ダクト面は両サイドをほかの 2 つの側面のダクト面で，軸方向（流れ方向）を補強部材（及び接続部材）で支持された長方形の板とみなすことができる。そのため，鋼板を補強部材と両サイドのウェブで支持された四辺単純支持長方形板とし評価を行う。自重等によりダクトに生じる曲げモーメントに関し，ウェブでの応力分布が線形で，中立面がフランジの両側から等距離の中央線上にあるとする。角ダクトのモデル図を図 5－9 に示す。

b.　計算に用いる寸法は公称値を使用する。

(2)　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5－14 に示す。

表 5－14　評価対象部位及び評価内容

| 評価対象部位 | 応力等の状態 |
|---|---|
| ダクト鋼板<br>（本体） | ・曲げ<br>・座屈 |

(3)　強度評価方法

a.　記号の定義

角ダクトの強度評価に用いる記号を表 5－15 に示す。

表 5－15　角ダクトの強度評価に用いる記号（1/2）

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| a | mm | ダクト幅 |
| b | mm | ダクト高さ |
| c | mm | 補強ピッチ |
| $D_p$ | $kg/m^2$ | 単位面積あたりのダクト鋼板の質量 |
| E | MPa | ヤング率 |
| $f_1$ | N | ダクト自重による圧縮荷重 |
| $f_2$ | N | 面内荷重（外圧）による圧縮荷重 |
| g | $m/s^2$ | 重力加速度 |
| L | mm | ダクトサポートの支持間隔 |
| $M_p$ | N･mm | 自重により作用する曲げモーメント |
| P | MPa | ダクトにかかる外圧 |
| $P_o$ | Pa | 運転圧 |

表 5－15　角ダクトの強度評価に用いる記号（2/2）

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| t | mm | ダクト板厚 |
| $\delta_{max}$ | mm | 面外荷重によるダクト鋼板の最大変位量 |
| ΔP | $N/m^2$ | 設計竜巻の気圧低下量 |
| $\mu$ | kg/m | ダクト単位重量 |
| $\nu$ | — | ポアソン比 |
| $\pi$ | — | 円周率 |
| $\sigma_{max}$ | MPa | 中心に生じる面外荷重による最大応力 |

b.　計算モデル

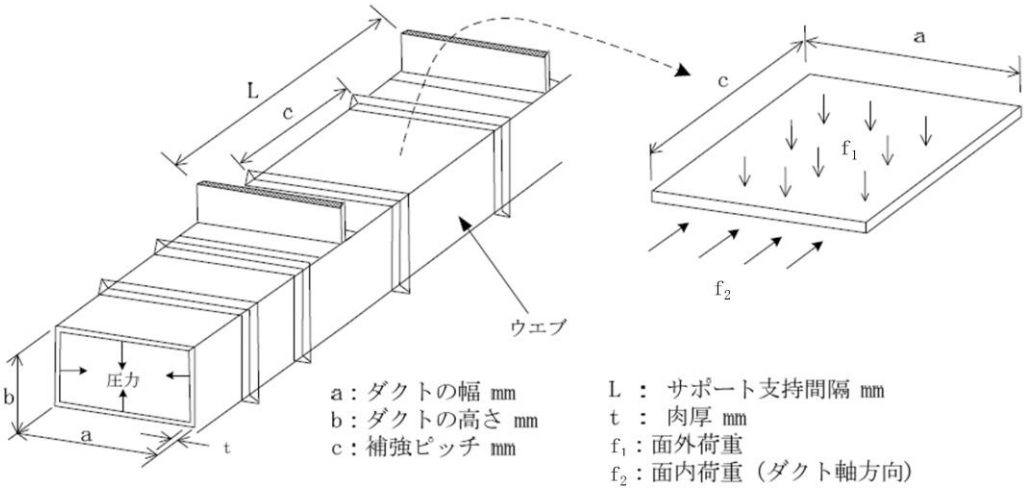



図 5－9　角ダクトのモデル図

c.　評価方法

ダクトにかかる外圧は，設計竜巻により発生する気圧差及び運転圧が影響するので，

$P = \Delta P + P_{o}$

(a)　面外荷重による発生応力

四辺単純支持（周辺で水平，垂直方向の変位拘束，たわみ角は自由）の長方形板が等分布荷重を受ける場合において，中心に生じる外圧及び自重による面外荷重により作用する最大応力$\sigma_{max}$とその面外荷重によるダクト鋼板の最大変位量$\delta_{max}$との関係は，以下の式で表される。

機械工学便覧に記載されている四辺単純支持の長方形板が等分布荷重を受ける場合の長方形板の大たわみ式を引用する。

$$\sigma_{max} = \frac{\pi^2 E \delta_{max}}{8(1-\nu^2)} \left\{ \frac{(2-\nu^2)\delta_{max} + 4t}{a^2} + \frac{\nu(\delta_{max} + 4t)}{c^2} \right\}$$

・・・・ (5.3)

$$\frac{256(1-\nu^2)}{\pi^6 E t^4}(P + g \cdot D_p) = \frac{4}{3}\left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{c^2}\right)^2 \frac{\delta_{max}}{t} + \left\{ \frac{4\nu}{a^2 c^2} + (3-\nu^2)\left(\frac{1}{a^4} + \frac{1}{c^4}\right) \right\} \left(\frac{\delta_{max}}{t}\right)^3$$

・・・・ (5.4)

式（5.4）より得られる$\delta_{max}$の値を式（5.3）へ代入し，$\sigma_{max}$を算出する。

(b)　面内荷重による発生応力

イ.　自重による発生応力

自重によりダクト鋼板に作用する圧縮荷重は，以下の式により算出する。

$$f_1 = \frac{M_p}{b}$$

ここで，

$$M_p = \frac{g \mu L^2}{8}$$

ロ.　外圧による発生応力

ダクト面内が受ける気圧差と運転圧による圧縮荷重は，以下の式により算出する。

$$f_2 = (a + 2t) \cdot (b + 2t) \cdot P \cdot 10^{-6}$$

5.2.5　丸ダクト（換気空調系）

(1)　評価の条件

丸ダクトの強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　丸ダクトは両端を補強部材で支持された円筒の梁とみなし，計算を行う。丸ダクトのモデル図を図 5－10 に示す。

b.　計算に用いる寸法は公称値を使用する。

(2)　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5－16 に示す。

表 5－16　評価対象部位及び評価内容

| 評価対象部位 | 応力等の状態 |
|---|---|
| ダクト鋼板<br>（本体） | ・曲げ<br>・座屈 |

(3)　強度評価方法

a.　記号の定義

丸ダクトの強度評価に用いる記号を表 5－17 に示す。

表 5－17　丸ダクトの強度評価に用いる記号（1/2）

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| $A_1$ | $mm^2$ | ダクト全断面積 |
| $A_2$ | $mm^2$ | ダクト板の断面積 |
| $d_1$ | mm | ダクト内径 |
| $d_2$ | mm | ダクト外径 |
| g | $m/s^2$ | 重力加速度 |
| L | mm | ダクトサポートの支持間隔 |
| $M_p$ | N･mm | 自重により作用する曲げモーメント |
| P | MPa | ダクトにかかる外圧 |
| $P_o$ | Pa | 運転圧 |
| $r_m$ | mm | ダクトの平均半径 |
| t | mm | ダクト板厚 |
| Z | $mm^3$ | 断面係数 |
| $\Delta P$ | $N/m^2$ | 設計竜巻の気圧低下量 |
| $\mu$ | kg/m | ダクト単位重量 |
| $\pi$ | ― | 円周率 |

表５－17　丸ダクトの強度評価に用いる記号（2/2）

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| $\sigma_b$ | MPa | ダクト自重による曲げ応力 |
| $\sigma_{Pb}$ | MPa | 面内荷重（外圧）による圧縮応力 |
| $\sigma_{cripl}$ | MPa | 外圧により生じる周方向応力 |

b.　計算モデル

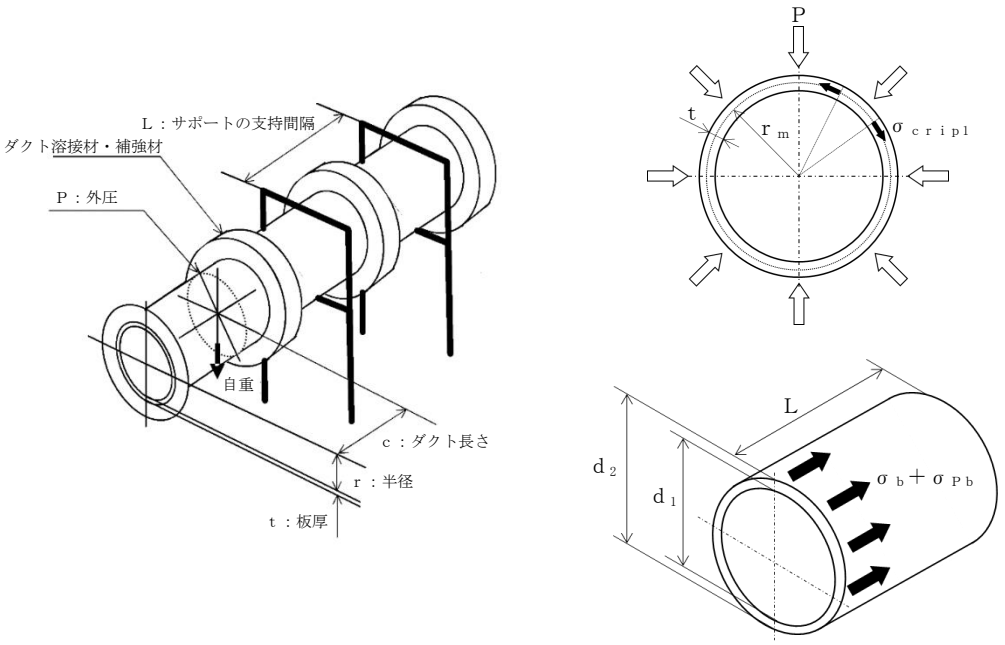



図５－10　丸ダクトのモデル図

c.　評価方法

ダクトにかかる外圧は，設計竜巻により発生する気圧差及び運転圧が影響するので，

$P=\Delta P+P_o$

(a)　外圧により生じる周方向応力

$$\sigma_{cripl}=\frac{P\cdot r_m}{t}$$

(b)　面内荷重による発生応力

イ．　自重による発生応力

自重によりダクト鋼板に作用する曲げ応力は，以下の式により算出する。

$$\sigma_b=\frac{M_p}{Z}$$

ここで,

$$M_p = \frac{g \mu L^2}{8}$$

$$Z = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{d_2^{\ 4} - d_1^{\ 4}}{d_2}$$

ロ. 外圧による発生応力

ダクト面内が受ける気圧差と運転圧による圧縮応力は,以下の式により算出する。

$$\sigma_{Pb} = P \cdot \frac{A_1}{A_2}$$

ここで,

$$A_1 = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^{\ 2}$$

$$A_2 = \frac{\pi}{4} \cdot \left(d_2^{\ 2} - d_1^{\ 2}\right)$$

5.2.6　バタフライ弁（換気空調系）

(1)　評価の条件

バタフライ弁の強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　弁箱は，両端を補強部材で支持された円筒の梁とみなし，計算を行う。弁箱のモデル図を図 5－11 に示す。

b.　弁体は，円形の弁体面積に受ける荷重を長方形の評価面積に作用するとみなし，弁体評価面積の断面と同等の断面性能を持つ単純梁として，曲げ応力による計算を行う。弁体のモデル図を図 5－12 に示す。

c.　弁棒は，内部圧力及び自重により発生する荷重が両端の弁棒に作用するが，片端に作用するものとし，弁棒断面についてせん断応力による計算を行う。弁棒のモデル図を図 5－13 に示す。

d.　計算に用いる寸法は公称値を使用する。

(2)　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5－18 に示す。

表 5－18　評価対象部位及び評価内容

| 評価対象部位 | 応力等の状態 |
|---|---|
| 弁箱 | ・座屈 |
| 弁体 | ・曲げ |
| 弁棒 | ・せん断 |

(3)　強度評価方法

a.　記号の定義

バタフライ弁の強度評価に用いる記号を表 5－19 に示す。

表 5－19　バタフライ弁の強度評価に用いる記号（1/2）

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| $A_s$ | $mm^2$ | 弁棒の断面積 |
| $e_b$ | mm | 弁体の主軸から断面端点の距離 |
| $F_{1b}$ | $N/mm^2$ | 弁体の内部圧力による集中荷重 |
| $F_{1s}$ | N | 内部圧力により弁棒にかかるせん断荷重 |
| $F_{2b}$ | $N/mm^2$ | 弁体の自重による集中荷重 |
| $F_{2s}$ | N | 弁体の自重により弁棒にかかるせん断荷重 |
| g | $m/s^2$ | 重力加速度 |
| $H_b$ | mm | 弁体の幅 |
| $I_b$ | $mm^4$ | 弁体の断面二次モーメント |

表 5－19　バタフライ弁の強度評価に用いる記号（2/2）

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| $L_s$ | mm | 弁棒の直径 |
| $\ell_b$ | mm | 弁体の評価面長さ |
| $M_b$ | N･mm | 弁体に作用する最大曲げモーメント |
| $m_b$ | kg | 弁体の質量 |
| P | MPa | 内部圧力 |
| $r_m$ | mm | 弁箱の平均半径 |
| $t_b$ | mm | 弁体の板厚 |
| $w_b$ | mm | 弁体の評価面幅 |
| $Z_b$ | $mm^3$ | 弁体の断面係数 |
| $\Delta P$ | $N/m^2$ | 設計竜巻の気圧低下量 |
| $\pi$ | ― | 円周率 |
| $\sigma_{bmax}$ | MPa | 弁体の中心に生じる面外荷重による最大応力 |
| $\sigma_{cmax}$ | MPa | 弁箱に生じる周方向応力 |
| $\sigma_{smax}$ | MPa | 弁棒に生じる最大せん断応力 |

b.　計算モデル

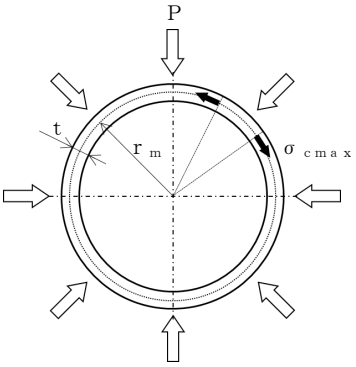



図 5－11　弁箱のモデル図

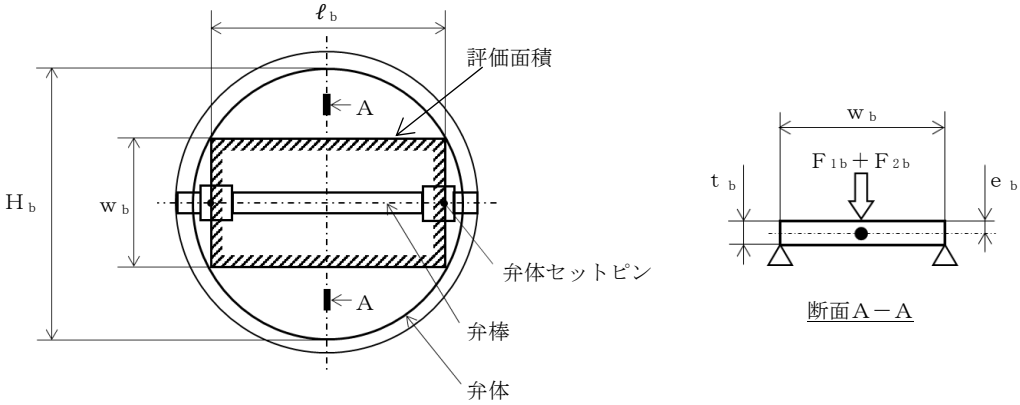



図 5－12　弁体のモデル図

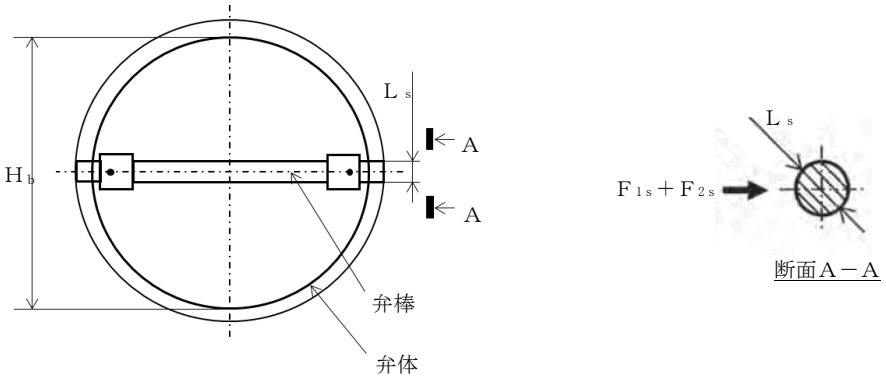



図５－13　弁棒のモデル図

c.　評価方法

内部圧力は，設計竜巻により発生する気圧差によって発生するので，

$P = \Delta P$

(a)　弁箱

弁箱に作用する周方向応力

$$\sigma_{cmax} = \frac{P \cdot r_m}{t}$$

(b)　弁体

弁体に作用する最大曲げモーメント

$$M_b = \frac{\ell_b \left( F_{1b} + F_{2b} \right)}{4}$$

ここで，

$$F_{1b} = \left( \frac{H_b}{2} \right)^2 \pi P$$

$F_{2b} = m_b \cdot g$

弁体に生じる最大曲げ応力

$$\sigma_{bmax} = \frac{M_b}{Z_b}$$

ここで，

$$Z_b = \frac{I_b}{e_b}$$

$$I_b = \frac{1}{12} w_b t_b^3$$

(c)　弁棒

弁棒に生じる最大せん断応力

$$\sigma_{smax}=\frac{F_{1s}+F_{2s}}{A_s}$$

ここで,

$$F_{1s}=\left(\frac{H_b}{2}\right)^2\pi P$$

$$F_{2s}=m_b\cdot g$$

$$A_s=\left(\frac{L_s}{2}\right)^2\pi$$

5.2.7　ファン（換気空調系）

(1)　評価の条件

ファンの強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　ファンは両端を補強部材で支持された円筒の梁とみなし，計算を行う。ファンのモデル図を図 5－14 に示す。

b.　計算に用いる寸法は公称値を使用する。

(2)　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5－20 に示す。

表 5－20　評価対象部位及び評価内容

| 評価対象部位 | 応力等の状態 |
|---|---|
| ケーシング | ・座屈 |

(3)　強度評価方法

a.　記号の定義

ファンの強度評価に用いる記号を表 5－21 に示す。

表 5－21　ファンの強度評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| $P_1$ | Pa | 運転圧 |
| $P_b$ | Pa | ファンケーシングに作用する圧力 |
| $r_m$ | mm | 平均半径 |
| t | mm | ケーシング板厚 |
| $\Delta P$ | $N/m^2$ | 設計竜巻の気圧低下量 |
| $\sigma_\theta$ | MPa | 周方向応力 |

b.　計算モデル

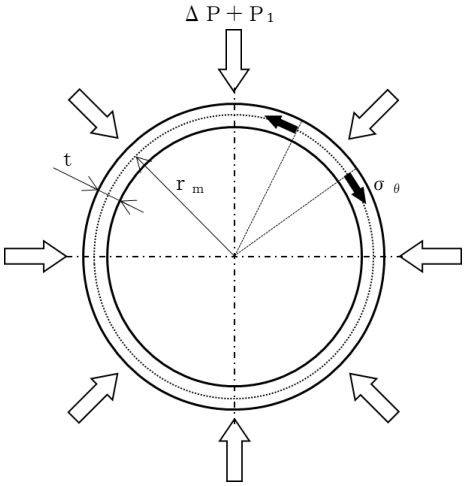



図5－14　ファンのモデル図

c.　評価方法

ファンにかかる外圧は，設計竜巻により発生する気圧差及び運転圧が影響するので，

$$P_b = \Delta P + P_1$$

(a)　外圧により生じる周方向応力

$$\sigma_\theta = \frac{P_b \cdot r_m}{t}$$

5.2.8　消音器

(1)　評価の条件

消音器の強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　設計竜巻の風圧力による荷重及び自重に対する，取付ボルトの構造強度を1質点系モデルとして計算を行う。ここで，風荷重の作用点は胴板高さの1/2とする。消音器のモデル図を図5－15に示す。

b.　自重については，設計荷重の抗力として作用する場合は質量が小さい方が安全側の評価となることから，取付ボルトの構造強度評価において考慮しない。

c.　計算に用いる寸法は公称値を使用する。

(2)　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5－22に示す。

表5－22　評価対象部位及び評価内容

| 評価対象部位 | 応力等の状態 |
|---|---|
| 取付ボルト | ・引張<br>・せん断<br>・組合せ |

(3)　強度評価方法

a.　記号の定義

消音器の強度評価に用いる記号を表5－23に示す。

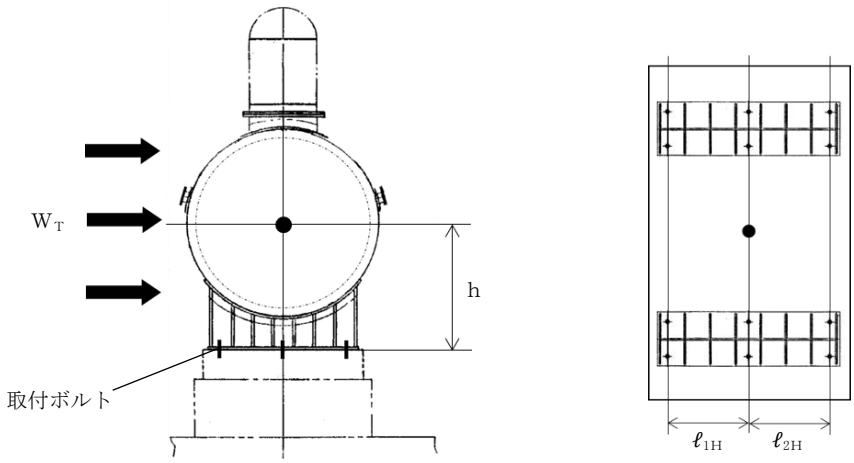
表5－23　消音器の強度評価に用いる記号（1/2）

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| $A_b$ | $mm^2$ | 取付ボルトの断面積 |
| d | mm | 取付ボルト呼び径 |
| $F_{bA}$ | N | 軸方向における引張力 |
| $F_{bH}$ | N | 軸直角方向における引張力 |
| h | mm | 消音器重心高さ |
| $\ell_{1A}$ | mm | 軸方向における取付ボルトから重心までの距離 |
| $\ell_{2A}$ | mm | 軸方向における取付ボルトから重心までの距離 |
| $\ell_{1H}$ | mm | 軸直角方向における取付ボルトから重心までの距離 |
| $\ell_{2H}$ | mm | 軸直角方向における取付ボルトから重心までの距離 |
| N | — | 取付ボルト本数 |
| $n_{fA}$ | — | 軸方向における引張力を受ける取付ボルト本数 |
| $n_{fH}$ | — | 軸直角方向における引張力を受ける取付ボルト本数 |

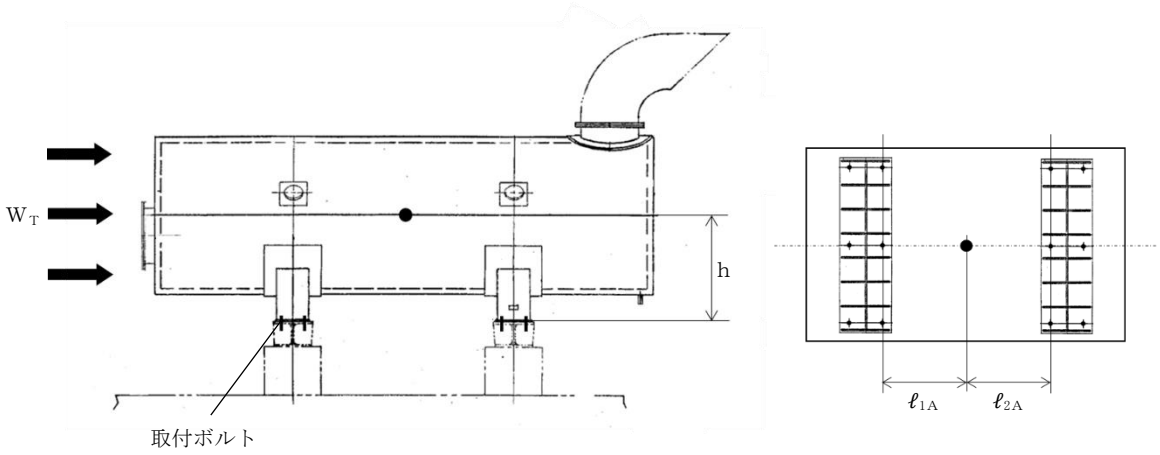
表 5－23　消音器の強度評価に用いる記号（2/2）

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| $Q_b$ | N | 取付ボルトに対するせん断力 |
| $W_T$ | N | 設計竜巻による複合荷重 |
| $\pi$ | ― | 円周率 |
| $\sigma_{bA}$ | MPa | 軸方向における取付ボルトに生じる引張応力 |
| $\sigma_{bH}$ | MPa | 軸直角方向における取付ボルトに生じる引張応力 |
| $\tau$ | MPa | 取付ボルトに生じるせん断応力 |

b.　計算モデル




（軸直角方向）




（軸方向）

図 5－15　消音器のモデル図

c.　評価方法

(a)　引張応力

取付ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として，取付ボルトを支点とする転倒を考え，これをもう片側の取付ボルトで受けるものとして計算する。

イ．　軸直角方向

引張力

$$F_{bH}=\frac{W_T \cdot h}{\ell_{1H}+\ell_{2H}}$$

引張応力

$$\sigma_{bH}=\frac{F_{bH}}{n_{fH} \cdot A_b}$$

ここで，

$$A_b=\frac{\pi}{4}d$$

ロ．　軸方向

引張力

$$F_{bA}=\frac{W_T \cdot h}{\ell_{1A}+\ell_{2A}}$$

引張応力

$$\sigma_{bA}=\frac{F_{bA}}{n_{fA} \cdot A_b}$$

(b)　せん断応力

取付ボルトに対するせん断応力は，取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

イ．　せん断力

$$Q_b=W_T$$

ロ．　せん断応力

$$\tau=\frac{Q_b}{N \cdot A_b}$$

5.2.9　排気管及びミスト管

(1)　評価の条件

排気管及びミスト管の強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　配管は一定距離ごとにサポートによって支えられているため，風圧力による一様な荷重を受ける単純支持梁として評価を行う。評価に用いる支持間隔はサポートの支持間隔が最長となる箇所を用いる。排気管及びミスト管のモデル図を図 5－16 に示す。

b.　サポート（配管支持構造物）については，建屋内外に関わらず地震に対して耐荷重設計がなされており，配管本体に竜巻の風荷重が作用した場合でも，作用荷重は耐荷重以下であるため，竜巻による荷重に対するサポートの設計は耐震設計に包絡される。

c.　計算に用いる寸法は公称値を使用する。

(2)　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5－24 に示す。

表 5－24　評価対象部位及び評価内容

| 評価対象部位 | 応力等の状態 |
|---|---|
| 配管本体 | ・一次応力（曲げ応力含む） |

(3)　強度評価方法

a.　記号の定義

排気管及びミスト管の強度評価に用いる記号を表 5－25 に示す。

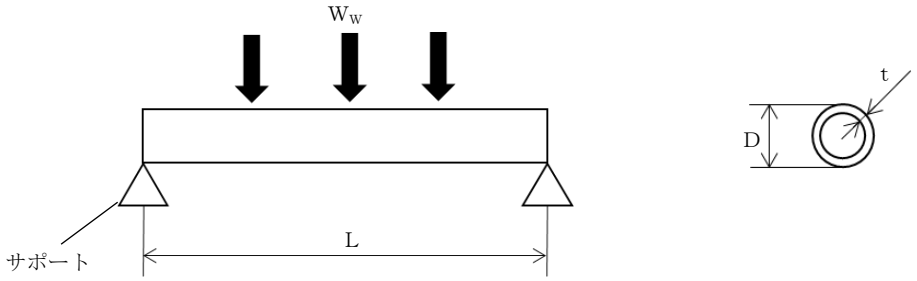
表 5－25　排気管及びミスト管の強度評価に用いる記号（1/2）

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| D | mm | 管外径 |
| g | $m/s^2$ | 重力加速度 |
| L | mm | 支持間隔 |
| M | N･m | 風荷重により作用する曲げモーメント |
| m | kg/m | 単位長さ当たりの質量 |
| P | MPa | 内圧 |
| t | mm | 板厚 |
| $W_W$ | N/m | 単位長さ当たりの風圧力による荷重 |
| w | N/m | 単位長さ当たりの自重による荷重 |
| Z | $mm^3$ | 断面係数 |
| π | ― | 円周率 |

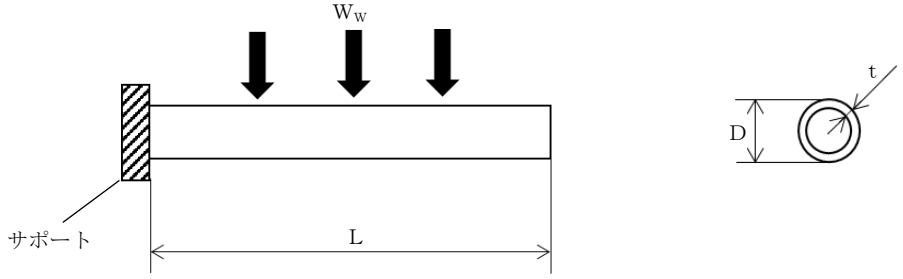
表 5－25　排気管及びミスト管の強度評価に用いる記号（2/2）

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| $\sigma$ | MPa | 配管に生じる応力 |
| $\sigma_{WW}$ | MPa | 風圧力により生じる応力 |
| $\sigma_{自重}$ | MPa | 自重により生じる応力 |
| $\sigma_{内圧}$ | MPa | 内圧により生じる応力 |

b.　計算モデル




（両端支持形状）




（片持ち形状）

図 5－16　排気管及びミスト管のモデル図

c.　評価方法

(a)　竜巻による応力計算

イ．　風圧力により生じる応力

風圧力による荷重が配管の支持スパンに等分布荷重として加わり，曲げ応力を発生させるものとして，以下の式により算定する。

・両端支持形状

$$\sigma_{WW}=\frac{M}{Z}=\frac{W_W \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

・片持ち支持形状

$$\sigma_{WW}=\frac{M}{Z}=\frac{W_W \cdot L^2}{2 \cdot Z}$$

ここで，

$$Z=\frac{\pi}{32\cdot D}\left\{D^4-(D-2t)^4\right\}$$

(b)　組合せ応力

竜巻荷重と組み合わせる荷重として，配管に常時作用する自重及び運転時に作用する内圧を考慮する。自重により生じる曲げ応力及び内圧により生じる一次一般膜応力は，以下の式により算定する。

イ．　自重により生じる応力

・両端支持形状

$$\sigma_{自重}=\frac{M}{Z}=\frac{w\cdot L^2}{8\cdot Z}$$

・片持ち支持形状

$$\sigma_{自重}=\frac{M}{Z}=\frac{w\cdot L^2}{2\cdot Z}$$

$$w=m\cdot g$$

ロ．　内圧により生じる応力

$$\sigma_{内圧}=\frac{P\cdot D}{4\cdot t}$$

したがって，自重及び風圧力による荷重により生じる曲げ応力及び内圧により生じる一次一般膜応力を足し合わせ，配管に生じる応力は以下の式により算出する。

$$\sigma=\sigma_{自重}+\sigma_{内圧}+\sigma_{WW}$$

6.　適用規格

(1)　竜巻の影響を考慮する施設の強度評価に用いる適用規格は，Ｖ-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」による。

・建築基準法及び同施行令
・「原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」（日本電気協会）
・「原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987」（日本電気協会）
・「原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版」（日本電気協会）
・「発電用原子力設備規格 設計・建設規格　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007」（日本機械学会）
・ISES7607-3「軽水炉構造機器の衝撃荷重に関する調査　その 3　ミサイルの衝突による構造壁の損傷に関する評価式の比較検討」（昭和 51 年 10 月高温構造安全技術研究組合）
・タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日原子炉安全専門審査会）
・U.S.Nuclear Regulatory Commission:REGULATORY GUIDE 1.76,DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS,Revision1,March 2007
・Methodology for Performing Aircraft Impacts Assessments for New Plant Designs (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8 (NEI07-13) )
・「建築物荷重指針・同解説」（日本建築学会，2004 改定）
・「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」（日本建築学会，2005 改定）
・「各種合成構造設計指針・同解説」（日本建築学会，2010 改定）
・「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（日本建築学会，2010 改定）
・「鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計と保有水平耐力－」（日本建築学会，2001 改定）
・「2015 年版　建築物の構造関係技術基準解説書」（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所，2015）
・日本工業規格（ＪＩＳ）

# Ⅴ-3-別添 1-2　防護対策施設の強度計算の方針

目　次

1.　概要 ･･････ 1
2.　強度設計の基本方針 ･･････ 2
2.1　対象施設 ･･････ 2
2.2　構造強度の設計方針 ･･････ 2
2.3　荷重及び荷重の組合せ ･･････ 5
2.4　構造設計 ･･････ 13
2.5　評価方針 ･･････ 29
3.　防護対策施設の構成要素の設計方針 ･･････ 32
3.1　竜巻防護ネットの構造設計 ･･････ 32
3.2　竜巻防護鋼製フードの構造設計 ･･････ 35
3.3　竜巻防護鉄筋コンクリート製フードの構造設計 ･･････ 36
3.4　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の構造設計 ･･････ 37
3.5　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の構造設計 ･･････ 38
3.6　建屋内防護壁の構造設計 ･･････ 39
3.6.1　原子炉補機冷却海水系配管防護壁の構造設計 ･･････ 39
3.6.2　換気空調系ダクト防護壁の構造設計 ･･････ 40
3.7　竜巻防護扉の構造設計 ･･････ 41
4.　防護対策施設の構成要素の評価方針 ･･････ 42
4.1　竜巻防護ネットの評価方針 ･･････ 42
4.2　竜巻防護鋼製フードの評価方針 ･･････ 46
4.3　竜巻防護鉄筋コンクリート製フードの評価方針 ･･････ 48
4.4　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の評価方針 ･･････ 50
4.5　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価方針 ･･････ 52
4.6　建屋内防護壁の評価方針 ･･････ 54
4.6.1　原子炉補機冷却海水系配管防護壁及び換気空調系ダクト防護壁（No.25，No.66，No.67，No.74及びNo.76）の評価方針 ･･････ 54
4.6.2　換気空調系ダクト防護壁（No.9及びNo.10）の評価方針 ･･････ 57
4.7　竜巻防護扉の評価方針 ･･････ 59
5.　許容限界 ･･････ 61
5.1　竜巻防護ネットの許容限界 ･･････ 61
5.2　竜巻防護鋼製フードの許容限界 ･･････ 71
5.3　竜巻防護鉄筋コンクリート製フードの許容限界 ･･････ 71
5.4　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の許容限界 ･･････ 72
5.5　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の許容限界 ･･････ 72
5.6　建屋内防護壁の許容限界 ･･････ 73
5.6.1　原子炉補機冷却海水系配管防護壁及び換気空調系ダクト防護壁（No.25，No.66，No.67，No.74及びNo.76）の許容限界 ･･････ 73

5.6.2　換気空調系ダクト防護壁（No.9及びNo.10）の許容限界 ･････････････････････ 73
5.7　竜巻防護扉の許容限界 ･････････････････････････････････････････････････ 74
6.　強度評価方法 ･････････････････････････････････････････････････････････ 75
6.1　竜巻防護ネットの強度評価 ･････････････････････････････････････････････ 75
6.2　竜巻防護鋼製フードの強度評価 ･････････････････････････････････････････ 93
6.3　竜巻防護鉄筋コンクリート製フードの強度評価 ･････････････････････････････ 94
6.4　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度評価 ･････････････････ 96
6.5　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価 ･････････････････ 97
6.6　建屋内防護壁の強度評価 ･････････････････････････････････････････････ 98
6.6.1　原子炉補機冷却海水系配管防護壁及び換気空調系ダクト防護壁（No.25,　No.66,
No.67,　No.74及びNo.76）の強度評価 ･････････････････････････････ 98
6.6.2　換気空調系ダクト防護壁（No.9及びNo.10）の強度評価 ･････････････････ 99
6.7　竜巻防護扉の強度評価 ･････････････････････････････････････････････ 100
7.　適用規格 ･････････････････････････････････････････････････････････ 102

1.　概要

本資料は，「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」第７条及びその「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」に適合する設計とするため，Ｖ-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちＶ-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」（以下「Ｖ-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」」という。）に基づき，防護対策施設が，設計竜巻に対して要求される強度を確保するための強度設計方針について説明するものである。

## 2.　強度設計の基本方針

強度設計は，「2.1　対象施設」に示す施設を対象として，「2.3　荷重及び荷重の組合せ」で示す設計竜巻による荷重とこれと組み合わせる荷重を考慮し，「6.　強度評価方法」で示す評価方法により，「5.　許容限界」で設定する許容限界を超えない設計とする。

### 2.1　対象施設

Ｖ-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」にて設定している以下の防護対策施設を対象とする。

・建屋開口部竜巻防護ネット（以下「竜巻防護ネット」という。）
・建屋開口部竜巻防護フード（以下「竜巻防護鋼製フード」及び「竜巻防護鉄筋コンクリート製フード」という。）
・非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板
・非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板
・建屋内防護壁（原子炉補機冷却海水系配管防護壁及び換気空調系ダクト防護壁）
・竜巻防護扉

### 2.2　構造強度の設計方針

防護対策施設は，設計飛来物（以下「飛来物」という。）の外部事象防護対象施設への衝突を防止するものであり，Ｖ-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.3(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，以下の設計とする。

(1)　竜巻防護ネット

防護ネットは，設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために，主要な部材が破断せず，たわみを生じても，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突しないよう捕捉できる設計とする。

架構は，設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために，飛来物が架構を構成する主要な構造部材を貫通せず，上載する防護ネットを支持する機能を維持可能な構造強度を有し，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないために，架構を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする。

(2)　竜巻防護鋼製フード

防護鋼板は，設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために，飛来物が防護鋼板を貫通せず，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えない設計とする。

架構は，設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために，飛来物が架構を

構成する主要な構造部材を貫通せず，上載する防護鋼板を支持する機能を維持可能な構造強度を有し，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないために，架構を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする。

(3)　竜巻防護鉄筋コンクリート製フード

竜巻防護鉄筋コンクリート製フードは，設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために，飛来物が部材を貫通せず，また，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないために，部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする。

(4)　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板

防護鋼板は，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために，飛来物が防護鋼板を貫通せず，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えない設計とする。

架構は，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために，飛来物が架構を構成する主要な構造部材を貫通せず，上載する防護鋼板を支持する機能を維持可能な構造強度を有し，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないために，架構を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする。

(5)　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板

防護鋼板は，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために，飛来物が防護鋼板を貫通せず，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えない設計とする。

架構は，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために，飛来物が架構を構成する主要な構造部材を貫通せず，上載する防護鋼板を支持する機能を維持可能な構造強度を有し，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないために，架構を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする。

(6)　建屋内防護壁

a.　原子炉補機冷却海水系配管防護壁

防護鋼板は，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために，飛来物が防護鋼板を貫通せず，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えない設計とする。

架構は，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために，飛来物が架構を構成する主要な構造部材を貫通せず，上載する防護鋼板を支持する機能を維持可能な構造強度を有し，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないために，架構を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする。

b.　換気空調系ダクト防護壁

防護鋼板は，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために，飛来物が防護鋼板を貫通せず，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えない設計とする。

架構は，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために，飛来物が架構を構成する主要な構造部材を貫通せず，上載する防護鋼板を支持する機能を維持可能な構造強度を有し，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないために，架構を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする。

(7)　竜巻防護扉

竜巻防護扉は，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために，飛来物が竜巻防護扉を構成する部材を貫通せず，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないために，竜巻防護扉を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする。

## 2.3　荷重及び荷重の組合せ

防護対策施設の強度評価に用いる荷重の種類及び荷重の組合せは，Ｖ-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちＶ-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」(以下「Ｖ-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」」という。) の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」を踏まえ，以下のとおり設定する。

### (1)　荷重の種類

#### a.　常時作用する荷重（$F_d$）

常時作用する荷重は，持続的に生じる荷重であり，自重及び上載荷重とする。なお，竜巻防護ネットの自重により作用する荷重は，ネットの設置方向を考慮する。水平方向に設置する場合，鉛直下向きに自重が発生するものとして評価するが，鉛直方向に設置する場合，自重と飛来物による衝撃荷重の作用方向が異なることから，自重は考慮しない。

#### b.　設計竜巻による荷重（$W_T$）

設計竜巻（最大風速 92m/s）による荷重は，設計竜巻の以下の特性を踏まえ，風圧力による荷重，気圧差による荷重及び飛来物による衝撃荷重とする。

設計竜巻の特性値を表 2－1 に示す。

・設計竜巻の移動速度（$V_T$）

$V_T = 0.15 \cdot V_D$

$V_D$：設計竜巻の最大風速(m/s)

・竜巻の最大接線風速（$V_{Rm}$）

$V_{Rm} = V_D - V_T$

$V_T$：設計竜巻の移動速度(m/s)

・竜巻の最大気圧低下量（$\Delta P_{max}$）

フジタモデルにおける竜巻の最大気圧低下量は，流れの連続式と運動量保存則から導出される以下の圧力ポアソン方程式を用いる。

$$\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial^2 p}{\partial \chi_1^2}+\frac{\partial^2 p}{\partial \chi_2^2}+\frac{\partial^2 p}{\partial \chi_3^2}\right)=-\sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{3}\frac{\partial}{\partial \chi_i}\left(U_j\frac{\partial U_i}{\partial \chi_j}-\nu\frac{\partial^2 U_i}{\partial \chi_j \partial \chi_j}\right)$$

$\rho$：空気密度(kg/m$^3$)

p：圧力(N/mm$^2$)

$\chi$：座標(—)

U：風速ベクトル(—)

$\nu$：動粘性係数(m$^2$/s)



K7 ① V-3-別添 1-2 R1

表２－１　設計竜巻の特性値

| 最大風速<br>$V_D$<br>(m/s) | 移動速度<br>$V_T$<br>(m/s) | 最大接線風速<br>$V_{Rm}$<br>(m/s) | 最大気圧低下量<br>$\Delta P_{max}$<br>($N/m^2$) |
|---|---|---|---|
| 92 | 14 | 78 | 6400 |

(a)　風圧力による荷重（$W_W$）

風圧力による荷重は，設計竜巻の最大風速による荷重である。

竜巻の最大風速は，一般的には水平方向の風速として算出されるが，鉛直方向の風圧力に対して脆弱と考えられる場合には，鉛直方向の最大風速等に基づいて算出した鉛直方向の風圧力についても考慮する。

竜巻の風圧力による荷重は，施設の形状により変化するため，施設の部位ごとに異なる。そのため，各施設及び評価対象部位に対して厳しくなる方向からの風を想定し，各施設の部位ごとに荷重を設定する。

ガスト影響係数Ｇは，設計竜巻の風速が最大瞬間風速をベースとしていること等から施設の形状によらず「竜巻影響評価ガイド」を参照して，Ｇ＝1.0 とする。空気密度 $\rho$ は「REGULATORY GUIDE 1.76,DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS,Revision1」（米国原子力規制委員会）より $\rho$＝1.226kg/$m^3$ とする。

設計用速度圧ｑについては，施設の形状によらずｑ＝5188.43N/$m^2$ とする。

(b)　気圧差による荷重（$W_P$）

外気と隔離されている区画の境界部など，気圧差による圧力影響を受ける施設の建屋壁，屋根等においては，設計竜巻による気圧低下によって生じる施設等の内外の気圧差による荷重が発生する。閉じた施設（通気がない施設）については，この圧力差により閉じた施設の隔壁に外向きに作用する圧力が生じるとみなし，気圧差による荷重を設定することを基本とする。

(c)　飛来物による衝撃荷重（$W_M$）

衝突による影響が大きくなる向きで飛来物が防護対策施設に衝突した場合の衝撃荷重を算出する。

衝突評価においても，飛来物の衝突による影響が大きくなる向きで衝突することを考慮して評価を行う。

飛来物の諸元を表２－２に示す。

表 2－2　飛来物の諸元

| | 足場パイプ | 鋼製足場板 |
|---|---|---|
| 寸法　長さ×幅×奥行き(m) | 4×0.05×0.05 | 4×0.25×0.04 |
| 質量(kg) | 11 | 14 |
| 水平方向の飛来速度(m/s) | 42 | 55 |
| 鉛直方向の飛来速度(m/s) | 38 | 18 |

c.　運転時の状態で作用する荷重（$F_P$）

運転時の状態で作用する荷重は，配管に作用する内圧等であり，防護対策施設には作用しないため考慮しない。

(2)　荷重の組合せ

竜巻の影響を考慮する施設の設計竜巻による荷重は，設計竜巻の気圧差による荷重（$W_P$）を考慮した$W_{T1}$並びに設計竜巻の風圧力による荷重（$W_W$），気圧差による荷重（$W_P$）及び飛来物による衝撃荷重（$W_M$）を組み合わせた複合荷重$W_{T2}$を以下のとおり設定する。

$W_{T1}=W_P$

$W_{T2}=W_W+0.5\cdot W_P+W_M$

竜巻の影響を考慮する施設には，$W_{T1}$及び$W_{T2}$の両荷重をそれぞれ作用させる。各施設の設計竜巻による荷重の組合せについては，施設の設置状況及び構造を踏まえ，適切な組合せを設定する。防護対策施設の構成要素別の荷重の組合せを，表 2－3 に示す。

表 2－3（1/2）　防護対策施設の構成要素別の荷重の組合せ

| 分類 | 強度設計の対象施設 | | 評価内容 | 荷重 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 常時作用する荷重（$F_d$） | | 風圧力による荷重（$W_W$） | 気圧差による荷重（$W_P$） | 飛来物による衝撃荷重（$W_M$） | 運転時の状態で作用する荷重（$F_P$） |
| | | | | 自重 | 上載荷重 | | | | |
| 防護対策施設 | 竜巻防護ネット | 防護ネット | 構造強度 | —*1 | — | ○ | —*2 | ○ | — |
| | 竜巻防護鋼製フード | 防護鋼板 | 衝突 | — | — | — | — | ○ | — |
| | | | 構造強度 | ○ | — | ○ | —*2 | ○ | — |
| | | 架構 | 構造強度 | ○ | ○*3 | ○ | —*2 | ○ | — |
| | 竜巻防護鉄筋コンクリート製フード | | 衝突 | — | — | — | — | ○ | — |
| | | | 構造強度 | ○*4 | ○*3*4 | ○*4 | —*2 | ○ | — |
| | 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板 | 防護鋼板 | 衝突 | — | — | — | — | ○ | — |
| | | | 構造強度 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | — |
| | | 架構 | 構造強度 | ○ | ○*3 | ○ | ○ | ○ | — |
| | 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板 | 防護鋼板 | 衝突 | — | — | — | — | ○ | — |
| | | | 構造強度 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | — |
| | | 架構 | 構造強度 | ○ | ○*3 | ○ | ○ | ○ | — |

注記＊1 ：鉛直設置であるため，自重と飛来物による衝撃荷重の作用方向が異なることから，自重は考慮しない。

＊2 ：閉じた施設でないことから，気圧差は生じない。

＊3 ：防護鋼板に作用する飛来物による衝撃荷重を含む。

＊4 ：構造強度評価のうち，裏面剥離評価では考慮しない。

表 2－3（2/2）　防護対策施設の構成要素別の荷重の組合せ

| 分類 | 強度設計の対象施設 | | 評価内容 | 荷重 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 常時作用する荷重（$F_d$） | | 風圧力による荷重（$W_W$） | 気圧差による荷重（$W_P$） | 飛来物による衝撃荷重（$W_M$） | 運転時の状態で作用する荷重（$F_P$） |
| | | | | 自重 | 上載荷重 | | | | |
| 防護対策施設 | 原子炉補機冷却海水系配管防護壁 | 防護鋼板 | 衝突 | — | — | — | — | ○ | — |
| | | | 構造強度 | ○ | — | —*1 | —*2 | ○ | — |
| | | 架構 | 構造強度 | ○ | ○*3 | —*1 | —*2 | ○ | — |
| | 換気空調系ダクト防護壁 | 防護鋼板 | 衝突 | ○*4 | — | — | — | ○ | — |
| | | | 構造強度 | ○ | — | —*1 | —*2 | ○ | — |
| | | 架構 | 構造強度 | ○ | ○*3 | —*1 | —*2 | ○ | — |
| | 竜巻防護扉 | | 衝突 | — | — | — | — | ○ | — |
| | | | 構造強度 | ○ | — | ○ | ○ | ○ | — |

注記＊1 ：屋内に設置されており，風圧力は作用しない。

＊2 ：閉じた施設でないことから，気圧差は生じない。

＊3 ：防護鋼板に作用する飛来物による衝撃荷重を含む。

＊4 ：衝突解析を実施する場合に考慮する。

(3)　荷重の算定方法

「2.3(1)　荷重の種類」で設定している荷重のうち，竜巻防護ネットに生じる荷重の算出式を以下に示す。

a.　記号の定義

荷重の算出に用いる記号を表2－4に示す。

表2－4　荷重の算出に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| A | $m^2$ | 竜巻防護ネットの受圧面積 |
| $A_a$ | $m^2$ | ネットの面積 |
| C | ― | 風力係数 |
| d | m | 飛来物衝突時の飛来物の移動距離 |
| $E_f$ | kJ | 飛来物衝突時にネットに作用する外力エネルギ |
| $F_a'$ | kN | 飛来物衝突時にネットが受ける衝撃荷重 |
| G | ― | ガスト影響係数 |
| $L_1$ | m | ネットの展開方向の実寸法 |
| $L_2$ | m | ネットの展開直角方向の実寸法 |
| m | kg | 飛来物の質量 |
| Q | kN/s | 衝撃荷重が時間とともに比例する際の比例係数 |
| q | Pa | 設計用速度圧 |
| t | s | 時間 |
| $t_1$ | s | 飛来物が衝突しネットのたわみ量が最大になる時間 |
| v | m/s | 飛来物の移動速度 |
| $v_1$ | m/s | 飛来物衝突時の速度 |
| $V_D$ | m/s | 設計竜巻の風速 |
| $W_W$ | kN | 風圧力による荷重 |
| δ | m | 飛来物衝突時のネットの最大たわみ量 |
| ρ | $kg/m^3$ | 空気密度 |
| φ | ― | ネットの充実率 |

b.　竜巻による荷重の算出

(a)　風圧力による荷重（$W_W$）

風圧力による荷重は，「建築基準法施行令」及び「建築物荷重指針・同解説」（日本建築学会）に準拠して，次式のとおり算出する。

$$W_W = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ここで，$q=\frac{1}{2}\cdot\rho\cdot V_D^{\ 2}$

ネットの充実率をφとすると，風圧力による荷重を受けるネットの受圧面積Aは，次式のとおり算出する。

$$A=\phi\times A_a$$

$A_a$はネットの実寸法$L_1$，$L_2$を用いて以下の式で求められる。

$$A_a=L_1\times L_2$$

(b)　飛来物による衝撃荷重の算出

ネットの飛来物による衝撃荷重$F_a$’は時間とともに比例的に増加すると仮定すると，衝撃荷重$F_a$’は以下のとおり算出される。

$$F_a'=Q\cdot t \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1)$$

したがって，ネットへの衝突後の飛来物の移動速度ｖは式(2.1)の衝撃荷重$F_a$’から，以下のとおり算出される。

$$v=-\frac{1}{m}\int_0^t F_a'\,dt$$

$$=-\frac{Q\cdot t^2}{2\cdot m}+v_1 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2)$$

さらに，ネットへの衝突後の飛来物の移動距離ｄは，式(2.2)の速度ｖから以下のとおり算出される。

$$d=\int_0^t v\,dt$$

$$=-\frac{Q\cdot t^3}{6\cdot m}+v_1\cdot t \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.3)$$

飛来物が衝突し，ネットのたわみが最大になる時間$t_1$におけるネットの最大たわみ量δは，飛来物の速度はｖ＝0であるから，式(2.2)，(2.3)より，

$$Q\cdot t_1^{\ 2}=2\cdot m\cdot v_1 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.4)$$

$$\delta=-\frac{Q\cdot t_1^{\ 3}}{6\cdot m}+v_1\cdot t_1$$

上記２式を連立し，

$$\delta=\frac{2}{3}\cdot v_1\cdot t_1$$

よって，

$$t_1 = \frac{3 \cdot \delta}{2 \cdot v_1} \quad \cdots\cdots \quad (2.5)$$

以上より，時間 $t_1$ における飛来物による衝撃荷重 $F_a'$ は式(2.1)，(2.4)より，

$$F_a' = \frac{2 \cdot m \cdot v_1}{t_1}$$

さらに，式(2.5)と連立し，

$$F_a' = \frac{4 \cdot m \cdot v_1^2}{3 \cdot \delta} \quad \cdots\cdots \quad (2.6)$$

また，時間 $t_1$ における飛来物の衝突によりネットに作用する外力エネルギ $E_f$ は，衝突時の飛来物の運動エネルギとして，以下より求められる。

$$E_f = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 \quad \cdots\cdots \quad (2.7)$$

したがって，式(2.6)，(2.7)より，

$$F_a' = \frac{8 \cdot E_f}{3 \cdot \delta} \quad \cdots\cdots \quad (2.8)$$

## 2.4　構造設計

防護対策施設は，「2.2　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「2.3　荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

### (1)　竜巻防護ネット

竜巻防護ネットは，防護ネット及び架構で構成され，飛来物が侵入した場合に外部事象防護対象施設に衝突する可能性のある原子炉建屋壁面の開口部に設置することで，飛来物が建屋内に侵入することを防止し，外部事象防護対象施設と防護ネットの離隔を確保することなどにより，防護ネットにたわみが生じたとしても，外部事象防護対象施設に飛来物を衝突させない構造とする。また，防護ネットは架構を介して，鉄筋コンクリート造の原子炉建屋躯体に支持される構造とする。

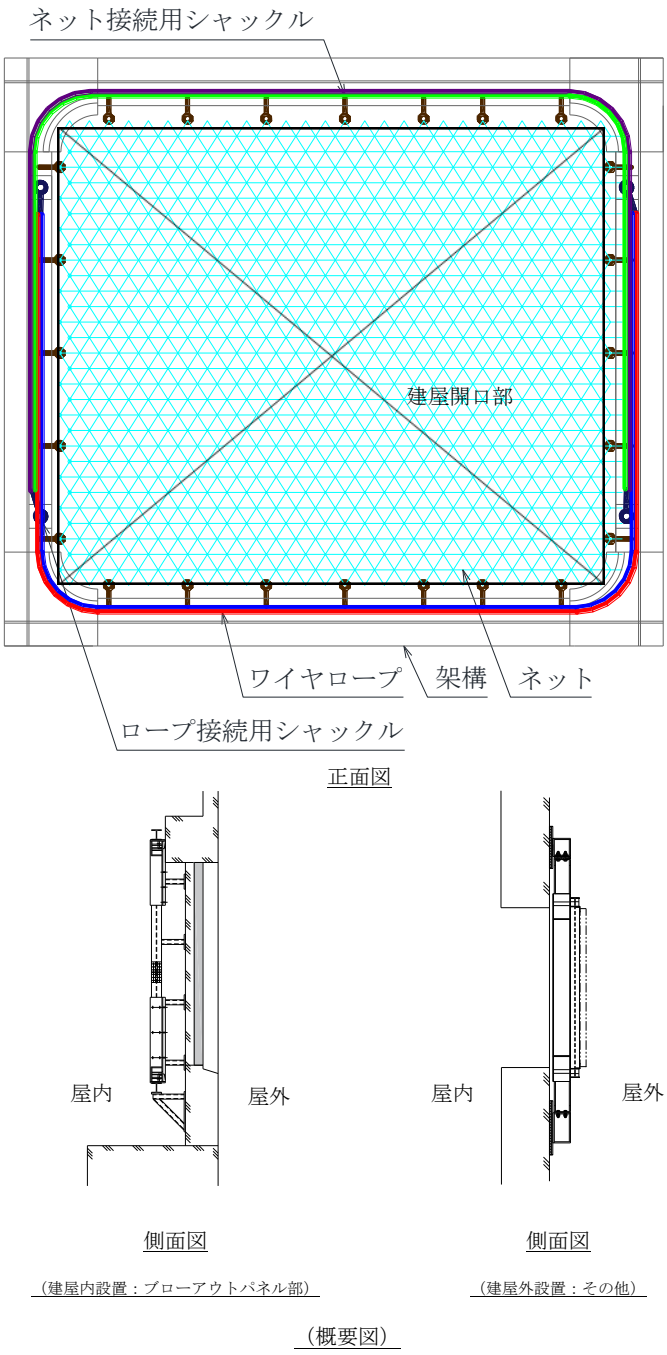
防護ネットは，ネット，ワイヤロープ，シャックル，接続用の治具等より構成され，防護ネットに作用する荷重をワイヤロープ，シャックル，接続用の治具を介して架構に伝達し，架構から鉄筋コンクリート造の原子炉建屋躯体に伝達する構造とする。

ネットは，らせん状の硬鋼線を3次元的に編み込み，編み込みの方向によって荷重を受け持つ展開方向と展開直角方向の異方性を持ち，ネット寸法，ネットに作用する荷重，ネットの有する限界吸収エネルギ及び飛来物衝突時のたわみ量を考慮し，設置する層数を設定し，展開方向を直交させ，複数層重ねて設置する構造とする。

ネットを支持する架構は，H形鋼等から構成され，上載するネットを支持する構造とする。また，架構に作用する荷重は，アンカーボルトを介して，鉄筋コンクリート造の原子炉建屋躯体に伝達する構造とする。なお，外部事象防護対象施設に衝突する可能性がある飛来物はネットで捕捉する構造とするため，架構は建屋の開口部より大きな構造とし，飛来物の衝突により仮に架構が損傷した場合であっても，外部事象防護対象施設に飛来物を衝突させない構造とする。

竜巻防護ネットの構造計画を表2－5に示す。

表 2－5　竜巻防護ネットの構造計画

<table>
<tr><th rowspan="2">構成<br>要素</th><th colspan="2">計画の概要</th><th rowspan="2">説明図</th></tr>
<tr><th>主体構造</th><th>支持構造</th></tr>
<tr><td colspan="4">【位置】<br>防護ネット及び架構は，飛来物が侵入した場合，外部事象防護対象施設に衝突する可能性のある原子炉建屋壁面の開口部に設置する設計としている。</td></tr>
<tr><td>防護<br>ネット</td><td>防護ネットは，鋼製のネット，ワイヤロープ，シャックル，接続用の治具及び架構より構成する。</td><td rowspan="2">防護ネットに作用する荷重は，ネット接続用シャックル及びワイヤロープ，ロープ接続用シャックル及び接続用の治具を介して架構に伝達し，架構から鉄筋コンクリート造の原子炉建屋躯体に伝達する構造とする。</td><td rowspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>架構</td><td>架構は，鋼製の H 形鋼等より構成する。</td></tr>
</table>

防護ネットは，2 層以上重ね合わせ，展開方向を直交させて設置する。この時のネットタイプを，ネットタイプⅠ，ネットタイプⅡとする。ネットを架構に設置した場合のネットタイプⅠ，Ⅱの展開方向を図 2－1 に，ネット設置層数別のネットタイプの重ね方を図 2－2 に示す。

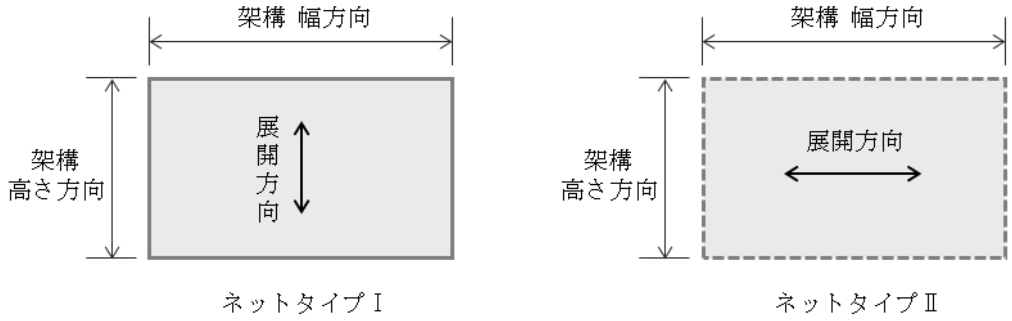



図 2－1　ネットを架構に設置した場合のネットタイプⅠ，Ⅱの展開方向

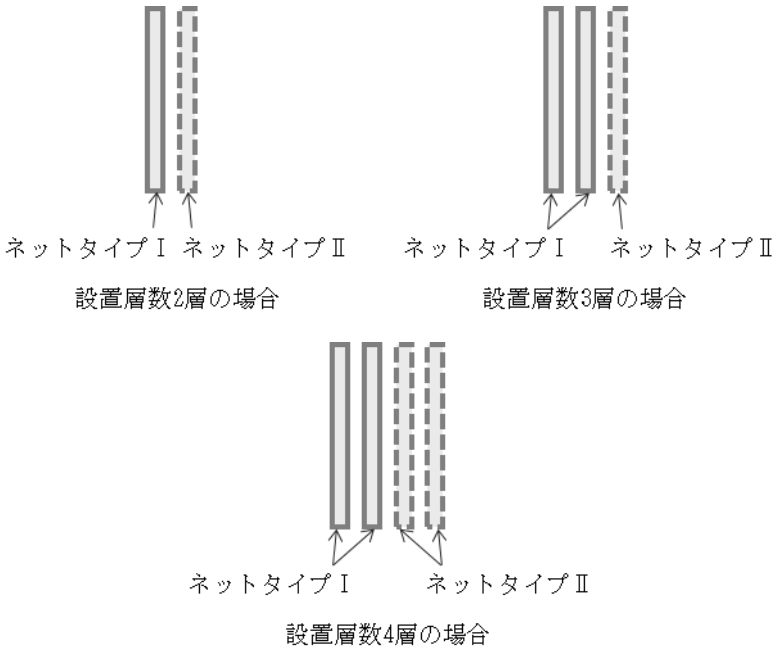



図 2－2　ネット設置層数別のネットタイプの重ね方

(2)　竜巻防護鋼製フード

竜巻防護鋼製フードは，防護鋼板及び架構で構成され，飛来物が侵入した場合に外部事象防護対象施設に衝突する可能性のある原子炉建屋壁面の開口部を取り囲むように設置することで，飛来物が建屋内に侵入することを防止し，防護鋼板にたわみ及び変形が生じたとしても，外部事象防護対象施設に飛来物を衝突させない構造とする。また，防護鋼板は架構を介して，鉄筋コンクリート造の原子炉建屋躯体に支持される構造とする。

防護鋼板は，鋼板より構成され，防護鋼板に作用する荷重は架構を介して鉄筋コンクリート造の原子炉建屋躯体に伝達する構造とする。

防護鋼板を支持する架構は，H 形鋼等から構成され，上載する防護鋼板からの荷重を支持する構造とする。また，架構に作用する荷重は，アンカーボルトを介して，鉄筋コンクリート造の原子炉建屋躯体に伝達する構造とする。

竜巻防護鋼製フードの構造計画を表 2－6 に示す。

表 2－6　竜巻防護鋼製フードの構造計画

<table>
<tr><td rowspan="2">構成<br>要素</td><td colspan="2">計画の概要</td><td rowspan="2">説明図</td></tr>
<tr><td>主体構造</td><td>支持構造</td></tr>
<tr><td colspan="4">【位置】<br>防護鋼板及び架構は，飛来物が侵入した場合，外部事象防護対象施設に衝突する可能性のある原子炉建屋壁面の開口部に設置する設計としている。</td></tr>
<tr><td>防護<br>鋼板</td><td>防護鋼板は,鋼製の鋼板より構成する。</td><td>防護鋼板に作用する荷重は，架構を介して鉄筋コンクリート造の原子炉建屋躯体に伝達する構造とする。</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>架構</td><td>架構は,鋼製のH 形鋼等より構成する。</td><td>架構に作用する荷重は，アンカーボルトを介して，鉄筋コンクリート造の原子炉建屋躯体に伝達する構造とする。</td></tr>
</table>

(3)　竜巻防護鉄筋コンクリート製フード

竜巻防護鉄筋コンクリート製フードは，鉄筋コンクリート造の壁，スラブ等で構成され，飛来物が侵入した場合に外部事象防護対象施設に衝突する可能性のあるコントロール建屋壁面の開口部を取り囲むように設置することで，飛来物が建屋内に侵入することを防止し，壁及びスラブにたわみ及び変形が生じたとしても，外部事象防護対象施設に飛来物を衝突させない構造とする。また，竜巻防護鉄筋コンクリート製フードは，鉄筋コンクリート造のコントロール建屋躯体に支持される構造とする。

竜巻防護鉄筋コンクリート製フードに作用する荷重は，アンカーボルトを介して，鉄筋コンクリート造のコントロール建屋躯体に伝達する構造とする。

竜巻防護鉄筋コンクリート製フードの構造計画を表 2－7 に示す。

表 2－7　竜巻防護鉄筋コンクリート製フードの構造計画

| 構成要素 | 計画の概要 | | 説明図 |
|---|---|---|---|
| | 主体構造 | 支持構造 | |
| 【位置】<br>竜巻防護鉄筋コンクリート製フードは，飛来物が侵入した場合，外部事象防護対象施設に衝突する可能性のあるコントロール建屋壁面の開口部に設置する設計としている。 | | | |
| 防護壁（鉄筋コンクリート） | 竜巻防護鉄筋コンクリート製フードは，鉄筋コンクリート造の壁及びスラブ等より構成する。 | 竜巻防護鉄筋コンクリート製フードに作用する荷重は，アンカーボルトを介して，鉄筋コンクリート造のコントロール建屋躯体に伝達する構造とする。 | - - - |

(4)　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板は，防護鋼板及び架構で構成され，外部事象防護対象施設を取り囲むように設置することで，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止し，防護鋼板にたわみ及び変形が生じたとしても，外部事象防護対象施設に飛来物を衝突させない構造とする。また，防護鋼板は架構を介して，鉄筋コンクリート造の軽油タンク基礎に支持される構造とする。

防護鋼板は，鋼板より構成され，防護鋼板に作用する荷重は架構を介して鉄筋コンクリート造の軽油タンク基礎に伝達する構造とする。

防護鋼板を支持する架構は，H 形鋼等から構成され，上載する防護鋼板からの荷重を支持する構造とする。また，架構に作用する荷重は，アンカーボルトを介して，鉄筋コンクリート造の軽油タンク基礎に伝達する構造とする。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の構造計画を表 2－8 に示す。

表 2－8　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の構造計画

<table>
<tr><td rowspan="2">構成<br>要素</td><td colspan="2">計画の概要</td><td rowspan="2">説明図</td></tr>
<tr><td>主体構造</td><td>支持構造</td></tr>
<tr><td colspan="4">【位置】<br>防護鋼板及び架構は，衝突する可能性のある外部事象防護対象施設を取り囲むように軽油タンクエリアに設置する設計としている。</td></tr>
<tr><td>防護<br>鋼板</td><td>防護鋼板は，鋼製の鋼板より構成する。</td><td>防護鋼板に作用する荷重は，架構を介して鉄筋コンクリート造の軽油タンク基礎に伝達する構造とする。</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>架構</td><td>架構は，鋼製の H 形鋼等より構成する。</td><td>架構に作用する荷重は，アンカーボルトを介して，鉄筋コンクリート造の軽油タンク基礎に伝達する構造とする。</td></tr>
</table>

(5)　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板は，防護鋼板及び架構で構成され，外部事象防護対象施設を取り囲むように設置することで，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止し，防護鋼板にたわみ及び変形が生じたとしても，外部事象防護対象施設に飛来物を衝突させない構造とする。また，防護鋼板は架構を介して，鉄筋コンクリート造の軽油タンク基礎に支持される構造とする。

防護鋼板は，鋼板より構成され，防護鋼板に作用する荷重は架構を介して鉄筋コンクリート造の軽油タンク基礎に伝達する構造とする。

防護鋼板を支持する架構は，角形鋼管等から構成され，上載する防護鋼板からの荷重を支持する構造とする。また，架構に作用する荷重は，アンカーボルトを介して，鉄筋コンクリート造の軽油タンク基礎に伝達する構造とする。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の構造計画を表 2－9 に示す。

表 2－9　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の構造計画

<table>
<tr><th rowspan="2">構成<br>要素</th><th colspan="2">計画の概要</th><th rowspan="2">説明図</th></tr>
<tr><th>主体構造</th><th>支持構造</th></tr>
<tr><td colspan="4">【位置】<br>防護鋼板及び架構は，衝突する可能性のある外部事象防護対象施設を取り囲むように軽油タンクエリアに設置する設計としている。</td></tr>
<tr><td>防護<br>鋼板</td><td>防護鋼板は，鋼製の鋼板より構成する。</td><td>防護鋼板に作用する荷重は，架構を介して鉄筋コンクリート造の軽油タンク基礎に伝達する構造とする。</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>架構</td><td>架構は，鋼製の角形鋼管等より構成する。</td><td>架構に作用する荷重は，アンカーボルトを介して，鉄筋コンクリート造の軽油タンク基礎に伝達する構造とする。</td></tr>
</table>

(6) 建屋内防護壁

a. 原子炉補機冷却海水系配管防護壁

原子炉補機冷却海水系配管防護壁は，防護鋼板及び架構で構成され，建屋開口部から飛来物が侵入した場合に衝突する可能性のある外部事象防護対象施設を取り囲むように設置することで，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止し，防護鋼板にたわみ及び変形が生じたとしても，外部事象防護対象施設に飛来物を衝突させない構造とする。また，防護鋼板は架構を介して，鉄筋コンクリート造のタービン建屋躯体に支持される構造とする。

防護鋼板は，鋼板より構成され，防護鋼板に作用する荷重は架構を介して鉄筋コンクリート造のタービン建屋躯体に伝達する構造とする。

防護鋼板を支持する架構は，角形鋼管等から構成され，上載する防護鋼板からの荷重を支持する構造とする。また，架構に作用する荷重は，アンカーボルトを介して，鉄筋コンクリート造のタービン建屋躯体に伝達する構造とする。

原子炉補機冷却海水系配管防護壁の構造計画を表 2－10 に示す。

表 2－10　原子炉補機冷却海水系配管防護壁の構造計画

<table>
<tr><th rowspan="2">構成<br>要素</th><th colspan="2">計画の概要</th><th rowspan="2">説明図</th></tr>
<tr><th>主体構造</th><th>支持構造</th></tr>
<tr><td colspan="4">【位置】<br>防護鋼板及び架構は，建屋開口部から飛来物が侵入した場合，衝突する可能性のある外部事象防護対象施設を取り囲むように設置する設計としている。</td></tr>
<tr><td>防護<br>鋼板</td><td>防護鋼板は，鋼製の鋼板より構成する。</td><td>防護鋼板に作用する荷重は，架構を介して鉄筋コンクリート造のタービン建屋躯体に伝達する構造とする。</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>架構</td><td>架構は，鋼製の角形鋼管等より構成する。</td><td>架構に作用する荷重は，アンカーボルトを介して，鉄筋コンクリート造のタービン建屋躯体に伝達する構造とする。</td></tr>
</table>

b.　換気空調系ダクト防護壁

換気空調系ダクト防護壁は防護鋼板及び架構で構成され，建屋開口部から飛来物が侵入した場合に衝突する可能性のある外部事象防護対象施設を取り囲むように設置することで，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止し，防護鋼板にたわみ及び変形が生じたとしても，外部事象防護対象施設に飛来物を衝突させない構造とする。また，防護鋼板は架構を介して，鉄筋コンクリート造の原子炉周辺建屋躯体、タービン建屋躯体又はコントロール建屋躯体に支持される構造とする。

防護鋼板は，鋼板より構成され，防護鋼板に作用する荷重は架構を介して鉄筋コンクリート造の原子炉周辺建屋躯体、タービン建屋躯体又はコントロール建屋躯体に伝達する構造とする。

防護鋼板を支持する架構は，H 形鋼等から構成され，上載する防護鋼板からの荷重を支持する構造とする。また，架構に作用する荷重は，アンカーボルトを介して，鉄筋コンクリート造の原子炉建屋躯体、タービン建屋躯体又はコントロール建屋躯体に伝達する構造とする。

換気空調系ダクト防護壁の構造計画を表 2－11 に示す。

表 2－11　換気空調系ダクト防護壁の構造計画

<table>
<tr><th rowspan="2">構成<br>要素</th><th colspan="2">計画の概要</th><th rowspan="2">説明図</th></tr>
<tr><th>主体構造</th><th>支持構造</th></tr>
<tr><td colspan="4">【位置】<br>防護鋼板及び架構は，建屋開口部から飛来物が侵入した場合，衝突する可能性のある外部事象防護対象施設を取り囲むように設置する設計としている。</td></tr>
<tr><td>防護<br>鋼板</td><td>防護鋼板は，鋼製の鋼板より構成する。</td><td>防護鋼板に作用する荷重は，架構を介して鉄筋コンクリート造の原子炉建屋躯体，タービン建屋躯体又はコントロール建屋躯体に伝達する構造とする。</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>架構</td><td>架構は，鋼製のH 形鋼等より構成する。</td><td>架構に作用する荷重は，アンカーボルトを介して，鉄筋コンクリート造の原子炉建屋躯体，タービン建屋躯体又はコントロール建屋躯体に伝達する構造とする。</td></tr>
</table>

(7)　竜巻防護扉

竜巻防護扉は，表側鋼板，芯材，扉枠等の鋼製の材料で構成され，外部に面する扉部材に作用する荷重をアンカーボルトにより固定された扉枠を介して周辺躯体である鉄筋コンクリート造の壁（以下「外壁」という。）に支持される構造である。

竜巻防護扉の構造計画を表 2－12 に示す。

表 2－12　竜巻防護扉の構造計画

<table>
<tr><td rowspan="2">構成<br>要素</td><td colspan="2">計画の概要</td><td rowspan="2">説明図</td></tr>
<tr><td>主体構造</td><td>支持構造</td></tr>
<tr><td colspan="4">【位置】<br>竜巻防護扉は，建屋外部からの飛来物が竜巻防護扉に衝突する場合，外壁と一体的に外部事象防護対象施設との離隔を確保出来るように設置する設計としている。</td></tr>
<tr><td>表側<br>鋼板</td><td>表側鋼板は，鋼製の鋼板より構成する。</td><td>表側鋼板に作用する荷重は，芯材，ヒンジ及びカンヌキに伝わり，アンカーボルトにより固定された扉枠を介し，建屋躯体に伝達する構成とする。</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>芯材</td><td>芯材は，鋼製のＨ型鋼等により構成する。</td><td>芯材に作用する荷重は，ヒンジ及びカンヌキに伝わり，アンカーボルトにより固定された扉枠を介し，建屋躯体に伝達する構造とする。</td></tr>
<tr><td>扉枠</td><td>扉枠は，鋼製の鋼板より構成する。</td><td>扉枠に作用する荷重は，アンカーボルトを介し，建屋躯体に伝達する構造とする。</td></tr>
</table>

## 2.5　評価方針

防護対策施設の強度評価は，「2.4　構造設計」を踏まえ，以下の評価方針とする。

### (1)　竜巻防護ネット

#### a.　防護ネット

設計竜巻の風圧力による荷重及び飛来物による衝撃荷重に対し，主要な部材が破断しなければ飛来物を捕捉可能であり，飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しない。したがって，防護ネットのうち，ネット，ワイヤロープ，シャックル及び接続用の治具が，破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを計算により確認する。

また，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，設計竜巻の風圧力による荷重及び飛来物による衝撃荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう捕捉するために，防護ネットのうち，ネット及びワイヤロープにたわみを生じても，飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう外部事象防護対象施設との離隔を確保できることを計算により確認する。

なお，架構については，竜巻防護ネットの正面方向からの飛来物の衝突に対しては，架構部材下の原子炉建屋躯体で荷重を受け止めるため，架構部材の著しい変形は生じず，また側面及び上面からの衝突については，衝突方向に対する架構部材の衝突面は架構部材一本のみでありその面積は僅かであることから，飛来物が衝突する可能性は極めて低いと考えられる。仮に衝突が生じた場合でも，衝突を受けた部位を除く3辺の架構部材によりネットは保持されるものと考えられることから，評価対象外とする。

### (2)　竜巻防護鋼製フード

#### a.　防護鋼板

飛来物による衝撃荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設に衝突することを防止するために，防護鋼板が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。

また，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，防護鋼板に終局状態に至るようなひずみが生じないことを解析により確認する。

#### b.　架構

設計竜巻の風圧力による荷重,飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，上載する防護鋼板を支持し，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，架構に終局状態に至るようなひずみが生じないことを解析により確認する。

### (3)　竜巻防護鉄筋コンクリート製フード

飛来物による衝撃荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設に衝突することを防止するために，壁及びスラブが飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。

また,外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう,飛来物による衝撃荷重に対し,壁及びスラブの裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。さらに，設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，壁とスラブの鉄筋に終局状態に至るようなひずみが生じないことを解析により確認する。

(4) 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板

a. 防護鋼板

飛来物による衝撃荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設に衝突することを防止するために，防護鋼板が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。

また，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，防護鋼板に終局状態に至るようなひずみが生じないことを解析により確認する。

b. 架構

設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，上載する防護鋼板を支持し，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，架構に終局状態に至るようなひずみが生じないことを解析により確認する。

(5) 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板

a. 防護鋼板

飛来物による衝撃荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設に衝突することを防止するために，防護鋼板が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。

また，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，防護鋼板に終局状態に至るようなひずみが生じないことを解析により確認する。

b. 架構

設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，上載する防護鋼板を支持し，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，架構に終局状態に至るようなひずみが生じないことを解析により確認する。

(6)　建屋内防護壁

a.　原子炉補機冷却海水系配管防護壁及び換気空調系ダクト防護壁(No.25,　No.66,　No.67,　No.74 及び No.76)

(a)　防護鋼板

飛来物による衝撃荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設に衝突することを防止するために，防護鋼板が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。

また，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，防護鋼板に終局状態に至るようなひずみが生じないことを解析により確認する。

(b)　架構

飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し,上載する防護鋼板を支持し,外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，架構に終局状態に至るようなひずみが生じないことを解析により確認する。

b.　換気空調系ダクト防護壁（No.9 及び No.10）

(a)　防護鋼板

飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設に衝突することを防止し，また，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，防護鋼板に終局状態に至るようなひずみが生じないことを解析により確認する。

(b)　架構

飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し,上載する防護鋼板を支持し,外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，架構に終局状態に至るようなひずみが生じないことを解析により確認する。

(7)　竜巻防護扉

飛来物による衝撃荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設に衝突することを防止するために,表側鋼板が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。

また，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，表側鋼板及び芯材に終局状態に至るようなひずみが生じないことを解析により確認するとともに，設計竜巻の気圧差による荷重に対し，カンヌキに発生する応力度が部材の許容限界を上回らないことを計算により確認する。

3.　防護対策施設の構成要素の設計方針

防護対策施設は,「2.2　構造強度の設計方針」に基づき,「2.4　構造設計」で示した構造と「2.3 荷重及び荷重の組合せ」で設定した荷重を踏まえ，設計を実施する。

3.1　竜巻防護ネットの構造設計

「2.2　構造強度の設計方針」に基づき，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために，飛来物が防護対策施設を構成する主要な部材を破断することなく架構に荷重を伝達し，たわみが生じても，飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう竜巻防護ネットで捕捉できる設計とする。

竜巻防護ネットの設計フローを図 3－1 に示す。

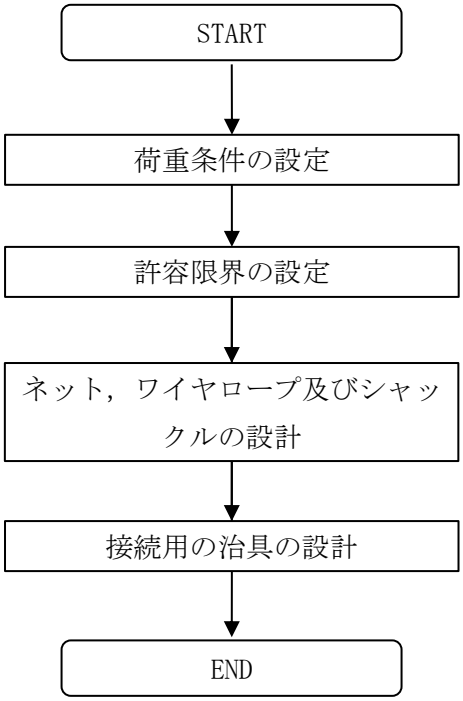



図 3－1　竜巻防護ネットの設計フロー

竜巻防護ネットの概要図を図 3－2 に示す。ネット，ワイヤロープ，シャックル及び接続用の治具により構成され，ネットの 4 辺をワイヤロープにより支持し，ワイヤロープは架構に設置したシャックル及び接続用の治具にて支持する構造とする。ワイヤロープの端部にはシャックルを設置し，シャックルを架構に設置したアイプレートに接続する構造とする。

竜巻防護ネットは，ネットに作用する荷重，ネットの有する限界吸収エネルギ及び飛来物衝突時のたわみ量を考慮し，設置する層数を設計する。

ネットは，電力中央研究所報告「竜巻飛来物に対する防護ネットの評価手法と対策工法の提案」（研究報告：N13014）（以下「電中研報告書 N13014」という。）及び電力中央研究所報告「竜巻飛来物に対する硬鋼線製防護ネットの対貫通性能に関する試験的評価」（研究報告：N14009）（以下「電中研報告書 N14009」という。）の評価式の適用性が確認されているネットを用いた

設計とする。

竜巻防護ネットを構成するネット，ワイヤロープ，シャックル及び接続用の治具についての構造設計を以下に示す。

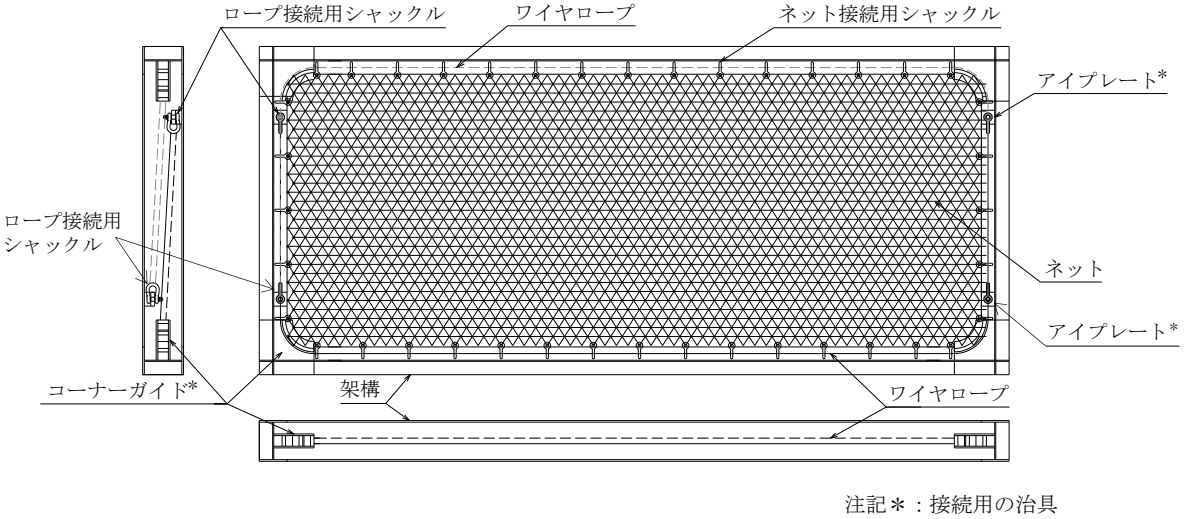



図 3－2　竜巻防護ネットの概要図

(1)　ネット

ネットは，らせん状の硬鋼線を山形に折り曲げて列線とし，3 次元的に交差させて編み込んだものであり，編み込みの向きにより，展開方向とその直角方向の異方性を有する材料である。展開方向が主に荷重を受け持ち，展開方向と展開直角方向で剛性や伸び量が異なるため，これらの異方性を考慮した設計とする。ネットの剛性及び 1 目合いの破断変位等は，電中研報告書 N14009 を参考に，ネットの引張試験結果に基づいて設定している。

ネットの寸法は，架構の寸法並びにネットの展開方向と展開直角方向の剛性や伸び量の異方性を考慮して設計する。

(2)　ワイヤロープ

ワイヤロープの取付部は，展開方向のワイヤロープと展開直角方向のワイヤロープで荷重の伝達分布が異なり，さらにワイヤロープの巻き方によりワイヤロープ間の荷重伝達に影響を及ぼす可能性があるため，ワイヤロープは，ネット展開方向 2 辺とネット展開直角方向 1 辺又は，ネット展開直角方向 2 辺とネット展開方向 1 辺を 2 本のワイヤロープで U 字形に設置し，このワイヤロープと対称に設置したワイヤロープとの合計 4 本でネット全層数を支持することにより，ワイヤロープに作用する荷重が均一となるように設計する。

(3)　シャックル

a.　ロープ接続用シャックル

ロープ接続用シャックルは，ワイヤロープ端部に設置し，ワイヤロープを介して直接作用する荷重に対して，ロープ接続用シャックルが破断することのない強度を有する設計と

する。

b.　ネット接続用シャックル

(a)　ネット接続用シャックル

ネット接続用シャックルは，ネット端部とワイヤロープ間に設置し，ネットを介して直接作用する荷重に対して，ネット接続用シャックルが破断することのない強度を有する設計とする。

(b)　シャックル接続目合い間隔

シャックル接続目合い間隔は，シャックル接続目合いの合計耐力が，ネットを介して直接作用する荷重を上回るように設計する。

(4)　接続用の治具

接続用の治具には緩衝装置を設置していない。したがって，接続用の治具には，飛来物による衝突直後に，荷重が急激に増加する場合も含めて，ネットへの飛来物による衝突によりネットからワイヤロープを介して直接作用する荷重に対して，接続用の治具が破断することのない強度を有する設計とする。

接続用の治具は，コーナーガイド及びロープ接続用シャックルを架構に接続するアイプレートである。

3.2　竜巻防護鋼製フードの構造設計

「2.2　構造強度の設計方針」に基づき，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために，飛来物が防護対策施設を構成する主要な構造部材を貫通せず，上載する防護鋼板を支持する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

また，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないために，防護対策施設を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする。

竜巻防護鋼製フードの設計フローを図 3－3 に示す。

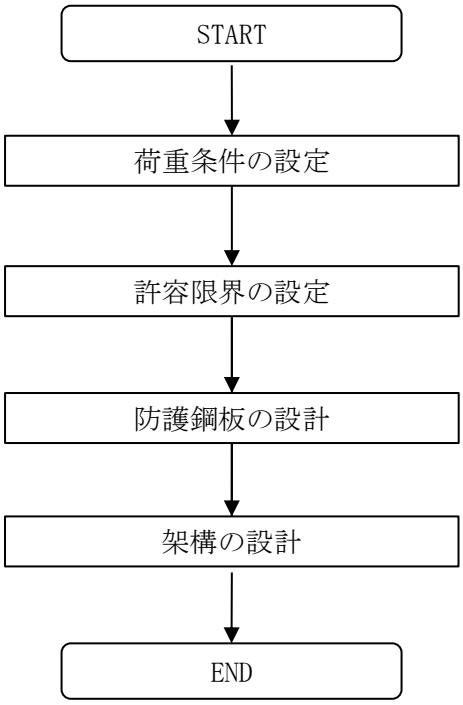



図 3－3　竜巻防護鋼製フードの設計フロー

竜巻防護鋼製フードを構成する防護鋼板は，飛来物による衝突に対し，貫通しない部材厚さを確保する設計とする。

竜巻防護鋼製フードを構成する架構は，H 形鋼等より構成し，上載する防護鋼板からの荷重を支持する設計とする。

架構の主体構造は，柱，はり，ブレース等の鋼材であり，外殻に面する柱及びはりに防護鋼板を設置し，柱脚部のアンカーボルトで建屋躯体に固定する設計とする。また，作用する荷重については，飛来物による衝撃荷重が支配的であり，防護鋼板に作用する荷重を，周囲の柱，はり及びブレースに伝達し，柱脚部のアンカーボルトを介して建屋躯体に伝達する設計とする。

3.3　竜巻防護鉄筋コンクリート製フードの構造設計

「2.2　構造強度の設計方針」に基づき，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために，飛来物が防護対策施設を構成する主要な構造部材を貫通せず，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないために，防護対策施設を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする。

竜巻防護鉄筋コンクリート製フードの設計フローを図 3－4 に示す。

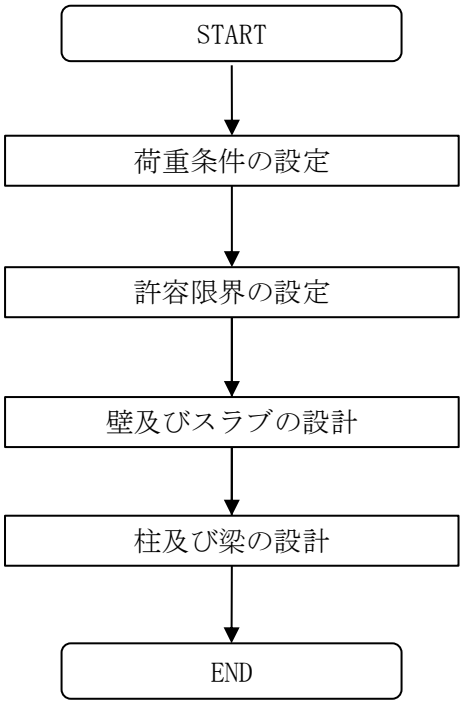



図 3－4　竜巻防護鉄筋コンクリート製フードの設計フロー

竜巻防護鉄筋コンクリート製フードを構成する壁及びスラブは，飛来物による衝突に対し，貫通しない部材厚さを確保する設計とする。

竜巻防護鉄筋コンクリート製フードを構成する壁，スラブ，柱及びはりより構成し，施設に作用する荷重を支持する設計とする。

竜巻防護鉄筋コンクリート製フードは，壁，スラブ等の鉄筋コンクリート製構造物を主構造とし，アンカーボルトで建屋躯体に固定する設計とする。また，作用する荷重については，飛来物による衝撃荷重が支配的であり，壁及びスラブ等に作用する荷重を，周囲の柱及びはりに伝達し，柱部及びはり部のアンカーボルトを介して建屋躯体に伝達する設計とする。

3.4　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の構造設計

「2.2　構造強度の設計方針」に基づき，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために，飛来物が防護対策施設を構成する主要な構造部材を貫通せず，上載する防護鋼板を支持する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

また，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないために，防護対策施設を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の設計フローを図 3－5 に示す。

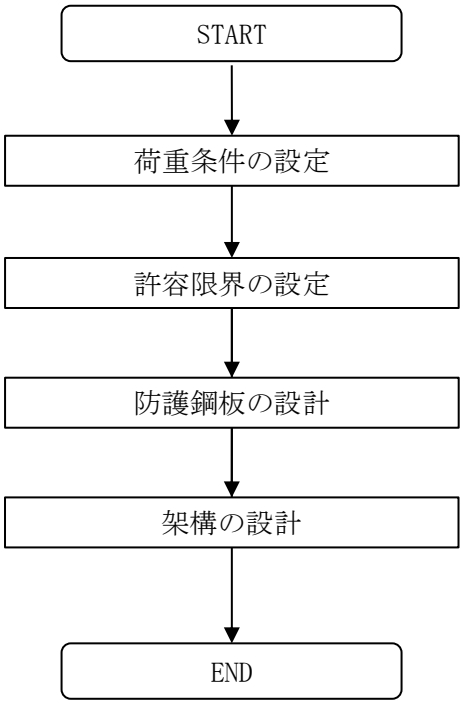



図 3－5　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の設計フロー

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板を構成する防護鋼板は，飛来物による衝突に対し，貫通しない部材厚さを確保する設計とする。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ配管防護板を構成する架構は，H 形鋼等より構成し，上載する防護鋼板からの荷重を支持する設計とする。

架構の主体構造は，柱，はり，ブレース等の鋼材であり，外殻に面する柱及びはりに防護鋼板を設置し，柱脚部のアンカーボルトでコンクリート基礎に固定する設計とする。また，作用する荷重については，飛来物による衝撃荷重が支配的であり，防護鋼板に作用する荷重を，周囲の柱，はり及びブレースに伝達し，柱脚部のアンカーボルトを介してコンクリート基礎に伝達する設計とする。

3.5　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の構造設計

「2.2　構造強度の設計方針」に基づき，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために，飛来物が防護対策施設を構成する主要な構造部材を貫通せず，上載する防護鋼板を支持する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

また，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないために，防護対策施設を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の設計フローを図3－6に示す。

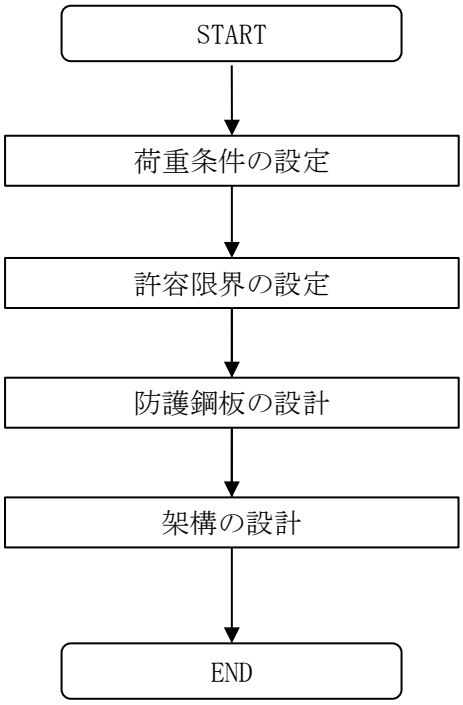



図3－6　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の設計フロー

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板を構成する防護鋼板は，飛来物による衝突に対し，貫通しない部材厚さを確保する設計とする。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板を構成する架構は，角形鋼管等より構成し，上載する防護鋼板からの荷重を支持する設計とする。

架構の主体構造は，柱，はり，ブレース等の鋼材であり，外殻に面する柱及びはりに防護鋼板を設置し，柱脚部のアンカーボルトでコンクリート基礎に固定する設計とする。また，作用する荷重については，飛来物による衝撃荷重が支配的であり，防護鋼板に作用する荷重を，周囲の柱，はり及びブレースに伝達し，柱脚部のアンカーボルトを介してコンクリート基礎に伝達する設計とする。

3.6　建屋内防護壁の構造設計

3.6.1　原子炉補機冷却海水系配管防護壁の構造設計

「2.2　構造強度の設計方針」に基づき，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために，飛来物が防護対策施設を構成する主要な構造部材を貫通せず，上載する防護鋼板を支持する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

また，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないために，防護対策施設を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする。

原子炉補機冷却海水系配管防護壁の設計フローを図 3－7 に示す。

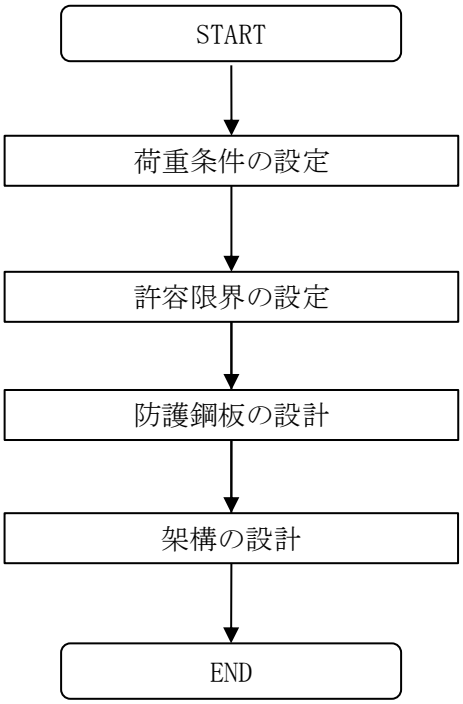



図 3－7　原子炉補機冷却海水系配管防護壁の設計フロー

原子炉補機冷却海水系配管防護壁を構成する防護鋼板は，飛来物による衝突に対し，貫通しない部材厚さを確保する設計とする。

原子炉補機冷却海水系配管防護壁を構成する架構は，角形鋼管等より構成し，上載する防護鋼板からの荷重を支持する設計とする。

架構の主体構造は，柱，はり，ブレース等の鋼材であり，外殻に面する柱及びはりに防護鋼板を設置し，柱脚部のアンカーボルトで建屋躯体に固定する設計とする。また，作用する荷重については,飛来物による衝撃荷重が支配的であり,防護鋼板に作用する荷重を,周囲の柱，はり及びブレースに伝達し，柱脚部のアンカーボルトを介して建屋躯体に伝達する設計とする。

3.6.2　換気空調系ダクト防護壁の構造設計

「2.2　構造強度の設計方針」に基づき，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために，飛来物が防護対策施設を構成する主要な構造部材を貫通せず，上載する防護鋼板を支持する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

また，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないために，防護対策施設を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする。

換気空調系ダクト防護壁の設計フローを図 3－8 に示す。

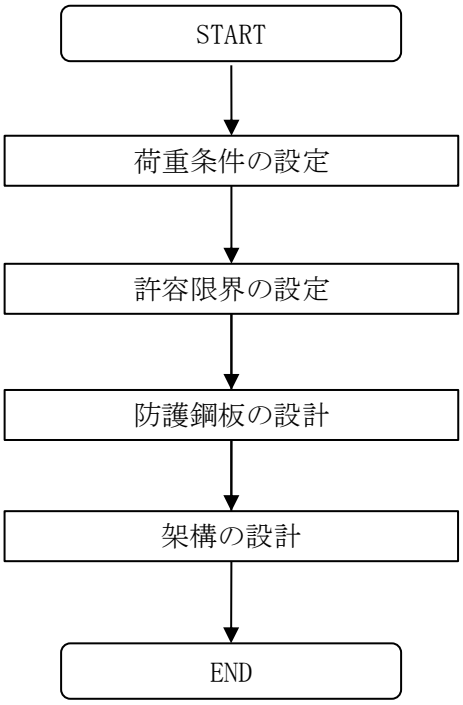



図 3－8　換気空調系ダクト防護壁の設計フロー

換気空調系ダクト防護壁を構成する防護鋼板は，飛来物による衝突に対し，貫通しない部材厚さを確保する設計とする。

換気空調系ダクト防護壁を構成する架構は，H 形鋼，角形鋼管等より構成し，上載する防護鋼板からの荷重を支持する設計とする。

架構の主体構造は，柱，はり，ブレース等の鋼材であり，外殻に面する柱及びはりに防護鋼板を設置し，柱脚部のアンカーボルトで建屋躯体に固定する設計とする。また，作用する荷重については，飛来物による衝撃荷重が支配的であり，防護鋼板に作用する荷重を，周囲の柱及びはりに伝達し，柱脚部のアンカーボルトを介して建屋躯体に伝達する設計とする。

3.7　竜巻防護扉の構造設計

「2.2　構造強度の設計方針」に基づき，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために，飛来物が竜巻防護扉を構成する部材を貫通せず，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないために，竜巻防護扉を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする。

竜巻防護扉の設計フローを図3－9に示す。

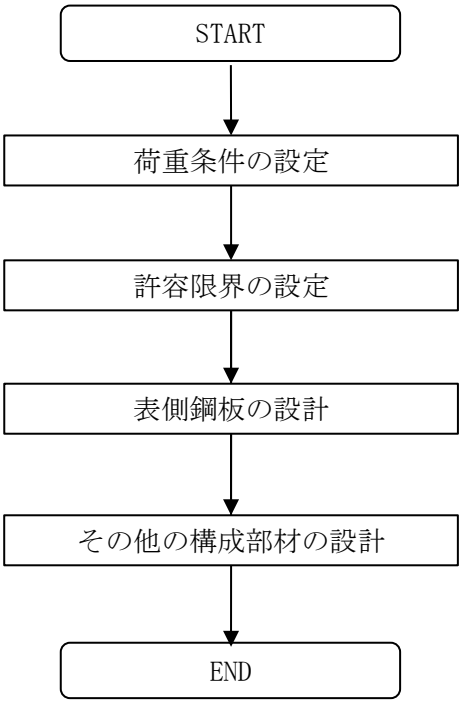



図3－9　竜巻防護扉の設計フロー

竜巻防護扉を構成する表側鋼板は，飛来物による衝突に対し，貫通しない部材厚さを確保する設計とする。

竜巻防護扉は，表側鋼板，芯材，扉枠，アンカーボルト，カンヌキ等より構成し，施設に作用する荷重を支持する設計とする。

竜巻防護扉は，表側鋼板，芯材，扉枠等の鋼材を主構造とし，アンカーボルトによって建屋躯体に固定された扉枠に対し，カンヌキによって扉本体を扉枠と固定することで支持する設計とする。また，作用する荷重については，表側鋼板に作用する荷重を，芯材，扉枠を介して，カンヌキに作用する荷重を，扉枠を介して，それぞれ建屋躯体に伝達する設計とする。

## 4.　防護対策施設の構成要素の評価方針

「2.3　荷重及び荷重の組合せ」,「2.5　評価方針」及び「3.　防護対策施設の構成要素の設計方針」に基づき，防護対策施設の構成要素ごとの評価方針を設定する。

防護対策施設を設計する上で，飛来物の衝突回数については，屋外の物品等の飛来物となりうるものは，飛散防止管理を実施し，飛来物となるものが少なくなるように運用することにより，竜巻の影響期間中に複数の飛来物が同一の防護対策施設に衝突する可能性は十分低いことから，同一の防護対策施設への複数の飛来物の衝突は考慮しない設計とする。

また，高所に設置され下方に空間を有する配置となる，竜巻防護鋼製フード及び竜巻防護鉄筋コンクリート製フードについては，これら施設の下方から，設計飛来物の様な重量がある飛来物が上昇しながら到達することは考え難いことから，竜巻防護鋼製フード及び竜巻防護鉄筋コンクリート製フードの下面にはネットや防護鋼板は取り付けないこととする。

防護対策施設は，飛来物衝突に対して，防護対策施設を構成する部材が許容限界を満足し，外部事象防護対象施設が飛来物の影響を受けないことを確認する。

### 4.1　竜巻防護ネットの評価方針

#### (1)　防護ネット

「2.5(1)a.　防護ネット」の設計方針に基づき，設計竜巻の風圧力による荷重及び飛来物による衝撃荷重に対し，主要な部材が破断しないために，防護ネットのうちネット，ワイヤロープ，シャックル及び接続用の治具が，破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを計算により確認する。その方法は「6.1　竜巻防護ネットの強度評価」に示すとおり，ネットの限界吸収エネルギ及び算出されるネット目合いに作用する引張荷重を基に構造強度評価を行う。

また，「2.5(1)a.　防護ネット」の設計方針に基づき，設計竜巻の風圧力による荷重及び飛来物による衝撃荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう捕捉するために，防護ネットのうちネット及びワイヤロープにたわみが生じても，飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう外部事象防護対象施設との離隔を確保できることを計算により確認する。その方法は「6.1　竜巻防護ネットの強度評価」に示すとおり，算出されるネットのたわみ量を基にたわみ評価を行う。

防護ネットの評価フローを図 4－1 に示す。

防護ネットの具体的な計算方法及び結果は，Ｖ-3-別添 1-4-1「竜巻防護ネットの強度計算書」に示す。

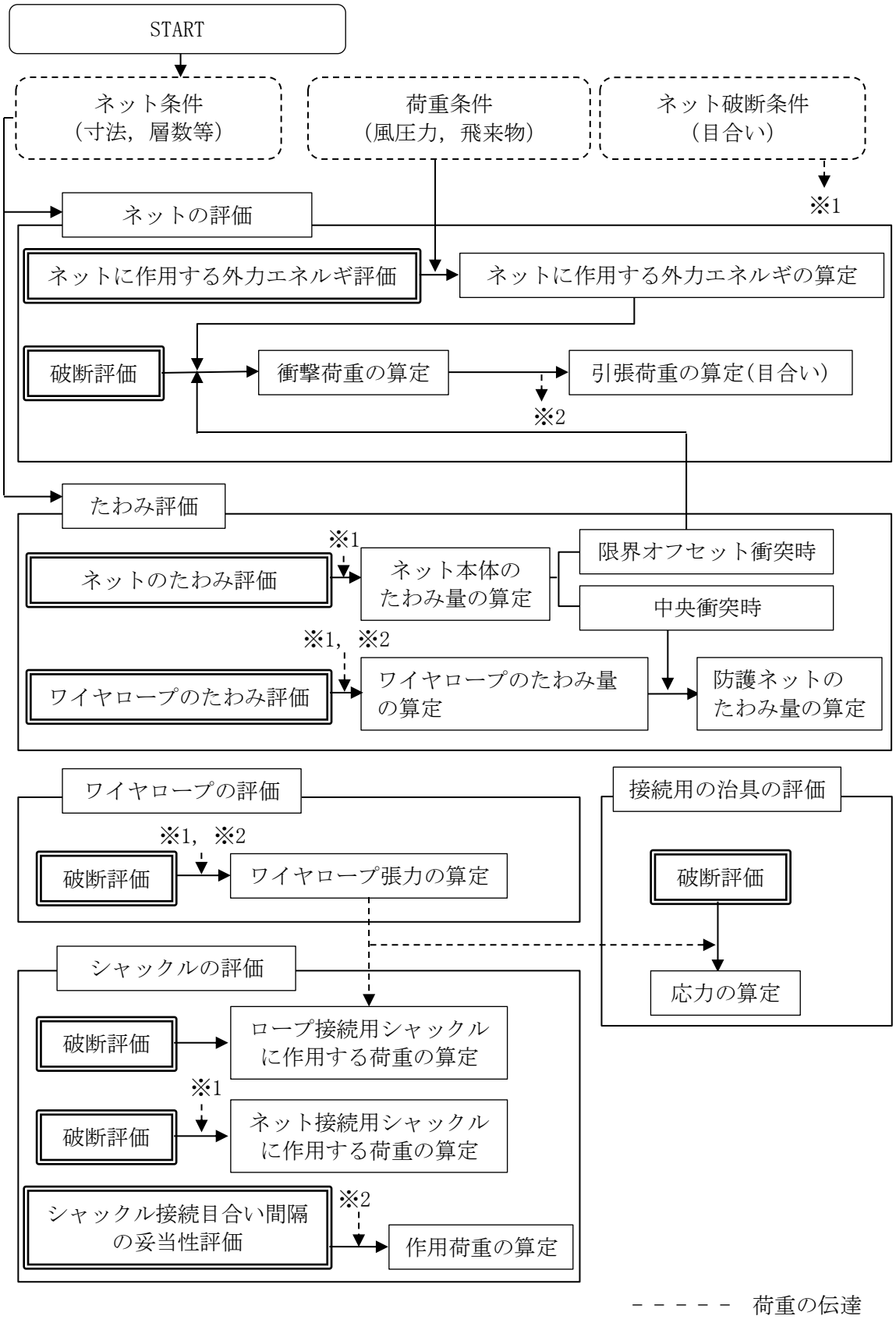



図 4－1　竜巻防護ネットの評価フロー

a.　構造強度評価

設計竜巻の風圧力による荷重及び飛来物による衝撃荷重に対し，主要な部材が破断しないために，防護ネットのうちネット，ワイヤロープ，シャックル及び接続用の治具に，破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを計算により確認する。

設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重がネットに作用する場合に，ネットに破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを確認するために，以下を評価する。

ネットについては，設計竜巻の風圧力による荷重及び飛来物による衝撃荷重が作用する場合に，ネット全体でエネルギを吸収することから，ネットの限界吸収エネルギを求め，ネットに作用する外力エネルギと比較評価する。評価方法としては，電中研報告書 N13014，電中研報告書 N14009 及び電力中央研究所報告「高強度金網を用いた竜巻飛来物対策工の合理的な衝撃応答評価手法」（総合報告：001）（以下「電中研報告書 001」という。）において，ネットへの適用性が確認されている評価式（以下「電中研評価式」という。）を参照して評価する。また，飛来物の衝突箇所において，破断が生じないことを確認するために，衝突箇所においてネットの目合いに作用する引張荷重を電中研評価式により評価する。さらに，ネットが機能を発揮できるために，ネットに作用する荷重がネット接続用シャックル，ワイヤロープ，ロープ接続用シャックル及び接続用の治具に伝達され，その荷重によりワイヤロープ及びシャックルに作用する荷重を電中研評価式等により評価する。

なお，接続治具には緩衝装置が設置されていないため，飛来物による衝突直後の荷重の急激な増加として，動的荷重の影響を考慮した評価を実施する。動的荷重の影響については，動的荷重による動的応答倍率を考慮し，三角波の動的応答倍率の最大値を考慮する。

(a)　ネットに作用する外力エネルギ評価

ネットに作用する外力エネルギ評価においては，ネットの目合いの方向に従ってネット剛性を設定し，ネットのエネルギ吸収に有効な面積を設定し評価を実施する。また，飛来物の衝突位置の違いによりたわみ量の影響があり，衝突位置，ネット剛性の設定によるたわみ量への影響を考慮して，評価を実施する。

(b)　ネット，ワイヤロープ，シャックル及び接続用の治具の破断評価

ネットの破断評価においては，ネットに作用する外力エネルギ評価と同様にネットの有効面積を設定し評価する。また，衝突位置を考慮して評価を実施する。

ネット，ワイヤロープ，シャックル及び接続用の治具については，飛来物の衝突位置として，中央位置からずれたオフセット衝突についても考慮する。具体的には，電中研評価式では飛来物がネット中央位置に衝突する場合についてのみ評価を実施するため，オフセット位置に衝突する場合の評価においては，中央位置に衝突する場合とオフセット位置に衝突する場合の飛来物の移動距離を考慮した評価を実施する。

b.　たわみ評価

設計竜巻の風圧力による荷重及び飛来物による衝撃荷重に対し，飛来物が外部事象防護

対象施設に衝突しないよう捕捉するために，防護ネットのうちネット及びワイヤロープがたわみを生じても，飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう外部事象防護対象施設との離隔を確保できることを計算により確認する。

防護ネットは，設計竜巻の風圧力による荷重及び飛来物による衝撃荷重がネットに作用する場合に，ネットがたわむことでエネルギを吸収することから，ネット及びワイヤロープがたわんでも，ネットと外部事象防護対象施設が衝突しないことを確認するために，ネットとワイヤロープのたわみ量を考慮して評価する。評価方法としては，電中研評価式等を用いて評価する。

評価の条件についても，構造強度評価と同様に飛来物のネットの衝突位置を考慮して評価を実施する。

4.2　竜巻防護鋼製フードの評価方針

防護鋼板については，「2.5(2)a.　防護鋼板」の評価方法に基づき，飛来物による衝撃荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設に衝突することを防止するために，防護鋼板が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを確認する。また，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，防護鋼板に終局状態に至るようなひずみが生じないことを確認する。

架構については，「2.5(2)b.　架構」の評価方法に基づき，設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，上載する防護鋼板を支持し，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，架構に終局状態に至るようなひずみが生じないことを確認する。

竜巻防護鋼製フードの評価フローを図 4－2 に示す。

竜巻防護鋼製フードの具体的な計算方法及び結果は，V-3-別添 1-4-2「竜巻防護鋼製フードの強度計算書」に示す。

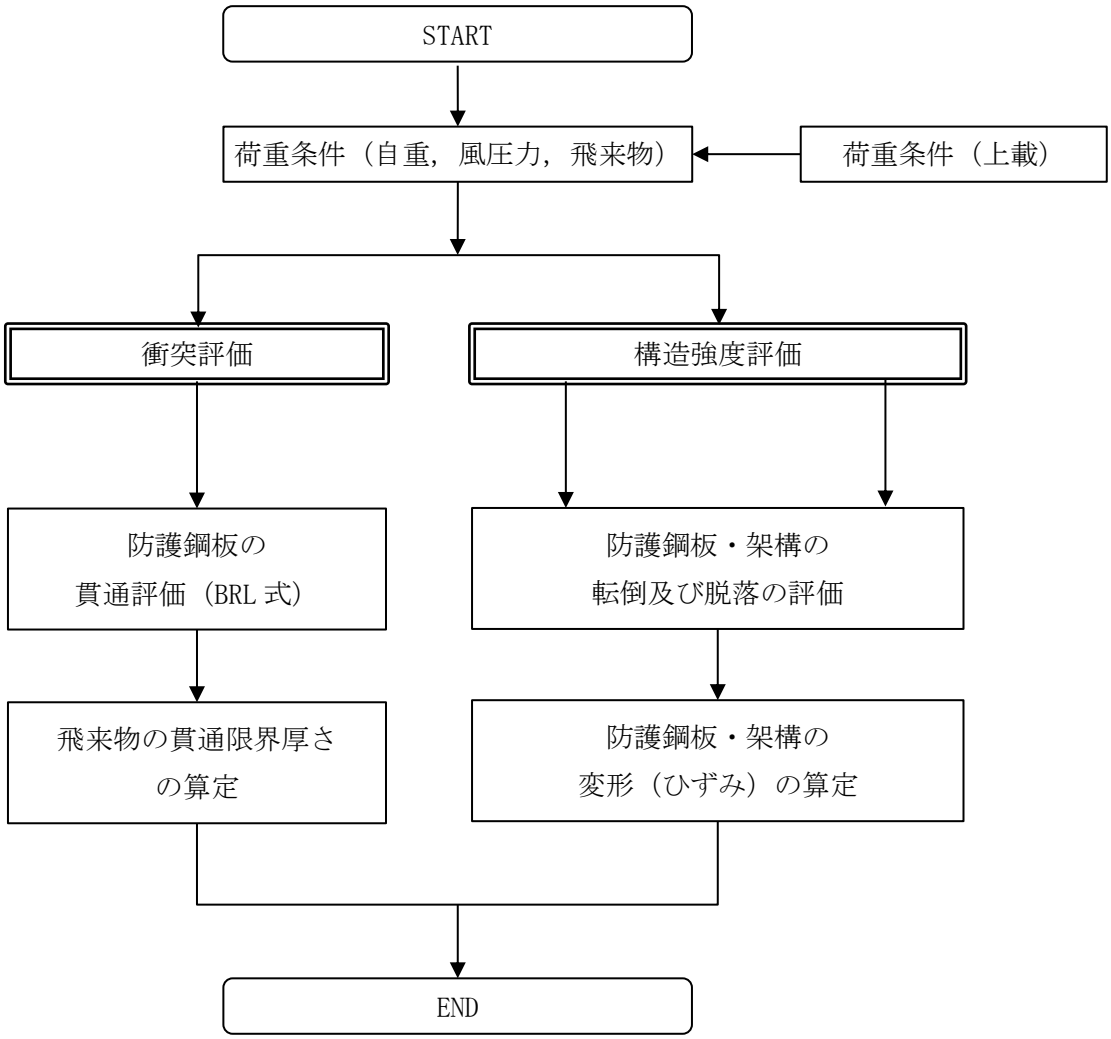



図 4－2　竜巻防護鋼製フードの評価フロー

(1)　衝突評価

飛来物による衝撃荷重に対し，防護対策施設を構成する部材が外部事象防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物を貫通させないために，竜巻防護鋼製フードの防護鋼板が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。衝突評価には,「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日原子炉安全専門審査会)」で用いられている BRL 式を用いる。

(2)　構造強度評価

上載する防護鋼板の自重及び防護鋼板への飛来物の衝突時の荷重に対し，これらを支持する機能を維持可能な構造強度を有することの確認並びに，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，施設を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じないことの確認として，設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，防護鋼板及び架構に終局状態に至るようなひずみが生じないことを計算により確認する。評価方法は，3 次元 FEM による衝突解析により評価する。使用する解析コードは「ＬＳ－ＤＹＮＡ」とする。

4.3　竜巻防護鉄筋コンクリート製フードの評価方針

防護鋼板については，「2.5(3)　竜巻防護鉄筋コンクリート製フード」の評価方法に基づき，飛来物による衝撃荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設に衝突することを防止するために，壁及びスラブが飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを確認する。また，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，壁及びスラブの裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない最小厚さ以上であることを確認する。さらに，設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，壁及びスラブの鉄筋に終局状態に至るようなひずみが生じないことを確認する。

竜巻防護鉄筋コンクリート製フードの評価フローを図 4－3 に示す。

竜巻防護鋼製フードの具体的な計算方法及び結果は，V-3-別添 1-4-3「竜巻防護鉄筋コンクリート製フードの強度計算書」に示す。

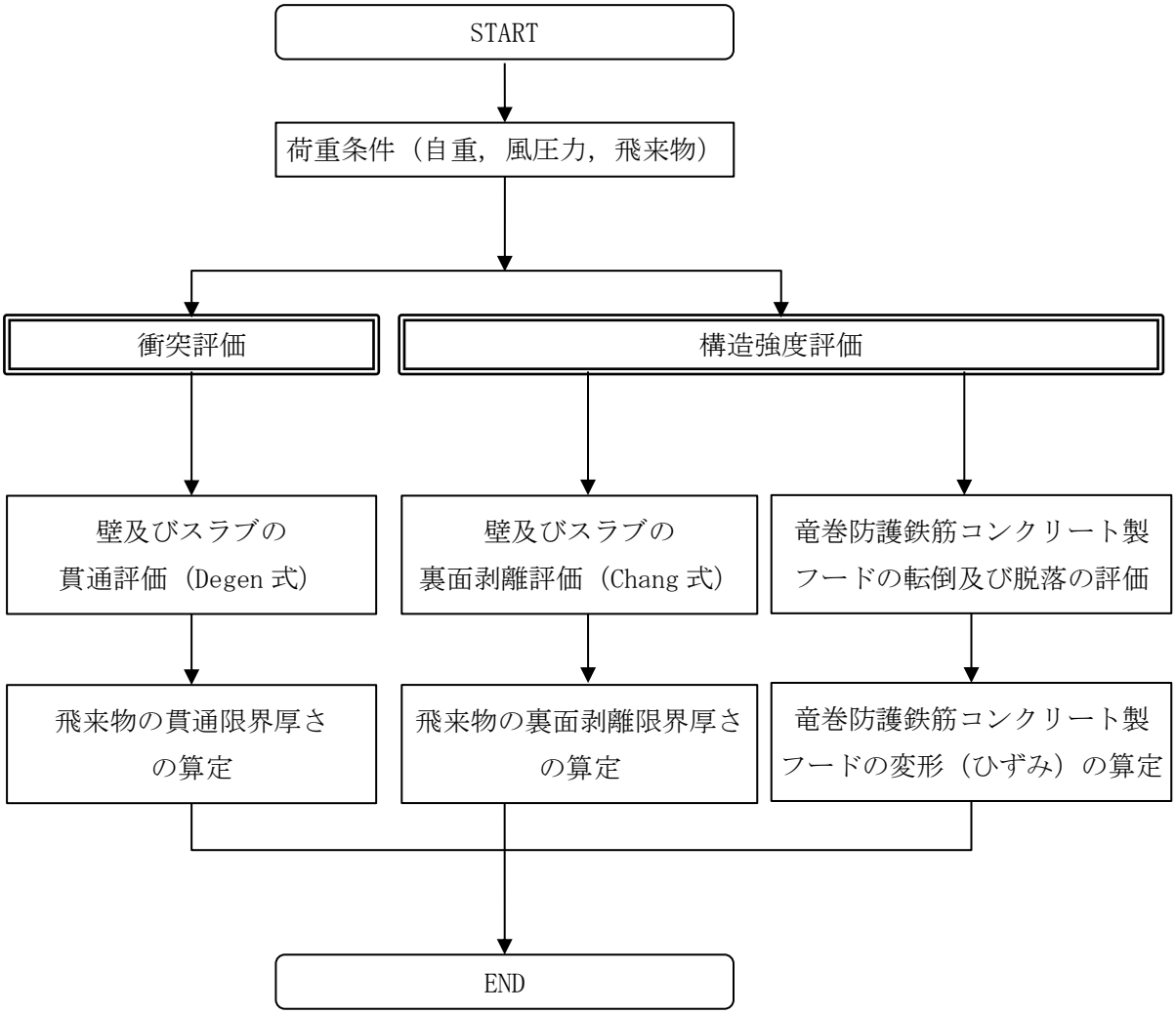



図 4－3　竜巻防護鉄筋コンクリート製フードの評価フロー

(1)　衝突評価

飛来物による衝撃荷重に対し，防護対策施設を構成する部材が外部事象防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物を貫通させないために，竜巻防護鉄筋コンクリート製フードの壁及びスラブが飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。衝突評価には，「NEI07-13：Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs」（以下「NEI07-13」という。）に示されているDegen式を用いる。

(2)　構造強度評価

外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，施設を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じないことの確認として，壁及びスラブへの飛来物の衝突時の荷重に対し，壁及びスラブの裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない最小厚さ以上であることを確認する。裏面剥離評価には，NEI07-13に示されるChang式を用いる。

また，設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，壁及びスラブの鉄筋に終局状態に至るようなひずみが生じないことを計算により確認する。評価方法は，3次元FEMによる衝突解析により評価する。使用する解析コードは「ＡＢＡＱＵＳ」とする。

4.4　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の評価方針

防護鋼板については，「2.5(4)a.　防護鋼板」の評価方法に基づき，飛来物による衝撃荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設に衝突することを防止するために，防護鋼板が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを確認する。また，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，防護鋼板に終局状態に至るようなひずみが生じないことを確認する。

架構については，「2.5(4)b.　架構」の評価方法に基づき，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，上載する防護鋼板を支持し，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，架構に終局状態に至るようなひずみが生じないことを確認する。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の評価フローを図 4－4 に示す。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の具体的な計算方法及び結果は，Ⅴ-3-別添 1-4-4「非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度計算書」に示す。

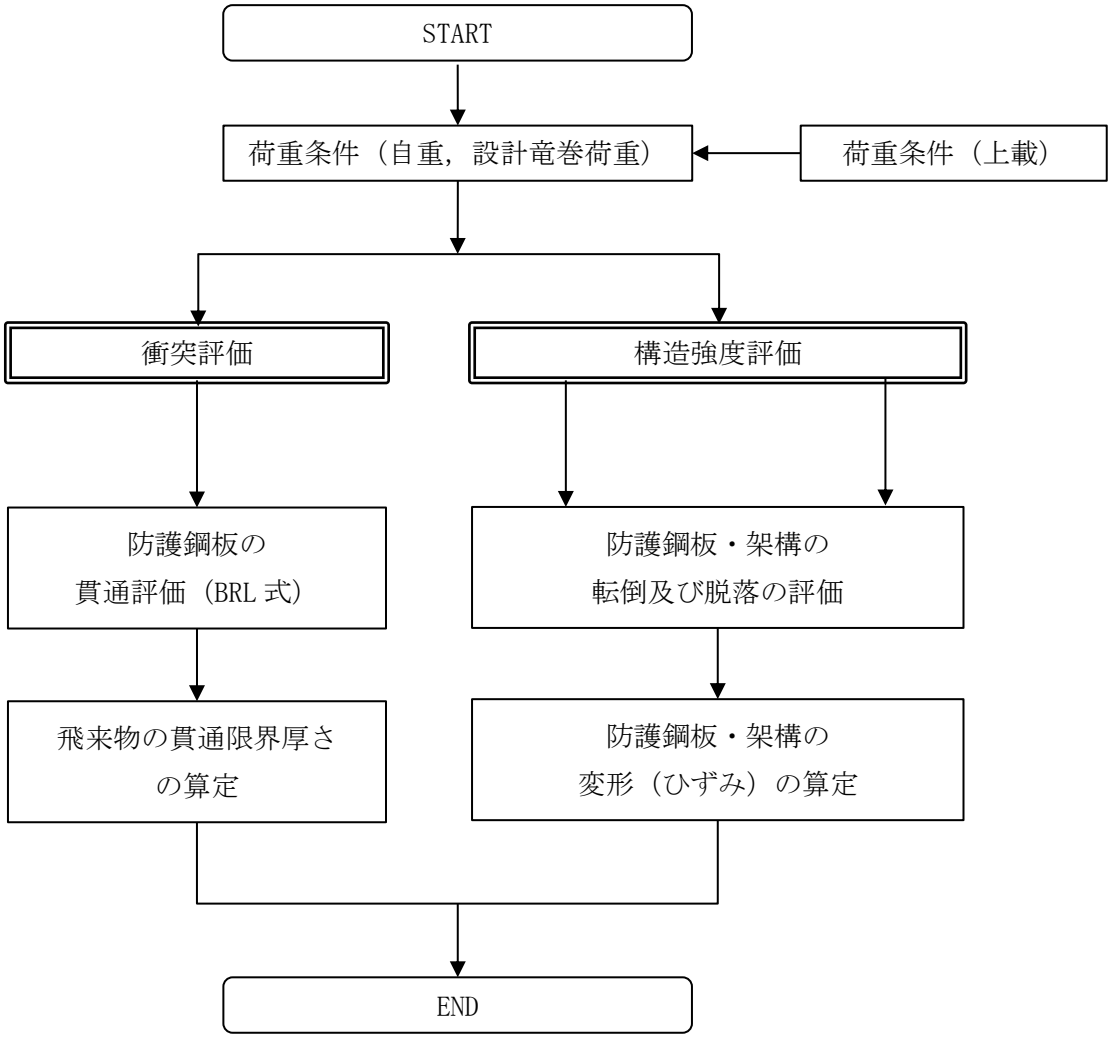



図 4－4　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の評価フロー

(1)　衝突評価

飛来物による衝撃荷重に対し，防護対策施設を構成する部材が外部事象防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物を貫通させないために，非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の防護鋼板が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。衝突評価には，「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日原子炉安全専門審査会）」で用いられている BRL 式を用いる。

(2)　構造強度評価

上載する防護鋼板の自重及び防護鋼板への飛来物の衝突時の荷重に対し，これらを支持する機能を維持可能な構造強度を有することの確認並びに，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，施設を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じないことの確認として，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，防護鋼板及び架構に終局状態に至るようなひずみが生じないことを計算により確認する。評価方法は，3 次元 FEM による衝突解析により評価する。使用する解析コードは「ＬＳ－ＤＹＮＡ」とする。

4.5　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価方針

防護鋼板については，「2.5(5)a.　防護鋼板」の評価方法に基づき，飛来物による衝撃荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設に衝突することを防止するために，防護鋼板が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを確認する。また，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，防護鋼板に終局状態に至るようなひずみが生じないことを確認する。

架構については，「2.5(5)b.　架構」の評価方法に基づき，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，上載する防護鋼板を支持し，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，架構に終局状態に至るようなひずみが生じないことを確認する。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価フローを図 4－5 に示す。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の具体的な計算方法及び結果は，Ｖ-3-別添 1-4-5「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算書」に示す。

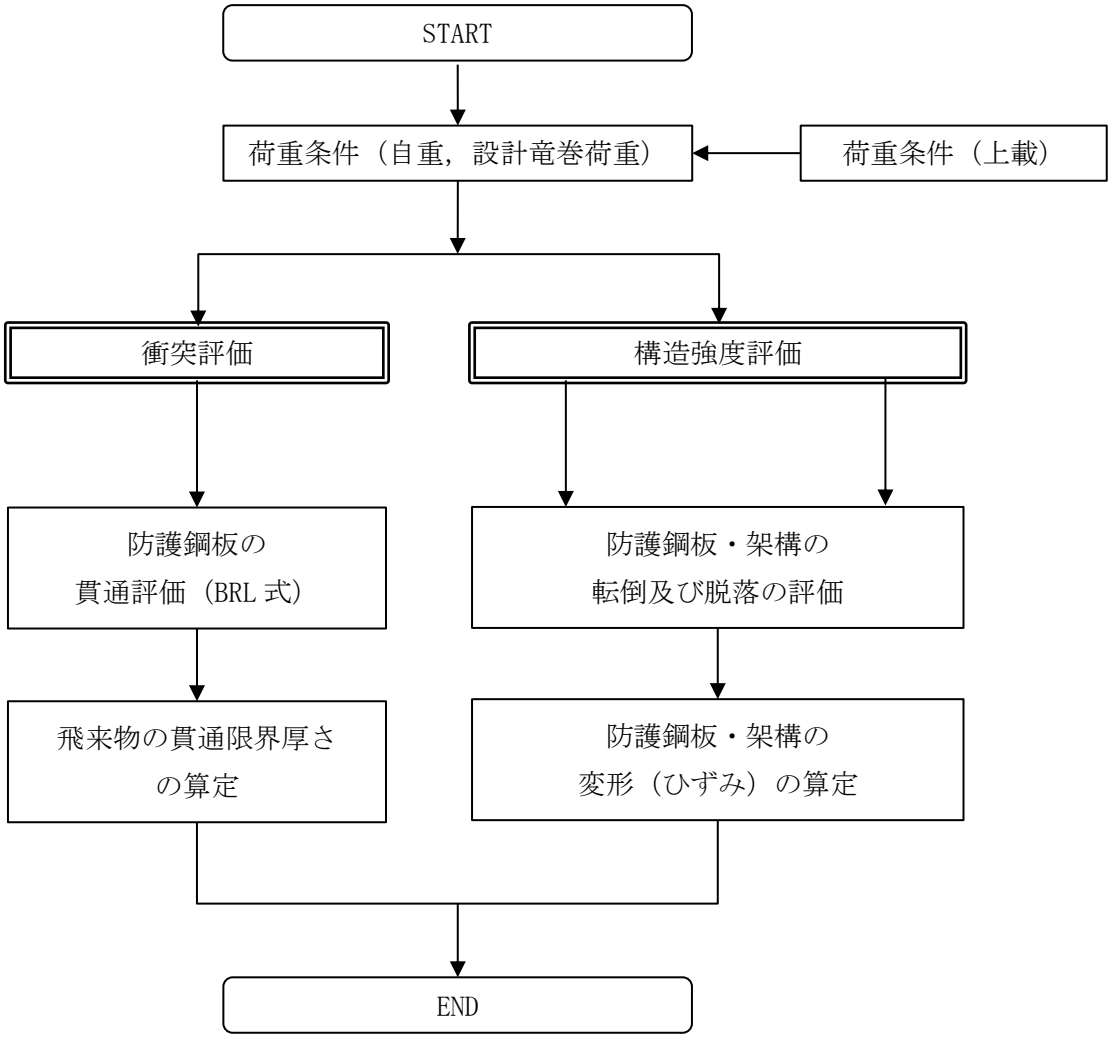



図 4－5　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価フロー

(1)　衝突評価

飛来物による衝撃荷重に対し，防護対策施設を構成する部材が外部事象防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物を貫通させないために，非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の防護鋼板が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。衝突評価には，「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日原子炉安全専門審査会）」で用いられている BRL 式を用いる。

(2)　構造強度評価

上載する防護鋼板の自重及び防護鋼板への飛来物の衝突時の荷重に対し，これらを支持する機能を維持可能な構造強度を有することの確認並びに，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，施設を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じないことの確認として，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，防護鋼板及び架構に終局状態に至るようなひずみが生じないことを計算により確認する。評価方法は，3 次元 FEM による衝突解析により評価する。使用する解析コードは「ＬＳ－ＤＹＮＡ」とする。

4.6　建屋内防護壁の評価方針

4.6.1　原子炉補機冷却海水系配管防護壁及び換気空調系ダクト防護壁(No.25,　No.66,　No.67,　No.74 及び No.76）の評価方針

防護鋼板については,「2.5(6)a.(a)　防護鋼板」の評価方法に基づき，飛来物による衝撃荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設に衝突することを防止するために，防護鋼板が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを確認する。また，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，防護鋼板に終局状態に至るようなひずみが生じないことを確認する。

架構については,「2.5(6)a.(b)　架構」の評価方法に基づき，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，上載する防護鋼板を支持し，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう,架構に終局状態に至るようなひずみが生じないことを確認する。

原子炉補機冷却海水系配管防護壁及び換気空調系ダクト防護壁(No.25,　No.66,　No.67,　No.74 及び No.76）の評価フローを図 4－6 に示す。

原子炉補機冷却海水系配管防護壁及び換気空調系ダクト防護壁(No.25,　No.66,　No.67,　No.74 及び No.76）の具体的な計算方法及び結果は，Ⅴ-3-別添 1-4-6「建屋内防護壁の強度計算書」に示す。

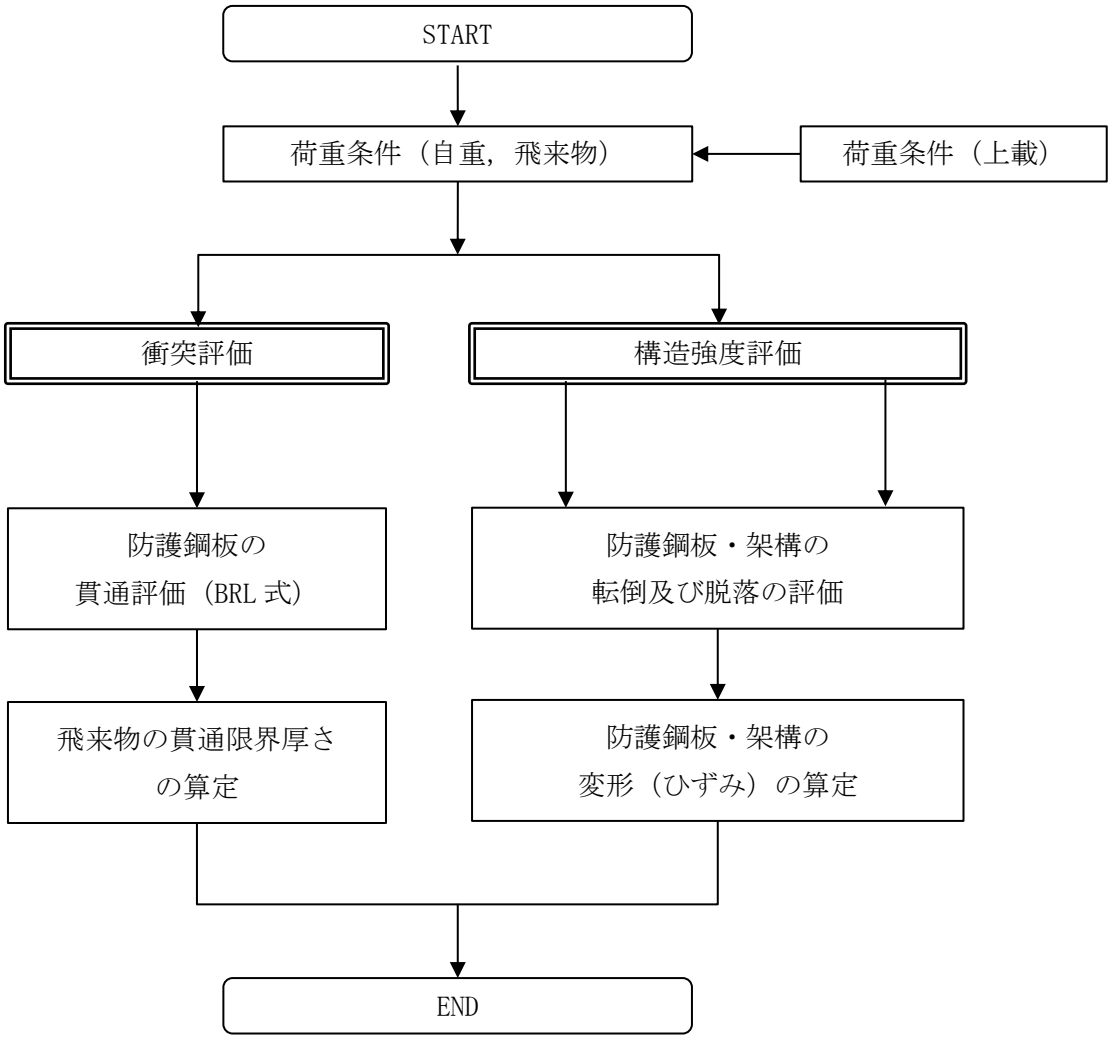



図 4－6　原子炉補機冷却海水系配管防護壁及び換気空調系ダクト防護壁
（No.25，　No.66，　No.67，　No.74 及び No.76）の評価フロー

(1)　衝突評価

飛来物による衝撃荷重に対し，防護対策施設を構成する部材が外部事象防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物を貫通させないために，原子炉補機冷却海水系配管防護壁及び換気空調系ダクト防護壁（No.25，　No.66，　No.67，　No.74 及び No.76）の防護鋼板が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。衝突評価には，「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日原子炉安全専門審査会）」で用いられている BRL 式を用いる。

(2)　構造強度評価

上載する防護鋼板の自重及び防護鋼板への飛来物の衝突時の荷重に対し，これらを支持する機能を維持可能な構造強度を有することの確認並びに，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，施設を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じないことの確認として，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，防護鋼板及び架構に終局状態に至るようなひずみが生じないことを計算により確認する。評価方法は，3 次元 FEM による衝突解析により評価する。使用する解析コードは「ＬＳ－ＤＹＮＡ」とする。

4.6.2　換気空調系ダクト防護壁（No.9 及び No.10）の評価方針

防護鋼板については，「2.5(6)b.(a)　防護鋼板」の評価方法に基づき，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設に衝突することを防止し，また，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，防護鋼板に終局状態に至るようなひずみが生じないことを確認する。

架構については，「2.5(6)b.(b)　架構」の評価方法に基づき，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，上載する防護鋼板を支持し，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう,架構に終局状態に至るようなひずみが生じないことを確認する。

換気空調系ダクト防護壁（No.9 及び No.10）の評価フローを図 4－7 に示す。

換気空調系ダクト防護壁（No.9 及び No.10）の具体的な計算方法及び結果は，V-3-別添 1-4-6「建屋内防護壁の強度計算書」に示す。

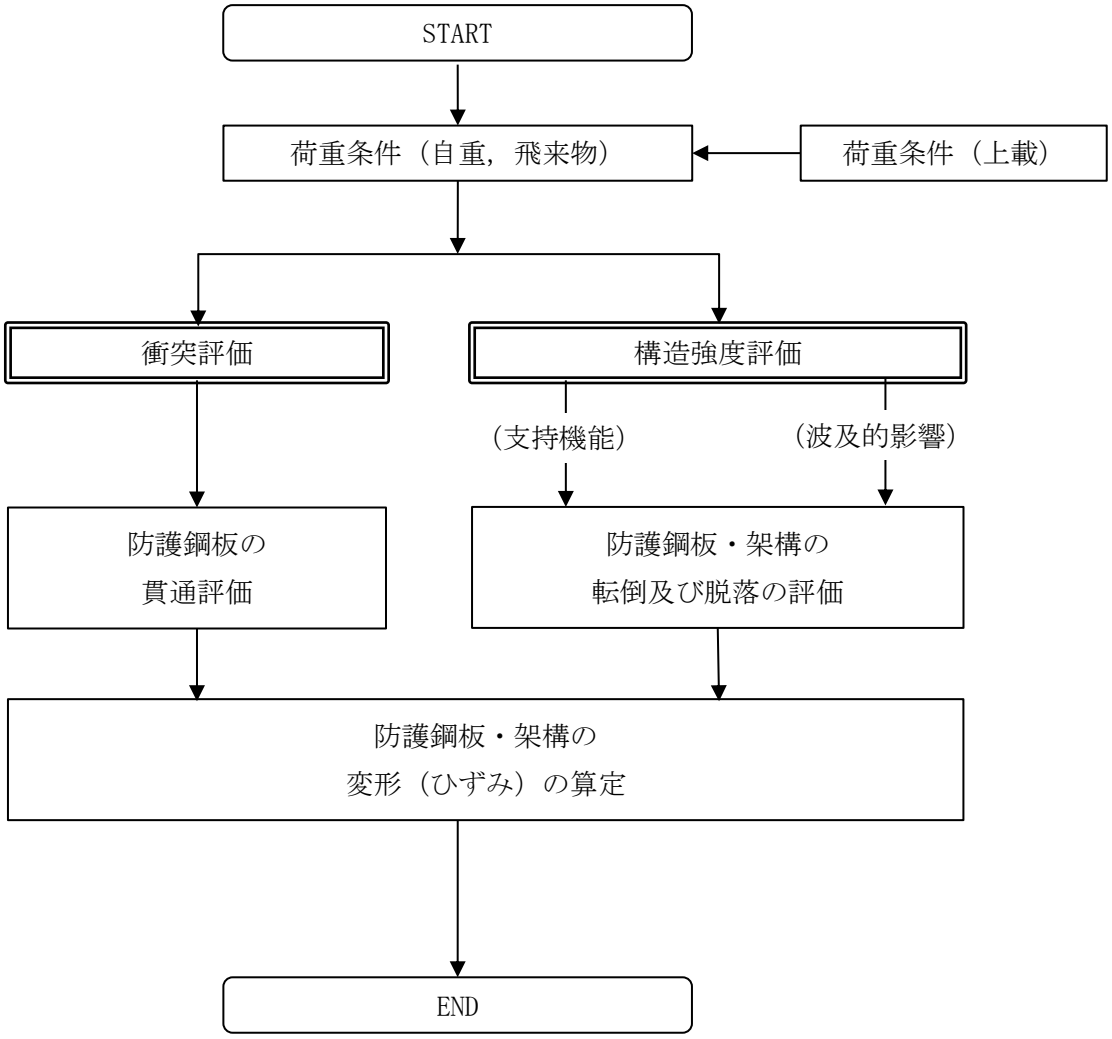



図 4－7　換気空調系ダクト防護壁（No.9 及び No.10）の評価フロー

(1)　衝突評価

飛来物による衝撃荷重に対し，防護対策施設を構成する部材が外部事象防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物を貫通させないために，換気空調系ダクト防護壁（No.9 及び No.10）の防護鋼板に，終局状態に至るようなひずみが生じないことを計算により確認する。評価方法は，3 次元 FEM による衝突解析により評価する。使用する解析コードは「ＬＳ－ＤＹＮＡ」とする。

(2)　構造強度評価

上載する防護鋼板の自重及び防護鋼板への飛来物の衝突時の荷重に対し，これらを支持する機能を維持可能な構造強度を有することの確認並びに，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，施設を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じないことの確認として，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，防護鋼板及び架構に終局状態に至るようなひずみが生じないことを計算により確認する。評価方法は，3 次元 FEM による衝突解析により評価する。使用する解析コードは「ＬＳ－ＤＹＮＡ」とする。

4.7　竜巻防護扉の評価方針

表側鋼板については「2.5(7)　竜巻防護扉」の評価方法に基づき，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設に衝突することを防止するために，表側鋼板が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを確認する。

また，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，表側鋼板，芯材に終局状態に至るようなひずみが生じないこと，カンヌキに生じる応力度が部材の許容限界を上回らないことを確認する。

竜巻防護扉の評価フローを図 4－8 に示す。

竜巻防護扉の具体的な計算方法及び結果は，V-3-別添 1-4-7「竜巻防護扉の強度計算書」に示す。

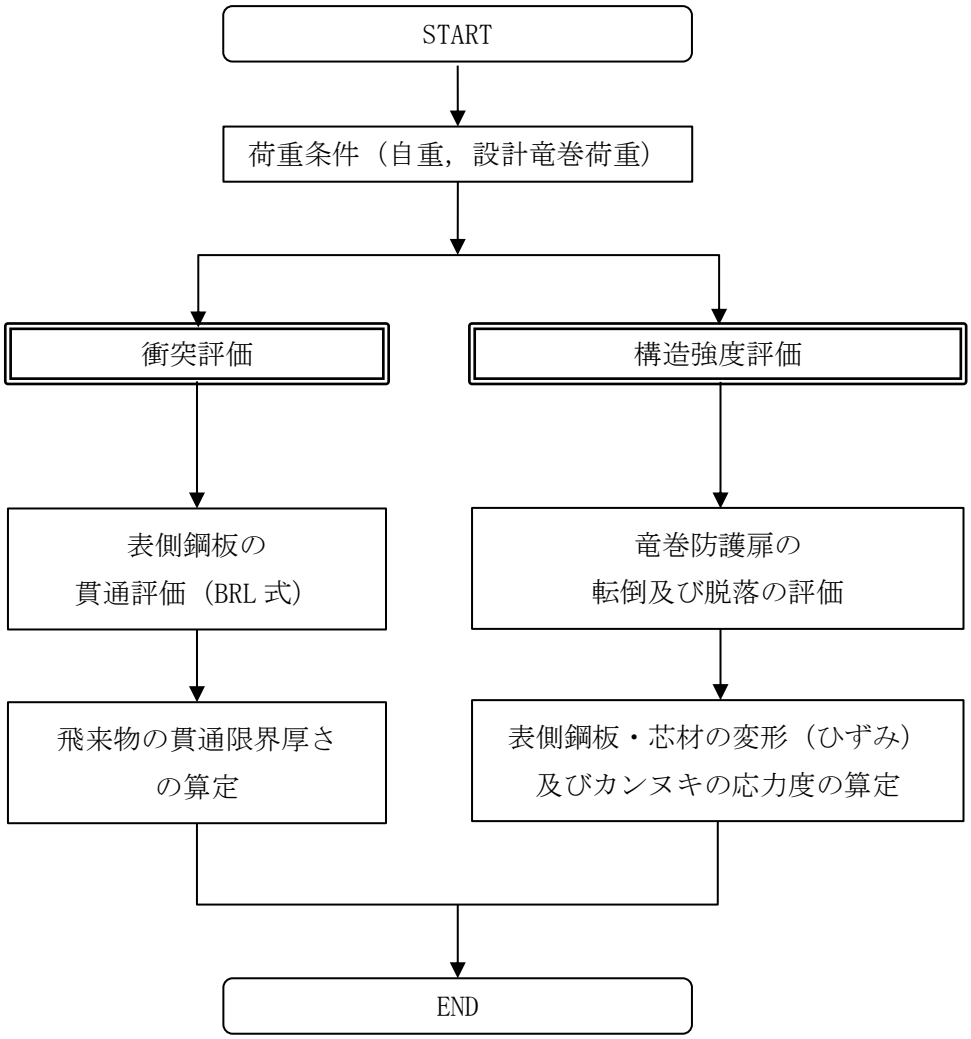



図 4－8　竜巻防護扉の評価フロー

(1)　衝突評価

飛来物による衝撃荷重に対し，防護対策施設を構成する部材が外部事象防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物を貫通させないために，竜巻防護扉の表側鋼板が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。衝突評価には,「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日原子炉安全専門審査会)」で用いられている BRL 式を用いる。

(2)　構造強度評価

表側鋼板への飛来物の衝突時の荷重に対し，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，施設を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じないことの確認として，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，表側鋼板及び芯材に終局状態に至るようなひずみが生じないこと，並びにカンヌキに生じる応力度が部材の許容限界を上回らないことを計算により確認する。評価方法は，3 次元 FEM による衝突解析及び力学における標準式による荷重の算定により評価する。使用する解析コードは「ＬＳ－ＤＹＮＡ」とする。

5.　許容限界

「2.5　評価方針」及び「4.　防護対策施設の構成要素の評価方針」を踏まえ，防護対策施設の構成要素ごとの設計に用いる許容限界を設定する。

5.1　竜巻防護ネットの許容限界

(1)　防護ネットの許容限界

a.　構造強度評価

防護ネットは，設計竜巻の風圧力による荷重及び飛来物による衝撃荷重に対する評価を行うため，破断せず，荷重が作用するとしても外部事象防護対象施設に飛来物を衝突させないために，防護ネットの主要な部材に，破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを許容限界として設定する。

防護ネットのうち，ネット，ワイヤロープ，シャックル及び接続用の治具の許容限界を以下のとおり設定する。

(a)　ネット

ネットの破断に対する許容限界は，ネットに作用する外力エネルギ評価及び破断評価（引張荷重評価）に対して設定する。

ネットに作用する外力エネルギ評価は，飛来物によりネットに与えられる全外力エネルギがネットの限界吸収エネルギ以下であることにより，ネットが破断しないことを確認することから，ネットの限界吸収エネルギを許容限界とする。

破断評価は，ネットに破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを確認する評価方針としていることを踏まえ，ネットは，飛来物の衝突に対し，塑性変形することでエネルギを吸収し，飛来物を捕捉することから，ネット１目合いの展開方向の破断荷重を許容限界とする。具体的には，ネット１目合いに作用する引張荷重を算出するため，ネットの引張試験に基づくネット１目合いの展開方向の破断荷重を許容限界とする。ネットは目合いがそれぞれ変形することで飛来物のエネルギを吸収するため，ネット１目合いの引張荷重の評価を実施する。

ネットの許容限界を表 5－1 に示す。

表 5－1　ネットの許容限界

| 許容限界 | |
|---|---|
| ネットに作用する<br>外力エネルギ評価の許容限界 | 破断評価の許容限界 |
| ネット設置層数ｎを考慮した<br>限界吸収エネルギ | ネット１目合いの<br>展開方向の許容引張荷重* |
| $E_{max}$ | $F_{1x}$ |

注記＊：ネットの引張試験より求めたネット１目合いあたりの展開方向の破断荷重

(b)　ワイヤロープ

ワイヤロープは，ネットと一体となって飛来物を捕捉するため，ネットと同様に塑性変形を許容することから，破断荷重を許容限界とする。具体的な破断荷重は，ネットメーカが実施した引張試験にて確認した破断荷重よりも保守的な値であるＥＮ規格に規定されている破断荷重を許容限界とする。ワイヤロープについては，その端部にワイヤグリップを設置しており，そのワイヤグリップ効率$C_c$に基づき，許容限界を設定する。

ワイヤロープの許容限界を表 5－2 に示す。

表 5－2　ワイヤロープの許容限界

| 規格値 | 許容限界 | 備考 |
|---|---|---|
| $F_3$*1 | $C_c$*2・$F_3$*1 | ワイヤグリップの効率を考慮 |

注記＊1 ：ＥＮ　１２３８５－４「6×19S＋IWRC φ16」の破断荷重

＊2 ：日本道路協会「小規模吊橋指針・同解説」

(c)　シャックル

シャックルに関する許容限界は，シャックルの破断評価及びシャックル接続目合い間隔の妥当性評価に対して設定する。シャックルの破断評価は，シャックルが破断しなければネットを設置位置に保持することができ，飛来物を捕捉可能であることから，メーカ保証値である破断荷重を許容限界とする。

シャックルの許容限界を表 5－3 に示す。

表 5－3　シャックルの許容荷重

| 種別 | 許容限界 |
|---|---|
| | シャックルの破断荷重 |
| ロープ接続用シャックル | $F_4$ |
| ネット接続用シャックル（バウ型シャックル） | $F_5$ |
| ネット接続用シャックル（長シャックル） | $F_6$ |

シャックル接続目合い間隔の妥当性評価は，ネット接続用シャックルが接続する目合いの合計耐力を許容限界とする。なお，1 目合いの耐力は，ネットの引張試験に基づくネット 1 目合いの破断荷重とする。

シャックル接続目合い間隔の許容限界を表 5－4 に示す。

表 5－4　シャックル接続目合い間隔の許容限界

| 許容限界 |
|---|
| シャックル接続目合いの合計耐力 |
| $B_t$ |

(d)　接続用の治具

接続用の治具の破断評価は，接続用の治具に，破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを確認する評価方針としていることを踏まえ，接続用の治具の許容限界は，ＪＥＡＧ４６０１を準用し，「その他の支持構造物」の許容限界を適用し，許容応力状態$\mathrm{IV_AS}$から算出した許容応力を許容限界とする。ネットに作用する荷重は，ワイヤロープを介して接続用の治具に作用するため，評価部位は，接続用の治具であるコーナーガイドの溶接部及びアイプレートの溶接部とする。

接続用の治具の許容限界を表 5－5 に示す。

表 5－5　接続用の治具の許容限界

| 許容応力状態 | 許容限界* | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 引張 | 圧縮 | 曲げ | せん断 |
| $\mathrm{IV_AS}$ | $1.5f_t$* | $1.5f_c$* | $1.5f_b$* | $1.5f_s$* |

注記＊：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

b.　たわみ評価

防護ネットのたわみ評価は，防護ネットの飛来物の衝突による最大のたわみ量が外部事象防護対象施設との最小離隔距離未満であることを確認することから，防護ネットと外部事象防護対象施設の最小離隔距離$L_{min}$を許容限界として設定する。

防護ネットのたわみ評価の許容限界を表 5－6 に示す。

表 5－6　防護ネットのたわみ評価の許容限界

| 許容限界 |
|---|
| 防護ネットと外部事象防護対象施設の最小離隔距離 |
| $L_{min}$ |

(2)　許容限界の設定方法

a.　記号の定義

防護ネットの強度評価における許容限界の算出に用いる記号を表 5－7 に示す。

表 5－7　防護ネットの強度評価における許容限界の算出に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| $a_x$ | mm | ネット１目合いの展開方向の対角寸法 |
| $a_y$ | mm | ネット１目合いの展開直角方向の対角寸法 |
| b | mm | 飛来物の端面の長辺方向寸法 |
| $B_t$ | kN | シャックル接続目合いの合計耐力 |
| $B_x$ | kN | ネット展開方向の接続目合いの耐力 |
| $B_y$ | kN | ネット展開直角方向の接続目合いの耐力 |
| c | mm | 飛来物の端面の短辺方向寸法 |
| $E_i$ | kJ | ｉ番目の列におけるネットの吸収エネルギ |
| $E_{max}$ | kJ | ネット設置層数ｎを考慮した限界吸収エネルギ |
| $F_{lx}$ | kN | ネット１目合いの展開方向の破断荷重 |
| $F_{ly}$ | kN | ネット１目合いの展開直角方向の破断荷重 |
| $F_i$ | kN | ｉ番目の列におけるネットの作用力 |
| K | kN/m | ネット１目合いの展開方向の等価剛性 |
| $K_x$ | kN/m | ネット設置層数ｎを考慮したネット１目合いの展開方向の１列の等価剛性 |
| $K_x'$ | kN/m | ネット１層のネット１目合いの展開方向の１列の等価剛性 |
| $L_x$ | m | ネット展開方向寸法 |
| $L_y$ | m | ネット展開直角方向寸法 |
| $N_i$ | 個 | ｉ列目のネット展開直角方向目合い数 |
| $N_x$ | 個 | ネット展開方向目合い数 |
| $N_{xS}$ | 個 | ネット展開方向の一辺あたりのシャックル接続目合い数 |
| $N_y$ | 個 | ネット展開直角方向目合い数 |
| $N_{yS}$ | 個 | ネット展開直角方向の一辺あたりのシャックル接続目合い数 |
| n | 層 | ネット設置層数 |
| n’ | 層 | ネット接続用シャックルに取り付けるネット層数 |
| $P_i$ | kN | 設計飛来物衝突時にネットに発生するｉ番目の列におけるネットの張力 |
| $X_i$ | m | ｉ列目のネットの伸び |
| $\delta_i$ | m | ｉ番目の列におけるネットのたわみ量 |
| $\delta_{max1}$ | m | ネットの最大たわみ量 |
| $\theta_i$ | ° | ｉ番目の列におけるネットたわみ角 |
| $\theta_{max}$ | ° | ネットの最大たわみ角 |

b.　ネットに作用する外力エネルギ評価

ネットに作用する外力エネルギ評価においては，計算により算出するネットの限界吸収エネルギがネットに作用する外力エネルギ以上であることにより，ネットが破断しないことを確認する。ネット引張試験の結果から得られる目合い展開方向の限界伸び量によりネットの最大変形角が定まり，ネット最大変形角における吸収エネルギがネットの有する限界吸収エネルギ$E_{max}$となる。

限界吸収エネルギは，複数層を重ね合わせたネットを一体として扱ったモデルにて算出する。また，電中研報告書 N13014 及び電中研報告書 001 を参照し，ネットの変形及び吸収エネルギの分布を考慮したオフセット衝突位置での吸収エネルギを評価した結果，ネット最大たわみ時のネットの全長は飛来物のネットへの衝突位置によらずネット最大たわみ時展開方向の長さで一定であり，ネットに発生する張力も一定となることから，飛来物のネットへの衝突位置によらずネットから飛来物への反力も同等となり，オフセット位置への飛来物の衝突時の吸収エネルギは中央衝突時と同等となる。したがって，ネットに作用する外力エネルギ評価では中央衝突の場合にて評価を行う。

ネットの吸収エネルギは，電中研報告書 N14009 を参照し，飛来物が衝突した際，ネットの変形は同心円状に拡がることから，短辺側のネット寸法のうち小さい方の寸法を一辺とする正方形状のネットとして，ネットの吸収エネルギが小さくなるように評価する。

限界吸収エネルギは，ネット 1 目合いの展開方向の 1 列の等価剛性，展開方向寸法及びたわみ量から，以下のとおり算出される。限界吸収エネルギ算出におけるネットのモデル図を図 5－1 に示す。

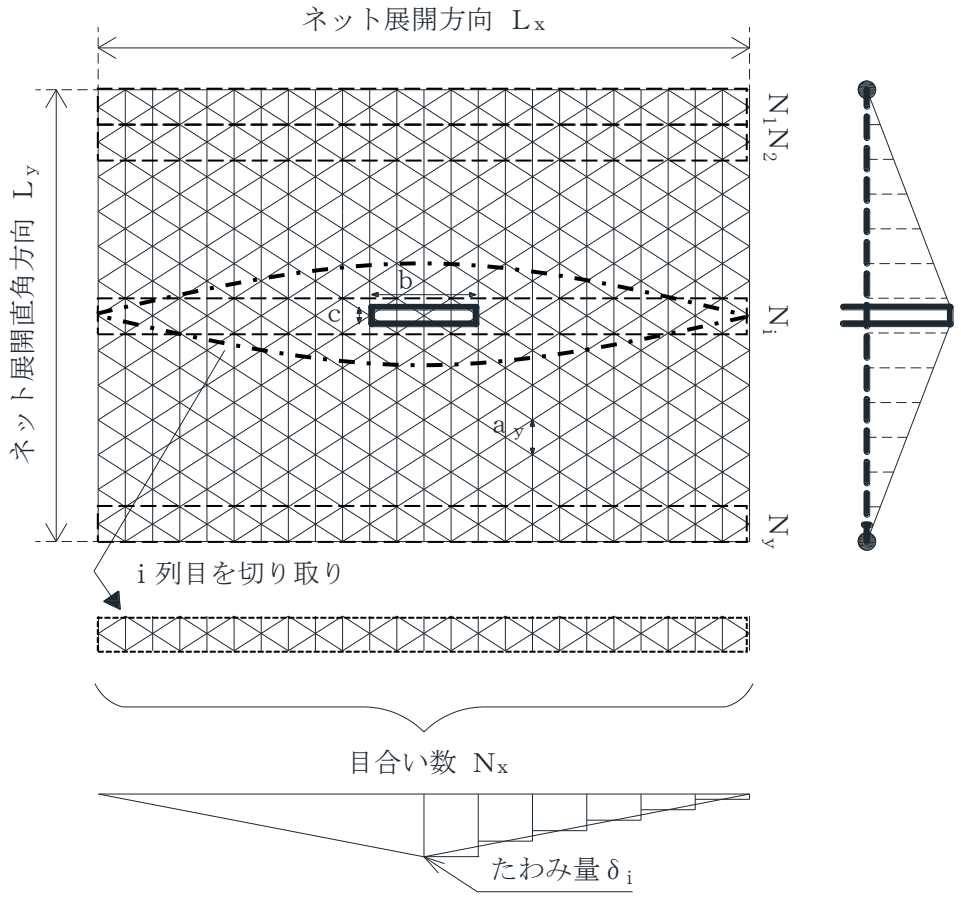



図 5－1　限界吸収エネルギ算出におけるネットのモデル図

図 5－1 に示すとおり，ネットの展開方向に 1 目合いごとに[　　]で囲った形に帯状に分割し，$N_1$から$N_y$までの各列が分担するエネルギを各列のたわみ量から算定し，それらを積算することによりネットの吸収するエネルギを算出し，ネットが吸収可能な限界吸収エネルギを算出する。

ただし，中央部の最大たわみが発生する列数は，飛来物の寸法及びネット目合いの対角寸法から算出されるネット展開直角方向目合い列数を考慮して設定する。飛来物の端部寸法（b × c）及びネット目合いの展開直角方向の対角寸法$a_y$を考慮し，最大たわみが発生する場合のネット展開直角方向目合い列数を以下のとおり算出する。ネットの吸収エネルギが小さくなるよう，目合い列数の算出に用いる飛来物の寸法として値の小さい寸法 c を適用し，最大たわみが生じる目合い列数を少なくすることにより，限界吸収エネルギが小さくなるように評価する。

$$\text{ネット展開直角方向目合い列数} = \frac{c}{a_y}$$

評価モデルとしては，展開方向に 1 目合いごとに帯状に分割するモデルとしており，限界吸収エネルギが小さく算出されるよう，三角形モデルとして評価を実施する。

ネットに作用する外力エネルギ評価の許容限界の算定フローを図 5－2 に示す。

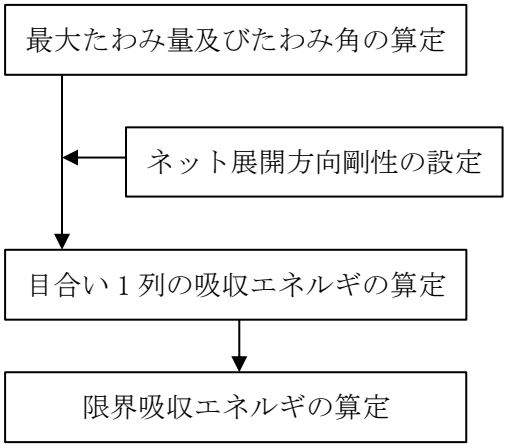
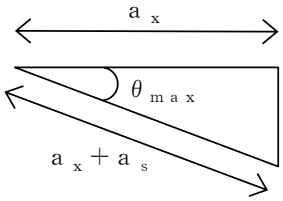



図５－２　ネットに作用する外力エネルギ評価の許容限界の算定フロー

ネット引張試験から，１目合いの展開方向の破断変位を設定する。ネット１目合いの展開方向の破断変位から算出する最大たわみ角から，飛来物が衝突した際の列の最大たわみ量$\delta_{max1}$は次式により算定される。

$$\delta_{max1}=\frac{L_x}{2}\cdot\tan\left(\theta_{max}\right)$$

$$\theta_{max}=\cos^{-1}\left(\frac{a_x}{a_x+a_s}\right)$$




ネットを構成するネット展開方向の目合い数$N_x$は，ネット展開方向寸法$L_x$及びネット１目合いの展開方向の対角寸法$a_x$から求める。ネット展開直角方向の目合い数$N_y$は，ネット展開直角方向寸法$L_y$及びネット１目合いの展開直角方向の対角寸法$a_y$から求める。ネットを構成する１目合いは，それぞれＫの等価剛性を持っているため，１列あたりばね定数Ｋを持つばねを$N_x$個直列に接続したものと考えることができる。そのため，１列あたりの剛性$K_x$’は，

$$L_x=L_y$$

$$N_x=\frac{1000\cdot L_x}{a_x}\ ,\ N_y=\frac{1000\cdot L_y}{a_y}$$

$$\text{ネット展開方向剛性}\ K_x'=\frac{K}{N_x}$$

となる。ただし，$N_x$，$N_y$の算出において限界吸収エネルギの値が小さくなるように$N_x$は保守的に切り上げ，$N_y$は保守的に切り捨てた値を用いる。また，ネット設置層数ｎを考慮したネット展開方向剛性$K_x$は，次式により算出される。

$$K_x = K_x' \times n$$

飛来物が衝突しなかった列のたわみ量$\delta_i$は，最大たわみ量$\delta_{max1}$から定着部のたわみ量0までの間を，非接触の列の数の分だけ段階的に減少していくと考える。ネットの最大たわみ量と最大たわみ角を図5－3に示す。

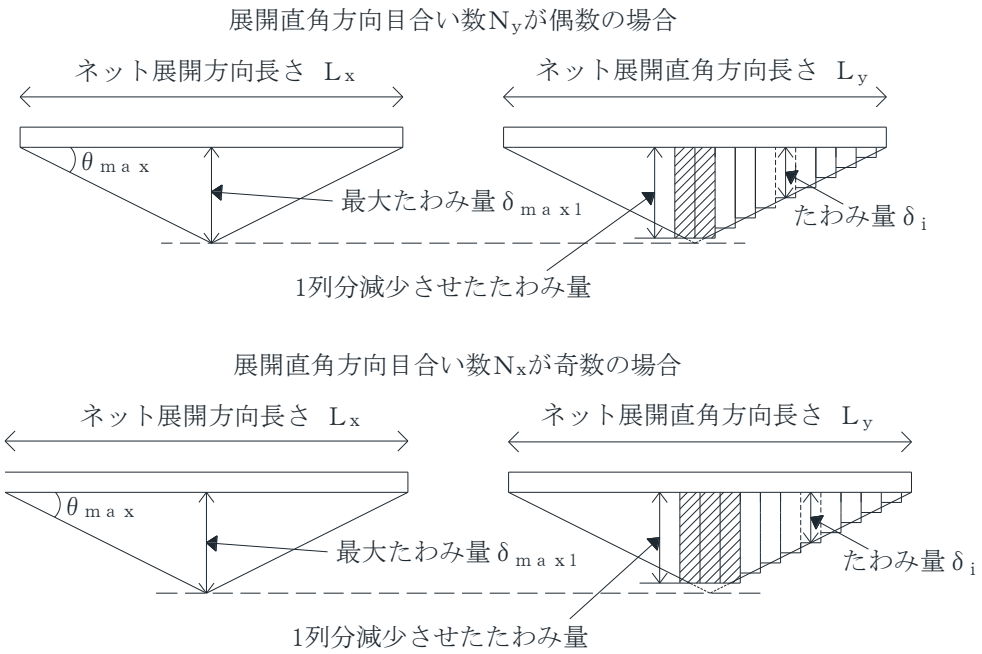



図5－3　ネットの最大たわみ量と最大たわみ角

ネットに飛来物が衝突した際のネットにかかる張力を，ネットの剛性及びネットの伸び量から算出する。ネットに作用する力のつり合いを図5－4に示す。

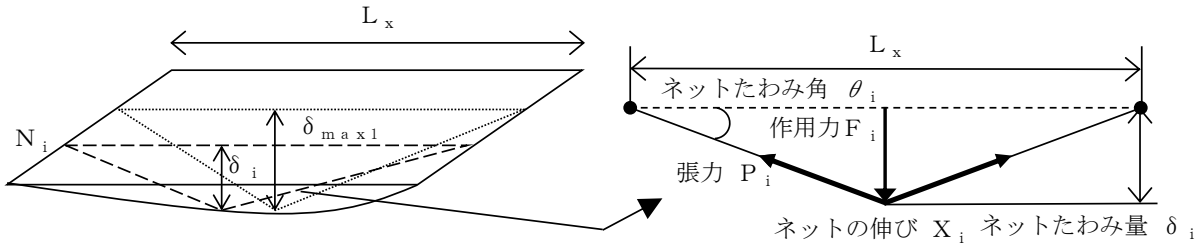


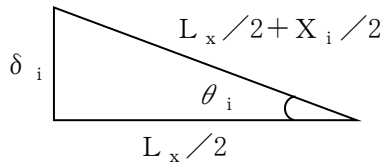

図5－4　ネットに作用する力のつり合い

i番目の列におけるネットの張力$P_i$は，飛来物の衝突位置の左右を分割して考えると，伸び量は$X_i$／2，剛性は$2K_x$となることから，

$$P_i = 2 \cdot K_x \cdot \left(\frac{X_i}{2}\right)$$

$$=K_x \cdot X_i$$

となる。また，ｉ番目の列におけるネットの作用力$F_i$は変位量とたわみ量の関係から，




$$F_i=2 \cdot P_i \cdot \sin(\theta_i)$$

$$=2 \cdot K_x \cdot X_i \cdot \sin(\theta_i)$$

$$=2 \cdot K_x \cdot L_x \cdot (\tan(\theta_i)-\sin(\theta_i))$$

$$=4 \cdot K_x \cdot \delta_i \cdot \left(1-\frac{L_x}{\sqrt{4 \cdot \delta_i^2+L_x^2}}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.1)$$

ネットに飛来物が衝突した際のネットにかかる張力$F_i$を積分することによりｉ番目の列における吸収エネルギ$E_i$は次式で示される。

$$E_i=\int_0^{\delta_i} F_i \cdot d \cdot \delta_i$$

$$=\int_0^{\delta_i} 4 \cdot K_x \cdot \delta_i \cdot \left(1-\frac{L_x}{\sqrt{4 \cdot \delta_i^2+L_x^2}}\right) \cdot d \cdot \delta_i$$

$$=2 \cdot K_x \cdot \delta_i^2-K_x \cdot L_x\left(\sqrt{4 \cdot \delta_i^2+L_x^2}-L_x\right) \quad \cdots\cdots \quad (5.2)$$

以上から，ネット設置層数ｎを考慮した限界吸収エネルギ$E_{max}$は，各列の吸収エネルギ$E_i$を第１列から第$N_y$列まで積算することにより求められる。

$$E_{max}=\sum_{i=1}^{N_y} E_i$$

$$=\sum_{i=1}^{N_y}\left(2 \cdot K_x \cdot \delta_i^2-K_x \cdot L_x\left(\sqrt{4 \cdot \delta_i^2+L_x^2}-L_x\right)\right)$$

$$\cdots\cdots \quad (5.3)$$

c.　シャックル接続目合い間隔の妥当性評価

シャックル接続目合い間隔の妥当性評価においては，ネット接続用シャックルが接続するネット目合いの合計耐力$B_t$が，「6.1(3)c.　破断評価」にて算出される最大衝撃荷重$F_a$以上であることにより，シャックル接続目合いが破断しないことを確認する。

接続目合いの合計耐力$B_t$は，ネット展開方向の接続目合いの耐力$B_x$とネット展開直角方向の接続目合いの耐力$B_y$を足し合わせることにより求める。

$$B_x = F_{1y} \cdot N_{xS} \cdot n' \cdot 2$$

$$B_y = F_{1x} \cdot N_{yS} \cdot n' \cdot 2$$

$$B_t = B_x + B_y$$

ここで，ネット接続用シャックルに取り付けるネット層数ｎ’は，最大 2 層のためｎ’＝2 とする。

なお，シャックル接続目合い間隔の妥当性評価用のネット寸法は，シャックル接続数が少なくなるよう，ネットタイプⅠ，Ⅱの展開及び展開直角方向寸法の最小値を用いて設定し，接続目合いの合計耐力が小さくなるように評価する。

また，シャックル接続目合い間隔は，電中研報告書 N14009 を参考に，ネット展開方向が 3 目合いに 1 つ，ネット展開直角方向が 4 目合いに 1 つ接続することを基本とする。

5.2　竜巻防護鋼製フードの許容限界

(1)　衝突評価

飛来物による衝撃荷重に対し，防護対策施設を構成する部材が外部事象防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物を貫通させないために，竜巻防護鋼製フードの防護鋼板が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，防護鋼板の最小部材厚さを許容限界として設定する。

(2)　構造強度評価

上載する防護鋼板の自重及び防護鋼板への飛来物の衝突時の荷重に対し，これらを支持する機能を維持可能な構造強度を有することの確認並びに，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，防護鋼板及び架構自体の転倒及び脱落を生じないことの確認として，設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，終局状態に至るようなひずみが生じないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，鋼材の破断ひずみを許容限界として設定する。鋼材の破断ひずみは，ＪＩＳに規定されている伸びの下限値を基に設定するが，NEI07-13 において，TF（多軸性係数）を[redacted]とすることが推奨されていることを踏まえ，安全余裕として TF＝[redacted]を考慮して設定する。

5.3　竜巻防護鉄筋コンクリート製フードの許容限界

(1)　衝突評価

飛来物による衝撃荷重に対し，防護対策施設を構成する部材が外部事象防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物を貫通させないために，竜巻防護鉄筋コンクリート製フードの壁及びスラブが飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ,壁及びスラブの最小部材厚さを許容限界として設定する。

(2)　構造強度評価

壁及びスラブへの飛来物の衝突時の荷重に対し，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，壁及びスラブの脱落が生じないことの確認として，壁及びスラブの裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，壁及びスラブの最小部材厚さを許容限界として設定する。

また，設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，施設を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じないことの確認として，壁及びスラブの鉄筋に終局状態に至るようなひずみが生じないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，鉄筋の破断ひずみを許容限界として設定する。鉄筋の破断ひずみは，ＪＩＳに規定されている伸びの下限値を基に設定するが，NEI07-13 において，TF（多軸性係数）を[redacted]とすることが推奨されていることを踏まえ，安全余裕として TF＝[redacted]を考慮して設定する。

5.4　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の許容限界

(1)　衝突評価

飛来物による衝撃荷重に対し，防護対策施設を構成する部材が外部事象防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物を貫通させないために，非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の防護鋼板が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，防護鋼板の最小部材厚さを許容限界として設定する。

(2)　構造強度評価

上載する防護鋼板の自重及び防護鋼板への飛来物の衝突時の荷重に対し，これらを支持する機能を維持可能な構造強度を有することの確認並びに，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，防護鋼板及び架構自体の転倒及び脱落を生じないことの確認として，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，終局状態に至るようなひずみが生じないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，鋼材の破断ひずみを許容限界として設定する。鋼材の破断ひずみは，ＪＩＳに規定されている伸びの下限値を基に設定するが，NEI07-13 において，TF（多軸性係数）を[redacted]とすることが推奨されていることを踏まえ，安全余裕として TF＝[redacted]を考慮して設定する。

5.5　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の許容限界

(1)　衝突評価

飛来物による衝撃荷重に対し，防護対策施設を構成する部材が外部事象防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物を貫通させないために，非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の防護鋼板が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，防護鋼板の最小部材厚さを許容限界として設定する。

(2)　構造強度評価

上載する防護鋼板の自重及び防護鋼板への飛来物の衝突時の荷重に対し，これらを支持する機能を維持可能な構造強度を有することの確認並びに，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，防護鋼板及び架構自体の転倒及び脱落を生じないことの確認として，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，終局状態に至るようなひずみが生じないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，鋼材の破断ひずみを許容限界として設定する。鋼材の破断ひずみは，ＪＩＳに規定されている伸びの下限値を基に設定するが，NEI07-13 において，TF（多軸性係数）を[redacted]とすることが推奨されていることを踏まえ，安全余裕として TF＝[redacted]を考慮して設定する。

5.6　建屋内防護壁の許容限界

5.6.1　原子炉補機冷却海水系配管防護壁及び換気空調系ダクト防護壁（No.25，　No.66，No.67，　No.74 及び No.76）の許容限界

(1)　衝突評価

飛来物による衝撃荷重に対し，防護対策施設を構成する部材が外部事象防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物を貫通させないために，原子炉補機冷却海水系配管防護壁及び換気空調系ダクト防護壁（No.25，　No.66，　No.67，　No.74 及び No.76）の防護鋼板が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，防護鋼板の最小部材厚さを許容限界として設定する。

(2)　構造強度評価

上載する防護鋼板の自重及び防護鋼板への飛来物の衝突時の荷重に対し，これらを支持する機能を維持可能な構造強度を有することの確認並びに，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，防護鋼板及び架構自体の転倒及び脱落を生じないことの確認として，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，終局状態に至るようなひずみが生じないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，鋼材の破断ひずみを許容限界として設定する。鋼材の破断ひずみは，ＪＩＳに規定されている伸びの下限値を基に設定するが，NEI07-13 において，TF（多軸性係数）を[redacted]とすることが推奨されていることを踏まえ，安全余裕として TF=[redacted]を考慮して設定する。

5.6.2　換気空調系ダクト防護壁（No.9 及び No.10）の許容限界

(1)　衝突評価

飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，防護対策施設を構成する部材が外部事象防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物を貫通させないために，換気空調系ダクト防護壁（No.9 及び No.10）の防護鋼板に終局状態に至るようなひずみが生じないことを確認する評価方針としていることを踏まえ，鋼材の破断ひずみを許容限界として設定する。鋼材の破断ひずみは，ＪＩＳに規定されている伸びの下限値を基に設定するが，　NEI07-13 において，TF（多軸性係数）を[redacted]とすることが推奨されていることを踏まえ，安全余裕として TF=[redacted]を考慮して設定する。

(2)　構造強度評価

上載する防護鋼板の自重及び防護鋼板への飛来物の衝突時の荷重に対し，これらを支持する機能を維持可能な構造強度を有することの確認並びに，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，防護鋼板及び架構自体の転倒及び脱落を生じないことの確認として，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，終局状態に至るようなひずみが生じないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，鋼材の破断ひずみを許容限界として設定する。鋼材の破断ひずみは，ＪＩＳに規定されている伸びの下限値を基に設定するが，NEI07-13 において，TF（多軸性係数）を[redacted]とすることが推奨されていることを踏まえ，安全余裕として TF=[redacted]を考慮して設定する。

5.7　竜巻防護扉の許容限界

(1)　衝突評価

飛来物による衝撃荷重に対し，防護対策施設を構成する部材が外部事象防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物を貫通させないために，竜巻防護扉の表側鋼板が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，表側鋼板の最小部材厚さを許容限界として設定する。

(2)　構造強度評価

表側鋼板への飛来物の衝突時の荷重に対し，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，竜巻対策扉の転倒及び脱落を生じないことの確認として，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，終局状態に至るようなひずみが生じないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，鋼材の破断ひずみを許容限界として設定する。鋼材の破断ひずみは，ＪＩＳに規定されている伸びの下限値を基に設定するが，NEI07-13 において，TF（多軸性係数）を[redacted]とすることが推奨されていることを踏まえ，安全余裕として TF＝[redacted]を考慮して設定する。

また，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，カンヌキの破断による転倒及び脱落が生じないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，「鋼構造設計規準・同解説－許容応力度設計法－」に準じて短期許容応力度を許容限界として設定する。

6.　強度評価方法

評価手法は，以下に示す解析法により，適用性に留意の上，規格及び基準類や既往の文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

・定式化された評価式を用いた解析法

・FEM 等を用いた解析法

6.1　竜巻防護ネットの強度評価

(1)　評価方針

a.　ネットの限界吸収エネルギの算出においては，ネットの展開方向に 1 目合いごとに帯状に分割したネット 1 目合いの展開方向の 1 列の等価剛性を求め，各列が分担するエネルギを各列のたわみ量及び等価剛性から算定し，それらを積算することによりネットの吸収エネルギを算出する。

ここで，ネット 1 目合いの展開方向の 1 列の等価剛性については，ネットを構成する 1 目合いがそれぞれＫの等価剛性を持っているため，1 列あたりばね定数Ｋを持つばねを$N_x$個直列に接続したものと考えることができる。

b.　風圧力による荷重$W_W$によりネットに作用する荷重は，ネット全体に等分布荷重として作用するものであり，ネット展開直角方向に対しては荷重が均一となるよう作用させる。一方，ネット展開方向に対しては，設計モデル上の制約により均一に荷重を作用させることが困難であるため，保守的に外力エネルギ量が大きくなるよう，風圧力による荷重$W_W$が全てネット展開方向寸法$L_x$の中央に作用するとして，ネットにかかる作用力の式を用いて 1 列あたりの風圧力による荷重によりネットに作用する外力エネルギを算出し，列数倍することでネット全体が風圧力による荷重により受ける外力エネルギを算出する。

なお，風圧力による荷重は，風圧力が大きくなるよう，ネットタイプⅠ，Ⅱのうち，大きい方の面積を用いて算出する。

c.　ネットに作用する飛来物の衝撃荷重について，ネットのたわみ量と飛来物の運動エネルギから飛来物による衝撃荷重の関係式を用いて算出する。ネットに作用する衝撃荷重算定については，飛来物の運動エネルギに加え，風圧力による荷重によりネットに作用する外力エネルギも考慮する。

d.　防護ネットの飛来物衝突時のたわみ量について，ネットの最大たわみ量と，ワイヤロープに発生する張力から求めるワイヤロープのたわみ量を含めた防護ネット全体のたわみ量を算出する。

なお，ネットのたわみ量は，電中研報告書 N14009 を参照し，飛来物が衝突した際，ネットの変形は同心円状に拡がることから，短辺側のネット寸法から算出する。ただし，保守的にネットたわみ量が大きくなるよう，たわみ評価用のネット展開方向寸法$L_{x2}$及びネット展開直角方向寸法$L_{y2}$は，ネットタイプⅠ，Ⅱのうち，短辺側寸法が大きいネットタイプの寸法を用いる。

(2)　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 6－1 に示す。

表 6－1　評価対象部位及び評価内容

| 評価対象部位 | 評価内容 |
|---|---|
| ネット | ・ネットに作用する外力エネルギ<br>・引張荷重<br>・たわみ |
| ワイヤロープ | ・引張荷重<br>・たわみ |
| シャックル | ・せん断荷重<br>・シャックル接続目合い間隔 |
| 接続用の治具* | ・引張応力<br>・圧縮応力<br>・曲げ応力<br>・せん断応力 |

注記＊：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

(3)　強度計算

a.　記号の定義

ネット，ワイヤロープ，シャックル，接続用の治具の強度評価に用いる記号を表6－2に示す。

表６－２（1/3）　防護ネットの強度評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| $A_{cs}$ | $mm^2$ | cs 部の断面積 |
| $A_{ct}$ | $mm^2$ | ct 部の断面積 |
| $A_{is}$ | $mm^2$ | is 部の断面積 |
| $A_{it}$ | $mm^2$ | it 部の断面積 |
| $B_t$ | kN | シャックル接続目合いの合計耐力 |
| $E_f$ | kJ | 飛来物衝突時にネットに作用する外力エネルギ |
| $E_{max}$ | kJ | ネット設置層数ｎを考慮した限界吸収エネルギ |
| $E_t$ | kJ | ネット設置層数ｎを考慮したネットに作用する全外力エネルギ |
| $E_w$ | kJ | 風圧力による荷重によりネットに作用する外力エネルギ |
| $F_{1x}$ | kN | ネット１目合いの展開方向の破断荷重 |
| $F_2$ | kN | ネットに飛来物が衝突した際に生じるネット目合い１箇所が受ける衝撃荷重の最大値 |
| $F_a$ | kN | ネットに飛来物が衝突した際に生じる衝撃荷重の最大値 |
| $F_i$ | kN | 設計飛来物衝突時のｉ番目の列におけるネットへの作用力 |
| $F_W$ | kN | 風圧力による荷重によるネットのたわみ量算出用荷重 |
| $f_b$* | MPa | 接続用の治具の許容曲げ応力 |
| $f_c$* | MPa | 接続用の治具の許容圧縮応力 |
| $K_x$ | kN/m | ネット設置層数ｎを考慮したネット１目合いの展開方向の１列の等価剛性 |
| $L_b$ | m | 変形前のワイヤロープ長さ |
| $L_{bx}$ | m | 架構長辺部のコーナーガイド間の長さ |
| $L_{by}$ | m | 架構短辺部のコーナーガイド間の長さ |
| $L_n$ | m | ネットたわみ量算出用のネット寸法 |
| $L_x$ | m | ネット展開方向寸法 |
| $L_{x2}$ | m | たわみ評価用のネット展開方向寸法 |
| $L_{y2}$ | m | たわみ評価用のネット展開直角方向寸法 |
| $l_{ct}$ | mm | コーナーガイド取付プレートの長さ |
| $l_{cs}$ | mm | コーナーガイドの長さ |
| $l_{it}$ | mm | アイプレートの部材長さ |
| $l_{it1}$ | mm | アイプレートの it 部側固定端から荷重点までの距離 |
| $l_{it2}$ | mm | アイプレートの is 部側固定端から荷重点までの距離 |
| $M_{it}$ | N･mm | it 部の曲げモーメント |

表６－２（2/3）　防護ネットの強度評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| m | kg | 飛来物の質量 |
| $N_y$ | 個 | ネット展開直角方向目合い数 |
| n | 層 | ネット設置層数 |
| $n_1$ | 個 | 飛来物の衝突位置周辺のネット１層あたりの目合い数 |
| $P_{1a}$ | N | コーナーガイドに作用する荷重（架構平面方向） |
| $P_{1b}$ | N | コーナーガイドに作用する荷重（架構奥行方向） |
| $P_{2a}$ | N | アイプレートに作用する荷重（架構軸方向） |
| $P_{2ay}$ | N | アイプレートに作用する荷重（架構軸直角方向） |
| $P_{2b}$ | N | アイプレートに作用する荷重（架構奥行方向） |
| $P_N$ | kN | ネット接続用シャックル１箇所あたりの作用荷重 |
| $P_R$ | kN | ロープ接続用シャックル１箇所あたりの作用荷重 |
| $P_x$ | N | コーナーガイドに作用する荷重（架構長辺方向） |
| $P_y$ | N | コーナーガイドに作用する荷重（架構短辺方向） |
| $R_{ct}$ | mm | コーナーガイドの半径 |
| $R_{it}$ | N | it 部の圧縮荷重 |
| S | m | 変形後のワイヤロープ長さ |
| $S_x$ | m | 架構長辺方向と平行に配置されているワイヤロープの変形後の長さ |
| $S_y$ | m | 架構短辺方向と平行に配置されているワイヤロープの変形後の長さ |
| T’ | kN | ネットに発生する張力の合計の最大値 |
| $T_1$’ | kN | ワイヤロープ１本に作用する張力 |
| $v_1$ | m/s | 飛来物衝突時の速度 |
| $W_W$ | kN | 風圧力による荷重 |
| $Z_{cs}$ | $mm^3$ | cs 部の断面係数 |
| $Z_{ct}$ | $mm^3$ | ct 部の断面係数 |
| $Z_{it}$ | $mm^3$ | it 部の断面係数 |
| δ’ | m | 飛来物衝突時のワイヤロープの変形による伸び量 |
| $\delta_a$ | m | 風圧力による荷重によるネットのたわみ量 |
| $\delta_i$ | m | ｉ番目の列におけるネットのたわみ量 |
| $\delta_{max1}$ | m | ネットの最大たわみ量 |
| $\delta_{max2}$ | m | 限界オフセット時における飛来物の累積移動量 |
| $\delta_t$ | m | ワイヤロープのたわみ量を含めた防護ネット全体のたわみ量 |
| $\delta_w$ | m | ワイヤロープのたわみ量 |
| $\delta_{wx}$ | m | 架構長辺方向に平行に配置されているワイヤロープの変形後のたわみ量 |

表６－２（3/3）　防護ネットの強度評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| $\delta_{wy}$ | m | 架構短辺方向に平行に配置されているワイヤロープの変形後のたわみ量 |
| $\sigma_{cs}$ | MPa | cs 部に対する垂直応力とせん断応力の組合せ応力 |
| $\sigma_{csb}$ | MPa | cs 部に対する曲げ応力 |
| $\sigma_{ct}$ | MPa | ct 部に対する垂直応力とせん断応力の組合せ応力 |
| $\sigma_{cta}$ | MPa | ct 部に対する引張応力 |
| $\sigma_{ctb}$ | MPa | ct 部に対する曲げ応力 |
| $\sigma_{it}$ | MPa | it 部に対する垂直応力とせん断応力の組合せ応力 |
| $\sigma_{itb}$ | MPa | it 部に対する曲げ応力 |
| $\sigma_{itc}$ | MPa | it 部に対する圧縮応力 |
| $\tau_{cs}$ | MPa | cs 部に対するせん断応力 |
| $\tau_{ct}$ | MPa | ct 部に対するせん断応力 |
| $\tau_{it}$ | MPa | it 部に対するせん断応力 |
| $\theta_1$ | ° | 架構長辺方向に平行なワイヤロープの水平投影たわみ角 |
| $\theta_2$ | ° | 架構短辺方向に平行なワイヤロープの水平投影たわみ角 |
| $\theta_{max}$ | ° | ネットの最大たわみ角 |
| $\theta_{wx}$ | ° | 架構長辺方向に平行なワイヤロープのたわみ角 |
| $\theta_{wy}$ | ° | 架構短辺方向に平行なワイヤロープのたわみ角 |
| $\theta_x$ | ° | ネット展開方向に平行のネットたわみ角 |
| $\theta_y$ | ° | ネット展開直角方向に平行のネットたわみ角 |

b.　ネットに作用する外力エネルギ評価

ネットに作用する外力エネルギ評価においては，電中研評価式を参照して，ネットが異方性材料であることを考慮した吸収エネルギ算定のモデル化を行い，風圧力による荷重及び飛来物による衝撃荷重による外力エネルギがネットの有する限界吸収エネルギを下回ることを確認する。

評価においては，複数層の重ね合わせたネットを一体として考えたモデルにて評価を実施する。

式(5.3)より，$E_{max}$は以下のとおりである。

$$E_{max}=\sum_{i=1}^{N_y}\left(2\cdot K_x\cdot\delta_i^{\,2}-K_x\cdot L_x\left(\sqrt{4\cdot\delta_i^{\,2}+L_x^{\,2}}-L_x\right)\right)$$

風圧力による荷重$W_W$は，ネット全体に等分布荷重として作用するものであるため，実現象に合わせネット展開直角方向に対しては荷重が等分布となるよう作用させる。一方，ネット展開方向に対しては，評価モデル上の制約により均一に荷重を作用させることが困難であるため，ネットに作用する外力エネルギが保守的に大きくなるよう，$W_W$が全てネット展開方向$L_x$の中央に作用するとして，ネットにかかる作用力の式を用いて 1 列あたりの風圧力による荷重によりネットが受ける外力エネルギを算出し，列数倍することでネット全体が風圧力による荷重により受ける外力エネルギを算出する。

評価条件である$K_x$及び$L_x$並びに風圧力による荷重から算出する$F_W$を式(5.1)の$F_i$に代入し，$F_W$と$W_W$が近似し，かつ$F_W$が$W_W$以上となるよう，風圧力による荷重によるネットのたわみ量$\delta_a$を導出する。

$$F_W=N_y\cdot 4\cdot K_x\cdot\delta_a\left(1-\frac{L_x}{\sqrt{4\cdot\delta_a^{\,2}+L_x^{\,2}}}\right)$$

ただし，$F_W\geqq W_W$

上式にて導出された$\delta_a$を式(5.3)において，展開方向の 1 列あたりの風圧力による荷重によりネットが受ける外力エネルギを列数倍する以下の式に代入することにより，風圧力による荷重によりネットに作用する外力エネルギ$E_w$が算出される。

$$E_w=N_y\cdot\left(2\cdot K_x\cdot\delta_a^{\,2}-K_x\cdot L_x\left(\sqrt{4\cdot\delta_a^{\,2}+L_x^{\,2}}-L_x\right)\right)$$

飛来物の衝突によりネットに作用する外力エネルギ$E_f$としては，衝突時の飛来物の運動エネルギとして，以下より求められる。

$$E_f=\frac{1}{2}\cdot m\cdot v_1^{\,2}$$

飛来物の飛来速度は，水平の飛来速度にて算出する。また，飛来物がネットに対して斜め方向から衝突する場合は，飛来物が衝突後に回転し，ネットと飛来物の衝突面積が大きくなるため，ネットに局部的に作用する荷重は小さくなる。したがって，飛来物の衝突方向は，ネットに局部的に作用する荷重が大きくなるようにネットに対して垂直に入射するものとし，その飛来速度は水平最大飛来速度を用いる。

以上から，ネット設置層数ｎを考慮したネットに作用する全外力エネルギ$E_t$は以下のとおり算出される。

$$E_t = E_f + E_w$$

c.　破断評価

(a)　ネットの破断評価

ネットに飛来物が衝突した際の衝撃により生じる引張荷重による破断評価モデルを図6－1に示す。ネット構造及び飛来物の大きさを考慮し，ネットの目合い数が最小となるモデル化を行う。衝突位置周辺の目合い数はネット１層あたり$n_1$となる。

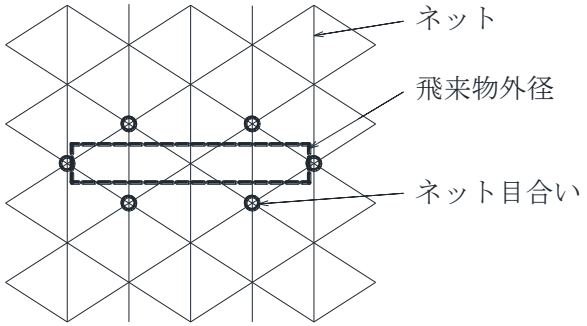



図６－１　ネットの破断評価モデル

ネットに飛来物が衝突した際に生じる衝撃荷重の最大値$F_a$は，「2.3　荷重及び荷重の組合せ」にて算出した式(2.8)のたわみ量と飛来物による衝撃荷重の関係式を用いて算出する。

飛来物の衝突による荷重に加え，風圧力による荷重を考慮するため，$E_f$を$E_t$と置き換え，ネットの最大たわみ量は，限界オフセット時の飛来物の累積移動量$\delta_{max2}$を用いて，式(3.8)より

$$F_a = \frac{8 \cdot E_t}{3 \cdot \delta_{max2}}$$

となる。

飛来物が防護ネットに衝突した場合，飛来物の衝突位置周辺のネットの１層あたりの目合い数を$n_1$とすると，衝撃荷重を受け止めるネットの目合い数は，ネット設置層数を考慮し，$n_1 \times n$箇所となり，目合い１箇所あたりの衝撃荷重の最大値は，

$$F_2 = F_a \cdot \frac{1}{n_1 \cdot n}$$

となる。

(b) ワイヤロープの破断評価

ネットとワイヤロープの接続構造からワイヤロープに作用する荷重を導出する。

ワイヤロープの設計において，ワイヤロープに発生する荷重として以下を考慮する。

①風圧力によりネットに作用する荷重

②飛来物の衝突によりネットに作用する衝撃荷重

防護ネットは，4 本のワイヤロープを U 字に設置し，さらにワイヤロープが接続用の治具のコーナーガイドにより拘束されない構造としている。

風圧力による荷重及び飛来物による衝撃荷重によりネットに作用する衝撃荷重の最大値$F_a$が集中荷重として作用するとしてモデル化すると，飛来物が衝突する場合のネットに発生する張力の合計である張力T’は，図 6－2 に示すネット及びワイヤロープに発生する力のつり合いより以下のとおり算出される。

ここで，動的応答倍率による係数 1.52 を考慮する。

$$T' = \frac{F_a}{2 \cdot \sin\theta_{max}} \cdot 1.52$$

ここで，$\theta_{max}$は以下の式で求められる。

$$\theta_{max} = \tan^{-1}\frac{2 \cdot \delta_{max1}}{L_x}$$

図 6－2 より，ワイヤロープは，ネット展開方向 2 辺とネット展開直角方向 1 辺，又は，ネット展開直角方向 2 辺とネット展開方向 1 辺を 1 本のワイヤロープで U 字形に計 2 本設置し，このワイヤロープと対称に設置したワイヤロープとの合計 4 本でネットを支持することにより，展開方向及び展開直角方向ともにワイヤロープで支持されていることから張力が一定となるため，ワイヤロープ 1 本が負担する張力はT’／4 と設定する。

ワイヤロープ 1 本に発生する張力$T_1$’は

$$T_1' = \frac{T'}{4} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (6.1)$$

と算出される。

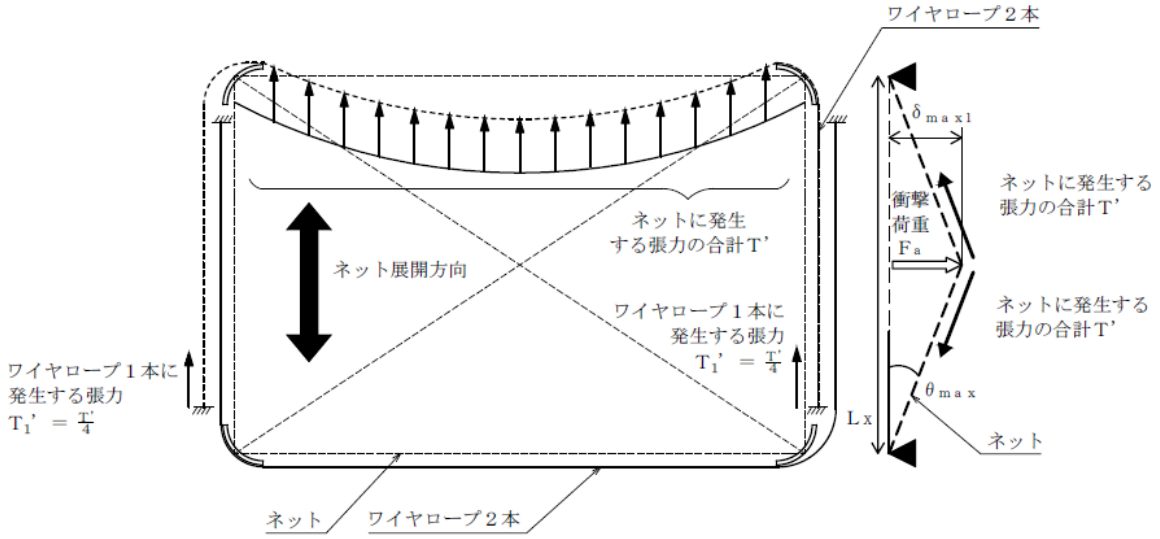



図６－２　ネット及びワイヤロープに発生する力のつり合い
（ネット平面図及び断面図）

(c)　シャックルの破断評価

イ．　ロープ接続用シャックル

ロープ接続用シャックルには，２ 本のワイヤロープが接続される。ロープ接続用シャックルは，ワイヤロープの引張荷重が作用する場合においても破断しないことを確認することから，引張荷重の最大値としてワイヤロープに発生する張力$T_1'$に２本分を乗じた作用荷重$P_R$により評価を実施する。

$$P_R = T_1' \cdot 2$$

ロ．　ネット接続用シャックル

（イ）　ネット接続用シャックル

ネット接続用シャックルは，ネットを最大２層取り付ける場合においても破断しないことを確認することから，引張荷重の最大値としてネット１目合いの展開方向の破断荷重$F_{1x}$に２層分を乗じた作用荷重$P_N$により評価を実施する。

$$P_N = F_{1x} \cdot 2$$

（ロ）　シャックル接続目合い間隔の妥当性評価

シャックル接続目合い間隔の妥当性評価においては，最大衝撃荷重$F_a$が，ネット接続用シャックルが接続するネット目合いの合計耐力$B_t$を下回ることを確認する。

(d)　接続用の治具の破断評価

イ．　コーナーガイド

ワイヤロープは，設置するネット枚数に係わらず2本設置するため，コーナーガイドの溶接部にかかる応力は，ワイヤロープ2本を考慮し評価する。

ここで，ワイヤロープはたわみによりコーナーガイドに対して，$\theta_1$及び$\theta_2$の水平投影たわみ角を有することから，コーナーガイドへ作用する荷重はこのたわみ角を考慮する。

ネットのたわみとワイヤロープのたわみ角の関係を図 6－3 に，ワイヤロープのたわみ図を図6－4に示す。

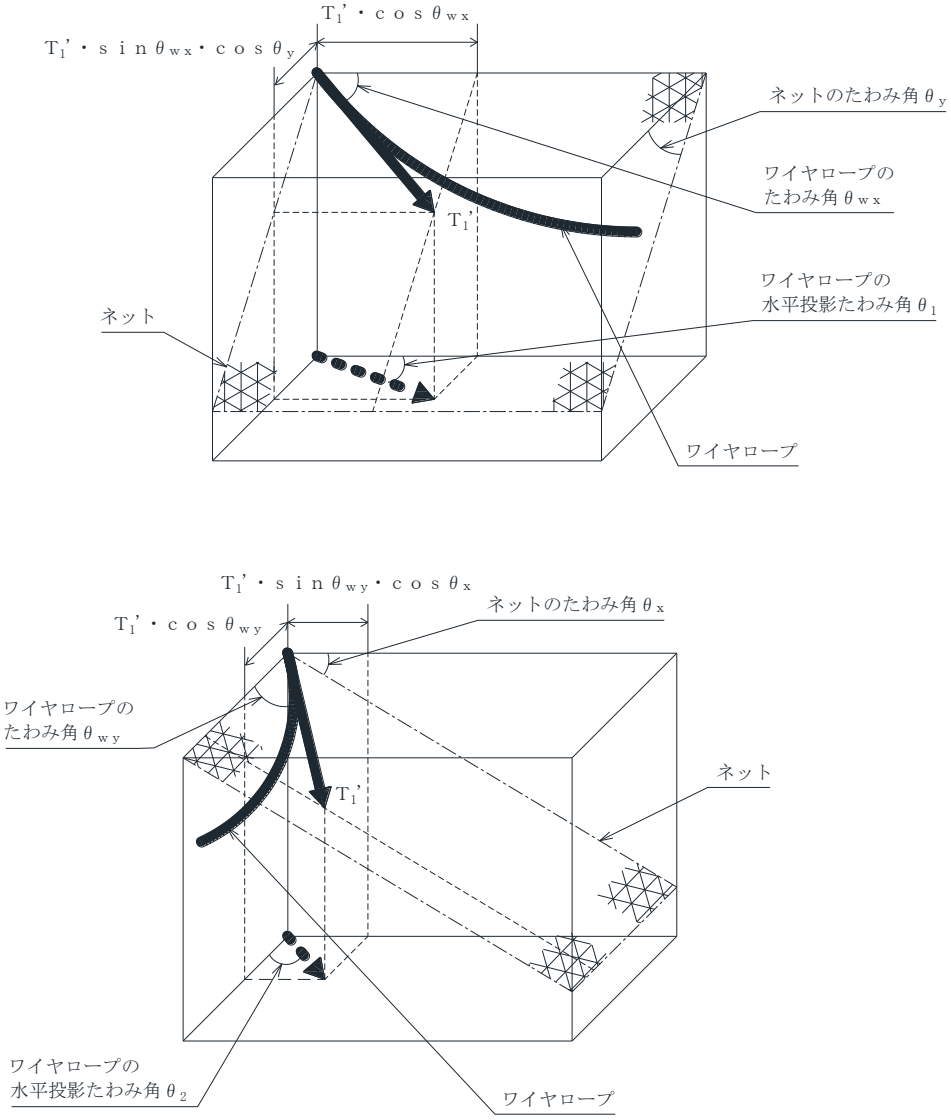



図6－3　ネットのたわみとワイヤロープのたわみ角の関係

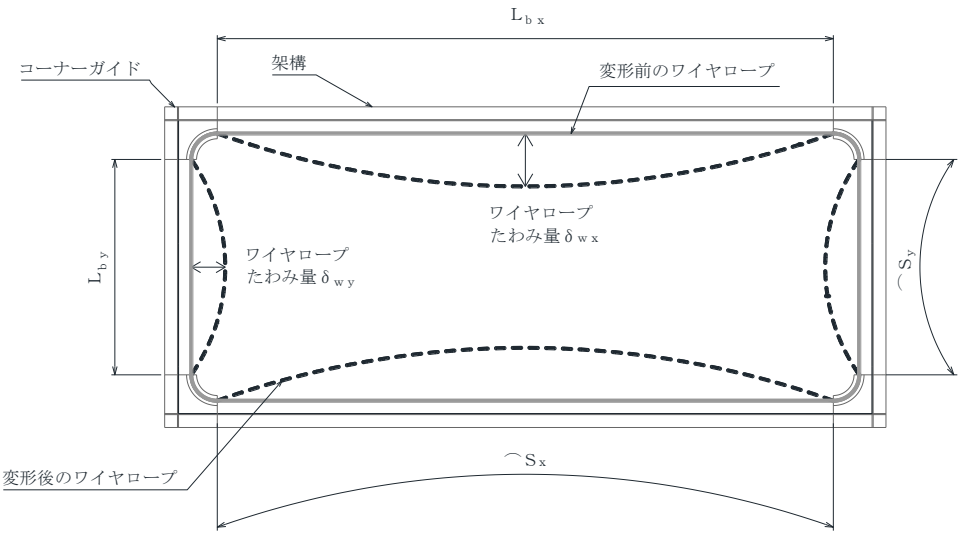



図 6－4　ワイヤロープのたわみ図

図 6－3 及び図 6－4 より，架構長辺に平行なワイヤロープの水平投影たわみ角 $\theta_1$ は，

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{T_1' \cdot \sin\theta_{wx} \cdot \cos\theta_y}{T_1' \cdot \cos\theta_{wx}}\right)$$

$$= \tan^{-1}\left(\tan\theta_{wx} \cdot \cos\theta_y\right)$$

より求まる。

ただし，$\theta_y$，$\theta_{wx}$は以下の式で求められる。

$$\theta_y = \tan^{-1}\left(\frac{2 \cdot \delta_{max1}}{L_{y2}}\right)$$

$$\theta_{wx} = \cos^{-1}\frac{1}{\sqrt{1+16 \cdot \left(\frac{\delta_{wx}}{L_{bx}}\right)^2}}$$

また，架構短辺方向に平行なワイヤロープの水平投影たわみ角 $\theta_2$は，

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{T_1' \cdot \sin\theta_{wy} \cdot \cos\theta_x}{T_1' \cdot \cos\theta_{wy}}\right)$$

$$= \tan^{-1}\left(\tan\theta_{wy} \cdot \cos\theta_x\right)$$

より求まる。

ただし，$\theta_x$，$\theta_{wy}$は以下の式で求められる。

$$\theta_x = \tan^{-1}\left(\frac{2 \cdot \delta_{max1}}{L_{x2}}\right)$$

$$\theta_{wy} = \cos^{-1}\frac{1}{\sqrt{1+16 \cdot \left(\frac{\delta_{wy}}{L_{by}}\right)^2}}$$

コーナーガイドの荷重状態を図6－5に示す。

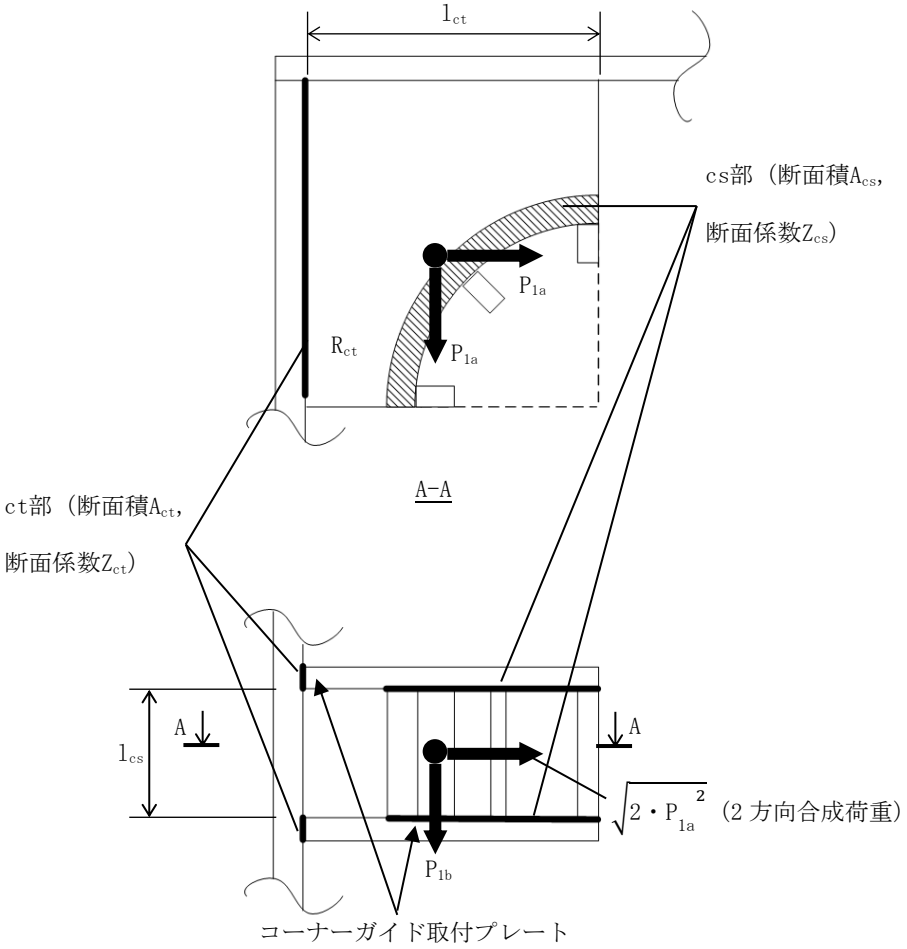



図6－5　コーナーガイドの荷重状態

コーナーガイドに作用する荷重（架構平面方向）$P_{1a}$は，

$$P_{1a}=\mathrm{Max}\left(P_x, P_y\right)$$

$$P_x=2\cdot\left(T_1'\cdot\cos\theta_1+T_1'\cdot\sin\theta_2\right)$$

$$P_y=2\cdot\left(T_1'\cdot\sin\theta_1+T_1'\cdot\cos\theta_2\right)$$

コーナーガイドに作用する荷重（架構奥行方向）$P_{1b}$は，

$$P_{1b}=2\cdot\left(T_1'\cdot\sin\theta_{wx}\cdot\sin\theta_y\right)+2\cdot\left(T_1'\cdot\sin\theta_{wy}\cdot\sin\theta_x\right)$$

cs 部に対するせん断応力$\tau_{cs}$は，

$$\tau_{cs}=\frac{\sqrt{2\cdot P_{1a}^{\ 2}}}{2\cdot A_{cs}}$$

cs 部に対する曲げ応力$\sigma_{csb}$は，

$$\sigma_{csb}=\frac{\sqrt{2\cdot P_{1a}^{\ 2}}\cdot l_{cs}}{8\cdot Z_{cs}}$$

cs 部に対する垂直応力とせん断応力の組合せ応力$\sigma_{cs}$は，

$$\sigma_{cs}=\sqrt{\sigma_{csb}^{\ 2}+3\cdot\tau_{cs}^{\ 2}}$$

で求まる。

ct 部に対する引張応力$\sigma_{cta}$は，

$$\sigma_{cta}=\frac{P_{1a}}{A_{ct}}$$

ct 部に対するせん断応力$\tau_{ct}$は，

$$\tau_{ct}=\frac{\sqrt{P_{1a}^{\ 2}+P_{1b}^{\ 2}}}{A_{ct}}$$

ct 部に対する曲げ応力$\sigma_{ctb}$は，

$$\sigma_{ctb}=P_{1b}\cdot\frac{\left(l_{ct}-\dfrac{R_{ct}}{\sqrt{2}}\right)}{Z_{ct}}$$

ct 部に対する垂直応力とせん断応力の組合せ応力$\sigma_{ct}$は，

$$\sigma_{ct}=\sqrt{\left(\sigma_{cta}+\sigma_{ctb}\right)^2+3\cdot\tau_{ct}^{\ 2}}$$

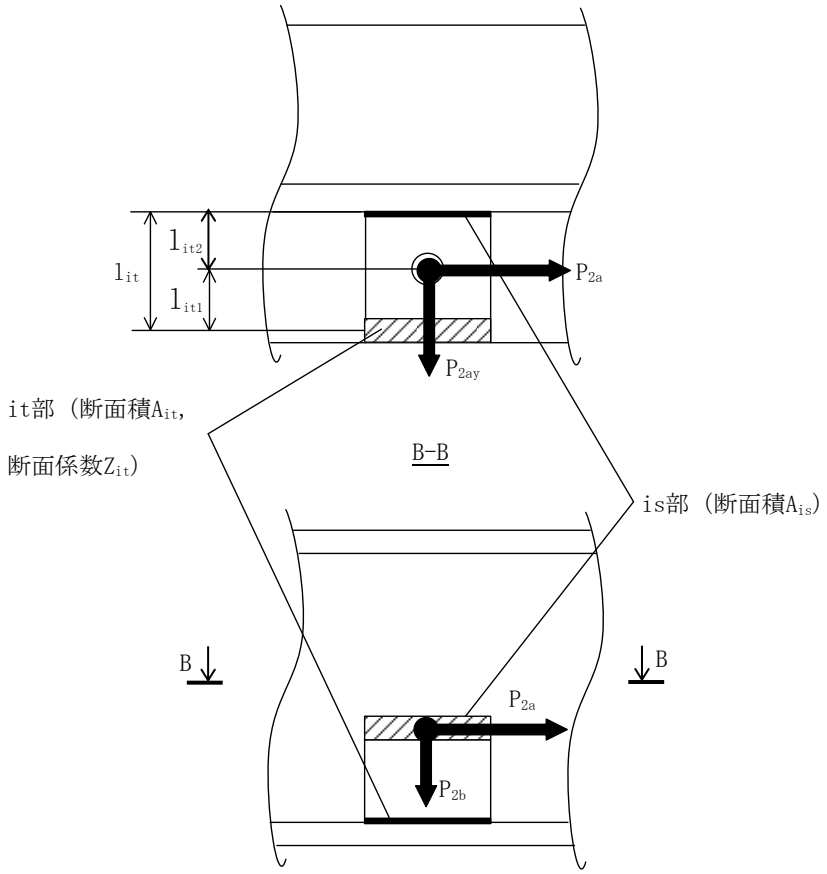
で求まる。

ロ．　アイプレート

飛来物が防護ネットに衝突する場合にネット取付部への衝撃荷重$T_1$’は，ワイヤロープの引張荷重として作用し，アイプレートの溶接部には応力が発生するため，評価を実施する。

ここで，アイプレートの溶接部であるis部，it部のうち，断面積が小さいit部を評価対象部位とする。

アイプレートの荷重状態を図6－6に示す。




第6－6図　アイプレートの荷重状態

アイプレートに作用する荷重(架構軸方向)$P_{2a}$は，

$$P_{2a}=2\cdot T_1'$$

アイプレートに作用する荷重(架構軸直角方向)$P_{2ay}$は，

$$P_{2ay}=2\cdot T_1'\cdot \sin\theta_1$$

アイプレートに作用する荷重(架構奥行方向)$P_{2b}$は，アイプレート設置位置によって決まり，

アイプレートが架構の縦部(垂直部)に設置される場合,

$$P_{2b}=2\cdot\left(T_1{}'\cdot\sin\theta_{wy}\cdot\sin\theta_x\right)$$

アイプレートが架構の横部(水平部)に設置される場合,

$$P_{2b}=2\cdot\left(T_1{}'\cdot\sin\theta_{wx}\cdot\sin\theta_y\right)$$

となる。

また，せん断応力$\tau_{it}$は,

$$\tau_{it}=\frac{P_{2a}}{A_{is}+A_{it}}$$

it 部に作用する曲げモーメント$M_{it}$は,

$$M_{it}=\frac{P_{2b}\cdot l_{it1}\cdot l_{it2}{}^2}{l_{it}{}^2}$$

曲げ応力$\sigma_{itb}$は,

$$\sigma_{itb}=\frac{M_{it}}{Z_{it}}$$

it 部に作用する圧縮荷重$R_{it}$は,

$$R_{it}=\frac{P_{2b}\cdot l_{it2}\cdot\left(3\cdot l_{it1}+l_{it2}\right)}{l_{it}}$$

圧縮応力$\sigma_{itc}$は,

$$\sigma_{itc}=\frac{R_{it}}{A_{it}}$$

以上より，垂直応力とせん断応力の組合せ応力$\sigma_{it}$は,

$$\sigma_{it}=\sqrt{\left(\sigma_{itb}+\sigma_{itc}\right)^2+3\cdot\tau_{it}{}^2}$$

圧縮応力と曲げ応力の組合せ評価は,

$$\frac{\sigma_{itc}}{1.5f_c{}^*}+\frac{\sigma_{itb}}{1.5f_b{}^*}\leqq 1$$

で求まる。

d.　たわみ評価

(a)　ネットのたわみ量の算出

ネットのたわみ量は，最大たわみ量$\delta_{max1}$を用いる。

たわみ評価用のネット展開方向寸法$L_{x2}$及びネット展開直角方向寸法$L_{y2}$は，ネットタイプⅠ，Ⅱのうち，短辺側寸法が大きいネットタイプの寸法を用いる。

また，$\delta_{max1}$は，たわみ評価用のネット展開方向寸法$L_{x2}$，展開直角方向寸法$L_{y2}$のうち小さい方の寸法となる，ネットたわみ量算出用のネット寸法$L_n$から算出する。

$$\delta_{max1}=\frac{L_n}{2}\cdot\tan\left(\theta_{max}\right)$$

(b)　ワイヤロープのたわみ量を含めた防護ネット全体のたわみ量の算出

ワイヤロープのたわみ量は，ネット張力によりワイヤロープが放物線状に変形するとし，算出したワイヤロープに発生する張力及びワイヤロープの引張試験結果（荷重－伸び曲線）から変形後のワイヤロープ長さを求めることで導出する。

また，ワイヤロープの初期張力は小さくワイヤロープのたわみ量の算出において有意ではないため計算上考慮しない。

式(6.1)に示す計算方法を用いて算出されるワイヤロープに発生する張力及びワイヤロープのひずみ量から，ワイヤロープの変形による伸び量δ’が算出される。

飛来物の衝突によりワイヤロープが図 6－7 のとおり放物線状に変形すると，変形後のワイヤロープ長さＳは放物線の弦長の式を用いて以下のとおり表される。

$$S=\frac{1}{2}\sqrt{L_b^{\,2}+16\cdot\delta_w^{\,2}}+\frac{L_b^{\,2}}{8\cdot\delta_w}\cdot\ln\left(\frac{4\cdot\delta_w+\sqrt{L_b^{\,2}+16\cdot\delta_w^{\,2}}}{L_b}\right)$$

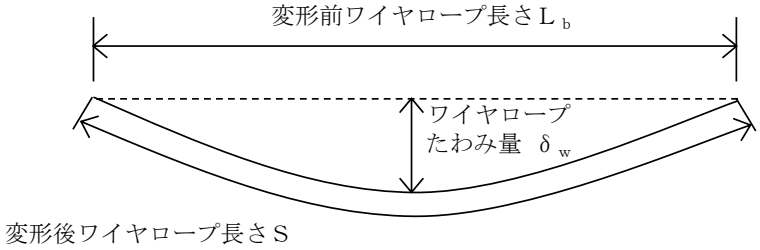



図 6－7　ワイヤロープ変形図

ワイヤロープのたわみ量を含めた防護ネット全体のたわみ量$\delta_t$の算出を行う。ネット及びワイヤロープ変形図を図 6－8 に示す。

架構長辺方向と平行に配置されているコーナーガイド間のワイヤロープの変形後の長さを$S_x$，架構短辺方向と平行に配置されているコーナーガイド間のワイヤロープの変形後の長さを$S_y$とすると，$S_x$及び$S_y$はそれぞれ$\delta_{wx}$，$\delta_{wy}$の関数であり，ワイヤロープの伸び量δ’は，架構長辺方向 2 辺，架構短辺方向 1 辺にワイヤロープが配置される場合は，

$$\delta' = \left(S_x\left(\delta_{wx}\right) - L_{bx}\right)\cdot 2 + \left(S_y\left(\delta_{wy}\right) - L_{by}\right)$$

架構短辺方向２辺，架構長辺方向１辺にワイヤロープが配置される場合は，

$$\delta' = \left(S_x\left(\delta_{wx}\right) - L_{bx}\right) + \left(S_y\left(\delta_{wy}\right) - L_{by}\right)\cdot 2$$

と表される。

また，ネット展開方向と平行な断面から見たたわみ量と，ネット展開方向と直交する断面から見たたわみ量は等しいことから，ワイヤロープのたわみ量を含めた防護ネット全体のたわみ量$\delta_t$は，

$$\delta_t = \sqrt{\left(\delta_{wy} + \frac{L_{x2}}{2\cdot\cos\theta_x}\right)^2 - \left(\frac{L_{x2}}{2}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\delta_{wx} + \frac{L_{y2}}{2\cdot\cos\theta_y}\right)^2 - \left(\frac{L_{y2}}{2}\right)^2}$$

と表される。

ここで，$\theta_x$及び$\theta_y$は，最大たわみ量$\delta_{max1}$より，以下の式で求められる。

$$\theta_x = \tan^{-1}\left(\frac{2\cdot\delta_{max1}}{L_{x2}}\right)$$

$$\theta_y = \tan^{-1}\left(\frac{2\cdot\delta_{max1}}{L_{y2}}\right)$$

したがって，ワイヤロープのたわみ量$\delta_{wx}$及び$\delta_{wy}$を導出することができ，同時にワイヤロープのたわみ量を含めた防護ネット全体のたわみ量$\delta_t$が算出される。

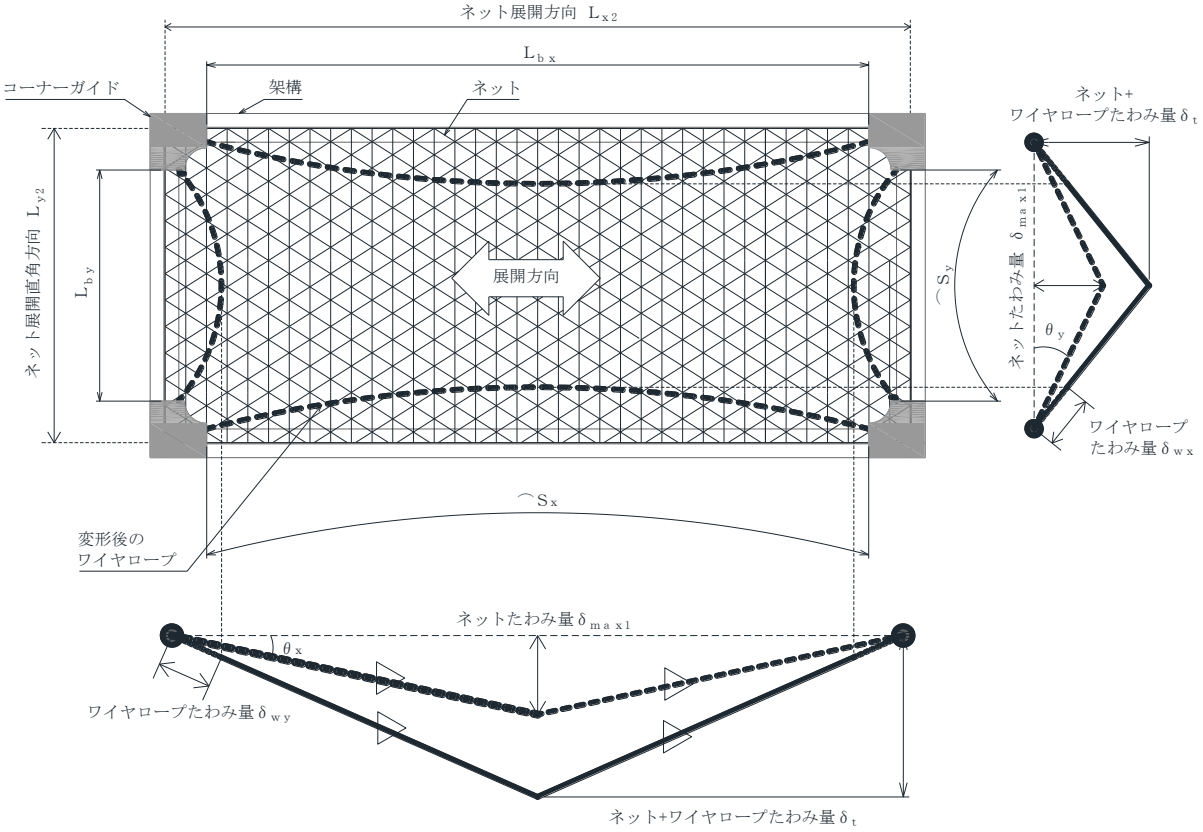



図 6－8　ネット及びワイヤロープ変形図

6.2　竜巻防護鋼製フードの強度評価

(1)　評価方針

a.　竜巻防護鋼製フードの強度評価は，定式化された評価式を用いた解析法により衝突評価を，FEM を用いた衝突解析により構造強度評価を実施する。

b.　衝突解析に用いるモデルは，竜巻防護鋼製フードの構造及び想定される荷重の伝達を踏まえ，作成する。

(2)　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 6－3 に示す。

表 6－3　評価対象部位及び評価内容

| 評価対象部位 | 評価内容 |
|---|---|
| 防護鋼板 | ・衝突評価<br>・構造強度評価 |
| 架構 | ・構造強度評価 |

(3)　強度計算

a.　記号の説明

強度評価に用いる記号を表 6－4 に示す。

表 6－4　BRL 式による貫通限界厚さの算定に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| d | m | 評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径 |
| K | — | 鋼板の材質に関する係数 |
| M | kg | 評価において考慮する飛来物の質量 |
| T | m | 鋼板の貫通限界厚さ |
| V | m/s | 評価において考慮する飛来物の飛来速度 |

b.　衝突評価

飛来物が，防護鋼板に直接衝突する場合の貫通限界厚さを，「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日原子炉安全専門審査会）」で用いられる BRL 式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}}=\frac{0.5\cdot M\cdot V^{2}}{1.4396\times10^{9}\cdot K^{2}\cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

c.　構造強度評価

飛来物が，防護鋼板に直接衝突した場合における，衝突位置の構造強度評価（ひずみ）を実施する。

6.3　竜巻防護鉄筋コンクリート製フードの強度評価

(1)　評価方針

a.　竜巻防護鉄筋コンクリート製フードの強度評価は，定式化された評価式を用いた解析法により衝突評価を，定式化された評価式を用いた解析法及びFEMを用いた衝突解析により構造強度評価を実施する。

b.　衝突解析に用いるモデルは，竜巻防護鉄筋コンクリート製フードの構造及び想定される荷重の伝達を踏まえ，作成する。

(2)　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表6－5に示す。

表6－5　評価対象部位及び評価内容

| 評価対象部位 | 評価内容 |
|---|---|
| 壁及びスラブ（コンクリート） | ・衝突評価<br>・構造強度評価 |
| 壁及びスラブ（鉄筋） | ・構造強度評価 |

(3)　強度計算

a.　記号の説明

強度評価に用いる記号を表6－6及び表6-7に示す。

表6－6　Degen式による貫通限界厚さの算定に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 | |
|---|---|---|---|
| D | $kgf/cm^3$ | 飛来物直径密度（D＝W／$d^3$） | |
| d | cm | 飛来物直径 | |
| e | cm | 貫通限界厚さ | |
| $F_c$ | $kgf/cm^2$ | コンクリートの設計基準強度 | |
| N | ― | 飛来物の形状係数 | |
| V | m/s | 壁面 | 飛来物の衝突速度（水平） |
| | | 屋根 | 飛来物の衝突速度（鉛直） |
| W | kgf | 飛来物重量 | |
| X | cm | 貫入深さ | |
| $\alpha_e$ | ― | 低減係数 | |

表 6－7　Chang 式による裏面剥離限界厚さの算定に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 | |
|---|---|---|---|
| d | cm | 飛来物直径 | |
| $f_c'$ | $kgf/cm^2$ | コンクリートの設計基準強度 | |
| S | cm | 裏面剥離限界厚さ | |
| V | m/s | 壁面 | 飛来物の衝突速度（水平） |
| | | 屋根 | 飛来物の衝突速度（鉛直） |
| $V_0$ | m/s | 飛来物基準速度 | |
| W | kgf | 飛来物重量 | |
| $\alpha_s$ | ― | 低減係数 | |

b.　衝突評価

飛来物が，壁及びスラブに直接衝突する場合の貫通限界厚さを，NEI07-13 に示されている Degen 式を用いて算出する。Degen 式における貫入深さは，「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日原子炉安全専門審査会）」で用いられている修正 NDRC 式を用いて算定する。

Degen 式を以下に示す。

1.52≦X／d≦13.42 の場合

$$e=\alpha_e\{0.69+1.29(X/d)\}\cdot d$$

X／d≦1.52 の場合

$$e=\alpha_e\{2.2(X/d)-0.3(X/d)^2\}\cdot d$$

修正 NDRC 式を以下に示す。

X／d≦2.0 の場合

$$X/d=2\left\{\left(12145/\sqrt{F_c}\right)\cdot N\cdot d^{0.2}\cdot D\cdot\left(V/1000\right)^{1.8}\right\}^{0.5}$$

X／d≧2.0 の場合

$$X/d=\left(12145/\sqrt{F_c}\right)\cdot N\cdot d^{0.2}\cdot D\cdot\left(V/1000\right)^{1.8}+1$$

c.　構造強度評価

(a)　飛来物が，壁及びスラブに直接衝突する場合の裏面剥離限界厚さを，NEI07-13 に示されている Chang 式を用いて算出する。

$$S=1.84\cdot\alpha_s\cdot\left(\frac{V_0}{V}\right)^{0.13}\cdot\frac{\left(\frac{W\cdot V^2}{0.0980}\right)^{0.4}}{d^{0.2}\cdot f_c'^{\,0.4}}$$

(b)　飛来物が，壁及びスラブに直接衝突した場合における，衝突位置の構造強度評価（ひずみ）を実施する。

6.4　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度評価

(1)　評価方針

a.　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度評価は，定式化された評価式を用いた解析法により衝突評価を，FEM を用いた衝突解析により構造強度評価を実施する。

b.　衝突解析に用いるモデルは，非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の構造及び想定される荷重の伝達を踏まえ，作成する。

(2)　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 6－8 に示す。

表 6－8　評価対象部位及び評価内容

| 評価対象部位 | 評価内容 |
|---|---|
| 防護鋼板 | ・衝突評価<br>・構造強度評価 |
| 架構 | ・構造強度評価 |

(3)　強度計算

a.　記号の説明

強度評価に用いる記号を表 6－9 に示す。

表 6－9　BRL 式による貫通限界厚さの算定に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| d | m | 評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径 |
| K | — | 鋼板の材質に関する係数 |
| M | kg | 評価において考慮する飛来物の質量 |
| T | m | 鋼板の貫通限界厚さ |
| V | m/s | 評価において考慮する飛来物の飛来速度 |

b.　衝突評価

飛来物が，防護鋼板に直接衝突する場合の貫通限界厚さを，「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日原子炉安全専門審査会）」で用いられる BRL 式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}}=\frac{0.5\cdot M\cdot V^{2}}{1.4396\times10^{9}\cdot K^{2}\cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

c.　構造強度評価

飛来物が，防護鋼板に直接衝突した場合における，衝突位置の構造強度評価（ひずみ）を実施する。

6.5　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価

(1)　評価方針

a.　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価は，定式化された評価式を用いた解析法により衝突評価を，FEM を用いた衝突解析により構造強度評価を実施する。

b.　衝突解析に用いるモデルは，非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の構造及び想定される荷重の伝達を踏まえ，作成する。

(2)　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 6－10 に示す。

表 6－10　評価対象部位及び評価内容

| 評価対象部位 | 評価内容 |
|---|---|
| 防護鋼板 | ・衝突評価<br>・構造強度評価 |
| 架構 | ・構造強度評価 |

(3)　強度計算

a.　記号の説明

強度評価に用いる記号を表 6－11 に示す。

表 6－11　BRL 式による貫通限界厚さの算定に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| d | m | 評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径 |
| K | — | 鋼板の材質に関する係数 |
| M | kg | 評価において考慮する飛来物の質量 |
| T | m | 鋼板の貫通限界厚さ |
| V | m/s | 評価において考慮する飛来物の飛来速度 |

b.　衝突評価

飛来物が，防護鋼板に直接衝突する場合の貫通限界厚さを，「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日原子炉安全専門審査会）」で用いられる BRL 式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}}=\frac{0.5\cdot M\cdot V^{2}}{1.4396\times10^{9}\cdot K^{2}\cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

c.　構造強度評価

飛来物が，防護鋼板に直接衝突した場合における，衝突位置の構造強度評価（ひずみ）を実施する。

6.6　建屋内防護壁の強度評価

6.6.1　原子炉補機冷却海水系配管防護壁及び換気空調系ダクト防護壁(No.25,　No.66,　No.67,　No.74 及び No.76）の強度評価

(1)　評価方針

a.　原子炉補機冷却海水系配管防護壁及び換気空調系ダクト防護壁（No.25,　No.66,　No.67,　No.74 及び No.76）の強度評価は，定式化された評価式を用いた解析法により衝突評価を，FEM を用いた衝突解析により構造強度評価を実施する。

b.　衝突解析に用いるモデルは，原子炉補機冷却海水系配管防護壁及び換気空調系ダクト防護壁（No.25,　No.66,　No.67,　No.74 及び No.76）の構造及び想定される荷重の伝達を踏まえ，作成する。

(2)　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 6－12 に示す。

表 6－12　評価対象部位及び評価内容

| 評価対象部位 | 評価内容 |
|---|---|
| 防護鋼板 | ・衝突評価<br>・構造強度評価 |
| 架構 | ・構造強度評価 |

(3)　強度計算

a.　記号の説明

強度評価に用いる記号を表 6－13 に示す。

表 6－13　BRL 式による貫通限界厚さの算定に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| d | m | 評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径 |
| K | ― | 鋼板の材質に関する係数 |
| M | kg | 評価において考慮する飛来物の質量 |
| T | m | 鋼板の貫通限界厚さ |
| V | m/s | 評価において考慮する飛来物の飛来速度 |

b.　衝突評価

飛来物が，防護鋼板に直接衝突する場合の貫通限界厚さを，「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日原子炉安全専門審査会）」で用いられる BRL 式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}}=\frac{0.5\cdot M\cdot V^{2}}{1.4396\times 10^{9}\cdot K^{2}\cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

c.　構造強度評価

飛来物が，防護鋼板に直接衝突した場合における，衝突位置の構造強度評価（ひずみ）を実施する。

6.6.2　換気空調系ダクト防護壁（No.9 及び No.10）の強度評価

(1)　評価方針

a.　換気空調系ダクト防護壁（No.9 及び No.10）の強度評価は，FEM を用いた衝突解析により衝突評価及び構造強度評価を実施する。

b.　衝突解析に用いるモデルは，換気空調系ダクト防護壁（No.9 及び No.10）の構造及び想定される荷重の伝達を踏まえ，作成する。

(2)　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 6－14 に示す。

表 6－14　評価対象部位及び評価内容

| 評価対象部位 | 評価内容 |
|---|---|
| 防護鋼板 | ・衝突評価<br>・構造強度評価 |
| 架構 | ・構造強度評価 |

(3)　強度計算

飛来物が，防護鋼板に直接衝突した場合における，衝突位置の衝突評価（ひずみ）及び構造強度評価（ひずみ）を実施する。

6.7　竜巻防護扉の強度評価

(1)　評価方針

a.　竜巻防護扉の強度評価は，定式化された評価式を用いた解析法により衝突評価を，FEM を用いた衝突解析及び力学における標準式による荷重の算定により構造強度評価を実施する。

b.　衝突解析に用いるモデルは，竜巻防護扉の構造及び想定される荷重の伝達を踏まえ，作成する。

(2)　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 6－15 に示す。

表 6－15　評価対象部位及び評価内容

| 評価対象部位 | 評価内容 |
|---|---|
| 表側鋼板 | ・衝突評価<br>・構造強度評価 |
| 芯材 | ・構造強度評価 |
| カンヌキ | ・構造強度評価 |

(3)　強度計算

a.　記号の説明

強度評価に用いる記号を表 6－16 及び表 6－17 に示す。

表 6－16　BRL 式による貫通限界厚さの算定に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| d | m | 評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径 |
| K | ― | 鋼板の材質に関する係数 |
| M | kg | 評価において考慮する飛来物の質量 |
| T | m | 鋼板の貫通限界厚さ |
| V | m/s | 評価において考慮する飛来物の飛来速度 |

表６－17　力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| $A_1$ | $m^2$ | 表側鋼板の受圧面積 |
| $A_2$ | $mm^2$ | カンヌキの断面積 |
| L | mm | カンヌキと扉枠の距離 |
| n | 本 | カンヌキの本数 |
| R | N | カンヌキ１本あたりに生じる荷重 |
| $w_P$ | Pa | 気圧差による等分布荷重（$\Delta P_{max}$） |
| $W_P$ | N | 気圧差による荷重（$\Delta P_{max} \times A_1$） |
| Z | $mm^3$ | カンヌキ１本あたりの断面係数 |
| σ | MPa | カンヌキ１本あたりに生じる曲げ応力度 |
| τ | MPa | カンヌキ１本あたりに生じるせん断応力度 |

b.　衝突評価

飛来物が，防護鋼板に直接衝突する場合の貫通限界厚さを，「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日原子炉安全専門審査会）」で用いられる BRL 式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot v^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

c.　構造強度評価

(a)　飛来物が，表側鋼板に直接衝突した場合における，衝突位置の構造強度評価（ひずみ）を実施する。

(b)　気圧差による荷重発生後において，カンヌキの構造強度評価（応力度）を実施する。評価においては，下記の力学における標準式を用いる。

イ．　カンヌキ１本あたりに生じる荷重

$$R = \frac{W_P}{n}$$

ロ．　カンヌキ１本あたりに生じる曲げ応力度

$$\sigma = \frac{R \cdot L}{Z}$$

ハ．　カンヌキ１本あたりに生じるせん断応力度

$$\tau = \frac{R}{A_2}$$

7.　適用規格

竜巻の影響を考慮する施設の強度評価に用いる適用規格は，Ｖ-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」による。

これらのうち，防護対策施設の強度設計に用いる規格，基準等を以下に示す。

・建築基準法及び同施行令
・「原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」（日本電気協会）
・「原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987」（日本電気協会）
・「原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版」（日本電気協会）
・「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007」（日本機械学会）
・ISE7607-3「軽水炉構造機器の衝撃荷重に関する調査　その３　ミサイルの衝突による構造壁の損傷に関する評価式の比較検討」（昭和 51 年 10 月高温構造安全技術研究組合）
・タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日原子炉安全専門審査会）
・U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION: REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision1, March 2007
・Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8 (NEI 07-13))
・「建築物荷重指針･同解説」（日本建築学会，2004 改定）
・「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」（日本建築学会，2005 改定）
・「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（日本建築学会，2010 改定）
・「小規模吊橋指針・同解説」（日本道路協会　平成 20 年 8 月）
・日本工業規格（ＪＩＳ）
・ＥＮ　１２３８５－４：2002

# Ⅴ-3-別添 1-3　固縛装置の強度計算の方針

目　次

1.　概要 ･･････････････････････････････････････････････････････････････ 1
2.　基本方針 ･･････････････････････････････････････････････････････････ 1
2.1　固縛対象設備の選定 ･･････････････････････････････････････････････････ 1
2.2　固縛装置の構造 ･･････････････････････････････････････････････････････ 3
2.2.1　可搬車両型固縛対象設備の固縛装置 ･････････････････････････････････････ 3
2.2.2　常設車両型固縛対象設備の固縛装置 ･････････････････････････････････････ 7
2.3　荷重及び荷重の組合せ ･････････････････････････････････････････････････ 11
2.3.1　可搬車両型固縛対象設備の固縛装置 ････････････････････････････････････ 11
2.3.2　常設車両型固縛対象設備の固縛装置 ････････････････････････････････････ 16
3.　設計方針 ･･･････････････････････････････････････････････････････････ 23
3.1　可搬車両型固縛対象設備の固縛装置 ･････････････････････････････････････ 23
3.2　常設車両型固縛対象設備の固縛装置 ･････････････････････････････････････ 23
4.　評価方針 ･･･････････････････････････････････････････････････････････ 26
5.　許容限界 ･･･････････････････････････････････････････････････････････ 27
5.1　可搬車両型固縛対象設備の固縛装置 ･････････････････････････････････････ 27
5.2　常設車両型固縛対象設備の固縛装置 ･････････････････････････････････････ 28
6.　強度評価方法 ････････････････････････････････････････････････････････ 29
6.1　可搬車両型固縛対象設備の固縛装置 ･････････････････････････････････････ 29
6.1.1　記号の定義 ･･････････････････････････････････････････････････････ 29
6.1.2　評価対象部位 ････････････････････････････････････････････････････ 32
6.1.3　評価方法 ････････････････････････････････････････････････････････ 34
6.2　常設車両型固縛対象設備の固縛装置 ･････････････････････････････････････ 43
6.2.1　記号の定義 ･･････････････････････････････････････････････････････ 43
6.2.2　評価対象部位 ････････････････････････････････････････････････････ 46
6.2.3　評価方法 ････････････････････････････････････････････････････････ 48
7.　適用規格 ･･･････････････････････････････････････････････････････････ 59

1.　概要

本資料は，Ｖ-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちＶ-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」（以下「Ｖ-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」」という。）に示すとおり，屋外に設置する重大事故等対処設備のうち，Ｖ-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちＶ-1-1-3-3-2「竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定」（以下「Ｖ-1-1-3-3-2「竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定」」という。）の「4.　竜巻防護のための固縛対象物の選定」で選定する固縛対象物に設置する固縛装置が竜巻襲来時においても，固縛装置の構成要素が，設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）が固縛対象設備に作用した場合であっても，固縛状態を維持するために必要な構造強度を有することを計算により確認するための強度設計方針について説明するものである。

2.　基本方針

強度設計は，「2.1　固縛対象設備の選定」に示す設備を対象として，「2.2　固縛装置の構造」に示す固縛装置が「2.3　荷重及び荷重の組合せ」で示す設計荷重を考慮し，「6.　強度評価方法」で示す評価方法により「5.　許容限界」で設定する許容限界を超えない設計とする。

2.1　固縛対象設備の選定

屋外に設置又は保管する重大事故等対処設備は，Ｖ-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちＶ-1-1-3-別添1「屋外に設置されている重大事故等対処設備の抽出」に示している。屋外の重大事故等対処設備は，設計竜巻の風圧力による荷重に対して，位置的分散を考慮した設置又は保管により重大事故等に対処するために必要な機能を損なわない設計に加え，浮き上がり又は横滑りによって設計基準事故対処設備等や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備に衝突し，損傷させることのない設計とすること，また，外部事象防護対象施設に対して波及的影響を及ぼさない設計とすることから，外部事象防護対象施設に衝突し，外部事象防護対象施設の機能に影響を及ぼす可能性のあるもの，並びに，設計基準事故対処設備等や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備に衝突し，損傷させる可能性のあるものについて固縛する設計とする。固縛を必要とする重大事故等対処設備（以下「固縛対象設備」という。）は，Ｖ-1-1-3-3-2「竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定」に基づき，設計竜巻により飛散し，外部事象防護対象施設に影響を及ぼす可能性を考慮して選定する（外部事象防護対象施設までの距離及び障害物の有無を考慮し，離隔（退避含む）の対策を講じることができない重大事故等対処設備は外部事象防護対象施設に影響を及ぼす可能性があることから固縛する）。また，設計基準事故対処設備等や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備に衝突し，損傷させる可能性を考慮して固縛の必要性を確認する（設計基準事故対処設備等や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備までの距離及び障害物の有無を考慮し，隔離（退避含む）の対策を講じることができない場合は損傷させる可能性があることから固縛する）。

固縛対象設備として抽出された屋外の重大事故等対処設備の一覧を表2－1に示す。

表 2－1　屋外の重大事故等対処設備のうち評価対象とする固縛対象設備一覧

| 固縛対象設備 | 区分 | 保管単位 | 備考 |
|---|---|---|---|
| タンクローリ（4kL）（6・7 号機共用）*1 | 可搬車両型 | 台 | |
| 可搬型代替注水ポンプ（A-2 級）（6・7 号機共用）*2 | 可搬車両型 | 台 | |
| 第一ガスタービン発電機車・制御車（6・7 号機共用）*3 | 常設車両型 | 台 | |

注記＊1 ：以下「タンクローリ」という。

＊2 ：以下「可搬型代替注水ポンプ」という。

＊3 ：以下「第一ガスタービン発電機車・制御車」という。

## 2.2　固縛装置の構造

### 2.2.1　可搬車両型固縛対象設備の固縛装置

固縛装置は，可搬車両型固縛対象設備が受ける浮き上がり荷重や横滑り荷重を，連結材（高強度繊維ロープ及びシャックル）及び固定材（固縛のたるみを巻き取る装置*及びアンカーボルト（基礎部））で拘束する構造とする。可搬車両型固縛対象設備の固縛装置の構成要素を表 2－2 に示す。

可搬車両型固縛対象設備の固縛装置の構造を表 2－3 に示す。可搬車両型固縛対象設備は，Ｖ-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3.2　重大事故等対処設備」，「4.2(1)　重大事故等対処設備の設計方針」に基づき，耐震設計に影響を与えることのないよう，地震時の移動を考慮して，重大事故等に対処するための必要な機能が損なわれないものとするため，固縛装置の連結材に常時たるみを有する設計とし，竜巻襲来のおそれがある場合に固縛のたるみを巻き取ることで拘束する設計とする。

注記＊：以下「たるみ巻取装置」という。

表 2－2　可搬車両型固縛対象設備の固縛装置の構成要素

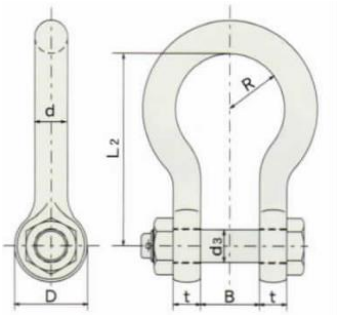
| 固縛装置構成要素名称 | | 概念図 | 用途 |
|---|---|---|---|
| 連結材 | 高強度繊維ロープ | | 固縛対象設備と固縛装置の固定材をつなぎ，固縛対象設備を拘束するときに使用する。車体に取り付けるメインロープ（車体用ロープ）及び固定材（たるみ巻取装置）に接続するサイドロープ（巻取用ロープ）から構成する。 |
| | シャックル |  | 連結材のうち，車体に取り付ける高強度繊維ロープ（メインロープ）と固定材（たるみ巻取装置）に接続された高強度繊維ロープ（サイドロープ）とを互いに結びつけるために使用する。 |
| 固定材 | たるみ巻取装置 | | 竜巻襲来のおそれがある場合に，連結材（高強度繊維ロープ）による固縛のたるみを巻き取るために使用する。 |
| | アンカーボルト | | アンカーボルトは，固定材のうちたるみ巻取装置の底板（アンカープレート）を基礎に固定するために使用する。 |

表 2－3　固縛装置の構造（1/2）

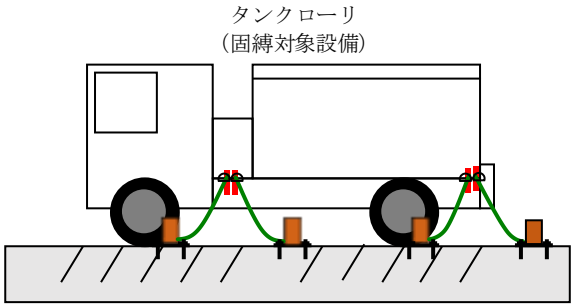
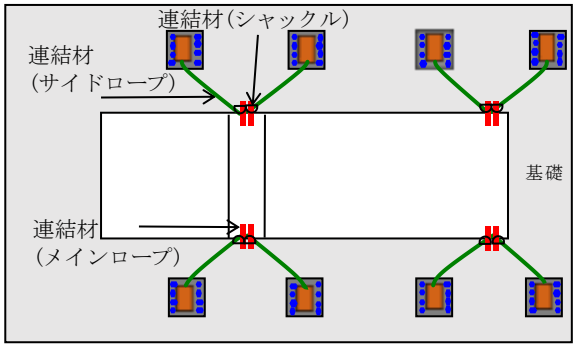
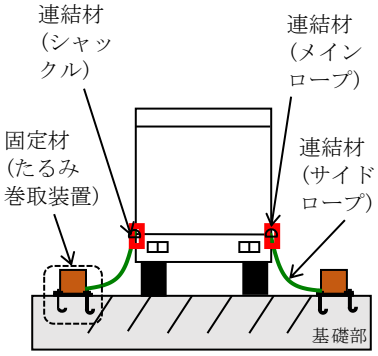
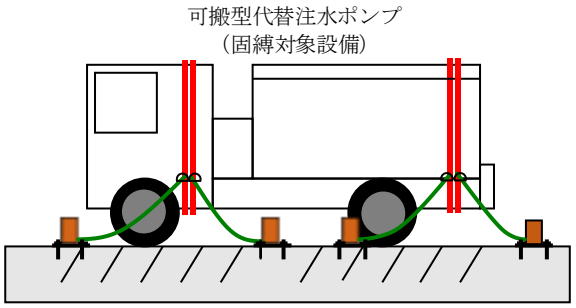
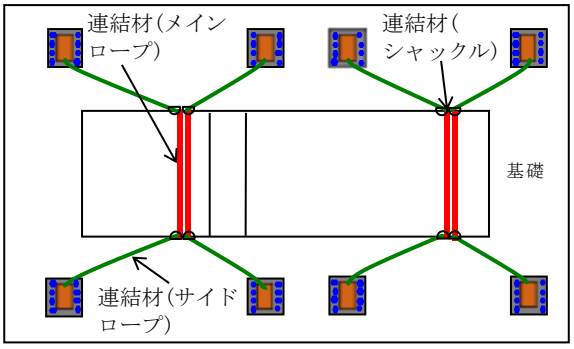
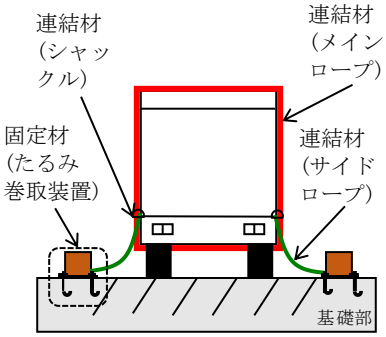
| 施設名称 | 設計の概要 | | 説明図 |
|---|---|---|---|
| | 主体構造 | 支持構造 | |
| 固縛装置 | 可搬車両型固縛対象設備（タンクローリ） | 固縛装置は，連結材及び固定材から構成し，連結材（メインロープ）をタンクローリに取り付け，シャックルを介して連結材（サイドロープ）によって固定材（たるみ巻取装置及びアンカーボルト）に固定することで車両を固縛する。<br><br>タンクローリは，連結材（高強度繊維ロープ）に常時たるみをもたせて固縛することにより，耐震設計に影響のない設計とする。また竜巻発生時にたるみを巻き取り拘束し固縛する設計とする。<br><br>タンクローリは，重大事故等発生時の初動対応時間を確保するために，固縛装置の設置箇所数を可能な限り少なくすることで，機動性を確保する設計とする。 |  <br>（側面図）<br>  <br>（上面図）<br>  <br>（正面図） |

表 2－3　固縛装置の構造（2/2）

| 施設名称 | 設計の概要 | | 説明図 |
|---|---|---|---|
| | 主体構造 | 支持構造 | |
| 固縛装置 | 可搬車両型固縛対象設備（可搬型代替注水ポンプ） | 固縛装置は，連結材及び固定材から構成し，連結材（メインロープ）を可搬型代替注水ポンプに取り付け，シャックルを介して連結材（サイドロープ）によって固定材（たるみ巻取装置及びアンカーボルト）に固定することで車両を固縛する。<br><br>可搬型代替注水ポンプは，連結材（サイドロープ）に常時たるみをもたせて固縛することにより，耐震設計に影響のない設計とする。また竜巻発生時にたるみを巻き取り拘束し固縛する設計とする。<br><br>可搬型代替注水ポンプは，重大事故等発生時の初動対応時間を確保するために，固縛装置の設置箇所数を可能な限り少なくすることで，機動性を確保する設計とする。 |  <br>（側面図）<br>  <br>（上面図）<br>  <br>（正面図） |

2.2.2　常設車両型固縛対象設備の固縛装置

固縛装置は，常設車両型固縛対象設備が受ける浮き上がり荷重や横滑り荷重を，連結材（スリング，ターンバックル及びシャックル）及び固定材（ターンリング，横ずれ防止架台，車止め及び据付ボルト）で拘束する構造とする。固縛装置の構成要素を表 2－4 に示す。

常設車両型固縛対象設備の固縛装置の構造を表 2－5 に示す。常設車両型固縛対象設備は，Ｖ-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3.2　重大事故等対処設備」，「4.2(1)　重大事故等対処設備の設計方針」に基づき，耐震設計に影響を与えることのないよう，固縛装置により固縛する設計とする。

表 2－4　固縛装置の構成要素

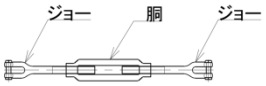
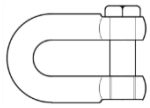
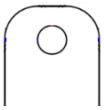
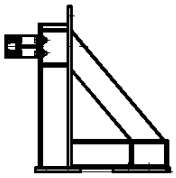
| 固縛装置構成要素名称 | | 概念図 | 用途 |
|---|---|---|---|
| 連結材 | スリング | | 固縛対象設備と固縛装置の固定材を，ターンバックルを介してつなぎ，固縛対象物を拘束するときに使用する。 |
| | ターンバックル |  | 連結材であるスリングとシャックルを連結するときに使用する。<br>中央の胴部と，両端のジョー部から構成され，ジョー部端部間長さをねじにより可変とする機構を有する。 |
| | シャックル |  | 固定材であるターンリングと連結材をリング部分で接続し，固縛対象設備を固縛するときに使用する。 |
| 固定材 | ターンリング |  | プレート状の構成要素で，リング部分に連結材であるシャックルを連結するときに使用する。 |
| | 横ずれ防止架台 |  | 固縛対象設備のタイヤホイール側面に設置し据付ボルトにより据付金物に固定され，車両左右方向の荷重を受けるときに使用する。また連結材と接続し，車両上下方向の荷重を受けるときに使用する。 |
| | 車止め | | 固縛対象設備のタイヤ前面及び後面に設置し据付ボルトにより据付金物に固定され，車両前後方向の荷重を受けるときに使用する。 |
| | 横ずれ防止架台と据付金物を固定する据付ボルト | | 横ずれ防止架台と据付金物を固定するときに使用する。 |
| | 車止めと据付金物を固定する据付ボルト | | 車止めと据付金物を固定するときに使用する。 |

表 2－5　固縛装置の構造（1/2）

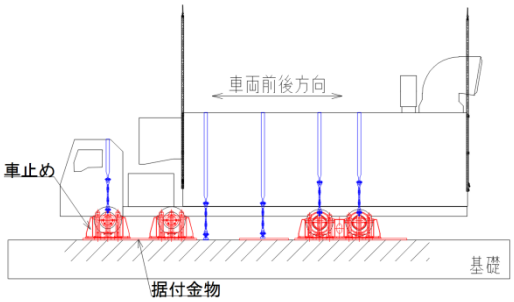
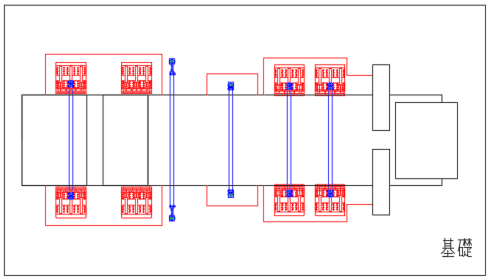
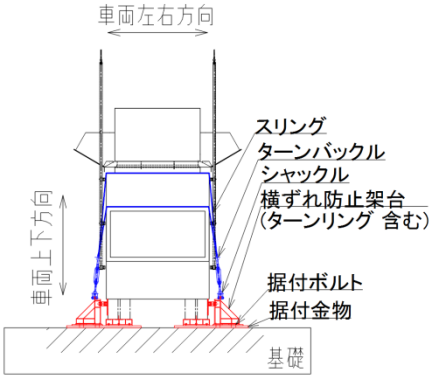
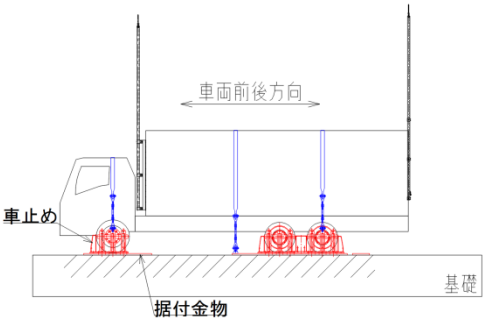
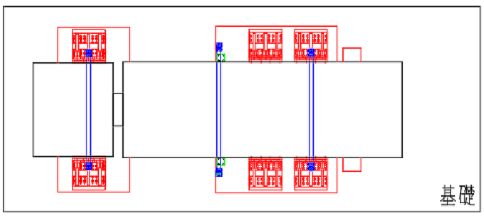
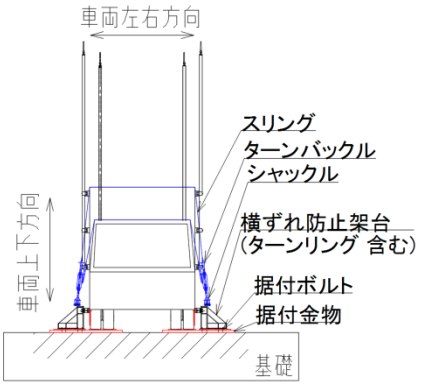
| 施設名称 | 設計の概要 | | 説明図 |
|---|---|---|---|
| | 主体構造 | 支持構造 | |
| 固縛装置 | 常設車両型固縛対象設備（第一ガスタービン発電機車） | 固縛装置は，連結材及び固定材から構成し，連結材（スリング）を第一ガスタービン発電機車の上部に渡して固定材（ターンリング）と据付金物に固定することで車両を固縛する。併せて車両タイヤ部を固定材（車止め及び横ずれ防止架台）と据付金物に固定することで車両を固縛する。<br><br>常設車両型固縛対象設備については，固定材（車止め及び横ずれ防止架台）を用いて固縛することにより，耐震設計に影響のない設計とする。 |  <br>（側面図）<br>  <br>（上面図）<br>  <br>（正面図） |

表 2－5　固縛装置の構造（2/2）

| 施設名称 | 設計の概要 | | 説明図 |
|---|---|---|---|
| | 主体構造 | 支持構造 | |
| 固縛装置 | 常設車両型固縛対象設備（第一ガスタービン制御車） | 固縛装置は，連結材及び固定材から構成し，連結材（スリング）を第一ガスタービン制御車の上部に渡して固定材（ターンリング）と据付金物に固定することで車両を固縛する。併せて車両タイヤ部を固定材（車止め及び横ずれ防止架台）と据付金物に固定することで車両を固縛する。<br><br>常設車両型固縛対象設備については，固定材（車止め及び横ずれ防止架台）を用いて固縛することにより，耐震設計に影響のない設計とする。 |  <br>（側面図）<br>  <br>（上面図）<br>  <br>（正面図） |

## 2.3　荷重及び荷重の組合せ

### 2.3.1　可搬車両型固縛対象設備の固縛装置

固縛対象設備の固縛装置の強度評価に用いる荷重として，竜巻の風荷重によって，固縛対象設備が浮き上がり又は横滑りを起こした場合に，固縛装置に作用する荷重を設計荷重とする。設計荷重は，固縛装置が浮き上がり又は横滑りの挙動を拘束するために発生する荷重であり，固縛対象設備に最大水平風速による風荷重が作用したケースを考慮して設定する。また，可搬車両型固縛対象設備の固縛装置には連結材に常時たるみを設けているが，竜巻襲来のおそれがある場合には固縛のたるみを巻き取り拘束することから，動的荷重が作用しないため，動的荷重は設計荷重として考慮しない。なお，竜巻の風速場の特性を考えると，竜巻の風荷重が風向きを変えながらも固縛対象設備に持続的に作用し続けるため，竜巻が通過するまで，固縛装置には風荷重が持続荷重として継続して作用する。

また，竜巻の最大水平風速時に浮き上がり及び横滑りの両方が発生する固縛対象設備については，各評価対象部位に対し，両方の荷重状態を比較し大きい荷重を設計荷重とする。

浮き上がりに伴い固縛装置に作用する荷重の算出については，空力パラメータから算出した揚力が自重よりも大きくなり固縛対象設備に浮き上がりが発生する際の風荷重を考慮する。

横滑りに伴い固縛装置に作用する荷重の算出については，固縛対象設備に横滑りが発生する際の風荷重を考慮する。

竜巻の風速としては，設計竜巻の最大風速$V_D$＝92m/s を使用することとする。

評価条件を表 2－6 に示す。

表 2－6　設計竜巻の評価条件

| 最大風速<br>$V_D$<br>(m/s) | 空気密度<br>$\rho$<br>(kg/m$^3$) | ガスト<br>影響係数<br>G<br>(—) |
|---|---|---|
| 92 | 1.226 | 1.0 |

設計竜巻の風荷重は，固縛対象設備の形状及び風荷重の作用方向による見付面積に応じて異なるため，固縛対象設備に最も厳しくなる方向の風圧力に対して，荷重を設定する。

一方，風荷重は，固縛対象設備の外面に沿って作用することには変わらず，見付面積に直角方向に作用する時が，作用する風圧力がすべて固縛対象設備に作用することから，最も厳しい荷重状態となるため，このときの荷重を設定する。

設計荷重の考え方の概念図を図 2－1 に示す。

【連結材たるみ巻き取り後の持続荷重】

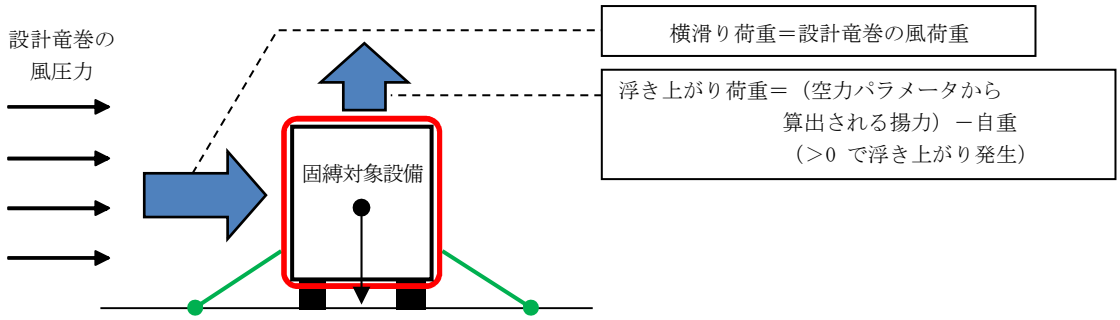



図 2－1　設計荷重の考え方の概念図

(1)　荷重の種類

a.　常時作用する荷重（$F_d$）

常時作用する荷重は，持続的に生じる荷重であり，自重とする。

b.　風圧力による荷重（$W_W$）

風圧力による荷重は，固縛対象設備に発生し，連結材（高強度繊維ロープ及びシャックル），固定材（たるみ巻取装置及び基礎部（アンカーボルト））に作用する。

竜巻による最大風速は，一般的には水平方向の風速として設定され，これにより固縛対象設備は横滑りを生じるような力を受けるが，鉛直方向に対しても，風圧力により固縛対象設備に揚力が発生し，浮き上がりが生じるような力を受けるため，鉛直方向の荷重についても考慮した設計とする。

(2)　竜巻の風圧力による荷重の算定

竜巻の風圧力による荷重を考慮し，荷重の算出式を以下に示す。

a.　記号の定義

荷重の算出に用いる記号を表 2－7 に示す。

表 2－7　荷重の算出に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| $V_D$ | m/s | 設計竜巻の最大風速 |
| $C_{Di}$（i =1, 2, 3） | — | 固縛対象設備の形状に応じた抗力係数 |
| $A_i$（i =1, 2, 3） | $m^2$ | 固縛対象設備の各面の見付面積 |
| W | m | 固縛対象設備の幅 |
| L | m | 固縛対象設備の長さ |
| H | m | 固縛対象設備の高さ |
| m | kg | 固縛対象設備の質量 |
| g | $m/s^2$ | 重力加速度（g＝9.80665） |
| ρ | $kg/m^3$ | 空気密度 |
| q | $N/m^2$ | 設計用速度圧 |
| G | — | ガスト影響係数 |
| C | — | 風力係数 |
| A | $m^2$ | 固縛対象設備の最大見付面積（風向に依存） |
| N | 箇所 | 固縛装置の設置箇所数 |
| $F_d$ | kN | 固縛対象設備の自重 |
| $F_{L,m}$ | kN | 固縛対象設備に作用する保守的に設定した揚力 |
| $P_V$ | kN | 固縛対象設備に作用する浮き上がり荷重 |
| $P_H$ | kN | 固縛対象設備に作用する横滑り荷重 |

b.　浮き上がり荷重

固縛対象設備の浮き上がり時に発生する荷重$P_V$は，設計竜巻により当該固縛対象設備に発生する鉛直力とする。

浮き上がり荷重は，固縛対象設備の形状による空力パラメータを用いて算出される揚力が自重を上回る（＝空力パラメータから算出される揚力－自重＞0）場合に上向きの力として固縛対象設備に作用する。

固縛対象設備に作用する揚力は，揚力係数の代わりに保守的な設定となる抗力係数を用いることにより保守的に設定された揚力$F_{L,m}$を用い，以下の式にて算出する。

$$F_{L,m}=\frac{1}{2}\rho\cdot V_D^{\ 2}\cdot C_D A$$

$\rho$：空気の密度

$C_D A$：抗力係数と見付面積の積の平均値

保守的な揚力を空力パラメータ$C_D A/m$を用いた式に展開すると，浮き上がり荷重$P_V$は次に示す式により算出する。

$$P_V=F_{L,m}-F_d=\frac{1}{2}\rho\cdot V_D^{\ 2}\cdot C_D A-m\cdot g$$

$$=m\left(\frac{1}{2}\rho\cdot V_D^{\ 2}\cdot\frac{C_D A}{m}-g\right)$$

なお，空力パラメータの算出等については「東京工芸大学，平成21～22年度原子力安全基盤調査研究（平成22年度）竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究，独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究成果報告書，平成23年2月」に基づき，以下の$C_D A/m$として算出する。

$$\frac{C_D A}{m}=\frac{1}{3}\cdot\frac{\left(C_{D1}A_1+C_{D2}A_2+C_{D3}A_3\right)}{m}$$

c.　横滑り荷重

横滑りに伴い発生する荷重$P_H$は，当該固縛対象設備に設計竜巻の風圧力による荷重が作用するときの水平力とし，「建築基準法施行令」及び「日本建築学会　建築物荷重指針・同解説」に準拠して，次に示すとおり$W_W$とする。

$$P_H=W_W=q\cdot G\cdot C\cdot A$$

q：設計用速度圧

G：ガスト影響係数（＝1.0）

C：風力係数

A：受圧面積（固縛対象設備の見付面積の最大値）

$$q = \frac{1}{2}\rho \cdot V_D^{\ 2}$$

$\rho$ ：空気の密度

$V_D$：固縛対象設備に作用する設計竜巻の最大風速

(3)　荷重の組合せ

固縛対象設備に作用する荷重は，常時作用する荷重（$F_d$），風圧力による荷重（風荷重による浮き上がり荷重（$P_V$）及び横滑り荷重（$P_H$））を考慮する。

この荷重及び荷重の組合せを表 2－8「固縛装置の荷重の組合せ」に示す。

表 2－8　固縛装置の荷重の組合せ

| 強度評価の対象施設 | 評価内容 | 荷重の組合せ |
|---|---|---|
| 固縛装置 | 構造強度 | $F_d + P_V + P_H$<br>（固縛対象設備に作用する荷重） |

(4)　設計荷重の選定

設計荷重の選定に当たっては，浮き上がりに伴い発生する荷重及び横滑りに伴い発生する荷重を考慮し，評価対象部位に対してより厳しい荷重を設計荷重とする。

### 2.3.2　常設車両型固縛対象設備の固縛装置

固縛対象設備の固縛装置の強度評価に用いる荷重として，竜巻の風荷重によって，固縛対象設備が浮き上がり又は横滑りの作用を受けた場合に，固縛装置に作用する荷重を設計荷重とする。設計荷重は，固縛装置が浮き上がり又は横滑りの挙動を拘束するために発生する荷重であり，固縛対象設備に最大水平風速による風荷重が作用したケースを考慮して設定する。また，常設車両型固縛対象設備の固縛装置には連結材にたるみを設けておらず，動的荷重が作用しないため，動的荷重は設計荷重として考慮しない。なお，竜巻の風速場の特性を考えると，竜巻の風荷重が風向きを変えながらも固縛対象設備に持続的に作用し続けるため，竜巻が通過するまで，固縛装置には風荷重が持続荷重として継続して作用する。

浮き上がり作用に伴い固縛装置に作用する荷重の算出については，空力パラメータから算出した揚力が自重よりも大きくなり固縛対象設備に浮き上がり作用が発生する際の風荷重を考慮する。

横滑り作用に伴い固縛装置に作用する荷重の算出については，固縛対象設備に横滑り作用が発生する際の風荷重を考慮する。

竜巻の風速としては，設計竜巻の最大風速$V_D$＝92m/s を使用することとする。

評価条件を表 2－9 に示す。

表 2－9　設計竜巻の評価条件

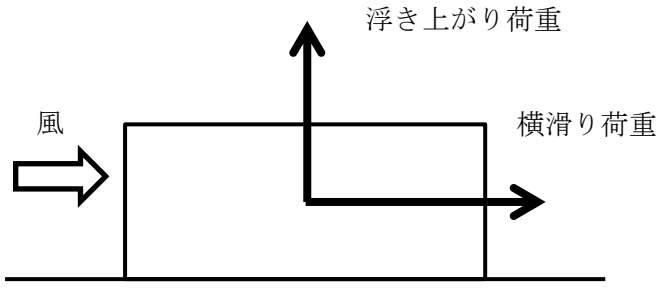
| 最大風速<br>$V_D$<br>(m/s) | 空気密度<br>$\rho$<br>(kg/m$^3$) | ガスト<br>影響係数<br>G<br>(—) |
|---|---|---|
| 92 | 1.226 | 1.0 |

設計竜巻の風荷重は，固縛対象設備の形状及び風荷重の作用方向による見付面積に応じて異なるため，固縛対象設備に最も厳しくなる方向の風圧力に対して，荷重を設定する。

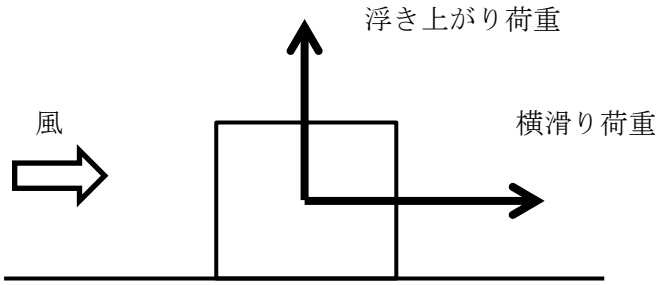
一方，風荷重は，固縛対象設備の外面に沿って作用することには変わらず，見付面積に直角方向に作用する時が，作用する風圧力がすべて固縛対象設備に作用することから，最も厳しい荷重状態となるため，このときの荷重を設定する。

設計竜巻の風圧力による荷重は，固縛対象物に対して正面，側面の 2 方向からの風をそれぞれ想定し，荷重を設定する。

設計荷重の考え方の概念図を図 2－3 に示す。




（車両正面方向）




（車両側面方向）

図 2－3　設計荷重の考え方の概念図



(1)　荷重の種類

a.　常時作用する荷重（$F_d$）

常時作用する荷重は，持続的に生じる荷重であり，自重とする。

b.　竜巻の風圧力による荷重（$W_W$）

風圧力による荷重は，固縛対象設備に発生し，連結材（スリング，ターンバックル及びシャックル），固定材（ターンリング，横ずれ防止架台，車止め及び据付ボルト）に作用する。

竜巻による最大風速は，一般的には水平方向の風速として設定され，これにより固縛対象設備は横滑りを生じるような力を受けるが，鉛直方向に対しても，風圧力により固縛対象設備に揚力が発生し，浮き上がりが生じるような力を受けるため，鉛直方向の荷重についても考慮した設計とする。

(2)　竜巻の風圧力による荷重の算定

竜巻の風圧力による荷重を考慮し，荷重の算出式を以下に示す。

a.　記号の定義

荷重の算出に用いる記号を表 2－10 に示す。

表 2－10　荷重の算出に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| $V_D$ | m/s | 固縛対象物に作用する設計竜巻の最大風速 |
| $C_{Di,ii}$ | — | 固縛対象物の形状に応じた抗力係数 |
| $C_{D1}$，$C_{D2}$，$C_{D3}$ | — | 各軸方向の投影面積と対応する静的な抗力係数 |
| $A_{ia,iia}$ | $m^2$ | 固縛対象物各面の見付面積<br>a＝1：固縛対象物正面の見付面積($W_{i,ii}$・$H_{i,ii}$)<br>a＝2：固縛対象物側面の見付面積($L_{i,ii}$・$H_{i,ii}$)<br>a＝3：固縛対象物平面の見付面積($W_{i,ii}$・$L_{i,ii}$) |
| $W_{i,ii}$ | m | 固縛対象物の幅 |
| $H_{i,ii}$ | m | 固縛対象物の高さ |
| $L_{i,ii}$ | m | 固縛対象物の長さ |
| $m_{i,ii}$ | kg | 固縛対象物の質量 |
| g | $m/s^2$ | 重力加速度（g＝9.80665） |
| $\rho$ | $kg/m^3$ | 空気密度 |
| q | $N/m^2$ | 設計用速度圧 |
| G | — | ガスト影響係数 |
| C | — | 建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数 |
| $A_{Fi,ii}$ | $m^2$ | 固縛対象物前後方向の最大見付面積 |
| $A_{Si,ii}$ | $m^2$ | 固縛対象物左右方向の最大見付面積 |
| $A_{i,ii}$ | $m^2$ | 固縛対象物の最大見付面積 |
| $\frac{C_{Di,ii}\cdot A_{i,ii}}{m_{i,ii}}$ | $m^2/kg$ | 空力パラメータ |
| $F_{Li,ii}$ | kN | 固縛対象物に作用する保守的に設定された揚力 |
| $W_{Wi,ii}$ | kN | 竜巻の風圧力による荷重 |
| $P_{Vi,ii}$ | kN | 固縛装置に作用する浮き上がり荷重 |
| $P_{HFi,ii}$ | kN | 固縛装置に作用する車両前後方向の滑り荷重 |
| $P_{HSi,ii}$ | kN | 固縛装置に作用する車両左右方向の滑り荷重 |

注：ｉは第一ガスタービン発電機車を，ⅱは第一ガスタービン制御車を示す。

b.　浮き上がり荷重

固縛対象設備の浮き上がり時に発生する荷重$P_{Vi,ii}$は，設計竜巻により当該固縛対象物に発生する鉛直力とする。

浮き上がり荷重は，固縛対象物の形状による空力パラメータを用いて算出される揚力が自重を上回る（＝空力パラメータから算出される揚力－自重＞０）場合に上向きの力として固縛対象設備に作用する。

固縛対象設備に作用する揚力は，揚力係数の代わりに保守的な設定となる抗力係数を用いることにより保守的に設定された揚力$F_{Li,ii}$を用い，空力パラメータ$C_{Di,ii}$・$A_{i,ii}$／$m_{i,ii}$を用いた式に展開し，以下の式により算出する。

$$P_{Vi,ii}=F_{Li,ii}-m_{i,ii}\cdot g$$

$$=\frac{1}{2}\cdot\rho\cdot V_D^{\ 2}\cdot C_{Di,ii}\cdot A_{i,ii}-m_{i,ii}\cdot g$$

$$=m_{i,ii}\cdot\left(\frac{1}{2}\cdot\rho\cdot V_D^{\ 2}\cdot\frac{C_{Di,ii}\cdot A_{i,ii}}{m_{i,ii}}-g\right)$$

なお，空力パラメータの算出等については「東京工芸大学，平成 21～22 年度原子力安全基盤調査研究（平成 22 年度）竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究，独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究成果報告書，平成 23 年 2 月」に基づき，以下の$C_{Di,ii}$・$A_{i,ii}$／$m_{i,ii}$として算出する。

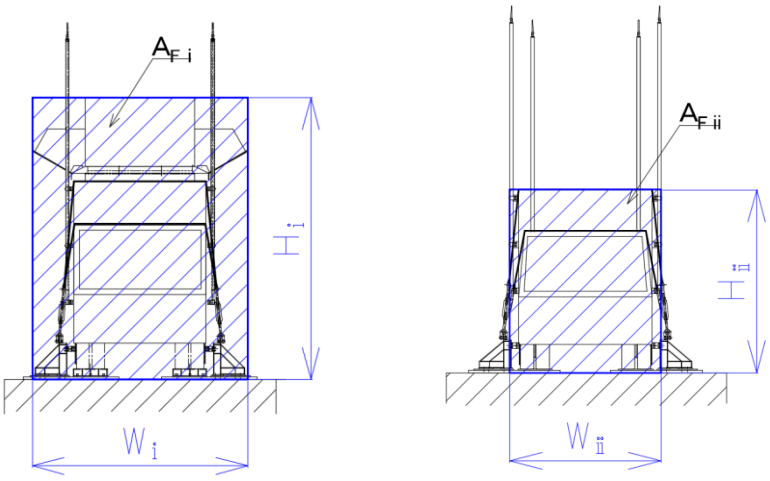
$$\frac{C_{Di,ii}\cdot A_{i,ii}}{m_{i,ii}}=\frac{1}{3}\cdot\frac{\left(C_{D1}\cdot A_{i1,ii1}+C_{D2}\cdot A_{i2,ii2}+C_{D3}\cdot A_{i3,ii3}\right)}{m_{i,ii}}$$

c.　横滑り荷重

横滑りに伴い発生する荷重$P_{HFi,ii}$，$P_{HSi,ii}$は，当該固縛対象設備に設計竜巻の風圧力による荷重が作用するときの水平力とし，「建築基準法施行令」及び「日本建築学会　建築物荷重指針・同解説」に準拠して，次の図 2－4 及び図 2－5 に示すとおり$W_{Wi,ii}$とする。

(a)　車両前後方向の滑り荷重

$$P_{HFi,ii}=W_{Wi,ii}=q\cdot G\cdot C\cdot A_{Fi,ii}$$



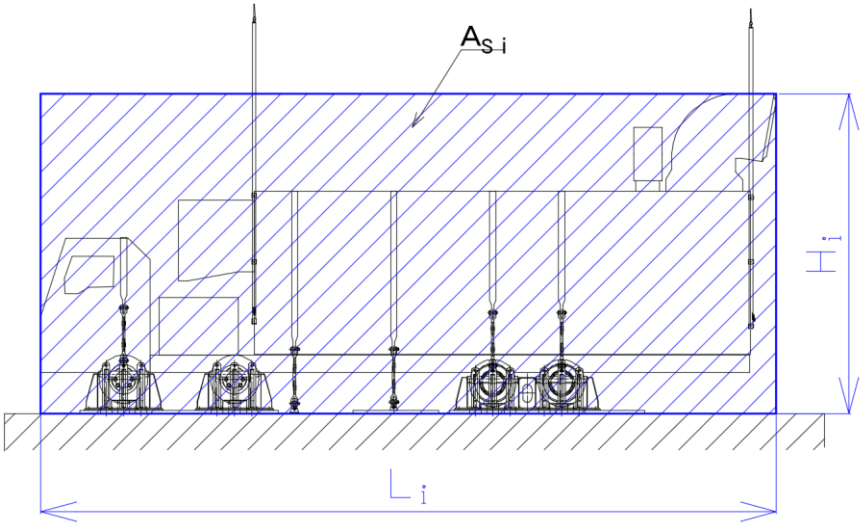

ⅰ）第一ガスタービン発電機車　　ⅱ）第一ガスタービン制御車

注：青色斜線部は受圧部を示す。

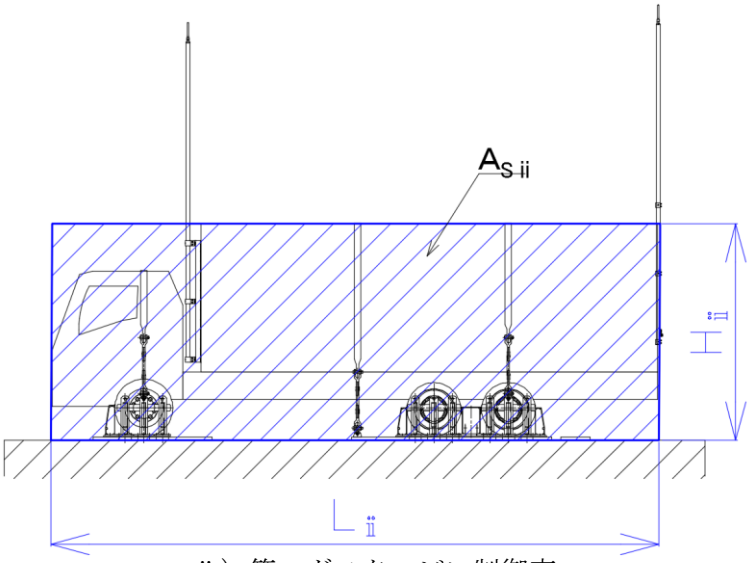
図 2－4　車両前後方向　受圧部

(b)　車両左右方向の滑り荷重

$$P_{HSi,ii} = W_{Wi,ii} = q \cdot G \cdot C \cdot A_{Si,ii}$$




i）第一ガスタービン発電機車




ii）第一ガスタービン制御車

注：青色斜線部は受圧部を示す。

図 2－5　車両左右方向　受圧部

(3)　荷重の組合せ

固縛対象設備に作用する荷重は，常時作用する荷重（$F_d$），風圧力による荷重（風荷重による浮き上がり荷重（$P_V$），車両前後方向の滑り荷重（$P_{HF}$）及び車両左右方向の滑り荷重（$P_{HS}$））を考慮する。

この荷重及び荷重の組合せを表 2－11「固縛装置の荷重の組合せ」に示す。

表 2－11　固縛装置の荷重の組合せ

| 強度評価の対象施設 | 評価項目 | 荷重の組合せ |
|---|---|---|
| 固縛装置 | 構造強度 | $F_d + P_V + P_{HF} + P_{HS}$<br>（固縛対象設備に作用する荷重） |

(4)　設計荷重の選定

設計荷重の選定に当たっては，浮き上がりに伴い発生する荷重，車両前後方向の滑り荷重及び車両左右方向の滑り荷重を考慮し，評価対象部位に対してより厳しい荷重を設計荷重とする。

## 3.　設計方針

### 3.1　可搬車両型固縛対象設備の固縛装置

固縛対象設備に風圧力による荷重が作用すると，固縛装置に風荷重に相当する荷重が伝わり，浮き上がり荷重又は横滑り荷重が作用し，固縛対象設備は移動しようとする。固縛装置の連結材には常時たるみをもたせているが，竜巻襲来のおそれがある場合は連結材のたるみを巻き取り拘束するため，固定され移動しない。この荷重は連結材（高強度繊維ロープ及びシャックル）から固定材（たるみ巻取装置及びアンカーボルト）まで伝達される。したがって，固縛装置の強度設計においては，構成要素ごとに強度評価を実施する。

固縛装置は，表 2－2 に示す構成要素ごとに適切な裕度（安全率）を確保する定格荷重を定め，固縛装置に作用する荷重以上の耐力を持つ構成要素を整理すると，構成要素は同一で，強度評価の方法に関しても同じであり，表 3－1 に示すとおりとする。

評価上最も裕度の小さい固縛装置の選定及びその固縛装置に対する強度評価について，Ⅴ-3-別添 1-10「固縛装置の強度計算書」に示す。

「2.1　固縛対象設備の選定」にて選定された固縛対象設備について，固縛装置の対策目的及び型式（構成要素の組合せ）を表 3－2 に示す。

### 3.2　常設車両型固縛対象設備の固縛装置

固縛対象設備に風圧力による荷重が作用すると，固縛装置に風荷重に相当する荷重が伝わり，浮き上がり荷重及び横滑り荷重が作用するが，固縛対象設備は連結材にたるみを設けておらずまた固定材がタイヤに接して設置されており，固定され移動しない。この荷重は，連結材（スリング，ターンバックル及びシャックル）から固定材（ターンリング，横ずれ防止架台及び据付ボルト）に，又は直接に固定材（横ずれ防止架台，車止め及び据付ボルト）に伝達される。したがって，固縛装置の強度設計においては，構成要素ごとに強度評価を実施する。

固縛装置は，表 2－4 に示す構成要素ごとに適切な裕度（安全率）を確保する定格荷重を定め，固縛装置に作用する荷重以上の耐力を持つ構成要素を整理すると，構成要素は同一で，強度評価の方法に関しても同じであり，表 3－1 に示すとおりとする。

評価上最も裕度の小さい固縛装置の選定及びその固縛装置に対する強度評価について，Ⅴ-3-別添 1-10「固縛装置の強度計算書」に示す。

「2.1　固縛対象設備の選定」にて選定された固縛対象設備について，固縛装置の対策目的及び型式（構成要素の組合せ）を表 3－2 に示す。

表 3－1　固縛装置の構成

| 区分 | 連結材 | 固定材 |
|---|---|---|
| 可搬<br>車両型 | ・高強度繊維ロープ<br>・シャックル | ・たるみ巻取装置<br>・アンカーボルト |
| 常設<br>車両型 | ・スリング<br>・ターンバックル<br>・シャックル | ・ターンリング<br>・横ずれ防止架台<br>・車止め<br>・横ずれ防止架台と据付金物を固定する据付ボルト<br>・車止めと据付金物を固定する据付ボルト |

表 3－2　固縛装置の対策目的及び型式

| 固縛対象設備 | | 保管に関する事項 | | | 固縛装置対策目的 | | たるみ有無 | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 区分 | 設備名称 | 保管単位 | 保管状態の特記事項 | 保管場所 | 横滑り | 浮き上がり | | |
| 可搬車両型 | タンクローリ | 台 | ― | 5 号東側*1 | ○*2 | ○*2 | 無*3 | |
| | 可搬型代替注水ポンプ | 台 | ― | 5 号東側*1 | ○*2 | ○*2 | 無*3 | |
| 常設車両型 | 第一ガスタービン発電機車・制御車 | 台 | ― | 7 号南側*1 | ○*2 | ○*2 | 無 | |

注記＊1 ：保管場所（屋外重大事故等対処設備保管場所）は以下を示す。
5 号東側：5 号機東側第二保管場所，7 号南側：7 号機タービン建屋南側保管場所
＊2 ：横滑り及び浮き上がりの荷重は生じるが，固縛対象設備に移動は生じない。
＊3 ：常時はたるみ有り，竜巻襲来のおそれがある場合はたるみを巻き取ることからたるみは無し。

## 4. 評価方針

固縛装置の強度評価は，設計荷重が固縛装置に作用することにより，評価対象部位に作用する荷重及び応力等が，「5. 許容限界」に示す許容限界に収まることを，「6. 強度評価方法」に示す方法により確認する。

固縛装置の強度評価においては，その構造を踏まえ，「2.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を選定する。

### (1) 強度評価方針

固縛装置の強度評価フローを図 4－1 に示す。

固縛装置の強度評価においては，その構造を踏まえ，設計竜巻の風圧力による荷重が固縛対象設備に作用した場合に固縛装置を構成している連結材及び固定材に作用する荷重，応力等が「5. 許容限界」にて示すそれぞれの許容限界以下であることを確認する。強度評価においては，固縛対象設備に作用する荷重算出のための風速や連結材の剛性等，また許容限界の設定において保守性を考慮し，強度評価に対する信頼性を高めている。

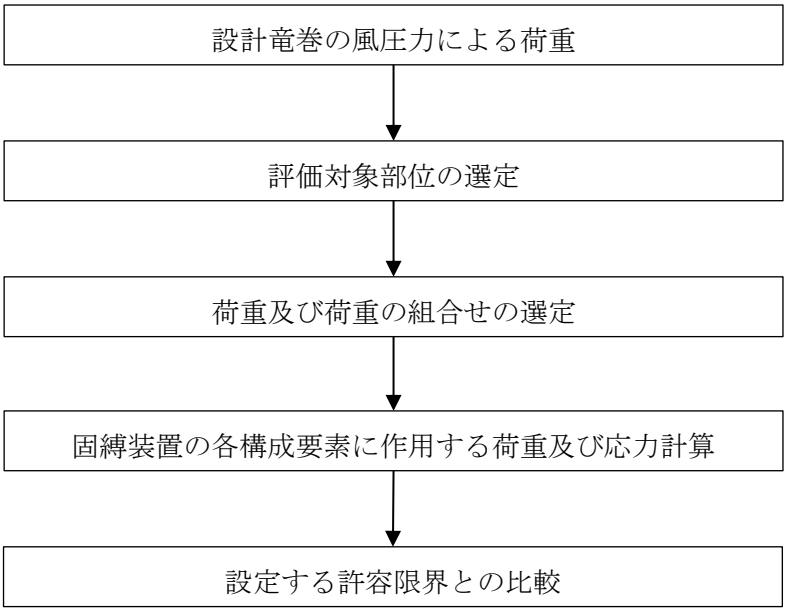



図 4－1 固縛装置の強度評価フロー

5.　許容限界

固縛装置の許容限界は，「6.1.2　評価対象部位」及び「6.2.2　評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに，評価内容に応じて設定する。

固縛装置に要求される機能は，竜巻により設計荷重を受けた固縛対象設備に浮き上がり又は横滑りが発生した場合であってもその移動を制限し，外部事象防護対象施設及び設計基準事故対処設備等や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備に衝突することを防止することである。そのため，竜巻による固縛対象設備の浮き上がり又は横滑りによる移動を制限する際に，固縛装置に作用する荷重に対して，固縛状態を維持することが求められる。そこで，固縛装置の許容限界としては，許容応力以下であり，固縛状態を維持するために必要な強度を有する設計とする。

5.1　可搬車両型固縛対象設備の固縛装置

(1)　連結材

a.　連結材本体（高強度繊維ロープ）

固縛に必要となる連結材（高強度繊維ロープ）については，設計竜巻による荷重に対し，連結材の破断が生じない設計とする。

このため，当社がその妥当性を確認したメーカ提示値の引張強度を許容限界とする。

b.　シャックル

シャックルについては，設計竜巻による荷重に対し，シャックルの破断が生じない設計とする。

このため,当社がその妥当性を確認したメーカ提示の使用荷重及び安全係数によって，使用荷重に対し安全係数を考慮した値を許容限界とする。

(2)　固定材

固定材（アンカーボルト）については，設計竜巻による荷重に対し，アンカーボルトの破断が生じない設計とする。

このため，「原子力発電所耐震設計技術指針」（ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版）アンカー部コンクリートの$\mathrm{IV_A}$Ｓに基づく，許容荷重を許容限界とする。

5.2　常設車両型固縛対象設備の固縛装置

(1)　連結材

a.　連結材本体（スリング）

連結材本体（スリング）については，設計竜巻による荷重に対し，連結材本体（スリング）の破断が生じない設計とする。

このため，当社がその妥当性を確認したメーカ提示値の破断荷重を許容限界とする。

b.　ターンバックル

ターンバックルについては，設計竜巻による荷重に対し，ターンバックルの破断が生じない設計とする。

このため，当社がその妥当性を確認したメーカ提示値の破断荷重を許容限界とする。

c.　シャックル

シャックルについては，設計竜巻による荷重に対し，シャックルの破断が生じない設計とする。

このため，当社がその妥当性を確認したメーカ提示値の使用荷重及び安全係数によって，使用荷重に対し安全係数を考慮した破断荷重を許容限界とする。

(2)　固定材

固定材については，設計竜巻による荷重に対し，鋼材及びボルトの破断が生じない設計とする。

このため，「原子力発電所耐震設計技術指針」重要度分類・許容応力編（ＪＥＡＧ４６０１・補-1984）その他支持構造物の許容応力状態$\mathrm{IV_A}$Ｓに基づく，部材の許容応力を許容限界とする。

6.　強度評価方法

6.1　可搬車両型固縛対象設備の固縛装置

6.1.1　記号の定義

(1)　強度評価の記号の定義

連結材の強度評価に用いる記号を表 6－1，固定材の強度評価に用いる記号を表 6－2 に示す。

表 6－1　連結材（高強度繊維ロープ）の強度評価に用いる記号（1/2）

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| $P_V$ | kN | 固縛対象設備に作用する浮上り荷重 |
| $P_{Hx}$ | kN | 固縛対象設備に作用する横滑り荷重（風向が車両正面・x 軸方向の場合） |
| $P_{Hy}$ | kN | 固縛対象設備に作用する横滑り荷重（風向が車両側面・y 軸方向の場合） |
| $\phi_{rope}$ | mm | 高強度繊維ロープの呼称太さ |
| $\theta_{rope\_z}$ | ° | 固縛対象設備の連結材取付け部と固定材（たるみ巻取装置）のなす角度 |
| $\theta_{rope\_xy}$ | ° | 固縛対象設備の連結材取付け部と固定材（たるみ巻取装置）のなす角度（x y 平面） |
| $N_{unit}$ | 個 | 評価上考慮する固定材（たるみ巻取装置）の総数 |
| $N_{unit\_x}$ | 個 | 評価上考慮する固定材（たるみ巻取装置）の個数（風向が車両正面・x 軸方向の場合） |
| $N_{unit\_y}$ | 個 | 評価上考慮する固定材（たるみ巻取装置）の個数（風向が車両側面・y 軸方向の場合） |
| $N_{rope}$ | 本 | 固定材（たるみ巻取装置）1 箇所あたりの高強度繊維ロープの本数 |
| $p_{rope}$ | kN | 高強度繊維ロープ 1 本当たりの検討荷重 |
| $p_{rope\_1}$ | kN | 高強度繊維ロープ 1 本当たりの検討荷重（風向が車両正面・x 軸方向の場合） |
| $p_{rope\_2}$ | kN | 高強度繊維ロープ 1 本当たりの検討荷重（風向が車両側面・y 軸方向の場合） |
| $P_{rope}$ | kN | 高強度繊維ロープの使用荷重 |
| $P_M$ | kN | 高強度繊維ロープの許容荷重 |

表６－１　連結材（シャックル）の強度計算に用いる記号（2/2）

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| $N_S$ | 個 | 連結材１組当たりのシャックルの個数 |
| $p_S$ | kN | シャックル１本当たりの検討荷重 |
| $P_S$ | kN | シャックルの許容荷重 |

表６－２　固定材（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（1/2）

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| $p_{rope}$ | kN | 高強度繊維ロープ１本当たりの検討荷重 |
| $A_{\ell s}$ | mm$^2$ | アンカーボルトの断面積 |
| $\ell_{\ell s\_x}$ | mm | アンカーボルト頭部から想定するたるみ巻取装置の荷重作用点までの長さ（ｘ軸方向） |
| $\ell_{\ell s\_y}$ | mm | アンカーボルト頭部から想定するたるみ巻取装置の荷重作用点までの長さ（ｙ軸方向） |
| $\ell_{\ell s\_z}$ | mm | アンカーボルト頭部から想定するたるみ巻取装置の荷重作用点までの長さ（ｚ軸方向） |
| $N_{\ell s}$ | 本 | 評価範囲のアンカーボルト全本数 |
| $n_{\ell s\_x}$ | 本 | ｘ軸方向の荷重によって引抜きを受けるアンカーボルトの本数 |
| $n_{\ell s\_y}$ | 本 | ｙ軸方向の荷重によって引抜きを受けるアンカーボルトの本数 |
| $p_{\ell s}$ | kN | アンカーボルト１本当たりの引張荷重 |
| $q_{\ell s}$ | kN | アンカーボルト１本当たりのせん断荷重 |
| $\sigma_{\ell s}$ | N/mm$^2$ | アンカーボルト１本当たりの引張応力 |
| $\tau_{\ell s}$ | N/mm$^2$ | アンカーボルト１本当たりのせん断応力 |
| F | N/mm$^2$ | アンカーボルトの設計基準強度 |
| $1.5 \cdot f_t{}^*$ | N/mm$^2$ | アンカーボルトの許容引張応力 |
| $1.5 \cdot f_s{}^*$ | N/mm$^2$ | アンカーボルトの許容せん断応力 |
| $f_{ts}$ | N/mm$^2$ | アンカーボルトの許容組合せ応力 |

表 6－2　固定材（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（2/2）

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| $A_{AC}$ | $mm^2$ | アンカーボルトの断面積 |
| $A_c$ | $mm^2$ | コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積 |
| $A_c'$ | $mm^2$ | コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積（へり側） |
| $A_0$ | $mm^2$ | 支圧面積 |
| $K_1$ | － | コーン状破壊する場合の引張耐力の低減係数 |
| $K_2$ | － | 支圧破壊する場合の引張耐力の低減係数 |
| $K_3$ | － | 複合破壊の場合のせん断耐力の低減係数 |
| $K_4$ | － | へり側コンクリート破壊の場合のせん断耐力の低減係数 |
| $F_c$ | $N/mm^2$ | コンクリートの設計基準強度 |
| $E_c$ | $N/mm^2$ | コンクリートのヤング係数 |
| $\alpha$ | － | 支圧面積と有効投影面積から定まる係数<br>（$\alpha=\sqrt{A_c/A_0}$ ，10 を超える場合は 10） |
| $pa$ | kN | アンカーボルト 1 本当たりのコンクリート部の短期許容引張荷重 |
| $pa_1$ | kN | コンクリート躯体がコーン状破壊する場合のアンカーボルト 1 本当たりの許容引張荷重 |
| $pa_2$ | kN | アンカーボルト固定部に接するコンクリート部が支圧破壊する場合のアンカーボルト 1 本当たりの許容引張荷重 |
| $qa$ | kN | アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断荷重 |
| $qa_1$ | kN | アンカーボルトとアンカーボルト周辺のコンクリートが圧壊して破壊（複合破壊）する場合のアンカーボルト 1 本当りの許容せん断荷重 |
| $qa_2$ | kN | へり側コンクリートが破壊する場合のアンカーボルト 1 本当りの許容せん断荷重 |

6.1.2　評価対象部位

固縛装置の評価対象部位は，「2.2　固縛装置の構造」にて設定している構造に基づき，「2.3　荷重及び荷重の組合せ」に示す設計竜巻の風圧力の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

(1)　連結材

a.　連結材本体（高強度繊維ロープ）

連結材に作用する荷重を，メーカ提示値の規格引張強度と比較するため，評価対象部位は図 6－1 に示す高強度繊維ロープ本体とする。

設定したロープ径を持つ高強度繊維ロープを評価対象部位として選定する。

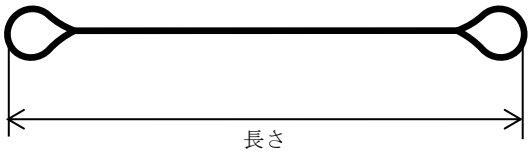



図 6－1　連結材（高強度繊維ロープ）の評価対象部位

b.　シャックル

シャックルの評価対象部位を図 6－2 に示すシャックル本体とする。

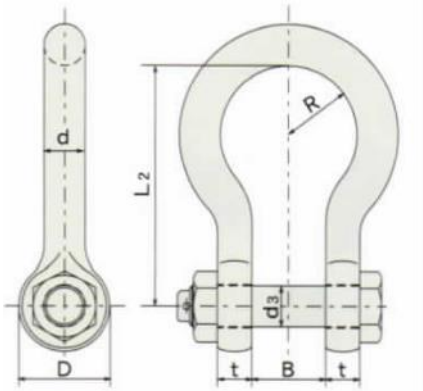



図 6－2　連結材（シャックル）の評価対象部位

(2)　固定材

a.　たるみ巻取装置

たるみ巻取装置については，鉄鋼材料からなる剛性を有する部材で構成されることを前提として評価対象外とし，たるみ巻取装置を固定するアンカーボルトを評価対象とする。

b.　アンカーボルト

埋込式のアンカーボルトにより構成されるため，評価対象部位として設定する。アンカーボルトの評価対象部位を図 6－3 に示す。

図 6－3　アンカーボルトの評価対象部位

6.1.3　評価方法

(1)　連結材の評価方法

a.　連結材本体（高強度繊維ロープ）の評価方法

連結材本体に作用する荷重が，固縛装置の設置箇所数×連結材１組当たりの許容限界を超えないことを確認するため，連結材１組当たりに作用する荷重を，以降に示す浮き上がり及び横滑りの荷重状態に対して算定し，そのうち最も大きくなる状態での荷重を選定する。

設計竜巻の風荷重による揚力が固縛対象設備に作用して，固縛対象設備が浮き上がる場合には，両側に配置した固縛装置（連結材（サイドロープ））で抵抗することから荷重を算定する。設計竜巻による風荷重が固縛対象設備に作用して，固縛対象設備が横滑りする場合には，横滑りの方向により連結材（サイドロープ）に作用する荷重状態が異なるため，横滑り方向に対して，荷重を算定する。

浮き上がり時及び横滑り時の連結材本体（高強度繊維ロープ）の評価モデルの概要図を，図６－４（風向がｘ方向の場合）及び図６－５（風向がｙ方向の場合）に示す。

連結材本体の検討用荷重 $p_{rope}$ は，以下の式に基づき算定する。

$$p_{rope}=\max\left(p_{rope\_1},\ p_{rope\_2}\right)$$

ただし，

$$\begin{cases} p_{rope\_1}=\left(\dfrac{P_{Hx}}{\sin\theta_{rope\_xy}}\cdot\dfrac{1}{\cos\theta_{rope\_z}}\right)\Big/\left(N_{unit\_x}\cdot N_{rope}\right)+\left(\dfrac{P_{V}}{\sin\theta_{rope\_z}}\right)\Big/\left(N_{unit}\cdot N_{rope}\right) \\ p_{rope\_2}=\left(\dfrac{P_{Hy}}{\cos\theta_{rope\_xy}}\cdot\dfrac{1}{\cos\theta_{rope\_z}}\right)\Big/\left(N_{unit\_y}\cdot N_{rope}\right)+\left(\dfrac{P_{V}}{\sin\theta_{rope\_z}}\right)\Big/\left(N_{unit}\cdot N_{rope}\right) \end{cases}$$

なお，ロープを展張した状態で維持させるには，ロープに一定の荷重（初期張力）をかける必要があり，ロープが展張している場合には初期張力が常時作用しているものとして評価する。

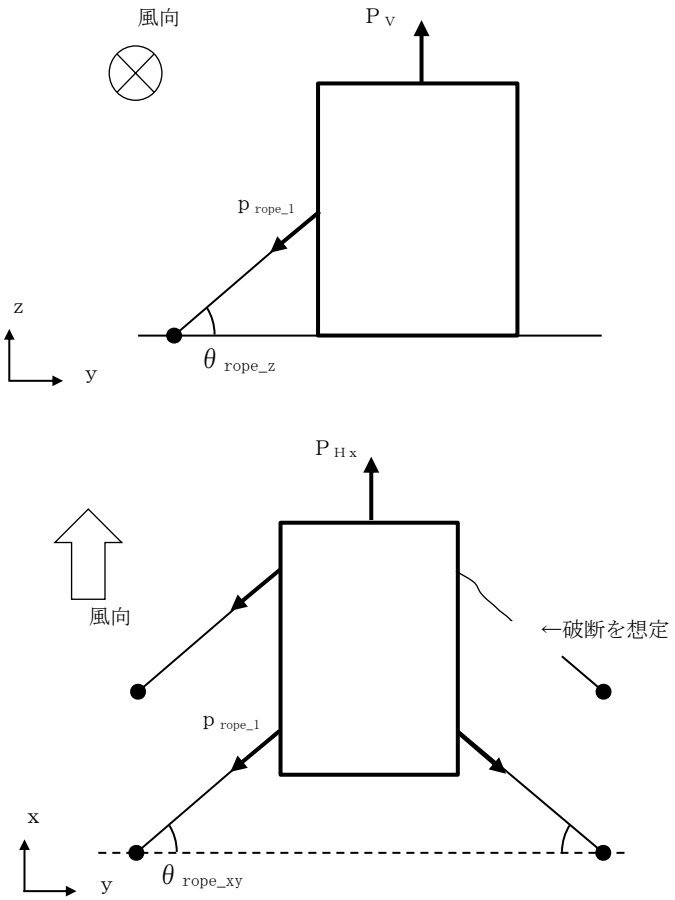



図 6－4　連結材本体（高強度繊維ロープ）の評価モデルの概要図
（風向が車両正面・ x 軸方向の場合）

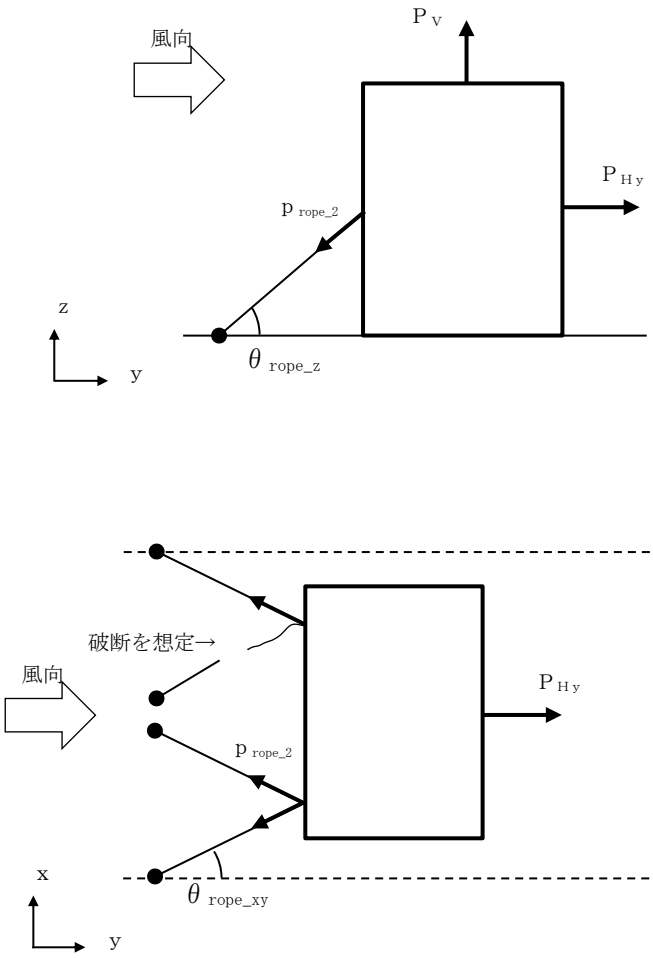



図 6－5　連結材本体（高強度繊維ロープ）の評価モデルの概要図
（風向が車両側面・ｙ軸方向の場合）

b.　シャックルの評価方法

シャックルに作用する荷重も連結材本体と同様に，固縛装置の設置箇所数×シャックル１本当たりの許容限界を超えないことを確認するため，シャックル１本当たりに作用する荷重を，浮き上がり及び横滑りの荷重状態に対して算定し，そのうち最も大きい荷重を選定する。

なお，シャックルは連結材（サイドロープ）と同一の作用線上に配置されることから，連結材（サイドロープ）の荷重を検討用荷重とする。

また，荷重の評価モデルは連結材本体と同様である。

シャックル本体の検討用荷重 $p_S$ は，以下の式に基づき算定する。

$$p_s = p_{rope} / N_s$$

(2)　固定材の評価方法

a.　アンカーボルトの評価方法

(a)　計算モデル

アンカーボルトに作用する荷重も他の固定材と同様に，許容限界を超えないことを確認するため，固縛装置の１箇所の連結材本数×連結材１本当たりに作用する荷重を算定し，そのうち最も大きい荷重を選定する。

アンカーボルトは，たるみ巻取装置の底板（アンカープレート）から荷重を伝達されることから，たるみ巻取装置の荷重すなわち連結材（高強度繊維ロープ）の荷重である $p_{rope}$ を検討用荷重とする。

たるみ巻取装置から伝達される荷重 $p_{rope}$ はたるみ巻取装置と固縛対象物のなす角度に基づき鉛直成分１種類（ｚ軸方向）と水平成分２種類（ｘ，ｙ軸方向）に分解できるため，単一の成分は元の荷重より小さくなる。ただし，本評価においては，ｘ軸方向，ｙ軸方向及びｚ軸方向の各荷重成分として，保守的に連結材から伝達される荷重 $p_{rope}$ の値を用いる。また，連結材から伝達される荷重のたるみ巻取装置上の作用点についても保守的に設定する。アンカーボルトの評価モデルの概要図を図６－６～図６－10 に示す。

図６－６　アンカーボルトの評価モデルの概要図

図６－７　アンカーボルトの評価モデルの概要図（風向が車両側面・ｙ軸方向の場合）

図６－８　アンカーボルトの評価モデルの概要図（風向が車両正面・ｘ軸方向の場合）

図６－９　アンカーボルトの評価モデルの概要図（ｙｚ平面）

図 6－10　アンカーボルト埋設部の評価モデルの概要図

(b)　計算方法

連結材から伝達される荷重は，たるみ巻取装置と固縛対象物のなす角度に基づき鉛直成分 1 種類（ z 軸方向）と水平成分 2 種類（ x ， y 軸方向）に分解できるため，単一の成分は元の荷重より小さくなる。ただし，アンカーボルトの評価にあたっては，成分分解を行わず，保守的に x 軸方向， y 軸方向及び z 軸方向のすべてに元の荷重が同時に作用するものとして扱う。

イ．　ボルト部

（イ）　引張応力

アンカーボルトの引張荷重 $p_{\ell s}$ 及び引張応力 $\sigma_{\ell s}$ は，以下の式に基づき算定する。

$$p_{\ell s} = \max\left(\frac{p_{rope}}{N_{\ell s}} + \frac{p_{rope} \cdot \ell_{\ell s\_z}}{\ell_{\ell s\_x} \cdot n_{\ell s\_x}},\ \frac{p_{rope}}{N_{\ell s}} + \frac{p_{rope} \cdot \ell_{\ell s\_z}}{\ell_{\ell s\_y} \cdot n_{\ell s\_y}}\right)$$

$$\sigma_{\ell s} = \frac{p_{\ell s}}{A_{\ell s}}$$

（ロ） せん断応力

アンカーボルトのせん断荷重$q_{\ell s}$及びせん断応力$\tau_{\ell s}$は，以下の式に基づき算定する。

$$q_{\ell s}=\frac{p_{rope}}{N_{\ell s}}$$

$$\tau_{\ell s}=\frac{q_{\ell s}}{A_{\ell s}}$$

（ハ） 組合せ応力

前項「(イ)」にて算定した引張応力の値を用いる。

ロ． コンクリート部

（イ） 引張に関する検討

コンクリート部の引張荷重は，前項「イ.(イ)」にて算定した引張荷重$p_{\ell s}$の値を用いる。

上記コンクリート部の引張荷重に対して，「原子力発電所耐震設計技術指針」（ＪＥＡＧ４６０１－1991　追補版）アンカー部コンクリートの許容応力状態$\mathrm{IV_AS}$における許容荷重ｐａを，以下の式により算定する。

$$pa=\min\left(pa_1,\ pa_2\right)$$

$$pa_1=0.31\cdot K_1\cdot A_c\cdot\sqrt{F_c}$$

$$pa_2=K_2\cdot\alpha\cdot A_0\cdot F_c$$

（ロ） せん断荷重に関する検討

コンクリート部のせん断荷重は，前項「イ.(ロ)」にて算定したせん断荷重$q_{\ell s}$の値を用いる。

上記コンクリート部のせん断荷重に対して，「原子力発電所耐震設計技術指針」（ＪＥＡＧ４６０１－1991　追補版）アンカー部コンクリートの許容応力状態$\mathrm{IV_AS}$における許容荷重ｑａを，以下の式により算定する。

$$qa=\min\left(qa_1,\ qa_2\right)$$

$$qa_1=0.5\cdot K_3\cdot A_{AC}\cdot\sqrt{E_c\cdot F_c}$$

$$qa_2=K_4\cdot A_c'\cdot 0.31\cdot\sqrt{F_c}$$

ただし，$500 < \sqrt{E_c \cdot F_c} \leq 880$

（ハ）　引張とせん断を同時に受ける場合に関する検討

コンクリートに埋め込まれるアンカーボルトとしての引張荷重とせん断荷重の組合せ荷重に対する検定は，「原子力発電所耐震設計技術指針」（ＪＥＡＧ４６０１－1991　追補版）に基づき，以下の式によって行う。

$$\left(\frac{p_{\ell s}}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q_{\ell s}}{q_a}\right)^2 \leq 1$$

6.2　常設車両型固縛対象設備の固縛装置

6.2.1　記号の定義

(1)　強度評価の記号の定義

連結材及び固定材（ターンリング）の強度評価に用いる記号を表 6－3 に，固定材（横ずれ防止架台及び車止めと据付金物を固定する据付ボルト）の強度評価に用いる記号を表 6－4 に示す。

表 6－3　連結材及び固定材（ターンリング）の強度評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| $P_{Vi,ii}$ | kN | 固縛装置に作用する浮き上がり荷重 |
| $T_{i,ii}$ | kN | スリング，ターンバックル，シャックルに作用する荷重 |
| $\theta_{i,ii}$ | deg | 浮き上がり時にスリングと固縛対象物の側面がなす角度 |
| $n_{i,ii}$ | 個 | 評価連結材（スリング，ターンバックル，シャックル）の個数 |
| $F_{Ti,ii}$ | kN | ターンリングの引張荷重 |
| $M_{i,ii}$ | kN・mm | ターンリングに作用する曲げモーメント |
| $\sigma_{t1-ringi,ii}$ | MPa | ターンリングの円孔周りに作用する引張応力 |
| $\tau_{s-ringi,ii}$ | MPa | ターンリングのせん断応力 |
| $\sigma_{b-ringi,ii}$ | MPa | ターンリングの曲げ応力 |
| $\sigma_{t2-ringi,ii}$ | MPa | ターンリングの曲げ応力が発生する箇所の引張応力 |
| $\sigma_{-ringi,ii}$ | MPa | ターンリングの曲げ＋引張の組合せ応力 |
| $d_{t-ringi,ii}$ | mm | ターンリングの引張が作用する幅の 1/2 |
| $t_{w-ringi,ii}$ | mm | ターンリングの板厚 |
| $d_{s-ringi,ii}$ | mm | ターンリングのせん断が作用する幅 |
| $d_{H-ringi,ii}$ | mm | ターンリングの曲げ＋引張が作用するはりの長さ |
| $d_{L-ringi,ii}$ | mm | ターンリングの曲げ＋引張が作用する幅 |
| $Z_{i,ii}$ | $mm^3$ | ターンリングの断面係数 |
| $A_{t1-ringi,ii}$ | $mm^2$ | 円孔周りの引張荷重が作用するターンリングの断面積 |
| $A_{t2-ringi,ii}$ | $mm^2$ | 曲げ応力が発生する箇所のターンリングの断面積 |
| $A_{s-ringi,ii}$ | $mm^2$ | せん断荷重が作用するターンリングの断面積 |
| $P_M$ | kN | スリングの破断荷重 |
| $P_T$ | kN | ターンバックルの破断荷重 |
| $P_S$ | kN | シャックルの破断荷重 |
| $S_u$ | $N/mm^2$ | 設計引張強さ |
| $S_y$ | $N/mm^2$ | 設計降伏点 |
| $1.5 \cdot f_t{}^*$ | $N/mm^2$ | ターンリングの許容引張応力 |
| $1.5 \cdot f_s{}^*$ | $N/mm^2$ | ターンリングの許容せん断応力 |
| $1.5 \cdot f_b{}^*$ | $N/mm^2$ | ターンリングの許容曲げ応力 |

注：ｉは第一ガスタービン発電機車を，ⅱは第一ガスタービン制御車を示す。

表 6－4　固定材（横ずれ防止架台及び車止めと据付金物を固定する据付ボルト）の強度評価に用いる記号(1/2)

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| $P_{HFi,ii}$ | kN | 固縛装置に作用する車両前後方向の滑り荷重 |
| $P_{HSi,ii}$ | kN | 固縛装置に作用する車両左右方向の滑り荷重 |
| $P_{HSCi,ii}$ | kN | 横ずれ防止架台１台あたりにかかる車両左右方向の荷重 |
| $P_{HFCi,ii}$ | kN | 車止め１台あたりにかかる車両前後方向の荷重 |
| $F_{mSsngli,ii}$ | kN | 横ずれ防止架台を据付金物に固定する据付ボルト１本あたりにかかるモーメントによる荷重 |
| $F_{mFsngli,ii}$ | kN | 車止めを据付金物に固定する据付ボルト１本あたりにかかるモーメントによる荷重 |
| $P_{Ssngli,ii}$ | kN | 横ずれ防止架台に作用する据付ボルト１本あたりにかかる車両左右方向の横滑り荷重 |
| $P_{Fsngli,ii}$ | kN | 車止めに作用する据付ボルト１本あたりにかかる車両前後方向の横滑り荷重 |
| $q_{sngli,ii}$ | kN | 横ずれ防止架台に作用する据付ボルト１本あたりにかかる車両上下方向の浮き上がり荷重 |
| $\sigma_{tS-sbi,ii}$ | MPa | 横ずれ防止架台を据付金物に固定する据付ボルトの引張応力 |
| $\tau_{S-sbi,ii}$ | MPa | 横ずれ防止架台を据付金物に固定する据付ボルトのせん断応力 |
| $\tau_{F-sbi,ii}$ | MPa | 車止めと据付金物を固定する据付ボルトのせん断応力 |
| $\sigma_{mS-sbi,ii}$ | MPa | 横ずれ防止架台を据付金物に固定する据付ボルトのモーメントによる引張応力 |
| $\sigma_{mF-sbi,ii}$ | MPa | 車止めを据付金物に固定する据付ボルトのモーメントによる引張応力 |
| $\sigma_{S-sbi,ii}$ | MPa | 横ずれ防止架台を据付金物に固定する据付ボルトの組合せ応力 |
| $\sigma_{F-sbi,ii}$ | MPa | 車止めを据付金物に固定する据付ボルトの組合せ応力 |

注：ｉは第一ガスタービン発電機車を，ⅱは第一ガスタービン制御車を示す。

表 6－4　固定材（横ずれ防止架台及び車止めと据付金物を固定する据付ボルト）の強度評価に用いる記号(2/2)

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---|---|---|
| $n_{HFi,ii}$ | 台 | 固縛装置に作用する車両前後方向の滑り荷重を受ける車止めの台数 |
| $n_{HSi,ii}$ | 台 | 固縛装置に作用する車両左右方向の滑り荷重を受ける横ずれ防止架台の台数 |
| $n_{Pi,ii}$ | 本／台 | 横ずれ防止架台１台分を固定する据付ボルト本数 |
| $n_{Fi,ii}$ | 本／台 | 車止め１台分を固定する最小の据付ボルト本数 |
| $n_{Si,ii}$ | 本 | 車両左右方向の荷重を受ける据付ボルト本数 |
| $A_{sbi,ii}$ | $mm^2$ | 据付ボルトの呼び径断面積 |
| $d_{sb}$ | mm | 据付ボルトの呼び径 |
| $H_{Si,ii}$ | mm | 横ずれ防止架台における固縛装置に作用する車両左右方向の滑り荷重の高さ |
| $H_{Fi,ii}$ | mm | 車止めにおける固縛装置に作用する車両前後方向の滑り荷重の高さ |
| $L_{S1i,ii}$<br>$L_{S2i,ii}$<br>$L_{S3i,ii}$ | mm | 転倒支点と横ずれ防止架台据付ボルトの水平方向距離 |
| $L_{F1i,ii}$ | mm | 転倒支点と車止め据付ボルトの水平方向距離 |
| $S_u$ | $N/mm^2$ | 設計引張強さ |
| $S_y$ | $N/mm^2$ | 設計降伏点 |
| $1.5 \cdot f_t{}^*$ | $N/mm^2$ | 据付ボルトの許容引張応力 |
| $1.5 \cdot f_s{}^*$ | $N/mm^2$ | 据付ボルトの許容せん断応力 |
| $f_{ts}$ | $N/mm^2$ | 据付ボルトの許容組合せ応力 |

注：ｉは第一ガスタービン発電機車を，ⅱは第一ガスタービン制御車を示す。

6.2.2　評価対象部位

固縛装置の評価対象部位は，「2.2　固縛装置の構造」にて設定している構造に基づき，「2.3　荷重及び荷重の組合せ」に示す設計竜巻の風圧力の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

(1)　連結材

a.　連結材（スリング）

連結材（スリング）に作用する荷重を，メーカ提示値の規格引張強度と比較するため，評価対象部位は図 6－11 に示すスリング本体とする。

図 6－11　連結材（スリング）の評価対象部位

b.　ターンバックル

ターンバックルについては，図 6－12 に示すターンバックル本体を評価対象部位とする。

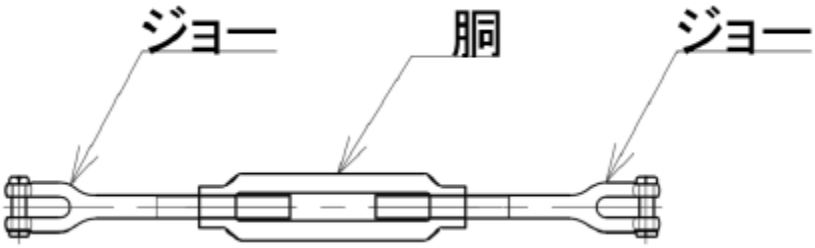



図 6－12　ターンバックルの評価対象部位

c.　シャックル

シャックルについては，図 6－13 に示すシャックル本体を評価対象部位とする。

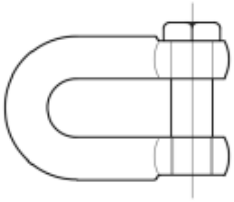


図 6－13　シャックルの評価対象部位

(2)　固定材

a.　ターンリング

ターンリングについては，固縛対象物の浮き上がり荷重を受ける連結材（スリング）との取り合いを行うための部位で，せん断応力及び曲げ応力と引張応力の合力が作用するクリチカルな部位であり，評価対象部位とする。ターンリングの評価対象部位を図 6－14 に示すターンリング本体とする。

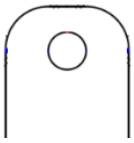


図 6－14　ターンリングの評価対象部位

b.　横ずれ防止架台を据付金物に固定する据付ボルト

横ずれ防止架台については，厚肉の鉄鋼材料を組み合せた低重心の剛構造の架台とする。横ずれ防止架台の本体自体は剛体であるという前提の下に評価対象外とし，据付金物に固定する据付ボルトを評価対象とする。

c.　車止めを据付金物に固定する据付ボルト

車止めについては，厚肉の鉄鋼材料を組み合せた低重心の剛構造の架台とする。車止め本体自体は剛体であるという前提の下に評価対象外とし，据付金物に固定する据付ボルトを評価対象とする。

横ずれ防止架台及び車止めを据付金物に固定する据付ボルトの評価対象部位を，図 6－15 に示す据付ボルト本体とする。

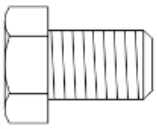


図 6－15　横ずれ防止架台及び車止めを据付金物に固定する据付ボルトの評価対象部位

6.2.3　評価方法

常設車両型固縛対象設備の固縛装置については，設計竜巻の風荷重による揚力が固縛対象設備に作用して，固縛対象設備が浮き上がる場合には，両側に配置した連結材（スリング，ターンバックル及びシャックル）及び固定材（ターンリング，横ずれ防止架台及び据付ボルト）で抵抗することから，浮き上がり方向（車両上下方向）に対して評価対象部位の荷重を算定する。

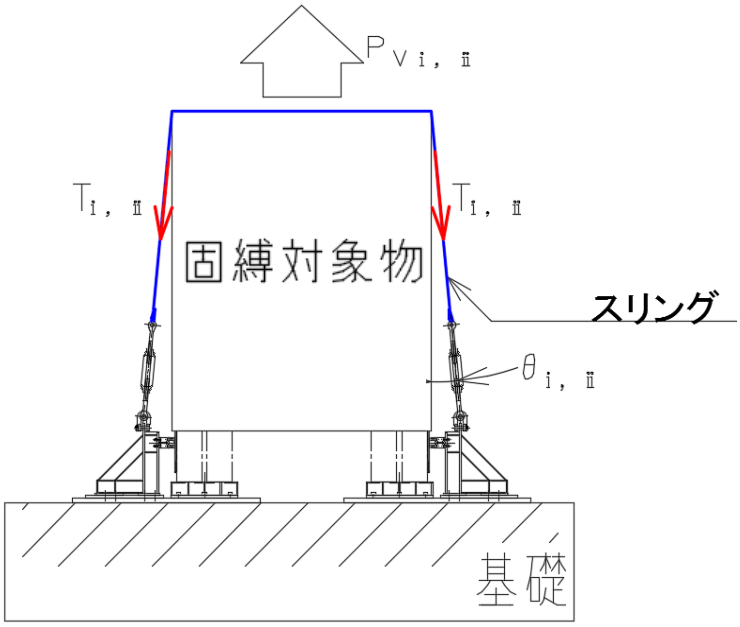
設計竜巻による風荷重が固縛対象設備に作用して，固縛対象設備が横滑りする場合には，固定材（横ずれ防止架台，車止め及び据付ボルト）で抵抗するが，横滑りの方向により作用する荷重状態が異なるため，横滑り方向（車両左右方向及び車両前後方向）に対して評価対象部位の荷重を算定する。

(1)　連結材の評価方法

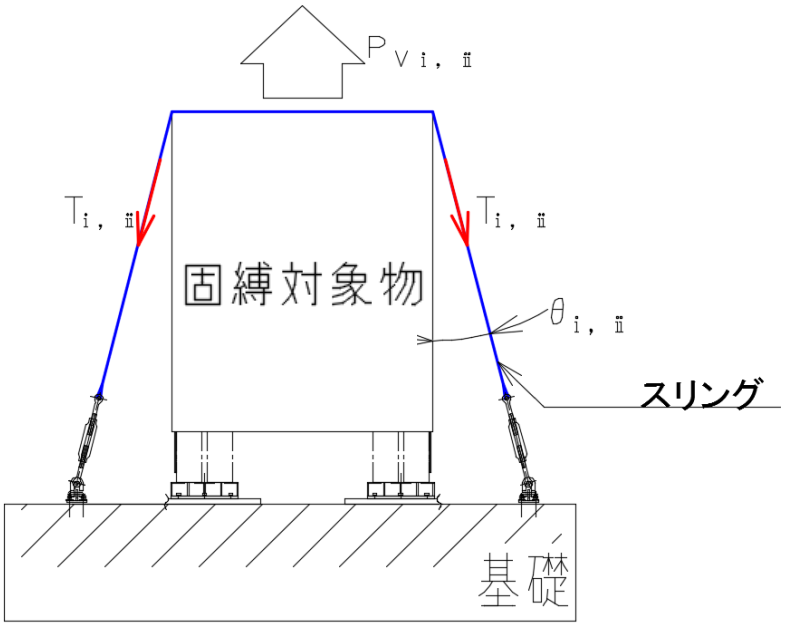
連結材に作用する荷重が，固縛装置の設置箇所数×連結材 1 組当たりの許容限界を超えないことを確認するため，連結材 1 組当たりに作用する荷重を，以降に示す浮き上がり及び横滑りの荷重状態に対して算定し，そのうち最も大きくなる状態での荷重を選定する。

a.　スリングの評価方法

固縛対象設備が浮き上がる場合には，車両の両側に配置した連結材（スリング）で抵抗することから，スリングには浮き上がり（車両上下方向）の荷重が作用する。連結材（スリング）の評価モデル図を図 6－16 に示す。




(a)　横ずれ防止架台を介す場合




(b)　横ずれ防止架台を介さない場合

図 6－16　連結材（スリング）の評価モデル図

スリングの引張荷重は，以下の式を用いて算出する。

$$T_{i,ii}=\frac{P_{Vi,ii}}{2\cdot n_{i,ii}}\cdot\frac{1}{\cos\theta_{i,ii}}$$

b.　ターンバックルの評価方法

ターンバックルはスリングと同一作用線上に配置され，浮き上がり（車両上下方向）の荷重が作用する。

ターンバックルの引張荷重は，スリングに作用する荷重と同等である。

c.　シャックルの評価方法

シャックルはスリングと同一作用線上に配置され，浮き上がり（車両上下方向）の荷重が作用する。

シャックルの引張荷重は，スリングに作用する荷重と同等である。

(2)　固定材の評価方法

a.　ターンリングの評価方法

固縛対象設備が浮き上がる場合には，ターンリングには連結材（スリング，ターンバックル及びシャックル）を介して浮き上がり（車両上下方向）の荷重が作用する。ターンリングの評価モデル図を図 6－17 に示す。

図 6－17　ターンリングの評価モデル図

評価方法は，引張応力 1 とせん断応力については，横ずれ防止架台のターンリングと据付金物用ターンリングの値を計算する。

曲げ応力＋引張応力 2 については，横ずれ防止架台のターンリングの値のみを計算する。

(a)　ターンリングの引張荷重

引張荷重は，以下の式を用いて算出する。

$$F_{Ti,ii} = T_{i,ii} \cdot \cos\theta_{i,ii}$$

(b)　ターンリングの引張応力１

引張応力１は，以下の式を用いて算出する。

$$\sigma_{t1\text{-}ringi,ii} = \frac{F_{Ti,ii}}{A_{t1\text{-}ringi,ii}} \cdot 10^3$$

$$A_{t1\text{-}ringi,ii} = 2 \cdot d_{t\text{-}ringi,ii} \cdot t_{w\text{-}ringi,ii}$$

(c)　ターンリングのせん断応力

せん断応力は，以下の式を用いて算出する。

$$\tau_{s\text{-}ringi,ii} = \frac{F_{Ti,ii}}{A_{s\text{-}ringi,ii}} \cdot 10^3$$

$$A_{s\text{-}ringi,ii} = d_{s\text{-}ringi,ii} \cdot t_{w\text{-}ringi,ii}$$

(d)　曲げ応力＋引張応力２

イ．　曲げ応力

曲げ応力は，以下の式を用いて算出する。

$$\sigma_{b\text{-}ringi,ii} = \frac{M_{i,ii}}{Z_{i,ii}} \cdot 10^3$$

$$M_{i,ii} = d_{H\text{-}ringi,ii} \cdot T_{i,ii} \cdot \sin\theta_{i,ii}$$

$$Z_{i,ii} = \frac{d_{L\text{-}ringi,ii} \cdot t_{w\text{-}ringi,ii}^{2}}{6}$$

ロ．　引張応力２

引張応力２は，以下の式を用いて算出する。

$$\sigma_{t2\text{-}ringi,ii} = \frac{F_{Ti,ii}}{A_{t2\text{-}ringi,ii}} \cdot 10^3$$

$$A_{t2\text{-}ringi,ii} = d_{L\text{-}ringi,ii} \cdot t_{w\text{-}ringi,ii}$$

ハ.　曲げ応力と引張応力２の組合せ応力

組合せ応力は，以下の式を用いて算出する。

$$\sigma_{-ringi,ii} = \sigma_{b-ringi,ii} + \sigma_{t2-ringi,ii}$$

b.　横ずれ防止架台及び車止めを据付金物に固定する据付ボルトの評価方法

据付ボルトと締結される据付金物は剛であり，変形しないものとして計算する。

(a)　横ずれ防止架台を据付金物に固定する据付ボルトにかかる応力

固縛対象設備が浮き上がる場合には，連結材（スリング）を介して車両の左右両側面に配置した固定材（横ずれ防止架台及び据付ボルト）で抵抗するとともに，側面方向（車両左右方向）に横滑りした場合には，車両左右タイヤの各ホイール側面に配置したうちの片側面の固定材（横ずれ防止架台及び据付ボルト）により抵抗することから，横ずれ防止架台を据付金物に固定する据付ボルトに作用する荷重を算出する。

イ．　浮き上がりに対する引張応力（車両上下方向荷重）

浮き上がり（車両上下方向）の荷重を受ける固縛装置の評価モデル図を図 6－18 に示す。

浮き上がり（車両上下方向）の荷重は，以下の式を用いて算出する。

$$\sigma_{tS-sbi,ii} = \frac{q_{sngli,ii}}{A_{sbi,ii}} \cdot 10^3$$

$$A_{sbi,ii} = \frac{d_{sb}^{2}}{4} \cdot \pi$$

$$q_{sngli,ii} = \frac{P_{Vi,ii}}{2 \cdot n_{i,ii} \cdot n_{Pi,ii}}$$

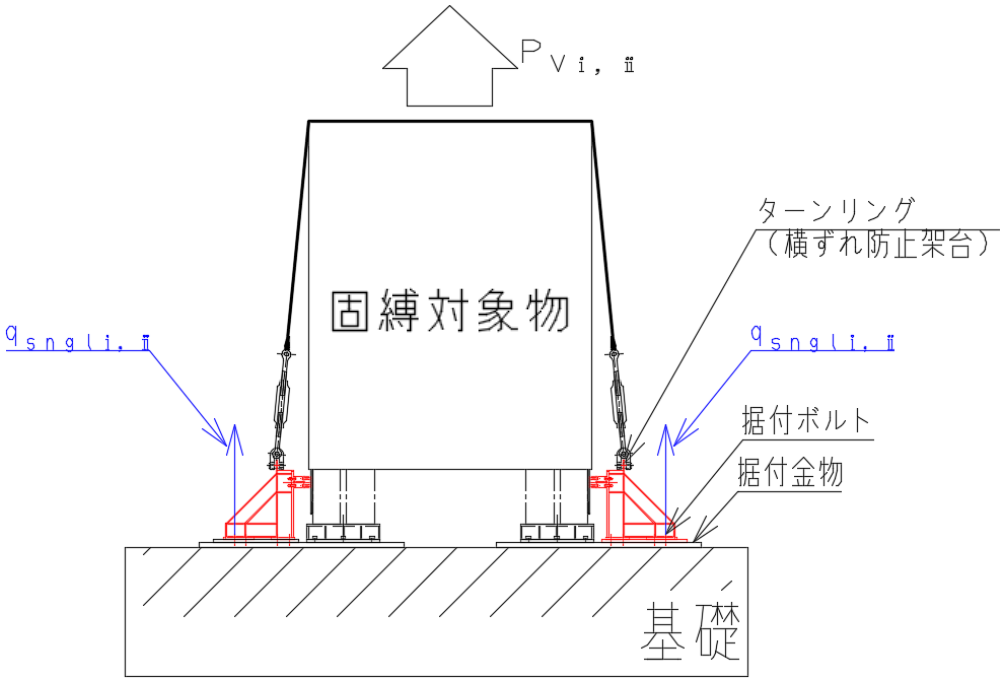



図 6－18　浮き上がり（車両上下方向）の荷重を受ける固縛装置の評価モデル図

ロ．　横滑りのモーメントによる引張応力（車両左右方向荷重）

車両左右方向の横ずれ防止架台がモーメントを受ける評価モデル図を図 6－19 に示す。

据付ボルトにかかる荷重は，以下の式を用いて算出する。

$$\sigma_{mS-sbi,ii}=\frac{F_{mSsngli,ii}}{A_{sbi,ii}}\cdot 10^{3}$$

$$F_{mSsngli,ii}=\frac{P_{HSCi,ii}\cdot H_{Si,ii}\cdot L_{S3i,ii}}{6\cdot\left(L_{S1i,ii}^{2}+L_{S2i,ii}^{2}+L_{S3i,ii}^{2}\right)}$$

$$P_{HSCi,ii}=\frac{P_{HSi,ii}}{n_{HSi,ii}}$$

図 6－19　横ずれ防止架台がモーメントを受ける評価モデル図

ハ.　横滑りに対するせん断応力（車両左右方向荷重）

横滑り（車両左右方向）の荷重を受ける固縛装置の評価モデルを図 6－20 に示す。

横滑り（車両左右方向）の荷重は，以下の式を用いて算出する。

$$\tau_{S\text{-}sbi,ii} = \frac{P_{Ssngli,ii}}{A_{sbi,ii}} \cdot 10^3$$

$$P_{Ssngli,ii} = \frac{P_{HSi,ii}}{n_{Si,ii}}$$

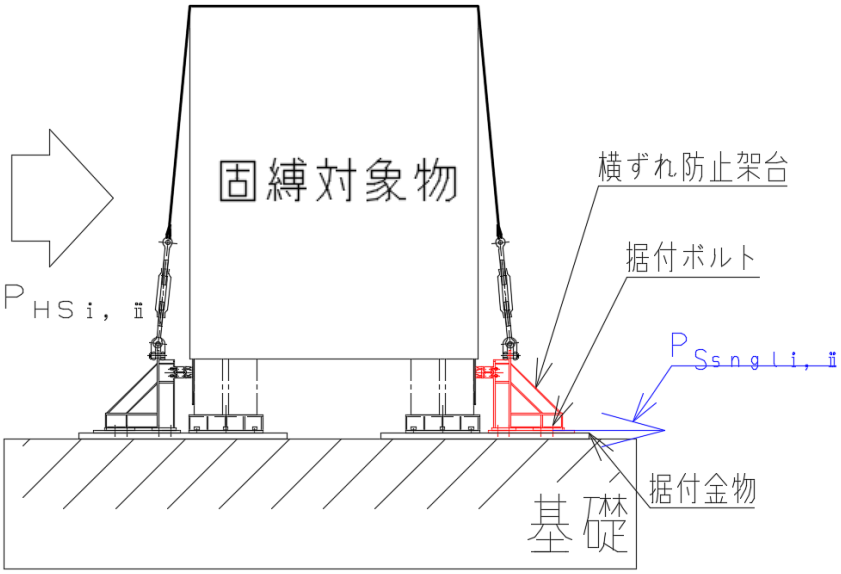



図 6－20　横滑り（車両左右方向）の荷重を受ける固縛装置の評価モデル図

(b)　車止めを据付金物に固定する据付ボルト

固縛対象設備が正面方向（車両前後方向）に横滑りした場合には，各タイヤの前後面に配置したうちの片側面の固定材（車止め及び据付ボルト）により抵抗することから，車止めを据付金物に固定する据付ボルトに作用する荷重を算出する。

イ．　横滑りのモーメントによる引張応力（車両前後方向荷重）

車両前後方向の車止めがモーメントを受ける評価モデル図を図6－21に示す。

据付ボルトにかかる荷重は，以下の式を用いて算出する。

$$\sigma_{mF-sbi,ii}=\frac{F_{mFsngli,ii}}{A_{sbi,ii}}\cdot 10^3$$

$$F_{mFsngli,ii}=\frac{P_{HFCi,ii}\cdot H_{Fi,ii}}{4\cdot L_{F1i,ii}}$$

$$P_{HFCi,ii}=\frac{P_{HFi,ii}}{n_{HFi,ii}}$$

図6－21　車止めがモーメントを受ける評価モデル図



K7 ① V-3-別添1-3 R1

ロ．　横滑りに対するせん断応力（車両前後方向荷重）

横滑り（車両前後方向）の荷重を受ける固縛装置の評価モデル図を図 6－22 に示す。

横滑り（車両前後方向）の荷重は，以下の式を用いて算出する。

$$\tau_{F-sbi,ii} = \frac{P_{Fsngli,ii}}{A_{sbi,ii}} \cdot 10^3$$

$$P_{Fsngli,ii} = \frac{P_{HFi,ii}}{n_{HFi,ii} \cdot n_{Fi,ii}}$$

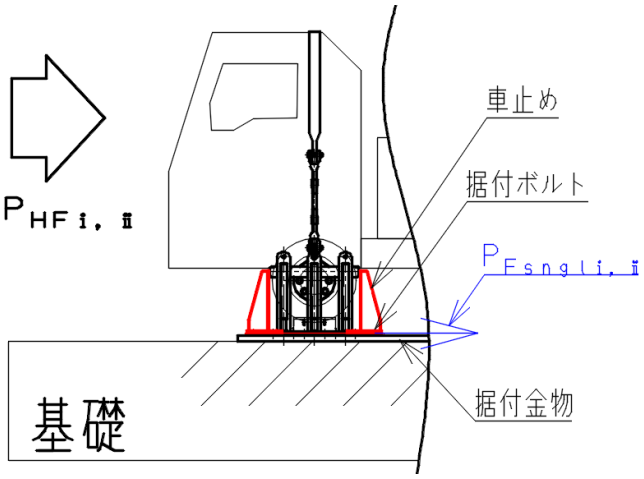



図 6－22　横滑り（車両前後方向）の荷重を受ける固縛装置の評価モデル図

(c)　据付ボルトの組合せ応力

イ．　横ずれ防止架台を据付金物に固定する据付ボルトの組合せ応力

$$\sigma_{S-sbi,ii} = \sigma_{tS-sbi,ii} + \sigma_{mS-sbi,ii}$$

ロ．　車止めを据付金物に固定する据付ボルトの組合せ応力

$$\sigma_{F-sbi,ii} = \sigma_{mF-sbi,ii}$$

7.　適用規格

Ｖ-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちＶ-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」においては，竜巻の影響を考慮する施設の設計に係る適用規格を示している。

これらのうち，固縛装置の強度設計に用いる規格，基準等を以下に示す。

・日本工業規格（ＪＩＳ）
・建築基準法及び同施行令
・建築物荷重指針・同解説（日本建築学会，2004 改定）
・各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会，2010 改定）
・原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編（ＪＥＡＧ４６０１・補-1984）日本電気協会
・原子力発電所耐震設計技術指針（ＪＥＡＧ４６０１-1987，1991 追補版）日本電気協会
・発電用原子力設備規格（設計・建設規格　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1-2005/2007）日本機械学会
・U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION: REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILESS FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision1, March 2007