

第IV編 臨界実験による臨界リスク評価基準の妥当性確認

第9章 STACY 更新炉原子炉本体の整備

本章では、「STACY 更新炉原子炉本体の整備」として、第 9.1 節「STACY 更新炉原子炉本体の設計」、第 9.2 節「STACY 更新炉の実験炉心検討」、第 9.3 節「実験用水位計の設計検討」、第 9.4 節「STACY 更新炉運転シミュレータの整備」について述べる。

9.1 STACY 更新炉原子炉本体の設計

9.1.1 目的及び概要

(1) 目的

臨界実験による臨界マップ検証に向けた STACY 更新炉原子炉本体の整備は、更新後に使用しない現行 STACY 施設の原子炉本体及び計測制御系統施設等の主要部分を解体・撤去した後、更新炉に適合させるため継続使用設備の改造及び更新炉原子炉本体等の新設機器の製作・据付を実施する手順で進める。

本検討では平成 28 年度事業として以下の設計作業を行う。

- ・継続使用設備の主要な改造工事及び主要な新設機器の製作に向けて、設工認申請の進捗を考慮して施工設計、製作設計の見直しを行う。
- ・継続使用設備のその他の改造工事（計測制御系制御盤等）及びその他の新設機器（温度制御設備等）の製作に向けて、施工設計、製作設計を行う。
- ・上記の改造及び製作における工場製作段階の検査計画を検討する。

なお、STACY 更新炉原子炉本体の整備は、平成 30 年度に臨界を達成して実験を開始することを目途に平成 27 年度から約 4 か年で整備を進める計画であった。しかし、平成 27 年度当初から開始した設置変更許可申請の審査に当初の予想を超えた長期間を要し、許可取得は平成 30 年 1 月 31 日まで遅延した。これにより、主要な改造工事及び主要な新設機器の製作の着手も遅れるため、平成 28 年度事業計画を平成 29 年度末まで延長して上記の検討を完了した。また、許可取得遅延に伴い設工認申請の認可も遅れ整備工事の着手時期の変更が必要なため、平成 26 年度事業で作成し、平成 27 年度事業で見直した STACY 更新炉の整備工程計画に基づいて、整備工程表の見直しを再度実施した。

(2) 概要

① STACY 更新炉の概要

STACY 更新炉は水位制御方式による臨界実験装置である。炉心は棒状燃料を格子板に配列することによって構成する。構成した炉心は上部開放型の堅型円筒形炉心タンク内に設置する。減速材及び反射材となる軽水は、地下の炉下室(S)のダンプ槽より炉心タンクにポンプで供給する。STACY 更新炉原子炉本体の概略系統図を図 9.1.1-1 に示す。概略系統図に示される範囲は新設機器として整備し、これらの新設機器を炉室(S)及び炉下室(S)に据え付けるために既設の炉室フード及び実験装置架台を改造して整備する。

また、STACY 更新炉の操作・監視機能、インターロック回路、安全保護回路、警報回路は、現行の制御盤等を改造して整備する。

更新 STACY 施設全体の設備構成とその構成設備が整備計画で新たに製作するものか、既設設備を改造して使用するものかを整理して表 9.1.1-1 に示す。

② 設計概要

平成 27 年度事業に引き続き、整備工程上平成 30 年度の早期に着手する必要がある以下の主要な継続使用設備の改造工事及び主要な新設機器の製作に向けて、設工認申請の進捗を考慮して改造設計、製作設計の見直しを行う。

- ・ 炉室フードの改造
- ・ 実験装置架台の改造
- ・ 炉心タンク（内部構造物を含む）
- ・ 棒状燃料収納容器
- ・ 主要な計装（最大給水制限スイッチ、給水停止・排水開始スイッチ）
- ・ 安全板装置
- ・ ダンプ槽
- ・ 可動装荷物駆動装置

また、その他の改造工事（計測制御系制御盤等）及びその他の新設機器（温度制御設備等）の製作に向けて、改造設計、製作設計を行う。

- ・ 監視操作盤、インターロック盤、モニタ盤、安全保護回路等の改造
- ・ 温度制御設備、
- ・ 可動装荷物駆動装置制御盤

上記の改造及び製作における工場製作段階の検査計画を検討する。

- ・ 工場製作段階の検査内容
- ・ 検査対象設備及び検査区分

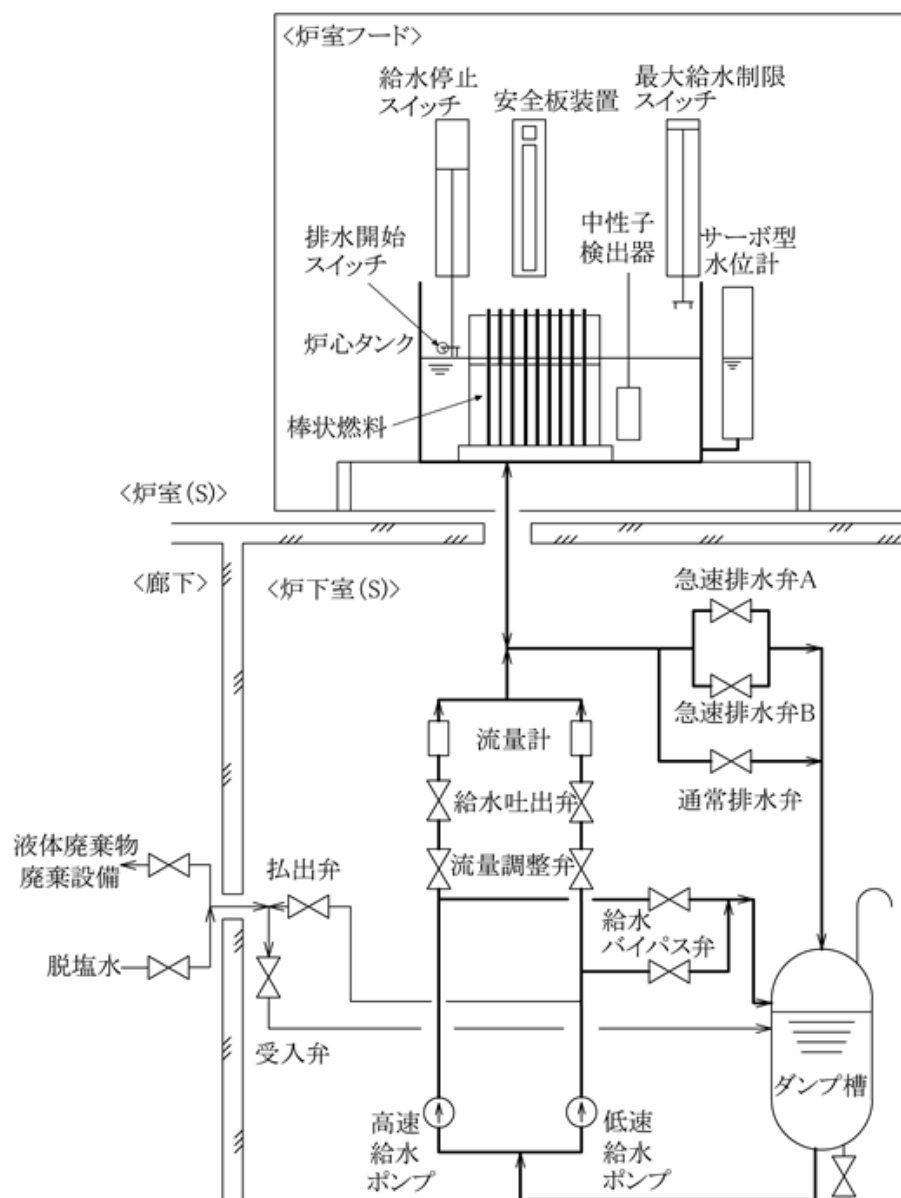


図 9.1.1-1 STACY 更新炉の概略系統図

表 9.1.1-1 STACY 施設の設備構成と整備計画 (1/2)

原子炉本体			
	燃料体	ウラン棒状燃料（既存）	
		○ ウラン棒状燃料（新規）	
	原子炉容器	○ 炉心タンク	
		○ 内部構造物	
	その他主要な事項		
	△	起動用中性子源	
	△	炉室フード（実験装置架台）	
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設			
	核燃料貯蔵設備	棒状燃料貯蔵設備	
		棒状燃料貯蔵設備Ⅱ	
		○ 棒状燃料収納容器（棒状燃料収納容器架台）	
		△ 溶液燃料貯蔵設備	
		粉末燃料貯蔵設備	
		△ ウラン酸化物燃料貯蔵設備	
		△ 使用済ウラン黒鉛混合燃料貯蔵設備	
計測制御系統施設			
	計装	核計装	
		その他主要な計装	
		○ 最大給水制限スイッチ	
		○ 給水停止・排水開始スイッチ	
		○ サーボ型水位計	
		○ 炉心温度計	
		○ 高速給水流量計、低速給水流量計	
		炉室（S）、炉下室（S）線量率計	
		○ ダンプ槽温度計	
		○ ダンプ槽電導度系	
		△ 監視操作盤	
		△ モニタ盤	
		炉室線量率計盤	
		安全保護回路	
	△	原子炉停止回路	
	STACY主電源盤		
	制御設備		
		制御材	
		○ 安全板（安全板装置 原子炉停止系）	
		制御材駆動設備	
		○ 給排水系	
		○ 安全板駆動装置	
	○	温度制御設備	
	その他主要な事項		
		制御室	
		△ インターロック（反応度制御回路）	
		△ 警報回路	

表 9.1.1-1 STACY 施設の設備構成と整備計画（2/2）

放射性廃棄物の廃棄施設		
	気体廃棄物の廃棄施設	
	液体廃棄物の廃棄施設	
	固体廃棄物の廃棄施設	
放射線管理施設		
	屋内管理用の主要な設備	
	屋外管理用の主要な設備	
原子炉格納施設		
	炉室（S）	
	その他主要な事項	
	△	炉室（S）換気空調設備
その他試験研究用等原子炉の附属施設		
	非常用電源設備	
	主要な実験設備	
	○	実験用装荷物
		パルス中性子派生装置
	その他主要な事項	
		グローブボックス
		その他
	△	共用換気空調設備、分析設備
		上記以外

凡例：○新設 △改造

9.1.2 成果報告

(1) 改造設計・製作設計

① 実施内容

1) 主要な改造設計

STACY 更新炉の炉心タンク、安全板装置等の主要機器は、新規に製作し炉室(S)に設置される。それら新設機器の据付に必要な既設の炉室フード及び実験装置架台の改造については、整備工事の早い段階で実施する必要がある。

これらの主要な改造工事について、設工認の審査において炉室フードの補強部材の使用前検査（材料検査）、実験装置架台の改造を設工認対象範囲とする追加要求があったため、それに基づいて補強部材の調達仕様、材料検査の要否に関する情報、工場での加工指示図面作成及び現地での施工手順及び検査等の検討に必要な情報を含む製作・施工レベルの改造図面の見直しを行った。

2) 主要な新設機器の製作設計

工場での製作に長期間を要する製缶品（炉心タンク、ダンプ槽等）、工場段階で完成品に対する性能確認を行う必要がある装置類（安全板装置、主要な計装等）については、整備工事の早い段階で製作に着手する必要がある。

これらの主要な施設機器について、設工認の審査において申請書の構造図に記載する部材の追加、実験装置架台及び棒状燃料収納用器の支持構造物として新設する架台を申請範囲とする等の追加要求があったため、それに基づいて主要部材及び購入部品の調達仕様、材料検査の要否に関する情報、工場での部品加工指示図面作成の検討に必要な情報を含む製作レベルの機器構造図面の見直しを行った。また、各機器の製作・据付段階の管理に資するため基本的な製作手順と各段階で必要な検査項目の関係を示すフロー図についても見直しを行った。

3) その他の改造設計

STACY 更新炉の主要な新設機器の操作・監視機能、インターロック回路、安全保護回路、警報回路は、既設の制御盤等を改造して整備する。

これらの改造工事について、操作手順図、制御系統図、インターロックロジック図、展開接続図及び盤面計器等の更新をするものについては盤外形図等の施工レベルの改造図面を作成した。

4) その他の新設機器の製作設計

STACY 更新炉の昇温試験時に炉心タンク、ダンプ槽及び給排水系配管の温度制御を行う温度制御設備を新設する。また、可動装荷物駆動装置の操作監視盤を新設する。

その制御盤、監視盤について、インターロックロジック図、展開接続図、盤外形図、操作監視用計算機画面集の施工レベルの製作図面を作成した。

② 実施結果

1) 主要な改造設計

- ・ 炉室フードの改造図及び工事・検査フロー図を図 9.1.2-1(1)～(9)に示す。
- ・ 実験装置架台の改造図を図 9.1.2-2(1)～(5)に示す。

2) 主要な新設機器の製作設計

- ・ 炉心タンク構造図（本体、格子板フレーム）及び製作・検査フロー図を図 9.1.2-3(1)～(3)に示す。
- ・ 棒状燃料収納容器構造図（本体、架台）及び製作・検査フロー図を図 9.1.2-4(1)～(6)に示す。
- ・ 主要な計装の構造図（最大給水制限スイッチ、給水停止・排水開始スイッチ）及び製作・検査フロー図を図 9.1.2-5(1)～(3)に示す。
- ・ 安全板装置の構造図（安全板、安全板駆動装置、安全板駆動装置支持架台）及び製作・検査フロー図を図 9.1.2-6(1)～(5)に示す。
- ・ ダンプ槽構造図及び製作・検査フロー図を図 9.1.2-7(1)、(2)に示す。
- ・ 可動装荷物駆動装置構造図（本体、サンプル棒、案内管）及び製作・検査フロー図を図 9.1.2-8(1)～(4)に示す。

3) その他の改造設計

- ・ 監視操作盤の機能追加の設計例として主要な計装（最大給水制限スイッチ、給水停止スイッチ）の操作手順図を図 9.1.2-9(1)～(4)に示す。
- ・ 監視操作盤の機能追加の設計例としてその他の計装（サーボ型液位計）の操作手順図を図 9.1.2-10 に示す。
- ・ インターロック盤の改造の設計例として主要インターロックリストを図 9.1.2-11(1)～(11)に示す。

4) その他の新設機器の製作設計

- ・ 温度制御設備の制御盤等の設計例として図 9.1.2-12(1)～(6)に製作図を示す。
- ・ 可動装荷物駆動装置の制御盤等の設計例として図 9.1.2-13(1)～(4)に製作図を示す。

(2) 工場製作段階の検査計画

① 実施内容

平成 30 年度に着手する機器製作及び改造工事資材の工場プレハブに先立って、工場製作段階での品質管理を確実にするため、各種検査の内容及び対象設備の重要度に応じた検査区分を検討した。

② 実施結果

- ・ 工場段階の検査内容を検討した結果を表 9.1.2-1(1/4)～(4/4)に示す。
- ・ 対象設備の重要度に応じた検査区分を検討した結果を表 9.1.2-2(1/9)～(9/9)に示す。

(3) 整備工程表の見直し

① 実施内容

平成 26 年度事業の検討で、STACY 更新炉の整備に必要な主要作業の内容と所要期間を整理し、各作業内容と作業エリア等の条件から生じる前後関係、相互依存関係を考慮して合理的な実施順序を定め、クリティカルパスを明確にした整備工程表を作成した。その後、設置変更許可申請の審査に予定より大幅な長期間を要したことに伴い、整備工事の着手時期の変更が必要となり、平成 27 年度事業の検討で、整備工程表の見直しを実施した。

その検討では、平成 28 年度末に設置変更許可を取得し設工認申請を経て平成 29 年度の半ばに改造工事、新設機器の製作に着手する工程計画とした。しかし、許可取得が平成 30 年 1 月 31 日まで遅延したため、さらに整備工事の着手時期の変更が必要となり、整備工程表の見直しを再度実施した。

② 実施結果

平成 26 年度事業で検討した主要作業の所要期間と実施順序により作成し、平成 27 年度事業で見直した STACY 更新炉の整備工程計画に基づいて、STACY 更新炉の整備工程表を再度見直した結果を表 9.1.2-3 に示す。

表 9.1.2-1 工場製作段階の検査概要 (1/4)

No.	検査項目	検査概要	備 考
1	材料検査	機器構造図、詳細図に材料証明要求の記載がある材料について、記載とおりの材料であることを材料メーカーの発行する材料検査成績書（ミルシート）により、当該 JIS 規格を満足していることを確認する。 ただし、JIS 規格に適合しない材料（カドミウム、B4C 含有材等）は、メーカー発行の品質管理部門等が確認（サイン、社印等）した材料証明書等で確認を行うものとする。	
2	法定溶接検査	法定溶接検査対象の容器、配管（炉心タンク等）の溶接部については、溶接の方法の認可を取得するとともに、溶接に係る試験検査を原子力規制庁に申請し、受検して合格証等を含めた申請書、報告書等のコピーをメーカーから JAEA に提出する。なお、溶接は、原子力規制庁から認可された溶接士が行う。	
3	溶接作業中検査	溶接の作業要領(主に溶接方法、使用溶接棒、姿勢、シールドガスの種類、開先確認及び仕上がり外観)が製作要領書（溶接施行要領書）に記載の内容に従い実施されていることを確認する。また、実施した溶接士が、JIS 等の公的機関の有する溶接士であることを確認する。	資格証（コピー等）は立会時に確認するものとし、資格認定番号の記載のある溶接士リストを提出する。
4	非破壊検査（PT）	耐圧部及び耐震上の強度を必要とする溶接部について、液体浸透探傷検査(JIS Z 2343)を実施し、溶接部の健全性を確認する。なお、対象箇所については、工場検査要領書に溶接線図を添付して明示する。	試験方法及び判定基準は、試験研究の用に供する原子炉等の溶接の技術基準に関する規則（総理府令第 74 号）の第 12 条により実施する。

表 9.1.2-1 工場製作段階の検査概要 (2/4)

No.	検査項目	検査概要	備 考
5	外観検査	以下の項目について、目視又は触手にて確認する。 ・機器又は盤の構造が機器構造図、詳細図又は盤外形図の記載とおりであること。 ・機器又は盤の外表面に使用上有害な欠陥(スリキズ、当てキズ、カエリ等)、汚れ及び異常な変形のないこと。 ・溶接部の割れ、アンダーカット、スパッタ等有害な欠陥のないこと。 ・角部に使用上の有害な鋭利な角部がないこと。 ・装置内又は盤内配線については、ねじれ等が無く結束されていること。 ・主要構成機器又は盤内機器について、機器構造図、詳細図又は盤外形図に記載の員数及び配置に相違無いこと。 ・取付けボルト、基礎ボルトの呼び径及び員数が機器構造図、詳細図の記載とおりであること。 ・銘板取付け位置及び銘板に記載された内容（字体、大きさ、レイアウト、線の太さ等）が銘板図又は盤外形図の記載とおりであること。また、銘板の表面に傷、汚れ等がないこと。	取付けボルト、基礎ボルトは、耐震評価ボルトに限定する。
6	寸法検査	・機器又は盤について、機器構造図、詳細図又は盤外形図に記載の主要寸法及びボルトピッチを鋼製巻尺、ノギス等の測定箇所に適した測定器具を用いて測定を行い、許容値以内であることを確認する。	測定器具（鋼製巻尺、ノギス等）は、校正証明書付とし、国際標準又は国家標準までのトレーサビリティ証明書（体系図）を添付する。
7	未臨界寸法検査	機器構造図、詳細図記載の未臨界寸法について、鋼製巻尺、ノギス等の測定箇所に適した測定器具を用いて測定を行い、未臨界寸法以上であることを確認する。	
8	耐圧漏えい検査	容器、配管について、設計圧力又は最高使用圧力の 1.5 倍の水圧（水圧での実施が困難場合は、設計圧力又は最高使用圧力の 1.25 倍の気圧）にて所定時間保持後、容器、配管からの漏れ、異常な変形等が無いことを確認する。 なお、開放容器については、満水試験とし、水張り水位は上部フランジの 50 mm 下方までとする。	測定器具（圧力計）は、校正証明書付とし、国際標準又は国家標準までのトレーサビリティ体系図を添付する。

表 9.1.2-1 工場製作段階の検査概要 (3/4)

No.	検査項目	検査概要	備 考
9	配線検査	以下の項目について目視にて確認する。 ・盤外形図に基づき、圧着端子等の端末処理状態が適切に処置されていること。 ・盤外形図に基づき、配線色別が適切であること。 ・展開接続図に基づき、端子番号、線番号が適切に接続されていること。 ・所定の端子間で導通があること。	確認結果は、展開接続図への色塗り等により残す。
10	絶縁抵抗検査	外線端子ーアース間の絶縁抵抗を絶縁抵抗計にて規定電圧を印加し、耐電圧検査前・後で所定の絶縁抵抗値以上であることを確認する。	・電流計、電圧計等の電気計測用測定器の校正証明書に添付するトレーサビリティ証明書の取得範囲は別途調整事項とする。
11	耐電圧検査	外線端子ーアース間に規定電圧を1分間印加し、絶縁破壊及び異臭のないことを確認する。また、耐電圧検査前・後の絶縁抵抗を規定電圧にて測定し、絶縁抵抗の著しい低下が無いことを確認する。	試験電圧に耐え得ない電子機器がある場合は除くものとし、除外機器リストを提示する。
12	単体性能試験	機器設計図書で要求されている性能（速度、インターロック等）が、個別装置、機器として満足していることを、模擬入力又は実運転により確認する。（検査用の仮盤を使用する）	他の装置と組み合わせる必要がある場合は、工場段階で可能な範囲な項目を実施する。
13	ループ試験	計装回路について、計測側より模擬信号又は実信号を入力して盤側の計測値の表示から計装ループの組合せ性能を確認する。	
14	シーケンス試験（インターロック、警報試験含む）	模擬信号又は実信号を入力して、インターロックがインターロックロジック図とおりに作動すること、所定の条件で警報が発報することを確認する。	
15	塗装検査	以下の項目について目視にて確認する。 ・塗装外面について、たれ、塗りむら・色むら、はがれ、キズ、剥離、汚れ等有害な欠陥が無いこと。 ・外表面の塗装色が、所定の塗装色であること。	

表 9.1.2-1 工場製作段階の検査概要 (4/4)

No.	検査項目	検査概要	備 考
16	購入品検査	機器構造図、詳細図記載の購入品（センサー、モータ、駆動装置等）について、員数、型式、仕様等が記載とおりあることを確認する。	
17	洗浄・内部点検	機器の洗浄作業完了後、外面、内面を目視にて、清浄度の確認を行い、ごみ、ほこり、錆び等の有害な異物及び汚れがないことを確認する。	
18	出荷検査	出荷前に以下の項目を目視にて確認する。 ・出荷案内、サプライリスト等のおおりの員数であること。 ・梱包状態に損傷、歪み等の異常のないこと。 ・梱包要領書（梱包要領書がある場合）とおおりの梱包であること。 ・トラック等の荷姿状態に、壊れ、歪み、固縛の異常等がないこと。	

表9.1.2-2 検査対象設備及び検査区分一覧表(1/9)

検査の段階				工場製作段階										現地据付段階										備考																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
機器名称	耐震クラス	設工認の有無	検査項目 立会い者	溶接検査			材料検査	溶接検査			絶縁抵抗試験	配線検査	耐圧・漏えい検査	寸法検査	未臨界寸法検査	塗装検査	購入品検査	洗浄・内部点検	出荷検査	受入検査	材料検査	溶接検査			据付け外観検査	据付け寸法検査	未臨界寸法検査	耐圧・漏えい検査	配管サポートピッチ寸法検査	塗装検査	配線検査	絶縁抵抗試験	耐電圧試験	機能試験				点検・確認																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
				法定溶接検査	溶接作業中検査	非破壊試験		PT	RT	法定溶接検査												溶接作業中検査	非破壊試験	(通系統機能試験、ヒータ昇温試験含む)										(インテンシタテスト試験・警報試験含む)	スクラム試験	プロセス計装ループ試験	装置機能試験																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
炉心タンク	Bクラス	有 (法定溶接有)	JAEA FE メーカー	○	△	○	◎	-	-	-	-	◎	◎	◎	◎	◎	-	-	-	-	-	◎ ^{*5}	-	-	-	-	-	◎ ^{*5}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(記号の説明)

◎:立会いにより確認する項目

●:抜き取り立会いにより確認する項目

△:自主検査記録の記録提出

○:記録確認する項目

■:富士・川崎工場又はメーカーが実施する自主検査項目

-:該当なし

(注記)

*1:フット内のBクラス機器への波及的影響評価を行う。

*2:現地で再組立てを行うことから記録確認とする。

*3:現地で材料入手、溶接作業を行う場合に実施する。

*4:現地組立て後に実施する。

*5:給排水設備の系統機能試験と併せて実施する。

表9.1.2-2 検査対象設備及び検査区分一覧表(2/9)

検査の段階				工場製作段階										現地据付段階										備考		
機器名称	耐震クラス	設工認の有無	検査項目 立会い者	溶接検査			材料検査	溶接検査			受入検査	溶接検査			配管サポートヒッチ寸法検査	差装検査	配線検査	絶縁抵抗試験	耐電圧試験	機能試験				点検・確認		
				法定溶接検査	溶接作業中検査	非破壊試験		法定溶接検査	溶接作業中検査	非破壊試験		PT	RT	（系統機能試験 （ヒータ昇温試験含む）						（シーケンス試験 （インターロック・警報試験含む）	スクラム試験	プロセス計装ループ試験	装置機能試験			
安全板	－	有	JAEA	○	○	○	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	富士・川崎工場にて製作		
			FE	■	■	■	－	－	－	－	○	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	○			
			メーカー	－	－	－	－	－	－	－	■	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	■		
安全板駆動装置	Bクラス	有	JAEA	○	○	○	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	○	－	－	－	－	◎	◎	富士・川崎工場にて製作		
			FE	○	■	■	－	－	－	－	■	○	－	－	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
			メーカー	－	－	－	－	－	－	－	－	■	－	－	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
安全板駆動装置支持架台	Bクラス	有	JAEA	○	○	○	－	－	－	－	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	富士・川崎工場にて製作		
			FE	■	■	■	－	－	－	－	■	○	－	－	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
			メーカー	－	－	－	－	－	－	－	－	■	－	－	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	

(記号の説明)

●：抜き取り立会いにより確認する項目

◎：立会いにより確認する項目

△：自主検査記録の記録提出

○：記録確認する項目

■：富士・川崎工場又はメーカーが実施する自主検査項目

－：該当なし

(注記)

*1：安全板と安全板駆動装置を組合わせて実施する。

*2：現地での材料入手、溶接作業を行う場合に実施する。

(記号の説明)
 ◎:立会いにより確認する項目 ●:抜き取り立会いにより確認する項目 ○:記録確認する項目
 △:自主検査記録の記録提出 ■:富士・川崎工場又はメーカーが実施する自主検査項目 一:該当なし
 (注記)
 *1:安全板と安全板駆動装置を組合わせて実施する。
 *2:現地での材料入手、溶接作業を行う場合に実施する。

表9.1.2-2 検査対象設備及び検査区分一覧表(3/9)

検査の段階				工場製作段階										現地据付段階										備考																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
機器名称	耐震クラス	設工認の有無	検査項目 立会い者	溶接検査				材料検査	受入検査	材料検査	溶接検査				配管サポートヒッチ寸法検査	塗装検査	配線検査	絶縁抵抗試験	耐電圧試験	機能試験				点検・確認																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
				法定溶接検査	溶接作業中検査	非破壊試験	PT				法定溶接検査	溶接作業中検査	非破壊試験	PT						(システム・ヒータ昇温試験含む)	(インタロック試験・警報試験含む)	スクラム試験	プロセス計装ループ試験			装置機能試験																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
可動装置物駆動装置(本体)	Bクラス	有	JAEA	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	富士・川崎工場にて製作																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
			FE	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
			メーカー	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
可動装置物駆動装置(案内管)	-	有	JAEA	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	富士・川崎工場にて製作																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
			FE	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
			メーカー	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
可動装置物駆動装置(サンプル棒)	-	有	JAEA	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	富士・川崎工場にて製作																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
			FE	■	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
			メーカー	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							

(記号の説明)
 ◎:立会いにより確認する項目 ●:抜き取り立会いにより確認する項目 ○:記録確認する項目
 △:自主検査記録の記録提出 ■:富士・川崎工場又はメーカーが実施する自主検査項目 ー:該当なし
 (注記)
 *1:可能装置物駆動装置(本体)と可動装置物駆動装置(サンプル棒)を組合せて実施する。

表9.1.2-2 検査対象設備及び検査区分一覧表(4/9)

検査の段階				工場製作段階										現地据付段階										備考																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
機器名称	耐震クラス	設工認の有無	検査項目 立会い者	材料検査				溶接検査				配管サポートピッチ寸法検査	塗装検査	配線検査	絶縁抵抗試験	耐電圧試験	機能試験					点検・確認																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
				材料検査	法定溶接検査	溶接作業中検査	非破壊試験	PT	RT	(通水試験、ヒータ昇温試験含む)*2	(インターロックス試験・警報試験含む)*2						スクラム試験	プロセス計装ループ試験	装置機能試験																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
最大給水制限スイッチ (駆動装置含む)	Bクラス	有	JAEA FE メーカー	○	-	○	○	-	-	-	-	-	-	○	-	◎	◎	◎	-	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
				○	-	○	◎	-	-	-	-	◎	◎	◎	-	◎	-	◎	◎	-	-	-	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
				■	-	■	■	-	-	-	-	■	■	■	-	■	-	■	■	-	-	-	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
給水停止スイッチ (駆動装置含む)	Bクラス	有	JAEA FE メーカー	○	-	○	○	-	-	-	-	-	-	○	-	◎	◎	◎	-	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
				○	-	○	◎	-	-	-	-	◎	◎	◎	-	◎	-	◎	◎	-	-	-	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
				■	-	■	■	-	-	-	-	■	■	■	-	■	-	■	■	-	-	-	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
排水開始スイッチ (駆動装置は給水停止スイッチと共用)	Bクラス	有	JAEA FE メーカー	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	◎	◎	◎	-	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
				○	-	-	-	-	-	-	-	◎	◎	◎	-	◎	-	◎	◎	-	-	-	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
				■	-	-	-	-	-	-	-	■	■	■	-	■	-	■	■	-	-	-	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
サーボ型水位計	Cクラス	有	JAEA FE メーカー	○	-	○	○	-	-	-	-	-	-	○	-	◎	◎	◎	-	-	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
				○	-	◎	◎	-	-	-	-	◎	◎	◎	-	◎	-	◎	◎	-	-	-	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
				■	-	■	■	-	-	-	-	■	■	■	-	■	-	■	■	-	-	-	■																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												</

(記号の説明)
 ◎: 立会により確認する項目
 ●: 抜き取り立会により確認する項目
 △: 自主検査記録の記録提出
 ■: 富士・川崎工場又はメーカが実施する自主検査項目
 ○: 記録確認する項目
 -: 該当なし

(注記)
 *1: 水位の校正を実施する。
 *2: 給排水設備の系統として実施する。

表9.1.2-2 検査対象設備及び検査区分一覧表(6/9)

検査の段階			工場製作段階														現地据付段階														備考
機器名称	耐震クラス	設工認の有無	検査項目 立会い者	溶接検査				PT		RT	材料検査	受入検査	配管サポートピッチ寸法検査	塗装検査	配線検査	絶縁抵抗試験	耐電圧試験	(系統機能試験・ヒータ昇温試験含む) ※5	(インターロック試験・警報試験含む) ※5	スクラム試験	プロセス計装ループ試験	装置機能試験	点検・確認								
				法定溶接検査	溶接作業中検査	非破壊試験	据付け外観検査	据付け寸法検査	未臨界寸法検査															耐圧・漏えい検査							
急速排水弁	Bクラス	有	JAEA	○	-	△ ^{*1}	-	-	-	-	-	◎	-	◎	-	◎	◎	◎	◎	◎	-	-	-								
			FE	○	-	◎ ^{*1}	-	-	◎	-	◎	-	◎	-	◎	-	◎	◎	◎	◎	-	-	△								
			メーカー	■	-	■	-	-	■	-	-	-	■	-	■	-	■	■	■	■	-	-	■								
通常排水弁	Cクラス	有	JAEA	○	-	-	-	-	-	-	-	◎	-	◎	-	-	◎	◎	◎	◎	-	-	-								
			FE	○	-	-	-	-	◎	-	◎	-	◎	-	◎	-	◎	◎	◎	◎	-	-	△								
			メーカー	■	-	-	-	-	■	-	■	-	■	-	■	-	■	■	■	■	-	-	■								
微調整排水弁	Cクラス	有	JAEA	○	-	-	-	-	-	-	◎	-	◎	-	◎	-	◎	◎	◎	◎	-	-	-								
			FE	○	-	-	-	-	◎	-	◎	-	◎	-	◎	-	◎	◎	◎	◎	-	-	△								
			メーカー	■	-	-	-	-	■	-	■	-	■	-	■	-	■	■	■	■	-	-	■								
配管(設工認対象)	Cクラス (一部Bクラス)	有	JAEA	○	△ ^{*2}	◎	-	◎	◎	-	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	-	-	-								
			FE	○	◎ ^{*2}	◎	-	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	-	-	△							
			メーカー	■	■	■	-	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	-	-	■							
配管(設工認対象外)	Cクラス	無	JAEA	○	-	△	-	◎	◎	-	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	▲	-	-	-							
			FE	○	◎	◎	-	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	-	△							
			メーカー	■	■	■	-	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	○	-	■							
弁(設工認対象外)	Cクラス	無	JAEA	△	-	-	-	△	△	-	◎	◎	-	△	-	△	-	△	△	-	-	-	-	-							
			FE	○	-	-	-	◎	◎	-	◎	◎	-	◎	-	◎	-	◎	◎	◎	-	-	△	-	-						
			メーカー	■	-	-	-	■	■	-	■	■	-	■	-	■	-	■	■	■	-	-	△	-	■						

(記録区分記号説明)
E0 : JNFL殿へ記録提出
E1 : FEにて記録保管
E2 : メーカー自主管理

(記号の説明)
◎: 立会いにより確認する項目 ●: 抜き取り立会いにより確認する項目 ○: 記録確認する項目
△: 自主検査記録の記録提出 ■: 富士・川崎工場又はメーカーが実施する自主検査項目 —: 該当なし

(注記)

*1: 弁箱表面の非破壊検査(PT)を実施する。
*2: 炉心タンクから第一止め弁までは法定溶接検査対象とする。
*3: 現地で見えなくなる箇所(通廊等)について実施する。
*4: サポート、渠台等の塗装検査とする。
*5: 給排水設備の系統として実施する。
*6: ヒートレース配管を対象とする。

表9.1.2-2 検査対象設備及び検査区分一覧表(7/9)

検査の段階			工場製作段階										現地据付段階										備考
機器名称	耐震クラス	設工認 の有無	検査 項目 立会い者	溶接検査			材料検査	受入検査	配管サポートヒッチ寸法検査	塗装検査	配線検査	絶縁抵抗試験	耐電圧試験	機能試験					点検・確認				
				法定溶接検査	溶接作業中検査	非破壊試験								据付け外観検査	据付け寸法検査	未臨界寸法検査	耐圧・漏えい検査	(イン)ターロツク試験・警報試験含む)		スクラム試験	プロセス計装ループ試験	装置機能試験	
最大給水制限スイッチ中継箱	Cクラス	無	JAEA	-	-	-	-	-	-	-	-	△	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	
			FE	-	-	-	-	○	-	-	-	-	○	◎	-	-	◎	-	-	-	-	○	
メーカ				-	-	-	-	■	-	-	-	■	-	-	■	-	-	-	-	-	-	■	
	JAEA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	△	-	-	○	-	-	-	-	-	-		
給水停止スイッチ中継箱 サーボ型水位計中継箱	Cクラス	無	FE	-	-	-	-	○	-	-	-	◎	-	-	◎	-	-	-	-	-	-	○	
			メーカ	-	-	-	-	■	-	-	-	-	■	-	-	■	-	-	-	-	-	■	
タンク槽電導度計 炉心タンク温度計 タンク槽温度計	Cクラス	無	JAEA	△	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			FE	○	-	-	-	○	-	-	-	◎	-	-	◎	-	-	◎	-	-	-	○	
メーカ				■	-	-	-	■	-	-	-	■	-	-	■	-	-	-	-	-	-	■	
	JAEA	-	-	-	-	△	△	-	-	-	△	△	-	-	◎	-	-	-	-	-	-	-	
安全格納動装置中継箱 安全格納動装置支持架台移 動用操作盤	Cクラス	無	FE	-	-	-	-	○	-	-	◎	◎	-	-	◎	-	-	-	-	-	-	○	
			メーカ	-	-	-	-	■	-	-	-	■	■	-	-	■	-	-	-	-	-	-	■
タンク槽用昇温ヒータ 炉心タンク冷却ヒータ 給水管予熱ヒータ	Cクラス	無	JAEA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			FE	-	-	-	-	○	-	-	-	◎	◎	-	-	◎	-	-	-	-	-	-	○
メーカ				-	-	-	-	■	-	-	-	■	-	-	■	-	-	-	-	-	-	■	
	JAEA	-	-	-	-	△	△	-	-	-	△	△	-	-	◎	-	-	-	-	-	-	○	
タンク槽用昇温ヒータ 炉心タンク冷却ヒータ 給水管予熱ヒータ	Cクラス	無	FE	-	-	-	-	○	-	-	◎	◎	-	-	◎	-	-	-	-	-	-	○	
			メーカ	-	-	-	-	■	-	-	-	■	■	-	-	■	-	-	-	-	-	-	■

(記号の説明)

◎: 立会いにより確認する項目

●: 抜き取り立会いにより確認する項目

○: 記録確認する項目

△: 自主検査記録の記録提出

■: 富士・川崎工場又はメーカが実施する自主検査項目

-: 該当なし

(注記)

*1: 給排水設備の系統機能試験の中で確認する。

(記号の説明)
 ●:抜き取り立会いにより確認する項目
 ○:立会いにより確認する項目
 △:自主検査記録の記録提出
 ■:富士・川崎工場又はメーカが実施する自主検査項目
 -:該当なし
 ○:記録確認する項目

(注記)
 *1:給排水設備の系統機能試験の中で確認する。

表9.1.2-2 検査対象設備及び検査区分一覧表(9/9)

検査の段階				工場製作段階										現地据付段階										備考		
機器名称	耐震クラス	設工認 の有無	検査 項目 立会い者	溶接検査			材料検査	溶接検査			材料検査	受入検査	配管サポートピッチ寸法検査	塗装検査	配線検査	絶縁抵抗試験	耐電圧試験	機能試験				点検・確認				
				法定溶接検査	溶接作業中検査	非破壊試験		法定溶接検査	溶接作業中検査	非破壊試験								PT RT	PT RT	(通水試験機試験 ヒータ昇温試験含む)	(インターロック試験 ・警報試験含む)		スクラム試験		プロセス計装ループ試験	装置機能試験
起動用中性子源(移設)	—	有	JAEA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	◎	-			
			FE	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	◎	-	-	-	-	-	-	◎	○			
			メーカー	-	-	-	-	-	-	-	■	-	-	-	■	-	-	-	-	-	-	■	-			
			JAEA	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
炉心フード(耐震補強)	Cクラス	有	FE	○	○	◎	○	○	◎	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	○			
			メーカー	-	-	-	-	-	-	-	■	-	-	-	■	-	-	-	-	-	-	-	■			
			JAEA	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
			FE	○	○	◎	○	○	◎	○	○	○	-	-	◎	◎	-	-	-	-	-	-	-			
実験装置架台(改造)	Bクラス	有	JAEA	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
			FE	○	○	◎	○	◎	○	○	◎	○	○	○	◎	◎	-	-	-	-	-	-	○			
			メーカー	-	-	-	-	-	-	-	■	-	-	-	■	-	-	-	-	-	-	-	■			
			JAEA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
プロセス計装設備計装盤(改造) ・モニタ盤 ・監視操作盤	—	無	JAEA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
			FE	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	◎	◎	-	◎	◎	-	-	-	○			
			メーカー	-	-	-	-	-	-	-	■	-	-	-	■	-	-	-	-	-	-	-	■			
			JAEA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
原子炉停止回路(改造) ・安全保護系統A、B ・スクラム遮断装置A、B ・監視操作盤	Bクラス	有	JAEA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
			FE	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	◎	◎	-	◎	◎	-	-	-	-	○			
			メーカー	-	-	-	-	-	-	-	■	-	-	-	■	-	-	-	-	-	-	-	○			
			JAEA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
給排水系(改造) ・監視制御盤、モニタ盤 ・反応度制御回路の改造 ・インターロック盤 (起動・インターロック回路の追加) ・運転制御・インターロック回路の追加 ・モニタ盤	Cクラス	有	JAEA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
			FE	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	◎	◎	-	◎	◎	-	-	-	-	○			
			メーカー	-	-	-	-	-	-	-	■	-	-	-	■	-	-	-	-	-	-	-	■			
			JAEA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			

(記号の説明)

◎: 立会いにより確認する項目
○: 記録確認する項目
△: 自主検査記録の記録提出
■: 富士・川崎工場又はメーカーが実施する自主検査項目
—: 該当なし

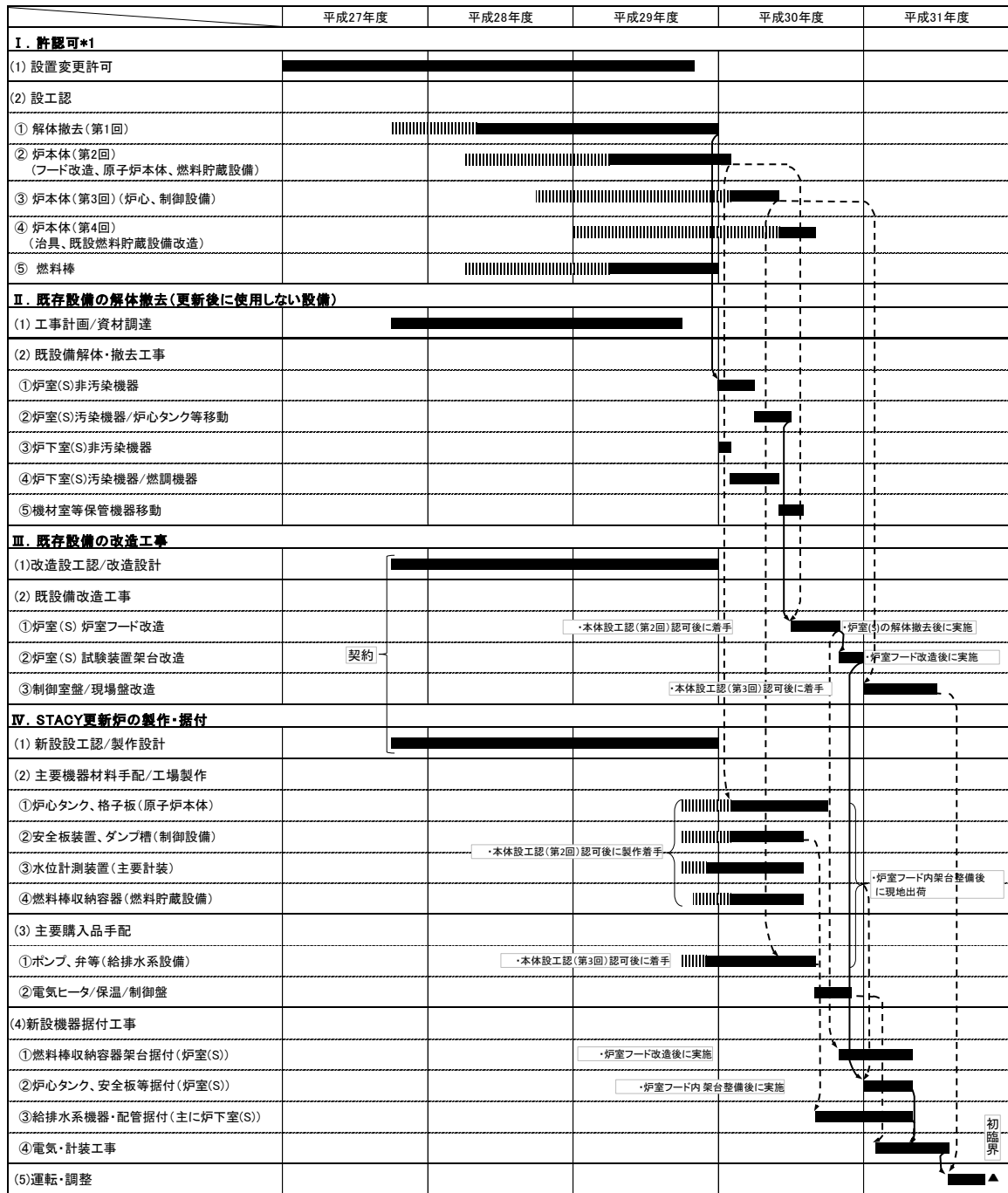
(注記)

*1: ソフトの最終確認は、現地での改造後に機能試験で実施することとなるため、工場段階では記録提出とした。
*2: 給排水設備の系統機能試験の中で確認する。
*3: 改造に必要な器材が、仕様とおり入手できていることを確認する。

(記号の説明)
 ◎: 立会いにより確認する項目
 ○: 記録確認する項目
 △: 自主検査記録の記録提出
 ■: 富士・川崎工場又はメーカーが実施する自主検査項目
 -: 該当なし

(注記)
 *1: ソフトの最終確認は、現地での改造後に機能試験で実施することになるため、工場段階では記録提出とした。
 *2: 給排水設備の系統機能試験の中で確認する。
 *3: 改造に必要な器材が、仕様とおり入手できていることを確認する。

表 9.1.2-3 STACY 更新炉の整備工程表



* 1: 許認可工程の「設置変更許可時期」「設工認申請・認可時期及び分割申請」については想定である。

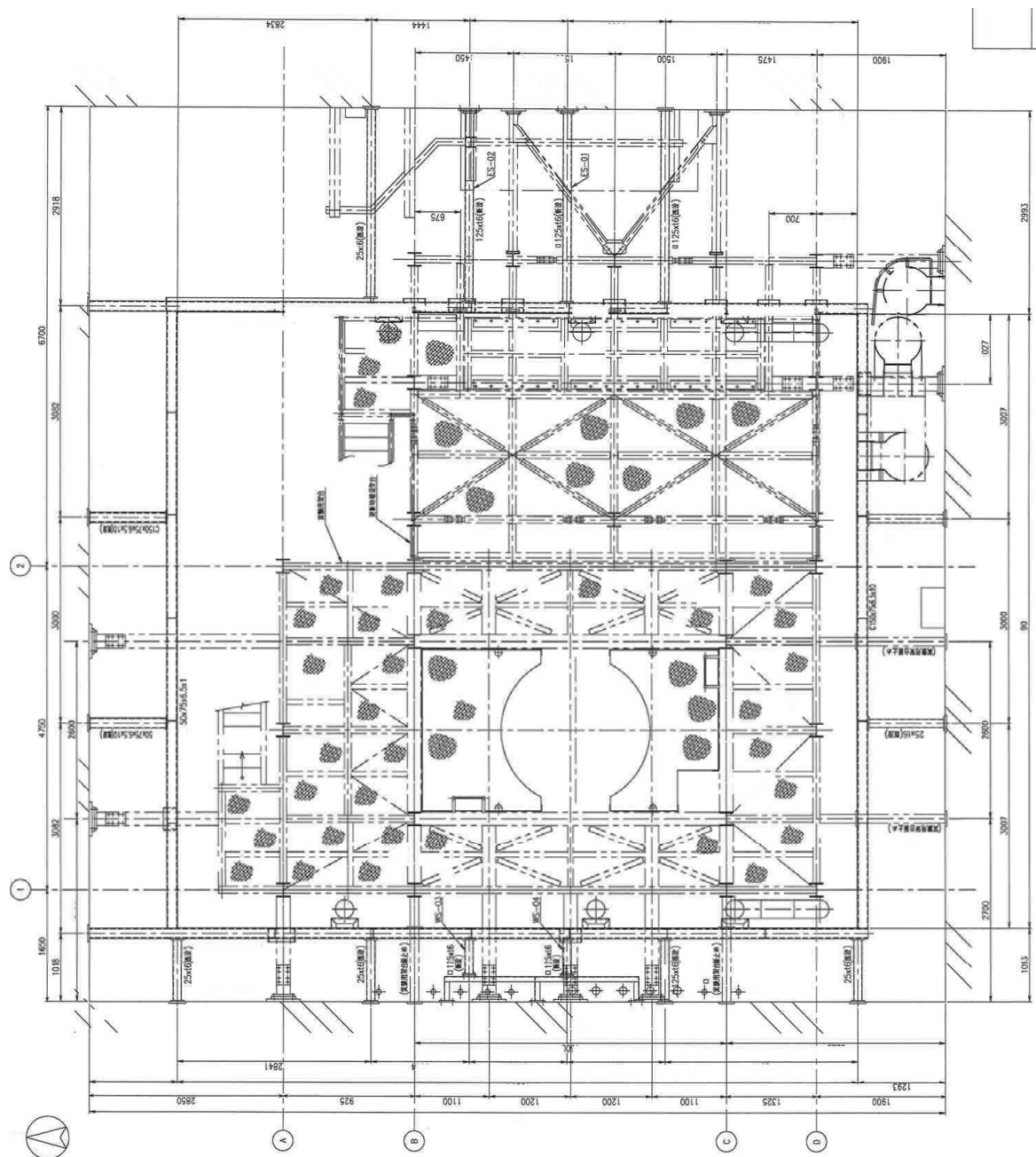


図9.1.2-1(2) 炉室フード改造図 (EL+6750)

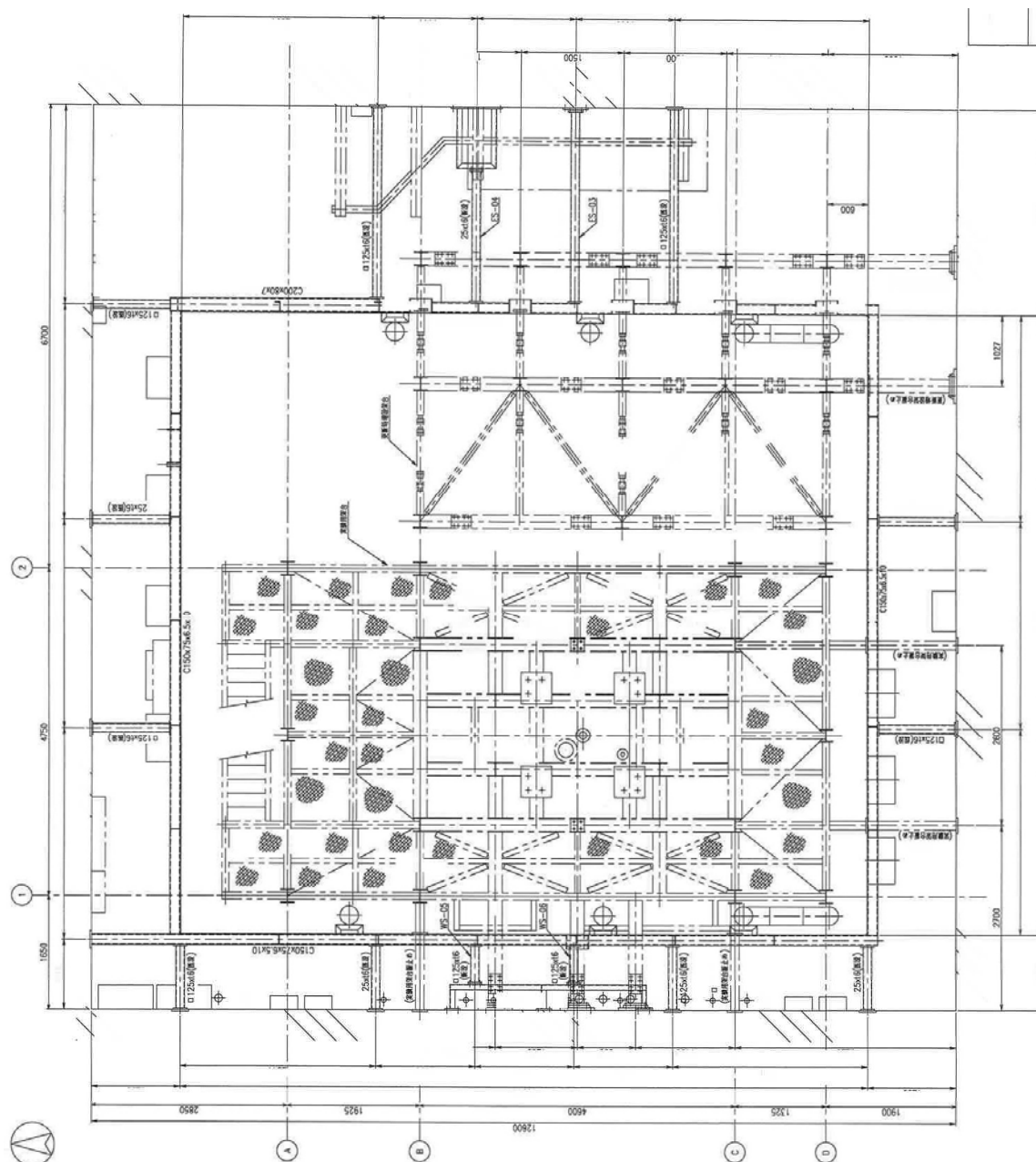


図9.1.2-1(3) 炉室フールド改造図 (EL+3360)

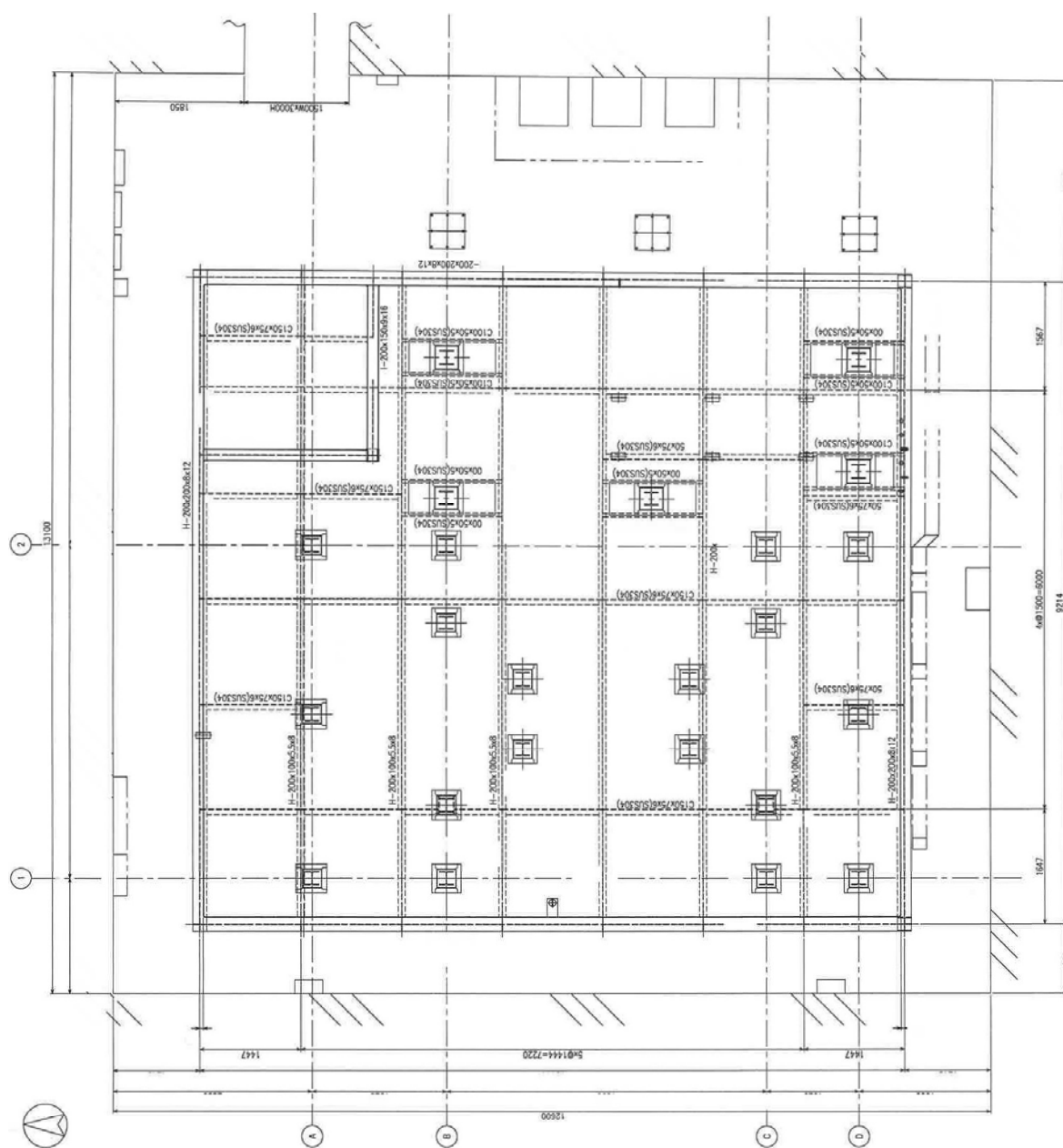


図9.1.2-1(4) 炉室フード改造図 (床平面)

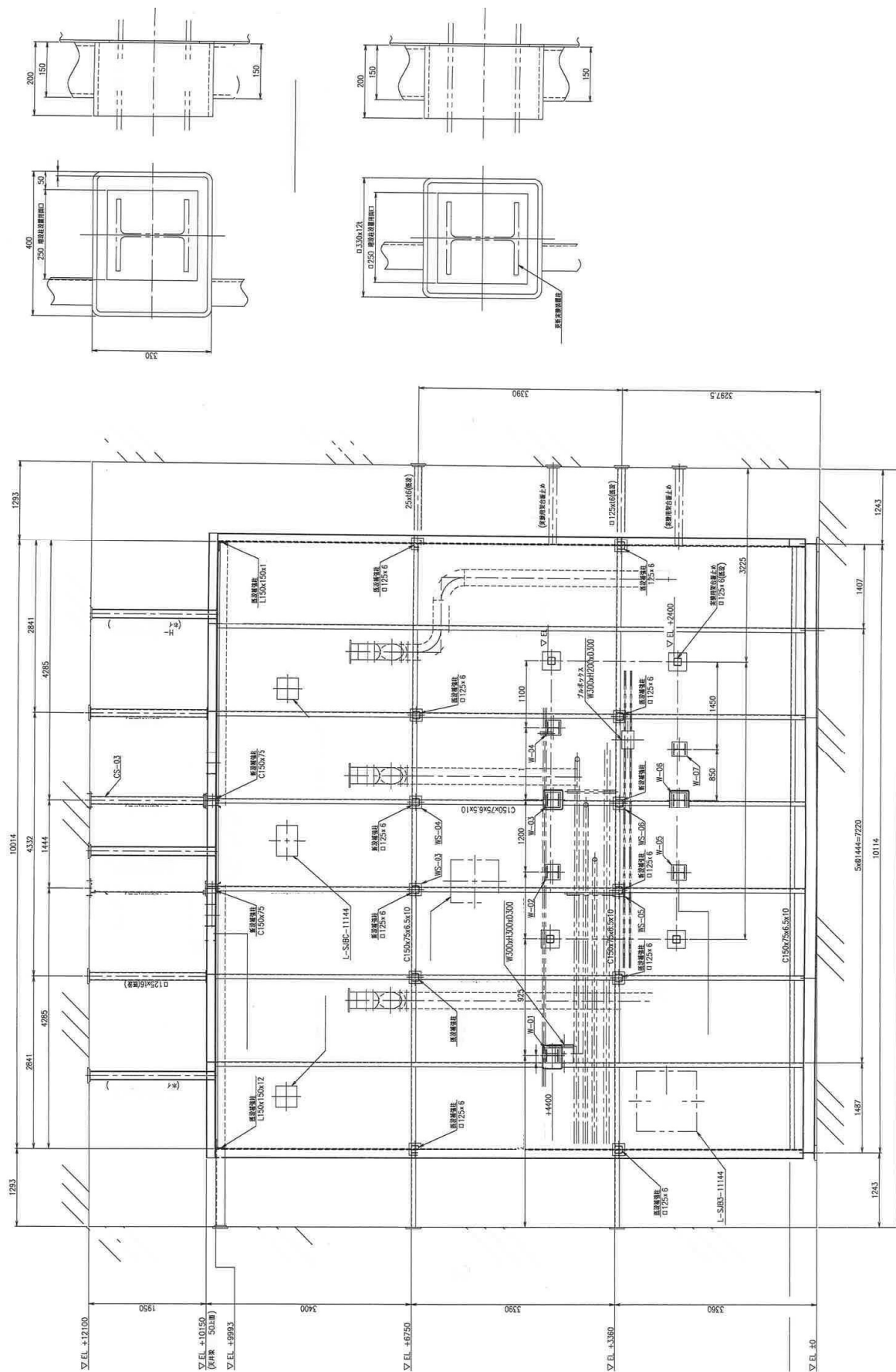


図9.1.2-1(6) 炉室フード改造図 (西側立面)

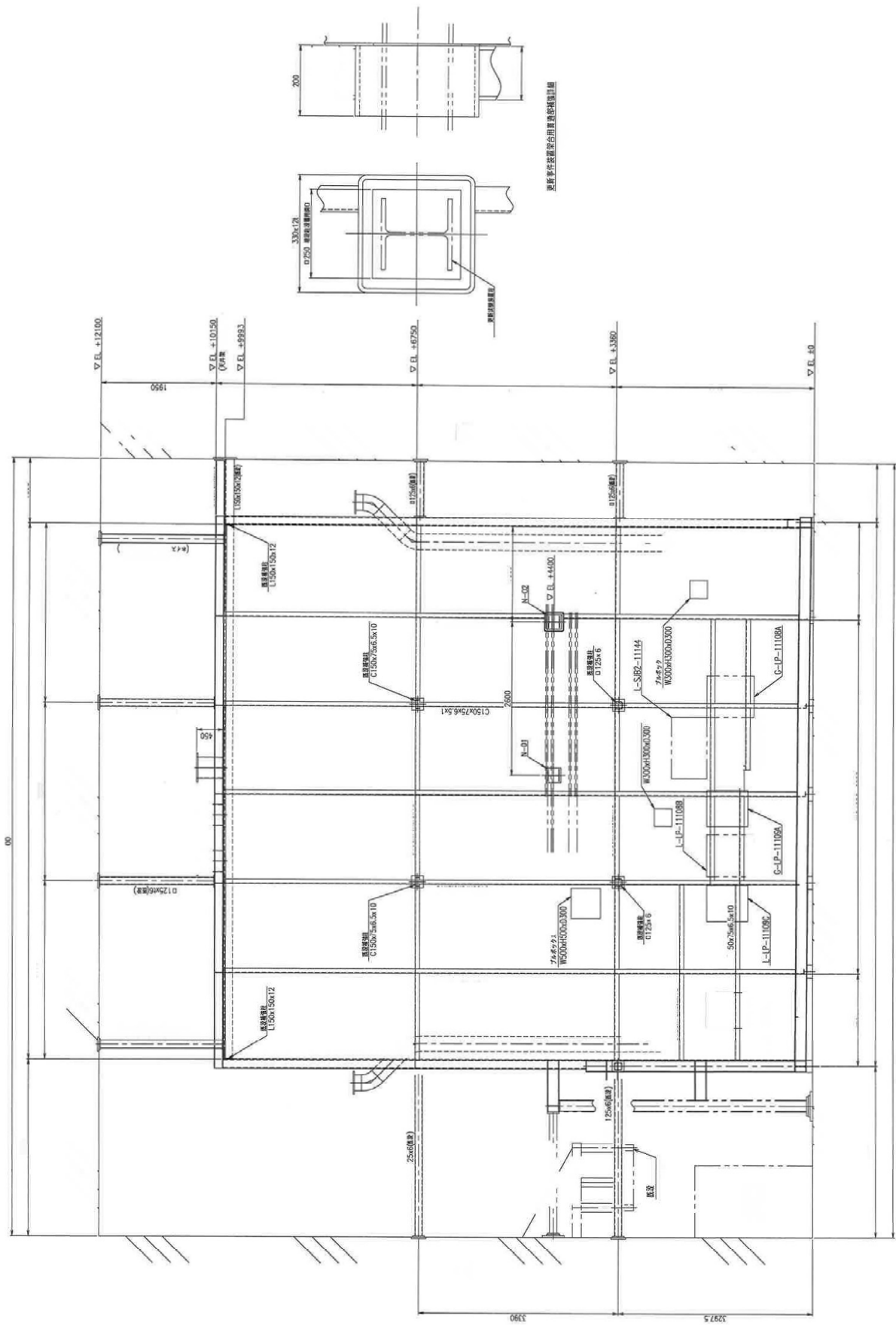
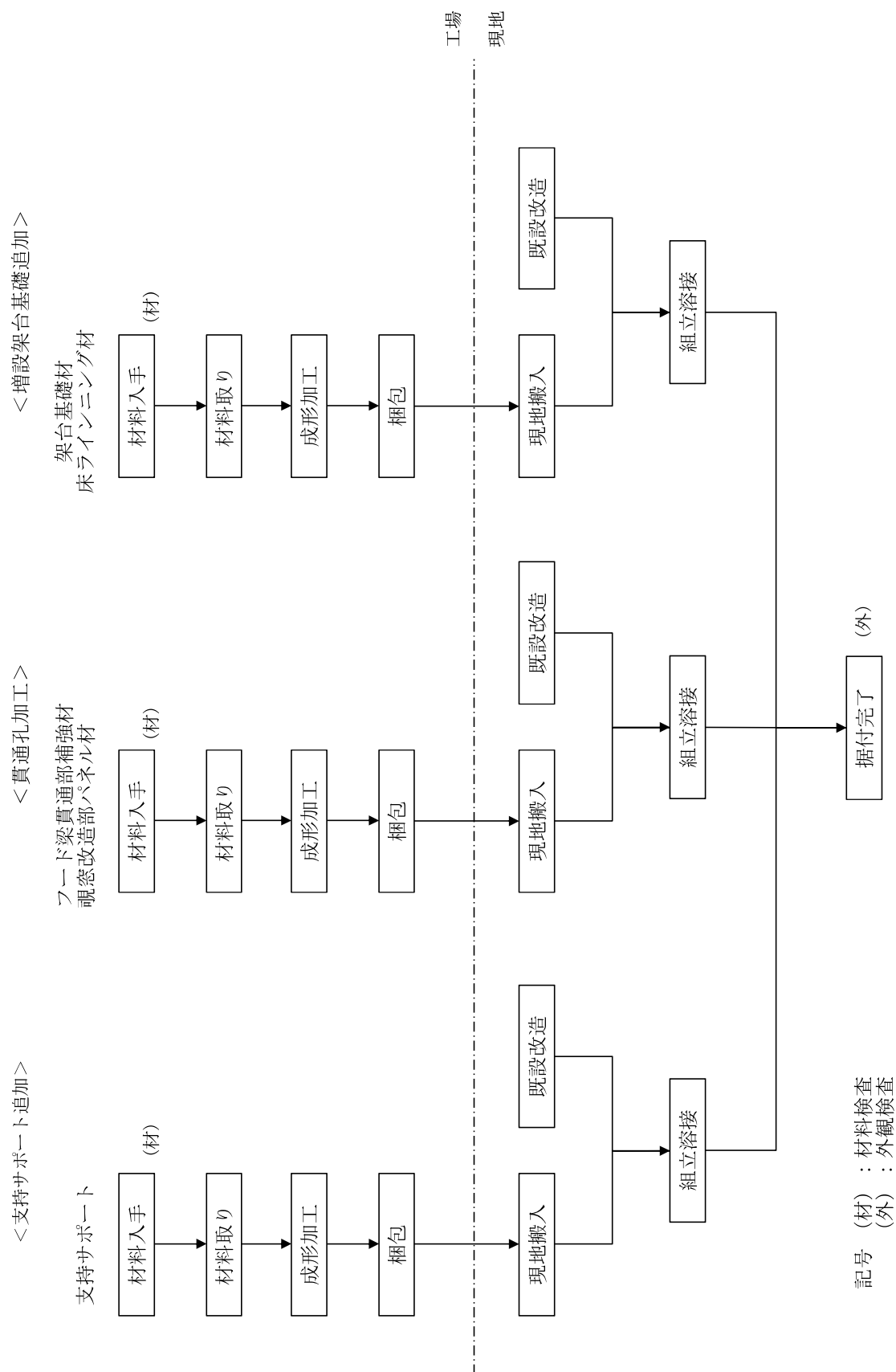


図9.1.2-1(7) 炉室フールド改造図 (北側立面)



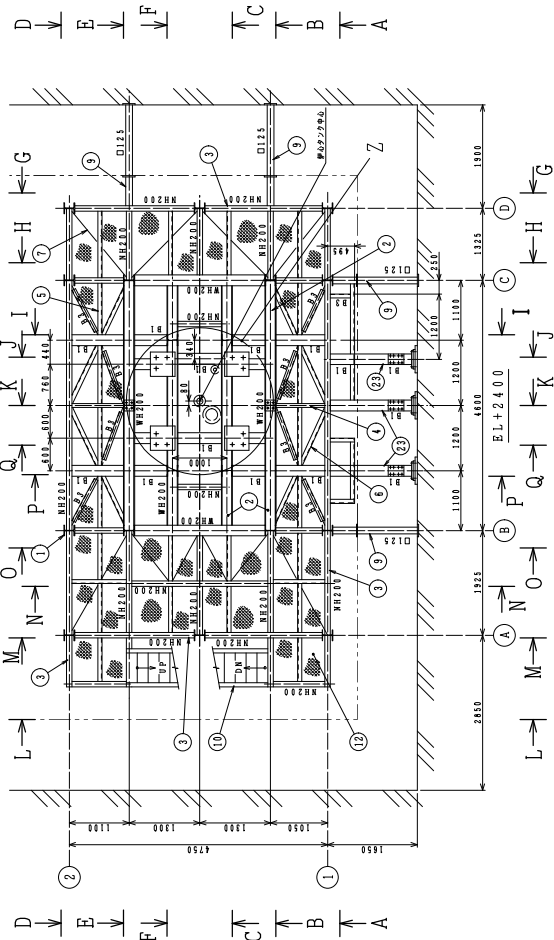


図9.1.2-2(1)

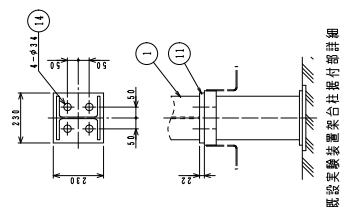
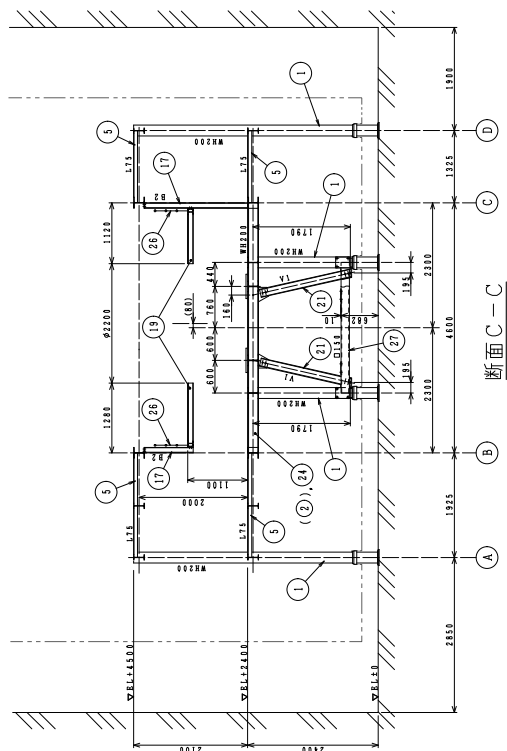
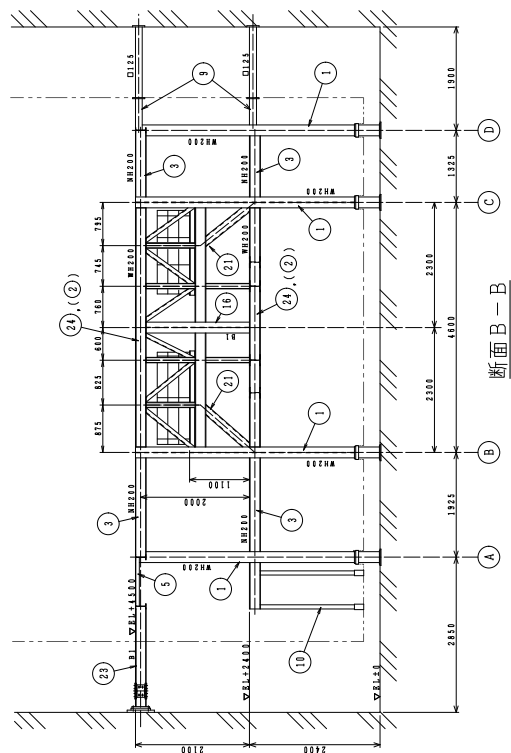
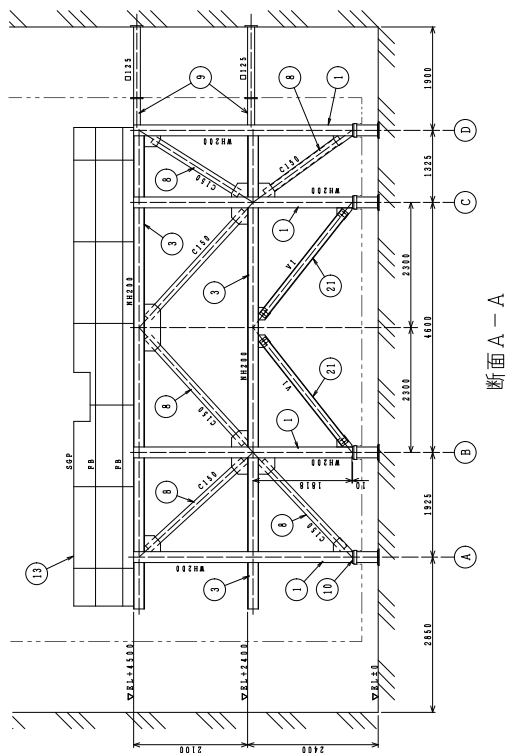


図9.1.2-2(2) 実験装置架台改造図 (2/5)

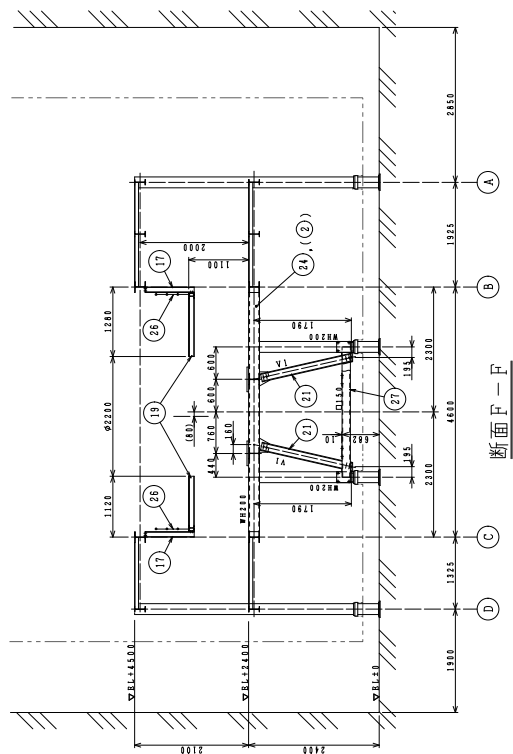
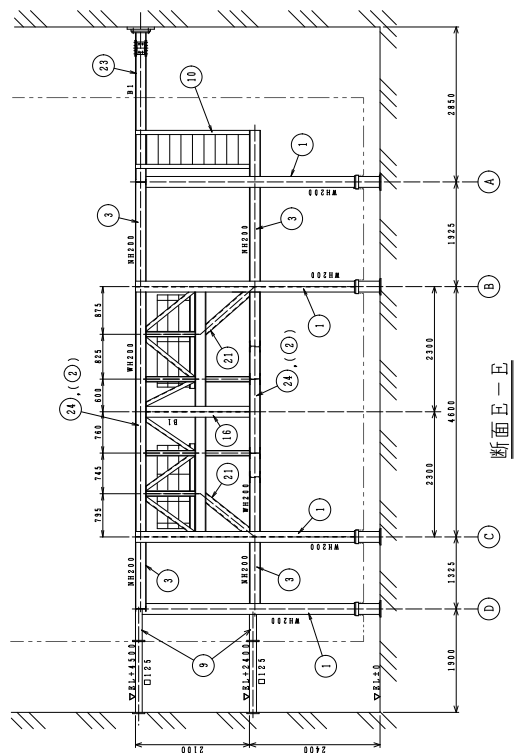
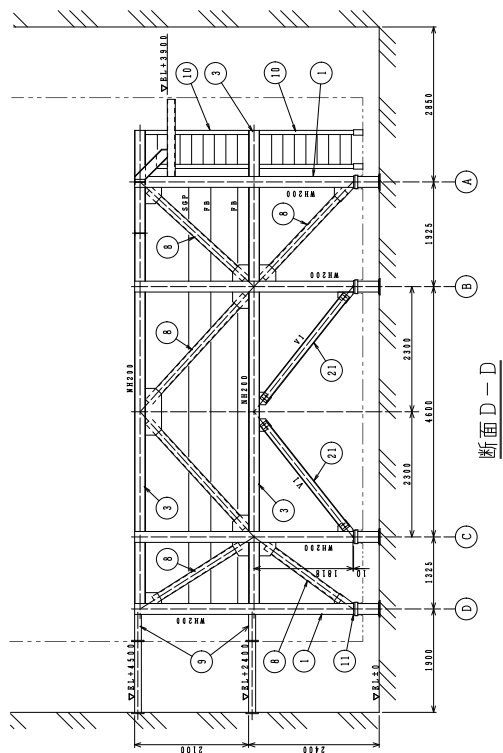


図9.1.2-2(3) 実験装置架台改造図 (3 / 5)

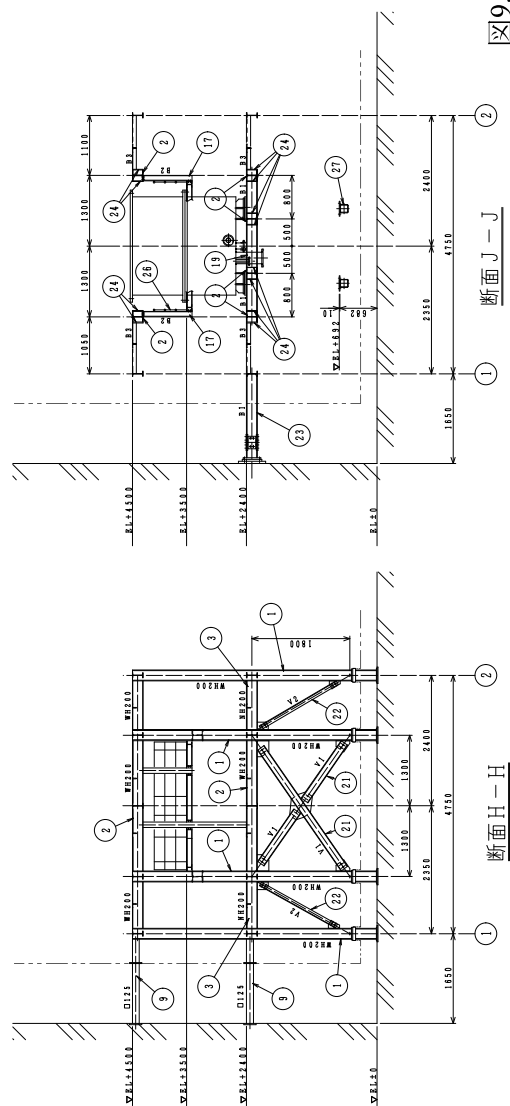
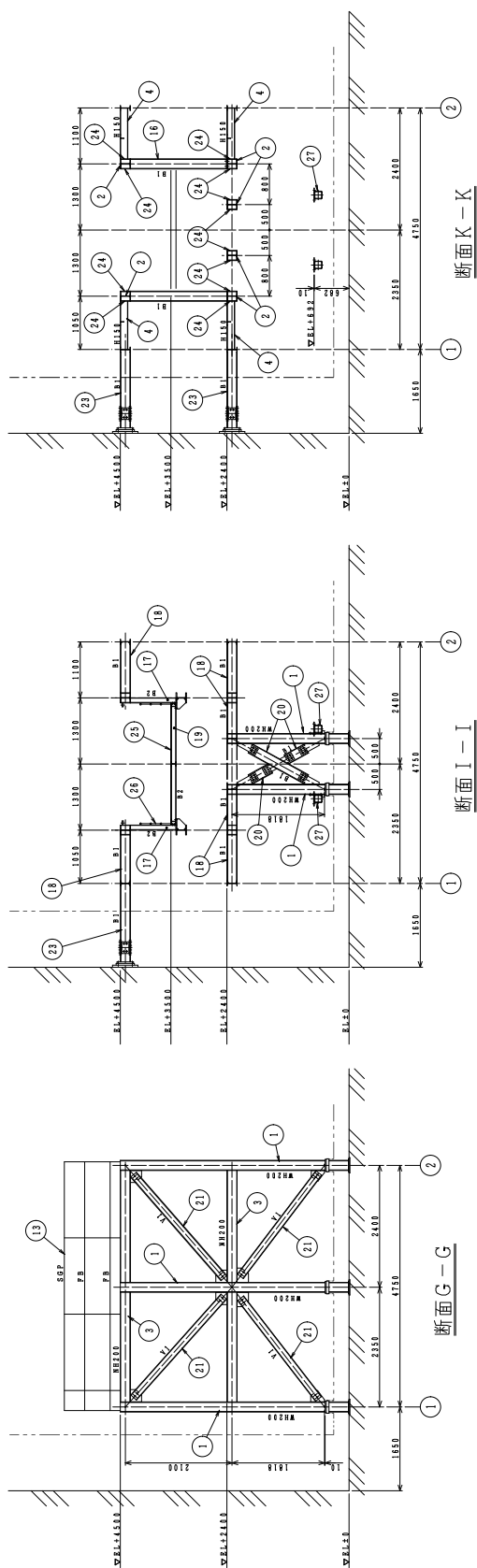
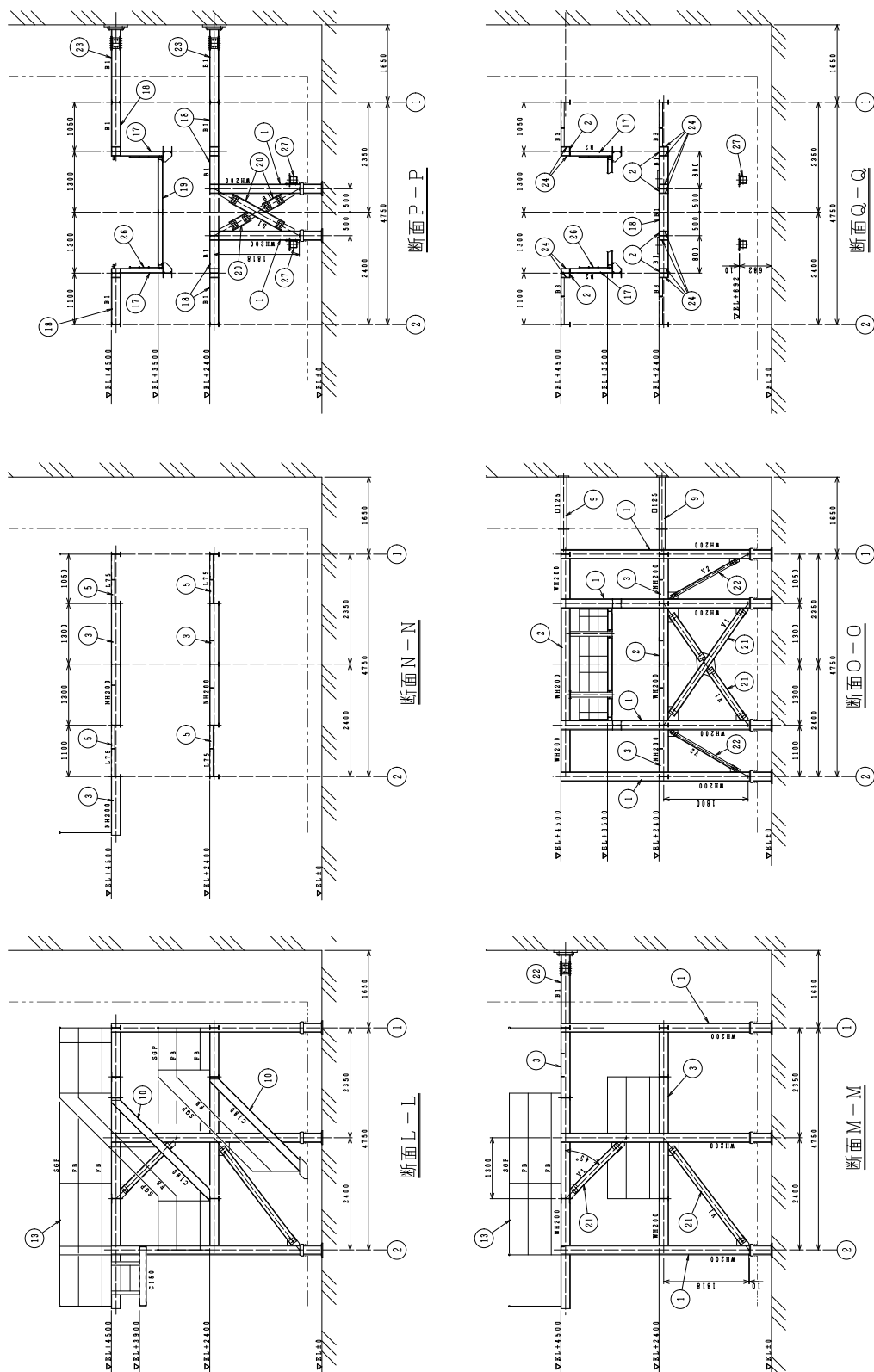


図9.1.2-2(4) 実験装置架台改造図 (4/5)



部 品 名	材 質	規 格
1. 主 軸	SUS304	φ100
2. 主 軸 軸 受	SUS304	φ100
3. 主 軸 軸 受	SUS304	φ100
4. 主 軸 軸 受	SUS304	φ100
5. 主 軸 軸 受	SUS304	φ100
6. 主 軸 軸 受	SUS304	φ100
7. フレーム台座	SUS304	φ100
8. フレーム台座	SUS304	φ100
9. フレーム台座	SUS304	φ100
10. フレーム台座	SUS304	φ100
11. フレーム台座	SUS304	φ100
12. フレーム台座	SUS304	φ100
13. フレーム台座	SUS304	φ100
14. フレーム台座	SUS304	φ100
15. フレーム台座	SUS304	φ100
16. フレーム台座	SUS304	φ100

部 品 名	材 質	規 格
1. 主 軸	SUS304	φ100
2. 主 軸 軸 受	SUS304	φ100
3. 主 軸 軸 受	SUS304	φ100
4. 主 軸 軸 受	SUS304	φ100
5. 主 軸 軸 受	SUS304	φ100
6. 主 軸 軸 受	SUS304	φ100
7. フレーム台座	SUS304	φ100
8. フレーム台座	SUS304	φ100
9. フレーム台座	SUS304	φ100
10. フレーム台座	SUS304	φ100
11. フレーム台座	SUS304	φ100
12. フレーム台座	SUS304	φ100
13. フレーム台座	SUS304	φ100
14. フレーム台座	SUS304	φ100
15. フレーム台座	SUS304	φ100
16. フレーム台座	SUS304	φ100

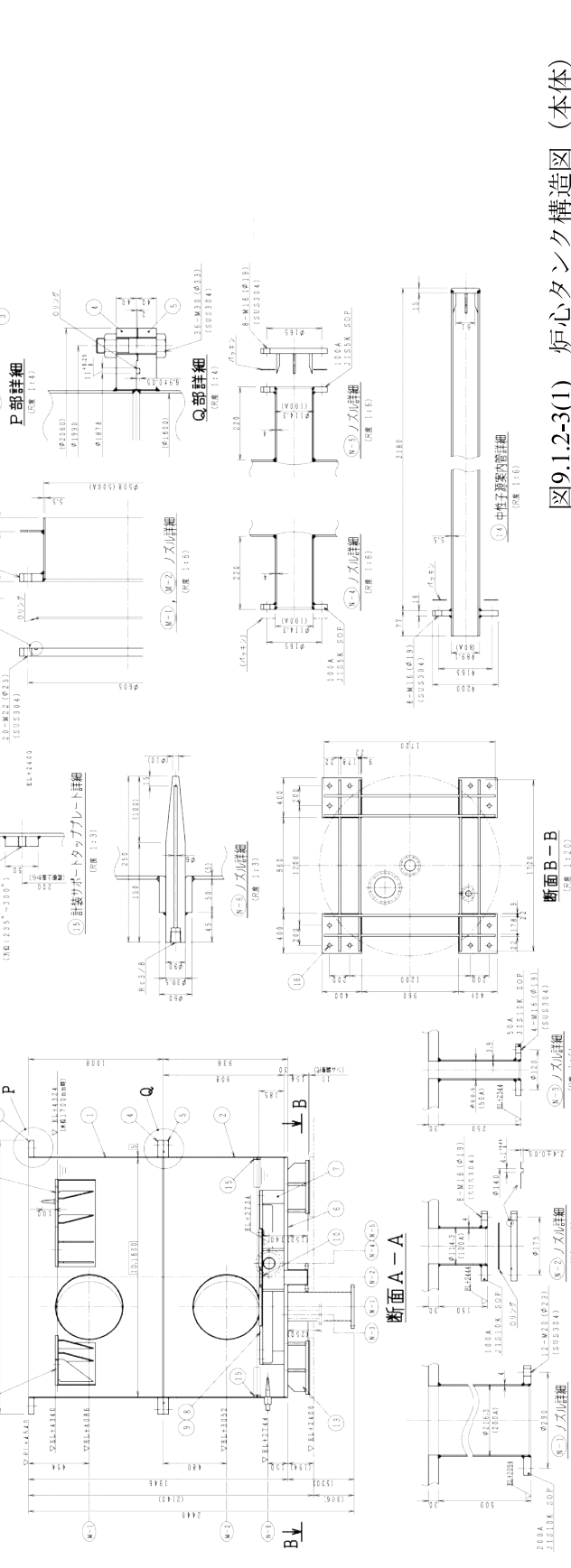
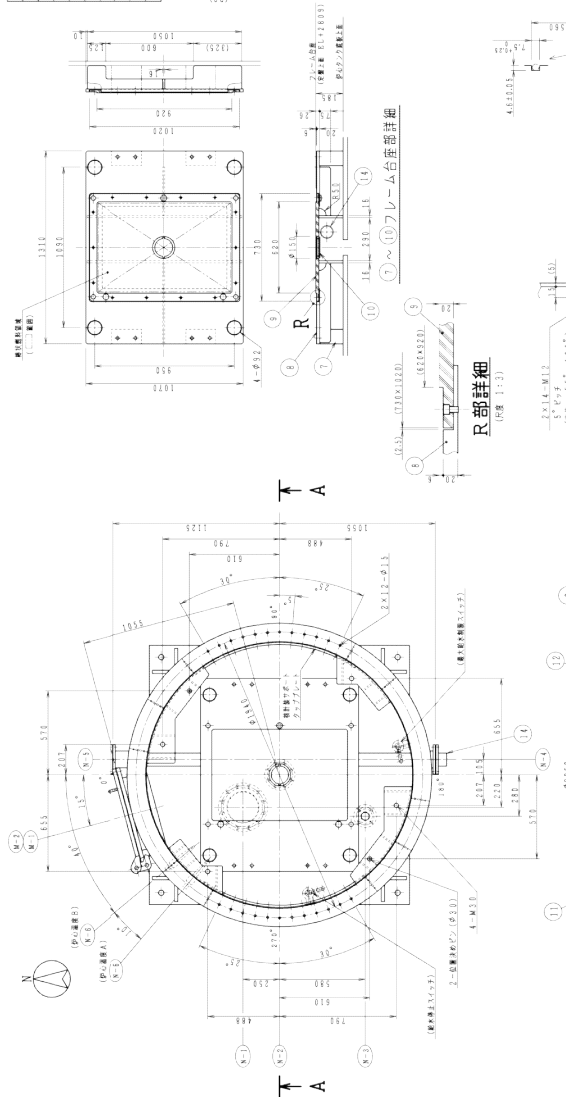


図9.1.2-3(1) 炉心タンク構造図 (本体)

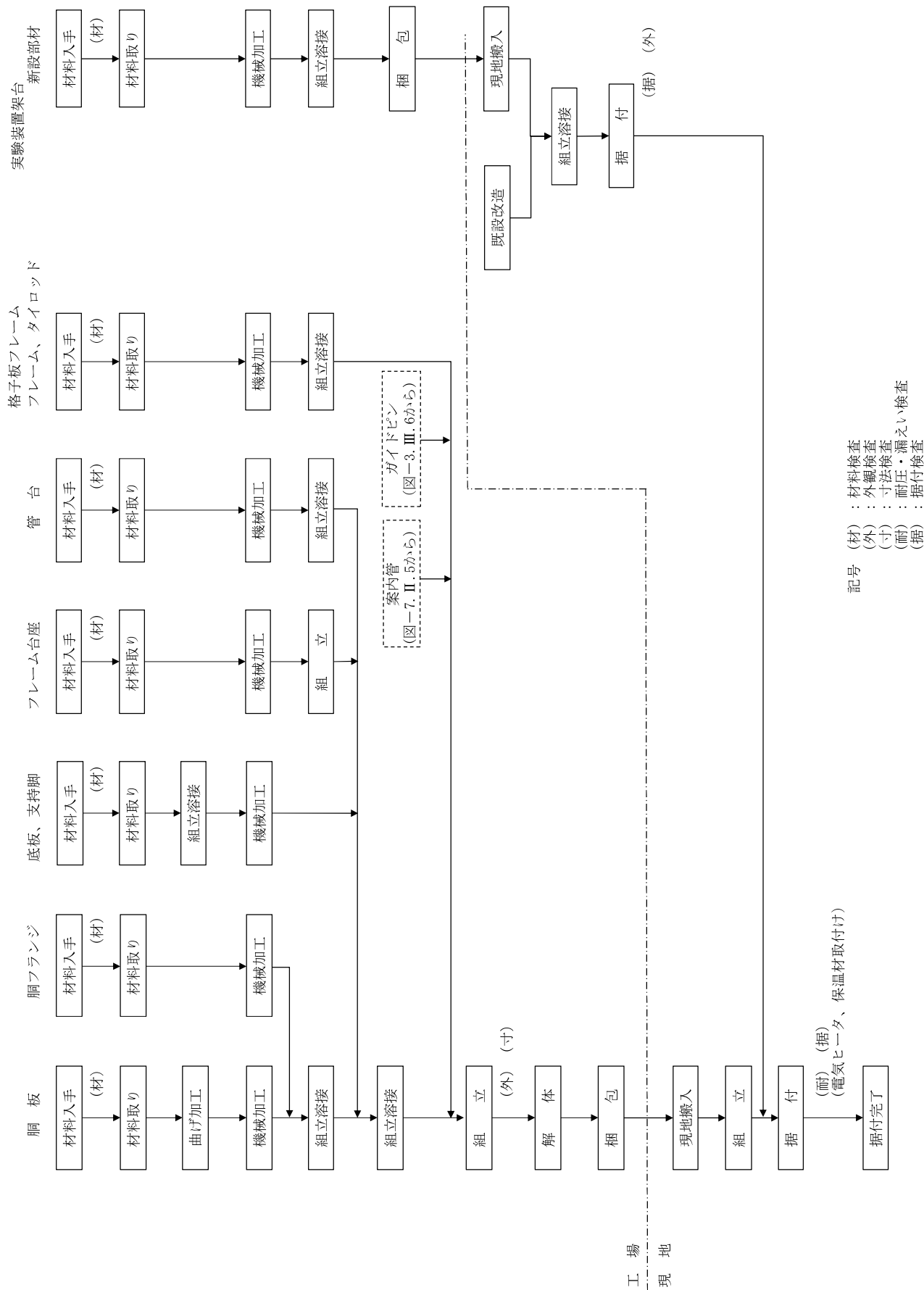


図9.1.2-3(3) 炉心タンク (本体、格子板フレーム) 製作、架台改造・検査フロー図

番号	品名	規格	主材料	備考
1	柱A	1式	SS400	○ H200×200×8×12
2	柱B	1式	SS400	○ H100×100×6×8
3	梁A	1式	SS400	○ H200×200×8×12
4	梁B	1式	SS400	○ H200×100×6×8
5	梁C	1式	SS400	○ D125×125×6
6	ブレースA	1式	SS400	○ C150×75×6, 5×10
7	ブレースB	1式	SS400	○ C150×75×8
8	タフプレート	1式	SS400	○ 130
9	手摺	1式	SS400	—
10	床板	1式	SS400	—
11	階段	1式	SS400/SGP	—

型式	設計仕様
1 基本	
主骨寸法、容積	約7000×4500×床板厚1500
設計圧力	大気圧
設計温度	60℃
主材料	炭素鋼
構造区分	区分外
安全量選定	P 3-3
耐震クラス	C
溶接対象	溶接
構造重量	約16000kg

部材リスト	サイズ
B1	H200×200×8×12
B2	H200×100×5, 5×8
B3	H100×100×6×8
B4	C150×75×6, 5×10
B5	D125×125×6
V1	L75×75×9

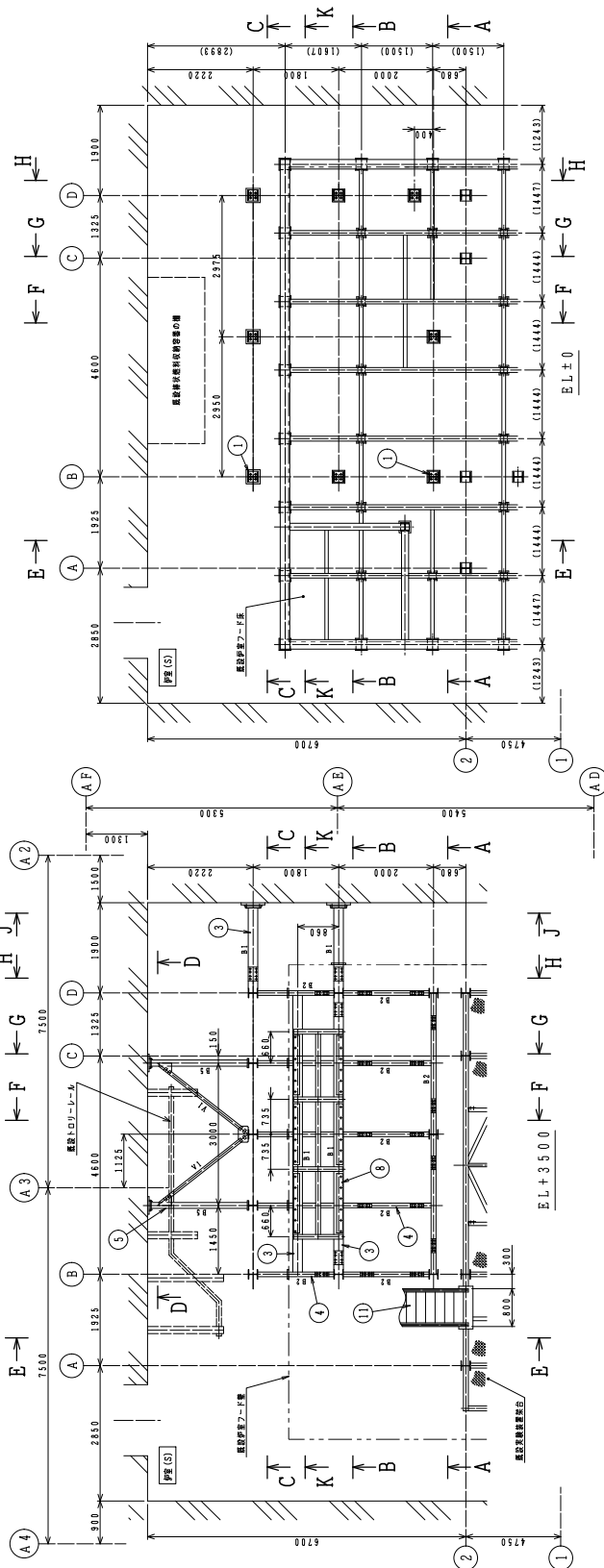
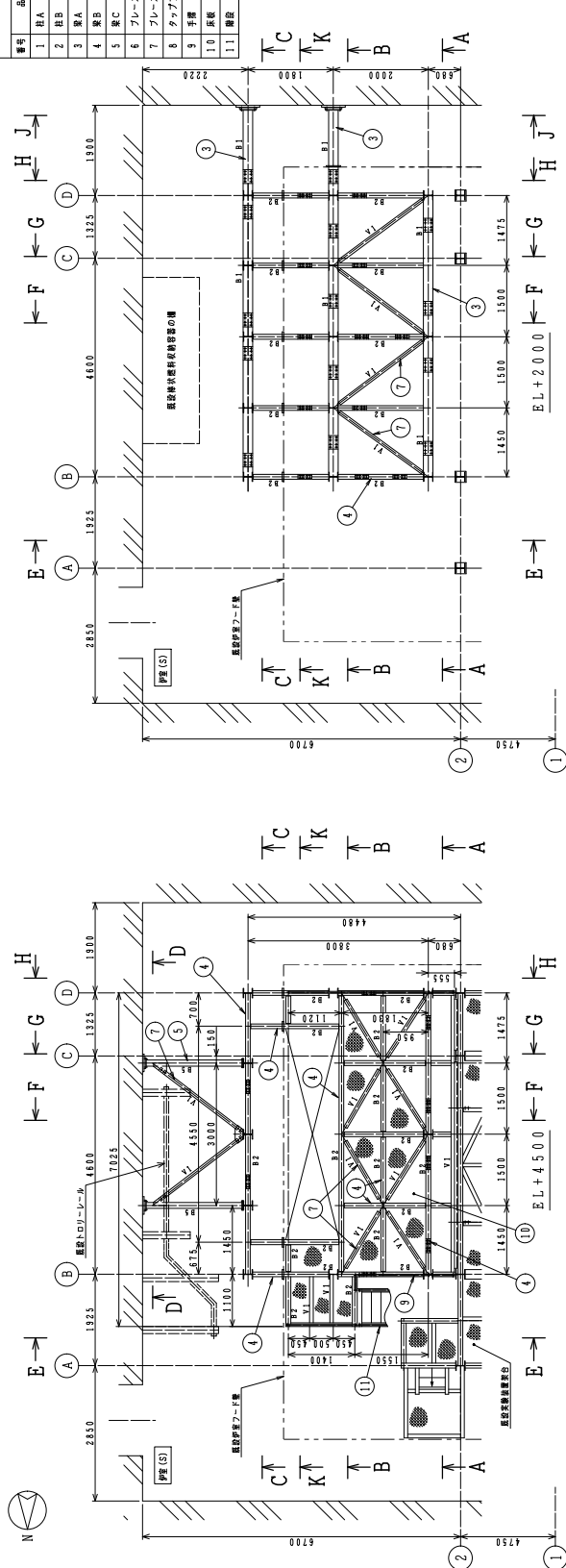
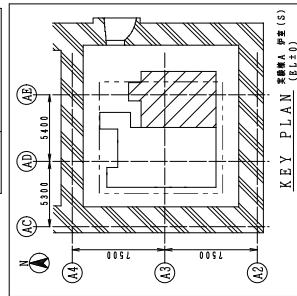


図9.1.2-4(3) 棒状燃料収納容器構造図 (架台) (1/3)

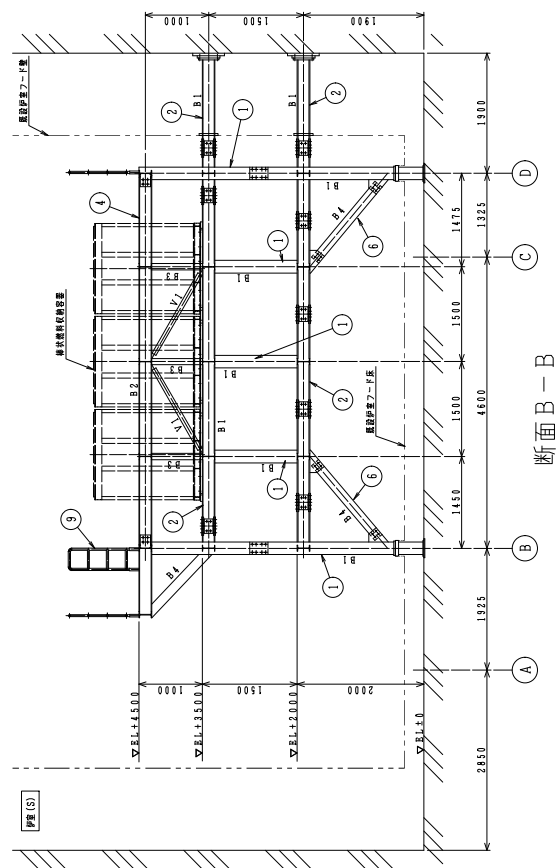
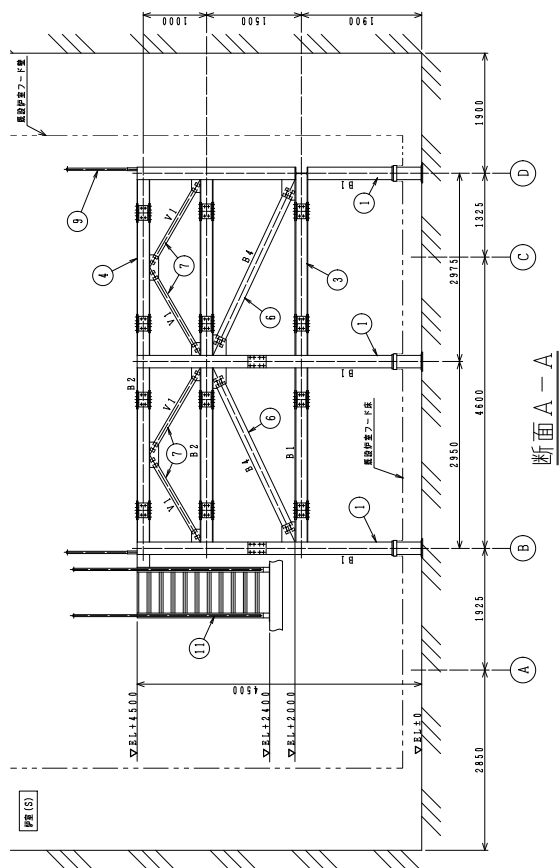
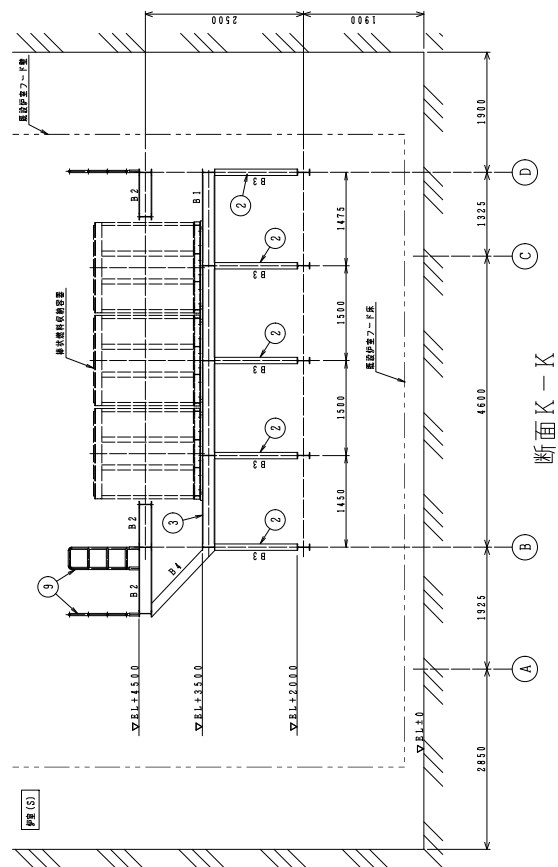
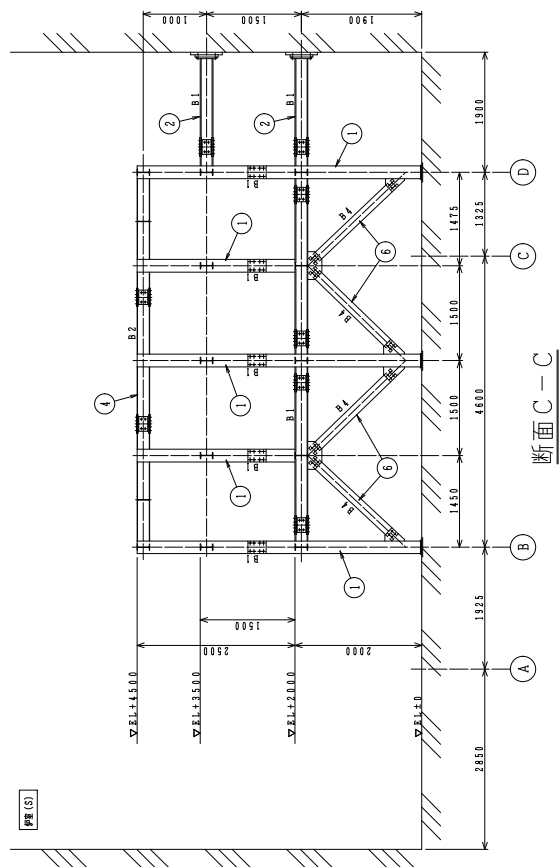


図9.1.2-4(4) 棒状燃料収納器構造図 (架台) (2 / 3)

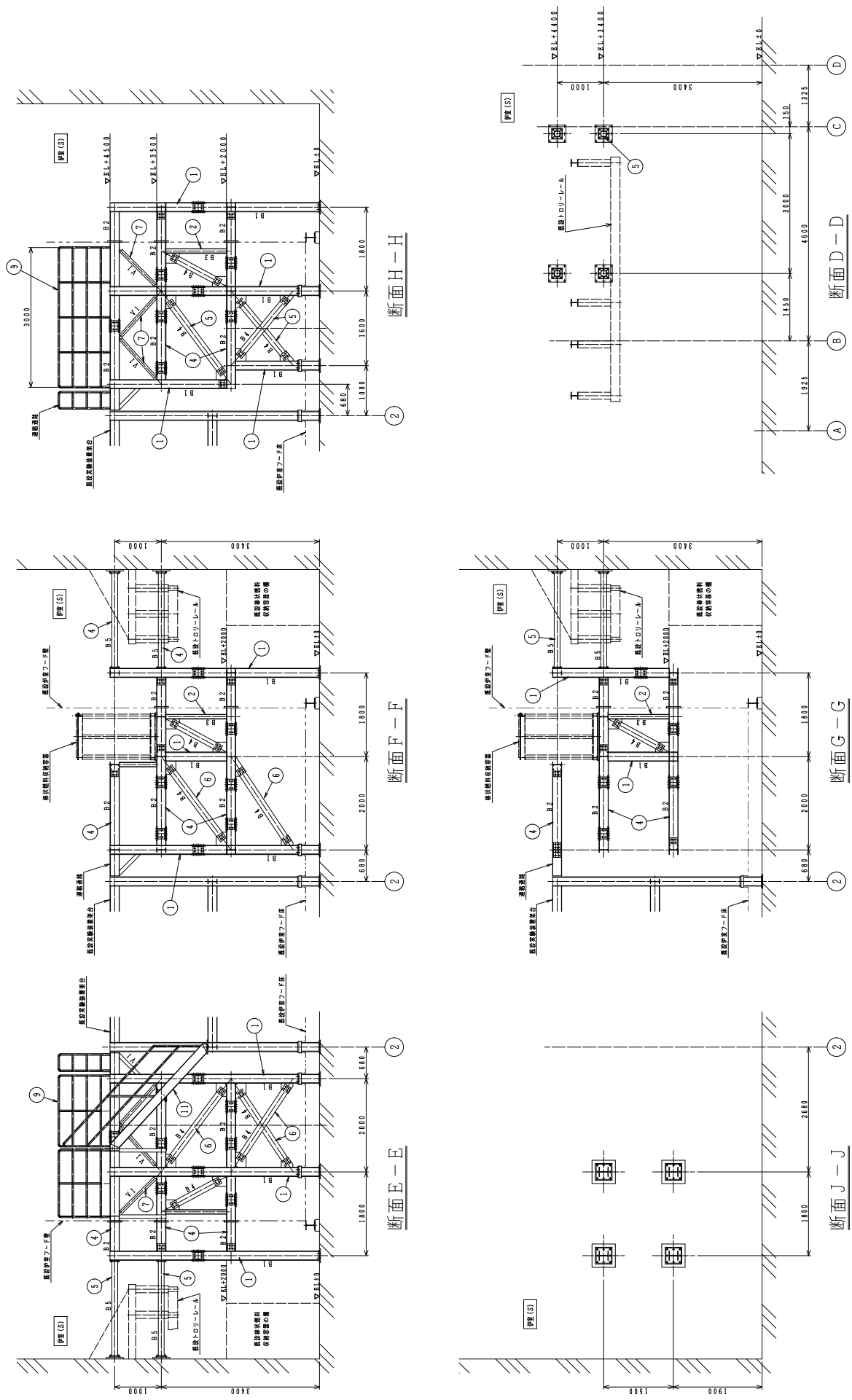


図9.1.2-4(5) 棒状燃料収納器構造図 (架台) (3 / 3)

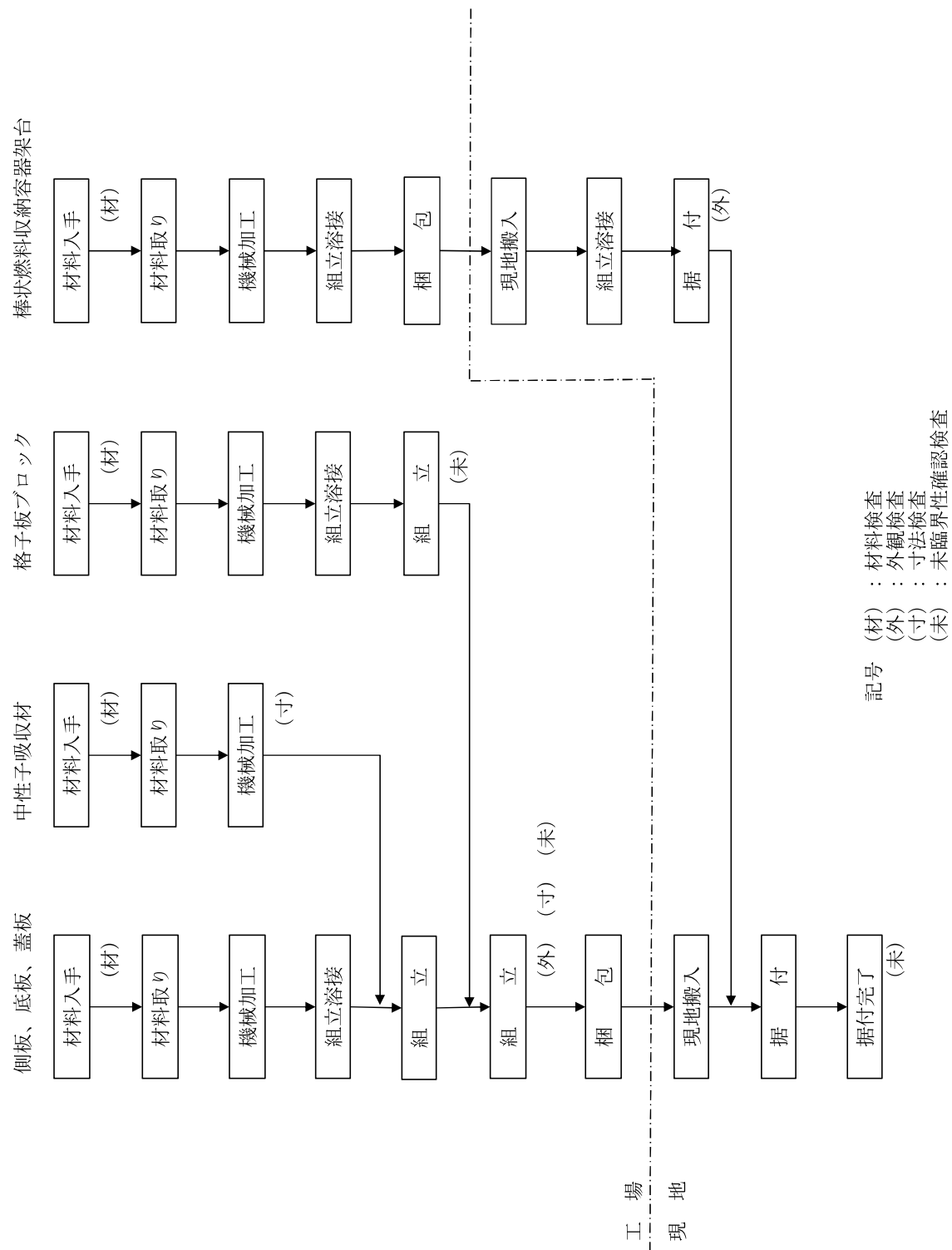


図9.1.2-4(6) 棒状燃料収納容器（本体）及び架台製作・検査フロー図

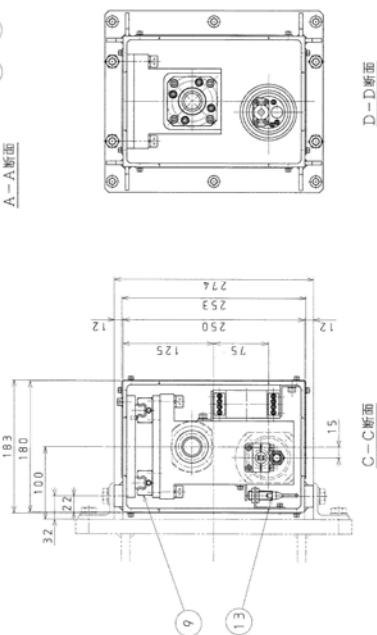
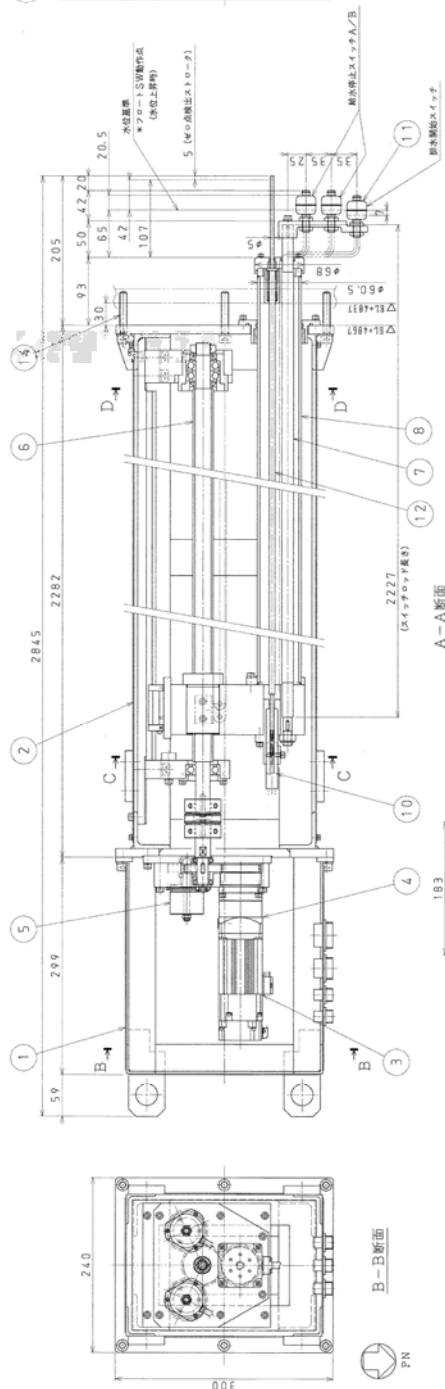
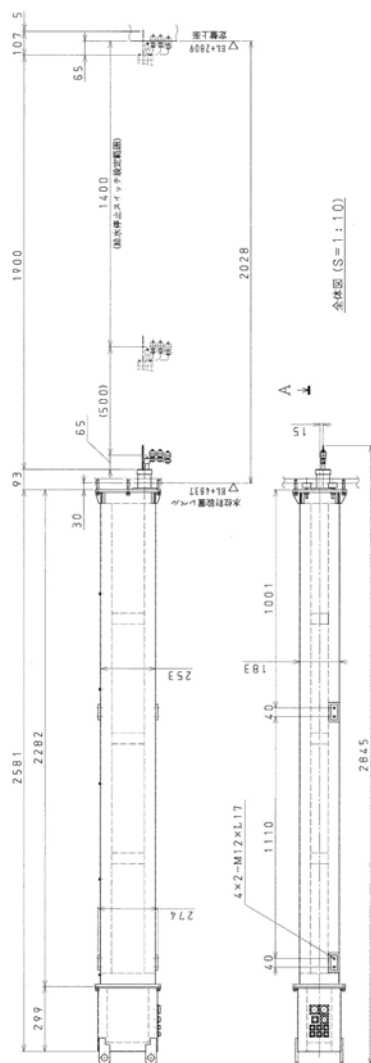


図9.1.2-5 主要な計装の構造図 (最大給水制限スイッチ)



品名	名	数量	単位	形式	備	実
15	標準型コンクリート	4	立方メートル	標準型	○	M10
14	13 同様にコンクリート	6	立方メートル	標準型	○	M10
13	12 同様にコンクリート	2	立方メートル	標準型	○	M10
12	11 同様にコンクリート	2	立方メートル	標準型	○	M10
11	10 同様にコンクリート	2	立方メートル	標準型	○	M10
10	9 同様にコンクリート	2	立方メートル	標準型	○	M10
9	8 同様にコンクリート	2	立方メートル	標準型	○	M10
8	7 同様にコンクリート	2	立方メートル	標準型	○	M10
7	6 同様にコンクリート	2	立方メートル	標準型	○	M10
6	5 同様にコンクリート	2	立方メートル	標準型	○	M10
5	4 同様にコンクリート	2	立方メートル	標準型	○	M10
4	3 同様にコンクリート	2	立方メートル	標準型	○	M10
3	2 同様にコンクリート	2	立方メートル	標準型	○	M10
2	1 同様にコンクリート	2	立方メートル	標準型	○	M10
1	0 同様にコンクリート	2	立方メートル	標準型	○	M10

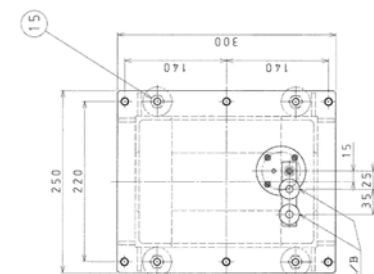
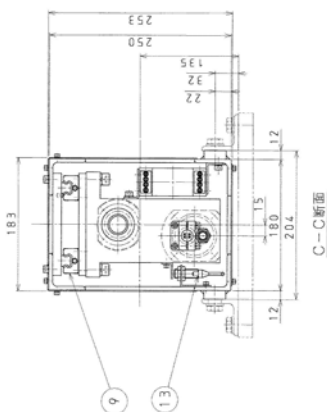
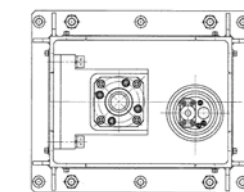
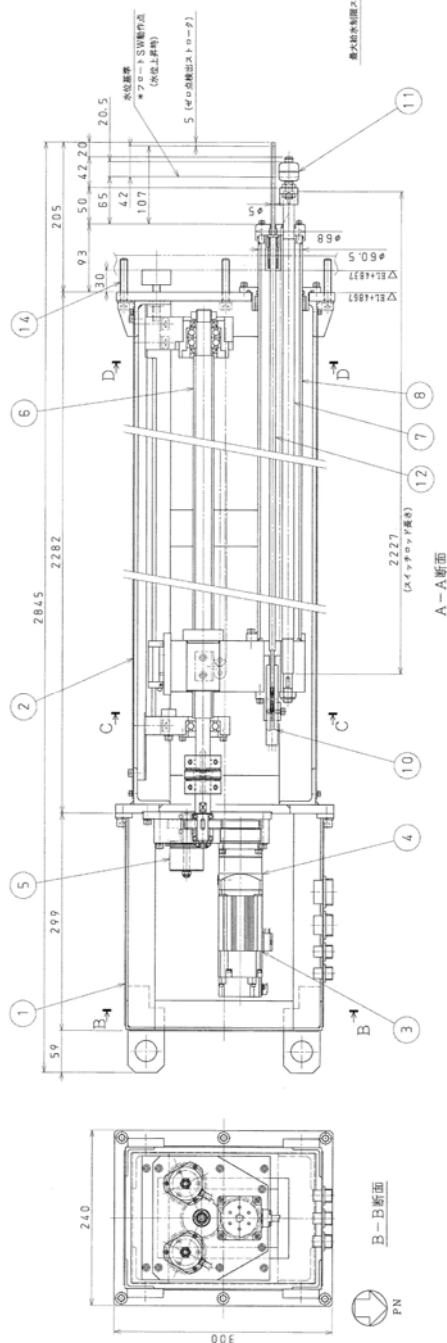
[illegible]

図9.1.2-5(2) 主要な計装の構造図(給水停止・排水開始スイッチ)

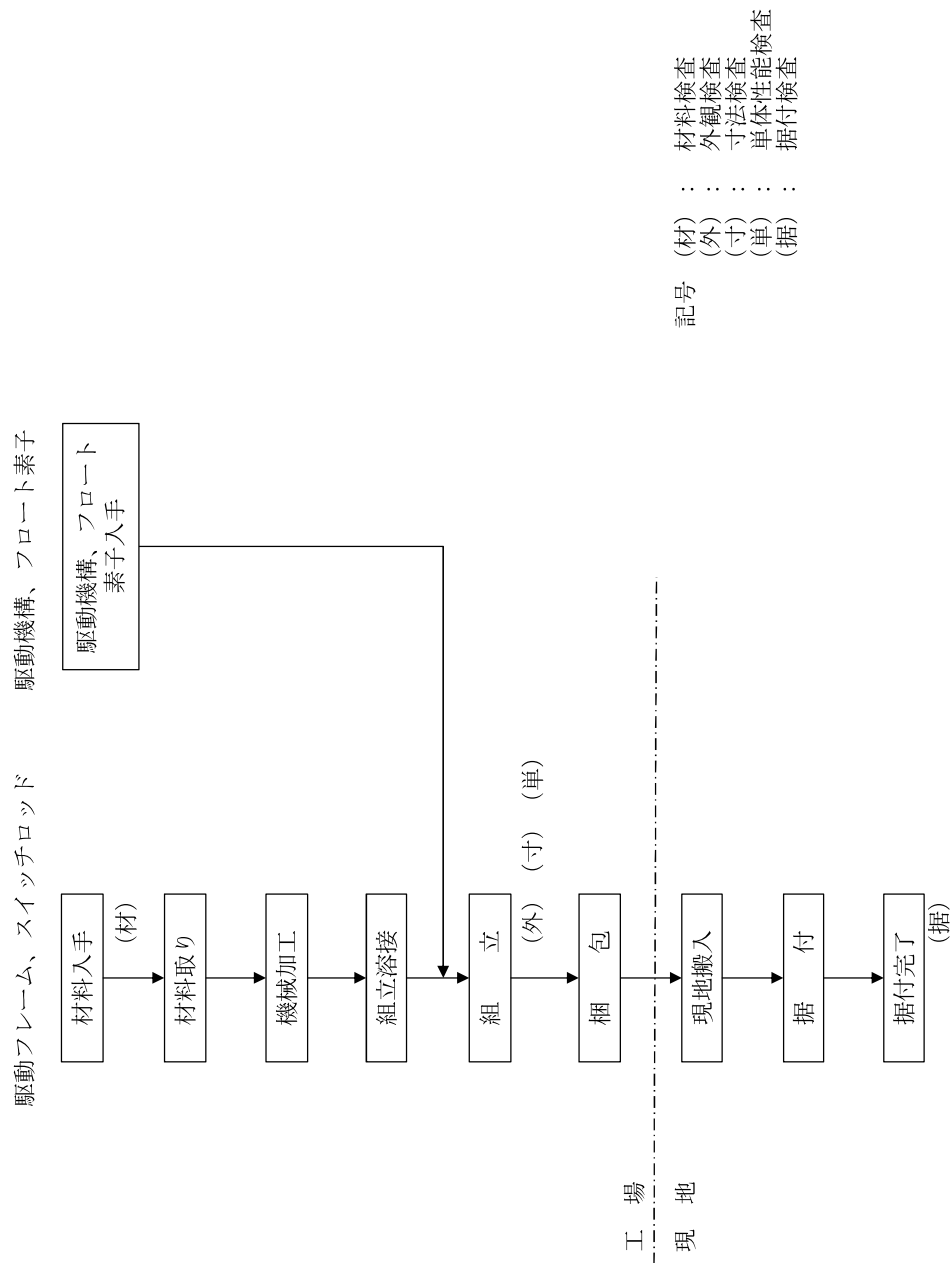
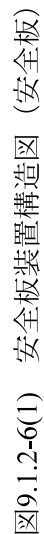
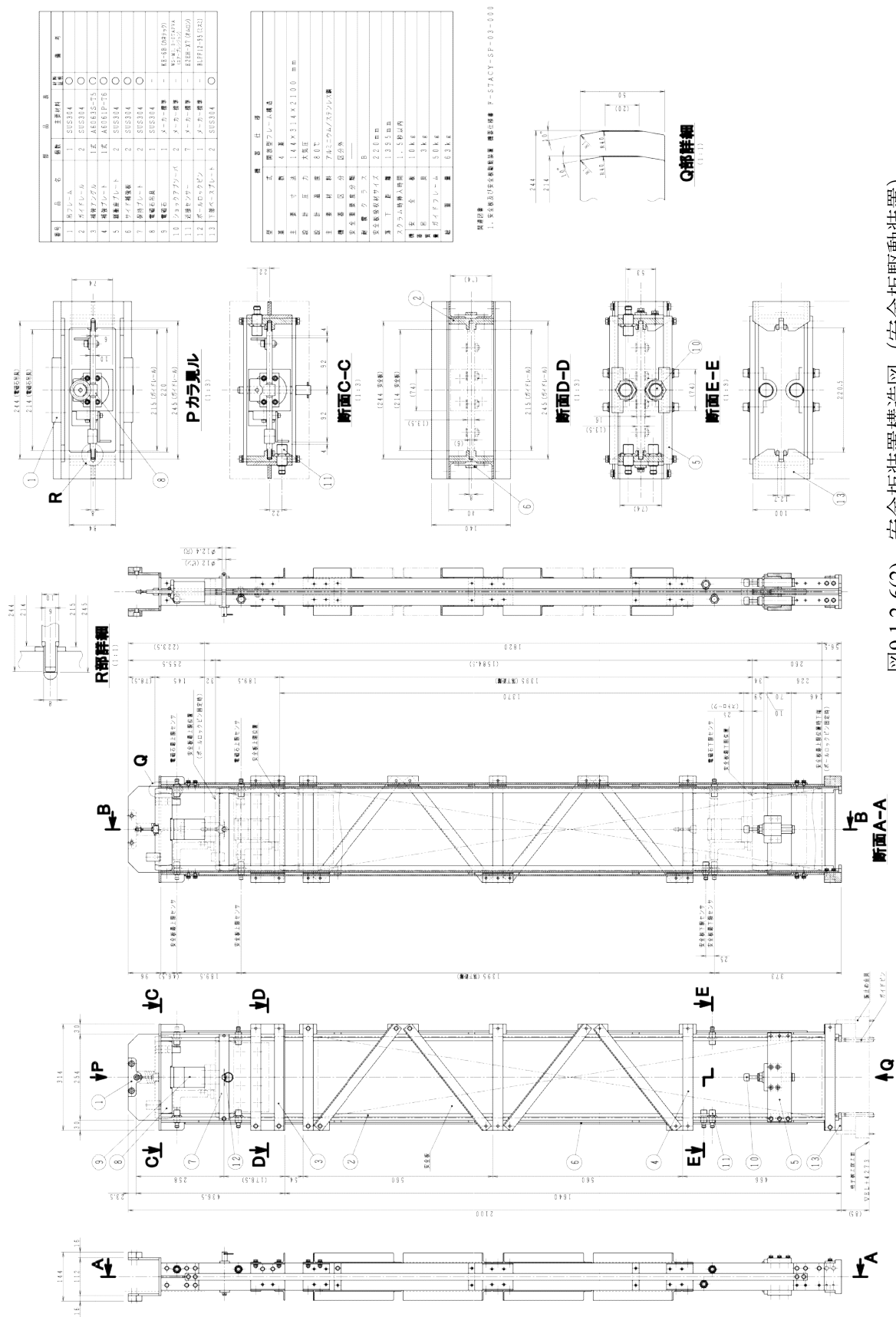


図9.1.2-5(3) 主要な計装 (最大給水制限スイッチ、給水停止・排水開始スイッチ) 製作・検査フロー図





番号	品名	規格	単位	数量	備考
1	安全板	403314/7575A	個	1	※2023
2	安全板フレーム	403314/A001	個	1	※2023
3	安全板フレーム	403314/A001	個	1	※2023
4	安全板フレーム (取付用)	403314/A001	個	1	※2023
5	安全板フレーム (取付用)	403314/A001	個	1	※2023
6	安全板フレーム (取付用)	403314/A001	個	1	※2023
7	安全板フレーム (取付用)	403314/A001	個	1	※2023
8	安全板フレーム (取付用)	403314/A001	個	1	※2023
9	安全板フレーム (取付用)	403314/A001	個	1	※2023
10	安全板フレーム (取付用)	403314/A001	個	1	※2023
11	安全板フレーム (取付用)	403314/A001	個	1	※2023
12	安全板フレーム (取付用)	403314/A001	個	1	※2023
13	安全板フレーム (取付用)	403314/A001	個	1	※2023

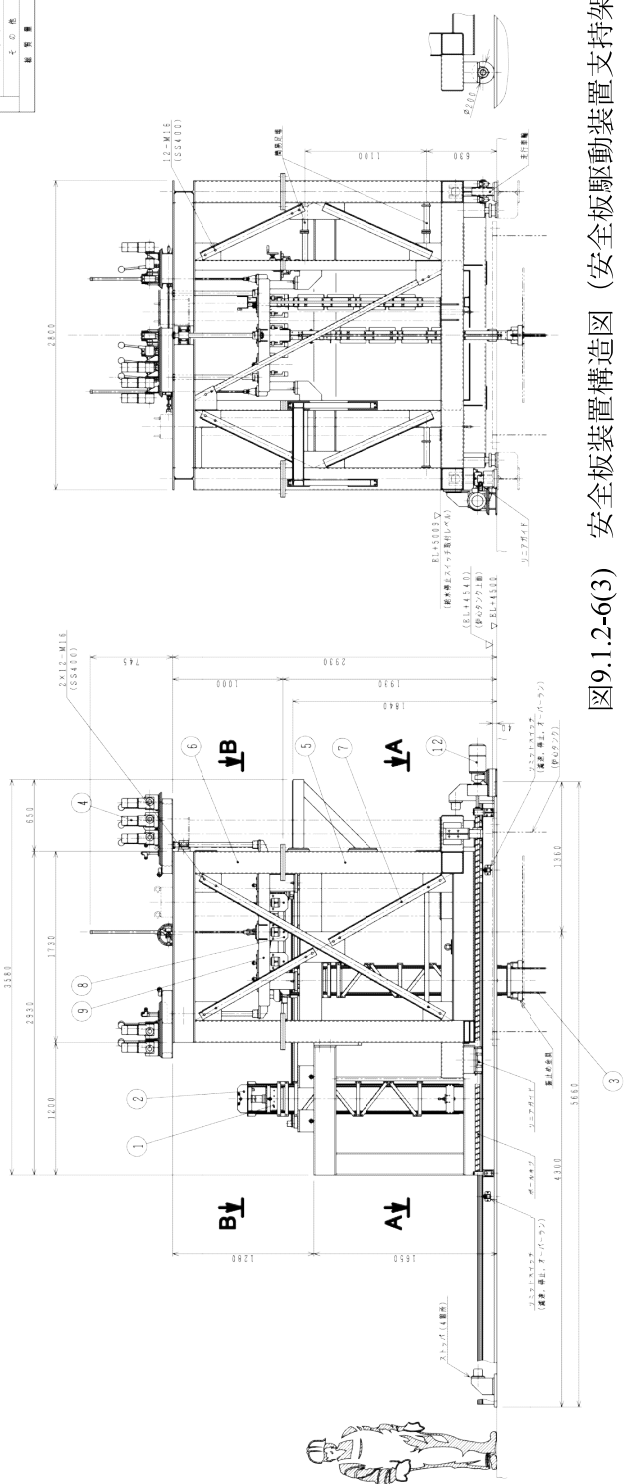
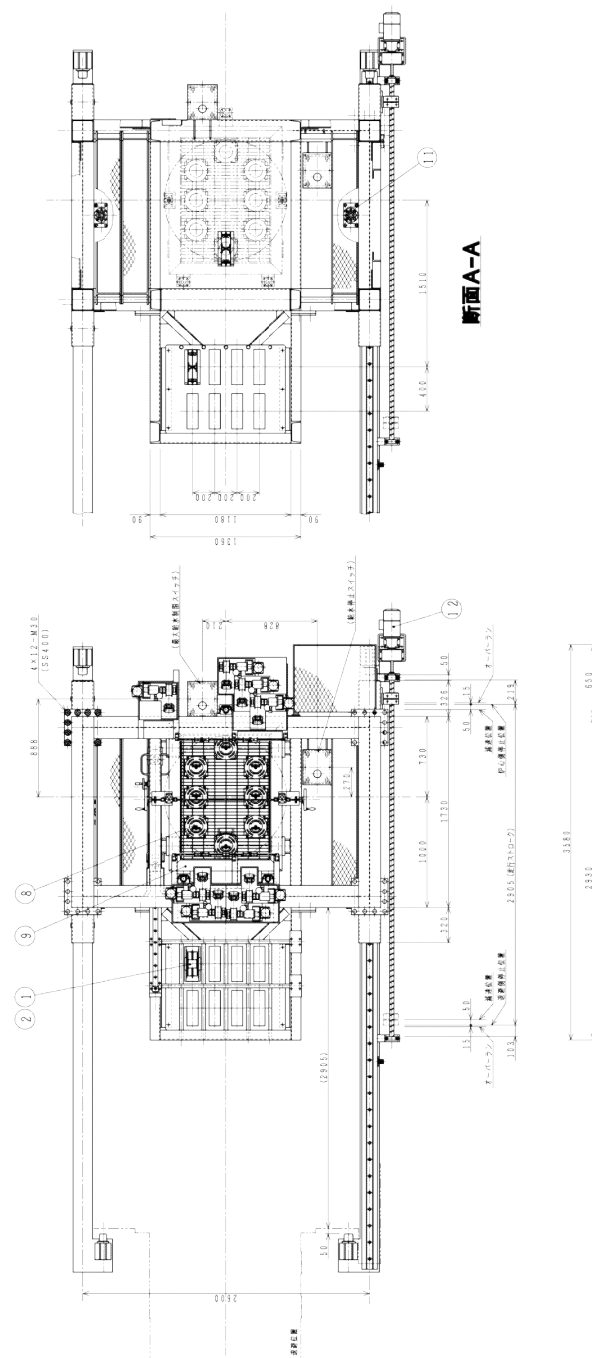
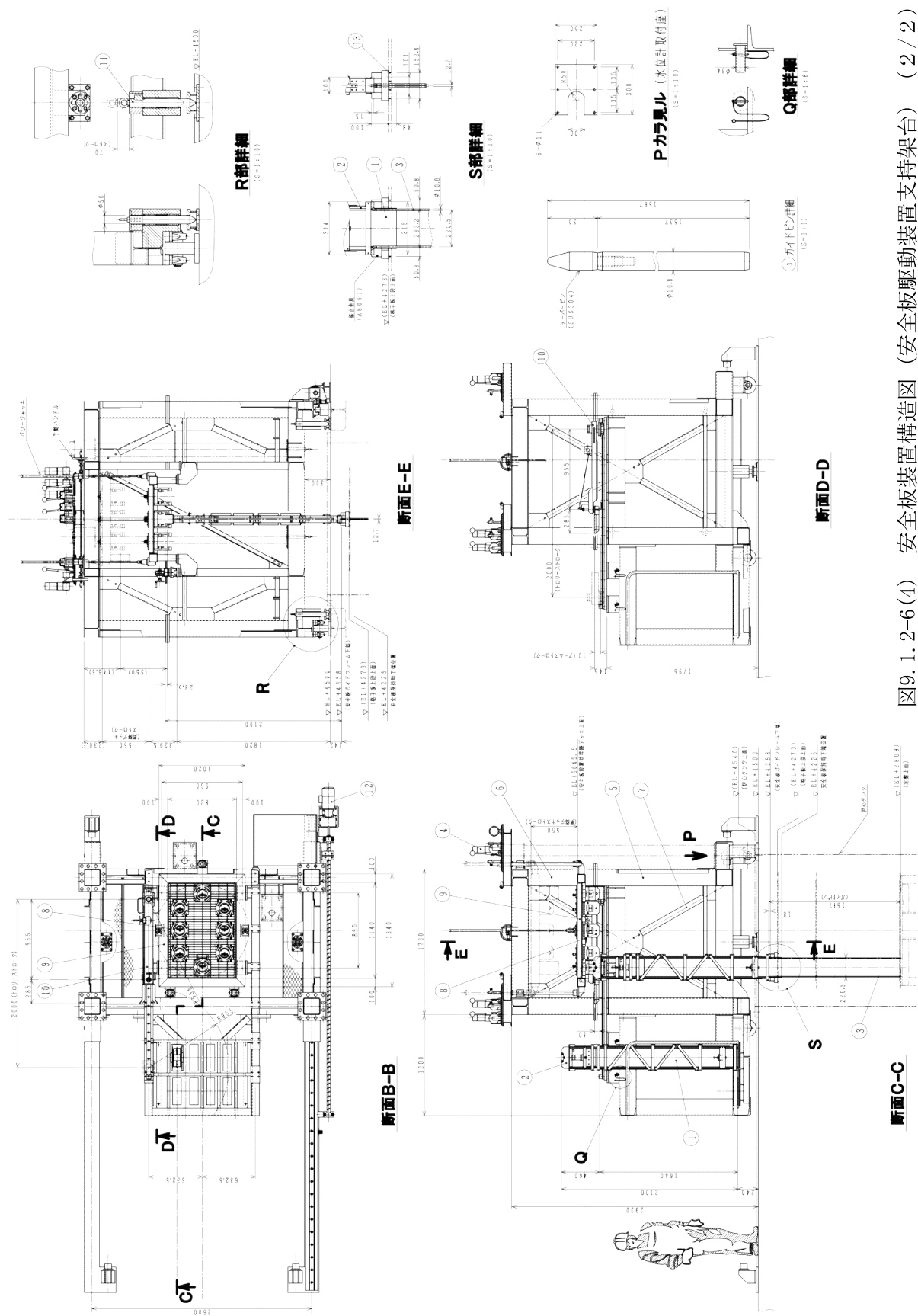


図9.1.2-6(3) 安全板駆動装置支持架台 (1/2)



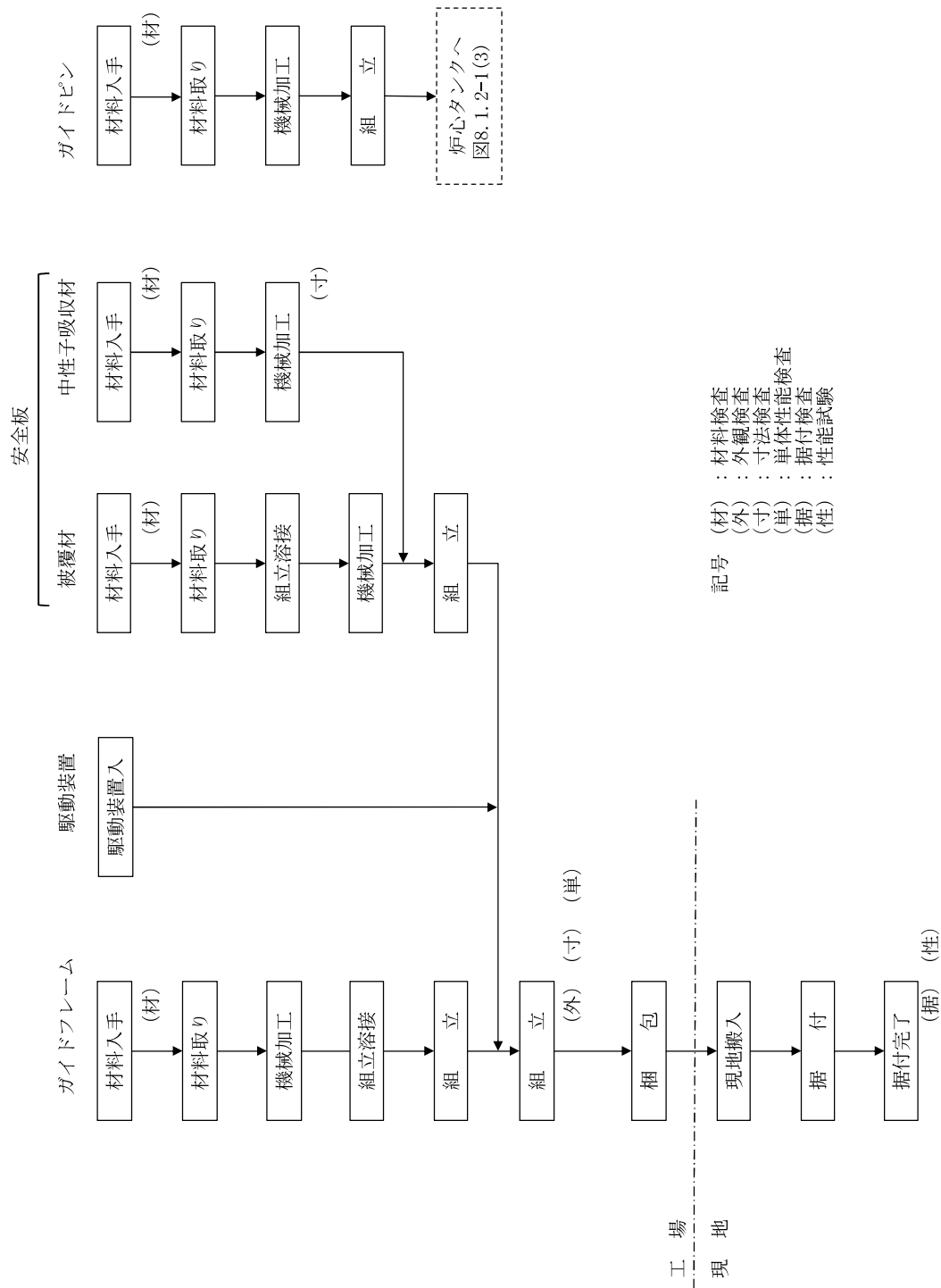


図9.1.2-6(5) 安全板装置 (安全板、安全板駆動装置) 製作・検査フロー図

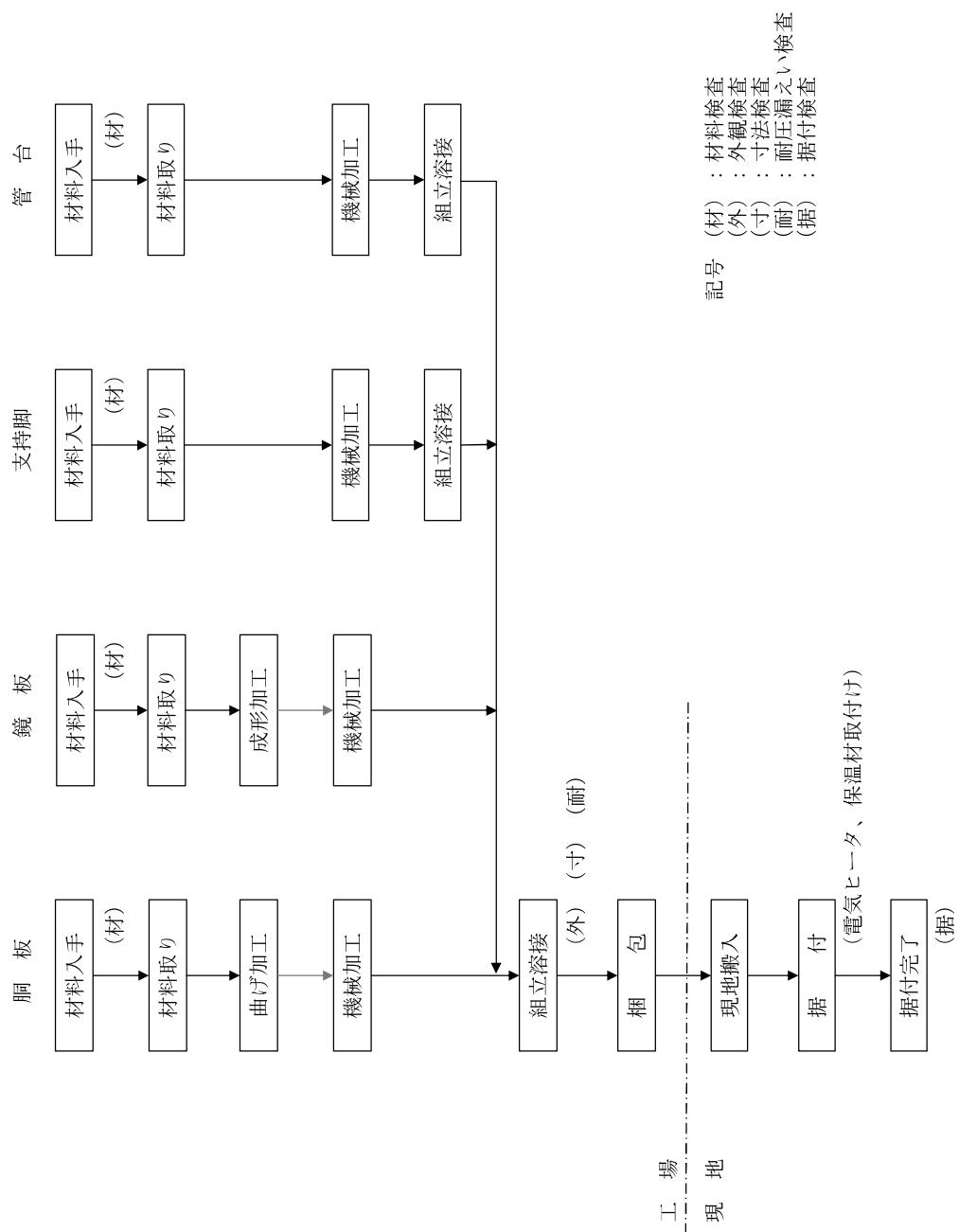


図9.1.2-7(2) ダンプ槽製作・検査フロー図

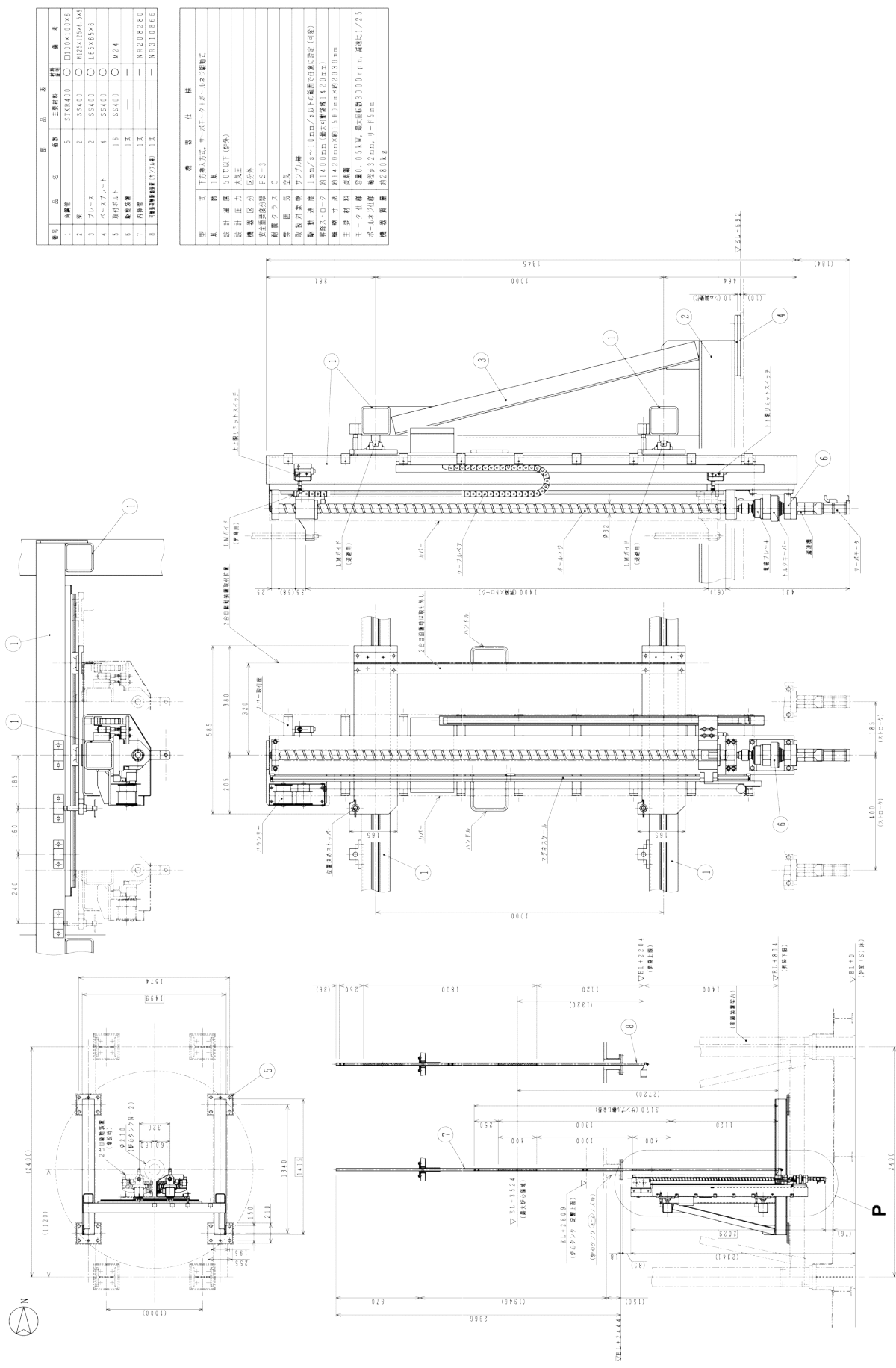


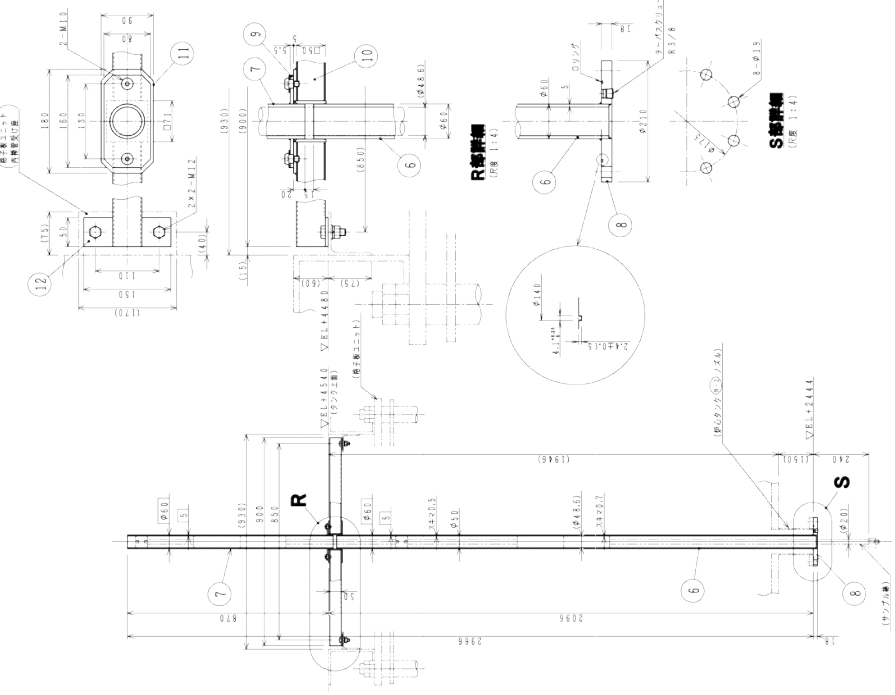
図9.1.2-8(1) 可動装荷物駆動装置構造図 (本体)

P部詳細
(図面 1/3)

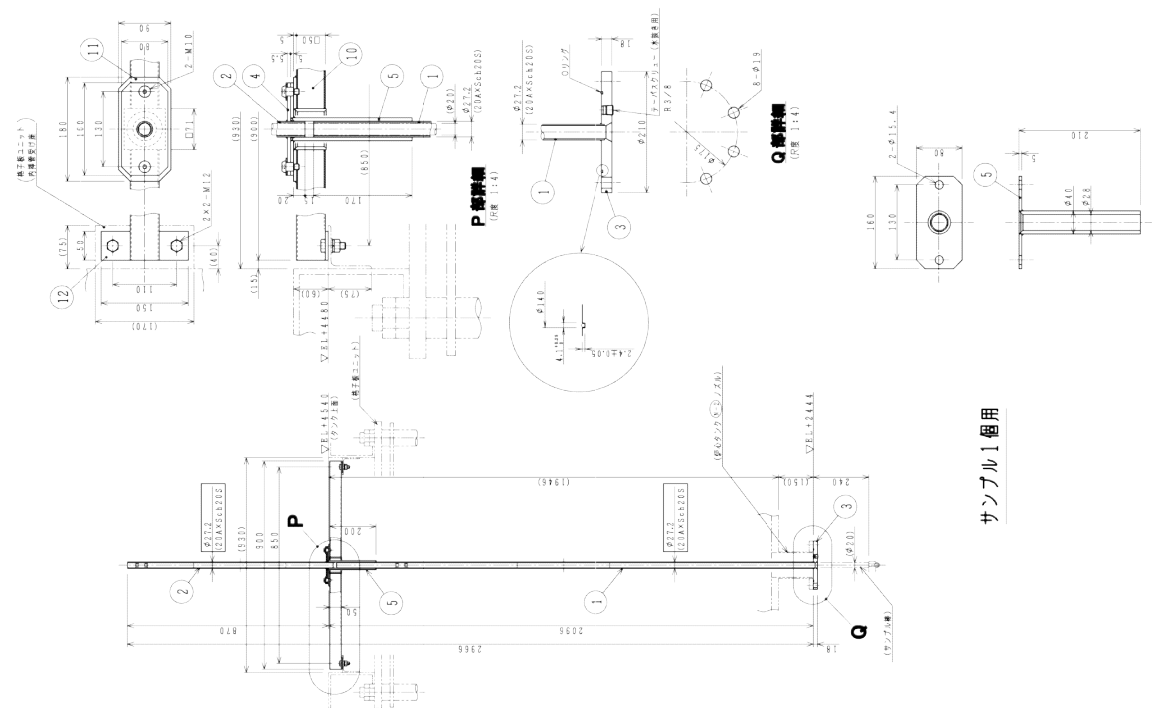
部品	品名	材料	規格	単位	数量
1	外観部	5	ST60400	個	1
2	駆動部	2	S2400	個	2
3	フレーム	2	S2400	個	2
4	ベアリング	4	S2400	個	4
5	駆動部	16	S2400	個	16
6	駆動部	1式	—	個	1
7	内観部	1式	—	個	1
8	駆動部	1式	—	個	1

部品	品名	材料	規格	単位	数量
1	外観部	5	ST60400	個	1
2	駆動部	2	S2400	個	2
3	フレーム	2	S2400	個	2
4	ベアリング	4	S2400	個	4
5	駆動部	16	S2400	個	16
6	駆動部	1式	—	個	1
7	内観部	1式	—	個	1
8	駆動部	1式	—	個	1

番号	品名	品名	品名	品名	品名
1	内側(1) (ワッフル板)	1	A5052T	○	
2	内側(2) (ワッフル板)	1	A5052T	○	
3	ワッフル(ワッフル板)	1	A5052T	○	
4	ワッフル(ワッフル板)	1	A5052T	○	
5	ワッフル(ワッフル1層用)	1	0814/0814P	○	
6	内側(1) (ワッフル板)	1	A5052T	○	
7	内側(2) (ワッフル板)	1	A5052T	○	
8	ワッフル(ワッフル板)	1	A5052T	○	
9	ワッフル(ワッフル板)	1	A5052T	○	
10	ワッフル(ワッフル板)	1	A5052T	○	
11	ワッフル(1)	1	SUS304	○	未用
12	ワッフル(2)	2	SUS304	○	未用



サンプル 3 × 3 個用



サンプル 1 個用

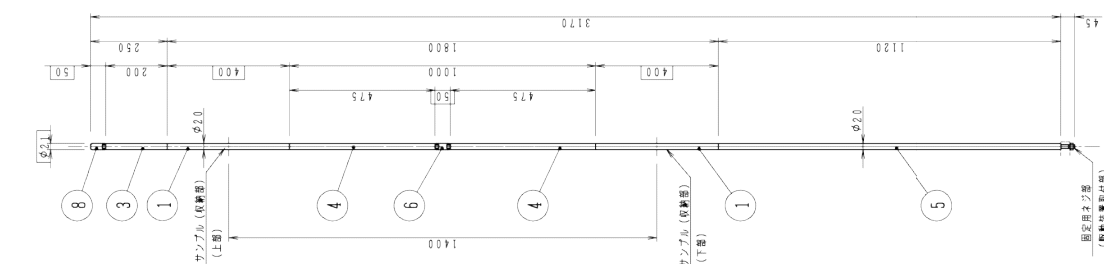
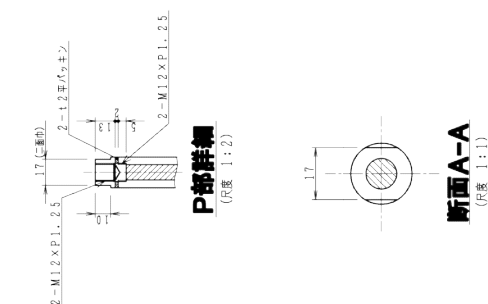
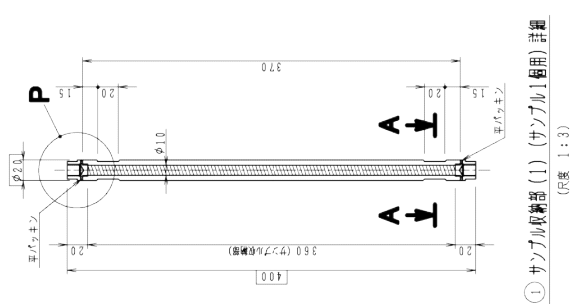
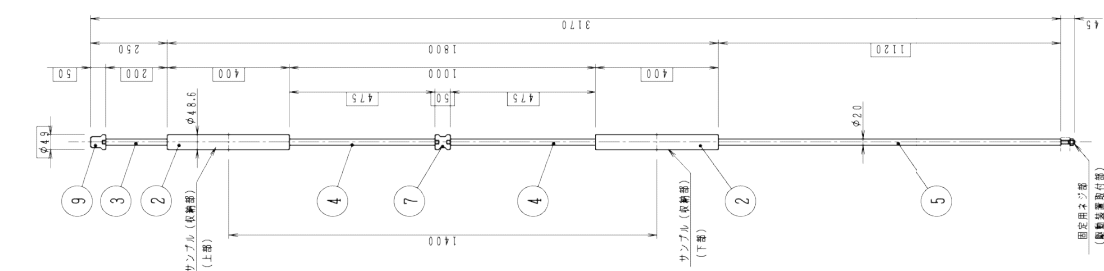
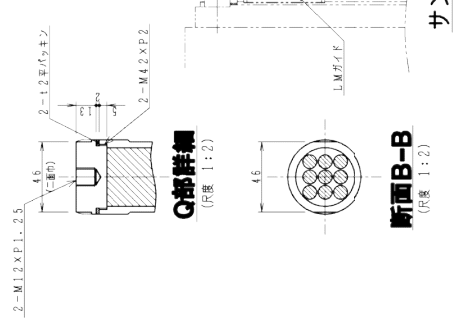
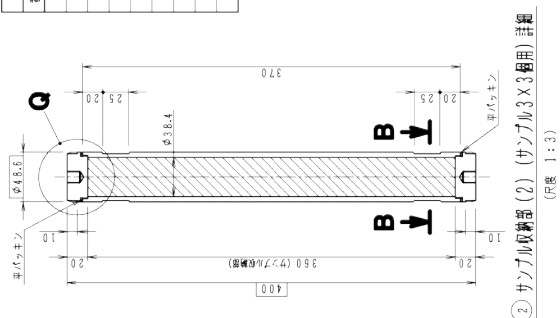
5 アダプタ (サンプル1個用) 詳細

(尺図 1:4)

図9.1.2-8(2) 可動装荷物駆動装置構造図 (サンプル棒)

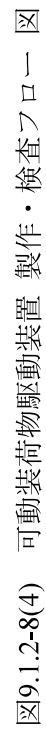
番号	品名	規格	主材料	材料	備考
1	サンプリング部 (1) (サンプリング用)	2 式	A50327/A50328	○	
2	サンプリング部 (2) (サンプリング用)	2 式	A50327/A50328	○	
3	サンプリング部 A	1	A50328	○	共用: 1,200mm
4	サンプリング部 B	2	A50328	○	共用: 1,475mm
5	サンプリング部 C	1	A50328	○	共用: 1,112mm
6	中間ガイド (サンプリング用)	1	A50328	○	
7	中間ガイド (サンプリング用)	1	A50328	○	
8	上部ガイド (サンプリング用)	1	A50328	○	
9	下部ガイド (サンプリング用)	1	A50328	○	

型式	設計仕様
基	8 分割構造、ネジ固定式
設計圧力	各 1 式
設計温度	大気圧
主要材料	アルミニウム
耐震クラス	—
構造クラス	区分外
構造	空 気
機器質量	サンプリング用: 約 3kg サンプリング用 3 個用: 約 4kg



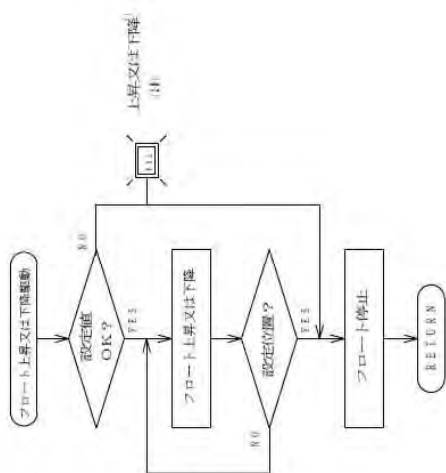
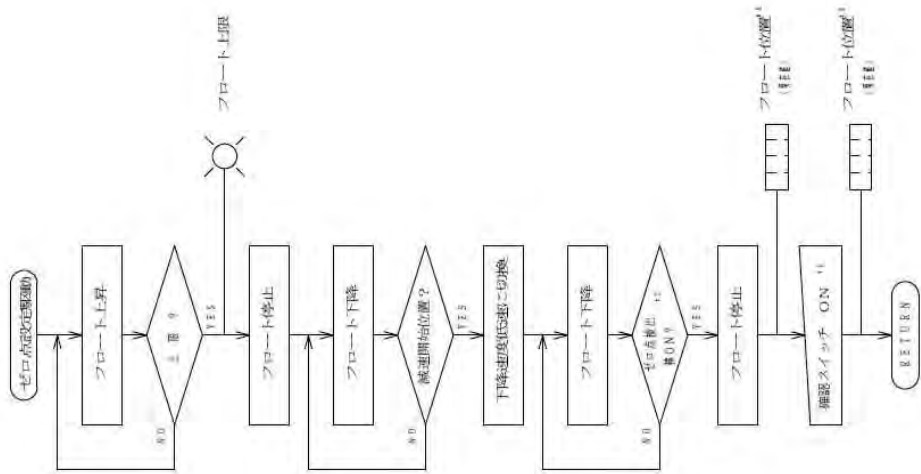
サンプリング部 (1) 個用

図9.1.2-8(3) 可動装荷物駆動装置構造図 (案内管)





376



(注記)

- * 1 : ランプリセットは、水位設定押印を押すことにより消灯する。
- * 2 : ゼロ点検出時の差動トランス出力が設定値以下になった時、ON。
- * 3 : 確認スイッチを押すことにより * A のデータと OFF SET 値 (工場調整時確認値) を比較し等しい場合は * A のデータを * B に出力する。等しくない場合は、OFF SET 値を * B に

動作フロー図 (最大給水制限スイッチ駆動装置) (2/2)

図9.1.2-9(2) 監視操作盤改造図 (主要な計装制御機能の追加)

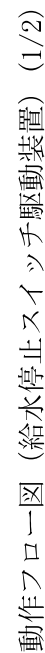
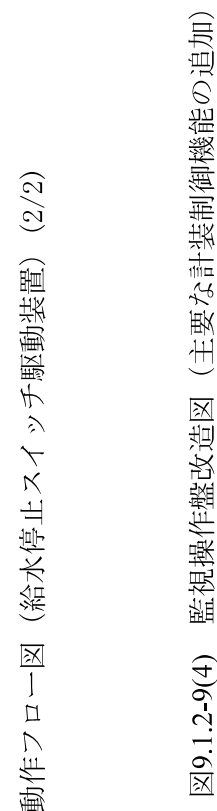
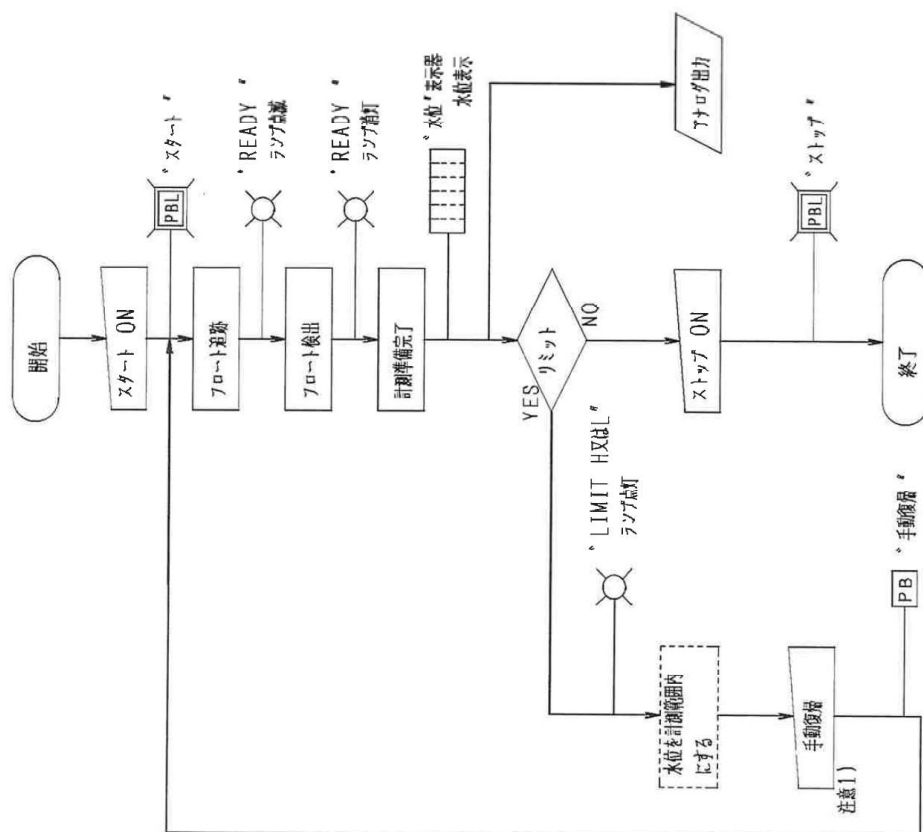


図9.1.2-9(3) 監視操作盤改造図 (主要な計装制御機能の追加)





注意1) * サーボ水位計設定器側のスイッチ

動作フロー (サーボ型水位計)

図9.1.2-10 監視操作盤改造図 (その他の計装制御機能の追加)

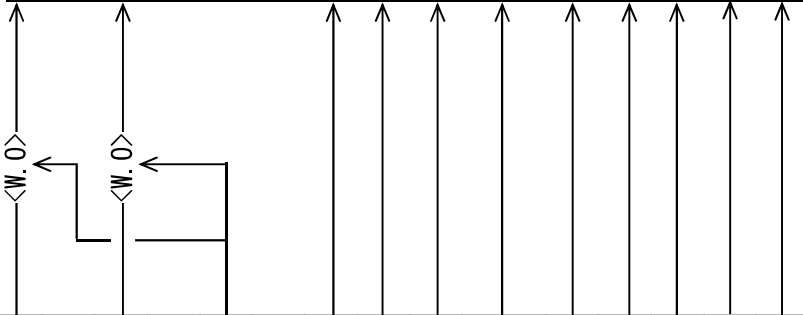
系統番号	511	機器番号	—		
系統名称	STACY 更新炉	機器名称	—		
動作内容	A 系統スクラム条件 (1/2)				
特記事項					
信 号 名 称	機器検出点No.	状態	内 容	条 件	備 考
起動系 A 炉周期短 (5 秒)	G-RnIpA-11101A	HHHA		スクラム条件 A 1 (2/5)に続く)	
運転系対数出力系 A 炉周期短 (5 秒)	G-RnIpA-11103A	HHHA			
炉周期短バイパス A COS	SW-3	バイパス			
安全出力系 A 出力高 (220W)	G-RnIRA-11104A	HHA			
安全出力系 A 積分出力高 (0.1kW・h)	G-RnQIRA-11104A	HHHA			
起動系 A 高圧電源電圧低 (-10%)	G-XA-11101A	LLA			
運転系対数出力系 A 高圧電源電圧低 (-10%)	G-XA-11103A	LLA			
安全出力系 A 高圧電源電圧低 (-10%)	G-XA-11104A	LLA			
炉心タンク水位 A 高	D-LOZ-5114202A	ON			
地震加速度 (水平) 大 (25Gal)	G-AcA-11101A	ON			
地震加速度 (垂直) 大 (25Gal)	G-AcA-11101B	ON			
U A 電源電圧 低 (90V)	G-XA-11107A	LLA			

図9.1.2-11(2) インターロック盤改造図 (主要なインターロックリスト)

系統番号	511	機器番号	—		
系統名称	STACY 更新炉	機器名称	—		
動作内容	A系統スクラム条件 (2/2)				
特記事項					
信 号 名 称	機器検出点No.	状態	内 容	条 件	備 考
スクラム条件A 1					
炉室(S)遮へい扉 閉	G-PoA-11192A	閉			
炉下室(S)遮へい扉 閉	G-PoA-11193A	閉			
遮へい扉 開 バイパススイッチ A PBA		バイパス			
手動スクラムスイッチ A PBA (R)	G-HSA-11104	ON			
安全スイッチ バイパススイッチ A COS		バイパス			
安全スイッチ A (A系) PBA	G-HSA-11101	ON			
安全スイッチ B (A系) PBA	G-HSA-11102	ON			
安全スイッチ C (A系) PBA	G-HSA-11103	ON			
モードスイッチ COS		点検			
スクラムリセット A PBA (G)		ON			

図9.1.2-11(3) インターロック盤改造図 (主要なインターロックリスト

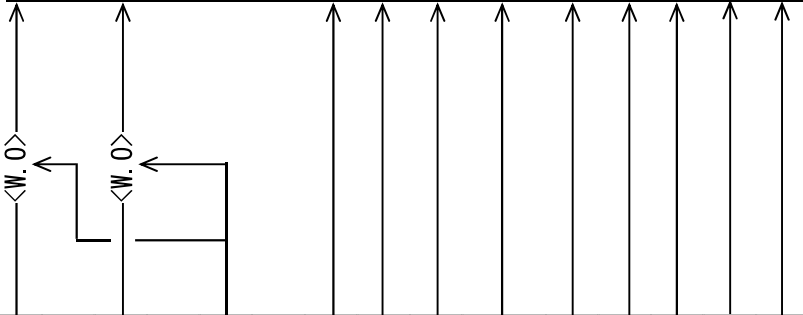
系統番号	511	機器番号	—			
系統名称	STACY 更新炉	機器名称	—			
動作内容	B 系統スクラム条件 (1/2)					
特記事項						
信 号 名 称	機器検出点No.	状態	内 容	条 件	備 考	
起動系 B 炉周期短 (5 秒)	G-RnIpA-11101B	HHHA				
運転系対数出力系 B 炉周期短 (5 秒)	G-RnIpA-11103B	HHHA				
炉周期短バイパス B COS	SW-3	バイパス				
安全出力系 B 出力高 (220W)	G-RnIRA-11104B	HHA				
安全出力系 B 積分出力高 (0.1kW・h)	G-RnQIRA-11104B	HHHA				
起動系 B 高圧電源電圧低 (-10%)	G-XA-11101B	LLA				
運転系対数出力系 B 高圧電源電圧低 (-10%)	G-XA-11103B	LLA				
安全出力系 B 高圧電源電圧低 (-10%)	G-XA-11104B	LLA				
炉心タンク水位 B 高	D-LOZ-5114202B	ON				
地震加速度 (水平) 大 (25Gal)	G-AcA-11201A	ON				
地震加速度 (垂直) 大 (25Gal)	G-AcA-11201B	ON				
U B 電源電圧 低 (90V)	G-XA-11107B	LLA				

図9.1.2-11(4) インターロック盤改造図 (主要なインターロックリスト)

系統番号	511	機器番号		—
系統名称	STACY 更新炉	機器名称		—
動作内容	B系統スクラム条件(2/2)			
特記事項				
信 号 名 称	機器検出点No.	状態	内 容	条 件
スクラム条件B 1				
炉室(S)遮へい扉 閉	G-PoA-11192B	閉		
炉下室(S)遮へい扉 閉	G-PoA-11193B	閉		
遮へい扉 開 バイパススイッチ B PBA		バイパス		
手動スクラムスイッチ B PBA (R)	G-HSA-11104	ON		
安全スイッチ バイパススイッチ B COS		バイパス		
安全スイッチ A (B系) PBA	G-HSA-11101	ON		
安全スイッチ B (B系) PBA	G-HSA-11102	ON		
安全スイッチ C (B系) PBA	G-HSA-11103	ON		
モードスイッチ COS		点検		
スクラムリセット B PBA (G)		ON		

図9.1.2-11(5) インターロック盤改造図 (主要なインターロックリスト)

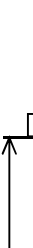
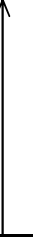
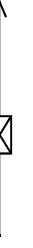
系統番号		511		機器番号		—	
系統名称		STACY 更新炉		機器名称		—	
動作内容		スクラム条件 解除					
特記事項							
信 号	名 称	機器検出点No.	状態	内 容	条 件	備 考	
スクラム条件解除 A			解除		表-1 へ		
スクラム条件解除 B			解除				
急速排水弁用スクラム解除 A			解除		急速排水弁 A スクラムしや断器	励磁	
					急速排水弁 A スクラムしや断器	非励磁	
					急速排水弁 B スクラムしや断器	励磁	
					急速排水弁 B スクラムしや断器	非励磁	
急速排水弁用スクラム解除 B			解除		急速排水弁 A スクラムしや断器	励磁	
					急速排水弁 A スクラムしや断器	非励磁	
					急速排水弁 B スクラムしや断器	励磁	
					急速排水弁 B スクラムしや断器	非励磁	
スクラム条件解除 A			解除		安全板 A～H スクラムしや断器	励磁	
					安全板 A～H スクラムしや断器	非励磁	
スクラム条件解除 B			解除		安全板 A～H スクラムしや断器	励磁	
					安全板 A～H スクラムしや断器	非励磁	

図9.1.2-11(6) インターロック盤改造図 (主要なインターロックリスト

系統番号	511	機器番号	—			
系統名称	STACY 更新炉	機器名称	—			
動作内容	排水開始インターロック					
特記事項	対象機器は備考欄参照					
信号	名称	機器検出点No.	状態	内容	条件	備考
運転系線型出力系 A	線形出力高 (100%)	G-RnIRA-11102A	HHA		排水開始インターロック (1/2) (正常状態)	対象機器： (4) 高速給水吐出弁 (5) 低速給水吐出弁 (6) 高速流量調整弁 (7) 低速流量調整弁 (12) 高速給水ポンプ (13) 低速給水ポンプ
運転系線型出力系 A	線形出力低 (3%) 下位 4 レンジ以上	G-RnIRA-11102A	LLA			
運転系線型出力系 B	線形出力高 (100%)	G-RnIRA-11102B	HHA			
運転系線型出力系 B	線形出力低 (3%) 下位 4 レンジ以上	G-RnIRA-11102B	LLA			
給水停止スイッチ駆動装置 排水開始スイッチ作動		D-LZ-5114102	ON		排水開始インターロック (2/2) (正常状態)	(1) 急速排水弁 A/B (2) 通常排水弁
安全板停止余裕測定スイッチ COS			バイパス			

図9.1.2-11(7) インターロック盤改造図 (主要なインターロックリスト

系統番号	511	機器番号	—			
系統名称	STACY 更新炉	機器名称	—			
動作内容	反応度添加停止インターロック (1/3)					
特記事項	吐出弁／流量調整弁 共通項目					
信 号	名 称	機器検出点No.	状態	内 容	条 件	備 考
起動系 A 炉周期短 (35 秒)		G-RnIpA-11101A	HZ		反応度添加停止 インターロック (正常状態)	吐出弁／流量調整弁 共通項目
起動系 B 炉周期短 (35 秒)		G-RnIpA-11101B	HZ			
運転系対数出力系 A 炉周期短 (35 秒)		G-RnIpA-11103A	HZ			
運転系対数出力系 B 炉周期短 (35 秒)		G-RnIpA-11103B	HZ			
給水停止スイッチ A 作動		D-LOZ-5114103A	ON			
給水停止スイッチ B 作動		D-LOZ-5114103B	ON			
パルス中性子発生装置 運転中			運転中			

図9.1.2-11(8) インターロック盤改造図 (主要なインターロックリスト

系統番号	511	機器番号	—		
系統名称	STACY 更新炉	機器名称	—		
動作内容	反応度添加停止インターロック (2/3)				
特記事項	対象機器は備考欄参照				
信号名称	機器検出点No.	状態	内容	条件	備考
高速給水ポンプ 運転中		運転中			高速給水ポンプ
高速給水吐出弁 閉	D-VP-51104 LSC	ON		反応度添加停止 インターロック (正常状態)	
高速流量調整弁 閉	D-VP-51106 LSC	ON			
低速給水ポンプ 運転中		運転中		反応度添加停止 インターロック (正常状態)	高速給水ポンプ
低速給水吐出弁 閉	D-VP-51105 LSC	ON			
低速流量調整弁 閉	D-VP-51107 LSC	ON		反応度添加停止 インターロック (正常状態)	低速給水ポンプ
高速制限水位A 超過	D-LIRA-5114101A	HA			
高速制限水位B 超過	D-LIRA-5114101B	HA			
ダンプ槽水位 低	D-LIRA-5110201	LZ			
高速給水バイパス弁 閉	D-VP-51108 LSC	ON			
低速給水バイパス弁 閉	D-VP-51109 LSC	ON		反応度添加停止 インターロック (正常状態)	給水停止中

図9.1.2-11(9) インターロック盤改造図 (主要なインターロックリスト)

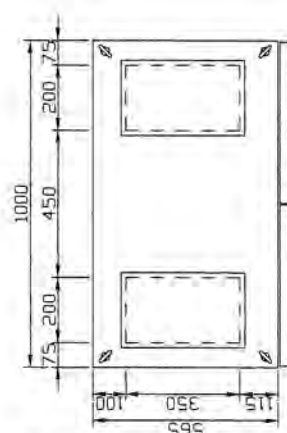
系統番号	511	機器番号	—			
系統名称	STACY 更新炉	機器名称	—			
動作内容	反応度添加停止インターロック (3/3)					
特記事項	対象機器は備考欄参照					
信 号	名 称	機器検出点No.	状態	内 容	条 件	備 考
給水停止スイッチ駆動装置	運転中		運転中		反応度添加停止 インターロック (正常状態)	高速給水吐出弁 高速流量調整弁
反応度添加停止インターロック (高速給水ポンプ用)			正常状態			
反応度添加停止インターロック (吐出弁 / 流量調整弁 共通項目)			正常状態			
反応度添加停止インターロック (低速給水ポンプ用)			正常状態			
実験用装荷物駆動装置	運転中		運転中		反応度添加停止 インターロック (正常状態)	低速給水吐出弁 低速流量調整弁
反応度添加停止インターロック (給水停止中)			正常状態			給水停止スイッチ 駆動装置
パルス中性子発生装置	運転中		運転中			実験用装荷物 駆動装置 A

図9.1.2-11(10) インターロック盤改造図 (主要なインターロックリスト)

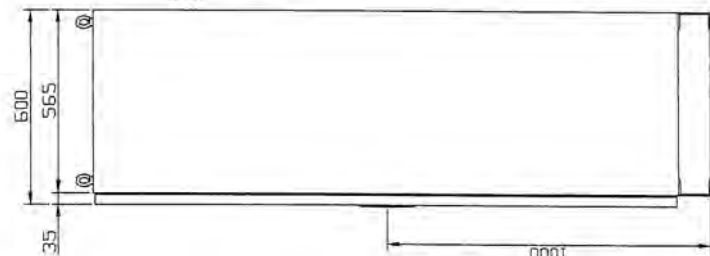
NP記入文字は下記といたします。
透明アクリライト製白地黒文字

NP	刻印文字	サイズ
0	ヒータ制御盤/O-P-S1108	315×63×5t
1	電源	40×74×2t
2	操作場所	40×125×2t
3	印下室 - 制御室	40×125×2t
4	ダンパ機/昇選ヒ-9A	40×125×2t
5	ダンパ機/昇選ヒ-9B	40×125×2t
6	吹向タンク/予熱ヒ-9A	40×125×2t
7	吹向タンク/予熱ヒ-9B	40×125×2t
8	配管予熱ヒ-9/O-EH-S1104	40×125×2t
9	配管予熱ヒ-9/O-EH-S1105	40×125×2t
10	配管予熱ヒ-9/O-EH-S1106	40×125×2t
11	配管予熱ヒ-9/O-EH-S1107	40×125×2t
12	配管予熱ヒ-9/O-EH-S1108	40×125×2t
13	配管予熱ヒ-9/O-EH-S1109	40×125×2t
14	配管予熱ヒ-9/O-EH-S1110	40×125×2t
15	配管予熱ヒ-9/O-EH-S1111	40×125×2t
16		
17		
18		
19		
20		

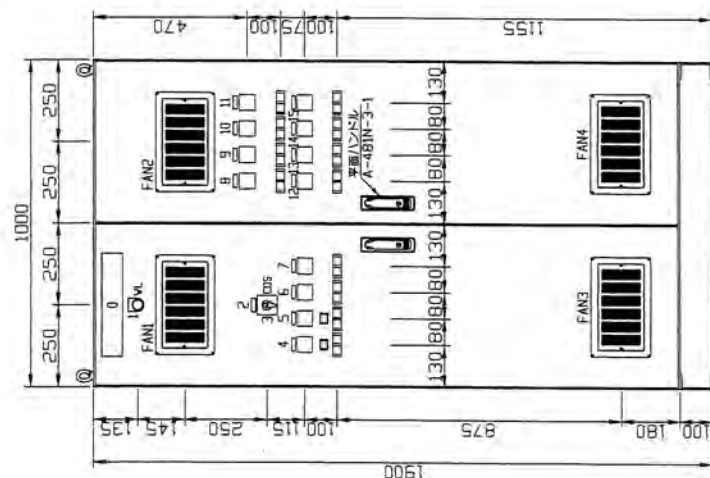
/は改行のこと



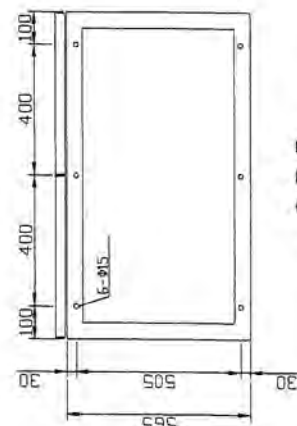
上面図



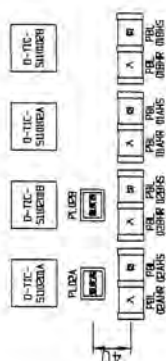
側面図



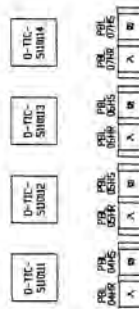
正面図



底面図



左扉詳細図



右扉詳細図

塗装色

表面	マンテル 5Y7/1	(半ツヤ)	60μm以上
内面	マンテル 5Y7/1	(半ツヤ)	40μm以上
中核	マンテル 5Y7/1	(半ツヤ)	
ベース	マンテル 5Y7/1	(半ツヤ)	

構造

1. 正面扉 縦厚 3.2mm
2. 箱体 縦厚 2.3mm
3. 扉部/バック付
4. 扉部ストッパー付

図9.1.2-12(1) 温度制御設備のヒータ制御の製作図

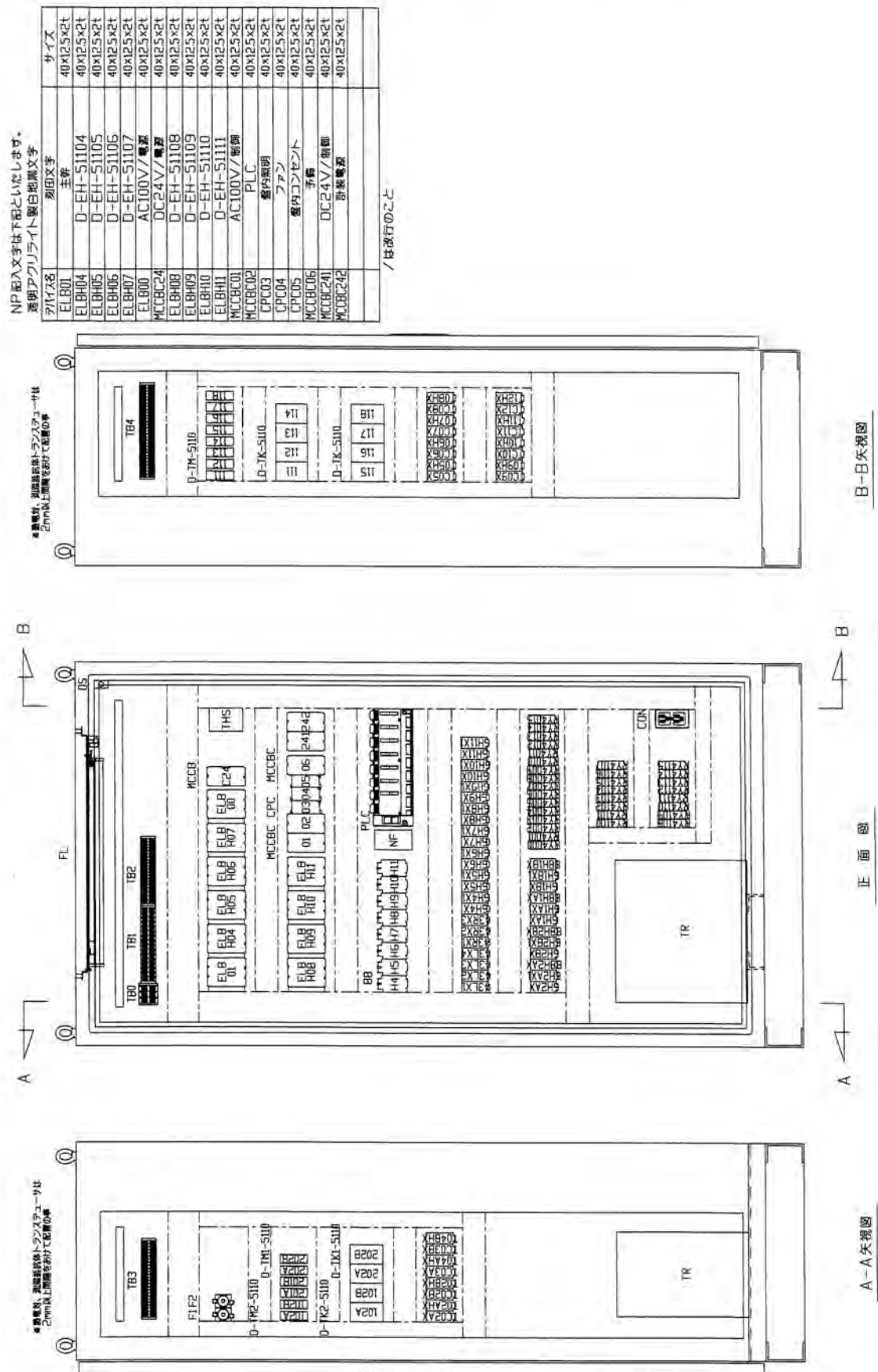
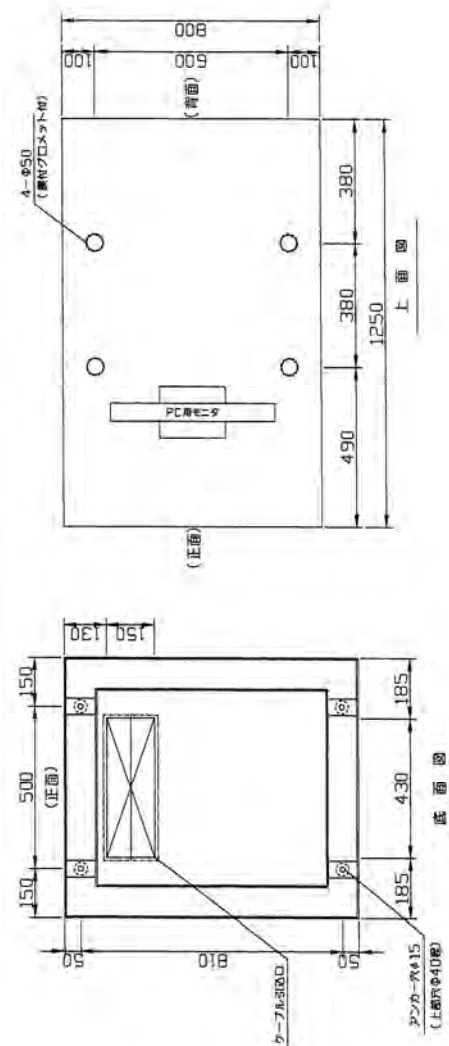
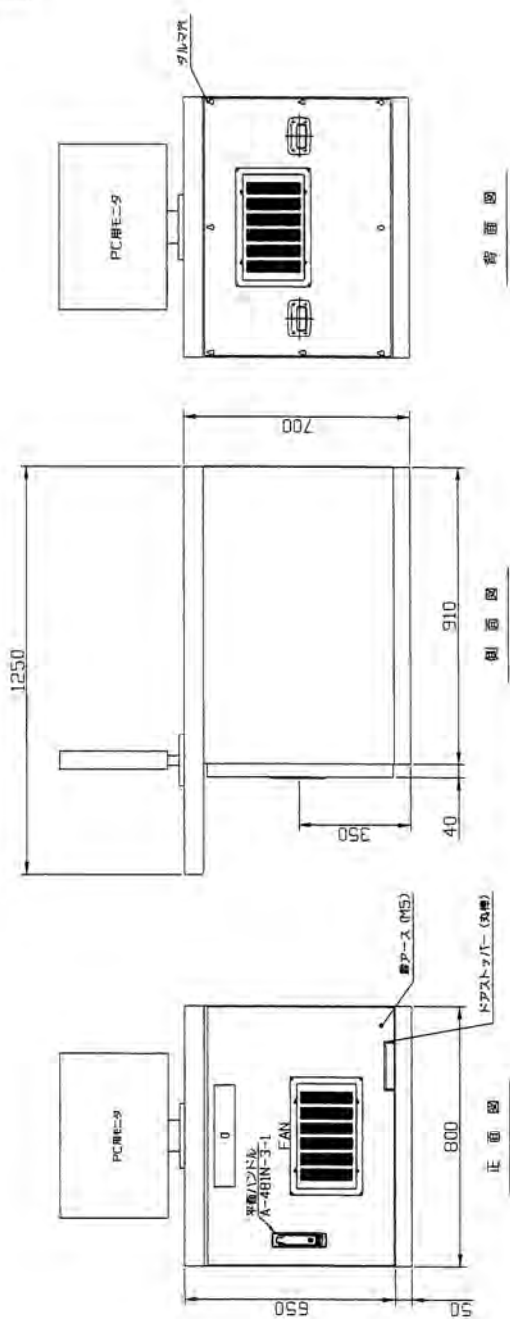


図9.1.2-12(2) 温度制御設備のヒータ制御盤の製作図

/は改行のこと

塗裝色

表	面	マンセル	2.5Y8.4/1.2	(半ツヤ)	50μm以上
内	面	マンセル	2.5Y8.4/1.2	(半ツヤ)	40μm以上
中	板	マンセル	2.5Y8.4/1.2	(半ツヤ)	
ベ-ス		マンセル	2.5Y8.4/1.2	(半ツヤ)	

道
橋

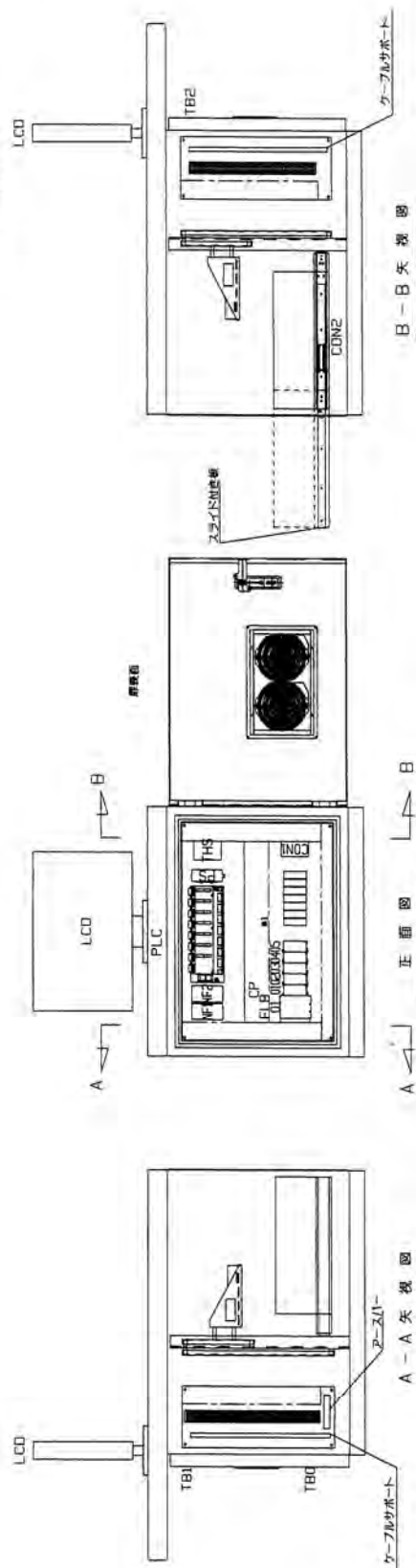
1.	正副座	板厚 2.3mm	ハシダA-48IN-3-1 (No.0200)
2.	筐体	板厚 2.3mm	
3.	頂部カバー	板厚 2.3mm	
4.	前面板	板厚 2.3mm	
5.	中板	板厚 2.3mm	

図9.1.2-12(4) 温度制御設備の監視制御盤の製作図

NP 配入文字は下記といたします。
透明アクリライト製白地黒文字

7桁12桁	別田文字	サイズ
ELB01	AC100V/電源	40x125x2t
CP01	PLC	40x125x2t
CP02	LCD	40x125x2t
CP03	変換器	40x125x2t
CP04	FAN	40x125x2t
CP05	コンセント	40x125x2t

/は改行のこと



0-L-M25110001	0-L-M25110002	0-P-M25112001	0-T-M25110101A	0-T-M25110101B	0-L-M25110201
---------------	---------------	---------------	----------------	----------------	---------------

※1 プライマー9配列
※2 プライマー9配列は
2mm以上隙間を空けて設置の事

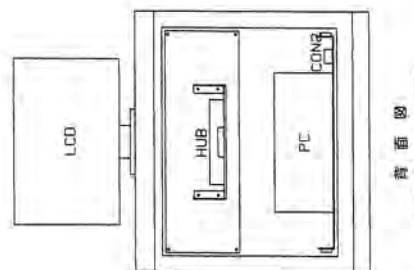
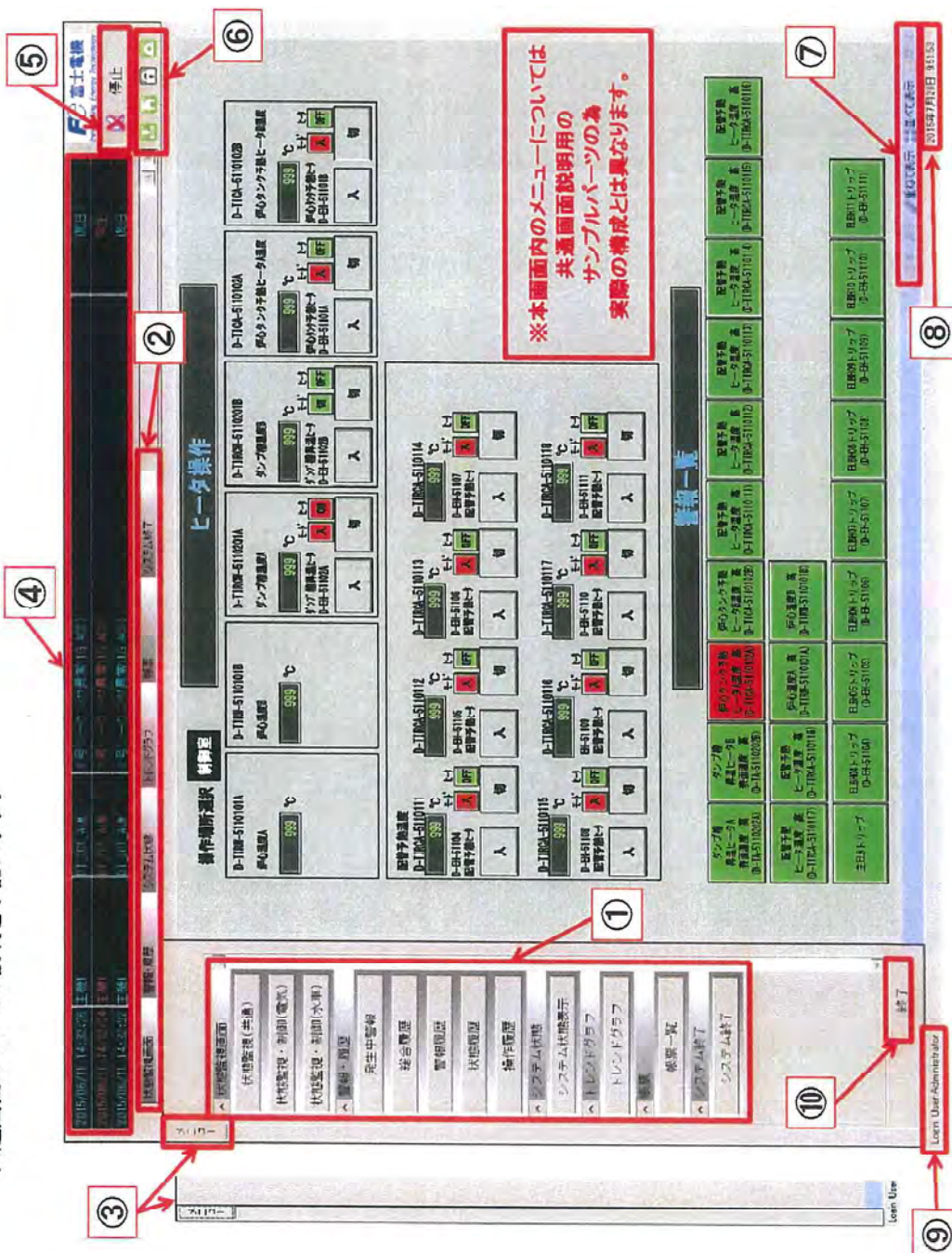


図9.1.2-12(4) 温度制御設備の監視制御盤の製作図

3. 画面仕様

3-1. 共通画面説明

共通画面についての説明を下記に示す。



- ① メニュー(概)
ボタンをクリックすると対象の画面に切替ります。
- ② メニュー(概)
ボタンをクリックすると対象の画面に切替ります。
- ③ メニュータブ
メニュータブをクリックすると、メニューウィンドウが閉じます。(最小化)
メニューウィンドウが閉じた(最小化)した状態で、再度メニュータブをクリックするとメニューウィンドウが開きます。
- ④ 警報表示
最新の警報情報を表示します。
(警報機能使用時)
- ⑤ 警報停止ボタン
パソコンにて鳴動する警報を停止させます。
(警報機能使用時)
- ⑥ 冗長化接続状態表示
冗長化システム時、主系・従系の接続状態を表示します。
(冗長化機能使用時)
- ⑦ 表示方式切替ボタン
ボタンをクリックする事で、画面の表示方式が切り替わります。
(単一表示/重ねて表示/並べて表示)
- ⑧ 時刻表示
現在の時刻を表示します。
- ⑨ ログインユーザー名
ログインユーザー名を表示します。
- ⑩ 終了ボタン
終了ボタンを押下すると、画面表示機能が終了します。
※本ボタンで終了するのは画面表示機能のみでシステム機能までは終了しません。
システムを終了させる為には別途、終了操作が必要です。

図9.1.2-12(5) 温度制御設備の制御盤計算機画面の製作図 (例)

3-2. 個別画面説明(ヒータ操作)

ヒータ操作画面についての説明を下記に示す。

- ① 各機器の名称及び系統番号を表示します。
- ② ヒータの操作権を表示します。
(操作権の切替はヒータ制御盤にて選択)

炉下室	⇄	制御室
-----	---	-----

炉下室 : ヒータ制御盤で操作可能です。
制御室 : ヒータ制御監視PCで操作可能です。(左に示す画面)

- ③ 各計測値を表示します。

- ④ 各ヒータのモード入/切状態を表示します。

ヒータ状態	ランプ表示	点灯色
モード入	入	赤色点灯
モード切	切	緑色点灯

- ⑤ 各ヒータのON/OFF状態を表示します。

ヒータ状態	ランプ表示	点灯色
ヒータON	ON	赤色点灯
ヒータOFF	OFF	緑色点灯

- ⑥ 選択した機器に対しヒータ温度制御モードの入/切操作を行います。

なお、本操作は操作権②が“制御室”となっている場合のみ操作可能となります。

“入”または“切”ボタンをクリックすると以下のダイアログが表示され“実行”を選択すると指令を出力します。

操作を実行しますがよろしいですか？	
実行	取消

- ⑦ 各機器の警報を表示します。

状態	点灯色
異常時	赤色点灯
正常時	緑色点灯

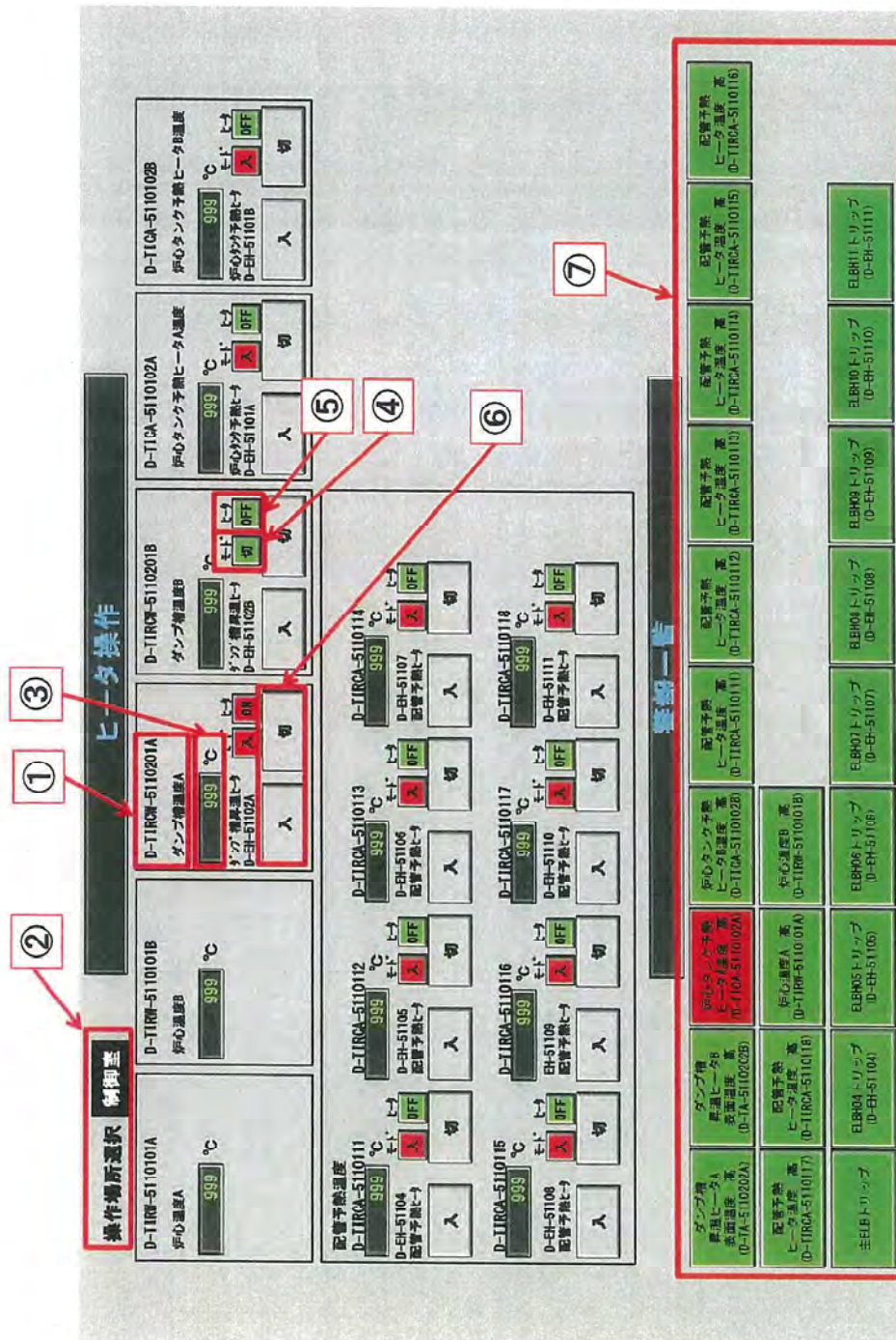
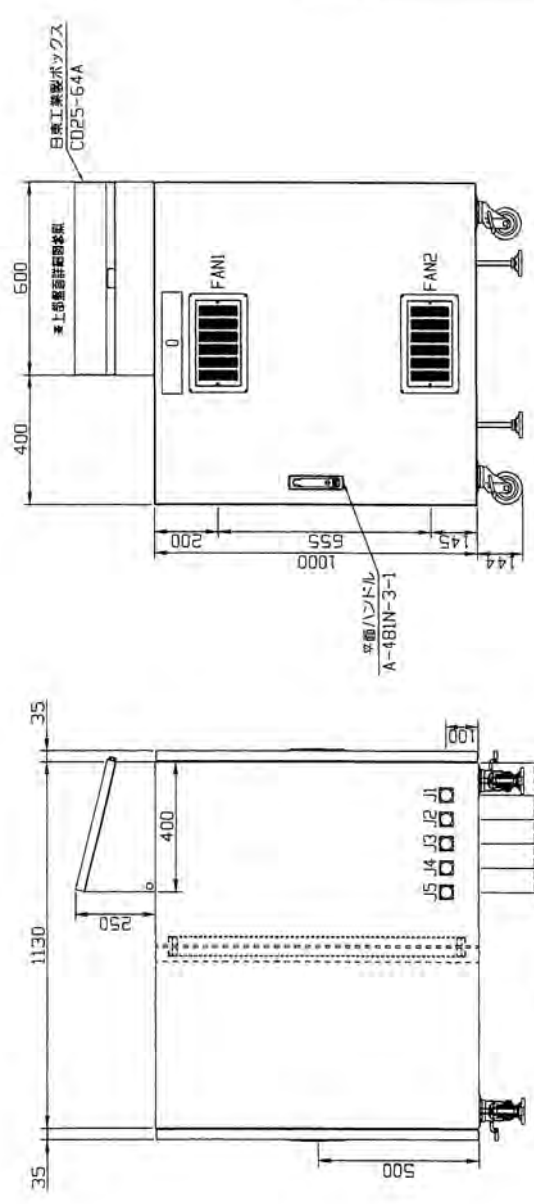


図9.1.2-12(6) 温度制御設備の制御盤計算機画面の製作図 (例)

NP 記入文字は下記といたします。
透明アクリライト製白地黒文字

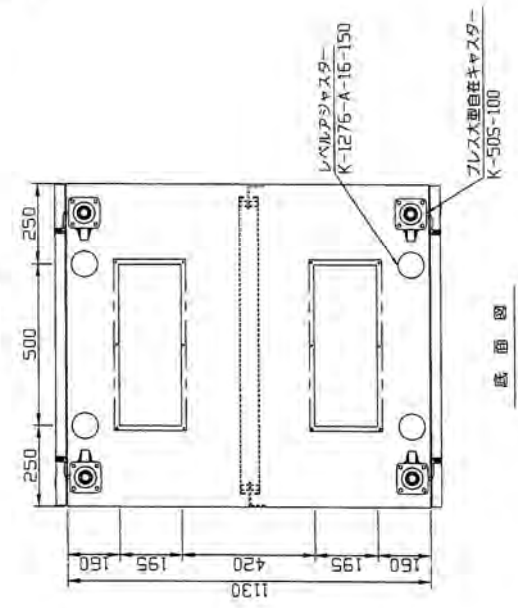
NP	記入文字	サイズ
0	可動装置物駆動装置/0-CP-5119	315×63×5t
1	最大速度設定	40×12.5×2t
2	禁止	許可
3	サンプル精度を決定	40×12.5×2t
4	禁止	許可

ノは改行のこと

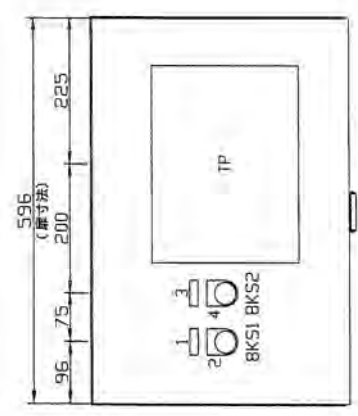


左側面図

正面図



底面図



上部燃面詳細図
(縮尺2倍)

塗装色

本 体	マンテル	2.5Y8.4/1.2 (キツ)	50mm以上
内 面	マンテル	2.5Y8.4/1.2 (キツ)	40mm以上
中 板	マンテル	2.5Y8.4/1.2 (キツ)	

構造

1. 正面扉 板厚 3.2mm ハンドル A-48IN-3-1 (No.0200)
2. 筐体 板厚 2.3mm
3. 頂部カバー 板厚 2.3mm
4. 中板 板厚 2.3mm
5. 上部TP製 日新工業製 CO25-64A (板厚 1.6mm)
6. 底部パッキン付
7. 脚部ストッパー付

図9.1.2-13(1) 可動装置物駆動装置の制御盤の製作図

機器記名板への記入文字は下記といたします。
記名板用文字

機器	刻印文字	サイズ
ELB1	100V主幹	40×125×2t
MCB1	PLC	40×125×2t
MCB2	タッチパネル	40×125×2t
MCB3	IO	40×125×2t
CP1	FAN	40×125×2t
CP2	コンセント	40×125×2t

/は破行のこと

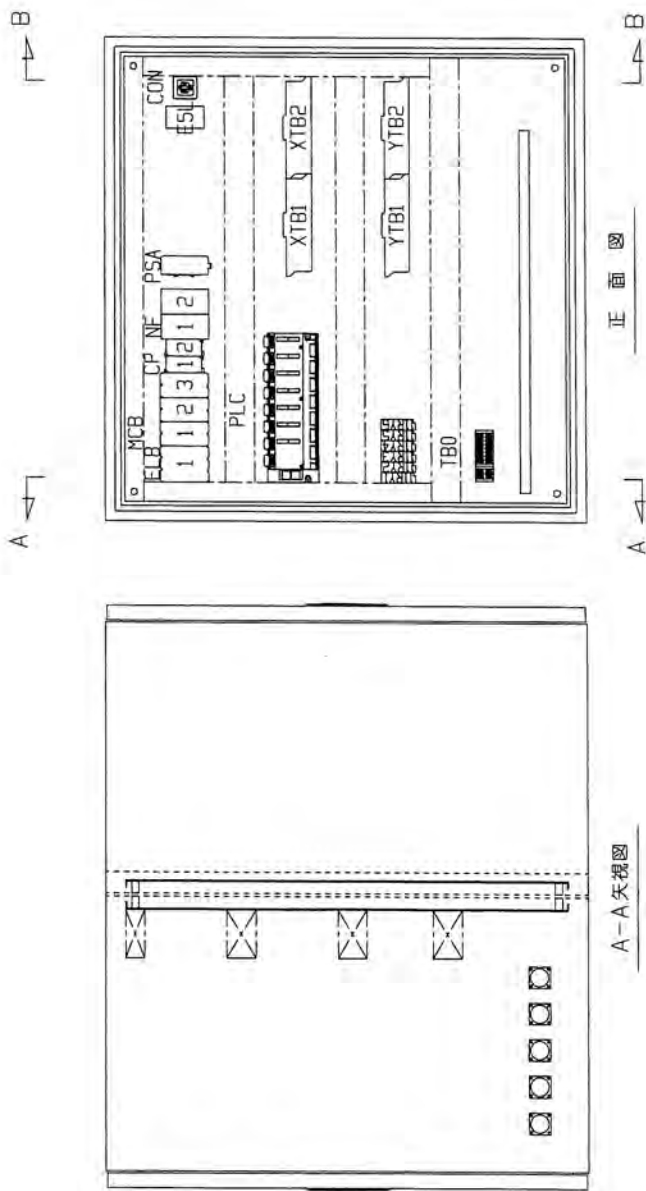
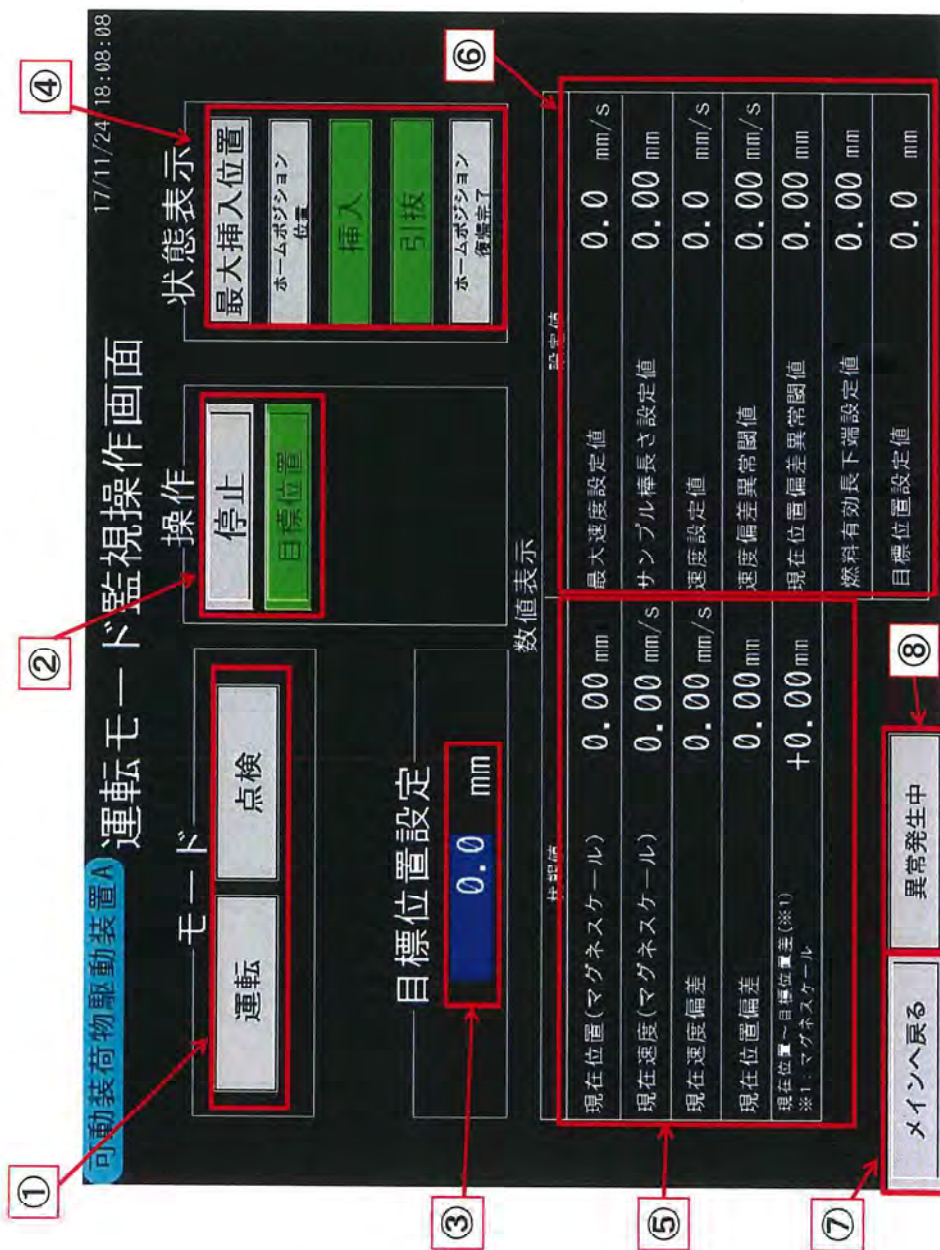


図9.1.2-13(2) 可動装荷物駆動装置の制御盤の製作図

3-3. 個別画面説明(運転モード監視操作画面)

運転モード監視操作画面についての説明を下記に示す。



① 運転/点検モードの選択状態を表示します。(モードの切替は監視操作画面にて行います。)

状態	ランプ表示	点灯色
運転モードON	運転	白色点灯
運転モードOFF	運転	灰色
点検モードON	点検	白色点灯
点検モードOFF	点検	灰色

② 可動装荷物駆動装置Aに対し指令を出します。
停止 : 動作中の装置を停止させます。
目標位置 : 目標位置へ自動位置決めを行います。
なお、本操作はモード①項が「運転モード」となっている場合にのみ有効です。

状態	ランプ表示	点灯色
停止中	停止	緑色点灯
停止中でない	停止	灰色
目標位置決め完了	目標位置	赤色点灯
目標位置動作中	目標位置	赤色点灯
目標位置動作中でない	目標位置	緑色点灯

③ 目標位置決め時の目標位置を設定します。
数値部の位置をタッチすると、下記キーボードが表示され、数値を入力する事が可能となります。
数値入力後「ENT」にて入力した値が確定となります。

7	8	9	UP
4	5	6	DN
1	2	3	CLR
0	-	/	ENT

④ 装置の状態を表示します。

状態	ランプ表示	点灯色
最大挿入位置ON	最大挿入位置	白色点灯
最大挿入位置OFF	最大挿入位置	灰色
ホームポジション位置ON	ホームポジション位置	白色点灯
ホームポジション位置OFF	ホームポジション位置	灰色
挿入動作中	挿入	赤色点灯
挿入動作中でない	挿入	緑色点灯
引板動作中	引板	赤色点灯
引板動作中でない	引板	緑色点灯
ホームポジション復帰完了	ホームポジション復帰完了	白色点灯
ホームポジション復帰完了でない	ホームポジション復帰完了	灰色

⑤~⑧ 次頁説明

図9.1.2-13(4) 可動装荷物駆動装置の制御盤POD画面の製作図(例)

- ①～④ 前頁説明
- ⑤ 接点の現在データを表示します。
- ⑥ 現在設定している設定値を表示します。
- ⑦ メインメニュー画面に遷移します。
⇒12頁参照

⑧ 異常発生中、ボタンが点灯します。
タッチにて警報画面に遷移します。
⇒20頁参照

状態	ランプ表示	点灯色
異常発生あり	異常発生中	赤色
異常発生なし	異常発生中	灰色

可動装荷物駆動装置A

モード

運転 点検

17/11/24 18:08:08

監視操作画面

① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧

操作

停止 目標位置

状態表示

最大挿入位置

ホームポジション 位置

挿入

引抜

ホームポジション 復帰完了

数値表示

目標位置設定

0.0 mm

現在位置 (マグネスケール)	0.00 mm	最大速度設定値	0.0 mm/s
現在速度 (マグネスケール)	0.00 mm/s	サンプル棒長さ設定値	0.00 mm
現在速度偏差	0.00 mm/s	速度設定値	0.0 mm/s
現在位置偏差	0.00 mm	速度偏差異常閾値	0.00 mm/s
現在位置～目標位置差 (※1)	+0.00 mm	現在位置偏差異常閾値	0.00 mm
※1: マグネスケール		燃料有効長さ下端設定値	0.00 mm
		目標位置設定値	0.0 mm

図9.1.2-13(5) 可動装荷物駆動装置の制御盤POD画面の製作図 (例)

9.1.3 まとめ

STACY 更新炉原子炉本体の設計に係る平成 28 年度事業として、整備工程上、早期に着手する必要がある主要な改造及び主要な新設機器について、改造設計及び製作設計の見直しを行った。また、その他の改造（計測制御系制御盤等）及びその他の新設機器（温度制御設備等）につて、施工設計、製作設計を行った。さらに、これらの改造及び製作における工場製作段階の検査計画を検討した。

なお、設置変更許可申請の審査に予定より大幅な長期間を要したことに伴い、STACY 整備工程計画の見直しも併せて行った。

主な設計成果は以下のとおりである。

(1) 改造設計・製作設計

- ・ 主要な改造工事における部材調達仕様、材料検査の要否に関する情報、施工手順等の検討に必要な情報を含む実施レベルの改造図面を変更した。
- ・ 主要な機器製作における主要部材及び購入部品の調達仕様、材料検査の要否に関する情報、部品加工指示図面作成に必要な情報を含む製作レベルの機器構造図を変更した。
- ・ 製作・据付管理に資する製作・検査の手順フロー図を変更した。
- ・ 計測制御系制御盤等のその他の改造工事について施工レベルの設計図書を作成した。
- ・ 温度制御設備等の新規製作について製作レベルの設計図書を作成

(2) 工場製作段階の検査計画

- ・ 工場製作段階の検査内容及び検査区分をまとめた。

(3) 整備工程表の見直し

- ・ STACY 更新炉の整備工程表を見直し作成した。

9.2 臨界実験炉心の検討

平成 28 年度事業では、STACY 更新炉における臨界実験に先立つ炉心構成の検討のため、更新炉の反射材及び減速材である軽水の温度評価を実施した（第 9.2.1 節）。また、仏国放射線防護・原子力安全研究所（IRSN）との研究協力の一環として仏国に要員を派遣し、STACY 更新炉の初臨界を想定した実験炉心の設計検討を行った（第 9.2.4 節）。臨界実験と燃料デブリに関する臨界管理に関して、関係の深い国際会議・会合に参加して情報収集に努めた（第 9.2.2 節、第 9.2.3 節、第 9.2.5 節）。

9.2.1 STACY 更新炉における軽水減速材の温度効果の評価

9.2.1.1 目的及び概要

(1) 目的

STACY 更新炉は、減速材および反射体として軽水を用いる軽水減速開放型タンク炉心である。運転に際しては、臨界達成に必要な十分な棒状燃料要素を装荷の上で軽水を注水していくことで臨界近接を実施する。この時、軽水の温度によって臨界水位が上下する。臨界集合体で実験可能な温度域において、軽水の温度が燃料要素の温度に与える影響（ドップラー効果）よりも、軽水の温度変化により水密度が変わることによる減速能の変化の影響が支配的であることはよく知られたことである。なお、STACY 更新炉では減速材の温度は室温から 70 °C まで昇温しての運転が可能となる予定である。

本検討においては、この減速材昇温による核的効果の予備調査を行う目的で、STACY 更新炉で整備される可能性のある格子板に対して正方炉心を構築した場合に、減速材の温度を 0～70 °C の範囲で変えた場合の実効増倍率の変化を計算によって評価した。

(2) 概要

減速材の温度変化に従って変化する減速材密度変化による実効増倍率の変化を、いくつかの正方炉心体系に対して、モンテカルロ輸送計算コードを用いて求めて定量化した。

9.2.1.2 評価の方法

(1) 対象とした格子間隔と基準炉心

評価の対象としたのは表 9.2-1 に示す各格子間隔を有する正方炉心である。なお水対燃料比 (V_m/V_f)、各格子間隔について予想臨界実効水位が 110 cm となるように正方炉心を組んだ時の臨界燃料棒本数も合わせて示す。また、各炉心の燃料棒配置について図 9.2-1 に示す。なお、計算に含まれるものは、燃料棒と水だけであり、ステンレス製の炉心タンク、格子板支持部材、下部定盤、アルミニウム製の格子板などは含まない。なお、ここで対象とした各炉心は、評価上仮定したもので、実際の STACY 更新炉の整備計画とは異なる。

表 9.2-1 対象炉心の一覧

格子間隔 (ピッチ) [cm]	水対燃料比 (V_m/V_f)	ウラン対水素比 (U/H)	臨界燃料棒本数 [本]
1.15	1.2	3.33	683
1.27	1.7	4.90	429
1.50	2.9	8.36	258
1.70	4.1	11.82	205
1.90	5.5	15.73	181
2.10	7.0	20.06	173
2.34	9.0	25.83	189
2.55	11.0	31.40	217

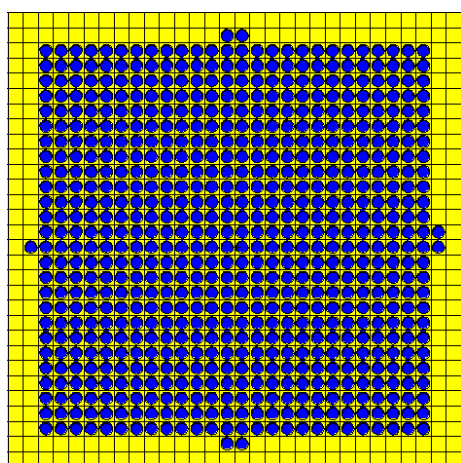


図 9.2-1(1) 格子間隔 1.15cm 683 本炉心

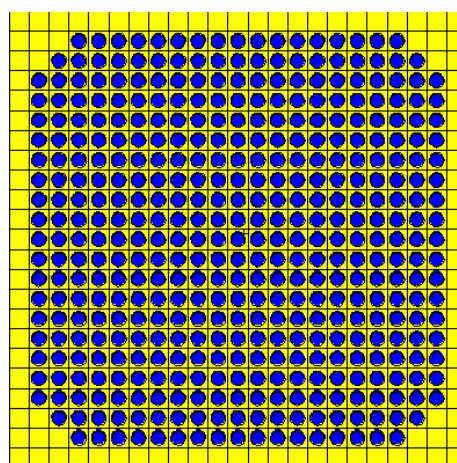


図 9.2-1(2) 格子間隔 1.27cm 429 本炉心

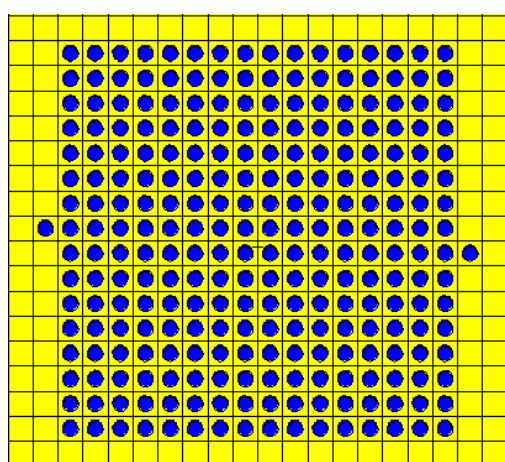


図 9.2-1(3) 格子間隔 1.50cm 258 本炉心

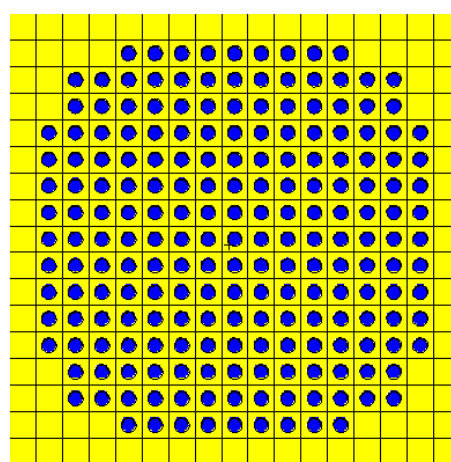


図 9.2-1(4) 格子間隔 1.70cm 205 本炉心

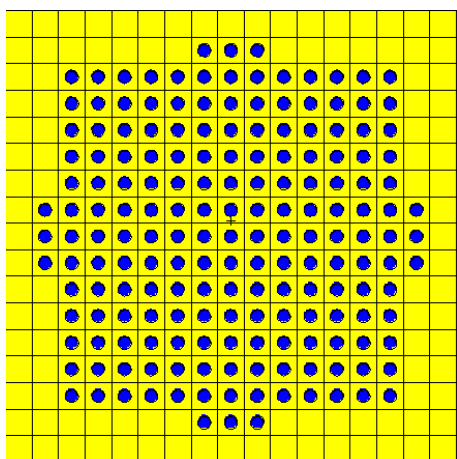


図 9.2-1(5) 格子間隔 1.90cm 181 本炉心

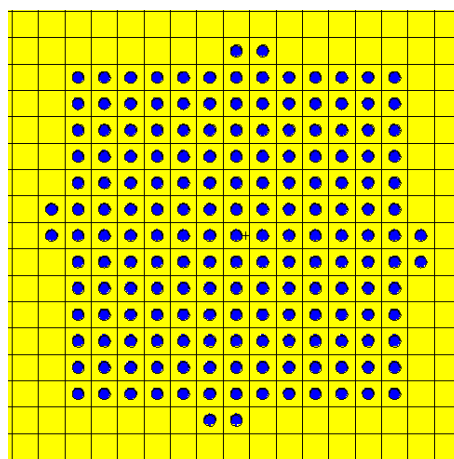


図 9.2-1(6) 格子間隔 2.10cm 173 本炉心

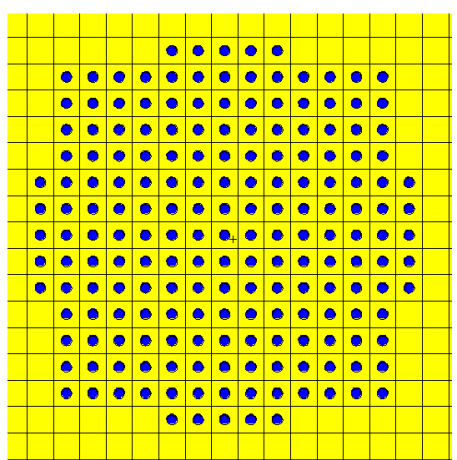


図 9.2-1(7) 格子間隔 2.34cm 189 本炉心

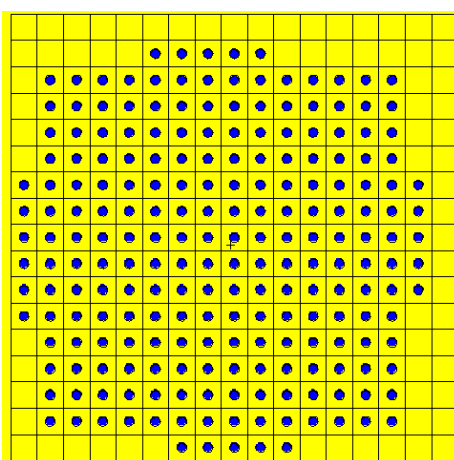


図 9.2-1(8) 格子間隔 2.55cm 217 本炉心

(2) 計算方法

計算には汎用モンテカルロコード MCNP5.1 と評価済み核データライブラリ JENDL4.0 を用いた。固有値計算モードにより 2 万ヒストリ×2600 バッチ、うち 100 バッチ捨ての実効 5×10^7 ヒストリで計算した。また、MCNP では、計算結果に統計誤差以上のばらつきが見られることから、これを軽減するために乱数の種を 10 回振り直し、10 回計算した平均の計算結果を用いた。なお、結果に対する計算誤差は、10 回平均に用いた個々の計算結果の最大値および最小値に統計誤差を加えた幅を持たせて計算誤差とした。

(3) 計算に用いた原子個数密度

計算に使用する物質はウラン燃料、被覆管、軽水のみである。このうちウラン燃料と被覆管については平成 26 年度の受託事業評価において MVP 計算に用いた原子個数密度を用いている。軽水については温度ごとに異なる比重を理科年表から求め、原子個数密度を作成した。水の温度変化による比重と原子個数密度について表 9.2-2 に示す。水の温度変化の範囲は、NUCEF 実験棟の室温 25℃を基準に比重が最大となる 4℃を含め 0℃～70℃の範囲とした。なお、水の基準密度は 4℃において 0.999972g/cm³ を用いた。

表 9.2-2 水の比重と原子個数密度

水温	比重	H の原子個数密度	O の原子個数密度
0℃	0.9999	6.68630E-02	3.34315E-02
4℃	1.0000	6.68717E-02	3.34359E-02
10℃	0.9997	6.66758E-02	3.33379E-02
20℃	0.9982	6.68537E-02	3.34268E-02
25℃	0.9971	6.67534E-02	3.33767E-02
30℃	0.9957	6.65822E-02	3.32911E-02
40℃	0.9922	6.63528E-02	3.31764E-02
50℃	0.9881	6.60740E-02	3.30370E-02
60℃	0.9832	6.57510E-02	3.28755E-02
70℃	0.9778	6.53879E-02	3.26939E-02

9.2.1.3 評価結果と考察

(1) 評価結果

計算結果を表 9.2-3 にまとめる。また、水温 25℃時の実効増倍率を 1 として規格化した場合の、実効増倍率の変化について図 9.2-2 に示す。なお、実効増倍率の統計誤差は最大 0.00012 であった。続いて各計算温度間の中点における温度反応度係数を図 9.2-3 に示す。

表 9.2-3(1) 温度反応度係数計算結果(1/2)

→格子板 ↓水温	1.15cm	1.27cm	1.50cm	1.70cm
0℃	1.000937	1.00201	1.00073	1.00361
4℃	1.000844	1.00207	1.00079	1.00360
10℃	1.000873	1.00191	1.00075	1.00354
20℃	1.000276	1.00131	1.00011	1.00303
25℃	0.99976	1.00089	0.99968	1.00268
30℃	0.999307	1.00033	0.99910	1.00223
40℃	0.997932	0.99883	0.99786	1.00096
50℃	0.996273	0.99715	0.99623	0.99954
60℃	0.994392	0.99520	0.99433	0.99799
70℃	0.992284	0.99289	0.99226	0.99601

表 9.2-3(2) 温度反応度係数計算結果(2/2)

→格子板 ↓水温	1.90cm	2.10cm	2.34cm	2.55cm
0℃	0.99999	1.00013	1.002853	1.00042
4℃	1.00004	1.00020	1.002889	1.00040
10℃	0.99997	1.00005	1.002746	1.00036
20℃	0.99954	0.99978	1.002648	1.00040
25℃	0.99922	0.99957	1.00258	1.00044
30℃	0.99897	0.999396	1.002507	1.00043
40℃	0.99794	0.99870	1.002194	1.00056
50℃	0.99685	0.99786	1.001807	1.00060
60℃	0.99540	0.99692	1.001389	1.00064
70℃	0.99398	0.99577	1.000826	1.00071

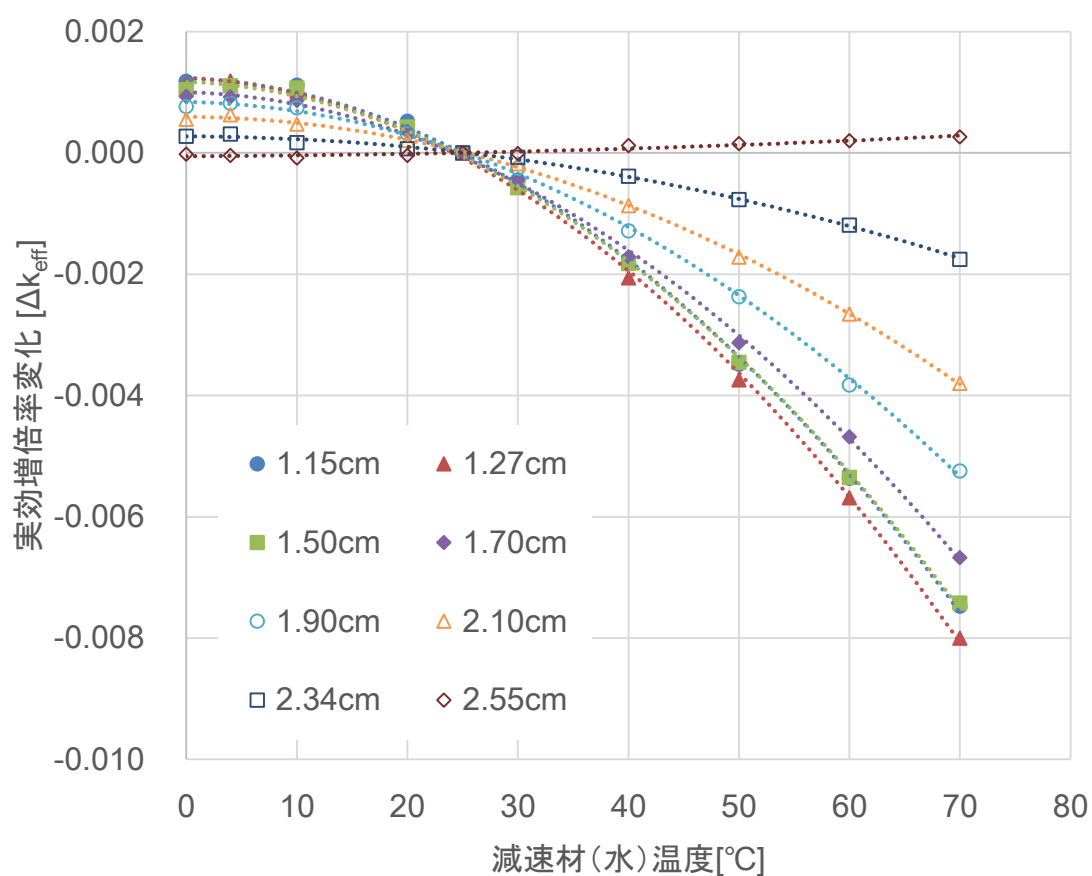


図 9.2-2 25℃を基準として比較した場合の実効増倍率の変化

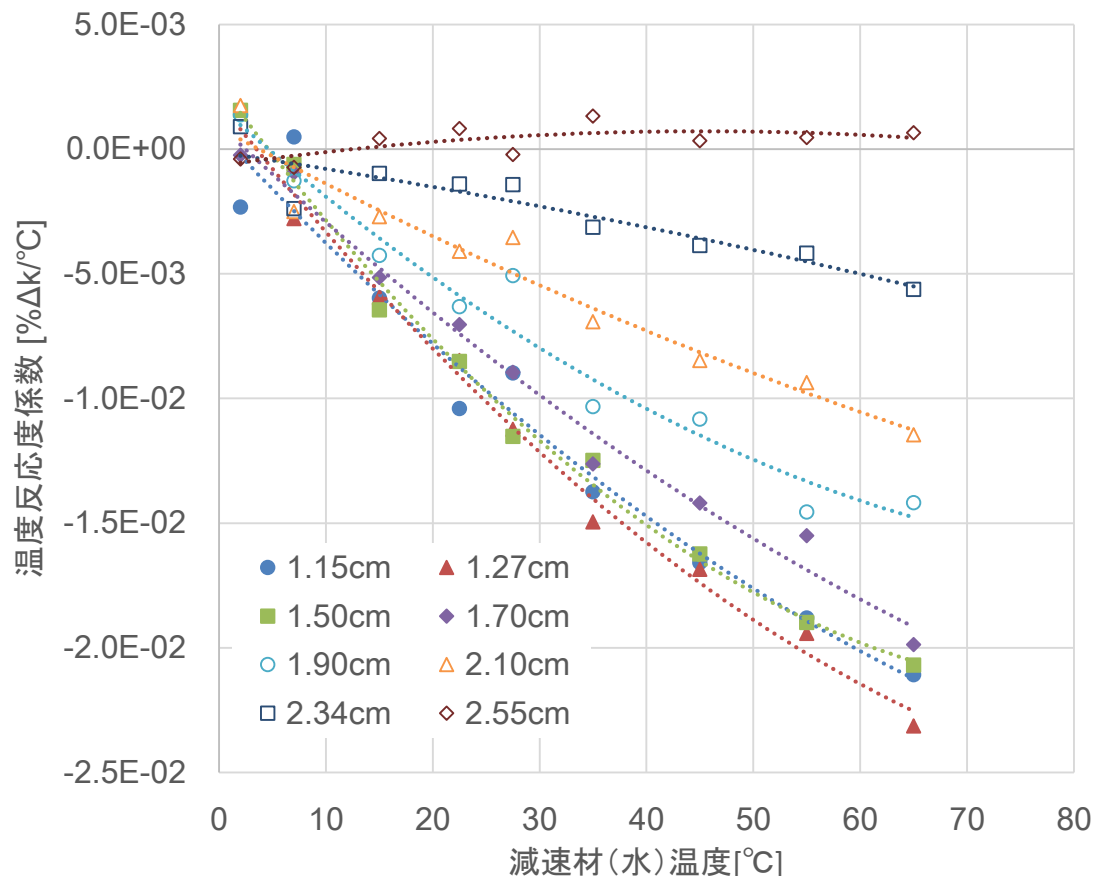


図 9.2-3 減速材温度反応度係数

(2) 考察

表 9.2-3 および図 9.2-2 に示される結果より、25 °C での実効増倍率を基準とすると、格子間隔 2.55 cm 以外のケースでは、水温の上昇とともに水密度の減少に伴い大きな負の反応度が入ることがわかる。逆に水温が下がるようなケースがあれば、正の反応度が入ることとなるがその量は限定的(0.2% Δk 以下)であり、安全上の問題は少ないと考えられる。格子間隔が 1.27 cm の炉心において最も大きく負の反応度印加が見られた。一方、格子間隔 2.55 cm のケースは他ケースと異なる傾向を示しており、水温の上昇とともに正の反応度が入っている。これは、本炉心が減速過剰であることを示しており、水密度が下がることで最適減速に近づくものと考えられる。この格子間隔 2.55 cm、減速材温度 70 °C の運転状態は STACY 更新炉で許可される予定の運転範囲に入っているが、投入される正の反応度は高々 0.05% Δk 以下であり、安全上は全く問題ない範囲である。

また、図 9.2-3 に示されるとおり、本評価における対象炉心、対象温度域の温度反応度係数は -0.024 ~ 0.02% Δk/°C の範囲であった。

9.2.1.4 まとめ

STACY 更新炉の核的特性の予備調査として、様々な格子板ピッチの正方炉心に対する減速材の昇温による反応度影響を計算解析により評価した。許可予定の最大格子間隔である 2.55 cm の場合には過減速条件のため減速材の昇温に伴う密度減少から正の反応度が入る予

想が得られたが、他の条件では減速材の昇温により負の反応度が入ることが確かめられた。一方、減速材の温度が低下した場合に入りうる正の反応度については限定的であることが確認できた。それぞれの格子間隔において減速材温度反応度係数を求めており、その範囲は $-0.024 \sim 0.02\% \Delta k/^\circ\text{C}$ であった。各格子間隔、減速材温度で運転を行うにあたり、重要な知見が得られた。

参考文献

- 1) 「原子力規制庁 平成 26 年度原子力施設の臨界管理安全基盤強化委託費（東京電力福島第一原子力発電所燃料デブリの臨界評価手法の整備）事業」報告書、(独)日本原子力研究開発機構、平成 27 年 3 月
- 2) 理科年表、国立天文台編、平成 17 年

9.2.2 炉物理国際会議 PHYSOR2016 における情報収集

(1) 会議概要

PHYSOR は 2 年ごとに開催されている炉物理分野における世界最大の国際会議である。原則として米国内で開催されるが、3 回に 1 回は米国外であり、日本での開催実績もある。本事業では、アイダホ州サンバレーにて平成 28 年（2016 年）5 月 1 日（日）～5 日（木）に開催された PHYSOR 2016 に参加した。7 つの会場で 77 の口頭発表セッションとポスターセッションが設けられ、参加者は 450 名余であった。

(2) 目的

STACY 更新炉における MCCI 生成物を対象とした模擬燃料デブリの実験計画（平成 27 年度受託事業成果）について口頭発表するとともに、臨界実験技術及び燃料デブリの形状・性状及びそれらの臨界特性の推定、緊急度の議論、不確かさを含む臨界管理方法などに関し、今後の当受託事業計画に資するため各国からの参加者から情報を収集した。

(3) 臨界実験に関する発表

世界的に稼働できる臨界実験装置は減少しており、新規の実験施設計画に対する期待が寄せられた。特に OECD/NEA のプロジェクトである国際臨界安全ベンチマーク評価プロジェクト（ICSBEP）のメンバーからは歓迎のコメントがあった。STACY 更新炉のベンチマーク評価により STACY 実験の持つ不確かさが詳細に評価できれば、模擬デブリ試料を用いた燃料デブリの臨界実験評価の精度向上が期待できる。

(4) 燃料デブリに関する情報収集

燃料デブリの臨界性は集合体形状のものより大きくならないという見方がほとんどであり、その評価の優先度については、今後の廃炉作業で燃料取出しなどの取扱いが早い方から順に実施するのが妥当ではないかとの意見が得られた。燃料デブリが持つ組成や総量、減速条件などの不確かさについては、シビアアクシデント解析コードである程度の見当はつけられるものの、やはりサンプルを取出してみなければわからないだろうとする研究者がほとんどである。サンプル取出し前に特定の組成、減速条件で臨界実験評価を行うことには懐疑的な研究者もある程度存在したが、諸条件を網羅した臨界特性データベースの整備を先行して実施することを説明することで理解が得られた。MCCI 生成物を最初の評価対象とすることに理解を示す研究者は多かったが、Zr や Fe などの炉心材料も添加するべきとの声もあった。また、燃料デブリの臨界特性の実験による評価を進めるとともに、並行して有効な中性子吸収方法を開発してその能力を評価することも重要であるとのコメントもあった。これらは今後事業を進めるにあたり、考慮すべき事柄である。

9.2.3 国際臨界安全ベンチマーク評価プロジェクト ICSBEP における情報収集

(1) 会議概要

ICSBEP は OECD/NEA のプロジェクトのひとつであり、世界各国の臨界実験データの結果と不確かさをその要因も含めて評価し、ベンチマーク化することにより、計算コード開発や核データの整備に資することを目的としている。本事業では、フランス・パリ市郊外ブローニュ＝ビヤンクール の OECD/NEA 本部にて平成 28 年（2016 年）4 月 18 日（月）から 22 日（金）に開催された ICSBEP 並びに同じく OECD/NEA の国際炉物理実験ベンチマークプロジェクト IRPhEP の技術レビュー会合に参加した。参加者は米仏両国を中心に 50 名余であった。

(2) 目的

STACY 更新炉の運転開始後は、国際的な貢献のため実験データをベンチマーク化して ICSBEP/IRPhEP に提供する予定としている。そのためには、現在の施設設計段階、使用前検査段階からこれらのプロジェクトが求める設計要求、評価対象項目について把握しておく必要がある。そのため、双方の会合参加者からベンチマーク化に関する情報を収集した。

(3) ベンチマーク化に関する情報収集

臨界実験の不確かさを減らすために使用前に出来ることとして、炉心タンクや格子板の製造精度の確認、設置精度の確認の実施等がある。特に、燃料要素の不確かさを減らすためには、使用前の検査方法、回数の管理、検査データの保存が重要である。STACY 更新炉は開放タンク型軽水減速非均質体系であり、今回の会合において同様の施設として米国サンディア研究所の臨界集合体がレビューを受けた。サンディアの例は、燃料の ^{235}U 濃縮度測定その他、含まれる不純物の測定、棒状燃料要素被覆管の組成、不純物測定、燃料ペレットの有効長測定、実験時の実効値評価等が記されており、大変参考になるものである。サンディア研究所の担当者を含め会合参加者には STACY 更新炉実験の不確かさ低減に関して必要な助言が得られるよう要請を行い、快諾された。

(4) 成果

ICSBEP で得られた知見を基に、STACY 更新炉の製造時（成型加工メーカ）での品質管理、検査回数等の要望を見直すことができた。引き続き、燃料要素受け入れ後の検査や機器設置時の検査等に得られた知見を役立てていく。

9.2.4 仏 IRSN との共同研究による実験炉心設計

9.2.4.1 目的及び概要

(1) 目的

STACY 更新炉を用いた臨界実験による燃料デブリの臨界性評価にあたっては、臨界性に寄与する核反応を抽出し、その感度が最大となるような実験炉心を構築することが重要となる。また、装荷する模擬燃料デブリの持つ不確かさを評価する観点から、当該実験炉心と同等の中性子スペクトルを持つ参照実験の炉心も合わせて構築する必要がある。これらの実験炉心案の策定にあたっては、STACY 更新炉が置かれる許可範囲、実験機材の制約を考慮した上で行う必要がある。このため軽水減速体系の臨界実験技術を豊富に有するフランス放射線防護原子力安全研究所(IRSN)と協同し、一連の炉物理試験「Zero Experiment」の策定を進めている。

(2) 概要

IRSN との研究においては、福島第一原子力発電所事故で生じたと考えられる燃料デブリ組成から、過年度までの研究で臨界性の確認が必要不可欠として計算による評価が実施された MCCI(Molten Core Concrete Interaction)生成物を対象とし、感度解析によって着目すべき核種とその反応をいくつか抽出したのち、その感度が大きくなるような炉心配置について検討し、最適化した。

9.2.4.2 着目感度の抽出

(1) 評価モデル

評価に用いる MCCI の組成は平成 26 年度に検討済みの組成 1) を用いた。計算体系は半径が 1 cm の MCCI デブリ球(含有するコンクリート体積はパラメータ)を面心立方格子状に並べ、面心立方格子の格子間隔を調整することで減速材対燃料比を調整するものとした。さらに、これらの格子を球状の領域で区切り、その外側に厚さ 30 cm の水反射体を設けた。球状領域の半径を変えることで臨界量を調整し、臨界近傍となる大きさを感度解析モデルとした。

(2) 計算コード

国産の核計算コード MVP2.0 は感度解析計算が出来ないため、MCNP6.1 を用いた。本研究では核データは JENDL4.0 を用いたが、この段階では ENDF/B-VII と JEFF3.2 の相互比較も行っている。

(3) 評価結果

コンクリート体積割合が 20 %及び 60 %に対する、減速材対燃料比 1 の臨界半径はそれぞれ 21.3 cm 及び 22.15 cm であった。いずれの場合でも、臨界に対するエネルギー積分感度のうちコンクリート固有の核種の上位となるものは、 ^{28}Si 、 ^{40}Ca および ^{39}K のいずれも吸収反応であった。これら 3 核種のうち、 ^{28}Si と ^{39}K の吸収反応感度のエネルギープロファイルはほとんど同じ形状であるので、 ^{28}Si と ^{40}Ca に着目して、STACY 更新炉実験炉心の検討と最適化を進めることとした。

核データの相互比較の結果、寄与の大きな感度を持つ核種・反応はほぼ同じであり、JENDL4.0 と ENDF/B-VII に関しては中性子エネルギーに対する感度プロファイルもほぼ同じであった。JEFF3.2 についてはこれら 2 ライブラリとピークの位置、高さがわずかであるが異なる結果が得られている。

9.2.4.3 最適化方法の開発

(1) 模擬燃料デブリの装荷方法

STACY 更新炉では模擬燃料デブリを付帯施設で調製できる。本研究では、ペレット状の模擬燃料デブリを調製し、棒状燃料と同じ鞘管に収めて棒状としたものを模擬燃料デブリサンプルとして装荷することとした。実験炉心の最適化に当たっては、その組成や本数に制限を設けることなく最適化を行った。

(2) IRSN の PROMETHEE ワークベンチ

実験炉心の最適化にあたっては IRSN の PROMETHEE²⁾ ワークベンチを使用した。PROMETHEE は多くの計算コード(SCALE、MCNP、MORET、MVP など)の入力ファイルをパラメータ化することができ、ECG(Efficient Global Optimization)のような最適化アルゴリズムが組み込まれている。この最適化アルゴリズムは可能な限り最良の設計に到達するために、入力パラメータ範囲の着目ゾーンにおける知識を反復的に引き上げる処理をする。しかしこの EGO アルゴリズムは、基本的にコード応答の制約を考慮せずに最小値或いは最大値を検索するように設計されている³⁾。これを改良した EC-EGO(Equality Constraint-EGO) アルゴリズムは、例えば炉心構成を維持しながら中速中性子核分裂反応率の最大化を求めるなどができる。これは 1 つのパラメータ x と観測可能な結果 $y(x)$ について次のようなステップを踏む。ここで X は計算が実行される x 値、 $Y(X)$ は対応する結果を示す。

- ステップ 1: 任意の X_i 値を Random に計算し、計算を実行し $Y(X_i)$ を得る。
- ステップ 2: ガウス過程による結果の補間
- ステップ 3: 評価 $E[y(x)] > \max[Y(X_i)]$
- ステップ 4: $E[y(x)] > \max[Y(X_i)]$ が最大となる新しい X_i を選択
- ステップ 5: ステップ 2 から 4 の繰り返し

(3) 模擬燃料デブリ装荷パターンの最適化

STACY 炉心配置への模擬燃料デブリサンプルの装荷パターンは、新たに開発した R 関数で自動的に行われる。これは正方格子内にサンプルを均一に配置することを目的とするもので、再現性がある。ラテン超方格法(LHS)を使用して 0 と 1 の間の数値をサンプリングし、標本サイズは格子の大きさに等しく、各点間の距離を最大化する。この関数はグリッドをスキャンして 1 つの点があるかないかをチェックし、格子内の燃料デブリサンプルの割合 (w) によって通常燃料もしくは燃料デブリサンプルの番号を与える。この関数は MCNP 入力インプットに書き込まれ、PROMETHEE が読み込みこれを実行する。この手法は完全な一様分布ではないが、それに近いものである。

9.2.4.4 1 領域炉心の検討

(1) 1 領域円筒炉心による最適化モデル

はじめに、1 領域円筒炉心モデルを用いることで、STACY 更新炉で得られうる最大の積分感度について評価された。これは、上記の R 関数によって与えられる燃料デブリサンプルの装荷パターンを矩形格子に当てはめ、これを円筒状の領域で区切ることにより炉心配置を得るものである。この円筒形状は内包する矩形格子の形状及び大きさに依らないため、一部の棒状燃料或いはサンプルの形状が非現実的に切り取られる形となる。

最適化のパラメータは燃料デブリサンプル中のコンクリート体積割合(CVF: 0.01-0.99)、格子間隔(P: 1-3 cm)、円筒炉心の半径(R: 3-31 cm)、そして R 関数に与えるサンプル割合(w: 0.1-0.9)である。減速材である水の実効水位は 130 cm で固定とした。CVF と w の変化によりサンプル量が多くなると感度が上がるが、燃料の割合が相対的に減るために臨界とならなくなる。

最大の ^{28}Si 吸収反応の積分感度 -2.2×10^{-2} が得られたのは CVF=0.99、P=1.0、R=31、w=0.87 の場合であった。本検討から得られた知見として、サンプル量が多いほど感度が大きくなることに加えて、格子間隔を小さくした方が大きな積分感度が得られることがわかった。

(2) 1 領域矩形炉心による最適化モデル

(1)で得られた最大感度の推定値に対し、現実的な 1 領域矩形炉心において少数本の燃料デブリサンプルを用いて最適化パラメータの感度へのインパクトと相互相関を確認した。

2020 年度の STACY 更新炉初臨界時に用意される予定である(2017 年 4 月時点)格子間隔 1.27 cm および 1.50 cm の炉心配置を最適化の基準炉心とした。これらの格子間隔で組まれた矩形炉心は、実効水位 130 cm に対して燃料棒本数 441 本、277 本程度で臨界となる。これらの炉心中央 13×13 領域の中性子束密度は空間分布がほとんど見られない平滑なものである。

これら 2 つの基準炉心に対して燃料デブリサンプル棒を 1、9、25、49、85 本と燃料棒と置換で炉心中央 13×13 領域に装荷した。最適化のパラメータはコンクリート体積割合(CVF)と格子間隔(P)である。

最適化パラメータと感度及び実効増倍率 k_{eff} に対する相関をみると、サンプル本数と CVF が積分感度に対して強い相関を持っていることがわかる。本評価で得られた最大の ^{28}Si 吸収反応の積分感度は -1.8×10^{-3} (CVF=0.99、P=1.38、85 サンプル、441 本配置)であり、(1)で得られた最高値より 1 桁小さい。さらに積分感度の値を大きくするためにはサンプル数を増やすことが必要であるため、次にサンプル本数を増やしたモデルの評価を行った。

サンプル本数を増やした評価では、全炉心に対するサンプルの割合(w)を 0.5 或いは 1.0 に固定し、炉心を大きくすることによって実施した。パラメータは CVF と P である。全炉心の半数がサンプル棒である w=0.5 のケースでは、961 本の炉心に 481 本のサンプルを装荷した場合に最大の ^{28}Si 吸収反応の積分感度 -4.0×10^{-3} が得られている(CVF=0.99、P=1.35)。一方、全数がサンプル棒となる w=1.0 のケースでは、同じく 961 本の炉心の場合に最大の感度 -9.4×10^{-3} が得られた(CVF=0.79、P=1.22)。しかしながら 961 本のサンプル棒を作るのは予算や核物質の管理の点から現実的ではなく、w=0.5 のケースのように CVF の値は可能

な限り 1 に近づけるのが良いものと考えられた。そのため、次に $CVF=1$ とした場合の妥当性について評価した。

(3) サンプル棒の最適化

(2)の結果を受けて、サンプル棒のコンクリート割合についての評価を行った。実際には、成型加工の制約から、体積割合 35%を超えるようなシリサイド系の UO_2 燃料を調製することが難しいことも背景にある。この制約を考慮すると、 CVF の取りうる値は 0.01-0.35 及び 1.00 となる。この $CVF=1.00$ の場合はコンクリートのみのサンプルを示し、これを用いることは解決策のひとつである。

炉心構成は引き続き 277 本(49 サンプル、 $P=1.27$ cm 固定)及び 441 本(85 サンプル、 $P=1.50$ cm 固定)の 2 つに対して、サンプルの CVF をパラメータとして値を 0.10、0.25、0.50、0.75、0.99、1.00 とした場合について、 ^{28}Si 、 ^{40}Ca の吸収反応の積分感度の変化と核分裂性核種 ^{235}U 及び ^{238}U の感度をサンプル中、サンプル外に分けて評価した。この計算は、核データインデックスを書き換えることにより、同じ元素でも使用する部位によって別の感度として出力させている。いずれも ^{28}Si の吸収反応の積分感度は CVF の値の増加によって大きくなり、 $CVF=1.00$ の時に最大となった。一方で、サンプル外の燃料に含まれる核分裂性核種の核分裂、吸収反応の感度も CVF 増加とともに大きくなっている。これは、臨界を達成するためにインポートランスが大きくなっていることを示唆するものである。これらの核分裂吸収反応の感度プロファイル形状は CVF が変わってもほぼ同じであった。

中性子束密度のスペクトル変化についてもあわせて調査を行った。 CVF が増加すると中性子の減速効果も高まるため、中性子束は熱化する。しかしながら、格子間隔を変えることにより減速材対燃料比を変えた場合の熱化の傾向と区別することは難しかった。

上記の結果から、得られる積分感度を上げる観点で $CVF=1.00$ 、すなわちコンクリートのみのサンプルを使うことは有用である。但し、コンクリートと核燃料の混合物中における核分裂反応率を実験により評価するためには、少数体の模擬燃料デブリ作製による照射とロッドスキャンによる核分裂生成物の測定は別途必要であると考える。

9.2.4.5 多領域炉心の検討と最適化

(1) 評価モデルの概要

1 領域炉心の評価により、大きな積分感度を得るためには格子間隔を小さくし、コンクリート体積割合を増やす方向性であることがわかった。後者については必要に応じてコンクリートのみのサンプルを用いることで解決が図れるが、前者については、格子間隔を小さくすると臨界に必要な燃料が多く必要となり、炉心が成立しないという課題があった。そこで、実験に必要な減速材対燃料比を実現してサンプル棒を装荷するテスト領域と、テスト領域を含めて実験炉心を臨界状態にさせるためのドライバ燃料領域、テスト領域とドライバ燃料領域の間に位置し、中性子スペクトルを調整するバッファ領域からなる多領域炉心の検討を行った。このうち、**PROMETHEE** によって最適化するのはテスト領域とドライバ燃料領域からなる 2 領域炉心であり、バッファ領域については必要性を検討の上、必要であれば追加することとした。最適化のために用いたパラメータはテスト領域及びド

ライバ燃料領域の格子間隔(P1、P2)及び領域の大きさ(D1、D2)、テスト領域のサンプル装荷割合 w、及びサンプルのコンクリート体積割合(CVF)を同時に最適化した。

(2) 最適化の結果と再整形

最適化の結果、実効増倍率が 1 以上となり、 ^{28}Si 吸収反応の積分感度が大きいもの、P1 が異なるものから複数の炉心構成及びパラメータの組み合わせを 8 炉心抽出した。テスト領域の大きさは 25×25 (P1=1.00)、 21×21 (P=1.00 及び 1.15)、 15×15 (P1=1.50)である。ただし、これら PROMETHEE の最適化結果は、テスト領域とドライバ燃料領域の間、ドライバ燃料領域の外縁部に燃料棒形状ではない非現実的な燃料領域がある場合があり、これを通常の燃料棒の配列とする再整形作業を実施した。この作業は、作業前後の燃料の体積を保持する方法と、作業前後の実効増倍率を保持する方法の双方が検討され、積分感度の変化が少なかった後者の作業方法を選択した。

さらに、R 関数が与えたサンプル燃料の配置は一樣ではあるが、実際に実験を行うためには複雑すぎるため、いくつかの定型パターンを構築して置き換えることとした。PROMETHEE が最適化した装荷本数近傍となるよう定型パターンを調整した。

上述したバッファ領域の設置については、テスト領域と同じ格子間隔を持ち通常燃料のみで構成される 2 もしくは 3 周の領域の設置を検討した。しかし、テスト領域には多くのコンクリートサンプルが装荷されており、ドライバ燃料領域に近い程度に中性子束が熱化されていることから、バッファ領域を設置するとテスト領域の外周部のスペクトルが硬化してしまい逆効果であることがわかった。そのためバッファ領域の設置はなしとした。

(3) 実験的制約の考慮

これまでの最適化に関しては、実際の運転許可条件や炉心構成の条件など、非現実的な条件も含めて最適化を行ってきた。最適化を完了し、実験炉心案を作るにあたり、実験的制約について考慮を行った。実験的な制約には次のようなものがある。

- i) 燃料棒本数: 2021 年度まで現存の 400 本以下、2021 年度以降新規調達 900 本以下
- ii) 減速材対燃料比(V_m/V_f): 0.9-11.0 (全炉心平均)
- iii) コンクリート体積割合: 0.00-0.35、1.00 ※焼結装置のシリサイド燃料実績ベース
- iv) ボイド置換反応度(Δk_{eff}): $10 < \Delta k_{\text{eff}} < 500 \text{ pcm}$
- v) 予算: 今後の検討課題とする
- vi) 実験期間: 今後の検討課題とする

このうち ii)に関しては、テスト領域の格子間隔 1.00 cm は $V_m/V_f=0.55$ となるが、ドライバ領域と平均すると条件の範囲内になる。iv) に関しては、通常今回のような積分実験では照射試料の有無での臨界水位測定による反応度導出を行うので、照射試料なし(ボイド管装荷)の炉心との水位差が有意なものかつ大きすぎないものである必要がある。STACY 更新炉の水位計の誤差設計値が $\pm 0.2 \text{ mm}$ であることから、最小水位差については 0.5 mm 以上あればよいと考える。一方、最大水位差については、IRSN が Valduc の実験施設でこれまで得ている実験知見により、不確かさを軽減するためには燃料棒の有効長の 3/4 は少なくとも冠水させることが求められる。STACY の棒状燃料要素の有効長は 1420 mm であるので、

実効水位は概ね 1100 mm 以上が望ましい。STACY 更新炉で臨界が取れる実効水位は 400 ～1400 mm の間のため、今回の最適化において実効水位は 1300 mm で固定したことから± 100 mm の水位差となることが望ましい。選択した 8 炉心の反応度添加率はサンプル装荷炉心、ボイド炉心ともに 20～50 pcm/mm 程度である。それゆえ、pcm 単位で許容範囲を示すと 10～500 pcm となる。

(4) 最適化の最終結果

(3)に示した実験的制約を考慮した結果、表 9.2.4-1 に示す減速材対燃料比の異なる 3 炉心構成が得られた。炉心構成は同じく図 9.2.4-1 に示される。 ^{28}Si 吸収反応の積分感度の最大値は -9.0×10^{-3} であり、これは 9.2.4.4(1)で評価した理論上の最高値に対して 4 割程度にとどまる。実験に必要なコンクリートサンプル本数は最大 550 本程度となる。

表 9.2.4-1 最適化した STACY 更新炉の実験炉心の諸元

テスト領域 サイズ	k_{eff}	^{28}Si 吸収 反応積分感度*	^{40}Ca 吸収 反応積分感度*	サンプル棒 本数	燃料棒 本数	V_m/V_f (テスト領域)	V_m/V_f (炉心平均)	$\Delta k_{\text{eff}} [\text{pcm}]$ ($k_{\text{eff_void}} - k_{\text{eff_sample}}$)
25x25	1.00420	-9.0E-03	-2.4E-03	544	277	0.55	2.71	-319
21x21	1.00298	-7.7E-03	-2.0E-03	372	249	1.16	2.93	-270
15x15	1.00482	-3.2E-03	-8.2E-04	140	225	2.92	7.82	-258

*吸収反応の積分感度は負の値となる

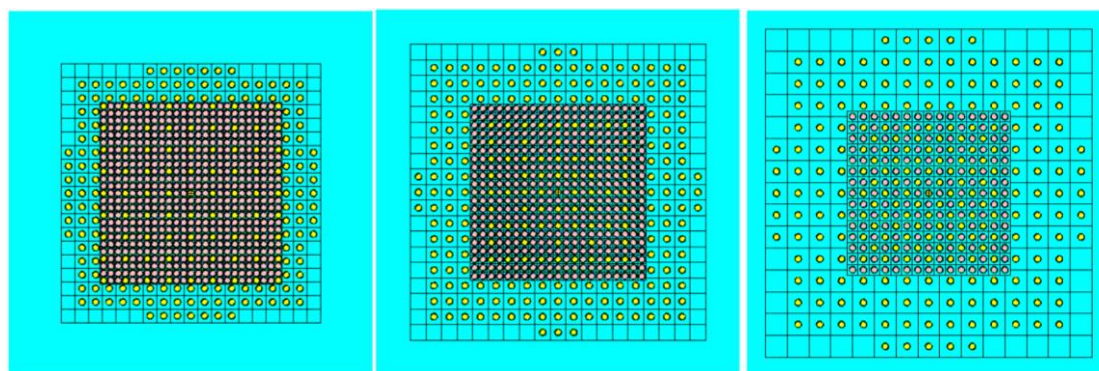


図 9.2.4-1 最適化した STACY 更新炉の実験炉心配置（左から 25x25、21x21、15x15）

9.2.4.6 まとめと今後の予定

(1) まとめ

仏 IRSN との共同研究の一環で、MCCI 生成物の臨界特性を評価するための実験炉心案を策定した。炉心最適化に際しての目標は、MCCI に固有に含まれるコンクリートの成分である ^{28}Si や ^{40}Ca の吸収反応の積分感度を大きくすることである。炉心の策定及び最適化には IRSN の PROMETHEE ワークベンチを用い、格子間隔や格子サイズ、模擬燃料デブリサンプル組成・本数をパラメータとした。最適化に際して、各パラメータの積分感度との相

関や、模擬燃料デブリ組成に関する考察を行い、最終的に 3 つの減速材対燃料比が異なる実験炉心構成を得た。

(2) 今後の予定

本研究で最適化した実験炉心を用いた Zero Experiment は STACY 更新炉の初臨界後の 2020 年度から順次実験を始める予定で詳細計画の立案を進める。

また、本研究では MCCI 生成物に対する実験炉心の最適化を行ったが、今後別の組成の燃料デブリ、例えば Zr、Fe 混合物などに対する炉心の最適化も、今回構築した炉心最適化フローに沿って実施することで合理的に策定ができる。

参考文献

- 1) Kotaro Tonoike, et al., “Criticality Characteristics of MCCI Products Possibly Produced in Reactors of Fukushima daiichi Nuclear Power Station,” proceedings of ICNC2015, Charlotte, USA, 2015.
- 2) <http://promethee.irsn.org>
- 3) Y. RICHET, et al., “Using the Efficient Global Optimization Algorithm to Assist Nuclear Criticality Safety Assessment”, Nuclear science and engineering, 175(1), 1-18 (2013)

9.2.5 TMI-2 事故の知識マネジメントに係る日米会合

(1) 会合概要

本会合は、TMI-2 事故対処の経緯とその背景にある判断を一括して日本に伝達するものであり、平成 28 年（2016 年）10 月 11 日（火）から 13 日（木）に米国アイダホ国立研究所（INL）で開催された。米国原子力規制委員会（NRC）が主催し、実際に対処した元検査官、事業者技術者、エネルギー省（DOE）研究者が講演した。日本からは資源エネルギー庁、東京電力、原子力損害賠償廃炉等支援機構、国際廃炉研究開発機構 IRID、原子力規制庁、日本原子力研究開発機構（JAEA）、在米大使館の約 30 名が参加した。なお、JAEA からの参加者は、それぞれが従事するプロジェクトに応じて、IRID と原子力規制庁と連携して参加した。

(2) 目的

本受託事業に資する調査として、燃料デブリの性状把握の実状、臨界管理手法決定に至るまでの経緯について新たな情報を聴取することを目的とする。

(3) 聴取内容

米国側からの説明のうち燃料デブリ性状把握に関するものは、主に取り出し工程における工具・装置の設計に必要なものに集中した。つまり、巨視的な密度や硬さ等である。一方で、現在の TMI-2 炉内にも最小臨界量を超える燃料デブリが存在すると考えられている。しかし、様々な場所に分散して、構造材に安定な状態で固着し、ホウ素を含まない水中においても臨界となるような状態変化は起き得ないとされている。これが燃料デブリ取り出しを終了する重要な判断であった。現在までにさらに、1 次系冷却水も抜かれており、TMI-2 に残存する燃料デブリは気中（ドライ条件）に存在するとのことであった。

TMI-2 燃料デブリの臨界管理手法に係る決定については、NRC は正常な原子力施設と同様に臨界の可能性が無いことを要求し、厳守すべき 1 次系冷却水中のホウ素濃度を決定した。この経緯は、平成 25 年度原子力発電施設等安全調査研究委託費（臨界解析コードの信頼性向上に向けた調査）事業において調査し報告しているとおりであった。出張者は、会合で、福島第一原子力発電所（1F）では、冷却水中の中性子毒物濃度を管理できない場合に臨界リスクを考慮した臨界管理が必要となることを説明し、TMI-2 と 1F の状況の相違を強調した。

この会合では、U.S.NRC, "Three Mile Island Accident of 1979 / Knowledge Management Digest," NUREG/KM-0001 Rev.1, June 2016 が米国から日本に配布された。4 枚の DVD となる文書データベースである。また、INL の TMI-2 燃料デブリ保管施設も見学した。

(4) 成果

上記の平成 25 年度事業報告に付け加えるべき新情報は、TMI-2 の現状の 1 次冷却系は圧力容器も含めてドライ条件であり、そこに残存する燃料デブリは状態変化があっても臨界になり得ないことである。また、NUREG/KM-0001 内のある文書は、燃料デブリ取り出しに際して、臨界監視の必要性について NRC と事業者の間で議論があったことを示しているが、結局、ホウ素濃度管理のみが行われた。

9.3 実験用水位計の設計検討

9.3.1 目的及び概要

(1) 目的及び概要

STACY 更新炉の炉心タンク内水位を高精度で計測する実験用水位計を製作するため、事前概念検討及び基本設計を行った。

STACY 更新炉は、炉心タンク内の水位を調整することによって反応度を制御する臨界実験装置（原子炉）であり、この制御方式は、現行の STACY と同様である。このとき、現行の STACY は、電導度の高い溶液燃料を使用していたため、電導度変化といった精度の高い水面検出方式（計測精度 $\pm 0.2\text{mm}$ ）を利用することが可能であったが、STACY 更新炉では電導度の低い軽水を用いるため、電導度変化式を使用できない。このため、STACY 更新炉の基本的な水位検知には、フロートによる水面検知方式を採用する計画としているが、このフロート式の水面検知器は、確実な動作が期待できるものの、電導度変化式の水位計より計測精度が劣る（ $\pm 1.5\text{mm}$ ）。以上のことから、STACY 更新炉で使用可能かつ高精度で計測できる実験用水位計の設計検討を実施した。

(2) 要求される性能

STACY 更新炉の実験用水位計に要求される性能を以下に示す。

- ・ 軽水が計測できること
- ・ 計測精度が高いこと（目標精度： $\pm 0.2\text{mm}$ ）
- ・ 軽水の温度範囲（ $20\sim 70^{\circ}\text{C}$ ）で使用可能であること
- ・ 計測範囲は $400\sim 1400\text{mm}$ 以上であること

(3) 要求事項に対する検討の流れ

上記（2）の要求性能を満足させるため、まず、炉心タンクの水面（軽水）を検知可能な方式の選定を行う。この選定に当たっては、各種計測器の特徴、精度、使用温度範囲、測定範囲等の比較検討を行う。次に、選定した方式によって正確に水位を計測できる具体的な機器の選定を行う。さらに、選定した機器を組み込んだ実験用水位計の基本設計とともに、STACY 更新炉への適用確認を行う。

具体的な検討内容及びその結果を以降に示す。

9.3.2 成果報告

9.3.2.1 検出器の要求条件

- ・ 計測精度： $\pm 0.2\text{mm}$ 以下（目標）
- ・ 計測対象：STACY 炉心タンク内の水位（軽水）
- ・ 対象（水）の温度： $20\sim 70^{\circ}\text{C}$ （湯気の影響あり）
- ・ 計測雰囲気温度： $20\sim 70^{\circ}\text{C}$
- ・ 計測範囲： $400\sim 1400\text{mm}$

- ・耐放射線性
- ・校正の容易性
- ・炉心タンク周りに据付け可能な大きさ、重量、形状とする

9.3.2.2 各種センサーの比較

水面を検出するセンサーには圧力式、超音波式、レーザー式など様々なセンサーがある。各センサーの特徴を以下に示すとともに、計測精度、計測範囲、使用温度範囲についての比較結果を表 9.3.2.2-1 に示す。

(1) 静電容量式

静電容量式では空気と液体の誘電率の違いを利用し、静電容量を求めて液位を計測する。液位に比例して静電容量は大きくなる特性をもつ。設置、保守が簡単であり、温度、圧力など使用可能範囲が広く、安価であるため幅広く使用されている。しかし、温度変化等によって誘電率が変化すると誤差が生じる可能性がある。

(2) 圧力式

液体の密度が一定であれば、液位に比例した圧力（水頭圧）を求めることができる。圧力式では、この水頭圧の計測により液位を算出する。ただし、温度分布があるような液体の密度が一定でない条件下では誤差が生じやすい。また、高温、高圧といった過酷な環境では使用できない。

(3) 超音波式

超音波式は、超音波の受発信の時間差から液位を計測する方式である。反射する媒体であれば検出できるため、液体の種類を選ばない。しかし、粉塵などの障害物が多く飛散している状況下では使用できない。また、真空中においても使用できない。

(4) 電波式

電波式は、超音波式と原理が似ており、電波の受発信の時間差から液位を計測する方式である。超音波式との相違点は、真空中でも使用が可能であることである。また、高温、高圧等の過酷な環境下でも使用が可能である。

(5) レーザー式

レーザー式とは、レーザー光を照射して、その反射光から位相差を求め、距離を検出する方式である。超音波式は音波が放射状に拡散するため、障害物等で計測できないことがあるが、レーザー式は直進するレーザーにより、障害物が多い空間で使用することが可能である。他の計測機器に比べ高精度である。

レーザー式には、長距離用と短距離用があり、長距離用は水等の透明物体の計測は不可能であるが、一部の短距離用は可能である。

表 9.3.2.2-1：各種センサーの比較

番号	計測方法	計測精度 (mm)	使用温度 範囲(℃)	計測範囲(mm)	型式例 (メーカー)
1	静電容量式	±3%F.S	-10～60	100～1600	CM300 (ノーケン)
2	圧力式	±0.5%F.S	-20～70	0～3000	MPL シリーズ (山本電気工業)
3	超音波式	±0.25%F.S	-20～50	300～3000	LU-01 (ノーケン)
4	電波式	±3	-40～150	458～3000	KRG-10 (東京計器)
5	レーザー 短距離用	±0.02%F.S	0～50	59.1～91.2	LK-H082 (キーエンス)
6	レーザー 長距離用	±0.5ppm	0～40	0～8.0×104	XL-80 (レニショー)

9.3.2.3 実験用水位計で用いる計測器の選定

表 1-1 に示すとおり、精度が高い測定方式はレーザー式であるため、センサーはレーザー式を選定する。ただし、使用温度範囲が要求条件（～70℃）を満たしていないことから、モックアップ試験で確認することとする。

9.3.3 計測方法と使用条件の検討

前項で選定したレーザー式を用いた炉心タンク水位の計測方法を検討する。また、目標精度で計測できる条件（温度範囲、計測長さ等）について把握する。検討に当たっては、以下を考慮する。

- ・ 機器全体での計測精度：±0.2mm
- ・ 炉心タンク内水位計測範囲：400～1400mm
- ・ 設置場所：炉心タンク内又は外
- ・ 測定対象（水）温度：20～70℃

- ・計測雰囲気温度：20～70℃
- ・故障時の安全性：最大添加反応度 30 セント以下
- ・炉心タンクや実験架台等、実機との取合い及び整合性
- ・装置全体の校正（高精度維持）の容易性

9.3.3.1 計測方法の検討

9.3.3.1.1 計測方法の検討 I (水面計測方法)

レーザー式には長距離用（レーザー測長器）と短距離用（レーザー変位計）があることから、これらの特徴を活かした方式を採用することとする。このレーザー式を用いた計測方式としては、次の 2 種類の方法が考えられる。計測方法の概略図を図 9.3.3.1-1 に示す。

(1)レーザー測長器でフロートを計測する方法

本方式は、炉心タンクの上部にレーザー測長器を設置し、フロートまでの距離を直接測定する方式である。このフロートまでの距離の計測においては、フロートにレーザーの反射鏡を設置する必要がある。このとき、炉心タンクへの給水や空調等の影響による水面揺動があるとフロートの反射鏡も揺れることになる。レーザー測長器は、反射鏡からのレーザー光が受光部から一度でも外れると測定エラーとなり、その時点で計測不可能に陥るという欠点がある。このため、実験中に計測不可能となる可能性が大きい本方式は適用不可である。

(2)レーザー変位計で水面を計測し、レーザー変位計で水位を計測する方法

レーザー変位計は水面を計測することが可能である。また、レーザー測長器は測定対象が適切であれば距離を正確に測定することが可能である。これらのことから、レーザー変位計及び測長器を組み合わせた方式であれば適用可能である。

(1)は実験中に計測不能となることが考えられるが、(2)の方法であれば高精度での計測が可能である。このため、(2)の方式にて以降の検討を行う。

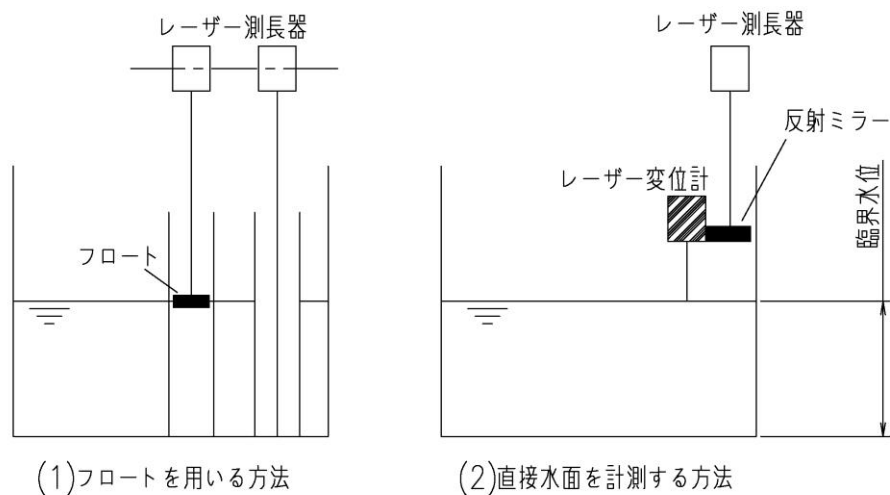


図 9.3.3.1-1 水位計測方法概略図

9.3.3.1.2 計測方式の検討Ⅱ(レーザー変位計の位置測定方法)

レーザー変位計は、計測範囲が短い(例：59.1～91.2mm)ため、水面近くに設置しなければならない。この場合、レーザー変位計自体の位置(高さ)を別のレーザー測長器等を用いて正確に計測する必要がある。このとき、レーザー測長器は熱膨張の影響を受けないよう考慮する必要がある。このことから、以下の2種類の方法が考えられる。

(1)レーザー測定器2台(レーザー変位計1台とレーザー測長器1台)を使用する方法

レーザー測定器を2台使用する計測方法の概略図を図9.3.3.1-2に示す。レーザー測長器は、炉心タンク内の温水の影響を受けないように、安全板駆動装置架台(炉心タンクから離れた場所)に設置し、レーザー変位計までの距離を計測する。

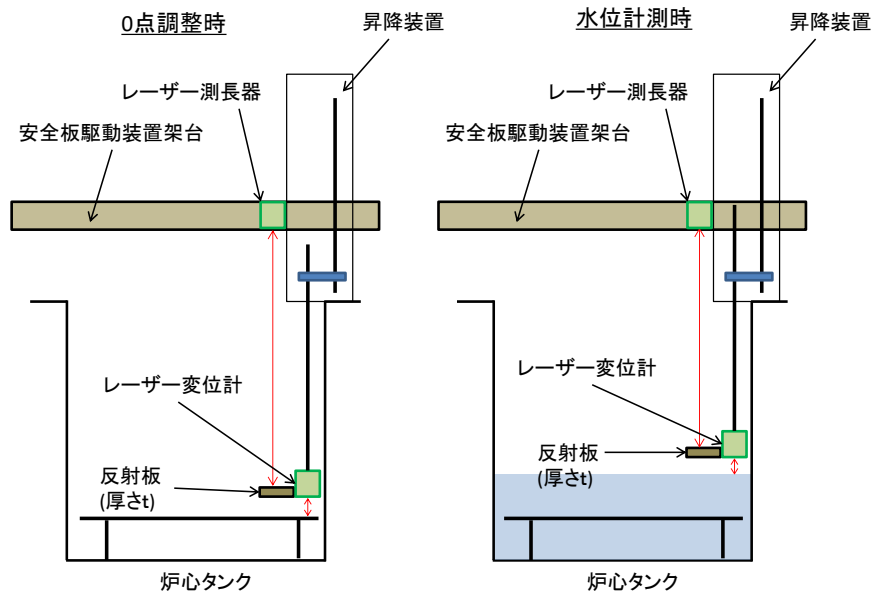


図 9.3.3.1-2 水位計測方法概略図(レーザー測定器 2 台)

(2)レーザー測定器 3 台(レーザー変位計 1 台とレーザー測長器 2 台)を使用する方法

レーザー測定器を 3 台使用する計測方法の概略図を図 9.3.3.1-3 に示す。レーザー測長器①を水位計本体に設置し、レーザー変位計までの距離を計測する。ただしレーザー測長器①は炉心タンクや水位計本体の熱膨張の影響を受ける。このためレーザー測長器①の熱膨張を補正するため、さらにもう 1 台のレーザー測長器②を設置する。レーザー測定器を 3 台使用することから、(1)の方法に比べて精度が劣る。

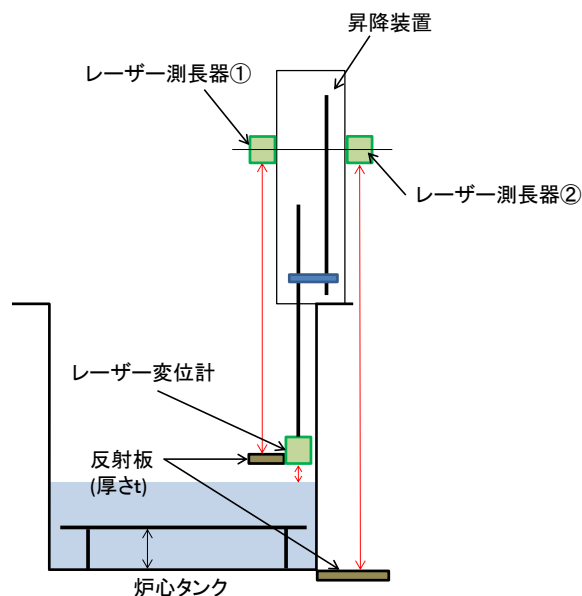


図 9.3.3.1-3 水位計測方法概略図(レーザー測定器 3 台)

(2)の計測方法は、構造が複雑となり、測定器が増える分、(1)と比べて精度が劣る。このため、(1)の方式を採用する。

9.3.3.1.3 レーザー測定器の選定

本項では、実際に採用するレーザー測定器の選定を行う。測定器を選定するに当たっての要求事項を以下に示す。

- ①レーザー変位計：高精度で水面を計測できること
- ②レーザー測長器：高精度で長距離(2m以上)を計測できること

表 9.3.3.1-1 のレーザー測定器比較表より、次の測定器を選定した。

(1)レーザー変位計

- ・キーエンス製 LK-H082 (基準距離：76.7m、測定範囲：+14.5mm ～ -17.6mm)
- ・キーエンス製 LK-H152 (基準距離：147.5mm、測定範囲：+24.4mm ～ -39.5mm)

水面を直接測れるレーザー変位計は、キーエンス製の LK-H082 と LK-H152 の 2 種類だけであった。これら 2 種類のレーザー変位計の違いは、基準距離及び測定範囲に伴う計測精度である。レーザー変位計については、計測精度の高い LK-H082 を選定する。

(2)レーザー測長器

- ・レニショー製 XL-80 (計測範囲：0 ～ 80m)

安全板駆動装置架台からレーザー変位計までの長距離(2m以上)を高精度で計測できる測長器として、レニショー製の XL-80 を選定した。

XL-80 による計測においては、図 9.3.3.1-4 に示すとおり、位置決め反射鏡と位置決め光線分光機が必要となり、位置決め反射鏡と位置決め光線分光機の間の変位量を計測する。リアルタイムで温度、湿度を計測し、変換器（環境補正ユニット）を用いて計測結果を補正する。本計測器の欠点として、位置決め反射鏡からレーザーが外れた場合に再度 0 点リセットが必要となるが、高精度での計測が可能である。

本検討では、レーザー変位計までの距離を計測できるレーザー測定器をレーザー測長器としていたが、選定した XL-80 の計測方式が分光干渉法であるため、次項より「レーザー測長器」を「レーザー干渉計」と呼称する。

表 9.3.3.1-1 レーザー測定器の比較表

	メーカー	型式	測定原理	計測範囲	精度	使用周囲温度	使用周囲湿度	水面計測
変位計	キーエンス	LK-H082	三角測距法	基準距離：76.7mm +14.5mm, -17.6mm	直線性：0.02% of F.S. (F.S.=36mm) 繰り返し精度：0.1μ m	0～50℃	35～85%	○
	キーエンス	LK-H152	三角測距法	基準距離：147.5mm +24.4mm, -39.5mm	直線性：0.02% of F.S. (F.S.=80mm) 繰り返し精度：0.25μ m	0～50℃	35～85%	○
	キーエンス	LK-G500	三角測距法	基準距離：500mm +500mm, -250mm	直線性：0.1% of F.S. (F.S.=250mm) 繰り返し精度：2μ m	0～50℃	35～85%	×
	オプテックス	CD5-L85	三角測距法	基準距離：85mm ±20mm	直線性：0.05% of F.S. (F.S.=40mm) 繰り返し精度：1μ m	-10～50℃	35～85%	×
	オプテックス	CD5-W2000	三角測距法	基準距離：2000mm ±500mm	直線性：0.1% of F.S. (F.S.=1000mm) 繰り返し精度：1μ m	-10～50℃	35～85%	×
	北陽電機	PNXシリーズ	透過法	0～70m	— ※検知専用	-25～55℃	35～85%	×
測長器	レニショー	XL-80	分光干渉法	0～80m	50ppm	0～40℃	0～95%	×
	小野測器	LV-9002	分光干渉法	—	直線性：0.1% of F.S.	5～40℃	30～80%	×
	光コム	光コム距離計	分光干渉 Time-of-Flight	0～5m	1μ m/5m	—	—	×
	オプテックス	DT50-N1123	Time-of-Flight	0～10m	±10mm	-40～65℃	—	×

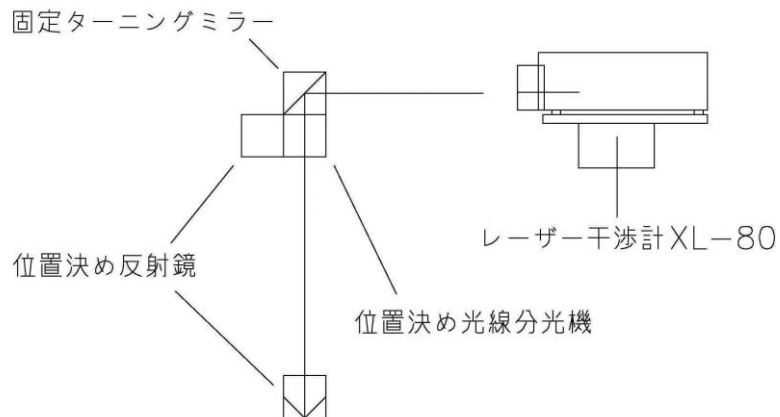


図 9.3.3.1-4 XL-80 の計測概略図

9.3.3.1.4 実験用水位計設置位置の検討

これまでの検討から、レーザー干渉計を安全板駆動装置架台に取付け、レーザー変位計を上下させる機構を炉心タンク内に設置する。これらの位置関係を考慮し、実験用水位計の取付け方位は炉心タンク東側の核計装配管の間(図 9.3.3.1-5 参照)とした。具体的な理由を下記に示す。

- ・西及び南側には最大給水制限スイッチ及び給水停止スイッチがあり、実験用水位計を取り付けるスペースがない。
- ・北側は安全板及び安全板駆動装置のガイドフレームがあり、実験用水位計を取り付けるスペースがない。

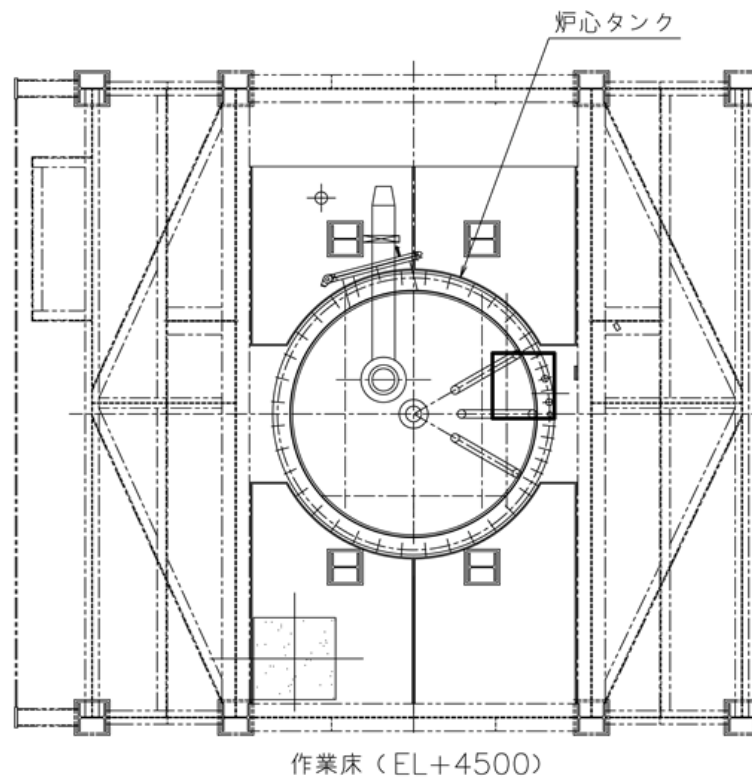


図 9.3.3.1-5 実験用水位計設置位置図

9.3.3.1.5 二つのレーザー計測器の測定値からの水位換算方法

二つのレーザー計測器の測定値から、水位換算の考え方を図 9.3.3.1-6 に示す。

また、レーザー変位計とレーザー干渉計は非接触及び変位量を計測する機器であることから、最初に基準距離の設定や 0 点リセットをしなければならない。下記に各レーザー測定器の初期設定について示す。

(1) レーザー計測器からの測定値

- ・ レーザー変位計：LK-H082

レーザー変位計の測定値は、基準距離(カタログ値：76.7mm)からの変位量(+14.5mm ～ -17.6mm)である。

- ・ レーザー干渉計：XL-80

レーザー干渉計の測定値は、位置決め光線分光器から位置決め反射鏡までの変位量である。このため、レーザー変位計を炉心タンク底面まで下した位置（基準距離）で 0 点リセットを行う必要がある。

(2) 水位換算方法（手順）

- ① レーザー変位計を炉心タンクの底面付近まで下降させ、レーザー変位計がおおよそ 0mm となった位置で、レーザー変位計及び干渉計を 0 点リセットする。
- ② 給水後の計測したい水位まで、レーザー干渉計の指示値により、レーザー変位計を上昇させる。
- ③ 炉心タンクに給水後、それぞれの計測値を記録する。
 - ・ レーザー変位計：変位量 Δx
 - ・ レーザー干渉計：変位量 ΔL
- ④ 炉心タンク水位 L_c は、 $\Delta L + \Delta x$ となる。

9.3.3.1.6 実験用水位計基本構造の検討

(1)実験用水位計の全体構成

実験用水位計は、各構成機器を炉心タンク内、安全板駆動装置架台及び実験装置架台の3箇所に設置することになる。それぞれの場所に設置する機器及び全体構成について図 9.3.3.1-7 に示す。

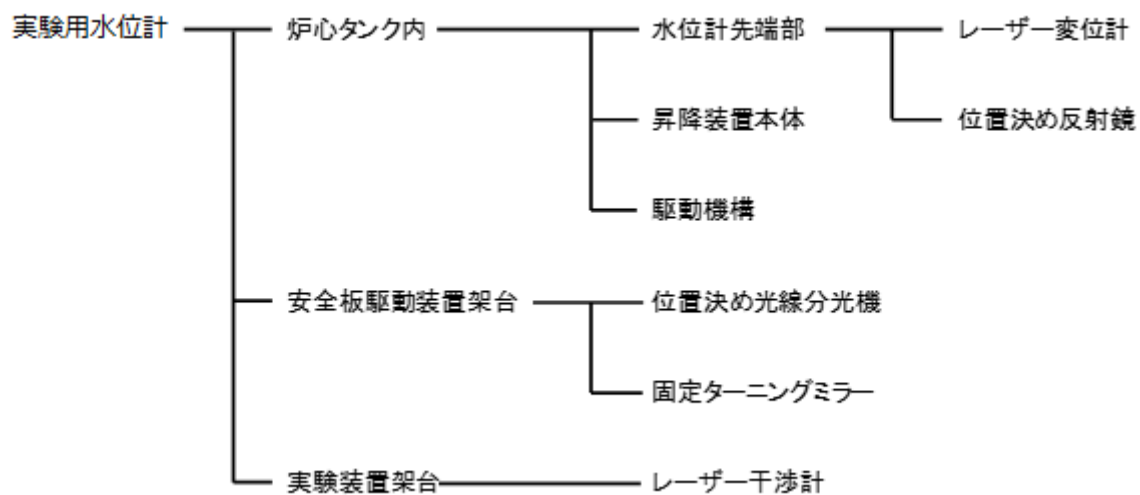


図 9.3.3.1-7 全体構成図

(2)実験用水位計の先端部構造

実験用水位計の先端部には、レーザー変位計と位置決め反射鏡を取り付ける。このとき、先端部は核計装用配管の間を降下するため、干渉しない大きさにする必要がある。実験用水位計先端部の構造を図 9.3.3.1-8 に示す。

レーザー変位計の先端と位置決め反射鏡の底面は、ほぼ同じ高さになるよう配置する。STACY 更新炉の軽水の使用温度範囲による湯気の影響を考慮し、必要に応じてエア吹付け機構を取り付ける構造とする。このエア吹付け機構の可否については、別途計画するモックアップ試験で確認する。

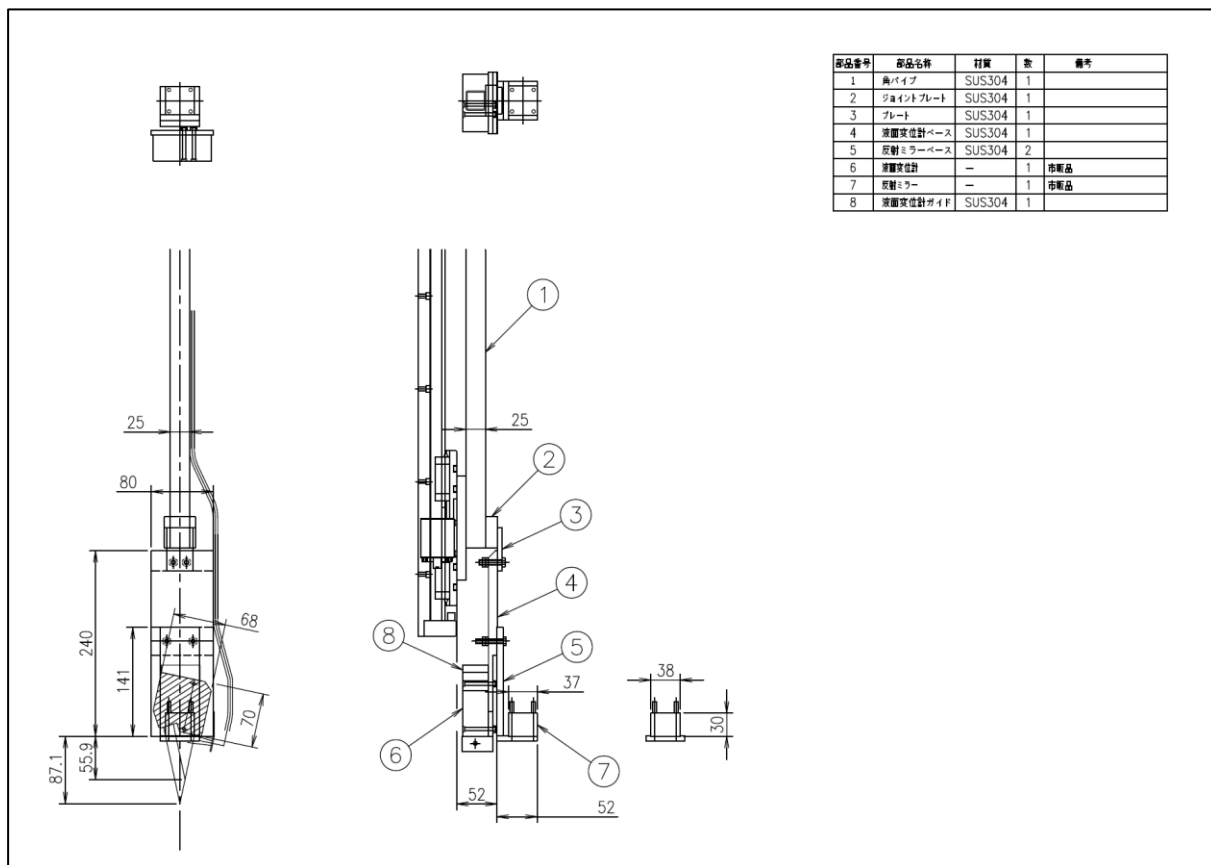


図 9.3.3.1-8 実験用水位計先端部構造図

(3)昇降装置本体の構造検討

レーザー変位計と位置決め反射鏡を取り付けた実験用水位計先端部の昇降装置について、構造検討を行う。昇降方式には、「電動式」と「手動式」が考えられる。それぞれの方式における長所及び短所を表 9.3.3.1-2 に示す。

表 9.3.3.1-2 昇降方式の比較

昇降方式	長所	短所
電動式	①遠隔による先端部の昇降が可能 ②未臨界の段階から水位計測が可能	①構造が複雑で重量が大きくなる ②耐震上不利となり、据付けも困難
手動式	①シンプルな構造とでき軽量にできる ②耐震上有利であり、据付けが容易	①試験中の先端部昇降が不可 ②予想した測定位置が大きく外れた場合、再設定のため実験中断が必要

電動式及び手動式について、それぞれ 3 パターンを検討した。各構造案として、比較表を表 9.3.3.1-3 に、機器構造図と機器配置図を図 9.3.3.1-9～14 に示す。

①電動アクチュエータ方式（図 9.3.3.1-9 (1/2)～(2/2)参照）

駆動方式：電動

駆動範囲：0～1500mm

設置位置：安全板駆動装置架台

重量：約 100kg

概要：レーザー変位計を電動アクチュエータで昇降させる。電源喪失時には、昇降装置の自動ブレーキにより、先端部の落下は防止される。アクチュエータのストロークは、最大 1500mm であるため、炉心タンク底面までの直接計測が不可能である。炉心タンク内に約 600mm の定置盤の設置対策を行うことにより、本方式での運用が可能である。機器重量は約 100kg であるため、安全板駆動装置架台への負荷は大きい。

②リニアモータテーブル方式（図 9.3.3.1-10 (1/2)～(2/2)参照）

駆動方式：電動

駆動範囲：0～2160mm

設置位置：安全板駆動装置架台

重量：100kg 以上

概要：レーザー変位計をリニアモータテーブルで昇降させる。昇降装置には、電源喪失時のブレーキ機構がないため、別途ブレーキ機構の設置が必要となる。機器質量は 100kg を超えるため、安全板駆動装置架台への負荷は大きい。

③オイルレススライダー方式（図 9.3.3.1-11 (1/2)～(2/2)参照）

駆動方式：電動

駆動範囲：0～1600mm

設置位置：炉心タンク内

重量：約 90kg（ワイヤー巻き取り装置：約 30kg）

概要：炉心タンク内に昇降装置を設置し、先端部（レーザー変位計等）をワイヤーで昇降させる。炉心タンク内に走行装置を設置するため、炉心タンク内の構造物は増えることになるが、安全板駆動装置架台への重量負荷はある程度軽減することが可能。昇降は、サーボモータでワイヤーを巻き取る方式とする。サーボモータはブレーキ機構の付加により電源喪失時の落下防止が可能である。ワイヤー切断時の落下防止対策として、ワイヤーは 2 本とする。ワイヤーは、安全板駆動装置をまたいでつなぐため、ワイヤーを取り外す場合があり、この取外しの際にレーザー変位計を落下させる可能性がある。このため、計測しないときは、専用治具で炉心タンクの高所に固定する。

④軸摺動型ハウジングユニット方式（図 9.3.3.1-12 (1/2)～(2/2)参照）

駆動方式：手動

ブレーキの有無：無

駆動範囲：0～1600mm

設置位置：安全板駆動装置架台

重量：約 65kg

概要：レーザー変位計は手動で昇降させる。摺動部にはグリスが必要であるため、炉心タンク内に垂れ落ちないグリス選定が必要となる。また、手動昇降であるため、最大 1600mm の距離を人力で移動させる必要がある。構造的には取外しが可能であり、ブレーキ機構の取付けは可能。

⑤ドライリン W 方式（図 9.3.3.1-13 (1/2)～(2/2)参照）

駆動方式：手動

ブレーキ有無：無

駆動範囲：0～1600mm

設置位置：安全板駆動装置架台

重量：約 55kg

概要：レーザー変位計は手動で昇降させる。レールとキャリッジの芯ずれが 1 mm あり、作業中に位置決め反射鏡からレーザーが外れる可能性がある。手動であるため、最大 1600mm の距離を人力で移送させる必要がある。ブレーキ機構の取付けは可能。

⑥ボールスプライン方式（図 9.3.3.1-14 (1/2)～(2/2)参照）

駆動方式：手動

ブレーキ有無：無

駆動範囲：0～1600mm

設置位置：安全板駆動装置架台

重量：約 55kg

概要：レーザー変位計は手動で昇降させる。1 軸での精度が確保出来るボールスプライン方式である。摺動部にはグリスが必要であるため、炉心タンク内に垂れ落ちないグリス選定が必要となる。また、手動昇降であるため、最大 1600mm の距離を人力で移動させる必要がある。構造的には取外しが可能であり、ブレーキ機構の取付けは可能。

上記で示した比較表及び構造から、③オイレススライダ方式（電動式）を採用する。採用理由は以下のとおり。

- 1) 想定水位が大きく外れた場合の実験用水位計先端部の水没を防止するため、電動式を採用。
- 2) 安全板駆動装置架台の耐震性の観点から、機器重量を 100kg 程度に制限する。
- 3) 最大給水制限スイッチの先端部は丸棒の先に設置されており、振れ止め機構（ガイド）を取り付けることで耐震性の向上を図っている。一方、実験用水位計先端部は大きく、振れ止め機構を取り付けることが困難である。このため、振れ止め機構が必要でない構造の選定が必要。

表 9.3.3.1-3 昇降方式の比較表(1/2)

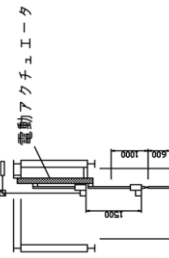
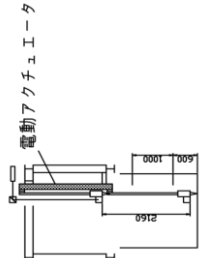
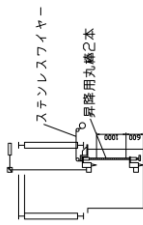
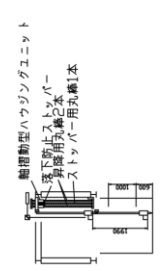
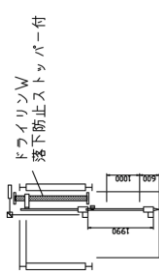
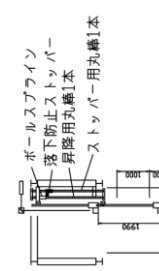
	構造使用機器	構造図、略図	昇降方式	精度 (変位計昇降時の位置 決め精度)	機器質量、可搬質量	使用機器によるメリット	使用機器によるデメリット	評価			総合評価
								精度	質量	操作性	
①	電動アクチュエータ +専用コントローラ (THK GKSF8) 昇降ストローク: 1500mm 	電動アクチュエータにより1500mmの間を計測する。0点は炉心タンク底面から598mmに基準プレート(反斜板)を設置して行う。 	電動	電動アクチュエータの繰返し位置決め精度 ±0.010mm	機器質量: 約100kg 可搬質量: 5kg (電動アクチュエータ単体質量: 28.2kg)	電動アクチュエータはスリッパノドモータを使用しているの で高さ調整がやりやすい。 昇降はボールねじを使用して いるので昇降動作が容易であ る。停電時でもブレーキが内 蔵されているので落下しない。	機器質量が100kgで設置が難 しい。電動アクチュエータのス トロークが1500mmなので計 測範囲1000mm待機場所まで 500mmはカバーできないので、 調整を行うことができないので、 炉心タンク内に0点調整の反 斜板を設置する必要がある。	○	△	○	△
②	リニアモーターテーブル +専用ドライバ LT130LDGS-2160 昇降ストローク: 2160mm 	電動アクチュエータにより2160mmの間を計測する。非通電時ブレーキ無し。手動クランプにより落下防止を行う。 	電動	リニアモーターテーブルの繰返し位置決め 精度±0.001mm	機器質量: 約105kg 可搬質量: 15kg (リニアモーターテーブル 単体質量: 32.9kg)	ストロークが長いことと0点調 整が可能。 オプショんで空冷有り。	機器質量が105kgで設置が難 しい。リニアモーターテーブルにブレー キが無い。落下防止用に手動 のストッパバーが必要。高さを変 更するたびにストッパバーの調 整をする必要がある。	○	△	○	△
③	オイルレスのガイドブッシュを 使用し昇降用丸棒2本を 炉心タンクのフランジから サポートする。 上昇はステンレスワイヤーで 巻揚げる。下降はワイヤーを 緩めることで自重落下させる。 	サーボ式モーターでワイヤーを巻揚げる。 昇降用のガイド丸棒は炉心タンク内に 設置する。 	電動	オイルレスガイド 昇降位置は手動式な ので位置精度は1～ 2mm程度となる。	機器質量: 約90kg (巻取装置約35kg) 可搬質量: 約4kg	昇降をワイヤーで行うことで高 さ調整が行い易い。 安全板駆動装置取付架台に 質量的な負荷が少なくて済む。	炉心タンク側で昇降装置を固 定しているものの測表器との ずれが発生する可能性がある。 安全板駆動装置取付架台を 移動するときにワイヤーを外 すため液面計が落下する危険 性がある。 炉心タンクのフランジに昇降装 置を取り付けるため強度確認 が必要である。 昇降用丸棒他が炉心タンク内 にあり、水没する。	○	○ (△炉心 タンク)	○	◎

表 9.3.3.1-3 昇降方式の比較表(2/2)

	構造使用機器	構造図、略図	昇降方式	精度 (変位計算降時の位置 決り精度)	機器質量、可搬質量	使用機器によるメリット	使用機器によるデメリット	評価			総合評価
								精度	質量	操作性	
④	軸滑動型ハウジングユニット MISUMI LHS-20-30 揺動用軸 (φ 20mm) 手動式位置決めストッパー		手動	軸滑動型ハウジングユニット車体は軸0～～0.019mmハウジング0～0.025mm昇降位置は手動式なので位置精度は1～2mm程度となる。	機器質量: 約65kg 可搬質量: 約4kg	昇降動作が手動になるため機器質量は約65kg程度と軽くなる。	昇降動作は手作業で行うため0点調整後、最大1600mmの移動を作業者が行わなくてはならない。	○	○	△	○
⑤	ドライリンW IGUS WW-20-80-15-01-2100LLZ 手動式位置決めストッパー		手動	レールとキャリッジの芯ずれは±1mm ±1mmずれると反射ミラーからレーザーが外れる可能性があり運用不可。	機器質量: 約55kg 可搬質量: 約2.5kg	レールとキャリッジの組合せのみのシンプル構造であり、手動スタートバー、オプションでデジタル計測機があり、高さ調整がより簡単になる。	レールとキャリッジの芯ずれが±1mmでありセンサーのある先端位置が最大15mm移動することによりレーザー測尾器のレーザー径12mmを大きく外れる可能性がある。昇降動作は手作業で行うため0点調整後、最大1600mmの移動を作業者が行わなくてはならない。	△	△	×	×
⑥	ボールスプライン THK LBH-25 ストッパー用ボール (φ 20)		手動	ボールスプラインのスプライン軸の支持部に対するスプラインナットの外径の振れ最大124μ m 昇降位置は手動式なので位置精度は1～2mm程度となる。	機器質量: 約55kg 可搬質量: 約4kg	ボールスプラインにより1軸で精度が保てる。	昇降動作は手作業で行うため0点調整後、最大1600mmの移動を作業者が行わなくてはならない。	○	○	△	○

1. 電動アクチュエータ THCKSF8 (ST1500)

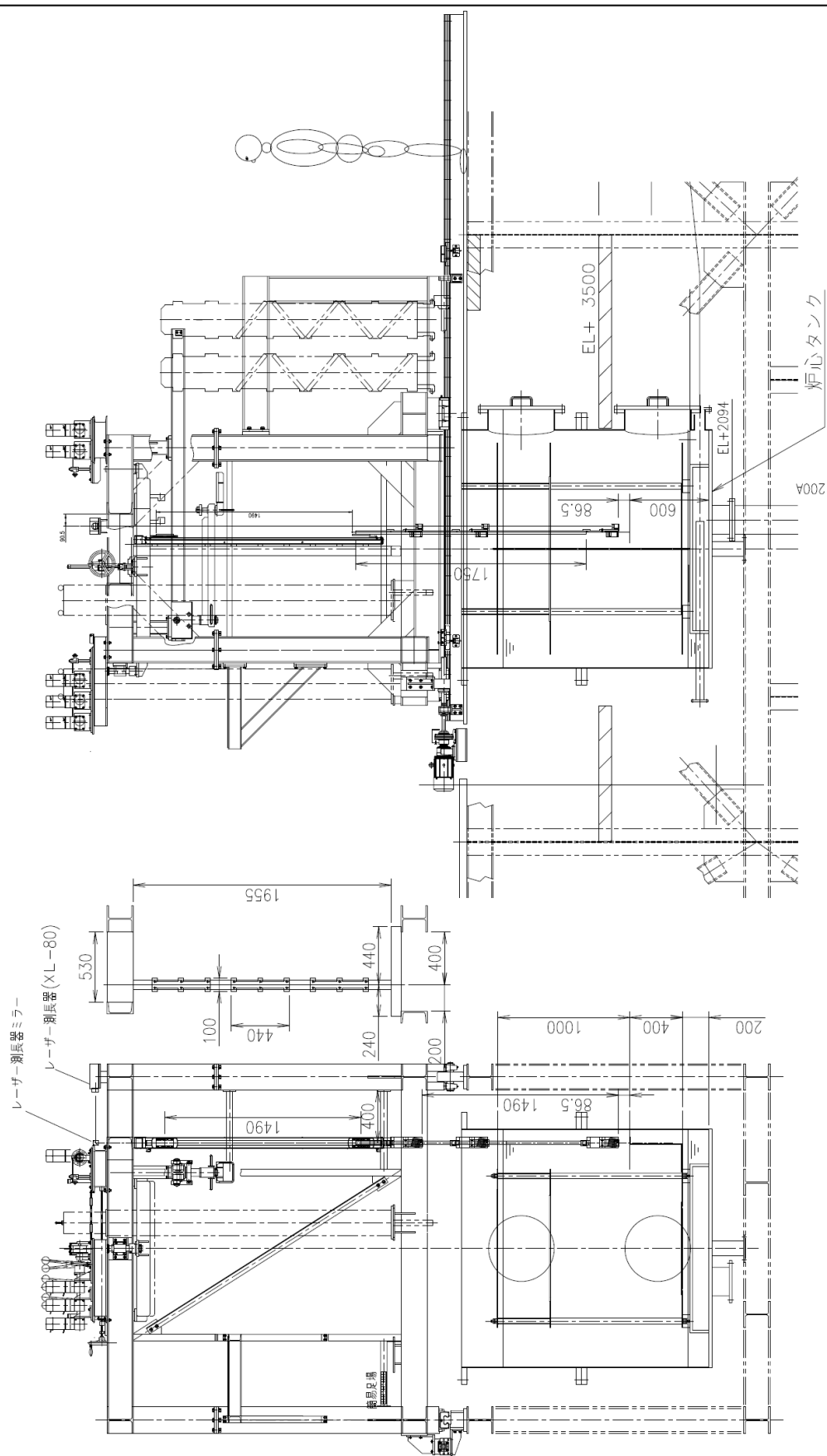


図 9.3.3.1-9 (1/2) 電動アクチュエータ方式 (機器配置図)

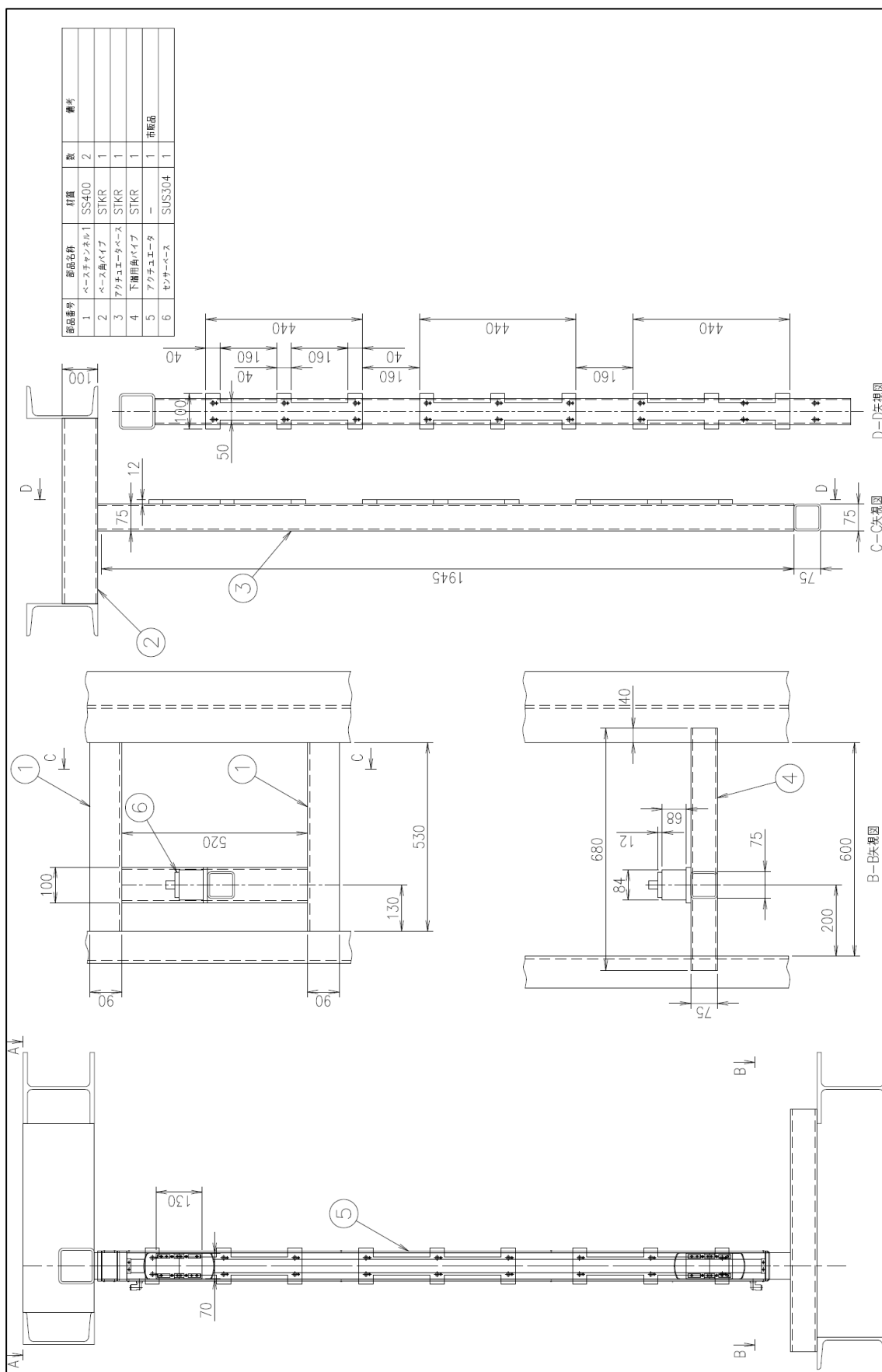


図 9.3.3.1-9 (2/2) 電動アクチュエータ方式 (機器構造図)

2. リニアモーターテابل IKO LT130LDGS-2160

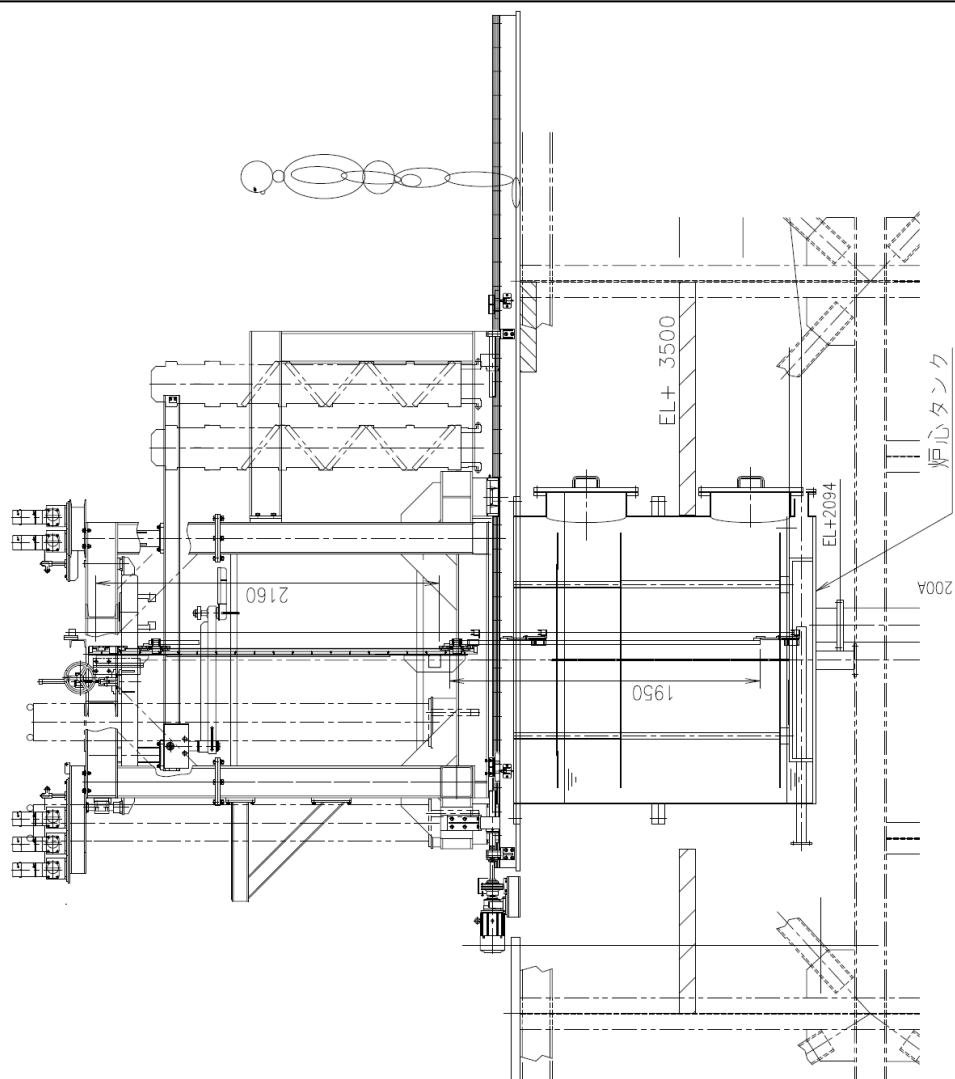
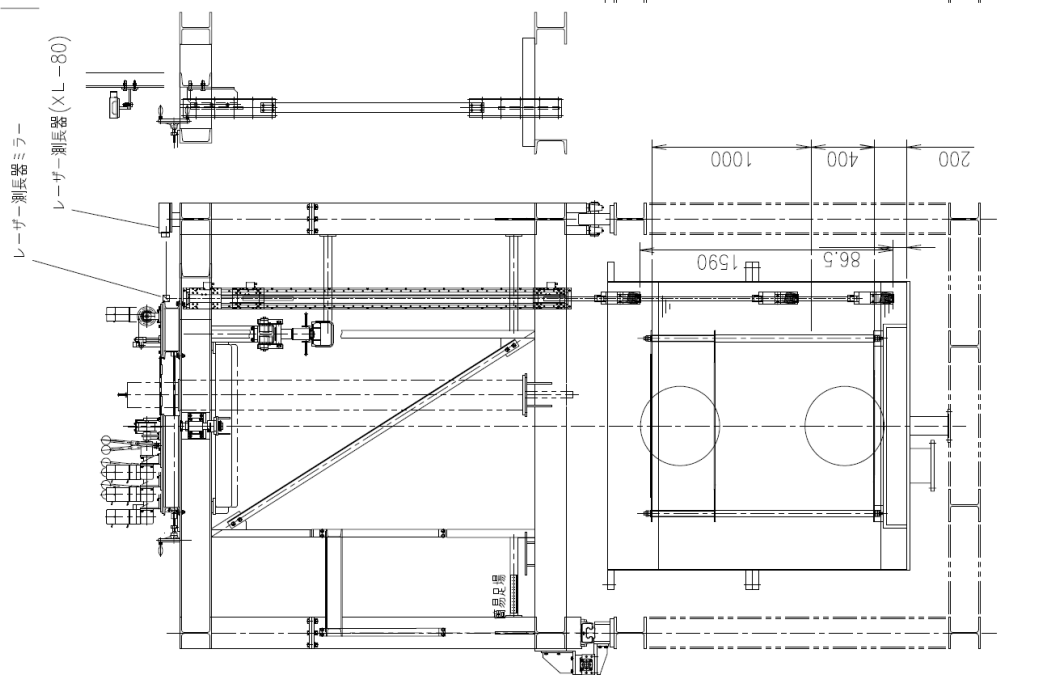


図 9.3.3.1-10 (1/2) リニアモーターテابل方式 (機器配置図)

☒ 9.3.3.1-10 (2/2) リニアモーター方式 (機器構造☒)

3. オイルレスライダー、昇降用ステンレスワイヤー

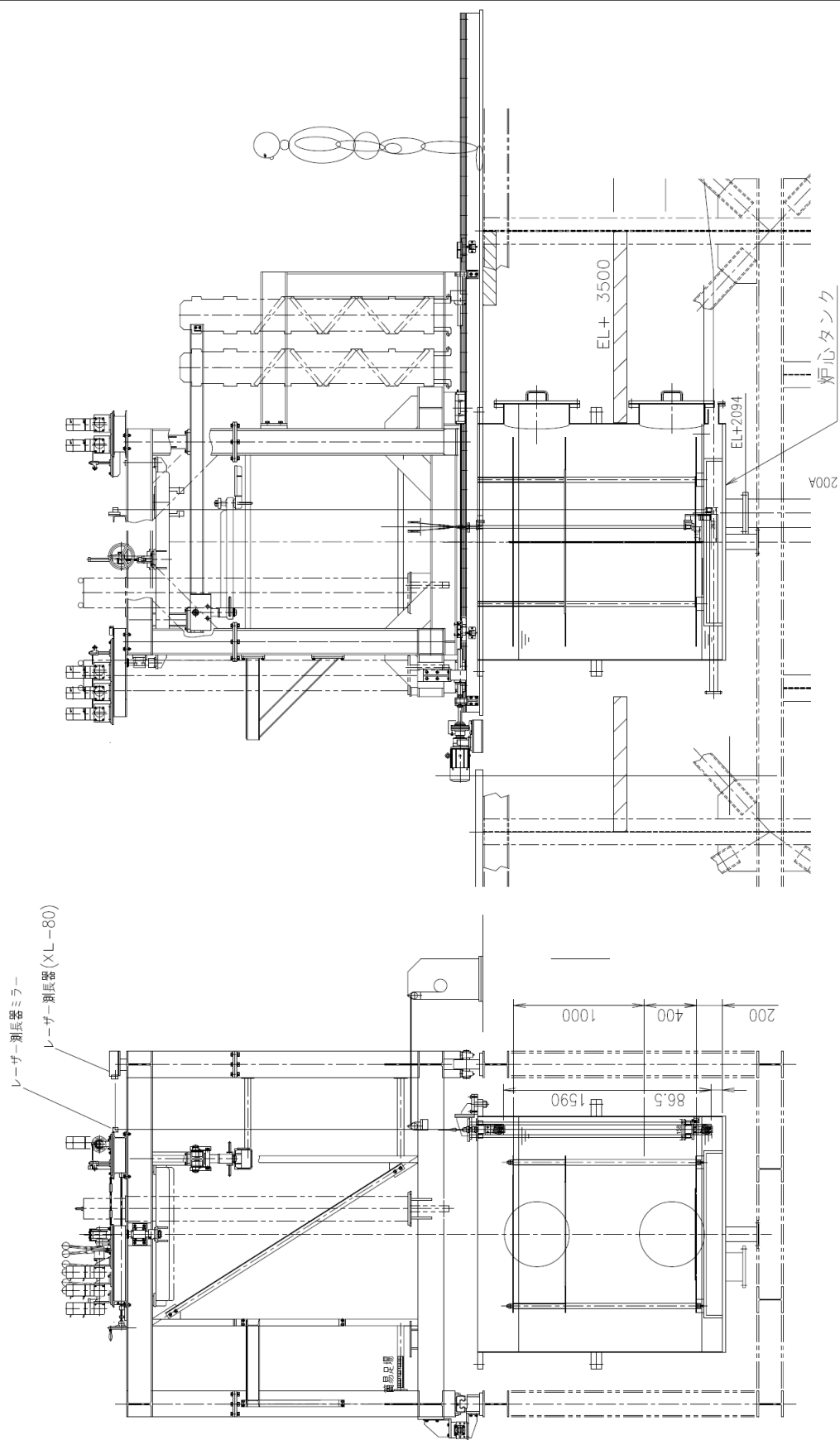


図 9.3.3.1-11 (1/2) オイルレスライダー方式 (機器配置図)

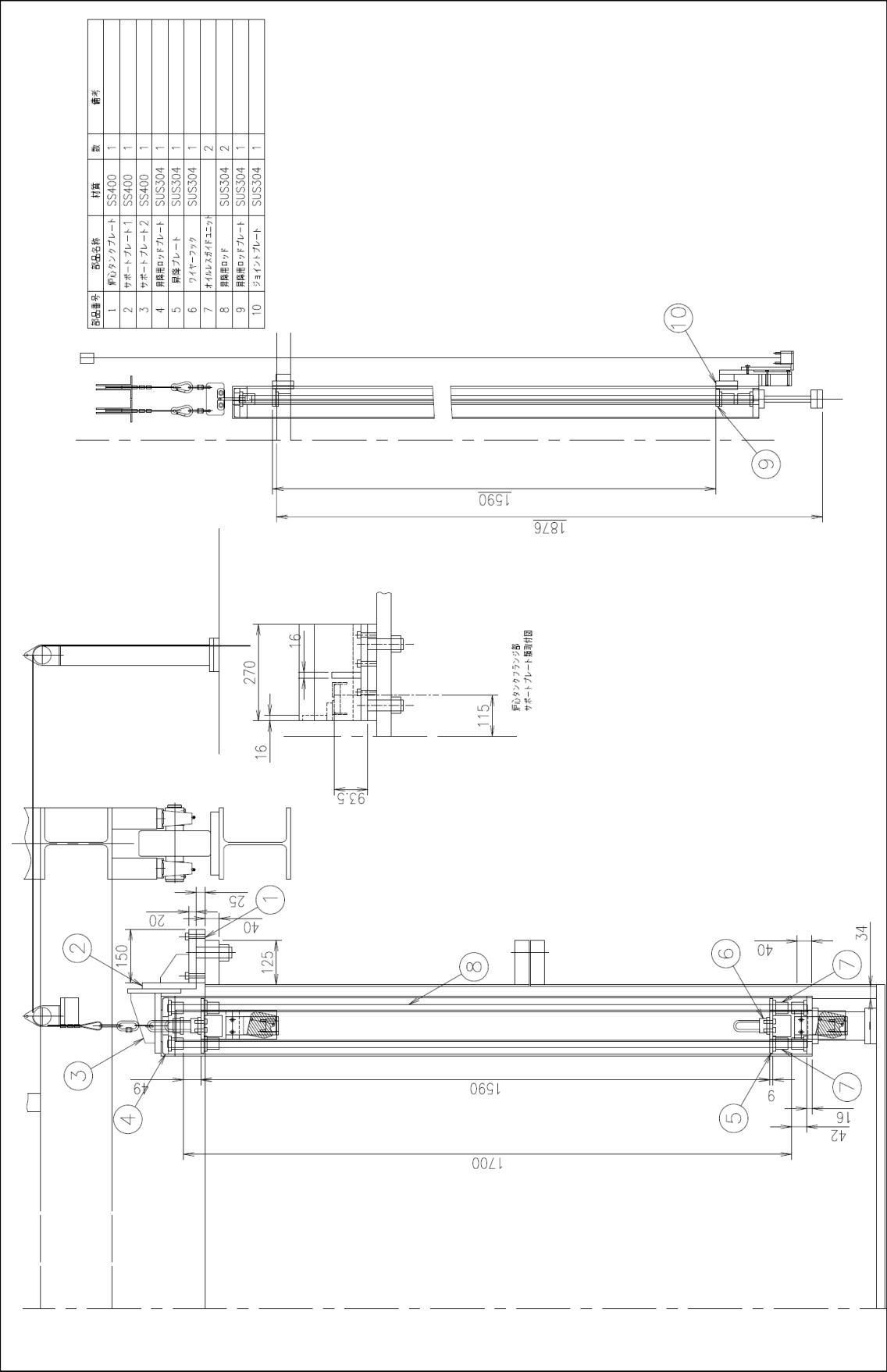


図 9.3.3.1-11 (2/2) オイルレススライダ方式 (機器構造図)

4.軸摺動型ハウジングユニット MISUMI LHGS20-30

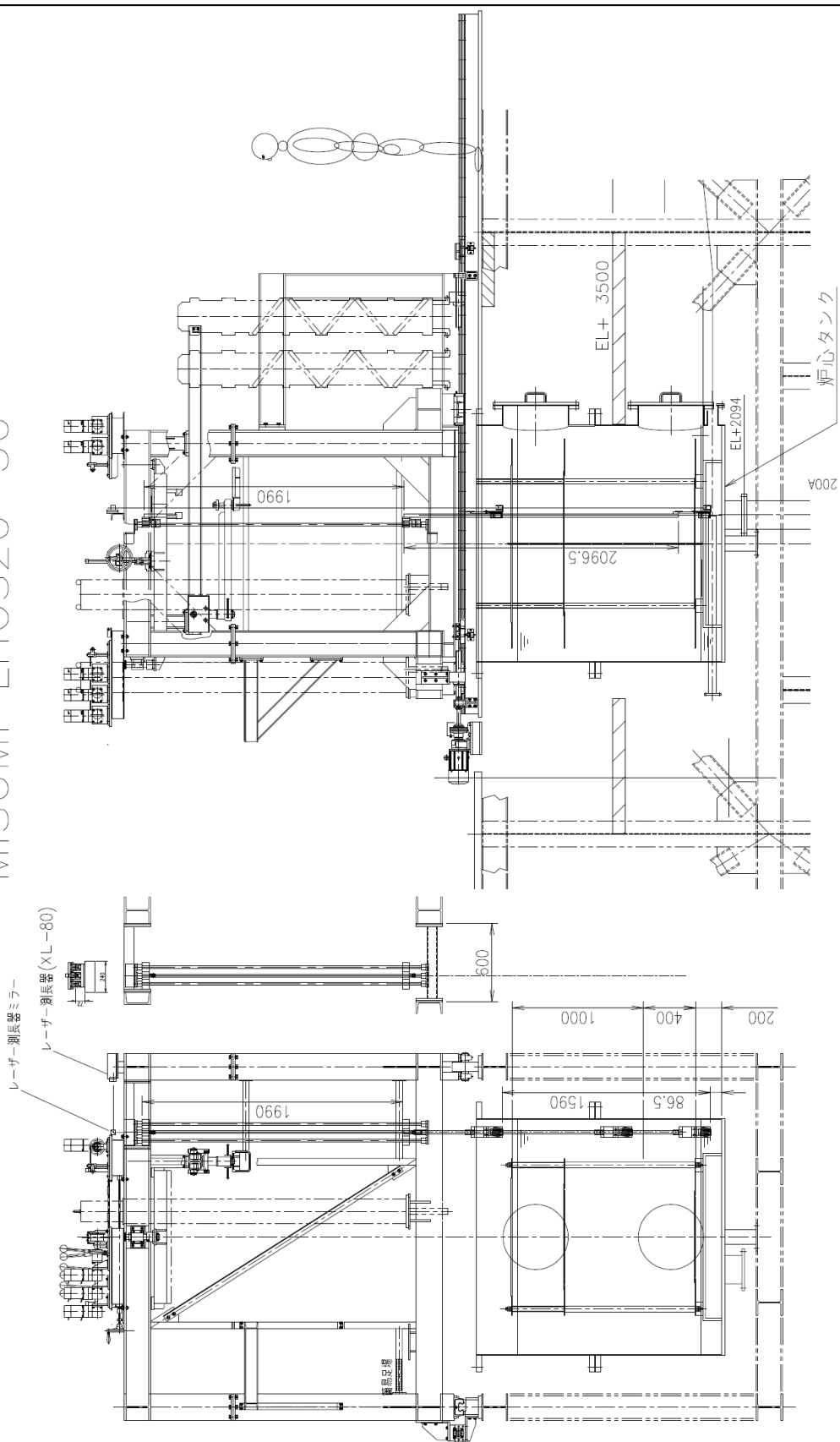
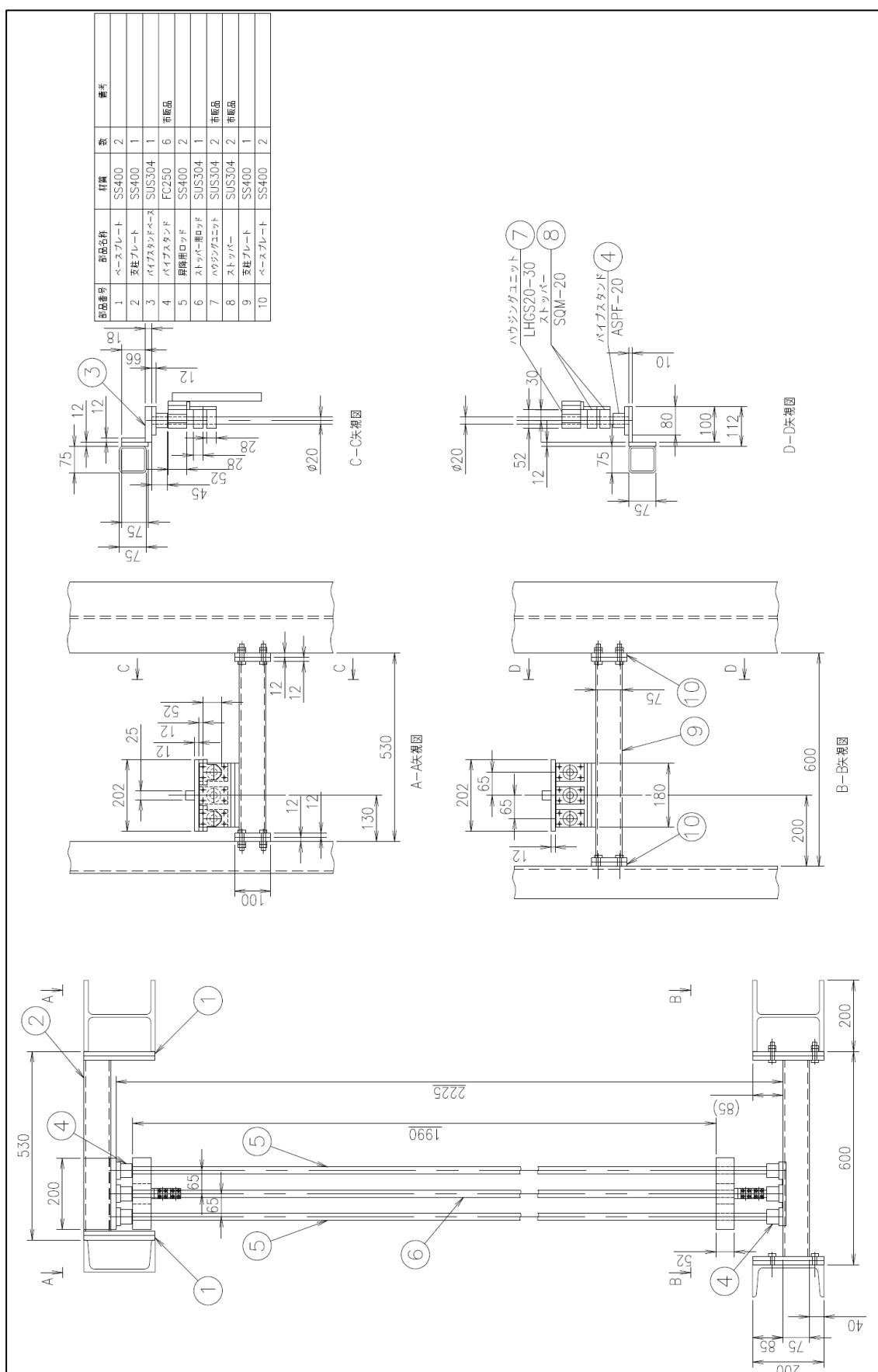
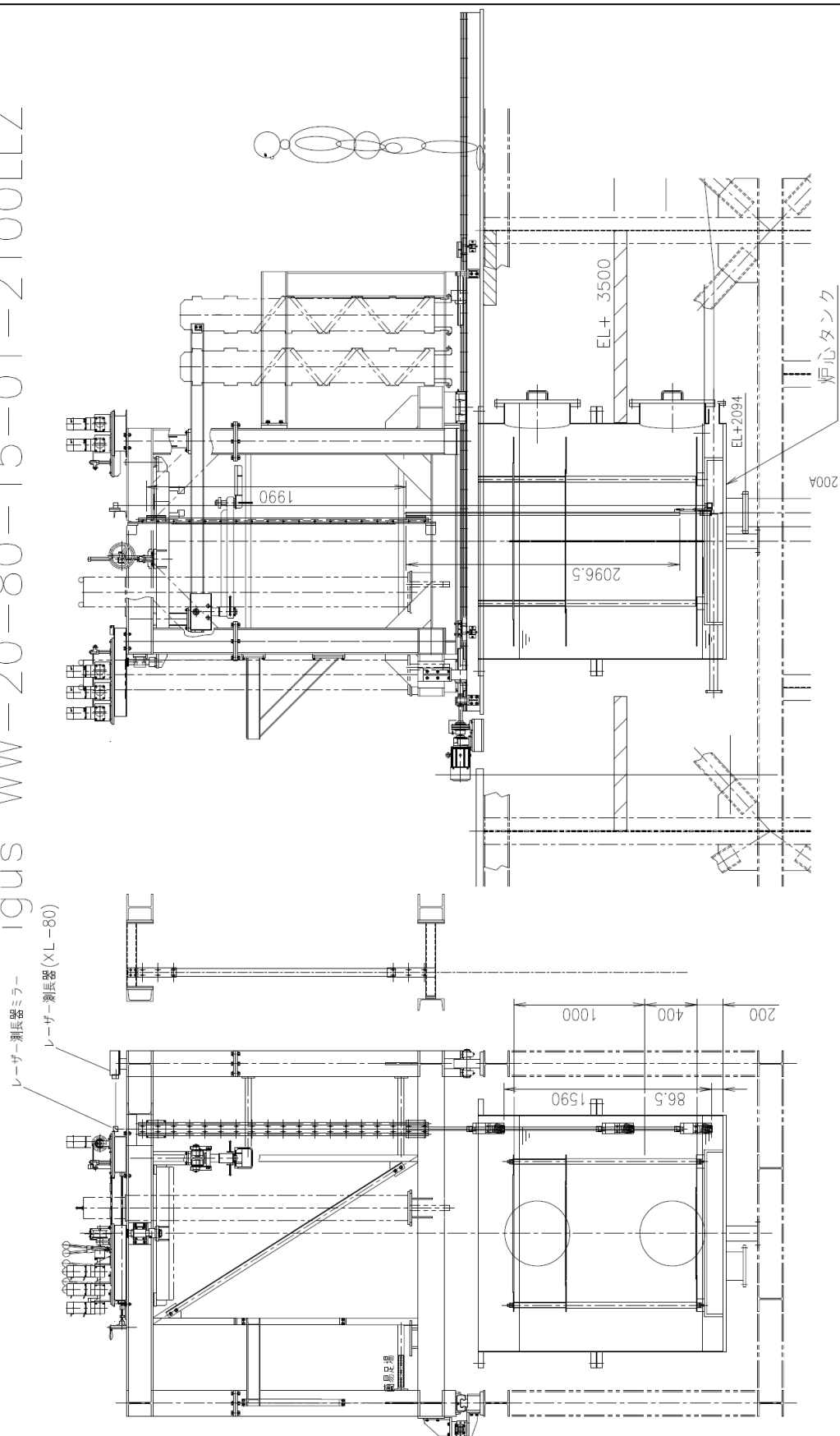


図 9.3.1-12 (1/2) 軸摺動型ハウジングユニット方式 (機器配置図)



5.7. $\mathbb{W} \subset \mathbb{U} \subset \mathbb{W}$

iglus WW-20-80-15-01-2100LLZ



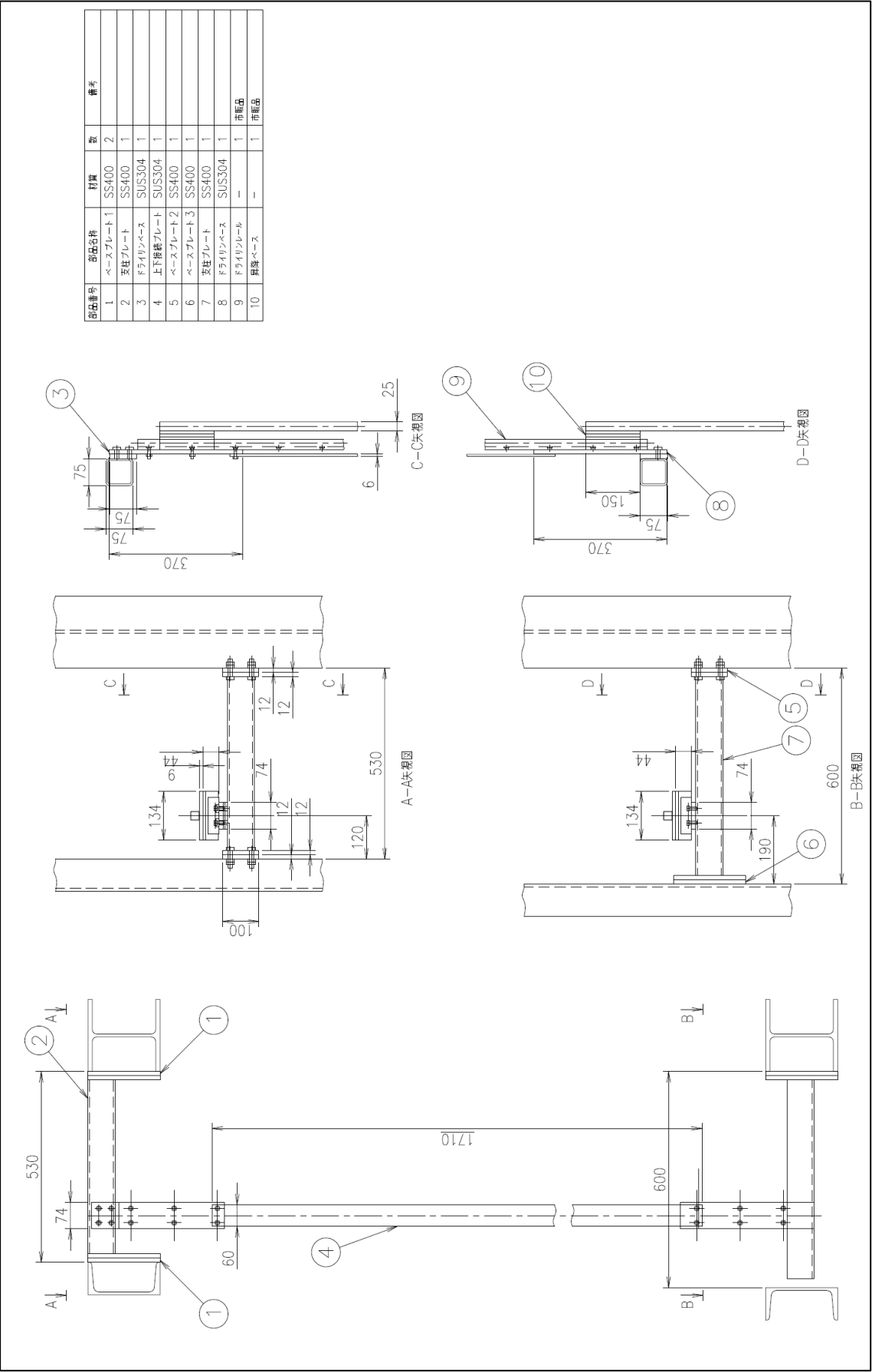


図 9.3.1-13 (2/2) ドライリッパース W 方式 (機器構造図)

6.ボールスプライン

THK LBH25

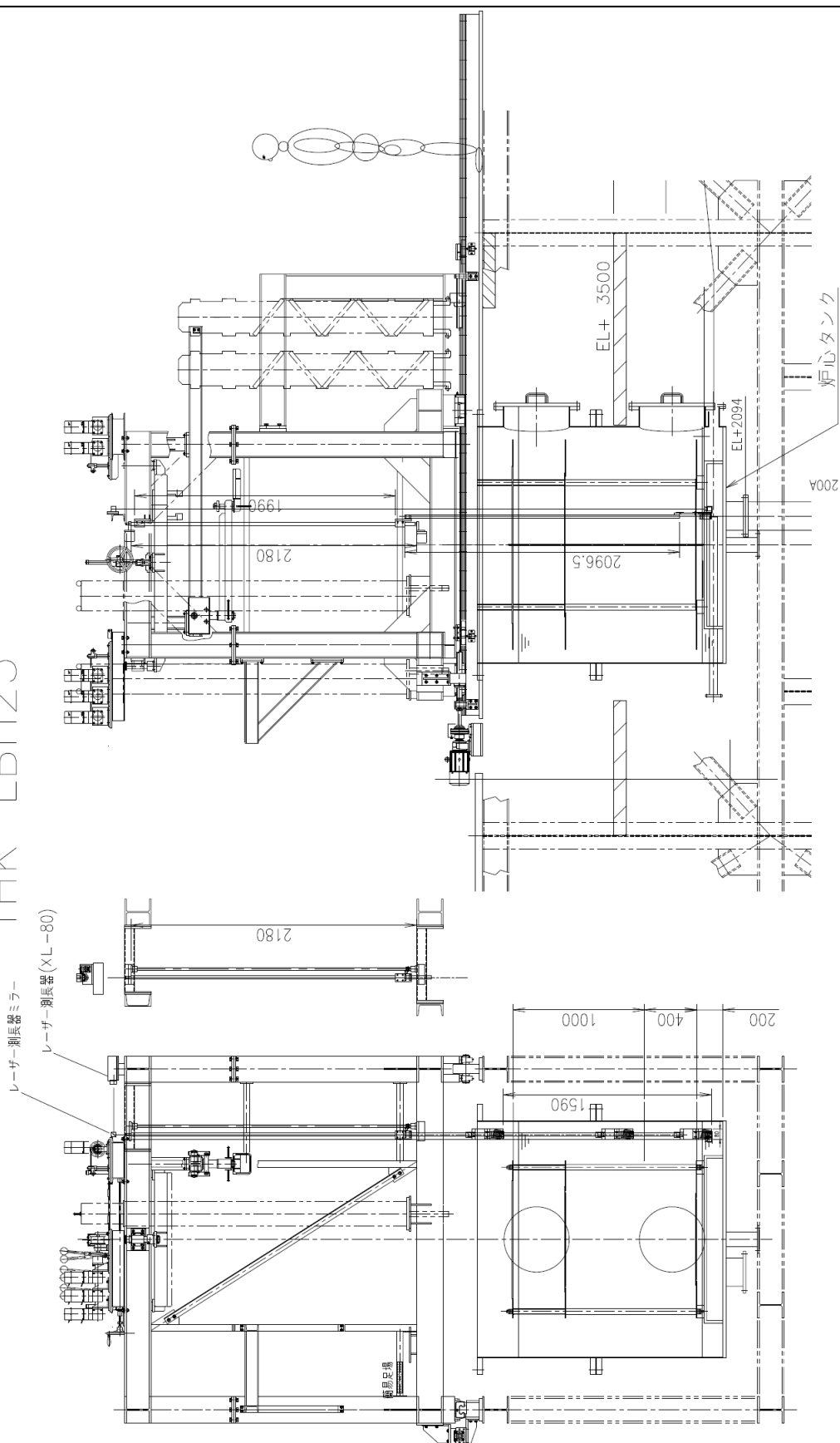
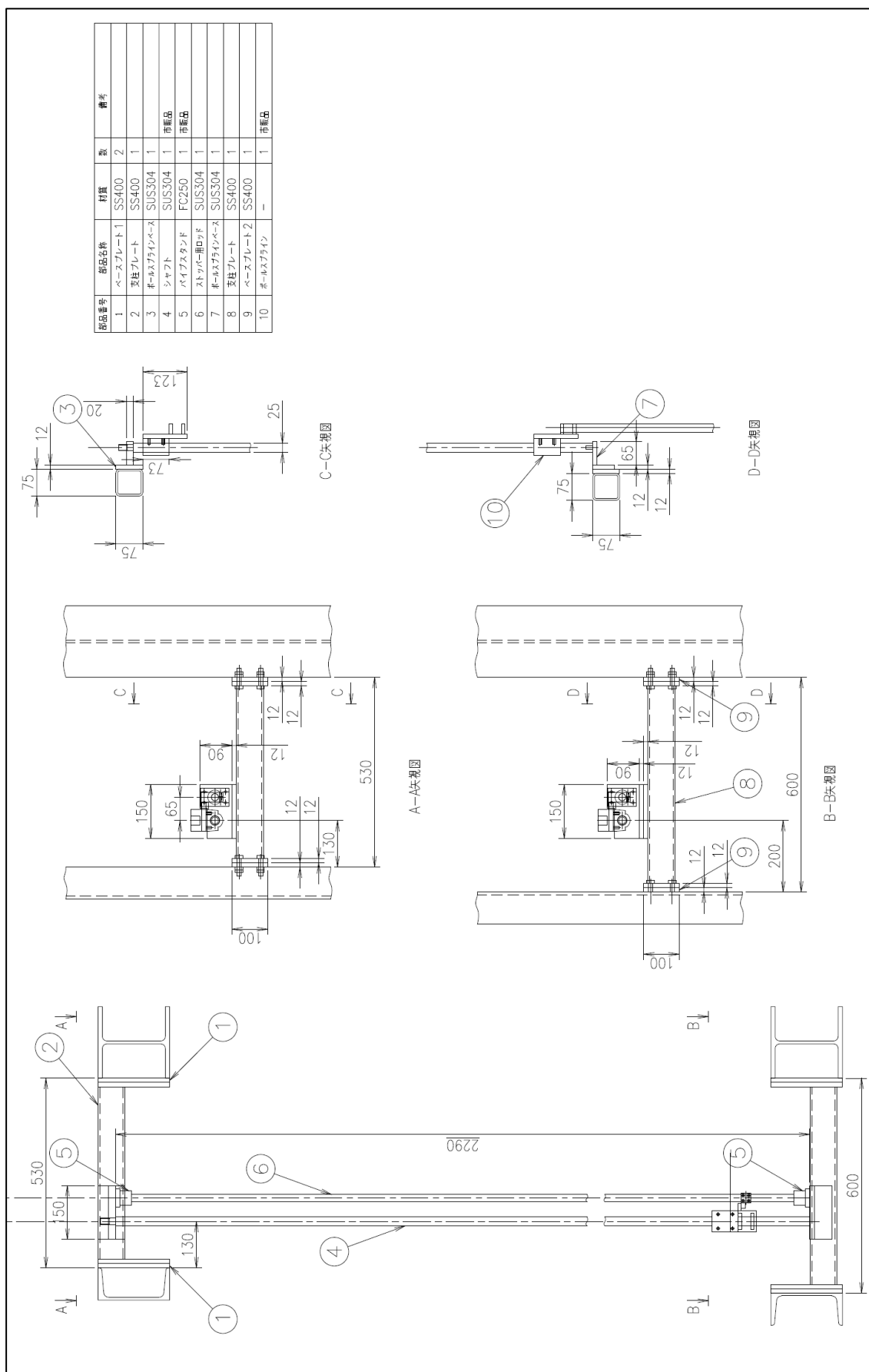


図 9.3.3.1-14 (1/2) ボールスプライン方式 (機器配置図)



9.3.3.1.7 実験用水位計先端部脱落時に添加となる反応度の評価

実験用水位計先端部が脱落となった場合には、炉心タンクの水位上昇となり、反応度が添加される。このため、実験用水位計先端部が脱落した場合の影響を評価する。想定する事象は以下のとおり。

- ・ブレーキの故障

実験用水位計の昇降装置には、脱落防止のブレーキ機構を備える。しかし、ブレーキ機構の故障により、実験用水位計先端部が脱落する可能性があることから、その容量分の水位の上昇を想定する。

- ・実験用水位計先端部の容積

実験用水位計先端部の概略構造図を図 9.3.3.1-15 に示す。また、容積は簡易モデルにより求める。その結果、実験用水位計先端部（脱落部位）の容積は $6.22 \times 10^5 \text{ mm}^3$ となる。

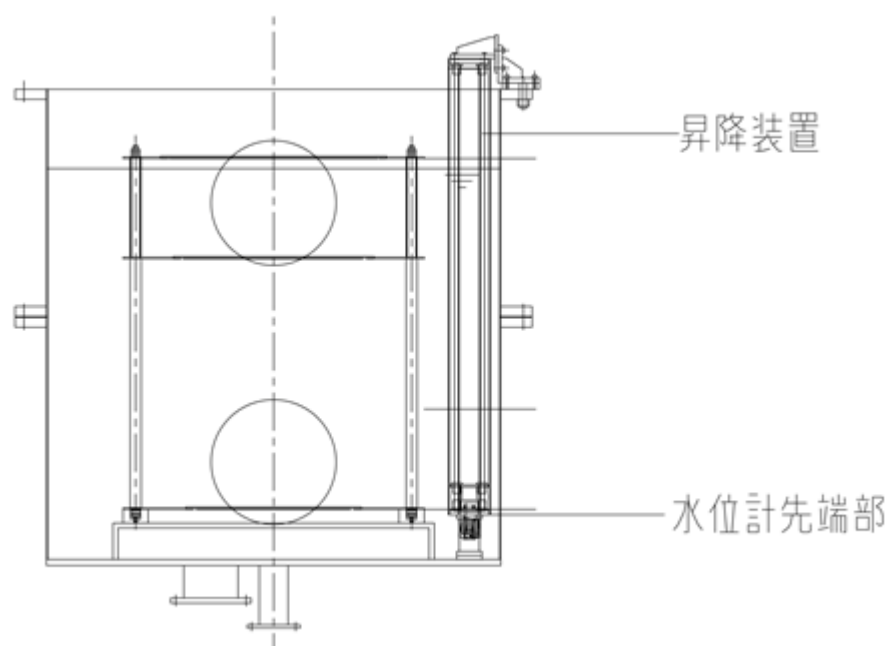


図 9.3.3.1-15：脱落部位の概略図

- ・炉心タンク断面積

炉心タンクの断面積は、燃料棒 900 本が装荷されているものと仮定して算出する。この場合の炉心タンクの断面積と実験用水位計先端部脱落時の水位上昇高さを表 9.3.3.1-3 に示す。

表 9.3.3.1-3：炉心タンク断面積

	断面積[mm ²]	水位上昇高さ[mm]
炉心タンク断面積 (燃料棒900本装荷)	2.48.E+06	0.251

・ 添加反応度評価結果

実験用水位計先端部の脱落時に添加される反応度を評価する。

この評価に当たっては、試験水位 400mm における水位反応度係数 ($d\rho/dH$) を 0.06 ドル/mm とし、さらに、水位反応度係数を水位の 3 乗に反比例するものとして、試験水位毎の水位反応度係数を算出した。

実験用水位計先端部の脱落に伴って添加される反応度の評価結果を表 9.3.3.1-4 に示す。

表 9.3.3.1-4：実験用水位計先端部の脱落に伴って添加される反応度

臨界水位 [mm]	臨界水位近傍での 水位反応度係数 [セント/mm]	添加反応度[セント]
		炉心タンク 断面積 (燃料棒900本装荷)
400	6.000	1.50
450	4.214	1.06
500	3.072	0.77
550	2.308	0.58
600	1.778	0.45
700	1.120	0.28
800	0.750	0.19
900	0.527	0.13
1000	0.384	0.10
1200	0.222	0.06
1400	0.140	0.04

実験用水位計先端部が脱落した場合に添加される最大の反応度は、1.5 セント（臨界水位 400mm）であり、添加可能な反応度制限値（30 セント）未満である。

9.3.3.1.8 実験用水位計の成立性について

以下では、実験用水位計の精度、構成部品予備設置手順について検討し、成立することを確認する。

9.3.3.1.8.1 実験用水位計の計測精度

実験用水位計は、レーザー変位計とレーザー干渉計といった2種類のレーザー測定器を用いる。これらのレーザー測定器の単体精度は非常に優れているが、組み合わせて使用するため、取付精度が計測精度にも影響する。本項では、機器の取付精度によって実験用水位計に与える計測精度への影響を評価する。

実験用水位計の計測誤差を可能な限り小さくするために必要な条件を表9.3.3.1-5のとおり整理した。

表 9.3.3.1-5：計測誤差確保のための整理表一覧

	項目	計測誤差	条件
①	レーザー変位計単体の計測精度	±0.018mm	・正しく校正されていること
②	レーザー干渉計単体の計測精度	±0.015mm	・正しく校正されていること
③	レーザー変位計の取付精度	±0.05mm	・基準距離±5mmの範囲で使用する。 ・取付角度±2°以内で取り付けること。
④	固定ターニングミラーと昇降装置の取付精度の影響	±0.107mm	固定ターニングミラー単体の取付角度の誤差と昇降装置の据付精度（位置決め反射鏡の確度のズレ）の合計が0.55°以内であること。
①～④の計測誤差の合計値		±0.19mm	

上記の条件が確保できれば、目標精度である±0.2mmを満足することが可能である。

①～④における計測誤差の詳細は以下のとおり。

①レーザー変位計単体の計測精度

レーザー変位計単体における計測精度は0.2% of F.S.である。計測範囲は最大で91.2mmであるため、計測誤差は最大で0.018mmである。

②レーザー干渉計単体の計測精度

レーザー干渉計単体における計測精度は0.005mm/mである。計測距離は3000mm程度であるため、計測誤差は0.015mmである。

③レーザー変位計の取付精度

レーザー変位計は基準距離が 76.7mm であり、計測範囲は+14.5mm、-17.6mm である。レーザー変位計が正しく設置されている場合、測定対象物（軽水）とレーザーの入射角 θ は 78° である。仮に、レーザー変位計が傾いて設置された場合には、計測変位 B （基準距離からのズレ）に誤差が生じることになる。

計測方法の概略図を図 9.3.3.1-16 に、取付角度に対する計測誤差を表 9.3.3.1-6 に示す。

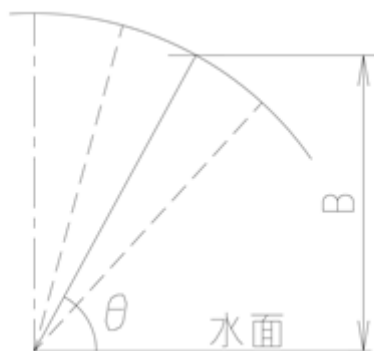


図 9.3.3.1-16 取付角度における計測変位の概略図

表 9.3.3.1-6 取付角度と計測変位における計測誤差

計測変位: 1mm				計測変位: 5mm			
θ	$\Delta \theta$	B	計測誤差	θ	$\Delta \theta$	B	計測誤差
74	-4	0.983	↑ -0.017	74	-4	4.91	-0.086
75	-3	0.988	-0.012	75	-3	4.94	-0.062
76	-2	0.992	-0.008	76	-2	4.96	↑ -0.040
77	-1	0.996	-0.004	77	-1	4.98	-0.019
78	0	1.000	0.000	78	0	5.00	0.000
79	1	1.004	0.004	79	1	5.02	0.018
80	2	1.007	0.007	80	2	5.03	0.034
81	3	1.010	0.010	81	3	5.05	↓ 0.049
82	4	1.012	↓ 0.012	82	4	5.06	0.062
計測変位: 10mm				計測変位: 15mm			
θ	$\Delta \theta$	B	計測誤差	θ	$\Delta \theta$	B	計測誤差
74	-4	9.83	-0.173	74	-4	14.74	-0.259
75	-3	9.88	-0.125	75	-3	14.81	-0.187
76	-2	9.92	-0.080	76	-2	14.88	-0.120
77	-1	9.96	↑ -0.039	77	-1	14.94	-0.058
78	0	10.00	0.000	78	0	15.00	0.000
79	1	10.04	↓ 0.036	79	1	15.05	0.053
80	2	10.07	0.068	80	2	15.10	0.102
81	3	10.10	0.098	81	3	15.15	0.146
82	4	10.12	0.124	82	4	15.19	0.186

レーザー変位計の取付けに係る許容誤差の目標を 0.05mm 以下とすると、計測変位を ±5mm 以内かつ設置精度を ±2° 以内とする必要がある。

④固定ターニングミラーと昇降装置の取付精度の影響

実験用水位計による計測においては、位置決め反射鏡を最下端まで降下させたときがレーザー干渉計が計測する最長の距離であり、その距離は 2329.3mm である（図 9.3.3.1-17

の A)。この距離における固定ターニングミラーの取付角度や昇降装置の傾き（位置決め反射鏡の角度のズレ）は計測精度に影響を与える。ここでは、目標精度（実験用水位計で $\pm 0.2\text{mm}$ ）を満足するための取付精度を検討する。

位置決め反射鏡を固定ターニングミラーの直下に配置した場合の関係を図 9.3.3.1-17 に示す。この状態において、位置決め反射鏡及び固定ターニングミラーの取付精度に伴う角度（ θ ）における計測誤差の関係を表 9.3.3.1-7 に示す。表 9.3.3.1-5 で示した①～③の合計誤差は 0.083mm である。ここで、実験用水位計全体の計測誤差を 0.2mm 以内に抑えるためには、位置決め反射鏡と固定ターニングミラーの取付角度の誤差を 0.117mm 以内にする必要がある。表 2-6 の計測誤差から、取付角度 0.55° であれば、 0.107mm となり、目標精度を達成する。

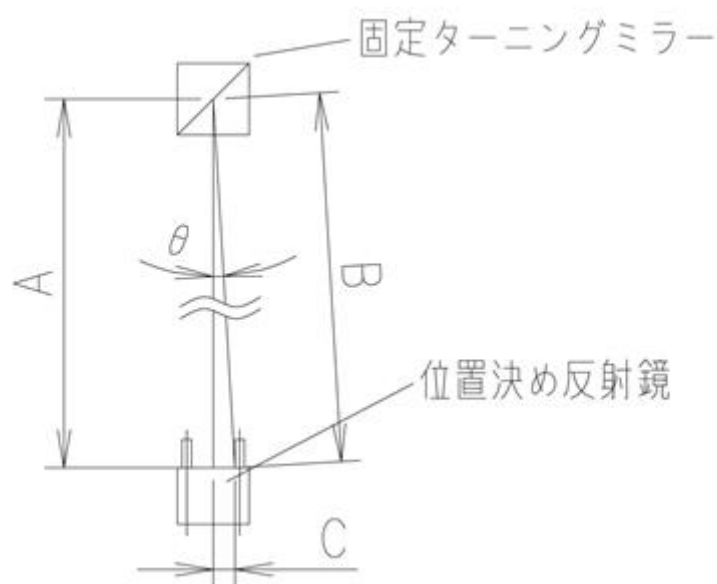


図 9.3.3.1-17 固定ターニングミラーと位置決め反射鏡の関係図

表 9.3.3.1-7 位置決め反射鏡と固定ターニングミラーの傾き（ θ ）による計測誤差

θ	A	B	C	計測誤差A - B
0.05	2329.30	2329.301	2.033	0.00089
0.10	2329.30	2329.304	4.065	0.00355
0.15	2329.30	2329.308	6.098	0.00798
0.20	2329.30	2329.314	8.131	0.01419
0.25	2329.30	2329.322	10.164	0.02217
0.29	2329.30	2329.330	11.777	0.02977
0.30	2329.30	2329.332	12.196	0.03193
0.35	2329.30	2329.343	14.229	0.04346
0.40	2329.30	2329.357	16.262	0.05676
0.45	2329.30	2329.372	18.295	0.07184
0.50	2329.30	2329.389	20.327	0.08870
0.55	2329.30	2329.407	22.360	0.10732
0.60	2329.30	2329.428	24.393	0.12772
0.65	2329.30	2329.450	26.426	0.14990
0.70	2329.30	2329.474	28.459	0.17385
0.75	2329.30	2329.500	30.492	0.19957
0.80	2329.30	2329.527	32.525	0.22707
0.85	2329.30	2329.556	34.558	0.25635
0.90	2329.30	2329.587	36.592	0.28740
0.95	2329.30	2329.620	38.625	0.32022
1.00	2329.30	2329.655	40.658	0.35482

図 2-10 に示す C は、位置決め反射鏡の中心からの距離を示している。位置決め反射鏡のレンズは直径 23mm であるため、少なくともこのレンズ内にレーザーを入射させる必要がある。この条件を満足させるためにも、固定ターニングミラーは 0.55° 以内の精度で取付ける必要がある。

9.3.3.1.8.2 実験用水位計構成部品について

実験用水位計の目標精度を達成するためには正確な取付けが必要である。このため、各構成機器の取付部材には、位置や角度を調整できる機構を設ける。

レーザー干渉計

レーザー干渉計は、熱膨張の影響を避けるため、実験装置用架台に設置する。この実験装置用架台への設置において、レーザー干渉計を取り付ける台座には、水平度や向きが調整可能な機構を設ける。

光学部品マウントベース

光学部品マウントベースの概略図を図 9.3.3.1-18 に示す。光学部品マウントベースには、固定ターニングミラー及び位置決め光線分光機を取り付ける。

固定ターニングミラーと位置決め光線分光機は精度よく取り付ける必要があるため、位置と角度が調整できる機能を設ける。また、レーザーの角度を微調整するために使用するビームステアラーは、位置決め光線分光機の上面に取り付ける。

光学部品マウントベースの取付位置は、安全板駆動装置架台の簡易足場より下側に設置する。

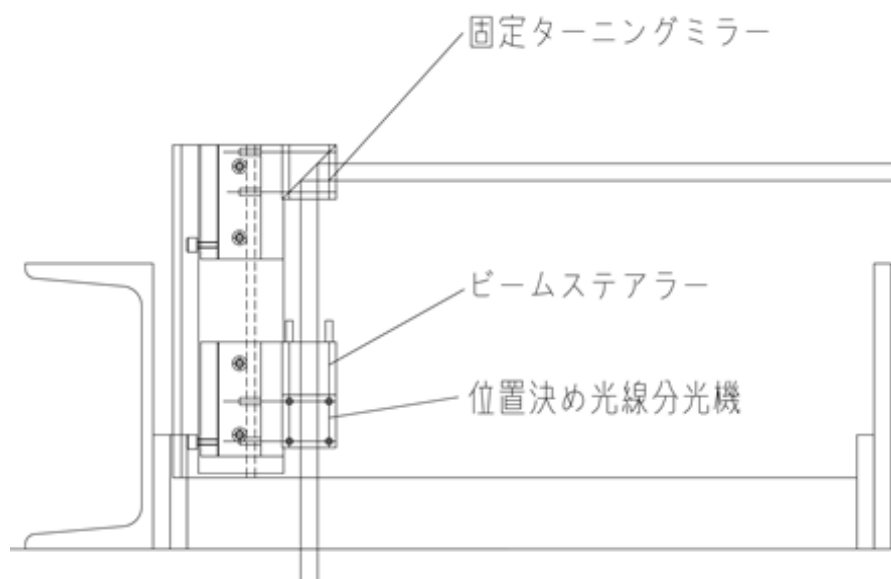


図 9.3.3.1-18 : 光学部品マウントベースの概略図

昇降装置

昇降装置の上端部は炉心タンクの上部フランジに固定する。昇降装置の傾きは、計測精度に影響するため、傾きを調整できる機構を上端固定部に設ける。下端部は実験用水位計台座に差し込む方式とする。この方式によって昇降装置の傾きを調整した際の昇降装置内の丸棒の歪みを防止する。昇降承知上下端部の構造を図 9.3.3.1-19 に示す。

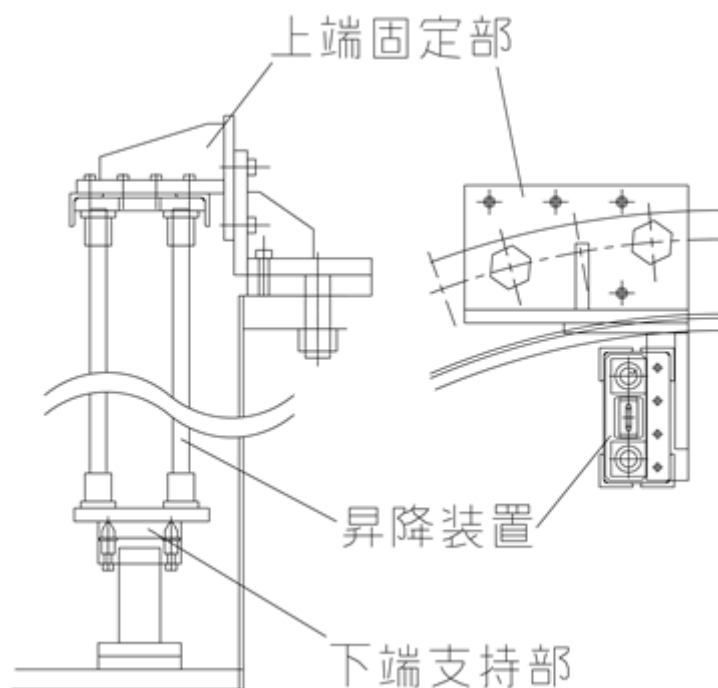


図 9.3.3.1-19 昇降装置の上下端部の構造図

実験用水位計先端部

実験用水位計先端部にはレーザー変位計を取り付ける。レーザー変位計は定期的に基準距離の確認や校正を行う必要がある。校正を行う際は、変位計を一時的に取外し、校正後に再度取り付ける。計測の再現性を確保するため、変位計の上面に位置決め用ブロックを設置する。図 9.3.3.1-20 に位置決め用ブロックの配置図を示す。

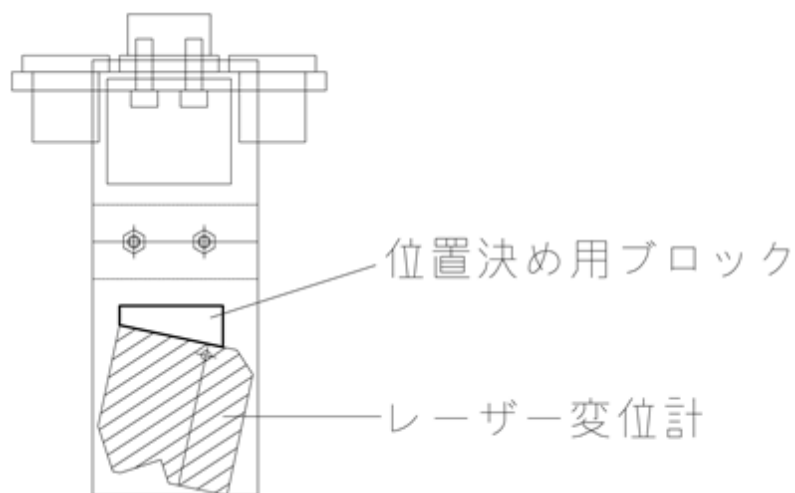


図 9.3.3.1-20 レーザー変位計の位置決め用ブロック配置図

9.3.3.1.8.3 取付手順

実験用水位計の取付手順及び調整方法を下記に示す。なお、本作業は、炉内に作業員が入って作業をする必要があるため、格子板などの炉内機器設置前に行うものとする。

- ①炉心タンク底面に実験用水位計台座を取り付ける。
- ②下げ振り又は精密水準器を使用し、昇降装置を垂直に取り付ける。垂直度の調整は昇降装置上端面の調整機構を使用する。
- ③安全板駆動装置架台を炉心タンク上部に移動させる。
- ④固定ターニングミラー及び位置決め反射鏡の設置においては、下げ振り等を使用し、位置決め反射鏡が固定ターニングミラーの直下になるよう調整のうえ設置する。また、水準器等を使用し、水平になるよう調整する。
- ⑤水準器等を使用し、レーザー干渉計を水平に設置する。
- ⑥固定ターニングミラーとレーザー干渉計を水平かつ同軸上に配置するために、レーザー干渉計を水平移動させて調整する。
- ⑦位置決め反射鏡を上昇させた後、レーザー干渉計のレーザーを照射する。レーザーが位置決め反射鏡に正確に入射されるよう、固定ターニングミラーとレーザー干渉計を移動させて確認する。
- ⑧位置決め光線分光器とビームステアラ（レーザーの角度を調整する光学部品）をレーザーと同軸になるように設置する。
- ⑨位置決め反射鏡を下降させる。レーザーが外れる場合にはビームステアラで調整を行う。ビームステアラの調整範囲から外れた場合には、再び上記④～⑧の作業を行い、調整する。

9.3.3.2 使用環境に関する検討事項

9.3.3.2.1 使用温度について

軽水昇温時、周辺温度は最大 70℃まで上昇することが考えられる。熱膨張の影響は、レーザー干渉計を安全駆動装置架台に取り付けることで小さくすることが可能である。詳細な影響についてはモックアップ試験時に確認を行う。

また、レーザー変位計本体の使用温度範囲は最大 50℃であるため、周囲温度が上昇することによる計測精度の影響の可能性がある。この温度影響を低減させるため、レーザー変位計にエアーを吹き付ける機構を設ける。エアー吹付け機構の概略図を図 9.3.3.2-1 に示す。

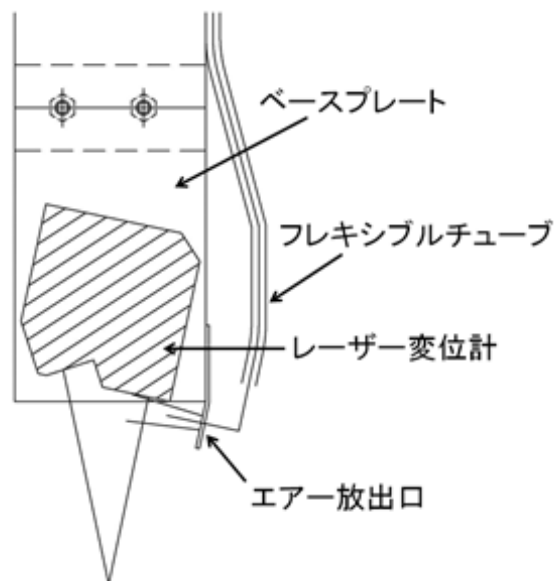


図 9.3.3.2-1 エアー吹付け機構概略図

9.3.3.2.2 炉心タンク水面の揺れについて

炉心タンクへの注水、空調等の影響により、炉心タンク水面が揺れる可能性がある。レーザー変位計は水面の揺れが大きい場合、計測が不可能となる。計測不可能となる程度は不明であるため、詳細な使用条件はモックアップ試験で確認する。

9.3.3.2.3 湯気の影響

軽水昇温時には、水面から湯気の発生が考えられる。レーザー変位計に大量の水滴が付着した場合、正確な計測ができなくなる可能性がある。このため、上記第 9.3.3.3.1 項で述べたエアー吹付け機構を取り付けることで湯気の影響軽減を図る。実際の効果については、モックアップ試験時に確認を行う。

9.3.3.2.4 レーザー測定器本体の校正方法及び実験用水位計による計測手順

本項では、レーザー測定器の計測精度を維持するための校正方法、及び水位計測手順を以下に示す。

レーザー変位計

レーザー変位計は、炉心からの放射線を受けることになるため、その影響確認を含め、定期的な校正が必要である。校正時は、レーザー変位計をベースプレートから取り外し、専用治具を用いて校正を行う。計測精度が校正範囲から外れ、調整不可と判断した場合には、レーザー変位計は交換とする。このため、レーザー変位計については、消耗品の位置付けとする。

レーザー干渉計

レーザー干渉計は、炉心タンクから離れた位置に配置する。このため、遮蔽することができ、放射線の影響を小さくすることが可能である。本機器の推奨再校正期間は 36 箇月である。

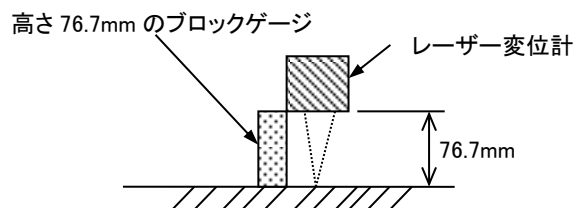
水位計測手順

実験用水位計による水位計測手順を図 9.3.3.2-2 に示す。

まず、ステップ 1 として、レーザー変位計単体のゼロリセットを行う。このとき、変位計の基準距離（76.7mm）に相当するブロックゲージを用意しておき、この基準距離を計測した状態でゼロリセットを実施する。次に、ステップ 2 としてレーザー変位計を炉心タンク内の昇降装置に取付け、炉心タンク底部の基準ブロック（上面を水位 0mm の位置に合わせたもの）からほぼ 76.7mm の距離まで下降し、このときのレーザー変位計の変位量（ ΔX_0 ）を記録するとともに、レーザー干渉計をゼロリセットする。続いて、ステップ 3 としてレーザー変位計を予想臨界水位付近まで上昇後、炉心タンクに給水して臨界を確認する。その後、レーザー変位計の変位量（ ΔX_i ）とレーザー干渉計の変位量（ ΔL ）を記録する。最後に、ステップ 4 として、以下の式により臨界水位（ L_c ）を求める。

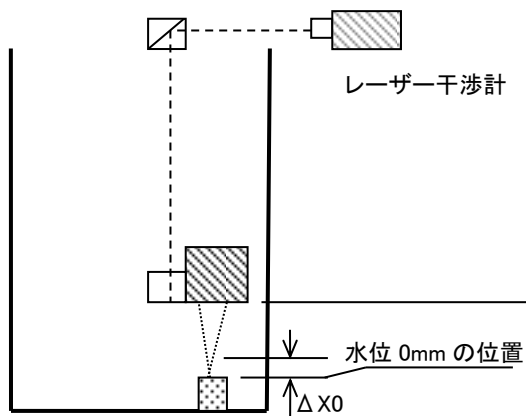
$$\begin{aligned} L_c &= \Delta L + (\text{基準距離} + \Delta X_0) - (\text{基準距離} - \Delta X_i) \\ &= \Delta L + X_0 - \Delta X_i \end{aligned}$$

ステップ1:レーザー変位計のゼロリセット



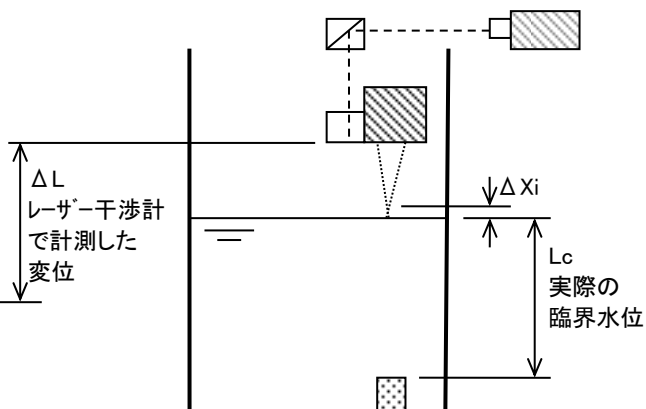
①レーザー変位計を基準距離(76.7mm)でゼロリセットする。

ステップ2:レーザー干渉計のゼロリセット



②レーザー変位計を昇降装置に取付後、炉心タンク底部まで下降させる。
・レーザー変位計の変位量 ΔX_0 を記録する。
・レーザー干渉計をゼロリセットする。

ステップ3:臨界水位での計測



③臨界予想水位まで変位計を上昇させる。
④炉心タンクに給水し、臨界確認する。
・レーザー変位計の変位量 ΔX_i を記録する。
・レーザー干渉計の変位量 ΔL を記録する。

ステップ4:臨界水位の算出

⑤以下の式により臨界水位 L_c を求める。
$$L_c = \Delta L + (\text{基準距離} + \Delta X_0) - (\text{基準距離} - \Delta X_i)$$
$$= \Delta L + X_0 - X_i$$

図 9.3.3.2-2 水位計測手順

9.3.3.3 実験用水位計の基本構造

第 9.3.3.1 項及び第 9.3.3.2 項の検討結果から、「水面」を検知する方法として、水面までの距離を高精度で直接計測することができる「レーザー変位計」を用いること、及びレーザー変位計の位置（高さ）を正確に計測する「レーザー干渉計」を併用する方式採用することとした。

これらの検討の結果に基づいた実験用水位計の基本構造を図 9.3.3.3-1 に示す。

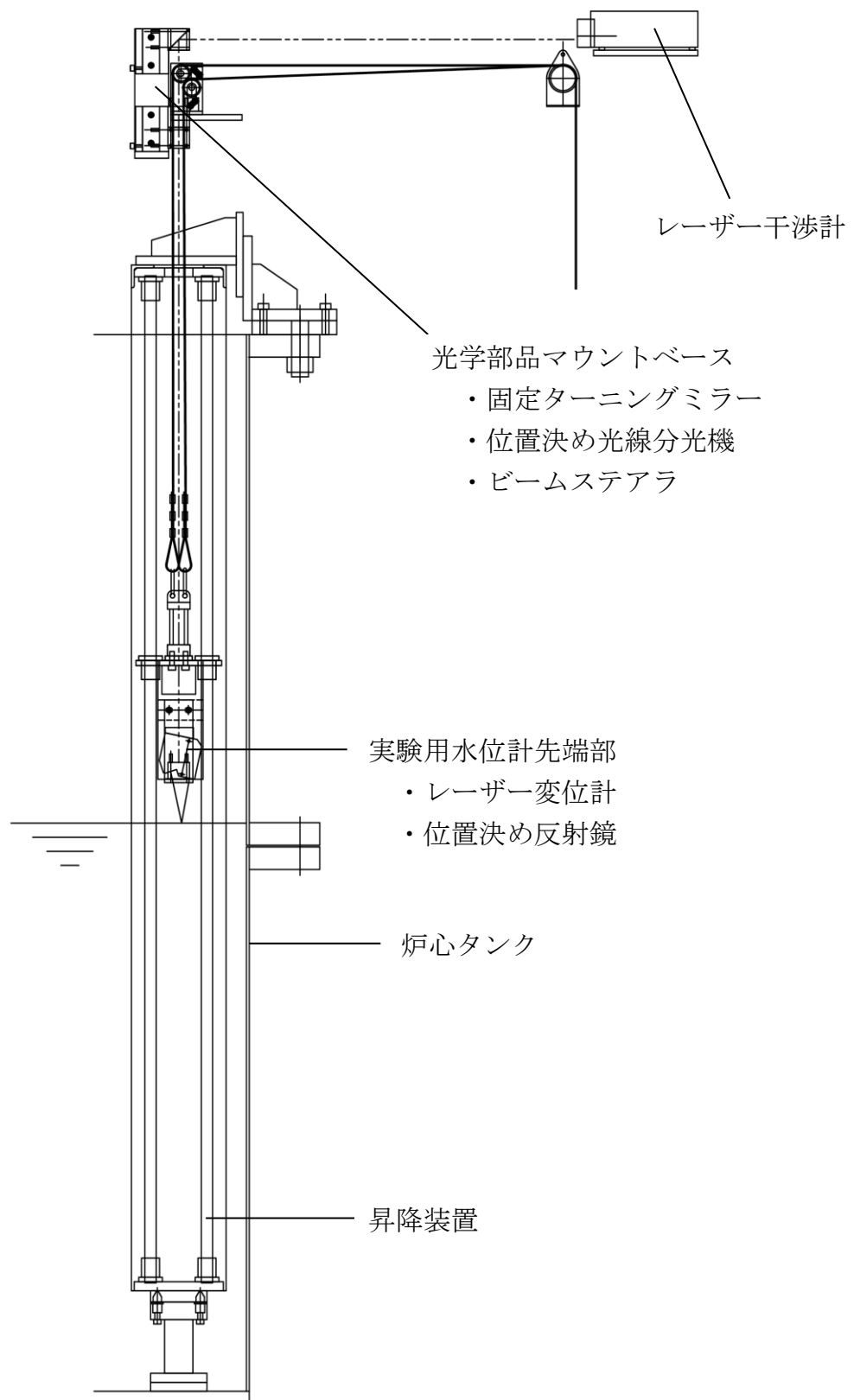
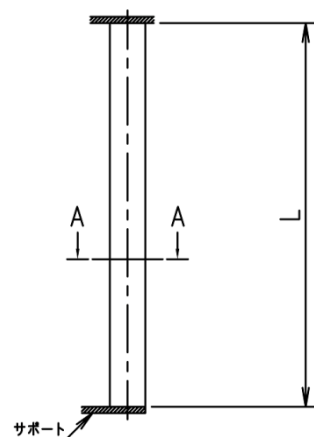


図 9.3.3.3-1 実験用水位計の構造

9.3.4 実験用水位計の耐震強度計算

実験用水位計の耐震強度について検討する。この検討においては、固有振動及び静的水平震度から評価する。評価結果は以下のとおり。

(1) 固有振動数

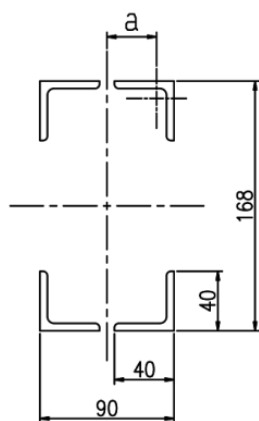


L: 長さ 1821mm
W: 質量 44kg

E: 縦弾性係数 21000kg/mm⁴
I: 断面二次モーメント mm⁴
k: ばね定数 kg/mm
g: 重力加速度 9.8m/sec²
n: 固有振動数 Hz
M: 最大曲げモーメント kg・mm

上端を固定し、下端はサポートをとるので、一端固定他端支持梁としてばね定数を求め、固有振動数を計算する。

[1]断面二次モーメント



断面 A-A

装置フレームは等辺山形鋼(40×40×5t)を使用し、長方形のトラス構造になっている。固有振動数の低い、短辺側の断面二次モーメントを求める。

$$\begin{aligned} I &= (I_T + a^2 A) \times 4 \\ &= (54200 + 33.3^2 \times 375.5) \times 4 \\ &= 1.88 \times 10^6 \text{ (mm}^4\text{)} \end{aligned}$$

I_T : 等辺山形鋼 断面二次モーメント

a: 軸距離

A: 等辺山形鋼 断面積

[2]ばね定数

$$\begin{aligned} K &= \frac{48\sqrt{5}EI}{L^3} \\ &= \frac{48\sqrt{5} \times 21000 \times 1.88 \times 10^6}{1821^3} \\ &= 701.7 \text{ (kg/mm)} \end{aligned}$$

[3]固有振動数

$$\begin{aligned} n &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{kg}{W}} \\ &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{701.7 \times 9.8 \times 1000}{44}} \\ &= 62.9 \text{ (Hz)} \end{aligned}$$

よって本装置は、剛である。

- (2) 静的水平震度 (0.36G)における本体強度
最大曲げモーメントを求める。

$$\begin{aligned} M &= \frac{3(W \times 0.36)L}{16} \\ &= \frac{3 \times (44 \times 0.36) \times 1821}{16} \\ &= 5408.4 \text{ (kg} \cdot \text{mm)} \end{aligned}$$

等辺山形鋼の応力を求める。

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{M}{a \times A} \\ &= \frac{5408.4}{33.3 \times 375.5 \times 4} \\ &= 0.135 \text{ (kg/mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

等辺山形鋼の降伏点は25kg/mm²以上であるため、本装置は十分な強度を持つ。

9.3.5 モックアップ試験計画

9.3.5.1 モックアップ試験計画概要

第9.3.3.1項で検討した実験用水位計の基本設計に基づき、モックアップ試験を計画する。

実験用水位計は、炉心タンク水面を検知するレーザー変位計と、炉心タンク上部からレーザー変位計までの距離を計測するレーザー干渉計を組み合わせものであり、炉心タンク内の温水による熱膨張の影響を受けずに高精度（目標精度：±0.2mm 以内）で炉心タンクの水位を計測できる水位計である。

本水位計は、想定する炉心タンク水位のレーザー変位計を設定することで計測を行うものであり、この高さ設定のための駆動方式には、炉心タンクの外側に設置したボールネジ及びモーターによるワイヤー巻取り方式を採用した。レーザー変位計はワイヤーと連結され、ワイヤーの巻取り及び巻き戻しにより上下駆動させる。

レーザー変位計又はレーザー干渉計の計測精度は、それぞれ非常に高いものである。しかし、目標精度とした±0.2mm 以内を達成するためには、これらの機器を精度良く設置する必要がある。また、STACY 更新炉の実験水温範囲とした最高 70℃まで精度良く測定するためには、温水の場合の湯気等の影響を確認する必要がある。

以上のことから、実機実験用水位計の製作に先立ち、モックアップ試験装置の製作及び精度を確認するための具体的な試験項目とともにモックアップ試験計画を立案する。

9.3.5.2 確認項目

試験で確認すべき項目を以下に示す。

(1)レーザー変位計の昇降動作

ワイヤーの巻取り、巻き戻しによって、実験用水位計先端部に取り付けたレーザー変位計が上端から下端まで滑らかに昇降できることを確認する。

(2)実験用水位計の計測精度

レーザー変位計及びレーザー干渉計を据え付けた後、これらの測定器によつての正確に計測できることを確認する。また、昇降装置によつて任意の位置に設定できることを確認する。

(3)温水の影響

70℃の温水を用いて、水面から 6cm の高さにレーザー変位計を設置し、レーザー変位計自体の温度上昇を確認する。また、湯気の影響によつて計測値に変化のないこと（精度影響のないこと）を確認する。

9.3.5.3 モックアップ試験装置の設計

モックアップ試験装置の主な構成機器及び特徴を以下に示す。また、モックアップ試験装置の概略構造を図 9.3.5-1 に示す。

<主な構成機器>

- ① レーザー変位計
- ② レーザー干渉計位置決め反射鏡
- ③ 光学部品マウントベース
(固定ターニングミラー、位置決め光線分光機、ビームステアラを含む)
- ② 昇降装置
- ③ 昇降装置固定部品
- ④ 模擬タンク
- ⑤ 模擬タンク傾き調整部品
- ⑥ 昇降用ワイヤー
- ⑦ スライドベース

<主な特徴>

- ① 基本的な機構及び寸法は実機と同じ構造とする。
- ② 固定ターニングミラーと位置決め分光器は角度の調整機構を設ける。
- ③ 昇降装置の傾きを修正するため、昇降装置固定部品に調整機構を設ける。
- ④ 模擬タンクには計測中の様子を観察するために、アクリル製の窓を取り付ける。
- ⑤ レーザー変位計を取り付ける実験用水位計先端部の昇降は、実機同様にワイヤー使用とするが、昇降作業は手動にて行う。ワイヤーはスライドベースに固定する。
- ⑥ 昇降装置は水準器又は下げ振りを使用して可能な限り垂直に据え付ける。

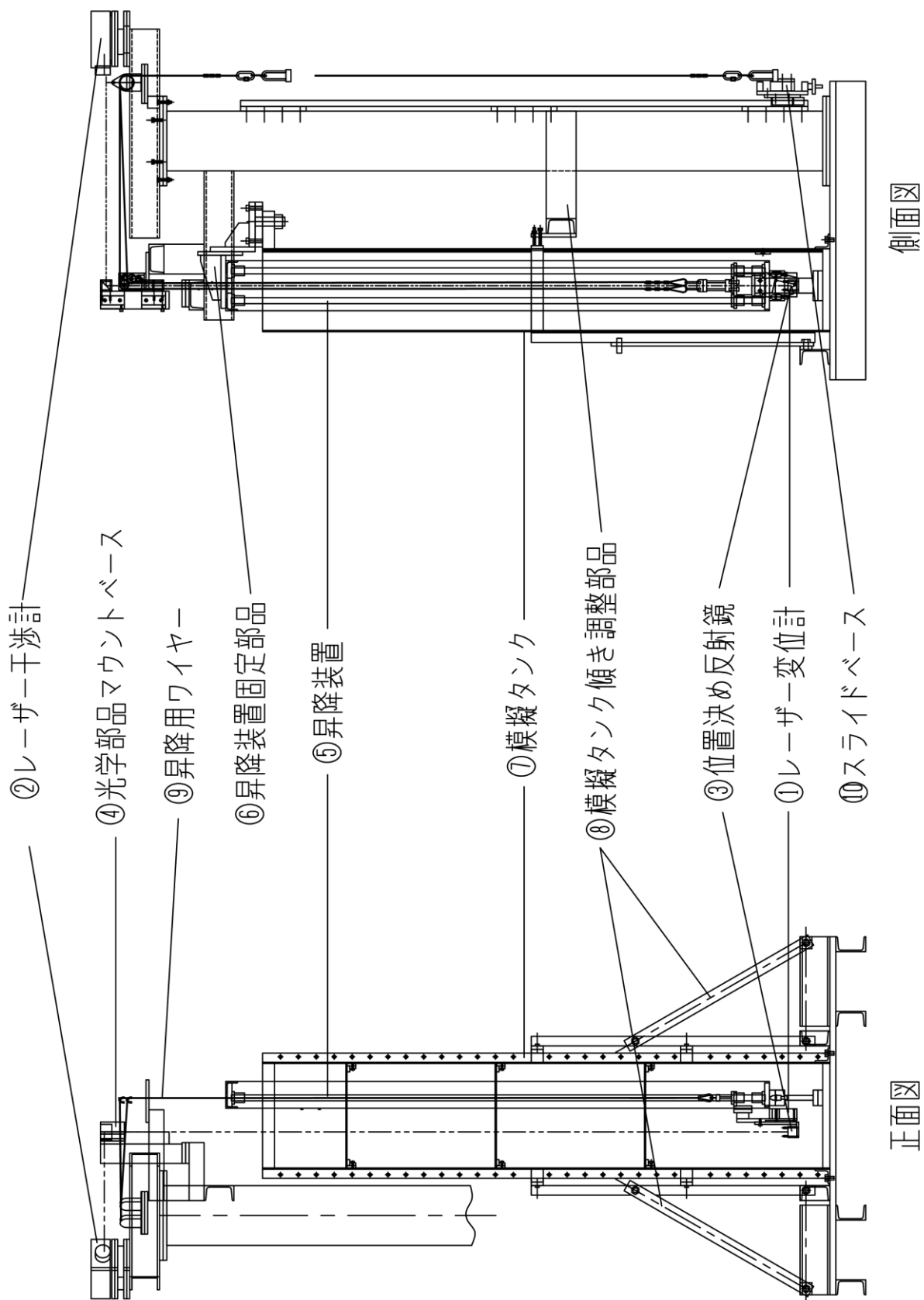


図 9.3.5-1 モックアップ試験装置の概略図

9.3.5.4 モックアップ試験内容

本モックアップ試験で実施する各試験内容を表 9.3.5-1 に示す。また試験の詳細を以降に示す。

表 9.3.5-1 各試験項目一覧

	試験項目	確認方法	水温 (℃)	計測高さ (mm)
1	昇降動作確認	実験用水位計先端部が滑らかに昇降できること。		
2	実験用水位計精度確認	直方体ゲージの高さと計測値を比較し、目標精度以内となること。		600
3				1100
4				1600
5	温度影響確認試験	レーザー変位計の周囲温度が使用範囲であること。また、湯気の影響のないこと。	45	
6			70	
7			45	
8			70	

(1) 昇降動作確認

<目的>

昇降装置に取り付けた実験用水位計先端部（レーザー変位計）が滑らかに昇降できることを確認する。

<試験方法>

- ・実験用水位計先端部を上端部から下端まで自重により下降させる
- ・ワイヤーを巻取り、実験用水位計先端部を上端まで上昇させる。

<評価方法>

滑らかな昇降が可能であることを確認する。

(2) 実験用水位計精度試験

<目的>

精密に製作した直方体のゲージを使用し、実験用水位計による計測精度を確認する。必要に応じて、精度向上を検討する。

<試験方法>

- ・600mm、500mm の直方体のゲージをタンク内に設置する。また、ゲージ同士はシャコ万力で固定する。
- ・設置したゲージの高さを計測する。計測点は、実機の臨界水位を想定し、600mm、1100mm (600+500)、1600mm (600+500+500) の3点とする。

<評価方法>

既知であるゲージ高と実験用水位計による計測値を比較し、 $\pm 0.2\text{mm}$ 以内であることを確認する。

(3) 昇温試験

<目的>

STACY 更新炉では、最高 70°C までの水を用いた実験を行う計画である。本試験では、レーザー変位計自身の昇温状態及び結露状況（湿度を含む。）を確認する。また、エアークリーニング機構による温度及び結露防止効果を確認する。

<試験方法>

- ・レーザー変位計に温度計及び湿度計を取り付ける。
- ・約 70°C の水を 600mm の位置まで模擬タンク内に入れる。
- ・実験用水位計先端部を計測可能な位置まで近づけ、温度と湿度の変化を計測する。
- ・エアークリーニング機構の有無による温度上昇又は結露防止の効果を確認する。

<評価方法>

- ・レーザー変位計の周囲温度が 50°C に達しないこと。
- ・湯気又は結露の影響によって水位計測不可とならないこと。

9.3.6 まとめ

STACY 更新炉の炉心タンク水位を高精度で計測できる実験装置の基本設計を行った。一部の事項についてはモックアップ試験での確認の必要があるものの、実機で計画している水位計測範囲(棒状燃料有効部下端を基準に 400～1400mm)及び水温使用範囲(20℃～70℃)における計測精度(±0.2mm)を満足する実験用水位計とできる見通しを得た。

本検討においては、まず、実験用水位計の目標精度を達成できる計測センサーの比較選定を行った。この比較選定においては、各種センサーの特徴、精度、使用温度範囲、測定範囲を検討し「レーザー式」が最も適しているという結果を得た。

次に、このレーザー式の計測器を用いた水位の計測方法、全体の計測システム及び具体的構造の検討を行った。この構造検討においては、「水面」を検知する方法として、「レーザー変位計」が適していることを確認した。ただし、レーザー変位計は、計測範囲が短いため、計測したい炉心タンクの水位に応じてレーザー変位計自体を移動させる必要があることが分かった。このため、レーザー変位計の位置(高さ)を別な測定器により正確に計測する方式を考案した。また、この位置を計測する機器は「レーザー干渉計」が適切であるという結果を得た。

レーザー変位計の計測範囲は、レーザー発光部からの基準距離 76.7mm に対し、+14.5mm (91.2mm)、-17.6mm (59.1mm) の範囲であり、その計測精度は、0.2%FS (±0.018mm) と非常に高精度である。また、レーザー干渉計についても、長い距離(80m)を高精度で計測することができ、その計測精度は 1m あたり 0.005mm であり、STACY での最大計測距離(約 3m)に対し、計測精度は±0.015mm である。

レーザー変位計及びレーザー干渉計を用いた計測においては、その設置位置を温水(最高 70℃)による熱膨張の影響を受けない構造とするとともに、実験用水位計は、STACY 原子炉の耐震性確保のため、炉心タンクや安全板装置架台に大きな荷重がかからない構造とする必要があった。これらの検討の結果、炉心タンクの上方から「レーザー干渉計」を用いてレーザー変位計自身の位置(高さ)を測定する方式とすることで熱影響を軽減させ、炉心タンク内に「昇降装置」を設置することで安全板装置架台への荷重影響を軽減させる方式を採用した。

レーザー変位計を昇降するための構造としては、2本のガイドを炉心タンク内に設置し、このガイドに沿ってレーザー変位計を昇降させることとした。また、この昇降については、ワイヤーでレーザー変位計を吊り下げ、炉心タンクの外部に設置したボールネジ及びモーターを用いてワイヤーを巻取る方式を採用した。

上述のとおり、レーザー変位計及びレーザー干渉計を用いた水位計測を行うことで非常に高い精度が得られる。しかし、水位計測システム全体として、目標精度(±0.2mm)を達成するためには、本検討で確認できなかった事項、機器全体の高精度での製作及び正確

な設置が必要となる。これらを検証するために必要な条件や試験項目を整理し、モックアップ試験計画を作成した。

以上のとおり、STACY 更新炉の炉心タンク水位計測において、モックアップ試験での検証結果が前提となるが、STACY 更新炉で計画している水位計測範囲（棒状燃料有効部下端を基準に 400～1400mm）及び水温使用範囲（20℃～70℃）で目標とする計測精度（±0.2mm）を満足できる実験用水位計の見通しを得た。

Appendix 9.3.A1 レーザー変位計設置点における線量の計算

第 9.3 節で検討した実験用水位計のレーザー変位計は炉心近くに設置されるため、炉心から出る中性子線及びガンマ線による被曝を受ける。線量がレーザー変位計に悪影響が起ることが考えられるほど高線量の場合、レーザー変位計への被曝による影響がないように対策を講ずる必要がある。本節では、被曝対策の必要性を判断するため、レーザー変位計設置点における線量を評価の計算を行った。

(1) 計算条件

計算コード及び核データライブラリは、MVP と JENDL-4.0 を使用した。モンテカルロ計算における有効総ヒストリ数は 4.9×10^7 、1 サイクルあたりのヒストリ数は 10000、有効サイクル数は 4900、そして統計に用いないサイクルの数は 100 とした。

STACY 炉心の構成は、ピッチ幅 1.090cm、水位 110cm、燃料棒数は 971 本、燃料棒配置は図 A9.3.A1-1 のものを想定した。この体系において、炉心出力が最大の 200W(6.24×10^{12} 核分裂/s)であるとき、炉心中心から 40 cm、水面から高さ 8 cm の位置における線量を評価した。

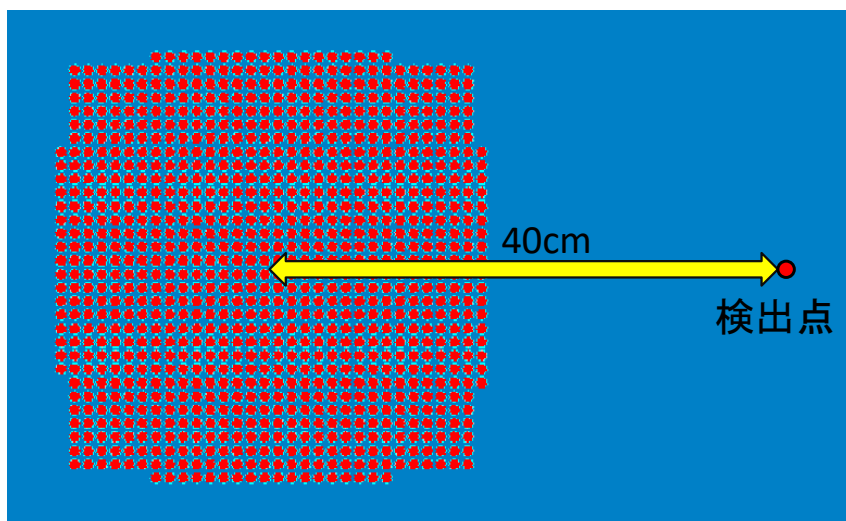


図 A9.3.A1-1 炉心構成と検出点位置(上方から見た断面図)

(2) 計算方法

MVP の点検出タリーを設定することにより任意の点における中性子束および光子束を計算することができるが、MVP の点検出器の出力は、1 ヒストリあたりの中性子束(または光子束)となるため、これを 1 秒間あたりの値 ϕ に換算する必要があり、その変換は次式にて行う。

$$\phi = \frac{\phi_{MVP}}{N_f} P$$

ϕ_{MVP} : 1 ヒストリあたりの中性子束/光子束
 N_f : 1 ヒストリあたり核分裂数
 P : 1 秒間あたりの核分裂数

(A9.3.A1.1)

N_f は体系全体の核分裂を考慮した場合、 k_{eff} と等しいためこの値を用いる。200 W 出力時に起きる核分裂は、1 秒あたり 6.24×10^{12} であるため、 P の値にはこの値を用いる。

中性子束と光子束を $[\text{cm}^2\text{s}^{-1}]$ の単位に換算したら、これに係数を乗じることで Sv/h に換算する。換算係数はエネルギー毎に ICRP Publication 74¹⁾により与えられているため、これを用いている。ここに与えられていないエネルギーについては、log-log 補間を用いることで換算係数を計算する。今回は、中性子について表 A9.3.A1-1 に示すエネルギー群構造を用い、ガンマ線については表 A9.3.A1-2 に示すエネルギー群構造を用いた。表 A9.3.A1-1 および表 A9.3.A1-2 では、上記の方法で計算したそれぞれのエネルギー群に対応する換算係数も示されている。エネルギー群には幅があるが、換算係数は基本的に高エネルギー側の方が高くなるため、群に対応する換算係数はそれぞれの群の上限エネルギーを基に計算することで保守的に見積もる。ただし、中性子の場合は下限エネルギーで計算した場合の方が高くなる場合があり、このときは下限エネルギーを基に計算する。

変換係数は $[\text{pSv} \cdot \text{cm}^2]$ の単位で与えられているので、1 秒間あたりのフラックスを乗じることにより、 $[\text{pSv/s}]$ の単位の線量が計算できる。これに $3600/10^{12}$ を乗じて $[\text{Sv/h}]$ に換算する。

表 A9.3.A1-1 中性子エネルギー群構造

エネルギー範囲 [eV]	換算係数 [pSv・cm ²]
2.00E+07 ~ 1.22E+07	4.99E+02*
1.22E+07 ~ 1.00E+07	4.99E+02
1.00E+07 ~ 8.18E+06	4.99E+02
8.18E+06 ~ 6.36E+06	4.95E+02
6.36E+06 ~ 4.96E+06	4.86E+02
4.96E+06 ~ 4.06E+06	4.73E+02
4.06E+06 ~ 3.01E+06	4.59E+02
3.01E+06 ~ 2.46E+06	4.32E+02
2.46E+06 ~ 2.35E+06	4.07E+02
2.35E+06 ~ 1.83E+06	4.02E+02
1.83E+06 ~ 1.11E+06	3.69E+02
1.11E+06 ~ 5.50E+05	2.98E+02
5.50E+05 ~ 1.11E+05	1.99E+02
1.11E+05 ~ 1.00E-12	6.45E+01

*下限エネルギーを基に計算

表 A9.3.A1-2 ガンマ線エネルギー群構造

エネルギー範囲 [eV]	換算係数 [pSv・cm ²]
1.00E+08 ~ 8.00E+06	2.30E+01
8.00E+06 ~ 6.50E+06	1.93E+01
6.50E+06 ~ 5.00E+06	1.66E+01
5.00E+06 ~ 4.00E+06	1.39E+01
4.00E+06 ~ 3.00E+06	1.19E+01
3.00E+06 ~ 2.50E+06	9.80E+00
2.50E+06 ~ 2.00E+06	8.66E+00
2.00E+06 ~ 1.66E+06	7.45E+00
1.66E+06 ~ 1.33E+06	6.50E+00
1.33E+06 ~ 1.00E+06	5.52E+00
1.00E+06 ~ 8.00E+05	4.48E+00
8.00E+05 ~ 6.00E+05	3.73E+00
6.00E+05 ~ 4.00E+05	2.91E+00
4.00E+05 ~ 3.00E+05	2.00E+00
3.00E+05 ~ 2.00E+05	1.51E+00
2.00E+05 ~ 1.00E+05	1.00E+00
1.00E+05 ~ 5.00E+04	5.19E-01
5.00E+04 ~ 1.00E-12	3.63E-01

(3) 計算結果

以上から、MVPにより計算された中性子束を[Sv/h]に換算した結果を表 A9.3.A1-3、光子束を[Sv/h]に換算した結果を表 A9.3.A1-4 に示す。また、この体系で $k_{\text{eff}} = 1.00009 \pm 0.00014$ であった。MVPにより計算される中性子束には統計誤差が付随しているため、これに起因する線量の統計誤差も表 A9.3.A1-3, A9.3.A1-4 に示す。全エネルギーの合計値の統計誤差は、各群の統計誤差から誤差の伝播法則²⁾により計算したものである。

表 A9.3.A1-3 中性子数計算結果

エネルギー範囲 [eV]	線量 [Sv/h]	統計誤差 [%]
2.00E+07 ~ 1.22E+07	3.14E-03	25.161
1.22E+07 ~ 1.00E+07	1.01E-02	5.821
1.00E+07 ~ 8.18E+06	4.49E-02	5.595
8.18E+06 ~ 6.36E+06	1.52E-01	2.667
6.36E+06 ~ 4.96E+06	3.37E-01	1.921
4.96E+06 ~ 4.06E+06	3.73E-01	1.750
4.06E+06 ~ 3.01E+06	6.59E-01	1.298
3.01E+06 ~ 2.46E+06	6.35E-01	1.089
2.46E+06 ~ 2.35E+06	1.71E-01	2.005
2.35E+06 ~ 1.83E+06	7.37E-01	0.967
1.83E+06 ~ 1.11E+06	1.30E+00	0.707
1.11E+06 ~ 5.50E+05	1.60E+00	0.603
5.50E+05 ~ 1.11E+05	1.63E+00	0.564
1.11E+05 ~ 1.00E-12	1.10E+00	0.636
計	8.75E+00	0.281

表 A9.3.A1-4 ガンマ線計算結果

エネルギー範囲 [eV]	線量 [Sv/h]	統計誤差 [%]
1.00E+08 ~ 8.00E+06	5.24E-03	3.063
8.00E+06 ~ 6.50E+06	3.14E-03	4.664
6.50E+06 ~ 5.00E+06	6.37E-03	2.964
5.00E+06 ~ 4.00E+06	9.80E-03	2.034
4.00E+06 ~ 3.00E+06	2.67E-02	4.782
3.00E+06 ~ 2.50E+06	2.23E-02	1.115
2.50E+06 ~ 2.00E+06	3.42E-02	0.815
2.00E+06 ~ 1.66E+06	2.99E-02	0.943
1.66E+06 ~ 1.33E+06	3.80E-02	2.960
1.33E+06 ~ 1.00E+06	4.53E-02	0.811
1.00E+06 ~ 8.00E+05	2.91E-02	1.037
8.00E+05 ~ 6.00E+05	2.92E-02	0.698
6.00E+05 ~ 4.00E+05	3.20E-02	0.708
4.00E+05 ~ 3.00E+05	1.31E-02	0.902
3.00E+05 ~ 2.00E+05	1.18E-02	1.242
2.00E+05 ~ 1.00E+05	1.26E-02	0.604
1.00E+05 ~ 5.00E+04	6.17E-03	1.085
5.00E+04 ~ 1.00E-12	1.19E-03	1.516
計	3.56E-01	0.533

以上により、炉心中心から 40 cm、水面から 8 cm の位置における線量は、中性子によるものが 8.75 Sv/h、光子すなわちガンマ線によるものが 0.356 Sv/h、合計 9.11 Sv/h となった。線量への寄与は中性子がほとんどであり、ガンマ線の線量は比較的小さいという結果となった。このことから、中性子による被曝の影響について主に考慮する必要があると言える。この対策として、レーザー変位計への被曝影響を照射試験により確認するとともに、必要に応じて遮蔽の設置を検討する。また、運用においては定期的な校正及び交換を行う。

参考文献

- 1) ICRP, 1996. Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation. ICRP Publication 74. Ann. ICRP 26 (3-4).
- 2) 吉澤康和, 新しい誤差論, 共立出版, pp.158, 1989.

9.4 STACY 更新炉運転シミュレーターの整備

9.4.1 目的及び概要

(1) 目的

STACY 更新炉は、教育訓練を主要な目的の一つとしており、学生等の原子炉運転経験のない又は経験の浅い者に、実習として原子炉運転を行わせることを想定している。一方、近年の原子力規制は厳格化の方向にあり、原子炉運転員に対して適切な力量を付与することを求められている。これらの相反する要求を両立させるため、低出力の臨界実験装置としては異例であるが、STACY 更新炉には、実習者の訓練用機材として、運転シミュレーターを整備することを計画している。平成 28 年度には、原子力機構が保有する既設の給排水系モックアップ試験装置¹⁾に、STACY 更新炉の制御盤を模擬した模擬制御盤を製作し、接続する。

(2) 概要

STACY 更新炉は、炉心タンク内に棒状燃料を配列し、炉心タンクに供給する減速材（軽水）の高さ（水位）を調整することによって反応度を制御する臨界実験装置（原子炉）である。この水位調整には、給排水系（給水ポンプ、吐出弁、排水弁、配管等で構築される系統）及び水位制御機器（給水停止スイッチ、最大給水制限スイッチ等）を用いる。機構では STACY 更新に先立ち、STACY 更新炉を模擬した装置（給排水系モックアップ試験装置）を製作している。この装置は、模擬炉心タンク、給排水系、水位計測機器、制御盤等で構成され、実機の水位制御に近い模擬運転が可能な装置である。給排水系モックアップ試験装置の構成機器のうち、制御盤については、給排水系モックアップ試験装置に特化した操作盤となっており、STACY 更新炉実機の制御盤と比較すると、操作レバーやボタン配置、表示しているゲージ等が大幅に異なっている。実機運転前の訓練として給排水系モックアップ装置を用いてもある程度のことは可能であるが、実機と配置や操作方法が異なるため、混乱が生じ、誤操作の可能性が大きくなる等、不安全な状態となることは想像にたやすい。このため、STACY 更新炉の原子炉運転操作を可能な限り忠実に再現できるよう考慮した模擬制御盤を製作した。

模擬制御盤の製作に当たっては、給排水系モックアップ装置の構成機器のうち、模擬炉心タンク、給排水系及び水位計測機器はそのまま利用し、制御盤のみ実機同等の操作が可能な制御盤に変更することとした。これにより、実機の給排水制御に関する操作（炉心タンクに給水し、水位を調整する運転。）が忠実に再現可能な装置とした。また、忠実な再現という観点から、今後の実機設計の変更にも対応できるよう、ボタンの配置やゲージの表示は変更できるように考慮した。さらに、来年度以降、臨界状態忠実模擬を実現するための改良を行っていく。このため、炉心タンク水位に基づく臨界シミュレーションソフトからの模擬中性子信号取出しが可能となった場合に備え、原子炉出力上昇ゲージ（中性子カウンター）の表示及びその信号入力ができるよう考慮した設計及び製作を行った。

9.4.2 成果報告

模擬制御盤は、給排水系モックアップ試験装置の模擬炉心タンク、給排水系、水位計測機器を用いて実機の給排水制御が可能となるよう考慮した制御盤として設計製作した。このため、STACY更新炉の運転シミュレーションは、既設の給排水系モックアップ装置と組み合わせることによって行われる。模擬運転に使用する給排水系モックアップ装置の構成機器及び製作した模擬制御盤の構造等を以下に示す。

(1) 給排水系モックアップ試験装置（既設）

a. 主要機器構成

給排水系モックアップ装置は、以下の主要機器から構成される。（図9.4-1参照）

- ・ 模擬炉心タンク
- ・ ダンプ槽
- ・ 給水系
- ・ 排水系
- ・ 制御系
- ・ 計測機器（サーボ型水位計を含む。）

b. 主要機器の概要

模擬炉心タンクは高さ1.2mの開放タンクであり、模擬炉心タンク底面から約1.0mの位置までダンプ槽に貯留した水を供給することが可能である。また、給水系は、実機に準じた高速給水系及び低速給水系といった配管系統を有し、吐出弁及び流量調整弁並びに流量計等による流量制御が可能である。

(2) 制御盤（新設）

模擬制御盤の構造図を図9.4-2に示す。制御盤に設置する操作レバーやボタンの仕様及び配置等は実機STACY更新炉の制御盤と同等となるよう考慮した。また、流量、液位等の主要なパラメータに加え、将来のシミュレーションを考慮して中性子ゲージも表示した。

操作レバーやボタンについては、実際に操作する機器となるため、ハードで構築するとともに、その設置位置は変更可能となるよう設計した。また、流量、液位等のゲージについてはモニタに表示させることで今後の配置や表示の可否を含め、柔軟に変更できるよう設計した。

製作した模擬制御盤を図9.4-3に示す。

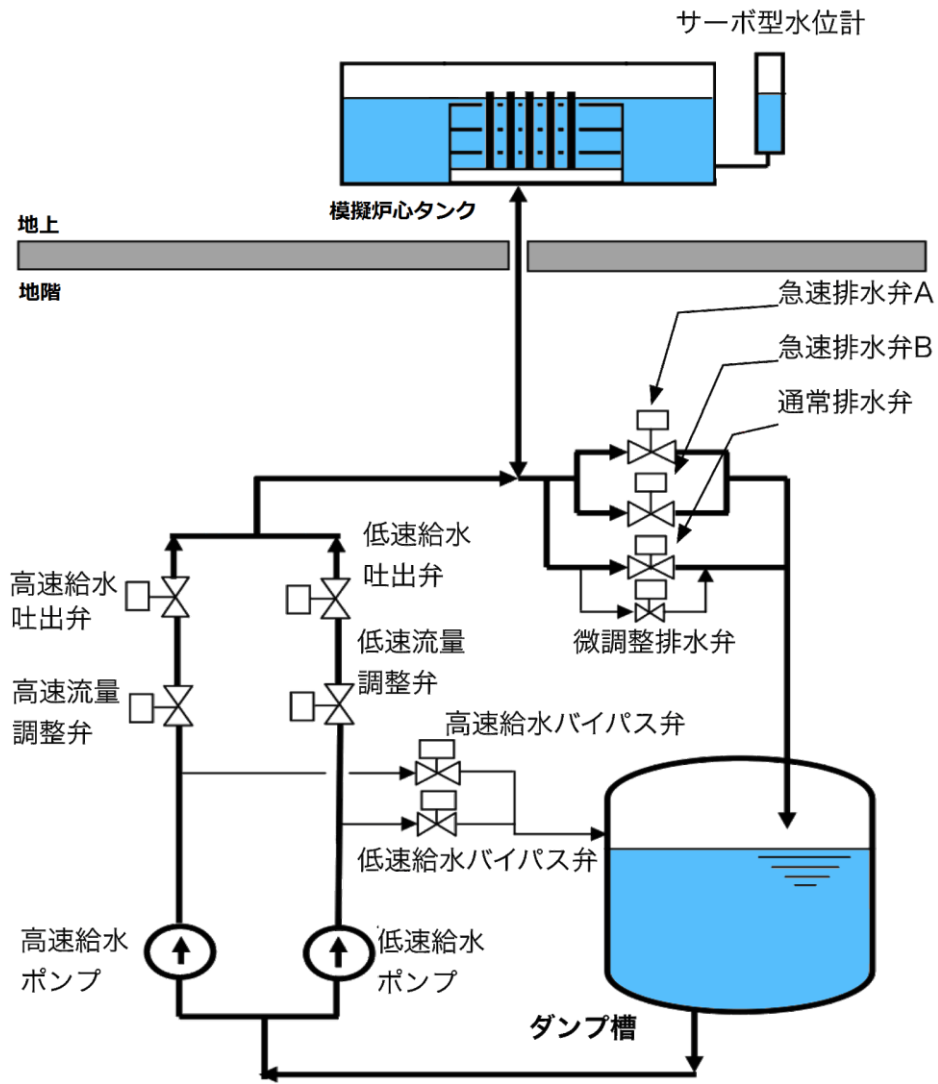
9.4.3 まとめ

STACY 更新炉の運転要員育成及び実習者の事前訓練のため、STACY 更新炉の制御盤を模擬した模擬制御盤を製作した。これにより、STACY 更新炉の実際の運転前に実機同等の操作機器に触れ、炉心タンクへの給排水に関する技能を習得することが可能となった。来年度以降は、炉心タンク水位に基づく臨界シミュレーションソフトからの模擬中性子信号の取出し、及びこれによる反応度及び出力上昇を制御盤に表示させるといった改良を進め

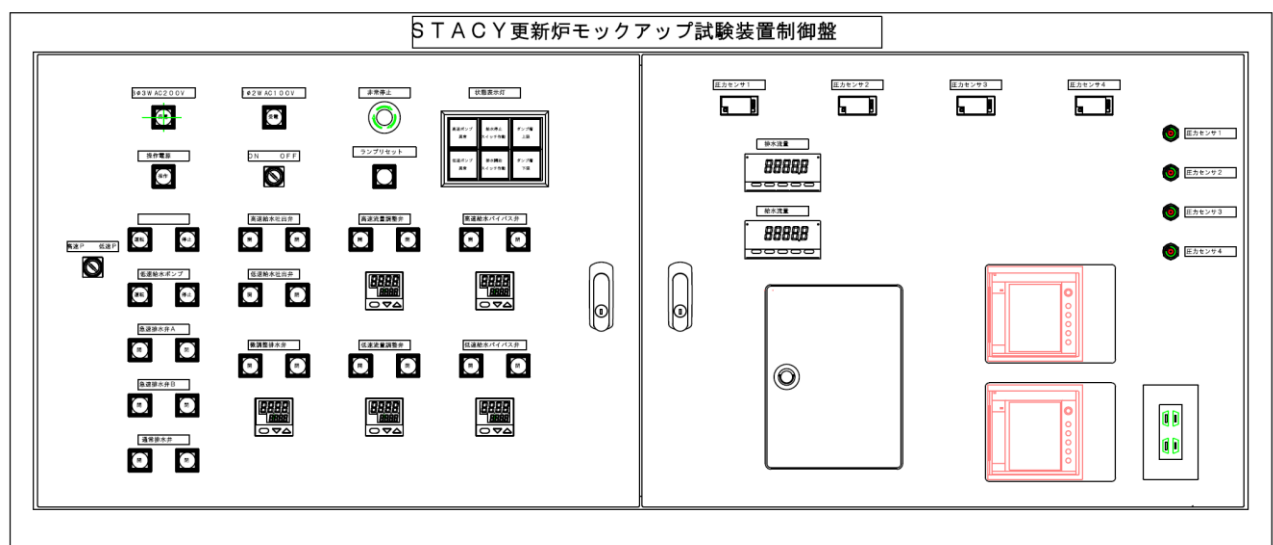
ていく。そして、より忠実に臨界実験が再現できる運転シミュレーターにしていく計画である。

参考文献

- 1) 関 真和他、「STACY（定常臨界実験装置）施設の更新に係るモックアップ試験（給排水システムの性能確認）」、（国研）日本原子力研究開発機構、JAEA-Technology 2017-038、(2018)



(1) STACY 更新炉運転シミュレーターの主要系統 (実機同等の系統)



(2) 既設制御盤レイアウト (実機制御盤とは大きく異なる。)

図 9.4-1 給排水系モックアップ試験装置の主要系統及び制御盤レイアウト

番号	部品名	数量	材質
1	制御盤 (下段) AS	1	
2	制御盤 (上段) AS	1	
3	操作盤AS	1	
4	CRユニット装置AS	1	
5	アンカーベース	4	SS400 6.0t
6	アンカーブラケット	3	SS400 6.0t

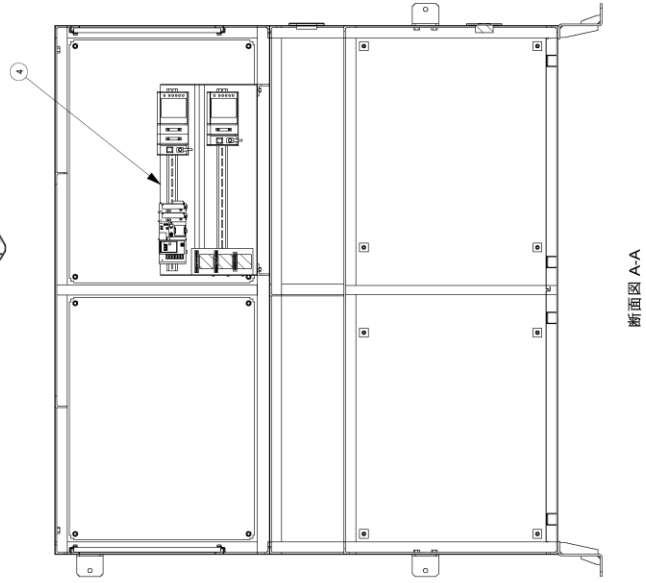
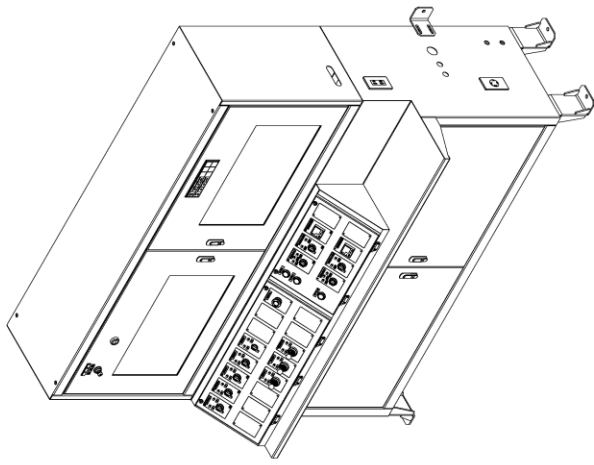
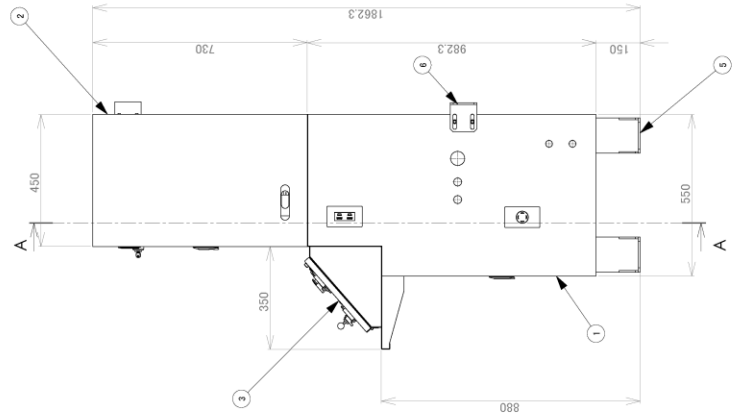
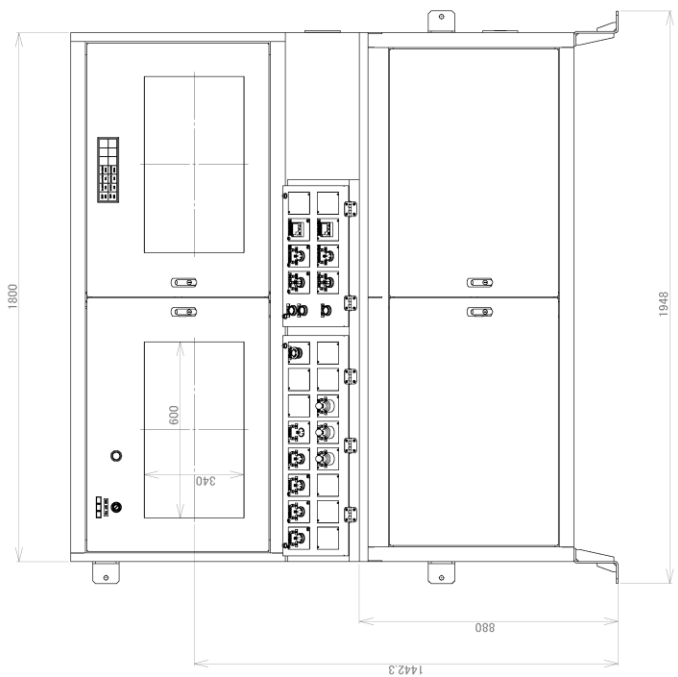
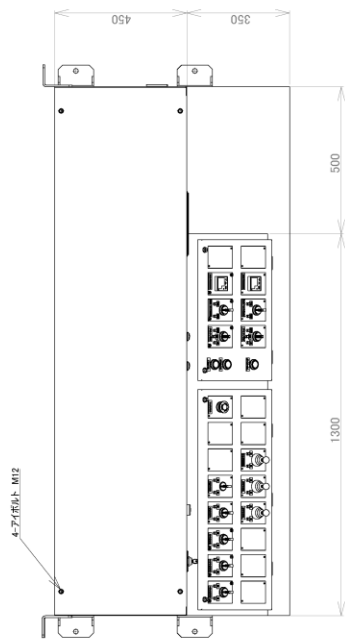


図 9.4-2 模擬制御盤構造図

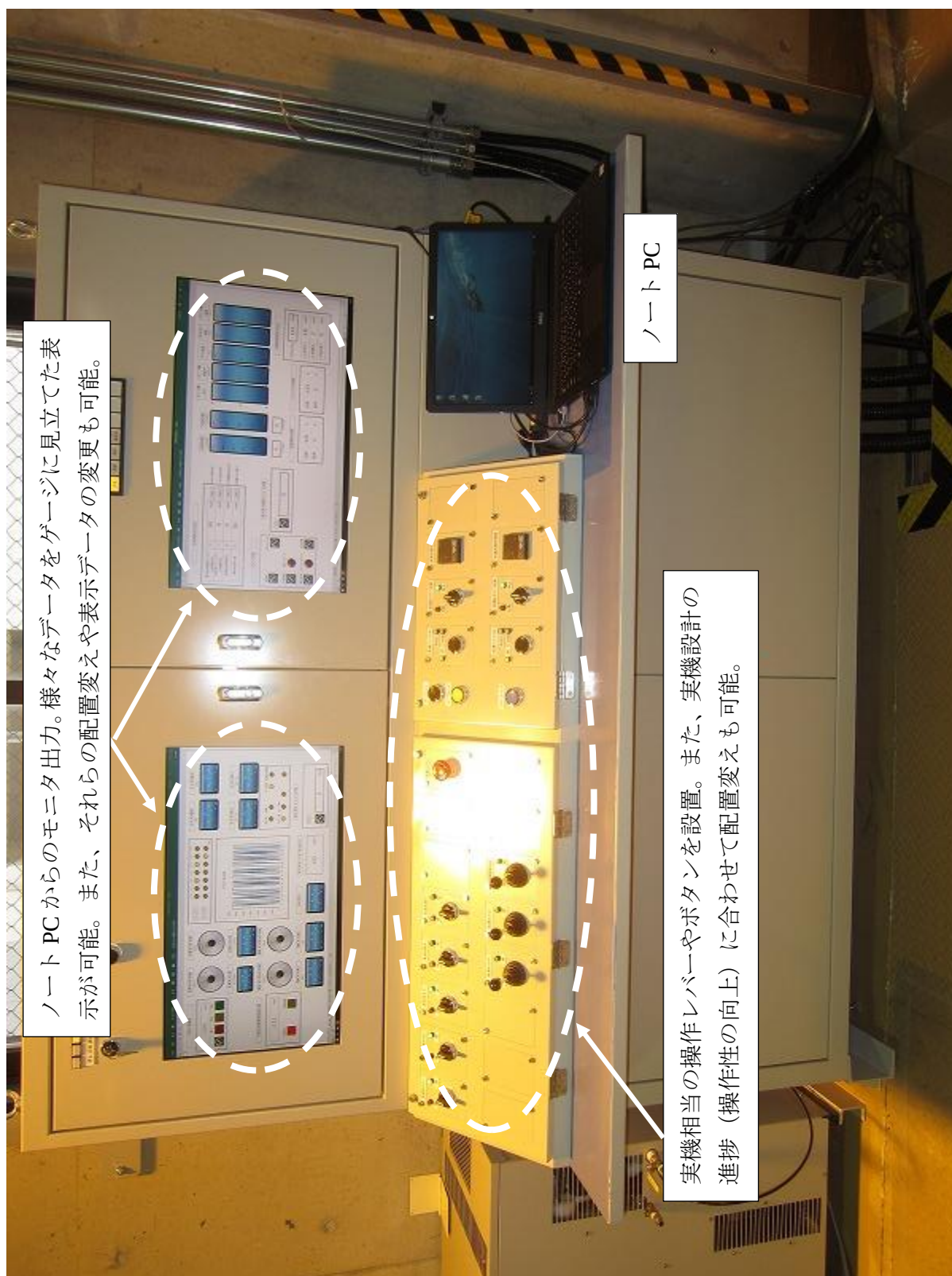


図 9.4-3 製作した模擬制御盤

第 10 章 デブリ模擬臨界実験用燃料の調達

本章では、STACY 更新炉において使用するドライバ燃料の調達について、平成 28 年度事業の結果を報告する。以下、調達計画検討の詳細を「10.1 デブリ模擬臨界実験用燃料調達計画の最適化検討」に、燃料輸送に使用する容器に係る検討の詳細を「10.2 デブリ模擬臨界実験用燃料輸送容器の詳細検討」に示し、燃料の原料となるウラン粉末の製作について「10.3 棒状燃料及びデブリ模擬体用燃料粉末の製作」に示す。

10.1 デブリ模擬臨界実験用燃料調達計画の最適化検討

10.1.1 目的及び概要

(1) 目的

平成 27 年度事業において、STACY 更新炉の臨界実験に用いる燃料の仕様を確定し、調達先として海外(ロシア)燃料加工メーカーを選定したことを受け、平成 28 年度事業では、当該燃料の海外からの輸送に使用する輸送容器の選定と、輸送方法の最適化を行う。

(2) 概要

STACY 更新炉の臨界実験に用いる燃料は、デブリ模擬体調製用粉末燃料及び燃料ペレット並びに棒状燃料である。これらを海外燃料加工メーカーから日本原子力研究開発機構まで輸送するための輸送容器として、国内外での許認可実績及び使用実績をもち、STACY 更新炉用燃料の輸送に適する国内メーカー所有の輸送容器を選定した。また、当該輸送容器を使用する際の燃料の収納方法及び海上コンテナの固縛方法、並びに輸送容器必要基数及び海上コンテナ必要数を検討し、輸送方法の最適化を図った。なお、最適化の一環として、燃料ペレットについては、棒状燃料と同仕様の棒状に加工し、棒状燃料輸送容器に収納して輸送することとし、燃料ペレット専用の輸送容器を不要とした。

10.1.2 成果報告

10.1.2.1 粉末燃料用輸送容器の選定

STACY 更新炉の臨界実験に用いるデブリ模擬体調製用の粉末燃料の重量は約 38 kgU と少量であり、濃縮度は 5 wt%以下である。輸送容器の選定にあたっては、粉末燃料の仕様と共に、国内外の許認可取得状況及び国内設計承認への影響等を考慮し、当該輸送を実現するための最適な輸送容器を検討した。STACY 更新炉の臨界実験に用いるデブリ模擬体調製用の粉末燃料の主な仕様を表 10.1-1 に示す。

後述する検討の結果、表 10.1-1 の仕様の燃料を収納可能な輸送容器として NPC 型輸送容器を選定した。NPC 型輸送容器は、濃縮度 5.0 wt% 以下の酸化ウラン粉末及びペレット等専用の輸送容器であり、現設計で STACY 更新炉用粉末燃料の仕様に対応している。

表 10.1-1 粉末燃料の主な仕様

種類	濃縮二酸化ウラン (UO ₂) 粉末
性状	固体 (粉末)
ウラン総重量	約 38 kgU
濃縮度	約 5.0 wt%
ウラン含有量	> 87.4 wt%
備考	粉末燃料は、日本原子力研究開発機構施設内の取り扱いの観点から約 1 kgU に小分けし、海外燃料加工メーカーから出荷される。

(1) NPC 型輸送容器の許認可取得状況

① 原子力規制委員会交付の核燃料輸送物設計承認書

NPC 型輸送容器は、原子力規制委員会交付の核燃料輸送物設計承認書を取得しており、有効期限は平成 32 年 10 月 25 日までである。

粉末燃料の輸送は平成 31 年度を予定しており、有効期限内の輸送容器の使用が可能である。

② NPC 型輸送容器の海外バリデーションの取得実績及び現在のバリデーション状況

NPC 型輸送容器は、グローバル・ニュークリア・フュエル・アメリカズ (GNF-A) が設計開発を行い、アメリカ合衆国 (米国) の設計承認を取得している。米国における NPC 型輸送容器の設計承認の有効期限は、2020 年 (平成 32 年) 11 月 30 日までである。また、米国の設計承認を基に、その他各国のバリデーションを取得している。主なバリデーション取得国は、カナダ、ロシア、イギリス、スペインである。

当該輸送容器を日本国内及びロシア国内で使用するにあたり、既にロシア当局のバリデーションを取得しているため、輸送容器バリデーションに関するロシア当局への申請等は不要である。

(2) 設計承認への影響評価

NPC 型輸送容器に STACY 更新炉用の粉末燃料を収納するにあたり、核燃料輸送物設計承認申請時に提出した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 (以下、「安全解析書」という) への影響評価について、安全解析書記載要領 (車両運搬確認申請書、容器承認申請書及び核燃料輸送物設計承認申請に添付する説明書の記載要領について、平成 23.03.07 原院 8 号) に定める項目ごと確認を行った結果、現設計からの変更は不要であることを確認した。また、現行の安全解析書に追加しての計算や解析等の必要はない。

(3) 収納方法の検討

NPC 型輸送容器に STACY 更新炉用の粉末燃料を収納する場合の収納方法について検討した結果を以下に示す。また、NPC 型輸送容器の概観を図 10.1-1 に示す。

- ① NPC 型輸送容器には、最高濃縮度 5.0 wt% の二酸化ウラン (UO_2) 粉末を収納することができることから、STACY 更新炉用粉末燃料の輸送に供することが可能である。
- ② NPC 型輸送容器に STACY 更新炉用粉末燃料を梱包するにあたり、既存の梱包材を使用可能であり、追加の梱包材等は不要である。なお、NPC 型輸送容器における既存の梱包材とは、内容器に収納するボトルとボトルに収納する収納袋を指す。
- ③ NPC 型輸送容器に STACY 更新炉用粉末燃料を収納する方法について、上述の収納袋に二酸化ウラン粉末約 1 kgU を収納し、末端部分を結束する。この収納袋をさらにボトルに収納する。ボトルは内容器に収納され、内容器は外容器に収納される。NPC 型輸送容器の燃料収納条件に合わせて、STACY 更新炉用粉末燃料約 38 kgU を収納する。

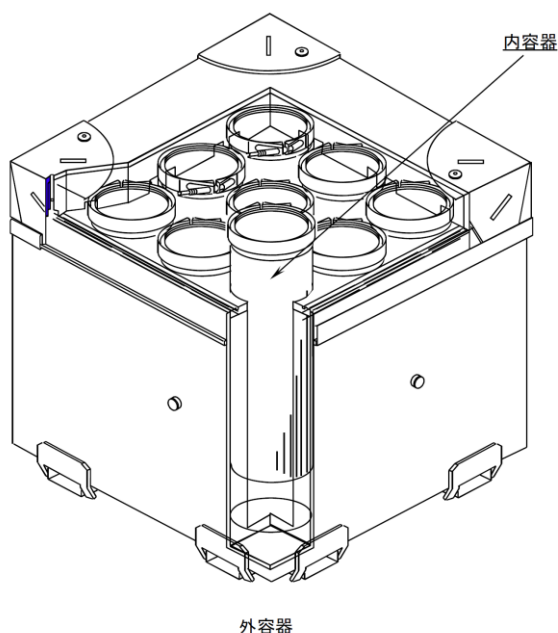


図 10.1-1 NPC 型輸送容器概観図

(4) 核燃料輸送物設計変更申請、容器承認申請及び英文証明取得に係る期間及び費用の調査

(1)から(3)の結果、安全解析書の改訂作業、核燃料輸送物設計変更申請、容器承認申請、英文証明取得及び梱包材等の製作までの費用及び期間は発生しない。

(5) NPC 型輸送容器（内容器）の運搬

(4)の検討の結果、STACY 更新炉の臨界実験に用いるデブリ模擬体調製用の粉末燃料の輸送容器として、NPC 型輸送容器を用いることとした。ロシア加工メーカーにて調達する粉末燃料を収納するため、NPC 型輸送容器の内容器を調達し、ロシア加工メーカーに運搬した。

10.1.2.2 棒状燃料用輸送容器の選定

STACY 更新炉の臨界実験に用いる棒状燃料の被覆管寸法は外径約 9.50 mm、内径約 8.36 mm であり、国内の加圧水型原子炉で用いるジルカロイ-4 と同様の外径・内径である。しかしながら、棒状燃料に用いる被覆管は約 1wt%のニオブを含む合金であり、ジルカロイ-4 と材料組成が異なるため、ジルカロイ-4 と異なる機械的特性をもつ。また、STACY 更新炉の臨界実験に用いる棒状燃料の全長は約 1.5 m と短く、国内商用炉燃料棒用の輸送容器を流用する場合、輸送容器の設計変更が必要となる。輸送容器の選定にあたっては、棒状燃料の仕様と共に、国内外の許認可取得状況及び国内設計承認への影響等を考慮し、当該輸送を実現するための最適な輸送容器を検討した。STACY 更新炉の臨界実験に用いる棒状燃料の主な仕様を表 10.1-2 に示す。

後述する検討の結果、表 10.1-2 の燃料仕様を収納可能な輸送容器として RAJ-III型輸送容器を選定した。RAJ-III型輸送容器は、濃縮度 5.0 wt% 以下の沸騰水型原子炉（BWR）用のウラン燃料棒の輸送に供する輸送容器であるが、STACY 更新炉用棒状燃料の収納に対応するための安全解析を行うことで、輸送容器の外容器改造といった大きな設計の変更を伴うことなく棒状燃料の輸送に使用することが可能である。安全解析については第 10.2 項で詳述する。なお、燃料ペレットについては、棒状燃料と同仕様の棒状に加工することで、RAJ-III型輸送容器に収納して輸送することが可能である。

表 10.1-2 棒状燃料の主な仕様

種類	棒状燃料
輸送本数	901 本 (試験用棒状燃料 900 本、燃料ペレット用 1 本)
燃料棒長さ	全長：公称 1495 mm
燃料ペレット	材質：二酸化ウラン (UO ₂) ペレット 密度：96 %TD 濃縮度：約 5.0 wt% 直径：公称 8.19 mm 高さ：公称 12.00 mm
燃料ペレット部長さ	全長：1420 mm
被覆管	材質：ジルコニウム合金 外径：公称 9.50 mm 内径：公称 8.36 mm
端栓	材質：ジルコニウム合金
スプリング	材質：オーステナイト系耐腐食性スチール
充填気体	ヘリウム加圧
備考	被覆管と端栓は溶接により接合され、密封される。

(1) RAJ-III型輸送容器の許認可取得状況

① 原子力規制委員会交付の核燃料輸送物設計承認書

RAJ-III型輸送容器は、原子力規制委員会交付の核燃料輸送物設計承認書を取得しており、有効期限は平成 30 年 4 月 9 日までである。

粉末燃料の輸送は平成 31 年度を予定しており、STACY 更新炉用棒状燃料の収納に対応するための安全解析を行うと共に、有効期限を平成 31 年度以降とする必要がある。

② RAJ-III型輸送容器の海外バリデーシヨンの取得実績及び現在のバリデーシヨンの状況

RAJ-III型輸送容器は、日本の核燃料輸送物設計承認書（英文証明書）を基に、海外のバリデーシヨンを取得している。主なバリデーシヨン取得国は、米国、カナダ、イギリス、フランスである。

当該輸送容器は日本国内及びロシア国内で使用するため、規制庁への核燃料輸送物設計承認申請と共にロシア当局への輸送容器のバリデーシヨン申請が必要となる。上述のとおり、既に複数国のバリデーシヨンを取得しており、ロシア当局のバリデーシヨン審査においても、既往資料等を活用でき、審査期間の短縮が見込める。

(2) 設計承認への影響評価

RAJ-III型輸送容器に STACY 更新炉用の棒状燃料を収納するにあたり、核燃料輸送物設計承認申請時に提出した安全解析書への影響評価について、安全解析書記載要領に定める項目ごと確認を行った結果、既存 RAJ-III型輸送容器の燃料仕様と比較して、STACY 更新炉用の棒状燃料の物理的形状の違いによる現行の安全解析書への新たな手法の計算や解析モデル及びその解析等の追加及び変更の必要はない。しかしながら、被覆管の機械的特性が関与する項目で解析が必要となる項目があることを確認した。確認結果を表 10.1-3 に示す。

被覆管の機械的特性が関与する代表的な項目について、STACY 更新炉用の棒状燃料の仕様による機械的特性を当てはめて予備評価を行った結果、落下試験時の評価において健全性が維持されない結果となった。STACY 更新炉用の棒状燃料を収納するため、新たな収容方法の検討及び輸送容器に備え付けられている緩衝機能材の変更もしくは追加など構造的要素からの新設計の対応が必要となる。

表 10.1-3 安全解析書記載要領に定める項目ごとの

RAJ-III型輸送容器・安全解析書への影響評価確認結果 (1/6)

安全解析書記載要領に定める項目	影響 有無	影響の概要
(イ)章 核燃料輸送物の説明		
(イ)-A 目的及び条件	○	使用目的の変更
(イ)-B 輸送物の種類	—	
(イ)-C 輸送容器	—	
(イ)-D 輸送容器の収納物	○	収納物の変更
(ロ)章 核燃料輸送物の安全解析		
(ロ)-A 構造解析	—	
A.1 構造設計	—	
A.1.1 概要	—	
A.1.2 設計基準	○	材料名の変更を反映
A.2 重量及び重心	—	
A.3 材料の機械的性質	○	ジルコニウム合金の機械特性値変更
A.4 輸送物の要件	—	
A.4.1 化学的及び電気的反応	○	材料名の変更を反映
A.4.2 低温強度	—	
A.4.3 密封装置	—	
A.4.4 吊上装置	—	
A.4.5 固縛装置	—	
A.4.6 圧力	○	燃料棒仕様値変更による再評価
A.4.7 振動	—	
A.5 一般の試験条件	—	
A.5.1 熱的試験	—	
A.5.1.1 温度及び圧力の要約	—	
A.5.1.2 熱膨張	○	燃料棒仕様値変更による再評価
A.5.1.3 応力計算	○	燃料棒仕様値変更による再評価
A.5.1.4 許容応力との比較	—	
A.5.2 水噴霧	—	
A.5.3 自由落下	—	
(a) 解析モデル	—	
(b) 原型試験	—	
(c) モデル試験	—	
A.5.3.1 1.2 m 底面コーナ落下	—	
A.5.3.2 1.2 m 蓋面水平落下	—	
A.5.3.3 1.2 m 端面垂直落下	—	
A.5.4 積み重ね試験	—	
A.5.5 貫通	—	
A.5.6 角又は縁落下	—	
A.5.7 結果の要約及びその評価	—	

影響の有無；「○」＝影響有り、「—」＝影響なし

表 10.1-3 安全解析書記載要領に定める項目ごとの

RAJ-III型輸送容器・安全解析書への影響評価確認結果 (2/6)

安全解析書記載要領に定める項目	影響 有無	影響の概要
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)	—	
(a) 解析モデル	—	
(b) 原型試験	—	
(c) モデル試験	—	
A.6.1.1 コーナ落下	—	
A.6.1.2 垂直落下	○	燃料棒仕様値変更による再評価
A.6.1.3 水平落下	○	燃料棒仕様値変更による再評価
A.6.1.4 傾斜落下	—	
A.6.1.5 結果の要約	—	
A.6.2 強度試験・落下試験 II (1 m落下時)	—	
(a) 解析モデル	—	
(b) 原型試験	—	
(c) モデル試験	—	
A.6.2.1 結果の要約	—	
A.6.3 熱的試験	—	
A.6.3.1 温度及び圧力の要約	○	燃料棒仕様値変更による再評価
A.6.3.2 熱膨張	○	燃料棒仕様値変更による再評価
A.6.3.3 許容応力との比較	○	燃料棒仕様値変更による修正
A.6.4 浸漬	○	燃料棒仕様値変更による再評価
A.6.5 結果の要約及びその評価	—	
A.7 強化浸漬試験	—	
A.8 放射性収納物	○	収納物条件に合わせて記載見直し
A.9 核分裂性輸送物	—	
A.9.1 核分裂性輸送物に係る 一般の試験条件	—	
A.9.2 核分裂性輸送物に係る 特別の試験条件	—	

影響の有無；「○」＝影響有り、「—」＝影響なし

表 10.1-3 安全解析書記載要領に定める項目ごとの

RAJ-III型輸送容器・安全解析書への影響評価確認結果 (3/6)

安全解析書記載要領に定める項目	影響 有無	影響の概要
A.10 付属書類	—	
A.10.1 枕木受けにガイドピンがない場合の落下時の検討	—	
A.10.2 9 m落下時の歪と加速度	—	
A.10.3 落下衝撃時における緩衝材の変形量算出	—	
A.10.4 応力計算に用いる数値及び係数 (その 1)	—	
A.10.5 応力計算に用いる数値及び係数 (その 2)	—	
A.10.6 燃料棒の曲がり梁の応力計算中の係数	○	燃料棒仕様値変更による再評価
A.10.7 参考文献	○	被覆管機械特性出典図書
(ロ)-B 熱解析		
B.1 概要	—	
B.1.1 輸送物の熱設計	—	
B.1.2 解析条件	—	
B.2 材料の熱的性質	—	
B.3 構成要素の仕様	—	
B.4 一般の試験条件	—	
B.4.1 熱解析モデル	—	
B.4.1.1 解析モデル	—	
B.4.1.2 試験モデル	—	
B.4.2 最高温度	—	
B.4.3 最低温度	—	
B.4.4 最大内圧	○	燃料棒仕様値変更による再評価
B.4.5 最大熱応力	○	燃料棒仕様値変更による再評価
B.4.6 結果の要約及びその評価	—	
B.5 特別の試験条件	—	
B.5.1 熱解析モデル	—	
B.5.1.1 解析モデル	—	
B.5.1.1 解析モデル	—	
B.5.1.2 試験モデル	—	
B.5.2 輸送物の評価条件		
B.5.3 輸送物温度	—	

影響の有無；「○」＝影響有り、「—」＝影響なし

表 10.1-3 安全解析書記載要領に定める項目ごとの

RAJ-III型輸送容器・安全解析書への影響評価確認結果 (4/6)

安全解析書記載要領に定める項目	影響 有無	影響の概要
B.5.4 最大内圧	○	燃料棒仕様値変更による再評価
B.5.5 最大熱応力	○	燃料棒仕様値変更による再評価
B.5.6 結果の要約及びその評価	○	最大内圧値の変更
(ロ)-C 密封解析		
C.1 概要	—	
C.2 密封装置	—	
C.2.1 密封装置	○	収納物条件に合わせて記載見直し
C.2.2 密封装置の貫通部	—	
C.2.3 密封装置のガスケット 及び溶接部	—	
C.2.4 蓋	—	
C.3 一般の試験条件	—	
C.3.1 放射性物質の漏えい	○	燃料棒仕様値変更による記載変更
C.3.2 密封装置の加圧	—	
C.3.3 冷却材汚染	—	
C.3.4 冷却材損失	—	
C.4 特別の試験条件	—	
C.4.1 核分裂生成ガス	—	
C.4.2 放射性物質の漏えい	○	燃料棒仕様値変更による記載変更
C.5 結果の要約及びその評価	—	
(ロ)-D 遮蔽解析		
D.1 概要	○	収納物変更による記載変更
D.2 線源仕様	○	収納物変更による記載変更
D.2.1 ガンマ線源	○	収納物変更により γ 線スペクトルを変更
D.2.2 中性子源	—	
D.3 モデル仕様	—	
D.3.1 解析モデル	○	収納物変更による記載変更
D.3.2 解析モデル各領域に おける原子個数密度	○	収納物変更による記載変更
D.4 遮蔽評価	○	評価結果変更
D.5 結果の要約及びその評価	○	評価結果変更
(ロ)-E 臨界解析		
E.1 概要	○	収納物変更により記載を変更

影響の有無；「○」＝影響有り、「—」＝影響なし

表 10.1-3 安全解析書記載要領に定める項目ごとの

RAJ-III型輸送容器・安全解析書への影響評価確認結果 (5/6)

安全解析書記載要領に定める項目	影響 有無	影響の概要
E.2 解析対象	—	
E.2.1 収納物	○	収納物変更により記載を変更
E.2.2 輸送容器	—	
E.2.3 中性子吸収材	—	
E.3 モデル仕様	—	
E.3.1 解析モデル	○	収納物変更により記載を変更
E.3.2 解析モデル各領域に おける原子個数密度	○	収納物変更により記載を変更
E.4 未臨界評価	—	
E.4.1 計算条件	○	収納物変更により記載を変更
E.4.2 輸送物への水の侵入等	—	
E.4.3 計算方法	—	
E.4.4 計算結果	○	評価結果変更
E.5 ベンチマーク試験	—	
E.5.1 ベンチマーク試験の概要	—	
E.5.2 ベンチマーク試験の評価	—	
E.5.3 ベンチマーク試験の結果	—	
E.6 結果の要約及びその評価	○	評価結果変更
(ロ)-F 規則及び告示に対する 適合性の評価	—	
(ハ)章 品質マネジメントの基本方針		
(ハ)-A 品質マネジメントシステム	—	
(ハ)-B 申請者の責任	—	
(ハ)-C 教育・訓練	—	
(ハ)-D 設計管理	—	
(ハ)-E 輸送容器の製造発注	—	
(ハ)-F 取扱い、保守	—	
(ニ)章 核燃料輸送物の取扱い方法 及び保守の方法		
(ニ)-A 輸送物の取扱い方法	—	
A.1 装荷方法	—	
A.2 輸送物の発送前検査	○	燃料棒の収納本数及び収納方法の変更
A.3 取出し方法	—	
A.4 空容器の準備	—	

影響の有無；「○」＝影響有り、「—」＝影響なし

表 10.1-3 安全解析書記載要領に定める項目ごとの

RAJ-Ⅲ型輸送容器・安全解析書への影響評価確認結果 (6/6)

安全解析書記載要領に定める項目	影響 有無	影響の概要
(二)-B 保守条件	—	
B.1 外観検査	—	
B.2 耐圧検査	—	
B.3 気密漏えい検査	—	
B.4 遮蔽検査	—	
B.5 未臨界検査	—	
B.6 熱検査	—	
B.7 吊上検査	—	
B.8 作動確認検査	—	
B.9 補助系の保守	—	
B.10 密封装置の弁, ガスケット等の保守	—	
B.11 輸送容器の保管	—	
B.12 記録の保管	—	
(ホ)章 安全設計及び安全輸送に 関する特記事項	—	

影響の有無；「○」＝影響有り、「—」＝影響なし

(3) 収納方法の検討

上述のとおり、落下試験時の評価において棒状燃料の健全性が維持されないことが確認されたが、現行設計のままで収納方法も従来通りとし、その状態で STACY 更新炉用の棒状燃料の健全性が維持されるとの前提で物理的形状のみを考慮した場合における、RAJ-Ⅲ型輸送容器に STACY 更新炉用棒状燃料を収納する場合の収納方法について検討した結果を以下に示す。また、RAJ-Ⅲ型輸送容器の概観を図 10.1-2 に示す。

- ① RAJ-Ⅲ型輸送容器には、最高濃縮度 5.0 wt% の二酸化ウラン (UO_2) ペレットを装填した棒状燃料を収納することができることから、STACY 更新炉用棒状燃料の輸送に供することが可能である。
- ② RAJ-Ⅲ型輸送容器に STACY 更新炉用棒状燃料を収納する場合、棒状燃料の上部端栓及び下部端栓に専用キャップを装着した後、収納袋に収納する。収納袋に収納された棒状燃料は、保護ケースに収納される。RAJ-Ⅲ型輸送容器には保護ケースが 2 個収納可能である。この際、既存の RAJ-Ⅲ型輸送容器において想定された燃料仕様と STACY 更新炉用棒状燃料とは形状等が異なるため、RAJ-Ⅲ型輸送容器に STACY 更新炉用棒状燃料を梱包するための追加の梱包材等が必要となる。なお、追加の梱包材は全て棒状燃料が収納される保護ケース内で使用される。
- ③ 現設計における RAJ-Ⅲ型輸送容器に STACY 更新炉用粉末燃料を収納する方法について、梱包材等を用いた棒状燃料収納方法の検討やこれら措置による RAJ-Ⅲ型輸送

容器の構造強度等の評価を実施した結果、構造強度評価の基準値が変更になる箇所があるものの、臨界解析条件の変更等により安全解析上の成立する見通しを得た。安全解析については第 10.2 節で詳述する。

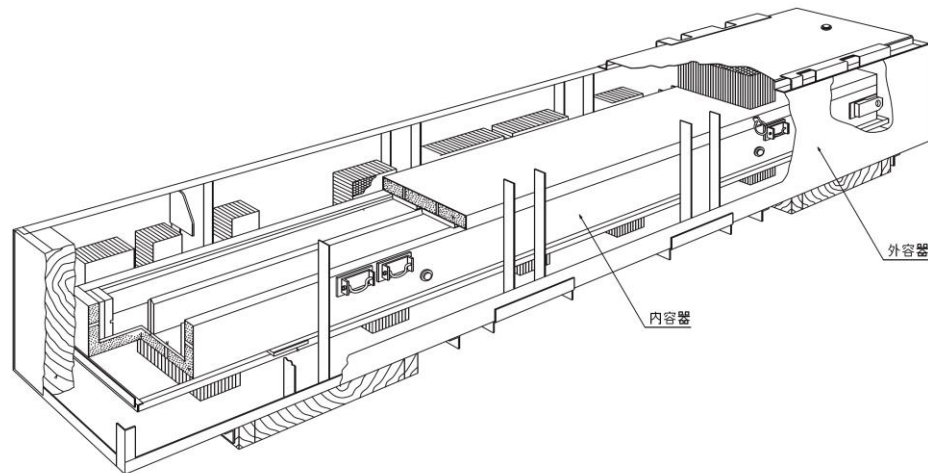


図 10.1-2 RAJ-III型輸送容器概観図

(4) 核燃料輸送物設計変更申請、容器承認申請及び英文証明取得に係る期間及び費用の調査

(1)から(3)の結果、STACY 更新炉用の棒状燃料を収納するために、現行の RAJ-III型輸送容器の安全解析書を基に STACY 更新炉の棒状燃料用の安全解析書を新たに作成し、核燃料輸送物設計承認申請を行う必要がある。棒状燃料の輸送は平成 31 年度を予定しており、これらの取得に係る期間を考慮し、国内の許認可対応を計画している。また、RAJ-III型輸送容器に棒状燃料を収納するための梱包材等の製作を考慮した詳細見積りを実施した。

10.1.2.3 輸送方法の最適化

第 10.1.2.1 項及び第 10.1.2.2 項で検討した輸送容器を用いて、海外燃料加工メーカーから、日本原子力研究開発機構までの輸送を実施する際の輸送容器個数、コンテナ個数や固縛方法等の検討結果を以下に示す。

(1) 粉末燃料用輸送容器（NPC 型輸送容器）

1) 使用する NPC 型輸送容器の個数：2 個

内訳：約 1 kgU を 1 個のボトルに収納し、STACY 更新炉用粉末燃料約 38 kgU を収納するため、38 個のボトルが必要となる。既存の NPC 型輸送容器燃料収納条件を考慮し、STACY 更新炉用粉末燃料約 38 kgU を収納するため、2 個の NPC 型輸送容器が必要となる。

2) 使用する海上コンテナの個数：1 個（密封型・ドライコンテナ）

内訳：1 つのドライコンテナには複数個の NPC 型輸送容器を収納する。

3) 海上コンテナへの固縛方法

既に国土交通省に届けている NPC 型輸送容器の海上コンテナへの固縛強度検討報告書に基づいて海上コンテナへの固縛を行うと、海上コンテナの空隙を埋めるため、空の NPC 型輸送容器が追加で必要となり、輸送容器のレンタル費用等が増大する。

輸送方法の最適化として、粉末燃料の輸送に使用する NPC 型輸送容器 2 個での固縛強度検討を行い、費用削減等に資する。

(2) 棒状燃料用輸送容器

棒状燃料用の輸送容器として、燃料の収納条件等を変更した RAJ-III 型輸送容器を使用する。上述する収納条件の検討の結果、使用する RAJ-III 型輸送容器の個数は、燃料の収納条件により 4～6 個となることを確認した。また、RAJ-III 型輸送容器をコンテナに収納する際はコンテナ上部から輸送容器の荷役を行うため、上部解放型のオープントップコンテナに収納する必要がある。

輸送方法の最適化として、使用する複数個の RAJ-III 型輸送容器を 1 つのオープントップコンテナに収納した固縛強度検討を行い、費用削減等に資する。

(3) STACY 更新炉用の粉末燃料及び棒状燃料の輸送に係る懸案事項

STACY 更新炉用の粉末燃料及び棒状燃料の輸送を行うにあたり、粉末燃料の輸送について懸案は無い。棒状燃料については、RAJ-III 型輸送容器の安全解析書における評価、すなわち被覆管の機械的特性に対して輸送容器の性能を満足させるよう、緩衝材等を用いた棒状燃料収納方法の検討やこれら措置による RAJ-III 型輸送容器の構造強度等の評価を行い、成立性を確認した。安全解析については第 10.2 節で詳述する。

10.1.3 まとめ

STACY 更新炉用燃料の輸送容器の最適化検討として、国内外での許認可実績及び使用実績をもつ輸送容器を選定し、当該輸送容器を使用する際の燃料の収納方法及び海上コンテナの固縛方法、並びに輸送容器必要基数及び海上コンテナ必要数を検討し、輸送方法の最適化を図った。本検討により、粉末燃料用の輸送容器を決定することができた。さらに、ロシア加工メーカーにて調達する粉末燃料を収納するため、NPC 型輸送容器の内容容器を調達し、ロシア加工メーカーに運搬した。

棒状燃料用の輸送容器については、棒状燃料の収納方法等を変更することで使用可能となることを確認した。本検討において安全解析書記載要領に基づき設計変更が必要な箇所について特定しており、STACY 更新炉用棒状燃料の収納に対応するための安全解析を行うことで、輸送容器の外容器改造といった大きな設計の変更を伴うことなく棒状燃料の輸送に使用することが可能である。第 10.2 節で詳述する安全解析を行うとともに、今後、安全解析書の作成、設計変更申請等の輸送容器整備計画を進める。

10.2 デブリ模擬臨界実験用燃料輸送容器の詳細検討

10.2.1 目的及び概要

(1) 目的

平成 28 年度事業において、STACY 更新炉の臨界実験に用いる棒状燃料を海外から輸送する際の輸送容器として、第 10.1 節のとおり RAJ-Ⅲ型輸送容器を選定した。選定結果を受け、棒状燃料を収納するため、RAJ-Ⅲ型輸送容器の設計を変更すると共に安全設計上の成立性を確認し、詳細な安全解析を実施する必要がある。

(2) 概要

RAJ-Ⅲ型輸送容器に STACY 更新炉用の棒状燃料を収納するにあたり、RAJ-Ⅲ型輸送容器に備え付けられている緩衝機能材を変更し、これらを用いた収納方法の詳細設計を実施した。また、RAJ-Ⅲ型核燃料輸送物設計承認に記載された安全解析のうち、収納方法の詳細設計に対する構造、熱、密封、遮蔽及び臨界解析への影響を評価し、収納方法の成立性を確認した。さらに、これらの評価を踏まえ、STACY 更新炉で用いる棒状燃料用の輸送容器として RAJ-ⅢS 型核燃料輸送物の詳細な安全解析を実施した。

10.2.2 成果報告

(1) 収納方法の詳細設計

RAJ-Ⅲ輸送容器には、集合体の形になっていない棒状燃料を輸送するための輸送方式が既存の設計に含まれている。STACY 更新炉の棒状燃料を運搬するための設計変更として、当該設計を使用し、最小限の設計変更で対応でき、また、既存の許可で実施済の原型試験等を再実施する必要がないよう配慮した。以下変更した評価条件を「RAJ-ⅢS」という。

RAJ-ⅢS の、既存の RAJ-Ⅲの設計仕様からの変更点を表 10.2-1 に示す。RAJ-ⅢS は既許可とは棒状燃料の収納方法が異なり、既許可で緩衝体、充填剤として使用している木材は、RAJ-ⅢS の収納条件では割れ、欠け等を生じるおそれがあるため使用できない。このため、代用としてステンレス鋼製の緩衝体を使用することとし、その成立性を確認する。緩衝体の材料として、入手性、加工性ともに優れた材料として JIS G 3448 に規定される「一般配管用ステンレス鋼管」（呼び径 30、引っ張り強さ 520 N/mm²）を仮定した。

表 10.2-1 RAJ-Ⅲの仕様からの変更点

項目	RAJ-Ⅲ	RAJ-ⅢS	備考
燃料棒仕様 (ϕ 外径 $\times$ 長さ;mm)	約 $\phi 12 \times$ 約 4000 約 $\phi 11 \times$ 約 2000～ 4000	$\phi 9.5 \times 1495$	
燃料棒数量	50 本程度	65 本 (7 列 10 段)	
保護ケース内 収納場所	1 カ所	2 カ所	
収納本数 (保護ケー スあたり)	50 本程度	130 本	
充填棒	ステンレス鋼製棒	同左	変更なし
緩衝体	木材	ステンレス鋼パイプ	仕様変更
充填材材質	木材、ステンレス鋼	ステンレス鋼	仕様変更

(2) 収納方法の詳細設計に係る成立性評価

前節で検討した収納方法が RAJ-Ⅲの既存の設計に対する影響を検討した。検討内容は、構造解析、熱解析、密封解析、遮蔽解析、臨界解析である。

① 構造解析への影響評価

1) 解析条件

構造解析にあたり、落下時に燃料棒の被覆管に発生する圧縮応力を評価した。評価モデルを図 10.2-3 に示す。

解析条件は以下のとおりとし、動的解析コード LS-DYNA を用いて、落下時に被覆管に発生する圧縮応力を評価した。

- ・初期速度：9 m 落下を想定し、着床速度 13.3 m/s とする。
- ・加重条件：垂直落下時、保護ケース内部の収納物の落下エネルギーが端部に配置される緩衝体にすべて吸収される。

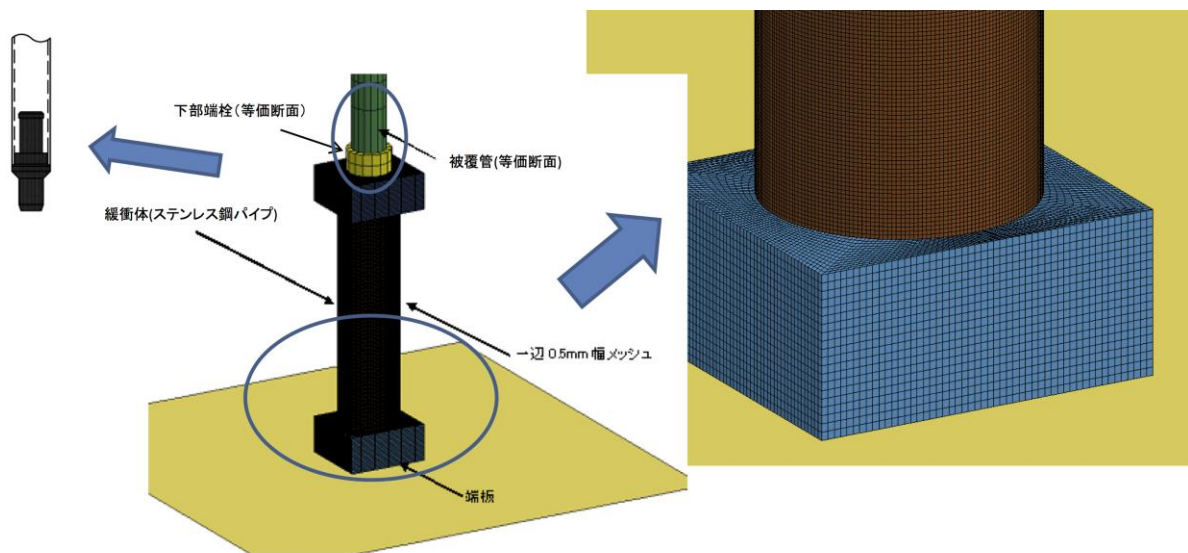


図 10.2-3 構造解析モデル

2) 解析結果

解析結果を図 10.2-4,5 及び表 10.2-2 に示す。解析より、9 m 落下時の緩衝体の最大変形量は 110.9 mm と評価された。また、落下時に燃料棒に発生する応力は最大 224 MPa であり、許容応力 270 MPa を下回ることを確認した。

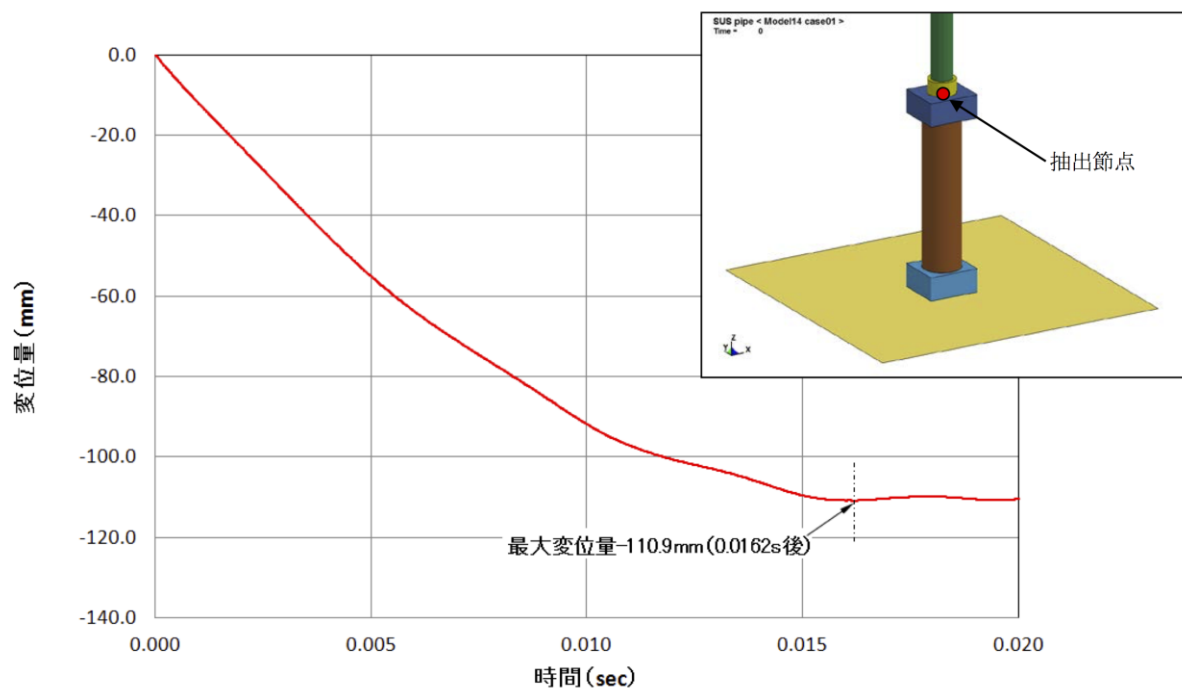


図 10.2-4 緩衝体の変形評価結果

燃料棒に発生した応力時刻歴 (max 224MPa < Su (270 MPa))

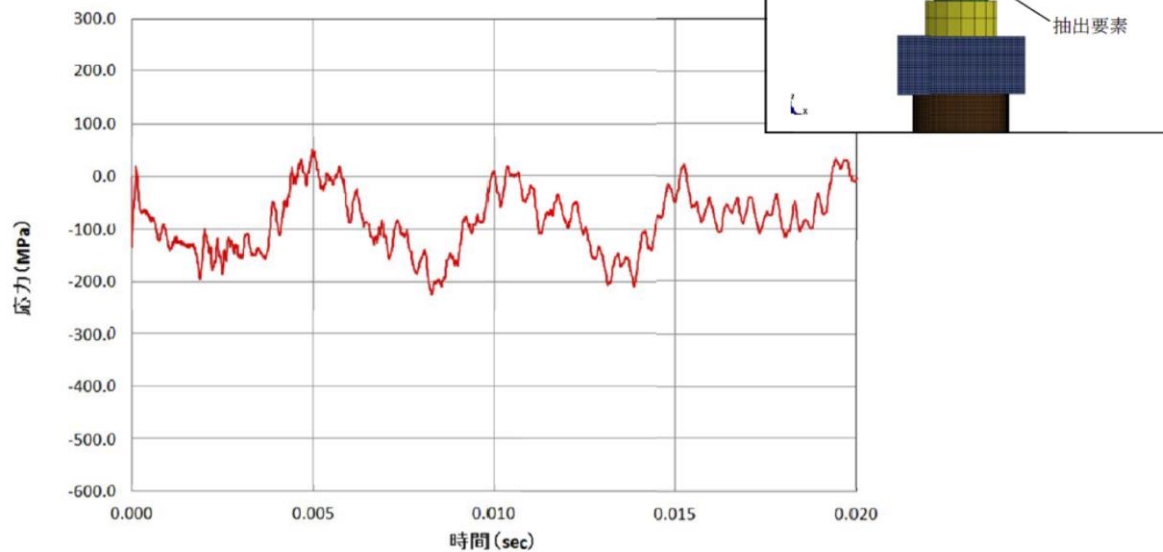


図 10.2-5 燃料棒に発生する応力時刻歴

表 10.2-2 構造解析への影響評価結果

項目	RAJ-III	RAJ-III S
被覆管圧縮応力	350 MPa 程度	224 MPa
評価基準	500 MPa 程度	270 MPa
評価	破損しない	破損しない

② 熱解析への影響評価

1) 解析条件

熱解析の解析条件は、輸送容器の一般及び特別の試験条件を採用した。一般の試験条件下における熱的条件の設定に当たっては、太陽放射による入熱を考慮した温度とした。また、特別の試験条件下における熱的条件としては、A 型核分裂性輸送物として以下の条件を設定した。なお、原型試験では、太陽放射熱を負荷しつつ輸送物を冷却することが困難なため、安全側に一般の試験条件下における輸送物の最高温度と環境温度との差を原型試験結果の温度に加えた補正温度を用いて熱的安全性を評価した。

1. 輸送物を核分裂性輸送物に係る一般及び特別の試験条件に規定されている連続落下条件下に置くこと。
2. 前項に引続き、摂氏 38℃の環境に表面温度が一定になるまで置いた後、800℃の環境に 30 分間置くこと。この場合において、放射熱を負荷しつつ、設計上最大となる内部発熱があるという条件とすること。
3. 放射熱を負荷しつつ、設計上最大となる内部発熱があるという条件下で冷却すること。但し、人為的に冷却してはならない。

2) 解析結果

熱解析の影響評価結果を表 10.2-3 にまとめる。解析結果の相違は燃料棒の仕様の相違によるものであり、一般及び特別の温度条件についてともに基準値を下回り、設計の成立性があることを確認した。

表 10.2-3 熱解析への影響評価結果

(単位：MPa)

項目	RAJ-Ⅲ	RAJ-ⅢS
一般の評価条件		
最大内圧	1.5 程度	0.608
最大熱応力	12 程度	3.94
基準値	300 程度	210
評価	良	良
特別の評価条件		
最大内圧	3 程度	1.23
最大熱応力	25 程度	10.78
基準値	210	115
評価	良	良

③ 密封解析への影響評価

上述する「①構造解析への影響評価」の結果により燃料棒が破損しないことが確認されているため、放射性物質が漏えいすることはない。従って、密封性を解析により評価する必要はない。なお、STACY 更新炉の棒状燃料製作時には、溶接検査、ヘリウムガスによる漏えい検査を、商業炉の燃料と同様に実施する。

④ 遮蔽解析への影響評価

1) 解析条件

遮蔽解析の解析条件を表 10.2-4 に示す。同表に示すとおり、RAJ-ⅢS では放射能の量が RAJ-Ⅲより少なくなる。

表 10.2-4 遮蔽解析への影響評価の解析条件

項目	RAJ-Ⅲ	RAJ-ⅢS	備考
主要な核種	U-235、U-238	同左	
ウランの性状	二酸化ウランペレット	同左	
ペレット重量	310kg 程度以下	210kg 以下	1 輸送物あたり
ウラン重量	300kg 程度以下	186kg 以下	1 輸送物あたり
有効長さあたりの ウラン重量	0.04kg 程度	0.031kg	保護ケース 1 個あたり
放射能量	35GBq 程度以下	25.0GBq 以下	1 輸送物あたり

2) 解析結果

遮蔽解析の解析結果を表 10.2-5 に示す。評価の結果、RAJ-ⅢS の評価結果は RAJ-Ⅲの結果を下回り、基準値に対して十分に低い。これにより設計の成立性が確認された。

表 10.2-5 遮蔽解析への影響評価結果

項目			RAJ-Ⅲ	RAJ-ⅢS	備考
通常輸送時	表面	上面	0.028 mSv/h	0.027 mSv/h	
		下面	0.028 mSv/h	0.027 mSv/h	
		側面	0.014 mSv/h	0.014 mSv/h	
		基準	2 mSv/h		結果：良
	表面より 1m の点	上面	6 μSv/h	5 μSv/h	
		下面	6 μSv/h	5 μSv/h	
		側面	3 μSv/h	3 μSv/h	
		基準	100 μSv/h		結果：良
一般の試験 条件	表面	上面	0.033 mSv/h	0.033 mSv/h	
		下面	0.024 mSv/h	0.024 mSv/h	
		側面	0.014 mSv/h	0.014 mSv/h	
		基準	2 mSv/h		結果：良
増加率*			18%	19.5%	

* 通常輸送時に比べて、一般の試験条件における最大線量等量率の増加率

⑤ 臨界解析への影響評価

1) 解析条件

臨界解析の評価条件を表 10.2-6 に示す。解析には核計算コードシステム SCALE6 に収録されている KENO-Va コードを用い、断面積ライブラリーには ENDF/B-VI 238 群ライブラリーを使用した。

表 10.2-6 臨界解析への影響評価の解析条件

項目	RAJ-Ⅲ	RAJ-ⅢS	備考
種類	新燃料（未照射）	同左	
主要な核種	U-235、U-238	同左	
ウランの性状	二酸化ウランペレット	同左	
U-235 濃縮度	5.0wt%以下	同左	
二酸化ウランペレット重量	310kg 程度以下	210kg 以下	1 輸送物あたり
ウラン重量	300kg 程度以下	186kg 以下	1 輸送物あたり
核分裂性輸送物に係る試験条件	水平落下において、燃料被覆管は塑性変形しない	水平落下において、燃料被覆管は破損しない	燃料棒のモデル化に影響あり

2) 解析結果

臨界解析の解析結果を表 10.2-7 に示す。評価結果、RAJ-ⅢS の中性子実効増倍率は RAJ-Ⅲを一部の評価条件で上回るもののすべてにおいて未臨界を確保することができ、設計の成立性が確認された。

表 10.2-7 遮蔽解析への影響評価結果

ケース		結果 ($k_{eff}+3\sigma$)		評価
試験条件	個数	RAJ-Ⅲ	RAJ-ⅢS	
非損傷及び一般	孤立系 (1 個)	0.551	0.559	良 (未臨界)
	配列系 (1080 個)	0.725	0.723	良 (未臨界)
特別	孤立系 (1 個)	0.617	0.629	良 (未臨界)
	配列系 (432 個)	0.865	0.858	良 (未臨界)

(3) RAJ-ⅢS 型核燃料輸送物安全解析書の作成準備

前節の評価により、RAJ-ⅢS 型輸送容器の設計は適切であり、我が国の輸送許可取得及び海外規制当局へのバリデーション取得が可能であると考えられる。平成 28 年度事業では、上記評価を基に、RAJ-ⅢS 型核燃料輸送容器の安全解析書に掲載する解析データを取りまとめ、さらに、海外規制当局へのバリデーション取得準備を整えた。

10.2.3 まとめ

STACY 更新炉で使用する棒状燃料を海外の燃料加工工場から輸送するため、輸送容器の詳細設計を行った。設計にあたり、既に燃料集合体の形ではない棒状燃料の運搬に対応している RAJ-Ⅲ型輸送容器を選定し、STACY 更新炉の棒状燃料に対応できる設計変更（RAJ-ⅢS 型輸送容器の設計）を行った。

必要な設計変更を検討した結果、緩衝材の変更により STACY 更新炉の棒状燃料を収納することが可能であることを確認した。また、その設計変更について、構造解析、熱解析、密封解析、遮蔽解析、臨界解析それぞれについて評価し、設計の成立性があることを確認した。さらに、これらの評価結果を我が国及び海外の規制当局への申請資料である核燃料輸送物安全解析書に掲載可能なデータとして取りまとめた。

次年度以降の事業では、今年度の事業成果を活用し、核燃料輸送物安全解析書を作成するとともに、我が国の設計変更承認を申請する予定である。また、同時に核燃料輸送物安全解析書英文証明を取得し、輸送経路として想定される海外の規制当局へのバリデーション申請を行う予定である。

10.3 棒状燃料及びデブリ模擬体用燃料粉末の製作

10.3.1 目的及び概要

(1) 目的

平成 27 年度事業で実施した STACY 更新炉の臨界実験に用いる棒状燃料及びデブリ模擬体用粉末燃料の製造契約に基づき役務取引許可を取得し、調達先である海外加工工場から技術情報を取得するとともに、棒状燃料の製作に向けて準備を整える。また、粉末燃料を調達し、粉末燃料用輸送容器の内容器への収納及び保管を実施する。

(2) 概要

棒状燃料の設計、製造要領及び検査要領に関する詳細な技術情報を取得するため、役務取引許可を申請、同許可を取得した（第 10.3.2(1)項）。これに基づき、平成 27 年度事業で燃料製造契約を締結した海外（ロシア）燃料加工工場に職員を派遣し、棒状燃料の詳細設計、製造要領及び検査要領に関する技術情報を取得した（第 10.3.2(2)項）。また、棒状燃料の製作のための二酸化ウラン粉末を調達し、燃料デブリ臨界実験に要求される仕様を満足することを確認した。さらに、第 10.1 節で選定した粉末燃料用輸送容器の内容器を海外加工工場に運搬するとともに、調達したデブリ模擬体用粉末燃料を収納・保管した（第 10.3.2(3)項）。

10.3.2 成果報告

(1) 役務取引許可

1) 役務取引許可申請（日本国内手続き）

平成 29 年 1 月に日本、ドイツ、ロシアとの 3 ヶ国間におけるロンドンガイドラインに基づく口上書の交換手続き完了を以って行った役務取引許可申請は、平成 29 年 4 月 14 日付けにて許可証が経済産業省 貿易経済協力局 貿易管理部 安全保障貿易審査課より発給された。

2) 役務取引許可申請（ロシア国内手続き）

海外加工工場が有する公開情報以外の STACY 更新炉用燃料の詳細設計情報を原子力機構が取得するためには、海外加工工場が、ロシア政府から発給される役務取引許可書を取得しなくてはならない。同許可申請を行うため、下記書類の取得を行った。

① 最終需要者証明書	1 通
② 日本政府の保証書発行依頼書	1 通
③ 確認書	1 通
④ 日本政府の保証書	1 通

手続きの流れは、海外加工工場がまず最終需要者証明書に原子力機構の署名を取得し、その後海外加工工場の親会社（以下単に「親会社」という。）へ日本政府の保証書発行を依頼する。親会社は同依頼を基に日本政府宛の保証書発行依頼書を作成し、モスクワにある在ロシア日本国大使館へ正式な外交手続きとして依頼を行う。

在ロシア日本国大使館は同依頼を受領後、日本国外務省へ報告する。外務省は経済産業省 資源エネルギー庁 ガス・電力事業部 原子力政策課と協議し、内容に問題がない場合には原子力政策課より確認書発行通知が行われる。機構が同確認書を提出し、原子力政策課が受領次第、外務省へ連絡され、在ロシア日本国大使館を通じて親会社へ日本政府の保証書が発給される。

日本政府の保証書受付窓口：外務省 在ロシア日本国大使館

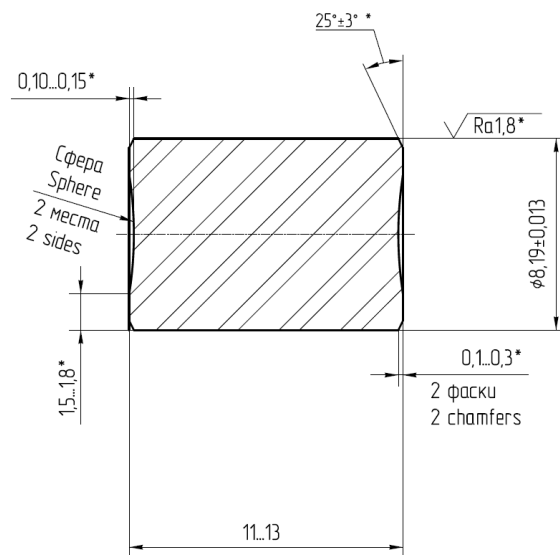
日本政府の保証書が親会社へ発給され次第、海外加工工場は親会社へ役務取引許可申請が可能となる。本事業においては、平成 29 年 9 月 27 日に同申請を行い、許可証は平成 29 年 11 月 24 日に発給された。

(2) 棒状燃料詳細設計（製造要領及び検査要領含む）

上述する「(1) 役務取引許可」に基づき、詳細な設計情報のやり取りが可能となり、棒状燃料の設計、製造要領及び検査要領に関する詳細な技術情報を取得した。棒状燃料の部材である UO_2 ペレット、被覆管、上部端栓、下部端栓及びスプリング並びにこれらを組み合わせた棒状燃料全体の詳細設計について協議を行い合意した。下記に詳細を示す。

1) UO_2 ペレット

臨界実験に対する精度向上を目的として、 UO_2 ペレットを製作する際の濃縮度や寸法等のばらつきを極力抑えるため、同一ロットの粉末を使用、並びに同一ラインで圧縮成型及び焼結を行うことについて合意した。詳細図面を図 10.3-1 に示す。



<注釈>

- 1：「*」の寸法及びパラメータは工場設備によって計測されるものとする。
- 2：平均有効粒径は 25 ミクロン以上とする。
- 3：長さ 1000mm のペレット柱の想定質量は、 546.0 ± 5.0 g とする。
- 4：その他技術要件は技術仕様書（30400.46.00.004 ДТС）に従うものとする。

図 10.3-1 UO_2 ペレット詳細図面

2) 被覆管

臨界実験に対する精度向上を目的として、寸法のばらつきを極力抑えるために、同一ロットの被覆管部材を使用することについて合意した。詳細図面を図 10.3-2～4 に示す。

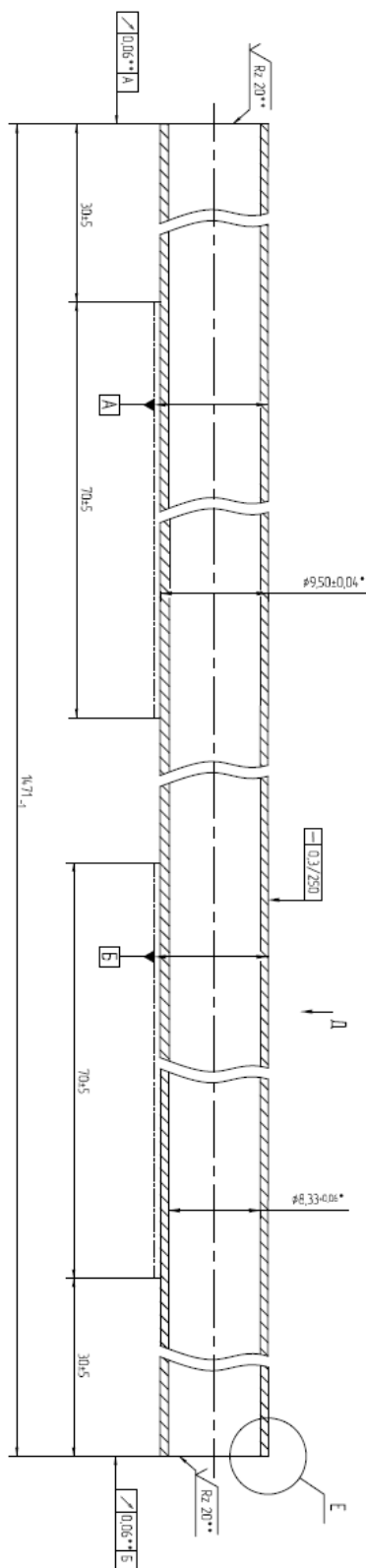


図 10.3-2 被覆管詳細図面(全体)

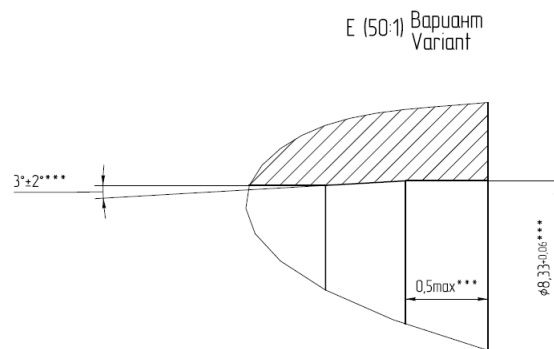


図 10.3-3 被覆管 E 部詳細

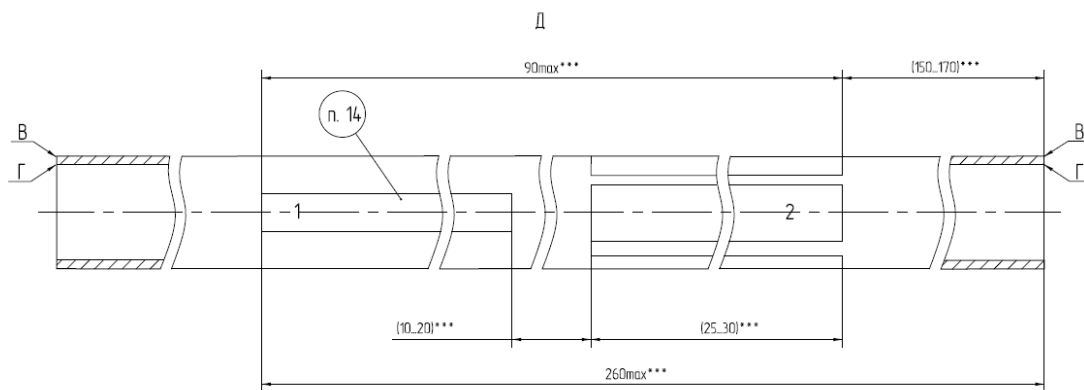


図 10.3-4 被覆管 Д 部詳細

<注釈>

- 1: 「*」の寸法は参考寸法とする。
- 2: 「**」の寸法及びパラメータは工場設備によって計測されるものとする。
- 3: 「***」は工場設備設計における寸法とする。
- 4: B・Γの縁にバリがあってはならない。目視にて検査する。
- 5: 蒸留水による脱脂または洗浄は行わない。
- 6: 被覆管の外表面・内面に湿気(滴の形状)がないこと。
- 7: 異物(清掃用布、梱包材、ツール、紙、スケール、削りくず、エメリ粉、金属粉等)が被覆管の内側にないこと。
- 8: 汚染(油、加工潤滑油、脂肪染色、他)は被覆管の表面にないこと。測定・切断ツール、製造装置による母材金属を研磨した結果、除去が可能なしみや汚れ、欠けは、不合格基準とみなさない。検査の際、洗浄や内部の圧縮空気または窒素の排出後の布への汚染は、布の目視管理サンプルに適合すること。
- 9: 機械的損傷(機械跡、ひっかき傷、穴、凹凸)のうち、深さ 0.03mm 以下のすり減り部分が被覆管の外表面にある場合は許容する。検査は、技術仕様書 (TC001.411-2009) に従って行う。

- 10：被覆管の外面のうち端部から 50mm 以下の距離にある跡は許容する。この場合、外觀管理サンプルにより目視にて確認が行われる。
- 11：超音波・渦電流試験中に端部を検査する。
- 12：被覆管外面のフッ化物及び塩化物の濃度平均値は、100 µg/dml 以下とする。被覆管外面のフッ化物濃度検査は、技術仕様書（МВИ 38-064-2012 または ОИ 001.438-98）に従って行われる。被覆管外面の塩化物濃度検査は、技術仕様書（МВИ38-065-2012 または МВИ08-219-2013）に従って行われる。両者の平均合計濃度の許容値は 65µg/dml とする。
- 13：輸送及び保管は、技術仕様書（TC 001.411-2009）に従い行われる。
- 14：製造中、レーザーマーキングを適用する。マーキングは、高さ(3⁺³)mm のフォントを使用した被覆管登録番号となり、管の高さ(3⁺³)mm の部分の被覆管円周上の 90° 毎、4 か所に印字する。登録番号は重複させない。登録番号は、000000001 から 999999999 までの 9 ケタ。マーキングは、はっきりと読めるものでなければならない。
- 15：マーキングの深さは、0.005mm 以下とする。熱影響域の深さは 0.040mm 以下とする。マーキング箇所の被覆管の耐食性は、技術仕様書（TC 001.411-2009）に記載された要件に基づく。
- 16：次の条件を満たしたものを本図面に従い 1 バッチで作られた被覆管とする。
- 同じロットから構成される。
 - ロット数量は 910～1000pcs とし、発注時に定める。
- 17：梱包は、技術仕様書（TC 0014.11-2009）の要件に従って行う。ただし梱包容器のマーキングや付属文書の要件は除くものとする。また、梱包により被覆管端部が損傷しない事を担保するものとする。
- 18：証明書は、被覆管のロットにおいてロシア語・英語で作成する。少なくとも次のデータを含むものとする。
- 被覆管のロット番号
 - 被覆管の図面名称・記号表示
 - 1 ロット内の被覆管のシリアル番号
 - 1 ロット内の被覆管数量
 - 合金等級
 - ロットの被覆管製造に使用した管材のロット番号
 - ヒート番号
 - 技術仕様書におけるチューブ材の特殊名称
 - 管材のロット証明書番号
 - 検査パラメータ
 - サンプル抜き取り量
 - 検査頻度
 - 検査員の署名(役職、検査日を伴う)により確認済みの検査結果
 - 不適合情報
- 19：指定されたロットの被覆管製造に使用した管材のロットの証明書は、被覆管ロットの証明書に付属する。

3) 上部端栓

臨界実験に対する精度向上を目的として、寸法のばらつきを極力抑えるために、同一ロットの端栓部材を使用することについて合意した。また、棒状燃料を炉心へ挿入する際の作業性の観点から把持部についても抜き差ししやすい形状とした。詳細図面を図 10.3-5 に示す。

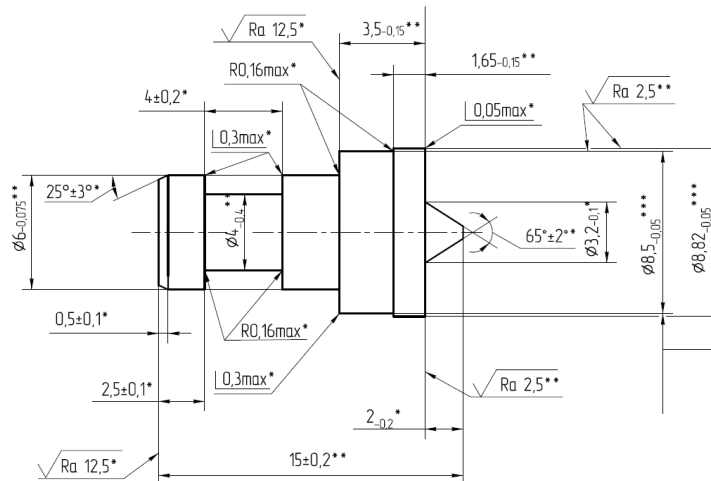


図 10.3-5 上部端栓詳細図面

<注釈>

- 1: 「*」の寸法及びパラメータは工場設備によって計測されるものとする。
- 2: 「**」の寸法及び表面粗さは、不適合レベル(NQL)1%以下を担保するものとする。
- 3: 「***」の寸法は不適合レベル(NQL)0.65%以下を担保するものとする。
- 4: 次の状況の場合は不合格とする。
 - B, B, Γ 表面の深さ 0.05mm に達する機械的損傷、その他表面の深さ 0.1mm に達する機械的損傷。
 - B, B, Γ 表面上の汚れ、跡、線などの色の濃い欠陥部分(酸化被膜)。
- 5: 次の条件を満たしたものを本図面に従い 1 バッチで作られた上部端栓とする。
 - 同ロットの棒材から製造されている。
 - 同機器・製造装置で製造されている。
 - ロット数量は 910~1000pcs の間となり、発注時に定める。
- 6: 証明書は、上部端栓のロットにおいてロシア語・英語で作成する。
- 7: その他要件については、技術仕様書 (TC 001.412-2009) に従うものとする。

4) 下部部端栓

上部端栓と同様、臨界実験に対する精度向上を目的として、寸法のばらつきを極力抑えるために、同一ロットの端栓部材を使用することについて合意した。詳細図面を図 10.3-6 に示す。

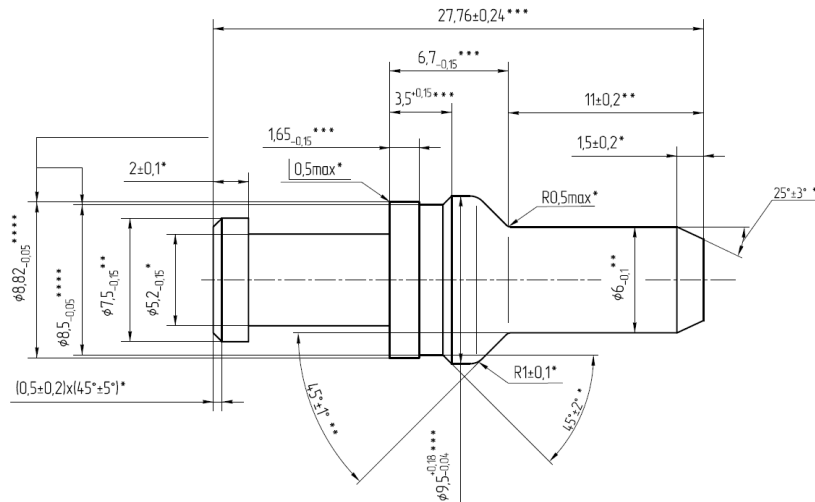


図 10.3-6 下部端栓詳細図面

<注釈>

- 1: 「*」の寸法及びパラメータは工場設備によって計測されるものとする。
- 2: 「**」の寸法及び表面粗さは、不適合レベル(NQL) 6.5%以下を担保するものとする。
- 3: 「***」の寸法及び表面粗さは不適合レベル(NQL)1%以下を担保するものとする。
- 4: 「****」の寸法は不適合レベル(NQL)0.65%以下を担保するものとする。
- 5: 他の寸法及び表面粗さは不適合レベル(NQL)6.5%以下を担保するものとする。
- 6: 次の状況の場合は不合格とする。
 - Б, В, Г 表面の深さ 0.05mm に達する機械的損傷、その他表面上の深さ 0.1mm に達する機械的損傷。
 - Б, В, Г 表面上の汚れ、跡、線などの色の濃い欠陥部分(酸化被膜)。
- 7: 次の条件を満たしたものを本図面に従い 1 バッチで作られた下部端栓とする。
 - 同ロットの棒材から製造されている。
 - 同機器・製造装置で製造されている。
 - ロット数量は 910～1000pcs の間となり、発注時に定める。
- 8: 証明書は、下部端栓のロットにおいてロシア語・英語で作成する。30pcs(10pcs ロットの始め・10pcs 中間・10pcs 終わり)における端栓長さの計測値は端栓ロット証明書に付属する。測定誤差は±0.005mm とする。
- 9: その他技術要件については、技術仕様書 (TC 001.412-2009) に従うものとする。

5) スプリング

スプリングは、棒状燃料内の UO_2 ペレットを固定するためのスペーサとして、プレナム部に配置する。詳細図面を図 10.3-7 に示す。

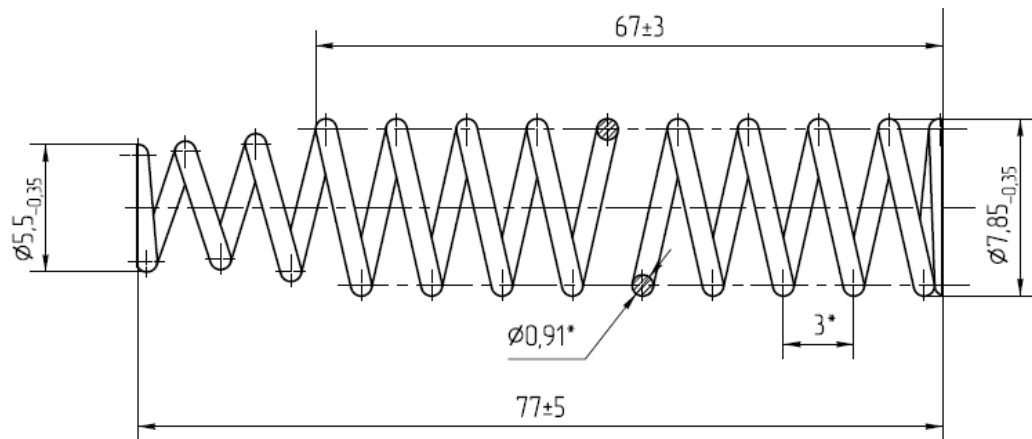


図 10.3-7 スプリング詳細図面

<注釈>

- 1：耐食性鋼等級 12X18H10T（AISI302 相当品）の直径 $(0.91+0.03)$ mm のワイヤ
- 2：「*」は参考寸法並びにパラメータ
- 3：「**」の寸法及びパラメータは工場設備によって計測されるものとする。
- 4：次の条件を満たしたものを本図面に従い 1 バッチで作られたスプリングとする。
 - 同じロットのワイヤから製造されている。
 - 要求寸法が同じ機器・製造装置に設定されている。
 - ロット数量は 910～1000pcs の間となり、発注時に定める。
- 5：証明書は、スプリングの各ロットにおいてロシア語・英語で作成する。
- 6：指定されたロットのスプリング製造に使用したワイヤのロットの証明書は、スプリングのロット証明書に付属する。

6) 棒状燃料

スプリングは、棒状燃料内の UO_2 ペレットを固定するためのスペーサとして、プレナム部に配置する。詳細図面を図 10.3-8、9 に示す。

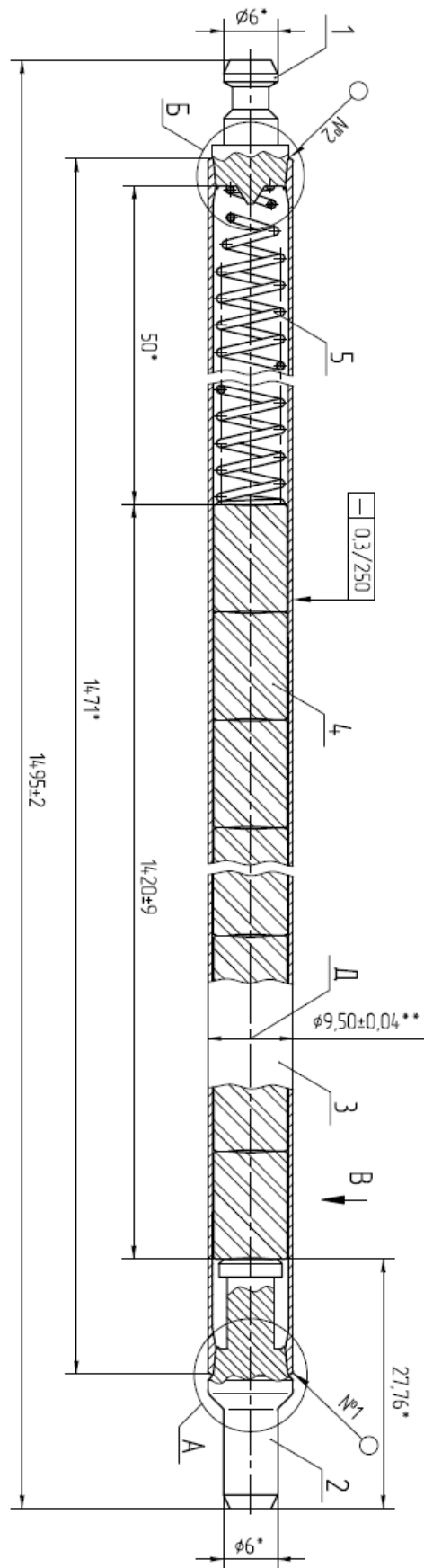


図 10.3-8 棒状燃料詳細図面(全体)

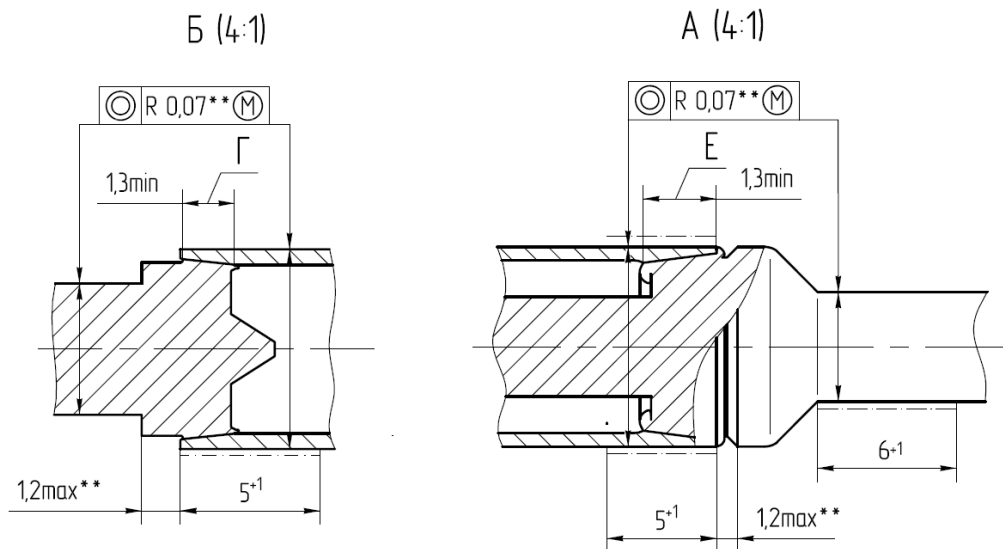


図 10.3-9 棒状燃料詳細図面(溶接部)

<注釈>

1：溶接接合は、突合せ抵抗溶接によるものとする。

2：溶接接合部について、次の検査を実施する。

受入検査：

- 構成部品の証明書の確認

運用検査：

- 部品の表面汚染の確認及び部品の組合せ確認
- ダミー用溶接材の製造による製造機器の動作手順試験
- 溶接状態の確認試験

合否確認：

- 漏洩試験
- 超音波試験法による探傷試験

3：「*」は参考寸法ならびにパラメータ

4：「**」の寸法及びパラメータは工場設備によって計測されるものとする。

5：ペレットを充填した棒状燃料の矯正は不可。

6：被覆管のマーキングは棒状燃料の識別番号として使用する。

7：当該要件の範囲での設計において、燃料コアは上述する UO₂ ペレットから補充される。

8：その他技術要件は技術仕様書（30400.46.00.000JTC）に従うものとする。

(3) 粉末燃料調達

H27 年度事業で実施した STACY 更新炉の臨界実験に用いる棒状燃料及びデブリ模擬体用粉末燃料の製造契約に基づき、平成 29 年 9 月 27 日付けにてウラン粉末燃料調達開始通知書を海外加工工場に対して発行し、ウラン粉末燃料の製造（6 フッ化ウランから二酸化ウランへの転換）を開始した。また、海外加工工場に職員を派遣し、製造された粉末燃料

の立会検査を実施した。立会検査として、 ^{235}U 濃縮度、同位体組成比、ウラン含有量、O/U比、含水率、TAP密度、比表面積、不純物含有量を確認し、要求仕様を満足していることを確認した。また、製造された粉末燃料の数量確認を行い、要求仕様を満足していることを確認した。これらの調達した粉末燃料を保管するため、第10.1節で選定した粉末燃料用輸送容器の内容器を海外加工工場に運搬した。

以下に、調達した粉末燃料の立会検査及び数量確認の結果、並びに保管状況を示す。

1) 粉末燃料の立会検査結果

製造契約に基づき製造された粉末燃料について、平成29年12月19日に海外加工工場にて実施した立会検査の結果、全ての契約仕様を満足する粉末燃料を調達した。立会検査結果を表10.1-1(1)、(2)に示す。

表 10.1-1(1) 粉末燃料の立会検査結果（同位体比、物理的性状等）

項目	仕様	測定結果
U235 (%)	4.95 +0.02/-0.05	4.943
U232 (ppm/U total)	≤ 0.0001	0.0000237
U234 (ppm/U total)	≤ 500	482
U236 (ppm/U total)	≤ 250	< 17
ウラン含有量 (%)	> 87.4%	87.77
O/U 比	2.05 ± 0.05	2.0358
含水率 (%)	< 0.3%	0.051
TAP 密度 (g/cm^3)	$1.5 < \text{TAP 密度} < 5$	2.04
比表面積 (m^2/g)	$1.8 < \text{比表面積} < 3$	2.52

表 10.1-1(2) 粉末燃料の立会検査結果（不純物）

項目	合意仕様 (ppm/U total)	測定結果 (ppm/U total)	項目	合意仕様 (ppm/U total)	測定結果 (ppm/U total)
Ag	≦ 1	< 0.1	Ni	≦ 50	< 30
Al	≦ 25	< 3	Li ※	≦ 2	< 1
Bi	≦ 10	< 1	Pb	≦ 25	< 3
C	≦ 50	< 30	Si	≦ 100	< 30
Ca	≦ 50	< 30	Sn	≦ 25	< 10
Cl	≦ 50	< 6	Ti	≦ 50	< 1
Cr	≦ 25	3.5	Th	≦ 10	< 0.02
Cd	≦ 1	< 0.2	W	≦ 50	< 30
Cu	≦ 25	< 10	Tc	≦ 0.01	0.00409
F	≦ 25	12	B ※	≦ 1.0	< 0.2
Fe	≦ 100	< 50	Dy ※	≦ 0.05	< 0.01
Mg	≦ 25	< 10	Eu ※	≦ 0.5	< 0.01
Mn	≦ 25	< 10	Gd ※	≦ 0.5	< 0.02
Mo	≦ 50	< 30	Sm ※	≦ 0.5	< 0.01

※:ASTM (Designation:C1233-15) による係数を考慮したボロン当量合計が≦4 ppm となること。

2) 粉末燃料の数量確認結果

製造契約に基づき製造された粉末燃料について、平成 29 年 12 月 19 日に海外加工工場にて実施した数量確認の結果、全ての契約仕様を満足する粉末燃料を調達した。数量確認結果を表 10.1-2(1)、(2)に示す。

表 10.1-2(1) 粉末燃料の数量確認結果（全数合計）

項目	仕様	測定結果
ウラン数量	約 38 kgU※	38.051 kgU

※: $1.000 \pm 0.010 \text{ kgU} \times 38$ 個に小分けした粉末燃料について全数測定する。測定値に測定誤差が含まれる場合は、その測定誤差を考慮しても仕様値を満足すること。

表 10.1-2(2) 粉末燃料の数量確認結果（個別測定結果）

内容器 番号	UO ₂ 粉末 数量 (g)	ウラン数 量 (gU)※	内容器 番号	UO ₂ 粉末 数量 (g)	ウラン数 量 (gU)※
B-1383	1,143	1,003	B-1409	1,139	1,000
B-1384	1,139	1,000	B-1921	1,139	1,000
B-1385	1,140	1,001	B-1922	1,147	1,007
B-1387	1,147	1,007	B-1923	1,139	1,000
B-1388	1,141	1,001	B-1924	1,141	1,001
B-1389	1,139	1,000	B-1927	1,139	1,000
B-1390	1,144	1,004	B-1929	1,142	1,002
B-1391	1,143	1,003	B-1930	1,139	1,000
B-1392	1,143	1,003	B-1931	1,139	1,000
B-1395	1,143	1,003	B-1932	1,139	1,000
B-1396	1,139	1,000	B-1933	1,145	1,005
B-1397	1,139	1,000	B-1934	1,142	1,002
B-1398	1,139	1,000	B-1935	1,139	1,000
B-1400	1,139	1,000	B-1936	1,139	1,000
B-1401	1,139	1,000	B-1937	1,141	1,001
B-1405	1,140	1,001	B-1939	1,139	1,000
B-1406	1,142	1,002	B-1940	1,139	1,000
B-1407	1,144	1,004	B-1941	1,139	1,000
B-1408	1,139	1,000	B-1942	1,140	1,001

※：ウラン数量は、UO₂ 粉末数量に表 10.1-1(1)に示すウラン含有量の測定値を乗じて算出する。

3) 粉末燃料の保管

上述の 1)の検査に合格した粉末燃料のうち、棒状燃料の UO₂ ペレットに用いる分を除く粉末燃料約 38kgU は、約 1kgU に分取して粉末燃料用輸送容器の内容器に収納・保管した。収納用の容器として、粉末燃料用輸送容器の内容器を日本から海外加工工場に運搬するとともに、平成 29 年 12 月 19 日に海外加工工場にて当該容器への分取作業及び保管状況を確認した。粉末燃料用輸送容器の内容器を図 10.3-10 に、保管状況を図 10.3-11 に示す。

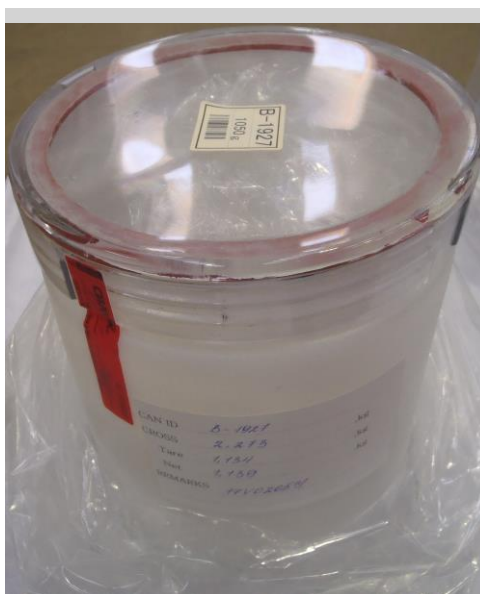


図 10.3-10 粉末燃料用輸送容器の内容器

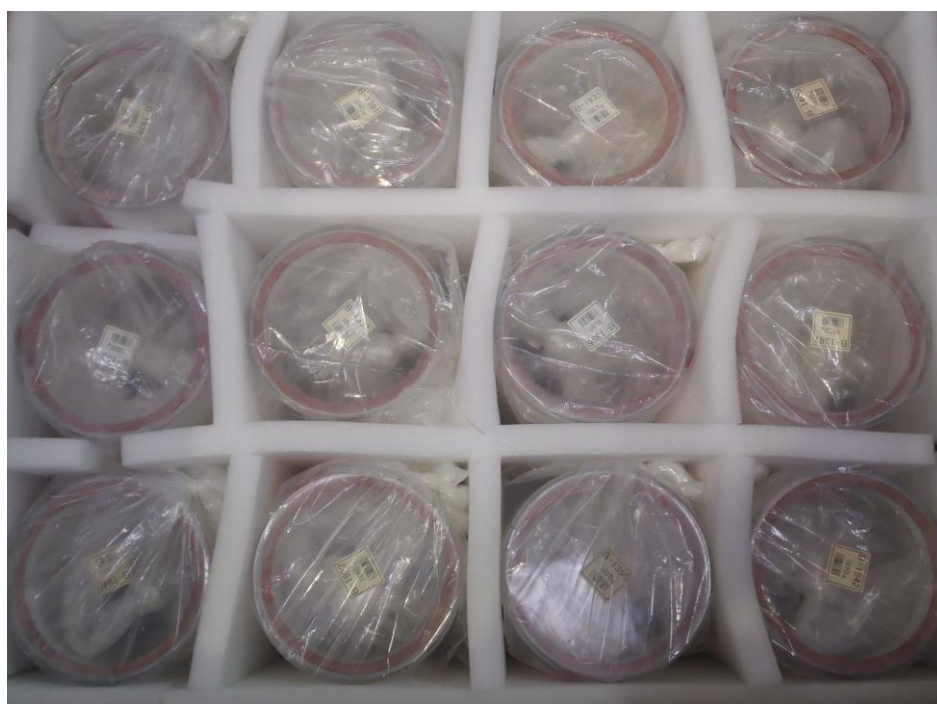


図 10.3-11 内容器の保管状況

10.3.3 まとめ

平成 28 年度事業で燃料製造契約を締結した海外（ロシア）燃料加工工場と機構との役務取引許可を取得するとともに棒状燃料の詳細設計等に関する技術情報を取得した。また、棒状燃料の製作のための二酸化ウラン粉末燃料を調達し、燃料デブリ臨界実験に要求される要求仕様を満足することを確認した。デブリ模擬体用粉末燃料は、粉末燃料輸送容器の内容器を海外燃料加工工場に運搬し、当該容器に収納・保管した。

第 11 章 デブリ模擬体調製設備及びデブリ模擬体分析設備の整備

STACY 更新炉では、燃料デブリを模擬したサンプルを使用する燃料デブリ模擬体臨界実験が計画されている。本章では、当該実験のために整備するデブリ模擬体調製設備及びデブリ模擬体分析設備について、平成 28 年度事業の結果を報告する。以下、デブリ模擬体調製設備の設置前の性能試験について「11.1 デブリ模擬体調製設備の性能試験」に、デブリ模擬体分析設備の性能試験について「11.2 デブリ模擬体分析設備の性能試験」に示す。

11.1 デブリ模擬体調製設備の性能試験

11.1.1 目的及び概要

(1) 目的

STACY 更新炉の臨界実験で用いるデブリ模擬体を調製するための設備機器の性能試験を行う。

(2) 概要

デブリ模擬体調製設備は、NUCEF の BECKY 施設の分析室に設置された 2 台の既存グローブボックス（以下 GB と示す。）に整備する予定である。GB 内に設置するにあたり事前に製作工場において当該設備の主要機器である圧縮成型機と焼結炉の性能試験を実施し、所要の性能を有することを確認するとともに、ペレット製作時のデータを取得する。

11.1.2 成果報告

(1) 実施内容

① 圧縮成型機

1) 圧縮成型試験

圧縮成型試験で使用する原料はアルミナ、ジルコニア又は相当品とする。試料数は 300 とし、3 種類（φ 8.5mm、φ 9.0mm、φ 9.5mm）の金型を用いてペレット試料を試作する。また、プレス圧及びフローティング圧についても機器性能に準じて調整する。試料成型が不可能な場合はバインダを添加し、再度圧縮成型する。以上のパラメータを網羅し、かつ同一条件の試料においては 10 個以上製作する。試験条件については、試験結果に基づき調整する。試作前後において以下の項目を検査する。

- ・ 充填量
- ・ 圧縮成型後のペレット外観（割れ、欠け、キャッピング等の有無）
- ・ 圧縮成型後のペレット寸法（径、高さ）
- ・ 圧縮成型後のペレット密度（寸法重量法又は浸水法による。浸水法に使用した試料は焼結しない。）
- ・ フローティング力による試料への影響評価（密度の変化、金型からの抜けやすさ等）

2) 成型手順確認

試料作成手順書（Appendix 11.1.A1 参照）に沿って圧縮成型を行い、手順書の適切性を確認する。

② 焼結炉

1) 熱電対性能試験

炉内構造物が無い状態で焼結試験を行う。この際、焼結炉に備え付けられた熱電対又は計算等により炉内の温度分布を調査する。

2) 試作ペレット焼結試験

圧縮成型機にて試作したペレットを、焼結炉を用いて焼結する。焼結前後の焼結炉内の状況を写真等にて記録すると共に、焼結炉心（ヒータ）の割れ欠け等の異常の有無、付着物の有無等について、外観検査を行う。また、熱電対性能試験で検討した温度分布を基に、炉内構造物（ペレット試料）がある場合の温度分布について調査する。

3) 試料焼結時間評価

試作したペレットの焼結を行い、焼結炉の性能確認及び試料焼結時間（冷却時間も含めて1日（10時間程度）で終了すること）等について確認する。

(2) 実施結果

①圧縮成型機

FSY 酸化ジルコニウム（試料 1）、3mol% イットリア添加ジルコニウム（試料 2）、8mol% イットリア添加ジルコニウム（試料 3）の粉末を使用した。また、バインダとしてアクリル水溶液（比率 1 : 1）を使用した。試料の詳細を表-1 に示す。

1) 試験方法

i) 試料 1、試料 2 及びバインダを加え圧縮成型

ii) 試料 1、試料 3 及びバインダを加え圧縮成型

iii) 原料粉末を調製した後、5 時間経過後に圧縮成型を行い、その後乾燥のため加熱
圧縮条件の詳細を表-2 に、試料作製、圧縮成型、金型清掃の手順を手順 1～3 に示す。

iv) 組成を変更した圧縮成型

- ・ 試料 1 単体での圧縮成型
- ・ イットリア添加ジルコニウムを加えた試料 1 の圧縮成型
- ・ イットリア添加ジルコニウムを加えた試料 1 にバインダを添加し、試料が未乾燥の状態での圧縮成型

2) 試験結果

i) 試料 1、試料 2 及びバインダを加え圧縮した場合

試料 1、試料 2 及びバインダを加えた場合（圧縮条件 No.1~12）の成型結果を表 11.1-3~14 に示す。それぞれ 10 試料を製作したが、外力で崩壊することなく、どの圧縮条件でも成型に成功した。また、手順書に沿って適切に圧縮成型ができることを確認した。

ii) 試料 1、試料 3 及びバインダを加え圧縮した場合

試料 1、試料 3 及びバインダを加えた場合(圧縮条件 No.13~24)の成型結果を表 11.1-15~26 に示す。製作した 10 試料について、外力で崩壊することなく、どの圧縮条件でも成型に成功した。

iii) 圧縮成型後加熱した場合

原料粉末調製後 5 時間保持し、その後圧縮成型して作成した試料(圧縮条件 No.1~24)を乾燥させるため 200℃、5 分間加熱し、製作した試料の健全性を確認した。結果を表 11.1-27 に示す。全ての圧縮条件において、加熱前と加熱後で寸法変化はなく、適切に試料が成型されていることを確認した。

iv) 組成を変更した圧縮成型

組成を変更して圧縮成型を試みた結果を表 11.1-28~30 に示す。組成の変更として、試料 1 のみ圧縮成型を行った。また、試料を成型し易くするためにイットリア添加ジルコニウム及びバインダを添加した試料の成型を行った。結果より、以下のことが確認された。

- ・試料 1 単体では成型不可能である。
- ・イットリア添加ジルコニウムを加えた試料 1 では成型可能も、外力で崩壊した。
- ・イットリア添加ジルコニウムを加えた試料 1 にバインダを添加し、試料が未乾燥の状態では成型可能も、外力で崩壊した。また凝縮水が金型に付着した。

この結果を踏まえ、来年度以降の試料成型に得られた知見を反映する。

② 焼結炉

焼結炉の構造を図 11.1-1 に示す。焼結炉は最高温度 1800℃、ゾーン数 1 で $\phi 8 \times 10\text{mm}$ のグリーンペレットを一度に 112 個(28 個 $\times$ 4 段)焼結できる。また、電気炉本体のうち外部に面している部分について、表面温度が 60℃以下となるように水冷式チャンバーを設置している。当該焼結炉は、グリーンペレット焼結の際にチャンバー内を不活性ガス(5% H_2 -Ar)で置換するため、真空・ガス制御部を有する。

1) 熱電対性能試験

i) 炉内温度分布測定

熱電対性能試験として、炉内構造物無し、有りの 2 条件に分けて、焼結炉の温度を 1600℃に設定し、炉内の温度分布を測定した。炉内構造物が無い場合の結果を図 11.1-2 及び表 11.1-30 に、炉内構造物が有る場合の結果を図 11.1-3 及び表 11.1-31 に示す。

測定結果より、焼結炉の温度特性は良好であり、炉内の 50mm 範囲で炉内構造物が無い場合に $\pm 5^\circ\text{C}$ 、有る場合に $\pm 3^\circ\text{C}$ で温度制御ができることを確認した。また、設定温度に対する実温度のずれについて定量的に測定できたため、本試験のデータを基に今後校正を行う。

ii) 昇温・降温データ測定

焼結炉の特性を確認するため、昇温、降温時の温度データを取得した。条件は、温度プログラムで室温から 1600℃まで 3 時間で昇温するものとし、ガス流量は 2L/min とした。また、降温時は温度プログラムで室温から 1 時間で冷却するものとし、ガス流量は 2L/min (ケース 1) 及び 4L/min (ケース 2) の 2 通りの試験を行った。

昇温試験の結果を図 11.1-4 及び表 11.1-32 に、降温試験の結果を図 11.1-5,6 及び表 11.1-33,34 に示す。試験の結果、焼結炉の温度制御特性は良好であり、プログラム通りに温度制御が可能であることを確認した。

2) 試作ペレット焼結試験

圧縮成型試験で製作したペレットを焼結炉で焼成し、焼成前後の寸法測定を行うことにより、焼結によるペレットの収縮率を確認した。結果を表 11.1-35~37 に示す。

焼結試験の結果、焼結により主に高さ方向のペレット寸法が影響を受けることを確認した。径方向の収縮はほとんどなく、あっても軽微である。STACY 更新炉のデブリ模擬体調製設備はペレットグラインダーを備えず、焼結後にペレットの大きさを調整することができないため、あらかじめ収縮率を見込んで成型する必要がある。本試験で得られたデータは、デブリ模擬体調製設備据付後のペレット製造に反映される。

11.1.3 まとめ

デブリ模擬体調製設備について、据付後のペレット製造に先立ち、主要機器を用いた性能試験を行った。試験対象機器は圧縮成型機及び焼結炉とした。

圧縮成型機の試験においては、二酸化ウランを模擬したアルミナ、ジルコニアを材料とし、3 種類の金型を用いて 300 の試料を作成した。また、圧縮成型機の手順書を確認し、手順書に沿って適切に圧縮成型ができることを確認した。試験の結果、適切に圧縮成型ができる条件と、成型できず外力で崩壊する条件を確認し、今後のデブリ模擬体ペレット調製に必要なデータを取得した。

焼結炉の試験においては、炉内の温度分布及び昇温・降温データを取得し、焼結炉の温度制御特性及び今後の校正のためのデータを取得した。また、圧縮成型によって製作したペレットを焼成し、焼成による形状変化を測定により確認した。その結果、径方向の寸法変化は小さいことを確認するとともにその収縮率について定量的なデータを取得することができた。これらの結果は、平成 29 年度事業において計画されている据付後のデブリ模擬体調製設備試運転に活用される。

表-1 使用原料詳細

	品名			形状	純度(%)	粒度(μm)	メーカー
試料1	FSY酸化ジルコニウム (FSY-8H)			粉末	99	254	第一稀元素化学工業
試料2	8mol%イットリア添加ジルコニウム			粉末	-	0.3~0.4	住友大阪セメント(株)
試料3	3mol%イットリア添加ジルコニウム			粉末	-	0.3~0.4	住友大阪セメント(株)
バインダ	セラモ TB-01 (アクリル系)			液体	-	-	第一工業製薬社

表-2 圧縮条件詳細

No.	試料1/比率		試料2/比率		試料3/比率		バインダ/比率		圧力(Mpa)	荷重(kg)	質量(g)/個	金型	製作数
1	85%	2 g	10%	0.24 g	0%	0 g	5%	0.1 g	15	1095	2.4 g	1	10
2	85%	2 g	10%	0.24 g	0%	0 g	5%	0.1 g	21	1533	2.4 g	1	10
3	85%	2 g	10%	0.24 g	0%	0 g	5%	0.1 g	28	2044	2.4 g	1	10
4	85%	2 g	10%	0.24 g	0%	0 g	5%	0.1 g	35	2555	2.4 g	1	10
5	85%	2 g	10%	0.27 g	0%	0 g	5%	0.1 g	15	1095	2.7 g	2	10
6	85%	2 g	10%	0.27 g	0%	0 g	5%	0.1 g	21	1533	2.7 g	2	10
7	85%	2 g	10%	0.27 g	0%	0 g	5%	0.1 g	28	2044	2.7 g	2	10
8	85%	2 g	10%	0.27 g	0%	0 g	5%	0.1 g	35	2555	2.7 g	2	10
9	85%	3 g	10%	0.3 g	0%	0 g	5%	0.2 g	15	1095	3 g	3	10
10	85%	3 g	10%	0.3 g	0%	0 g	5%	0.2 g	21	1533	3 g	3	10
11	85%	3 g	10%	0.3 g	0%	0 g	5%	0.2 g	28	2044	3 g	3	10
12	85%	3 g	10%	0.3 g	0%	0 g	5%	0.2 g	35	2555	3 g	3	10
13	85%	2 g	0%	0 g	10%	0.24 g	5%	0.1 g	15	1095	2.4 g	1	10
14	85%	2 g	0%	0 g	10%	0.24 g	5%	0.1 g	21	1533	2.4 g	1	10
15	85%	2 g	0%	0 g	10%	0.24 g	5%	0.1 g	28	2044	2.4 g	1	10
16	85%	2 g	0%	0 g	10%	0.24 g	5%	0.1 g	35	2555	2.4 g	1	10
17	85%	2 g	0%	0 g	10%	0.27 g	5%	0.1 g	15	1095	2.7 g	2	10
18	85%	2 g	0%	0 g	10%	0.27 g	5%	0.1 g	21	1533	2.7 g	2	10
19	85%	2 g	0%	0 g	10%	0.27 g	5%	0.1 g	28	2044	2.7 g	2	10
20	85%	2 g	0%	0 g	10%	0.27 g	5%	0.1 g	35	2555	2.7 g	2	10
21	85%	3 g	0%	0 g	10%	0.3 g	5%	0.2 g	15	1095	3 g	3	10
22	85%	3 g	0%	0 g	10%	0.3 g	5%	0.2 g	21	1533	3 g	3	10
23	85%	3 g	0%	0 g	10%	0.3 g	5%	0.2 g	28	2044	3 g	3	10
24	85%	3 g	0%	0 g	10%	0.3 g	5%	0.2 g	35	2555	3 g	3	10

表 11.1-3 圧縮成型試験・検査記録 1

件名：燃料デブリ模擬体調製設備性能試験

実施日：2018/1/12

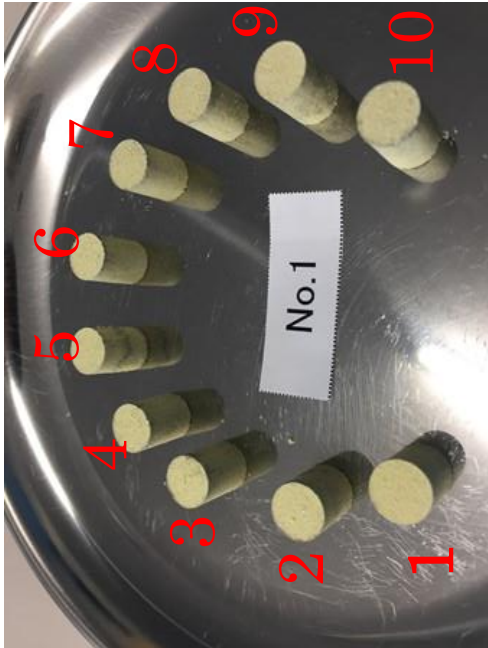
圧縮条件：No.1

充填率(g)：2.4

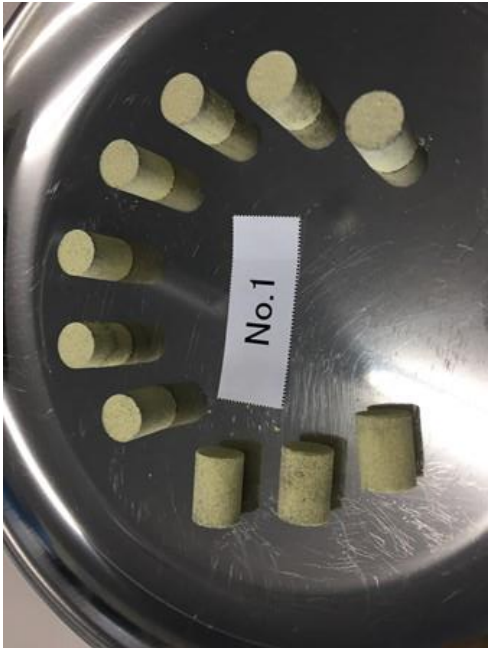
ペレット※		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
圧縮成型後のペレット高さ(mm)		11.4	11.5	11.9	12.0	11.9	12.0	12.0	12.0	12.1	12.1
圧縮成型後のペレット径(mm)		8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
圧縮成型後のペレット密度(g/cm ³)		3.71	3.68	3.55	3.52	3.55	3.52	3.52	3.52	3.50	3.50
圧縮成型後の ペレット外観	割れ	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	欠け	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	キャッピング	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

※写真時計回りに1～10とする（試験・検査記録 2～24についても同様）

成型後(1)



成型後(2)



成型後(3)



表 11.1-4 圧縮成型試験・検査記録 2

件名：燃料デブリ模擬体調製設備性能試験

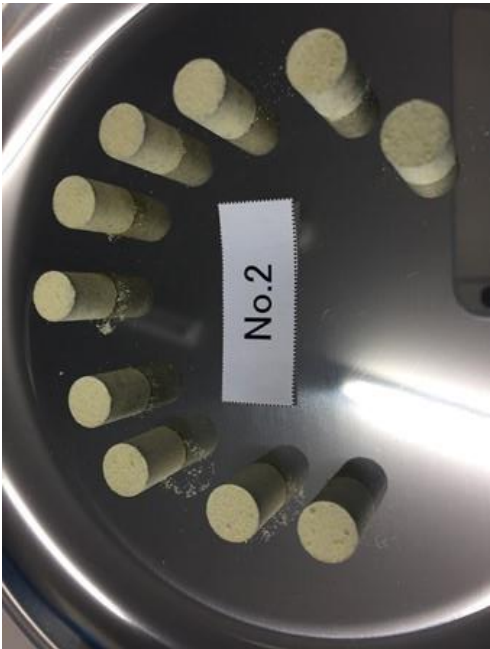
実施日：2018/1/12

圧縮条件：No.2

充填率(g)：2.4

ペレット		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
圧縮成型後のペレット高さ(mm)		12.1	12.4	12.5	12.0	12.1	12.0	12.2	12.1	12.1	12.2
圧縮成型後のペレット径(mm)		8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
圧縮成型後のペレット密度(g/cm ³)		3.50	3.41	3.38	3.52	3.50	3.52	3.47	3.50	3.50	3.47
圧縮成型後の ペレット外観	割れ	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	欠け	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	キャッピング	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

成型後(1)



成型後(2)



成型後(3)



表 11.1-5 圧縮成型試験・検査記録 3

件名：燃料デブリ模擬体調製設備性能試験

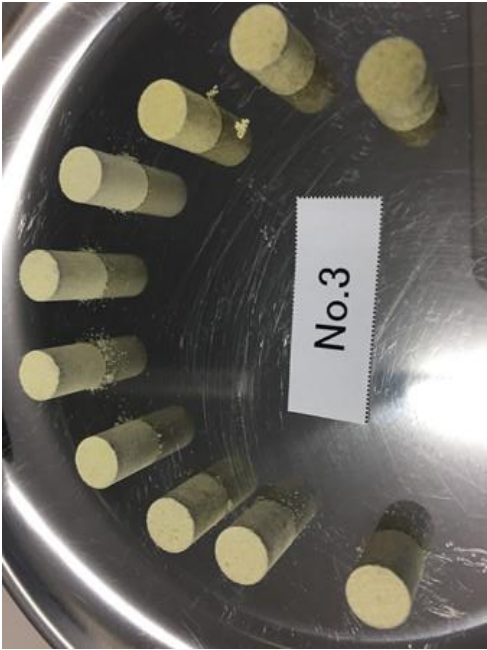
実施日：2018/1/12

圧縮条件：No.3

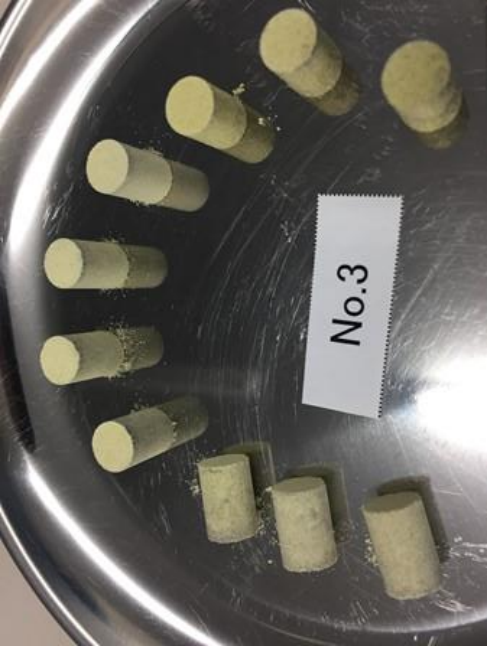
充填率(g)：2.4

ペレット		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
圧縮成型後のペレット高さ(mm)		12.0	11.7	12.0	12.2	12.6	12.5	12.6	11.4	11.4	11.5
圧縮成型後のペレット径(mm)		8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
圧縮成型後のペレット密度(g/cm ³)		3.52	3.61	3.52	3.47	3.36	3.38	3.36	3.71	3.71	3.68
圧縮成型後の ペレット外観	割れ	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	欠け	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	キャッピング	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

成型後(1)



成型後(2)



成型後(3)



表 11.1-6 圧縮成型試験・検査記録 4

件名：燃料デブリ模擬体調製設備性能試験

実施日：2018/1/12

圧縮条件：No.4

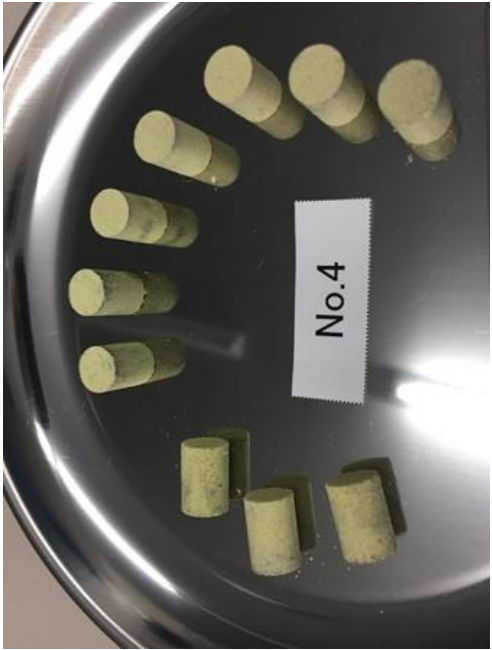
充填率(g)：2.4

ペレット		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
圧縮成型後のペレット高さ(mm)		11.9	12.0	12.0	12.0	12.1	11.9	11.9	11.9	12.1	12.1
圧縮成型後のペレット径(mm)		8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
圧縮成型後のペレット密度(g/cm ³)		3.55	3.52	3.52	3.52	3.50	3.55	3.55	3.55	3.50	3.50
圧縮成型後の ペレット外観	割れ	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	欠け	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	キャッピング	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

成型後(1)



成型後(2)



成型後(3)

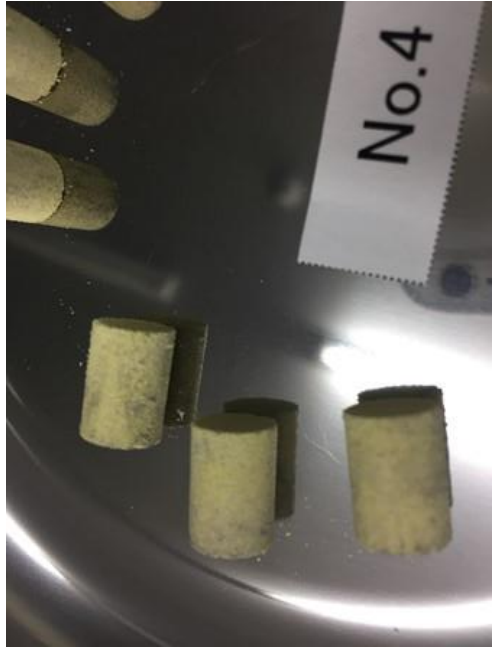


表 11.1-7 圧縮成型試験・検査記録 5

件名：燃料デブリ模擬体調製設備性能試験

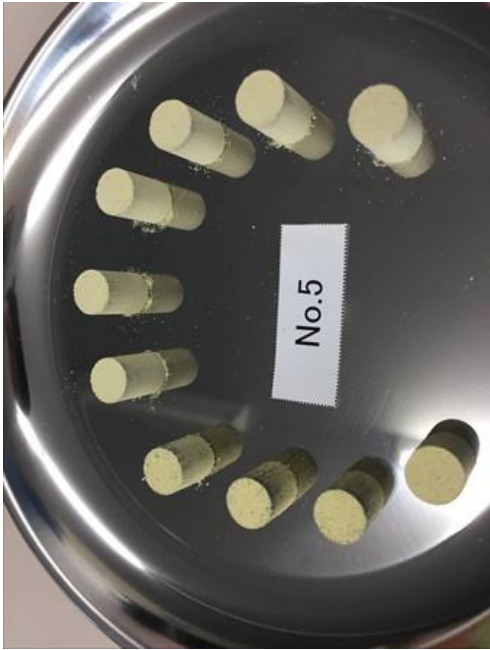
実施日：2018/1/17

圧縮条件：No.5

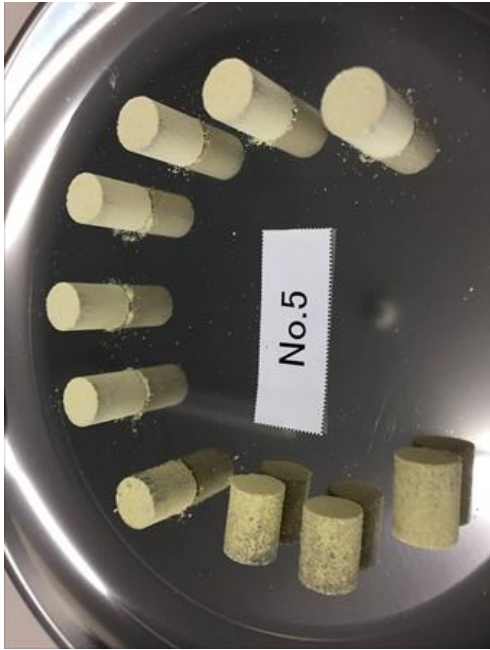
充填率(g)：2.7

ペレット		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
圧縮成型後のペレット高さ(mm)		11.6	11.6	11.9	12.2	12.9	12.2	13.2	13.0	13.3	13.2
圧縮成型後のペレット径(mm)		9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
圧縮成型後のペレット密度(g/cm ³)		3.66	3.66	3.57	3.48	3.29	3.48	3.22	3.26	3.19	3.22
圧縮成型後の ペレット外観	割れ	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	欠け	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	キャッピング	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

成型後(1)



成型後(2)



成型後(3)



表 11.1-8 圧縮成型試験・検査記録 6

件名：燃料デブリ模擬体調製設備性能試験

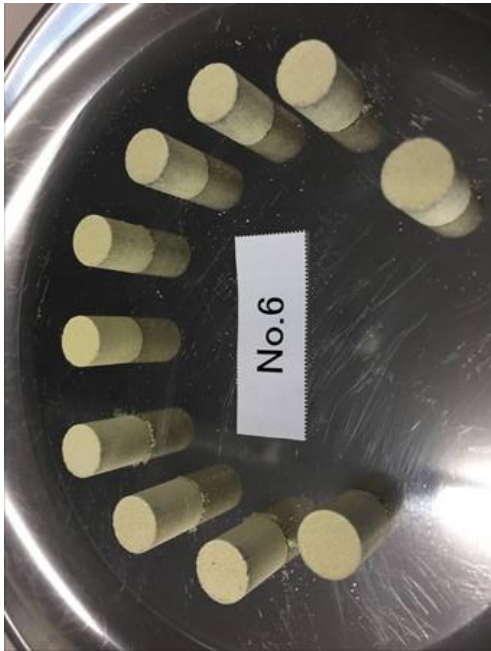
実施日：2018/1/17

圧縮条件：No.6

充填率(g)：2.7

ペレット		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
圧縮成型後のペレット高さ(mm)		12.5	13.0	13.0	13.1	11.7	11.5	11.8	11.9	12.1	12.3
圧縮成型後のペレット径(mm)		9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
圧縮成型後のペレット密度(g/cm ³)		3.40	3.26	3.26	3.24	3.63	3.69	3.60	3.57	3.51	3.45
圧縮成型後の ペレット外観	割れ	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	欠け	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	キャッピング	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

成型後(1)



成型後(2)



成型後(3)



表 11.1-9 圧縮成型試験・検査記録 7

件名：燃料デブリ模擬体調製設備性能試験

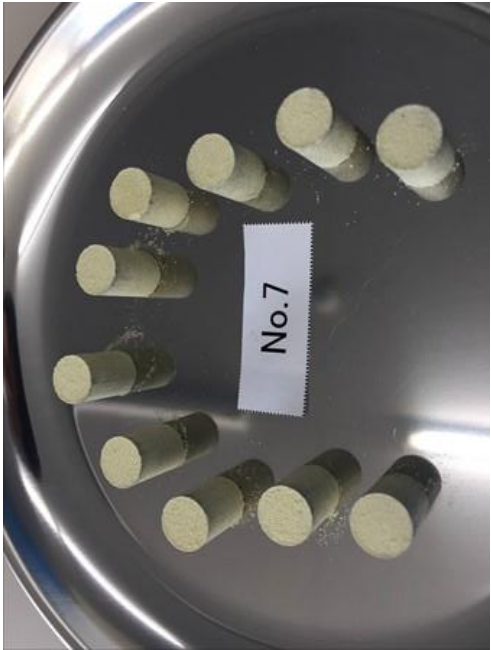
実施日：2018/1/18

圧縮条件：No.7

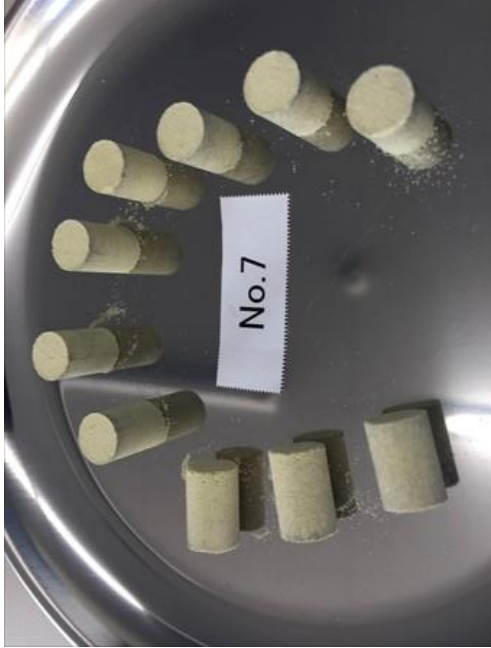
充填率(g)：2.7

ペレット		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
圧縮成型後のペレット高さ(mm)		12.5	13.3	13.4	13.4	13.5	13.5	11.9	11.8	12.0	12.0
圧縮成型後のペレット径(mm)		9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
圧縮成型後のペレット密度(g/cm ³)		3.40	3.19	3.17	3.17	3.14	3.14	3.57	3.60	3.54	3.54
圧縮成型後の ペレット外観	割れ	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	欠け	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	キャッピング	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

成型後(1)



成型後(2)



成型後(3)

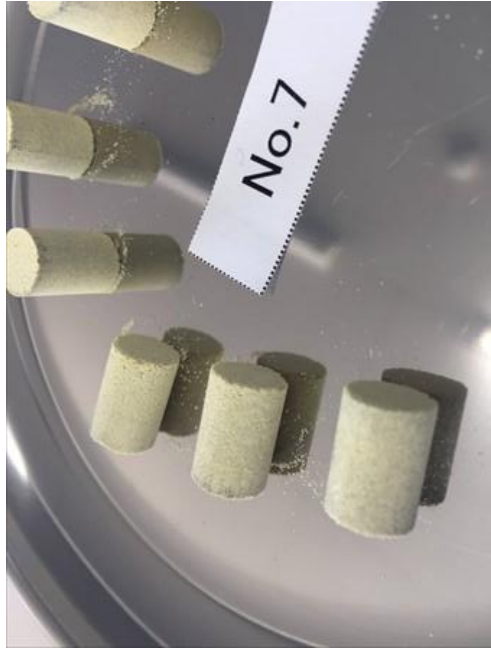


表 11.1-10 圧縮成型試験・検査記録 8

件名：燃料デブリ模擬体調製設備性能試験

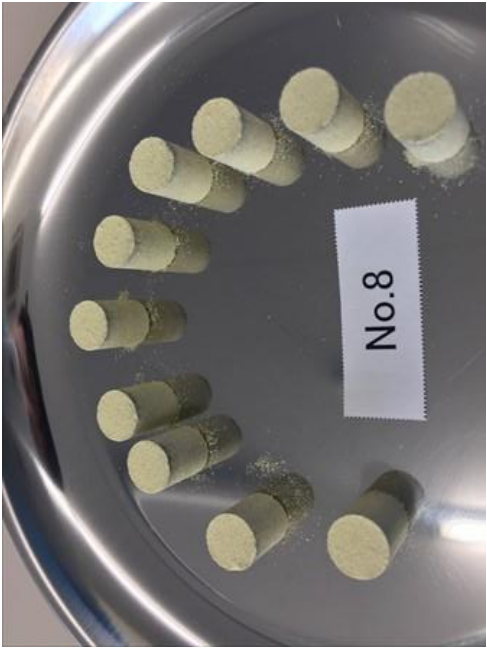
実施日：2018/1/18

圧縮条件：No.8

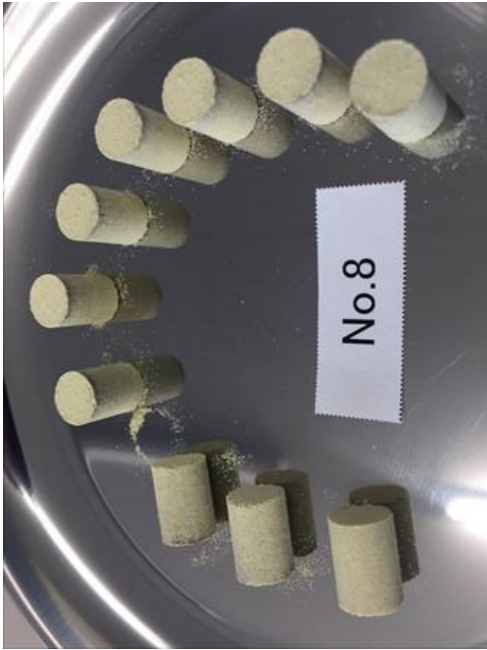
充填率(g)：2.7

ペレット	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
圧縮成型後のペレット高さ(mm)	12.1	12.2	12.5	12.5	12.5	12.6	12.7	12.7	12.6	12.9
圧縮成型後のペレット径(mm)	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
圧縮成型後のペレット密度(g/cm ³)	3.51	3.48	3.40	3.40	3.40	3.37	3.34	3.34	3.37	3.29
圧縮成型後の ペレット外観	割れ	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	欠け	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	キャッピング	無	無	無	無	無	無	無	無	無

成型後(1)



成型後(2)



成型後(3)

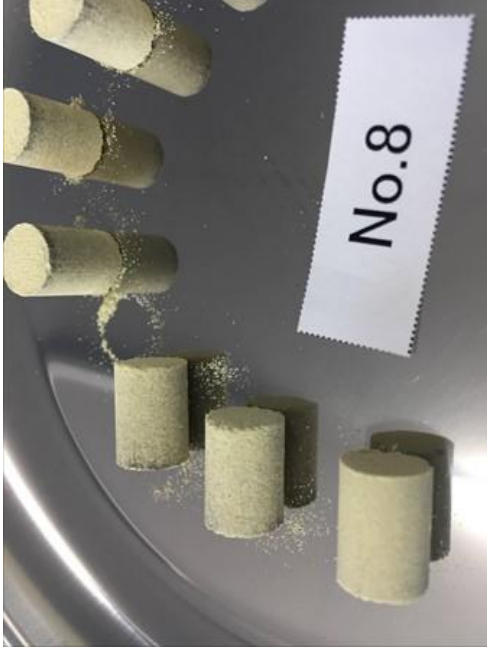


表 11.1-11 圧縮成型試験・検査記録 9

件名：燃料デブリ模擬体調製設備性能試験

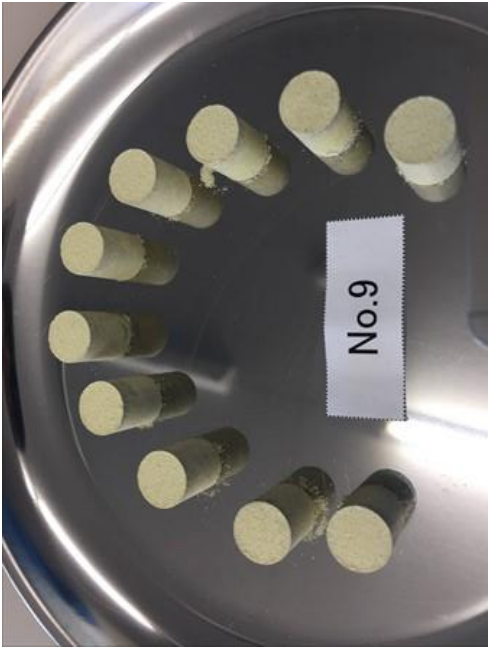
実施日：2018/1/18

圧縮条件：No.9

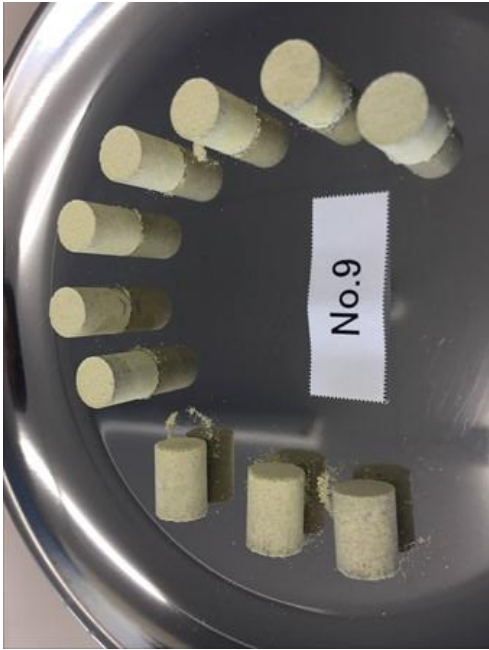
充填率(g)：3.0

ペレット		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
圧縮成型後のペレット高さ(mm)		12.1	12.6	12.8	12.8	12.7	12.8	12.7	12.4	12.6	12.6
圧縮成型後のペレット径(mm)		9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
圧縮成型後のペレット密度(g/cm ³)		3.50	3.36	3.31	3.31	3.33	3.31	3.33	3.41	3.36	3.36
圧縮成型後の ペレット外観	割れ	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	欠け	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	キャッピング	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

成型後(1)



成型後(2)



成型後(3)



表 11.1-12 圧縮成型試験・検査記録 10

件名：燃料デブリ模擬体調製設備性能試験

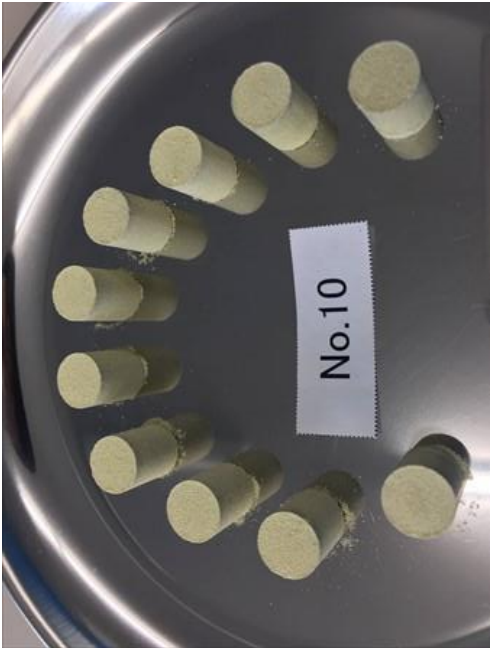
実施日：2018/1/18

圧縮条件：No.10

充填率(g)：3.0

ペレット		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
圧縮成型後のペレット高さ(mm)		12.0	12.7	12.7	12.9	12.7	12.7	12.9	12.8	12.2	12.5
圧縮成型後のペレット径(mm)		9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
圧縮成型後のペレット密度(g/cm ³)		3.53	3.33	3.33	3.28	3.33	3.33	3.28	3.31	3.47	3.39
圧縮成型後の ペレット外観	割れ	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	欠け	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	キャッピング	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

成型後(1)



成型後(2)



成型後(3)

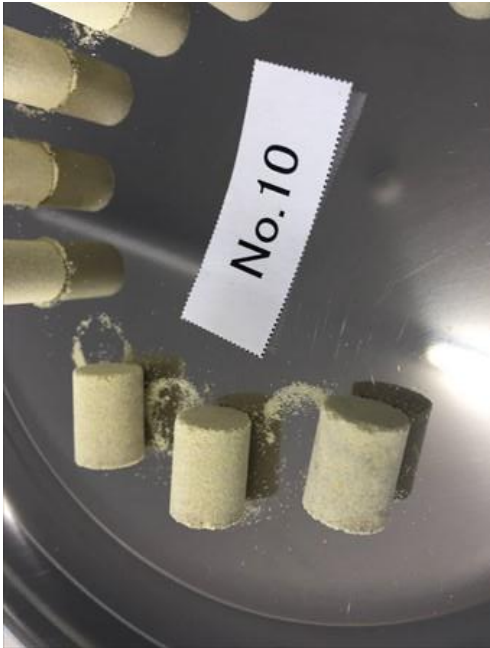


表 11.1-13 圧縮成型試験・検査記録 11

件名：燃料デブリ模擬体調製設備性能試験

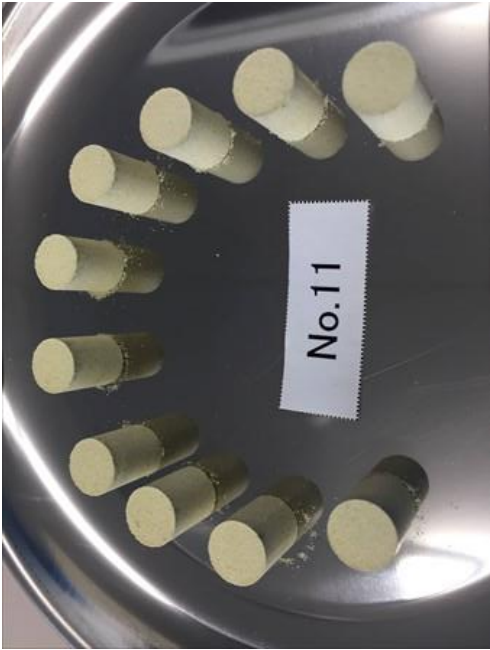
実施日：2018/1/18

圧縮条件：No.11

充填率(g)：3.0

ペレット		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
圧縮成型後のペレット高さ(mm)		12.8	12.9	13.0	13.4	13.3	12.8	12.9	12.9	12.9	12.8
圧縮成型後のペレット径(mm)		9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
圧縮成型後のペレット密度(g/cm ³)		3.31	3.28	3.26	3.16	3.18	3.31	3.28	3.28	3.28	3.31
圧縮成型後の ペレット外観	割れ	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	欠け	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	キャッピング	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

成型後(1)



成型後(2)



成型後(3)



表 11.1-14 圧縮成型試験・検査記録 12

件名：燃料デブリ模擬体調製設備性能試験

実施日：2018/1/18

圧縮条件：No.12

充填率(g)：3.0

ペレット		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
圧縮成型後のペレット高さ(mm)		12.2	11.0	12.6	12.7	12.3	12.4	12.7	12.7	12.8	12.9
圧縮成型後のペレット径(mm)		9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
圧縮成型後のペレット密度(g/cm ³)		3.47	3.85	3.36	3.33	3.44	3.41	3.33	3.33	3.31	3.28
圧縮成型後の ペレット外観	割れ	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	欠け	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	キャッピング	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

成型後(1)



成型後(2)



成型後(3)



表 11.1-15 圧縮成型試験・検査記録 13

件名：燃料デブリ模擬体調製設備性能試験

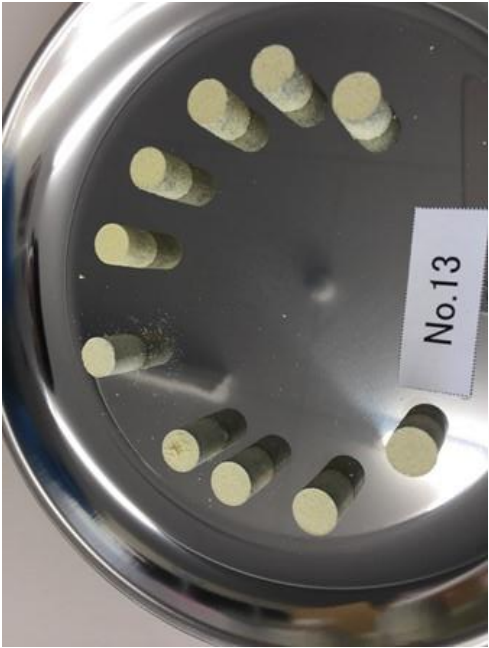
実施日：2018/1/12

圧縮条件：No.13

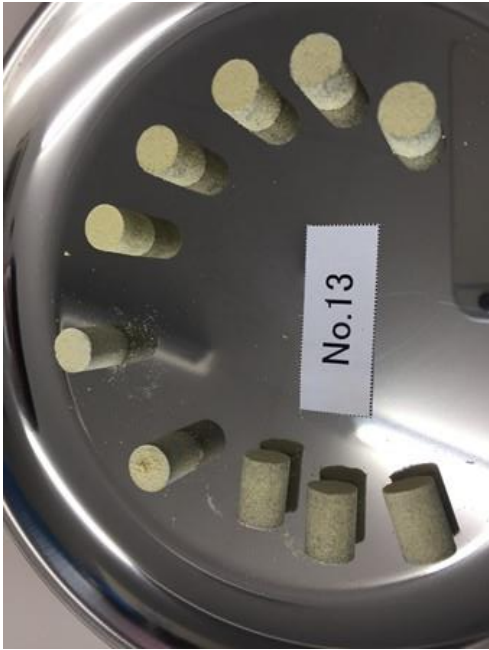
充填率(g)：2.4

ペレット		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
圧縮成型後のペレット高さ(mm)		11.6	11.7	11.8	11.8	12.0	11.1	11.1	11.3	11.4	11.3
圧縮成型後のペレット径(mm)		8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
圧縮成型後のペレット密度(g/cm ³)		3.65	3.61	3.58	3.58	3.52	3.81	3.81	3.74	3.71	3.74
圧縮成型後の ペレット外観	割れ	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	欠け	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	キャッピング	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

成型後(1)



成型後(2)



成型後(3)

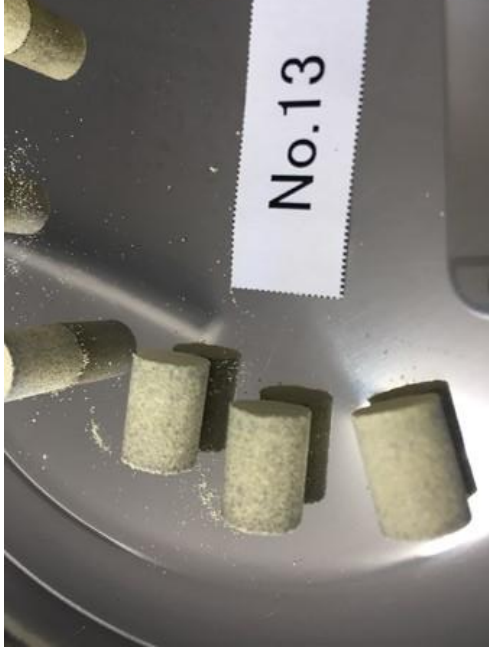


表 11.1-16 圧縮成型試験・検査記録 14

件名：燃料デブリ模擬体調製設備性能試験

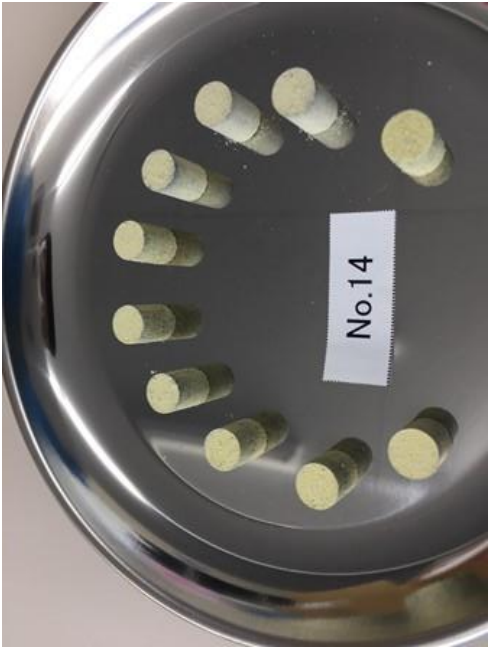
実施日：2018/1/12

圧縮条件：No.14

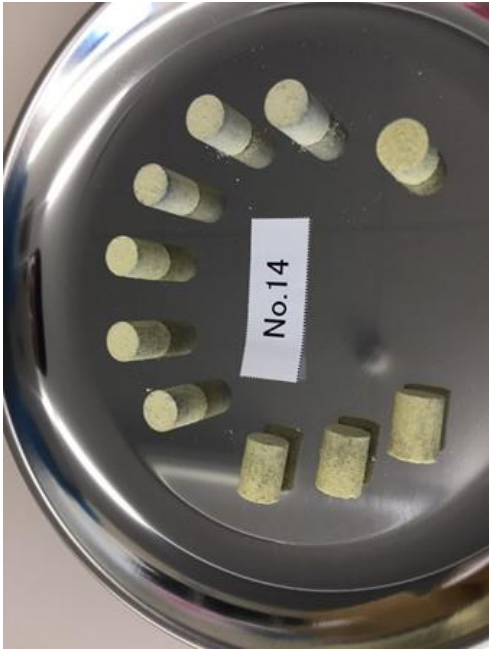
充填率(g)：2.4

ペレット		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
圧縮成型後のペレット高さ(mm)		11.4	11.6	11.8	11.9	11.9	11.9	12.2	12.5	12.6	11.9
圧縮成型後のペレット径(mm)		8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
圧縮成型後のペレット密度(g/cm ³)		3.71	3.65	3.58	3.55	3.55	3.55	3.47	3.38	3.36	3.55
圧縮成型後の ペレット外観	割れ	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	欠け	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	キャッピング	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

成型後(1)



成型後(2)



成型後(3)

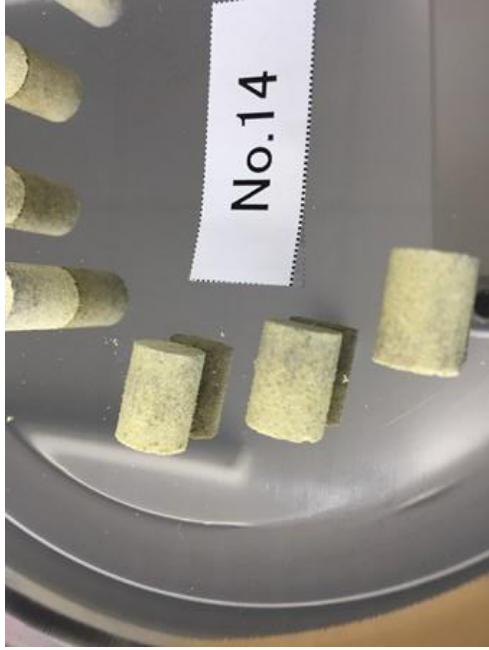


表 11.1-17 圧縮成型試験・検査記録 15

件名：燃料デブリ模擬体調製設備性能試験

実施日：2018/1/12

圧縮条件：No.15

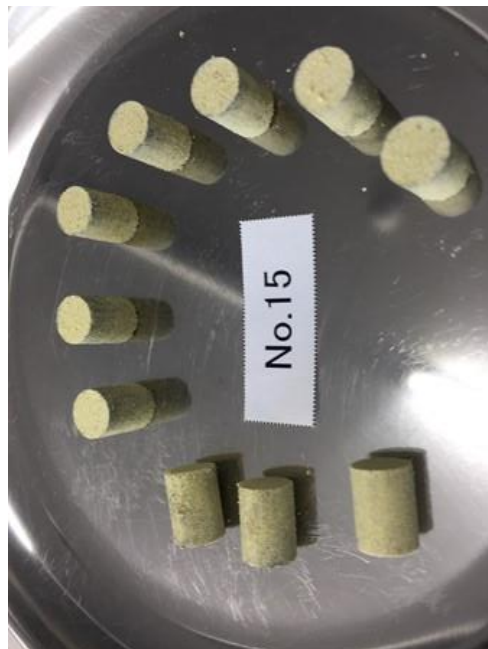
充填率(g)：2.4

ペレット		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
圧縮成型後のペレット高さ(mm)		11.5	11.4	11.9	11.9	11.9	11.9	12.0	11.9	12.1	12.1
圧縮成型後のペレット径(mm)		8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
圧縮成型後のペレット密度(g/cm ³)		3.68	3.71	3.55	3.55	3.55	3.55	3.52	3.55	3.50	3.50
圧縮成型後の ペレット外観	割れ	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	欠け	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	キャッピング	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

成型後(1)



成型後(2)



成型後(3)



表 11.1-18 圧縮成型試験・検査記録 16

件名：燃料デブリ模擬体調製設備性能試験

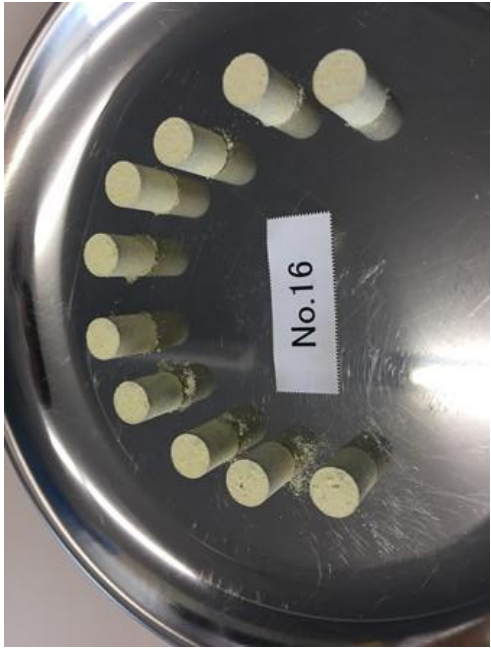
実施日：2018/1/12

圧縮条件：No.16

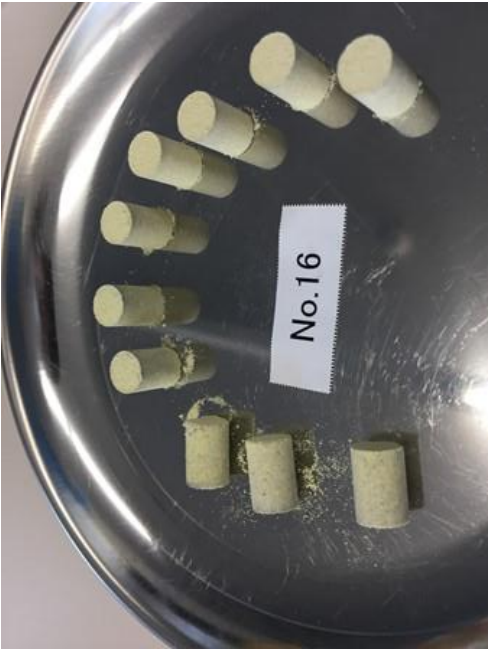
充填率(g)：2.4

ペレット		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
圧縮成型後のペレット高さ(mm)		12.0	12.5	12.2	12.5	12.5	12.6	12.6	12.7	12.9	12.9
圧縮成型後のペレット径(mm)		8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
圧縮成型後のペレット密度(g/cm ³)		3.52	3.38	3.47	3.38	3.38	3.36	3.36	3.33	3.28	3.28
圧縮成型後の ペレット外観	割れ	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	欠け	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	キャッピング	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

成型後(1)



成型後(2)



成型後(3)



表 11.1-19 圧縮成型試験・検査記録 17

件名：燃料デブリ模擬体調製設備性能試験

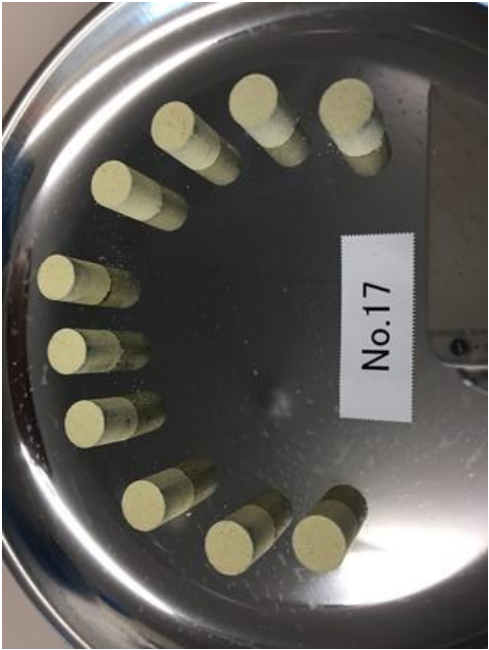
実施日：2018/1/8

圧縮条件：No.17

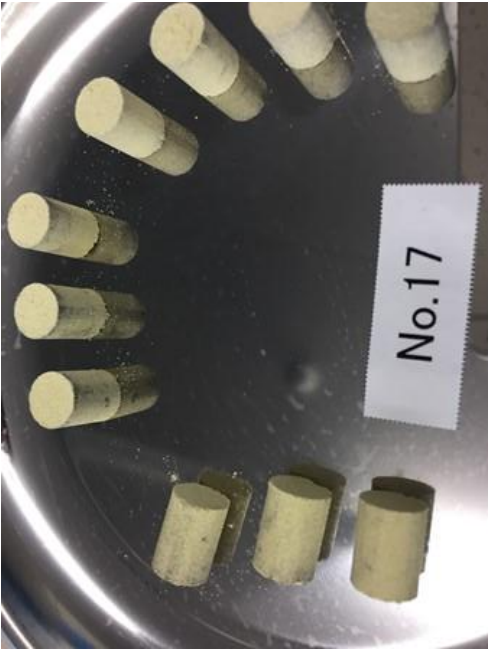
充填率(g)：2.7

ペレット	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
圧縮成型後のペレット高さ(mm)	11.6	12.1	12.1	12.2	12.4	12.6	12.1	12.0	12.0	12.6
圧縮成型後のペレット径(mm)	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
圧縮成型後のペレット密度(g/cm ³)	3.66	3.51	3.51	3.48	3.42	3.37	3.51	3.54	3.54	3.37
圧縮成型後の ペレット外観	割れ	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	欠け	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	キャッピング	無	無	無	無	無	無	無	無	無

成型後(1)



成型後(2)



成型後(3)

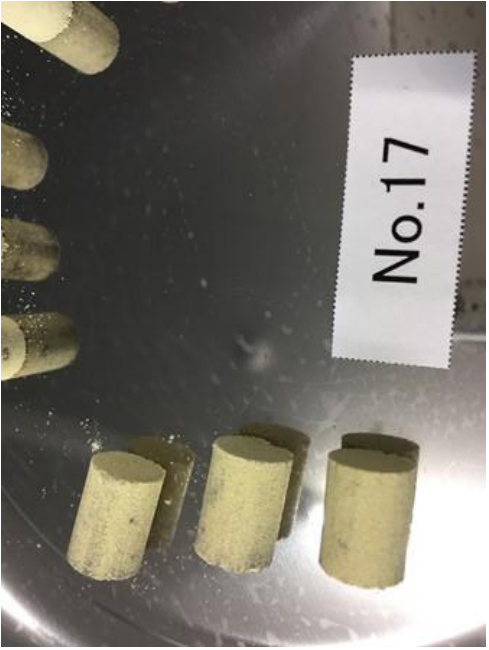


表 11.1-20 圧縮成型試験・検査記録 18

件名：燃料デブリ模擬体調製設備性能試験

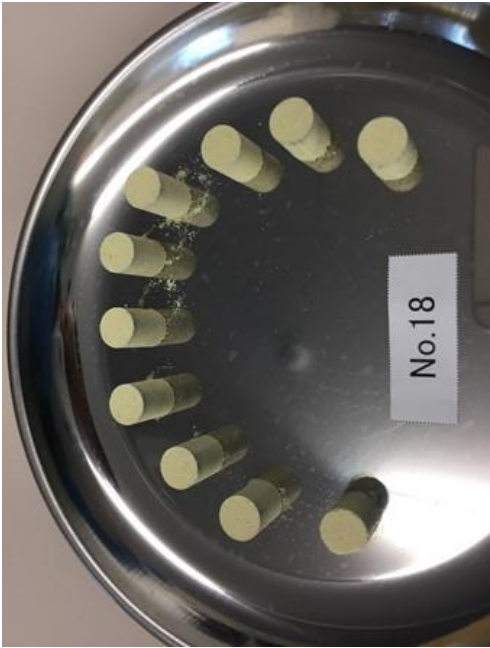
実施日：2018/1/8

圧縮条件：No.18

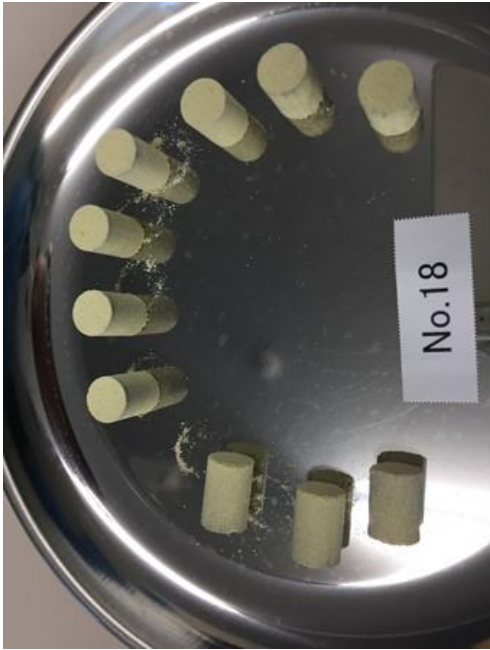
充填率(g)：2.7

ペレット		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
圧縮成型後のペレット高さ(mm)		12.1	12.7	13.0	13.3	13.7	13.8	13.9	12.2	12.2	12.1
圧縮成型後のペレット径(mm)		9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
圧縮成型後のペレット密度(g/cm ³)		3.51	3.34	3.26	3.19	3.10	3.08	3.05	3.48	3.48	3.51
圧縮成型後の ペレット外観	割れ	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	欠け	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	キャッピング	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

成型後(1)



成型後(2)



成型後(3)

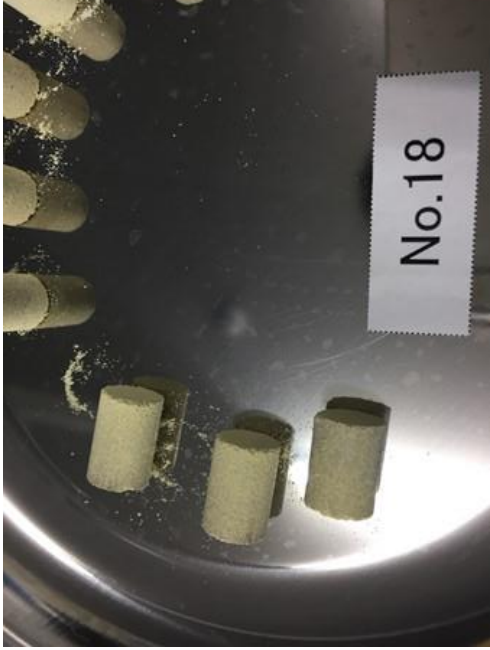


表 11.1-21 圧縮成型試験・検査記録 19

件名：燃料デブリ模擬体調製設備性能試験

実施日：2018/1/8

圧縮条件：No.19

充填率(g)：2.7

ペレット		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
圧縮成型後のペレット高さ(mm)		11.9	12.1	12.3	12.2	12.3	12.5	13.0	13.1	13.0	13.5
圧縮成型後のペレット径(mm)		9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
圧縮成型後のペレット密度(g/cm ³)		3.57	3.51	3.45	3.48	3.45	3.40	3.26	3.24	3.26	3.14
圧縮成型後の ペレット外観	割れ	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	欠け	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	キャッピング	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

成型後(1)



成型後(2)



成型後(3)

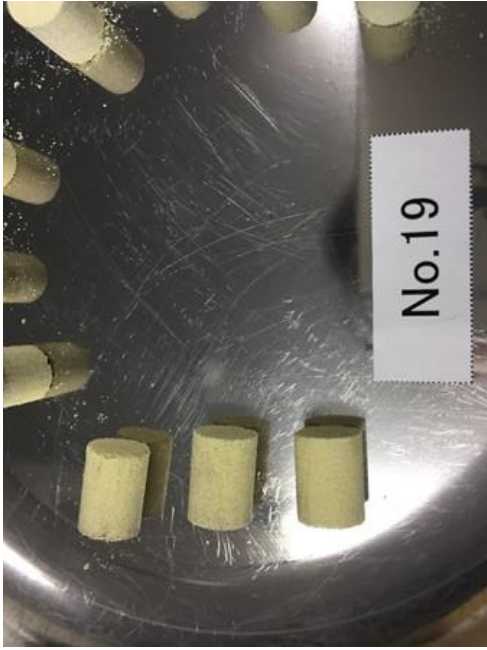


表 11.1-22 圧縮成型試験・検査記録 20

件名：燃料デブリ模擬体調製設備性能試験

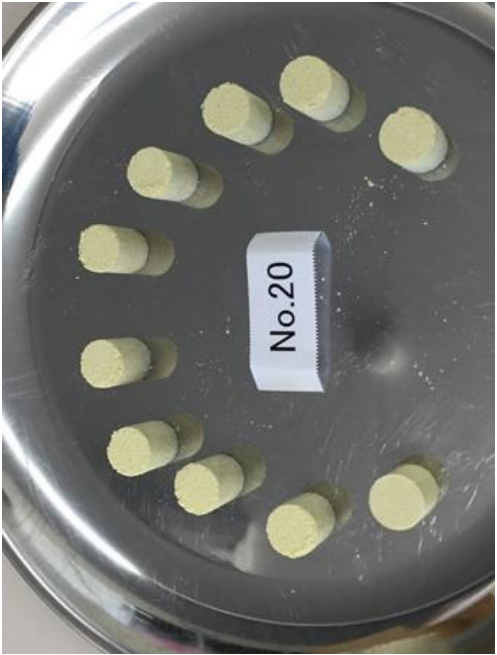
実施日：2018/1/8

圧縮条件：No.20

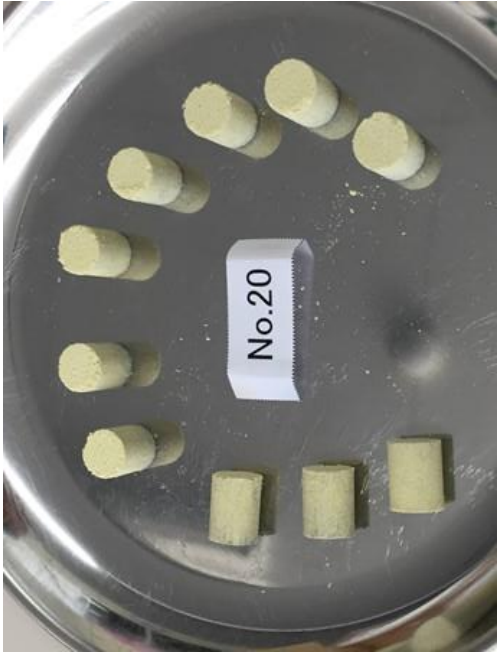
充填率(g)：2.7

ペレット		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
圧縮成型後のペレット高さ(mm)		11.7	12.0	12.1	12.1	12.2	12.2	12.4	12.1	12.4	12.1
圧縮成型後のペレット径(mm)		9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
圧縮成型後のペレット密度(g/cm ³)		3.63	3.54	3.51	3.51	3.48	3.48	3.42	3.51	3.42	3.51
圧縮成型後の ペレット外観	割れ	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	欠け	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	キャッピング	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

成型後(1)



成型後(2)



成型後(3)

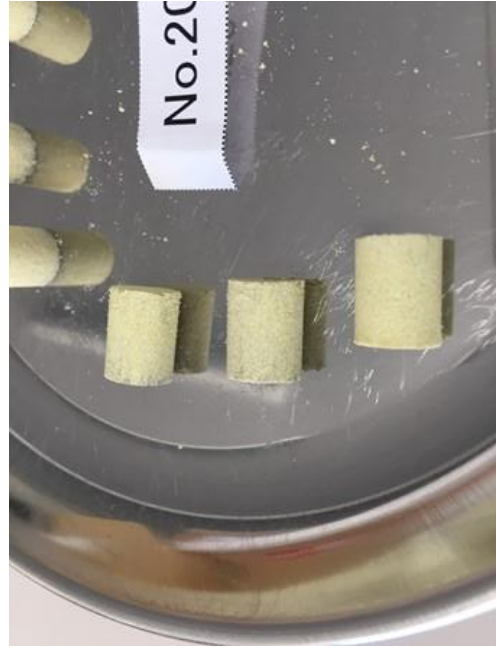


表 11.1-23 圧縮成型試験・検査記録 21

件名：燃料デブリ模擬体調製設備性能試験

実施日：2018/1/5

圧縮条件：No.21

充填率(g)：3.0

ペレット		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
圧縮成型後のペレット高さ(mm)		12.1	13.3	12.8	12.1	12.2	12.5	12.2	12.2	12.2	12.1
圧縮成型後のペレット径(mm)		9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
圧縮成型後のペレット密度(g/cm ³)		3.50	3.18	3.31	3.50	3.47	3.39	3.47	3.47	3.47	3.50
圧縮成型後の ペレット外観	割れ	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	欠け	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	キャッピング	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

成型後(1)



成型後(2)



成型後(3)

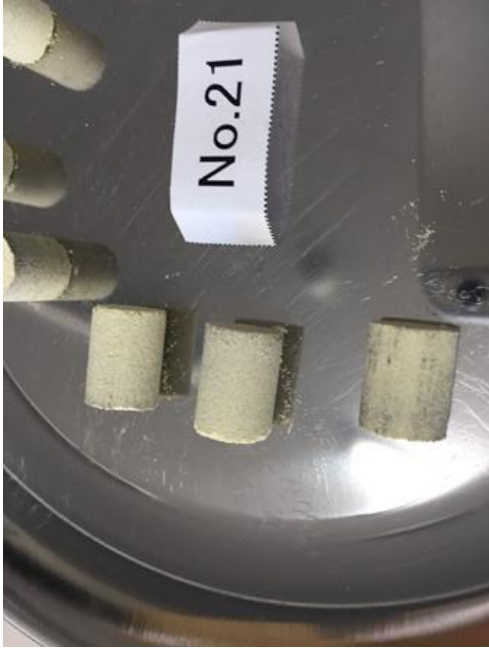


表 11.1-24 圧縮成型試験・検査記録 22

件名：燃料デブリ模擬体調製設備性能試験

実施日：2018/1/5

圧縮条件：No.22

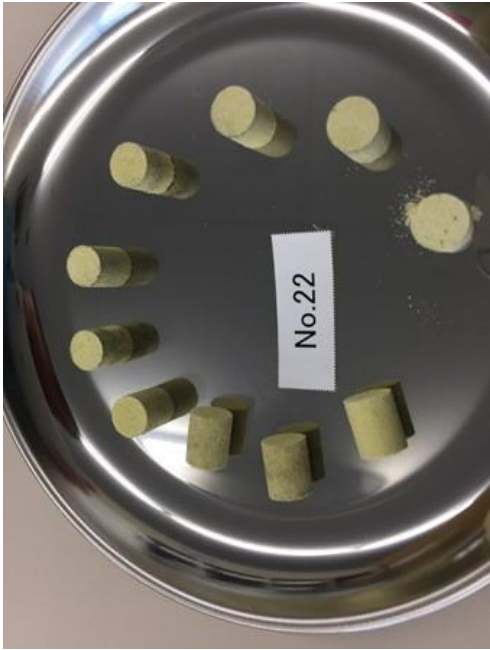
充填率(g)：3.0

ペレット		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
圧縮成型後のペレット高さ(mm)		11.5	11.8	11.8	12.0	12.0	12.2	11.9	12.2	12.3	12.5
圧縮成型後のペレット径(mm)		9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
圧縮成型後のペレット密度(g/cm ³)		3.68	3.59	3.59	3.53	3.53	3.47	3.56	3.47	3.44	3.39
圧縮成型後の ペレット外観	割れ	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	欠け	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	キャッピング	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

成型後(1)



成型後(2)



成型後(3)

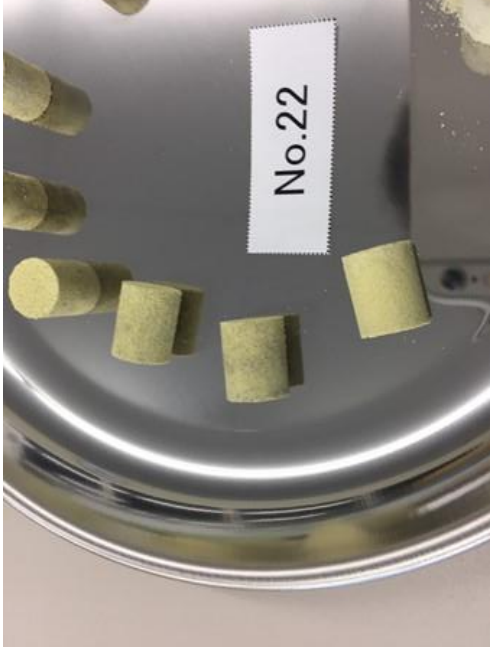


表 11.1-25 圧縮成型試験・検査記録 23

件名：燃料デブリ模擬体調製設備性能試験

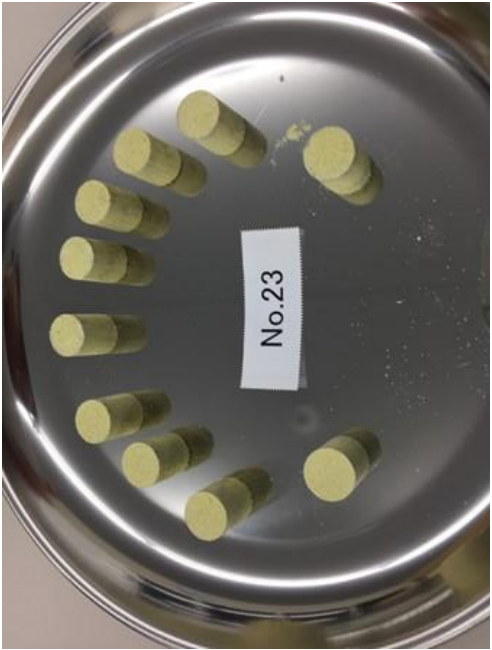
実施日：2018/1/5

圧縮条件：No.23

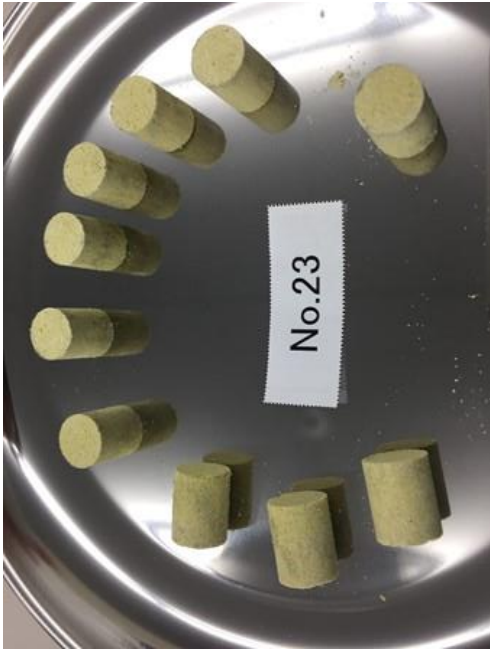
充填率(g)：3.0

ペレット		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
圧縮成型後のペレット高さ(mm)		11.7	12.2	12.1	12.2	12.3	12.2	12.2	12.5	12.2	12.0
圧縮成型後のペレット径(mm)		9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
圧縮成型後のペレット密度(g/cm ³)		3.62	3.47	3.50	3.47	3.44	3.47	3.47	3.39	3.47	3.53
圧縮成型後の ペレット外観	割れ	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	欠け	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	キャッピング	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

成型後(1)



成型後(2)



成型後(3)



表 11.1-26 圧縮成型試験・検査記録 24

件名：燃料デブリ模擬体調製設備性能試験

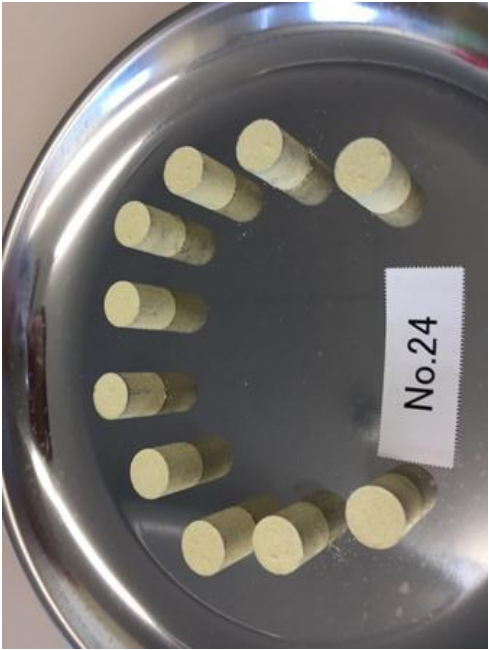
実施日：2018/1/5

圧縮条件：No.24

充填率(g)：3.0

ペレット		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
圧縮成型後のペレット高さ(mm)		11.9	11.8	12.3	11.9	12.4	12.2	12.4	12.2	12.5	12.5
圧縮成型後のペレット径(mm)		9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
圧縮成型後のペレット密度(g/cm ³)		3.56	3.59	3.44	3.56	3.41	3.47	3.41	3.47	3.39	3.39
圧縮成型後の ペレット外観	割れ	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	欠け	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	キャッピング	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

成型後(1)



成型後(2)



成型後(3)

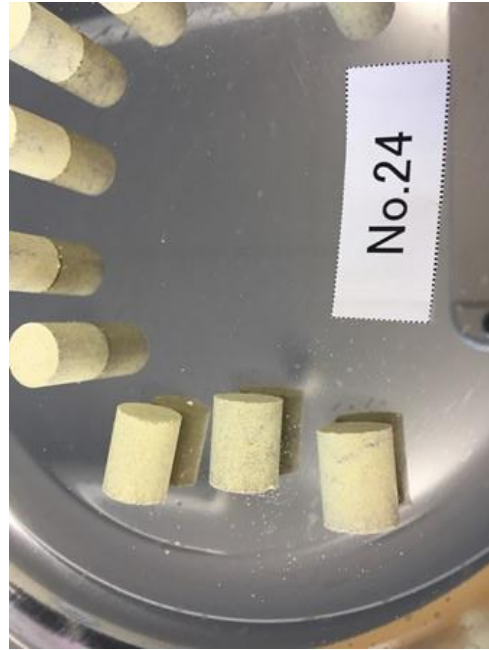


表 11.1-27 圧縮成型試験・検査記録 25

件名：燃料デブリ模擬体調製設備性能試験

実施日：2018/1/19

圧縮条件：全て(No.1～No.24)

試料作製後経過時間：5 時間

製作個数：各 1 個

加熱温度：200℃

加熱時間：5 分

圧縮条件	加熱前		加熱後	
	ペレット高さ (mm)	ペレット径 (mm)	ペレット高さ (mm)	ペレット径 (mm)
No. 1	13.0	8.5	13.0	8.5
No. 2	12.4	8.5	12.4	8.5
No. 3	12.2	8.5	12.2	8.5
No. 4	11.9	8.5	11.9	8.5
No. 5	12.0	9.0	12.0	9.0
No. 6	12.7	9.0	12.7	9.0
No. 7	13.1	9.0	13.1	9.0
No. 8	13.1	9.0	13.1	9.0
No. 9	12.2	9.5	12.2	9.5
No. 10	12.4	9.5	12.4	9.5
No. 11	12.6	9.5	12.6	9.5
No. 12	13.1	9.5	13.1	9.5
No. 13	12.0	8.5	12.0	8.5
No. 14	12.5	8.5	12.5	8.5
No. 15	12.6	8.5	12.6	8.5
No. 16	12.9	8.5	12.9	8.5
No. 17	12.4	9.0	12.4	9.0
No. 18	12.6	9.0	12.6	9.0
No. 19	12.5	9.0	12.5	9.0
No. 20	12.5	9.0	12.5	9.0
No. 21	12.6	9.5	12.6	9.5
No. 22	12.5	9.5	12.5	9.5
No. 23	12.5	9.5	12.5	9.5
No. 24	12.7	9.5	12.7	9.5

表 11.1-28 圧縮成型試験・検査記録 26

件名：燃料デブリ模擬体調製設備性能試験

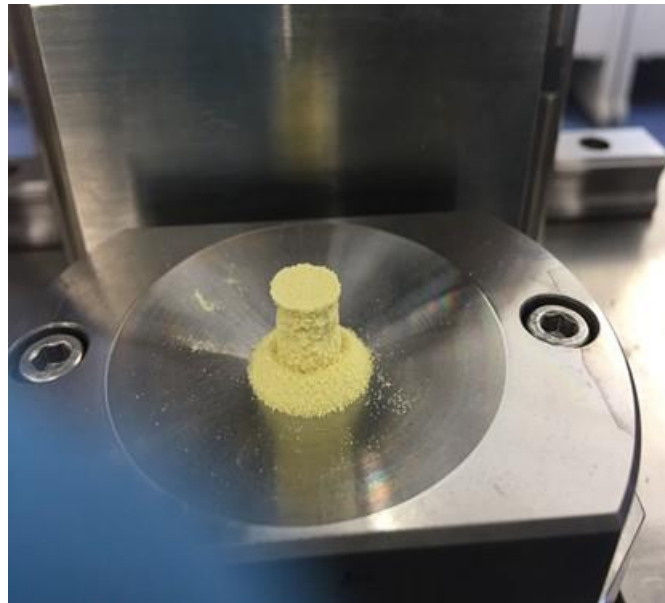
実施日：2018/2/23

圧縮条件：FSY 酸化ジルコニウム単体での圧縮成型

・試料質量 3g 加圧力 35Mpa 金型 3 使用

結果：成型不可

成型後(1)



成型後(2)

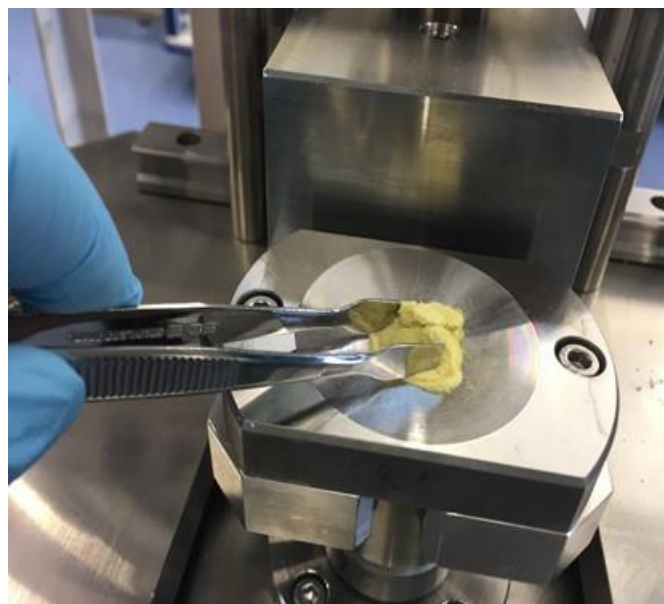


表 11.1-29 圧縮成型試験・検査記録 27

件名：燃料デブリ模擬体調製設備性能試験

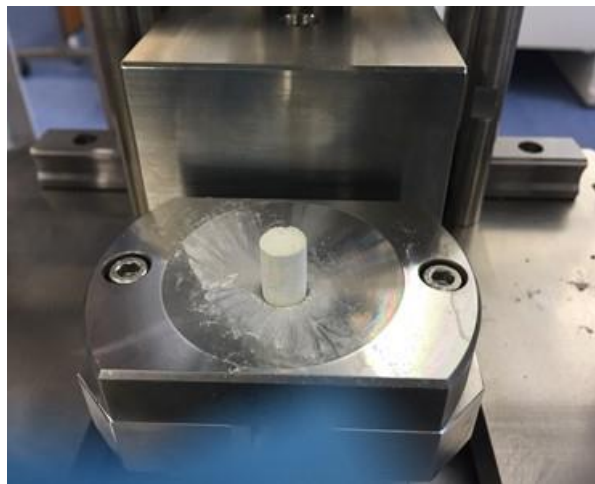
実施日：2018/2/23

圧縮条件：イットリア添加ジルコニウムを加えた FSY 酸化ジルコニウムでの圧縮成型

・試料質量合計 3g 加圧力 35Mpa 金型 3 使用

結果：成型可能も外力で崩壊

成型後(1)



成型後(2)



成型後(3)

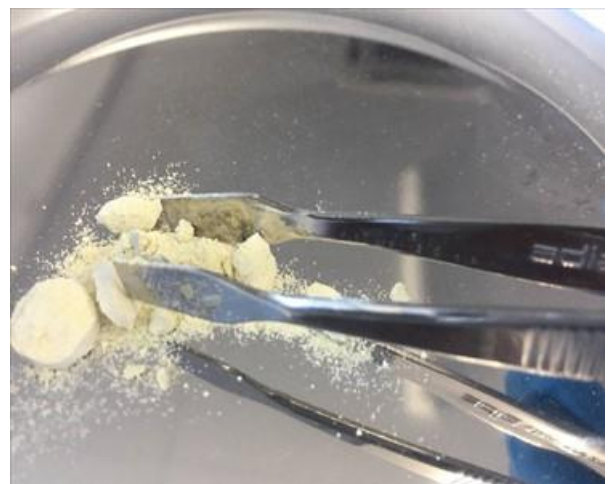


表 11.1-30 圧縮成型試験・検査記録 28

件名：燃料デブリ模擬体調製設備性能試験

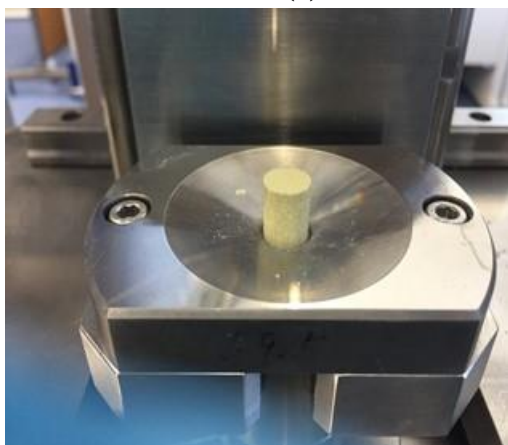
実施日：2018/2/23

圧縮条件：イットリア添加ジルコニウムを加えた FSY 酸化ジルコニウムにバインダー（5%程度）を添加し、試料が未乾燥の状態での圧縮成型

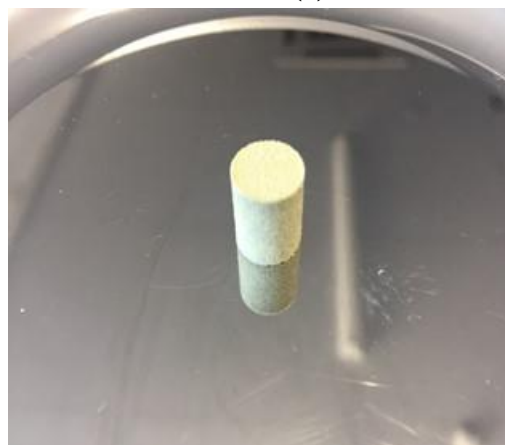
・試料質量合計 3 g 加圧力 35MPa 金型 3 使用

結果：成型可能も外力で崩壊、また凝縮水が金型に付着

成型後(1)



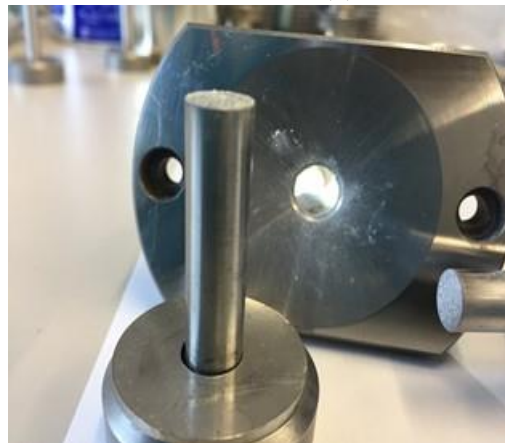
成型後(2)



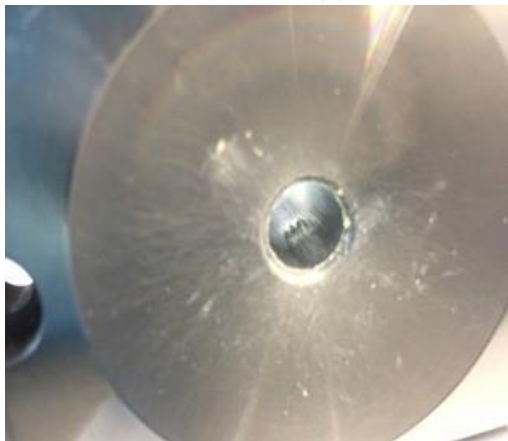
成型後(3)



成型後金型(1)

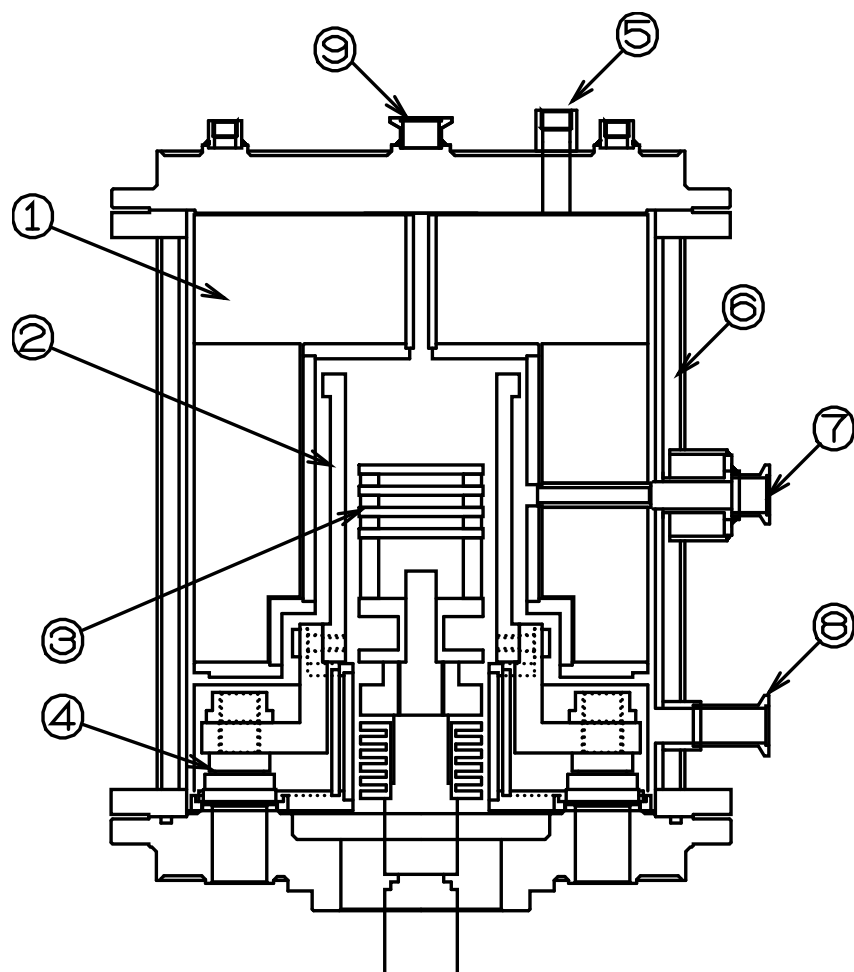


成型後金型(2)



成型後金型(3)

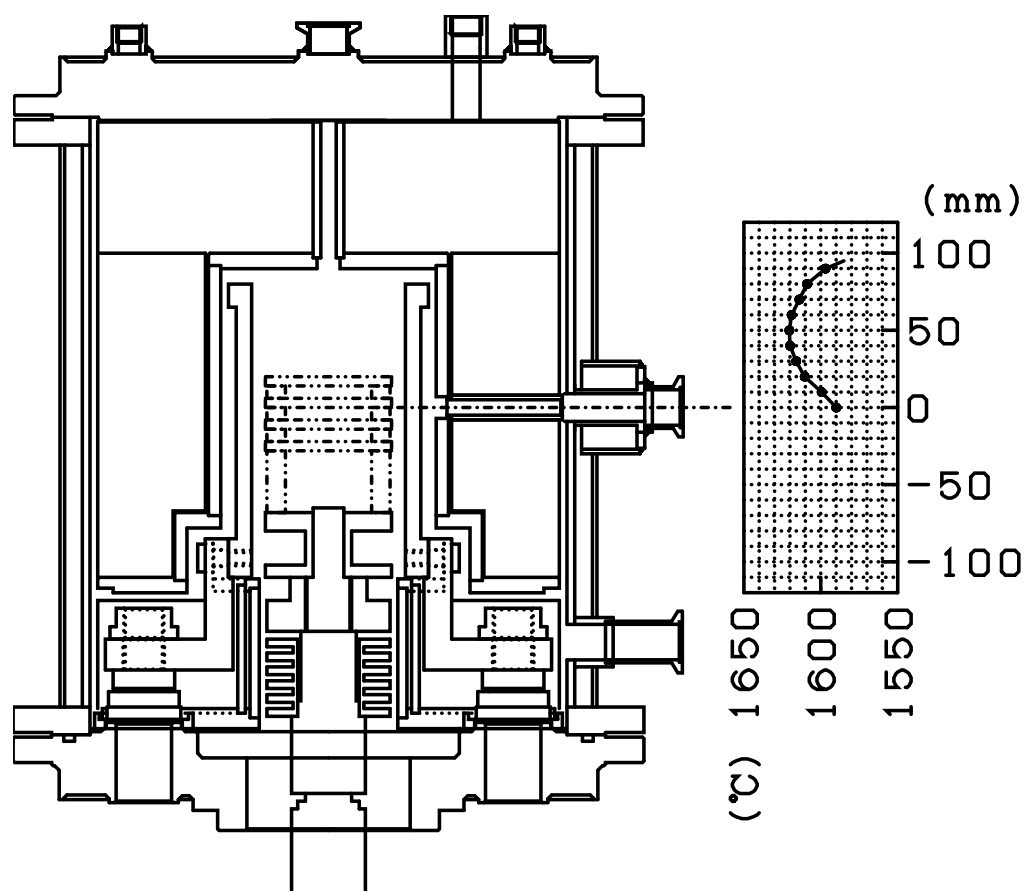




- ① 成型断熱材（カーボン製）
- ② 発熱体（カーボン製）
- ③ 試料台（28 個×4 段＝112 個）
- ④ 電極（水冷式）
- ⑤ ガス排気口
- ⑥ 水冷式チャンバー
- ⑦ 制御熱電対
- ⑧ 真空引き口・ガス導入口
- ⑨ 内部温度監視用熱電対導入口

図 11.1-1 焼結炉の構造

温度分布（炉内構造物無し）



運転条件： 制御設定温度 1600℃ ※実測温度 1550℃

雰囲気ガス N₂

ガス流量 2L/min

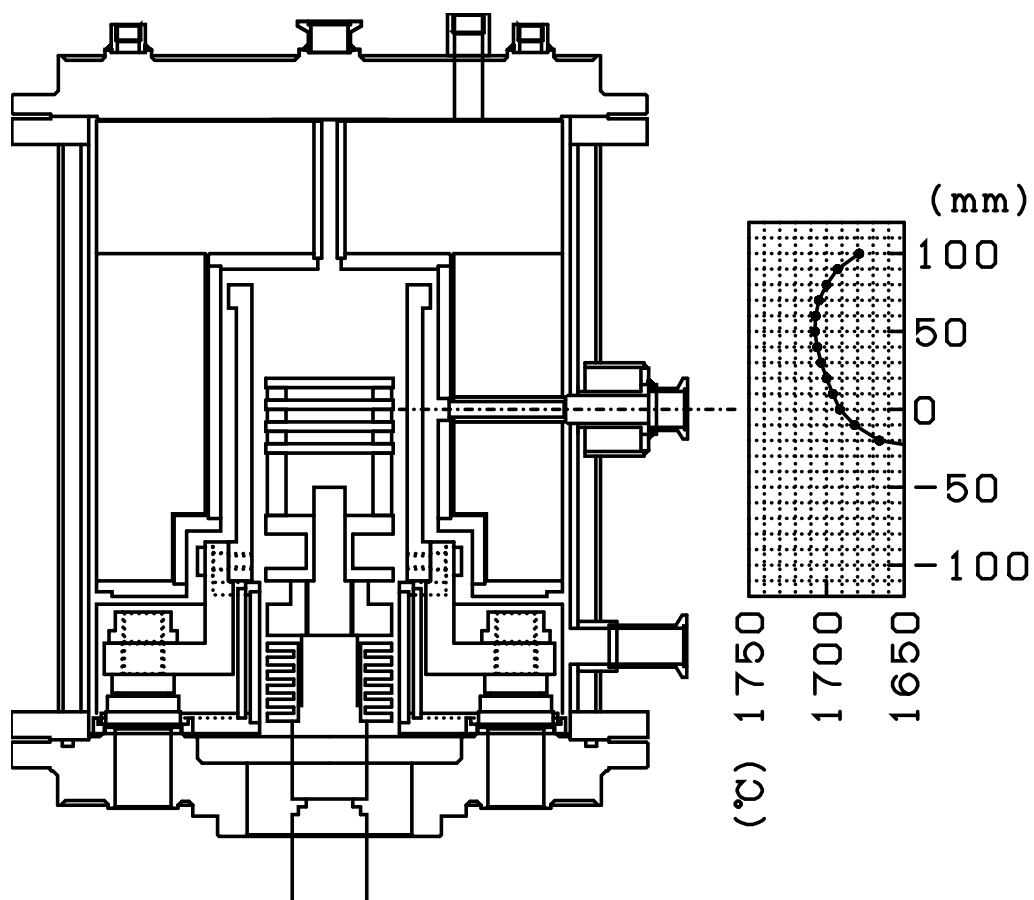
図 11.1-2 熱電対性能試験結果 1（炉内構造物無し）

表 11.1-30 熱電対性能試験結果 1 (炉内構造物無し)

位置 (mm)	測定温度 (℃)	位置 (mm)	測定温度 (℃)
-70	1326.3	20	1612.2
-60	1384.6	30	1617.9
-50	1421.9	40	1622.1
-40	1470.3	50	1622.4
-30	1491.3	60	1621.2
-20	1549.6	70	1616.0
-10	1578.0	80	1611.2
0	1592.9	90	1599.1
10	1601.3	100	1576.4

温度分布結果： 位置 20mm から 70mm で $1617.3^{\circ}\text{C} \pm 5.1^{\circ}\text{C}$ (50Lmm)

温度分布（炉内構造物有り）



運転条件： 制御設定温度 1600°C

雰囲気ガス N₂

ガス流量 2L/min

図 11.1-3 熱電対性能試験結果 2（炉内構造物有り）

表 11.1-31 熱電対性能試験結果（炉内構造物有り）

位置 (mm)	測定温度 (℃)	位置 (mm)	測定温度 (℃)
-70	1295.8	20	1699.8
-60	1356.7	30	1703.6
-50	1502.0	40	1706.0
-40	1559.7	50	1707.8
-30	1610.0	60	1706.8
-20	1666.4	70	1705.1
-10	1681.9	80	1700.0
0	1691.6	90	1693.0
10	1695.8	100	1679.3

温度分布結果： 位置 30mm から 80mm で $1703.9^{\circ}\text{C} \pm 3.9^{\circ}\text{C}$ (50Lmm)

温度プログラムで室温から 1600℃まで 3 時間で昇温、ガス流量 2L/min.
 グラフの昇温データは発熱体制御温度

昇温データ

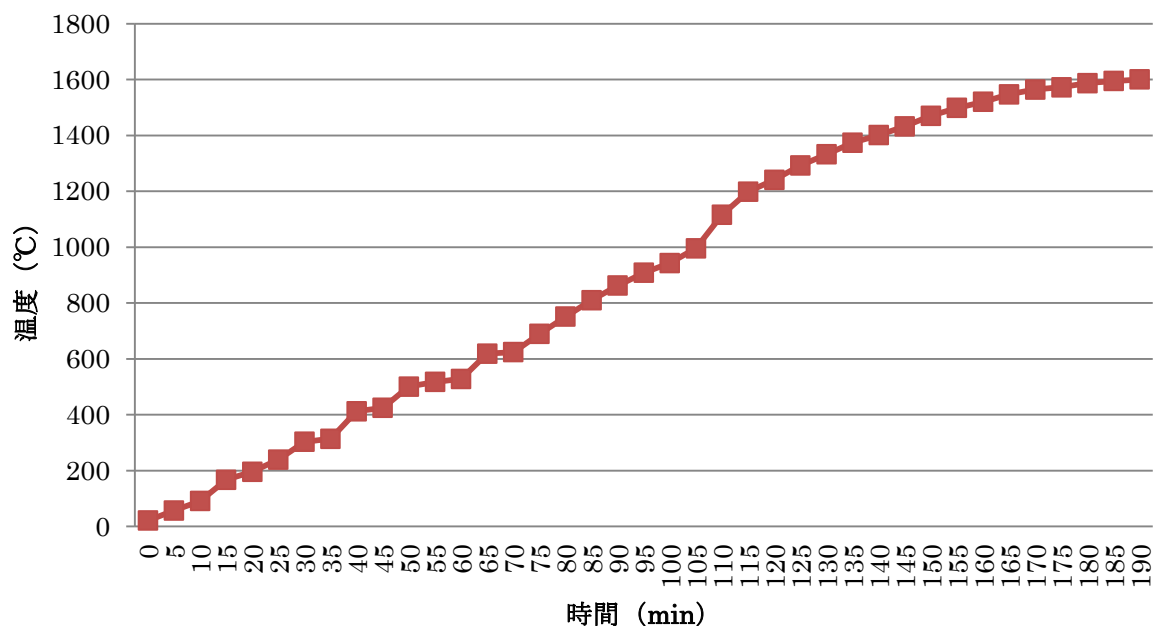


図 11.1-4 昇温データ測定結果

表 11.1-32 昇温データ測定結果

時間 (min)	温度 (°C)	時間 (min)	温度 (°C)	時間 (min)	温度 (°C)
0	20.9	65	618.8	130	1332.2
5	57.2	70	624.0	135	1374.1
10	90.9	75	689.0	140	1400.9
15	167.2	80	751.3	145	1432.8
20	195.6	85	810.4	150	1470.4
25	239.3	90	862.6	155	1498.5
30	302.7	95	908.4	160	1520.1
35	313.6	100	943.3	165	1547.3
40	412.2	105	995.9	170	1564.5
45	424.2	110	1116.2	175	1572.6
50	500.8	115	1198.5	180	1587.3
55	517.3	120	1241.2	185	1594.7
60	528.2	125	1292.5	190	1600.6

運転条件

温度プログラムで 1600℃から室温まで 1 時間で降温、ガス流量 2L/min.

グラフの降温データは発熱体制御温度

降温データ

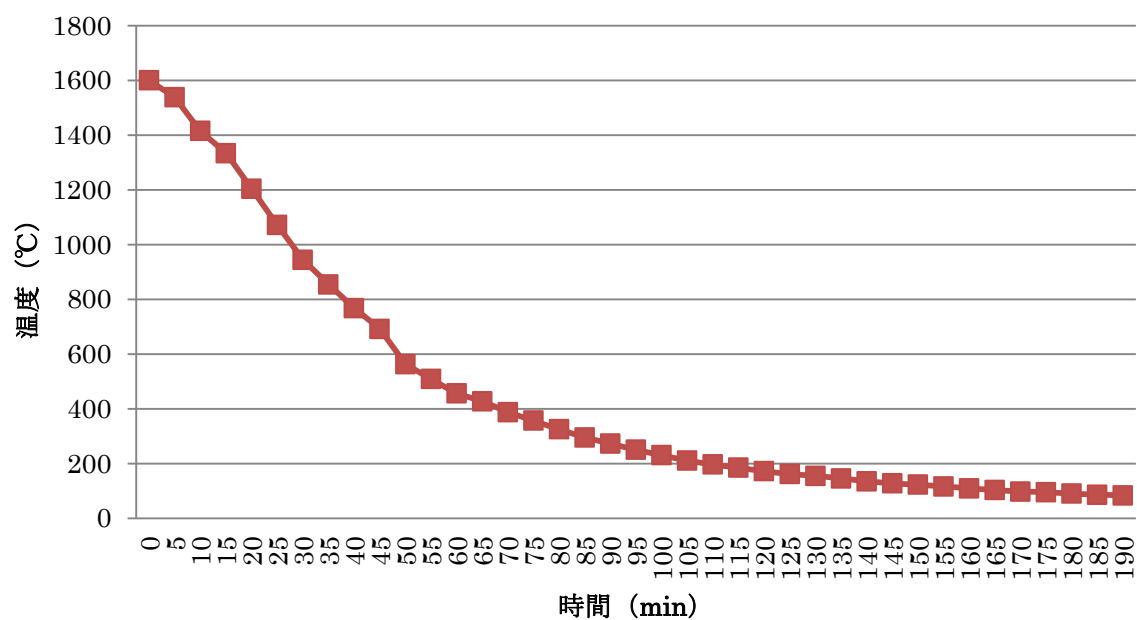


図 11.1-5 降温データ測定結果（ケース 1）

表 11.1-33 降温データ測定結果（ケース 1）

時間 (min)	温度 (°C)	時間 (min)	温度 (°C)	時間 (min)	温度 (°C)
0	1600.3	65	427.5	130	155.2
5	1538.6	70	387.5	135	145.7
10	1415.5	75	356.5	140	135.4
15	1333.7	80	325.3	145	127.4
20	1203.7	85	295.5	150	122.7
25	1071.1	90	272.7	155	116.2
30	944.5	95	250.2	160	109.4
35	854.7	100	230.4	165	103.2
40	768.1	105	210.8	170	97.5
45	692.1	110	196.3	175	95.1
50	563.1	115	185.1	180	90.4
55	508.9	120	171.9	185	86.3
60	456.1	125	161.3	190	83.4

運転条件

温度プログラムで 1600℃から室温まで 1 時間で降温、ガス流量 4L/min.

グラフの降温データは発熱体制御温度

降温データ

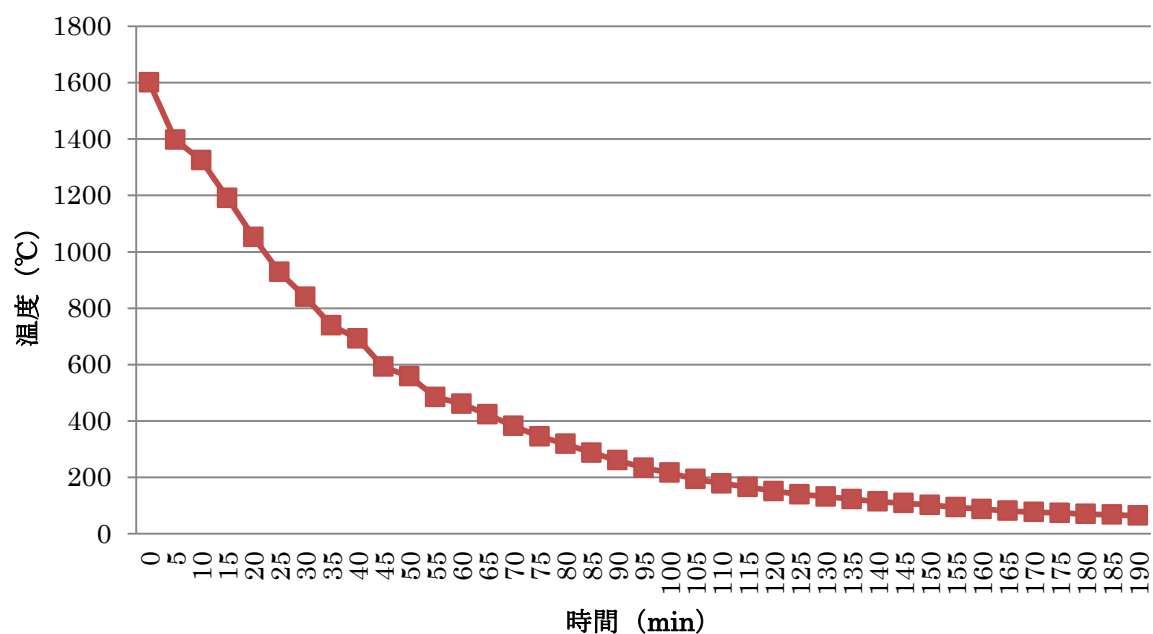


図 11.1-6 降温データ測定結果（ケース 2）

表 11.1-34 降温データ測定結果（ケース 2）

時間 (min)	温度 (°C)	時間 (min)	温度 (°C)	時間 (min)	温度 (°C)
0	1600.5	65	423.1	130	131.8
5	1397.2	70	382.1	135	122.7
10	1324.8	75	345.4	140	114.2
15	1190.8	80	318.8	145	108.5
20	1052.4	85	287.2	150	102.3
25	928.3	90	260.9	155	93.7
30	839.5	95	233.9	160	87.8
35	738.9	100	216.6	165	81.5
40	692.5	105	193.7	170	76.8
45	592.4	110	178.6	175	74.2
50	558.1	115	166.1	180	70.3
55	485.2	120	151.3	185	67.7
60	461.2	125	139.6	190	64.6

表 11.1-35 デブリ模擬ペレット焼成試験（１）

焼成試験条件

- ・ 予備焼成あり 700℃で 3 時間保持
- ・ 本焼成 1600℃で 4 時間保持
- ・ 焼成数 6 個×4 段（24 個）

焼成 段	製作 条件	N o	焼成前		焼成後		収縮率 (%)
			高さ(mm)	径(mm)	高さ(mm)	径(mm)	
1	1	5-1	11.9	8.5	11.9	8.5	100.0
1	2	5-2	12.1	8.5	12.1	8.5	100.0
1	4	5-4	12.1	8.5	12.1	8.5	100.0
1	6	5-6	11.7	9.0	11.7	9.0	100.0
1	14	5-14	11.9	8.5	11.9	8.5	100.0
1	15	5-15	11.9	8.5	11.9	8.5	100.0
2	17	5-17	12.4	9.0	12.2	9.0	98.3
2	19	5-19	12.3	9.0	12.1	9.0	98.3
2	20	5-20	12.2	9.0	12.2	9.0	100.0
2	22	5-22	12.0	9.5	11.8	9.5	98.3
2	23	5-23	12.3	9.5	12.3	9.5	100.0
2	24	5-24	12.4	9.5	12.4	9.5	100.0
3	1	10-1	12.1	8.5	11.9	8.5	98.3
3	3	10-3	11.5	8.5	11.5	8.5	100.0
3	4	10-4	12.1	8.5	12.1	8.5	100.0
3	10	10-10	12.5	9.5	12.5	9.5	100.0
3	13	10-13	11.3	8.5	11.3	8.5	100.0
3	14	10-14	11.9	8.5	11.9	8.5	100.0
4	15	10-15	12.1	8.5	12.1	8.5	100.0
4	18	10-18	12.1	9.0	11.9	8.6	80.5
4	20	10-20	12.1	9.0	12.1	9.0	100.0
4	21	10-21	12.1	9.5	12.0	9.5	98.4
4	23	10-23	12.0	9.5	12.0	9.5	100.0
4	24	10-24	12.5	9.5	12.5	9.5	100.0

表 11.1-36 デブリ模擬ペレット焼成試験（2）

焼成試験条件

- ・ 予備焼成なし
- ・ 本焼成 1600℃で4時間保持
- ・ 焼成数 6個×4段（24個）

焼成 段	製作 条件	N o	焼成前		焼成後		収縮率 (%)
			高さ(mm)	径(mm)	高さ(mm)	径(mm)	
1	1	2-1	11.5	8.5	11.5	8.5	100.0
1	2	2-2	12.4	8.5	12.4	8.5	100.0
1	3	2-3	11.7	8.5	11.7	8.5	100.0
1	4	2-4	12.0	8.5	12.0	8.5	100.0
1	5	2-5	11.6	9.0	11.6	9.0	100.0
1	6	2-6	13.0	9.0	13.0	9.0	100.0
2	7	2-7	13.3	9.0	13.1	9.0	98.3
2	8	2-8	12.2	9.0	12.2	9.0	100.0
2	9	2-9	12.6	9.5	12.6	9.5	100.0
2	10	2-10	12.7	9.5	12.7	9.5	100.0
2	11	2-11	12.9	9.5	12.9	9.5	100.0
2	12	2-12	11.0	9.5	11.0	9.5	100.0
3	13	2-13	11.7	8.5	11.7	8.5	100.0
3	14	2-14	11.6	8.5	11.4	8.5	98.3
3	15	2-15	11.4	8.5	11.4	8.5	100.0
3	16	2-16	12.5	8.5	12.5	8.5	100.0
3	17	2-17	12.1	9.0	12.1	9.0	100.0
3	18	2-18	12.7	9.0	12.7	9.0	100.0
4	19	2-19	12.1	9.0	12.1	9.0	100.0
4	20	2-20	12.0	9.0	11.7	9.0	98.2
4	21	2-21	13.3	9.5	13.3	9.5	100.0
4	22	2-22	11.8	9.5	11.8	9.5	100.0
4	23	2-23	12.2	9.5	12.0	9.5	98.3
4	24	2-24	11.8	9.5	11.8	9.5	100.0

表 11.1-37 デブリ模擬ペレット焼成試験（3）

焼成試験条件

- ・ 予備焼成なし
- ・ 本焼成 1600℃で 4 時間保持
- ・ 焼成数 28 個×4 段（112 個）

焼成 段	製作 条件	N o	焼成前		焼成後	
			高さ(mm)	径(mm)	高さ(mm)	径(mm)
1	1	1-1	11.4	8.5	11.3	8.4
1	3	1-3	11.9	8.5	11.8	8.4
1	4	1-4	12.0	8.5	11.9	8.5
1	6	1-6	12.0	8.5	12.0	8.5
1	7	1-7	12.0	8.5	11.8	8.4
1	8	1-8	12.0	8.5	11.9	8.5
1	9	1-9	12.1	8.5	12.0	8.5
1	1	2-1	12.1	8.5	12.1	8.5
1	3	2-3	12.5	8.5	12.5	8.5
1	4	2-4	12.0	8.5	12.0	8.5
1	6	2-6	12.0	8.5	11.9	8.5
1	7	2-7	12.2	8.5	12.1	8.5
1	8	2-8	12.1	8.5	12.1	8.5
1	9	2-9	12.1	8.5	12.0	8.5
1	1	3-1	12.0	8.5	12.0	8.5
1	3	3-3	12.0	8.5	11.9	8.5
1	4	3-4	12.2	8.5	12.0	8.5
1	6	3-6	12.5	8.5	12.5	8.5
1	7	3-7	12.6	8.5	12.5	8.5
1	8	3-8	11.4	8.5	11.3	8.5
1	9	3-9	11.4	8.5	11.4	8.5
1	1	4-1	11.9	8.5	11.8	8.5
1	3	4-3	12.0	8.5	11.9	8.5
1	4	4-4	12.0	8.5	11.8	8.5
1	6	4-6	11.9	8.5	11.8	8.5
1	7	4-7	11.9	8.5	11.9	8.5
1	8	4-8	11.9	8.5	11.8	8.5
1	9	4-9	12.1	8.5	12.0	8.5

表 11.1-37 デブリ模擬ペレット焼成試験（3）（つづき）

焼成 段	製作 条件	N o	焼成前		焼成後	
			高さ(mm)	径(mm)	高さ(mm)	径(mm)
2	1	5-1	11.6	9.0	11.3	9.0
2	3	5-3	11.9	9.0	11.8	9.0
2	4	5-4	12.2	9.0	12.1	9.0
2	7	5-7	13.2	9.0	13.1	9.0
2	9	5-9	13.3	9.0	13.2	9.0
2	1	6-1	12.5	9.0	12.5	9.0
2	3	6-3	13.0	9.0	13.0	9.0
2	4	6-4	13.1	9.0	13.1	9.0
2	6	6-6	11.5	9.0	11.3	9.0
2	7	6-7	11.8	9.0	11.8	9.0
2	8	6-8	11.9	9.0	11.8	9.0
2	9	6-9	12.1	9.0	12.1	9.0
2	1	7-1	12.5	9.0	12.5	9.0
2	3	7-3	13.4	9.0	13.2	9.0
2	4	7-4	13.4	9.0	13.2	9.0
2	6	7-6	13.5	9.0	13.2	9.0
2	7	7-7	11.9	9.0	11.9	9.0
2	8	7-8	11.8	9.0	11.8	9.0
2	9	7-9	12.0	9.0	12.0	9.0
2	1	8-1	12.1	9.0	12.0	9.0
2	3	8-3	12.5	9.0	12.5	9.0
2	4	8-4	12.5	9.0	12.4	9.0
2	6	8-6	12.6	9.0	12.6	9.0
2	7	8-7	12.7	9.0	12.7	9.0
2	8	8-8	12.7	9.0	12.7	9.0
2	9	8-9	12.6	9.0	12.6	9.0
2	1	9-1	12.1	9.5	12.1	9.5
2	3	9-3	12.8	9.5	12.8	9.5

表 11.1-37 デブリ模擬ペレット焼成試験（3）（つづき）

焼成 段	製作 条件	N o	焼成前		焼成後	
			高さ(mm)	径(mm)	高さ(mm)	径(mm)
3	4	9-4	12.8	9.5	12.8	9.5
3	6	9-6	12.8	9.5	12.8	9.5
3	7	9-7	12.7	9.5	12.7	9.5
3	8	9-8	12.4	9.5	12.3	9.5
3	9	9-9	12.6	9.5	12.4	9.5
3	1	10-1	12.0	9.5	11.9	9.5
3	3	10-3	12.7	9.5	12.7	9.5
3	4	10-4	12.9	9.5	12.9	9.5
3	6	10-6	12.7	9.5	12.7	9.5
3	7	10-7	12.9	9.5	12.9	9.5
3	8	10-8	12.8	9.5	12.8	9.5
3	9	10-9	12.2	9.5	12.2	9.5
3	1	11-1	12.8	9.5	12.8	9.5
3	3	11-3	13.0	9.5	13.0	9.5
3	4	11-4	13.4	9.5	13.4	9.5
3	6	11-6	12.8	9.5	12.8	9.5
3	7	11-7	12.9	9.5	12.9	9.5
3	8	11-8	12.9	9.5	12.9	9.5
3	9	11-9	12.9	9.5	12.9	9.5
3	1	12-1	12.2	9.5	12.4	9.5
3	3	12-3	12.6	9.5	12.6	9.5
3	4	12-4	12.7	9.5	12.7	9.5
3	6	12-6	12.4	9.5	12.4	9.5
3	7	12-7	12.7	9.5	12.7	9.5
3	8	12-8	12.7	9.5	12.7	9.5
3	9	12-9	12.8	9.5	12.8	9.5
3	1	13-1	11.6	8.5	11.5	8.5
3	3	13-3	11.8	8.5	11.7	8.5

表 11.1-37 デブリ模擬ペレット焼成試験（3）（つづき）

焼成 段	製作 条件	N o	焼成前		焼成後	
			高さ(mm)	径(mm)	高さ(mm)	径(mm)
4	4	13-4	11.8	8.5	11.8	8.5
4	6	13-6	11.1	8.5	11.0	8.5
4	7	13-7	11.1	8.5	11.0	8.5
4	8	13-8	11.3	8.5	11.2	8.5
4	9	13-9	11.4	8.5	11.3	8.5
4	1	14-1	11.4	8.5	11.4	8.5
4	3	14-3	11.8	8.5	11.8	8.5
4	4	14-4	11.9	8.5	11.9	8.5
4	6	14-6	11.9	8.5	11.9	8.5
4	7	14-7	12.2	8.5	12.2	8.5
4	8	14-8	12.5	8.5	12.5	8.5
4	9	14-9	12.6	8.5	12.5	8.5
4	1	15-1	11.5	8.5	11.3	8.5
4	3	15-3	11.9	8.5	11.8	8.5
4	4	15-4	11.9	8.5	11.9	8.5
4	6	15-6	11.9	8.5	11.8	8.5
4	7	15-7	12.0	8.5	11.9	8.5
4	8	15-8	11.9	8.5	11.9	8.5
4	9	15-9	12.1	8.5	12.0	8.5
4	1	16-1	12.0	8.5	11.9	8.5
4	3	16-3	12.2	8.5	12.2	8.5
4	4	16-4	12.5	8.5	12.5	8.5
4	6	16-6	12.6	8.5	12.6	8.5
4	7	16-7	12.6	8.5	12.6	8.5
4	8	16-8	12.7	8.5	12.7	8.5
4	9	16-9	12.9	8.5	12.9	8.5
4	1	17-1	11.6	9.0	11.5	9.0
4	3	17-3	12.1	9.0	12.0	9.0

Appendix 11.1.A1 燃料デブリ模擬体調製設備圧縮成型機操作手順書

燃料デブリ模擬体調製設備の主要機器である、圧縮成型機でグリーンペレットを製作するための手順書を示す。

(1) 手順 1：原料粉末調製

①試料質量計測準備

(FSY 酸化ジルコニウム)



②FSY 酸化ジルコニウム

(30.00g) を計測する



③乳鉢へ投入する



④試料質量計量準備

(イットリア添加ジルコニウム)



⑤8mol% (or3mol%)

イットリア添加ジルコニウム

(3.50g) を計量する



⑥乳鉢へ投入する



⑦乳棒で粉砕・混練する 備

(約 5 分間程度)



⑧粉砕・混練終了



⑨バインダ質量計量準

⑩バインダ(1.80g)を計量する



⑪試料にバインダを少量 づつ滴下し、乳棒で全体 に混練する



⑫試料完成



(2) 手順 2：圧縮成型（本手順は金型 2（Φ9.0 mm）を使用）

①試料質量計量準備



②試料を計量する
（注記 1 参照）



③試料セット準備



④中型上皿へ試料投入



⑤中型へ試料を全量
挿入する



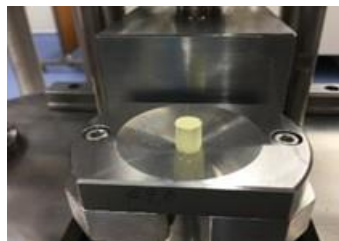
⑥上型を下降させ圧縮し
10 秒間保持する
（注記 2 参照）



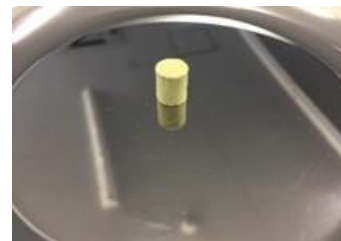
⑦10 秒保持後上型を上昇させる



⑧中型を下降させる



⑨ペレット完成



圧縮機操作手順

1. ブレーカ（200V、100V）がONであることを確認
2. セレクト SW：「自動」→「油圧起動」表示点灯確認
3. 原点復帰釐：「ON」→「原点」、「上型上限」、「中型上限」、「下型減圧」表示点灯確認
4. セレクト SW：「手動」
5. 上型下降釐：「ON」→「上型下限」、「中型上限」、「下型減圧」表示点灯確認
6. 下型加圧釐：「ON」→「上型下限」、「中型上限」、「下型加圧」表示点灯確認
7. 上型上昇釐：「ON」→「上型上限」、「中型上限」、「下型加圧」表示点灯確認
8. 中型下降釐：「ON」→「上型上限」、「中型下限」、「下型加圧」表示点灯確認
9. 上項 2 に戻り繰り返す

(次頁に続く)
(前頁から続き)

注記 1

金型 1 試料質量 : 2.4 g

金型 2 試料質量 : 2.7 g

金型 3 試料質量 : 3.0 g

注記 2

金型の種類に拘らず圧力は次の 4 種類とする

①15MPa (圧縮力 : 1095kg)

②21MPa (圧縮力 : 1533kg)

③28MPa (圧縮力 : 2044kg)

④35MPa (圧縮力 : 2555kg)

(3) 手順 3：金型清掃

①ペレット製作後金型状況



②上型汚れ状況



③中型汚れ状況



④下型汚れ状況



⑤上型を回転させ取り外す



⑥中型の固定ボルトを取り外す



⑦中型を取り外す



⑧下型を取り外す



⑨清掃後各金型を取り付る



金型清掃要領

1. 上型を時計方向へ回転させホルダから取り外す
2. 中型固定している六角穴付ボルト 2 本を緩め、中型をホルダから取り外す
3. 下型をホルダから取り外す
4. 上型、下型のピン外周（ $\phi 8.5$ or $\phi 9$ or $\phi 9.5$ ）の試料付着等の汚れを除去する
5. 中型のボア内径（ $\phi 8.5$ or $\phi 9$ or $\phi 9.5$ ）の試料付着等の汚れを除去する
6. 中型ボアに上型、下型のピンが抵抗なく挿入でき、滑らかなストロークが得られることを確認する
7. 解体の逆の手順で装置に下型、中型、上型の順で組み込む

11.2 デブリ模擬体分析設備の性能試験

11.2.1 目的及び概要

(1) 目的

STACY 更新炉における臨界実験で用いるデブリ模擬体の品質を保証することを目的とした分析を実施するため、デブリ模擬体分析設備を整備する。このとき、燃料サイクル安全工学研究施設（NUCEF）の実験棟 B に既存の分析設備を最大限に有効活用する。

(2) 概要

本年度は、平成 27 年度に作製・購入したデブリ模擬体分析装置のうち、ウラン/酸素比測定装置及びペレット密度測定装置について、性能確認のための試験を実施した。

11.2.2 成果報告

(1) ウラン/酸素比測定装置の性能確認試験

ウラン/酸素比測定装置は、電気炉で試料を焙焼しながら電子天秤を用いて重量測定を連続的に行う装置で、分析設備のうち、分析室（I）に既存のグローブボックス D-22 に設置する。

ウラン/酸素比測定は、空気雰囲気において試料中ウランを $850 \pm 10^\circ\text{C}$ で約 1 時間焙焼して八酸化三ウランに変換し、焙焼前後の重量変化からウラン/酸素比を算出する手法である¹⁾。1 回あたりの供試料量は 1～5g 程度で、試料形態は粉末を想定している。以下に、本法を適用するウラン/酸素比測定装置に要求する条件を記載する。

- ・焙焼温度： $>900^\circ\text{C}$
- ・温度調節精度： $<\pm 10^\circ\text{C}$
- ・分析精度： $<\pm 0.1\%$

① 試験方法

装置性能を確認するため、模擬試料として金属銅を 950°C で約 1 時間焙焼して酸化銅に変換する試験を実施した。温度は、ウラン/酸素比測定にて想定している温度より 100°C 高い 950°C とし、60 分間保持することとした。金属銅（Cu）は、空気雰囲気、温度 950°C において、酸化銅(II)（CuO）に酸化され、酸化後の重量は、酸化前の 1.2518 倍²⁾になることが予想される。この値と測定値を比較することによって装置の性能を確認することとした。

1) 金属銅の前処理

使用した金属銅は、表 11.2-1 のとおりである。

金属銅は前処理として表 11.2-2 に示す条件にて還元を行った。還元前後の状態を図 11.2-1 及び図 11.2-2 に示す。

表 11.2-1 金属銅の性状

メーカー	(株)高純度化学研究所
形状	粉末、5 μ m
純度	99.9%
不純物含有量	Ag 0.003% Ca 0.002% Cr 検出限界以下 Fe 0.001% Pb 検出限界以下 Si 検出限界以下 Sn 検出限界以下

表 11.2-2 銅粉末の還元条件

方法	水素雰囲気還元
水素濃度	3%H ₂ /Ar
温度	400℃
還元時間	4 時間



図 11.2-1 還元前の金属銅



図 11.2-2 還元後の金属銅

2) 金属銅の焙焼

装置に装填する金属銅の分取量は、デブリ模擬体分析として想定している 1 回あたりの供試料量（1～5g）から 2.5g 程度とし、3 試料を分取した。

焙焼は、昇温速度を 5℃/min として 950℃まで行うこととした。この際、装置内温度の均一化及び試料の付着水分除去を目的として、室温から 150℃に上がったところで 30 分

保持し、この状態を焙焼前の重量とした。また、950℃に達したのち 60 分保持した結果を焙焼後の値とした。

② 試験結果

試験結果を表 11.2-3 に、測定中の装置内温度と金属銅の重量の時間変化を図 11.2-3 示す。金属銅の酸化物換算係数²⁾から算出した理論値に対する焙焼後の重量の比は、0.9989～0.9994 であった。本装置に求める分析精度は $\pm 0.1\%$ であり、測定 No.2 がわずかに外れたものの、3 試料の再現性は良好な結果となった。また、950℃に達してから温度変化はほとんどなく、良好に制御されている。これらから、本装置は、ウラン/酸素比測定に十分な性能を有していることを確認した。

表 11.2-3 金属銅を用いたウラン/酸素比測定装置の性能確認試験の結果

測定 No.	試料分取量 (g)	焙焼後重量 (g)	理論値 (g)	焙焼後重量／理論値 (-)
1	2.22810	2.78664	2.78914	0.9991
2	2.47631	3.09650	3.09985	0.9989
3	2.70425	3.38311	3.38518	0.9994

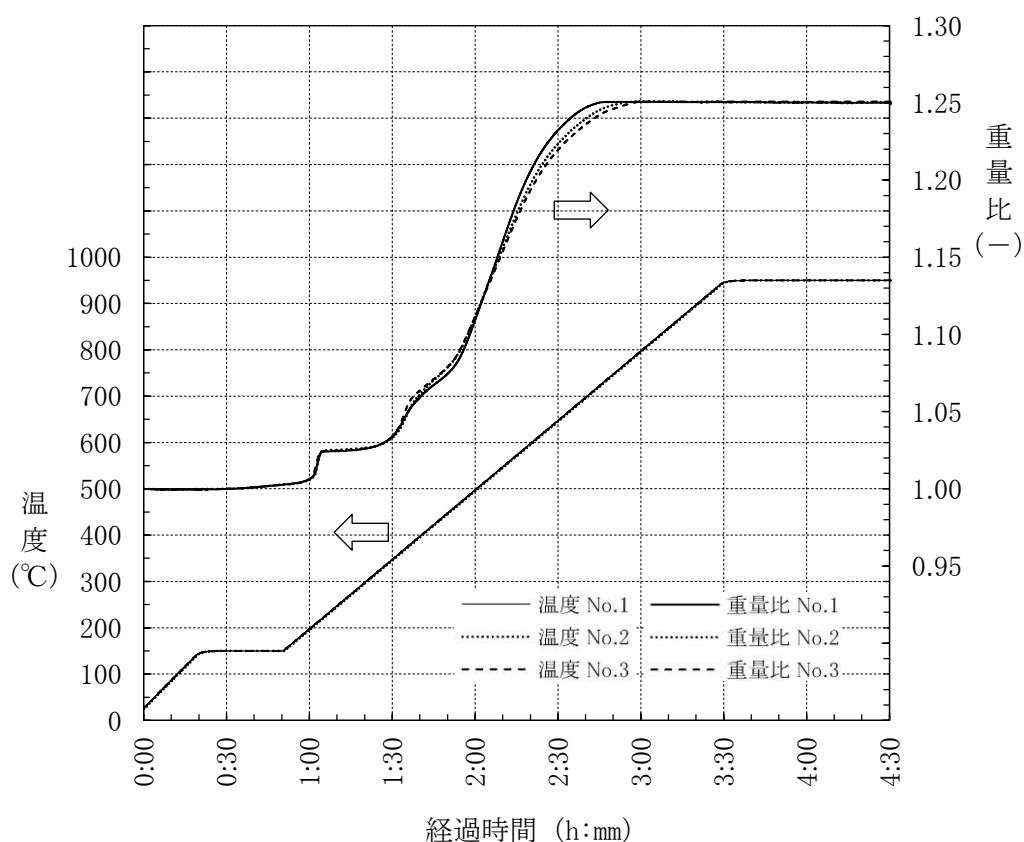


図 11.2-3 測定中の装置内温度と金属銅の重量の時間変化

(2) ペレット密度測定装置の性能確認試験

ペレット密度測定装置は、レーザー測長による寸法測定と電子天秤による重量測定を併用した装置で、デブリ模擬体ペレット 1 個あたりの体積及び重量を測定することにより、デブリ模擬体ペレット密度を算出する手法に使用する。本装置は、分析設備のうち、分析室（Ⅰ）に既存のグローブボックス D-23 に設置する。以下に、本装置に要求する条件を記載する。

- ・測定対象（デブリ模擬体ペレット）寸法及び重量： $\phi 8 \times 10\text{mm}$ 及び 1～10g
- ・分析精度： $< \pm 0.1\%$

① 試験方法

装置性能を確認するため、ステンレス製の密度基準体を測定し、基準値と測定値を比較することによって装置の性能を確認することとした。デブリ模擬体ペレットを模擬した形状を有する密度基準体として、表 11.2-4 のものを用いた。

密度基準体の測定条件は、測定分割数 18、室温（約 20℃）とし、繰り返し測定を 3 回実施した。

表 11.2-4 密度基準体の仕様

校正者	(株)横田計器製作所
品名	密度基準体（ステンレス）
形状	$\phi 8 \times 10\text{mm}$
基準値	7.8909g/cm^3 (at 20℃)
拡張不確かさ (k=2)	0.0030g/cm^3

② 試験結果

結果を表 11.2-5 に示す。基準値に対する測定値の比は 0.99996～0.99999、3 測定の繰り返し精度は $< \pm 0.01\%$ であり、再現性も良好であった。これらから、本装置は、ペレット密度測定に十分な性能を有していることを確認した。

表 11.2-5 ペレット密度測定装置の装置性能確認試験の結果

測定 No.	測定値 (g/cm^3)	基準値 (g/cm^3)	測定値 ／基準値 (-)
1	7.89071	7.8909	0.99998
2	7.89055		0.99996
3	7.89083		0.99999

11.2.3 まとめ

デブリ模擬体分析に使用する分析装置のうち、ウラン/酸素比測定装置及びペレット密度測定装置について、その性能を確認する試験を実施した。装置の性能はいずれもデブリ模擬体分析に要求される性能を満たしており、今後のデブリ模擬体分析において十分に適用が可能である見通しを得ることができた。

参考文献

- 1) ISO 12795, Nuclear fuel technology -- Uranium dioxide powder and pellets -- Determination of uranium and oxygen/uranium ratio by gravimetric method with impurity correction, ISO, Geneva (2004)
- 2) JIS M 8218, 鉄鉱石-銅定量方法, (1997)

第Ⅴ編 専門家の意見聴取

第 12 章 福島燃料デブリ臨界評価研究専門部会

専門家から意見を聴取する会合を「福島燃料デブリ臨界評価研究専門部会」として組織し、計画どおり平成 27 年度事業から引き続き、京都大学の中島健教授が部会長に、並びに名古屋大学の遠藤知弘助教、東京都市大学の村松健特任教授、及び大阪大学の黒崎健准教授が専門委員に就いた。平成 28 年 6 月、平成 28 年 11 月及び平成 29 年 2 月に会合を持ち、それぞれ、本事業の計画と成果について議論した。

いずれの会合も、事務局である日本原子力研究開発機構（JAEA）事業担当者から説明し、部会長及び専門委員と質疑応答する形で進めた。また、原子力規制庁（規制庁）の本事業担当者及び 1F 規制担当者もオブザーバーとして参加した。

本章はこれらの会合の議事録を転載したものである。

12.1 第 6 回会合

12.1.1 開催状況

(1) 日時及び場所

平成 28 年 6 月 22 日 10:00～12:15

富国生命ビル 20F 日本原子力研究開発機構 東京事務所 第 1 会議室

(2) 出席者（敬称略）

中島（健）部会長、遠藤専門委員、村松専門委員、黒崎専門委員

事務局 JAEA 事業担当者 外池、山根、長家、井澤、深谷

オブザーバー原子力規制庁 山本、安藤、中島（鐵）、酒井、藤田、小林、伊藤

オブザーバーJAEA 三好、桜井

(3) 配布資料

資料 6-1 委員名簿

資料 6-2 前回議事録（案）

資料 6-3 全体計画

資料 6-4 燃料デブリ臨界リスク評価基準整備—臨界マップ及び PIE

資料 6-5 燃料デブリ臨界リスク評価基準整備—臨界安全解析システム

資料 6-6 環境影響評価手法の整備

資料 6-7 臨界実験による臨界リスク評価基準の検証

12.1.2 議題及び質疑応答（Q：質問、C：コメント、A：回答）

(1) 委員留任

資料 6-1 のとおり部会長及び専門委員の 4 名全員が留任され、平成 27 年度に引き続き、平成 28 年度も本専門部会を担当して頂く。

(2) 前回議事録配布

前回合合の議事録案（資料 6-2）について、前日に全委員に電子メールで回付済みであり、1 週間を目途にコメントを頂くこととした。

(3) 事業の計画・進捗

資料 6-3 に基づいて、JAEA から、平成 27 年度事業のうち 3 月 31 日までに完了した内容、平成 27 年度事業のうち 4 月 1 日以降も繰り越して実施している内容、及び平成 28 年度事業の計画について説明した。

平成 27 年度事業のうち燃料デブリ臨界リスク評価基準整備はほぼ完了したが、環境影響評価手法の整備のリスク評価試行は引き続き実施している。臨界実験による臨界リスク評価基準の検証のうち STACY 更新の設置変更許可が必要な工程もまだ実施中である。

平成 28 年度事業のうち燃料デブリ臨界リスク評価基準整備と環境影響評価手法整備は随時着手するが、臨界実験による臨界リスク評価基準の検証の STACY 更新は上記平成 27 年度事業工程の完了に続いて着手する見込みであり、平成 29 年度に繰り越す可能性が高い。

資料 6-4 に基づいて、JAEA から、臨界リスク評価基準整備のうち臨界マップ整備と燃焼燃料組成測定（PIE）の計画・進捗を紹介した。臨界マップのデータベースは、パラメータ範囲を指定しつつ解析を自動的に行う解析管理機能、解析結果を蓄える機能、及びオンラインで解析結果を検索・図示する機能を持つ予定だが、システム実装が難航している。データベースに格納するデータとして平成 28 年度には燃料デブリの燃焼度に依存した臨界特性データを解析で整備する。PIE では、PWR 燃料集合体から採取した 5 試料の分析を行う予定である。

Q（遠藤委員）平成 27 年度事業で遅れている点、もう一度お教え頂きたい。

A 臨界安全ハンドブックでは、例えば、ウラン金属と水の体系、酸化物と水の体系、均質や非均質の体系というように、体系ごとにデータをまとめている。体系ごとに含まれる核種等の説明がなされ、分類されている。臨界マップデータベースのシステムも同様の体系の分類表から始まる。分類に連動して入力データのテンプレートを与えておけば、パラメータの数値範囲を指定すると入力データを自動生成し、解析し、結果を戻す。結果は体系と関連付けて整理する。このように、データベースには様々なデータのリストがあり複雑に連携する。この連携の構造を確定する作業に相当時間を要してきた。今ほぼ固まり、あとは実装に移る。

Q（中島部会長）全体計画の資料 6-3 の 4 ヶ年計画では平成 28 年度の最後に臨界マップ作成の星印が書かれている。そのままの予定でよいのか。あとで拡張はあるだろうが、最小構成で使えるようにするのか？

A 臨界マップ作成の意味は、このデータベースが稼働し、この 3 か年で得た解析結果がその中に格納され、呼び出せる状態にすることである。今年度の最後にはそこまで実現したい。

- Q (中島部会長) 次回会合か来年度の今頃には、臨界マップデータベースの整備結果としてデモ等が見られるか？
- A そのようにしたい。
- Q (遠藤委員) PIE の対象核種は、純粹に臨界安全に関わるものだけか？ 燃焼度測定や燃焼度クレジットのみを念頭に置いているのか？
- A そのとおりである。目的は燃焼度クレジットの適用である。放出量評価に関する核種は、例えばストロンチウム等は、入っていない。
- Q (遠藤委員) 今年度実施している燃焼度依存の臨界マップデータの整備では、こういった核種の割合を変化させるのか？ 燃焼度だけをパラメータにするのか？
- A 主なパラメータは燃焼度である。一方、先日規制庁殿との打合せでも感度を検討すべきというご指摘を頂いている。燃焼度に加えて組成を振る、プロセス条件で言えば燃焼計算時のボイド率を振る等、代表値だけでなく感度も解析しようと考えている。
- Q (遠藤委員) 燃やす過程もだが、福島第一原子力発電所 (1F) で、現在、水で冷やし続けている。セシウムの溶出等を考慮して、残存割合を振ったりはしないのか？
- A 燃料デブリの臨界特性の解析では、セシウムは最初から外している。それ以外の核種は溶出を考慮していない。
- Q (中島部会長) PIE の 5 試料は全部 PWR だが、(1F) を対象とするテーマからすれば BWR 試料は分析しなくてよいのか？ 既に BWR のデータは十分にあるのか？
- A 目下実施中の大きなキャンペーンに本受託事業の部分と交付金で実施している部分があり、交付金実施分に BWR 試料が 1 つある。さらに、震災より前だが、JNES 受託事業で BWR の 3 試料を分析した。その結果を見ると、燃焼条件がより明確な PWR 燃料の方が燃焼計算の検証に適しているとも考えられ、主に PWR 燃料で今回のキャンペーンを実施している。
- C (中島部会長) 1F では、実際に、ボイド率が異なった燃焼条件が存在するわけで、その相違が燃焼計算結果にどういう影響を与えるか、どれぐらい結果がゆらぐか検証するために、BWR 燃料の PIE は必要だ。過去の受託事業の測定結果を活用されたい。
- Q (遠藤委員) 測定対象の試料には PWR のガドリニウム (Gd) 入り燃料も含まれるか？ 燃焼度依存の燃料デブリ臨界特性解析で、Gd が大きく影響しそうだということだった。Gd 燃料の PIE と解析を照合して、その検証はできるか？
- A PWR のガドリ入り燃料が試料に含まれており、検証は可能だと思う。
- Q (中島部会長) 臨界マップデータベースの活用方法のイメージを再確認したい。マップが出来上がったところで、実試料が採れ組成が分析されれば、分析結果を使ってマップ上のどこに位置するかを見えるということだった。しかし、小さな試料が 1 つ採れて組成が判明しても、それが置かれている条件によって、結局、臨界量は大きく変化する。中性子の減速条件や周囲の組成や体積によって変わる。このような試料が採取された周辺の条件をこのシステムに入力として与えることで、臨界となる条件範囲が出力されるのか？
- A このシステムだけでは、燃料デブリが置かれている周りの状況を反映することはできない。基本的に、ある組成の燃料デブリの無限増倍率 (k_{∞}) と、その組成単独での臨界量が出る。状況として、ある燃料デブリの隣に全然別の組成の燃料デブリが存在す

るとして、これらが相まった全体の臨界特性の情報はシステムからは得られない。したがって、ある試料が採取・分析されマップから臨界特性が判明し、隣から採取された他の試料も同様に臨界特性が判明し、これらが大きく異なる場合に、全体をモデル化して解析する作業はこのシステムとは別に行うことになる。このシステムは個々の試料の基礎的な臨界特性を把握する最初の段階を支援する。

- Q (中島部会長) 例えば、採れた試料が、ほぼ理論密度を持ち、中に水が入り得ないものとする。これが大きな塊であれば k_{∞} で解釈できる。もし微粒子が何かのきっかけで水中に浮遊すると、これは周りがほぼ水で、過減速条件になる。また、もし、スポンジ状、軽石状のものが採れて、分析でポロシティーや中に入り得る水の量が判ったとする。その時の臨界特性はどうなるか。こういう情報はこのシステムで得られるか？ 破壊分析してしまうとポロシティーは判らなくなるか？
- A 採る試料の大きさによると思う。試料を採取しなくても、視覚的にある程度ポロシティーは測れると思う。正常な状態の燃焼燃料の組成を起点にして、炉心溶融における混合具合、水の混合具合つまり減速条件、こういったパラメータを変化させて臨界特性を解析し蓄えておく作業は実施しており、システムに格納される。
- Q (中島部会長) 試料が採取されたとき、そういうパラメータをシステムの中で自動的に振ってくれるのか？ ユーザーが V_m/V_f を振る範囲を指定して入力するのか？
- A 既存データと呼び出してグラフを描画するときに、 V_m/V_f を振る範囲を入力する。データがないときは、ユーザーがパラメータ範囲を指定して解析のリクエストを出すと、一旦リクエストがシステム上で保留され、管理者がレビューの上で解析実行を承認すれば、計算サーバーで自動的に解析が流れて結果が戻る。

資料 6-5 に基づいて、JAEA から、臨界安全解析システム FACILE (Flexible Analysis Environment of Criticality Calculation for Licensing Evaluation) の開発・整備の進捗を説明した。平成 27 年度事業では原子個数密度ルーチン AND の機能強化と実装、及び新規モンテカルロ (MC) 法ソルバー開発の調査・設計が行われたが、平成 28 年度事業では新規 MC 法ソルバーの実装を本格化するとともに、再臨界評価機能や遮蔽解析機能の整備に向けた調査を開始する。

- Q (中島部会長) ここで言う再臨界評価というのは、具体的には、事故評価のことか？
- A そのとおりである。一点炉動特性計算に基づいて、どれぐらい出力のピーク値や積算値が出るかを評価する。
- Q (遠藤委員) その一点炉動特性計算に使用する定数を FACILE で計算できるか？
- A 将来的にはそうしたいが、まずは、ユーザーが値を与える形にする。
- Q (JAEA) 複数領域体系の MC 法、とあるが、どういう意味か？
- A 昨年度の実装では、要するに ACE ライブラリの核データを読み込む部分にのみ注力したため、一領域の球体系しか解析できなかった。例えば同心円状に異なる 2 層の複数領域は解析できなかった。これを今年度は可能にするが、原理的に単純である。一領域でできているので、要するに、隣の領域で同じことをやればよい。

- C (JAEA) 前回会合でも議論したのだが、FACILE の機能として、定常臨界実験装置 (STACY) で実験をするときにベンチマークとしての有効性を検討するために、TSUNAMI のような機能を持たせると有効ではないか？
- A そのような機能を持たせることを予定している。資料 2 枚目のロードマップで、5 番目の感度・代表性指標計算手法の開発という項目である。今年度はまだ着手せず、来年度から後半の 3 年で着手・実装としている。
- Q (JAEA) 再臨界の評価は一点炉動特性解析によるとのことだが、動特性コード AGNES との使い分けは？
- A AGNES をそのまま取り込む。MARBLE というプラットフォームは Python 言語で書かれており、非常に親和性が高く、元のコードを修正せずにそのまま取り込むことが可能である。この仕組みを使って AGNES を取り込んで、FACILE 上で実行し、出て来た結果を FACILE 上で編集してユーザーに見せやすいようにする。SRAC の中に ANISN や CITATION が入っているのと似ている。
- Q (JAEA) FACILE を起動して、その中で AGNES を指定し入力データを入れれば計算できるということか？
- A そのとおりである。AGNES で出力ピークを計算したあと、遮蔽厚さの評価は PHITS を用いた遮蔽計算による。これも FACILE で行うことを将来的に構想している。
- C (中島部会長) AGNES のモデルは本来溶液体系のものであり TRACY で検証した。本件では、溶液とは異なる、燃料デブリの性状に応じた、検証が要るのではないか？
- C (JAEA) 何らかの固体体系による検証が要ると思う。
- Q (中島部会長) 昨年度の新規 MC コード開発で、均質高速炉体系で実効増倍率 (k_{eff}) を無限希釈断面積で計算できることを確認したとある。機能として出来た、という意味か？ それとも、ベンチマーク解析を行い、無限希釈断面積でも精度よく k_{eff} が計算できたのか？
- A 機能として出来た、一番単純な体系しかできなかった、という意味に近い。均質球体系の Godiva 炉、高濃縮 ^{235}U 体系の k_{eff} を、非分離共鳴領域は扱わずに無限希釈で計算することは、連続エネルギー MC 法の検証の観点で一番単純なものである。そこから始めたところ、MCNP とよく一致した。

資料 6-6 に基づいて、JAEA から、臨界リスク評価手法整備の進捗を説明した。平成 27 年度には評価作業を支援するツール RESTORE を試作したが、平成 28 年度はツール整備を本格化する。リスク評価に用いる状態マトリックスの作成手順も具体化・詳細化している。

- Q (中島部会長) Godiva の解析は、リスク評価の観点で整理すべきもので、誤差ないし分布する範囲を見るものと思う。
- A 値がわからないパラメータについて、どういう範囲で振るかを与えた上で、ラテン超方格法 (LHS) でパラメータ・セットを 10 セット作った。その 10 セットの動特性解析で得られた期待値を示している。

- Q (中島部会長) バラつきを見るのなら、期待値だけではなく分散を示さないといけない。その分散が現実的なものかを、この中でどこまで検討するかは、臨界計算をするのか、事故評価をするのかによる。FACILE では即発中性子寿命、遅発中性子割合、臨界量は算出できると理解している。
- A 最新版の MVP では、動特性パラメータの遅発中性子割合と世代時間を計算できる。温度係数は、少し難しく、温度を変えた計算をするしかない。
- A MC 法を用いると温度係数の結果が誤差に埋もれてしまうので、どうしても決定論コードを用いることになり、今のところ円筒形状しかない。
- C (中島部会長) 体積保存ではなくバックリング保存で体系を近似すべきである。
- C (村松委員) 資料 10 ページに至るまでに示された考え方は、PRA やリスク評価で言ういわゆるハザード分析に相当する。化学プラントで言えば HAZOP 手法や FMEA 手法であり、発端となる事象を見出す方法に近い。特にこの表の事象のところに列举されているものは、HAZOP 手法のキーワードに相当し、あるプラントで例えば温度が異常になったらどうか、圧力が異常になったらどうか、というパターンを出している。このパターンが十分に広くカバーされているか？ 他にもないか？ という問題に帰着する。普通に考えられる事象のシナリオを探索する方法として、自然なやり方であり、この方向の取組みでよい。一方で、いくつか細かい点に気づいた。自然現象という名前と呼んでいるものは、外的事象としての自然現象と紛らわしいので、発端となる物理的現象というような表現がよいのではないか。それと、外的事象の方の地震・津波では、それによって発端となる現象がいろいろ起こるので、この表の書き方は改めるべきである。事象の列举のところで、外的事象はもうひとつ上のレベルの枠にした方がよい。そして、その枠の中で地震によって起こることが判る書き方にすべきである。いろいろ起こることは、上に書かれた現象の組合せによるものであり、上の方の分析を丁寧に行っておけば、下の方は応用問題になり得る。したがって、上の方の分析を先にやってもらおうとよい。私は文科省のプロジェクトで高温ガス炉の PRA をやっているが、そこでも、アメリカでもそうだが、地震が様々な起因事象に結び付き、起因事象間の相関性や従属性を整理するので、ひとつ上の段階として見るのがよい。
- C (村松委員) 国際廃炉研究開発機構 (IRID) との連携では、事業者の担当者に助力を求める際には、こちらがもう少し分析を深めて例を作って、これで決めてよいか？ というぐらいまで示しないと、意見を得にくい。したがって、もう少し作業を進めるべきである。もちろん相手によっては、親身な方ならば、例を作る段階でも見てもらって、大きな委員会に提示する時にさらに作業したものを出すなど、方法はいろいろある。
- C (村松委員) 臨界管理因子というのは、HAZOP 手法のプラントに対する影響の検討に対応していると思う。各因子に対してそれぞれ発端となった事象がどう影響しているかを見ており、その方向で書き込めばよい。臨界管理因子と書かれると、これに対する対策の検討と理解する人もいる。しかし、この表のカラムは 2 つの目的で使える。つまり、どう影響が現れるか検討してわかれば、対策もわかってくる。そういう意味でこの表は非常によい。

- C (JAEA) 先ほどの Godiva の評価に関連して、要するに RESTORE がどこまでの機能を目指すのか？ パラメータサーベイをやる場合でも、ある程度正確に評価できるものは、ここでは k_{eff} や温度係数だが、既存のものを使い、あとは事故評価で評価結果の分布がどうなるか見る、というように機能を絞った方がよいと思う。臨界・未臨界でかなり差がある状態、実際に文献が 80 ¢ だと言っているところを 3 \$ 以上入れて比較しても、この不確かさを評価結果にどう取り込めばよいか判断が難しくなる。したがって、ある程度文献や測定値で情報が存在する点は、なるべく再現するような形で条件を評価して、その上で、リスクの不確かさがどう評価するか、RESTORE の機能がどこまで必要か、検討した方がよい。
- Q (黒崎委員) 臨界管理因子に質量や濃度があるが、具体的には何の質量、何の濃度か？
- A 核燃料物質、ないし、燃料デブリである。単純化すれば、臨界になるだけの質量がなければ臨界にならないわけで、いろんなデブリが集まって臨界なるような質量があるかならないか、という見方である。
- Q (黒崎委員) 燃料デブリの中にもウランもあればジルコニウムや鉄もある。ここで言う質量は核燃料物質の質量か？ 濃度もそうか？
- A そうである。
- Q (黒崎委員) これまでの説明では、 V_m/V_f が大事だということだったが、臨界管理因子には入って来ないのか？ V_m/V_f という言葉を使わない理由があるのか？
- A V_m/V_f に一番近いのは濃度である。現場で実際に管理できるプロセス条件は何か、という観点で、様々な表現があり得る。fissile の質量が把握できるなら fissile の質量と書いてもよい。濃度と V_m/V_f はほぼ 1 対 1 対応するが、実際現場でどの量で管理するかにより選ぶことになる。
- Q (遠藤委員) この表で、監視値異常と分類している内容は、実際に監視している状態量が異常になるという意味か？ 例えば、水温異常とは、水温が上がることに対する影響を考えようとしているのか？ それとも、監視している状態量が実際には変化していないのに、表示値が異常になることを言っているのか？
- Q (中島部会長) 起因事象として考えるなら計測系の異常ではないか？ 実際には温度は下がっていないのに、表示値が下がって不適切に冷却を止めてしまい影響が出るようなケースではないか？
- C (JAEA) 村松先生が仰ったように、事象の連鎖の観点で、監視値異常が上流側に位置するか下流側に位置するかは意味が大きく異なる。実際に何かが起きて状態量が変動したら下流側の話になる。今、中島先生が仰ったように、監視装置の異常の工学的影響でポンプが動いた・止まったという場合は、上流側に位置するべきである。
- C (中島部会長) 重要度分類で MS と PS に分けて、PS が故障したらそれが起因事象であり、MS で抑制する。これと基本的には同じ考え方である。
- C (中島部会長) 規制上必要なデータと作業実施上必要なデータは当然同じになるはずである。最終的には廃炉に貢献するデータである。この点で、効率的に情報共有できるように、規制庁殿と IRID・原子力損害賠償・廃炉等支援機構 (NDF) と話し合いできないものか。それぞれ得意分野があることから、非公開情報を理由にそれぞれが籠るべきではない。

- C（中島部会長）さきほど横軸に臨界管理因子と書いてあった。ここでは確かに臨界事象後の安全評価がテーマなのでよいが、もしかしたら、例えば、起因事象が他の種類の安全性に影響を与えて、それに対するアクションをとることが臨界に影響を与えるかもしれない。2 次的な臨界への影響、と言ってもよい。この検討によって、どういうリスクが高まるかより広い視野でリストアップして、その中で臨界に影響があるものを探すような視点も必要かと思う。あるいは、そういうやり方で、他の事業にも立つ情報を出せるのではないか、と思う。こういった視点での整理も期待する。
- C（JAEA）先ほど村松先生が仰ったが、イベントを追うとすると、例えば、フォールトツリーを使って、実際に影響がどこに現れるかをひとつひとつ起因事象から追い、影響された部分が臨界に関わるかどうかを検討することになる。この表はそういう検討の結果を整理するものではないのか？ この表が検討のツールではないと思うが？
- C（村松委員）仰る通りである。私の説明が不足していた。リスク評価で言うハザード分析は、まず、どこに目を付けるかを洗い出す段階である。次の作業として、仰るシナリオ分析をやっていく。最後に、確率とか影響の定量的な推定が来る。定量的とは言っても、半定量的・半定性的という場合もある。このようにハザード分析、シナリオ分析、定量化となるので、これは一番先頭の段階ということである。したがって、シナリオ分析や定量化のあとで、この表に戻り、起こりやすさの推定、対策、というような欄を追加して全体をまとめる、というやり方もある。
- C（JAEA）出発点とは言ってもフィードバックして最終的なシナリオを踏まえた上でこれに反映させる、ということか？
- C（村松委員）そのとおりである。これを皆で持っていて、何を検討しているか、何に対するシナリオを考えようとしているか、認識を共有するためにも、この表を最初に作っておくとよい。最初の段階で影響のほとんどない項目を見つけてふるい落とすこともできる。そのためにもこの表を作ることが大変重要である。
- C（中島部会長）非常に重要なのでしっかり成果を出して頂きたい。
- C（JAEA） V_m/V_f というような減速条件の話があった。減速条件は、広い意味では、この表の減速材や反射材の項目に含まれるのではないか。減速条件の管理は臨界管理因子となり得る。減速条件の項目を分けて書くのであれば、減速材や反射材の項目との違いを明確にすべきである。
- C（中島部会長）項目がお互いに関連するので、何に視点を置くかに応じて分類すればよい。

資料 6-7 に基づいて、JAEA から、STACY の更新について進捗を説明した。STACY 本体の設置変更許可の取得が遅れており、平成 27 年度事業を 1 年延長している。許可取得に向けて規制庁で公開の審査会が開かれる。そこでは臨界実験装置の炉心構成の柔軟性と核的制限値担保の手続きが主要な審査項目になろう。許認可に左右されないモックアップ試験として平成 27 年度には水位計の温度影響の試験を行った。機器類の調達も順調である。平成 28 年度事業では燃料調達のうち輸送は調査を行うほか、許認可取得後の平成 27 年度事業工程に引き続く工程を実施して行くが、おそらく 1 年間繰り越すことになる。

- Q (中島部会長) 既存設備の解体の設工認で準備中ということだが、これは、設置変更許可の対象外ではないか？
- A 今出ている設置変更許可申請が、解体撤去で無くなるものを既に落とした、解体撤去後の姿の許可を求める形になっている。したがって、その許可を得て、解体撤去の設工認をとる筋道になる。
- Q (中島部会長) フロート式でボールねじ、という説明があったが、軽水臨界実験装置 (TCA) の水位計・水位スイッチのようなものか？ 浮き子をワイヤーが追随するような形式か？
- A TCA のものに似た水位スイッチである。給水停止スイッチで、給水系に働きかけて、スイッチが反応したら給水を止めるものである。
- Q (中島部会長) 温度が変化しても水位スイッチの位置精度を十分保てることを確認するのか？
- A 給水停止のためのスイッチが、水位計が、適切に動作することは常温とある程度の温度範囲で実証済みだが、70℃まで適切に働くことを試験で確認したい。
- C (中島部会長) だいぶ湯気が漂いそうだ。
- A 実際はそうなるであろう。しかし試験は乾式で行う。
- Q (JAEA) 70℃で当然伸びるだろうが、常温と同じような管理で測定できるのか？ あるいは、伸びに対する補正曲線を用意しておいて、補正しながら設定値などに反映させるのか？
- A 前者である。運転員はこの件を気にしないで、運転できるようにする。
- C (JAEA) そうできる見通しが立てばよいが、どうしても伸びが大きければ、補正して運転に反映させる、という説明も場合によっては可能であろう。
- Q (中島部会長) 分析室を、炉施設の許可から外して、核燃使用施設に分類しなすということだが、今、原子力機構の原科研では、核燃使用の許認可はしているか？
- A 原科研だけではないが、核燃使用施設の安全上重要な施設 (安重施設) の再評価に非常に注力しているところである。この作業の見通しが立ってから速やかに核燃使用変更許可を得たいと考え、申請の準備中である。ヒアリングはしていない。
- Q (中島部会長) 核燃使用は、新規制でもバックフィットはないが、変更許可申請があれば、その申請書の記載内容をすべて見直す、安全評価をやりなおす、という話になっている。一部しか変更しなくても、使用許可は原科研全体でひとつと思う。原科研内の様々な実験や使用の条件が妥当かどうかを、新規制の下で全部見直すことになる。
- Q (JAEA) 核燃使用で、技術的に実態としては何も変更せず、目的についてのみ 1F 試料を受け入れられるようにする件は、既に手続きは済んでいるのか？
- A 済んでいる。しかし、デブリ模擬体の調製・分析を追加することは、核燃料使用の量を増やすことであり、安重施設の件の見通しがつかないと手続きできない。
- Q (JAEA) 安重施設の議論のあと、分析室の件は、最初の申請になる可能性が高いのか？
- A その可能性が高い。
- C (中島部会長) ある程度施設ごとの審査にはなるのではないか。

- C（中島部会長）STACY 更新も、難しいだろうが、丁寧に説明して審査官の理解を得ることが一番の早道であろう。現地調査の機会にできれば TCA を見てもらって、具体的にイメージしてもらうべきである。発電用原子炉が審査官の共通認識としてあると、それに比べて申請書類に出力が何分の一と書かれても、理解されにくい。まずは、担当の審査官に理解してもらうことが一番大事である。低出力炉も審査会合で審査することになったが、その方が速く進むという大前提がある。しっかりした資料をどんどん準備し、正々堂々と、どんどん審査を申し込めばよい。

(4) その他

本専門部会は今年度中に今回を含めて 3 回実施する。次回は 9 月か 10 月を目途とする。

- C（村松委員）一点補足したい。イベントツリーでシナリオを考えて検討を深めことは、何か典型的な例、わかりやすい例を取り上げて検討してみることが必要である。狭い範囲の例で試行することと、初期段階の粗いテーブルを作ること、両者を並行して行うこととよい。
- C（中島部会長）1 回検討を通しで試行して、具体的な例で説明してもらえれば、コメントもしやすいと思う。

12.2 第7回会合

12.2.1 開催状況

(1) 日時及び場所

平成 28 年 11 月 7 日 13:30～17:30

富国生命ビル 20F 日本原子力研究開発機構 東京事務所 第1会議室

(2) 出席者（敬称略）

中島（健）部会長、遠藤専門委員、村松専門委員、黒崎専門委員

事務局 JAEA 事業担当者 外池、山根、長家、曾野、深谷

オブザーバー原子力規制庁 山本、安藤、酒井、藤田、中島（鐵）、小林、伊藤

オブザーバーJAEA 桜井

(3) 配布資料

資料 7-1 前回議事録（案）

資料 7-2 全体計画・進捗概要

資料 7-3 燃料デブリ臨界リスク評価基準整備—臨界マップ

資料 7-4 燃料デブリ臨界リスク評価基準整備—臨界安全解析システム

資料 7-5 燃料デブリ臨界リスク評価基準整備—燃焼燃料組成測定

資料 7-6 環境影響評価手法の整備

資料 7-7 臨界実験による臨界リスク評価基準の検証

12.2.2 議題及び質疑応答（Q：質問、C：コメント、A：回答）

(1) 前回議事録配布

前回会合の議事録案（資料 7-1）について、全委員に電子メールで回付しコメントを頂くこととした。

(2) 事業の進捗・成果

資料 7-2 に基づいて、JAEA から、事業全体の進捗状況を説明した。平成 27 年度事業は繰り越しとなり平成 28 年度の現在も実施中である。繰り越した内容は、臨界実験による臨界リスク評価基準の検証、すなわち STACY 更新の部分である。その他の臨界リスク評価基準整備と環境影響評価手法の整備は、外注作業は完了しており、一部内製作業が継続中である。平成 28 年度事業も臨界リスク評価基準整備と環境影響評価手法は順調に進捗しているが、STACY 更新は原子炉設置変更許可待ちであり、上記平成 27 年度事業の繰り越し分に引き続く内容が待機している。平成 28 年度事業もこの点で繰り越しになる可能性が高い。それでもなお、STACY 更新炉の初臨界予定は平成 30 年度末である。

Q（中島部会長）平成 27 年度事業進捗の中で「繰り越し分」というのは、平成 27 年度事業が 28 年度に繰り越した分、という意味。さらに平成 28 年度事業進捗の中で「繰り

越し検討開始」というのは、平成 28 年度事業が平成 29 年度に繰り越すかもしれない、繰り越す、という意味。この理解でよいか？

A そのとおりである。

Q (黒崎委員) 「繰り越し」という言葉から、完了できないと次々に繰り越すことを想像してしまう。全体計画には年度をまたいで工程の線が引かれている。この線の中で上手く工程が調整されるのか？ それとも、年度ごとに完了しないといけなかったものが次の年度に繰り越されているのか？ どちらか？

Q (中島部会長) 着手できなかった、というタイプのもあるのではないか？

A 繰り越しの対象は STACY 更新であって、着手できない、つまり、始まりの部分で遅れている。最大のマイルストーンとして、平成 30 年度末の STACY 更新炉初臨界があるが、今回示している図では前回から変更していない。平成 28 年度の当初から起きそうな繰り越しの全体像が見えており、その時に STACY 更新炉初臨界の時期を定めた。それ以降は、黒崎委員が仰るように、工程の線の中で調整している。この工程の線は確かに長いが、この中で玉突きで作業時期をずらしたり、作業期間を圧縮したりして調整する。国の許可を受けないと着手できないので、当初の計画からずれ込んでいるが、工程調整で平成 30 年度の初臨界は可能と考えている。

C (中島部会長) 去年よりは工程の精度は上がり、初臨界時期の不確かさは小さくなっていると思う。

資料 7-3 に基づいて、JAEA から、熔融炉心コンクリート相互作用 (MCCI) 生成物と鉄含有燃料デブリの臨界特性を、主に燃焼度をパラメータとして解析していることを説明した。まず k_{∞} を計算し、その結果に基づき球体系、無限円柱体系、無限平板体系の臨界寸法を計算する。 k_{∞} の計算によれば、燃焼 1 年未満の燃料集合体に由来する燃料デブリは、すべての条件で k_{∞} が 1 を下回り臨界となる可能性がない。この燃料集合体を含有する効果を明らかにするため、燃焼 3 年目までの燃料集合体 3 種類が混合した場合、さらに全炉心が混合した場合の組成モデルも解析し、個々の燃焼度の解析結果と比較することとしている。

C (中島部会長) 燃焼度の依存性をいろいろな組成で調べてみた、ということだが、5 GWd/t の条件のグラフがない。5 GWd/t の燃料集合体には、増倍を下げる相当な効果があると思うので、その様子を直観的に理解できる図があった方がよい。おそらく、 $k_{\infty} < 0.8$ の領域にあると思うが、スケールを調整して図にして欲しい。

Q (遠藤委員) 経済協力開発機構原子力機関 (OECD/NEA) の Phase IIIC 問題のモデルで軸方向の組成分布はどのようなものか？

A 燃料棒ごとに軸方向の組成分布は均一である。正確に言えば、3 次元モデルではなく、2 次元モデルである。

Q (遠藤委員) 冷却材のボイド率を 70% に設定した理由は何か？ BWR の燃焼計算では普通 40% ぐらいはないか？

A ボイド率 70% で固い中性子スペクトルとし、燃焼によるプルトニウムの生成を多めにし、混ぜた結果の増倍率が最も高くなるようにしている。

- Q (遠藤委員) 臨界安全上保守的になるように燃焼条件を設定した、ということか？
- A そのとおりである。しかし、今、燃焼度依存性を調べていることは、ベストエスティメートを指向しているわけであり、ボイド率 70% の保守的な設定は矛盾する。前回の会合でも議論があったが、今後、燃焼条件に対する感度も解析・検討したい。
- C (中島部会長) ベストエスティメートの方がよいと思う。計算量が多くなるが、ボイド率 40% の燃焼計算がより現実的な結果に繋がると思う。
- Q (黒崎委員) 実際の燃料デブリの中には制御棒由来のホウ素が入っていると思う。ホウ素が入れば臨界になりにくい。今、臨界になりそうな条件を努力して解析で探しても、実際にはホウ素の影響が大きく臨界にならない、ということもあり得る。そうであれば、ホウ素の所在の評価に努力を払った方がよくないのか？
- A ホウ素がおそらく先に溶けて、その上に追いかけて溶けた燃料が落ちてくると言われている。両者が溶けた状態で混ざると、化学的に密度が違うので、ホウ素は上に分離するとも言われている。ホウ素が入っている部分は臨界にならないだろうが、分離することを仮定すると、混ざらない条件の解析は必要である。
- Q (黒崎委員) ホウ素は増倍率にどれぐらい効くのか？ 例えば 0.1% 入だけでも大きく下がるのか、5% 入ってもあまり下らないのか。このような解析評価はしているか？ ほんの少しのホウ素でも結果が大きく変わるならば、解析評価すべきと思う。
- A その解析評価はまだ行っていないが、もともと全炉心にあったホウ素を均等に混ぜた組成にすれば臨界にはならないことはほぼ自明である。ホウ素が冷却水に入っている場合の解析評価は、平成 26 年度と平成 27 年度の事業で行っている。重量濃度で数千 ppm のオーダーで効果があり少ない量である。そうとは言え、冷却水が数千トンという量なので、必要なホウ素の量も非常に多くなる。固まった燃料デブリの中で制御棒由来のホウ素が広く分布し安定して存在すれば、非常に効くと思われる。分離して、例えばデブリの表面にホウ素が分布するとほとんど効かない。
- Q (中島部会長) Gd が、炉心溶融において、ウランとどのように混ざるか知見はあるか？
- C (黒崎委員) Gd は二酸化ウラン UO_2 の中に原子レベルで混ざる、固溶する性質がある。他の場所にあった UO_2 と Gd でも、溶けて混ざれば、かなり近くで共存すると思う。ホウ素は確かに分離して存在する可能性が高い。
- C (JAEA) 結局のところ、まず濃縮度の違う燃料棒同士が集合体の中でどれぐらい混ざるかという問いになり、燃焼度の異なる燃料集合体同士がどれぐらい混ざるかという問いになる。また、溶けて混ざる状況と、熱等で被覆管が損傷しペレットが溶けないまま散乱する状況で、異なる核的な特性になる。そうすると、核計算よりも、炉心溶融時にペレット単位でどう動きどう混ざるのか情報が要る。これは燃料デブリを実際に見ないとわからない。
- Q (村松委員) k_∞ は現実には燃料集合体ごとに違っている。一番増倍の強い燃焼度の燃料集合体が無限に配列しているわけではない。この効果はどれぐらいあるのか？
- A 大きな効果がある。今回、燃料集合体組成を混ぜた組成モデルで k_∞ を計算した結果を示したが、一番増倍が強い燃料集合体のものと大きく違う。長さ 4 m の燃料集合体は、その細長い形状のために、増倍が最も強い 15 GWd/t の燃料集合体でも 1 体だけであれば水中で臨界にならない。しかし、形状が崩れると、最小臨界質量と比べれば、

臨界になり得る。混ぜた組成モデルの場合、1 体で形状が崩れても臨界にならない。臨界量は組成モデルの違いに強い感度がある。炉心溶融すると臨界になりにくいとい一般的に説明されるが、組成が混合することを前提にすれば妥当なものである。混ざらないまま形状が崩れた場合は、別の話である。ここが、繰り返しになるが、燃料デブリを実際に見ないとわからないところである。

Q（村松委員）極端な体系を想定するとどうなるか？ 例えば、炉心の中央部分は溶けて落ちたとして、スリーマイル島原子力発電所 2 号機（TMI-2）事故の場合は外周の方はかなり健全だった。健全な燃料集合体の領域で、ある部分は制御棒だけは抜け落ちている場合、外周の何層ぐらいのチャンネルボックスが残っていれば臨界になるのか？

C（中島部会長）3 層ぐらいではなかったか？

A IRID ではこの評価を行っているようだが、3 層だったと記憶している。外周の層でなくとも、ある部分が残っている場合でも、10 体程度の燃料集合体が健全で固まっていれば臨界になる。過去に BWR で定検中に誤って制御棒が抜けて部分的に臨界になった例があるが、隣接している制御棒が 2 本抜けると臨界になり得る。炉の全体の 10% あるいは数% という小さい領域で臨界になり得る。

Q（中島部会長）全体計画によると臨界特性解析では平成 28 年度末に星印がついている。これは完成するという意味か？ 今年度、残るものは有限体系の解析で、外注で実施しているということだが、それが終われば、当初目標としていた臨界マップは完成したことになるのか？ 平成 30 年度から高精度化は別途行われるようだが。

A まず、現在行っている解析作業の結果が一式そろそろ。それから、今回は紹介してないが、その解析結果を蓄えて見やすくするデータベースが完成して動く。さらに、何度か中島部会長からご指摘頂いているが、ベンチマーク評価、つまり、ご説明している解析作業で出てくる増倍率がどれだけ確からしいか評価する。これら 3 点セットがそろって、解析ベースの臨界マップが完成したことになる。最後の不確かさ評価が、既存のベンチマークデータを用いてやるのだが、まだ着手できていない。データベースシステムとそこに入れるデータという点では、今年度末に成果として示したいと考えている。

資料 7-4 に基づいて、JAEA から、FACILE の開発・整備について進捗状況を説明した。新規 MC 法ソルバーの開発では、非分離共鳴領域に対する確率テーブル法が実装され、2 領域体系の k_{eff} が計算できることを示した。燃料デブリ体系トラッキング機能の開発では、デルタトラッキング手法を多群計算に適用し、燃料デブリのボクセル体系に対する臨界計算が効率よく計算できることを示した。

Q（中島部会長）デルタトラッキングは、すごく疎のところ、つまり、実際の Σ_t がすごく小さいところがあって、その前後に Σ_t が大きい領域があると、全部疑似散乱で埋めることになって、無駄な散乱が増えるのか？ 疎な領域があると高速化は見込めないのか？ 通常の方法の方が速くなることもあるのか？ 体系によって選べばよいことだが。

- A 今回の開発目的は、組成が連続的に変化する燃料デブリであり、通常だと細かく領域を区切らなければならない。そこでこの手法は有望である。通常の例えば OECD/NEA Phase IIIC の燃料集合体のモデルなどは、高速化は見込めない。
- Q (黒崎委員) 既存の、通常の方法では支障があるなら、この開発は理解できる。実際、その支障は決定的なものか？ それとも、程度問題か？
- A 臨界安全分野の k_{eff} の評価は、水分の多少の変化で結果が大きく変わる。精度を確保しつつ計算速度も求められるので、この開発は必要である。MC 法による解析では実験に代わる参照解としての精度を求められるので、この手法が有望である。ただし、本当のデブリをどうやってモデル化するかは、さらに検討・議論が必要である。ここで紹介したような仕組みはあっても、実際に解析関数で表せるとも限らない。ボクセルで細かく区切れる方法もあるが、やはり、実際どうやって現実の燃料デブリを表現するかの問題は残る。
- Q (JAEA) デルタトラッキングでは、赤線で表示された仮の断面積が設定される範囲の中で、微視的にフラックス分布を見るようなタリーは採れないのか？
- A 細かくタリー領域を区切れれば採れる。ただし粒子が飛行した距離の統計を取る *track length estimator* は使えない。*collision estimator* で採れる。
- C (遠藤委員) void、真空領域であっても仮想散乱が起きたときに *collision estimator* で統計を取れる。*track length estimator* が使えなくても問題ない。
- C (中島部会長) 精度のよい MC 法ツールはあっても、燃料デブリのモデルが大雑把だと、使い方が難しい。
- Q (遠藤委員) 組成がわからなくともゆらぎを仮定する手法を提案していたのではなかったか？ ある組成分布の乱雑さある場合でもわからないなりに k_{eff} の幅を推定する方法を。
- A 乱雑化モデルと称しているものである。解析関数である程度近似して上限値、下限値の幅を決めるものである。
- C (遠藤委員) その方法は学術的にも面白いものである。組成分布があるかわからないときでも、上限下限を推定する目的に大変有効だと思う。
- A 乱雑化モデルも単純な解析関数を用いたモデルであり、それが実際の燃料デブリを上手く表現しているか議論が要る。それでも近似的に上限下限を把握したい、という発想である。
- C (JAEA) この事業では、既存コードないし今開発中のコードを用いて燃料デブリの臨界特性を解析し、その結果がデータベースになる。さらに、STACY 更新炉でそれを検証する。このとき、STACY で組む炉心はもちろん既知である。乱雑な燃料棒の並べ方をして、それを表現する乱雑化モデルを作り検証することもできる。しかし、どうしても、我々が作るモデルが本物の燃料デブリを正しく表現できているかどうかは、実際に燃料デブリを見てみないとわからない。
- Q (中島部会長) FACILE システム開発のロードマップのうち再臨界評価機能開発と遮蔽解析機能開発について、今年度は「調査」となっているが、何かやっているのか？

- A 再臨界評価機能に関しては、AGNES を取り込むための調査をしている。FACILE は MARBLE という炉物理計算プラットフォーム上で動くので、そこに AGNES と取り込むための調査である。遮蔽解析機能開発も同様に PHITS を使う計画である。

資料 7-5 に基づいて、JAEA から、燃焼燃料組成測定の概要と進捗を説明した。既に PWR 燃料集合体から採取した試料が溶解されており、本事業では燃焼度確定のためのウラン U、プルトニウム Pu、ネオジウム Nd の測定と、中性子吸収効果の大きい Gd やサマリウム等の希土類元素の測定を行うことを説明した。本事業で取り扱う試料は 5 つであり、そのうちの 3 つについて現在作業が進んでいる。

Q (中島部会長) 燃焼計算検証に用いるに堪える測定精度が得られる見通しはあるか？

- A 燃焼計算と突き合わせて議論しないとわからないところがある。この PIE を臨界安全研究グループ自身で手掛けることは、初めてである。これまでは、分析センター等のエキスパートに依頼していたのだが、エキスパートとしての経験則による調整がなされた結果を使うことになり、燃焼計算と比べると、差異の原因が突き止めにくいという問題があった。今回は、経験則を排除して、分析機器の生データに基づいてのみ結果を整理して、燃焼計算と比べる予定である。過去の PIE・検証解析と C/E が同じ傾向あればよいが、何か大きくズレることもあり得る。エキスパートによる調整の C/E への影響が見られればよいと考えている。

Q (中島部会長) プルトニウムの分析はやっているが、他のマイナーアクチニドはどうか？ 測定した方がよい。

- A アメリシウムやキュリウムを測る技術開発はやっているが、本番の測定ではまだ用いていない。技術開発に時間を要し、本番の測定結果の取りまとめが遅れることを避けた。

C (中島部会長) 国際ベンチマークでは、分析を独立したいくつかの機関で実施して結果を比較している。PIE は複雑である。PIE の結果が今年度と来年度で出て、その後、燃焼計算の検証が続き、燃焼計算手法の改善にフィードバックされると理解している。次回の会合ではどのような結果が見られるか？

- A PIE に基づく燃焼度の評価を示したい。

資料 7-6 に基づいて、JAEA から、環境影響評価手法整備の進捗を説明した。燃料デブリの取り出し時にその形状が変化したときの反応度効果について、2 次元の周期性を持つ形状の周期と振幅の効果についての解析を実施している。評価を支援するツールに空間線量率評価機能を追加している。1 号機についてリスク評価の試算を試みている。

Q (遠藤委員) 空間線量率の評価で RASCAL を使うということは、対象は放射性プルームや土壌に沈着した放射性物質に由来した空間線量率か？

- A そうである。一方、SRAC の ANISN も入っており直達線の線量も評価できる。

- Q (黒崎委員) 未臨界判定やリスク評価について、入力に対してどのような出力になるのか想像するのだが、未臨界判定の場合、未臨界で安全「○」、臨界の可能性あり「×」というようなものが出力されるのか？
- A この支援ツールの出力は、中性子の k_{∞} 又は k_{eff} の最大値や期待値、空間線量率とその確率分布、核分裂数とその確率分布である。これらの値を見て、実際はユーザーが判定する。このツールはユーザーによる判定を支援するものである。
- C (黒崎委員) そういった出力データの意味を理解しなければ判定できないと思う。
- A この値はどう見るべき、というような最低限の説明をするガイダンス機能を設ける。
- Q (黒崎委員) 未臨界は、どう判定するのか？ 誰が判定するかは理解したが、どう判定するのか？ その3つの数値を見たら判定できるものか？
- A 解析コードにもよるが、例えば、歴史的経緯から言うと JACS コードでは 0.95 を下回れば未臨界、0.95 を超えると臨界の可能性を考えるというものがある。最近のコードでは 0.98 でもよいという提案もある。判定に用いる増倍率の値をいくつにするかは、この事業で決めるよりも、臨界の専門家の意見が必要と思う。
- Q (黒崎委員) このツールにシナリオ、組成、形状を入力することはある程度イメージできるが、誤差についてはどう考えればよいのか？ ここまでできるだけ精度のよい手法やデータを積み上げて評価して来ても、最後にユーザーが大きな誤差を入れたら、せっかく積み上げたものが最後に不確かなものにならないか？
- A ご指摘のとおりだと思う。しかし、判らないことは判らないと正直に認めることがリスク評価の基本であり、判らないなりに誤差は見積もるべきだと思う。それを小さくできる情報が何か加われば、最終的な結果も精度が上がる。
- Q (遠藤委員) 誤差を小さくするために、ベイズ推定を用いるなど、今後判明する状況を踏まえて不確かさを小さくする枠組みを設けるのか？
- A 現状でベイズ推定の機能はない。しかし、調査結果をフィードバックするストーリーが将来できてくれば、そういうものを入れることもあり得る。今のところはこれをそのまま素直に使い、将来誤差が小さく縮まった値が得られれば、もう一度やりなおすことになる。
- Q (遠藤委員) 現状でもある程度絞られていると思う。例えばミューオンによる調査により、外周に何層もの燃料集合体が残っているわけではなく、周りに高々1層であろう、という情報ももたらされている。
- A そのような情報は入れて行けばよい。空間的な区分も新しい情報が有用である。現状、燃料デブリはないはず、という漠然とした理由で管理してない場所があろうと思う。そこは、調査が進み情報が得られれば、明確にここは臨界管理不要、ここからは考えないといけない、というようになる。情報を得るにしたがって状態マトリックスの不確かさの記述が随時変わって行く。
- C (中島部会長) 臨界管理・評価を突き詰めると、被ばく線量がどうなるか、ということになる。それに対して何が感度をもつか、このツールを通して判れば、その情報は1F現場で有用であろう。逆に、現場の調査についてこちら側から要求を出せるようになれば、この事業の成果として非常によいものになる。今のところ、こちらでは現場の

情報がないと言うし、現場では特に要求がないからやれるところからやるという感じになっていると思う。このあたりは、もう少し相互に情報共有すべきである。

Q（村松委員）被ばく線量は、臨界事故だから事故対応や終息条件によって動的に影響が変化するが、どう評価するのか？ 影響は一点に決まるか？

A 核燃料サイクル施設のシビアアクシデントとしての臨界事故被ばく評価では、今、最適な評価をするにはモデル等が足りない状況であると認識している。そこに踏み込むことは難しいので、今のところ、核分裂数を算出し、その値を元にして放射性物質の放出量を非常に保守的に評価せざるを得ない。この点で、リスク評価と呼ぶには不足な点があるが、現状の最善な評価手段ではある。

Q（村松委員）ある種の計算方法を示して、目安として使う指標とするのか？

A 今後、手法が新たに開発されれば取り込むことも考える。

C（中島部会長）被ばく線量も、別の委員会では、どの地点を評価するか議論している。サイト境界である必要はない、という意見もある。例えば、5 mSv という値を決めて、それを超えないことを確認するにしても、どこの地点か、避難解除の有無などによって判断は大きく変わると思う。これから実際に評価するときには、評価結果の現実性を問われる。

C（村松委員）例えば再処理施設などのリスク評価においても、臨界事故に関しては、被ばく線量評価まで今すぐできるというわけではないので、この研究にそれを求めることは初めから無理があると思う。むしろ、何らかの形で、一応核分裂数を決める、あとは、その値に基づけば被ばく線量はこれだと計算できる、そこまででもよい成果だと思う。

C（中島部会長）これは難しい取り組みである。来年度の末で評価手法の提案をするとしても、まだ先のステップが必要である。

A 少なくとも臨界マップが完成すれば繋げる作業がある。

資料 7-7 に基づいて、JAEA から、STACY の更新について進捗を説明した。STACY 本体の設置変更許可の取得が遅れていることから、旧設備解体撤去に係る設工認申請及び保安規定変更申請と並行して受審し、許認可取得の短縮を目指している。施設整備に関しては、解体及び製作据付に係る設工認準備状況、水位計関連モックアップ試験 2 件、燃料調達（輸送容器設計変更調査）他を進めている。

Q（中島部会長）分析設備の使用施設化対応工事は、現在炉施設であるものを核燃使用施設に施設の種別を変えることと理解しているが、これに炉の設置変更許可も関わってくるか？ 炉施設から分析設備を外す手続きが要るか？

A その通りだが、目下の炉の設置変更許可申請には含まれていない。

Q（中島部会長）高精度水位計の目標の精度はどれぐらいか？

A 公称値で±0.2 mm 以下を目指す。現 STACY は電極式のものであり精度がよく、公称値±0.2 mm である。繰り返し再現性は±0.02 mm である。これと同等のものを、レーザーによる測定で実現しようと考えている。水面に反射材を浮かせるが、そこが難しい。

Q（中島部会長）運転用水位計のモックアップ試験で 70℃ まで昇温している。実際の試験で 70℃ まで水温を上げると相当な湯気が出て、結露もあると思う。これも、設計上は考慮しているのか？

A 蓋のようなものを炉心タンクに被せることを考えている。

Q（中島部会長）3 回目の補正申請を 11 月末に予定しているが、その内容は原科研共通編か？ 審査会合が開かれるのか？

A 審査会合はないと聞いている。大部分は管理面の内容でありヒアリングによる。添付書類 5 の技術的能力、品質保証の話題、添付書類 6 の敷地周辺状況、社会環境などである。データを提示すればよい。

Q（中島部会長）耐震クラス B の施設であり、地盤についても詳しくは書かないのか？

A そのとおりである。補正申請から 1 ヶ月で許可を得ることは随分短いように見えるが、既にヒアリングで了承されている内容なので、さほど時間は要しないと聞いている。

C（中島部会長）原子力規制委員会の事情で延びることもある。使用済燃料処分 of の話題も出る。

A 原子力委員会の方でも経理的基礎や平和利用の審議があるが、あまり心配はない。

C（中島部会長）実際に工事に入ると、また別の問題が生じ得る。また、今、法改正を伴う検査方法の見直しも進められていて、STACY 更新がちょうど狭間に入る懸念もある。

C（JAEA）燃料棒のロシアでの製作も、純粋に技術的に可能ではあるが、検査方法・品質保証は課題である。例えば、ロシアの材料や検査は JIS に準拠しない。そこも説明責任は果たさないとはいけない。

C（中島部会長）研究炉のシリサイド燃料は仏セルカ社製で、フランス規格のアルミニウム材を使っている。成分表を比較して JIS 相当と称している。

(3) その他

C（中島部会長）平成 28 年度は、繰り越しの部分があるので綺麗な区切りにはならないと思うが、臨界マップは平成 28 年度末で目途が出ることになっている。これを次回会合にまとめた形で見られるものと期待している。

C（黒崎委員）結局、炉内状況を見ないとわからない点が多いが、それに向けて、解析評価のできる最善のことをしておく、ということが理解できた。

C（中島部会長）燃料デブリの取り出しの時期がだんだん伸びている。経費見積りも大きくなっている。その中で、この事業も貴重な予算資源を使っているものであり、効率よく成果を上げ、確実に 1F 現場にフィードバックして、1F 廃炉作業が上手く進むように役立てば非常に有効と思う。

平成 27 年度事業が、繰り越しで継続中であり、来る 3 月 31 日で正式に完了する。そこに向けて正式な報告書の執筆に入っていく。次回の専門部会ではこの報告書のドラフトを示したい。

平成 28 年度事業も、現在、繰り越しを規制庁殿にお願いしているところである。繰り越しが実現すると、今日ご説明した 28 年度事業の内容を記した正式な報告書は 1 年以上先の完成・納品になる。この報告書を提示する時期はかなり先になると考えている。

次回会合では今回会合と同様のハンドアウト資料と投影にて平成 28 年度事業のうち完了した内容のまとめと、平成 27 年度事業の最終的な報告になる。2 月下旬か 3 月の上旬に開催を検討している。

STACY 更新炉用燃料の調達で、輸送費をできるだけ下げたいので、電力事業者と一緒に輸送し船代を折半することを電力事業者に相談する。今月の 10 日、資源エネルギー庁と相談する。同庁の補助金事業で開拓された輸送ルートである。次週には、電気事業連合会にも相談に行く。

12.3 第8回会合

12.3.1 開催状況

(1) 日時及び場所

平成 29 年 2 月 23 日 13:30～17:30

富国生命ビル 20F 日本原子力研究開発機構 東京事務所 第1会議室

(2) 出席者（敬称略）

中島（健）部会長、遠藤専門委員、村松専門委員、黒崎専門委員

事務局 JAEA 事業担当者 外池、山根、長家、井澤、深谷

オブザーバー原子力規制庁 山本、安藤、酒井、中島（鐵）、小林、伊藤

オブザーバーJAEA 桜井

(3) 配布資料

資料 8-1 前回議事録（案）

資料 8-2 全体計画

資料 8-3 燃料デブリ臨界リスク評価基準整備—臨界マップ（燃焼度依存）

資料 8-4 燃料デブリ臨界リスク評価基準整備—臨界安全解析システム

資料 8-5 燃料デブリ臨界リスク評価基準整備—燃焼燃料組成測定

資料 8-6 環境影響評価手法の整備

資料 8-7 臨界実験による臨界リスク評価基準の検証

12.3.2 議題及び質疑応答（Q：質問、C：コメント、A：回答）

(1) 前回議事録配布

前回会合の議事録案（資料 8-1）について、全委員に電子メールで回付しコメントを頂くこととした。

C（JAEA）村松委員の「動的なもの」というご発言の意味を再確認したい。

C（村松委員）出力が動的に変わるという意味で言ったと思う。今思うこととして、様々な要因が関わっているが、動特性パラメータをどう決めるかと、被ばくを受ける人の状況をどう決めるかと、大きく分けて 2 つの問題があると思う。どちらについても、条件を適切に明示し、その条件の意味も明示することが必要である。

C（JAEA）臨界事故の核分裂率の時間変化を求める動特性計算を行うにしても、総核分裂数はある条件ではひとつに決まる。委員が今仰ったことは、様々な条件に対し様々な結果が出るものをアンサンブルとして扱う、というお話だと理解している。

C（中島部会長）確かに出力の時間変化はあるが、どういうレベルの臨界事故を考えるかにもよる。いわゆるシビアアクシデントとなると、避難やその計画等の条件によって線量が変わることもあろう。そういう意味での「動的」かと思うが、前回会合の議論でそこまで踏み込んだか？

C（JAEA）その点を確認したかった。

C (中島部会長) 例えば、評価する時点において、避難区域が解除されて人が戻っているか、どこを境界にするかによって結果が変わる。必ずしも敷地境界でなくてもよく、戻って来られない場所の境界でもよいが、除染の状況によって変わる。幅広に考えれば、こういう考慮も必要である。

C (JAEA) 今の議論を反映して、議事録を修文する。

C (村松委員) 「外部の状況も動的」としてはどうか。

(2) 事業の進捗・成果

資料 8-2 に基づいて、JAEA から、事業全体の進捗状況を説明した。平成 27 年度事業のうち臨界実験の準備が繰り越しになっていたが、着工に至らなかった。工事の部分は契約変更で仕様から落とした。平成 28 年度事業も臨界実験の準備について繰り越す方向で手続き中である。その他の臨界リスク評価基準整備と環境影響評価手法の整備は、予定どおり完了しつつあり本会合で成果をご説明する。STACY 更新炉の初臨界予定を、約 9 ヶ月遅らせて、平成 31 年度にせざるを得ない。

C (中島部会長) 規制対応はやむを得ず遅れているが、それ以外は計画どおりである。

Q (遠藤委員) 炉本体と使用施設で延伸される幅が 9 ヶ月と 12 ヶ月と、3 ヶ月分異なる理由は何か？

A 炉本体と使用施設はそれぞれ別の理由で遅れており、9 ヶ月と 12 ヶ月は独立である。

Q (中島部会長) 核燃使用変更の申請はいつになるか？

A 先に出ている申請の処理にまだ時間を要しており、本件申請は待たされている。

Q (中島部会長) 炉本体の設置変更許可は年度内に得られるか？

A 年度内は難しい。

Q (中島部会長) 審査会合はまだあるのか？

A 火山についての議論が残っている。STACY そのものに関する論点は残っていない。

資料 8-3 に基づいて、JAEA から、MCCI 生成物と鉄含有燃料デブリの臨界特性を、主に燃焼度をパラメータとして解析した結果を説明した。まず k_{∞} について、1 年目集合体に含まれる ^{155}Gd と ^{157}Gd が、他の集合体と混ざり合い燃料デブリに均質に行きわたると、極めて効果が大きい。このような燃料デブリは臨界にならない。臨界となり得る燃料デブリは逆に、1 年目集合体が混入していないものであり、40 GWd/t まで燃焼した燃料デブリも管理が必要となる。これらの条件の球体系、無限円柱体系、無限平板体系の臨界寸法を示した。

Q (黒崎委員) MCCI 生成物の k_{∞} のグラフが興味深い。15.2 GWd/t のものを注意しないといけない。5.2 GWd/t のものはほとんど心配ない。炉心のどこに 5.2 GWd/t と 15.2 GWd/t の集合体があったかわかっているか？

A メルトダウンの前の集合体配置は事業者はもちろん承知している。我々は公式には情報を持たない。

Q (黒崎委員) 量的な比率はどうか？

- A どの世代・燃焼度の集合体もほぼ等分である。1号機の集合体は全部で400体だが、60～80体ずつである。最適な燃焼をするような配置がノウハウらしいが、概ねチェッカーボード状に並べる。
- C（黒崎委員）全部メルトダウンしても、初期の位置関係はある程度引き継いで燃料デブリが生成されるように感じられる。
- A その点が非常に重要だがはっきりしない。いわゆる溶融プールが形成されると、その範囲ではよく混ざるといふ説もある。
- C（黒崎委員）そのとおりである。ただ、ある程度形が残っている場合、注意すべき箇所とそうでない箇所を示せる結果である。類似情報は事業者も持っているという理解した。
- A 事業者は、まず臨界の恐れはないと、最初から主張している。この1年目の燃料が溶けて行きわたる効果を言っていると、この解析で納得した。
- Q（黒崎委員）全部が混ざれば臨界の恐れはないのか？
- A そのとおりである。
- C（黒崎委員）しかし、局所的に15.2 GWd/tの集合体が崩落してしまったら、非常に注意を要する。
- C（中島部会長）15.2 GWd/tの集合体は何体あれば臨界になるか？一般論として、これだけ増倍の高い集合体が炉心内にまとめられておらず、周りに増倍が低い集合体が配置されていると思う。したがって、15.2 GWd/tの集合体だけが溶けていることは考えにくい。楽観論だが、ある程度は混ざると感じられる。
- A ある世代の集合体が、ある程度固まっている領域が炉心内に何か所かあるようだ。15.2 GWd/tの2年目の集合体だけでなく、3年目、4年目の集合体が数体単位で隣り合わせの状態から縦方向にメルトダウンすると臨界質量はあるので、注意しなければならない。
- Q（遠藤委員）その数体集まっているというのは、制御棒のセルのことか？制御棒を入れるセルには3サイクル目の燃料を集める。制御棒の抜きさしに対する影響が少ないようにする。3サイクル目の燃料が2×2で並んでいるなら制御棒の位置であろう。だとすれば、制御棒の物質も一緒に溶けている状況も考えられ、必ずしも要注意ではない。
- C（中島部会長）順序として、制御棒が先に溶けるという説もある。
- Q（中島部会長）臨界寸法のグラフで水素ウラン比（H/U）はどうなっているか？ここで言うMCCI生成物は、右上のモデル図の黒い丸を言っていて、その黒い丸の間隔がH/Uを決めると理解している。ここに明記されていないが、最適減速条件を抽出したのか？
- A そのとおりである。H/Uは最適である。
- Q（中島部会長）場合によってH/Uの値が変わるか？
- A コンクリート中の水分も含めれば、H/Uはほとんど同じである。黒丸と水の体積比 V_m/V_f は異なる。
- C（中島部会長）最適減速条件が、エンジニアリング的に起こりやすい状況かそれともかなり仮想的なことか、ポイントになろう。

- Q (村松委員) 臨界寸法が、炉心平均が他のものより小さくなるのはなぜか？ 一番下の青い線のことである。
- A その青い線は 15.2 GWd/t のデータである。炉心平均組成の場合は臨界にならないのでグラフに示していない。
- Q (遠藤委員) ^{155}Gd と ^{157}Gd の量は報告書に記載されているか？ 今回の資料では具体的に書かれていない。
- A 計算した組成モデルの原子個数密度のリストは報告書に載る。 ^{155}Gd と ^{157}Gd のデータも含む。
- C (遠藤委員) MCCI 生成物の k_{∞} のグラフは重要な結果だが、 ^{155}Gd と ^{157}Gd の量に関する情報がないと理解しにくい。その情報は記載すべきである。
- A 拝承。ご指摘のとおりで、燃料デブリの試料が採取されれば、Gd の同位体組成と U の同位体組成が、集合体同士の混合の様子を示しつつ、臨界特性の有力な指標になると考えられる。
- C (遠藤委員) 燃焼度よりも、そのような指標でまとめると、臨界マップが作りやすいと思われる。
- C (中島部会長) Gd と UO_2 はよく共存するが、Gd は Gd 燃料棒のところだけに留まり周りに溶け出さないという説もある。しかし、多くの臨界特性解析では 1 年目燃料の Gd はすべての燃料デブリに行きわたるモデルになっているようだ。
- Q (村松委員) 炉心の中で Gd 燃料はどのような配置か？
- C (遠藤委員) BWR では、基本的にどの燃料集合体も Gd 燃料棒がある。その量や集合体内の配置は、各燃料メーカーのノウハウである。
- Q (村松委員) 炉心全体で、集合体間の差はあまりないのか？
- C (遠藤委員) あまり差がないと期待される。むしろ燃焼度が大事である。
- C (中島部会長) 新燃料は同じであろう。
- A 集合体の達成したい燃焼度が決まると、Gd の量はだいたい決まると理解している。集合体ごとに、核分裂による U の減損と、Gd の中性子吸収のバランスで燃焼が進む。 ^{155}Gd と ^{157}Gd がどんどん減り ^{156}Gd と ^{158}Gd になる。核特性の観点では燃焼が進んだ集合体には ^{155}Gd と ^{157}Gd は残っていない。
- C (村松委員) メルトダウンでは、圧力容器外への熱伝達もあるので、内側が高い温度になって早く崩れると思う。その後、外側が内側に倒れるかもしれない。そういう経緯と Gd の分布と考慮すると、ある領域に Gd が多く来たり、少なかったりするかもしれない。
- C (遠藤委員) 集合体の中でウォーターチャンネルの近くは減速されやすく核分裂が起こりやすい。出力が高くないように濃縮度の低い燃料を配置する。Gd 燃料棒は、そこだとすぐ燃え尽きるので、一層置いて配置する。炉心全体では、BWR の場合は、1 サイクル目、2 サイクル目、3 サイクル目、4 サイクル目の集合体を市松模様にして、なるべく平坦化するように入れるのが基本である。
- C (JAEA) メルトダウンのときに、最初に熔融プールが出来始める、溶け始める中心に、新燃料が特に多くなったり、少なくなったりする理由はないと思われる。

Q (中島部会長) デブリ組成の検討について、JAEA で様々な取り組みがある。どこから溶け始めるか、MELCOR、MAAP、THALES 等の結果を使うことは考えているか？

A あまり考慮していない。集合体単位の解析は難しいようである。メルトダウンの開始位置は炉心内位置に強くは関係しないと理解している。メルトダウンの熱源は、核分裂生成物 (FP) の崩壊熱ではなく、水蒸気ジルコニウム反応と聞いている。水がないところでそれが起き、輻射熱によって均等な温度上昇が起こり、一斉に始まる。崩れたものから熔融プールが形成されるのは、当然中心からである。そこに、新燃料が多いかどうかを検討するためには、詳細な計算が要るだろうが、現在のシビアアクシデントコードでは出来ない、と言われている。

Q (中島部会長) 来年度から高精度化を行うことになっている。ここまでの作業で基本的な臨界マップに必要なデータは一応そろったのか？

A 来年度の作業を規制庁と議論しているところである。臨界量はわかったので、増倍率が 0.98 の線や 0.95 の線を引く。さらに、これまでに部会長からもご指摘頂いているが、ベンチマーク解析を行い、解析の不確かさを明らかにする。これらを総合し、寸法や質量の制限値を出す。このような作業を規制庁から提示頂いている。

資料 8-4 に基づいて、JAEA から、FACILE の開発・整備について進捗状況を説明した。燃焼計算コードのシステム化では、複数の ORIGEN2 の出力結果を組み合わせ、デブリ組成を設定し、臨界計算ができることを示した。新規 MC 法ソルバーの開発では、(n,xn) 反応モデルを改良するとともに、非分離共鳴領域に対する確率テーブル法を実装し、2 領域体系の k_{eff} が計算できることを示した。燃料デブリ体系トラッキング機能の開発では、デルタトラッキング手法を多群計算に適用した結果を示し、さらに燃料デブリの確率論的乱雑化モデルとボクセル体系を融合した臨界計算ができることを示した。

Q (遠藤委員) 確率的乱雑化モデルとボクセル体系の融合のスライドで、模擬 MCCI 実験写真の金属相の寸法はどれぐらいか？ 解析結果とどう対応するのか？

A この写真はイメージを示しただけであり、モデルの寸法と対応していない。

Q (遠藤委員) ボクセルの寸法をどのように変えても計算できるか？ あまり細かすぎると、MC 計算なので判定が多すぎて計算時間がかかるのではないか？

A 計算できる。そのためのデルタトラッキング手法であり、計算時間は変わらない。

Q (村松委員) 確率分布、入力になる様々なパラメータの分布、考えられる不確かさ因子のうち考慮したもの考慮していないもの、これらを計算結果と共に示すべきである。その情報がないと結果をどう解釈すればいいかわからない。

A 拝承。確率化乱雑モデルにはワイエルシュトラウス関数を使っている。1/f ゆらぎのノイズの有名な式だが、報告書には詳述する。体積比で平均値が 1/8 になるように 0 ~ 2/8 までウランとコンクリートを振って、乱雑さを入れている。考慮しているのは、コンクリートと UO_2 の比と空間的なステンレスとデブリの配置だけである。これらの 2 種類の乱雑さしか入っていない。

Q (村松委員) 誤差バーも、普通は 5~95% を描くが、そういう理解でよいのか？

A これは 100 個のレプリカを計算した結果の 1σ である。

- Q（村松委員）ならば、その外側にも結構分布がある。本当の確率分布が不明で我々が仮定した確率分布を使うときでも、分布の最大最小がわかっているならば、その外側はあり得ないとわかる。そうではなく、 1σ や 5～95% という表示をするなら、やはり、どういう分布を仮定したかが重要である。
- C（中島部会長）100 体計算したときの平均と分散を示しているのか？ ガウシアン分布になっているか？
- A そのとおりだが、ガウシアン分布の確認はしていない。正規性のテストをやってみよう。
- Q（中島部会長）整備ロードマップで受託事業外の調査とされているものは、規制庁としては必要ないのか？
- A 既に整備されている AGNES を使うということになっており、予算措置が不要であり、受託事業から外した。
- C（中島部会長）そうすると報告書にも載らないのか？
- A あくまで予算措置上の問題である。また、他プロジェクトとの二重投資を避ける観点もある。例えば再臨界評価機能開発は、別プロジェクトの PORCAS と機能面で重複する。遮蔽解析機能開発についても、別に、PHITS を使う研究開発がある。FACILE に統合する意味はあるが、規制庁予算の観点で二重投資になってしまい好ましくない。
- C（中島部会長）最後の総合動作確認は受託事業で行うべきではないか。
- C（村松委員）成果発表がシステマチックで素晴らしい。他の研究機関の模範としても、是非これは続けて頂きたい。
- A 拝承。ジャーナル投稿や報告書には、この資料以上に細かく、確率分布関数や不確かさのパラメータ設定等、詳述してある。ただ、乱雑な分布の様子を図で例示することが課題である。
- C（村松委員）個人的に、報告書を公開することは必要だと思うが、年度ごとの契約で報告書をその年に書くのは研究者にとって労力を要するしリスクがある。さらに詳細に分析しなかった、あるいは、間違っていたとかもあろう。したがって、公開してもよいが、ある意味で責任・品質保証の限界があることも示すべき。ジャーナル論文で精密に成果を示し、その後検討した結果を JAEA がもう一度報告書を出すことを許してもらうのがよいと思われる。

資料 8-5 に基づいて、JAEA から、燃焼燃料組成測定の見解、測定結果及び燃焼計算との比較を示した。PWR 燃料集合体から採取した 3 試料の分析が完了しており、そのうち 2 試料は Gd 燃料棒の試料である。燃焼計算は、Nd 等の測定で決定された燃焼度に基づき行われている。

- Q（黒崎委員）計算結果と分析結果の比較で、100%、40% とかなり違う。臨界マップのところでは Gd の行方が鍵だ、という話があった。Gd 組成が重要だが計算値は真の値から数十% も異なるということか？ 上手く補正する必要があるということか？
- A ここに示す値は暫定のもので、最終的には差異はもう少し小さくなると期待している。ただ、もし、ここに示すデータだけを解釈すれば、仰るとおりである。計算は中

性を強く吸収する Gd の量を過大に説明しており、実際の増倍はそれほど低くない、という解釈になる。

Q (遠藤委員) この結果は、相当に燃焼が進んだときの結果である。

A そのとおりである。40 GWd/t 以上、寿命を全うした燃料である。

C (遠藤委員) 臨界マップの結果は、1 年ちょっと燃焼したものなので、これほどの計算の差は出ないであろう。

Q (黒崎委員) 燃焼が進むほど計算結果と分析結果の差は大きくなると考えられるか？燃焼初期であればあまり差異がないにしても、40% は大きいと感じる。

C (中島部会長) 燃焼末期の存在量は絶対値が小さいであろう。

C (JAEA) 燃焼度の低い燃料の PIE データはないか？

C (規制庁) CEA で低燃焼度の Gd 燃料の PIE がある。そこでは解析と分析の差は 20% もない。

Q (中島部会長) 燃焼履歴や制御棒位置をどこまで正確に再現できるかによる。

C (遠藤委員) 冷却水の密度もある。

C (遠藤委員) PWR では出力は中央が高く、上部で水の密度が変わることを考慮すべきである。スペクトルも変わり計算値の改善が期待される。

A 拝承。燃焼計算条件をさらに詳細に詰めたい。

C (遠藤委員) ^{148}Nd があっているということは、燃焼度は一致している。あと可能性があるのはスペクトルの条件である。 ^{235}U の消費に差が見られるので、減速材の密度に工夫の余地があるように見える。

Q (中島部会長) SWAT4.0 は MVP を用いるのか？

A MVP も SRAC も使える。

C (中島部会長) どちらによる解析か明記すべき。細かく言うと、マイクロ炉物理で、周方向(径方向?)の Gd の燃焼依存性の話題もある。

A Gd 燃料棒は SWAT の燃焼領域を切っている。

Q (村松委員) 測定結果の表に、誤差や変動係数が書かれているが、これは、放射線の計数のゆらぎか？

A 繰り返し測定のゆらぎである。あと、同位体希釈法と使っているので、スパイクの持つ誤差を伝搬させての総合的な誤差を導出している。

Q (村松委員) ペレットの中で Gd が偏って分布していないか？ ペレットの試料を採取したとき、ペレット全体の平均を代表したものになっているか？

A ペレットから厚さ 1 mm スライスを試料として採取し、スライス全量を溶解・攪拌し均一にして、分析する。ペレットの長さ方向に Gd の偏りがあると代表できない。ペレットを丸ごと溶かすことも考えられる。フランスでは溶かす工程の設備容量が大きいので、ペレットを 1 個溶かすことができるが、本事業で使っている施設は小さいためスライス試料の採取しかできない。

C (黒崎委員) 常陽で極端に燃焼させた高速炉燃料ペレット断面を見ると、U は全体に分布している。Nd は U と共存性がよく原子レベルで U と一緒に分布する。Gd は Nd とほとんど同じ傾向を示すので、原子レベルで U と綺麗に混ざる。1 mm 単位でスライスすれば、どこをとっても、U と Gd の比は同じである。一方、セシウムは、温度が

高いところで蒸発し温度が低いところで溜る性質があるので、ギャップ部分にモリブデンと一緒にセシウム・モリブデートとして存在する。ペレットの中心空孔からこのちょうど真ん中あたりに、ジルコニウム Zr とバリウム Ba が濃い所がある。これは BaZrO_3 という形で存在している。ペレットの中のどこをとっても均一に存在する FP とそうではない FP がある。ペレットの 1 mm 厚さのスライス、全体の傾向が見える。

Q (JAEA) FP の移動は径方向か？

C (黒崎委員) 基本的に径方向で、温度が高いところから低いところへ移動する。縦方向にはあまり移動しない。

A スライスを切るときに、ある部分が欠落することがないように工夫している。切る前に樹脂を流し込み、樹脂ごと切る。

資料 8-6 に基づいて、JAEA から、環境影響評価手法整備の進捗を説明した。燃料デブリの取り出し時にその形状が変化したときの反応度効果について、2 次元の周期性を持つ形状の周期と振幅の効果についての解析を行い、1 次元同様に、1/2 波長が 1~10 cm の範囲では波長が増えるにつれて k_{eff} が低下する傾向があることを確認した。評価を支援するツールに空間線量率評価機能と影響評価のガイダンス機能を追加した。1 号機について仮想的な水張り条件でのリスク評価の試算を行い、臨界に達する仮想的な条件のもとでの総核分裂数の期待値を求めた。

Q (黒崎委員) リスク評価結果の「リスク」の定義が不明である。

A 水張り操作を想定すると、確率 1 である水位に達するとして、典型的な 10 ケースを取り出して計算した。そこで、確率 1/10 でこれらのうちどれかが生じるということで、その期待値を求めた。未臨界ならばゼロである。それぞれ単位を持つ。ワット、ジュール、核分裂数というように。

Q (黒崎委員) 最後のページで再臨界リスクは 6.0×10^{20} となっているが、単位があるのか？

A 核分裂数の期待値である。

C (遠藤委員) 超臨界の状態になるようにいろいろパラメータを絞っているのだから、条件つき確率の期待値と思われる。実際の臨界リスクはもっと低いのではないかな？

A そのとおりである。パラメータを全範囲で振ればほぼゼロである。今ある公開情報だけですべてのケースを網羅してサンプリングすることは事実上無理と思われる。事業者側と話をしながら進めて行く必要がある。

Q (遠藤委員) 全体の中で、こういう臨界リスクが生じるケースの確率を定量した上でこの作業をしないと、実効的なリスク評価にならないのではないかな？

A そのとおりである。

Q (黒崎委員) 再臨界リスクを fuel 温度で言うと 45.7°C と表現してもよいのか？ 理解しにくい。

A 期待値としては、そうである。臨界による再溶融の可能性を検討するなら最大値を見なければならぬ。

- C (村松委員) 「リスク」と書いただけでは不足である。今、観点、被ばく線量、臨界事故が起きる可能性、熔融まで行く可能性、というようにいくつかあった。5 mSv を超える、従事者の線量がある基準値を超えるというリスクもある。リスクの指標を適切に定義することが重要であり、数値を示す際には、定義や解釈の仕方を一緒に示さなければならない。核燃料サイクル施設のリスク評価をやっているが、被ばく線量に応じて、その発生頻度がどれぐらいか、検討している。被ばく線量やソースタームの放出量は事故のシナリオによって大きく変わるし不確かさが大きいので、これに頻度を乗じたものをリスクと定義すると理解しにくく誤解を生む。同じ被ばく線量でも、致命的なリスクと、放射線管理の規則に抵触する程度の問題と、質が異なる。量的な違いを質的な違いに変換する指標を作っておき、それが発生する頻度か、条件付き確率かで与えてやる必要がある。さらに、サンプリングの様々な条件もある。事業者・規制者双方にとって、注意点を示すことが必要なので、線量が大きくなるシナリオが出てきたときに、どういった条件で生じたか示せなければならない。シナリオ分析能力をプログラムに組み込んで、サンプルした最終結果だけでなく、途中結果も記録するようにすれば、注意すべきシナリオの条件も出力できるであろう。
- C (遠藤委員) もし量的にレベル分けをするなら、敷地境界で 1 mSv 未満、1～5 mSv、5 mSv 超になる総核分裂数のレベル分けかと思う。その目安のオーダーはどれぐらいか？
- A 今年度 RASCAL を導入し、核分裂数と敷地境界線量率を計算できるようにした。核分裂数の敷地境界線量の一覧表をまとめることの是非は検討したい。ここでも、気象条件等に左右されし、どのようにジェネリックに議論を組み立てるかが重要なポイントだと思う。
- C (遠藤委員) 総核分裂数の 10^{20} のオーダーは、どれぐらい深刻なのか？ 何か物差しになる指標はないか？
- A 発生場所が圧力容器底部か格納容器のペデスタルかによって、外部影響は全く違ってくる。
- C (JAEA) 安全工学設備として評価している既存施設が六ヶ所再処理である。核分裂数で 10^{19} ～ 10^{20} の事象に対して mitigation system としての閉じ込め機能を備えてることによって、外部影響はないとできるレベルである。したがって 10^{20} ～ 10^{21} は臨界事故としては極めて大きい。現実起きた最大の事故が 10^{19} オーダーである。つまりこのレベルでは適切な閉じ込めをしないと短半減期核種の放出でかなり有意な線量を与える。1F の水張りや燃料デブリ取り出しのときも、閉じ込め性能の評価が必要になるレベルと考えられる。
- C (中島部会長) 1\$ ぐらいなら大丈夫と思うが、数 \$ 以上が一瞬で添加されると、内部の破壊、機械的なエネルギー、急激な温度変化による水蒸気爆発のようなことなどで、どこまでモノが持つかによって、閉じ込めの状況が変わる可能性もある。村松委員の発言と重複するが、リスク評価では、どこが弱点か、どういう操作をするときに気をつけるべきか、そういう情報を示すことが最も重要であり、そういうまとめ方をお願いしたい。

- C (中島部会長) 臨界とは別に、燃料デブリ取り出しの被ばく影響評価で、一番効くのは、粉じんの放出らしい。粉状のデブリが絶対量が少なくとも、吸入すると、影響がある。手順として最初に粉を全部取り除き、次に、大きい塊をとれば、リスクが一気に下がる。このような説明がある。当然、デブリを壊すときにも粉ができることを考えないといけない。このような検討をすれば、工法の道筋も見えてくる。臨界も同じような形で、こういう順序の作業が安全である、こういうところは要注意である、というような指針や考え方を導けるような評価をしてもらいたい。
- C (村松委員) 最初の議事録の再確認について、前回の議論を思い出した。動的というのは、臨界になり核分裂出力のパルスが生じたあと、収まるかどうかの点である。自然に収まるか？ 継続するか？ そこにホウ素を入れるにしても、時間を要する。最後にどういう条件を適用しているか明示すべきである。
- A 停止条件をどう想定するかによって、結果が大きく変化することを仰っているか？
- C (村松委員) そのとおりである。
- A 水が大量にあるので、臨界になると、冷却が続く間、出力も維持される可能性が十分ある。
- C (村松委員) それが続いていても安全上問題ない可能性もあり、必ずしも困るわけではない。
- A 作業者がどういう条件で近くににいるか、によるであろう。TMI-2 では、臨界防止の管理を何十年も続けることを避けるため、燃料デブリを取り出し、安定化し、小分けにして、臨界管理をパッシブなものにした。取り出しは、水位を下げて、遮蔽が許す限り作業員が接近して、半自動的に行われたが、そこで臨界になると遮蔽厚が減っているので作業者に影響がある。したがって、作業中も臨界を防ぐ必要があった。1F の場合、別の評価条件になると思われる。臨界を防ぐ必要性は何か？ どれぐらいの線量か？ 評価対象は作業員線量か？ 敷地境界線量か？ これらのある時点で決めることになる。
- Q (村松委員) 作業員被ばくはこの事業の目的に入っているか？ 規制庁の規制対象か？
- C (規制庁) 軽水炉規制ではある程度は考えている。アクシデントマネジメントにおいても目安がある。TMI-2 の日米ワークショップでも、米国原子力規制委員会は当然入るべきだとコメントしているので、個人的には考えるべきと思う。
- A この専門部会でも最初に規制庁 1F 室長は、建前は敷地境界線量の評価と仰った。ただ、内部の議論で、作業員が重篤に被ばくすれば 1F の廃炉が滞るから、検討対象にすべきと仰る方も増えている。
- C (村松委員、中島部会長) 作業員も環境も重要である。

資料 8-7 に基づいて、JAEA から、STACY の更新について進捗を説明した。STACY 本体の許可取得は、規制庁よりのコメント (93 件) に対応し、平成 29 年 3 月を目標に 3 回目の補正申請を行う予定である。また、平成 28 年 8 月に申請した旧 STACY の解体撤去の設工認については、コメントを受けて補正申請を行う予定である。その他施設整備に関しては、燃料輸送のための輸送容器の設計変更調査、高精度水位計の開発、デブリ模擬体調製設備／分析設備の整備について説明した。

Q（中島部会長）レーザー水位計は、レーザーを直接水面にあてて、水面を見るものか？

A その通りである。このレーザーは水面を見られるが測定範囲が狭いものである。

Q（中島部会長）STACY では昇温試験も行うのか？ その際に使えるか？

A STACY で昇温試験は行う。湯気が出ているところで、このレーザーが使えるか今後検証しないといけない。少なくとも、熱の伸び縮みに影響されないので、水面を捉えることができれば十分使えるはずである。

C（中島部会長）水滴の影響があるかもしれない。

Q（遠藤委員）レーザーの装置は納品されているのか？

A ヘッドだけは調達済みである。それ以外の機材はまだ何もなく、今年度は設計のみである。

Q（遠藤委員）ゼロ点測定するとき水はないとのことだが、水と定盤でレーザーの反射は異なるか？

A 問題ないか、あるいは、どれぐらい変わるかは定量的に把握する。

Q（中島部会長）これは、設置許可上、実験用装荷物の扱いか？

A 仰るとおりである。運転中に動かす可動装荷物であって、測定装置という括りになる。

(3) その他

この年度末で平成 27 年度事業が正式に終了する。報告書のドラフト作成を進めており、随時、機構のファイル受渡し Web サイトを使って規制庁の担当官に送り、見て頂く作業を進めている。規制庁の了解の下、同じ Web サイトを委員にも案内し、見て頂くことができる。コメントをお願いする。

平成 28 年度事業は JAEA・規制庁間の契約を変更し繰り越す。契約変更において中間報告が仕様に明記された。実際の報告が 4 月中かゴールデンウィーク明けになる。これも委員に見て頂きたい。

平成 29 年度事業はまだ JAEA・規制庁間の契約書を取り交わす前の段階である。計画は次の専門部会で説明する。来年度も引き続き同じ委員構成で専門部会を 3 回行う。

第 VI 編 まとめ

第 13 章 平成 28 年度事業の成果

13.1 臨界リスク評価基準の整備

東京電力福島第一原子力発電所（1F）の 1～3 号機では、炉心溶融の過程で燃焼度の異なる集合体同士が様々に混合したものと考えられるため、生成された燃料デブリの臨界特性に対して混合の条件が与える影響を検討した。その結果、燃焼 1 年未満の集合体に残存した可燃性毒物のガドリニウム（ ^{155}Gd と ^{157}Gd ）が大きな影響を持つことが明らかとなった。溶融・混合・再固化の過程で ^{155}Gd と ^{157}Gd が分布した燃料デブリは、あらゆる水分含有率において無限増倍率が 1 を下回る可能性が高く、臨界リスクは極めて小さいと言える。しかしながら燃焼 1 年未満の集合体は全炉心の 1/5 程度であることにも注意しなければならず、 ^{155}Gd と ^{157}Gd が行きわたらない燃料デブリは臨界管理の対象となる。一方で、燃料デブリ性状に係る既往研究の文献を調査したが、燃料デブリの巨視的な物理性状を特徴づける考察はみられるものの、炉心溶融時の集合体同士の混合の状況を明らかにする知見は見いだせなかった。

燃料デブリの予想される特徴として乱雑な組成分布が挙げられる。乱雑さの寸法スケールは、核特性に影響しないような微視的なものから、非均質性を通じて核特性が変化するような数 mm～数 cm のものまで多岐にわたると考えられる。燃料デブリの臨界評価においては、このような乱雑な組成分布をモデル化してその反応度効果を解析する必要があるため、新たな連続エネルギーモンテカルロ法ソルバーの開発に着手した。ソルバー本体の整備として非分離共鳴領域断面積の取扱い、複数領域体系の計算等の一般的な機能の実装を進めるとともに、乱雑な組成分布を扱うためのデルタ追跡法、ボクセル・メッシュ体系の取扱い機能、確率的乱雑化ワイエルシュトラス関数による乱雑な分布の表現機能の成立性を確認した。

燃料デブリの現実的な組成評価では燃焼計算も重要である。その検証に資するため燃焼履歴が明らかにされている軽水炉燃焼燃料の組成分析を進めた。今年度の事業では PWR 燃料集合体から採取した 3 試料について分析を行い、燃焼度の決定に必要なウラン、プルトニウム及びネオジム、並びに臨界評価に重要な中性子吸収が有意である希土類元素（Gd を含む）を定量した。併せて燃焼計算コードシステムで燃焼計算を行い、組成の実測値と計算値を比較した。

13.2 環境影響評価手法の整備

平成 27 年度事業において検討した放射性物質環境放出等の環境影響評価の技術課題に基づいて、燃料デブリ取出しに向けた準備作業及び取出し作業を想定した環境影響評価に必要な技術の一部及び支援ツールを整備するとともに、当該支援ツールを用いて典型的な事象における環境影響評価を試みた。

1F の公開されている情報に基づき、燃料デブリ取出しに向けた準備作業としての水張り時を想定した仮想的な臨界事故シナリオに対して、支援ツールを用いて臨界事故影響評価を試行した。評価手法の適用性を確認する必要から、デブリの配置に関して中性子実効増倍率（ k_{eff} ）が高くなるような仮想的な条件を想定し、RPV 底部、ペDESTAL 内側、及びペDES

タル外側を対象として解析を行ったところ、RPV 底部では総核分裂数の範囲が高々 10^{18} ～ 10^{22} の範囲で求められた。これらの値は計算手法に依存しているので、今後、個々の手法の適用性について詳細な検討を進めることで、より値の範囲を狭めることが可能であると考えられる。デブリの配置について仮想的な条件が成立した場合に限定していることから、これらの値は条件付き確率の下での評価値となっていることに留意すべきである。このような条件を課さなければ、未臨界と評価されるケースが多く、総核分裂数の期待値はもっと小さい値（もしくはゼロ）と、現状では評価される可能性がある。ペDESTAL内外部では臨界になる条件が見つからなかった。精度良い評価のためにはラテン超方格サンプリング（LHS）による計算ケース数を十分に多くとる必要があるが、ケース数が十分であることを確認する判断基準については、別途検討する必要がある。

1F の燃料デブリの再臨界リスクの評価を支援する目的で平成 27 年度に試作した評価支援ツール（RESTORE）に、空間線量評価機能の追加、ガイダンス機能の追加及びインターフェイスの改良を行った。臨界事故時の出力挙動の評価コードを複数追加するとともに、MELCOR、ART-MOD2、RASCAL などのコードを空間線量率の評価に利用できるようにした。今後、事故時の空間線量率の評価精度についての検討が必要である。

燃料デブリの 2 次元形状の反応度効果に関する解析を行ったところ、ほとんどの計算ケースで、 $1/2$ 波長が 1 cm から 10 cm へと変化するとき、 k_{eff} が小さくなるような変化が見られた。このことは、サイズが 1 cm 程度の凹凸を削り取ってサイズが 10 cm 程度以下の凹凸を作ったとしても、 k_{eff} が小さくなる可能性を示している。ここでの計算で確認された、 k_{eff} が小さくなることが期待できるような条件に相応するような、単一の凸を凹にするような条件での計算を今後行うことで、燃料デブリ取出し作業時の臨界防止に有益な情報を得られると考えられる。

13.3 臨界実験による臨界リスク評価基準の妥当性確認

STACY 更新炉の原子炉本体の整備のため、更新炉の詳細設計を行い、更新炉の設計を確定し、規制当局に設計及び工事の方法の申請を行い、審査対応を行った。また、再稼働を見据えた臨界実験炉心の評価として、仏国放射線防護原子力安全研究所（IRSN）と共同で燃料デブリを模擬した炉心の設計を行った。

更新後の STACY 更新炉に必要な設備のうち、高精度実験用水位計の基本設計を実施するとともに再稼働後に人材育成・教育訓練のために使用する STACY 更新炉シミュレータの整備に着手し、実機を模擬した模擬制御盤を製作した。また、高精度水位計で採用する予定のレーザー式水位計が原子炉から受ける放射線量を計算により評価し、水位計が備えるべき耐放射線性についての知見を得た。

デブリ模擬体調製設備について、平成 27 年度までに整備した機器の試運転のため、製作工場において試運転に着手し、良好な結果を得るとともに技術的な課題を確認した。

デブリ模擬体分析設備について、平成 27 年度までに整備した分析設備であるウラン／酸素比測定装置及びペレット密度測定装置の性能確認試験を行い、所要の性能を満足し、幅広い組成で製造する必要がある燃料デブリ模擬体の分析に対して適用可能であることを確認した。

STACY 更新炉のドライバ燃料調達のため、契約した海外燃料加工工場と打合せを行い、技術情報を取得するとともに燃料製作のための準備を整えた。また、燃料製作に先立ち、ドライバ燃料及びデブリ模擬体の原料として使用する二酸化ウラン粉末を調達し、機構が指定した組成に関する基準を満足することを確認した。

13.4 専門家の意見聴取

臨界管理、リスク評価及び燃料材料の専門家 4 名で「福島燃料デブリ臨界評価研究専門部会」を組織し、3 回の会合を持った。1 回目の会合では本事業の計画を、2 回目の会合で本事業の進捗を、3 回目の会合で本事業の成果を検討・議論した。これらの会合には原子力規制庁からもオブザーバーが参加し、コメントしている。

13.1 節に述べたように燃料デブリの臨界特性を大きく左右する組成条件が明らかになったことを受けて、燃料デブリの性状を知ること、中性子増倍率を求める臨界特性解析から、臨界時の挙動評価、さらにリスク評価わたりその性状情報をモデル化すること、その適切さを確認することの重要性が繰り返し指摘された。特に、燃料デブリ取り出しの工法も含めて燃料デブリの性状を知るにあたっては、事業者の計画や作業に依るところが大きく、事業者と連携し情報提供を受けるべき、とされた。

第 14 章 平成 29 年度事業の計画

14.1 臨界条件評価手法の整備

燃料デブリ取出し時の臨界制限量を評価するため、平成 26～28 年度までに拡充した臨界リスク基礎データベースを用いて、燃料デブリ取出し時の臨界制限量の評価を実施する。なお、燃料デブリが取り得る性状範囲に対して、幅広くパラメータサーベイを実施する。

臨界リスク基礎データベースの高精度化を目的として、計算コードシステムの整備を進めるとともに、当該計算コードシステムの妥当性確認に資する軽水炉燃焼燃料の燃焼度及び核分裂生成物濃度測定を実施する。

燃料デブリを模擬した臨界実験の実施に向けた実験設備の整備として、平成 26～28 年度事業に引き続き、臨界実験装置の整備及び臨界実験装置に用いる核燃料の調達に係る準備を進める。また、燃料デブリを模擬した材料（デブリ模擬体）を調製及び分析する装置の運転及び測定条件設定のため、デブリ模擬体の試調整及び試分析を実施する。

具体的には、以下の方法による。

- ① 燃料デブリが生成される過程に関する既存の知見を、文献調査等により収集し、燃料デブリが取り得る性状範囲に関する知見を集積する。また、本事業で実施する臨界実験が、国際的水準で評価して優秀な精度を確保できるよう、臨界実験の計画・設計・施工管理に関する知見を有する国内外の会議等への参加をとおして、当該知見に関する調査及び意見交換を実施する。
- ② 平成 28 年度までに拡充した臨界リスク基礎データベースを用いて、燃料デブリ取出し時の臨界制限量の評価を実施する。燃料デブリの臨界制限量の評価に当たっては、燃料デブリの性状に係るパラメータ（密度、ウラン含有率、水分含有率、非均質性等）を変化させ、当該パラメータに対する燃料デブリの臨界制限量の変化・傾向をまとめる。
- ③ 臨界リスク基礎データベースを高精度化するため、燃料デブリ体系を取り扱うことが可能な計算コードシステムの整備として、燃焼計算コードのシステム化及び新規モンテカルロ計算ソルバーの開発を進める。
- ④ 上記③の燃焼計算コードの妥当性確認に資するため、軽水炉燃焼燃料の燃焼度及び核分裂生成物濃度測定を実施する。
- ⑤ 燃料デブリを模擬した臨界実験の実施に向けて、上記②により集積した燃料デブリが取り得る性状範囲に関する知見を参考とし、実験炉心の構成を検討する。また、平成 26～28 年度事業に引き続き、臨界実験装置の設計、解体・製作・取付け等の工事を順次進める。なお、当該工事に当たっては、実験目的を達成するための臨界実験装置の性能、並びに臨界実験装置及び臨界実験の安全の確保を十分に考慮する。
- ⑥ 臨界実験に用いるデブリ模擬体を調製及び分析する装置の運転及び測定条件設定のため、デブリ模擬体の試調整及び試分析を実施する。
- ⑦ 臨界実験装置に用いる核燃料（燃料デブリ模擬体の原料及びドライバ燃料）について、燃料輸送及び燃料製作の準備を順次進める。

14.2 臨界挙動評価手法の整備

平成 27・28 年度事業に引き続き、放射性物質環境放出等の臨界挙動評価の技術課題に対して検討を行い、燃料デブリ取出しに向けた準備作業及び取出し作業を想定した評価モデルを改良する。また、燃料デブリ取出しを想定した臨界超過シナリオを検討する。

上記の評価モデルを取り入れた支援ツールを拡張し、拡張部分の検証を目的とした典型的な事象に対する評価を試みる。

具体的には、以下の方法による。

- ① 平成 27 年度に検討した放射性物質環境放出等の臨界挙動評価の技術課題のうち、平成 28 年度に検討したもの以外の項目に対して検討を行い、燃料デブリ取出しに向けた準備作業及び取出し作業を想定した評価モデルを改良する。また、平成 28 年度に引き続き、燃料デブリ取出しを想定した臨界超過シナリオを検討する。
- ② 上記①で評価モデルを取り入れた支援ツールを拡張し、拡張部分の検証を目的とした典型的な事象に対する評価を試みる。

14.3 専門家の意見聴取

平成 29 年度事業の実施にあたっては、燃料デブリ、臨界管理等の専門家（4 人程度）と意見交換を 3 回程度行い、実施方法の妥当性を確認しながら進める。

