

五 分 多 要	
文書番号	横線
令和元年月日 平成 13年 7月 31日	

燃料材料試験部における照射後試験



1978年7月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
	N908 78-01

この資料は 図書室保存資料です
閲覧には技術資料閲覧票が必要です

動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室

動力炉・核燃料開発事業団

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大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

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, 319-1184
Japan

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

目 次

1. まえがき	1
2. 照射後試験の対象となる「常陽」炉心構成要素	2
3. 照射後試験施設の概要	15
3.1 照射燃料集合体試験室(FMF)	15
3.2 照射燃料試験室(AGF)	16
3.3 照射材料試験室(MMF)	16
4. 照射後試験の内容	19
4.1 FMFにおける照射後試験	19
4.1.1 試験セルでの試験	19
4.1.2 FMF金相セルでの試験	44
4.2 AGFにおける照射後試験	50
4.3 MMFにおける照射後試験	74
5. あとがき	108

(2)

1. ま　え　が　き

高速実験炉「常陽」は、昭和52年4月臨界に達して以来低出力試験を経て順調に運転を続けて現在出力上昇試験も正に終盤にさしかかりつつあり、今年末には最初の検査用燃料集合体が炉外に搬出されようとしている。

燃料材料試験部では、すでに照射燃料試験室（AGF）および照射材料試験室（MMF）は数年間の稼動実績を有しており、その間「常陽」用燃料、材料の開発および確性試験さらには高速原型炉「文珠」用燃料、材料の開発試験を続けてきたわけであるが、照射燃料集合体試験室（FMF）においても「常陽」より搬出される炉心構成要素の照射後試験に備えて目下鋭意試運転を進めており、今秋中にはホット運転に入る態勢にある。これにより大洗工学センター燃料材料試験部の3施設は足並みをそろえることになり、「常陽」炉心構成要素の照射後試験に関する限り整備された状態になる。

「常陽」炉心構成要素には、炉心燃料集合体、ブランケット燃料集合体、制御棒、サーベイランス・テスト・リグ、可動反射体等が含まれており、これら集合体の照射後試験については「常陽燃料集合体の照射後試験」（昭和52年3月、動力炉・核燃料開発事業団N241 77-07）によりその概要が紹介されているが、この機会に「常陽」の定格運転に先立ってその内容を見直すとともに、関係各部門の要望を入れてさらに具体的な試験計画を早急に立案する必要がある。

燃料材料試験部では、これら試験計画作成のため関係各部門と連絡しつつすでに一部の準備を始めているが、関係各位が検討されるにはまずどのような照射後試験が可能であるかとの認識を得て頂く必要があると考え、こゝに本試験部3施設で現在可能な試験の全容を紹介する次第である。

関係各位におかれでは、本書の趣旨を理解された上、「常陽」炉心構成要素の照射後試験計画について提言されることを希望するものである。

大洗工学センター燃料材料試験部

2. 照射後試験の対象となる「常陽」炉心構成要素

「常陽」炉心構成要素の照射後試験については、増殖炉心燃料のうち炉心燃料集合体10体、半径方向ブランケット燃料集合体4体を試験に供するよう計画されている。この他、制御棒、サーベイランス・テスト・リグ、中性子源等も試験対象になる。

これら炉心構成要素のうち、集合体等の概要を表-1に、集合体等を構成しているピン等の概要を表-2に示す。また集合体等の概念図を図-1から図-10に示してある。

この他出力上昇試験中に使用されている「計装集合体」については、「温度分布測定用計装燃料集合体」が照射後試験に提供されることになっている。

表-1 照射後試験の対象となる炉心構成要素の概要-(1) 集合体等

(「常陽」増殖炉心用)

試験対象物	概要	主要構成材料 試験体内部に 装荷されてい るピン試験を 除く	断面 形状	主要寸法			備考
				全長 (mm)	外対面間距 離または外 径 (mm)	肉厚 (mm)	
炉心燃料集合体	六角断面のラッパ管の上下にハンドリングヘッドとエンタランスノズルが付いている。内部に91本の炉心燃料ピンが装荷されている。	SUS316	六角	2,970	78.5	1.9	パッドはCrメッキ
プランケット燃料集合体	六角断面のラッパ管の上下にハンドリングヘッドとエンタランスノズルが付いている。内部に19本のプランケット燃料ピンが装荷されている。	SUS316	六角	2,970	78.5	1.9	パッドはCrメッキ
制御棒 (調整棒及び安全棒)	円断面のラッパ管の上下にハンドリング・ヘッドとダッシュ・シュラムが付いている。内部に7本の吸収ピンが装荷されている。	SUS316 インコネルX -750 (お さえ用スプリ ング)	円	2,250	65.0φ (調整棒) 64.1φ (安全棒)	1.95 1.5	
パイロオッシャータ	円断面のラッパ管の上下にハンドリング・ヘッドとダッシュ・シュラムが付いている。	SUS304 インコネルX -750 (お さえ用スプリ ング)	円	2,250	70.0φ	2.0	
サーベイランス・テス ト・リグ (燃料貯蔵ラック用)	円断面の収納管の上下にハンドリング・ヘッドと接続管が付いている。内部にサーベイランス試験片が装荷されている。	SUS304	円	2,970	76.3φ	3.5	
サーベイランス・テス ト・リグ (材料照射ラック用)	同上	SUS304	円	2,250	76.3φ	3.5	
サーベイランス・テス ト・リグ (反射体位置用)	同上	SUS304	円(上下パ ッド部は六 角)	2,970	76.3φ	5.2	
中性子源用ガンマ線 源部受入集合体	円断面のラッパ管の上下にハンドリング・ヘッドとエンタランスノズルが付いている。内部に円環状のベリリウム要素が装荷されている。	SUS316	円(上下パ ッド部は六 角)	2,970	78.5φ	2.1	パッド部はステライト肉盛
中性子源用ガンマ線 源部	ハンドリングヘッドにバスケットを取り付け、バスケットの中にアンチモン要素が装荷されている。バスケット中のアンチモン要素の保持はバスケットリングによる。アンチモン要素は2本。	SUS316	円	1,282	50.0φ (ハンドリ ングヘッド 外径)	-	ハンドリングヘッド寸法が通常のものと異 なっている。
制御棒用下部案内管	円断面の案内管の上下にハンドリングヘッドとダッシュ・ポートエントランスノズルが付いている。内部は制御棒が上下駆動できるよう中空になっている。	SUS316	円(H・H とパッド部 は六角)	2,780 調 2,785 岩	75φ 78.3φ	2.0 1.8	H・H形状が異っている。 H・Hパッド、ダッシュポット、EN部等 の一部にステライト肉盛
パイロオッシャータ用 下部案内管	同上	SUS304	円 (同上)	2,785	78.3φ	1.9	同上
反射体	中心に30 mmφの孔のあいた六角断面厚肉管の上下にハンドリングヘッドとエンタランスノズルが付いている。	SUS304	六角	2,970	78.5	-	上下パッドはステライト肉盛。

表 - 2 照射後試験の対象となる炉心構成要素の概要 - (2) ピン等

(「常陽」増殖炉心用)

試験対象物	概要	主要構成材料	断面形状	主要寸法			備考
				全長 (mm)	外径 (mm)	被覆管肉厚 (mm)	
炉心燃料ピン	SUS316被覆管の中に(PuO_2-UO_2)ペレットD・ UO_2 ペレット、スプリング、スペーサが装荷されている。	SUS316 (被覆管等) PuO_2-UO_2 (ペレット) D・ UO_2 (ペレット)	円	1,910	6.3φ	0.35	PuO_2-UO_2 カラム長：600mm D・ UO_2 カラム長：400mm(上、下) スペーサワイヤ径：1.2mmφ ワイヤ巻ピッチ：266mm
プランケット燃料ピン	SUS316被覆管の中に劣化ウラン酸化物(D・ UO_2)ペレット、スプリング、スペーサーが装荷されている。	SUS316 (被覆管等) D・ UO_2 (ペレット)	円	1,915	15.0φ	0.6	D・ UO_2 カラム長：1,400mm スペーサワイヤ径：1.3mm ワイヤ巻ピッチ：314mm
中性子吸収ピン (調整棒及び安全棒用)	SUS316被覆管の中に B_4C ペレット、スプリング、スペーサが装荷されている。	SUS316 (被覆管等) B_4C (ペレット) インコネル X-750 (スプリング)	円	1,875 1,888 (中央の1 本のみ)	17.6φ	1.2	B_4C カラム長：700mm スペーサワイヤ径：2mmφ ワイヤ巻ピッチ：260mm
ベリリウム要素 (中性子源用ガンマーライン源部受入集合体用)	円環断面のSUS316被覆管の上下にハンドリングヘッドと取付パイプが付いている。被覆管の中にはベリリウムバランサパイプ、スプリングが装荷されている。	SUS316 (被覆管等) ベリリウム	円環	1,092 (取付パイ プ長100 は含まれて いない。)	外筒外径 7.3.3φ 内筒内径 3.2φ	外筒内厚 2.0 内筒内厚 1.5	ベリリウム長：645mm
アンチモン要素 (中性子源用ガンマーライン源部)	SUS316被覆管の中にアンチモン棒が装荷されている。	SUS316 (被覆管) アンチモン	円	312	22.5φ	1.0	アンチモン長：300mm

〔注意〕：「常陽」照射炉心用は除く。

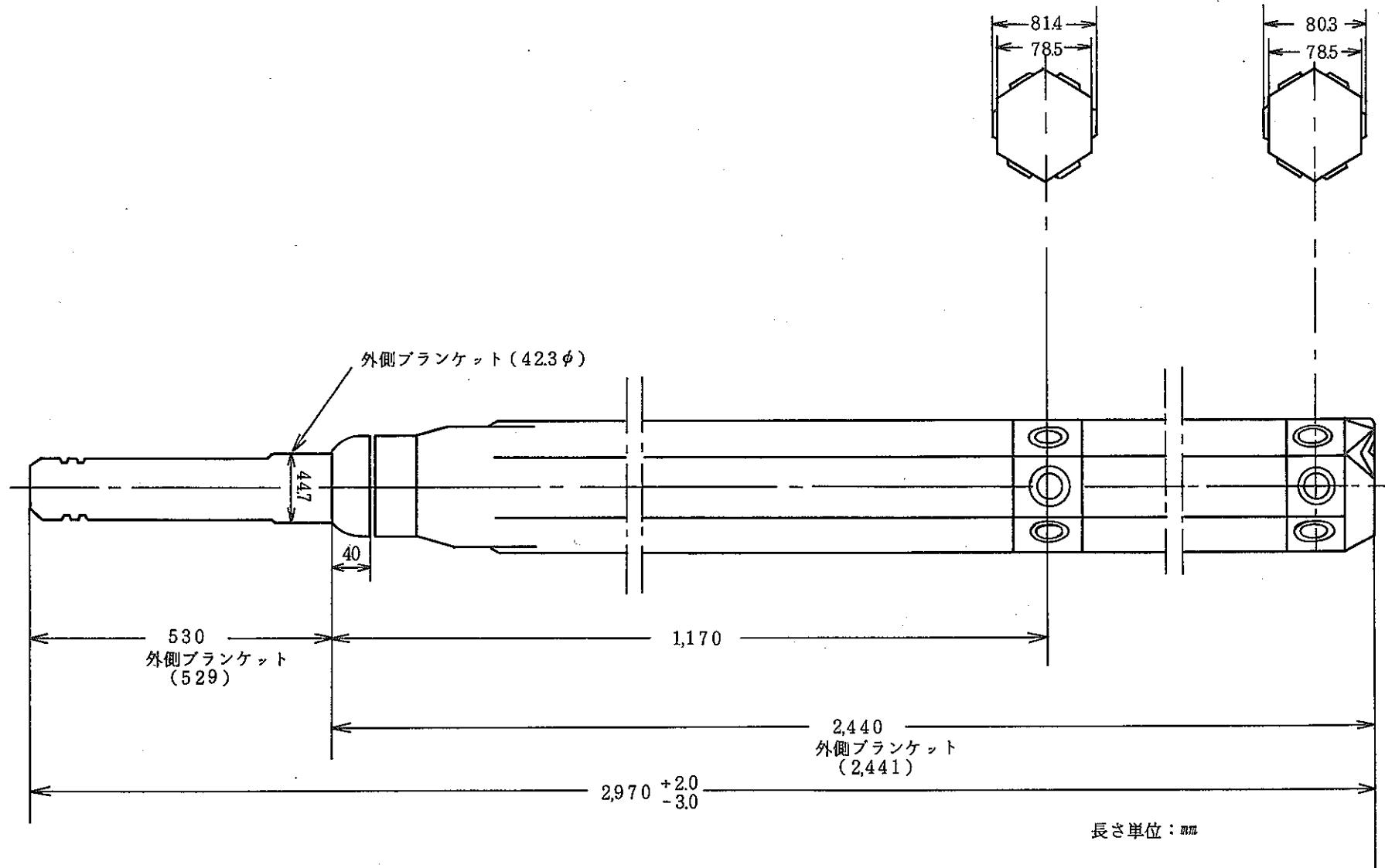


図-1 炉心燃料集合体、プランケット燃料集合体(内側、外側)

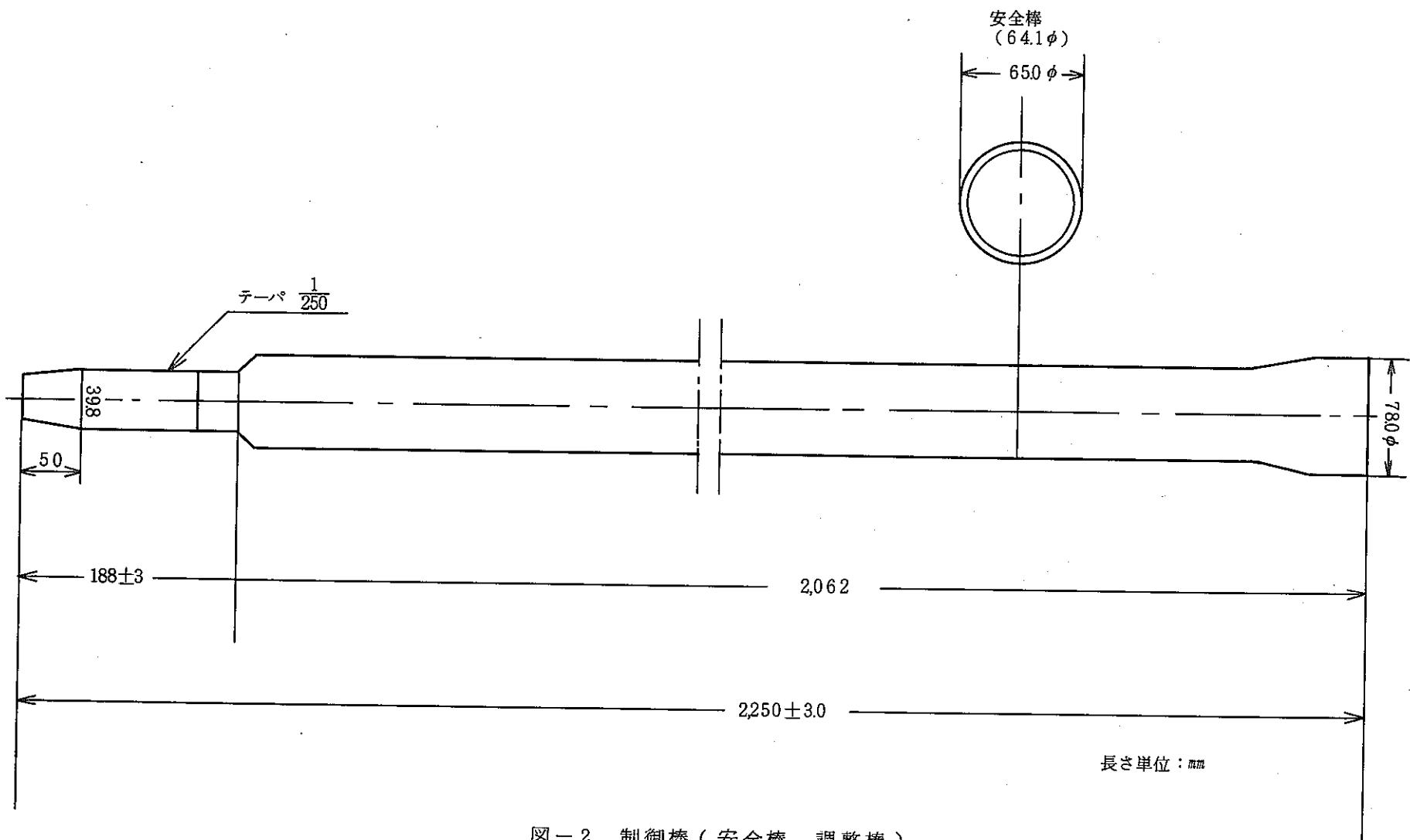


図-2 制御棒(安全棒, 調整棒)

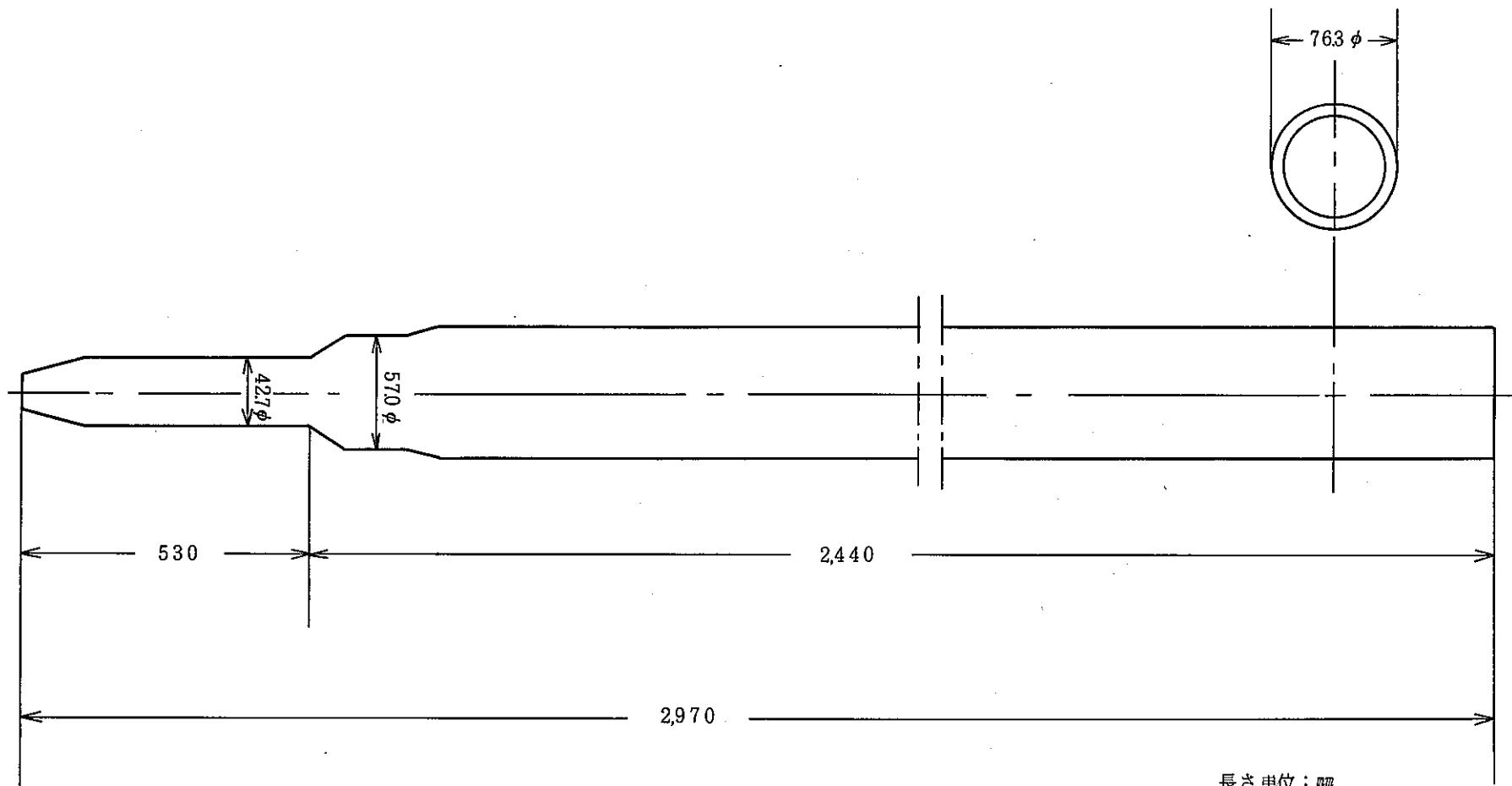


図-3 サーベイランス・テスト・リグ(燃料貯蔵ラック用)

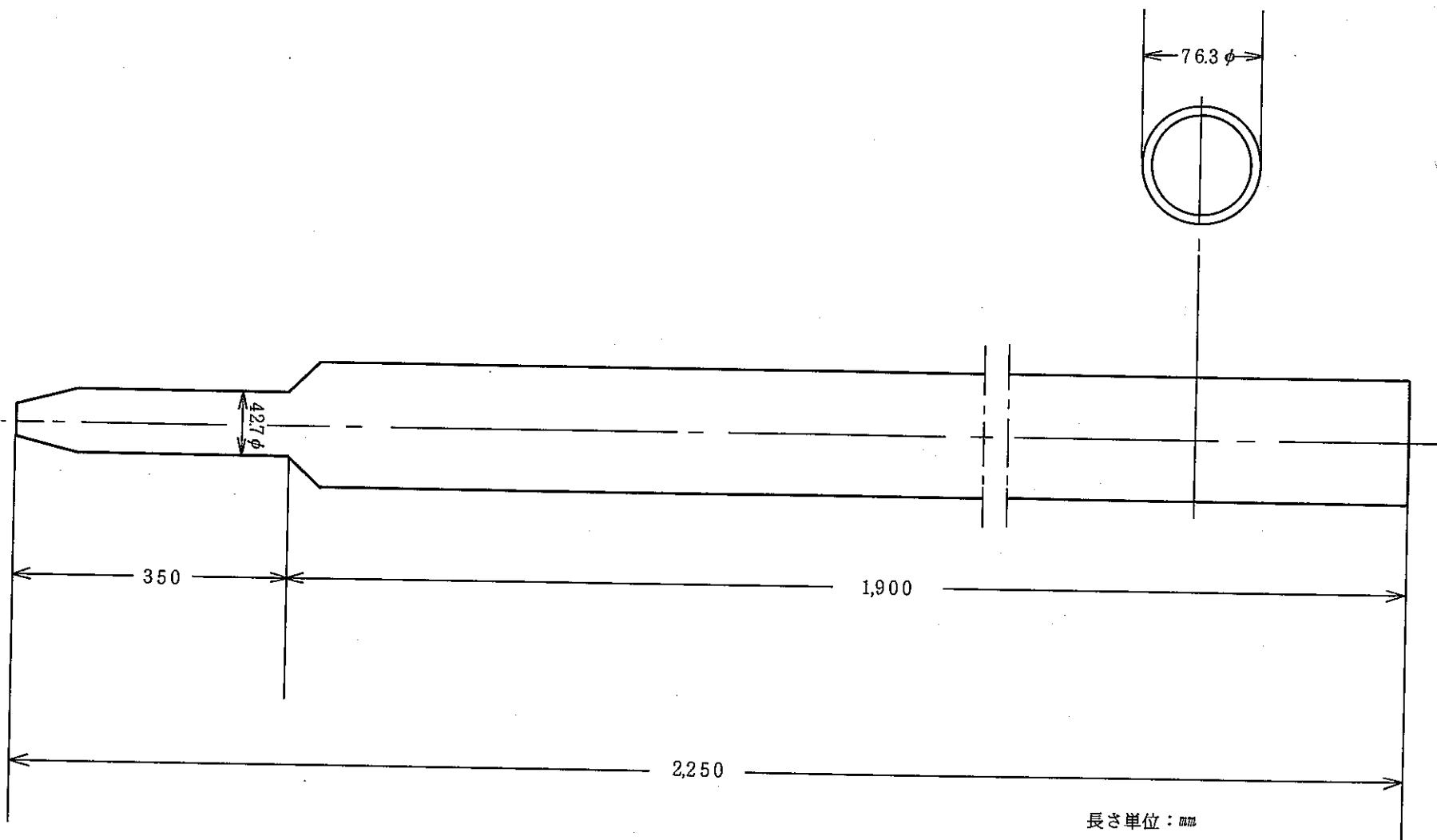


図-4 サーベイランス・テスト・リグ(材料照射ラック用)

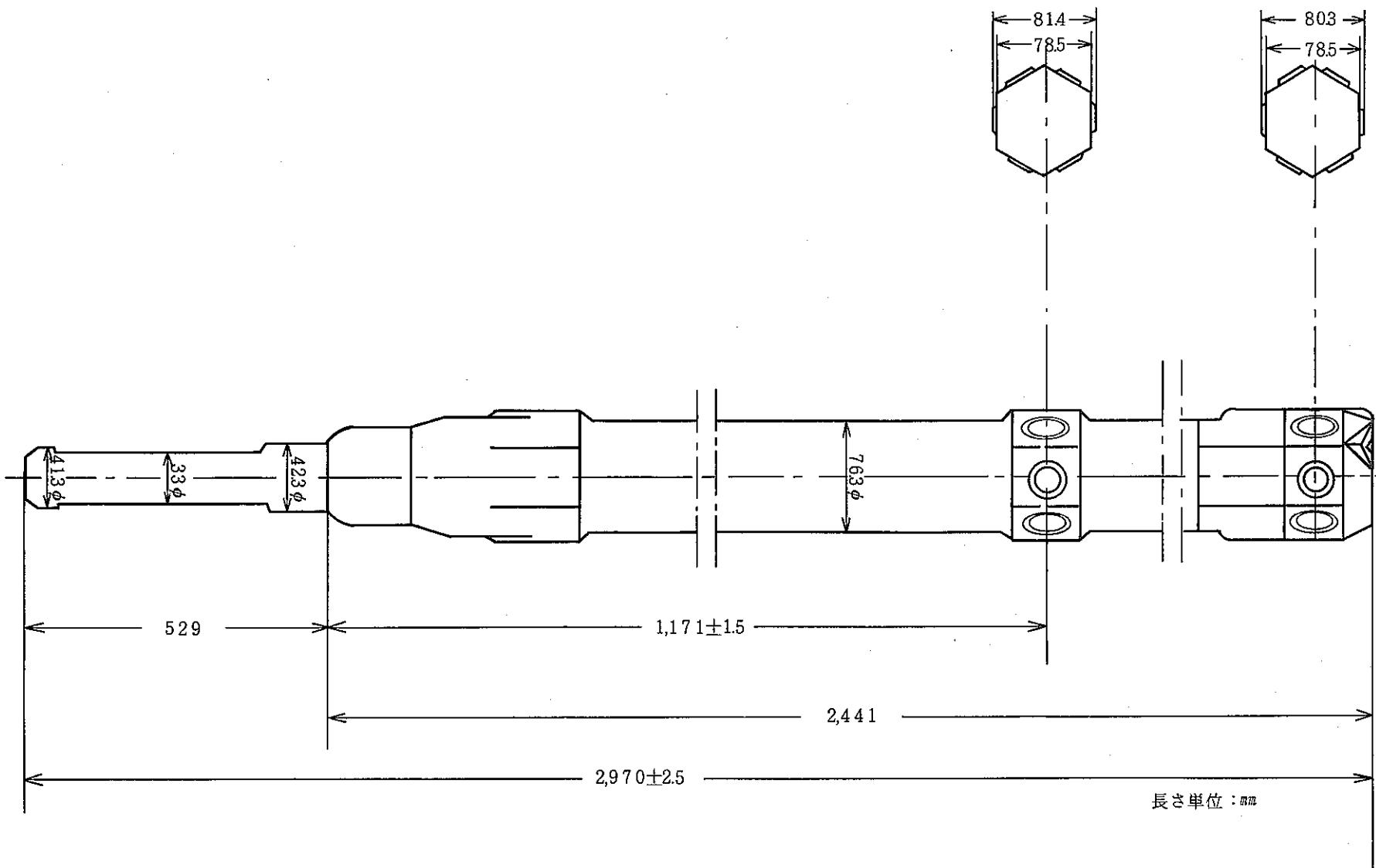
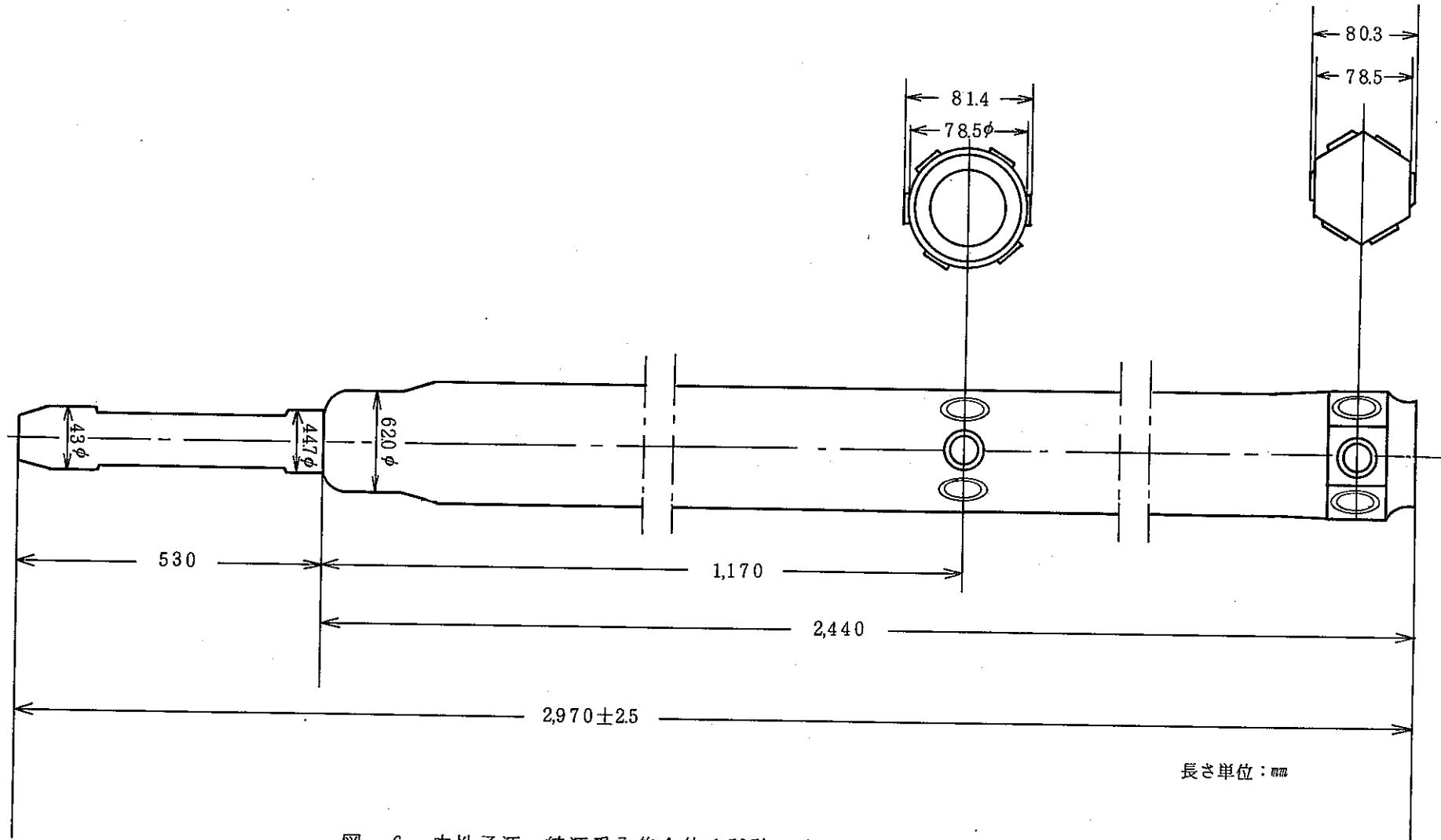


図-5 サーベイランス・テスト・リグ(反射体位置用)

図-6 中性子源 γ 線源受入集合体（試験用中性子源，起動用中性子源）

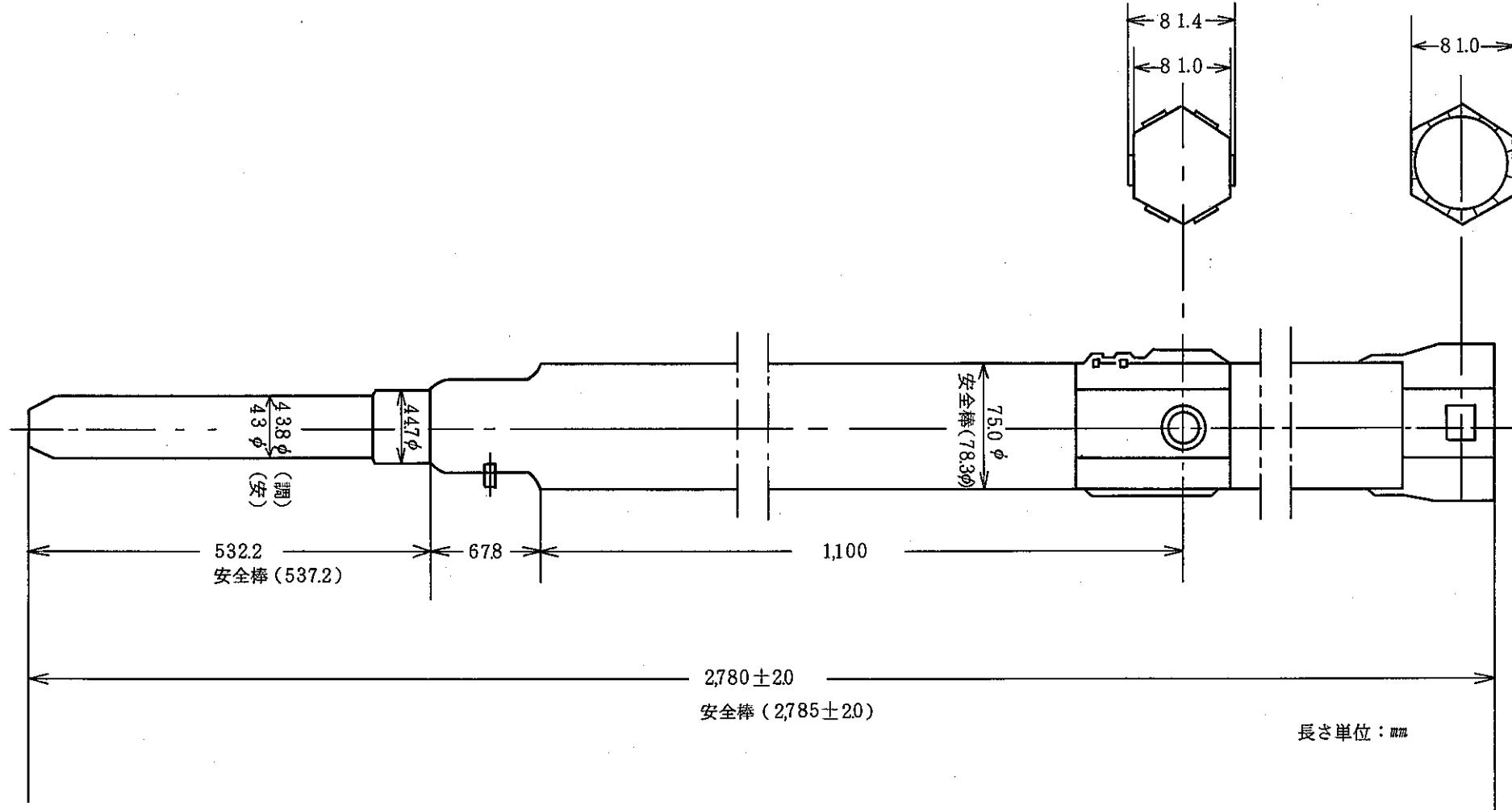


図-7 制御棒用下部案内管(調整棒, 安全棒)

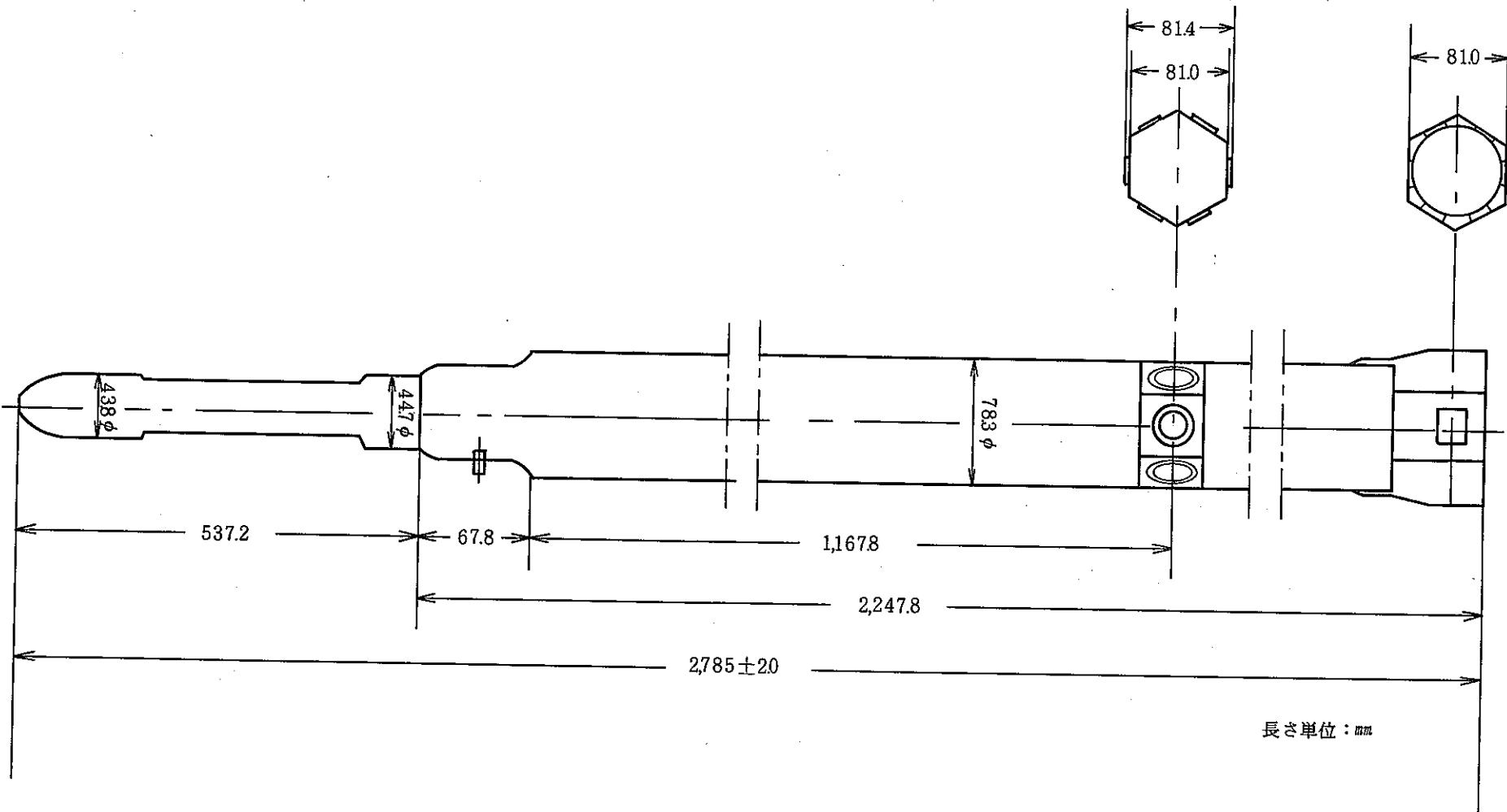


図-8 パイルオッショレータ下部案内管

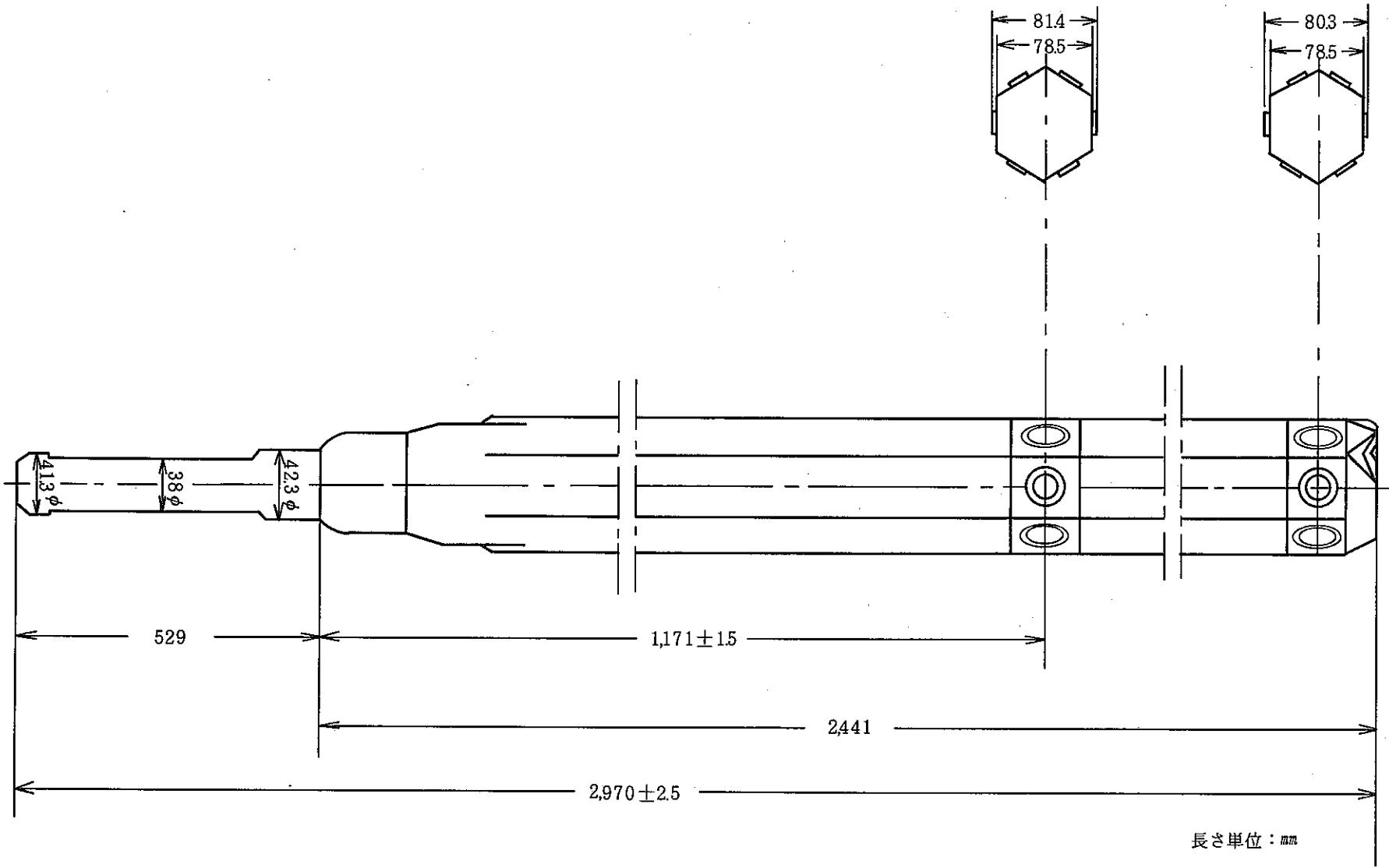


図-9 反 射 体

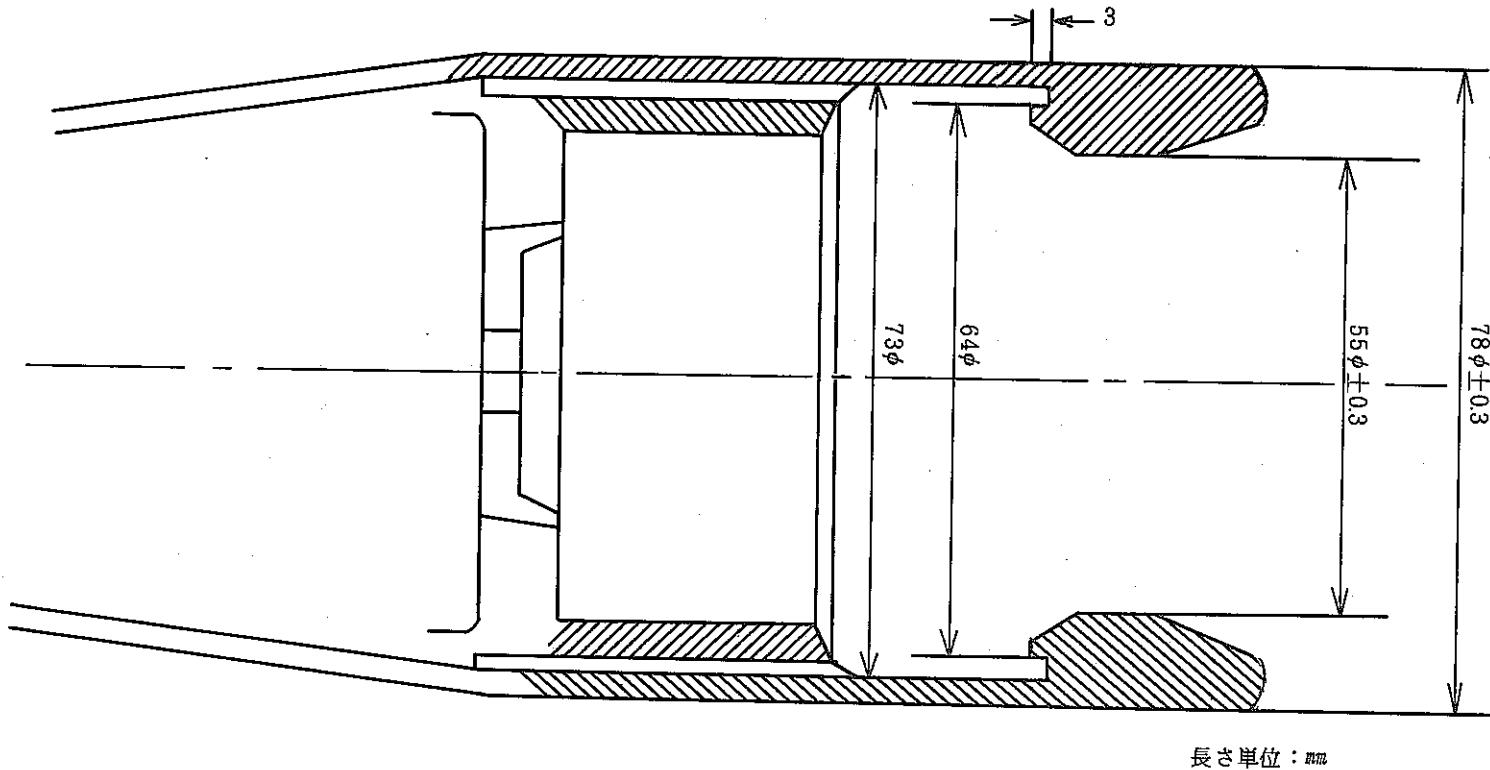


図-10 ハンドリングヘッド部(調整棒, 安全棒, プランケット燃料集合体
炉心燃料集合体, 中性子源受入集合体, 照射リグ)

3. 照射後試験施設の概要

大洗工学センター燃料材料試験部には、3つの施設、照射燃料集合体試験室（F M F）、照射燃料試験室（A G F）、照射材料試験室（M M F）があり、照射後試験として通常行なわれるほとんどすべての試験が実施できるようになっている。各施設の目的および機能、相互の関係の概要をこゝに紹介しておく。

図-11は、照射炉および照射後試験施設の相互の関連性を図式的に示したものである。従来、海外炉および原研J M T Rが「常陽」用燃料、材料、「文珠」用燃料、材料の開発のための照射炉として利用されてきたものであり、これらの炉で照射された国産燃料、材料について一部照射後試験が現地ホットラボで行われた後、返還された燃料、材料についてA G F、M M Fでさらに詳しく照射後試験を実施するというパターンで試験が進められてきた。これからも一部非定常状態での照射後試験等は、海外炉を利用して行われることが考えられるが、「常陽」が定格運転に入り、さらに照射用炉心に移行する過程を経て「常陽」を利用する照射試験が本流になっていく。

「常陽」で照射された試験用燃料集合体等は、始めにF M Fに搬入される（図-12参照）。ナトリウムの附着した集合体は、ナトリウム洗浄を受けた後試験に供されることになる。集合体についての非破壊試験を終えた後、解体により集合体から取り出された燃料要素（燃料ピン）等についてはさらに非破壊試験が続けられることになるが、それ以外の集合体部材の一部はM M Fにおける試験のために切断されて搬出される。

F M Fにおける非破壊試験を終えた燃料、材料はA G F、M M Fでの試験試料作製のため必要な大きさに切断されて、それぞれの施設に移送される。

3 施設の目的および機能を簡単に紹介すると次の通りである。

3-1 照射燃料集合体試験室（英名 F U E L M O N I T O R I N G F A C I L I T Y ,

略称 F M F)

- (1) 運転開始：高速実験炉「常陽」より試験用燃料集合体が搬入される時（53年11月頃）
- (2) 目的および機能
 - ・炉心構成要素の非破壊試験と解体
 - ・燃料要素（燃料ピン）等の非破壊試験と切断
 - ・切断試料の走査電顕観察、X線微小分析
 - ・A G FおよびM M F用試料の準備と提供

3 - 2 照射燃料試験室(英名 ALPHA GAMMA FACILITY, 略称 AGF)

(1) 運転開始: 昭和46年10月

海外炉およびJMT-Rで照射された燃料要素の試験をすでに実施してきた。

(2) 目的および機能

- ・燃料要素切断試料の金相試験
- ・燃焼率測定
- ・放射化学分析
- ・核燃料物性測定

3 - 3 照射材料試験室(英名 MATERIALS MONITORING FACILITY, 略称 MMF)

(1) 運転開始: 昭和48年6月

海外炉およびJMT-Rで照射された試料の試験をすでに実施してきた。

(2) 目的および機能

- ・燃料以外の集合体部材および燃料要素部材および構造材料の機械強度試験
- ・燃料以外の集合体部材および構造材料の金相試験
- ・制御棒部材等の物性試験

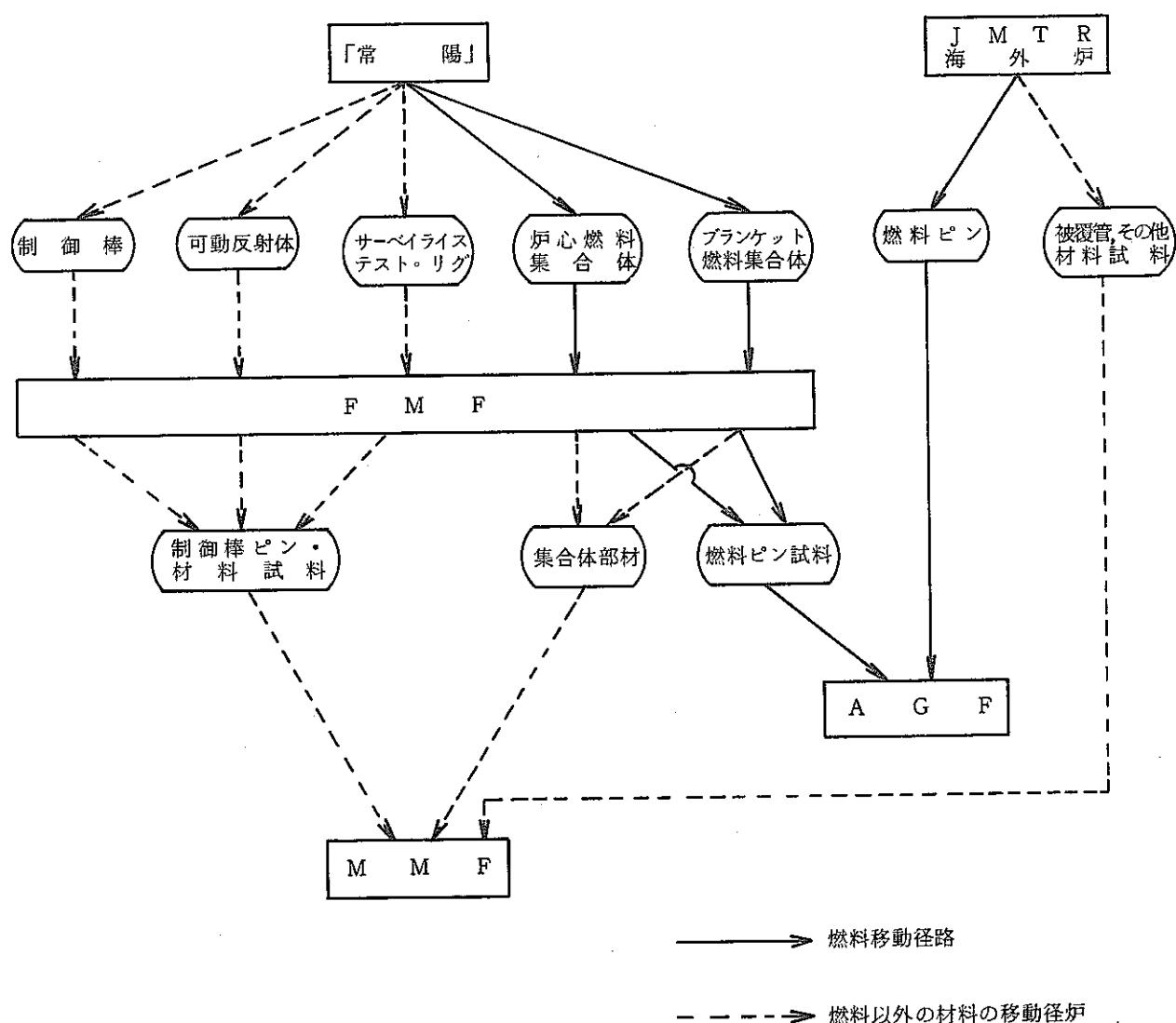


図-11 各試験施設への試料の流れ

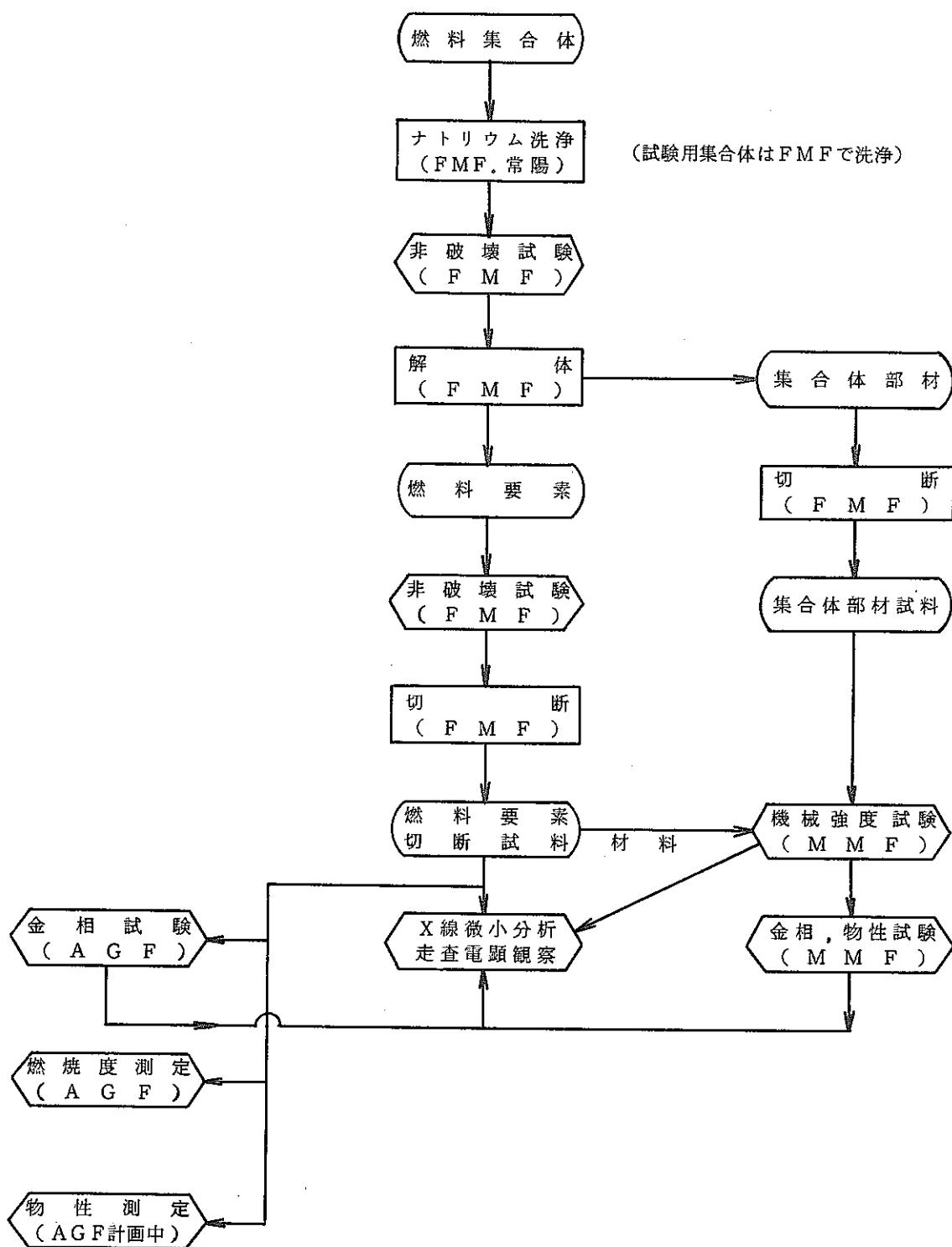


図-12 照射後試験工程の全体的な流れ

(炉心構成要素として燃料集合体で代表させた。他の炉心構成要素もこれに準ずる。)

4. 照射後試験の内容

「照射後試験施設の概要」の所で、各施設間の試験の流れおよび試験の概要を紹介したので、こゝでは各施設内における試験の流れおよび試験内容の詳細について紹介する。

4 - 1 F MF における照射後試験

F MF で行われる試験を大別すると、試験セルで行う集合体等およびピン等の試験と、金相セルで行う切断小試料の金相試験および機器分析に分けられる。図-13は、F MF のセル等の配置を示す。

4 - 1 - 1 試験セルでの試験

F MF で試験セルで行われる試験項目、機器の一覧を表-3に、試験機器のセル内における配置を図-14に示す。この他、試験セルへの試料、資材の搬出入のために、除染セル、クリーンセルに若干の機器があるが、試験項目には関係がないので省略する。

照射後試験の流れは、試験体である燃料集合体等の非破壊試験、解体、燃料ピン等の非破壊試験およびその後のAGF、MMFへの試料作製、搬出という順序になるが、炉心構成要素の種類および試験の内容によって工程が多少異なる。図-15、16、17は、それぞれ炉心燃料集合体、ブランケット燃料集合体、制御棒の照射後試験工程の1例を示してある。また、各試験内容の詳細を試験番号の順に従って、各表に示してある。ただし試験番号は、F-SA（またはPN）-Mで表わし、FはF MF、SAおよびPNは集合体等およびピン等を示している。

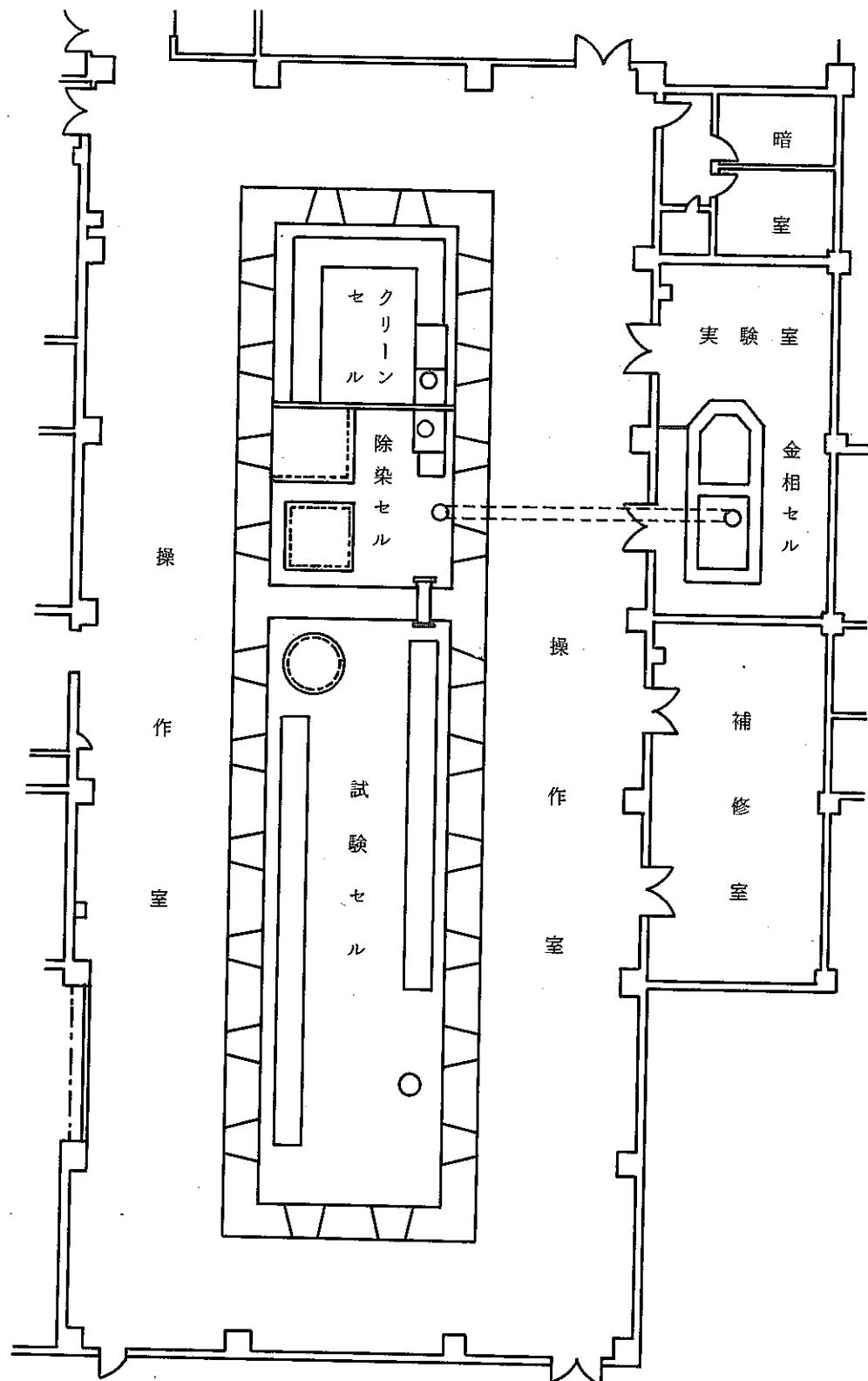


図-13 FMF の 1 階 平面図 (一部)

表 - 3 F M F 試験セルでの試験と機器

セ ル	試 験 番 号	試 験 項 目	試 験 機 器
集合体等 （SA） 試験	F - S A - 1	集合体外観検査 (ナトリウム洗浄前)	ペリスコープ等
	F - S A - 2	集合体ナトリウム洗浄	集合体ナトリウム洗浄装置
	F - S A - 3	集合体外観検査 (ナトリウム洗浄後)	ペリスコープ等
	F - S A - 4	集合体X線ラジオグラフィ	ライナック X線 ラジオグラフィシステム
	F - S A - 5	集合体寸法測定	集合体寸法測定装置
	F - S A - 6	集合体解体	集合体解体装置
	F - S A - 7	集合体部材切断	部材切断機
試験セル ピ ン 等 （PN） 試 験	F - P N - 1	ピン列外観検査	ペリスコープ等
	F - P N - 2	ピン列X線ラジオグラフィ	ライナック X線 ラジオグラフィシステム
	F - P N - 3	ピン重量測定	燃料ピン重量測定装置
	F - P N - 4	ピンガンマースキャン (ワイヤ付)	燃料ピンマスキャニングシス テム
	F - P N - 5	ピンワイヤ切断	燃料ピン切断機
	F - P N - 6	ピン詳細寸法測定(ワイヤ無)	燃料ピン寸法測定装置
	F - P N - 7	ピン詳細ガンマースキャン	燃料ピンマスキャニングシス テム
	F - P N - 8	ピン詳細X線ラジオグラフィ	ライナック X線 ラジオグラフィシステム
	F - P N - 9	ピン詳細外観検査	ペリスコープ等
	F - P N - 10	ピンパンクチュアテスト	燃料ピンパンクチャ装置
	F - P N - 11	ピン切断	燃料ピン切断機

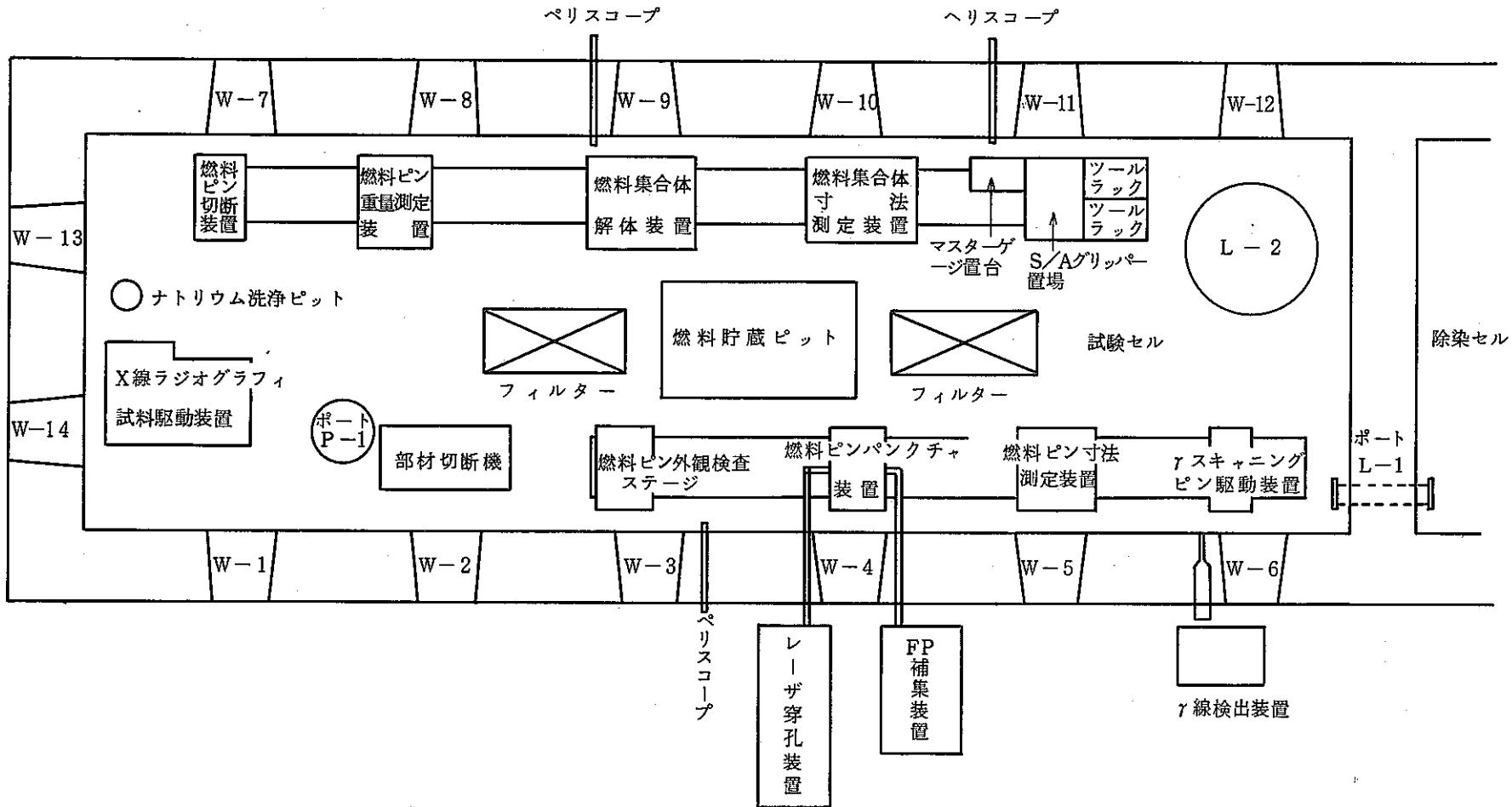


図-14 FMF の試験セルの試験機器の配列

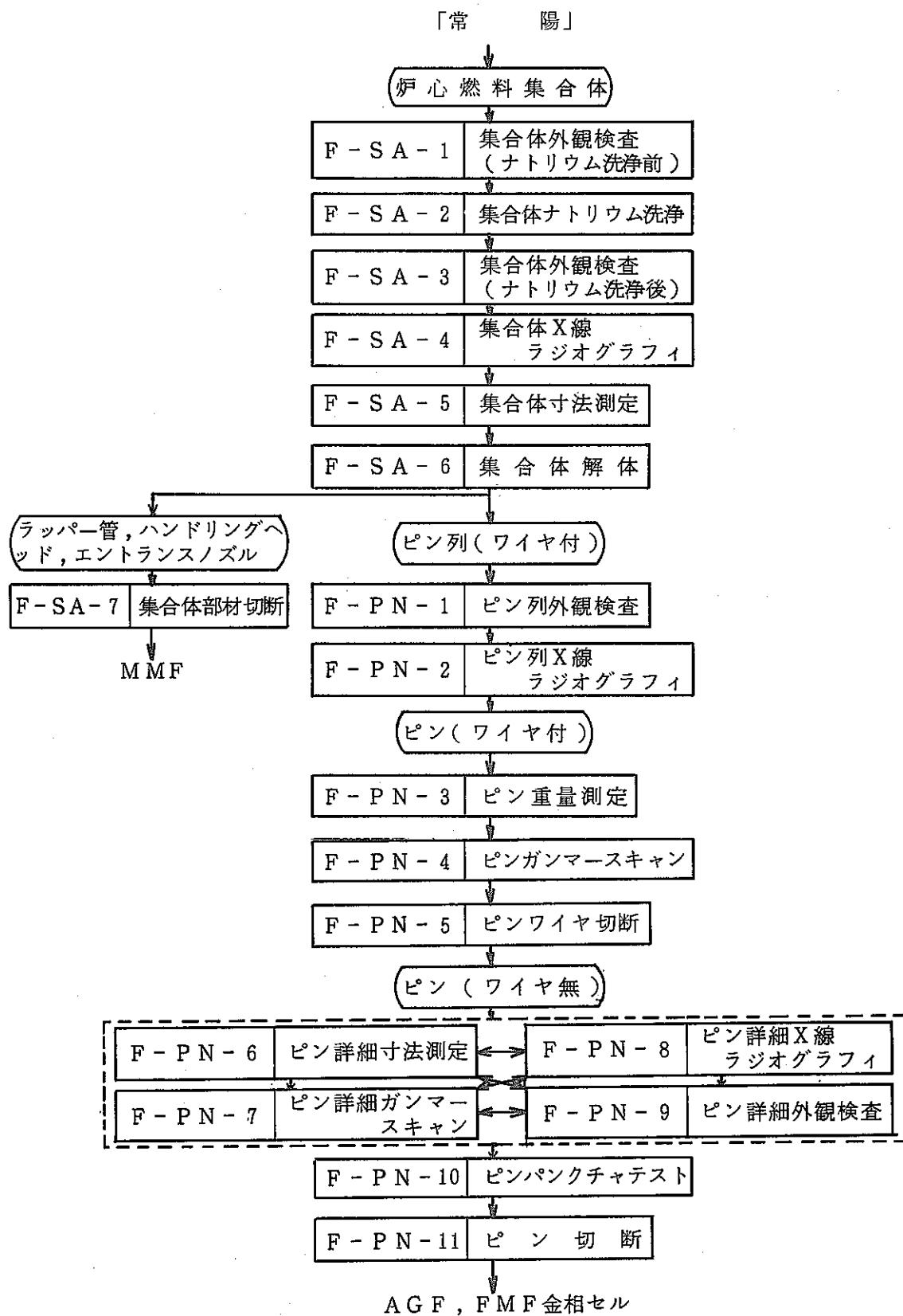


図-15 FMF試験セルでの照射後試験工程-1(炉心燃料集合体)

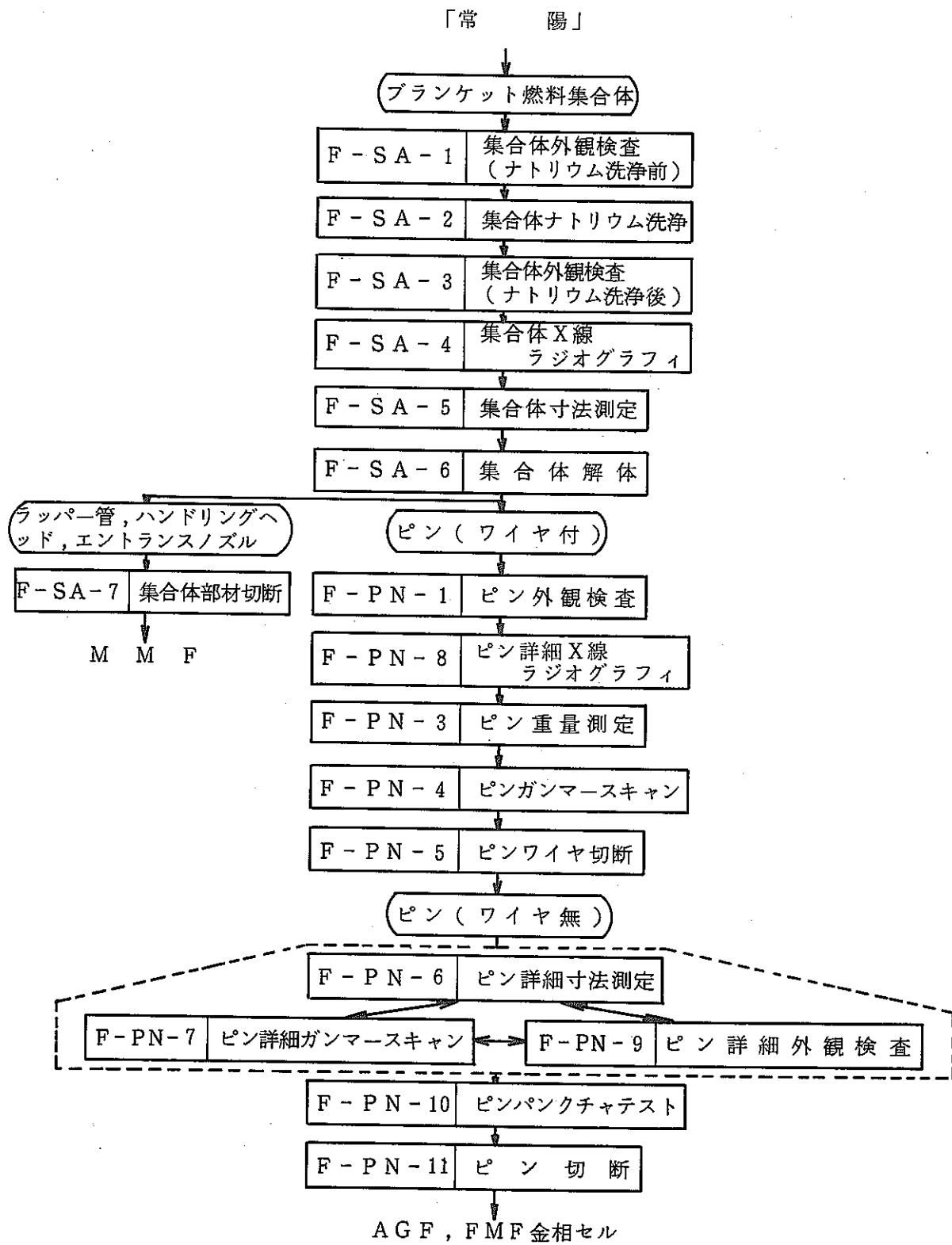


図-16 FMF試験セルでの照射後試験工程-2(プランケット燃料集合体)

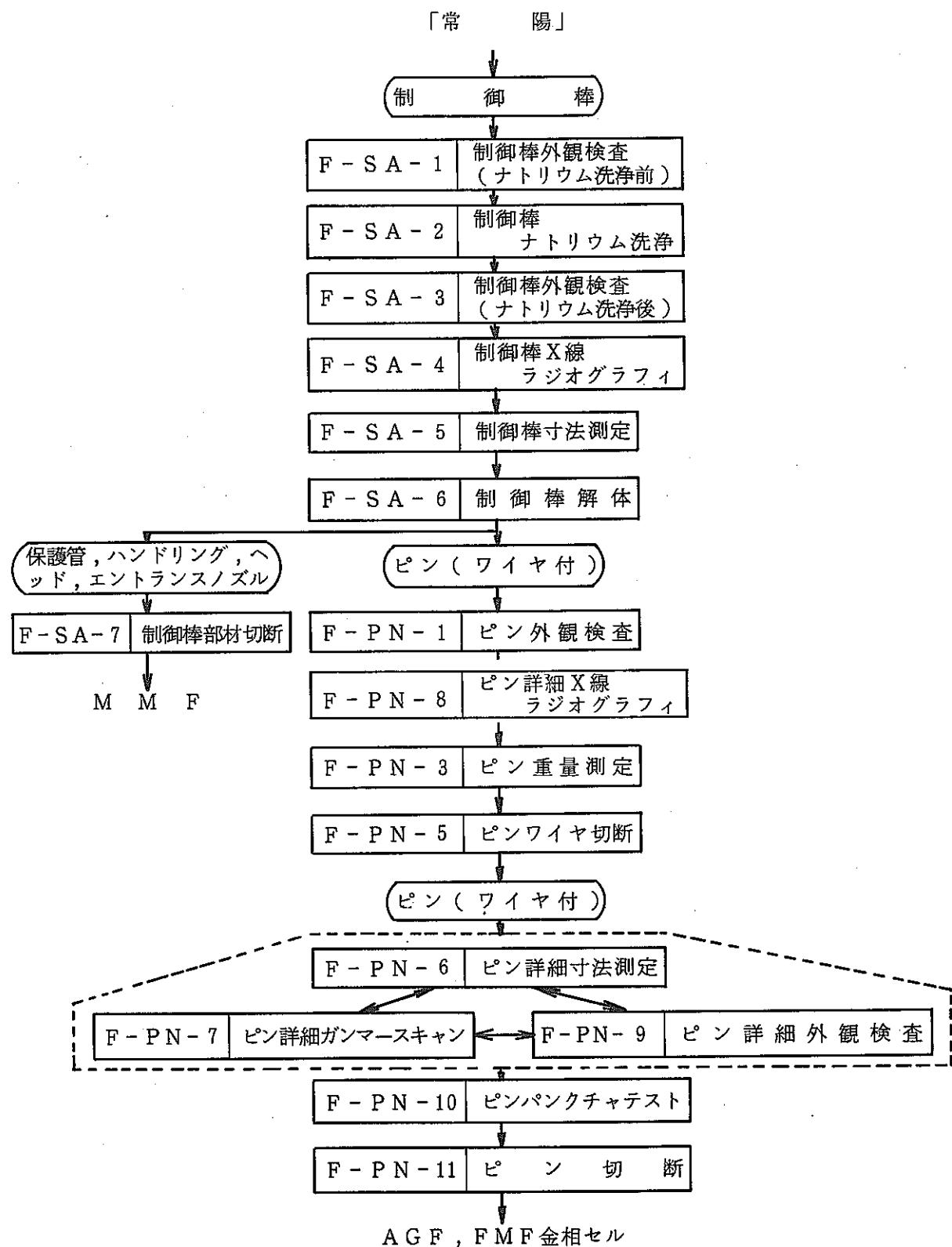


図-17 F MF試験セルでの照射後試験工程-3(制御棒)

試験番号		試験装置	
F-SA-1		集合体外観検査 (Na洗浄前)	
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料
			<ul style="list-style-type: none"> ◦ 炉心燃料集合体 ◦ ブランケット燃料集合体 ◦ 制御棒 ◦ サーベイライステストリグ（燃料貯蔵ラック用） ◦ " (材料照射ラック用) ◦ " (反射体位置用) ◦ 反射体
測定方式・精度	観察中、試験体はグリッパーにて吊り下げられている。 ◦ ペリスコープによる目視観察および写真撮影 (ペリスコープ倍率×10, ×20) ◦ 遮蔽窓を通しての蛇腹カメラによる写真撮影 ◦ 遮蔽窓を通しての近距離双眼鏡による目視観察 (倍率×8) ◦ 遮蔽窓を通しての目視観察	測定デバイタ	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 面(または周方向位置)および軸方向位置に対応した「観察結果」と「コメント」。 ◦ 「観察結果」は「写真」と「スケッチ」とで構成。
測定手順および内容	1. 集合体番号確認 2. 集合体重量チェック-集合体用グリッパーのロードセルにて測定。 3. 集合体全体の外観観察 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 形状(曲がり,ねじれ,平面度) ◦ 凹凸,キズ ◦ 変色,附着物 4. 集合体細部の外観観察 <ul style="list-style-type: none"> ◦ パッド部(変形-凹凸,クロームメッキの健全性) ◦ 球面座(キズ) ◦ エントランスノズルのオリフィス孔部(面取状況) ◦ エントランスノズルの「キー部」(キズ) ◦ ハンドリングヘッドの「キー溝部」(キズ) 		
問題点と対策	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 詳細観察は不可能 : Na洗浄後に部材切断し, 部材として観察する。 (F-SA-3参照) 		
処理能力	1体/3時間	備考	W-11 ワークステーション

試験番号		試験装置	
F-SA-2		集合体ナトリウム洗浄	
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料
測定方式・精度	<ul style="list-style-type: none"> ○ 試験対象物を装荷する洗浄ピットは燃料集合体用に設計・製作されている。外形状・外寸法の異なる試験体に対しては「洗浄ピット用アダプター」の設計・製作が必要。 		<ul style="list-style-type: none"> ○ 炉心燃料集合体 ○ ブランケット燃料集合体 ○ 制御棒 ○ サーベイランステストストリグ（燃料貯蔵ラック用） ○ " (材料照射ラック用) ○ " (反射体位置) ○ 反射体
測定手順および内容	<ul style="list-style-type: none"> ○ ナトリウムの洗浄方式 湿り窒素ガス（窒素ガス+水蒸気）により、$2 \text{Na} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{NaOH} + \text{H}_2$ 反応をおこさせ、NaをNaOHにかえる。次に生成されたNaOHを純水にて洗い流す。 ○ 燃料破損の有無 サンプリング廃液の放射能分析 ○ 附着Na量 サンプリング廃液のPH測定あるいは中和滴定 	測定データ	<ul style="list-style-type: none"> ○ 湿り窒素ガス反応時プロセスデータ ○ 水洗い時プロセスデータ ○ 廃液の放射能分析データ（破損の有無） ○ 廃液のPH測定データまたは中和滴定データ（Na付着量） <p>以上の詳細については下記の「測定手順および内容」の項を参照のこと。</p>
問題点と対策	<ol style="list-style-type: none"> 1. ピットへ集合体装荷 2. 集合体冷却（N₂ガス） 3. 湿り窒素ガス反応 <ul style="list-style-type: none"> ○ 洗浄ピット入口におけるガス流量および水蒸気の割合 ○ 洗浄ピット入口、出口におけるガス温度（反応の開始・終了の確認） ○ " ガス圧力 ○ 廃ガスのガスクロマトグラフィ分析 $(\text{H}_2 \text{分析: 反応の開始・終了の確認})$ $(\text{He}, \text{N}_2, \text{Kr}, \text{Xe} \text{ の分析 (検討中): ピン破損の有無確認})$ 4. 水洗い <ul style="list-style-type: none"> ○ 洗浄水の温度およびpH 5. 洗浄廃液の処理 <ul style="list-style-type: none"> ○ サンプリング廃液の放射能分析（燃料破損の有無確認、Naの汚れ程度チェック） α分析および$\beta - \gamma$分析 ○ サンプリング廃液のPH測定または中和滴定（附着Na量の推定） 		
処理能力	1体／4時間 集合体を洗浄ピットにいれて、水洗い終了後までの時間	備考	W-13 ワークステーション 〔注意〕Na附着試験体の保管・貯蔵 附着Naがこぼれ落ちる可能性のある場合には集合体貯蔵ピットでの保管・貯蔵は望しくない。その場合にはNa洗浄ピットでの一時保管を考える必要がある。

試験番号	試験装置		
F-SA-3	集合体外観検査 (Na洗浄後)		
取扱対象物	試験装置による制約条件	取扱対象試料	
		<ul style="list-style-type: none"> ○ 炉心燃料集合体 ○ 制御棒用下部案内管 ○ ブランケット燃料集合体 ○ パイルオッシャー用下部案内管 ○ 制御棒 ○ サーベイライステストリグ (燃料貯蔵ラック用) ○ " (材料照射ラック用) ○ " (反射体位置用) ○ 反射体 ○ 中性子源用ガンマ線源 ○ " 用受入集合体 	
測定方式・精度	F-SA-1と同じ	測定データ	F-SA-1と同じ
測定手順および内容	F-SA-1と同じ		
問題点と対策	<ul style="list-style-type: none"> ○ 詳細観察 <ul style="list-style-type: none"> ・ 観察対象部位を部材切断機にて切断 ・ ピン外観検査用ステージおよびペリスコープで観察 (W-3ワークステーション) ・ または金相セルの低倍率光学顕微鏡 (X12) で観察。 		
処理能力	1体／3時間	備考	W-1 ワークステーション

試験番号	試験装置		
F-SA-4	集合体X線ラジオグラフィ		
取扱対象物	試験装置による制約条件	取扱対象試料	
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 発熱量 0.4 KW以下であること。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 延心燃料集合体 ○ ブランケット燃ワ集合体 ○ 制御棒 ○ サーベイランスストリグ (燃料貯蔵ラック用) ○ " (材料照射ラック用) ○ " (反射体位置用) ○ 反射体 ○ 中性子源用ガンマ線源部 ○ " 受入集合体 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 制御棒用下部案内管 ○ パイルオシレータ用下部案内管
測定方式・精度	<ul style="list-style-type: none"> ○ X線発生装置 : 小型線型加速器 X線エネルギー 2~3 Mev ○ S/N比改善法 : Pb フィルターの使用] フィルム前 回転スリットの使用] 面に配置 ○ 試験体駆動 : ワイヤ巻き上げ, 巻きおろし。 ○ フィルム面上の像の長さ, 巾の測定 試験体装荷用ラックに埋め込まれている基準ゲージを フィルム面上で読みとることにより求める。 精度 : ± 0.3 mm (目標) 	測定デバイタ	<p>撮影フィルムから読み取れる画像情報</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 集合体内部の異物の有無。 ○ ピン束の配列の乱れ具合 ○ ピン束の曲がり具合 ○ ピン束支持部の異常の有無 ○ 内部のピン, 試験片の配置確認
測定手順および内容	<ol style="list-style-type: none"> 1. 試料駆動装置用ラックへの試験体装着 2. 試験体の撮影位置への移送 3. 試験体撮影 (全長撮影, 一撮影約 300 mm長さ) 4. 試験体の試験セルへの返送。 5. 試験体のラックからの脱荷。 6. フィルムの回収, 自動現像。 7. 撮影結果の検討・整理。 。 撮影結果いかんでは 2 方向, 3 方向撮影を実施する。 		
問題点と対策	<ul style="list-style-type: none"> ○ S/N比 : 試験体からのγ線によるフィルム感光 (かぶり現象) をいかに低下させるか。 Pb フィルターおよび回転スリット等の使用。使用結果によるそれらの改造。 		
処理能力	1 体 / 半日	備考	W-14 ワークステーション

試験番号		試験装置	
F-SA-5		集合体寸法測定	
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 集合体を保持する下部チャックは炉心燃料集合体およびブランケット燃料集合体の球面座以下を受け入れるよう製作されている。従って、これらと形状、寸法の異なるものについては下部チャック用アダプターが必要となり、測定精度がおちる。 ○ 長さ制限 (球面座から上部の長さ) 2,200 ~ 2,570 mm ○ 対面間距離 (または直径) 制限 55 ~ 130 mm 		<ul style="list-style-type: none"> ○ 炉心燃料集合体 ○ ブランケット燃料集合体 ○ 制御棒 ○ サーベイライステストリグ (燃料貯蔵ラック用) ○ " " (材料照射ラック用) ○ " " (反射体位置) ○ 反射体 ○ 中性子源用ガンマ線部部受入集合体 ○ 制御棒用下部案内管 ○ パイルオッシャレータ用下部案内管
測定方式・精度	<ul style="list-style-type: none"> ○ 対面方向 (径方向) 変位測定 : 接触子型渦電流変位検出 ($\pm 0.1 \text{ mm}$) ○ 曲がり測定 : 接触子型渦電流変位検出 + エンコーダ ($\pm 0.3 \text{ mm}$) ○ 長さ (軸方向位置) 測定 : エンコーダ ($\pm 0.5 \text{ mm}$) ○ ラッパ管表面温度測定 : 接触型 A / C 熱電対 ($\pm 5^\circ \text{C}$) ○ 回転角度 : エンコーダ (-一方向 $\pm 1^\circ$) 	<p>測定</p> <p>定</p> <p>テ</p> <p>ー</p> <p>タ</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 対面間距離 (直径) 軸方向位置に対応した対面間変位および対面間距離 ○ 曲がり 軸方向位置に対応した曲がり。 ○ ラッパ管表面温度 軸方向位置に対応した表面温度 <p>[備考]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 六角断面試験体 : 3 対面測定 ・ 円断面試験体 : 3 方向測定 ($0^\circ, 60^\circ, 120^\circ$) ・ 軸方向スキャン間隔 : 22.6 mm (PIE用) 25.3 mm (DRIVER用) <p>(5 ~ 10 mm 間隔のスキャンについても検討中)</p>
測定手順および内容	<ol style="list-style-type: none"> 1. マスター装着。マスターによる較正。マスター脱荷。 2. 試験体装着 3. マニュアル・スキャンによる表面温度測定。 (自動スキャンによる表面温度測定データの補正用。 スキャン間隔は約 100 mm。FMF 内部資料として蓄積) 4. 自動スキャンによる「対面間距離および同変位量」、「曲がり」、「表面温度」の測定と「全長」測定。 <ul style="list-style-type: none"> ○ 六角断面試験体 : 3 対面測定。1 対面に関して 3 組のデータ取得。 ○ 円断面試験体 : 3 方向測定。1 方向測定に関して 1 組のデータ取得。 ○ 軸方向スキャン間隔 : 22.6 mm (PIE用), 25.3 mm (DRIVER用) 5. 集合体脱荷 <p>参考 1. 検出素子の配置と形状</p> <p>六角断面試験体の場合</p> <p>接触子先端形状 : 球面</p> <p>円断面試験体の場合</p> <p>接触子先端形状 : ナイフエッジ</p> <p>参考 2. 「曲がり」の定義</p> <p>下部チャックより割出した仮想中心線と実中心線との水平方向への偏りを「曲がり」と定義する。</p>		
問題点と対策	<ul style="list-style-type: none"> ○ ねじれの定義 まだ定義付けを行っていない。要検討事項。 対面間変位量を用いて定義づけることになろう。 		
処理能力	1体 / 3時間 マスター校正作業は除く。	備考	W-10 ワークステーション

試験番号	集合体解体		試験装置
F-SA-6			集合体解体装置 部材切断機
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料
測定方式・精度	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 炉心燃料集合体およびプランケット燃料 集合体の解体：集合体解体機 ◦ その他の試験体：部材切断機 		<ul style="list-style-type: none"> ◦ 炉心燃料集合体 ◦ プランケット燃料集合体 ◦ 制御棒 ◦ サーベイランス・テスト・リグ（燃料貯蔵ラック用） ◦ " " (材料照射ラック用) ◦ " " (反射体位置用) ◦ 反射体 ◦ 中性子源用ガンマ線源部および同用アンチモン要素 ◦ " " 受入集合体 ◦ " " " 用ペリリウム要素
測定手順および内容	<p>集合体解体機による解体</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 集合体の装着 2. ラッパ管下部（ノックバー位置）のミーリング。（6面全部。但し組立は残す） 3. 集合体用グリッパーによるラッパ管引抜き。（ロードセルにより引抜き荷重測定） 4. ピン束の外観検査 5. ピン束切断 ピン下部端栓部を切断する。ノックバーの一列分毎切断していく。 <p>〔注意〕炉心燃料集合体の解体</p> <p>炉心燃料集合体はその崩壊熱（Max 1.5 KW）のため、解体途中で作業を中止して翌日作業にまわすことは危険を伴なう恐れがあるので、解体作業を開始したら確実にその日のうちに作業を完了するようにしなければならない。</p>		<p>測定データ</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ 集合体解体機 <ul style="list-style-type: none"> • ラッパ管引抜き荷重 集合体用グリッパーを用いて引抜くので、それについているロードセルにより測定可能 • ピン束外観検査結果 蛇腹カメラによる写真撮影
問題点と対策	<ul style="list-style-type: none"> ◦ ラッパ管引抜き時および引抜き終了後のピン束の冷却 ヒータ付集合体による温度測定結果より、ピン束外まわりからのガス吹きつけによる冷却が可能であることを確認した。 ◦ 切削粉の回収 		
処理能力	1体／1日（炉心S/A） 1体／半日（その他）	備考	集合体解体機 W-9ワークステーション 部材切断機 W-2ワークステーション

試験番号		試験装置	
F-SA-7		集合体部材切断	
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 直径 9.5 mm以下 		<ul style="list-style-type: none"> ○ 廉心およびプランケット燃料集合体用部材 (W-T, E-N, H-H) ○ 制御棒および部材 ○ サーベイランスストリグおよび同部材 (燃料貯蔵ラック用材料照射ラック用, 反射体位置用) ○ 反射体および同部材 ○ 中性子源用ガンマ線源部および同部材 ○ " 受入集合体および同部材 ○ 制御棒下部案内管および同部材 ○ パイルオッシャレータ用下部案内管および同部材
測定方式・精度	<ul style="list-style-type: none"> ○ 回転ノコ刃による切断 (輪切り) ○ ニプラ切断 (縦切り) 	測定データ	
測定手順および内容	<p>部材切断材の使用目的</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 試験体の解体 (但し, 廉心およびプランケット燃料集合体は除く) 2. 廃棄物処理のための部材切断 3. 材料試験用試料採取のための部材切断 <p>〔参考〕</p> <p>回転ノコ刃の材質: SKH-9相当</p> <p>　　直径: 27.5 mmϕ 　　厚さ: 2 mm, 3 mm</p>		
問題点と対策	<ul style="list-style-type: none"> ○ 切削粉の回収 ○ マーキング (面No, 軸方向向き) ○ アンチモン切断が可能か ○ コルモノイまたはステライト等の切断が可能か。 (ダイヤモンドホイールを使用する高速切断機の導入を検討中) 		
処理能力	1体/半日～1日	備考	W-2 ワークステーション

試験番号	ピン列外観検査		試験装置
F-PN-1			ペリスコープ、近距離双眼鏡、 蛇腹カメラ、ピンカセット、カセット収納装置
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料
			<ul style="list-style-type: none"> ◦ 炉心燃料ピン (ピン列単位の取扱い) ◦ ブランケット燃料ピン (ピン毎の取扱い) ◦ 中性子吸収ピン (ピン毎の取扱い)
測定方式・精度	<p>カセットへ収納する前の観察およびカセットに収納した状態での観察。</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ ペリスコープによる目視観察および写真撮影 (ペリスコープ倍率×100×20) ◦ 遮蔽窓を通しての蛇腹カメラによる写真撮影 ◦ 遮蔽窓を通しての近距離双眼鏡観察による目視観察 (倍率×8) ◦ 遮蔽窓を通しての目視観察 	測定データ	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 周方向位置および軸方向位置に対応した「観察結果」と「コメント」 ◦ 「観察結果」は「写真」と「スケッチ」とで構成。
測定手順および内容			<ol style="list-style-type: none"> 1. ピン番号確認 2. カセットへ装荷前の外観観察（写真撮影なし） <ul style="list-style-type: none"> ◦ 大きな破損の有無確認 ◦ 大きな形状変化の有無確認（曲がり、ワイヤピッチ） ◦ 大きな凹凸、キズの有無確認 3. カセットへ装荷された状態での外観観察（写真撮影あり） <p>カセットの前・後面背板を切抜いた部位（炉心部を中心に約1,000mm長さ程度）のみの観察になる。観察内容は上記2項とほぼ同じで、「変色・附着物の有無および異常」についての観察が加わる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ ピン列の観察時にはとくにピン列としての全体的な曲がり、個々のピンのワイヤピッチのずれ等に着目する。
問題点と対策			
処理能力	4列（カセット）／1日	備考	W-8ワークステーション

試験番号	試験装置による制約条件		試験装置
取扱対象物	F-PN-2		ピン列X線ラジオグラフィ
測定方式・精度	F-S A-4の場合と同じ。	測定データ	撮影フィルムから読みとれる画像情報 ○ ワイヤピッチ ○ 燃料カラム長、ガスプレナム部長さ ○ 中心空孔の有無、中心空孔長さ ○ ペレット間軸方向ギャップ ○ ピン内部材の配置の異常
測定手順および内容	1. 試料駆動装置用ラックへカセットを装着（カセットへのピン装荷はすでにW-8ワークステーションでなされている） 2. カセットを撮影位置へ移送する。 3. カセットの撮影（全長撮影、一撮影300mm長さ） 4. カセットを試験セルへ返送する。 5. カセットをラックから脱荷する。 6. フィルムを回収し、自動現像を行う。 7. 撮影結果の検討。		
問題点と対策	S/N比の向上：F-S A-4の場合と同じ。		
処理能力	4カセット／1日	備考	W-14 ワークステーション

試験番号	試験装置	
F-PN-3	ピン重量測定	
取扱対象物	試験装置による制約条件	取扱対象試料
	<ul style="list-style-type: none"> ○ ピン直径制限 : 30 mm以下 ○ ピン全長制限 : ~2500 mm以下 約1000 mm以下のものについてはアダプターが必要になる。 ○ ピン重量制限 : 3,999 g以下 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 廉心燃料ピン ○ ブランケット燃料ピン ○ 中性子吸收ピン
測定方式・精度	電子式直示上皿天秤方式 測定範囲 : 0 ~ 3,999 g "精度 : ± 0.2 g	測定データ
測定手順および内容	<ol style="list-style-type: none"> 1. マスターによる較正 2. ピン装着 3. 測定 4. ピン脱荷 <hr/> <p>下部端栓部切断分の補正 燃料ピン等は解体時に下部端栓を切りおとすので、測定結果は照射前データとの厳密な比較を行えない。しかし、切断方法、切断部位等は一定しているため切断された部分の重量はある精度内（炉心燃料ピンの場合±0.2 g程度）で推定することが可能である。 測定結果に、この切断分の推定重量を足し合せたものを照射後試験での重量データとする。</p>	
問題点と対策		
処理能力	30ピン/1日	<p>備考</p> <p>W-8ワークステーション</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ ピン重量測定のねらいは破損ピンの検出にある。ピン内へのNa注入によりピン重量が増加する。その増加量を検知する。

試験番号		試験装置		
取扱対象物	F-PN-4	ピンガンマースキャン(ワイヤ付)		
	試験装置による制約条件		取扱対象試料	
測定方式・精度	<ul style="list-style-type: none"> ○ 上部チャック(スクロールチャック)による径制限 : 2~4.6 mm (但し、貫通の場合 2.4 mm) ○ 曲がり修正ローラによる径制限 : 4~2.0 mm 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 炉心燃料ピン ○ ブランケット燃料ピン 		
測定手順および内容	<ol style="list-style-type: none"> 1. 標準線源によるエネルギー較正およびエネルギー巾(WINDOW) 設定 2. ピン装荷 3. ワイヤ巻きに沿った回転スキャン 軸方向位置に対応した5種の波高値。 ① 全エネルギー (多チャンネルPHAを利用。軸方向位置を各チャンネルに対応させる。) ② 指標核種に対応 (シングル・チャンネル・アナライザとシングル・チャンネル・スケーラおよびPDP-11ミニコンを利用する。) ⑤ したエネルギー巾 (ミニコンを利用する。) 4. ピン脱荷 	測定デリタ	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1方向回転スキャン結果 軸方向位置に対応した5種の波高値 ①: 全エネルギー (軸方向スキャン間隔 0.5 mm) ② } : 指標核種に対応したエネルギー巾 ⑤ } (軸方向スキャン間隔 2 mm) 	
問題点と対策	<p>回転スキャンの可能性: ワイヤピッチがずれている場合には、曲がり修正ローラとワイヤが干渉することによりピン駆動不可能となる。従って測定不可能となる。回転ローラの検討。(検討結果: 測定可能)</p> <p>指標核種の決定 関係者間の協議により今後決定する。 FP核種だけでなくSUS鋼の放射化核種に注目してもよい。</p>			
処理能力	10ピン/1日	備考	W-6ワークステーション	

試験番号	試験装置	
F-PN-5	ピンワイヤ切断	
取扱対象物	試験装置による制約条件	
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 上部チャックによる径制限: 0 ~ 20 mm ○ 下部 " : 0 ~ 24 mm ○ 曲がり制限 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 炉心燃料ピン ○ ブランケット燃料ピン ○ 中性子吸収ピン
測定方式・精度	<ul style="list-style-type: none"> ○ ピン切断機にピンを装着し、ニッパーにてワイヤを切断する。 	測定データ
測定手順および内容	<ol style="list-style-type: none"> 1. ピン装着（上部チャック） 2. ピンの上部ワイヤ止部近傍をニッパーにて切断 3. ワイヤ上部をマニプレータにて保持し、その間にピンを回転させてワイヤ巻きをはずす。 4. ピンの下部ワイヤ止部近傍をニッパーにて切断 	
問題点と対策	<ul style="list-style-type: none"> ○ 長尺ワイヤ（約2 m長さ）の廃棄物処理 	
処理能力	30ピン/1日	備考 W-7ワークステーション

試験番号		試験装置		
F-PN-6		ピン寸法測定装置		
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料	
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 上部チャックによる径制限 : 4~19mm ○ 測定子開きによる径制限 : 4~50mm ○ 曲がり修正ローラによる径制限 : 4~50mm ○ 長さ制限 : 700~2,000mm 		<ul style="list-style-type: none"> ○ 炉心燃料ピン ○ ブランケット燃料ピン ○ 中性子吸収ピン 	
測定方式・精度	<ul style="list-style-type: none"> ○ 直径測定 : 接触子型渦電流変位検出(±0.005mm) ○ 曲がり測定 : 視準望遠鏡による目視(±1mm), エンコーダ(±0.5mm) ○ 長さ測定, 軸方向位置 : エンコーダ(±0.5mm) ○ 被覆管表面温度測定 : 接触型 A/C 熱電対 ○ ピン回転角度 : エンコーダ(両方向±5°) 	測定データ	<ul style="list-style-type: none"> ○ 曲がり : 最大曲がり方向での, 軸方向位置に対応した曲がり量 ○ 直径および被覆管表面温度 : 周方向角度および軸方向位置に対応した直径および被覆管表面温度 ○ 全長 〔備考〕 スキャン方向: 0°, 45°, 90° および 135° の 4 方向。 軸方向スキャン間隔: 最小 5mm 	
測定手順および内容	<ol style="list-style-type: none"> 1. マスター装着。マスターによる較正。マスター脱荷。 2. ピン装着 3. 曲がり測定 ピンをチャッキングしている上部チャックを回転し, ピン下端部が最大曲がりを示す角度で固定。その後検出素子をピンに沿わせて移動させ, 各軸方向位置に対応した曲がり量を測定する。 4. 直径, 被覆管表面温度および全長測定。 0°, 45°, 90° および 135° の 4 方向で, 線方向スキャンを行ない, 各軸方向位置に対応した直径と表面温度測定を行なう。全長は上, 下端栓の肩部検出することにより求める。 5. ピン脱荷 <p>参考1 曲がりの定義</p> <p>上部チャックより割出された仮想中心線と実中心線との水平方向のへだたりを「曲がり」と定義する。</p>		<p>参考2 炉心燃料ピンの周方向角度(他のピンについても至急検討)</p> <p>下部端栓のワイヤ取付部の「ワイヤ玉止部と反対側のワイヤ用孔口」を0°とし, ピンを止から下にみて時計まわりに90°, 180°(玉止部)270°とする。</p>	
問題点と対策				
処理能力	4 ピン/1日	備考	<p>W-5ワークステーション</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 異常部位に関しては周方向スキャンも実施する。 	

試験番号	試験装置による制約条件		取扱対象試料	試験装置
F-PN-7	ピン詳細ガンマースキャン			ピンガンマースキャニング装置
取扱対象物	F-PN-4の場合と同じ		<ul style="list-style-type: none"> ○燃心燃料ピン ○ブランケット燃料ピン ○中性子吸収ピン 	
測定方式・精度	P-PN-4の場合と同じ	測定データ	<ul style="list-style-type: none"> ○1方向線スキャン結果 軸方向位置に対応した5種の波高分析 ○軸方向数点でのエネルギースペクトル分析 ○軸方向数点での径方向スキャン ○軸方向数点での周方向スキャン <p>} オプション</p>	
測定手順および内容	<ol style="list-style-type: none"> 1. 標準線源によるエネルギー較正およびエネルギー巾(WINDOW)設定 2. ピン装着 3. 線スキャン(1方向) 軸方向位置に対応した5種の波高値。 4. 軸方向位置(数点)でのエネルギースペクトル分析 5. ピン脱荷 但しオプションとして下記測定を行なうこともある。 <ul style="list-style-type: none"> ○軸方向位置(数点)での径方向スキャン(中心空孔径および中心空孔長の推定, ギャップの推定) ○ " 周方向スキャン(ペレット外面クラックの検出) 中性子吸収ピンについては被覆管のSUS鋼の放射化核種を指標核種とすることになる。 			
問題点と対策	指標核種の決定: 関係者間の協議により今後決定する。 FP核種だけでなく, SUS鋼の放射化核種に注目してもよい。			
処理能力	2ピン/1日	備考	W-6ワークステーション	

試験番号		試験装置	
F-PN-8		ピン詳細X線ラジオグラフィ	
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料
	<ul style="list-style-type: none"> ○ カセットに装荷されたピンの撮影を行なう。 		<ul style="list-style-type: none"> ○ 炉心燃料ピン ○ ブランケット燃料ピン ○ 中性子吸収ピン
測定方式・精度	F-S A - 4 , F-P N - 2 の場合と同じ。	測定データ	<p>撮影フィルムから読みとれる画像情報</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 燃料カラム長 , ガスプレナム部長 ○ 中心空孔径 , 中心空孔長さ ○ ペレット間軸方向ギャップ ○ 被覆管—ペレット間ギャップ (?) ○ ペレット中のクラックの発生状況 ○ その他ピン内部材の配置の異常等
測定手順および内容	F-P N - 4 の場合と同じ。		
問題点と対策	S/N比の向上 : F-P N - 2 の場合に比べてピン本数が少くなるため , フィルムへのノイズ量が減少する。その結果 , F-P N - 2 の場合に比べて S/N比の向上を期待できる。		
処理能力	4 ピン / 1 日	備考	

試験番号	ピン詳細外観検査			試験装置
F-PN-9			ピン外観検査ステージ, ペリスコープ	
	試験装置による制約条件		取扱対象試料	
測定方式・精度	○ 通常観察 観察対象の真正面に位置するペリスコープ（倍率×20）による目視観察, 写真撮影, ITVモニター観察およびVTR記録。 ○ 異常部観察 ペリスコープ対物レンズの前に顕微鏡レンズを設置した観察（分解能10μ）	測定データ	○ 周方向位置および軸方向位置に対応した「観察結果」と「コメント」 ○ 「観察結果」は「写真」と「スケッチ」で構成	
測定手順および内容	1. ピン外観検査ステージへピンを装着。 2. ペリスコープによる回転スキャン観察。 3. 特定部位のペリスコープによる固定観察 4. 特定部位（とくに異常部）の顕微鏡による固定観察			
問題点と対策				
処理能力	5ピン/1日	備考	W-3ワークステーション ピン詳細外観検査用特殊ペリスコープは54年6月に納入される予定。	

試験番号		試験装置		
F-PN-10		ピンパンクチャ装置		
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料	
	<ul style="list-style-type: none"> ○ ピン装着部における径制限 : 20 mmφ以下 ○ ピン長さ制限 : 2,000 mm以下 ○ ワイヤ無のこと 		<ul style="list-style-type: none"> ○ 炉心燃料ピン ○ ブランケット燃料ピン ○ 中性子吸収ピン 	
測定方式・精度	<ul style="list-style-type: none"> ○ 孔あけ方式 : YAGレーザビームによる孔あけ ○ 孔あけ部溶接 : YAGレーザビームによる溶接 ○ 圧力測定 : ブルドン管式圧力計 ○ ガス組成分析 : ガス・クロマトグラフィ ○ 温度測定 : 熱電対 + 水銀温度計 	測定デバイス	<ul style="list-style-type: none"> ○ ピン内ガス量 (モル数) $n = \frac{PV}{RT} \quad P: \text{圧力 (測定)}$ <p style="text-align: center;">V: 死容積 (あらかじめ測定)</p> <p style="text-align: center;">T: 死容積部平均温度 (測定)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ ピン内有効ガスだめ部容積 $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad V_2 = V_1 + V_0$ <p style="text-align: center;">V₁ = ピン内ガスだめ容積</p> <p style="text-align: center;">V₀ = 死容積</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ ガスクロ分析結果 	
測定手順および内容	<ol style="list-style-type: none"> 1. 試料部へのピン装着 2. 測定部の真空びきと真空保持 3. レザービームによる孔あけ 4. 測定部圧力測定 → ピン内ガス量測定 5. 測定部内ガスのガス分析部への導入 6. ガスクロ分析 7. 測定部およびピン内へのガス導入。 (セル内窒素ガス) 8. ピン孔あけ部の溶接 9. 測定部の真空びきと真空保持 10. レザービームによる孔あけ 11. 測定部圧力測定 → ピン内有効ガスだめ容積測定 12. ピン脱荷またはピン孔あけ部再溶接 <p>(注意) ピンパンクチャ対象の全ピンについて 1 ~ 12 項の作業を全部実施するとは限らない。全作業の実施は一部のピンに限られることになる。</p>			
問題点と対策				
処理能力	1 ~ 4 項作業のみの場合 4 ピン / 1 日 全作業実施の場合 2 ピン / 1 日	備考	<p>W-4 ワークステーション</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ ガスの同位体分析 燃材部として質量分析を有していないため測定不可能 	

試験番号	F-PN-11		試験装置
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 上部チャックによる径制限：2～20 mm ○ 下部チャックによる径制限：0～24 mm 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 炉心燃料ピン ○ ブランケット燃料ピン ○ 中性子吸収ピン 	
測定方式・精度	<ul style="list-style-type: none"> ○ ダイヤモンド・ホイールによる切断 ○ ピンは縦置 ○ 切断長さ測定：エンコーダ方式 	測定 デ タ	<ul style="list-style-type: none"> ○ 切断長さ } 計量管理データ ○ 切断代 } ○ 切断状態を第3者に示す写真記録
測定手順および内容	<ol style="list-style-type: none"> 1. ピン装着（上・下部チャック） 2. 切断位置をカッター位置に合せる。（位置のデジタル表示を記録） 3. ピンを回転させる。 4. ダイヤモンド・ホイールを回転させ、ホイールを前進させながら、被覆管を切断しつつ、ペレット外表面に周方向キズをつける。 5. 4項切削部の下部をバイスではさむ。 6. 4項の切削部をバイスにて折り取る。 7. 切断された下側をワキにおき、残っている上側の下部を下部チャックにチャッキングする。 8. 2～6項を繰り返す。 9. 切断片をならべて写真をとる。 		
問題点と対策	<ul style="list-style-type: none"> ○ 切削粉の把握 ○ 切断長さの精度 ○ 切削粉の回収 ○ 周方向位置マーク ○ 上下方向区分マーク 		
処理能力	6 ピン／1日 10 切断／1 ピン	備考	W-7ワークステーション

4 - 1 - 2 F M F 金相セルの試験

金相セルへは、小試料をカプセルに封入して気送管により除染セルから送ることになるが、金相セル内で試料調製された後、試験に供せられる。このセルで行われる試験項目および機器の一覧を表-4に、試験機器のセル内における配置を図-18に示す。

図-19は、F M F 金相セルでの試験工程の1例を示す。また各試験内容の詳細を試験番号の順に従って、各表に示してある。ただし試験番号は、F-M-*N*で表わし、FはF M F、Mは金相セルを示している。F-M-4 オートラジオグラフィの内容についてはAGFのA-D-3およびA-D-4の内容と同じなので省略する。

表-4 F M F 金相セルでの試験と機器

セル	試験番号	試験項目	
金相セル	F-M-1	金相試験	低倍率光学顕微鏡、高倍率光学顕微鏡
	F-M-2	走査電顕観察	走査型電子顕微鏡
	F-M-3	X線微小分析	X線マイクロアナライザ
	F-M-4	オートラジオグラフィ	光学顕微鏡

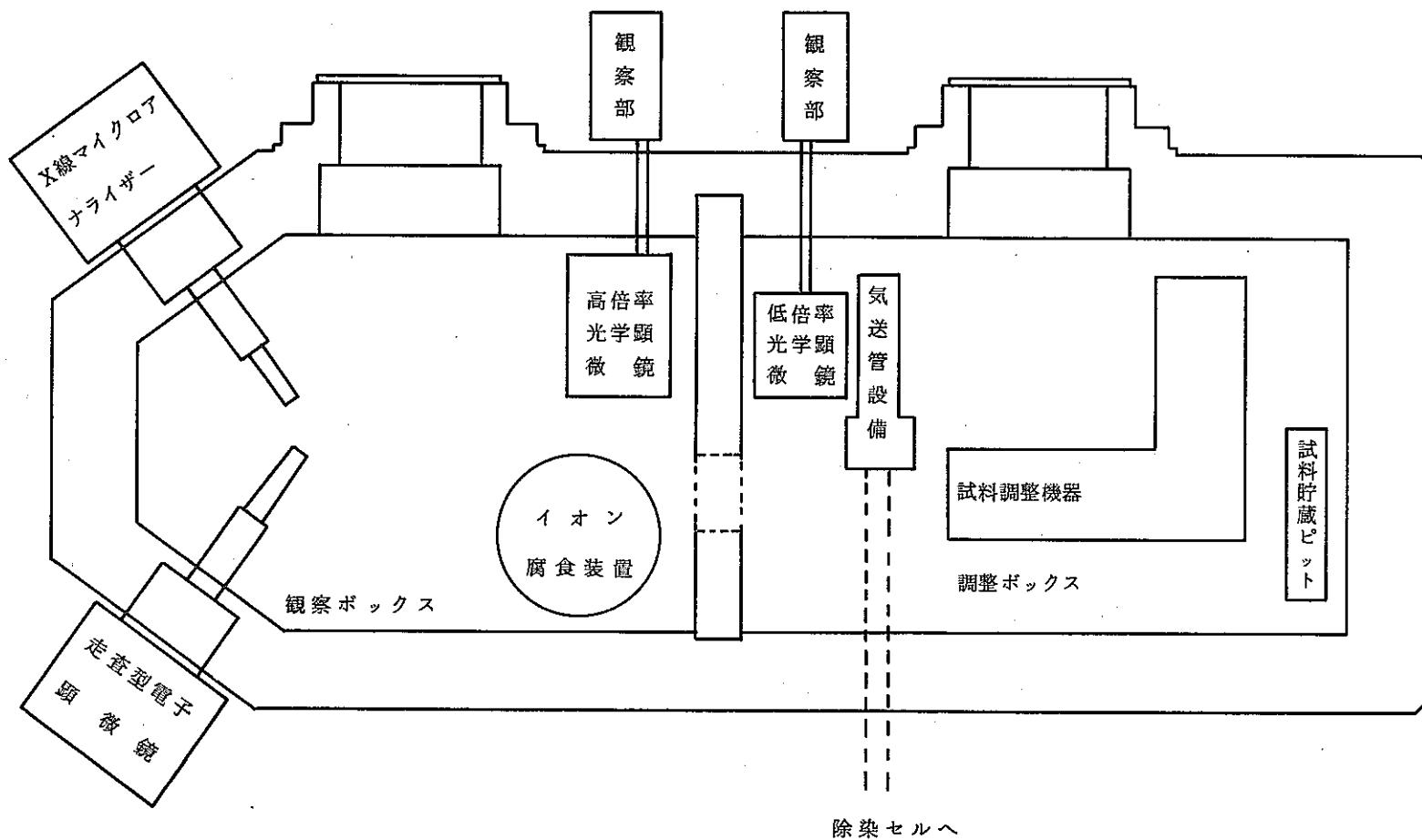


図-18 FMF 金相セルの試験機器の配列

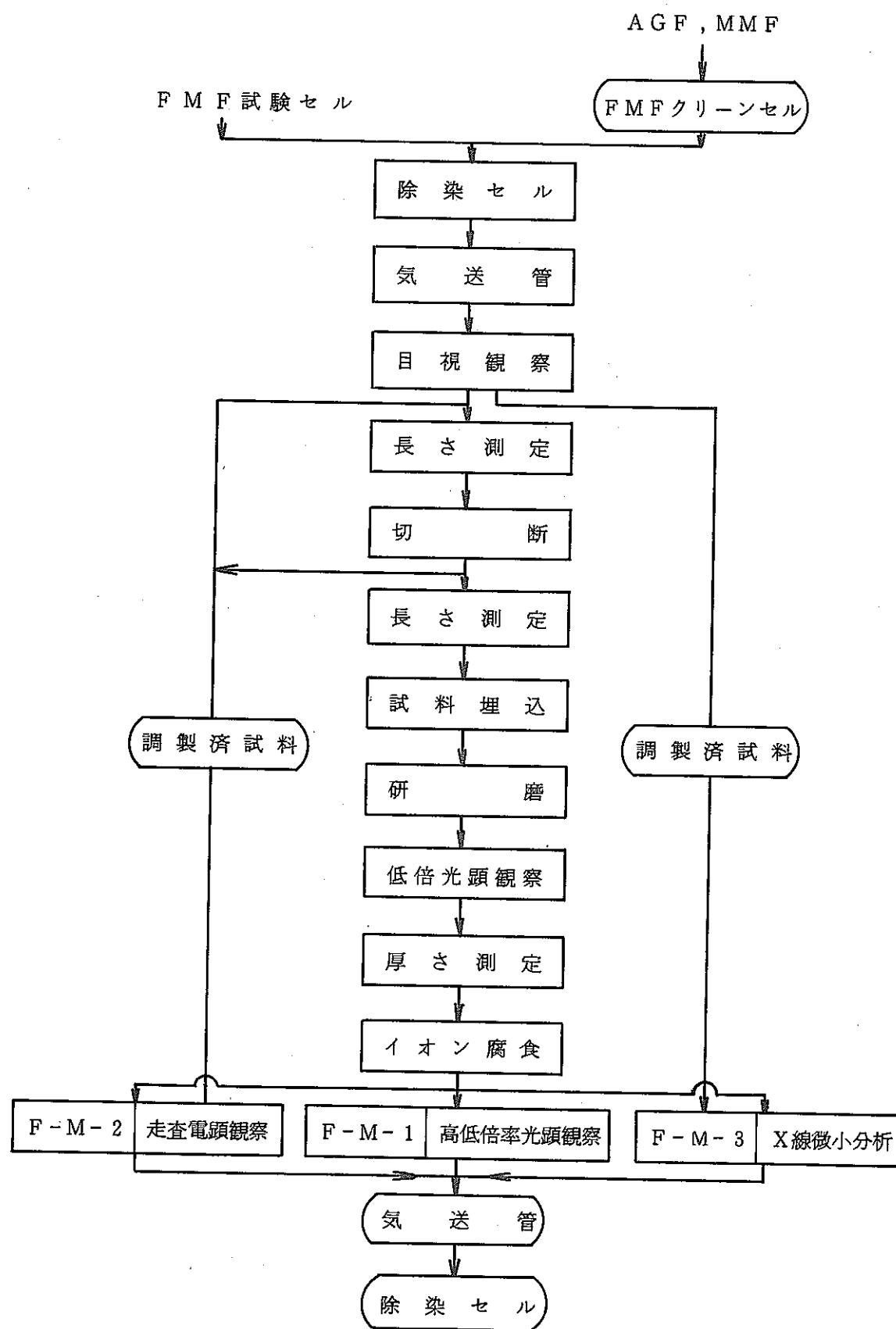


図-19 FMF金相セルでの試験工程

試験番号		金相試験		試験装置
F-M-1				低倍率光学顕微鏡 高倍率光学顕微鏡
取扱対象物		試験装置による制約条件		取扱対象試料
		<ul style="list-style-type: none"> ◦樹脂マウントの大きさ $31.8 \text{ mm} \phi (1 \frac{1}{4} \text{ インチ}) \times 250 \text{ mm} h$ 		<ul style="list-style-type: none"> ◦炉心燃料ピン ◦プランケット燃料ピン ◦制御棒 ◦その他部材
測定方式・精度		<ul style="list-style-type: none"> ◦低倍光顕倍率(明視のみ) $12 \times \sim 400 \times$ ◦高倍光顕倍率(明視, 偏光, 干渉付) $62.5 \times \sim 750 \times$ 		<p>測定データ</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦炉心ピン等の縦・横断面マクロ形態 ◦炉心ピン等の縦・横断面詳細形態 ◦上記形態観察による 燃料組織 燃料1被管相互作用 被覆管組織
測定手順および内容		<ol style="list-style-type: none"> 1. 試料調製 <ul style="list-style-type: none"> ◦切断 → 埋込 → 研磨 → 観察 → イオン腐食 2. イオン腐食 : アルゴンイオンスパッタによる表面研削方式 3. 低倍観察^{*1} : 腐食前後の大まかなピン内部形状変化を調べる。 低倍観察により次の高倍詳細観察内容を決定する。 4. 高倍観察^{*2} : <ul style="list-style-type: none"> ◦中心空孔, 柱状晶, 等軸晶, 析出物等の形態およびFCCI部の詳細観察, 又被覆管の結晶粒度, マイクロクラック等の観察を行う。 ◦組合せ写真撮影にて全面の詳細な画像を撮る。 ◦析出物, ポイド, 腐食生成物およびポイドの観察には光種を明視, 偏光, 干渉と変化させて適当な光種により観察する。 5. 結果解析 : 写真情報の相態学的な解析を行う。 6. 画像解析 : 写真情報のうち粒径分布, 析出物, ポイド密度等の量的解析を行う。 		
問題点と対策				
処理能力		3~4試料/週	備考	<p>*1. 低倍光顕は研磨面等のチェック用にも用いる。</p> <p>*2. さらに詳細な観察は走査型電子顕微鏡にて行う。</p>

試験番号		走査型電子顕微鏡観察		試験装置			
F-M-2				走査型電子顕微鏡 (SEM)			
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料				
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 試料ホルダーに装着できる大きさ 18 mm φ × 10 mm h 		<ul style="list-style-type: none"> ○ 炉心燃料ピン ○ ブランケット燃料ピン ○ 制御棒 ○ その他部材 				
測定方式・精度	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2次電子像 ○ 反射電子像 ○ 吸収電子像 倍率: 50X ~ 30,000X 分解能: 250 Å 	測定デー タ	<ul style="list-style-type: none"> ○ FCC I部の形態 ○ 析出部の形態 ○ ポイドの形態 ○ 破面の形態 				
測定手順おび内容	<ol style="list-style-type: none"> 1. 試料調製 切断 → 埋込 → 研磨 → イオン腐食 → 導電処理 * → 観察 2. ○ 2次電子像による観察: ピン表面のクラック, 材料破断面等の観察により, 破面の伝播, 起点, 形態を調べる。 ○ 反射電子像による観察: 試料の凹凸, および大まかな組成差を調べる。 ○ 吸収電子像による観察: 構成元素の違いによるコントラストがはっきりと現われる特徴を用い, 又反射電子像とある程度逆の明暗を与えることから FCC I部および析出物等の形態観察を行う。 3. 結果解析: 写真情報の相態学的な解析を行う。 4. 画像解析: 写真情報のうち粒径分布, 析出物, ポイド密度等の量的解析を行う。 						
問題点と対策							
処理能力	3~4試料/週	備考	*アルゴンイオンスパッターによりグラファイト又はメタル・をコーティングする。				

試験番号	X線微小分析 (EPMA)		試験装置
F-M-3			遮蔽型X線マイクロアナライザ
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料
測定方式・精度	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 樹脂マウントの大きさ 31.8 mmϕ (1 $\frac{1}{4}$ インチ) × 250 mm 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 炉心燃料ピン ◦ ブランケット燃料ピン ◦ 制御棒 ◦ その他部材 	
測定手順および内容	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 加速電圧 : 0 ~ 50 KV ◦ 分解能 : 1 μm ◦ X線分光結晶: LiF, PET, KAP, LTD, ADP ◦ X線検出器 : 比例計数管, ガスフロー計数管, 超薄窓P-90計数管 ◦ 分析可能元素: C ~ Pu 	<p>測定データ</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ FCCI評価データ ◦ 燃料／被覆管境界付近のFP元素の定性定量分析 ◦ FP, U, Pu, 被覆管成分の定性, 定量分析 ◦ 燃料径方向Pu分布 ◦ X線像による特定元素の分析状態 	
問題点と対策	1) 軽元素の定量分析上の精度がわるい 2) 各電子像が通常型装置よりもやや悪い		
処理能力	3 ~ 4試料/週	備考	

4 - 2 A G F における照射後試験

A G F で行われる試験の場所、項目、機器名の一覧を表-5に、セル等の配置を図-20に示す。

A G F では、従来海外炉および原研 J M T R で照射した燃料の試験を行ってきたが、これに「常陽」で照射し F M F で解体された燃料要素試料の試験が加わることになる。搬入される試料の種類によって試料の処理が大きく異なることはないが、搬入時のカプセルの形態により、またカプセルが J M T R 照射で N a K を含む場合は、その処理により多少試験工程が変更される。

図-21は、A G F での照射後試験工程を示す。また、各試験内容の詳細を試験番号の順に従って、各表に示してある。ただし試験番号は、A - N D (または D) - N で表わし、A は A G F 、N D および D は非破壊試験および破壊試験を示している。

図-22は金相試験のために行なう試験工程の細目を、図-23は燃焼率測定のために行なう試験工程の細目を、図-24は燃焼率測定のための試験工程を示している。

なお、A G F では増設施設として 8 基の鉛セルを設置し、物性測定関係の試験を行なう計画で 51 年 11 月から建家建設に着工し、53 年 6 月現在では建設を終了した。今後は 55 年 10 月を目途に照射済燃料の金相試験、融点測定、熱伝導度測定、X 線回折測定、密度測定を開始できるように整備を進めていく。これらの測定装置は現在発注段階のものであるため技術的に固っていない。従って測定方式および概略仕様のみを紹介するにとどめる。

表 - 5 A G F における試験と機器

セル等	試験番号	試験項目	試験機器
1セル	A-ND-5	γ スキャニング	駆動装置, 1~3次スリット Ge(Li)検出器, 多重波高分析装置
1セル 1-2ボックス	A-ND-1 A-D-2	NaK処理 金相試料切断埋込	小型および微小切断器
2セル		(試験試料の貯蔵)	
3セル 3-1ボックス	A-ND-2 A-ND-3 A-ND-4 A-ND-3 A-D-1 A-ND-6	ピン外観検査 寸法測定 重量測定 マーキング 密度測定 FPガス捕集	ペリスコープ, ポラロイドカメラ プロフィロメータ 遠隔直示式上皿天秤 遠隔直示式化学天秤 パンクチャーマシン, ガス捕集装置
3セル 3-2ボックス	A-D-2 A-D-2 A-D-2	研磨 化学腐食 腐食後光顕観察	研磨機 チェック型光学顕微鏡
L-1セル	A-D-2	高倍詳細観察	遠隔操作型金属顕微鏡
L-2セル	A-D-5 A-D-2	被覆管かたさ測定 ピン断面観察	ミクロビックカースかたさ計 遠隔操作型低倍顕微鏡
4セル	A-D-2	マクロ観察	マクロ観察機
5セル	A-D-2 A-D-3 A-D-4	イオン腐食 α -オートラジオグラフィ $\beta\gamma$ -オートラジオグラフィ	カソーデック・バキューム・エッチャ ミクロフォトメータ 同 上
6セル	A-D-6 A-D-6 A-D-6	重量測定 溶解 試料調製	遠隔直示式化学天秤 溶解装置
7セル		(試験試料の移動)	気送管設備
8, 9セル		(機器類の除染, 組立)	
化 学 室	A-D-6 A-D-6 A-D-6 A-D-6	試料調製 α , γ スペクトル分析 化学分析 燃焼率計算	Ge(Li), Si検出器 多重波高分析装置 自動滴定装置, 分光光度計 PDP 11/20 計算機
恒温室	A-D-6	質量分析	質量分析装置
ARGボックス	A-D-3, -4	α , $\beta\gamma$ オートラジオグラフィ	
操作室	A-D-2	画像解析	画像解折装置 (QTM-720)

表-6 AGF 増設施設における物性測定の概要

測定件名	対象物および形状	測定方式	仕様概略
X線回折	UO_2 , $(\text{U-Pu})\text{O}_2$ B_4C (粉末状)	特殊ゴニオメータを用いたX線回折法	<ul style="list-style-type: none"> ○常温測定 ○X線管球: Cu ターゲット ○X線発生装置 連続定格出力: 管電圧 : 20~60KV 管電流 : 2.5~80mA
融点測定	UO_2 $(\text{U-Pu})\text{O}_2$ B_4C (塊状)	サーマルアレスト法	<ul style="list-style-type: none"> ○高周波加熱電源 サイリスタ周波数変更方式 最高出力: 67 KW 周波数: 3 KHz ○到達温度 最高 : 2,850°C 通常 : 2,500~2,800°C ○カプセル : タングステン・ルツボ ○雰囲気 : 不活性ガスおよび真空 ○測温方式 : 2色温度計
熱伝導度測定	UO_2 $(\text{U-Pu})\text{O}_2$ B_4C (ディスク状 直径: 5~14 m ϕ)	レーザーフラッシュ法 比熱および熱拡散率の測定	<ul style="list-style-type: none"> ○レーザ発振部 ルビーロッド キセノン励起方式 出力: >20 J ○試料加熱方式: タングステム抵抗加熱 ○到達温度 最高 : 2,200°C ○雰囲気 : 不活性ガスおよび真空 ○測温方式 : 非接触方式および接触方式

備考: 各測定装置は現在設計中であり、最終的には若干変更される可能性がある。55年度後半から測定を開始できるような予定で装置の設計・製作・据付・調整を行なう。

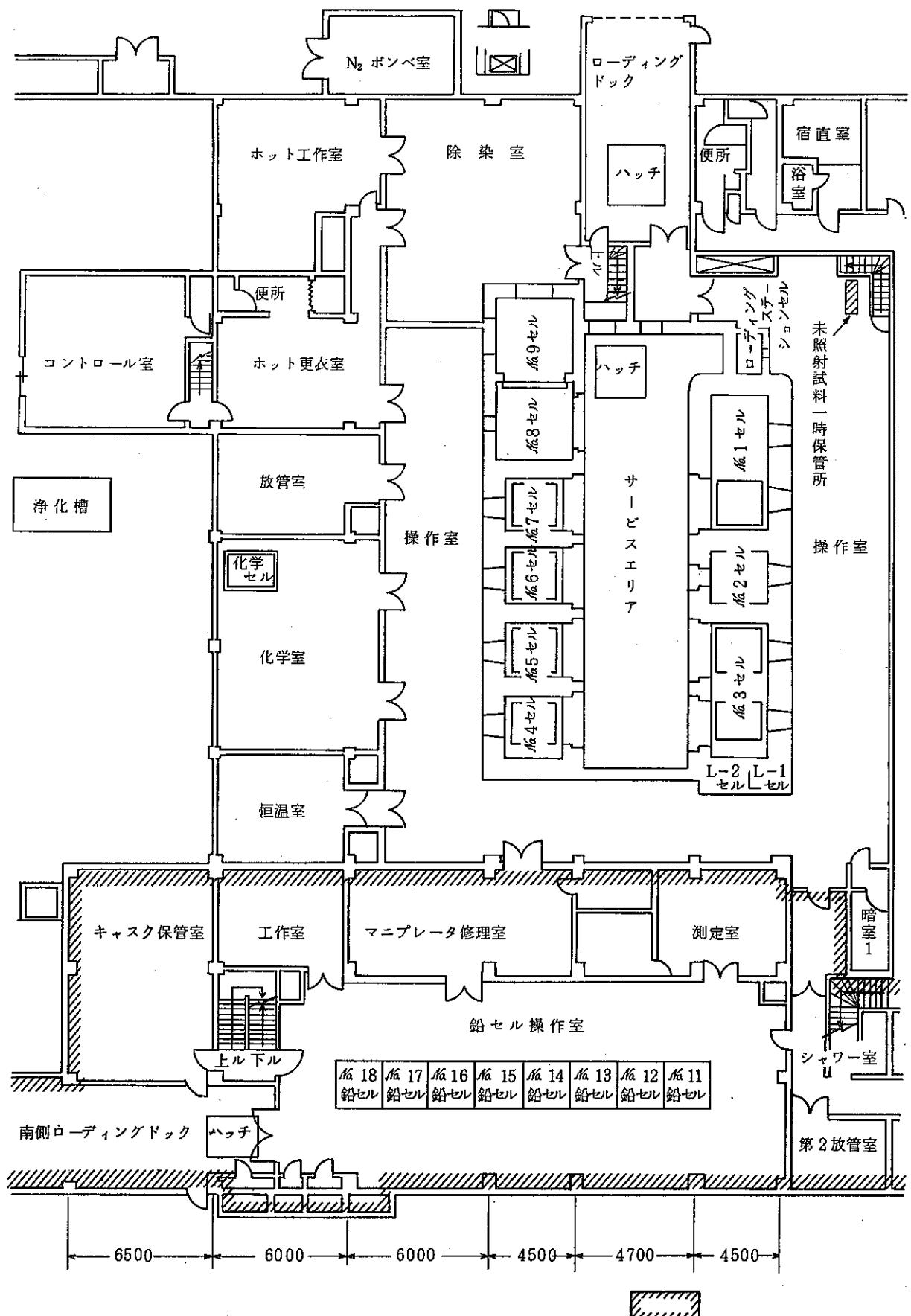


図-20 AGF の 1 階平面図 (1 部)

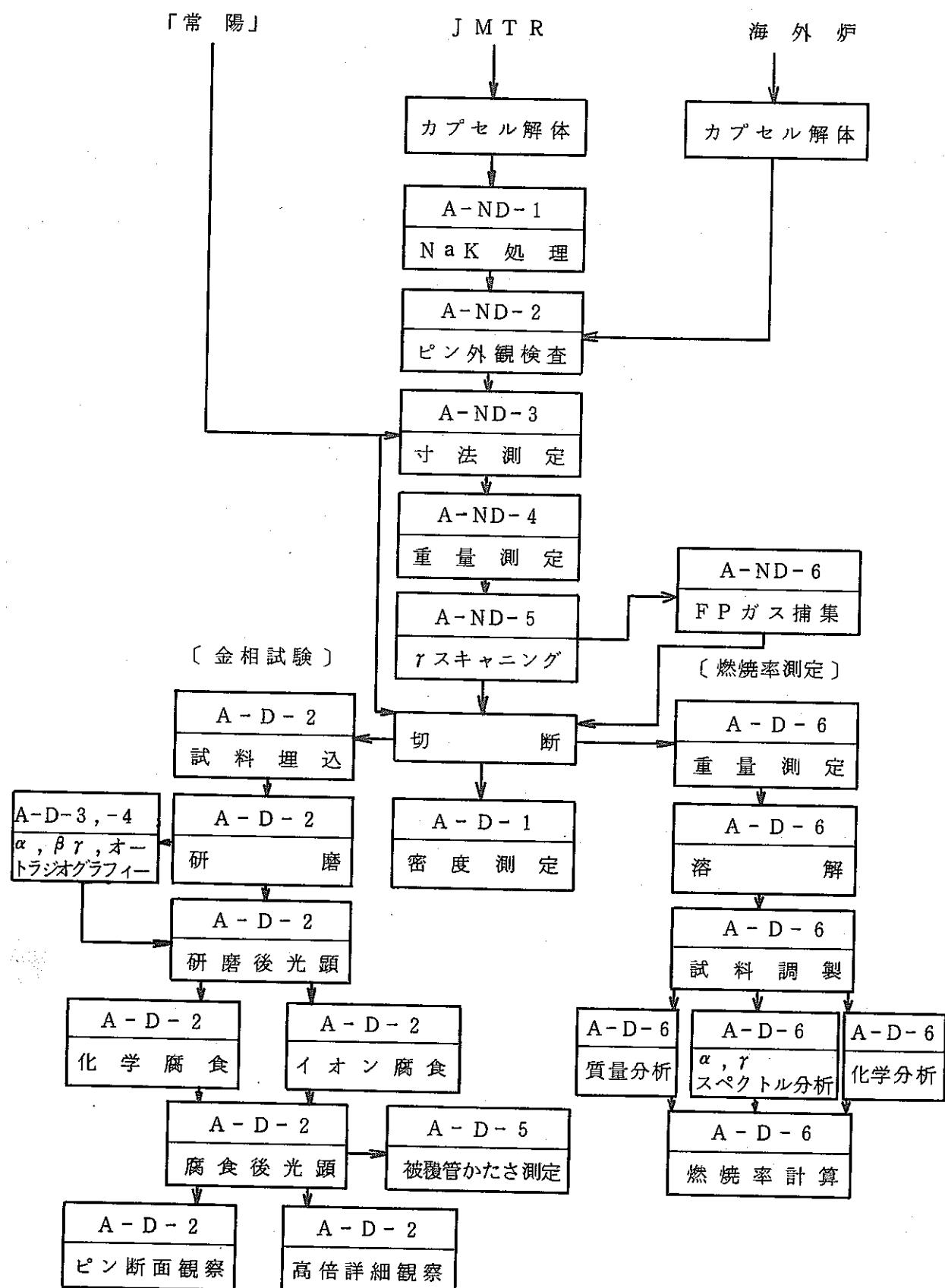


図-21 AGFにおける照射後試験工程

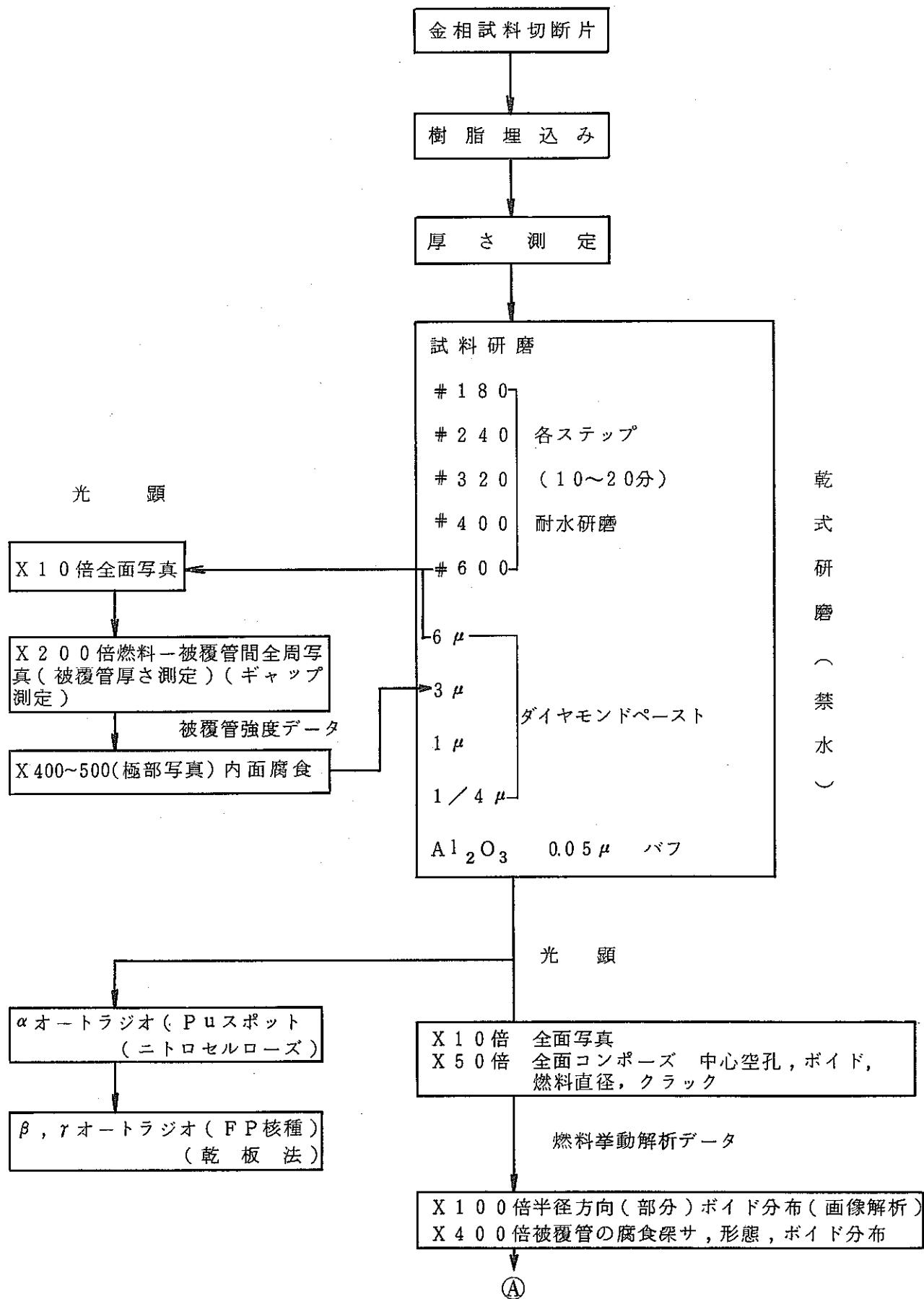


図-22(a) AGFでの金相試験工程

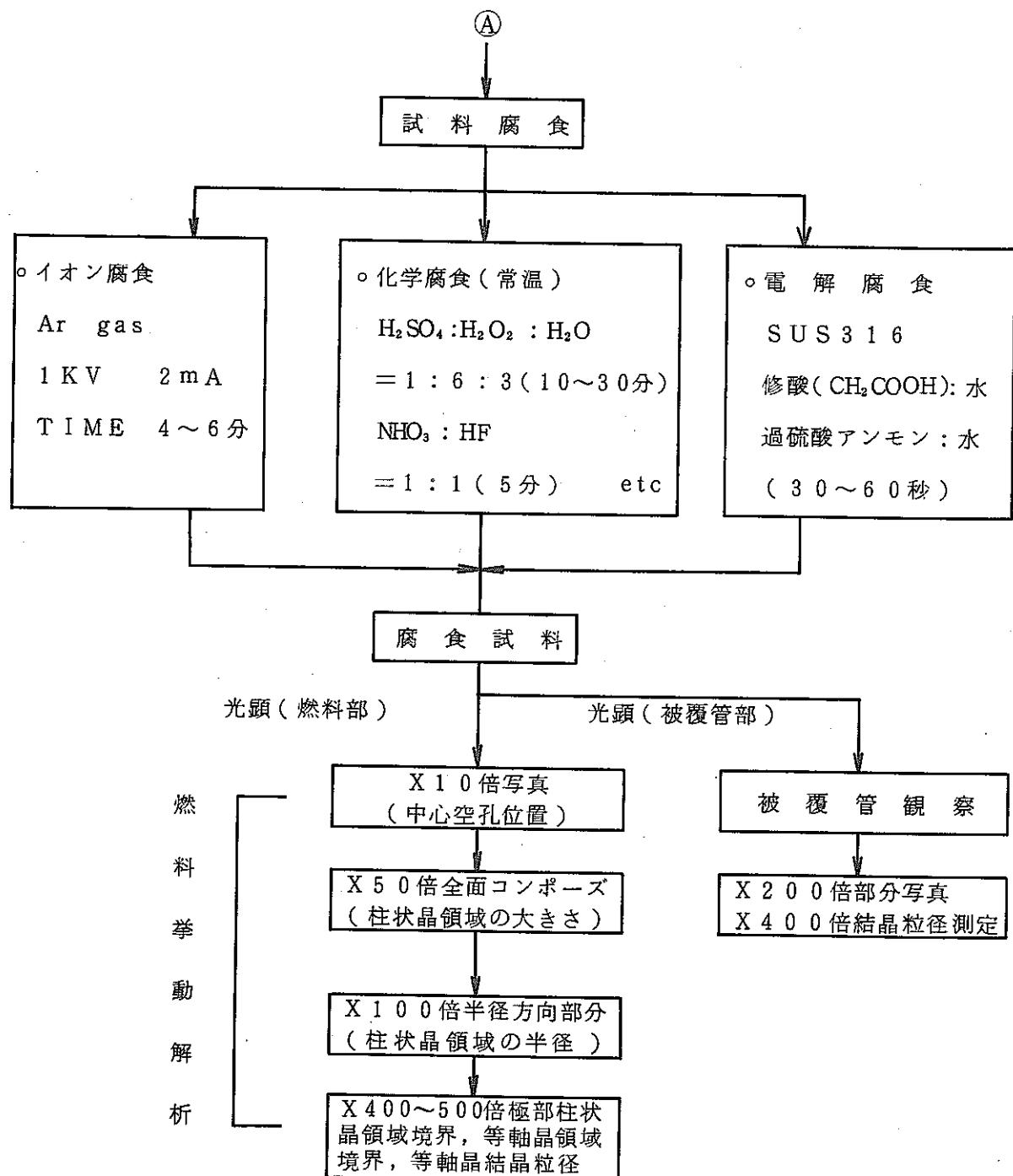


図-22(b) AGFでの金相試験工程

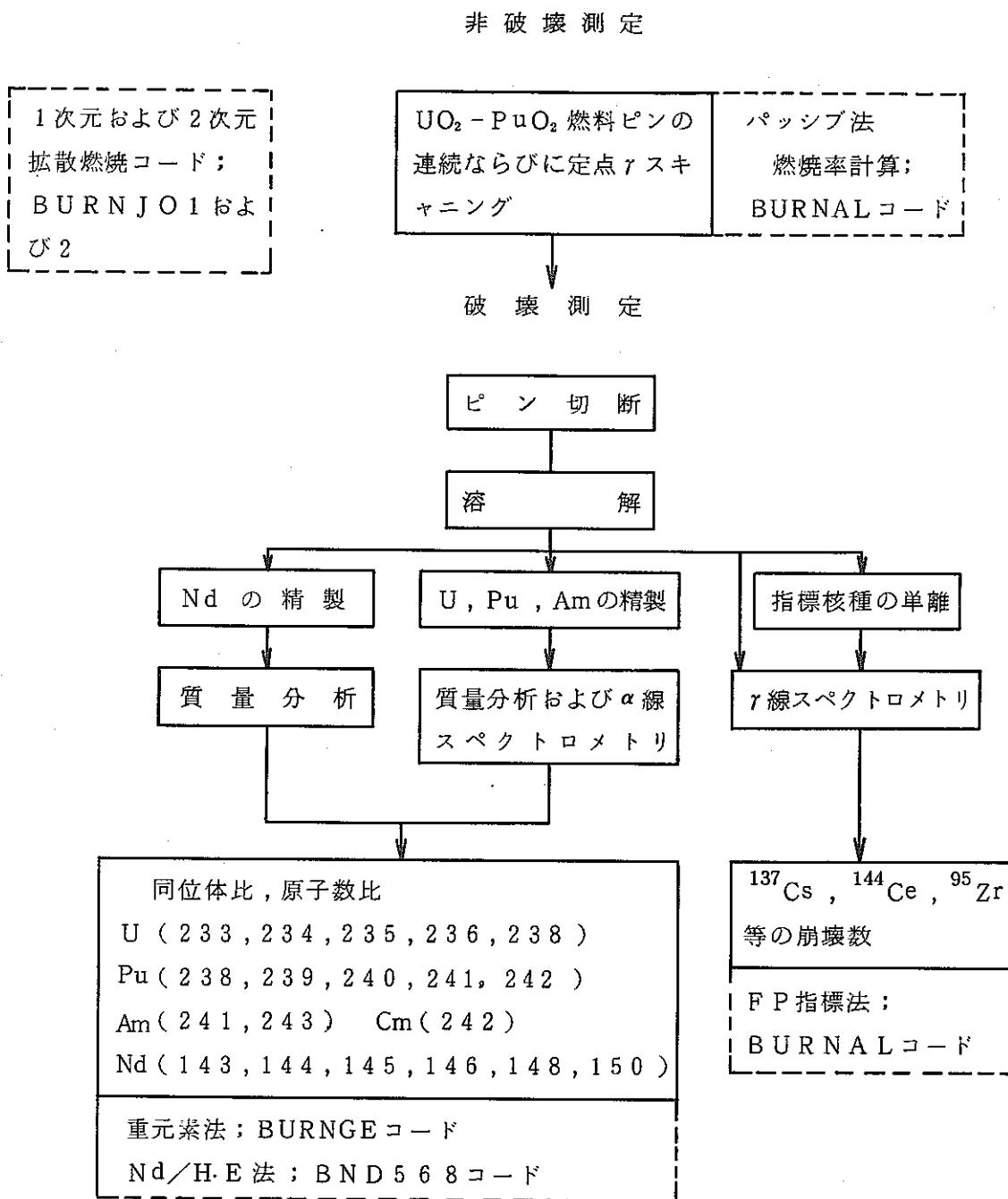


図-23 燃焼率測定フローシート

試験番号	Na K処理			試験装置
A-ND-1				切断機
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料	
	<ul style="list-style-type: none"> ・直径: 6.0 mmΦ ~ 32 mmΦ ・長さ: 700 mm以下 		<ul style="list-style-type: none"> ・Na K入り燃料カプセル 	
測定方式・精度	<ul style="list-style-type: none"> ・Na K封入キャップセルの切断: 精度 ± 1 mm 		測定データ	
測定手順および内容	<ol style="list-style-type: none"> 1. ボックス内を窒素雰囲気に置換する。 2. Na K封入キャップセルを切断、解体する。 3. Na Kを多価アルコールと反応させた後、廃液を固化処理する。 			
問題点と対策				
処理能力	2 カプセル/週 (界囲気置換および Na Kの不活性化を含む)	備考	1 - 2 セル使用	

試験番号	ピン外観検査			試験装置
A-ND-2				ペリスコープ、双眼鏡、 ボラロイドカメラ
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料	
			• 売心燃料ピン • ブランケット燃料ピン	
測定方式・精度	• 遮蔽窓を通しての目視観察、近距離双眼鏡観察を含む。 • ペリスコープによる目視観察と写真撮影： ペリスコープ実倍率 × 3	測定データ	• スケッチ • 写真	
測定手順および内容	1. ピン表面の異状の有無(変色、付着物、バリ等)を4方向(0°, 90°, 180°, 270°)から観察。 2. 全ピンおよび必要個所の拡大写真撮影。			
問題点と対策				
処理能力	3本／週	備考	3-1セル使用	

試験番号	寸法測定		試験装置
A-ND-3			プロフィロメータ
取扱対象物	試験装置による制約条件	取扱対象試料	
	<ul style="list-style-type: none"> ・直径：12mm以下 ・長さ：1,000mm以下 		<ul style="list-style-type: none"> ・炉心燃料ピン ・ブランケット燃料
測定方式 ・精度	<ul style="list-style-type: none"> ・マイクロメータ：精度±0.002mm ・直 尺：精度±0.125mm ・ノギス：精度±0.05mm 	測定データ	<ul style="list-style-type: none"> ・平行部直径 ・平行部長さ ・曲り
測定手順 および内容	<ol style="list-style-type: none"> 1. マイクロメータの読みをマスター ゲージで校正する。 2. ピンを装着し、調整済のマイクロメータで測定する。 3. 装着したピンを回転させながら、4方向(0°, 90°, 180°, 270°)の曲りの度合を直尺を用いて測定する。 4. 操作台上で直尺、ノギスを用いて長さを測定する。 		
問題点と対策			
処理能力	2本/週	備考	3-1セル使用

試験番号		試験装置	
A-ND-4		重量測定	
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料
	<ul style="list-style-type: none"> ・形状：上皿150mmのもの ・重量：1,100g以下 		・燃料ピン
測定方式・精度	<ul style="list-style-type: none"> ・直示式上皿天秤を遠隔操作にてデジタル表示値を測定 ・ひょう量 1,100g ・感度 10mg ・精度 ±0.5% ($\pm 0.05\text{g}$) ・測定範囲 10g, 100g (2レンジのみ) ・デジタルメータ 精度±0.1% 	測定デジタル	燃料ピン重量 (g)
測定手順および内容	<ol style="list-style-type: none"> 1. 内部分銅をかけず上皿天秤に標準分銅をのせ、デジタル表示値を見る。 2. 内部分銅を加え標準分銅との誤差を、デジタル表示値を読む。 3. 内部分銅を加えない場合と加えた場合との標準分銅のつり合い及びデジタル表示値の感量調整及びゼロ調整を繰り返す。 4. 感量調整及び零調整終了後ピン重量を測定する。 <p>測定は最低5回以上は測定しmax, minを除く他の測定値の平均をもってピン重量とする。</p>		
問題点と対策	<ul style="list-style-type: none"> ・振動その他の電気的ノイズにより測定精度（デジタル表示値が安定しない）が変化し、又感量調整に時間を要するし、感量調整不能の場合も生ずる。 		
処理能力		備考	

試験番号		試験装置	
A-ND-5	ガンマースキャニング		スキャンナー, スリット, 波高分析装置, Ge (Li)
	試験装置による制約条件		取扱対象試料
測定方式	<ul style="list-style-type: none"> ・ピン全長 500 mm ・切断試料～25 mmまで 	<ul style="list-style-type: none"> ・炉心燃料ピン ・ブランケット燃料ピン 	
精度	<ul style="list-style-type: none"> ・左右ストローク 500 mm, 速度 5～600 mm/min ・Gross-γ線の測定 (γ線プロファイル) ・シングルチャンネル (各エネルギー別のプロファイル) ・定点測定 (ピンの各ポジションの核種分析) <p>エネルギー分解能～2 KeV (現在スリットは 0.5 × 15 mm) 送り精度 $\frac{1}{10}$ mm以下</p>	測定データ	<ul style="list-style-type: none"> ・FP核種の軸および径方向分布 ・燃焼率との適合 ・照射後燃料ピン内の状態確認 (切断位置等の決定の目安)
測定手順および内容	<p>I 切断前</p> <ol style="list-style-type: none"> ① ピンをアルミキャップセルに入れ PVCでバッグイン ② スキャンナーへ設置 ③ Gross-γプロファイルの測定 ④ 必要核種のプロファイル測定 ⑤ ③のプロファイルよりピンの各ポジションの核種分析 (CANBERRA波高分析装置, DEC PDP 11/05 計算機使用) ⑥ 結果の解析と評価 <p>II 切断後</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 切断面の研磨・マウント ② アルミ容器に入れ Bag in ③ スキャンナーへ設置 ④ Gross-γ, 必要核種, 各ポジションの核種分析 ⑤ 結果の解析と評価 (金相写真を参考) 		
問題点と対策	スリットをピンホール等と交換可能にする。そのためには試料と検出器との距離が問題となる。処理能力にも関係するが試料設置後の操作を計算機により制御すれば処理能力、精度とも向上できる。試料のバッギングについては、現在4名の人手と時間を要する。改良の余地あり。		
処理能力	1本／週	備考	測定は, №1セル β - γ 区域で行なう。

試験番号	FPガス捕集		試験装置
A-ND-6			パンクチュアーマシン ガス捕集装置
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料
	• 外径 6.3Φ • 長さ 600mm以内 • 端栓の長さ 15mm以内		• 炉心燃料ピン
測定方式・精度	• 真空中ガス拡散方式 • Dead Volume 3000cc程度		測定 デ リ タ • 放出ガス量 (cc)
測定手順および内容	1. パンクチュアーマシン及びガス捕集装置を真空にする。 2. あらかじめ準備した標準容器で装置のDead Volumeを測定する。 3. 燃料ピンのプレナム部へタンクステン又は超硬合金ピンを押し込み穴を開ける。 4. マクラウド真空計で放出ガスの圧力を測定する。 5. テプラーポンプで放出ガスを捕集する。		
問題点と対策	• パンクチュアーマシンはアイソレーションBox内、ガス捕集装置は操作室に設置してあるため装置内に温度差が生じ、それによる誤差が精度に影響する。		
処理能力	3本/週	備考	

試験番号		試験装置	
A-D-1		密度測定（スウェーリング測定）	
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料
	<ul style="list-style-type: none"> 炉心燃料ピンの場合 長さ 30 mm以下（脱ミート治具性能上） 10 mm以上（測定精度上） 		<ul style="list-style-type: none"> 炉心燃料被覆管等
測定方式・精度	<p>液浸法による密度測定</p> <ul style="list-style-type: none"> 秤量精度 ± 0.5 mg 炉心燃料被覆管サンプル長さ 2 cm 水中、空中の秤量繰返数を5回程度として密度評価 精度は± 0.03 g/cm³程度 	測定データ	<ul style="list-style-type: none"> 被覆管密度またはスウェーリング値
測定手順および内容	<pre> graph TD A[試料切断 (長さ 2 ~ 3 cm)] --> B[脱ミート] B --> C[被覆管酸洗い及び乾燥] C --> D[空気中秤量 (繰返し)] C --> E[水中秤量 (繰返し) -> 乾燥] E --> F[密度評価 (含統計処理)] F -.-> G[M M F] G --- H["液浸法による密度再測定"] G --- I["TEMによるボイド観察等"] </pre> <p>• 脱ミート後燃料の扱い等計量管理上問題あり。試験数はある程度限定することが必要。 従って、低フルエンスのものについては実施しないか、あるいは最小限に限定。</p>		
問題点と対策	<ul style="list-style-type: none"> スウェーリングを評価するためには、標準サンプル（または標準値）の選択が重要。現状では未照射サンプル（最低限同一ロットであること）を用いるよりは、プレナムの炉心から離れた部分を使用するほうが、いい結果が得られそうである。（DFRシリーズの経験） 		
処理能力	6試料／4週間	備考	

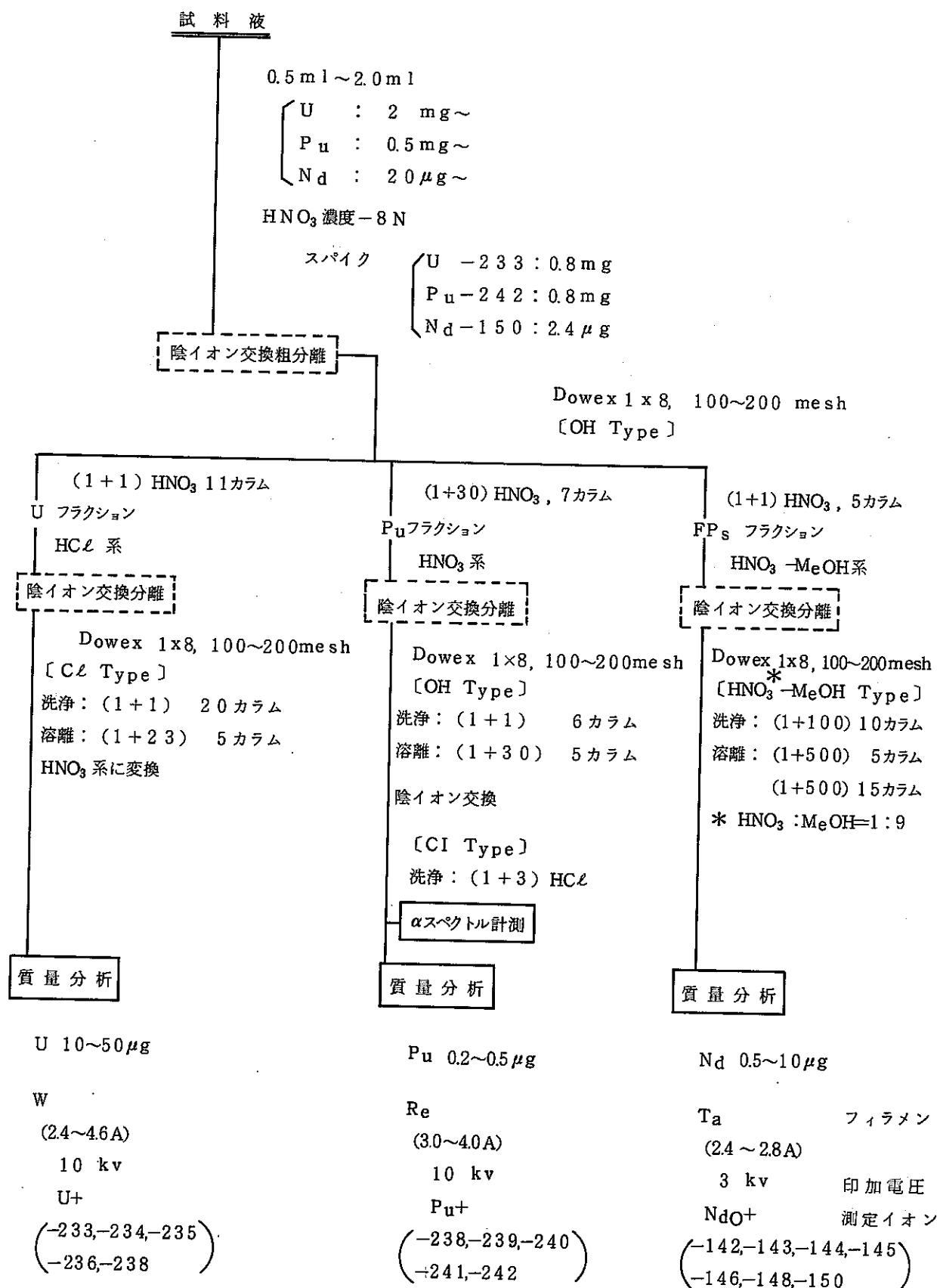
試験番号		金相試験		試験装置
A-D-2				遠隔操作型光学顕微鏡
取扱対象物		試験装置による制約条件		取扱対象試料
取扱対象物 •樹脂マウントの大きさ 31.8 mm \varnothing (1-1/4インチ) × 約30 mmh		取扱対象物 •炉心燃料ピン •プランケット燃料ピン		
測定方式 精度	光顕倍率: ×10 ~ ×1,000 max	測定データ	(金相写真からの観察、測定事項) •燃料組織 中心空孔、柱軸晶、等軸晶、溶触領域、気孔率分布、結晶粒径、第二相、クラック、介在物等 •燃料／被覆管間 残留ギャップ寸法 被覆管内面腐食 •被覆管 結晶粒度、介在物等破損、変形の有無	
測定手順 および内容	1. 試料調製 試料樹脂埋込み 研磨 2. 光顕観察(研磨後) 低倍観察* (×10) 高倍観察** (×1000 max) } 写真撮影 3. 腐食 4. 光顕観察(腐食後) 研磨後の光顕観察とはほぼ同様 5. 写真焼付、貼り合せ 6. 測定 (組織変化領域の大きさ等写真上の直接測定) (7. 画像解析)	測定手順 および内容	* マクロ断面写真撮影 ** ミクロ観察用写真としては、最低限次のようなものを含む。 ① 燃料の全断面または、直径一方向をカバーする。 合成写真 (×50 ~ 200) ② 燃料／被覆管境界部 高倍写真 (×200 ~ 1000) (FCCI 及び残留ギャップ測定用) この他に ③ ポアの粒径分布測定用写真 (倍率段階的に) ④ 局所的な高倍写真 第二相、介在物 FPIングット等 } 観察用	
問題点と対策	1. データに一貫性を持たせるために、常陽燃料用標準金相試験法を確立する必要あり 研磨方法、腐食方法、高倍写真倍率、(高倍写真→全断面合成 or 部分断面合成?)、} 検討事項 画像分析用写真、AGF/FMF金相試験方法統一(または分担) 2. 写真整理(焼付け、貼り合せ、縮少等)は一定の技術を必要とする上、マンパワーを食う仕事になり、これをいかにうまく処理するかが問題			
処理能力	18試料/4週間	備考	試料樹脂埋込み: No 1-2 Box 研磨、腐食: No 3-2 Box 光顕観察: L-1 Box	

試験番号	α オートラジオグラフィ		試験装置
A-D-3			ボックスフード等 (ミクロ フォトメータ)
取扱対象物	試験装置による制約条件	取扱対象試料	
	研磨済金相試料	• 炉心燃料ピン	
測定方式・精度	燃料断面をニトロセルロースフィルムに密着させることにより得られる α トラックの密度から、燃料内 α 放射体($\approx P_u$)の濃度分布を知る。	測定データ	• (α -トラック密度) • (P_u スポットの径、分布)} ルーチン作業からは除外 ◎ P_u 濃度相対分布 (フィルム黒化度分布から)
測定手順および内容	<pre> graph TD A[フィルム準備 (汚染防止用シール等)] --> B[露光 (No. 5 セル)] B --> C[シール開封 (ARGボックス)] C --> D[除染 (化学室フード)] D --> E[エッティング (除染室)] E --> F[ポジ焼付 (暗室)] F --> G[評価] F --> H[ミクロフォトメータによる フィルムの光透過度読取り] H --> G </pre>		
問題点と対策	<ul style="list-style-type: none"> α-オートラジオから評価できるP_u分布は、燃料密度変化とP_u-migrationの両方の効果を含んだものであり、P_u/P_u+U分布を評価するためには、別に燃料密度分布を行なうことが必要 P_u濃度の絶対値評価を行なうためには、何段階かのP_u濃度をもつ標準サンプルが必要 		
処理能力	2試料/週	備考	

試験番号	β - γ オートラジオグラフィ		試験装置
A-D-4			(ミクロ フォトメータ)
	試験装置による制約条件		取扱対象試料
研磨済金相試料			・炉心燃料ピン
測定方式・精度	写真乾板に燃料断面を密着させ乾板の黒化度分布から概略のFP放射能分布を知る。 試料に一定の厚みがある上、放射線(β 線及び γ 線)の透過度が大きいため精度(分解能)は良くない。あくまでもFP放射能分布の目安を得るのが現段階での目的	測定データ	・概略のFP放射能分布 (フィルム黒化度分布から)
測定手順および内容	<pre> graph TD A["写真乾板準備 (暗室) 汚染防止及び感光防止用シール等"] --> B["露光 (No. 5 セル)"] B --> C["シール開封, 現像, 定着, 水洗 (A R G ボックス)"] C --> D["除染 (化学室フード)"] D --> E["ポジ焼付 (暗室)"] E --> F["評価"] E --> G["ミクロフォトメータによる フィルム黒化度読み取り"] </pre>		
問題点と対策	<ul style="list-style-type: none"> 現時点では得られるデータは、あくまでもFP放射能分布の目安であって定量的な評価はむづかしい。 		
処理能力	2試料/週	備考	

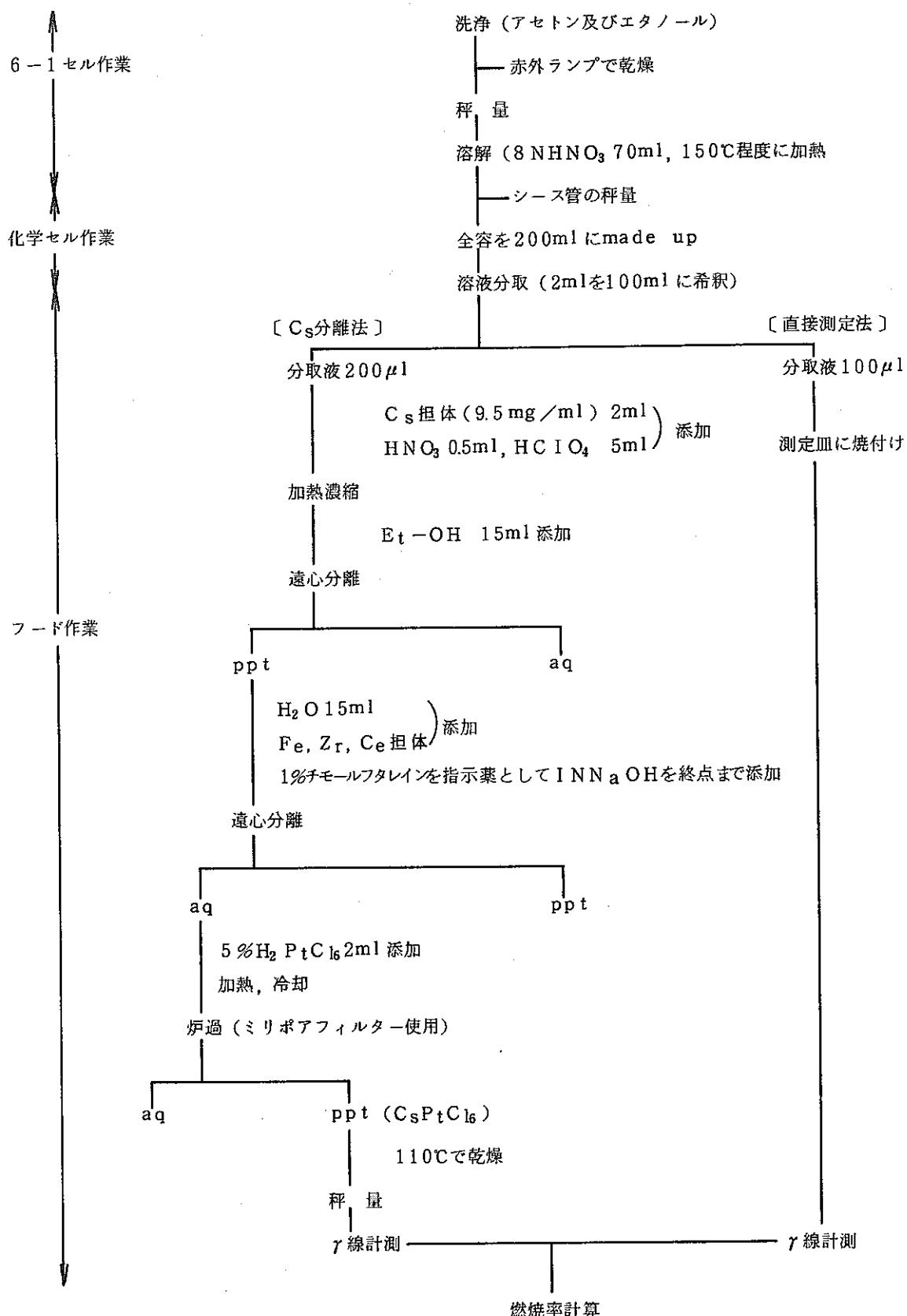
試験番号	被覆管かたさ測定		試験装置		
A-D-5			ミクロピッカースかたさ計 (遠隔製作型)		
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料		
	金相用樹脂埋込試料（研磨後） 直径<35mmΦ 高さ<35mm ^h (30mm程度標準)		• 炉心燃料被覆管 (“燃料”のかたさ測定も可能)		
測定方式・精度	試料表面につけたダイヤモンド圧子の圧痕を拡大（倍率1,100倍）してスケールとともにモニターテレビ画面上に映し出し圧痕の大きさを測定する。（精度約±1μ）荷重の大きさと圧痕の大きさからかたさに換算。	測定データ	被覆管かたさ（ピッカースかたさ）		
測定手順および内容	1. 金相試料調製（鏡面仕上げ） ↓ 2. ダイヤモンド圧子による刻印 ↓ 3. 圧痕の大きさ測定 ↓ 4. かたさ換算				
問題点と対策	• 荷重の大きさ、荷重保持時間等をあらかじめ決めておき、データの一貫性をはかる必要あり。				
処理能力	18試料/4週間	備考	L-2ボックス		

試験番号	燃焼率測定 (Nd法)		試験装置
A-D-6-1			質量分析装置 多重波高分析装置
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料
	• 燃焼率 $1\text{a}/0$ で $5\text{m}\varphi$, $5\text{a}/0$ で $1\text{m}\varphi$ 以上の試料 (常陽燃料仕様のもの) を必要とする。		• 炉心およびプランケット燃料ピン 照射用燃料集合体から軸方向ならびに、径方向の燃焼分布を測定するのに必要なピンを選択し、測定個所を定めてサンプリングする。
測定方式 ・精度	• U, Pu, Nd の化学分離と質量分析 • 精度 a 分析精度 <±1.5% b 燃焼率精度 <±3% (ただし、Nd核種の核分裂生成率が2%以下の誤差で求まっている場合)	測定データ	• U-233, -234, -235, -236, -238 Pu-238, -239, -240, -241, -242 Nd-143, -144, -145 -146, -148, -150 の同位体比、組成比と原子数比 • 燃焼率 ($\text{a}/0$ および MWD/MT) • 出力、中性子束分布と燃焼率分布比較 • 核分裂生成率、実効断面積の評価 • 照射中性子エネルギーの算定
測定手順 および内容	1. 測定試料の洗浄、乾燥、秤量 2. 燃料部の溶解 3. 定容と攪拌 4. 化学分離操作 ① U-233, Pu-242, Nd-150 スパイク液の添加 ② U, Pu, Nd, フラクションの粗分離 (HNO ₃ 系陰イオン交換分離法) ③ Uの精製 (HCl系陰イオン交換分離法) ④ Puの精製 (HNO ₃ ") ⑤ Ndの精製 (HNO ₃ - CH ₃ OH系 ") 5. 質量分析-U, Pu, Nd 同位体比の算定 6. α スペクトロメトリー —— Pu-238 の定量 7. 燃焼率計算 (BND 568 コード, DEC PDP 11/20 計算機使用) 8. 計算結果の解析と評価		
問題点と対策	測定数が限られることと化学分離操作中の被爆管理が問題に上げられるが、53年10月に質量分析装置がAGFに設置されることで、いずれも自主的に解決出来ることになった。しかし、核データの採取や炉全体を対象にした燃焼率測定のために、質量分析装置がどれだけの台数必要となるかについては今後の検討を要する。		
処理能力	1試料/週 (質量分析12点/試料)	備考	測定手順の内1~3はNo 6セル、4は化学セル、No 1 GB, No 1 フードを使用。



試験番号		試験装置	
A-D-6-2		燃焼率測定（重元素法）	
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料
	<ul style="list-style-type: none"> Am, Cmの定量には燃料の組成、燃料率と関係して必要な試料の量が定められる。 		<ul style="list-style-type: none"> 炉心燃料ピン プランケット燃料ピン
測定方式 ・精度	<ul style="list-style-type: none"> U, Pu, Am, Cmの化学分離と質量分析および燃焼率の計算 精度 <ul style="list-style-type: none"> a 分析精度 U, Pu < ± 0.4 % Am, Cm < ± 8 % b 燃焼率精度 < ± 5 % (5 %以上で) ただし、σ_f, σ_c等が 10 %以内の誤差であること 	測定 デ リ タ	<ul style="list-style-type: none"> U-233, -234, -235, -236, -238 Pu-238, -239, -240, -241, -242 Am-241, -243, Cm-242, -244 の同位体比、組成比と原子数 全燃焼率と核種毎の燃焼寄与率 増殖比、実効断面積、α値等の評価 Pu生成量分布
測定手順 および内容	<ol style="list-style-type: none"> 測定試料の洗浄、乾燥、秤量 燃料部の溶解 定容と搅拌 化学分離操作 <ol style="list-style-type: none"> U-233, Pu-242 スパイク液の添加 U, PuとAm, Cm フラクションの粗分離 (HNO₃系陰イオン交換分離法) Uの精製 (HCl系陰イオン交換分離法) Puの精製 (HNO₃系 ") Amの精製 (HCl系陽イオン交換分離法) Cmの精製 (") 質量分析——U, Pu 同位体比の算定 α-スペクトロメトリー-Pu-238, Am-241, -243, Cm-242, -244 の定量 燃焼率計算 (BURNGE, BURNJO1, BURNJO2コード, CDC-6600 計算機使用) 計算結果の解析と評価 		
問題点と対策	Nd法と同様に質量分析による処理件数については今後の試験内容と合致した計画検討を要する。また、分析結果を基にした燃焼率の計算精度が照射時における実効断面積等の核データの精度に左右されるので常陽の運転管理に用いられる核データライブラリを使用出来るようにコーディングし測定精度を向上するようになっている。		
処理能力	1 試料/週 照射前試料を含む。 (質量分析 12点/試料)	備考	本法はNd法と併用出来る。 測定手順の内 1~3 は 6 セル、4 は化学セル、No.1 GB, No.1 フードを使用。

試験番号	燃焼率測定 (γ 線スペクトロメトリ法)		試験装置
A-D-6-3			多重波高分析装置
取扱対象物	試験装置による制約条件	取扱対象試料	
測定方式 ・精度	<ul style="list-style-type: none"> 溶解試料、指標核種の化学分離試料の高周波加熱焼付けとγ線スペクトロメトリ 精 度 分析精度<± 3 % 燃焼率精度<± 12 % ただし、補正により<± 5 %が可能 	測定 デ タ	<ul style="list-style-type: none"> F P核種のγ線スペクトルと崩壊数 燃焼率 ($a/0, MWD/MT$) γスキャニングデータとの適合 核分裂生成率の評価
測定手順 および内容	<ol style="list-style-type: none"> 測定試料の洗浄、乾燥、秤量 燃料部の溶解 定容と攪拌 計測試料調製 <ol style="list-style-type: none"> 指標核種の化学分離、精製 例 ^{137}Cs (塩化白金酸法), ^{144}Ce (陽イオン交換分離), ^{95}Zr (HDEHP抽出法), 等 溶液試料の高周波加熱焼付け 波高分析——F P核種のγスペクトル計測 燃焼率計算 (BURNALコード, DEC PDP11/20計算機使用) 計算結果の解析と評価 		
問題点と対策	<p>本法は迅速に多数の測定が可能となる利点がある反面、本質的に測定精度が劣る面を持っているのでN d法との対応、γスキャニングデータの活用、全希土類一重元素法との併用と共に計算上必要な正確な壊変補正、半減期、収率等の核データを整備して総合的に精度を向上させる。</p>		
処理能力	2試料/週	備考	測定手順の内1~3は6セル、4はNo1, 2フードを使用。本法をそのままSUS鋼の放射化核種の定量に適用出来る。



γ 線スペクトロメトリ法による燃焼率測定手順例

4.3 MMFにおける照射後試験

MMFで行なわれる試験の場所、項目、機名の一覧を表-6に、セル等の配置を図-24に示す。

MMFでは、現在海外炉および原研JMT-Rで照射した材料の試験を進めているが、これに「常陽」で照射しFMFで解体、切断された集合体部材等の試験が加わることになる。搬入される試料の形態によってはMMF内の試料処理が異なり、また試験体の種類によっては試験の内容も異なり、試験工程も変ってくる。

図-25から図-29までは、海外炉、JMT-R、「常陽」照射の被覆管、ラッパー管、制御棒、構造材料の試験工程を示す。図-30、31、32はMMFで試験に供せられる標準試験片の形状寸法を表わしている。また、各試験内容の詳細を試験番号の順に従って、各表に示してある。ただし、表中の処理能力は、他の試験に無関係にその試験を行なった場合の能率を表わしたもので、全体の試験工程および機器の整備状況によっては変更もあり得るものである。

試験番号はM-*n*で表わし、MはMMFを示しているが異なった2個所以上の場所で同一項目の試験が行われる場合は、枝記号A、B、Cを付してM-3-Aのように表わすこととする。

表-7 MMFにおける試験と機器

セル等	試験番号	試験項目	試験機器
被覆管試験セル	M-1-A	外観検査(α 試料)	ペリスコープ
	M-2-A	寸法測定(α 試料)	レーザマイクロメータ
	M-3-A	密度測定(α 試料)	密度計
	M-6-A	引張試験(α 試料)	引張試験機
	M-9	バースト試験	バースト試験機
	M-10-A	内圧クリープ試験	内圧クリープ試験機
ローディングセル	M-1-B	外観検査($\beta\gamma$ 試料)	ペリスコープ
	M-2-B	寸法測定($\beta\gamma$ 試料)	マイクロメータ
	M-3-B	密度測定($\beta\gamma$ 試料)	密度計
工作セル	M-4	ラッパ管切断	工作セルカッター
	M-5	ラッパ管引張試験片加工	N C フライス
研磨セル 光顕セル	M-12	金相試験	ダイヤモンドカッター, 研磨装置 光学顕微鏡
	M-13	かたさ測定	ダイヤモンドカッター, 研磨装置 マイクロビックカースかたさ計
試験セル	M-6-B	引張試験($\beta\gamma$ 試料)	引張試験機(2台)
	M-7	圧縮試験	引張試験機
	M-8	衝撃試験	シャルピー衝撃試験機
	M-11	疲れ試験	疲れ試験機
単軸クリープセル	M-10-B	単軸クリープ試験	単軸クリープ試験機(10台)
透過電顕室	M-14	透過電顕観察	透過型電子顕微鏡
物質測定室	M-2-C	寸法測定(セル外)	マイクロメータ
	M-3-C	密度測定(セル外)	密度計
	M-15	X線回折	X線回折装置, 焼鈍炉
	M-16	熱膨脹測定	熱膨脹計

* 被覆管試験セルのみは、核燃料物質を含む試料(α 試料)の取扱が可能である。

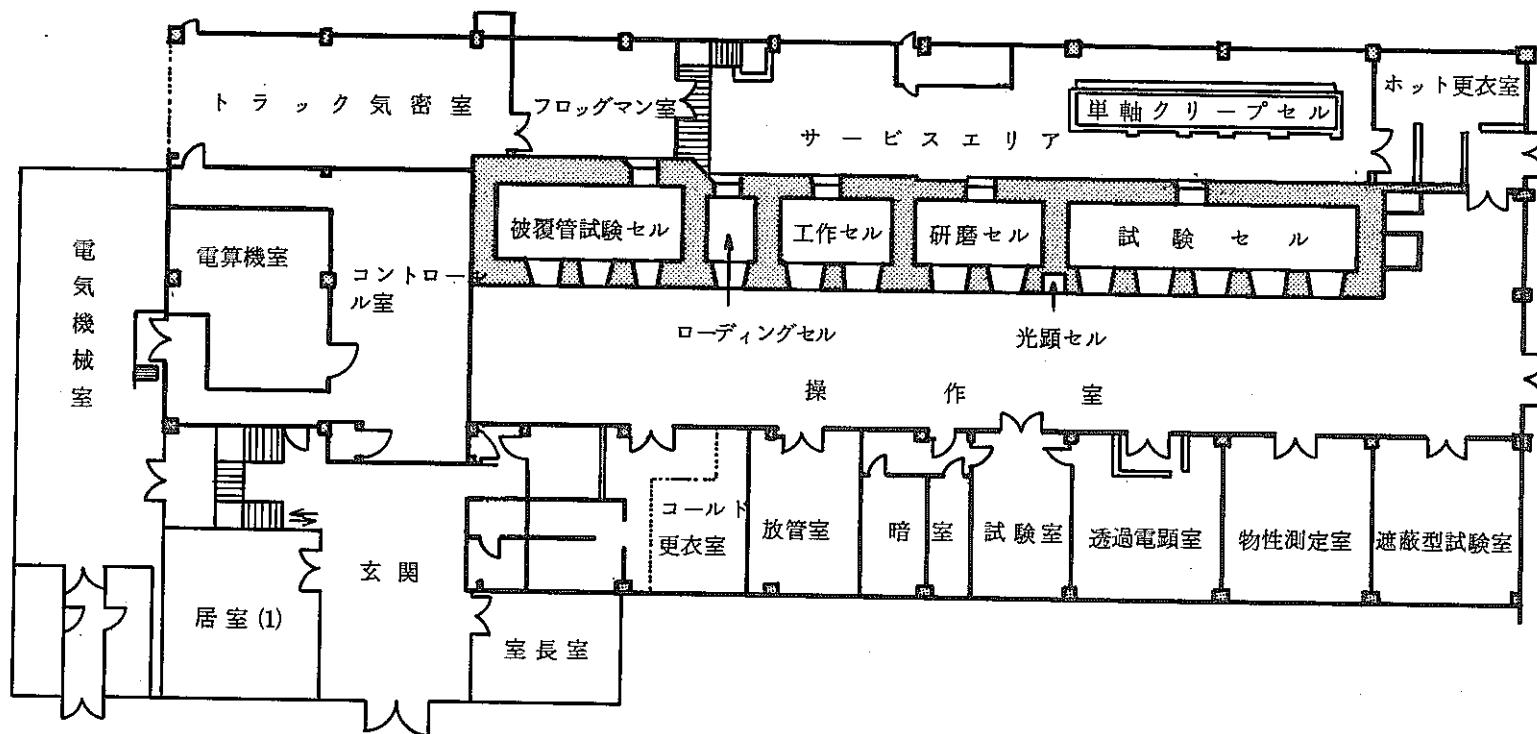


図-24 MMF の 1 階平面図

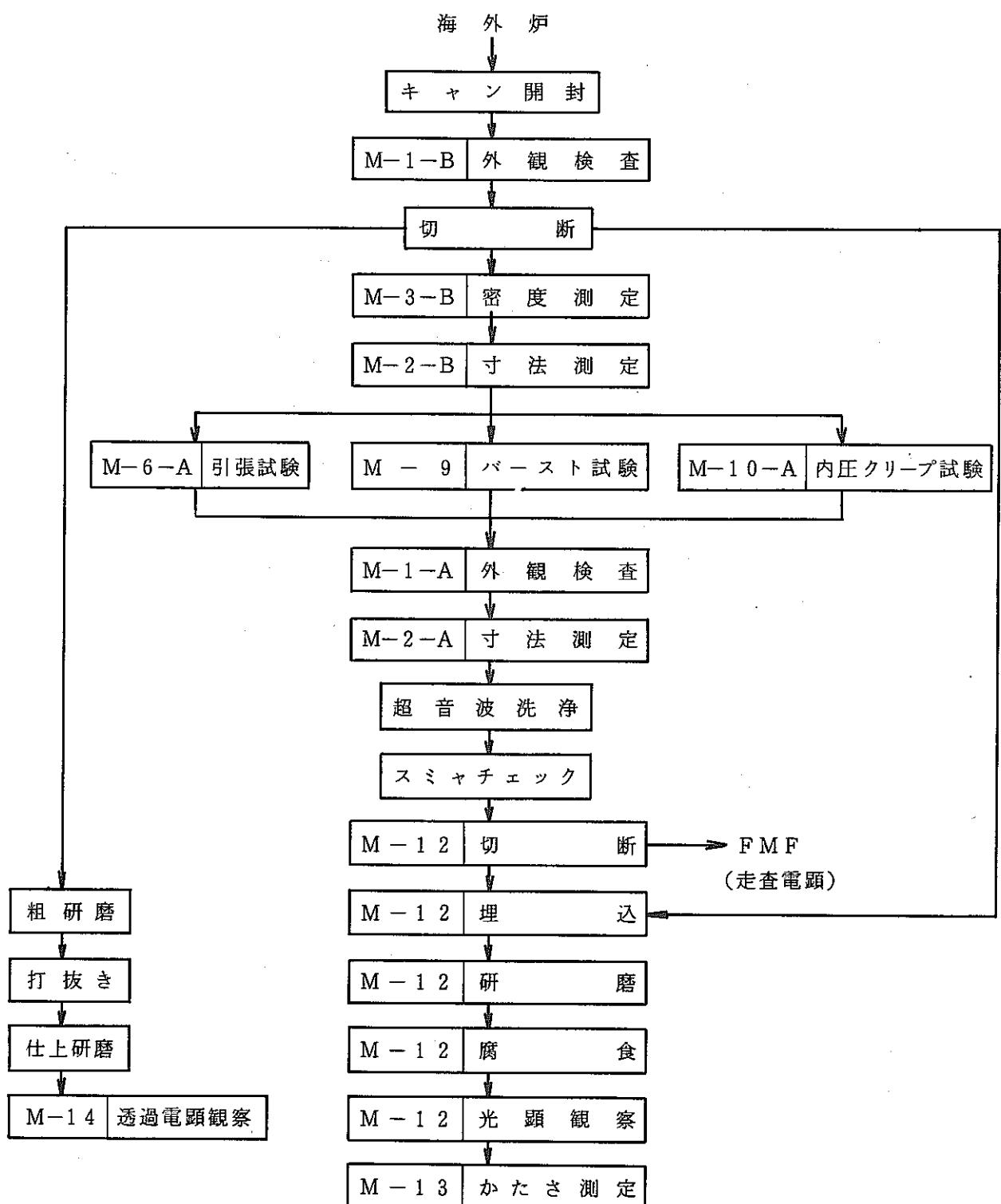


図-25 MMFでの海外照射被覆管照射後試験工程

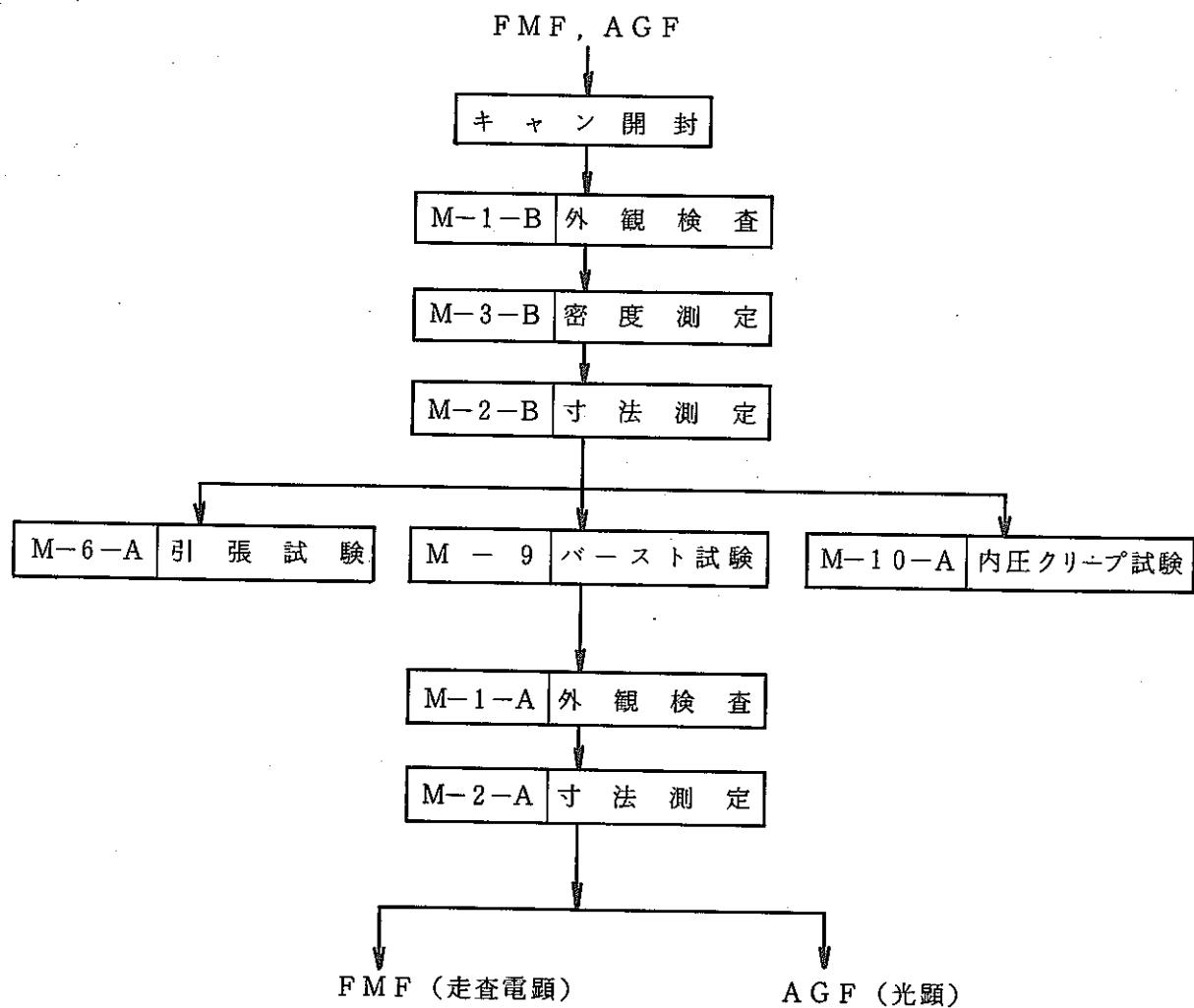


図-26 MMFでの「常陽」および「海外炉」照射燃料被覆管照射後試験工程（被覆管試験セル）

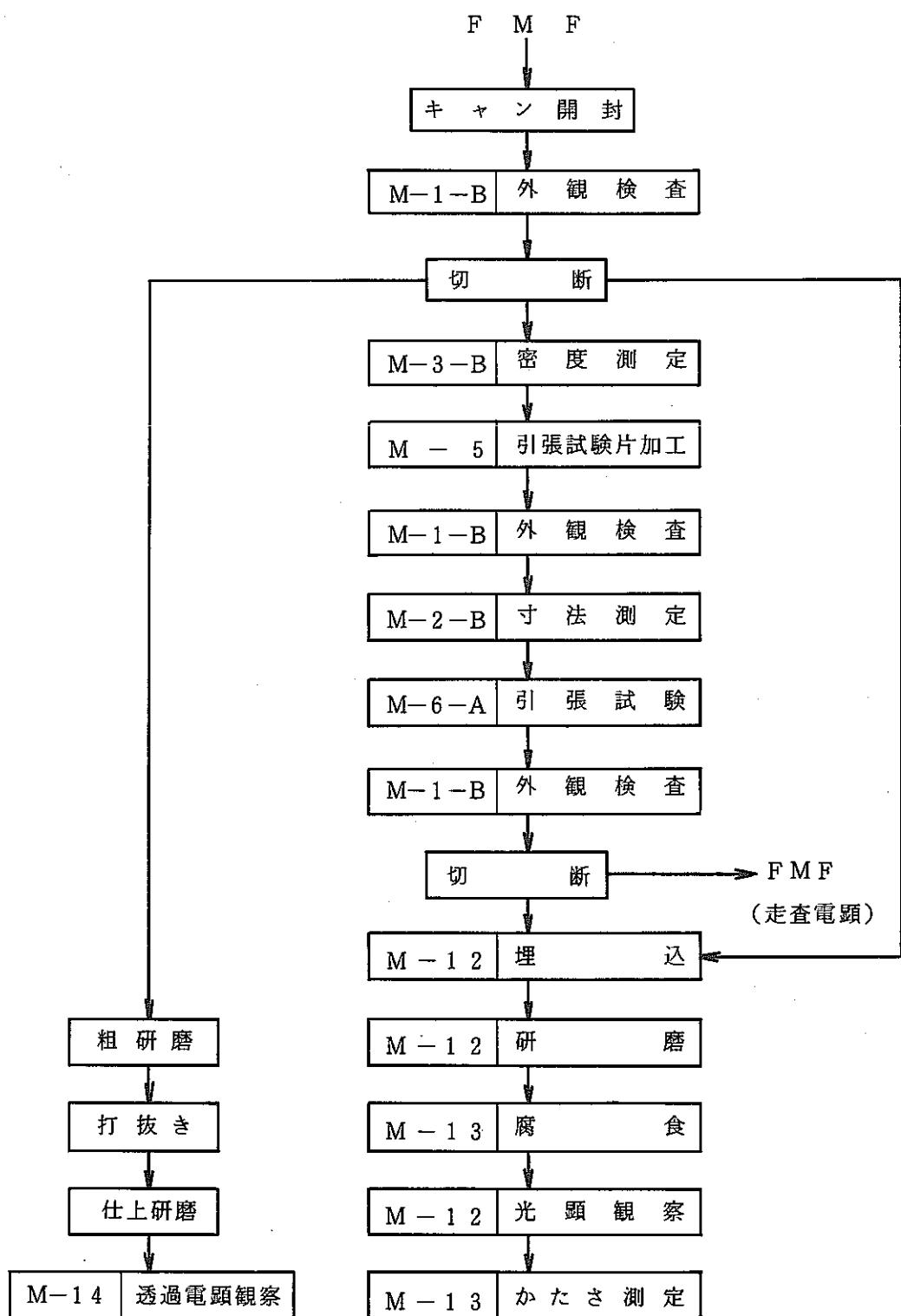


図-27 MMFでの「常陽」ラッパー管照射後試験工程

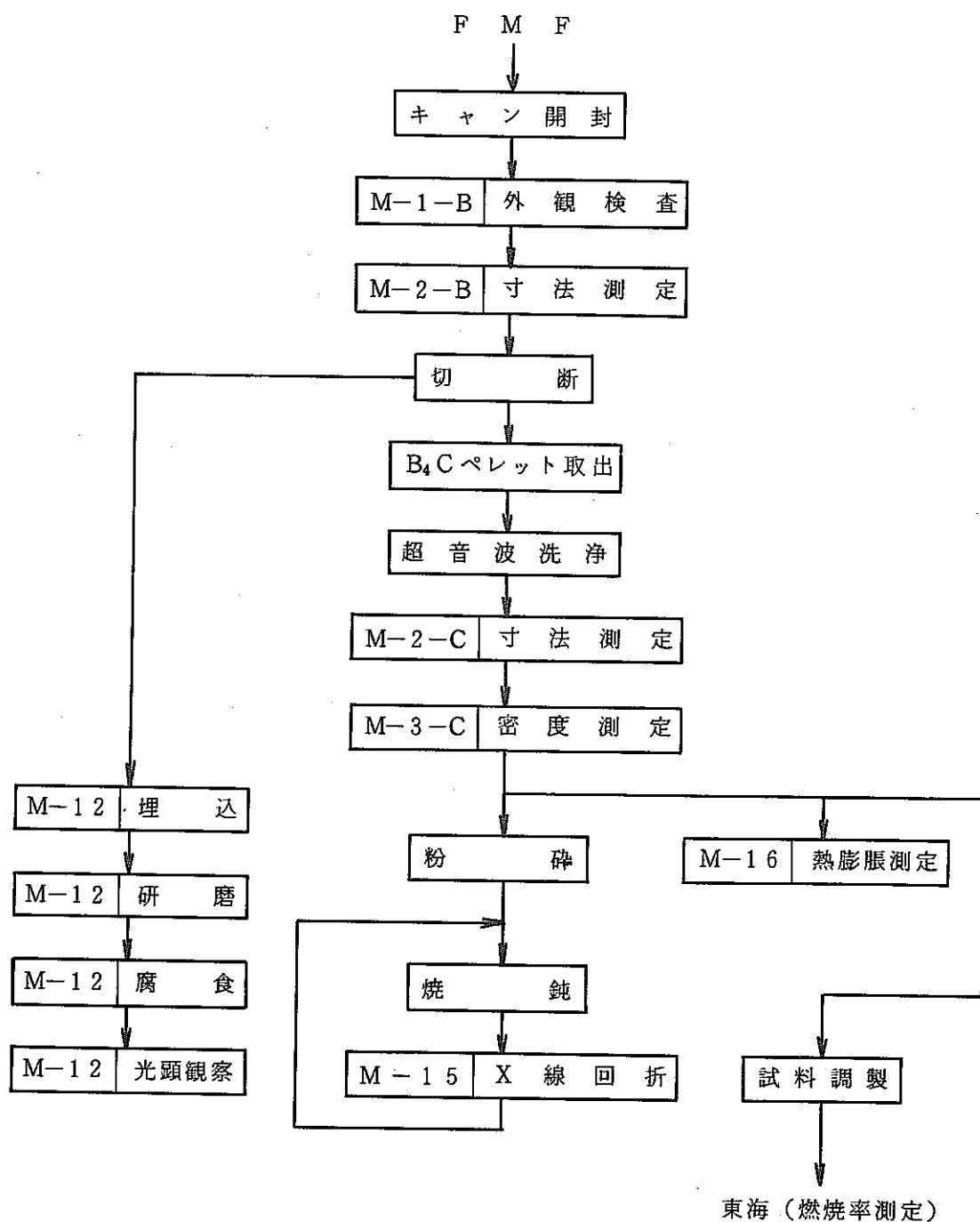


図-28 MMFでの「常陽」制御棒部材照射後試験工程

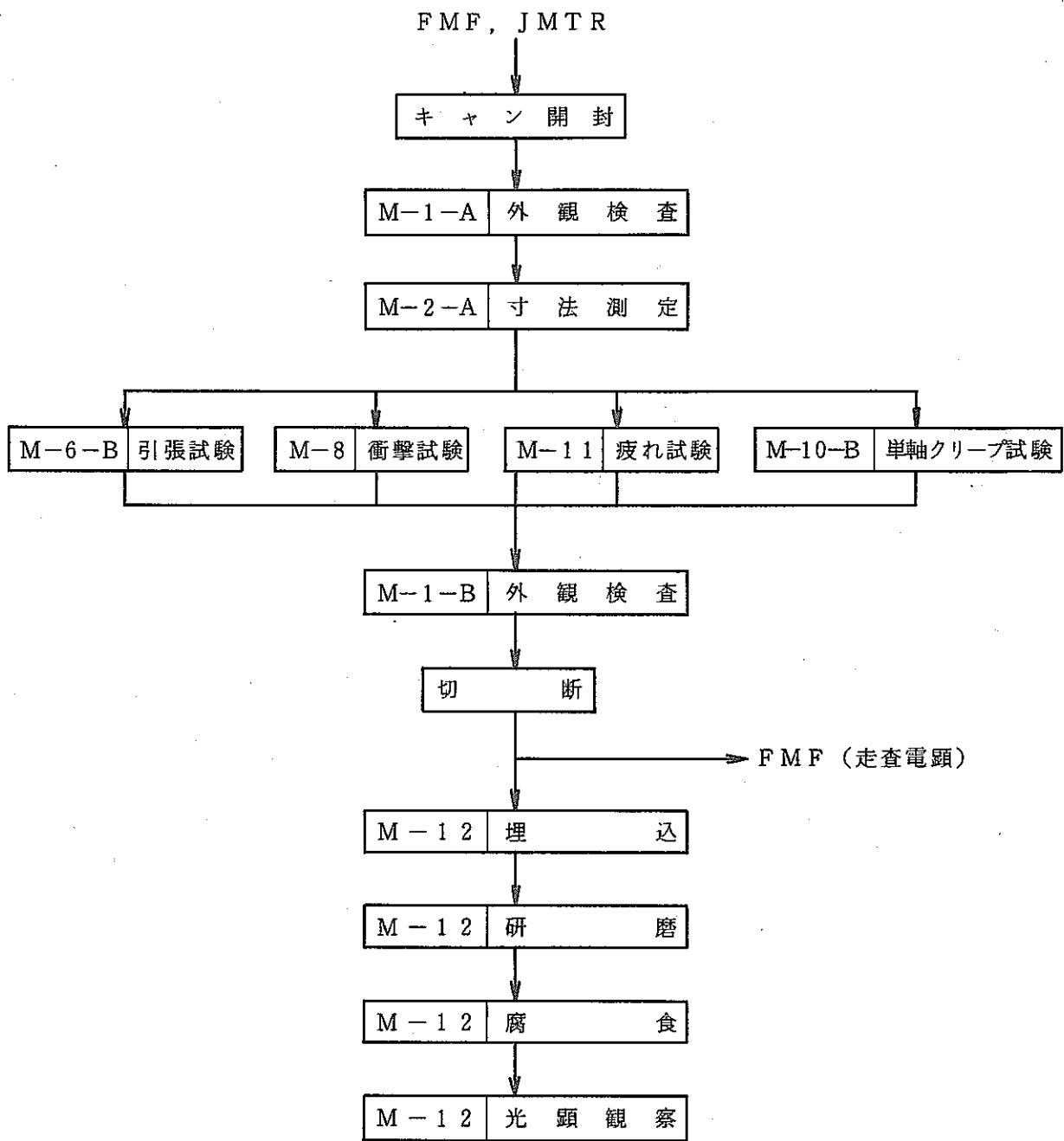


図-29 MMFでの「常陽」サーベイランス試験および
JMT-R照射構造材料照射後試験工程

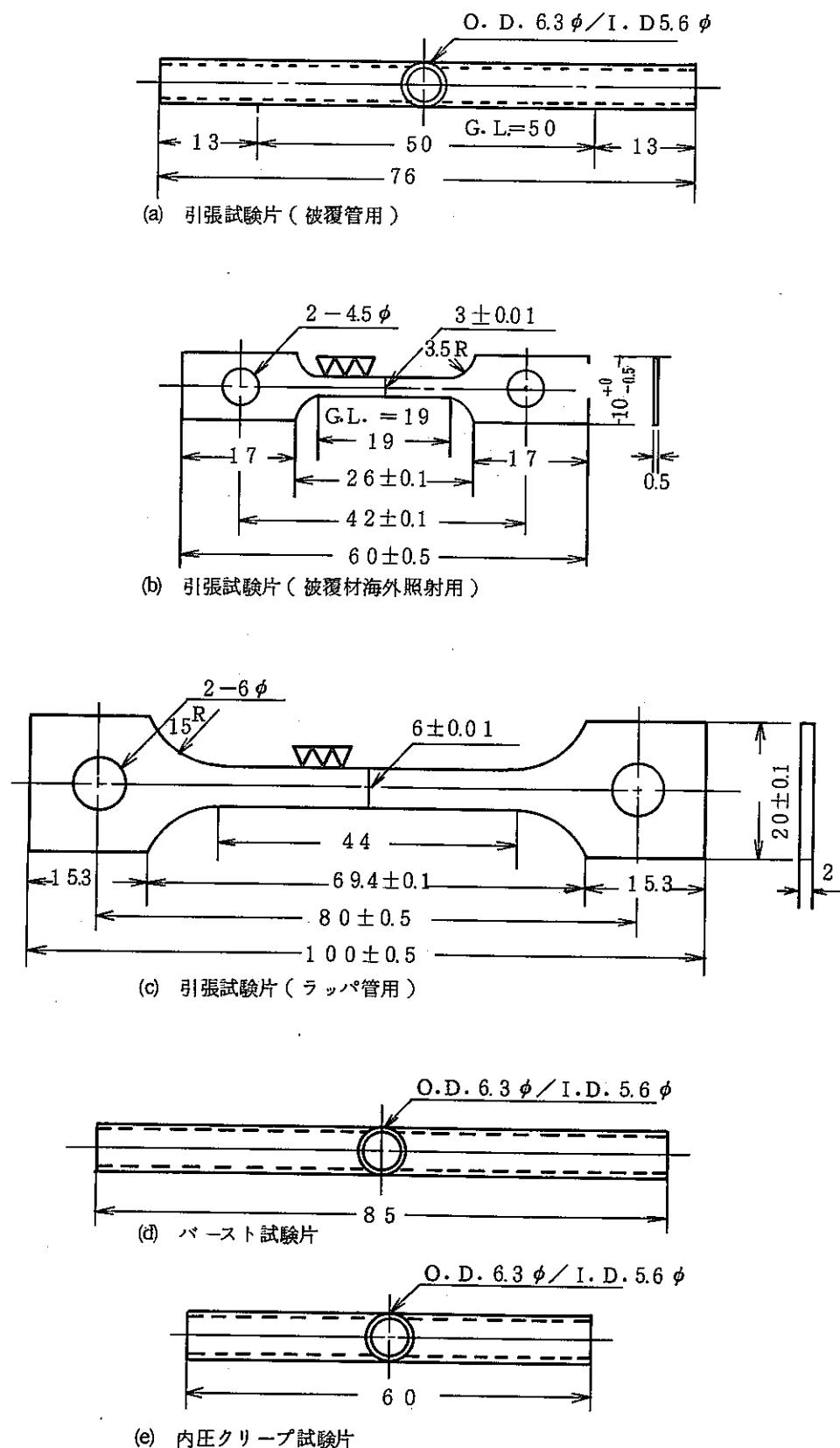
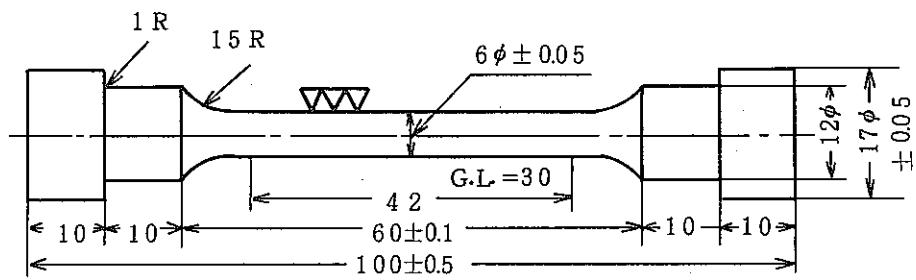
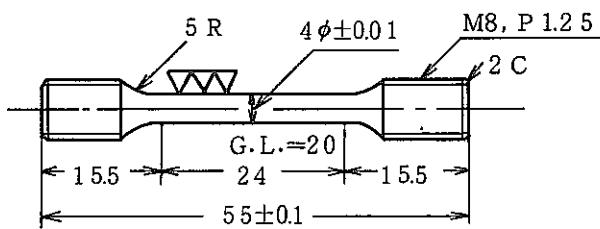


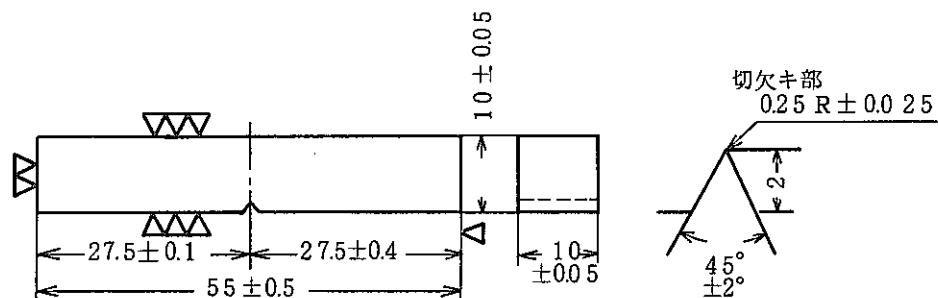
図-30 MMF 標準試験片形状寸法-1 (被覆管, ラッパー管用)



(a) 引張試験片（「常陽、サーベイランス試験用」）

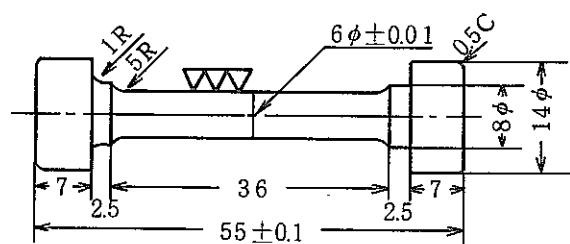


(b) 引張試験片 (J MTR 照射用)
(クリープ試験片としても使用可能)

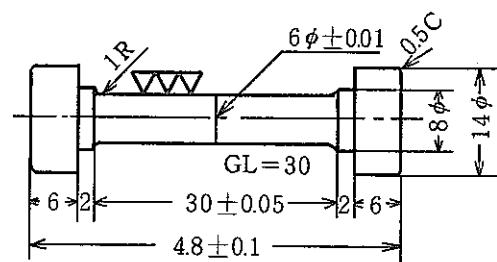


(c) 衝撃試験片

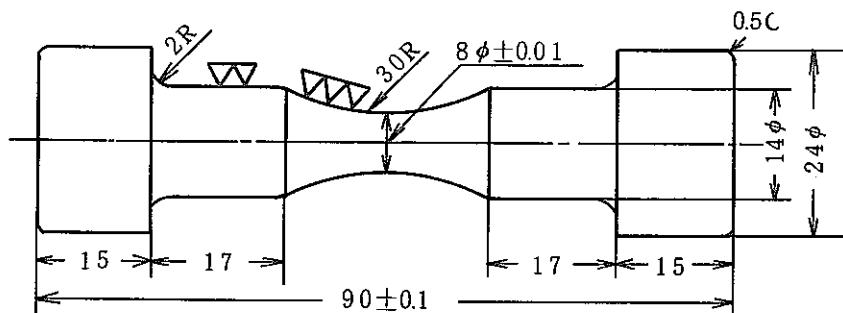
図-31 MMF標準試験片形状寸法-2 (構造材料用)



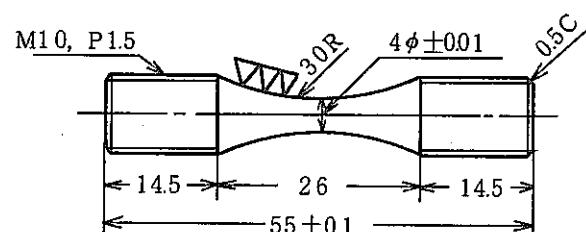
(a) 単軸クリープ試験片（「常陽」サーベイランス試験用）



(b) 単軸クリープ試験片（JMTR 照射用）



(c) 疲れ試験片（「常陽」サーベイランス試験用）



(d) 疲れ試験片（JMTR 照射用）

図-32 MMF 標準試験片形状寸法-3 (構造材料用)

試験番号	外観検査 (α 試料)		試験装置
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料
			<ul style="list-style-type: none"> • 燃料被覆管 • 海外照射試料
測定方式 ・精度	<ul style="list-style-type: none"> • ペリスコープによる目視観察および写真撮影 (実倍率約2倍) • 遮蔽窓を通しての近距離双眼鏡による目視観察 • 遮蔽窓を通しての目視観察 	測定データ	<ul style="list-style-type: none"> • ペリスコープによる写真 • スケッチ • コメント
測定手順 および内容	<ol style="list-style-type: none"> 1. 異状の有無 <ul style="list-style-type: none"> • 変色 • 付着物 • バリ 2. ピン上下確認 3. 破断状態の観察 内圧クリープ、バースト、引張試験後の破断状態 		
問題点と対策			
処理能力	1本/30分	備考	被覆管試験セル

試験番号	外観検査 ($\beta\gamma$ 試料)		試験装置
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料
			<ul style="list-style-type: none"> • J M T R 照射試料 • ラッパ管 • 制御棒部材 • サーベイランス T. P.
測定方式 精度	<ul style="list-style-type: none"> • ペリスコープによる目視観察および写真撮影 (実倍率約2倍) • 遮蔽窓を通しての近距離双眼鏡による目視観察 • 遮蔽窓を通しての目視観察 	測定データ	<ul style="list-style-type: none"> • ペリスコープによる写真 • スケッチ • コメント
測定手順 および内容	<ol style="list-style-type: none"> 1. 異常の有無 <ul style="list-style-type: none"> • 変色 • 付着物 • パリ 2. 破断状態の観察 引張, 単軸クリープ, 疲れ試験後の破断状態 		
問題点と対策			
処理能力	1本/30分	備考	ローディングセル

試験番号	寸法測定 (α 試料)		試験装置
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料
	<ul style="list-style-type: none"> • 外径 6.5 ϕ以下 • 長さ $50 < \ell < 100$ 		<ul style="list-style-type: none"> • 燃料被覆管
測定方式・精度	<ul style="list-style-type: none"> • レーザービームによる寸法測定 • 精度 $\pm 1.5 \mu$ (標準ゲージにより校正) • 最小測定間隔：軸方向 0.02mm : 径方向 7.5° 	測定データ	<ul style="list-style-type: none"> • 直径 • スエリング • クリープ歪
測定手順および内容	<ol style="list-style-type: none"> 1. スエリング測定 <ol style="list-style-type: none"> 1) 外径測定 測定間隔：軸方向 (5mm) : 径方向 (4.5°) 2) スエリング算出 $\Delta V/V = 3\Delta D/D$ 2. クリープ歪測定 <ol style="list-style-type: none"> 1) リグ取出 (内圧クリープ試験機電気炉より) 2) 試験片取り外し 3) 外径測定 測定間隔：軸方向 (5mm) : 径方向 (4.5°) 4) 試験片取付 5) リグ装荷 3. 引張、バースト試験後の直徑変化測定 		
問題点と対策	データ処理：人手と時間がかかるので、電算機処理を検討している。		
処理能力	寸法測定のみ 6本/日 クリープ歪測定 1本/日	備考	被覆管試験セル

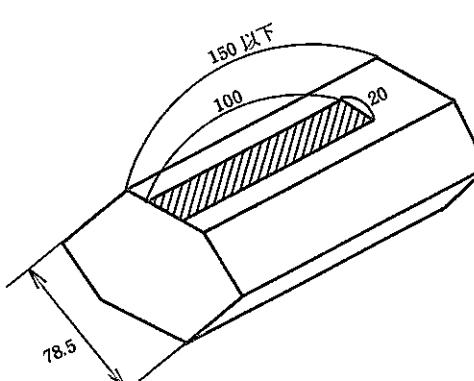
試験番号		寸法測定 ($\beta\gamma$ 試料)		試験装置
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料	
	<ul style="list-style-type: none"> ・測定部寸法 0~25 mm 		<ul style="list-style-type: none"> ・J M T R 照射試料 ・ラッパ管 ・制御棒部材 ・サーベイランス試験片 	
測定方式・精度	<ul style="list-style-type: none"> ・通常のマイクロメータを遠隔操作用に改造したもの。 <p>精度 $\pm 1/100$ mm</p>	測定データ	<ul style="list-style-type: none"> ・平行部径 ・平行部巾, 厚さ 	
測定手順および内容	<ol style="list-style-type: none"> 1. 平行部径測定 引張, 単軸クリープ試験片 2. 平行部巾, 厚さ ラッパ管引張試験片 			
問題点と対策				
処理能力	1本/10分	備考	ローディングセル	

試験番号		寸法測定（セル外）		試験装置
M-2-C				マイクロメータ
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料	
	<ul style="list-style-type: none"> 割れていないもの 		<ul style="list-style-type: none"> 制御棒部材 (B₄C) 	
測定方式・精度	<ul style="list-style-type: none"> 外径測定：マイクロメータ 長さ測定：マイクロメータ <p>精度 $\pm \frac{1}{1000}$ mm</p>		測定データ	<ul style="list-style-type: none"> 外 径 長 さ スエリング
測定手順および内容	<p>1. 外径測定</p> <p>2. 長さ測定 中心部一点</p> <p>3. スエリング算出</p>			
問題点と対策				
処理能力	1本/10分	備考	物性測定室	

試験番号	密度測定 (α 試料)			試験装置			
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料				
	<ul style="list-style-type: none"> ・長さ 50~150mm (30~) 		<ul style="list-style-type: none"> ・燃料被覆管 ・海外照射試料 				
測定方式 ・精度	<p>液浸法（電子式直示天びん）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・秤量範囲 : 0~200g ・秤量測定精度：±0.5% 	測定データ	<ul style="list-style-type: none"> ・密 度 ・スエリング 				
測定手順 および内容	<ol style="list-style-type: none"> 1. 試料調製 2. 大気中および水中での重量測定 3. 密度の算出 4. スエリングの算出 						
問題点と対策	<ul style="list-style-type: none"> ・測定精度：スエリングの測定精度が低い。（±0.5%程度） ・処理能力：測定精度を少しでもあげようとすると、引張試験機、バースト試験機と作業区域が重なることなどの理由により処理能力が十分でなくなる。 →高精度、高能率の密度計を検討している。 						
処理能力	1本/日	備考	被覆管試験セル				

試験番号	密度測定 ($\beta\gamma$ 試料)		試験装置	
M-3-B			密度計	
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料	
	<ul style="list-style-type: none"> ・重量 200g以下 		<ul style="list-style-type: none"> ・ラッパ管 ・サーベイランスT.P 	
測定方式・精度	<p>液浸法(電子式直示天びん)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・秤量範囲 : 0~200g ・秤量測定精度 : $\pm 0.5\%$ 	測定データ	<ul style="list-style-type: none"> ・密度 ・スエリング 	
測定手順および内容	<ol style="list-style-type: none"> 1. 試料調製 2. 大気中および水中での重量測定 3. 密度の算出 4. スエリングの算出 			
問題点と対策	<ul style="list-style-type: none"> ・測定精度: スエリングの測定精度が低い。($\pm 0.5\%$程度) →高精度密度計を検討している。 			
処理能力	2本/日	備考	ローディングセル	

試験番号	密度測定（セル外）		試験装置
M-3-C	密度測定（セル外）		密度計
	試験装置による制約条件		取扱対象試料
測定方式 ・精度	液浸法（電子式直示天びん） ・秤量範囲 0～200g ・測定精度 ±0.1%	測定データ	・密度 ・気孔率
測定手順および内容	1. 重量測定 乾燥重量 (W_d) , 水中重量 (W_e) および飽水重量 (W_w , 水中から試料を引き上げて, 表面を乾燥させた状態の重量) 2. 密度の算出 $[\text{かさ密度}] = \frac{W_d}{W_d - W_e}$ $[\text{見かけ密度}] = \frac{W_d}{W_w - W_e}$ 3. 気孔率の算出 $[\text{気孔率}] = \frac{W_w - W_e}{W_w - W_e} \times 100 [\%]$ 4. スウェーリングの算出 $\Delta \rho / \rho$ (見かけ密度の変化率)		
問題点と対策	• 放射能強度の高いもの, 例えば Eu_2O_3 などでは測定不可能 • セル内用小試験片測定密度計を検討中		
処理能力	5本/日	備考	物性測定室 密度勾配管による密度測定も今後行なう予定

試験番号	ラッパ管切断 ($\beta\gamma$ 試料)		試験装置
M-4			工作セルカッター
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料
	・長さ 150mm以下		・「常陽」燃料集合体ラッパ管
測定方式 ・精度	・ダイヤモンドカッターによる切断		測定データ
測定手順 および内容	1. FMFより搬入されたラッパ管部材より、短冊状の板 (100×20mm) を引張試験片用に採取し、NCフライスに送る。 2. 密度測定用、金相試験用試験片を採取する。		
問題点と対策	・取扱対象：「常陽」燃料集合体のみ対象としており、ラッパ管寸法が異なった場合は治具の変更がいる。		
処理能力	ラッパ管1本/日 (板3枚)	備考	工作セル 1本のラッパ管より、3板採取可能

試験番号	ラッパ管引張試験加工 ($\beta\gamma$) (試料)		試験装置	
M-5			NCフライズ	
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料	
	• 100 × 20 mm		• ラッパ管	
測定方式・精度	• 数値制御フライズ盤による引張試験片加工	測定データ		
測定手順および内容	<p>1. 工作セルカッターにより作製された短冊状板より、下記引張試験片を加工、作成する。</p>			
問題点と対策				
処理能力	6本/日	備考	工作セル	

試験番号	引張試験 (α 試料) ($\beta\gamma$ 試料)		試験装置
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料
測定方式・精度	<ul style="list-style-type: none"> 試験機容量による制約あり 荷重：1トン以下 	<ul style="list-style-type: none"> 燃料被覆管 海外照射試料 	
測定手順および内容	<p>インストロン型万能引張試験機</p> <ul style="list-style-type: none"> 容量：1トン 試験温度：800°C以下 引張速度：0.05～50mm/min 荷重精度：±0.5% 温度精度：±3°C 	測定データ	<ul style="list-style-type: none"> 0.2%耐力 引張強さ 破断伸び 一様伸び 破断位置 破断状態
問題点と対策			
処理能力	1本/2日	備考	被覆管試験セル

試験番号		引張試験 ($\beta\gamma$ 試料)		試験装置
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料	
	<ul style="list-style-type: none"> 試験機容量による制約あり 荷重：2.5トン以下又は5トン以下 		<ul style="list-style-type: none"> J M T R 照射試料 海外照射試料 ラッパ管 サーベイランスT, P 	
測定方式 精度	<p>インストロン型万能引張試験機</p> <ul style="list-style-type: none"> 容量：2.5トン，5トン 試験温度：800°C以下 引張速度：0.05～50mm/min 荷重精度：±0.5% 温度精度：±3°C 	測定データ	<ul style="list-style-type: none"> 0.2%耐力 引張強さ 破断伸び 一様伸び 破断位置 破断状態 	
測定手順 および内容	<ol style="list-style-type: none"> 昇温 引張試験 破断状態確認 データ整理 <p>0.2%耐力（チャートより算出）</p> <p>引張強さ（　　〃　　）</p> <p>一様伸び $\left(\frac{\text{最大荷重通過後の永久伸び}}{\text{標点間距離}} \right)$</p> <p>破断伸び（破断後突き合わせ）</p>			
問題点と対策				
処理能力	1本/日	備考	試験セル	

試験番号	圧縮試験 ($\beta\gamma$ 試料)		試験装置
M-7			引張試験機 (2.5トン)
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料
	<ul style="list-style-type: none"> ・試験機容量による制約あり 荷重：10トン以下 		<ul style="list-style-type: none"> ・JMT-R照射試料（コンクリート）
測定方式 精度	<p>インストロン型万能引張試験機（2.5トン）の圧縮試験部を用いる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・容量：10トン ・試験温度：室温 ・圧縮速度：0.05～50mm/min ・荷重精度：±0.5% 	測定データ	<ul style="list-style-type: none"> ・圧縮強さ ・破断状態
測定手順 および内容	<ol style="list-style-type: none"> 1. 圧縮試験 2. 破断状態確認 		
問題点と対策			
処理能力	4本/日	備考	

試験番号	衝撃試験 ($\beta\gamma$ 試料)			試験装置			
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料				
	• 試験片寸法 10 × 10 × 55 mm または 10 × 5 × 55 mm		• J MTR 照射試料 • サーベイランス試験片				
測定方式・精度	自動シャルピー衝撃試験機 • 容量 30 Kgf-m • 試験温度 -100°C ~ +200°C	測定データ	• 吸収エネルギー • 衝撃値 • 遷移温度 • 破断状態				
測定手順および内容	1. 冷却または昇温 2. 衝撃試験 3. 破断状態確認 4. データ整理 遷移温度						
問題点と対策	高温、低温試験における精度：高温槽、低温槽より試験片を取り出し、マニプレータで試験機にセットし試験するまで約20秒かかり、この間試験片の温度が変化する。-100°C ~ +200°C の範囲内では、比較的温度変化が少ないことが確認されている。						
処理能力	4本/日	備考	試験セル				

試験番号		試験装置	
M-9		バースト試験 (α 試料) ($\beta\gamma$ 試料)	
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料
	<ul style="list-style-type: none"> • 試験機容量による制約あり (1000 kg/cm²) 		<ul style="list-style-type: none"> • 燃料被覆管 • 海外照射試料
測定方式・精度	A _T ガスによる高温バースト試験 <ul style="list-style-type: none"> • 圧力: 最大 1000 kg/cm² • 試験温試: 800°C 以下 • 加速度: 20~1000 kg/cm². min 	測定データ	<ul style="list-style-type: none"> • 破断圧力 • 破断強度 (• 一様伸び) • 破断位置 • 破断状態
測定手順および内容	<ol style="list-style-type: none"> 1. スエージロック取付 2. 電気炉への試験片取付 3. 升温 4. 加压 5. 試験片取り出し 6. 破断状態確認 7. 直径測定 8. データ整理 		
問題点と対策			
処理能力	1本/2日	備考	被覆管試験セル

試験番号	内圧クリープ試験 (α 試料) ($\beta\gamma$ 試料)		試験装置
M-10-A			内圧クリープ試験機
取扱対象物	試験装置による制約条件	取扱対象試料	
	<ul style="list-style-type: none"> 試験機容量による制約あり 圧力 : 350 kg/cm²以下 	<ul style="list-style-type: none"> 燃料被覆管 海外照射試料 	
測定方式 ・精度	<p>Airガスによる高温内圧クリープ試験</p> <ul style="list-style-type: none"> 電気炉 : 6台 試験片 : 5本/電気炉 圧力 : 最大350 kg/cm² 試験温度 : 800°C以下 	測定 デ ー タ	<ul style="list-style-type: none"> 破断時間 破断伸び 一様伸び 破断位置 破断状態 (・クリープ歪)
測定手順 および内容	<ol style="list-style-type: none"> スエージロック取付 リグへの試験片取付 電気炉へのリグ装荷 昇温 加压 リグ取出 試験片取り外し 破断状態確認 直径測定 データ整理 破断時間 破断伸び (レーザーマイクロメータによる) 一様伸び (") 		
問題点と対策	<ul style="list-style-type: none"> 処理能力 : リグ調整に非常に人手と時間を要し、処理能力が十分でない。 クリープ歪の測定 : 試験途中での径を測定するには、試験を中断して試験片を取り出さねばならず、非常に煩雑である。 		
処理能力	20本/年 (目標破断時間3000時間までとして)	備考	被覆管試験セル

試験番号	単軸クリープ試験 ($\beta\gamma$ 試料)		試験装置
M-10-B			単軸クリープ試験機 (10台)
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料
取扱対象物	<ul style="list-style-type: none"> • 試験片直径 $4 \text{ mm}\phi$ または $6 \text{ mm}\phi$ 		<ul style="list-style-type: none"> • J M T R 照射試料 • 海外照射試料 • サーベイランス試験片
測定方式・精度	<p>レバー式シングルタイプ単軸クリープ試験機</p> <ul style="list-style-type: none"> • 容量: 3トン • 試験温度: 800°C以下 • 伸び測定: チャック間変位をマグネスケールで検出 	測定データ	<ul style="list-style-type: none"> • 破断時間 • 破断伸び • クリープ歪 • 最小クリープ速度 • 破断位置 • 破断状態
測定手順および内容			<ol style="list-style-type: none"> 1. 升温 2. 負荷 3. 破断状態確認 4. データ整理 <p>破断伸び (破断後突き合わせ) クリープ歪 (MT処理) 最小クリープ速度 (クリープ歪より算出)</p>
問題点と対策	<p>目標破断時間: 試験機の台数に制約があるので、特に必要がある場合を除き、3000時間以上の試験は行なわないこと</p> <p>している。</p>		
処理能力	25本/年 (目標破断時間3000時間までとして)	備考	単軸クリープセル

試験番号	疲れ試験 ($\beta\gamma$ 試料)			試験装置
M-11				疲れ試験機
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料	
	<ul style="list-style-type: none"> ・砂時計型：最小部径 4 mm \varnothing または 8 mm \varnothing 		<ul style="list-style-type: none"> ・J MTR 照射試料 ・海外照射試料 ・サーベイランス試験片 	
測定方式・精度	<p>油圧サーボ方式引張圧縮試験機</p> <ul style="list-style-type: none"> ・容量：± 5 トン ・試験温度：800 °C 以下 ・周波数：0.01 ~ 0.5 Hz ・波型：正弦波，三角波，台形波，矩形波 		測定データ	<ul style="list-style-type: none"> ・破断線返し数 ・破断状態
測定手順および内容	<ol style="list-style-type: none"> 1. 径ひずみ計取付 2. 升温 3. 疲れ試験 4. 破断状態確認 			
問題点と対策	<ul style="list-style-type: none"> ・ひずみ計の限界：4 の試験片で低ひずみ制御の試験をすることは、ひずみ計の性能上無理があるので、破断線返し数 3000 回位までの試験しか行なわないことにしている。 			
処理能力	1本/3日	備考	試験セル	

試験番号	金相試験($\beta\gamma$ 試料)		試験装置	
M-12			光学顕微鏡	
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料	
	•樹脂マウントの大きさ 31.8 mm ϕ × 約30 mm h		• J M T R照射試料 •海外照射試料 •ラッパ管 •制御棒部材 •サーベイランス試験片	
測定方式 ・精度	•光顕倍率 ×63～×1600	測定データ	•結晶粒度 •析出物、介在物の分布 •内外面腐食の状態 •破断状態 •その他	
測定手順 および内容	1. 試料調製 切断 樹脂埋込み 研磨 2. 光顕観察 3. 腐食 4. 光顕観察、写真撮影（腐食後） 5. 写真整理			
問題点と対策				
処理能力	1本／2日	備考	切断、樹脂埋込み、研磨、腐食：研磨セル 光顕観察：光顕セル	

試験番号	かたさ測定($\beta\gamma$ 試料)			試験装置			
M-13				マイクロビッカースかたさ計			
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料				
	・金相用樹脂埋込試料（研磨後）		• J M T R 照射試料 • 海外照射試料 • ラッパ管 • 制御棒部材 • サーベイランス試験片				
測定方式・精度	• 試料表面につけたダイヤモンド圧子の圧痕を拡大してスケールとともにモニタテレビ画面上に映し出し、圧痕の大きさを測定する。（精度約±1 μ ） 荷重 10~1000g	測定デー タ	• マイクロビッカースかたさ				
測定手順および内容	1. 試料調製 切断 樹脂埋込み 研磨 2. ダイヤモンド圧子による刻印 3. 圧痕の大きさ測定 4. かたさに換算						
問題点と対策							
処理能力	1本/2日	備考	切断、樹脂埋込み、研磨：研磨セル かたさ測定：光頭セル				

試験番号	透過電顕観察($\beta\gamma$ 試料)		試験装置	
M-14			透過型電子顕微鏡	
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料	
			<ul style="list-style-type: none"> • 燃料被覆管 • 海外照射試料 	
測定方式・精度	2段加速型電子銃, 5段磁界型レンズ • 加速電圧: 50-100-150-200KV • 分解能: 3.4Å • 倍率: 1,000~200,000 • 試料傾斜: 30°C • 試料回転: 360°C	測定データ	<ul style="list-style-type: none"> • ボイドの密度 • " 径分布(ヒストグラム) • " 分布状態 (転位, 析出物結晶粒界などの関係) • スエリング • 転位の分布状態 • 析出物の有無 	
測定手順および内容	1. 除染, スミア (燃料被覆管の場合) 2. 試料移送 (") 被覆管試験セル→研磨セル (") 3. 切断 4. 粗研磨 5. 打抜き 6. 仕上研磨 7. 透過電顕観察 8. データ整理 パーティクルサイズカウンターによるボイド密度, 径測定, 析出物の同定など			
問題点と対策	除染対策: 切断, 粗研磨, 打抜きは $\beta\gamma$ セルで実施するため, 燃料被覆管観察には被覆管試験セル内で α 除染, スミアが必要となる。			
処理能力	1本/3週	備考	切断, 粗研磨 : 研磨セル 打抜き : 工作セル 仕上研磨, 観察 : 透過電顕室	

試験番号		試験装置	
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料
	・必要最少重量 0.2g	・制御棒部材 B_4C ・温度モニター SiC	
測定方式・精度	・ディフラクトメータによる回折角の測定 ・小角散乱による H_e 気泡体積の測定	測定データ	・格子定数 ・照射温度 ・ H_e 気泡体质
測定手順および内容	1. 試料調整 B_4C , SiC を粉末にする。ただし、小角散乱については薄片にする。 焼鈍炉で焼鈍する。(焼鈍時間1hr) 2. X線回折 ① ディフラクトメーター 格子定数を求める。 B_4C 及び SiC 焼鈍-X線回折をくり返し、照射温度を推定する。 ② 小角散乱 B_4C について実施 H_e 気泡によるスウェーリングを測定する。		
問題点と対策			
処理能力	1本/2週(1000°Cまで焼鈍するとして)	備考	物性測定室

試験番号	熱膨脹測定(セル外)			試験装置
M-16				熱膨脹率
取扱対象物	試験装置による制約条件		取扱対象試料	
	<ul style="list-style-type: none"> ・割れていないもの ・寸法制限 径 $2\text{mm}\Phi \sim 8\text{mm}\Phi$ 長さ $8 \sim 23\text{mm}$ 		制御棒部材 (B,C)	
測定方式・精度	<ul style="list-style-type: none"> ・全膨脹及び示差膨脹方式 測定精度 $\pm 2\mu$ 最高温度 1500°C 		測定データ	・熱膨脹率
測定手順および内容	<ol style="list-style-type: none"> 1. 試料調整 制限寸法以内に加工する。 2. 長さ変化測定 $\Delta l/l$ の測定 			
問題点と対策				
処理能力	1本/2日	備考	物性測定室	

5. あとがき

大洗工学センターにおいて最初の照射後試験施設としてAGFが建設され、ホット操業に入ったのは昭和46年10月である。引続いて建設されたMMFが操業を始めたのは48年6月からである。以来、海外炉あるいは原研JMT-Rで照射した燃料、材料の照射後試験の成果、経験を通して、高速炉の燃料、材料の開発に貢献してきたわけであるが、今まで高速実験炉「常陽」の定格運転に入る態勢に呼応して照射燃料集合体の試験を我が国で始めて行なう大型施設としてFMFが稼動に入る時を迎えようとしている。

始めに述べたように、これら3施設が足並みをそろえて照射後試験を進めることにより、「常陽」の本格的運転に対する備えが完全になり、また照射炉心への移行が可能になると云えよう。このような状況に近づきつつある現在、燃料材料試験部で可能な試験の内容を紹介し、今後の照射試験の参考とすることは充分に意義あるものと考え、本書を編集した次第である。

今回のまとめを行なうに際して、断続的ではあったが長期間に渡り協力してくれた燃材部関係者に感謝の意を表するものである。また、本書をまとめるのに中心となった各施設の担当者を下記に付記することとし、さらに詳細内容に関しては問合せ戴くよう希望するものである。

全体取まとめ：小林重夫（FMF）

FMF 担当：樋原英千世、榎戸裕二、鹿倉 栄

AGF 担当：小松純治、中山史郎、河田東海夫、井上幸一

MMF 担当：戸田重行、谷 賢、小山真弘、伊藤正彦