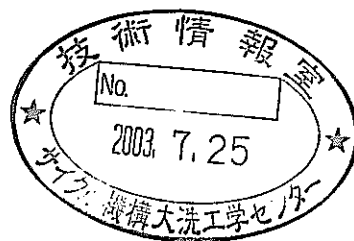


湿式対応振動充填燃料製造ライン構成の調査

(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

2003年2月



株式会社 日立製作所

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49

核燃料サイクル開発機構

技術開発部 技術協力課

電話：029-282-1122 (代表)

ファックス：029-282-7980

電子メール：jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to :

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-Ken 319-1184, Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

2003

湿式対応振動充填燃料製造ライン構成の調査 (核燃料サイクル機構 契約業務報告書)

小貫 徳彦*、多田 伸雄*

要 旨

本検討は、FBR 実用化戦略調査研究の一環として、湿式対応振動充填燃料製造プラントの燃料製造ライン構成及び主要製造装置の調査を行った。

本燃料製造システムは振動充填燃料ピン製造工程、燃料ピン検査工程、燃料集合体組立・検査工程からなり、その主要設備としては振動充填時における燃料ピン保持のための燃料ピンマガジン、振動充填装置、スペーサ挿入装置、上部端栓溶接装置、燃料密度測定装置、燃料集合体組立装置、燃料集合体検査装置等がある。これらの機器の基本設計を行い、機器の基本仕様及び構造を明らかにした。また、これらの装置の燃料製造セル内配置、運転手順、マテリアルハンドリング、運転フローチャート、保守・補修を検討し、故障率を評価した。

さらに、安全性に係わる検討としては、燃料の臨界安全性、火災・爆発、耐震性を評価し、品質保証方法や計量管理に係わる検討も実施した。また、本燃料製造システムの経済性に関する検討及び廃棄物発生量に関する検討を実施した。

本報告書は、株式会社日立製作所が核燃料サイクル開発機構との契約により実施した業務成果に関するものである。

サイクル機構担当部課室：大洗工学センター システム技術開発部
燃料製造システムグループ

* 株式会社 日立製作所

Investigation of Vibration Packing Fuel Fabrication System for Wet Fuel Recycle

Norihiko Onuki*, Nobuo Tada*

Abstract

In this study, for the feasibility studies on commercialized FBR cycle system, we researched the vibration packing fuel fabrication system and main fuel fabrication equipments for wet fuel recycle plant.

The fuel fabrication system has fuel pin fabrication process, fuel pin inspection process, fuel assembly fabrication process and fuel assembly inspection process. Main equipments of fuel fabrication system are pin magazine rack to hold the fuel pins at vibration packing, vibration packing equipment, spacer insertion equipment, upper end plug welding equipment, fuel density measurement equipment, fuel assembly fabrication equipment and fuel assembly inspection equipment. We investigated the basic designs, operation procedures, material handlings, operating flow charts, maintenances and failure rate of those equipments.

Furthermore, criticality, fire/explosion and earthquake-proof were investigated as safety analysis, and the manners of quality controls and material accountancy of the fuels were investigated. Economical evaluation and generated wastes evaluation were carried out for the above fuel fabrication systems, too.

This work performed by Hitachi, Ltd. under contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute.

JNC Liaison: Fuel Fabrication System Group, System Engineering Technology Division,
O-arai Engineering Center

* Hitachi, Ltd.

目 次

1. 概 要	1
2. 検討範囲	2
2.1 検討範囲	2
2.2 設計条件	4
3. 主要設備機器の概念調査及び配置設計	11
3.1 主要設備の概念設計	11
3.1.1 燃料ピンマガジン	11
3.1.2 振動充填装置	15
3.1.3 スペーサ挿入装置	18
3.1.4 上部端栓溶接装置	20
3.1.5 集合体組立て装置	21
3.1.6 集合体検査装置	22
3.1.7 検査・抜き取り装置	23
3.1.8 マテハン設備	25
3.1.9 主要機器リスト	28
3.2 セル内機器配置設計検討	53
3.3 運転に関する検討	64
3.3.1 各機器の運転手順	64
3.3.2 マテリアルハンドリングフロー	74
3.3.3 運転フローチャート	75
3.3.4 保守・補修	77
3.4 安全に係わる設計方針	122
3.4.1 臨界安全に関する検討	122

3.4.2	崩壊熱に関する検討	133
3.4.3	耐震性、火災・爆発に関する検討	137
3.5	品質保証方法及び計量管理の検討	158
3.5.1	品質保証方法	158
3.5.2	計量管理	162
4.	システム評価に関するデータの収集	173
4.1	技術的成立性に関するデータの調査検討	173
4.2	セル適合性に関する評価検討	178
4.3	経済性評価に関するデータの調査検討	182
4.4	廃棄物発生量の評価に関するデータの調査検討	193
5.	結論	195
6.	参考文献	197

図 一 覧

図 2. 2. 2-1	湿式リサイクルプラント検討用燃料ピン概要図	9
図 2. 2. 2-2	湿式リサイクルプラント検討用燃料集合体構造概要図	10
図 3. 1. 1-1	燃料ピンマガジン基本構造	29
図 3. 1. 2-1	振動充填装置基本構造	30
図 3. 1. 3-1	スパーサ挿入装置概略構造	31
図 3. 1. 4-1	上部端栓溶接装置概略構造	32
図 3. 1. 5-1	集合体組立て装置概略構造	33
図 3. 1. 6-1	集合体検査装置概略構造	34
図 3. 1. 7-1	密度検査装置概略構造	35
図 3. 1. 8-1	粒子移送マニピュレータ概略構造	36
図 3. 1. 8-2	移送台車 I、II、III 概略構造	37
図 3. 1. 8-3	移送装置 I-1、2 概略構造	38
図 3. 1. 8-4	移送装置 II-1、2、III-1、2 概略構造	39
図 3. 1. 8-5	燃料ピン移送台車概略構造	40
図 3. 1. 8-6	ハンドリング装置 I 概略構造	41
図 3. 1. 8-7	ハンドリング装置 II、III 概略構造	42
図 3. 2-1	振動充填燃料製造ラインの全体フロー	59
図 3. 2-2	燃料ピン製造セル セル内配置図	60
図 3. 2-3	燃料ピン製造セル セル内断面図	61
図 3. 2-4	燃料ピン検査セル セル内配置図	62
図 3. 2-5	集合体組立・検査セル セル内配置図	63
図 3. 3. 2-1	燃料ピン製造セル内マテリアルハンドリングフロー	96
図 3. 4. 1-1	PuO_2 無限円筒直径：Pu 同位体組成の効果	154
図 3. 4. 1-2	MOX 質量： PuO_2 富化度の効果	155
図 3. 4. 1-3	臨界計算結果（燃料集合体一時貯蔵施設）	156
図 3. 4. 2-1	機器の内径と燃料温度及び機器内面温度の関係	157
図 3. 5. 1-1	燃料粒子供給フロー	171
図 3. 5. 2-1	燃料製造施設の物質収支区域及び主要測定点	172
図 4. 3-1	ライン構成と経済性評価	192

表 一 覧

表 2. 2. 2-1	炉心燃料集合体及び径方向ブランケット燃料集合体の基本仕様	6
表 2. 2. 2-2	主な炉心仕様と特性	7
表 2. 2. 2-3	燃料粒子取扱い量 (振動充填工程)	8
表 3. 1. 9-1	燃料ピン製造セル主要機器リスト (1/2) (内側炉心燃料)	43
表 3. 1. 9-1	燃料ピン製造セル主要機器リスト (2/2) (内側炉心燃料)	44
表 3. 1. 9-2	燃料ピン製造セル主要機器リスト (1/2) (外側炉心燃料)	45
表 3. 1. 9-2	燃料ピン製造セル主要機器リスト (2/2) (外側炉心燃料)	46
表 3. 1. 9-3	燃料ピン製造セル主要機器リスト (1/2) (ブランケット燃料)	47
表 3. 1. 9-3	燃料ピン製造セル主要機器リスト (2/2) (ブランケット燃料)	48
表 3. 1. 9-4	燃料ピン検査セル主要機器リスト (内側炉心燃料)	49
表 3. 1. 9-5	燃料ピン検査セル主要機器リスト (外側炉心燃料)	50
表 3. 1. 9-6	燃料ピン検査セル主要機器リスト (ブランケット燃料)	51
表 3. 1. 9-7	集合体組立・検査セル主要機器リスト (炉心燃料、ブランケット燃料)	52
表 3. 2-1	保守・補修に必要なメンテナンススペース (1/3)	56
表 3. 2-1	保守・補修に必要なメンテナンススペース (2/3)	57
表 3. 2-1	保守・補修に必要なメンテナンススペース (3/3)	58
表 3. 3. 1-1	燃料粒子受入装置運転手順	79
表 3. 3. 1-2	振動充填装置運転手順	80
表 3. 3. 1-3	スペーサ挿入装置運転手順	81
表 3. 3. 1-4	端栓溶接装置運転手順	82
表 3. 3. 1-5	密度測定装置運転手順	83
表 3. 3. 1-6	除染装置運転手順	84
表 3. 3. 1-7	ヘリウムリーク試験装置運転手順	85
表 3. 3. 1-8	端栓溶接部検査装置運転手順	86
表 3. 3. 1-9	ワイヤ巻付装置運転手順 (1/2)	87
表 3. 3. 1-9	ワイヤ巻付装置運転手順 (2/2)	88
表 3. 3. 1-10	燃料ピン総合検査装置運転手順 (1/2)	89
表 3. 3. 1-10	燃料ピン総合検査装置運転手順 (2/2)	90
表 3. 3. 1-11	燃料ピン洗浄装置運転手順	91
表 3. 3. 1-12	集合体組立て装置運転手順 (1/2)	92
表 3. 3. 1-12	集合体組立て装置運転手順 (2/2)	93
表 3. 3. 1-13	集合体検査装置運転手順 (1/2)	94
表 3. 3. 1-13	集合体検査装置運転手順 (2/2)	95

表 3. 3. 3-1	燃料ピン製造セル内運転フローチャート（内側炉心燃料、燃料マガジン 単位）(1/2)	97
表 3. 3. 3-1	燃料ピン製造セル内運転フローチャート（内側炉心燃料、燃料マガジン 単位）(2/2)	98
表 3. 3. 3-2	燃料ピン検査セル内運転フローチャート（内側炉心燃料、燃料ピンパレット （燃料ピン 25 本）単位）	99
表 3. 3. 3-3	集合体組立・検査セル内運転フローチャート（炉心燃料、燃料集合体単位） ..	100
表 3. 3. 4-1	装置の稼働率纏め表	101
表 3. 3. 4-2	装置単体の停止時間 (1/20) ～ (20/20)	102～121
表 3. 4. 1-1	各新燃料トン HM 当りの HM および FP (ケース 1：平衡組成燃料)	141
表 3. 4. 1-2	各新燃料トン HM 当りの HM および FP (ケース 2：軽水炉 MA 添加燃料)	142
表 3. 4. 1-3	セル内燃料保持量と臨界防止区分例（内側炉心燃料製造ラインの例）	143
表 3. 4. 2-1 (1)	低除染燃料を充填した燃料ピンの温度評価 (ケース 1：平衡組成燃料)	144
表 3. 4. 2-1 (2)	低除染燃料を充填した燃料ピンの温度評価 (ケース 2：軽水炉 MA 添加燃料) ...	145
表 3. 4. 2-2 (1)	低除染燃料取扱い機器の内面温度評価 (ケース 1：平衡組成燃料)	146
表 3. 4. 2-2 (2)	低除染燃料取扱い機器の内面温度評価 (ケース 2：軽水炉 MA 添加燃料)	147
表 3. 4. 2-3	燃料集合体の温度評価（ラッパ管位置）	148
表 3. 4. 3-1 (1)	再処理施設安全審査指針における施設の重要度分類	149
表 3. 4. 3-1 (2)	再処理施設の重要度分類の例	150
表 3. 4. 3-2	地震時燃料ピン発生応力評価	151
表 3. 4. 3-3	地震時燃料ピンマガジン管発生応力評価	152
表 3. 4. 3-4	設備の耐震性評価例	153
表 3. 5. 1-1	燃料製造における主要な検査項目 (燃料ペレットの例)	169
表 3. 5. 1-2	検査項目、検査装置及び検査方法 (振動充填燃料)	170
表 4. 1-1	検討課題	177
表 4. 3-1 (1)	設部費の経済性評価 (処理量変化時、ケース A)	187
表 4. 3-1 (2)	設部費の経済性評価 (処理量変化時、ケース B)	188
表 4. 3-1 (3)	設部費の経済性評価 (処理量変化時、ケース C)	189
表 4. 3-1 (4)	設部費の経済性評価 (処理量変化時、ケース D)	190
表 4. 3-2	設部費の経済性評価 (処理量及びライン構成パラメータ)	191
表 4. 4-1	廃棄物発生量の推定	194

1. 概 要

核燃料サイクル開発機構ではFBRサイクルの実用化像の構築を目的としたFBR実用化戦略調査研究を実施している。この調査研究では経済性、環境負荷低減、核拡散抵抗性等について各種サイクルシステムの評価をおこなうこととしている。その一環として、FBR燃料を対象とする湿式振動充填燃料の製造プラントについて調査する。

昨年度は、燃料ピン検査までの機器の設計を行い、機器単体の成立性の検討を実施した。今年度は燃料粒子製造側からの燃料粒子受入れ工程から、集合体貯蔵庫への搬入工程までの主工程機器の概念設計及びセル内配置設計を行い、セル内製造へのシステムの適応性を評価した。

具体的には、振動充填燃料製造設備の主要機器の基本設計を行うとともに各機器のセル内配置、運転手順、マテリアルハンドリング、運転フローチャート、保守・補修等の明確化、安全性に係わる検討及び技術的成立性に関する検討等のシステム評価に関する検討を実施した。

2. 検討範囲

2.1 検討範囲

本設計「湿式対応振動充填燃料製造ライン構成の調査」では、下記内容を検討するものとする。

平成11年度及び平成12年度は外部ゲル及び内部ゲル化法による再処理／燃料製造一体型及び燃料製造単独型プラントに関し、生産規模 200t-HM/y 及び 50t-HM/y について評価を実施した。平成13年度¹⁾は、湿式ゲル化法による振動充填燃料製造のうち、燃料ピン製造セル内の振動充填に係わる主要設備機器について概念調査検討を実施した。今年度は燃料粒子受入れから、集合体貯蔵庫への搬入までの主工程機器（燃料ピン製造セル、燃料ピン検査セル、燃料集合体組立・検査セル）の概念設計及びセル内配置設計を行い、セル内製造へのシステムの適応性を評価する。

今回の検討では、検討対象設備機器として以下に示す機器について概念設計を行い、その仕様及び機器構造を明らかにすることとする。

- ①振動充填装置
- ②スペーサ挿入装置
- ③上部端栓溶接装置
- ④検査抜き取り装置
- ⑤集合体組立装置
- ⑥集合体検査装置
- ⑤燃料ピンマガジン
- ⑥上記に関わるマテハン設備

これらの機器に関する設計内容としては、

- ①安全に係る検討
- ②運転手順の明確化

- ③遠隔自動化運転対応
- ④遠隔保守・補修に関する検討
- ⑤計量管理及び品質保証方法の検討
- ⑥機器概念設計調査

を実施する。

また、各機器の各セル内配置設計（燃料ピン製造セル、燃料ピン検査セル、燃料集合体組立・検査セル）を実施する。

さらに、本振動充填燃料システムに関し、以下のデータの収集を行うものとする。

- ①技術的成立性に関するデータの調査検討
- ②経済性評価に関するデータの調査検討
- ③廃棄物発生量の評価に関するデータの調査検討

2.2 設計条件

本調査を実施する上での条件として、下記の項目を設定する。

2.2.1. 処理規模

処理量は燃料製造機器の処理能力と機器台数に依存するが、本設計においては処理量の目標値として 50tHM/y（燃料集合体の HM 重量換算）を基本として設計を進める。

なお、最適な処理量の評価は、本基本ケースをベースとし、製造能力、運転時間、各機器コスト、廃棄物発生量等の種々の詳細なパラメータサーベイにより今後検討を進める必要がある。

2.2.2 処理対象燃料／製品燃料

(1) 基本的な考え方

本プラントは、FBR の使用済燃料（炉心燃料，ブランケット燃料）を処理対象とした新燃料を製造する燃料製造プラントである。新燃料を製造するための燃料は、湿式ゲル化により製造される球状の燃料粒子とする。

(2) 製品／処理対象燃料基本仕様

炉心燃料集合体及び径方向ブランケット燃料集合体の基本仕様を表 2.2.2-1 に、主な炉心仕様と特性を表 2.2.2-2 に示す。また、燃料ピン概要を図 2.2.2-1 に、燃料集合体概要を図 2.2.2-2 に示す。

(3) 燃料粒子取扱い量

本燃料製造施設における燃料粒子の取扱量を表 2.2.2-3 に示す。これらの取扱い量（必要量）は、上記の基本となる年間処理規模と燃料仕様等から、各燃料集合体の種類、燃料ピンの種類及び燃料ピン軸方向燃料構成から燃料粒子種類毎に算出した値（酸化物質質量換算）である。ここでは、大粒：小粒=0.76：0.24 の割合は Ayer²⁾ の実験式に基づく値であり、大粒径 800 μ m 及び小粒径 80 μ m に設定した場合である。

2.2.3 適用法規・規格・基準等

以下に例示する国内法規，指針，基準等の規制を受けることを考慮して設計検討を進めるものとする。

・法規類

- (1) 核原料物質，核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律
- (2) 核原料物質，核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律施行令
- (3) 使用済燃料の再処理の事業に関する規則
- (4) 核燃料物質の加工事業に関する規則
- (5) 再処理施設の設計及び工事の方法の技術基準に関する総理府令
- (6) 加工施設の設計及び工事の方法の技術基準に関する総理府令
- (7) 加工施設，再処理施設，特定廃棄物管理施設及び使用施設等の溶接の技術基準に関する総理府令
- (8) 電気事業法
- (9) その他関係法令等

・指針類

- (1) 核燃料施設安全審査基本指針
- (2) 再処理施設安全審査指針
- (3) 原子力発電所の品質保証指針（日本電気協会）
- (4) その他関係指針

・基準類

- (1) 鋼構造設計基準（日本建設学会）
- (2) 電気設備の技術基準
- (3) その他関係基準

・規定類

- (1) 日本工業規格（JIS）
- (2) 日本電機工業会規格（JEM）
- (3) 日本溶接協会規格（WES）
- (4) 日本油圧工業会規格（JOHS）
- (5) ボイラ及び圧力容器構造規格
- (6) その他関係規格

表2.2.2-1 炉心燃料集合体及び径方向ブランケット燃料集合体の基本仕様

項 目	炉心燃料集合体	径方向ブランケット燃料集合体
燃料集合体		
燃料要素本数	271本	169本
燃料要素配列ピッチ	9.65mm	12.21mm
全長	4600mm	4600mm
ラップ管		
材質	フェライトマルテンサイト鋼	フェライトマルテンサイト鋼
内対面幅	161.2mm	161.2mm
外対面幅	169.9mm	169.9mm
肉厚	4.35mm	4.35mm
スペーサ		
型式	ワイヤ	ワイヤ
材質	分散強化型フェライト鋼	分散強化型フェライト鋼
ワイヤ径	1.1mm	0.86mm
ワイヤ巻付ピッチ	約200mm	約160mm
燃料要素		
全長	3135mm	3135mm
スタック長	1700mm	1700mm
炉心燃料	1000mm	—
軸方向ブランケット燃料(上/下)	350/350mm	—
ガスプレナム長さ(上/下)	285/1080mm	155/1080mm
型式	一体密封型	一体密封型
燃料部		
型式	振動充填	振動充填またはペレット
材質	プルトニウム・ウラン混合酸化物 (窒化物:プルトニウム・ウラン混合酸化物)	二酸化ウラン (窒化物:窒化ウラン)
スミア密度	約85%TD	約85%TD
O/M比 (窒化物燃料 N/M比=1.0)	1.98	2.00
MA/F P混入率制限値(目安値)	約2/2wt.%以下	約2/2wt.%以下
軸方向ブランケット燃料部		
型式	振動充填またはペレット	—
材質	二酸化ウラン	—
スミア密度	約85%TD	—
O/M比 (窒化物燃料 N/M比=1.0)	2.00	—
MA/F P混入率制限値(目安値)	約2/2wt.%以下	—
被覆管		
材質	分散強化型フェライト鋼	分散強化型フェライト鋼
外径	8.5mm	11.3mm
内径	7.5mm	10.5mm
肉厚	0.5mm	0.4mm

表2.2.2-2 主な炉心仕様と特性

項 目	リサイクル研究仕様	備 考	
電気出力	1 5 0 0 M W e	G E M なし	
熱出力	3 6 5 0 M W t		
炉心概念	2 領域均質炉心		
炉心配置	図 1 参照		
運転サイクル長さ	2 0 ヶ月		
集合体数			
内側炉心燃料	3 4 3 体		
外側炉心燃料	1 9 8 体		
径方向ブランケット燃料	1 8 6 体		
主炉停止系制御棒	4 8 体		
後備炉停止系制御棒	6 体		
集合体配列ピッチ	1 7 6 . 4 m m		
炉心高さ	1 0 0 c m		
炉心等価直径	4 5 2 c m		
燃料交換バッチ数 (炉心/径ブランケット)	4 / 4		
サイクル当たりの燃料交換体数			
内側炉心/外側炉心/径ブランケット	約 8 6 / 5 0 / 4 7 体		
燃料組成			F B R ・ M O X ア ク チ ニドリサイクル平衡 組成
Pu238/Pu239/Pu240/Pu241/Pu242/Np237/Am241/Am243/Cm244=			
1.1/54.1/32.1/4.3/3.9/0.5/2.0/1.0/1.0 (wt.%)			
U235/U238	=0.3/99.7 (wt.%)		
P u 富化度 (内側/外側)	17.0/26.5 wt. %		
増殖比 (M O E C)	1. 2 1		
燃焼反応度	2. 3 % Δ ρ		
炉心取出平均燃焼度	1 5 万 M W d / t		
炉心平均出力密度 (B O E C)	2 3 0 W / c m ³		
炉心平均線出力 (B O E C)	2 2 8 W / c m		
炉心部 N a ボイド反応度 (E O E C)	約 6. 3 S	ラッパ管内ボイド	

表2.2.2-3 燃料粒子取扱量 (振動充填工程)

処理量(目標)	tHM/y	50					
処理日数	日	200					
燃料マガジンビン本数	本/体	50					
燃料集合体種類	-	炉心燃料集合体				径方向ブランケット燃料集合体	
	-	内側炉心燃料		外側炉心燃料		-	
燃料集合体数	体/y	133		77		72	
燃料集合体ビン本数	本/体	271		271		169	
燃料ピン本数	本	36043		20867		12168	
燃料ピン製造本数	本/d	180.2		104.3		60.8	
燃料ピンマガジン数	体/d	3.6		2.1		1.2	
上部ブランケット部長さ	mm	350				1700	
炉心部長さ	mm	1000					
下部ブランケット部長さ	mm	350					
ピン内径	mm	7.5				10.5	
燃料理論密度	g/mm ³	0.011					
燃料粒子充填率	-	0.85					
大粒割合	-	0.76					
小粒割合	-	0.24					
燃料粒子種類	-	大粒	小粒	大粒	小粒	大粒	小粒
上部ブランケット部充填量	g/本	109.9	34.7	109.9	34.7	1046.0	330.3
炉心部充填量	g/本	313.9	99.1	313.9	99.1		
下部ブランケット部充填量	g/本	109.9	34.7	109.9	34.7		
1 燃料ビンマガジン装荷必要量		-					
・上部ブランケット部用	g/50本	5493.8	1734.9	5493.8	1734.9	52301.3	16516.2
・炉心部用	g/50本	15696.7	4956.8	15696.7	4956.8		
・下部ブランケット部用	g/50本	5493.8	1734.9	5493.8	1734.9		
・上部ブランケット部用	mm ³ /50本	499439.6	157717.8	499439.6	157717.8	4754665.0	1501473.2
・炉心部用	mm ³ /50本	1426970.3	450622.2	1426970.3	450622.2		
・下部ブランケット部用	mm ³ /50本	499439.6	157717.8	499439.6	157717.8		
燃料供給ホッパ仕様検討 ホッパ内顆粒充填率(0.5) 1ホッパが装荷する燃料ピン本数 (1燃料マガジン当り各燃料5ホッパ)	本	10	10	10	10	10	10
・上部ブランケット部用①	mm ³ /本	199775.8	63087.1	199775.8	63087.1	1901866.0	600589.3
・炉心部用②	mm ³ /本	570788.1	180248.9	570788.1	180248.9		
・下部ブランケット部用③	mm ³ /本	199775.8	63087.1	199775.8	63087.1		
・ホッパ内径	mm	50	30	50	30	100	60
・ホッパ長さ(燃料粒子装荷長)	mm	300	300	300	300	300	300
・ホッパ体積④ (④>①、②、③を確認)	mm ³ /本	589048.6	212057.5	589048.6	212057.5	2356194.5	848230.0
燃料粒子取扱量(必要量)		-					
・上部ブランケット部用	g/d	19801.4	6253.1	11464.0	3620.2	63640.2	20096.9
・炉心部用	g/d	56575.5	17866.0	32754.2	10343.4		
・下部ブランケット部用	g/d	19801.4	6253.1	11464.0	3620.2		
燃料供給ホッパ移動回数検討 (燃料供給ホッパは5本単位移動)	回/d	3.6	3.6	2.1	2.1	1.2	1.2

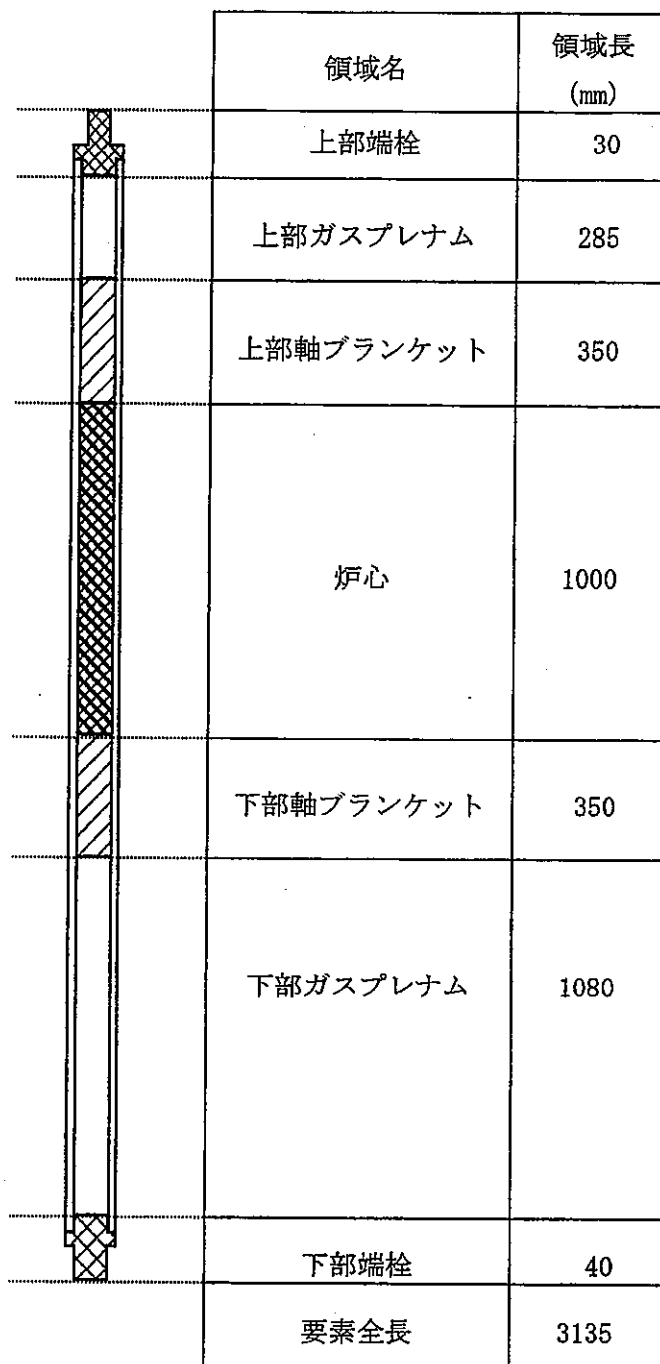
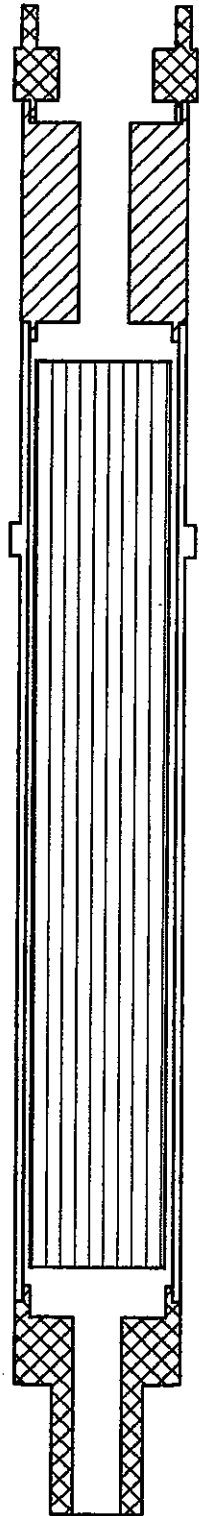


図 2.2.2-1 湿式リサイクルプラント検討用燃料ピン概要図



	領域長 (mm)	主な部品名	構造材物量 (kg)
	220	ハンドリングヘッド	15
	650	上部しゃへい体	90
	3195	ラップ管	64
		被覆管、ワイヤ、端栓	100
	185	ピン支持部材等	5
	350	下部しゃへい体一体型 エントランスノズル	30
全長	4600	構造材物量合計	304

図 2.2.2-2 湿式リサイクルプラント検討用燃料集合体構造概要図

3. 主要設備機器の概念調査及び配置設計

湿式ゲル化法による振動充填燃料製造設備のうち、振動充填、集合体組立てに係わる主要設備機器について、概念調査及び配置設計検討を行った結果を以下に示す。本検討では、平成12年度の「湿式法振動充填燃料製造システム調査」の結果、及び平成13年度の「振動充填燃料製造機器概念調査（振動充填装置）」の結果を基に、50t-HM/yの生産規模で内部炉心燃料製造ラインを中心に主要設備機器を検討した。

3.1 主要設備の概念設計

振動充填、及び集合体組立てに係わる主要機器の概念設計を検討し、機器の仕様及び構造を明らかにした。

その結果を以下に示す。

3.1.1 燃料ピンマガジン

燃料ピンマガジンの基本構造を図3.1.1-1に示す。

図中には、燃料ピンマガジンの基本構造を示すと共に、機器形式、取扱対象物等の主要な機器仕様についても記載した。

燃料ピンマガジンの構造は、 $\phi 500\text{mm}$ の円筒と $\phi 800\text{mm}$ の円盤で構成され、円盤部に燃料ピンを50本装荷できるものとした。

下板には、燃料ピンを保持するための穴を設け、燃料ピンの外周を支持するための板バネを半径方向に設置し、かつ燃料ピン長さ誤差を吸収するために下側にバネを設置した。

また、中間板と上板には、回転できる円盤に板バネを設置し燃料ピン外径を支持できる構造とした。中間板は、燃料ピンの座屈荷重設計の結果より、2箇所を設置することとした。上板には、燃料供給部と押さえ蓋部を設置してあり、円盤の上下降と回転

により、それぞれの機能を選択できる構造となっている。なお、この上板は、上部を分解できる構造とし、燃料ピンの挿入および引き出しを可能とする。

(1) 燃料ピンの曲げ強度（オイラー座屈）

ここでは、燃料ピンに軸荷重が生じた場合の座屈荷重（オイラー座屈）を求める。燃料ピンは、外径φ8.5mm（内径φ7.5mm）×長さ3100mmのステンレス管とする。燃料ピンを両端支持とすると、座屈荷重は、以下の式で表される。

$$P_K = \frac{\pi^2 E \cdot I}{L^2}$$

L=3100（燃料ピン全長）で、 $P_K=2.0\text{kg}$ 、全長の1/2で7.9kg、1/3で17.8kgとなる。燃料ピンを燃料ピンマガジンに装荷する構造、特に燃料充填時の飛散防止のために燃料ピンの先端高さを一致させる押し付け力が必要となる。押し付け力を10kg程度とすると、燃料ピンの長さの1/3で支持し、座屈強度を向上させる構造が必要となる。

(2) 燃料ピンの固有振動数

ここでは、振動充填時に重要なパラメータとなる燃料ピンの固有振動数を求める。まず、燃料を充填しない状態での横振動固有振動数を求める。管の横振動固有振動数fは、内径 d_1 、外径 d_2 、長さLとすると以下の式で表される。

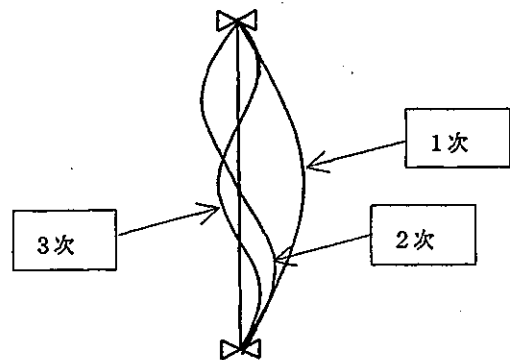
$$f = \frac{\lambda^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{\gamma \cdot A}}$$

$$I = \frac{\pi}{64} (d_2^4 - d_1^4)$$

$$A = \frac{\pi}{4} (d_2^2 - d_1^2)$$

$$E = 1.91 \times 10^4 \text{ kgf} / \text{mm}^2$$

$$\gamma = 8 \times 10^{-6} \text{ kg} / \text{mm}^3$$



振動モード

ここで、 λ は両端の条件により定まる定数である。今回の燃料ピンの燃料ピンマガジンへの搭載構造は、両端支持と考えられることから、

$$\lambda = n \times \pi \quad (n=1, 2, 3 \dots \text{で、振動モードを示す})$$

となる。

よって、燃料ピンの固有振動数を求めると、 $f = 2.24\text{Hz}$ (1次)、 8.96Hz (2次)、 20.16Hz (3次)・・・となる。

振動充填における振動数は、 $100 \sim 300\text{Hz} \times 5\text{G}$ ($200\text{Hz} \cdot 5\text{G}$ の場合には振幅約 $30 \mu\text{m}$ となる) であり、3次の固有振動数でもこれよりは低く、共振の可能性はない。また、燃料を充填した後は、 γ が増え固有振動数は低くなるため、共振はしないと考えられる。

(3) 燃料ピンマガジンの固有振動数

燃料ピンマガジンの主要構成材である中心円筒の横振動固有振動数を求める。ここでは、外径 $\phi 500\text{mm}$ (内径 $\phi 490\text{mm}$) \times 長さ 3140mm のステンレス管とした。

両端条件を固定 (下端) - 自由 (上端) とすると、燃料ピンマガジンの固有振動数は燃料ピンと同様の式で、 $\lambda = 1.875, 4.694, 7.855$ となる。

$$f = \lambda^2 \times 13.67$$

したがって、1次、2次、3次の振動数は、それぞれ 48Hz 、 301Hz 、 843Hz となり、2次の振動数 (301Hz) 付近で振動充填時の周波数と共振する可能性がある。ただし、燃料ピンを装荷することにより振動に対する減衰作用が生じること、および燃料ピンの固有振動数とは大きく異なるため、振動充填に直接の影響はないと考えられる。

(4) 下部バネの基本設計

燃料充填時の飛散防止のため燃料ピンの先端高さを一致させるためのバネは、燃料ピンの長さ誤差を±1.5mm程度とすると、前述の座屈荷重を考慮して、荷重10kgで変形量3mm程度のバネを使用することとした。ただし、このバネの固有振動数は数Hz程度であり、振動充填の際の5Gの加速度で保持することは出来ない。したがって、上板及び中間板の3箇所の保持力で、5Gの加速度に対応した保持力（燃料を充填した燃料ピン1本当りの重量を1kgとすると保持力は5kg以上、1箇所2kg程度）で燃料ピンを固定する設計が必要となる。摩擦係数0.3とすると1箇所6kg程度の力で燃料ピンを押さえつける必要があり、燃料ピン表面の傷つき防止および変形防止の観点から、ある程度広い面積で燃料ピンに保持力を伝えるようにする必要がある。

(5) 重量

燃料ピンマガジンの重量を外形寸法から概算した結果を、下表に示す。

燃料ピンマガジンの重量は、振動充填時の上荷重となるため、加振装置の規模を小さくするために出来る限り軽くする必要がある。今回の概算では、充填した燃料ピンを50本搭載時で約600kgとなった。上板・中間板・下板に関しては、機能上必要のない肉厚を削ることにより軽量化できる可能性がある。

燃料ピンマガジン重量

品名	寸法	重量(kg)	個数	合計重量(kg)
燃料ピン	φ8.5×3100×t0.5	1	50	50
上板	φ800(円環部幅150)×t50	125	1	125
中間板	φ800(円環部幅150)×t20	50	2	100
下板	φ800(円環部幅150)×t50	125	1	125
支持柱	φ500×3140×5t	200	1	200
合計				600

3.1.2 振動充填装置

振動充填装置の基本設計を以下に示す

(1) 供給ホッパ基本設計

ホッパ径は、臨界管理寸法と温度上昇による再酸化の防止から定めた。臨界管理の点からは、3.4.1項の「臨界安全に関する検討」よりホッパ径15cm以下、再酸化防止のための温度上昇の点からは空气中を想定した3.4.2項の「崩壊熱に関する検討」より5cm以下とする必要があるため、ホッパ径の基準を5cmとした。

ここでは、充填量が最も多い中間部コアを基準にホッパ長さを設計する。中間部コア充填長さを1000mm、振動充填後の充填率を85%、ホッパ内の充填率を50%、大粒:小粒比を0.76:0.24とすると、燃料ピン1本当りの大粒燃料用ホッパの長さは、

$$\left(\frac{7.5^2 \pi}{4} \times 1000 \times \frac{85}{100}\right) + \left(\frac{50^2 \pi}{4} \times \frac{50}{100}\right) \times \frac{0.76}{1} = 29.1\text{mm}$$

したがって、1ホッパ当たり10本の燃料ピンに供給することとし、ホッパ長さは余裕を見て300mmとした。小粒燃料は大粒の24/100の体積のため、小粒用のホッパは径30mm、長さ300mmとする。ここで、充填率の設計において大粒と小粒の割合を多少変更する場合も考えられが、その場合は装荷割合に応じたホッパ長さを設定(例えば7:3の場合、小粒ホッパを約50mm長くする等)することで対応できる。

なお、径方向ブランケット燃料については、発熱が無いため、大粒燃料用のホッパは径100mm、長さ300mmとし、小粒はホッパ径60mm、長さ300mmとした。

(2) 計量部の基本設計

計量部は、燃料供給ホッパから計量ホッパへ燃料を供給するフィーダー(水平に設置したスクリーフイーダーを想定)と計量ホッパ(重量による計量)、燃料ピンに供給するフィーダーから構成される。これらの大きさも、燃料供給ホッパと同様に温度上昇による再酸化防止のため、5cm以下の径とした。

なお、燃料供給ホッパおよび計量部（フィーダーおよび計量ホッパ）は、燃料供給後の振動充填時に燃料ピンマガジンより分離し、振動の影響（充填率変化による閉塞や燃料の飛散）を受けないような構造とした。

(3) 振動充填部の基本設計

振動充填装置の基本構造図を図 3.1.2-1 に示す。

振動充填装置の導入部に燃料ピンマガジンを供給し、振動充填装置内燃料ピンマガジン移送装置により加振装置上に運搬する。この時、加振装置と燃料ピンマガジンとは、複数のピンにより軸位置の合わせと回転方向位置の合わせを行うと共に、振動時の燃料ピンマガジンの固定を行う構造とした。また、振動充填後の燃料ピンマガジンは、供給時と同様に移動装置により排出し、移送台車により次の工程であるスパーサ挿入装置へ供給する構造とした。

なお、加振装置の基礎は他の機器とは独立とし、他の機器への振動の影響が無いような考慮が必要となる。

また、振動充填の方法は、浸透法を採用した。この方法は、燃料粒子充填手順として始めに大粒を燃料ピンへ装荷後、その上部へ小粒を装荷して振動充填を行うものであり、小粒が大粒と大粒の間隙間を通過して下部へ浸透・充填される。この方法の特徴としては粒子同士の摩擦が小さい球形に近い燃料粒子の場合に有効である。本燃料粒子はゲル化法により製造された球形粒子を用いることとしており、本方法を採用した。また、燃料粒子充填長さが長い場合は、振動時間（浸透時間）は長くなるが小粒の浸透は阻害されず充填されるため有効な方法である。なお、その他の因子として燃料粒子の表面状態が充填挙動に影響を与えるほど悪い（粗い）場合も考えられるので、その場合は、振動充填条件や粒子装荷方法の検討が必要である。

その他の振動充填方法（燃料粒子装荷方法）としては、大粒と小粒を交互に装荷

する多層法や、装荷前に大粒と小粒を混合する混合法があるが、これらの方法は、燃料粒子間の摩擦が大きく粒子の浸透や移動が困難な塊状燃料粒子（粒形が球状ではない）に適用される場合が多い。今回検討した設備では、多層法は充填する燃料粒子を分割供給することにより実施可能であり、混合法は計量部に混合部を追加することにより実施可能である。

3.1.3 スペーサ挿入装置

(1) スペーサ挿入装置の基本設計

スペーサ挿入装置の基本構造を図 3.1.3-1 に示す。

燃料ピンマガジンは、振動充填装置から移送台車によりスペーサ挿入位置に導入し、スペーサ挿入後は振動充填装置または次工程の上部端栓溶接装置に供給される構造とした。

スペーサ挿入は、

- ①供給冶具によるスペーサの供給
- ②挿入ロッドによるスペーサの吸着
- ③スペーサの案内管への挿入
- ④供給冶具の排出
- ⑤燃料ピンへのスペーサの挿入

の手順により、50本の燃料ピンに同時にスペーサの挿入を行う。ただし、燃料ピン先端を露出する必要があるため、スペーサ挿入前にマガジン上部板の一部を分解することとした。なお、振動充填装置に戻す場合には、再度上板を組み立てることとした。

供給冶具には、スペーサを供給するための穴とスペーサを案内管に注入するための突起を設けてあり、供給冶具を回転させることにより選択できる構造とした。また、燃料粒子最上段に挿入する反射体やバネも上記スペーサと同様に、同一機構により挿入できるものとした。

(2) スペーサ挿入ロッド座屈荷重

燃料ピンと同様にスペーサ挿入ロッドの座屈荷重を求めると、

形状：外径φ5.0mm×長さ2300mm、ステンレス棒より、

$$P_k = \frac{\pi^2 E \cdot I}{L^2}$$

$$I = \frac{\pi}{64} d^4$$

から、 $P_k=1\text{kg}$ となる。スペーサ挿入時の荷重は、スペーサと燃料ピン内面との摩擦で発生する。この摩擦力は、スペーサの仕様により異なるが、もし摩擦力が大きく上記座屈荷重を超えるような場合には、スペーサロッドを中間にて支持する機構が必要となる。支持機構としては、挿入ロッド駆動端からワイヤにより吊り下げられた移動式の案内を想定しており、摩擦力大のため挿入力座屈荷重を超える場合にはこの移動式案内装置を組み込み、スペーサ挿入ロッドの座屈強度を増大する必要がある。

3.1.4 上部端栓溶接装置

上部端栓溶接装置の基本構造を図 3.1.4-1 に示す。

端栓溶接には、大電流による端栓と燃料ピン間の接触抵抗部の発熱により溶接する加圧抵抗溶接法を用いることとした。

端栓溶接装置は、端栓の供給冶具、燃料ピンを保持・燃料ピン側チャックに挿入するハンドリング装置、端栓と燃料ピンを溶接する溶接部と燃料ピン内を He ガスに置換するための装置により構成される。溶接部には、端栓側チャックと燃料ピン側チャックおよび予熱用ヒータを内蔵した真空チャンバ、加圧装置、抵抗溶接に使用する電源部により構成される。He ガス置換装置には、上記真空チャンバに接続された真空ポンプと He タンクと He 回収装置がある。

端栓溶接前の燃料ピンを単体でハンドリングすることは燃料飛散などの点で不安定であるため、燃料ピンマガジンにて運搬することとした。燃料ピンマガジンの供給・排出は、移送台車にて行うこととした。

真空チャンバ部は、真空引き時間の短縮のためその空間体積を小さくすることと燃料ピン挿入部のシール方法を検討する必要がある。

3.1.5 集合体組立て装置

集合体組立て装置の基本構造を図 3.1.5-1 に示す。

燃料集合体組立て装置は、現行のペレット燃料の集合体組立て装置（例：核燃料サイクル開発機構の MOX 燃料集合体組立て装置）と基本的に同等であるため、基本構造は同様とし、燃料集合体の組み立て方は組立済燃料ピンを一括保持しエントランスノズル及びラッパ管をかぶさるように挿入する方式を、ラッパ管とエントランスノズルの継目を溶接する方法は TIG 溶接を採用した。

本装置の構成はパレット搬送台車で搬送されてくる燃料ピンパレットを受け取り次工程に搬送するパレット移送装置 I、II、燃料ピンパレットより燃料ピンを 1 本ずつ取り出し、整列台に燃料集合体 1 列分を整列させる燃料ピン移送装置及び燃料ピン整列移送装置、整列台上に整列された燃料ピンを 1 列分一括保持し、集合体組立部に搬送する燃料ピン吸着移送装置、組立済燃料ピンを一括保持し、エントランスノズル及びラッパ管をかぶさるように移動し挿入する集合体組立装置、仮組みされた溶接前の集合体をクランプし、組込み部から溶接部に搬送するための集合体移送装置、搬送された集合体を水平から垂直に立てるための集合体ベット起倒装置、及びラッパ管とエントランスノズルの継目を全周 TIG 溶接するための溶接装置から成る。

3.1.6 集合体検査装置

集合体検査装置の基本構造を図 3.1.6-1 に示す。

燃料集合体検査装置は、現行のペレット燃料の集合体検査装置（例：核燃料サイクル開発機構の MOX 燃料集合体検査装置）と基本的に同等であるため、基本構造は同様とし、燃料集合体の曲がり、振れ、幅を測定するのにマグネスケールを、外観を検査するのに ITV カメラを採用した。

本装置の構成は燃料集合体の曲がり、振れ、幅を測定する幅、曲がり、振れ測定装置、外観を ITV カメラにより検査する外観検査装置、集合体の全長を測定する全長測定装置、ラッパ管とエントランスノズルの溶接部のピート高さを測定する溶接ピート高さ測定装置、及び集合体下部の上下 2 箇所をチャックする下部チャック装置から成る。

3.1.7 検査・抜き取り装置

(1) 密度測定装置

燃料粒子充填密度の測定装置の基本構造を図 3.1.7-1 に示す。

燃料ピンの密度測定には、これまでの実績から γ 線透過法を採用した。

密度測定装置は、10 本の燃料ピンを同心円状に配置するためのベッドと、燃料ピンを軸方向に移動させると同時に軸廻りに回転させるための駆動装置を有している。また、測定部には、中心部に γ 線発生装置、その廻りにスリット、燃料ピンの外側に検出装置を同軸円状に配置し、10 本の燃料ピンの密度を同時に測定可能な構造とした。

燃料ピンは、燃料ピンマガジンからハンドリング装置により抜き出され、密度測定装置のベッドに載せ、駆動装置にチャックされる。密度測定時には、5mm ピッチで γ 線検査部をスキャンする構造とし、充填燃料の密度を測定すると同時に、燃料スタック長さ（プレナム長さ）を測定する。この時、燃料ピンは駆動装置により回転させ、全周を平均的に測定する。

(2) その他検査装置

その他の検査装置として、以下のものが必要となる。これらの装置は従来技術を応用するものとし、概要のみを示す。

- ①除染装置・・・・・・・・燃料ピン外面をスミヤ法により汚染度を調べる。
- ②ヘリウムリーク試験装置・・燃料ピンの He 封入不具合を調べる。
- ③端栓溶接部検査装置・・・・端栓溶接部の欠陥を X 線検査により調べる。

- ④総合検査装置・・・・・・・・・・ カメラにより、外観のキズや寸法・曲がり量を検査する。 γ 線測定にて、炉心燃料・ブランケット部の区分を検査する。

なお、燃料スタック長さは、密度測定におけるスキャン位置から算出することとした。

3.1.8 マテハン設備

燃料ピン製造設備に係わる主要なマテハン設備について、下記に示す。

(1) 粒子移送マニプレータ

粒子移送マニプレータの基本構造を図 3.1.8-1 に示す。

粒子移送マニプレータは、燃料供給ホッパを所定の位置から所定の位置まで移送するための装置であり、走行レール上を走らせるための走行装置、アームを伸縮させるための横行装置、ハンドを昇降させるための昇降装置、及び燃料供給ホッパを保持するためのハンドにて構成される。

(2) 移送台車 I、II、III

移送装置 I-1、2、II-1、2、III-1、2 の基本構造を図 3.1.8-2 に示す。

移送台車 I、II、III は、燃料ピンマガジンを所定の位置から所定の位置まで移送するための装置であり、走行レール上を走らせるための走行装置、燃料ピンマガジンを保持するための固定装置にて構成される。

(3) 移送装置 I-1、2、II-1、2、III-1、2

移送装置 I-1、2 の基本構造を図 3.1.8-3 に、移送装置 II-1、2、III-1、2 の基本構造を図 3.1.8-4 に示す。

移送装置 I-1、2、II-1、2、III-1、2 は、燃料ピンを所定の位置から所定の位置まで移送するための装置であり、走行レール上を走らせるための走行装置、アームを伸縮させるための横行装置、ハンドを昇降させるための昇降装置、ハンドを回転させるための回転装置、及び燃料ピンを保持するためのハンドにて構成される。

(4) 燃料ピン移送台車

燃料ピン移送台車の基本構造を図 3.1.8-5 に示す。

燃料ピン移送台車は、燃料ピンを搭載した燃料ピンパレットを所定の位置から所定の位置まで移送するための装置であり、台車を走らせるための走行装置、燃料ピンを保管するためのパレットにて構成される。

(5) ハンドリング装置 I

振動充填装置は、燃料ピンが搭載されている燃料ピンマガジンを加振するため、燃料ピン内の燃料粒子の吹き上がりも予想され、それを防ぐ燃料ピンの上蓋が必要となる。また、スペーサ挿入装置は、スペーサを燃料ピンに挿入するため、燃料ピンマガジンの上蓋を取り外しておく必要がある。そのため、振動充填装置とスペーサ挿入装置の間にハンドリング装置 I を設置し、ハンドリング装置 I にて、燃料ピンマガジンの上蓋を分解・組立てすることとした。

ハンドリング装置 I の基本構造を図 3.1.8-6 に示す。

ハンドリング装置 I は、ハンドを昇降させるための昇降装置、ハンドを回転させるための回転装置、上蓋を保管するための上蓋横行装置、及び上蓋を保持するためのハンドにて構成される。

(6) ハンドリング装置Ⅱ、Ⅲ

ハンドリング装置Ⅱ、Ⅲの基本構造を図 3.1.8-7 に示す。

ハンドリング装置Ⅱ、Ⅲは、燃料ピンマガジンから端栓溶接済みの燃料ピンを抜き出し、次工程の装置に燃料ピンを受け渡すための装置であり、燃料ピンマガジンを移送するためのマガジン移送装置、燃料ピンマガジンを回転させるための回転装置、燃料ピンを引き抜くための燃料ピン引抜装置、及び燃料ピンを次工程に引き渡すための燃料ピン移動装置にて構成される。

3.1.9 主要機器リスト

燃料ピン製造セル、燃料ピン検査セル、及び燃料集合体組立・検査セル内に設置される主要機器の機器リストを表 3.1.9-1～表 3.1.9-7 に示す。表中には、機器名称、基数、型式、機器概略仕様、材質、使用条件を記載した。

以下に、主要機器リストに記載されている機器で、3.1.1～3.1.8 項にて説明されていない機器の装置概要について説明する。

(1) 燃料受入装置

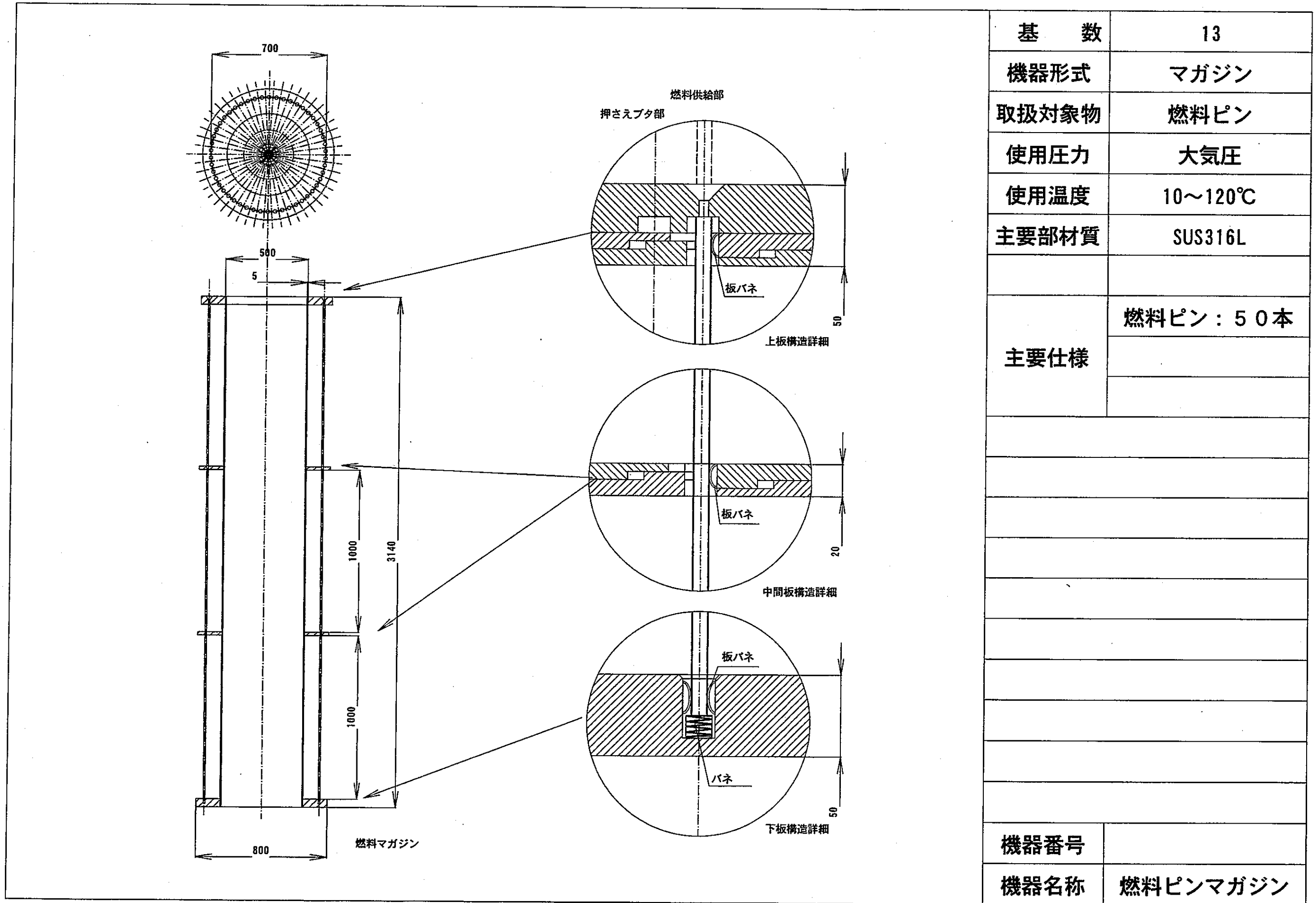
燃料受入装置は、前工程で製造された燃料粒子を受入れ、燃料供給ホッパに定量供給するための装置であり、前工程で製造された燃料粒子を受入れるための受入ホッパ、及び燃料ピン 10 本分に必要な粒子の計量・定量供給を行うための定量供給装置から構成される。

(2) ワイヤ巻付装置

ワイヤ巻付装置は、端栓溶接後除染した X 線検査済の燃料ピンを受入れ、燃料ピンにワイヤを巻付けるための装置であり、X 線検査済の燃料ピンを受入れ搬送するための燃料ピン移送装置、燃料ピンにワイヤを巻付けるためのワイヤ巻付装置、ワイヤの巻付けピッチを非接触で検出するピッチ測定装置等から構成される。

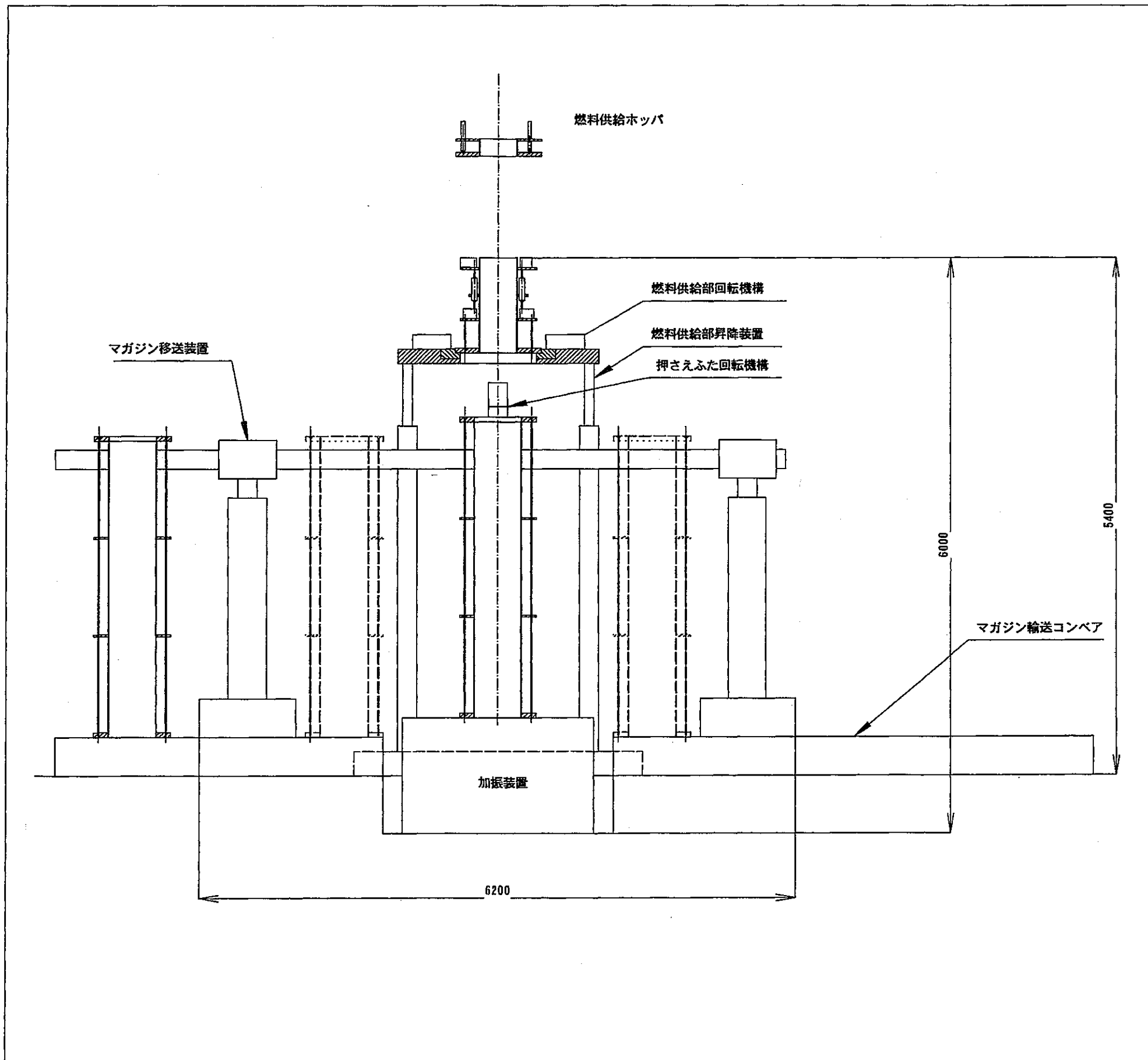
(3) 燃料ピン洗浄装置

燃料ピン洗浄装置は、ワイヤ巻付けされた燃料ピンを受入れ、シャワー及び蒸気により洗浄するための装置であり、ワイヤ巻付けされた燃料ピンを受入れ搬送するためのパレット搬入・排出機構、燃料ピンをシャワー洗浄するためのシャワー洗浄機構、燃料ピンを蒸気洗浄するための蒸気洗浄機構、洗浄した燃料ピンを乾燥させるための乾燥機構等から構成される。



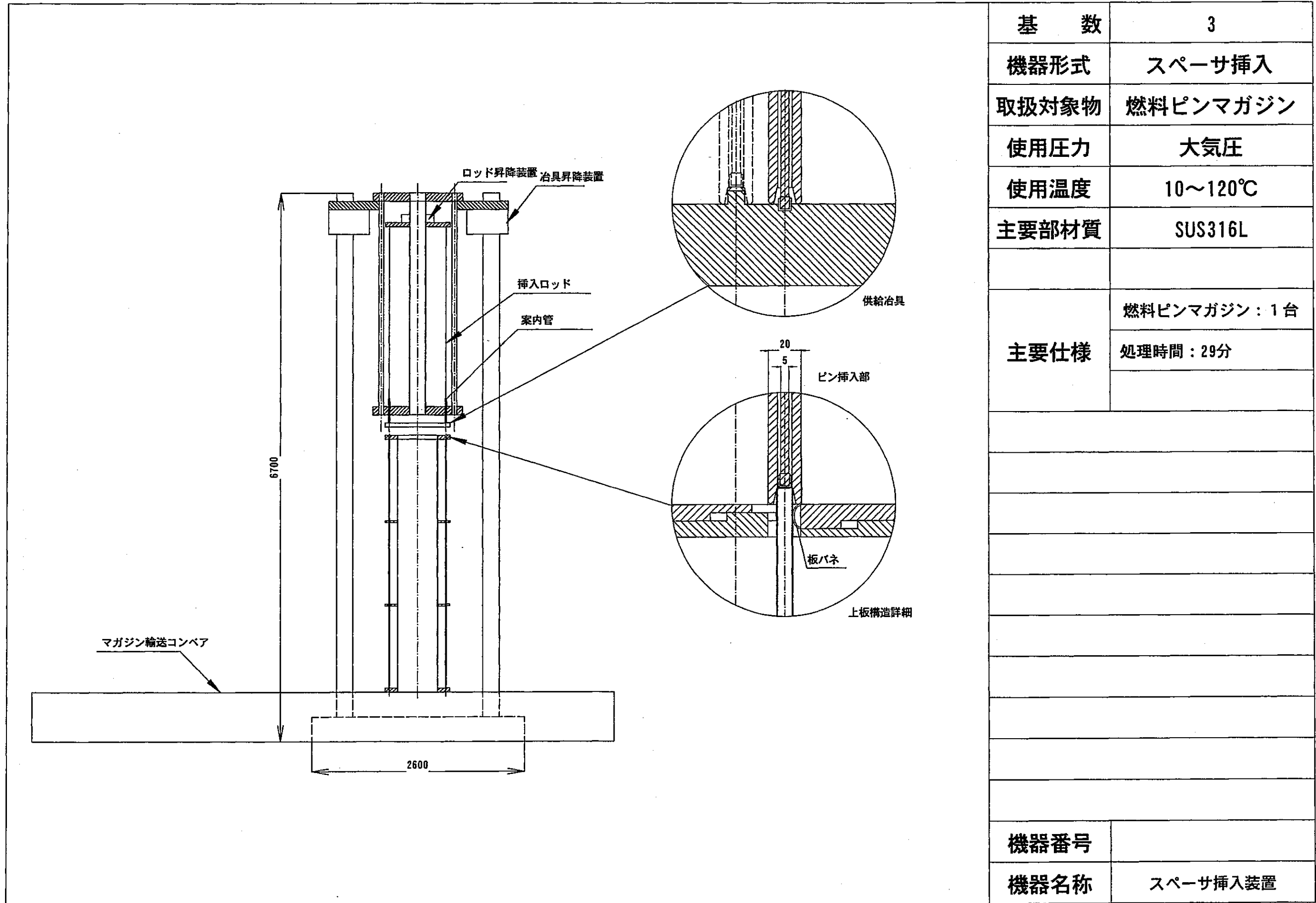
基数	13
機器形式	マガジン
取扱対象物	燃料ピン
使用圧力	大気圧
使用温度	10~120℃
主要部材質	SUS316L
主要仕様	燃料ピン：50本
機器番号	
機器名称	燃料ピンマガジン

図3.1.1-1 燃料ピンマガジン基本構造



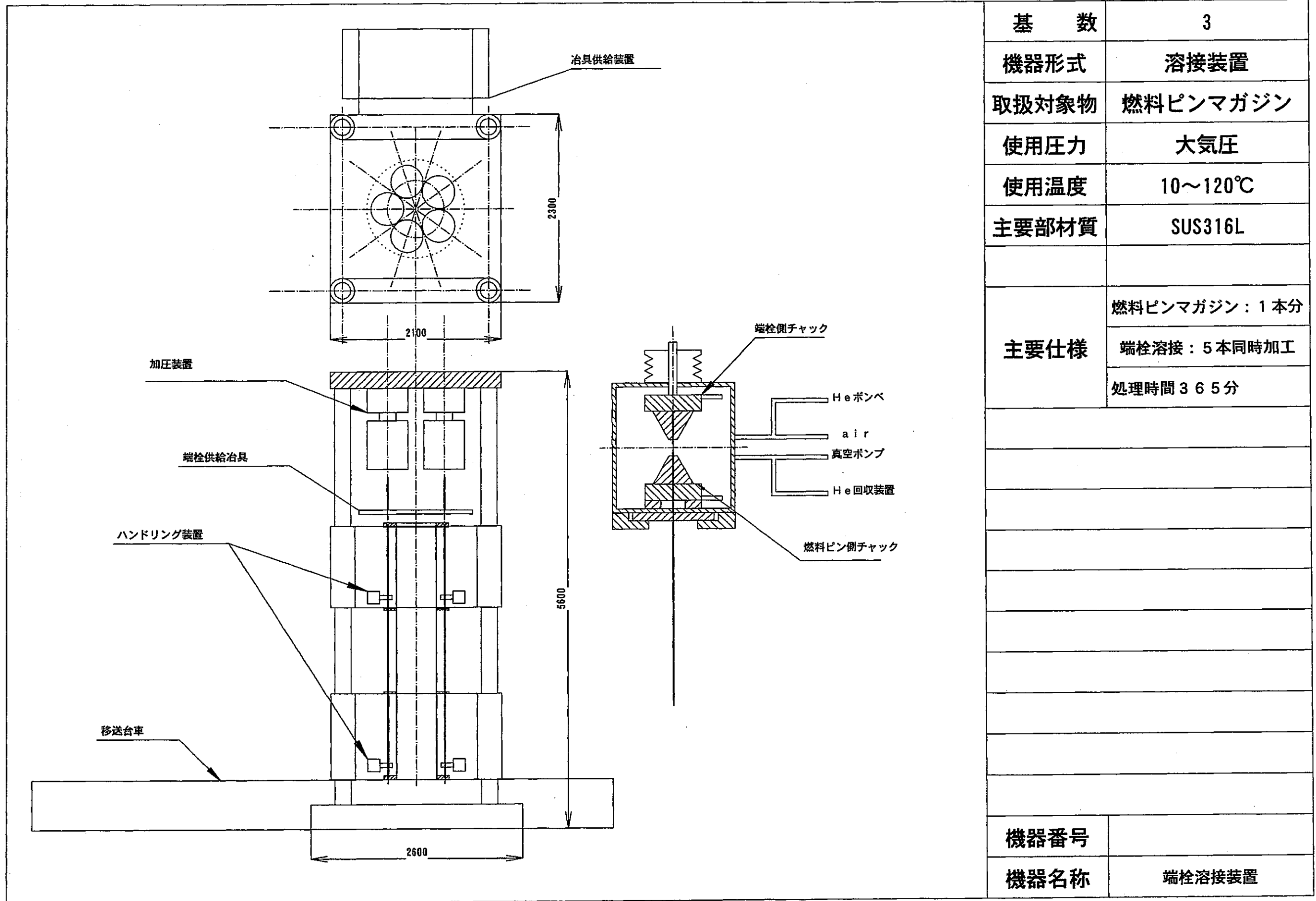
基数	3
機器形式	振動装置
取扱対象物	燃料ピンマガジン
使用圧力	大気圧
使用温度	10~120℃
主要部材質	SUS316L
主要仕様	燃料ピンマガジン：1台
	振動数：100~300Hz
	処理時間：89分
機器番号	
機器名称	振動充填装置

図3.1.2-1 振動充填装置基本構造



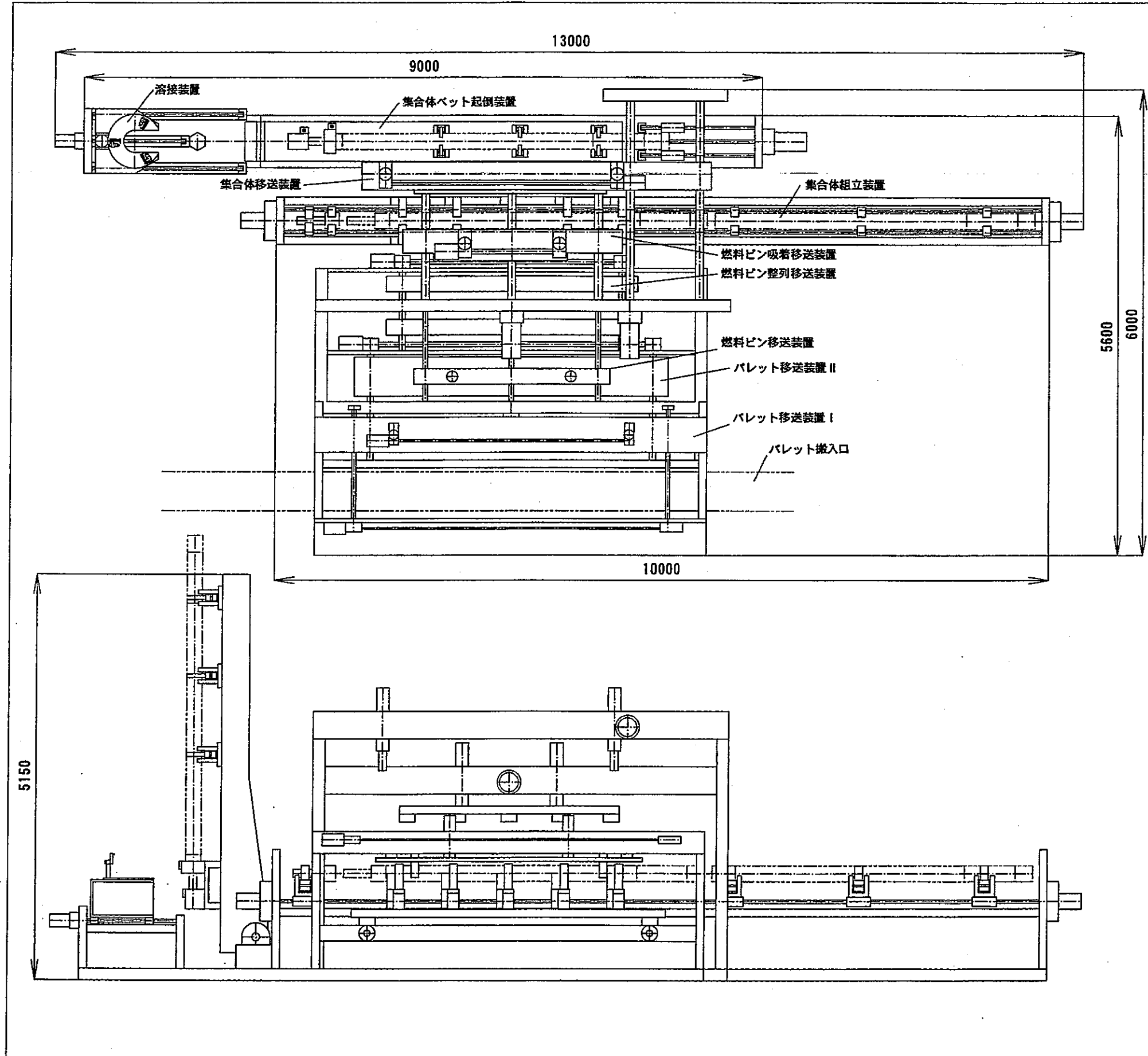
基数	3
機器形式	スペーサ挿入
取扱対象物	燃料ピンマガジン
使用圧力	大気圧
使用温度	10~120℃
主要部材質	SUS316L
主要仕様	燃料ピンマガジン：1台
	処理時間：29分
機器番号	
機器名称	スペーサ挿入装置

図3.1.3-1 スペーサ挿入装置概略構造



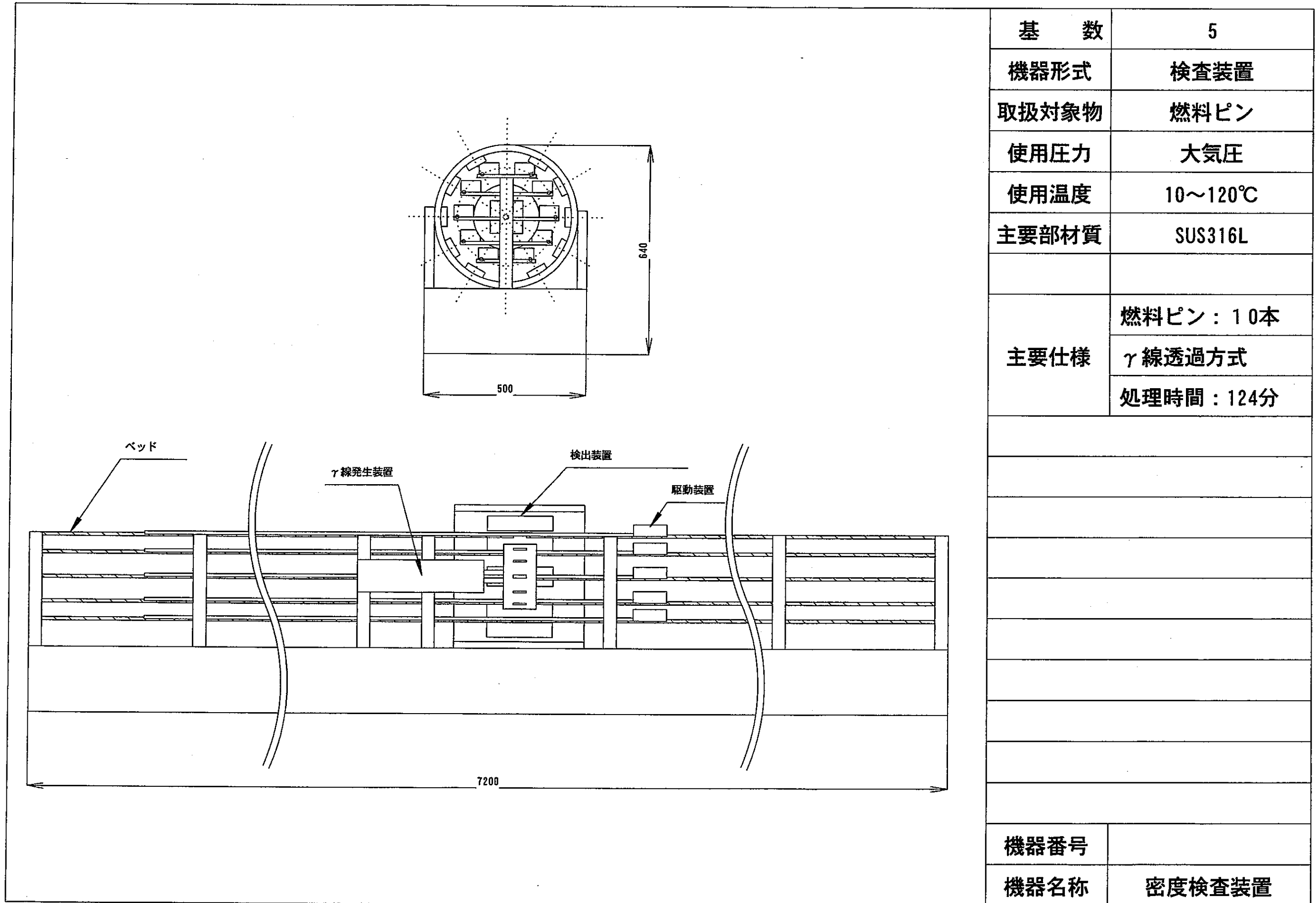
基数	3
機器形式	溶接装置
取扱対象物	燃料ピンマガジン
使用圧力	大気圧
使用温度	10~120℃
主要部材質	SUS316L
主要仕様	燃料ピンマガジン：1本分
	端栓溶接：5本同時加工
	処理時間 365分
機器番号	
機器名称	端栓溶接装置

図3.1.4-1 上部端栓溶接装置概略構造



基数	2
機器形式	組立装置
取扱対象物	燃料ピン、燃料集合体
使用圧力	大気圧
使用温度	10~120℃
主要部材質	SUS316L
主要仕様	処理時間339.4分
機器番号	
機器名称	集合体組立て装置

図3.1.5-1 集合体組立て装置概略構造



基数	5
機器形式	検査装置
取扱対象物	燃料ピン
使用圧力	大気圧
使用温度	10~120℃
主要部材質	SUS316L
主要仕様	燃料ピン：10本
	γ線透過方式
	処理時間：124分
機器番号	
機器名称	密度検査装置

図3.1.7-1 密度検査装置概略構造

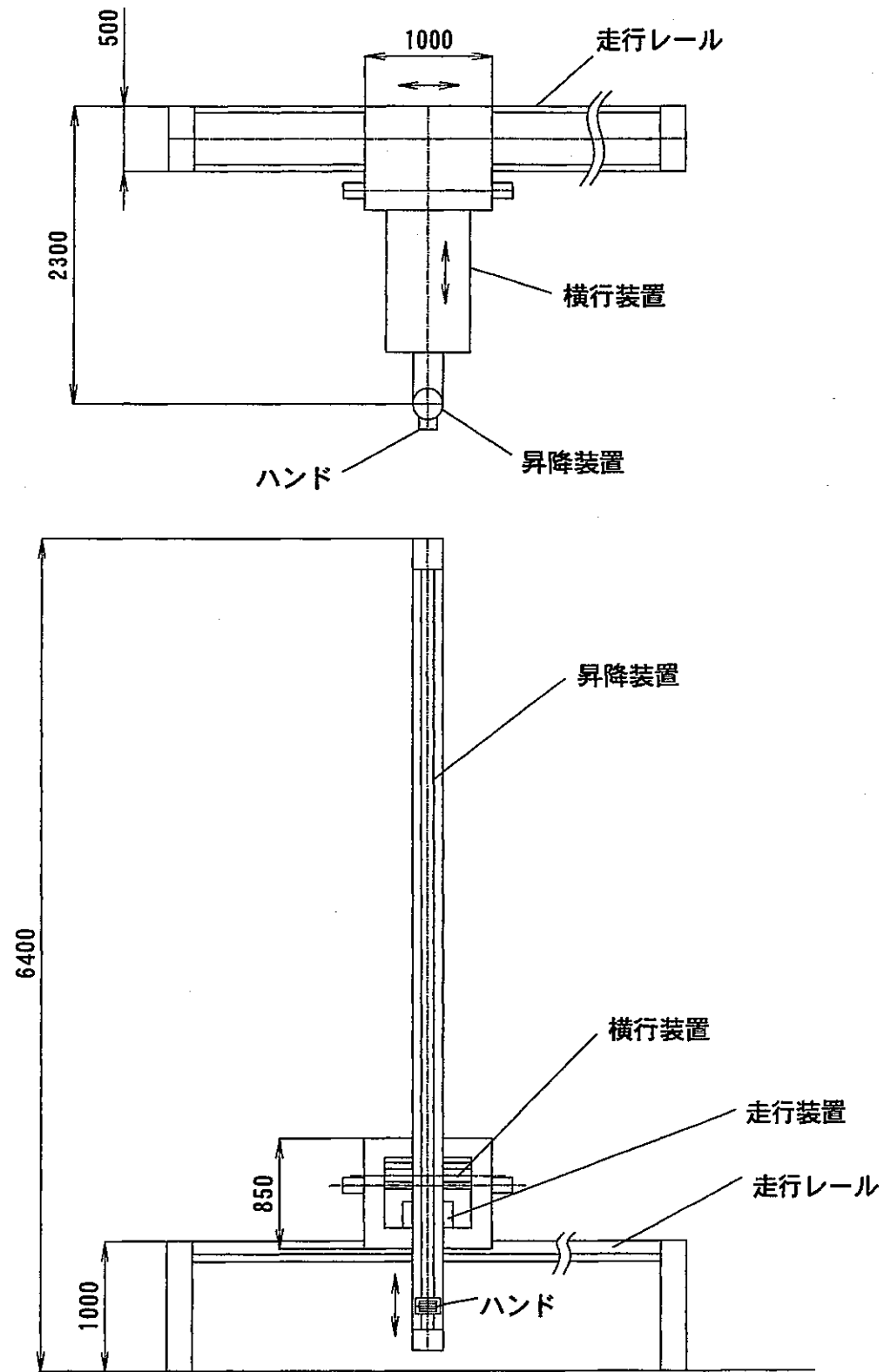


図3.1.8-1 粒子移送マニプレータ概略構造

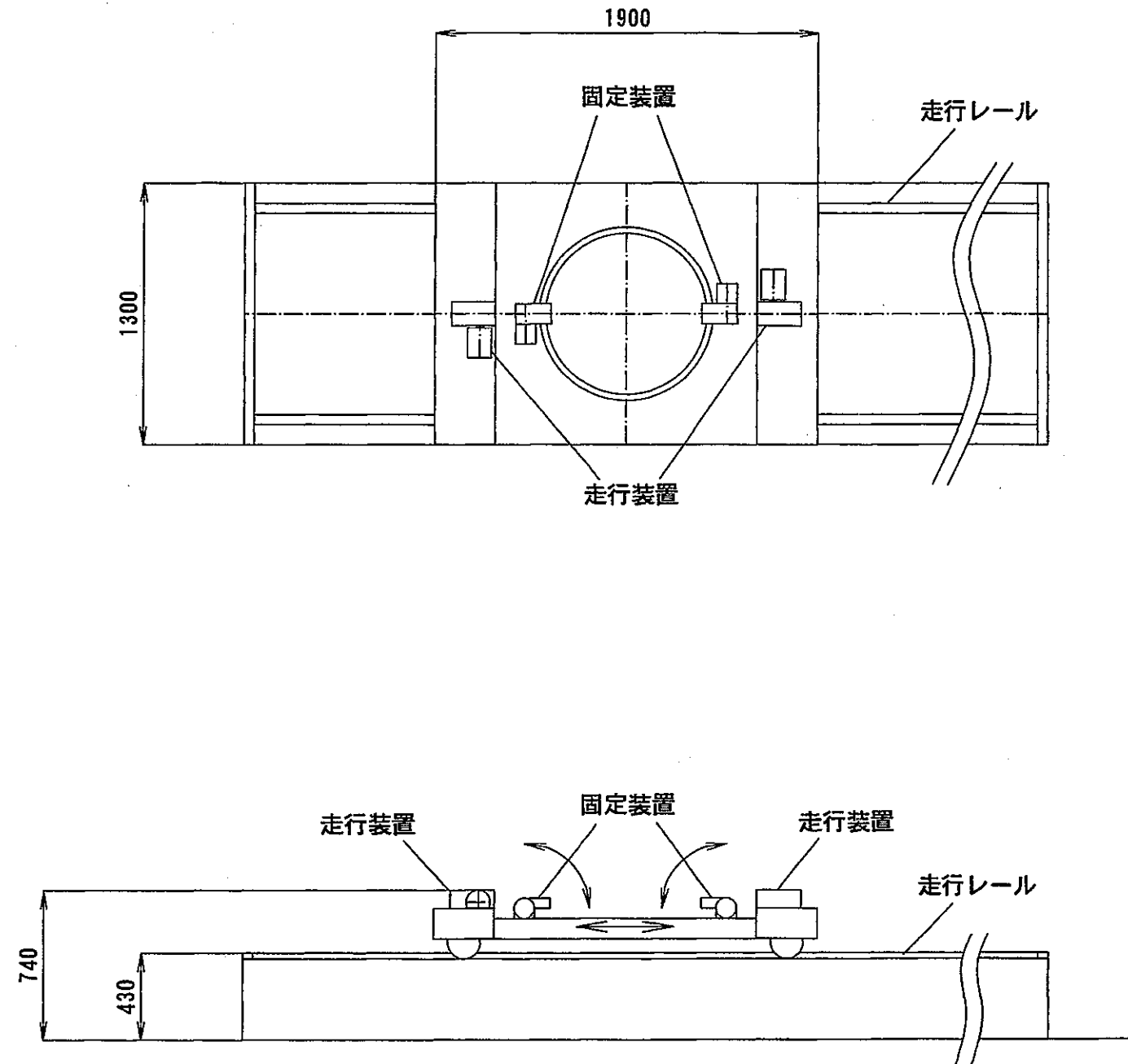


图3.1.8-2 移送台車 I、II、III 概略構造

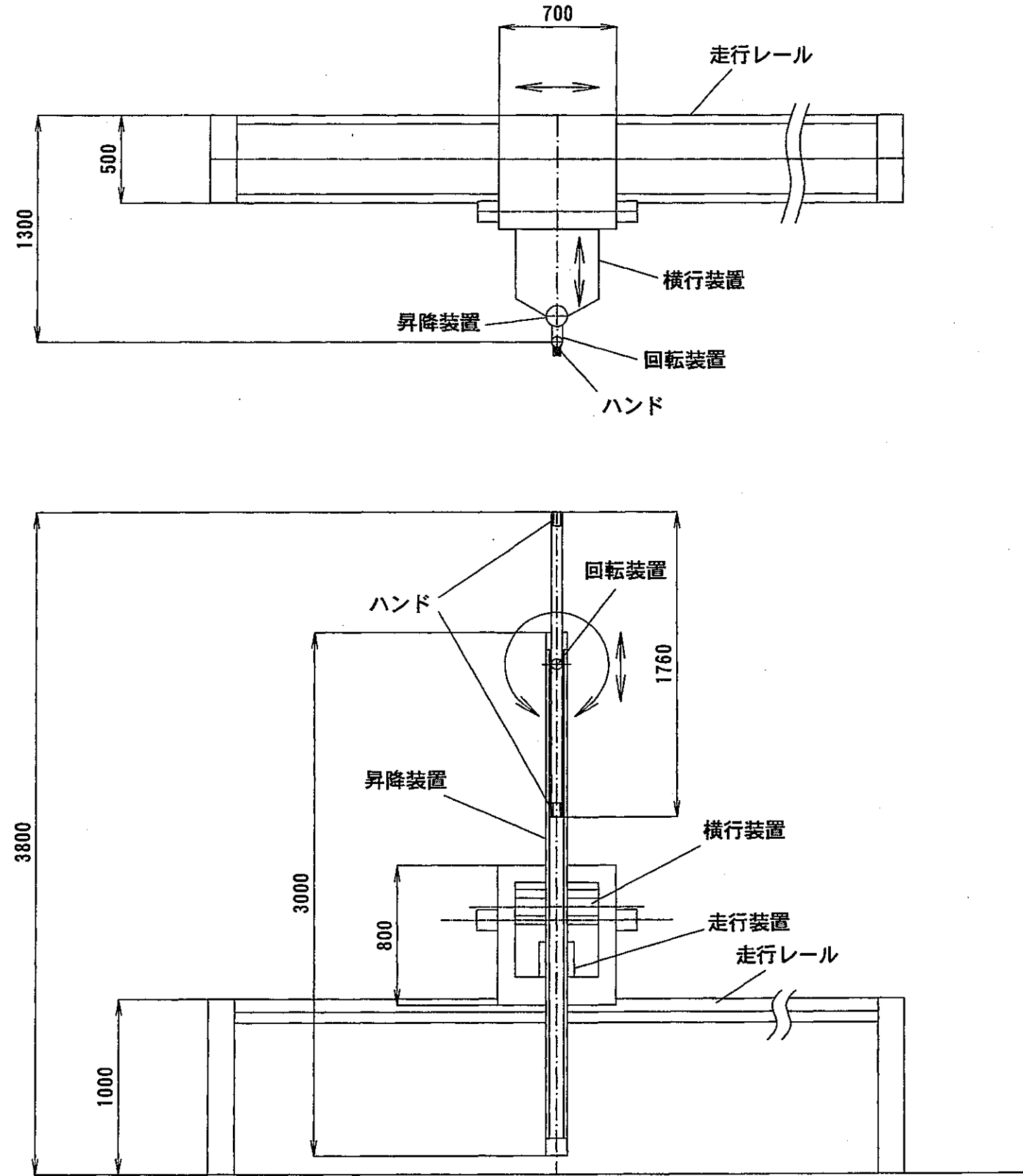


図3.1.8-3 移送装置 I-1, 2概略構造

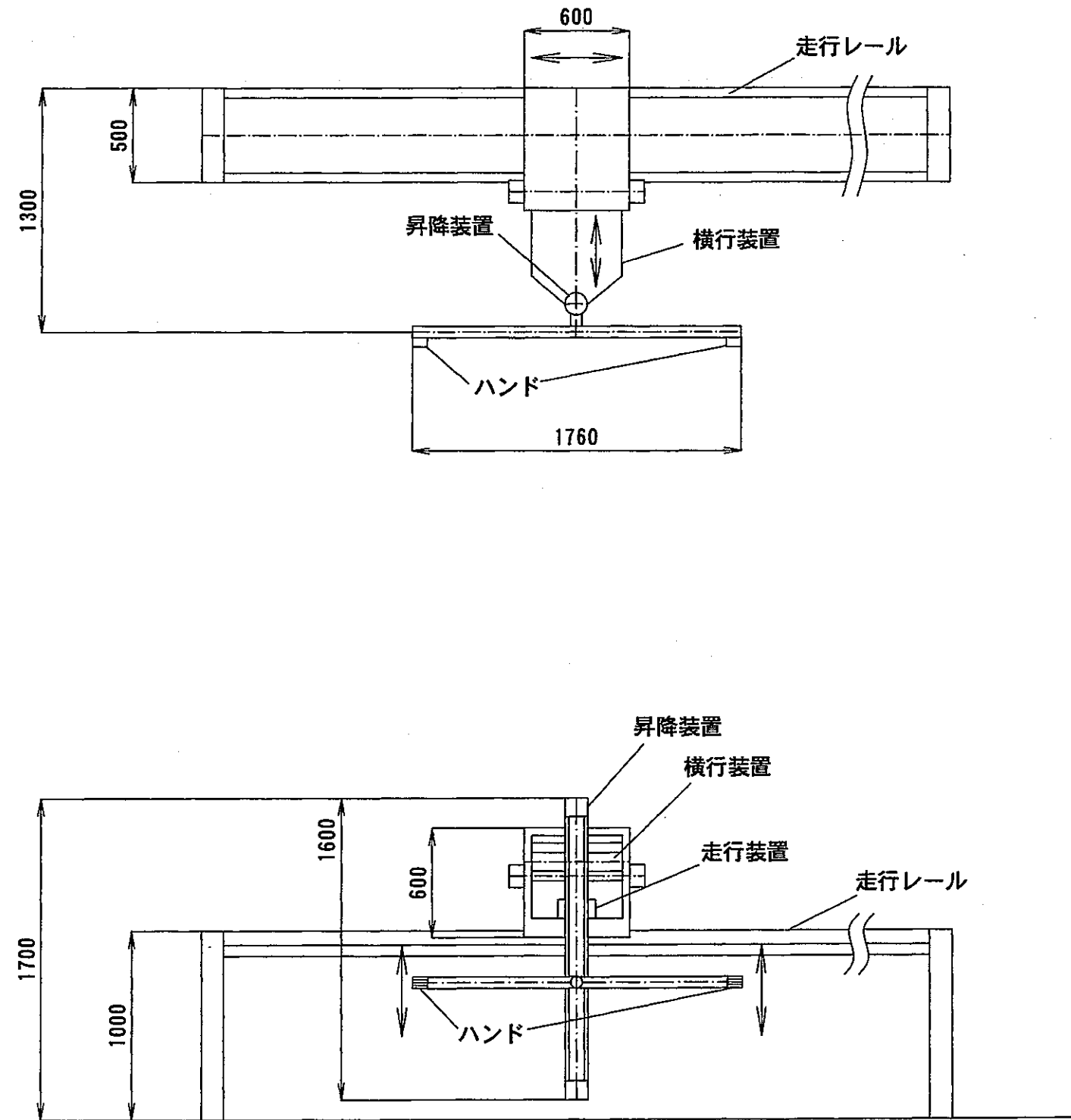


図3.1.8-4 移送装置II-1、2、III-1、2概略構造

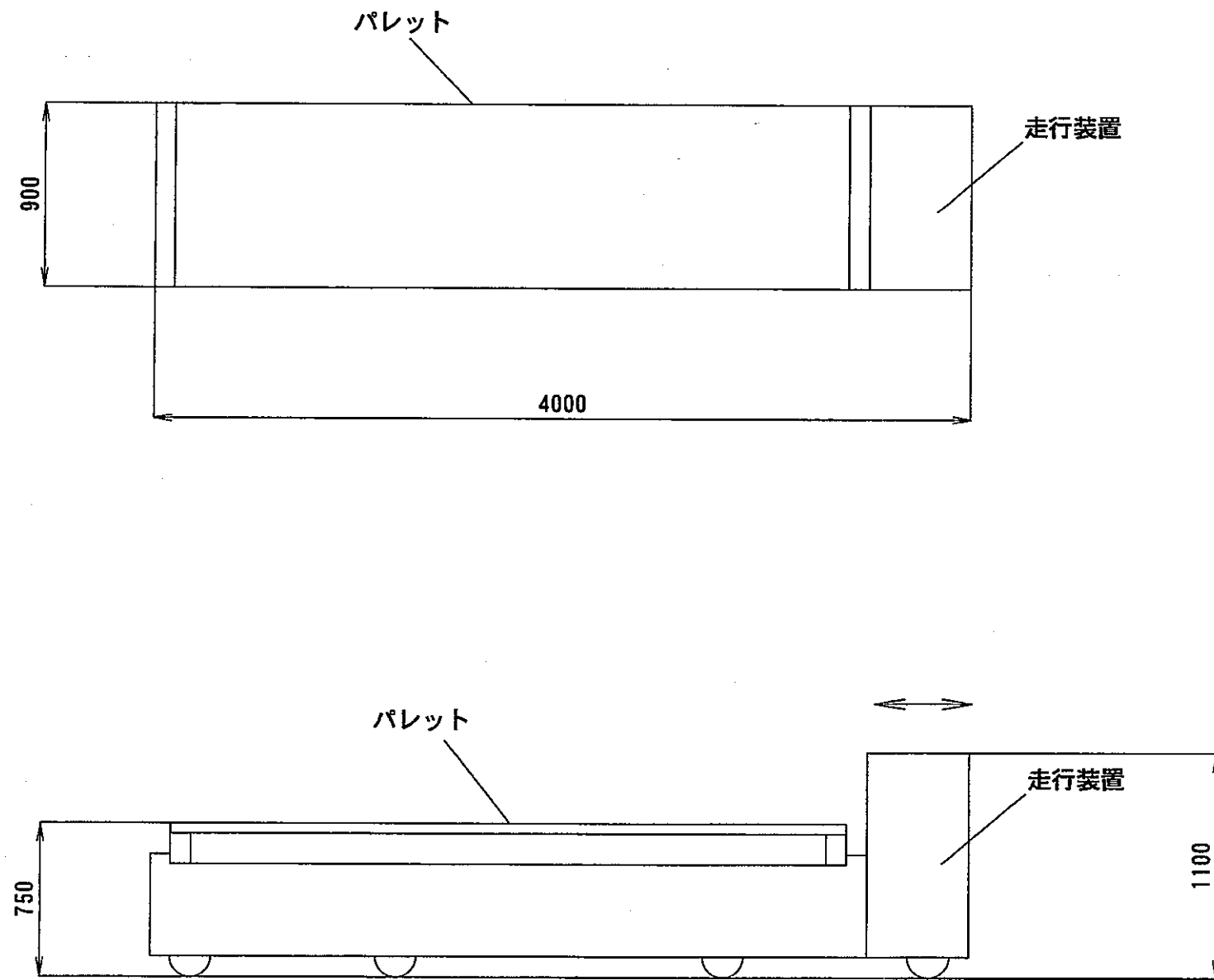


図3.1.8-5 燃料ピン移送台車概略構造

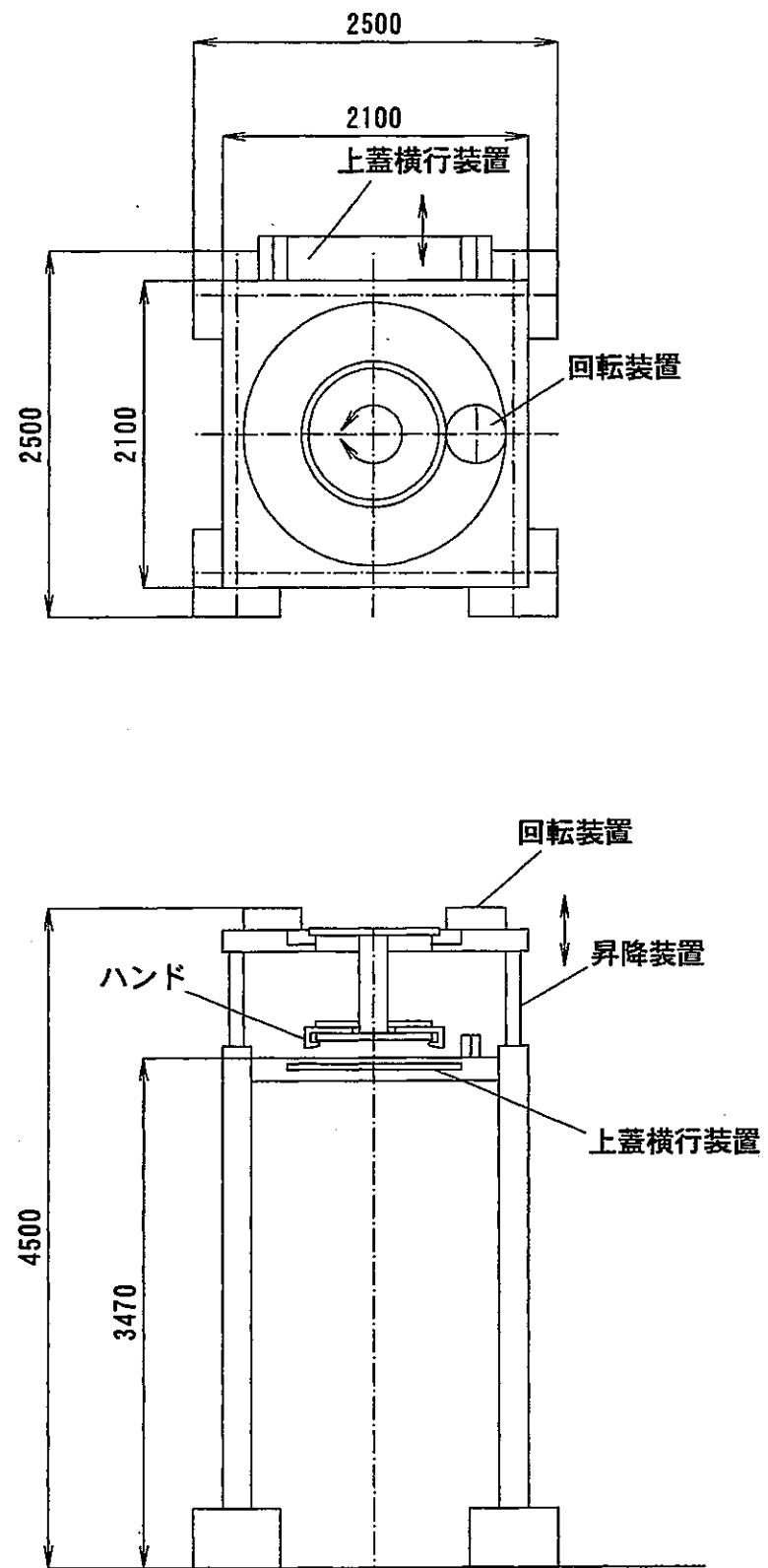


図3.1.8-6 ハンドリング装置 | 概略構造

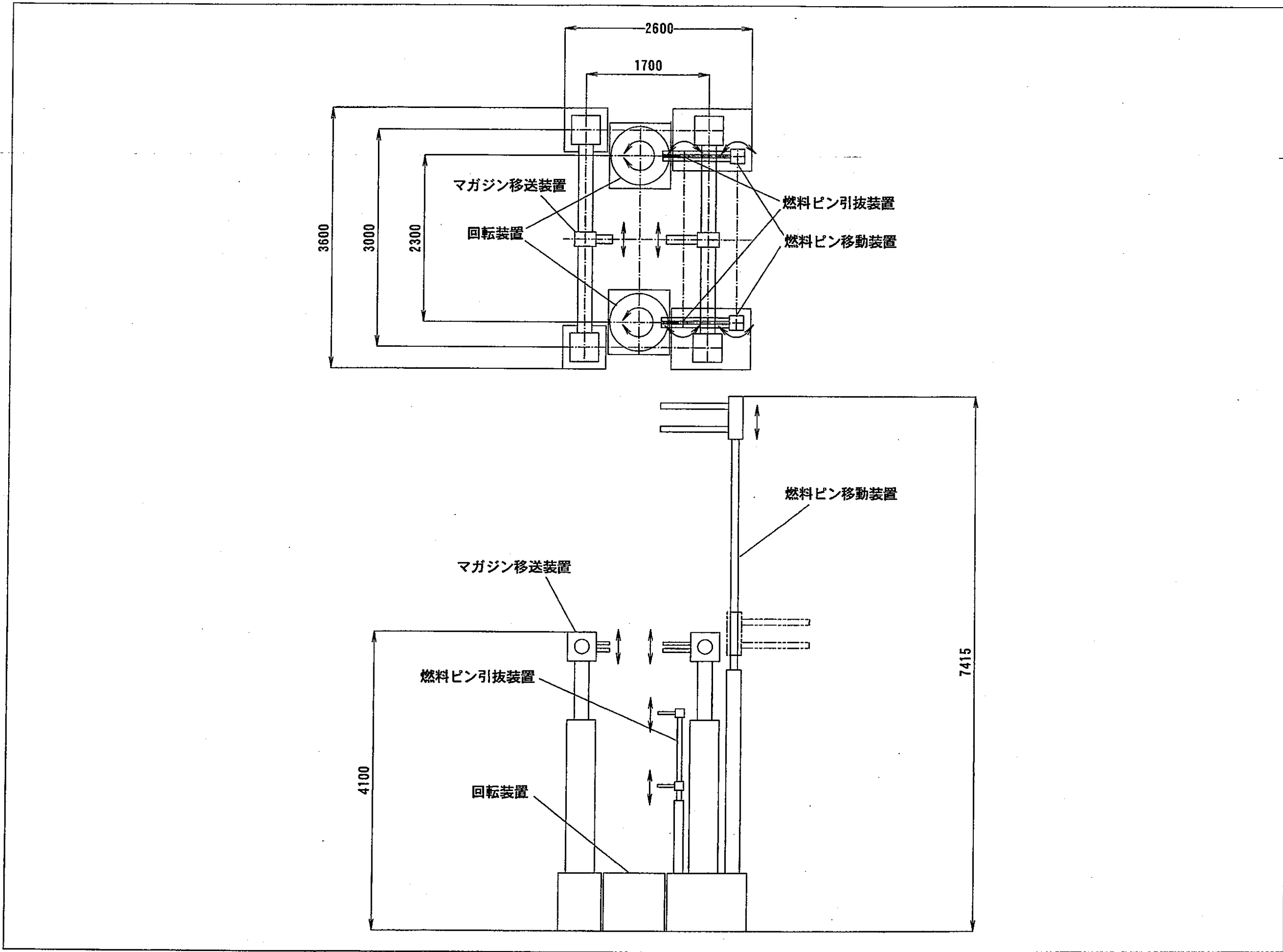


図3.1.8-7 ハンドリング装置Ⅱ、Ⅲ概略構造

表3.1.9-1 燃料ピン製造セル 主要機器リスト(1/2)(内側炉心燃料)

設備番号	機器番号	設備名称 機器名称	内側炉心燃料ピン製造設備					使用条件		備考
			基数	型式	機器概略仕様 (容量・寸法等)	材質	圧力(PaG)	温度(°C)		
		燃料粒子受入装置	2	定量フィード式	D1600×W1500×H4250	SUS		10°C~120°C	炉心燃料用:1台 ブランケット燃料用:1台	
		粒子移送マニプレータ	1	自走マニプレータ	吊り下げ重量 MAX 100kg	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	燃料粒子受入装置⇔ 振動充填装置	
		移送台車 I	1	自走台車	搭載重量 MAX 1000kg	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	燃料マガジン受入口⇔ 振動充填装置	
		振動充填装置	1	定量フィード 振動充填式	D3000×W6200×H5400	SUS		10°C~120°C		
		ハンドリング装置 I	1		D2600×W2600×H4500	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	燃料マガジン上部 組立・分解用	
		スペーサ挿入装置	1	縦型昇降式	D2600×W2600×H6700	SUS		10°C~120°C		
		移送台車 II	1	自走台車	搭載重量 MAX 1000kg	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	振動充填装置⇔スペーサ 挿入装置⇔端栓溶接装置	
		端栓溶接装置	1	加圧抵抗 溶接式	D2600×W2600×H5600	SUS		10°C~120°C		
		移送台車 III	1	自走台車	搭載重量 MAX 1000kg	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	端栓溶接装置⇔ 横転装置 I or II	
		ハンドリング装置 II、III	2		D2600×W900×H4400	SUS/炭素鋼		10°C~120°C		
		移送装置 I-1、I-2	2	自走マニプレータ	吊り下げ重量 MAX 100kg	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	ハンドリング装置 II、III⇔ 密度測定装置 I、II	
		密度測定装置 I、II	2	γ線透過率 検出方式	D500×W7200×H600	SUS		10°C~120°C		

表3.1.9-1 燃料ピン製造セル 主要機器リスト(2/2)(内側炉心燃料)

設備番号	設備名称	内側炉心燃料ピン製造設備						
機器番号	機器名称	基数	型式	機器概略仕様 (容量・寸法等)	材質	使用条件		備考
						圧力(PaG)	温度(°C)	
	移送装置Ⅱ-1、Ⅱ-2	2	自走マニプ レータ	吊り下げ重量 MAX 100kg	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	密度測定装置ⅠorⅡ⇔ 除染装置ⅠorⅡ
	除染装置Ⅰ、Ⅱ	2	自動除染 挿入式	D1000×W7400×H1000	SUS		10°C~120°C	
	移送装置Ⅲ-1、Ⅲ-2	2	自走マニプ レータ	吊り下げ重量 MAX 100kg	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	除染装置ⅠorⅡ⇔ヘリウム リーク試験装置ⅠorⅡ⇔ ハッチ
	ヘリウムリーク試験装置 Ⅰ、Ⅱ	2	リークHe 放出方式	D800×W7400×H1500	SUS		10°C~120°C	
	不良品一時保管棚	2		燃料ピン50本分	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	
	燃料ピン移送台車	2		燃料ピン50本分	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	

表3.1.9-2 燃料ピン製造セル 主要機器リスト(1/2) (外側炉心燃料)

設備番号	設備名称	外側炉心燃料ピン製造設備						
機器番号	機器名称	基数	型式	機器概略仕様 (容量・寸法等)	材質	使用条件		備考
						圧力(PaG)	温度(°C)	
	燃料粒子受入装置	2	定量フィード式	D1600×W1500×H4250	SUS		10°C~120°C	炉心燃料用:1台 ブランケット燃料用:1台
	粒子移送マニプレータ	1	自走マニプレータ	吊り下げ重量 MAX 100kg	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	燃料粒子受入装置⇔ 振動充填装置
	移送台車 I	1	自走台車	搭載重量 MAX 1000kg	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	燃料マガジン受入口⇔ 振動充填装置
	振動充填装置	1	定量フィード 振動充填式	D3000×W6200×H5400	SUS		10°C~120°C	
	ハンドリング装置 I	1		D2600×W2600×H4500	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	燃料マガジン上部 組立・分解用
	スペーサ挿入装置	1	縦型昇降式	D2600×W2600×H6700	SUS		10°C~120°C	
	移送台車 II	1	自走台車	搭載重量 MAX 1000kg	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	振動充填装置⇔スペーサ 挿入装置⇔端栓溶接装置
	端栓溶接装置	1	加圧抵抗 溶接式	D2600×W2600×H5600	SUS		10°C~120°C	
	移送台車 III	1	自走台車	搭載重量 MAX 1000kg	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	端栓溶接装置⇔ 横転装置 I or II
	ハンドリング装置 II、III	2		D2600×W900×H4400	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	
	移送装置 I-1、I-2	2	自走マニプレータ	吊り下げ重量 MAX 100kg	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	ハンドリング装置 II、III⇔ 密度測定装置 I、II
	密度測定装置 I、II	2	γ線透過率 検出方式	D500×W7200×H600	SUS		10°C~120°C	

表3.1.9-1 燃料ピン製造セル 主要機器リスト(2/2)(外側炉心燃料)

設備番号	設備名称	外側炉心燃料ピン製造設備						
機器番号	機器名称	基数	型式	機器概略仕様 (容量・寸法等)	材質	使用条件		備考
						圧力(PaG)	温度(°C)	
	移送装置Ⅱ-1、Ⅱ-2	2	自走マニプレータ	吊り下げ重量 MAX 100kg	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	密度測定装置ⅠorⅡ⇔ 除染装置ⅠorⅡ
	除染装置Ⅰ、Ⅱ	2	自動除染挿入式	D1000×W7400×H1000	SUS		10°C~120°C	
	移送装置Ⅲ-1、Ⅲ-2	2	自走マニプレータ	吊り下げ重量 MAX 100kg	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	除染装置ⅠorⅡ⇔ヘリウム リーク試験装置ⅠorⅡ⇔ ハッチ
	ヘリウムリーク試験装置Ⅰ、Ⅱ	2	リークHe放出方式	D800×W7400×H1500	SUS		10°C~120°C	
	不良品一時保管棚	2		燃料ピン50本分	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	
	燃料ピン移送台車	2		燃料ピン50本分	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	

表3.1.9-3 燃料ピン製造セル 主要機器リスト(1/2)(ブランケット燃料)

設備番号	機器番号	設備名称	ブランケット燃料ピン製造設備					備考	
			基数	型式	機器概略仕様 (容量・寸法等)	材質	使用条件		
						圧力(PaG)	温度(°C)		
		燃料粒子受入装置	1	定量フィード式	D1600×W1500×H4250	SUS		10°C~120°C	炉心燃料用:1台 ブランケット燃料用:1台
		粒子移送マニプレータ	1	自走マニプレータ	吊り下げ重量 MAX 100kg	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	燃料粒子受入装置⇔ 振動充填装置
		移送台車 I	1	自走台車	搭載重量 MAX 1000kg	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	燃料マガジン受入口⇔ 振動充填装置
		振動充填装置	1	定量フィード 振動充填式	D3000×W6200×H5400	SUS		10°C~120°C	
		ハンドリング装置 I	1		D2600×W2600×H4500	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	燃料マガジン上部 組立・分解用
		スペーサ挿入装置	1	縦型昇降式	D2600×W2600×H6700	SUS		10°C~120°C	
		移送台車 II	1	自走台車	搭載重量 MAX 1000kg	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	振動充填装置⇔スペーサ 挿入装置⇔端栓溶接装置
		端栓溶接装置	1	加圧抵抗 溶接式	D2600×W2600×H5600	SUS		10°C~120°C	
		移送台車 III	1	自走台車	搭載重量 MAX 1000kg	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	端栓溶接装置⇔ 横転装置 I or II
		ハンドリング装置 II、III	1		D2600×W900×H4400	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	
		移送装置 I-1、I-2	1	自走マニプレータ	吊り下げ重量 MAX 100kg	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	ハンドリング装置 II、III⇔ 密度測定装置 I、II
		密度測定装置 I、II	1	γ線透過率 検出方式	D500×W7200×H600	SUS		10°C~120°C	

表3.1.9-3 燃料ピン製造セル 主要機器リスト(2/2)(ブランケット燃料)

設備番号	設備名称	ブランケット燃料ピン製造設備						
機器番号	機器名称	基数	型式	機器概略仕様 (容量・寸法等)	材質	使用条件		備考
						圧力(PaG)	温度(°C)	
	移送装置Ⅱ-1、Ⅱ-2	1	自走マニプ レータ	吊り下げ重量 MAX 100kg	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	密度測定装置ⅠorⅡ⇔ 除染装置ⅠorⅡ
	除染装置Ⅰ、Ⅱ	1	自動除染 挿入式	D1000×W7400×H1000	SUS		10°C~120°C	
	移送装置Ⅲ-1、Ⅲ-2	1	自走マニプ レータ	吊り下げ重量 MAX 100kg	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	除染装置ⅠorⅡ⇔ヘリウム リーク試験装置ⅠorⅡ⇔ ハッチ
	ヘリウムリーク試験装置 Ⅰ、Ⅱ	1	リークHe 放出方式	D800×W7400×H1500	SUS		10°C~120°C	
	不良品一時保管棚	1		燃料ピン50本分	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	
	燃料ピン移送台車	1		燃料ピン50本分	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	

表3.1.9-4 燃料ピン検査セル 主要機器リスト(内側炉心燃料)

設備番号	機器番号	設備名称	内側炉心燃料ピン検査設備							
			機器名称	基数	型式	機器概略仕様 (容量・寸法等)	材質	使用条件		備考
								圧力(PaG)	温度(°C)	
		パレット受入装置	1				SUS/炭素鋼		10°C~120°C	
		燃料ピン一時保管棚	1		燃料ピン50本分		SUS/炭素鋼		10°C~120°C	
		パレットハンドリング装置 I	1		搭載重量 MAX 1000kg		SUS/炭素鋼		10°C~120°C	燃料ピン一時保管棚⇔ パレット搬送台車
		パレット搬送台車 I	1		搭載重量 MAX 1000kg		SUS/炭素鋼		10°C~120°C	パレットハンドリング装置⇔端栓溶接部検査装置 ⇔ワイヤ巻付装置⇔燃料ピン総合検査装置⇔ 燃料ピン洗浄装置
		端栓溶接部検査装置	1	X線方式 (VTR記録型)	D1000×W6500×H2500		SUS		10°C~120°C	
		ワイヤ巻付設備	1	自動巻付け型	D2000×W5000×H2500		SUS/炭素鋼		10°C~120°C	
		燃料要素総合検査設備	1		D2500×W8000×H2500		SUS/炭素鋼		10°C~120°C	
		燃料要素洗浄装置	1	横置き温水 方式	D2000×W4000×H2000		SUS/炭素鋼		10°C~120°C	
		パレット搬送台車 II	1		搭載重量 MAX 1000kg		SUS/炭素鋼		10°C~120°C	燃料ピン洗浄装置⇔ パレットハンドリング装置
		パレットハンドリング装置 II	1		搭載重量 MAX 1000kg		SUS/炭素鋼		10°C~120°C	パレット搬送台車⇔ 燃料ピン一時保管棚
		燃料ピン一時保管棚	1		燃料ピン50本分		SUS/炭素鋼		10°C~120°C	

表3.1.9-5 燃料ピン検査セル 主要機器リスト(外側炉心燃料)

設備番号	設備名称	外側炉心燃料ピン検査設備						
機器番号	機器名称	基数	型式	機器概略仕様 (容量・寸法等)	材質	使用条件		備考
						圧力(PaG)	温度(°C)	
	パレット受入装置	1			SUS/炭素鋼		10°C~120°C	
	燃料ピン一時保管棚	1		燃料ピン50本分	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	
	パレットハンドリング装置 I	1		搭載重量 MAX 1000kg	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	燃料ピン一時保管棚⇔ パレット搬送台車
	パレット搬送台車 I	1		搭載重量 MAX 1000kg	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	パレットハンドリング装置⇔端栓溶接部検査装置 ⇔ワイヤ巻付装置⇔燃料ピン総合検査装置⇔ 燃料ピン洗浄装置
	端栓溶接部検査装置	1	X線方式 (VTR記録型)	D1000×W6500×H2500	SUS		10°C~120°C	
	ワイヤ巻付設備	1	自動巻付け型	D2000×W5000×H2500	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	
	燃料要素総合検査設備	1		D2500×W8000×H2500	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	
	燃料要素洗浄装置	1	横置き温水 方式	D2000×W4000×H2000	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	
	パレット搬送台車 II	1		搭載重量 MAX 1000kg	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	燃料ピン洗浄装置⇔ パレットハンドリング装置
	パレットハンドリング装置 II	1		搭載重量 MAX 1000kg	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	パレット搬送台車⇔ 燃料ピン一時保管棚
	燃料ピン一時保管棚	1		燃料ピン50本分	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	

表3.1.9-6 燃料ピン検査セル 主要機器リスト(ブランケット燃料)

設備番号	機器番号	設備名称 機器名称	ブランケット燃料ピン検査設備					使用条件		備考
			基数	型式	機器概略仕様 (容量・寸法等)	材質	圧力(PaG)	温度(°C)		
		パレット受入装置	1			SUS/炭素鋼		10°C~120°C		
		燃料ピン一時保管棚	1		燃料ピン50本分	SUS/炭素鋼		10°C~120°C		
		パレットハンドリング装置 I	1		搭載重量 MAX 1000kg	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	燃料ピン一時保管棚⇔ パレット搬送台車	
		パレット搬送台車 I	1		搭載重量 MAX 1000kg	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	パレットハンドリング装置⇔端栓溶接部検査装置 ⇔ワイヤ巻付装置⇔燃料ピン総合検査装置⇔ 燃料ピン洗浄装置	
		端栓溶接部検査装置	1	X線方式 (VTR記録型)	D1000×W6500×H2500	SUS		10°C~120°C		
		ワイヤ巻付設備	1	自動巻付け型	D2000×W5000×H2500	SUS/炭素鋼		10°C~120°C		
		燃料要素総合検査設備	1		D2500×W8000×H2500	SUS/炭素鋼		10°C~120°C		
		燃料要素洗浄装置	1	横置き温水 方式	D2000×W4000×H2000	SUS/炭素鋼		10°C~120°C		
		パレット搬送台車 II	1		搭載重量 MAX 1000kg	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	燃料ピン洗浄装置⇔ パレットハンドリング装置	
		パレットハンドリング装置 II	1		搭載重量 MAX 1000kg	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	パレット搬送台車⇔ 燃料ピン一時保管棚	
		燃料ピン一時保管棚	1		燃料ピン50本分	SUS/炭素鋼		10°C~120°C		

表3.1.9-7 集合体組立・検査セル 主要機器リスト(炉心燃料、ブランケット燃料)

設備番号	設備名称	集合体組立・検査設備						
機器番号	機器名称	基数	型式	機器概略仕様 (容量・寸法等)	材質	使用条件		備考
						圧力(PaG)	温度(°C)	
	燃料ピン移送台車	2		燃料ピン50本分	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	
	パレット受入装置	2			SUS/炭素鋼		10°C~120°C	
	燃料ピン一時保管棚	3		燃料ピン300本分	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	
	パレットハンドリング装置	3		搭載重量 MAX 1000kg	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	燃料ピン一時保管棚⇔ パレット搬送台車
	パレット搬送台車	2		搭載重量 MAX 1000kg	SUS/炭素鋼		10°C~120°C	パレット受入装置⇔ パレットハンドリング装置⇔ 集合体組立て装置
	集合体組立て装置	2		D6000×W10000×H5150	SUS/炭素鋼		10°C~300°C	
	集合体検査装置	2		D1800×W1600×H6500	SUS/炭素鋼		10°C~300°C	

3.2 セル内機器配置設計検討

セルの概略寸法、遠隔・自動化、及び安全性等を考慮した本燃料製造システムの概念設計を行なうために、主要機器及びマテハン機器のセル内機器配置を検討した。

以下に、機器のセル内配置を行なう上で重要と思われる設計条件について整備した結果とその結果を基に行なった機器のセル内配置について示す。

(1) セル内機器配置設計条件の整備

①機器間距離は、3.4.1項「臨界安全に関する検討」の結果を反映し、750mm以上とした。

②装置の保守・補修作業では、装置内のユニットを交換する際に上部の部品等を仮置きするスペースが必要となるため、仮置きに必要なメンテナンスの領域を下表の通り調査検討し、セル内に仮置き用のメンテナンススペースを確保した。

(詳細は表 3.2-1 を参照)

仮置きに必要なメンテナンススペースの調査結果

セル名称	機器名称	仮置きに必要な メンテナンススペース mm×mm
燃料ピン製造セル	燃料粒子受入装置	1950×1200
	振動充填装置	2100×5100
	スペーサ挿入装置	2200×2200
	端栓溶接装置	2100×2100
	密度測定装置	3000×3900
	除染装置	600×3700
	ヘリウムリーク試験装置	0×0
	必要な最大スペース	3000×5100
燃料ピン検査セル	端栓溶接部検査装置	500×3700
	ワイヤ巻付装置	500×1500
	燃料ピン総合検査装置	500×3700
	燃料ピン洗浄装置	500×3700
	必要な最大スペース	500×3700
集合体組立・検査セル	集合体組立て装置	500×5000
	集合体検査装置	600×600
	必要な最大スペース	500×5000

- ③装置の保守・補修は、故障したユニットをPM及びMSMを用いて遠隔操作にて取り外し、クレーン及びPMにて保守・補修セルに移送し、保守・補修セル内にてメンテナンスを行なうこととした。ただし、セル内汚染の可能性の有無（密封／非密封）を考慮し、燃料ピンのヘリウムリーク試験以降の工程は燃料ピン製造セルとは別のセル（燃料ピン検査セル、燃料集合体組立・検査セル）とし、人による直接メンテナンスも可能なようにした。
- ④セル内の汚染の拡大を防止するため、燃料ピンを扱う燃料ピン製造セル及び燃料ピン検査セルでは燃料タイプ毎（炉心燃料、ブランケット燃料）にセルを設けることとした。
- ⑤燃料粒子間のコンタミの防止及びシステム運用の簡素化を図るため、燃料ピン製造セル及び燃料ピン検査セルでは燃料タイプ毎（内側、外側、ブランケット）に製造ラインを分けることとした。
- ⑥マテハン機器を用いて各機器間の自動搬送を行ない、セル内での遠隔・自動化を図った。
- ⑦装置の配置はスムーズに物流を行なえるように工程手順に従って直線的に設置した。
- ⑧MSMにて遠隔保守が容易に行なえるようにする観点からは装置は可能な限り壁際に配置した。

(2)セル内機器配置設計結果

上記のセル内機器配置設計条件を基にセル内機器配置設計を行なった結果、本燃料製造システムの概念設計を構築できた。以下に、各セル毎のライン構成及び概略寸法を示す。

図 3.2-1 に振動充填燃料製造ラインの全体フローを示す。また、図 3.2-2～
図 3.2-5 に各セル内配置図又はセル内断面図を示す。

振動充填燃料製造ラインのセルは、セル内の汚染の拡大及び燃料粒子間のコン
タミを防止するため、燃料ピン製造セル（炉心燃料ピン製造セル、径方向ブラン
ケット燃料ピン製造セル）、燃料ピン検査セル（炉心燃料ピン検査セル、径方向ブ
ランケット燃料ピン検査セル）、燃料集合体組立・検査セルに分割した。

個々の設備としては、燃料ピン製造セル内設備（燃料粒子受入装置、振動充填
装置、スパーサ挿入装置、端栓溶接装置、密度測定装置、除染装置、ヘリウムリ
ーク試験装置、及びマテハン機器）、燃料ピン検査セル内設備（端栓溶接部検査装
置、ワイヤ巻付け装置、燃料ピン総合検査装置、燃料ピン洗浄装置、及びマテハ
ン機器）、燃料集合体組立・検査セル内設備（集合体組立て装置、集合体検査装置、
及びマテハン機器）とした。

各セルの大きさは以下の寸法 (mm) におさまる見通しを得た。

①燃料ピン製造セル

炉心燃料 : D42000×W12000×H16000+D46000×W12000×H8000

ブランケット : D42000×W8000×H16000+D46000×W8000×H8000

②燃料ピン検査セル

炉心燃料 : D63000×W12000×H8000

ブランケット : D63000×W8000×H8000

③集合体組立・検査セル : D70000×W12000×H16000

表3.2-1 保守・補修に必要なメンテナンススペース(2/3)

セル名称	装置名称	ユニット名称	各ユニットの 保守・補修のための 最大必要面積 mm×mm	メンテナンス時の 仮置き 最大ユニット数 個	必要な メンテナンス スペース mm×mm	
燃料ピン検査セル	端栓溶接部検査装置	パレット移送装置	500×3700	0	0×0	
		パレット搬入・搬出装置	500×3700	1	500×3700	
		X線発生装置	200×600	0	0×0	
		燃料ピン昇降装置	500×3700	1	200×600	
		燃料ピンハンドリング装置	500×400	0	0×0	
		燃料ピン回転装置	500×500	0	0×0	
	ワイヤ巻付装置	パレット移送装置	500×3700	0	0×0	
		燃料ピン移送装置Ⅰ	500×1500	0	0×0	
		燃料ピン回転装置	500×500	1	500×1500	
		ワイヤ移送装置	500×3700	1	500×1500	
		ワイヤ切断装置	400×400	1	500×1500	
		溶接装置	400×400	1	500×1500	
		燃料ピン移送装置Ⅱ	500×1500	0	0×0	
		ピッチ測定装置	500×3700	1	500×1500	
		燃料ピン移送装置Ⅲ	500×1500	0	0×0	
		燃料ピン総合検査装置	パレット移送装置	500×3700	0	0×0
			ベッド移送装置Ⅰ	500×3700	1	500×3700
	燃料ピン昇降装置Ⅰ		300×3700	1	500×3700	
	ITVカメラ移送装置Ⅰ		300×3700	0	0×0	
	外観テーブル移送装置		300×3700	1	300×3700	
	燃料ピン昇降装置Ⅱ		300×3700	1	300×3700	
	γ線検出装置		400×400	0	0×0	
	γ線テーブル移送装置		300×3700	1	400×400	
	燃料ピン昇降装置Ⅲ		300×3700	0	0×0	
	重量テーブル移送装置		300×3700	0	0×0	
	重量測定昇降装置		300×3700	1	300×3700	
	ハンドテーブル移送装置		300×3700	0	0×0	
	燃料ピンハンドリング装置		400×400	0	0×0	
	ITVカメラ移送装置Ⅱ		400×3700	0	0×0	
	燃料ピン昇降装置Ⅳ		300×3700	0	0×0	
	ベッド移送装置Ⅱ	500×3700	0	0×0		
	燃料ピン洗浄装置	パレット移送装置	500×3700	0	0×0	
		パレット搬入・排出機構	500×3700	1	500×3700	
シャワー洗浄装置		900×400	0	0×0		
蒸気洗浄装置		900×400	0	0×0		
乾燥装置		900×400	0	0×0		

表3.2-1 保守・補修に必要なメンテナンススペース(3/3)

セル名称	装置名称	ユニット名称	各ユニットの 保守・補修のための 最大必要面積 mm×mm	メンテナンス時の 仮置き 最大ユニット数 個	必要な メンテナンス スペース mm×mm	
集合体組立・検査セル	集合体組立て装置	パレット移送装置Ⅰ	500×5000	0	0×0	
		パレット移送装置Ⅱ	500×5000	1	500×5000	
		燃料ピン移送装置	200×2500	0	0×0	
		燃料ピン整列移送装置	200×3200	1	200×2500	
		燃料ピン吸着移送装置	300×2800	0	0×0	
		集合体移送装置	400×4500	0	0×0	
		ラッパ管移送装置	600×10000	1	400×4500	
		集合体ベッド起倒装置	500×6000	1	400×4500	
		溶接装置	800×800	0	0×0	
		集合体検査装置	下部チャック装置	600×600	0	0×0
	集合体保持用チャック回転装置		300×300	1	600×600	
	幅、曲がり、振れ測定装置		800×1600	0	0×0	
	外観検査装置		800×1600	0	0×0	
	幅、曲がり、振れ測定用外観検査用昇降装置		100×200	0	0×0	
	溶接ビート高さ測定装置		900×1400	0	0×0	
	溶接ビート高さ測定用昇降装置		100×200	0	0×0	
	全長測定装置		500×800	0	0×0	

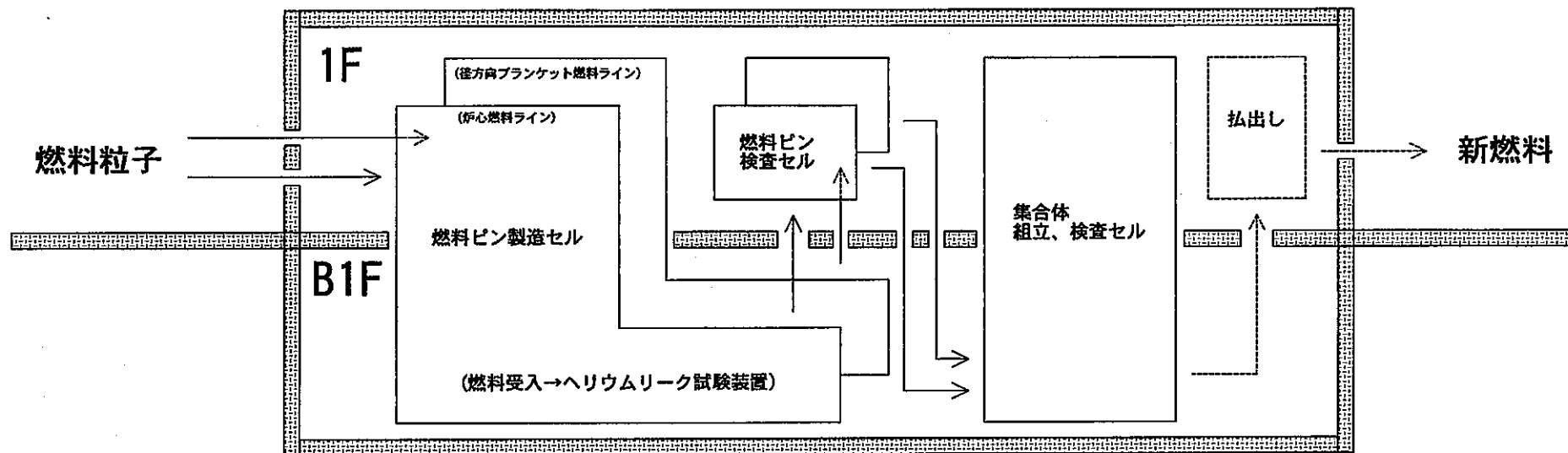


図3.2-1 振動充填燃料製造ラインの全体フロー

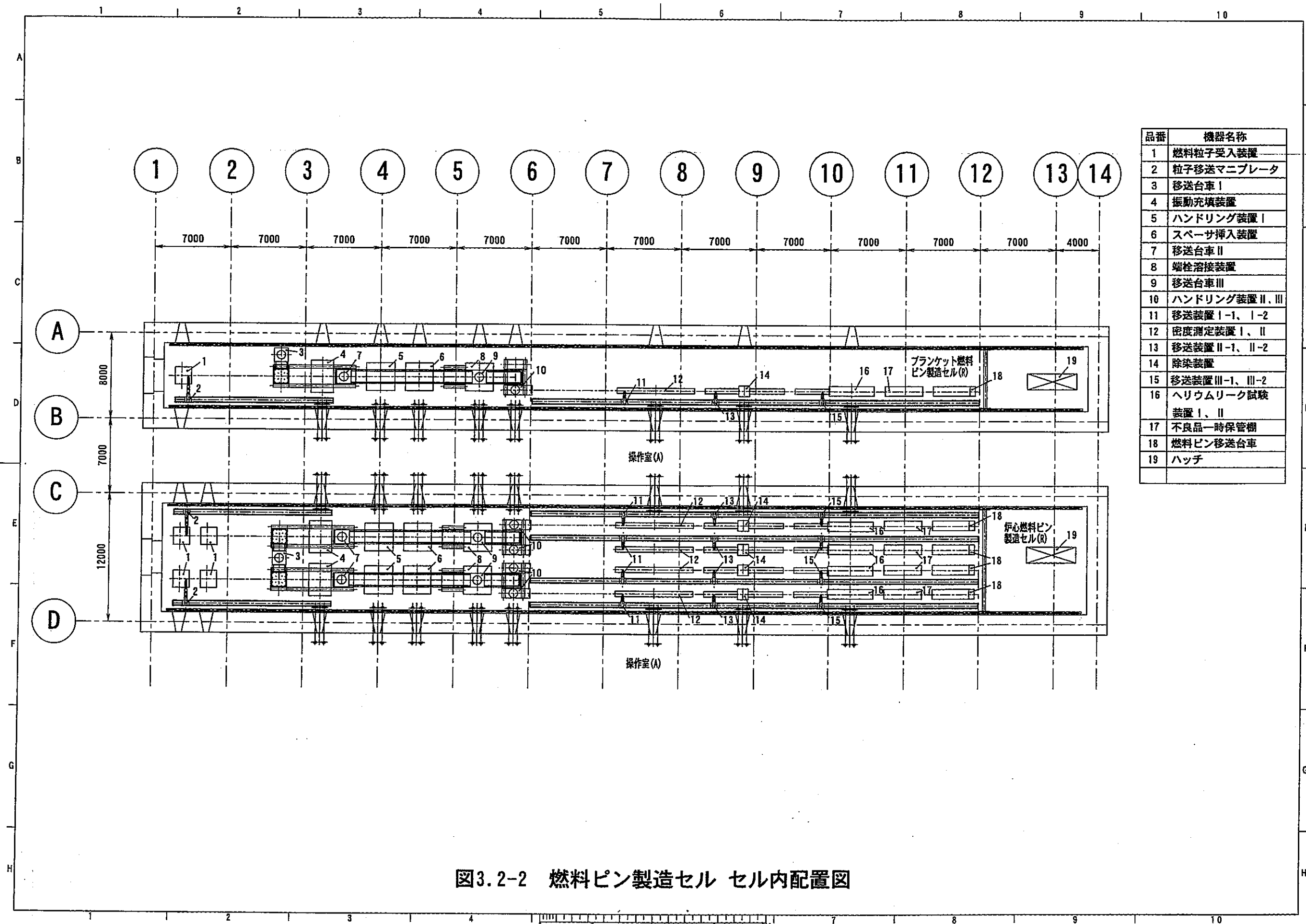


図3.2-2 燃料ピン製造セル セル内配置図

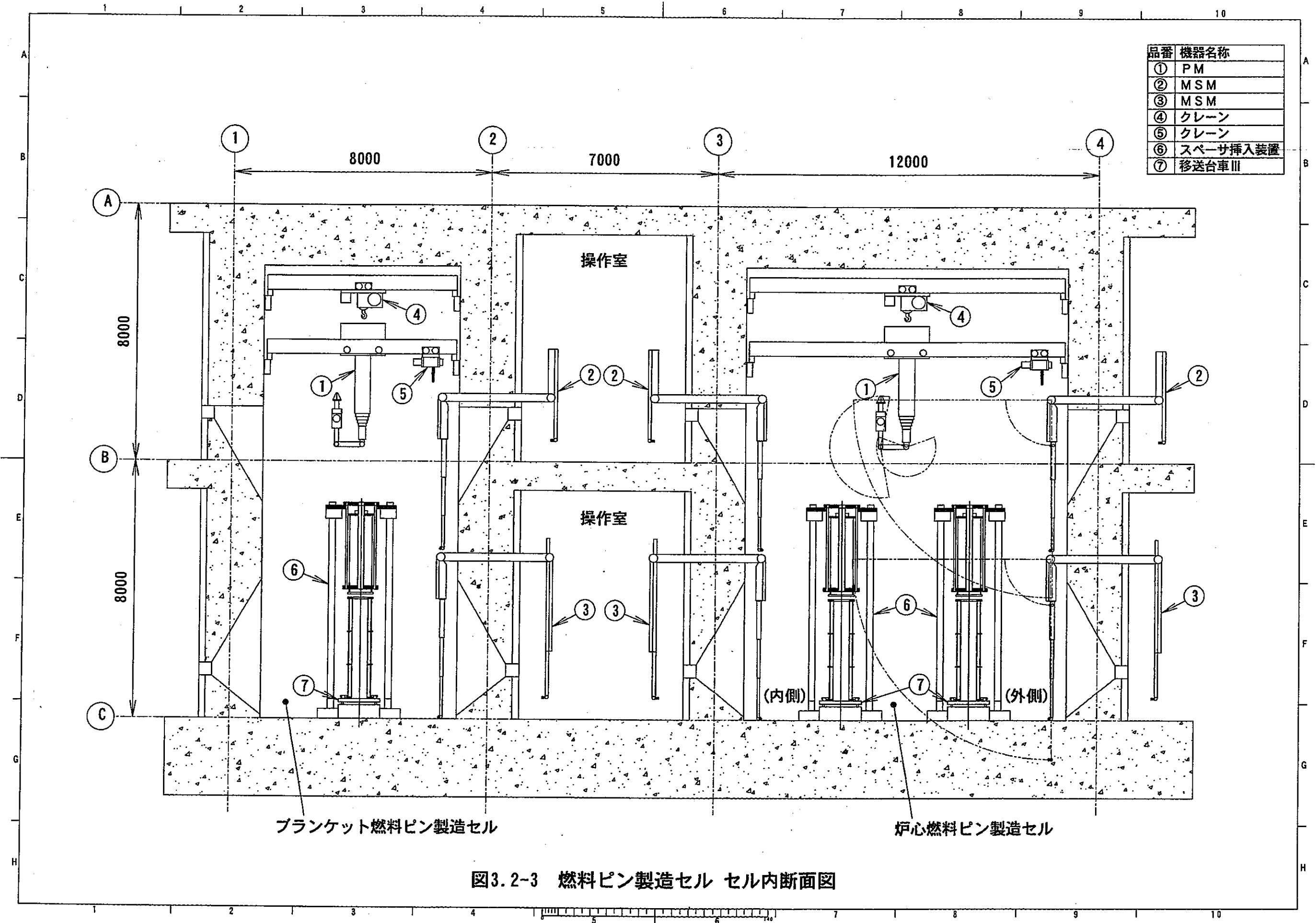


図3.2-3 燃料ピン製造セル セル内断面図

3.3 運転に関する検討

3.3.1 各機器の運転手順

各機器は年間生産量から必要とされる処理能力を満足する必要があるため、ここでは、各機器の運転手順を明らかにして、各機器の機能と動作に要する時間を求めた。以下に、各機器の運転手順及び動作に要する時間の評価結果を示す。

(1) 燃料粒子受入装置

燃料粒子受入装置の運転手順を表 3.3.1-1 に示す。表中には、運転手順、そのとき動作する装置、概略時間、動作回数を記載した。

燃料粒子受入装置の基本動作は、以下のとおりである。

- ①粒子移送マニプレータにより、燃料供給ホッパを設置
- ②燃料供給ホッパを燃料供給部に接続
- ③計量ホッパにより燃料粒子を計量し、燃料供給ホッパに供給
- ④計量部により燃料粒子を計量し、燃料ピンに供給
- ⑤燃料供給部を上昇させ、所定量回転させる
- ⑥②～⑤を5回繰り返す
- ⑦燃料供給ホッパを元の位置まで戻す
- ⑧粒子移送マニプレータにより、燃料供給ホッパを排出

以上の一連の基本動作に要する時間は34分であり、1基にて年間生産量から必要とされる処理能力は満足する。ただし、内側/外側炉心燃料ピン製造ラインでは、燃料粒子（内側/外側炉心、ブランケット）毎に各1台ずつ設ける。

(2) 振動充填装置

振動充填装置の運転手順を表 3.3.1-2 に示す。

振動充填装置の基本動作は、以下のとおりである。

- ①移送台車 I により、燃料ピンマガジンを供給
- ②装置内マガジン移送装置により、燃料ピンマガジンを加振装置上に移動
- ③粒子移送マニプレータにより、燃料供給ホッパを燃料計量部上に運搬
- ④計量部により燃料粒子を計量し、燃料ピンに供給
- ⑤燃料供給ホッパと燃料計量部を回転し、新規燃料ピンに接続
- ⑥④⑤を 9 回（合計 10 回）繰り返す
- ⑦燃料供給ホッパを粒子移送マニプレータにより、燃料粒子受入装置に移動
- ⑧加振装置による振動充填
- ⑨装置内マガジン移送装置により、燃料ピンマガジンを排出
- ⑩移送台車 II により、燃料ピンマガジンをスパーサ挿入装置に移動

なお、②と⑨の動作および⑦と⑧の動作はそれぞれ同時に進行する。

以上の一連の基本動作に要する時間は 89 分（1 マガジン（燃料ピン 50 本）当たり）であり、内側炉心燃料ピン製造ラインでは、1 基にて年間生産量から必要とされる処理能力は満足する。

(3) スパーサ挿入装置

スパーサ挿入装置の運転手順を表 3.3.1-3 に示す。

スパーサ挿入装置の基本動作は、以下のとおりである。

- ①ハンドリング装置 I により、燃料ピンマガジン上板部の一部を分解
- ②移送台車 II により、燃料ピンマガジンをスパーサ挿入装置に移動
- ③スパーサ供給治具により、スパーサを挿入ロッドに吸着

- ④スパーサ挿入ロッドの下降により、スパーサを所定位置に挿入
- ⑤次工程が振動充填の場合には、ハンドリング装置Ⅰにて上板の再組立
- ⑥移送台車Ⅱにより、燃料ピンマガジンを次工程に運搬

なお、②③の動作は同時に実行される。

以上の一連の基本動作に要する時間は 29 分（1 マガジン（燃料ピン 50 本）当たり）であり、内側炉心燃料ピン製造ラインでは、1 基にて年間生産量から必要とされる処理能力は満足する。

(4) 端栓溶接装置

端栓溶接装置の運転手順を表 3.3.1-4 に示す。

端栓溶接装置の基本動作は、以下の通りである。

- ①移送台車Ⅲにより、燃料ピンマガジンを上部端栓溶接装置に供給
- ②供給治具により、端栓をチャックに挿入・固定
- ③燃料ピンを昇降装置によりハンドリングし、燃料ピン用チャックに挿入・固定
- ④真空ポンプにより両チャック間を真空引き
- ⑤He の注入
- ⑥端栓を燃料ピンに挿入後、加圧し、電流付加により溶接
- ⑦残留 He の回収
- ⑧昇降装置により、燃料ピンを燃料ピンマガジンに戻す

以上の一連の基本動作に要する時間は 365 分（1 マガジン（燃料ピン 50 本）当たり）であり、内側炉心燃料ピン製造ラインでは、1 基にて年間生産量から必要とされる処理能力は満足する。

(5) 密度測定装置

密度測定装置の運転手順を表 3.3.1-5 に示す。

密度測定装置の基本動作は、以下の通りである。

- ①ハンドリング装置Ⅱ、或いはⅢにより、燃料ピンをマガジンから取り出す
- ②燃料ピンを測定装置ベッドに搭載し、駆動装置によりチャッキング
- ③駆動装置により、燃料ピンを回転させ、検査部をスキャンさせる
- ④移送装置Ⅱ-1、或いはⅡ-2 により、燃料ピンを次工程に輸送

以上の一連の基本動作に要する時間は 124 分（燃料ピン 10 本当たり）であり、内側炉心燃料ピン製造ラインでは、年間生産量から必要とされる処理能力を得るには 2 基必要である。

(6) 除染装置

除染装置の運転手順を表 3.3.1-6 に示す。

除染装置の基本動作は、以下の通りである。

- ①移送装置Ⅱ-1、或いはⅡ-2 により、燃料ピンを除染装置ベットに搭載
- ②ハンドリング装置により、燃料ピンをチャッキング
- ③アルコールを綿布に供給
- ④駆動装置により、燃料ピンを回転させ、除染を行う
- ⑤燃料ピンを離す
- ⑥綿布をスミヤ法によりチェック
- ⑦移送装置Ⅲ-1、或いはⅢ-2 により、燃料ピンを次工程に輸送

なお、①②と③或いは⑤⑦と⑥の動作は同時に実行される。

以上の一連の基本動作に要する時間は15分（燃料ピン10本当たり）であり、内側炉心燃料ピン製造ラインでは、1基にて年間生産量から必要とされる処理能力は満足する。

(7) ヘリウムリーク試験装置

ヘリウムリーク試験装置の運転手順を表3.3.1-7に示す。

ヘリウムリーク試験装置の基本動作は、以下の通りである。

- ①移送装置Ⅲ-1、或いはⅢ-2により、燃料ピンをヘリウムリーク試験装置パレットに搭載する
- ②パレット搬入・排出装置により、パレットを真空槽の中に搬入する
- ③真空槽の蓋を閉める
- ④粗引排気装置により、真空槽内を粗引きする
- ⑤本排気装置により、真空槽内を本引きし、燃料ピンのリークテストをする
- ⑥真空槽の蓋を開く
- ⑦パレット搬入・排出装置により、パレットを真空槽から排出する
- ⑧移送装置Ⅲ-1、或いはⅢ-2により、燃料ピンを燃料ピン移送台車に輸送する

以上の一連の基本動作に要する時間は34分（燃料ピン10本当たり）であり、内側炉心燃料ピン製造ラインでは、1基にて年間生産量から必要とされる処理能力は満足する。

(8) 端栓溶接部検査装置

端栓溶接部検査装置の運転手順を表 3.3.1-8 に示す。

端栓溶接部検査装置の基本動作は、以下の通りである。

- ①パレット移送装置 I により、燃料ピンパレットを端栓溶接部検査装置のベッドに設置する
- ②パレット搬入・搬出装置により、パレットを所定の位置に移す
- ③燃料ピン(25 本)を燃料ピン昇降装置により所定の位置まで持上げる
- ④燃料ピンを位置決めし、燃料ピンを燃料ピンハンドリング装置により保持する
- ⑤燃料ピン回転装置にて燃料ピンを所定の位置まで回転させる
- ⑥X線を照射する
- ⑦燃料ピン回転装置により燃料ピンを 90° 回転させる
- ⑧X線を照射する
- ⑨燃料ピン回転装置により燃料ピンを原点の位置まで回転させる
- ⑩燃料ピンをはなす
- ⑪燃料ピンを燃料ピン昇降装置により所定の位置まで下降させる
- ⑫パレット搬入・搬出装置により、パレットを所定の位置に搬出する
- ⑬燃料ピンパレットを端栓溶接部検査装置のベッドからパレット移送装置に移す

以上の一連の基本動作に要する時間は 17.3 分（1パレット（燃料ピン 25 本）当たり）であり、内側炉心燃料ピン製造ラインでは、1 基にて年間生産量から必要とされる処理能力は満足する。

(9)ワイヤ巻付装置

ワイヤ巻付装置の運転手順を表 3.3.1-9 に示す。

ワイヤ巻付装置の基本動作は、以下の通りである。

- ①パレット移送装置により、燃料ピンパレットをワイヤ巻付装置のベッドに設置する
- ②燃料ピン1本をワイヤ巻付け装置まで移送する
- ③燃料ピン端にワイヤを絡め、燃料ピンを回転させながらワイヤを巻き付ける
- ④ワイヤを切断し、溶接する
- ⑤燃料ピンをピッチ測定装置まで移送する
- ⑥ピッチを測定する
- ⑦燃料ピンを燃料ピンパレットに戻す
- ⑧②～⑦を25回繰り返す
- ⑨パレット移送装置により、燃料ピンパレット排出する

以上の一連の基本動作に要する時間は69.4分（1パレット（燃料ピン25本）当たり）であり、内側炉心燃料ピン製造ラインでは、1基にて年間生産量から必要とされる処理能力は満足する。

(10)燃料ピン総合検査装置

燃料ピン総合検査装置の運転手順を表 3.3.1-10 に示す。

燃料ピン総合検査装置の基本動作は、以下の通りである。

- ①パレット移送装置により、燃料ピンパレットを燃料ピン総合検査装置のベッドに設置する
- ②燃料ピン5本を外観検査装置まで移送する
- ③ITVカメラを動かし外観を測定する
- ④②、③を5回繰り返す
- ⑤燃料ピン1本を γ 線検査装置まで移送する
- ⑥ γ スキャニングを動かし検査する
- ⑦⑤、⑥を25回繰り返す
- ⑧燃料ピン1本を重量測定装置まで移送する
- ⑨量りリフタにて重量を測定する
- ⑩⑧、⑨を25回繰り返す
- ⑪燃料ピン1本を曲がり検査装置まで移送する
- ⑫ITVカメラを動かし曲がりを検査する
- ⑬燃料ピンを燃料ピンパレットに戻す
- ⑭⑪～⑬を25回繰り返す
- ⑮パレット移送装置により、燃料ピンパレット排出する

以上の一連の基本動作に要する時間は76.6分（1パレット（燃料ピン25本）当たり）であり、内側炉心燃料ピン製造ラインでは、1基にて年間生産量から必要とされる処理能力は満足する。

(11) 燃料ピン洗浄装置

燃料ピン洗浄装置の運転手順を表 3.3.1-11 に示す。

燃料ピン洗浄装置の基本動作は、以下の通りである。

- ①パレット移送装置により、燃料ピンパレットを燃料ピン洗浄装置のベッドに
設置する
- ②パレット搬入・排出装置により、燃料ピンパレットを洗浄槽内へ移送する
- ③洗浄槽の蓋を閉じ、燃料ピンをシャワー洗浄、蒸気洗浄する
- ④燃料ピンを乾燥させる
- ⑤パレット搬入・排出装置により、燃料ピンパレットを洗浄槽外へ搬出する
- ⑥パレット移送装置により、燃料ピンパレット搬出する

以上の一連の基本動作に要する時間は 25 分（1パレット（燃料ピン 25 本）当たり）であり、内側炉心燃料ピン製造ラインでは、1 基にて年間生産量から必要とされる処理能力は満足する。

(12) 集合体組立て装置

集合体組立て装置の運転手順を表 3.3.1-12 に示す。

集合体組立て装置の基本動作は、以下の通りである。

- ①パレット移送装置により、燃料ピンパレットを集合体組立て装置のベッドに
設置する
- ②燃料ピンを移送し、燃料ピン整列台に燃料集合体 1 列分を整列させる
- ③燃料集合体 1 列分を一度に動かし、集合体組立装置に整列させる
- ④エントランスノズルとラッパ管を組立済燃料ピンにかぶさるように移動させ
挿入する

⑤仮組みされた燃料集合体を移送し、集合体ベット起倒装置により、水平状態から垂直状態に立てる

⑥溶接装置により、溶接する

⑦クレーンにより、燃料集合体を搬出する

以上の一連の基本動作に要する時間は339.4分(燃料集合体1体当たり)であり、内側炉心燃料ピン製造ラインでは、1基にて年間生産量から必要とされる処理能力は満足する。

(13) 集合体検査装置

集合体検査装置の運転手順を表3.3.1-13に示す。

集合体検査装置の基本動作は、以下の通りである。

①クレーンにて燃料集合体を搬入する

②燃料集合体の平行度を測定し、燃料集合体の角度を調整する

③燃料集合体の幅、曲がり、振れを測定する

④燃料集合体の溶接ビート高さを測定する

⑤ITVカメラを動かし外観を検査する

⑥全長測定装置により、全長を測定する

⑦クレーンにて、燃料集合体を搬出する

以上の一連の基本動作に要する時間は48.8分(燃料集合体1体当たり)であり、内側炉心燃料ピン製造ラインでは、1基にて年間生産量から必要とされる処理能力は満足する。

3.3.2 マテリアルハンドリングフロー

各機器は、遠隔で運転を行うためセル内での遠隔・自動化を図るマテハン設備が必要となる。そこで、ここでは、各機器間の主要なマテハン設備のマテリアルハンドリングフローを作成し、各機器とマテハン設備の取り合い及び主要なマテハン設備の可動範囲を明らかにした。

図 3.3.2-1 にマテリアルハンドリングフロー（燃料ピン製造セル）を示す。燃料供給ホッパの移送には粒子移送マニプレータを、燃料ピンマガジンの運搬には移送台車Ⅰ、Ⅱ、Ⅲを、燃料ピンの移送には移送装置Ⅰ-1、2、Ⅱ-1、2、Ⅲ-1、2、及び燃料ピン移送台車を使用する。各機器の可動範囲を以下に示す。

- ①粒子移送マニプレータ …燃料粒子受入装置～振動充填装置
- ②移送台車Ⅰ……………燃料ピンマガジン組立位置～振動充填装置
- ③移送台車Ⅱ……………振動充填装置～端栓溶接装置
- ④移送台車Ⅲ……………端栓溶接装置～ハンドリング装置Ⅱ、Ⅲ
- ⑤移送装置Ⅰ-1、2 ……ハンドリング装置Ⅱ、Ⅲ～密度測定装置Ⅰ、Ⅱ
- ⑥移送装置Ⅱ-1、2 ……密度測定装置Ⅰ、Ⅱ～除染装置Ⅰ、Ⅱ
- ⑦移送装置Ⅲ-1、2 ……除染装置Ⅰ、Ⅱ～燃料ピン移送台車
- ⑧燃料ピン移送台車……………燃料ピン製造セル出口～燃料ピン検査セル入口

ただし、振動充填装置内での燃料ピンマガジンの移送は、振動充填装置内の燃料マガジン移送台にて、移送台車Ⅲから移送装置Ⅰ-1、2 への燃料ピンの搬送はハンドリング装置Ⅱ、Ⅲにて行うこととした。

以上に示した通り、各機器とマテハン設備の取り合いを設定したことにより、干渉等の不具合が生じず、スムーズに物流を行なえることを確認した。

3.3.3 運転フローチャート

各機器は、遠隔で運転を行うため各マテハン機器の相互の干渉が無いよう、機器間の搬送を含めた運転手順を明確にする必要がある。そこで、ここでは、各工程及び各機器間の運転フローチャートを作成して、機器間の機能と動作に要する時間を求め、製造ライン構成を評価した。

尚、マテハン機器の搬送速度は、現状の搬送技術によっても妥当と考えられる下表の通り仮定した。

マテハン機器の搬送速度

搬送物	搬送速度 mm/s	備考
燃料ピンマガジン	10～50	速度可変式
燃料ピン	10～80	速度可変式
燃料ピンパレット	10～200	速度可変式
燃料集合体	3～30	速度可変式

以下に、製造ライン毎の運転フローチャートの評価結果を示す。

(1) 燃料ピン製造ライン

表 3.3.3-1 に、内側炉心燃料ピン製造ラインの運転フローチャートを示す。

表中には、各装置の1バッチ内の機器動作時間、1サイクル内の機器動作時間、及び運転フローチャートを記載した。運転フローチャート内の線の高さは、高(H)、中間(M)、低(L)で示し、Hレベルが作動している状態を、Mレベルが保持している状態を、Lレベルが待機状態を示す。また、機器間の点線は装置間の受渡しを示す。

内側炉心燃料ピン製造ラインでは、密度測定装置における密度測定に最も時

間がかかり（機器動作時間：365分）、10本同時測定 of 密度測定装置では1ラインで処理しきれないため、密度測定装置以降は2ラインの構成とした。

また、ブランケット燃料ピン製造ラインでの生産本数は、内側炉心燃料ピン製造ラインの1/3で済むため、密度測定装置の構成は1ラインとした。

(2) 燃料ピン検査ライン

表 3.3.3-2 に、内側炉心燃料ピン検査ラインの運転フローチャートを示す。

運転フローから判断すると、内側炉心燃料ピン検査ラインと外側炉心燃料ピン検査ラインを1ラインで処理することは可能だと思えるが、ライン構成が煩雑になることを考慮し、それぞれ1ライン構成とした。

(3) 集合体組立・検査ライン

表 3.3.3-3 に、集合体組立・検査ラインの運転フローチャートを示す。

集合体組立・検査ラインは燃料集合体取扱量が少ないこと（内側炉心燃料集合体 0.665 体/日、外側炉心燃料集合体 0.385 体/日）を考慮し、内側炉心燃料集合体組立・検査ラインと外側炉心燃料集合体組立・検査ラインは統合し、1ライン構成とした。

以上のライン構成により、年間生産量から必要とされる処理能力が得られる見通しを得た。

3.3.4 保守・補修

各装置はセル内に設置するため保守・補修作業が困難なことから、各装置の信頼性の観点により、各装置の稼働率を評価する必要がある。そこで、ここでは、各装置の稼働時間及び一般的機器の故障率等を基に各装置の故障頻度を部品点数法により算出して、各装置の稼働率を求めた。

尚、部位の故障率は、「市田嵩著：信頼性技術 設計・製造・使用、東京電機大学出版局信頼性技術」³⁾の記載データより、引用した。

以下に、装置の停止時間、装置の稼働率の算出式を示す。

(1) 装置の停止時間

(i) 装置単体の停止時間 t_t

装置単体の停止時間 t_t は、下式より算出した。

$$t_t = t_h \times \lambda_t$$

t_t : 装置単体の停止時間 (時間/年)

t_h : 保守・交換に要する時間 (時間/回)

λ_t : 装置の故障頻度 (回/年)

但し、装置の故障頻度 λ_t は、下式より算出した。

$$\lambda_t = \sum_{i=1}^k (\lambda_i \times n_i \times t_i)$$

λ_i : 部位_iの故障率 (回/10⁶時間/ヶ)³⁾

n_i : 部位_iの個数 (ヶ)

t_i : 部位_iの動作時間 (時間/年)

k : 部位の種類数

(ii) 装置の停止時間 t_s

装置の停止時間 t_s は、下式より算出した。

$$t_s = t_t \times n$$

t_s : 装置の停止時間 (時間/年)

t_t : 装置単体の停止時間 (時間/年/(基))

n : 装置数 (基)

(2) 装置の稼働率 η

装置の稼働率 η は、下式より算出した。

$$\eta = \frac{t_k}{t_k + t_s}$$

η : 装置の稼働率 (%)

t_k : 装置の稼働時間 (時間/年)

t_s : 装置の停止時間 (時間/年)

上式を用いて算出した各装置の稼働率と装置単体の停止時間を表 3.3.4-1 と表 3.3.4-2 に示す。表 3.3.4-1 中には、各装置の装置台数、故障頻度、保守・交換時間、装置の停止時間、装置の稼働時間、及び装置の稼働率を、表 3.3.4-2 中には、各装置のユニット名称、部位の名称、部位の動作時間、部位の個数、部位の故障率、装置の故障頻度、保守・交換時間、装置単体の停止時間を記載した。

各装置の稼働率は、密度測定装置：99.54%～端栓溶接部検査装置：99.95%の範囲に収まり、機器の稼働率は十分に高く、セル内への設置に対し特に問題ないとする。

表3.3.1-2 振動充填装置運転手順

*1) ()内は、他動作と重複時間、又は他装置の運転時間を示す

No	振動充填装置		時間*1) (分)	動作 回数	備考
	手順	装置			
1	燃料ビンマガジンを移送台車Ⅰにより導入	移送台車Ⅰ	(10)	1	
2	燃料ビンマガジンをマガジン移送装置により、加振装置上に固定	マガジン移送装置	2	1	
3	燃料供給ホッパーを粒子移送マンブレードにより、フィーダー上部に輸送・固定	粒子移送マンブレード	(10)	1	
4	燃料供給部を下降し、燃料マガジンと接続	燃料供給部昇降装置	1	1	
5	ホッパ下部を開口し、フィーダーに燃料供給	燃料供給弁	1	1	
6	計量ホッパにて、大粒子燃料のみ計量	計量用フィーダー及び計量装置	2	1	
7	フィーダーにより、大粒子を燃料ビンに供給	燃料供給用フィーダー	1	1	
8	燃料供給部を上昇し、所定量回転	燃料供給部昇降装置及び回転機構	2	1	
9	燃料供給部を下降し、燃料マガジンと接続	燃料供給部昇降装置	1	9	
10	計量ホッパにて、大・小粒子燃料を計量	計量用フィーダー及び計量装置	2	9	
11	フィーダーにより、大・小粒子を燃料ビンに供給	燃料供給用フィーダー	1	9	
12	燃料供給部を上昇し、所定量回転	燃料供給部昇降装置及び回転機構	2	9	
13	No.9～12を9回繰り返す		48		
14	燃料供給部を下降し、燃料マガジンと接続	燃料供給部昇降装置	1	1	
15	計量ホッパにて、小粒子燃料を計量	計量用フィーダー及び計量装置	2	1	
16	フィーダーにより、小粒子を燃料ビンに供給	燃料供給用フィーダー	1	1	
17	燃料供給部を上昇し、初期位置に回転	燃料供給部上昇下降装置及び回転機構	2	1	
18	燃料供給ホッパ下部を閉じた後、燃料供給ホッパを前工程に輸送、燃料を再供給	燃料供給弁及び粒子移送マンブレード	(10)	1	
19	加振装置により、燃料マガジンを振動し、燃料を充填	加振装置	15	1	
20	マガジン移送装置により、燃料ビンマガジンを移送台車Ⅱ上に排出	マガジン移送装置	5	1	
21	燃料ビンマガジンを移送台車Ⅱにより排出	移送台車Ⅱ	(2)	1	
合計時間			89		

表3.3.1-3 スペーサ挿入装置運転手順

*1)()内は、他動作と重複時間、又は他装置の運転時間を示す

スペーサ挿入装置		時間*1)	動作回数	備考
No	手順	(分)		
1	燃料ピンマガジンの上板部をハンドリング装置 I で、分解、取り外し	(3)	1	
2	燃料ピンマガジンを移送台車 II により導入	(2)	1	
3	スペーサを供給治具に供給	5	1	
4	供給治具をスペーサ供給部に挿入	1	1	
5	スペーサ挿入ロッドを下降し、スペーサをロッドに吸着	3	1	
6	スペーサ挿入ロッドを上昇	3	1	
7	供給治具を所定の位置まで回転	1	1	
8	スペーサ挿入用治具を下降し、スペーサを案内管内に挿入	3	1	
9	スペーサ挿入用治具を上昇	3	1	
10	供給治具を排出	1	1	
11	スペーサ挿入用治具を下降し、燃料マガジンと接続	3	1	
12	スペーサ挿入ロッドを下降し、燃料ピンに挿入	3	1	
13	スペーサを挿入ロッドから分離	1	1	
14	スペーサ挿入ロッドを上昇	1	1	
15	スペーサ挿入用治具を上昇	1	1	
16	燃料ピンマガジンを移送台車 II により排出 (振動充填装置または端栓溶接装置)	(2)	1	
17	燃料ピンマガジンの上板部をハンドリング装置 I で、組立	(3)	1	振動充填装置に戻す場合のみ
	合計時間	29		

表3.3.1-8 端栓溶接部検査装置運転手順

*1) ()内は、他動作と重複時間、又は他装置の運転時間を示す

端栓溶接部検査装置		時間*1) (分)	動作 回数	備考
No	手順			
1	燃料ピンパレットを端栓溶接部検査装置ベッドに設置する	1	1	1パレット:燃料ピン25本分
2	パレットを搬入する	0.5	1	
3	燃料ピン25本を上昇させる	0.2	1	
4	燃料ピンをチャックする	0.2	1	
5	燃料ピンを所定の位置まで回転させる	0.5	1	
6	X線を照射する	6	1	
7	燃料ピンを90°回転させる。	0.5	1	
8	X線を照射する	6	1	
9	燃料ピンを原点の位置まで回転させる	0.5	1	
10	燃料ピンをはなす	0.2	1	
11	燃料ピンを下降させる	0.2	1	
12	パレットを搬出する	0.5	1	
13	燃料ピンパレットを端栓溶接部検査装置ベッドからパレット移送装置に移す	1	1	
14				
15				
16				
17				
		合計時間	17.3	

表3.3.1-9 ワイヤ巻付装置運転手順(1/2)

*1) ()内は、他動作と重複時間、又は他装置の運転時間を示す

No	ワイヤ巻付装置		時間*1) (分)	動作 回数	備考
	手順	装置			
1	燃料ピンパレットをワイヤ巻付装置ベッドに設置する	パレット移送装置	1	1	1パレット:燃料ピン25本分
2	燃料ピン1本をチャックする	燃料ピンハンドリング装置 I	0.2	1	
3	燃料ピンを移送する	燃料ピン移送装置 I	0.3	1	
4	燃料ピンをはなす	燃料ピンハンドリング装置 I	0.2	1	
5	燃料ピンハンドリング装置 I を次の燃料ピンの位置まで戻す	燃料ピン移送装置 I	(0.3)	1	
6	燃料ピンの端栓をチャックする	燃料ピンチャック装置	0.2	1	
7	ワイヤをチャックする	ワイヤハンドリング装置	(0.2)	1	
8	ワイヤを移動する	ワイヤ移送装置	(0.5)	1	
9	燃料ピンを回転させる	燃料ピン回転装置	1	1	
10	No.9と同時にワイヤを移動させる	ワイヤ移送装置	(1)	1	
11	ワイヤを切る	ワイヤ切断装置	0.2	1	
12	端栓を溶接する	溶接装置	0.5	1	
13	2本目のワイヤ巻付けを行なう 以降、No.2～No.12を25本目まで繰り返す		62.4	24	
14	以降(No.14～No.23)の操作をNo.13と同時に行なう		(57.6)	24	
15	燃料ピン25本目をチャックする	燃料ピンハンドリング装置 II	0.2	1	
16	燃料ピンを移送する	燃料ピン移送装置 II	0.3	1	
17	燃料ピンをはなす	燃料ピンハンドリング装置 II	0.2	1	
18	燃料ピンハンドリング装置 II を次の燃料ピンの位置まで戻す	燃料ピン移送装置 II	(0.3)	1	
19	燃料ピンを動かし、ピッチを測定する	ピッチ測定装置	1	1	
20	燃料ピン1本をチャックする	燃料ピンハンドリング装置 III	0.2	1	
21	燃料ピンを移送する	燃料ピン移送装置 III	0.3	1	

表3.3.1-9 ワイヤ巻付装置運転手順(2/2)

ワイヤ巻付装置			時間 ^{*1)} (分)	動作 回数	備考
No	手順	装置			
22	燃料ピンを燃料ピンパレットに戻す	燃料ピンハンドリング装置Ⅲ	0.2	1	
23	燃料ピンハンドリング装置Ⅲを次の燃料ピンの位置まで戻す	燃料ピン移送装置Ⅲ	(0.3)	1	
24	燃料ピンパレットをワイヤ巻付装置ベッドからパレット移送装置に移す	パレット移送装置	1	1	
			合計時間	69.4	

表3.3.1-10 燃料ピン総合検査装置運転手順(1/2)

*1) ()内は、他動作と重複時間、又は他装置の運転時間を示す

燃料ピン総合検査装置		時間*1) (分)	動作 回数	備考	
No	手順	装置			
1	燃料ピンパレットを燃料ピン総合検査装置ベッドに設置する	パレット移送装置	1	1パレット・燃料ピン25本分	
2	リフタで燃料ピン5本を持上げる	燃料ピン昇降装置 I	0.2	1	
3	燃料ピン5本を外観テーブルに載せる	外観テーブル移送装置	0.3	1	
4	ベッドを次工程の位置まで動かす	ベッド移送装置 I	(0.3)	1	
5	外観テーブルを外観検査装置に位置決めする	外観テーブル移送装置	0.3	1	
6	ITVカメラを動かし外観を検査する	ITVカメラ移送装置 I	5	1	燃料ピン5本分
7	ITVカメラを元の位置に戻す	ITVカメラ移送装置 I	(1)	1	
8	外観テーブルを搬出する	外観テーブル移送装置	0.3	1	
9	リフタで燃料ピン5本を持上げる	燃料ピン昇降装置 II	0.2	1	
10	外観テーブルを元の位置に戻す	外観テーブル移送装置	(0.3)	1	
11	次項動作と同時に、No.2~No.10を5回繰り返す		(25.2)	4	
12	燃料ピン1本をγ線テーブルに載せる	γ線テーブル移送装置	0.3	1	
13	γ線テーブルをγ線検査装置に位置決めする	γ線テーブル移送装置	0.3	1	
14	γスキャンニングを動かし検査する	γスキャンニング、 γスキャンニング移送装置	1.5	1	燃料ピン1本分
15	γスキャンニングを元の位置に戻す	γスキャンニング移送装置	(1)	1	
16	γ線テーブルを搬出する	γ線テーブル移送装置	0.3	1	
17	リフタで燃料ピンを持上げる	燃料ピン昇降装置 III	0.2	1	
18	γ線テーブルを元の位置に戻す	γ線テーブル移送装置	(0.3)	1	
19	次項動作と同時に、No.12~No.18を25回繰り返す		62.4	24	
20	燃料ピン1本を重量テーブルに載せる	重量テーブル移送装置	0.3	1	
21	重量テーブルを重量測定装置に位置決めする	重量テーブル移送装置	0.3	1	

表3.3.1-12 集合体組立て装置運転手順(1/2)

*1) ()内は、他動作と重複時間、又は他装置の運転時間を示す

集合体組立て装置		時間*1) (分)	動作 回数	備考
No	手順	装置		
1	燃料ピンパレットを集合体組立設備ベッドに設置する	パレット移送装置 I	1	1パレット:燃料ピン25本分
2	集合体組立設備ベッドを次工程の位置まで動かす	パレット移送装置 II	0.3	1
3	燃料ピン1本を燃料ピン整列台に載せる	燃料ピン移送装置	0.3	1
4	集合体組立設備ベッドを1ピッチ分動かす	パレット移送装置 II	(0.2)	1
5	燃料ピン整列台を1ピッチ分動かす	燃料ピン整列移送装置	(0.2)	1
6	燃料ピン移送装置を元に位置に戻す	燃料ピン移送装置	0.3	1
7	No.3~No.6を10~19回繰り返す		8.4	14
8	燃料集合体1列分の燃料ピンを次工程の位置まで動かす	燃料ピン整列移送装置	0.3	1
9	燃料集合体1列分を吸着し、集合体組立て装置に移送する	燃料ピン吸着移送装置	(1)	1
10	燃料ピン整列台を元に位置に戻す	燃料ピン整列移送装置	0.3	1
11	No.3~No.10を19回繰り返す		172.8	18
12	ラッパ管をベッド上の組立済燃料ピンにかぶさるように移動させ、次にエントランスノズルへ挿入する	ラッパ管移送装置	3	1
13	燃料ピン吸着移送装置を元に位置に戻す	燃料ピン吸着移送装置	(0.3)	1
14	ラッパ管移送装置を次工程の位置まで動かす	ラッパ管移送装置	0.5	1
15	燃料集合体を集合体ベッド起倒装置に移送する	集合体移送装置	1	1
16	ラッパ管移送装置を元の位置に戻す	ラッパ管移送装置	(0.3)	1
17	燃料集合体を集合体ベッド起倒装置に位置決めする	集合体挿入装置	1	1
18	集合体移送装置を元の位置まで戻す	集合体移送装置	(1)	1
19	集合体挿入装置を元の位置まで戻す	集合体挿入装置	(1)	1
20	燃料集合体を起こす	集合体ベッド起倒装置	1	1
21	溶接装置を位置決めする	溶接装置移送装置	0.2	1

表3.3.1-13 集合体検査装置運転手順(1/2)

*1) ()内は、他動作と重複時間、又は他装置の運転時間を示す

集合体検査装置		時間*1) (分)	動作 回数	備考
No	手順			
1	クレーンにて燃料集合体を搬入する	(10)	1	
2	燃料集合体をチャックし、保持する	0.3	1	
3	クレーンを後退させる	(1)	1	
4	幅、曲がり、振れ測定用前後装置前進	0.3	1	
5	溶接ビート高さ測定用前後装置前進	(0.3)	1	
6	平行度を調整する(測定)	0.2	1	
7	平行度を調整する(測定部後退)	0.2	1	
8	No.5で測定した結果に伴い燃料集合体を回転させる	0.2	1	
9	No.6～No.8を3回繰り返す	1.2	2	
10	幅、曲がり、振れを測定する(測定)	0.1	1	
11	幅、曲がり、振れを測定する(測定部後退)	0.1	1	
12	幅、曲がり、振れを測定する(装置上昇)	0.1	1	
13	No.10～No.12を30回繰り返す	8.7	29	
14	幅、曲がり、振れ測定装置を元の位置に戻す(装置下降)	1.5	1	
15	溶接ビートの高さを測定する(測定部前進)	0.1	1	
16	溶接ビートの高さを測定する(測定)	0.2	1	
17	溶接ビートの高さを測定する(測定部後退)	0.1	1	
18	溶接ビート高さ測定用昇降装置を元に位置に戻す(上昇)	0.2	1	
19	燃料集合体を60°回転させる	0.2	1	
20	No.10～No.19を3回繰り返す	22.6	2	
21	外観を検査する(測定部前進)	0.1	1	

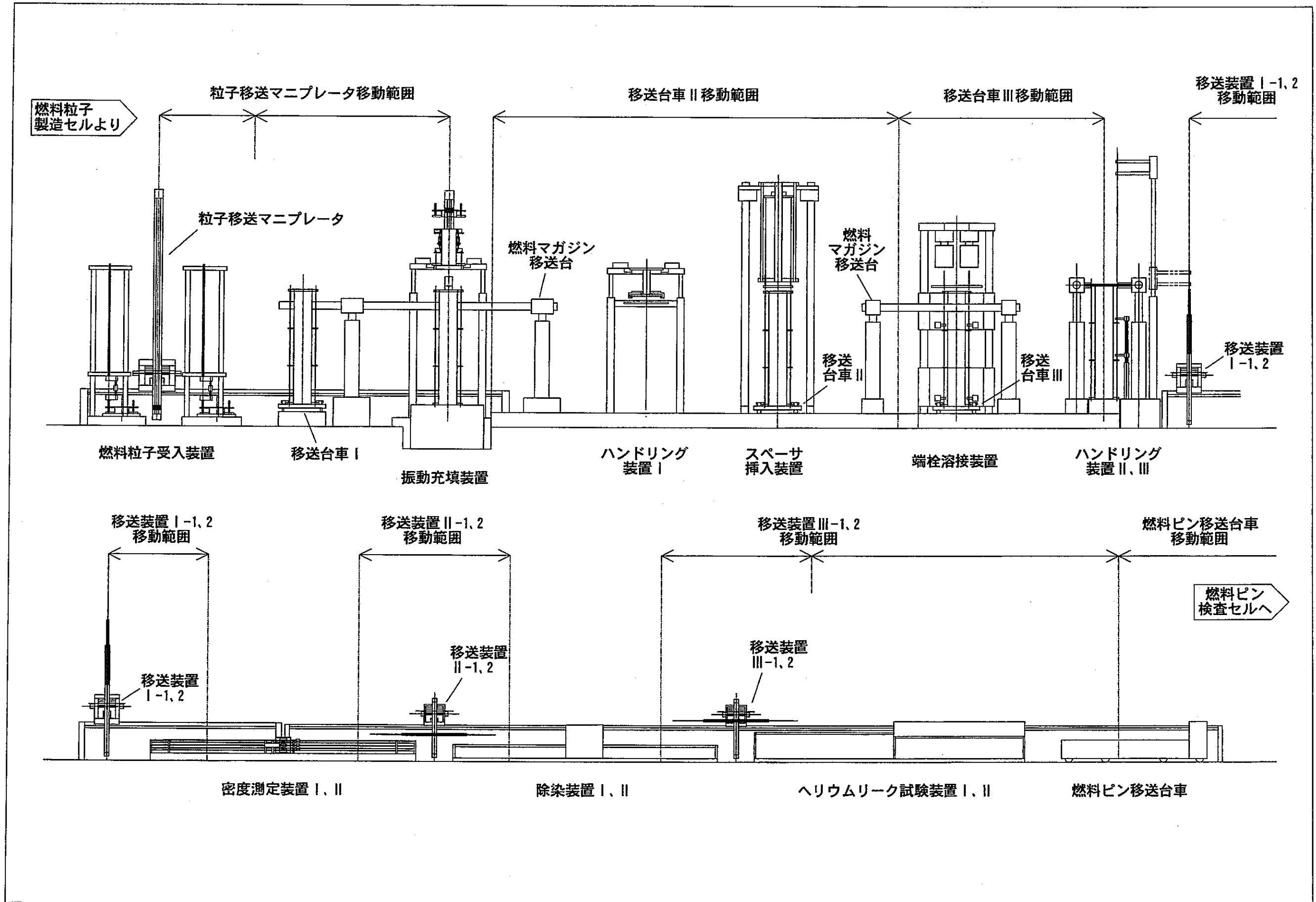


図3.3.2-1 燃料ピン製造セル内マテリアルハンドリングフロー

表3.3.3-1 燃料ピン製造セル内運転フローチャート（内側炉心燃料、燃料マガジン単位）（1/2）

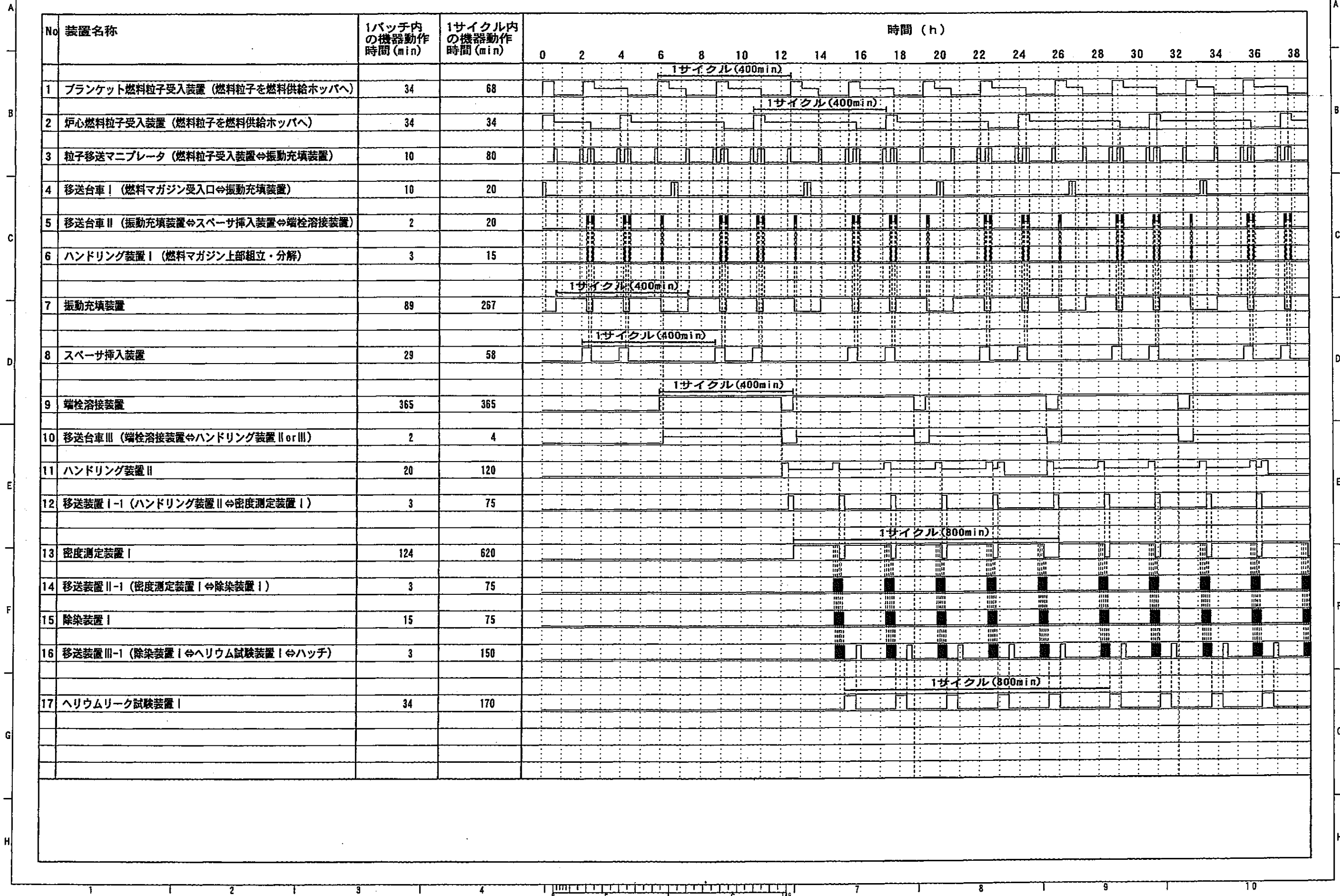


表3.3.3-1 燃料ピン製造セル内運転フローチャート（内側炉心燃料、燃料マガジン単位）（2/2）

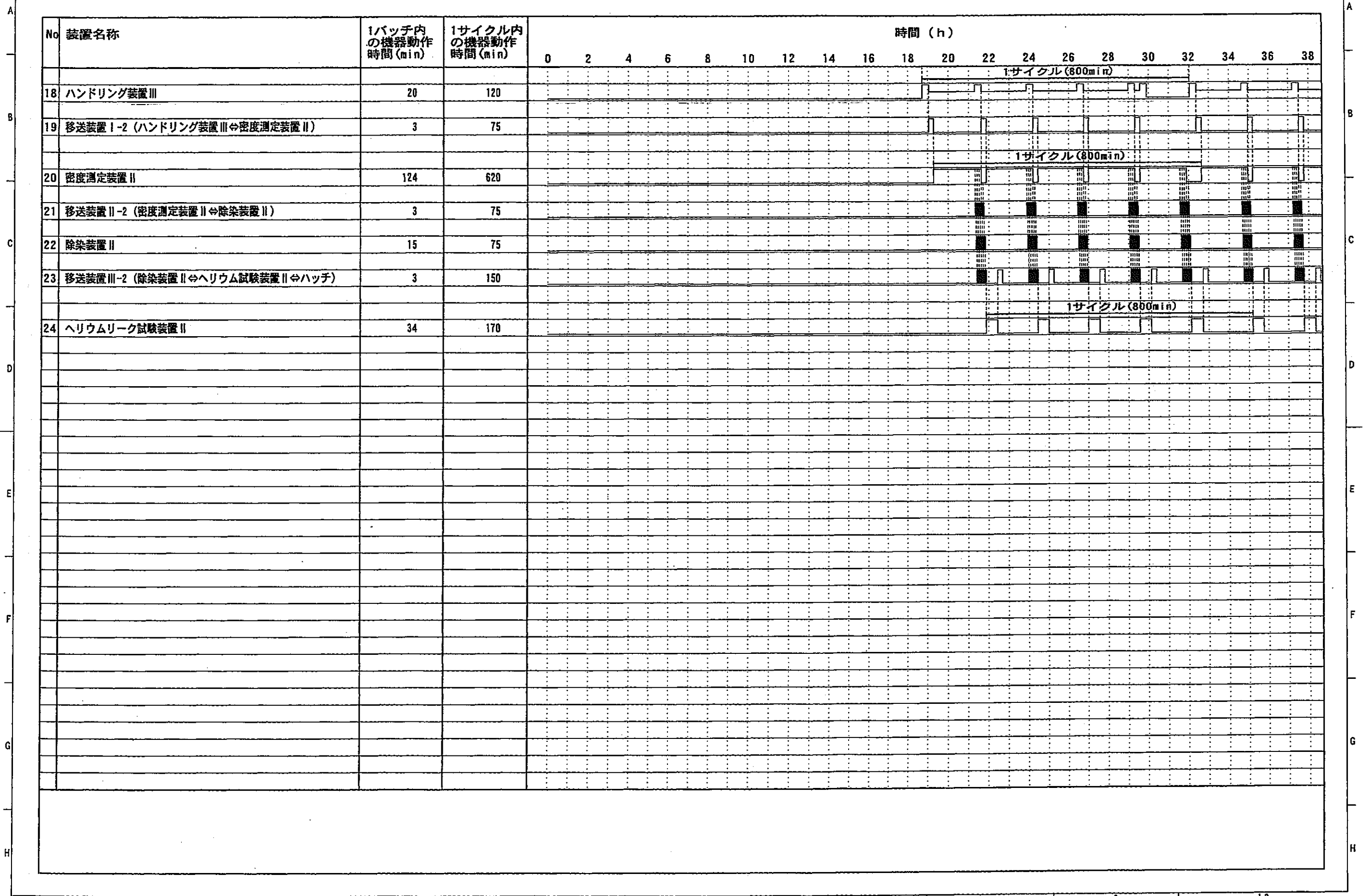


表3.3.3-2 燃料ピン検査セル内運転フローチャート (内側炉心燃料、燃料ピンパレット(燃料ピン25本)単位)

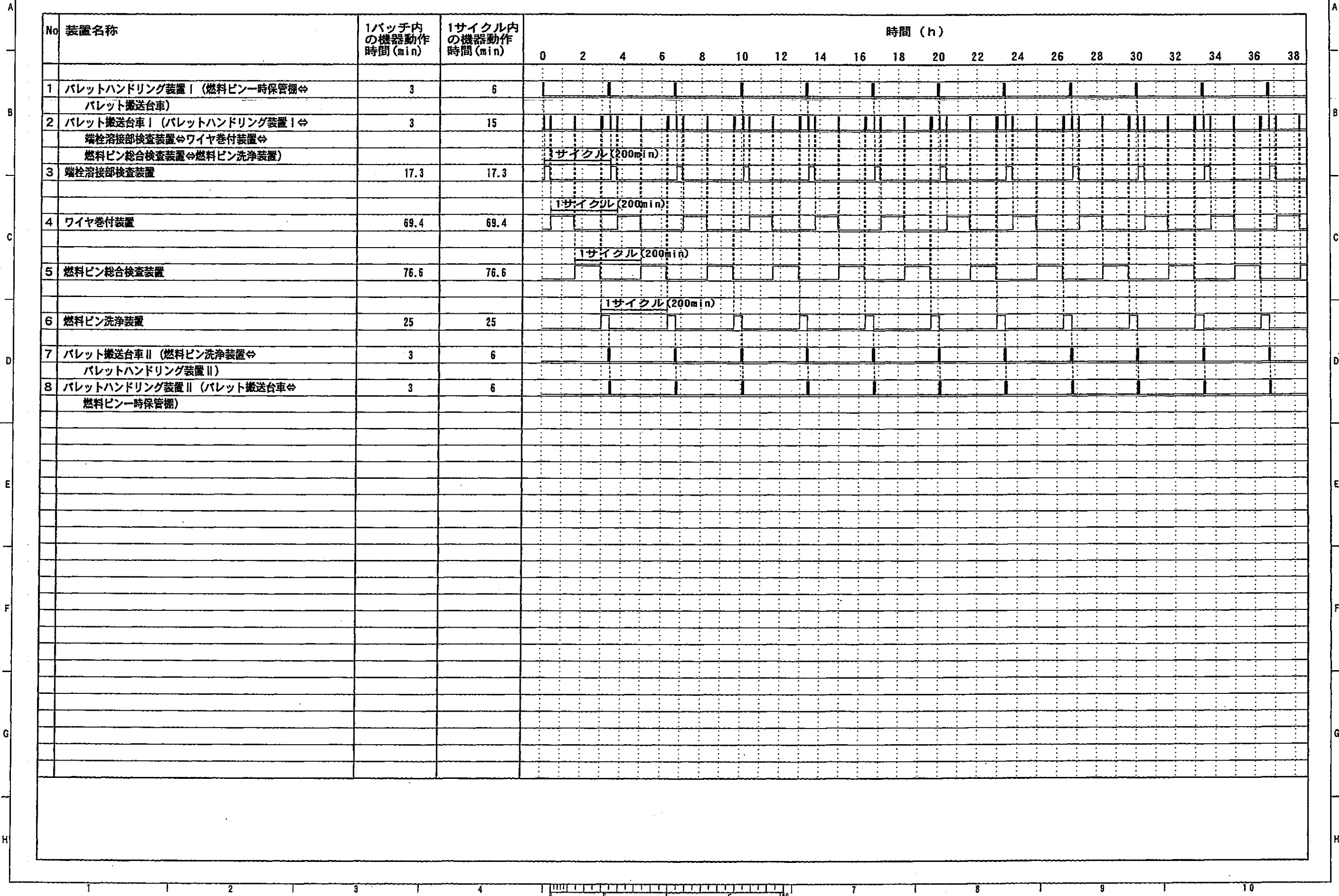


表3.3.3-3 集合体組立・検査セル内運転フローチャート (炉心燃料、燃料集合体単位)

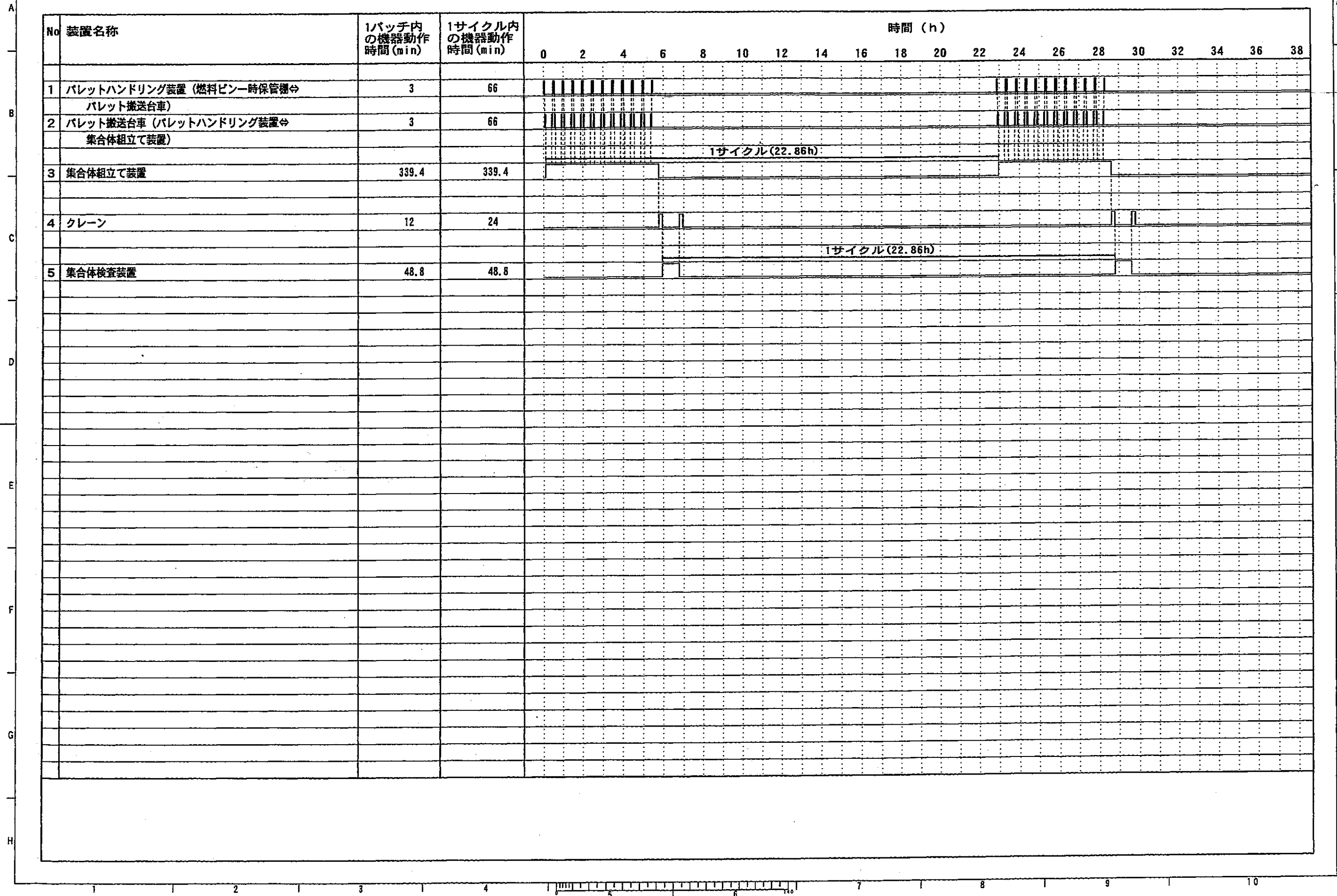


表3.3.4-1 装置の稼働率纏め表

*1) 保守・交換に要する平均修理時間(仮定値)を示す。

セル名称	装置名称	装置台数	故障頻度 回/(年・基)	保守・交換 時間 ^{*1)} 時間/回	装置の 停止時間 時間/年	装置の 稼働時間 時間/年	装置の 稼働率 %
燃料ピン製造セル	燃料粒子受入装置	2	0.016	30	0.98	817	99.88
	振動充填装置	1	0.432	30	12.97	3208	99.60
	スペーサ挿入装置	1	0.039	30	1.18	697	99.83
	端栓溶接装置	1	0.351	30	10.54	4385	99.76
	密度測定装置	2	0.571	30	34.25	7448	99.54
	除染装置	2	0.041	30	2.48	901	99.73
	ヘリウムリーク試験装置	2	0.029	30	1.76	2042	99.91
	計	11			64.14		
燃料ピン検査セル	端栓溶接部検査装置	1	0.007	30	0.20	416	99.95
	ワイヤ巻付装置	1	0.065	30	1.96	1667	99.88
	燃料ピン総合検査装置	1	0.118	30	3.55	1840	99.81
	燃料ピン洗浄装置	1	0.024	30	0.71	601	99.88
	計	4			6.42		
燃料集合体組立・検査セル	集合体組立装置	1	0.058	30	1.73	1188	99.85
	集合体検査装置	1	0.005	30	0.15	171	99.91
	計	2			1.88		
合計		17			72.44		

表3.3.4-2 装置単体の停止時間(1/20)

*1) 保守・交換に要する平均修理時間(仮定)を示す。

装置名称	ユニット名称		部 位				故 障			保守・交換 時間 ^{*1)} 時間/回	装置単体の 停止時間 時間/年	
	大分類	小分類	名称	動作時間		個数	故障率 回/10 ⁶ 時間	頻度 回/年	頻度小計 回/年			頻度合計 回/年
				分/バッチ	時間/年							
燃料粒子受入装置	燃料供給部昇降装置	燃料供給部昇降装置	モータ	0	0	0	4.45	0	0.001586	0.016	30	0.49
			シリンダ(昇降1)	12.5	300	1	0.008	2.4E-06				
			ギアボックス	0	0	0	0.63	0				
			ベアリング(昇降8)	12.5	300	8	0.65	0.00156				
			回転ジョイント	0	0	0	7.5	0				
			パッキン(昇降4)	12.5	300	4	0.02	0.000024				
	定量供給装置	計量用フィーダ及び計量装置	モータ(フィーダ2)	10	240	2	4.45	0.002136	0.011983			
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス(フィーダ2)	10	240	2	0.63	0.000302				
			ベアリング(フィーダ12)	10	240	12	0.65	0.001872				
			回転ジョイント(フィーダ2)	10	240	2	7.5	0.0036				
			パッキン(フィーダ16)	10	240	16	0.02	7.68E-05				
			計量器(フィーダ2)	10	240	2	0.025	0.000012				
		燃料供給用フィーダ	モータ(フィーダ2)	5	120	2	4.45	0.001068				
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス(フィーダ2)	5	120	2	0.63	0.000151				
			ベアリング(フィーダ12)	5	120	12	0.65	0.000936				
			回転ジョイント(フィーダ2)	5	120	2	7.5	0.0018				
			パッキン(フィーダ12)	5	120	12	0.02	2.88E-05				
	回転機構	回転機構	モータ(回転)	6.5	156	1	4.45	0.000694	0.002725			
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス(回転)	6.5	156	1	0.63	9.83E-05				
			ベアリング	6.5	156	6	0.65	0.000608				
			回転ジョイント	6.5	156	1	7.5	0.00117				
パッキン			0	0	0	0.02	0					
回転台			6.5	156	1	0.99	0.000154					

表3.3.4-2 装置単体の停止時間(2/20)

*1) 保守・交換に要する平均修理時間(仮定)を示す。

装置名称	ユニット名称		部 位				故 障			保守・交換 時間 ^{*1)} 時間/日	装置単体の 停止時間 時間/年				
	大分類	小分類	名称	動作時間		個数	故障率 回/10 ⁴ 時間	頻度 回/年	頻度小計 回/年			頻度合計 回/年			
				分/バッチ	時間/年										
振動充填装置	マガジン移送装置	マガジン移送装置	モータ(走行)	7	252	1	4.45	0.001121	0.006579	0.432	30	12.97			
			シリンダ(昇降4、ハンド2)	7	252	6	0.008	1.21E-05							
			ギアボックス(走行)	7	252	1	0.63	0.000159							
			ベアリング(走行8、昇降8、ハンド)	7	252	20	0.65	0.003276							
			回転ジョイント	7	252	1	7.5	0.00189							
			パッキン(昇降16、ハンド8)	7	252	24	0.02	0.000121							
	燃料供給部昇降装置	燃料供給部昇降装置	モータ(昇降)	22	792	1	4.45	0.003524	0.016141						
			シリンダ	0	0	0	0.008	0							
			ギアボックス	22	792	1	0.63	0.000499							
			ベアリング	22	792	12	0.65	0.006178							
			回転ジョイント	22	792	1	7.5	0.00594							
			パッキン	0	0	0	0.02	0							
	定量供給装置	計量用フィーダ及び計量装置	モータ(フィーダ)	22	792	20	4.45	0.070488	0.395446						
			シリンダ	0	0	0	0.008	0							
			ギアボックス	22	792	20	0.63	0.009979							
			ベアリング	22	792	120	0.65	0.061776							
			回転ジョイント	22	792	20	7.5	0.1188							
			パッキン	22	792	160	0.02	0.002534							
		燃料供給用フィーダ	燃料供給用フィーダ	モータ(フィーダ)	11	396	20	4.45	0.035244						
				シリンダ	0	0	0	0.008	0						
				ギアボックス	11	396	20	0.63	0.00499						
				ベアリング	11	396	120	0.65	0.030888						
				回転ジョイント	11	396	20	7.5	0.0594						
				パッキン	11	396	120	0.02	0.00095						
				燃料供給部回転機構	燃料供給部回転機構	モータ(回転)	11	396	1				4.45	0.001762	0.006918
						シリンダ	0	0	0				0.008	0	
	ギアボックス(回転)	11	396			1	0.63	0.000249							
	ベアリング	11	396			6	0.65	0.001544							
	回転ジョイント	11	396			1	7.5	0.00297							
	パッキン	0	0			0	0.02	0							
	加振装置	加振装置	モータ(加振)	15	540	1	4.45	0.002403	0.007155						
			シリンダ	0	0	0	0.008	0							
			ギアボックス	0	0	0	0.63	0							
ベアリング(加振)			15	540	2	0.65	0.000702								
回転ジョイント			15	540	1	7.5	0.00405								
パッキン			0	0	0	0.02	0								

表3.3.4-2 装置単体の停止時間(3/20)

*1) 保守・交換に要する平均修理時間(仮定)を示す。

装置名称	ユニット名称		部 位					故 障			保守・交換 時間 ^{*1)} 時間/回	装置単体の 停止時間 時間/年			
	大分類	小分類	名称	動作時間		個数	故障率 回/10 ⁵ 時間	頻度 回/年	頻度小計 回/年	頻度合計 回/年					
				分/バッチ	時間/年										
スベアサ挿入装置	スベアサ供給 ロボット	スベアサ供給 ロボット	モータ (3軸×4、回転1×4)	5	120	16	4.45	0.008544	0.029068	0.039	30	1.18			
			シリンダ (ハンド1×4)	5	120	4	0.008	3.84E-06							
			ギアボックス	5	120	4	0.63	0.000302							
			ベアリング	5	120	68	0.65	0.005304							
			回転ジョイント	5	120	16	7.5	0.0144							
			パッキン	5	120	16	0.02	3.84E-05							
			回転台	5	120	4	0.99	0.000475							
	供給治具取扱装置	供給治具挿入装置	モータ (走行)	2	48	1	4.45	0.000214	0.001273	0.004891					
			シリンダ	0	0	0	0.008	0							
			ギアボックス (走行)	2	48	1	0.63	3.02E-05							
			ベアリング	2	48	8	0.65	0.00025							
			回転ジョイント	2	48	1	7.5	0.00036							
			パッキン	0	0	0	0.02	0							
		供給治具回転装置	モータ (回転)	1	24	1	4.45	0.000107							
			シリンダ	0	0	0	0.008	0							
			ギアボックス (回転)	1	24	1	0.63	1.51E-05							
			ベアリング	1	24	6	0.65	9.36E-05							
			回転ジョイント	1	24	1	7.5	0.00018							
			パッキン	0	0	0	0.02	0							
			回転台	1	24	1	0.99	2.38E-05							
	スベアサ挿入ロッド 昇降装置	スベアサ挿入ロッド 昇降装置	モータ (昇降)	10	240	1	4.45	0.001068	0.004891						
			シリンダ	0	0	0	0.008	0							
			ギアボックス (昇降)	10	240	1	0.63	0.000151							
			ベアリング	10	240	12	0.65	0.001872							
			回転ジョイント	10	240	1	7.5	0.0018							
			パッキン	0	0	0	0.02	0							
	スベアサ挿入用治具 昇降装置	スベアサ挿入用治具 昇降装置	モータ (昇降)	10	240	1	4.45	0.001068	0.003955						
			シリンダ	0	0	0	0.008	0							
ギアボックス (昇降)			10	240	1	0.63	0.000151								
ベアリング			10	240	6	0.65	0.000936								
回転ジョイント			10	240	1	7.5	0.0018								
パッキン			0	0	0	0.02	0								

表3.3.4-2 装置単体の停止時間(4/20)

*1) 保守・交換に要する平均修理時間(仮定)を示す。

装置名称	ユニット名称		部 位				故 障			保守・交換 時間 ^{*1)} 時間/日	装置単体の 停止時間 時間/年		
	大分類	小分類	名称	動作時間		個数	故障率 回/10 ⁴ 時間	頻度 回/年	頻度小計 回/年			頻度合計 回/年	
				分/バッチ	時間/年								
端栓溶接装置	治具供給装置	端栓供給ロボット	モータ (3軸×4、回転1×4)	50	600	16	4.45	0.04272	0.156007	0.351	30	10.54	
			シリンダ (ハンド1×4)	50	600	4	0.008	1.92E-05					
			ギアボックス	50	600	4	0.63	0.001512					
			ベアリング	50	600	68	0.65	0.02652					
			回転ジョイント	50	600	16	7.5	0.072					
			パッキン	50	600	16	0.02	0.000192					
			回転台	50	600	4	0.99	0.002376					
			モータ (走行)	50	600	1	4.45	0.00267					
		シリンダ	0	0	0	0.008	0						
		ギアボックス	50	600	1	0.63	0.000378						
		ベアリング	50	600	8	0.65	0.00312						
		回転ジョイント	50	600	1	7.5	0.0045						
		パッキン	0	0	0	0.02	0						
		溶接装置	端栓側チャック	モータ (ハンド)	20	240	5	4.45					0.00534
	シリンダ			0	0	0	0.008	0					
	ギアボックス (ハンド)			20	240	5	0.63	0.000756					
	ベアリング			20	240	30	0.65	0.00468					
	回転ジョイント			20	240	5	7.5	0.009					
	パッキン			0	0	0	0.02	0					
	燃料ピン側チャック			モータ (ハンド)	20	240	5	4.45	0.00534				
				シリンダ	0	0	0	0.008	0				
				ギアボックス (ハンド)	20	240	5	0.63	0.000756				
				ベアリング	20	240	30	0.65	0.00468				
			回転ジョイント	20	240	5	7.5	0.009					
			パッキン	0	0	0	0.02	0					
	加圧装置		モータ (昇降5)	30	360	5	4.45	0.00801					
			シリンダ	0	0	0	0.008	0					
			ギアボックス	30	360	5	0.63	0.001134					
			ベアリング	30	360	30	0.65	0.00702					
			回転ジョイント	30	360	5	7.5	0.0135					
			パッキン	30	360	25	0.02	0.00018					
	ハンドリング装置		ハンドリング装置	モータ (昇降5)	60	720	5	4.45	0.01602	0.069322			
		シリンダ (ハンド10)		60	720	10	0.008	5.76E-05					
ギアボックス (昇降5)		60		720	5	0.63	0.002268						
ベアリング (昇降30、ハンド)		60		720	50	0.65	0.0234						
回転ジョイント		60		720	5	7.5	0.027						
パッキン (ハンド20)		60		720	40	0.02	0.000576						

表3.3.4-2 装置単体の停止時間(5/20)

#1) 保守・交換に要する平均修理時間(仮定)を示す。

装置名称	ユニット名称		部 位				故 障			保守・交換 時間 ^{#1)} 時間/回	装置単体の 停止時間 時間/年	
	大分類	小分類	名称	動作時間		個数	故障率 回/10 ³ 時間	頻度 回/年	頻度小計 回/年			頻度合計 回/年
				分/バッチ	時間/年							
端栓溶接装置 続き	真空ポンプ	真空ポンプ	モータ	100	1200	1	4.45	0.00534	0.036504			
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス	100	1200	1	0.63	0.000756				
			ベアリング	100	1200	6	0.65	0.00468				
			回転ジョイント	100	1200	1	7.5	0.009				
			パッキン	100	1200	22	0.02	0.000528				
			ポンプ	100	1200	1	13.5	0.0162				
	ヒータ	ヒータ	モータ	0	0	0	4.45	0	0.0018			
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス	0	0	0	0.63	0				
			ベアリング	0	0	0	0.65	0				
			回転ジョイント	0	0	0	7.5	0				
			パッキン	0	0	0	0.02	0				
			ヒータ	30	360	1	5	0.0018				
	Heポンプ	Heポンプ	モータ	50	600	1	4.45	0.00267	0.018252			
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス	50	600	1	0.63	0.000378				
			ベアリング	50	600	6	0.65	0.00234				
			回転ジョイント	50	600	1	7.5	0.0045				
			パッキン	50	600	22	0.02	0.000264				
			ポンプ	50	600	1	13.5	0.0081				

表3.3.4-2 装置単体の停止時間(6/20)

*1) 保守・交換に要する平均修理時間(仮定)を示す。

装置名称	ユニット名称		部 位				故 障			保守・交換 時間*1) 時間/回	装置単体の 停止時間 時間/年		
	大分類	小分類	名称	動作時間		個数	故障率 回/10 ⁶ 時間	頻度 回/年	頻度小計 回/年			頻度合計 回/年	
				分/バッチ	時間/年								
密度測定装置	駆動装置	駆動装置	モータ(走行)	124	3724	1	4.45	0.016572	0.066215	0.571	30	17.12	
			シリンダ	0	0	0	0.008	0					
			ギアボックス(走行)	124	3724	1	0.63	0.002346					
			ベアリング(走行)	124	3724	8	0.65	0.019365					
			回転ジョイント	124	3724	1	7.5	0.027931					
			パッキン	0	0	0	0.02	0					
	γ線検出装置	γ線検出装置	モータ	0	0	0	4.45	0	0.50456				
			シリンダ	0	0	0	0.008	0					
			ギアボックス	0	0	0	0.63	0					
			ベアリング	0	0	0	0.65	0					
			回転ジョイント	0	0	0	7.5	0					
			パッキン	0	0	0	0.02	0					
			γ線測定器	120	3604	10	14	0.50456					

表3.3.4-2 装置単体の停止時間(7/20)

*1) 保守・交換に要する平均修理時間(仮定)を示す。

装置名称	ユニット名称		部 位				故 障			保守・交換 時間*1) 時間/回	装置単体の 停止時間 時間/年	
	大分類	小分類	名称	動作時間		個数	故障率 回/10 ⁶ 時間	頻度 回/年	頻度小計 回/年			頻度合計 回/年
				分/バッチ	時間/年							
除染装置	駆動装置	ハンドリング機構	モータ(回転2、ハンド2)	1	150	4	4.45	0.002673	0.017654	0.041	30	1.24
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス(回転2)	1	150	2	0.63	0.000189				
			ベアリング(回転12、ハンド4)	1	150	16	0.65	0.001562				
			回転ジョイント	1	150	2	7.5	0.002253				
			パッキン	0	0	0	0.02	0				
			回転台	1	150	2	0.99	0.000297				
		駆動機構	モータ(走行)	2	300	2	4.45	0.002673				
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス	2	300	2	0.63	0.000378				
			ベアリング	2	300	16	0.65	0.003123				
			回転ジョイント	2	300	2	7.5	0.004505				
			パッキン	0	0	0	0.02	0				
	除染装置	除染機構	モータ(巻取2、布押付2)	2	300	4	4.45	0.005346	0.023702			
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス(巻取2、布押付)	2	300	4	0.63	0.000757				
			ベアリング(巻取32、布押付)	2	300	44	0.65	0.00859				
			回転ジョイント	2	300	4	7.5	0.00901				
			パッキン	0	0	0	0.02	0				

表3.3.4-2 装置単体の停止時間(9/20)

*1) 保守・交換に要する平均修理時間(仮定)を示す。

装置名称	ユニット名称		部 位				故 障			保守・交換 時間 ^(*) 時間/回	装置単体の 停止時間 時間/年	
	大分類	小分類	名称	動作時間		個数	故障率 回/10 ⁶ 時間	頻度 回/年	頻度小計 回/年			頻度合計 回/年
				分/バッチ	時間/年							
端栓溶接部 検査装置	バレット移送装置	バレット移送装置	モータ(走行1)	2	48	1	4.45	0.000214	0.001188	0.007	30	0.20
			シリンダ(昇降4,ハンド1)	2	48	5	0.008	1.92E-06				
			ギアボックス(走行1)	2	48	1	0.63	3.03E-05				
			ベアリング(走行8,昇降8,ハト)	2	48	18	0.65	0.000562				
			回転ジョイント	2	48	1	7.5	0.00036				
			パッキン(昇降16,ハンド4)	2	48	20	0.02	1.92E-05				
	バレット搬入・ 搬出装置	バレット搬入・ 搬出装置	モータ(走行1)	1	24	1	4.45	0.000107	0.000427	0		
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス	1	24	1	0.63	1.51E-05				
			ベアリング	1	24	8	0.65	0.000125				
			回転ジョイント	1	24	1	7.5	0.00018				
			パッキン	0	0	0	0.02	0				
	燃料ピン昇降装置	燃料ピン昇降装置	モータ(昇降1)	0.4	10	1	4.45	4.28E-05	0.000158	0		
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス	0.4	10	1	0.63	6.05E-06				
			ベアリング	0.4	10	6	0.65	3.75E-05				
			回転ジョイント	0.4	10	1	7.5	7.21E-05				
			パッキン	0	0	0	0.02	0				
	燃料ピン ハンドリング装置	燃料ピン ハンドリング装置	モータ(ハンド1)	0.4	10	1	4.45	4.28E-05	0.000158	0		
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス	0.4	10	1	0.63	6.05E-06				
			ベアリング	0.4	10	6	0.65	3.75E-05				
			回転ジョイント	0.4	10	1	7.5	7.21E-05				
			パッキン	0	0	0	0.02	0				
	燃料ピン回転装置	燃料ピン回転装置	モータ(回転1)	1.5	36	1	4.45	0.00016	0.00063	0		
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス	1.5	36	1	0.63	2.27E-05				
			ベアリング	1.5	36	6	0.65	0.000141				
			回転ジョイント	1.5	36	1	7.5	0.00027				
			パッキン	0	0	0	0.02	0				
	X線発生装置	X線発生装置	回転台	1.5	36	1	0.99	3.57E-05	0.004036	0		
			モータ	0	0	0	4.45	0				
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
ギアボックス			0	0	0	0.63	0					
ベアリング			0	0	0	0.65	0					
回転ジョイント			0	0	0	7.5	0					
パッキン			0	0	0	0.02	0					
X線測定器	12	288	1	14	0.004036							

表3.3.4-2 装置単体の停止時間(10/20)

*1) 保守・交換に要する平均修理時間(仮定)を示す。

装置名称	ユニット名称		部 位				故 障			保守・交換 時間 ^{*1)} 時間/回	装置単体の 停止時間 時間/年	
	大分類	小分類	名称	動作時間		個数	故障率 回/10 ⁶ 時間	頻度 回/年	頻度小計 回/年			頻度合計 回/年
				分/バッチ	時間/年							
ワイヤ巻付装置	パレット移送装置	パレット移送装置	モータ(走行1)	2	48	1	4.45	0.000214	0.001188	0.065	30	1.96
			シリンダ(昇降4,ハンド1)	2	48	5	0.008	1.92E-06				
			ギアボックス(走行1)	2	48	1	0.63	3.03E-05				
			ベアリング(走行8,昇降8,ハンド2)	2	48	18	0.65	0.000562				
			回転ジョイント	2	48	1	7.5	0.00036				
			パッキン(昇降16,ハンド4)	2	48	20	0.02	1.92E-05				
	燃料ピン移送装置 I	燃料ピン ハンドリング装置 I	モータ	0	0	0	4.45	0	0.009743			
			シリンダ(ハンド4)	10	240	4	0.008	7.69E-06				
			ギアボックス	0	0	0	0.63	0				
			ベアリング	10	240	8	0.65	0.001249				
			回転ジョイント	0	0	0	7.5	0				
			パッキン	10	240	16	0.02	7.69E-05				
	燃料ピン移送装置 I	燃料ピン移送装置 I	モータ(走行1)	15	360	1	4.45	0.001604	0.012473			
			シリンダ(昇降4)	15	360	4	0.008	1.15E-05				
			ギアボックス	15	360	1	0.63	0.000227				
			ベアリング(走行8,昇降8)	15	360	16	0.65	0.003748				
			回転ジョイント	15	360	1	7.5	0.002703				
			パッキン	15	360	16	0.02	0.000115				
	燃料ピン回転装置	燃料ピン回転装置	モータ(回転1)	25	601	1	4.45	0.002673	0.012473			
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス	25	601	1	0.63	0.000378				
			ベアリング	25	601	6	0.65	0.002343				
			回転ジョイント	25	601	1	7.5	0.004505				
			パッキン	0	0	0	0.02	0				
			回転台	25	-601	1	0.99	0.000595				
			燃料ピン チャック装置	モータ(ハンド1)	5	120	1	4.45				
		シリンダ	0	0	0	0.008	0					
		ギアボックス	5	120	1	0.63	7.57E-05					
		ベアリング	5	120	6	0.65	0.000469					
		回転ジョイント	5	120	1	7.5	0.000901					
パッキン		0	0	0	0.02	0						

表3.3.4-2 装置単体の停止時間(13/20)

*1) 保守・交換に要する平均修理時間(仮定)を示す。

装置名称	ユニット名称		部 位				故 障				保守・交換 時間 ^(*) 時間/日	装置単体の 停止時間 時間/年
	大分類	小分類	名称	動作時間		個数	故障率 回/10 ⁶ 時間	頻度 回/年	頻度小計 回/年	頻度合計 回/年		
				分/バッチ	時間/年							
燃料ピン 総合検査装置	パレット移送装置	パレット移送装置	モータ(走行1)	2	48	1	4.45	0.000214	0.001188	0.118	30	3.55
			シリンダ(昇降4、ハンド1)	2	48	5	0.008	1.92E-06				
			ギアボックス(走行1)	2	48	1	0.63	3.03E-05				
			ベアリング(走行8、昇降8、ハンド2)	2	48	18	0.65	0.000562				
			回転ジョイント	2	48	1	7.5	0.00036				
			パッキン(昇降16、ハンド4)	2	48	20	0.02	1.92E-05				
	ベッド移送装置Ⅰ	ベッド移送装置Ⅰ	モータ(走行1)	1.5	36	1	4.45	0.00016	0.000641	0.000641		
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス	1.5	36	1	0.63	2.27E-05				
			ベアリング	1.5	36	8	0.65	0.000187				
			回転ジョイント	1.5	36	1	7.5	0.00027				
			パッキン	0	0	0	0.02	0				
	燃料ピン昇降装置Ⅰ	燃料ピン昇降装置Ⅰ	モータ(昇降1)	1	24	1	4.45	0.000107	0.000396	0.000396		
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス	1	24	1	0.63	1.51E-05				
			ベアリング	1	24	6	0.65	9.37E-05				
			回転ジョイント	1	24	1	7.5	0.00018				
			パッキン	0	0	0	0.02	0				
	外観テーブル 移送装置	外観テーブル 移送装置	モータ(走行1)	6	144	1	4.45	0.000642	0.002563	0.002563		
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス	6	144	1	0.63	9.08E-05				
			ベアリング	6	144	8	0.65	0.00075				
			回転ジョイント	6	144	1	7.5	0.001081				
			パッキン	0	0	0	0.02	0				
	ITVカメラ 移送装置Ⅰ	ITVカメラ 移送装置Ⅰ	モータ(走行1)	30	721	1	4.45	0.003208	0.012816	0.012816		
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス	30	721	1	0.63	0.000454				
ベアリング			30	721	8	0.65	0.003748					
回転ジョイント			30	721	1	7.5	0.005406					
パッキン			0	0	0	0.02	0					
燃料ピン昇降装置Ⅱ	燃料ピン昇降装置Ⅱ	モータ(昇降1)	1	24	1	4.45	0.000107	0.000396	0.000396			
		シリンダ	0	0	0	0.008	0					
		ギアボックス	1	24	1	0.63	1.51E-05					
		ベアリング	1	24	6	0.65	9.37E-05					
		回転ジョイント	1	24	1	7.5	0.00018					
		パッキン	0	0	0	0.02	0					

表3.3.4-2 装置単体の停止時間(14/20)

*1) 保守・交換に要する平均修理時間(仮定)を示す。

装置名称	ユニット名称		部 位				故 障			保守・交換 時間 ^{*1)} 時間/回	装置単体の 停止時間 時間/年	
	大分類	小分類	名称	動作時間		個数	故障率 回/10 ⁶ 時間	頻度 回/年	頻度小計 回/年			頻度合計 回/年
				分/バッチ	時間/年							
燃料ビン 総合検査装置 続き	γ線テーブル 移送装置	γ線テーブル 移送装置	モータ(走行I)	30	721	1	4.45	0.003208	0.012816			
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス	30	721	1	0.63	0.000454				
			ベアリング	30	721	8	0.65	0.003748				
			回転ジョイント	30	721	1	7.5	0.005406				
			パッキン	0	0	0	0.02	0				
	γ線検出装置	γスキャニング	モータ	0	0	0	4.45	0	0.039314			
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス	0	0	0	0.63	0				
			ベアリング	0	0	0	0.65	0				
			回転ジョイント	0	0	0	7.5	0				
			パッキン	0	0	0	0.02	0				
			γ線測定器	37.5	901	1	14	0.012614				
		γスキャニング 移送装置	モータ(走行I)	62.5	1502	1	4.45	0.006682				
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス	62.5	1502	1	0.63	0.000946				
			ベアリング	62.5	1502	8	0.65	0.007809				
			回転ジョイント	62.5	1502	1	7.5	0.011263				
			パッキン	0	0	0	0.02	0				
	燃料ビン昇降装置III	燃料ビン昇降装置III	モータ(昇降I)	5	120	1	4.45	0.000535	0.00198			
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス	5	120	1	0.63	7.57E-05				
			ベアリング	5	120	6	0.65	0.000469				
			回転ジョイント	5	120	1	7.5	0.000901				
			パッキン	0	0	0	0.02	0				
	重量テーブル 移送装置	重量テーブル 移送装置	モータ(走行I)	15	360	1	4.45	0.001604	0.006408			
シリンダ			0	0	0	0.008	0					
ギアボックス			15	360	1	0.63	0.000227					
ベアリング			15	360	8	0.65	0.001874					
回転ジョイント			15	360	1	7.5	0.002703					
パッキン			0	0	0	0.02	0					
重量測定昇降装置	重量測定昇降装置	モータ(昇降I)	12.5	300	1	4.45	0.001336	0.004949				
		シリンダ	0	0	0	0.008	0					
		ギアボックス	12.5	300	1	0.63	0.000189					
		ベアリング	12.5	300	6	0.65	0.001171					
		回転ジョイント	12.5	300	1	7.5	0.002253					
		パッキン	0	0	0	0.02	0					

表3.3.4-2 装置単体の停止時間(15/20)

*1) 保守・交換に要する平均修理時間(仮定)を示す。

装置名称	ユニット名称		部 位				故 障			保守・交換 時間 ⁽¹⁾ 時間/回	装置単体の 停止時間 時間/年	
	大分類	小分類	名称	動作時間		個数	故障率 回/10 ⁵ 時間	頻度 回/年	頻度小計 回/年			頻度合計 回/年
				分/バッチ	時間/年							
燃料ピン 総合検査装置 続き	ハンドテーブル 移送装置	ハンドテーブル 移送装置	モータ(走行I)	22.5	541	1	4.45	0.002406	0.009612			
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス	22.5	541	1	0.63	0.000341				
			ベアリング	22.5	541	8	0.65	0.002811				
			回転ジョイント	22.5	541	1	7.5	0.004055				
			パッキン	0	0	0	0.02	0				
	燃料ピン ハンドリング装置	燃料ピン ハンドリング装置	モータ(ハンドI)	5	120	1	4.45	0.000535	0.00198			
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス	5	120	1	0.63	7.57E-05				
			ベアリング	5	120	6	0.65	0.000459				
			回転ジョイント	5	120	1	7.5	0.000901				
			パッキン	0	0	0	0.02	0				
	ITVカメラ 移送装置II	ITVカメラ 移送装置II	モータ(走行I)	37.5	901	1	4.45	0.004009	0.01602			
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス	37.5	901	1	0.63	0.000568				
			ベアリング	37.5	901	8	0.65	0.004685				
			回転ジョイント	37.5	901	1	7.5	0.006758				
			パッキン	0	0	0	0.02	0				
	燃料ピン昇降装置IV	燃料ピン昇降装置IV	モータ(昇降I)	10	240	1	4.45	0.001069	0.00396			
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
ギアボックス			10	240	1	0.63	0.000151					
ベアリング			10	240	6	0.65	0.000937					
回転ジョイント			10	240	1	7.5	0.001802					
パッキン			0	0	0	0.02	0					
ベッド移送装置II	ベッド移送装置II	モータ(走行I)	7.5	180	1	4.45	0.000802	0.003204				
		シリンダ	0	0	0	0.008	0					
		ギアボックス	7.5	180	1	0.63	0.000114					
		ベアリング	7.5	180	8	0.65	0.000937					
		回転ジョイント	7.5	180	1	7.5	0.001352					
		パッキン	0	0	0	0.02	0					

表3.3.4-2 装置単体の停止時間(16/20)

*1) 保守・交換に要する平均修理時間(仮定)を示す。

装置名称	ユニット名称		部 位				故 障			保守・交換 時間 ^{*1)} 時間/日	装置単体の 停止時間 時間/年	
	大分類	小分類	名称	動作時間		個数	故障率 回/10 ⁴ 時間	頻度 回/年	頻度小計 回/年			頻度合計 回/年
				分/バッチ	時間/年							
燃料ピン洗浄装置	バレット移送装置	バレット移送装置	モータ(走行1)	2	48	1	4.45	0.000214	0.001188	0.024	30	0.71
			シリンダ(昇降4、ハンド1)	2	48	5	0.008	1.92E-06				
			ギアボックス(走行1)	2	48	1	0.63	3.03E-05				
			ベアリング(走行8、昇降8、ハンド2)	2	48	18	0.65	0.000562				
			回転ジョイント	2	48	1	7.5	0.00036				
			パッキン(昇降16、ハンド4)	2	48	20	0.02	1.92E-05				
	バレット搬入・ 排出機構	バレット搬入・ 排出機構	モータ(走行1)	1	24	1	4.45	0.000107	0.000461			
			シリンダ(昇降1)	1	24	1	0.008	1.92E-07				
			ギアボックス	1	24	1	0.63	1.51E-05				
			ベアリング(走行8、昇降2)	1	24	10	0.65	0.000156				
			回転ジョイント	1	24	1	7.5	0.00018				
			パッキン	1	24	4	0.02	1.92E-06				
	蓋開閉装置	蓋開閉機構	モータ	2	48	1	4.45	0.000214	0.000794			
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス	2	48	1	0.63	3.03E-05				
			ベアリング	2	48	6	0.65	0.000187				
			回転ジョイント	2	48	1	7.5	0.00036				
			パッキン	2	48	2	0.02	1.92E-06				
	シャワー洗浄装置	シャワー洗浄機構	モータ	2	48	1	4.45	0.000214	0.001446			
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
ギアボックス			2	48	1	0.63	3.03E-05					
ベアリング			2	48	6	0.65	0.000187					
回転ジョイント			2	48	1	7.5	0.00036					
パッキン			2	48	6	0.02	5.77E-06					
ポンプ			2	48	1	13.5	0.000649					
蒸気洗浄装置	蒸気洗浄機構	モータ	8	192	2	4.45	0.001711	0.012532				
		シリンダ	0	0	0	0.008	0					
		ギアボックス	8	192	2	0.63	0.000242					
		ベアリング	8	192	12	0.65	0.001499					
		回転ジョイント	8	192	2	7.5	0.002883					
		パッキン	8	192	12	0.02	4.61E-05					
		ポンプ(油循環1、蒸気1)	8	192	2	13.5	0.00519					
		ヒータ	8	192	1	5	0.000961					
乾燥装置	乾燥機構	モータ	10	240	1	4.45	0.001069	0.007232				
		シリンダ	0	0	0	0.008	0					
		ギアボックス	10	240	1	0.63	0.000151					
		ベアリング	10	240	6	0.65	0.000937					
		回転ジョイント	10	240	1	7.5	0.001802					
		パッキン	10	240	6	0.02	2.88E-05					
		ポンプ	10	240	1	13.5	0.003244					

表3.3.4-2 装置単体の停止時間(17/20)

*1) 保守・交換に要する平均修理時間(仮定)を示す。

装置名称	ユニット名称		部 位				故 障			保守・交換 時間 ^{*1)} 時間/回	装置単体の 停止時間 時間/年	
	大分類	小分類	名称	動作時間		個数	故障率 回/10 ⁶ 時間	頻度 回/年	頻度小計 回/年			頻度合計 回/年
				分/バッチ	時間/年							
集合体組立て装置	バレット移送装置Ⅰ	バレット移送装置Ⅰ	モータ(走行1,昇降1)	21	73	2	4.45	0.000654	0.002814	0.058	30	1.73
			シリンダ(ハンド2)	21	73	2	0.008	1.18E-06				
			ギアボックス(走行2,昇降2)	21	73	4	0.63	0.000185				
			ベアリング(走行8,昇降6,ハンド4)	21	73	18	0.65	0.00086				
			回転ジョイント(走行1,昇降1)	21	73	2	7.5	0.001102				
			パッキン(ハンド8)	21	73	8	0.02	1.18E-05				
	バレット移送装置Ⅱ	バレット移送装置Ⅱ	モータ(走行1)	63.3	222	1	4.45	0.000986	0.004078	0		
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス(走行2)	63.3	222	2	0.63	0.000279				
			ベアリング(走行8)	63.3	222	8	0.65	0.001152				
			回転ジョイント(走行1)	63.3	222	1	7.5	0.001661				
			パッキン	0	0	0	0.02	0				
	燃料ピン移送装置	燃料ピン移送装置	モータ(走行1,昇降2)	171	598	3	4.45	0.007989	0.028912	0		
			シリンダ(ハンド2)	171	598	2	0.008	9.57E-06				
			ギアボックス(走行1,昇降2)	171	598	3	0.63	0.001131				
			ベアリング(走行8,昇降4,ハンド4)	171	598	16	0.65	0.006223				
			回転ジョイント(走行1,昇降2)	171	598	3	7.5	0.013464				
			パッキン(ハンド8)	171	598	8	0.02	9.57E-05				
	燃料ピン整列 移送装置	燃料ピン整列 移送装置	モータ(走行1)	68.4	239	1	4.45	0.001065	0.004407	0		
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス(走行2)	68.4	239	2	0.63	0.000302				
			ベアリング(走行8)	68.4	239	8	0.65	0.001245				
			回転ジョイント(走行1)	68.4	239	1	7.5	0.001795				
			パッキン	0	0	0	0.02	0				
	燃料ピン吸着 移送装置	燃料ピン吸着 移送装置	モータ(走行1,昇降2,吸着5)	19.3	68	8	4.45	0.002404	0.012838	0		
			シリンダ(ハンド5)	19.3	68	5	0.008	2.7E-06				
			ギアボックス(走行1,昇降2)	19.3	68	3	0.63	0.000128				
ベアリング(走行8,昇降4,吸着15, ハンド10)			19.3	68	37	0.65	0.001624					
回転ジョイント(走行1,昇降2, 吸着5)			19.3	68	8	7.5	0.004052					
パッキン(ハンド20,吸着30)			19.3	68	50	0.02	6.75E-05					
ポンプ(吸着5)			19.3	68	5	13.5	0.004559					
ラッパ管移送装置	ラッパ管移送装置	モータ(走行1,ハンド10)	3.8	13	11	4.45	0.000651	0.002119	0			
		シリンダ	0	0	0	0.008	0					
		ギアボックス(走行1)	3.8	13	1	0.63	8.38E-06					
		ベアリング(走行12,ハンド30)	3.8	13	42	0.65	0.000363					
		回転ジョイント(走行1,ハンド)	3.8	13	11	7.5	0.001097					
		パッキン	0	0	0	0.02	0					

表3.3.4-2 装置単体の停止時間(18/20)

*1) 保守・交換に要する平均修理時間(仮定)を示す。

装置名称	ユニット名称		部 位				故 障			保守・交換 時間 ^{*1)} 時間/日	装置単体の 停止時間 時間/年		
	大分類	小分類	名称	動作時間		個数	故障率 回/10 ⁴ 時間	頻度 回/年	頻度小計 回/年			頻度合計 回/年	
				分/バッチ	時間/年								
集合体組立て装置 続き	集合体移送装置	集合体移送装置	モータ (走行1,昇降2)	2	7	3	4.45	9.34E-05	0.000356				
			シリンダ (ハンド2)	2	7	2	0.008	1.12E-07					
			ギアボックス (走行1,昇降2)	2	7	3	0.63	1.32E-05					
			△アリカ (走行12,昇降4,ハンド)	2	7	20	0.65	9.1E-05					
			回転ジョイント (走行1,昇降2)	2	7	3	7.5	0.000157					
			パッキン (ハンド8)	2	7	8	0.02	1.12E-06					
	集合体ベッド 起倒装置	集合体挿入装置	集合体挿入装置	モータ (走行1,ハンド5)	2	7	6	4.45	0.000187	0.001222			
				シリンダ	0	0	0	0.008	0				
				ギアボックス (走行1)	2	7	1	0.63	4.41E-06				
				△アリカ (走行12,ハンド15)	2	7	23	0.65	0.000105				
				回転ジョイント (走行1,ハンド)	2	7	6	7.5	0.000315				
				パッキン	0	0	0	0.02	0				
		集合体ベッド 起倒装置	集合体ベッド 起倒装置	集合体ベッド 起倒装置	モータ (起倒1,ハンド5)	2	7	6	4.45	0.000187	0.001222		
					シリンダ	0	0	0	0.008	0			
					ギアボックス (起倒1)	2	7	1	0.63	4.41E-06			
					△アリカ (起倒8,ハンド15)	2	7	23	0.65	0.000105			
					回転ジョイント (起倒1,ハンド)	2	7	6	7.5	0.000315			
					パッキン	0	0	0	0.02	0			
	溶接装置	溶接装置移送装置	溶接装置移送装置	モータ (走行1)	0.4	1	6	4.45	3.74E-05	0.001005			
				シリンダ	0	0	0	0.008	0				
				ギアボックス (走行1)	0.4	1	1	0.63	8.82E-07				
				△アリカ (走行12)	0.4	1	23	0.65	2.09E-05				
				回転ジョイント (走行1)	0.4	1	6	7.5	6.3E-05				
				パッキン	0	0	0	0.02	0				
溶接装置回転装置 及び溶接部移送装置		溶接装置回転装置 及び溶接部移送装置	溶接装置回転装置 及び溶接部移送装置	モータ (回転1,走行3)	4	14	4	4.45	0.000249				
				シリンダ	0	0	0	0.008	0				
				ギアボックス (回転1)	4	14	1	0.63	8.82E-06				
				△アリカ (回転6,走行15)	4	14	21	0.65	0.000191				
				回転ジョイント (回転1,走行3)	4	14	4	7.5	0.00042				
				パッキン	0	0	0	0.02	0				
				回転台	4	14	1	0.99	1.39E-05				

表3.3.4-2 装置単体の停止時間(19/20)

*1) 保守・交換に要する平均修理時間(仮定)を示す。

装置名称	ユニット名称		部 位				故 障			保守・交換 時間 ^{*1)} 時間/回	装置単体の 停止時間 時間/年		
	大分類	小分類	名称	動作時間		個数	故障率 回/10 ⁶ 時間	頻度 回/年	頻度小計 回/年			頻度合計 回/年	
				分/バッチ	時間/年								
集合体検査装置	下部チャック装置	集合体保持用 チャック	モータ (ハンド2)	0.6	2	2	4.45	1.87E-05	0.00018	0.005	30	0.15	
			シリンダ	0	0	0	0.008	0					
			ギアボックス (ハンド2)	0.6	2	2	0.63	2.65E-06					
			ベアリング (ハンド24)	0.6	2	24	0.65	3.28E-05					
			回転ジョイント (ハンド8)	0.6	2	8	7.5	0.000126					
			パッキン	0	0	0	0.02	0					
	集合体保持用 チャック回転装置	集合体保持用 チャック回転装置	モータ (回転1)	1.8	6	1	4.45	2.8E-05	0.00011				
			シリンダ	0	0	0	0.008	0					
			ギアボックス (回転1)	1.8	6	1	0.63	3.97E-06					
			ベアリング (回転6)	1.8	6	6	0.65	2.46E-05					
			回転ジョイント (回転1)	1.8	6	1	7.5	4.72E-05					
			パッキン	0	0	0	0.02	0					
			回転台	1.8	6	1	0.99	6.24E-06					
	幅、曲がり、振れ 測定装置	幅、曲がり、振れ 測定用前後装置	モータ (走行1)	0.6	2	1	4.45	9.34E-06	0.002604				
			シリンダ	0.6	2	0	0.008	0					
			ギアボックス (走行1)	0.6	2	1	0.63	1.32E-06					
			ベアリング (走行10)	0.6	2	10	0.65	1.36E-05					
			回転ジョイント (走行1)	0.6	2	1	7.5	1.57E-05					
			パッキン	0.6	2	0	0.02	0					
		幅、曲がり、振れ 測定装置	幅、曲がり、振れ 測定装置	モータ (測定2)	19.2	67	2	4.45					0.000598
				シリンダ	19.2	67	0	0.008					0
				ギアボックス (測定2)	19.2	67	2	0.63					8.47E-05
				ベアリング (測定20)	19.2	67	20	0.65					0.000873
				回転ジョイント (測定2)	19.2	67	2	7.5					0.001008
				パッキン	19.2	67	0	0.02					0
外観検査装置	外観検査装置	モータ (走行2)	0.6	2	2	4.45	1.87E-05	8.01E-05					
		シリンダ	0	0	0	0.008	0						
		ギアボックス (走行2)	0.6	2	2	0.63	2.65E-06						
		ベアリング (走行20)	0.6	2	20	0.65	2.73E-05						
		回転ジョイント (走行2)	0.6	2	2	7.5	3.15E-05						
		パッキン	0	0	0	0.02	0						
幅、曲がり、振れ 測定用外観検査用 昇降装置	幅、曲がり、振れ 測定用外観検査用 昇降装置	モータ (昇降1)	22.5	79	1	4.45	0.00035	0.001605					
		シリンダ	0	0	0	0.008	0						
		ギアボックス (昇降1)	22.5	79	1	0.63	4.96E-05						
		ベアリング (昇降12)	22.5	79	12	0.65	0.000614						
		回転ジョイント (昇降1)	22.5	79	1	7.5	0.000591						
		パッキン	0	0	0	0.02	0						

表3.3.4-2 装置単体の停止時間(20/20)

*1) 保守・交換に要する平均修理時間(仮定)を示す。

装置名称	ユニット名称		部 位					故 障			保守・交換 時間 ^{*1)} 時間/日	装置単体の 停止時間 時間/年
	大分類	小分類	名称	動作時間		個数	故障率 回/10 ⁶ 時間	頻度 回/年	頻度小計 回/年	頻度合計 回/年		
				分/バッチ	時間/年							
集合体検査装置 続き	溶接ビート高さ 測定装置	溶接ビート高さ 測定用前後装置	モータ(走行1)	0.6	2	1	4.45	9.34E-06	0.00012			
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス(走行1)	0.6	2	1	0.63	1.32E-06				
			ハブ(走行10)	0.6	2	10	0.65	1.36E-05				
			回転ジョイント(走行1)	0.6	2	1	7.5	1.57E-05				
			パッキン	0	0	0	0.02	0				
		溶接ビート高さ 測定装置	モータ(測定2)	0.6	2	2	4.45	1.87E-05				
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス(測定2)	0.6	2	2	0.63	2.65E-06				
			ハブ(測定20)	0.6	2	20	0.65	2.73E-05				
			回転ジョイント(測定2)	0.6	2	2	7.5	3.15E-05				
			パッキン	0	0	0	0.02	0				
	溶接ビート高さ 測定用昇降装置	溶接ビート高さ 測定用昇降装置	モータ(昇降1)	1.2	4	1	4.45	1.87E-05	8.56E-05			
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス(昇降1)	1.2	4	1	0.63	2.65E-06				
			ハブ(昇降12)	1.2	4	12	0.65	3.28E-05				
			回転ジョイント(昇降1)	1.2	4	1	7.5	3.15E-05				
			パッキン	0	0	0	0.02	0				
	全長測定装置	全長測定回転装置	モータ(回転1)	0.4	1	1	4.45	6.23E-06	9.58E-05			
			シリンダ	0	0	0	0.008	0				
			ギアボックス(回転1)	0.4	1	1	0.63	8.82E-07				
			ハブ(回転6)	0.4	1	6	0.65	5.46E-06				
			回転ジョイント(回転1)	0.4	1	1	7.5	1.05E-05				
			パッキン	0	0	0	0.02	0				
回転台			0.4	1	1	0.99	1.39E-06					
全長測定昇降装置		モータ(昇降1)	1	3	1	4.45	1.56E-05					
		シリンダ	0	0	0	0.008	0					
		ギアボックス(昇降1)	1	3	1	0.63	2.2E-06					
		ハブ(昇降12)	1	3	12	0.65	2.73E-05					
		回転ジョイント(昇降1)	1	3	1	7.5	2.62E-05					
		パッキン	0	0	0	0.02	0					

3.4 安全に係わる検討

3.4.1 臨界安全に関する検討

3.4.1.1 臨界安全の基本的考え方

核燃料施設における臨界安全の基本は、低除染燃料を取扱う本燃料製造施設も含め、幾何学的な安全配置または他の適切な手段により、技術的に想定されるいかなる場合でも臨界を防止する対策が講じられなければならない。基本的には設計において臨界安全を担保し、製作、施工において設計上条件が満たされていることを確認し、運転において設計どおり臨界安全が維持されるように管理する。

臨界を防止する対策としては、核燃料物質及びその他の物質の組成、重量、物理的・化学的形態を考慮し、平常時ばかりではなく異常時も含めて核的に安全であることの確認、維持を行う必要がある。

3.4.1.2 燃料製造工程における臨界管理

(1) 燃料ピン及び燃料集合体製造工程の概略

振動充填燃料ピン製造工程及び燃料集合体製造工程の概略を以下に示す。

- ① ゲル化法により製造され、保管されている炉心燃料用燃料粒子 ($\text{PuO}_2\text{-UO}_2$) 及びブランケット燃料用燃料粒子 (UO_2) の定量を燃料供給ホッパにて受入れる。燃料粒子は大粒 (直径約 $800\ \mu\text{m}$) 及び小粒 (直径約 $80\ \mu\text{m}$) がある。
- ② 燃料粒子を燃料供給ホッパから燃料充填フィーダー及び燃料計量器を通して定量を燃料ピンへ装荷する。
- ③ 定量の燃料粒子が装荷された燃料ピンを、振動機により振動し、設計目標の充填率とする (約 85%)。
- ④ 燃料ピンへ内装物を装荷後、上部端栓を溶接する。燃料ピンへの封入ガスはヘリウムガス約 1 気圧とする。

- ⑤ 上部端栓を溶接した燃料ピンは、密度検査、除染及びヘリウムリーク検査が行われる。
- ⑥ ヘリウムリーク検査が終了した燃料ピンは、上部階セルへ移送され、端栓溶接部欠陥検査及びワイヤ巻付が行われる。
- ⑦ ワイヤ巻付後の各燃料ピンは種々の燃料ピン検査を実施し、その後、燃料集合体組立セルへ移送され燃料集合体に組み立てられ、その後集合体検査が行われる。

(2) 臨界安全評価工程

上記で示した全ての工程において、臨界安全が確保されなければならない。ここで、臨界管理上の工程管理区分を大別すると、

- ①燃料粒子受入工程から燃料供給ホッパによる振動装置への払い出し工程
- ②燃料供給ホッパから燃料粒子を燃料ピンへ充填する工程
- ③燃料粒子を燃料ピンへ充填した後からヘリウムリーク試験までの工程
- ④端栓部溶接部検査からワイヤ巻付工程
- ⑤燃料集合体組立工程
- ⑥燃料集合体検査工程

に分けることが出来る。①から②の工程では、燃料粒子を取扱う機器の設計において臨界安全を考慮した寸法形状とし、その上で工程毎に取り扱う粒子燃料の総量を求め臨界安全性を評価する必要がある。また、③以降の工程では、燃料ピン及び燃料集合体の寸法形状が決まっているため燃料ピン形状における臨界安全性の評価及び工程毎に取り扱う燃料ピンの総量を求め臨界安全性を評価することになる。この場合、各機器及び燃料ピンが、内的及び外的要因により破損した場合の臨界安全性についても考慮する必要がある。

(3) 臨界安全性評価方法及び評価結果

(i) 機器毎の臨界安全性

機器毎の臨界安全性については、平成 13 年度に調査・評価した結果を抜粋しながら以下に示す（抜粋部分の詳細は平成 13 年度報告書参照）¹⁾。

① 機器の臨界寸法

無限円筒の臨界直径について公開文献から推定した結果を以下に示す。

核燃料として PuO_2 を想定した場合の無限円筒直径の臨界計算結果例を図 3.4.1-1³⁾ に示す。

② 本燃料の PuO_2 密度

$$\text{PuO}_2 \text{ 密度} = \text{PuO}_2 \text{ 理論密度} \times \text{PuO}_2 \text{ 燃料密度} \times \text{充填率} \quad \dots (1)$$

振動充填前の機器で取扱う燃料粒子の PuO_2 密度は、(1) 式より、

$$\text{PuO}_2 \text{ 密度} = 11 (\text{g/cm}^3) \times 0.3 \times 0.5 = 1.65 (\text{g/cm}^3)$$

となる。

③ 本燃料の同位体組成

本燃料の組成を表 3.4.1-1（ケース 1：平衡組成燃料）及び表 3.4.1-2（ケース 2：軽水炉 MA 添加燃料）に示す。

④ 機器の臨界直径評価

本設計の評価においては、本燃料の組成を基に図 3.4.1-1 の C 線（ $\text{Pu239} : \text{Pu240} : \text{Pu241} = 90 : 10 : 0$ ）又は D 線（ $\text{Pu239} : \text{Pu240} : \text{Pu241} = 80 : 10 : 10$ ）を考慮する。

以上より、燃料粒子の取扱い機器（ PuO_2 密度 = 1.65g/cm^3 ）の燃料装荷部直径としては 15cm 以下を採用することで、臨界管理上、十分に安全である。

燃料ピン（ PuO_2 密度 = 2.805g/cm^3 ）は、内径が 7.5mm であることから、臨界管理上、十分に安全である。

また、燃料ピンマガジン（50 本の燃料ピン収納）については、下表に示すように燃

料ピン配置のピッチは燃料集合体より大きく、機器直径も燃料集合体より大きいことから燃料集合体の臨界安全性が確保されているので、燃料マガジンも臨界安全性は十分に確保されていると判断できる。

(ii) 工程毎の臨界安全性

工程毎に取り扱う総量（バッチ取扱量）を制限する。

図 3.3.1-2⁴⁾ に示した MOX の臨界質量を基に、本燃料の臨界質量を推算した結果を下表に示す。本燃料ピンの加工工程では、一度の取り扱う燃料ピンの数量は、50 本（または 100 本）を設定した。1 本の燃料ピンの中には炉心燃料として PuO₂ が約 0.42kg 装荷されており、50 本（または 100 本）取扱い時の燃料の総量は、約 21kg（又は 42kg）となる。下表より、臨界質量を 100kg とすると、万が一、何らかの内的・外的要因により 1 工程における機器が全て破損（燃料マガジンの破損及び燃料ピンからの燃料放出）し、燃料が 1 箇所集合したとしても臨界上は安全である。

臨界量検討結果 (MOX 燃料)

No.	MOX 燃料	臨界量 (外挿値)	安全係数 (0.43) を考慮した臨界量
1	PuO ₂ 富化度 : 17.0wt%	640 kg	270 kg
2	PuO ₂ 富化度 : 26.5wt%	320 kg	140 kg
(参考)	PuO ₂ 富化度 : 30.0wt%	250 kg	100 kg

(iii)セル内の臨界安全性

上記に示したように、機器毎に臨界安全性が保てること、及び仮に1工程が破損し次工程の燃料が集積した場合においても臨界にならない設計とした。しかし、本燃料製造製造システムはセル内に設置されることから、さらに多数の工程の燃料が集積する場合も考えられるため、異なる2つの系統(1系統不作動を考慮)により臨界防止を図るものとする。ここでは、燃料(放射性物質)の存在の有無を測定できる γ 線検出機器による系統と、コンベア等による装置の移動をカウントできる系統の2系統とし、どちらか1系統の異常により製造工程はインターロックより停止する。ここで、インターロックについても独立した2系統とする。これらの臨界防止の概念を下図(参考図)に示す。図は、セル内において、燃料が装荷されている製造装置をA、B、C、 γ 線検出機器を γ 1、 γ 2、 γ 3、機器移動カウント機器をC1、C2、C3としたものであり、 γ 線検出機器はインターロックXに、移動カウンター機器はインターロックYに接続されている。

仮に装置Bが破損した場合のインターロックの系統を以下に示すが、その他の場合においても同様である。

ここでは、さらに、臨界シャッター設置の考え方(例)及びセル内装置間距離の考え方についても示す。

① γ 線検出機器系統

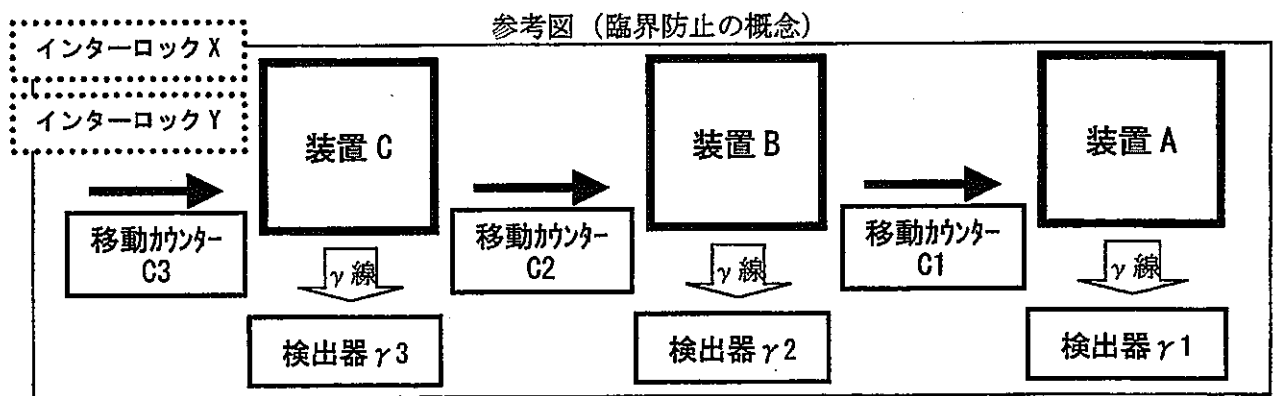
本系統は、移動先に γ 線源が無いことを確認するインターロックを設置する。装置Bの破損により検出器 γ 2は燃料の存在を確認しているため、インターロックXにより装置Cは装置Bへ移動できない。

②移動カウンター装置系統

本系統は、装置移動コンベアの移動回数をカウントし、移動先に装置が無いこと

を確認するインターロックを設置する。装置Bの破損によりカウンターC1は装置(燃料)の移動を確認していないため、インターロックYにより装置Cは装置Bへ移動できない。

以上のシステムを設置することにより、セル内の臨界安全性を確保する設計とする。



③臨界シャッター設置の考え方 (例)

以上に示したように、臨界安全については、各機器の臨界形状寸法により臨界防止の設計とするとともに、工程管理として移動する燃料(核分裂性物質)と核的制限値との比較により移動の可否を判断するインターロック制御等により臨界防止を図るものとした。上記の本検討では、2重の臨界防止システムを用いた自動検知及び自動操作による臨界防止対策(自動制御)の例を示した。

臨界管理については、上記に示した対策により十分と考えるが、臨界が生じる可能性をさらに小さくする臨界防止方法の追加例を以下に示す。ここでは、上記の自動制御による工程管理とは別に、人的判断による工程管理を追加する方法を示す。単一工程(装置)における燃料の取扱い量はあらかじめ決まっている(登録してあ

る)ので、各工程が連続している場合、核的制限値(臨界量)を超えない範囲で臨界シャッターを設けておくことが有効と考える。この臨界シャッターは自動制御(インターロック)とは別に物質移動量の計量管理により中央制御室において臨界シャッターを開ける最終的な信号、ここでは人間の「開」信号を出す、方法により燃料の移動を行うものとする。セル内における臨界シャッターの形状等については、燃料の移動経路を遮断する目的を達成できれば良いので、セル内を全面的に区切る必要はなく、例えば、移送台車やクレーンの移動経路に出し入れ可能な板等の設置により移送装置の移動を物理的に完全に止められる機能があれば十分である。

また、本検討内容は内側炉心燃料製造ライン及び外側燃料製造ラインについて別々に管理することにより、誤って移動する可能性がある燃料の移動を防止することにより規定量以上の燃料が工程内に蓄積することを防ぐことができる。

表 3.4.1-3 は、 PuO_2 燃料の取扱い量が多いため内側炉心燃料製造ラインについて、セル内臨界防止区分を考慮した臨界シャッターの設置位置例を示したものである。本設置位置例の検討に際しては、燃料集合体組立工程の前までは最大燃料取扱い量を考慮した場合でも前記(ii)に示した臨界量(安全係数を考慮した PuO_2 富化度 26.5wt%値: 140kg) *以下の制限とする。燃料集合体組立工程以降は燃料集合体を1単位として1単位を超えないように臨界シャッターを設けて臨界管理を行うものとする。

* 前記(ii)の単一製造設備においては参考値 30.0wt%の値(非常に保守側)と比較したが、ここでは、燃料ピン製造の全工程においてノミナル値 26.5wt%が大きく変動することは有り得ない(仮に大きく変動する場合は別仕様燃料)ことから、 PuO_2 富化度 26.5wt%値(140kg)と比較している。

上記の検討は燃料の処理量として(50t/y)の燃料製造施設の臨界シャッターの

設置位置例を示したが、さらに多量の燃料を同一セル内にて製造する施設（例：200t/y）の場合は臨界制限量との関連で臨界シャッターの設置数を増やす必要がある。

以上に示したように、臨界の可能性を少しでも小さくする1方法として、セル内に臨界シャッターを設置（手動運転）することは可能と考えられるが、本設備の設置は手動操作が入るため燃料製造の自動化・高効率化に対し相反する設計となる。また、現段階ではセル内の臨界を防止する本方法が最適かどうかの判断のための具体的判断基準が無いため、今後、実機の製造施設の建設時期までには多量の核燃料物質を取扱うセル内の臨界防止方法（特に自動運転化時の臨界防止方法）の整備が必要である。

④セル内装置間距離の考え方

核物質を取扱う場合の一般的な考え方として、セル内には種々の装置（機器）があり、装置が隣接して配置された場合、各機器の取扱い量によっては臨界を生じる可能性がある。ここでは、本設計のセル内装置間距離の検討根拠として、新燃料集合体一時貯蔵施設と比較し、臨界に対する安全性を示す。

再処理燃料製造プラント（施設）において、新燃料集合体一時貯蔵施設は、燃料ピンを多数束ねた燃料集合体を密に多数体配列する構造となっているため、燃料保持量及び集合体間距離の面で臨界安全上は非常に注意を要する環境にある。新燃料集合体一時貯蔵施設の基本仕様*¹を以下に示すとともに、本仕様において種々の水分密度をパラメータとして臨界安全（実効増倍率： K_{eff} ）を評価した計算例*²を図3.4.1-3に示す（12年度評価参照）

*1 燃料集合体一時貯蔵施設の基本仕様

- ・燃料集合体間ピッチ：750mm
- ・1燃料集合体の燃料ピン本数：271本（炉心燃料：約114kg）
- ・Pu 富化度：約30%（外側炉心燃料）

*2 臨界計算時使用断面積ライブラリ及び計算コード

SCALE 4 システム内蔵の CSRL27 群セット及び臨界安全解析シーケンス CSAS (BONAMI、NITAWL、KENO-V. a) を使用。

(その他、主な計算条件)

- ・燃料集合体は保守側に無限配列体系とする。
- ・燃料集合体部分は MOX 燃料、被覆管、及び水を核的に均質化する。

(燃料ピン 271 本分と等価な体積となる円柱に置き換えて計算)

- ・臨界上厳しい外側炉心燃料集合体のみ構成とする。

図 3.4.1-3 より、種々の空間水分密度においても臨界安全は確保されていることから、燃料の取扱い量が 1 燃料集合体（約 114kg）より小さい各燃料製造装置を一定間隔（ピッチ 750mm）以上に配置することにより臨界安全は確保されると判断できる。本設計における装置（機器）のうち、燃料の保持量が最大の機器は前記(ii)に示すように燃料ピンマガジンであり、その保持量は約 21kg（50 本保持の例）である。したがって、仮に、何らかの異常が重なり、装置が接近（接触）した場合においても臨界安全は十分に確保されているが、本設計においては、さらに臨界安全を考慮し、装置間距離として一律に 750mm 以上を基本とする。

(iv) 本設計における臨界安全性のまとめ

上記(i)～(iii)において検討した本燃料製造施設の臨界安全性の基本的な考え方を以下の表にまとめる。

本燃料製造施設の臨界安全性の基本的考え方のまとめ表

管理区分	管理方法	適用	備考
(1)形状管理	機器の形状寸法を制限	各機器及び機器配置に適用	・2重偶発性の原則を適用(2つの条件が独立かつ同時に異常となることがない限り臨界事故とならない)
(2)質量管理	取扱い量(バッチ量)を制限	安全係数を適用	
(3)工程管理	①自動工程管理 ・γ線検出による物質移動管理 ・移動カウンターによる物質移動管理	シーケンス制御及びインターロック制御を適用	
	(安全性の追加検討) ②人的工程管理 ・人的操作を伴う物質移動量制限	臨界シャッターの適用を検討	・前記管理に加え、さらなる安全性の追加を考慮する場合の検討。 ・人的工程管理の追加は、自動化及び効率化に相反する管理となるため、どの程度導入するかは、規準化を含め今後の検討。

3.4.2 崩壊熱に関する検討

(1) 低除染燃料の崩壊熱

振動充填燃料ピンの製造に使用する低除染燃料の崩壊熱を表3.4.1-1及び表3.4.1-2(前出)に示す。ケース1(平衡組成燃料)の場合(表3.4.1-1)とケース2(軽水炉MA添加燃料)の場合(表3.3.1-2)の崩壊熱を比較すると、HM(U+Pu+MA)合計及びFP(核分裂生成物)合計ともに後者の方が崩壊熱が大きく、その総計は $9.34 \times 10^3 \text{W/t}$ (MA1.2%)及び $1.35 \times 10^4 \text{W/t}$ (MA5%)である(外側炉心燃料)。

(2) 燃料への崩壊熱の影響

燃料への崩壊熱の影響については、平成13年度に調査・評価した結果を抜粋しながら以下に示す(抜粋部分の詳細は平成13年度報告書参照)¹⁾。

燃料のO/M(酸素/重金属)比は燃料の熱特性や機械特性へ影響を与える因子として燃料の物性上重要であり、低除染燃料はセル内で製造されることを前提にした場合、O/Mの安定化のためには、セル内雰囲気ガスを調整する方法と燃料ピン製造時の燃料最高温度を低く抑える方法が考えられる。

表3.4.2-1(1)(ケース1)及び表3.4.2-1(2)(ケース2)に燃料ピンの燃料粒子の最高温度(中心温度)と被覆管(SUS)内面温度の評価例(概略)を示す¹⁾。燃料粒子の最高温度は、振動充填前の粒子装荷時(充填率約50%仮定)において約31℃、振動充填後の粒子高密度充填時(充填率約85%仮定)においても約38℃であり、どちらも100℃(空気分雰囲気における燃料取扱い限界温度)以下に対し十分に低い値である。

(3) 機器への崩壊熱の影響

照射済み燃料を再処理して製作された粒子状燃料を振動充填法により燃料ピンを製作する燃料ピン製造工程及び燃料集合体製造工程を考える。ここで、崩壊熱が機器へ与

える影響を評価するためには、それぞれの工程において取り扱う燃料粒子の量及び機器の寸法・形状が重要である。

燃料ピン及び燃料集合体製造時の主な燃料取扱い工程及び機器を以下に示す。

- ① 再処理施設から燃料移送 (燃料供給ホッパ)
- ② 燃料ピンへの充填 (燃料供給ホッパ、燃料フィーダー)
- ③ 燃料振動充填 (燃料ピン、振動充填装置)
- ④ 上部端栓溶接 (燃料ピン、Heガス置換装置)
- ⑤ 燃料ピン検査 (燃料ピン、 γ 線検査装置、ヘリウムリーク検査装置、X線検査装置)
- ⑥ ワイヤ巻付 (燃料ピン、ワイヤ巻付装置)
- ⑦ 燃料ピン洗浄 (燃料ピン洗浄装置)
- ⑧ 燃料集合体組立 (燃料ピン、ラップ管、燃料集合体組立装置)
- ⑨ 燃料集合体検査 (燃料ピン、ラップ管、燃料集合体検査装置)

(i) 燃料集合体組立前の燃料ピン製造工程に関する評価

(a) 評価の概要

上記の各工程における燃料の取扱い量と機器の形状から機器の温度を評価する。機器及び燃料ピンの外側の雰囲気はほぼ一定温度 (例えば20℃) と仮定する。各種機器の温度評価上厳しくなるのは、燃料と直接的に接触している機器だけであり、振動充填装置、He置換装置、 γ 線検査装置、X線検査装置等は非接触であることから崩壊熱の影響は小さい。ただし、He置換装置については、燃料ピン内の温度が高いためHe封入圧の調整がやや困難になると考えられる。

したがって、機器構成部材の肉厚等の影響もあるが、基本的には燃料の取扱い量、すなわち燃料供給ホッパ及び燃料フィーダーの直径を制限することにより機器の温度を

制限できる。

本評価にあたっては、取扱い可能な燃料の最高温度として上記(2)で仮定した温度を用いた。すなわち、燃料の最高燃料は空気雰囲気セルを仮定した場合は100℃以下に、Arガス雰囲気セルなどを仮定した場合は200℃以下とし、機器の内径をパラメータとし、また、燃料と直接接触する機器の材質はステンレス (SUS) を用いると仮定した。

(b) 評価結果

表3.4.2-2 (1) (ケース1)、表3.4.2-2 (2) (ケース2) 及び図3.4.2-1 (ケース2の条件) に燃料取扱い機器 (ホップ等) の燃料装荷部直径 (内径) と機器温度の関係の概略評価例を示す¹⁾。表3.4.2-2 (2) より、空気雰囲気においては機器内面の最高温度は約87℃ (内径5cmの場合)、Arガス雰囲気においては約150度 (内径9cmの場合) であり、機器 (燃料供給ホップ、フィーダー) の内径を制約することにより崩壊熱に対し十分に耐熱性はあると判断できる。

ただし、本計算では、燃料の取扱い時の最高温度を制限して機器の内径を概略評価した場合であり、一つの機器の燃料取扱い量を制限することを意味しており、燃料ピンの必要な製造能力を考慮した機器の台数、処理速度を評価し設計を進める。

(ii) 燃料集合体組立工程及び燃料集合体検査工程に関する評価

(a) 評価の概要

燃料集合体の組立は、多数の燃料ピン (炉心燃料集合体: 271本、ブランケット燃料集合体: 169本) を正六角形に配置しラップ管内へ挿入する。この工程において、特に、炉心燃料集合体は各燃料ピンからの崩壊熱 (表3.4.1-1、表3.4.1-2) により燃料集合体は高温になる。燃料ピン単体としては燃料被覆管の最高温度は前記に示したように約38℃であり取扱いは容易であるが、燃料集合体組立時の最高温度は全燃料ピンがラップ

管に挿入された以降であり、燃料集合体製造機器及び取扱い機器については燃料集合体（ラッパ管）の最高温度を考慮した材料等を使用する必要がある。なお、ラッパ管内部（燃料集合体内部）の温度は多数の燃料ピンの発熱により高温になるが、機器とは直接接触しないこと及び高温になった場合においても燃料ピンへは問題ない（炉心装荷時よりは低い）ことから今回の評価の対象外とした。また、今回は概略温度評価による機器の成立性の検討を行うこととし、詳細な熱流動や熱拡散等は実施せずに集合体径方向1次元熱伝導を仮定した温度評価までとした。

(b) 評価結果

表3.4.2-3に、燃料集合体温度の評価例（概略）を示す。ラッパ管の表面温度は、約260°Cである。ラッパ管に直接に接する機器（保持部、取扱い部）の材質はステンレス鋼を使用する。ステンレス鋼の温度に対する機械的性質として、融点は高温の約1400°C程度であり、また、強度（引張強さ）は500°C付近までは高い値を維持している。ただし、それ以上の温度になると強度の低下が大きいので注意を要する。したがって、ラッパ管の表面温度（約260°C）を考慮するとラッパ管と接触する機器の材質をステンレス鋼とすることにより崩壊熱に対して十分に安全性は確保できる。他の非接触部位については空気の熱伝導度が非常に小さいことから崩壊熱の影響は小さいと考えられる。

燃料集合体検査工程に使用する機器についても、前記の燃料集合体組立工程と同様にラッパ管の表面温度は高温（約260°C）であるため、ラッパ管と接触する機器の材質はステンレス鋼を用いることとする。

3.4.3 耐震性、火災・爆発に関する検討

3.4.3.1 耐震性について

(1)耐震設計上の重要度分類

耐震設計上の重要度分類については、再処理施設の指針（指針 13）に制定されており本設計においても踏襲するものとする。表 3.4.3-1(1)に再処理施設安全審査指針における施設の耐震重要度分類を、図 3.4.3-1(2)に再処理施設の重要度分類の例を示す¹⁾。本燃料製造工程内の主要設備の耐震重要度分類については、明確なクラス分けは示されていないが、耐震クラスA（環境への影響、効果が大きいもの）は非密封の燃料を取扱う燃料ピン製造工程設備を、また、それ以外の設備は耐震クラスB（影響、効果が比較的小さいもの）の設備を想定するものとする。

燃料粒子の充填工程から燃料集合体検査工程までの各装置（機器）の具体的な分類例を以下に示す。

(i)耐震クラスAに分類されると想定される主な設備

- ・燃料粒子受入装置、・燃料ピンマガジン、・振動充填装置、
- ・スペーサ挿入装置、・端栓溶接装置

(ii)耐震クラスBに分類されと想定される主な設備

- ・密度測定装置、・除染装置、・ヘリウムリーク試験装置、・端栓溶接部検査装置、
- 燃料ピン総合検査装置、・燃料ピン洗浄装置、・燃料集合体組立装置、・燃料集合体検査装置

(2)設備の耐震性

上記に示した設備（装置）のうち、耐震クラスAに分類される装置について、以下に耐震性の検討を示す。ここで、振動充填燃料製造工程時の特有の主な装置は、燃料粒子充填時の燃料ピンマガジン、振動充填装置及びスペーサ挿入装置、端栓溶接装置であり、

これらの装置は燃料ピンを立てて取扱うことや装置の高さ寸法が大きく耐震上は注意を要する。前年度（平成 13 年度）は、振動充填特有の設備として、燃料ピンマガジン及びそれに保持されている燃料ピンが水平方向に大きな地震加速度（水平方向：10G）を受けた場合でも十分に健全性は保たれることを示した（表 3.4.3-2 及び表 3.4.3-3 参照：詳細は平成 13 年度報告書参照）¹⁾。その他の機器・設備については、細部の技術開発は必要であるが基本的な機能・構造は現行に存在する機器・設備の延長上にあり、従来の耐震性を確保する設計を行うことは十分に可能であると考えられる。

ここで、耐震設計として、地震時に設備の転倒防止を検討する必要がある。転倒防止方法としては、装置を床にボルト締めする方法が一般的であり、ここでは特に縦長（重心位置が高い）の装置となるスペーサ挿入装置を例に、どの程度の据付ボルト強度（本数等）が必要かを概略計算し、耐震上の健全性を評価する。

計算においては耐震上厳しくなるように、燃料ピンマガジンを保持した状態（燃料ピンマガジン重量を含める）とし、重心位置も設備の中心（実際は燃料ピンマガジンは下部に位置する）とし、水平方向加速度は 10G を想定した。表 3.4.3-4 に、設備重量、設備の重心位置、ボルト間距離、ボルトサイズ、ボルト本数等の入力値と単純化した仮想的なモデルを作成し計算した評価結果を示す。評価においてはせん断力と引抜き力を評価し材料の降伏応力と比較した。表 3.4.3-4 に示すように、せん断応力及び引抜き応力ともに材料の許容応力（降伏応力）より小さいことから、ボルトの強度は問題なく健全性は保たれる。このように、本設備は、従来の技術の延長上として、適切な据付方法（据付ボルト仕様、本数等）を選択することにより、地震時においても健全性（設備の転倒防止等）は確保できると考えられる。

3.4.3.2 火災・爆発について

(1) 火災・爆発の可能性

燃料粒子の製造工程までにおいては、水素ガス、有機溶媒、硝酸アンモニウム等の火災・爆発に対する危険物質を取扱う工程があるが、燃料粒子製造後の振動充填方法による燃料製造ピン製造及びその後の燃料集合体組立・検査工程では、火災・爆発を誘引する直接の物質・要因は見当たらない。具体的には、3.1項で示した燃料ピン製造セル（燃料粒子装荷装置、振動充填装置、等）、燃料ピン検査セル（端栓溶接部検査装置、燃料ピン総合検査装置、等）及び燃料集合体組立・検査セル（燃料集合体組立装置、等）において、可燃性物質や爆発性物質の使用は無い。また、化学的な危険性としては、長期間の使用や放置の状態においても物質の変質や濃縮等もないため自然発火や爆発の可能性も非常に小さい。

さらに、詳細に可燃物をリストアップする場合、各種塗料、グリース、パッキン及び計器内の可燃物も含まれるが、これらは一般に少量であること及び総熱放出量に対しその影響が小さいことから、一般的には可燃物の物量としての評価は無視される。また、各種ケーブルについても難燃性ケーブル又は延焼防止剤が塗布されているケーブルを用いることとする。

上記のように、本工程では火災・爆発の可能性は極めて小さいと考えられるが、モータの故障時等の発熱、電気火災、燃料の発熱による火災の可能性はゼロには出来ないため、火災・爆発に対する予防は十分に行う必要がある。

(2) 火災・爆発の予防及び対策

火災・爆発の対策として、全ての機器について不燃性又は難燃性の材料の使用を原則とする。可燃性物質等を取扱う機器は着火源の原則排除、可燃性物質の漏洩防止対策、混入防止対策を講じるものとする。

本工程では、特に、燃料粒子は発熱物資であることから、燃料粒子が著しく集合しないように機器の構造を設計する必要がある。ただし、本燃料ピン製造工程においては、3.4.2項に示したように燃料粒子の酸化を防止する観点から、燃料粒子の発熱による最高温度を100℃以下（または200℃以下）となるように各機器を設計することにより、火災・爆発の予防は十分に確保されていると考えられる。しかし、予期できない原因による万一の火災時には、火災の拡大を防止するために、適切な検知・警報システム及び消火設備を設ける。

ここで、火災が発生した場合は、消火設備としては、臨界の観点より水の使用は好ましくないため、基本的には二酸化炭素消火方式や乾燥砂を用いることとする。なお、具体的な消火設備の規模や設置場所は、建屋全体及びセル全体を考慮した防火区域の設定や火災影響評価と関連付けて評価される項目である。

表3.4.1-1 各新燃料トンHM当りのHMおよびFP(ケース1:平衡組成燃料)

	内側炉心燃料/富化度 21.10%			外側炉心燃料/富化度 24.90%			ブランケット燃料		
	重量,kg	崩壊熱,W	放射能,Bq	重量,kg	崩壊熱,W	放射能,Bq	重量,kg	崩壊熱,W	放射能,Bq
U234	3.34E-02	6.04E-03	7.71E+09	3.17E-02	5.73E-03	7.32E+09	4.28E-02	7.74E-03	9.89E+09
U235	1.47E+00	0.00E+00	1.17E+08	1.39E+00	0.00E+00	1.11E+08	1.88E+00	0.00E+00	1.50E+08
U236	2.36E-01	3.18E-04	5.64E+08	2.24E-01	3.02E-04	5.36E+08	3.02E-01	4.08E-04	7.24E+08
U238	7.77E+02	6.87E-03	9.67E+09	7.38E+02	6.33E-03	9.17E+09	9.97E+02	8.56E-03	1.24E+10
U合計	7.79E+02	1.30E-02	1.81E+10	7.39E+02	1.24E-02	1.71E+10	9.99E+02	1.67E-02	2.32E+10
Pu238	2.56E+00	1.45E+03	1.62E+15	3.02E+00	1.71E+03	1.91E+15	1.37E-02	7.77E+00	8.68E+12
Pu239	1.28E+02	2.45E+02	2.95E+14	1.51E+02	2.89E+02	3.48E+14	6.85E-01	1.31E+00	1.58E+12
Pu240	6.49E+01	4.81E+02	5.49E+14	7.66E+01	5.44E+02	6.48E+14	3.47E-01	2.47E+00	2.94E+12
Pu241	8.04E+00	2.57E+01	3.07E+16	9.48E+00	3.03E+01	3.62E+16	4.30E-02	1.37E-01	1.84E+14
Pu242	7.52E+00	8.49E-01	1.06E+12	8.88E+00	1.00E+00	1.25E+12	4.03E-02	4.54E-03	5.69E+09
Pu合計	2.11E+02	2.18E+03	3.31E+16	2.49E+02	2.58E+03	3.91E+16	1.13E+00	1.17E+01	1.77E+14
Np237	7.37E-01	1.68E-02	1.92E+10	8.70E-01	1.98E-02	2.27E+10	3.94E-03	8.97E-05	1.03E+08
Am241	4.84E+00	5.52E+02	6.14E+14	5.71E+00	6.51E+02	7.24E+14	2.59E-02	2.95E+00	3.28E+12
Am242m	1.98E-01	7.61E-01	7.13E+13	2.34E-01	8.97E-01	8.41E+13	1.06E-03	4.07E-03	3.81E+11
Am243	2.05E+00	1.31E+01	1.51E+13	2.42E+00	1.55E+01	1.79E+13	1.10E-02	7.04E-02	8.10E+10
Cm242	7.62E-04	1.06E+02	1.06E+14	8.98E-04	1.25E+02	1.25E+14	4.08E-06	5.66E-01	5.66E+11
Cm243	2.06E-02	3.93E+01	3.97E+13	2.43E-02	4.63E+01	4.69E+13	1.10E-04	2.10E-01	2.13E+11
Cm244	1.72E+00	4.87E+03	5.16E+15	2.03E+00	5.75E+03	6.08E+15	9.21E-03	2.61E+01	2.76E+13
Cm245	3.44E-01	1.98E+00	2.19E+12	4.06E-01	2.31E+00	2.58E+12	1.84E-03	1.05E-02	1.17E+10
MA合計	9.91E+00	5.59E+03	6.00E+15	1.17E+01	6.59E+03	7.08E+15	5.30E-02	2.99E+01	3.21E+13
HM合計	1.00E+03	7.77E+03	3.91E+16	1.00E+03	9.17E+03	4.62E+16	1.00E+03	4.16E+01	2.09E+14
H	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Li	3.81E-09	0.00E+00	0.00E+00	3.07E-09	0.00E+00	0.00E+00	7.86E-09	0.00E+00	0.00E+00
Be	1.45E-09	3.39E-11	1.04E+03	1.17E-09	2.74E-11	8.43E+02	3.00E-09	7.00E-11	2.15E+03
C	2.56E-10	3.33E-10	4.21E+04	2.06E-10	2.69E-10	3.40E+04	5.28E-10	6.87E-10	8.70E+04
Co	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Ni	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Cu	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Zn	4.82E-13	0.00E+00	0.00E+00	3.89E-13	0.00E+00	0.00E+00	9.96E-13	0.00E+00	0.00E+00
Ga	6.01E-11	0.00E+00	0.00E+00	4.85E-11	0.00E+00	0.00E+00	1.24E-10	0.00E+00	0.00E+00
Ge	1.04E-05	0.00E+00	0.00E+00	8.38E-06	0.00E+00	0.00E+00	2.14E-05	0.00E+00	0.00E+00
As	3.11E-06	0.00E+00	0.00E+00	2.51E-06	0.00E+00	0.00E+00	6.42E-06	0.00E+00	0.00E+00
Se	3.73E-04	8.95E-07	1.33E+08	3.01E-04	7.23E-07	1.08E+08	7.71E-04	1.85E-06	2.75E+08
Br	1.16E-04	0.00E+00	0.00E+00	9.34E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.39E-04	0.00E+00	0.00E+00
Kr	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Rb	2.02E-03	1.02E-10	4.53E+03	1.63E-03	8.26E-11	3.86E+03	4.17E-03	2.11E-10	9.35E+03
Sr	4.27E-03	3.80E-01	1.21E+13	3.45E-03	3.07E-01	9.75E+12	8.82E-03	7.84E-01	2.49E+13
Y	9.35E-01	1.82E+00	1.21E+13	1.10E+00	1.47E+00	9.79E+12	4.97E-03	3.74E+00	2.49E+13
Zr	2.49E-02	5.58E-08	4.95E+08	2.01E-02	4.49E-08	4.00E+08	5.14E-02	1.15E-05	1.02E+09
Nb	3.82E-08	9.30E-06	1.98E+08	3.08E-08	7.51E-06	1.80E+08	7.89E-08	1.92E-05	4.10E+08
Mo	3.02E-02	0.00E+00	0.00E+00	2.44E-02	0.00E+00	0.00E+00	6.25E-02	0.00E+00	0.00E+00
Tc	7.48E-03	6.34E-05	4.68E+09	6.03E-03	5.12E-05	3.78E+09	1.54E-02	1.31E-04	9.66E+09
Ru	2.79E-02	2.07E-02	1.29E+13	2.25E-02	1.67E-02	1.04E+13	5.76E-02	4.28E-02	2.66E+13
Rh	8.23E-03	3.34E+00	1.29E+13	6.85E-03	2.70E+00	1.04E+13	1.70E-02	6.90E+00	2.66E+13
Pd	2.45E-02	1.29E-07	8.09E+07	1.98E-02	1.04E-07	6.54E+07	5.08E-02	2.66E-07	1.67E+08
Ag	2.25E-03	2.65E-02	5.92E+10	1.81E-03	2.14E-02	4.78E+10	4.64E-03	5.47E-02	1.22E+11
Cd	2.09E-03	1.88E-03	4.12E+10	1.69E-03	1.52E-03	3.33E+10	4.32E-03	3.88E-03	8.52E+10
In	9.92E-05	6.40E-13	7.78E+00	8.01E-05	5.17E-13	6.28E+00	2.05E-04	1.32E-12	1.61E+01
Sn	1.77E-03	9.83E-05	2.85E+09	1.43E-03	7.94E-05	2.30E+09	3.66E-03	2.03E-04	5.89E+09
Sb	4.35E-04	2.38E-01	2.81E+12	3.51E-04	1.92E-01	2.27E+12	8.99E-04	4.91E-01	5.80E+12
Te	6.11E-03	1.58E-02	8.86E+11	4.94E-03	1.26E-02	5.54E+11	1.26E-02	3.22E-02	1.42E+12
I	3.29E-03	1.95E-07	1.56E+07	2.68E-03	1.57E-07	1.28E+07	6.79E-03	4.03E-07	3.22E+07
Xe	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Os	3.50E-02	3.86E+00	4.33E+13	2.83E-02	3.12E+00	3.49E+13	7.24E-02	7.97E+00	8.94E+13
Ba	1.54E-02	3.30E+00	3.10E+13	1.24E-02	2.68E+00	2.50E+13	3.17E-02	6.81E+00	6.40E+13
La	1.11E-02	2.64E-15	1.33E-02	8.98E-03	2.13E-15	1.08E-02	2.30E-02	5.45E-15	2.75E-02
Ce	2.01E-02	8.95E-02	4.99E+12	1.62E-02	7.23E-02	4.03E+12	4.15E-02	1.85E-01	1.03E+13
Pr	1.04E-02	9.93E-01	5.05E+12	8.38E-03	8.02E-01	4.08E+12	2.14E-02	2.05E+00	1.04E+13
Nd	6.20E-02	1.21E-39	5.17E-01	5.01E-02	9.75E-40	4.17E-01	1.28E-01	2.49E-39	1.07E+00
Pm	2.08E-02	6.93E+00	7.14E+14	2.44E-02	8.12E+00	8.36E+14	1.10E-03	3.66E-01	3.77E+13
Sm	1.24E+00	4.10E-01	1.29E+14	1.46E+00	4.82E-01	1.52E+14	2.21E-02	7.28E-03	2.29E+12
Eu	2.89E-01	1.30E+02	1.24E+15	3.41E-01	1.54E+02	1.47E+15	2.21E-03	9.96E-01	9.50E+12
Gd	4.85E-01	1.31E-02	5.36E+11	5.72E-01	1.55E-02	6.32E+11	2.59E-03	7.01E-05	2.87E+09
Tb	2.83E-02	7.55E-05	3.44E+08	3.34E-02	8.91E-05	4.08E+08	1.52E-04	4.04E-07	1.84E+06
Dy	2.79E-02	0.00E+00	0.00E+00	3.30E-02	0.00E+00	0.00E+00	1.50E-04	0.00E+00	0.00E+00
Ho	6.73E-04	2.13E-04	7.12E+08	7.94E-04	2.51E-04	8.40E+08	3.60E-06	1.14E-06	3.81E+06
Er	9.35E-04	0.00E+00	0.00E+00	1.10E-03	0.00E+00	0.00E+00	5.00E-06	0.00E+00	0.00E+00
Tm	5.26E-07	3.63E-07	3.55E+07	6.20E-07	4.29E-07	4.19E+07	2.81E-09	1.94E-09	1.90E+05
Yb	1.87E-07	0.00E+00	0.00E+00	2.20E-07	0.00E+00	0.00E+00	9.98E-10	0.00E+00	0.00E+00
FP合計	3.33E+00	1.52E+02	2.22E+15	3.81E+00	1.74E+02	2.57E+15	6.53E-01	3.04E+01	3.34E+14
総計	1.00E+03	7.92E+03	4.14E+16	1.00E+03	9.34E+03	4.87E+16	1.00E+03	7.20E+01	5.44E+14

表3.4.1-2 各新燃料トンHM当りのHMおよびFP(ケース2:軽水炉MA添加燃料)

	内側炉心燃料/富化度 21.10%			外側炉心燃料/富化度 24.90%			ブランケット燃料		
	質量.kg	崩壊熱.W	放射能.Bq	質量.kg	崩壊熱.W	放射能.Bq	質量.kg	崩壊熱.W	放射能.Bq
U234	3.17E-02	5.73E-03	7.32E+09	3.00E-02	5.43E-03	6.94E+09	4.28E-02	7.74E-03	9.89E+09
U235	1.39E+00	0.00E+00	1.11E+08	1.32E+00	0.00E+00	1.06E+08	1.88E+00	0.00E+00	1.50E+08
U238	2.23E-01	3.02E-04	5.36E+08	2.12E-01	2.86E-04	5.08E+08	3.02E-01	4.08E-04	7.24E+08
U238	7.37E+02	6.33E-03	9.17E+09	6.99E+02	6.01E-03	8.70E+09	9.97E+02	8.56E-03	1.24E+10
U合計	7.39E+02	1.24E-02	1.71E+10	7.01E+02	1.17E-02	1.63E+10	9.99E+02	1.67E-02	2.32E+10
Pu238	2.56E+00	1.45E+03	1.62E+15	3.02E+00	1.71E+03	1.91E+15	1.37E-02	7.77E+00	8.68E+12
Pu239	1.28E+02	2.45E+02	2.95E+14	1.51E+02	2.89E+02	3.48E+14	6.85E-01	1.31E+00	1.58E+12
Pu240	6.49E+01	4.61E+02	5.49E+14	7.66E+01	5.44E+02	6.48E+14	3.47E-01	2.47E+00	2.94E+12
Pu241	8.04E+00	2.57E+01	3.07E+16	9.48E+00	3.03E+01	3.62E+16	4.30E-02	1.37E-01	1.64E+14
Pu242	7.52E+00	8.49E-01	1.06E+12	8.88E+00	1.00E+00	1.28E+12	4.03E-02	4.54E-03	5.69E+09
Pu合計	2.11E+02	2.18E+03	3.31E+16	2.49E+02	2.58E+03	3.91E+16	1.13E+00	1.17E+01	1.77E+14
Np237	1.43E+01	3.25E-01	3.74E+11	1.39E+01	3.15E-01	3.62E+11	3.94E-03	8.97E-05	1.03E+08
Am241	2.67E+01	3.04E+03	3.38E+15	2.66E+01	3.03E+03	3.38E+15	2.59E-02	2.95E+00	3.28E+12
Am242m	2.14E-01	8.21E-01	7.89E+13	2.49E-01	9.55E-01	8.95E+13	1.06E-03	4.07E-03	3.81E+11
Am243	5.88E+00	3.77E+01	4.34E+13	6.08E+00	3.90E+01	4.49E+13	1.10E-02	7.04E-02	8.10E+10
Cm242	7.99E-04	1.11E+02	1.11E+14	9.35E-04	1.30E+02	1.30E+14	4.08E-06	5.86E-01	5.68E+11
Cm243	2.70E-02	5.16E+01	5.22E+13	3.05E-02	5.82E+01	5.88E+13	1.10E-04	2.10E-01	2.13E+11
Cm244	2.33E+00	6.60E+03	6.98E+15	2.61E+00	7.40E+03	7.83E+15	9.21E-03	2.61E+01	2.76E+13
Cm245	5.19E-01	2.96E+00	3.30E+12	5.74E-01	3.27E+00	3.64E+12	1.84E-03	1.05E-02	1.17E+10
MA合計	5.00E+01	9.85E+03	1.07E+16	5.00E+01	1.07E+04	1.15E+16	5.30E-02	2.99E+01	3.21E+13
HM合計	1.00E+03	1.20E+04	4.38E+16	1.00E+03	1.32E+04	5.06E+16	1.00E+03	4.16E+01	2.09E+14
H	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Li	3.49E-09	0.00E+00	0.00E+00	2.77E-09	0.00E+00	0.00E+00	7.86E-09	0.00E+00	0.00E+00
Be	1.33E-09	3.11E-11	9.57E+02	1.06E-09	2.47E-11	7.60E+02	3.00E-09	7.00E-11	2.15E+03
C	2.34E-10	3.05E-10	3.86E+04	1.86E-10	2.42E-10	3.07E+04	5.28E-10	6.87E-10	8.70E+04
Co	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Ni	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Cu	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Zn	4.42E-13	0.00E+00	0.00E+00	3.51E-13	0.00E+00	0.00E+00	9.96E-13	0.00E+00	0.00E+00
Ga	5.51E-11	0.00E+00	0.00E+00	4.37E-11	0.00E+00	0.00E+00	1.24E-10	0.00E+00	0.00E+00
Ge	9.52E-06	0.00E+00	0.00E+00	7.56E-06	0.00E+00	0.00E+00	2.14E-05	0.00E+00	0.00E+00
As	2.85E-06	0.00E+00	0.00E+00	2.28E-06	0.00E+00	0.00E+00	6.42E-06	0.00E+00	0.00E+00
Se	3.42E-04	8.21E-07	1.22E+08	2.72E-04	6.52E-07	9.70E+07	7.71E-04	1.85E-06	2.75E+08
Br	1.06E-04	0.00E+00	0.00E+00	8.42E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.39E-04	0.00E+00	0.00E+00
Kr	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Rb	1.85E-03	9.38E-11	4.15E+03	1.47E-03	7.45E-11	3.30E+03	4.17E-03	2.11E-10	9.35E+03
Sr	3.92E-03	3.48E-01	1.11E+13	3.11E-03	2.78E-01	8.79E+12	8.82E-03	7.84E-01	2.49E+13
Y	1.23E+01	6.57E+00	4.39E+13	1.20E+01	6.02E+00	4.02E+13	4.97E-03	3.74E+00	2.49E+13
Zr	2.28E-02	5.10E-06	4.55E+08	1.81E-02	4.05E-06	3.61E+08	5.14E-02	1.15E-05	1.02E+09
Nb	3.50E-08	8.53E-06	1.82E+08	2.78E-08	6.77E-06	1.44E+08	7.89E-08	1.92E-05	4.10E+08
Mo	2.78E-02	0.00E+00	0.00E+00	2.20E-02	0.00E+00	0.00E+00	6.25E-02	0.00E+00	0.00E+00
Tc	6.84E-03	5.82E-05	4.29E+09	5.43E-03	4.62E-05	3.41E+09	1.54E-02	1.31E-04	9.66E+09
Ru	2.56E-02	1.90E-02	1.18E+13	2.03E-02	1.51E-02	9.37E+12	5.76E-02	4.28E-02	2.66E+13
Rh	7.55E-03	3.06E+00	1.18E+13	5.99E-03	2.43E+00	9.37E+12	1.70E-02	6.90E+00	2.66E+13
Pd	2.25E-02	1.18E-07	7.42E+07	1.78E-02	9.39E-08	5.89E+07	5.06E-02	2.66E-07	1.67E+08
Ag	2.06E-03	2.43E-02	5.43E+10	1.64E-03	1.93E-02	4.31E+10	4.64E-03	5.47E-02	1.22E+11
Cd	1.92E-03	1.72E-03	3.78E+10	1.52E-03	1.37E-03	3.00E+10	4.32E-03	3.88E-03	8.52E+10
In	9.10E-05	5.87E-13	7.13E+00	7.22E-05	4.66E-13	5.66E+00	2.05E-04	1.32E-12	1.61E+01
Sn	1.62E-03	9.02E-05	2.61E+09	1.29E-03	7.16E-05	2.08E+09	3.66E-03	2.03E-04	5.89E+09
Sb	3.99E-04	2.18E-01	2.58E+12	3.17E-04	1.73E-01	2.04E+12	8.99E-04	4.91E-01	5.80E+12
Te	5.61E-03	1.43E-02	6.29E+11	4.45E-03	1.13E-02	4.99E+11	1.26E-02	3.22E-02	1.42E+12
I	3.02E-03	1.79E-07	1.43E+07	2.39E-03	1.42E-07	1.14E+07	6.79E-03	4.03E-07	3.22E+07
Xe	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Os	3.22E-02	3.54E+00	3.97E+13	2.55E-02	2.81E+00	3.15E+13	7.24E-02	7.97E+00	8.94E+13
Ba	1.41E-02	3.03E+00	2.84E+13	1.12E-02	2.40E+00	2.26E+13	3.17E-02	6.81E+00	6.40E+13
La	1.02E-02	2.42E-15	1.22E-02	8.09E-03	1.92E-15	9.70E-03	2.30E-02	5.45E-15	2.75E-02
Ce	1.84E-02	8.21E-02	4.58E+12	1.46E-02	6.52E-02	3.63E+12	4.15E-02	1.85E-01	1.03E+13
Pr	9.52E-03	9.11E-01	4.63E+12	7.55E-03	7.23E-01	3.68E+12	2.14E-02	2.05E+00	1.04E+13
Nd	5.69E-02	1.11E-39	4.74E-01	4.51E-02	8.79E-40	3.78E-01	1.28E-01	2.49E-39	1.07E+00
Pm	2.09E-02	6.98E+00	7.16E+14	2.45E-02	8.15E+00	8.39E+14	1.10E-03	3.66E-01	3.77E+13
Sm	7.58E+00	6.03E-01	1.90E+14	7.53E+00	6.68E-01	2.10E+14	2.21E-02	7.28E-03	2.29E+12
Eu	2.30E+00	2.21E+02	1.65E+15	2.26E+00	2.41E+02	1.88E+15	2.21E-03	9.98E-01	9.50E+12
Gd	4.76E+00	1.31E-02	5.36E+11	4.67E+00	1.55E-02	6.32E+11	2.59E-03	7.01E-05	2.87E+09
Tb	9.29E-02	7.55E-05	3.44E+08	9.52E-02	8.91E-05	4.06E+08	1.52E-04	4.04E-07	1.84E+08
Dy	8.28E-02	0.00E+00	0.00E+00	6.63E-02	0.00E+00	0.00E+00	1.50E-04	0.00E+00	0.00E+00
Ho	4.51E-03	1.22E-03	4.09E+09	4.48E-03	1.22E-03	4.07E+09	3.80E-06	1.14E-06	3.81E+08
Er	2.28E-03	0.00E+00	0.00E+00	2.39E-03	0.00E+00	0.00E+00	5.00E-06	0.00E+00	0.00E+00
Tm	4.74E-06	3.65E-07	3.59E+07	4.65E-06	4.30E-07	4.23E+07	2.81E-09	1.94E-09	1.90E+05
Yb	4.95E-06	0.00E+00	0.00E+00	4.78E-06	0.00E+00	0.00E+00	9.98E-10	0.00E+00	0.00E+00
FP合計	2.74E+01	2.47E+02	2.72E+15	2.69E+01	2.65E+02	3.04E+15	6.53E-01	3.04E+01	3.34E+14
総計	1.03E+03	1.23E+04	4.65E+16	1.03E+03	1.35E+04	5.37E+16	1.00E+03	7.20E+01	5.44E+14

表 3.4.1-3 セル内燃料保持量と臨界防止区分例（内側炉心燃料製造ラインの例）

セル	装置	燃料取扱形態	最大取扱量 (kg)/装置	台数	最大取扱量	臨界防止区分 (kg) (例 <140kg)
(燃料粒子製造セル)						(燃料粒子受入)
燃料ピン製造セル	燃料受入装置(炉心燃料)	保管筒 (Φ5cm、L200cmの場合) (ρ 11g/cm ³ 、充填率0.5) (大粒用1本、小粒用1本)	44	1	44	66
	燃料供給ホツパ	ホツパ (大: Φ5cm、L30cmの場合) (小: Φ3cm、L30cmの場合) (ρ 11g/cm ³ 、充填率0.5) (大径5本、小径5本)	22	1	22	
	燃料ピンマガジン(ピン保持、移送)	・燃料ピンマガジン (1台、50本/1台、0.42kg/1本) (2F検査セルへの燃料ピン移送台 :50本/1台、0.42kg/1本) ・燃料ピン一時保管棚(2F検査セル への燃料ピン移送台)	21	5	105	臨界シャッター①
燃料ピン検査セル	燃料ピン一時保管棚	燃料ピン (燃料ピン移送台2台分:100本分) (0.42kg/1本)	42	1	42	126
	X線検査装置	燃料ピン(燃料ピン移送パレット:25本分) (0.42kg/1本)	10.5	1	10.5	
	ワイヤ巻付装置	燃料ピン(燃料ピン移送パレット:25本分) (0.42kg/1本)	10.5	1	10.5	
	燃料ピン総合検査装置	燃料ピン(燃料ピン移送パレット:25本分) (0.42kg/1本)	10.5	1	10.5	
	燃料ピン洗浄装置	燃料ピン(燃料ピン移送パレット:25本分) (0.42kg/1本)	10.5	1	10.5	
	燃料ピン一時保管棚	燃料ピン (燃料ピン移送台2台分:100本分)	42	1	42	
燃料集合体組立セル	燃料ピン一時保管棚	燃料ピン移送台 6台分(50本/1台):300本分、 0.42kg/1本 (1集合体ピン本数:271本)	126	1	126	臨界シャッター②
	燃料集合体組立装置	燃料ピン (271本、0.42kg/1本)	114	1	114	臨界シャッター③
燃料集合体検査セル	集合体検査装置	燃料ピン (271本、0.42kg/1本)	114	1	114	臨界シャッター④
(燃料集合体一時貯蔵セル)						(払い出し)

*1 臨界シャッター開閉例：臨界シャッター②開 → 燃料(燃料ピン移送台)を2Fへ → 臨界シャッター②閉 → 臨界シャッター①開。(他の臨界シャッターの開閉も同様)

表3.4.2-1(1) 低除染燃料を充填した燃料ピンの温度評価
(ケース1:平衡組成燃料)

	記号	単位	振動充填前	振動充填後	備考
			(顆粒装荷時:充填率50%を仮定)	(高密度充填時:充填率85%を仮定)	
密度(理論密度11×充填率)	ρ	g/cm ³	5.5	9.35	
被覆管外径	d2	cm	0.85	0.85	
被覆管外半径	r2	cm	0.425	0.425	
燃料直径(被覆管内径)	d1	cm	0.75	0.75	
燃料半径(被覆管内半径)	r1	cm	0.375	0.375	
被覆管肉厚	t	cm	0.05	0.05	
評価単位長さ	L	cm	1	1	
質量(評価単位長さ当り)	w	kg	0.002430	0.004131	
発熱量(単位質量当り)	q0	W/kgHM	9.34	9.34	(JNC提示値)
発熱量(評価単位長さ当り)	q	W	0.022695	0.038581	
放熱面積(被覆管外表面)	A	cm ²	2.670354	2.670354	
(被覆管表面総括熱伝達係数)	h0	(kcal/m ² h°C)	10	10	参考文献4
被覆管表面総括熱伝達係数	h	W/cm ² °C	0.001163	0.001163	
燃料熱伝導度	$\lambda 1$	W/cm°C	0.01	0.02	参考文献5
被覆管熱伝導度	$\lambda 2$	W/cm°C	0.135	0.135	参考文献6
セル内温度	T3	°C	20	20	
被覆管外面温度	T2	°C	27.308	32.423	下示評価式参照 (参考文献7)
被覆管内面温度	T1	°C	27.311	32.429	
燃料中心温度	T0	°C	27.492	32.582	

温度評価前提条件

- (1) 燃料ピン径方向一次元熱伝導を仮定する(軸方向の伝熱は考慮しない)。
(2) 温度計算式を以下に示す(各記号の意味は上記表を参照)。

$$T2 = q / (2 \times \pi \times r2 \times L \times h) + T3$$

$$T1 = q \times \{ \ln(r2/r1) \} / (2 \times \pi \times L \times \lambda 2) + T2$$

$$T0 = Q \times r1 \times r1 / (4 \times \lambda 1) + T1, \quad Q = q / (\pi \times r1 \times r1 \times L)$$

表3.4.2-1(2) 低除染燃料を充填した燃料ピンの温度評価
(ケース2:軽水炉MA添加燃料)

	記号	単位	振動充填前 (顆粒装荷時:充填率50%を仮定)	振動充填後 (高密度充填時:充填率85%を仮定)	備考
密度(理論密度11×充填率)	ρ	g/cm ³	5.5	9.35	
被覆管外径	d2	cm	0.85	0.85	
被覆管外半径	r2	cm	0.425	0.425	
燃料直径(被覆管内径)	d1	cm	0.75	0.75	
燃料半径(被覆管内半径)	r1	cm	0.375	0.375	
被覆管肉厚	t	cm	0.05	0.05	
評価単位長さ	L	cm	1	1	
質量(評価単位長さ当り)	w	kg	0.002430	0.004131	
発熱量(単位質量当り)	q0	W/kgHM	13.5	13.5	(JNC提示値)
発熱量(評価単位長さ当り)	q	W	0.032803	0.055764	
放熱面積(被覆管外表面)	A	cm ²	2.670354	2.670354	
(被覆管表面総括熱伝達係数)	h0	(kcal/m ² h°C)	10	10	参考文献4
被覆管表面総括熱伝達係数	h	W/cm ² °C	0.001163	0.001163	
燃料熱伝導度	$\lambda 1$	W/cm°C	0.01	0.02	参考文献5
被覆管熱伝導度	$\lambda 2$	W/cm°C	0.135	0.135	参考文献6
セル内温度	T3	°C	20	20	
被覆管外面温度	T2	°C	30.562	37.956	
被覆管内面温度	T1	°C	30.567	37.964	下示評価式参照 (参考文献7)
燃料中心温度	T0	°C	30.826	38.186	

温度評価前提条件

- (1) 燃料ピン径方向一次元熱伝導を仮定する(軸方向の伝熱は考慮しない)。
(2) 温度計算式を以下に示す(各記号の意味は上記表を参照)。

$$T2 = q / (2 \times \pi \times r2 \times L \times h) + T3$$

$$T1 = q \times \{ \ln(r2/r1) \} / (2 \times \pi \times L \times \lambda 2) + T2$$

$$T0 = Q \times r1 \times r1 / (4 \times \lambda 1) + T1, \quad Q = q / (\pi \times r1 \times r1 \times L)$$

表3.4.2-2(1) 低除染燃料取扱い機器の内面温度評価
(ケース1:平衡組成燃料)

セル内想定雰囲気ガス	記号	単位	空気雰囲気 燃料最高温度(<100°Cの場合)			N ₂ 、Arガス等雰囲気 燃料最高温度(<200°Cの場合)			備考
			4	5	6	8	9	10	
機器(ホッパ等)内径 (パラメータサーベイ)	d1	cm	4	5	6	8	9	10	
機器(ホッパ等)内半径	r1	cm	2	2.5	3	4	4.5	5	
機器(ホッパ等)外径	d2	cm	5	6	7	9	10	11	
機器(ホッパ等)外半径	r2	cm	2.5	3	3.5	4.5	5	5.5	
機器(ホッパ等)肉厚	t	cm	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	(仮定)
密度(理論密度11×充填率)	ρ	g/cm ³	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	充填率50%を仮定
評価単位長さ	L	cm	1	1	1	1	1	1	
質量(評価単位長さ当り)	w	kg	0.069115	0.107992	0.155509	0.276460	0.349895	0.431969	
発熱量(単位質量当り)	q0	W/kgHM	9.34	9.34	9.34	9.34	9.34	9.34	(JNC提示値)
発熱量(評価単位長さ当り)	q	W	0.645534	1.008648	1.452453	2.582138	3.268018	4.034590	
放熱面積(機器外表面)	A	cm ²	15.707963	18.849556	21.991149	28.274334	31.415927	34.557519	
(機器表面総括熱伝達係数)	h0	(kcal/m ² h°C)	10	10	10	10	10	10	参考文献4
機器表面総括熱伝達係数	h	W/cm ² °C	0.001163	0.001163	0.001163	0.001163	0.001163	0.001163	
燃料熱伝導度	λ1	W/cm°C	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	参考文献5
機器材質の熱伝導度(SUS)	λ2	W/cm°C	0.135	0.135	0.135	0.135	0.135	0.135	参考文献6
セル内温度	T3	°C	20	20	20	20	20	20	
機器(ホッパ等)外面温度	T2	°C	55.336	66.011	76.790	98.525	109.445	120.387	下示評価式参照 (参考文献7)
機器(ホッパ等)内面温度	T1	°C	55.506	66.227	77.054	98.883	109.851	120.840	
燃料中心温度(最高温度)	T0	°C	60.643	74.251	88.613	119.431	135.957	152.947	

温度評価前提条件

(1)燃料ピン径方向一次元熱伝導を仮定する(軸方向の伝熱は考慮しない)。

(2)温度計算式を以下に示す(各記号の意味は上記表を参照)。

$$T_2 = q / (2 \times \pi \times r_2 \times L \times h) + T_3$$

$$T_1 = q \times \{ \ln(r_2 / r_1) \} / (2 \times \pi \times L \times \lambda_2) + T_2$$

$$T_0 = Q \times r_1 \times r_1 / (4 \times \lambda_1) + T_1, \quad Q = q / (\pi \times r_1 \times r_1 \times L)$$

表3.4.2-2(2) 低除染燃料取扱い機器の内面温度評価
(ケース2: 軽水炉MA添加燃料)

セル内想定雰囲気ガス	記号	単位	空気雰囲気 燃料最高温度(<100°Cの場合)			N2、Arガス等雰囲気 燃料最高温度(<200°Cの場合)			備考
			4	5	6	8	9	10	
機器(ホッパ等)内径 (パラメータサーベイ)	d1	cm	4	5	6	8	9	10	
機器(ホッパ等)内半径	r1	cm	2	2.5	3	4	4.5	5	
機器(ホッパ等)外径	d2	cm	5	6	7	9	10	11	
機器(ホッパ等)外半径	r2	cm	2.5	3	3.5	4.5	5	5.5	
機器(ホッパ等)肉厚	t	cm	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	(仮定)
密度(理論密度11×充填率)	ρ	g/cm ³	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	充填率50%を仮定
評価単位長さ	L	cm	1	1	1	1	1	1	
質量(評価単位長さ当り)	w	kg	0.069115	0.107992	0.155509	0.276460	0.349895	0.431969	
発熱量(単位質量当り)	q0	W/kgHM	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	(JNC提示値)
発熱量(評価単位長さ当り)	q	W	0.933053	1.457895	2.099369	3.732212	4.723581	5.831581	
放熱面積(機器外表面)	A	cm ²	15.707963	18.849556	21.991149	28.274334	31.415927	34.557519	
(機器表面総括熱伝達係数)	h0	(kcal/m ² h°C)	10	10	10	10	10	10	参考文献4
機器表面総括熱伝達係数	h	W/cm ² °C	0.001163	0.001163	0.001163	0.001163	0.001163	0.001163	
燃料熱伝導度	λ1	W/cm°C	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	参考文献5
機器材質の熱伝導度(SUS)	λ2	W/cm°C	0.135	0.135	0.135	0.135	0.135	0.135	参考文献6
セル内温度	T3	°C	20	20	20	20	20	20	
機器(ホッパ等)外面温度	T2	°C	71.075	86.504	102.085	133.500	149.283	165.099	
機器(ホッパ等)内面温度	T1	°C	71.320	86.817	102.466	134.018	149.870	165.754	下示評価式参照 (参考文献7)
燃料中心温度(最高温度)	T0	°C	78.745	98.419	119.172	163.718	187.459	212.160	

温度評価前提条件

- (1) 燃料ピン径方向一次元熱伝導を仮定する(軸方向の伝熱は考慮しない)。
- (2) 温度計算式を以下に示す(各記号の意味は上記表を参照)。

$$T2 = q / (2 \times \pi \times r2 \times L \times h) + T3$$

$$T1 = q \times \{ \ln(r2/r1) \} / (2 \times \pi \times L \times \lambda 2) + T2$$

$$T0 = Q \times r1 \times r1 / (4 \times \lambda 1) + T1, Q = q / (\pi \times r1 \times r1 \times L)$$

表 3.4.2-3 燃料集合体の温度評価(ラッパ管位置)

	記号	単位	燃料集合体(ラッパ管位置) (ケース1:平衡組成燃料)	燃料集合体(ラッパ管位置) (ケース2:軽水炉MA添加燃料)	備考
ラッパ管外対面幅	r2	cm	16.99	16.99	
ラッパ管内対面幅	r1	cm	16.12	16.12	
ラッパ管肉厚	t	cm	0.435	0.435	
燃料ピン本数(集合体当り)	n	本	271	271	
燃料ピン密度(理論密度11×充填率)	ρ	g/cm ³	9.35	9.35	
燃料ピン被覆管内径	d1	cm	0.75	0.75	
評価単位長さ	L	cm	1	1	
質量(評価単位長さ当り)	w	kg	1.119421	1.119421	
発熱量(単位質量当り)	q0	W/kgHM	9.34	13.5	(JNC提示値)
発熱量(評価単位長さ当り)	q	W	10.455389	15.112179	
放熱面積(ラッパ管外表面:評価長)	A	cm ²	53.375659	53.375659	
(ラッパ管表面総括熱伝達係数)	h0	(kcal/m ² h°C)	10	10	参考文献4
ラッパ管表面総括熱伝達係数	h	W/cm ² °C	0.001163	0.001163	
SUS熱伝導度(ラッパ管)	$\lambda 2$	W/cm°C	0.135	0.135	参考文献6
セル内温度	T3	°C	20	20	
ラッパ管外面温度	T2	°C	188.429	263.447	下示評価式参照 (参考文献7)
ラッパ管内面温度	T1	°C	189.077	264.383	

温度評価前提条件

- (1)ラッパ管径方向一次元熱伝導を仮定する(軸方向の伝熱は考慮しない)。
- (2)ラッパ管は円筒(r1:内径、r2:外径)を仮定する(右図)。
- (3)ラッパ管内の発熱は均一を仮定する(全ピンの総燃料が均一分布)。
- (4)温度計算式を以下に示す(各記号の意味は上記表を参照)。

$$T2 = q / (2 \times \pi \times r2 \times L \times h) + T3$$

$$T1 = q \times \{\ln(r2/r1)\} / (2 \times \pi \times L \times \lambda 2) + T2$$

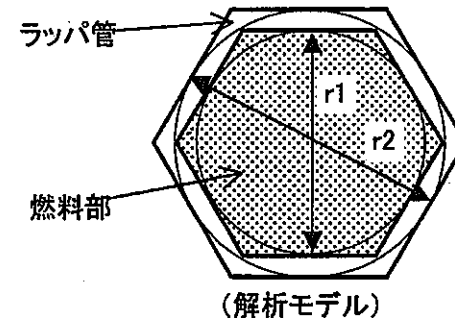


表3.4.3-1 (1) 再処理施設安全審査指針における施設の重要度分類

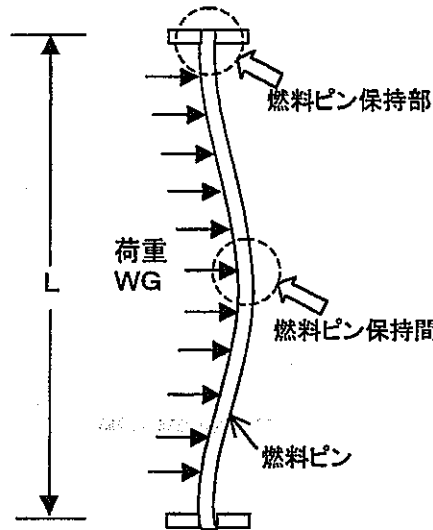
分類	指 針 内 容	
	機 能 上 の 分 類	ク ラ ス 別 施 設
Aクラス	以下の機能を有する施設であって、環境への影響、効果の大きいもの ①自ら放射性物質を内蔵しているか又は内蔵している施設に直接関係しており、その機能喪失により、放射性物質を外部に放散する可能性のあるもの ②放射性物質を外部に放散する可能性のある事態を防止するために必要なもの ③上記のような事故発生の際に、外部に放散される放射性物質による影響を低減させるために必要なもの	1) その破損又は機能喪失により臨界事故を起こすおそれのある施設 2) 使用済燃料を貯蔵するための施設 3) 高レベル放射性液体廃棄物を内蔵する系統及び機器並びにその冷却系統 4) プルトニウムを含む溶液を内蔵する系統及び機器 5) 上記3)及び4)の系統及び機器から放射性物質が漏洩した場合に、その影響の拡大を防止するための施設 6) 上記3)、4)及び5)に関連する施設で放射性物質の外部に対する放散を抑制するための施設 7) 上記1)～6)の施設の機能を確保するために必要な施設 上記Aクラスの施設のうち、特に重要と判断される施設を限定してA _s クラスの施設と呼称する。
Bクラス	上記において影響、効果が比較的小さいもの	1) 放射性物質の外部に対する放散を抑制するための施設でAクラス以外の施設 2) 放射性物質を内蔵している施設であって、Aクラス以外の施設(ただし内蔵量が少ないか又は貯蔵方式により、その破損により一般公衆に与える放射線の影響が十分小さいものは除く。)
Cクラス	Aクラス、Bクラス以外であって、一般産業施設と同等の安全性を保持すればよいもの	上記A、Bクラスに属さない施設

表3.4.3-1 (2) 再処理施設の重要度分類の例

耐震クラス	耐震機能分類
Aクラス	①その破損または機能喪失により臨界事故を起こすおそれのある施設
	②使用済燃料を貯蔵するための施設 ・使用済燃料受入れ設備の燃料取出し設備
	③高レベル放射性廃棄物を内蔵する系統及び機器 ・高レベル放射性廃棄物を内蔵する機器のうち、安全上重要な施設 ・廃棄物処理工程のガラス溶融炉
	④プルトニウムを内蔵する系統及び機器 ・プルトニウムを内蔵する機器のうち安全上重要な施設
	⑤上記③及び④の系統及び機器から放射性物質が漏洩した場合に、その影響の拡大を防止するための施設 ・A _s 、Aクラス設備を収納するセル等
	⑥上記③～⑤に関連する施設で放射性物質の外部に対する放散を抑制するための施設 ・A _s 、Aクラス機器の廃ガス処理施設のうち、安全上重要な施設 ・Aクラスのセル等の換気設備のうち安全上重要な施設 ・主排気筒およびその排気モニタ
	⑦上記①～⑥の施設の機能を確保するために必要な施設 ・非常用所内電源系統 ・安全冷却水系 ・安全保護系、保護動作を行う機器 ・計測制御系統設備等に係る安全上重要な施設の内、地震後においても、その機能が継続して必要な施設
	⑧その他の施設 ・その機能喪失により臨界に至る可能性のある計測制御系統施設に係る安全上重要な施設はA _s クラスとする。あるいは検出器の故障を検知し警報を発する故障警報及び工程停止のための系統をA _s クラスとする。 ・中央制御室換気設備 ・しゃへい設備のうち安全上重要な施設
Bクラス	①放射性物質を内蔵している施設であって、Aクラス以外の施設（ただし内蔵量が少ないかまたは貯蔵方式により、その破損により一般公衆に与える放射線の影響が十分小さいものは除く） ・高レベル廃物を内蔵する設備のうち、ガラス固化設備の機器 ・プルトニウムを含む粉体を内蔵する設備。ただし、密封状態のプルトニウム粉体を取扱う機器は除く ・ウランを内蔵する機器。ただし、密封状態のウラン粉体を取扱う機器は除く ・低レベル廃液処理設備（洗濯廃液、床ドレンの一部、手洗いドレン、空調ドレンに係る設備を除く） ・低レベル固体廃棄物処理設備 ・分析設備
	②放射性物質の外部に対する放散を抑制するための施設でAクラス以外の施設 ・Bクラスの設備を収納するセル等 ・Bクラスのセル等の換気設備のうち、セル等から排風機を経てダンパまでの範囲
	③その他の施設 ・放射性物質を取扱うクレーン、台車等の移送機器、検査装置、切断装置等の装置類。ただし、以下を除く。 ・放射性物質の環境への放出のおそれがない移送機器および装置類 ・放射能濃度が非常に低いか、または内蔵量が非常に小さいものを取扱う移送機器および装置類 ・主要な遮断設備
Cクラス	A, Bクラスに属さない施設

表3.4.3-2 地震時燃料ピン発生応力評価

項目	単位	評価				備考
		1	3	5	10	
地震時加速度(パラメータ)	G					水平方向
被覆管外径	mm	8.5	8.5	8.5	8.5	
被覆管内径	mm	7.5	7.5	7.5	7.5	
燃料粒子充填率	-	0.85	0.85	0.85	0.85	
被覆管密度	g/mm ³	8	8	8	8	
燃料密度	g/mm ³	11	11	11	11	
燃料ピン保持間隔	mm (L)	1000	1000	1000	1000	
被覆管質量(保持間隔当り)	g	100.53	100.53	100.53	100.53	
燃料質量(保持間隔当り)	g	413.07	413.07	413.07	413.07	
燃料ピン重量(保持間隔当り)	kg (W)	0.51	0.51	0.51	0.51	
被覆管断面係数	mm ³ (Z)	23.75	23.75	23.75	23.75	
発生応力(燃料ピン保持部)	kg/mm ²	1.80	5.41	9.01	18.02	下示評価式参照
発生応力(燃料ピン保持間中央部)	kg/mm ²	0.90	2.70	4.51	9.01	下示評価式参照
降伏応力	kg/mm ²	約25~30				参考文献8
引張り強さ	kg/mm ²	約60~75				参考文献8



・発生応力計算条件

燃料ピンを両端固定のはりと考え、水平方向加速度により等分布荷重が付加される仮定する。

(1) 燃料ピン保持部

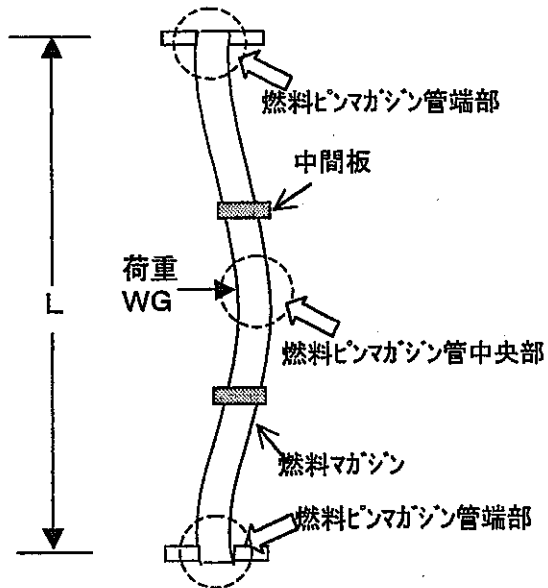
$$\text{発生応力} = L \times W \times G / 12 \times Z$$

(2) 燃料ピン保持間中央部

$$\text{発生応力} = L \times W \times G / 24 \times Z$$

表3.4.3-3 地震時燃料ピンマガジン管発生応力評価

項目	単位	評価				備考
		1	3	5	10	
地震時加速度(パラメータ)	G					水平方向
燃料ピンマガジン管外径	mm	500	500	500	500	
燃料ピンマガジン管内径	mm	490	490	490	490	
燃料ピンマガジン管密度	g/mm ³	8	8	8	8	
燃料ピンマガジン管保持間隔	mm (L)	3140	3140	3140	3140	
燃料ピンマガジン管質量(保持間隔当り)	kg	195.32	195.32	195.32	195.32	
燃料ピン質量(保持間隔当り)	kg	50.00	50.00	50.00	50.00	1kg/1本×50本分
中間板質量	kg	100.00	100.00	100.00	100.00	2個分
燃料ピンマガジン質量(保持間隔当り)	kg (W)	345.32	345.32	345.32	345.32	
燃料ピンマガジン管断面係数	mm ³ (Z)	952686.01	952686.01	952686.01	952686.01	
発生応力(燃料ピンマガジン管中間部、端部)	kg/mm ²	0.14	0.43	0.71	1.42	下示評価式参照
降伏応力	kg/mm ²	約25~30				参考文献8
引張り強さ	kg/mm ²	約60~75				参考文献8



・発生応力計算条件

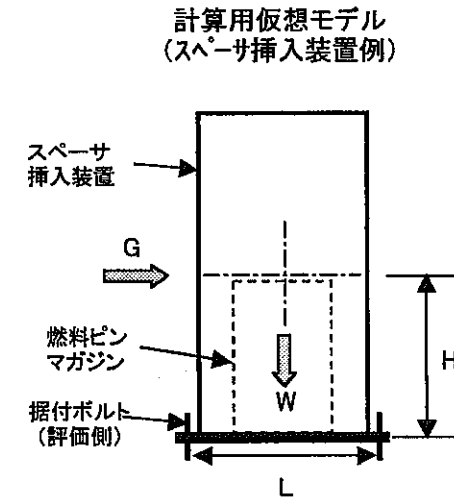
燃料ピンマガジンを両端固定のはりと考え、水平方向加速度により荷重が中央部に付加される仮定する。
荷重は、燃料ピンマガジン管、中間板、燃料ピンの合計質量とする。

(1) 燃料マガジン管中央部及び端部

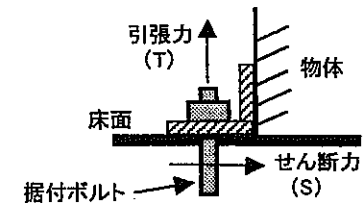
$$\text{発生応力} = L \times W \times G / 8 \times Z$$

表3.4.3-4 設備の耐震性評価例

	記号	単位	スペーサ挿入装置の例	備考
地震加速度	G	G	10	(水平方向)
設備重量(kg)	W	kg	2100	
(機器・架台重量(kg))	-	(kg)	1500	
(マガジン重量(kg))	-	(kg)	600	
重心位置	H	mm	3350	(高さ中心)
ボルト間距離	L	mm	2600	
ボルトサイズ(直径)	-	mm	30	(仮定)
ボルト断面積	A	mm ² /本	707	
評価側ボルト本数(1面)	n	本	4	(仮定)
総ボルト本数 (n×4面)	N	本	16	
ボルト材質	-	-	SUS	
材料の降伏応力	F	kg/mm ²	20	(設計値)
(2) 据付ボルトの引張応力評価				
(a)ボルト1本に作用する引張力	T	kg/本	6764	右示評価式参照
(b)発生する引張応力	σ_t	kg/mm ²	10	右示評価式参照
(c)許容引張応力	F _t	kg/mm ²	13	右示評価式参照
(d)評価結果	$\sigma_t < F_t$			
(1) 据付ボルトのせん断力評価				
(a)ボルト1本に作用するせん断力	S	kg	21000	右示評価式参照
(b)発生するせん断応力	σ_s	kg/mm ²	1.9	右示評価式参照
(c)許容せん断応力	F _s	kg/mm ²	7.7	右示評価式参照
(d)評価結果	$\sigma_s < F_s$			



(記号説明補助図)



(評価式説明)

• $T = (G \times W \times H) / (L \times n)$

• $\sigma_t = T / A$

• $F_t = F / 1.5$

(参考文献:原子力設備の技術規準参照)

• $S = G \times W$

• $\sigma_s = F_s / (A \times N)$

• $F_s = F / (1.5 \times \sqrt{3})$

(参考文献:原子力設備の技術規準参照)

「PNC TN1410 96-074 MOX 取扱施設臨界安全
ガイドブック 1996年11月 動力炉・核燃料開発
事業団」より抜粋

PuO₂無限円筒直径 - PuO₂密度

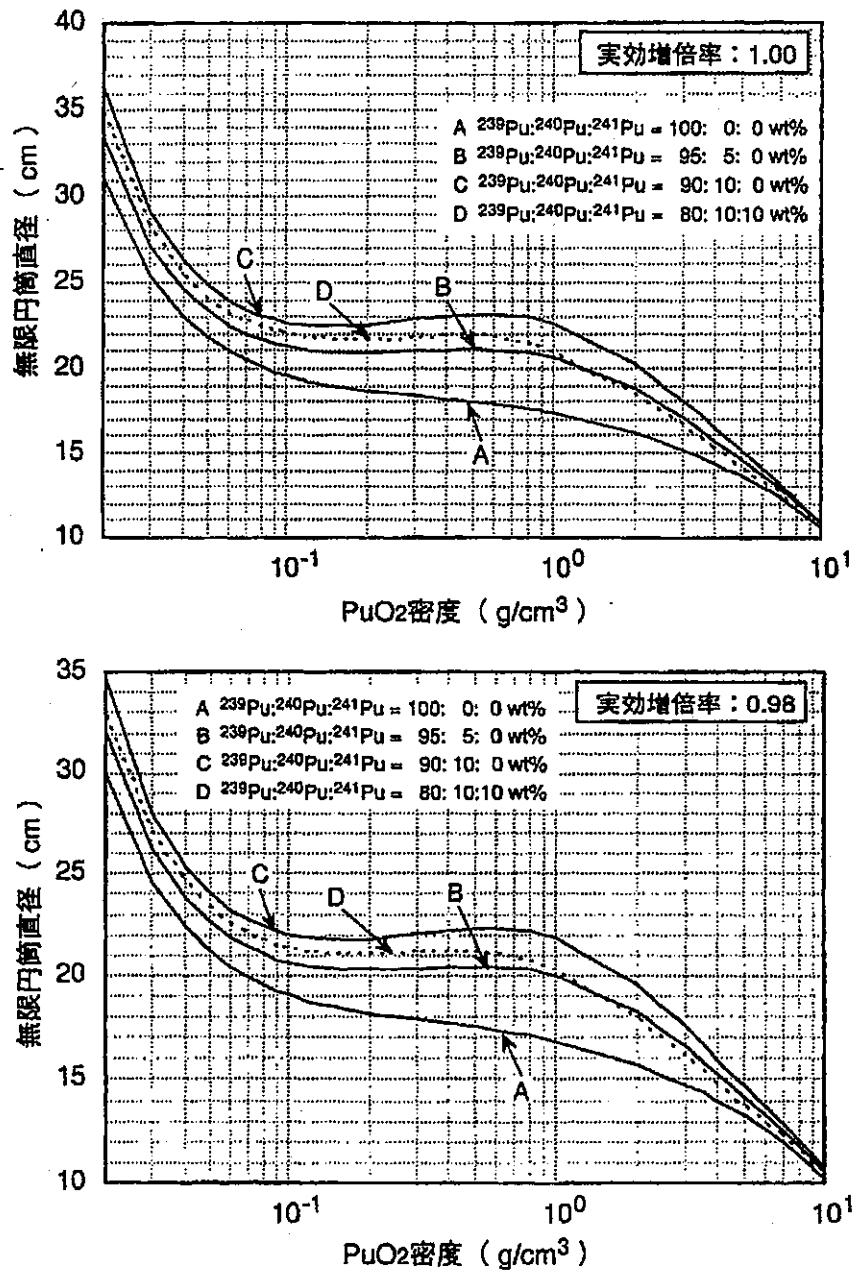


図 3.4.1-1 PuO₂無限円筒直径: Pu 同位体組成の効果

減速条件 ボイドなし、反射条件 水反射体 2.5 cm

「PNC TN1410 96-074 MOX 取扱施設臨界安全
ガイドブック 1996 年 11 月 動力炉・核燃料開発
事業団」より抜粋

MOX質量 - MOX密度

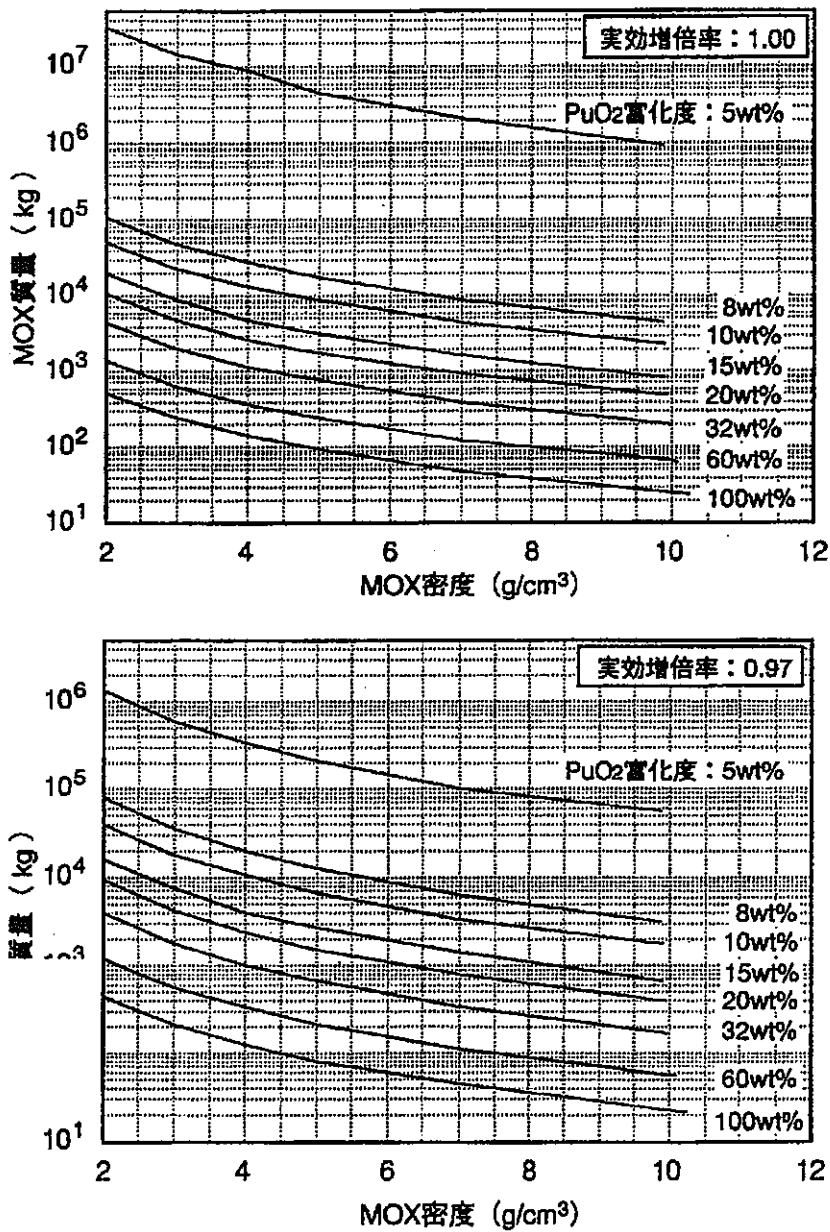


図 3.4.1-2 MOX質量 : PuO₂ 富化度の効果

²³⁵U濃縮度 0.711 wt%, ²³⁹Pu : ²⁴⁰Pu : ²⁴¹Pu = 71 : 17 : 12 wt%,
減速条件 水分含有率 1%, 反射条件 水反射体2.5cm

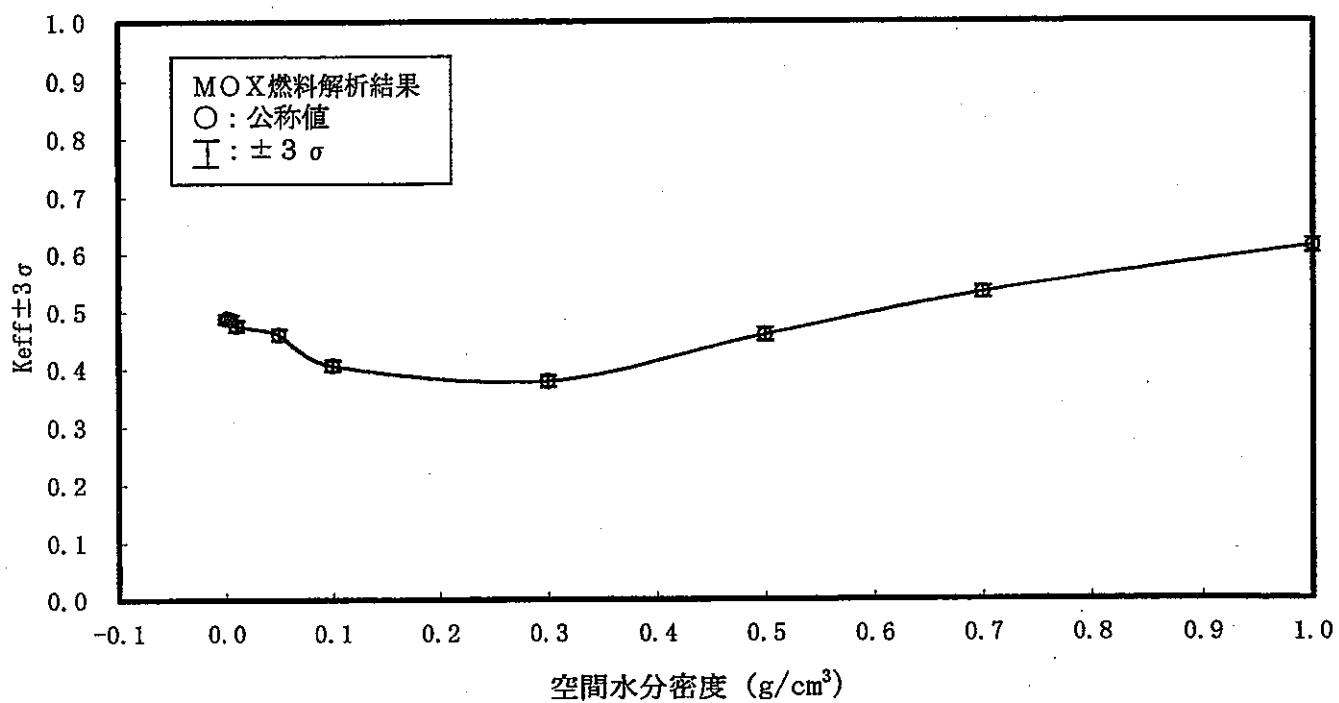


图 3.4.1-3 臨界計算結果 (燃料集合体一時貯蔵施設)

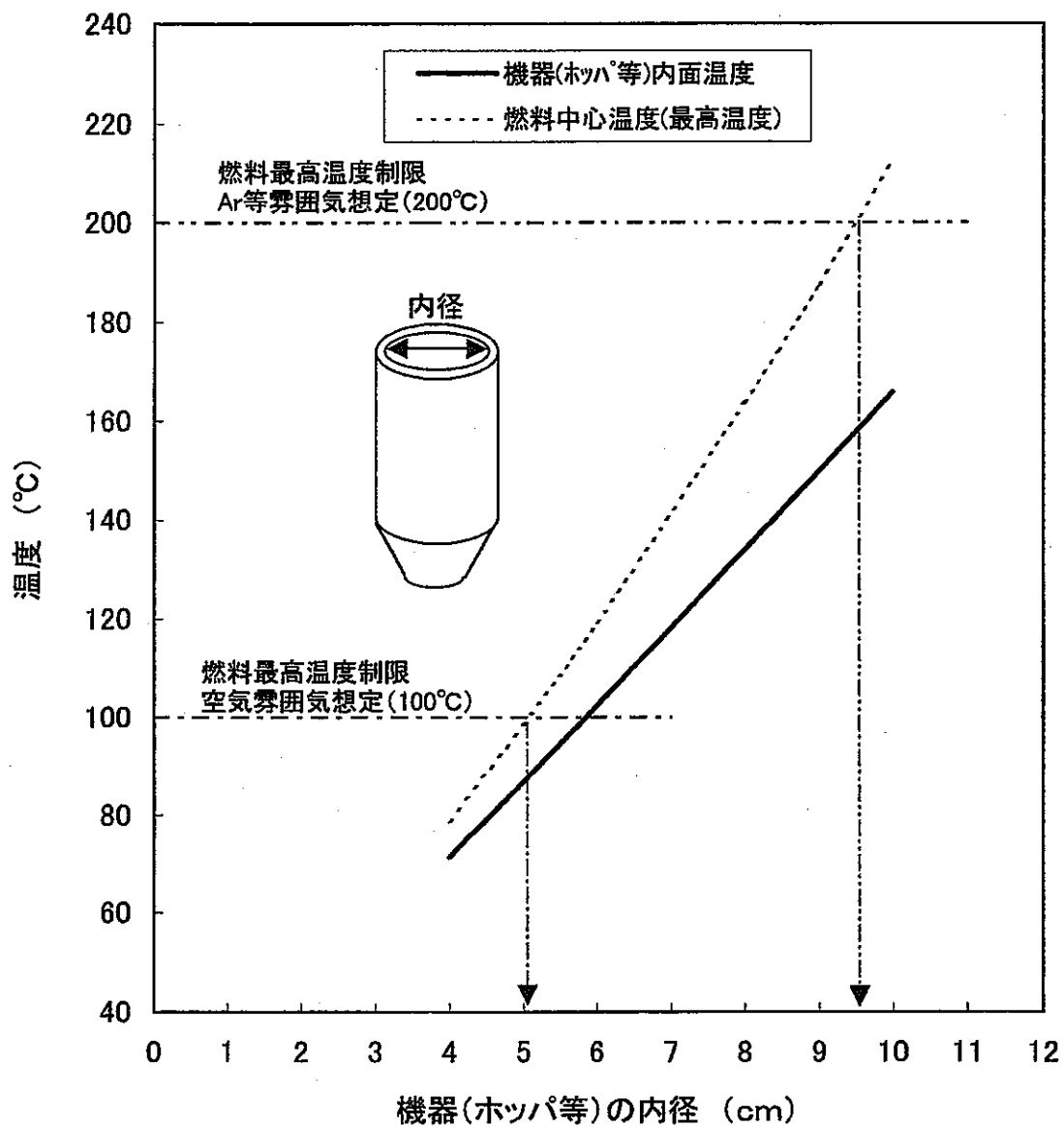


図3.4.2-1 機器の内径と燃料温度及び機器内面温度の関係

3.5 品質保証方法及び計量管理の検討

3.5.1 品質保証方法

(1) 原子燃料の品質管理の基本

燃料の品質管理の目的は、燃料破損を生じないため設計仕様に合致する製品を保証することにある。燃料製造フローにおいては各工程毎に検査が行われるが、この中で重要度の高い製品の特性については100%検査（全数検査）が行われる。各工程における検査については、工程毎、製品毎について、何を、どのような方法で検査するかを明確にし適切な管理を定める必要がある。

(2) 原子燃料の品質保証指針

燃料の製造における品質保証においても、原子力発電所において適用される（社）日本電気協会発行の JEAG4101「原子力発電所のための品質保証指針」が適用される。なお、国内においては、軽水炉燃料製造メーカーが本指針に準拠した品質保証を実施しており、核燃料サイクル開発機構においても MOX 燃料の設計及び製造に係わる品質システムを構築し、本指針（JEAG4101）に準拠した品質システムを取り入れ、FBR で使用する MOX 燃料の設計及び製造に係わる品質保証を展開し、MOX 燃料を供給している。したがって、本振動充填燃料ピン製造施設においても同様な品質保証システムが適用される。

(3) 振動充填燃料製造施設における品質管理

燃料製造における主要な検査項目として FBR 用燃料（燃料ペレット使用）の一般的な例を表 3.5.1-1 に示す。本表には、燃料粉末製造から燃料集合体の部材までについて製造工程と各検査項目が示されている。ここで、燃料を燃料ピンに充填する工程以降に関しては燃料粒子を充填する振動充填燃料製造の場合においても本検査項目と基本的に同一と考えられる。ただし、燃料密度測定に関しては、燃料ペレットの場合は燃料ペレ

ットを燃料ピンへ充填した後は充填密度検査を実施していないのに対し、振動充填用燃料粒子の場合は燃料粒子充填の不具合が考えられるため充填密度の検査を必要とする。

表 3.5.1-1 の検査項目を基本として、本製造工程(燃料ピン製造以降)における検査項目、検査装置及び検査方法の対応を表 3.5.1-2 に示す。各検査は、全数検査とし燃料仕様の範囲内であることを検査する。ここで、各検査項目の燃料仕様範囲については、今後の燃料ピンの詳細設計にも依存するが、現時点では従来の燃料ペレットを使用した場合と同等の品質保証を確保するように設定する。

以下に、振動充填燃料ピン製造に関し、ペレット燃料ピン製造とは大きく異なる工程であるとともに、特に注意を必要とするコンタミ防止等のための設計例を示す。

(i) 燃料粒子供給フローライン構成について

燃料粒子製造側から受け入れた燃料粒子を燃料ピンへ装荷する工程においては、異種燃料粒子の混入を防止する必要がある。すなわち、各燃料粒子取り扱い工程において、富化度や粒径の大きさの異なる残留粒子が微量でも混在すると燃料性能(特性)に影響を与える可能性がある。そこで、本設計では燃料粒子の取り扱いは、図 3.5.1-1 に示すように内側炉心燃料粒子(大粒、小粒)、外側炉心燃料粒子(大粒、小粒)及びブランケット燃料粒子(大粒、小粒)の全ての燃料粒子を別々の機器を用いて取り扱い、異種粒子の混入を防止することとする。

図 3.5.1-1 は内側炉心燃料粒子の取り扱いフローを中心に示したものであり、外側炉心燃料も基本的に同一である。また、径方向ブランケット燃料では炉心燃料の炉心用燃料を除いたブランケット用燃料粒子と同様な粒子の取扱い方法である。図の中の番号は工程の順番を示している。初めに、燃料粒子受入・ホoppa供給工程では、炉心部用装置と上下ブランケット用装置を完全に分ける構成とし、また、粒子製造側より搬送されて

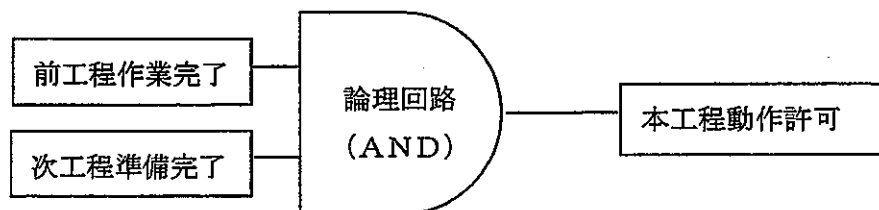
きた大粒と小粒もそれぞれ別機器（保管筒、ホッパ等）を用いることで混入を防ぐことができる。次に、燃料粒子供給・振動充填工程においても、フィーダー及び計量装置は炉心部用粒子と上下軸方向ブランケット用粒子のそれぞれにおいて別ライン（機器）を使用し、また、大粒と小粒もそれぞれ別ライン（機器）とし、異種粒子の混入を防ぐこととする。

(ii) 燃料粒子供給フローライン制御について

粒子供給方法として、前記②に示すように各燃料粒子の供給ラインを別ラインとすることにより残留粒子等による粒子のコンタミを防止できると考える。しかし、機器の故障や誤作動によって引き起こされる正常な供給ラインから逸脱に対し、粒子のコンタミが生じないように配慮する必要がある。本燃料製造システムは、自動運転が基本であり、出来るだけ人的誤操作を排除したシーケンス制御により進められる。このことにより、制御の各段階は、あらかじめ定められた順序に従って逐次進められ、例えば、工程の前段の状態が成立していること及び次段の準備が整っていることにより動作の許可又は禁止命令が与えられる*1。

*1 シーケンス論理回路（例）

例えば AND 動作回路の適用による 2 重管理を考慮し、前工程及び次工程の複数の条件が満たされた時のみ動作する回路。

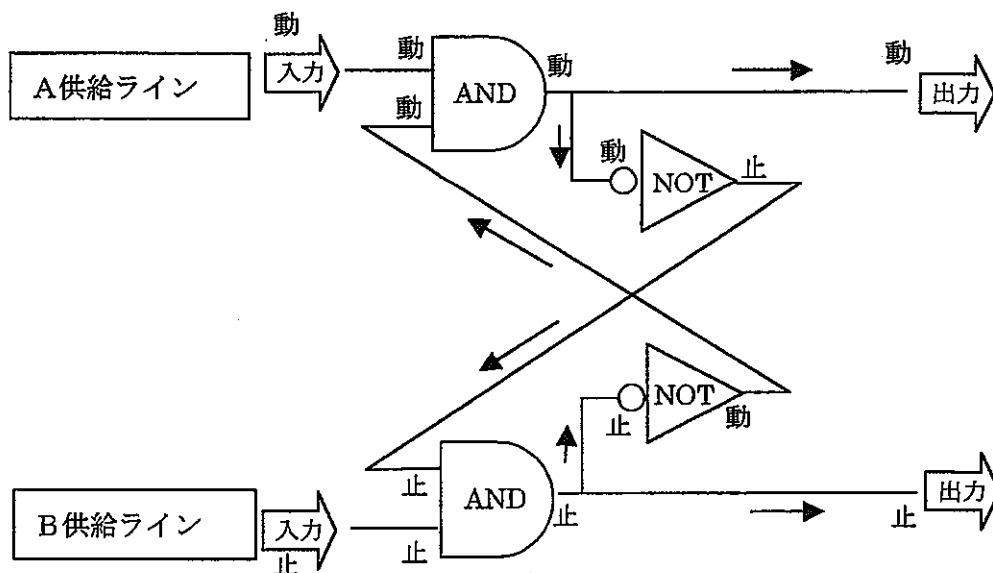


したがって、本粒子供給フローにおいても炉心燃料粒子の供給工程時に誤ってブランケット燃料粒子の供給を行うような誤操作は生じない。注意事項としては、実際のシーケンス制御においては、電気回路の設計時に十分に機能検討するとともに動作テストによりシーケンス回路に異常が無いことを確認する必要がある。

また、シーケンス制御は、必要に応じてインタロック*2と関連付けて、誤操作・誤動作に対する危険や機器損傷の防止、停電・遮断あるいは制御装置の故障に対してフェイルセーフ (fail safe) となるシステム構成とする等、十分に配慮したものとする。

*2 インタロック回路 (例)

インタロック回路は、先に動作した方が優先し、他方の操作を禁止する。例えば、A供給ラインが動作している場合、B供給ラインは停止し誤ってA供給ラインに入る動作を禁止する。



以上のように、実機においては種々の安全性を考慮することにより誤操作やそれに起因するコンタミ等を防止することは可能と考える。

3.5.2 計量管理

3.5.2.1 計量管理の目的

再処理施設及び燃料製造施設における核燃料物質の計量管理は、法規制等に対応するため、ウラン・プルトニウムの存在を施設の境界での出入り、施設内での所在について数量的・連続的に把握することである。また、施設者は国の査察と国際機関（IAEA）の査察に対応できるよう計量管理の質を維持しなければならない。

3.5.2.2 計量管理の方法及び計量管理区域について

(1) 計量管理の概要

計量管理では、物質収支区域（MBA：material balance area）への入量、MBAからの出量及び物質収支期間（MBP：material balance period）の期首及び期末における在庫を計量し、物質収支を計算して在庫差（MUF：material unaccounted for）を求めこれを評価する。これに対して査察者は、施設者の計量について無作為（ランダム）に試料を収集して独自の計量を行い、施設者の計量値との差を統計的に評価するとともに、この差に基づいてMUFの評価を行う。

なお、特定の計量期間を閉じることで得られる在庫差は、通常、実在庫等の計量に伴ういろいろな誤差、定量化されなかった工程設備中の内蔵量（ホールドアップ）、未計量の損失等のため0にはならない。

(2) 詳細な計量技術

計量技術としては非破壊法（NDA：non-destructive assay）による方法と破壊分析（DA：destructive assay）による測定の種類がある。

DAでは試料中のウランまたはプルトニウムの含有率を同位体割合等を化学的に分析して測定する技術で、ウランまたはプルトニウムの化学的性質を用いてこれらの元素の

量を正確で精度の高い計量を行うことができる。しかし、その反面、試料を採取してこれを保障措置分析所に運んで分析することから、結果が得られるまでに時間がかかるという欠点がある。

NDA では燃料棒や燃料集合体のように DA が不可能な場合や、スクラップや廃棄物のように代表的試料を得ることが極めて困難な形態の核物質の場合に用いられる。NDA 技術の開発では、核物質から自発的に放出される（パッシブ法）または放射線の照射線を受けることによって放出される（アクティブ法） α 線、 β 線、 γ 線、X線、中性子線を単独で、または2つ以上の放射線を組み合わせて、測定する等の方法が利用できる。NDA 技術の特徴としては、比較的短時間に計量結果が得られることにある。

(3) 燃料製造施設の計量管理

① 物質収支区域（MBA）と主要測定点（KMP）の設定

一般的に、プルトニウム燃料製造施設では、MBA は原料貯蔵区域、燃料製造ライン等の核物質取扱工程区域及び集合体貯蔵区域の3つに分けられる。また、この施設の特徴は臨界管理のために全施設を多くの計量管理単位（KMP : key measurement point）に分けており、各単位毎に厳重な質量管理が行われる。従来の燃料製造施設では、1計量単位はおおよそ1つのグローブボックス等であるが、本燃料製造設備ではセル内燃料製造でありいくつかの工程が含まれることから、セル内に数箇所の KMP を設ける必要があると考えられる。

ここで、物質収支区域（MBA）を大きく取れば在庫量が大きくなって、MUF を大きくする恐れがあり、逆に MBA を小さく取って区域の数が増えれば受払量を計量する場所である主要測定点（KMP）が増え、計量の手間、記録や報告の量が大きくなる。また、KMP には適切な計量が行える設備が必要（例えば均一化設備、液位又は重量測定設備、分析試料採取装置等の備わった計量槽等）である。

図 3.5.2-1 に本燃料製造施設の物質収支区域 (MBA) 及び主要測定点 (KMP) の設定案 (振動充填工程及び振動充填工程前後) を示す。

(a) MBA の設定について

MBA については、物質収支を算出することを目的に、図 3.5.2-1 に示すように再処理施設側、燃料製造施設、新燃料集合体一時貯蔵庫、新燃料集合体貯蔵施設にそれぞれ MBA を設定する。ここで、本燃料製造施設 (原料溶液～燃料集合体組立) を一つの MBA 区域として設定し、その前後に流れの主要測定点 (FKMP : flow KMP) を設定する。

(b) KMP の設定について

KMP については、核物質の移動量及び在庫量を測定するために、MBA の入口及び出口、及び貯蔵個所に設定される。

流れの主要測定点 (FKMP : flow KMP) は、図 3.5.2-1 に示すように①で計量された核燃料を受け入れ、②で新燃料集合体の番号及び員数を確認後、新燃料集合体一時貯蔵庫で保管される。その後、③で新燃料集合体一時貯蔵庫から新燃料集合体貯蔵施設へ払い出される。

在庫の主要測定点 (IKMP : inventory KMP) は、図 3.5.2-1 に示すように燃料粒子保管設備 (振動充填前の燃料粒子) と燃料ピン保管設備 (振動充填・溶接・検査後の燃料ピン) に設定する。

本燃料製造施設では、炉心燃料製造工程 (セル) とブランケット燃料製造工程 (セル) があるため、IKMP はそれぞれの工程において設定する。

② 核物質の性状及び計量管理方法

本工程で取り扱う核物質 (燃料) は固体 (粒子) であること、及び基本的に物質の性状及び形状の変化が無いことから、比較的容易に計量を行うことが可能である。

本工程の IKMP における計量管理方法を以下に示す。

ここで、燃料は、炉心燃料用とブランケット用があるため、それぞれについて計量管理を行う。

(a) 燃料粒子の測定

ゲル化法により製造された燃料粒子は、直径約 $80\ \mu\text{m}$ ～ $800\ \mu\text{m}$ の球状の固体である。測定は重量測定とする。

(b) 燃料ピン及び燃料集合体の測定

燃料ピンは、ピンの上下を端栓溶接されており単位体として取り扱えるため、測定は燃料ピン番号及び員数確認とする。また、燃料集合体についても燃料集合体番号及び員数を確認する。

(c) 自動搬送システム測定

上記に示した主要測定点 (IKMP) における重量測定及び員数確認とともに、各製造工程区域からの核物質移動及び在庫量に関する情報をリアルタイムで把握するシステムとする。このようなシステムは JNC のプルトニウム燃料製造施設 (PFPF) で既に導入されており¹⁰⁾核物質を収納する容器毎に管理し自動搬送するシステムを確立している。

(d) 遠隔制御非破壊測定方法の活用

プルトニウムの移動を把握する方法として中性子係数法があり、この方法は上記の自動搬送システムと関連して設計することにより、プルトニウム等の工程毎の核物質の移動を定量的及びリアルタイムに計測し把握するのに有効である。ただし、今後の課題として、特に低除染燃料に対しては燃料の性状 (同位体組成等) が変化することも考えられるので、種々の核物質を含む燃料の組成の時間依存性も含めた遠隔操作による詳細計量方法 (各種放射線利用) の確立も重要である。

③ ホールドアップについて

本工程では気体状、液体状の核物質を扱わないこと、及び粒子を扱う工程は燃料ピンへの振動充填を行う前の限られた工程だけであり、核燃料の損失（ホールドアップ）が発生する可能性が少ない工程とすることができる。

以下に、燃料粒子取扱い工程と燃料ピン取扱い工程以降に分けて示す。

(a) 燃料粒子取扱い工程

振動充填時の滞留を少なくするため粒子装荷装置を粒子が流動し易いようにする等の工夫をすること、さらに、上記に示した工程毎の核物質の移動及び在庫量をリアルタイムに管理することによりホールドアップが生じる可能性をより小さくできるとともに、発生個所の特定も容易になると考える。

燃料粒子を取扱う本工程は、ペレット燃料ピン製造時の粉末取扱い工程、ペレット検査工程、ペレットのピンへの挿入工程に相当する。ここで、粉末を取扱うペレット燃料ピン製造工程と比較しホールドアップが生じる工程及び量は少ないと考えられるが、ペレット燃料ピン製造時に実施しているグローブボックス毎の測定と同様のホールドアップ測定は必要である。すなわち、燃料粒子供給ホッパーから燃料充填フィーダーを経て被覆管へ装荷されるまでの充填工程において定期的にホールドアップカウンタを用いた測定を実施することとする。

(b) 燃料ピン取扱い工程以降

燃料ピンの上部端栓溶接以降の燃料ピン取扱い工程及び燃料集合体組立工程においては、核物質はピン単位及び集合体単位で扱われるため、粉末の滞留は無く、工程毎の核物質移動物質及び在庫量をリアルタイムに管理すること及び在庫の主要測定点（IKMP）計測によりホールドアップは生じないと考えられる。

(c) 燃料製造セル内放射性物質の監視

上記に示したように、本燃料製造工程はホールドアップの可能性は小さいと考えら

れるが、ホールドアップが生じた場合を想定し、セル内の滞留物質（放射性物質）の滞留場所の特定が重要となってくる。なお、燃料製造セルは、従来の G.B 等と比較して非常に大きなスペース及び空間となるため、セル独自の管理（監視）方法が必要である。

ここで、監視方法案を検討するにあたり、以下の前提を満足できる方式とした。

- ・滞留場所及び各滞留場所における滞留量が不明である。
- ・セル内の全空間を監視対象とする。

ただし、燃料物質（燃料粒子）の比重は大きいとため、天井に付着することは考えない。

- ・監視速度を考慮した走査方式とする。
- ・保守・点検のための操作が容易である。
- ・設置スペース及びコストを考慮し、多数の機器の設置は避ける。
- ・滞留物質を検知した場合、除去作業が可能であること。

上記を考慮し、滞留物質（放射性物質）の検知のための γ 線検出器を天井クレーンにセットできる設計とする案が有力である。この検出器は、天井クレーンの走行方向に対し垂直方向に移動できるレールと、上下方向に移動できるレール等からなる。この方式により、セル内の全範囲（X、Y、Z方向）の走査が可能となり、新たな機器設置スペースの増加や多数の固定式検出器設置等も必要ないことから、設置スペース及びコストの観点でも有利である。

また、監視速度を考慮した走査方式としては、始めに、広範囲の概略検出を目的としてセル縦方向（長手方向）をクレーン移動により走査し滞留場所をある範囲に特定し、次に、その範囲について横方向及び垂直方向走査により詳細に特定する。機器の保守・補修はクレーンにより保守室に容易に移動できる。また、天井クレーンの吊り上げ重量は大きいことから滞留物質の回収装置の設置も十分に可能である。

なお、本走査の検査頻度・精度は、実際の監視要求頻度やホールドアップ量の実績との関連で決定できる。

さらに、本工程において取扱う燃料粒子は上記にも示したように直径約 $80\ \mu\text{m}$ ～ $800\ \mu\text{m}$ の球状粒子であり、微粉末では無いことからセル内雰囲気中（空気中）に浮遊することは考えにくいだが、その可能性はあるため、測定方法を検討しておく。セル内の空気中に浮遊し排気系からセル外に排出された粉体量を測定する方法として、排気系の配管から一部排気を分岐しフィルタろ過しろ紙上部にシンチレーション検出器を設置したダスト放射能測定装置を設置することが考えられる。

ダスト放射能は、常時モニタリングしており排気中のグロス放射能を監視しており且つ定期的にろ紙を回収しろ紙上に付着した核種の定性、定量測定を行う事により排気系に移行した粉体の核種の定量評価が可能と考えられる。

この際ろ紙上に付着している核種の定性、定量分析には、非破壊測定として Ge 検出器及びシンチレーション検出器破壊分析として放射化学分析により U、Pu 等を分離し ZnS 検出器等により放射能測定を行うことが考えられる。

表3.5.1-1 燃料製造における主要な検査項目
(燃料ペレットの例)

工 程	検 査 項 目
燃料粉末	同位体組成分析、不純物分析、水分含有率分析、粉末物性測定
燃料ペレット製造	寸法・密度、外観検査、不純物分析、O/M分析、水分/ガス分析、Puフィッサイル分析、Puスポット分析
燃料ピン製造	汚染検査、Heリーク検査、X線検査、γスキャン検査、外観検査、寸法検査
燃料集合体組立・検査	寸法検査、外観検査
部材 (燃料ピン及び燃料集合体)	受入検査(部材入荷時) 外観検査、探傷検査、寸法検査、重量検査

表3.5.1-2 検査項目、検査装置及び検査方法(振動充填燃料)

工程	検査対象	検査項目	検査装置	検査方法	問題点・課題点
燃料粒子充填	燃料粒子 ・内側炉心燃料/大粒 ・内側炉心燃料/小粒 ・外側炉心燃料/大粒 ・外側炉心燃料/小粒 ・軸方向ブランケット燃料/大粒 ・軸方向ブランケット燃料/小粒 ・径方向ブランケット燃料/大粒 ・径方向ブランケット燃料/小粒	燃料ピン充填燃料粒子の質量	計量ホッパ	充填燃料粒子の質量を測定する。	・粒子の滞留の最小化設計
密度検査	燃料ピン	燃料ピン軸方向燃料粒子の充填密度	γ 線透過装置(密度測定装置)	燃料ピンの軸方向の γ 線透過量(計数)を測定し、燃料粒子の充填密度を測定する。	・密度測定精度により測定速度の詳細検討必要(要求精度との関連で決定される) ・密度保証間隔の設定(測定ピッチの設定) ・ γ 線強度増加による遮蔽等の黒染化
燃料スタック長さ(上記密度測定時)	燃料ピン	燃料スタック長さ(プレナム長さ)	γ 線透過装置	γ 線透過量(計数)を測定し、軸方向の燃料スタック長さ(プレナム長さ)を測定する。(密度測定データ使用)	・スタック長測定精度との関連で、測定ピッチ変更が必要
汚染検査	燃料ピン	燃料ピンの表面汚染	汚染検査設備	α 線検出方式及びスミア法により汚染度を測定する。	・スミア法の自動化・精度向上
ヘリウムリーク試験	燃料ピン	燃料ピンの欠陥(ヘリウムリーク)	ヘリウムリーク試験設備	燃料ピンをヘリウムリーク試験設備に入れ、設備内を真空にした後、燃料ピン内に封入したヘリウムのリークの有無を検査する。	・測定速度(本/1バッチ)の最適化(燃料ピンを纏めて測定) ・欠陥ピンがある場合の汚染拡大防止方法
端栓溶接部検査	燃料ピン端栓溶接部	端栓溶接部の溶接欠陥	X線検査装置、又は超音波探傷装置	端栓溶接部の内部欠陥をX線検査により行う。	・欠陥評価試験により、最適検査方法の選定
燃料ピン総合検査	燃料ピン	外観、寸法、曲がり、重量	カメラ、寸法検査装置	外観キス等をカメラにより検査し、寸法及び曲がり量を検査する。	・検査精度と検査速度の最適化
γ 線検査	燃料ピン	軸方向燃料識別	γ 線検出装置	燃料から放出される γ 線の検出強度により軸方向の炉心燃料部と上部及び下部ブランケット部を識別する	
燃料集合体検査	燃料集合体	外観、寸法、曲がり、ねじれ、溶接位置	カメラ、寸法検査装置	外観キス等をカメラにより検査し、寸法及び曲がり量を検査する。	・検査精度と検査速度の最適化

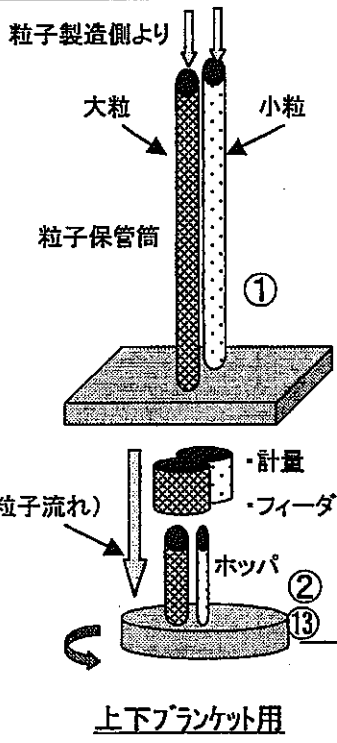
ブラケット燃料製造セル

ブラケット

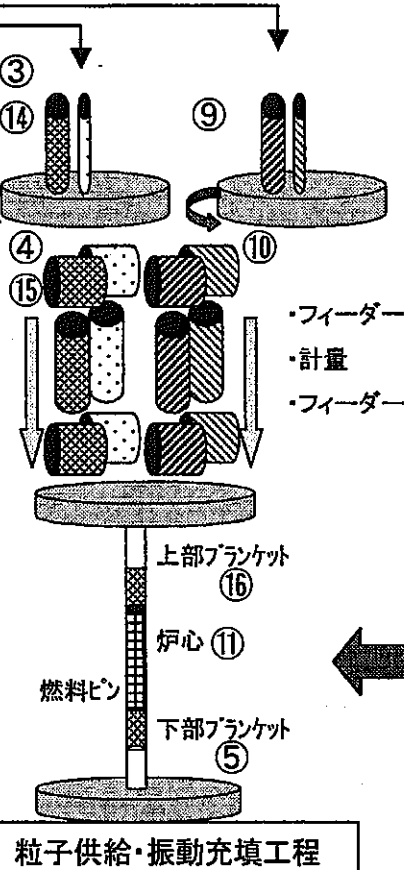
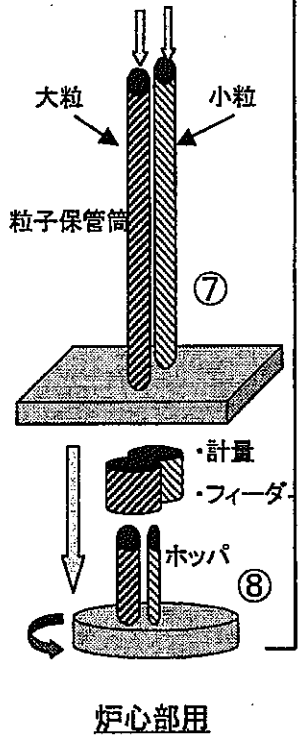
(内側炉心燃料製造フローにおけるブラケットのみの工程)

炉心燃料製造セル

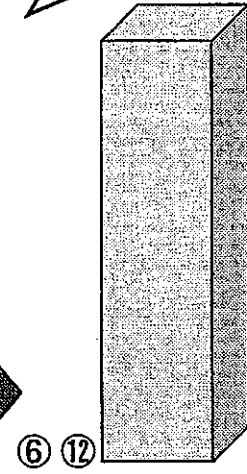
内側炉心



粒子受入・ホツパ供給工程



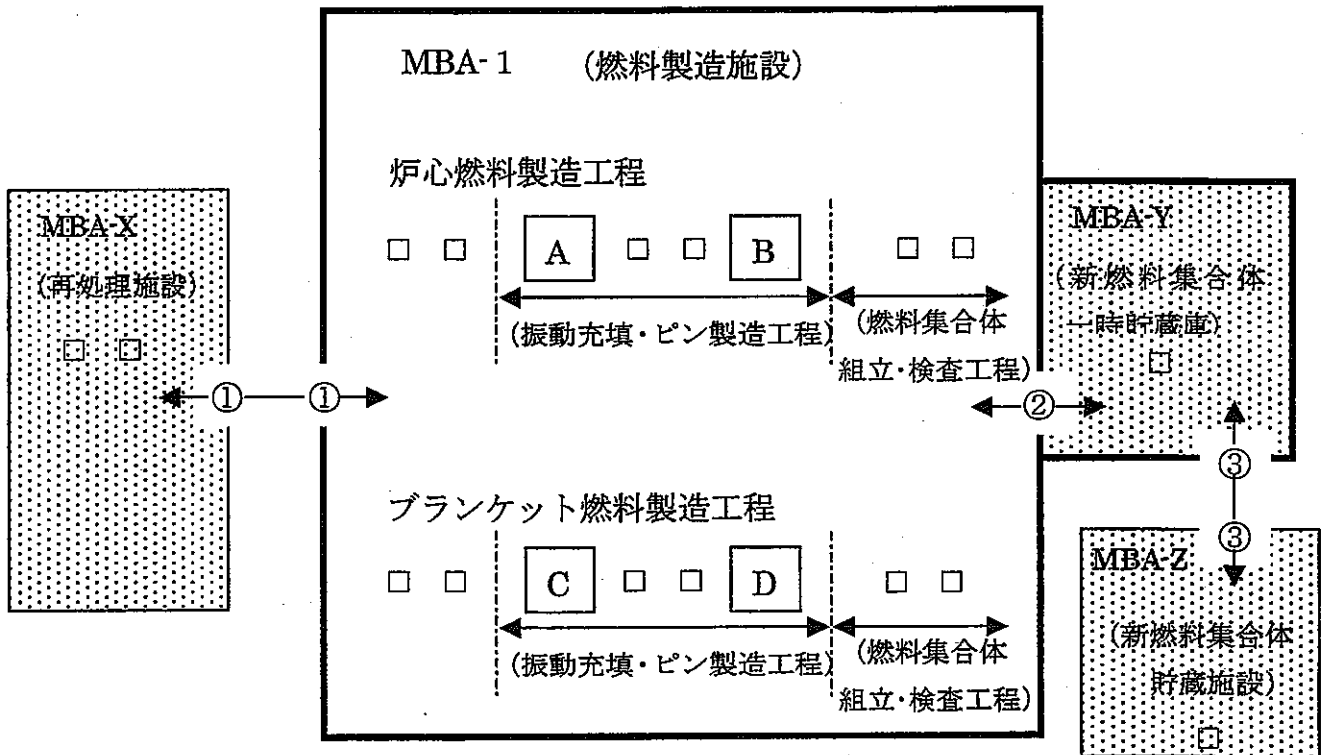
・本図は、燃料ピン1本分の粒子フローを示すが、実機想定では複数本(50本)を同時製造。
・○数字はフローの順番を示す。



外側炉心

(内側炉心燃料と同一工程)

図3.5.1-1 燃料粒子供給フロー



- (1) MBA の符号の説明
- MBA-X : 再処理施設
- MBA-1 : 燃料製造施設
- MBA-Y : 新燃料集合体一時貯蔵庫
- MBA-Z : 新燃料集合体貯蔵施設
- (2) FKMP の符号の説明
- ① : 再処理施設からの燃料の原料の移動
- ② : 新燃料集合体の一時貯蔵庫への移動
- ③ : 新燃料集合体の貯蔵施設への移動
- (3) IKMP の符号の説明
- A : 炉心燃料粒子の保管設備に含まれる核物質
- B : 炉心燃料ピン保管設備に含まれる核物質
- C : ブランケット燃料粒子の保管設備に含まれる核物質
- D : ブランケット燃料ピン保管設備に含まれる核物質

図 3.5.2-1 燃料製造施設の物質収支区域及び主要測定点

4. システム評価に関するデータの収集

4.1 技術的成立性に関するデータの調査検討

これまで検討してきた振動充填に係わる主要設備の課題などを表 4.1-1 にまとめて示す。

4.1.1 振動充填装置

現在、燃料粒子の充填に対する振動の影響の検討が実施されており、振動条件の最適化が進められている。本装置の基本設計においても、その結果を反映しているが、以下の点について更に検討する必要があると考えられる。

(1) 燃料ピン保持方法の検討

今回の基礎設計では(前述の 3.1.2 及び前出の図 3.1.2-1 参照)、燃料ピンは燃料ピンマガジンの上板、中間板にて板バネの反発力を使用して保持・固定する構造(下板では支持するのみ)としている。現在の振動充填の条件としては、100~300Hz×5G 程度が最適とされ、また充填後の燃料ピン重量が 1 kg であることから、燃料ピンの保持力としては約 5 kg が必要となる。

上板 1 箇所、中間板 2 箇所の合計 3 箇所で開催する今回の設計では、1 箇所当たり 2 kg 程度の保持力が必要となる。摩擦係数 0.3 とすると 1 箇所 6 kg 程度の力で燃料ピンを押さえつける必要があり、燃料ピン表面の傷つき防止および変形防止の観点からはある程度広い面積で燃料ピンに保持力を伝えるようにする必要がある。

また、摩擦係数は相互の材質の組み合わせや表面処理によっても大きく異なるため、その組み合わせの最適化を行う必要がある。

(2) 振動の伝達経路の検討

軸方向に長くかつ管厚が薄い燃料ピンは、前述の 3.1.1 で検討したように、固有振動数が低くかつ座屈強度が低い(すなわち曲げ強度が低い)ため、充填時における燃料ピンの軸方向の振動が燃料ピンの横振動を引き起こし、振動を付加した場所か

ら離れた場所の振動が変化する可能性がある。そこで今回の設計では、燃料ピンを吊り下げる形で上部で保持し、ここから振動を伝達することにより燃料ピン全体へ均一に振動が伝わるような構造とした。しかし、燃料ピンマガジンに付加した振動が、燃料ピンの各部にどのように伝達されるかを検討し、保持方法の最適化を行う必要がある。

4.1.2 スペーサ挿入装置

現状では、スペーサの詳細な仕様が定まっていないため、今回の設計では以下の点が十分に検討できていない。

(1) スペーサの吸着方法の検討

今回のスペーサ挿入装置では、挿入ロッド先端に設置した電磁石によりスペーサを吸着する方式とした。スペーサの材質により電磁石を使用できない場合には、真空吸着の面積が十分に取れないため、機械的な手段によりスペーサを保持する必要がある。狭い面積で確実にスペーサを保持するためには、スペーサ形状を含めた検討が必要になる。

(2) スペーサ破損防止策の検討

上記と同様にスペーサ仕様の詳細が定まっていないため、スペーサ挿入時の抵抗力の算定が出来ていない。挿入時の抵抗力によっては、挿入ロッドの座屈強度を超える場合が想定される。今回の設計では、0.5kg/本程度を想定しているが、これを超える場合には、前述の3.1.3項で示したような移動式案内装置の設計が必要となる。

4.1.3 端栓溶接装置

端栓溶接装置においては、その溶接条件を最適化することが重要となる。また、He置換のためのシール方法も重要となる。特に、燃料ピンを挿入する部分のシール

は、端栓や燃料ピンを挿入する際に損傷する可能性や磨耗の可能性が考えられるため、その機構設計を十分に行う必要がある。

4.1.4 密度測定装置

(1)測定 S/N 比向上の検討

今回の検討では、高除染燃料で実績のある γ 線透過方式を採用した。今回の低除染燃料では、燃料ピンから出る γ 線が測定時のノイズとなるため、S/N 比を下げる原因となる。この S/N 比を向上させるためには、測定時の γ 線エネルギーを高くして燃料から出るガンマ線と区別できるようにするなどの検討が必要となる。

(1)測定タクトタイム低減の検討

今回の設計では 10 本の燃料ピンの密度を同時に測定する構造としたが、タクトタイムから 50tHM/y 規模で 2 台の測定装置が必要となる。このタクトタイムの低減のためには、同時測定本数の増加やスキャン時間の短縮が必要となり、上記 S/N 比の低減や連続スキャン方法の検討が必要となる。また、他の方法、例えば現在開発が進められている X 線透過法による密度測定方法などを検討する必要がある。

4.1.5 燃料集合体組立装置

(1)燃料ピン処理量の増加による耐久性

燃料集合体組立装置は、現行のペレット燃料の集合体組立装置（例：核燃料サイクル開発機構の MOX 燃料集合体組立装置）と基本的に同等であり、振動充填特有な構造等は特にはない。しかし、現行装置に比べ大型プラントになるため、燃料ピン取扱量（処理量）が増加するので、特に磨耗性などには注意を要する。

(2)多数の燃料ピン集合時の耐放射線、耐崩壊熱

燃料集合体組立時は多数の燃料ピンを取扱うため、特に低除染燃料では耐放射線

及び耐崩壊熱の検討が必要である。本設計では、燃料ピンまたは燃料集合体（ラップ管）と接触する部分はSUS材を使用することや放射線遮蔽を行うことにより対応できると考えられるが、今後、高放射線下対応機器の検討及び開発や効率的な放射線及び熱源の遮蔽の検討も必要である。

4.1.6 燃料集合体検査装置

(1) 高放射線下における検査精度の維持・向上

燃料集合体検査装置についても、燃料集合体組立装置と同様に現行のペレット燃料の集合体検査装置と基本的に同等であり、振動充填特有な構造等は特にない。しかし、高放射線下となるため特に高放射線下の検査精度への影響について、照射試験を含めたデータ等を取得し、精度の維持、向上を図る必要がある。

(2) 検査装置の耐放射線性

燃料集合体検査時は、燃料集合体はラップ管に格納されており、ラップ管外面からの熱による検査機器への影響は小さいと考えられる。ただし、高放射線下では(1)の検査精度と相まって、機器の耐久性として遮蔽方法も考慮した検討及び照射試験を含めたデータの取得が重要である。

表4.1-1 検討課題

No.	装置名称	課題	検討項目	備考
1	振動充填装置	補修方法	・燃料計量部の分解構造 ・燃料計量部昇降装置の分解構造	
		充填時振動に対応した保持方法	・燃料ピン保持方法の最適化 (保持部材・表面処理・保持形状)	
		燃料ピン各部での振動状態の分布の確認	・燃料ピン各部の加速度測定 ・燃料ピン保持方法の最適化 ・振動充填条件の再最適化	
2	スペーサ挿入装置	補修方法	・挿入ロッド交換機構	
		スペーサ吸着方式	・スペーサの詳細仕様 ・機械的保持方法の検討	
		挿入ロッドの破損防止策	・スペーサの詳細仕様 ・移動式案内装置の検討	移動式案内装置
3	端栓溶接装置	補修方法	・真空チャンバ分解方法	
		溶接条件の最適化	・同左	
		燃料ピン挿入部のシール	・シール機構の開発	
4	密度測定装置	測定S/N比の向上	・測定γ線の高エネルギー化 ・ノイズ除去技術の検討	X線透過法の検討
		測定タクトタイムの短縮	・測定本数の増加 ・測定γ線の高エネルギー化 ・スキヤンの連続化	
5	燃料集合体組立装置	燃料ピン処理量の増加による耐久性	・取扱い本数の増加による影響検討(磨耗性等)	現行のMOX燃料設備(ペレット燃料)ベースに検討
		多数の燃料ピン集合時の耐放射線、耐崩壊熱	・高放射線下対応機器の検討・開発 ・放射線及び熱源の遮蔽の検討	
6	燃料集合体検査装置	高放射線下における検査精度の維持・向上	・高放射線下の検査精度への影響評価・試験	現行のMOX燃料設備(ペレット燃料)ベースに検討
		検査装置の耐放射線性	・高放射線下対応機器の検討・開発 ・効率的な放射線遮蔽の検討	

4.2 セル適合性に関する評価検討

(1)セル内の安全性

①臨界安全性

燃料製造システムは技術的に想定されるいかなる場合でも臨界を防止する対策を講じる必要がある。本設計では、本燃料の燃料組成を基に全ての装置について形状管理を行い、併せて質量管理として各機器について安全係数を考慮した取扱い量（バッチ量）を制限した。また、セル内の工程管理として、自動工程管理（シーケンス制御、インターロック）により2重偶発性の原則を適用しセル内の臨界安全性を検討した。セル内の装置間距離についても臨界安全が確保できる距離に配置した。また、工程毎に燃料取扱い量を評価し、セル内の臨界区分例（臨界シャッター位置例）も示し、安全性が確保できる見通しを得た。したがって、本システムの臨界安全は十分に確保されることによりセル適合性がある設計である。

②耐熱性

本燃料は低除染燃料であり崩壊熱を発生する。崩壊熱は燃料及び機器へ悪影響を与えるので、本設計では崩壊熱によっても燃料及び機器が健全である設計とする必要がある。燃料への影響としては、燃料粒子はピンへの封入前（端栓溶接前）はセル内雰囲気ガスと接しており、特に高温時（燃料の集積時）はO/Mの変化が生じる可能性がある。そこで、セル内雰囲気として空気及び不活性雰囲気ガス時の燃料のO/Mの変化防止の観点から燃料装荷機器寸法と燃料温度の関係を評価し、燃料の安定性を確保できる設計とした。また、燃料と直接に接触する機器（部位）の材質はSUSを使用することで対応できることを確認した。したがって、崩壊熱に対して燃料及び機器の安定性を確保でき、セル内適合性はあると考えられる。

③火災・爆発・耐震性

火災・爆発の対策として不燃性又は難燃性の材料を使用することとし、可燃性物質

を取扱う機器は発火及び異常な温度上昇の防止を講じる設計とする必要がある。本設計で使用する物質は、火災・爆発等を誘引する可能性がある物質は使用しないこと、及び燃料粒子は発熱による酸化防止の観点から最高温度を制限（100℃～200℃以下）する設計としていることからセル内の火災・爆発に関する安全性は確保されている。

耐震性については、各機器について耐震設計上の耐震クラス分けを行うとともに、Aクラス相当機器の耐震概略評価（燃料ピン・燃料ピンマガジンの応力評価、機器の転倒防止等）を行い、セル内機器は耐震性を確保できる見通しを得た。

(2)セル内の機器稼働の安定性

①自動化の適用

本燃料は低除染燃料であるため製造工程は遠隔・自動化を取り入れた燃料製造システムとする。本設計ではマテハン機器の相互の干渉が無いよう、設備間の搬送を含めた運転手順を明確にする必要がある。そこで、運転フローチャートを作成して、各設備及び設備間の機能と動作に要する時間を整理した。さらに運転手順に基づき運転フローチャートによって現状の技術をベースとした設備及びマテハン機器によっても年間生産量から必要とされる処理能力が得られる見通しがある。したがって、遠隔・自動運転に関してセル適合性があると考えられる。

②機器の稼働率

セル内では機器の保守・保守作業が難しいので信頼性の観点から各機器の稼働率を評価する必要がある。本設計では、各主要機器について、稼働時間及び故障率等を基に各機器の稼働率を評価した。ここで、稼働時間は各装置の部位単位の稼働時間から積み上げ、また、故障率は一般産業機器の故障率等を基に算出した。各機器の稼働率は十分に高く（99.5%以上）、セル内への設置に対し特に問題なく、セル適合性はあると考える。

③機器間工程の安定性

セル内製造工程においては、機器間の物流を簡素化した方が望ましい。本設計では、燃料ピンを一度に多数本扱うことにより（燃料ピンマガジン、燃料パレットの使用）、製造の効率性及び機器間の物流の移動回数を大幅に低減できる。このように、燃料（燃料ピン）をできるだけまとめて取扱うことによりセル内及びセル間の取扱いが容易になる。なお、燃料ピンマガジン等の使用は、燃料ピンの機器間移動時に直接のハンドリングを避けることができるので燃料ピンへのキズの発生防止の効果も期待できる。

④メンテナンス性

セル内においては、特に機器のメンテナンスを容易にする必要がある。本設計では機器のユニット化を図るとともにセル内にメンテナンススペース（ユニットの仮置きスペース）を設けた。また、クレーン、PM、MSM を設け、全ての機器の保守・補修が遠隔操作で可能となるようにした。

なお、セル内汚染の可能性の有無（密封／非密封）により、燃料ピンヘリウムリーク試験以降の工程を燃料製造セルとは別セル（燃料ピン検査セル、燃料集合体組立・検査セル）とし、人による直接メンテナンスも可能とした。

以上より、本設計はメンテナンス性の面でセル適合性があると考えられる。

(3)セル内汚染・除染対応性

①セル内汚染の可能性

本燃料製造システムにおける汚染原因は、燃料粒子（固体）の滞留及び付着が考えられる。振動充填燃料特有の技術としては、燃料粒子を燃料ピンへ装荷する工程時において燃料粒子はホッパー→計量→装荷と移動する。本設計において取扱う燃料は密度が大きく（約 11g/cm^3 ）球状の燃料粒子（約 $80\mu\text{m}\sim 800\mu\text{m}$ ）であり比較的流動性は高いと考えられるが、燃料粒子を装荷する機器は円筒状の形状を基本とし滞留を極力

防止する構造とする。上部端栓による燃料ピンの密封工程以降はセル内への汚染はほとんど考えられない。セル内におけるクリーンアップ等は比較的困難であるが、ここでは微粉末（例えば数十ミクロン以下）を取扱う工程や化学反応を伴うような工程がないため、燃料の滞留（機器への付着等）が無い（またはほとんど無い）と考えられる。したがって、汚染の可能性は少なく、汚染した場合においても除染も比較的容易であると考えられることから、本システムのセル内における適合性は高く、安定的に稼働できると考えられる。

②セル内汚染拡大防止

本燃料製造システムは汚染が非常に少ないシステムと考えられるが、仮に機器の故障や事故等が発生しセル内汚染が生じた場合は汚染の拡大を防止する必要がある。この汚染拡大の防止の観点から、セル区分としては炉心燃料とブランケット燃料を別セルとし、また、燃料粒子の非密封状態以前の工程（ヘリウムリーク試験以前）と密封状態以降の工程を別セルとした。これにより、本設計のセル区分は汚染の拡大を防止するのに適合した設計と考える。

(4)セル内機器配置とシステムのセル適合性

上記に示した(1)セル内の安全性、(2)セル内の機器稼働の安定性、及び(3)セル内汚染・除染対応性を考慮し本燃料製造システムのセル内機器配置を検討した。細部については今後の試験等によるデータの蓄積は望まれるが、基本的な設計結果として、本燃料製造システムは臨界等に対する安全性、遠隔・自動化を取り入れた安定運転性及び汚染・除染の容易性を十分に達成できることより、セル内稼働に適合していることを確認した。

4.3 経済性評価に関するデータの調査検討

湿式法振動充填燃料製造システムにおける燃料ピン製造工程の経済性評価に関する評価結果を以下に示す。

本評価では、燃料ピン製造工程から燃料集合体組立・検査までの年間処理量及びライン構成と主要設備に関する評価とする。なお、年間処理量と経済性の関係については前年度（平成13年度）の結果も参照しながら、以下に評価結果を示す。

(1) 設備費の経済性評価

(a) 処理量と経済性の関係（13年度結果まとめ）

本設計においては、年間処理量の目標を50 tHM/yとして設備（機器）の設計を進めており、本設計の設備をベースとし、年間の処理量をパラメータにした場合の経済性への影響を評価した。

以下に示す参考図（13年度の抜粋）¹⁾に本設計をベースコスト（1.0）とした場合の経済性評価結果を示す。処理量は50 tHM/y、100 tHM/y、150 tHM/y及び200 tHM/yとし、処理量の増加に対し、

- ①機器容量（処理量）を増大した場合、
- ②機器台数を増加した場合、
- ③機器容量（処理量）及び機器台数を増やした場合

の3ケースについて比較したものである。

ここで、一般的に設備費は、以下の項目に分けられるが、製作費も含めたおおよその割合は従来の経験より割り出して、設計費、製作費、検査費、据付工事費、一般管理費の割合を、それぞれ10%、50%、10%、20%、10%（合計100%）と推定される。

- ・ 設計費：詳細設計費まで
- ・ 製作費：製作設計費、配管等の製作費を含む
- ・ 検査費：製作後及び現地据付け後の検査費
- ・ 据付費：電気計装費、配管工事費、通水試験費を含む
- ・ 一般管理費：現地体制等を含む

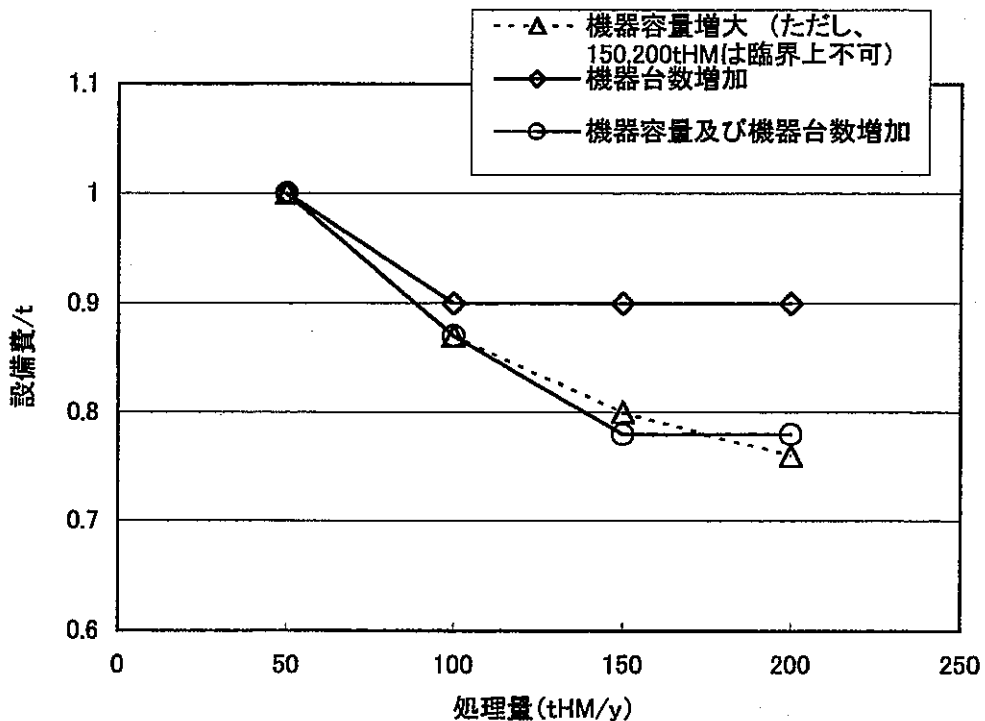
これらを考慮し、コスト評価の前提として、機器容量を大きくした場合は機器0.8乗則に、機器台数を増加した場合は0.9倍にと推定した。

また、機器容量の大きさの限度は、現行設計（50 tHM/y：50本取扱い=PuO₂：約21kg）の2倍（100本取扱い=PuO₂：約42kg）の容量とした。これは、臨界制限量を100kg

とした場合、仮に2台の機器が衝突等により破壊された場合においても臨界安全を確保できる容量である。

参考図（下図）から、本設計にて検討した機器（50 tHM/y）をベースにした場合、以下のことが評価できた。

・100tHM/yまでは機器容量を増大しそれ以上は機器台数を増加すること（③のケース）によりコスト（設備費/t）は150tHM/yまでは低下し、さらに処理量が増加した場合は上記と同様に機器台数の増加となるためコスト低下の効果は小さいが、①及び②のケースに比べ、コストが最も小さくなるケースである。



参考図 設備費の経済性評価 (13年度評価結果)

(b) ライン構成（主要設備数の増減）と経済性の関係（本年度評価）

本評価対象の設備は、

- ・燃料ピン製造セル内設備（燃料粒子受設備、振動充填設備、スパーサ挿入設備、端栓溶接設備、充填密度測定設備、除染設備、ヘリウムリーク試験設備）

- ・燃料ピン検査セル内設備（端栓溶接部検査設備、ワイヤ巻付設備、燃料ピン総合検査設備、燃料ピン洗浄設備）
- ・燃料集合体組立・検査設備セル内設備（燃料集合体組立設備、燃料集合体検査設備）

である。

本設計においては、年間処理量の目標を 50tHM/y として設備・機器の設計を進めており、本設計をベースとして燃料製造設備のライン構成を変更した場合の設備容量及び設備数を評価し、ライン構成（主要設備数の増減）と経済性の関係を概略評価し、さらに年間の処理量をパラメータにした場合の経済性への影響を評価した。ここで、処理量増加による経済性の評価として、燃料粒子受設備は連続的に燃料粒子を処理するため容量・台数の増加は無いと仮定し、振動充填設備、スパーサ挿入設備及び端栓溶接設備は容量を増加（臨界制限内）し、臨界制限を越えた場合は設備台数を増加した。その他の装置は各装置の処理能力（動作時間）から処理量を評価し、処理能力オーバー時には台数を増加した。

表 4.3-1 (1) (評価ケースA)～(4) (評価ケースD)にライン構成と主要設備数の関係のパラメータサーベイを示す。評価ライン構成は、下記に示すA～Dの4つのケースを考慮しパラメータサーベイを実施した。ここで、ライン構成の前提として、評価の単純化のためにセル単位でライン共用の有/無を設定し、また、炉心燃料 (MOX) とブランケット燃料 (UO_2) のコンタミを防止し除染作業の効率化を図るための必須項目として炉心燃料 (内側、外側) 製造ラインとブランケット燃料製造ラインは別ラインとした。したがって、本評価では、セル単位において、内側燃料製造ラインと外側燃料製造ラインを共用した場合の効果を評価した。ケースAは全ラインを別ラインとしたケースである。ケースBは本設計ケースであり、1日に取扱う燃料集合体数は少ないため (数体/日) 燃料集合体組立及び検査工程の設備は共用するが、取扱い量が比較的多い燃料ピン製造工程及び燃料ピン検査設備は別ラインとしたケースである。ケースCは燃料ピン検査セル以降は共用有としたケースである。ここで、ケースB、Cのライン共用の評価においては、セル内においてラインが増加した場合はその後のライン数は増加したライン数と同一と仮定した (ライン構成の簡素化のため)。ケースDは、コンタミの防止上は好ましくないが燃料粒子を燃料ピンへ装荷する前にラインを共用するケースであり、ライン共用の効果を見るための比較の参考として併載して

ある。ただし、ケースDは製造の初めから内側と外側のラインの考え方が全くないケースでありケースBやCラインのようなラインの簡素化は無視して設備数を自由に増減できるものとした。

A：全ライン別

B：集合体組立・検査ライン共用（本設計ケース）

C：ピン検査ライン、集合体組立・検査ライン共用

D：ピン製造ライン、ピン検査ライン、集合体組立・検査ライン共用

表4.3-2は、上記に示したライン構成（A～D）及び処理量（50～200tHM/y）をパラメータにして経済性を評価した結果のまとめ表であり、図4.3-1にライン構成と経済性の評価結果をプロットしたものを示す。

表4.3-1に示すように、本設計（ケースB）をベース（1.0に規格化）とした場合の評価結果を以下にまとめる。

・ケースAは、全工程が別ライン（3ライン）であり、工程的にシンプルであるが、その分設備数が最も多く、ケースBと比較して約5%（50t/y比較時）のコスト増加である。

・ケースCは、燃料ピン検査セル以降は設備を共用するケースであり、ケースBと比較して約11%（50t/y比較時）のコストの低減効果がある。本ケースは、燃料粒子は燃料ピンに封入されているためコンタミの可能性は少ないが、燃料ピン取扱い数が多い（外側：約104本/日、内側：約180本/日）ため製造工程（シーケンス）がやや煩雑になることや1設備の故障等により内側及び外側の両方の燃料ピンの製造が不可となり不利になる可能性がある。

・ケースDは、低減効果は大きい（約27%）（50t/y比較時）が、前述したように燃料粒子取扱い工程も共用するためコンタミの可能性が大きく、製造工程（シーケンス）も複雑になると考えられる。また、ケースCと同様に1設備の故障等により内側及び外側の両方の燃料ピンの製造が不可となり不利になる可能性がある。

(2) その他の経済性への影響推定

経済性評価に関しては、上記の設備費以外に下記の運転員数等が挙げられる。ここで、燃料ピン製造のための本振動充填工程設備においては、消耗品及び試薬品はほとんど無いこと、またユーティリティは機器稼動のための電力及び燃料ピン封入工程時

の少量の He ガスのみであることから、それらが経済性評価に与える影響は非常に小さいと判断できる。また、経済性は設備設置面積（体積）の大きさにも依存するが、燃料ピン及び集合体製造工程の前後工程との取り合いや、プラント全体の構成との関連に留意しながら評価する必要がある。

① 運転員数（人員計画）

本施設に従事する人員を施設の操作・管理内容、規模等から推定した。

$$9 \text{ 人} \times 5 \text{ 班} (3 \text{ 交替}) \times 2 = 90 \text{ 人}$$

② 消耗品費

③ ユーティリティ費

④ 試薬費

表4.3-1(i) 設備費の経済性評価 (処理量変化時、ケースA)

セル名称	装置名称	各種燃料ライン	50t/y			100t/y			150t/y			200t/y			備考				
			取扱量(kg) 又は 動作時間(min)	装置台数 台	コスト規格化 50t/y ^{0.8} -s	取扱量(kg) 又は 動作時間(min)	装置台数 台	コスト規格化 50t/y ^{0.8} -s	取扱量(kg) 又は 動作時間(min)	装置台数 台	コスト規格化 50t/y ^{0.8} -s	取扱量(kg) 又は 動作時間(min)	装置台数 台	コスト規格化 50t/y ^{0.8} -s					
燃料ピン製造セル	燃料粒子受入装置	内側炉心	34 (連続)	min	2	1	34 (連続)	min	2	1.0	34 (連続)	min	2	1.0	34 (連続)	min	2	1.0	【容量】=容量増加, 【台数】=台数増加 (ライン構成の簡素化も考慮) (連続運転のため容量・台数の増加なし)
		外側炉心	34 (連続)	min	2	1	34 (連続)	min	2	1.0	34 (連続)	min	2	1.0	34 (連続)	min	2	1.0	
		ブランケット	34 (連続)	min	1	1	34 (連続)	min	1	1.0	34 (連続)	min	1	1.0	34 (連続)	min	1	1.0	
	振動充填装置	内側炉心	21	kg	1	1	42	kg	1	1.7	42	kg	2	3.1	42	kg	2	3.1	臨界制限量: 50kgとした 【容量】+【台数】
		外側炉心	21	kg	1	1	42	kg	1	1.7	42	kg	2	3.1	42	kg	2	3.1	
		ブランケット	21	kg	1	1	42	kg	1	1.7	42	kg	2	3.1	42	kg	2	3.1	
	スペーサ挿入装置	内側炉心	21	kg	1	1	42	kg	1	1.7	42	kg	2	3.1	42	kg	2	3.1	臨界制限量: 50kgとした 【容量】+【台数】
		外側炉心	21	kg	1	1	42	kg	1	1.7	42	kg	2	3.1	42	kg	2	3.1	
		ブランケット	21	kg	1	1	42	kg	1	1.7	42	kg	2	3.1	42	kg	2	3.1	
	端栓溶接装置	内側炉心	21	kg	1	1	42	kg	1	1.7	42	kg	2	3.1	42	kg	2	3.1	臨界制限量: 50kgとした 【容量】+【台数】
		外側炉心	21	kg	1	1	42	kg	1	1.7	42	kg	2	3.1	42	kg	2	3.1	
		ブランケット	21	kg	1	1	42	kg	1	1.7	42	kg	2	3.1	42	kg	2	3.1	
	密度測定装置	内側炉心	620	min	2	1	620	min	4	1.8	620	min	6	2.7	620	min	8	3.6	1サイクル800min(50t規準) ただし、余裕係数0.8とし 640minとする。【台数】
		外側炉心	359	min	2	1	479	min	3	1.4	538	min	4	1.8	574	min	5	2.3	
		ブランケット	419	min	1	1	419	min	2	1.8	628	min	2	1.8	558	min	3	2.7	
	除染装置	内側炉心	75	min	2	1	75	min	4	1.8	75	min	6	2.7	75	min	8	3.6	1サイクル800minであるが、 ライン構成の簡素化を考慮 密度測定装置と同じ台数とする。【台数】
		外側炉心	43	min	2	1	58	min	3	1.4	65	min	4	1.8	69	min	5	2.3	
		ブランケット	51	min	1	1	51	min	2	1.8	76	min	2	1.8	68	min	3	2.7	
	ヘリウムリーク試験装置	内側炉心	85	min	2	1	85	min	4	1.8	85	min	6	2.7	85	min	8	3.6	1サイクル800minであるが、 ライン構成の簡素化を考慮 密度測定装置と同じ台数とする。【台数】
		外側炉心	49	min	2	1	66	min	3	1.4	74	min	4	1.8	79	min	5	2.3	
		ブランケット	57	min	1	1	57	min	2	1.8	86	min	2	1.8	77	min	3	2.7	
計	内側炉心			11				17				26				32			
	外側炉心			11				14				20				23			
	ブランケット			7				10				13				16			
燃料ピン検査セル	端栓溶接部検査装置	内側炉心	17	min	1	1	35	min	1	1.0	52	min	1	1.0	69	min	1	1.0	1サイクル200min(50t規準) ただし、余裕係数0.8とし 160minとする。【台数】
		外側炉心	10	min	1	1	20	min	1	1.0	30	min	1	1.0	40	min	1	1.0	
		ブランケット	6	min	1	1	12	min	1	1.0	18	min	1	1.0	23	min	1	1.0	
	ワイヤ巻付装置	内側炉心	69	min	1	1	139	min	1	1.0	104	min	2	1.8	139	min	2	1.8	1サイクル200min(50t規準) ただし、余裕係数0.8とし 160minとする。【台数】
		外側炉心	40	min	1	1	80	min	1	1.0	121	min	1	1.0	80	min	2	1.8	
		ブランケット	23	min	1	1	47	min	1	1.0	70	min	1	1.0	94	min	1	1.0	
	燃料ピン総合検査装置	内側炉心	77	min	1	1	153	min	1	1.0	115	min	2	1.8	153	min	2	1.8	1サイクル200minであるが、 ライン構成の簡素化を考慮 ワイヤ巻付装置と同じ台数とする。【台数】
		外側炉心	44	min	1	1	89	min	1	1.0	133	min	1	1.0	89	min	2	1.8	
		ブランケット	26	min	1	1	52	min	1	1.0	78	min	1	1.0	103	min	1	1.0	
	燃料ピン洗浄装置	内側炉心	25	min	1	1	50	min	1	1.0	38	min	2	1.8	50	min	2	1.8	1サイクル200minであるが、 ライン構成の簡素化を考慮 ワイヤ巻付装置と同じ台数とする。【台数】
		外側炉心	14	min	1	1	29	min	1	1.0	43	min	1	1.0	29	min	2	1.8	
		ブランケット	8	min	1	1	17	min	1	1.0	25	min	1	1.0	34	min	1	1.0	
	計	内側炉心			4				4				7				7		
		外側炉心			4				4				4				7		
		ブランケット			4				4				4				4		
燃料集合体組立・検査セル	集合体組立装置	内側炉心	339	min	1	1	679	min	1	1.0	1018	min	1	1	1358	min	1	1	1サイクル2165min(50t規準) ただし、余裕係数0.8とし 1732minとする。【台数】
		外側炉心	196	min	1	1	393	min	1	1.0	589	min	1	1	786	min	1	1	
		ブランケット	184	min	1	1	367	min	1	1.0	551	min	1	1	735	min	1	1	
	集合体検査装置	内側炉心	49	min	1	1	98	min	1	1.0	146	min	1	1	195	min	1	1	1サイクル2165min ただし、余裕係数0.8とし 1732minとする。【台数】
		外側炉心	28	min	1	1	57	min	1	1.0	85	min	1	1	113	min	1	1	
		ブランケット	26	min	1	1	53	min	1	1.0	79	min	1	1	106	min	1	1	
	計	内側炉心			2				2				2				2		
外側炉心				2				2				2				2			
ブランケット				2				2				2				2			
合計	内側炉心			17				23				35				41			
	外側炉心			17				20				26				32			
	ブランケット			13				16				19				22			
経済性(規格化:設備費)				47	39.0			59	51.6			80	70.5			95	79.7	(50t/yをベースとして規格化)	

表4.3-1(3) 設備費の経済性評価 (処理量変化時、ケースC)

セル名称	装置名称	各種燃料ライン	50t/y			100t/y			150t/y			200t/y			備考				
			取扱量(kg) 又は 動作時間(min)	装置台数 台	コスト規格化 50t/y ^{ベース}	取扱量(kg) 又は 動作時間(min)	装置台数 台	コスト規格化 50t/y ^{ベース}	取扱量(kg) 又は 動作時間(min)	装置台数 台	コスト規格化 50t/y ^{ベース}	取扱量(kg) 又は 動作時間(min)	装置台数 台	コスト規格化 50t/y ^{ベース}					
燃料ピン製造セル	燃料粒子受入装置	内側炉心	34 (連続)	min	2	1	34 (連続)	min	2	1.0	34 (連続)	min	2	1.0	34 (連続)	min	2	1.0	【容量】=容量増加, 【台数】=台数増加 (ライン構成の簡素化も考慮) (連続運転のため容量・台数の増加なし)
		外側炉心	34 (連続)	min	2	1	34 (連続)	min	2	1.0	34 (連続)	min	2	1.0	34 (連続)	min	2	1.0	
		ブランケット	34 (連続)	min	1	1	34 (連続)	min	1	1.0	34 (連続)	min	1	1.0	34 (連続)	min	1	1.0	
	振動充填装置	内側炉心	21	kg	1	1	42	kg	1	1.7	42	kg	2	3.1	42	kg	2	3.1	臨界制限量: 50kgとした 【容量】+【台数】
		外側炉心	21	kg	1	1	42	kg	1	1.7	42	kg	2	3.1	42	kg	2	3.1	
		ブランケット	21	kg	1	1	42	kg	1	1.7	42	kg	2	3.1	42	kg	2	3.1	
	スペーサ挿入装置	内側炉心	21	kg	1	1	42	kg	1	1.7	42	kg	2	3.1	42	kg	2	3.1	臨界制限量: 50kgとした 【容量】+【台数】
		外側炉心	21	kg	1	1	42	kg	1	1.7	42	kg	2	3.1	42	kg	2	3.1	
		ブランケット	21	kg	1	1	42	kg	1	1.7	42	kg	2	3.1	42	kg	2	3.1	
	端栓溶接装置	内側炉心	21	kg	1	1	42	kg	1	1.7	42	kg	2	3.1	42	kg	2	3.1	臨界制限量: 50kgとした 【容量】+【台数】
		外側炉心	21	kg	1	1	42	kg	1	1.7	42	kg	2	3.1	42	kg	2	3.1	
		ブランケット	21	kg	1	1	42	kg	1	1.7	42	kg	2	3.1	42	kg	2	3.1	
	密度測定装置	内側炉心	310	min	2	1	310	min	4	1.8	310	min	6	2.7	310	min	8	3.6	1サイクル800min(50t規準) ただし、余裕係数0.8とし 640minとする。【台数】
		外側炉心	179	min	2	1	239	min	3	1.4	269	min	4	1.8	287	min	5	2.3	
		ブランケット	209	min	1	1	209	min	2	1.8	314	min	2	1.8	279	min	3	2.7	
	除染装置	内側炉心	75	min	2	1	75	min	4	1.8	75	min	6	2.7	75	min	8	3.6	1サイクル800minであるが、 ライン構成の簡素化を考え 密度測定装置と同じ台数とする。【台数】
		外側炉心	43	min	2	1	58	min	3	1.4	65	min	4	1.8	69	min	5	2.3	
		ブランケット	51	min	1	1	51	min	2	1.8	76	min	2	1.8	68	min	3	2.7	
	ヘリウムリーク試験装置	内側炉心	85	min	2	1	85	min	4	1.8	85	min	6	2.7	85	min	8	3.6	1サイクル800minであるが、 ライン構成の簡素化を考え 密度測定装置と同じ台数とする。【台数】
		外側炉心	49	min	2	1	66	min	3	1.4	74	min	4	1.8	79	min	5	2.3	
		ブランケット	57	min	1	1	57	min	2	1.8	86	min	2	1.8	77	min	3	2.7	
計	内側炉心			11				17				26				32			
	外側炉心			11				14				20				23			
	ブランケット			7				10				13				16			
燃料ピン検査セル	端栓溶接部検査装置	内側炉心	17	min	1	1	35	min	1	1.0	52	min	1	1.0	69	min	1	1.0	1サイクル127min(50t規準) ただし、余裕係数0.8とし 102minとする。【台数】
		外側炉心																	
		ブランケット	4	min	1	1	7	min	1	1.0	11	min	1	1.0	15	min	1	1.0	
	ワイヤ巻付装置	内側炉心	69	min	1	1	69	min	2	1.8	69	min	3	2.7	93	min	3	2.7	1サイクル127min(50t規準) ただし、余裕係数0.8とし 102minとする。【台数】
		外側炉心																	
		ブランケット	15	min	1	1	30	min	1	1.0	45	min	1	1.0	59	min	1	1.0	
	燃料ピン総合検査装置	内側炉心	77	min	1	1	77	min	2	1.8	77	min	3	2.7	102	min	3	2.7	1サイクル127minであるが、 ライン構成の簡素化を考え ワイヤ巻付装置と同じ台数とする。【台数】
		外側炉心																	
		ブランケット	16	min	1	1	33	min	1	1.0	49	min	1	1.0	66	min	1	1.0	
	燃料ピン洗浄装置	内側炉心	25	min	1	1	25	min	2	1.8	25	min	3	2.7	33	min	3	2.7	1サイクル200minであるが、 ライン構成の簡素化を考え ワイヤ巻付装置と同じ台数とする。【台数】
外側炉心																			
ブランケット		5	min	1	1	11	min	1	1.0	16	min	1	1.0	21	min	1	1.0		
計	内側炉心			4				7				10				10			
	外側炉心																		
	ブランケット			4				4				4				4			
燃料集合体組立検査セル	集合体組立装置	内側炉心	339	min	1	1	679	min	1	1.0	1018	min	1	1	679	min	2	1	1サイクル1371min(50t規準) ただし、余裕係数0.8とし 1098minとする。【台数】
		外側炉心																	
		ブランケット	116	min	1	1	233	min	1	1.0	349	min	1	1	465	min	1	1	
	集合体検査装置	内側炉心	49	min	1	1	98	min	1	1.0	146	min	1	1	98	min	2	1	1サイクル1371minであるが、 ライン構成の簡素化を考え 集合体組立装置と同じ台数とする。【台数】
		外側炉心																	
		ブランケット	17	min	1	1	33	min	1	1.0	50	min	1	1	67	min	1	1	
計	内側炉心			2				2				2				4			
	外側炉心																		
	ブランケット			2				2				2				2			
合計	内側炉心			17				26				38				46			
	外側炉心			11				14				20				23			
	ブランケット			13				16				19				22			
経済性(規格化:設備費)				41	33.0			56	47.9			77	67.2			91	76.0	(50t/yをベースとして規格化)	

表4.3-1(4) 設備費の経済性評価 (処理量変化時、ケースD)

セル名称	装置名称	各種燃料ライン	50t/y			100t/y			150t/y			200t/y			備考				
			取扱量(kg) 又は 動作時間(min)	装置台数 台	コスト規格化 50t/y ^{1/3} -s	取扱量(kg) 又は 動作時間(min)	装置台数 台	コスト規格化 50t/y ^{1/3} -s	取扱量(kg) 又は 動作時間(min)	装置台数 台	コスト規格化 50t/y ^{1/3} -s	取扱量(kg) 又は 動作時間(min)	装置台数 台	コスト規格化 50t/y ^{1/3} -s					
燃料ピン製造セル	燃料粒子受入装置	内側炉心	34 (連続)	min	2	1	34 (連続)	min	2	1.0	34 (連続)	min	2	1.0	34 (連続)	min	2	1.0	【容量】=容量増加, 【台数】=台数増加 (ライン構成の簡素化の考慮なし) (連続運転のため容量・台数の増加なし)
		外側炉心	34 (連続)	min	2	1	34 (連続)	min	2	1.0	34 (連続)	min	2	1.0	34 (連続)	min	2	1.0	
		ブランケット	34 (連続)	min	1	1	34 (連続)	min	1	1.0	34 (連続)	min	1	1.0	34 (連続)	min	1	1.0	
	振動充填装置	内側炉心	21	kg	1	1	42	kg	1	1.7	42	kg	2	3.1	42	kg	2	3.1	臨界制限量: 50kgとした 【容量】+【台数】
		外側炉心																	
		ブランケット	21	kg	1	1	42	kg	1	1.7	42	kg	2	3.1	42	kg	2	3.1	
	スパーサ挿入装置	内側炉心	21	kg	1	1	42	kg	1	1.7	42	kg	2	3.1	42	kg	2	3.1	臨界制限量: 50kgとした 【容量】+【台数】
		外側炉心																	
		ブランケット	21	kg	1	1	42	kg	1	1.7	42	kg	2	3.1	42	kg	2	3.1	
	端栓溶接装置	内側炉心	21	kg	1	1	42	kg	1	1.7	42	kg	2	3.1	42	kg	2	3.1	臨界制限量: 50kgとした 【容量】+【台数】
		外側炉心																	
		ブランケット	21	kg	1	1	42	kg	1	1.7	42	kg	2	3.1	42	kg	2	3.1	
	密度測定装置	内側炉心	155	min	4	1	177	min	7	1.6	186	min	10	2.3	191	min	13	2.9	1サイクル253min(50t規準) ただし、余裕係数0.8とし 202minとする。【台数】
		外側炉心																	
		ブランケット	133	min	1	1	133	min	2	1.8	199	min	2	1.8	177	min	3	2.7	
	除染装置	内側炉心	150	min	1	1	150	min	2	1.8	150	min	3	2.7	200	min	3	2.7	1サイクル253min(50t規準) ただし、余裕係数0.8とし 202minとする。【台数】
		外側炉心																	
		ブランケット	32	min	1	1	64	min	1	1.0	96	min	1	1.0	128	min	1	1.0	
	ヘリウムリーク試験装置	内側炉心	170	min	1	1	170	min	2	1.8	170	min	3	2.7	170	min	4	3.6	1サイクル253min(50t規準) ただし、余裕係数0.8とし 202minとする。【台数】
		外側炉心																	
		ブランケット	36	min	1	1	73	min	1	1.0	109	min	1	1.0	145	min	1	1.0	
計	内側炉心			11				16				24				28			
	外側炉心			2				2				2			2				
	ブランケット			7				8				11			12				
燃料ピン検査セル	端栓溶接部検査装置	内側炉心	17	min	1	1	35	min	1	1.0	52	min	1	1.0	69	min	1	1.0	1サイクル127min(50t規準) ただし、余裕係数0.8とし 102minとする。【台数】
		外側炉心																	
		ブランケット	4	min	1	1	7	min	1	1.0	11	min	1	1.0	15	min	1	1.0	
	ワイヤ巻付装置	内側炉心	69	min	1	1	69	min	2	1.8	69	min	3	2.7	93	min	3	2.7	1サイクル127min(50t規準) ただし、余裕係数0.8とし 102minとする。【台数】
		外側炉心																	
		ブランケット	15	min	1	1	30	min	1	1.0	45	min	1	1.0	59	min	1	1.0	
	燃料ピン総合検査装置	内側炉心	77	min	1	1	77	min	2	1.8	77	min	3	2.7	102	min	3	2.7	1サイクル127min(50t規準) ただし、余裕係数0.8とし 102minとする。【台数】
		外側炉心																	
		ブランケット	16	min	1	1	33	min	1	1.0	49	min	1	1.0	66	min	1	1.0	
	燃料ピン洗浄装置	内側炉心	25	min	1	1	50	min	1	0.9	75	min	1	0.9	100	min	1	0.9	1サイクル127min(50t規準) ただし、余裕係数0.8とし 102minとする。【台数】
		外側炉心																	
		ブランケット	5	min	1	1	11	min	1	1.0	16	min	1	1.0	21	min	1	1.0	
計	内側炉心			4				6				8			8				
	外側炉心																		
	ブランケット			4				4				4			4				
燃料集合体組立検査セル	集合体組立装置	内側炉心	339	min	1	1	679	min	1	1.0	1018	min	1	1	679	min	2	1	1サイクル1371min(50t規準) ただし、余裕係数0.8とし 1098minとする。【台数】
		外側炉心																	
		ブランケット	116	min	1	1	233	min	1	1.0	349	min	1	1	465	min	1	1	
	集合体検査装置	内側炉心	49	min	1	1	98	min	1	1.0	146	min	1	1	98	min	2	1	1サイクル1371minであるが、 ライン構成の簡素化を考え 集合体組立装置と同じ台数とする。【台数】
		外側炉心																	
		ブランケット	17	min	1	1	33	min	1	1.0	50	min	1	1	67	min	1	1	
計	内側炉心			2				2				2			4				
	外側炉心																		
	ブランケット			2				2				2			2				
合計	内側炉心			17				24				34			40				
	外側炉心			2				2				2			2				
	ブランケット			13				14				17			18				
経済性(規格化:設備費)					32	27.0			40	35.9			53	48.6			60	51.0	(50t/yを ^{1/3} として規格化)

表4.3-2 設備費の経済性評価 (処理量及びライン構成パラメータ)

	評価ケース (製造ライン構成)	A				B				C				D				備考
		50	100	150	200	50	100	150	200	50	100	150	200	50	100	150	200	
	処理量 (tIM/y)	50	100	150	200	50	100	150	200	50	100	150	200	50	100	150	200	
設備費	機器台数及び容量増加の効果 (ケース毎、50t/y ^へ ス)	39.0	51.5	70.5	79.7	37.0	49.5	68.5	77.7	33.0	47.9	67.2	74.0	27.0	35.9	48.6	51.0	表4.3-1(1)~(4)の 経済性評価値参照。
	機器台数及び容量増加の効果 規格化 (ケース毎、50t/y ^へ ス)	1	1.32	1.81	2.04	1	1.34	1.85	2.10	1	1.45	2.04	2.24	1	1.33	1.80	1.89	
	機器台数及び容量増加の効果 規格化 (ケースB、50t/y ^へ ス)	1.05	1.39	1.91	2.15	1	1.34	1.85	2.10	0.89	1.30	1.82	2.00	0.73	0.97	1.31	1.38	
設備費/t	機器台数及び容量増加の効果 規格化 (ケースB、50t/y ^へ ス)	1.05	0.70	0.64	0.54	1	0.67	0.62	0.52	0.89	0.65	0.61	0.50	0.73	0.49	0.44	0.34	図4.3-1プロット値
備考	<p>注意1: 本評価は機器設計を50tIM/yベースとした検討結果である。</p> <p>注意2: ケースA~Dは表4.3-1参照 (ライン構成をパラメータとして評価)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ケースA: 全ライン別 ・ケースB: 外側/内側の集合体組立・検査ライン共用 (本設計に適用) ・ケースC: 外側/内側のピン検査及び集合体組立・検査ライン共用 ・ケースD: 外側/内側のピン製造、ピン検査及び集合体組立・検査ライン共用 																	

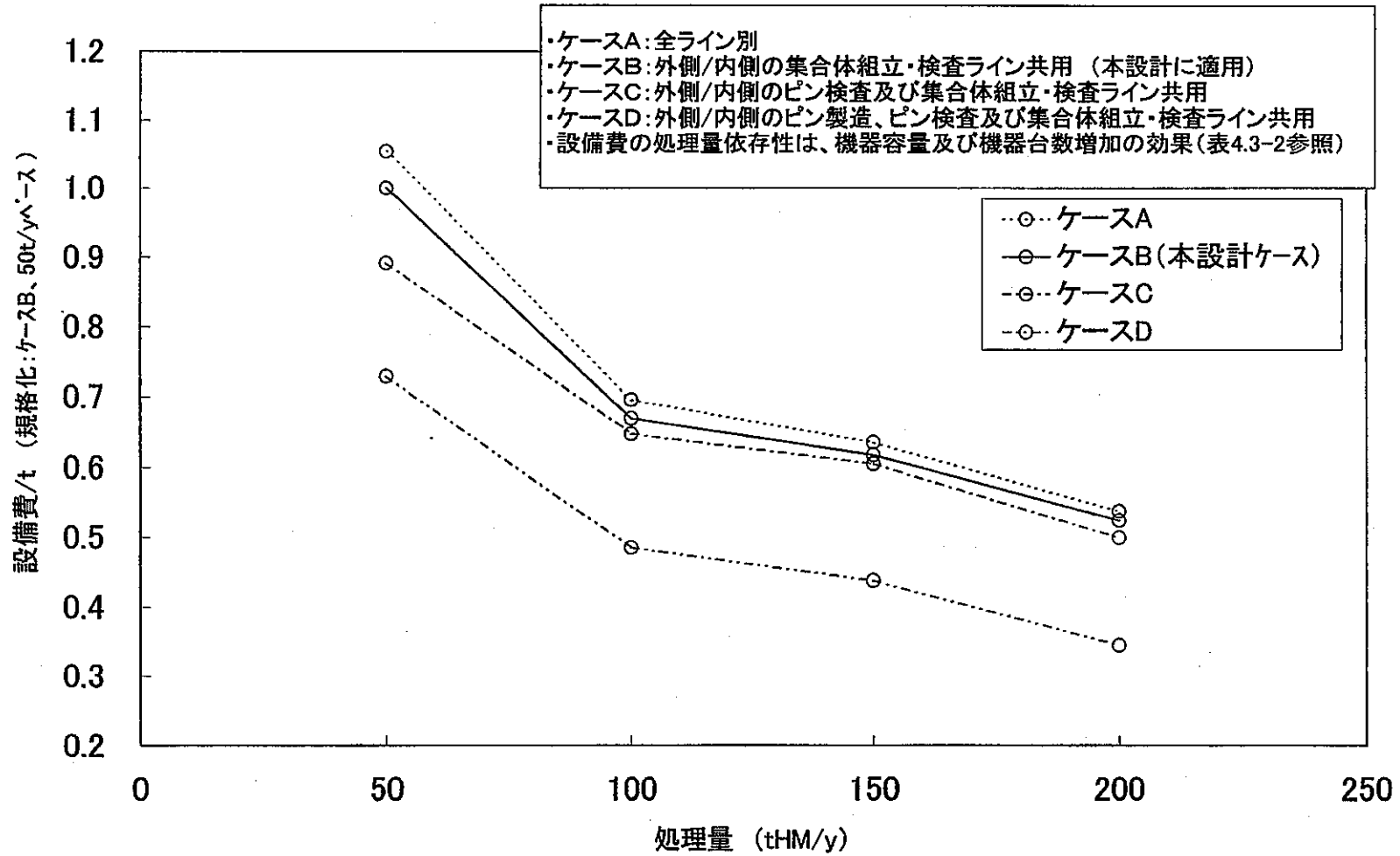


図4.3-1 ライン構成と経済性評価

4.4 廃棄物発生量に関するデータの調査検討

これまでの検討結果を基に廃棄物量の予測を行った。本評価では、装置の故障による廃棄物発生量及び装置のメンテナンス（定期点検）による交換部品の廃棄物発生量の概算を行った。各装置の故障及びメンテナンス毎に発生する廃棄物はその装置の重量の1/10と仮定し、故障による廃棄物発生量は故障頻度（表 3.3.4-1 参照）を基に、また、装置の定期点検（1回/年と仮定）時の廃棄物発生量は部品交換頻度を2年に1回（0.5回/年）として評価した。また、また、マテリアルハンドリング装置については故障及びメンテナンス頻度を10年とし、同様に算出した。なお、今回は装置の構造部品（架体など）は廃棄物の対象としていない。これらの結果をまとめて表 4.4-1 に示す。

表 4.4-1 廃棄物発生量の推定

セル名称	装置名称	重量	装置台数	故障頻度	故障廃棄物量	定検交換頻度	定検廃棄物量
		(kg/台) (概略)	(台)	回/(年・基)	① (kg)	定検:1回/年 回/(年・基)	② (kg)
燃料ピン製造セル	燃料粒子受入装置	500	5	0.016	4	0.5	125
	振動充填装置	2500	3	0.432	324	0.5	375
	スペーサ挿入装置	1000	3	0.039	12	0.5	150
	端栓溶接装置	1000	3	0.351	105	0.5	150
	密度測定装置	500	5	0.571	143	0.5	125
	除染装置	500	5	0.041	10	0.5	125
	ヘリウム-7試験装置	500	5	0.029	7	0.5	125
	計		29				
燃料ピン検査セル	端栓溶接部検査装置	500	3	0.007	1	0.5	75
	ワイヤ巻付装置	1000	3	0.065	20	0.5	150
	燃料ピン総合検査装置	2000	3	0.118	71	0.5	300
	燃料ピン洗浄装置	500	3	0.024	4	0.5	75
	計		12				
燃料集合体組立・ 検査セル	集合体組立装置	3000	2	0.058	35	0.5	300
	集合体検査装置	500	2	0.005	1	0.5	50
	計		4				
その他	マテハン装置	100	85	0.1	85	0.1	85
小計					822		2210
合計 (①+②)							3032

5. 結論

核燃料サイクル開発機構ではFBRサイクルの実用化像の構築を目的としたFBR実用化戦略調査研究を実施しており、その一環として、FBR燃料を対象とする湿式振動充填燃料の製造プラントについて調査した。本調査においては、燃料粒子受入れ工程から集合体貯蔵庫への搬入までの主要機器の概念設計及びセル内配置設計等を実施した。

具体的には、振動充填燃料製造設備の主要機器の基本設計を行うとともに各機器のセル内配置、運転手順、マテリアルハンドリング、運転フローチャート、保守・補修等の明確化、安全性に係わる検討及び技術的成立性に関する検討等のシステム評価に関する検討を実施した。

研究の成果を以下に示す。

(1) 主要設備の基本設計

平成13年度に実施した設備の概念設計もベースとし、燃料ピン製造工程から燃料集合体組立・検査設備までの主要機器の基本設計を実施し、基本構造、基本寸法、基本動作、処理能力を明らかにした。

(2) セル内機器配置検討

主要機器の概略寸法及び物流等を基に、燃料ピン製造セル、燃料ピン検査セル及び燃料集合体組立・検査セル内における主要機器の機器配置及びマテリアルハンドリング装置の配置を実施した。

(3) 運転に関する検討

各主要機器の運転手順及び運転フローチャートを明らかにし、システムの成立性を確認した。また、製造装置毎の動作時間及び故障頻度を評価し、装置毎の稼働率を評価した。

(4)安全に係わる設計検討

本研究において設計した燃料製造システムの安全性については、取扱う燃料の形態及び量を勘案し、臨界安全性、崩壊熱に対する熱的安全性、及び耐震性・火災・爆発に関する安全性を考慮した設計とした。

(5)品質保証及び計量管理

粒子燃料を用いた燃料ピン製造時の品質保証のための検査項目を明らかにするとともに異種粒子のコンタミ防止方法についても検討した。計量管理については、本燃料製造システムの計量管理区域の設定を示すとともに、計量管理方法、ホールドアップ対策案を示した。

(6)システム評価に関する検討

本燃料製造システムの主要設備の技術的成立性を示し、今後、明確にしていく必要がある技術的課題を提示した。

本システムの経済性に関する検討においては、本設計の主要設備の機器容量及び機器台数をベースとしてセル毎の燃料製造ライン構成による経済性への影響を概略評価し、ライン構成と処理量をパラメータとして、燃料処理量 (t) あたりの設備費について増減の傾向を評価した。

また、本システムから生じる廃棄物についても機器のメンテナンス回数等を基に廃棄物発生量を算出した。

6. 参考文献

- (1) 高橋 正典、他、「振動充填燃料製造機器概念調査（振動充填装置）」、JNC ZJ 9420 2002-005、2002
- (2) J. E. Ayer and F. E. Soppet, “Vibratory Compaction : I, Compaction of Spherical Shapes” , Journal of The American Ceramic Society, Vol. 48, No. 4, 1965. 4
- (3) 市田 嵩「信頼性技術 設計・製造・使用」、東京電機大学出版局、P304、1972
- (4) 「伝熱工学資料」（改定第3版）、社団法人日本機械学会、P220、1975
- (5) 「プルトニウム燃料工学」、社団法人日本原子力学会、P149、1998
- (6) 堀雅夫：「基礎高速炉工学」、日刊工業新聞社、P296、1993
- (7) 「伝熱ハンドブック」、社団法人日本機械学会、P2、1993
- (8) 「原子炉材料ハンドブック」、日刊工業新聞社、P548、1977
- (9) 「解説／原子力設備の技術基準<1994>」、日刊工業新聞社、P548、1977
- (10) 「プルトニウム燃料製造施設の保障措置」、株式会社電力新報社、P588、1994