

本資料は 年 月 日付けで登録区分、
変更する。 2001. 6. -6

[技術情報室]

プルトニウム燃料のサクストン照射試験(VI)

燃料集合体の組立，検査および出荷

Plutonium Fuel Irradiation Program in the SAXTON Reactor

Fabrication, Inspection and Transportation of Fuel Assembly

1972年12月

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所

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)
2001

プルトニウム燃料のサクストン照射試験 (VI)
燃料集合体の組立, 検査および出荷



作成 1972年10月30日

実施責任者 安孫子 進 朗 (プルトニウム燃料部
設計課長代理)

報告者 打越 肇 (三菱原子力工業KK)

青木 利 昌 (技術部 検査課長)

期間 1970年6月~1970年10月

要 旨 燃料集合体の組立および輸送用梱包は動燃事業団プルトニウム燃料第一開発室の Room 120 の一画において昭和45年7月下旬から8月上旬にかけて実施された。この作業はウエスチングハウス社の下請として三菱原子力工業によって行なわれた。この間の安全管理は動燃事業団によって行なわれ三菱原子力工業が協力した。完成集合体の品質は、ウエスチングハウス社の担当者が動燃事業団において検査を行ない承認された。

集合体の輸送は、昭和45年12月下旬動燃事業団東海事業所から出荷し、羽田空港からニューヨーク空港を経てピッツバーグ空港に空輸し、サクストンへ輸送された。この間の輸送は Fissile Class III の基準に従って実施された。輸送は三菱原子力工業の下請けとして三菱商事によって行なわれた。

サクストンへ輸送された燃料は、

- (1) 燃料集合体…………… 1本 (燃料棒68本入り)
- (2) 集合体組入用燃料棒…… 4本

であった。

また、燃料被覆管の製作と試験・検査についても記述した。

目 次

1. 概 要	1
2. 集合体組立	1
2.1 作業概要	1
2.2 集 合 体	3
2.3 安全管理	5
3. 梱包，輸送	5
4. 結 論	6
5. 被覆管の検査結果	7
付1 サクストン燃料集合体組立に関する障害対策書および安全対策書	17
付2 PNC-SAXTON fuel rod空間線量測定結果	23

1. 概 要

燃料集合体の組立および輸送用梱包は動燃事業団プルトニウム燃料第一開発室の Room 120 の一面（第 1.1 図参照）に於て昭和 45 年 7 月下旬から 8 月上旬にかけて実施された。この作業はウェスチングハウス社の下請として三菱原子力工業によって行なわれた。この間の安全管理は動燃事業団によって行なわれ、三菱原子力工業が協力した。完成集合体の品質は、ウェスチングハウス社の担当者が動燃事業団において検査を行ない承認された。

集合体の輸送は、昭和 45 年 12 月下旬動燃事業団東海事業所が出荷し羽田空港から、ニューヨーク空港を経てピックバーグ空港に空輸し、サクストンへ輸送された。この間の輸送は Fissile Class III の基準に従って実施された。輸送は三菱原子力工業の下請けとして三菱商事によって行なわれた。

サクストンへ輸送された燃料は、

- (1) 燃料集合体 …………… 1 体（燃料棒 68 本入り）
 - (2) 集合体組入用燃料棒 …… 4 本
- であった。

2. 集合体組立

燃料集合体は、上部ノズル（1 個）、燃料棒（68 本）、側板集合体（1 体）、下部ノズル（1 個）より組立てられる。

燃料集合体の断面は 9×9 の正方形の基本配列を一部修正して、集合体の間に十字型御板が挿入可能な形状をしている。燃料集合体の中央部の寸法形状は側板集合体により定められる。側板集合体には燃料棒を所定の間隔に保つため 4 本の支持格子が取付けてあり、この支持格子は側板と溶接されている。側板集合体の内部にはこの他若干の補強材がついている。側板集合体に 68 本の燃料棒をそう入し、上下ノズルを溶接すると、燃料集合体が組み立てられる。

2.1 作業概要

(1) 燃料棒のチェック

68 本の燃料棒について、01～68 の番号確認、最大外径、真直度、長さ、についてデータ確認； α 表面汚染データ確認、表面清浄度の確認を行った。

(2) 放射線量の確認

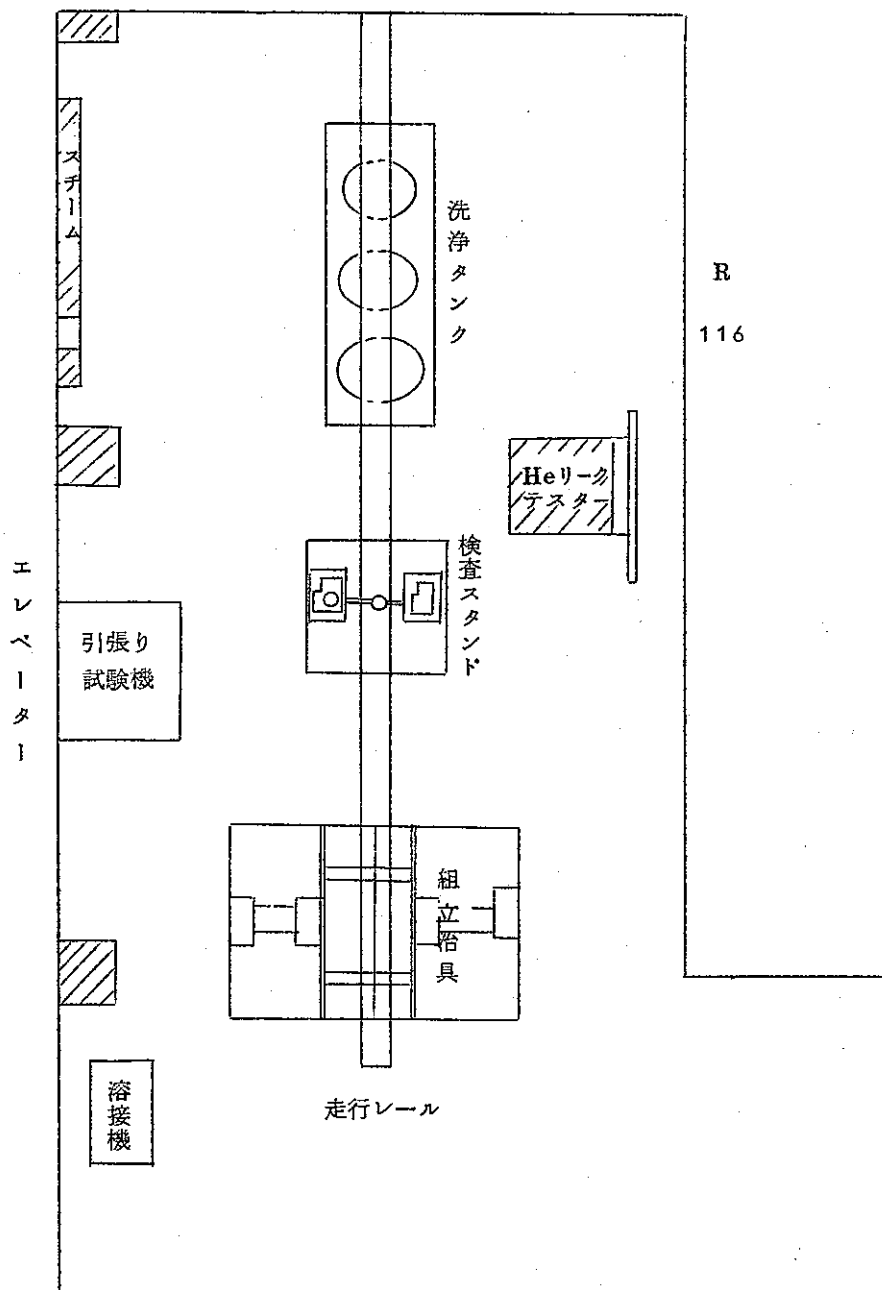
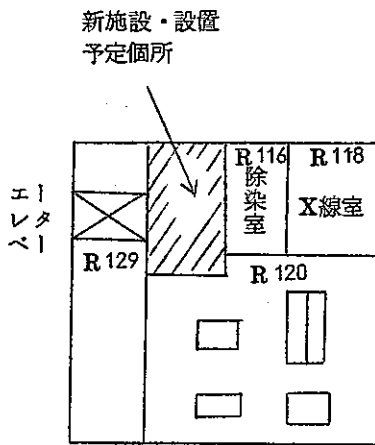
作業開始前、作業中、および組立後に放射線（ γ 線、中性子線）の計測を行った。

(3) 燃料棒の挿入

組立治具上に側板集合体を水平方向に固定し、ガイドを利用して 68 本の燃料を手で圧入した。

燃料棒の挿入に当っては、照射後試験の際の識別を容易にする目的から、予め計画され

第 1.1 図 SAXTON
燃料集合体
組立用施設配置図



た位置に定められた番号の燃料棒を挿入した。燃料棒挿入後、側板集合体の上下両方向から組上り状況および間隔を確認した。

(4) ノズルの溶接

ノズルの溶接に先立ち、溶接条件の確認試験を行いウェスチングハウス社検査立合者の承認を得た。承認を得た溶接条件と手法により上下ノズルを側板集合体に溶接した。

(5) 集合体の検査

集合体を組立治具上で縦位置にし、手動天井走行ホイストを利用して検査用定盤に移したあとで、外観検査、寸法測定、重量測定を行った。外径寸法、ネジレ、上下ノズルの同心性を測定するために、エンベロープ・ゲージを用いた。

完成集合体について、ウェスチングハウス社の検査を受け、健全性についての出荷前最終確認を得た。

(6) 洗 浄

集合体を天井走行ホイストを利用して洗浄タンク（3基ある中のその1）に移し、洗液を用いて洗浄した。洗液の攪拌のためにN₂ボンベガスの吹込みを利用した。次に、集合体を天井ホイストを利用して洗浄タンク（その3）に移し、加熱された純水中でN₂ガス攪拌をしながら洗浄した。洗浄に利用した水量は2 m³弱と推定された。

(7) 乾 燥

燃料集合体を洗浄タンク（その3）より検査スタンド上に天井走行ホイストを利用して移動し、縦位置で乾燥した。水滴の除去にはN₂ボンベガスの吹付けを利用した。

2.2 集 合 体

完成した集合体の諸元は第2.1表に、燃料棒の挿入位置は第2.2表に示す通りである。完成品の写真を写真2.1に示す。

第2.1表 集合体諸元

集合体形状	：サクストン炉用標準集合体
格子配列	：修正9×9正方格子
全 長	：1,273 mm
外径寸法	：図面指定エンベロープゲージによる。 最大137.38 mm
重 量	：53.1 Kg
燃 料 棒	：68本（位置については第2-2表参照）
	PuO ₂ -UO ₃ ：35,527 g
	Pu ： 4,520 g
	Pu-分裂性： 1,389 g
	U ：29,781 g
	U-分裂性 ： 2,12 g
燃料棒ピッチ	：14.73 mm
燃料棒外径	：10.11 mm
長 さ	：992 mm

第 2.2 表 燃料棒挿入位置

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A-	66*	68	67	65		64*	63	47	
B-	62	61	60	59	46☆	58	57	56	54*
C-	55	53	41**☆	52	51	50	49	48	39
D-	45☆	38	36	35	34	33	31	30	44☆
E-		40**☆	29	28	37*	27	26	24	
F-	43☆	23	22	21	20	19	18	17	
G-	16	15	14	13	12	11	32*	10	
H-	25*	9	8	7	42☆	5	3	6*	
J-		2	1	4*					

番 号：燃料棒同定用番号

* ：反応度測定ずみ

☆ ：国産／WH社承認被覆管使用燃料棒

(☆マークなしは，WH供給被覆管使用燃料棒)

全燃料棒：T C Aにて炉物理試験ずみ

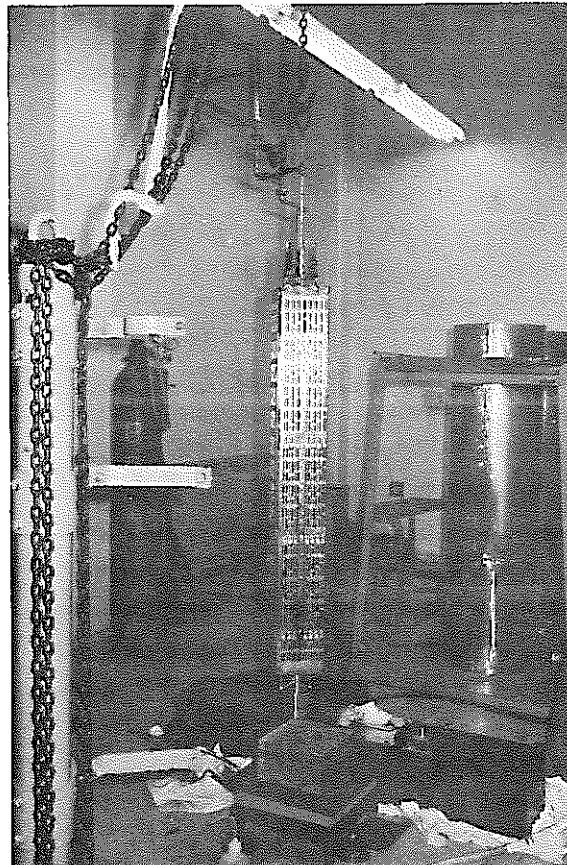


写真 2.1 S A X T O N 照射用集合体

2.3 安全管理

(1) 計画

動燃事業団／三菱原子力工業間の契約により、予め作業場所、集合体機器配置、機器リスト、作業員リストが承認され、詳細については使用計画の資料により安全管理方式が検討され、動燃事業団東海事業所安全専門委員会により承認された方法に基づいて作業された。

(2) 安全教育

作業員は、動燃事業団に於て長期間プルトニウム取扱の経験を有する者を責任者とし、サクストン型ウラン燃料製造経験者および放射線管理部門から人員を選定してチームを編成した。作業員は、動燃事業団に於て、作業に先立ち作業内容に照して必要充分と判断された安全教育を動燃事業団の専門家より受けた。

(3) 安全管理

通常の安全作業管理に加えて、放射線安全管理として作業場所に於ける放射線計測および作業員の被曝計測を行った。これ等の作業に先立ち、放射線管理方法および作業時間管理の必要性の有無等を検討するため被曝量の推計等が行なわれた。

(4) 線量率（実測値）

空間線量率（ γ -ray）は、燃料棒1本の場合、最大値を示すと考えられる中央部で次の通りであった。詳細は付録2に示す。

距離, cm	1	10	100	測定器GMサーベイ メーター
線量率, mrem/h	2.0	0.55	0.045	

燃料集合体の場合の空間線量率（ γ -ray）は中央部での最高値が次の通りであった。

距離, cm	5	30	100	測定器 電離箱
線量率, mrem/h	4.4	3.6	0.6	

中性子線量率は、7本の棒の中央部で35cmの距離で実測の結果、0.01 mrem/hであった。

3. 梱包、輸送

輸送容器は、集合体1体と燃料棒単体5本以下を輸送できるもので、今回の輸送用に新たに設計、製造されたものである。

輸送容器は円柱状横置き形状をもち、中央部分に集合体と4本の個々の燃料棒とが、耐衝撃・振動吸収材により宙吊りされた支持構造体中に収納された。外形寸法は長さ1,860 mm、巾660 mm、高さ670 mmであり、燃料を含む総重量は約300 Kgであった。

・梱包物

- | | |
|-----------|-------|
| (1) 燃料集合体 | 1 体 |
| (燃料棒 | 68 本) |
| (2) 燃料棒 | 4 本 |

・輸送物に対する許可条件

- | | |
|---------------|-----------------|
| (1) 放射線量率 | |
| 容器表面 | 26.7 m r / h 以下 |
| 容器中心より 1 m | 0.87 m r / h 以下 |
| (2) 放射能指数 | 8 |
| (3) 輸送指数 | 10 |
| (4) 輸送物の類別 | 輸送物第三類 |
| (5) 核分裂性物質の分類 | 第 3 種輸送物 |
| (6) 線 源 | 大量放射線源 |
| (7) 輸送容器の分類 | H 型輸送容器 |

・容器の線量率（実測）

表 面	横方向	2.0 m r e m / h
	端 面	0.08 〃
100 cm	横方向	0.15 m r e m / h
	端 面	0.05 〃

・輸送方法

東海村 ——→ 羽田空港 ----- トラック輸送
 羽田空港 ——→ 米国ピッツバーグ空港 ----- 飛行機輸送
 ピッツバーグ ——→ サクストン ----- トラック輸送

4. 結 論

- (1) 米国サクストン炉において照射試験に供せられる 1 体の燃料集合体は、動燃事業団東海事業所プルトニウム燃料部が製造した $\text{PuO}_2 - \text{UO}_2$ ペレットを含む完成燃料棒を用いて、同所プルトニウム施設において三菱原子力工業により組立て検査され、ウエスチングハウス社燃料事業部門の品質保証代表者により品質が同社の仕様に合致することが保証された後、別に製造されてあった 4 本の $\text{PuO}_2 - \text{UO}_2$ ペレット入り燃料棒と共に 1 本の輸送容器に格納され米国サクストン炉に輸送された。
- (2) この間、集合体の組立ておよび輸送に際して、実務的経験からはウラン燃料と異なるものは皆無であった。このことは、密封された低濃縮 $\text{PuO}_2 - \text{UO}_2$ 燃料棒を集合体に組立てる作業ならびに輸送はウランのそれと同一に行えることを示唆している。高次化プルトニウムの

取扱いの経験は無かったので控え目に考えて、少数の燃料集合体の組立に限ればウラン用の設備そのまま実施し得ることを示した。ただしウラン施設そのままの利用に際しては、実地的なプルトニウム汚染評価—密封線源の仮定の保証—が必要である。対象は取扱い中の燃料棒折損事故評価と考えられる。

- (3) 集合体の組立作業に際して、動燃事業団、東海事業所の安全管理諸機構は全ての責任を完遂した。このため、三菱原子力工業放射線管理室の応援も得、作業者ならびに作業環境の事前評価ならびに作業中チェックを行い、かつ、事前に作業者の安全教育をするなどして作業者の安全を期した。外部被曝線量は、安全を見込んだ事前評価値より更に下で、フィルムバック線量は検出限界以下であった。

5. 燃料被覆管の製作と試験・検査

(1) 燃料被覆管の製作

Saxton 照射燃料集合体の製作に当って、この製作のために必要な燃料被覆管はウエスティング・ハウス社 (W・H) 側から提供されることとなっており、昭和45年2月に次のように被覆管が支給された。

米国W・H製	90本
三菱金属鉱業(株)製(W・H検定済)	10本
計	100本

また動燃としてはプルトニウム燃料のTCA実験などでの使用を考慮して、W・H社の規格にもとづく燃料被覆管を国内で試作し、次のように購入した。

住友金属工業(株)製のもの	20本
(株)神戸製鋼所製のもの	20本
三菱金属鉱業(株)製のもの	20本
計	60本

(2) 燃料被覆管の規格

PWR型の規格によっており、主要な仕様は次の通りである。

1) 材 質	ジルカロイ-4, 歪取り焼鈍材	
2) 寸 法	管外径 $0.393 \begin{matrix} +0.000 \\ -0.004 \end{matrix}$ in	($9.98 \begin{matrix} +0.00 \text{ mm} \\ -0.10 \end{matrix}$)
	管内径 $0.343 \begin{matrix} +0.003 \\ -0.000 \end{matrix}$ in	($8.72 \begin{matrix} +0.06 \text{ mm} \\ -0.00 \end{matrix}$)
	管肉厚 0.021 in 以上	(0.534 mm 以上)
	長さ 38.551 ± 0.020 in	(979.2 ± 0.5 mm)
	真直度 0.010 in/ft 以内	(0.25 mm / 300 mm 以下)

3) 化学成分および不純物

合金成分	Sn	1.20 ~ 1.70 %		
	Fe	0.18 ~ 0.24 %		
	Cr	0.07 ~ 0.13 %		
	Fe+Cr	≥ 0.28 %		
	O	0.09 ~ 0.16 %		
不純物	Al	≤ 75 PPM	B	≤ 0.5 PPM
	C	≤ 270 PPM	Cl	≤ 20 PPM
	Cu	≤ 50 PPM	Hf	≤ 200 PPM
	Mn	≤ 50 PPM	Ni	≤ 70 PPM
	Ti	≤ 50 PPM	W	≤ 100 PPM
	H	≤ 25 PPM	N	≤ 80 PPM
			Cd	≤ 0.5 PPM
			Co	≤ 20 PPM
		Pb	≤ 130 PPM	
		Si	≤ 120 PPM	
		U	≤ 3.5 PPM	

4) 腐食試験 腐食増量 2.3 mg/d m²/72時間, 400℃

5) 引張試験 引張強さ 42.2 Kg/mm²

0.2%耐力 3.16 Kg/mm²

伸び 12%

6) 水素化物方位 最大0.30

7) 超音波検査 標準欠陥 (1/16"長さ×0.004"巾×管肉厚の10%深さで長さ方向, および軸方向欠陥, 各内外面) 信号と比較して, その75%以上の信号は不合格

(3) 燃料被覆管の試験・検査結果

住友金属^株, 神鋼^株, 三菱金属^株の3社で各20本ずつ試作した被覆管について製造者側より報告された試験・検査結果を第5.1表にまとめて示す。また動燃で支給材を含めて試験・検査を行なった結果を第5.2表, 第5.3表に示す。

結果を要約すると次の通りである。

1) 外表面の状況は肉眼による外視検査ではW・H社のものがやや粗いように思われるが, 触針法で測定した結果では全社とも管外面は平均あらさで0.1~0.3μ程度(最大あらさ2μ程度), 管内面の平均あらさは住友金属^株, 三菱金属^株のものは0.2~0.3μ(最大あらさ2μ)に対して, 神鋼^株, W・H社のものは0.8~1.2μ(最大あらさ8μ)である。

2) 空気マイクロメータを用いて管の全長にわたって管内径および管外径を測定した結果, 三菱金属^株の20本中2本に, W・H社のものは87本中6本に, 神鋼^株のものは20本中10本に, いずれも内径測定値上で規格に対して問題があることがわかった。

また外径についてはその公差を ± 0.00 mm, 内径については ± 0.00 mmとしているが、実際に製作された管を測定した結果では、公差を片側に寄せていることの考慮は払われていないように思われる。5社の測定値を比較すると全体としてばらつきの少ないのは住友金属製のものである。

- 3) 管肉厚の測定は各被覆管の両管端についてマイクロメータにより連続して測定を実施した結果では、いずれも規格内の測定値が得られた。
- 4) 超音波探傷法(反射法)の結果では住友金属製のものに1本, W・H社のものに8本疑わしい欠陥信号のあるものが認められた。
- 5) 引張試験, 内圧破壊試験による測定値は4社のものがほぼ同等の値となっているが, 内圧破壊後の周方向の伸びはW・H社のものが他社のよりも大きい値となっている。

第 5.1 表 試作した燃料被覆管の製造者試験・検査結果

製 造 者		住友金属製			神 戸 製 鋼			三 菱 金 属 製			製 品 *
項 目	規 格	製造 № Z 60 (CW25) Lot No F37			製造 № NV10101 Charge № 3405B Lot No 1			製造 № SAXP-01 IP. Sheet № 6407-SAX-B002			
化学成分		(TOP)	(CENTER)	(BOTTOM)	(TOP)	(CENTER)	(BOTTOM)	(TOP)	(BOTTOM)		
合金成分	Sn 1.20~1.70%	1.46	1.45	1.37	1.51	1.56	1.60	1.42	1.44	1.58 1.40	
	Fe 0.18~0.24	0.21	0.20	0.21	0.23	0.22	0.22	0.23	0.21	0.24 0.23	
	Cr 0.07~0.13	0.10	0.10	0.09	0.10	0.10	0.10	0.12	0.12	0.11 0.10	
	Fe+Cr ≥0.28	0.31	0.30	0.30	0.33	0.32	0.32	0.35	0.33	0.35 0.33	
	O 0.09~0.16	0.136	0.136	0.134	0.119	0.127	0.117	0.118	0.104	0.1227 0.1216	
	Al ≤75PPM	51	60	61	22	21	34	46	44	—	
	B ≤0.5	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	—	
	Cd ≤0.5	0.2	0.2	0.2	<0.3	<0.3	<0.3	<0.2	<0.2	—	
	C ≤270	140	150	145	110	—	104	190	240	—	
	Cl ≤20	<20	<20	<20				<15	<15	—	
	Co ≤20	2	2	2	<10	<10	<10	<5	<5	—	
	Cu ≤50	10	10	10	<20	<20	28	13	12	—	
	Hf ≤200	70	75	64	81			70	66	—	
	Pb ≤130	3	5	5	<20	<20	<20	<20	<20	—	
	Mn ≤50	<10	<10	<10	<20	<20	<20	10	10	—	
	Ni ≤70	<20	<20	<20	<20	<20	<20	28	25	—	
	Si ≤120	20	20	20	35	33	35	59	51	—	
	Ti ≤50	10	10	10	21	20	23	44	48	—	

製 造 者		住友金属㈱			㈱神戸製鋼			三菱金属㈱		
項 目	規 格	製作№Z60(CW25) Lot No F37			製造№ NV10101 Charge No 3405B Lot No 1			製造№ SAXP-01 IP. Sheet No 6407-SAX-B002		
		(TOP)	(CENTER)	(BOTTOM)	(TOP)	(CENTER)	(BOTTOM)	(TOP)	(BOTTOM)	製 品*
W	≤ 100	10	10	10	20	—	20	<25	<25	—
U	≤ 3.5	0.3	0.3	0.2	0.5			0.8	0.9	—
Ca	—	—	—	—	<20	<20	<20	<10	<10	—
Mg	—	—	—	—	<10	<10	<10	<5	<5	—
Mo	—	—	—	—	<20	<20	<20	<10	<10	—
V	—	—	—	—	<20	<20	<20	<5	<5	—
Nb	—	—	—	—				<100	<100	—
Ta	—	—	—	—				<200	<200	—
H	≤ 25	17*		18 *				4	6	(8 8
N	≤ 80	12*		12 *				42	33	(44 47
(備 考)		インゴット分析値 *印 製品分析			インゴット分析値			インゴット分析値 (Wah-Changデータ) *印製品分析(三菱データ)		
腐食試験										
腐食増量	≤ 2mg/dm ²	13.4, 13.8			—			14.9~17.2 (平均15.6)		
表面状況	白色, 褐色の腐食生成物のないこと	異常なし			—			異常なし		
表面非化物分析	(μgF/cm ²)	—			—			0.06~0.09		
引張試験										
常温引張強さ	— (Kg/mm ²)	80.6, 82.2			—			79.2, 79.2		
耐力(0.2%)	— (Kg/mm ²)	60.1, 62.6			—			61.8, 63.4		
伸び	— (%)	16, 16			—			17.4, 18.0		
385℃引張強さ	> 42.2 (Kg/mm ²)	47.5, 47.3			42.9, 43.6			44.5, 43.7		
耐力(0.2%)	> 31.6 (Kg/mm ²)	41.1, 40.9			36.6, 36.6			37.2, 36.1		
伸び	> 12 (%)	19, 20			30.0, 24.0			18.4, 18.8		
押抜け試験	— (%)	56, 52			—			—		
内圧破裂試験										
破裂圧力(常温)	— (Kg/cm ²)	1300, 1350			—			—		

製 造 者		住友金属㈱	㈱神戸製鋼	三菱金属㈱
項 目	規 格	製造№ Z60 (CW25) Lot No F37	製造№ NV10101 Charge No 3405B Lot No1	製造№ SAXP-01 IP-Sheet No 6407-SAX-B002
結晶粒度試験				
たて断面	(ASTM No)	№ 10, № 10	—	—
よこ断面	(")	№ 10, № 10	—	№ 11
水素化物方位	Fn(45°) < 0.30	管肉厚の内外面について < 0.1, < 0.1	—	管肉厚の内外面について < 0.10, < 0.10
重 量	—	—	—	111.3g (10本の平均値)
超音波探傷検査	管肉厚10%深 さ欠陥信号の 75%以上信号 は不合格	合 格	合 格	合 格
管 外 径				
最大値の範囲	9.98~	9.930~9.945	9.910~9.959	9.91~9.94
最小値の範囲	~9.88	9.920~9.940	9.895~9.948	9.89~9.93
平 均 値	9.98	9.937	9.928	9.918
管 内 径				
最大値の範囲	8.78~	8.735~8.770	8.750~8.789	8.741~8.756
最小値の範囲	~8.72	8.730~8.760	8.723~8.766	8.720~8.737
平 均 値	8.72	8.750	8.760	8.744
管 肉 厚				
最大値の範囲	} 0.534 {	0.59~0.63	0.580~0.626	} 合 格 {
最小値の範囲		0.57~0.60	0.560~0.600	
平 均 値		0.605	0.592	
真 直 度	≤ 0.25/300mm	—	全数 < 0.2	合 格

第 5.2 支給品および試作品の燃料被覆管の非破壊検査結果

区 分			支 給 品				試 作 品					
			W. H. 社		三菱金属㈱		住友金属㈱		㈱神戸製鋼		三菱金属㈱	
支給品または試作品本数			90本		10本		20本		20本		20本	
検査対象本数			87本		10本		20本(外径 18本)		20本		17本	
外観検査	外表面の疵,付着物		全数良好		全数良好		全数良好		全数良好		全数良好	
	外表面あらさ		全数6S		全数3S		全数3S		全数3S		全数3S	
外径検査 (9.98 ^{+0.00} -0.10 _{mm})	被覆管 每測定 値度 数分 布	9.88mm	(最大値)(最小値) 0本 0本		(最大値)(最小値) 0本 0本		(最大値)(最小値) 0本 0本		(最大値)(最小値) 0本 0本		(最大値)(最小値) 0本 0本	
		9.89	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
		9.90	0	0	0	1	0	0	0	1	1	5
		9.91	0	5	0	5	0	0	0	6	2	7
		9.92	0	30	3	4	0	0	0	6	5	3
		9.93	6	43	1	0	0	10	0	1	3	1
		9.94	20	7	3	0	1	8	8	4	4	0
		9.95	46	1	3	0	17	0	3	2	1	0
		9.96	15	0	0	0	0	0	5	0	0	0
		9.97	0	0	0	0	0	0	4	0	1	0
	9.98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	最 大 値	9.960mm		9.953mm		9.953mm		9.971mm		9.967mm		
	最 小 値	9.890mm		9.895mm		9.925mm		9.899mm		9.894mm		
平 均	9.938mm		9.924mm		9.942mm		9.937mm		9.918mm			
内径検査 (8.72 ^{+0.06} -0.00 _{mm})	被覆管 測定 値度 数分 布	8.71mm	(最大値)(最小値) 0本 6本		(最大値)(最小値) 0本 0本		(最大値)(最小値) 0本 0本		(最大値)(最小値) 0本 0本		(最大値)(最小値) 0本 2本*	
		8.72	1	58	0	8	0	0	0	1	0	13
		8.73	34	22	0	2	0	2	0	4	1	2
		8.74	46	0	4	0	0	15	0	1	4	0
		8.75	6	1	5	0	15	1	0	4	11	0
		8.76	0	0	1	0	3	0	3	2	1	0
		8.77	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0
		8.78	0	0	0	0	0	0	6	5	0	0
	8.79<	0	0	0	0	0	0	10*	0	0	0	
	最 大 値	8.750mm		8.760mm		8.757mm		8.79<mm		8.764mm		
最 小 値	8.710mm		8.718mm		8.732mm		8.722mm		8.711mm			
平 均	8.729mm		8.734mm		8.745mm		≒8.77mm		8.733mm			

区 分			支 給 品				試 作 品					
			W. H. 社		三菱金属㈱		住友金属㈱		㈱神戸製鋼		三菱金属㈱	
肉 厚 検 査 (0.5mm<)	被 覆 管 毎 測 定 値 度 数 分 布	0.55 mm	(最大値)(最小値)	(最大値)(最小値)	(最大値)(最小値)	(最大値)(最小値)	(最大値)(最小値)	(最大値)(最小値)	(最大値)(最小値)	(最大値)(最小値)	(最大値)(最小値)	
		0本 0本	0本 0本	0本 0本	0本 0本	0本 0本	0本 1本	0本 0本				
		0.56	0 0	0 0	0 0	0 0	0 1	0 0				
		0.57	0 1	0 1	0 1	0 1	0 11	0 0				
		0.58	0 12	0 6	0 10	0 7	0 15					
		0.59	0 48	0 3	0 9	2 0	1 5					
		0.60	3 25	4 0	1 0	15 0	8 0					
		0.61	38 1	6 0	13 0	2 0	11 0					
		0.62	40 0	0 0	6 0	1 0	0 0					
	0.63	6 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0					
	最 大 値	0.63 mm	0.61 mm	0.62 mm	0.62 mm	0.61 mm						
	最 小 値	0.57 mm	0.57 mm	0.57 mm	0.55 mm	0.58 mm						
	平 均	0.607 mm	0.594 mm	0.598 mm	0.583 mm	0.591 mm						
真 直 度	<0.10 mm	70本	2本	13本	9本	9						
	0.15	8	7	6	10	7						
	0.2	7	0	1	1	1						
	0.3	0	1	0	0	0						
	0.5	1*	0	0	0	0						
	0.8	1*	0	0	0	0						
超 音 波 探 傷	欠 陥 信 号 な し	72本	10本	19本	20本	17本						
	25μ以下の欠陥信号あり	3	0	0	0	0						
	40μ以下の欠陥信号あり	4	0	0	0	0						
	40μ以上の欠陥信号あり	8*※	0	1*	0	0						

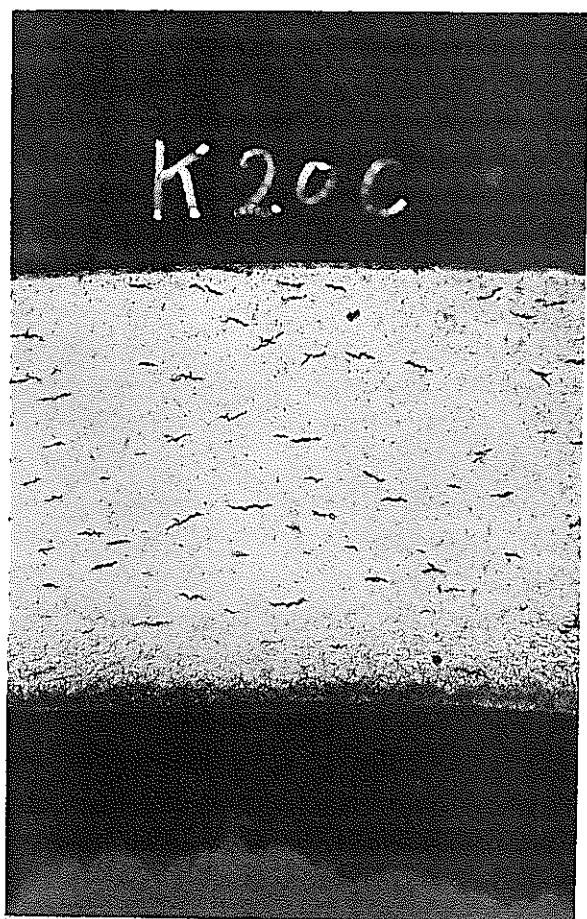
*印部分 購入規格に対して疑わしいもの

※標準人工欠陥加工部分あり

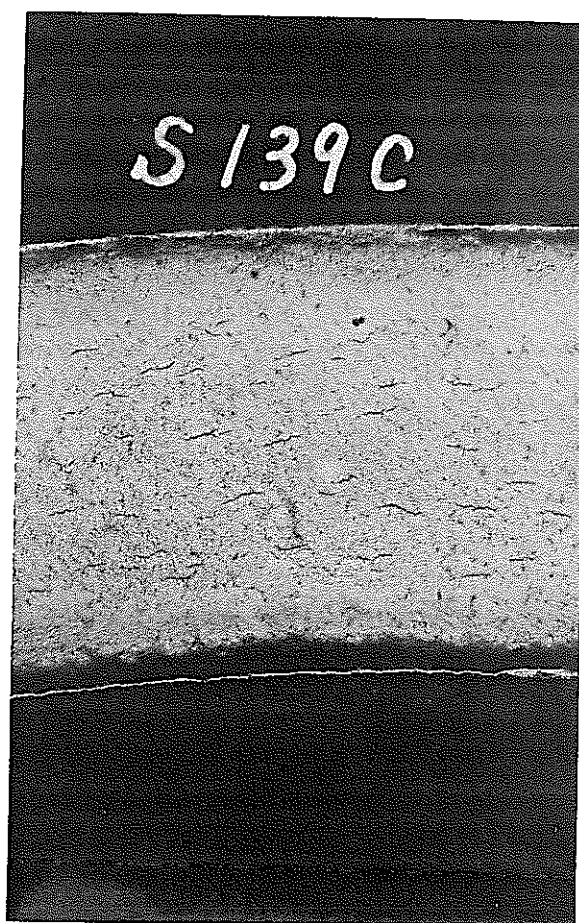
第 5.3 表 支給品および試作品の燃料被覆管の破壊検査結果

区 分		支 給 品		試 作 品		
		W. H 社	三菱金属 (株)	住友金属 (株)	(株) 神戸製鋼	
腐食試験 (400℃, 110Kg/cm ² 水蒸気中) (72時間試験後の増量)		20mg/dmf ²	19mg/dmf ²	16mg/dmf ²	21mg/dmf ²	
		22	18	16	18	
管材引張試験	R.T.	引張強さ(σ _β)	82Kg/mm ²	78Kg/mm ²	81Kg/mm ²	79Kg/mm ²
		0.2%耐力(σ _{0.2})	62Kg/mm ²	—	63Kg/mm ²	64Kg/mm ²
		伸び(ε)	18%	20%	18%	22%
	300℃	引張強さ(σ _β)	50Kg/mm ²	52Kg/mm ²	54Kg/mm ²	50Kg/mm ²
		0.2%耐力(σ _{0.2})	38Kg/mm ²	42Kg/mm ²	43Kg/mm ²	41Kg/mm ²
		伸び(ε)	14%	20%	17%	19%
	385℃	引張強さ(σ _β)	42Kg/mm ²	42Kg/mm ²	45Kg/mm ²	40Kg/mm ²
		0.2%耐力(σ _{0.2})	34Kg/mm ²	35Kg/mm ²	36Kg/mm ²	35Kg/mm ²
		伸び(ε)	16%	22%	19%	22%
管材内圧破壊試験 (水圧法)	R. T	破裂圧(σ _β)	1205Kg/cm ²	1250Kg/cm ²	1270Kg/cm ²	1310Kg/cm ²
		0.2%耐力(σ _{0.2})	1065Kg/cm ²	1155Kg/cm ²	1175Kg/cm ²	1125Kg/cm ²
		周方向伸び(ε)	12%	3%	3%	4%
水素化物方位 (水素吸収量60~80ppmの材料) (についてFn(40°)測定)		—	—	0*	0*	
表面あらさ (触針法で測定)	管外面	Ra	0.2~0.3μ	0.1~0.2μ	0.1~0.3μ	0.1~0.3μ
		Rmax	2μ	1μ	2μ	2μ
	管内面	Ra	0.8~1.2μ	0.2~0.3μ	0.2~0.3μ	0.9~1.1μ
		Rmax	8μ	2μ	2μ	8μ

(注)* 写真参照



(住友金属製)



(神戸製鋼製)

写真 5.1 水素化物方位測定用の管横断面全相写真

付録 1

サクストン燃料集合体組立に関する
障害対策書および安全対策書

障 害 対 策 書

1. 作業における被曝線量

1.1 取扱い核燃料の量と組成

集合体は68本の燃料ピンより成り、酸化物の重量は約38.5Kgで、このうちプルトニウムの重量は約1.7gである。

また、酸化プルトニウム中のプルトニウム同位元素の構成は次表の通りである。

Pu	238	239	240	241	242
%	0.454	90.236	8.480	1.151	0.086

1.2 作業時の被曝線量

燃料ピンは厚さ0.055cmのZr-4被覆管を有し、燃料部の長さは9.9cmである。

作業時のガンマ線および中性子線による外部被曝の算出は次のような仮定で行なわれた。

イ) 集合体は13.7φ×9.9cmの円筒(面積S=1245cm²)とみなす。

ロ) 組立作業時間の90%は円筒面積から10cm, 10%は30cmの距離で行なう。この作業時間は1日の30%, すなわち2.5時間に相当するものである。

ハ) PuO₂ - UO₂ の自己吸収係数: 0.389

Zr-4によるガンマ線の減衰: 0.2

中性子線の減衰: なし

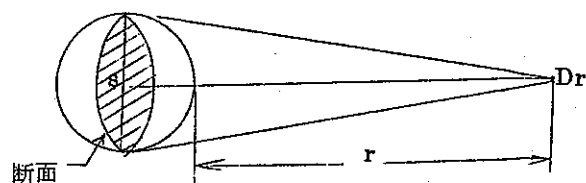
ニ) Am-241のビルドアップは分離後120日

イ) ガンマ線による外部被曝

$$D_s = 7.8 P_{238} + 0.075 P_{239} + 0.069 P_{240} + 0.11 P_{242} + 0.10 P_{241} t + 1.6 P_{241} [1 - e^{-0.102t}]^*$$

$$t = 120 \text{ 日}$$

$$\therefore D_s \cong 0.349 \text{ rad/h}$$



Ω: 立体角

$D_r = \Omega r k$ (k : 定数) と仮定すると

$$D_s = \Omega s k = 2\pi k, \quad k = \frac{D_s}{2\pi}$$

$$\frac{s}{r^2} \doteq \Omega r \quad (s: \text{面積})$$

$$D_r = \Omega r \cdot \frac{D_s}{2\pi} \doteq \frac{S}{r^2} \cdot \frac{D_s}{2\pi} \quad \text{rad/h}$$

直径 1.37 cm, 高さ 9.09 cm の円筒であるから $S = 1245 \text{ cm}^2$

$$\therefore D_r = \frac{0.349 \times 1245}{2 \times 3.14 \times r^2} = 69.2 / r^2 \quad \text{rad/h}$$

これから, r と被曝線量の関係は次のようになる。

距離 (r)	D_r	$D_r \times 0.389 \times 0.2$
10 ^{cm}	692 ^{mrad/h}	53.8 ^{mrad/h}
30	77	5.98
50	28	2.15
100	6.9	0.54

ii) 中性子線による外部被曝

$$D_n = 1.15 \times 10^{-4} [3420 P_{238} + 0.030 P_{239} + 1020 P_{240} + 1700 P_{242}] \frac{M^{**}}{4\pi r^2}$$

$$M = 1.7 \text{ Kg}$$

$$\therefore D_n \doteq 1.39 / r^2 \quad \text{rem/h}$$

これから r と被曝線量の関係は次のようになる。

距離 (r)	D_n
10 ^{cm}	13.9 ^{mrem/h}
30	1.7
50	0.56
100	0.14

iii) 集合体組立時の外部被曝

集合体組立工程の作業内容，作業時間，作業者と集合体表面の距離，および外部被曝線量の推定値を示す。

作業内容	作業時間 (h)	距離 (cm)	外部被曝線量 (mrem)		
			r	n	r+n
1 挿入	3	30	17.9	5.1	23.0
2 溶接	4	20	53.8	13.9	67.7
3 検査	14	30	83.7	23.8	107.5
4 洗浄	1	50	2.2	0.6	2.8
5 梱包	1	50	2.2	0.6	2.8

集合体組立作業は3名の作業者によって次のとおり行なう。

作業内容 1. 2. 4. 5. 1名の作業者 A
 " 3. 2名の作業者 B, Cの交替

したがって作業者の被曝線量の推定値は，

作業者 A 96.1 mrem

作業者 B, C 53.8 mrem

となり十分低い値である。

*, **

Plutonium Handbook Vol. II Chapter 25

2. 気体廃棄物

サクストン燃料集合体の組立に用いられる燃料ピンは完全密封されており，また汚染も検査済みであるから，空気を汚染することはない。

室内空気はフィルターを通った後モニターされてスタックから大気中に放出する。

3. 液体廃棄物

洗浄水は一般廃水として床廃水と同様に扱い，地下廃液処理設備のモニターサンプタンクに入れる。その後，低レベル廃液の希釈に用いるか，または許容レベル以下であることを確かめたのち放流する。

4. 放射線管理

作業者にはフィルムバッジ，ガラスリングを着用させて外部被曝線量を測定するとともに，サーベイメータによってγ線，中性子の監視を行なう。また，空気スニッフアー，ダストモニ

ター等により空気中の放射性物質濃度を監視し万全を期する。

5. 臨 界 管 理

サクストン燃料要素組立工程の臨界安全性は次のとおりである。

燃料仕様；

i) ペレット

組 成	5w/o PuO ₂ —U(n)O ₂
直径×長さ	8.5725φ×9.295mm
有効長	909.39mm

ii) Puの組成

Pu—238	0.0454 w/o
Pu—239	90.236
Pu—240	8.480
Pu—241	1.151
Pu—242	0.086

iii) 被 覆 管

材 質	ジルカロイ—4
内 径	8.75mm
外 径	9.93mm

iv) 燃料集合体

燃料ピンピッチ 14.73cm 正方格子

臨界計算結果は次のとおりである。

条 件	keff	計算コード
1. 集合体1本(68本)が完全に水没した場合	0.654	LASER* PDQ-5**
2. 燃料棒72本(最大取扱量)が臨界最適状態で完全に水没した場合	0.782	PDQ-5
3. 燃料棒が臨界最適状態で完全に水没した場合の最小臨界燃料棒本数	173本	PDQ-5

* 中性子スペクトル

** 2次元拡散理論

以上の計算結果から、燃料集合体1体(68本)、または最大取扱量72本を取扱う場合、最適条件で、かつ最悪条件(水没)でもkeffは1以下であるから臨界安全性は十分に保たれている。

なお、プルトニウム開発室においては、厳しい臨界管理を維持するため、特殊核物質の取扱量や使用する機器の設計に制限をもうけ、全職員に臨界事故を防止するための教育訓練を実施している。臨界管理上の責任、職員の訓練については保安規程に定められている。

安 全 対 策 書

1. ま え が き

プルトニウム取扱作業に伴う事故の種類は一般的には、1) 火災事故、2) 爆発事故、3) 臨界事故、4) 地震などの自然力が原因となる事故、5) 誤操作による事故に分けられる。

これらの事故はいずれもプルトニウムの物理的、化学的性質に起因する危険を伴うので、研究室の施設設計に際しては十分な事故対策が講じられている。その基本方針は次の通りである。

- 1) 作業はすべて負圧の気密な建家内で行なう。
- 2) 汚染された空気、ガスは屋外に放出する前にアブソリュートフィルターでろ過する。
- 3) 廃液は排出する前に許容レベル以下にする。
- 4) プルトニウムの移送にあたっては完全な包装を行い、表面汚染のないようにする。
- 5) 管理区域をもうけ、モニター、特定の作業服などを使用し、管理区域外にプルトニウムの汚染が拡がらないようにする。
- 6) 臨界事故を防ぐため取扱うプルトニウムの貯蔵量、取扱量について厳重な管理を行なう。
- 7) 一般的な安全対策、産業衛生対策を厳格に行なう。

以上の基本方針により設計してあるので、この研究室はいかなる場合にも従業員および近隣住民にたいし安全なものとなっている。

2. 火 災 事 故

当集合体組立施設については、火災は考えられない。しかし、燃料要素組立室には炭酸ガス消火器および金属消火器が配置してある。

3. 爆 発 事 故

爆発の可能性のある物質は全く使用していないので、爆発は考えられない。

4. 臨 界 事 故

障害対策書で述べたように臨界事故の可能性はない。なお、プルトニウム燃料開発室としての臨界管理の責任、計量管理の責任、臨界管理に対する職員の訓練等については保安規定で定められている。

5. 地震および台風による被害

建家および構造物は建築基準法施行令第3章第8節第2款第83条乃至88条（構造計算）に従って設計されている。

なお、同法に定められている震度減少の緩和規程は、建家設計のさいに適用しなかった。とくに高所部分、煙突等の設計には震度 0.3 を用いている。このように建家の保全度を増しているので、予想される大地震時の最悪の被害は建家壁部の亀裂にとどまると考えられる。大地震時に考慮しておかなければならないのは、破損部位から室外に空気汚染が起ることである。大地震時に空気汚染が拡がらないよう十分な負圧を維持できるよう換気系の機能が働くことが必要であるが、研究室の換気系は緊急電源をもっているため、事故が起っても完全に作動する。

上述の建築基準法の定めるところに従って台風時における最大風速 60 m/sec に対しても十分耐えるよう設計されている。

6. 誤操作による事故

本集合体組立作業においては、プルトニウムは密封状態で取扱われ、いかなる誤操作によっても事故の可能性は考えられない。

参 考 資 料

(1) サクストン燃料集合体および燃料ピンの仕様は下記のとおりである。

	燃料集合体	燃料ピン
燃料ピン本数	68	4
同 有効長 (cm)	90.9	90.9
ペレット直径 (mm)	8.58	8.58
燃料ピン外径 (mm)	9.93	9.93
燃料ピンピッチ (cm)	14.73 (正方格子)	—
Pu (Kg)	1.6	0.08
U (Kg)	29.9	1.8

(2) サクストン燃料集合体組立用施設は、組立終了後、走行用レールおよびチェーンブロックをのぞき、組立治具、溶接装置、引張試験機、検査スタンド、洗浄タンクは撤去する。

なお、撤去のさい施設等の汚染は考えられない。

付録 2

PNC-SAXTON Fuel Rod 空間線量測定結果

1. PNC-SAXTON 燃料の仕様

(1) 燃料アセンブリー中のPu量

名称	$\frac{\text{PuO}_2}{\text{UO}_2 + \text{PuO}_2} (\text{w/o})$	Pu	$\text{UO}_2 + \text{PuO}_2$
68本	4.84	1.520 Kg	35.527 Kg
4本	3.98	0.073 Kg	2.092 Kg

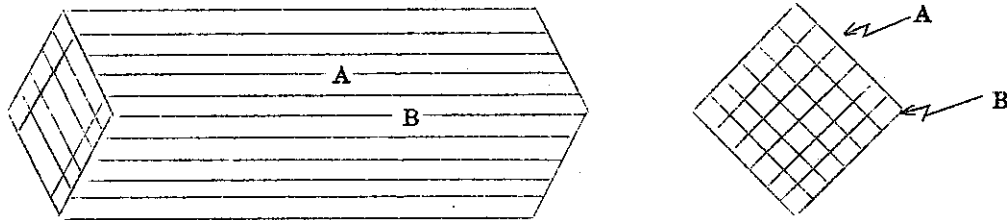
(2) アイソトープ比 (w/o)

Pu^{238}	Pu^{239}	Pu^{240}	Pu^{241}	Pu^{242}
0.045	90.236	8.480	1.151	0.086

(3) 化学処理後の経過日数

source	混合率	経過日数
A	70.8 w/o	470日以上
B	29.2 w/o	529日以上

2. Assemblyの中心軸に垂直な方向での表面からの線量率

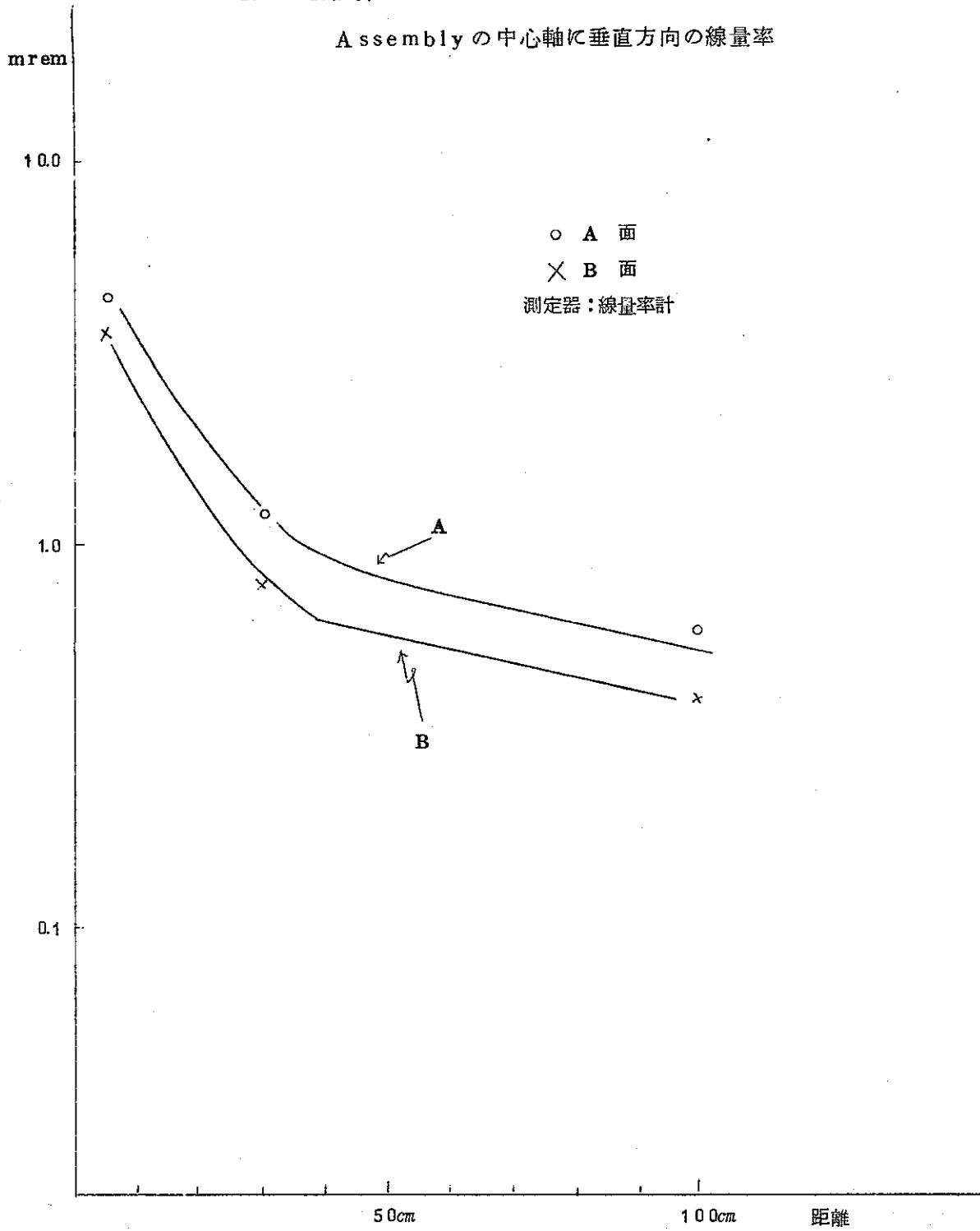


単位mrem

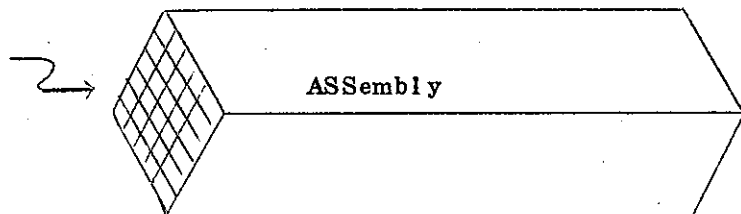
測定器	区分	距離					
		5 cm	10 cm	30 cm	50 cm	100 cm	130 cm
電離箱	A	4.4		1.2		0.6	
	B	3.6		0.8		0.4	
GMサーベイ	A	4.0	2.5	1.0	0.55	0.2	
	B	3.5	2.5	0.7	0.6	0.25	0.1

R o d 全数挿入時

A s s e m b l y の 中 心 軸 に 垂 直 方 向 の 線 量 率

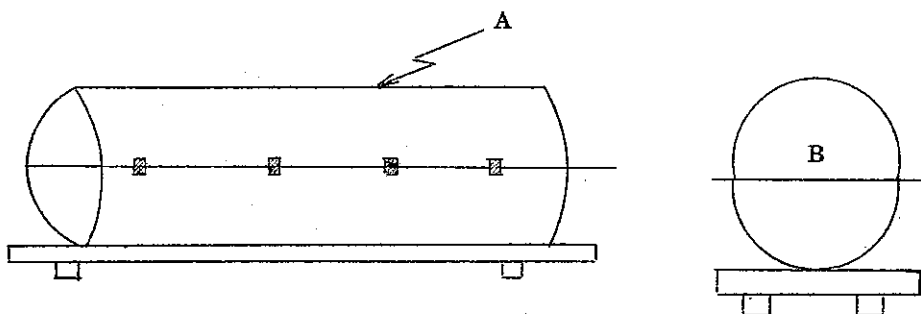


3. Assemblyの中心軸方向でTopの表面からの線量率



測定器 \ 距離	8.5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	27 cm
電離箱	1.0			0.56	0.46
GMサーベ	0.5	0.35	0.2	0.1	0.05

4. 輸送容器格納後の容器表面からの線量率



単位 mr cm

区分 \ 距離	表面	10 cm	30 cm	50 cm	100 cm
A	2.0	1.3	0.5	0.3	0.15
B	0.08	0.06	0.05	0.05	0.05

(B : 中心軸方向) 測定器 GMサーベ

