

JAERI-Tech
2004-036



JP0450398



核融合炉ブランケット材料のための
照射後試験施設に関する検討

2004年3月

山田 弘一・河村 弘・土谷 邦彦・石塚 悦男・内田 宗範
 坏 陽一・本木 良蔵・渡辺 渡・平田 省吾*

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の問合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越してください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 2004

編集兼発行 日本原子力研究所

核融合炉ブランケット材料のための照射後試験施設に関する検討

日本原子力研究所大洗研究所材料試験炉部

山田 弘一・河村 弘⁺¹・土谷 邦彦・石塚 悦男・内田 宗範

坪 陽一⁺²・本木 良蔵⁺³・渡辺 渡⁺⁴・平田 省吾^{*1}

(2004年 2月 1日受理)

本報告書は、核融合炉ブランケット材の照射後特性試験施設を設置するにあたり、施設概念を明らかにし、施設整備の第1段階である材料試験を行うための「トリチウム増殖関連材料実験設備」を焦点にして検討を行ったものである。

核融合炉ブランケット研究開発の一環として、増殖ブランケットの中性子照射下における機能（トリチウム生成回収特性、核熱特性等）を把握するため、JMTRを用いた照射試験（部分モジュールインパイル照射試験）が計画されている。この中性子照射試験後に、照射試験体を解体し、照射試験料の特性試験（残存トリチウム量測定等）を行うことは、照射中の特性を正確に評価する上で必要不可欠である。しかしながら、日本原子力研究所内だけでなく、国内においても、37TBq(1000Ci)規模のトリチウムとγ線源を同時に有する試料の照射後試験を非密封で行える設備はなく、国外においても系統的な試験が行える施設はないのが現状である。加えて、このような照射後試験施設の新規整備には多額の費用が必要となることが予測される。

そこで、本報告書では、合理的な照射後試験施設整備を進めるための検討の一環として、既存施設を有効利用して施設整備を行う場合を想定し、具体的に検討すべき項目やその内容についてのモデルケースをまとめた。具体的な既存施設としては、大洗研究所内に既存のRI利用開発棟を取り上げ、本施設への改造整備方法について検討を行った。検討に際しては、整備費用の合理化を図るとともに、大洗研究所内のJMTRホットラボに点在するブランケット関連照射後試験設備（ベリリウム特性試験設備等）を新設する施設に移設し、研究開発の効率化を図ることとした。なお、RI利用開発棟の設備改造に際しては、ブランケット開発計画スケジュールにあわせて、材料試験のための「トリチウム増殖関連材料実験設備」の整備と、照射キャプセルの解体機能を有する「ブランケット炉工学技術開発設備」の整備の2段階に分けて行う計画とした。

大洗研究所：〒311-1394 茨城県東茨城郡大洗町成田町新堀 3607

+1：那珂研究所核融合工学部

+2：建設部

+3：東海研究所研究炉部

+4：管理部

*1：川崎重工業株式会社

**An Investigation of Post-irradiation Examination Facility
for Fusion Blanket Materials**

Hirokazu YAMADA, Hiroshi KAWAMURA⁺¹, Kunihiko TSUCHIYA, Etsuo ISHITSUKA,
Munenori UCHIDA, Youichi AKUTSU⁺², Ryozou MOTOKI⁺³, Wataru WATANABE⁺⁴ and Shogo HIRATA^{*1}

Department of JMTR,
Oarai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received February 1, 2004)

This report describes the concept of the post-irradiation examination (PIE) facility for fusion blanket materials, and results of an investigation on the experimental facility for tritium breeding related materials, which will be built for materials tests as the first step of arrangement of the PIE facility.

In the framework of the fusion blanket development program related the International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER), an in-pile test using the Japan Materials Test Reactor (JMTR), designated the in-pile functional test of the partial ITER test module, has been planned in order to study the functions of the breeding blanket under neutron irradiation, such as tritium generation and recovery properties and nuclear and thermal properties. It is essential to dismantle the irradiated assembly and to execute property tests of the irradiated specimens, such as measurement of the residual tritium inventory. There is, however, no facility in the Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI), nor in all Japan, where PIE is possible for specimens with tritium of more than 37 MBq (1000 Ci) and γ -source without sealing. Also there is no facility in abroad where systematic PIE can be made. In addition, it is anticipated that a large amount of expense is needed to construct a new PIE facility with these kinds of functions.

Therefore, the present report summarizes a model case of main items and contents to be examined concretely for the arrangement, assuming reconstruction of an existing facility, namely the Radioisotope Application and Development Laboratory in Oarai Research Establishment of JAERI. In this investigation, reduction of construction fee has been pursued, and it has been planned to concentrate in the newly reconstructed facility the blanket-related PIE equipments which are scattered in the JMTR Hot Laboratory, in order to promote efficient research and development

Keywords: Post-irradiation Examination, Facility, Fusion, Blanket, Material, Tritium, Tritium Breeder,
Neutron Multiplier

+ 1 : Department of Fusion Engineering Research, Naka Fusion Research Establishment

+ 2 : Department of Construction

+ 3 : Department of Research Reactor, Tokai Research Establishment

+ 4 : Department of Administrative Services

* 1 : Kawasaki Heavy Industries, Co. Ltd.

目次

1	はじめに	1
2	核融合炉ブランケット照射後特性試験施設の基本構想	2
2.1	検討範囲	3
2.2	設備構成	6
2.3	設計上の留意事項	6
2.4	適用法令、基準及び規格等	7
2.5	放射性同位元素の取り扱い量	7
2.6	耐震条件	8
2.7	施設区分	9
3	セル・グローブボックス及びフードの仕様検討	12
3.1	セル	12
3.1.1	設計条件	12
3.1.2	設備構成及び取合計画	13
3.1.3	仕様	14
3.1.4	セル内装置	16
3.1.5	セル据付のための施工方法検討	17
3.2	グローブボックス	23
3.3	フード	25
4	給排水、電源等のユーティリティ取合配置	26
5	全体系統構成に関する検討	31
5.1	排気管理設備	31
5.1.1	概要	31
5.1.2	設備構成	31
5.1.3	管理区域排気設備	32
5.1.4	トリチウム除去設備	33
5.2	排水管理設備	46
5.2.1	既設系統	46
5.2.2	系統概要	46
5.2.3	高レベル廃液容器の要件	47
5.3	放射線管理設備	54
5.3.1	系統概略	54
5.3.2	機器仕様	54

6	安全性に関する検討	59
6.1	トリチウムの閉じ込め	59
6.1.1	環境への許容トリチウム漏洩量	59
6.1.2	トリチウムを取り扱う機器における許容トリチウム濃度	60
6.1.3	結論	61
6.2	セル遮へい厚さの検討	62
7	まとめ	63
	謝辞	63
	参考文献	64
	付録1：実験設備機器仕様	65
	付録2：トリチウム加熱除去装置	89
	付録3：遮へい計算書	99
	付録4：排気設備系統設計計算書	109
	付録5：耐震計算書	125
	付録6：関連図面集	133

Contents

1	Introduction	1
2	Concept of Post Irradiation Examination for Fusion Blanket	2
2. 1	Objective	3
2. 2	Structure of Facility	6
2. 3	Important Viewpoints on Facility Design	6
2. 4	Laws, Ordinances, and Standard	7
2. 5	Capacity of Radioisotope Handling	7
2. 6	Seismic Conditions	8
2. 7	Installation Categorization	9
3	Specifications about Cell, Glove-box and Hood	12
3. 1	Cell	12
3. 1. 1	Design Conditions	12
3. 1. 2	Structure and Arrangement Plan of Equipments	13
3. 1. 3	Specifications	14
3. 1. 4	Equipments in Cell	16
3. 1. 5	Plan for Construction	17
3. 2	Glove-box	23
3. 3	Hood	25
4	Facility for Utility	26
5	Study for Structure of Utility	31
5. 1	Exhaust Facility	31
5. 1. 1	Outline	31
5. 1. 2	Structure of Facilities	31
5. 1. 3	Exhaust facility for Radiation Controlled Area	32
5. 1. 4	Tritium Removal Facility	33
5. 2	Drainage Control Facility	46
5. 2. 1	Outline	46
5. 2. 2	System Plan	46
5. 2. 3	Study about Vessel for High Level Liquid Waste	47
5. 3	Radiation Control Facility	54
5. 3. 1	System Plan	54
5. 3. 2	Specifications for Equipments	54

6	Study for Safety	59
6. 1	Confinement of Tritium	59
6. 1. 1	Permissible Level of Tritium Release to Environmental	59
6. 1. 2	Permissible Level of Tritium Density in Equipment	60
6. 1. 3	Conclusion	61
6. 2	Study for Shielding for Cell	62
7	Summary	63
	Acknowledgements	63
	References	64
Appendix 1 :	Specification for Experimental Equipments	65
Appendix 2 :	Tritium Heat Remove Equipments	89
Appendix 3 :	Study for Shielding	99
Appendix 4 :	Study for Exhaust Facility	109
Appendix 5 :	Seismic Design	125
Appendix 6 :	The Concerned Drawings	133

1 はじめに

近年の国際熱核融合実験炉（ITER）の工学的研究開発及び核融合原型炉ブランケット研究開発としての核融合炉ブランケット照射試験に関する技術開発の基本方針については、平成4年5月の原子力委員会核融合炉会議における原型炉開発に向けた核融合炉材料開発計画[1]のなかで、「ブランケット第1壁構造材料並びにトリチウム増殖材料、中性子増倍材料等のブランケットは、核融合炉構造そのものを支える材料ではないが、核融合炉の性能を律するばかりでなく、主要機器の寿命に影響を与える重要なものであり、その技術の開発には長時間を要するため、原型炉での本格的な実装を目指して ITER 段階から開発が必要である。」との提言がなされている。さらに、この提言を受けて、同会議が策定を進めている「増殖ブランケットの開発の進め方」[1]において、ITER 運転初期から ITER のテストポートに原型炉増殖ブランケットのテストモジュールを装荷し、14MeV の中性子により照射試験を実施する計画が答申されている。このためには、ITER でのテストモジュール照射試験に先立ち、ブランケット特性の把握と性能の実証試験として「部分モジュールインパイル照射試験」を行う必要があり、平成18年度から JMTR で実施が計画されている。本照射試験ではその場（In-situ）でトリチウム生成・回収特性等を評価するとともに、照射試験後に照射試験体を解体して、トリチウム増殖材料中の残存トリチウム量測定によるインベントリ評価や、各種特性評価することが必要不可欠である。

しかしながら、日本原子力研究所（原研）内だけでなく、国内においても、37TBq(1000Ci)規模のトリチウムと γ 線源を同時に有する試料の照射後試験を非密封で行える設備はなく、国外においても系統的な試験が行える設備はないのが現状である。そこで、本報告書では、合理的な照射後試験施設整備を進めるための検討の一環として、既存施設を有効利用して施設整備を行う場合を想定し、具体的に検討すべき項目やその内容についてのモデルケースをまとめたものである。JMTR 等で照射された核融合炉用トリチウム増殖関連材料等の特性把握を系統的かつ効率的に実施するため「核融合炉ブランケット照射後特性試験施設」を検討した。本施設はブランケット開発計画スケジュールにあわせて、二段階で整備する。第1段階としては、トリチウム増殖材料や中性子増倍材料を開発するための「トリチウム増殖関連材料実験設備」の整備を行い、第2段階として部分モジュールインパイル照射試験で用いた照射キャプセルの解体に加えて炉工学技術の開発を実施するための「ブランケット炉工学技術開発設備」の整備を行う。

2 核融合炉ブランケット照射後特性試験施設の基本構想

核融合炉ブランケット研究開発の全体概要を図 2.1 に、トリチウム増殖関連材料の開発計画を図 2.2 に示す。

部分モジュールインパイル照射試験を実施するにあたっては、材料試験炉 (JMTR) で照射したトリチウム増殖材料、中性子増倍材料等のトリチウム放出特性、機械的特性、熱的特性等を調べるため、非密封トリチウム (β/γ 線) 対応の試験セル、グローブボックス、フード等を備えた核融合炉ブランケット照射後特性試験施設の整備を早急に進めねばならない。また、JMTR ホットラボには、核融合炉ブランケット開発のための研究を目的として、ベリリウム特性試験設備及びインセル加熱試験装置 (OHBS; Oarai Hot-cell electron Beam Irradiation System, 以下「OHBS」という) が設置されている [2]。これらの設備を用いて、中性子増倍材料及びプラズマ対向材であるベリリウムの実機照射条件における高中性子量照射挙動評価が重要課題となっている。JMTR を用いたトリチウム増殖材料、中性子増倍材料等の照射研究の場に対しての核融合炉関係者の期待は大きく、今後益々、非密封トリチウム核種を対象とした研究の頻度が増えるとともに、その使用量の拡大が予想される。合わせて、トリチウムは物理的、化学的特性から密封等について他の放射性同位元素とは異なる管理が必要とされることから、トリチウム取扱専用施設の整備が望まれている。増殖ブランケットの照射開発研究のための必要な施設を図 2.3 に示す。

しかし、JMTRホットラボにおいて対応を図るとなると、次のような諸課題があり、これらを解決しない限り、照射後試験 (Post-irradiation Examination: PIE) 業務の大幅な遅滞、停止等は避けられない。

- (1) トリチウム含有排水設備の新規整備が必要。
- (2) トリチウム放出抑制のための排気設備の新規整備が必要。
- (3) 既設セルをトリチウム増殖材料研究へ転用するとセルが不足してしまうため、新たに β/γ 放出核種に対応する機能を兼ね備えた試験セル等の整備が必要である。そのため現施設での場所の確保は難しく建屋の増築が必要。
- (4) JMTRホットラボのベリリウム特性試験設備が取得している許可体系では、密封されていないトリチウムの取扱数量は、1日あたり最大7.4GBq(200mCi)、3カ月及び年間あたり481GBq(18Ci)となっている。今後の研究計画を遂行する上から、核融合炉ブランケット照射後特性試験設備として運用するには、1日あたり最大7.4TBq(200Ci)、3カ月あたり148TBq(4000Ci)、年間あたり296TBq(8000Ci)まで取扱量の拡大が必要である。その中の一部に相当し、検討対象であるトリチウム増殖関連材料試験設備においては、1日あたり最大7.4TBq(200Ci)、3カ月あたり37TBq(1000Ci)、年間あたり74TBq(2000Ci)の取扱量を有する必要がある。

以上のことから、JMTRホットラボに核融合炉ブランケット照射後特性試験施設を整備することは、施設の大幅な増築、改修等を要するとともに、許認可上の対応においても多大な困難の伴うことが予想される。一方、大洗研究所にあるRI利用開発棟は、近年の研究計画の見直しや施設の維持・管理の観点から新たな利用方法が模索されていた。このため、RI利用開発棟を核融合炉ブランケット照射開発研究の中核施設として整備することを想定して整備計画を策定した。

本検討では、大洗研究所内のRI利用開発棟既設建家等を有効利用して行う核融合炉ブランケット照射後特性試験の第1段階整備である「トリチウム増殖関連材料実験設備」の整備について概念内容の検討を行った。

なお、本報告書の刊行時点での核融合炉ブランケット照射後特性試験施設の整備計画としては、RI利用開発棟の利用ではなく、JMTRの将来計画をふまえての検討を進めている。

2. 1 検討範囲

本報告書では、セルやグローブボックス等の各種設備の構造や形状、重量等の仕様に加えて、それらの配置や給排水・電源等のユーティリティ取合配置、全体系統構成、安全性及び整備計画及び資金計画について検討を行い、その結果を記載するものである。

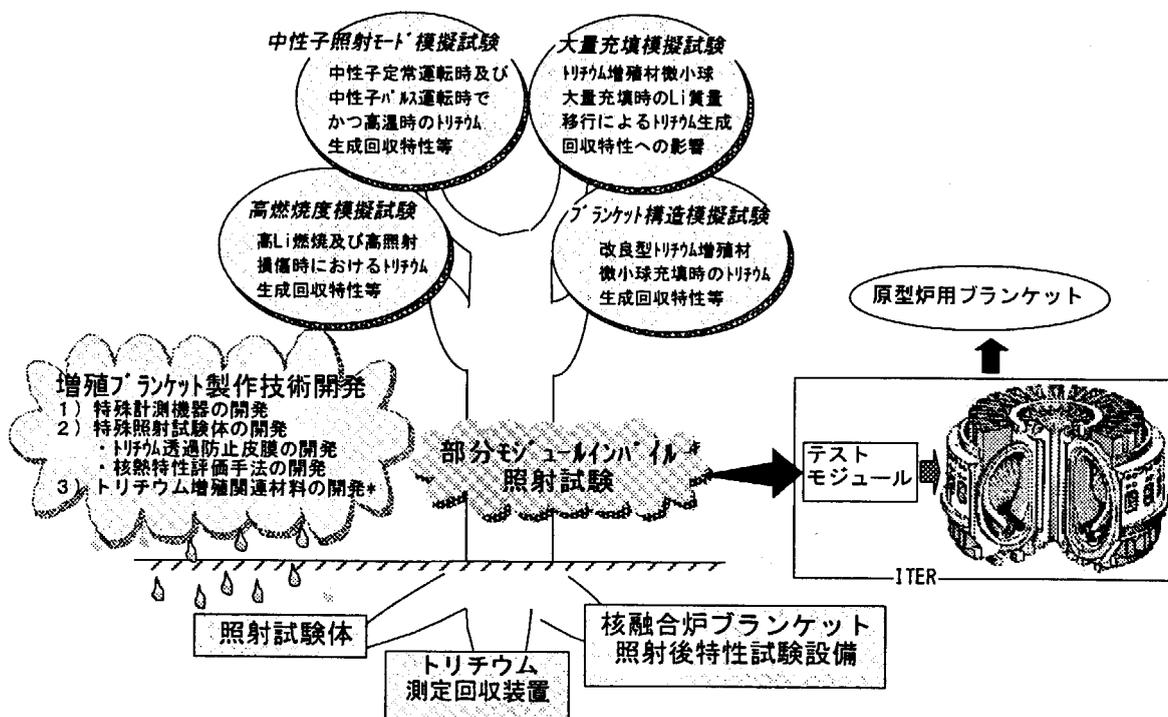


図2. 1 核融合炉ブランケット研究開発全体概要

核融合炉開発	ITER EDA		ITER建設		開発目標
	(2000)	(2005)	(2005)	(2010)	
工学材料段階					
■ トリチウム増殖材 ◇製造技術開発 ・既存材料 ・改良材料 (添加材) ◇特性評価 ・既存材料 ・改良材料 (添加材) ◇選定材の寿命評価試験 (JFMIF利用)	小球製造法 部分モジュールパイル照射試験用材料予備選定	小球/大球製造法 小球製造法 低Li燃焼度等 (各種特性評価) 基本的特性	テストモジュール試験用材料選定 高Li燃焼度 (~20%Li) (既存材料との比較) 高Li燃焼度 (~20%Li) (不純物濃度及び分布の測定) 低He生成等 (各種特性評価)	高He生成 (~2000appmHe) (既存材料との比較)	小球 大球 ・粒径制御 (φ0.1~0.2, 1~2mm) ・リサイクルを念頭に置いた小球/大球同一製造法の確立 ・高Li燃焼時でもトリチウム生成回収特性等に優れた材料の開発
■ 中性子増倍材 ◇製造技術開発 ・既存材料 (ほぼ確立) ・先進材料 (金属間化合物) ◇特性評価 ・既存材料 ・先進材料 (金属間化合物) ◇選定材の寿命評価試験 (JFMIF利用)	試作試験 低He生成等 (各種特性評価) 基本的特性	小球/大球製造法 低He生成等 (各種特性評価) 基本的特性	高He生成 (~5000appmHe) (不純物濃度及び分布の測定) 低He生成等 (各種特性評価)	高He生成 (~2000appmHe) (既存材料との比較)	小球 大球 ・粒径制御 (φ0.1~0.2, 1~2mm) ・リサイクルを念頭に置いた製造法の確立 ・高He生成時でも耐エリゲ性等に優れた材料の開発
■ 利用施設 ◇照射試験施設	熱中性子炉 (JMTR等)、高速炉 (常陽等)、加速器 (TJARA, JFMIF等)				

図2. 2 トリチウム増殖関連材料の開発計画

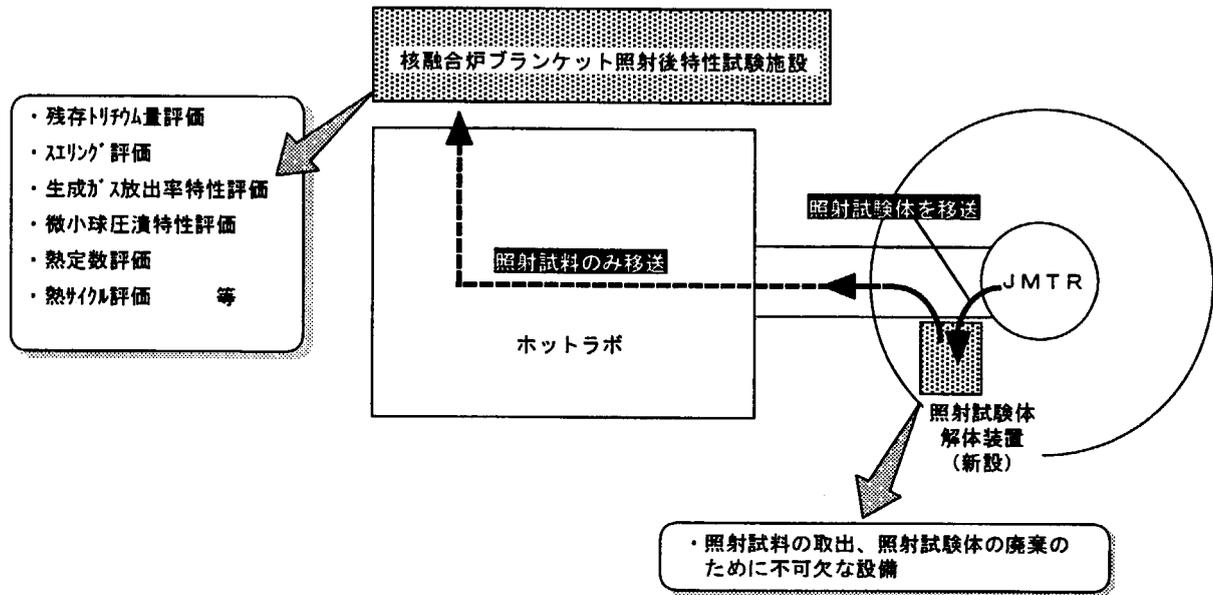


図2. 3 増殖ブランケット照射開発研究のために必要な施設

2. 2 設備構成

トリチウム増殖関連材料実験設備を構成する主な設備と目的を表 2.1 に示す。

表 2. 1 トリチウム増殖関連材料実験設備の構成

設備名称	目的
セル	<ul style="list-style-type: none"> ・ インナーキャプセルの解体及び照射試料の取出し ・ 照射試料の調整及び保管 ・ 廃棄物内トリチウムの除去 ・ 廃棄物の一時保管
グローブボックス	各種照射後試験
フード	各種照射後試験
排気管理設備	<ul style="list-style-type: none"> ・ セル、グローブボックス及びフード内の負圧維持、換気及びトリチウム除去
排水管理設備	<ul style="list-style-type: none"> ・ セル、グローブボックス及びフードから発生する放射性排水の処理 ・ 放射性排水のトリチウム濃度監視
放射線管理設備	<ul style="list-style-type: none"> ・ セルやグローブボックス内のトリチウム漏洩監視 ・ 周辺環境及び作業環境の監視 ・ 個人被ばくの監視
電気設備	<ul style="list-style-type: none"> ・ 各種機器の主要電源（商用電源） ・ 停電時の放射線管理設備及び排気設備電源（非常用電源）
その他附帯設備	<ul style="list-style-type: none"> ・ トラックヤードからセルまでの輸送キャスクの移送（A型輸送容器移送設備） ・ セルからグローブボックスまでの照射試料の移送（照射試料移送設備） ・ 低汚染度レベル廃棄物の保管（保管設備） ・ 空気操作弁の駆動源及びセル内作業用エアラインスーツ空気供給源圧空設備

2. 3 設計上の留意事項

本設備内で取り扱う照射試料及び廃棄物の流れを図 2.4 に示す。図に示す照射試料及び廃棄物の流れを参考し、円滑な作業ができるような設備配置を検討した。また、各種設備の配置は、既設の RI 利用開発棟の設備等を可能な限り活用できるように検討する。なお、トリチウム増殖関連材料実験設備の整備前には、RI 利用開発棟等内にある附属機器を除いた実験機器等は、全て撤去又は移設等の措置を行い、更地化されているものとする。

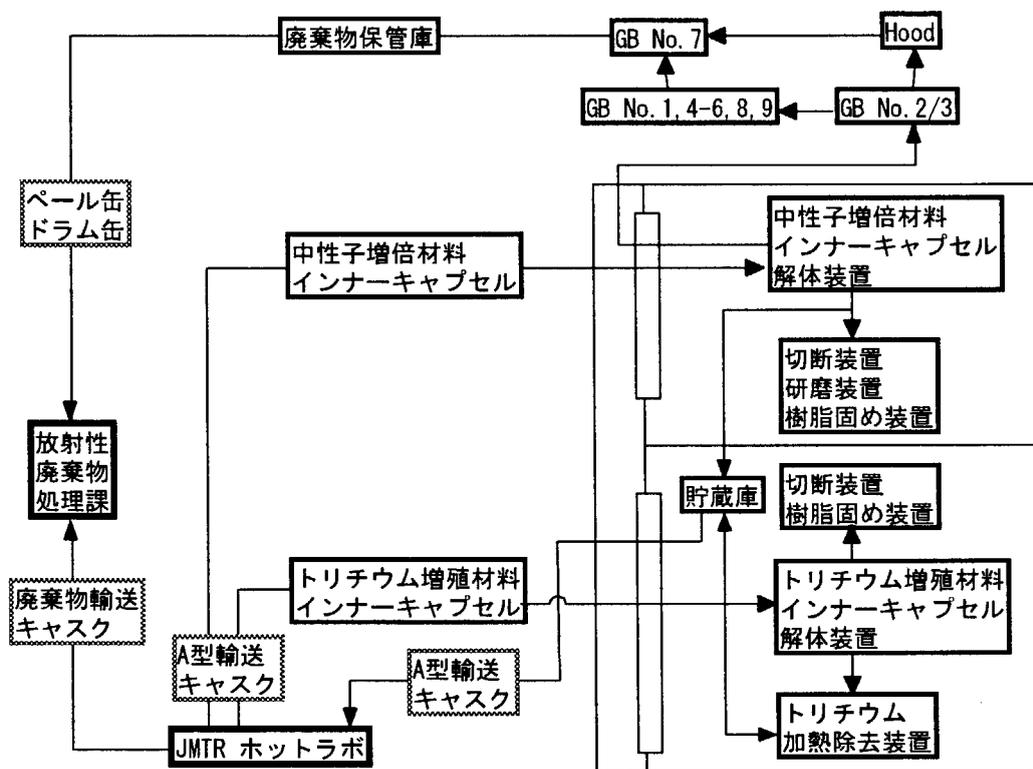


図 2. 4 試料及び廃棄物の流れ

2. 4 適用法令、基準及び規格等

「トリチウム増殖関連材料実験設備」を整備する上で、適用される法令、基準及び規格を以下に示す。なお、本設備では照射キャプセル内のインナーキャプセル及びインナーキャプセル内部に装荷されたトリチウム増殖材及び中性子増倍材のみを取り扱うことから、核原料物質及び核燃料物質は取扱わないものとする。

- (1) 放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律
- (2) 放射線を放出する同位元素の数量等を定める法律
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針
- (4) トリチウム大量取扱施設安全審査専門家検討会報告書
- (5) 日本原子力研究所各種規定及び手引
- (6) 日本工業規格

2. 5 放射性同位元素取り扱い量

(1) トリチウム取り扱い量

「トリチウム増殖関連材料実験設備」では、核融合炉での照射条件相当で照射されたトリチウム増殖材料及び中性子増倍材料の特性測定を目的とするため、本設備での1日の最大取扱量は、トリチウム増殖材料では Li 燃焼度が 20%になるまで照射された場合、

中性子増倍材料では He 生成量が 20000appmHe になるまで照射された場合、それぞれの照射条件で生成されるトリチウム量をもとに設定した。

なお、本設備で 1 日に取り扱うトリチウム増殖材料及び中性子増倍材料試料の量は照射キャプセル 1 本中に装荷されるインナーキャプセル 5 個分 (試料 10g と TZM・タンゲステン製インナーキャプセル 373g) とした。また、3 ヶ月使用数量、年間使用数量及び貯蔵数量はそれぞれ 1 日のトリチウム取扱量の 5 倍、10 倍及び 20 倍として放射性同位元素等の最大取扱数量を設定した。

- | | |
|------------|--------------------------------------|
| 1) 1 日最大数量 | : 7.4×10^{12} Bq (200 Ci) |
| 2) 3 月使用数量 | : 3.7×10^{13} Bq (1000 Ci) |
| 3) 年間使用数量 | : 7.4×10^{13} Bq (2000 Ci) |
| 4) 貯蔵数量 | : 1.48×10^{14} Bq (4000 Ci) |

(2) セルの遮へい能力検討条件

表 2.2 にトリチウム増殖材料及び中性子増倍材料の取扱核種及び取扱量を示す。本取扱量もトリチウム取扱量設定の際の照射条件や試料質量をもとに決定した。なお、セルの遮へい能力検討条件に際しては、インナーキャプセル材料が放射化した場合に、最も γ 線エネルギーの高い放射性物質となる ^{60}Co に着目し、セル遮へい壁厚さの検討条件を、 ^{60}Co の使用量に代表させることとした。各セルにおける ^{60}Co の使用量を以下に示す。

- ・トリチウム増殖材料試験用セル : 1.2×10^7 Bq (0.3mCi)
- ・中性子増倍材料試験用セル : 1.5×10^9 Bq (40mCi)

(3) グローブボックス及びフードにおけるトリチウム取扱量

グローブボックスでのトリチウム取扱量は、1 日の実験等で用いるトリチウム増殖材料及び中性子増倍材料を 1 g と想定して設定した。また、フードについては、1 日の実験等で用いるトリチウム増殖材料微小球 1 粒 (約 2mg) 又は中性子増倍材料微小球 1 粒 (約 0.1g) として設定した。

- | | |
|-----------------------|---|
| 1) セル | : ^3H 7.4×10^{12} Bq (200 Ci) |
| 2) グローブボックス (No. 1~9) | : ^3H 7.4×10^{11} Bq (20 Ci) |
| 3) フード (No. 1~4) | : ^3H 7.4×10^9 Bq (200mCi) |

2. 6 耐震条件

「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律」の適用施設として、耐震重要度分類は、原子力発電所耐震設計技術指針に基づき、以下のように設定する。

- | | |
|--------------|--------------------------|
| (1) セル | : 原子力発電所耐震設計技術指針 B クラス相当 |
| (2) グローブボックス | : 原子力発電所耐震設計技術指針 B クラス相当 |
| (3) フード | : 原子力発電所耐震設計技術指針 C クラス相当 |

(4) 制御設備 : 原子力発電所耐震設計技術指針Cクラス相当

2. 7 施設区分

現在 RI 利用開発棟が取得している核燃料物質使用施設としての許認可は継続しない。
また、使用目的の変更に先立ち、放射性同位元素使用施設として使用変更許可申請を行う。

表 2. 2 トリチウム増殖材料及び中性子増倍材料 取扱各種及び取扱量

核種	1日最大 使用数量 (Bq)	3月間使用数量 (Bq)	年間使用数量 (Bq)
^3H	7.22×10^{12}	3.61×10^{13}	7.22×10^{13}
^{10}Be	1.27×10^6	6.35×10^6	1.27×10^7
^{14}C	3.77×10^3	1.89×10^4	3.77×10^4
^{32}P	6.81×10^0	3.41×10^1	6.81×10^1
^{35}S	1.85×10^{-3}	9.25×10^{-3}	1.85×10^{-2}
^{36}Cl	6.32×10^1	3.16×10^2	6.32×10^2
^{37}Ar	1.76×10^6	8.80×10^6	1.76×10^7
^{39}Ar	3.00×10^5	1.50×10^6	3.00×10^6
^{41}Ca	2.23×10^1	1.12×10^2	2.23×10^2
^{45}Ca	3.88×10^8	1.94×10^9	3.88×10^9
^{47}Ca	1.27×10^{-1}	6.35×10^{-1}	1.27×10^0
^{46}Sc	3.32×10^{10}	1.66×10^{11}	3.32×10^{11}
^{47}Sc	6.83×10^1	3.42×10^2	6.83×10^2
^{52}Cr	1.71×10^5	8.55×10^5	1.71×10^6
^{54}Mn	2.34×10^9	1.17×10^{10}	2.34×10^{10}
^{55}Fe	6.33×10^9	3.17×10^{10}	6.33×10^{10}
^{59}Fe	4.48×10^7	2.24×10^8	4.48×10^8
^{60}Co	1.49×10^9	7.45×10^9	1.49×10^{10}
^{63}Ni	4.60×10^2	2.30×10^3	4.60×10^3
^{64}Cu	7.98×10^7	3.99×10^8	7.98×10^8
^{65}Zn	3.21×10^{-4}	1.61×10^{-3}	3.21×10^{-3}
^{89}Sr	3.52×10^7	1.76×10^8	3.52×10^8
^{90}Sr	8.80×10^3	4.40×10^4	8.80×10^4
^{90}Y	8.81×10^3	4.41×10^4	8.81×10^4
^{91}Y	1.09×10^8	5.45×10^8	1.09×10^9
^{93}Zr	1.14×10^5	5.70×10^5	1.14×10^6
^{95}Zr	8.10×10^9	4.05×10^{10}	8.10×10^{10}
^{92}Nb	6.24×10^8	3.12×10^9	6.24×10^9
$^{93\text{m}}\text{Nb}$	6.62×10^7	3.31×10^8	6.62×10^8

核種	1日最大 使用数量 (Bq)	3月間使用数量 (Bq)	年間使用数量 (Bq)
^{94}Nb	1.02×10^4	5.10×10^4	1.02×10^5
^{95}Nb	1.73×10^{10}	8.65×10^{10}	1.73×10^{11}
^{93}Mo	1.39×10^9	6.95×10^9	1.39×10^{10}
^{99}Mo	1.09×10^1	5.45×10^1	1.09×10^2
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1.04×10^1	5.20×10^1	1.04×10^2
^{99}Tc	8.01×10^8	4.01×10^9	8.01×10^9
$^{117\text{m}}\text{Sn}$	4.67×10^4	2.34×10^5	4.67×10^5
$^{119\text{m}}\text{Sn}$	1.34×10^4	6.7×10^4	1.34×10^5
$^{121\text{m}}\text{Sn}$	3.38×10^2	1.69×10^3	3.38×10^3
^{123}Sn	1.78×10^2	8.90×10^2	1.78×10^3
^{125}Sn	1.53×10^0	7.65×10^0	1.53×10^1
^{124}Sb	8.98×10^1	4.49×10^2	8.98×10^2
^{125}Sb	3.87×10^4	1.94×10^5	3.87×10^5
$^{125\text{m}}\text{Te}$	1.58×10^4	7.90×10^4	1.58×10^5
^{182}Ta	8.55×10^9	4.28×10^{10}	8.55×10^{10}
^{181}W	1.48×10^{10}	7.40×10^{10}	1.48×10^{11}
^{185}W	9.15×10^{11}	4.58×10^{12}	9.15×10^{12}
^{238}Pu	4.63×10^0	2.32×10^1	4.63×10^1
^{239}Pu	1.38×10^0	6.9×10^0	1.38×10^1

3 セル・グローブボックス及びフードの仕様検討

3. 1 セル

3. 1. 1 設計条件

本設備におけるセルは、セル内汚染の局所化及びメンテナンス作業のため、二部屋に仕切り、それぞれトリチウム増殖材料用セル、中性子増倍材料用セルとした。セル内仕切りには照射試料の移動のための試料出入口ポートを設け、セルの背面にはセル内装置の保守のためのアイソレーションルームを設けるものとした。アイソレーションルームにはホイストを設置し、セル内装置の一時待避や照射試料輸送の際の輸送キャスク取り回しに用いる。また、アイソレーションルームにセル内装置収納容器を設けるとともに、トリチウムの除去及び監視ができるものとした。

セル基礎が建屋基礎と干渉しないようセル基礎は柱芯より 1000mm 以上距離をおくものとする。トリチウム増殖関連材料実験設備に整備するセルに関する各種諸元を下表に示す。

使用目的	インナーキャプセルの解体 照射試料の取出し 照射試料の調整及び保管、 廃棄物内トリチウムの除去 廃棄物の一時保管
必要機能	γ線遮蔽、トリチウム格納 インナーキャプセル、照射試料、廃棄物の搬出入 廃棄物内トリチウム除去 放射化廃棄物の保管
トリチウム取扱量	7.4×10^{12} Bq/日 (200Ci/日) [非密封]
耐震条件	原子力発電所耐震設計技術指針 B クラス相当
遮へい条件	セル表面での表面線量当量率が $20 \mu\text{Sv/h}$ を超えないこと。

なお、上記の必要機能における具体的な諸条件は以下のとおりである。

(1) トリチウム格納条件

セル内雰囲気は不活性ガス雰囲気中で水分等不純物の濃度管理が可能なこととし、セルの気密度は 0.1 vol%/h(差圧 294.2 Pa)で負圧維持によるトリチウムの外部への漏洩が防止できることとする。

また、セル気密はステンレス鋼板製のライニングにより確保する。ライニングは除染を容易にするため#400 のバフ研磨仕上とする。

セル内は微負圧 $294.2 \pm 196\text{Pa}$ ($30 \pm 20\text{mmAq}$) 程度に維持する。

(2) 搬出入操作条件

セルへのインナーキャプセル搬入及び放射性廃棄物搬出は JMTR ホットラボ所有の A 型輸送キャスクを用いる。本検討で取り扱っている A 型輸送キャスク概略図を図 3.1 に示す。A 型輸送キャスクへの試料及び廃棄物の搬出入は、セル背面に設置する横型の A 型輸送キャスク取合ポートにより行う。A 型輸送キャスクにより搬入した照射済みインナーキャプセルはセル内で解体し、照射後特性試験用の試料を取出し密封容器に回収できる構造とした。

インナーキャプセルから取出した低線量率の照射後特性試験用試料をグローブボックスで試験に供するための取合ポートをセルに設ける。セル内の試料及び機器は遠隔にて操作するためマニプレータを使用する。A 型輸送キャスク内部ドロワは別途トングで操作する。セル内の重量物の移動のためのセル内クレーンを設置する。

(3) 廃棄物内トリチウム除去

解体後のインナーキャプセル等のトリチウム含有廃棄物は、加熱により、内部のトリチウムを回収除去する。

(4) 廃棄物の一時保管

未解体のインナーキャプセル等の廃棄物を一時保管するため、一時保管用待避容器を設置する。

3. 1. 2 設備構成及び取合計画

セルの設備構成及び取合計画を図 3.2 に示す。

3. 1. 3 仕様

本設備において整備されるセルの構成と概略寸法、付帯設備を以下に示す。なお、本設備におけるセル内寸法はセル内の設置する機器及び輸送キャスクからの試料取り出し等の取り扱いから決定した。

セル等の構成	トリチウム増殖材料用セル 中性子増倍材料用セル アイソレーションルーム
概略寸法	幅(W)5550mm×奥行(D)2000mm×高さ(H)3000mm
セル付帯設備	マニプレータ（トリチウム増殖材料用セル及び中性子増倍材料用セルに各1対、計2対） トング（トリチウム増殖材料用セルに1基） クレーン（トリチウム増殖材料用セル側1基＋中性子増倍材料用セル側1基、計2基） 照明装置（トリチウム増殖材料用セル側1基＋中性子増倍材料用セル側1基、計2器） 遮蔽窓（トリチウム増殖材料用セル側1基＋中性子増倍材料用セル側1基、計2基） セル間しゃへい扉・試料出入ポート（セル間の壁に1基） 消火設備（トリチウム増殖材料用セル側1基＋中性子増倍材料用セル側1基、計2器） 出入扉（試料出入ポート付） 天井部・給排気設備（2式）しゃへい付 セル内機器操作箱（1基）
アイソレーションルーム付帯装置	出入扉（1基） バッグアウトポート（1基） クレーン（1基） エアーラインスーツ（1式） 天井部・給排気設備（1式）

セル本体を構成するトリチウム増殖材料用セル及び中性子増倍材料用セル及びアイソレーションルームに関する概略仕様を下記する。合わせて、各種付帯設備の仕様を下記する。

(1) トリチウム増殖材料用セル

- 遮蔽厚 : SS400 材換算 320mm
- 内寸 : W2040mm×D1350mm×H2080mm
- 内面 : ステンレス鋼製ライニング施工

○材質 : SS400 材製

○構造

床面にベースプレートを設置し、ベースプレート上に厚さ 320mm の鉄製しゃへい体を据えつけた構造とする。しゃへい体の接続は、組立時ボルト固定とし、その後、溶接固定とした構造とする。セル内は窒素ガスまたは空気雰囲気とし $294.2 \pm 196\text{Pa}$ ($30 \pm 20\text{mmAq}$) に耐える構造体とする。

(2) 中性子増倍材料用セル

○遮蔽厚 : SS400 材換算 285mm

○内寸 : W2565mm×D1350mm×H2080mm

○内面 : ステンレス鋼製ライニング施工

○材質 : SS400 材製

○構造

床面にベースプレートを設置し、ベースプレート上に SS400 材製しゃへい体を据えつけた構造とし、しゃへい体の接続は、組立時ボルト固定とし、その後、溶接固定とした構造とする。セル内雰囲気は窒素ガスと空気の混合ガスとし、圧力条件 $-294.2 \pm 196\text{Pa}$ ($-30 \pm 20\text{mmAq}$) に耐える構造体とする。

(3) アイソレーションルーム

○内寸 : W5340mm×D2000mm×H2400mm

○内面 : ステンレス鋼製ライニング施工

○材質 : SS400 材製

○構造 : 骨格部に鉄骨構造体で構成。壁部はアクリルボードで構成。

(4) 主要付帯設備の仕様

1) セル内クレーン

セル内の機器 ($\sim 200\text{kg}$) の取り扱いや移動、トリチウム増殖材料用セルでは試料輸送時の輸送キャスク (約 1000kg) の取り扱いのために、トリチウム増殖材料用セル及び中性子増倍材料用セルに各 1 基整備する。

定格荷重 1 トン用

走行式 吊具部回転位置出型

昇降ストローク 1300mm

主要部材 SUS304 材

2) アイソレーションルーム内クレーン

試料輸送時の輸送キャスク (約 1000kg) 取り回しのために整備する。

電気ホイスト	キトー社製・ERM010-S (横行付)
定格荷重	1 トン用
昇降ストローク	1500mm
主要部材	SS400 材

3) マニプレータ

トリチウム増殖材料用セル及び中性子増倍材料用セルに各 1 対づつ整備する。マニプレータについては、セル内での試料調整や試料の取り扱いの際に必要なハンドリング容量とマニプレータ作動範囲の広さ及び他のセルに於ける使用実績等をもとに機種選定を行った。

メーカー	HWM社製・A100 型
保持容量	約 25kg
数量	2 対(各セル室につき 1 対)
型式	完全気密型

4) トング

トリチウム増殖材用セルでの試料取り出しの際、試料輸送時に輸送キャスクの内部ドロワを出し入れするために整備する。

メーカー	ヨシザワ L A 社製・SB201 型相当
数量	1 基
用途	A 型輸送キャスク内部ドロワ

(5) その他の付帯設備

セル付帯設備及びアイソレーション付帯設備の仕様緒言を以下に示す。

1) セル付帯設備

・照明灯	500W ハロゲンランプ
出入扉	開口寸法：W800mm×L800mm* *扉部に R I ポートが設置されているものとする。
試料出入ポート	開口寸法：W200mm×L200mm
遮へい窓寸法	W800mm×H600mm
ライニング仕様	SUS304 製 (厚さ 5mm) 表面処理：#400 バフ仕上げ

2) アイソレーションルーム付帯設備

内用蛍光灯	40W×8 本
出入用気密扉	開口寸法 W800mm×H2000mm

3. 1. 4 セル内装置

セル内装置ならびにグローブボックス及びフード内に設置されるトリチウム増殖関連材料

実験設備の機器仕様を付録1「実験設備機器仕様」に示す。また、これらの実験装置のうちトリチウム加熱除去装置に関する詳細な検討については付録2「トリチウム加熱除去装置概念検討書」に示す。

3. 1. 5 セル据付のための施工方法検討

セル据付工事の施工要領及び施工手順について検討を実施した。

検討条件として、セル設置場所の基礎は、更地にて受渡されるものとする。なお、機器と取り合う基礎設定位置は、基礎ボルト配置図に基づき箱抜き状態で受渡されるものとする。一方、機器搬入通路に位置する既設建物の壁部あるいは建具については、本据付作業着工前に仮撤去されているものとする。詳細な据付要領についての検討結果を次ページ以降に示す。

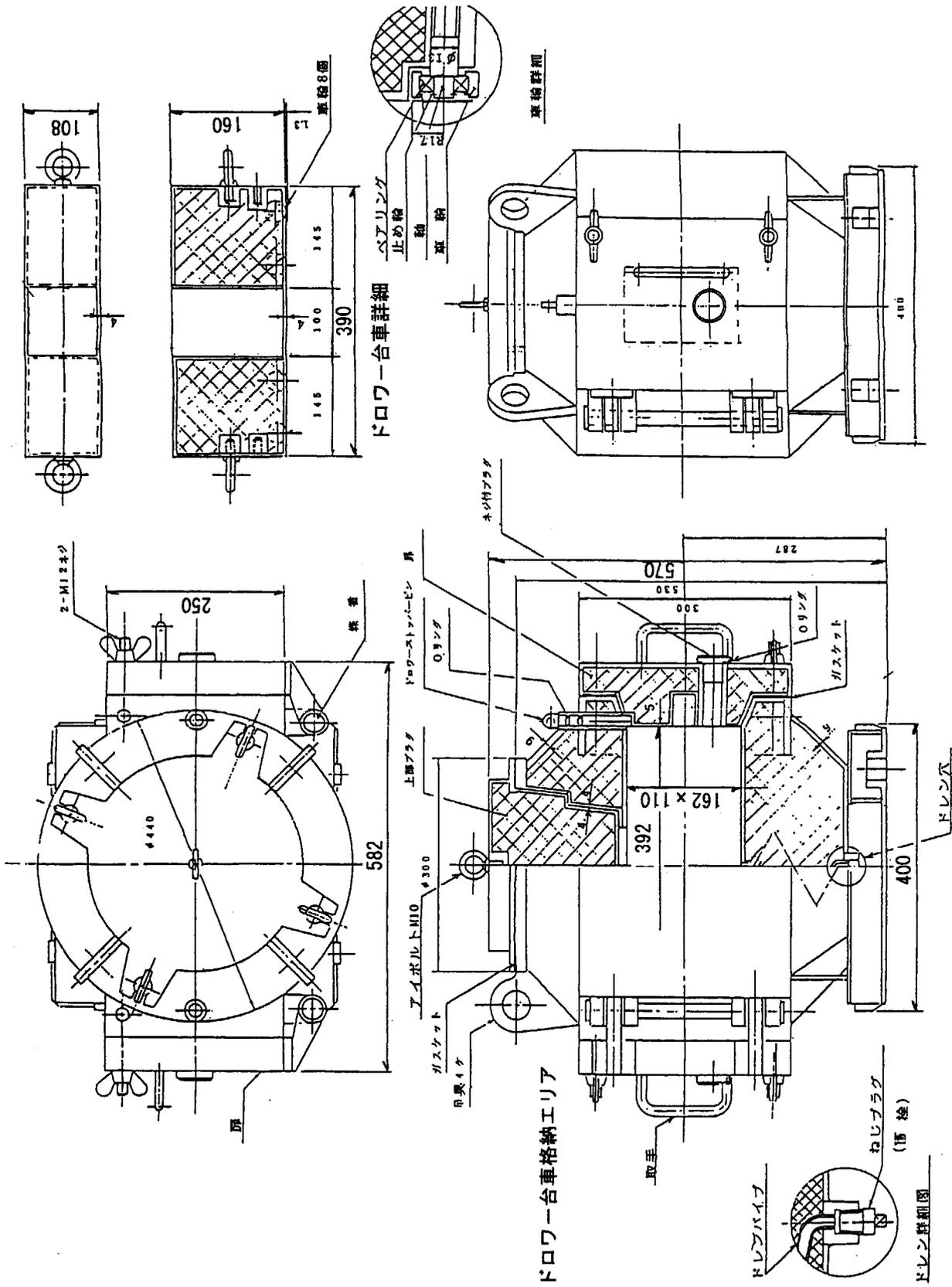


図 3. 1 A 型輸送キヤスク概略図

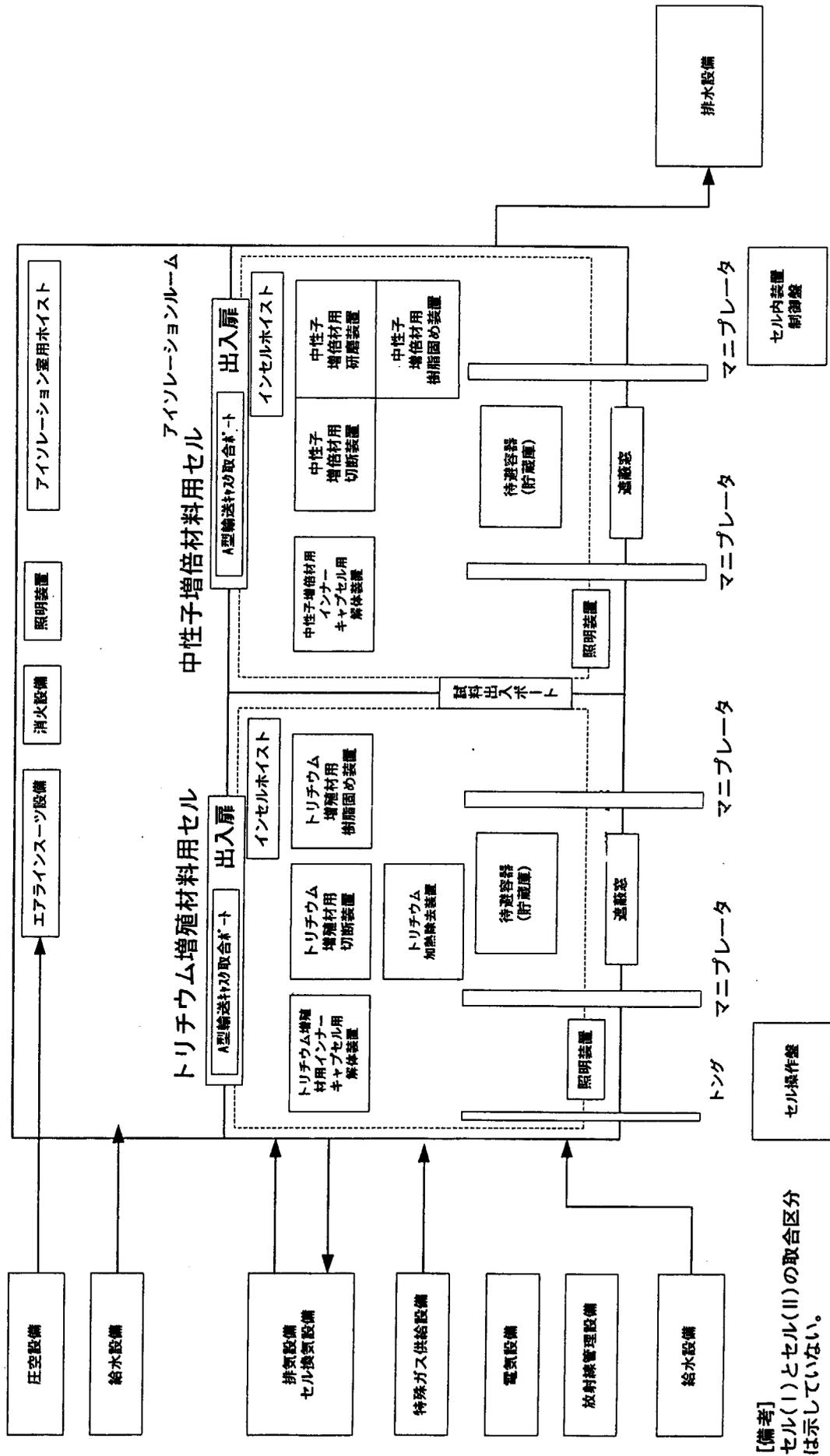
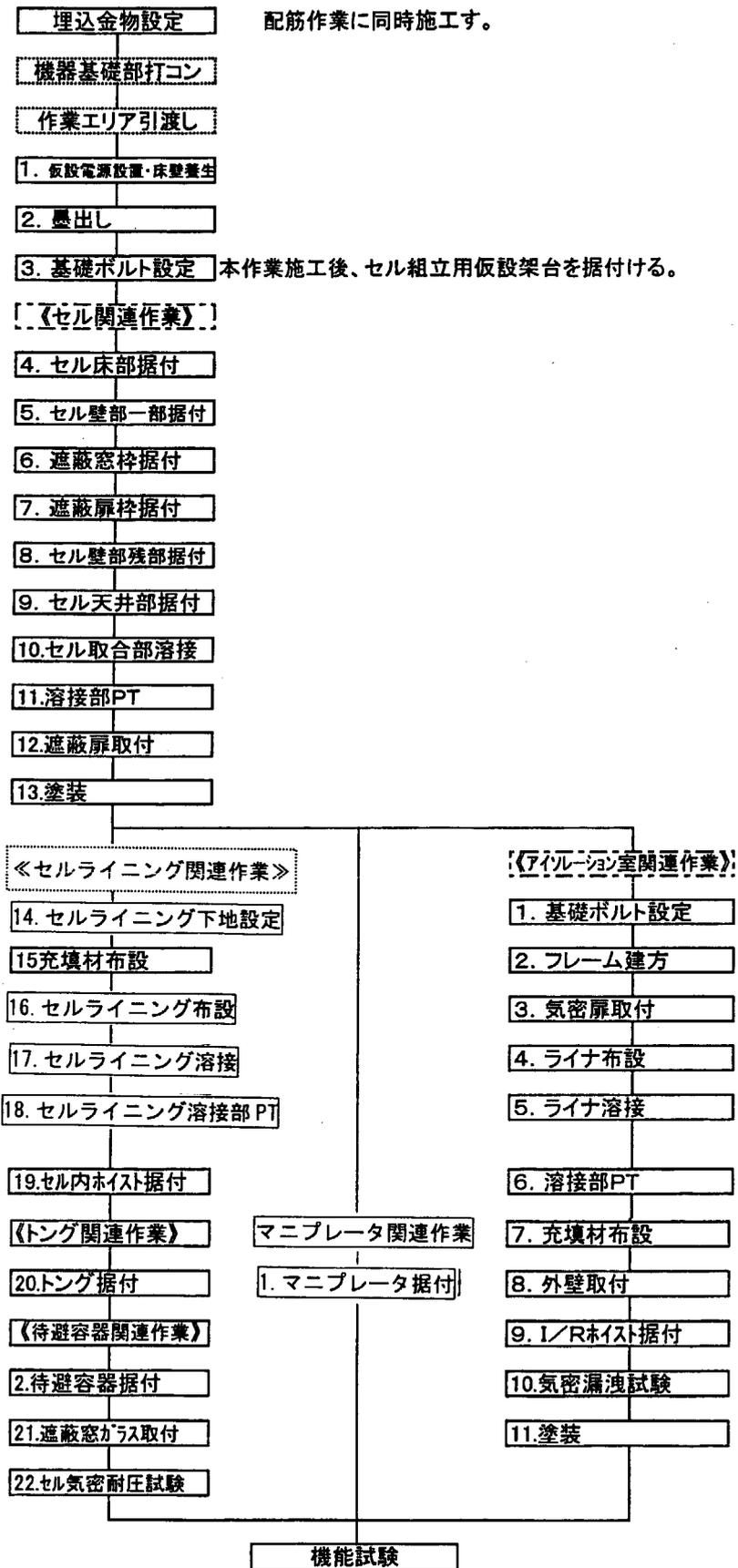


図 3. 2 セルの設備構成及び取合計画

施工要領

1. 施工フロー

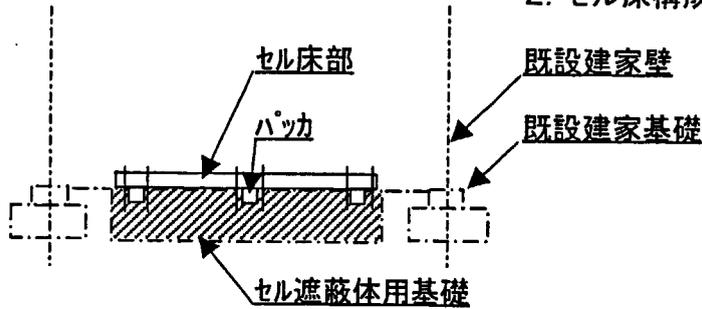


セル遮蔽体据付要領

1. パッカ設定＋セル床部据付

作業手順

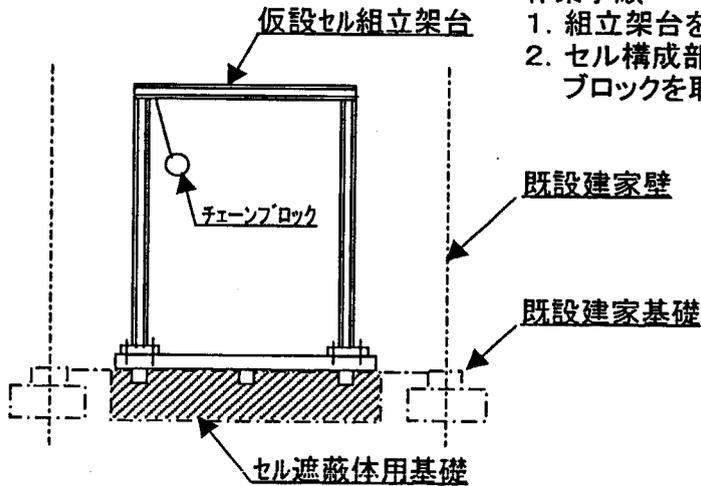
1. パッカを均一に設定する。
2. セル床構成部材を搬入、布設する。



2. セル組立用仮設架台据付

作業手順

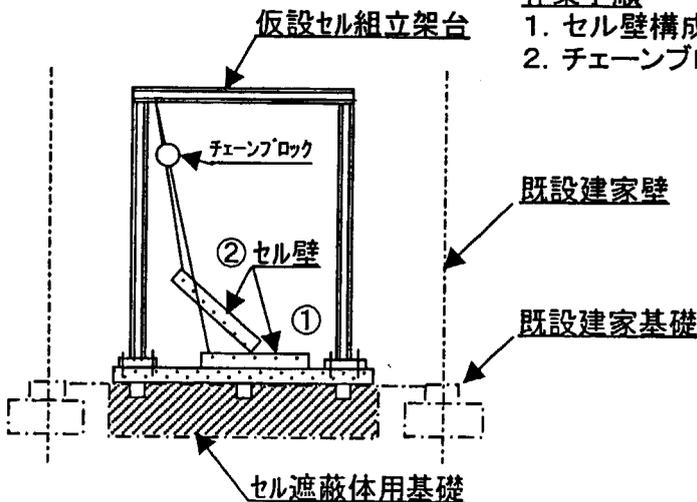
1. 組立架台を据付ける。
2. セル構成部材吊込み用チェーンブロックを取付ける。



3. セル壁構成部材吊込み

作業手順

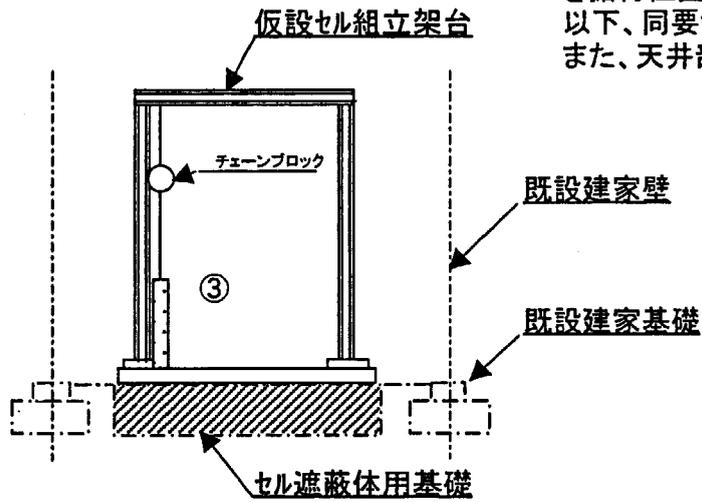
1. セル壁構成部①を据付場所へ搬入。
2. チェーンブロックにて据付位置へ吊込み。



4. セル壁構成部材据付

作業手順

1. チェーンブロックにてセル壁構成部材を据付位置へ引き込み設定する。
以下、同要領にてセル壁を組立てる。
また、天井部材も同様である。



3.2 グローブボックス

本設備には、JMTR ホットラボ既設のベリリウム特性試験設備からグローブボックス 6 基 (GB-No.1~GB-No.6) として移設するとともに、3 基のグローブボックス (GB-No.7 ~GB-No.9) を新規製作する。グローブボックスの基本仕様を以下に示す。また、各グローブボックスの仕様を表 3.2 に示す。

(1) グローブボックス基本仕様

型式	: 自立型、両面パネル式
基数	: 9 基
材質	: アクリル樹脂、オーステナイト系ステンレス鋼
内部雰囲気	: 窒素ガス
気密度	: 0.1 vol%/h (差圧 294Pa)
耐圧	: -294±196Pa(-30±20mmAq)
トリチウム取扱量	: 7.4×10^{11} Bq / 日(1 基あたり)
設置場所	: グローブボックス室(1) [GB-No.1~GB-No.6] グローブボックス室(2) [GB-No.7~GB-No.9]
耐震クラス	: Bクラス

表 3.2 各グローブボックス仕様

a) 既設グローブボックス仕様

仕様項目		GB-No.1	GB-No.2	GB-No.3	GB-No.4	GB-No.5	GB-No.6
寸法 (mm)	本体	W1200 ×L3200 ×H2000	W1200 ×L3100 ×H2000		W1200 ×L2200 ×H2200	W800 ×L1700 ×H2000	W1200 ×L2000 ×H2000
	グローブ ボックス管 体部	W1000 ×L2400 ×H1800	W1000 ×L2400 ×H1800		W1000 ×L1500 ×H1800	W700 ×L1300 ×H2000	W1000 ×L2000 ×H1800
重量 (kg)	本体	約 500	約 485		約 410	約 315	約 420
	内部機器	約 200	~70	~45	約 200	約 200	~100
目的		トリウムガス 放出測定	試料調整、寸法測定 及びセル間との試料 や廃棄物の移送準 備、試料の化学的 な調整及び汎用		熱定数測 定	圧潰試験	試料の質 量測定及 び光透過 率測定
内部機器		トリウムガス 放出装置	TEM* 観 察 / 破面 観察用試 料調整装 置、 イオン研 磨装置 (暫定)	制 御 装 置、金蒸 着装置、 小型低速 精密切断 機	熱定数測 定装置	圧潰試験 装置	質量測定 用電子天 秤、光透 過率測定 装置

* TEM:透過型電子顕微鏡

b) 新設グローブボックス仕様

仕様項目		GB-No.7	GB-No.8	GB-No.9
寸法 (mm)	本体	W800 ×L2200 ×H2200	W800 ×L2200 ×H2200	W800 ×L2200 ×H2200
	重量 (kg)	約 500	約 500	約 500
	内部機器	約 100	約 50	約 60
目的		トリウム加熱放出実験	熱サイクル試験	熱膨張試験
内部機器		トリウム加熱放出装置	熱サイクル試験装置	レーザ熱膨張計

3.3 フード

本設備には、4基のフード（No.1～No.4）を新規製作する。各フードの共通仕様を以下に示す。また、各フードの仕様を表3.3に示す。

型式	前面扉式
基数	4基
要部材質	アクリル樹脂、オーステナイト系ステンレス鋼
トリチウム取扱量	7.4GBq/日(200mCi/日)(1基あたり)
設置場所	フード No.1、No.3 及び No.4 : フード室(1) フード No.2 : フード室(2)
耐震条件	耐震設計技術指針 C クラス
窓部流速	窓半開き状態で 0.5m/s 以上

表 3.3 各フードの仕様

	フード No.1	フード No.2	フード No.3	フード No.4
寸法 (mm)	W2000 ×L2000 ×H2000	W2000 ×L2000 ×H2000	W2000 ×L2000 ×H2000	W1800 ×L750 ×H2200
材質	SUS304、アクリル製等			
目的	SIMS ^{*1} 用 試料調整及び一時保管	TEM ^{*2} 観察用 試料調整及び一時保管	ICP-mass ^{*3} 用 試料調整	トリチウムモニタ溶解試験及び汎用

* 1 : 二次イオン質量分析装置

* 2 : 透過型電子顕微鏡

* 3 : 高周波プラズマ発光質量分析装置

4 給排水、電源等のユーティリティ取合配置

本章においては、トリチウム増殖関連材料実験設備の給排水、電源等のユーティリティ取合配置に係わる検討結果について示す。具体的な検討結果として、トリチウム増殖関連材料実験設備の給排水、ガス等のユーティリティに関する使用量を表 4.1 に示す。また、トリチウム増殖関連材料実験設備の電源使用量を表 4.2 に示す。これから各室の必要電源容量を表 4.3 にまとめる。

表 4. 1 ユーティリティリスト

ユーティリティ	使用設備/機器	使用条件				使用量		使用頻度	備考
		供給圧力	供給温度 ℃	流量		通常 Nm ³ /d	最大 Nm ³ /d		
				通常 Nm ³ /h	最大 Nm ³ /h				
窒素ガス	セル	1000 mmAq	RT	0	18	0	135	間欠	雰囲気置換用
	グローブボックス	1000 mmAq	RT	0	24	0	180	間欠	雰囲気置換用
	グローブボックス バスボックス	1000 mmAq	RT	0	12	0	4	間欠	雰囲気置換用
	セル トリチウム除去設備	0.5 kg/cm ² G	RT	0	12	0	2	間欠	系統バージ用 再生用
	グローブボックス トリチウム除去設備	0.5 kg/cm ² G	RT	0	12	0	2	間欠	系統バージ用 再生用
	SIMS装置	0.5 kg/cm ² G	RT					間欠	装置大気開放用 7m ³ /年
水素4%含有窒素ガス	トリチウム除去設備	1 kg/cm ² G	RT	0.0025	0.0025	0.06	0.06	間欠	再生用
水素1%含有ヘリウムガス	トリチウム放出実験装置装置	0.5 kg/cm ² G	RT	0.012	0.012	0.10	0.10	間欠	バージ用
ネオンガス	トリチウム放出実験装置装置	0.5 kg/cm ² G	RT	0.012	0.012	0.10	0.10	間欠	測定用
アルゴンガス	ICP-mass	7 kg/cm ² G	RT	1.2	1.2	9.60	9.60	間欠	
圧縮空気	エアラインスーツ用	1000 mmAq	RT	0	5	0	40	間欠	雰囲気置換用
	格納系雰囲気置換用	1000 mmAq	RT	0	24	0	180	間欠	雰囲気置換用
	空気作動弁	5~7 kg/cm ² G	RT	5	5	120	120	連続	
上水	洗浄用	5~7 kg/cm ² G	RT	1	6	6	48	間欠	
冷水	セル トリチウム除去設備	3 kg/cm ² G	4	0.15	0.3	3.6	7.2	連続	
	トリチウム加熱除去装置	3 kg/cm ² G	15	2.1	2.1	16.8	16.8	連続	
	グローブボックス トリチウム除去設備	3 kg/cm ² G	4	0.5	1	12	24	連続	
	トリチウム加熱放出装置	3 kg/cm ² G	5	0.18	0.18	1.44	1.44	連続	
	熱膨張率試験装置	1.5 kg/cm ² G	4	0.12	0.12	0.96	0.96	連続	
	ICP-Mass	3 kg/cm ² G	15	0.3	0.3	2	2	連続	
	TEM装置	3 kg/cm ² G	15	0.54	0.54	4	4	連続	
	トリチウムモニタ溶解試験装置	3 kg/cm ² G	15	0.12	0.12	1	1	連続	
	その他試験検査装置	3 kg/cm ² G	10	0.12	0.12	2.9	2.9	連続	

SIMS: Secondary ion mass spectrometry (2次イオン質量分析計)

TEM : transmission electron microscope (透過型電子顕微鏡)

ICP-mass : Inductively Coupled Plasma-massr (高周波プラズマ発光質量分析装置)

表 4. 2 電気負荷リスト (1/2)

設備名称	負荷名称	電源条件				容量		使用頻度	備考
		負荷電圧	相数	周波数	種別	商用系	非常系		
						kVA	kVA		
V	Hz								
セル	MSM	24	DC	-	商用	1		間欠	
セル	照明設備	100	1	50	商用	1		連続	
セル	気密扉	200	3	50	商用	1		間欠	
セル	インセルホイスト	200	3	50	商用	0.8		間欠	
セル	インセルモニタ	100	1	50	非常用		1	連続	
セル	セル操作盤	100	1	50	非常用		1	連続	
セル	予備コンセント	100	1	50	商用	3		保守	
セル	アクリル室/照明設備	100	1	50	商用	2		連続	
セル	アクリル室ホイスト	200	3	50	商用	0.4		間欠	
セル内試験装置	トリチウム増殖材用イオンキャビティ解体装置	100	1	50	商用	6		連続	
セル内試験装置	トリチウム増殖材用切断装置	100	1	50	商用	15		間欠	
セル内試験装置	トリチウム増殖材用樹脂固め装置	-	-	-	-	-		間欠	
セル内試験装置	イオンキャビティトリチウム加熱除去装置	200	3	50	商用	15		連続	
セル内試験装置	トリチウム加熱除去装置	100	1	50	商用	1		連続	
セル内試験装置	中性子増倍材用イオンキャビティ解体装置	100	1	50	商用	2		間欠	
セル内試験装置	中性子増倍材用イオンキャビティ解体装置	200	3	50	商用	2		間欠	
セル内試験装置	中性子増倍材用切断装置	100	1	50	商用	15		間欠	
セル内試験装置	中性子増倍材用研磨装置	100	1	50	商用	15		間欠	
セル内試験装置	中性子増倍材用樹脂固め装置	-	-	-	-	-		間欠	
グローブボックス	照明設備/予備コンセント	100	1	50	商用	9		間欠	
グローブボックス内試験装置	トリチウム放出実験装置	100	1	50	商用	1.25		間欠	
グローブボックス内試験装置	イオン研磨装置	-	-	-	-	-		間欠	
グローブボックス内試験装置	金蒸着装置	-	-	-	-	-		間欠	
グローブボックス内試験装置	小型低速精密切断機	100	1	50	商用	0.1		間欠	
グローブボックス内試験装置	熱定数測定装置	200	3	50	商用	3		間欠	
グローブボックス内試験装置	熱定数測定装置	100	1	50	商用	5		間欠	
グローブボックス内試験装置	圧潰試験装置	100	1	50	商用	2.1		間欠	
グローブボックス内試験装置	電子天秤	100	1	50	商用	0.1		間欠	
グローブボックス内試験装置	光透過率測定装置	100	1	50	商用	4		間欠	
グローブボックス内試験装置	トリチウム加熱放出実験装置	100	1	50	商用	2		間欠	
グローブボックス内試験装置	熱サイクル試験装置	200	3	50	商用	8		間欠	
グローブボックス内試験装置	熱サイクル試験装置	200	1	50	商用	4		間欠	
グローブボックス内試験装置	熱サイクル試験装置	100	1	50	商用	3		間欠	
グローブボックス内試験装置	熱膨張率試験装置	100	1	50	商用	2		間欠	
フード	照明設備/予備コンセント	100	1	50	商用	3		間欠	
フード内試験装置	SIMS	200	3	50	商用	6		間欠	
フード内試験装置	SIMS	200	1	50	商用	12		間欠	
フード内試験装置	TEM	200	1	50	商用	10		間欠	
フード内試験装置	ICP-Mass	200	1	50	商用	3		間欠	
フード内試験装置	トリチウムモニタ溶解試験装置	100	1	50	商用	2		間欠	

ICP-mass: Inductively Coupled Plasma-massr (高周波プラズマ発光質量分析装置)

SIMS: Secondary ion mass spectrometry (2次イオン質量分析計)

TEM: transmission electron microscope (透過型電子顕微鏡)

表 4. 2 電気負荷リスト (2/2)

設備名称	負荷名称	電源条件				容量		使用頻度	備考
		負荷電圧 V	相数	周波数 Hz	種別	商用系 kVA	非常系 kVA		
排気設備	セルトリチウム除去設備	200	3	50	商用	6		連続	
排気設備	グローブボックス トリチウム除去設備	200	3	50	商用	6		連続	
排気設備	グローブボックス トリチウム除去設備 冷却水循環設備	100	1	50	商用	1		連続	
排気設備	GB給気設備	200	3	50	商用	3		連続	
排気設備	GB排気設備	200	3	50	商用	1		連続	
排気設備	排風機	200	3	50	商用	3.7		連続	
排気設備	排風機	200	3	50	商用	15		連続	
排気設備	排風機	200	3	50	商用	0.75		連続	
排気設備	ダンパ、調整バルブ	200	3	50	商用	1		連続	
排気設備	計装制御系	200	1	50	商用	1		連続	
給気空調設備	ファン、冷凍機、ヒータ等	200	3	50	商用	TBD		連続	
排水設備	トリチウム排水設備	200	3	50	商用	2		間欠	
放射線管理設備	放射線管理モニタ	200	1	50	非常用		2	連続	
放射線管理設備	モニタポンプ	200	1	50	非常用		2	連続	
放射線管理設備	監視盤	100	1	50	非常用		1	連続	
電気設備	制御盤/電源盤	100	1	50	非常用		2	連続	
警報設備	—	100	1	50	非常用		1	連続	
冷却水循環設備	—	200	3	50	商用	3		連続	
室内クレーン	—	200	3	50	商用	4		間欠	
						207	10		

GB : グローブボックス

表 4.3 必要電源容量

部屋名称	電圧	相数	種別	必要容量
セル操作室	100	1	非常用	1 kVA
	100	1	商用	60 kVA
	200	3	商用	25 kVA
グローブボックス室(1)	100	1	商用	22 kVA
	200	3	商用	3 kVA
グローブボックス室(2)	100	1	商用	8 kVA
	200	1	商用	4 kVA
	200	3	商用	18 kVA
フード室(1)	200	3	商用	26 kVA
フード室(2)	200	3	商用	10 kVA
放射線管理室	200	1	非常用	4 kVA
	100	1	非常用	1 kVA
機械室	100	1	非常用	3 kVA
	200	3	商用	24 kVA

5 全体系統構成に関する検討

本章は、トリチウム増殖関連材料実験設備の全体系統構成に関する検討を示す。ここで全体系統構成は図 5.1 示す。以下にトリチウム増殖関連材料実験設備を構成する主要設備の系統概略を示す。

5.1 排気管理設備

5.1.1 概要

管理区域全域及びフードの換気とその中に設置するセル、グローブボックスの換気及び負圧の維持を目的とした排気管理設備の系統概略について示す。排気管理設備の主な機能は、管理区域各室の換気、セルやグローブボックスの負圧維持やフードの換気の実施及びセルやグローブボックスの雰囲気純度管理とトリチウム回収である。

5.1.2 設備構成

排気管理設備は以下の設備から構成する。

(1) 管理区域排気設備

本設備は管理区域、及び管理区域に設置されたフードの排気設備であり、排風機、排気浄化設備及びダクトから構成する。RI 利用開発棟 2 階の排風機室に設置された既設設備を最大限利用する。管理区域各室の排気及びフード排気は 3 系統に区分された排風機により地上高約 13m のスタックから環境に放出される。

下表に本排気設備で使用する排風機を示す。なお、本排気設備にはこれらの排風機にくわえ、排気浄化設備プレフィルタ/2 段 HEPA (High Efficiency Particulate Air Filter) フィルタ形式(総合補修効率: 99.9%以上) を設ける。

	フード排風機	ホットエリア排風機	セミホットエリア排風機
型式	ターボファン		
定格風量	1,380 (m ³ /h)	8,300 (m ³ /h)	750 (m ³ /h)
基数	2	1	1

(2) トリチウム除去設備

本設備は、非密封トリチウムを多重格納の考え方にに基づき閉じ込めるもので、1次格納系である密封容器、ならびに、2次格納系であるセル及びグローブボックス雰囲気からトリチウム除去を行う。またセル及びグローブボックスの純度管理及び負圧維持も行う。

以下に本設備におけるセルとグローブボックス用の除去設備仕様を示す。

	セル用	グローブボックス用
型式	触媒酸化/水分吸着式	触媒酸化/水分吸着式
基数	1式	1式
処理量	7.4×10^{12} Bq/日	7.4×10^{11} Bq/日
その他	設備排风量：9m ³ /h	JMTR ホットラボに既設のグローブボックス用トリチウム除去設備を移設して活用。

5. 1. 3 管理区域排気設備

(1) 処理対象及び必要风量

R I 利用開発棟の排気設備の処理対象及び必要风量を表 5.1 に示す。

処理量設定上の留意点については、管理区域各室の換気回数は、ホットエリアは5回/h 以上、セミホットエリアは3回/h を確保する。また、フード開口部面積を0.5m²と仮定し、フード排気量は、開口部吸込み風速が1 m/s 以上確保できる1800m³/h 以上を確保する。但し既設フード No. 4 は開口部面積0.8m²として288m³/h 以上を確保する

(2) 系統構成及び処理能力

R I 利用開発棟の排気設備系統構成を図 5.2 に示す。またダクト配置を図 5.3 に示す。系統構成上の留意点について、セミホットエリアとホットエリアを区域区分し、独立の排風機を設けるとともに、ホットエリアに設置するフードの排気には独立の排風機を設ける。フード排風機は予備機を設ける。また、既設R I 利用開発棟の排気設備を最大限に活用して、排気管理設備を整備する。

(3) 主要機器仕様

排気設備を構成する排風機及び排気浄化設備の仕様を表 5.2 に示す。

表 5.2 排風機及び排気浄化装置の仕様(RI 利用開発棟)

系統	排風機				排気浄化装置					位置
	名称	台数	電動機出力 (kW)	定格風量 (m ³ /h)	台数	プレフィルタ (枚)	HEPA フィルタ (段) (枚)	総合捕集効率 (%以上)		
フード	ターボファン	1 (1)	3.7 (3.7)	1,380 (1,380)	1	1	2	2	99.9	RI 利用開発棟 排風機室
ホットエリア	ターボファン	1	15.0	8,300	1	1	2	2	99.9	
セミホットエリア	ターボファン	1	0.75	750	1	1	2	2	99.9	

()内は予備機の仕様を示す。

5. 1. 4 トリチウム除去設備

トリチウム除去設備はセル内及びグローブボックス内密封容器及びセル及びグローブボックス雰囲気トリチウム除去を行う設備である。ここでは設備能力を設定するとともに、セル排気設備の系統概略を示す。

(1) 処理対象及び処理能力

1) 設定方針

処理量設定上の留意点を以下に示す。

- ・密封容器内トリチウム除去設備の処理能力は、試験内容及び試験装置に依存する。
- ・処理能力は、RI 利用開発棟において容積が最大の2次格納系であるセルの負圧維持ガスを処理できるものとする。停電時のセル負圧維持用排気ガスのトリチウム処理は本密封容器内トリチウム除去設備にて行う。
- ・セル及びグローブボックスの排気設備は触媒酸化/水分吸着法によりトリチウムを除去する。本方式は雰囲気中の水分濃度も管理することができる。処理能力は2次格納系内の水分濃度を 100vpm 以下に維持できるものとする。
- ・万一、セルまたはグローブボックス内で取扱量相当のトリチウムが放出される異常事象が発生した場合でも、24 時間でセルまたはグローブボックス雰囲気を 1DAC (Derived Air Concentration : 誘導空気中濃度)以下にする性能を有するものとする。
- ・セル及びグローブボックスの排気設備は、負圧維持のためのガスを処理できること。

2) 処理能力

処理対象及び必要処理量をまとめて表 5.3 に示す。

密封容器内トリチウム除去設備の処理能力は、セル負圧維持排気の処理もできる容量として 10 ℓ/h とする。

(2) セル雰囲気処理設備

本設備はセル雰囲気気を循環換気し雰囲気ガス中のトリチウムを除去回収する設備である。本設備の設計条件を表 5.4 に示す。なお、本設備では雰囲気中の不純物除去については、特別な設計条件を考慮しないものとした。

表 5.4 設計条件

項目	設計条件
目的	セル内雰囲気ガス中のトリチウム除去・回収
機能	セル内雰囲気ガス中トリチウムを除去・回収し、内部雰囲気気の負圧維持を行う
処理ガス	窒素
設備構成	窒素中トリチウム処理設備より構成される。
トリチウム除去方式	触媒酸化・水分吸着法
処理対象	セル
負圧維持	セル：196.1～784.4Pa(20～80 mmAq)程度 負圧維持ガスは循環ガスの一部排気による
トリチウム除去係数(DF)	5000
モレキュラシーブ 乾燥塔再生 サイクル	30日(暫定) システム稼働時にも再生可能な構造とする。

(3) 系統設計

1) 系統構成

本システムは触媒酸化・水分吸着法によりトリチウムの除去・回収を行うもので、系統図を図 5.4 に示す。

本システムの主要構成機器は、入口フィルタ、循環機、予熱器、触媒反応器、冷却器、吸着塔及びトリチウムモニタである。

循環機により移送されたセル内雰囲気中のトリチウム含有ガス(窒素)は、予熱器により 200℃に昇温した後に触媒反応器へ導入される。触媒反応器では、ガス成分トリチウム(HT)を酸化し水成分トリチウム(HTO)に転換する。冷却器により常温まで冷却したガスは吸着塔にて HTO を吸着除去され、セルに戻る。

セル内雰囲気のトリチウム濃度はセル外に設置される通気式電離箱により連続監視される。

2) 運転モード

セル内雰囲気のトリチウム濃度はトリチウムモニタに雰囲気ガスを循環することにより連続監視される。通常運転時でトリチウム濃度が十分低い場合には、濃度測定後のガスは循環されず、スタックへ移送されるとともに、セル内が負圧に維持される。

トリチウム濃度が設定値より高くなった場合、またはセル内部でトリチウムを使用する場合には、スタックへの移送系統が遮断されて循環系統が構成され、雰囲気ガスのトリチウム除去が実施される。トリチウム除去された雰囲気ガスのトリチウム濃度が設定値より低くなった場合、セル負圧維持のため処理済ガスの一部はスタックへ移送される。

非常時には、系統全体を負圧状態で密封しトリチウム漏洩を防止するとともに、放射線管理設備によるトリチウム濃度監視を行う。

3) 機器主要目

・ブロー

型式	メタルベローズポンプ
流量	9 Nm ³ /h
基数	2 基
設計温度	80 °C
運転圧力	入口側 : 0.100 MPa (絶対圧)、出口側 : 0.115 MPa (絶対圧)
材質	ステンレス鋼
寸法	W305mm×L345mm×H160mm
電動機出力	1/2 HP

・触媒入口ヒータ

型式	電気加熱方式
流量	9 Nm ³ /h
基数	1 基
運転温度	入口側 : 20 °C、出口側 : 200°C
運転圧力	0.115 MPa (絶対圧)
材質	SUS304
概略寸法	外形 165.2mm×L2,200mm
ヒータ出力	5.1 kW (1.7 kW×3 本)

・触媒反応器

型式	触媒酸化反応式
流量	9 Nm ³ /h
基数	1 基
運転温度	200 °C
運転圧力	0.115 MPa (絶対圧)
触媒	貴金属触媒
酸化係数	10000
材質	SUS304
触媒充填量	2.6L
概略寸法	φ106.3×H293 mm (触媒充填部) 外形 114.3mm×H700mm

・冷却器

型式	シェルアンドチューブ型
流量	9 Nm ³ /h(一次側) 0.93 m ³ /h(二次側)
基数	1 基
運転温度	一次側入口 200 °C(管側) 一次側出口 25 °C 二次側入口 6°C(シェル側) 二次側出口 12 °C
運転圧力	0.115 MPa (絶対圧) (管側)
材質	SUS304
シェル寸法	外形 216.3mm×H2200mm

・乾燥塔

型式	吸着材充填塔方式
流量	9 Nm ³ /h
基数	2 基
運転温度	吸着時) 25 °C、再生時) 300 °C
運転圧力	0.115 MPa (絶対圧) (管側)
吸着材	モレキュラシーブ 4A
吸着材重量	7.7 kg
水分濃度	入口側 : 100 vpm、 出口側 : 1 vpm
材質	SUS304
概略寸法	φ 155.2 mm×H620 mm (吸着材充填部) 外形 165.2mm×H1000mm

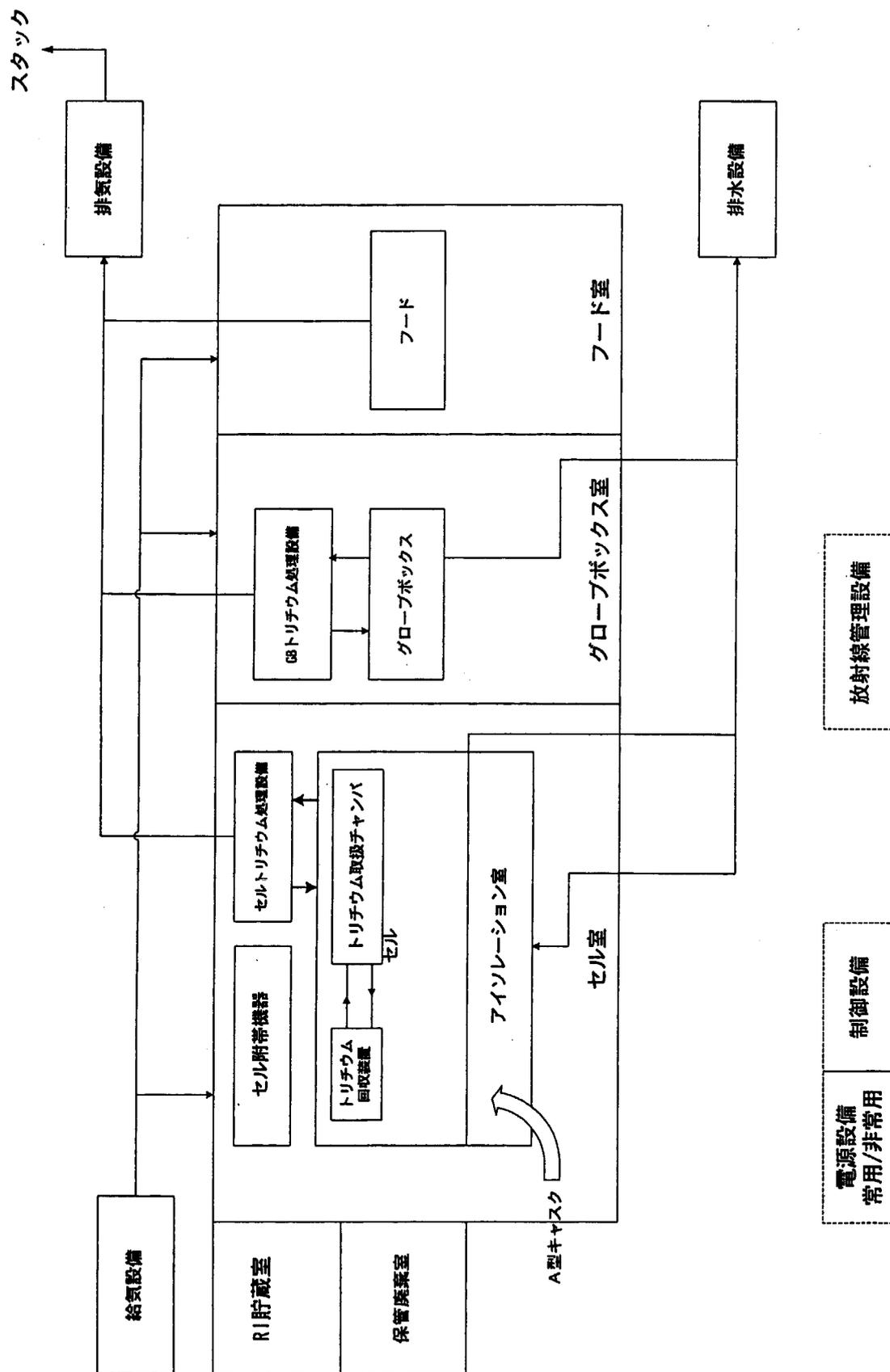


図5.1 全体系統構成図 (トリチウム増殖関連材料実験棟)

表 5.1 排気設備換気量 (R I 利用開発棟)

区域	室名	床面積(m ²) x 高さ(m)	室内容積(m ³)	換気風量(m ³ /h)	換気回数(1/h)	備考
ホット	セル操作室/サビスリア	96 x3	288	2300	8.0	
ホット	グローブボックス室(1)	48 x3	144	1100	7.6	
ホット	グローブボックス室(2)	33 x3	99	800	8.1	
ホット	フード室(1)	96 x3	288	2000(3020)*1	10.5*2	フード No.1,3,4
ホット	フード室(2)	42 x3	126	900(1260)*1	10*2	フード No.2
ホット	保管廃棄室(RI 貯蔵庫)	15 x3	45	300	6.7	
ホット	P I E 準備室	24 x3	72	500	14	
ホット	精密測定室	18 x3	54	400	7.4	
セミホット	共用実験室、更衣室	24 x3	72	220	3.1	
セミホット	廊下	25 x3	75	220	2.9	
セミホット	器材保管室	9 x3	27	90	3.3	
フード	フード No.1~3(新設)	4 x2	8	1800	—	開口部面積 0.5m ²
フード	フード No.4(既設)	2 x2	4	300	—	開口部面積 0.8m ²

[*1] ()内は室内設置のフード排気を含めた換気風量を示す。

[*2] 換気回数は フード排気を含めた換気風量により算定する。

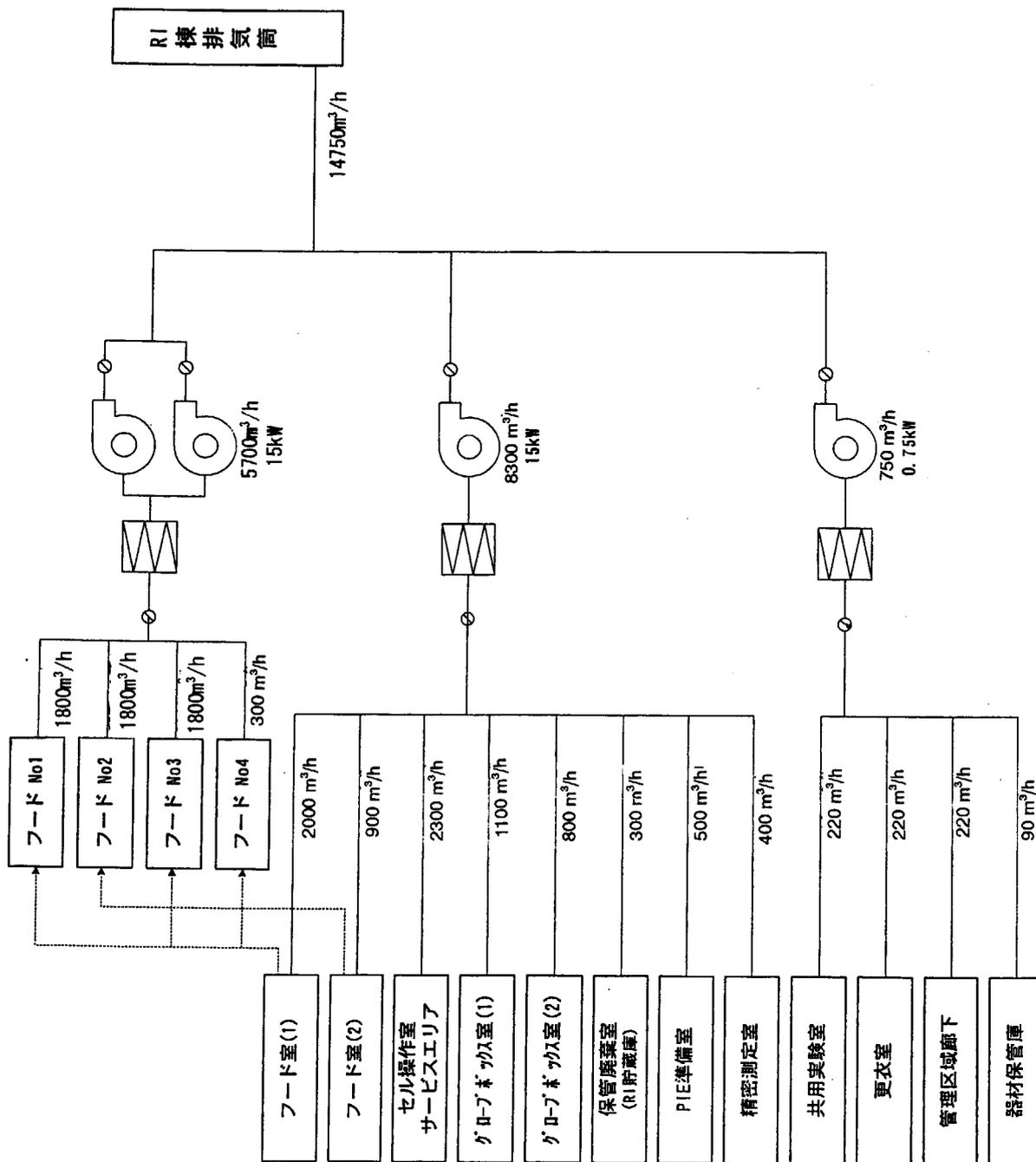


図 5. 2 RI 利用閉発排気設備系統図

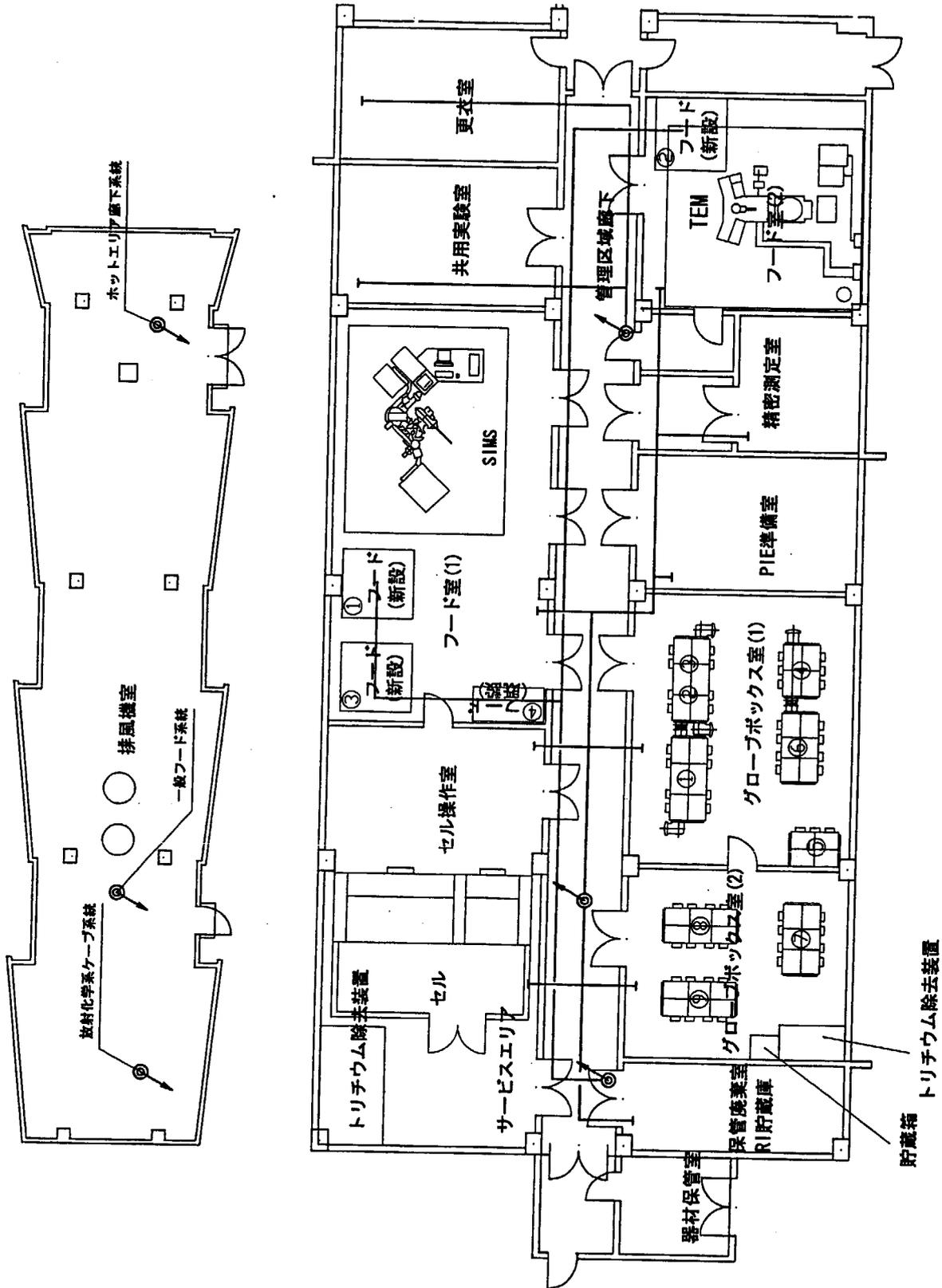


図 5. 3 排気ダクト計画図

表5.3 トリチウム除去設備流量設定

	条件		負圧維持		水分管理		事故対応				設定流量 系統流量 (Nm ³ /h)	
	取扱量 (TBq)	容積 (m ³)	気密度 (v/o)	負圧維持 流量 (Nℓ/h)	排気 流量 (Nℓ/h)	水分管理 濃度 (vpm)	換気量 (Nm ³ /h)	事故時 初期濃度 (Bq/m ³)	必要 除去計数	処理 時間 (h)		必要流量 (Nm ³ /h)
RI 利用 開発棟												
セル No.1	7.4	7.4	0.1	7.4	8	100	1.30	27.0	1.4E+6	24	4.4	9.0
セル No.2	7.4	6.5	0.1	6.5	7	100	1.14	30.8	1.6E+6	24	3.9	9.0
GB No.1	0.74	2.4	0.1	2.4	3	100	0.42	8.3	4.4E+5	24	1.3	1.5
GB No.2	0.74	2.4	0.1	2.4	3	100	0.42	8.3	4.4E+5	24	1.3	1.5
GB No.3	0.74	2.4	0.1	2.4	3	100	0.42	8.3	4.4E+5	24	1.3	1.5
GB No.4	0.74	1.5	0.1	1.5	3	100	0.26	13.3	7.0E+5	24	0.8	1.5
GB No.5	0.74	1.0	0.1	1.0	3	100	0.18	20.0	1.1E+6	24	0.6	1.5
GB No.6	0.74	2.0	0.1	2.0	3	100	0.35	10.0	5.3E+5	24	1.1	1.5
GB No.7	0.74	2.1	0.1	2.1	3	100	0.37	9.5	5.0E+5	24	1.1	1.5
GB No.8	0.74	2.1	0.1	2.1	3	100	0.37	9.5	5.0E+5	24	1.1	1.5
GB No.9	0.74	2.1	0.1	2.1	3	100	0.37	9.5	5.0E+5	24	1.1	1.5
合計		31.9		31.9	42	100	5.58					

GB : グローブボックス

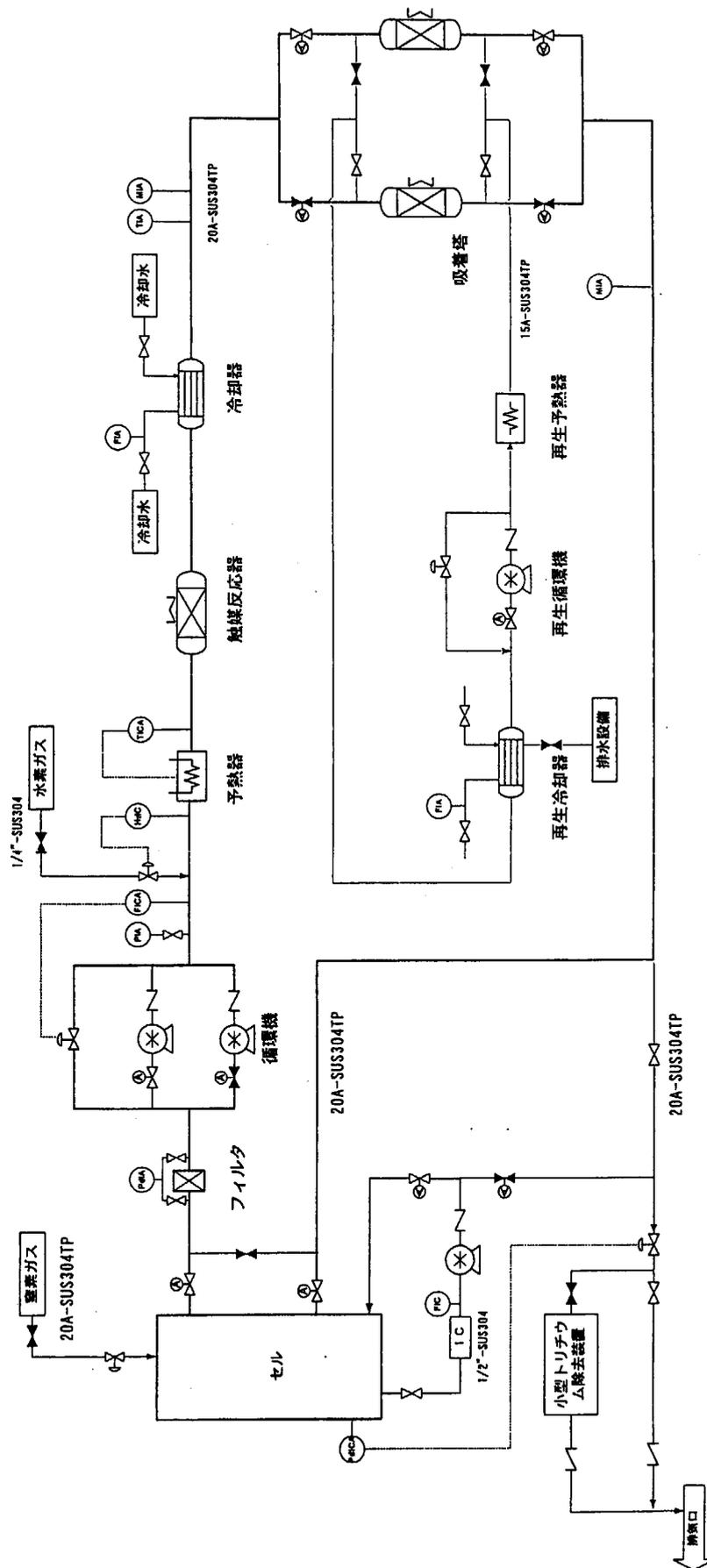
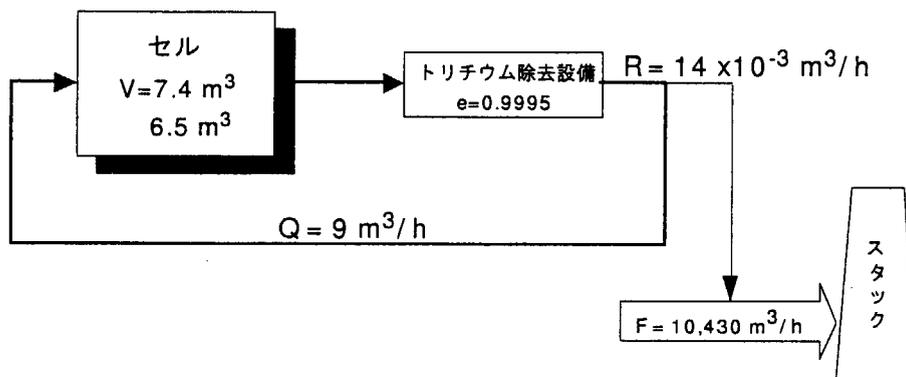


図 5. 4 セル排気設備系統図

(4) トリチウム濃度評価

本試験設備のセルにおけるトリチウム濃度評価を評価する。

本評価における計算モデルを下図に示す。



このとき、セル内のトリチウム濃度変化は次式により評価される。

$$N = N_0 \exp(-eQ*t/V)$$

また、セルからスタックへの放出トリチウム量は次式によって評価される。

$$\int_0^t RN(1-e)dt = RN_0(1-e) \int_0^t \exp(-e \frac{Q}{V} t) = \frac{(1-e)RN_0V}{eQ} \left\{ 1 - \exp(-e \frac{Q}{V} t) \right\}$$

ここで、

N : トリチウム濃度 E : トリチウム除去効率 t : 時間
 Q : 循環流量、 V : 容積 R : 漏洩流量

本検討に於ける計算条件を下表に示す。

項目	記号	単位	セル	
			トリチウム増殖材用	中性子増倍材用
トリチウム取扱量	-	Bq	7.40E+12	7.40E+12
容積	-	m³	7.4	6.5
初期トリチウム濃度	N ₀	Bq/m³	1.0E+06	1.1E+06
トリチウム除去効率	E	-	0.9995	0.9995
循環流量	F	m³/h	5	4
漏洩流量	R	m³/h	7.4E-03	6.5E-03
排気口排気量	F _{stack}	m³/h	1.0E+04	1.0E+04

セル内トリチウム濃度及び排気口トリチウム濃度に関する計算結果を図 5.5 及び図 5.6 に示す。

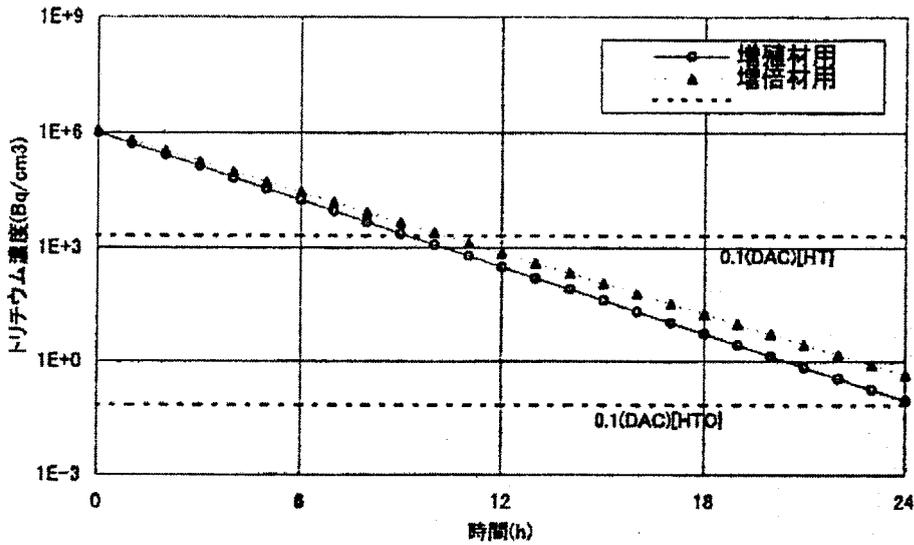


図 5.5 セル内トリチウム濃度

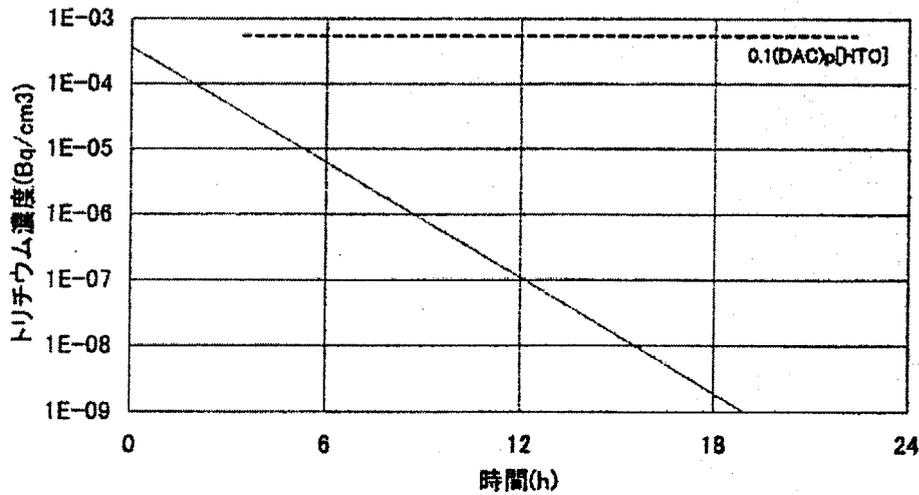


図 5.6 排気口トリチウム濃度

以上の結果から、セル内のトリチウム濃度が最大トリチウム取扱量に達しても、換気時間 24 時間後には許容トリチウム濃度 0.1(DAC)以下になることが確認された。また、最大トリチウム取扱量の換気を行っても、排気口におけるトリチウム濃度は許容トリチウム濃度 0.1(DAC)以下であることが確認された。

5. 2 排水管理設備

本設備の排水管理設備として、トリチウム除去設備からの高濃度トリチウム含有排水のためのトリチウム排水設備と試験セル、グローブボックス及びフードや管理区域内の実験室のための排水設備から構成する。

本設備におけるトリチウム排水設備仕様を下表に示す。

	高レベル廃液貯槽	トリチウム/ γ 核種弁別装置
型式	可搬型密封容器	磁気捕集及びろ過型
容量	約 20 ℓ	—
材質	SUS304	SUS316
基数	1 基	1 基

排水設備は既設設備を利用する。既設の排水設備仕様を下表に示す。

	廃液貯留槽	廃液移送ポンプ
容量	約 3.3 m^3	200 ℓ/min
基数	2 基	2 基

5. 2. 1 既設系統

既設排水設備の系統構成を図 5.7 に示すが、非密封トリチウム取扱施設とするためには、トリチウム廃液レベル区分、廃液濃度に応じた適切な処置及び排水系気密確保、等が必要になると考えられる。

5. 2. 2 系統概要

排水管理設備の系統構成を図 5.8 に示す。排水ライン概略図を図 5.9 に示す。

RI 棟排水設備は、セミホットエリア及びホットエリア各室、セル、グローブボックス及びフードドレン、トリチウム除去設備排水の 3 系統から構成し、各室及び機器とは U 字管等にて水封し気密を確保する。セル、グローブボックス及びフードのドレンラインは、廃液ホールドアップを最小限にするため閉止弁を設けるものとする。

大洗研究所放射性安全取扱手引(表 5.5 参照)によれば、トリチウム濃度 $3.7 \times 10^3 \text{Bq/cc}$ ($=0.1 \mu \text{Ci/cc}$) 以下の廃液は、放射性廃棄物処理課にてタンクローリで引取り処理される。この濃度は科技庁告示別表の排水中濃度限度 ($6 \times 10^1 \text{Bq/cc}$) の 60 倍高い値である。

廃液中トリチウム濃度が高くなると想定されるトリチウム除去設備排水は、容積約 20 ℓ の高レベル廃液貯留槽タンクで貯留後、サンプリングにてトリチウム濃度測定し、トリチウム濃度 $3.7 \times 10^3 \text{Bq/cc}$ ($=0.1 \mu \text{Ci/cc}$) 以上の場合には、金属容器に封入し、固体廃棄物として処理する。

容積約 3 m^3 の既設廃液貯留槽には、セミホットエリア及びホットエリア各室ドレン、ならびに試験

セル、グローブボックス、及びフードドレンからの廃液も移送される。サンプリングし、トリチウム濃度測定後、放射性廃棄物処理課にて処理される。排水配管は既設排水管を可能な限り活用するが、セル室のセル基礎工事に伴い更新が必要なタンクヤードへのメイン排水配管は再布設するものとした。

5. 2. 3 高レベル廃液容器の要件

実験において発生する高レベル廃液は、発生場所において別容器に保管することが「トリチウム大量取扱施設安全審査専門家検討会報告書」に推奨されている(表 5.6 参照)。通常実験時のみならず、非通常時も想定した場合、発生場所において別容器に回収する必要があると考えられる。回収容器仕様は実験内容に依存することから今後検討を要する。万一事故時にトリチウム除去設備が運転された場合、最終的にトリチウムを回収する乾燥塔の充填容量が、本設計では、最大 65kg であるので回収水量は最大 15kg と考えられる。これから廃液は 20ℓ 程度の小型容器にて回収することが好ましいと考えられる。

異常漏洩に対しては、金属容器に封入し固体廃棄物として取扱うことのできる濃度上限は $3.7 \times 10^5 \text{Bq/cm}^3$ ($=10 \mu\text{Ci/cm}^3$) であり、20ℓ の小型容器のトリチウム量上限は 7.4GBq (0.2Ci) となる。これから本容器は 7.4GBq (0.2Ci) までのトリチウム放出時にも対応可能である。

「トリチウム大量取扱施設安全審査専門家検討会報告書」には、廃液貯槽に対する考慮として、廃液漏出防止及び汚染拡大防止のための措置が推奨されている。

高レベル廃液容器を廃液貯槽として取扱う場合、据置式、耐震、耐食性材製、ベントガス処理、漏洩対策及び換気等の要件を満足する必要がある(表 5.6 参照)。

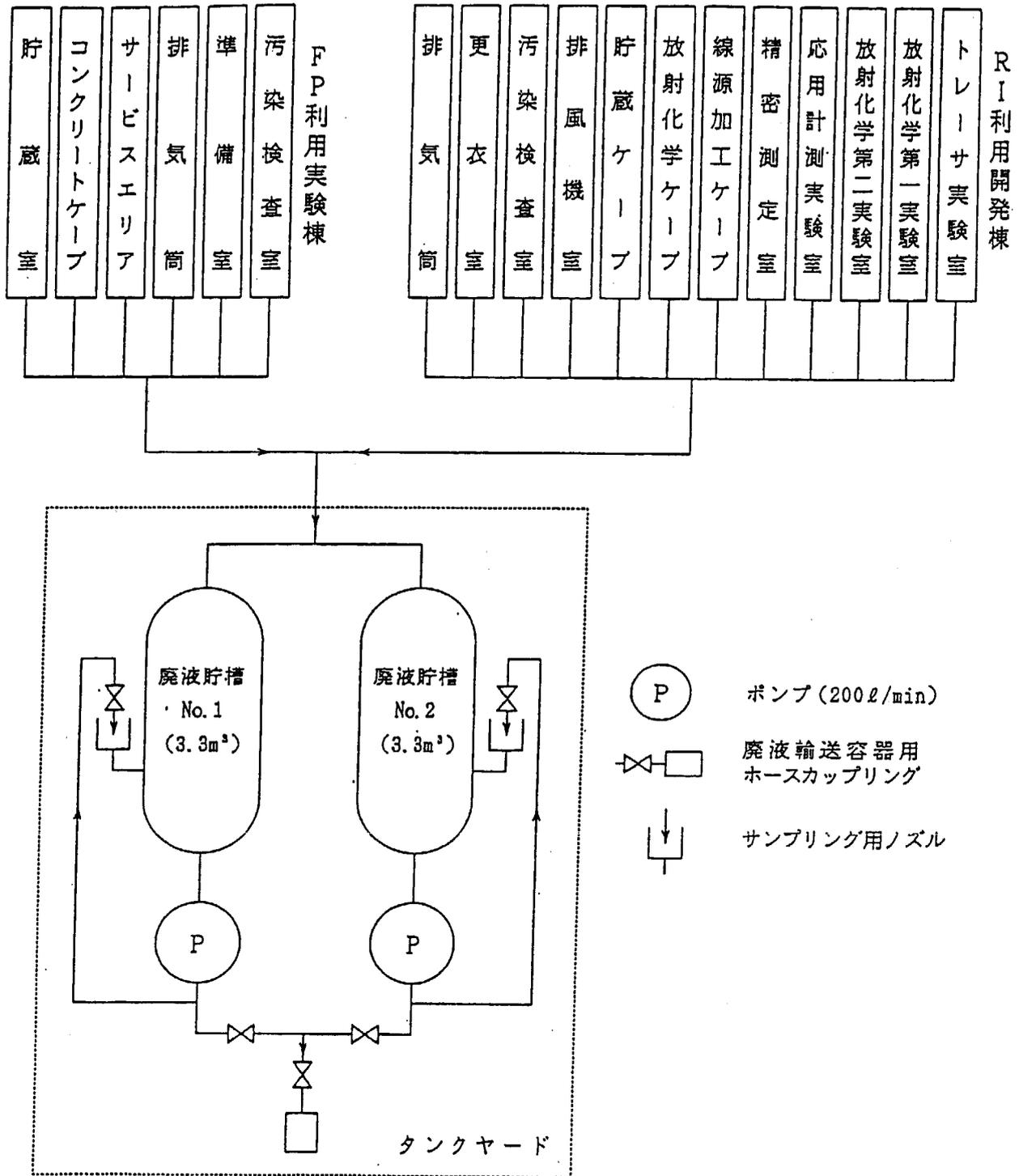


図 5. 7 既設排水設備系統図

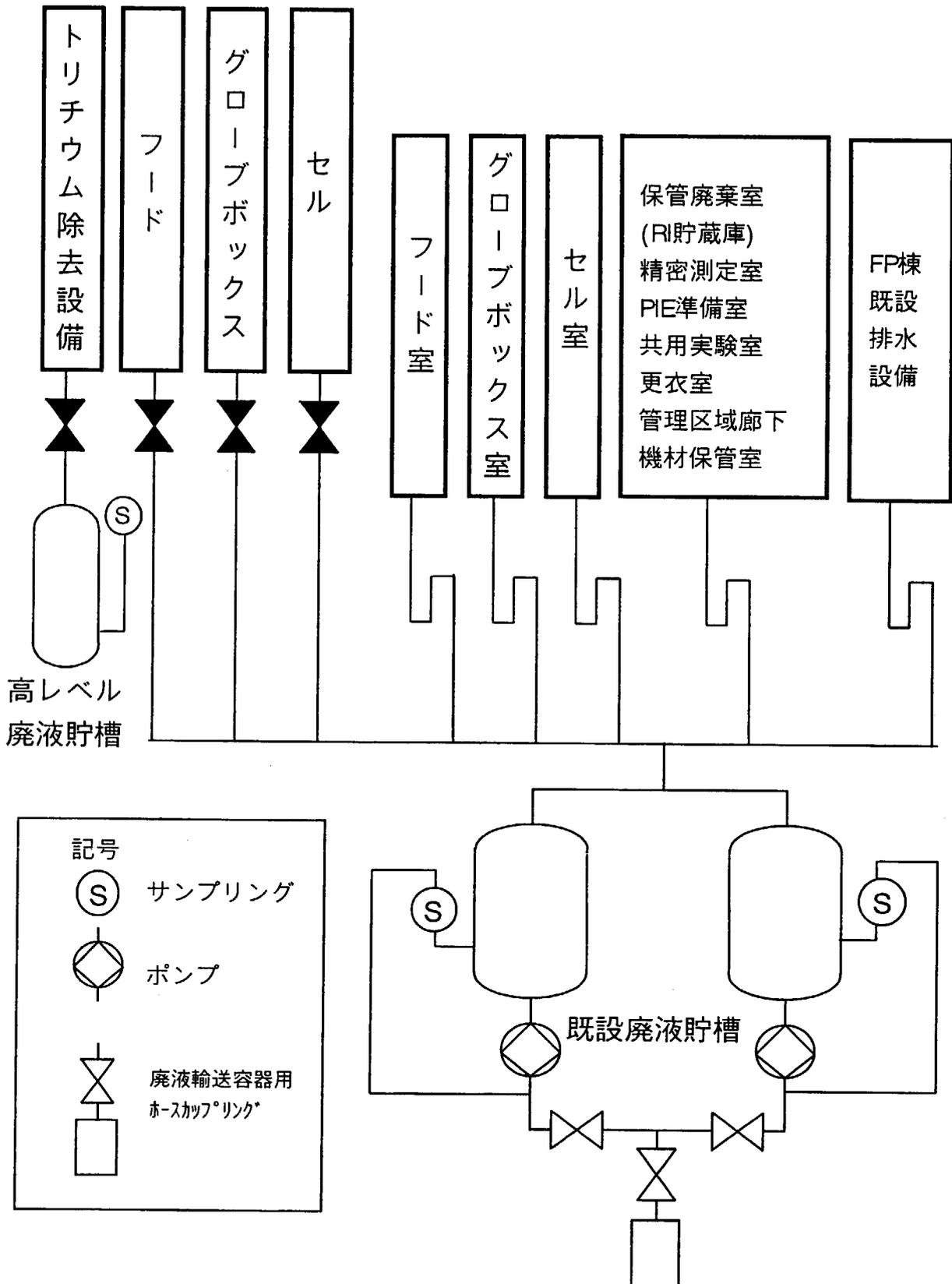


図5. 8 排水管理設備系統構成図

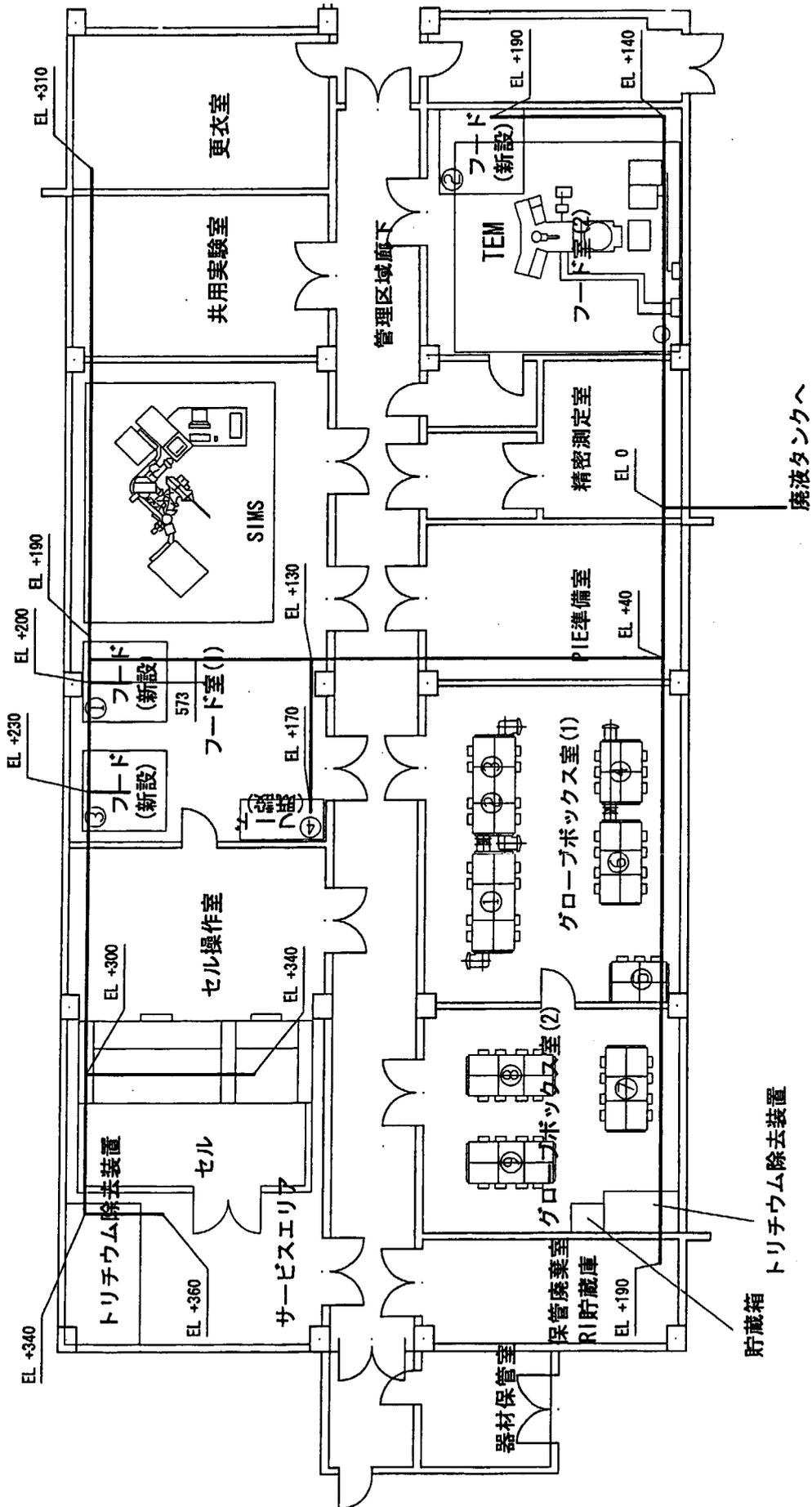


図 5. 9 排水ライン計画図

表 5. 5 放射性排水の取扱（大洗研究所放射線安全取扱手引より）

トリウム含有量	廃棄物区分	処理方法	トリウム以外に関する制限
3. 7x10 ³ Bq/cm ³ 未満	放出前廃液	一時貯蔵し、規定濃度以下ならば、放射性排水配管経由で放射性廃棄物処理課にて液体廃棄物として処理	³ H以外のβ・γ放射性物質の水中濃度 3. 7x10 ⁻¹ Bq/cm ³ 未満 α放射性物質の水中濃度 1. 0x10 ⁻² Bq/cm ³ 未満
	液体廃棄物 A		³ H以外のβ・γ放射性物質の水中濃度 3. 7x10 Bq/cm ³ 未満 α放射性物質の水中濃度 1. 0x10 ⁻² Bq/cm ³ 未満
	液体廃棄物 B		α放射性物質の水中濃度 1. 0x10 ⁻² Bq/cm ³ 未満
3. 7x10 ³ Bq/cm ³ 以上 3. 7x10 ⁵ Bq/cm ³ 未満	液体廃棄物 C	金属容器に封入の後、固体廃棄物として処理	α放射性物質の水中濃度 1. 0x10 ⁻² Bq/cm ³ 未満
	特殊な液体廃棄物	固型化処理した後、固体廃棄物として処理	³ H以外のβ・γ放射性物質の水中濃度 3. 7x10 ⁴ Bq/cm ³ 以上

* 現在、大洗研では放射性排水は、放射性廃棄物処理課につながる放射性排水配管経由で放射性廃棄物処理課にて集約させて処理を実施する（個々の施設から放射性排水を一般排水配管に流すことはしない）。

* 大洗研放射線安全取扱手引きでは、特殊な液体廃棄物以外の液体廃棄物（放出前廃液、液体廃棄物 A、B 及び C）は放射性廃棄物処理課にて処理することになっているが、実際は放出前廃液、液体廃棄物 A 及び液体廃棄物 B の 3 種のみを液体廃棄物として処理対応する。それ以外の液体廃棄物 C は金属容器等に封入し放射性廃棄物処理課で固体廃棄物として処理を実施。特殊な液体廃棄物は固型化処理した後、固体廃棄物として処理を実施している。

表5.6 トリチウム大量取り扱い施設安全審査専門家検討会報告書(1/2)

指針 2 液(廃棄物)	指針内容 [V 廃棄物処理 指針2 液体廃棄物]	対応
	<p>(1) 環境に排出するトリチウムの量はできるだけ少なくするよう努めること。</p> <p>(2) 排水槽の事業所境界における排水中の3カ月間についての平均濃度が告示別表に定める値の1/10以下であること。</p> <p>(3) 前項の基準を超えおそれのある廃液は、排気設備を有する室内空气中濃度の上昇しない施設に保管すること。ただし漏洩のない構造の容器に封入されているものを保管する場合は換気を要しない。</p>	<p>(1) 対応</p> <p>(2) 施設廃液は大洗研究所廃棄物処理場にて処理し、原研動燃大洗排水槽における³H濃度は3ヶ月平均濃度が6Bq/cm³(告示別表の排水中の濃度限度の値の1/10)以下になるよう管理している。</p> <p>(3) 施設で発生する廃液は、廃棄物処理場に移送するまでは鋼板製密封構造の廃液貯留槽に封入され保管される。</p>
関係条文	<p>法第19条第1項 規則第19条第1項</p>	
解説	<p>(1) 廃液は一旦廃液貯槽あるいは容器に貯え、廃液中のトリチウム濃度を測定して処理方法を定める。したがって連続監視するための排水モニタは必ずしも必要でない。</p> <p>(2) 実験で発生した放射能濃度の高い廃液は、廃液貯槽に直接流しこまず、発生場所において別の容器に回収するようにすることが望ましい。</p> <p>(3) 施設から排出できない高濃度の廃液を排気設備のない室に保管する場合は、漏洩の生じないよう措置を施して保管する。 例えば、鋼製容器にセメントなどの固化材で固化し、更にドラム缶等の容器に入れ、充填材を注入し封入する。</p> <p>(4) 排水口における排水中の1日間の平均トリチウム濃度が、告示別表の値の1/10以下であることが明らかでない場合は、測定することが困難な場合には連続監視を要しない。</p> <p>(5) 予防規定に放出管理基準、測定・記録の方式が定められていることが必要である。</p>	<p>(1) 廃液貯留槽に一時保管された放射性廃液は試料採取後、放射能濃度を測定する。</p> <p>(2) 実験で発生する高濃度廃液は発生場所において容器に回収する。回収した放射性廃液は試料採取後、放射能濃度を測定する。</p> <p>(3) 高濃度の廃液は、排気鋼製容器に密封し、排気設備を備えた部屋に保管する。</p> <p>(4) 大洗研究所廃棄物処理場に排水口における排水中の濃度監視を確認する[☆]。</p> <p>(5) 予防規定にて対応する。[★]</p>

記号
☆ 要確認
★ 要是正

表5. 6 トリチウム大量取り扱い施設安全審査専門家検討会報告書(2/2)

指針内容 [Ⅷ] 安全対策 指針5 廃液貯槽に対する考慮		対応
指針5 (廃液貯槽に対する考慮)	<p>廃液貯槽の廃液の漏れを防止し、万一の漏洩に備え汚染の拡大を防止するための措置を講ずるものとする。</p>	
関係条文	<p>法第33条第1項、規則第29条第1項、第2項 規則第14条の11、4号P 規則第19条第1項6号～9号</p>	
解説	<p>廃液貯槽に対する考慮として、施設・設備の設計・建設上の留意事項として、例えば、下記の事項が考えられる。</p> <p>(1) 廃液貯槽は地下埋設式をさけ、据置式として漏洩を容易に監視でき、万一の場合の措置・修復を容易にする。</p> <p>(2) 廃液貯槽は、建物構造に堅牢に固定し、地震の揺れによる水の溢れを防止する構造とする。</p> <p>(3) 廃液貯槽の材質は、耐腐食性のものを用い、廃液は中和の措置を講ずる。</p> <p>(4) 高レベルのトリチウム廃液を入れた廃液貯槽のベントガスは、排気系ダクトに接続する。</p> <p>(5) 廃液貯槽の満水をうけ、汚染の拡大を防止するに十分な容量の受水部を設け、建物外への漏れを防ぐとともに、満水を早期に検出し、警報をだす装置を有すること。</p> <p>(6) 廃液貯槽を据置いた場所は、換気することが望ましい。</p>	<p>(1) 廃液貯留槽は据置式であり、集水ピットを設けた区画に設置される。</p> <p>(2) 既設据付確認[☆]</p> <p>(3) 廃液貯留槽はSUS304L製である。中和措置は講じておらず排出元で中和することとする。</p> <p>(4) 高レベルのトリチウム廃液を入れる廃液容器のベントガスは排気装置に接続する。</p> <p>(5) 集水ピットには排水ポンプを設置している。液位警報は設けていない。[★]</p> <p>(6) 廃液貯留槽は屋外半地下式のタンクヤードに設置している。[★]</p>
指針6 (共有に対する考慮)	<p>安全対策上重要と考えられる諸設備、装置等は、共用によってその安全機能を失い、または著しく機能を低下させるおそれのある場合、共用しない設計であること。</p>	
関係条文		
解説	<p>安全対策上重要と考えられる諸設備、装置等は、取扱うトリチウムの量や取扱う方法によって安全対策上の機能が異なる場合が考えられるので、その機能等から判断して共用によって施設の安全対策</p>	

記号
☆ 要確認
★ 要是正

5. 3 放射線管理設備

トリチウム増殖関連材料開発設備内の放射線管理設備の系統概略を示す。

5. 3. 1 系統概略

トリチウム増殖関連材料開発設備での放射線管理設備の設備構成を 図 5. 10 に示す。

放射線管理設備は、プロセスモニタと放射線管理モニタから構成される。

プロセスモニタは試験セル内のトリチウム濃度を測定するための機器で高濃度測定範囲用と低濃度測定範囲用の 2 種類のモニタから構成する。

放射線管理モニタは、廃液モニタと雰囲気中のガス成分であるトリチウム濃度を測定する排気モニタから構成される。廃液モニタとしては、サンプリング廃液やスタック排気からトリチウム水捕集装置により捕集したサンプル、さらには作業者の被曝管理のための呼気捕集サンプル中の水中トリチウム濃度を液体シンチレーションカウンタを用いて測定することで、本設備からの廃液中のトリチウム濃度管理を行う。一方、排気モニタについては、配置概略案を 図 5. 11 に示す。排気の監視を行うためのトリチウムモニタは、極低濃度用のスタックモニタ、低濃度用のエリア及び排気ダクト用モニタ (ルームモニタ)、さらにセル及びグローブボックス雰囲気を測定する高濃度用セル/GB 用モニタ (インセルモニタ) から構成する。スタック排気は電離箱式極低濃度トリチウムモニタにより連続濃度監視されるとともに、水分捕集型サンプリング装置により積分濃度を測定することで、本設備からの排気中のトリチウム濃度管理を行う。

またセルにはインセルモニタを設置し、セル内作業における放射線管理を行う。

5. 3. 2 機器仕様

(1) プロセスモニタ

1) 試験装置用高レベルプロセスモニタ

型式	: 電離箱
使用条件	: 窒素/空気 (大気圧、常温) 0.6 ℓ/min 以下
測定範囲	: $3.7 \sim 3.7 \times 10^6 \text{Bq/ cm}^3$ ($10^{-4} \sim 10 \mu \text{Ci/ cm}^3$)
検出部	: 通気式電離箱
電離箱有効容積	: 0.2 ℓ ガンマ線遮へい: 鉛 20mm 厚さ イオンプリシピテータ内蔵
除染方法	: 乾燥窒素パージ及び昇温による焼出し

2) 試験装置用低レベルプロセスモニタ

型式 : 電離箱
 使用条件 : 窒素/空気 (大気圧、常温)
 10 ℓ/min 以下
 測定範囲 : $3.7 \times 10^{-2} \sim 3.7 \times 10^2 \text{Bq/cm}^3$ ($10^{-6} \sim 10^{-2} \mu\text{Ci/cm}^3$)
 検出部 : 通気式電離箱
 電離箱有効容積 : 10 ℓ
 イオンプリシピテータ内蔵
 除染方法 : 乾燥窒素パージ及び昇温による焼出し

(2) 放射線管理モニタ

1) 廃液モニタ

・液体シンチレーションカウンタ (排水モニタ用)
 数量 : 1 式
 型式 : 液体シンチレーションシステム
 仕様 : アロカ LSC-6000 シリーズ相当品

・トリチウム水捕集装置

数量 : 1 式
 型式 : 触媒酸化・水分シリカゲル捕集式
 使用条件 : 窒素/空気 (大気圧、常温)
 触媒 : Pt, Pd 系
 トリチウム捕集効率 : 99%以上

2) 排気モニタ

・スタックモニタ

数量 : 1
 型式 : 電離箱
 使用条件 : 窒素/空気 (大気圧、常温)
 50 ℓ/min 以下
 測定範囲 : $7.4 \times 10^{-3} \sim 3.7 \times 10^2 \text{Bq/cm}^3$ ($2 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-2} \mu\text{Ci/cm}^3$)
 検出部 : 補正電極付通気式電離箱 (ガンマ線補償用密封式電離箱付)
 電離箱有効容積 : 30 ℓ (ガンマ線補償用 30 ℓ)
 ガンマ線遮へい : 鉛 20mm 厚さ
 イオンプリシピテータ内蔵

(3) ルームモニタ (低濃度用のエリア及びダクトモニタ用)

数量 : 2 (セル室, グローブボックス室)

型式	: 電離箱
使用条件	: 窒素/空気 (大気圧、常温) 50 ℓ/min 以下
測定範囲	: $7.4 \times 10^{-3} \sim 3.7 \times 10^2 \text{Bq/ cm}^3$ ($2 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-2} \text{ } \mu\text{Ci/ cm}^3$)
検出部:	: 補正電極付通気式電離箱 電離箱有効容積: 30 ℓ ガンマ線遮へい: 鉛 20mm 厚さ イオンプリシピテータ内蔵

(4) インセル γ モニタ

(セル及びグローブボックス雰囲気を測定する高濃度用モニタ)

数量	: 2 式
測定対象	: セル内の空間 γ 線線量率
型式	: 電離箱
使用条件	: 窒素/空気 (大気圧、常温)
測定範囲	: $0.1 \sim 10^5 \text{mGy/h}$ ($10^{-2} \sim 10^4 \text{ R/h}$)

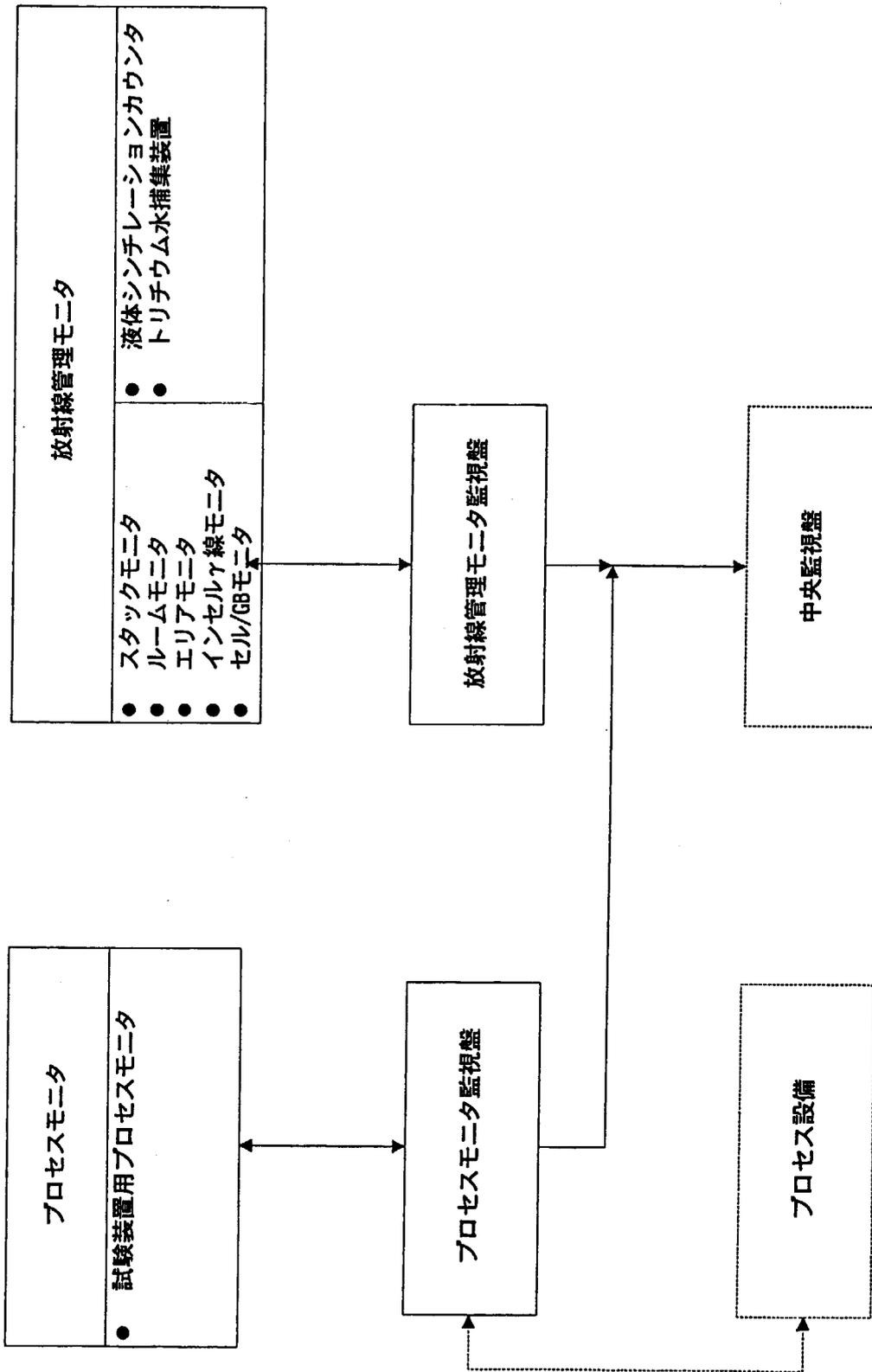


図 5. 10 放射線管理設備構成図

6 安全性に関する検討

本章においては、トリチウム増殖関連材料実験設備の安全性に係わる検討結果について示す。

6.1 トリチウムの閉じ込め

トリチウム格納に係わる安全性検討として、環境へのトリチウム漏洩量及びセル等のトリチウムを取り扱う設備におけるトリチウム濃度評価を行った。

6.1.1 環境への許容トリチウム漏洩量

トリチウム漏洩量は、作業環境へのトリチウム漏洩を評価するという観点から、トリチウム取扱量が大きい設備であるセルからセル操作室へのトリチウム漏洩の評価を行うとともに、環境への漏洩量を評価するという観点から、排気口から環境へのトリチウム漏洩の評価を行い、両者がともに許容トリチウム濃度以下になることを確認した。なお、セル操作室は連続換気され、室内では完全混合モデルが成立するとしてトリチウム漏洩量の評価を行う。

それぞれの検討条件を以下に示す。

1) セル操作室条件

- ・許容トリチウム濃度(DAC) : $7 \times 10^{-1} \text{ Bq/cm}^3$ *1
- ・セル操作室換気量 : $2300 \text{ m}^3/\text{h}$
(室容積 288 m^3 、換気回数 8 回/h と想定)

2) RI 利用開発棟排気口条件

- ・排気口許容トリチウム濃度(DAC)_p : $5 \times 10^{-3} \text{ Bq/cm}^3$ *2
- ・排気量 : $14750 \text{ m}^3/\text{h}$

*1: 科技庁告示 5 号別表第 1 空気中濃度限度(化合物を含む H³, 1 週間平均)

*2: 科技庁告示 5 号別表第 1 排気中又は空気中の濃度限度(水成分 H³, 3 ヶ月平均)

それぞれの場合における許容トリチウム漏洩量は、セル操作室トリチウム濃度が 1(DAC) ($=7 \times 10^{-1} \text{ Bq/cm}^3$) 以下、かつ排気口トリチウム濃度が 1(DAC)_p ($=5 \times 10^{-3} \text{ Bq/cm}^3$) 以下となるよう設定する。セル操作室及び排気口でのトリチウム濃度を、それぞれ、1(DAC) 及び 1(DAC)_p 以下にするための、セル操作室へのトリチウム漏洩量 q_w 及び排気口でのトリチウム放出量 q_e をそれぞれ以下に示す。

$$q_w = 7 \times 10^{-1} (\text{Bq/cm}^3) \times 2300 \times 10^6 (\text{cm}^3/\text{h}) = 1.6 \times 10^9 \text{ Bq/h}$$

$$q_e = 5 \times 10^{-3} (\text{Bq/cm}^3) \times 14750 \times 10^6 (\text{cm}^3/\text{h}) = 7.4 \times 10^7 \text{ Bq/h}$$

従って、セル操作室内トリチウム濃度及び排気口トリチウム濃度を、ともに許容トリチウム濃度以下にするためのトリチウム漏洩量は $7.4 \times 10^6 \text{ Bq/h}$ を制限とする。

一方、トリチウム漏洩量が $7.4 \times 10^7 \text{ Bq/h}$ の場合、セル操作室トリチウム濃度は、 $7.4 \times 10^7 (\text{Bq/h}) / 2300 \times 10^6 (\text{cm}^3/\text{h}) = 3.2 \times 10^{-2} \text{ Bq/cm}^3$ となり、告示で定められたトリチウム濃度以下となる。

以上のことから、環境へのトリチウム漏洩量は規定値以下になることが確認された。

6. 1. 2 トリチウムを取り扱う機器における許容トリチウム濃度

1) トリチウム漏洩量条件

本項では、主要なトリチウムを扱う設備である、セル、グローブボックス及びトリチウム除去設備に対して、各設備からのトリチウム漏洩に着目して検討を行う。本検討においては、検討条件となる各設備からの許容トリチウム漏洩量を、セル、グローブボックス及びトリチウム除去設備から同等量のトリチウムが漏洩して前項で算出した排気口でのトリチウム放出量(7.4×10^7 Bq/h)になると仮定し、 7.4×10^7 Bq/h を3等分した値から端数を切り捨てた値 2.0×10^7 Bq/h を各設備における許容トリチウム漏洩量と設定して検討を行った。

2) セル

セルは通常時には負圧に維持されており、トリチウムはセルからセル操作室に漏洩することはない。しかしながら、万一異常時にセルが正圧になった場合にはセルの隙間からトリチウムが外部へ漏洩する。このときのセル操作室へのトリチウム漏洩が、 2.0×10^7 Bq/h (0.5×10^{-3} Ci/h) 以下となるようにトリチウムを格納するものと設定した場合におけるセル内部許容トリチウム濃度を評価した。

セルからのガス漏洩量は、正圧条件が試験確認差圧と同一として

セル気密度	:	0.1vol%/h
セル容積	:	13.9 m ³

から、 $13.9 \times (0.1/100) = 1.39 \times 10^{-2}$ m³/hとなる。

そのため、異常時におけるセルからのトリチウム許容漏洩量を 2.0×10^7 Bq/h (0.5×10^{-3} Ci/h) と定めた場合、セル内の許容トリチウム濃度は以下のように評価される。

$$C_{GB} = (0.5 \times 10^{-3}) / (1.39 \times 10^{-2}) = 3.6 \times 10^{-2} \text{ (Ci/m}^3\text{)} = 1 \times 10^8 \text{ (Bq/cm}^3\text{)}$$

3) グローブボックス

グローブボックスからのトリチウム漏洩が、 2.0×10^7 Bq/h (0.5×10^{-3} Ci/h) 以下となるようにグローブボックス及びグローブボックス内格納設備にてトリチウムを格納するものと設定した場合におけるグローブボックス内部許容トリチウム濃度を評価した。

本項では、グローブボックスからのトリチウム漏洩を「グローブ材からの透過」、「グローブボックスからの漏洩」の2点からグローブボックス内への許容トリチウム漏洩量を算出し、内装機器からのトリチウム濃度管理指標を検討した。

(1) グローブ材からのトリチウムの透過

グローブ材からのトリチウムの透過について、まずグローブ材の透過係数(ϕ_G)を評価する。 ϕ_G は、グローブ材の透湿度測定データである「25°C, 相対湿度 50%のとき、 7.1×10^{-6} g · H₂O · cm/cm² · day」に基づき

$$\phi_G = 2.4 \times 10^{-2} (\mu\text{Ci} \cdot \text{cm/h} \cdot \text{cm}^2 - (\mu\text{Ci}/\text{cm}^3)) = 9.0 \times 10^2 (\text{Bq} \cdot \text{cm/h} \cdot \text{cm}^2 - (\text{Bq}/\text{cm}^3))$$

を用いて評価する。

トリチウムは HTO の方が HT に比べ 50 倍透過性が高いと報告されている[3]こと、またグローブボックス内に存在するトリチウムは HT と推定されるが、ここでは透過量評価には HTO に対する透過係数を使用し安全側に評価する。

次に、本グローブボックスで用いるグローブ仕様を以下に示す。

- ・グローブ厚さ : 0.8mm
- ・グローブ材面積 : 1 m²/対
- ・グローブポート数 : 9 対

グローブ操作をしない場合グローブポートには蓋がされるが、本評価では安全側評価として、9 対あるグローブからトリチウムが透過するものとして評価を行った。

(2) グローブボックスからの漏洩

グローブボックスは通常時には大気圧に対して負圧に維持されており、グローブボックスからのトリチウム漏洩はグローブ材のトリチウム透過が支配的であるが、万一異常時にグローブボックスが正圧になった場合を仮定し、安全側の評価として、グローブボックスの接続部、隙間部等からのトリチウムが漏洩する場合に関する検討を行う。このときのガス漏洩量は、正圧条件が試験確認差圧と同一として

- グローブボックス気密度 : 0.1vol%/h
- グローブボックス容積 : 16 m³

から、 $16 \text{ (m}^3\text{)} \times 0.1 \times 10^{-2} \text{ (/h)} = 1.6 \times 10^{-2} \text{ m}^3\text{/h}$ となる。

(3) グローブボックス内許容トリチウム濃度

グローブボックスからのトリチウム許容透過量を $2.0 \times 10^7 \text{ Bq/h}$ ($0.5 \times 10^{-3} \text{ Ci/h}$) と定めた場合、グローブボックス内許容トリチウム濃度は以下のように評価される。

$$C_{GB} = (0.5 \times 10^{-3}) / \{ (2.4 \times 10^{-8}) \times (1 \times 10^4) \times 9 \times (0.08) + 1.6 \times 10^{-2} \} = 1.2 \times 10^{-2} \text{ (Ci/m}^3\text{)} = 444 \text{ (Bq/cm}^3\text{)}$$

4) トリチウム除去装置

トリチウム除去装置からのトリチウム漏洩及び透過による作業環境へのトリチウム漏洩量については、 $2.0 \times 10^7 \text{ Bq/h}$ ($0.5 \times 10^{-3} \text{ Ci/h}$) 以下となるようにトリチウムを格納するものと設定した場合のトリチウム除去装置からのトリチウム漏洩量を算定し、本装置におけるトリチウム漏洩評価を行った。

トリチウム除去装置におけるトリチウム漏洩量を、 $1.85 \times 10^7 \text{ Bq/h}$ ($0.5 \times 10^{-3} \text{ Ci/h}$)、トリチウム除去装置内部のトリチウム濃度をセルの最高許容濃度相当である $1 \times 10^8 \text{ Bq/cm}^3$ ($3.6 \times 10^{-2} \text{ Ci/m}^3$) とすると、本装置の許容気密度は以下ようになる。

$$(0.5 \times 10^{-3}) / (3.6 \times 10^{-2}) = 1.4 \times 10^{-2} \text{ m}^3\text{/h} = 3.9 \text{ cm}^3\text{/s}$$

本設備の気密度は $1 \times 10^{-3} \text{ A cm}^3\text{/s}$ にて計画しており、許容気密度である $3.9 \text{ cm}^3\text{/s}$ を大きく下回るので、本装置からのトリチウム漏洩が問題になることはない。

6. 1. 3 結論

1) 環境へのトリチウム放出

セルからセル操作室等へのトリチウム漏洩量および施設排気口から環境へのトリチウム発生量を評価した結果、ともに放射線障害防止法で規定される濃度限度以下に抑えられることが確認された。

2) トリチウムを取り扱う機器におけるトリチウム濃度評価

セル、グローブボックス及びトリチウム除去設備等のトリチウムを取り扱う設備において、所定のトリチウム漏洩量を設定した場合のそれぞれの設備におけるトリチウム濃度の評価を行い、トリチウム濃度管理指針の算定要領を示した。また、トリチウム除去設備からのトリチウム漏洩量評価を行った。

6. 2 セル遮へい厚さの検討

照射済み試料を取扱うセルについて、簡易評価によりセルの最小必要遮へい厚さを検討した後、設定したセル壁厚のもと詳細解析によりセル周辺の線量当量率を評価し、線量当量率の要求条件を満足していることを確認した。検討内容を付録3「遮へい計算書」に示す。

7 まとめ

本検討では、JMTR 等で照射された核融合炉用トリチウム増殖関連材料等の特性把握を系統的かつ効率的に実施するための設備である「核融合炉ブランケット照射後特性試験施設」のうち、その第一段階整備設備である「トリチウム増殖関連材料実験設備」について、既存設備を有効利用して施設および設備の整備を行う場合を想定し、大洗研究所に既設の RI 利用開発棟の改造による整備について検討を行い、既存施設および設備の改造整備を行う場合の検討モデルケース試案を策定した。なお、実際の RI 利用開発棟の改造整備に対する主な施設・設備の改修・改造点をまとめると以下のようになる。

- ・建家の耐震評価/補強
- ・セルの新設に伴うセル基礎の補強
- ・既設機器の撤去・更地化
- ・排気ダクト、排水配管の更新
- ・電源設備の増強
- ・放射線管理設備の整備

また、本改造整備に関する主な許認可/官庁への手続きは以下のようになる。

- ・核燃料物質使用施設解除
- ・放射性同位元素使用施設としての変更許可
- ・所内保安規定変更
- ・県及び隣接市町村への説明

謝辞

本検討を進めるにあたり高橋秀武元 JMTR 部長（現在株式会社アトックス）及び伊藤治彦前 JMTR 部長（現在むつ事業所施設部長）にご指導いただくとともに、設備構成の検討においては、元ブランケット照射開発室の飯村勝道氏（現原子力エンジニアリング株式会社）、および産業科学（株）の菊川明広氏にご尽力いただいた。また、遮へいに関する検討については、設備全体の構成に関する検討において原子力エンジニアリング株式会社の石田卓也氏にご支援いただいた。

報告書の作成にあたっては、JMTR 部ホットラボ課の中川哲也氏に、トリチウム取扱に関する考え方を中心に貴重なコメントをいただいた。また、同部ブランケット照射開発室の林君夫室長からは、構成、英文等について、コメントをいただいた。

以上記して謝意を表します。

参考文献

- [1] 日本原子力研究所原子力材料研究委員会機能性材料開発推進専門部会編
「核融合炉用機能性材料の研究開発の進め方」、1999年3月
- [2] H.Kawamura, H.Sagawa, E.Ishitsuka, K.Tsuchiya, N.Sakamoto and T.Niiho,
"New Facilities in Japan Materials Testing Reactor for Irradiation Test of Fusion
Reactor Components", Proc. Of an ENS Class 1 Topical Meeting, p.232-239,(1996).
- [3] L.J.Wittenberg. Nucl.Technol. 38, p434(1978)

付録 1 実験設備機器仕様

実験設備機器仕様

設備名	設備内機器名	参考資料
セル	トリチウム増殖材料用インナーキャプセル用解体装置	添付資料 1
	トリチウム増殖材料用切断装置	添付資料 2
	トリチウム増殖材料用樹脂固め装置	添付資料 3
	中性子増倍材料用インナーキャプセル用解体装置	添付資料 4
	中性子増倍材料用切断装置	添付資料 5
	中性子増倍材料用研磨装置	添付資料 6
	中性子増倍材料用樹脂固め装置	添付資料 7
	トリチウム加熱除去装置	添付資料 8
GB 1	トリチウム放出実験装置	添付資料 9
GB 2	イオン研磨装置	添付資料 10
GB 3	金蒸着装置	添付資料 11
	小型低速精密切断機	添付資料 12
GB 4	熱定数測定装置	添付資料 13
GB 5	圧潰試験装置	添付資料 14
GB 6	電子天秤	添付資料 15
	光透過率測定装置	添付資料 16
GB 7	トリチウム加熱放出実験装置	添付資料 17
GB 8	熱サイクル試験装置	添付資料 18
GB 9	熱膨張率試験装置	添付資料 19
FD 1	2次イオン質量分析計 (SIMS)	添付資料 20
FD 2	透過型電子顕微鏡 (TEM)	添付資料 21
FD 3	発光質量分析装置	添付資料 22
FD 4	トリチウムモニタ溶解試験装置	添付資料 23

トリチウム増殖材料用インナーキャプセル用解体装置

① 使用目的

照射後のインナーキャプセルを解体し、安全に内部のトリチウム増殖関連材料を取り出す。

② 電源容量

100V 6 kVA

③ 機器寸法

W698×L495×H619 mm

添付資料 2

トリチウム増殖材料用切断装置

- ① 使用目的
試験体試料を必要な大きさに切り出す。
- ② 電源容量
100V 15kVA
- ③ 重量
30kg
- ④ 機器寸法
W300×L300×H300 mm
- ⑤ 蒸留水
5 ℓ/min

添付資料 3

トリチウム増殖材料用樹脂固め装置

- ① 使用目的
試験体試料を樹脂で固定成形する。
- ② 機器寸法
W300×L300×H100 mm

中性子増倍材料用インナーキャプセル用解体装置

① 使用目的

照射後のインナーキャプセルを解体し、安全に内部の中性子増倍関連材料を取り出す。

② 電源容量

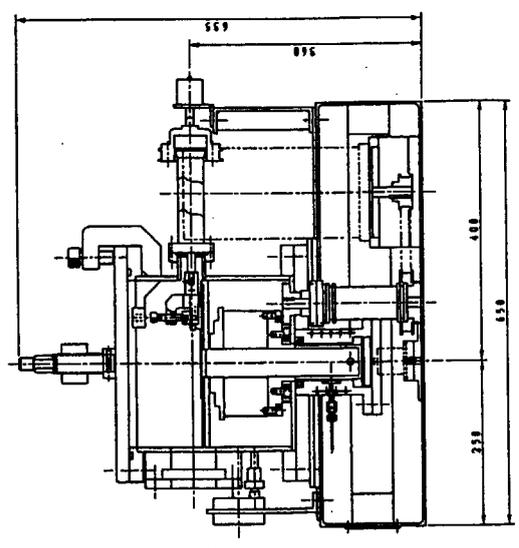
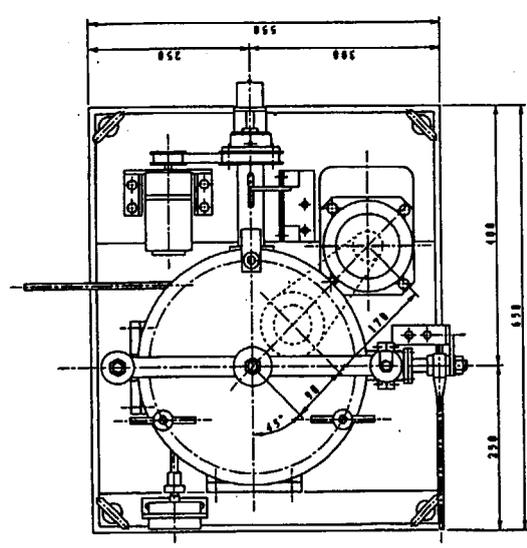
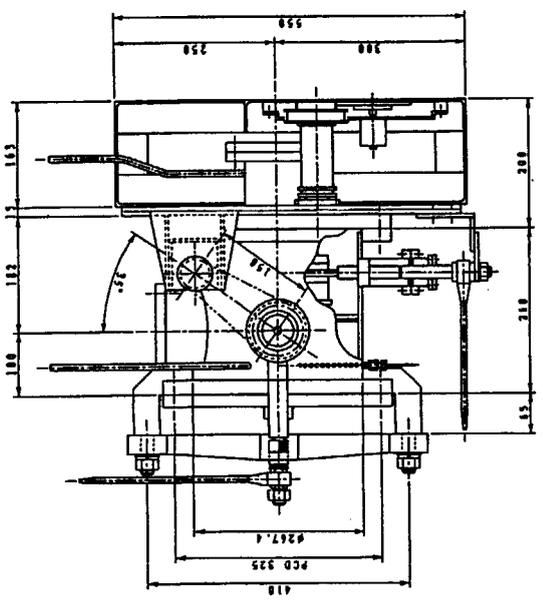
100V 2kVA, 200V 2kVA

③ 機器寸法

W650×L550×H635 mm

FILE	ITEM NO.								
------	----------	--	--	--	--	--	--	--	--

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--



中性子増倍材用インナーキャプセル解体装置 計画図

添付資料 5

中性子増倍材料用切断装置

① 使用目的

試験体試料を必要な大きさに切り出す。

② 電源容量

100V 15kVA

③ 重量

30kg

④ 機器寸法

W300×L300×H300 mm

⑤ 蒸留水

5 ℓ /min

添付資料 6

中性子増倍材料用研磨装置

① 使用目的

試験体試料を研磨する。

② 電源容量

100V 15kVA

③ 重量

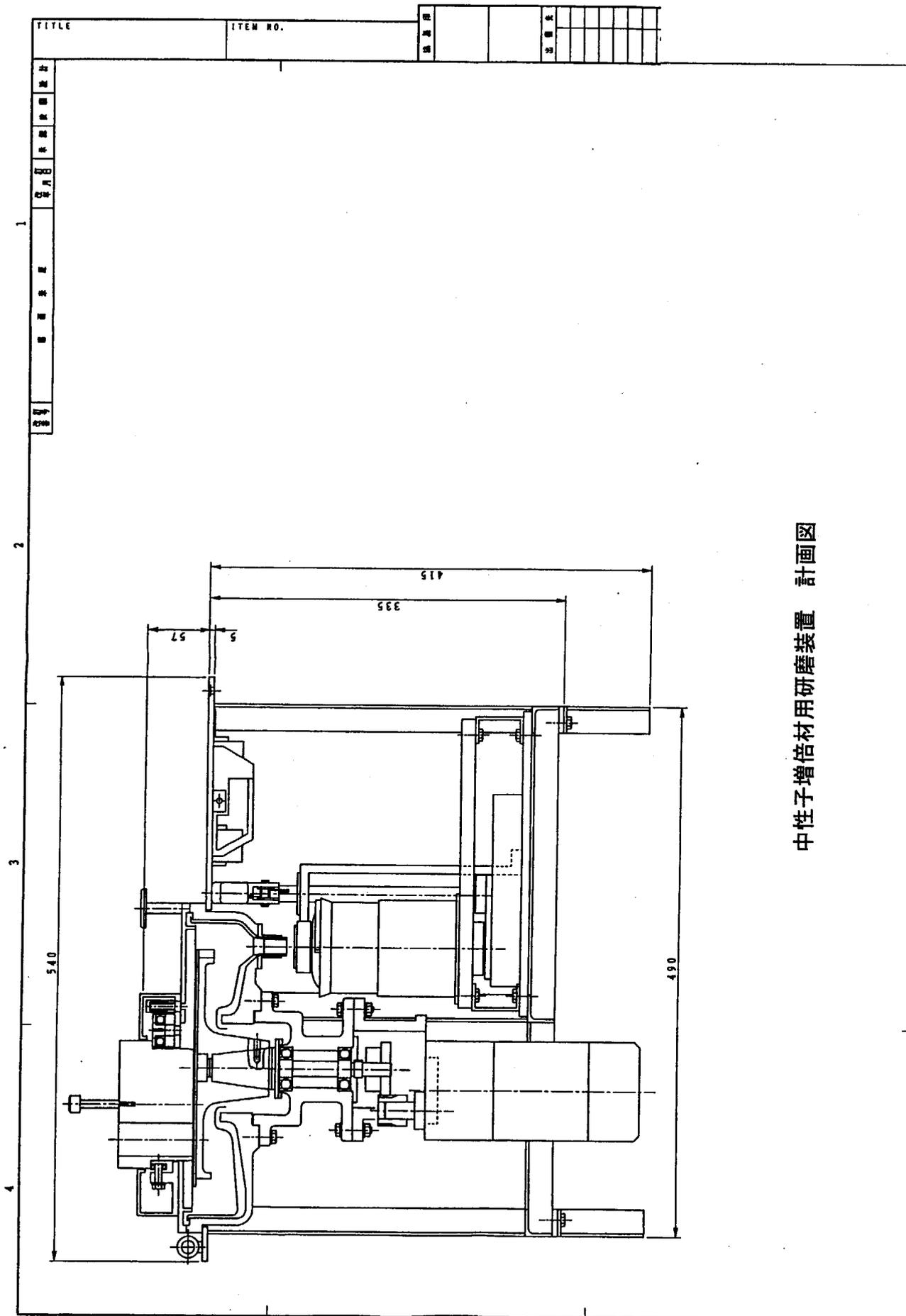
30kg

④ 機器寸法

W540×L ×H472 mm

⑤ 蒸留水

5 ℓ /min



中性子増倍材用研磨装置 計画面

添付資料 7

トリチウム増倍材料用樹脂固め装置

- ① 使用目的
試験体試料を樹脂で固定成形する。
- ② 機器寸法
W300×L300×H100 mm

添付資料 8

トリチウム加熱除去装置

- ① 使用目的
インナーキャプセル等の廃棄物中に滞留するトリチウムを加熱し除去する。
- ② 加熱方式
高周波誘導加熱
- ② 使用温度
1000℃
- ③ 電源容量
220V 12kVA, 100V 1kVA
- ④ 機器寸法
430L×430W×979H mm
- ⑤ 冷却水
35 ℓ/min

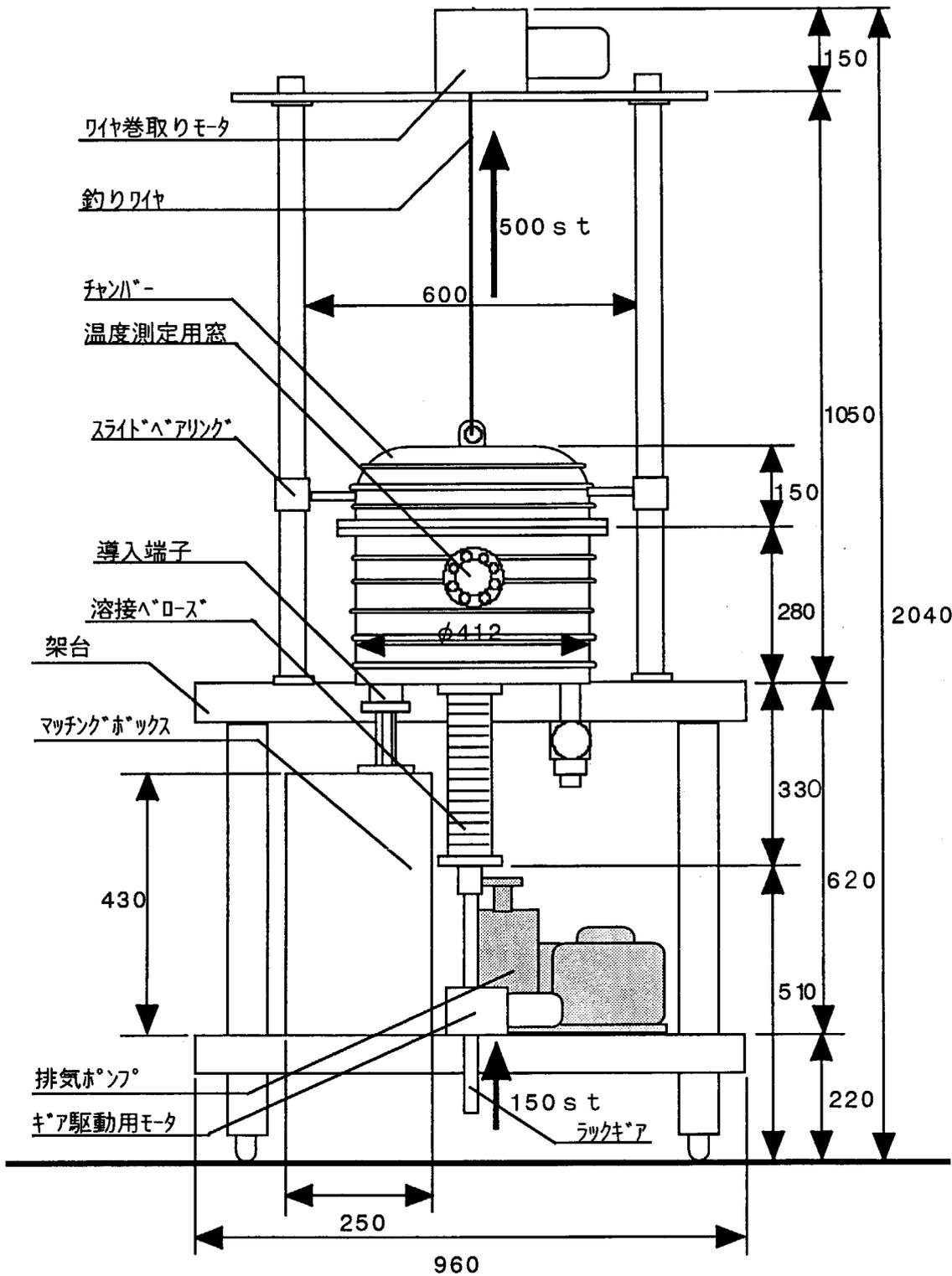
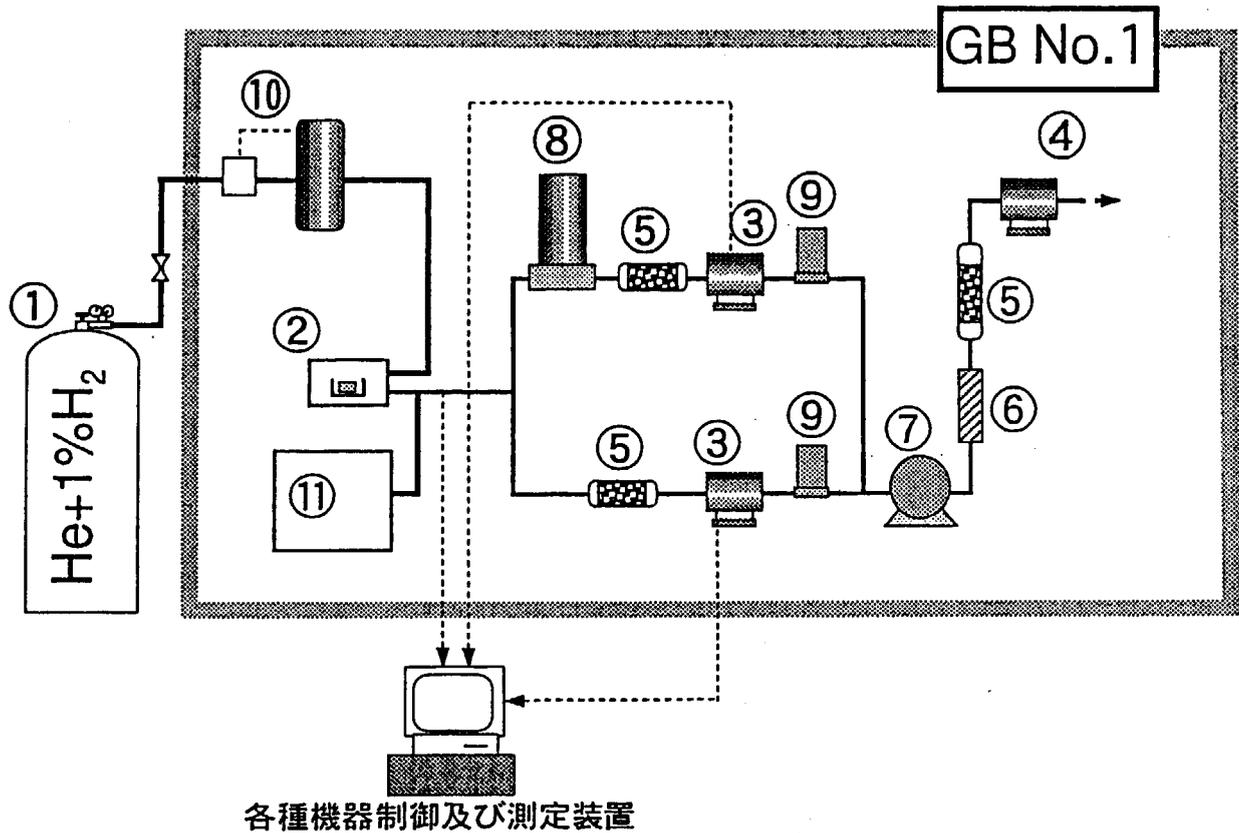


図 トリチウム加熱除去装置概要図（側面図）

トリチウム放出実験装置

- ① 重量
200kg
- ② 機器寸法
L2400×W1000×H1800 mm(グローブボックス 1 寸法)
- ③ 電源容量
100V 1.25kVA
- ④ ガス
He+H₂ 20~200 cm³/min
Ne 20~200 cm³/min



構成機器

- (1) ガス供給系
- (2) トリチウム熱放出炉 (w200×L800×H1000)
- (3) トリチウム電離箱(w123×L600×H145)
- (4) トリチウム電離箱 (w100×L400×H100)
- (5) トリチウム水除去塔(φ20×L250)
- (6) トリチウム酸化塔(φ20×L250)
- (7) 排気ポンプ
- (8) 電解セル (φ135×L400)
- (9) 流量調節装置
- (10) 圧力調節装置
- (11) 質量分析器
- (12) コンピュータ (各種機器制御及び測定装置)

添付資料 10

イオン研磨装置

- ① 使用目的
試料調整、寸法測定及びセル間との試料や廃棄物の移送準備。試料の化学的な調整及び汎用。
- ② 重量
45kg
- ② 機器寸法
360L×560W×410H mm
- ③ 電源容量
100V 0.2kVA
- ④ ガス
Ar

添付資料 11

金蒸着装置

- ① 使用目的
試料表面に金を蒸着させる。

添付資料 1 2

小型低速精密切断装置

- ① 使用目的
試料を精密に切断する。
- ② 重量
12kg
- ③ 機器寸法
370L×360W×280H mm
- ④ 電源容量
100V 0.1kVA

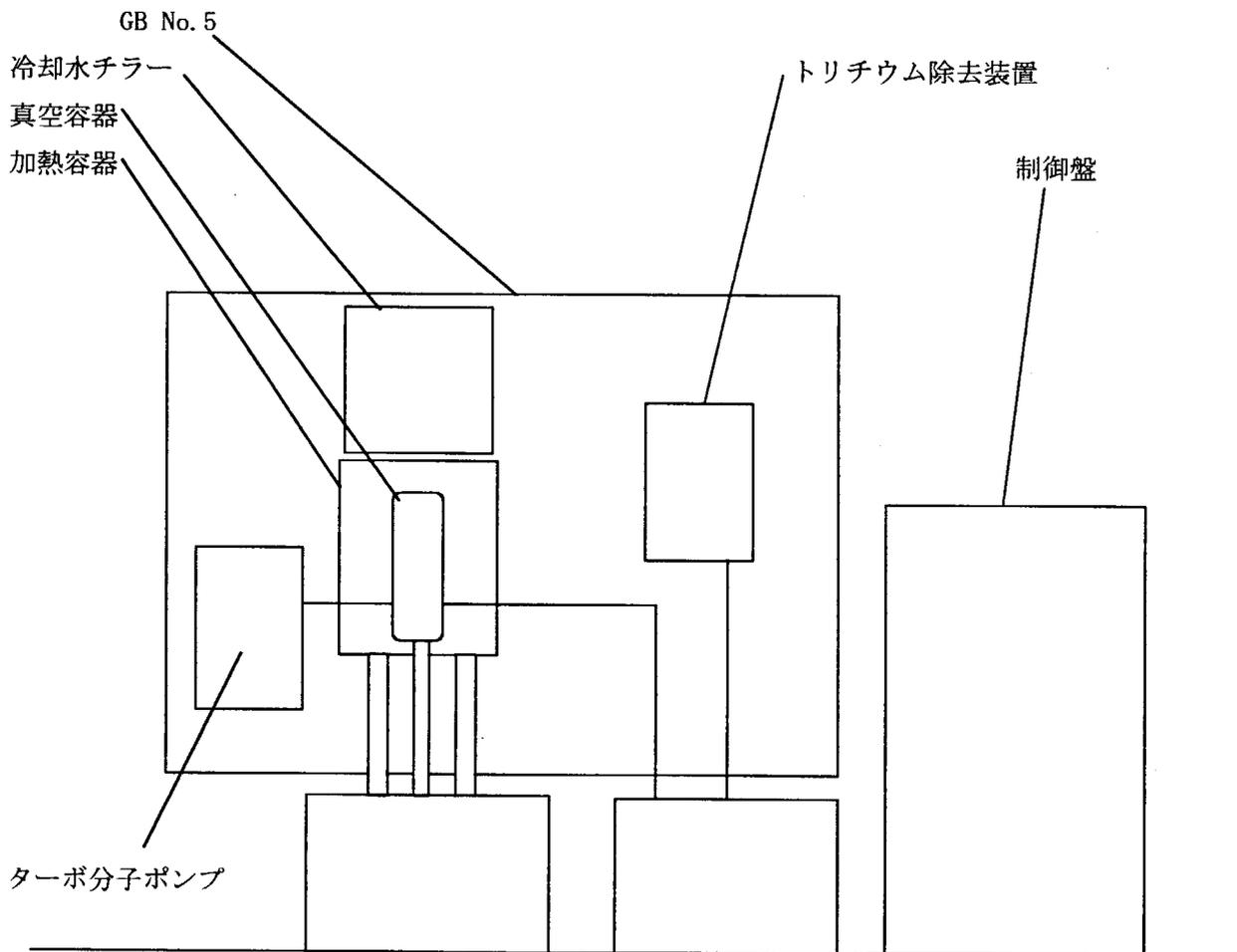
添付資料 1 3

熱定数測定装置

- ① 使用目的
試料の熱定数を測定する。
- ② 重量
200kg
- ③ 機器寸法
1500L×1000W×1800H mm(GB)
- ④ 電源容量
200V 3kVA, 100V 5kVA

圧潰試験装置

- ① 使用目的
試料の圧潰特性を測定する。
- ② 重量
200kg
- ③ 機器寸法
1300L×700W×2000H mm(GB)
- ④ 電源容量
100V 2.1kVA



添付資料 15

電子天秤

- ① 使用目的
試料の精度良く秤量する。
- ② 電源容量
100V 0.1kVA

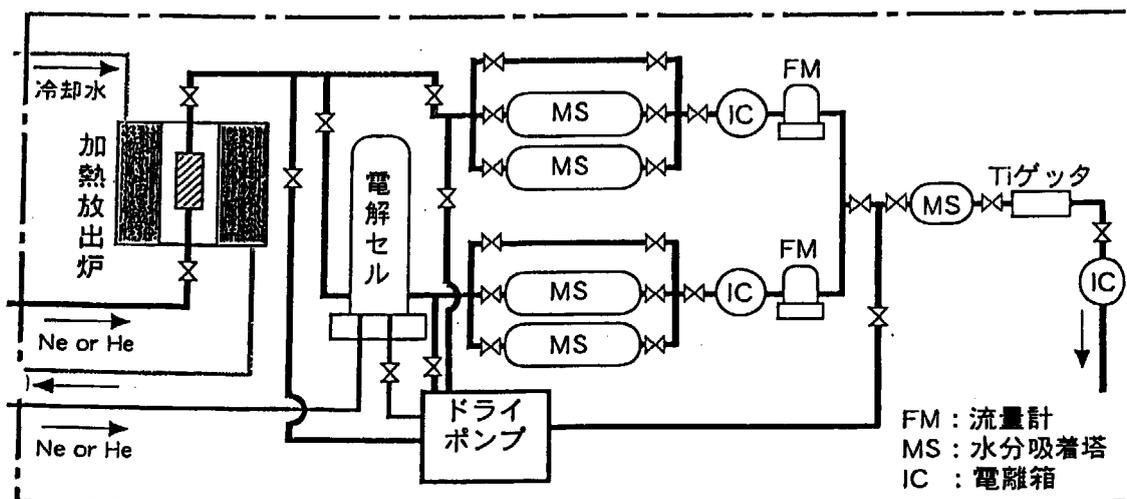
添付資料 16

光透過率測定装置

- ① 使用目的
試料の光透過特性を測定する。
- ② 重量
100kg
- ③ 機器寸法
2000L×1000W×1800H mm(GB)
- ④ 電源容量
100V 4kVA

トリチウム加熱放出実験装置

- ① 使用目的
トリチウム含有物を加熱し、放出特性を測定する。
- ② 重量
150kg
- ③ 機器寸法
550L×900W×600H mm(GB)
- ④ 電源容量
100V 2kVA
- ⑥ 冷却水
3ℓ/min



トリチウム加熱放出装置 全体配置図

熱サイクル試験装置

- ① 使用目的
試料の熱サイクル特性を測定する。
- ② 重量
100kg
- ③ 機器寸法
700L×3500W×1650H mm
- ④ 電源容量
200V 1φ 4kVA, 200V 3φ 8kVA, 100V 3kVA
- ⑤ 装置構成（示差熱天秤モジュールのみグローブボックス内配置機器）
 - ・ 示差熱天秤モジュール
 - ・ 解析制御装置（パソコン）
 - ・ 温度コントロール操作機
 - ・ 真空排気系
 - ・ ガス導入系
 - ・ 天秤設置台
 - ・ 冷却水循環装置
 - ・ 冷却ガス発生器

熱膨張率試験装置

① 使用目的

試料の熱膨張を測定する。

② 重量

127kg

③ 機器寸法

2200L×800W×2200H mm(GB)

④ 電源容量

100V 2.1kVA

⑤ 冷却水

2ℓ/min

⑥ 装置構成 (グローブボックス内配置機器は、熱膨張検出装置及び高真空引きポンプ)

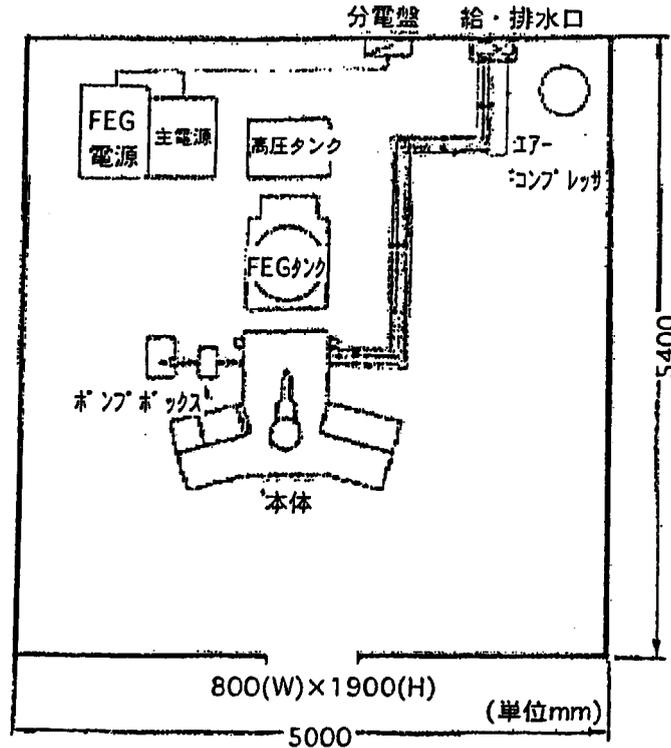
- ・ 熱膨張検出装置
- ・ 温度制御装置
- ・ データ処理装置
- ・ 真空排気系 (粗引きポンプ、高真空引きポンプ)
- ・ 防振台
- ・ 装置操作及びデータ処理用パソコン

2次イオン質量分析機 (SIMS)

- ① 使用目的
試料の表層元素分析と元素深さ分析を行う。
- ② 重量
1000kg
- ③ 機器寸法
4500L×5900W mm
- ④ 電源容量
220V 11.5kVA, 200V 5.4kVA,
- ⑤ 冷却水
5 ℓ /min
- ⑦ ガス
N₂ 7000L/y, 20L/min
- ⑧ 装置構成
 - ・ 電源装置
 - ・ SIMS 本体及びベーキング装置
 - ・ 真空ポンプ
 - ・ 冷却装置
 - ・ 制御及び観察用ワークステーション

透過型電子顕微鏡 (TEM)

- ① 使用目的
試料の電子散乱・回折の差を用いて拡大像を得る。
- ② 重量
1700kg
- ③ 機器寸法
5400L×5000W×3000H mm
- ④ 電源容量
200V 9.4kVA
- ⑤ 冷却水
9L/min



TEM観察装置 全体配置図

高周波プラズマ発光質量分析装置(ICP-mass)

- ① 使用目的
試料の元素分析を行う。
- ② 重量
175kg
- ③ 機器寸法
600L×1100W×640H mm
- ④ 電源容量
200V 3kVA
- ⑤ 冷却水
5 ℓ/min
- ⑥ ガス
Ar 20L/min

トリチウムモニタ溶解試験装置

① 重量

28kg

③ 機器寸法

550L×900W×600H mm

④ 電源容量

100V 1.5kVA

⑤ 冷却水

2ℓ/min

⑥ 装置構成

=フード内配置装置=

- ・ 酸溶解ユニット
- ・ 酸化燃焼ユニット
- ・ ガス吸収ユニット
- ・ 吸気カラム
- ・ 活性炭・ポンプユニット

=フード外配置装置=

- ・ 温度制御ユニット
- ・ 電子冷却制御ユニット

付録2 トリチウム加熱除去装置

本装置の加熱対象は容量の小さなインナーキャプセルであり、放射性ガスであるトリチウムを扱う観点から、比較的高速で昇温出来ることから処理速度が速く、取り扱いスペースを封じることが出来、コンパクトな設計が可能なることから高周波誘導加熱方式を採用した。

1. 基本機能

- (1) 解体済みインナーキャプセルの加熱
インナーキャプセルを十分なトリチウムが回収できる温度へ加熱できる
- (2) 解体済みインナーキャプセルからのトリチウム回収
トリチウム回収量は最大 2Ci (7.4×10^{10} Bq)
回収方法は金属ゲッタ (量少ないため再利用不要)
- (3) 解体済みインナーキャプセルからの回収トリチウム閉込め密封
気密度 10^{-6} Acc/sec

2. 処理対象条件

- (1) 解体済みインナーキャプセル
インナーキャプセルは内筒部と外筒部からなり、これらを同時に処理できる。(添付資料1参照)
- (2) 処理能力
処理が必要なインナーキャプセルは年間 10 本と想定する。トリチウム除去作業は一度に 1 年分処理できる。

3. 装置仕様

セルの内部にヒータ、マッチングボックス、チャンバー及び排気ポンプを一体とした加熱部装置を設置し、これらの制御を行うインバータはセルの外部に設置するよう計画する。それぞれの装置概要は図1及び図2に示す。

- (1) ヒータ
高周波誘導加熱
コイル寸法： $\phi 40 \times 140$ Lmm
使用温度： 1000℃
最高使用温度： 1200℃
- (2) マッチングボックス
高周波発振用

- 寸法 : 430L×430W×250H mm
- (3) インバータ
高周波制御用
- 寸法 : 430L×430W×979H mm
- 重量 : 150kg
- 出力 : 10kW
- 周波数 : 120kHz
- 受電電圧 : 3φ 220V
- 直流電圧 : 260V
- 直流電流 : 40A
- 直流出力 : 10.4kW
- 交流入力 : 12kVA
- (4) チャンバー
加熱部密閉用
- 材質 : SUS304
- 寸法 : φ412×430L×6t mm
- その他 : 外側水冷機構付き
蓋部電動式つり上げ機構付き(500mm ストローク)
試料台上下可動電気式(150mm ストローク)
放射型温度計測用フランジ窓付き(有効径φ120 mm)
- (5) 排気ポンプ
メタルベローズポンプ
- 材質 : SUS304
- 寸法 : 338L×140W×220H mm
- 重量 : 11.7kg
- 最大吐出流量 : 78.2N l/min
- 到達真空度 : -558mmHg
- 電源電圧 : 115V
- 電流 : 6.8A
- (6) 架台
- 材質 : SS400
- 寸法 : 960L×620W×840H mm
- (7) ユーティリティ
- 一次電源 : φ3 220V 12kVA (高周波誘導加熱)
100V 140W (モータ駆動系)
115V 780W (排気ポンプ)

冷却水 : 35 ℓ/min (高周波誘導加熱)

4. 1000℃加熱の妥当性検討

トリチウム加熱除去装置において、インナーキャプセルを 1000℃に加熱し、内部に滞在するトリチウムのあぶり出しを行うことを計画するが、あぶり出し必要時間からインナーキャプセルに対する 1000℃加熱の妥当性を検討する。

(1) 加熱時間の計算

真空中での母材の厚さに対し、加熱した時の中心部の濃度がある目標濃度まで減少する時間は下式[1]により表せる。

$$D_H = D_0 \exp(-Q/RT)$$

$$D_T = D_H (m_H)^{1/2} / (m_T)^{1/2}$$

$$t = B d^2 / D_T$$

D_H	:	水素拡散係数(m ² /s)
D_0	:	振動数項(m ² /s) [$D_0 = 2.0 \times 10^{-4}$]
Q	:	活性化エネルギー(J/mol) [$Q = 7.45 \times 10^4$]
R	:	気体定数(J/mol/K) [$R = 8.314$]
T	:	温度(K) [$T = 1273$]
D_T	:	トリチウム拡散係数(m ² /s)
m_H	:	水素原子量 [$m_H = 1$]
m_T	:	トリチウム原子量 [$m_T = 3$]
t	:	目標濃度に減少する時間(t)
d	:	母材厚さ(m) [$d = 0.012$]
B	:	定数 (下表による)

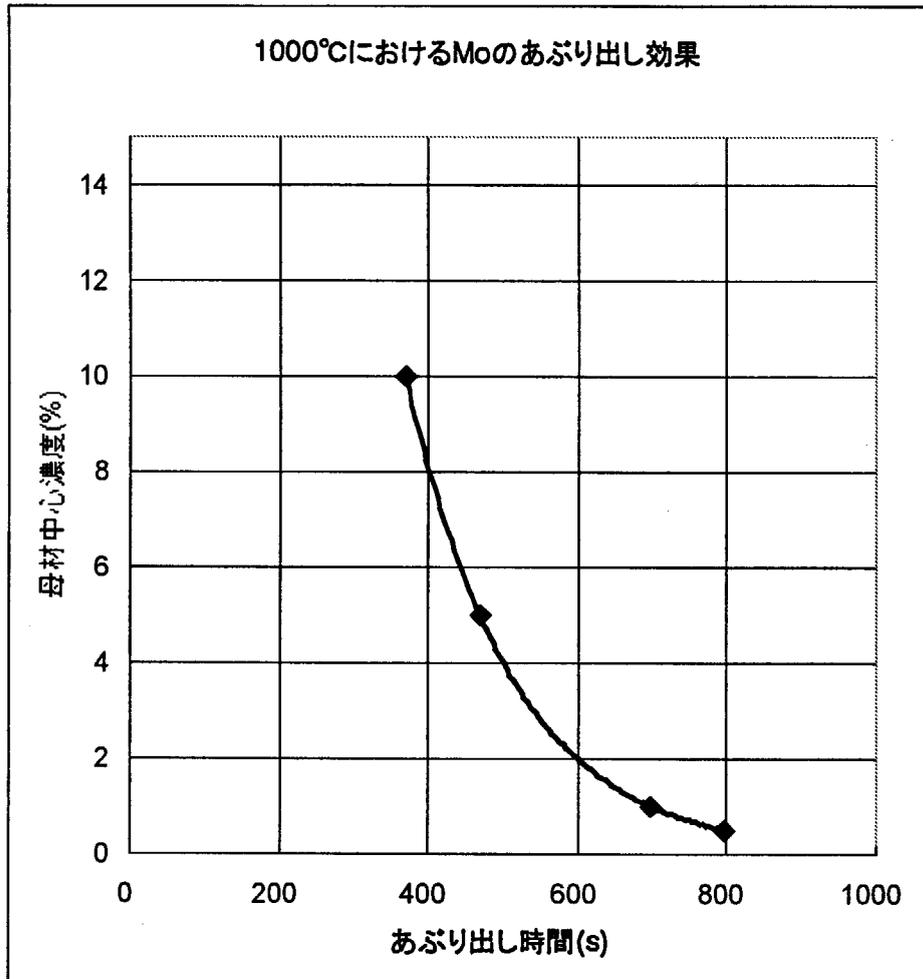
母材中心の飽和 量に対する濃度	10%	5%	1%	0.5%
B	0.26	0.33	0.49	0.56

インナーキャプセルの材料である TZM は 99%Mo なので、Mo に対する水素拡散係数 D_H は 1.75×10^{-7} (m²/s) を用いた。また、トリチウム拡散係数 D_T は原子量の平方根の比 $(m_H)^{1/2} / (m_T)^{1/2}$ に比例することから $D_T = 1.01 \times 10^{-7}$ (m²/s) として検討を行った。母材厚さは、インナーキャプセル内筒部が最厚部であることから、内筒の直径 0.012(m) を用いて検討を行った。

(2) 計算結果及び考察

インナーキャプセル（最厚部 12mm）を 1000℃に加熱あぶり出しにより、母材中心部に滞在するトリチウムの目標濃度までの達成時間の計算結果を図 1 に示す。

約 800(s)[約 13 分]の 1000℃加熱あぶり出しにより、母材中心部のトリチウム濃度は飽和濃度に対する 0.5%まで放出させることができる。よって、トリチウム加熱除去装置において 1000℃の加熱あぶり出しは十分早い除去時間で作業を終わらせることが出来ることから、妥当な運転温度であると考えられる。



(3) 加熱処理後のインナーキャプセル内での残留トリチウム量

Mo への水素溶解量は Stickney の式で表される。

$$S = 1.1 \times 10^{-3} \exp(-28.5/RT)$$

S : 溶解度 (H-atom/Mo-atom/atm^{1/2})

R : 気体定数(J/mol/K) [R=8.314]

T : 温度(K) [K=1273]

1000℃における水素溶解度は 2.48×10^{-3} (H-atom/Mo-atom/atm^{1/2}) と計算される。

一方、インナーキャプセルの Mo 量は外筒部及び内筒部を併せて 217g と見積もられ、この量は mol 数換算で 2.26mol である。従って、インナーキャプセルに溶解できるトリチウム原子の最大量は 7.69×10^{10} (Bq) と考えられる。このインナーキャプセルを 1000°C/800s の加熱あぶり出しにより、母材中心部のトリチウム濃度は飽和濃度に対する 0.5%まで放出させることとなるため、内部に残留するトリチウム量は最大で 3.84×10^8 (Bq) と考えられる。なお、この加熱あぶり出しにより放出されるトリチウム量は 7.65×10^{10} (Bq) と考えられる。

参考文献

- [1] 真空ハンドブック、オーム社、P43 (1993)

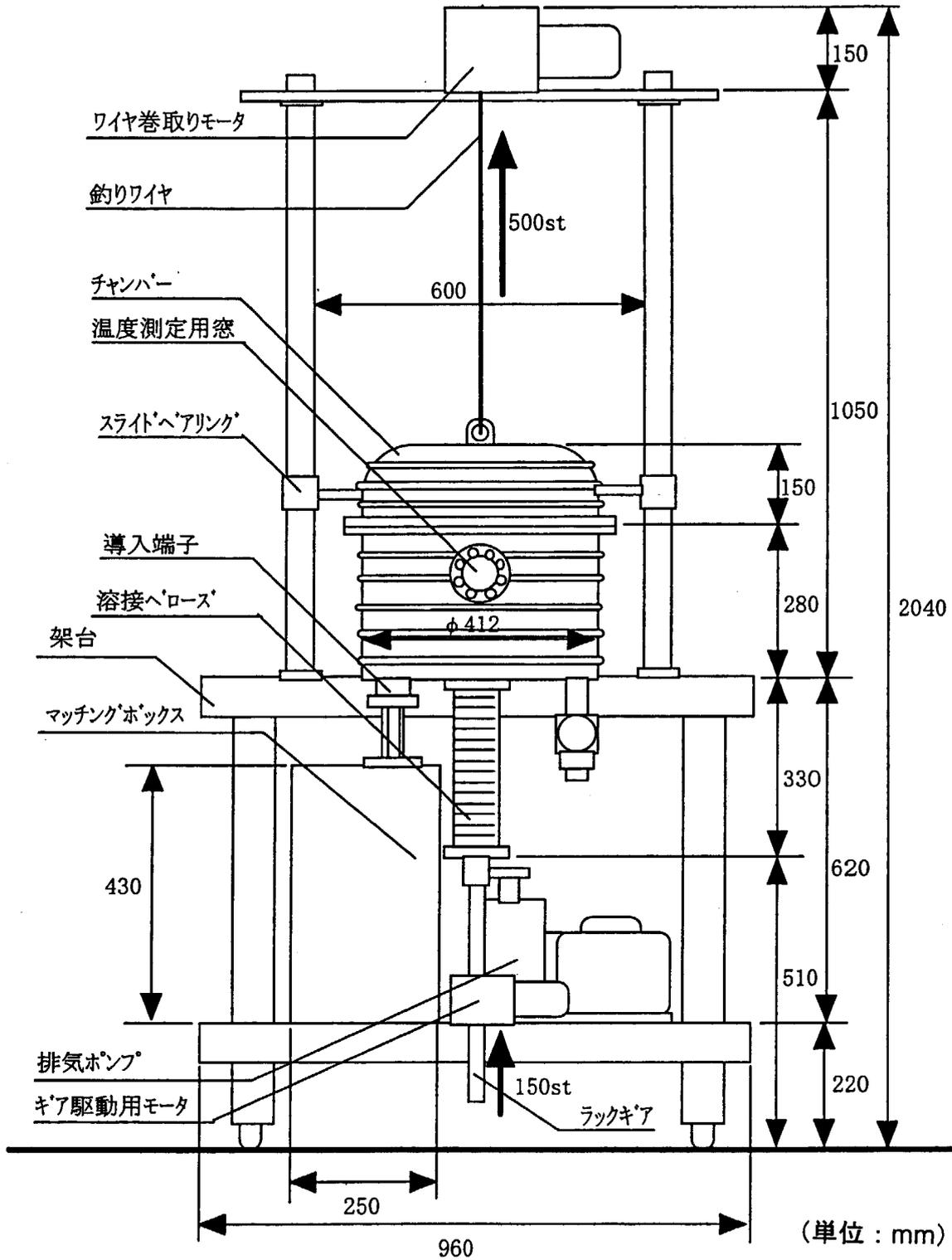


図1-1 トリチウム加熱除去装置概要図(側面図)

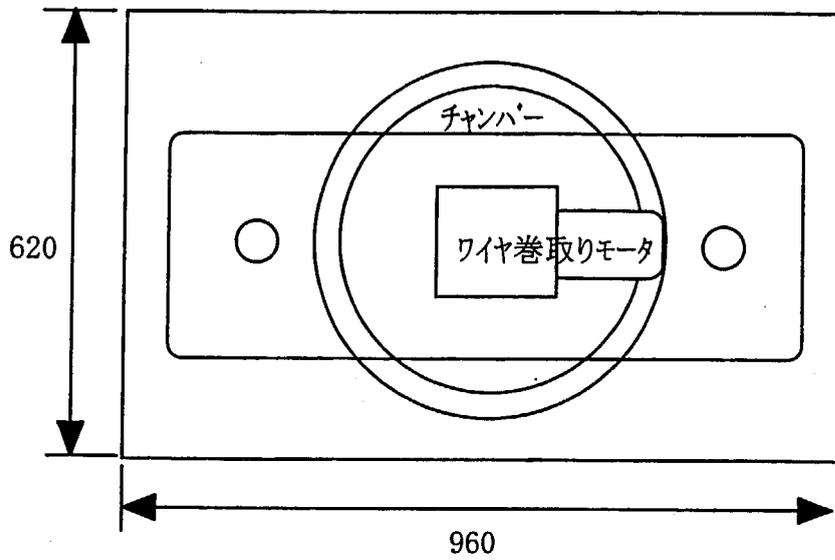


図1-2 トリチウム加熱除去装置概要図(上面図)

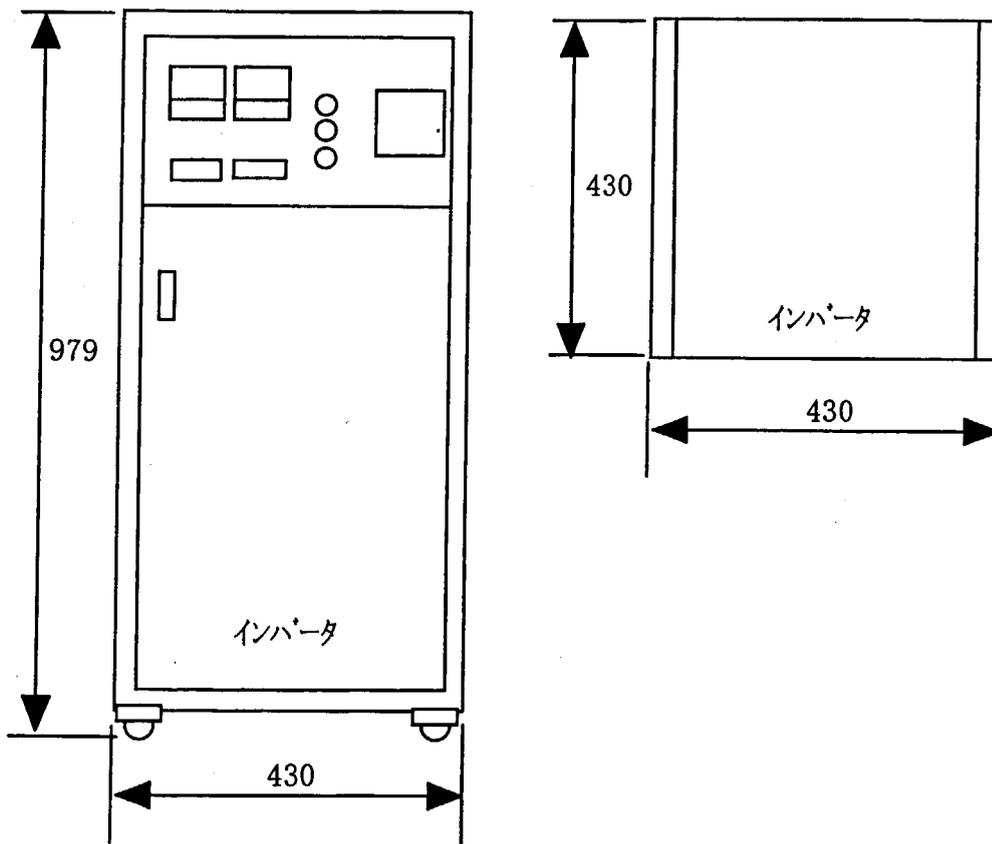


図2 インバータ概要図(トリチウム加熱除去装置)

添付資料 1 (1/2)

1.5) トリチウム増殖関連材料及びインナーキャプセル仕様を下表に示す。

インナー キャプセル形状	形状	・ $\phi 10 \sim 20 \times L \sim 100 \text{mm} \times t 2 \text{mm}$ (図 1, 図 2 参照)
	材質	TZM*1、インコネル x-750、Pt
	^3H 生成量	インナーキャプセル 1 体当たり約 30Ci (暫定値)
	γ 線(Bq) (暫定値)	添付資料 2 参照
内容物	トリチウム増殖関連材料 形状：微小球 ($\phi 0.2 \sim 2 \text{mm}$) ：ディスク ($\phi 8 \sim 10 \times t 2 \text{mm}$) 材質 ・ ^6Li 濃縮 ($\text{Li}_2\text{O}, \text{Li}_2\text{TiO}_3, \text{Li}_4\text{SiO}_4, \text{Li}_2\text{ZrO}_3$ 等) ・ ベリリウム及びベリリウム金属間化合物 ($\text{Be}, \text{Be}_{12}\text{Ti}, \text{Be}_{12}\text{Mo}, \text{Be}_{12}\text{Ta}$ 等)	
処理個数	年間 4 体～10 体	
設計寿命	10 年 (暫定)	
トリチウム漏れ許容量(暫定値)	ガス成分： $2.0 \times 10^4 \text{Bq/cc}$ 未満 水成分：0.7Bq/cc 未満	
その他	・ 内面コーティング ($\text{Cr}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{P}_2\text{O}_5$) 残留 ^3H 量+切断時 ^3H 放出量：(Max30Ci/個)	

*1：TZM：ベリリウム関連材料照射用キャプセル材料

構成元素及び成分 (%) Ti=0.94773、Zr=0.06249、Mo=98.98978

添付資料 1 (2/2)

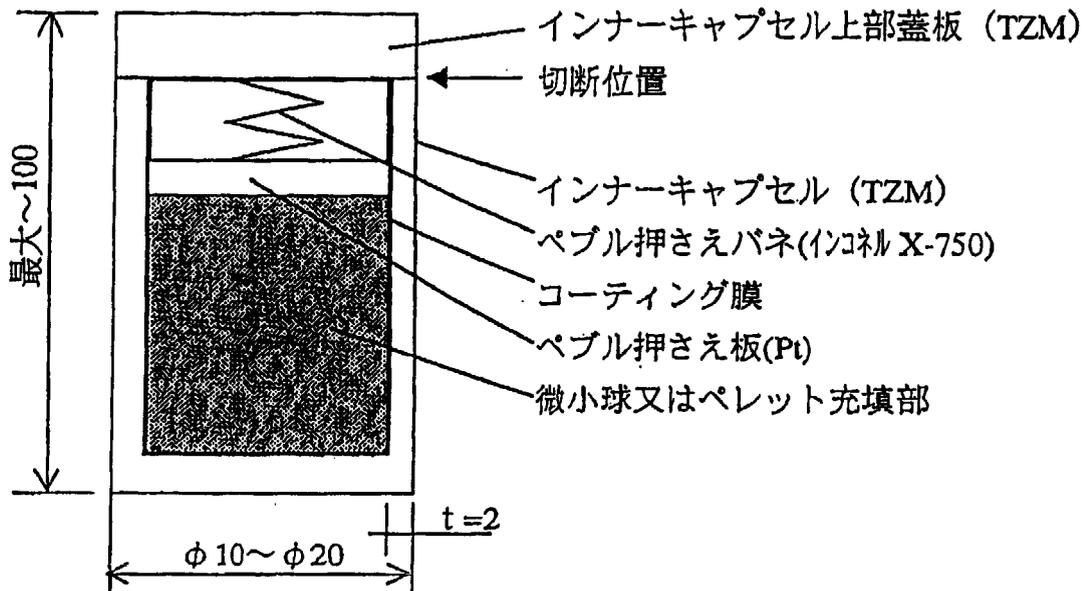


図1 インナーキャプセル (ペレット用、ペブル充填層模擬体用)

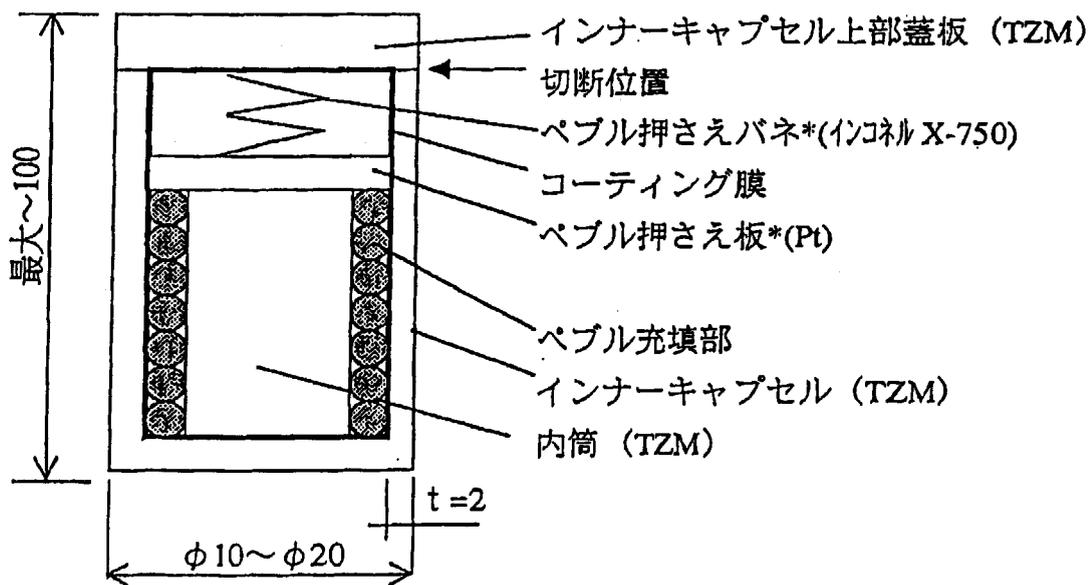


図2 インナーキャプセル (ペブル単体照射試験用)

* ペブル押さえバネやペブル押さえ板が無いインナーキャプセルもある

This is a blank page.

遮へい計算書

This is a blank page.

1. 概要

トリチウム増殖材料用および中性子増倍材料用の二つのセルについて、簡易評価によりセルの最小必要遮へい壁厚を検討したのち、設定したセル壁厚のもと詳細解析によりセル周辺の線量当量率を評価し、線量当量率への要求条件を満足していることを確かめた。最小必要遮へい壁厚は、炭素鋼相当で次の通りである。

	セル壁	貯蔵庫壁
トリチウム増殖材料用セル	28.5cm	34.5cm
中性子増倍材料用セル	32cm	37.5cm

2. 基本遮へい壁厚検討

(1) 線源条件

トリチウム増殖材料用および中性子増倍材料用の各セルにおける取扱核種及び取扱量を添付資料 1 および添付資料 2 に示す。セル壁の遮へい能力は 1 日あたりの使用量にて評価する。また貯蔵庫の遮へい能力は 1 年あたりの使用量にて評価する。添付資料に基づき γ 線源強度を算出すると、各セルの線源について表 1 および表 2 に示すエネルギースペクトル (1 日あたりの使用量) となる。

(2) 遮へい壁厚要求条件

人が常時立入る場所の線量当量限度が 1mSv/week であることから、セル表面及び貯蔵庫表面における線量当量率目標値は $20 \mu\text{Sv/h}$ とする。

(3) モデル・評価法

線源は点線源にて模擬し、線源はセル壁または貯蔵庫壁の内面に密着していると仮定する。遮蔽材の炭素鋼の密度は 7.8g/cm^3 とする。

(4) 線量計算

点減衰核ビルドアップ法により、壁厚をパラメータとして壁外面の線量当量率を概算する。

(5) 計算結果

セル壁厚さ(炭素鋼厚さ)と壁外面の線量当量率との関係を図 1 および図 2 に示す。

線量当量率目標値を線量当量率の減衰カーブが横切る位置から必要最小壁厚さを評価した。なお貯蔵庫については線源強度が 1 桁高いために、同図において見かけ上の線量当量率目標値を、制限値に対して 1/10 とすることにより評価ができる。

図 1 よりトリチウム増殖材料用セルでは、セル壁厚は 28.5cm また貯蔵庫壁厚は 34.5cm 以上の厚さ炭素鋼が必要となる。また図 2 より中性子増倍材料用セルでは、セル壁厚は炭 32cm また貯蔵庫壁厚は 37.5cm 以上の厚さ炭素鋼が必要となる。

3. 線量当量率確認評価

(1) 確認評価法

γ 線の遮蔽計算として標準的に使用されている計算コード QAD (概要: 添付資料 3 参照) を適用する。本確認評価は中性子増倍材料用セルにおいて1日あたりの使用量を線源として実施する。

(2) 遮へい壁厚要求条件

セル壁表面は1.のとおりである。

セル操作室の外壁およびセル上方向の屋上はいずれも管理区域境界 (線量当量限度 0.3mSv/week) に該当することから、セル操作室壁外面および屋上表面における線量当量率目標値は $6\ \mu\text{Sv/h}$ とする。

(3) モデル

中性子増倍材料用セルのセル壁およびセル天井の厚さは 32cm (炭素鋼) とする。

セル外表面およびセル操作室外壁表面の各線量当量率計算にあたっては、線源はセル内面に密着しているとする。操作室壁は厚さ 20cm のコンクリートとし、セル壁とコンクリート壁の間には隙間は存在しないとする。

屋上表面 ($\text{GL}4500\text{mm}$) については、点線源が $\text{GL}4500\text{mm}$ 、セル天井上面が $\text{GL}3000\text{mm}$ の高さにあるとする。セル操作室天井は厚さ 10cm のコンクリートとする。

セル操作室の壁および天井のコンクリートの密度は 2.2g/cm^3 とする。

線源は点線源にて模擬し、評価点との計算モデル上の配置関係を図3に示す。

(4) 線量率計算結果

QAD[1]での計算により、各評価点の線量当量率は次の様になった。

	線量当量率計算値	線量当量率目標値
セル表面	$3.2\ \mu\text{Sv/h}$	$20\ \mu\text{Sv/h}$
セル操作室壁外面	$0.12\ \mu\text{Sv/h}$	$6\ \mu\text{Sv/h}$
セル操作室壁屋上	$0.0078\ \mu\text{Sv/h}$	$6\ \mu\text{Sv/h}$

すなわち、いずれの評価点も線量当量率の計算値は目標値を充分下回っていることが確認できた。

参考文献

- [1] Radiation shielding information center computer Code collection. CCC-493/QAD-CGGP.

表1 遮蔽要求厚評価用γ線源スペクトル(トリチウム増殖材用および中性子増倍材用)
1日当たりの使用量

グループ	核種	放出γ線		トリチウム増殖材用			中性子増倍材用			
		MeV	放出率%	Bq	γ線/sec	全γ数/s	Bq	γ線/sec	全γ数/s	
0.01MeV未満	FE55	0.0059	24.5	2.47E+06	6.05E+05		6.33E+09	1.55E+09		
	FE55	0.0065	3.3	2.47E+06	8.15E+04	886680	6.33E+09	2.09E+08	1.78E+09	
0.01MeV以上 0.05MeV未満	NB93M	0.0166	9.4	1.41E+06	1.33E+05		6.62E+07	6.22E+06		
	NB93M	0.0186	1.8	1.41E+06	2.54E+04		6.62E+07	1.19E+06		
	SN119M	0.02388	16.2	1.34E+04	2.17E+03					
	NB93M	0.0308	0	1.41E+06	0.00E+00		6.62E+07	0.00E+00		
	SN121M	0.03715	1.85	3.38E+02	6.25E+00					
	PU239	0.03869	0.0059	1.38E+00	8.14E-05					
PU238	0.04349	0.0394	4.63E+00	1.82E-03	1.80E+05			7.41E+06		
0.05MeV以上 0.1MeV未満	PU239	0.05163	0.021	1.38E+00	2.90E-04					
	W181	0.0575	51.6	2.57E+08	1.33E+08		1.48E+10	7.64E+09		
	W181	0.0652	13.8	2.57E+08	3.55E+07		1.48E+10	2.04E+09		
	SN119M	0.06566	0	1.34E+04	0.00E+00					
	TA182	0.06775	41.3	3.18E+06	1.31E+06		8.55E+09	3.53E+09		
	PU238	0.09987	0.0074	4.63E+00	3.43E-04	1.89E+08			1.32E+10	
0.1MeV以上 0.2MeV未満	TA182	0.1001	14.1	3.18E+06	4.48E+05		8.55E+09	1.21E+09		
	W185	0.125	0.019	2.06E+10	3.91E+08		9.15E+11	1.74E+08		
	PU239	0.1293	0.0062	1.38E+00	8.56E-05					
	TC99M	0.1405	89.6	1.04E+01	9.32E+00		8.32E-06	7.45E-06		
	TE125M	0.1428	0.03	1.58E+04	4.74E+00					
	FE59	0.1427	1.03	2.93E+04	3.02E+02		4.48E+07	4.61E+05		
	TA182	0.1524	7.18	3.18E+06	2.28E+05		8.55E+09	6.14E+08		
	PU238	0.1628	0.001	4.63E+00	4.63E-05					
	SN117M	0.1562	2.21	4.67E+04	1.03E+03					
	SN117M	0.1586	86.4	4.67E+04	4.03E+04					
	SC47	0.1594	68	8.83E+01	4.64E+01		1.05E-04	7.14E-05		
	SB125	0.1763	6.06	3.87E+04	2.35E+03					
	MO99	0.1811	6.06	1.09E+01	6.61E-01		8.70E-06	5.27E-07		
	FE59	0.1923	3.11	2.93E+04	9.11E+02	4.64E+06	4.48E+07	1.39E+06	2.00E+09	
0.2MeV以上 0.5MeV未満	TA182	0.2221	7.56	3.18E+06	2.40E+05		8.55E+09	6.46E+08		
	ZR95	0.2357	0.23	3.23E+09	7.43E+06		8.10E+09	1.86E+07		
	CR51	0.32008	9.83	1.71E+05	1.68E+04					
	SB125	0.3211	0.44	3.87E+04	1.70E+02					
	SN125	0.332	1.35	1.53E+00	2.07E-02					
	FE59	0.3348	0.26	2.93E+04	7.62E+01		4.48E+07	1.18E+05		
	MO99	0.3664	1.19	1.09E+01	1.30E-01		8.70E-06	1.04E-07		
	SB125	0.3805	1.52	3.87E+04	5.88E+02					
	SB125	0.428	29.6	3.87E+04	1.15E+04					
	SB125	0.4635	10.4	3.87E+04	4.02E+03					
	SN125	0.4697	1.33	1.53E+00	2.03E-02					
	CA47	0.4892	6.8	1.27E-01	8.64E-03	7.70E+06	1.83E-05	1.24E-06	6.65E+08	
	0.5MeV以上 1.0MeV未満	CU64	0.511	35.8	1.71E+06	6.12E+04		7.98E+07	2.86E+07	
		ZN65	0.511	2.92				3.21E-04	9.37E-06	
BE10		0.555	100	1.84E+01	1.84E+01		1.27E+06	1.27E+06		
NB92		0.5611	100	6.24E+08	6.24E+08		1.53E+07	1.53E+07		
SB125		0.6008	17.7	3.87E+04	6.85E+03					
SB124		0.6027	97.9	8.98E+01	8.79E+01					
SB125		0.6068	4.87	3.87E+04	1.88E+03					
SB125		0.6362	11.2	3.87E+04	4.33E+03					
SB124		0.6458	7.21	8.98E+01	6.47E+00					
SB125		0.6717	1.74	3.87E+04	6.73E+02					
NB94		0.7026	100	6.56E+03	6.55E+03		1.02E+04	1.02E+04		
SB124		0.7093	1.42	8.98E+01	1.28E+00					
SB124		0.7138	2.39	8.98E+01	2.15E+00					
SB124		0.7228	11.2	8.98E+01	1.01E+01					
ZR95		0.7242	43.1	3.23E+09	1.39E+09		8.10E+09	3.49E+09		
MO99		0.7395	12.19	1.09E+01	1.33E+00		8.70E-06	1.05E-06		
ZR95		0.7567	64.6	3.23E+09	1.78E+09		8.10E+09	4.42E+09		
NB95		0.7658	99.8	6.98E+09	6.97E+09		1.73E+10	1.73E+10		
MO99		0.7779	4.32	1.09E+01	4.71E-01		8.70E-06	3.76E-07		
SN125		0.8005	0.97	1.53E+00	1.48E-02					
CA47		0.8079	6.9	1.27E-01	8.64E-03		1.83E-05	1.24E-06		
SN125		0.8226	0.9	1.53E+00	1.38E-02					
NB94		0.8711	100	6.56E+03	6.55E+03		1.02E+04	1.02E+04		
MN54		0.8848	99.98	4.43E+07	4.43E+07		2.34E+09	2.34E+09		
SC46		0.8893	100	1.12E+10	1.12E+10		3.32E+10	3.32E+10		
SR89		0.9091	0.001	3.52E+07	3.52E+02		2.99E+06	2.99E+01		
SN125		0.9155	3.9	1.53E+00	6.97E-02					
NB92		0.9345	100	6.24E+08	6.24E+08		1.53E+07	1.53E+07		
SB124	0.9683	1.83	8.98E+01	1.64E+00	2.26E+10			6.08E+10		
1.0MeV以上 1.5MeV未満	SN123	1.03	0.031	1.78E+02	6.52E-02					
	SB124	1.045	1.84	8.98E+01	1.65E+00					
	SN125	1.067	8.86	1.53E+00	1.36E-01					
	SN125	1.087	0.97	1.53E+00	1.48E-02					
	SN123	1.089	0.6	1.78E+02	1.07E+00					
	SN125	1.089	4.16	1.53E+00	6.36E-02					
	FE59	1.099	56.5	2.93E+04	1.66E+04		4.48E+07	2.53E+07		
	ZN65	1.116	50.75				3.21E-04	1.63E-04		
	SC46	1.121	100	1.12E+10	1.12E+10		3.32E+10	3.32E+10		
	TA182	1.121	35	3.18E+06	1.11E+06		8.55E+09	2.99E+09		
	CO60	1.173	99.9	1.21E+07	1.21E+07		1.49E+09	1.49E+09		
	TA182	1.189	16.5	3.18E+06	5.25E+05		8.55E+09	1.41E+09		
	Y91	1.205	0.3	1.09E+08	3.27E+05		8.69E+07	2.61E+05		
	TA182	1.221	27.4	3.18E+06	8.71E+05		8.55E+09	2.34E+09		
	TA182	1.231	11.6	3.18E+06	3.69E+05		8.55E+09	9.92E+08		
	FE59	1.292	43.2	2.93E+04	1.27E+04		4.48E+07	1.94E+07		
	CA47	1.2971	76	1.27E-01	9.65E-02		1.83E-05	1.39E-05		
	SB124	1.325	1.41	8.98E+01	1.27E+00					
	CO60	1.333	99.98	1.21E+07	1.21E+07		1.49E+09	1.49E+09		
	CU64	1.3458	0.48	1.71E+05	8.21E+02		7.98E+07	3.83E+05		
	SB124	1.368	2.35	8.98E+01	2.11E+00					
	SB124	1.437	1.02	8.98E+01	9.16E-01	1.12E+10			4.40E+10	
	1.5MeV以上 2.1MeV未満	SB124	1.691	48.8	8.98E+01	4.38E+01		8.81E+03	0.00E+00	
		Y90	1.761	0	2.85E+03	0.00E+00				
		SN125	2.002	2.13	1.53E+00	3.26E-02				
		SB124	2.091	5.56	8.98E+01	5.01E+00	4.89E+01			0.00E+00

トリチウム増殖材用セル (線源: Li関連材料 + inner capsule x 5 照射1620日/冷却100日後)

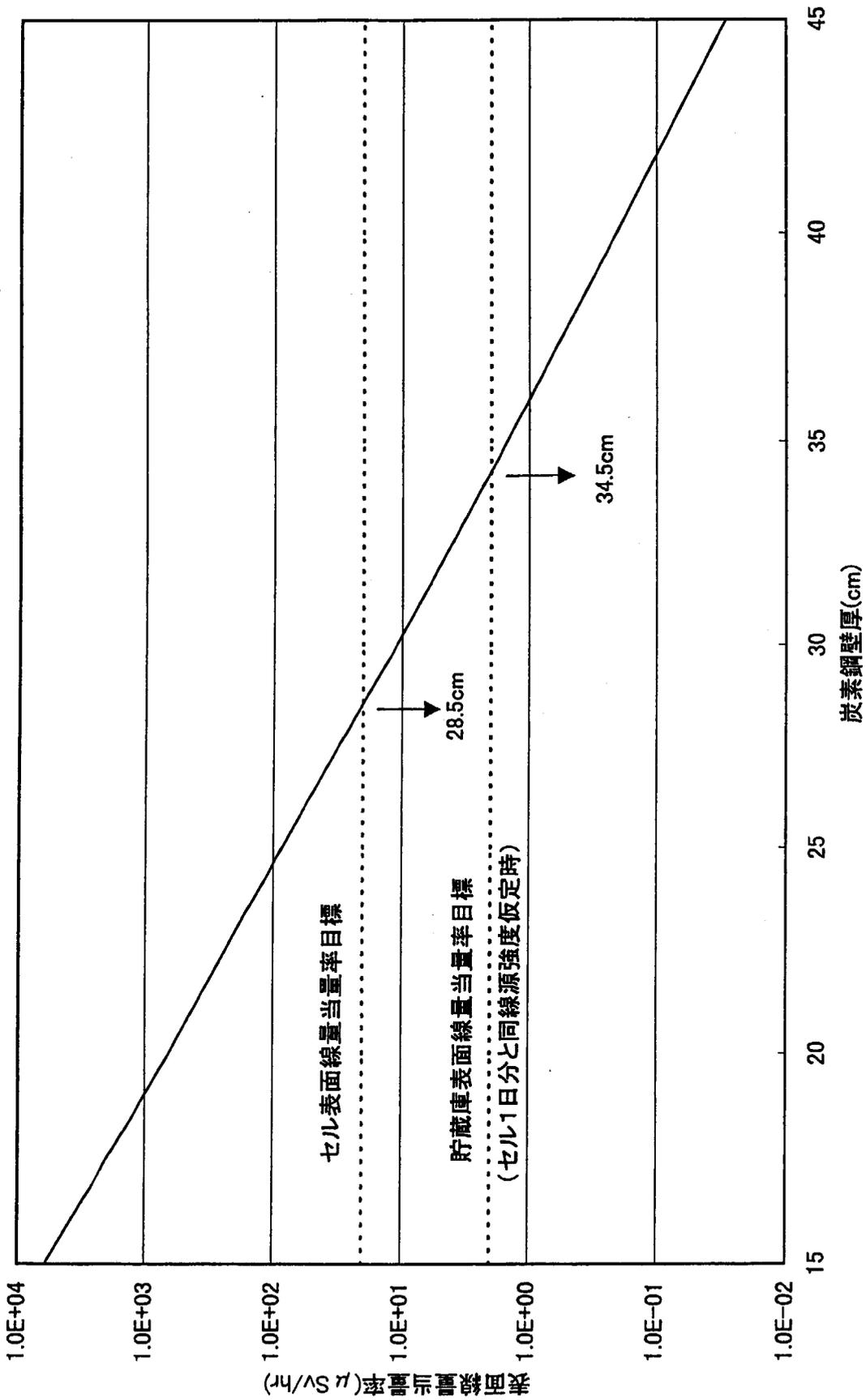


図1 セル壁厚と表面線量当量率の相関 (トリチウム増殖材用セル)

中性子増倍材用セル (線源: Be関連材料 + inner capsule x 5 照射693日/冷却180日後)

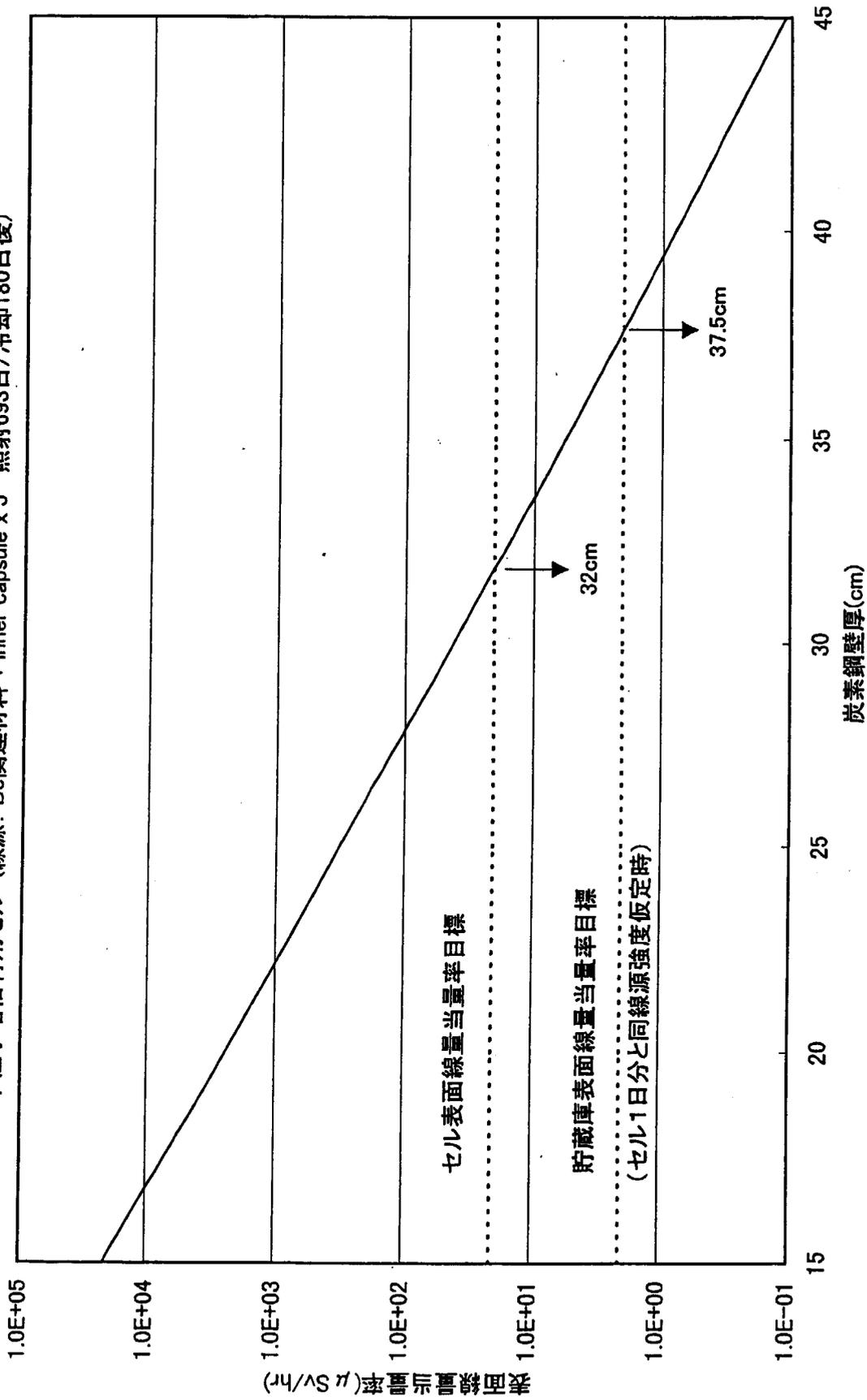
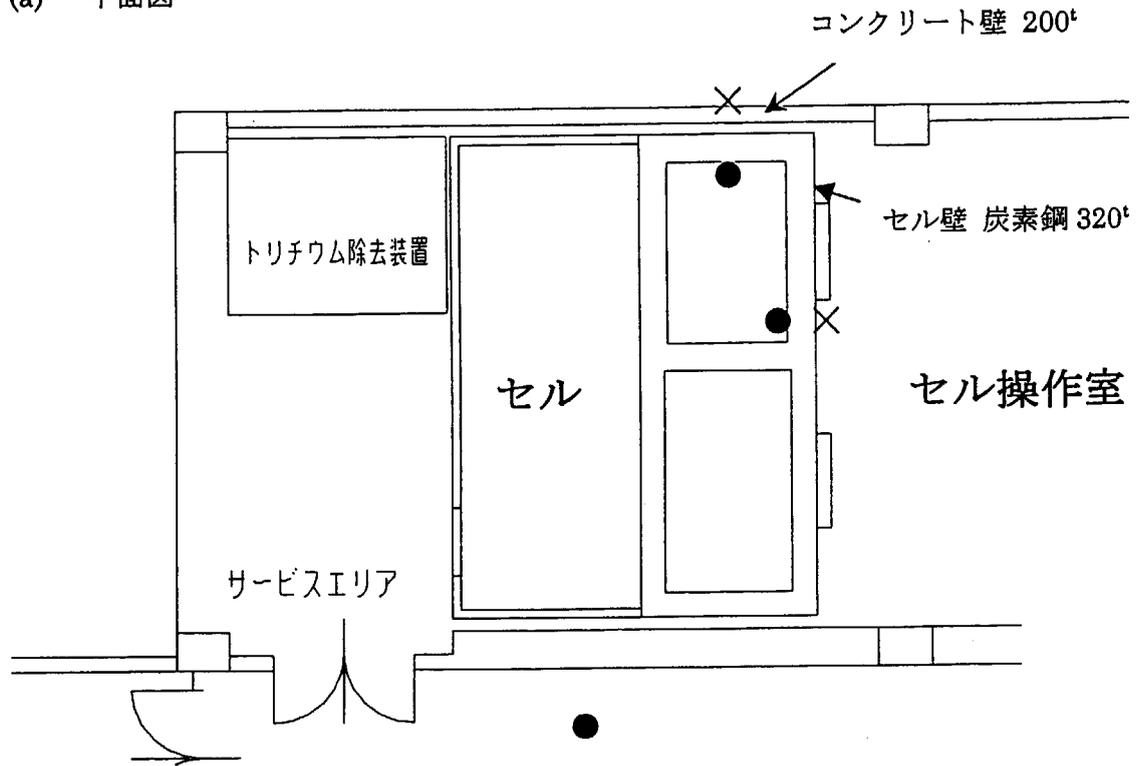


図2 セル壁厚と表面線量当量率の相関 (中性子増倍材用セル)

(a) 平面図



(b) 立面図

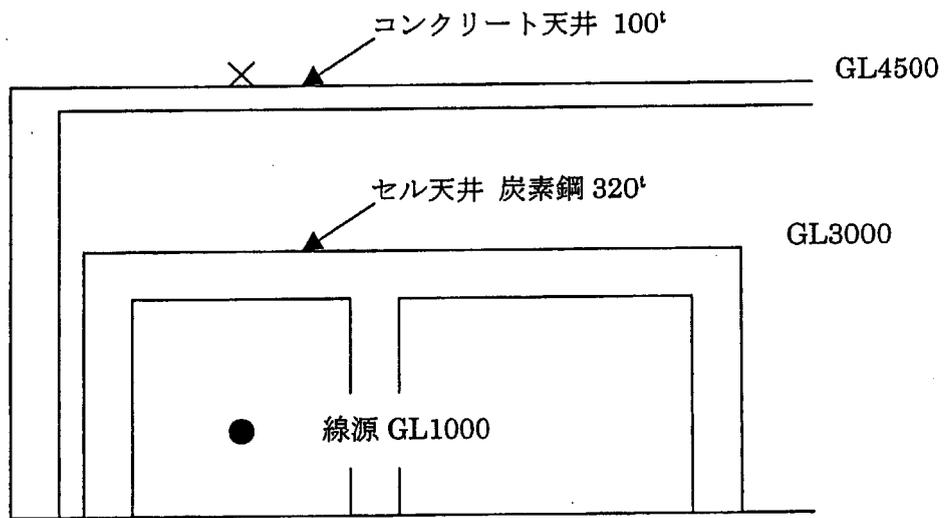


図3 QAD計算モデル

添付資料 1

トリチウム増殖材料での取扱核種及び取扱量

	Li関連材料+イナ-キアセル	3ヶ月当たりの使用量 (Bq)	1年当たりの使用量 (Bq)
AR37	1.76E+06	8.80E+06	1.76E+07
AR39	3.00E+05	1.50E+06	3.00E+06
BE10	1.84E+01	9.21E+01	1.84E+02
C14	3.77E+03	1.88E+04	3.77E+04
CA41	2.23E+01	1.12E+02	2.23E+02
CA45	1.35E+08	6.76E+08	1.35E+09
CA47	1.27E-01	6.36E-01	1.27E+00
CL36	6.32E+01	3.16E+02	6.32E+02
CO58	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
CO60	1.21E+07	6.06E+07	1.21E+08
CR51	1.71E+05	8.55E+05	1.71E+06
CU64	1.71E+05	8.55E+05	1.71E+06
FE55	2.47E+06	1.23E+07	2.47E+07
FE59	2.93E+04	1.47E+05	2.93E+05
H3	4.26E+12	2.13E+13	4.26E+13
MN54	4.43E+07	2.21E+08	4.43E+08
MO93	1.41E+07	7.04E+07	1.41E+08
MO99	1.09E+01	5.43E+01	1.09E+02
NB92	6.24E+08	3.12E+09	6.24E+09
NB93M	1.41E+06	7.06E+06	1.41E+07
NB94	6.55E+03	3.27E+04	6.55E+04
NB95	6.98E+09	3.49E+10	6.98E+10
NI59	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
NI63	1.15E-06	5.77E-06	1.15E-05
P32	6.81E+00	3.40E+01	6.81E+01
PU238	4.63E+00	2.32E+01	4.63E+01
PU239	1.38E+00	6.92E+00	1.38E+01
S35	1.85E-03	9.26E-03	1.85E-02
SB124	8.98E+01	4.49E+02	8.98E+02
SB125	3.87E+04	1.94E+05	3.87E+05
SC46	1.12E+10	5.62E+10	1.12E+11
SC47	6.83E+01	3.42E+02	6.83E+02
SN117M	4.67E+04	2.34E+05	4.67E+05
SN119M	1.34E+04	6.71E+04	1.34E+05
SN121M	3.38E+02	1.69E+03	3.38E+03
SN123	1.78E+02	8.88E+02	1.78E+03
SN125	1.53E+00	7.66E+00	1.53E+01
SR89	3.52E+07	1.76E+08	3.52E+08
SR90	2.85E+03	1.42E+04	2.85E+04
TA182	3.18E+06	1.59E+07	3.18E+07
TC99	9.63E+06	4.81E+07	9.63E+07
TC99M	1.04E+01	5.19E+01	1.04E+02
TE125M	1.58E+04	7.88E+04	1.58E+05
W181	2.57E+08	1.29E+09	2.57E+09
W185	2.06E+10	1.03E+11	2.06E+11
Y90	2.85E+03	1.42E+04	2.85E+04
Y91	1.09E+08	5.46E+08	1.09E+09
ZN65	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
ZR93	6.06E+04	3.03E+05	6.06E+05
ZR95	3.23E+09	1.61E+10	3.23E+10

4.31E+12

* : 1日当たりの使用核種及び使用量は、トリチウム増殖材料+イナ-キアセルを5個とする。

* : 3ヶ月の取り扱い量は1日の5倍とし、年間取扱量は10倍とした。

なお、照射条件は以下の通り。

(1) トリチウム増殖材料+イナ-キアセル

熱中性子束 : 5.9×10^{11} (n/cm²/s)高速中性子束 : 1.8×10^{14} (n/cm²/s)

照射時間 : 1620 日

冷却時間 : 100 日

Li含有材料 : Li₂O₃, Li₂TiO₃, Li₂ZrO₃, Li₄SiO₄

Li含有材料重量 : 1.00E+01 g

イナ-キアセル :

イナ-キアセル重量 : 373 g

(輸送1回当たりの個数 : 5 個)

照射孔 : J-7, K-6, K-11, M-11のいずれか

添付資料 2

中性子増倍材料の取扱核種及び取扱量

	Be関連材料+イナ-キャブセル	3ヶ月当たりの使用量 (Bq)	1年当たりの使用量 (Bq)
AR39	4.86E-01	2.43E+00	2.43E+01
BE10	1.27E+06	6.33E+06	6.33E+07
CA45	3.88E+08	1.94E+09	1.94E+10
CA47	1.83E-05	9.14E-05	9.14E-04
CL36	3.64E-10	1.82E-09	1.82E-08
CO60	1.49E+09	7.46E+09	7.46E+10
CU64	7.98E+07	3.99E+08	3.99E+09
FE55	6.33E+09	3.16E+10	3.16E+11
FE59	4.48E+07	2.24E+08	2.24E+09
H3	7.22E+12	3.61E+13	3.61E+14
MN54	2.34E+09	1.17E+10	1.17E+11
MO93	1.39E+09	6.96E+09	6.96E+10
MO99	8.70E-06	4.35E-05	4.35E-04
NB92	1.53E+07	7.64E+07	7.64E+08
NB93M	6.62E+07	3.31E+08	3.31E+09
NB94	1.02E+04	5.09E+04	5.09E+05
NB95	1.73E+10	8.63E+10	8.63E+11
NI63	4.60E+02	2.30E+03	2.30E+04
P32	9.28E-09	4.64E-08	4.64E-07
S35	1.64E-05	8.20E-05	8.20E-04
SC46	3.32E+10	1.66E+11	1.66E+12
SC47	1.05E-04	5.23E-04	5.23E-03
SR89	2.99E+06	1.49E+07	1.49E+08
SR90	8.80E+03	4.40E+04	4.40E+05
TA182	8.55E+09	4.27E+10	4.27E+11
TC99	8.01E+08	4.01E+09	4.01E+10
TC99M	8.32E-06	4.16E-05	4.16E-04
W181	1.48E+10	7.39E+10	7.39E+11
W185	9.15E+11	4.58E+12	4.58E+13
Y90	8.81E+03	4.40E+04	4.40E+05
Y91	8.69E+06	4.34E+07	4.34E+08
ZN65	3.21E-04	1.61E-03	1.61E-02
ZR93	1.14E+05	5.68E+05	5.68E+06
ZR95	8.10E+09	4.05E+10	4.05E+11

* : 1日当たりの使用核種及び使用量は、中性子増倍材料+イナ-キャブセルを5個とする。

* : 3ヶ月の取り扱い量は1日の5倍とし、年間取扱量は10倍とした。

なお、照射条件は以下の通り。

(2) 中性子増倍材料+イナ-キャブセル

熱中性子束 : $2.0 \times 10^{14} (\text{n/cm}^2/\text{s})$

高速中性子束 : $1.0 \times 10^{15} (\text{n/cm}^2/\text{s})$

照射時間 : 693 日

冷却時間 : 180 日

Be含有材料 : Be_{12}Ti , Be_{12}Mo , Be_{12}V , Be_{12}W

Be含有材料重量 : 10 g

イナ-キャブセル : TZM, タングステン

イナ-キャブセル重量 : 373 g

(輸送1回当たりの個数) : 5 個

照射孔 : SM-2 (ロシア)での照射を想定

排気設備系統設計計算書

This is a blank page.

1. 概要

セル排気設備について、トリチウム除去機器に係わる設計計算を示す。

2. セル排気設備

(1) 触媒酸化塔の評価

(a) 触媒充填量評価

触媒酸化塔の充填触媒量を評価する。

① 設計条件

転換係数	: 10^5 [-] (出入口水素形トリチウム濃度比)
充填触媒	: アルミナ担体貴金属触媒ペレット(1/16"×1/16"円筒)
流体	: 窒素ガス
流量	: $9 \text{ Nm}^3/\text{hr}$
温度	: 200°C
圧力	: 0.10 MPa

② 評価式

固定層における必要触媒充填量は次式で表される。

$$V_c = \frac{F}{k} \ln(CF)$$

ここで、

V_c	: 触媒充填量	$[\text{m}^3]$
F	: 処理ガス流量	$9 [\text{Nm}^3/\text{hr}]$ ($4.44 [\text{L}/\text{sec}]$)
CF	: 転換係数	$10^5 [-]$
k	: 反応速度	$[\text{1}/\text{sec}]$

$$K = 2.27 \times 10^5 \exp(-7,100/RT)$$

Engelhard 社水素用触媒 #50088 相当

T	: 温度	$473 [\text{K}]$
-----	------	------------------

③ 触媒充填量評価結果

$$V_c = 4.44 / 118.8 * \ln 10^5 = 0.42 [\text{L}]$$

経験的には、流量及び温度等のプロセス値の変動を考慮し、空間速度(SV)を用いて理論触媒充填量の数倍が充填される。トリチウム酸化反応において使用されている $\text{SV}=6000 \text{ hr}^{-1}$ を用い触媒充填量を評価し

$$V_c = 2.6 [\text{L}]$$

を採用する。

ペレット充填型充填層の寸法は、層内での偏流を回避するため、層高(Z)を触媒相当直径(d_p)の約 100 倍を確保することが望ましい。

これから触媒充填部は

$\phi 106.3\text{mm} \times 293\text{mm}$

とする。

(b) 触媒充填層圧力損失評価

触媒酸化塔へ充填された触媒充填層の圧力損失 ΔP を評価する。充填層の圧力損失評価式としては、Kozeny-Carmanの式を用いる。

$$\Delta P = \frac{6fLu\eta(1-\varepsilon)^2}{\phi_c d_p^2 \varepsilon^3}$$

ここで、

f: 摩擦係数[-]

fは球、くら、破碎固体等の中実粒子に対しては $Re < 2.0$ の層流範囲に対し、精度 $\pm 10\%$ で次式により評価される。

$$f = 5 / Re$$

一方、乱流範囲($Re > 2.0$)に対しては、fは精度 $\pm 35\%$ で次式により評価される。

$$f = 5 / Re + 0.4 / Re^{0.1}$$

Re: レイノルズ数[-]

$$Re = \frac{ud_p \phi_c \rho}{6(1-\varepsilon)\eta}$$

ϕ_c : 形状係数 (=0.88: ペレット)

η : 流体粘性係数

u: 空塔速度

ε : 空隙率

これから、触媒反応器のレイノルズ数 Re は 5.1、摩擦係数(f)は 1.32 から、充填層の圧力損失は 3896 Pa と評価される。

(c) 容器強度計算

触媒酸化塔容器の強度を胴部について評価する。

① 設計条件

設計圧力 : 1.5 kg/cm²G(内圧)

設計温度 : 250℃

材質 : SUS304TP

② 適用規格

通商産業省告示 501 号第 4 種容器準拠

③ 計算式

通商産業省告示 501 号,第 32 条,第 3 項,第 2 号イの計算式(胴の厚さが内半径の 2 分の 1 以下のもの)に依る。

$$t = \frac{PD_i}{200S\eta - 1.2P}$$

ここで、

t : 胴の計算上必要な厚さ [mm]

P : 最高使用圧力 [kg/cm²]

Di : 胴の内径 [mm]

S : 許容の引張応力 [kg/mm²]

η : 長手効率の効率または連続した穴がある場合における当該部分の効率 [-]

④ 計算結果

最高使用温度 250℃における許容引張応力は 8.96 kg/mm²、継手効率 1.0 として、計算上必要な厚さ(t)は以下となる。

$$t = (1.5)(106.3)/(200 \cdot 8.96 - 1.2 \cdot 1.5) = 0.089 \text{ mm}$$

ここで採用肉厚は 4.0 mm であり、計算上必要な厚さを上回る。

(2) 吸着塔

吸着塔へ充填されるモレキュラシーブ充填量を評価する。

(a) モレキュラシーブ充填量評価

① 設計条件

流体	: 窒素ガス
流量	: 9 Nm ³ /hr
温度	: 200℃
圧力	: 0.10 MPa
入口水分濃度	: 100 vpm
出口水分濃度	: 1 vpm
運転時間	: 720 h
充填剤	: モレキュラシーブ 4A(1/8"×1/8"円筒)

② 評価式

吸着剤充填量は、以下の式で求められる。

$$W_B = \frac{W}{f(c)}$$

$$f(c) = q_0 \left(1 - \frac{Z_a}{2L} \right)$$

$$Z_a = \frac{u}{K_F \cdot a_v} N_{OF}$$

$$Z = \frac{t_B u}{\beta_0 \rho_B} + \frac{Z_a}{2}$$

ここで、

W_B	: 必要吸着材重量	[kg]
W	: 吸着水分量	[kg]
$f(c)$: 破過容量	[kg-H ₂ O/kg-MS]
p_0	: 入口ガス水分分圧	[Pa]
C_0	: 入口ガス水分濃度	[kg/m ³]
q_0	: 設計吸着量	[kg-H ₂ O/kg-MS]
	温度 T, 入口水分分圧 p_0 における平衡水分吸着量	
Z_a	: 破過帯長さ	[m]
Z	: 充填層高さ	[m]
L	: 設計充填層高さ	[m]
ρ_B	: 充填密度	[kg/m ³]
β_0	: 平衡吸着係数	[m ³ /kg] (= q_0 / C_0)
u	: ガスの空塔速度	[m/sec]
$K_F \cdot a_v$: 総括物質移動係数	[1/sec]
N_{OF}	: 単位移動数	[-]
t_B	: 運転時間	[hr]

③ モレキュラーシーブ充填量評価結果

7. 吸着水量

吸着水量(W)は 0.52 kg と評価される。

4. 破過帯長さ

ガス空塔速度は塔径(d)155.2mm のとき $u=14.4$ cm/sec となる。また総括物質移動係数(K_{Fav})及び移動単位数(N_{OF})は、経験に基づき、 $K_{Fav}=6$ sec⁻¹、 $N_{OF}=7$ とし、破過帯長さ Z_a は

$$Z_a = 16.8 \text{ cm}$$

と評価される。

9. 充填高さ

平衡吸着量(q_0)は 0.13kg/kg、充填密度(ρ_B)は 650kg/m³ を用い、充填層高さ(Z)は 41.6cm と評価される。

これから 設計充填層高さ(L)は裕度 50%を考慮し

$$L=0.62\text{m}$$

とする。

1. 破過容量

破過容量($f(c)$)は 0.11kg/kg と評価される。

オ. 充填量

モレキュラーシーブ充填量(W)は 7.7kg と評価される。

充填部寸法は $\phi 155.2\text{mm} \times 620\text{mm}$ であり、ペレット充填型充填層として、層内での偏流を回避する観点から望ましい、充填剤相当直径(d_p)の約 100 倍を確保している。

(b) 吸着剤充填層圧力損失評価

吸着塔充填層の圧力損失 ΔP を評価する。充填層の圧力損失評価式としては、以下の Kozeny-Carman の式を用いる。

$$\Delta P = \frac{6fLu\eta(1-\varepsilon)^2}{\phi_c d_p^2 \varepsilon^3}$$

ここで、

f : 摩擦係数[-]

f は球、くら、破碎固体等の中実粒子に対しては $Re < 2.0$ の層流範囲に対し、精度 $\pm 10\%$ で次式により評価される。

$$f = 5 / Re$$

一方、乱流範囲($Re > 2.0$)に対しては、 f は精度 $\pm 35\%$ で次式により評価される。

$$f = 5 / Re + 0.4 / Re^{0.1}$$

Re : レイノルズ数[-]

ϕ_c : 形状係数 (=0.88 : ペレット)

$$Re = \frac{ud_p \phi_c \rho}{6(1-\varepsilon)\eta}$$

η : 流体粘性係数

ε : 空隙率

これから、乾燥塔のレイノルズ数 Re は 7.0、摩擦係数(f)は 1.05 から、充填層の圧力損失は 466 Pa と評価される。

(c) 容器強度計算

吸着塔容器の強度を胴部について評価する。

① 設計条件

設計圧力 : 1.5 kg/cm²G(内圧)

設計温度 : 250°C

材質 : SUS304TP

② 適用規格

通商産業省告示 501 号第 4 種容器準拠

③ 計算式

通商産業省告示 501 号,第 32 条,第 3 項,第 2 号イの計算式(胴の厚さが内半径の 2 分の 1 以下のもの)に依る。

$$t = \frac{PD_i}{200S\eta - 1.2P}$$

ここで、

t : 胴の計算上必要な厚さ [mm]

P : 最高使用圧力 [kg/cm²]

Di : 胴の内径 [mm]

S : 許容の引張応力 [kg/mm²]

η : 長手効率の効率または連続した穴がある場合における当該部分の効率 [-]

④ 計算結果

最高使用温度 250℃における許容引張応力は 8.96 kg/mm²、継手効率 1.0 として、計算上必要な厚さ(t)は以下となる。

$$t = (1.5)(155.2)/(200 \cdot 8.96 - 1.2 \cdot 1.5) = 0.13 \text{ mm}$$

ここで採用肉厚は 5.0 mm であり、計算上必要な厚さを上回る。

3. 試験セル排気設備系統設計計算

(1) 触媒酸化塔の評価

(a) 触媒充填量評価

触媒酸化塔の充填触媒量を評価する。

① 設計条件

転換係数	: 10^5 [-] (出入口水素形トリチウム濃度比)
充填触媒	: アルミナ担体貴金属触媒ペレット(1/8"×1/8"円筒)
流体	: 窒素ガス
流量	: $50 \text{ Nm}^3/\text{hr}$
温度	: 200°C
圧力	: 0.10 MPa

② 評価式

固定層における必要触媒充填量は次式で表される。

$$V_c = \frac{F}{k} \ln(CF)$$

ここで、

V_c	: 触媒充填量	$[\text{m}^3]$
F	: 処理ガス流量	$50 [\text{Nm}^3/\text{hr}] \quad (13.9 [\text{L}/\text{sec}])$
CF	: 転換係数	$10^5 [-]$
k	: 反応速度	$[\text{1}/\text{sec}]$

$$K = 2.27 \times 10^5 \exp(-7,100/RT)$$

Engelhard 社水素用触媒 #50088 相当

T	: 温度	$473 [\text{K}]$
-----	------	------------------

③ 触媒充填量評価結果

$$V_c = 13.9 / 118.8 * \ln 10^5 = 2.3 [\text{L}]$$

経験的には、流量及び温度等のプロセス値の変動を考慮し、空間速度(SV)を用いて理論触媒充填量の数倍が充填される。トリチウム酸化反応において使用されている $SV=6000 \text{ hr}^{-1}$ を用い触媒充填量を評価し

$$V_c = 14.4 [\text{L}]$$

を採用する。

ペレット充填型充填層の寸法は、層内での偏流を回避するため、層高(Z)を触媒相当直径(d_p)の約 100 倍を確保することが望ましい。

これから触媒充填部は

$$\phi 248.8 \text{ mm} \times 297 \text{ mm}$$

とする。

(b) 触媒充填層圧力損失評価

触媒酸化塔へ充填された触媒充填層の圧力損失 ΔP を評価する。充填層の圧力損失評価式としては、Kozeny-Carmanの式を用いる。

$$\Delta P = \frac{6fLu\eta(1-\varepsilon)^2}{\phi_C d_p^2 \varepsilon^3}$$

ここで、

f: 摩擦係数[-]

fは球、くら、破碎固体等の中実粒子に対しては $Re < 2.0$ の層流範囲に対し、精度 $\pm 10\%$ で次式により評価される。

$$f = 5 / Re$$

一方、乱流範囲($Re > 2.0$)に対しては、fは精度 $\pm 35\%$ で次式により評価される。

$$f = 5 / Re + 0.4 / Re^{0.1}$$

Re: レイノルズ数[-]

$$Re = \frac{ud_p \phi_C \rho}{6(1-\varepsilon)\eta}$$

ϕ_C : 形状係数 (=0.88: ペレット)

η : 流体粘性係数

u: 空塔速度

ε : 空隙率

これから、触媒反応器のレイノルズ数 Re は 10.4、摩擦係数(f)は 0.80 から、充填層の圧力損失は 1232 Pa と評価される。

(c) 容器強度計算

触媒酸化塔容器の強度を胴部について評価する。

① 設計条件

設計圧力 : 1.5 kg/cm²G(内圧)

設計温度 : 250℃

材質 : SUS304TP

② 適用規格

通商産業省告示 501 号第 4 種容器準拠

③ 計算式

通商産業省告示 501 号,第 32 条,第 3 項,第 2 号イの計算式(胴の厚さが内半径の 2 分の

1以下のもの)に依る。

$$t = P d_i / (200 \eta S - 1.2P)$$

ここで、

t : 堂の計算上必要厚さ [mm]

P : 最高使用圧力 [kg/cm²]

D_i : 胴の内径 [mm]

S : 許容引張応力 [kg/mm²]

η : 長手継ぎ手の効率または連続した穴のある場合における当該部分の効率[-]

④ 計算結果

最高使用温度 250℃における許容引張応力は 8.96kg/mm²、継ぎ手効率 1.0 として、計算上必要な厚さ(t)は以下となる。

$$t = (1.5) \times (248.8) / (200 \times 8.96 - 1.2 \times 1.5) = 0.21 \text{ mm}$$

ここで、採用肉厚は 9.3mm であり、計算上必要な肉厚を上回る。

(2) 吸着塔

吸着塔へ充填されるモレキュラシーブ充填量を評価する。

(a) モレキュラシーブ充填量評価

① 設計条件

流体	: 窒素ガス
流量	: 50 Nm ³ /hr
温度	: 200℃
圧力	: 0.10 MPa
入口水分濃度	: 100 vpm
出口水分濃度	: 1 vpm
運転時間	: 720 h
充填剤	: モレキュラシーブ 4A(1/8"×1/8"円筒)

② 評価式

吸着剤充填量は、以下の式で求められる。

$$W_B = \frac{W}{f(c)}$$

$$f(c) = q_0 \left(1 - \frac{Z_a}{2L} \right)$$

$$Z_a = \frac{u}{K_F \cdot a_v} N_{OF}$$

$$Z = \frac{t_B u}{\beta_0 \rho_B} + \frac{Z_a}{2}$$

ここで、

W_B	: 必要吸着材重量	[kg]
W	: 吸着水分量	[kg]
$f(c)$: 破過容量	[kg-H ₂ O/kg-MS]
p_0	: 入口ガス水分分圧	[Pa]
C_0	: 入口ガス水分濃度	[kg/m ³]
q_0	: 設計吸着量	[kg-H ₂ O/kg-MS]
	温度 T , 入口水分分圧 p_0 における平衡水分吸着量	
Z_a	: 破過帯長さ	[m]
Z	: 充填層高さ	[m]
L	: 設計充填層高さ	[m]
ρ_B	: 充填密度	[kg/m ³]
β_0	: 平衡吸着係数	[m ³ /kg] (= q_0 / C_0)
u	: ガスの空塔速度	[m/sec]

$K_F \cdot a_v$: 総括物質移動係数	[1/sec]
N_{OF}	: 単位移動数	[-]
t_B	: 運転時間	[hr]

③ モレキュラーシーブ充填量評価結果

7. 吸着水量

吸着水量(W)は 2.9 kg と評価される。

1. 破過帯長さ

ガス空塔速度は塔径(d)390.4mm のとき $u=12.7$ cm/sec となる。また総括物質移動係数(K_{Fav})及び移動単位数(N_{OF})は、経験に基づき、 $K_{Fav}=6$ sec⁻¹、 $N_{OF}=7$ とし、破過帯長さ Z_a は

$$Z_a = 14.8 \text{ cm}$$

と評価される。

9. 充填高さ

平衡吸着量(q_0)は 0.13kg/kg、充填密度(ρ_B)は 650kg/m³ を用い、充填層高さ(Z)は 36.5cm と評価する。

これから 設計充填層高さ(L)は裕度 50%を考慮し

$$L=0.55\text{m}$$

とする。

1. 破過容量

破過容量($f(c)$)は 0.11kg/kg と評価される。

2. 充填量

モレキュラーシーブ充填量(W)は 43kg と評価される。

充填部寸法は $\phi 308.8\text{mm} \times 550\text{mm}$ であり、ペレット充填型充填層として、層内での偏流を回避する観点から望ましい、充填剤相当直径(d_p)の約 100 倍を確保している。

(b) 吸着剤充填層圧力損失評価

吸着塔充填層の圧力損失 ΔP を評価する。充填層の圧力損失評価式としては、以下の Kozeny-Carman の式を用いる。

$$\Delta P = \frac{6fL u \eta (1 - \epsilon)^2}{\phi_c d_p^2 \epsilon^3}$$

ここで、

f : 摩擦係数[-]

f は球、くら、破碎固体等の中実粒子に対しては $Re < 2.0$ の層流範囲に対し、精度 $\pm 10\%$ で次式により評価される。

$$f = 5 / Re$$

一方、乱流範囲($Re > 2.0$)に対しては、 f は精度 $\pm 35\%$ で次式により評価される。

$$f = 5 / Re + 0.4 / Re^{0.1}$$

Re : レイノルズ数[-]

$$Re = \frac{ud_p \phi_c \rho}{6(1-\varepsilon)\eta}$$

ϕ_c : 形状係数 (=0.88 : ペレット)

η : 流体粘性係数

ε : 空隙率

これから、乾燥塔のレイノルズ数 Re は 6.1、摩擦係数(f)は 1.15 から、充填層の圧力損失は 347 Pa と評価される。

(c) 容器強度計算

吸着塔容器の強度を胴部について評価する。

① 設計条件

設計圧力 : 1.5 kg/cm²G(内圧)

設計温度 : 250℃

材質 : SUS304TP

② 適用規格

通商産業省告示 501 号第 4 種容器準拠

③ 計算式

通商産業省告示 501 号,第 32 条,第 3 項,第 2 号イの計算式(胴の厚さが内半径の 2 分の 1 以下のもの)に依る。

$$t = \frac{PD_i}{200S\eta - 1.2P}$$

ここで、

t : 胴の計算上必要な厚さ [mm]

P : 最高使用圧力 [kg/cm²]

D_i : 胴の内径 [mm]

S : 許容の引張応力 [kg/mm²]

η : 長手効率の効率または連続した穴がある場合における当該部分の効率 [-]

④ 計算結果

最高使用温度 250℃における許容引張応力は 8.96 kg/mm²、継手効率 1.0 として、計算上必要な厚さ(t)は以下となる。

$$t = (1.5)(408.8)/(200 \cdot 8.96 - 1.2 \cdot 1.5) = 0.25 \text{ mm}$$

ここで採用肉厚は 8.0 mm であり、計算上必要な厚さを上回る。

This is a blank page.

耐震計算書

This is a blank page.

1. 計算条件

1.1 計算対象

計算は、セルについては、形状からセル重心位置が高くなる材料開発用セルを計算対象とした。アイソレーションルームはセルに取付けられ、単独で地震によるボルト引抜力は発生しないものとして対象外とした。グローブボックスについては、移設されるグローブボックスは耐震強度は確認されているため、新設される No.7~9 グローブボックスを対象とする。

1.2 計算条件

- (1) 耐震クラス : Bクラス
 - 水平方向設計震度* : $0.36 (=0.2 \times 1.5 \times 1.2)$
 - 鉛直方向設計震度* : 0 (考慮しない)
 - *)JEAG4601-1987 原子力発電所耐震設計技術指針
- (2) 据付場所 : RI 利用開発棟 1F 床
- (3) 床への固定方法 : 基礎ボルトによる固定
- (4) なお、セル及び G/B は剛体として取り扱うものとする。

2. 増殖材用、増倍材用セル

2.1 セル条件

(1) セル形状(添付図 1)

- ① 寸法 : 5550mm 幅×2000mm 奥行×3000mm 高(外寸)
3000mm 幅×1940mm 奥行×2500mm 高(外寸)
- ② 基数 : 1 基
(仕切壁を含めて増殖材用、増倍材用セルを一体として計算する。)
- ③ 遮蔽壁 : 炭素鋼 (増殖材用セル 320mm 厚、増倍材用セル 285mm 厚)
- ④ 遮蔽窓寸法 : 800mm 幅×800mm 高
- ⑤ 遮蔽窓数量 : 2 基
- ⑥ ライニング材質 : ステンレス鋼板 (内表面 #400 バフ仕上げ)
- ⑦ ライニング厚さ : 5mm

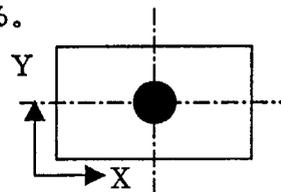
(2) 使用条件

- ① セル内雰囲気 : 空気
- ② 使用圧力 : $-30 \pm 20 \text{ mmAq}$
- ③ 使用温度 : 常温 $\sim 65^\circ\text{C}$

2.2 セル重量及び重心

(1) 算出方法

セル重心は XY 平面においては Y 軸中心にあるものとする。
 従って、X 軸重心位置及び重心高さを各部の重量から求める。
 セル附帯設備のうち、貯蔵庫の重量を考慮する。
 マニプレータ、インセルクレーン、遮蔽窓、ライナーは、
 遮蔽壁に含まれるものとする。



(2) XY 平面 重量及び重心位置

番号	名称	重量 (ton)	X 軸中心位置 (mm)
1	増殖材セル遮蔽壁(西面)	13	142.5
2	増殖材セル遮蔽壁(北、南面)	31	1572.5
3	増倍材セル遮蔽壁(仕切面)	14	3020
4	増倍材セル遮蔽壁(北、南面)	30	4205
5	増倍材セル遮蔽壁(東面)	14	5390
6	天井	28	2775
7	増殖材セル貯蔵庫	2	2100
8	増倍材セル貯蔵庫	2	3800
総重量		134	-

X 軸方向重心位置 : 2866mm

(3) 各部の重量及び重心高さ

番号	名称	重量 (ton)	重心高さ (mm)
1	遮蔽壁(全面)	102	1135
2	天井	28	2840
3	貯蔵庫(2個)	4	300
総重量		134	-

重心位置 : 1466mm

以降の計算では重心位置として安全側に床上 1500mm を使用する。

2.3 基礎ボルト配置

基礎ボルトはセル側面にセンター振り分け, 500mm ピッチで設置する。

(1) 基礎ボルト

- ① 寸法 : M20
- ② 材質 : SS400

(2) 基礎ボルト配置 (図-2)

- ① ピッチ : 450mm (東西)
600mm (南北)
- ② 壁からの距離 : 50mm

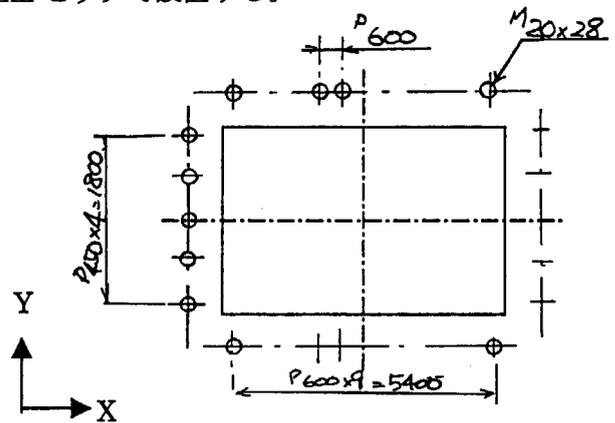


図-2

2.4 基礎ボルトの引き抜き力の計算

地震発生時、セルに水平方向に転倒モーメントが発生する。この時、転倒モーメントがセル自重による復元モーメントより大きい場合、基礎ボルトに引き抜き力が発生する。評価方向は、復元モーメントが小さくなるY軸方向とする。

転倒モーメント $M_t = 0.36 \times 134 \times 1.5 = 72.4 \text{ (ton}\cdot\text{m)}$

復元モーメント $M_r = 134 \times 1.05 = 140.7 \text{ (ton}\cdot\text{m)}$

従って、復元モーメントのほうが大きいので基礎ボルトに引き抜き力は発生しない。

2.5 基礎ボルトへのせん断力の計算

地震発生時、基礎ボルトにせん断力が発生する。このせん断力による基礎ボルトへのせん断応力が許容応力内であることを確認する。

基礎ボルトへのせん断力 $F_s = 0.36 \times 134 = 48.3 \text{ (ton)}$

基礎ボルト 1 本当たりのせん断力 $F_s' = 4830/28 = 172.5 \text{ (kg)}$

基礎ボルト(M20)の有効断面積 $A = 314 \text{ mm}^2$

せん断応力 $S_s = 172.5/314 = 0.55 \text{ kg/mm}^2$

基礎ボルトの許容せん断応力 $f_{sb} = F/\sqrt{3} = 13.8 \text{ kg/mm}^2$

$F=24 \text{ kg/mm}^2$: 「構造等の技術基準」第88条第3項第1号イ(イ)に定める値
従って、許容応力以下なので安全である。

3. No.7~9 グローブボックス

3.1 グローブボックス条件

(1) G/B 形状

- ① 寸法 : 800mm 幅×2200mm 長×2200mm 高
- ② 基数 : 1 基
- ③ 材質 : アクリル樹脂、オーステナイト系ステンレス鋼

(2) 使用条件

- ① 内部雰囲気 : 窒素ガス空気
- ② 耐圧 : $\pm 200 \text{ mmAq}$
- ③ 使用温度 : 常温~65℃

3.2 G/B 重量及び重心

(1) G/B 重量

G/B 重量は、計画値として G/B 本体及び G/B 内試験装置を大き目に設定した。

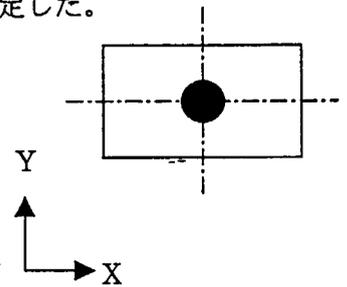
G/B 本体 2ton

G/B 内試験装置 1ton

(2) G/B 重心

G/B 重心は XY 平面においては G/B 中心位置にあるものとする。
重心高さは、ボックス部中央部にあるとして、

脚部高さ $800 \text{ mm} + (\text{ボックス部高さ } 1400 \text{ mm}) / 2 = 1500 \text{ mm}$
とした。



3.3 基礎ボルト配置

基礎ボルトは G/B 側面にセンター振り分け, 1000mm ピッチで設置する。

(1) 基礎ボルト

- ① 寸法 : M16
- ② 材質 : SS400

(2) 基礎ボルト配置 (図-3)

- ① ピッチ : 500mm
- ② 壁からの距離 : 50mm

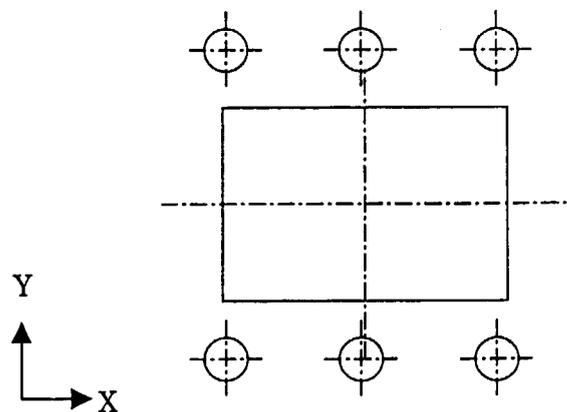


図-3

3.4 基礎ボルトの引き抜き力の計算

地震発生時、G/B に水平方向に転倒モーメントが発生する。この時、転倒モーメントが G/B 自重による復元モーメントより大きい場合、基礎ボルトに引き抜き力が発生する。

評価方向は、復元モーメントが小さくなる Y 軸方向とする。

$$\text{転倒モーメント} \quad M_t = 0.36 \times 3 \times 1.5 = 1.62 \text{ (ton}\cdot\text{m)}$$

$$\text{復元モーメント} \quad M_r = 3 \times 0.45 = 1.35 \text{ (ton}\cdot\text{m)}$$

従って、転倒モーメントのほうが大きいので基礎ボルトに引き抜き力が発生する。

発生する引き抜き力は、

$$\text{基礎ボルトへの引き抜き力} \quad F_t = (1.62 - 1.35)/0.9 = 0.3 \text{ (ton)}$$

$$\text{基礎ボルト 1 本当たりのへの引き抜き力} \quad F_t' = 300/3 = 100.0 \text{ (kg)}$$

$$\text{基礎ボルト(M16)の有効断面積} \quad A = 201 \text{ mm}^2$$

$$\text{引張応力} \quad S_t = 100/201 = 0.50 \text{ kg/mm}^2$$

$$\text{基礎ボルトの許容引張応力} \quad f_{t0} = 1.5F/2 = 18.0 \text{ kg/mm}^2$$

$F=24 \text{ kg/mm}^2$: 「構造等の技術基準」第 88 条第 3 項第 1 号イ(イ)に定める値

従って、許容応力以下なので安全である。

3.5 基礎ボルトへのせん断力の計算

地震発生時、基礎ボルトにせん断力が発生する。このせん断力による基礎ボルトへのせん断応力が許容応力内であることを確認する。

$$\text{基礎ボルトへのせん断力} \quad F_s = 0.36 \times 3 = 1.08 \text{ (ton)}$$

$$\text{基礎ボルト 1 本当たりのへのせん断力} \quad F_s' = 1080/6 = 180.0 \text{ (kg)}$$

$$\text{基礎ボルト(M16)の有効断面積} \quad A = 201 \text{ mm}^2$$

$$\text{せん断応力} \quad S_s = 180.0/201 = 0.90 \text{ kg/mm}^2$$

$$\text{基礎ボルトの許容せん断応力} \quad f_{sb} = F/\sqrt{3} = 13.8 \text{ kg/mm}^2$$

$F=24 \text{ kg/mm}^2$: 「構造等の技術基準」第 88 条第 3 項第 1 号イ(イ)に定める値

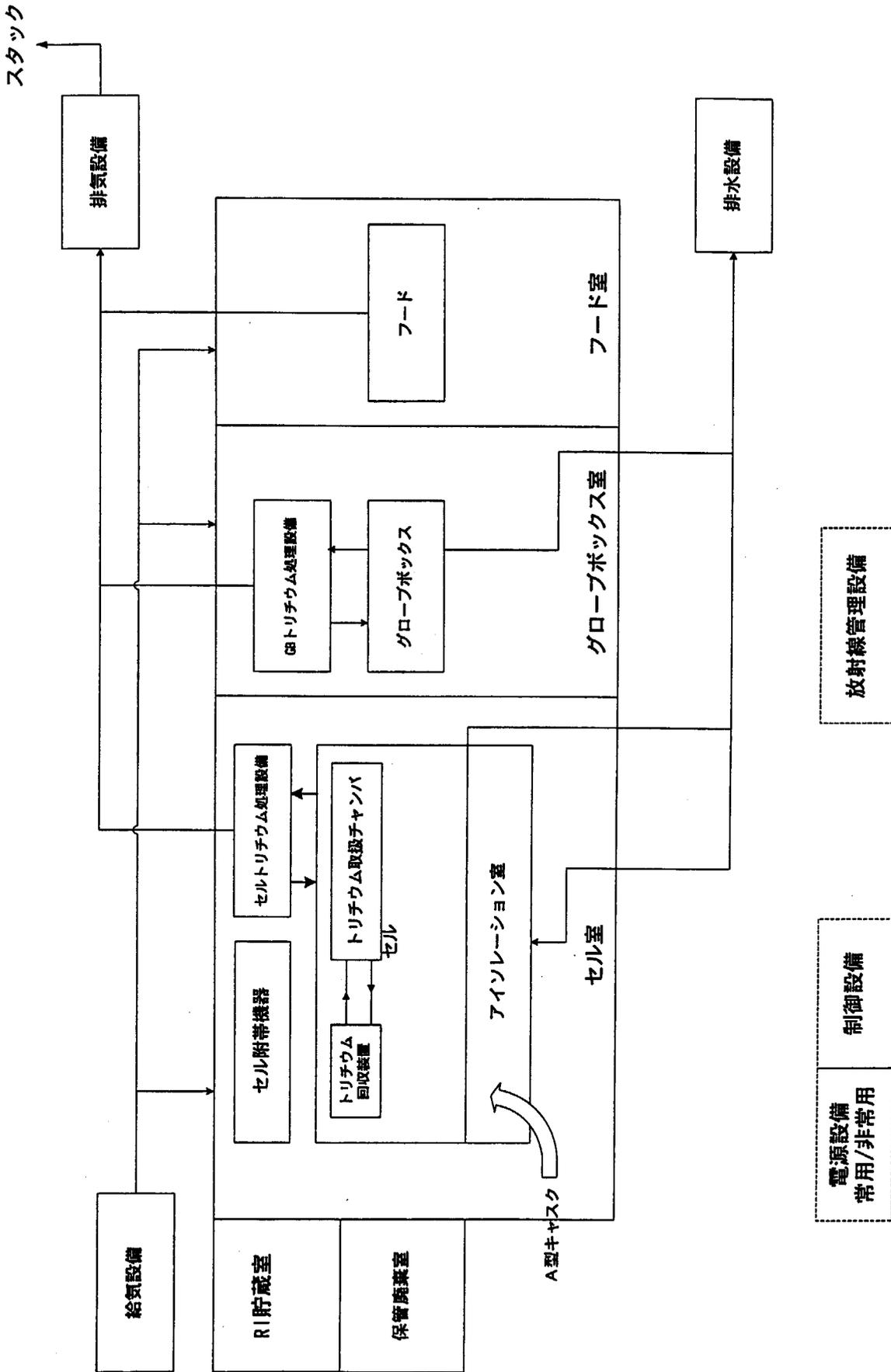
従って、許容応力以下なので安全である。

This is a blank page.

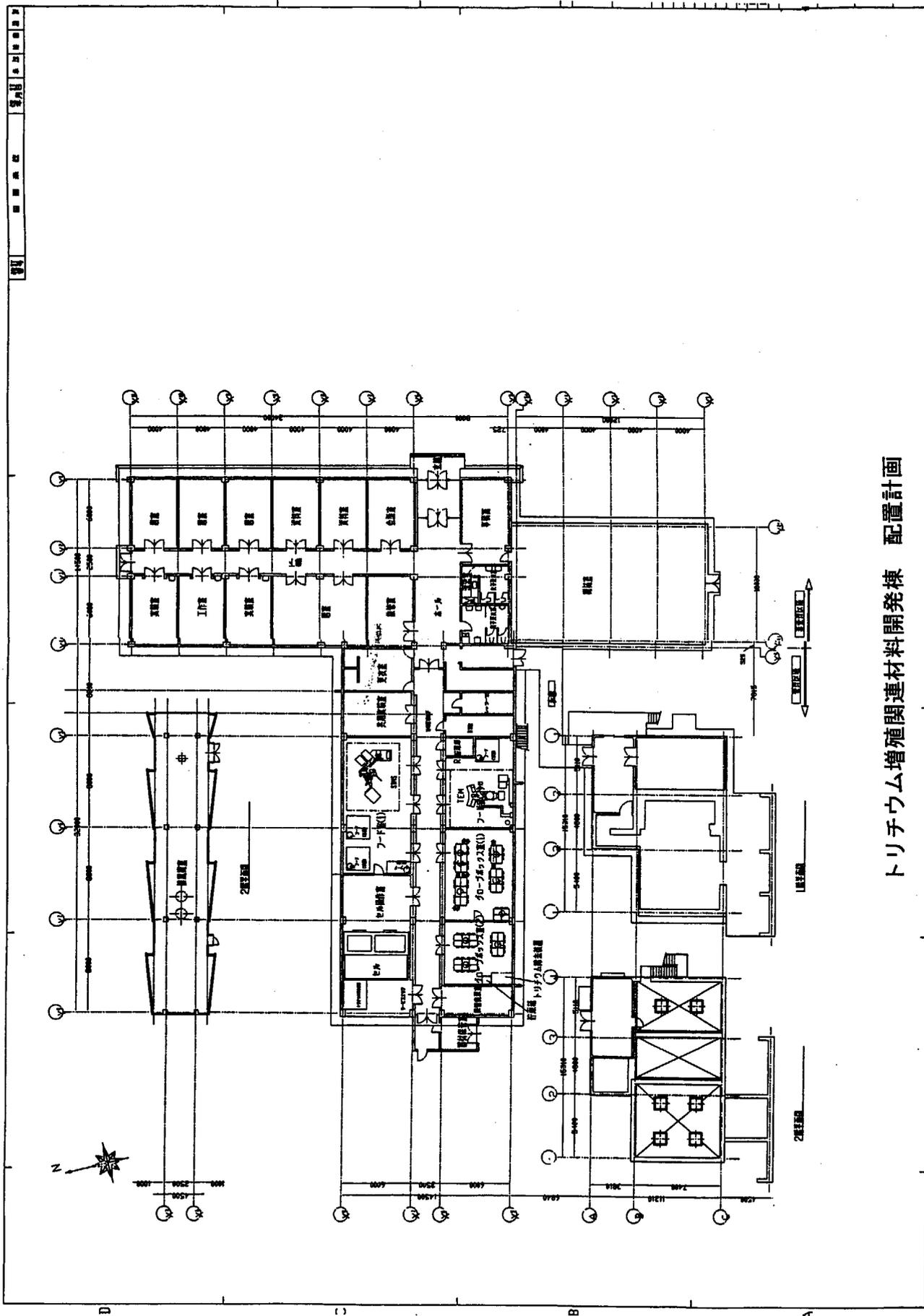
関連図面集

全体構成系統図
設備整備計画図
セル構造図
新規グローブボックス外形図

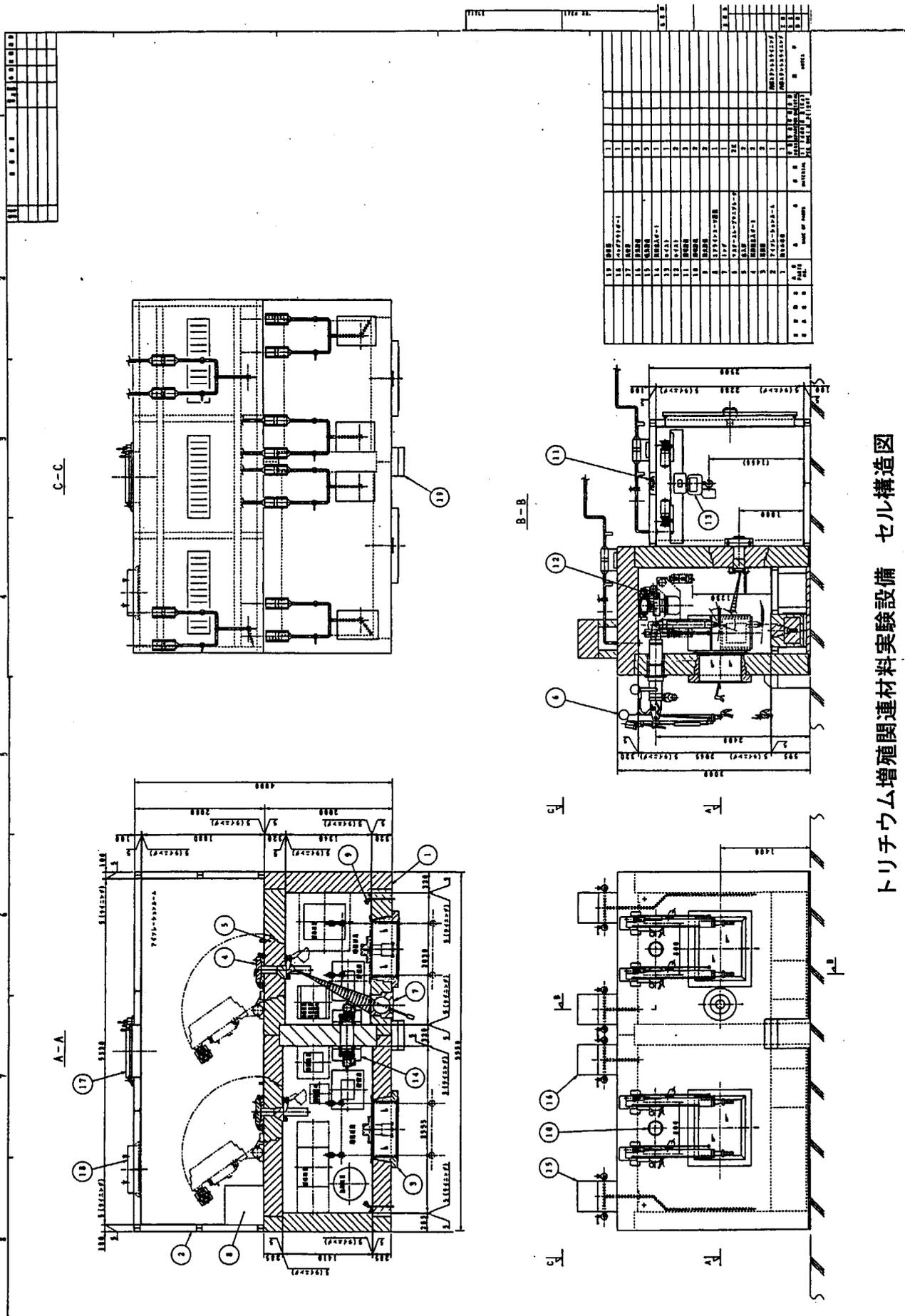
This is a blank page.



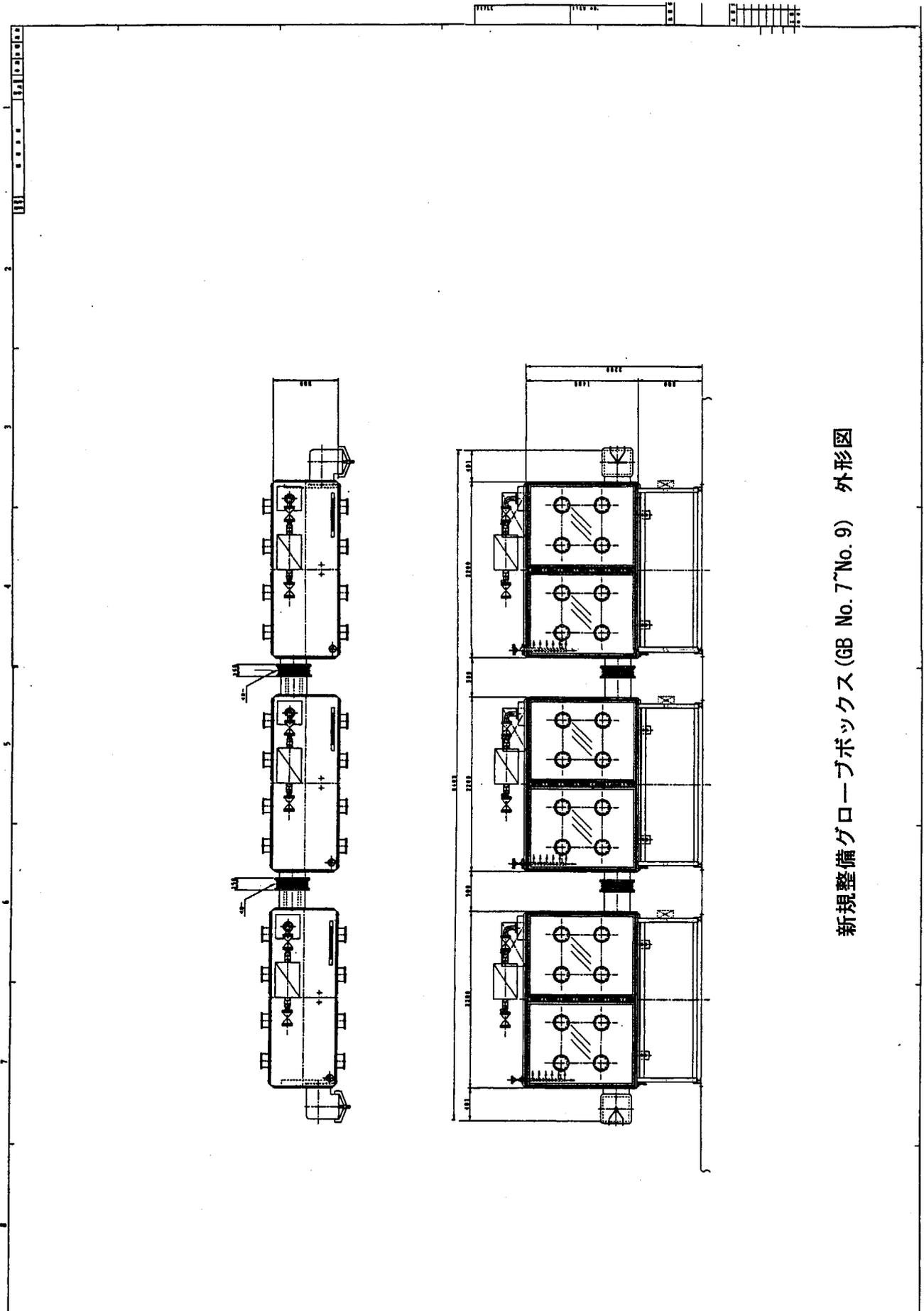
全体系統構成図(トリチウム増殖関連材料実験棟)



トリチウム増殖関連材料開発棟 配置計画



トリウム増殖関連材料実験設備 セル構造図



新規整備グローブボックス (GB No. 7~No. 9) 外形図

国際単位系 (SI) と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分, 時, 日	min, h, d
度, 分, 秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10^{18}	エクサ	E
10^{15}	ペタ	P
10^{12}	テラ	T
10^9	ギガ	G
10^6	メガ	M
10^3	キロ	k
10^2	ヘクト	h
10^1	デカ	da
10^{-1}	デシ	d
10^{-2}	センチ	c
10^{-3}	ミリ	m
10^{-6}	マイクロ	μ
10^{-9}	ナノ	n
10^{-12}	ピコ	p
10^{-15}	フェムト	f
10^{-18}	アト	a

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s^{-1}
力	ニュートン	N	$m \cdot kg/s^2$
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m^2
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	$N \cdot m$
工率, 放射束	ワット	W	J/s
電気量, 電荷	クーロン	C	$A \cdot s$
電位, 電圧, 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	$V \cdot s$
磁束密度	テスラ	T	Wb/m^2
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	$^{\circ}C$	
光束	ルーメン	lm	$cd \cdot sr$
照射度	ルクス	lx	lm/m^2
放射線能	ベクレル	Bq	s^{-1}
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量等量	シーベルト	Sv	J/kg

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バー	b
バル	bar
ガリ	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

$$1 \text{ Å} = 0.1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ b} = 100 \text{ fm} = 10^{-28} \text{ m}^2$$

$$1 \text{ bar} = 0.1 \text{ MPa} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

$$1 \text{ rad} = 1 \text{ cGy} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

$$1 \text{ rem} = 1 \text{ cSv} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

(注)

- 表1-5は「国際単位系」第5版, 国際度量衡局1985年刊行による。ただし, 1 eV および 1 u の値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里, ノット, アール, ヘクトールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- bar は, JISでは流体の圧力を表す場合に限り表2のカテゴリに分類されている。
- E C 閣僚理事会指令では bar, barn および「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリに入れている。

換算表

力	N (=10 ⁵ dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
	9.80665	1	2.20462
	4.44822	0.453592	1

粘度 $1 \text{ Pa} \cdot \text{s} (= \text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2) = 10 \text{ P} (\text{ポアズ}) (\text{g}/(\text{cm} \cdot \text{s}))$

動粘度 $1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St} (\text{ストークス}) (\text{cm}^2/\text{s})$

圧	MPa (=10 bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg (Torr)	lbf/in ² (psi)
	1	10.1972	9.86923	7.50062×10^2	145.038
力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322×10^{-4}	1.35951×10^{-3}	1.31579×10^{-3}	1	1.93368×10^{-2}
	6.89476×10^{-3}	7.03070×10^{-2}	6.80460×10^{-2}	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J (=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal (計量法)	Btu	ft·lbf	eV
	1	0.101972	2.77778×10^{-7}	0.238889	9.47813×10^{-4}	0.737562	6.24150×10^{18}
	9.80665	1	2.72407×10^{-6}	2.34270	9.29487×10^{-3}	7.23301	6.12082×10^{19}
	3.6×10^6	3.67098×10^5	1	8.59999×10^5	3412.13	2.65522×10^6	2.24694×10^{25}
	4.18605	0.426858	1.16279×10^{-6}	1	3.96759×10^{-1}	3.08747	2.61272×10^{19}
	1055.06	107.586	2.93072×10^{-4}	252.042	1	778.172	6.58515×10^{21}
	1.35582	0.138255	3.76616×10^{-7}	0.323890	1.28506×10^{-3}	1	8.46233×10^{18}
	1.60218×10^{-19}	1.63377×10^{-20}	4.45050×10^{-26}	3.82743×10^{-20}	1.51857×10^{-22}	1.18171×10^{-19}	1

1 cal = 4.18605 J (計量法)
 = 4.184 J (熱化学)
 = 4.1855 J (15℃)
 = 4.1868 J (国際蒸気表)
 仕事率 1 PS (馬力)
 = 75 kgf·m/s
 = 735.499 W

放射能	Bq	Ci
	1	2.70270×10^{-11}
	3.7×10^{10}	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58×10^{-4}	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

核融合炉ブランケット材料のための照射後試験施設に関する検討



古紙配合率100%
白色度70%再生紙を使用しています