

【公開版】

核燃料輸送物設計承認申請書

2022 濃計発第 37 号

2022 年 9 月 15 日

原子力規制委員会 殿

青森県上北郡六ヶ所村大字尾駸字沖付 4 番地 1 0 8

日本原燃株式会社

代表取締役社長 社長執行役員 増田 尚宏

核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示（平成 2 年科学技術庁告示第 5 号）第 4 1 条第 1 項の規定により、下記のとおり申請します。

記

1. 核燃料輸送物の名称

48Y-JDTC型

2. 輸送容器の外形寸法、重量及び主要材料

(1) 輸送容器の外形寸法： 外径 約1.4 m

長さ 約4.1 m

(2) 輸送容器の重量： 3,140 kg以下

(3) 核燃料輸送物の総重量： 15,640 kg以下

(4) 輸送容器の主要材料：

イ. シリンダ 炭素鋼、アルミニウム青銅、モネル（ニッケル銅合金）

ロ. 弁保護具 炭素鋼、合金鋼、鋳鋼品

ハ. 耐熱キャップ セラミックファイバー、ステンレス鋼

ニ. 耐熱キャップ固定金具 炭素鋼、ステンレス鋼

(5) 輸送容器の概略を示す図

添付図-1のとおり

詳細形状は、本核燃料輸送物の核燃料輸送物設計承認申請書（2022年9月15日付け2022濃計発第37号）に係る別紙の(イ)-第1図から(イ)-第5図までに示されている。

3. 核燃料輸送物の種類

IP-1型六ふっ化ウラン輸送物

4. 収納する核燃料物質等の種類、性状、重量及び放射能の量

第1表のとおり

5. 輸送制限個数

(1) 輸送制限個数：制限なし

(2) 配列方法：任意

(3) 臨界安全指数：0

6. 運搬中に予想される周囲の温度の範囲

-40℃から38℃まで

7. 収納物の臨界防止のための核燃料輸送物の構造に関する事項

該当しない

8. 臨界安全評価における浸水の領域に関する事項

該当しない

9. 収納物の密封性に関する事項

シリンダは鋼製の圧力容器で本輸送物の密封境界を形成しており、更にシリンダには弁及び閉止栓が取付けられている。この3つが本輸送物の密封装置を構成する。

10. BM型輸送物にあつては、BU型輸送物の設計基準のうち適合しない基準についての説明

該当しない

11. 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱いに関する事項

本輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱いについては、本核燃料輸送物の核燃料輸送物設計承認申請書（2022年9月15日付け2022濃計発第37号）に係る別紙のとおり。

12. 輸送容器に係る品質管理の方法等（設計に係るものに限る。）に関する事項

本輸送容器に係る品質管理の方法等（設計に係るものに限る。）については、本核燃料輸送物の核燃料輸送物設計承認申請書（2022年9月15日付け2022濃計発第37号）に係る別紙のとおり。

13. その他特記事項

(1) 輸送物の使用予定年数

本輸送容器の使用予定年数を以下に示す。

イ. シリンダ

使用予定年数：製造後2年

ロ. 弁保護具、耐熱キャップ及び耐熱キャップ固定金具

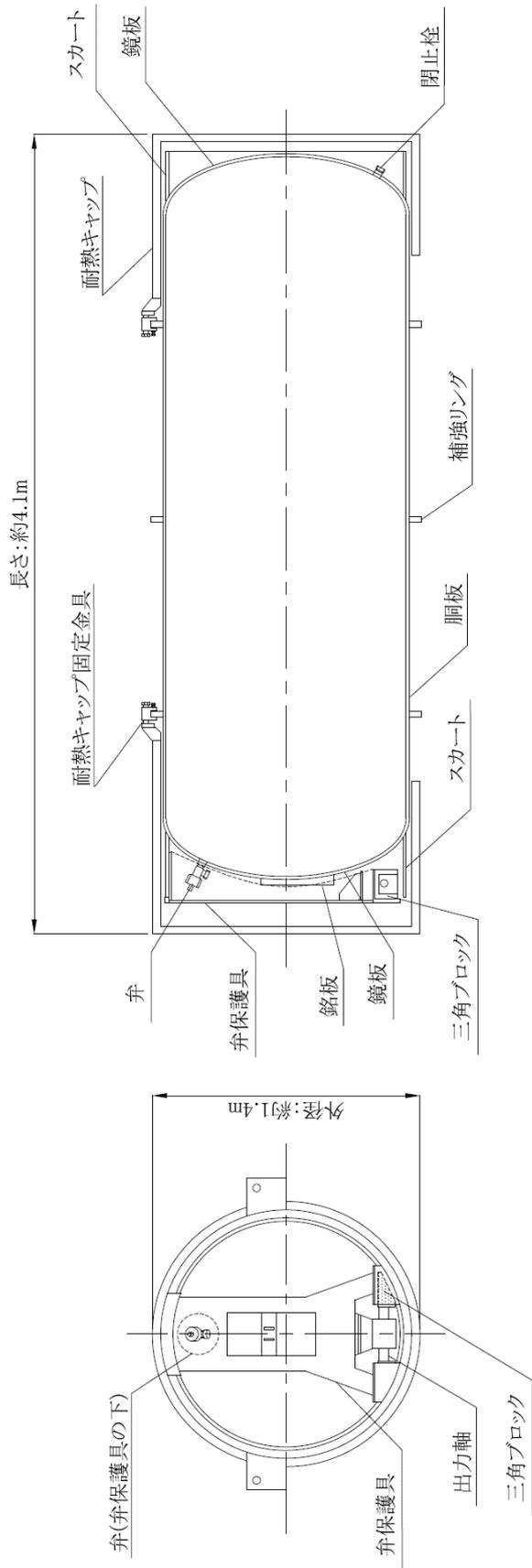
使用予定年数：製造後40年

上記のうち、弁保護具、耐熱キャップ及び耐熱キャップ固定金具については、製造から現在まで27年が経過しており、今後13年の使用を予定している。なお、シリンダについては、輸送の都度、新たに製造する。

(2) 輸送物に係る技術上の基準が変更となった場合等の対応

外運搬規則等の改正に伴い本輸送物に係る技術上の基準が変更となった場合及び新たな技術的知見が得られた場合は、設計への影響を評価し、必要に応じて設計変更承認申請等の手続きを行う。

以上



添付図一 1 48Y-JDT C型核燃料輸送物全体図

第1表 収納する核燃料物質等の仕様

項目		仕様	
種類		天然六ふっ化ウラン	
性状		固体（塊状と粉末の混合体）	
重量（kg）		最大：12,500 最小：8,800	
濃縮度（wt%以下）		0.72	
放射能の量	総量（Bq以下）	4.31×10^{11} （12,500 kg-UF ₆ 以下）	
	主要な核種 （Bq以下）	ウラン-234	1.08×10^{11}
		ウラン-235	4.81×10^9
		ウラン-238	1.05×10^{11}
燃焼度		該当しない	
発熱量		該当しない	
冷却日数		該当しない	

別紙

1. 輸送容器の設計及び核燃料物質等を当該輸送容器に収納した場合の核燃料輸送物の安全性に関する説明書・・・・・・・・・・・・・・・・別記－1
2. 輸送容器に係る品質管理の方法等（設計に係るものに限る。）に関する説明書・・・・・・・・・・・・・・・・別記－2

輸送容器の設計及び核燃料物質等を当該輸送容器に
収納した場合の核燃料輸送物の安全性に関する説明書

目 次

イ章 核燃料輸送物の説明

(イ)-A 目的及び条件	(イ)-1
(イ)-B 核燃料輸送物の種類	(イ)-1
(イ)-C 輸送容器	(イ)-1
(イ)-D 輸送容器の収納物	(イ)-13

ロ章 核燃料輸送物の安全解析

(ロ)-A 構造解析	(ロ)-A-1
A. 1 構造設計	(ロ)-A-1
A. 1. 1 概 要	(ロ)-A-1
A. 1. 2 設計基準	(ロ)-A-1
A. 1. 2. 1 設計の基本	(ロ)-A-1
A. 1. 2. 2 設計基準	(ロ)-A-1
A. 2 重量及び重心	(ロ)-A-2
A. 3 材料の機械的性質	(ロ)-A-8
A. 4 核燃料輸送物の要件	(ロ)-A-10
A. 4. 1 化学的及び電気的反応	(ロ)-A-10
A. 4. 2 低温強度	(ロ)-A-11
A. 4. 3 密封装置	(ロ)-A-11
A. 4. 4 吊上装置	(ロ)-A-11
A. 4. 4. 1 吊上装置の応力評価	(ロ)-A-11
A. 4. 4. 2 吊上装置の疲労評価	(ロ)-A-17
A. 4. 5 固縛装置	(ロ)-A-18
A. 4. 6 圧 力	(ロ)-A-30
A. 4. 6. 1 内外圧力差によりシリンダに発生する応力	(ロ)-A-30
A. 4. 6. 2 内外圧力差によりシリンダに発生する繰返し応力の評価	(ロ)-A-35
A. 4. 7 振 動	(ロ)-A-36
A. 5 一般の試験条件	(ロ)-A-39
A. 5. 1 熱的試験	(ロ)-A-39
A. 5. 2 水噴霧	(ロ)-A-39
A. 5. 3 自由落下	(ロ)-A-39
A. 5. 4 積み重ね試験	(ロ)-A-88
A. 5. 5 貫 通	(ロ)-A-88
A. 5. 6 角又は縁落下	(ロ)-A-88

A. 5. 7	結果の要約及びその評価	(㍀)-A-88
A. 6	特別の試験条件	(㍀)-A-89
A. 6. 1	強度試験・落下試験Ⅰ（9 m落下時）	(㍀)-A-89
A. 6. 2	強度試験・落下試験Ⅱ（1 m落下時）	(㍀)-A-89
A. 6. 3	熱的試験	(㍀)-A-89
A. 6. 4	浸漬	(㍀)-A-89
A. 6. 5	結果の要約及びその評価	(㍀)-A-89
A. 7	強化浸漬試験	(㍀)-A-89
A. 8	放射性収納物	(㍀)-A-89
A. 9	核分裂性輸送物	(㍀)-A-89
A. 10	付属書類	(㍀)-A-90
(ロ)-B	熱解析	(㍀)-B-1
B. 1	概要	(㍀)-B-1
B. 2	材料の熱的性質	(㍀)-B-1
B. 3	構成要素の仕様	(㍀)-B-1
B. 4	一般の試験条件	(㍀)-B-2
B. 4. 1	熱解析モデル	(㍀)-B-2
B. 4. 2	最高温度	(㍀)-B-2
B. 4. 3	最低温度	(㍀)-B-2
B. 4. 4	最大内圧	(㍀)-B-2
B. 4. 5	最大熱応力	(㍀)-B-2
B. 4. 6	結果の要約及びその評価	(㍀)-B-2
B. 5	特別の試験条件	(㍀)-B-2
B. 5. 1	熱解析モデル	(㍀)-B-2
B. 5. 1. 1	解析モデル	(㍀)-B-2
B. 5. 1. 2	試験モデル	(㍀)-B-8
B. 5. 2	核燃料輸送物の評価条件	(㍀)-B-8
B. 5. 3	核燃料輸送物温度	(㍀)-B-8
B. 5. 4	最大内圧	(㍀)-B-20
B. 5. 5	最大熱応力	(㍀)-B-23
B. 5. 6	結果の要約及びその評価	(㍀)-B-23
B. 6	付属書類	(㍀)-B-24

(ロ)-C 密封解析	(ロ)-C-1
C.1 概 要	(ロ)-C-1
C.2 密封装置	(ロ)-C-1
C.2.1 密封装置	(ロ)-C-1
C.2.2 密封装置の貫通部	(ロ)-C-4
C.2.3 密封装置のガスケット及び溶接部	(ロ)-C-4
C.2.4 蓋	(ロ)-C-4
C.3 一般の試験条件	(ロ)-C-4
C.3.1 放射性物質の漏えい	(ロ)-C-5
C.3.2 密封装置の加圧	(ロ)-C-5
C.3.3 冷却材汚染	(ロ)-C-6
C.3.4 冷却材損失	(ロ)-C-6
C.4 特別の試験条件	(ロ)-C-6
C.4.1 核分裂生成ガス	(ロ)-C-6
C.4.2 放射性物質の漏えい	(ロ)-C-6
C.5 結果の要約及びその評価	(ロ)-C-6
C.6 付属書類	(ロ)-C-7
(ロ)-D 遮蔽解析	(ロ)-D-1
D.1 概 要	(ロ)-D-1
D.2 線源仕様	(ロ)-D-1
D.2.1 ガンマ線源	(ロ)-D-1
D.2.2 中性子源	(ロ)-D-1
D.3 モデル仕様	(ロ)-D-3
D.3.1 解析モデル	(ロ)-D-3
D.3.2 解析モデル各領域における密度	(ロ)-D-3
D.4 遮蔽評価	(ロ)-D-3
D.5 結果の要約及びその評価	(ロ)-D-3
D.6 付属書類	(ロ)-D-4
(ロ)-E 臨界解析	(ロ)-E-1
(ロ)-F 核燃料輸送物の経年変化の考慮	(ロ)-F-1
F.1 考慮すべき経年変化要因	(ロ)-F-1

F.2	安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価	(㍑)-F-1
F.3	安全解析における経年変化の考慮内容	(㍑)-F-13
F.4	付属書類	(㍑)-F-13

(ロ)-G	外運搬規則及び外運搬告示に対する適合性の評価	(㍑)-G-1
-------	------------------------	---------

ハ章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱方法

(ハ)-A	核燃料輸送物の取扱方法	(ハ)-A-1
A.1	装荷方法	(ハ)-A-1
A.2	核燃料輸送物の発送前検査	(ハ)-A-2
A.3	取出し方法	(ハ)-A-4
A.4	空容器の準備	(ハ)-A-4
(ハ)-B	保守条件	(ハ)-B-1
B.1	外観検査	(ハ)-B-1
B.2	耐圧検査	(ハ)-B-1
B.3	気密漏えい検査	(ハ)-B-1
B.4	遮蔽検査	(ハ)-B-1
B.5	未臨界検査	(ハ)-B-1
B.6	熱検査	(ハ)-B-1
B.7	吊上検査	(ハ)-B-1
B.8	作動確認検査	(ハ)-B-2
B.9	補助系の保守	(ハ)-B-2
B.10	密封装置の弁、ガスケット等の保守	(ハ)-B-2
B.11	輸送容器の保管	(ハ)-B-2
B.12	記録の保管	(ハ)-B-2
B.13	その他	(ハ)-B-2

ニ章 安全設計及び安全輸送に関する特記事項

1.	技術基準が変更となった場合及び新たな技術的知見が得られた場合の対応について	(ニ)-1
----	---------------------------------------	-------

参考	輸送容器の製作の方法の概要に関する説明	(参)-A-1
----	---------------------	---------

図リスト

イ章

(イ)-第1図	輸送物構造図	(イ)-5
(イ)-第2図	弁	(イ)-6
(イ)-第3図	弁保護具	(イ)-7
(イ)-第4図	閉止栓	(イ)-8
(イ)-第5図	輸送荷姿	(イ)-11
(イ)-第6図	六ふっ化ウラン蒸気圧曲線	(イ)-14

ロ章

(ロ)-第A.1図	輸送物の重心位置	(ロ)-A-7
(ロ)-第A.2図	輸送物の吊上状態	(ロ)-A-12
(ロ)-第A.3図	吊金具（吊上装置）の仮想破損状態	(ロ)-A-16
(ロ)-第A.4図	輸送物の固縛要領図	(ロ)-A-19
(ロ)-第A.5図	シャックルに作用する荷重	(ロ)-A-21
(ロ)-第A.6図	吊金具（固縛装置）の仮想破損状態	(ロ)-A-24
(ロ)-第A.7図	補強リング解析モデル	(ロ)-A-26
(ロ)-第A.8図	耐熱キャップ固定金具の構成	(ロ)-A-28
(ロ)-第A.9図	外圧チャート（形状に関するもの）	(ロ)-A-33
(ロ)-第A.10図	外圧条件下での構造物の板厚決定のためのチャート 炭素鋼(降伏点が210 N/mm ² 以上410 N/mm ² 未満のもの) 及びステンレス鋼(SUS405、SUS410及びSUS410Ti)	(ロ)-A-34
(ロ)-第A.11図	火災前の条件におけるシリンダの各部位の最大温度 差	(ロ)-A-36
(ロ)-第A.12図	荷重・境界条件図	(ロ)-A-37
(ロ)-第A.13図	解析モデル図（弁側を下にした落下）	(ロ)-A-41
(ロ)-第A.14図	評価点位置図（弁側を下にした落下）	(ロ)-A-42
(ロ)-第A.15図	解析モデル図（閉止栓側を下にした落下）	(ロ)-A-43
(ロ)-第A.16図	評価点位置図（閉止栓側を下にした落下）	(ロ)-A-44
(ロ)-第A.17図	0.6 m 垂直落下時における荷重・境界条件図（弁側を 下にした垂直落下）	(ロ)-A-47
(ロ)-第A.18図	0.6 m 垂直落下時における落下方向変位時刻歴（弁側 を下にした垂直落下）	(ロ)-A-48

(口)-第A.19 図	0.6 m 垂直落下時における弁先端／弁保護具間の隙間時刻歴（弁側を下にした垂直落下）	(口)-A-49
(口)-第A.20 図	弁先端最小隙間時刻における変形図（弁側を下にした垂直落下）	(口)-A-50
(口)-第A.21 図	垂直落下において発生した相当塑性歪み分布図（弁側を下にした垂直落下）	(口)-A-51
(口)-第A.22 図	0.6 m 垂直落下時における荷重・境界条件図（閉止栓側を下にした垂直落下）	(口)-A-53
(口)-第A.23 図	0.6 m 垂直落下時における落下方向変位時刻歴（閉止栓側を下にした垂直落下）	(口)-A-54
(口)-第A.24 図	0.6 m 垂直落下時における閉止栓先端／耐熱キャップ間の隙間時刻歴（閉止栓側を下にした垂直落下）	(口)-A-55
(口)-第A.25 図	閉止栓先端最小隙間時刻における変形図（閉止栓側を下にした垂直落下）	(口)-A-56
(口)-第A.26 図	垂直落下において発生した相当塑性歪み分布図（閉止栓側を下にした垂直落下）	(口)-A-57
(口)-第A.27 図	0.6 m 水平落下時における荷重・境界条件図	(口)-A-59
(口)-第A.28 図	0.6 m 水平落下時における落下方向変位時刻歴	(口)-A-60
(口)-第A.29 図	弁側鏡板中央部最大変位時刻における変形図	(口)-A-61
(口)-第A.30 図	胴中央上端部最大変位時刻における変形図	(口)-A-62
(口)-第A.31 図	水平落下において発生した相当塑性歪み分布図	(口)-A-63
(口)-第A.32 図	0.6 m コーナー落下時における荷重・境界条件図（弁側を下にしたコーナー落下）	(口)-A-65
(口)-第A.33 図	0.6 m コーナー落下時における落下方向変位時刻歴（弁側を下にしたコーナー落下）	(口)-A-66
(口)-第A.34 図	0.6 m コーナー落下時における弁先端／弁保護具間の隙間時刻歴（弁側を下にしたコーナー落下）	(口)-A-67
(口)-第A.35 図	弁先端最小隙間時刻における変形図（弁側を下にしたコーナー落下）	(口)-A-68
(口)-第A.36 図	コーナー落下において発生した相当塑性歪み分布図（弁側を下にしたコーナー落下）	(口)-A-69
(口)-第A.37 図	0.6 m コーナー落下時における荷重・境界条件図（閉止栓側を下にしたコーナー落下）	(口)-A-71

(ロ)-第A.38 図	0.6 m コーナー落下時における落下方向変位時刻歴 (閉止栓側を下にしたコーナー落下)	(ロ)-A-72
(ロ)-第A.39 図	0.6 m コーナー落下時における閉止栓先端／耐熱キャ ップ間の隙間時刻歴(閉止栓側を下にしたコーナー落 下)	(ロ)-A-73
(ロ)-第A.40 図	閉止栓先端最小隙間時刻における変形図(閉止栓側を 下にしたコーナー落下)	(ロ)-A-74
(ロ)-第A.41 図	コーナー落下において発生した相当塑性歪み分布図 (閉止栓側を下にしたコーナー落下)	(ロ)-A-75
(ロ)-第A.42 図	0.6 m 傾斜落下時における荷重・境界条件図(弁側を 下にした傾斜落下)	(ロ)-A-77
(ロ)-第A.43 図	0.6 m 傾斜落下時における落下方向変位時刻歴(弁側 を下にした傾斜落下)	(ロ)-A-78
(ロ)-第A.44 図	0.6 m 傾斜落下時における弁先端／弁保護具間の隙間 時刻歴(弁側を下にした傾斜落下)	(ロ)-A-79
(ロ)-第A.45 図	弁先端最小隙間時刻における変形図(弁側を下にした 傾斜落下)	(ロ)-A-80
(ロ)-第A.46 図	傾斜落下において発生した相当塑性歪み分布図(弁側 を下にした傾斜落下)	(ロ)-A-81
(ロ)-第A.47 図	0.6 m 傾斜落下時における荷重・境界条件図(閉止栓 側を下にした傾斜落下)	(ロ)-A-83
(ロ)-第A.48 図	0.6 m 傾斜落下時における落下方向変位時刻歴(閉止 栓側を下にした傾斜落下)	(ロ)-A-84
(ロ)-第A.49 図	0.6 m 傾斜落下時における閉止栓先端／耐熱キャ ップ間の隙間時刻歴(閉止栓側を下にした傾斜落下)	(ロ)-A-85
(ロ)-第A.50 図	閉止栓先端最小隙間時刻における変形図(閉止栓側を 下にした傾斜落下)	(ロ)-A-86
(ロ)-第A.51 図	傾斜落下において発生した相当塑性歪み分布図(閉止 栓側を下にした傾斜落下)	(ロ)-A-87
(ロ)-第A付.1.1 図	炭素鋼の低温における機械的性質	(ロ)-A-93
(ロ)-第A付.2.1 図	耐熱キャップ固定金具の位置関係	(ロ)-A-96
(ロ)-第A付.3.1 図	傾斜角毎の弁と弁保護具間の最小隙間(弁側を下 にした傾斜落下)	(ロ)-A-100

(ロ)-第A付. 3. 2 図	傾斜角毎の閉止栓と耐熱キャップ間の最小隙間 (閉止栓側を下にした傾斜落下)	(ロ)-A-101
(ロ)-第A付. 4. 1 図	弁保護具形状比較	(ロ)-A-103
(ロ)-第A付. 4. 2 図	再現解析の解析終了時刻における変形図	(ロ)-A-104
(ロ)-第A付. 4. 3 図	スカート変形量抽出位置図	(ロ)-A-105
(ロ)-第A付. 4. 4 図	スカート変形量比較	(ロ)-A-106
(ロ)-第A付. 4. 5 図	再現解析における弁先端／弁保護具間の隙間時刻 歴	(ロ)-A-107
(ロ)-第A付. 5. 1 図	棒の落下・衝突時の理論解	(ロ)-A-112
(ロ)-第A付. 5. 2 図	解析条件図	(ロ)-A-113
(ロ)-第A付. 5. 3 図	軸方向応力コンター図	(ロ)-A-114
(ロ)-第A付. 5. 4 図	変位・速度の応答時刻歴	(ロ)-A-115
(ロ)-第A付. 5. 5 図	軸方向応力・反力の応答時刻歴	(ロ)-A-116
(ロ)-第B. 1 図	解析モデル図 (充填量 8, 800 kg の場合)	(ロ)-B-4
(ロ)-第B. 2 図	解析モデル図 (充填量 12, 500 kg の場合)	(ロ)-B-5
(ロ)-第B. 3 図	境界条件図 (伝導及び外部雰囲気との境界条件)	(ロ)-B-6
(ロ)-第B. 4 図	境界条件図 (放射定義位置)	(ロ)-B-7
(ロ)-第B. 5 図	シリンダ外表面最高温度発生位置における温度時刻歴 (充填量 8, 800 kg の場合)	(ロ)-B-9
(ロ)-第B. 6 図	シリンダ内表面における温度時刻歴 (充填量 8, 800 kg の場合)	(ロ)-B-10
(ロ)-第B. 7 図	弁取付け部における温度時刻歴 (充填量 8, 800 kg の場 合)	(ロ)-B-11
(ロ)-第B. 8 図	耐熱キャップの温度時刻歴 (充填量 8, 800 kg の場合)	(ロ)-B-12
(ロ)-第B. 9 図	収納物自由表面における平均温度時刻歴 (充填量 8, 800 kg の場合)	(ロ)-B-13
(ロ)-第B. 10 図	シリンダ外表面最高温度発生位置における温度時刻 歴 (充填量 12, 500 kg の場合)	(ロ)-B-14
(ロ)-第B. 11 図	シリンダ内表面における温度時刻歴 (充填量 12, 500 kg の場合)	(ロ)-B-15
(ロ)-第B. 12 図	弁取付け部における温度時刻歴 (充填量 12, 500 kg の 場合)	(ロ)-B-16
(ロ)-第B. 13 図	耐熱キャップの温度時刻歴 (充填量 12, 500 kg の場合)	(ロ)-B-17

(ロ)-第B.14図	収納物自由表面における平均温度時刻歴（充填量 12,500 kgの場合）	(ロ)-B-18
(ロ)-第B.15図	収納物自由表面における平均温度から算出した容器 内圧時刻歴（充填量8,800 kgの場合）	(ロ)-B-21
(ロ)-第B.16図	収納物自由表面における平均温度から算出した容器 内圧時刻歴（充填量12,500 kgの場合）	(ロ)-B-22
(ロ)-第B付.1.1図	体積増加の模擬	(ロ)-B-25
(ロ)-第B付.2.1図	解析モデルと温度測定位置	(ロ)-B-27
(ロ)-第B付.2.2図	シリンダ内表面における温度時刻歴	(ロ)-B-29
(ロ)-第B付.2.3図	耐熱保護カバーの温度時刻歴	(ロ)-B-30
(ロ)-第B付.2.4図	UF ₆ 自由表面平均温度から算出したシリンダ内圧 時刻歴	(ロ)-B-31
(ロ)-第C.1図	弁及び閉止栓取付け状態図	(ロ)-C-3
(ロ)-第D.1図	解析モデル	(ロ)-D-3

ハ章

(ハ)-第A.1図	核燃料輸送物の標準的な取扱いフロー	(ハ)-A-5
-----------	-------------------	---------

表リスト

イ章

(イ)-第1表	主要構成材料	(イ)-3
(イ)-第2表	材料名一覧表	(イ)-4

ロ章

(ロ)-第A.1表	輸送容器の構造設計の条件及び解析方法	(ロ)-A-3
(ロ)-第A.2表	輸送物の重量	(ロ)-A-8
(ロ)-第A.3表	主要材料の機械的性質	(ロ)-A-9
(ロ)-第A.4表	接触する異種材料の一覧	(ロ)-A-10
(ロ)-第A.5表	許容繰返し回数の評価	(ロ)-A-17
(ロ)-第A.6表	疲労解析が不要となる繰返し回数の評価	(ロ)-A-35
(ロ)-第A.7表	振動モード毎の固有振動数	(ロ)-A-38
(ロ)-第A.8表	自由落下姿勢	(ロ)-A-40
(ロ)-第A.9表	解析に用いた物性値	(ロ)-A-45
(ロ)-第A付.4.1表	落下条件の比較	(ロ)-A-102
(ロ)-第B.1表	構成要素の仕様及び材料の熱的性質	(ロ)-B-1
(ロ)-第B.2表	放射率一覧	(ロ)-B-3
(ロ)-第B.3表	放射熱一覧	(ロ)-B-3
(ロ)-第B.4表	輸送物の各部温度	(ロ)-B-19
(ロ)-第C.1表	シリンダ内部の圧力	(ロ)-C-6
(ロ)-第D.1表	線源計算に用いるウラン核種の重量（輸送物1基当たり）	(ロ)-D-2
(ロ)-第D.2表	主要な核種の放射エネルギー（輸送物1基当たり）	(ロ)-D-2
(ロ)-第D.3表	ウランのガンマ線エネルギー強度（輸送物1基当たり）	(ロ)-D-2
(ロ)-第D.4表	子孫核種のガンマ線エネルギー強度（輸送物1基当たり）	(ロ)-D-2
(ロ)-第D.5表	ガンマ線量当量率	(ロ)-D-3
(ロ)-第F.1表	安全解析における輸送容器の構成部材に関する経年変化の考慮の必要性の評価	(ロ)-F-3

ハ章

(ハ)-第A.1表	発送前検査要領	(ハ)-A-2
(ハ)-第B.1表	シリンダの定期自主検査要領	(ハ)-B-3

(ハ)-第B.2表 弁保護具及び耐熱キャップの定期自主検査要領

(ハ)-B-4

イ章 核燃料輸送物の説明

(イ)-A 目的及び条件

(1) 核燃料輸送物の使用目的

当社ウラン濃縮加工施設に関連する、天然六ふっ化ウランの輸送に使用する。

(2) 輸送容器の型名 48Y-JDTC型

(3) 輸送物の種類 IP-1型六ふっ化ウラン輸送物

(4) 核分裂性物質の区分 該当しない

(5) 輸送制限個数 制限なし

(6) 配列方法 任意

(7) 輸送指数 3.3

(8) 臨界安全指数 0

(9) 輸送容器の使用予定年数及び回数

a. シリンダ

(a) 使用予定年数：製造後2年

(b) 運搬に使用される回数：1回

(c) 運搬に要する日数：1回当たり4ヵ月以内

b. 弁保護具、耐熱キャップ及び耐熱キャップ固定金具

(a) 使用予定年数：製造後40年

(b) 運搬に使用される回数：40回以下（1年間当たり1回以下）

(c) 運搬に要する日数：1回当たり4ヵ月以内

(イ)-B 核燃料輸送物の種類

本輸送物の収納物は、未照射の固体状の天然六ふっ化ウランであって、収納物の表面から3m離れた位置における線量当量率が10mSv/hを超えないことから、LSA-Iに適合する。

したがって、本輸送物は、IP-1型六ふっ化ウラン輸送物とする。

(イ)-C 輸送容器

(1) 総重量

輸送容器の重量 3,140 kg 以下

核燃料輸送物の総重量 15,640 kg 以下

(2) 構成材料

主要構成材料及び材料名の一覧を(イ)-第 1 表～(イ)-第 2 表に示す。

(イ)-第 1 表において、主要構成品にそれぞれ番号を付し、(イ)-第 1 図～(イ)-第 4 図との対応を示す。

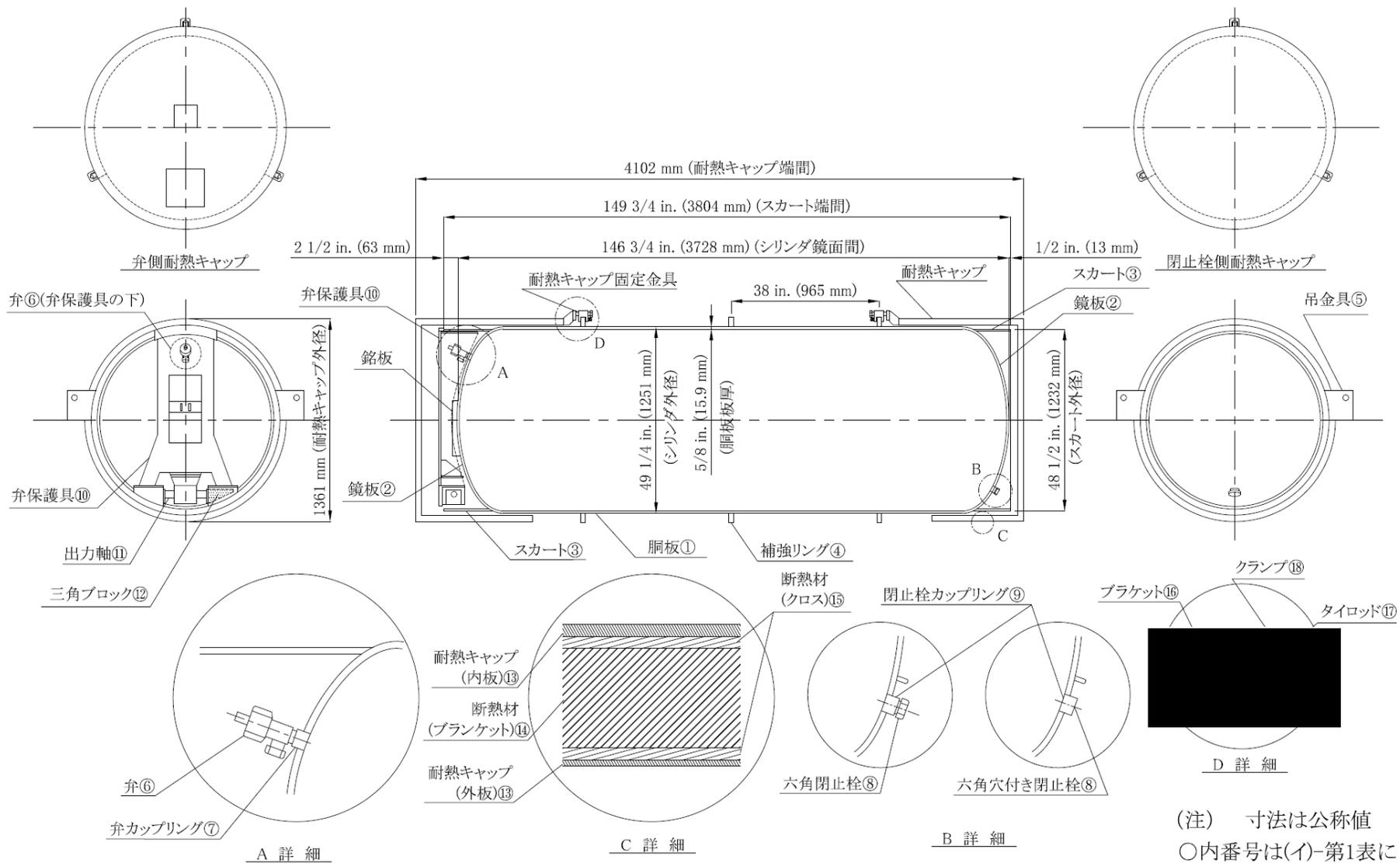
(イ)-第1表 主要構成材料

番号	主要構成品名	主要材料	寸法等	個数
1	胴板	ASTM A516 (Grade 60)	t = 5/8 in. (15.9 mm)	1
2	鏡板	ASTM A516 (Grade 60)	t = 5/8 in. (15.9 mm)	2
3	スカート	ASTM A516 (Grade 60)	t = 5/8 in. (15.9 mm)	2
4	補強リング	ASTM A516 (Grade 60)	t = 7/8 in. (22.2 mm)	3
5	吊金具	ASTM A516 (Grade 60)	t = 1 in. (25.4 mm)	4
6	弁 (胴部) (軸部)	UNS C63600 ASTM B164	呼び径 1 in. (25.4 mm)	1
7	弁カップリング	ASTM A105	呼び径 1 in. (25.4 mm)	1
8	閉止栓 (六角閉止栓又は 六角穴付き閉止栓)	ASTM B150 UNS C61300 又は ASTM B150 UNS C61400	呼び径 1 in. (25.4 mm)	1
9	閉止栓カップリング	ASTM A105	呼び径 1 in. (25.4 mm)	1
10	弁保護具	ASTM A516 (Grade 60)	t = 12 mm	1
11	出力軸	ASTM A320 L7	M45×3	1
12	三角ブロック	SCW 480	—	2
13	耐熱キャップ (内板及び外板)	SUS 304	t = 1 mm 及び 2 mm	2
14	断熱材 (ブランケット)	セラミックファイバー ブランケット	t = 36 mm	一式
15	断熱材 (クロス)	セラミックファイバー クロス	t = 2 mm	一式
16	耐熱キャップ固定金具 ブラケット	SUS 304	t = 20 mm	6
17	耐熱キャップ固定金具 タイロッド	S25C	呼び径 20 mm	6
18	耐熱キャップ固定金具 クランプ	SS400	t = 60 mm	6

番号 1～9 は、ISO 7195 の 4 8 Y シリンダの規格による。ただし、寸法値は、インチ単位 (in.) からミリ単位 (mm) へ、1 in. = 25.4 mm を基に換算している。

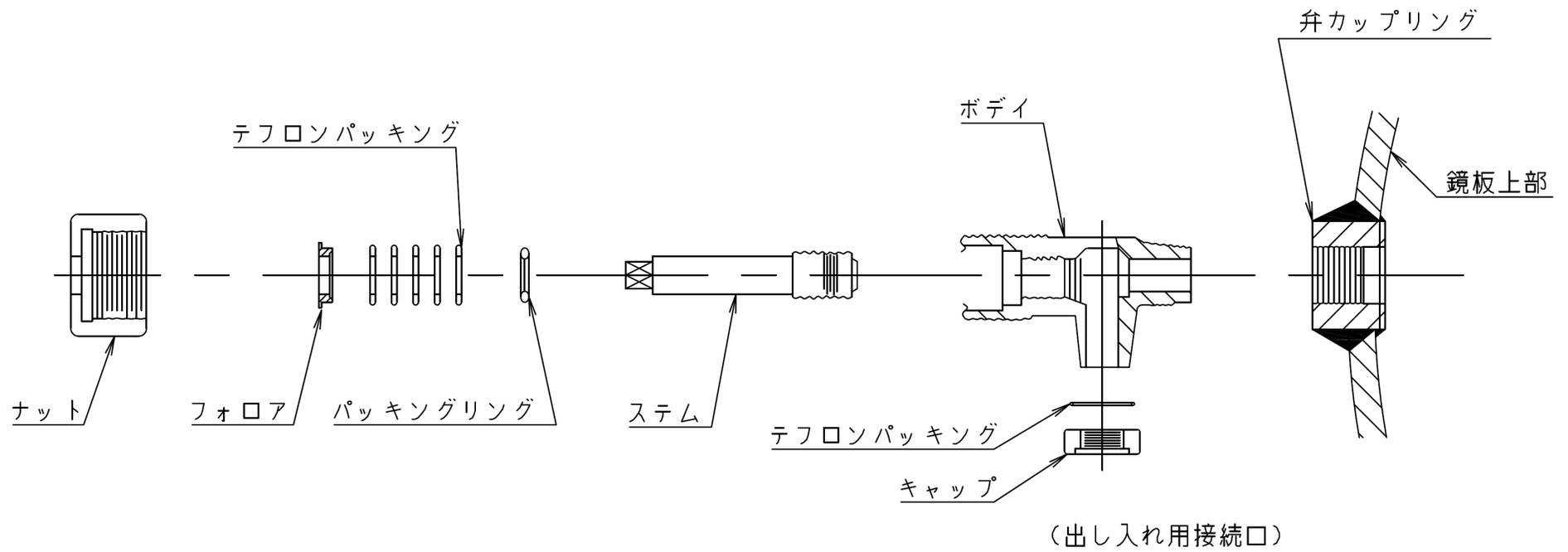
(イ)-第2表 材料名一覧表

材料記号	材料名
ASTM A516 (Grade 60) (ASTM インターナショナル)	中・低温圧力容器用炭素鋼鋼板 (JIS G3118 中・常温圧力容器用炭素鋼鋼板相当)
ASTM A105 (ASTM インターナショナル)	配管用炭素鋼鍛造鋼 (JIS G3201 炭素鋼鍛造鋼品相当)
ASTM A320 (ASTM インターナショナル)	低温用合金鋼ボルト材
ASTM B150 (ASTM インターナショナル)	アルミニウム青銅
ASTM B164 (ASTM インターナショナル)	モネル (ニッケル銅合金)
UNS C63600 (UNS 規格品)	アルミニウム青銅
SCW480 (JIS 規格品)	溶接構造用鋳鋼品
SS400 (JIS 規格品)	一般構造用圧延鋼材
S25C (JIS 規格品)	機械構造用炭素鋼鋼材
SUS304 (JIS 規格品)	オーステナイト系ステンレス鋼



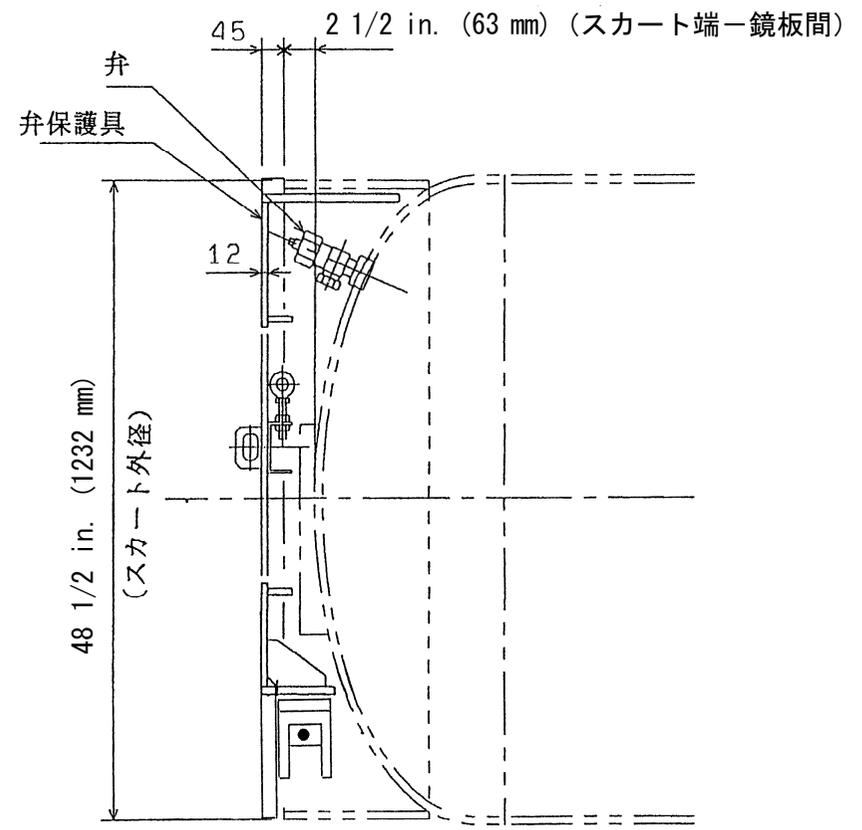
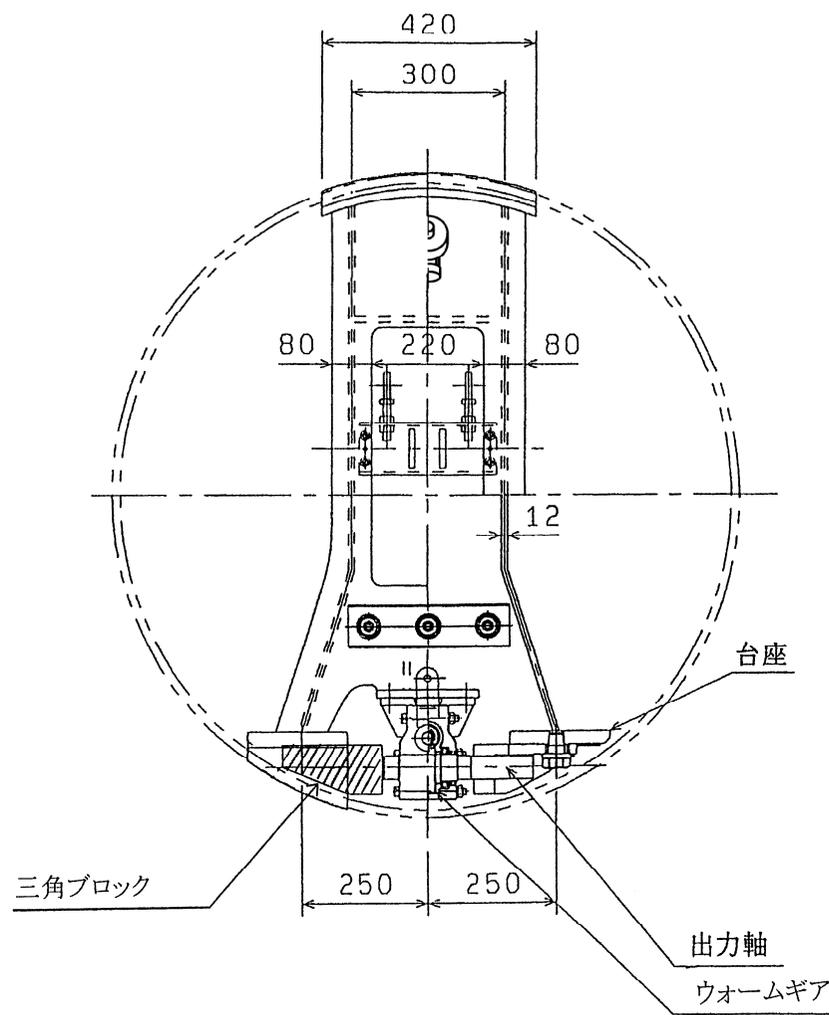
(注) 寸法は公称値
○内番号は(イ)-第1表に掲げる部品番号を表す。

(イ)-第1図 輸送物構造図



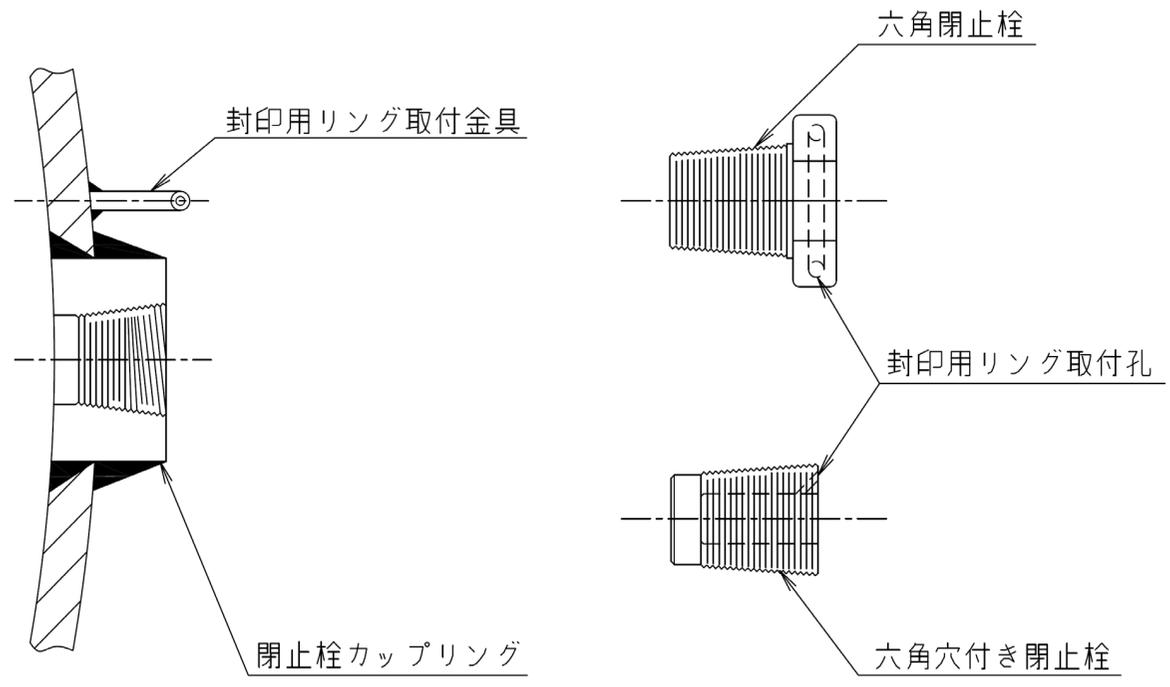
(イ)-第2図 弁

L-(Y)



単位: mm

(イ)-第3図 弁保護具



(イ)-第4図 閉止栓

(3) 中性子吸収材

該当しない

(4) 中性子減速材

該当しない

(5) 主要部分の寸法及び構造

輸送容器の主要部品の寸法及び構造を(イ)-第1図～(イ)-第4図に示す。

(6) 輸送容器

(イ) 本 体

シリンダの本体は円筒部を形成する胴板、端面を形成する鏡板と両端面を保護するスカートから構成されている。胴板は鋼板を円筒形にし、長手の突合せ溶接で製作されている。

シリンダの鏡板は(イ)-第1図に示すように、外部に向かって凸で、胴板と両端部で突合せ溶接されている。シリンダの両端面にはスカートが、側面には補強リングがすみ肉溶接により接合されている。

胴板、鏡板及びスカートの板厚は 15.9 mm である。補強リングの板厚は 22.2 mm である。

(ロ) 弁及び閉止栓

シリンダの両端面の鏡板にカップリングが溶接されている。弁側鏡板のカップリングにはねじが切られ、弁が取付けられている。閉止栓側鏡板のカップリングにもねじが切られ、閉止栓が取付けられている。((イ)-第1図、(イ)-第2図、(イ)-第4図参照)

弁は鋼製の弁保護具で覆われており、輸送物の輸送中に弁が破損するのを防止している。((イ)-第3図参照)

鏡板と閉止栓の間に封印が施されて、閉止栓が開かれたときは判明できる構造になっている。((イ)-第4図参照)

弁は六ふっ化ウランの出し入れに使用されるもので、アルミニウム青銅で製作されており、鏡板に溶接された弁のカップリングとテーパねじで錫ハンダを介して取付けられている。六ふっ化ウランの出し入れ口はモネル（ニッケル銅合金）製ステムにより封じられている。更に、ステム側面についてはナットを介してアルミニウム青銅製フォロア及びパッキングリングでテフロンパッキングを押さえることにより、また出し入れ用接続口側についてはテフロンパッキングを介してキャップによりそれぞれ二重に六ふっ化ウランの漏えいを封じている。((イ)-第2図参照)

閉止栓はアルミニウム青銅で製作されており、シリンダの洗浄口として使用されるもので、鏡板に溶接されたカップリングとテーパねじで錫ハンダを介して取付けられている。((イ)-第4図参照)

(ハ) 耐熱キャップ

耐熱キャップは、ステンレス鋼製の缶体にセラミックファイバークロスとセラミックファイバークロスブランケットからなる断熱材を収納した構造となっており、弁取付け部等が火災時に高温になることを防止する。また、耐熱キャップは1個当たり3個の耐熱キャップ固定金具によって、シリンダの補強リングと接続されており、輸送中においては耐熱キャップとシリンダは一体化されている。耐熱キャップ固定金具のタイロッドには、耐熱キャップとシリンダとの固定位置状態に応じた緩衝材を取付ける。

(7) 弁及び試料採取口等の開口部及び配管

該当しない

(8) 熱除去の方法

該当しない

(9) 冷却材の種類及び量

該当しない

(10) 内部及び外部の突出物

シリンダ外側には収納物を出し入れするための弁及び閉止栓があるが、スカートで保護され、弁は更に弁保護具（(イ)-第3図参照）で覆われている。

シリンダ外周部には補強リングが3箇所ある。

(11) 吊上装置及び固縛装置

吊上装置はシリンダ補強リングに溶接されている板厚 25.4 mmの吊金具である。

固縛方法としては、(イ)-第5図に示すように、本体をターンバックルにより専用輸送機材に固定する。その後、全体を輸送船、貨車又はコンテナ専用トレーラへ積載して輸送する。

(12) 遮蔽材

遮蔽材としては、シリンダ本体を考慮する。

(13) 圧力逃し弁

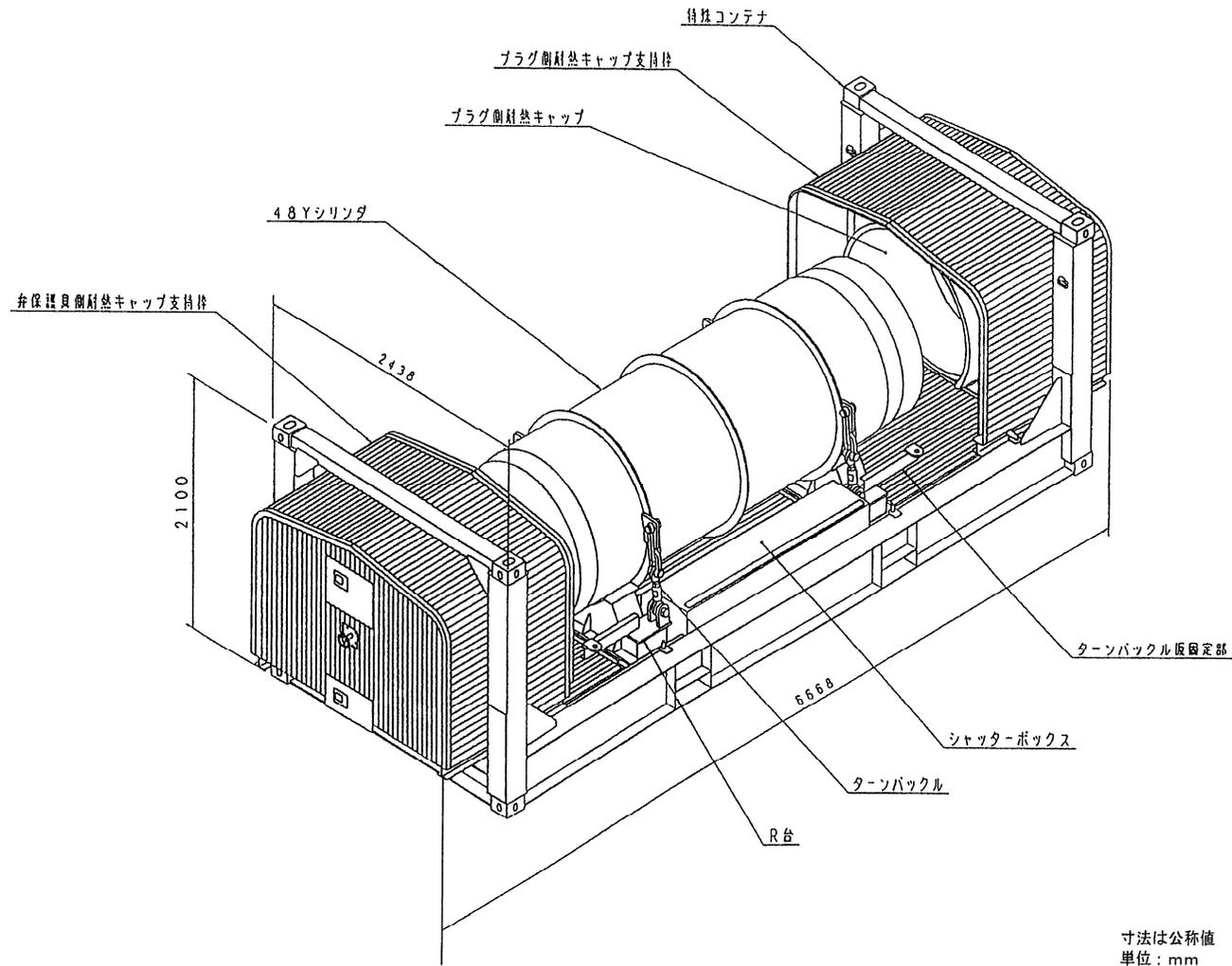
該当しない

(14) 密封装置

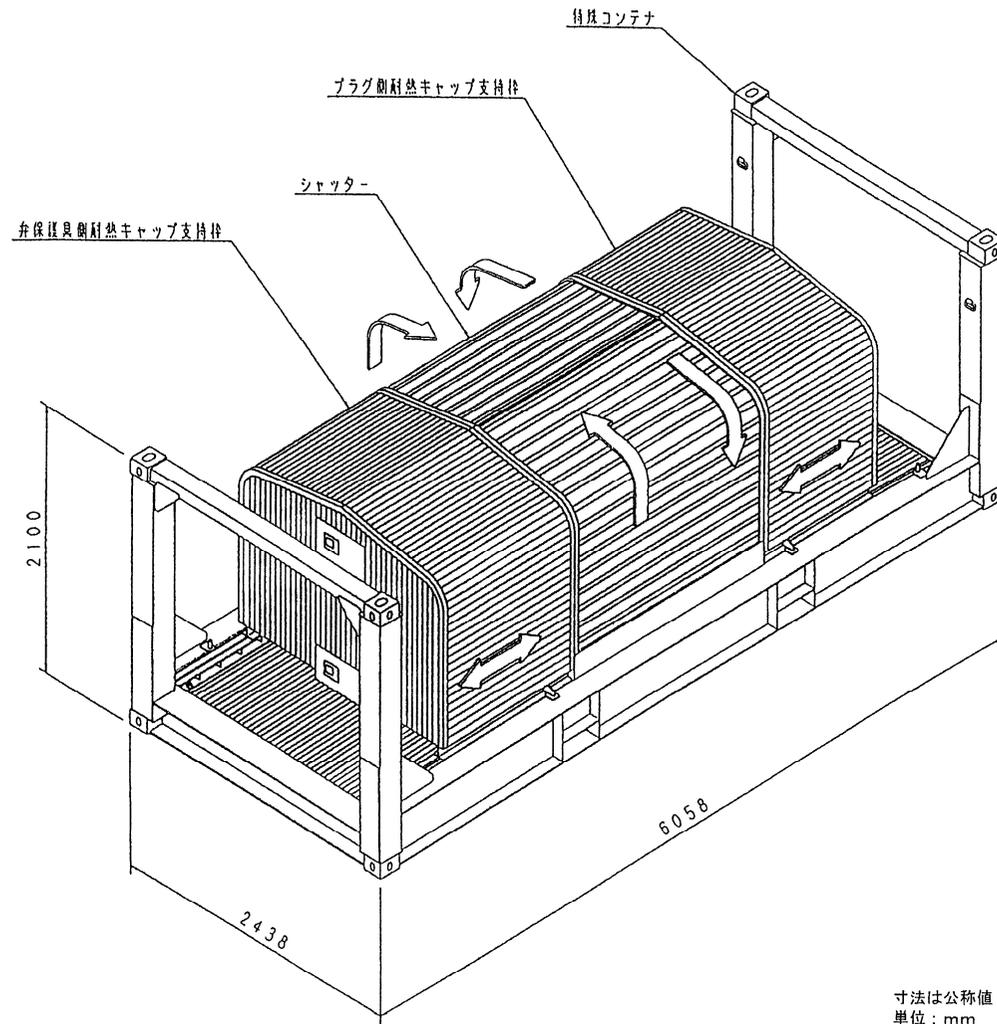
シリンダは鋼製の圧力容器で本輸送物の密封境界を形成しており、更にシリンダには弁及び閉止栓が取付けられている。この3つが本輸送物の密封装置を構成する。

(15) 浸水の領域

核分裂性輸送物には該当しないため、考慮する必要はない。



(イ)-第5図 輸送荷姿 (1/2)



(イ)-第5図 輸送荷姿 (2/2)

(イ)-D 輸送容器の収納物

本輸送容器の収納物は、未照射の天然六ふっ化ウランである。

(1) 主要な核種の放射能の量

(イ) 主要な核種

ウラン-234、ウラン-235、ウラン-238

(ロ) 放射能の量

ウラン-234 : 1.08×10^{11} Bq 以下

ウラン-235 : 4.81×10^9 Bq 以下

ウラン-238 : 1.05×10^{11} Bq 以下

合 計 : 4.31×10^{11} Bq 以下 (12,500 kg-UF₆ 以下)

なお、ここに示した放射能の量は、収納物の放射能強度が最大となる放射平衡時を想定した値である。

(2) 物理的性状

六ふっ化ウランは常温では白色の固体で、その密度は 5.09 g/cm^3 (20 °C) であり、昇華点は 56.6 °C (大気圧) で、三重点の温度は 64.1 °C である。三重点における融解潜熱は $5.47 \times 10^4 \text{ J/kg}$ である。液体六ふっ化ウランは無色透明である。

シリンダに充填するときは、液体若しくは気体で充填し充填終了後弁が閉じられ冷却されて固化する。

六ふっ化ウランが固化したシリンダ内は負圧となる。

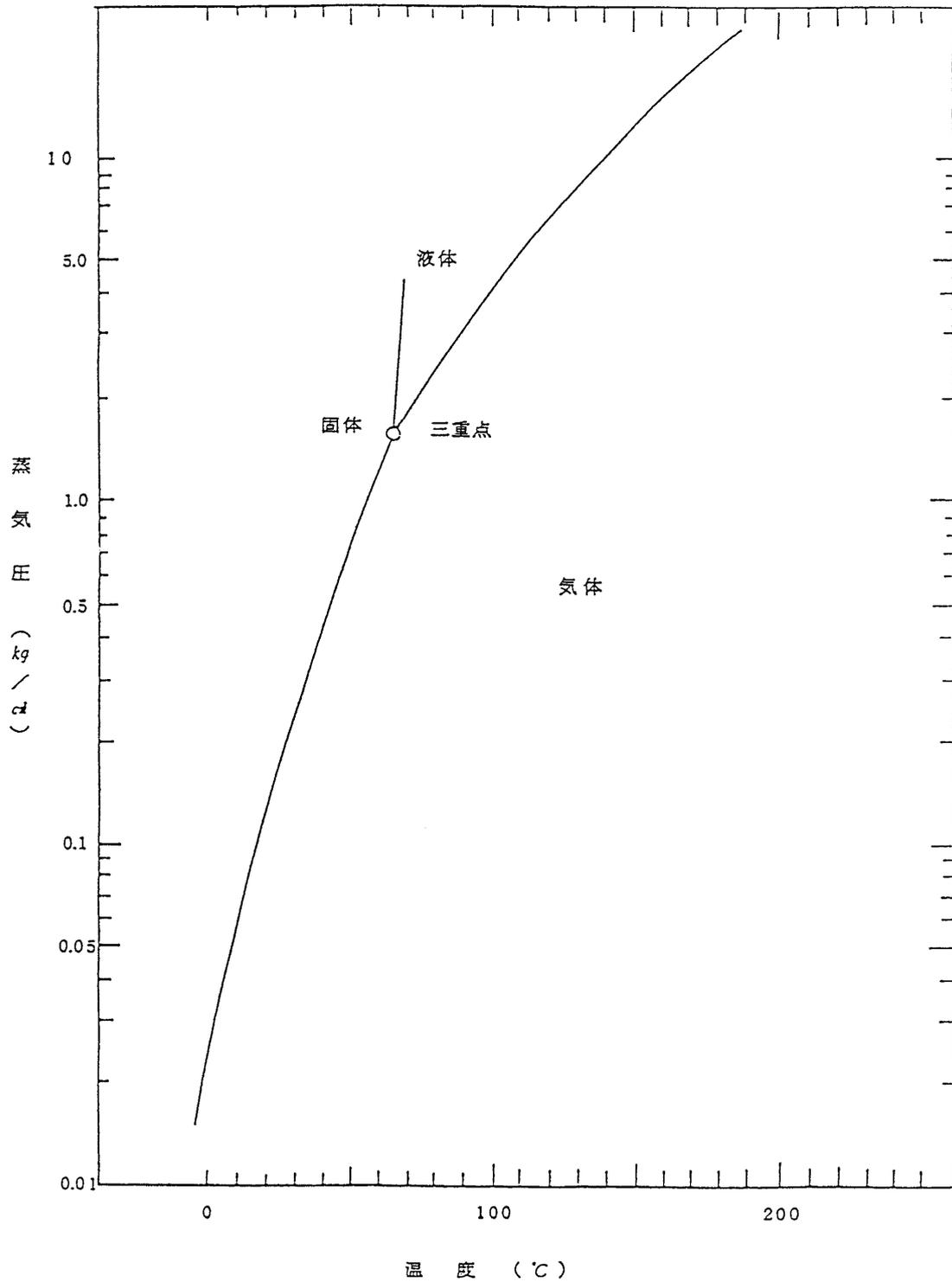
通常の輸送状態では六ふっ化ウランは塊状と粉末の混合体である。

(イ)-第6図は蒸気圧曲線を示す。

六ふっ化ウランの性質は下記のとおりである。

昇華温度 (0.101 MPa(abs))	56.6 °C	
三重点 (0.152 MPa(abs))	64.1 °C	
密 度	固 体 (20 °C)	5.09 g/cm^3
	液 体 (64.1 °C)	3.65 g/cm^3
	液 体 (121 °C)	3.26 g/cm^3
昇華潜熱 (64.1 °C)	$1.35 \times 10^5 \text{ J/kg}$	
融解潜熱 (64.1 °C)	$5.47 \times 10^4 \text{ J/kg}$	
蒸発潜熱 (64.1 °C)	$8.16 \times 10^4 \text{ J/kg}$	

(注) (abs)は絶対圧を表す。



(イ)-第6図 六ふっ化ウラン蒸気圧曲線

(3) 化学的性質

六ふっ化ウランは比較的反応性に富む物質であり、水、エーテル及びアルコールと反応して可溶性物質ができる。また、ほとんどの有機化合物及び多くの金属と反応する。

この反応性はほとんどの飽和ふっ素炭化物とでは非常に弱く、酸素、窒素又は乾燥空気とは反応しない。アルミニウム、銅、モネル（ニッケル銅合金）、ニッケル及びアルミニウム青銅に対しては十分不活性である。これらの金属は六ふっ化ウランにさらしても表面層を作り、腐食が進行することはない。六ふっ化ウランは水と速やかに反応してふっ化ウラニル (UO_2F_2) とふっ化水素 (HF) を作る。

(4) 収納物の密封性

本輸送容器の収納物は、密封性を有しない。

(5) 核的安全の評価に必要な形状

該当しない

(6) 最大崩壊熱量

該当しない

(7) 密封装置の最大圧力

密封境界であるシリンダの最大圧力は常温で負圧である。これは六ふっ化ウランが液体若しくは気体で充填され常温で固化するからである。

(8) 装荷制限

濃縮度 0.72 wt%以下

最大充填量 12,500 kg/シリンダ

最小充填量 8,800 kg/シリンダ

(9) 放射能強度

最大放射能強度 4.31×10^{11} Bq /シリンダ

(10) 低比放射性物質(LSA)の適合性

本輸送容器の収納物は、天然六ふっ化ウランであって、未照射の固体状の核燃料物質である。また、容器による遮蔽の効果を考慮しないで、容器に収納することとした場合に、収納物の表面から 3 m 離れた位置における線量当量率が、最大 0.030 mSv/h であり、10 mSv/h を超えない。

したがって、本輸送容器の収納物は、LSA-I となる。

ロ章 核燃料輸送物の安全解析

本輸送物に関する安全解析は、本輸送物が「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則（昭和 53 年 12 月 28 日付、総理府令第 57 号）」（以下「規則」という。）及び「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示（平成 2 年 11 月 28 日付、科学技術庁告示第 5 号）」（以下「告示」という。）に基づいて、IP-1 型六ふっ化ウラン輸送物としての技術上の基準に適合することを示すために行った。

本解析の概要は以下のとおりである。

A. 構造解析

構造解析では、通常の輸送時において輸送物のき裂、破損等の生じないことを確認する他、六ふっ化ウラン輸送物に係る一般の試験条件において放射性物質の漏えいがないこと等を確認している。

B. 熱解析

熱解析では、通常の運搬状態において六ふっ化ウランが固体状であることを確認する他、六ふっ化ウラン輸送物に係る特別の試験条件において密封装置の破損がないことを確認している。

C. 密封解析

密封解析では、構造解析及び熱解析の評価結果に基づいて、六ふっ化ウラン輸送物に係る一般及び特別の試験条件において密封性が維持されることを確認している。

D. 遮蔽解析

遮蔽解析では、通常の輸送時における輸送物表面あるいは表面から 1 m 離れた位置の線量当量率を評価し、基準値を満足することを示している。

E. 臨界解析

本輸送物は、核分裂性輸送物ではないため該当しない。

F. 核燃料輸送物の経年変化の考慮

本輸送物に関して、使用を予定する期間中に想定される経年変化を評価し、経年変化を考慮する必要がないことを確認している。

G. 外運搬規則及び外運搬告示に対する適合性の評価

以上の結果及びイ章の核燃料輸送物の説明等を総合して、本輸送物の設計が規則及び告示に定める技術基準に適合していることを示している。

以下、ロ章 A～G の各解析、評価の詳細を示す。

口章-A 構造解析

(ロ)-A 構造解析

A.1 構造設計

A.1.1 概要

本輸送容器は、(イ)-第1図に示すように、呼び径48インチの鋼製シリンダ、弁保護具及び耐熱キャップから構成されている。

シリンダは、(イ)-第2図に示す弁と(イ)-第4図に示す閉止栓を持ち、密封装置としての機能を有している。

弁部には、落下等による機械的衝撃から弁を保護するために、(イ)-第3図に示す弁保護具が取付けられる。

また、耐熱キャップは、(イ)-第1図に示す固定金具を介しシリンダに固定され、輸送時の安全性が確保できる構造となっている。

本輸送物の取扱い及び輸送時の固縛は、(イ)-第5図に示すように、補強リングに取付けられた吊金具により、容易かつ安全に行える構造となっている。

A.1.2 設計基準

A.1.2.1 設計の基本

設計の基本としては、規則及び告示等に基づいて以下の条件を考慮した。

(1) 通常の輸送条件

- (a) 輸送容器の材料間又は輸送容器の材料と収納物間において、危険な物理的作用又は化学反応の生じるおそれのないこと。
- (b) 密封装置は不用意に開かれないこと。
- (c) 輸送容器の吊上装置としての吊金具は吊上荷重の5倍に耐えること。
- (d) 固縛装置としての吊金具は輸送中発生する上下及び前後方向加速度2G及び左右方向1Gに耐えること。(G:重力加速度 9.81 m/s²)
- (e) 輸送容器の構成品は、運搬中に予想される温度範囲において、き裂、破損等の生じるおそれがないこと。
- (f) 輸送物の加速度及び振動について考慮すること。

(2) 一般の試験条件

- (a) 0.6 m自由落下試験に耐えること。
(収納物重量により落下高さが異なるが、安全側に0.6 mとする。)

(3) 特別の試験条件

- (a) 耐火試験に耐えること。

A.1.2.2 設計基準

本輸送容器の設計基準は(ロ)-第A.1表に示し、一定条件のもとに解析を行った。

解析結果は余裕率を用いて整理した。

$$\text{余裕率} = \frac{\text{評価基準}}{\text{解析結果}} - 1 \quad \text{である}$$

したがって、設計上は余裕率>0であれば、その設計は安全である。(ロ)-第A.1表の各解析項目では、対象とした部分の参照図表、材質、温度及び対象となる部分に加えられる設計負荷について示した。解析方法は本文中で適用した式及び評価基準を示す。

A.2 重量及び重心

本輸送物の解析に用いた重量は(ロ)-第A.2表、重心は(ロ)-第A.1図のとおりである。

(ロ)-第A.1表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (1/4)

条件	解析項目	設計条件						解析方法		備考
		参照図表	材 質	温度	設計負荷			適用数式又は要素	解析基準	
					種 類	負荷係数	要 素			
通常 の輸 送 条 件	化学的及び 電氣的反応									
	(1) 化学的反應	(ロ)-第A.4表	表による	—	腐 食	—	活 性	化学的反應の有無	無	
	(2) 電氣的反應	(ロ)-第A.4表	表による	—	腐 食	—	電 位 差	電氣的反應の有無	無	
	低温強度									
	(1) 構成部品	(イ)-第1図	(イ)-第1表	—	材 質	—	き裂、破 損	-40℃でのき裂、 破損の有無	無	
	(2) 低温時強度	(イ)-第1図	(イ)-第1表	—	材 質	—	脆性破壊	-40℃でのき裂、 破損の有無	無	
	密封装置									
	(1) 弁	(イ)-第2図	UNS C63600 ASTM B164	—	誤動作に よる開放	—	誤動作の 可否	弁保護具等を取付 けた状態での誤動 作の可否	否	
	(2) 閉止栓	(イ)-第4図	ASTM B150 UNS C61300 UNS C61400							
	吊上装置									
(1) 吊金具	(ロ)-第A.3図	ASTM A516 (Grade 60)	常温	輸送物の 重量	5	剪断荷重	$\tau = \frac{P}{2A}$	0.6 $\sigma_B/5$	τ : 剪断応力 P : 吊上荷重	
					5	引張荷重	$\sigma_t = \frac{P}{A}$	$\sigma_B/5$	A : 断面積 σ_t : 引張応力	
					5	曲げ荷重	$\sigma_b = \frac{P \ell}{8} \cdot \frac{1}{Z}$	$\sigma_B/5$	σ_b : 曲げ応力 ℓ : 梁の長さ	
					—	疲労評価	N_c	N_a	Z : 梁の断面係数 σ_B : 引張強さ N_c : 使用計画回数 N_a : 許容繰返し回 数	

(ロ)-第A.1表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (2/4)

条件	解析項目	設計条件						解析方法		備考
		参照図表	材質	温度	設計負荷			適用数式又は要素	解析基準	
					種類	負荷係数	要素			
通常の輸送条件	固縛装置 (1) 吊金具	(ロ)-第A.6図	ASTM A516 (Grade 60)	常温	前後方向、 左右方向 及び上方向 加速度	1.3	剪断荷重	$\tau = \frac{P}{2A}$	0.6 σ_y /1.3	τ : 剪断応力 P : 作用荷重 A : 断面積 σ_t : 引張応力 σ_y : 降伏応力 σ_b : 曲げ応力 ℓ : 梁の長さ Z : 梁の断面係数 η : 溶接効率 W : 輸送物重量
	(2) 補強リング 溶接部	(ロ)-第A.7図	ASTM A516 (Grade 60)	常温	前後方向 加速度	1.3	引張荷重	$\sigma_t = \frac{P}{A}$	σ_y /1.3	
	(3) 耐熱キャップ 固定金具 ブラケット	(ロ)-第A.8図	SUS304	常温	前後方向、 左右方向 及び上下方 向加速度	1	剪断・ 引張・ 曲げ荷重	$\sigma = \sqrt{\{(\sigma_T + \sigma_B)^2 + 3\tau^2\}}^{1/2}$	σ_y	
	タイロッド	(ロ)-第A.8図	S25C	常温	左右方向 及び上下方 向加速度	1.5 $\sqrt{3}$	剪断荷重	$\tau = F/A$	$\sigma_y/\sqrt{3}$	τ : 剪断応力 σ_T : 引張応力 σ_B : 曲げ応力 σ : 組合せ応力 σ_y : 降伏応力 F : 作用荷重 A : 断面積
				常温	前後方向 加速度	2	剪断・ 引張荷重	$\sigma_T = F/A$	1.5 σ_y /2	

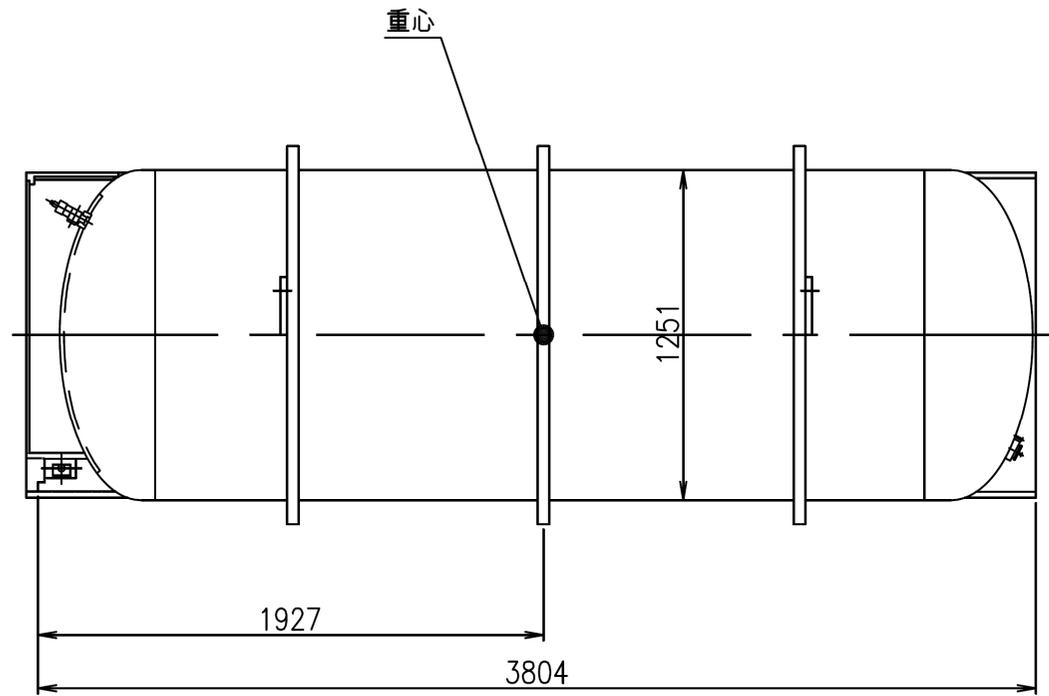
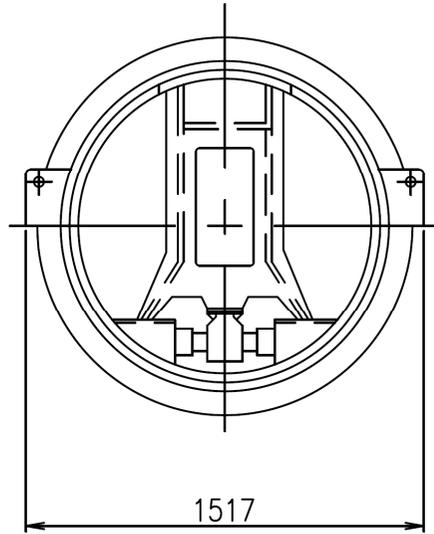
(ロ)-第A.1表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (3/4)

条件	解析項目	設計条件						解析方法		備考
		参照図表	材質	温度	設計負荷			適用数式又は要素	解析基準	
					種類	負荷係数	要素			
通常 の輸 送 条 件	圧 力 シ リ ン ダ	(イ)-第1図	ASTM A516 (Grade 60)	-40 °C から 54 °C	外圧 0.1 MPa	1	外圧	胴板 $P_a = \frac{4B}{3(D_o/t)}$ 鏡板 $P_{a'} = \frac{B}{R_o/t}$	P_a 、 $P_{a'}$	P_a 、 $P_{a'}$: 許容外圧 D_o : シリンダ外径 R_o : 鏡板外側半径 t : 板厚 B : 形状により定まる 定数
					内圧 2.76 MPa	1	内圧	胴板 $P_{a''} = \frac{2t \cdot \eta \cdot S}{D_i + 1.2t}$ 鏡板 $P_{a'''} = \frac{2t \cdot \eta \cdot S}{D \cdot K + 0.2t}$	$P_{a''}$ 、 $P_{a'''}$	$P_{a''}$ 、 $P_{a'''}$: 許容内圧 D_i : シリンダ内径 D : 鏡板内面長径 t : 板厚 η : 溶接効率 S : 材料の許容引張応力 K : 半だ円板の形状係数
					—	—	疲労 評価	ASME 規格に基づく 規程最小引張強さ 及び 合計繰返し回数	ASME 規格 に基づく 規程最小引 張強さ以下 及び 合計繰返し 回数以下	
	振 動 シ リ ン ダ	(イ)-第1図	ASTM A516 (Grade 60)	常 温	振 動	—	共振	ABAQUS コード	輸送中の 振動	

(ロ)-第A.1表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (4/4)

条件	解析項目	設計条件						解析方法		備考
		参照図表	材質	温度	設計負荷			適用数式又は要素	解析基準	
					種類	負荷係数	要素			
一般の試験条件	自由落下 (1) 垂直落下 スカート 弁保護具	(イ)-第1図	ASTM A516 (Grade 60)	常温	落下エネルギー	—	圧潰変形	LS-DYNA コード	弁の隙間 歪み	
	(2) 水平落下 補強リング 胴板	(イ)-第1図	ASTM A516 (Grade 60)	常温	落下エネルギー	—	圧潰変形	LS-DYNA コード	歪み	
	(3) コーナー落下 スカート 弁保護具	(イ)-第1図	ASTM A516 (Grade 60)	常温	落下エネルギー	—	圧潰変形	LS-DYNA コード	弁の隙間 歪み	
	(4) 傾斜落下 スカート 弁保護具	(イ)-第1図	ASTM A516 (Grade 60)	常温	落下エネルギー	—	圧潰変形	LS-DYNA コード	弁の隙間 歪み	
特別の試験条件	熱的試験 (1) 熱膨張	—	—	800 °C	熱膨張	—	変位	熱膨張による拘束の 有無	無	
	(2) クリープ 計算	—	—	800 °C	内圧	—	応力	クリープによる破断 の有無	無	

(ロ)-A-7



(単位：mm)

(ロ)-第A.1図 輸送物の重心位置

(ロ)-第A.2表 輸送物の重量

番号	重量の項目	重量 (kg)
1	シリンダの重量	2,520
2	六ふっ化ウランの最大収納重量	12,500 (注1)
3	弁保護具	155
4	耐熱キャップ (2個分)	465
5	輸送物の総重量 (1 + 2 + 3 + 4)	15,640 (注2)

(注1) 六ふっ化ウランの48Yシリンダへの許容最大収納重量 12,500 kgは「ISO 7195:1993 六ふっ化ウラン(UF₆)の輸送容器」に規定された値である。この値は六ふっ化ウランのシリンダへの充填時の許容最高温度 (121 °C (このとき液体六ふっ化ウランの密度が 3,257 kg/m³に達する))、シリンダの許容最小容積 (142.7 ft³ = 4.04 m³) 及び安全係数 5 %の3つの条件に基づいて六ふっ化ウラン充填時にシリンダが過充填により破裂することを防止するために設定されたものである。

(注2) 以下の解析では上表番号5の15,640 kgの重量を用いる。

A.3 材料の機械的性質

シリンダ、弁保護具及び耐熱キャップ固定金具の主要材料の機械的性質を(ロ)-第A.3表に示す。

ISOの48Yシリンダの規格(ISO 7195)ではシリンダ本体の構成材料として ASTM A516のうちGrade 55、Grade 60、Grade 65、Grade 70の使用が認められているが、本輸送物のシリンダにはGrade 60のみが使用される。

弁保護具も ASTM A516のGrade 60が使用される。

弁の胴部(ボディ)、キャップ、ナット及びフオロアでは、ISO規格に基づきアルミニウム青銅(UNS C63600)が使用されている。また、弁の軸部(ステム)についても、ISO規格に基づきモネル(ニッケル銅合金 ASTM B164)が使用される。

(ロ)-第A.3表 主要材料の機械的性質

(常温の環境下)

		材料の規格等の名称	材料規格番号等	降伏応力 (MPa) (最小値)	引張強さ (MPa) (最小値)	伸び (%) (最小値)	縦弾性係数 (MPa)	横弾性係数 (MPa)	
シ リ ン ダ	本 体	胴板	中・低温圧力容器用 炭素鋼鋼板	ASTM A516 (Grade 60)	220	415	25 ¹⁾ 21 ²⁾	2.06×10 ⁵	7.95×10 ⁴
		鏡板							
		スカート							
		補強リング、吊金具							
	弁	胴部	アルミニウム青銅	UNS C63600	—	—	—	—	—
		軸部	モネル(ニッケル銅合金)	ASTM B164	275	550	30	—	—
	閉止栓	閉止栓	アルミニウム青銅	ASTM B150 UNS C61300	275	495	30	1.17×10 ⁵	4.40×10 ⁴
ASTM B150 UNS C61400				220	485	30			
弁及び閉止栓用 カップリング		配管用炭素鋼鍛造鋼	ASTM A105	250	485	22	2.06×10 ⁵	7.95×10 ⁴	
弁 保 護 具	弁保護具	中・低温圧力容器用 炭素鋼鋼板	ASTM A516 (Grade 60)	220	415	25	2.06×10 ⁵	7.95×10 ⁴	
	出力軸	低温用合金鋼ボルト材	ASTM A320 L7	725	860	16	2.06×10 ⁵	7.95×10 ⁴	
	三角ブロック	溶接構造用鋳鋼品	SCW480	275	480	20	2.03×10 ⁵	7.95×10 ⁴	
耐熱 固定 金具 キャップ	ブラケット	オーステナイト系 ステンレス鋼	SUS304	205	520	40	1.95×10 ⁵	7.95×10 ⁴	
	タイロッド	機械構造用炭素鋼鋼材	S25C	265	440	27	2.03×10 ⁵	7.95×10 ⁴	

1) 標点間距離：50 mm

2) 標点間距離：200 mm

A.4 核燃料輸送物の要件

A.4.1 化学的及び電氣的反応

輸送容器内及び輸送容器と収納物の相互に接触する異種材料の主な組み合わせを(ロ)-第A.4表に示す。

(ロ)-第A.4表 接触する異種材料の一覧

区分	相互接触の部品名称	相互接触の異種材料名称	雰囲気
輸送容器内	弁のカップリング(7) － 弁の胴部(ボディ)(6)	炭素鋼 － アルミニウム青銅	空気
	弁の胴部(6) － 弁の軸部(ステム)(6)	アルミニウム青銅 － モネル(ニッケル銅合金)	空気
	弁のナット・フォロア(6) － 弁のパッキング(6)	アルミニウム青銅 － テフロン	空気
	弁の軸部(6) － 弁のパッキング(6)	モネル(ニッケル銅合金) － テフロン	空気
	弁のキャップ(6) － 弁のパッキング(6)	アルミニウム青銅 － テフロン	空気
輸送容器と 収納物	シリンダの胴板・鏡板(1,2) － 収納物	炭素鋼 － 六ふっ化ウラン	空気
	弁の胴部(6) － 収納物	アルミニウム青銅 － 六ふっ化ウラン	空気
	弁の軸部(6) － 収納物	モネル(ニッケル銅合金) － 六ふっ化ウラン	空気
	弁のパッキング(6) － 収納物	テフロン － 六ふっ化ウラン	空気

(注1) 上表中の()内の数字は、(イ)-第1表に掲げる部品番号を表す。

(注2) 上表の区分、輸送容器内で相互接触する部品のうち、弁の各部品間の接触の状態については、(イ)-第2図に示す。

アルミニウム青銅及びモネル(ニッケル銅合金)は、空気中では保護皮膜作用により耐食性があり、接触する炭素鋼、六ふっ化ウランと化学的及び電氣的に反応することはない。

テフロンは、分子構造上極めて安定した化合物で腐食性はなく、接触する材料等との間で化学的及び電氣的に反応することはない。

シリンダの本体に使用される炭素鋼に関しては、米国エネルギー省において六ふっ化ウランによる腐食試験¹⁾を実施しているが、その腐食率は 1.5×10^{-3} mm/年と小さく、六ふっ化ウランと炭素鋼の間で特に化学的及び電氣的に反応することはないことが確認されている。

A. 4.2 低温強度

輸送中に予想される本輸送物の最低外気温は-40℃である。

(イ)-第1表に示す輸送容器の主要構成材料は-40℃においてき裂、破損等を生じることはない。

輸送容器の主要構成材料である炭素鋼及びアルミニウム青銅等は-40℃において低温脆化することなく、かつ、強度が低下することもない(付属書類-1参照)。

また、本輸送物の内部には水が存在しないため、低温において凍結することもない。

以上より、本輸送物は輸送中に予想される最低外気温になっても強度等の機械的性質が低下することなく、構造健全性が損なわれることはない。

A. 4.3 密封装置

本輸送物の密封境界を形成する部分はシリンダの本体である。また、密封装置に該当するものはシリンダに取付けられている弁及び閉止栓である。通常の輸送時には、弁はその外側全体を鋼製の弁保護具に覆われた形で保護され、閉止栓はワイヤで封印されている。

したがって、本輸送物の密封境界を形成する部分及び密封装置である弁及び閉止栓は通常の輸送時に誤操作によって不用意に開かれることはない。

A. 4.4 吊上装置

A. 4.4.1 吊上装置の応力評価

吊上装置はシリンダの吊金具である。

本輸送物の吊上状態を(ロ)-第A.2図に示す。

(1) 解析部位

解析は吊金具に対して剪断、引張り及び曲げについて行い、破損しないことを示す。

(2) 解析負荷荷重

解析負荷荷重は輸送物の重量とする。

$$W_a = W \times 9.81 \\ \doteq 1.54 \times 10^5 \text{ N}$$

ただし、 W_a : 解析負荷荷重

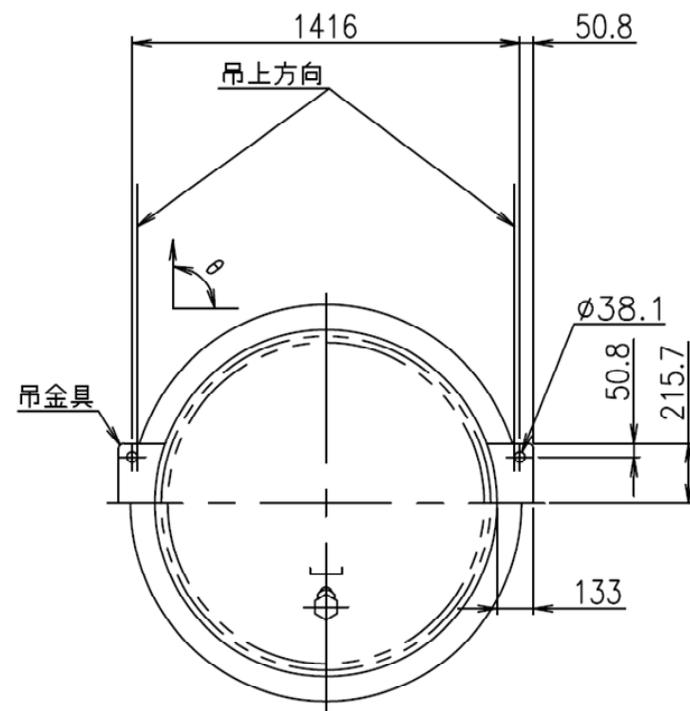
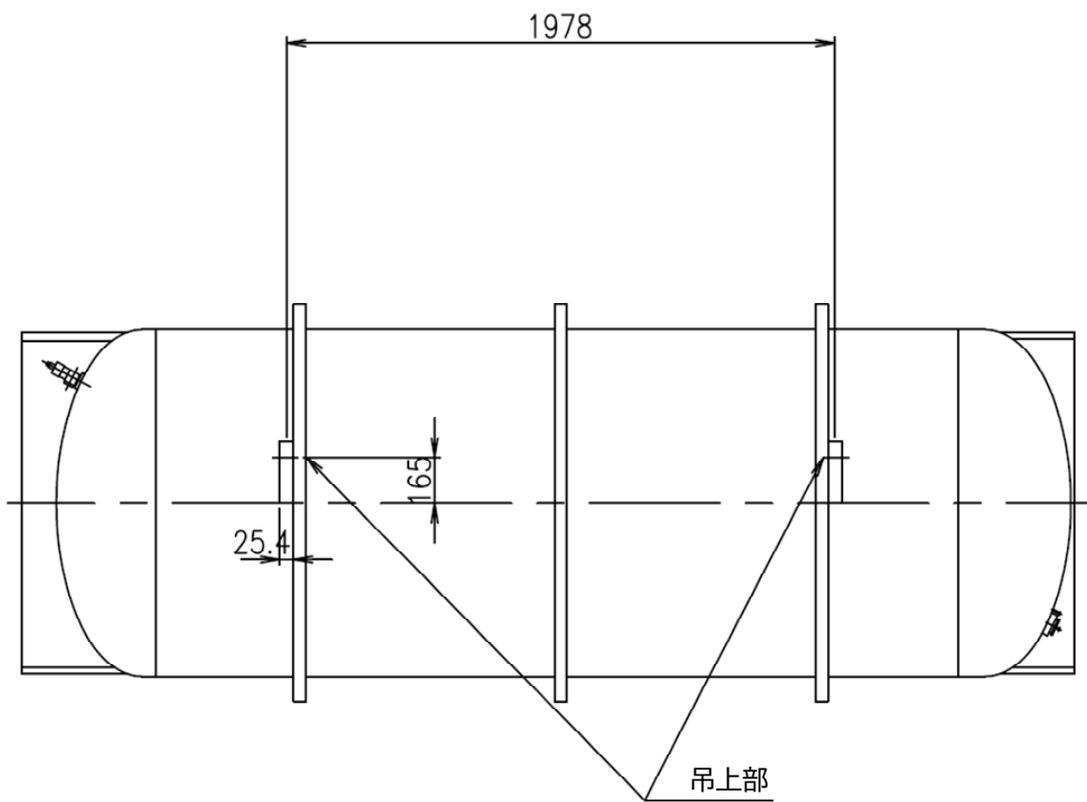
W : 輸送物質量 (15,640 kg)

(3) 評価基準

評価基準として吊上装置の解析部位材料の引張強さ (σ_B) に対して、クレーン等安全規則に基づき、安全率を5とし、 $\sigma_B/5$ を評価基準とする。

剪断応力に対しては0.6を $\sigma_B/5$ に乗じた値を評価基準とする。

(甲)-A-12



(単位：mm)

(ロ)-第A.2図 輸送物の吊上状態

(4) 解析結果

(ロ)-第A.2 図に示すように、吊金具は 4 個取付けられており、鉛直方向の吊金具 1 個が負担する荷重 (P_v) は、解析負荷荷重 (W_a) の 1/4 となる。吊上角度を考慮すると、吊上方向と水平面のなす角度を θ とすれば、吊上方向に生じる荷重 (P) は $P_v/\sin\theta$ となる。 θ を 90° で吊上げるので、吊金具に生じる吊上荷重は次式で表される。

$$\begin{aligned} P &= \frac{P_v}{\sin\theta} = \frac{W_a}{4} \cdot \frac{1}{\sin\theta} \\ &= \frac{1.54 \times 10^5}{4} \times \frac{1}{\sin 90^\circ} \\ &\doteq 3.85 \times 10^4 \text{ N} \end{aligned}$$

ただし、 W_a : 解析負荷荷重 ($1.54 \times 10^5 \text{ N}$)

θ : 吊上方向と水平面のなす角度 (90°)

(ロ)-第A.3 図に示すように、吊金具には吊上方向に吊上荷重 ($P=3.85 \times 10^4 \text{ N}$) が加わる。仮に吊金具が破損するとした場合、その破損状態は(ロ)-第A.3 図に示すような 3 つの状態が考えられ、それぞれの応力について検討する。

状態 a は 2 面の剪断破断状態、b は引張破断、そして状態 c は曲げ破断を示す。

(i) 剪断応力 ((ロ)-第A.3 図 状態 a)

巾 (h) が 50.8 mm で厚み (t) が 25.4 mm の板が 2 面で剪断する場合であるから、剪断応力 (τ) は次式で求める。

$$\tau = \frac{P}{2A}$$

ただし、 P : 吊上荷重 ($3.85 \times 10^4 \text{ N}$)

A : 断面積

$$A = 50.8 \times 25.4 \doteq 1290 \text{ mm}^2$$

数値を代入する。

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{3.85 \times 10^4}{2 \times 1290} \\ &\doteq 15.0 \text{ MPa} \end{aligned}$$

吊金具 (ASTM A516 (Grade 60)) の剪断応力での評価基準値 $0.6 \sigma_B/5 = 0.6 \times 415/5 = 49.8 \text{ MPa}$ である。

$$\begin{aligned} \text{余裕率} &= \frac{49.8}{15.0} - 1 \\ &\doteq 2.3 \end{aligned}$$

余裕率が正であるので、剪断応力により破損することはない。

(ii) 引張応力 ((口)-第A.3図 状態b)

巾 (L - d) が 116.9 mm で厚み (t) が 25.4 mm の板が引張りで破損する場合であるから引張応力 (σ_t) は次式で求める。

$$\sigma_t = \frac{P}{A}$$

ただし、P : 吊上荷重 (3.85×10^4 N)

A : 断面積

$$A = 116.9 \times 25.4$$

$$\doteq 2969 \text{ mm}^2$$

数値を代入する。

$$\sigma_t = \frac{3.85 \times 10^4}{2969}$$

$$\doteq 13.0 \text{ MPa}$$

吊金具 (ASTM A516 (Grade 60)) の評価基準値は $\sigma_B/5 = 415/5 = 83$ MPa である。

$$\text{余裕率} = \frac{83}{13.0} - 1$$

$$\doteq 5.3$$

余裕率が正であるので、引張応力により破損することはない。

(iii) 曲げ応力 ((口)-第A.3図 状態c)

巾 (t) が 25.4 mm (板厚に相当)、厚み (h - d/2) が 31.7 mm、長さ (d) が 8.1 mm の両端固定梁がその中央に集中荷重を受け、曲げによって破損する場合であるから曲げ応力 (σ_b) は次式で求める。

$$\sigma_b = \frac{P \cdot \ell}{8} \cdot \frac{1}{Z}$$

ただし、P : 吊上荷重 (3.85×10^4 N)

ℓ : 梁の長さ (38.1 mm)

Z : 梁の断面係数

$$Z = \frac{25.4}{6} \times 31.7^2$$

$$\doteq 4254 \text{ mm}^3$$

数値を代入する。

$$\sigma_b = \frac{3.85 \times 10^4 \times 38.1}{8} \times \frac{1}{4254}$$

$$\doteq 43.2 \text{ MPa}$$

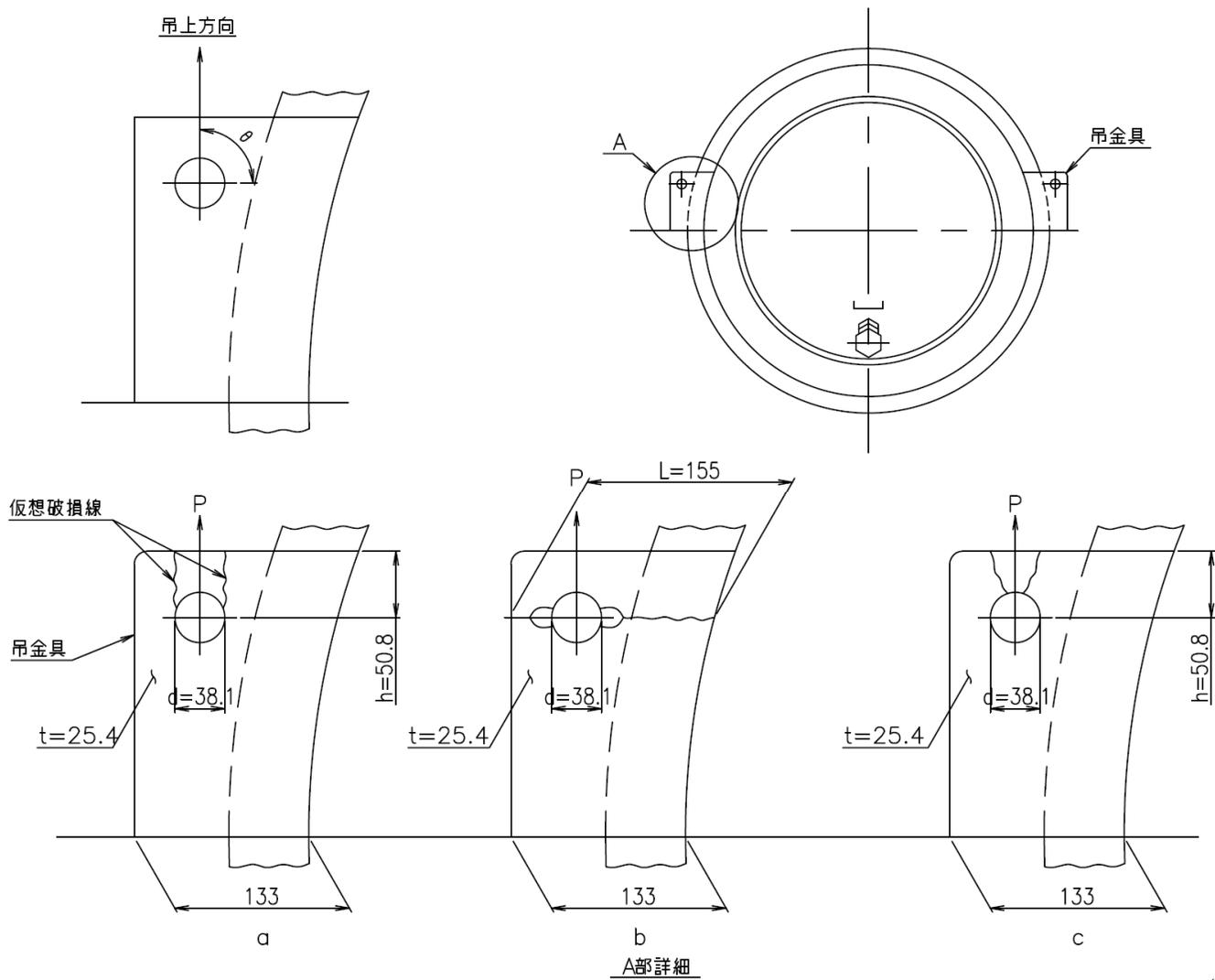
吊金具 (ASTM A516 (Grade 60)) の評価基準値は $\sigma_B/5 = 415/5 = 83$ MPa である。

$$\text{余裕率} = \frac{83}{43.2} - 1$$

$$\approx 0.92$$

余裕率が正であるので、曲げ応力により破損することはない。

よって、(i)、(ii)、(iii)により、吊金具は剪断応力、引張応力及び曲げ
応力により破損することはない。



(単位 : mm)

(口)-第A.3図 吊金具 (吊上装置) の仮想破損状態

A.4.4.2 吊上装置の疲労評価

シリンダの吊金具に生じる応力について、応力集中を考慮した繰返しピーク応力強さによる許容繰返し回数と使用計画回数を比較して評価を行う。

本輸送物の吊上状態を(ロ)-第A.2図に示す。

(1) 繰返しピーク応力強さ

解析は吊金具に対して剪断、引張り及び曲げについて行い、破損しないことを示す。

$$S_a = S \times K_t \times (2.07 \times 10^5 / E_t) / 2$$

ここで、 S_a ： 繰返しピーク応力強さ (MPa)

S ： 吊金具の応力強さ (2τ 、 σ_T 、 σ_B) (MPa)

2τ ： 剪断応力 (MPa)

$$2\tau = \sqrt{(4\tau^2)}$$

σ_T ： 引張応力 (MPa)

σ_B ： 曲げ応力 (MPa)

K_t ： 応力集中係数 (5 (構造上の不連続部に対する最大値))²⁾

E_t ： 材料の使用温度における縦弾性係数 (MPa)

(2) 許容繰返し回数

炭素鋼の設計疲労線図³⁾より、吊金具に対する剪断、引張り及び曲げの繰返しピーク応力強さ (S_a) に対する許容繰返し回数 (N_a) を S_a の算定に用いた値とともに(ロ)-第A.5表に示す。

(ロ)-第A.5表 許容繰返し回数の評価

応力の種類	S (MPa)	E_t (MPa)	S_a (MPa)	N_a
剪断応力	30.0	2.06×10^5	75.4	1.4×10^7 回
引張応力	13.0		32.7	1×10^{11} 回以上
曲げ応力	43.2		109	2.4×10^5 回

(3) 使用計画回数

シリンダの吊金具の使用計画回数 (N_c) は次のようになる。

輸送回数：1回

輸送時吊上回数：4回

余裕率：10

上記の輸送時吊上回数は、1回の輸送におけるシリンダの標準的な取扱いとして想定される吊上回数である。なお、変動を考慮し余裕率10を見込む。

したがって、

$$N_c = 1 \times 4 \times 10 = 40 \text{ 回}$$

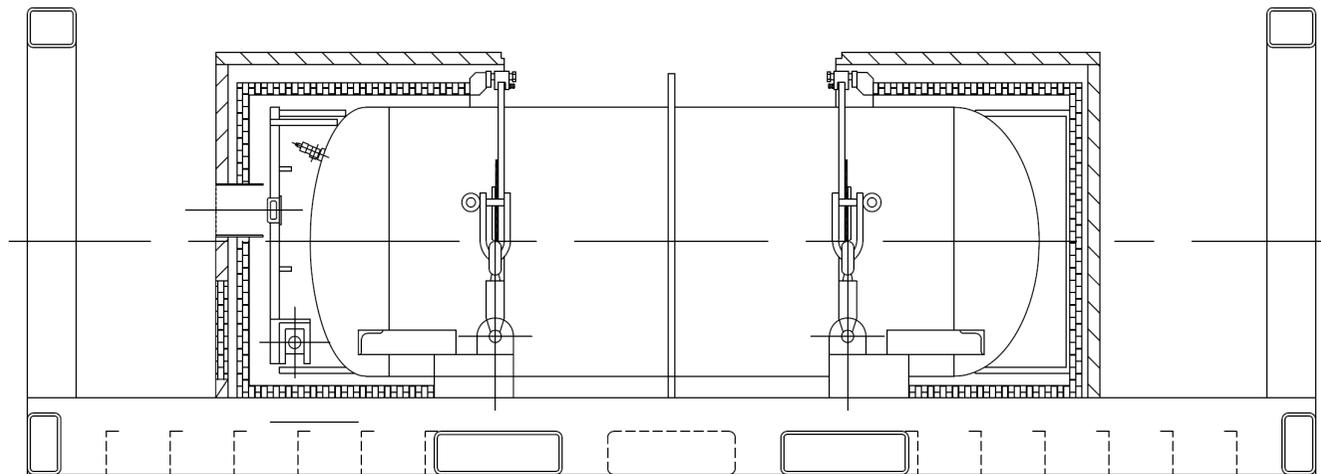
以上より、使用計画回数は許容繰返し回数を十分に下回っており、シリンダの吊金具の疲労強度は十分である。

A.4.5 固縛装置

本輸送物の海上輸送は輸送船により、陸上輸送は貨車又はコンテナ専用トレーラにより行う。

(イ)-第5図に示すように、本体をターンバックルにより専用輸送機材に固定する。その後、全体を輸送船、貨車又はコンテナ専用トレーラへ積載して輸送する。

輸送物の固縛要領図を(ロ)-第A.4図に示す。



(ロ)-第A.4図 輸送物の固縛要領図

(1) 解析条件

本項では輸送物に輸送時条件の加速度が同時に作用する時に発生する力に対して、固縛装置が破損しないことを示す。また、同様に、耐熱キャップ固定金具についても、輸送時条件の加速度の下で破損しないことを示す。

なお、輸送物と装置の間に働く摩擦力は無視する。

輸送時条件とは、

上下方向加速度 2G }
前後方向加速度 2G } が同時に作用する場合を示す。
左右方向加速度 1G }

また、シャックルと架台とのなす角は約 85° である。

(i) 解析部位及び解析対象加速度

固縛装置は補強リングで前後方向加速度を支える構造となっている。また、耐熱キャップ固定金具は、負荷加速度を3個の当該部材にて分担する。

解析部位の構造及び発生応力を考慮すると解析対象加速度は以下のとおりである。

(イ) 吊金具

前後方向、左右方向及び上方向加速度

(ロ) 補強リング

前後方向加速度

(ハ) 耐熱キャップ固定金具

前後方向、左右方向及び上下方向加速度

(2) 解析結果

(i) 吊金具

吊金具はシャックルを介して荷重が伝わるので、始めにシャックルに作用する最大荷重を求める。

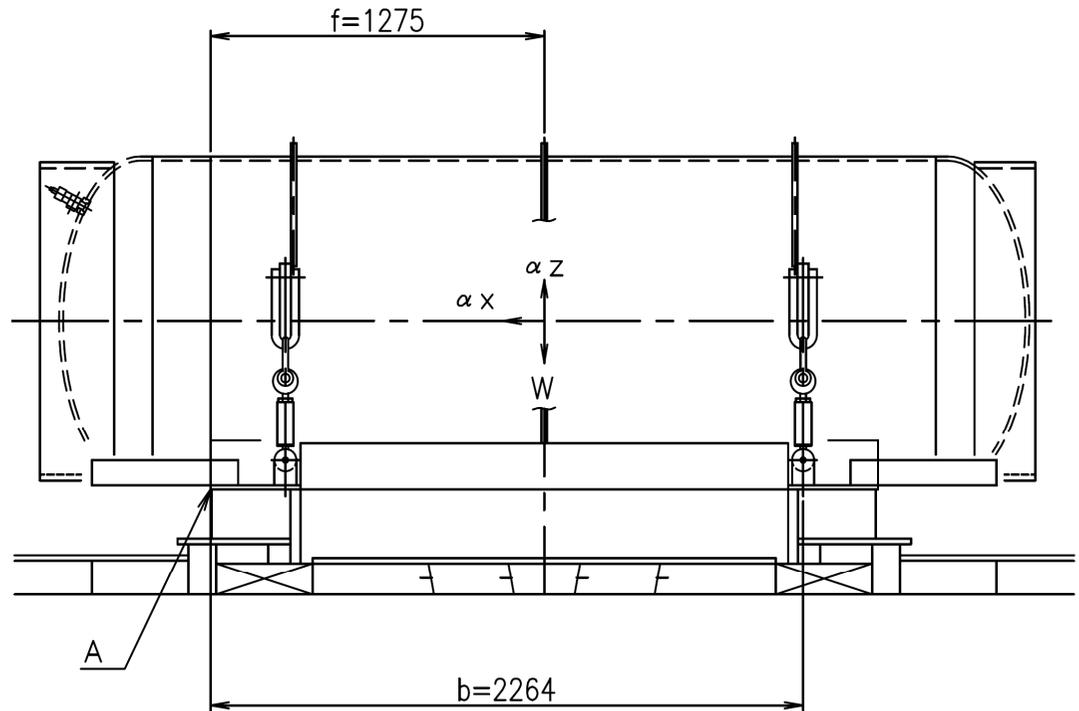
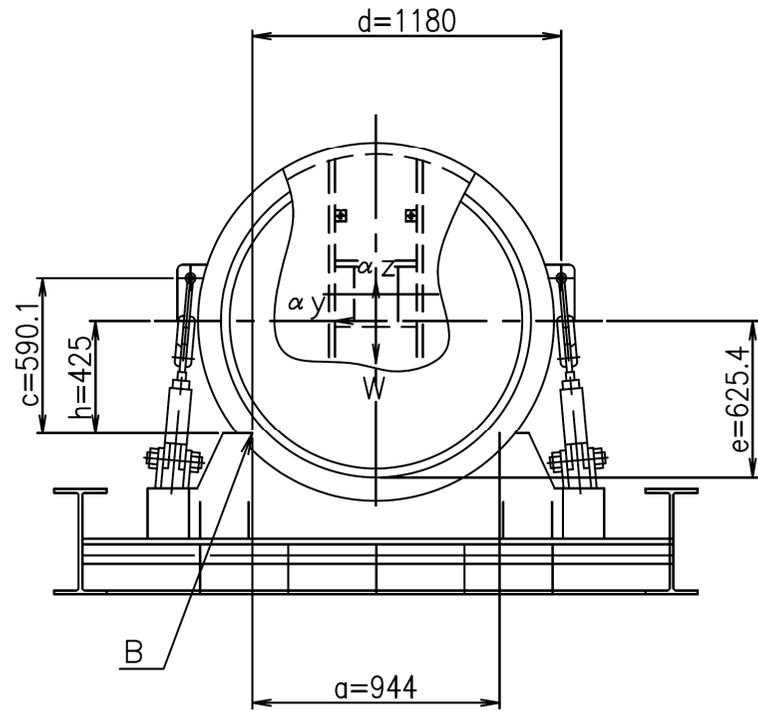
(i)-1 シャックルに作用する最大荷重

シャックルには3方向加速度が同時に作用する。

シャックルに作用する荷重は前後方向及び左右方向にそれぞれのモーメントによる引張力にターンバックルによる初期締付力を加えたものである。

その説明図を(ロ)-第A.5図に示す。

17-V-(H)



(単位 : mm)

(ロ)-第A.5図 シャックルに作用する荷重

(イ) 前後方向

A点を支点とした回転を考えると後側のシャックル2本に作用する引張力 (F_1) は次式で求める。

$$\begin{aligned}
 W\alpha_x e + W\alpha_z f - Wf &= 2b F_1 \sin \theta \\
 \therefore F_1 &= \frac{W\alpha_x e + W(\alpha_z - 1)f}{2b \sin \theta} \\
 &= \frac{W}{2} \cdot \frac{\alpha_x e + f(\alpha_z - 1)}{b \sin \theta} \dots\dots\dots (1)
 \end{aligned}$$

(ロ) 左右方向

B点を支点とした回転を考えると反対側のシャックル2本に作用する引張力 (F_2) は次式で求める。

$$\begin{aligned}
 W\alpha_y h + W\alpha_z \frac{a}{2} - W\frac{a}{2} &= 2c F_2 \cos \theta + 2d F_2 \sin \theta \\
 \therefore F_2 &= \frac{W\alpha_y h + \frac{W}{2}a(\alpha_z - 1)}{2(c \cos \theta + d \sin \theta)} \\
 &= \frac{W}{4} \cdot \frac{2\alpha_y h + a(\alpha_z - 1)}{c \cos \theta + d \sin \theta} \dots\dots\dots (2)
 \end{aligned}$$

(ハ) 合成引張力

シャックル1個に作用する合成引張力 (F) は(1)及び(2)式を加えたものであり次式で求める。

$$\begin{aligned}
 F &= F_1 + F_2 \\
 &= \frac{W}{2} \cdot \frac{\alpha_x e + f(\alpha_z - 1)}{b \sin \theta} \\
 &\quad + \frac{W}{4} \cdot \frac{2\alpha_y h + a(\alpha_z - 1)}{c \cos \theta + d \sin \theta} \\
 &= \frac{15640}{2} \cdot \frac{2 \times 625.4 + 1275 \times (2 - 1)}{2264 \times \sin 85^\circ} \times 9.81 \\
 &\quad + \frac{15640}{4} \cdot \frac{2 \times 1 \times 425 + 944 \times (2 - 1)}{590.1 \times \cos 85^\circ + 1180 \times \sin 85^\circ} \times 9.81 \\
 &\doteq 1.42 \times 10^5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- ただし、 W : 輸送物重量 (15,640 kg)
 α_x : 前後方向加速度 (2G)
 α_y : 左右方向加速度 (1G)
 α_z : 上方向加速度 (2G)

(ニ) 作用荷重

シャックル1個当たりの作用荷重 (P) は合成引張力 (F) に初期締付力 (F_T) を加えたものであり次式で求める。

$$\begin{aligned} P &= F + F_T \\ &= 1.42 \times 10^5 + 1.21 \times 10^5 \\ &= 2.63 \times 10^5 \text{ N} \end{aligned}$$

ただし、 F : 合成引張力 ($1.42 \times 10^5 \text{ N}$)

F_T : 初期締付力 ($1.21 \times 10^5 \text{ N}$)

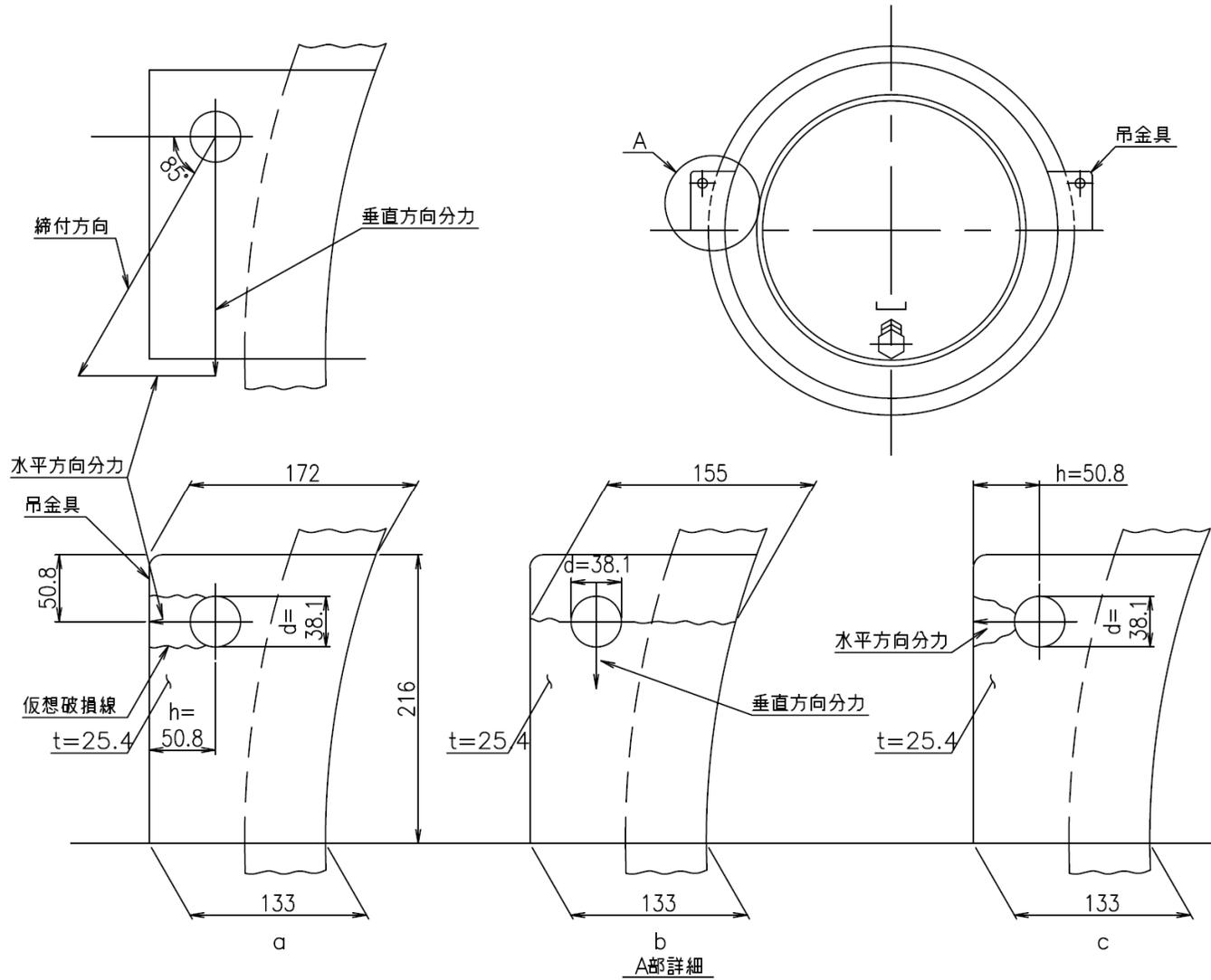
(i)-2 吊金具に発生する応力

(i)-1 で求めたように吊金具には締付方向に作用荷重 ($P = 2.63 \times 10^5 \text{ N}$) が加わる。

仮に吊金具が破損するとした場合、その破損状態は(ロ)-第A.6 図に示すような3つの状態が考えられ、それぞれの応力について検討する。

状態 a は2面での作用荷重の水平方向分力による剪断破断状態、b は作用荷重の垂直方向分力による引張破断、そして状態 c は作用荷重の水平方向分力による曲げ破断を示す。

(口)-A-24



(口)-第A.6 図 吊金具 (固縛装置) の仮想破損状態

(単位 : mm)

(イ) 剪断応力 ((ロ)-第A.6図 状態 a) (水平方向分力)

巾 (h) が 50.8 mm で厚み (t) が 25.4 mm の板が 2 面で剪断する場合であることから、剪断応力 (τ) は次式で求める。

$$\tau = \frac{P \cdot \cos 85^\circ}{2A}$$

ただし、P : 作用荷重 (2.63×10^5 N)

A : 断面積

$$A = 50.8 \times 25.4$$

$$\doteq 1290 \text{ mm}^2$$

数値を代入する。

$$\tau = \frac{2.63 \times 10^5 \times \cos 85^\circ}{2 \times 1290}$$

$$\doteq 8.89 \text{ MPa}$$

吊金具 (ASTM A516 (Grade 60)) の剪断応力での評価基準値 $0.6 \sigma_y / 1.3$
 $= 0.6 \times 220 / 1.3 \doteq 101 \text{ MPa}$ である。

$$\text{余裕率} = \frac{101}{8.89} - 1$$

$$\doteq 10.3$$

余裕率が正であるので、剪断応力により破損することはない。

(ロ) 引張応力 ((ロ)-第A.6図 状態 b) (垂直方向分力)

巾 (L-d) が 116.9 mm で厚み (t) が 25.4 mm の板が引張りで破損する場合であることから、引張応力 (σ_t) は次式で求める。

$$\sigma_t = \frac{P \cdot \sin 85^\circ}{A}$$

ただし、P : 作用荷重 (2.63×10^5 N)

A : 断面積

$$A = 116.9 \times 25.4$$

$$\doteq 2969 \text{ mm}^2$$

数値を代入する。

$$\sigma_t = \frac{2.63 \times 10^5 \times \sin 85^\circ}{2969}$$

$$\doteq 88.3 \text{ MPa}$$

吊金具 (ASTM A516 (Grade 60)) の評価基準値は $\sigma_y / 1.3 = 220 / 1.3 \doteq 169 \text{ MPa}$ である。

$$\text{余裕率} = \frac{169}{88.3} - 1$$

$$\doteq 0.91$$

余裕率が正であるので、引張応力により破損することはない。

(ハ) 曲げ応力 ((ロ)-第A.6図 状態c) (水平方向分力)

巾 (t) が 25.4 mm (板厚に相当)、厚み (h - d/2) が 31.7 mm、長さ (d) が 38.1 mm の両端固定梁が中央に集中荷重を受け、曲げによって破損する場合であることから、曲げ応力 (σ_b) は次式で求める。

$$\sigma_b = \frac{P \cdot \cos 85^\circ \cdot l}{8} \cdot \frac{1}{Z}$$

ただし、P : 作用荷重 (2.63×10^5 N)

l : 梁の長さ (38.1 mm)

Z : 梁の断面係数

$$Z = \frac{25.4}{6} \times 31.7^2$$

$$\doteq 4254 \text{ mm}^3$$

数値を代入する。

$$\sigma_b = \frac{2.63 \times 10^5 \times \cos 85^\circ \times 38.1}{8} \times \frac{1}{4254}$$

$$\doteq 25.7 \text{ MPa}$$

吊金具 (ASTM A516 (Grade 60)) の評価基準値は $\sigma_y/1.3 = 220/1.3 \doteq 169$ MPa である。

$$\text{余裕率} = \frac{169}{25.7} - 1$$

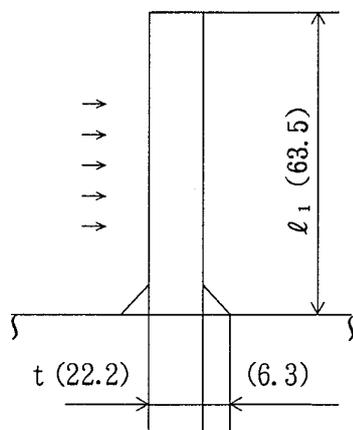
$$\doteq 5.57$$

余裕率が正であるので、曲げ応力により破損することはない。

よって、(イ)(ロ)(ハ)により、吊金具は剪断応力、引張応力及び曲げ応力により破損することはない。

(ii) 補強リング

(ロ)-第A.7図に示すように補強リングには前後方向加速度 2G が作用する。なお、上下方向及び左右方向加速度の影響は受けない構造となっている。



(単位 : mm)

(ロ)-第A.7図 補強リング解析モデル

溶接部の剪断応力（ τ ）は次式で求める。

$$\tau = \frac{2 W}{A \cdot \eta} \times 9.81$$

ただし、W : 輸送物重量 (15,640 kg)

A : 有効溶接部面積

$$\begin{aligned} A &= 2 \cdot a \cdot \ell_2 \\ &= 2 \times 4.4 \times 1063 \div 9354 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

η : 溶接効率 (0.7)

a : 溶接部のど厚

$$a = \frac{6.3}{\sqrt{2}} \div 4.4 \text{ mm}$$

ℓ_2 : 有効溶接部長さ

(シリンダ受台に接する部分の長さ=1063 mm)

数値を代入する。

$$\tau = \frac{2 \times 15640}{9354 \times 0.7} \times 9.81$$

$$\div 46.9 \text{ MPa}$$

補強リング (ASTM A516 (Grade 60)) の剪断応力で評価基準値は $0.6 \sigma_y / 1.3 = 0.6 \times 220 / 1.3 \div 101 \text{ MPa}$ である。

$$\text{余裕率} = \frac{101}{46.9} - 1$$

$$\div 1.15$$

余裕率が正であるので、剪断応力により破損することはない。

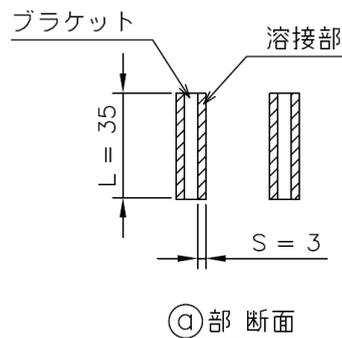
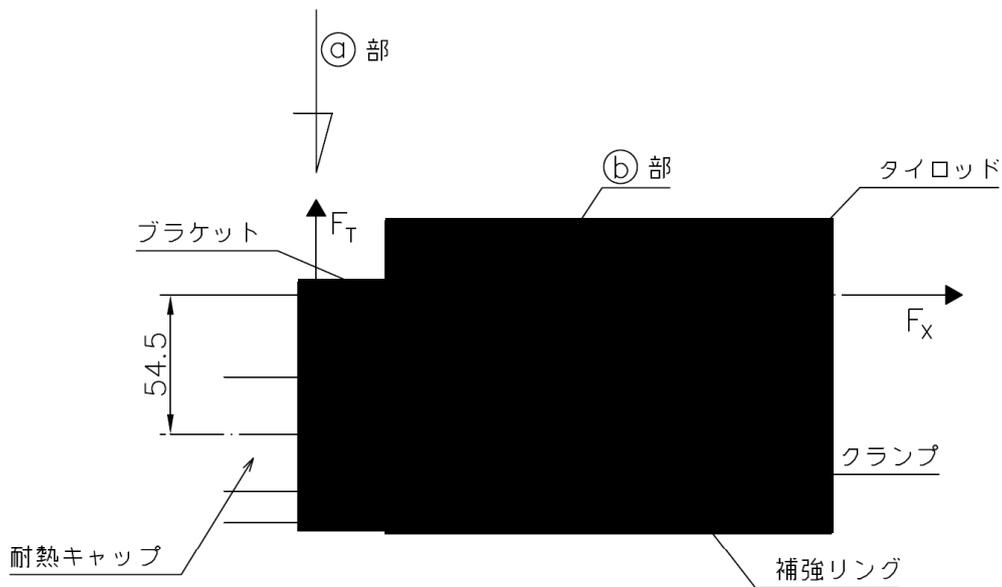
(iii) 耐熱キャップ固定金具

上記輸送時条件の加速度が耐熱キャップ (1 個当たりの重量 (弁側) : 245 kg) に負荷され、生じる荷重を 3 個の耐熱キャップ固定金具で分担した場合、耐熱キャップ固定金具にかかる最大荷重は、

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{上下方向荷重} \quad F_y = 1.61 \times 10^3 \text{ N} \\ \text{前後方向荷重} \quad F_x = 4.91 \times 10^3 \text{ N} \\ \text{左右方向荷重} \quad F_z = 917 \text{ N} \end{array} \right.$$

となる。耐熱キャップ固定金具の荷重の分担については、付属書類-2 に示す。

耐熱キャップ固定金具は、ブラケット、タイロッド及びクランプから構成されている ((ロ)-第A.8 図参照)。これらのうち、破損の可能性が高い部位について、上記荷重条件下での強度評価を行う。



(単位：mm)

(ロ)-第A.8図 耐熱キャップ固定金具の構成

(イ) ブラケット溶接部 ((ロ)-第A.8図 ㉑部)

ブラケットの溶接部には、上下及び左右方向の荷重により剪断応力が、前後方向の荷重により引張応力及び曲げ応力が生じる。

上下及び左右方向の荷重による合成荷重 (\$F_T\$)、当該溶接部の有効溶接部面積 (\$A_T\$) は、次式で求める。

$$F_T = \sqrt{F_Y^2 + F_Z^2} \cong 1.86 \times 10^3 \text{ N}$$

$$A_T = 4 \times L \times \frac{S}{\sqrt{2}}$$

ここで、有効溶接長 \$L = 35 \text{ mm}\$

溶接脚長 \$S = 3 \text{ mm}\$

$$\therefore A_T \cong 296 \text{ mm}^2$$

したがって、当該溶接部に生じる剪断応力 (τ_a) と引張応力 (σ_{Ta}) は、

$$\tau_a = F_T/A_T \doteq 6.29 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Ta} = F_X/A_T \doteq 16.6 \text{ MPa}$$

となる。

また、当該溶接部に生じる曲げモーメント (M_a) 及び当該溶接部の断面係数 (Z_a) は次式で求める。

$$M_a = F_X \cdot D$$

$$Z_a = 4 \times \frac{S}{\sqrt{2}} \times L^2/6$$

ここで、タイロッド中心軸と当該溶接部中心との距離

$$D = 54.5 \text{ mm}$$

$$\text{有効溶接長 } L = 35 \text{ mm}$$

$$\text{溶接脚長 } S = 3 \text{ mm}$$

$$\therefore M_a \doteq 2.68 \times 10^5 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$Z_a \doteq 1.73 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

したがって、当該溶接部に生じる曲げ応力 (σ_{Ba}) は、

$$\sigma_{Ba} = M_a/Z_a \doteq 155 \text{ MPa}$$

となる。

これらより、当該溶接部にかかる各応力 (剪断応力 (τ_a)、引張応力 (σ_{Ta}) 及び曲げ応力 (σ_{Ba})) の組合せ応力 (σ_a) は次式により求める。

$$\sigma_a = \sqrt{(\sigma_{Ta} + \sigma_{Ba})^2 + 3\tau_a^2} \doteq 172 \text{ MPa}$$

当該溶接部 (SUS304 相当) の上記組合せ応力での評価基準は $\sigma_y = 205 \text{ MPa}$ である。

$$\text{余裕率} = \frac{205}{172} - 1$$

$$\doteq 0.19$$

余裕率が正であるので、上記組合せ応力により破損することはない。

(ロ) タイロッドの剪断・引張応力

タイロッドには、上下及び左右方向の荷重により剪断応力が、前後方向の荷重により引張応力が生じる。

剪断及び引張応力に対するタイロッドの評価位置を(ロ)-第A.8 図 ⑥部とすると、当該位置の断面積 (A_b) は次式で求まる。

$$A_b = \pi \times d_b^2/4$$

ここで、当該部位呼び径 $d_b = 20 \text{ mm}$

$$\therefore A_b = 314 \text{ mm}^2$$

したがって、当該位置に生じる剪断応力 (τ_b) 及び引張応力 (σ_b) は次式で求める。

$$\tau_b = F_T/A_b \doteq 5.93 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b = F_X/A_b \doteq 15.7 \text{ MPa}$$

タイロッド (S25C) の剪断応力での評価基準は $\sigma_y/\sqrt{3} = 265/\sqrt{3} \doteq 152$ MPa、剪断応力が作用した場合の引張応力での評価基準は $1.5\sigma_y/2 = 1.5 \times 265/2 \doteq 198$ MPa である。

$$\text{剪断応力余裕率} = \frac{152}{5.93} - 1$$

$$\doteq 24.6$$

$$\text{引張応力余裕率} = \frac{198}{15.7} - 1$$

$$\doteq 11.6$$

余裕率が正であるので、剪断・引張応力により破損することはない。

よって、(イ)及び(ロ)より、耐熱キャップ固定金具は、輸送時条件の加速度によって破損することはない。

A.4.6 圧 力

A.4.6.1 内外圧力差によりシリンダに発生する応力

本輸送物のシリンダの内圧は、六ふっ化ウランの蒸気圧に依存するため、収納物の温度に応じて変動する。運搬中に予想される収納物の最高温度は、ロ章-Bの熱解析の火災前の条件（外部雰囲気 38 °C の環境に置いた上で太陽放射熱を考慮し、輸送物温度が一定になるまで置いた状態での収納物の温度）に基づく 54 °C であり、最低温度は予想する環境条件として最も低い温度としている -40 °C である。

シリンダの内圧は六ふっ化ウランの蒸気圧から、最高温度（54 °C）時で 0.088 MPa(abs) 付近、最低温度（-40 °C）時で 0.001 MPa(abs) 未満となることが想定される。いずれも、大気圧である 0.1 MPa(abs) 以下であり、内部は周囲に対して負圧となるため、シリンダには外圧による差圧が作用する。

そのため、本評価においては、最も大きい圧力差が生じる条件として、シリンダの内圧を保守的に 0 Pa(abs) とし、かつ、0.1 MPa(abs) の外圧が作用する場合について評価する。

シリンダの胴板及び鏡板の許容外圧（ P_a 及び P_a' ）は本シリンダが薄肉円筒（肉厚/直径 < 1/10）であることから、次に示す式で求める。

(i) 胴 板

$$P_a = \frac{4B}{3(D_o/t)}$$

ただし、 P_a : 許容外圧 (MPa)

D_o : シリンダ外径 (1250.8 mm)

t : 胴板肉厚 (15.9 mm)

B : 係 数 (108)

((ロ)-第A.10 図参照)

L : 補強リング間寸法 (965 mm)

A : 係 数 (0.0026)

((口)-第A.9 図参照)

数値を代入する。

$$P_a = \frac{4 \times 108}{3 \times (1250.8/15.9)}$$
$$\cong 1.83 \text{ MPa}$$

(ii) 鏡 板

$$P_a' = \frac{B}{(R_o/t')}$$

ただし、 P_a' : 許容外圧 (MPa)

R_o : 鏡板外側半径 (1126.1 mm)

t' : 鏡板肉厚 (15.9 mm)

A : 係 数

$$A = \frac{0.125 \cdot t'}{R_o} = \frac{0.125 \times 15.9}{1126.1} \cong 0.00176$$

B : 係 数 (98)

((口)-第A.10 図参照)

数値を代入する。

$$P_a' = \frac{98}{(1126.1/15.9)}$$
$$\cong 1.38 \text{ MPa}$$

(i)、(ii)よりシリンダに作用する外圧は0.1 MPaであり、 P_a 、 P_a' のうち小さい P_a' を用いて余裕率を計算する。

$$\text{余裕率} = \frac{1.38}{0.1} - 1$$
$$= 12.8$$

余裕率が正であるので外圧により破損することはない。

また、シリンダは、製作時に2.76 MPaの水圧によって耐圧検査を行う。したがって、シリンダに2.76 MPaの内圧が作用する場合について評価する。

シリンダ胴板及び鏡板の許容内圧 (P_a'' 及び P_a''') は、本シリンダ胴板が薄肉円筒 (肉厚/内半径 < 1/2) であり、シリンダ鏡板が半だ円鏡板であることから、次に示す式で求める。

(i) 胴 板

$$P_a'' = \frac{2t \cdot \eta \cdot S}{D_i + 1.2t}$$

ただし、 P_a'' : 許容内圧 (MPa)

- D_i : シリンダ内径 (1219 mm)
 t : 胴板肉厚 (15.9 mm)
 η : 溶接効率 (0.85) … シリンダ胴板の長手継手には、
ASME 規格に基づく部分放射線
透過検査を適用
 S : 材料 (ASTM A516 (Grade 60)) の許容引張応力
 $S = 0.9 \times \sigma_y = 0.9 \times 220 \text{ MPa} = 198 \text{ MPa}$

数値を代入する。

$$P_{a''} = \frac{2 \times 15.9 \times 0.85 \times 198}{1219 + 1.2 \times 15.9}$$

$$\doteq 4.32 \text{ MPa}$$

(ii) 鏡板

$$P_{a'''} = \frac{2 t' \cdot \eta \cdot S}{D \cdot K + 0.2 t'}$$

- ただし、 $P_{a'''}$: 許容内圧 (MPa)
 D : 鏡板内面長径 (1219 mm)
 t' : 鏡板肉厚 (15.9 mm)
 η : 溶接効率 (0.85) … シリンダ鏡板の周継手には、
ASME 規格に基づく部分放射線
透過検査を適用
 S : 材料 (ASTM A516 (Grade 60)) の許容引張応力
 $S = 0.9 \times \sigma_y = 0.9 \times 220 \text{ MPa} = 198 \text{ MPa}$
 K : 半だ円鏡板の形状による係数

$$K = \frac{1}{6} \left\{ 2 + \left(\frac{D}{2h} \right)^2 \right\}$$

ここで、 h : 鏡板の内面における短径の 2 分の 1 (304.75 mm)

$$\therefore K = \frac{1}{6} \times \left\{ 2 + \left(\frac{1219}{2 \times 304.75} \right)^2 \right\} = 1.0$$

数値を代入する。

$$P_{a'''} = \frac{2 \times 15.9 \times 0.85 \times 198}{1219 \times 1.0 + 0.2 \times 15.9}$$

$$\doteq 4.38 \text{ MPa}$$

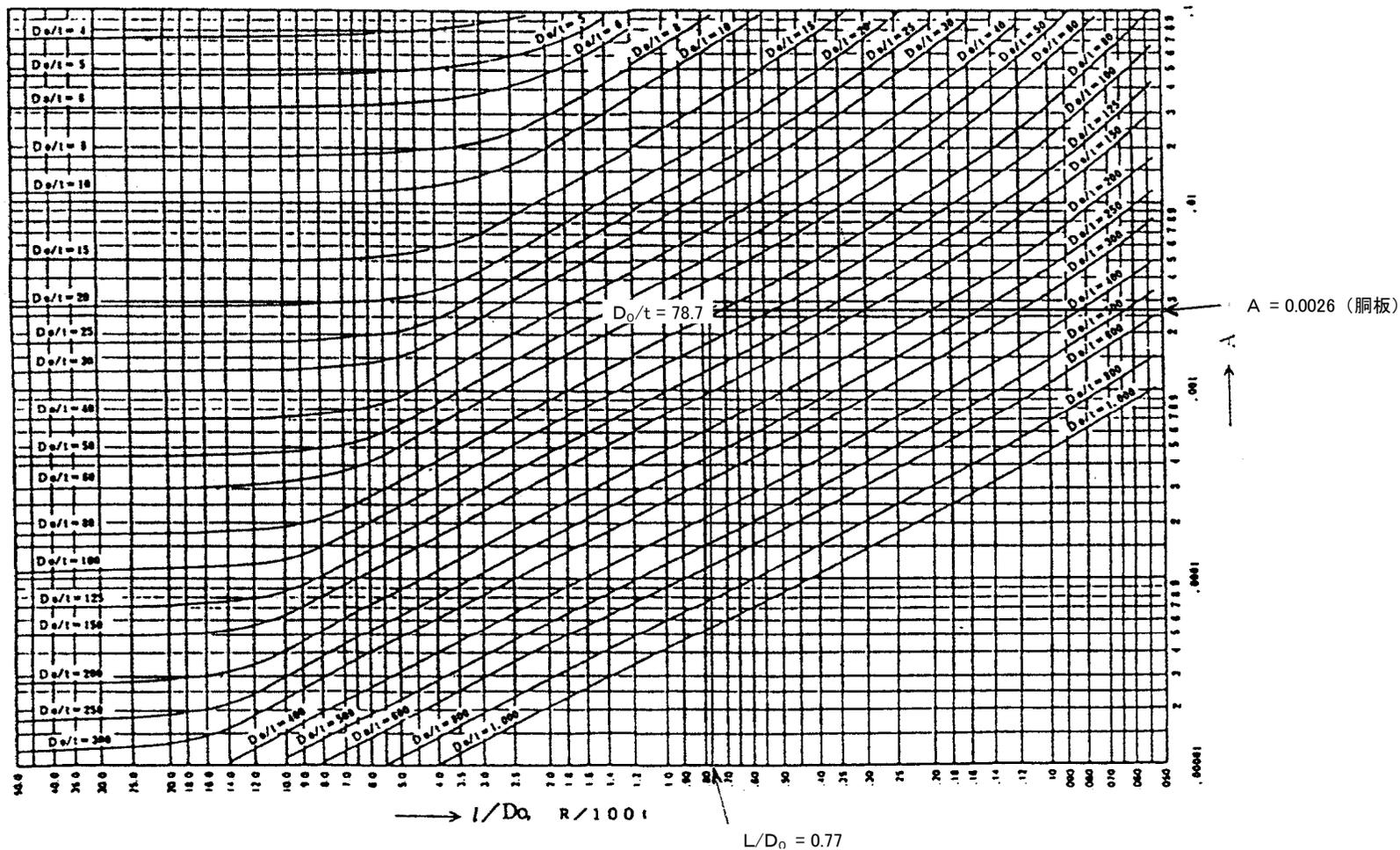
(i)、(ii)より、シリンダに作用する内圧は 2.76 MPa であり、 $P_{a''}$ 、 $P_{a'''}$ のうち小さい $P_{a''}$ を用いて余裕率を計算する。

$$\text{余裕率} = \frac{4.32}{2.76} - 1$$

$$\doteq 0.565$$

余裕率が正であるので内圧により破損することはない。

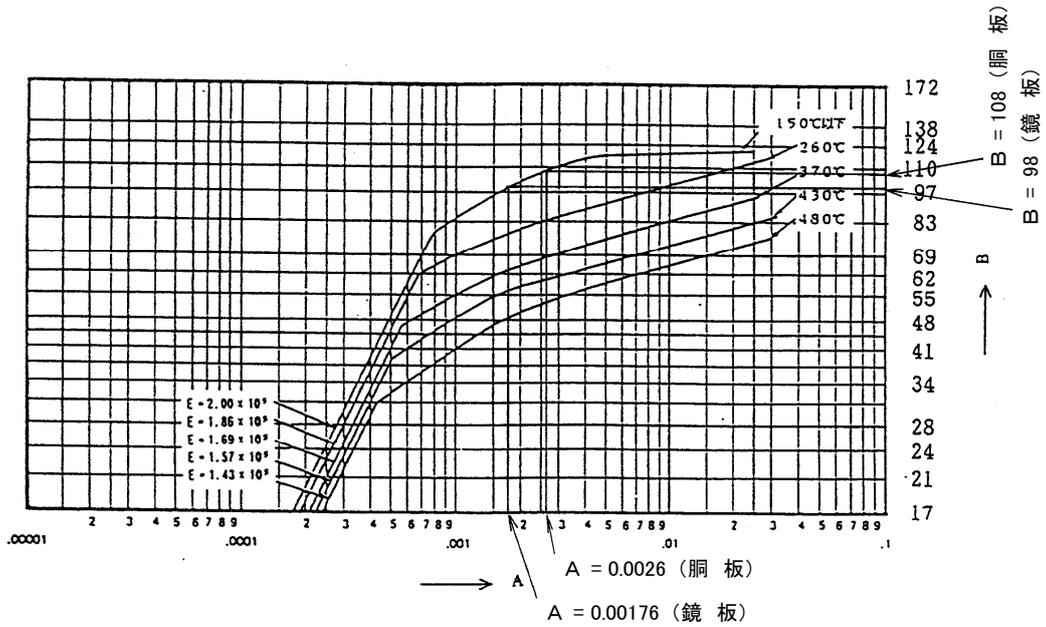
(ロ)-A-33



(ロ)-第A.9図 外圧チャート (形状に関するもの)

(昭和 55 年 通商産業省告示 501 号)

発電所原子力設備に関する構造等の技術基準 別図第 7)



(ロ)-第A. 10 図 外圧条件下での構造物の板厚決定のためのチャート
炭素鋼 (降伏点が 210 N/mm² 以上 410 N/mm² 未満のもの)
及びステンレス鋼 (SUS405、SUS410 及び SUS410Ti)

A. 4. 6. 2 内外圧力差によりシリンダに発生する繰返し応力の評価

シリンダは、製造後に内部の圧力を大気圧から真空状態とし、六ふっ化ウランを充填する。その後、内部の圧力は、六ふっ化ウランの蒸気圧に依存するため、外部の温度変化（太陽放射熱を含む）に応じて大気圧付近（54℃において0.088 MPa(abs)付近）から真空状態（-40℃において0.001 MPa(abs)未満）の間で変動することが想定される。

この圧力変動を踏まえ、ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 2 の「5.5.2.3 Fatigue Analysis Screening, Method A」に基づき、以下の(1)及び(2)に示す疲労解析が不要となる条件を満たすことを確認し、繰返し応力による疲労解析が不要となることを示す。

(1) 使用材料の規定最小引張強さ（552 N/mm²以下）

ASME 規格の Method A では、規定最小引張強さ 552 N/mm² 以下の鉄鋼材料であることが求められるが、シリンダの材料は、ASTM A516 (Grade 60) であり、規定最小引張強さ 415 N/mm² であるため、条件を満たしている。

(2) 合計繰返し回数（1000 回以下）

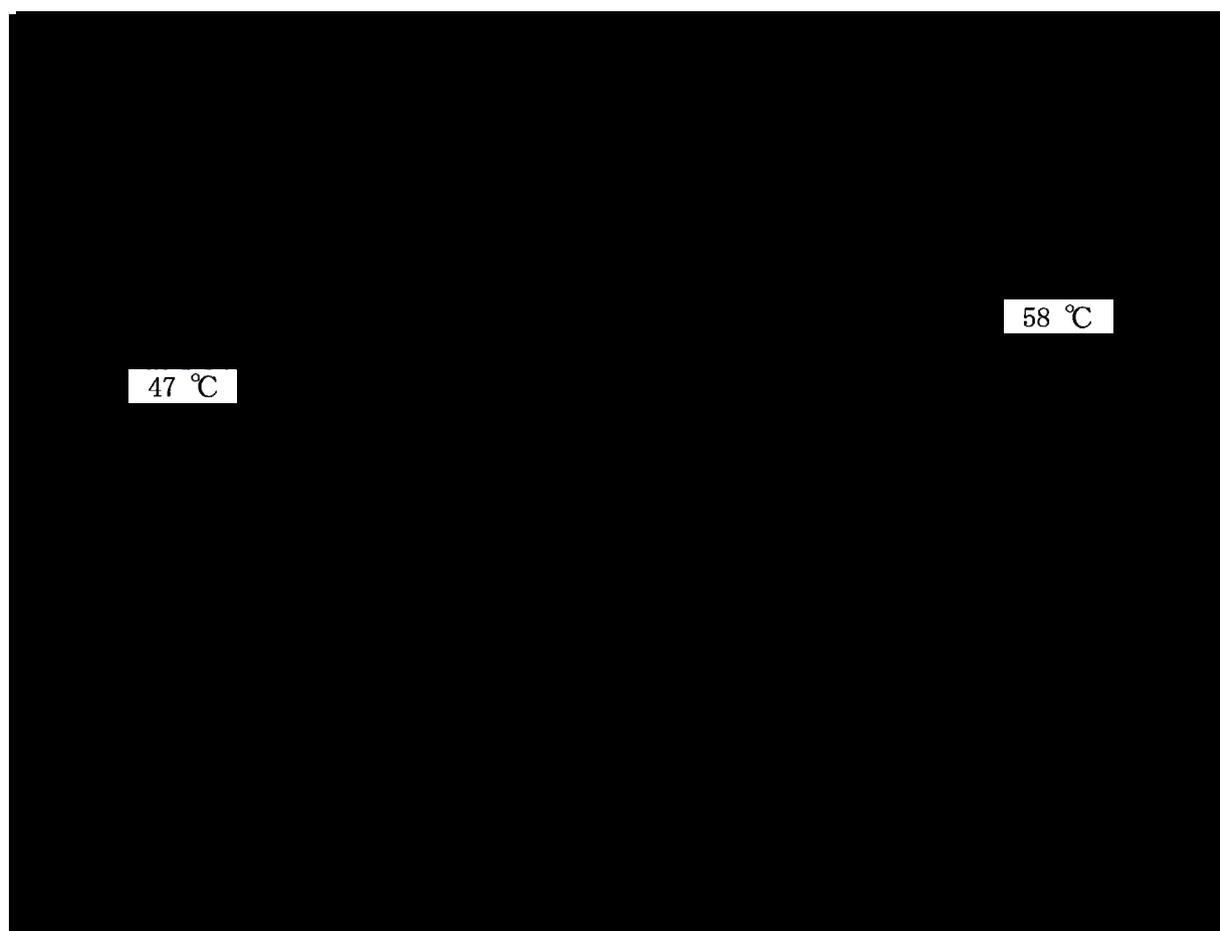
ASME 規格の Method A では、(ロ)-第A.6表に示す①～④の合計繰返し回数が 1000 回以下であることが求められるが、(ロ)-第A.6表に示すとおり合計繰返し回数は 250 回であり、条件を満たしている。

(ロ)-第A.6表 疲労解析が不要となる繰返し回数の評価

項目	条件	評価	繰返し回数
①	起動及び停止を含む全範囲の圧力サイクルの予想（設計）繰返し回数	充填時：1回 （大気圧⇒真空状態） 輸送時：124回 （4ヶ月（31日×4）の間の1日の気温、太陽放射熱により、真空状態⇒大気圧付近⇒真空状態の繰返しを想定）	125回
②	圧力変動の範囲が設計圧力の20%を超える運転圧力サイクルの予想繰返し回数（外気条件の変動によって生じる圧力サイクルは考慮する必要はない。）	想定される圧力変動の範囲は、設計圧力（外圧：0.28 MPa(abs)）の20%（0.056 MPa(abs)）を超えるため、①と同様に充填時、輸送時の回数（125回）を適用する。	125回
③	ノズルを含めて圧力容器の任意の隣接した2点間の金属温度差変動の有効繰返し回数で、金属温度差変動の繰返し回数に係数を乗じた値を合計した回数	ロ章-Bの熱解析の火災前の条件におけるシリンダの各部位の最大温度差は、(ロ)-第A.11図に示す11℃である。保守的にこの温度差を2点間の金属温度差とし、係数0（金属温度差が28℃以下の場合は係数0）を適用する。また、金属温度差変動の有効繰返し回数は、①と同様に充填時、輸送時の回数（125回）を適用する。よって、回数は以下となる。 金属温度差変動125回×係数0=0回	0回

④	線膨張係数の異なる材料（溶接部を含む。）で構成されている場合には、 $(\alpha_1 - \alpha_2) \Delta T > 0.00034$ となるような温度変動の繰返し回数 α_1, α_2 : 平均線膨張係数 (1/°C) ΔT : 運転時の温度変化の全範囲 (°C)	線膨張係数の異なる材料は使用していないため、該当なし。	—
---	--	-----------------------------	---

以上より、ASME 規格の Method A ((1)使用材料の規定最小引張強さ及び(2)合計繰返し回数) の要求を満たしており、内外圧力差によりシリンダに発生する繰返し応力の疲労解析は不要である。



(ロ)-第A. 11 図 火災前の条件におけるシリンダの各部位の最大温度差

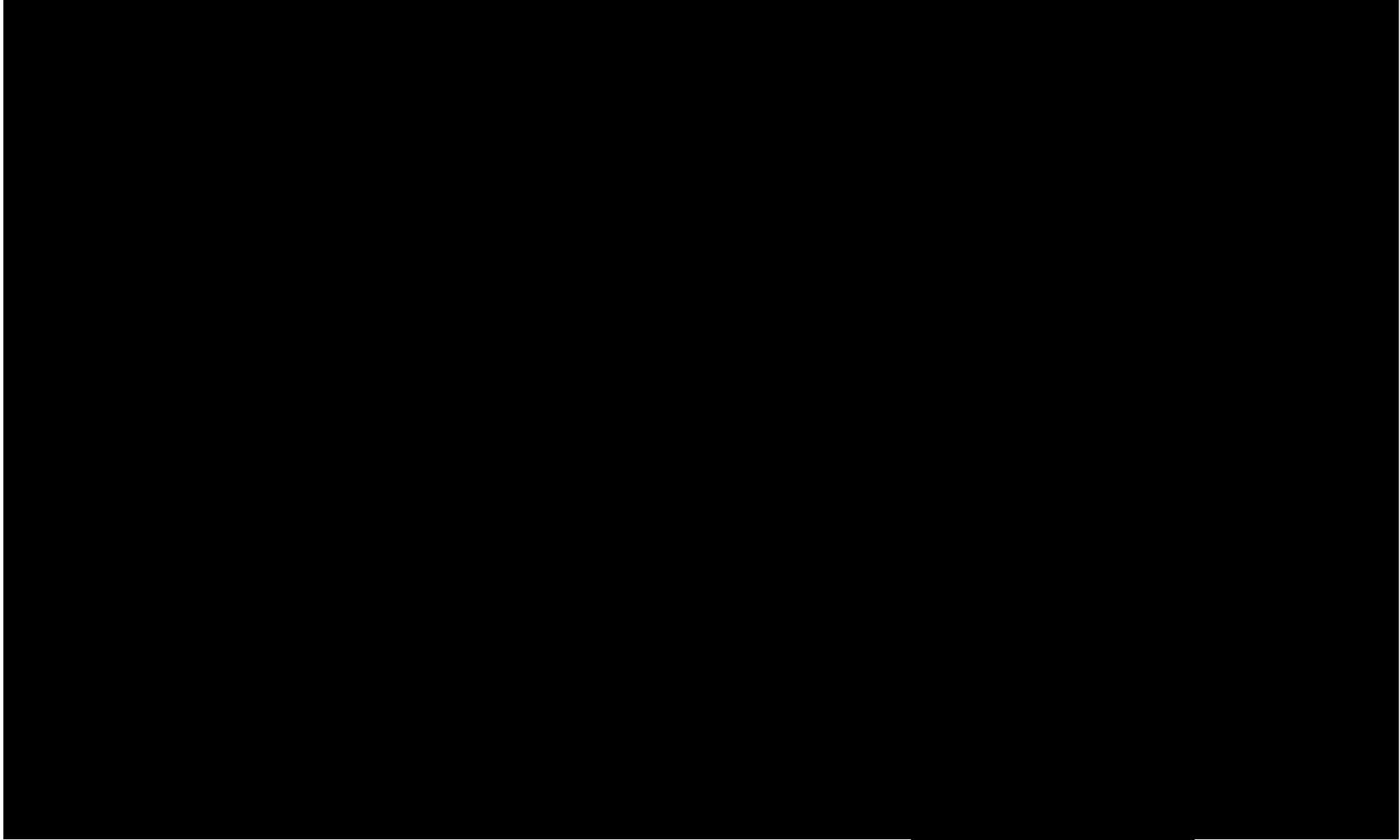
A. 4.7 振 動

本節では本輸送物の固有振動数を求め、輸送中に荷台より伝えられる振動数と比較し、共振しないことを示す。

固有振動数の解析は、汎用解析コード ABAQUS により行う。荷重・境界条件図を(ロ)-第A. 12 図に示す。(ロ)-第A. 12 図に示すように、本輸送物は2つのR台にて支持される。

解析により得られた振動モード毎の固有振動数を(ロ)-第A. 7 表に示す。

(甲)-A-37



(口)-第A.12图 荷重・境界条件图

(ロ)-第A.7表 振動モード毎の固有振動数

振動モード	固有振動数 (Hz)
一次振動モード	57.7
二次振動モード	■
三次振動モード	■
四次振動モード	■
五次振動モード	■

これらより、本輸送物の固有振動数は、一次振動モードの固有振動数 57.7 Hz 以上である。したがって、本輸送物の固有振動数は、輸送中に予想される加振周波数 0~10 Hz に比べて十分高いので共振の可能性はない。

A.5 一般の試験条件

A.5.1 熱的試験

該当しない

A.5.2 水噴霧

該当しない

A.5.3 自由落下

(1) 自由落下概要

自由落下については、告示第 30 条すなわち別記第 14「六ふっ化ウラン輸送物に係る一般の試験条件」に基づいて自由落下解析を行い評価する。

(i) 自由落下解析

輸送物の自由落下解析は、その落下姿勢により垂直落下、水平落下、コーナー落下及び傾斜落下の 4 ケースについて行う。本輸送物において、六ふっ化ウラン輸送物に係る一般の試験条件に基づく落下高さは、収納物の充填量が 8,800 kg 以上 11,860 kg 未満の場合には 0.6 m、収納物の充填量が 11,860 kg 以上 12,500 kg 以下の場合には 0.3 m となるが、解析は落下高さを安全側に 0.6 m、最大充填量時の輸送物重量である 15,640 kg とする。

自由落下解析は三次元衝撃解析 LS-DYNA により行う。また、自由落下姿勢を (ロ)-第 A.8 表に示す。

(ii) 解析モデル

弁側を下にした垂直落下、水平落下、弁側を下にしたコーナー落下及び弁側を下にした傾斜落下について、(ロ)-第 A.13 図に解析モデル図を、(ロ)-第 A.14 図に評価点位置図をそれぞれ示す。また、閉止栓側を下にした垂直落下、閉止栓側を下にしたコーナー落下及び閉止栓側を下にした傾斜落下について、(ロ)-第 A.15 図に解析モデル図を、(ロ)-第 A.16 図に評価点位置図をそれぞれ示す。解析モデルは、解析対象の構造の対称性を考慮して、軸直交方向の 2 分の 1 モデルとした。

収納物は [REDACTED] することで模擬した。

また、耐熱キャップは [REDACTED]

[REDACTED] する。したがって、本自由落下解析では、基本的には [REDACTED]

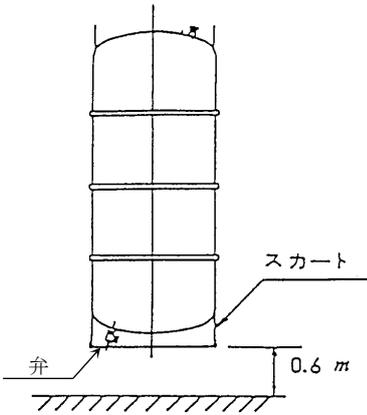
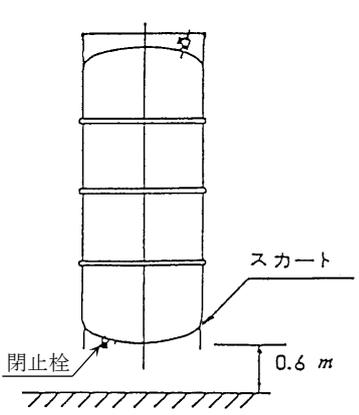
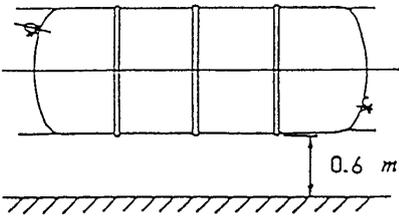
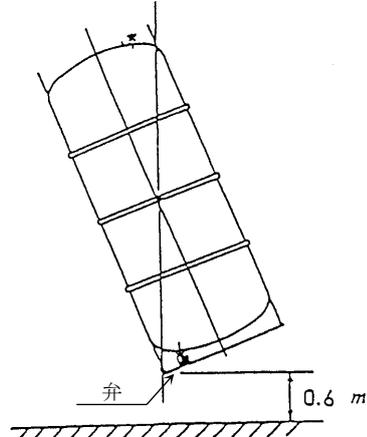
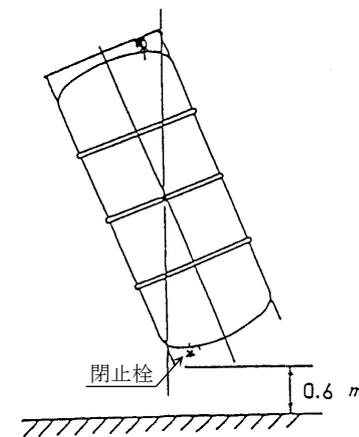
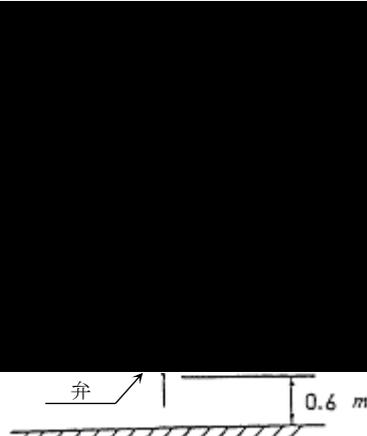
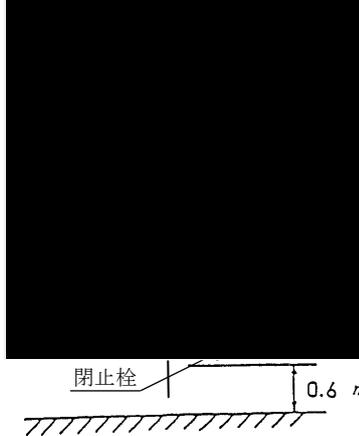
[REDACTED] することとし [REDACTED]

[REDACTED] をモデル化した。

(iii) 初期条件

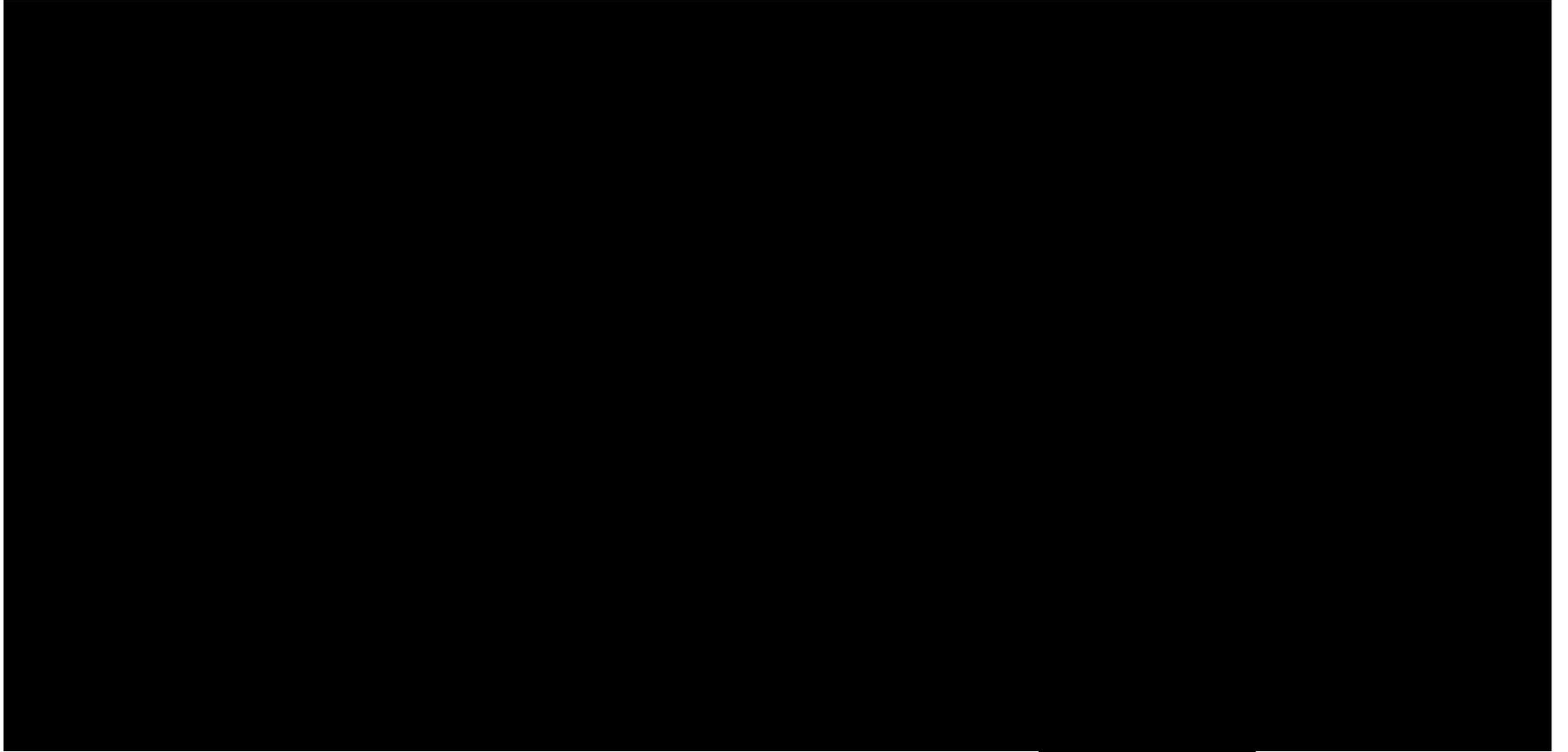
モデルに 0.6 m 自由落下時の速度 3.43 m/s ($=\sqrt{2gh}$ 、 $h=0.6 \text{ m}$) を与え、剛体床に衝突させた。剛体床との接触条件は、補強リング、シリンダ及びスカートの節点に対して与えた。

(口)-第A.8表 自由落下姿勢

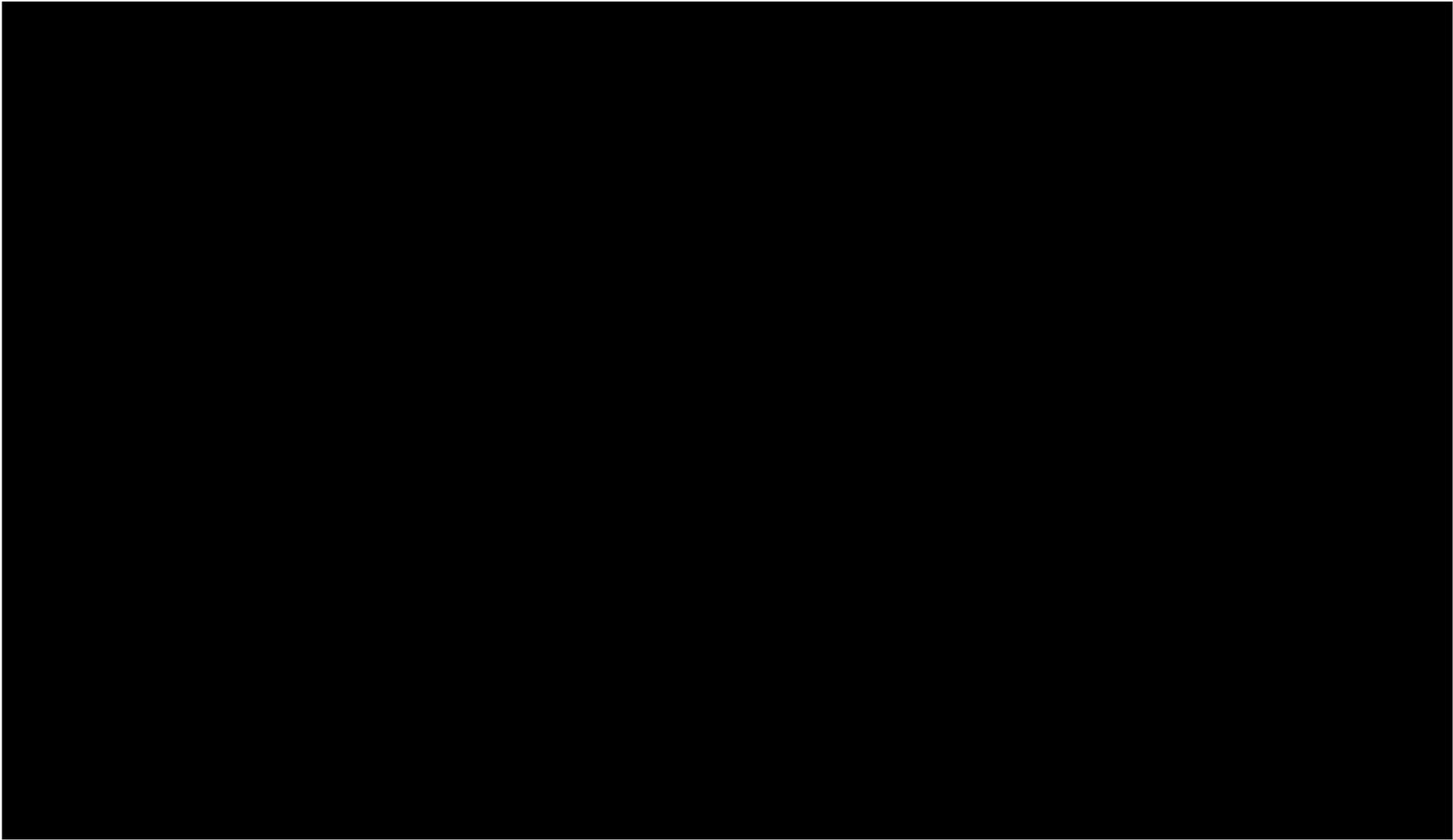
		落下姿勢	
垂直落下			
水平落下			
コーナー落下			
傾斜落下			



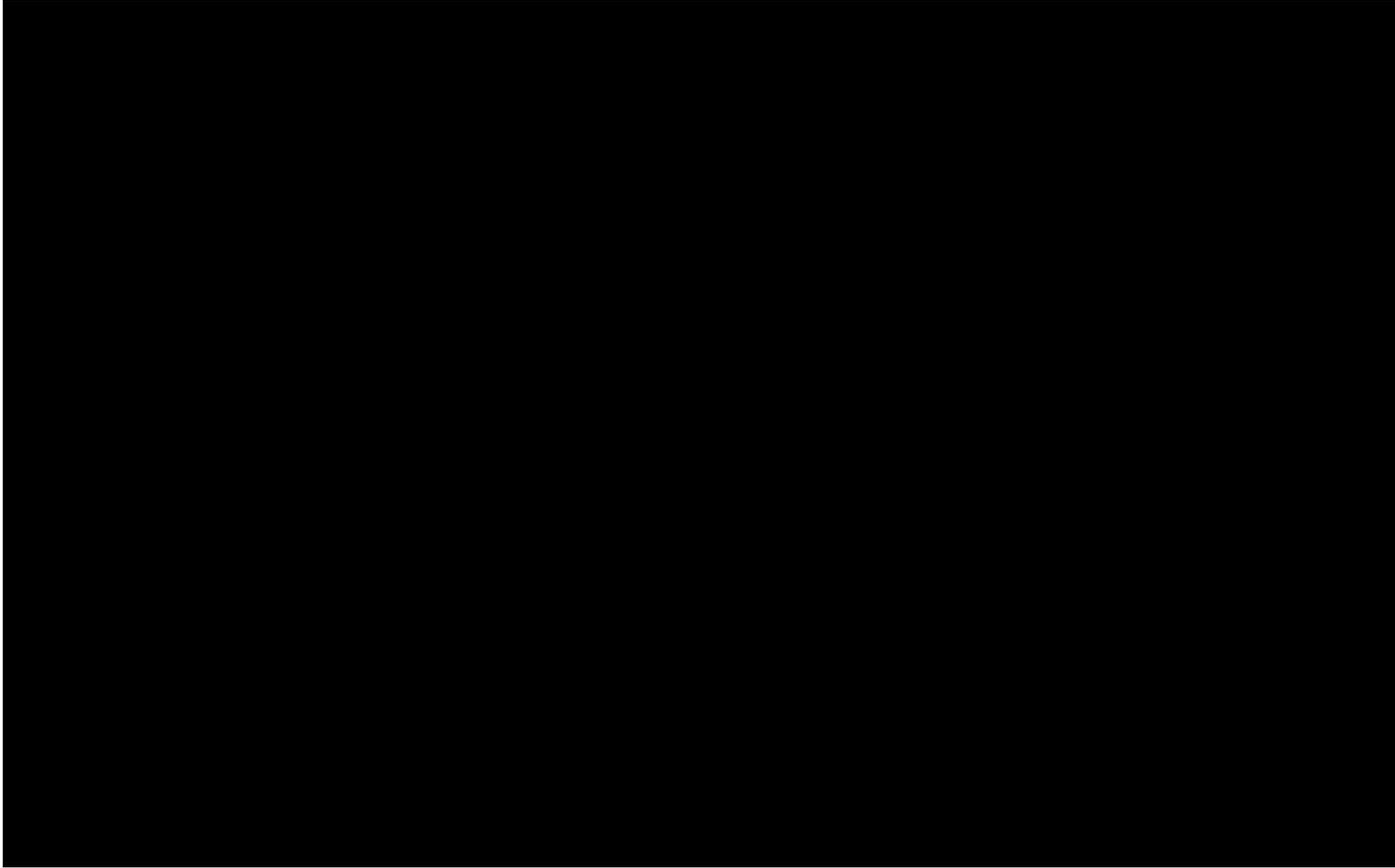
(ロ)-第A.13図 解析モデル図 (弁側を下にした落下)



(ロ)-第A.14図 評価点位置図 (弁側を下にした落下)



(ロ)-第A.15 図 解析モデル図 (閉止栓側を下にした落下)



(ロ)-第A.16図 評価点位置図 (閉止栓側を下にした落下)

(iv) 物性値

(ロ)-第A.9表より、解析に必要な物性値を使用した。

(ロ)-第A.9表 解析に用いた物性値

部 位	材 料	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比	降伏応力 (MPa)	破断歪み (%)
シリンダ 胴 板 鏡 板 補強リング スカート 弁保護具	ASTM A516 (Grade 60)	2.06×10^5	0.3	220	36.8
三角ブロック	SCW480	2.03×10^5	0.3	275	—
耐熱キャップ 外 板	SUS304	1.95×10^5	0.3	205	—

(2) 垂直落下解析 (弁側を下にした垂直落下)

(i) 解析条件

(ロ)-第A. 17 図に解析モデルの荷重・境界条件図を示す。

(ii) 解析結果

解析は、剛体床との接触開始時刻を 0 として、20 msec 後まで実施した。

(イ) 変位時刻歴

(ロ)-第A. 18 図に輸送物各部の落下方向の変位時刻歴を示す。

(ロ) 変 形

弁の先端と弁保護具との隙間の時刻歴を(ロ)-第A. 19 図に、弁の先端と弁保護具との隙間が最小となった時刻の輸送物の変形図を(ロ)-第A. 20 図に示す。

弁の先端と弁保護具との最小隙間は 16.9 mm である。

(ハ) 歪 み

垂直落下解析においてシリンダ胴板及び鏡板の外表面側に生じた相当塑性歪みの分布図を(ロ)-第A. 21 図に示す。相当塑性歪みの最大値は 6.01 % である。

なお、シリンダ胴板及び鏡板の溶接部には、歪みはほとんど生じていない。

(iii) まとめ

垂直落下解析結果は以下のとおりである。

(イ) 弁と弁保護具との隙間は最小で 16.9 mm である。すなわち、弁が弁保護具に接触しないことから、弁の健全性に問題はない。

(ロ) シリンダ胴板及び鏡板に生じる最大相当塑性歪みは 6.01 % であり、シリンダ胴板及び鏡板の材料の破断歪み 36.8 % を下回っていることから、シリンダ胴板及び鏡板に破断は生じない。

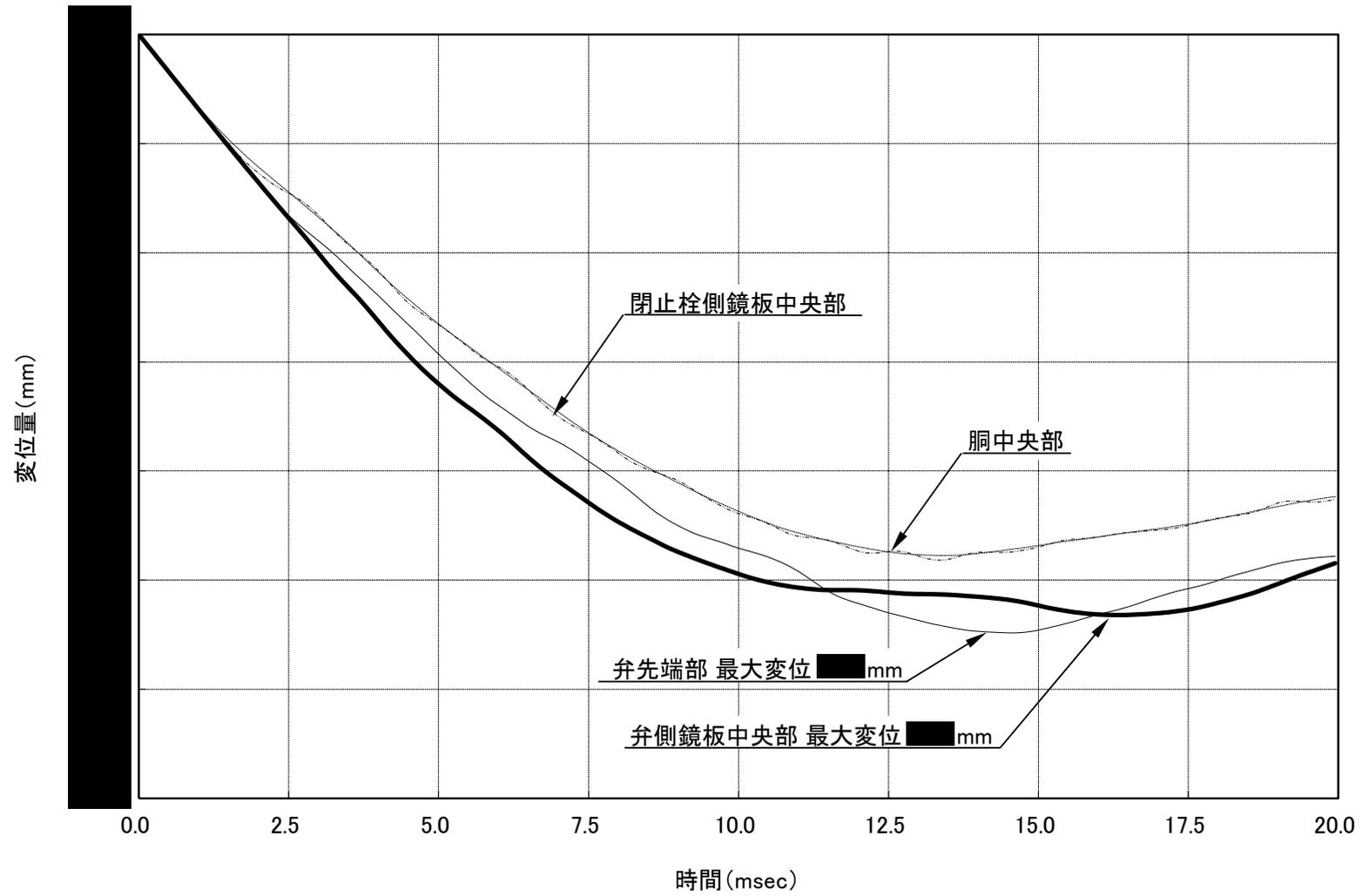
よって、弁側を下にした垂直落下では、本輸送物の健全性は損なわれない。

落下方向
↓ $v_0 = 3.43 \text{ m/s}$



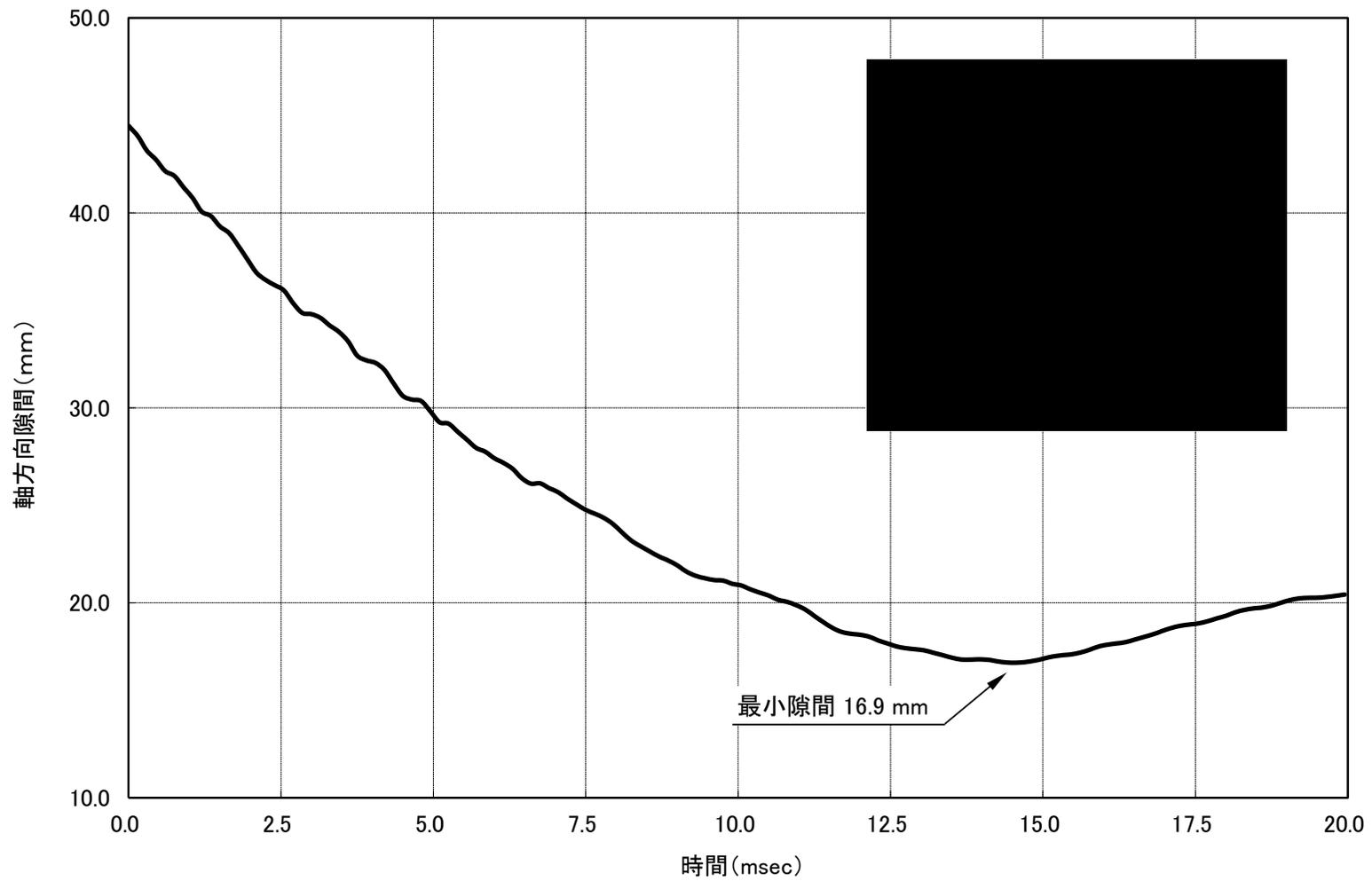
(ロ)-第A.17図 0.6 m 垂直落下時における荷重・境界条件図 (弁側を下にした垂直落下)

(口) - A-48

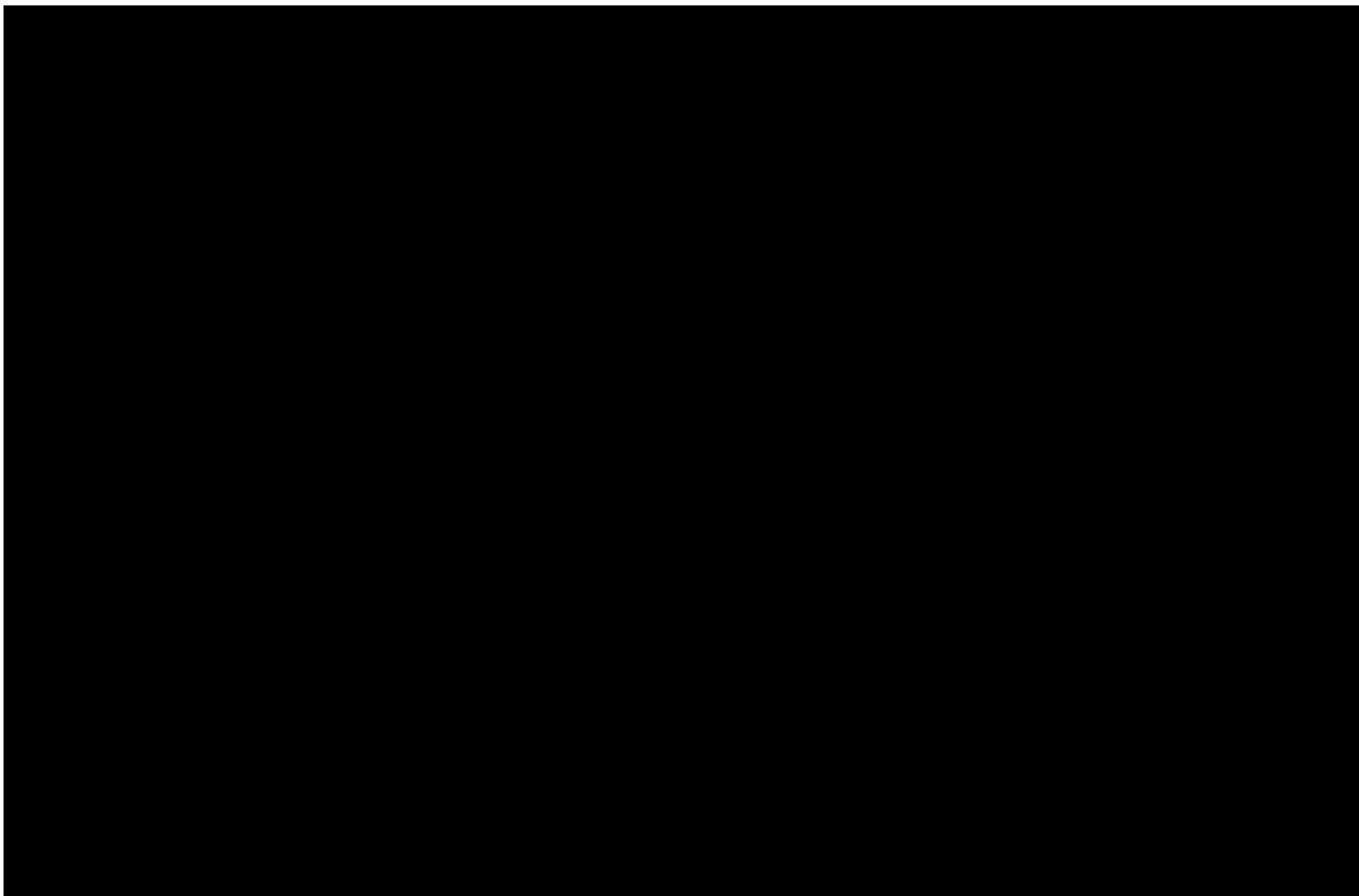


(口)-第A.18図 0.6 m 垂直落下時における落下方向変位時刻歴 (弁側を下にした垂直落下)

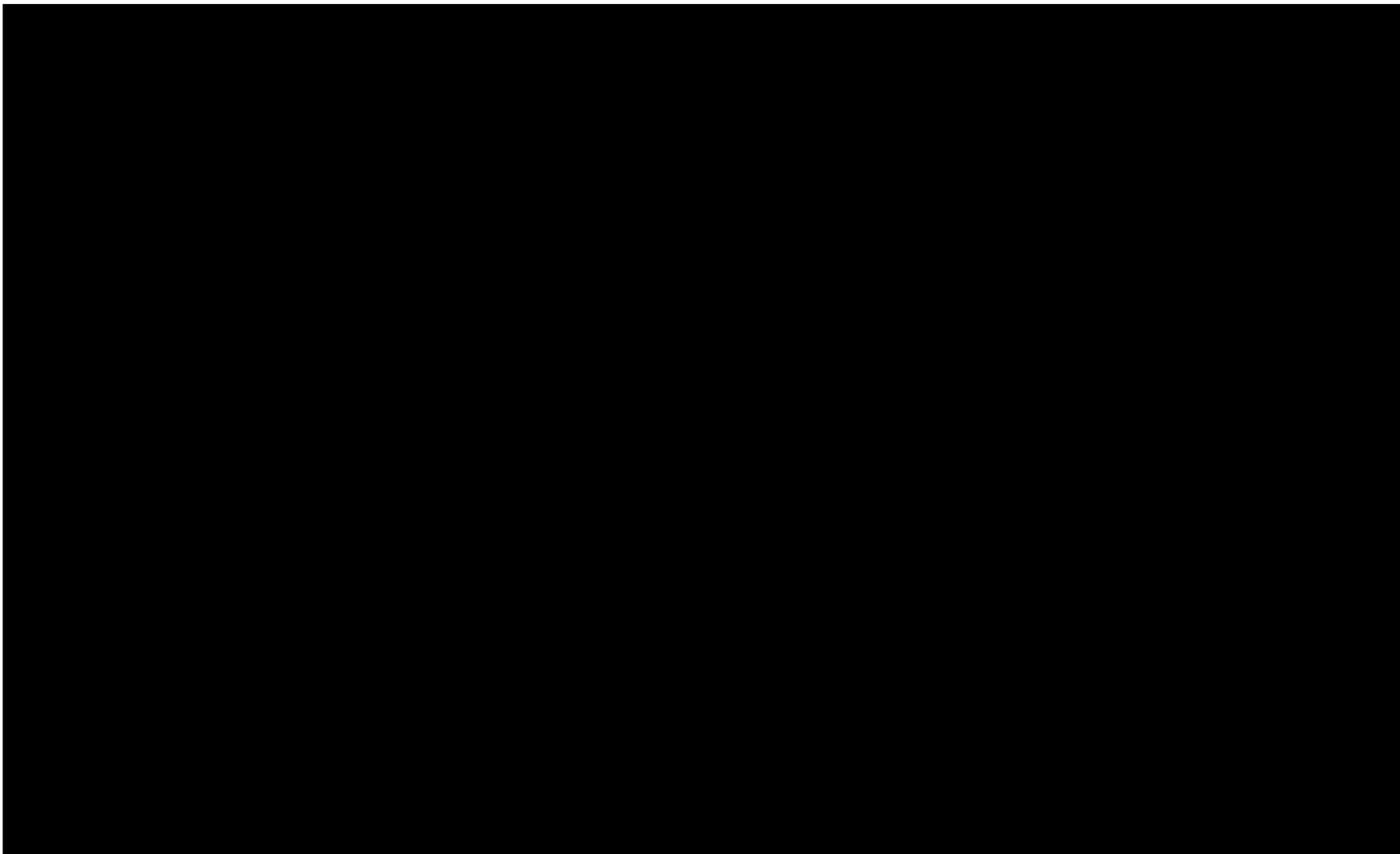
(ア) - A-49



(ロ)-第A.19図 0.6 m 垂直落下時における弁先端／弁保護具間の隙間時刻歴 (弁側を下にした垂直落下)



(㊦)-第A.20 図 弁先端最小隙間時刻における変形図 (弁側を下にした垂直落下)



(14)-第A.21図 垂直落下において発生した相当塑性歪み分布図（弁側を下にした垂直落下）

(3) 垂直落下解析（閉止栓側を下にした垂直落下）

(i) 解析条件

(ロ)-第A. 22 図に解析モデルの荷重・境界条件図を示す。

(ii) 解析結果

解析は、剛体床との接触開始時刻を 0 として、40 msec 後まで実施した。

(イ) 変位時刻歴

(ロ)-第A. 23 図に輸送物各部の落下方向の変位時刻歴を示す。

(ロ) 変 形

閉止栓の先端と耐熱キャップとの隙間の時刻歴を(ロ)-第A. 24 図に、閉止栓の先端と耐熱キャップとの隙間が最小となった時刻の輸送物の変形図を(ロ)-第A. 25 図に示す。

閉止栓の先端と耐熱キャップとの最小隙間は 27.1 mm である。

(ハ) 歪 み

垂直落下解析においてシリンダ胴板及び鏡板の外表面側に生じた相当塑性歪みの分布図を(ロ)-第A. 26 図に示す。相当塑性歪みの最大値は 3.44 % である。

なお、シリンダ胴板及び鏡板の溶接部には、歪みはほとんど生じていない。

(iii) まとめ

垂直落下解析結果は以下のとおりである。

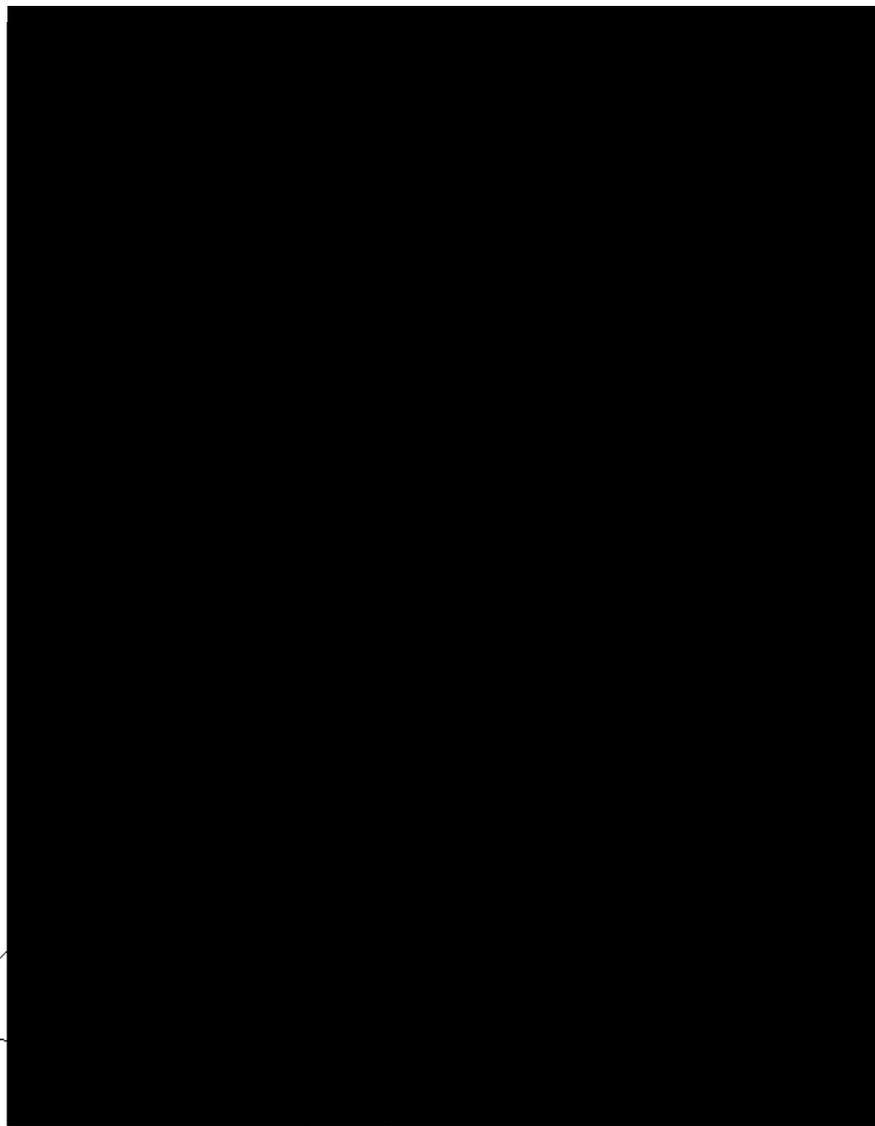
(イ) 閉止栓と耐熱キャップとの隙間は最小で 27.1 mm である。すなわち、閉止栓が耐熱キャップに接触しないことから、閉止栓の健全性に問題はない。

(ロ) シリンダ胴板及び鏡板に生じる最大相当塑性歪みは 3.44 % であり、シリンダ胴板及び鏡板の材料の破断歪み 36.8 % を下回っていることから、シリンダ胴板及び鏡板に破断は生じない。

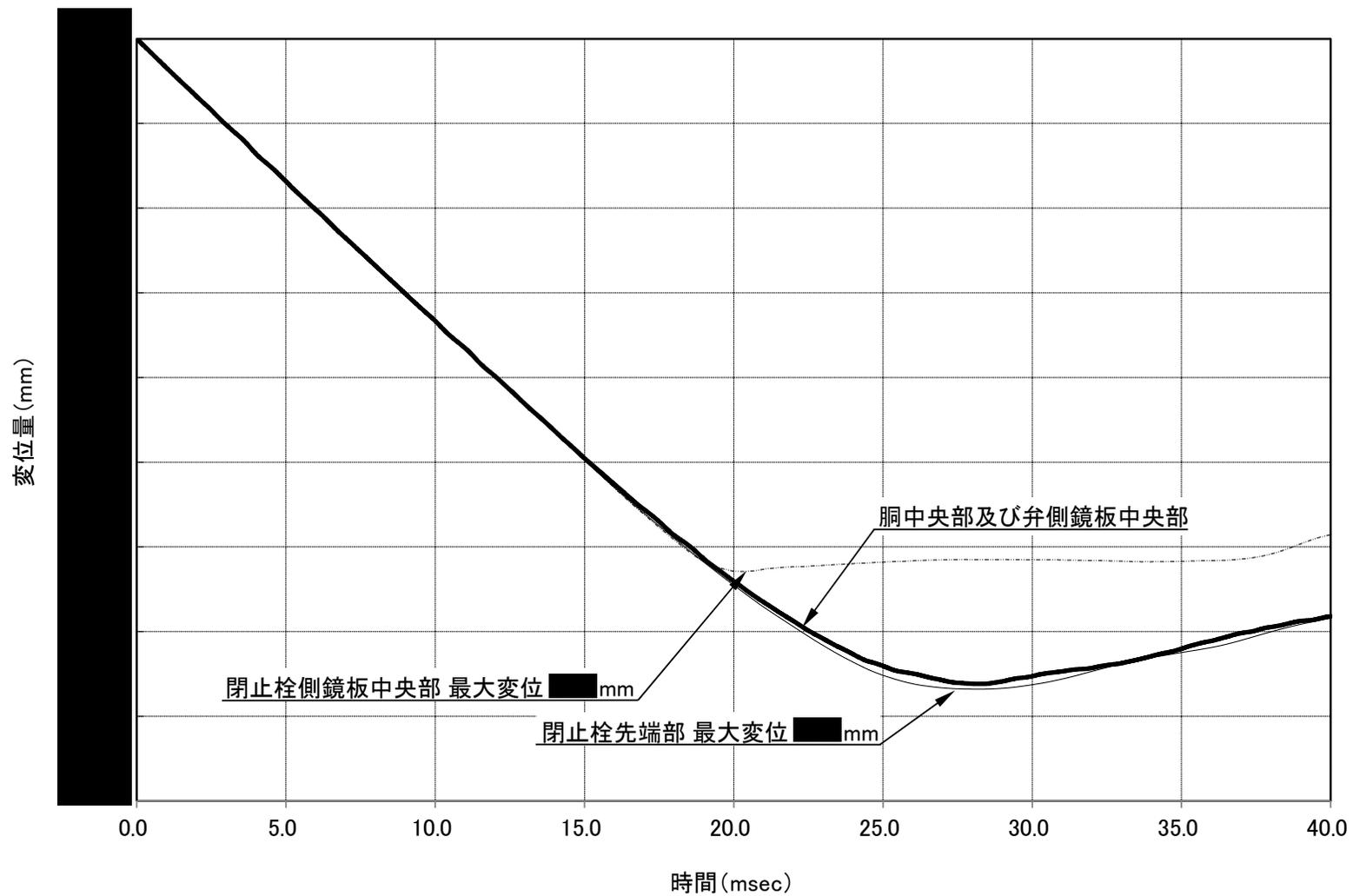
よって、閉止栓側を下にした垂直落下では、本輸送物の健全性は損なわれない。

落下方向
↓ $v_0 = 3.43 \text{ m/s}$

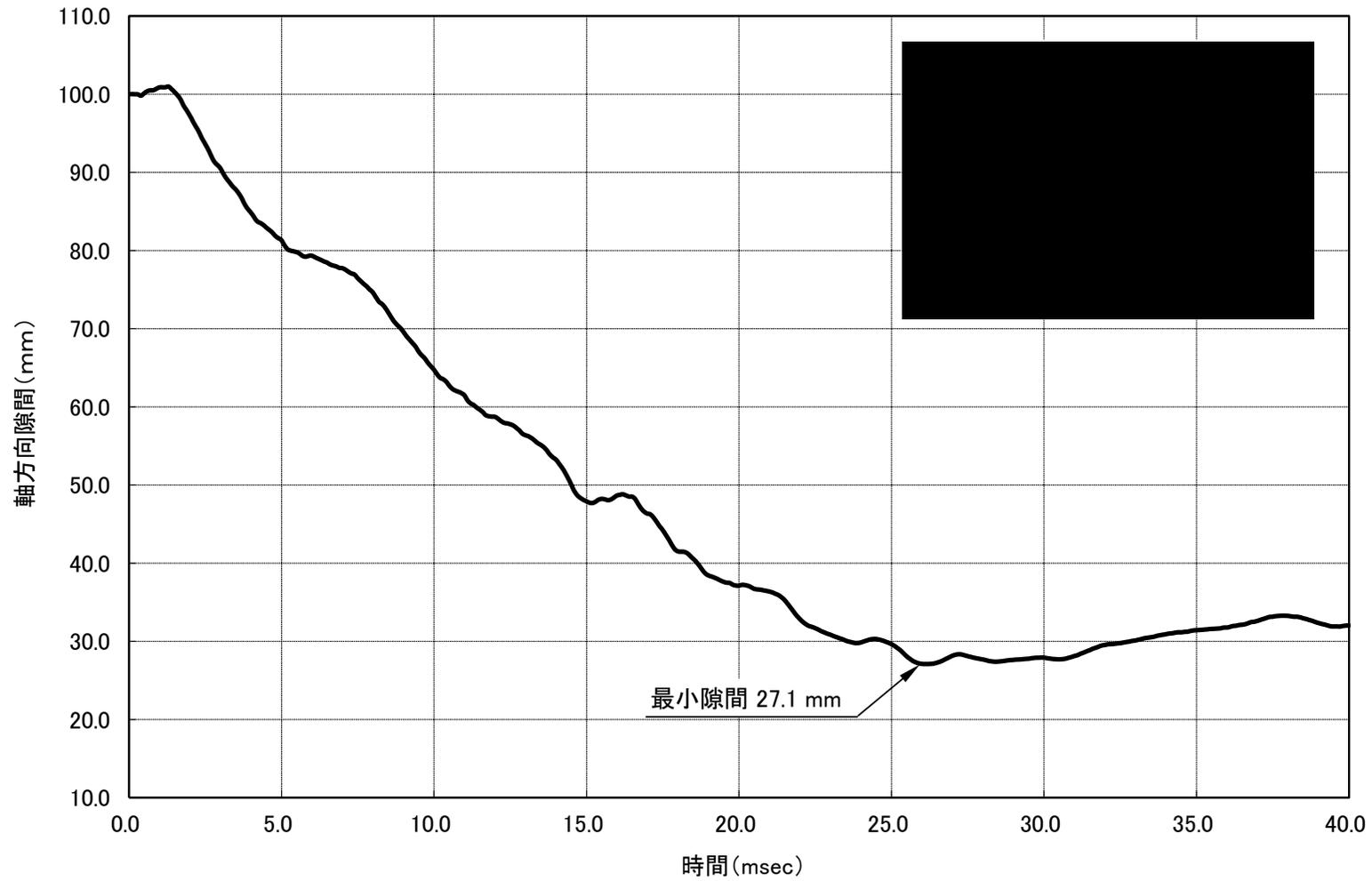
剛体床



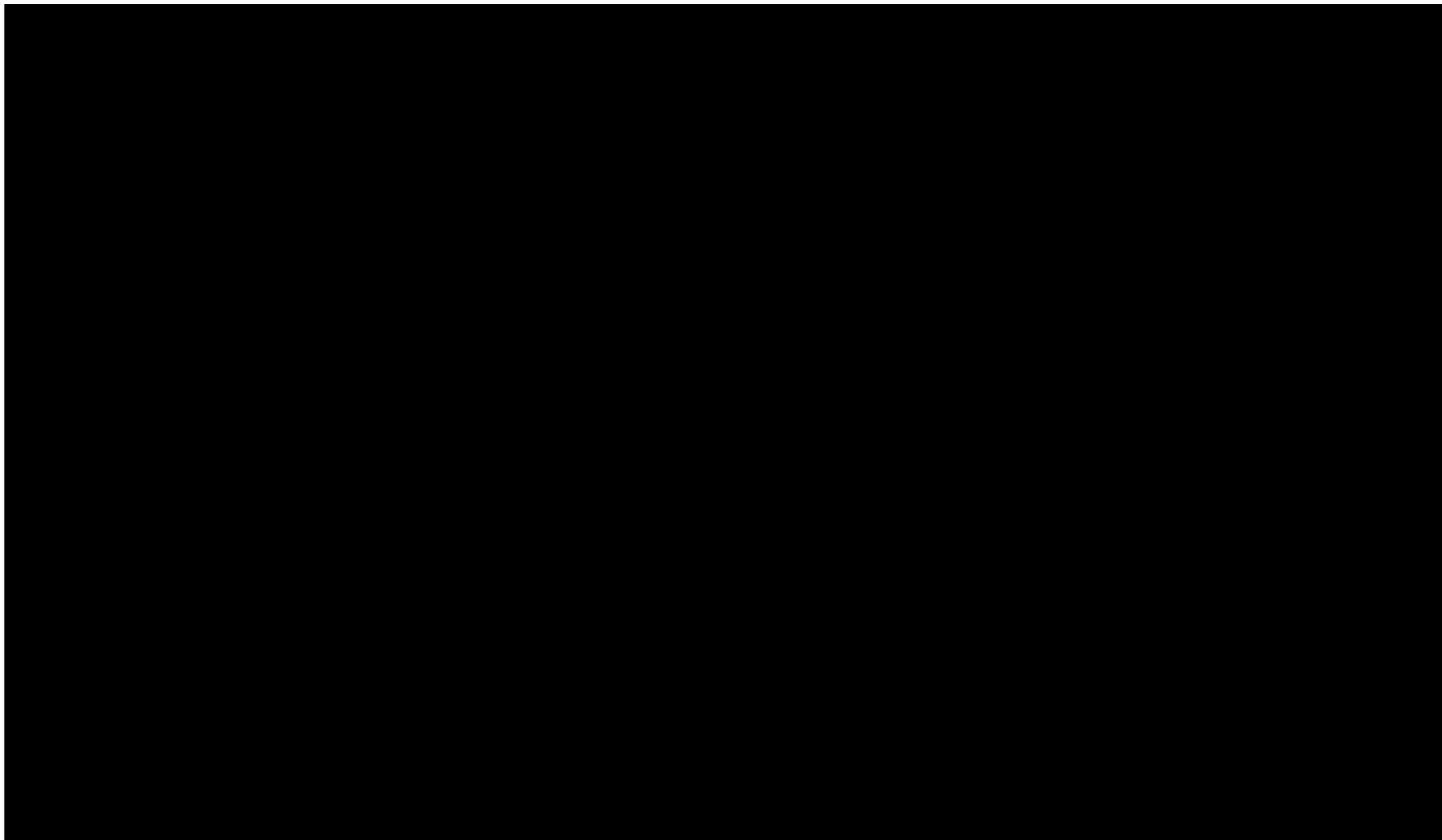
(㊦)-第A.22図 0.6 m 垂直落下時における荷重・境界条件図 (閉止栓側を下にした垂直落下)



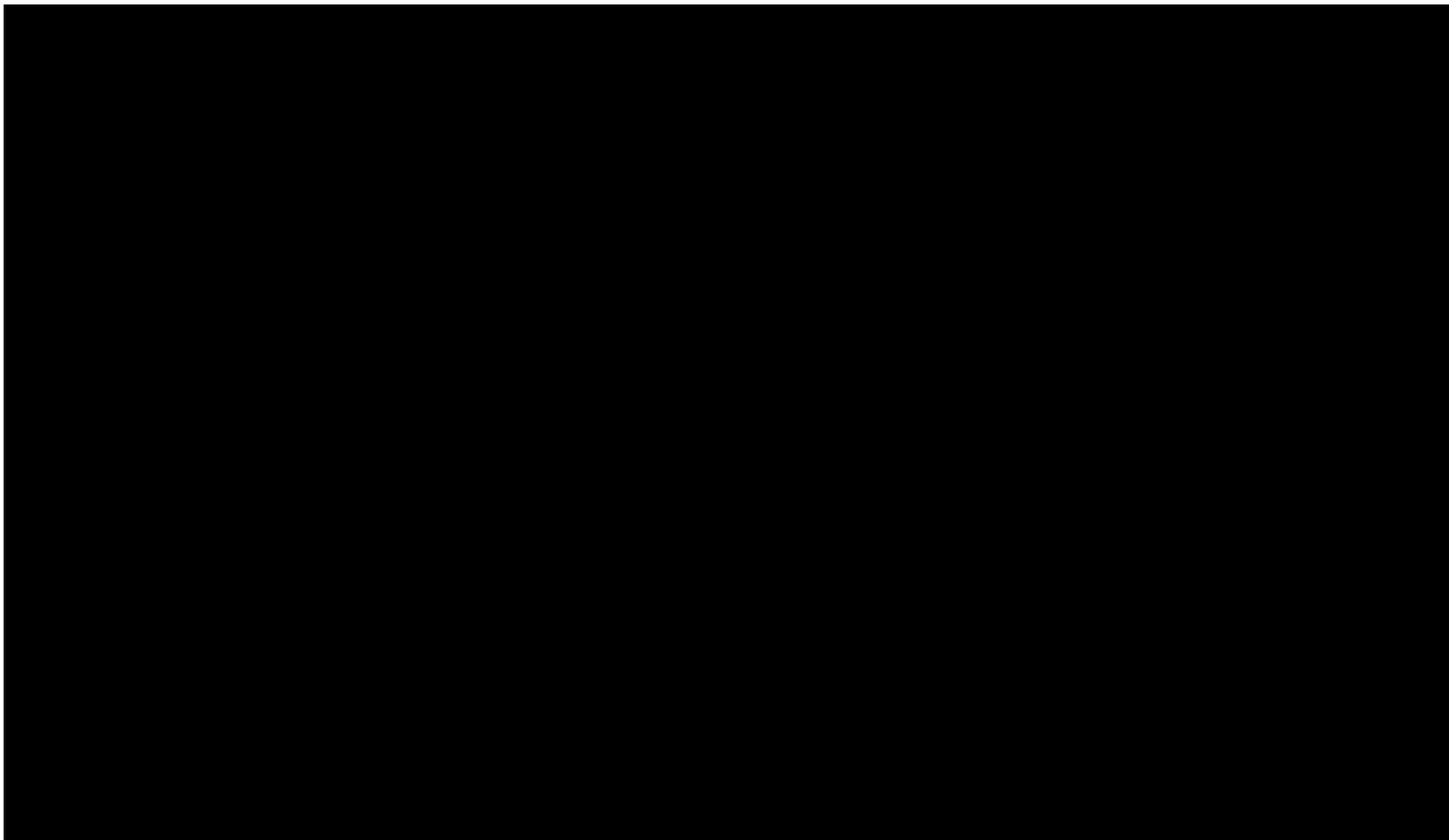
(口)-第A.23 図 0.6 m 垂直落下時における落下方向変位時刻歴 (閉止栓側を下にした垂直落下)



(ロ)-第A.24図 0.6 m 垂直落下時における閉止栓先端／耐熱キャップ間の隙間時刻歴 (閉止栓側を下にした垂直落下)



(ロ)-第A.25図 閉止栓先端最小隙間時刻における変形図（閉止栓側を下にした垂直落下）



(ロ)-第A.26 図 垂直落下において発生した相当塑性歪み分布図（閉止栓側を下にした垂直落下）

(4) 水平落下解析

(i) 解析条件

(ロ)-第A. 27 図に解析モデルの荷重・境界条件図を示す。

(ii) 解析結果

解析は、剛体床との接触開始時刻を 0 として、60 msec 後まで実施した。

(イ) 変位時刻歴

(ロ)-第A. 28 図に輸送物各部の落下方向の変位時刻歴を示す。

(ロ) 変 形

弁側鏡板中央部の変位が最大となる時刻の輸送物の変形図を(ロ)-第A. 29 図に、シリンダ中央部の変位が最大となる時刻の変形図を(ロ)-第A. 30 図に示す。

これらより、弁保護具、スカート及び弁近傍は、ほとんど変形しないことが分かる。

(ハ) 歪 み

水平落下解析においてシリンダ胴板及び鏡板の外表面側に生じた相当塑性歪みの分布図を(ロ)-第A. 31 図に示す。相当塑性歪みの最大値は 13.2 %である。

なお、最大相当塑性歪みがシリンダ胴板の長手継手上に生じていることから、当該溶接部の溶接効率 0.85 を考慮して相当塑性歪みが増加したと考えた場合の最大相当塑性歪みは 15.5 %である。

(iii) まとめ

水平落下解析結果は以下のとおりである。

(イ) 弁保護具、スカート及び弁近傍は、ほとんど変形せず、弁が弁保護具に接触しないことから、弁の健全性に問題はない。

(ロ) シリンダ胴板及び鏡板に生じる最大相当塑性歪みは 13.2 %であり、シリンダ胴板の長手継手の溶接効率を考慮した場合でも、最大相当塑性歪みは 15.5 %である。したがって、いずれもシリンダ胴板及び鏡板の材料の破断歪み 36.8 %を下回っていることから、シリンダ胴板及び鏡板に破断は生じない。

よって、水平落下では、本輸送物の健全性は損なわれない。

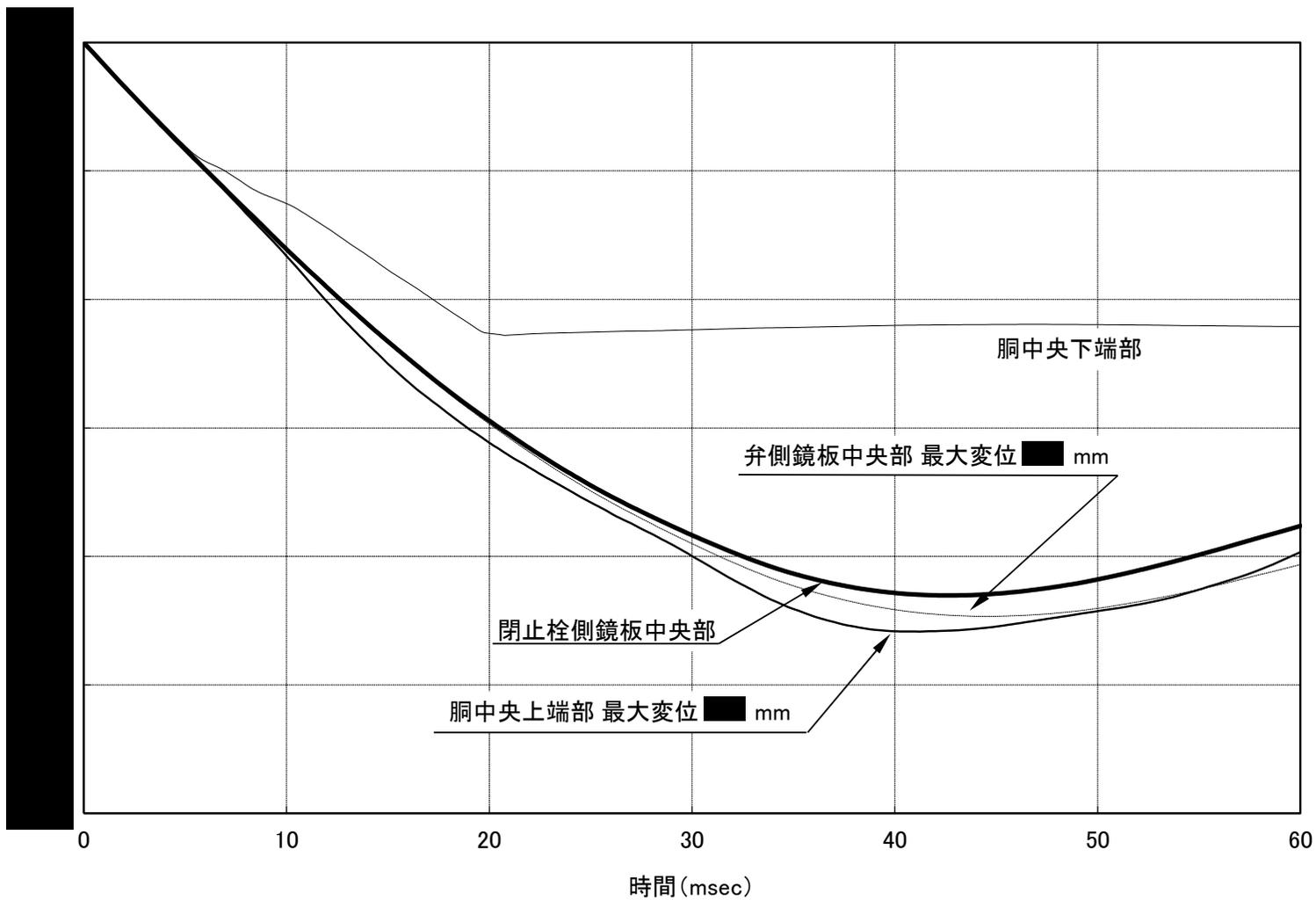
(甲)-A-59



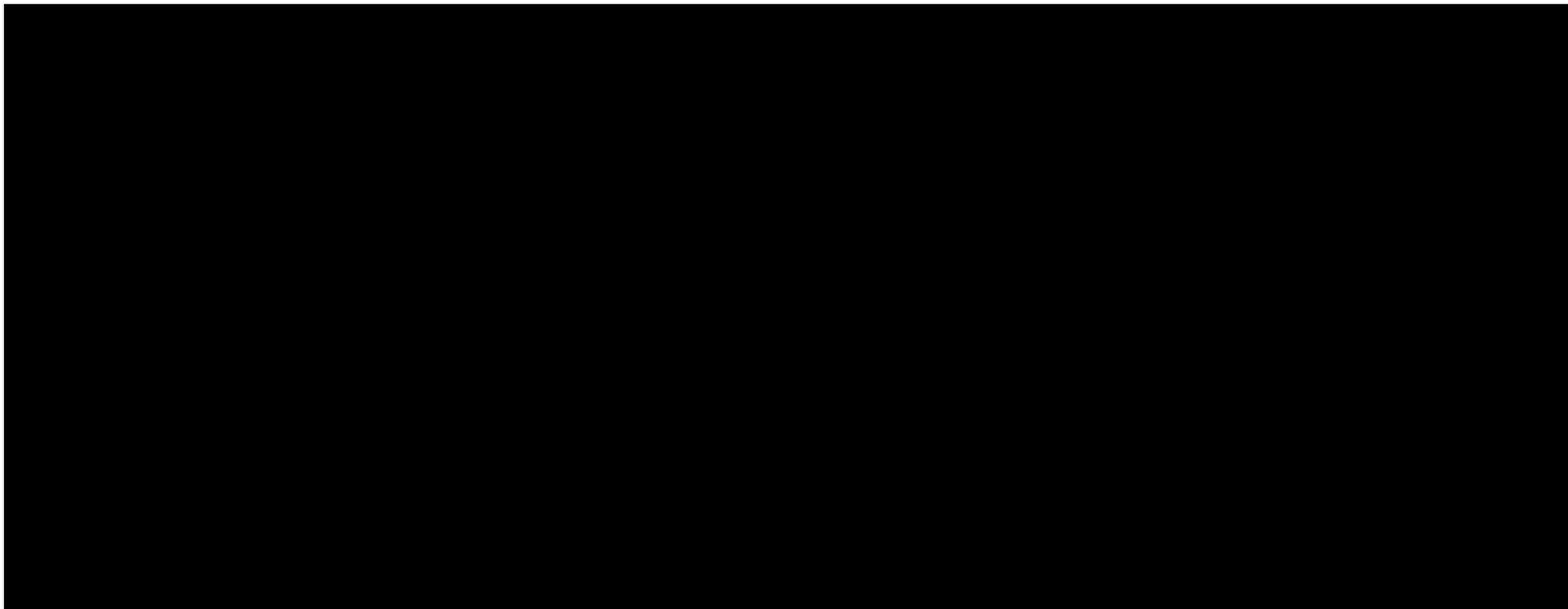
(口)-第A.27図 0.6 m 水平落下時における荷重・境界条件図

09-V-(1)

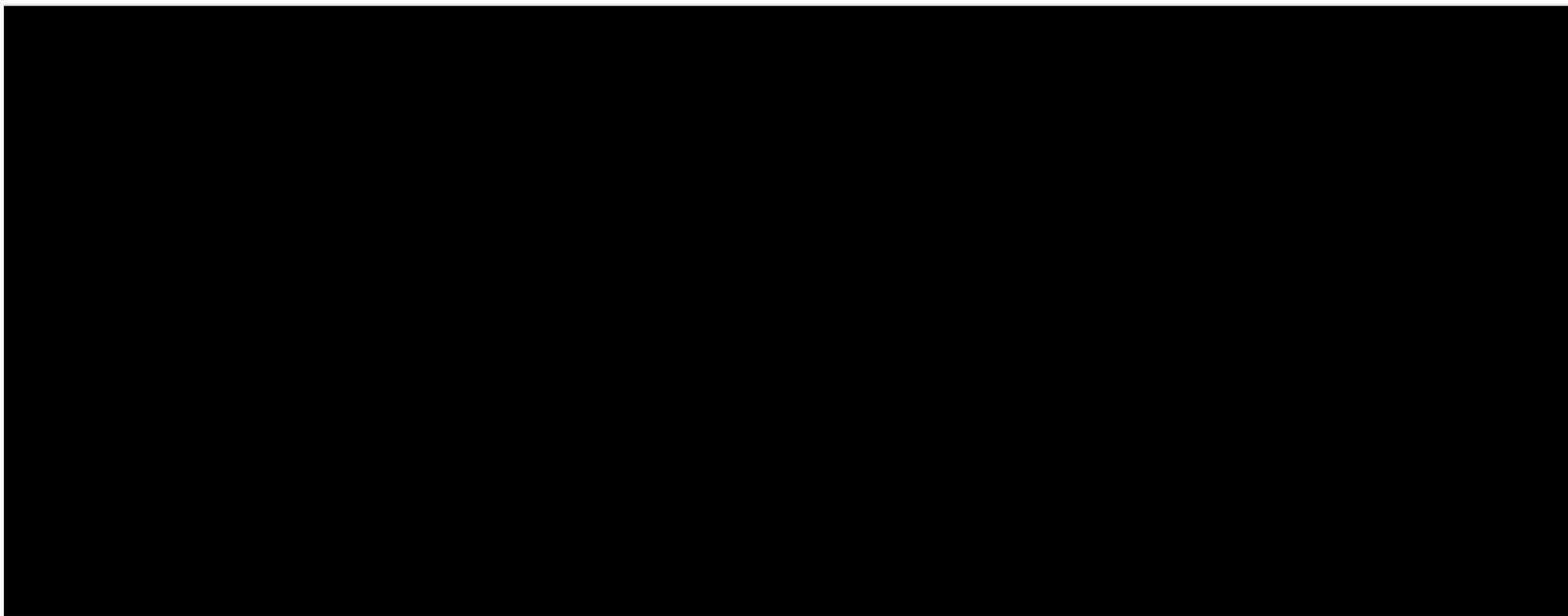
変位量 (mm)



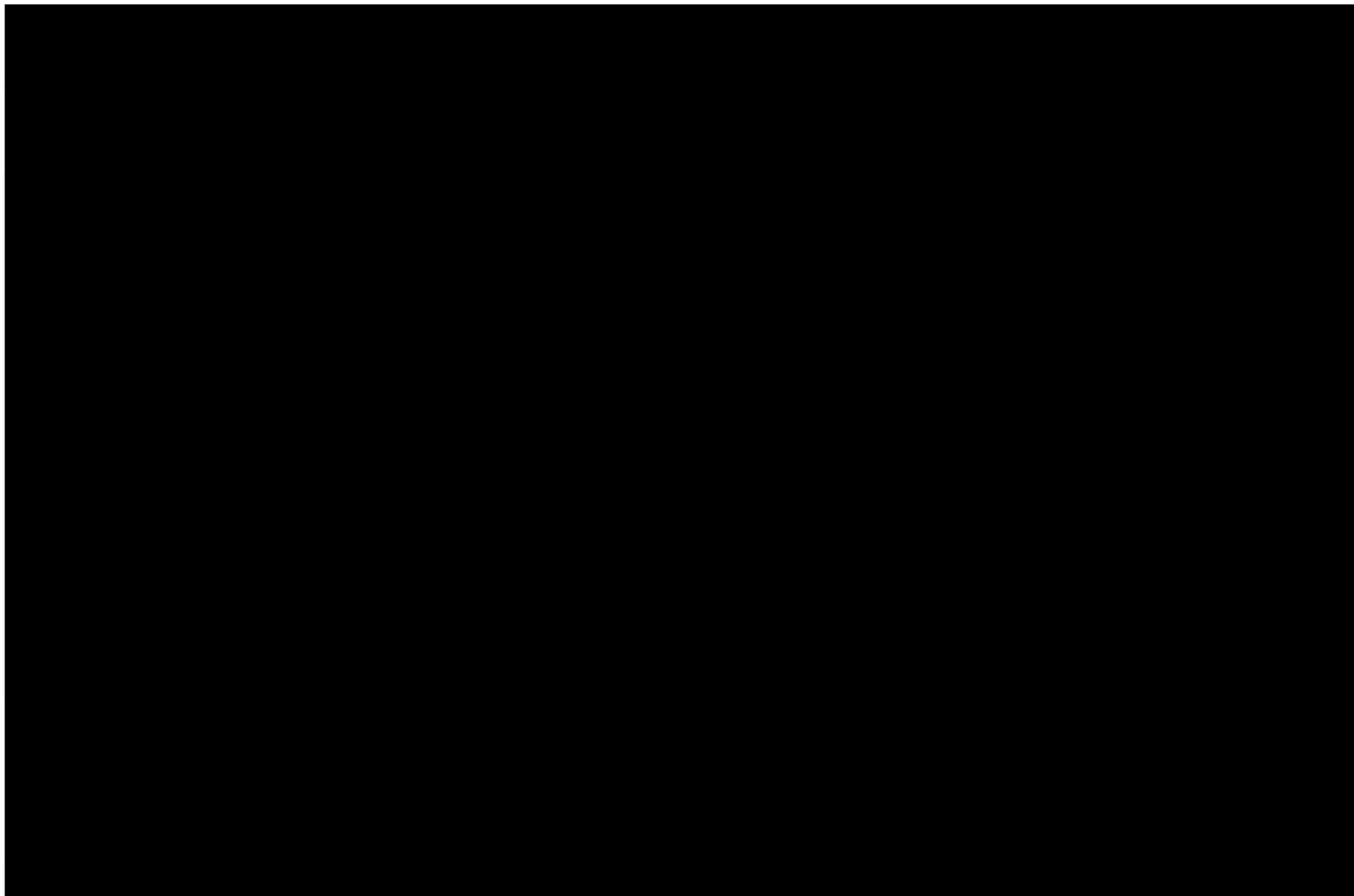
(口)-第A.28図 0.6 m 水平落下時における落下方向変位時刻歴



(㍺)-第A.29 図 弁側鏡板中央部最大変位時刻における変形図



(ロ)-第A.30図 胴中央上端部最大変位時刻における変形図



(ロ)-第A.31 図 水平落下において発生した相当塑性歪み分布図

(5) コーナー落下解析（弁側を下にしたコーナー落下）

(i) 解析条件

(ロ)-第A. 32 図に解析モデルの荷重・境界条件図を示す。

(ii) 解析結果

解析は、剛体床との接触開始時刻を 0 として、50 msec 後まで実施した。

(イ) 変位時刻歴

(ロ)-第A. 33 図に輸送物各部の落下方向の変位時刻歴を示す。

(ロ) 変 形

弁の先端と弁保護具との軸方向隙間の時刻歴を(ロ)-第A. 34 図に、弁の先端と弁保護具との隙間が最小となった時刻の輸送物の変形図を(ロ)-第A. 35 図に示す。

弁の先端と弁保護具との最小隙間は 11.8 mm である。

(ハ) 歪 み

コーナー落下解析においてシリンダ胴板及び鏡板の外表面側に生じた相当塑性歪みの分布図を(ロ)-第A. 36 図に示す。相当塑性歪みの最大値は 9.48 % である。

なお、シリンダ胴板及び鏡板の溶接部には、歪みはほとんど生じていない。

(iii) まとめ

コーナー落下解析結果は以下のとおりである。

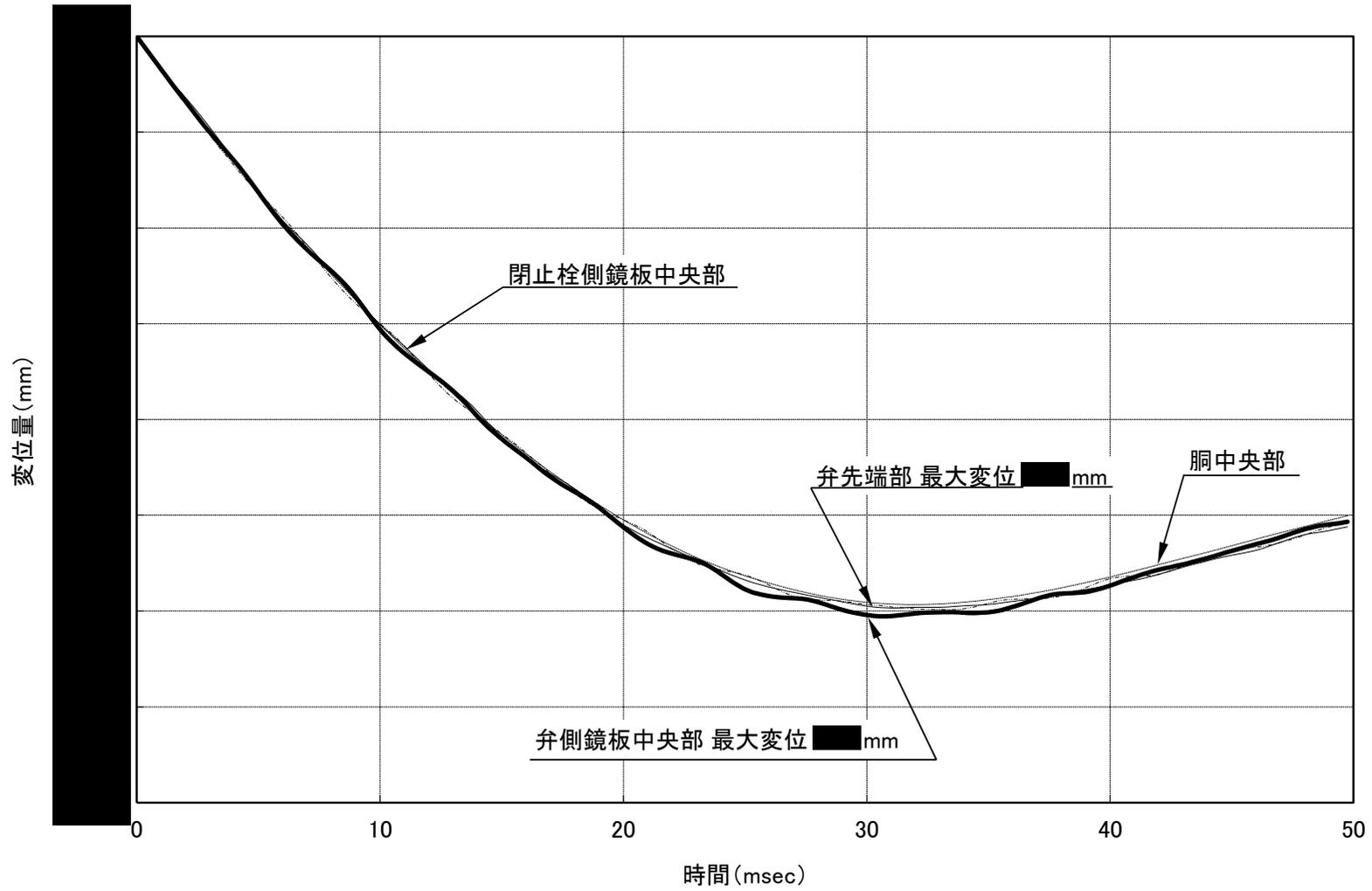
(イ) 弁と弁保護具との隙間は最小で 11.8 mm である。すなわち、弁が弁保護具に接触しないことから、弁の健全性に問題はない。

(ロ) シリンダ胴板及び鏡板に生じる最大塑性歪みは 9.48 % であり、シリンダ胴板及び鏡板の材料の破断歪み 36.8 % を下回っていることから、シリンダ胴板及び鏡板に破断は生じない。

よって、弁側を下にしたコーナー落下では、本輸送物の健全性は損なわれない。

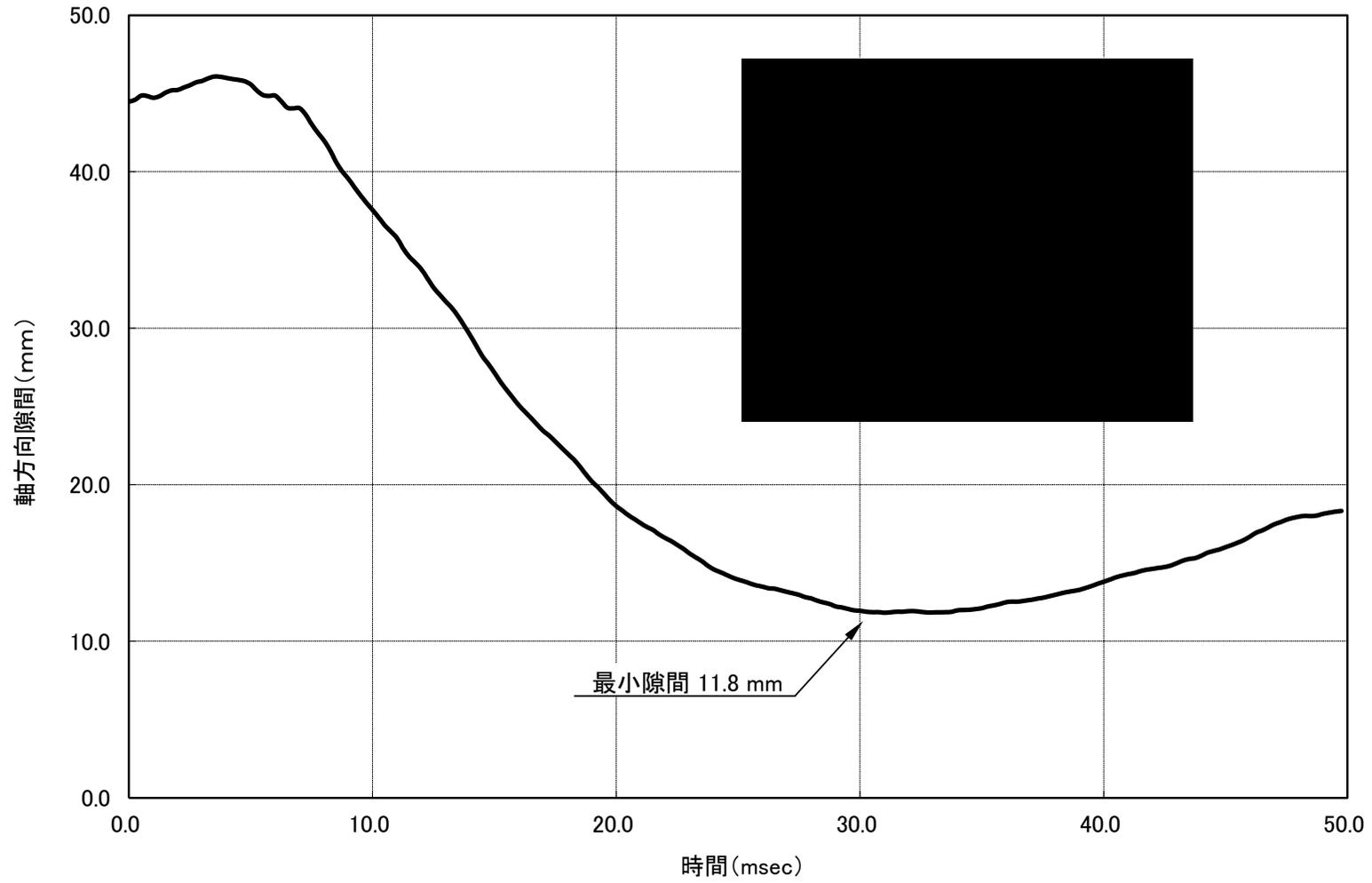


(口)-第A.32図 0.6 m コーナー落下時における荷重・境界条件図 (弁側を下にしたコーナー落下)

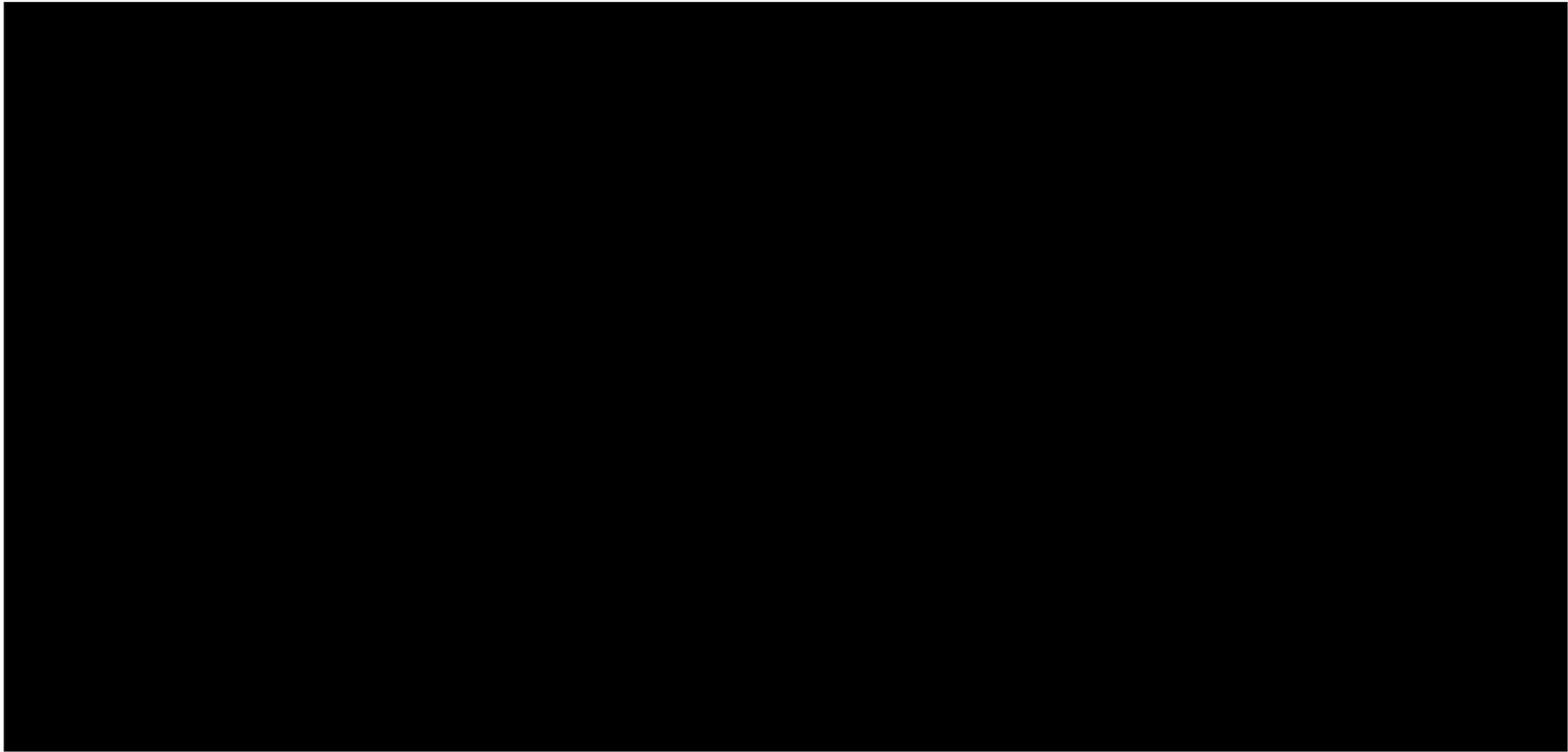


(口)-第A.33図 0.6 m コーナー落下時における落下方向変位時刻歴 (弁側を下にしたコーナー落下)

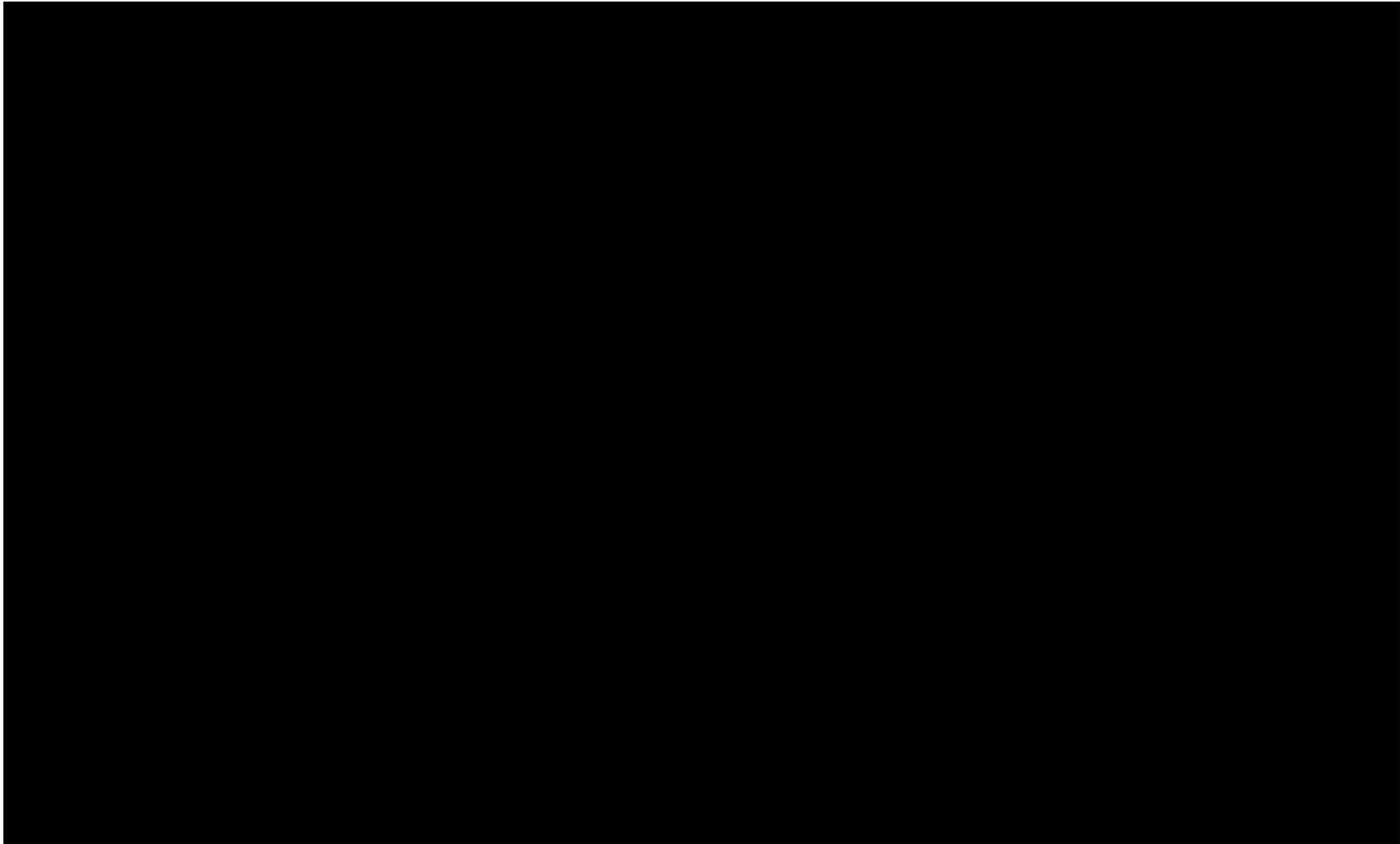
(甲)-A-67



(ロ)-第A.34図 0.6 m コーナー落下時における弁先端／弁保護具間の隙間時刻歴 (弁側を下にしたコーナー落下)



(ロ) - 第A. 35 図 弁先端最小隙間時刻における変形図 (弁側を下にしたコーナー落下)



(ロ)-第A.36図 コーナー落下において発生した相当塑性歪み分布図 (弁側を下にしたコーナー落下)

(6) コーナー落下解析 (閉止栓側を下にしたコーナー落下)

(i) 解析条件

(ロ)-第A. 37 図に解析モデルの荷重・境界条件図を示す。

(ii) 解析結果

解析は、剛体床との接触開始時刻を 0 として、63.5 msec 後まで実施した。

(イ) 変位時刻歴

(ロ)-第A. 38 図に輸送物各部の落下方向の変位時刻歴を示す。

(ロ) 変 形

閉止栓の先端と耐熱キャップとの軸方向隙間の時刻歴を(ロ)-第A. 39 図に、閉止栓の先端と耐熱キャップとの隙間が最小となった時刻の輸送物の変形図を(ロ)-第A. 40 図に示す。

閉止栓の先端と耐熱キャップとの最小隙間は 46.0 mm である。

(ハ) 歪 み

コーナー落下解析においてシリンダ胴板及び鏡板の外表面側に生じた相当塑性歪みの分布図を(ロ)-第A. 41 図に示す。相当塑性歪みの最大値は 0.1 % 未満である。

なお、シリンダ胴板及び鏡板の溶接部には、歪みはほとんど生じていない。

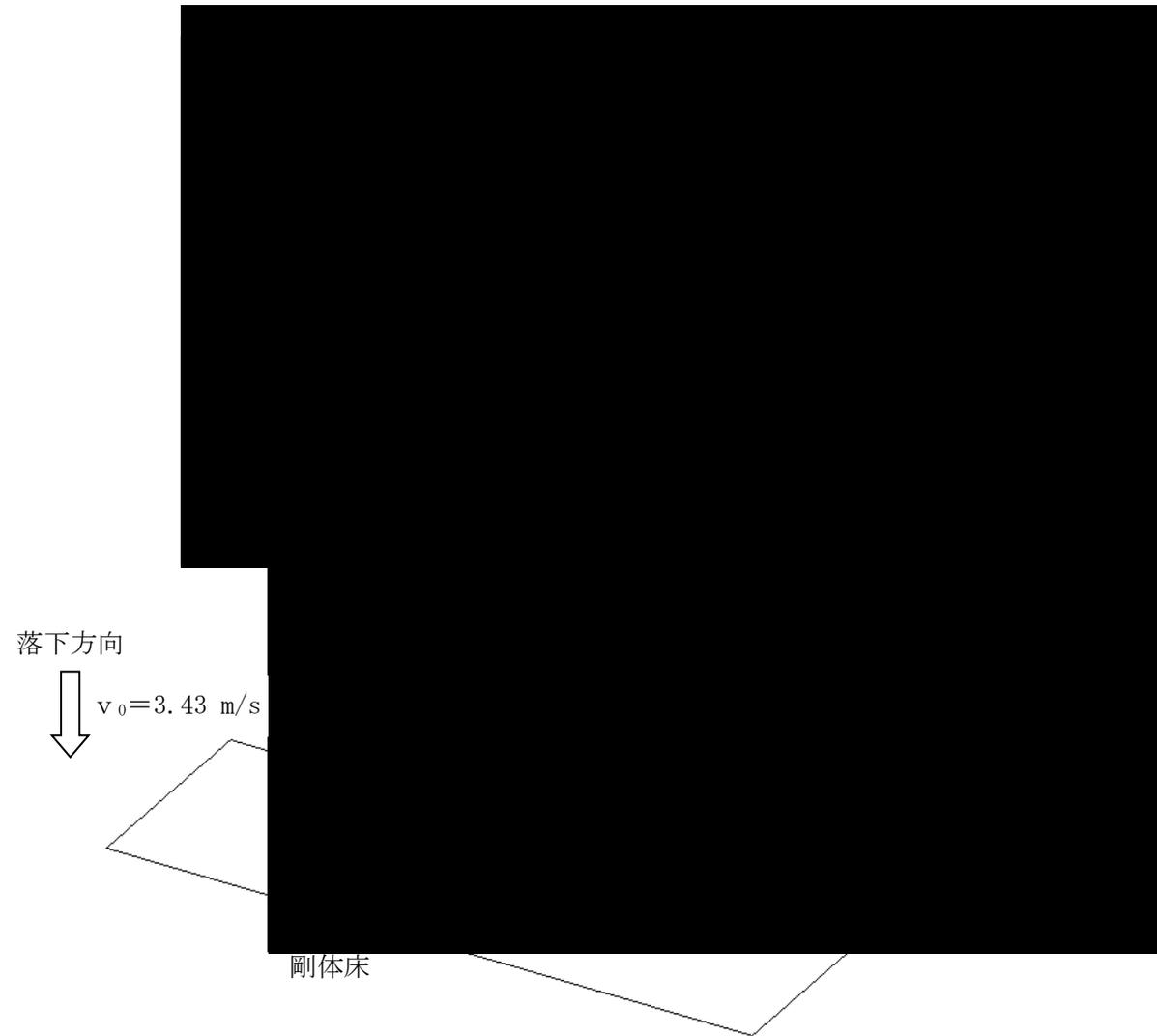
(iii) まとめ

コーナー落下解析結果は以下のとおりである。

(イ) 閉止栓の先端と耐熱キャップとの隙間は最小で 46.0 mm である。すなわち、閉止栓の先端が耐熱キャップに接触しないことから、閉止栓の健全性に問題はない。

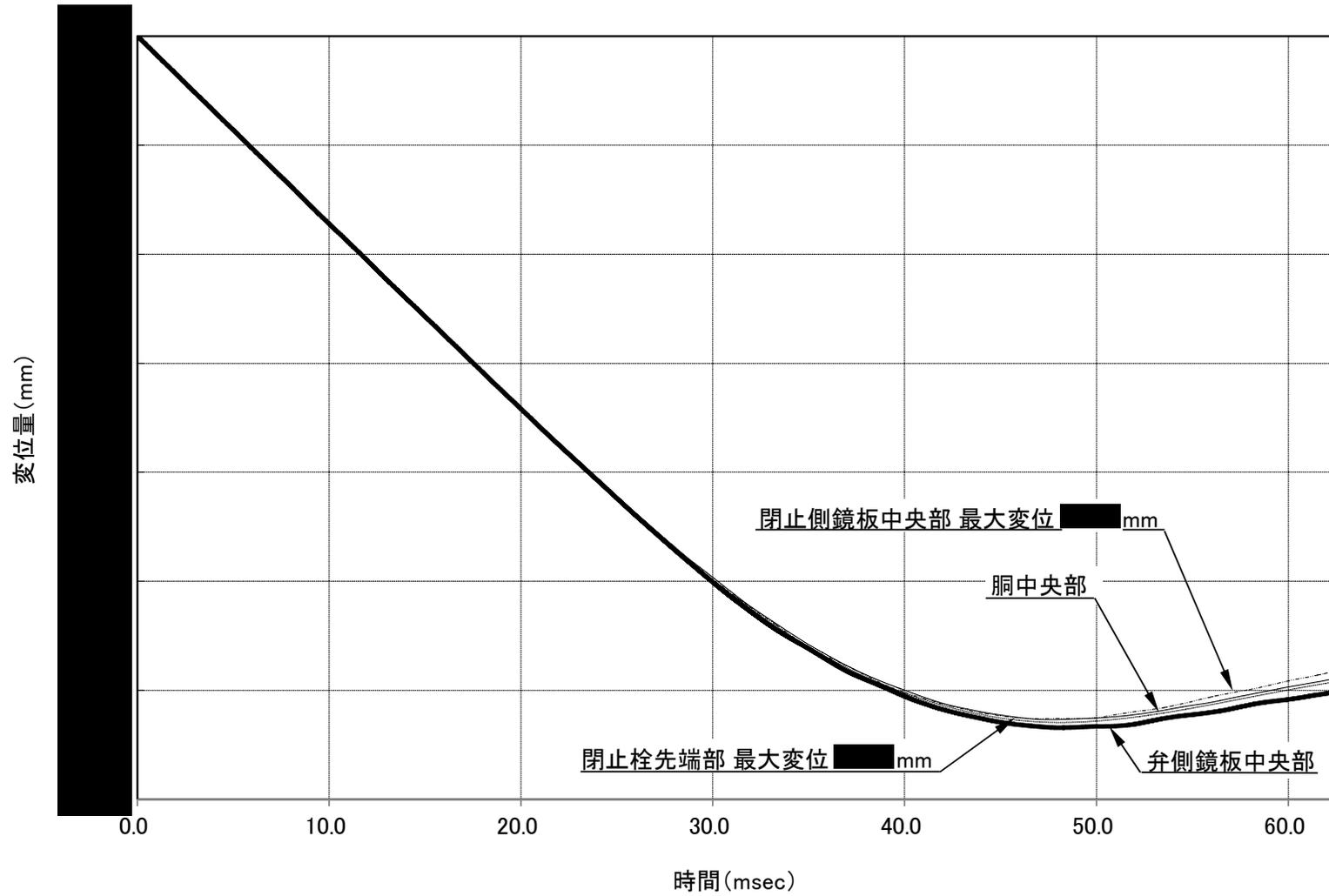
(ロ) シリンダ胴板及び鏡板に生じる最大塑性歪みは 0.1 % 未満であり、シリンダ胴板及び鏡板の材料の破断歪み 36.8 % を下回っていることから、シリンダ胴板及び鏡板に破断は生じない。

よって、閉止栓側を下にしたコーナー落下では、本輸送物の健全性は損なわれない。



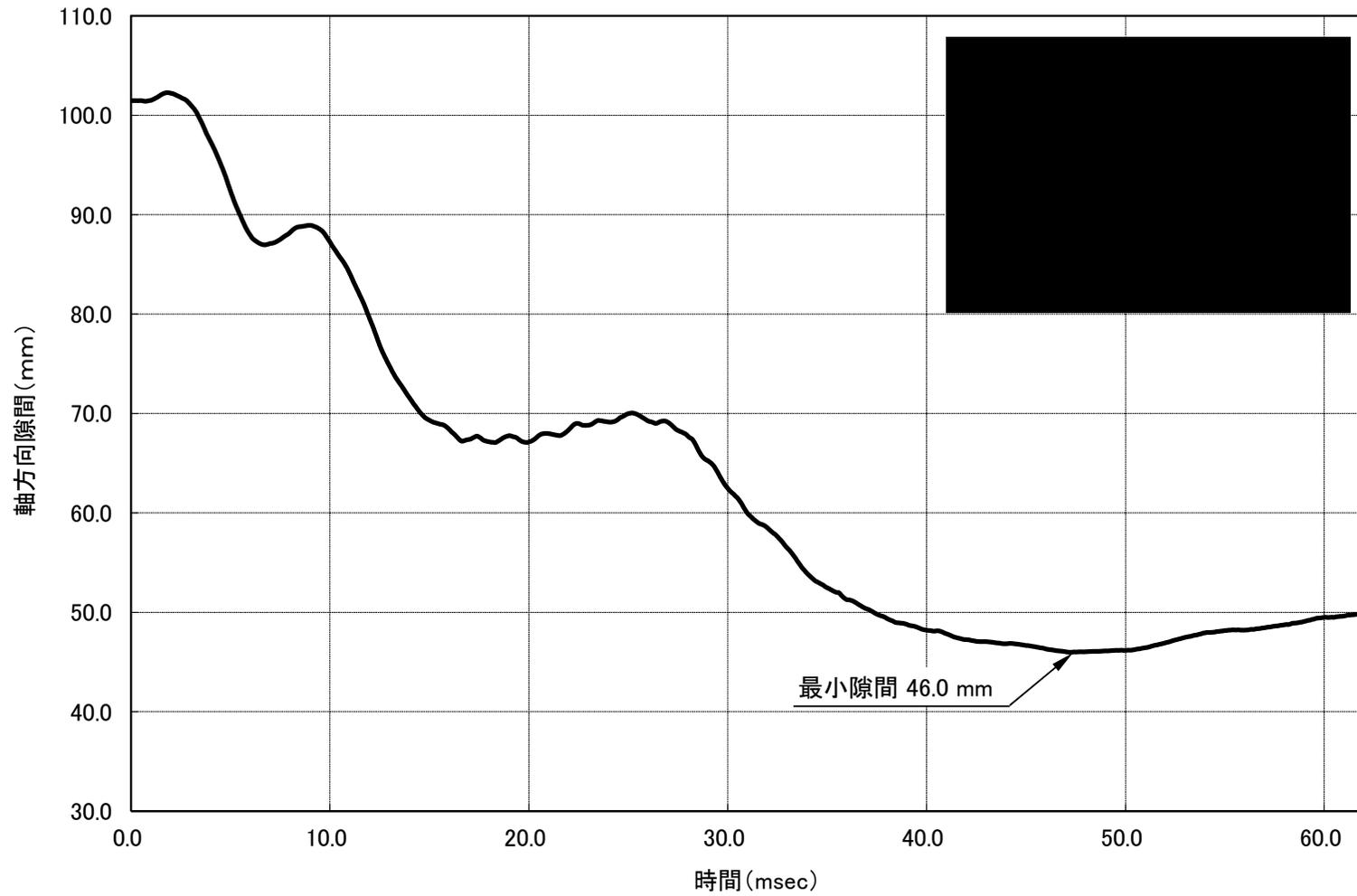
(甲)-第A.37図 0.6 m コーナー落下時における荷重・境界条件図 (閉止栓側を下にしたコーナー落下)

(甲)-A-72



(ロ)-第A.38図 0.6 m コーナー落下時における落下方向変位時刻歴 (閉止栓側を下にしたコーナー落下)

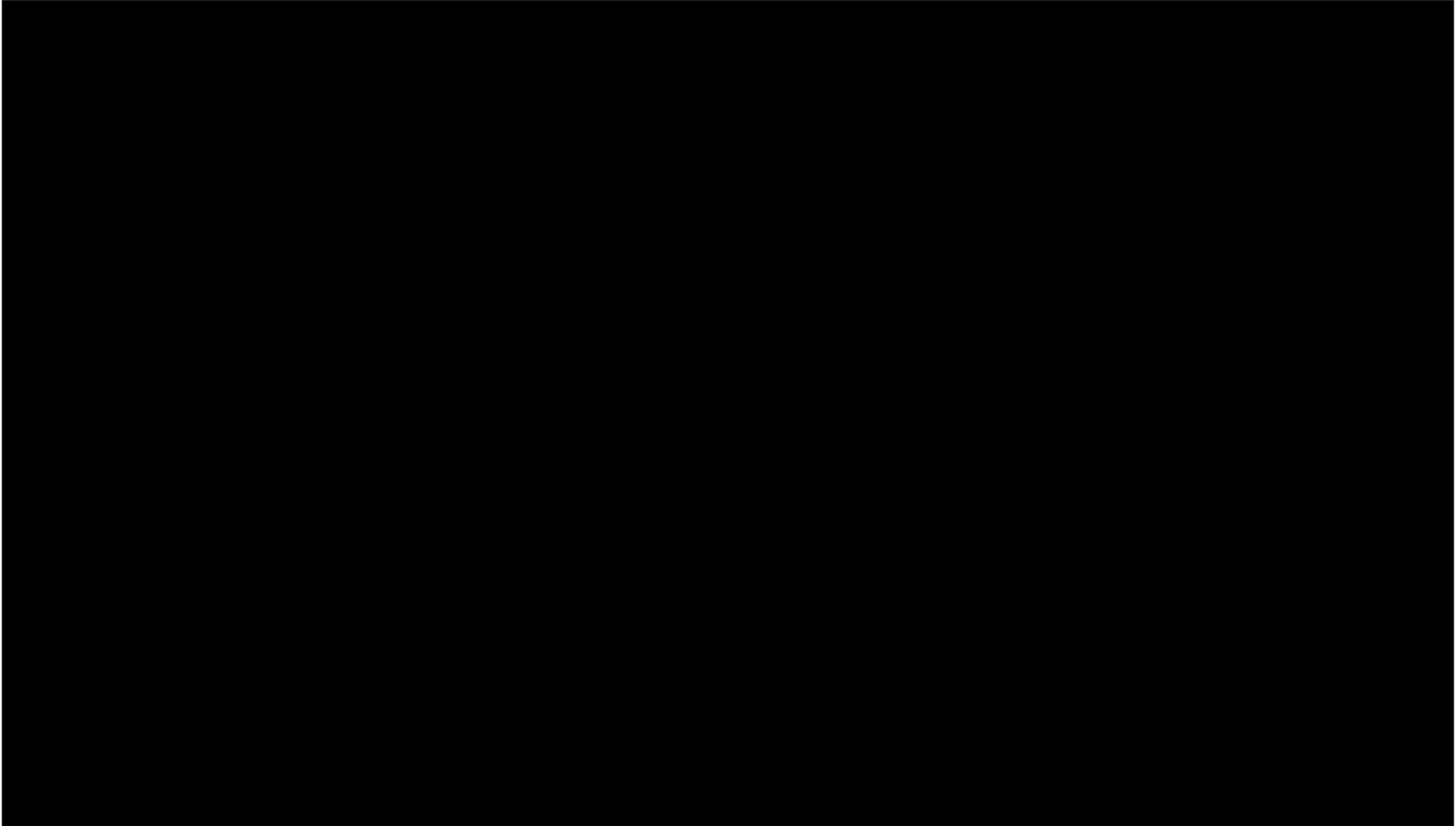
(ロ)-A-73



(ロ)-第A.39図 0.6 m コーナー落下時における閉止栓先端/耐熱キャップ間の隙間時刻歴 (閉止栓側を下にしたコーナー落下)



(口)-第A.40 図 閉止栓先端最小隙間時刻における変形図 (閉止栓側を下にしたコーナー落下)



(ロ)-第A.41図 コーナー落下において発生した相当塑性歪み分布図（閉止栓側を下にしたコーナー落下）

(7) 傾斜落下解析（弁側を下にした傾斜落下）

(i) 解析条件

シリンダ中心軸を、剛体床からの垂直軸に対して ■■■ 傾斜させた状態で解析を行った。なお、本傾斜落下における傾斜角（■■■）の決定については、付属書類－3に示す。

(ロ)-第A.42図に解析モデルの荷重・境界条件図を示す。

(ii) 解析結果

解析は、剛体床との接触開始時刻を0として、50 msec 後まで実施した。

(イ) 変位時刻歴

(ロ)-第A.43図に輸送物各部の落下方向変位時刻歴を示す。

(ロ) 変形

弁の先端と弁保護具との最小隙間時刻歴を(ロ)-第A.44図に、弁の先端と弁保護具との隙間が最小となった時刻における輸送物の変形図を(ロ)-第A.45図に示す。

弁の先端と弁保護具との最小隙間は6.3 mmである。

(ハ) 歪み

傾斜落下解析においてシリンダ胴板及び鏡板の外表面側に生じた相当塑性歪みの分布図を(ロ)-第A.46図に示す。相当塑性歪みの最大値は8.04 %である。

なお、シリンダ胴板及び鏡板の溶接部には、歪みはほとんど生じていない。

(iii) まとめ

傾斜落下解析結果は以下のとおりである。

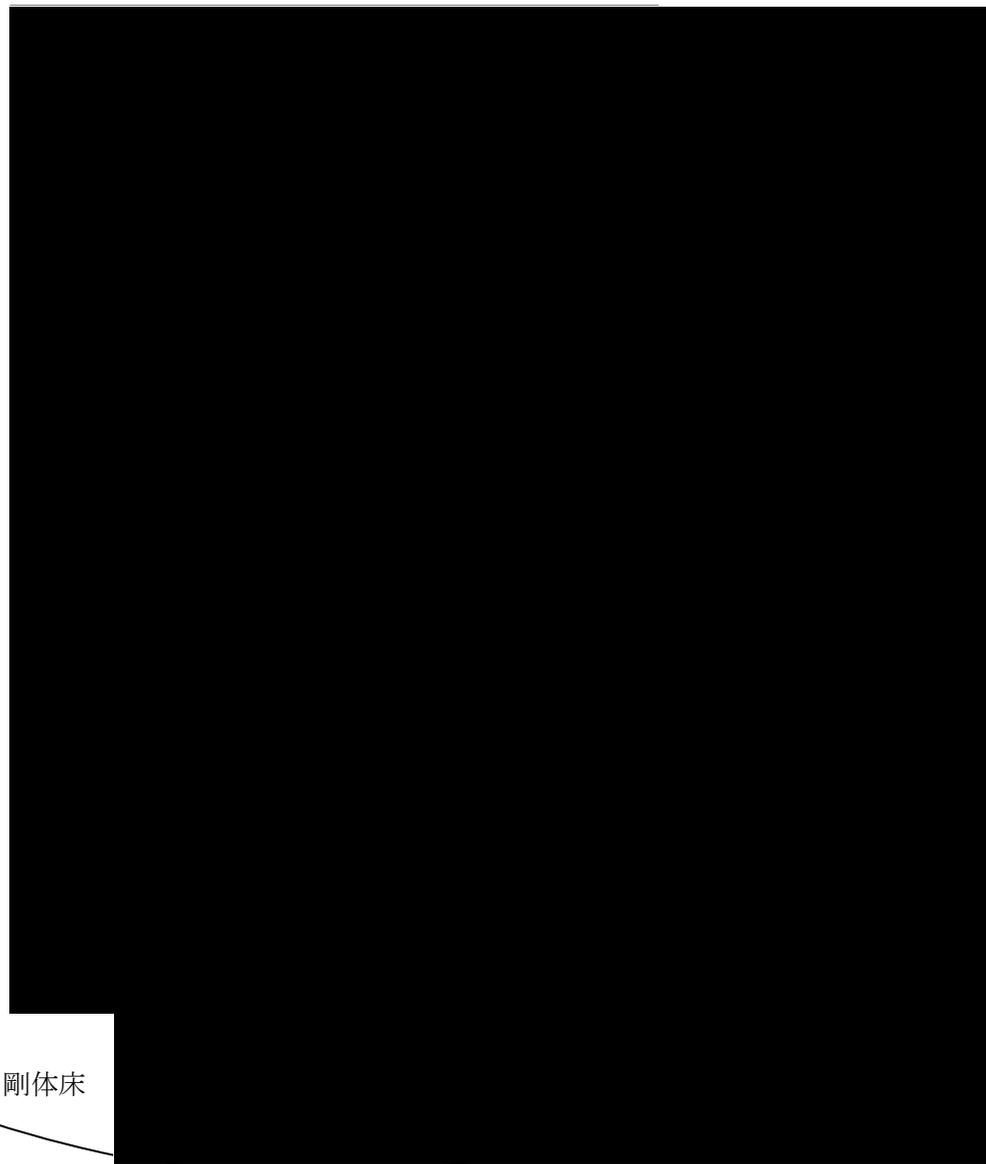
(イ) 弁と弁保護具との隙間は最小で6.3 mmである。すなわち、弁が弁保護具に接触しないことから、弁の健全性に問題はない。

(ロ) シリンダ胴板及び鏡板に生じる最大塑性歪みは8.04 %であり、シリンダ胴板及び鏡板の材料の破断歪み36.8 %を下回っていることから、シリンダ胴板及び鏡板に破断は生じない。

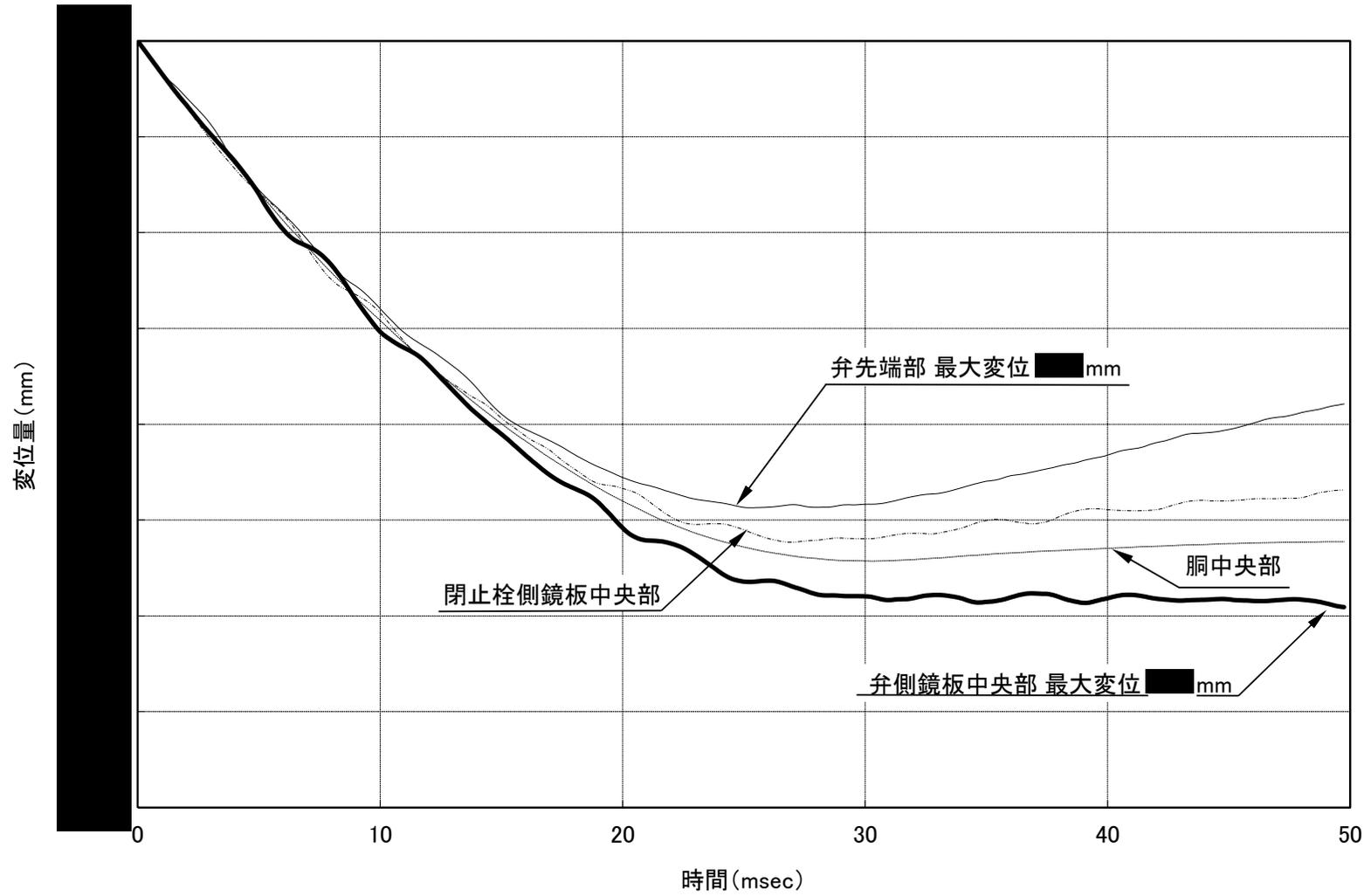
よって、弁側を下にした傾斜落下では、本輸送物の健全性は損なわれない。

落下方向
↓ $v_0 = 3.43 \text{ m/s}$

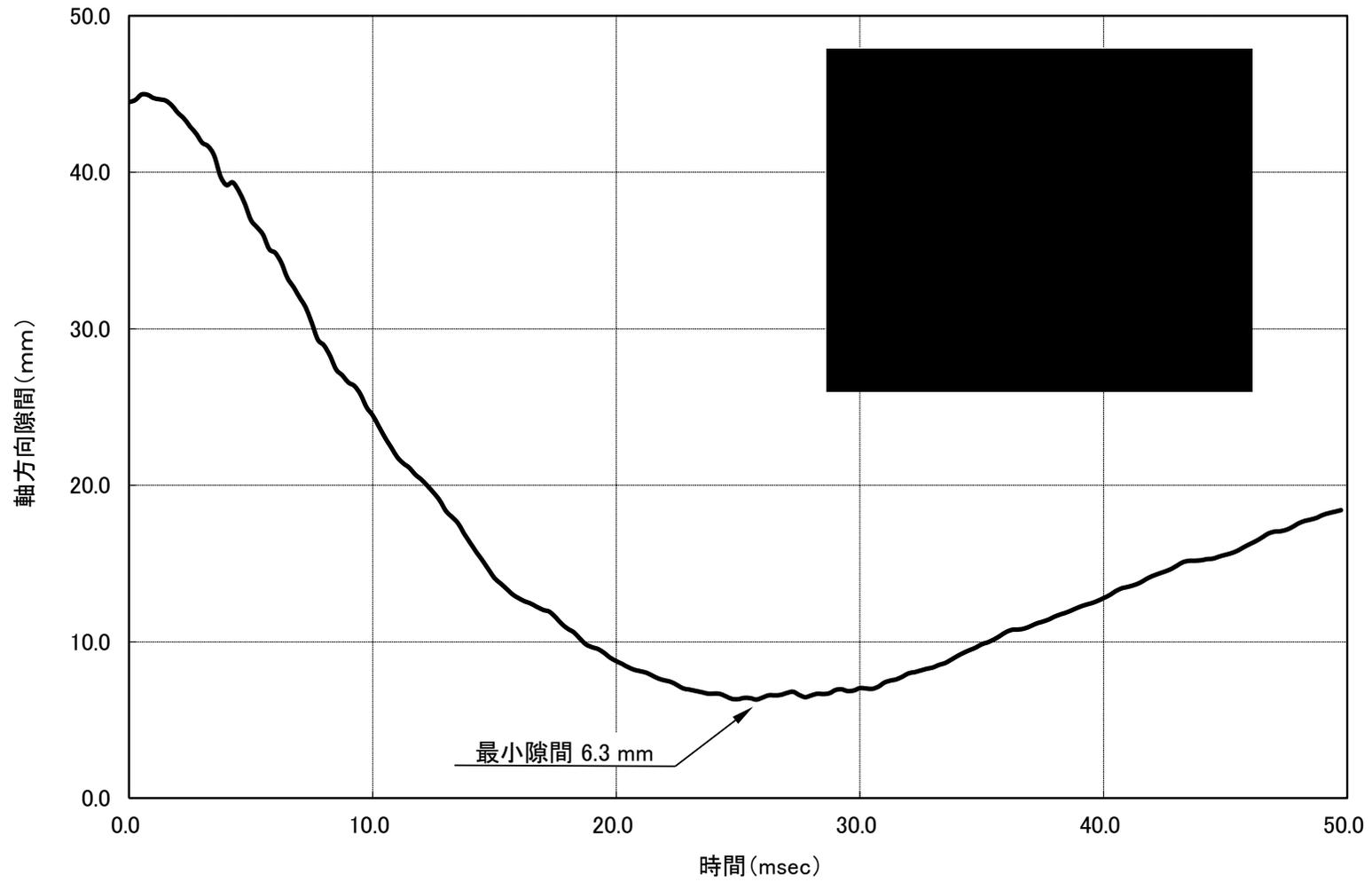
剛体床



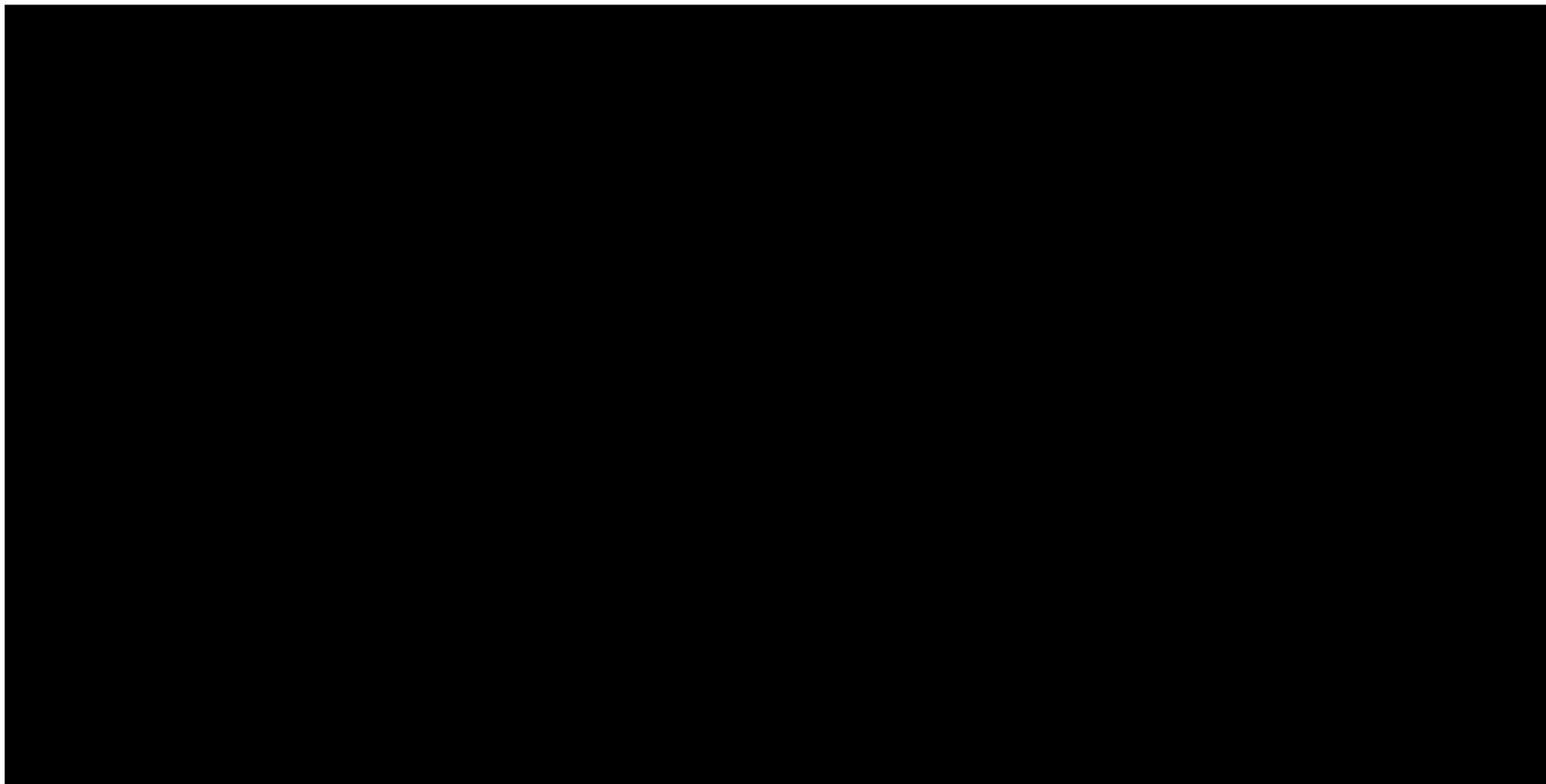
(口)-第A.42図 0.6 m 傾斜落下時における荷重・境界条件図 (弁側を下にした傾斜落下)



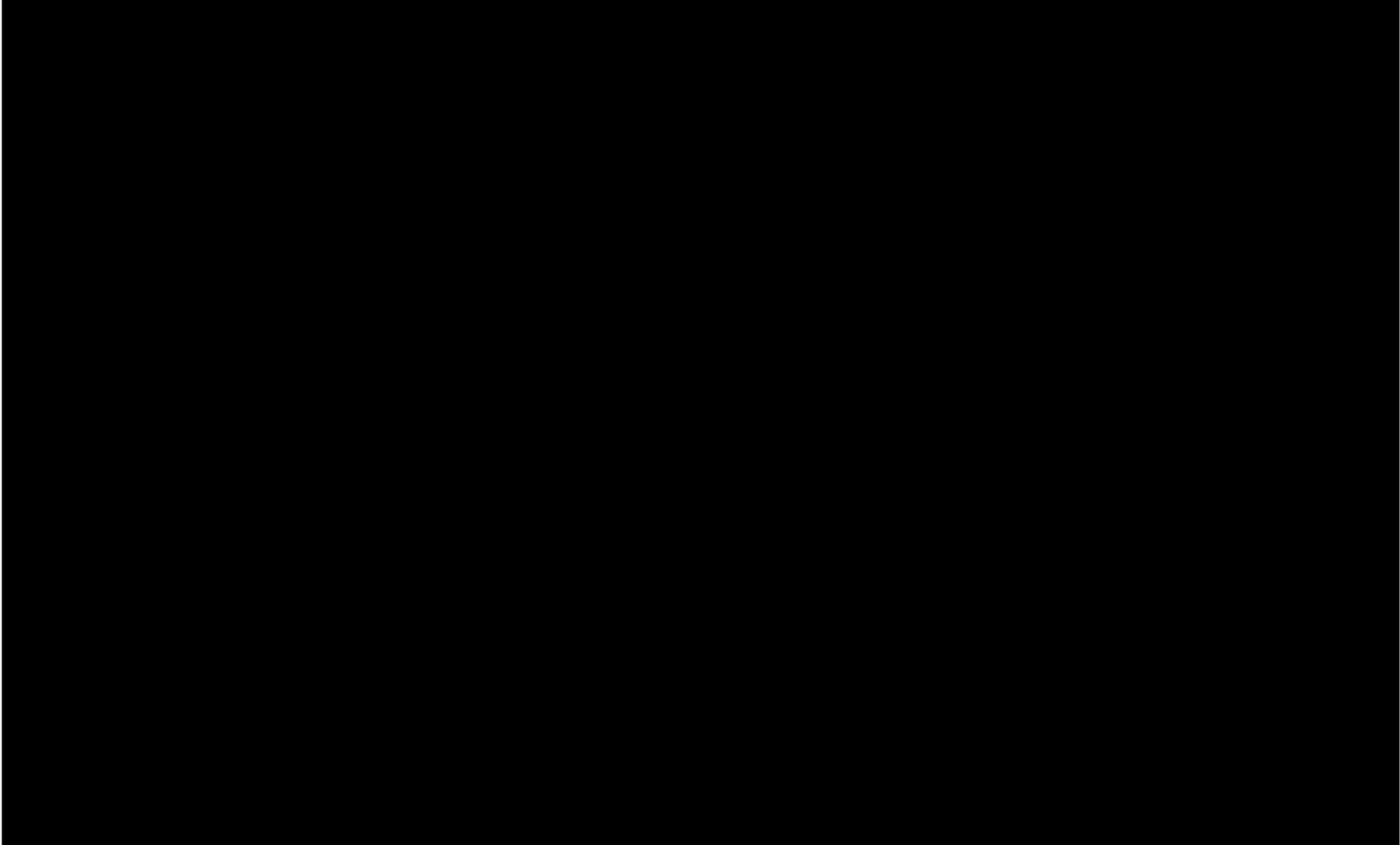
(口)-第A.43図 0.6 m 傾斜落下時における落下方向変位時刻歴 (弁側を下にした傾斜落下)



(ロ)-第A.44図 0.6 m 傾斜落下時における弁先端／弁保護具間の隙間時刻歴 (弁側を下にした傾斜落下)



(H)-第A.45図 弁先端最小隙間時刻における変形図（弁側を下にした傾斜落下）



(ロ)-第A.46 図 傾斜落下において発生した相当塑性歪み分布図 (弁側を下にした傾斜落下)

(8) 傾斜落下解析（閉止栓側を下にした傾斜落下）

(i) 解析条件

シリンダ中心軸を、剛体床からの垂直軸に対して θ 傾斜させた状態で解析を行った。なお、本傾斜落下における傾斜角（ θ ）の決定については、付属書類-3に示す。

(ロ)-第A.47図に解析モデルの荷重・境界条件図を示す。

(ii) 解析結果

解析は、剛体床との接触開始時刻を0として、75 msec 後まで実施した。

(イ) 変位時刻歴

(ロ)-第A.48図に輸送物各部の落下方向変位時刻歴を示す。

(ロ) 変形

閉止栓の先端と耐熱キャップとの最小隙間時刻歴を(ロ)-第A.49図に、閉止栓の先端と耐熱キャップとの隙間が最小となった時刻における輸送物の変形図を(ロ)-第A.50図に示す。

閉止栓の先端と耐熱キャップとの最小隙間は10.3 mmである。

(ハ) 歪み

傾斜落下解析においてシリンダ胴板及び鏡板の外表面側に生じた相当塑性歪みの分布図を(ロ)-第A.51図に示す。相当塑性歪みの最大値は0.32%である。

なお、シリンダ胴板及び鏡板の溶接部には、歪みはほとんど生じていない。

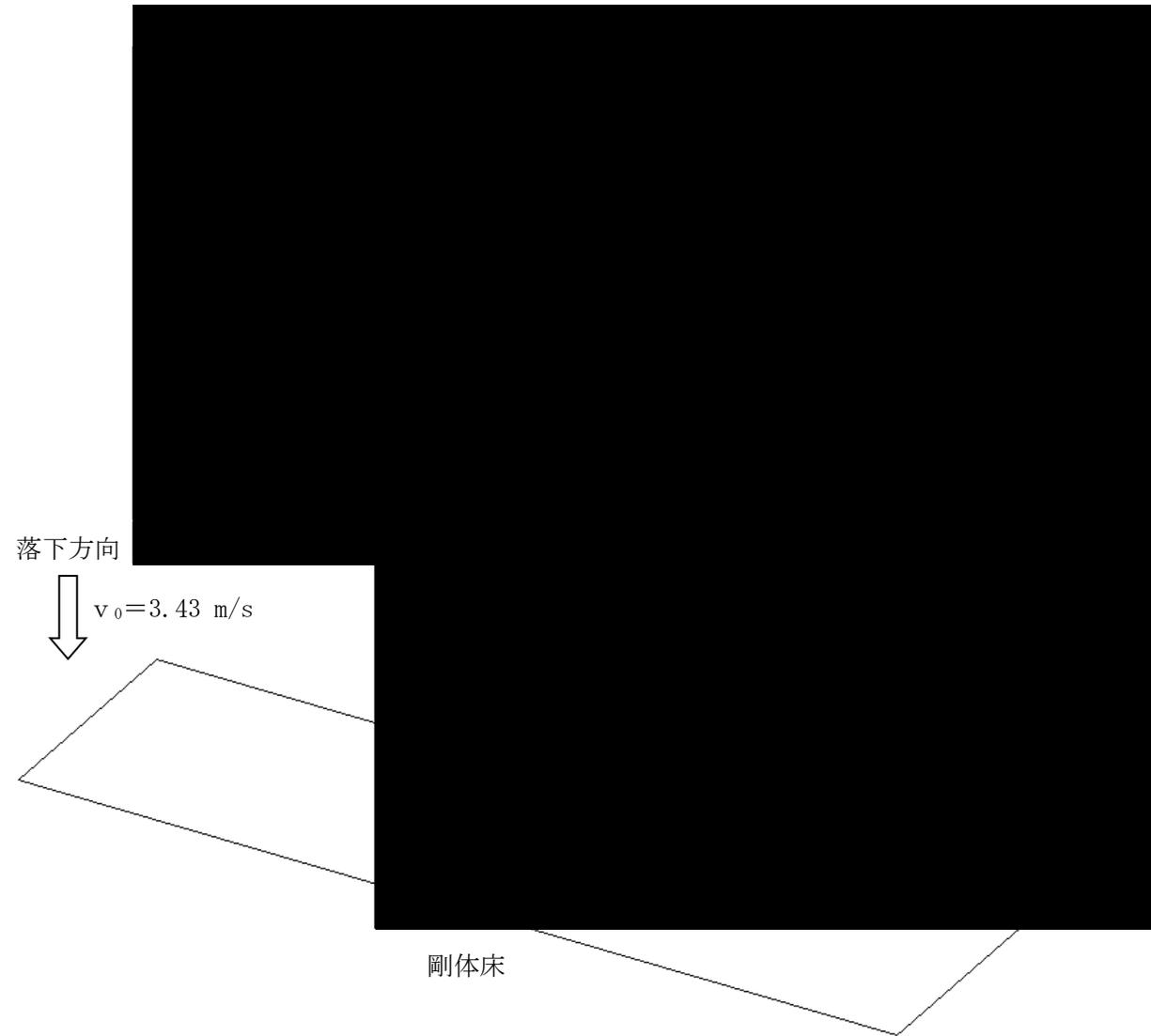
(iii) まとめ

傾斜落下解析結果は以下のとおりである。

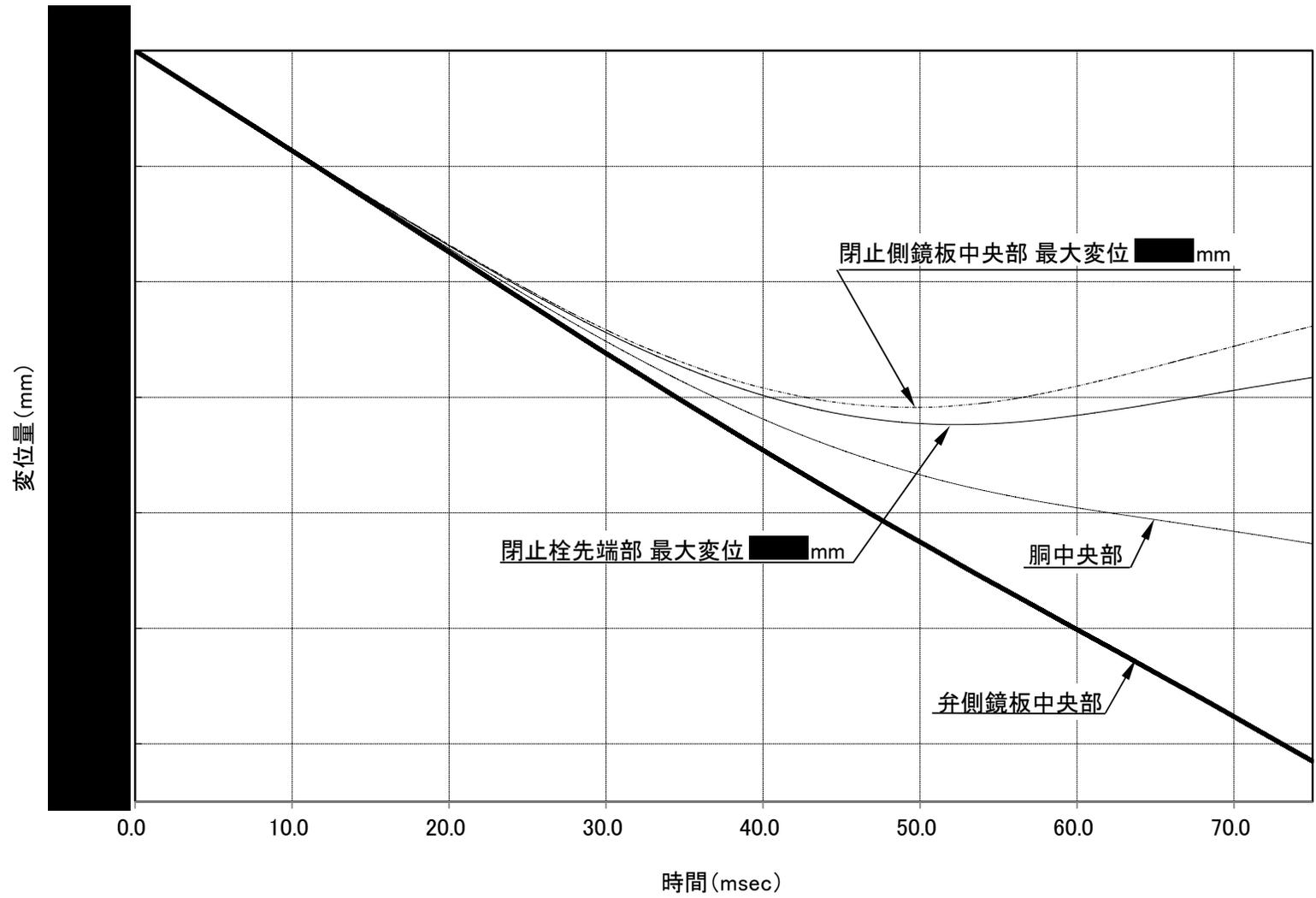
(イ) 閉止栓と耐熱キャップとの隙間は最小で10.3 mmである。すなわち、閉止栓が耐熱キャップに接触しないことから、閉止栓の健全性に問題はない。

(ロ) シリンダ胴板及び鏡板に生じる最大塑性歪みは0.32%であり、シリンダ胴板及び鏡板の材料の破断歪み36.8%を下回っていることから、シリンダ胴板及び鏡板に破断は生じない。

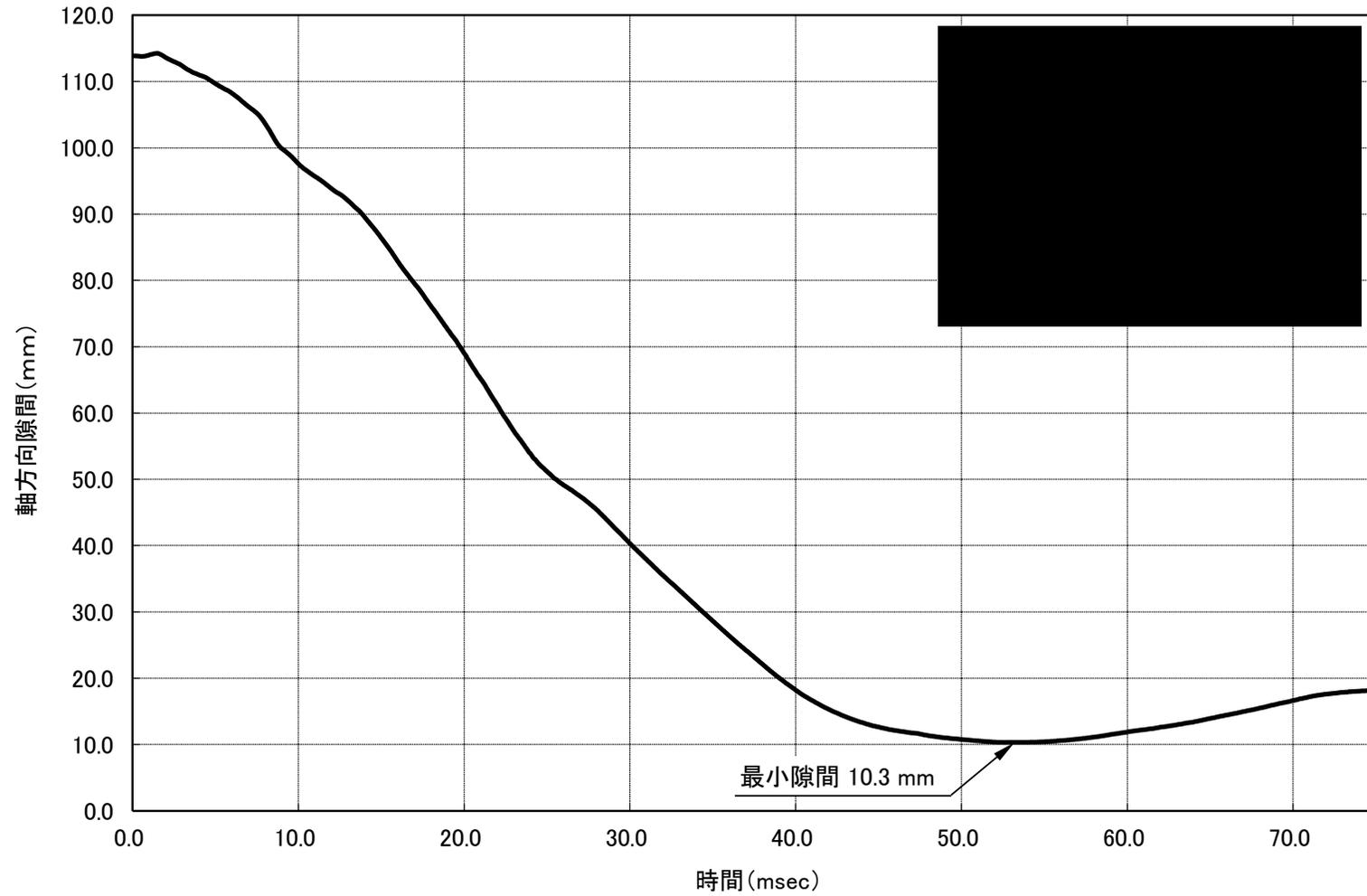
よって、閉止栓側を下にした傾斜落下では、本輸送物の健全性は損なわれない。



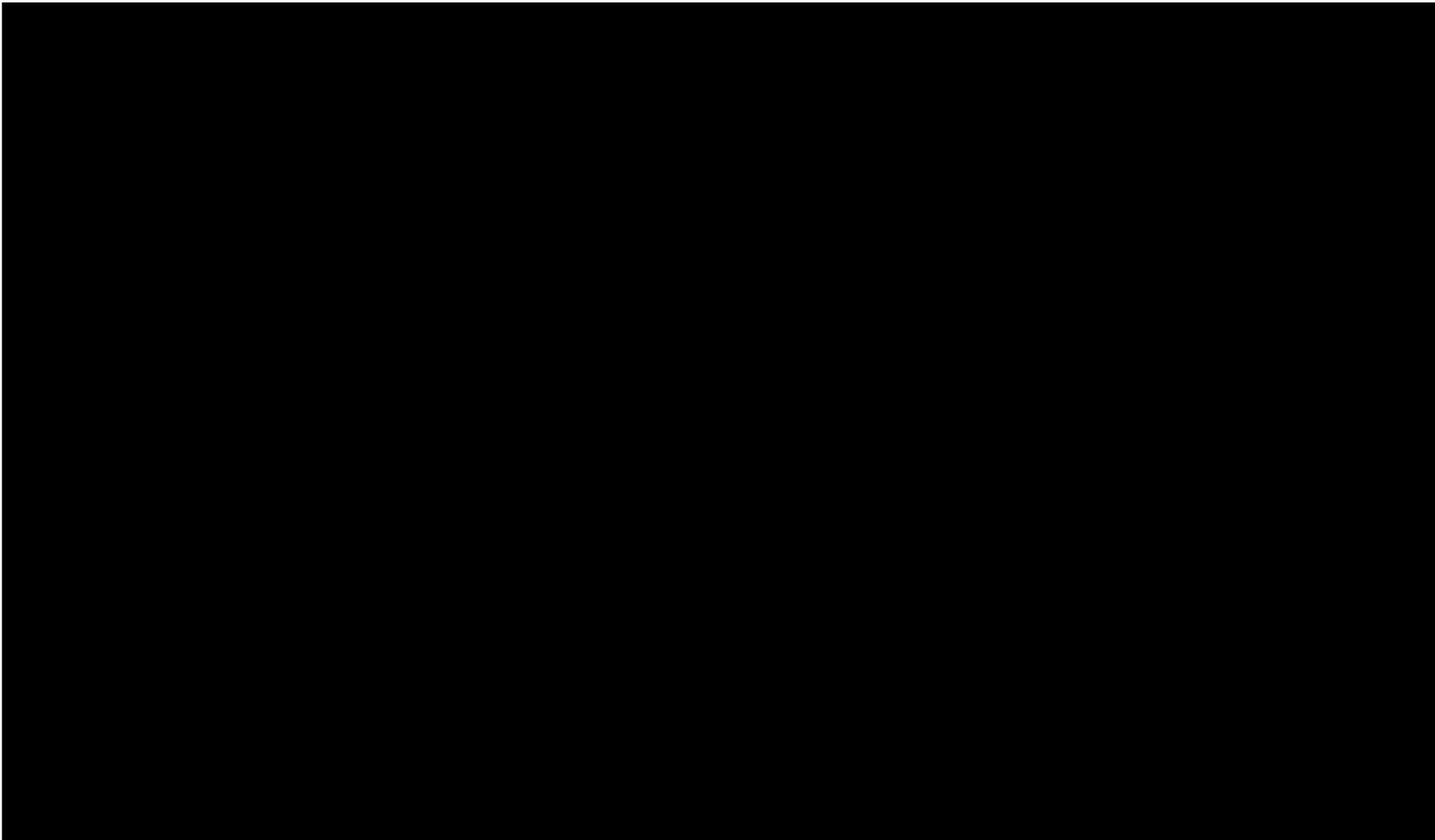
(口)-第A.47 図 0.6 m 傾斜落下時における荷重・境界条件図 (閉止栓側を下にした傾斜落下)



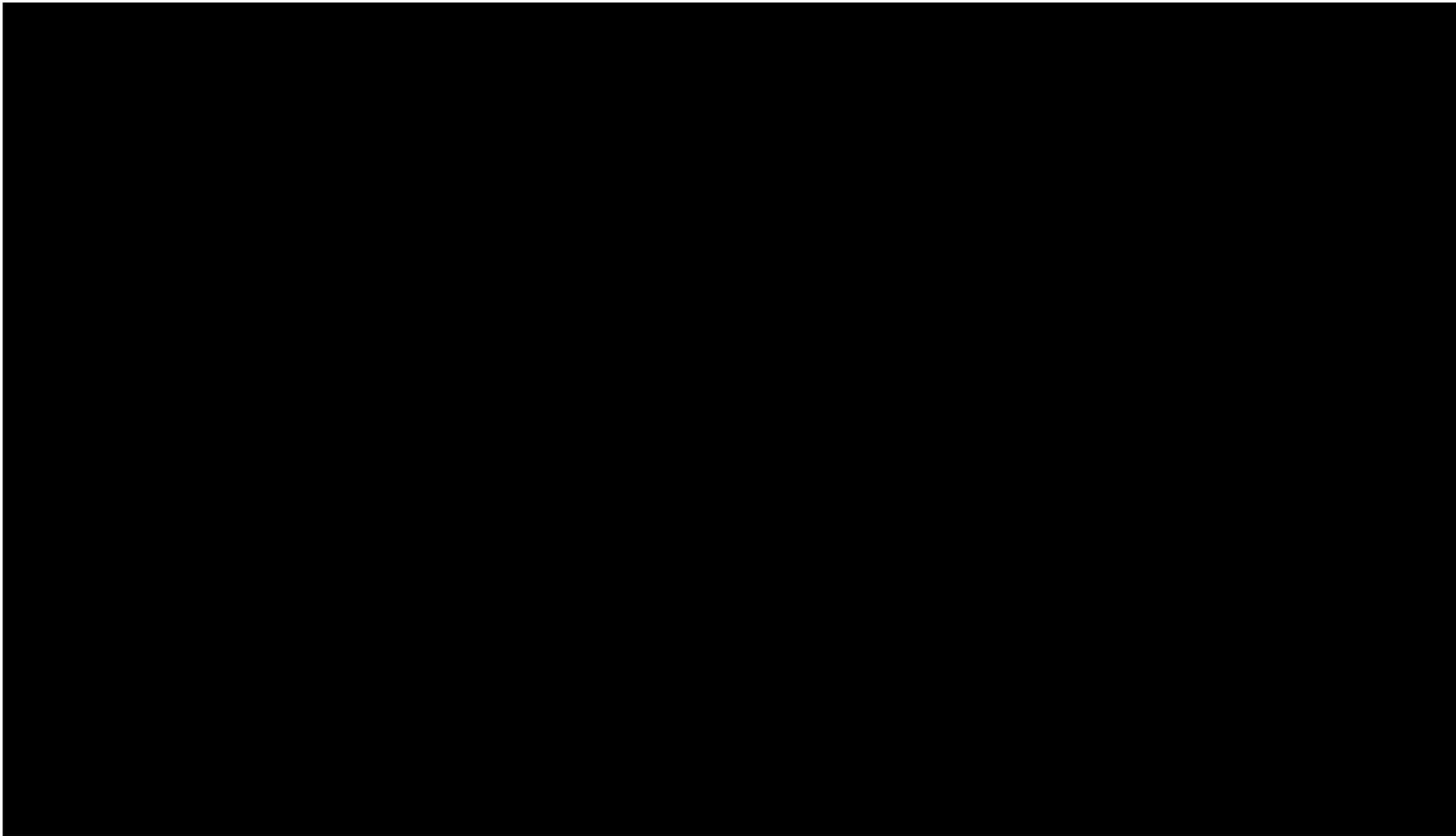
(口)-第A.48 図 0.6 m 傾斜落下時における落下方向変位時刻歴 (閉止栓側を下にした傾斜落下)



(ロ)-第A. 49 図 0.6 m 傾斜落下時における閉止栓先端/耐熱キャップ間の隙間時刻歴 (閉止栓側を下にした傾斜落下)



(口)-第A.50図 閉止栓先端最小隙間時刻における変形図（閉止栓側を下にした傾斜落下）



(ロ)-第A.51 図 傾斜落下において発生した相当塑性歪み分布図（閉止栓側を下にした傾斜落下）

A. 5. 4 積み重ね試験

該当しない

A. 5. 5 貫 通

該当しない

A. 5. 6 角又は縁落下

該当しない

A. 5. 7 結果の要約及びその評価

以下に一般の試験条件の結果と評価のまとめを述べる。

本輸送物は、一般の試験条件下において密封性を有し、安全性は維持される。

(1) 熱的試験

該当しない

(2) 水噴霧

該当しない

(3) 自由落下

(イ) 垂直落下

- ・ 弁と弁保護具、閉止栓と耐熱キャップの間にクリアランスが残り、弁及び閉止栓の健全性に問題がないことが確認された。
- ・ 輸送容器には塑性ひずみが発生するものの、破断には至らない。

(ロ) 水平落下

- ・ 弁保護具、スカート及び弁近傍は、ほとんど変形せず、弁が弁保護具に接触することはない。
- ・ 輸送容器には塑性ひずみが発生するものの、破断には至らない。

(ハ) コーナー落下

- ・ 弁と弁保護具、閉止栓と耐熱キャップの間にクリアランスが残り、弁及び閉止栓の健全性に問題がないことが確認された。
- ・ 輸送容器には塑性ひずみが発生するものの、破断には至らない。

(ニ) 傾斜落下

- ・ 弁と弁保護具、閉止栓と耐熱キャップの間にクリアランスが残り、弁及び閉止栓の健全性に問題がないことが確認された。
- ・ 輸送容器には塑性ひずみが発生するものの、破断には至らない。

(4) 積み重ね試験

該当しない

(5) 貫 通
該当しない

(6) 角又は縁落下
該当しない

A. 6 特別の試験条件

A. 6. 1 強度試験・落下試験 I (9 m 落下時)
該当しない

A. 6. 2 強度試験・落下試験 II (1 m 落下時)
該当しない

A. 6. 3 熱的試験

特別の試験条件下において、六ふっ化ウランの蒸気圧とシリンダの温度上昇によるクリープ評価に関しては、B. 5. 4 に示すように、クリープ損傷度が最大でも 0. 119 であり、破断しないことを確認している。

A. 6. 4 浸 漬
該当しない

A. 6. 5 結果の要約及びその評価

熱的試験においてシリンダが破断しないことから、本輸送物は、特別の試験条件下において密封性を有し、安全性は維持される。

A. 7 強化浸漬試験
該当しない

A. 8 放射性収納物

本輸送物の収納物は、塊状と粉末の混合体であり、自由落下試験において、収納物の形状は変化するものの、輸送容器に対して特別な影響を与えない。

また、本輸送物の収納物は、封入又は取出しの際に予想される最高温度 (121 °C) において、輸送容器の内容積の 95 % を超えることはない。

A. 9 核分裂性輸送物
該当しない

A. 10 付属書類

参考文献

- 1) M. B. Fortune, C. H. Green, “UF6 CYLINDER TESTING”, KY-498, U. C. C (1965).
- 2) (一社) 日本機械学会 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2012 年版)
＜第 I 編 軽水炉規格＞ JSME S NC1-2012, (2012).
- 3) The American Society of Mechanical Engineers, “ASME Boiler & Pressure Vessel Code Section III Appendices, Mandatory Appendix 1, 2021 Edition”, (2021) .

A. 10.1 付属書類－1

輸送容器の主要構成材料の低温脆性評価

A. 10.2 付属書類－2

耐熱キャップ固定金具の荷重の分担について

A. 10.3 付属書類－3

傾斜落下解析の傾斜角について

A. 10.4 付属書類－4

落下解析における解析手法の妥当性確認について

A. 10.5 付属書類－5

LS-DYNA コードの概要

A. 10.6 付属書類－6

ABAQUS コードの概要

付属書類－1 輸送容器の主要構成材料の低温脆性評価

ここでは、本輸送容器の使用材料が静置状態において低温脆性を示さないことを以下のとおり説明する。

(1) 炭素鋼

シリンダ本体及び弁保護具の使用材料は、ASTM A516 (Grade 60) である。本材料は、炭素含有率 0.23 %以下の低炭素鋼である。

炭素鋼の低温における機械的性質を(ロ)-第A付.1.1 図に示す。この図から明らかのように、-40 °C程度の低温下では著しい機械的性質の低下はない。

また、通常の使用で想定される圧力（設計圧力 1.38 MPa）において、シリンダ胴板の脆性破壊の検討を行い、問題ないことを確認した（別紙参照）。

(2) アルミニウム青銅

弁（胴部）及び閉止栓の使用材料は、アルミニウム青銅(UNS C63600、ASTM B150 UNS C61300 及びASTM B150 UNS C61400)である。アルミニウム青銅は、組成の大半を銅(約 90 %)が占めており、主要な添加物としてアルミニウムが加えられている(4 %以下若しくは7.5 %以下)。

アルミニウム青銅は、-40 °C程度の温度では低温脆性はない¹⁾。

(3) モネル（ニッケル銅合金）

弁（軸部）の使用材料は、モネル（ニッケル銅合金）である。結晶構造が面心立方格子であるモネル（ニッケル銅合金）は、低温脆性を示す材料ではない²⁾。

(4) ステンレス鋼

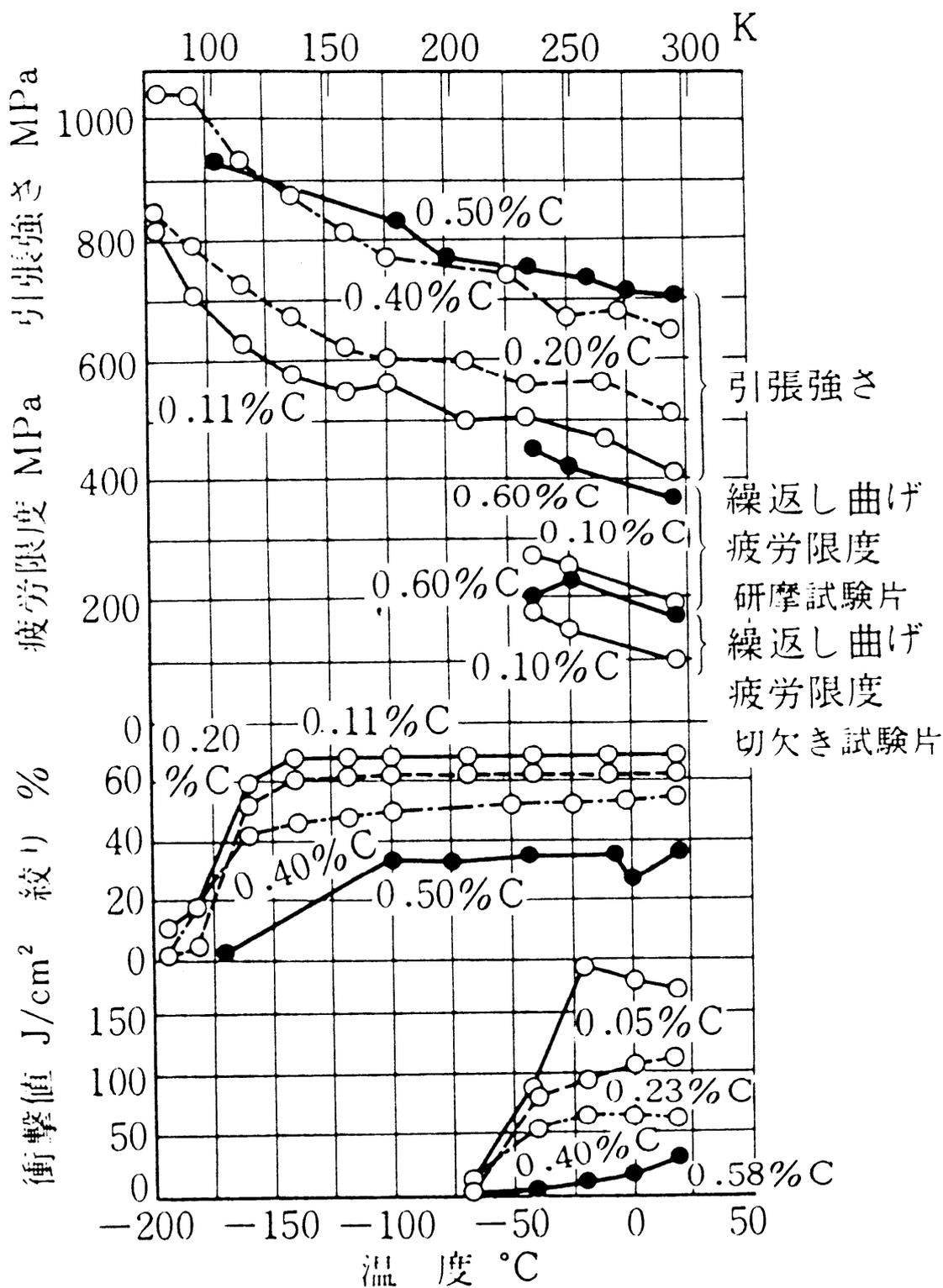
耐熱キャップ外板及び内板の使用材料は、オーステナイト系ステンレス鋼である。結晶構造が面心立方格子であるオーステナイト系ステンレス鋼は、低温脆性を示す材料ではない²⁾。

(5) セラミックファイバー

耐熱キャップ内の断熱材の使用材料は、セラミックファイバーである。セラミックファイバーは、高温下での断熱性能が要求されるものであり、低温下での耐熱性の考慮は不要である。また、-40 °C程度の環境温度で変質、劣化することはない。

【参考文献】

- 1) 梶山正孝著「非鉄金属材料」コロナ社（1963）
- 2) 日本金属学会、日本鉄鋼協会編「鉄鋼材料便覧」丸善（1967）



(口)-第A付. 1.1 図 炭素鋼の低温における機械的性質

シリンダ胴板 (ASTM A516 (Grade 60)) の脆性破壊の検討

1. 参照破壊靱性値 K_{IR}

鉄鋼材料の脆性破壊のおそれがないことを確認するためには、想定欠陥形状と作用応力から求められる応力拡大係数 (K_I) が、最低使用温度 (T °C) と関連温度 (RT_{NDT} °C) から求められる参照破壊靱性値 (K_{IR}) を下回っていることを確認する。

JEAG 4206 より、本材料を含む鉄鋼材料の K_{IR} の式を以下に示す。

$$K_{IR} \text{ (kgf/mm}^{3/2}\text{)} = 94.89 + 4.33 e^{0.0261(T - RT_{NDT} + 89)}$$

この式より、本材料については、 K_{IR} は $929 \text{ N/mm}^{3/2}$ ($\approx 94.89 \text{ kgf/mm}^{3/2}$) が最小となる。

2. 応力拡大係数 (K_I) の算出

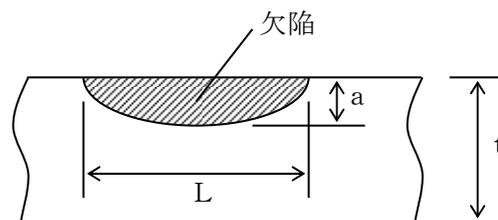
(1) 想定欠陥

想定欠陥は、下図のような表面欠陥とする。その寸法は、ASME 規格に基づき、シリンダ胴板の厚さ ($t = 15.9 \text{ mm}$) から以下のとおり計算される。

$$\bullet \text{ 長さ } L = 1.5 \times t = 23.85 \text{ mm}$$

$$\bullet \text{ 深さ } a = \frac{t}{4} = 3.975 \text{ mm}$$

$$\bullet \text{ 欠陥形状比 } \frac{a}{L} = \frac{t/4}{1.5t} = 0.167$$



(2) 作用応力

シリンダ胴板に作用する応力としては、 1.38 MPa の設計圧力によって生じる膜応力 (S_m) とする。当該応力は、下式より求められる。

$$S_m = \frac{P \cdot (D_i + 1.2t)}{2t}$$

ここで、 P : 作用内圧 (1.38 MPa)

D_i : シリンダ内径 (1219 mm)

t : シリンダ板厚 (15.9 mm)

数値を代入する。

$$S_m = \frac{1.38 \times (1219 + 1.2 \times 15.9)}{2 \times 15.9}$$

$$\approx 54.0 \text{ MPa}$$

(3) 応力拡大係数 K_I

欠陥形状と作用応力を基に、ASME 規格に基づき、下式により応力拡大係数 (K)

1) を求める。

$$K_I = \{(S_m + A_p)M_m + S_b \cdot M_b\} \sqrt{\frac{\pi a}{Q}}$$

ここで、 S_m : シリンダ胴板に作用する膜応力 (54.0 MPa)

M_m : 膜応力補正係数

S_b : シリンダ胴板に作用する曲げ応力

M_b : 曲げ応力補正係数

A_p : 作用内圧 (1.38 MPa)

S_y : 材料の降伏応力 (220 MPa)

Q : 形状係数

$$Q = 1 + 4.593(a/L)^{1.65} - q_y$$

$$q_y = \{((S_m + A_p)M_m + S_b \cdot M_b) / S_y\}^2 / 6$$

シリンダ胴板は真円であるから、設計圧力の内圧により曲げ応力は生じない。
したがって、 $S_b = 0$ となる。

また、(1)項の欠陥形状から、膜応力補正係数 (M_m) は以下のとおり決まる。

$M_m = 1.217$ (ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section XI,
Division 1, Table A-3320-1 より、安全側に a/L を 0.1 と
する。)

以上の数値を代入する。

$$q_y = \{((54.0 + 1.38) \times 1.217 + 0 \times M_b) / 220\}^2 / 6 \doteq 1.57 \times 10^{-2}$$

$$Q = 1 + 4.593 \times 0.167^{1.65} - 0.0157 \doteq 1.22$$

$$K_I = \{(54.0 + 1.38) \times 1.217 + 0 \times M_b\} \sqrt{\frac{\pi \times 3.975}{1.22}}$$

$$\doteq 216 \text{ N/mm}^{3/2}$$

したがって、 K_I が K_{IR} (929 N/mm^{3/2}) を十分下回ることから、シリンダ胴板は
最低使用温度によらず脆性破壊のおそれがない。

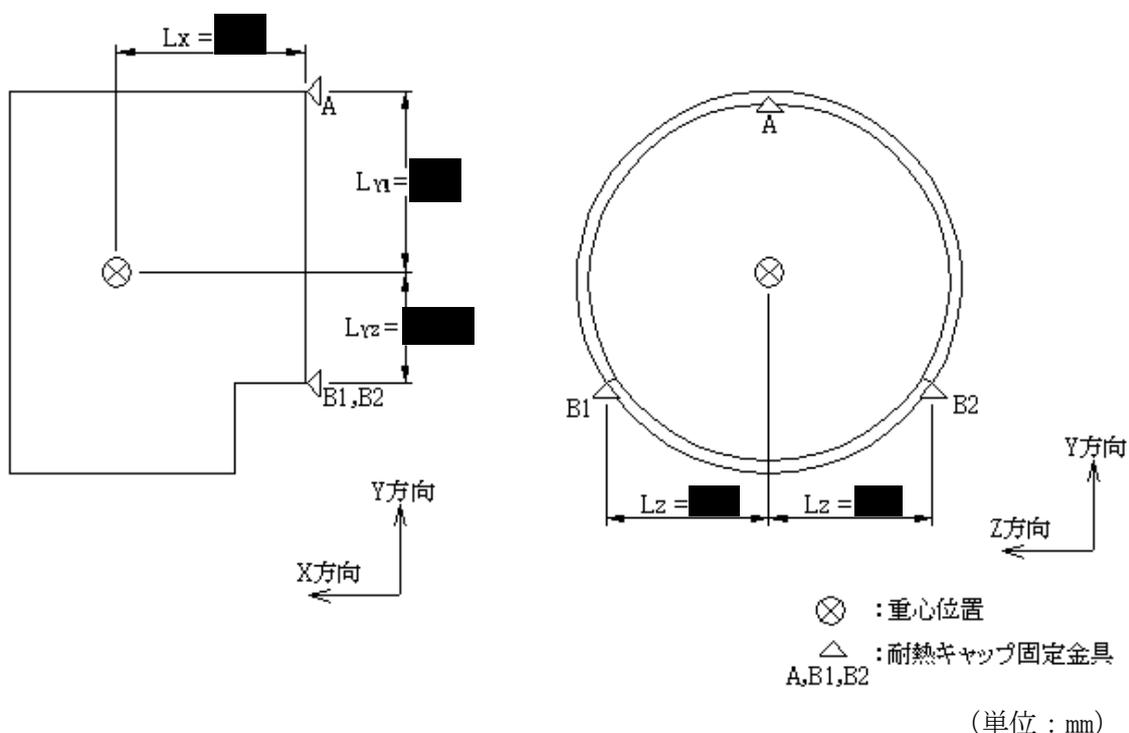
付属書類-2 耐熱キャップ固定金具の荷重の分担について

耐熱キャップは、3個の耐熱キャップ固定金具にて、シリンダと接続されている。
 輸送時条件の加速度が耐熱キャップに負荷され、生じた荷重を3個の耐熱キャップ固定金具を支点として分担した場合の、各支点にかかる最大荷重を求める。

耐熱キャップに負荷される荷重は以下のとおりである。

$$\begin{cases} \text{上下方向 (Y方向)} : F_Y = 245 \text{ kg} \times 2G \times 9.81 \doteq 4.81 \times 10^3 \text{ N} \\ \text{前後方向 (X方向)} : F_X = 245 \text{ kg} \times 2G \times 9.81 \doteq 4.81 \times 10^3 \text{ N} \\ \text{左右方向 (Z方向)} : F_Z = 245 \text{ kg} \times 1G \times 9.81 \doteq 2.41 \times 10^3 \text{ N} \end{cases}$$

また、耐熱キャップ（弁側）の重心位置と耐熱キャップ固定金具との位置関係は(ロ)-第A付.2.1図のとおりである。



(ロ)-第A付.2.1図 耐熱キャップ固定金具の位置関係

(1) 上下方向 (Y方向) の作用力

各支点の上下方向反力 (R_Y) は上下方向荷重 (F_Y) による剪断力によって生じ、この力は支点A、B1、B2に均等にかかる。

したがって、

$$R_Y = F_Y/3 \doteq 1.61 \times 10^3 \text{ N}$$

となる。

(2) 前後方向 (X方向) の作用力

各支点の前後方向反力 (R_X) は前後方向、上下方向及び左右方向荷重によるモーメントの釣り合いから求められる。

前後方向荷重により支点のある面に生じるモーメント (M_X) が、A点を支点とし、B1、B2 点にそれぞれ生じる前後方向反力 (R'_{XB}) と釣り合う場合を考えると、

$$M_X = F_X \cdot L_{Y1} = R'_{XB} \cdot (L_{Y1} + L_{Y2}) \times 2$$
$$\therefore R'_{XB} = \frac{F_X \cdot L_{Y1}}{(L_{Y1} + L_{Y2}) \times 2} \doteq 1.50 \times 10^3 \text{ N}$$

一方、B1、B2 点を支点とし、A点に生じる左右方向反力 (R_{XA}) とモーメント (M_X') が釣り合う場合を考えると、

$$M_X' = F_X \cdot L_{Y2} = R_{XA} \cdot (L_{Y1} + L_{Y2})$$
$$\therefore R_{XA} = \frac{F_X \cdot L_{Y2}}{L_{Y1} + L_{Y2}} \doteq 1.83 \times 10^3 \text{ N}$$

また、上下方向荷重により支点のある面に生じるモーメント (M_Y) が、A点を支点とし、B1、B2 点にそれぞれ生じる前後方向反力 (R''_{XB}) と釣り合う場合を考えると、

$$M_Y = F_Y \cdot L_X = R''_{XB} \cdot (L_{Y1} + L_{Y2}) \times 2$$
$$\therefore R''_{XB} = \frac{F_Y \cdot L_X}{(L_{Y1} + L_{Y2}) \times 2} \doteq 1.54 \times 10^3 \text{ N}$$

このとき、支点Aには反力 (R''_{XB}) と釣り合う前後方向反力 (R''_{XA}) が働くため、

$$R''_{XA} = 2 \times R''_{XB} \doteq 3.08 \times 10^3 \text{ N}$$

さらに、左右方向荷重によっても、支点のある面にモーメント (M_Z) が生じるため、支点B1 若しくはB2 に生じる前後方向反力 (R'''_{XB}) とこのモーメントが釣り合う場合を考えると、

$$M_Z = F_Z \cdot L_X = R'''_{XB} \times 2 \cdot L_Z$$
$$\therefore R'''_{XB} = \frac{F_Z \cdot L_X}{2 \cdot L_Z} \doteq 1.40 \times 10^3 \text{ N}$$

よって、これらの重ね合わせにより、各支点の前後方向反力 (R_X) は、

$$\text{支点Aについて、} R_{XA} = R'_{XA} + R''_{XA} = 4.91 \times 10^3 \text{ N}$$

$$\text{支点Bについて、} R_{XB} = R'_{XB} + R''_{XB} + R'''_{XB} = 4.44 \times 10^3 \text{ N}$$

となる。

(3) 左右方向 (Z方向) の作用力

左右方向荷重により支点のある面に生じるモーメント (M_Z') が、A点を支点とし、B1、B2 点にそれぞれ生じる左右方向反力 (R_{ZB}) と釣り合う場合を考えると、

$$M_Z' = F_Z \cdot L_{Y1} = R_{ZB} \cdot (L_{Y1} + L_{Y2}) \times 2$$

$$\therefore R_{ZB} = \frac{F_Z \cdot L_{Y1}}{(L_{Y1} + L_{Y2}) \times 2} \doteq 747 \text{ N}$$

一方、B1、B2 点を支点とし、A点に生じる左右方向反力 (R_{ZA}) とモーメント (M_Z') が釣り合う場合を考えると、

$$M_Z' = F_Z \cdot L_{Y2} = R_{ZA} \cdot (L_{Y1} + L_{Y2})$$

$$\therefore R_{ZA} = \frac{F_Z \cdot L_{Y2}}{L_{Y1} + L_{Y2}} \doteq 917 \text{ N}$$

となる。

以上より、各支点にかかる最大荷重 (最大作用力) は、

$$\text{上下方向 (Y方向) : } R_Y = 1.61 \times 10^3 \text{ N}$$

$$\text{前後方向 (X方向) : } R_X = 4.91 \times 10^3 \text{ N}$$

$$\text{左右方向 (Z方向) : } R_Z = 917 \text{ N}$$

となる。

付属書類－3 傾斜落下解析の傾斜角について

傾斜落下解析の傾斜角（シリンダ中心軸と剛体床からの垂直軸のなす角）の決定に当たっては、いくつかの傾斜角における落下解析を行い、それらのうち最も厳しい結果を示す傾斜角を傾斜落下解析の傾斜角とする。

落下解析を行った傾斜角は、以下のとおりである。

(1) 弁側を下にした傾斜落下

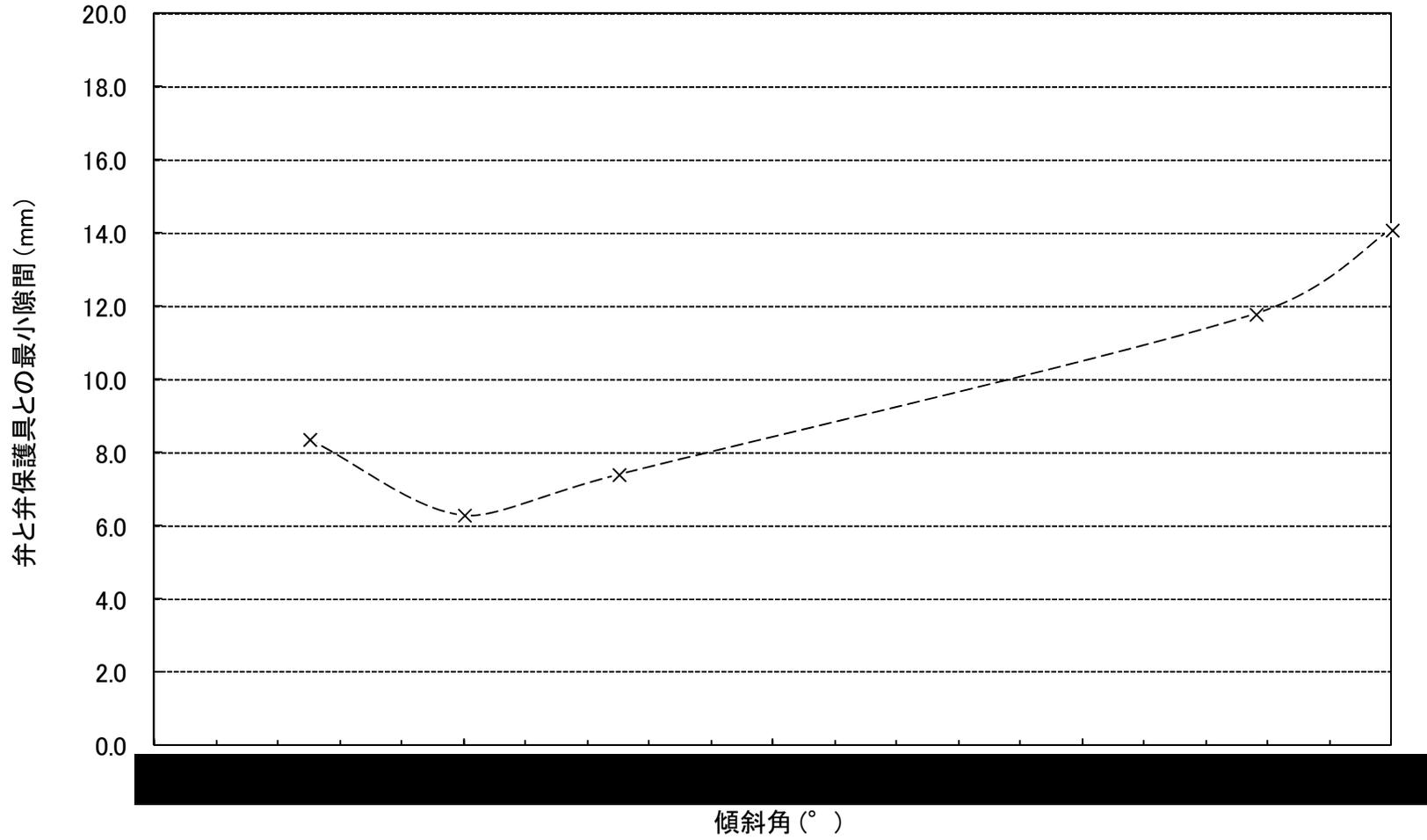
- 1)  (輸送物重心から剛体床への垂線が、弁部を通過する角度)
- 2)  (弁側を下にしたコーナー落下解析として実施)
- 3) 
- 4) 
- 5) 

(2) 閉止栓側を下にした傾斜落下

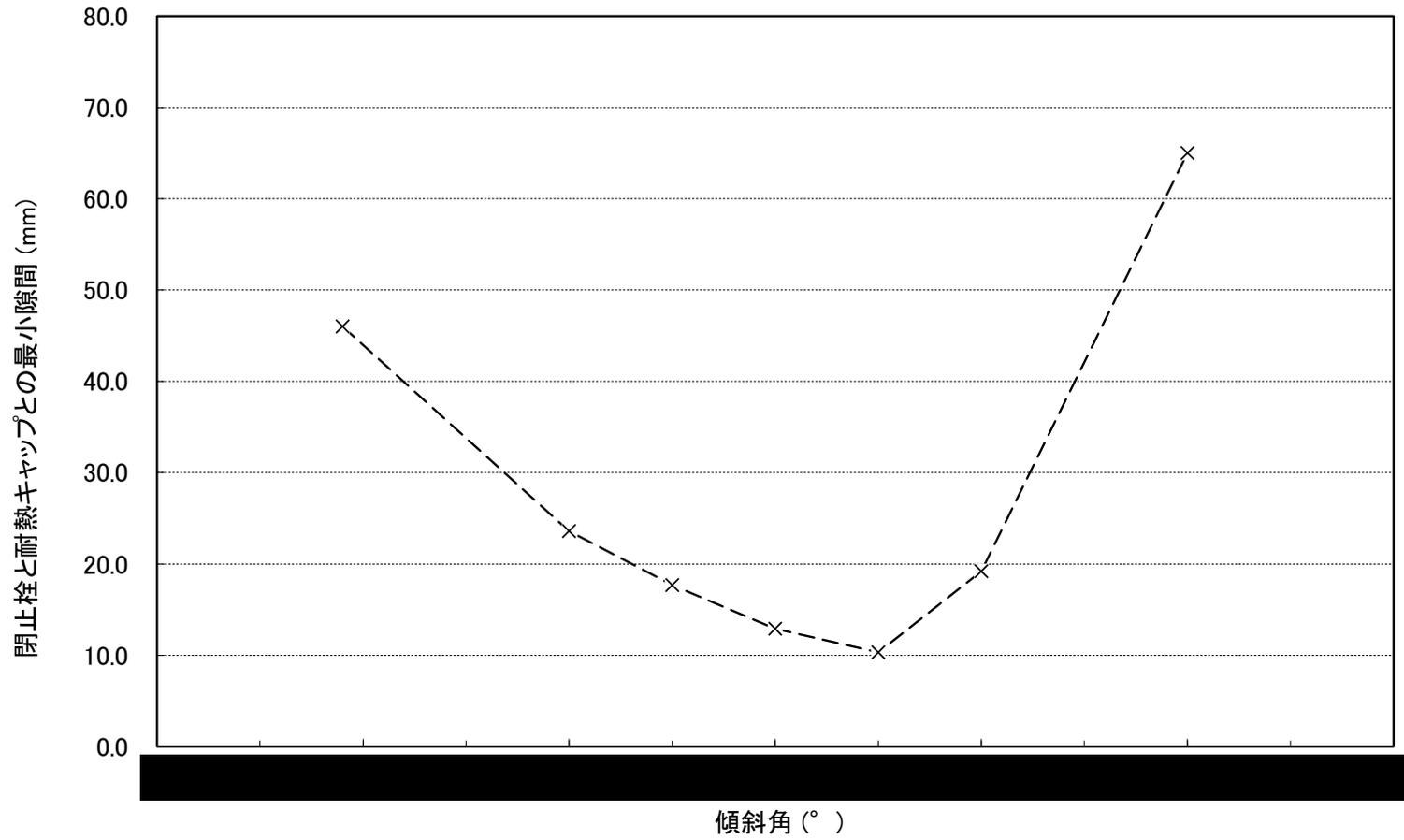
- 1) 
- 2) 
- 3) 
- 4) 
- 5) 
- 6) 
- 7)  (閉止栓側を下にしたコーナー落下解析として実施)

これらの落下解析にて基準値に対する余裕が最も少ない評価項目は、「弁と弁保護具間の最小隙間」若しくは「閉止栓と耐熱キャップ間の最小隙間」である。そこで、これらの落下解析結果のうち、傾斜角毎の最小隙間を(ロ)-第A付.3.1 図及び(ロ)-第A付.3.2 図に示す。

上記の落下解析のうち、弁側を下にした傾斜落下では傾斜角 、閉止栓側を下にした傾斜落下では傾斜角  における落下解析が、それぞれ最も厳しい結果を示すといえる。したがって、弁側を下にした傾斜落下解析の傾斜角を 、閉止栓側を下にした傾斜落下解析の傾斜角を  とした。



(ロ)-第A付.3.1図 傾斜角毎の弁と弁保護具間の最小隙間 (弁側を下にした傾斜落下)



(ロ)-第A付. 3.2 図 傾斜角毎の閉止栓と耐熱キャップ間の最小隙間 (閉止栓側を下にした傾斜落下)

付属書類－4 落下解析における解析手法の妥当性確認について

1. 目的

本輸送物の落下解析について解析の信頼性を確認するため、同一の解析コード・解析手法を用いて、電力中央研究所が実施した48Yシリンダの落下試験を再現する解析を行った。

ただし、上記落下試験に使用された弁保護具は、本輸送物の弁保護具と形状が若干異なっている（(ロ)-第A付.4.1図参照）。

2. 落下条件

落下試験条件と、再現解析の解析条件との比較を(ロ)-第A付.4.1表に示す。

(ロ)-第A付.4.1表 落下条件の比較

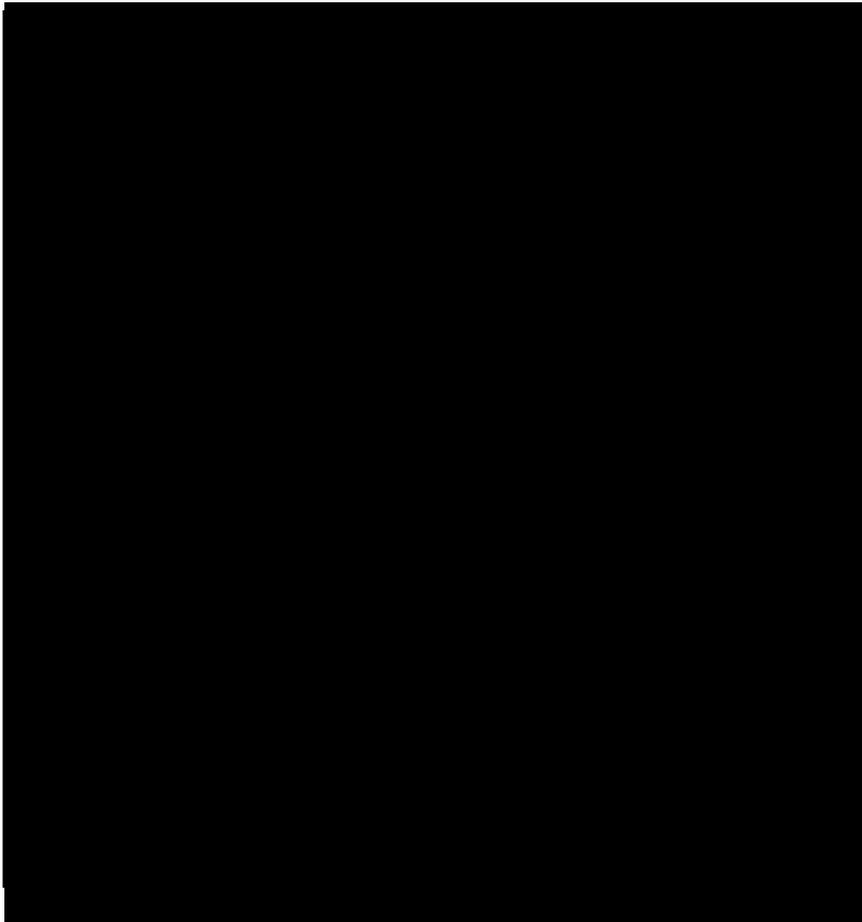
	落下試験	再現解析
落下姿勢		
落下高さ		
重量		
収納物		

3. 結果の比較

再現解析の解析終了時刻における弁周辺の変形図を(ロ)-第A付.4.2図に示す。また、解析終了時のスカートの変形量について、弁取付け部側（0°側）におけるスカートの変形量抽出位置（(ロ)-第A付.4.3図参照）の変形量の比較を(ロ)-第A付.4.4図に示す。これらから、解析の評価には直接影響しないが、スカートの変形モードについて落下試験結果と再現解析結果が同じ傾向にあるといえる。

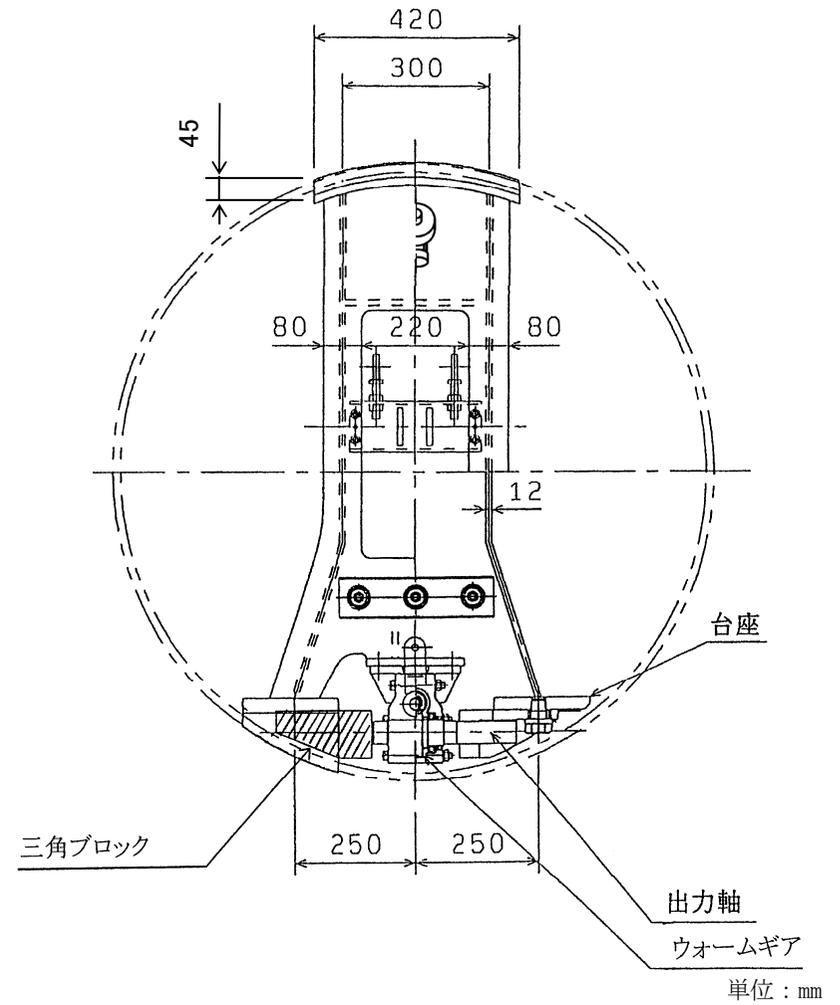
また、再現解析における弁と弁保護具との隙間の時刻歴を(ロ)-第A付.4.5図に示す。これより、再現解析における当該隙間の最小値は■■■■mmであり、落下試験では当該隙間が■■■■mmであったことから、落下試験結果と再現解析結果はほぼ一致している。

したがって、本輸送物の落下解析の手法は妥当であるといえる。



単位：mm

[落下試験時に用いられた弁保護具の形状]



単位：mm

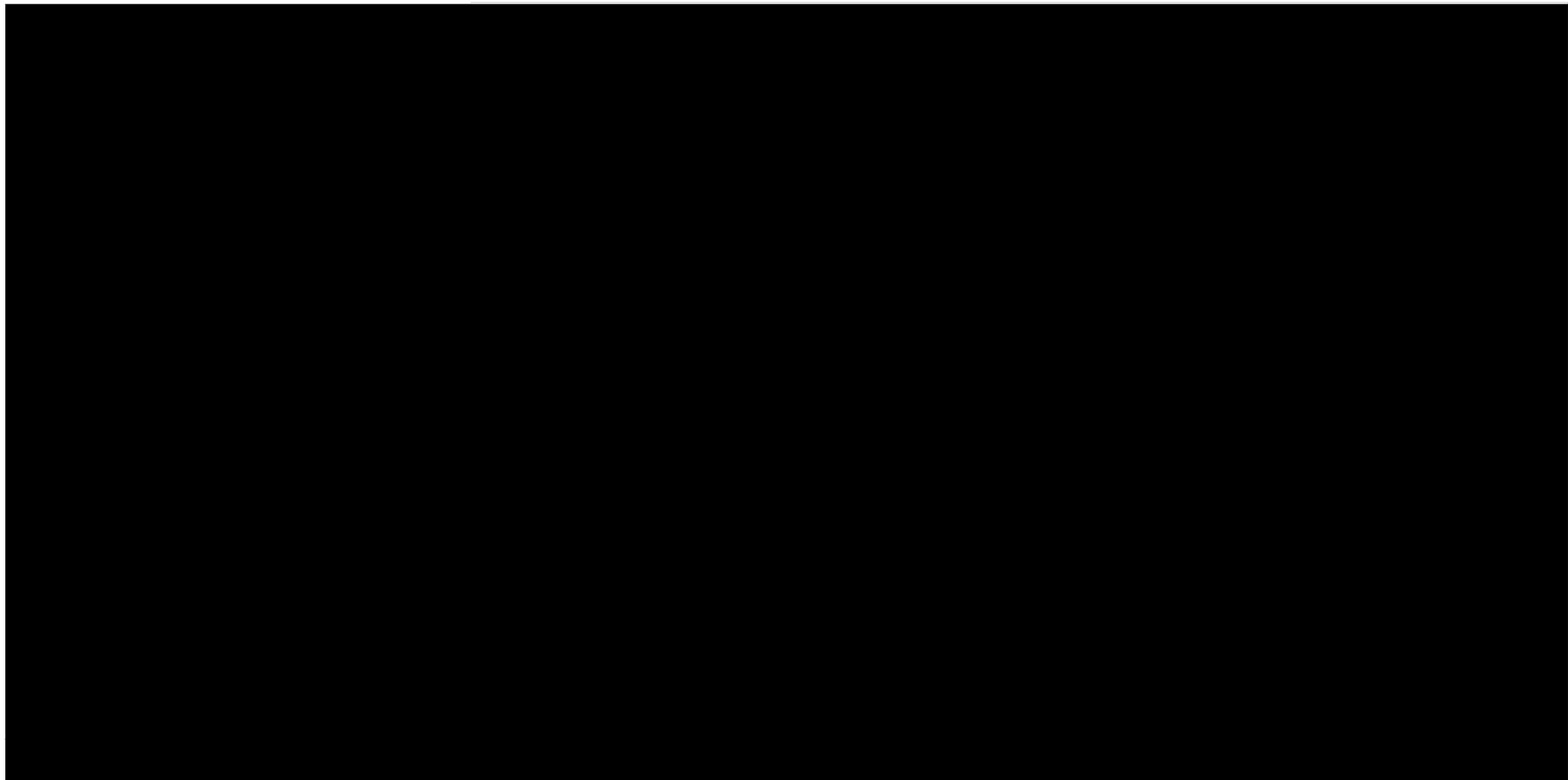
[48Y-JDTC型輸送物の弁保護具モデル]

(ロ)-第A付.4.1図 弁保護具形状比較



(ロ)-第A付.4.2 図 再現解析の解析終了時刻における変形図

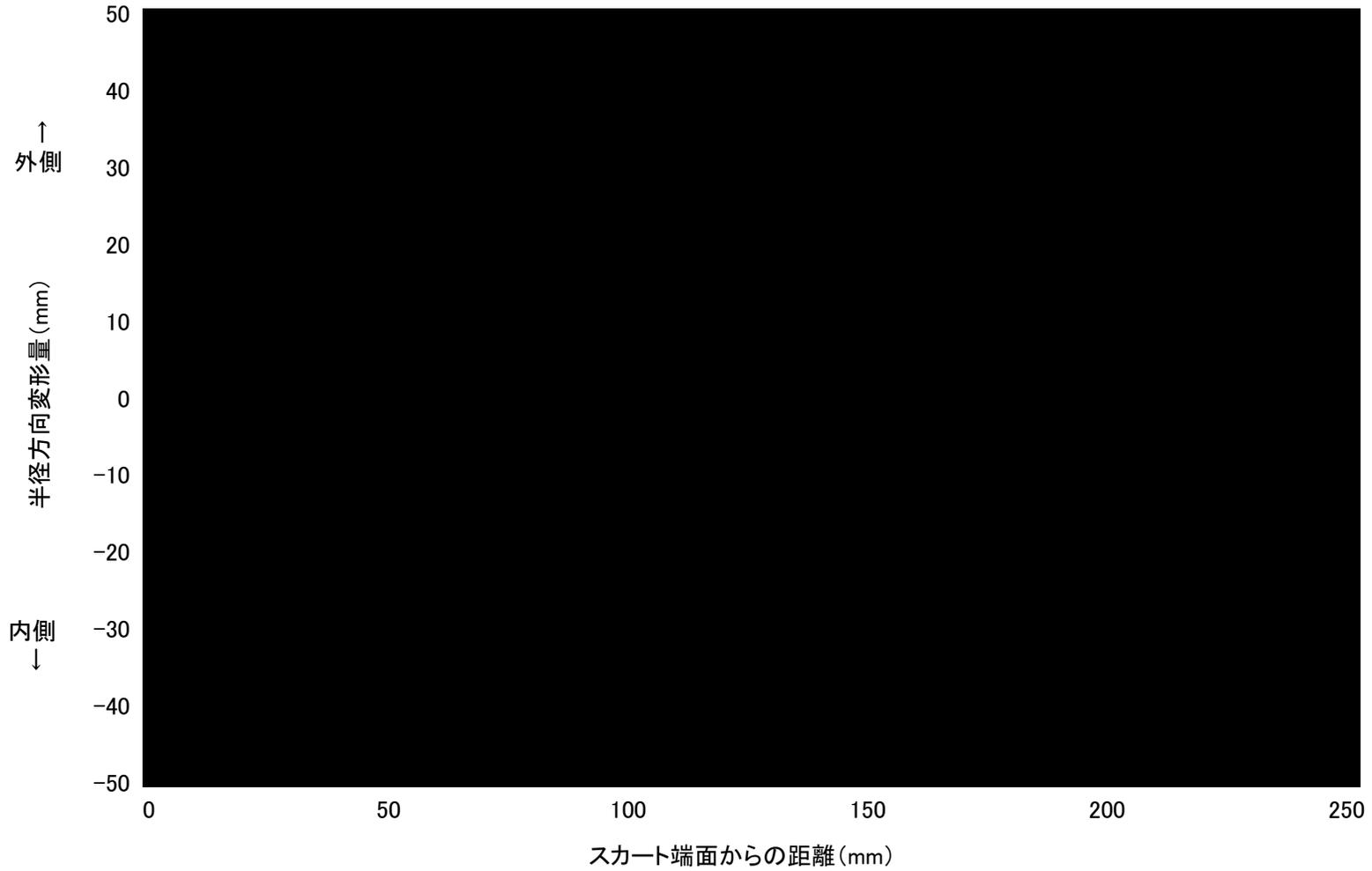
(甲)-A-105



(単位：mm)

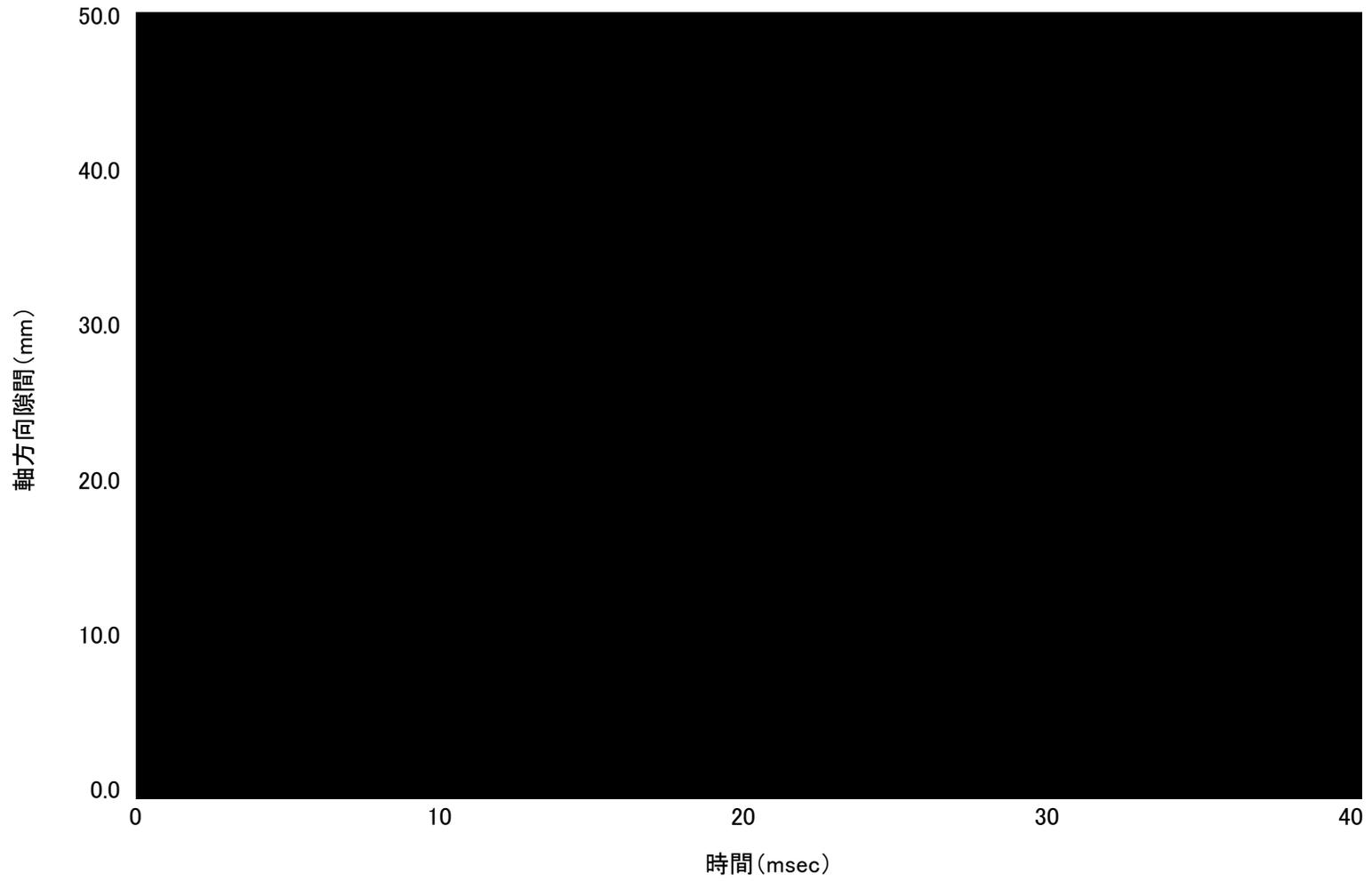
(口)-第A付.4.3図 スカート変形量抽出位置図

90I-V-(ロ)



(ロ)-第A付.4.4図 スカート変形量比較

(中)-A-107



(ロ)-第A付.4.5図 再現解析における弁先端／弁保護具間の隙間時刻歴

1. 概 要

LS-DYNA は、1976年に LLNL (Lawrence Livermore National Laboratory) の Dr. J. O. Hallquist が中心となって開発された DYNA-3D に多くの改良を加え、1989年に LSTC (Livermore Software Technology Corporation) からリリースされた陽解法有限要素法に基づく 3次元非線形衝撃応答解析コードである。

LS-DYNA は、接触問題の取扱いが容易で、種々の材料に適用でき、計算時間が短い等の長所を有しており、自動車分野をはじめ、航空・宇宙、交通、電気製品、製造工程、建築・土木、防衛関係及びエネルギー分野で幅広く適用されており信頼性も高い。

放射性廃棄物輸送容器の落下衝撃解析は、構造や材料特性が複雑であり、LS-DYNA の特質が最も発揮される問題であり、解析例も数多く報告されている¹⁾。

2. 構 成

LS-DYNA は、3次元連続体の静・動的方程式について、3次元ラグランジェ座標系を用いて示し、これらを陽解法有限要素法で解くものである。

各要素は、ビーム要素、シェル要素及びソリッド要素で示される。

ポストプロセッサ JVISION 又は FEMB 等を用いて、物体の変形、応力状態、各種状態量の時間的变化及び 3次元空間における分布図を作図することが可能である。

3. 特 徴

(1) 様々な材料に適用可能

次項に述べるように豊富な材料ライブラリを持っている。

(2) 接触問題の取扱いが容易

接触問題は、マスター面とスレーブ面をユーザーが指定することにより簡単に定義でき、主に次の 4種類の接触状態が選択できる。

- (a) スライド
- (b) タイド
- (c) スライド+ボイド
- (d) シングルサーフェス

これにより、要素分割の自由度も非常に大きい。

(3) 計算時間が短い

LS-DYNA の時間積分法には、中心差分に基づく陽解法が採用されている。このため生じる Courant 条件による数値安定の問題は、Auto-time-step Control 機能により自動的に解決される。また、衝撃問題では、衝撃法の Wave-front 問題が重要であるが、これも流体力学の分野で開発された Artificial viscosity method により解決されている。

要素の空間積分は、1 次の Gauss 積分で行われ、Hourglass control 機能により Hourglass mode から生じる数値不安定性が完全に制御され、計算時間が非常に短縮されている。

4. 諸機能

(1) 材料モデル

材料ライブラリは、広範な材料特性をモデル化するために約 80 種類の構成式が用意されている。以下に材質及び構成式による分類を示す。

(a) 材質による分類

- ・鉄
- ・非鉄金属
- ・異方性材料
- ・樹脂材料
- ・複合材料
- ・繊維材料
- ・粘性材料
- ・コンクリート／土
- ・ゴム
- ・ガラス
- ・流体
- ・スポット溶接

(b) 構成式による分類

- ・弾性体
- ・弾塑性体
- ・温度依存弾塑性体
- ・流体
- ・粘弾性体
- ・超塑性体
- ・異方性材料
- ・歪み速度依存材料
- ・剛体
- ・熱伝導解析用材料
- ・破壊材料

(2) 境界条件

境界条件として、次の 4 種類が可能である。

(a) 節点間の運動拘束

各節点間の変位拘束以外に、ジョイント結合、リベット結合、タイブレーク及びスポット溶接等の拘束条件を定義することが可能である。

(b) 節点に作用する集中力

(c) ビーム要素、シェル要素及びソリッド要素に作用する分布荷重

時間とともに変化する荷重を任意に与えることができる。

(d) 節点に対する速度／加速度／変位境界

任意の方向に、時間とともに変化する速度／加速度／変位を入力できる。

(3) 初期条件

初期条件として、速度、初期応力、初期運動量等が入力できる。

(a) 節点に対する初速度

各節点に対し 3 方向の速度及び角速度を与えることが可能である。

(b) 要素に対する初期応力

ビーム要素、シェル要素及びソリッド要素に対する初期成分応力を与えることが可能である。

(c) 要素に対する初期運動量

ソリッド要素に対して3方向の初期運動量を与えることが可能である。

(4) 剛体壁

剛体壁の個数に制限は無く、節点と同様に、任意の方向に時間とともに変化する速度／加速度／変位が入力できる。

また、各節点がそれぞれの剛体壁に拘束されるか否かを指定できる。拘束されない場合、その節点は剛体壁を侵入していくことができる。

(5) 接触面の定義

異なる2物体間の接触が、以下の4つの基本オプションで定義することが可能である。

- (a) スライド
- (b) タイド
- (c) スライド+ボイド
- (d) シングルサーフェス

5. その他の機能

(1) 出力

ポストプロセッサ JVISION 又は FEMB により、エネルギー変形、変位、速度、加速度、歪み、応力等を時間的及び空間的に作図することが可能である。

(2) リスタート

入力データとしてリスタートのオプションを指定することにより、前回の最終状態から簡単に再実行することができる。

6. 解析例

LS-DYNA を用いた解析例を以下に紹介する。

・棒の落下・衝突問題

この例題は棒が剛体壁に衝突したときの応力波の伝播について、理論解と解析結果を比較したものである。

(ロ)-第A付.5.1 図には棒の落下・衝突時の理論解として、衝突時における応力、応力波の棒の先端への到達時刻及び反力に関する理論解が示されている。(ロ)-第A付.5.2 図には解析条件図が、(ロ)-第A付.5.3 図には軸方向応力コンター図が、また、(ロ)-第A付.5.4 図には変位・速度の応答時刻歴が、さらに、(ロ)-第A付.5.5 図には軸方向応力と反力の応答時刻歴が示されている。

解析結果は非常によく理論解と一致している。

【参考文献】

- 1) C. M. CHARMAN, R. M. GRENIER and R. E. NICKELL, LARGE DEFORMATION INELASTIC ANALYSIS OF IMPACT FOR SHIPPING CASKS, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 33 (1982). 759-784

• 側面を拘束された3次元棒の落下・衝突数値例

落下速度 : $V_0 = 10 \text{ m/sec}$

ヤング率 : $E = 20 \text{ kg/mm}^2$ ポアソン比 : $\nu = 0.45$

棒の密度 : $\rho_0 = 2 \cdot 10^{-10} \text{ kg} \cdot \text{sec}^2 / \text{mm}^4$

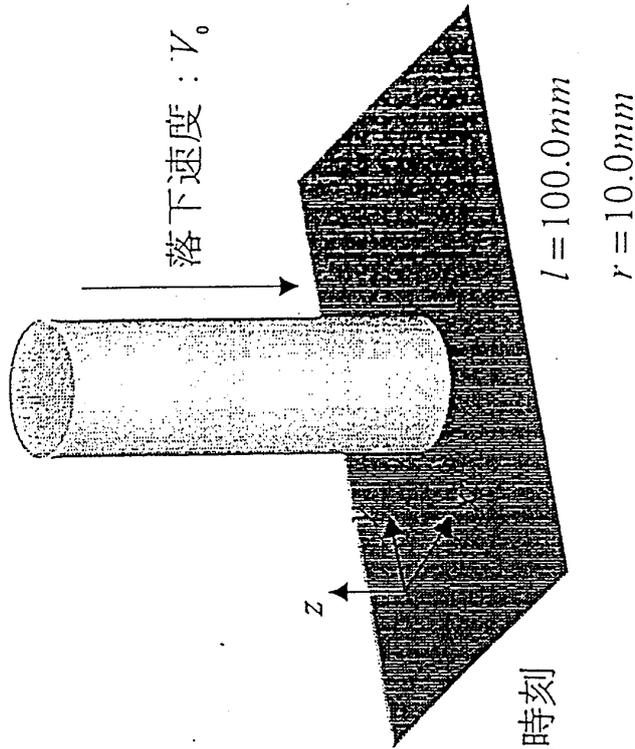
応力波伝播速度 : $c_0 = \sqrt{\frac{1}{\rho_0} \left(K + \frac{4}{3} G \right)} = 615.9 \text{ m/sec}$

ひずみ : $\varepsilon = \frac{V_0}{c_0} = 0.0162$

応力 : $\sigma = -\rho_0 \cdot c_0 \cdot V_0 = -1.232 \text{ kg/mm}^2$

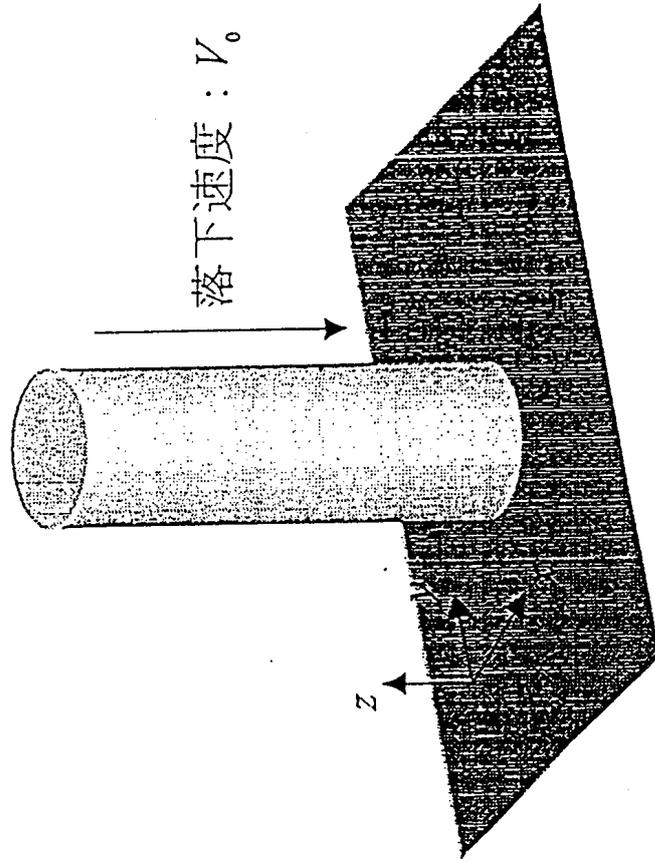
$T = l/c_0 = 1.62 \cdot 10^{-4} \text{ sec}$: 応力波の棒の先端への到達時刻

反力 : $A \cdot \sigma = 386.8 \text{ kg}$ (半径10mmの円形断面)



- 軸方向応力と変形アニメーション
- 変位・速度の応答
- 軸方向応力と反力の応答

落下速度 : $V_0 = 10 \text{ m/sec}$
 ヤング率 : $E = 20 \text{ kg/mm}^2$
 ポアソン比 : $\nu = 0.45$
 棒の密度 : $\rho_0 = 2 \cdot 10^{-10} \text{ kg} \cdot \text{sec}^2 / \text{mm}^4$
 棒の長さ : $l = 100.0 \text{ mm}$
 断面の半径 : $r = 10.0 \text{ mm}$



拘束条件 : $\epsilon_x = 0, \epsilon_y = 0$

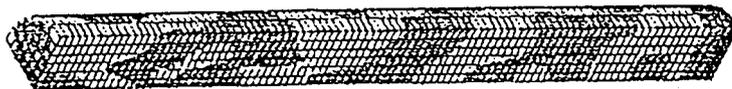
• 軸方向応力と変形アニメーション



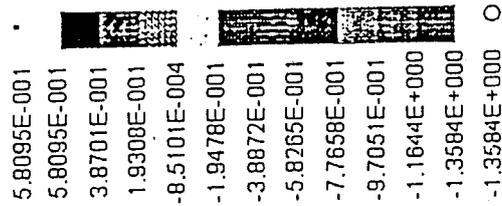
IMPACT ROD WALL
STEP 1 TIME = 1.973057E-005
SIGZZ(MID)



IMPACT ROD WALL
STEP 6 TIME = 1.9901410E-004
SIGZZ(MID)

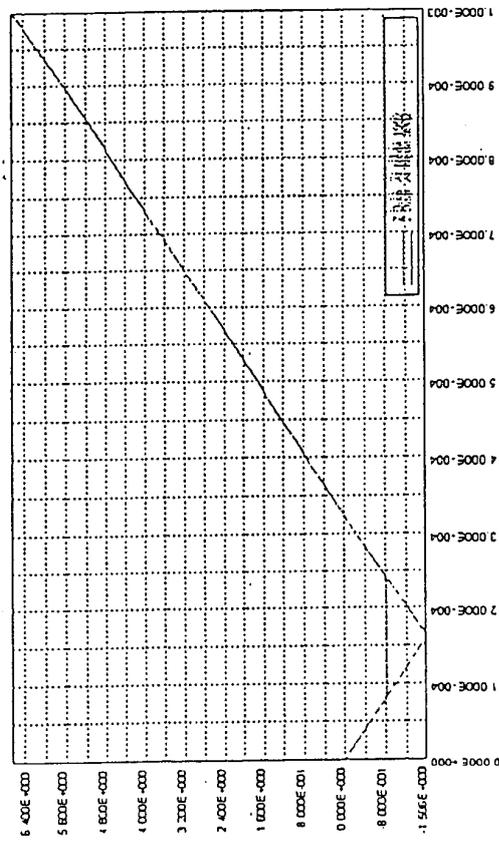


IMPACT ROD WALL
STEP 16 TIME = 3.1992374E-004
SIGZZ(MID)

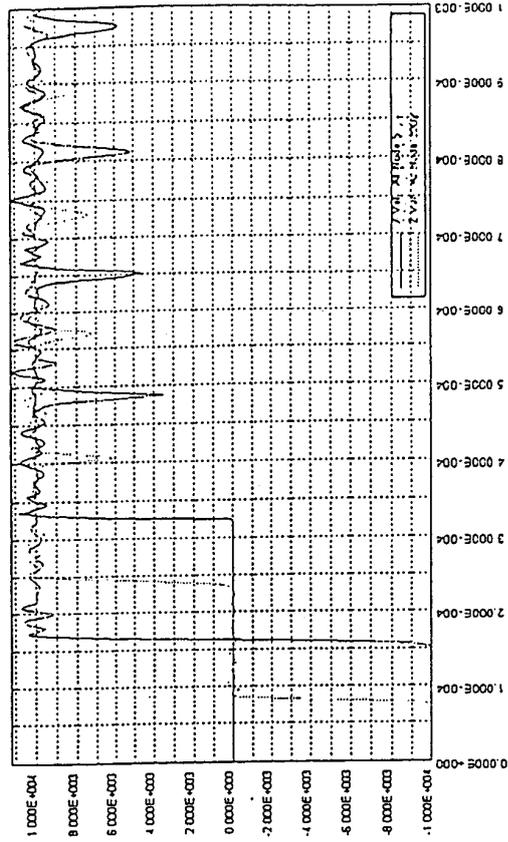


(ロ)-第A付.5.3 図 軸方向応力コンター図

変位・速度の応答



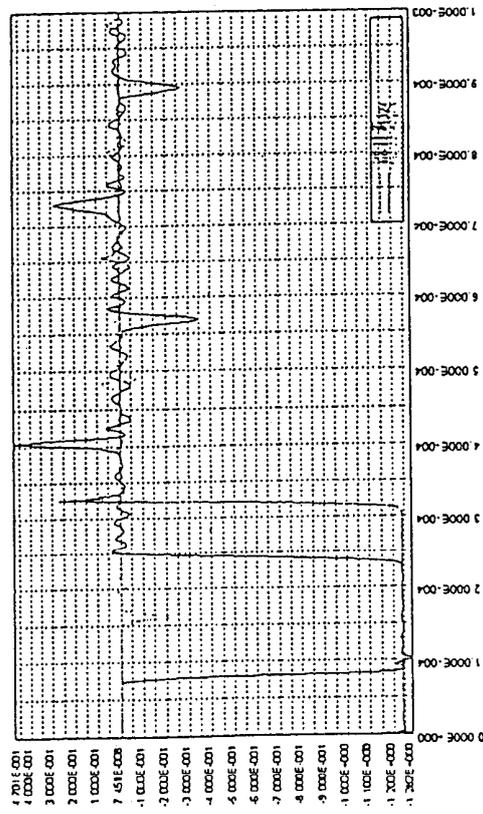
軸方向変位の時刻歴



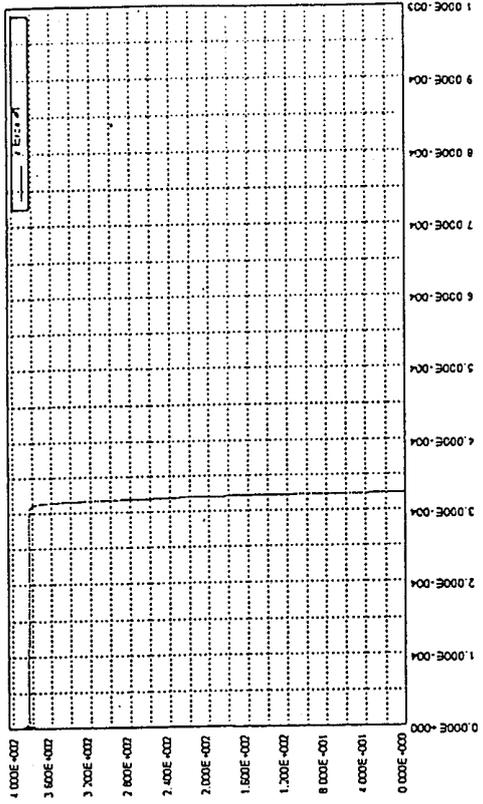
軸方向速度の時刻歴

(ロ)-第A付.5.4図 変位・速度の応答時刻歴

• 軸方向応力と反力の応答



軸方向応力の時刻歴



反力の時刻歴

(□)-第A付.5.5 図 軸方向応力・反力の応答時刻歴

1. 概 要

ABAQUS とは、HKS (HIBBITT, KARLSSON & SORENSEN, INC.) において、開発・整備されている有限要素法による汎用プログラム・システムである。

このプログラムは、構造解析の分野における線形及び非線形問題を解析するために開発されたものであり、大変形問題、接触問題及び座屈問題等のような幾何学的非線形解析、弾塑性問題やクリープ問題等の材料非線形解析、動的解析及び熱応力問題に対する温度解析等の幅広い解析が可能である。

さらに種々の形状に対して応用するため、2次元連続体、3次元連続体、シェル、はり等の構造に対して、多くの要素ライブラリが用意されている。要素ライブラリには非圧縮性材料に関するものや、配管系エルボ部分に関するもの等の特殊な問題に対するものも含まれている。

2. ABAQUS プログラムの構成

このシステムは次のプログラムから構成されている。

プリプログラムはメインプログラムのプリプロセッサで、入力データチェック及びワークスペースの割り当て等を行う。メインプログラムは、このシステムを中心となるものであり、上記の機能を有している。さらにメインプログラムでは、2次元及び3次元のメッシュ・プロット機能も含まれている。メッシュ・プロット機能は時間履歴や応力-ひずみ関係等の X-Y プロットを行うためのものである。

3. ABAQUS における解析方法

ABAQUS は、変位法による線形及び非線形解析のプログラム・システムであり、非線形問題に対しては、ニュートン法が用いられている。

現在、ABAQUS では問題の規模に応じて、次の(i)～(iii)のオプションがある。なお、(i)、(ii)は、どちらか一方をプログラムが自動的に選択するようになっている。

- (i) コア内での剛性マトリックスの組み立てと連立一次方程式の計算（比較的小規模の問題）
- (ii) 外部記憶装置を用いたシーケンシャル方式による剛性マトリックスの組み立てと連立一次方程式の計算（大規模の問題）
- (iii) 剛性マトリックスを部分的に組み立てるリスタート方式（外部記憶装置を用いる場合、その部分を ECS (Extended Core Storage) に割り当てることも可能）

このプログラムでは直交変換により、節点の自由度を全体座標系から、局所座標系に変換することができ、これにより斜交した境界等を導入することができる。さらに、一般化した拘束条件として、節点変位の間に線形関係式を導入すること

もできる。これを応用する例として、次のものが考えられる。

- ・スライド条件の導入
- ・構造の一部に特別な変位モードを強制する場合（例えば、構造の部分に剛体要素が含まれる場合）
- ・シェルと連続体を適合させて結合する場合
- ・粗いメッシュを適合させて結合する場合

4. 弾塑性解析

要素ライブラリに含まれる全ての有限要素について弾塑性解析が可能であり、この場合に微小変位による剛性マトリックス $[K^e]$ は次のようになる。

$$[K^e] = [K_0] - [K_p]$$

ここで、 $[K_0]$ は線形弾性に対するもの、 $[K_p]$ は塑性により生じるものである。このプログラムで考慮されている降伏条件としては、次のものがある。

- ・Von Mises の等方性降伏条件
- ・Hill の静水圧非依存の異方性降伏条件
- ・流れ則

Von Mises の条件に従う材料の場合、ひずみ硬化を考慮することもでき、この場合の負荷過程として次のものを考えることができる。

- ・等方硬化モデル
- ・移動硬化モデル
- ・ORNL 則モデル

5. 熱伝導解析

ABAQUS には、熱伝導問題の解析機能が用意されており、線形及び非線形問題に対して、定常及び非定常の解析を行うことができる。

定常問題の解は、時間積分を行うことなく直接求めることが可能である。非定常問題に対しては、後退差分法（修正 Crank-Nicholson 法）による時間積分が行われる。この積分法は線形問題に対しては無条件で安定である。

熱伝導解析は、熱応力解析に用いる温度場を得るために行われることが多い。ABAQUS は、熱伝導解析から出力された結果ファイルを、応力解析の入力データとするための使い易いインタフェースを用意している。

ABAQUS は、非線形熱伝導問題の解析に繰返し計算を行う。その方法は基本的にはニュートン法であるが、強い非線形の潜熱が存在する場合の安定性を確保するために、修正が加えられている。

熱伝導解析のための要素ライブラリは、ほとんどの問題をモデル化することが可能となるように準備されている。シェル構造物の解析には、シェル型の熱伝導要素が用意されている。

熱伝導解析における境界条件には、熱流束（分布又は集中）、温度指定、熱伝導及び輻射がある。これらはいずれも時間の関数として与えることができる。

熱伝導と応力の問題を完全に連成させた解析機能も用意されている。

口章-B 熱解析

(ロ)-B 熱解析

B.1 概要

本解析では、本輸送物が規則に定められた特別の試験条件下において構造強度、密封性能及び遮蔽性能に問題がないことを示す。

また、本輸送物はシリンダの両端に断熱材を収納した耐熱キャップを取付けており、弁取付け部等が火災時に高温になることを防止する設計としている。

B.2 材料の熱的性質

熱解析に関連のある構成要素の熱的性質を(ロ)-第B.1表に示す。

B.3 構成要素の仕様

熱解析に関連のある構成要素の仕様を(ロ)-第B.1表に示す。

(ロ)-第B.1表 構成要素の仕様及び材料の熱的性質

構成要素	材質	規格	密度 (g/cm ³)	比熱 (kJ/kg K)	熱伝導率 (W/m K)	融点 (°C)	最高 使用温度 (°C)
シリンダ 弁保護具	炭素鋼	ASTM A516 (Grade 60)	7.85	0.461	61.6	1,450 以上	—
弁	アルミニウム 青銅	UNS C63600	8.17	0.380	79.5	1,000 以上	—
閉止栓	アルミニウム 青銅	ASTM B150 UNS C61300 ASTM B150 UNS C61400	8.17	0.380	79.5	1,000 以上	—
耐熱キャップ 外板	ステンレス鋼	JIS G 4305 SUS304	7.92	0.499	16.0	1,350 以上	—
耐熱キャップ 断熱材	セラミック ファイバー ブランケット	JIS R 3311 相当	0.16	0.837	0.076 (200 °C)	1,760	1,260
	セラミック ファイバー クロス	—	0.55	0.837	0.086 (200 °C)	1,760	1,260
収納物	UF ₆ 固体 (20 °C)	—	5.09	0.469	0.401	64.1	—
	UF ₆ 液体 (121 °C)	—	3.26	0.563	165.4		

B.4 一般の試験条件

一般の試験条件のうち、熱的試験（環境試験）はB型輸送物に課せられるものであるため、IP-1型六ふっ化ウラン輸送物である本輸送物においては該当しない。

B.4.1 熱解析モデル

該当しない

B.4.2 最高温度

該当しない

B.4.3 最低温度

該当しない

B.4.4 最大内圧

該当しない

B.4.5 最大熱応力

該当しない

B.4.6 結果の要約及びその評価

該当しない

B.5 特別の試験条件

B.5.1 熱解析モデル

特別の試験条件下における本輸送物の熱解析は、汎用解析コード ABAQUS を用いて計算する。

以下に熱解析に使用した解析モデルについて示す。

B.5.1.1 解析モデル

本輸送物は、シリンダ、弁保護具、耐熱キャップ及び収納物からなる。また、収納物については、最小充填量（充填量 8,800 kg）及び最大充填量（充填量 12,500 kg）のそれぞれについて、モデル化を行った。

本輸送物の対称性から、解析モデルは 1/4 モデルとした。充填量 8,800 kg の場合及び充填量 12,500 kg の場合のそれぞれについて、解析モデル図を(ロ)-第B.1図及び(ロ)-第B.2図に示す。また、境界条件図を(ロ)-第B.3図及び(ロ)-第B.4図に、各部の放射率を(ロ)-第B.2表に示す。

まず、火災前の本輸送物の各部温度を求めるため、このモデルを外部雰囲気 38 °C の環境に置いた上で規則に定められた放射熱（(ロ)-第B.3表参照）を 12 時間毎に与え、本輸送物の各部温度が定常に達するまでの熱解析を行った。その

結果、本輸送容器の最高温度は 65 °C、収納物の最高温度は 54 °C であった。この結果を火災時の本輸送物の初期条件とし、以降の解析を実施した。

火災時の条件として、規則に定められた放射熱を付加しつつ、800 °C の周囲温度条件下に 30 分間置き、本輸送物の各部温度の過渡的变化を計算した。さらに火災終了後の条件として、火災前と同様に、外部雰囲気 38 °C の環境に置いた上で規則に定められた放射熱を与え、30 分間の過渡的变化を計算した。

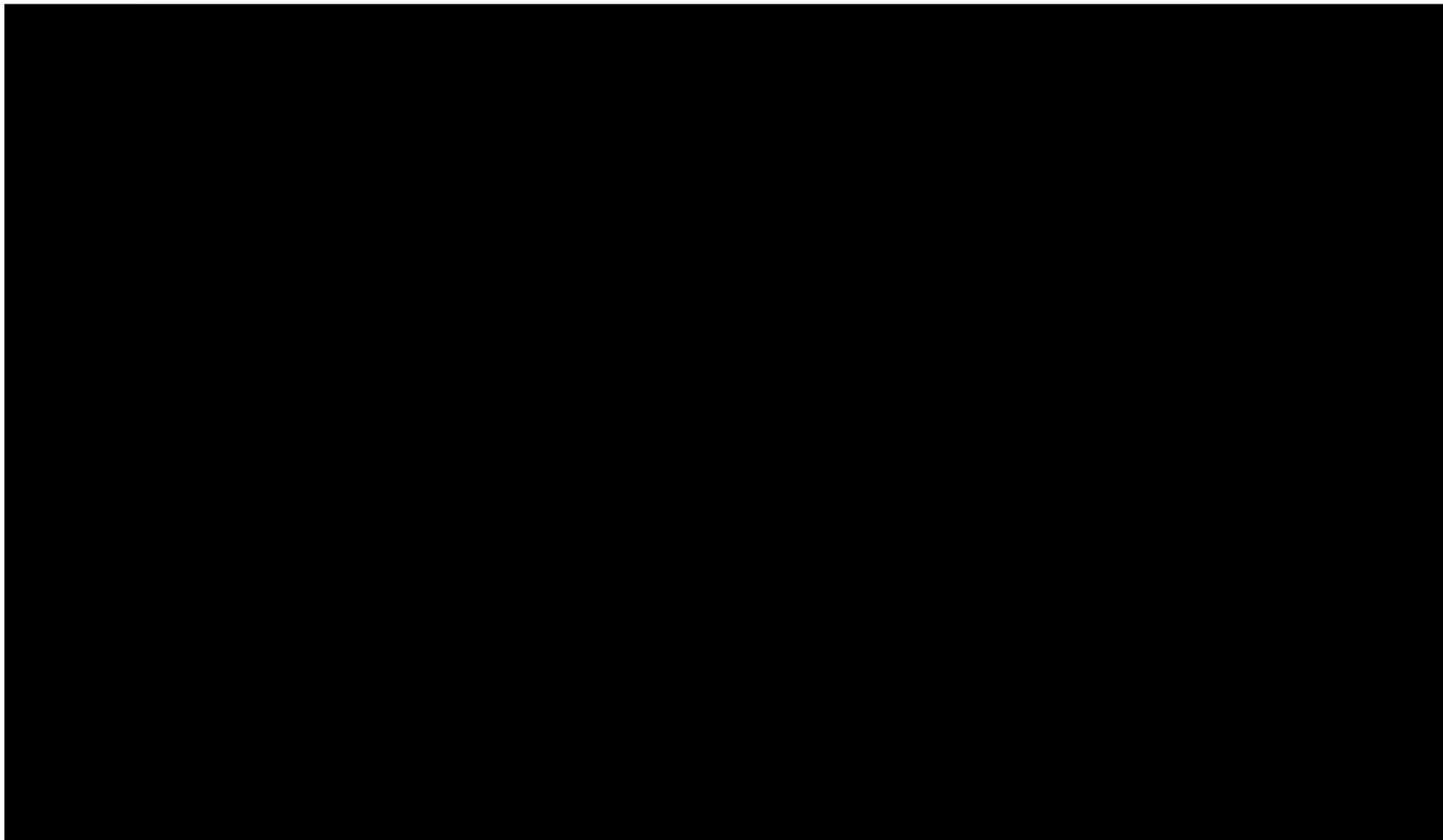
なお、本解析においては、収納物の融解による体積増加を模擬するために、収納物の温度を監視し、温度上昇によって増加した体積に相当する要素を追加するという手法を用いている（付属書類-1 参照）。

(ロ)-第B.2表 放射率一覧

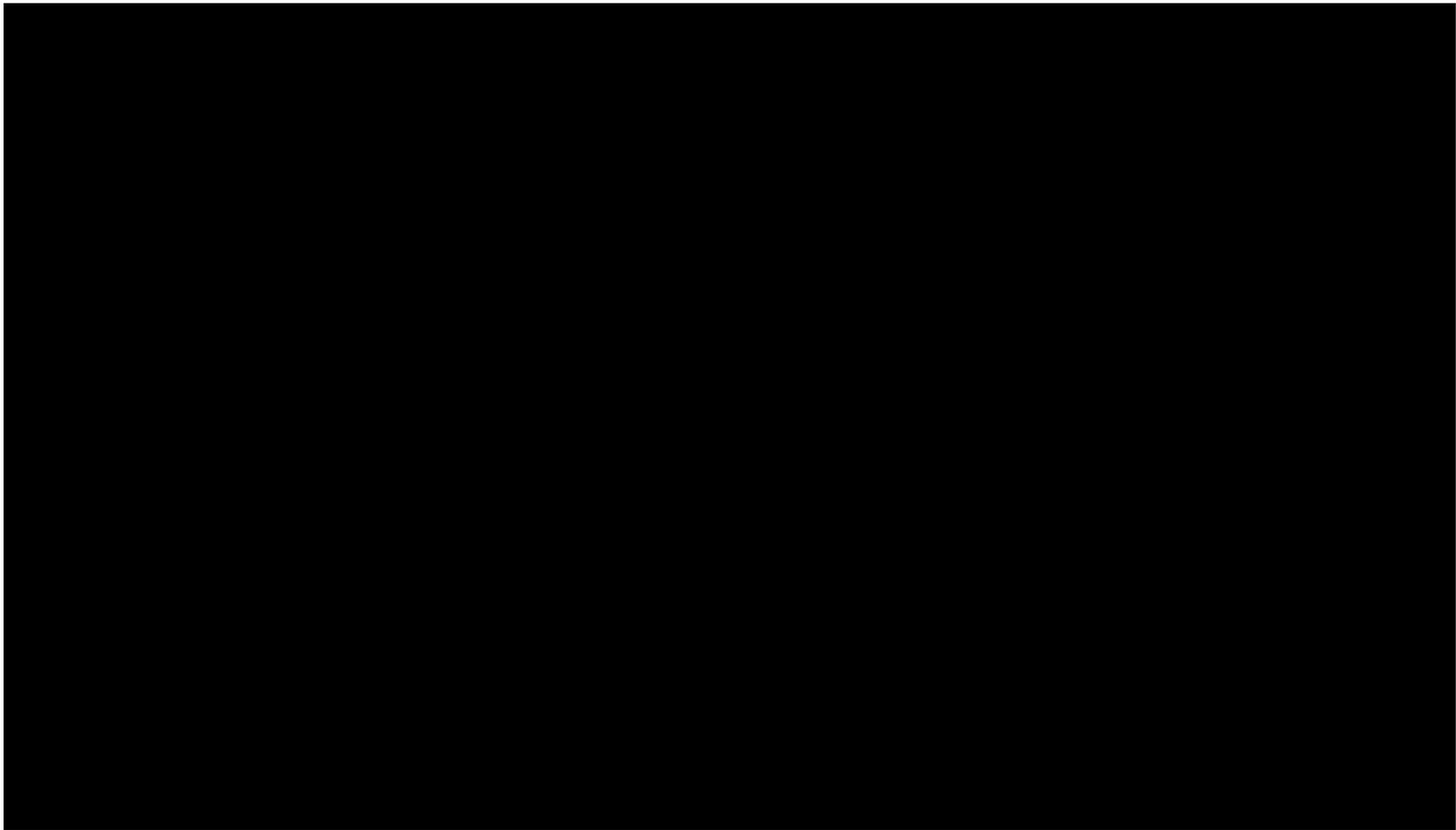
部 位		放射率	
		外表面	内表面
シリンダ	火災前	0.6	0.8
	火災時	0.8	
	火災終了後	0.6	
弁保護具		0.8	0.8
耐熱キャップ		0.8	0.8
UF ₆ 自由表面		■	
外部雰囲気	火災前	1.0	
	火災時	0.9	
	火災終了後	1.0	

(ロ)-第B.3表 放射熱一覧

部 位	放射熱 (W/m ²)
水平上向きの面 (曲面)	400
垂直の面	200



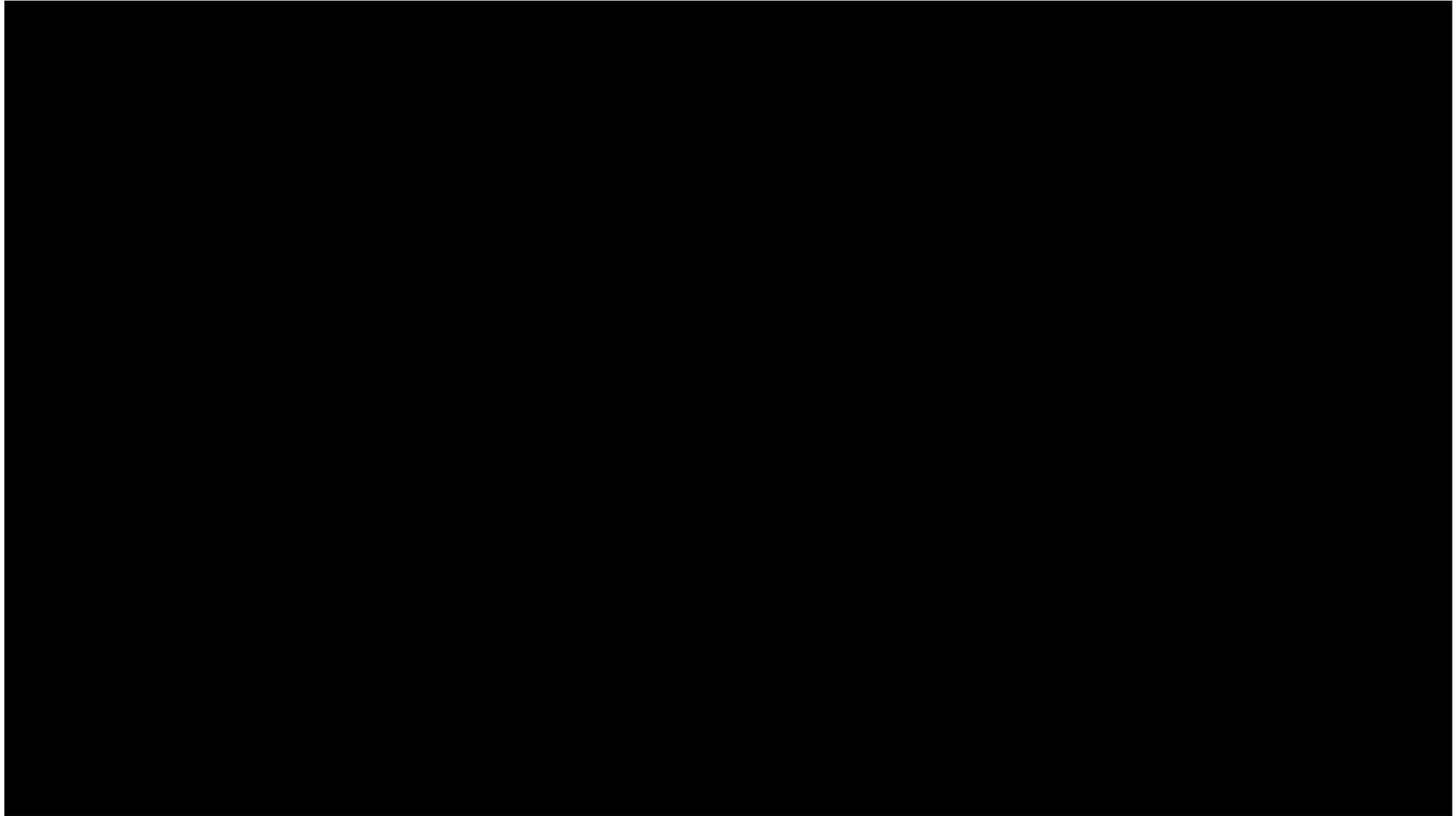
(ロ)-第B.1図 解析モデル図 (充填量 8,800 kg の場合)



(ロ)-第B.2図 解析モデル図 (充填量 12,500 kg の場合)



(ロ)-第B.3図 境界条件図 (伝導及び外部雰囲気との境界条件)



(口)-第B.4图 境界条件图 (放射定義位置)

B.5.1.2 試験モデル

該当しない

B.5.2 核燃料輸送物の評価条件

該当しない

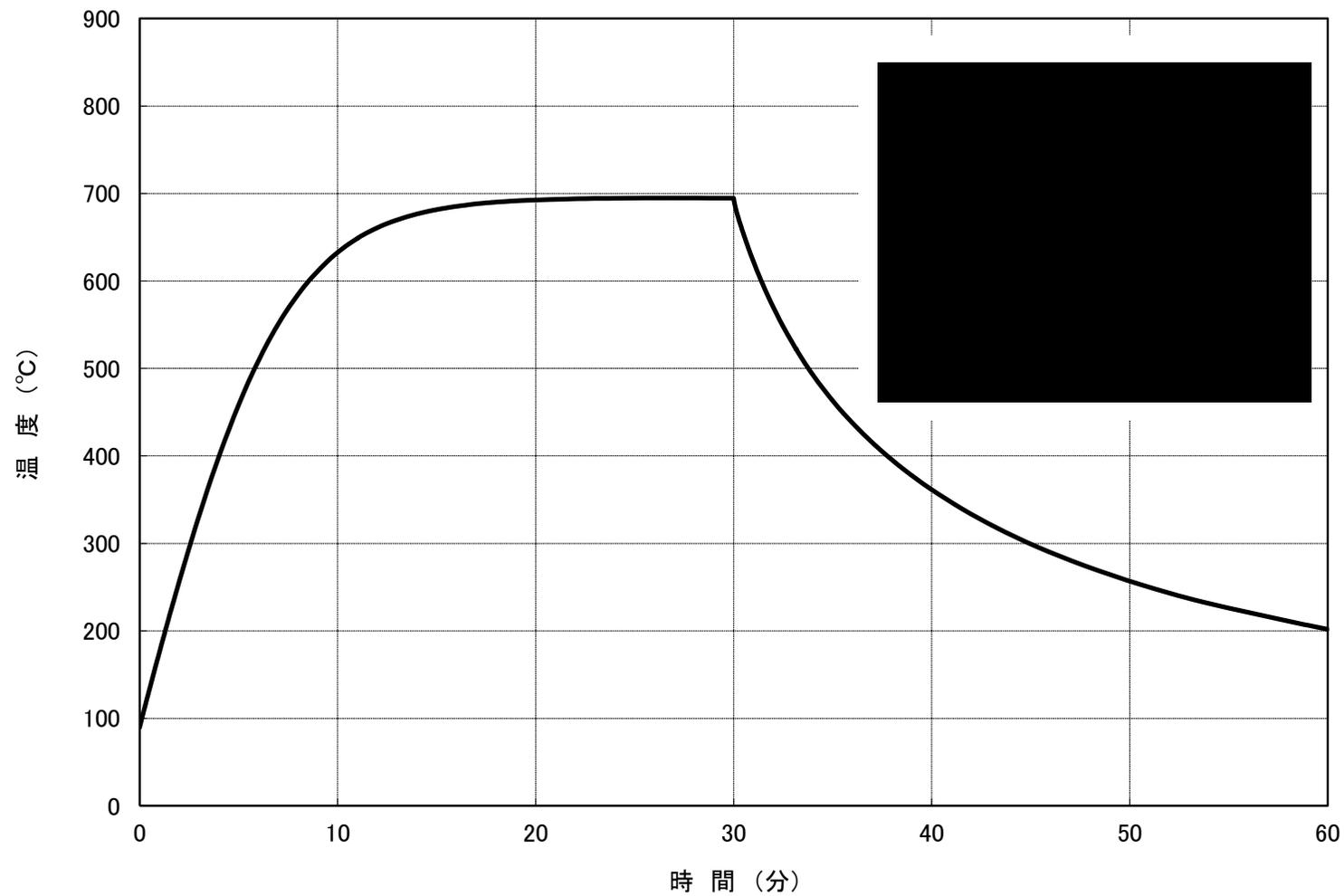
B.5.3 核燃料輸送物温度

特別の試験条件下における火災終了後 30 分までの本輸送物の各部温度時刻歴を、充填量 8,800 kg の場合について(ロ)-第B.5 図～(ロ)-第B.9 図に、充填量 12,500 kg の場合について(ロ)-第B.10 図～(ロ)-第B.14 図に示す。また、これらから、特別の試験条件下における本輸送物の各部の温度を(ロ)-第B.4 表に示す。

なお、本解析においては、[] するために、[]
[] することで、[] させている（附属書類－
1 参照）。この際、[] としてい
るため、[] こと及び []
[] することにより、これまで []
[] が発生し、[]
[] する。その後、[] が起こるため、[]
[] は抑えられる。このため、(ロ)-第B.9 図及び(ロ)-第B.14 図では、断続的な
温度上昇が示されている。

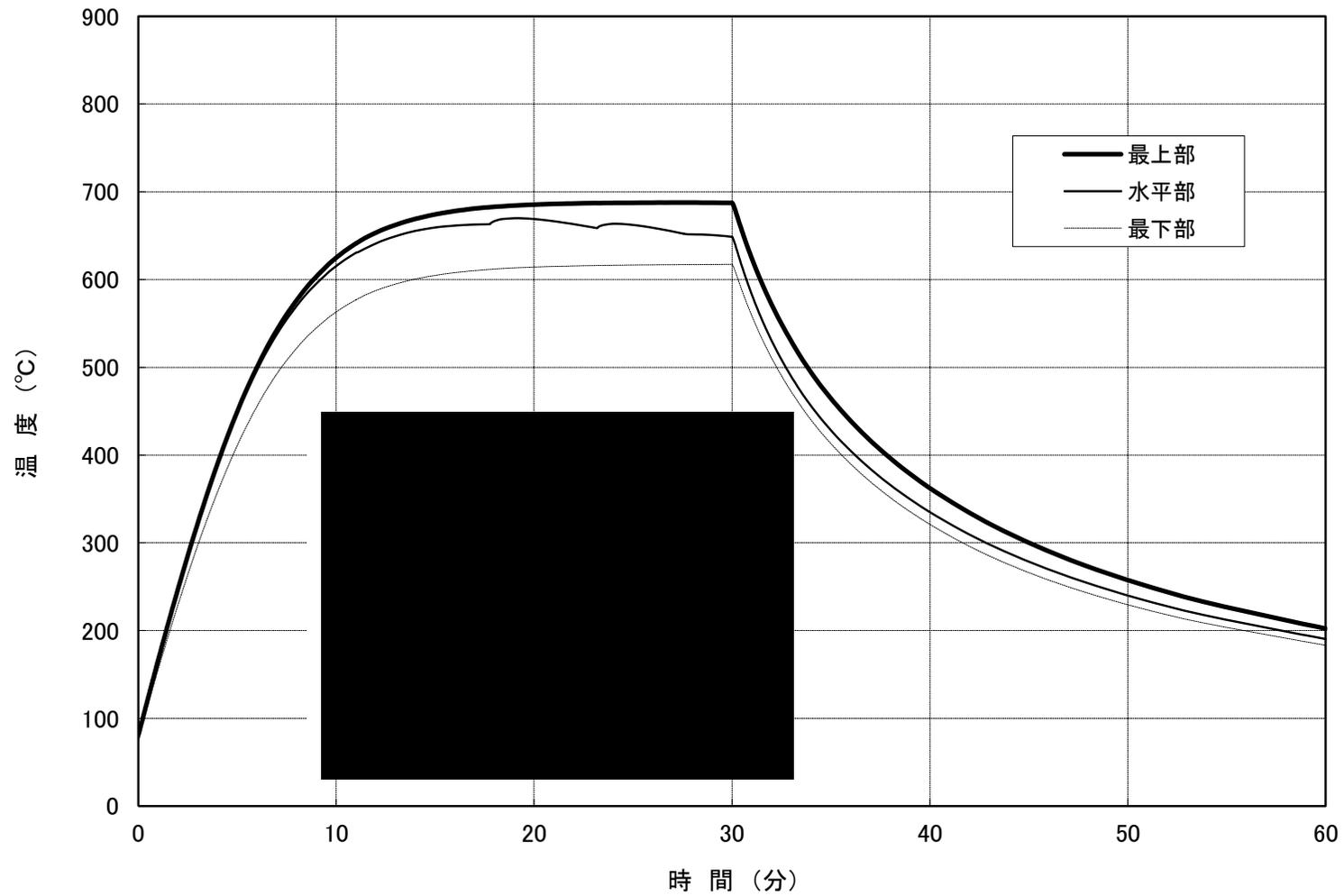
火災時の入熱により、弁取付け部の温度は 182 °C まで上昇する。弁取付け部のハンダの融解は、固相線温度 183 °C と液相線温度 215 °C の間で起こるが、電力中央研究所の実験¹⁾²⁾では、200 °C の場合にも漏えいは検出されていない。これは、液相線温度近辺までは、ハンダが全て溶融しないこと及び弁がねじ込まれていることにより、漏えいの経路ができないためであると考えられる。

また、耐熱キャップの最高温度は充填量 8,800 kg の場合、充填量 12,500 kg の場合ともに 797 °C であり、断熱材の最高使用温度（1,260 °C）を十分下回っており、問題はない。

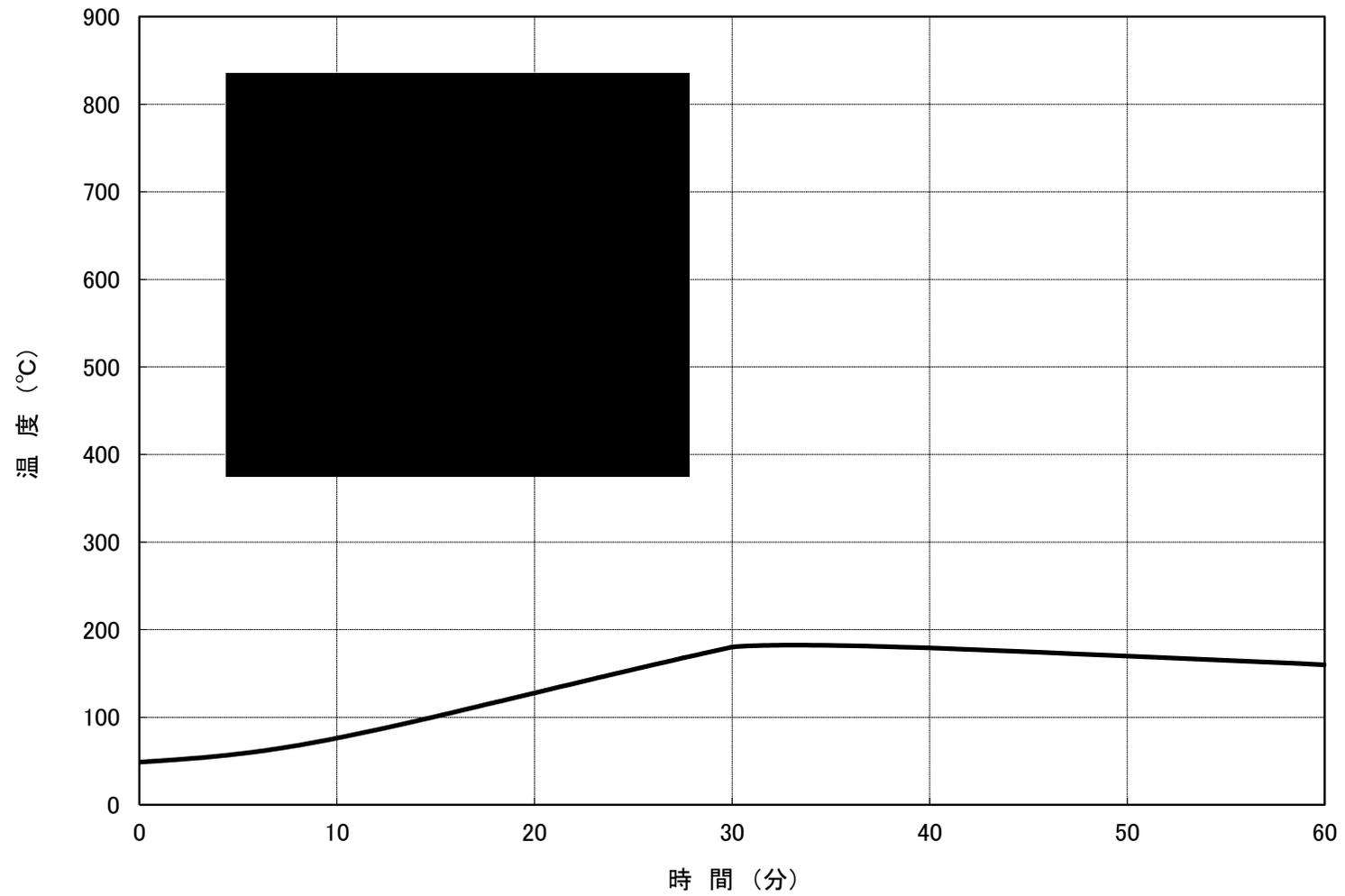


(ロ)-第B.5 図 シリンダ外表面最高温度発生位置における温度時刻歴 (充填量 8,800 kg の場合)

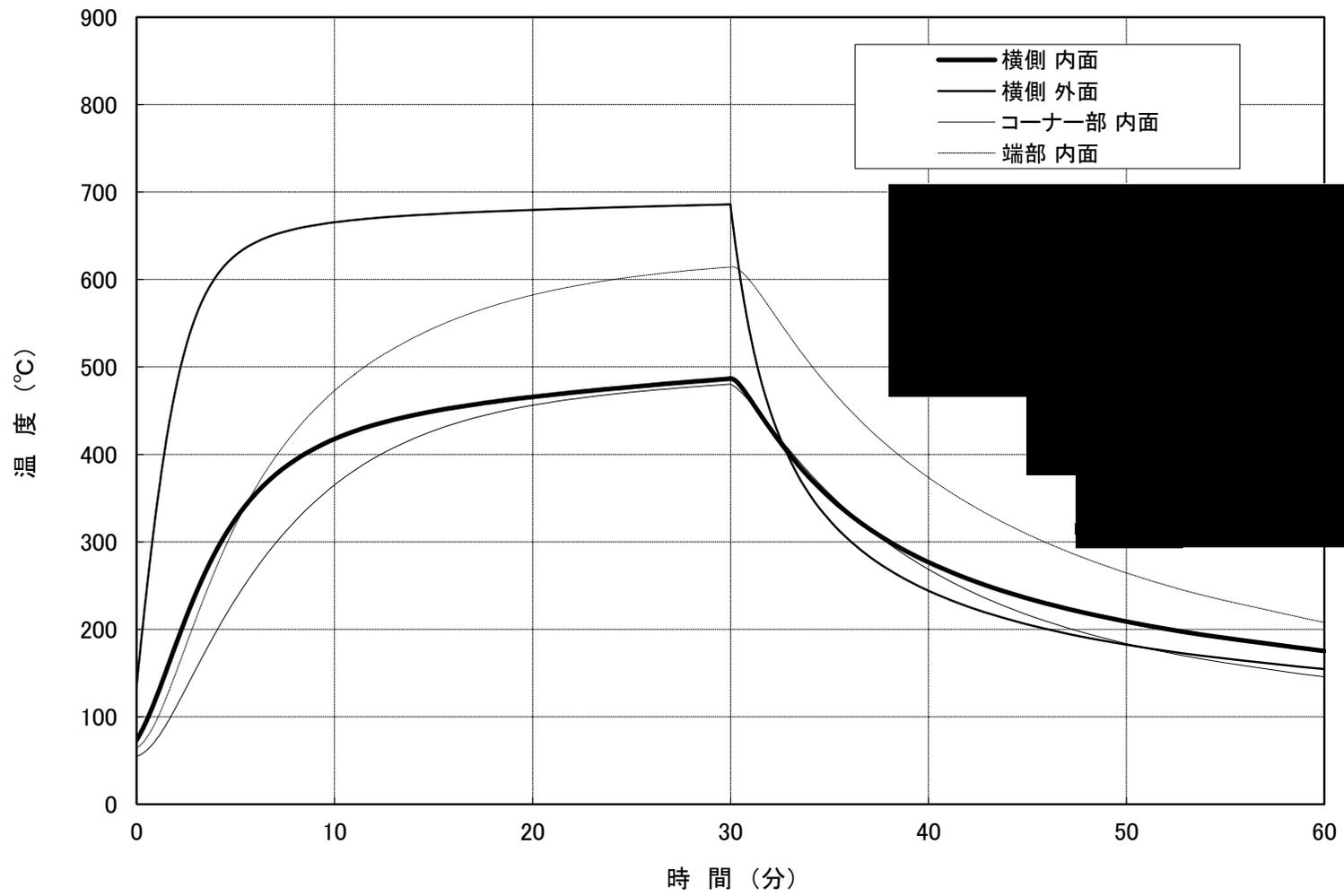
(甲)-B-10



(ロ)-第B.6図 シリンダ内表面における温度時刻歴 (充填量 8,800 kg の場合)

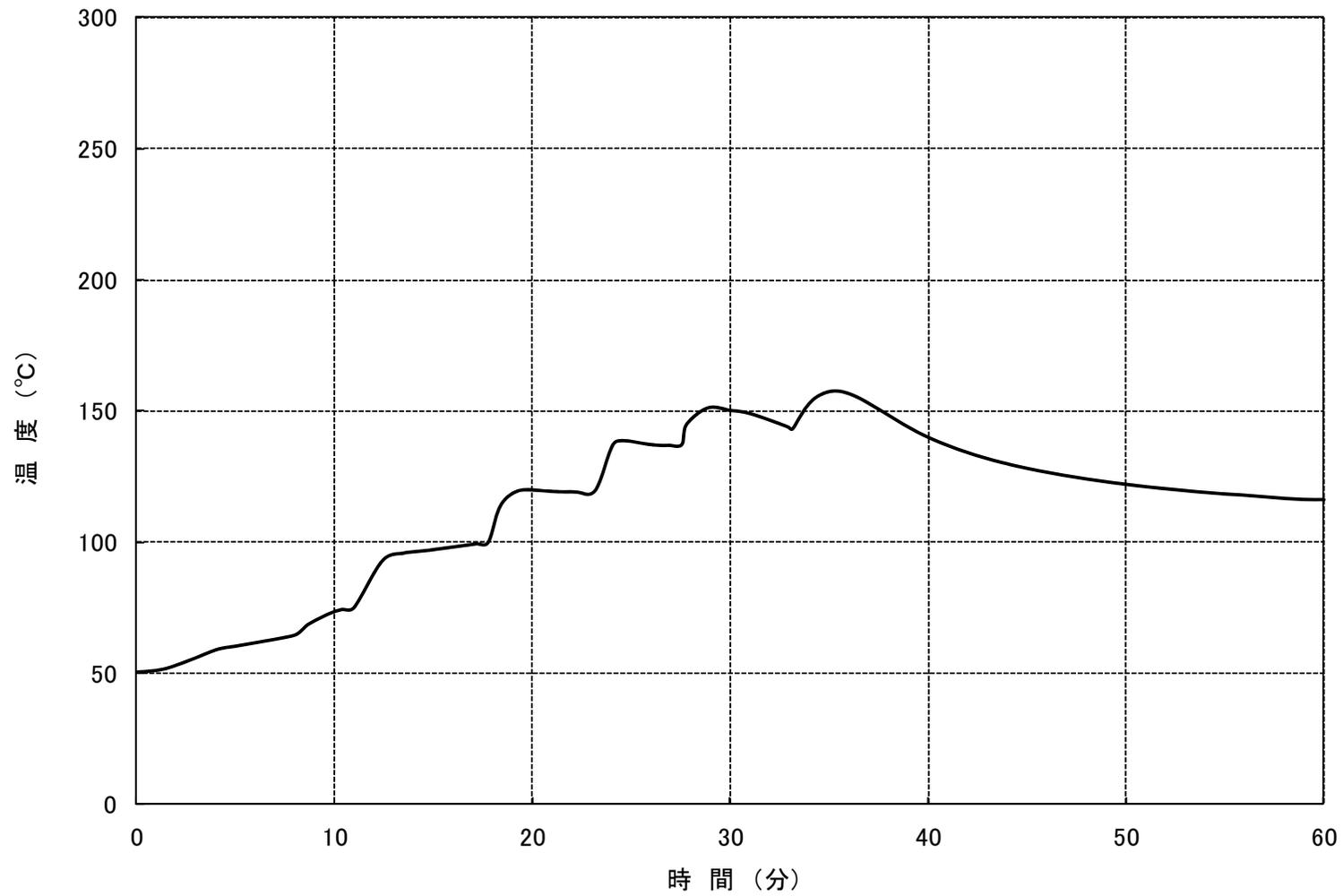


(ロ)-第B.7図 弁取付け部における温度時刻歴 (充填量 8,800 kg の場合)



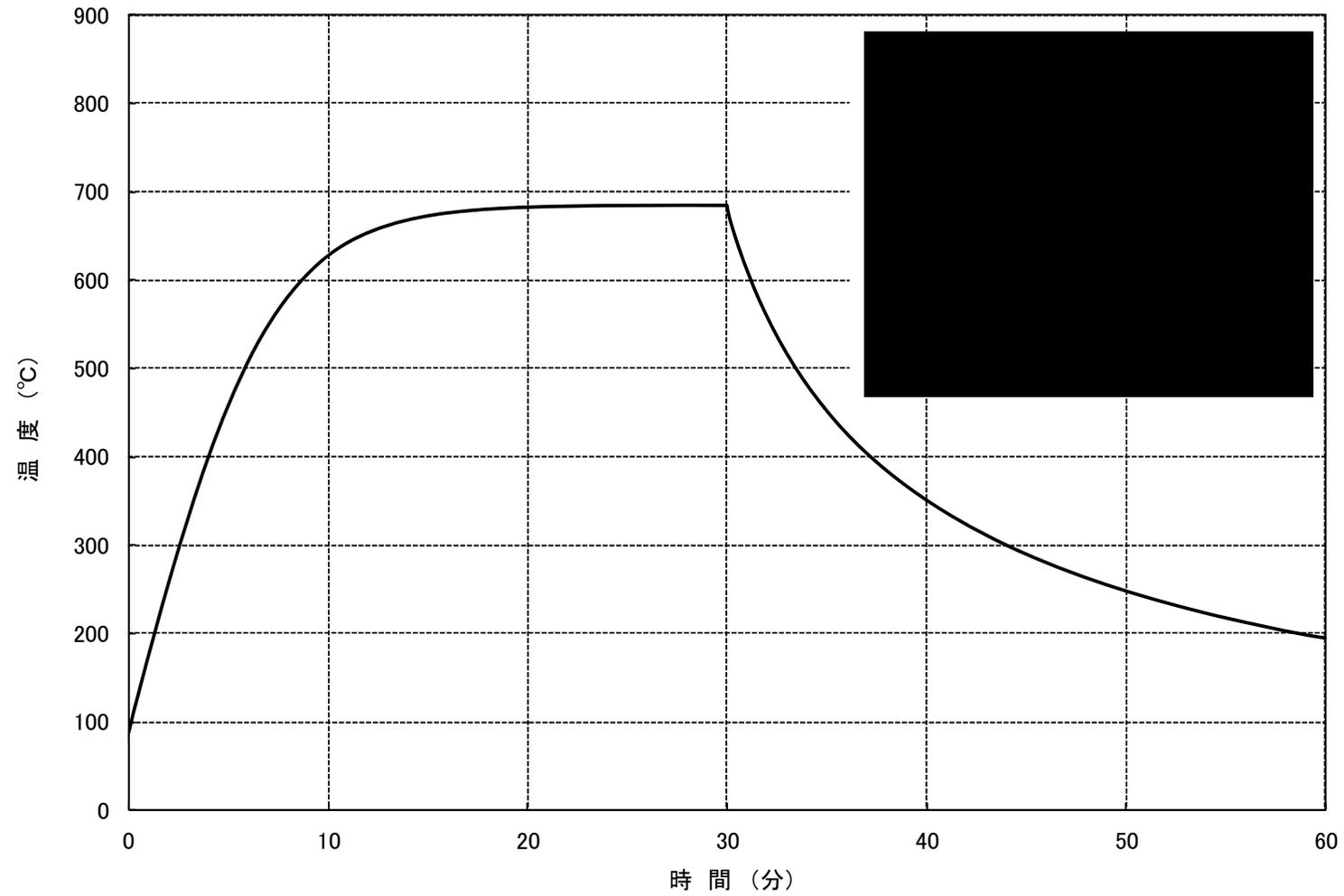
(ロ)-第B.8図 耐熱キャップの温度時刻歴 (充填量8,800 kgの場合)

(甲)-B-13



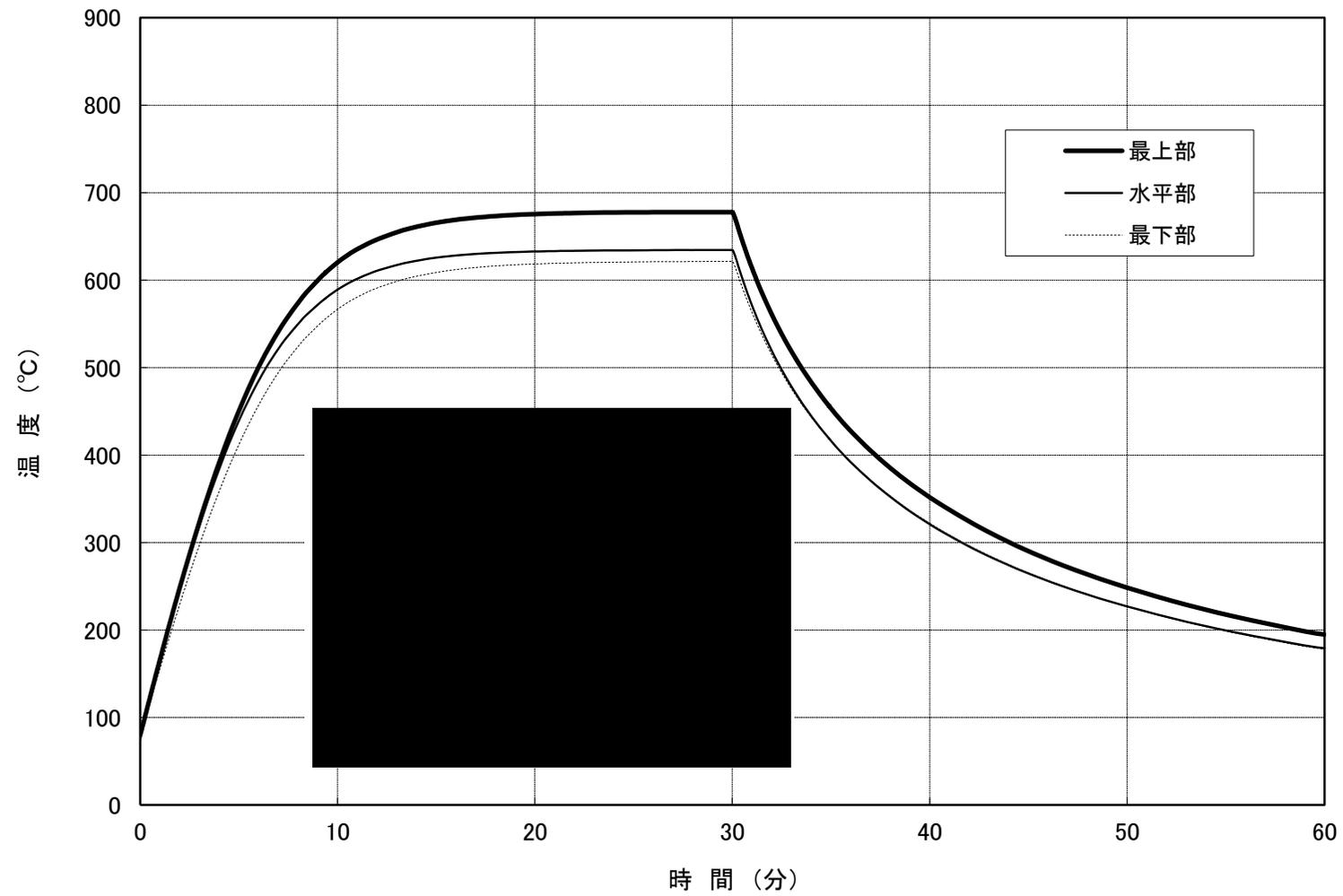
(ロ)-第B.9図 収納物自由表面における平均温度時刻歴 (充填量 8,800 kg の場合)

(甲)-B-14



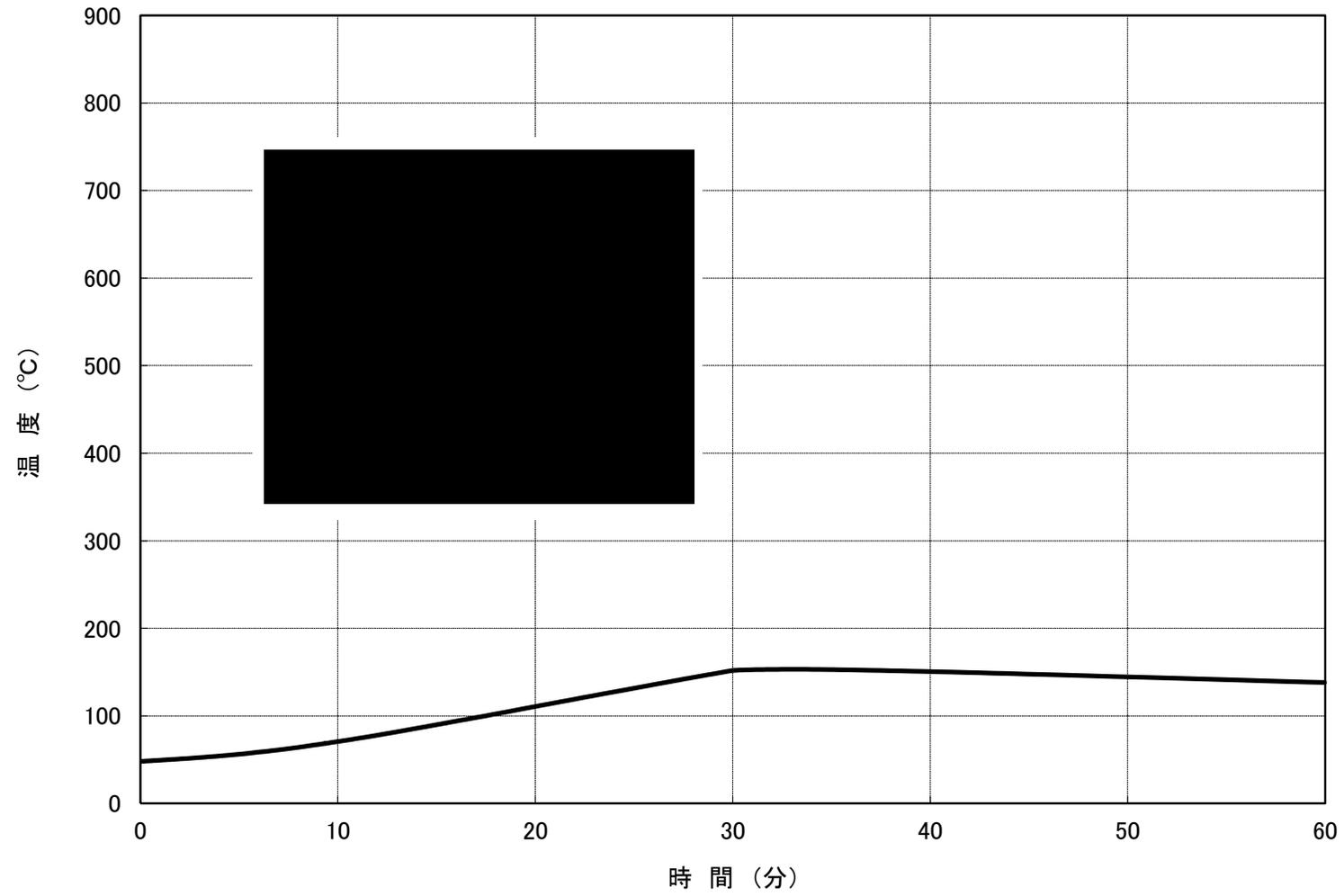
(ロ)-第B.10図 シリンダ外表面最高温度発生位置における温度時刻歴 (充填量 12,500 kg の場合)

(甲)-B-15

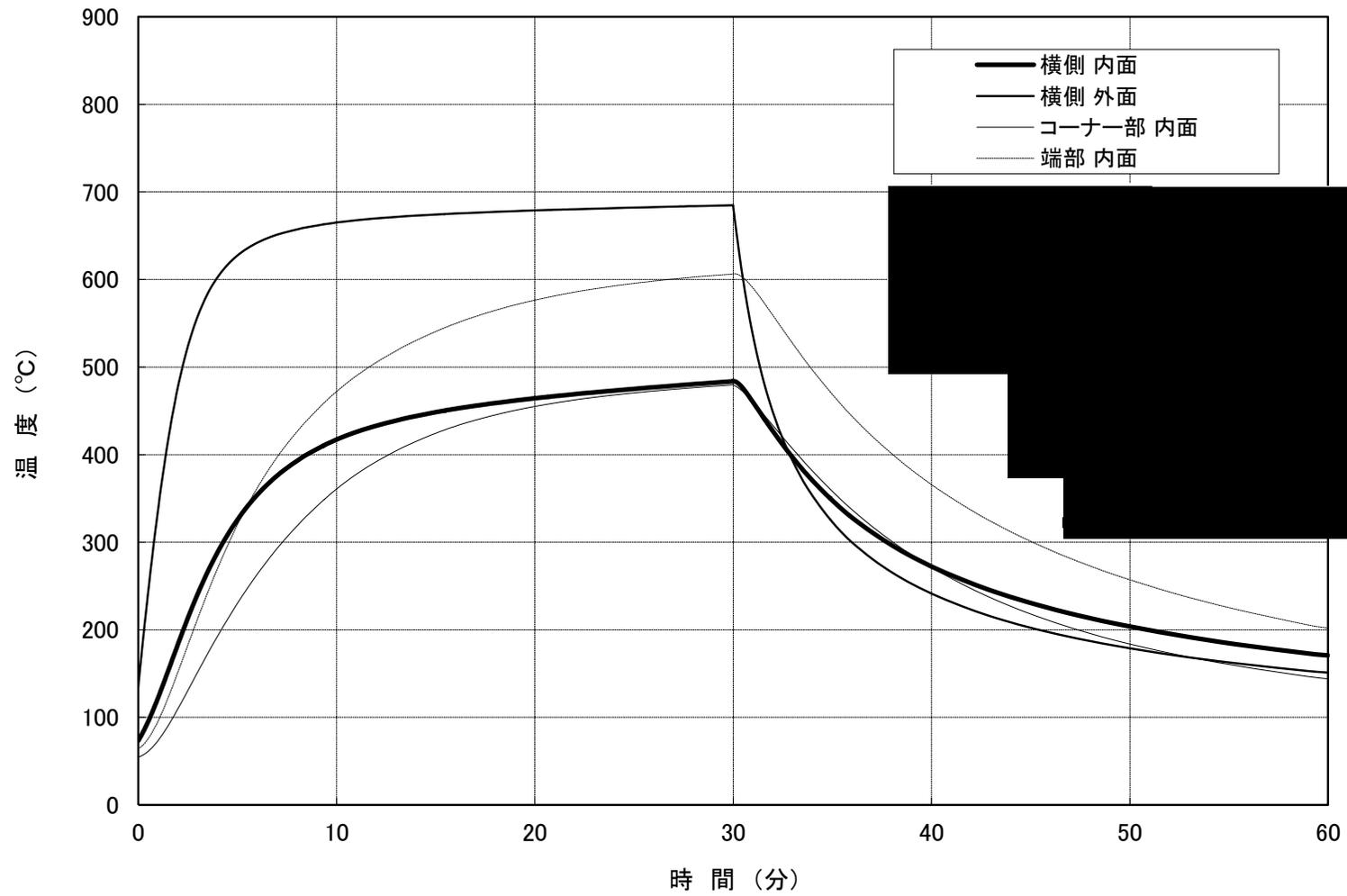


(ロ)-第B.11図 シリンダ内表面における温度時刻歴 (充填量 12,500 kg の場合)

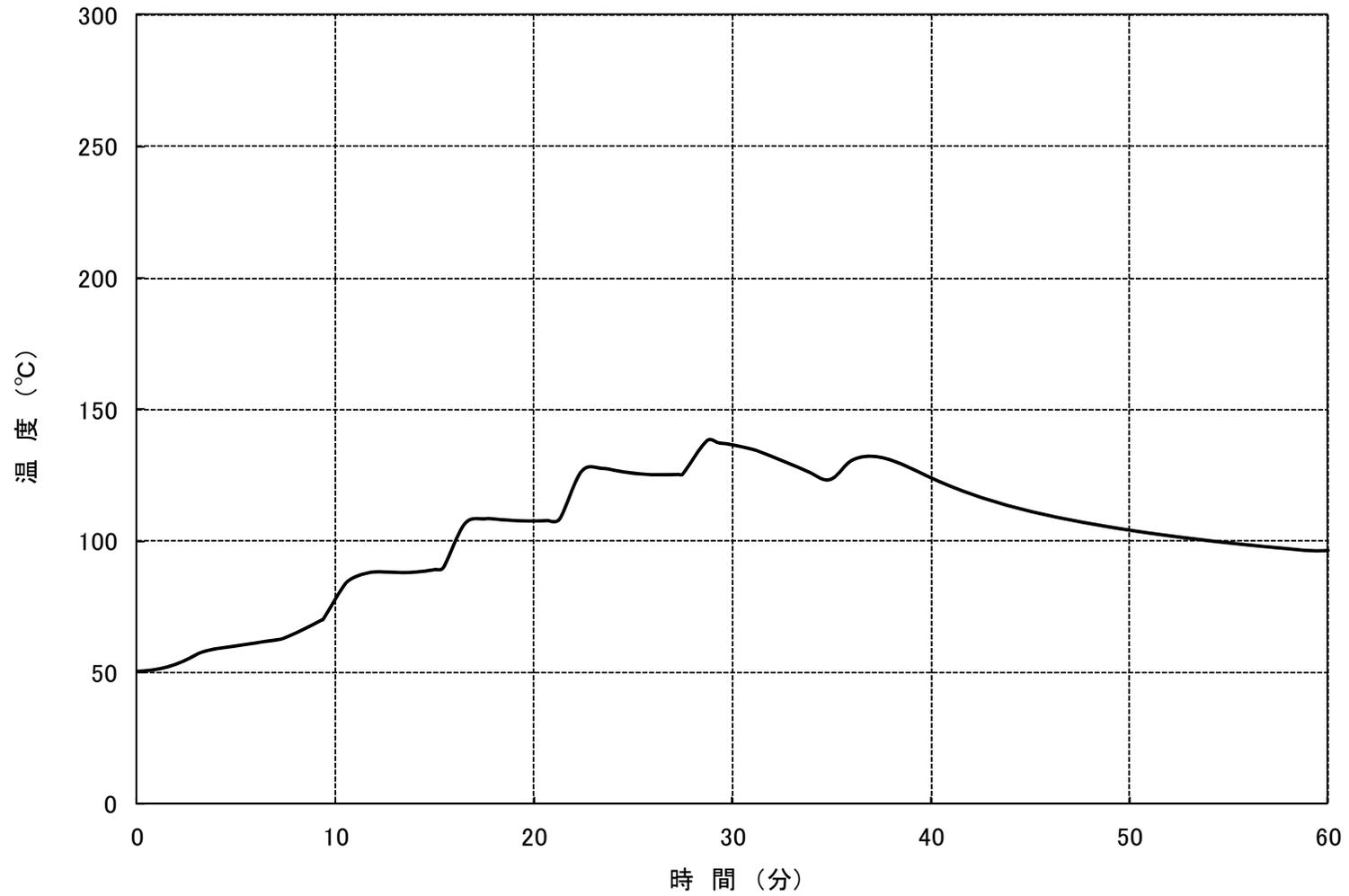
(甲)-B-16



(ロ)-第B.12図 弁取付け部における温度時刻歴 (充填量 12,500 kg の場合)



(ロ)-第B.13図 耐熱キャップの温度時刻歴 (充填量 12,500 kg の場合)



(ロ)-第B.14図 収納物自由表面における平均温度時刻歴 (充填量 12,500 kg の場合)

(ロ)-第B.4表 輸送物の各部温度

部 位			温 度 (°C)			
			充填量 8,800 kg の場合		充填量 12,500 kg の場合	
			火災前	火災開始後	火災前	火災開始後
シリンダ	外面 (最大値)		58	695	58	685
	内面	最上部	58	688	58	678
		水平部	57	670	57	634
		最下部	57	617	57	621
弁取付け部			48	182	48	153
耐熱 キャップ	横 側	内面	63	487	63	484
		外面	65	686	65	685
	コーナー部	内面	53	481	53	480
	端 部	内面	61	615	61	607
	最高温度		—	797	—	797
弁保護具	最高温度		—	472	—	471
収納物	軸方向 中央断面	接触部	54	232	53	204
		中央部	52	194	51	170
		平均	—	205	—	183
	自由表面	平均	—	158	—	138

B.5.4 最大内圧

特別の試験条件下における本輸送物のシリンダの最大内圧について、以下に示す。

シリンダに生じる内圧は、収納物の自由表面温度から求められる飽和蒸気圧（(イ)-第6図参照）により求められる。ここで、充填量 8,800 kg の場合のシリンダ内圧の時刻歴を(ロ)-第B.15図に、充填量 12,500 kg の場合を(ロ)-第B.16図にそれぞれ示す。これらより、特別の試験条件下で生じるシリンダの最大内圧は、充填量 8,800 kg の場合で \blacksquare MPa、充填量 12,500 kg の場合で \blacksquare MPa である。

なお、シリンダ内圧は収納物の自由表面温度から求めているため、収納物の自由表面温度の時刻歴（(ロ)-第B.9図及び(ロ)-第B.14図）と同様の断続的な圧力上昇が示されている（B.5.3参照）。

シリンダの構造材には、中低温圧力容器用炭素鋼（ASTM A516（Grade 60））が使用されており、シリンダが高温（600℃以上）となる条件下では、材料強度の低下が無視し得ない。そこで、火災開始から火災終了後 30 分までにおけるクリープ損傷度を以下のとおり算出し、クリープ破断の評価を行った。なお、火災終了後 30 分にはシリンダ温度が 200℃程度まで低下するため、高温によるシリンダの材料強度の低下は無視できる。

シリンダ内圧（P）から、シリンダにかかる応力（ σ ）は、下式により求められる。

$$\sigma = \frac{P \cdot D}{2 t \cdot \eta}$$

ここで、D（シリンダ直径）= 1219（mm）

t（シリンダ板厚）= 15.9（mm）

η （溶接効率）= 0.85・・・シリンダ長手継手には、ASME 規格に基づく部分放射線透過検査を適用

このとき、温度（T）のシリンダ材料に応力（ σ ）が付加された場合に、シリンダ材料がクリープ破断するまでの時間（ t_r ）は、以下の予測式（電力中央研究所にてクリープ破断試験結果を基に整理された式³⁾）により求められる。

$$\log t_r = \left(\frac{1}{T + 273} - 0.00139 \right) \cdot \left(\frac{\sigma + 63.26}{0.00651} \right) + 6.507$$

これらより、火災開始から火災終了後 30 分までの単位時間毎のクリープ破断時間（ t_r ）から、クリープ損傷度（ D_c ）を下式³⁾により求める。

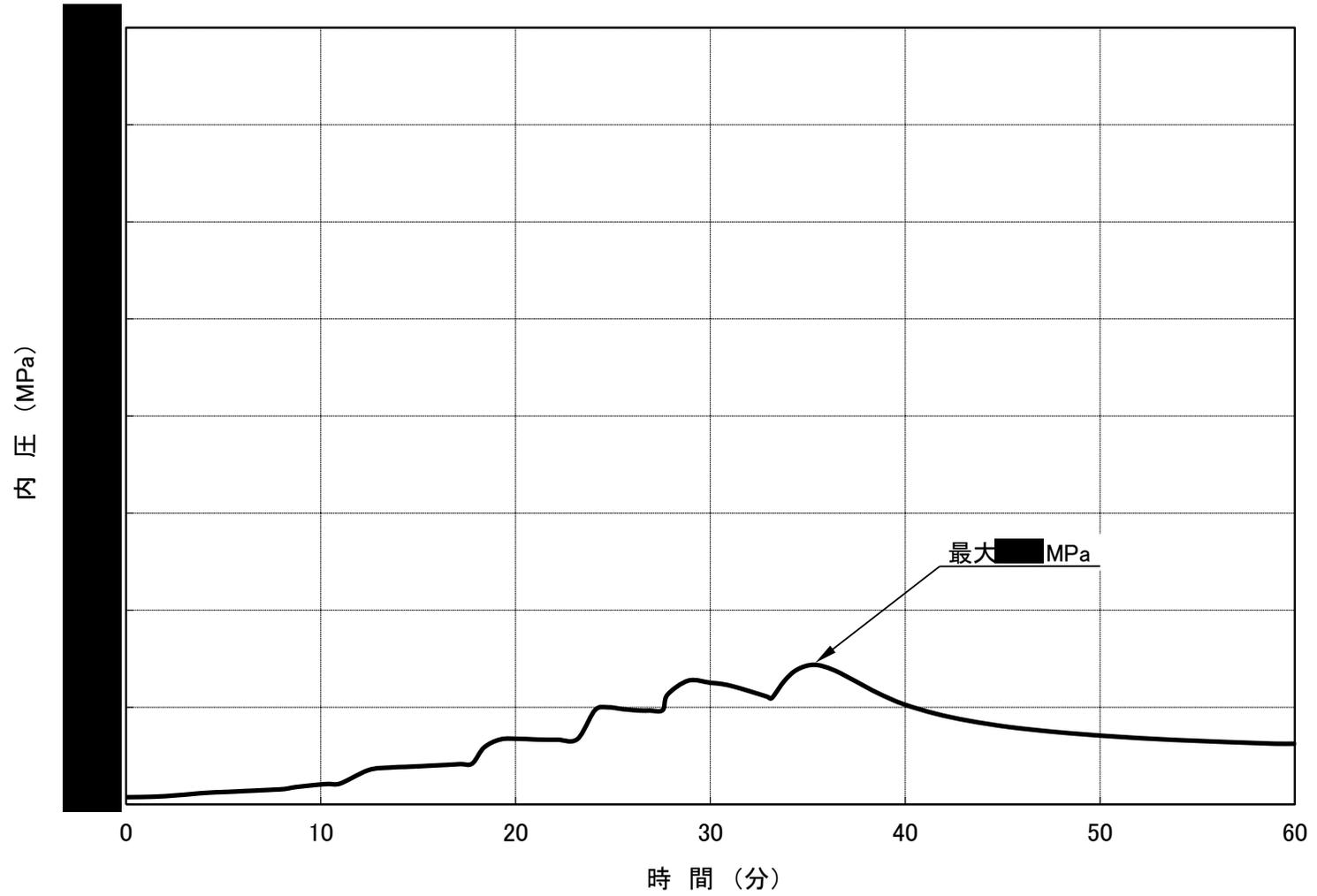
$$D_c = \int_0^t \frac{1}{t_r(T, \sigma)} dt$$

∴ 充填量 8,800 kg の場合で、 $D_c \doteq 0.119$

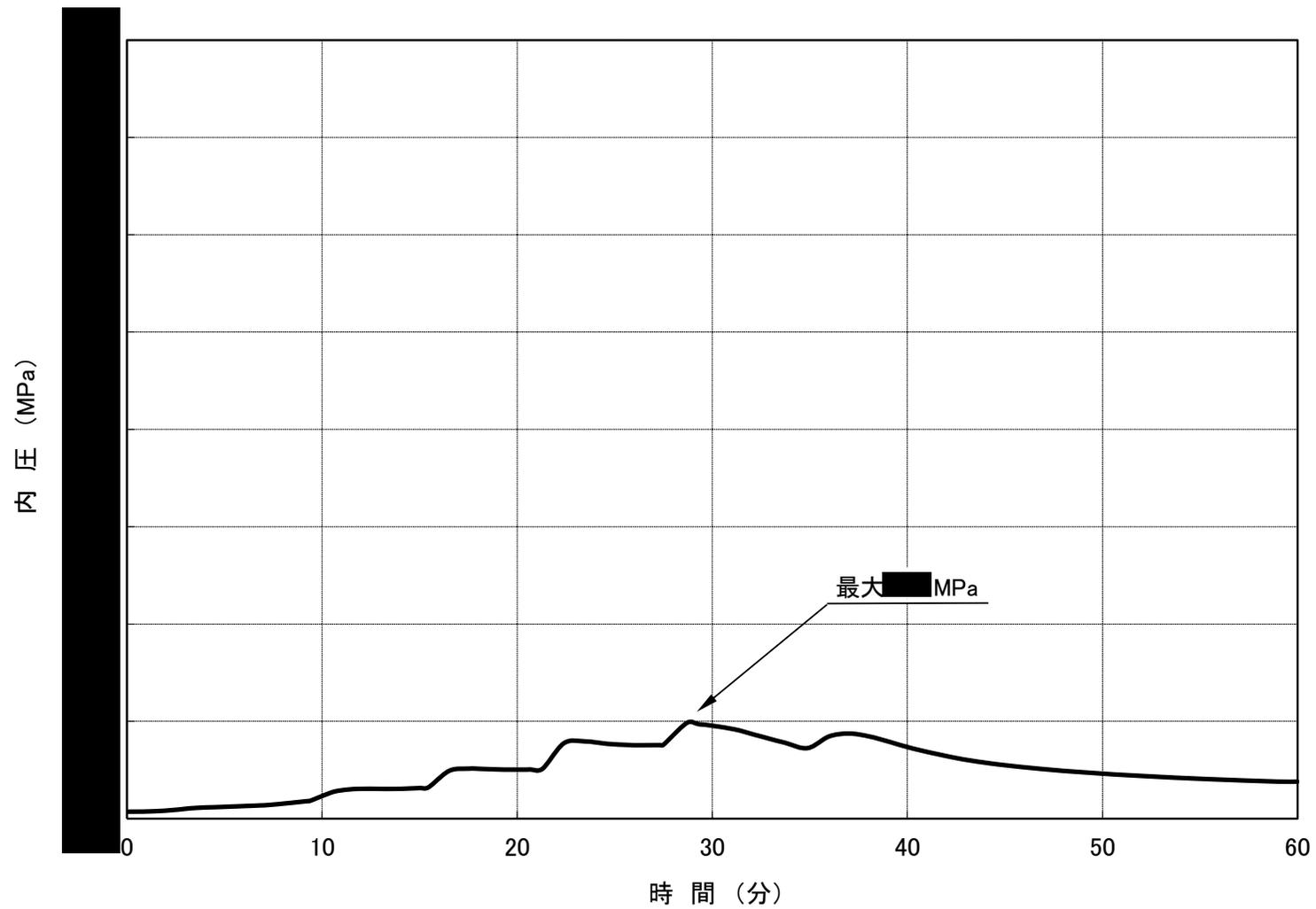
充填量 12,500 kg の場合で、 $D_c \doteq 0.0769$

上式の定義からは、クリープ損傷度（ D_c ）が 1 以下であればクリープ破断は起きないといえるが、実験結果等より、クリープ破断を起こさないためには $D_c \leq 0.25$ であることを求められており³⁾、本輸送物はこの基準を満足する。

したがって、特別の試験条件下において、シリンダが内圧により破断しないことが確認された。



(ロ)-第B.15図 収納物自由表面における平均温度から算出した容器内圧時刻歴 (充填量 8,800 kg の場合)



(甲)-第B.16図 収納物自由表面における平均温度から算出した容器内圧時刻歴 (充填量 12,500 kg の場合)

B.5.5 最大熱応力

特別の試験条件下において発生する熱応力は、シリンダ内の温度差に応じて生じる。ただし、シリンダは板厚 15.9 mm と薄いことから、シリンダ内の温度差によって生じる熱応力は無視できる。

B.5.6 結果の要約及びその評価

特別の試験条件下における熱解析結果に基づく評価は以下に示すとおりであり、構造強度、密封性能及び遮蔽性能に問題がないことが確認された。

(1) 構造強度について

構造強度上問題になると考えられる最大内圧、熱応力及び最高温度について以下に示す。

最大内圧については、充填量 8,800 kg の場合で ■■■■MPa、充填量 12,500 kg の場合で ■■■■MPa である。シリンダの高温となる条件下での内圧の影響については、クリープ損傷度を算出し、この値が基準値以下であることから、構造上問題はない。

熱応力については、シリンダの板厚が薄いことから無視できる。

最高温度については、本輸送物の構造材であるシリンダの融点及び断熱材の最高使用温度を下回っており、問題はない。

(2) 密封性能について

密封性能上問題となると考えられる弁取付け部の最高温度は、充填量 8,800 kg の場合で 182 °C、充填量 12,500 kg の場合で 153 °C であり、弁取付け部の漏えい試験では 200 °C でも漏えいが検出されていないことから、弁取付け部の密封性は保たれる。

(3) 遮蔽性能について

本輸送物において、遮蔽材となるシリンダは、熱応力等により遮蔽上問題となるような有害な変形はない。

B.6 付属書類

参考文献

- 1) (平成5年度科学技術庁委託事業)
平成5年度「天然六フッ化ウラン輸送容器安全性実証試験」
事業成果報告書(資料集別冊) 62頁～115頁
- 2) (平成6年度科学技術庁委託事業)
平成6年度「天然六フッ化ウラン輸送容器安全性実証試験」
事業成果報告書(資料集別冊) 4頁～44頁
- 3) K. Shirai, M. Wataru and T. Saegusa, “DEMONSTRATIVE RUPTURE TEST AND SAFETY EVALUATION OF A NATURAL UF₆ TRANSPORT CYLINDER AT HIGH TEMPERATURE”, CRIEPI, (2001).

B.6.1 付属書類-1

収納物の融解による体積増加の模擬について

B.6.2 付属書類-2

耐火解析における解析手法の妥当性確認について

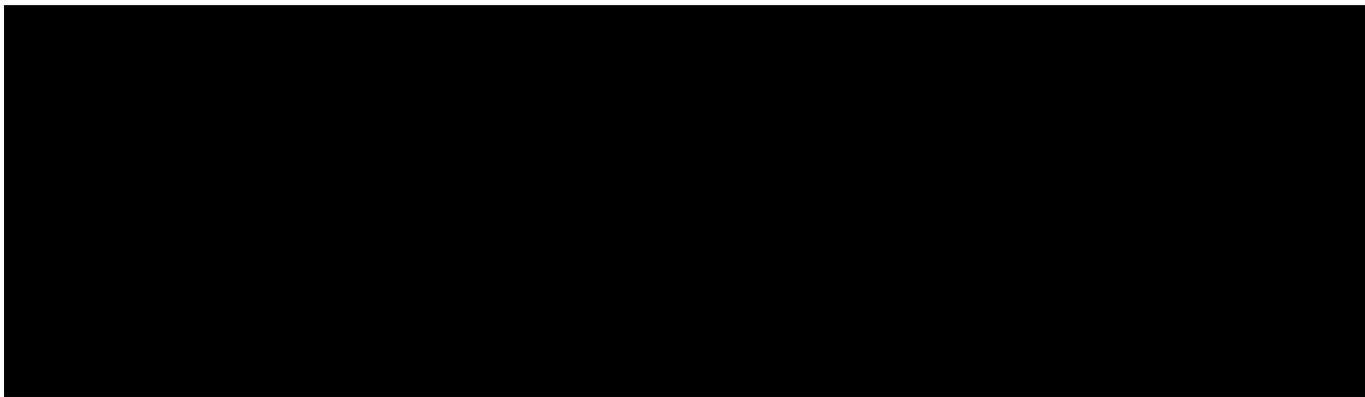
付属書類－1 収納物の融解による体積増加の模擬について

本輸送物の収納物は六ふっ化ウランであり、火災条件下で収納物温度が六ふっ化ウランの融点（64.1℃）を超えることから、火災条件下での収納物の融解による体積増加を無視し得ない。

そこで、本解析においては、
を用いて収納物の体積増加を模擬した。

具体的な手順を以下に示す。

- (1) 解析モデルについて、しておく（(ロ)-第B.1図及び(ロ)-第B.2図参照）。
- (2) 火災条件下での解析において、し、そのする。
- (3) 上記によりとき、（(ロ)-第B付.1.1図参照）。
なお、とする。
- (4) 解析終了まで、上記(2)及び(3)を繰り返し行う。



(ロ)-第B付.1.1図 体積増加の模擬

付属書類－2 耐火解析における解析手法の妥当性確認について

1. 目的

耐火試験要件に対する48Yシリンダ容器内の天然六ふっ化ウランの熱的挙動を評価するため、平成2年度から平成7年度にかけて、日仏共同研究として、電力中央研究所とフランス原子力安全防護研究所（IPSN）との共同で、TENERIFEプログラムが実施された¹⁾。

このプログラムでは、実際の天然六ふっ化ウランを充填したシリンダを用いて耐火試験が行われた。

上記耐火試験について、本輸送物の熱解析と同一の手法を用いて再現解析を行い、解析手法の妥当性を確認した。

2. 解析条件

上記耐火試験における試験体としては、48Yシリンダの軸方向長さを3分の1とした短尺シリンダに、4.4tの天然六ふっ化ウランが収納されたものが使用されていた。

また、短尺シリンダの両端面には耐熱保護カバーが取付けられていた。

この試験体の解析モデルと温度測定位置を(ロ)-第B付.2.1図に示す。

また、耐火試験としては、上記試験体を真空耐火炉に設置し、ヒーターにて最高約800℃まで加熱した。加熱時間は24分間であった。

再現解析では、上記ヒーター温度に相当する周囲温度を設定し、試験体への周囲からの入熱を考慮した。

3. 耐火時の六ふっ化ウランの挙動

耐火時には、シリンダからの入熱により六ふっ化ウランの温度が融点(64.1℃)を超えるため、固体の六ふっ化ウランが融解して液体になる。この融解に関して、解析では以下を考慮した。

- ・六ふっ化ウランの相変化に伴う物性値（比熱、熱伝導率）の変化
- ・六ふっ化ウラン融解潜熱による熱エネルギーの消費
- ・六ふっ化ウランの融解に伴う体積膨張（付属書類－1参照）

なお、六ふっ化ウラン気化潜熱による熱エネルギーの消費は無視した。



(ロ)-第B付.2.1図 解析モデルと温度測定位置

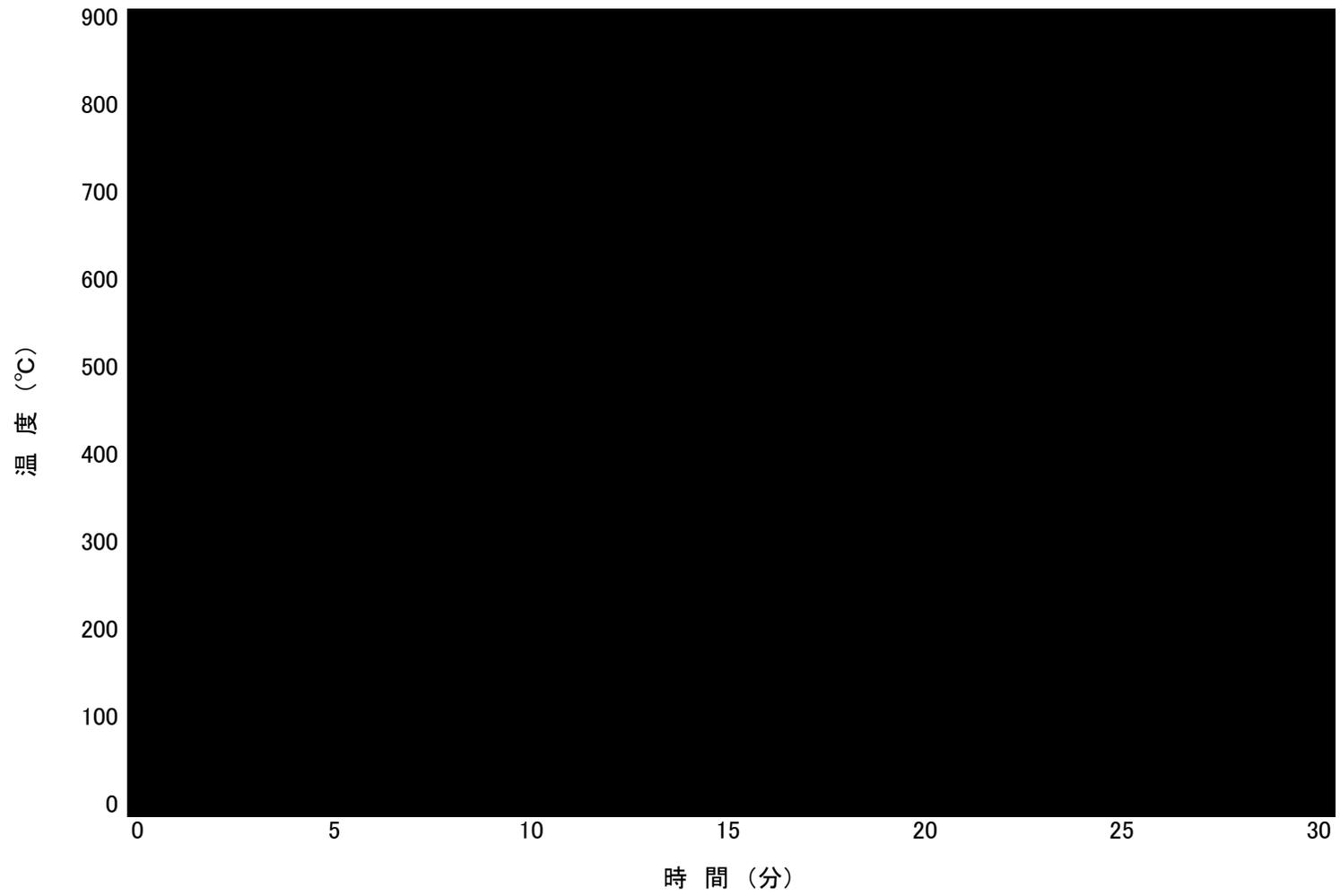
4. 解析結果

本輸送物の各部温度変化について、耐火試験結果と再現解析結果とを合わせて、(ロ)-第B付.2.2 図及び(ロ)-第B付.2.3 図に示す。これらより、本輸送物の各部温度については、耐火試験結果と再現解析結果がよく一致している。

また、耐火試験時のシリンダ内圧と、再現解析において六ふっ化ウラン表面温度から算出した内圧を合わせて、(ロ)-第B付.2.4 図に示す。シリンダ内圧については、再現解析結果が耐火試験結果を上回る。この理由としては、解析において六ふっ化ウラン自由表面の平均温度における飽和蒸気圧をシリンダ内圧としているが、実際の耐火試験時には、比較的溫度が低いシリンダ両端における六ふっ化ウランガスの凝縮の効果が大きく、シリンダ内圧が小さな値となっていることが考えられる。

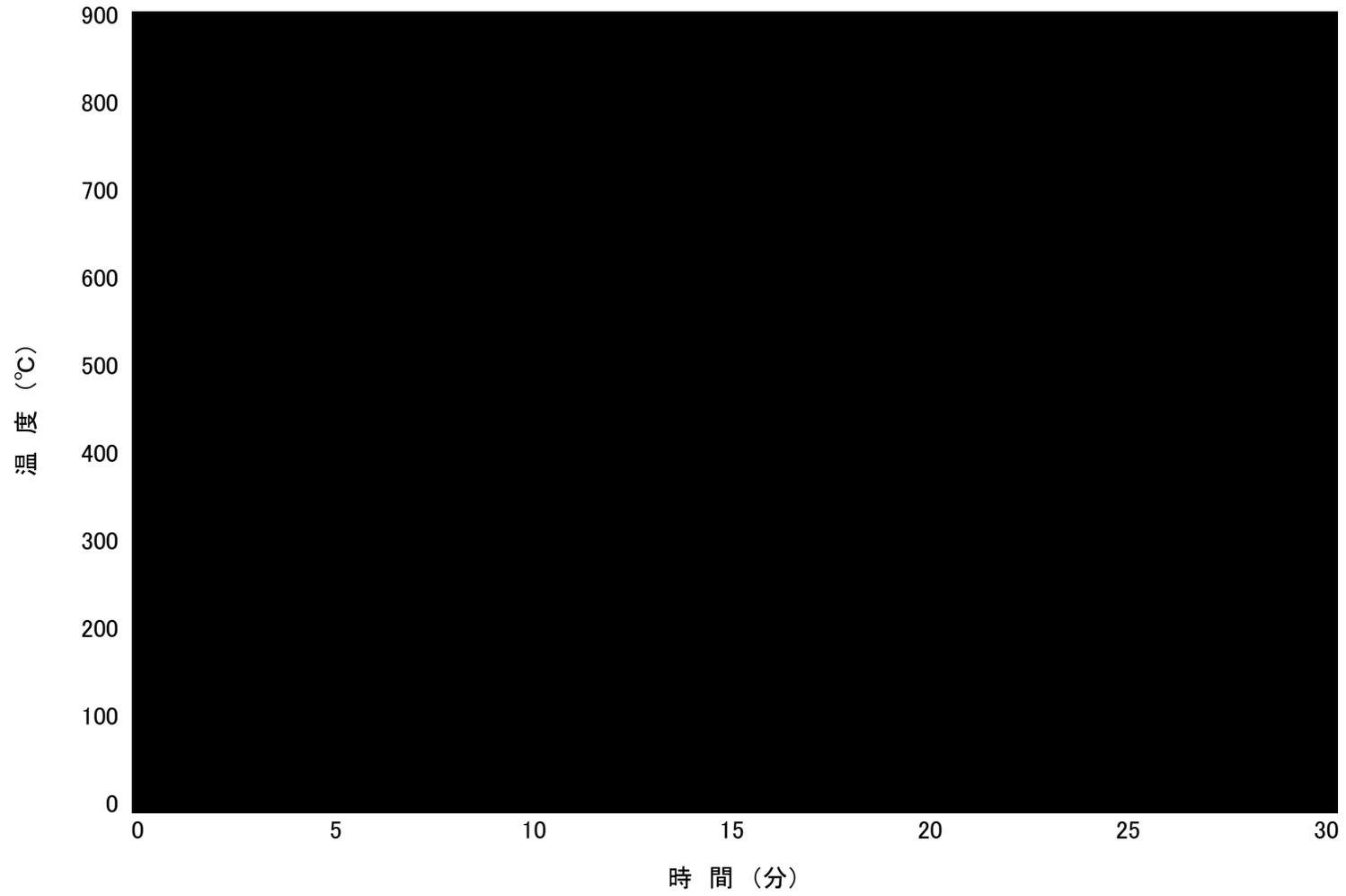
これらから、本輸送物の耐火解析の手法は妥当であるといえる。

(μ)-B-29



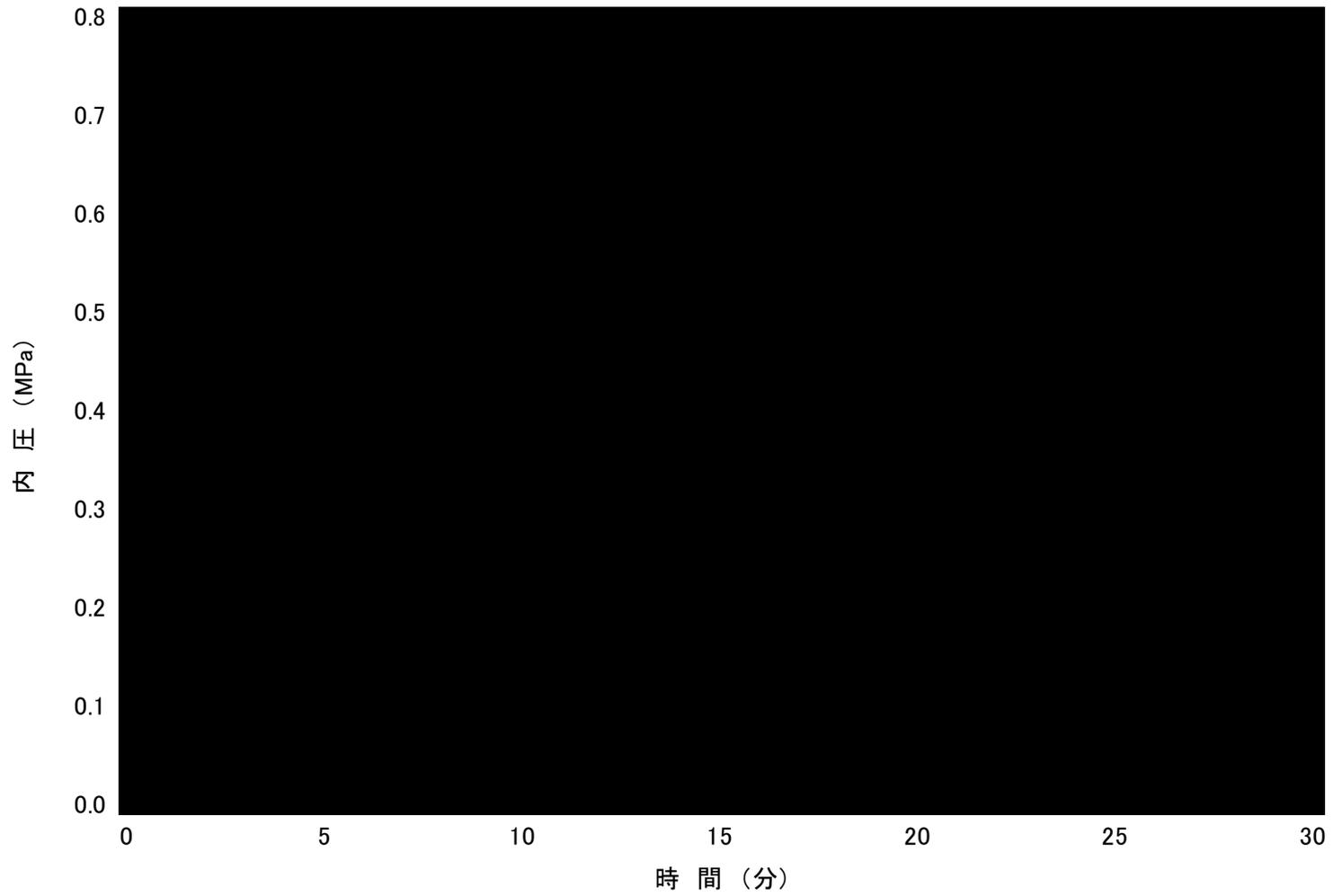
(ロ)-第B付.2.2図 シリンダ内表面における温度時刻歴

(甲)-B-30



(ロ)-第B付 2.3 図 耐熱保護カバーの温度時刻歴

(ロ)-B-31



(ロ)-第B付.2.4図 UF₆自由表面平均温度から算出したシリンダ内圧時刻歴

【参考文献】

1) (平成7年度科学技術庁委託事業)

平成7年度「天然六フッ化ウラン輸送容器安全性実証試験」事業成果報告書

口章-C 密封解析

(ロ)-C 密封解析

C.1 概要

本輸送物の密封解析はシリンダ本体、弁及び閉止栓に係る密封性に着目し、設計条件における解析結果、一般の試験条件下における解析結果と試験結果及び特別の試験条件下における解析結果により、密封性を確認した。

C.2 密封装置

C.2.1 密封装置

本輸送物の密封装置は、本輸送物の密封境界を形成するシリンダ本体及び弁並びに閉止栓により構成される。以下に密封境界の詳細を示すとともに、これらの密封装置の構造概要を(ロ)-第C.1図に示す。

- (i) シリンダ本体：シリンダ胴板長手方向溶接部、シリンダ胴板と両鏡板の溶接部、シリンダ両鏡板と弁及び閉止栓用カップリングの溶接部
- (ii) 弁：弁と弁用カップリングの両ねじ部並びに弁軸部（ステム）のシート部と弁胴部（ボディ）で構成する部分
- (iii) 閉止栓：閉止栓と閉止栓用カップリングの両ねじ部

密封装置の設計仕様の概略は以下のとおりである。

(1) シリンダ本体及び閉止栓の設計圧力

シリンダ本体及び閉止栓の設計圧力は、外圧に関しては 0.18 MPaG (25 psig) であり、内圧に関しては 1.38 MPaG (200 psig) である。

(2) 弁の設計圧力

弁に関する設計圧力は、上記(1)と同様、内圧に関しては 1.38 MPaG (200 psig) である。

(3) シリンダ本体及び閉止栓の耐圧に関する仕様

シリンダに閉止栓をねじ込みにより取付けた状態で内圧 2.76 MPaG (400 psig) の水圧試験を実施し、シリンダ本体及び閉止栓取付け部から水の漏えいがない耐圧設計となっている。

また、シリンダに閉止栓を取付けた状態で 2.76 MPaG (400 psig) の水圧を加えるが、この試験においては、その後、2.07 MPaG (300 psig) まで減圧し、その時に漏えいがないことを確認する。

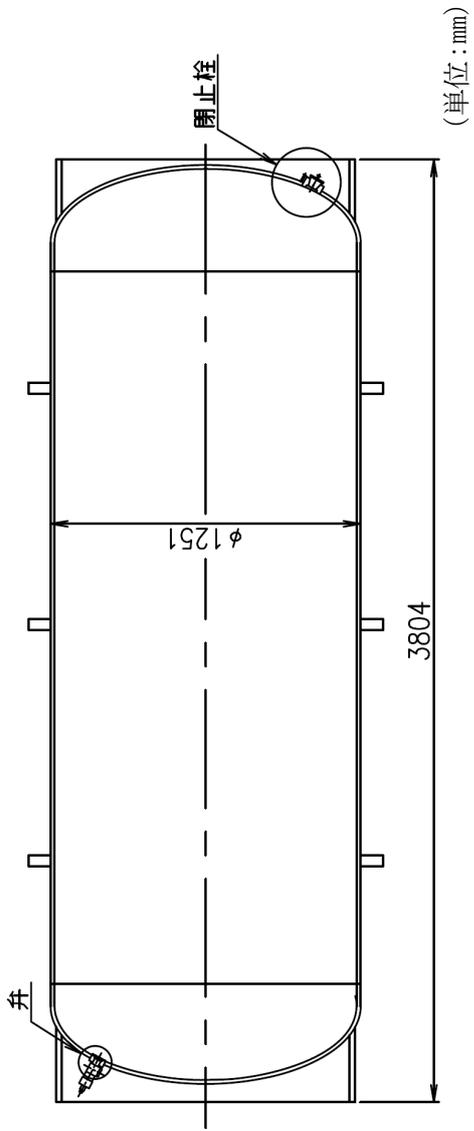
(4) 弁の気密性に関する仕様

弁のシリンダへの取付け端 ((ロ)-第C.1 図参照) から 2.76 MPaG (400 psig) の空気圧を加え、弁のシート部 ((ロ)-第C.1 図参照) から空気が漏えいせず、また、キャップ部 ((ロ)-第C.1 図参照) にキャップを付け、弁を半開した状態

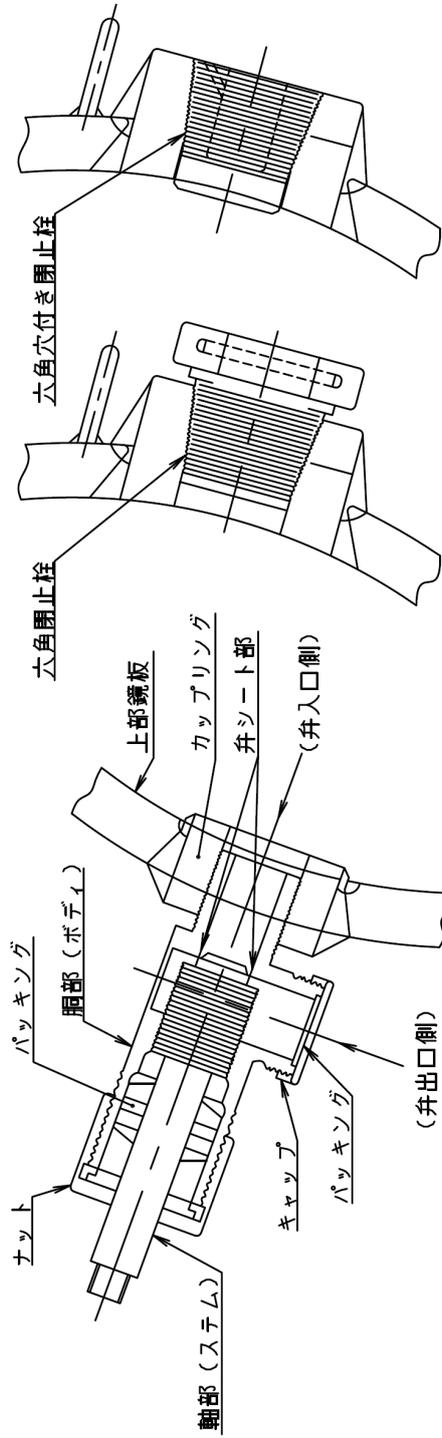
で弁のシリンダへの取付け端から 2.76 MPaG(400 psig)の空気圧を加え、キャップ、パッキング部あるいは弁本体から空気の漏えいのない気密設計となっている。

(5) シリンダ本体、弁及び閉止栓を一体化した場合の気密性に関する仕様

シリンダ本体に弁及び閉止栓を取付けた後、0.69 MPaG(100 psig)の空気圧で気密漏えい試験を実施し、弁、閉止栓、弁と閉止栓の取付け用カップリング及び弁のパッキング等から空気の漏えいのない気密設計となっている。



(ロ)-C-3



弁詳細図

閉止栓詳細図

(ロ)-第C.1図 弁及び閉止栓取付け状態図

C.2.2 密封装置の貫通部

本輸送物の密封装置の貫通部は弁及び閉止栓である。

(ロ)-第C.1 図に示すように、弁はシリンダ本体鏡板部に溶接されているカップリングにねじ込まれており、閉止栓もまた弁取付け箇所反対側のシリンダ本体鏡板部に溶接されているカップリングにねじ込まれている。

弁は収納物である六ふっ化ウランをシリンダ内部に充填する際及びシリンダ内部から取出す際の入口と出口の機能を果たす。また、閉止栓はシリンダ内部を洗浄する際の洗浄口の機能を果たす。

なお、弁の密封境界を形成する部分の材質、すなわち弁の軸部（ステム）及び胴部（ボディ）（(ロ)-第C.1 図 弁入口側に近い部分）の材質は、軸部（ステム）がモネル（ニッケル銅合金 ASTM B164）であり胴部（ボディ）がアルミニウム青銅であるので、いずれも耐食性及び耐熱性（400 °Cから 500 °Cの温度で強度の低下は極めて少ない）に富んでいる。

C.2.3 密封装置のガスケット及び溶接部

本輸送物のパッキングは弁の軸部(ステム)に取付けられているパッキング((ロ)-第C.1 図参照)である。また、密封装置の溶接部は、シリンダ胴板長手方向の溶接部、シリンダの胴板と両端部を形成する鏡板の溶接部並びにシリンダの両鏡板とそれぞれに取付けられる弁及び閉止栓取付け用カップリングの溶接部から成っている。

弁のパッキングの材質はテフロンであり、当該テフロンの使用温度範囲は-50 °Cから 260 °Cであるので、通常の輸送時に予想される本輸送容器の温度範囲（-40 °Cから 65 °C）及び特別の試験条件下の弁取付け部の最高温度（182 °C（B. 5.3 参照））においても材質上の脆化又は劣化はおこらず、パッキングとしての性能は損なわれない。

他方、C.2.1(4)に示すように、弁本体の気密試験において 2.76 MPaG(400 psig)の空気加圧によってパッキングの密封性能は確認が行われる。

全てのシリンダの溶接部は、圧力容器に係る ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 1 に基づき、放射線検査を実施して溶接の健全性を確認する。

他方、C.2.1(3)に示すように、シリンダ本体に関する耐圧試験において 2.76 MPaG(400 psig)の水圧をシリンダ内部に加えてシリンダの各溶接部を含むシリンダ本体の耐圧性能を検査するのでシリンダ溶接部の強度及び密封性は保証される。

C.2.4 蓋

本輸送物の密封装置のうちで蓋に相当する部分はないため該当しない。

C.3 一般の試験条件

六ふっ化ウラン輸送物の一般の試験条件として、落下試験が課せられる。この試験において密封性が維持されることを以下に説明する。

C.3.1 放射性物質の漏えい

A.4.6に示すように、シリンダ本体に生じる圧力は、シリンダの許容圧力に比べて十分小さい。

シリンダ本体の部材に関して-40℃以下での衝撃試験により低温靱性を確認しており、-40℃になったとしても、低温脆化は生じない。

また、落下試験を実施しても、本輸送物の密封境界を構成するシリンダ本体、弁及び閉止栓は変形、破損せず、強度上健全であるのでそれらの密封性は維持される。

C.3.2 密封装置の加圧

六ふっ化ウランは一般的には空気中の水分と速やかに反応して、ふっ化ウラニル(UO_2F_2)粒子とふっ化水素(以下、「HF」という。)の揮発性ガスに変化する性質を有している。

六ふっ化ウランをシリンダに充填するに当たっては、シリンダ内は極力真空状態(内圧は 3.5×10^{-2} MPa(abs)の負圧状態¹⁾)に保たれるが、完全な真空状態に維持することはできず、若干の空気は残存している。

仮にわずかな残存空気中の水分が、充填六ふっ化ウランと反応してわずかな揮発性HFガスを発生させたとしても、このHFガスはシリンダ鋼板とシリンダ内部で反応して、不揮発性のふっ化鉄等に変化し、シリンダ内壁に付着することになる。

A.4.1に示すように、このふっ化鉄の反応による腐食はほとんど進行しない。

したがって、シリンダ内部の圧力は六ふっ化ウランの蒸気圧にほとんど依存することになる。

また、シリンダの設計圧力は内圧に関しては、1.38 MPaG (200 psig)である。各温度におけるシリンダ内部の圧力は(イ)-第6図に基づき(ロ)-第C.1表のとおりであり、いずれも設計圧力より十分低い。

(ロ)-第C.1表 シリンダ内部の圧力

シリンダ内部の温度 (°C)		シリンダ内部の圧力	
		(MPa(abs))	(MPa G)
予想される温度	-40	< 0.001	< -0.1
	20	0.011	-0.090
	38	0.034	-0.067
	54	0.088	-0.013
設計最高温度	121	0.69	0.59

C.3.3 冷却材汚染
該当しない

C.3.4 冷却材損失
該当しない

C.4 特別の試験条件

六ふっ化ウラン輸送物の特別の試験条件として、耐火試験が課せられる。耐火試験において密封性が維持されることを以下に説明する。

C.4.1 核分裂生成ガス
該当しない

C.4.2 放射性物質の漏えい

特別の試験条件下でのシリンダの最大内圧は、B.5.4に示すとおり MPa であり、この圧力及びこのときのシリンダ温度において、シリンダのクリープ評価を行い、破断がないことが確認されており、シリンダの密封性は維持される。

また、弁取付け部の温度は、B.5.3に示すとおり、弁取付け部の漏えい試験では200 °Cでも漏えいが検出されておらず、弁取付け部の温度はこの温度を下回っていることから、弁取付け部の密封性は保たれる。

したがって、特別の試験条件下において本輸送物から放射性物質（六ふっ化ウラン）が漏えいすることはない。

C.5 結果の要約及びその評価

密封解析の評価結果は以下に示すとおりである。

(1) 密封装置

本輸送物は、容器本体が密封容器になっており、その密封部分は弁及び閉止栓である。

これらの密封装置は、一般の試験条件に対して密封性能が損なわれることはない。

(2) 一般の試験条件

(i) 放射性物質の漏えい

本輸送物の密封装置を構成するシリンダ本体、弁及び閉止栓は、一般の試験条件下においてその密封性能を維持するため、本輸送物から放射性物質が漏えいすることはない。

(ii) 密封装置の加圧

運搬中に想定される環境温度において、収納物の六ふっ化ウランの蒸気圧に基づく内圧上昇が予想されるものの、その値は、設計圧力より十分低い。したがって、密封装置の構造健全性は維持され、密封性も損なわれることはない。

(3) 特別の試験条件

特別の試験条件下において、弁及びシリンダ本体の破損がないことから、輸送物の密封性が損なわれることはない。また、弁部の漏えい試験では 200 °C でも漏えいが検出されておらず、弁取付け部の温度はこの温度を下回っていることから、密封性が損なわれることはない。

C.6 付属書類

参考文献

- 1) United States Enrichment Corporation, "The UF6 Manual / Good Handling Practices for Uranium Hexafluoride", USEC-651 (Revision 8), (1999).

口章-D 遮蔽解析

(ロ)-D 遮蔽解析

D.1 概要

本輸送物の主要なガンマ線遮蔽体は、鋼製のシリンダ本体（厚さ 15.9 mm）である。本解析では、解析基準値として規則に定められた次の値を用い、本輸送物がこれらの基準値を満足することを示す。

- ・通常の輸送時において、放射線量当量率が輸送物の表面で 2 mSv/h を超えず、かつ、表面から 1 m 離れた点で 100 μ Sv/h を超えないこと。

ガンマ線遮蔽解析には、点減衰核積分プログラム QAD-CGGP2R コードを用いた。

この解析から得られたガンマ線量当量率は、上記の基準を満足することを確認した。

D.2 線源仕様

D.2.1 ガンマ線源

ガンマ線源強度は、本輸送容器の収納物である天然六ふっ化ウラン（最大充填量 12,500 kg）が最大放射能強度となる放射平衡時を想定して、燃焼計算コード ORIGEN-2 を用いてウラン（ ^{234}U 、 ^{235}U 、 ^{238}U ）及びその子孫核種（XXXXXXXXXX、XXXXXXXXXX、その他の核種）のガンマ線エネルギー強度を計算する。その時のウラン核種の重量を(ロ)-第D.1表に、ウラン及び子孫核種の放射能量を(ロ)-第D.2表に、ガンマ線エネルギー強度を(ロ)-第D.3表と(ロ)-第D.4表に、それぞれ示す。

また、六ふっ化ウランの線源形状としては、(ロ)-第D.1図に示すとおり、ウランが存在する領域の外表面（シリンダの内表面側）に、ウランの子孫核種が存在するごく薄い層状の領域を設定した。

D.2.2 中性子源

中性子源としてウランの自発核分裂及び六ふっ化ウラン中の ^{19}F の (α , n) 反応によるものがあるが、これらによる中性子数は極めて少なく、中性子による放射線量当量率はガンマ線による放射線量当量率に比べ無視できるため、本解析においては、中性子線量当量率は評価しない。

(ロ)-第D.1表 線源計算に用いるウラン核種の重量 (輸送物1基当たり)

核種	^{234}U	^{235}U	^{238}U	合計
重量 (g)	4.65×10^2	6.00×10^4	8.39×10^6	8.45×10^6

(ロ)-第D.2表 主要な核種の放射能量 (輸送物1基当たり)

核種		^{234}U	^{235}U	^{238}U	合計
放射能 (Bq)		1.075×10^{11}	4.803×10^9	1.044×10^{11}	4.303×10^{11}

(ロ)-第D.3表 ウランのガンマ線エネルギー強度 (輸送物1基当たり)

平均エネルギー (MeV)				
強度 (光子/秒)				
平均エネルギー (MeV)				合計
強度 (光子/秒)				

(ロ)-第D.4表 子孫核種のガンマ線エネルギー強度 (輸送物1基当たり)

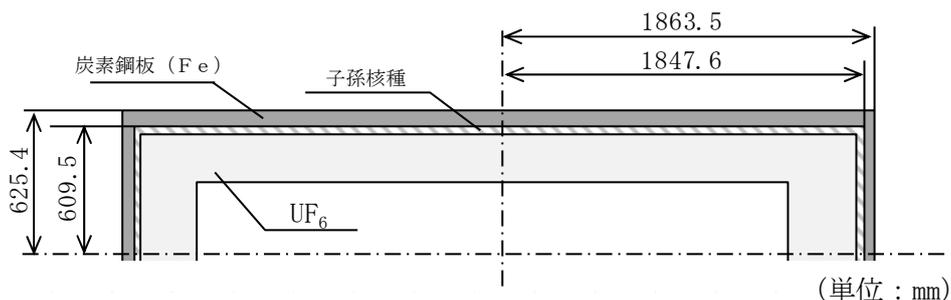
平均エネルギー (MeV)				
強度 (光子/秒)				
平均エネルギー (MeV)				合計
強度 (光子/秒)				

D.3 モデル仕様

D.3.1 解析モデル

本輸送物の構成品のうち、弁保護具、耐熱キャップ、耐熱キャップ固定金具及びシリンダのスカート部については安全側に遮蔽体として見込まず、遮蔽体はシリンダ胴板及び鏡板を炭素鋼領域としてモデル化した。

また、六ふっ化ウランは、本輸送物表面に最も近づいたとしてモデル化した。解析モデルを(ロ)-第D.1図に示す。



(ロ)-第D.1図 解析モデル

D.3.2 解析モデル各領域における密度

本解析で用いた収納物である六ふっ化ウラン及び子孫核種の密度は 5.09 g/cm^3 ($20 \text{ }^\circ\text{C}$) とし、遮蔽体である炭素鋼の密度は鉄の密度である 7.8 g/cm^3 とした。

なお、収納物（線源）と遮蔽体以外の領域は、全てボイド（真空）として計算した。

D.4 遮蔽評価

点減衰核積分プログラム QAD-CGGP2R コードにより本輸送物周りのガンマ線量当量率を求めた。六ふっ化ウランを収納した本輸送物のガンマ線量当量率の計算結果を、(ロ)-第D.5表に示す。

(ロ)-第D.5表 ガンマ線量当量率

距離	表面	表面から 1 m の点
	径方向	■ mSv/h
軸方向	■ mSv/h	■ $\mu\text{Sv/h}$
基準値	2 mSv/h	100 $\mu\text{Sv/h}$

D.5 結果の要約及びその評価

本輸送物の遮蔽解析の結果は(ロ)-第D.5表に示したとおり、本輸送物表面において最大 0.118 mSv/h であり、表面から 1 m の点において最大 $33 \text{ } \mu\text{Sv/h}$ である。

よって、本解析で得られた線量当量率は基準値を満足する。
なお、シリンダ製作時の公差を考慮しても、本輸送物周りの線量当量率は基準値に対して十分小さいため、基準値を超えることはない。

D.6 付属書類

D.6.1 付属書類－1

QAD-CGGP2R コードの説明

D.6.2 付属書類－2

ORIGEN-2 コードの説明

付属書類－1 QAD-CGGP2R コードの説明

1. 概要

QAD-CGGP2R コード¹⁾²⁾は、米国ロスアラモス国立研究所で開発された点減衰核積分法に基づく QAD-CG コード³⁾を日本原子力研究所が改良したものであり、ビルドアップ係数の内挿法として GP (Geometric Progression) 法を使用しており、かつ、ガンマ線量当量率を計算することができる。

2. 機能

本コードは、ガンマ線のエネルギー群を最高 20 群又は中性子のエネルギー群を最高 10 群まで取扱うことができる。線源は角柱、円柱あるいは球形形状で表すことができる。

遮蔽体領域は、角柱、円柱等で表され、三次元問題まで取扱うことができる。

計算は入力で指定した検出点について行なわれ、結果は同じく入力で指定される種々の形に表すことができる。

3. 計算方法

本コードは、点減衰核積分法に基づいている。点減衰核積分法は有限な広がりをもつ体積線源を体積要素（以下、「線源要素」という。）に分割し、その各々を点状線源とみなして空間積分により計算点での寄与を求めるものである。以下に、計算点における線量当量率（ D ）の算出式を示す。

$$D = \sum_j K_j \sum_i \frac{B(\sum_k \mu_{jk} \cdot t_k, E_j) \cdot \bar{f}_X(E_j) \cdot S_{oij} \cdot \exp(-\sum_k \mu_{jk} \cdot t_k)}{4\pi r_i^2}$$

ここで、

i : 線源の各線源要素に対する添字

j : 線源のエネルギーに対する添字

k : 空間を分割した後の各領域に対する添字

K_j : エネルギー j に対する吸収線量率変換係数 (Gy/hr per Photons/cm²·sec)

B : 照射線量ビルドアップ係数

\bar{f}_X : 実効換算係数

S_{oij} : 線源要素 i におけるエネルギー j に対する線源強度 (Photons/sec)

μ_{jk} : エネルギー j における領域 k に対する線吸収係数 (cm⁻¹)

E_j : j 番目のガンマ線入射エネルギー (MeV)

t_k : 空間内の領域 k に対するガンマ線の通過距離 (cm)

r_i : 線源要素 i から計算点までの距離 (cm)

ここで、照射線量ビルドアップ係数（ B ）は以下のように表せる。

$$B(E, X) = 1 + (b-1) \frac{K^X - 1}{K - 1} \quad : K \neq 1 \text{ のとき}$$

$$= 1 + (b-1)X \quad : K = 1 \text{ のとき}$$

$$K = cX^a + d \frac{\tanh(X/X_k) - \tanh(-2)}{1 - \tanh(-2)}$$

ここで、

E : ガンマ線入射エネルギー (MeV)

X : 物質の透過距離 (mfp)

K : 1 mfp 当たりの増加

b : 1 mfp における線量ビルドアップ係数

b, c, a, X_k, d : GP 法における内蔵パラメータ

しかし、物質の透過距離が 40 mfp を超える場合は、35 mfp と 40 mfp での K の値を用いて外挿を行う。

また、ガンマ線入射エネルギー (E_0) の厚さ (t) における実効換算係数 ($\bar{f}_X(E_0)$) は、以下のとおりである。

$$\begin{aligned} \bar{f}_X(E_0) &= \frac{B_H(E_0, t) \cdot (H_0(E_0)/\phi) \cdot \phi_0(E_0, t)}{B_D(E_0, t) \cdot (D_a(E_0)/\phi) \cdot \phi_0(E_0, t)} \\ &= \frac{B_H(E_0, t)}{B_D(E_0, t)} \cdot f_X(E_0) \end{aligned}$$

ここで、

B_H : 線量当量のビルドアップ係数

B_D : 空気吸収線量のビルドアップ係数

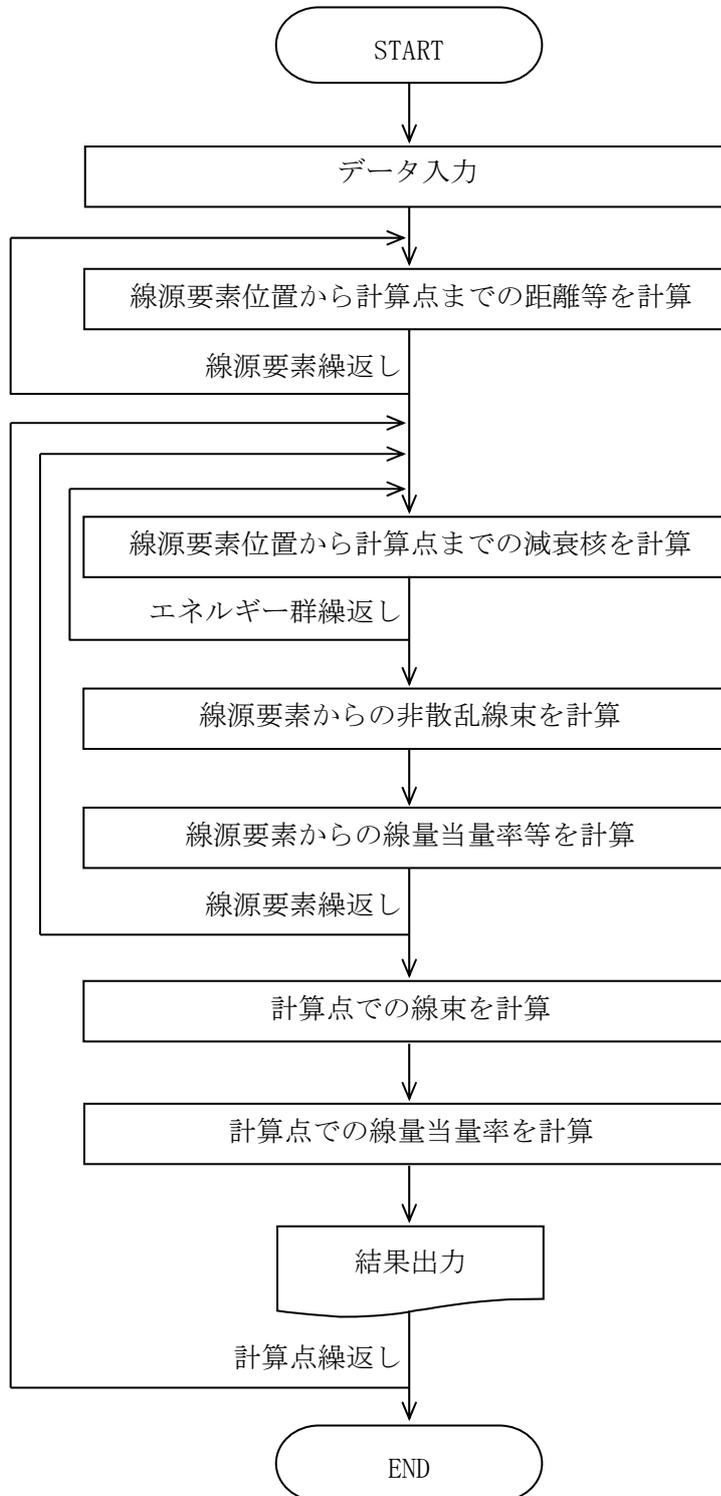
H_0 : 単位フルエンスからの線量当量への変換係数

D_a : 単位フルエンスからの空気吸収線量への変換係数

ϕ_0 : 厚さ t におけるガンマ線フルエンスのスペクトル分布

4. フローチャート

QAD-CGGP2R コードのフローチャートを以下に示す。



【参考文献】

- 1) Y. Sakamoto and S. Tanaka, "QAD-CGGP2 and G33-GP2 : Revised Versions of QAD-CGGP and G33-GP Codes with the Conversion Factors from Exposure to Ambient and Maximum Dose Equivalent", JAERI-M 90-110, (1990).
- 2) (財)高度情報科学技術研究機構, "実効線量評価のための遮蔽計算の現状", RIST ニュース No. 33 (2002).
- 3) V. R. Cain, "A Users Manual for QAD-CG, the Combinatorial Geometry Version of the QAD-P5A Point Kernel Shielding Code", NE007, Bechtel Power Corp. (1977).

1. 概 要

ORIGEN-2¹⁾コードは、米国オークリッジ国立研究所で開発された 1 点近似の燃焼計算コード ORIGEN²⁾の改訂版であり、主としてライブラリやデータの見直しがなされている。

2. 機 能

本コードは放射能を持つ物質について、そのガンマ線のエネルギー分布、自発核分裂の半減期、 (α, n) 反応により発生する中性子強度等をライブラリとして所有し、取出し後、燃料より発生する放射線の強度、種類を計算できる。

本コードは崩壊スキーム、中性子吸収断面積等のデータが、構造材、アクチノイド、核分裂生成物に分類して用意されている。さらに、ガンマ線の生成データが同様に分類して格納されている。

3. 計算方法

解くべき燃焼方程式は、

$$\frac{dX_i}{dt} = \sum_{j=1}^N I_{ij} \lambda_j X_j + \bar{\phi} \sum_{k=1}^N f_{ik} \bar{\sigma}_k X_k - (\lambda_i + \bar{\phi} \bar{\sigma}_i) X_i \quad (1)$$

$$i = 1, 2, \dots, N$$

ここで、

X_i : i 番目の原子核の原子個数密度

λ_i : i 番目の原子核の減衰定数

$\bar{\sigma}_i$: i 番目の原子核の平均中性子吸収断面積

I_{ij} : j 番目の原子核の崩壊により i 番目の原子核が生じる割合

f_{ik} : k 番目の原子核の崩壊により i 番目の原子核が生じる割合

$\bar{\phi}$: エネルギー及び場所で平均化された炉内中性子束の平均値

(1)式を数値的に解くために ORIGEN-2 コードでは、次のようなマトリックスエクスポネンシャル法が用いられている。(1)式は $\bar{\phi}$ がある時間間隔で一定であると仮定できれば、定係数の連立一次微分方程式となる。

このとき、(1)式は、

$$\frac{d\tilde{X}}{dt} = \tilde{A} \tilde{X} \quad (2)$$

となる。 \tilde{X} は、 X_i を成分にもつベクトルであり、 \tilde{A} は、定数マトリックスである。

したがって、(2)式は、

$$\tilde{X} = \exp(\tilde{A}t) \tilde{X}(0) \quad (3)$$

と解くことができる。ただし、 $\exp(At)$ は、
 \approx

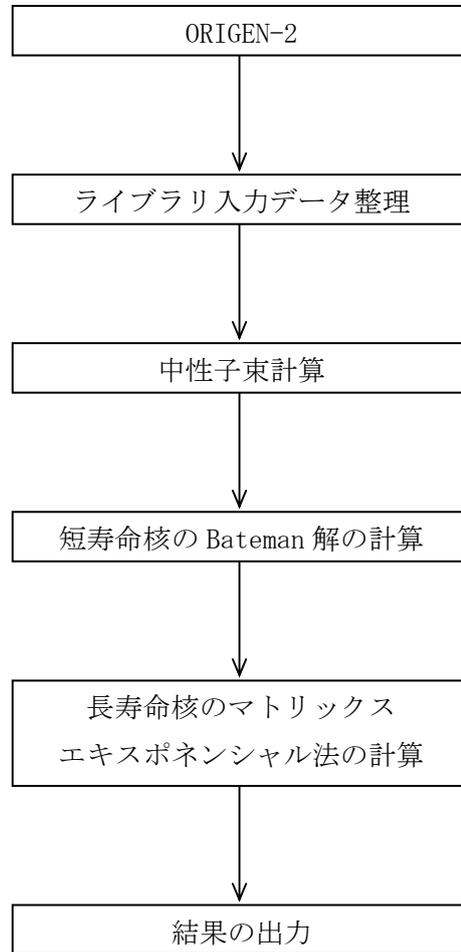
$$\exp(At) \approx \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(At)^m}{m!} \quad (4)$$

と定義する。(4)式の右辺を数値的に求めれば、初期条件 ($X(0)$) が与えられているから、(3)式で時刻 (t) での個数密度を知ることができる。

ORIGEN-2 コードでは、上記手法の他、(1)式の解析解である Bateman の式も併用して、燃焼中及び取出し後の個数密度が計算される。

4. フローチャート

ORIGEN-2 コードのフローチャートを以下に示す。



【参考文献】

- 1) A. G. Croff, "ORIGEN-2 A Revised and Updated Version of the Oak Ridge Isotope Generation and Depletion Code", ORNL-5621, (1980).
- 2) M. J. Bell, "ORIGEN - The ORNL Isotope Generation and Depletion Code", ORNL-4628 (1973).

口章-E 臨界解析

(ロ)-E 臨界解析

本輸送物は、核分裂性輸送物ではないため該当しない。

ロ章-F 核燃料輸送物の経年変化の考慮

(ロ)-F 核燃料輸送物の経年変化の考慮

F.1 考慮すべき経年変化要因

(1) 想定される使用状況

本輸送物に関して、想定される使用状況を以下に示す。

a. シリンダ

- (a) 使用予定年数：製造後 2 年
- (b) 運搬に使用される回数：1 回
- (c) 運搬に要する日数：1 回当たり 4 ヶ月以内

b. 弁保護具、耐熱キャップ及び耐熱キャップ固定金具

- (a) 使用予定年数：製造後 40 年
- (b) 運搬に使用される回数：40 回以下（1 年間当たり 1 回以下）
- (c) 運搬に要する日数：1 回当たり 4 ヶ月以内

(2) 考慮すべき経年変化の項目

考慮すべき経年変化の項目を以下に示す。

a. 熱的劣化

高温での材料組成・材料組織の変化、強度・延性・脆性・クリープ・その他物性値の変化及び重量減少

b. 放射線照射による劣化

中性子照射による材料組成・材料組織の変化及び強度・延性・脆性・その他物性値の変化

c. 化学的劣化

全面腐食、応力腐食割れ及び異種材料接触部の化学的反応

d. 疲労による劣化

繰返し荷重による疲労破壊

F.2 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価

(1) 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価

本輸送容器の構成部材について、想定される使用状況を踏まえ、経年変化の考慮の必要性を評価した結果を(ロ)-第F.1表に示す。

なお、熱的劣化に係る本輸送容器の温度は、ロ章-Bの熱解析の火災前の条件（外部雰囲気 38 °Cの環境に置いた上で太陽放射熱を考慮し、輸送物温度が一定になるまで置いた状態での本輸送容器の温度）に基づく最高温度である 65 °Cを考慮する。

輸送物のうち収納物（天然六ふっ化ウラン）については、輸送毎に準備するものであり、劣化は想定されないことから、経年変化の考慮の必要性の評価の対象としない。また、弁のテフロンパッキンについては、輸送毎に準備するものであること及び六ふっ化ウランの充填時、取出し時のみに密封境界となるものであり、輸送時（弁閉状態）において六ふっ化ウランとの接触はないことから、経年変化の考慮の必要性の評価の対象としない。

(2) シリンダ運搬完了後の経年変化の考慮

シリンダは運搬完了後、当社ウラン濃縮加工施設において、内部の天然六ふっ化ウランを取出した後に、劣化六ふっ化ウランを充填、貯蔵する容器として使用する。なお、再度の輸送は実施しない。

当社ウラン濃縮加工施設においては、シリンダ受入れ時に、加工施設に関する設計及び工事の計画の認可申請書に基づき仕様、構造等を使用前事業者検査にて確認し、シリンダ受入れ後は、加工施設保安規定に基づく保全を実施し、健全性を維持する。

保全においては、全数について定期的に傷、変形等がないかの外観目視確認を実施するとともに、肉厚について、経年的に問題ないことを補完するため、六ふっ化ウランが充填されたシリンダのうち設置年数の古いものを代表として選定し、年に1回の肉厚測定を実施する。

(ロ)-第F.1表 安全解析における輸送容器の構成部材に関する経年変化の考慮の必要性の評価 (1/10)

材料		要因	経年変化の考慮の必要性の検討	評価	必要性
シリンダ (胴板、鏡板、スカート、補強リング、吊金具)	炭素鋼	熱	高温環境下における影響として、組織変化による強度低下及びクリープによる変形を考慮する。ASTM A516 (Grade 60) に規定する炭素鋼では、相当する ASME 規格 ¹⁾ において使用可能温度が 371 °C 以下と規定されている。また、クリープの影響を受ける温度は、融点 (絶対温度) の 3 分の 1 以上 ²⁾ であり、炭素鋼の融点 (1450 °C (1723 K) 以上) から 300 °C 以上となる。これらの温度未満で使用する場合は経年変化を考慮する必要はない。	48Y-JDTC 型輸送物の運搬中に予想される本輸送容器の温度は 65 °C 以下である。 したがって、安全解析で考慮する経年変化はない。	—
		放射線	中性子線の照射量が当該材料の強度に影響が生じない照射量 (10^{16} n/cm ² オーダー) ³⁾ を下回ることを確認する必要がある。	シリンダの使用予定年数は 2 年であるが、保守的に 40 年間継続して使用する条件下で、自己遮蔽を無視し、構成部材の特定の 1 cm ² に集中して中性子が照射されたとしても、その累積照射量は 10^{14} n/cm ² オーダーである。 したがって、安全解析で考慮する経年変化はない。	—
		化学	外気との接触によって腐食を生じる可能性がある表面 (外面) は、塗装その他の防錆処理を行う必要がある。六ふっ化ウランと接触する表面 (内面) は、腐食量を考慮する必要がある。	外面については、塗装が施されている。また、内面については、米国エネルギー省において六ふっ化ウランによる腐食試験 ⁴⁾ を実施しているが、その腐食率は 1.5×10^{-3} mm/年と十分に小さい。 したがって、安全解析で考慮する経年変化はない。	—
		疲労	本輸送容器の使用期間中に荷重を繰返し受けることが想定されるシリンダの吊金具について、使用計画回数が許容繰返し回数を下回っていることを確認する必要がある。 また、シリンダの内外圧力差により生じる応力については、ASME 規格に基づき、疲労解析が不要となる条件 (使用材料の規定最小引張強さ (552 N/mm ² 以下) 及び合計繰返し回数 (1000 回以下)) を満たすことを確認する必要がある。	シリンダの吊金具は、A. 4. 4. 2 に示すとおり、吊金具の使用計画回数 (N ₀ :40 回) が許容繰返し回数 (N _a : 2.4×10^5 回) を下回っていることから、シリンダの吊金具の疲労強度は十分である。 また、シリンダの内外圧力差により生じる応力については、A. 4. 6. 2 に示すとおり、使用材料の規定最小引張強さが 415 N/mm ² であること及び合計繰返し回数が 250 回であることから、ASME 規格の条件を満たすため、疲労解析は不要である。 したがって、安全解析で考慮する経年変化はない。	—

必要性 ○ : 設計評価期間において経年変化を安全解析で考慮する必要があるもの。

— : 設計評価期間において経年変化を安全解析で考慮する必要がないもの。

(ロ)-第F.1表 安全解析における輸送容器の構成部材に関する経年変化の考慮の必要性の評価 (2 / 10)

材料		要因	経年変化の考慮の必要性の検討	評価	必要性
シリンダ (弁カップ リング、閉 止栓カップ リング)	炭素鋼	熱	高温環境下における影響として、組織変化による強度低下及びクリープによる変形を考慮する。ASTM A105 に規定する炭素鋼では、相当する ASME 規格 ¹⁾ において使用可能温度が 371 °C以下と規定されている。また、クリープの影響を受ける温度は、融点(絶対温度)の3分の1以上 ²⁾ であり、炭素鋼の融点(1450 °C (1723 K)以上)から 300 °C以上となる。これらの温度未満で使用する場合は経年変化を考慮する必要はない。	48Y-JDTC 型輸送物の運搬中に予想される本輸送容器の温度は 65 °C以下である。 したがって、安全解析で考慮する経年変化はない。	—
		放射線	中性子線の照射量が当該材料の強度に影響が生じない照射量(10 ¹⁶ n/cm ² オーダー) ³⁾ を下回ることを確認する必要がある。	シリンダの使用予定年数は2年であるが、保守的に40年間継続して使用する条件下で、自己遮蔽を無視し、構成部材の特定の1 cm ² に集中して中性子が照射されたとしても、その累積照射量は10 ¹⁴ n/cm ² オーダーである。 したがって、安全解析で考慮する経年変化はない。	—
		化学	外気との接触によって腐食を生じる可能性がある表面(外面)は、塗装その他の防錆処理を行う必要がある。六ふっ化ウランと接触する表面(内面)は、腐食量を考慮する必要がある。	外面については、塗装が施されている。また、内面については、米国エネルギー省において六ふっ化ウランによる腐食試験 ⁴⁾ を実施しているが、その腐食率は1.5×10 ⁻³ mm/年と十分に小さい。 したがって、安全解析で考慮する経年変化はない。	—
		疲労	当該部材は、使用期間中に吊上げ等による繰返し応力を受けることはないため、疲労による経年変化を考慮する必要はない。	—	—

必要性 ○：設計評価期間において経年変化を安全解析で考慮する必要があるもの。

—：設計評価期間において経年変化を安全解析で考慮する必要がないもの。

(ロ)-第F.1表 安全解析における輸送容器の構成部材に関する経年変化の考慮の必要性の評価 (3/10)

材料		要因	経年変化の考慮の必要性の検討	評価	必要性
シリンダ (弁(胴部)、 閉止栓)	アルミニウム青銅	熱	高温環境下における影響として、組織変化による強度低下及びクリープによる変形を考慮する。アルミニウム青銅については、ASME 規格 ¹⁾ において使用可能温度が232℃以下と規定されている。また、クリープの影響を受ける温度は、融点(絶対温度)の3分の1以上 ²⁾ であり、アルミニウム青銅の融点(1000℃(1273K)以上)から150℃以上となる。これらの温度未満で使用する場合は経年変化を考慮する必要はない。	48Y-JDTC 型輸送物の運搬中に予想される本輸送容器の温度は65℃以下である。 したがって、安全解析で考慮する経年変化はない。	—
		放射線	中性子線の照射量が当該材料の強度に影響が生じない照射量(10 ¹⁶ n/cm ² オーダー) ⁵⁾ を下回ることを確認する必要がある。	シリンダの使用予定年数は2年であるが、保守的に40年間継続して使用する条件下で、自己遮蔽を無視し、構成部材の特定の1 cm ² に集中して中性子が照射されたとしても、その累積照射量は10 ¹⁴ n/cm ² オーダーである。 したがって、安全解析で考慮する経年変化はない。	—
		化学	アルミニウム青銅は、空気中において保護被膜作用による耐食性があり、外気と接触する表面(外面)については、化学的に反応することはない。 六ふっ化ウランと接触する表面(内面)は、腐食量を考慮する必要がある。	六ふっ化ウランに対しては、ふっ化被膜の表面層を生成するため腐食が進行することはない。腐食試験 ⁶⁾ における腐食率は1.0×10 ⁻² mm/年未満と十分に小さい。 したがって、安全解析で考慮する経年変化はない。	—
		疲労	当該部材は、使用期間中に吊上げ等による繰返し応力を受けることはないため、疲労による経年変化を考慮する必要はない。	—	—

必要性 ○：設計評価期間において経年変化を安全解析で考慮する必要があるもの。

—：設計評価期間において経年変化を安全解析で考慮する必要がないもの。

(ロ)-第F.1表 安全解析における輸送容器の構成部材に関する経年変化の考慮の必要性の評価 (4 / 10)

材料		要因	経年変化の考慮の必要性の検討	評価	必要性
シリンダ	モネル (ニッケル銅合金) (弁 (軸部))	熱	高温環境下における影響として、組織変化による強度低下及びクリープによる変形を考慮する。モネル (ニッケル銅合金) については、ASME 規格 ¹⁾ において使用可能温度が 425 °C 以下と規定されている。また、クリープの影響を受ける温度は、融点 (絶対温度) の 3 分の 1 以上 ²⁾ であり、モネル (ニッケル銅合金) の融点 (1300 °C (1573 K) 以上) から 250 °C 以上となる。これらの温度未満で使用する場合は経年変化を考慮する必要はない。	48Y-JDTC 型輸送物の運搬中に予想される本輸送容器の温度は 65 °C 以下である。 したがって、安全解析で考慮する経年変化はない。	—
		放射線	当該材料に類似するニッケル基合金 (ニッケルクロム合金) において、強度に影響が生じない照射量は 10^{20} n/cm ² オーダー ⁷⁾ である。 また、当該材料の組成の 6 割以上を占めるニッケルにおいて、強度に影響が生じない中性子の照射量は 10^{19} n/cm ² オーダー ⁸⁾ である。 当該材料の組成の 3 割を占める銅において、強度に影響が生じない中性子の照射量は 10^{16} n/cm ² オーダー ⁵⁾ である。 当該材料について、中性子照射に係る実験データは得られていないが、上記のうち最小となる銅の照射量 (10^{16} n/cm ² オーダー) を下回ることを確認する。	シリンダの使用予定年数は 2 年であるが、保守的に 40 年間継続して使用する条件下で、自己遮蔽を無視し、構成部材の特定の 1 cm ² に集中して中性子が照射されたとしても、その累積照射量は 10^{14} n/cm ² オーダーである。 したがって、安全解析で考慮する経年変化はない。	—
		化学	モネル (ニッケル銅合金) は、空気中において保護被膜作用による耐食性があり、外気と接触する表面 (外面) については、化学的に反応することはない。 六ふっ化ウランと接触する表面 (内面) は、腐食量を考慮する必要がある。	六ふっ化ウランに対しては、ふっ化被膜の表面層を生成するため腐食が進行することはない、腐食試験 ⁹⁾ における腐食率は 3.3×10^{-3} mm/年と十分に小さい。 したがって、安全解析で考慮する経年変化はない。	—
		疲労	当該部材は、使用期間中に吊上げ等による繰返し応力を受けることはないため、疲労による経年変化を考慮する必要はない。	—	—

必要性 ○ : 設計評価期間において経年変化を安全解析で考慮する必要があるもの。

— : 設計評価期間において経年変化を安全解析で考慮する必要がないもの。

(ロ)-第F.1表 安全解析における輸送容器の構成部材に関する経年変化の考慮の必要性の評価 (5/10)

材料		要因	経年変化の考慮の必要性の検討	評価	必要性
弁 保 護 具	炭素鋼 (弁保護具 本体)	熱	高温環境下における影響として、組織変化による強度低下及びクリープによる変形を考慮する。ASTM A516 (Grade 60) に規定する炭素鋼では、相当する ASME 規格 ¹⁾ において使用可能温度が 371 °C以下と規定されている。また、クリープの影響を受ける温度は、融点(絶対温度)の3分の1以上 ²⁾ であり、炭素鋼の融点(1450 °C (1723 K) 以上) から 300 °C以上となる。これらの温度未満で使用する場合は経年変化を考慮する必要はない。	48Y-JDTC 型輸送物の運搬中に予想される本輸送容器の温度は 65 °C以下である。 したがって、安全解析で考慮する経年変化はない。	—
		放射線	中性子線の照射量が当該材料の強度に影響が生じない照射量 (10^{16} n/cm ² オーダー) ³⁾ を下回ることを確認する必要がある。	40年間継続して使用する条件下で、自己遮蔽を無視し、構成部材の特定の 1 cm ² に集中して中性子が照射されたとしても、その累積照射量は 10^{14} n/cm ² オーダーである。 したがって、安全解析で考慮する経年変化はない。	—
		化学	外気との接触によって腐食を生じる可能性がある表面(外面)は、塗装その他の防錆処理を行う必要がある。	外気と接触する外面には、塗装による防食を施していることから、安全解析で考慮する経年変化はない。 なお、腐食の有無は定期の保守作業において確認する。	—
		疲労	当該部材は、使用期間中に吊上げ等による繰返し応力を受けることはないため、疲労による経年変化を考慮する必要はない。	—	—

必要性 ○：設計評価期間において経年変化を安全解析で考慮する必要があるもの。

—：設計評価期間において経年変化を安全解析で考慮する必要がないもの。

(ロ)-第F.1表 安全解析における輸送容器の構成部材に関する経年変化の考慮の必要性の評価 (6 / 10)

材料		要因	経年変化の考慮の必要性の検討	評価	必要性
弁 保 護 具	合金鋼 (出力軸)	熱	高温環境下における影響として、組織変化による強度低下及びクリープによる変形を考慮する。ASTM A320に規定する合金鋼では、相当するASME規格 ¹⁾ において使用可能温度が371℃以下と規定されている。また、クリープの影響を受ける温度は、融点(絶対温度)の3分の1以上 ²⁾ であり、合金鋼の融点(1450℃(1723K)以上)から300℃以上となる。これらの温度未満で使用する場合は経年変化を考慮する必要はない。	48Y-JDTC型輸送物の運搬中に予想される本輸送容器の温度は65℃以下である。 したがって、安全解析で考慮する経年変化はない。	—
		放射線	中性子線の照射量が当該材料の強度に影響が生じない照射量(10^{16} n/cm ² オーダー) ³⁾ を下回ることを確認する必要がある。	40年間継続して使用する条件下で、自己遮蔽を無視し、構成部材の特定の1cm ² に集中して中性子が照射されたとしても、その累積照射量は 10^{14} n/cm ² オーダーである。 したがって、安全解析で考慮する経年変化はない。	—
		化学	外気との接触によって腐食を生じる可能性がある表面(外面)は、塗装その他の防錆処理を行う必要がある。	外気と接触する外面には、防錆・潤滑剤の塗布による防食を施していることから、安全解析で考慮する経年変化はない。 なお、腐食の有無は定期的保守作業において確認する。	—
		疲労	当該部材は、使用期間中に吊上げ等による繰返し応力を受けることはないため、疲労による経年変化を考慮する必要はない。	—	—

必要性 ○：設計評価期間において経年変化を安全解析で考慮する必要があるもの。

—：設計評価期間において経年変化を安全解析で考慮する必要がないもの。

(ロ)-第F.1表 安全解析における輸送容器の構成部材に関する経年変化の考慮の必要性の評価 (7/10)

材料		要因	経年変化の考慮の必要性の検討	評価	必要性
弁保護具	鋳鋼品 (三角ブロック)	熱	高温環境下における影響として、組織変化による強度低下及びクリープによる変形を考慮する。当該鋳鋼品については、JSME規格 ¹⁰⁾ において375℃までの温度で設計用強度・物性値が規定されている。また、クリープの影響を受ける温度は、融点(絶対温度)の3分の1以上 ²⁾ であり、鋳鋼品の融点(1450℃(1723K)以上)から300℃以上となる。これらの温度未満で使用する場合は経年変化を考慮する必要はない。	48Y-JDTC型輸送物の運搬中に予想される本輸送容器の温度は65℃以下である。 したがって、安全解析で考慮する経年変化はない。	—
		放射線	中性子線の照射量が当該材料の強度に影響が生じない照射量(10^{16} n/cm ² オーダー) ³⁾ を下回ることを確認する必要がある。	40年間継続して使用する条件下で、自己遮蔽を無視し、構成部材の特定の1cm ² に集中して中性子が照射されたとしても、その累積照射量は 10^{14} n/cm ² オーダーである。 したがって、安全解析で考慮する経年変化はない。	—
		化学	外気との接触によって腐食を生じる可能性がある表面(外面)は、塗装その他の防錆処理を行う必要がある。	外気と接触する外面には、塗装による防食を施していることから、安全解析で考慮する経年変化はない。 なお、腐食の有無は定期の保守作業において確認する。	—
		疲労	当該部材は、使用期間中に吊上げ等による繰返し応力を受けることはないため、疲労による経年変化を考慮する必要はない。	—	—

必要性 ○：設計評価期間において経年変化を安全解析で考慮する必要があるもの。

—：設計評価期間において経年変化を安全解析で考慮する必要がないもの。

(ロ)-第F.1表 安全解析における輸送容器の構成部材に関する経年変化の考慮の必要性の評価 (8/10)

材料		要因	経年変化の考慮の必要性の検討	評価	必要性
耐熱キャップ・耐熱キャップ固定金具	炭素鋼 (耐熱キャップ固定金具 タイロッド・クランプ)	熱	高温環境下における影響として、組織変化による強度低下及びクリープによる変形を考慮する。当該炭素鋼については、JSME 規格 ¹⁰⁾ において 350 °C までの温度で設計用強度・物性値が規定されている。また、クリープの影響を受ける温度は、融点 (絶対温度) の 3 分の 1 以上 ²⁾ であり、炭素鋼の融点 (1450 °C (1723 K) 以上) から 300 °C 以上となる。これらの温度未満で使用する場合は経年変化を考慮する必要はない。	48Y-JDTC 型輸送物の運搬中に予想される本輸送容器の温度は 65 °C 以下である。 したがって、安全解析で考慮する経年変化はない。	—
		放射線	中性子線の照射量が当該材料の強度に影響が生じない照射量 (10^{16} n/cm ² オーダー) ³⁾ を下回ることを確認する必要がある。	40 年間継続して使用する条件下で、自己遮蔽を無視し、構成部材の特定の 1 cm ² に集中して中性子が照射されたとしても、その累積照射量は 10^{14} n/cm ² オーダーである。 したがって、安全解析で考慮する経年変化はない。	—
		化学	外気との接触によって腐食を生じる可能性がある表面 (外面) は、塗装その他の防錆処理を行う必要がある。	外気と接触する外面には、ユニクロメッキ処理による防食を施していることから、安全解析で考慮する経年変化はない。 なお、腐食の有無は定期的保守作業において確認する。	—
		疲労	当該部材は、使用期間中に吊上げ等による繰返し応力を受けることはないため、疲労による経年変化を考慮する必要はない。	—	—

必要性 ○：設計評価期間において経年変化を安全解析で考慮する必要があるもの。

—：設計評価期間において経年変化を安全解析で考慮する必要がないもの。

(ロ)-第F.1表 安全解析における輸送容器の構成部材に関する経年変化の考慮の必要性の評価 (9 / 10)

材料		要因	経年変化の考慮の必要性の検討	評価	必要性
耐熱キャップ・耐熱キャップ固定金具	ステンレス鋼 (耐熱キャップ内板・外板、耐熱キャップ固定金具、ブラケット)	熱	高温環境下における影響として、組織変化による強度低下及びクリープによる変形を考慮する。当該ステンレス鋼については、JSME規格 ¹⁰⁾ において425℃までの温度で設計用強度・物性値が規定されている。また、クリープの影響を受ける温度は、融点(絶対温度)の3分の1以上 ²⁾ であり、ステンレス鋼の融点(1350℃(1623K)以上)から260℃以上となる。これらの温度未満で使用する場合は経年変化を考慮する必要はない。	48Y-JDTC型輸送物の運搬中に予想される本輸送容器の温度は65℃以下である。 したがって、安全解析で考慮する経年変化はない。	—
		放射線	中性子線の照射量が当該材料の強度に影響が生じない照射量(10^{17} n/cm ² オーダー) ¹¹⁾ を下回ることを確認する必要がある。	40年間継続して使用する条件下で、自己遮蔽を無視し、構成部材の特定の1cm ² に集中して中性子が照射されたとしても、その累積照射量は 10^{14} n/cm ² オーダーである。 したがって、安全解析で考慮する経年変化はない。	—
		化学	ステンレス鋼は耐食性に優れた材料であるが、海塩粒子雰囲気におかれた場合、応力腐食割れを生じる可能性がある。応力腐食割れは、材料特性、応力の大きさ、腐食性環境の3条件の組み合わせから発生する可能性がない場合には考慮する必要はない。	当該材料は、輸送中は支持枠内に収納されており、海塩粒雰囲気とならず、応力腐食割れが進展する可能性はないことから、安全解析で考慮する経年変化はない。 なお、腐食の有無は定期の保守作業において確認する。	—
		疲労	当該部材は、使用期間中に吊上げ等による繰返し応力を受けることはないため、疲労による経年変化を考慮する必要はない。	—	—

必要性 ○：設計評価期間において経年変化を安全解析で考慮する必要があるもの。

—：設計評価期間において経年変化を安全解析で考慮する必要がないもの。

(ロ)-第F.1表 安全解析における輸送容器の構成部材に関する経年変化の考慮の必要性の評価 (10/10)

材料		要因	経年変化の考慮の必要性の検討	評価	必要性
耐熱キャップ・耐熱キャップ固定金具	セラミックファイバー (耐熱キャップ 断熱材)	熱	セラミックファイバーを加熱すると、950 °Cから1000 °C ¹²⁾ で、加熱収縮の原因となる結晶が析出する。この温度未満で使用する場合は経年変化を考慮する必要はない。	48Y-JDTC 型輸送物の運搬中に予想される本輸送容器の温度は65 °C以下である。したがって、安全解析で考慮する経年変化はない。	—
		放射線	中性子線の照射量が当該材料の結晶構造に影響が生じない照射量 (10^{16} n/cm ² オーダー) ¹³⁾ を下回ることを確認する必要がある。	40年間継続して使用する条件下で、自己遮蔽を無視し、構成部材の特定の1 cm ² に集中して中性子が照射されたとしても、その累積照射量は 10^{14} n/cm ² オーダーである。したがって、安全解析で考慮する経年変化はない。	—
		化学	無機材料であり、通常使用では安定であることから、密封空間内であれば腐食が生じるおそれはない。	外気との接触が無いことから、安全解析で考慮する経年変化はない。	—
		疲労	当該部材は、使用期間中に吊上げ等による繰返し応力を受けることはないため、疲労による経年変化を考慮する必要はない。	—	—

必要性 ○：設計評価期間において経年変化を安全解析で考慮する必要があるもの。

—：設計評価期間において経年変化を安全解析で考慮する必要がないもの。

F.3 安全解析における経年変化の考慮内容

(ロ)-第F.1 表に示す評価結果から、本輸送物に関して経年変化を考慮する必要はない。

F.4 付属書類

参考文献

- 1) The American Society of Mechanical Engineers, “ASME Boiler & Pressure Vessel Code Section II Part D, 2021 Edition”, (2021).
- 2) 木村一弘, “耐熱鋼のクリープ破断寿命予測”, 日本金属学会誌 第 73 卷 第 5 号, (2009).
- 3) K. Farrell, S. T. Mahmood, R. E. Stoller, L. K. Mansur, “An Evaluation of Low Temperature Radiation Embrittlement Mechanisms In Ferritic Alloys”, Journal of Nuclear Materials, Vol 210, (1994).
- 4) M. B. Fortune, C. H. Green, “UF6 CYLINDER TESTING”, KY-498, U. C. C (1965).
- 5) S. J. Zinkle, G. L. Kulcinski, “Low-Load Microhardness Changes in 14-MeV Neutron Irradiated Copper Alloys”, ASTM STP 888, 141-160 (1986).
- 6) S. W. VORSTER, “CORROSION BEHAVIOUR OF COPPER ALLOYS IN GASEOUS URANIUM HEXAFLUORIDE”, University of the Witwatersrand, (1978).
- 7) T. T. Claudson, “Cladding and Structural Materials Semi-Annual Progress Report”, HEDL-TME 75-77, (1975).
- 8) NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION, “NUCLEAR AND SPACE RADIATION EFFECTS ON MATERIALS”, NASA SP-8053, (1970).
- 9) S. C. Blue, D. E. Underwood, “The Corrosion of Highly Alloyed Metals”, KY/L-1990, LOCKHEED MARTIN UTILITY SERVICES, (1998).
- 10) (一社)日本機械学会, “発電用原子力設備規格 材料規格 (2012 年版)”, JSME S NJ1-2012, (2012).
- 11) (一社)日本原子力学会, “使用済燃料中間貯蔵施設用金属キャスクの安全設計及び検査基準:2010”, AESJ-SC-F002:2010, (2010).
- 12) 山下光雄, 若松盈, “高温断熱材としてのアルミナ繊維”, 鉄と鋼 第 69 年 第 16 号, (1983).
- 13) 福谷耕司, 寺沢倫孝, 小沢国夫, “セラミック絶縁材料の放射線効果に関するデータ収集 (新データの追加および評価による改正版) ” (1987)

ロ章-G 外運搬規則及び外運搬告示に対する適合性の評価

外運搬規則 の項目	外運搬告示 の項目	説 明	申請書記載 対応項目
		<p>3. 本輸送容器の構成部材について、経年変化の考慮の必要性を評価した結果を以下に示す。</p> <p>a. 熱的劣化 本輸送物の運搬中に予想される本輸送容器の温度は 65 °C 以下であり、使用する材料の規格等の使用可能温度及びクリープの影響を受ける温度を十分に下回ることから、安全解析で考慮する経年変化はない。</p> <p>b. 放射線照射による劣化 本輸送物の使用期間中に想定される中性子照射量は 10^{14} n/cm² オーダーであり、材料強度等に影響が生じない照射量と比べて十分に下回ることから、安全解析で考慮する経年変化はない。</p> <p>c. 化学的劣化 本輸送物の六ふっ化ウランと接触する内面には、耐食性のある炭素鋼等の材料を使用し、外気と接触する外面には、耐食性のあるステンレス鋼等の材料又は塗装等による防食を施した炭素鋼等の材料を使用していることから、使用期間中は腐食等の影響を受けない。なお、腐食の有無は定期の保守作業において確認する。したがって、安全解析で考慮する経年変化はない。</p> <p>d. 疲労による劣化 本輸送容器の使用期間中にシリンダの吊金具が荷重を繰返し受けることが想定されるが、吊金具の使用計画回数 (N_d: 40 回) は許容繰返し回数 (N_a: 2.4×10^5 回) を十分に下回っていることから、吊金具の疲労強度は十分である。また、シリンダの内外圧力差により生じる応力については、ASME 規格に基づく疲労解析が不要となる条件 (使用材料の規定最小引張強さ (552 N/mm^2 以下に対し 415 N/mm^2) 及び合計繰返し回数 (1000 回以下に対し 250 回)) を満たしており、繰返し応力</p>	

外運搬規則 の項目	外運搬告示 の項目	説 明	申請書記載 対応項目
<p>(L型輸送物に係る技術上の基準) 第4条第1号</p>		<p>による疲労解析は不要である。したがって、安全解析で考慮する経年変化はない。</p> <p>以上により、使用期間中において、本輸送物は経年変化の影響はないことから安全解析で考慮する経年変化はない。</p> <p>(規則第5条第1号より) 本輸送物は、以下に示すように容易かつ安全に取扱うことができる。</p> <p>a. 本輸送物は、専用の輸送機材に固定されており、コンテナリフトを使用して容易に取扱うことができる。また、輸送物は専用の輸送機材を用いて、海上輸送は輸送船、陸上輸送は貨車又はコンテナ専用トレーラに強固に積み付けられる等、安全に取扱えるものである。</p> <p>b. 弁保護具のシリンダへの固定は、耐熱キャップ支持枠に取付けられているアジャストハンドル及びウォームギアハンドルを回すことにより、容易かつ安全に行うことができる。</p> <p>c. 耐熱キャップのシリンダへの固定は、耐熱キャップ支持枠をスライドさせ、固定金具のネジを締め付けることにより、容易かつ安全に行うことができる。</p>	<p>(イ)-C</p> <p>(ハ)-A.1</p> <p>(ハ)-A.1</p>
<p>第2号</p>		<p>(規則第5条第1号より) 本輸送物は、以下に示すように運搬中に予想される温度、内圧の変化及び振動等により、き裂、破損等の生じるおそれはない。</p> <p>a. 運搬中に予想される周囲の温度は、-40℃から38℃であり、この温度は、主要構成材料の脆性遷移</p>	<p>(ロ)-A.4.2</p>

外運搬規則 の項目	外運搬告示 の項目	説 明	申請書記載 対応項目
		<p>温度又は最低使用温度以上であり、主要構成材料にき裂、破損等の生じるおそれはない。</p> <p>b. 本輸送物の予想される温度変化（収納物温度：-40℃から54℃）に伴う内圧変動により、き裂、破損等の生じるおそれはない。</p> <p>c. 本輸送物の吊上装置（吊金具）は、静荷重の5倍に耐えるよう設計しており、通常の輸送時にき裂、破損等の生じるおそれはない。</p> <p>d. 本輸送物の固縛装置（吊金具、耐熱キャップ固定金具）は、輸送中発生する上下及び前後方向加速度2G並びに左右方向加速度1Gに耐えるように設計しており、通常の輸送時にき裂、破損等の生じるおそれはない。</p> <p>e. 本輸送物の固有振動数（57.7 Hz以上）と通常の輸送時の振動数には差があるので、輸送中に共振することはなく、振動によりき裂、破損等の生じるおそれはない。</p>	<p>(ロ)-A. 4. 6</p> <p>(ロ)-A. 4. 4</p> <p>(ロ)-A. 4. 5</p> <p>(ロ)-A. 4. 7</p>
第4条第3号		<p>(規則第5条第1号より)</p> <p>本輸送物の表面には、補強リング、耐熱キャップ固定金具等の突起物があるが、これら以外の不要な突起物はない。また、本輸送物の表面の構成材料は、ステンレス鋼又は塗装された炭素鋼であり、その表面は滑らかに仕上げられており、除染は容易である。</p>	(イ)-C
第4号		<p>(規則第5条第1号より)</p> <p>本輸送物には、多種の材料が使われているが、各々の材料相互の間及び収納物との間では、危険な物理的又は化学的作用を起こすおそれはない。</p>	(ロ)-A. 4. 1

外運搬規則 の項目	外運搬告示 の項目	説 明	申請書記載 対応項目
第4条第5号		(規則第5条第1号より) 本輸送物には、六ふっ化ウランの出 し入れのために、弁を設けている。 輸送中、弁は弁保護具で覆われてお り、誤って操作されることはない。	(ロ)-A.4.3
第8号	(表面密度限 度) 第9条	(規則第5条第1号より) 本輸送物の発送前検査において、輸 送物表面の放射性物質密度が、アル ファ線を放出する放射性物質につい ては 0.4 Bq/cm ² 、アルファ線を放出 しない放射性物質については 4 Bq/cm ² 以下であることを確認したう えで発送する。	(ハ)-A.2
第10号		(規則第5条第1号より) 本輸送物の発送前検査において、本 輸送物に所定のもの以外が収納され ていないことを確認する。	(ハ)-A.2
(A型輸送物に 係る技術上の基 準) 第5条第1号		(規則第8条より) 前条(第4条)第1号から第5号ま で、第8号及び第10号についての説 明のとおり。	
第2号		(規則第8条より) 本輸送物の外形寸法は、外径約1.4m、 長さ約4.1mの円筒形容器であり、 各辺が10cmの直方体より十分大き い。	(イ)-C
第7号	(線量当量率) 第8条	(規則第8条より) 通常の輸送時における本輸送物の表 面における最大線量当量率は、0.118 mSv/hであり、2mSv/hを超えるこ とはない。	(ロ)-D.5
第8号		(規則第8条より) 通常の輸送時における本輸送物の表 面から1m離れた位置における最大 線量当量率は33μSv/hであり、100 μSv/hを超えることはない。	(ロ)-D.5
(IP-1型輸 送物に係る技術 上の基準)			

外運搬規則 の項目	外運搬告示 の項目	説 明	申請書記載 対応項目
第 8 条 (六ふっ化ウランに係る核燃料輸送物の技術上の基準)		規則第 5 条第 1 号、第 2 号、第 7 号及び第 8 号についての説明のとおり。	
第 12 条		経年変化の考慮については、第 3 条第 3 項の技術上の基準に対する適合性において説明のとおり、経年変化の要因として熱的劣化、放射線照射による劣化、化学的劣化及び疲労による劣化を考慮し、使用予定年数、使用予定回数を踏まえ、影響評価を行った結果、輸送物に経年変化の影響はない。	(ロ)-F
第 1 項第 1 号		六ふっ化ウランのシリンダへの充填時の最高温度 121 °Cにおいて、シリンダの最小容積の 95 %となる最大収納重量が決定されている。また、発送の都度、収納物検査を行い、重量について確認する。	(ハ)-A.2
第 2 号		通常の運搬状態での六ふっ化ウランの温度は、三重点以下であり、その時の六ふっ化ウランは固体状態かつシリンダ内は負圧となる。また、発送の都度、収納物検査を行い、内圧について確認する。	(イ)-D (ハ)-A.2
第 2 項	(原子力規制委員会の定める量の六ふっ化ウラン) 第 28 条	本輸送物は、0.1 kg 以上の六ふっ化ウランを収納する。	(イ)-D
第 1 号	(六ふっ化ウラン輸送物に係る耐圧試験の条件) 第 29 条 別記第 13	シリンダは以下の耐圧試験条件で漏えいがない耐圧設計となっている。また、製造時に同様の耐圧試験を実施し、漏えいのないことを確認する。 (1) 2.76 MPa 以上の水圧を加える。 (2) 運搬中に想定される圧力の最大値 (設計圧力 1.38 MPa) の 2 倍の圧力を加えた後、当該圧力の 1.5 倍まで降圧する。 (3) 弁を取付けた後、0.69 MPa の気圧を加える。	(ロ)-C.2.1 (参考)-B.5

外運搬規則 の項目	外運搬告示 の項目	説 明	申請書記載 対応項目
第 12 条 第 2 項第 2 号	(六ふっ化ウ ラン輸送物に係 る一般の試験 条件) 第 30 条 別記第 14	上記試験条件下に置いた場合に、受 け入れられない応力が発生するこ とはない。 以下の条件に置いて評価した結果、 放射性物質の漏えいがなく、弁の損 傷もない。 (1)自由落下 本輸送物の重量は収納物重量 によって異なり 11,940 kg 以上 15,640 kg 以下となるが、落下高 さを安全側に 0.6m、輸送物重量 を 15,640 kg とし、落下時に輸 送物が最大損傷を受けるよう、 垂直、水平、コーナー及び傾斜 の各姿勢での変形量及び歪みに ついて評価している。 (2) 本輸送物は、重量が 11,940 kg 以上 15,640 kg 以下の鋼製の円 筒形であるため、本要件の適用 を受けない。	(ロ)-A. 4. 6 (ロ)-A. 5. 3
第 3 号	(六ふっ化ウ ラン輸送物に係 る特別の試験 条件) 第 31 条 別記第 15	以下の条件に置いて評価した結果、 密封装置の破損はない。 (1) 本輸送物は、0.9 の火炎放射率 をもつ 800 °C の熱放射環境に 30 分間さらされるとして評価して いる。輸送物の表面の放射率は 0.8 として評価している。 (2) 本輸送物は、加熱停止後、38 °C の環境温度中で別記第 4 第 1 号 に定める放射熱を付加し、自然 冷却の状態、シリンダ外表面 温度が下がるまで評価してい る。	(ロ)-B. 5
第 4 号		本輸送物には、六ふっ化ウランの出 し入れのために弁を設けているが、 過圧防止効果を有する安全弁等の装 置はないため、本要件の適用を受け ない。	(イ)-C
第 3 項		前項で適合しているため、本要件の 適用を受けない。	

ハ章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱方法

(ハ)-A 核燃料輸送物の取扱方法

本輸送物の標準的な取扱いは、以下の方法により行われる。本輸送物の標準的な取扱いのフローを (ハ)-第A.1図に示す。

A.1 装荷方法

(1) シリンダの準備

六ふっ化ウランの充填に先立ち、シリンダの外観検査を行う。また、吊上装置を用いてシリンダを吊上げ、空容器重量の測定を行う。

(2) 六ふっ化ウランの準備及び充填

(i) 収納物である六ふっ化ウランは濃縮度の測定を行い、仕様に合致していることを確認する。

(ii) 六ふっ化ウランをシリンダへ充填する。充填後、吊上装置を用いてシリンダを測定場所に移動し、充填量を重量により測定する。また、シリンダの弁及び閉止栓に異常のないことを確認する。

(iii) 冷却により六ふっ化ウランを固形化させた後、充填シリンダにおける内圧の測定を行い、仕様に合致していることを確認する。

(3) 弁保護具、耐熱キャップ、耐熱キャップ固定金具及び輸送機材の準備

弁保護具、耐熱キャップ、耐熱キャップ固定金具及び輸送機材は、機能が損なわれていないことが確認されたものを使用する。

輸送機材のシャッターを開放し、弁保護具側及び閉止栓側の耐熱キャップ支持枠を開放方向へスライドさせる。

(4) 輸送物の組立作業

(i) 吊上装置を用いてシリンダを吊上げ、輸送機材のシリンダ架台（R台）上に吊降ろし、輸送機材のターンバックルをシリンダの吊金具に取付け、固縛する。

(ii) 閉止栓側耐熱キャップ支持枠をスライドさせ、所定位置に固定する。

(iii) 弁保護具側耐熱キャップ支持枠を閉止方向へスライドさせ、以下の手順により、弁保護具を固定する。

(イ) 支持枠に取付けた押しハンドルを押し込み限界まで回し、弁保護具をシリンダスカートへ押し付ける。

(ロ) 支持枠の下部の窓部を開け、ウォームギアハンドルを回し、弁保護具スライド部のネジを回転させ、スライド部をシリンダスカート内面に張り出させることにより、弁保護具をシリンダに密着させる。

(ハ) 固定を確実にするため、既定のトルク（110 N・m）でウォームギアを締め付け、弁保護具をシリンダに固定する。

(ニ) ウォームギア逆転防止ストッパを取付ける。

(ホ) 押しハンドルを戻し方向に軽くなるまで回す。

(iv) 押しハンドルの固定ナット、押しハンドル機構を支持枠に固定しているボルト及び弁保護具緊急解縛ナットを外す。

(v) 弁保護具側耐熱キャップ支持枠を開放方向へスライドさせて弁保護具と耐熱キャップを分離し、押しハンドル機構を支持枠から取外す。

- (vi) 押しハンドル機構と弁保護具を繋いでいる差込棒を外し、押しハンドル機構と弁保護具を分離する。また、弁保護具を吊っていたチェーンを弁保護具に固定する。
- (vii) 弁保護具側耐熱キャップ支持枠を閉止方向へスライドさせる。
- (viii) 弁保護具側及び閉止栓側の各 3 箇所の耐熱キャップ固定金具を、シリンダ補強リングに固定する。
- (ix) 輸送機材のシャッターを閉鎖する。

A.2 核燃料輸送物の発送前検査

本輸送物を発送する前に、(ハ)-第A.1表に示す発送前検査を実施し、本輸送物の健全性を確認する。

(ハ)-第A.1表 発送前検査要領

検査項目	検査方法	合格基準
1. 外観検査	シリンダ、弁保護具、耐熱キャップ及び耐熱キャップ固定金具の外観を目視により確認する。	1. 有害な変形、傷、割れ等の異常がないこと。 2. 弁及び閉止栓の取付状態に異常のないこと。
2. 固縛検査	シリンダ、弁保護具、耐熱キャップ及び耐熱キャップ固定金具の固縛作業が所定の方法に従って行われていることを記録により確認する。	1. 弁保護具がシリンダスカートに押し付けられていること。 2. シリンダスカートへの三角ブロック固定時に、ウォームギアが 110 N・m で締められていること。 3. 耐熱キャップ固定金具により、シリンダと耐熱キャップが固定されていること。
3. 表面密度検査	スマイヤ法によりシリンダの表面密度を測定する。	アルファ線を放出する放射性物質にあつては 0.4 Bq/cm ² 以下、アルファ線を放出しない放射性物質にあつては 4 Bq/cm ² 以下であること。
4. 線量当量率検査	シリンダの表面及び表面から 1 m 離れた位置でのガンマ線量率をサーベイメータにより測定する。	シリンダ表面において 2 mSv/h 以下であること。 シリンダ表面から 1 m 離れた位置において 0.1 mSv/h 以下であること。
5. 収納物検査	1. 濃縮度、重量(充填量)及び内圧を記録により確認する。 2. 本輸送物に所定のもの以外が収納されていないことを確認する。	1-1. 濃縮度が 0.72 wt%以下であること。 1-2. 重量(充填量)が 8,800 kg 以上 12,500 kg 以下であること。 1-3. 38 ℃においてシリンダ内圧が負圧であること。 2. 本輸送物に所定のもの以外が収納されていないこと。

6. 重量検査	重量(充填量)を測定した結果に、シリンダ、弁保護具、耐熱キャップ及び耐熱キャップ固定金具の設計重量を加算することにより検査する。	重量(充填量)が 8,800 kg 以上 12,500 kg 以下であり、輸送物総重量が 15,640 kg 以下であること。
---------	--	---

A.3 取出し方法

(1) 搬入作業

搬入場所に、輸送車両により本輸送物を搬入する。

(2) シリンダ及び弁保護具の取出し

(i) 輸送機材のシャッターを開放する。

(ii) 弁保護具側及び閉止栓側の各 3 箇所の耐熱キャップ固定金具をシリンダの補強リングから取外す。

(iii) 弁保護具側及び閉止栓側の耐熱キャップ支持枠を開放方向へスライドさせる。

(iv) ターンバックルをシリンダの吊金具から取外す。

(v) クレーン及び吊具を用いて、弁保護具が取付けられた状態のシリンダを吊上げ、貯蔵場所へ移動する。

(3) 弁保護具の取外し

(i) ウォームギア逆転防止ストッパを取外す。

(ii) ウォームギアを緩め、弁保護具の固定を解除する。

(iii) クレーン及び吊具を用いて、弁保護具をシリンダから取外す。

(4) シリンダの受入検査

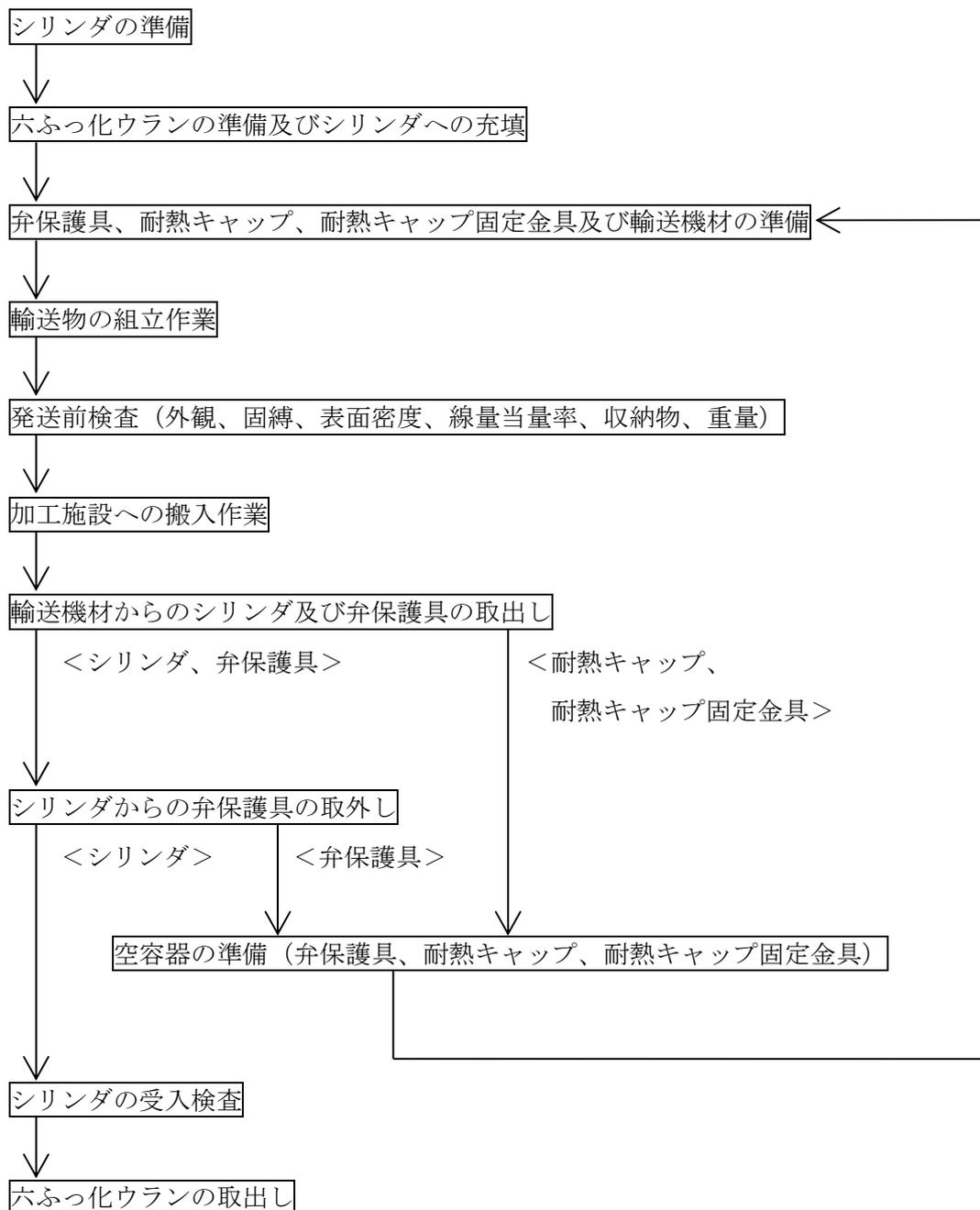
シリンダの受入検査を実施する。

(5) 六ふっ化ウランの取出し

加工施設の設備を用いて、シリンダを所定の装置にセットし、六ふっ化ウランを取出す。

A.4 空容器の準備

弁保護具、耐熱キャップ及び耐熱キャップ固定金具は、保守点検を実施した後、次回に使用するまでの間、所定の場所にて保管する。



【凡例】

□ : 取扱方法

< > : 取扱対象物

(ハ) 第A.1図 核燃料輸送物の標準的な取扱いフロー

(ハ)-B 保守条件

シリンダ、弁保護具、耐熱キャップ及び耐熱キャップ固定金具の仕様を、長期にわたり保証できる保守条件について以下に示す。

B.1 外観検査

- (1) シリンダ、弁保護具、耐熱キャップ及び耐熱キャップ固定金具に有害な変形、傷、割れ等がないことを目視により確認する。

目視による確認の頻度は1年に1回以上行う。

- (2) 吊金具と補強リングの溶接部は、磁粉探傷検査又は浸透探傷検査により、溶接部に割れがないことを確認する。

磁粉探傷検査又は浸透探傷検査の頻度は5年を超えない期間に1回行う。ただし、六ふっ化ウラン充填中のため5年以内に定期自主検査が出来ないシリンダについては、その後1年以内に行う。

B.2 耐圧検査

シリンダに対し、2.76 MPa の水圧を加え、次に 2.07 MPa まで減圧して、シリンダに異常な変形がなく、水の漏えいのないことを確認する。

耐圧検査の頻度は5年を超えない期間に1回行う。ただし、六ふっ化ウラン充填中のため5年以内に定期自主検査が出来ないシリンダについては、その後1年以内に行う。

B.3 気密漏えい検査

シリンダに対し、0.69 MPa の空気圧を加え、ソープバブル検査により、発泡のないことを確認する。

気密漏えい検査の頻度は5年を超えない期間に1回行う。ただし、六ふっ化ウラン充填中のため5年以内に定期自主検査が出来ないシリンダについては、その後1年以内に行う。

B.4 遮蔽検査

本輸送物は特別な遮蔽体を用いていないので該当しない。

B.5 未臨界検査

本輸送物は天然六ふっ化ウランのみを輸送するため該当しない。

B.6 熱検査

該当しない

B.7 吊上検査

該当しない

B.8 作動確認検査

B.13 に示す弁保護具、耐熱キャップ及び耐熱キャップ固定金具の定期自主検査要領に基づき作動確認検査を実施する。

作動検査の頻度は1年に1回以上行う。

B.9 補助系の保守

該当しない

B.10 密封装置の弁、ガスケット等の保守

密封装置であるシリンダには弁及び閉止栓が取付けられており、5年に1回実施する定期自主検査の際に取替え、気密漏えい検査を実施する。

なお、六ふっ化ウラン充填前及び1年に1回以上実施する外観検査の際に、弁及び閉止栓に欠陥が検出された場合はこれを健全なものと交換し、気密漏えい検査を実施する。

B.11 輸送容器の保管

シリンダ、弁保護具、耐熱キャップ及び耐熱キャップ固定金具は、所定の場所で保管する。

B.12 記録の保管

輸送容器の製造時に係る検査記録及び定期自主検査に係る記録は、輸送容器の使用期間中保管する。

B.13 その他

シリンダ、弁保護具、耐熱キャップ及び耐熱キャップ固定金具の定期自主検査は(ハ)-第B.1表、(ハ)-第B.2表の項目について実施する。

(ハ)-第B.1表 シリンダの定期自主検査要領

検査項目	検査方法	合格基準	検査頻度
1. 外観検査	シリンダの外観を目視により検査する。	有害な変形、傷、割れ等がないこと。	1年に1回以上
	吊金具と補強リングの溶接部を、磁粉探傷検査又は浸透探傷検査により検査する。	溶接部に割れがないこと。	5年に1回 (注1)
2. 耐圧検査	シリンダに2.76 MPaの水圧を加え、次に2.07 MPaまで減圧して水の漏えいを検査する（弁を除く）。	1. シリンダに異常な変形がないこと。 2. 水の漏えいがないこと。	5年に1回 (注1)
3. 気密漏えい検査	シリンダに0.69 MPaの空気圧を加え、ソープバブル検査により気密性を検査する。	弁及び閉止栓からの発泡のないこと。	5年に1回 (注1)
4. 板厚検査	シリンダの板厚を超音波厚さ計又は超音波探傷器により検査する。	シリンダの板厚が12.7 mm以上であること。	5年に1回 (注1)

注1：六ふっ化ウラン充填中のため前回の定期自主検査から5年以上経過したシリンダについては、その後1年以内に当該定期自主検査を実施する。

(ハ)-第B.2表 弁保護具及び耐熱キャップの定期自主検査要領

検査項目	検査方法	合格基準	検査頻度
1. 外観検査	弁保護具、耐熱キャップ、耐熱キャップ固定金具の外観を目視により検査する。	有害な変形、傷、割れ等がないこと。	1年に1回以上
2. 作動検査	三角ブロック（ウォームギア）の伸縮、押しハンドルの回転を行うことにより、作動状態を検査する。	作動に異常がないこと。	1年に1回
3. 寸法検査	弁保護具（三角ブロックギアボックス、上部ひさし部）の位置をスケール等により測定する。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 弁保護具下部（三角ブロックギアボックス）とR台弁保護具側側面の水平距離が547 mm以下であること。 2. 弁保護具下部（三角ブロックギアボックス）とR台底面の垂直距離が45 mm以上であること。 3. 弁保護具上端（ひさし部の中央面取角部）とR台底面の垂直距離が1,222 mm以下であること。 	1年に1回

二章 安全設計及び安全輸送に関する特記事項

1. 技術基準が変更となった場合及び新たな技術的知見が得られた場合の対応について
外運搬規則等の改正に伴い本輸送物に係る技術上の基準が変更となった場合及び新たな技術的知見が得られた場合は、設計への影響を評価し、必要に応じて設計変更承認申請等の手続きを行う。

参考 輸送容器の製作の方法の概要に関する説明

参考 輸送容器の製作の方法の概要に関する説明

(参)-A 輸送容器の製作方法

A.1 概要

本輸送容器の構成は次のとおりである。

シリンダ：胴板、鏡板、スカート、補強リング、吊金具、弁、閉止栓

弁保護具：弁保護具、出力軸、三角ブロック

耐熱キャップ（弁側・閉止栓側）：耐熱キャップ内板・外板、断熱材、固定金具

輸送容器の外観形状は(参)-第A.1図に、その詳細を(参)-第A.2図、(参)-第A.3図、及び(参)-第A.4図に示す。

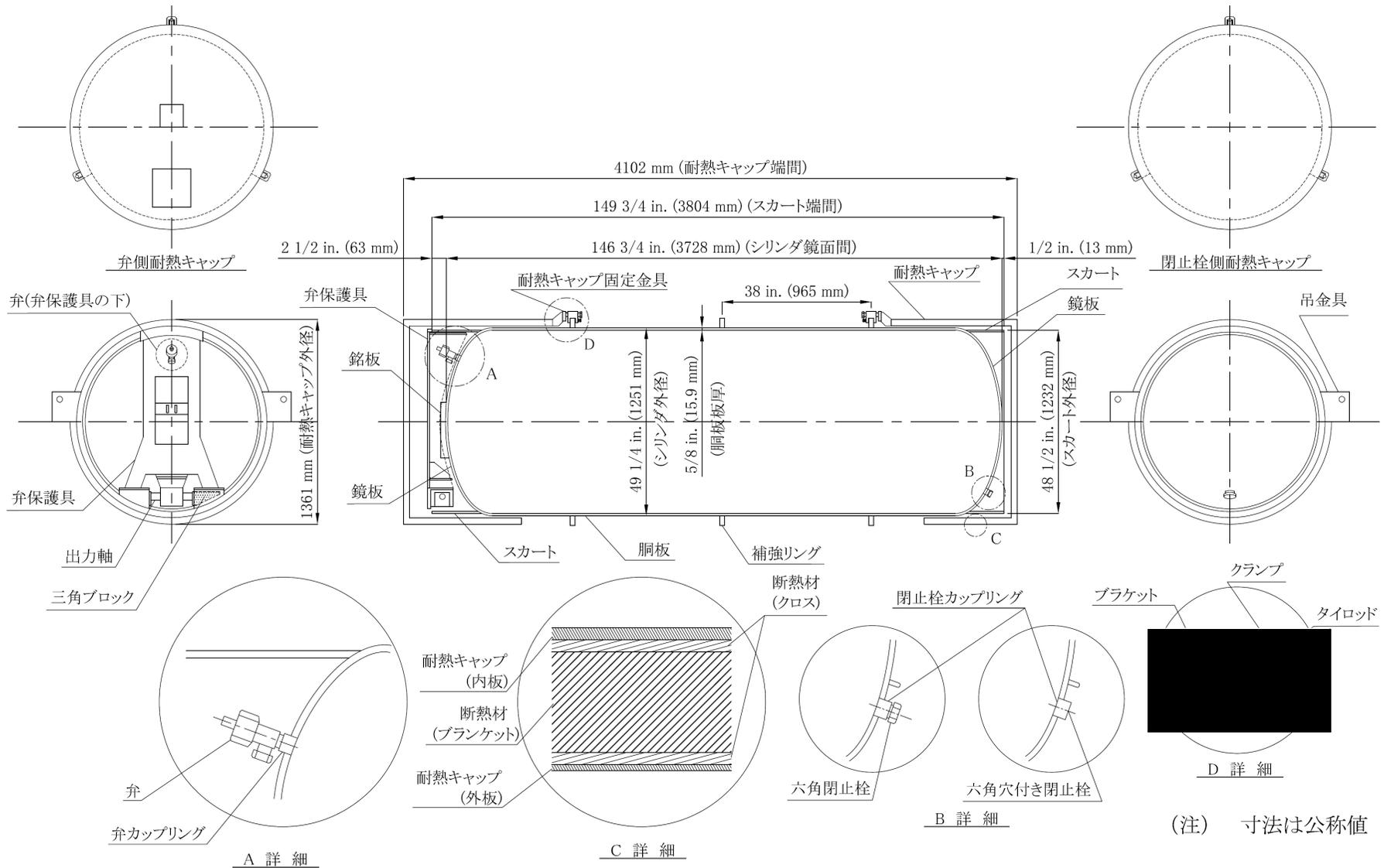
輸送容器の製作工程を(参)-第A.5図に、主要部品の製作工程の概要を以下に示す。

(1) シリンダ

- (イ) 中・低温圧力容器用炭素鋼鋼板を所定の寸法に切断し、溶接部の開先を加工し、プレスにより円筒状に曲げ加工を行った後、溶接してシリンダ胴板とする。
- (ロ) 中・低温圧力容器用炭素鋼鋼板を所定の寸法に切断し、プレスによる曲げ加工し、開先を加工し、機械加工等により穴を開け、弁及び閉止栓用カップリングを溶接して鏡板とする。
- (ハ) 中・低温圧力容器用炭素鋼鋼板を所定の寸法に切断し、プレスにより円筒状に曲げ加工を行った後、溶接してスカートとする。
- (ニ) 中・低温圧力容器用炭素鋼鋼板を所定の寸法に切断し、補強リングとする。
- (ホ) 中・低温圧力容器用炭素鋼鋼板を所定の寸法に切断し、吊金具とする。
- (ヘ) 胴板、鏡板、スカート、吊金具、補強リングに対し、サンドブラスト若しくはショットブラストを行う。
- (ト) スカートを鏡板に溶接する。
- (チ) 鏡板を胴板に溶接する。なお、必要に応じて裏当て金を取付けて溶接する。
- (リ) 補強リングを胴板に溶接する。
- (ヌ) 吊金具を補強リング及び胴板に溶接する。
- (ル) 胴板と鏡板の溶接部と胴板長手継手の溶接部の交点の一箇所及び補強リングの突合せ溶接部の放射線透過検査を行う。また、吊金具と補強リングの溶接部の磁粉探傷検査又は浸透探傷検査を行う。
- (ヲ) 空のシリンダの重量及び水が充填されたシリンダの重量との比較、若しくは、水の排水量を測定し、容積を求める。
- (ワ) 水を充填して耐圧検査を行う。
- (カ) 弁及び閉止栓をトルク管理し取付け、気密漏えい検査を行い、塗装する。
- (ヨ) 外観検査及び寸法検査を行う。なお、弁保護具及び耐熱キャップには48Yシリンダとして設計・製作されたシリンダであれば、いずれのシリンダも収納し得るよう設計されているため、外観検査及び寸法検査によ

り弁保護具及び耐熱キャップとシリンダとの間の互換性が確認できる。

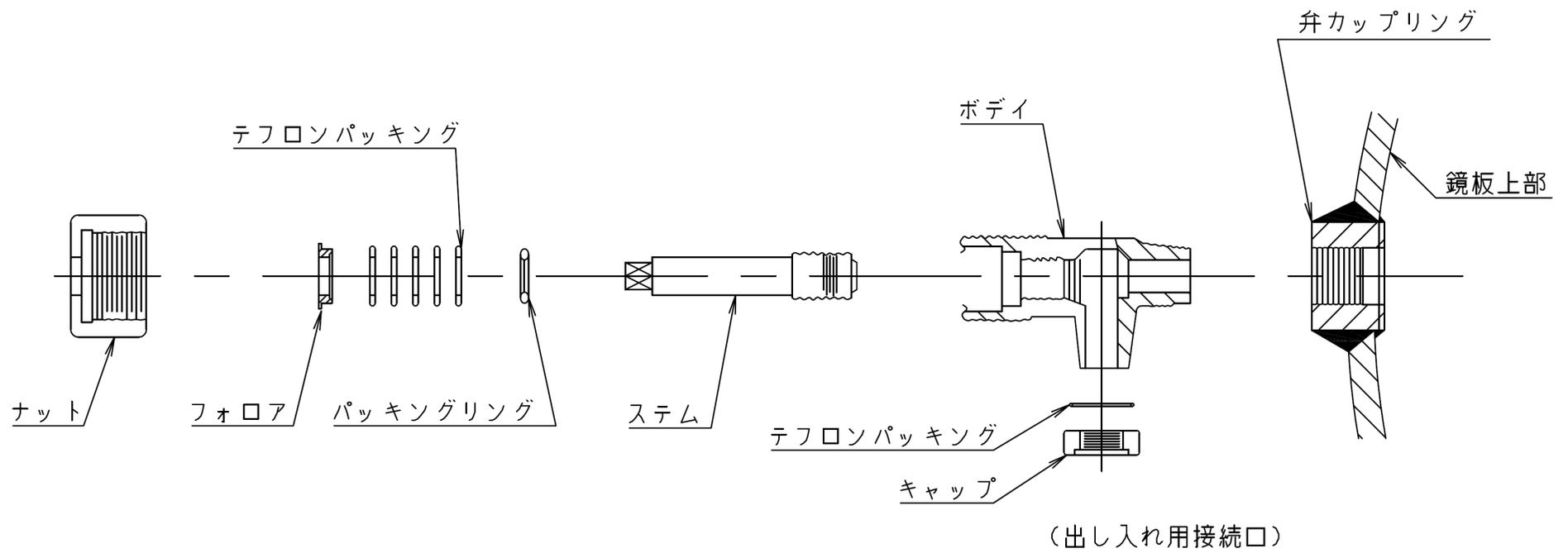
(参)-A-3



(注) 寸法は公称値

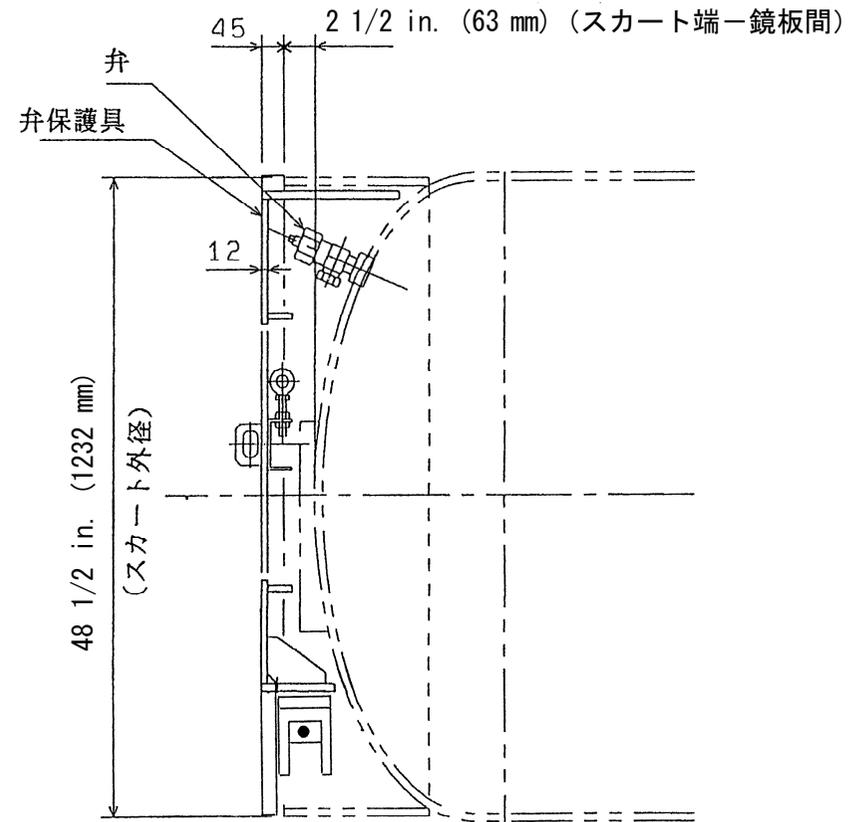
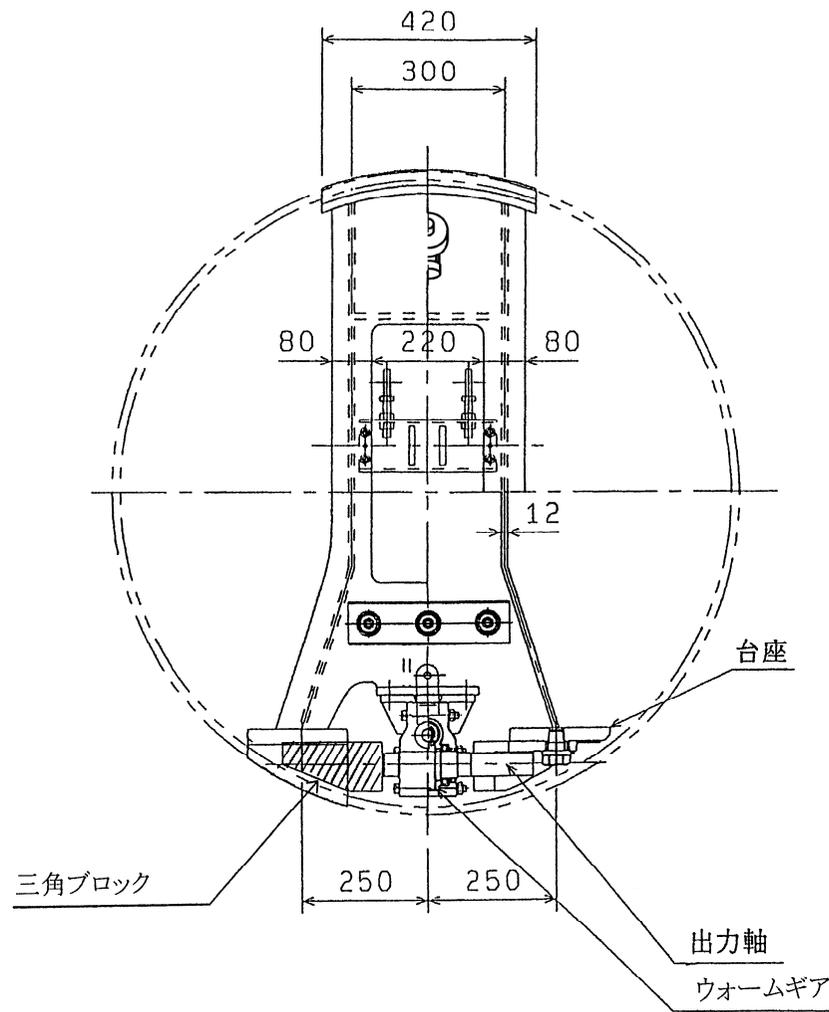
(参)-第A.1図 輸送容器構造図

(参)-A-4



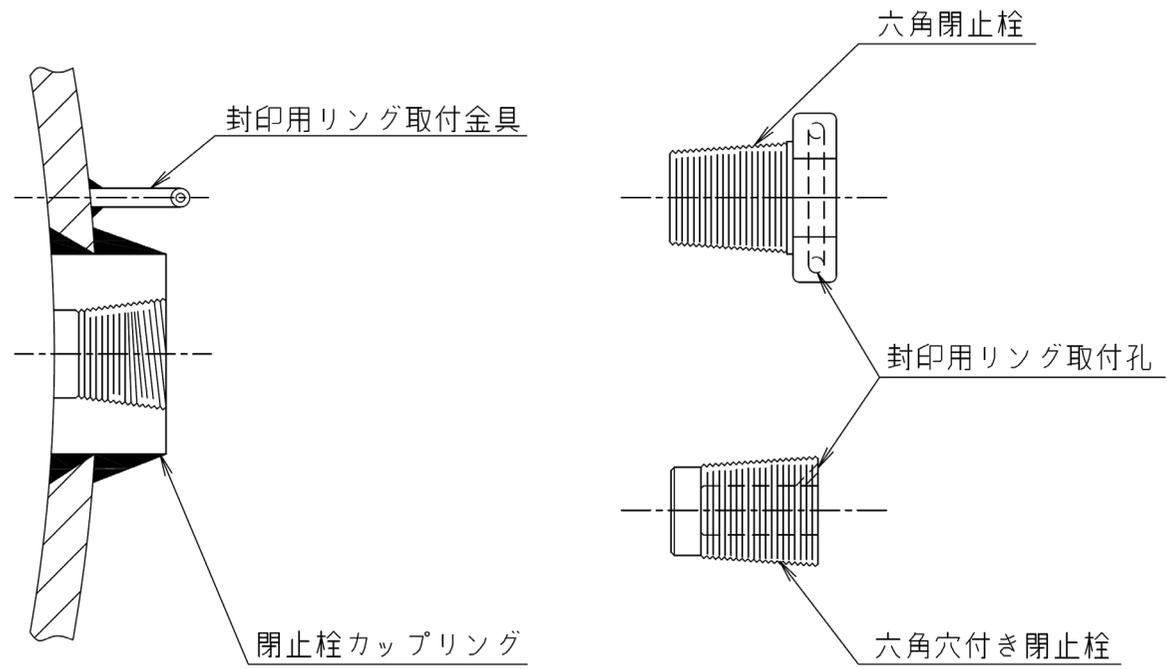
(参)-第A.2図 弁

(参)-A-5



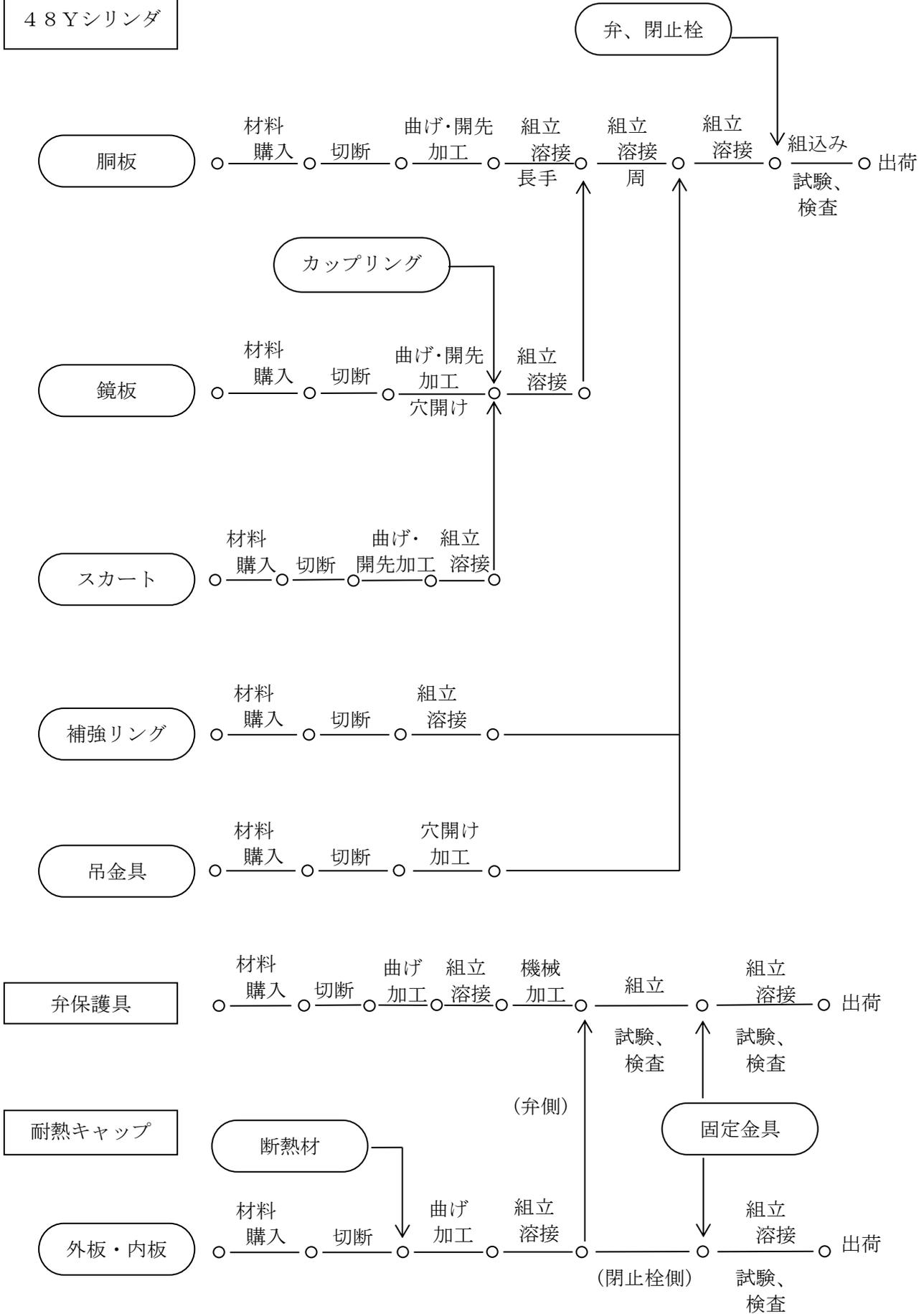
単位:mm

(参)-第A.3図 弁保護具



(参)-第A.4図 閉止栓

48Yシリンダ



(参)-第A.5図 輸送容器の全体製作工程図例

(2) 弁保護具

- (イ) 鋼板を所定の寸法に切断し、プレスによる曲げ加工を行い、組立溶接をする。
- (ロ) 寸法検査・外観検査及び溶接部の浸透探傷検査をする。
- (ハ) 弁保護具は48Yシリンダとして設計・製作されたシリンダであればいずれのシリンダにも装着し得るよう、弁保護具とシリンダの間には互換性がある。また、輸送機材（弁保護具、耐熱キャップ、耐熱キャップ支持枠、専用コンテナ）の組立時に弁保護具及び耐熱キャップとシリンダとの互換性検査を実施している。

(3) 耐熱キャップ

- (イ) 鋼板を所定の寸法に切断した後、一部をプレス及びベンディングロールによる曲げ加工を行って耐熱キャップの内板及び外板とする。
- (ロ) 内板の外側に断熱材を張り付けながら、外板を組合せ溶接する。
- (ハ) 鋼板を所定の寸法に切断後、組立溶接を行い、固定金具ブラケットとする。
- (ニ) 固定金具ブラケットを、耐熱キャップ外板に溶接により取付ける。
- (ホ) 寸法検査・外観検査及び溶接部の浸透探傷検査をする。

A.2 材料の説明

A.2.1 板材料

本輸送容器の製作に使用される板材料は、米国規格に定められている中・低温圧力容器用炭素鋼鋼板、日本産業規格に定められている冷間圧延ステンレス鋼及び一般構造用圧延鋼材である。

各部材の板材料の規格を(参)-第A.1表及び(参)-第A.2表に示す。

各材料は(ロ)-第A.1表における設計条件に適合している。また、本輸送容器の製作に係る機械加工・プレス加工及び溶接加工等によりその特性を失うことはない。

A.2.2 管材類

本輸送容器には、管材類を用いていないので該当しない。

A.2.3 鍛造品、ボルト・ナット類

シリンダの製作に使用される鋳・鍛造品、ボルト・ナット類は、米国規格に定められているアルミニウム青銅鍛造品、アルミニウム青銅棒、ニッケル銅合金棒及び配管用炭素鋼鍛造品である。

また、弁保護具及び耐熱キャップの製作に使用される鋳・鍛造品、ボルト・ナット類は、米国規格に定められている低温用合金鋼ボルト材、日本産業規格に定められている溶接構造用鋳鋼品及び機械構造用炭素鋼鋼材である。

各部材の鋳・鍛造品、ボルト・ナット類の規格を(参)-第A.1表及び(参)-第A.2表に示す。

(参)-第A.1表 材料適用規格 (機械的性質)

適用規格 ¹⁾	材料区分	使用箇所		耐力 (MPa) (最小値)	引張強さ (MPa) (最小値)	伸び (%) (最小値)	絞り (%) (最小値)	衝撃値 ²⁾ (シャルピー) J (最小値)	硬さ		
ASTM A516 (Grade 60)	板 材	シリ ン ダ	本体	胴板、鏡板、 スカート、 補強リング 及び吊金具	220	415~550	25 ³⁾ 21 ⁴⁾	—	(-51℃) 平均：18 個々：14 (65.6℃以下) ⁵⁾ 平均：75 個々：64	—	
UNS C63600	鍛造材		弁	胴部	—	—	—	—	—	—	
ASTM B164	棒 材		軸部	275	550	30	—	—	—		
ASTM B150 UNS C61300	棒 材		閉 止 栓	275	495	30	—	—	—		
ASTM B150 UNS C61400	棒 材			220	485	30	—	—	—		
ASTM A105	鍛造材		弁及び閉止栓 カップリング	250	485	22	30	—	HB 187 以下		
ASTM A516 (Grade 60)	板 材	弁保 護 具	弁保護具		220	415~550	25	—	(-51℃) ²⁾ 平均：18 個々：14	—	
ASTM A320 L7	ボルト材		出力軸		725	860	16	50	(-101℃) ²⁾ 平均：27 個々：20	—	
SCW480	鋳造材		三角ブロック		275	480	20	—	(0℃) ²⁾ 平均：27	—	
SUS304	板 材	耐熱キ ャップ	内板及び外板		205	520	40	—	—	HB 187 以下 HRB 90 以下 HV 200 以下	
SUS304	板 材		固定金 具	ブラケット		205	520	40	—	—	HB 187 以下 HRB 90 以下 HV 200 以下
S25C	棒 材			タイロッド		265	440	27	—	—	HB 123~183
SS400	板 材			クランプ		215	400~510	23	—	—	—

1) 記載の規格材料又は相当品を用いる。 2) 括弧内は試験温度を示す。 3) 標点間距離：50 mm 4) 標点間距離：200 mm 5) 胴板のみに適用 (ISO 7195 による)

(参)-第A.2表 材料適用規格 (化学成分)

適用規格 ¹⁾	材料区分	使用箇所		化 学 成 分 (%)															
				C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	Fe	Zn	その他			
ASTM A516 (Grade 60)	板 材	シ リ ン ダ	本 体	胴板、鏡板、 スカート、 補強リング 及び吊金具	0.23 以下	0.85～ 1.20	0.035 以下	0.035 ²⁾ 以下	0.15～ 0.40	—	—	—	—	—	残	—	—		
UNS C63600	鍛造材			弁	胴部	—	—	—	—	0.7～ 1.3	—	0.15 以下	残	—	3.0～ 4.0	0.10 以下	0.35 以下	Pb:0.03 以下 Sn:0.20 以下 As:0.15 以下 他:0.5 以下	
ASTM B164	棒 材				軸部	0.3 以下	2.0 以下	—	0.024 以下	0.5 以下	—	63 以下	28～ 34	—	—	2.5 以下	—	—	
ASTM B150 UNS C61300	棒 材			閉 止 栓			—	0.20 以下	0.015 以下	—	0.10 以下	—	0.15 以下 (Coを 含む)	残 (Agを 含む)	—	6.0～ 7.5	2.0～ 3.0	0.10 以下	Sn:0.20～0.50 Pb:0.01 以下
ASTM B150 UNS C61400	棒 材						—	1.0 以下	0.015 以下	—	—	—	—	—	残	—	6.0～ 8.0	1.5～ 3.5	0.20 以下
ASTM A105 ³⁾⁴⁾	鍛造材			弁及び閉止栓 カップリング			0.35 ³⁾ 以下	0.60～ 1.05 ³⁾	0.035 以下	0.040 以下	0.10～ 0.35	0.30 ⁴⁾ 以下	0.40 ⁴⁾ 以下	0.40 ⁴⁾ 以下	0.12 ⁴⁾ 以下	—	残	—	V:0.05 以下 Nb:0.02 以下
ASTM A516 (Grade 60)	板 材	弁 保 護 具		弁保護具	0.23 以下	0.85～ 1.20	0.035	0.035	0.15～ 0.40	—	—	—	—	—	残	—	—		
ASTM A320 L7	ボルト材			出力軸	0.38～ 0.48	0.75～ 1.00	0.035	0.040	0.15～ 0.35	0.80～ 1.10	—	—	0.15～ 0.25	—	残	—	—	—	
SCW480 ⁵⁾	鑄造材			三角ブロック	0.22 以下	1.50 以下	0.040 以下	0.040 以下	0.80 以下	0.50 以下	0.50 以下	—	—	—	—	—	—	—	—
SUS304	板 材	耐 熱 キ ャ ッ プ	固 定 金 具	内板及び外板	0.08 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	1.00 以下	18.00～ 20.00	8.00～ 10.50	—	—	—	残	—	—		
SUS304	板 材			ブラケット	0.08 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	1.00 以下	18.00～ 20.00	8.00～ 10.50	—	—	—	残	—	—	—	
S25C	棒 材			タイロッド	0.22～ 0.28	0.30～ 0.60	0.030 以下	0.035 以下	0.15～ 0.35	0.20 ⁶⁾ 以下	0.20 ⁶⁾ 以下	0.30 以下	—	—	残	—	—	—	
SS400	板 材			クランプ	—	—	0.050 以下	0.050 以下	—	—	—	—	—	—	残	—	—	—	

1) 記載の規格材料又は相当品を用いる。 2) 胴板用は0.01%以下 3) Cが最大値(0.35%)から0.01%減少するごとに、Mnは0.06%の増加が許容される(ただし、最大値1.35%まで)。 4) Cu+Ni+Cr+Mo≤1.00%、Cr+Mo≤0.32% 5) 炭素当量(C+Mn/6+Si/24+Ni/40+Cr/5+Mo/4+V/14)が0.45%以下 6) Ni+Cr≤0.35%

各材料は(ロ)-第A.1 表における設計条件に適合している。また、本輸送容器の製作に係る機械加工・曲げ加工及び溶接加工等によりその特性を失うことはない。

A.2.4 溶接用電極・棒・線類

本輸送容器の製作に使用される溶接用電極・棒・線類は、米国規格に定められているガスマタルアーク溶接棒、潜弧溶接用ワイヤー・フラックス・ガスタングステンアーク溶接棒、日本産業規格に定められている被覆アーク溶接棒、ガスタングステンアーク溶接棒及び炭酸ガスアーク溶接棒である。

各部材の溶接用電極・棒・線類の規格を(参)-第A.3 表に示す。

溶接用電極・棒・線による各溶接は、それぞれの母材との溶接性は良く、溶接部は(ロ)-第A.3 表における主要材料の機械的性質の機械的強度に適合している。

A.2.5 特殊材料

本輸送容器には、特殊材料を用いていないので該当しない。

A.2.6 ミルシート

本輸送容器の製作に使用される材料のミルシートの記載内容は原則として以下のとおりである。

- (1) 製造者
- (2) ミルシート番号
- (3) 仕様又は適用規格
- (4) 材料の種類又は略号
- (5) ロット番号
- (6) 化学成分
- (7) 機械的性質
- (8) その他要求された事項

ミルシートは適用規格の要求を満足し、材料と照合した上で各項目とも相違がなければ材料とともに合格とする。

A.2.7 材料の欠陥部の修理

板材、ボルト及びナット等については外観及び寸法検査を行い、欠陥があった場合は交換する。

A.2.8 材料の切断

板材の切断はシャリングプレス又はガス切断機及びプラズマアーク切断機を使用する。

切断部にバリ等がある場合はグラインダー又は機械加工により除去する。

(参)-第A.3表 輸送容器の主要溶接材料一覧

溶接適用箇所	溶接のタイプ
シリンダ ・胴板長手継手 (母材 ASTM A516 (Grade 60) - ASTM A516 (Grade 60)) ・胴板 - 鏡板 (母材 ASTM A516 (Grade 60) - ASTM A516 (Grade 60)) ・鏡板 - スカート (母材 ASTM A516 (Grade 60) - ASTM A516 (Grade 60)) ・補強リング - 胴板 (母材 ASTM A516 (Grade 60) - ASTM A516 (Grade 60)) ・吊金具 (母材 ASTM A516 (Grade 60) - ASTM A516 (Grade 60)) ・弁及び閉止栓カップリング (母材 ASTM A516 (Grade 60) -ASTM A105)	ガスメタルアーク溶接(GMAW) 潜弧溶接(SAW) ガスメタルアーク溶接(GMAW) ガスタングステンアーク溶接(GTAW) 潜弧溶接(SAW) ガスメタルアーク溶接(GMAW) 潜弧溶接(SAW) 潜弧溶接(SAW) ガスメタルアーク溶接(GMAW) ガスメタルアーク溶接(GMAW) ガスタングステンアーク溶接(GTAW)
弁保護具 ・弁保護具の組立溶接 (母材 ASTM A516 (Grade 60) - ASTM A516 (Grade 60))	被覆アーク溶接(SMAW)
耐熱キャップ ・耐熱キャップ外板、内板 (母材 SUS304-SUS304) ・固定金具の組立溶接 (クランプと耐熱キャップ SS400-SUS304) (クランプと組立て母材 SS400-SS400)	ガスタングステンアーク溶接(GTAW) 炭酸ガスアーク溶接(CO ₂ 溶接) ガスタングステンアーク溶接(GTAW)

A. 2.9 材料の成型

シリンダの成形(プレス等)工程は以下のとおりである。

- (1) 胴板及びスカートは板材を曲げベンディングロール、シャリングプレス等により成型する。
- (2) 鏡板は板材を油圧プレス、シャリングプレス等により成型する。

耐熱キャップの成型(プレス等)工程は以下のとおりである。

- (1) 内板及び外板の曲げ加工は、プレス及びベンディングロールにより成型する。
- (2) 耐熱キャップの枠組みは、アングルベンダーにより成型する。

A. 3 溶接

A. 3.1 溶接方法及び材料

本輸送容器の製作に係る溶接母材の組合せ、溶接方法及び溶接位置は(参)-第A. 4表のとおりである。

A. 3.2 溶接機の管理及び作業員資格

(1) 溶接機の管理

溶接機は、輸送容器製造者等の定める管理規定に基づき点検、管理を行い、安全かつ良好な状態に保守される。

(2) 作業員資格

シリンダにおける溶接作業員は、ASME 規格に基づいて資格認定された者が行う。
弁保護具及び耐熱キャップにおける溶接作業員は、日本溶接協会等の規定に基づいて資格認定された者が行う。

A. 3.3 溶接の主要事項に関する説明

(1) 最高許容温度

溶接部強度は母材強度とほぼ同一となるよう設計、製作する。

(2) 開先形状

本輸送容器の各溶接部の開先等の形状を(参)-第A. 4表に示す。

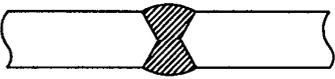
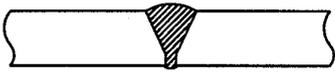
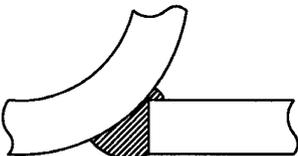
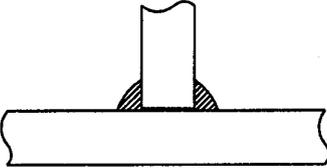
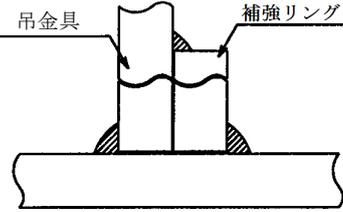
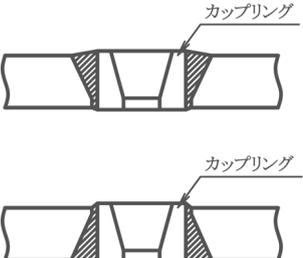
(3) 溶接表面の洗浄

溶接部については、必要に応じ表面をグラインダー等により研磨を行い、溶接に必要な清浄化を行う。

(4) 溶接後の溶接位置の許容範囲

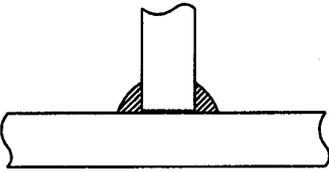
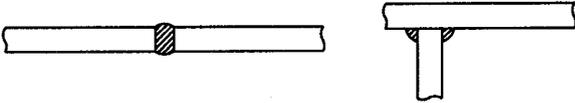
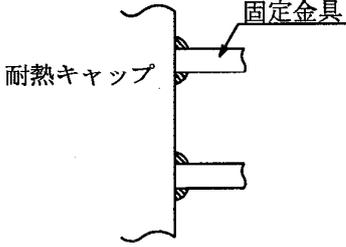
溶接位置の許容寸法範囲は ASME 規格に基づく公差内とする。

(参)-第A.4表 主要溶接部の継手形状例及び溶接方法 (1/2)

継手位置	溶接方法 ¹⁾	継手形状例
・胴板長手継手	GMAW SAW	
・胴板－鏡板	GMAW GTAW SAW	
・鏡板－スカート	GMAW SAW	
・補強リング－胴板	SAW	
・吊金具	GMAW	 <p>吊金具 補強リング</p>
・弁及び閉止栓カップリング	GMAW GTAW	 <p>カップリング カップリング</p>

1) 溶接方法の略号については、(参)-第A.3表 参照

(参)-第A.4表 主要溶接部の継手形状例及び溶接方法 (2 / 2)

継手位置	溶接方法 ¹⁾	継手形状例
<ul style="list-style-type: none"> 弁保護具の組立溶接 	SMAW	
<ul style="list-style-type: none"> 耐熱キャップ外板、内板 	GTAW CO ₂ 溶接	
<ul style="list-style-type: none"> 固定金具の組立溶接 	GTAW	

1) 溶接方法の略号については、(参)-第A.3表 参照

(5) 溶接部の仕上げ

溶接表面の異物は、機械的手段、洗浄及び布拭き等により除去する。

A. 3. 4 溶接欠陥の修理

シリンダの溶接部は ASME 規格に従い検査し、欠陥はこれを取除き、再溶接及び再検査を行う。

再溶接は前述した A. 3. 1 に示す方法により、A. 3. 2 に示す作業員によって行う。

弁保護具及び耐熱キャップの溶接部は、輸送容器製造者等の社内規定に従い検査し、欠陥はこれを取り除き、再溶接及び再検査を行う。

A. 3. 5 溶接後の熱処理

IS07195 で要求する溶接方法に関する規定、ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 1, Subsection C では、38 mm 以下の炭素鋼に対する熱処理要求が無いため該当しない。

A. 3. 6 特殊溶接

本輸送容器には、特殊溶接を用いていないので該当しない。

A. 3. 7 溶接の施工管理・その他

シリンダ溶接は、ASME 規格に従って行う溶接施工法確認試験に合格した施工法で、溶接士技量認定試験に合格した溶接士により行う。

また、弁保護具及び耐熱キャップ溶接は日本溶接協会規格に従って行う溶接施工法確認試験に合格した施工法で溶接士技量認定試験に合格した溶接士により行う。

本溶接時には、溶接部位、施工法番号、作業日時等を記録し、これを溶接作業の管理に使用する。

A. 4 遮蔽体の製作方法

本輸送容器には、遮蔽体は使用していないので該当しない。

A. 5 弁等の付属機器の製作方法

本輸送容器の付属機器として、シリンダの弁及び閉止栓がある。

(1) 弁の製作方法

弁は「輸送のための六ふっ化ウラン輸送容器 (IS07195)」に規定されているものを使用しており、(参)-第 A. 2 図に示す。

弁本体の材質はアルミニウム青銅 (UNS C63600) で、機械加工により製作する。ステムはモネル (ニッケル銅合金) (ASTM B164) で機械加工により製作する。パッキンはテフロンである。

(2) 閉止栓の製作方法

閉止栓はアルミニウム青銅(六角閉止栓は ASTM B150 UNS C61300、六角穴付き閉止栓は ASTM B150 UNS C61300 又は ASTM B150 UNS C61400)で、機械加工により製作する。(参)-第 A. 4 図に概略図を示す。

A. 6 組立等その他の製作方法

本輸送容器はシリンダ、弁保護具及び耐熱キャップから構成されており、弁保護具はシリンダのスカート内に装着され、耐熱キャップは弁側、閉止栓側に二分されている。

弁のネジ部は錫ハンダ処理が行われる(錫ハンダ ASTM B32 合金 50 番)。弁のシリンダへの組込みは、油脂類を使用しないで取付ける。取付けは 271 N・m 以上 542 N・m を超えない締付力で、ネジ山は最低 7 山から最高 12 山までねじ込む。

閉止栓の取付けは、そのネジ部に錫ハンダ処理を行って、油脂類を用いないで取付ける。六角閉止栓の場合は最低 5 山から最高 9 山までねじ込み、六角穴付き閉止栓の場合は最低 6 山から最高 8 山までねじ込む。

弁保護具を、弁保護具側耐熱キャップに組み込む。

最終的な芯出しは、弁保護具側耐熱キャップの芯出し後調整をする。

耐熱キャップの取付けは、弁保護具側は弁保護具が組み込まれた状態で耐熱キャップ支持枠に取付け、閉止栓側は単品で輸送機材に取付けをする。

耐熱キャップは、耐熱キャップ支持枠に取付け及び芯出しし、耐熱キャップの脚部シムプレートでレベル調整をする。

(参)-B 試験・検査方法等

本輸送容器の検査は下記のとおりである。

- (1) 部材の外観、寸法、材料検査
- (2) 溶接部の検査
- (3) 容器の外観、寸法、機能検査
- (4) 耐圧及び気密漏えい検査

これらの検査について以下に示す。

本輸送容器は、(ロ)章の安全解析で要求されている性能を満足していることを確認するために、B.1～B.17に示した検査方法に従い検査を行う。

以下に各試験検査の方法等について示す。

B.1 材料検査

(1) 目的

本輸送容器の製作に使用された主要な材料が、本設計承認申請書に記載の規格に基づくことを確認する。

(2) 対象箇所

- － シリンダ
- － 弁保護具
- － 耐熱キャップ
- － 耐熱キャップ固定金具

(3) 検査方法

ミルシートを用いて使用した材料を確認する。

(4) 判定基準

ステンレス鋼 (SUS304)、中・低温圧力容器用炭素鋼 (ASTM A516 (Grade 60)) 等の判定基準は、それぞれの米国規格により、それらの JIS 相当品の判定基準はそれぞれの JIS 規格による。

また、断熱材は所要の密度、熱伝導率を有することを確認する。

B.2 寸法検査

(1) 目的

本輸送容器の主要な寸法が、本設計承認申請書に基づく所定の寸法であることを確認する。

(2) 対象箇所

- － シリンダ
- － 弁保護具
- － 耐熱キャップ

(3) 検査方法
巻尺、ノギス等を用いて寸法を測定する。

(4) 判定基準
寸法許容公差内であること。

B.3 溶接検査

(1) 目的
シリンダの溶接部、弁保護具の主要溶接部及び耐熱キャップ固定金具の溶接部が、健全であることを確認する。

(2) 対象箇所

- － シリンダ
- － 弁保護具
- － 耐熱キャップ固定金具

(3) 検査方法

- － シリンダ
 - 1) 胴板と鏡板の溶接部と胴板長手継手の溶接部の交点の一箇所の放射線透過検査を行う。
 - 2) 補強リングの突合せ溶接部の放射線透過検査を行う。
 - 3) 吊金具と補強リングの溶接部の磁粉探傷検査又は浸透探傷検査を行う。
- － 弁保護具
弁近傍溶接部の浸透探傷検査を行う。
- － 耐熱キャップ固定金具
ブラケットの組み立て溶接部及び耐熱キャップへの取付け溶接部の浸透探傷検査を行う。

(4) 判定基準

- － シリンダ
ASME 規格を満足すること。
- － 弁保護具及び耐熱キャップ固定金具
 - 1) 線状欠陥模様がないこと。
 - 2) 円形状欠陥模様が JIS Z2343(1982)の「8.3 欠陥指示模様の等級分類」の1級又は2級であること。
 - 3) 面積が 3750 mm²の長方形（短辺の長さ 25 mm 以上とする）内に円形状指示模様が 10 個以上含まれないこと。
ただし、円形状指示模様であって、長さが 1.5 mm 以下のものは算定することを要しない。

B.4 外観検査

(1) 目的

本輸送容器の使用上、支障のある不具合がないことを目視確認する。

(2) 対象箇所

- － シリンダ
- － 弁保護具
- － 耐熱キャップ

(3) 検査方法

目視により行う。

(4) 判定基準

- － シリンダ
 - 1) シリンダ表面に有害な傷がないこと。
 - 2) 有害な塗装不良の箇所がないこと。
 - 3) 弁及び閉止栓の取付け状態が良好であること。
 - 4) 製造番号等を記した銘板があること。
- － 弁保護具及び耐熱キャップ
 - 1) 形状、取付け位置、マーキング及び断熱材充填状態が図面どおりであること。
 - 2) 有害な傷、割れ、凹み及び腐食等により、作動性に支障がないこと。
 - 3) 塗装等が完了し清浄されていること。
 - 4) 製造番号等を記した銘板があること。

B.5 耐圧検査

(1) 目的

本輸送容器が耐圧性能を有することを確認する。

(2) 対象箇所

- － シリンダ

(3) 検査方法

弁の取付けに先立ちシリンダ内部に水を入れて、2.76 MPaG の水圧を加え、2.07 MPaG まで減圧する。

(4) 判定基準

目視による外観検査を行い、以下の事項を確認する。

- ・ 異常な変形がないこと。
- ・ 水の漏えいがないこと。

B.6 気密漏えい検査

(1) 目的

弁単体及び弁をシリンダに取付けた後の取付け部が、密封性を有することを確認する。

(2) 対象箇所

- － 弁単体
- － シリンダ

(3) 検査方法

－ 弁単体

バルブメーカーが実施する、次の検査結果により密封性を有することを確認する。

弁の単体での気密漏えい検査前に 75 N・m 以下のトルクで 2 度弁の開閉を行い、75 N・m のトルクで弁を閉じ、入口端に 2.76 MPaG の空気圧を加え、ソーブバブル検査をする。その後、弁出口にキャップを付けて弁をおよそ半分程度開き、ソーブバブル検査をする。

－ シリンダ

シリンダに弁及び閉止栓を取付けた後、0.69 MPaG の空気圧をかけ、ソーブバブル検査をする。

(4) 判定基準

弁及び閉止栓からの発泡がないこと。

B.7 遮蔽性能検査

本輸送容器には特別な遮蔽体を用いていないので該当しない。

B.8 遮蔽寸法検査

本輸送容器には特別な遮蔽体を用いていないので該当しない。

B.9 伝熱検査

本輸送容器に収納される収納物は、未照射の天然六ふっ化ウランであり、特別な除熱システムを設けていないので該当しない。

B.10 吊上荷重検査

該当しない

B.11 重量検査

(1) 目的

本輸送容器の部品の重量が、構造解析等の解析内容に適合していることを確認

する。

(2) 対象箇所

- － シリンダ
- － 弁保護具
- － 耐熱キャップ

(3) 検査方法

輸送容器の各部品の重量を、重量計により測定する。

(4) 判定基準

シリンダの重量が 2,520 kg 以下であること。

弁保護具と耐熱キャップの合計重量が 620 kg 以下であること。

B.12 未臨界検査

本輸送容器は天然六ふっ化ウランを輸送するため該当しない。

B.13 作動確認検査

(1) 目的

弁の開閉作動に異常のないことを確認する。

(2) 対象箇所

- － 弁

(3) 検査方法

弁の開閉作動を行う。

(4) 判定基準

弁の開閉作動に異常がないこと。

B.14 取扱検査

(1) 目的

シリンダへの耐熱キャップ、弁保護具の取付け、取外しの一連の取扱い作業を行い、異常のないことを確認する。

(2) 対象箇所

- － 弁保護具
- － 耐熱キャップ

(3) 検査方法

模擬シリンダを用いて、以下の取扱い作業を行う。

- － シリンダへの弁保護具の取付け、取外し
- － シリンダへの耐熱キャップの取付け、取外し

(4) 判定基準

一連の作業において支障のないこと。

B.15 互換性検査

(1) 目的

輸送機材とシリンダに互換性があることを確認する。

(2) 対象箇所

- － 耐熱キャップ

(3) 検査方法

模擬シリンダを用い、耐熱キャップと模擬シリンダの位置を確認する。

また、耐熱キャップの寸法検査及びシリンダの寸法検査より、輸送機材とシリンダ間の互換性を確認する。

(4) 判定基準

模擬シリンダで輸送機材の耐熱キャップがシリンダを覆うように調整されていること。

全ての耐熱キャップの内径はシリンダ外径の公差を考慮しても、取付けが可能であること。

耐熱キャップと模擬シリンダの位置が所定の位置であること。

B.16 容量検査

(1) 目的

シリンダ内の六ふっ化ウラン全量 (12,500 kg) が溶融した際の容積に対し、5%以上の余裕を持つことを確認する。すなわち 4.041 m³以上の容積を有することを確認する。

(2) 対象箇所

- － シリンダ

(3) 検査方法

空のシリンダ重量及び水を充填したシリンダ重量との比較若しくは水の排水量を測定することにより、シリンダ容積を確認する。

(4) 判定基準

シリンダの容積が、4.041 m³以上を有すること。

B.17 内面洗浄検査

(1) 目的

シリンダ内面が、清浄であることを確認する。

(2) 対象箇所

－ シリンダ

(3) 検査方法

シリンダ内を目視により確認する。

(4) 判定基準

シリンダ内面に油、よごれ等がなく清浄であること。

輸送容器に係る品質管理の方法等

(設計に係るものに限る。) に関する説明書

(イ)章 輸送容器に係る品質管理の方法等（設計に係るものに限る。）に関する説明

当社は、施設の安全を達成・維持・向上させるため、「原子力施設の保安のための業務に係る品質管理に必要な体制の基準に関する規則」及び「同規則の解釈」（以下「品質管理基準規則」という。）に基づく品質マネジメントシステムに従い、核燃料輸送物の設計、製作、取扱い、保守等に係る品質管理を適切に実施する。

(イ)-A 品質マネジメントシステム

1. 品質マネジメントシステムに係る要求事項

- (1) 組織は、品質管理に関する事項に従って、品質マネジメントシステムを確立し、実施するとともに、その実効性を維持するため、その改善を継続的に行う。
- (2) 組織は、保安活動の重要度に応じて品質マネジメントシステムを確立し、適用する。この場合、次に掲げる事項を適切に考慮する。
 - a. 施設、組織、又は個別業務の重要度及びこれらの複雑さの程度
 - b. 施設若しくは機器等の品質又は保安活動に関連する原子力の安全に影響を及ぼすおそれのあるもの及びこれらに関連する潜在的影響の大きさ
 - c. 機器等の故障若しくは通常想定されない事象の発生又は保安活動が不適切に計画され、若しくは実行されたことにより起こり得る影響
- (3) 組織は、施設に適用される関係法令（以下「関係法令」という。）を明確に認識し、品質管理基準規則に規定する文書その他品質マネジメントシステムに必要な文書（記録を除く。以下「品質マネジメント文書」という。）に明記する。
- (4) 組織は、品質マネジメントシステムに必要なプロセスを明確にするとともに、そのプロセスを組織に適用することを決定し、次に掲げる業務を行う。
 - a. プロセスの運用に必要な情報及び当該プロセスの運用により達成される結果を文書で明確にすること。
 - b. プロセスの順序及び相互の関係を明確にすること。
 - c. プロセスの運用及び管理の実効性の確保に必要な組織の保安活動の状況を示す指標（以下「保安活動指標」という。）並びに当該指標に係る判定基準を明確に定めること。
 - d. プロセスの運用並びに監視及び測定（以下「監視測定」という。）に必要な資源及び情報が利用できる体制を確保すること（責任及び権限の明確化を含む。）。
 - e. プロセスの運用状況を監視測定し分析すること。ただし、監視測定することが困難である場合は、この限りでない。
 - f. プロセスについて、意図した結果を得、及び実効性を維持するための措置を講ずること。
 - g. プロセス及び組織の体制を品質マネジメントシステムと整合的なものとする

- h. 原子力の安全とそれ以外の事項において意思決定の際に対立が生じた場合には、原子力の安全が確保されるようにすること。
- (5) 組織は、健全な安全文化を育成し、及び維持する。
- (6) 組織は、機器等又は個別業務に係る要求事項（関係法令を含む。以下「個別業務等要求事項」という。）への適合に影響を及ぼすプロセスを外部委託することとしたときは、当該プロセスが管理されているようにする。
- (7) 組織は、保安活動の重要度に応じて、資源の適切な配分を行う。

A.1 品質マニュアル

組織は、品質マニュアルに次に掲げる事項を定める。

- a. 品質マネジメントシステムの運用に係る組織に関する事項
- b. 保安活動の計画、実施、評価及び改善に関する事項
- c. 品質マネジメントシステムの適用範囲
- d. 品質マネジメントシステムのために作成した手順書等の参照情報
- e. プロセスの相互の関係

A.2 文書管理

- (1) 組織は、品質マネジメント文書を管理する。
- (2) 組織は、要員が判断及び決定をするに当たり、適切な品質マネジメント文書を利用できるように、品質マネジメント文書に関する次に掲げる事項を定めた手順書等を作成する。
 - a. 品質マネジメント文書を発行するに当たり、その妥当性を審査し、発行を承認すること。
 - b. 品質マネジメント文書の改訂の必要性について評価するとともに、改訂に当たり、その妥当性を審査し、改訂を承認すること。
 - c. 品質マネジメント文書の審査及び評価には、その対象となる文書に定められた活動を実施する部門の要員を参画させること。
 - d. 品質マネジメント文書の改訂内容及び最新の改訂状況を識別できるようにすること。
 - e. 改訂のあった品質マネジメント文書を利用する場合には、当該文書の適切な制定版又は改訂版が利用しやすい体制を確保すること。
 - f. 品質マネジメント文書を、読みやすく容易に内容を把握することができるようにすること。
 - g. 組織の外部で作成された品質マネジメント文書を識別し、その配付を管理すること。
 - h. 廃止した品質マネジメント文書が使用されることを防止すること。この場合に

において、当該文書を保持するときは、その目的にかかわらず、これを識別し、管理すること。

A.3 記録の管理

- (1) 組織は、品質管理基準規則に規定する個別業務等要求事項への適合及び品質マネジメントシステムの実効性を実証する記録を明確にするとともに、当該記録を、読みやすく容易に内容を把握することができ、かつ、検索することができるように作成し、保安活動の重要度に応じてこれを管理する。
- (2) 組織は、(1)の記録の識別、保存、保護、検索及び廃棄に関し、所要の管理の方法を定めた手順書等を作成する。

(イ)-B 経営責任者等の責任

B.1 経営責任者の原子力の安全のためのリーダーシップ

社長は、原子力の安全のためのリーダーシップを発揮し、責任を持って品質マネジメントシステムを確立させ、実施させるとともに、その実効性を維持していることを、次に掲げる業務を行うことによって実証する。

- a. 品質方針を定めること。
- b. 品質目標が定められているようにすること。
- c. 要員が、健全な安全文化を育成し、及び維持することに貢献できるようにすること。
- d. マネジメントレビューを実施すること。
- e. 資源が利用できる体制を確保すること。
- f. 関係法令を遵守することその他原子力の安全を確保することの重要性を要員に周知すること。
- g. 保安活動に関する担当業務を理解し、遂行する責任を有することを、要員に認識させること。
- h. 全ての階層で行われる決定が、原子力の安全の確保について、その優先順位及び説明する責任を考慮して確実に行われるようにすること。

B.2 原子力の安全の確保の重視

社長は、組織の意思決定に当たり、機器等及び個別業務が個別業務等要求事項に適合し、かつ、原子力の安全がそれ以外の事由により損なわれないようにする。

B.3 品質方針

社長は、品質方針が次に掲げる事項に適合しているようにする。

- a. 組織の目的及び状況に対して適切なものであること。

- b. 要求事項への適合及び品質マネジメントシステムの実効性の維持に社長が責任を持って関与すること。
- c. 品質目標を定め、評価するに当たっての枠組みとなるものであること。
- d. 要員に周知され、理解されていること。
- e. 品質マネジメントシステムの継続的な改善に社長が責任を持って関与すること。

B.4 計画

B.4.1 品質目標

- (1) 社長は、部門において、品質目標（個別業務等要求事項への適合のために必要な目標を含む。）が定められているようにする。
- (2) 社長は、品質目標が、その達成状況を評価し得るものであって、かつ、品質方針と整合的なものとなるようにする。

B.4.2 品質マネジメントシステムの計画

- (1) 社長は、品質マネジメントシステムが品質マネジメントシステムに係る要求事項に適合するよう、その実施に当たっての計画が策定されているようにする。
- (2) 社長は、品質マネジメントシステムの変更が計画され、それが実施される場合においては、当該品質マネジメントシステムが不備のない状態に維持されているようにする。この場合において、保安活動の重要度に応じて、次に掲げる事項を適切に考慮する。
 - a. 品質マネジメントシステムの変更の目的及び当該変更により起こり得る結果
 - b. 品質マネジメントシステムの実効性の維持
 - c. 資源の利用可能性
 - d. 責任及び権限の割当て

B.5 責任、権限及びコミュニケーション

B.5.1 責任及び権限

社長は、部門及び要員の責任及び権限並びに部門相互間の業務の手順を定めさせ、関係する要員が責任を持って業務を遂行できるようにする。

B.5.2 品質マネジメントシステム管理責任者

- (1) 社長は、品質マネジメントシステムを管理する責任者に、次に掲げる業務に係る責任及び権限を与える。
 - a. プロセスが確立され、実施されるとともに、その実効性が維持されているようにすること。
 - b. 品質マネジメントシステムの運用状況及びその改善の必要性について、社長に

報告すること。

- c. 健全な安全文化を育成し、及び維持することにより、原子力の安全の確保についての認識が向上するようにすること。
- d. 関係法令を遵守すること。

B.5.3 管理者

- (1) 社長は、次に掲げる業務を管理監督する地位にある者（以下「管理者」という。）に、当該管理者が管理監督する業務に係る責任及び権限を与える。
 - a. 個別業務のプロセスが確立され、実施されるとともに、その実効性が維持されているようにすること。
 - b. 要員の個別業務等要求事項についての認識が向上するようにすること。
 - c. 個別業務の実施状況に関する評価を行うこと。
 - d. 健全な安全文化を育成し、及び維持すること。
 - e. 関係法令を遵守すること。
- (2) 管理者は(1)の責任及び権限の範囲において、原子力の安全のためのリーダーシップを発揮し、次に掲げる事項を確実に実施する。
 - a. 品質目標を設定し、その目標の達成状況を確認するため、業務の実施状況を監視測定すること。
 - b. 要員が、原子力の安全に対する意識を向上し、かつ、原子力の安全への取組を積極的に行えるようにすること。
 - c. 原子力の安全に係る意思決定の理由及びその内容を、関係する要員に確実に伝達すること。
 - d. 常に問いかける姿勢及び学習する姿勢を要員に定着させるとともに、要員が、積極的に施設の保安に関する問題の報告を行えるようにすること。
 - e. 要員が、積極的に業務の改善に対する貢献を行えるようにすること。
- (3) 管理者は、管理監督する業務に関する自己評価を、あらかじめ定められた間隔で行う。

B.5.4 組織の内部の情報の伝達

- (1) 社長は、組織の内部の情報が適切に伝達される仕組みが確立されているようにするとともに、品質マネジメントシステムの実効性に関する情報が確実に伝達されるようにする。

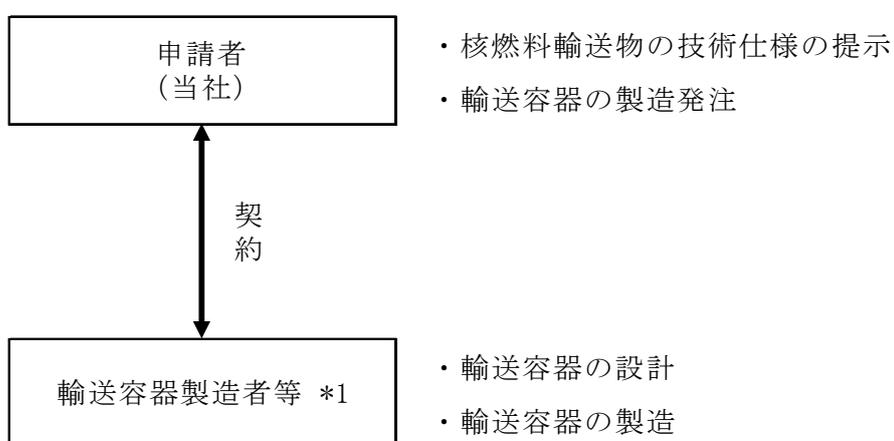
B.6 マネジメントレビュー

社長は、品質マネジメントシステムの実効性を評価するとともに、改善の機会を得て、保安活動の改善に必要な措置を講ずるため、品質マネジメントシステムの評価を、あら

かじめ定められた間隔で行う。

B.7 組織

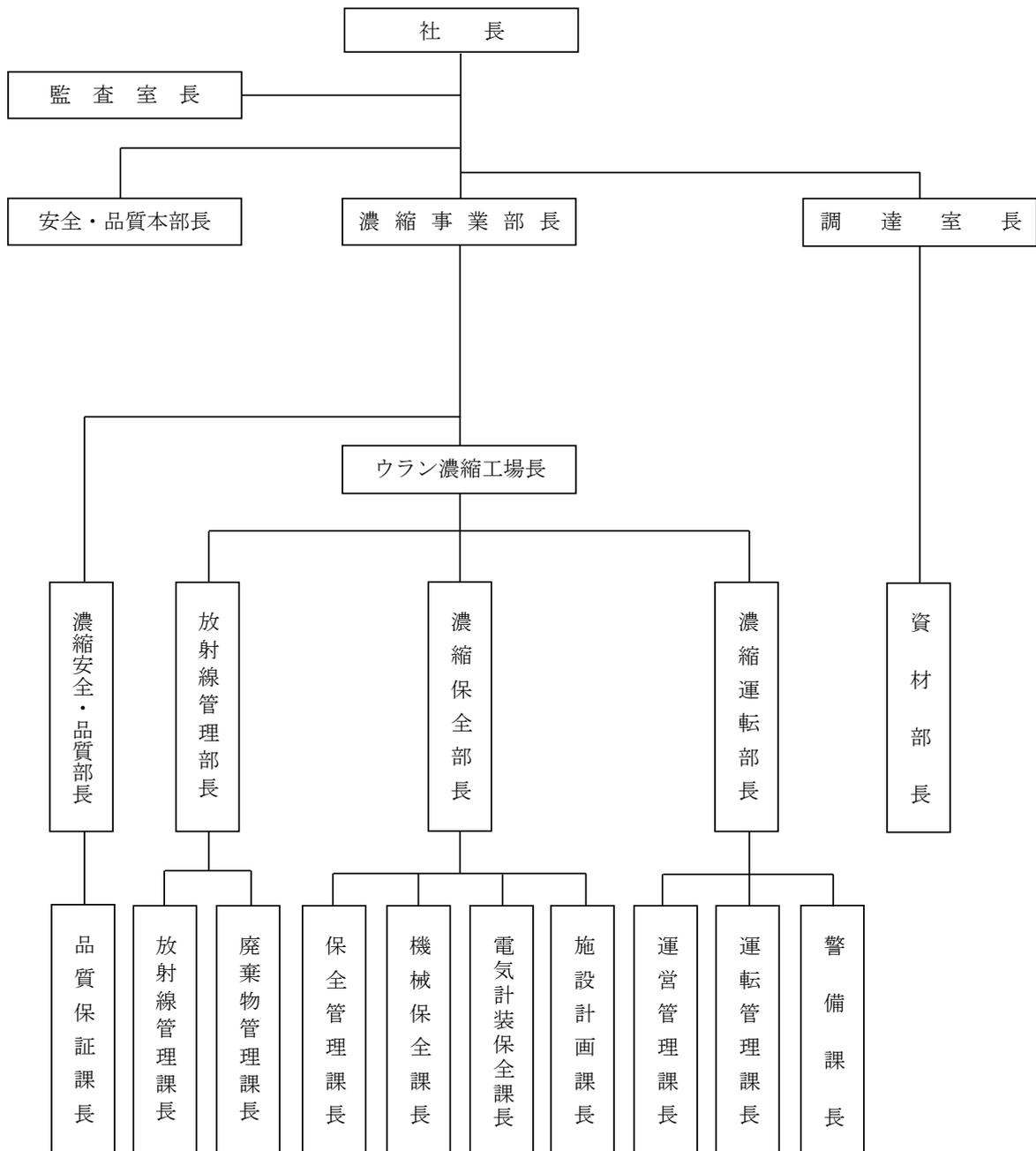
品質マネジメントシステム遂行に係る申請者、輸送容器製造者等の組織について、責任体制に係る関係を(イ)-第B.1図に示す。また、当社の体制図を(イ)-第B.2図に示す。



*1： 輸送容器製造者等とは、以下の業務を行う輸送容器設計者、輸送容器製造管理者、輸送容器製造者の総称又はいずれかをいう。

- ・輸送容器設計者は、技術仕様に適合する輸送容器の設計を行う。
- ・輸送容器製造管理者は、輸送容器の製造の管理を行う。
(輸送容器製造者に直接発注する場合は除く。)
- ・輸送容器製造者は、輸送容器の製造を行う。

(イ)-第B.1図 輸送容器の設計・製造における関係者の役割



(イ)-第B.2図 体制図

(イ)-C 教育・訓練

- (1) 組織は、個別業務の実施に必要な技能及び経験を有し、意図した結果を達成するために必要な知識及び技能並びにそれを適用する能力（以下「力量」という。）が実証された者を要員に充てる。
- (2) 組織は、要員の力量を確保するために、保安活動の重要度に応じて、次に掲げる業務を行う。
 - a. 要員にどのような力量が必要かを明確に定めること。
 - b. 要員の力量を確保するために教育訓練その他の措置を講ずること。
 - c. 教育訓練その他の措置の実効性を評価すること。
 - d. 要員が自らの個別業務について、次に掲げる事項を認識しているようにすること。
 - (a) 品質目標の達成に向けた自らの貢献
 - (b) 品質マネジメントシステムの実効性を維持するための自らの貢献
 - (c) 原子力の安全に対する当該個別業務の重要性
 - e. 要員の力量及び教育訓練その他の措置に係る記録を作成し、これを管理すること。

(イ)-D 設計管理

D.1 設計開発計画

- (1) 組織は、設計開発（専ら原子力施設において用いるための設計開発に限る。）の計画（以下「設計開発計画」という。）を策定するとともに、設計開発を管理する。
- (2) 組織は、設計開発計画の策定において、次に掲げる事項を明確にする。
 - a. 設計開発の性質、期間及び複雑さの程度
 - b. 設計開発の各段階における適切な審査、検証及び妥当性確認の方法並びに管理体制
 - c. 設計開発に係る部門及び要員の責任及び権限
 - d. 設計開発に必要な組織の内部及び外部の資源
- (3) 組織は、実効性のある情報の伝達並びに責任及び権限の明確な割当てがなされるようにするために、設計開発に関与する各者間の連絡を管理する。
- (4) 組織は、(1)により策定された設計開発計画を、設計開発の進行に応じて適切に変更する。

D.2 設計開発に用いる情報

- (1) 組織は、個別業務等要求事項として設計開発に用いる情報であって、次に掲げるものを明確に定めるとともに、当該情報に係る記録を作成し、これを管理する。
 - a. 機能及び性能に係る要求事項

- b. 従前の類似した設計開発から得られた情報であって、当該設計開発に用いる情報として適用可能なもの
 - c. 関係法令
 - d. その他設計開発に必要な要求事項
- (2) 組織は、設計開発に用いる情報について、その妥当性を評価し、承認する。

D.3 設計開発の結果に係る情報

- (1) 組織は、設計開発の結果に係る情報を、設計開発に用いた情報と対比して検証することができる形式により管理する。
- (2) 組織は、設計開発の次の段階のプロセスに進むに当たり、あらかじめ、当該設計開発の結果に係る情報を承認する。
- (3) 組織は、設計開発の結果に係る情報を、次に掲げる事項に適合するものとする。
- a. 設計開発に係る個別業務等要求事項に適合するものであること。
 - b. 調達、機器等の使用及び個別業務の実施のために適切な情報を提供するものであること。
 - c. 合否判定基準を含むものであること。
 - d. 機器等を安全かつ適正に使用するために不可欠な当該機器等の特性が明確であること。

D.4 設計開発レビュー

- (1) 組織は、設計開発の適切な段階において、設計開発計画に従って、次に掲げる事項を目的とした体系的な審査（以下「設計開発レビュー」という。）を実施する。
- a. 設計開発の結果の個別業務等要求事項への適合性について評価すること。
 - b. 設計開発に問題がある場合においては、当該問題の内容を明確にし、必要な措置を提案すること。
- (2) 組織は、設計開発レビューに、当該設計開発レビューの対象となっている設計開発段階に関連する部門の代表者及び当該設計開発に係る専門家を参加させる。
- (3) 組織は、設計開発レビューの結果の記録及び当該設計開発レビューの結果に基づき講じた措置に係る記録を作成し、これを管理する。

D.5 設計開発の検証

- (1) 組織は、設計開発の結果が個別業務等要求事項に適合している状態を確保するために、設計開発計画に従って検証を実施する。
- (2) 組織は、設計開発の検証の結果の記録、及び当該検証の結果に基づき講じた措置に係る記録を作成し、これを管理する。
- (3) 組織は、当該設計開発を行った要員に当該設計開発の検証をさせない。

D.6 設計開発の妥当性確認

- (1) 組織は、設計開発の結果の個別業務等要求事項への適合性を確認するために、設計開発計画に従って、当該設計開発の妥当性確認（以下「設計開発妥当性確認」という。）を実施する。
- (2) 組織は、機器等の使用又は個別業務の実施に当たり、あらかじめ、設計開発妥当性確認を完了する。
- (3) 組織は、設計開発妥当性確認の結果の記録及び当該設計開発妥当性確認の結果に基づき講じた措置に係る記録を作成し、これを管理する。

D.7 設計開発の変更の管理

- (1) 組織は、設計開発の変更を行った場合においては、当該変更の内容を識別することができるようにするとともに、当該変更に係る記録を作成し、これを管理する。
- (2) 組織は、設計開発の変更を行うに当たり、あらかじめ、審査、検証及び妥当性確認を行い、変更を承認する。
- (3) 組織は、設計開発の変更の審査において、設計開発の変更が施設に及ぼす影響の評価（当該施設を構成する材料又は部品に及ぼす影響の評価を含む。）を行う。
- (4) 組織は、(2)の審査、検証及び妥当性確認の結果の記録及びその結果に基づき講じた措置に係る記録を作成し、これを管理する。

(イ)-E 輸送容器の製造発注

組織は、調達する物品又は役務（以下「調達物品等」という。）が、自ら規定する調達物品等に係る要求事項（以下「調達物品等要求事項」という。）に適合するようにする。

E.1 輸送容器製造者等の評価

- (1) 組織は、調達物品等要求事項に従い、調達物品等を供給する能力を根拠として調達物品等の供給者を評価し、選定する。
- (2) 組織は、調達物品等の供給者の評価及び選定に係る判定基準を定める。
- (3) 組織は、(1)の評価の結果の記録及び当該評価の結果に基づき講じた措置に係る記録を作成し、これを管理する。

E.2 輸送容器製造者等への品質マネジメントシステム要求事項

- (1) 組織は、調達物品等に関する情報に、次に掲げる調達物品等要求事項のうち、該当するものを含める。
 - a. 調達物品等の供給者の業務のプロセス及び設備に係る要求事項
 - b. 調達物品等の供給者の要員の力量に係る要求事項
 - c. 調達物品等の供給者の品質マネジメントシステムに係る要求事項

- d. 調達物品等の不適合の報告及び処理に係る要求事項
 - e. 調達物品等の供給者が健全な安全文化を育成し、及び維持するために必要な要求事項
 - f. 一般産業用工業品を機器等に使用するに当たっての評価に必要な要求事項
 - g. その他調達物品等に必要な要求事項
- (2) 組織は、調達物品等要求事項として、組織が調達物品等の供給者の工場等において使用前事業者検査等その他の個別業務を行う際の原子力規制委員会の職員による当該工場等への立入りに関することを含める。
- (3) 組織は、調達物品等の供給者に対し調達物品等に関する情報を提供するに当たり、あらかじめ、当該調達物品等要求事項の妥当性を確認する。
- (4) 組織は、調達物品等を受領する場合には、調達物品等の供給者に対し、調達物品等要求事項への適合状況を記録した文書を提出させる。

E.3 輸送容器の製作に係る検査及び品質監査による検証

- (1) 組織は、調達物品等が調達物品等要求事項に適合しているようにするために必要な検証の方法を定め、実施する。
- (2) 組織は、調達物品等の供給者の工場等において調達物品等の検証を実施することとしたときは、当該検証の実施要領及び調達物品等の供給者からの出荷の可否の決定の方法について調達物品等要求事項の中で明確に定める。

(イ)-F 取扱い及び保守

当社は、輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱いについて、手順書等を定め実施する。

(イ)-G 測定、分析及び改善

G.1 内部監査

- (1) 組織は、品質マネジメントシステムについて、次に掲げる要件への適合性を確認するために、保安活動の重要度に応じて、あらかじめ定められた間隔で、客観的な評価を行う部門その他の体制により内部監査を実施する。
- a. 品質管理に関する事項に基づく品質マネジメントシステムに係る要求事項
 - b. 実効性のある実施及び実効性の維持

G.2 不適合品の管理

- (1) 組織は、個別業務等要求事項に適合しない機器等が使用され、又は個別業務が実施されることがないように、当該機器等又は個別業務を特定し、これを管理する。
- (2) 組織は、不適合の処理に係る管理並びにそれに関連する責任及び権限を手順書等に定める。

- (3) 組織は、次に掲げる方法のいずれかにより、不適合を処理する。
- a. 発見された不適合を除去するための措置を講ずること。
 - b. 不適合について、あらかじめ定められた手順により原子力の安全に及ぼす影響について評価し、機器等の使用又は個別業務の実施についての承認を行うこと（以下「特別採用」という。）。
 - c. 機器等の使用又は個別業務の実施ができないようにするための措置を講ずること。
 - d. 機器等の使用又は個別業務の実施後に発見した不適合については、その不適合による影響又は起こり得る影響に応じて適切な措置を講ずること。
- (4) 組織は、不適合の内容の記録及び当該不適合に対して講じた措置（特別採用を含む。）に係る記録を作成し、これを管理する。
- (5) 組織は、(3)a.の措置を講じた場合においては、個別業務等要求事項への適合性を実証するための検証を行う。

G.3 是正処置及び未然防止処置

1. 是正処置

- (1) 組織は、個々の不適合その他の事象が原子力の安全に及ぼす影響に応じて、次に掲げるところにより、速やかに適切な是正処置を講じる。
- a. 是正処置を講ずる必要性について次に掲げる手順により評価を行うこと。
 - (a) 不適合その他の事象の分析及び当該不適合の原因の明確化
 - (b) 類似の不適合その他の事象の有無又は当該類似の不適合その他の事象が発生する可能性の明確化
 - b. 必要な是正処置を明確にし、実施すること。
 - c. 講じた全ての是正処置の実効性の評価を行うこと。
 - d. 必要に応じ、計画において決定した保安活動の改善のために講じた措置を変更すること。
 - e. 必要に応じ、品質マネジメントシステムを変更すること。
 - f. 原子力の安全に及ぼす影響の程度が大きい不適合に関して、根本的な原因を究明するために行う分析の手順を確立し、実施すること。
 - g. 講じた全ての是正処置及びその結果の記録を作成し、これを管理すること。
- (2) 組織は、(1)に掲げる事項について、手順書等に定める。
- (3) 組織は、手順書等に基づき、複数の不適合その他の事象に係る情報から類似する事象に係る情報を抽出し、その分析を行い、当該類似の事象に共通する原因を明確にした上で、適切な措置を講じる。

2. 未然防止処置

- (1) 組織は、原子力施設その他の施設の運転経験等の知見を収集し、自らの組織で起こり得る不適合の重要性に応じて、次に掲げるところにより、適切な未然防止処置を講じること。
 - a. 起こり得る不適合及びその原因について調査すること。
 - b. 未然防止処置を講ずる必要性について評価すること。
 - c. 必要な未然防止処置を明確にし、実施すること。
 - d. 講じた全ての未然防止処置の実効性の評価を行うこと。
 - e. 講じた全ての未然防止処置及びその結果の記録を作成し、これを管理すること。
- (2) 組織は、(1)に掲げる事項について、手順書等に定める。