

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]

$\text{PuO}_2 - \text{UO}_2$ 燃料集合体のハルデン炉照射試験

第1報 (設計, 製造, 検査, 出荷)

The Irradiation Test of $\text{PuO}_2 - \text{UO}_2$ Fuel Assembly in HBWR (I)

1971年10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

れた
承認
知し
団

©核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2001



研究概要

$\text{PuO}_2 - \text{UO}_2$ 燃料集合体のハルデン炉照射試験

作成 1969年3月31日

実施責任者 中村 康治, 山下 利

報告者 中村 康治, 山下 利, 吉岡 一彦

志賀健一朗, 小泉 益通, 宮脇 良夫

湯本 鏡三, 大竹 俊英, 菊池 三郎

角田 直巳, 竹村 達也, 中島 恒

小山 兼二, 青木 利昌, 三浦 信

磯野 健治, 渡部 卓朗

期間 昭和42年7月～昭和44年3月(継続中)

目的 軽水炉リサイクル用プルトニウム燃料開発計画としてプルトニウム燃料部では昭和39年末, 燃料設計, 燃料製造, 燃料炉物理実験およびカプセル照射試験等による開発研究を進めてきた。

1967年5月9日原研がOECD Halden project Jan. 1967-Dec.1967年に正式加盟し, ハルデン炉による日本側試料の照射試験が可能になった。

この炉は重水沸騰冷却動力炉であるが, 燃料集合体の炉心内照射が可能である。原研としてはJPDR-II計画に関連し, 計装燃料技術の習得と高熱流束による UO_2 ペレット燃料棒集合体照射を主目的としていた。

当時原燃プルトニウム燃料開発室は燃料設計の基本となるプルトニウム燃料の燃料炉物理実験をTCAで行なうことに関して原研と共同研究を実施しており, 将来JPDRに試験照射する計画であった。

そこでJPDRでの集合体照射に先だって, 将来要求される局部最高熱流束をもつように, ハルデン炉内でプルトニウム燃料小型集合体を照射確性することがわれわれにとっても, 原研にとっても望ましいと合意され, 共同研究としてこの照射試験を実現したわけである。

この照射試験計画の目的は上述のJPDR照射計画の先行試験として, 上記設計クライテリアに対する燃料設計技術, プルトニウム燃料体の製造技術, 燃料棒加工技術, 燃料集合体の設計と組立加工技術の総合的確性試験である。

またこれらの設計と製作および試験に関しては, 試験, 分析技術の成果を織り込み,

数年来蓄積してきた検査技術の自己責任下での適用試験であったわけである。

概要 ハルデン炉での燃料集合体照射試験には 2 種類が計画された。

IFA 159 ペレット型燃料棒集合体

IFA 160 ゴルゲル振動充填燃料棒集合体

燃料棒直径および格子ピッチは将来の軽水炉利用で望ましいと思われる寸法とし、したがって正方格子集合体とした。ハルデン炉の標準燃料集合体は 7 本のクラスター型で、燃料孔の寸法が規定されているから、この計画では 3×3 格子の小型集合体となった。富化率は天然ウランに対して、将来の商業動力炉で要求される程度の局部最高熱流束を与えるようにプルトニウムを添加した。しかしながらハルデン炉は重水沸騰型原子炉で、プルトニウム燃料集合体の照射経験が全くなく、したがって IFA159 の挿入位置におけるプルトニウム核種の有効断面積または単位発熱 ($W/g r$) も得られていなかった。そこで燃料設計として、核常数決定のため既存の THERMOS 計算コードを改良し、また全炉心系について、標準 UO_2 炉心 および全系が IFA159 PuO_2-UO_2 で構成された場合について LASER コードを用いて計算した。これらの結果から IFA159 内の各核種の有効断面積を推定し、プルトニウム富化のための添加率を決定した。被覆は国産のジルカロイ-2 管で、技術部検査課で非破壊検査と各種評価試験を行なったものを用いた。

ペレット製造法は UO_2 粉末と PuO_2 粉末の機械混合-コールドプレス-焼結法により、密度、プルトニウム分布均一性ともに十分満足できるものとして 41 年以來一応の工程確立された標準法に従った。

ペレット製造法としてはこの機械混合法によるものと、ウラン-プルトニウム混合水溶液から同時沈殿させることから始まる共沈法があるが、その工程比較を部内で行ないまた GETR 材料試験炉で比較選別照射試験を行なった結果、機械混合法が照射挙動に問題がなく、製造コストも低いことから、この方法が採択された。

ペレット製造は延べ 18 ロット、合計混合酸化物重量として約 15 kg について、正味作業時間を要して調製した。プルトニウム含有量は 2.5W/o PuO_2 、ペレット密度 94% T.D. とし、不純物許容量等の仕様は USAEC の EBWR 計画のそれらに準じるものであった。製造開始は昭和 42 年 7 月下旬からで、当初は密度およびペレット寸法の点からロット内の合格率は低かったが、経験を重ねるに従って、約 93% の合格収率となった。

ペレット装入後の燃料棒品質について、完成後原研 TCA で製造した燃料棒の 1 本 1 本を、TCA 円環炉心内で臨界到達水位法で、その反応度を測定した結果、平均で 91.54 セント、標準偏差 0.29% であった。同時に民間メーカーの製作した 2.6% 濃縮 UO_2 、および 5.9% 濃縮 UO_2 燃料棒の反応度の偏差がそれぞれ 0.95% および 0.65

であったから、われわれの作品の品質均等性が実証された。

燃料集合体内の出力分布のピーキング計画法について既有的の THERMOS 計算コードを改良して評価したが、この計算法を評価するため、TCA で集合体を照射し、各種条件で燃料棒ごとの出力分布を実測した。これはハルデン炉は重水沸騰系で、TCA では軽水減速であるから、ドライブ領域から入射する中性子エネルギースペクトルを可能なかぎり変えて、その状態における各核種の有効断面積および集合体内出力分布の変化を評価するためのものであった。

また集合体組立部材の設計と製作、ならびに製品の各種試験を行ない、水流動伝熱除去についての設計計算を評価するため水流動試験を行なった。

これらの一連の設計、製作および試験を完了し、昭和43年5月28日ノールウェー向けに出荷し、現地で計装具取付け、組立および計装校正実験を行ない、7月2日炉内装入、出力状態に入った。その後集合体チャンネル出力345KW で順調に照射進行し、43年末現在で、ピークペレットの燃焼率は約500MWD/T に及んでいる。

その後出力上昇についての安全評価計算を行ない、450KW に出力上昇することについて現地に提案中である。

振動充填法はプルトニウムのグローブボックス作業についてはペレット型燃料より経済的であるといわれている。振動充填用には高密度粗大粒の調製が必要で、AEC の Hanford 研究所では機械混合粉末の高温高压の衝撃圧搾法によっている。しかしこの方法には多くの難点があるので、将来の半遠隔自動化を含みとして、原燃時代から UO_2 ゼルゲル法を開発してきて、特許およびいくつかの照射確性結果をもっている。プルトニウム燃料部ではこの UO_2 についての技術を混合酸化物に拡大適用し、日米両国の特許申請を行ない、また GETR による確性照射試験も行なった。混合酸化物ゼルゲル法としても、両種のゲル混合と並んで UO_2 ゲルにプルトニウム酸化物を添加する方法がある。この両者についても GETR で選別照射試験を行ない、後者でも十分照射挙動が満足でき、プルトニウム収率、加工コストともに有利であるところから、IFA160の燃料心材の製造にはこの方法を採用した。

ゼルゲル粒の製造は合計20ロット、分析試料、不良品を含むプルトニウム系外流出は約180grで、製造は43年6月から9月に及んだ。

振動充填は燃料柱の Bulk Density $86 \pm 1\% T.D.$ 、局部変動 $\pm 6\% T.D.$ の仕様で、ゼルゲル粒子密度を $95\% T.D.$ とすると充填効率 90.5% を要求された。このため $6 \sim 10$ 、 $10 \sim 16$ 、 $20 \sim 65$ および -325 メッシュの4成分系で、充填時には $70G$ の加速度で平均6分間を要した。充填後の燃料棒についてガンマ線透過法で局部密度のバラツキを試験した。

燃料棒完成後 IFA159 の例と同様に TCA での燃料炉物理的測定を行ない、集合体水流動試験を適用した。燃料棒直径と富化率は IFA159 と幾分異っているが、反応度

平均107セント，同偏差0.38%で，均一性はIFA159にやや劣るが，民間メーカーの製作した濃縮ウランペレット燃料棒のそれより格段良好であった。

一連の設計，製作および試験を終了して，ノールウェーに出荷したのは昭和44年1月17日であった。現地での組立，調整を終り，原子炉に装荷されたのは44年3月中旬であった。

両集合体ともに昭和44年12月末，原子炉停止期に合わせて取り出されるまで照射される。推定局部最高燃焼率はIFA159で約11,000MWD/T-fuel，IFA160では5,000MWD/T-fuelである。

照射後，ハルデン炉プール位置で所要の冷却をし，現地で集合体を解体して燃料棒として日本に輸送して，各種の試験を実施することになっている。

Abstract

PNC has been devoting itself for the development of plutonium fuel as the direct substitute of enriched uranium fuel of light water reactors.

Fuel element design studies, fuel fabrication techniques development, reactor physical studies on plutonium fuel rods, and some capsules irradiation have been performed by the Plutonium Fuels, Tokai Works, PNC.

JAERI as the representative of Japan acceded to the OECD Halden Project perioding January 1967 ~ December 1969 on May 9th 1967, and thus irradiation testings of Japanese fuel in the Halden HBWR were brought possible.

An irradiation program of plutonium fuel assemblies was planned as a joint research program between JAERI and AFC (now reorganized as PNC), as the preceding test of JPDR (an experimental BWR in JAERI) irradiation program.

Two kinds of plutonium fuel rods assembly was planned for the irradiation.

IFA 159	Conventional pellet type fuel rods
IFA 160	Vibratorily compacted fuel rods with coarse grain processed by Sol-Gel Technique.

Dimensions of rod diameter and rod pitch were selected same as these to be used in a commercial BWR, however whole dimension of the assembly is limited to match the Standard seven rods cluster fuel elements in the reactor, and 3×3 small square lattice assembly was designed. The plutonium enrichment for natural UO_2 was selected in order to realize same maximum heat flux as that required for commercial fuel element of BWR. As the Halden HBWR is a heavy water moderated and cooled reactor, and fewer experiences of plutonium fuel irradiation were available for the reactor, effective cross sections of plutonium isotopes or effective power ratings were not given. Nuclear constants of the test assembly were

calculated by modified THERMOS code and LASER code and used for enrichment determination.

Plutonium fuel pellets were fabricated by powder mechanical blending, cold press and sintering process which were established as a satisfactory standard process from the stand points of density and plutonium homogeneity.

About fifteen kilograms of mixed oxide pellets consist of 18 lots were fabricated in eight weeks. Plutonium content of pellets is 2.5 w/o PuO₂ in natural UO₂, and pellet density was specified as 94% T.D. The specifications on impurities contents and other physical and chemical properties were similar to those specified for the pellet in EBWR Plutonium Recycle Program of USAEC.

The nuclear reactivity of each individual fuel rod was measured in the thermal trap zone surrounded by driven UO₂ fuel rods in TCA, a light water moderated critical facility in JAERI. The average reactivity worth is 91.54 cents and its deviation is 0.29%, which was found much smaller than obtained for UO₂ fuel rods by the same technique. Power distribution in the assembly was investigated for various irradiation conditions in TCA, and was compared with calculated results.

A hydraulic test of finished assembly was conducted in a water loop in order to confirm the design calculation.

The IFA 159 assembly was shipped for Norway on 28th May, and was loaded to the reactor after necessary instrumentation and calibration tests.

The assembly has been satisfactorily irradiated at 345 kW as the channel power. The peak burnup is estimated as about 5,000 MWD/Ton-fuel at the end of 1968. A power-up to 450 kW is proposed to the Halden Project based on our safety evaluation calculation.

Vibratory compaction technique is suitable for glove box handling and is promising from economic standpoint. FNC has developed Sol-Gel process for preparing dense and coarse mixed oxide particle instead of Dynapacking developed in the Hanford Laboratory. Preliminary irradiation results were

already obtained on small capsules exposed in GETR for about 1,000 and 3,000 MWD/T-fuel. The process is patented by Japan and US Patent, which covers some fabrication variables for blending method of plutonium. The fine and surface-active PuO₂ derived from plutonium peroxide was blended to natural UO₂ Gel, and processed to form Sol state, then free sintered. The particle density was 96.5 ± 0.9 % T.D.

The compaction of loaded particles to each sheath tubing was performed by vertical vibration with maximum 70 G acceleration of sweeping frequencies. The vibration for five minutes gave 85.5 ± 0.4 % T.D. as compacted column density and ± 5 % T.D. as local density variations in every 2 mm section determined by external gamma source.

The finished fuel rods were again assessed for their uniformity by measuring their reactivities in TCA. The average reactivity was 107 cents and its variation σ was 0.38%. The results reflect that the fuel rods of IFA 160 have larger diameter and higher enrichment than those of IFA 159, and that the fabrication uniformity by vibration compaction is inferior to that by pellet loading, but is satisfactorily superior to those by commercial UO₂ pellet type rods ($\sigma = 0.65\%$ for 5.9% enriched UO₂, and $\sigma = 0.95\%$ for 2.6% enriched UO₂).

The fabrication and testing of IFA 160 required ten effective weeks.

The IFA 160 fuel rods and assembly components were shipped in January 19, 1969, and assembled with necessary instrumentations in Norway, and were loaded to the HBWR in March 1969.

目次と執筆分担

1. ま え が き (中村)	1
2. 燃料設計および炉内挙動解析	5
2.1 プルトニウム燃料の特質と原子炉照射 (宮脇)	5
2.2 IFA-159 (湯本)	9
3. 燃料に関する仕様と設計	37
3.1 IFA-159 (湯本)	37
3.2 IFA-160 (菊池)	58
3.3 EBWRおよびSAXTONにおける仕様 (宮脇)	80
4. IFA-159の製造	93
4.1 概 要 (吉岡)	93
4.2 ペレット製造 (中島)	94
4.3 ペレット試験結果 (小泉)	114
4.4 ジルカロイ管の検査と評価 (三浦)	135
4.5 燃料棒製造 (志賀)	151
4.6 集合体部材の製造と検査 (磯野, 渡部)	164
4.7 モックアップ集合体の試験 (大竹)	199
4.8 燃料内のペレット充填設計 (湯本, 福島)	223
5. IFA-159の炉物理試験	261
5.1 各燃料棒の試験 (湯本)	261
5.2 集合体試験 (湯本)	265
6. IFA-159の出荷	283
7. IFA-160の製造	291
7.1 概 要 (吉岡)	291
7.2 ゾルゲル法によるPuO ₂ -UO ₂ 粒の製造 (角田)	291
7.3 ゾルゲル粒の試験 (小泉)	311
7.4 ジルカロイ管の検査と評価 (三浦)	332
7.5 振動充填と燃料棒製造 (志賀)	344
7.6 集合体部材の製造と検査 (磯野, 渡部)	357
8. IFA-160の炉物理試験	399
9. IFA-160の出荷 (志賀)	399
10. ハルデン照射試料の製造経費 (山下)	405
11. タイムスケジュール	411
12. あ と が き	415
付録1 IFA-159燃料棒の製品検査表	417
付録2 IFA-160燃料棒の製品検査表	425

1. まえがき - 計画の概要

1. まえがき

(中村)

プルトニウムはその本来の核的性質からいって、高速増殖炉燃料として使用されるべきであり、またエネルギー需要の増大率からみても早期に高速増殖炉を開発しなければならない。

動力炉・核燃料開発事業団は新型転換炉と並んで、高速炉開発計画をもって、精力的に開発研究を進めている。この高速炉プロジェクトの一環として高速炉燃料開発について、プルトニウム燃料部は枢要責任をもって努力を重ねているわけである。

しかしながら高速炉が商業的に大規模に利用されるようになるまでには、なお全世界的に長期の開発努力を必要とする。一方わが国としては軽水炉中心の原子力発電が積極的に進められ数年前の予想を上廻ってここ数年中に米国に次いで第二の軽水動力炉設置国になるといわれている。このためわが国としては莫大な量の濃縮ウランを輸入しなければならないし、また必然的に相当量のプルトニウムの生成を見ることになる。

世界各国での実情と同様に、プルトニウム需給バランスからいると、高速炉開発の初期段階では供給不足で、中間期～高速原型炉および実証炉から、実用化にいたる期間～には供給が上廻り、さらに将来には供給不足が危惧されている。この中間期をどの程度に予測するか、またその期間におけるプルトニウムの蓄積量予測と異なって、多くの議論がある。

わが国でもこの問題は、古くは原子力委員会のプルトニウム専門部会、また核燃料懇談会プルトニウム分科会で論じられ、少なくともプルトニウムを軽水炉に代替再使用する技術開発の必要性は認識されて、近く特定総合研究として推進されることになっている。

われわれは原子燃料公社時代から続いて、今日の動燃でも、プルトニウムの軽水炉利用技術の開発を新型動力炉開発プロジェクトに次ぐ重要課題として努力してきた。

わが国ではJ P D RがB W R系の実験炉であり、原電敦賀炉などもB W Rであるから、昭和38年頃からこの一連の系列に対してのプルトニウムリサイクル試験の計画を予想して、各局面の開発研究に努めてきた。また最近P W R系に対するプルトニウム利用についても計画検討を始めている。

燃料設計研究によって、まずプルトニウム燃料開発の問題点を摘出するため、300MWe B W Rに対する燃料設計サーベィを実施したのは昭和40年であった。¹⁾

1) 植松, 湯本, "商業用軽水動力炉のプルトニウム燃料", AFCPU-REPORT-05, 1966, 10.

ここでペレット型燃料を採り、燃料実効挙動が燃料棒直径、減速材対燃料比によって大幅に変わることを知った。その知見に基づいて原燃時代から開発してきた振動充填型燃料についての燃料設計を進めたが²⁾、この場合燃料充填棒充填密度が低下することは、ウラン炉心と同一の燃料棒直径および格子間距離を用いても、プルトニウム燃料にとって最適化の方向に向うことを知った。

しかしこのような均一炉心についてのマクロな計算だけでは、実際問題としてウラン炉心の燃焼進行中に、定期燃料交換の場合、漸次プルトニウム燃料を代替装荷してゆく場合を考えると、設計評価の精度が劣る。またミクロな燃料棒内外における中性子束分布の変化、中性子束エネルギー変化による影響、および炉内における燃料部分の焼結ならびに温度こう配に基づくプルトニウムや分裂生成物の半径方向および軸方向への移動の核的影響などを詳細に評価する必要を認めた。そこで昭和40年8月振動充填燃料の炉物理的研究として、原研と共同研究契約を結び、TCA軽水臨界実験装置を用いての実験研究を始め、さらに41年12月からPuO₂-UO₂燃料の炉物理研究という課題で共同研究契約として進められてきている。

一方実際のプルトニウム燃料の製造技術の開発として、昭和41年1月以来製造研究を進め在来型ペレット法について、共沈および粉末機械混合法の比較研究の成果を挙げるとともに、原燃時代に先行技術としておよそUO₂-UO₂に拡大利用することに努め、また振動充填技術も確立してきた。これらの製造技術に対する確性評価試験として小型燃料棒のカプセル照射試験を実施してきた。このうちGETR-S計画で、ペレット型(共沈法および機械混合法)およびゾルゲル-振動充填型(ゲルゲル混合およびゲル粉末混合)の4本が昭和43年2月~3月に照射され、それぞれ15kW/f t(最高480W/cm)および13kW/f t(最高340W/cm)で1000MWD/T-fuelの照射条件における確性を終り、さらに機械混合ペレット型およびゲル粉末混合ゾルゲル振動充填型について、より高燃焼率および高比出力での照射がGETR-1RTシリーズとして実施され、現在冷却中である。

昭和42年5月9日、原研がOECD Halden project 1967計画に正式加盟し、ハルデン炉による日本側試料の照射試験が可能になった。原研としてはJPDR-II計画に関連して従来のUO₂燃料よりも高比出力の燃料の確性照射と、炉内計装技術の習得が主目的であったが、原研としても従来JPDRにプルトニウム燃料装荷試験するためには、カプセル照射試験の結果だけよりも、実寸大の試験燃料の炉心内照射の実績があることが望ましいと考えられたので、動燃と原研との共同研究として、プルトニウム燃料照射の計画が合意された。昭和42

2) R. Yumoto, S. Kikuchi, & K. Uematsu "Fuel Design for Recycling Boiling Water Power Reactor (2)-VIPAC Fuel-", AFC Pu Report 023, 1967.

年 5 月

このハルデン炉照射試験では、この時点でプルトニウム燃料設計および製造技術開発の総合試験として計画された。すなわち確性照射試験と大型 BWR 炉心燃料設計研究の結果を合わせ、粉末機械混合法によるペレット型燃料と、ゲル-粉末混合法ゾルゲル粒の振動充填燃料との 2 種類の燃料集合体を照射することとした。

燃料棒直径および格子間距離は前の燃料設計研究の結果によるもの、および JPDR-II 炉心の直接代替による寸法のものとする。しかしハルデン炉燃料チャンネル寸法の制限から 3×3 小型集合体とした。天然ウランに対するプルトニウム富化率は、将来の高次化同位体を相当量含むものに対して入手可能な ^{239}Pu 90% 含有率のプルトニウムを用いて、将来の大型 BWR で要求される局部最高熱流束をこの試験集合体のピークポイントで実現できるように計画した。

しかしハルデン炉では大量のプルトニウム燃料を照射した経験がなく、したがってプルトニウム同位体ごとの有効断面積も得られていなかった。そこでこの富化率決定のための計算として、ハルデン炉の全炉心を UO_2 から $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$ にした場合の双方について、炉心特性を LASERコードで計算し、局部計算にはブル燃で改良した THERMOSコードを使用し、熱および水力学的計算も実施して、Halden Project 関係者と協議して決定した。

この計算の妥当性と製作した燃料棒の品質均等性の評価のために、一連の TCA における炉物理的実験を実施し、モックアップ試料について水力学的実験も実施した後に、燃料棒および集合体組立部材とともにノールウェーに出荷した。

さらにこれら一連の照射実績評価実測のために、集合体に出力および冷却材挙動の測定の計器を現地で調達し、組立てた。

照射期間はプロジェクトの都合で、今のところ昭和 44 年 12 月までと考えられるので、試料製造、出荷および製荷との関係で、ペレット型では最高 $11,000\text{MWD/T-fuel}$ 振動充填型で最高 $6,000\text{MWD/T-fuel}$ の燃焼率が得られる予定である。これらの燃焼率は商業的軽水炉で要求されるものに比べて低い、今後カプセル照射や他の計画によって高燃焼率試験を期したい。

照射は昭和 44 年 12 月まで続けられ、所要の冷却期間後に解体し、照射済燃料棒を昭和 45 年夏には日本に持帰ることになっている。照射後燃料の試験としては現在まだ詳細な計画が確定していないが、照射前に実施したような燃料炉物理的測定が極めて望ましく、金相的試験は建設中の α -r ラボで実施できると考えている。

燃料炉物理実験および照射については原研から共同研究として、ごく友好的な密接な協力を得た。

また照射について Halden Project の関係から全く同僚としての友情にあふれた協力を
待た。

本計画の中間期で、一応の段階にいたったところであるが、関係者のご協力を厚く感謝し、
今後を期待したい。

2. 燃料設計計算および炉内挙動解析計算

プルトニウム富化燃料の設計および炉内挙動の解析はウラン燃料の設計および炉内挙動の解析の経験にプルトニウム燃料の特殊性を加味して行なわれている。ここでは、まず一般的にプルトニウム燃料の特質およびプルトニウム富化炉心の特性について述べ、ついで実際に製作されたHALDEN159, 160の燃料設計計算および炉内挙動計算について述べる。

(宮脇)

2.1 プルトニウム燃料の特質と原子炉照射

一般的にいて、プルトニウム燃料の核特性はウラン燃料より複雑である。ウラン燃料の場合主として ^{235}U と ^{238}U の2種類の同位元素について考えればよかったが、プルトニウム燃料の場合 ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{242}Pu の4種類の同位元素について計算しなければならない。しかもそれらはそれぞれ異った核的振舞をする。ウランおよびプルトニウムの中性子断面積のエネルギー変化をFig. 2.1.1, 2.1.2に示す。 ^{235}U の核分裂断面積のエネルギー変化は熱エネルギー領域ではほぼ1/2法則に従っているが、 ^{239}Pu , ^{241}Pu の核分裂断面積は0.3 eV附近に大きな共鳴をもち、熱エネルギー領域でもかなり1/2法則からずれている。又断面積の大きさも、プルトニウム燃料の方が大きい。

1 eV 附近に大きな共鳴をもつ ^{240}Pu は fertile poison として興味ある性質をもっている。即ち ^{240}Pu 自身は大きな中性子吸収断面積をもつ毒物として作用するが、中性子を吸収した後は核分裂性物質 ^{241}Pu となる。

そのほか、 ^{239}Pu からの遅発中性子の放出率は ^{235}U の1/3程度しかない等ウラン燃料とプルトニウム燃料の核特性の間にはかなりの違いがあり、それらが原因となってプルトニウム富化燃料の最適化されたデザインパラメーターはウラン燃料の場合と異ったものになる。その主なものをあげれば、次のとおりである。

2.1.1 減速材対燃料原子比

減速材対燃料の原子比は、中性子スペクトルを規定する。先に述べたようにウラン燃料とプルトニウム燃料の断面積のエネルギー変化の仕方がちがうので、当然最適な減速材対燃料の原子比も異ってくる。一般的にいてプルトニウム富化燃料の方がウラン燃料の場合より高い減速材対燃料の原子比のところで増倍率が最高になり、燃料インペントリー、反応度係数等に関して最適化される。

2.1.2 制御材ワース

先に述べたようにプルトニウム燃料の中性子吸収断面積はウラン燃料よりかなり大きいので、制御材に吸収される中性子と燃料に吸収される中性子の比は、プルトニウム富化燃料の方がウラン燃料の場合より小さくなり、制御材の効きが悪くなる。しかも ^{239}Pu からの遅発中性子の放出率が ^{235}U の1/3程度しかなく、プルトニウム富化炉心の制御を困難にしている。

2.1.3 局所出力ピーキング

動力炉の炉心構成は一樣ではなく、一樣性のこわれたところでは出力ピーキングが生じる。先にのべた様にプルトニウム燃料の断面積はウラン燃料の場合よりエネルギー変化が複雑でしかも大きいので、局所出力ピーキングはウラン燃料の場合より更に大きくなる。場合によってはコーナーロッドの富化度を調整した燃料集合体を設計する必要がある。

2.1.4 反応度係数

反応度係数は、減速材対燃料原子比、プルトニウム富化度等によって大きく変る。既存炉にプルトニウム富化燃料を用いる場合は、既存炉の反応度係数に合わせてプルトニウム富化燃料を設計しなければならない。

2.1.5 熱水力的問題

熱水力学からの制限は、燃料最高温度とバーンアウト比である。核設計の面から減速材対燃料の原子比を大きめにする要請があり、しかも熱水力の面から単位集合体あたりの燃料棒表面積が等しくなる様に設計する要請がある。プルトニウム富化燃料を既存炉に装荷する場合は、核設計と熱水力設計の妥協点探しということになる。

2.1.6 その他の問題

核熱水力設計のほかに、プルトニウムの毒性、高次プルトニウムからの放射線等プルトニウム富化燃料製造加工にかなりの問題が存在する。

以上述べた点を考慮してプルトニウム富化燃料の設計および炉内挙動の解析が行なわれ実際にプルトニウム富化燃料が製作されるのであるが、基礎データ、計算法自身にも不確定性があるため、計算の正しさは原子炉照射によって確かめられる。

核計算の正しさは、プルトニウム富化燃料格子又はプルトニウム富化燃料臨界集合体を臨界実験装置内に組みそれらの反応度、出力分布、中性子束分布、スペクトルインデックス等を測定することによって確かめられる。

燃料特性、熱水力、材料設計の確証は、燃料集合体を原子炉内で長期間照射してはじめて得られる。プルトニウム富化燃料に関するこの種のデータは極めて少ない現状である。

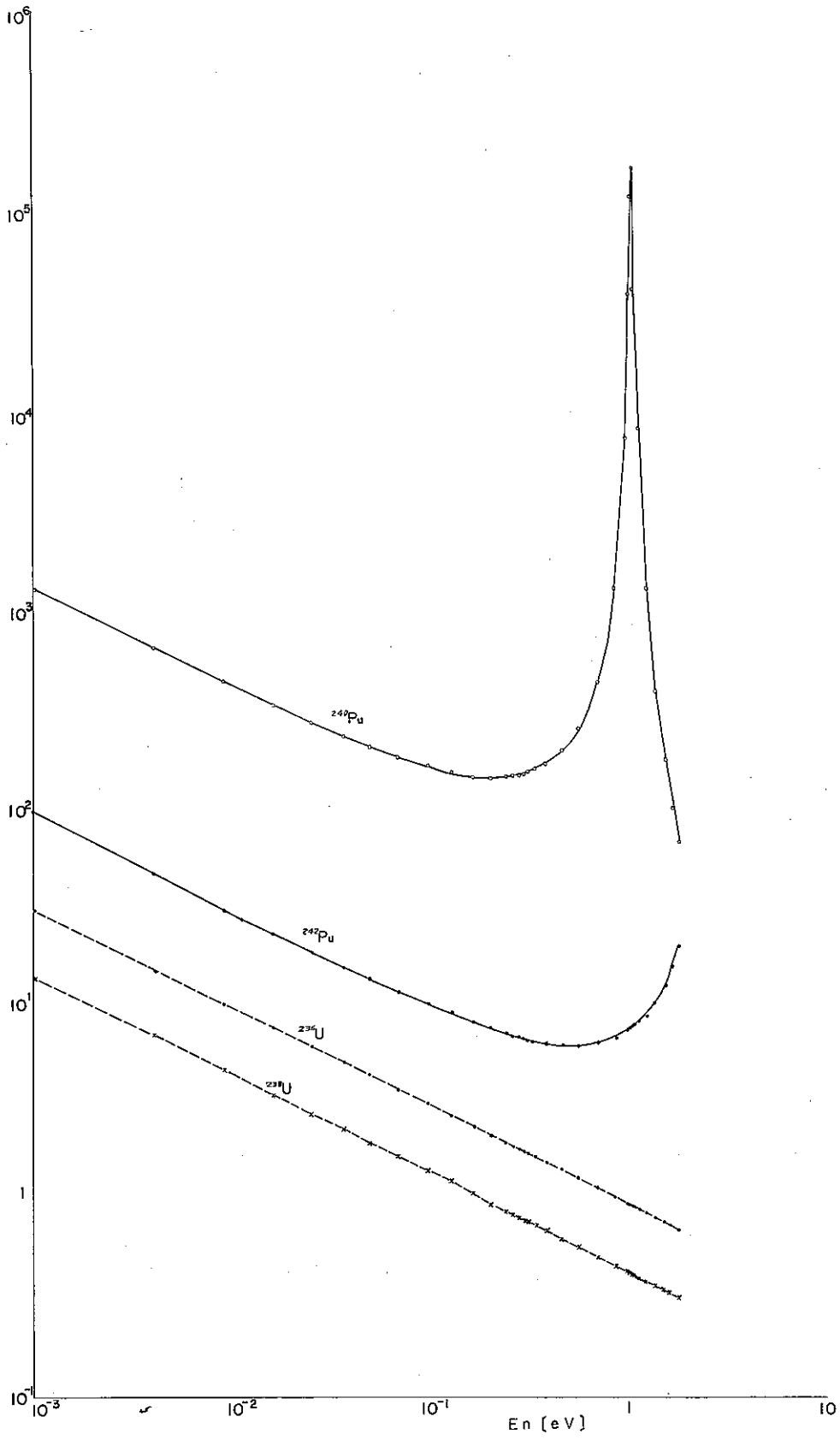


Fig. 2.1.1

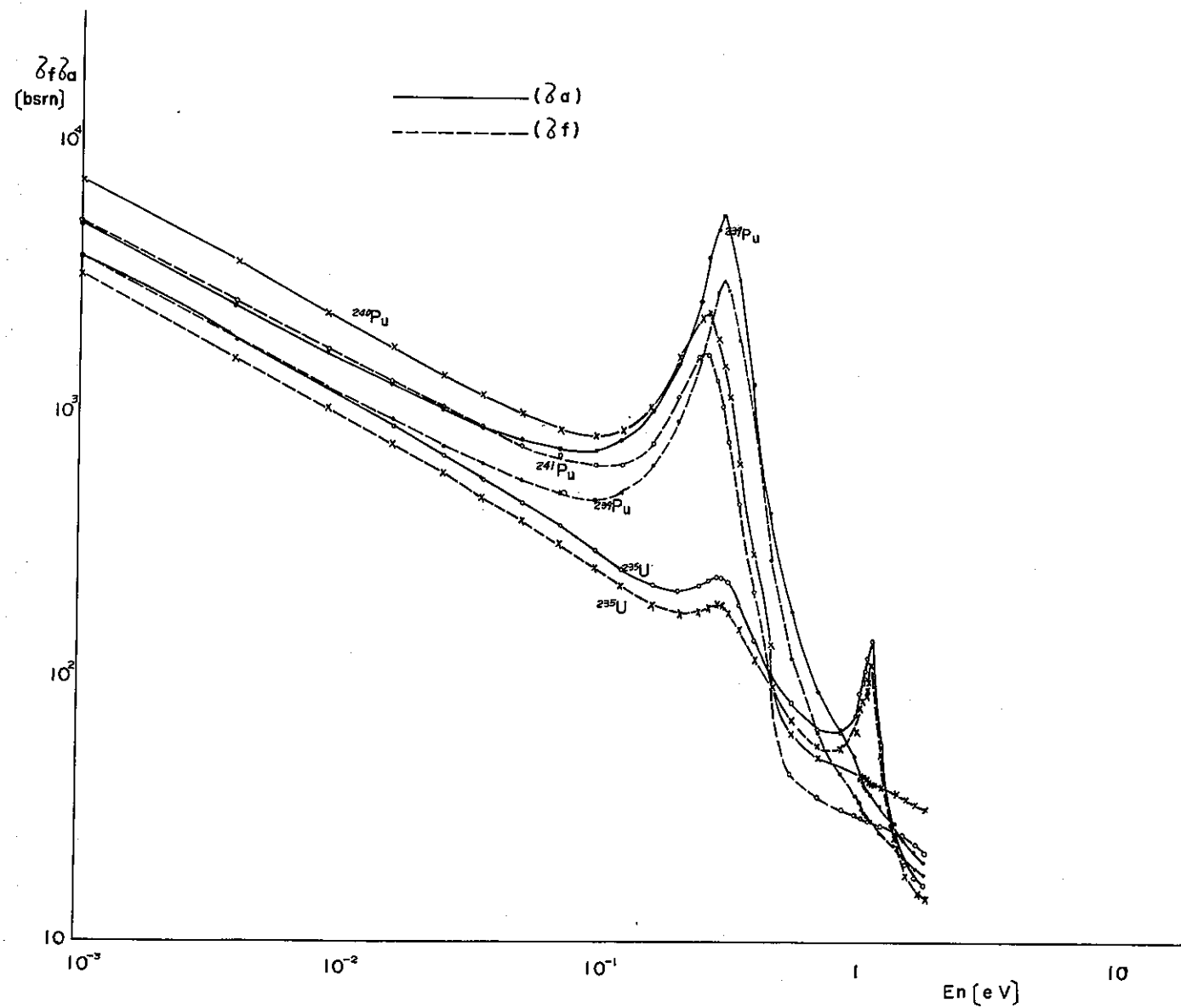


Fig. 2.1.2 断 面 积

2.2 IFA-159に関する設計解析検討

(湯本)

IFA-159の照射集合体燃料の設計として、燃料製造仕様が決定する前段階の、いわゆる燃料形状、PuO₂富化度等の決定をいかに行なったか、また、そのようにして決めた燃料が、HBWR炉心の照射条件に適合するかどうか、さらに希望する燃料の照射特性が得られるかどうか等を、主として計算によって以下に検討した。

2.2.1 設計計算の基準

軽水動力炉にプルトニウム燃料を適用する場合、一般に、直接代替利用法、すなわち、既存の低濃縮ウラン燃料を用いた動力炉に大幅な炉心構造の改造を行なうことなく、低濃縮ウランの代わりに、天然または減損ウラン中にプルトニウムを富化した燃料を、利用することが考えられる。しかし、PuとUとの核特性が異なるため、プルトニウムを効果的に使用するためには、多少の炉心修正を要求される場合も生じてくる。この辺の検討を実例(原電敦賀級BWR)に当てはめて行なってみると、その概念設計計算*からTable 2.2.1のように要約される。

Table 2.2.1 Fuel Design Summary

	Uranium Reference	Plutonium	
Core Power (MWt)	950	950	950
Rod array/assembly	7×7	7×7	8×8
Water/fuel (cold)	2.4	2.4	2.8
Fuel rod o. d. (mm)	14.48	14.48	11.70
Pellet diam. (mm)	12.40	12.40	10.00
Lattice pitch (mm)	18.75	18.75	16.40
Specific power (KW/Kg)	122	122	162
Max. heat flux (W/cm ²)	132	132	125

この表の整理の仕方は、同一到達燃焼度におけるプルトニウム利用を考慮した。炉心修正を全然行わない場合(Pu 7×7格子 Assy 炉心)は、ウラン炉心特性を得るために比較的高いプルトニウムの富化度が必要である。一方、プルトニウムの核特性を考慮した場合

* 植松, 湯本, "商業用軽水動力炉のプルトニウム燃料" AFCPU-REPORT-05, (1966, 10)

(Pu 8×8 格子 Assy. 炉心), すなわち, ウラン炉心よりも高い水対燃料比の炉心ではプルトニウム富化度が少なくてもかかわらず, 熱流束および燃料温度が小さく, 燃料の熱的条件が緩和される。

ハルデン HBWR における集合体照射 (IFA-159) は, 以上の動力炉へのプルトニウム利用に関する概念設計を前提において, Pu 8×8 格子集合体炉心の燃料棒寸法を採用し, かつ, 燃料の熱特性は, ウラン炉心で要求されている最高熱流束 132 W/cm^2 を達成するように設計することとした。

なお, 燃料有効長は, 動力炉 BWR 級で 366 cm, JPDR で 144 cm であること, また, HBWR での制限長さが 170 cm であることから, 140 cm とした。また, 集合体配列は, HBWR では 7 本からなる三角格子であるが, 正方格子で集合体の制限形状 (最大半径 7 cm) に最高本数を入れるように考えて, 3×3 格子とした。従って, ここで決定された照射燃料の設計の前提条件は, 次のようにまとめられる。

1) 燃料集合体

配 列 3 × 3
格子間隔 16.40 mm

2) 燃料棒

燃料有効直径×長さ $10.0 \text{ mm} \phi \times 1400 \text{ mm}$
被覆管外径×肉厚 $11.7 \text{ mm} \phi \times 0.75 \text{ mm}$

3) 熱特性

最高熱流束 約 130 W/cm^2 を達成すること

照射燃料の設計計算を行なう場合, HBWR での照射条件を考慮する必要がある。ハルデンからの照射プロポーザル*によると, 炉心内の照射孔は, Fig. 2.2.1 に示すようにいわゆる HBWR 炉心の燃料集合体を照射用集合体に置替えた Incore irradiation であり出口のボイド率が 90% にも達するような沸騰チャンネルである。図中の数字は熱中性子束の強度比を示すもので, 1.0 が平均中性子束で $3.37 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$ の値をもつ。今後, 一連の設計計算はこの平均中性子の値を使用した。計算に必要な照射条件をプロポーザルから Table 2.2.2 に採集した。冷却水は必要に応じて, 強制対流にすることも可能である。照射燃料集合体のチャンネルボックスの大きさは, ハルデンにおける経験から, 同図に示すような寸法に決めた。

* Proposal for Experimental Operation of HBWR: INSTITUTT for ATOMENERGI, Norway, Jan. 1966

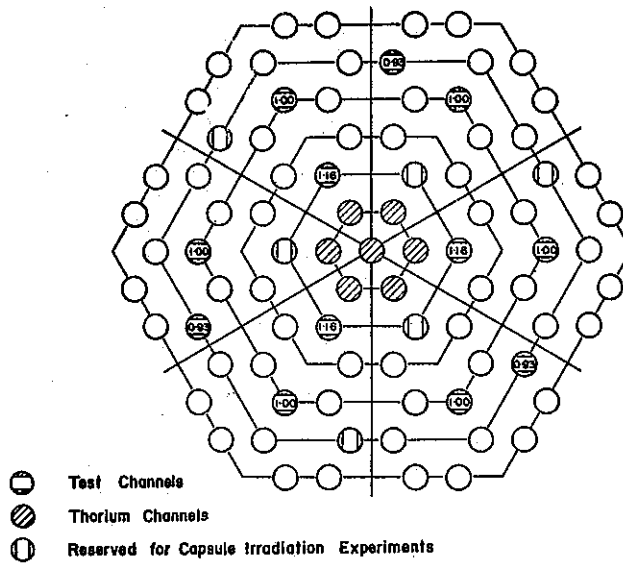
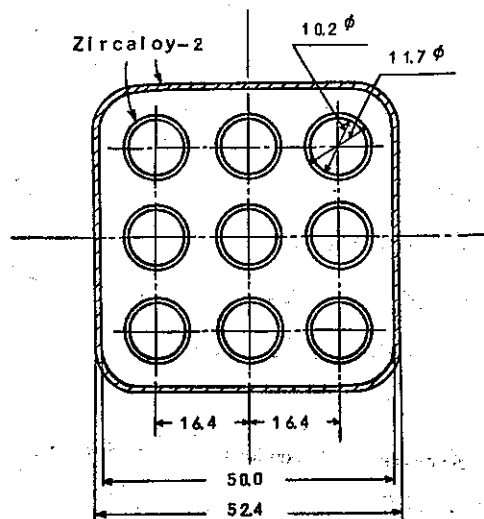


Fig. 2.2.1 Typical Arrangement of Test Fuel Assembly in HBWR Core

Table 2.2.2 Fuel Test Condition in The Boiling Channel at Average Flux Position

- | | |
|---|--|
| 1. Average thermal neutron flux in fuel | 3.37×10^{13} n/cm ² sec. |
| 2. Coolant pressure | 34 ata |
| 3. Coolant saturation temperature | 240°C |
| 4. Feed water return temperature | 236°C |
| 5. Coolant flow condition | Natural circulation |
| 6. Fuel assembly configuration | |



2.2.2 集合体出力とPuO₂ 富化度の関係

IFA-159 の集合体出力 (Channel power) と PuO₂ 富化度との関係を, PuO₂ 富化度の選択のため, 前述の計算基準にもとずいて, 計算した。

a) 集合体出力の計算式

集合体出力は, 次の一般式を用いて計算した。

$$P = \sum_{ij} (K_j \cdot \alpha_{fij} \cdot N_j \cdot \phi_i) \times \frac{\pi}{4} D_p^2 \cdot L \cdot n \quad (2.1)$$

ここに, P : 集合体出力, KW

K : 出力定数, W. sec / fission

σ_f : 中性子核分裂断面積, バーン

N : 核分裂性物質核種の原子数密度, cm⁻³

ϕ : 実効中性子束, n/cm² · sec

D_p : 燃料ペレット直径, mm

L : 燃料有効長, mm

n : 集合体中の燃料本数

添え字, i : 中性子エネルギー群

j : 核分裂性核種

中性子エネルギー群数は, 熱1群, 高速3群の計4群を用いた。核分裂核種は, ²³⁵U, ²³⁸U, ²³⁹Pu, ²⁴⁰Pu, ²⁴¹Pu, ²⁴²Pu の計6種を適用した。出力定数は, ウラン系について 2.95×10^{11} , プルトニウム束について 3.06×10^{11} W · sec / fission の値を使用した。

b) 実効中性子核分裂断面積および原子数密度

IFA-159 の実効中性子核分裂断面積は, 実際の中性子スペクトルを考慮しなければならぬが, 3次元の問題となるので, 今回は複雑さをさけて, IFA-159 の無限1領域炉心における中性子スペクトルとしての実効断面積を LEOPARD* コードにより求めた。PuO₂ 富化度を 1.6 W/O から 2.8 W/O まで変えて行なったが, ほとんど変化は認められなかった。結果を Table 2.2.3 に示す。

* R. F. Barry "LEOPARD-A Spectrum Dependent Non-Spatial Depletion Code for the IBM-7094." Sep. 1963

Table 2.2.3 Microscopic Fission Cross Section (barns)

	Group I	Group II	Group III	Thermal group
U-235	1.118	1.914	25.26	340.9
U-238	0.3276	0	0	0
Pu-239	1.897	1.979	29.95	707.2
Pu-240	1.581	0.1635	0.178	0.0215
Pu-241	1.724	3.230	5.617	81.69
Pu-242	1.412	0.092	0.0387	0

IFA-159 の核燃料物質核種の原子数密度を Table 2.2.4 に、PuO₂ 富化度の関数として示す。

Table 2.2.4 Number Density of Mixed Oxide Fuel ($\times 10^{24}/\text{cm}^3$)

	1.6W/OPuO ₂	2.0W/OPuO ₂	2.4W/OPuO ₂	2.8W/OPuO ₂
U-235	1.583×10^{-4}	1.577×10^{-4}	1.571×10^{-4}	1.565×10^{-4}
U-238	2.246×10^{-2}	2.237×10^{-2}	2.228×10^{-2}	2.220×10^{-2}
Pu-239	3.341×10^{-4}	4.193×10^{-4}	5.023×10^{-4}	5.853×10^{-4}
Pu-240	2.885×10^{-5}	3.621×10^{-5}	4.337×10^{-5}	5.054×10^{-5}
Pu-241	2.855×10^{-6}	3.582×10^{-6}	4.291×10^{-6}	5.00×10^{-6}
Pu-242	1.281×10^{-7}	1.607×10^{-7}	1.926×10^{-7}	2.244×10^{-7}

c) 中性子束および熱中性子束の歪率 (Depression factor)

照射燃料に寄与する中性子束は、大部分がウラン燃料で形成される HBWR 炉心に依存するもので、2.4W/O 濃縮ウラン HBWR 炉心として計算された LEOPARD の結果から、その熱中性子束を 1.0 に規格化して、他の 3 群の中性子束比を求め、Table 2.2.5 に示した。

なお、熱中性子束の値は、計算条件で与えた $3.37 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ を用いた。この値は HBWR 炉心における平均中性子束の位置での燃料中の実効平均熱中性束を与えている。従って、ウラン燃料とプルトニウム燃料とでは、中性子の歪率は異なるので、HBWR 炉心ウラン燃料、並びに IFA-159 燃料について、熱中性子の歪率を THERMOS コードを使用して求めた。IFA-159 燃料については、PuO₂ 富化度をパラメータとして計算した。

結果を Table 2.2.5 に示す。

Table 2.2.5 Neutron Flux Ratio and Depression Factor Ratio

	Neutron flux ratio (energy-wise)			Thermal neutron flux depression factor ratio*
	ϕ_1 / ϕ_{th}	ϕ_2 / ϕ_{th}	ϕ_3 / ϕ_{th}	
HBWR fuel 2.4W/OU-235	0.116	0.381	0.581	1.0
IFA-159				
1.6W/OPuO ₂	0.116	0.381	0.581	0.876
2.0W/OPuO ₂	0.116	0.381	0.581	0.828
2.4W/OPuO ₂	0.116	0.381	0.581	0.787
2.8W/OPuO ₃	0.116	0.381	0.581	0.752

* : $(\phi_{PuO_2} / \phi_{HBWR})_{thermal}$

b) 集合体出力

以上の種々の定数と式(2.1)とから、IFA-159の集合体出力は、PuO₂富化度の関数としてFig.2.2.2のように示される。同図には、平均中性子束照射孔に入れた場合と、Fig.2.2.1に示す1.13倍の中性子束照射孔に入れた場合との集合体出力を合わせて示した。

PuO₂の富化度は、次のように決められた。すなわち、最高熱流束約130W/cm²を達成するには、出力ピーキング因子を1.706(後述)に推定すると、集合体出力は350KWにしなければならないことになり、次いで、Fig.2.2.2から350KWを得るには、IFA-159のPuO₂富化度を約2.5W/Oにする必要が生じた。

また、集合体出力と燃料棒出力との関係をFig.2.2.3に図示した。

2.2.3 出力ピーキング因子

IFA-159の出力ピーキング因子は、次のようなものが考えられる。

- 1) 集合体内半径方向ピーキング因子
- 2) 集合体内軸方向ピーキング因子
- 3) Puの含有量のばらつきによるホットスポット因子
- 4) HBWR炉心の過出力因子

以下それぞれについて検討を行なう。

1) 集合体内半径方向ピーキング因子

このピーキング因子は、主として、3×3集合体内に形成される半径方向の熱中性子束分布に依存するもので、経験上コーナーの燃料棒が出力ピーキングを生ずることにな

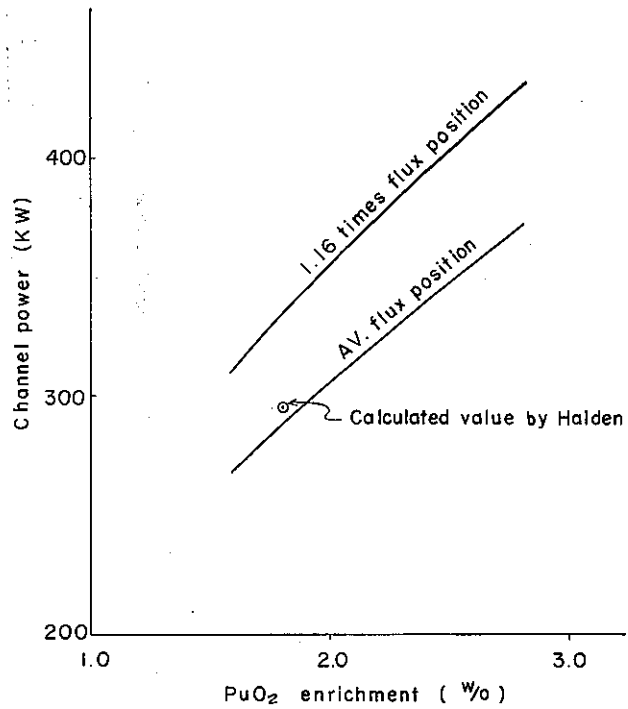


Fig. 2.2.2 Calculated Channel Power of IFA-159

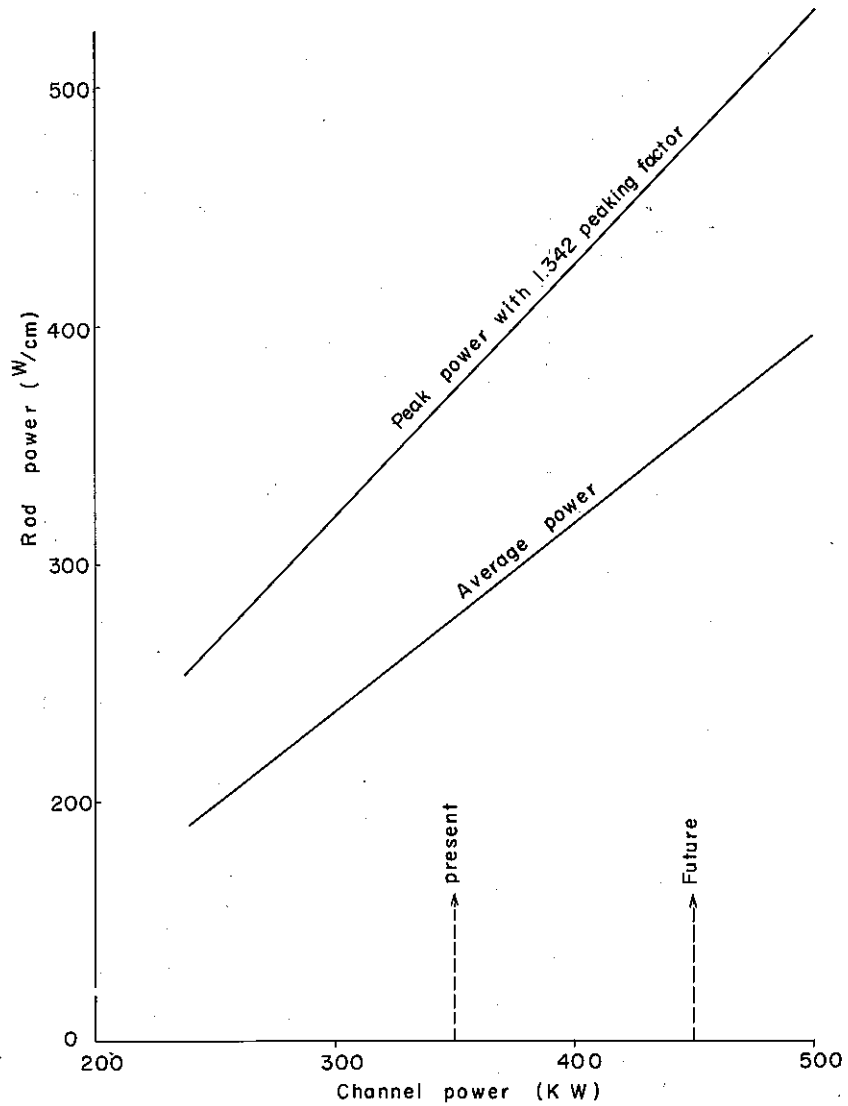


Fig. 2.2.3 Rod Power vs. Channel Power of IFA-159

る。この因子は THERMOS コードを適用して、円筒化近似法により求めた。すなわち Fig. 2.2.4 に示すように、 3×3 集合体を等体積の多重円環状におき替え、1次元の問題として計算した。THERMOS により得られた熱中性子束分布の1例を同図に示す。これらの計算から、半径方向ピーキング因子は 1.165 の値が得られた。この因子の計算値は第5章に記される TCA において確認実験が行なわれた。

2) 集合体内軸方向ピーキング因子

この因子は、主として軸方向の熱中性子束分布に依存するもので、それも燃料の有効長によって変化する。HBWR 炉心では、プロポーザルによると有効長 170 cm で 1.27 を与えるものと記している。IFA-159 の場合は、この値よりも大きく変化するものと考えられないがウランとプルトニウムの相異があるので、計算によって検討した。計算は3次元拡散コードの FLARE を使用した。FLARE は正方格子用計算として作成されており、HBWR 炉心は六角格子であり、その変換は等体積として扱った。計算は、最初、全炉心が HBWR 用燃料を配置した場合について中性子束分布を計算し、平均中性子束チャンネルを求め、つぎに、そのチャンネル位置に IFA-159 が挿入された場合につき計算を行ない、ウラン燃料チャンネルとの出力分布比から、軸方向ピーキング因子が求められた。この計算では IFA-159 の燃料有効長をウラン燃料と同一長さの 170 cm (実際は 140 cm) にした。これは安全側の評価である。Fig. 2.2.5 に、以上の計算で得られた各チャンネル毎の平均中性子束比を示す。図中の数値は、上側が全炉心ウラン燃料の場合であり、下側の値は、斜線で示した燃料チャンネルに IFA-159 を装荷した場合の値である。軸方向出力分布をウラン燃料集合体および IFA-159 について Fig. 2.2.6 に示す。FLARE 計算結果の検討から、IFA-159 の軸方向ピーキング因子は 1.28 であると推定された。なお、FLARE に用いられた核定数は LEOPARD の計算値を適用した。

3) ホットスポット因子

ここで扱うホットスポット因子は、燃料製造時に与えられる仕様にもとづくもので、Pu の含有量のばらつきに影響を与える要因である。その要因は、下記に示すものが考えられ、それぞれの許容公差からばらつきの程度が予想される。

	ホットスポット因子
a) ペレット密度 ($94.0 \pm 1.5\%$ T. D)	1.016
b) PuO_2 富化度 ($2.5 \pm 0.1\text{W}/\text{OPuO}_2$)	1.01
c) ペレット直径 (10.0 ± 0.05 mm)	1.01

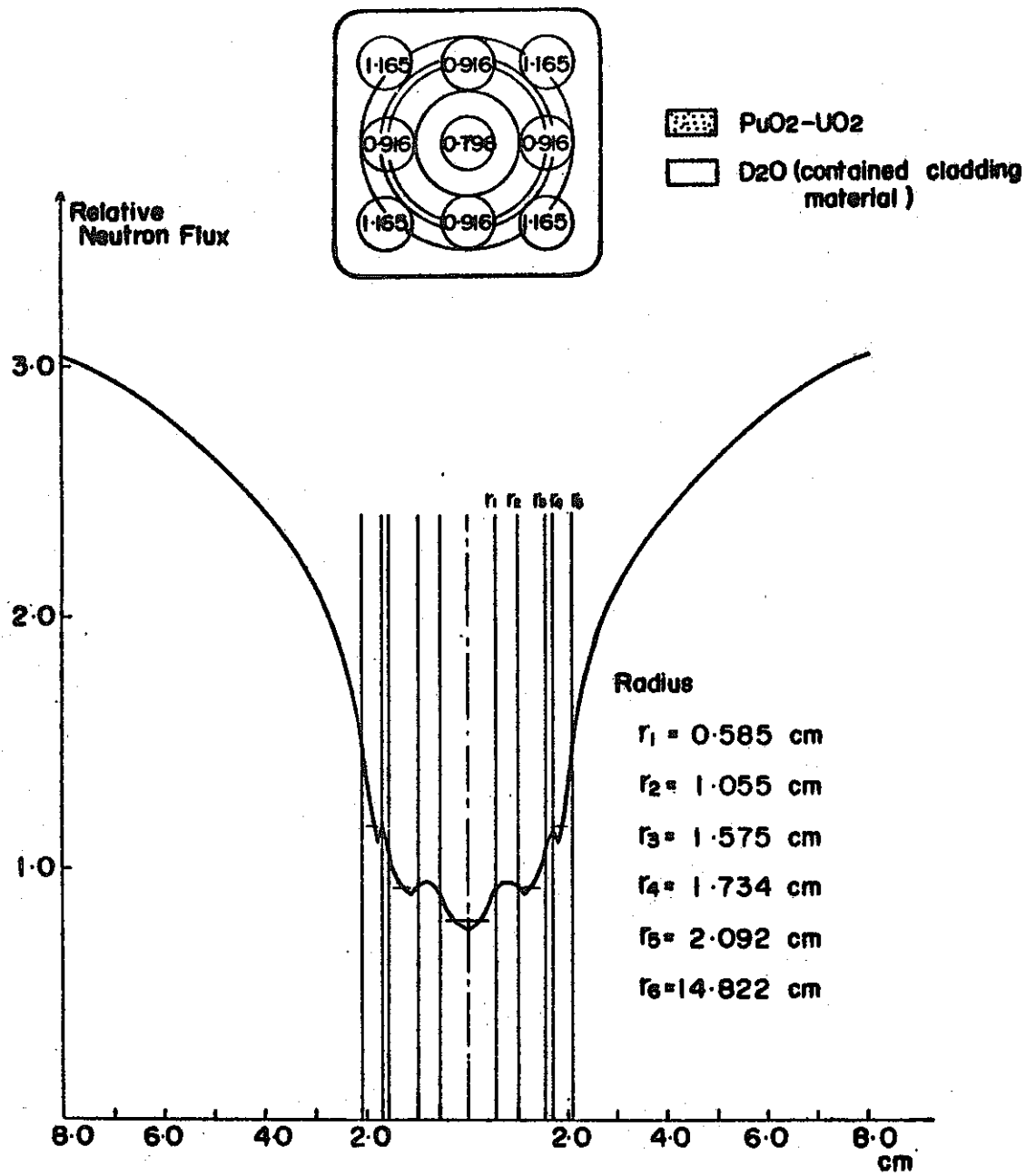


Fig. 2.2.4 Thermal Neutron Flux Distribution in PuO₂-UO₂ Fuel Assembly

Note:

A → HBWR standard core
 B → UO₂-PuO₂ Fuel Assembly Loaded in One of The Av. Flux Channel
 a Channel with Oblique Lines is One Average Flux Channel

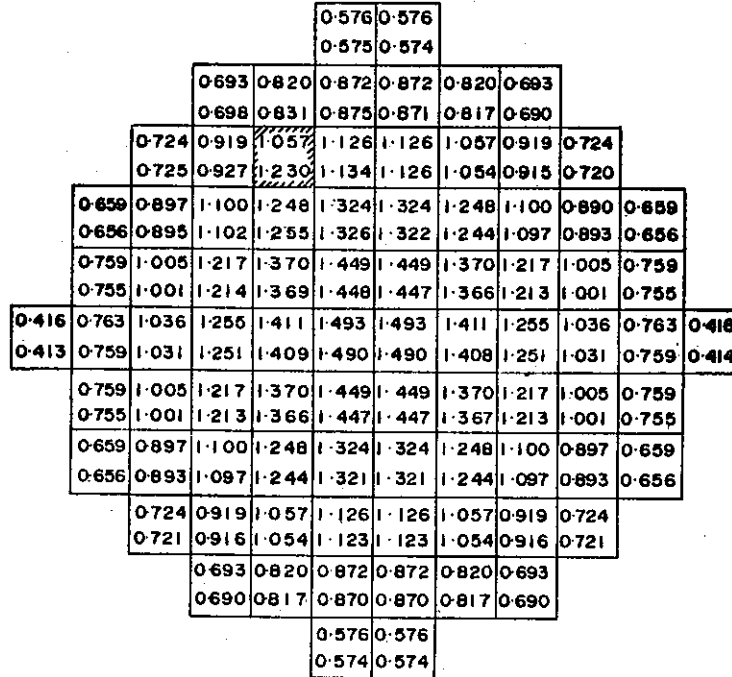


Fig. 2.2.5 Relative Flux Distribution of HBWR Core with a UO₂-PuO₂ Fuel Assembly in The Av. Flux Channel

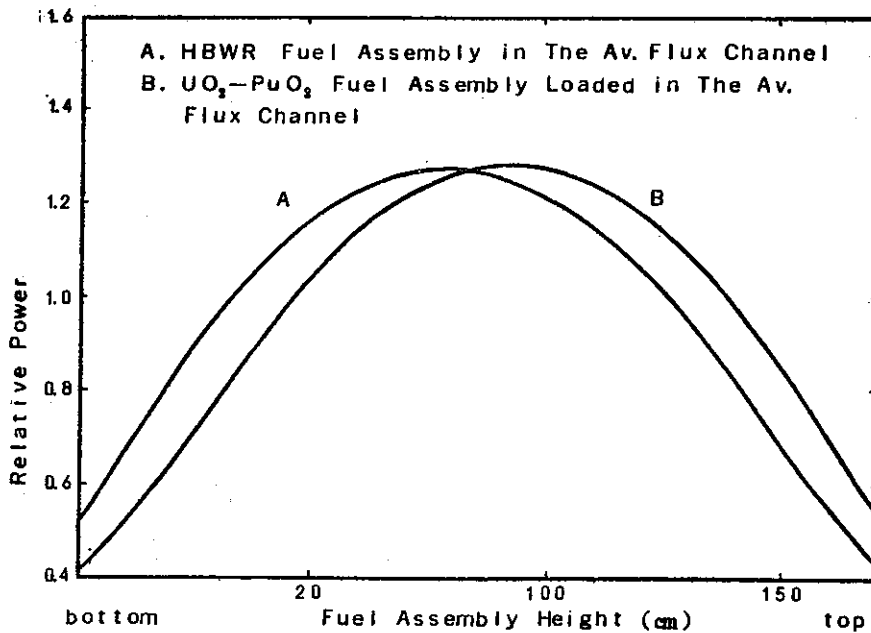


Fig. 2.2.6 Axial Power Distribution in The Average Flux Channel of HBWR Core

これらから、全ホットスポット因子は1.04が計算される。この因子は、製造されたペレットを無作為に充填した場合に適用されるもので、ペレット配列を特に考慮して、ホットスポットをより少なくすることも可能である。

4) HBWR 炉心の過出力因子

HBWR 炉心が過出力状態になった場合、当然その炉心に装荷されたIFA-159も出力が増えることが予想されるので、この因子も考慮することにした。ハルデンのプロポーザルによると、定格出力が25MWで運転され、過出力の可能性は115%であると指示している。しかし、その後の情報交換により110%に抑えることが可能であることから、IFA-159の過出力因子を110%にした。

従って、以上の検討から、IFA-159の出力全ピーキング因子は、次のようにまとめられる。

a) 半径方向ピーキング因子	1.165
b) 軸方向ピーキング因子	1.28
c) ホットスポット因子	1.04
d) 過出力因子	1.10
全ピーキング因子	1.706

2.2.4 温度分布計算

IFA-159の燃料棒の温度分布は、下記の計算式および定数を用いて計算した。冷却材温度は240°Cとする。

1) ジルカロイ-2被覆管表面温度 (Tcs)

冷却材と被覆管との温度差は、沸騰チャンネルを考慮して、Jens-Lottesの計算式を採用した。

$$\Delta T_{\text{film}} = 7.93 (q)^{1/4} \cdot \exp(-P/61.2) \quad (2.2)$$

$$T_{\text{cs}} = \Delta T_{\text{film}} + T_{\text{cool}} \quad (2.3)$$

ここに、 ΔT_{film} : 冷却材と被覆管との温度差, °C

T_{cool} : 冷却材温度, (240°C)

q : 熱流束, W/cm²

P : 冷却材圧力, (34 atm)

2) ジルカロイ-2被覆管内面温度, (Tci)

$$\Delta T_{\text{clad}} = \frac{q}{2K_c} \cdot D_{\text{in}} \left(\frac{D}{D-2t} \right) \quad (2.4)$$

$$T_{\text{ci}} = \Delta T_{\text{clad}} + T_{\text{cs}} \quad (2.5)$$

ここに、 ΔT_{clad} : 被覆管間の温度差, °C

D : 被覆管外径, (1.17 cm)

K_c : ジルカロイ-2の熱伝導率, (8 BTU/hr·ft·F=0.1384 W/cm°C)

t : 被覆管の肉厚, (0.75 mm)

3) ペレット表面温度, (T_{fs})

被覆管内面とペレット表面のギャップ温度は次式により計算した。

$$\Delta T_{\text{gap}} = \frac{q}{h} \cdot \frac{D}{D-2t} \quad (2.6)$$

$$T_{\text{fs}} = \Delta T_{\text{gap}} + T_{\text{ci}} \quad (2.7)$$

ここに、 ΔT_{gap} : ギャップ温度差

h : ギャップ熱伝達係数, (1000 BTU/hr·ft·F=0.5678 W/cm²·°C)

4) 燃料中心温度 (T_{fc})

燃料の中心温度は、熱伝導率を Lyon の計算から求め、その上、発熱分布がベッセルの I_0 関数として扱った。

$$K(T) = (1 - \alpha p) \cdot \left[\frac{38.24}{T+129.4} + 4.788 \times 10^{-13} \cdot T^3 \right] \quad (2.8)$$

$$\int_{T_{\text{fs}}}^{T_{\text{fc}}} K(T) dT = \frac{q \cdot D}{4} \left[\frac{I_0(r_0/L) - I_0(r/L)}{1/2 \cdot r_0/L \times I_1(r_0/L)} \right] \quad (2.9)$$

ここに、 T : 燃料温度, °K

α : 定数, ($\alpha=2.5$)

p : 燃料ポロシティ, ($\rho_{95} - \rho$) / ρ_{95}

r_0 : ペレット半径, (0.5 cm)

r : 燃料中心からの距離, cm

L : 拡散距離 (0.555 cm THERMOS より計算)

I_0, I_1 : 零次および1次の変形ベッセル関数

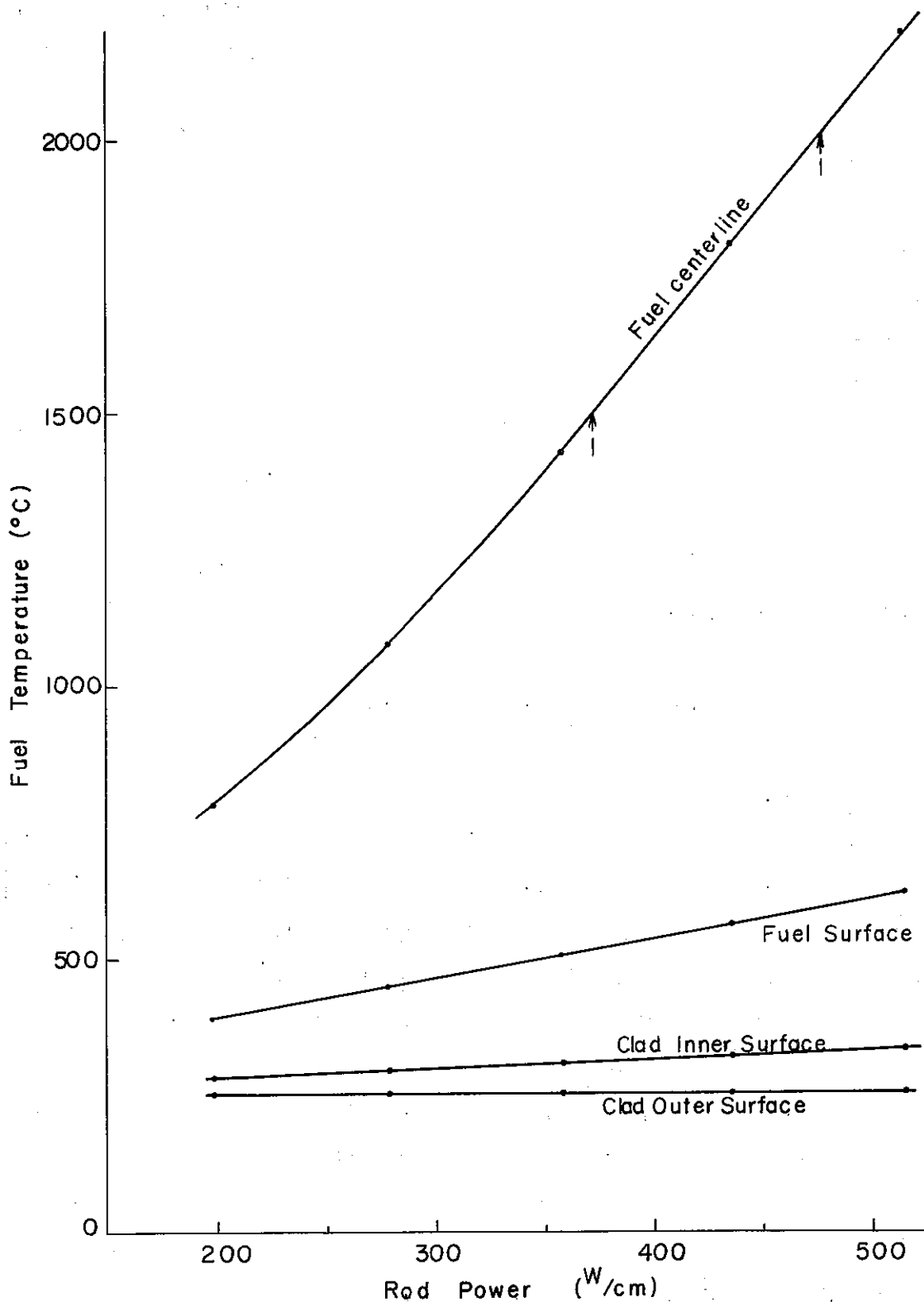


Fig. 2.2.7 Fuel Temperature Distribution of IFA-159

以上の計算式にもとずき、FACOM-230-10用にコード化して(TENPコード)、燃料温度分布をIFA-159の燃料棒出力の関数として計算した。結果をFig. 2.2.7に示す。IFA-159の集合体出力が350KWで、出力ピーキング因子が1.706の場合、Fig. 2.2.3から、燃料棒出力は約478W/cmに相当するので、燃料の最高中心温度はおおよそ2020°Cになる。この温度は、熔融温度(約2800°C)までにかなり余裕がある。

2.2.5 バーンアウト熱流束

燃料の温度分布とともに重要な設計検討の1つとして、バーンアウト熱流束に関する集合体の熱水力計算を行ない、最小バーンアウト比を求める必要がある。バーンアウトとは被覆管の表面温度が冷却材の沸点を超えると沸騰現象を生ずるが、熱流束が大きくなると膜沸騰に転じて燃料被覆管は高温となり焼損することをいう。その安全率を含む設計目標値である最小バーンアウト比の値は、現在の沸騰水型動力炉において、1.5(過出力因子を含む場合)、または1.9(定常運転としての基準)である。今回の照射燃料の設計では1.5を目標とした。

このバーンアウト比は、集合体の形状、冷却材流量、出力分布、および熱流束等に依存するもので、Janssen & Levyの計算式を適用したBOLEROコードによって、計算を行なった。計算は、自然循環流量を基礎として、集合体出力をパラメータに行なった。計算に使用した種々の定数をTable 2.2.6に示す。形状によるホットチャンネル因子は、HECTIC-IIコードにより求め、また、軸方向出力分布は、Fig. 2.2.6に示されるFLAREコードの計算結果を用いた。HBWR炉心をはじめ、一般の沸騰水炉は、軸方向中心から下に凸の出力分布を形成するものであるが、制御棒の位置または燃焼の進行に伴ない、上に凸の状態が生じないとは限らない。一方、バーンアウトは、上に凸の分布の場合が厳しい条件となるので、Fig. 2.2.6に示すやや上に凸の分布を使用することにした。

BOLEROコードの結果は、熱流束、蒸気含有率、およびバーンアウト比等について、軸方向の分布として示される。IFA-159の最小バーンアウト比の計算結果を、Fig. 2.2.8に集合体出力の関数として示した。Haldenによって行なわれた計算値も比較のため同図に示した。IFA-159の照射条件である350KWでは、両者の計算とも設計限界に近いが、それぞれ、1.55および1.65となり、自然循環流量で照射を行なえるものと考えた。これから分るように、今回の照射条件で最も厳しい条件となるのは、中心温度よりむしろこのバーンアウト熱流束にありそうである。Fig. 2.2.9に、出口蒸気含有

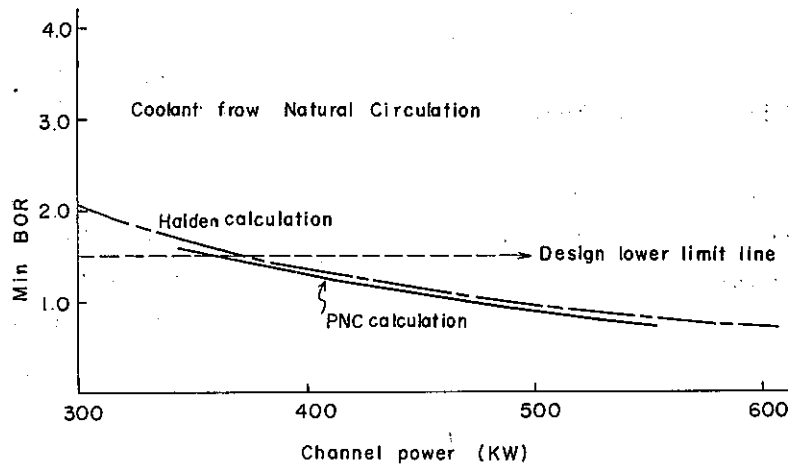


Fig. 2.2.8 Minimum Burnout Evaluation of IFA-159

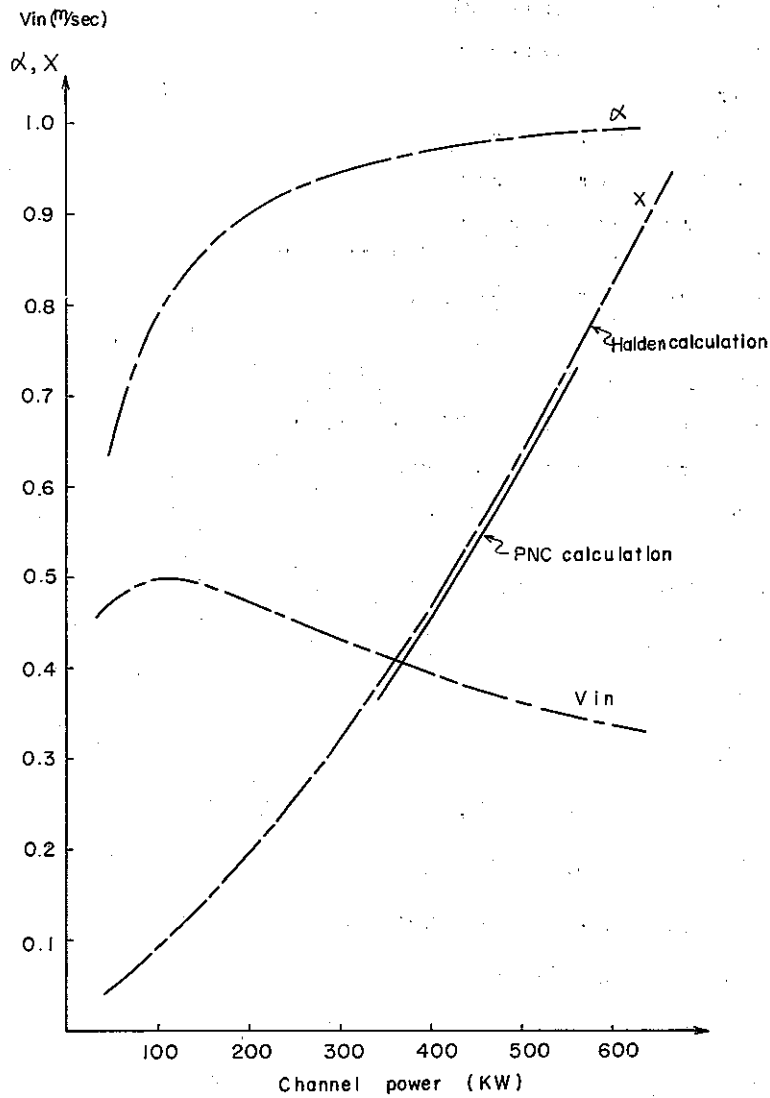


Fig. 2.2.9 Irradiation Conditions of IFA-159

Table 2.2.6 Thermo Hydraulic Parameters Used

1. Channel parameters		
1) Channel power, KW	200, 300, 400, 500, 600	
2) Channel flow, cm/sec	natural circulation	
	43.7	at 200 KW. C.P.
	41.6	300
	39.7	400
	35.6	500
	31.9	600
3) Coolant pressure, ata	34	
4) Inlet enthalpy, Kcal/Kg	235.5	
5) Saturated liquid enthalpy, Kcal/Kg	241.1	
6) Latent heat of vaporization, Kcal/Kg	382.3	
7) Vapor to liquid density ratio	0.0213	
2. Local hot spot factor		
1) Radial power factor	1.17	
2) Geometry hot factor	1.30	
	(Calculated by the HECTIO-11 code)	
3. Channel geometry parameters		
	<u>Design G.</u>	<u>Spacer G.</u>
1) Coolant flow area, cm ²	15.02	12.11
2) Channel equivalent diameter, cm	1.56	0.698
3) Heat transfer area, cm ²	4629	4629
4) Channel heated length, cm	140	140

率を、また合わせてハルデンによって得られた冷却材入口流速（自然循環時、 V_{in} ）、出口蒸気含有率（ X ）および出口ボイド率（ α ）に関する情報を示した。

2.2.6 被覆管の強度計算

燃料被覆管は全照射期間を通して、冷却水圧力による外圧、核分裂生成物等による内圧、および被覆管の温度差による熱応力等の荷重に対して安全であるように設計する必要がある。全照射期間を通じ、設計の対象となる条件は、炉定常運転時および冷却材圧力喪失時が考えられ、解析はその各々について行なった。解析条件は次のとおりである。

- a) 燃料棒最大熱流束 $130\text{W}/\text{cm}^2$
- b) 冷却水設計圧力 $35.1\text{kg}/\text{cm}^2$
- c) 被覆管、最小肉厚 $0.75-0.075=0.675\text{mm}$

オバリティ, $(D_i + 0.05) - (D_i - 0.05) = 0.10 \text{ mm}$

d) プレナム容積 5.74 cc

1) 冷却水圧による外圧応力

接線方向応力 (σ_t)

$$\sigma_t = \frac{PD}{2t} \left[1 + \frac{2/3 \cdot \omega/t}{(1 - P/P_{cr})} \right] \quad (2.6)$$

$$P_{cr} = \frac{E}{4(1 - \nu^2)} \cdot (t/R_m)^3 \quad (2.7)$$

軸方向応力 (σ_z)

$$\sigma_z = \frac{PD}{4t}$$

半径方向応力 (σ_r)

$$\sigma_r = P, \quad P = P_c - P_i \quad (2.9)$$

ここに, P_c : 冷却材圧力, (35.1 kg/cm²)

P_{cr} : 外圧による危険圧力, kg/cm²

P_i : 被覆管内圧, kg/cm²

ω : 被覆管オバリティ, (0.1 mm)

E : 被覆管ヤング率, (8×10^5 kg/cm²)

ν : ポアソン比 (0.42)

D : 被覆管外径 (1.17)

R_m : 被覆管平均半径 (0.5475 cm)

t : 被覆管最小肉厚 (0.0675 cm)

2) 内圧による応力

接線方向応力

$$\sigma_t = \frac{P \cdot D_i}{2t} \quad (2.10)$$

軸方向応力

$$\sigma_z = \frac{P \cdot D_i}{4t} \quad (2.11)$$

ここに、 D_i は被覆管内径である。

半径方向応力については、(2.9)式に同じであり被覆管内圧は、下記のような式から求めた。

$$P_i = P_o \times \frac{V_i}{V_p} \times \frac{T_g}{T_o} \quad (2.13)$$

$$V_i = V_a + V_{He} + V_{fp} \quad (2.14)$$

ここに、 P_o : 標準状態時の圧力 (1.0332 kg/cm²)

T_o : 標準状態時の温度 (273 °K)

T_p : 燃料プレナムガスの温度 °K

V_p : 燃料プレナム体積 (5.74 cc)

V_i : 標準状態時における燃料被覆管内の全ガス体積 cc

V_a : 燃料中の H₂O および吸着ガス, (0.2 cc/g)

燃料 1 本中のガス量 = 0.2 cc/g × 1133g/rod = 226.6 g

V_{He} : プレナム中のヘリウム体積 (5.74 cc)

V_{fp} : ガス状核分裂生成物の体積 cc

ガス状核分裂生成物の量は、燃料燃焼度に依存するもので、核分裂収率を 30% に仮定すると、その生成量は 1MWD 当り 30 cc に相当する。また、ガス状核分裂生成物のペレット中からプレナム部への漏洩率は 50% として扱った。

プレナム中のガス温度は、次式から求めた。

$$T_g = \frac{1/2(T_p + T_c) + 2T_c(\ell/D_i)}{1 + 2(\ell/D_i)} \quad (2.15)$$

$$T_p = \frac{T_{pc} + T_{ps}}{2}, \quad T_c = \frac{T_{cp} + T_{ce}}{2} \quad (2.16)$$

ここに、 T_p : プレナム隣接ペレット表面の平均温度 °C

T_c : プレナム部の被覆管内表面の平均温度, °C

T_{pc} : プレナム隣接ペレットの中心温度, °C

T_{ps} : プレナム隣接ペレットの表面温度, °C

T_{cp} : ペレット側の被覆管内面温度, °C

T_{ce} : 端栓側の被覆管内面温度, °C

IFA-159のこれらの温度は, BOLEROによって得られた軸方向熱流束分布からブレンラム側の温度を求めた。その結果, T_p および T_c はそれぞれ, 741°C, 270°Cとなり, ピーク燃料棒の T_g は約284°Cであった。

以上の計算による検討から, 応力は外圧によるよりも, むしろ内圧によるものが厳しく, かつ, 接線方向の応力が最大となる。従って, 燃焼度の関数として, 内圧および接線方向の応力の計算結果を次に示す。

燃 焼 度 (MWD/T)	最 大 内 圧 (kg / cm ²)	最大接線応力 (kg/cm ²)	
		通常運転時	冷却材喪失時
初期照射時	85.3	379	645
5000	117	615	880
9000	141.	801	1066
12000	160.	945	1210
15000	179.	1087.	1352

3) 熱応力 (σ_{th})

被覆管内外温度差に伴う熱応力は次式で求めた。

$$\sigma_{th} = \frac{\alpha \cdot E \cdot \Delta T}{2(1-\nu)} \quad (2.17)$$

ここに, α : 被覆管の熱膨張係数, ($6.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$)

ΔT : 被覆管内外面間の温度差, °C (式 2.4)

ピーク燃料棒における計算結果は, $351 \text{ kg} / \text{cm}^2$ であった。

疲労強度, いわゆる, 2) で検討した膜応力にさらに被覆管厚さ方向の熱応力を加算した最高全応力は, Fig. 2.2.10に, 燃焼度の関数として示される。ジルカロイ-2の耐力は, 高温時で約 24 kg/mm^2 が予想されるので, 被覆管強度は十分である。なお, 一般に用いられる応力に関する次の設計基準も十分満足している。

$$\frac{\sigma_{th}}{4} + \sigma_p < \sigma_y \quad (2.18)$$

$$\sigma_{th} < 2\sigma_y \quad (2.19)$$

$$\sigma_p < \frac{3}{4} \sigma_y \quad (2.20)$$

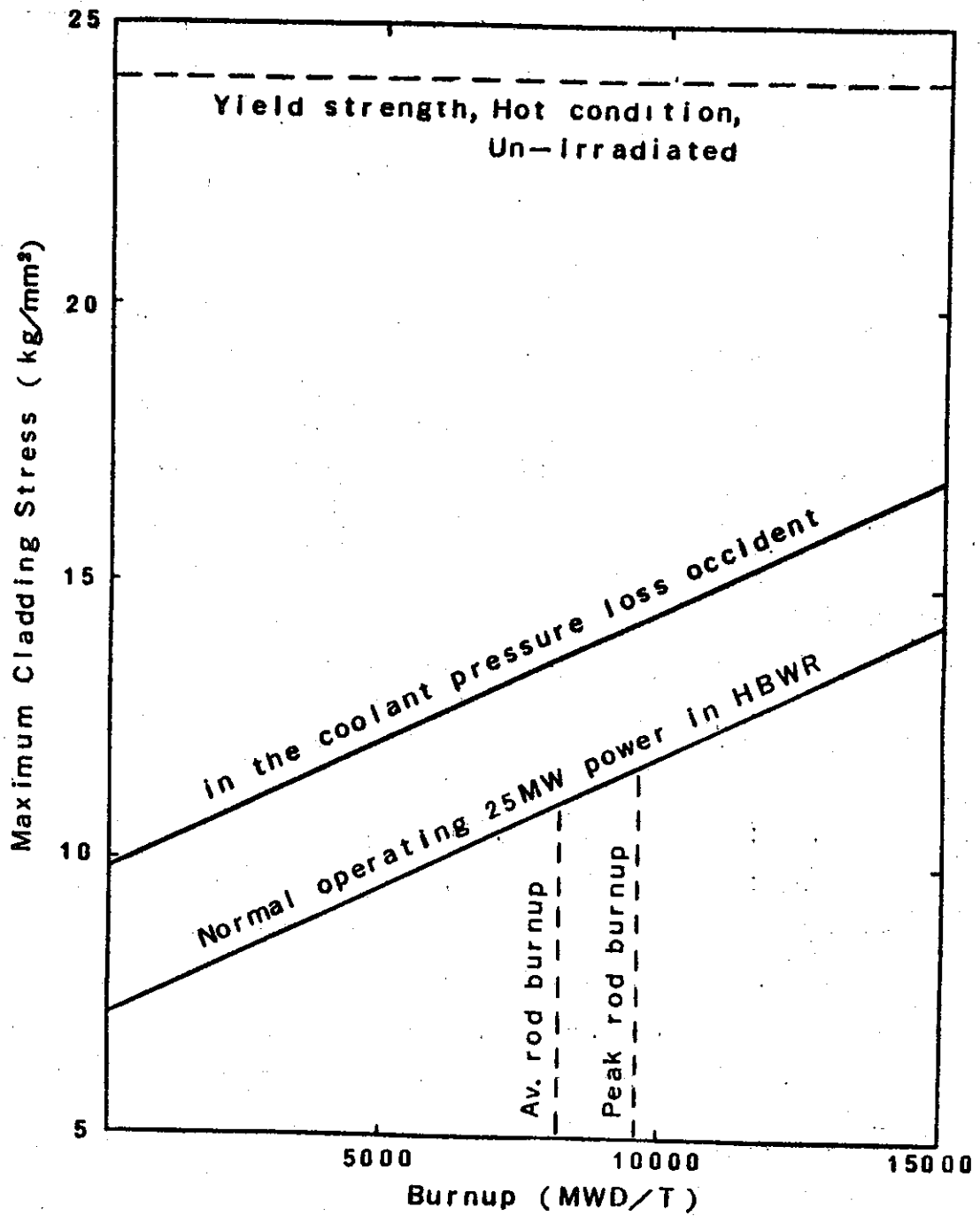


Fig. 2.2.10 Maximum Cladding Stress of Test Fuel Assembly

その他、クリープ強度等について検討すべきであるが、照射期間がそれほど長くないこと、また、今までの設計検討の経験から十分であると考えられる。

2.2.7 燃焼度計算

IFA-159のHBWRにおける燃焼度は、次式の修正1群の燃焼度方程式から求めた。照射であることから、中性子束が照射を通じ一定として扱った。

$$B.U. = K_{25} \cdot N_F(25) + K_{49} \cdot N_F(49) \quad (2.21)$$

$$dN_F(25)/dt = \frac{\sigma_{25} \phi}{1 + \alpha_{25}} N_{25} \quad (2.22)$$

$$dN_F(49)/dt = \frac{\sigma_{49} \phi}{1 + \alpha_{49}} N_{49} \quad (2.23)$$

この解は、次のようになる。

$$N_F(25) = \frac{N_{25}^0}{1 + \alpha_{25}} (1 - e^{-\sigma_{25} \phi t}) \quad (2.24)$$

$$N_F(49) = \frac{\sigma_{49}}{1 + \alpha_{49}} \left[C_1 \phi t + \frac{C_2}{\sigma_{25}} (1 - e^{-\sigma_{25} \phi t}) + \frac{(N_{49}^0 - C_1 - C_2)}{\sigma_{49} \tau} \times (1 - e^{-\sigma_{49} \tau \phi t}) \right] \quad (2.25)$$

$$C_1 = \frac{N_{28}^0 \sigma_{28}}{\sigma_{49} \tau - \sigma_{28}} \cdot e^{-\sigma_{28} \phi t} \approx \frac{N_{28}^0 \sigma_{28}}{\sigma_{49} \tau} \quad (2.26)$$

$$C_2 = \frac{N_{25}^0 \sigma_{25} \gamma_{25} \epsilon P_1 (1 - P_{28})}{\sigma_{49} \tau - \sigma_{25}} \quad (2.27)$$

$$\tau = 1 - \gamma_{49} \epsilon P_1 (1 - P_{28}) \quad (2.28)$$

$$\alpha = \frac{\sigma_c}{\sigma_f} \quad (2.29)$$

ここに、K : 単位核分裂当りの出力, MWD/fission

N : 燃料核種の原子数密度, n/ton

- σ : 中性子吸収断面積, cm^2
 ϕ : 実効中性子束, $(3.37 \times 10^{13}) \times 0.778 \text{ n/sec} \cdot \text{cm}^2$
 γ : 燃料核分裂当りの中性子発生率, $\gamma_{49} = 1.905$ $\gamma_{25} = 2.069$
 ϵ : 速中性子による核分裂比率, $\epsilon = 1.09$
 P_1 : 速中性子のもれない確率, $P_1 = 0.936$
 P_{28} : ^{238}U の共鳴吸収をのがれる確率, $P_{28} = 0.914$
 t : 照射時間
 添字, 25 : ウラン-235
 28 : ウラン-238
 49 : プルトニウム-239
 c : 補償断面積
 f : 核分裂断面積

使用した計算の定数を次に示す。なお, ^{241}Pu はわずかであることと, 計算を簡単化するため ^{239}Pu に含め, 同一に取扱った。

$$\begin{aligned}
 K_{25} &= 3.41 \times 10^{23} \text{ MWD/fission} \\
 K_{49} &= 3.51 \times 10^{23} \text{ MWD/fission} \\
 N_{28}^{\circ} &= 2.16 \times 10^{27} \text{ n/ton of fuel} \\
 N_{25}^{\circ} &= 1.56 \times 10^{25} \text{ n/ton of fuel} \\
 N_{49}^{\circ} &= 5.12 \times 10^{25} \text{ n/ton of fuel} \\
 \sigma_{28} &= 3.66 \text{ barn} \\
 \sigma_{25} &= 387 \text{ barn} \\
 \sigma_{49} &= 1094 \text{ barn} \\
 \sigma_{25} &= 0.175 \\
 \sigma_{49} &= 0.512
 \end{aligned}$$

以上の計算から, IFA-159の燃焼度は, 照射時間の関数として, Fig.2.2.11に示される結果が得られた。同図には, 運転効率100%, 70%, および65%について示した。65%の運転効率を考え, 1968年9月から1969年12月までの16か月間の照射によって, IFA-159の平均燃焼度は8500MWD/Tが, またピーク燃料棒で9900MWD/Tが予想される。

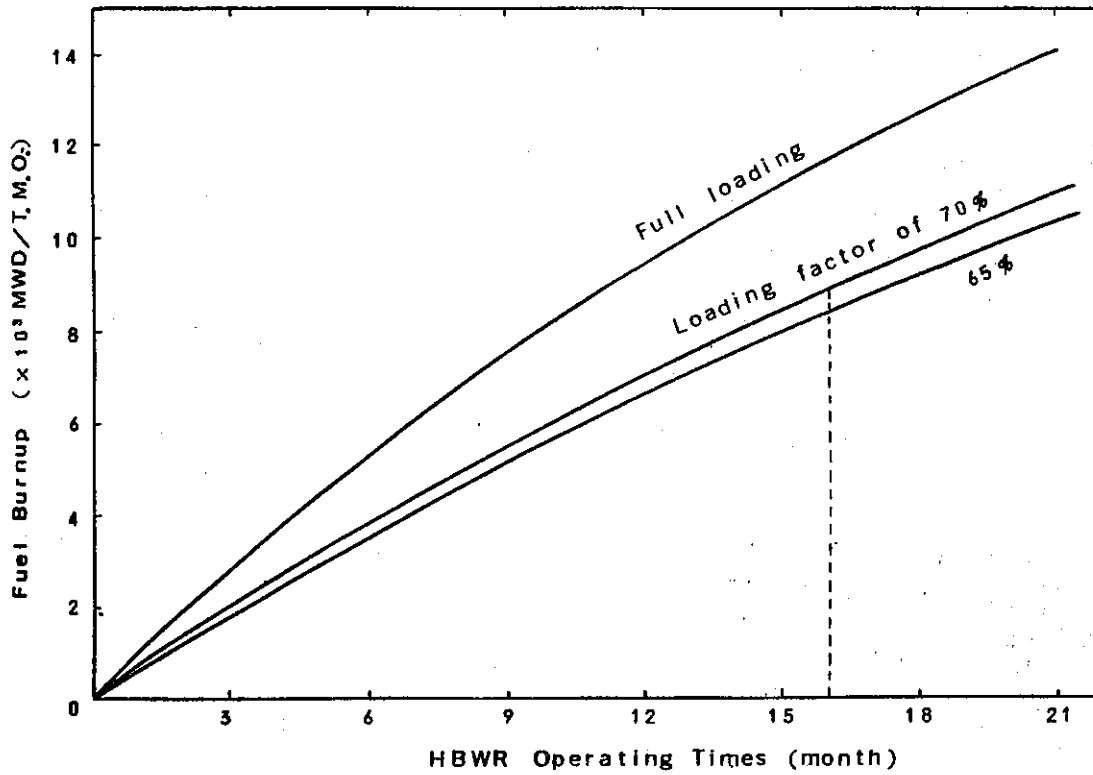


Fig. 2.2.11 Test Fuel Burnup During Irradiation Times

2.2.8 まとめおよび出力上昇に関する検討

以上の設計検討に関する設計仕様、照射条件、および照射特性の概要をTable 2.2.7にまとめた。

Table 2.2.7 Test Conditions and performance Data Summary

1. Fuel enrichment		
Weight % U-235		0.718
Weight % fissile Pu		2.03
2. Fuel rod array / assembly		3 × 3
3. Fuel rod diameter (mm)		11.7
4. Fuel active length (cm)		140
5. Total fuel weight / assembly (kg)		10.2
6. Coolant flow area (cm ²)		15.02
7. Coolant flow (cm/sec) (at 350 KW C. P.)		418
	25 MW Power	110% Over Power
8. Fuel assembly power (KW)	350	385
9. Total peaking factor	1.55	1.55 × 1.1
10. Peak heat flux, W/cm ² (BTU/hr · ft ²)	118 (370,000)	130 (410,000)
11. Peak linear power, W/cm (KW/ft)	434 (131)	477 (144)
12. Peak $\int KdT$ (W/cm)	34	38
13. Maximum fuel temperature (°C)	2050	2300
14. Maximum cladding stress (Kg/mm ²)	11.2	12.0
15. Exit steam quality (%)	34.3	38.7
16. Minimum burnout ratio		1.6
17. Peak rod burnup MWD/TM.O.	8500	9900

ここに解析された事実の範囲内では、IFA-159はHBWRにおいて十分に安全に照射が行なわれるものと考えられる。

その後の検討により、今回の設計解析で、出力ピーキング因子はかなり安全側に設計したきらいが、明らかになった。従って、その出力ピーキング因子を減らし、照射設計の目標とする約130W/cm²の最高熱流束を達成するために、集合体出力を増大させる必要性が生じた。

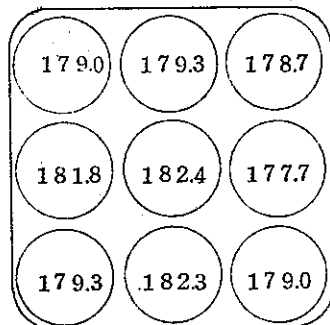
ピーキング因子は、Table 2.2.8に示すように、1.705から1.342に減ずることが、適当である。すなわち、軸方向ピーキング因子は、HALDENにおける経験から、140cmの有効長では、約1.22であろうとのハルデン側のCommentsが得られた。半径方

Table 2.2.8 Power peaking factor of IFA-159

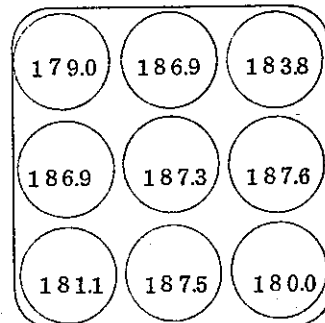
	Design stage	Present stage	Remrks
Axial form factor	1.28	1.22	your comments
Radial form factor	1.165	1.10	TCA measurements (See Appendix A)
Hot spot factor	1.04	1.00	Deliberate control *
Over power factor	1.10	1.00	your comments
Total peaking factor	1.705	1.342	

* The deliberate control of a minimum variation of linear plutonium content was tried for the four corner fuel rod as following data (Pu linear content, mg/cm)

a) Average of fuel rod



b) Peak pellet at hottest zone
(distance ±20 cm from the center of active length)



Note: Average of IFA-159 is 180.1 mg Pu/cm

向ピーキング因子は、第5章に示すTCA実験から1.10に推定された。Pu含有量に関するホットスポット因子は、第4章に示されるように、ピーキングが起ると予想されるコーナー燃料棒について、特別にペレットの配列を考慮して、Pu含有率量およびギャップの管理を行なったので、無視される。また、HBWRの過出力因子については、IFA-159に計装が取り付けられているので、照射集合体の過出力は避けられるとのハルデン側のCommentsにより省略した。

以上の出力ピーキング因子の減少に伴い、IFA-159の集合体出力は、最高熱流束

(130 w/cm^2)を得るために、約450KWに増大させることが適当である (Fig.2.23 参照) その各段階での照射特性を Table 2.2.9 に示す。

Table 2.2.9 Thermal-hydraulic characteristics of IFA-159 for power up program

		Design stage	Present stage	Future stage
Heat flux $q (\text{w/cm}^2)$	Max.	130.0	101.4	130.0
	Av.	755.8	755.8	968.8
Rod linear power $Q (\text{w/cm})$	Max.	477.8	372.8	477.8
	Av.	277.8	277.8	356.1
kdo (w/cm)	Max.	38.0	29.7	38.0
	Av.	22.1	22.1	28.3
Fuel centerline temp. $(^\circ\text{C})$	Max.	2020	1500	2020 (see Fig. 2.2.7)
	Av.	1080	1080	1430
Min. Burnout ratio		>1.5	>1.5	>1.5
Power peaking factor in channel		1.705	1.342	1.342 see Table 2.2.8
Required coolant flow		Natural circulation	Natural circulation	Forced circulation ($>0.8 \text{ kg/sec}$) (see Fig. 2.2.12)
Required channel power (KW)		350	(350)	449

この出力上昇に伴い燃料中心温度については特に問題が生じないが、最小バーンアウトについては、Fig. 2.2.8 から分るように、安全限界を超えてしまうので、冷却材流量条件を超える必要がある。このため、冷却材流量を関数として、最小バーンアウト比を計算した。その結果は、Fig. 2.2.12に示すもので、流量にして約 0.8 kg/sec 以上に冷却条件を変えなければならないものと考えられる。これは、恐らく自然循環冷却から強制循環冷却への変更になるであろうが、HBWR においては、技術的に容易であると考えられる。

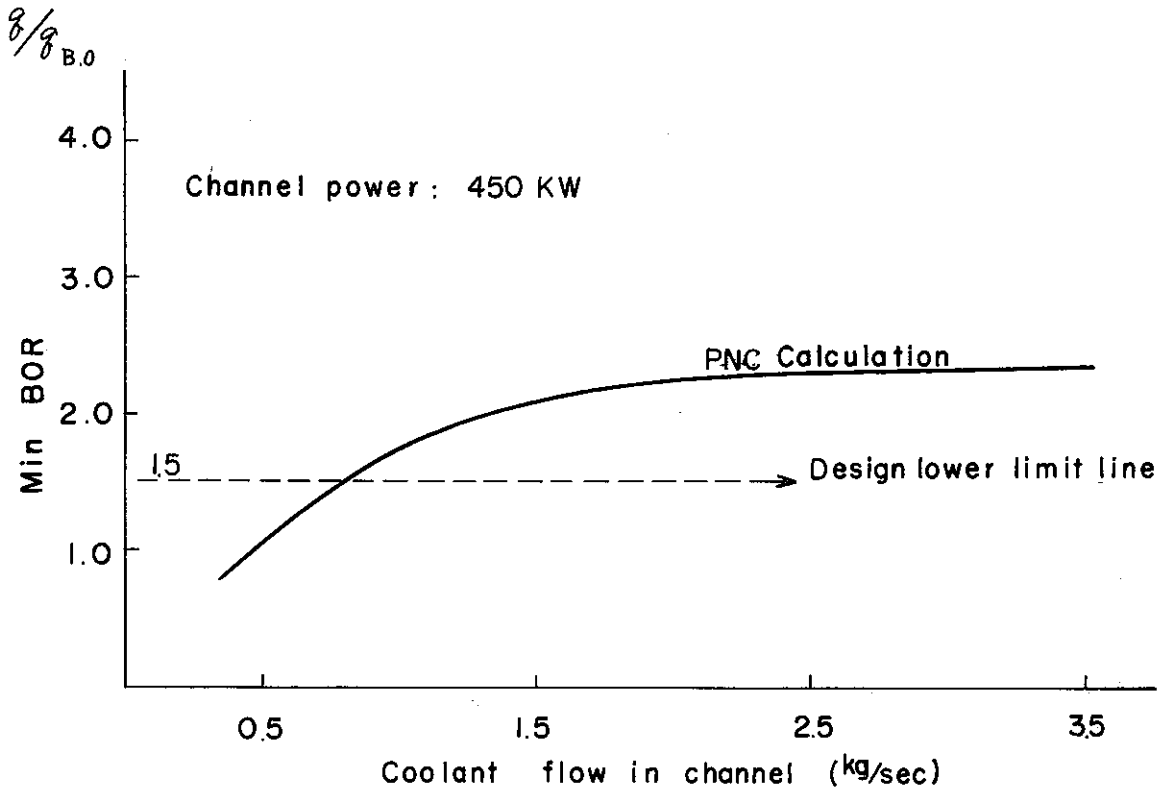


Fig. 2.2.12 Minimum Burnout Evaluation of IFA-159

3. 燃料に関する仕様と設計

3.1 IFA-159の設計仕様

(湯本)

第2章では、IFA-159に関する、特に、燃料の照射特性を主とした設計検討が行なわれ、その仕様が概念的に決められたものであるが、この章では、その仕様を具体化して、実際に燃料の製造、加工が行なえる、いわゆる、製作設計に関する仕様を記すことになる。

3.1.1 設計の特徴

この燃料設計に関する設計仕様の結果は3.1.2節に示されるが、その主要な特徴は、次のとおりである。

- 1) プルトニウム酸化物を天然二酸化ウランマトリックス中に、2.5W/O 富化させた混合酸化物系を用いる。これによって、設計照射目標としている約 $130\text{w}/\text{cm}^2$ の最高熱流束の実証を得、また、約 $10,000\text{MWD}/\text{T}$ の燃焼度を達成させることにある。
- 2) 燃料棒は、ジルカロイ-2被覆管を用い、有効長 1400mm とした。被覆管の直径および肉厚、並びにペレット直径等は、BWRのプルトニウム利用に関する概念設計検討より決められた。
- 3) 集合体内の燃料棒配列は、 3×3 の正方格子を採用し、ハルデンで指示される限られたチャンネルの大きさ以内に、最大本数が入るような集合体とした。
- 4) 集合体部材の設計では、流路面積を可能な限り大きくとるようにしたこと、さらに、照射後の取出しが容易に行なえるようにしたこと等があげられる。

3.1.2 燃料集合体の設計仕様

1) $\text{PuO}_2 - \text{UO}_2$ 燃料体

PuO_2 富化度	$2.50 \pm 0.1\text{w}/\text{o PuO}_2$
Pu 同位元素組成	
$\text{Pu} - 239$	$91.30\text{w}/\text{o}$
$\text{Pu} - 240$	$7.884\text{w}/\text{o}$
$\text{Pu} - 241$	$0.780\text{w}/\text{o}$
$\text{Pu} - 242$	$0.035\text{w}/\text{o}$
ウラン濃縮度	天然ウラン
ペレット密度	$94.0 \pm 1.5\% \text{T.D.}$
ペレット直径	$10.0 \pm 0.05\text{mm}$
ペレット高さ	$\sim 14\text{mm}$

(注)	化学量論値 O/M	2.00 ^{+0.01} _{-0.02}
	不純物 (ppm)	B < 1.5 Ni < 300
		Ca < 100 Cu < 50
		Cd < 1.0 C < 100
		Cr < 500 N < 75
		Fe < 500 Cl < 10
		Mg < 50 F < 10
	全 体	< 3,000 ppm, 又は < 4 EBC
	吸着ガス+水分含有量	< 0.2 cc STP / g
	燃料有効長	1400 ± 4 mm
2) 燃料棒 (図面 C-0003 参照)		
	全 長	1571.5 ^{+1.5} _{-0.5} mm
	プレナム長さ	~ 80 mm
	有効長さ	1400 ± 4 mm
a) 被覆管		
	材質	ジルカロイ-2 (ASTM-B353 規格相当品)
	内径	10.2 ± 0.05 mm
	肉厚	0.75 ± 0.075 mm
	ペレット-被覆管間隙	0.2 mm (直径的)
b) 断熱用ペレット		
	材質	天然 UO ₂ ペレット焼結体
	密度	90~92% T. D.
	直径	10.0 ± 0.05 mm
	高さ	~ 15.0 mm
	位置	PuO ₂ -UO ₂ ペレット有効長両端
c) 抑え板		
	材質	ジルカロイ-2
	直径	10.0 ± 0.01 mm
	厚さ	1.5 ± 0.1 mm

d) ばね

材 質	インコネル-X
線 径	1.3mm
外 径	9.5 mm
実効巻数	20
自由長	92 mm
荷重長	80mm
ばね定数	0.24 kg / mm

e) プレナム充填ガス

ヘリウムガス

f) エンドプラグ (図面 C-0017 参照)

材 質	ジルカロイ-2
-----	---------

3) 集 合 体 (図面 C-0002 参照)

燃料棒本数	9本
燃料棒配列	3×3 正方格子
格子間隔	16.4mm

a) チャンネルボックス (図面 C-0005 参照)

材 質	ジルカロイ-2
形 状	角 筒
水平内断面	50.0mm×50.0mm
板 厚	1.2mm
長 さ	1781 mm

b) 上部スペーサ (図面 C-0011 参照)

材 質	AISI 316L (設計時はジルカロイ-2)
厚 さ	0.5 mm

c) 中間スペーサ (図面 C-0012 参照)

材 質	AISI 316L (設計時は INCONEL-X)
厚 さ	8.0mm
個 数	2個

d) 下部スペーサ (図面 C-0013 参照)

材 質	ジルカロイ-2
厚 さ	2.0mm

e) 中間スペーサ保持用部材

保持板 (図面 C-0014 参照)

ビスネジ (図面 C-0016 参照)

f) 燃料棒支持用部材

上部案内棒, 材質ジルカロイ-2 (図面 C-0018 参照)

上部スペーサ固定ナット, 材質ジルカロイ-2 (図面 C-0019 参照)

下部案内棒, 材質ジルカロイ-2 (図面 C-0020 参照)

下部スペーサ固定ナット, 材質ジルカロイ-2 (図面 C-0021 参照)

下部支持板固定ナット, 材質ジルカロイ-2 (図面 C-0022 参照)

ナット類, 材質 AISI 304 (図面 C-0023 & C-0024 参照)

3.1.3 設計仕様に関する記述

図面 C-0001 から C-0024 まで参照のこと

1) 燃料体

この照射用燃料体は、前述のように、天然ウランの二酸化物に 2.5 w/o のプルトニウム酸化物 (PuO_2) を均一に混合し、焼結したペレットである。混合酸化物ペレットの製法は機械混合および焼結法を採用することにする。このペレットの炉内予備試験は GETR で行なわれた。

2) 燃料棒

燃料棒は前項の燃料体を被覆管に充填し、その両端を端栓で密封した構造である。

被覆管の内部は燃料体の他に、燃料体一端栓間および燃料体一ブナム間に熱伝達を抑制するため天然 UO_2 ペレット、並びに燃料体の軸方向の熱膨張を吸収するためのコイルばね等が備えられている。また、コイルばね部は核分裂反応によって生成するガス状核分裂生成物を取め、被覆管内圧を増加させないよう空隙を形成している。燃料体一被覆管の間隙は両者の熱膨張差によって荷重を与えず、しかもこの間の熱伝達を阻害しないよう必要最小限の寸法に設計されている。燃料棒は燃料体および付属部を被覆管に充填した後、ヘリウムガス中において端栓が溶接され、完全に密封される。

3) 燃料集合体

燃料集合体は燃料棒 9 本を 3×3 の正方格子に配列し、上下のスペーサによって固定される。格子間隔は、上、中 (2 個)、下の 4 個のスペーサによって保持されている。燃料棒間の軸方向熱膨張差の逃げは上部スペーサの肉厚を薄くすることによった。

集合体のHBWR 炉心での保持は、集合体支持チャンネルに集合体下部を固定するよう設計した。従って、上部は熱膨張を考慮したため自由度が大きくなっている。このことから、中間スペーサは燃料棒を平均に支えるため、上部より取付けるよう設計されている。

各スペーサは、流路面積を少なくすることのないよう、かつ最小の限界強度または保持力をもつよう設計された。

4) 集合体部材の設計

集合体部材は、組立時または、照射後の燃料棒解体時に便利なように、次の2点を考慮した。

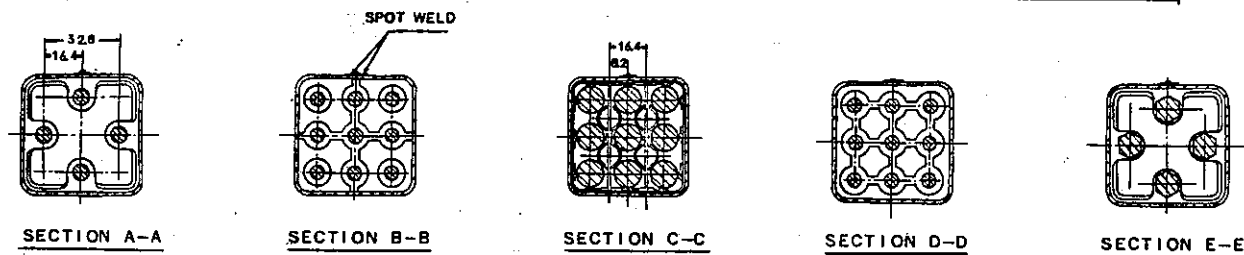
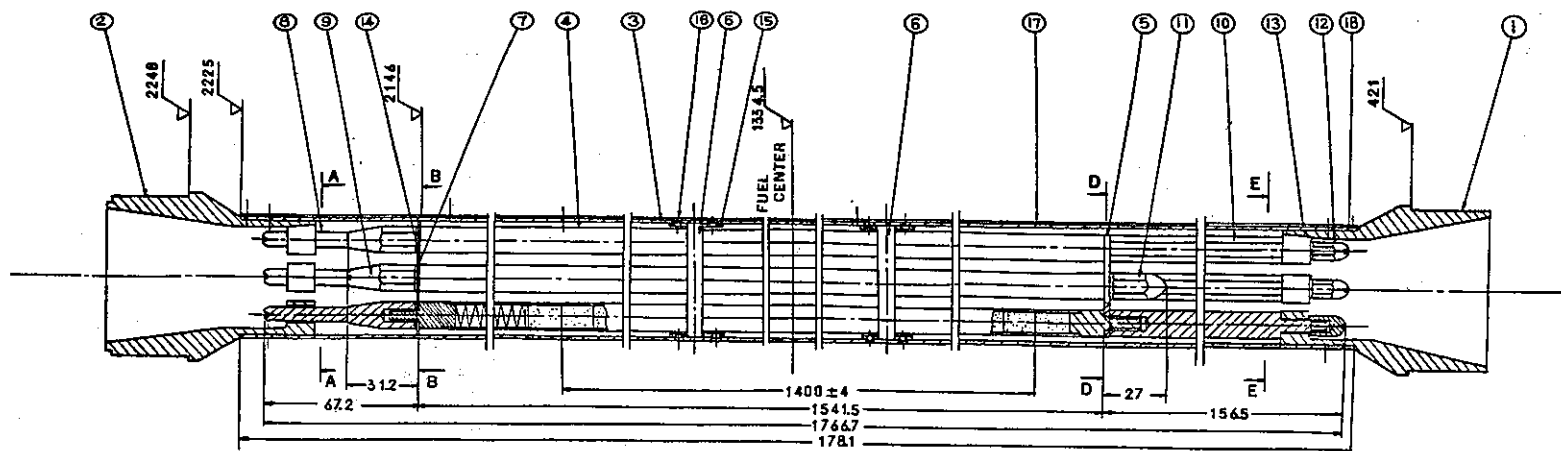
- a) 燃料棒支持案内棒のネジ部の頭にドライバーが使えるような設計とした。
- b) 燃料棒端栓部にスパナーが使えるような設計とした。

3.1.4 集合体計装

IFA-159の集合体計装は、次のようなものを取付けることに決めた。

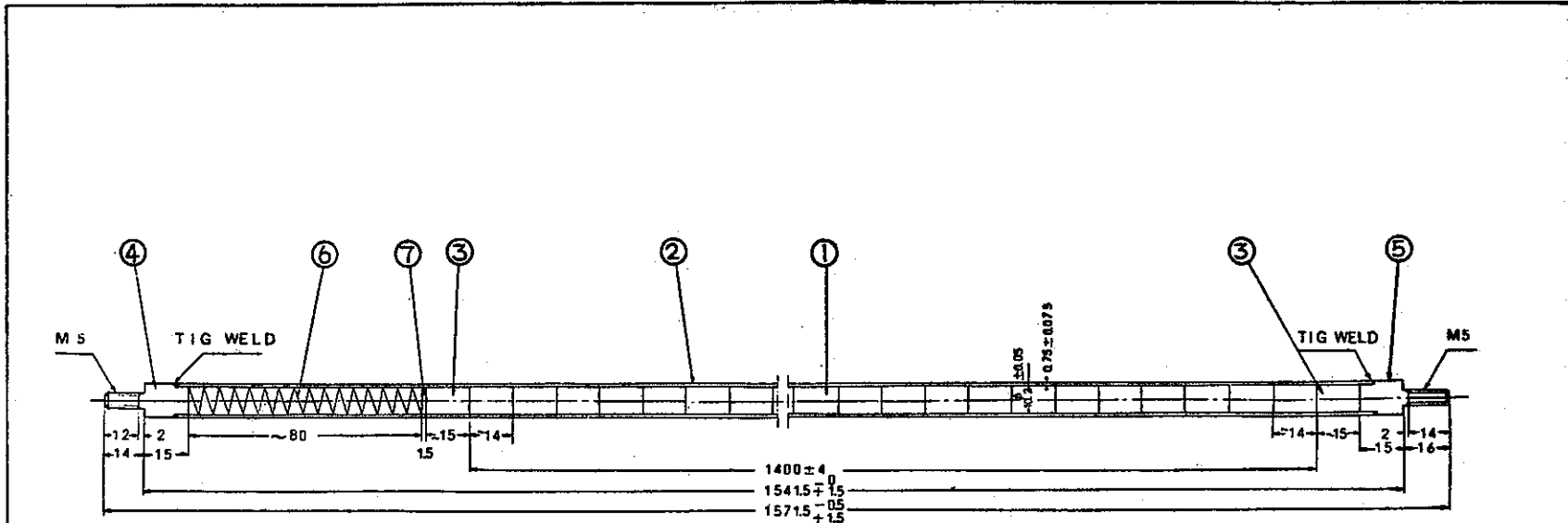
- a) Gamma thermometer 2
- b) Turbine flow meter 2 (upper and Lower)
- c) Calibration valve 1
- d) Inlet coolant thermocouple 2
- e) Outlet coolant thermocouple 2
- f) Fuel failure detector 1 parts
- g) Co flux monitor wire 1 set

ヘルデンのHBWR では、上記の他、燃料中心温度測定およびバーンアウト検出器等の計装技術が確立されているが、今回の照射計画では、HBWR でPuO₂-UO₂ 集合体の照射は初めてのことで、また、安全性を考えて、必要最小限の計装とした。



18	ZIRCALOY CHIPS	Zircaloy-2	C-0025
17	FLUX MONITOR WIRE	Az-Co	C-0025
16	SCREW	Stainless steel AISI 304	C-0014
15	HOLDER PLATE	Zircaloy-2	C-0014
14	WASHER	Stainless steel AISI 304	C-0023
13	SPRING WASHER	Stainless steel AISI 304	C-0024
12	END PLUG CAP Y	Zircaloy-2	C-0022
11	END PLUG CAP H	Zircaloy-2	C-0021
10	END PLUG CAP I	Zircaloy-2	C-0020
9	END PLUG CAP J	Zircaloy-2	C-0019
8	END PLUG CAP K	Zircaloy-2	C-0018
7	UPPER SPACER	Zircaloy-2	C-0011
6	CENTER SPACER	Stainless steel AISI 304	C-0012
5	LOWER SPACER	Zircaloy-2	C-0013
4	FUEL ROD		C-0005
3	SHROUD	Zircaloy-2	C-0005
2	UPPER SUPPORT	Stainless steel AISI 304	C-0007
1	LOWER SUPPORT	Stainless steel AISI 304	C-0008
ITEM	DESCRIPTION and MATERIAL		DWG. NO.

DWG. NO.	C-0002		
TITLE	FUEL ASSEMBLY		
DATE	Nov 15 1967	SCALE	In MM 1/1 ANGLE
DWG.	Y, Fukushima	CHECK	
BY			
POWER REACTOR & NUCLEAR FUEL DEV. CORPORATION			

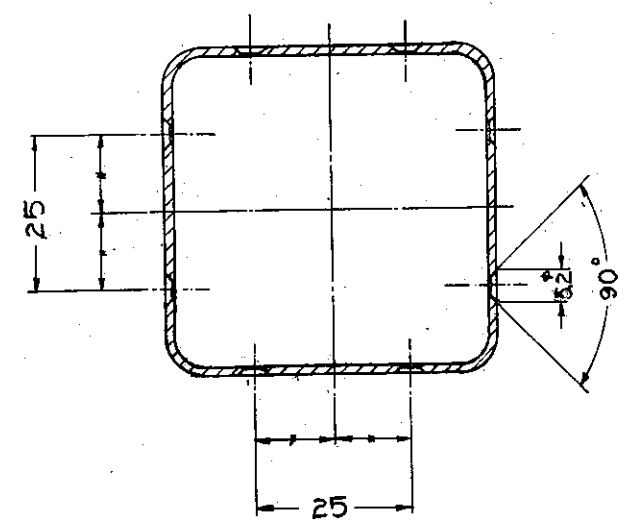
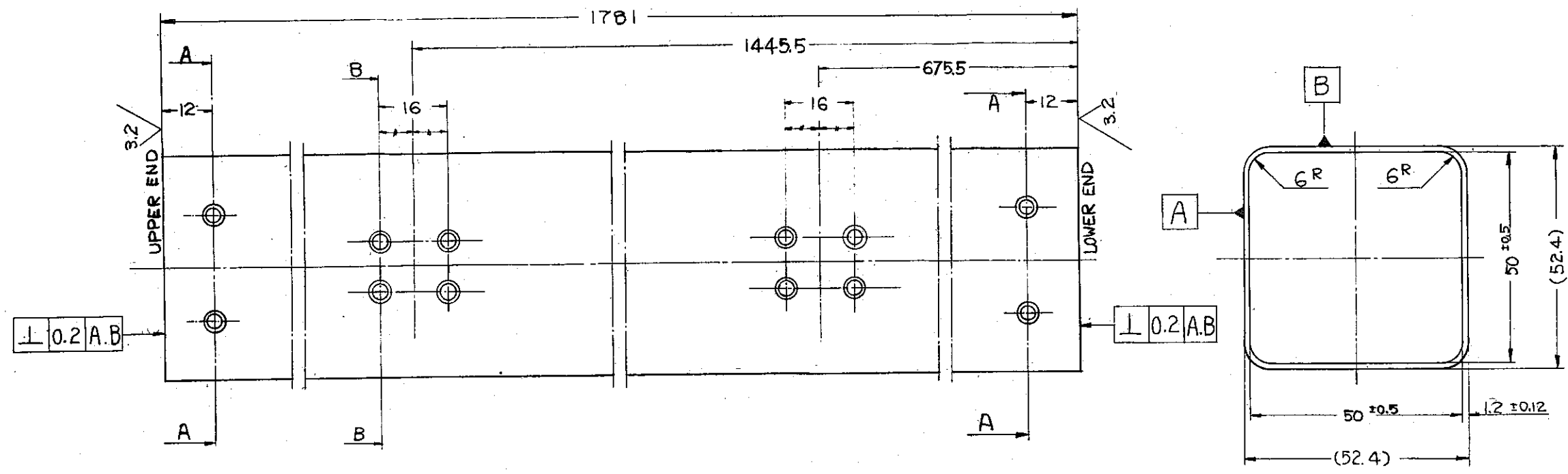


- 43 -

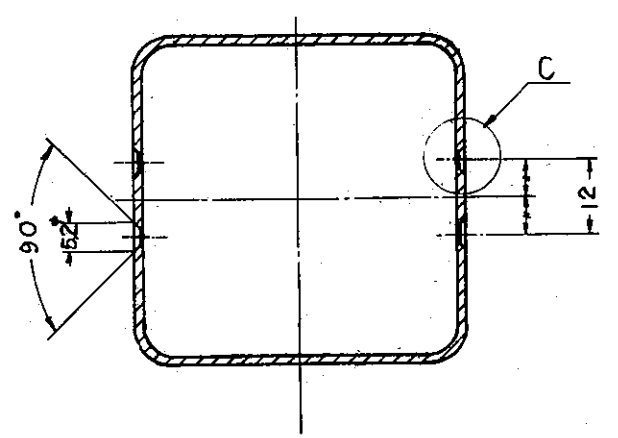
9		
8		
7	ZIRCALOY DISK	zircaloy-2
6	COILED SPRING	INCONEL-X
5	LOWER END PLUG	zircaloy-2
4	UPPER END PLUG	zircaloy-2
3	THERMAL INSULATOR	nat UO ₂ Pellet
2	CLADDING	zircaloy-2
1	FUEL (PELLET)	25w/oPuO ₂ -97.5w/oUO ₂
ITEM	DESCRIPTION and MATERIAL	

DWG NO	C-0084		
TITLE	FUEL ROD		
SCALE	In MM 1:1	DATE	Sep. 7 1967
SIGNATURE	<i>[Signature]</i>		
ATOMIC FUEL CORPORATION			

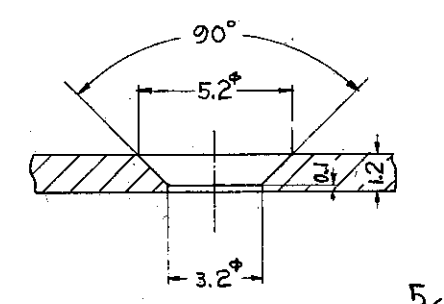
SURFACE FINISH
 $\sqrt{1.6}$ ($\sqrt{32}$)



SECTION A-A



SECTION B-B



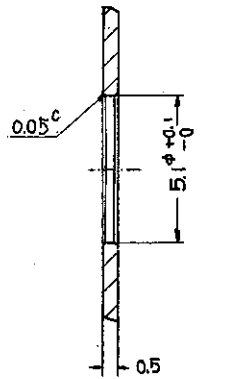
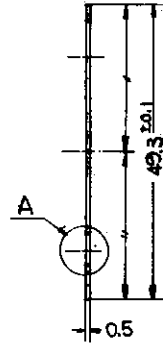
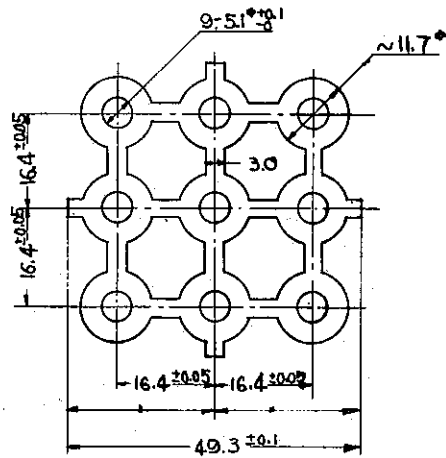
DETAIL C

NOTE All measures before picking material removed by pickling 50 μ
 Remove all burrs and sharp edges

TOLERANCE UNLESS OTHERWISE SPECIFIED							
Nom. Size	over	6	30	100	300	1000	Angle
Fit	to	6	30	100	300	1000	2000
Fine	\pm	0.05	0.1	0.15	0.2	0.3	0.5
							1°

ITEM	DESCRIPTION and MATERIAL
1	SHROUD Zircaloy-2

DWG. NO.	C-0005		
TITLE	SHROUD		
DATE	Nov. 7, 1967	SCALE	in MM $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{8}$ ANGLE Third
ONG.	Y. Fukushima	CHECK	
SIGNATURE	P. N. C.		

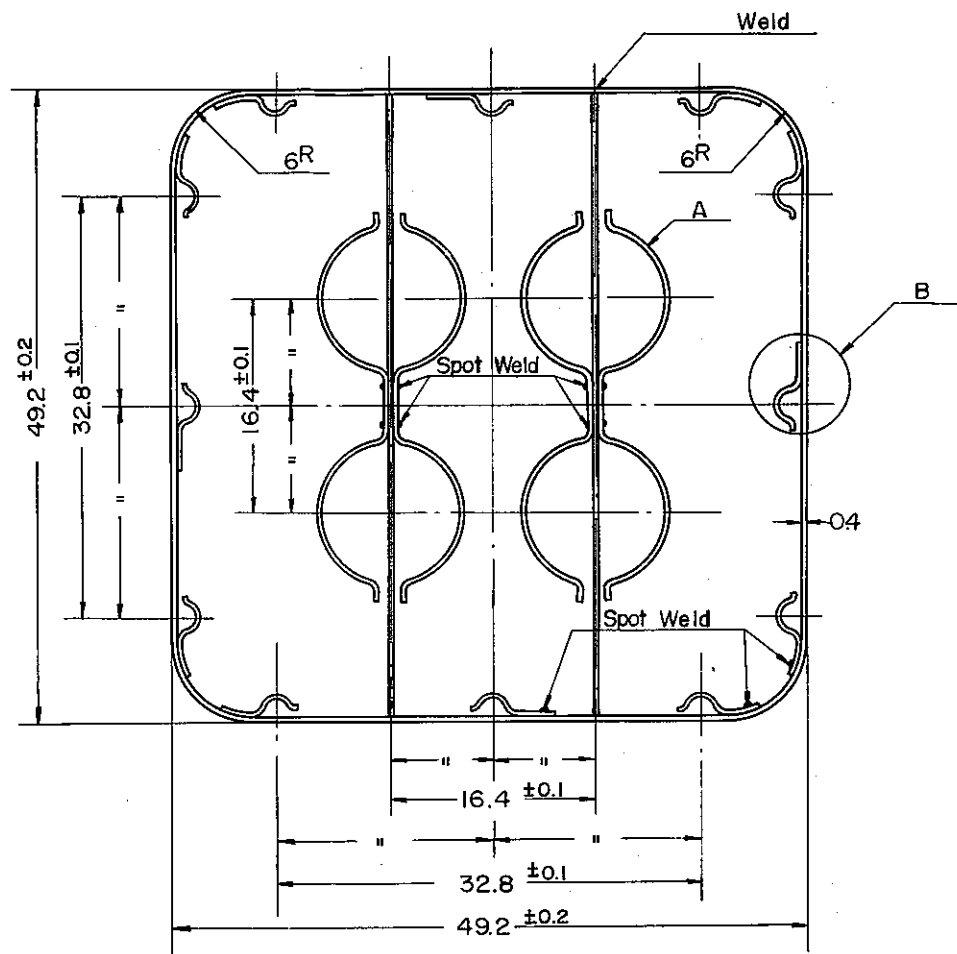


DETAIL A

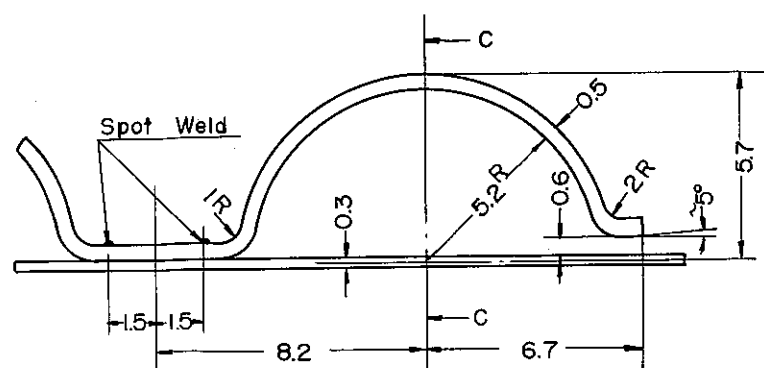
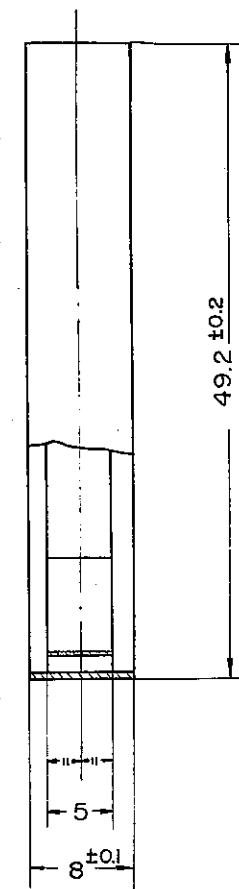
5/1

1	UPPER SPACER	AISI 316 L
ITEM	DESCRIPTION	MATERIAL

DWG. NO.	C-0011		
TITLE	UPPER SPACER		
DATE	Dec. 5, 1967	SCALE	1 in = 100 mm
DWG.	Y. Fukushima	CHECK	
SIGNATURE	P. N. C		

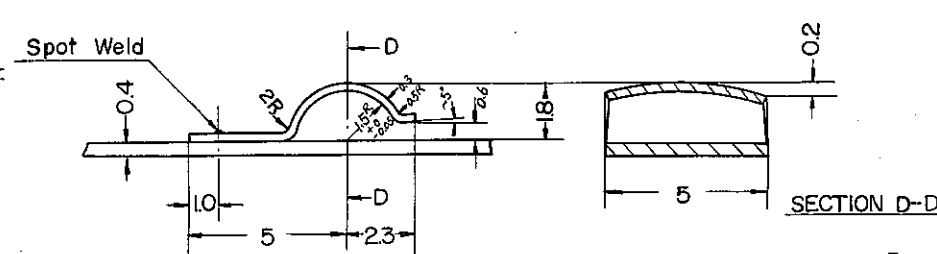
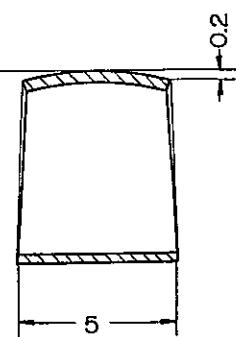


SCALE 2/1



DETAIL A

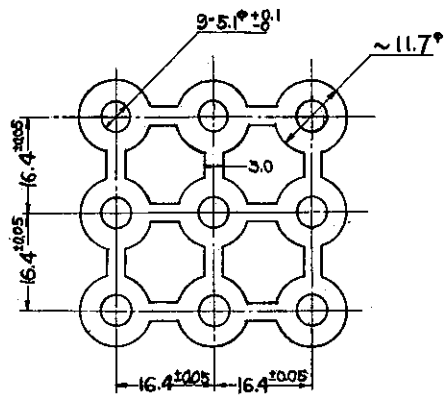
SCALE 5/1



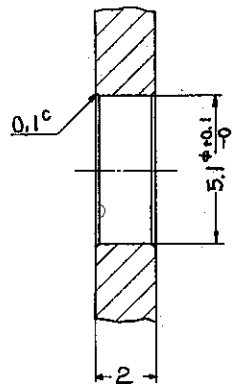
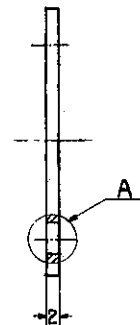
DETAIL B SCALE 5/1

1	CENTER SPACER	Stainless steel AISI 304
ITEM	DESCRIPTION	and MATERIAL

DWG. NO.	C-0012		
TITLE	CENTER SPACER		
DATE	Dec. 7 1967	SCALE	in. MM. 2/1, 5/1
DWG.	Y. Fukushima	CHECK	T. Otake
SIGNATURE	P · N · C		



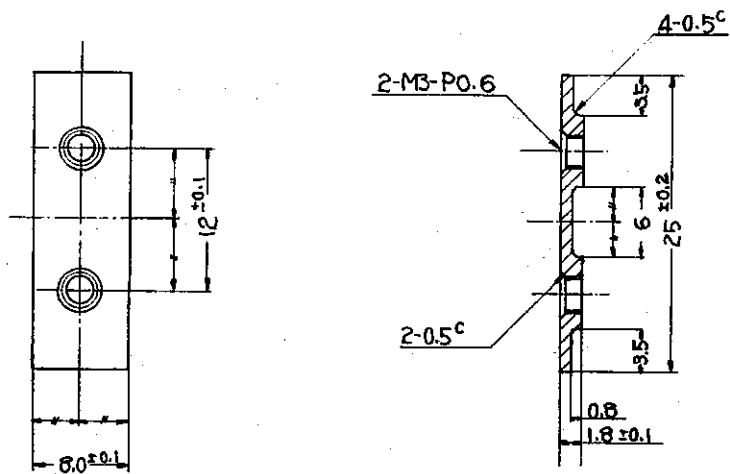
1/1



DETAIL A
5/1

1	LOWER SPACER	Zircaloy-2
ITEM	DESCRIPTION and MATERIAL	

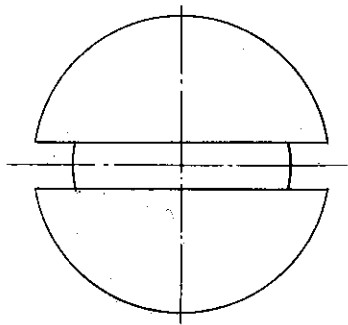
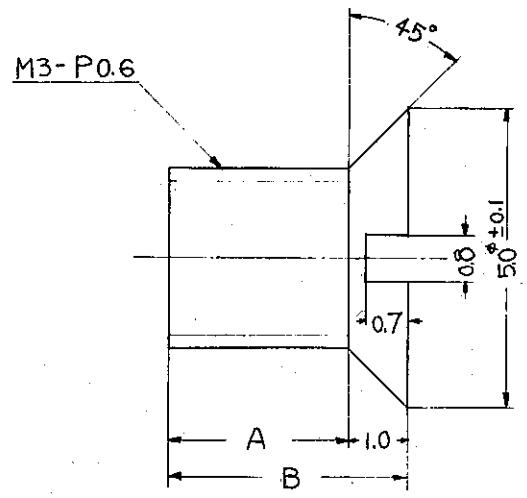
DWG. NO.	C-0013		
TITLE	LOWER SPACER		
DATE	Nov. 6, 1967	SCALE	in MM X 5
DWG.	Y. Fukushima	CHECK	Otake
SIGNATURE	P. N. C		



12-SVV

DWG. NO.	C-0014		
TITLE	HOLDER PLATE I		
DATE	Dec. 5, 1967	SCALE	in MM $\frac{3}{4}$ ANGLE Third
DWG.	Y. Fukushima	CHECK	
SIGNATURE	P · N · C		

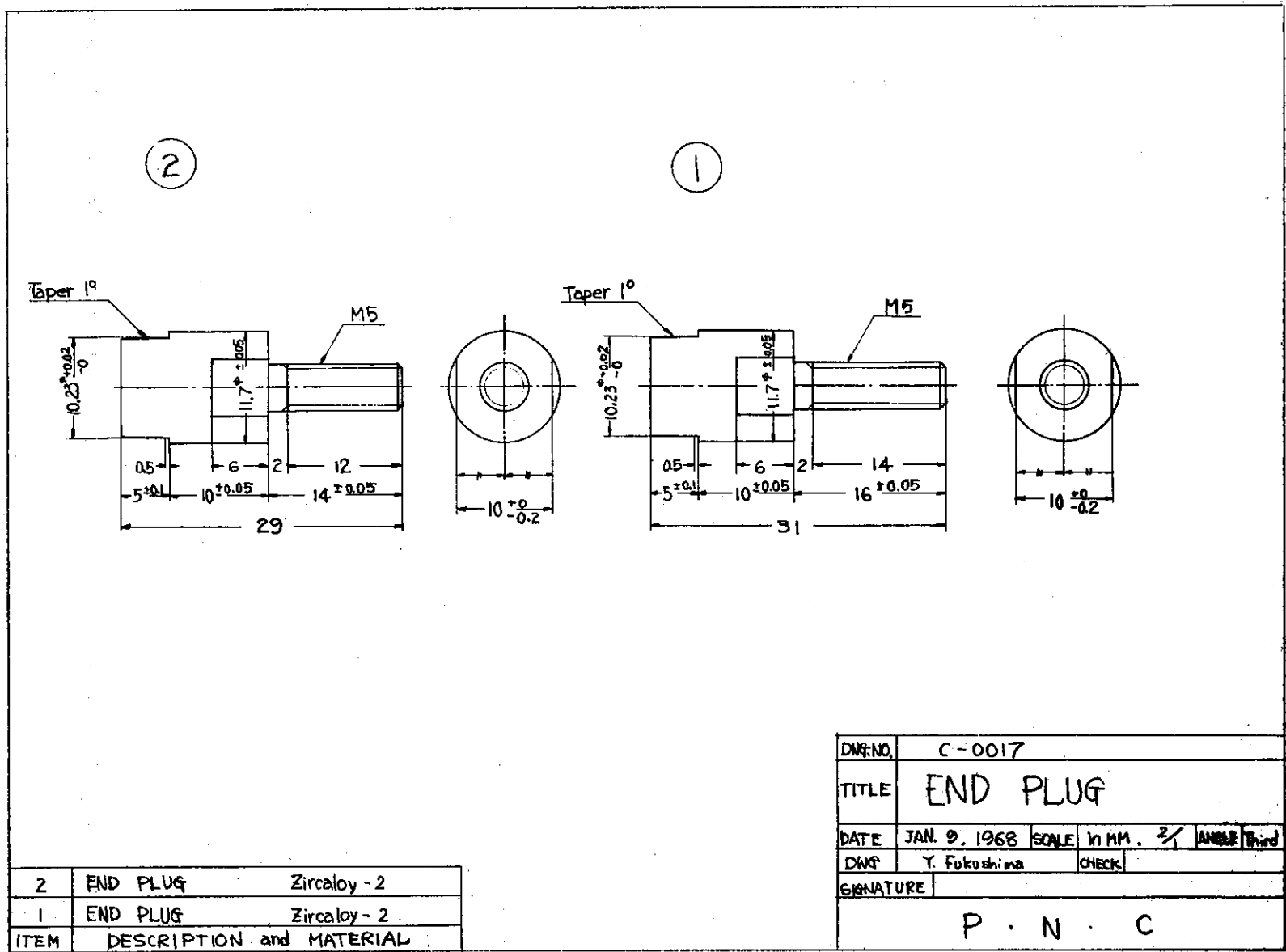
1	HOLDER PLATE	Zircony-2
ITEM	DESCRIPTION and MATERIAL	



TYPE	A	B
I	2.0 ± 0.05	3.0 ± 0.05
II	3.2 ± 0.1	4.2 ± 0.1
III	6.0 ± 0.1	7.0 ± 0.1

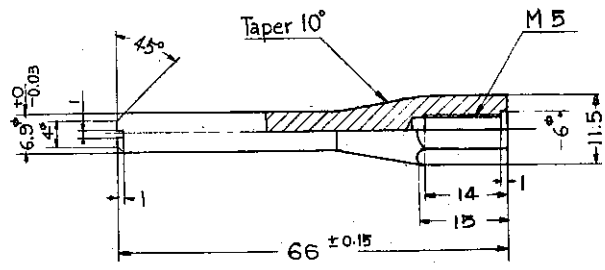
DWG. NO.	C-0016		
TITLE	SCREW		
DATE	Nov. 10, 1967	SCALE	in MM, 10% ANGLE THIRD
DWG.	Y. Fukushima	CHECK	
SIGNATURE	P. N. C		

I	SCREW	stainless steel AISI 304
ITEM	DESCRIPTION and MATERIAL	



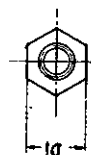
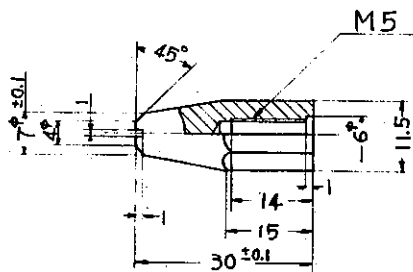
2	END PLUG	Zircaloy - 2
1	END PLUG	Zircaloy - 2
ITEM	DESCRIPTION and MATERIAL	

DWG. NO.	C-0017		
TITLE	END PLUG		
DATE	JAN. 9, 1968	SCALE	1:1 MM. 2/1 ANGLE Third
DWG.	Y. Fukushima	CHECK	
SIGNATURE	P · N · C		



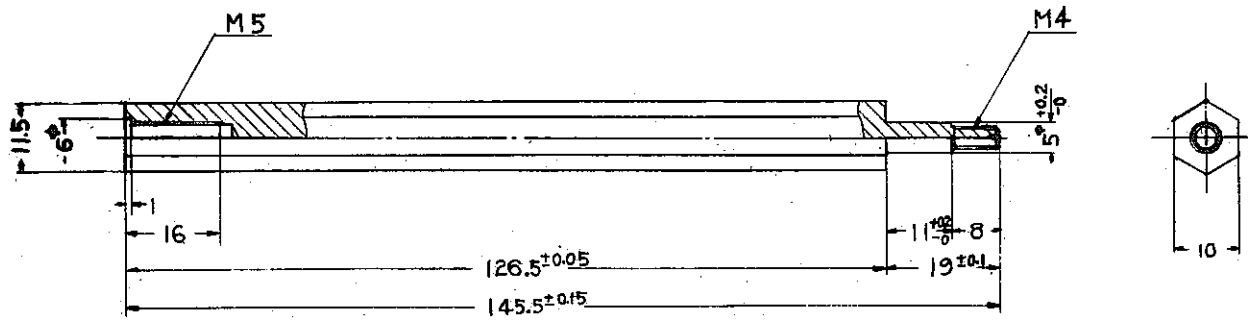
DWG. NO.	C-0018		
TITLE	END PLUG CAP I		
DATE	Nov. 10, 1967	SCALE	in MM, 1/4
DWG.	Y. Fukushima	CHECK	R. Young
SIGNATURE	P. N. C.		

1	UPPER END PLUG CAP	Zry-2
ITEM	DESCRIPTION and MATERIAL	



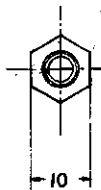
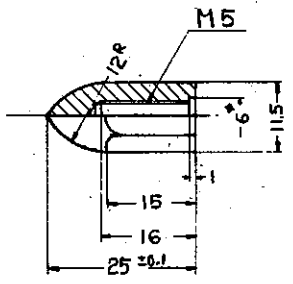
DWG. NO.	C-0019		
TITLE	END PLUG CAP II		
DATE	Nov. 10, 1967	SCALE	in MM, 1/2 ANGLE Third
DWG.	Y. Fukushima	CHECK	R. Yumoto
SIGNATURE	P · N · C		

1	UPPER END PLUG CAP Zry-2
ITEM	DESCRIPTION and MATERIAL



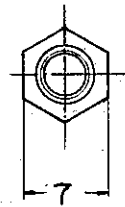
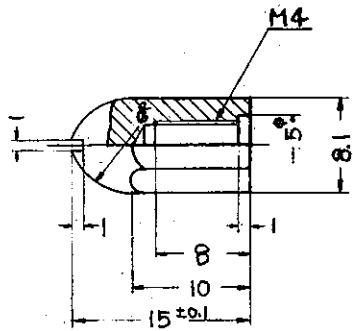
DWG NO.	C-0020			
TITLE	END PLUG CAP III			
DATE	Nov. 10, 1967	SCALE	in MM.	<input checked="" type="checkbox"/> ANGLE Third
DWG.	Y. Fukushima	CHECK	R. Yumoto	
SIGNATURE	P · N · C			

1	LOWER END PLUG CAP Zy-2
ITEM	DESCRIPTION and MATERIAL



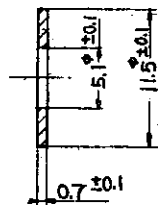
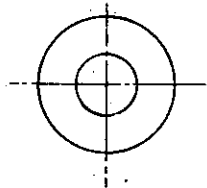
DWG. NO.	C-0021		
TITLE	END PLUG CAP TV		
DATE	Nov. 11, 1967	SCALE	in MM, 1/2 ANGLE Third
DWG.	Y. Fukushima	CHECK	R. Yumoto
SIGNATURE	P. N. C		

1	LOWER END PLUG CAP	Zry-2
ITEM	DESCRIPTION and MATERIAL	



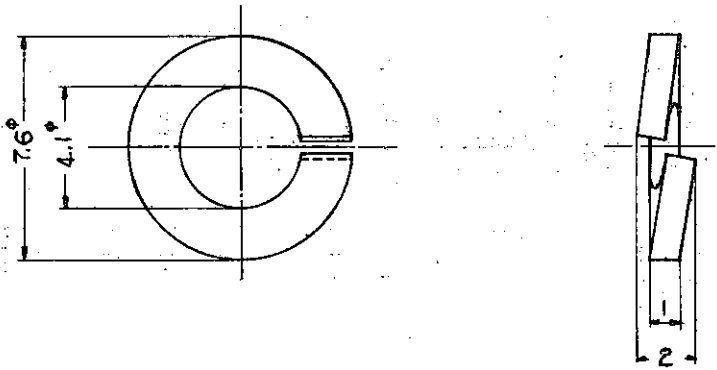
1.	LOWER END PLUG CAP	Zfy-2
ITEM	DESCRIPTION and MATERIAL	

DWG. NO.	C-0022		
TITLE	END PLUG CAP V		
DATE	Nov. 11, 1967	SCALE in MM, 3/4	ANGLE Third
DWG.	Y. Fukushima	CHECK	R. Yumoto
SIGNATURE			
P · N · C			



1	WASHER	Stainless steel	AISI 304
ITEM	DESCRIPTION	and MATERIAL	

DWG. NO.	C-0023			
TITLE	WASHER			
DATE	Nov. 10, 1967	SCALE	in MM, $\frac{3}{4}$	Angle Third
DWG.	Y. Fukushima	CHECK	R. Yumoto	
SIGNATURE	P · N · C			



DWG. NO	C-0024		
TITLE	SPRING WASHER		
DATE	Nov 10, 1967	SCALE	in MM. 5/1 ANGLE Third
DWG.	Y. Fukushima	CHECK	R. Yumoto
SIGNATURE	P · N · C		

1	SPRING WASHER	Stainless steel
ITEM	DESCRIPTION and MATERIAL	

SN841-71-31

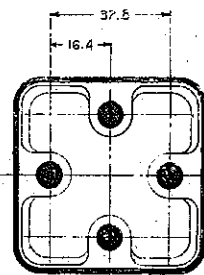
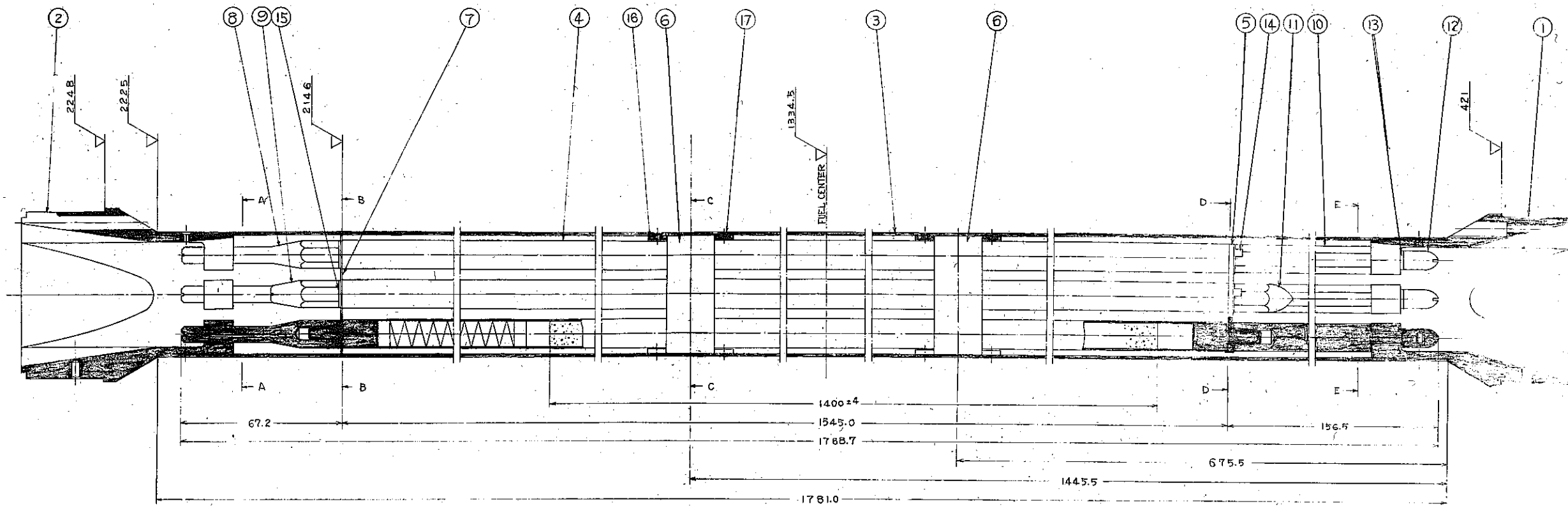
3.2 IFA-160

(菊地)

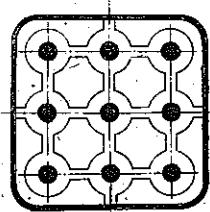
IFA-160の製作図面を以下に示す。

DRAWING LIST OF IFA-160

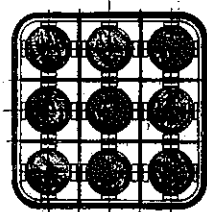
N A M E	DWG. No	M A T E R I A L	SUPL. No.	R E M A R K S
FUEL ASSEMBLY	T442-10000			
FUEL PIN	10100			
SHROUD	10200	Zry-2	1	
CENTER SPACER	10500	INCONEL-X, AISI316L	2	
BOTTON SPACER	10600	Zry-2	1	
TOP SPACER	10700	AISI316L	1	
CLAD	10101	Zry-2	1	
END PLUG	10102	Zry-2	18	
SPPING	10103	INCONEL-X	9	
THERMAL INSULATOR	10104	ZrO ₂	18	
THERMAL IMSULATOR PELLETT	10105	Nat. UO ₃	18	
TOP GUIDE ROD	10106	Zry-2	4	
TOP END PLUG DAP	10107	Zry-2	5	
BOTTOM GUIDE ROD	10108	Zry-2	4	
BOTTOM END PLUG CAO I	10109	Zry-2	5	
BOTTOM END PLUG CAP II	10110	Zry-2	4	
WASHER	10111	Stainless steel	9	
LOCK WASHER	10112	Stainless steel	9	
SPRING WASHER	10113	Stainless steel	4	
HOLDER PLATE	10201	Zry-2	8	
SCREW	10202	Stainless steel	16	



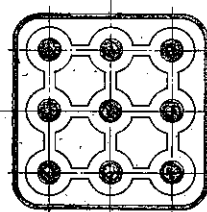
SECTION A-A



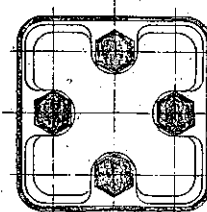
SECTION B-B



SECTION C-C

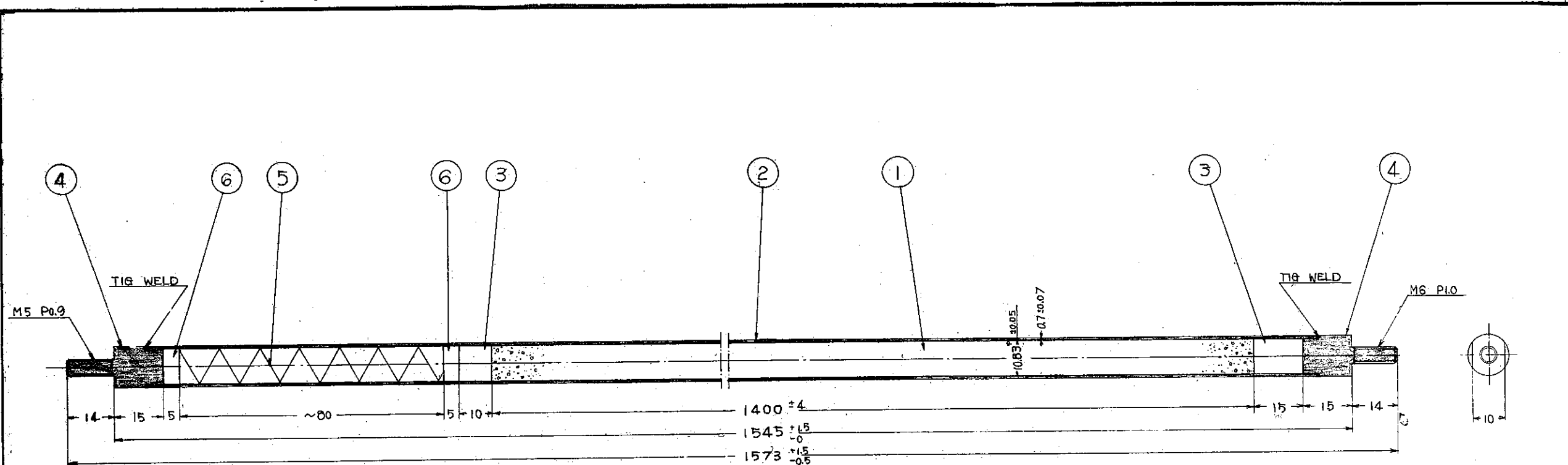


SECTION D-D

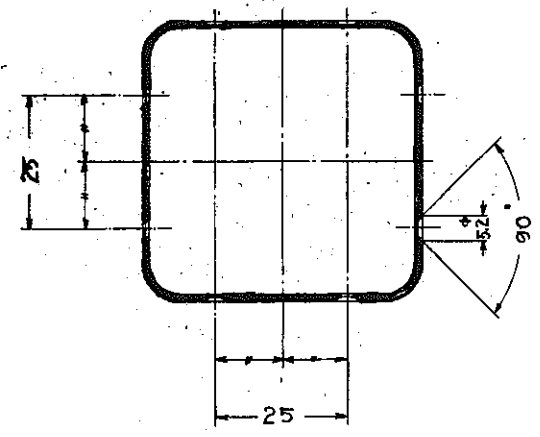
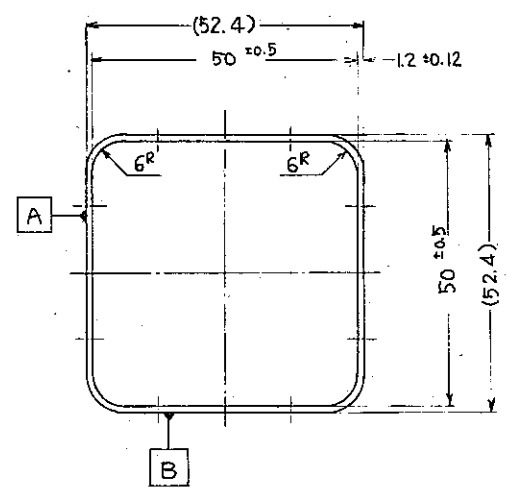
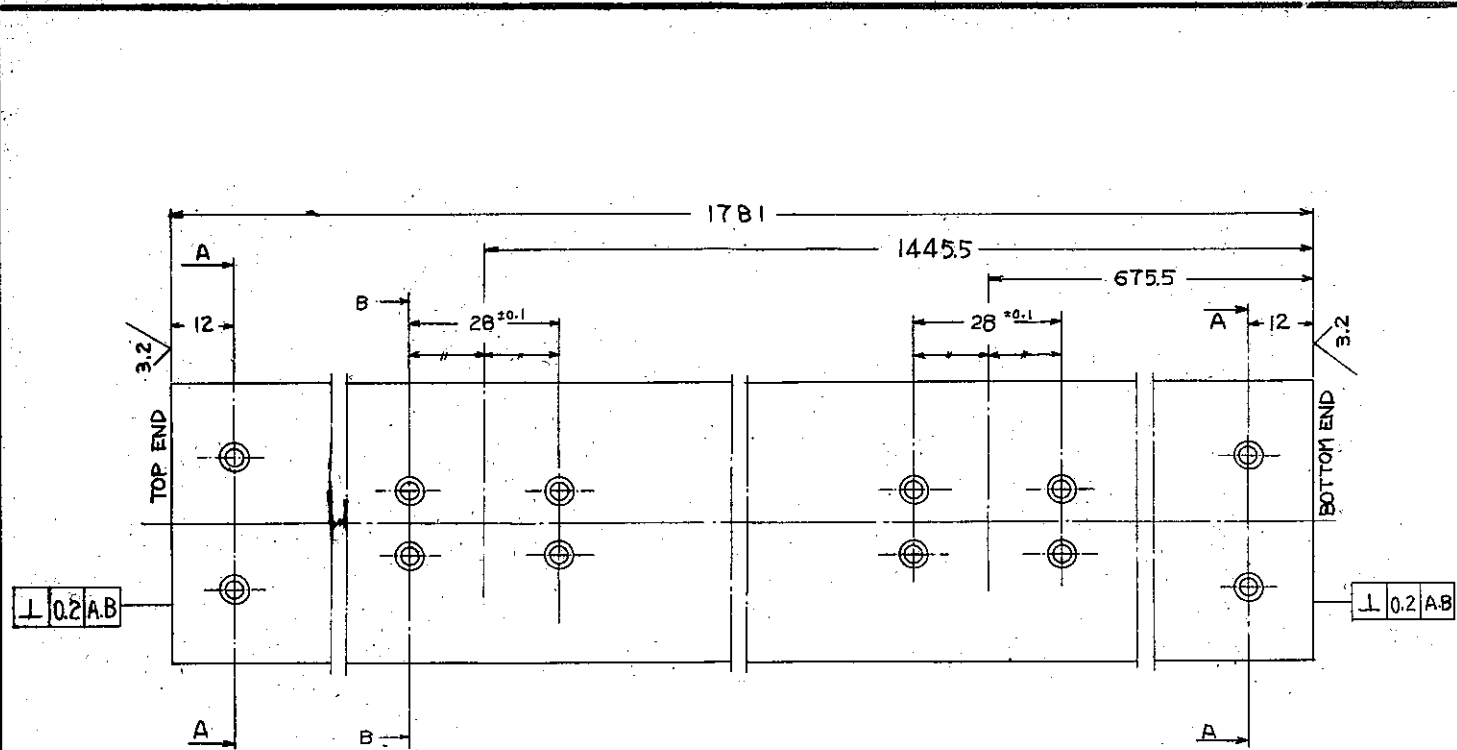


SECTION E-E

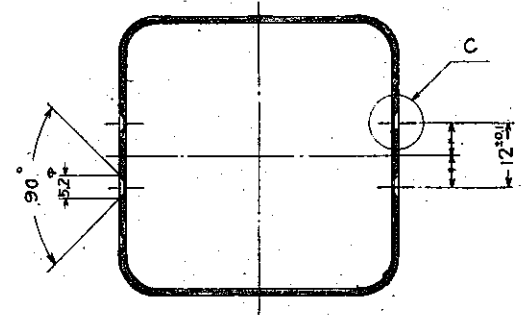
17	SCREW	Stainless steel	13	10202	
18	HOLDER PLATE	Zry-2	1	10201	
15	WASHER	Stainless steel	9	10108	
14	LOCK WASHER	Stainless steel	9	10107	
13	SPRING WASHER	Stainless steel	4	10108	
12	BOTTOM END PLUG CAP II	Zry-2	1	10105	
11	BOTTOM END PLUG CAP I	Zry-2	5	10104	
10	BOTTOM GUIDE ROD	Zry-2	4	10103	
9	TOP END PLUG CAP	Zry-2	5	10102	
8	TOP GUIDE ROD	Zry-2	4	10101	
7	TOP SPACER	AISI 316	1	10700	
6	CENTER SPACER	INCONEL-X AISI 316	2	10500	
5	BOTTOM SPACER	Zry-2	1	10600	
4	FUEL PIN		9	10100	
3	SHROUD	Zry-2	1	10200	
2	TOP SUPPORT	AISI 304	1	10300	
1	BOTTOM SUPPORT	AISI 304	1	10400	
ITEM	NAME	MATERIAL	SUPL. NO	PRC. DWG. NO.	REMARKS
TITLE			SCALE	DATE	
IFA-160			1/1	DESIGN Y.F. 68-7-15	
FUEL ASSEMBLY				DWG. Y.F. 68-8-2	
				CHECK S.H. 68-8-23	
				APPR. Y.F. 68-8-23	
POWER REACTOR AND NUCLEAR FUEL			DWG. NO		
DEVELOPMENT CORPORATION			T442-10000		
TOKAI - JAPAN					



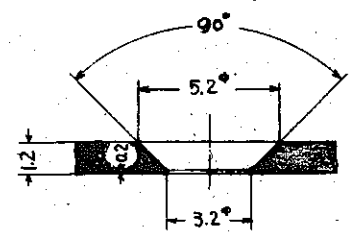
7					
6	THERMAL INSULATOR	ZrO ₂	2	10104	
5	SPRING	INCONEL-X	1	10103	
4	END PLUG	Zry-2	2	10102	
3	THERMAL INSULATOR	Nat. UO ₂	2	10105	
2	CLAD	Zry-2		10101	
1	FUEL (VIPAC)				
ITEM	NAME	MATERIAL	SUPL. NO	PNC DWG. NO.	REMARKS
TITLE			SCALE	DATE.	
IFA-160			1/1	DESIGN S.K.	68-7-15
FUEL PIN				DWG. S.F.	68-7-23
				CHECK S.K.	68-8-23
				APPR. J.F.	68-8-23
POWER REACTOR AND NUCLEAR FUEL DEVELOPMENT CORPORATION TOKAI - JAPAN			DWG. NO	T442-10100	



SECTION A-A



SECTION B-B



DETAIL C

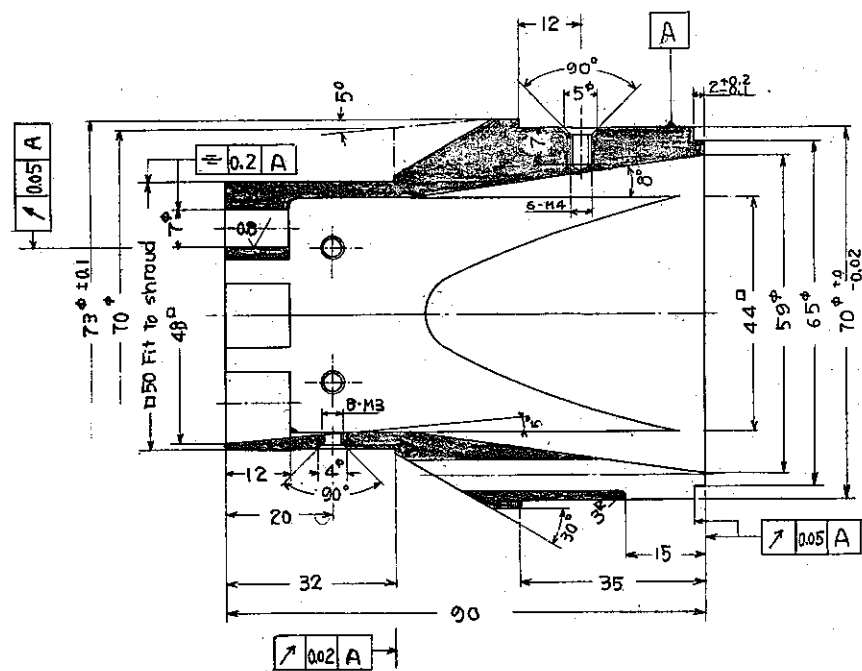
SCALE 5/1

SURFACE FINISH
V(3.2)

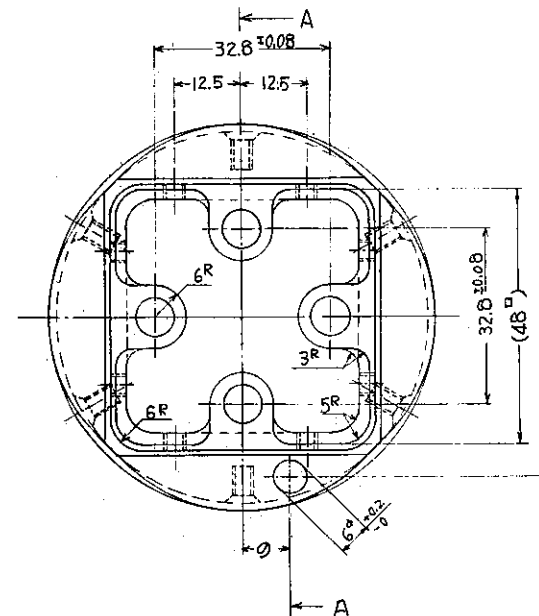
NOTE All measures before pickling
material removed by pickling 50μ
Remove all burrs and sharp edges

TOLERANCE UNLESS OTHERWISE SPECIFIED								
Nom. Size	OVER	6	30	100	300	1000	Angle	
Fit	to	6	30	100	300	1000	2000	
medium	±	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1.2	0.25°

ITEM	SHROUD	Zry - 2	1	PNC DWG. NO.	REMARKS
TITLE		SCALE		DATE.	
IFA-160		1/5		DESIGN S.K. '68-7-20	
SHROUD		Third		DWG. J.F. '68-7-29	
				CHECK S.K. '68-8-23	
				APPR. T.Y. '68-8-23	
POWER REACTOR AND NUCLEAR FUEL DEVELOPMENT CORPORATION TOKAI - JAPAN			DWG. NO T442-10200		



SECTION A-A



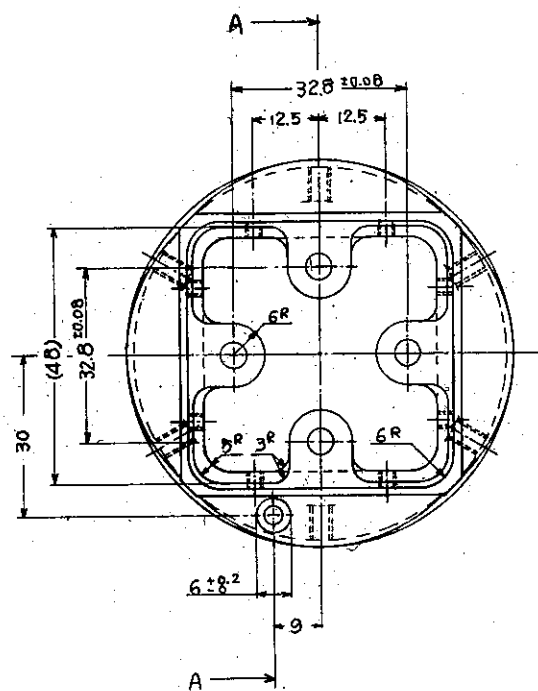
B
B

3.2

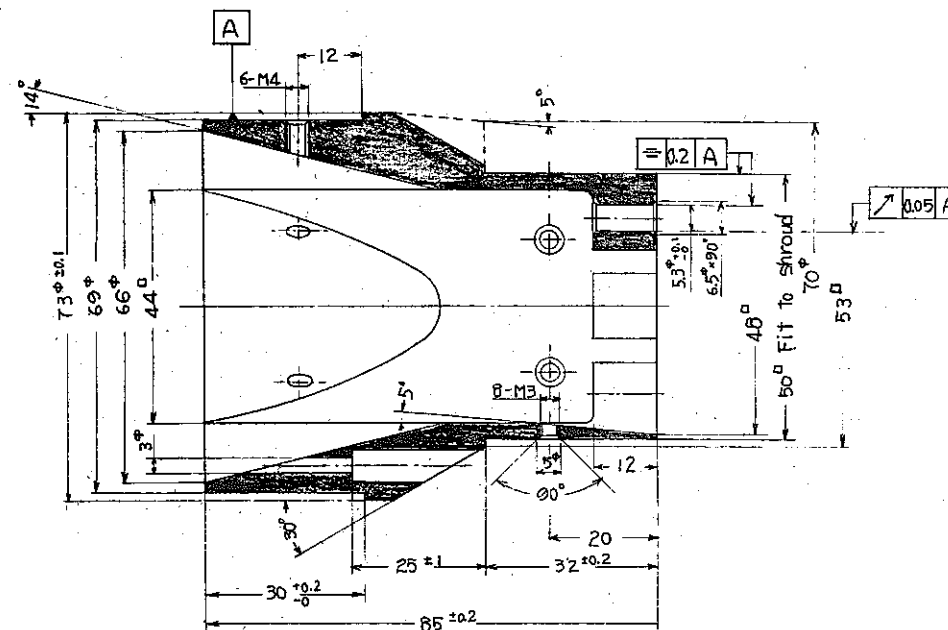
NOTE : TAPERED HOLES TO BE MADE AT ASSEMBLY.
REMOVE ALL BURRS AND SHARP EDGES.

TOLERANCE UNLESS OTHERWISE SPECIFIED								
Nom. Size	Over	6	30	100	300	1000	Angle	
Fit	To	6	30	100	300	1000	2000	
Medium	±	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1.2	0.25°

1	UPPER SUPPORT	AISI 304			
ITEM	NAME	MATERIAL	SUPL. NO	PNC DWG. NO.	REMARKS
TITLE			SCALE	DATE.	
1FA-160 TOP SUPPORT			1/1	DESIGN S.K.	68-7-20
			ANGLE.	DWG. Y.F.	68-7-30
			First	CHECK S.K.	68-8-23
				APPR. T.Y.	68-8-23
POWER REACTOR AND NUCLEAR FUEL DEVELOPMENT CORPORATION TOKAI - JAPAN			DWG. NO T442-10300		



3.2 ✓

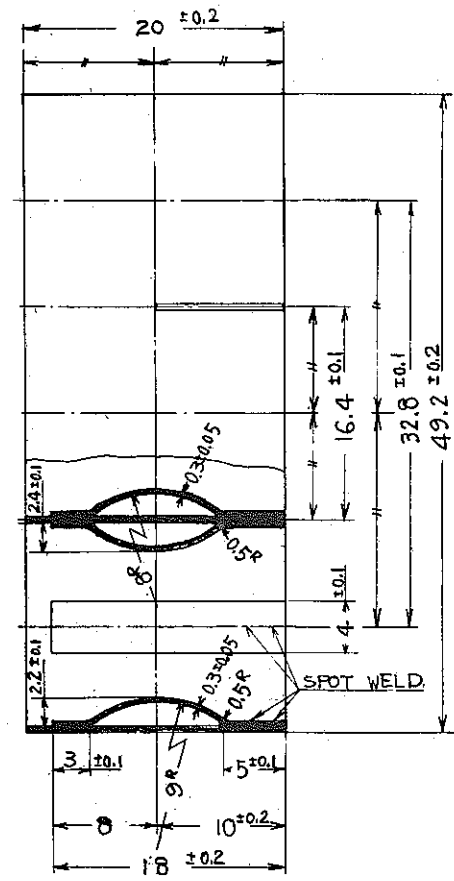
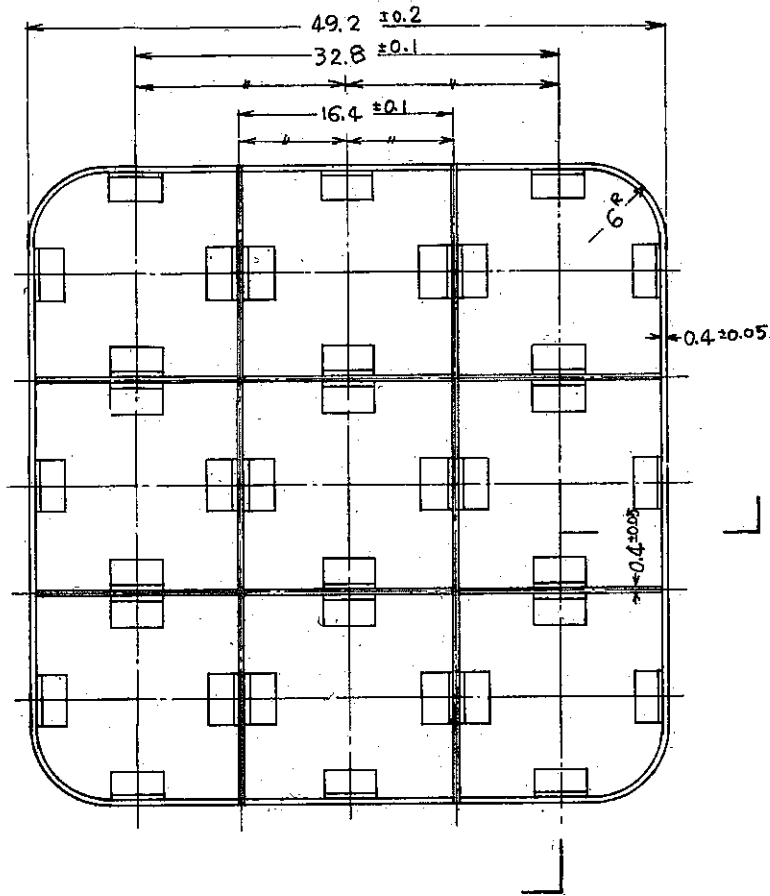


SECTION A-A

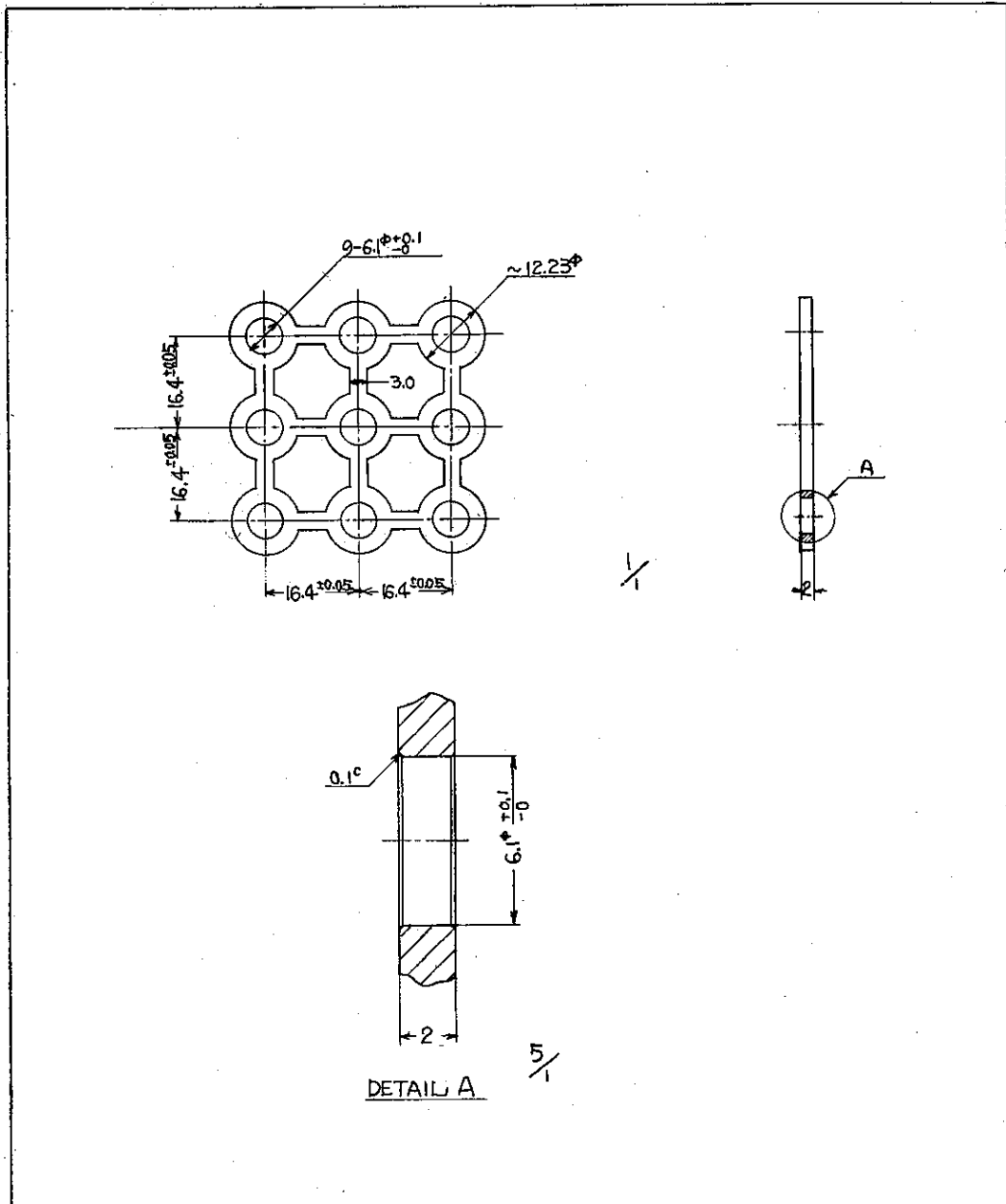
NOTE : Tapered holes to be made at assembly.
Remove all burrs and sharp edges.

TOLERANCE UNLESS OTHERWISE SPECIFIED								
Nom. Size	Over	6	30	100	300	1000	2000	Angles
Fit	To	6	30	100	300	1000	2000	Angles
Medium	±	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1.2	0.25°

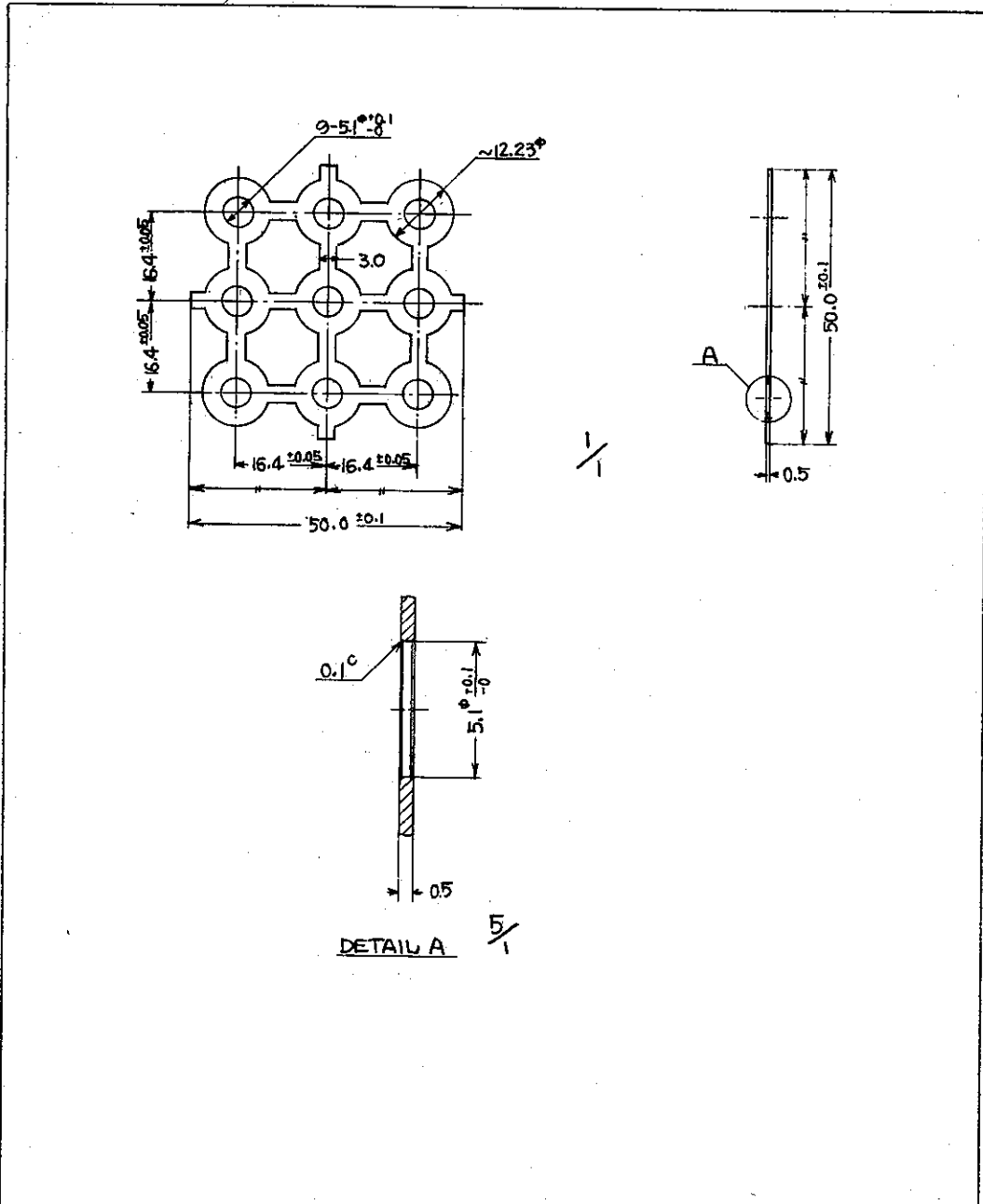
1	BOTTOM SUPPORT	AISI 304	1		
ITEM	NAME	MATERIAL	SUPL. NO	PNC DWG. NO.	REMARKS
TITLE			SCALE	DATE.	
IFA-160			1	DESIGN S.K. '68-7-20	
BOTTOM SUPPORT			ANGLE.	DWG. Y.F. '68-7-31	
			First	CHECK S.K. '68-8-23	
				APPR. T.Y. '68-8-23	
POWER REACTOR AND NUCLEAR FUEL DEVELOPMENT CORPORATION TOKAI - JAPAN			DWG. NO. T442-10400		



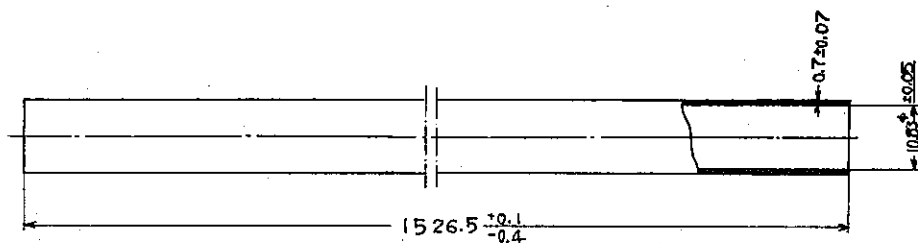
1	CENTER SPACER	INCONEL-X AISI 316 L	1		
ITEM	NAME	MATERIAL	SUPL. NO	PNC DWG. NO.	REMARKS
TITLE			SCALE	DATE.	
IFA-160			2/1	DESIGN S.K	68-7-10
CENTER SPACER			ANGLE.	DWG. Y.F	68-7-17
			Third	CHECK S.K	68-8-23
				APPR. T.Y.	68-8-23
POWER REACTOR AND NUCLEAR FUEL DEVELOPMENT CORPORATION TOKAI - JAPAN			DWG. NO T442-10500		



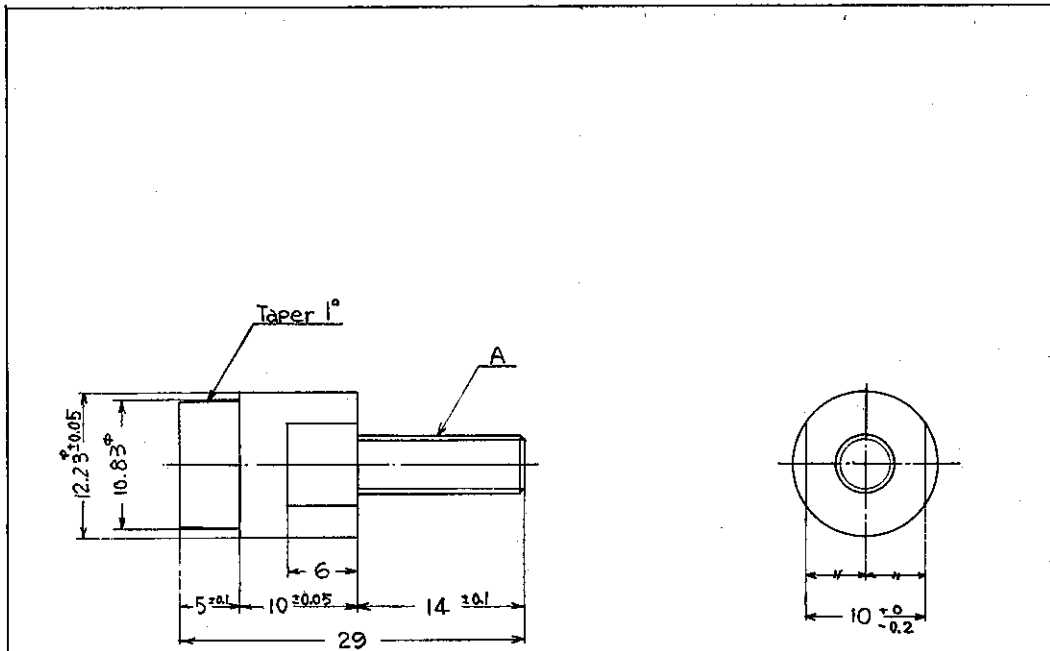
ITEM	PNC DWG. NO.	BOTTOM SPACER	Zry-2	1	REMARKS
TITLE		NAME	MATERIAL	SUPL. NO.	DATE
IFA-160		BOTTOM SPACER			DESIGN J.F. '68-7-10
			SCALE		DWG. J.F. '68-7-15
			ANGLE		CHECK S.K. '68-8-23
			Third		APPR. T.Y. '68-8-23
POWER REACTOR AND NUCLEAR FUEL DEVELOPMENT CORPORATION TOKAI - JAPAN			DWG. NO. 1442-10600		



1		TOP SPACER	AISI 316 L	1	
ITEM	PNC DWG. NO.	NAME	MATERIAL	SUPL. NO.	REMARKS
TITLE			SCALE	DATE	
IFA-160			1/1, 5/1	DESIGN 2/7	68-7-10
TOP SPACER			ANGLE	DWG. 3/7	68-7-15
			Third	CHECK SK	68-8-23
				APPR. T.Y.	68-8-23
POWER REACTOR AND NUCLEAR FUEL DEVELOPMENT CORPORATION TOKAI - JAPAN			DWG. NO. T442-10700		

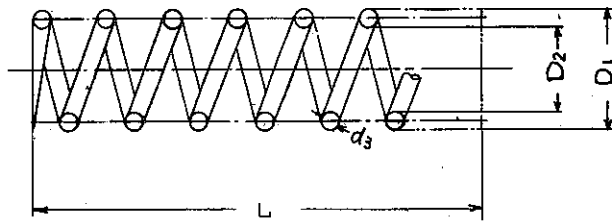


1		CLAD	Zry-2	9	
ITEM	PNC DWG. NO.	NAME	MATERIAL	SUPL. NO.	REMARKS
TITLE			SCALE	DATE	
IFA-160			2/1	DESIGN <i>Z.F.</i>	'68-7-15
CLAD			ANGLE	DWG. <i>Z.F.</i>	'68-7-22
			Third	CHECK <i>SK</i>	'68-8-23
				APPR. <i>T.Y.</i>	'68-8-23
POWER REACTOR AND NUCLEAR FUEL DEVELOPMENT CORPORATION TOKAI - JAPAN			DWG. NO. T442-10101		



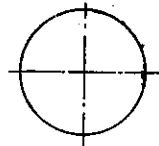
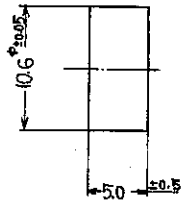
	A
BOTTOM END PLUG	M6, P1.0
TOP END PLUG	M5, P0.9

1		END PLUG	Zn-2	18	
ITEM	PNC DWG. NO.	NAME	MATERIAL	SUPL. NO.	REMARKS
TITLE			SCALE	DATE	
IFA-160			2/1	DESIGN <i>S.K.</i>	'68-7-15
END PLUG			ANGLE	DWG. <i>Y.F.</i>	'68-7-22
			Third	CHECKS <i>S.K.</i>	'68-8-23
				APPR. <i>T.Y.</i>	'68-8-23
POWER REACTOR AND NUCLEAR FUEL DEVELOPMENT CORPORATION TOKAI - JAPAN			DWG. NO	T442-10102	

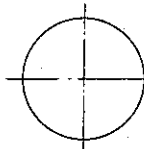
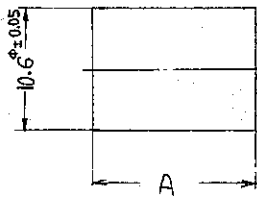


D_1 ϕ	D_2 ϕ	d_3 ϕ	L	No. of Turns	Spring Const.
10.0	7.4	1.3	92	17	0.25 kg/mm

I		SPRING	INCONEL-X	9	
ITEM	PNC DWG. NO.	NAME	MATERIAL	SUPL. NO.	REMARKS
TITLE IFA-160 SPRING			SCALE		DATE
			ANGLE		DESIGN <i>Y.F.</i> '68-7-15
					DWG. <i>Y.F.</i> '68-7-22
					CHECK <i>S.K.</i> '68-8-23
POWER REACTOR AND NUCLEAR FUEL DEVELOPMENT CORPORATION TOKAI - JAPAN			DWG. NO.	T442-10103	
				APPR. <i>Y.F.</i> '68-9-23	

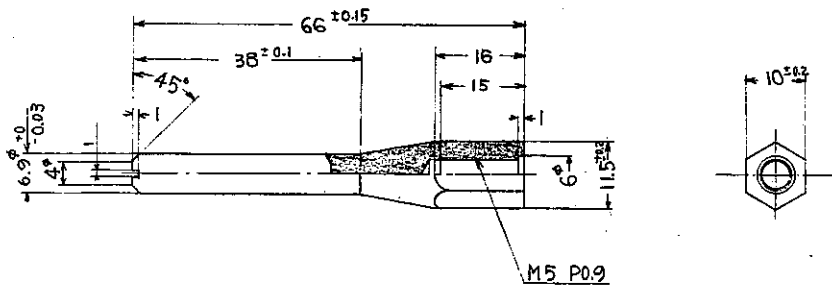


1		Thermal Insulator	ZrO2	18	
ITEM	PNC DWG. NO.	NAME	MATERIAL	SUPL. NO.	REMARKS
TITLE			SCALE	DATE	
IFA-160			2/1	DESIGN P.K.	68-7-10
THERMAL INSULATOR			ANGLE	DWG. J.F.	68-7-19
			Third	CHECK P.K.	68-8-23
				APPR. T.Y.	68-8-23
POWER REACTOR AND NUCLEAR FUEL DEVELOPMENT CORPORATION TOKAI - JAPAN			DWG. NO. T442 - 10104		

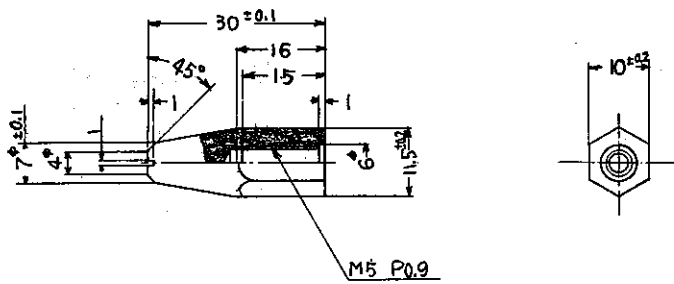


	A
TOP PELLET	10.0 ± 0.1
BOTTOM PELLET	15.0 ± 0.1

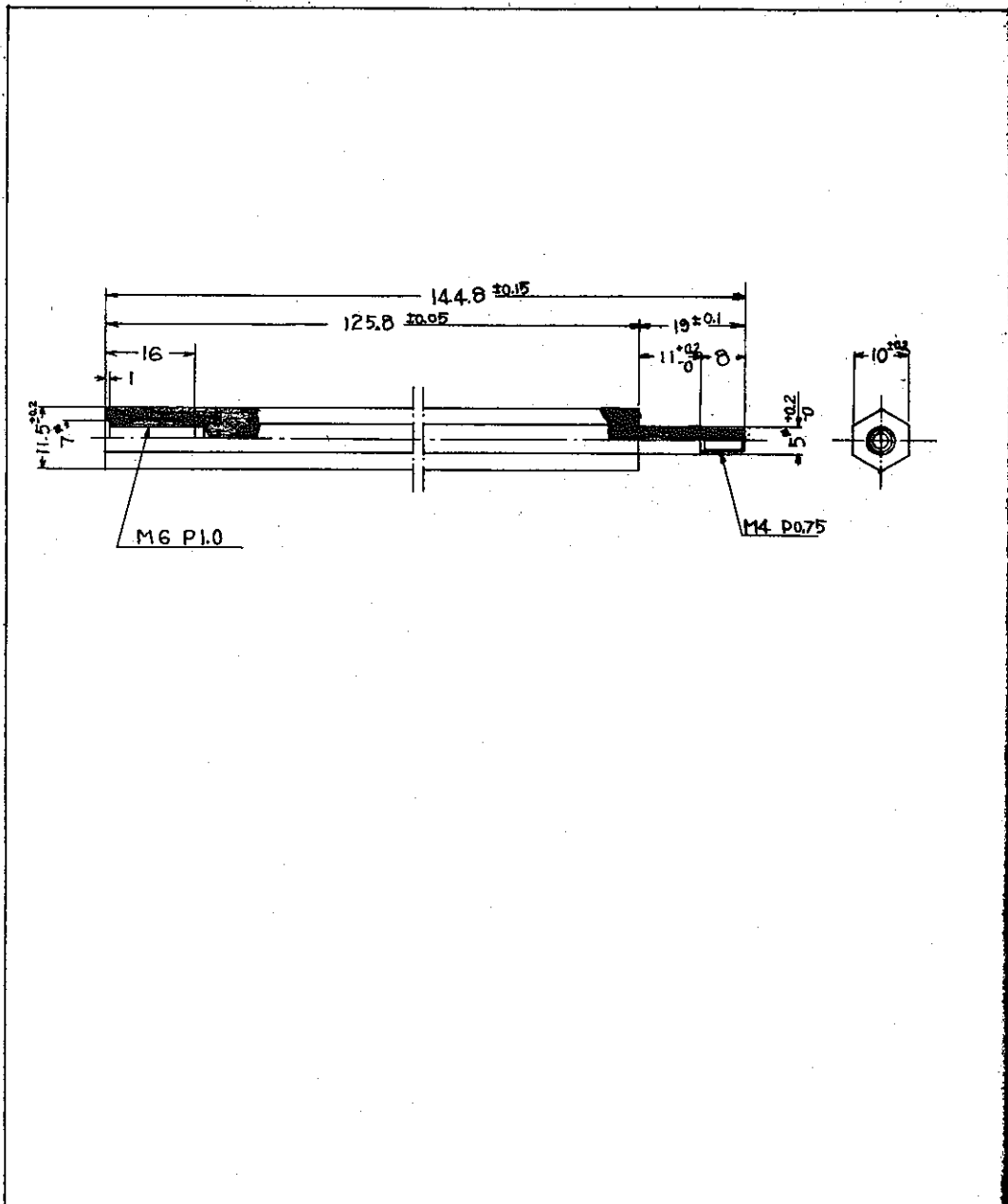
ITEM	PNC	DWG. NO.	NAME	MATERIAL	SUPL. NO.	REMARKS
			Thermal Insulator Pellet	Nat. UO ₂	18	
TITLE				SCALE		DATE
IFA-160				2/1	DESIGN <i>Y.F.</i>	<i>S. Kikuchi</i>
THERMAL INSULATOR PELLET				ANGLE	DWG. <i>Y.F.</i>	1968-7-19
				Third	CHECK <i>S.K.</i>	'68-8-23
					APPR. <i>T.Y.</i>	'68-8-23
POWER REACTOR AND NUCLEAR FUEL DEVELOPMENT CORPORATION TOKAI - JAPAN				DWG. NO.		
				T442-10105		



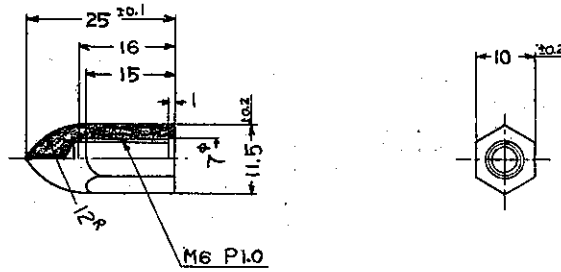
1		TOP GUIDE ROD	Zry - 2	4	
ITEM	PNC DWG. NO.	NAME	MATERIAL	SUPL. NO.	REMARKS
TITLE			SCALE	DATE	
IFA-160			1/1	DESIGN <i>Y.F.</i>	68-7-15
TOP GUIDE ROD			ANGLE	DWG. <i>Y.F.</i>	68-7-25
			Third	CHECK <i>SK</i>	68-8-23
				APPR. <i>T. Yamashita</i>	
POWER REACTOR AND NUCLEAR FUEL DEVELOPMENT CORPORATION TOKAI - JAPAN			DWG. NO. T442-10106		



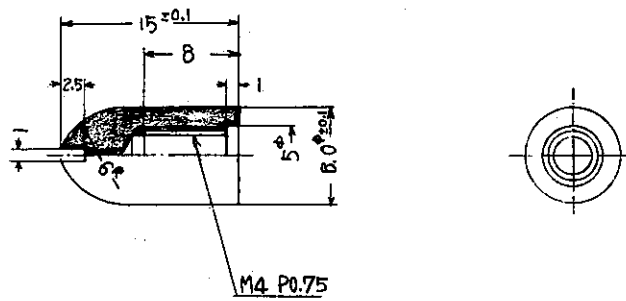
1		TOP END PLUG CAP	Zry-2	5	
ITEM	PNC DWG. NO.	N A M E	MATERIAL	SUPL. NO.	REMARKS
TITLE			SCALE	DATE	
IFA-160			1/1	DESIGNER J.F.	68-7-15
TOP END PLUG CAP			ANGLE	DWG. J.F.	68-7-25
			Third	CHECK S.K.	68-8-23
				APPR.	T. Yamashita
POWER REACTOR AND NUCLEAR FUEL DEVELOPMENT CORPORATION TOKAI - JAPAN			DWG. NO. T442-10107		



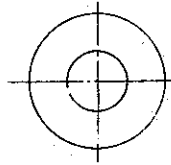
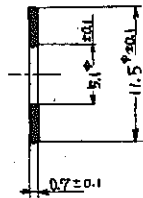
1		BOTTOM GUIDE ROD	Zry-2	4	
ITEM	PNC DWG. NO.	NAME	MATERIAL	SUPL. NO.	REMARKS
TITLE			SCALE	DATE	
IFA-160			1 /	DESIGN <i>Y.F.</i>	68-7-15
BOTTOM GUIDE ROD				DWG. <i>Y.F.</i>	68-7-25
				CHECK <i>S.K.</i>	68-8-23
				APPR.	<i>T. Yamashita</i>
POWER REACTOR AND NUCLEAR FUEL DEVELOPMENT CORPORATION TOKAI - JAPAN			DWG. NO. T442-10108		



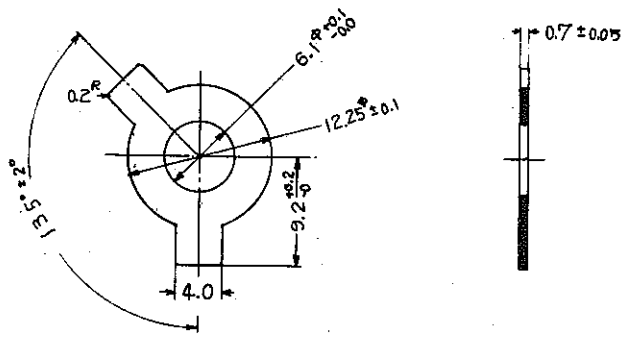
		BOTTOM END PLUG CAP I	Zry-2	5	
ITEM	PNC DWG. NO.	NAME	MATERIAL	SUPL. NO.	REMARKS
TITLE			SCALE		DATA
IFA-160			1/1	DESIGN Y.F.	'68-7-15
BOTTOM END PLUG CAP I			ANGLE	DWG. Y.F.	'68-7-25
			Third	CHECKER	'68-8-23
				APPR.	T. Yamashita
POWER REACTOR AND NUCLEAR FUEL DEVELOPMENT CORPORATION TOKAI - JAPAN			DWG. NO.	T442-10109	



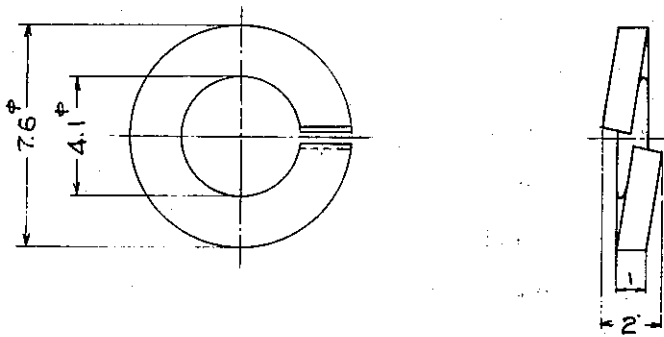
1		BOTTOM END PLUG CAP II	Zry-2	4	
ITEM	PNC DWG. NO.	N A M E	MATERIAL	SUPL. NO.	REMARKS
TITLE			SCALE	DATE	
IFA-160			2/1	DESIGN	68-7-15
BOTTOM END PLUG CAP II			ANGLE	DWG.	68-7-25
			Third	CHECK SK	68-8-13
				APPR.	T. Yamada
POWER REACTOR AND NUCLEAR FUEL DEVELOPMENT CORPORATION TOKAI - JAPAN			DWG. NO.	T442-10110	



1		WASHER	Stainless steel	9	
ITEM	PNC DWG. NO.	NAME	MATERIAL	SUPL. NO.	REMARKS
TITLE		IFA-160 WASHER	SCALE		DATE
			2/1	DESIGN Y.F.	'68-7-15
			ANGLE	DWG. Y.F.	'68-7-22
			Third	CHECK S.K.	'68-8-23
			APPR.	T. Yamada	
POWER REACTOR AND NUCLEAR FUEL DEVELOPMENT CORPORATION TOKAI - JAPAN			DWG. NO. T442-10111		



1		LOCK WASHER	stainless steel	9	
ITEM	PNC DWG. NO	NAME	MATERIAL	SUPL. NO.	REMARKS
TITLE			SCALE	DATE	
IFA-160			2/1	DESIGN <i>Y.F.</i>	68-7-15
LOCK WASHER			ANGLE	DWG. <i>Y.F.</i>	1968-7-20
			Third	CHECK <i>S.K.</i>	68-8-23
				APPR. <i>T. Yamashita</i>	
POWER REACTOR AND NUCLEAR FUEL DEVELOPMENT CORPORATION TOKAI - JAPAN			DWG. NO T442-10112		



ITEM		PNC DWG. NO.		SPRING WASHER	Stainless steel	4	REMARKS
TITLE		NAME		MATERIAL	SUPL. NO.	DATE	
1FA-160		SPRING WASHER		SCALE		DESIGN <i>YF</i> '68-7-15	
				ANGLE		DWG. <i>YF</i> '68-7-22	
				Third		CHECKS <i>SK</i> '68-8-23	
						APPR. <i>T. Yamashita</i>	
POWER REACTOR AND NUCLEAR FUEL DEVELOPMENT CORPORATION TOKAI - JAPAN				DWG. NO. T442-10113			

3.3 EBWRおよびSAXTONにおける仕様

(宮脇)

3.3.1 EBWR における仕様

EBWR は BWR (UO₂ 燃料) の開発のため 1956 年 ANL に建設されたが, 所期の目的を果たしたので 1964 年頃からプルトニウム富化燃料を装荷して, プルトニウム富化炉心の炉物理データの測定, プルトニウムリサイクルの技術的可能性の実証に使われている。

以下, 炉, 炉心, 燃料集合体, 燃料要素, 熱水力にわけて, それらの概要を一覧表の形で示す。

EBWR, プラント, パラメータ

〔炉〕

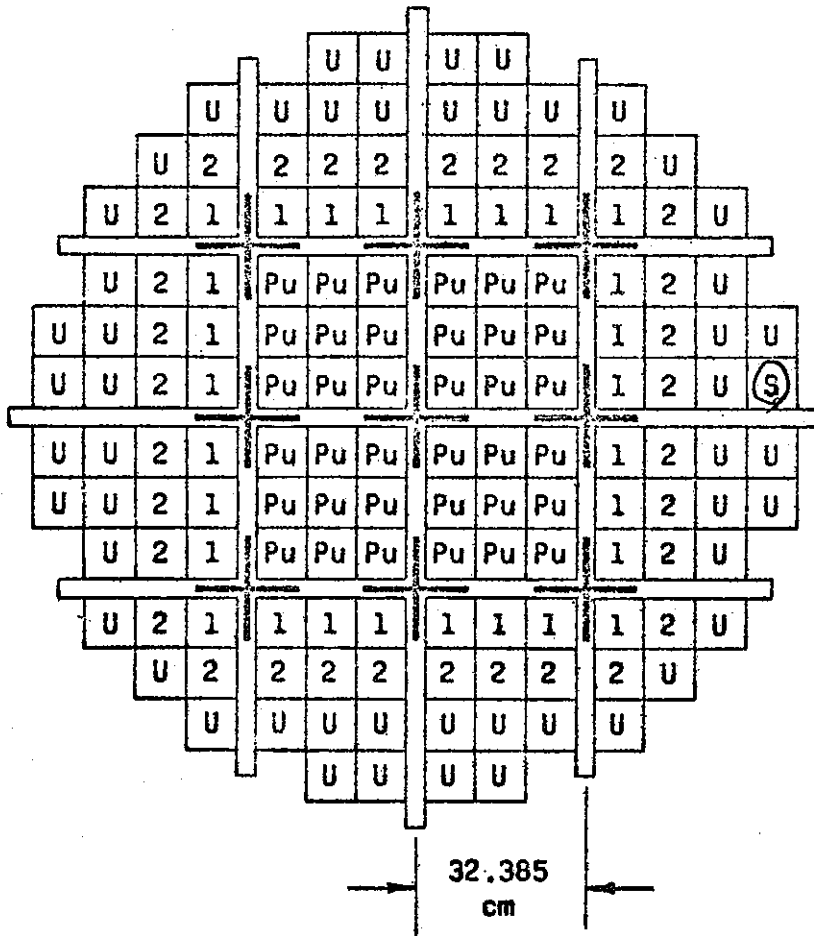
炉型式	直接サイクル沸騰水型
熱出力	20MW _{th}
電気出力	5MWe
運転圧力	600psi
運転温度	489°F
冷却材	H ₂ O
減速材	H ₂ O
燃料	PuO ₂ , UO ₂

〔炉心〕 Fig. 3.3.1 参照

実効直径	152cm
実効高さ	122cm
ウラン装荷量	~3930kgU, 4470kgUO ₂
U ²³⁵ 装荷量	~108kg
プルトニウム装荷量 (8%Pu ²⁴⁰)	~145kg
平均軽水対燃料体積比	~2.7
構造材	ジルカロイ-2

〔燃料集合体〕

Pu 領域	PuO ₂ , UO ₂ (1.5w/o PuO ₂ /UO ₂)	36本
シム領域	UO ₂ (6.0%U ²³⁵ /U)	60本
	バーナブルポイズン	
	E _{U₂O₃} = 0.158w/o (平均)	



- 36- Pu Pu ZONE
- 28- 1 1st SHIM ZONE
- 32- 2 2nd SHIM ZONE
- 51- U NATURAL U ZONE
- 1- S SOURCE

Fig- 3.3.1 炉 心

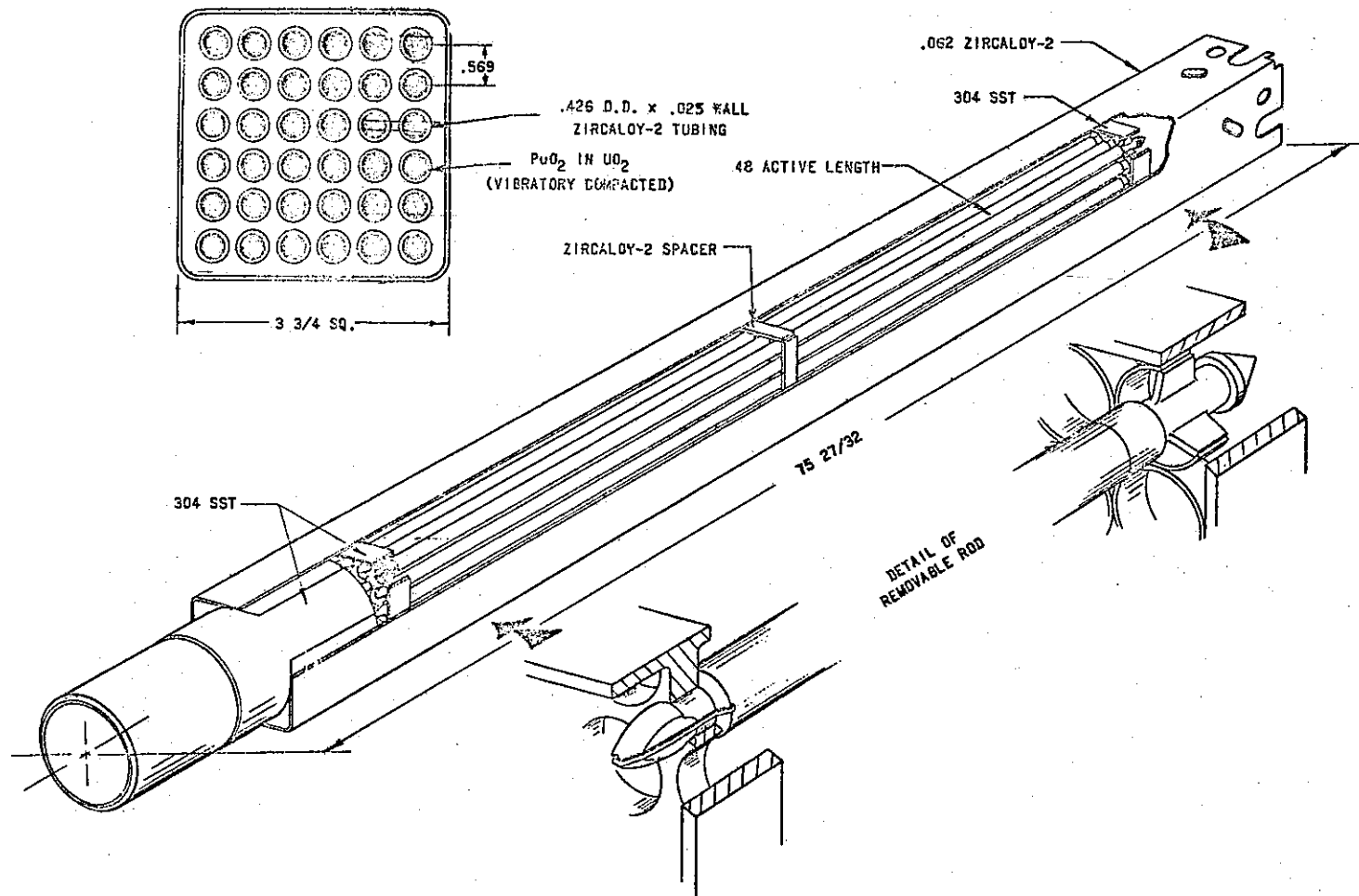
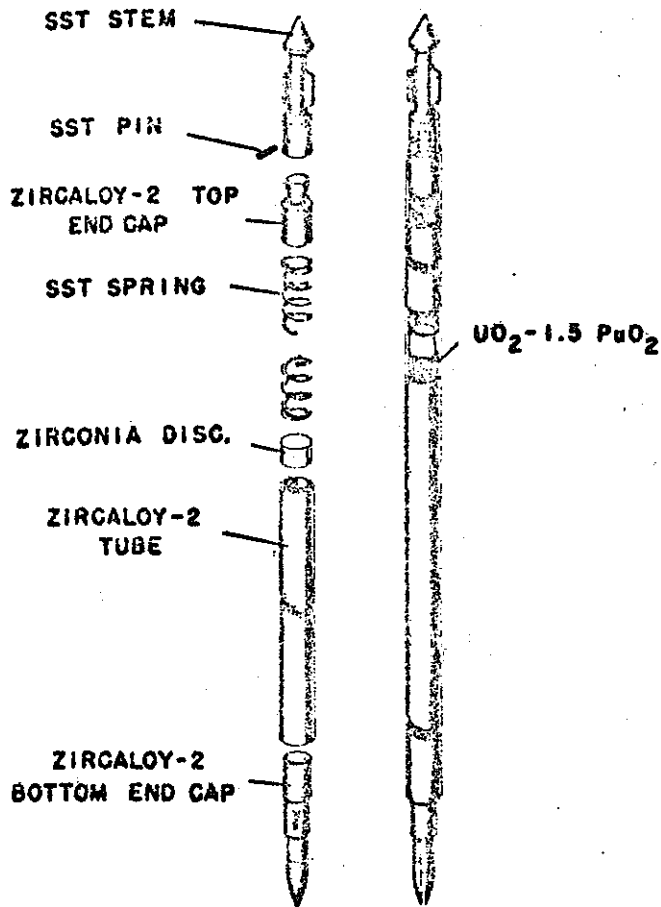


Fig. 3.3.2 燃料集合体 ($PuO_2 - UO_2$)



112-3677

Fig- 3.3.3 燃 料 要 素

	$S_{m_2 O_2} = 0.0288 w/o$ (平均)	
天然ウラン領域	UO_2 (0.7% U^{235}/U)	51本
燃料要素	36本/集合体	Fig. 3.3.2参照
〔燃料要素〕 Fig. 3.3.3参照		
被覆管	ジルカロイ2	
被覆管肉厚	~0.064 cm	
被覆管内径	0.945 cm	
端栓接合部ステンレス, スチール		
燃 料		
UO_2 , ペレット,	0.927 cm ϕ × 1.27 cmL	
PuO_2 , UO_2 , VIPAC		
〔熱水力〕		
チャンネル出力	286 kw (42MW炉出力の場合)	
熱伝導表面積	16 ft ² / 集合体	
熱流束 (平均)	61600 Btu / hr / ft ² (42MW炉出力の場合)	

3.3.2 SAXTONにおける仕様 (第2炉心)

PuO_2 , UO_2 燃料の設計, 製造および PuO_2 , UO_2 部分装荷炉心の運転を通して, プルトニウム富化燃料のPWRへの利用に関する情報を得るため1965年からプルトニウム富化燃料をSAXTON炉に装荷して実験を行なっている。以下, 燃料棒の仕様, SAXTON炉心(第2炉心)のデザインデータを一覧表の形でまとめておく。

A. 燃料棒の仕様

第2炉心では, ジルカロイ-4被覆の PuO_2-UO_2 ペレットおよびバイパック充填ステンレス, スチール被覆の UO_2 ペレットの5種類の燃料棒が使用されている。以下それらの仕様を示す。

Table. 3.3.1 燃料棒の仕様 Fig.3.3.4 参照

種類	単位	I	II	III	IV	V
燃料		PuO ₂ -UO ₂	PuO ₂ -UO ₂	PuO ₂ -UO ₂	PuO ₂ -UO ₂	UO ₂
被覆材		ジルカロイ-4	ジルカロイ-4	304 ^{SS}	304 ^{SS}	304 ^{SS}
燃料形状		ペレット	バイバック	ペレット	バイバック	ペレット
富化度	w/o $\frac{\text{PuO}_2}{\text{UO}_2}$	6.6	6.6	6.6	6.6	* 5.4
ペレット直径	インチ	0.3374		0.3558		0.357
被覆管外径	インチ	0.391	0.391	0.391	0.391	0.391
被覆管内径	インチ	0.3445	0.3445	0.361	0.361	0.361
燃料密度 ^{**}	% T.D	94.0	87.0	94.0	87.0	93.0
燃料長さ	インチ	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6

* 濃縮度 w/o $\frac{\text{U}^{235}}{\text{UO}_2}$

** UO₂ の理論密度 = 10.96 g / cm³
 PuO₂ の理論密度 = 11.46 g / cm³

Table 3.3.2 燃料棒当りの燃料の量

燃料	単位	I	II	III	IV
		ジルカロイ被覆 ペレット	ジルカロイ被覆 バイバック	SS 被覆 ペレット	SS 被覆 バイバック
PuO ₂ -UO ₂	g/rod	546.576	535.059	608.707	587.534
PuO ₂	"	36.074	35.314	40.175	38.777
Pu [*]	"	318.15	311.45	35.432	34.199
Pu ²³⁹	"	28.789	28.183	32.062	30.947
Pu ²⁴⁰	"	2.727	2.669	3.037	2.931
Pu ²⁴¹	"	0.283	0.277	0.315	0.304
Pu ²⁴²	"	0.013	0.012	0.014	0.014

* Pu の組成

Pu²³⁹ 90.49 %
 Pu²⁴⁰ 8.57 %
 Pu²⁴¹ 0.89 %
 Pu²⁴² 0.04 %

ジルカロイ被覆ペレット型燃料棒についてももう少し詳細に示しておく。

a. ペレット

		仕 様
材 料	PuO ₂ -UO ₂	Westing house Spec. SAX-POOI
密 度	% , T. D	94 ± 2
直 径	インチ	0.3374 ± 0.0010
長 さ	インチ	0.366 ± 0.030
くぼみ直径(片方のみ)	インチ	0.297 ± 0.015
くぼみ深さ(片方のみ)	インチ	0.0135 ± 0.0035

b. 被覆管

材 料	Cold worked Seamless Zircaloy-4 min. 0.2 % Y.S. at RoomT 65000 psi (W) Spec. NO. 18508A3	
内 径	インチ	0.3445 ± 0.0015
外 径	インチ	0.391 ± 0.006
肉 厚	インチ	0.02325 ± 0.00225
内部オヴァリティ	インチ	± 0.001

c. 燃料棒

直径ギャップ(コールド)	インチ	0.0071 ± 0.0025
燃料長さ(コールド)	インチ	36.6 ± 0.183
ボイド体積(最小)	(インチ) ³	0.1875

d. ペレット中の不純物

不純物	PPm (max)	Σa (2200 m/sec)
Al	3000	15 $\times 10^5$ cm ⁻¹
B	15	63.7 \times #
Bi	2.0	0.0002 \times #
Ca	1000	0.66 \times #
Cd	1.0	28.0 \times #
Co	6.0	2.3 \times #
Cr	500.0	18.3 \times #
Cu	50.0	1.75 \times #
Fe	5000	13.6 \times #
In	3.0	3.0 \times #
Mg	50.0	0.08 \times #
Mn	10.0	1.5 \times #
Mo	150.0	2.4 \times #
Ni	300.0	14.4 \times #
Pb	20.0	0.010 \times #
Si	500.0	1.4 \times #
Sn	5.0	0.015 \times #
Ti	40.0	3.1 \times #
V	1.0	0.059 \times #
W	50.0	3.0 \times #
Zn	20.0	0.21 \times #
C	100.0	0.016 \times #
F	10.0	0.0007 \times #
N	75.0	6.2 \times #
OL	10.0	
H	15.0	
Gd		
Sm	0.6	91.44 \times #
Eu		
Dy		

B. SAXTDN第2炉心のデザインデータ

a. 炉心 (Fig. 3.3.5参照)

炉心直径 28.07インチ

炉心高さ 36.6インチ

燃料集合体 (Fig. 3.3.6 参照)	21 体
PuO ₂ -UO ₂ 燃料集合体	9 体
UO ₂ 燃料集合体	12 体
富化度	
PuO ₂ -UO ₂ 燃料	6.6w/o PuO ₂ / UO ₂
UO ₂ 燃料	5.742 % U ²³⁵ / UO ₂

燃料棒

PuO ₂ -UO ₂ ジルカロイ被覆ペレット,	466本
PuO ₂ -UO ₂ ジルカロイ被覆, バイバック	134本
PuO ₂ -UO ₂ SS被覆, ペレット	20本
PuO ₂ -UO ₂ SS. 被覆, バイバック	10本
UO ₂ SS. 被覆, ペレット	938本
燃料装荷量	911.2kg
PuO ₂ -UO ₂ 燃料	344.5kg
UO ₂ 燃料	566.8kg

b. 熱水力デザインデータ

全炉心

熱出力 (初期)	22.1 MW _{th}
燃料内で発熱する割合	97.4%
圧力 (公様)	200.0 Psi

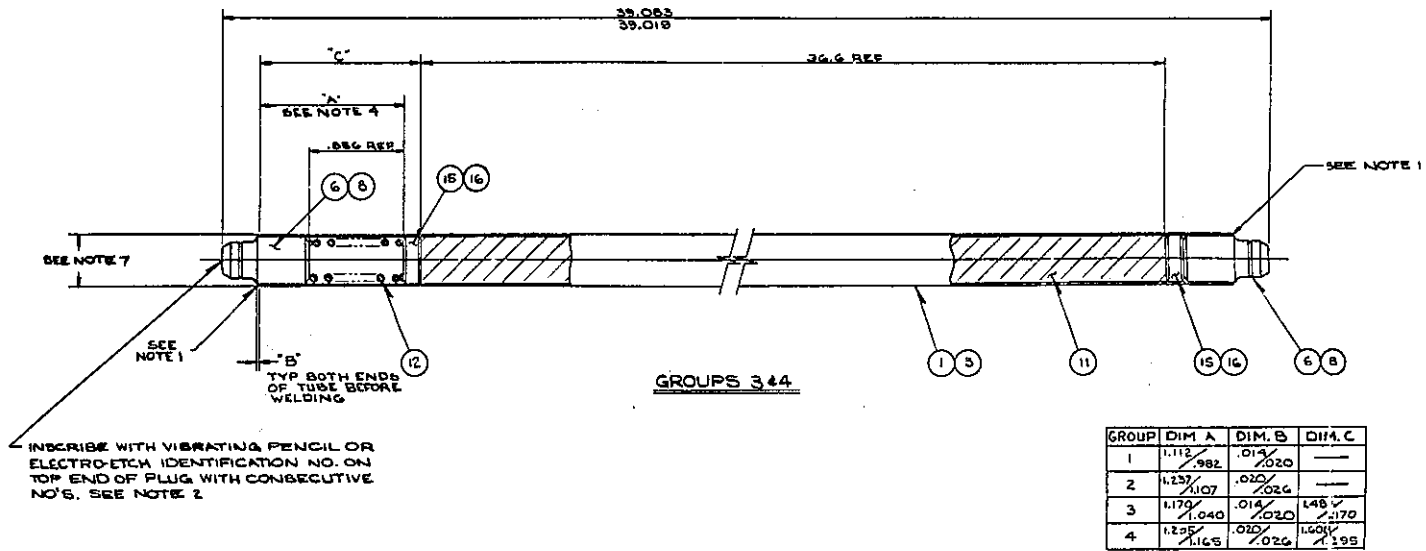
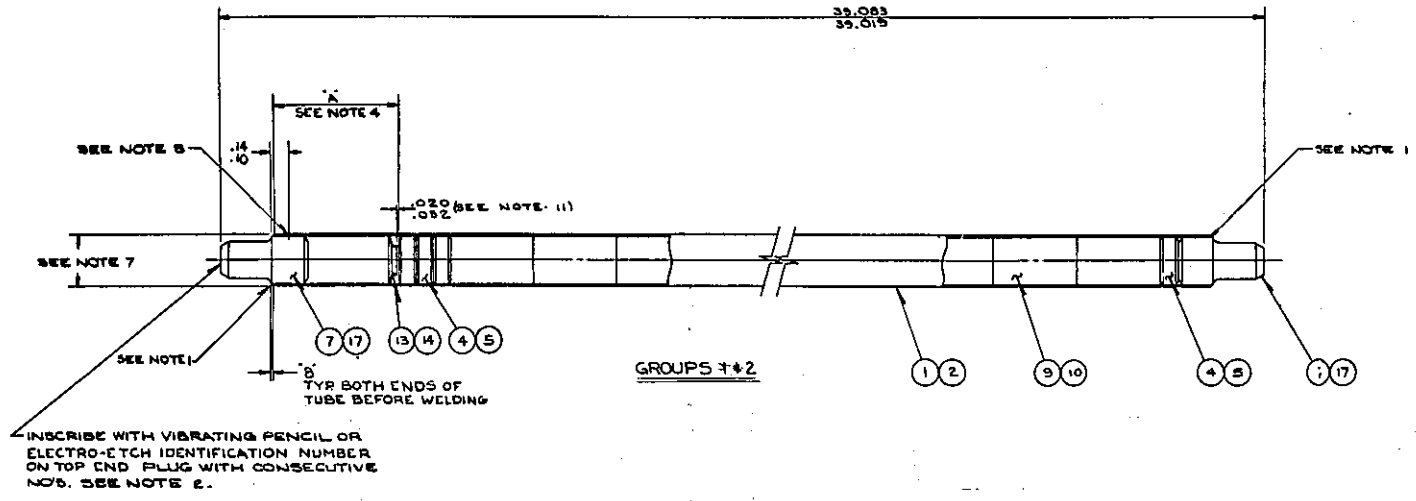
流れ

全流量率	2.94 × 10 ⁶ lb / hr
実効熱伝達流量率	2.5 × 10 ⁶ lb / hr
単位セル当りの流路面積	2.51 ft ²
平均流速	5.8 ft / sec

冷却材温度

入口 (公様)	520.0°F
入口 (最高)	525.0°F
ベッセル内平均上昇	20.7°F
炉心内平均上昇	24.8°F
ベッセル内平均温度	530.7°F

炉心内平均温度	532.5°F
平均フィルム係数	2540 Btu/hr·ft ² ·°F
平均フィルム温度差	58.0°F
熱伝達	
燃料棒の実効熱伝達面積	498 ft ²
平均熱流束	147200.0 Btu/hr·ft ²
平均線出力	4.4 kw / ft
最高被覆管表面温度	642°F
圧力損失	
炉心	4.1 psi
ベッセル	11.3 psi
炉心中央部 (PuO ₂ , UO ₂ 燃料領域)	
F _q 熱流束ホットチャンネルファクター	3.61
F _H エンタルピー上昇ホットチャンネルファクター	2.81
最高熱流速	531400 Btu/hr ² ·ft ²
最高線出力	16.0 kw/ft
ホットチャンネルでの最高出口温度	591.7°F
炉心周辺部 (UO ₂ 燃料領域)	
F _q 熱流束ホットチャンネルファクター	2.04
F _H エンタルピー上昇ホットチャンネルファクター	1.59
最高熱流束	301600 Btu/hr·ft ²
最高線出力	9.05 kw / ft
ホットチャンネルでの最高出口温度	563.9°F



GROUP	DIM. A	DIM. B	DIM. C
1	1.112 / .982	.014 / .020	---
2	1.237 / 1.107	.020 / .026	---
3	1.179 / 1.040	.014 / .020	1.48 / 1.170
4	1.225 / 1.165	.020 / .026	1.60 / 1.295

Fig. 3.3.4 Saxton Fuel Rod

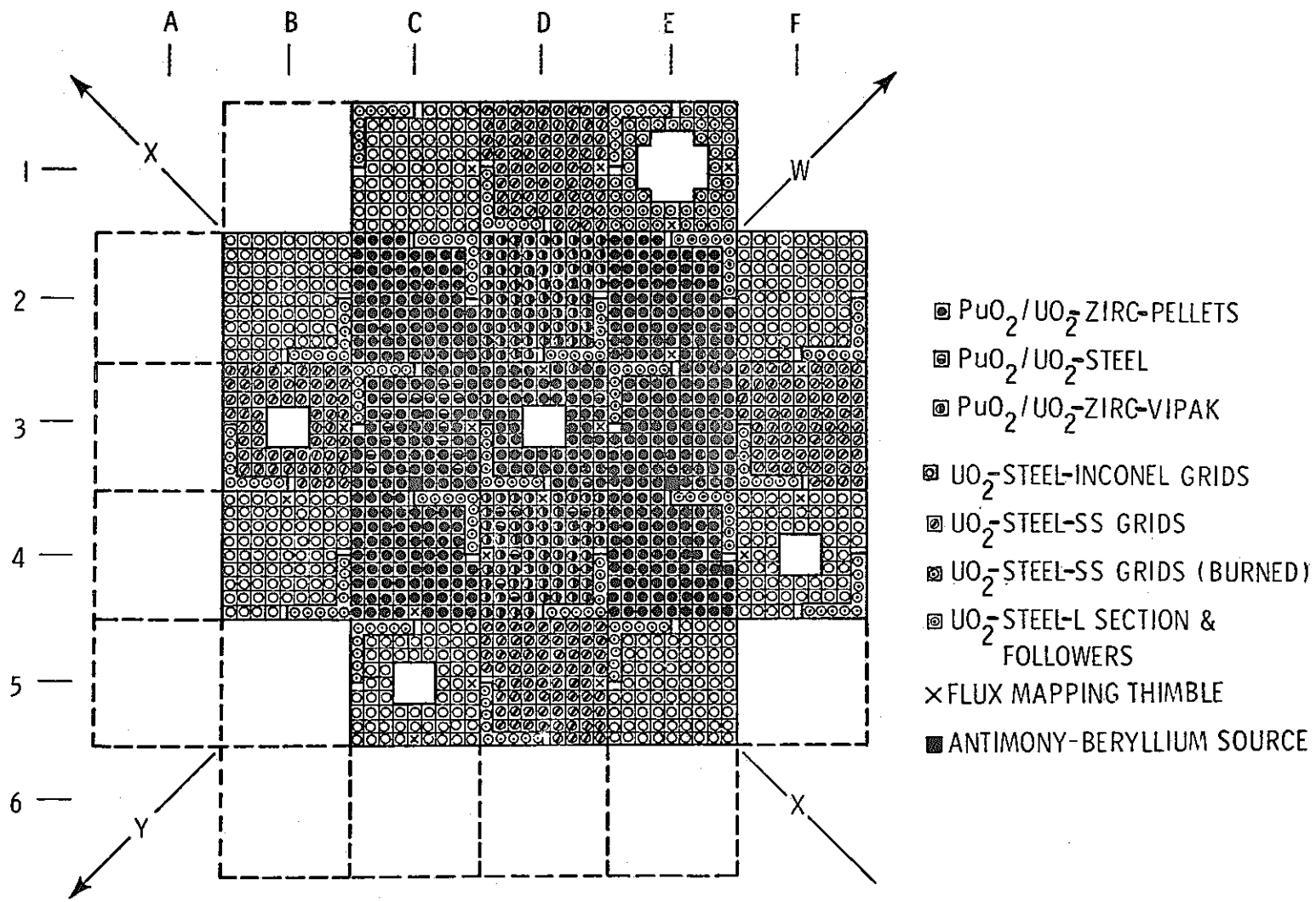


Fig. 3.3.5 Saxton Core II Fuel Configuration

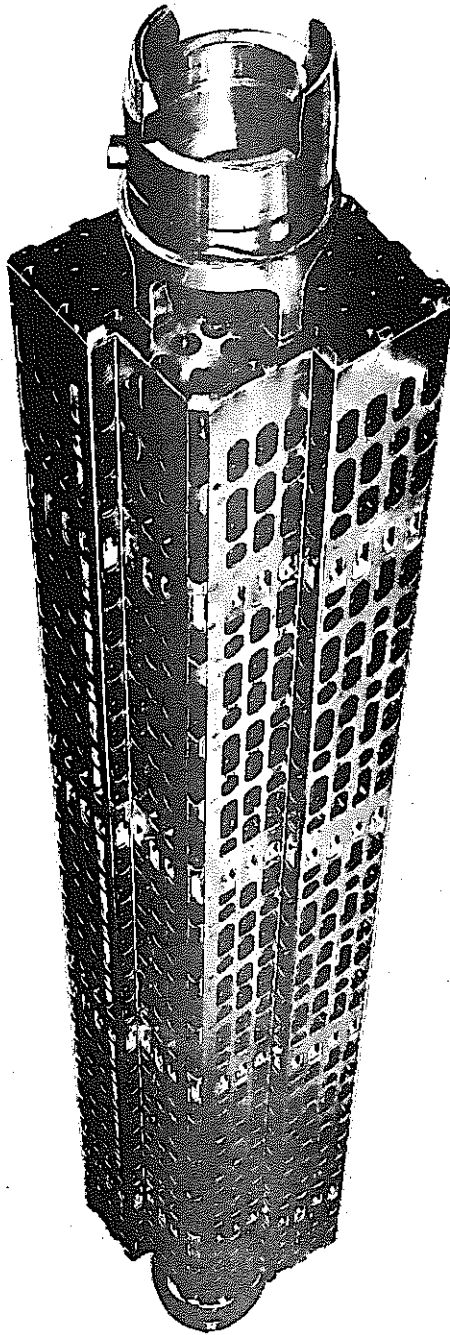


Fig. 3.3.6 Typical 9x9 SAXTON Fuel Assembly

4. I F A - 1 5 9 の製造

4.1 概 要

(吉岡)

IFA-159用のペレットは(約13kg M.O.)試作課製造係(当時)で昭和42年7月下旬から9月中旬までの間、正味約6週間で製造された。このような大量の製造は初めての経験であったから、単に製造技術上の問題だけでなく、多数ペレットの取り扱い、保存などについても貴重な経験をうることができた。なお、製造能力を増すために、ペレット焼結炉のみでなく、大型のゾルゲル用焼結炉も使用したが、炉特性の相異から周一保持条件でも到達密度が異なるなど、かえって問題を生じた点もあった。昭和42年12月になってLot H-16のClが仕様を越えていることが判明したので、43年1月に追加製造(2kg M.O.)を行なった。

充填、溶接、検査は43年3月に試作課加工係(当時)において行なわれ、10本の燃料棒が製作された。充填にあたっては、ペレット-被覆管のギャップと、燃料棒としてのlinear Pu contentとができるだけ一定になるように、ペレット-ケづつのデータと、被覆管内径測定値とから、電子計算機を使用して、約1000ケのペレットの配置を指定した。

集合体部材の製造は技術部検査課が、その試験は設計課が担当した。モックアップ集合体の水流動試験は設計課によって行なわれた。

4.2 ペレット製造

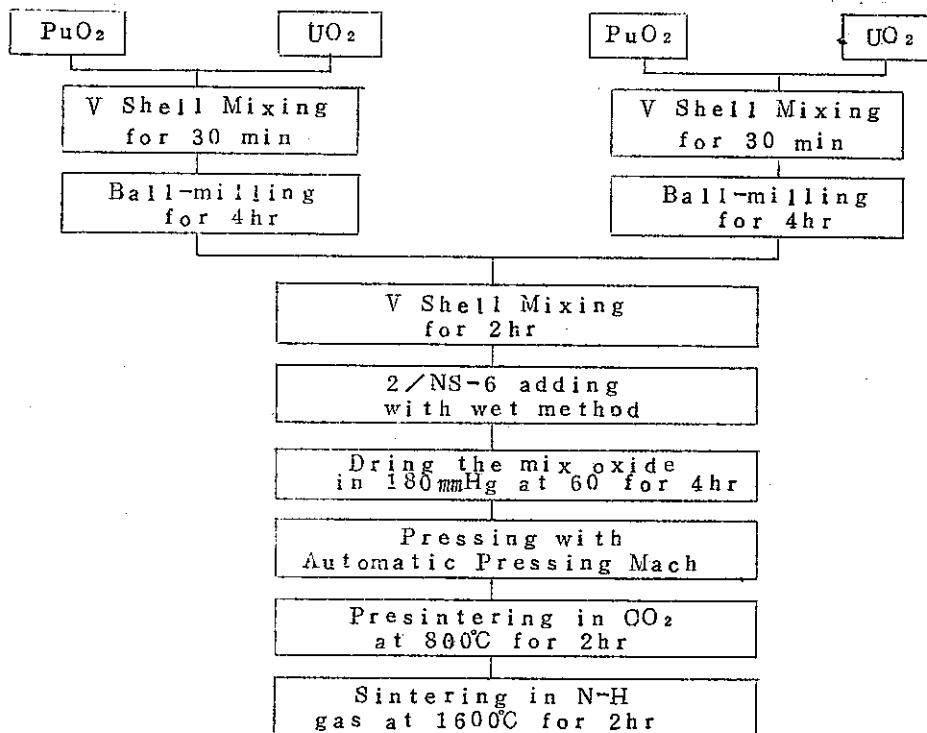
(中島) 11-10801

Table 4.2.1 Specificatvon for Halden Pellet

1. Fabricatvon method : Mechanical brend & Sinter
2. PuO₂ conc : 2.5±0.1 w/o PuO₂
3. Uraoium : Natural
4. Pellet density : 94.0±1.5%TD
5. Pellet dia : 10.00±0.05mm
6. Pellet height : ~14mm
7. Impurities(ppm)

B	<1.5	Ni	<300
Ca	<100	Cu	<50
Cd	<1.0	C	<100
Cr	<500	N	<75
Fe	<500	Cl	<10
Mg	<50	F	<20

Table 4.2.1 Fabrication Flow sheet of Halden Pellet.



(I) PuO₂ 濃度

各ロットのPuO₂濃度はFig. 4.22のようであった。

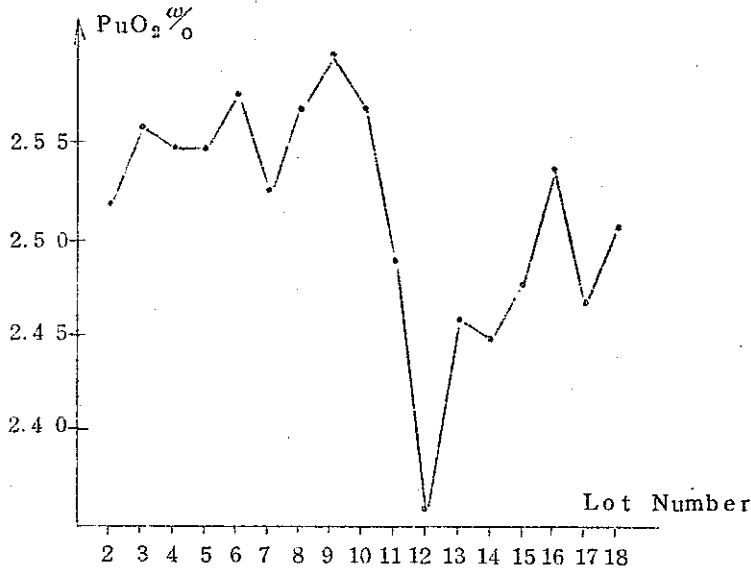


Fig. 4.22 PuO₂ concentration

Fig. 4.22に示すように全ロットとも仕様の範囲に入っている。サンプルは1ロット～1.2 kgから3.0 gを取った。

全ロットの平均：2.52% PuO₂

HALDEN用ペレットの製造では、原料粉の乾燥をこなわずに、混合したが、原料粉を充分乾燥すれば、バラツキをもっと小さく出来るものと思う。

(II) 不純物

PuO₂濃度が2.5%であるために製品中の不純物の量は主に原料UO₂によって規制される。

この他に製造工程で入ってくるもの及び分析試料のサンプリングの際に混入するものがある。

- (i) 原料中よりも製品ペレット中で増加している元素Al；ボールミル混合工程で高純度アルミナボット及び高純度アルミナ・ボールを使用しているためであろう。
- (ii) 原料中よりも製品ペレット中で減少している元素Al以外の元素はほとんどすべて原料UO₂中の値の20～50%になっていた。

Table 4.2.2 Analytical Result of the Pellet for Halden Irradiation

	仕様	H-02	H-03	H-04	H-05	H-06	H-07	H-08	H-09	H-10	H-11	H-12	H-13	H-14	H-15	H-16	H-17	H-18	原料 UO ₂
Pu (w/o)		2.2 ₂	2.2 ₆	2.2 ₅	2.2 ₅	2.2 ₈	2.2 ₄	2.2 ₇	2.3 ₀	2.2 ₇	2.2 ₀	2.0 ₈	2.1 ₇	2.1 ₆	2.1 ₉	2.2 ₄	2.1 ₈	2.2 ₁	
PuO ₂ (w/o)		2.5 ₂	2.5 ₆	2.5 ₅	2.5 ₅	2.5 ₈	2.5 ₈	2.5 ₇	2.6 ₀	2.5 ₇	2.4 ₉	2.3 ₆	2.4 ₆	2.4 ₆	2.4 ₈	2.5 ₄	2.4 ₇	2.5 ₁	
UO ₂ (w/o)	97.5±0.1																		
O/M (ppm)		2.01 ₃		2.00 ₇		1.99 ₈		1.99 ₈		2.01 ₀		1.99 ₄		1.99 ₁		1.99 ₀	1.99 ₆	1.99 ₅	
C (#)	<100	30		<30		50		50		40		80		60		60	55	40	100
N (#)	<75	50		60		45		35		<30		<30					50	50	100
Ca (#)	<100	4		6		5		6		5		4		5		2	2	<1	25
Cd (#)	<1.0	<0.3		<0.3		<0.3		<0.3		0.3		<0.2		<0.2		<0.2	<0.3	<0.3	0.5
Ag (#)		0.5		0.1		0.5		0.5		0.5		<0.3		0.3		<0.3	<0.1	<0.1	1
Al (#)		100		50		70		60		60		101		170		100	75	80	25
B (#)	<1.5	0.8		0.9		0.9		0.3		0.3		0.23		0.21		0.35	<0.2	<0.2	0.25
Co (#)		<10		<10		<10		<10		<10		<10		<10		<10	<10	<10	
Cr (#)	<500	<5		10		35		40		40		9		9		8	10	9	25
Cu (#)	<50	<1		1		1		<0.5		0.5		<0.5		<0.5		<0.5	0.5	0.5	5
Fe (#)	<500	<50		70		120		300		300		120		110		100	56	50	125
Mg (#)	<50	5		5		3		4		4		<2		<2		<2	<2	<2	20
Mn (#)		<2		<2		4		5		5		3		3		2	2	1	
Ni (#)	<300	10		10		10		20		20		11		10		8	6	<4	50
Si (#)		20		20		20		20		20		13		15		8	18	15	100
V (#)		<3		<3		<5		<5		<5		<5		<5		<5	<3	<3	
Zn (#)		<20		<20		<20		<20		<20		<20		<20		<20	<20	<20	
Cl (#)	<10	<3	5	10	6	23	8	10	8	8	12	10	6	9	<5	70	4	8	25
F (#)	25	9		<5		<5		<5		<5		<5		<5		11	14	5	50
Total Gas (μl/g)	<200	350		200		90		70		<20		46		<30		<30	70	100	

(iii) 仕様を越えた分析種およびロット

H-16では、Clが70 ppmあり仕様を大巾に越えた。他のロットではすべて原料中のものより減少しているので、サンプリングの際に入ったものと考えて、再分析をおこなったが、結果は同じであった。

原因については、不明であったが、造粒の際にバインダーの溶剤として用いていた CCl_4 をやめH-17, H-18では、 $\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)_2$ を用いた。

(iv) ペレット径

HALDEN用ペレットの径の仕様は、 10.00 ± 0.05 なので、なるべく研磨せずに製品を作れることを試みたが、大量生産の際のロット内及びロット間のバラツキ及びペレットの片縮みなどの問題がおこり十分な結果は得られなかった。H-13以降は全数研磨して製品を作った。

As-sinter で合格したペレットの割合は各ロット毎に次のようであった。

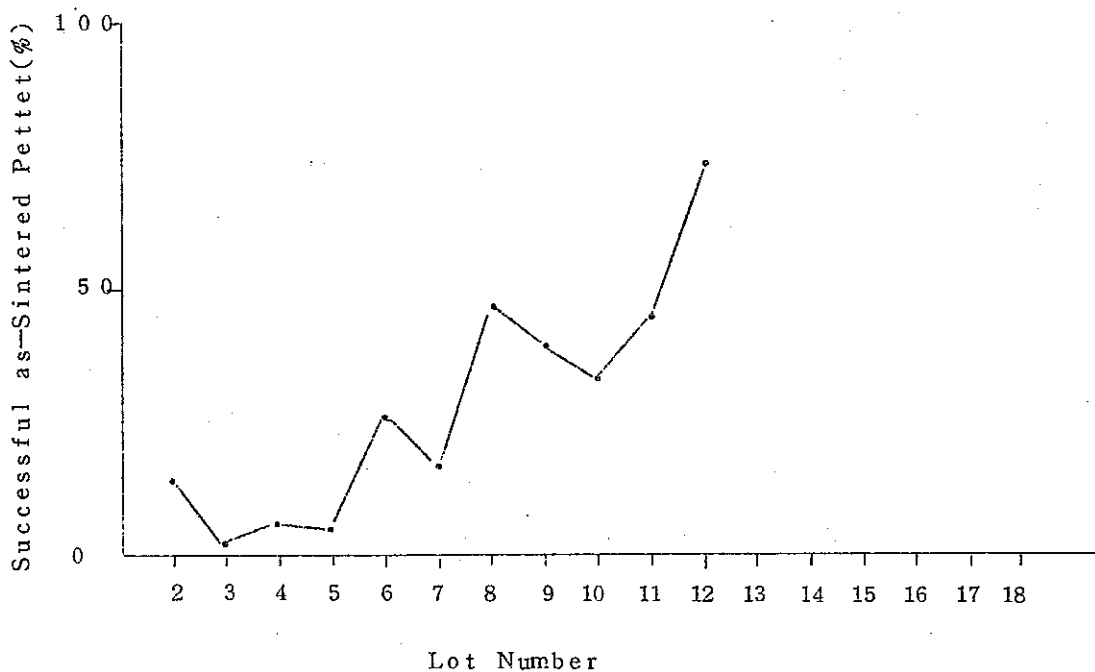


Fig4.23 Successful as-Sintered Pellets for each lot

H-12では73%がas-sinterで合格したが、H-13以降は全数研磨で製造をおこなった。

(註) 収縮率, グリーンペレット密度, 焼結ペレット密度の相互関係

ρ_G : グリーンペレット密度 ρ_S : 焼結ペレット密度

W_G : グリーンペレット重量 W_S : 焼結ペレット重量

V_G : グリーンペレット体積 V_S : 焼結ペレット体積

d_G : グリーンペレット径 d_S : 焼結ペレット径

S : 収縮率 a : グリーンペレット中のバインダー濃度

$$\rho_G = \frac{W_G}{V_G}$$

$$W_S = (1-a)W_G \quad \text{③}$$

$$S = \frac{d_G - d_S}{d_G} = 1 - \frac{d_S}{d_G} \quad \text{④}$$

以上の式より

$$\begin{aligned} \frac{\rho_S}{\rho_G} &= \frac{W_S / V_S}{W_G / V_G} = (1-a) \times \frac{V_G}{V_S} \\ &= (1-a) \left(\frac{1}{1-S} \right)^3 \quad \left(\begin{array}{l} \text{等号でないのは径と高さの収縮率が} \\ \text{同じでないため} \end{array} \right) \end{aligned}$$

そこで

$$\left| \frac{d\rho_S}{\rho_S} \right| = \left| \frac{da}{1-a} \right| + \left| \frac{3dS}{1-S} \right| + \left| \frac{d\rho_G}{\rho_G} \right|$$

一方仕様で決まっている $\left| \frac{d\rho_S}{\rho_S} \right|$ は 0.016 であるのにオートプレス成型の場合では $\left| \frac{d\rho_G}{\rho_G} \right|$ は 0.03 程度なので研磨しないで全数合格をねらうことはむづかしい。

(Ⅳ) 焼結密度

焼結密度の検査は、高さ、径、重量を全数測定し、密度チェック表を用いて合否を判定した。各ロットの密度の代表値は任意に数個を取出して計算によって求めたものである。

各ロットの密度は Fig 4.2.3 に示す。

測定個数がかならずしも一定でないが焼結ペレットの密度の傾向は Fig 4.2.3 のようである。H-17, 18 は電算材の使用によって全数計算が可能になった。

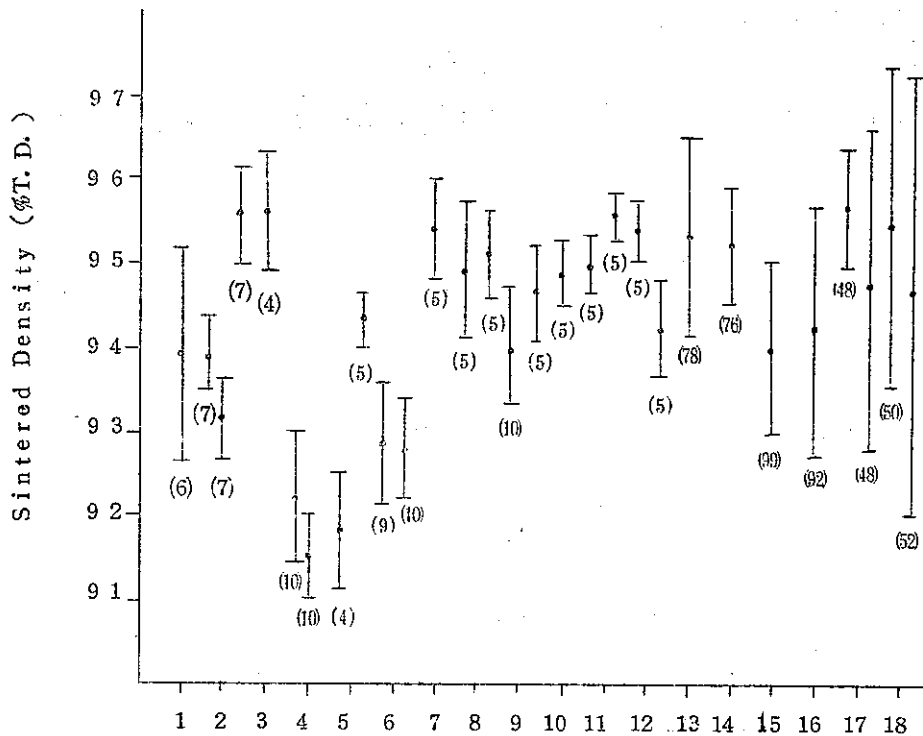


Fig. 4.2.4 Sintered Density for each lot

(V) 焼結ペレットの保管

全数測定したペレット約100ヶを測定データと対応がつくように保管しておくことは容易なことではない。HALDEN用ペレットの場合、不透明の塩ビ管中にロット番号ペレット番号がわかるように順きに装荷し端にガーゼを入れて栓をした。一本の塩ビ管の長さは約30 cm、この保管法の欠点

- 1) 装荷の際、ペレット同志が衝突するため充分ゆっくり装荷しないとペレットの端がかける。
- 2) 不透明塩ビなので中のペレットが見えない。
- 3) 端栓をガーゼにしたので逆何にすると、ペレットの重みのために、ガーゼが抜けてしまうことがある。

(VI) 物質移動及び物質収支

ボックス毎の物質移動は、計量係によって正確に管理されるが、各混合ロット毎の物質収支の詳細を知るためには、計量係の物質移動伝票だけでは不十分であった。そこでH-17, H-18ではロット毎の物質移動表を作り、各移動毎に、その日付目的、重量を記入した。この物質移動表により同一ロットの物質がボックスにどのように分散して

いるか正確につかめるようになった。

Halden 159 製造の物質収支は Fig 4.2.5 に示す。

Table 4.2.3 は操業の際に使用した H-17 及び H-18 のロット別物質移動表である。

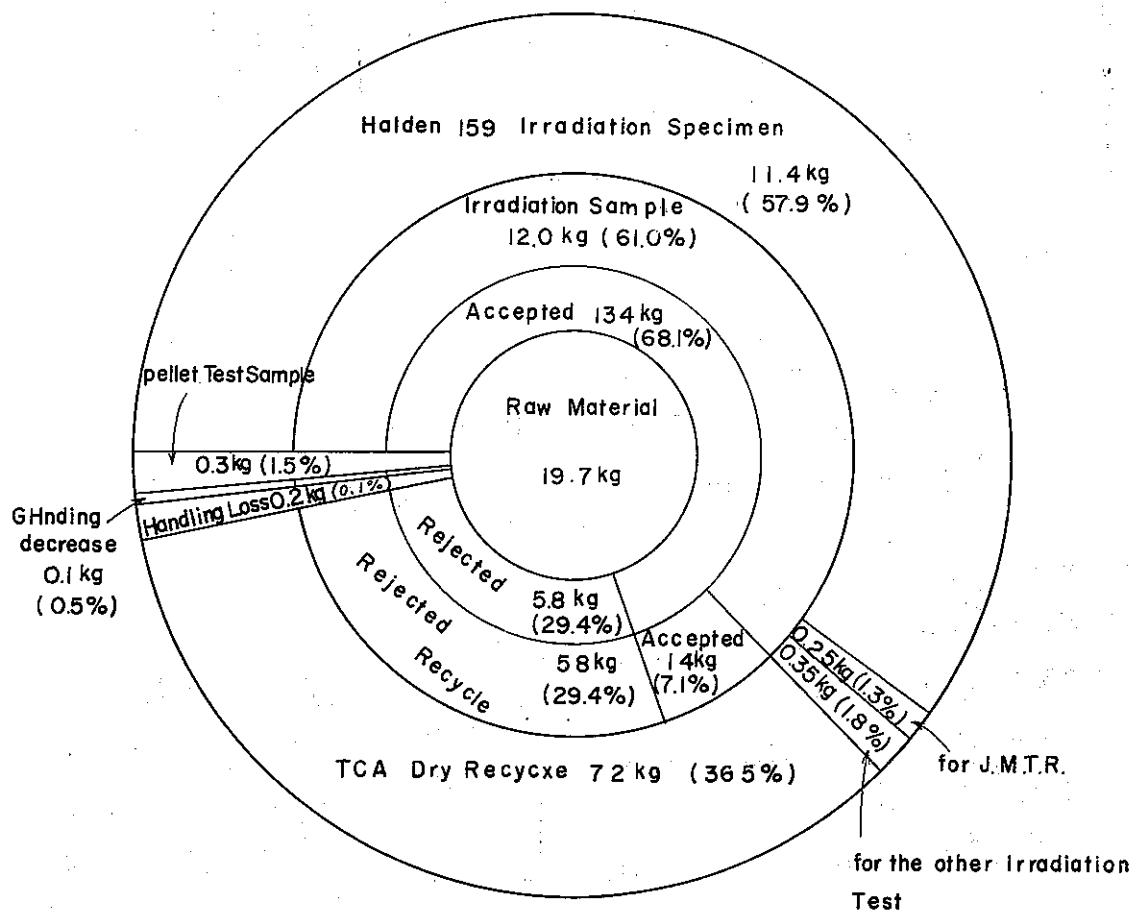


Fig. 4.2.5 ハルデン 159

Table 4.2.3 Material Balance for Each Lot

H-17

SN 841-71-31

月/日	作 業 項 目	GP 6 # 8			GP 7 # 9			GP 12 # 10			GP 11 # 11		
		Gross (g)	Pu (g)	U (g)	Gross (g)	Pu (g)	U (g)	Gross (g)	Pu (g)	U (g)	Gross (g)	Pu (g)	U (g)
1/10	H-17-1 ボールミル混合 PuO ₂ : 13.8g, UO ₂ : 536.2g	0	0	0	550.0	12.17	472.39	0	0	0	0	0	0
1/10	H-17-1 ボールミル取出 ボールミル附着分	0	0	0	550.0	12.17	472.39	0	0	0	0	0	0
1/10	H-17-2 ボールミル混合 PuO ₂ : 13.8g, UO ₂ : 536.2g				550.0	12.17	472.39						
	合 計	0	0	0	1100.0	24.34	944.78	0	0	0	0	0	0
1/10	H-17-2 ボールミル取出 ボールミル附着分				550.0	17.17	472.39						
	合 計	0	0	0	1100.0	24.34	944.78	0	0	0	0	0	0
1/11	H-17-1,-2 V型混合材混合 H-17-1:550g, H-17-2:550g	0	0	0	1100.0	24.34	944.78	0	0	0	0	0	0
1/11	H-17 V型混合材取出 計量誤差				1100.0	24.34	944.78						
	合 計				1100.0	24.34	944.78						
1/11	#9→#8 バインダー混合, 乾燥	1097.5	24.20	942.72	3.0	0.07	2.58	0	0	0	0	0	0
	計 算 誤 差				0	0.07	-0.52						
	合 計	1097.5	24.20	942.72	3.0	0.14	2.06	0	0	0	0	0	0
1/16	#8→#10 成 型							1105.26	23.88	930.40			
	回 収	5.20	0.32	12.32									
	合 計	5.20	0.32	12.32	3.0	0.14	2.06	1105.26	23.88	930.40	0	0	0
1/17	#10→#11 予焼焼結 回 収(成型可8.7g, 回収0.3g)							9.0	0.16	6.53	1097.5	23.72	923.87
	計 量 誤 差												
	合 計	5.20	0.32	12.32	3.0	0.14	2.06	9.0	0.16	6.53	1097.5	23.72	923.87
1/17	#7→分 析(Pu)												
	合 計	5.20	0.32	12.32	0	0.07	-0.52	9.0	0.16	6.53	1097.5	23.72	923.87
1/22	#11→#8 測 定94/95	1085.83	23.46	914.05							11.67	0.26	9.82
	合 計	1091.03	23.78	926.37	0	0.07	-0.52	9.0	0.16	6.53	11.67	0.26	9.82
1/23	#11→#8 (1ヶ)	11.67	0.26	9.82							0	0	0
	合 計	7.0	24.04	936.19	0	0.07	-0.52	9.0	0.16	6.53	0	0	0
1/24	#8→分 析, 物性(3ヶ)	1079.30	23.53	916.08									
	合 計	1079.30	23.53	916.08	0	0.07	-0.52	9.0	0.16	6.53	0	0	0

H-17

SN 841-71-31

月/日	GP 10 # 12			GP 161721.(分析・物性)			GP 25.31.(加工・計量)			Loss			Total		
	Gross(g)	Pu(g)	U(g)	Gross(g)	Pu(g)	U(g)	Gross(g)	Pu(g)	U(g)	Gross(g)	Pu(g)	U(g)	Gross(g)	Pu(g)	U(g)
1/10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	550.0	12.17	472.39
1/10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	550.0	12.17	472.39
1/10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1100.0	24.34	944.78
1/10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1100.0	24.34	944.78
1/11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1100.0	24.34	944.78
1/11															
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.5	0	0	1100.0	24.34	944.78
1/11															
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.5	0	0	1100.0	24.34	944.78
1/16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.5	0	0	1112.96	24.34	944.78
1/17															
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.24	0	0	1112.96	24.34	944.78
1/17				3.0	0.07	2.58									
	0	0	0	3.0	0.07	2.58	0	0	0	-1.74	0	0	1112.96	24.34	944.78
1/22	0	0	0	3.0	0.07	2.58	0	0	0	-1.74	0	0	1112.96	24.34	944.78
1/23	0	0	0	3.0	0.07	2.58	0	0	0	-1.74	0	0	1112.96	24.34	944.78
1/24				23.40	0.51	20.11									
	0	0	0	26.40	0.58	22.69	0	0	0	-1.74	0	0	1112.96	24.34	944.78

H-17

月/日	作 業 項 目	GP 6 # 8			GP 7 # 9			GP 12 # 10			GP 11 # 11		
		Gross(g)	Pu (g)	U (g)	Gross(g)	Pu (g)	U (g)	Gross(g)	Pu (g)	U (g)	Gross(g)	Pu (g)	U (g)
1/26	# 8→# 12 研 磨	987.89	21.51	837.56									
		987.89	21.51	837.56	0	0.07	- 0.52	9.0	0.16	6.53	0	0	0
1/29	# 12→# 12 研磨後測定	90.24	1.99	77.51									
		1078.13	23.50	915.07	0	0.07	-- 0.52	9.0	0.16	6.53	0	0	0
2/23	# 8→加工 合 計	14.02	0.45	18.19									
		14.02	0.45	18.19	0	0.07	-0.52	9.0	0.16	6.53	0	0	0
2/15	# 8→# 11 回収 焼	0	0.14	6.16							14.02	0.31	12.03
		0	0.14	6.16	0	0.07	- 0.52	9.0	0.16	6.53	14.02	0.31	12.03
2/15	# 10→# 11 回収 焼 合 計							0	- 0.03	- 1.03	9.0	0.19	7.58
		0	0.14	6.16	0	0.07	- 0.52	0	- 0.03	- 1.03	23.02	0.50	19.61
		Loss			Loss			Loss			回収品		

H-17

月/日	GP 8 # 12			GP 16.17.21 (分析・物性)			GP 25.31 (加工・計量)			Loss			Total		
	Gross (g)	Pu (g)	U (g)	Gross (g)	Pu (g)	U (g)	Gross (g)	Pu (g)	U (g)	Gross (g)	Pu (g)	U (g)	Gross (g)	Pu (g)	U (g)
1/26	91.41	2.02	78.52												
	91.41	2.02	78.52	26.40	0.58	22.69	0	0	0	-1.74	0	0	1112.96	24.34	944.78
1/29	1.17	0.03	1.01												
	1.17	0.03	1.01	26.40	0.58	22.69	0	0	0	-1.74	0	0	1112.96	24.34	944.78
2/23							1044.13	23.03	896.88	19.98	0	0			
	1.17	0.03	1.01	26.40	0.5	22.69	1044.13	23.03	896.88	18.24	0	0	1112.96	24.34	944.78
2/15	1.17	0.03	1.01	26.40	0.	22.69	1044.13	23.03	896.88	18.24	0	0	1112.96	24.34	944.78
2/15	1.17	0.03	1.01	26.40	0.	22.69	1044.13	23.03	896.88	18.24	0	0	1112.96	24.34	944.78
	研磨くず			試料		製品				重量減少					

H-18

月/日	GP 8 # 12			GP 16.17.21. (分析・物性)			GP 25.31. (加工・計量)			Loss			Total		
	Gross (g)	Pu (g)	U (g)	Gross (g)	Pu (g)	U (g)	Gross (g)	Pu (g)	U (g)	Gross (g)	Pu (g)	U (g)	Gross (g)	Pu (g)	U (g)
1/29	1.97	0.05	1.69												
	1.97	0.05	1.69	24.54	0.54	21.10	0	0	0	- 1.0	0	0	1122.0	24.34	944.78
2/23						1	1049.58	23.14	901.56	28.35	0	0			
	1.97	0.05	1.69	24.54	0.54	21.10	1049.58	23.14	901.56	27.35	0	0	1122.0	24.34	944.78
2/15															
	1.97	0.05	1.69	24.54	0.54	21.10	1049.58	23.14	901.56	27.35	0	0	1122.0	24.34	944.78
2/15															
	1.97	0.05	1.69	24.54	0.54	21.10	1049.58	23.14	901.56	27.35	0	0	1122.0	24.34	944.78
	研磨くず			試料			製品			重量減少					

H-18

月/日	作 業 項 目	GP 6 # 8			GP 7 # 9			GP 12 # 10			GP 11 # 11		
		Gross (g)	Pu (g)	U (g)	Gross (g)	Pu (g)	U (g)	Gross (g)	Pu (g)	U (g)	Gross (g)	Pu (g)	U (g)
1/29	#12→#8 研磨後測定	150.76	3.2	129.50									
		1091.09	23.57	918.39	0.5	0.07	-0.52	4.9	0.10	5.88	0	0.01	0
2/23	#8→加工	13.16	0.43	16.83									
		13.16	0.43	16.83	0.5	0.07	-0.52	4.9	0.10	5.88	0	0.01	0
2/15	#8→#11 回収 焼 合 計	0	0.17	5.53							13.16	0.26	11.30
		0	0.17	5.53	0.5	0.07	-0.52	4.9	0.10	5.88	13.16	0.27	11.30
2/15	#10→#11 回収 焼 合 計							0	-0.01	1.76	4.9	0.11	4.12
		0	0.17	5.53	0.5	0.07	-0.52	0	-0.01	1.76	18.06	0.38	15.42
		Loss			ボ-ルミル 附着分			Loss			回収品		

月/日	作 業 項 目	GP 6 # 8			GP 7 # 9			GP 12 # 10			GP 11 # 11		
		Gross (g)	Pu (g)	U (g)	Gross (g)	Pu (g)	U (g)	Gross (g)	Pu (g)	U (g)	Gross (g)	Pu (g)	U (g)
1/11	H-18-1 ボールミル混合 PuO ₂ : 13.8g, UO ₂ : 536.2	0	0	0	550.0	12.17	472.39	0	0	0	0	0	0
1/11	H-18-1 ボールミル取出				549.5								
	ボールミル附着分				0.5								
	合 計	0	0	0	550.0	12.17	472.39	0	0	0	0	0	0
1/11	H-18-2 ボールミル混合												
	PuO ₂ : 13.8g, UO ₂ : 536.2g				55	12.17	472.39						
	合 計	0	0	0	1100.0	24.34	944.78	0	0	0	0	0	0
1/11	H-18-1, 2 V型混合材混合												
	H-18-1: 549.5g H-18-2: 550.0g				1099.5	24.34	944.78						
	合 計	0	0	0	1100.0	24.34	944.78	0	0	0	0	0	0
1/12	H-18 V型混合材取出				1100.5	24.34	944.78						
	計量誤差												
	合 計	0	0	0	1101.0	24.34	944.78	0	0	0	0	0	0
1/12	#9→#8 バインダー混合, 乾燥	1097.5	24.20	942.72	3.0	0.07	2.58						
	計算誤差				0	0.07	-0.52						
	合 計	1097.5	24.20	942.72	3.5	0.14	2.06	0	0	0	0	0	0
1/17	#9→分析(Pu)												
	合 計	1097.5	24.20	942.72	0.5	0.07	-0.52	0	0	0	0	0	0
1/17	#8→#10 成型							1115.5	24.10	939.02			
	回 収	4.0	0.10	3.70									
	合 計	4.0	0.10	3.70	0.5	0.07	-0.52	1115.5	24.10	939.02	0	0	0
1/19	#10→#11 予焼焼結										1110.6	24.00	934.90
	回 収							4.9	0.10	5.88			
	合 計	4.0	0.10	3.70	0.5	0.07	-0.52	4.9	0.10	5.88	1110.6	24.00	934.90
1/23	#11→#8 測定(102ヶ)	1110.6	23.99	934.90									
	計算誤差										0	0.01	0
	合 計	1114.6	24.09	938.60	0.5	0.07	-0.52	4.9	0.10	5.88	0	0.01	0
1/26	#8→分析, 物性(3ヶ)	1093.06	23.62	920.08									
	合 計	1093.06	23.62	920.08	0.5	0.07	-0.52	4.9	0.10	5.88	0	0.01	0
1/26	#8→#12 研磨	940.33	20.25	788.89									
	合 計	940.33	20.25	788.89	0.5	0.07	-0.52	4.9	0.10	5.88	0	0.01	0

H-18

SN 841-71-31

月/日	GP 10 # 12			GP 161721. (分析・物性)			GP 31 (計量)			Loss			Total		
	Gross (g)	Pu (g)	U (g)	Gross (g)	Pu (g)	U (g)	Gross (g)	Pu (g)	U (g)	Gross (g)	Pu (g)	U (g)	Gross (g)	Pu (g)	U (g)
1/11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	550.0	12.17	472.39
1/11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	550.0	12.17	472.39
1/11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1100.0	24.34	944.78
1/11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1100.0	24.34	944.78
1/12															
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.0	0	0	1100.0	24.34	944.78
1/12															
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.0	0	0	1100.0	24.34	944.78
1/17				3.0	0.07	2.58									
	0	0	0	3.0	0.07	2.58	0	0	0	-1.0	0	0	1100.0	24.34	944.78
1/17				3.0	0.07	2.58									
	0	0	0	3.0	0.07	2.58	0	0	0	-1.0	0	0	1122.0	24.34	944.78
1/19				3.0	0.07	2.58									
	0	0	0	3.0	0.07	2.58	0	0	0	-1.0	0	0	1122.0	24.34	944.78
1/23				3.0	0.07	2.58									
	0	0	0	3.0	0.07	2.58	0	0	0	-1.0	0	0	1122.0	24.34	944.78
1/26				21.54	0.47	18.52									
	0	0	0	24.54	0.54	21.10	0	0	0	-1.0	0	0	1122.0	24.34	944.78
1/26	152.73	3.37	131.19												
	152.73	3.37	131.19	24.54	0.54	21.10	0	0	0	-1.0	0	0	1122.0	24.34	944.78

(VI) ロット別製造条件一覧表

SN 841-71-31

原料	HT-IN		HT-IS		H-01		H-02			H-03		
	PuO ₂ (g)	UO ₂ (g)	2.5	2.5	7.5	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
	合計	100.0	100.0	100.0	300.0	585.0	585.0	585.0	585.0	585.0	585.0	585.0
混合 取出	整粒用粉 (g) 分析試料 (g) Loss (g)	100.5			296.6 3.0 0.4	1196 1						
整粒	整粒用粉 (g) バインダー バインダー添加法	1%NS-40 7mL ccl ₄ に溶解して 添加	2%NS-40 7mL ccl ₄ に溶解して 添加	2%SA PuO ₂ , UO ₂ , SAを ボールミルで4hr 混合	296.6 2% NS-40 (6g)	1196 2% NS-40 (12.0g) 200mL ccl ₄ に溶解して添加			2% NS-40 (24g) 200mL ccl ₄ に溶解して添加			
成型	成型用粉 (g) 成型圧 (1/cm ²) 下 圧 (mm) 上 圧 (mm) 充満深さ (mm) 圧縮時停止 (sec) 圧 縮 比 成型速度 (ク/min) ダ イ ス (mm) 成型個数 (ク) GP 重量 (g) 回 取 (g) Loss (g) グリーン密度 (多TD) 測定個数 (ク)	50.75 2.5 4.0 14.5 36.4 3 2.19 11.83 4 46.05	51.25 2.5 4.0 15.9 36.4 3 2.21 11.83 4 48.7	103.5 2.5 4.0 8.59 30.2 3 1.72 11.83 8 101.9	2.5 2.5 11.45 29.7 1.84 7 11.70 27 296.4 3.3	2.5 2.0 1482~1451 34.0 5 1.96 11.98 21 253.3 4.4 2.9	2.5 2.0 16.15 35.3 3 2.06 11.98 80 958.1	2.5 2.0 16.22 35.0 3 2.08 11.98 103 1228.3				
予 焼	予 焼 保持温度 (°C) 保持時間 (hr) 昇温速度 (°C/hr) ガス ベレット個数 (ク)	1 800 2 200 NH 4L/min 各炉で2ケづつ	2 800 2 200 NH 4L/min 4	1 800 2 200 NH 4L/min 4	2 800 2 200 N-H 4L/min 27	1 800 2 200 NH 4L/min 21	1 800 2 200 NH 4L/min 40	2 800 2 200 NH 4L/min 40	1 800 2 200 NH 4L/min 20	1 800 2 200 NH 4L/min 40	2 800 2 200 NH 4L/min 43	
焼 結	予 焼 保持温度 (°C) 保持時間 (hr) 昇温速度 (°C/hr) ガス ベレット個数 (ク) その他	1 1600 2 200 NH 4L/min 各炉で2ケづつ	2 1600 2 200 NH 4L/min 4	1 1600 2 200 NH 4L/min 4	2 1600 2 200 N-H 4L/min 27	1 1600 2 200 NH 5L/min 21	2 1600 2 200 NH 4L/min 40	2 1600 2 200 NH 4L/min 40	8.0 max 1620 min 1600 2 200 NH 5L/min 103 H-02 21ケと同時焼結			
密 度	平均値 (多TD) 範囲 (多TD) 測定個数	95.19 0.25 4	95.23 1.33 4	ベレットわれ		93.90 2.61 6	93.85 0.83 7	93.20 0.90 7	95.59 1.35 7	95.60 1.41 4		
篩 (研マ前)	合 格				0	10	4	1				
	研 磨				0	37	5	0				
	地 面 研 磨				0	4	2	1				
	不 合 格				27	29	10	101				
	合 計				27	80	21	103				
	ベレット総数				27		101				103	
	合 格	Test	Test		0	27	4	0				
	単 合 格				0	13	48					
					0	40	48					
備 考												

		H-04			H-05			H-06		H-07	
原料	PuO ₂ (g)	15.0		15.0	15.0		15.0	15.0	15.0	15.0	
	UO ₂ (g)	585		585	585		585	585	585	585	
合計		1200			1200			1200		1200	
混合 取出	整粒用粉 (g)	1199			1196			1197		1192	
	分析試料 (g)	3.0			3.0			3.0		3.0	
	Loss (g)	- 2			1			0		5	
整粒	整粒用粉 (g)	2% NS-40 (24g)			2% NS-40 (24g)			2% NS-40 (24g)		2% NS-40 (24g)	
	バインダー バインダー添加法	200mLccL ₄ に溶解して添加			200mLccL ₄ に溶解して添加			200mLccL ₄ に溶解して添加		200mLccL ₄ に溶解して添加	
成型	成型用粉 (g)	1219.9			1228.7			1221.0		1216	
	成型圧 (t/cm ²)	2.5			2.5			3.0		3.0	
	下 圧 (mm)	1.8 ~ 2.1			4.0			3.0		3.0	
	上 圧 (mm)	17.52 ~ 14.52			16.08			13.70 ~ 13.65		15.2	
	充填深さ (mm)	35.9 ~ 33.2			39.3 ~ 36.5			33.0		35.2	
	圧縮時停止 (sec)	3			3.20			3		3	
	圧縮比	2.08			2			2.0		2.1	
	成型速度 (g/min)	6			6			6		6	
	ダイス (mm ²)	11.98			11.83			11.98		12.05	
	成型個数 (ヶ)	104			109			108		105	
	GP 重量 (g)	1206			1227.8			1215.2		1200.7	
	回 取 (g)	9.1			0.9			2.5		7.0	
	Loss (g)	4.8			0			3.3		8.3	
グリーン密度 (g/TD)											
測定個数 (ヶ)											
予 焼	炉	1	2	1	1	2	1	1	2	1	2
	保持温度 (°C)	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
	保持時間 (hr)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	昇温速度 (°C/hr)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	ガス	NH ₄ 4L/min	NH ₄ 4L/min	NH ₄ 4L/min	NH ₄ 4L/min	NH ₄ 4L/min	NH ₄ 4L/min	NH ₄ 4L/min	NH ₄ 4L/min	OO ₂ 4L/min	OO ₂ 4L/min
	ペレット個数 (ヶ)	46	40	18	40	40	29	54	54	52	53
焼 結	炉										
	保持時間 (hr)	max1610 min1600	max1670 min1600	max1610 min1600	max1600 min1580	max1610 min1600	max1600 min1600	max1610 min1600	max1600 min1600	max1580 min1580	
	昇温速度 (°C/hr)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	ガス	NH ₄ 4L/min	NH ₄ 4L/min	NH ₄ 4L/min	NH ₄ 4L/min	NH ₄ 4L/min	NH ₄ 4L/min	NH ₄ 4L/min	NH ₄ 4L/min	NH ₄ 4L/min	NH ₄ 4L/min
	ペレット個数 (ヶ) その他	46	40	10	8	40	40	29	54	54	105
密 度	平均値 (g/TD)	92.22	91.51	89.73	92.73	91.78	94.39	92.85	92.79	95.43	
	範囲 (g/TD)	1.97	1.02	-	-	1.63	0.43	1.56	1.21	1.14	
	測定個数	10	10	1	1	4	5	9	10	5	
程 (研→前)	合 格	6			5			8		17	
	研 磨	41			14			16		1	
	端 面 研 磨	8			16			3		0	
	不 合 格	30			45			26		85	
	合 計	85			80			53		104	
ペレット総数		113			91			104		104	
製 品	合 格	6			3			41		10	
	準 合 格	6			15			18		42	
		12			18			59		52	
備 考		As sinter で2多合格, 不合格は密度低め			As sinter で2多合格, 不合格は径が9.91mm以下			As sinter で24多合格, 不合格のものは密度が低すぎた。		As sinter のものは密度が高く径小片多	

		H-08		H-09		H-10		H-11	
原料	PuO ₂ (g)	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8
	UO ₂ (g)	536.2	536.2	536.2	536.2	536.2	536.2	536.2	536.2
合計		1100		1100		1100		1100	
混合 取出	整粒用粉(g)	1093		1192		1092		1095	
	分析試料(g)	3.0		3.0		6.0		3.0	
	Loss(g)	4		5		2		2	
整粒	整粒用粉(g)	1093		1092		1092		1095	
	バインダー バインダー-添加法	2% NS-40 (21.9g) 180mL ccl ₄ に溶解して添加		2% NS-40 (22g) 180mL ccl ₄ に溶解して添加		2% NS-40 (22g) 180mL ccl ₄ に溶解して添加		2% NS-40 (22g) 180mL ccl ₄ に溶解して添加	
成型	成型用粉(g)	1114.4		1114.0+29.6		1114.5		1117.0+25.8	
	成型圧 (t/cm ²)	3.5		3.5		3.5		3.5	
	下 圧 (mm)	2.7		2.7		2.7		2.5	
	上 圧 (mm)	18.66~18.54		18.66		19.99		19.43	
	充填深さ(mm)	37.8		37.8		38.7		38.5	
	圧縮時停止(sec)	3.0		3.0		3.0		3.0	
	圧 縮 比	2.3		2.3		2.4		2.3	
	成型速度(ク/min)	6		6		6		6	
	ダイ ス(mmφ)	11.98		11.98		11.98		11.98	
	成型個数(ク)	94		101		98		88	
	G.P 重量(g)	1081.8		1139.2		1073.6		976.2	
	回 収(g)	0.1+29.6 (再成型)		3.5		0.8+38 (再成型)		158.8 (再成型)	
	Loss (g)	2.9		0.9		2.4		7	
	グリーン密度(%TD)								
測定個数(ク)									
干 焼	炉	1	2	1	2	1	2	1	2
	保持温度(°C)	800	800	800	800	800	800	800	800
	保持時間(hr)	2	2	2	2	2	2	2	2
	昇温速度(°C/hr)	200	200	200	200	200	200	200	200
	ガス	CO ₂ 4L/min	CO ₂ 4L/min	CO ₂ 4L/min	CO ₂ 4L/min	CO ₂ 4L/min	CO ₂ 4L/min	CO ₂ 4L/min	CO ₂ 4L/min
	ペレット個数(ク)	41	52	51	50	48	50	40	47
焼 結	炉	1	2	1	2	SG		1	2
	保持温度(°C)	max 1640 min 1580			max 1640 min 1580	max 1540 min 1530		max 1550 min 1530	max 1570 min 1560
	保持時間(hr)	2	2	2	2	2		2	2
	昇温速度(°C/hr)	200	200	200	200	200		200	200
	ガス	NH 4L/min	NH 4L/min	NH 4L/min	NH 4L/min	NH 4L/min		NH 4L/min	NH 4L/min
	ペレット個数(ク)	41	53	51	50	97		43	44
その他			ポットが15cm Box同						
密 度	平均値(%TD)	94.90	95.	93.	94.61	94.92		94.97	95.56
	範囲(%TD)	1.61	1.	1.	1.27	0.99		0.67	0.49
	測定個数	5	5	10	5	5		5	5
色 (研→前)	合 格	33	13	40		36		40	
	研 磨	12	1	4		0		0	
	端 面 研 磨	0	0	0		3		0	
	不 合 格	8	25	57		58		47	
	合 計	53	39	101		97		87	
		92		101		97		87	
製 品	合 格	55		44		32		39	
	率 合 格	3		44		52		35	
	合 計	58		88		84		74	
備 考		As sinter で48%が合格 不合格は径が小さく密度が高い もの		As sinter で40%が合格、 不合格のものは9.91mm以下のも の、片細み		As sinter で33%が合格、 不合格は径小、密度は高めで 合格、片細み		As sinter で46%が合格 不合格は径が9.91mm以下密 度は高い	

		H-12		H-13		H-14		H-15	
原料	PuO ₂ (g)	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.6	13.8
	UO ₂ (g)	536.2	536.2	536.2	536.2	536.2	536.2	536.2	536.2
合計		1100		1100		1100		1100	
混 合 取 出	整粒用粉 (g)	1100		1100		1097		1096	
	分析試料 (g)	3.0		3.0		3.0		3.0	
	Loss (g)	-3		-3		0		1	
整 粒	整粒用粉 (g)	1100		1100		1097		1096	
	バインダー バインダー添加法	2% NS-40 (22g) 170ml ccl ₄ に溶解して添加		2% NS-40 (22g) 180ml ccl ₄ に溶解して添加		2% NS-40 (22g) 180ml ccl ₄ に溶解して添加		2% NS-40 (22g) 180ml ccl ₄ に溶解して添加	
成 型	成型用粉 (g)	1122.0+158.8		1121.5+92.4		1118.5+95.3		1118.0+	
	成型圧 (t/cm ²)	3.5		3.0		3.5		3.5	
	下 圧 (mm)	2.3		2.5		2.5		2.5	
	上 圧 (mm)	19.45		20.25		18.27		18.20	
	充填深さ (mm)	38.3		38.4		38.4		37.5	
	圧縮時停止 (sec)	3.0		3.0		3.0		3.0	
	圧 縮 比	2.3		2.5		2.2		2.2	
	成型速度 (ヶ/min)	6		6		6		6	
	ダ イ ス (mmφ)	11.98		12.12		12.12		12.12	
	成型個数 (ヶ)	102		100		88		103	
	GP 重量 (g)	1187.3		1101.9		1109.7		1231.8	
	回 収 (g)	0.5+92.4 (再成型)		120.2 (再成型)				13.8 (再成型)	
	Loss (g)	0.6		8.2					
	グリーン密度 (%TD)								
測定個数 (ヶ)									
予 焼	炉	1	2	1	2	1	2	1	2
	保持温度 (℃)	800	800	800	800	800	800	800	800
	保持時間 (hr)	2	2	2	2	2	2	2	2
	昇温速度 (℃/hr)	200	200	200	200	200	200	200	200
	ガ ス	CO ₂ 4ℓ/min	CO ₂ 4ℓ/min	CO ₂ 4ℓ/min	CO ₂ 4ℓ/min	CO ₂ 4ℓ/min	CO ₂ 4ℓ/min	CO ₂ 4ℓ/min	CO ₂ 4ℓ/min
	ペレット個数 (ヶ)	51	50	50	49	44	44	51	52
焼 結	炉	1	2	S G		S G		S G	
	保持温度 (℃)	1560	1560	max 1540	min 1530	max 1540	min 1530	max 1530	min 1510
	保持時間 (hr)	2	2	2	2	2	2	2	2
	昇温速度 (℃/hr)	200	200	200	200	200	200	200	200
	ガ ス	NH 4ℓ/min	NH 4ℓ/min	NH 5ℓ/min		NH 5ℓ/min		NH 5ℓ/min	
	ペレット個数 (ヶ)	51	50	99		88		103	
	その他	1400℃から 手で昇温						H-16:41ヶも同一ポート中で 焼結	
密 度	平均値 (%TD)	95.36	94.24	95.28		95.17		93.97	
	範 囲 (%TD)	0.64	1.09	2.24		1.52		2.12	
	測定個数	5	5	78		76		99	
径 (研→前)	合 格	36	36	0		0		0	
	研 磨	0	10	102		88		103	
	端 面 研 磨	0	0	0		0		0	
	不 合 格	11	5	0		0		0	
	合計	47	51	102		88		103	
ペレット個数		98		102		88		103	
整 品	合 格	77		72		69		99	
	準 合 格	10		7		13		2	
	合計	87		79		82		101	
備 考		As sinter で 78%合格, 不合格は径が 9.91mm以下		全数研磨 不合格は密度の高すぎるもの		全数研磨 不合格は密度の高すぎるもの		全数研磨 不合格は密度の低すぎるもの	

		H-16		H-17		H-18	
原料	PuO ₂ (g)	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8
	UO ₂ (g)	536.2	536.2	536.2	536.2	536.2	536.2
合計		1100		1100		1100	
混合 取出	整粒用粉 (g)	1197		1098		1098	
	分析試料 (g)	3.0		3.0		3.0	
	Loss (g)	0		-1		-1	
整粒	整粒用粉 (g)	1197		1098		1098	
	バインダー バインダー-添加法	2% NS-40 (22g) 180ml ccl ₄ に溶解して添加		2% NS-40 (22g) 200ml		2% NS-40 (22g) 200ml C ₆ H ₆ (CH ₃) ₂ に溶解して添加	
成型	成型用粉 (g)	1118.5 + 13.8 + 33.0		1105		1115.5 + 8.7	
	成型圧 (t/cm ²)	3.5		3.5		3.5	
	下 圧 (mm)	2.5		2.5		2.5	
	上 圧 (mm)	18.25		19.13		21.76	
	充満高さ (mm)	37.8		38.5		39.1	
	圧縮時停止 (sec)	3.0		3.0		3.0	
	圧 縮 比	2.2		2.3		2.6	
	成型速度 (ク/min)	6		6		6	
	ダ イ ス (mmφ)	12.05		12.05		12.05	
	成型個数 (ヶ)	97		94		102	
	GP 重量 (g)	1166.3		1098		1110.6	
	回 収 (g)	0		9.0		11.8	
	Loss (g)	1.0		1.24		1.8	
	グリーン密度 (多TD)	測定個数 (ヶ)					
予 焼	炉	1	2	1	2	1	2
	保持温度 (°C)	800	800	800	800	800	200
	保持時間 (hr)	2	2	2	2	2	2
	昇温速度 (°C/hr)	200	200	200	200	200	200
	ガス	CO ₂ 4L/min	CO ₂ 4L/min	CO ₂ 4L/min	CO ₂ 4L/min	CO ₂ 4L/min	CO ₂ 4L/min
	ベレット個数 (ヶ)	56	41	47	47	51	51
	その他						
焼 結	炉	S G	2	1	2	1	2
	保持温度 (°C)		1560	1560	1560	1560	1560
	保持時間 (hr)	2	2	2	2	2	2
	昇温速度 (°C/hr)	200	200	200	200	200	200
	ガス	NH 5L/min	NH 4L/min	NH 4L/min	NH 4L/min	NH 4L/min	NH 4L/min
	ベレット個数 (ヶ)	41	56	47	47	51	51
	その他						
密 度	平均値 (多TD)	94.22		95.63		94.71	
	範 囲 (多TD)	2.99		1.43		3.80	
	測定個数	92		47		48	
征 研 磨	合 格	0		0		0	
	研 磨	97		47		48	
	端 面 研 磨	0		0		0	
	不 合 格	0		0		0	
	合 計	97		47		48	
ベレット総数	97		94		102		
合 格	合 格	92		54		52	
	準 合 格	1		34		41	
	合 計	93		88		93	
備 考	全数研磨 不合格なし		全数研磨		全数研磨		

4.3 HALDEN - 159 物性試験結果

(小泉)

全般的に云って、PuO₂とUO₂の混合状況、及び焼結状況について、幾分巾があるが、照射結果に問題となるような影響を与えることはないとする。

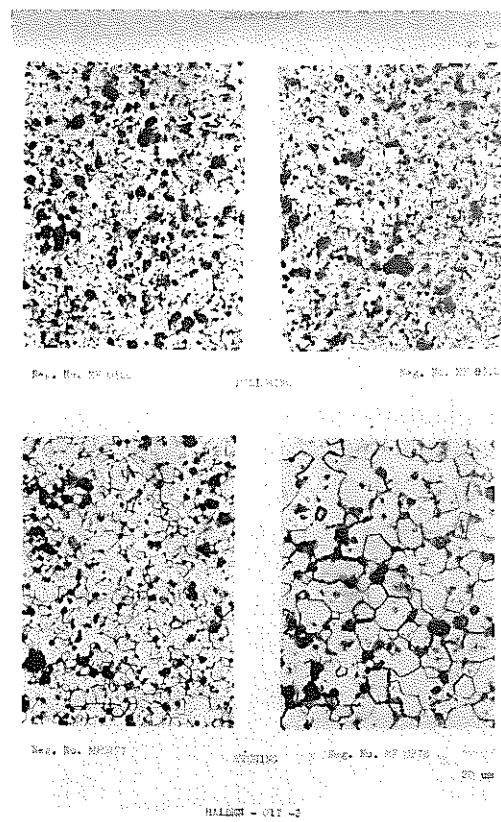
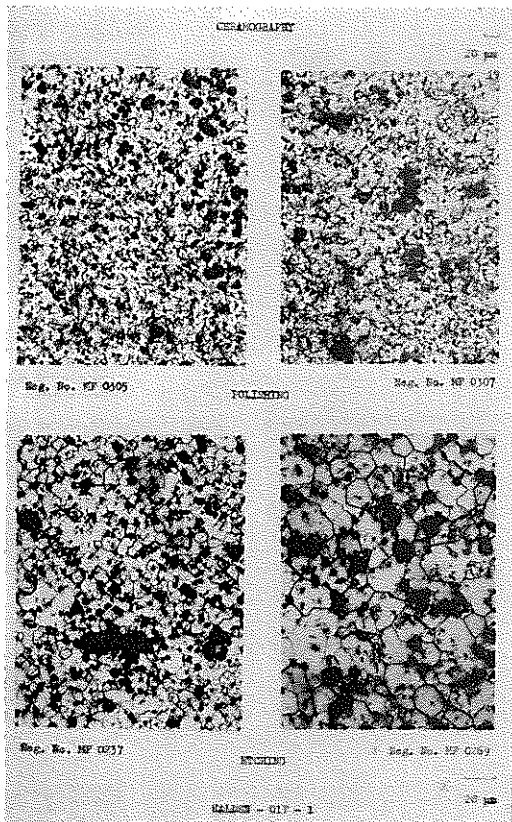
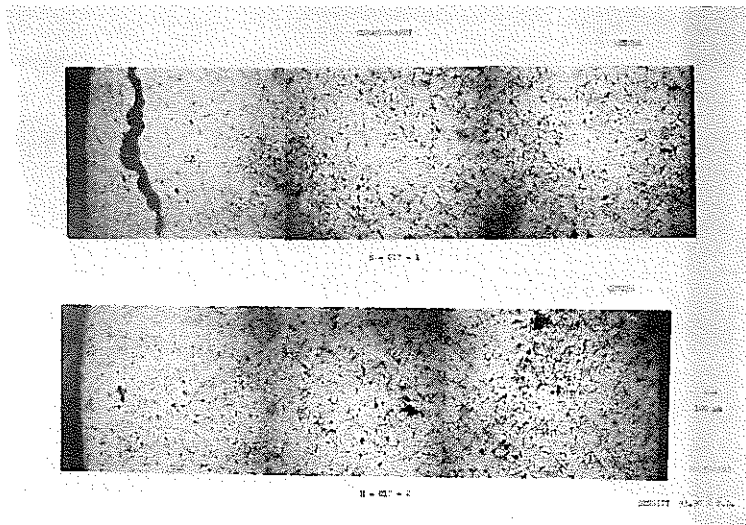
金相：ほぼ均一な金相であるが、H-02-1, H-02-2に示すような、モザイク相がみられる、これは製造時における造粒の影響が表われている。一般に結晶の成長の悪いものは、オートラジオグラフィも不均一性を示すし、X線の chart も sharp でない。

X線：固溶状況はほぼ良好であるが、H-17, -18はX線 chart は broad を示し、結晶成長は他と比較しあまり良好ではない。

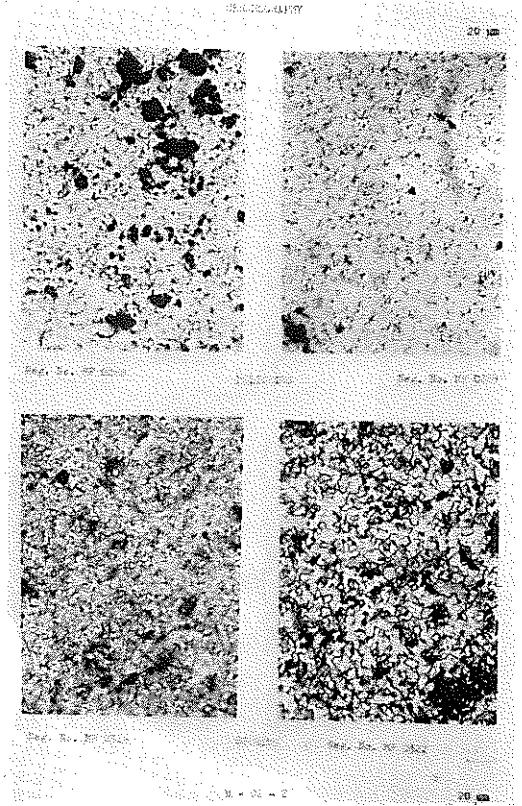
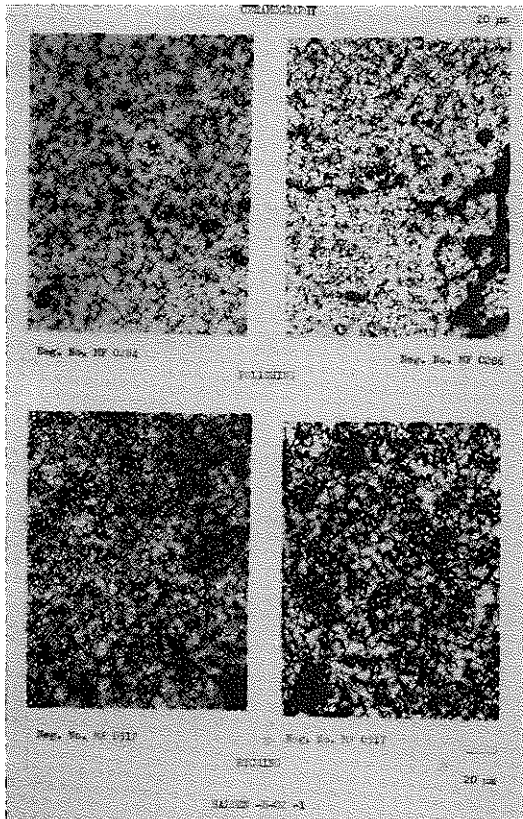
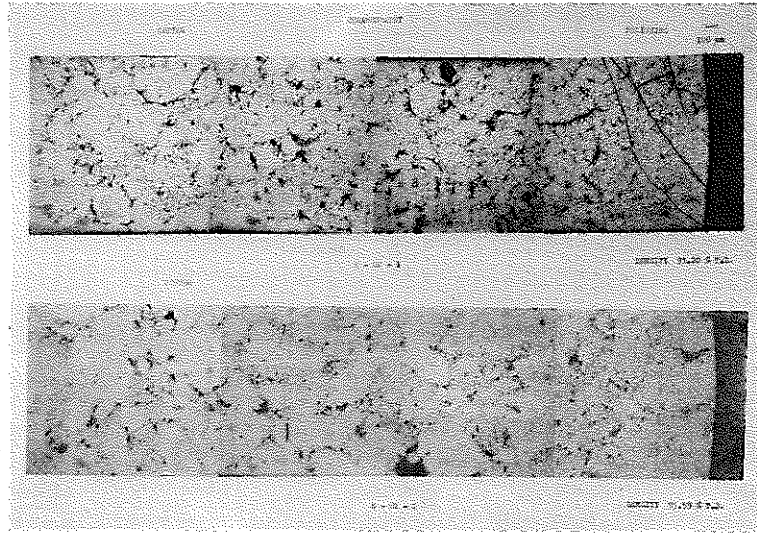
オートラジオグラフィ：H-01, -2は良好であるが、その他はほぼ均一で、Puのスポットが多くみられる、但し、大きいものでも100μは越えないので問題は無い。

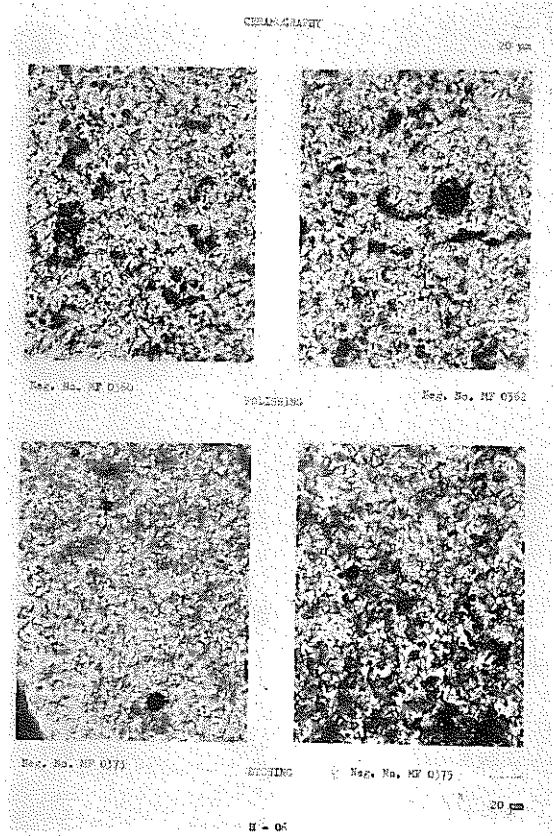
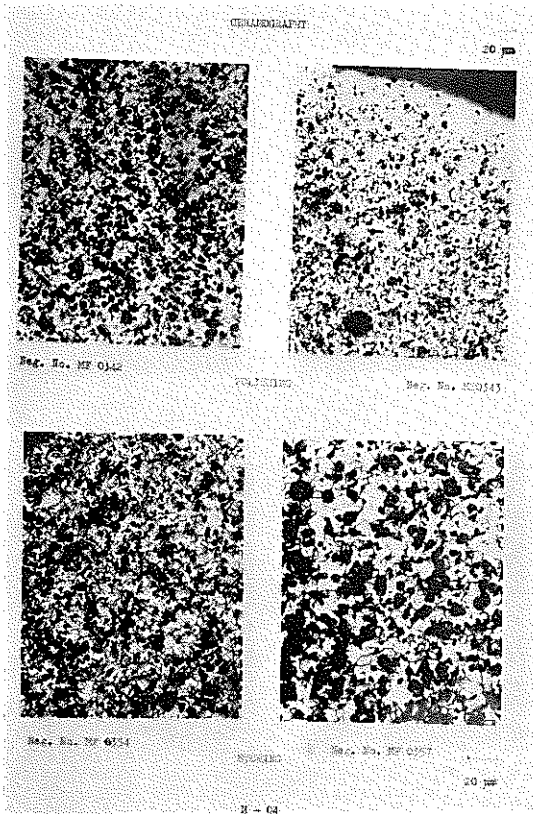
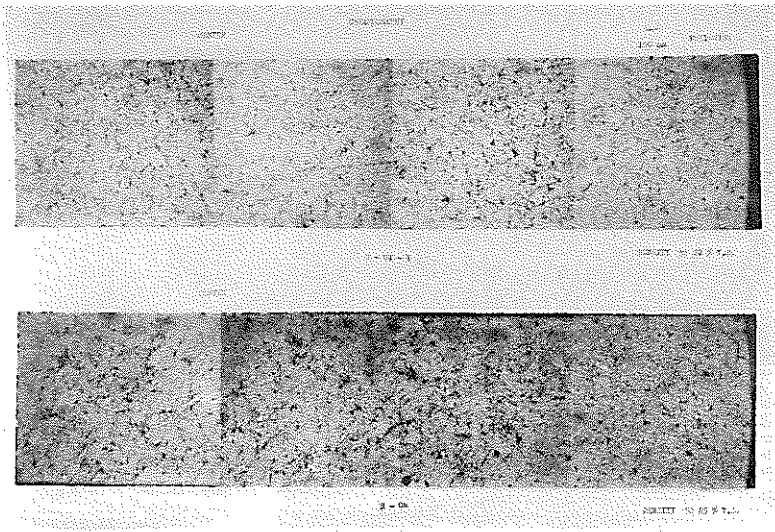
HALDEN - 159 金相・オートラジオ・X線回折試験結果

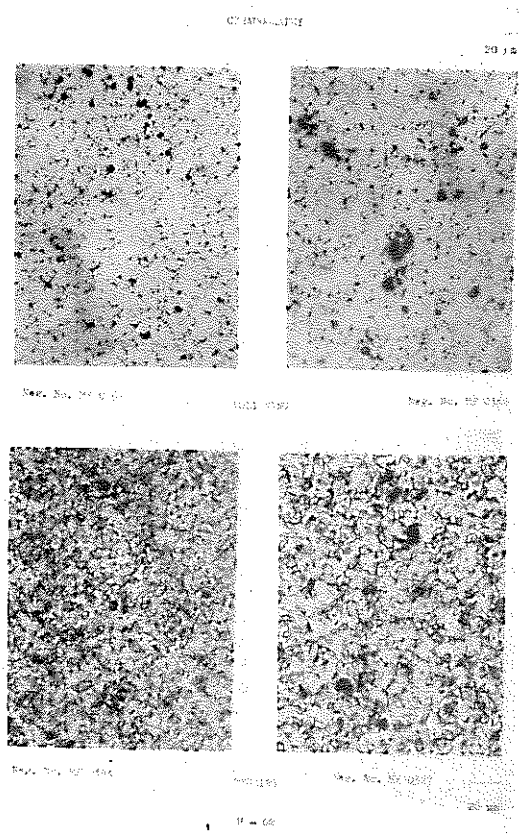
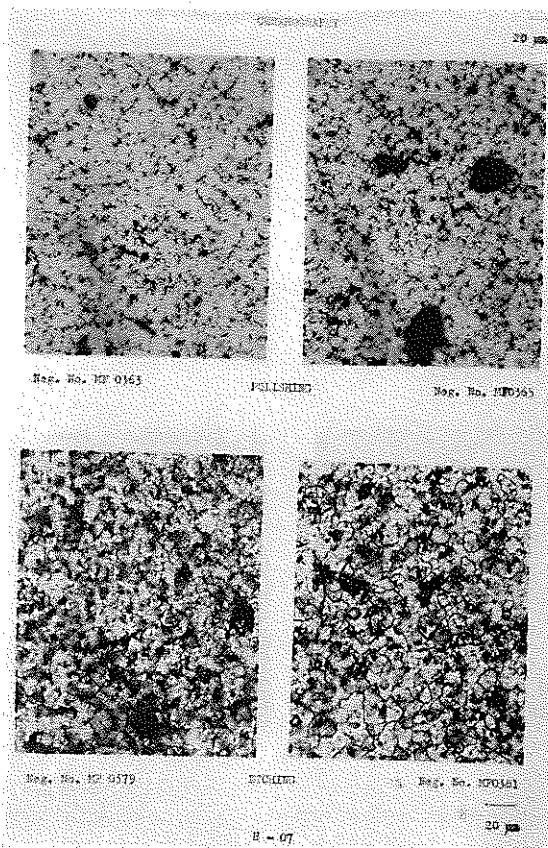
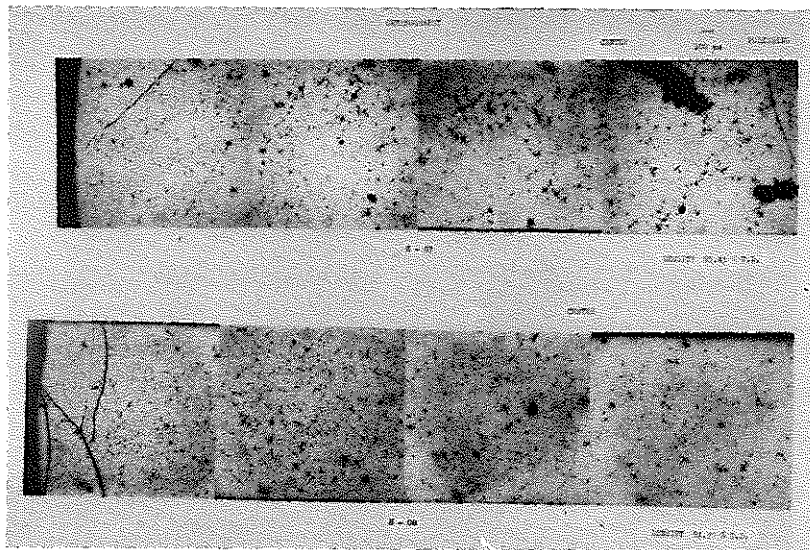
Sample		金 相		電子顕微鏡	オートラジオ グラフィ	X線回折 格子定数(A)
		研 磨 面	結晶粒	結晶粒		
H-01-T1	9390	小void均一分布	~20μ	大 20μ 小 2μ	均一性良好 A	5.46793±0.00015
H-01-T2		"	~20μ	大 20μ 小 10μ	" " A	
H-02-1	9320	voidやや大 モザイク状分布	~10μ	小 <1μ 大 不明	ほぼ均一 B	5.46794±0.00012
H-02-2	9559	"	<10μ	大 5~10μ 小 不明	" B	
H-04	9222	小void均一分布	<10μ		" B	5.46833±0.00008
H-06	9285	"	<5μ	大 4M 小 <1M	不均一 C	5.46849±0.00015
H-07	9543	"	~10μ	大 10~15μ	" C	
H-08	9490	"	~5μ		" C	
H-09	9397	"	<5μ		" C	
H-10	9492	voidこまかい 均一分布	5~10μ		" B	5.46805±0.00012
H-12	9536	"	<5μ		不均一 C	
H-14	9517	voidこまかい中 に20μ位なもの分布	<5μ		" C	
H-16	9422	voidこまかく 均一分布	<5μ		" C	
H-17	9563	Max 140μ	<5μ		不均一 偏折 C	
H-18	9545	小void均一分布 Max 80μ	<5μ		PuO ₂ 小分布 " C	
		小void均一分布				

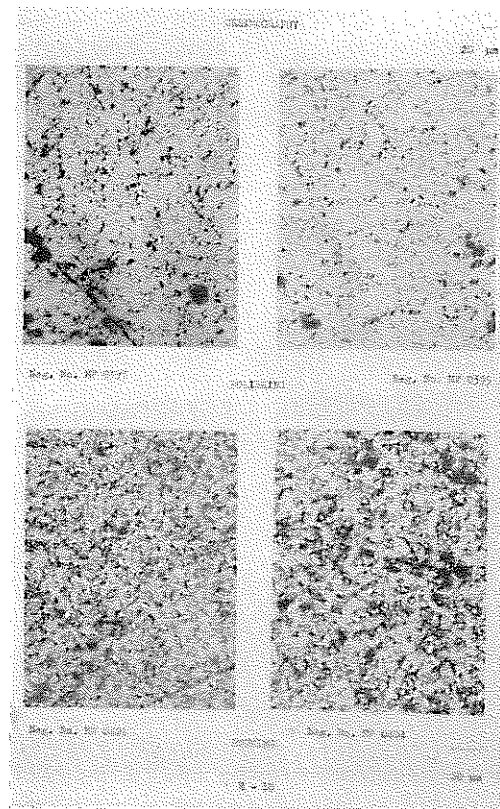
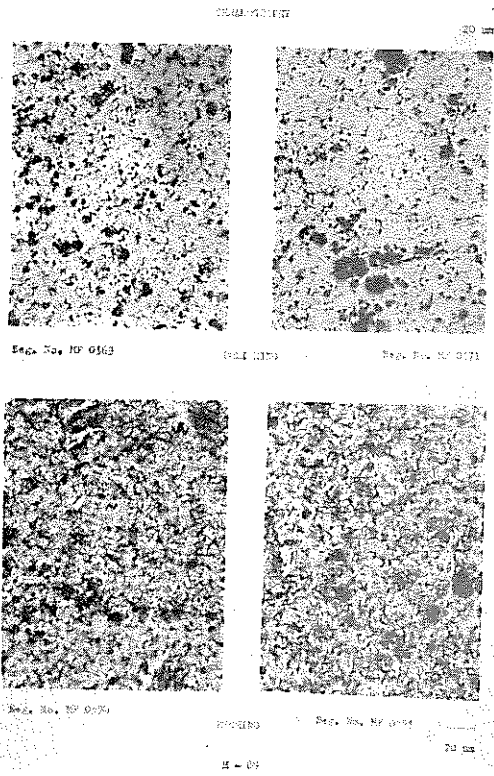
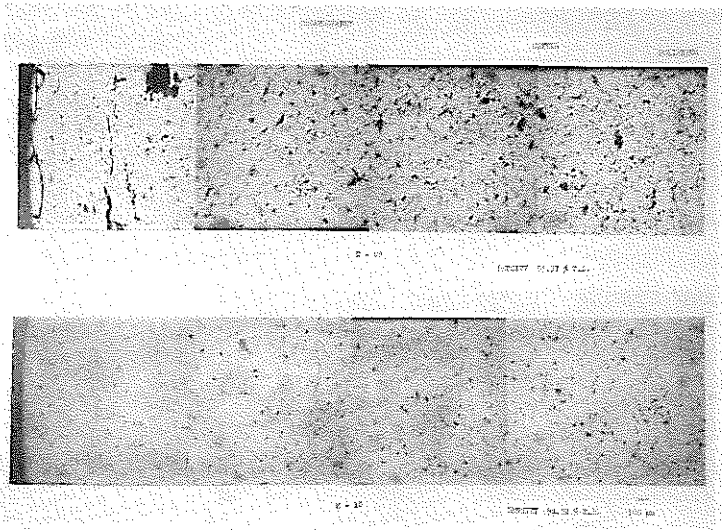


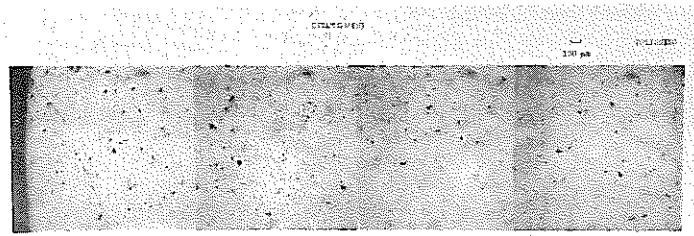
金相 1



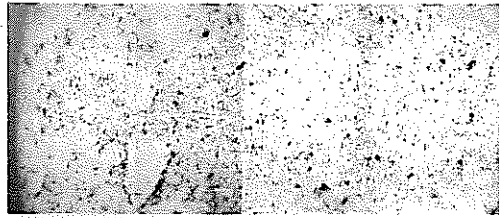




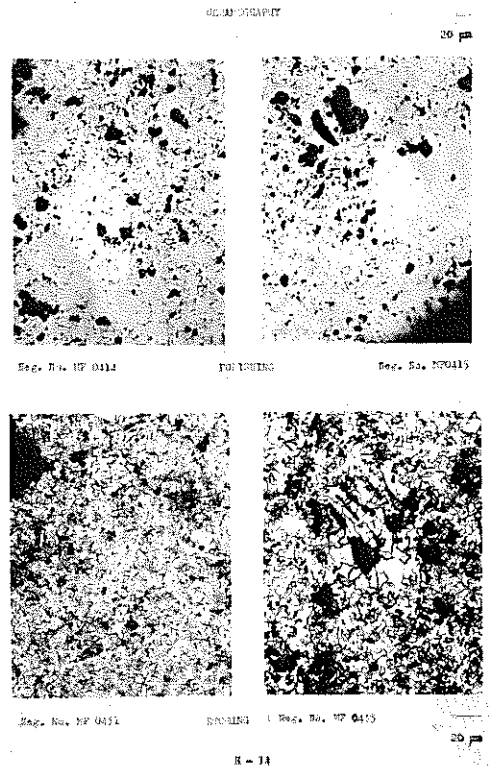
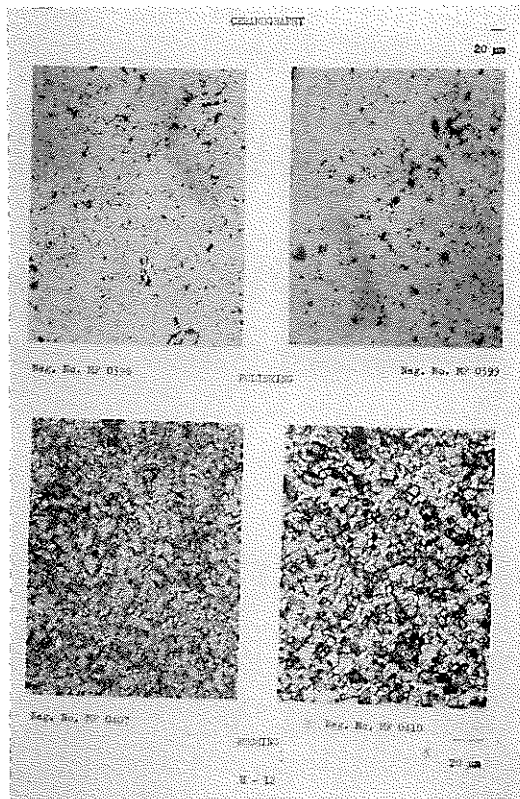


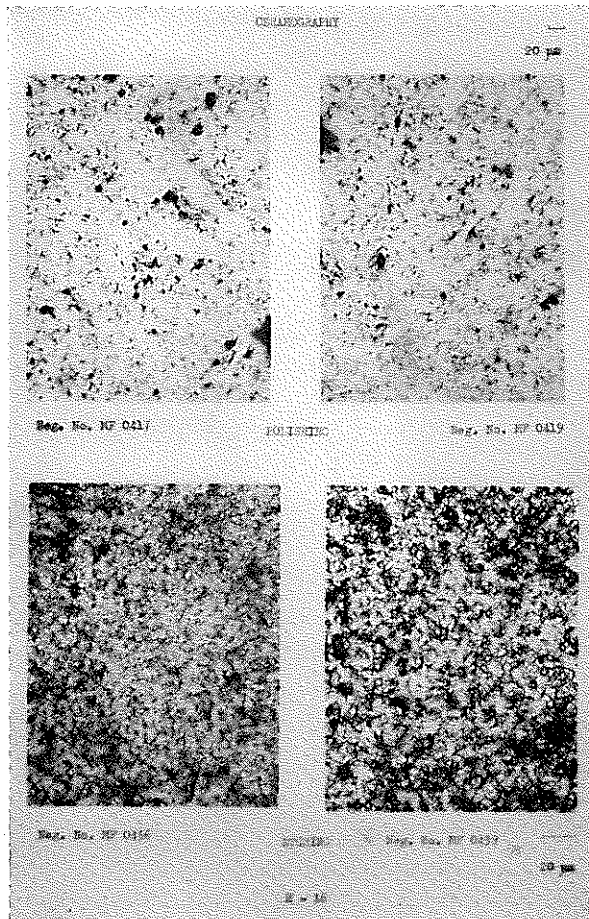
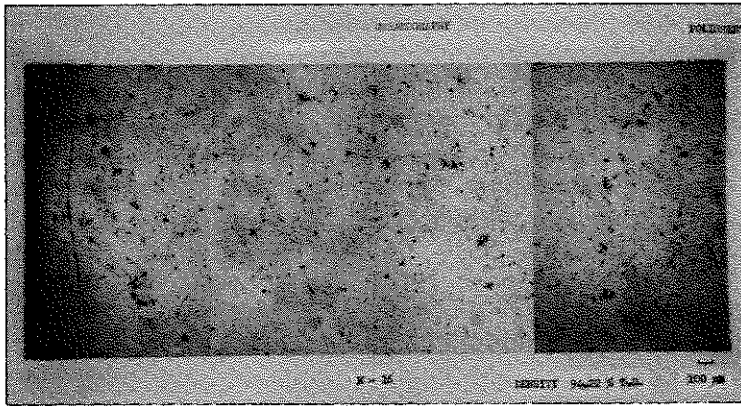


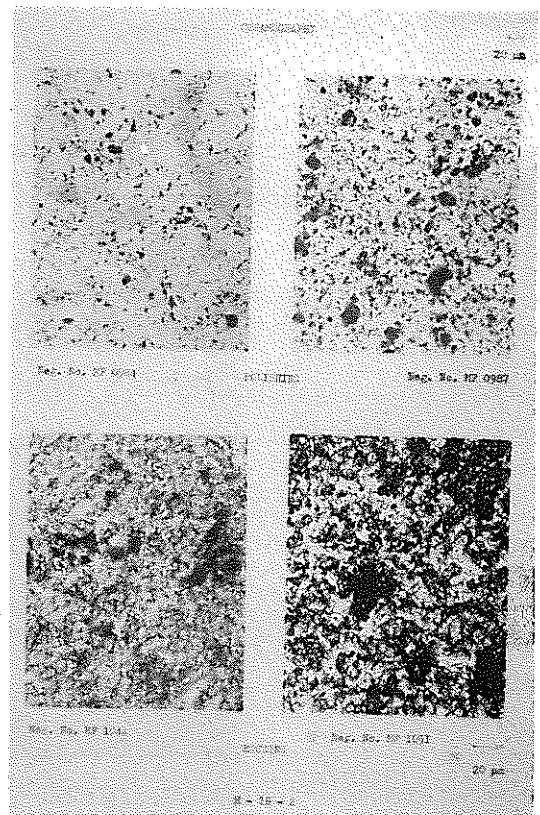
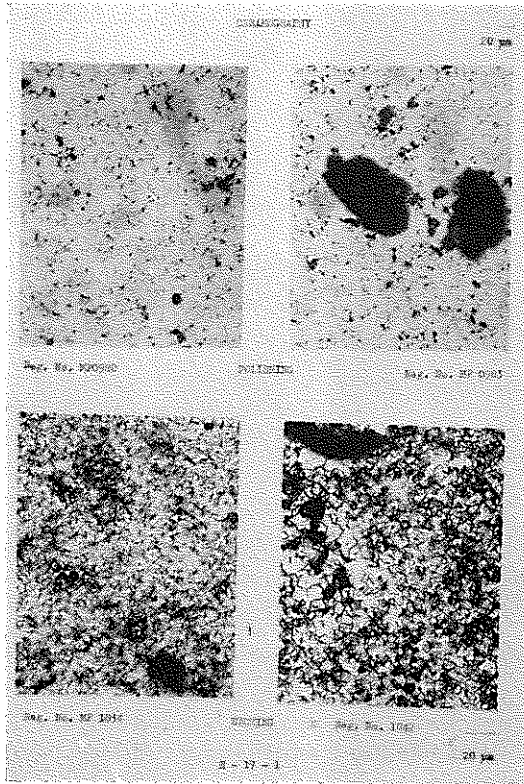
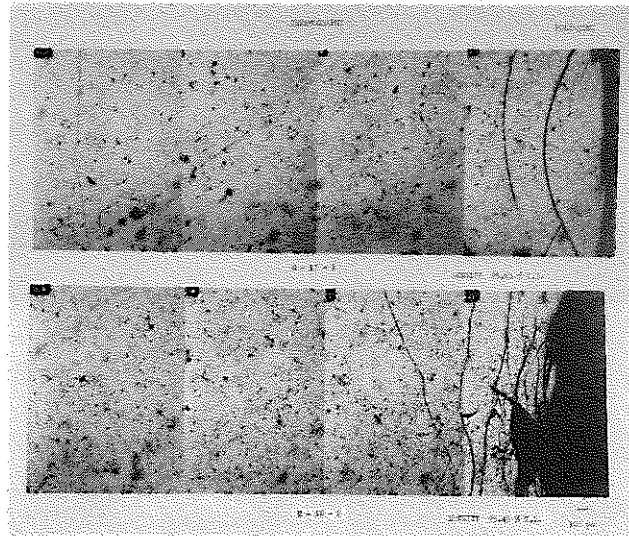
R-12 LIGHT 51.45 X 1.5

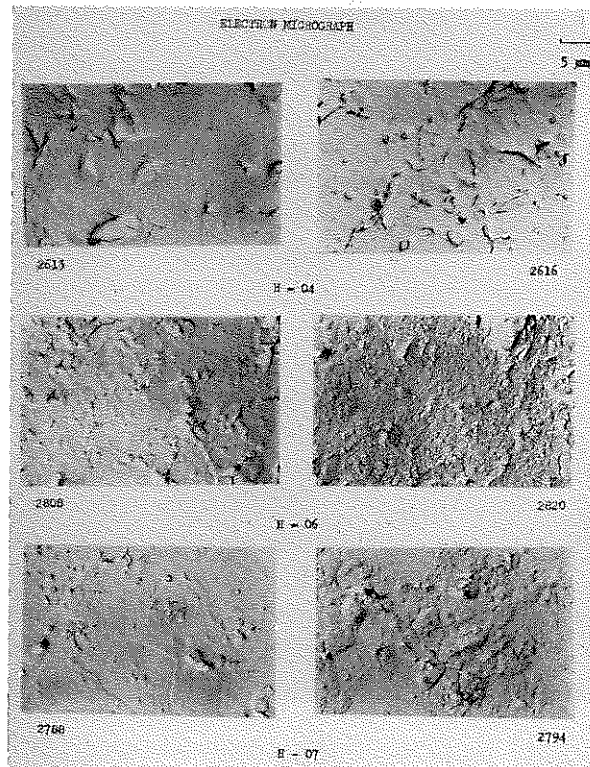
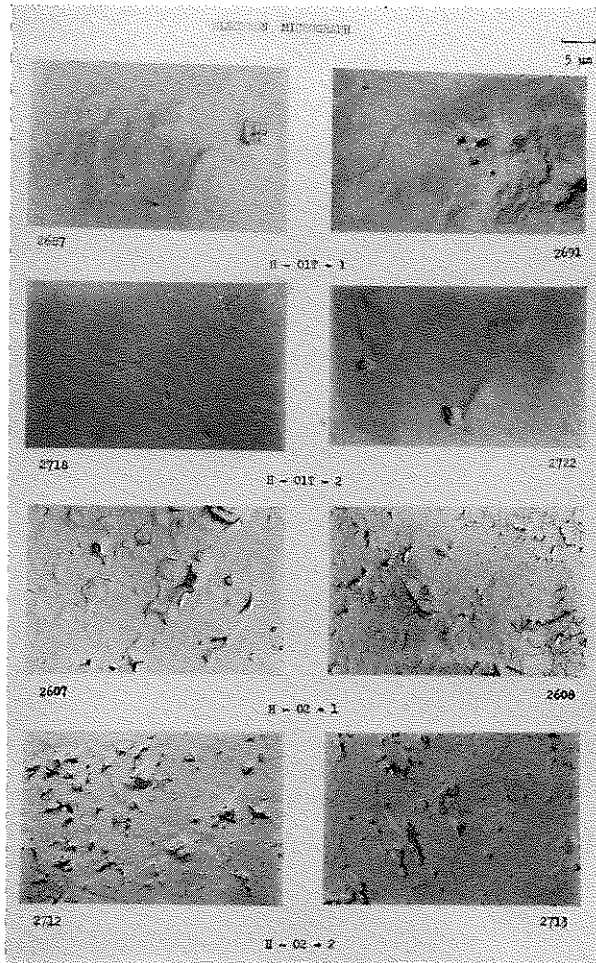


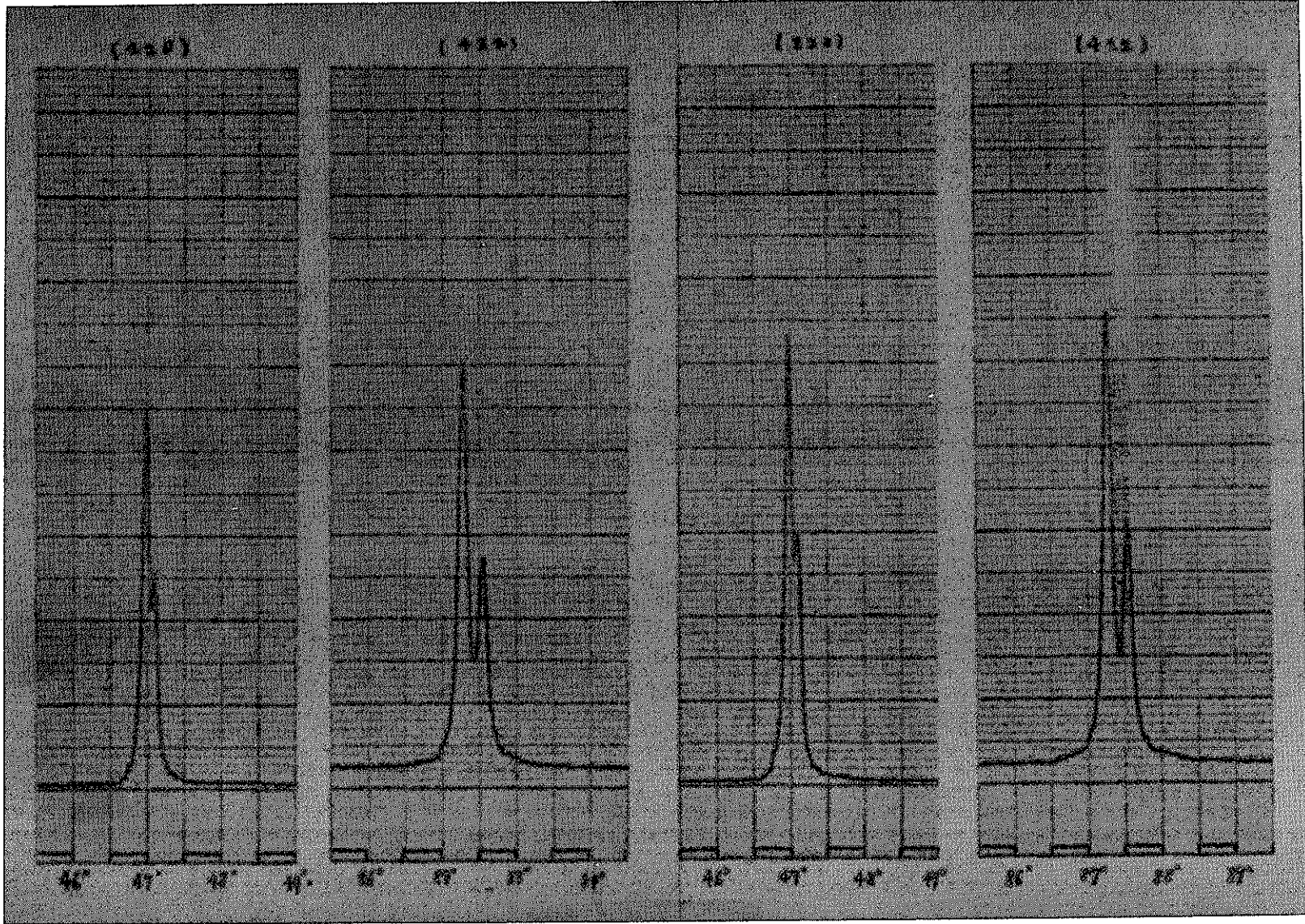
R-13 LIGHT 51.47 X 1.5





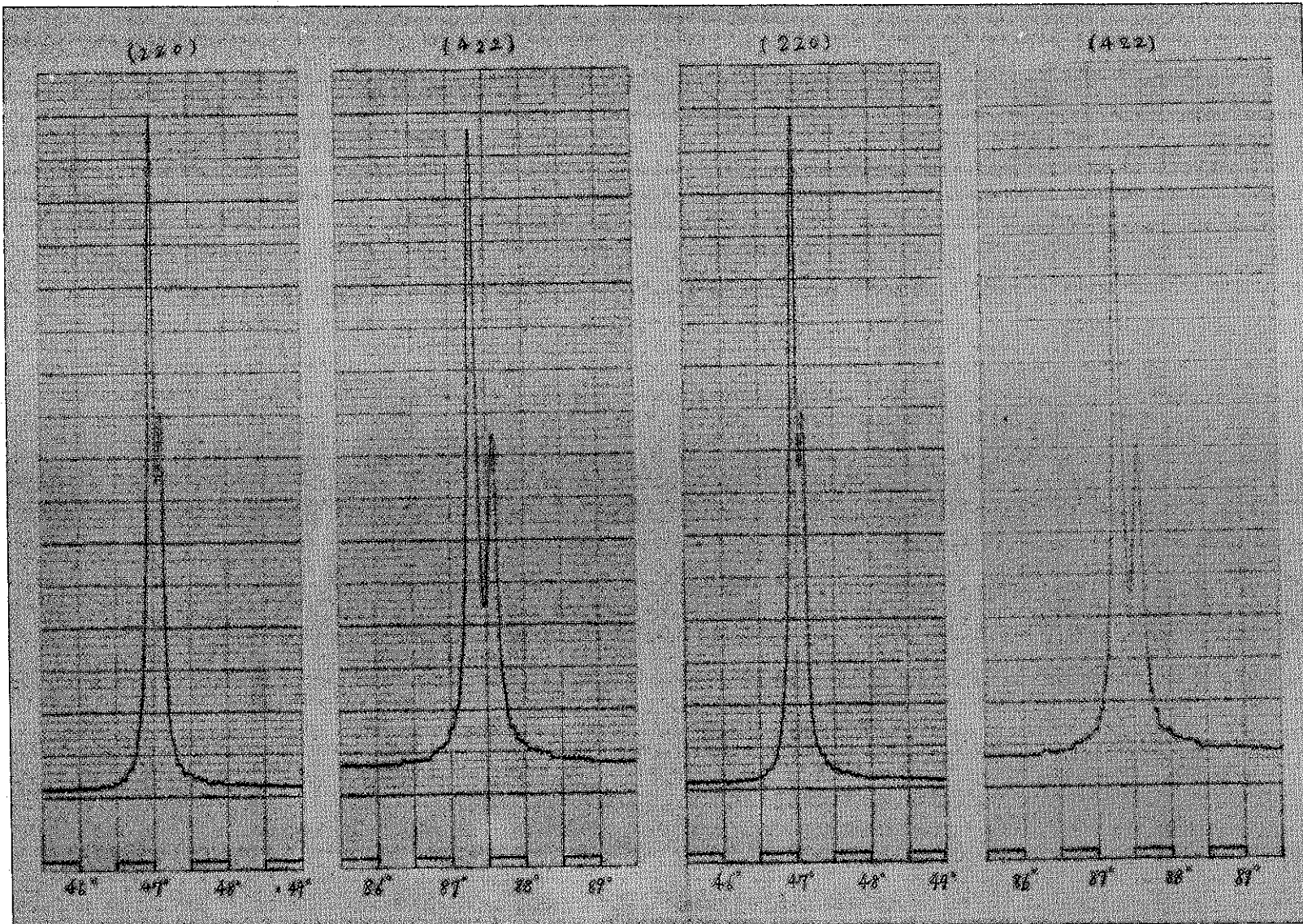






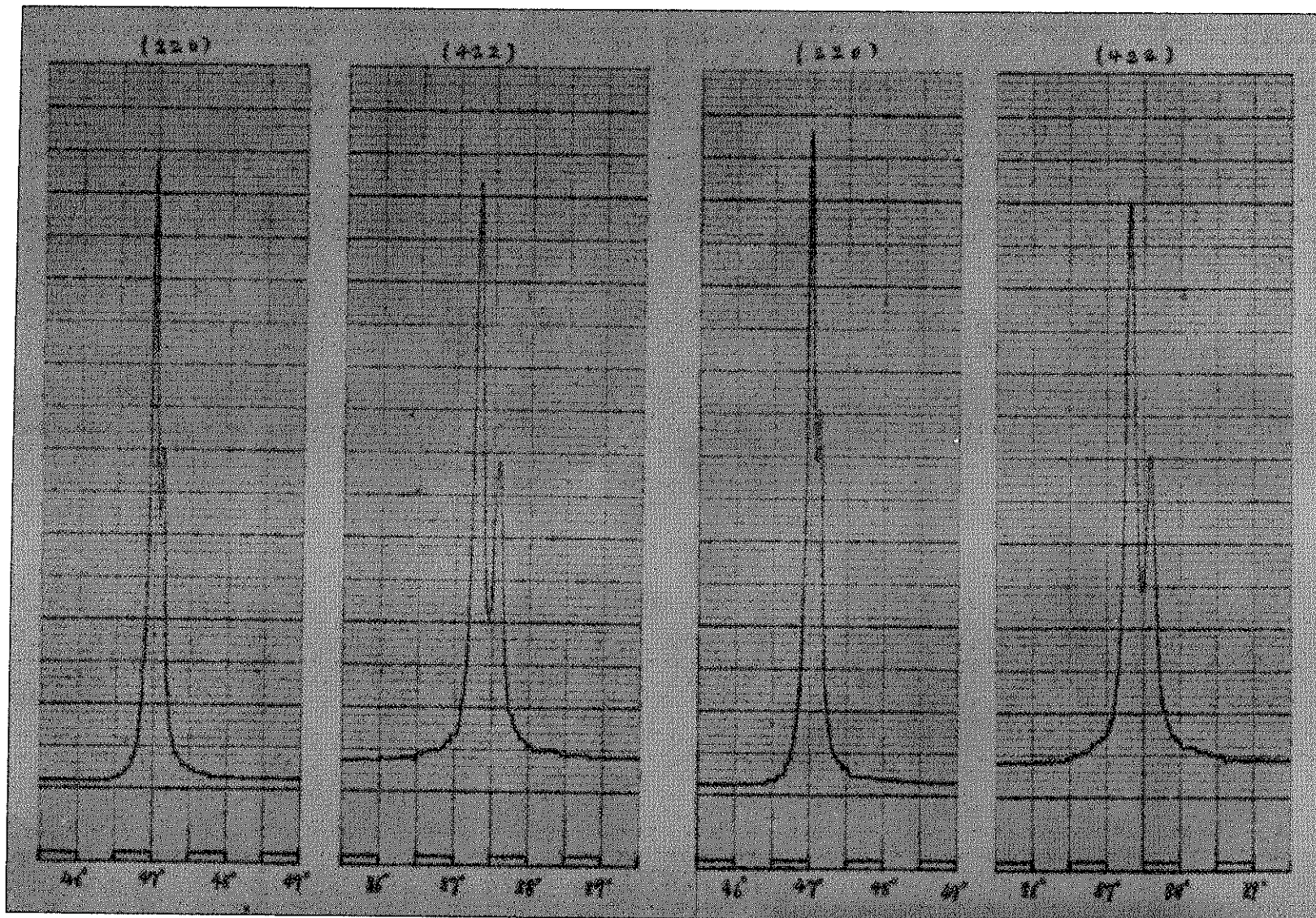
HALDEN Pellet 01T-1
X 線 回 折

HALDEN Pellet 01T-2
X 線 回 折



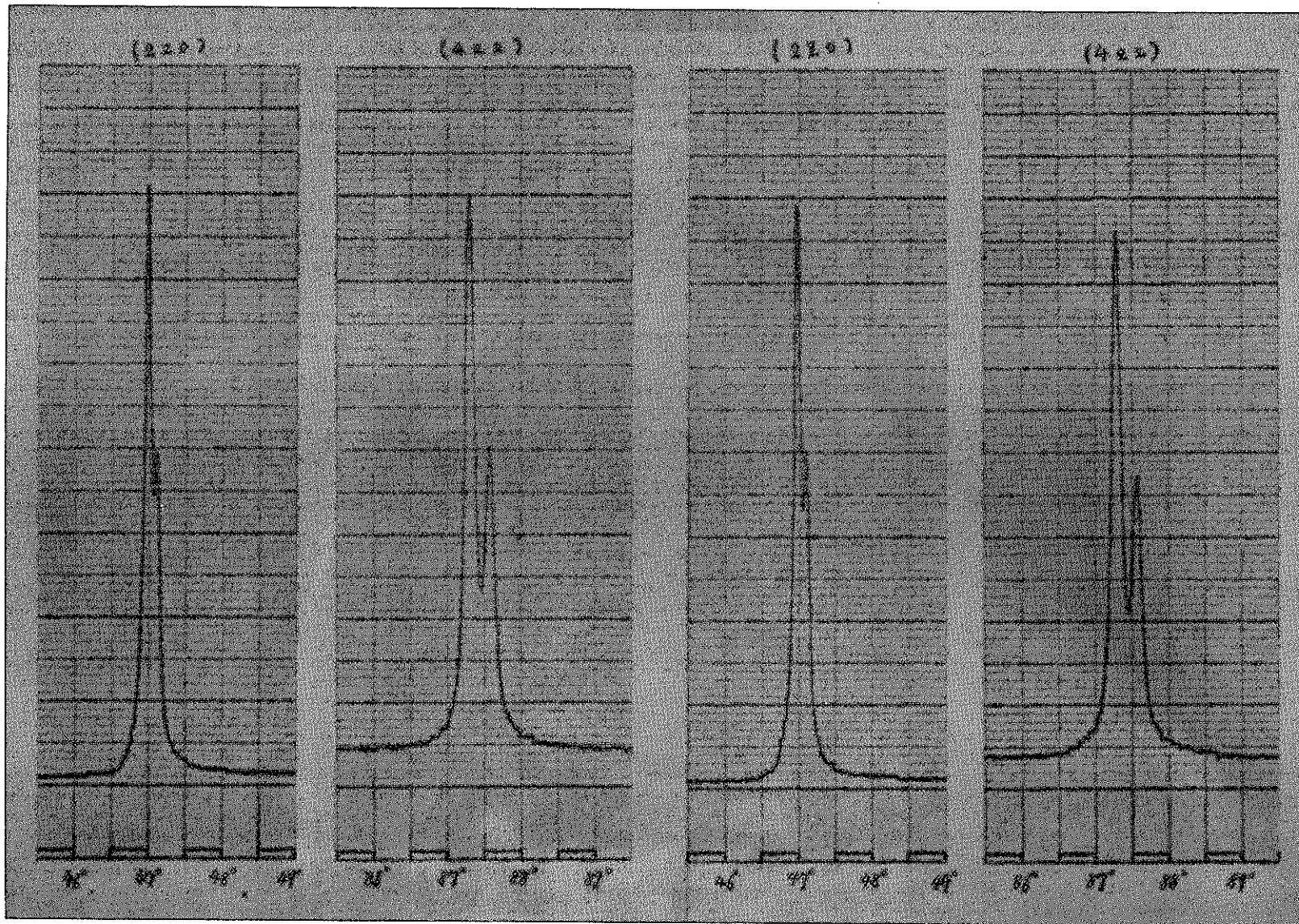
HALDEN Pellet H-02-1
X 線 回 折

HALDEN Pellet H-02-2
X 線 回 折



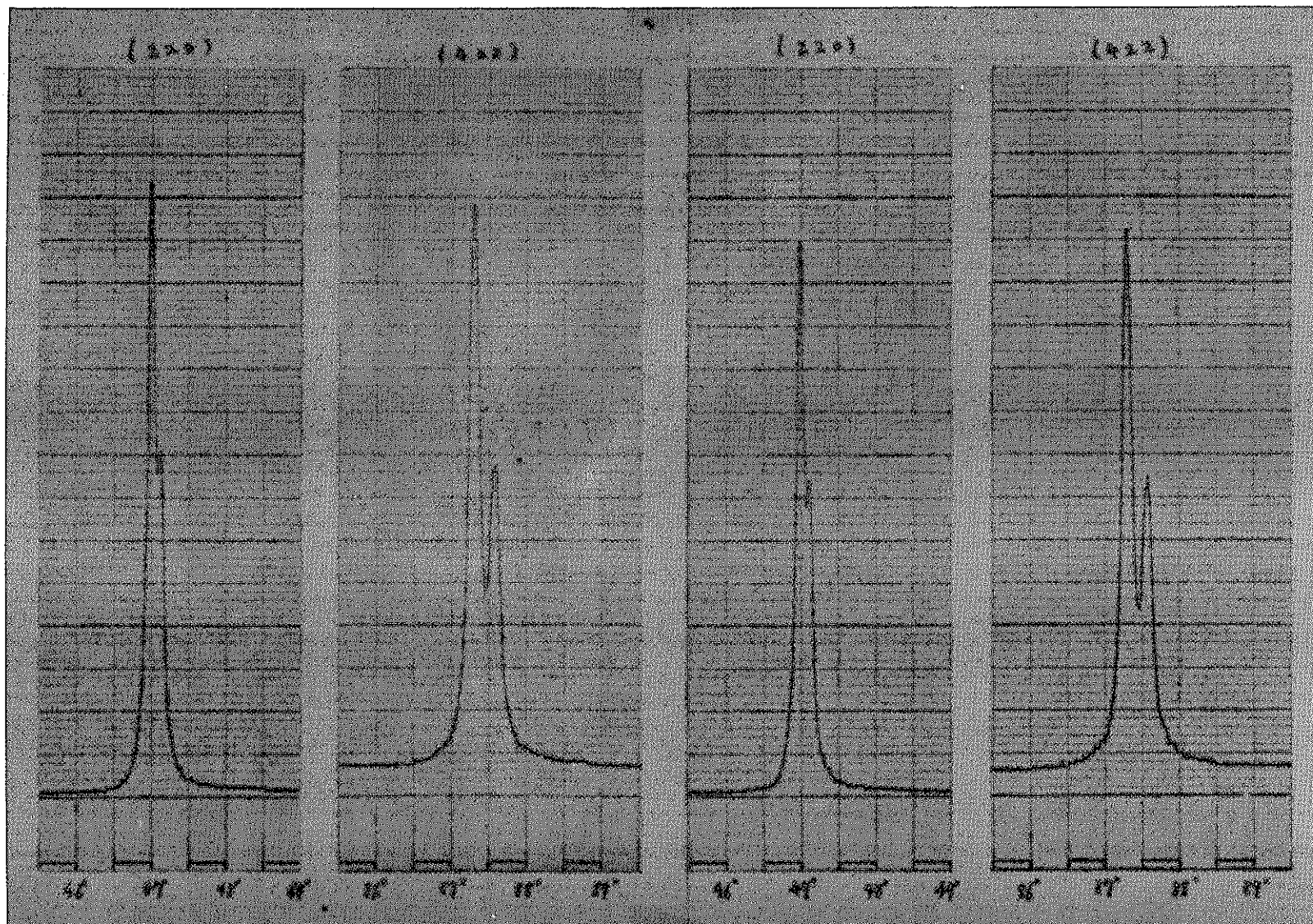
HALDEN Pellet H-04-1
X 線 回 折

HALDEN Pellet H-06
X 線 回 折



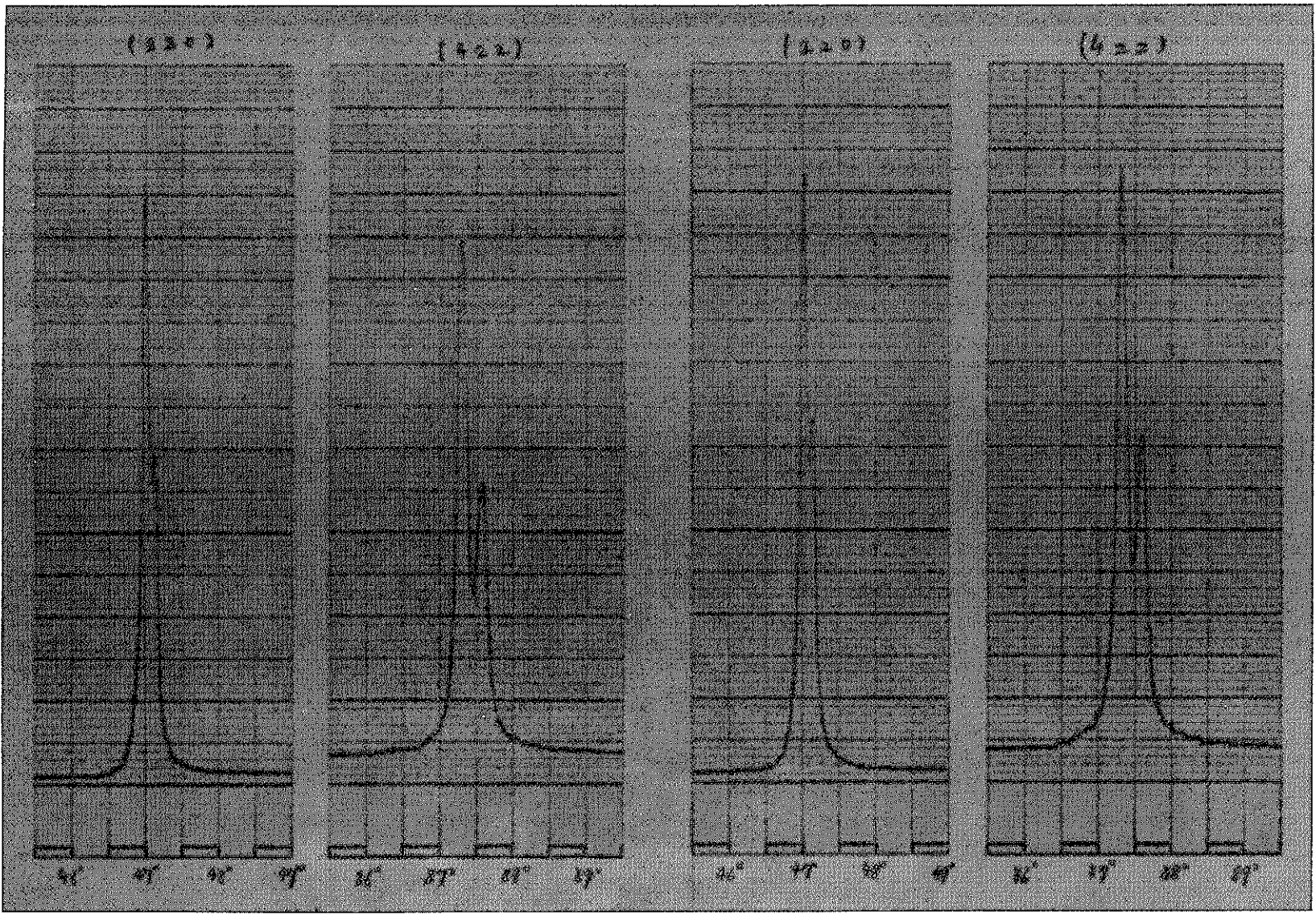
HALDEN Pellet H-07
X 線 回 折

HALDEN Pellet H-08
X 線 回 折



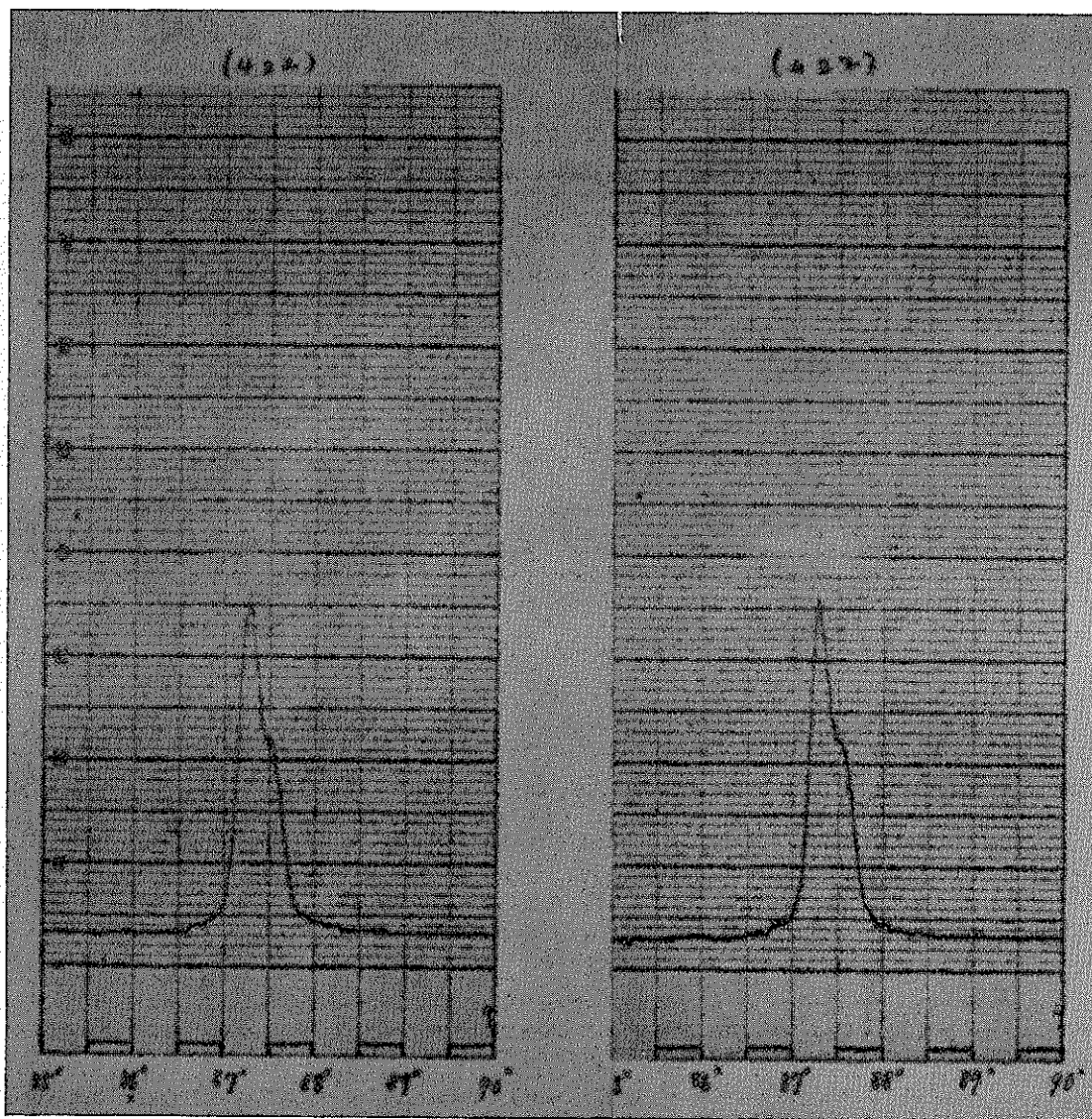
HALDEN Pellet H-10
X 線 回 折

HALDEN Pellet H-12
X 線 回 折



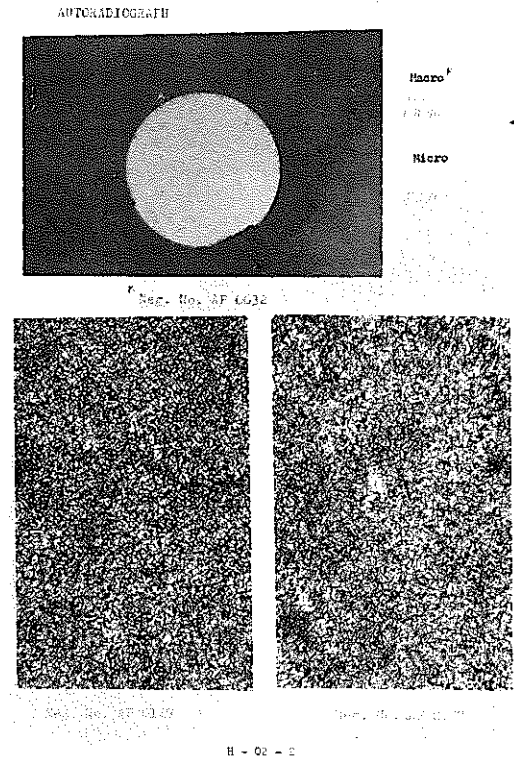
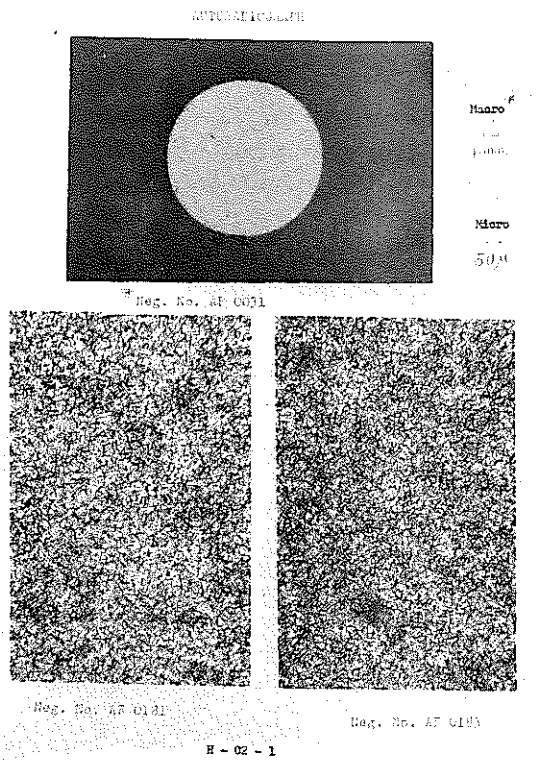
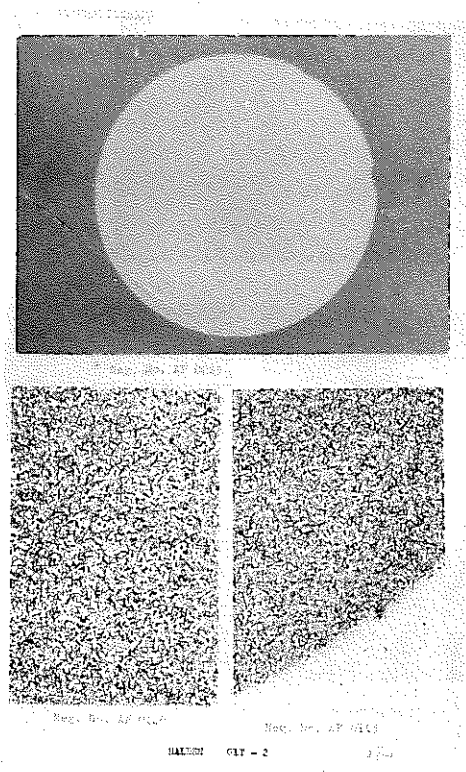
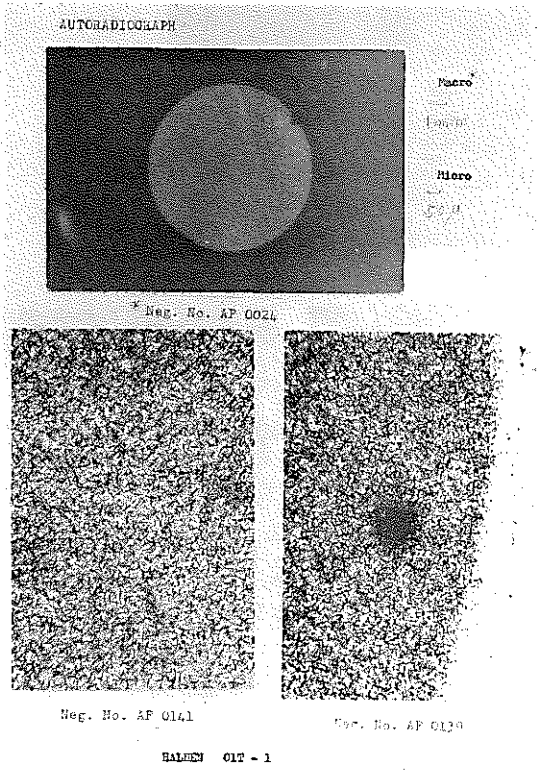
HALDEN Pellet H-14
X 線 回 折

HALDEN Pellet H-16
X 線 回 折

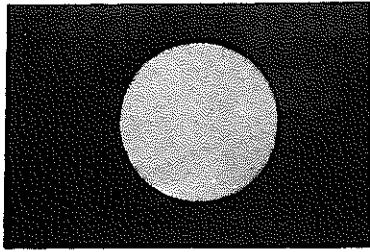


HALDEN Pellet H-17
X 線 回 折

HALDEN Pellet H-18
X 線 回 折

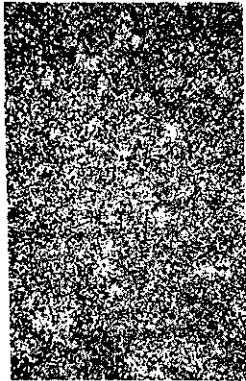


AUTODIAGRAM

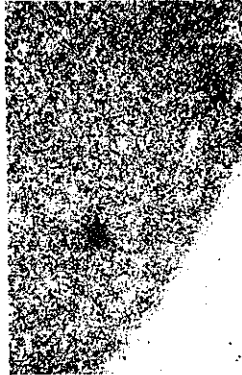


Macro
100x
Micro
500x

Neg. No. AP 0033



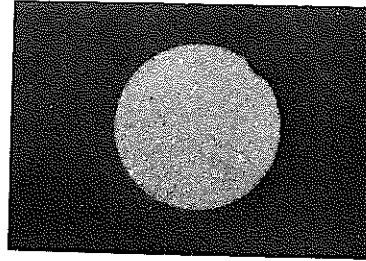
Neg. No. AP 0103



Neg. No. AP 0105

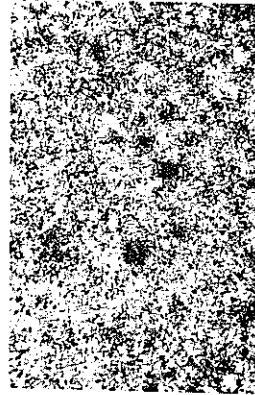
H - 04

AUTODIAGRAM

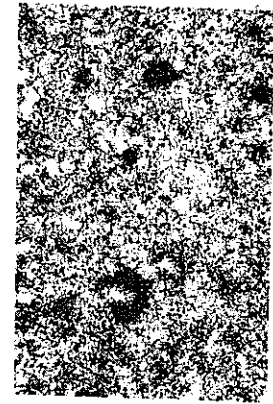


Macro
100x
Micro
500x

Neg. No. AP 0035

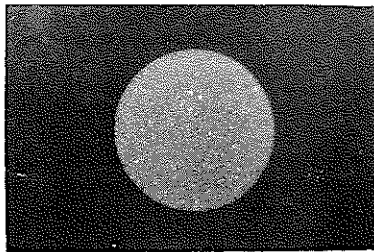


Neg. No. AP 0107



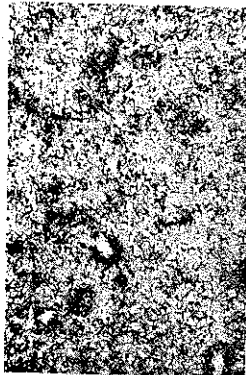
Neg. No. AP 0108

H - 05

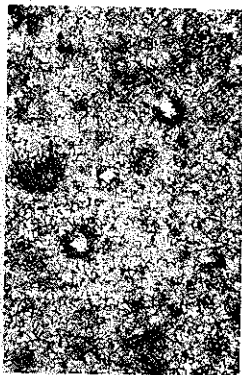


Macro
100x
Micro
500x

Neg. No. AP 0036

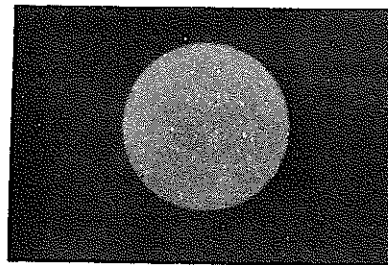


Neg. No. AP 0213



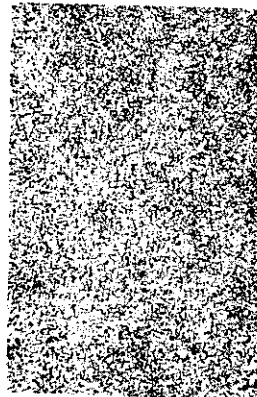
Neg. No. AP 0211

H - 07

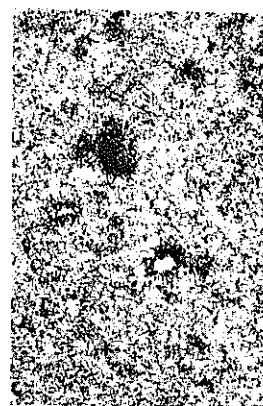


Macro
100x
Micro
500x

Neg. No. AP 0037

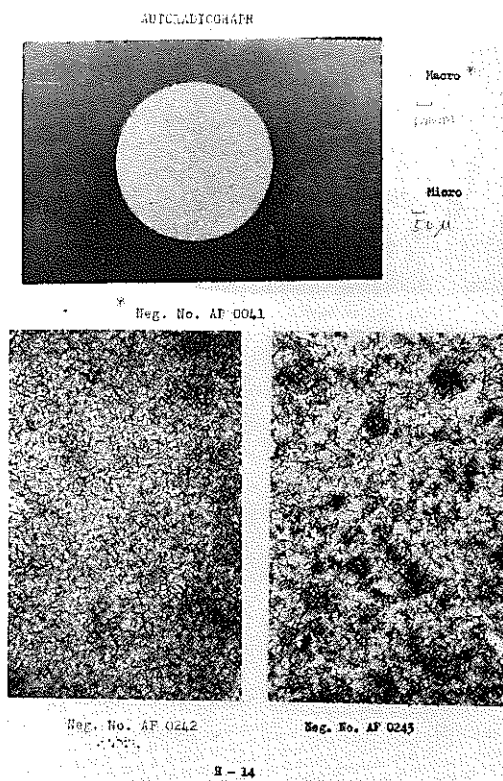
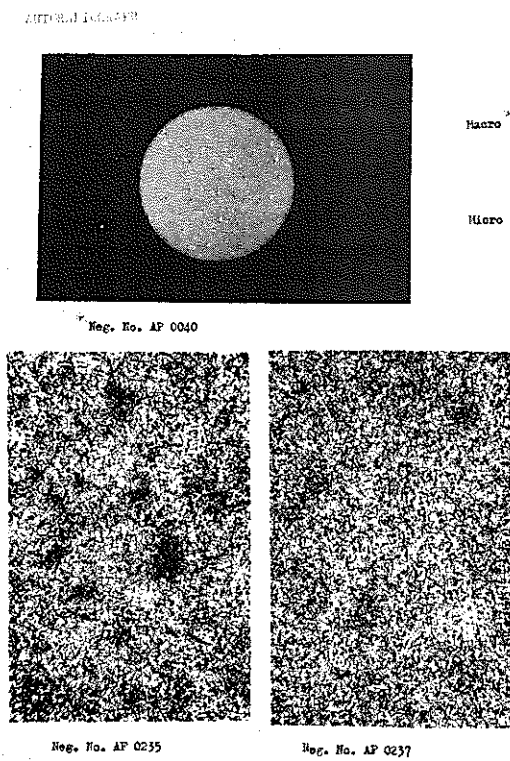
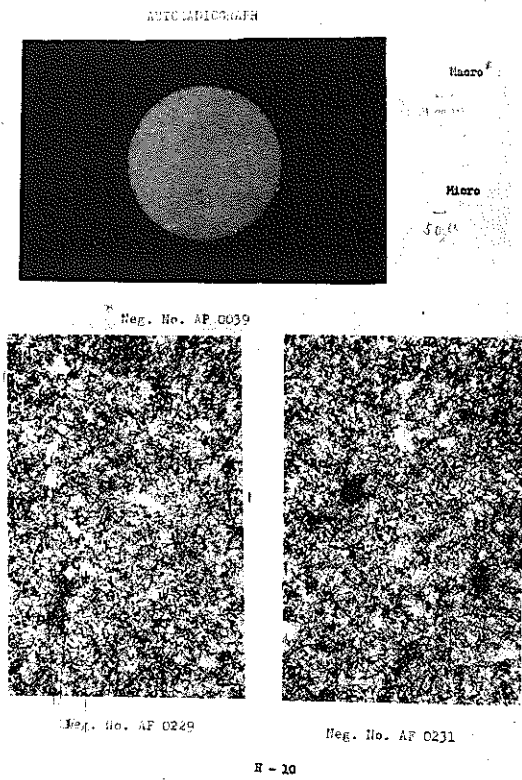
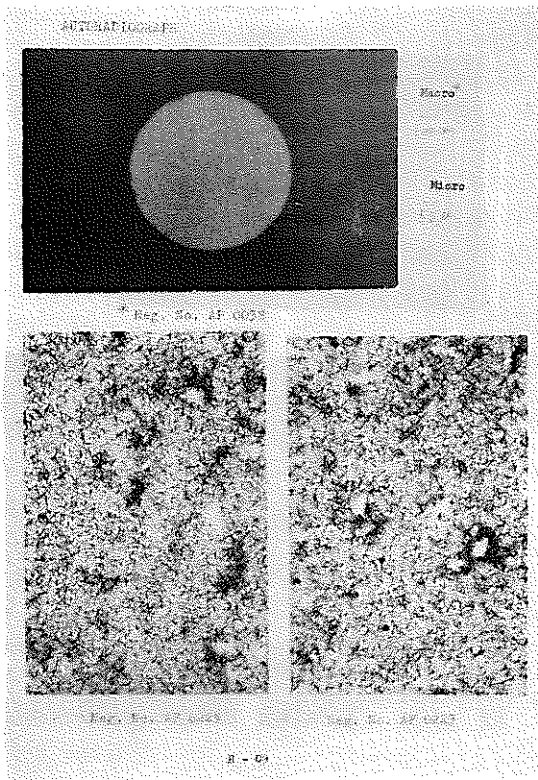


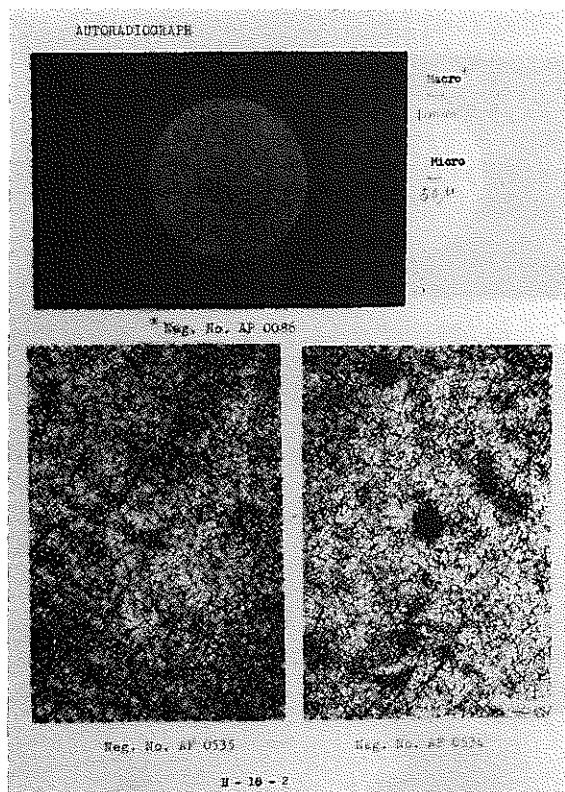
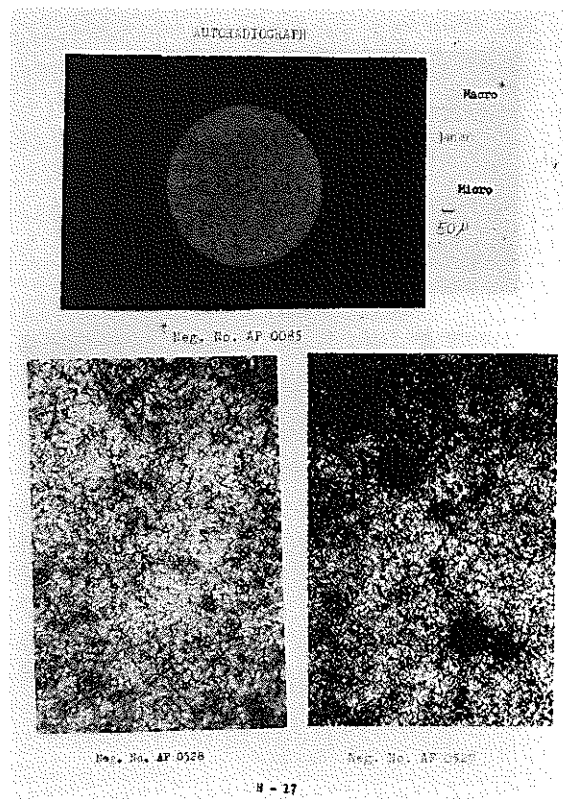
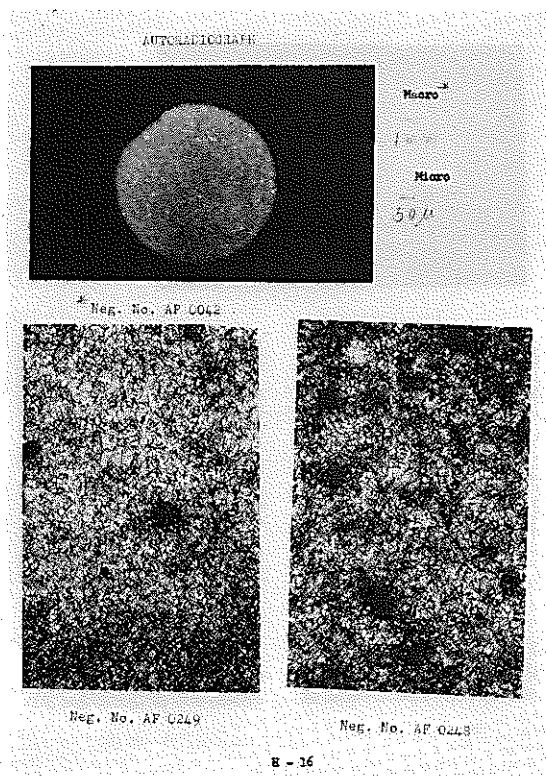
Neg. No. AP 0215



Neg. No. AP 0216

H - 08





4.4 ジルカロイ管の検査と評価

(三浦)

4.4.1 ジルカロイ被覆管の購入仕様

(1) 材 質	ジルカロイ-2
(2) 寸 法	内 径 10.2 ± 0.05 mm 肉 厚 0.75 ± 0.07 mm 長 さ 1600 ± 5 mm
(3) 曲 り	1 / 1000 以下
(4) 引張強さ	52 kg/mm ² 以上 (縦方向)
(5) 耐 力	45 kg/mm ² 以上
(6) 伸 び	12% 以上
(7) 表面粗さ	10 S 以下
(8) 結晶粒度	ASTM No. 7 以上
(9) 内圧破壊強さ	670 kg/mm ² 以上
(10) 欠 陥	深 さ 70 μ 以下

4.4.2 非破壊検査

被覆管の非破壊検査は、HBWR IFT-159 照射試験燃料棒用ジルカロイ管検査要領および判定規準に従って行ない、実際照射試験に供した被覆管について、その結果を表4.4.1に示した。総合判定ではオートクレーブ後外観が最も大きな影響があった。

4.4.3 材料試験

被覆管の材料試験としてオートクレーブ前は製作者側で行ない、動燃ではオートクレーブ後の試片について試験を行なった。その結果を果4.4.2および写真4.4.1に示した。

被覆管のミルシートを表4.4.3に示す。また同様に端栓材、およびジルカロイ-2枚のミルシートを表4.4.4、表4.4.5に示す。

HBWR IFA-159 照射試験燃料棒用ジルカロイ管検査要領および判定基準

昭和42年9月

(1) 外観(肉眼)検査

外観表面欠陥：外径表面の外観と肉眼で検査し、次のごとく分類する。

A：いかなる表面欠陥も認められないもの

B：深さの浅い(30 μ以下)ひっかききず、あな、あたりきずなどの欠陥がご

く僅かに認められるもの。

C: 深さの浅い(30 μ 以下)ひっかききず, あな, あたりきずなどの欠陥が多量に認められるもの。

D: 規格に定められた欠陥にほど近い欠陥(深さ30~70 μ 程度)が認められるもの。

O: 規格に定められた以上の欠陥(深さ70 μ 以上)の認められるもの。

特記事項の欄には次の事項を記入する。

① 深さ30 μ 以上の欠陥が存在する場合には, その深さを光切断顕微鏡で測定し, その深さおよび長さを記入する。

② 深さ70 μ 以上の欠陥については前項の測定を行った後, その外観の状態を写真に撮影しその旨を記入する。

③ さび, 塗料, 指紋, よごれなど異物の付着が認められた場合は, その状態を記入する。

④ その他の特記事項

内径表面欠陥: 内径表面欠陥を光にかざして肉眼で検査し, さらにあやしい場合には管内検査鏡を用いて検査し, 次のごとく分類する。

A: 肉眼検査でいかなる表面欠陥も認められないもの。

B: 肉眼検査で疑がわしいもので, これを管内検査鏡で調べ, 深さの浅い(30 μ 以下)と思われる欠陥がごく僅かに認められるもの。

C: 肉眼検査で疑がわしいもので, これを管内検査鏡で調べ, 深さの浅い(30 μ 以下)と思われる欠陥が多量に認められるもの。

D: 肉眼検査で疑がわしいもので, これを管内検査鏡で調べ規格に定められた欠陥にほど近い欠陥(深さ30~70 μ 程度)が認められるもの。

O: 肉眼検査で疑がわしいもので, これを管内検査鏡で調べ規格に定められた以上の欠陥(深さ70 μ 以上)の認められるもの。

特記事項の欄には次の事項を記入する。

① 深さ30 μ 以上の欠陥が存在する場合にはその深さの程度と長さの程度を記入する。

② 深さ70 μ 以上の欠陥については前項の測定を行なった後にその外観の状況を写真に撮影しその旨を記入する。

③ さび, 塗料, よごれなど異物の付着が認められる場合にはその状況を記入

する。

④ その他の特記事項

表面仕上度：外径表面を J I S 表面アラサ試験片と対比して肉眼で検査し次のように分類する。

A : 0.8 S 以下

B : 1.5 S 以下

C : 3 S 以下

D : 6 S 以下

E : 10 S 以下

O : 10 S 以上 (特記事項の欄に表面アラサを表示すること)

(2) 内 径 (空気マイクロ) 測定

背圧型 (御器谷メタル製) 装置を用いて直角 2 方向の内径 (α , β) を測定し被覆管 6 側を零点としたチャートに記入する。

なお、この場合に各回ともパイプ自体は自転させながら測定すること。

測定結果はチャートを貼付したチャートの右側に α β 方向測定の場合の最大指示値および最小指示値 (計器上の読み) を μ (標準内径は 10.830 mm) で示して括弧内に記入し、さらに測定値を指示値の校正曲線より求めて括弧内記入指示値の右側に記録する。

なお、4 つの記録値中の最大値および最小値にはアンダーラインを附する。

測定結果は次のごとく分類する。

Grade 欄 A : 測定値が標準内径 10.200 ± 0.010 mm 以内におさまるもの。

B : ± 0.020 "

C : ± 0.030 "

D : ± 0.040 "

E : ± 0.050 "

O : ± 0.050 を超えるもの

Grade 欄右欄 A : 測定値 (4 つの値) の最大値と最小値の差が 0.010 mm 以内のもの

B : " 0.020 "

C : " 0.030 "

D : " 0.040 "

E : " 0.050 "

Grade 欄右欄 F: 測定値 (4つの値) の最大値と最小値の差が 0.060 mm 以内のもの

G: " 0.070 "

H: " 0.080 "

I: " 0.080 を超えるもの

Grade 欄最右欄

() 括弧内に記入)

E: 測定値 (4つの値) の最大値と最小値の中間の値が +0.040 ~ +0.031 mm の (平均値) もの

D: " +0.030 ~ +0.021

C: " +0.020 ~ +0.011

B: " +0.010 ~ +0.001

A: " 0 ~ 0.010

B: " -0.011 ~ 0.020

C: " -0.021 ~ 0.030

D: " -0.031 ~ 0.040

E: " +0.041 以上または -0.041 以下のもの

(8) 肉厚 (マイクロ) 測定

肉厚用マイクロメータを用いて 45 度毎に各端 8 点を測定する。I は右側, II は左と反対側とする。測定値は $\frac{5}{1000}$ mm 単位で記録は 45 度毎に第 I の測定値は①の欄第 2 欄.....に記入する)

なお, 総平均の欄には 16 測定値の平均値を $\frac{1}{1000}$ mm 単位で記録し (平均欄は記入の要なし) 16 測定値の最大値, 最小値の値にはアンダーラインを付する。

以上の結果は次のように分類する。

Grade 欄 A 測定値 (16 の値) が標準肉厚 0.75 ± 0.015 mm 以内におさまるもの

B " ± 0.025 "

C " ± 0.035 "

D " ± 0.045 "

E " ± 0.055 "

F " ± 0.065 "

J " ± 0.075 "

O " ± 0.075 を超えるもの

Grade 欄下欄 A : 測定値 (16 の値) の最大値と最小値の差が 0.010 mm 以内のもの

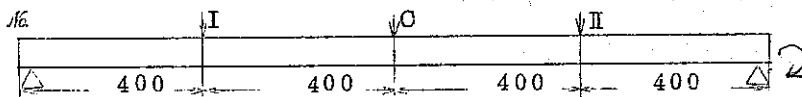
B :	"	0.020	"
C :	"	0.030	"
D :	"	0.040	"
E :	"	0.050	"
F :	"	0.060	"
G :	"	0.070	"
H :	"	0.080	"
I :	"	0.090	"
J :	"	0.100	"
K :	"	0.100 を超えるもの	

Grade 欄下欄 E⁻ 測定値 (16 の値) の総平均値が 0.676 ~ 0.690 にあるもの

D ⁻ :	0.691 ~ 0.705
C ⁻ :	0.706 ~ 0.720
B ⁻ :	0.721 ~ 0.735
A ⁻ :	0.736 ~ 0.751
A ⁺ :	0.751 ~ 0.765
B ⁺ :	0.766 ~ 0.780
C ⁺ :	0.781 ~ 0.795
D ⁺ :	0.796 ~ 0.810
E ⁺ :	0.811 ~ 0.825
F ⁺ :	0.825 mm 以上のもの
F ⁻ :	0.675 mm 以下のもの

(4) 真直度 (ダイヤルゲージ) 測定

定盤基準法によりダイヤルゲージを用いて測定し以下のような配置の I, C, II の位置における曲り (1 回転した時のゲージの振れの 1/2 の値) を 1/100 mm 単位で記録する。



I, C, Hの測定値の最大値を「Max」欄に記入する。また次のごとく分類し「Grade」欄に記入する。

A: 真直度 (Max) が 0.16 mm (1000 mm 換算 0.1 mm) 以内のもの

B: " 0.32 (0.2)

C: " 0.48 (0.3)

D: " 0.64 (0.4)

E: " 0.80 (0.5)

F: " 0.96 (0.6)

G: " 1.12 (0.7)

H: " 1.28 (0.8)

I: " 1.44 (0.9)

T: " 1.60 (1.0)

O: " 1.60 (1.0) を超えるもの

(5) 長さ (ノギス) 測定

1 m ノギスを開いて $1/10$ mm 単位で測定し測定値を記入する。

(6) 重量 (天秤) 測定

4 kg メトラー直示天秤を用いて $1/10$ g 単位で測定し測定値を記入する。

(7) 超音波探傷試験

水浸式探傷法により横波を用いて、球面探触子により探傷し長さ (軸) 方向欠陥の検出のために走査した第1回走査チャートを上段欄に、円周方向の欠陥の検出のために走査した第2回走査チャートを下段欄に貼付する。

探傷条件:

装置 Sperry UW型 (一部 Sperry UR型 により探傷)

探傷周波数 10 MC

ビーム巾 0.2 mm ϕ

ビーム入射角 24 度

試料回転数 940 rpm

試料の送り速度 0.1 mm / 回転

走査軸方向, 円周方向欠陥に対して走査

なを上記2枚の探傷チャートを標準欠陥 (深さ 60μ X 長さ 1 mm の U 型放電加工欠陥) チャートの信号と比較して次のように判定分類し記入する。

「欠陥Ⅰ」 欄深さが 30 μ 以下の欠陥で明らかに欠陥として決められる欠陥信号数

「欠陥Ⅱ」 欄深さが 30 μ ~ 70 μ 程度の欠陥と認められる欠陥信号数

「欠陥Ⅲ」 欄深さが 70 μ 以上の欠陥信号数

(欠陥数が 6 以上の時は多数と表示する)

Grade 欄 A : 欠陥Ⅰ, Ⅱ, Ⅲが認められないもの

B : 欠陥Ⅰが 1ヶ所のみ認められたもの

C : 欠陥Ⅰが 2ヶ所以上認められたもの

D : 欠陥Ⅱが認められたもの

O : 欠陥Ⅲが認められたもの

(8) オートクレーブ試験

オートクレーブ処理を終了した被覆管について外径表面および内径表面を肉眼で観察し、次のように分類する。

なお試験回は第 1 回を 21, 第 2 回を 22, 第 3 回を 23...とする。

試験期間は試料装入より取出しまでの期間とする

温度圧力運転中の平均温度平均圧力を記入する

外観検査 白点：明確に白点と判断される場合はその状況を 1ヶ所, 数ヶ所, 多数で表示する。しかし疑わしいもの, または付着したような薄灰白色の白点は特記事項の欄にその状況と数を上記にならって記入する。

白線：明確に白線と判断される場合には, その状況を 1ヶ所, 数ヶ所, 多数で表示し, また長さを特記事項の欄に記入する。しかし疑わしいもの, または付着したような薄灰白色のものは特記事項の欄にその状況と数長さなど上記にならって記入する。

白色化：明確に白色化の認められる場所がある場合にはその状況を 1ヶ所, 数ヶ所, 多数で表示する。しかし疑わしいものまたは付着したような薄灰白色のものは特記事項の欄にその状況と数を上記にならって記入する。

Grade 欄 A : 明確な白点, 白線, 白色化および疑わしい白点, 白線, 白色化の認められないもの

B : 疑わしい白点, 白線, 白色化が各 1ヶ所以内認められたもの

C : 疑わしい白点, 白線, 白色化が数ヶ所以上認められたもの

D : 疑わしい白点, 白線, 白色化が多数認められ規格に対してやゝ問題と考えられるもの

O：明確な白点，白線，白色化のいずれが1ヶ所以上認められたもの。

Grade欄下欄オートクレーブ後(4)と同一の方法で真直度を再測定し，次のような欄を設けて(4)に準じて記入する。

I C II Grade

*国産品で曲り矯正を行なったものは，曲り矯正後の真直度を上記に準じて測定し，最下段に記入する。

総合判定

A：Bクラス，Cクラス，no 以外のもの

B：下記クラスのあるもの

- (1) 表面仕上D，(2) 内径〔Grade欄右欄〕GHI
- (2) 内径〔Grade欄最右欄〕E，D，E，(3)肉厚〔Grade欄〕E，F，J
- (3) 肉厚〔Grade欄下欄I，J，K(3)肉厚〔Grade欄下欄〕E，E
- (4) 真直度G，H，I(7)超音波B，C，(8)渦電流D，(9)オートクレーブC

C：下記クラスのあるもの

- (1) 外観表面D，(1)内径表面D，(1)表面仕上E
- (2) 内径〔Grade欄〕E，(3)肉厚〔Grade欄下欄〕F，F
- (4) 真直度J，(7)超音波D，(9)オートクレーブD

no：oクラスのあるもの

表. 4.4.1 HBWR IFT-159 照射試験燃料棒用シルカロイ管オートクレーブ後検査結果一覧表

No.	オートクレーブ																真直度	長さ (mm)	重量 (g)	超音波探傷			総合判定	真直度	備考
	外 観			内 径			肉 厚			欠陥															
	外 観	内 径	表 面	標準値	最大値	平均値	標準値	最大値	平均値	欠陥	欠陥	欠陥	ク	ラ	ス										
	表面	表面	仕上度	よりの	と最小値		よりの	と最小値		I	II	III	ラ	ス	ス										
10002			C	C ⁺	B	C ⁺	J ⁺	K	A ⁺	G	1603.35	276.6	0	0	0	A	C								
10019			C	C ⁺	B	C ⁺	E ⁺	G	B ⁺	E	1603.00	277.1	0	0	0	A	C								
10022			B	C ⁺	B	C ⁺	F ⁺	J	B ⁺	F	1603.40	276.2	0	0	0	A	B								
10030			B	B ⁺	B	D ⁺	E ⁺	G	B ⁺	E	1602.65	277.3	0	0	0	A	B								
10032			C	A ⁺	B	A ⁺	D ⁺	F	B ⁺	H	1601.75	272.2	0	0	0	A	C								
10034			B	B ⁺	C	B ⁺	F ⁺	F	C ⁺	D	1602.65	282.6	0	0	0	A	B								
10036			C	C ⁺	C	B ⁺	J ⁺	I	C ⁺	H	1602.60	281.1	0	0	0	A	C								
10040			C	B ⁺	B	C ⁺	E ⁺	F	B ⁺	G	1603.30	276.6	0	0	0	A	C								
10042			C	C ⁺	B	C ⁺	F ⁺	J	A ⁺	J	1602.90	275.4	0	0	0	A	C								
10044			C	C ⁺	B	C ⁺	E ⁻	H	A ⁻	E	1602.85	273.9	0	0	0	A	C								

表 4.4.2 HBWR 照射試験燃料棒用シロカロイ管の試験結果(破壊試験)

昭和42年12月5日 検査課

SN841-71-31

製 造 者			神 戸 製 鋼 所			
msswifature №			NP 0185			
Charge № №			3700T			
試験に用いた管 №			10047			
オートクレーブ処理の有無			無(神戸製鋼所)		有(事業団試験値)	
引張試験	σ_B	(規格) >52 kg/mm ²	64.7	65.5	62.6	62.1
	$\sigma_{0.2}$	>45 kg/mm ²	48.2	48.8	47.3	46.9
	ϵ	>12 %	22.4	22.2	20.2	20.6
押 抜 げ 試 験		>15 %	37.8	37.8	①<33.0 ②<45.0 ③48.7	①亀裂有り ②微小亀裂有り ③座屈する
扁 平 試 験		(扁平われまで外 径に対する%)	54.8	55.3	①41.6 ②42.4	①微小亀裂両面に有り ②微小亀裂両面に有り
内圧破 壊試験	$\sigma_{0.2}$	(径ゲージによる 測定値 kg/cm ²)			1100	
	σ_B	>670 kg/cm ²	1135	>1115	①1170 ②1140	①第1端径ピードより127mm ②第1端径ピードより200mm
カタサ試験 (平均値)	Hv (横断面)				230	
	Hv (縦断面)				259	
	HR _B (縦断面)				85	
結晶粒度	(横断面)					
	>ASTM № (縦断面)		8.5		9.5	
水素化物金相試験(方向, F _n)					別添(F _n =0.35)	
内圧破壊試験	円周方向伸び	%			2.6	1.6

表 4.4.3-1 ジルカロイ - 2 被覆管の検査表

◆ KOBE STEEL, LTD. Certificate of Test Results

NORTH CHOFU PLANT
2, MINATOMACHI, CHOFU, SHIMONOSEKI
YAMAGUCHI-PREF, JAPAN
HEAD OFFICE
36-1, 1-CHOME WAKINOHAMA-CHO, FUKUI-KU, KOBE

CABLE ADDRESS
KOBE STEEL KOBE

No. Z - 19

DATE Oct. 17, 1967

CUSTOMER P F C			KIND OF MATERIAL Zircaloy-2 Seamless Tube, Bar for Nuclear Reactor			
CUST. SPEC. ASTM B353 - 64T		GRADE RA - 1	CONDITION Temper H - 12		SHIPPING DATE Oct. 17, 1967	
Manufacture No. NP 0185	Charge No. 3700T	Lot No. 1	Size mm 10.2 I.D x 0.75 ^t x 1600 ^L		Pieces. 50	
					Weight kg 14.0	
Remarks						

CHEMICAL ANALYSIS			MECHANICAL PROPERTIES			
Spec.			Lot Position	Spec.	(1)	(2)
Sn % 1.20 -1.70		1.39	Tensile	Temp		
Fe 0.07-0.20		0.16	UTS	kg/cm ²	≥ 52.7	64.7 65.5
Cr 0.05-0.15		0.10	YS 0.2% offset	kg/cm ²	≥ 45.7	48.2 48.8
Ni 0.03-0.08		0.06	Elongation	% in mm	≥ 12	22.4 22.2
Fe+Cr+N		0.18-0.38	Flare	%OD Expansion	15	54.8 55.3 (No Cracking)
Al ppm ≤ 75		34	Flatten	% of OD		37.8 37.8 (H=4.45mm)
B ≤ 0.5		0.2	Burst	kg/cm ²	Under Testing	
Cd ≤ 0.5		< 0.2	Grain Size	ASTM No.	≥ 7	8.5
Ca			Surface Roughness	Outer Surface	0.6S	
C ≤ 270		140		Inner Surface	1.2 - 1.5S	
Co ≤ 20		< 5	CORROSION TESTS			
Cu ≤ 50		12	72 hours 399 °C 105 kg/cm ² Run No.			
Hf ≤ 200		65	Lot Position	Spec.		
Mg < 5		< 5	Gain	mg/dm ²	≤ 2?	Under Testing
Mn ≤ 50		< 10	Appearance			
Mo < 10		< 10	NON DESTRUCTIVE TEST			
Na			Ultrasonic	Acceptable		
Pb ≤ 200		< 5	Hydrostatic	351.5 kg/cm ² /10sec.	Good	
Si ≤ 200		97	REMARKS			
Ti ≤ 50		27				
V < 5		< 5				
W ≤ 100		< 25				
U ≤ 3.5		< 0.5				
H < 25						
O } Under Testing						
N ≤ 60						

SUPPLEMENTAL INFORMATION

It is hereby certified that the above materials are satisfactory in compliance with the requirements specified in the contract.

KOBE STEEL, LTD.
NORTH CHOFU PLANT

K. Takaishi
In Charge of Technical Section.

表 4.4.3-2

◆ KOBE STEEL, LTD. Certificate of Test Results

NORTH CHOFU PLANT
2, MINATOMACHI, CHOFU, SHIMONOSEKI
YAMAGUCHI-PREF, JAPAN
HEAD OFFICE
36-1, 1-CHOME WAKINOHAMA-CHO, FUKUI-KU, KOBE

CABLE ADDRESS
KOBE STEEL KOBE

No. Z - 19 00

DATE 1967.11.27

CUSTOMER 動力炉核燃料事業団			KIND OF MATERIAL Zircaloy-2 Seamless Tube, Bar for Nuclear Reactor			
CUST. SPEC. ASTM B353 - 64T		GRADE RA - 1	CONDITION Temper H - 12		SHIPPING DATE 1967.10.17	
Manufacture No. NP 0185	Charge No. 5700(T)	Lot No. 1	Size mm 10.2 ID x 0.75 t x 1,600 L		Pieces. Weight kg 50 14.0	
REMARKS						

CHEMICAL ANALYSIS				MECHANICAL PROPERTIES			
Spec.				Lot Position	Spec.		
Sn %	1.20 ~1.70			Tensile Temp.			
Fe				UTS	kg/cm ²		
Cr				YS 0.2% offset	kg/cm ²		
Ni				Elongation	% in mm		
Fe+Cr+Ni				Flare	%OD Expansion		
Al ppm	≤ 75			Flatten	% of OD		
B	≤ 0.5			Burst	kg/cm ²	670	1,135
Cd	≤ 0.5						1,115 (プラグ破壊)
Cs				Grain Size	ASTM No.		
C	≤ 270			Surface Roughness			
Cl				CORROSION TESTS			
Co	≤ 20			72 hours 400 °C 112 kg/cm ² Run No.			
Cu	≤ 50			Lot Position	Spec.		
Hf	≤ 200			Gain	mg/dm ²	< 22	19.3 18.6
Mg				Appearance			
Mn	≤ 50			NON DESTRUCTIVE TEST			
Mo				Ultrasonic			
Na				Hydrostatic	kg/cm ²		
Pb				REMARKS			
Si	≤ 120						
Ti	≤ 50						
V							
W	≤ 100						
U	≤ 3.5						
H	≤ 25	14	18				
O		1,310	1,210				
N	≤ 80	44	45				

SUPPLEMENTAL INFORMATION

It is herewith certified that the above materials are satisfactory in compliance with the requirements specified in the contract.

KOBE STEEL, LTD.
NORTH CHOFU PLANT

K. Takashi
Manager of Technical Section.

表 4.4.4 端 栓 材 の 検 査 表



KOBE STEEL, LTD.

Certificate of Test Results

NORTH CHOFU PLANT
2, MINATOMACHI, CHOFU, SHIMONOSEKI
YAMAGUCHI-PREF, JAPAN
HEAD OFFICE
36-1,1-CHOME WAKINOHAMA-CHO, FUKUOKA-KU, KOBE

CABLE ADDRESS
KOBE STEEL KOBE

No. Z - 22

DATE Oct. 19, 1967

CUSTOMER			KIND OF MATERIAL			
P F C			Zircaloy-2 Seamless Tube Bar for Nuclear Reactor			
CUST. SPEC.		GRADE	CONDITION	SHIPPING DATE		
ASTM B351 - 64T		RA - 1	Annealed	Oct. 17, 1967		
Manufacture No.	Charge No.	Lot No.	Size mm	Pieces.	Weight kg	Remarks
NK 89	39299(B)	1	13.46mmφ x 1000mmℓ	5	4.7	165.000 33.000/16

CHEMICAL ANALYSIS			MECHANICAL PROPERTIES			
	Spec.		Lot Position	Spec.		
Sn %	1.20 -1.10	1.34	Tensile	Temp.		
Fe C	0.07-0.20	0.14	UTS	kg/cm ²	≥ 42.2	62.2
Cr C	0.05-0.15	0.10	YS	0.2% offset kg/cm ²	≥ 24.6	47.2
Ni C	0.03-0.08	0.05	Elongation	% in mm	≥ 14	14.3
Fe+Cr+Ni	0.18-0.38	0.29	Flare	%/OD Expansion		
Al ppm	≤ 75	41	Flatten	% of OD		
B	≤ 0.5	0.2	Burst	kg/cm ²		
Cd	≤ 0.5	< 0.2	Grain Size	ASTM No.		
Ca			Surface Roughness		< 15S	
C	≤ 270	120	CORROSION TESTS			
Cl			hours °C kg/cm ² Run No.			
Co	≤ 20	< 5	Lot Position	Spec.		
Cu	≤ 50	15	Gain	mg/dm ²		
Hf	≤ 200	60	Appearance			
Mg			Fluorescent Penetrant		Good	
Mn	≤ 50	< 10	Inspection			
Mo			NON DESTRUCTIVE TEST			
Na			Ultrasonic			
Pb	≤ 200		Hydrostatic	kg/cm ²		
Si	≤ 120	64	REMARKS			
Ti	≤ 50	27				
V						
W	≤ 100	< 25				
U	≤ 3.5	< 0.5				
H	≤ 25	5				
O		1300				
N	≤ 80	79				

SUPPLEMENTAL INFORMATION

It is herewith certified that the above materials are satisfactory in compliance with the requirements specified in the contract.

KOBE STEEL, LTD.
NORTH CHOFU PLANT

H. Takashi
Manager of Technical Section

表 4.4.5 ジルカロイ - 2 板の検査表

KOBE STEEL, LTD.
 HEAD OFFICE
 36-1, 1-CHOME WAKINOHAMA-CHO,
 FUKUI-KU, KOBE

Certificate of Test Results

CABLE ADDRESS
 KOBE STEEL KOBE

No. 67-13

DATE 1968.4.2

CUSTOMER			KIND OF MATERIAL			
東力炉核燃料開発事業団			Zircaloy-2 sheet for Nuclear Reactor			
CUST. SPEC.		GRADE	CONDITION		SHIPPING DATE	
ASTM-B352-64T		RA-1	Annealed		Dec. 13, 1967	
Manufacture No.	Charge No.	Lot No.	Size mm	Pieces	Weight Kg	Remarks
A-67	370005Q		2.0 x 270 x 1413	1	8.6	
99-005-0	Zr-2		2.0 x 480 x 690	1	4.2	
CHEMICAL ANALYSIS				MECHANICAL PROPERTIES		
Sn %	Spec. 1.20 1.70	Top. 1.55	Bot. 1.28	Lot Position	Spec.	
Fe	0.07-0.20	0.15	0.12	Tensile Temp.	RT (7)	RT (6)
Cr	0.05-0.15	0.09	0.09	UTS kg/mm ²	48.0	48.0
Ni	0.03-0.08	0.06	0.05	YS 0.2% offset kg/mm ²	41.5	40.7
Fe+Cr+Ni				Elongation % in mm	30.1	30.3
Al ppm	≤ 75	31	26	Grain Size ASTM No.	> 7	
B	≤ 0.5	0.2	0.2	Surface Roughness		
Cd	≤ 0.5	< 0.2	< 0.2	CORROSION TESTS		
Ca				72 hours 400 °C 10.5 kg/cm ² Run No.		
C	≤ 270	160	160	Lot Position	Spec.	
Cl				Gain mg/dm ²	22	18.0
Co	≤ 20	< 5	< 5	Appearance		
Cu	≤ 50	< 10	< 10	検査結果の合計: 0.1110 ppm Ni: 39 H: 3		
Hf	≤ 200	12.5	13.5	REMARKS		
Mg		< 5	< 5			
Mn	≤ 50	< 10	< 10			
Mo		< 10	< 10			
Na		< 10	< 10			
Pb		< 20	< 20			
Si	≤ 120	10.5	70			
Ti	≤ 50	< 1.5	< 1.5			
V						
W	≤ 100	< 2.5	< 2.5			
U	≤ 3.5	< 0.5	< 0.5			
H	≤ 25	4.2	9			
O		1430	1380			
N	≤ 80	46	47			
SUPPLEMENTAL INFORMATION						

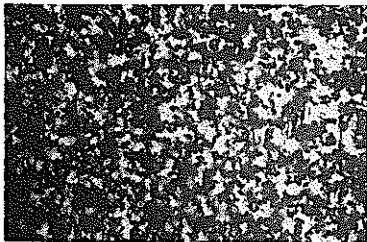
It is herewith certified that the above materials are satisfactory in compliance with the requirements specified in the contract.

KOBE STEEL, LTD.
 CENTRAL RESEARCH LABORATORY

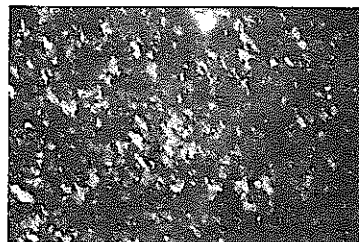




水素化物横断面
× 100




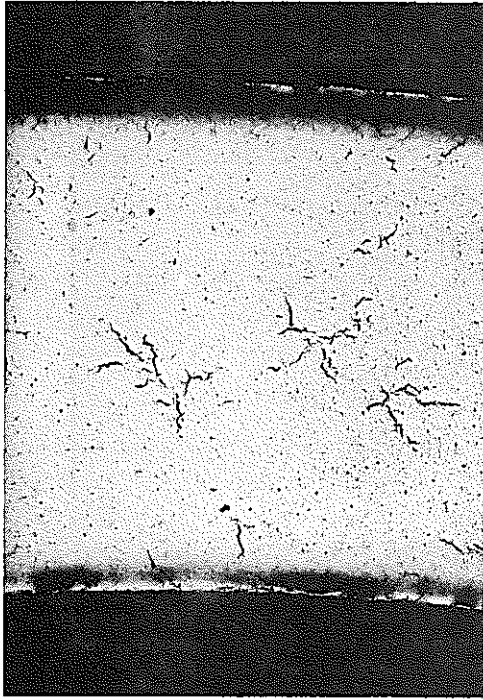
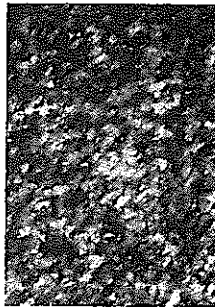

結晶粒度横断面
× 100



結晶粒度縦断面
× 100

写真 4.4.1-1 Zry-2 管 (10047) の水素化物および結晶粒度

写真 4.4.1 - 2

結晶粒度・水素化物写真(管 No. 10047)	
結晶粒度(横断面) ×100	
水素化物(横断面) ×100	 外面→
結晶粒度(縦断面) ×100	
水素化物(縦断面) ×100	 外面→

4.5 燃料棒製造

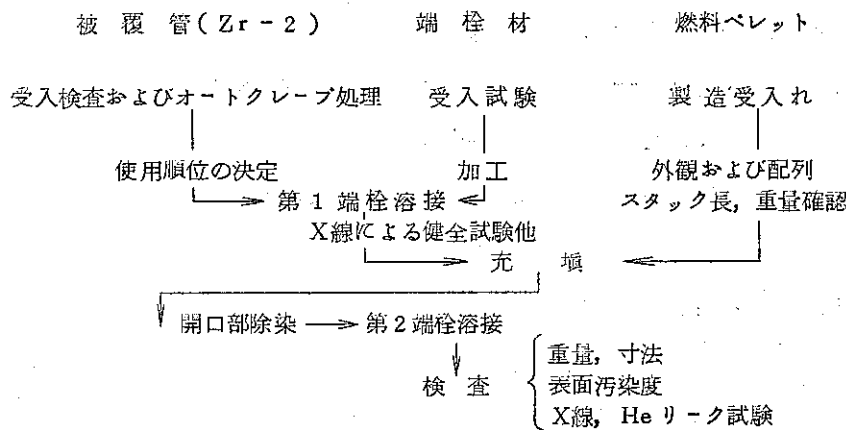
(志賀)

4.5.1 燃料棒加工工程

大要を図に示したが、被覆管の受入検査は検査課

使用順位の決定 } 設計課
 ペレットの配列決定 }

燃料ペレットの製造は製造係でおこなわれた。



4.5.2 被覆管の受入検査結果および使用順位の決定

被覆管は神戸製鋼所製品のジルカロイ-2 (Zr-2) で以下の標準寸法を有していた。

$$ID \ 10.2 \times t \ 0.75 \times L \ 1600 \text{ m/m}$$

成分分析値および機械的性質を次に示すと (メーカー報告書による)

成分%	Sn	Fe	Cr	Ni	Fe+Cr+Ni
Spec	1.20~1.70	0.07~0.20	0.05~0.15	0.03~0.08	0.18~0.38
測定値	1.39	0.16	0.10	0.06	0.32

	引張り強さ kg/mm ²	耐力0.2 kg/mm ²	伸び(%)	結晶粒度	バースト強さ kg/mm ²
Spec	>52.7	>45.7	>12	27	>670
Samplel	64.7	48.2	22.4	8.5	1135
2	65.5	48.8	22.2		1115

検査課においては搬入された72本がHBWRジルカロイ-2管試験条件および判定基準"による受入試験をうけ、うち50本が納入された。その検査結果を別添に示した。

(なお機械試験結果も同時に示してある)

検査課で区別された用途分類に従いAおよびAは照射用に、他を流動試験用およびTOA

実験用被覆管とした。

これらの照射試験用被覆管はさらに検査成績を以下の選定順位により使用の順位が決定した。(別添資料1)

選定順位

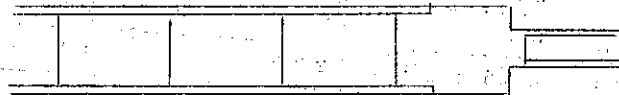
- (1) 用途分類の優位のことを抜き出す
- (2) 内径平均値の優位のことを抜き出す
- (3) " が同一の場合は総合判定が優位のもの
- (4) 総合判定が同一の場合は内径最大最小差が優位のもの
- (5) 内径最大最小差の同一の場合は内径標準値よりのへだたりが優位のもの
- (6) 内径標準値のへだたりが同一の場合は真直度が優位のもの

かくて照射用20本被覆管についてその使用順位が決定した。

4.5.3 端栓溶接条件の検討



第1次設計においては、上図に示した端栓形状でこの形状はJPDR端栓に採用されており、溶接容易さ、強度低下少なく多少の利点を有するがビード部盛り上り、今回のごとく支持グリッド通過させる構造時には問題があることを懸念し、第2次設計では溝のない下図に改訂した。



溶接条件としては a) 排気時真空度, b) 溶接電流, c) 溶接時間を組合せ溶接片の a) 外観, b) ビード巾, c) ビード高さ, d) X線透過試験さらに水圧バースト, 引張破断による強度, 断面試験による評価試験により総合的な判断により溶接条件の決定がなされた。

すなわち1. 真空度は $1.7 \times 10^{-4} \text{mmHg}$ より低真空であれば溶接部汚染も少ない。

2. 溶接条件として大電流(35~38A)-短時間(4~5秒)

小電流(23~27A)-長時間(9~10秒)

いづれでも溶接部強度には影響少なく水圧試験で、1100kg/以上引張り試験でも

1720kg以上あり被覆管素材と殆んど同一で強度低下は認めなかった。

4.5.4 第1端栓溶接とX線試験結果

被覆管 No.	真空度 10^{-4} mmHg	電流 (A)	時間 (秒) *1	外觀	着色	ビート巾 mm		高さ(直径) mm		X線透過試験 *2			
						max	min	max	min	A	B	C	D
10002	1.0	36~37	5(3)	A	B	5.0	4.2	11.79	11.75	○	○	○	○
10004	1.0	34	6(3)	A	B	4.9	3.9	11.79	11.78	○	○	X方向	○
10009	1.7	35	5(2)	A	B	4.2	3.6	11.79	11.76	○	○	X方向	○
10019	1.7	36	5(3)	A	A	4.6	3.9	11.81	11.77	○	○	○	○
10022	1.0	36	5(3)	A	A	4.6	4.0	11.81	11.79	○	○	○	○
10025	1.5	36~37	5(3)	A	A	4.8	4.1	11.85	11.81	XY 0.5 mmφ	○		
10026	1.5	35	6(2)			5.0	4.2	11.82	11.78	0.5mm φ以上			
10030	1.0	33	5(3)	A	B	4.4	3.8	11.80	11.78	○	○	○	○
10032	1.0	35	7(2)	A	A	5.2	4.1	11.84	11.80	○	○	○	○
10033	1.5	35	6(2)	A	A	4.6	4.0	11.86	11.83	○	○	X方向	○
10034	1.5	36~37	5(3)	A	A	4.8	4.0	11.85	11.81	○	○	なし	○
10036	1.0	35	3(3)	A	B	4.6	4.0	11.83	11.81	○	○	X方向	○
10040	1.0	37	5(3)	A	A	4.5	4.0	11.81	11.78	○	○	○	○
10042	1.7	36~37	5(3)	A	A	4.8	4.3	11.81	11.77	○	○	○	○
10044	1.0	36	5(3)	A	A	4.4	3.9	11.77	11.74	○	○	○	○
10046	1.5	36~37	5(3)	A	A	4.8	4.0	11.82	11.81	○	○	X Y 方向	10%

*1 5(3) …… 溶接時間5秒電流減小時間3秒

*2 A 径0.5mmφ以上の Porosity の有無 ○なし

B 0.5mmφ以上の Inclusion の有無 ○なし

C とけこみの肉厚以下 ○なし X方向…X方向あり

D 管肉厚0.6mm以下 ○なし

XY X方向 Y方向に存在する。

4.5.5 燃料ペレットの配列および充填

設計課においてペレットの充填に当っては、次の各点の考慮がなされた。

- 1.) Gapを一定にする。 2.) 単位長さ当りのPu含有量をできるだけ一定にする。
- 3.) 照射ピンの使用順位は下図のごとくする。

1	2	1
2	3	2
1	2	1

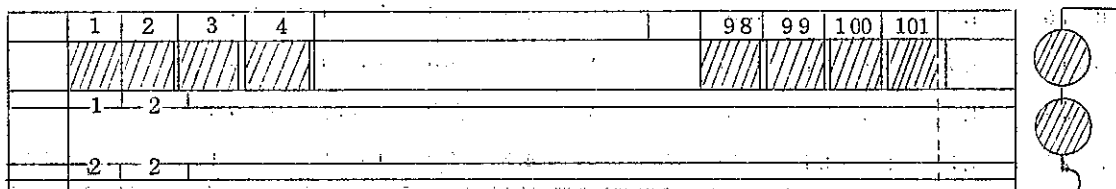
- ① は熱的にも中性子的にも最も苛酷条件におかれるので最優先される(コーナーロッド)
- ② は最も条件的には緩いので品質的にも許される。
- ③ は①~③の中間品位を使用する。

これらの条件を満たすため製造された燃料ペレットは、次のごときデーターの整理がなされた。

- (1) 合格ペレットを外径の順に並べる
- (2) 同一外径品については、ペレット高さの順に並べる
- (3) さらにPu含有量を整理する(ペレットWX%/高さ)

このようにして、被覆管毎に充填される燃料ペレットの配置が決定された。(その例を付録に添えた)

しかし製造された燃料ペレットは製造ロット毎に保存されているため1個1個を特定の位置に指定通り配列する必要あり次の如き配列用に製作した支持台を用いた。



測定された充填長はどれも規定寸法内にあることが確認された。

4.5.6 開口部除染

オープンポートボックスにおいてなされたが比較的円滑に作業は進行した。

4.5.7 第2端栓溶接

燃料は開口部除染後第2 Insulator pellet および Zr-2 ディスク、スプリングを挿入しさらに第2端栓が溶接された。その結果を以下に示す。

被覆管	Rod No	真空度 mm Hg	溶接電流	外観	着色
10032	10	1.8×10^{-4}	35 ^A	A	E
10044	11	3.5×10^{-5}	32	A	A
10040	12	3.5 "	33	A	A
10042	13	3.5 "	32	A	A
10019	14	4.0 "	33	A	A
10030	15	3.5 "	33	A	A
10022	16	3.0 "	35	C	B
10002	17	3.5 "	34	B	B
10034	18	4.0 "	35	A	A
10036	19	3.5 "	35	A	A

溶接時間は全て5秒電流減小時間3秒

4.5.8 燃料棒製品検査

以上の各工程を経て作られた燃料棒は製品としての仕様をチェックするため、次の各種の検査をおこなった。

- (1) 寸法, 検査 全長, 外径 他 (2) 重量 (構成, 部材を含む)
- (3) 表面汚染 (4) He リークテスト (5) X線透過試験

以下にその成績表を示した。

4.5.9 燃料棒識別のため刻印

第1端栓(底部)に製造および配置を示すため以下の如き識別刻印をつけ、第2端栓には照射番号をつけ製品とした。

11	17	12
15	19	16
14	18	13

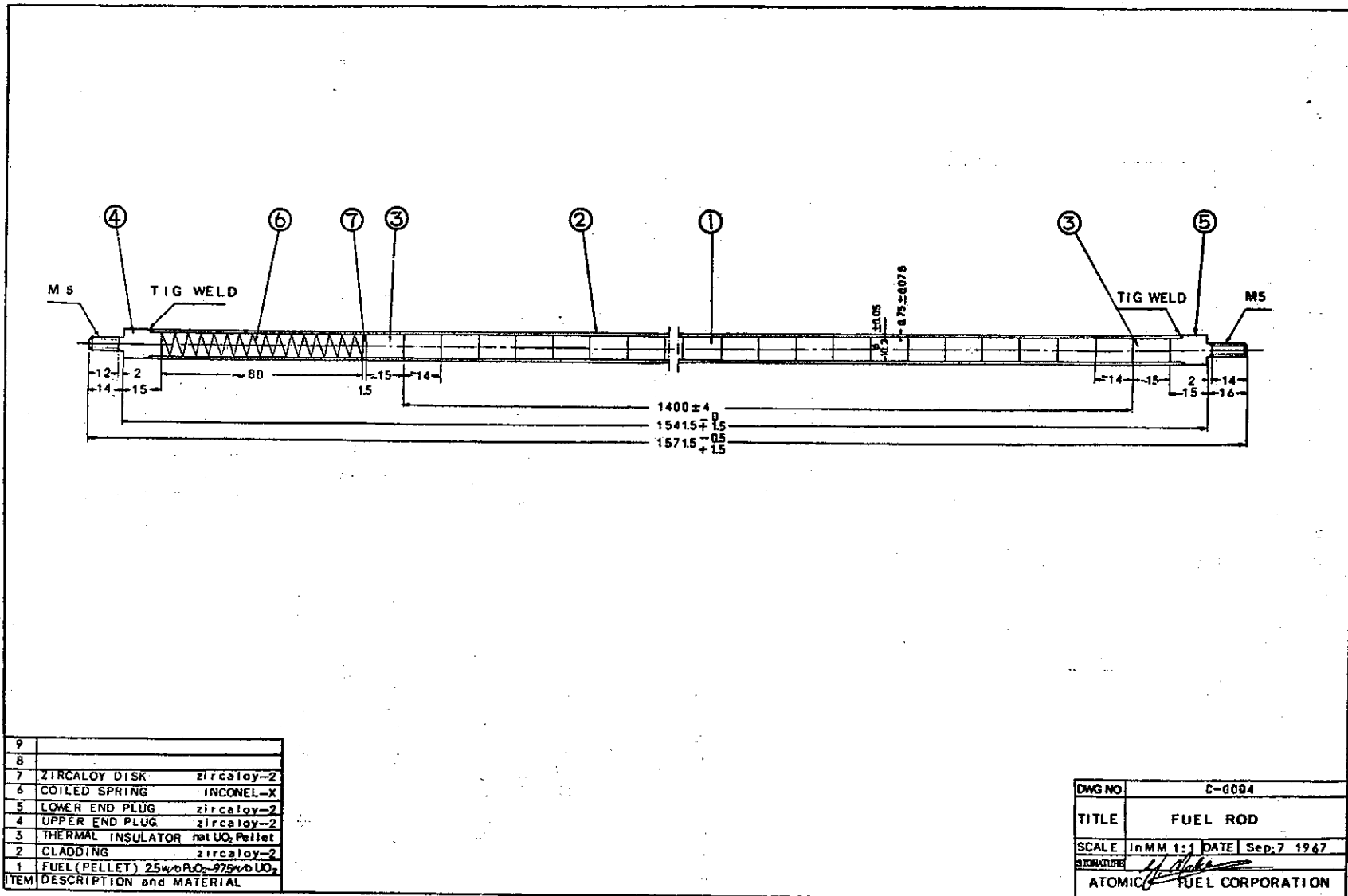
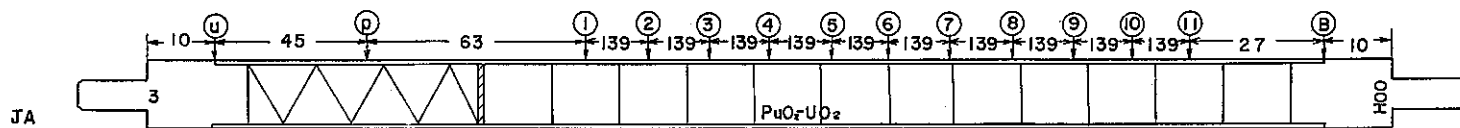


Fig. 4.5.1 HALDEN 照射 IFA - 159 燃料棒

Table 4.5.1 燃料棒外觀および寸法（外径）検査表



*1 外 A ビード中、ビード高さとも不均一
 観 B ビード中、ビード高さとも不均一
 観 C ビード中、ビード高さとも不均一

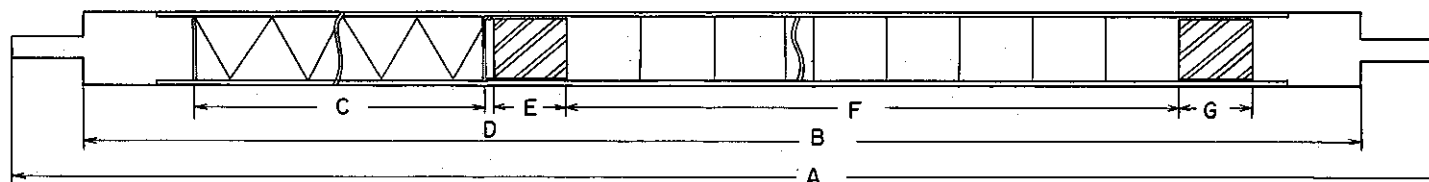
*2 着色 A 着色全然認められず(白色)
 B 着色有り(薄茶色)
 E 着色著しい(青黒色)

*3 X方向 基準姿勢は4側
 Y方向 90度回転

製品は羽布かけで全数A状態にある。
 1st End plugは全数外觀着色とはAである。

RodNO	溶接部外觀		長さ (mm)				X線 フィルム	N,UO ₂ (%F)	DISK	外径 (mm)											X姿勢は4側 Y方向 90度回転			
	外觀	着色*	端栓方向	P ₂ O ₅ -UO ₂	X線フィルム	N,UO ₂ (%F)				DISK	U	B	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	P
10	A	E	1542.82	1403.57	79.30	29.91	1.50	X	11.84	11.82	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.72	11.72	11.72	11.73	11.73
			.78					Y	.86	.81	.74	.73	.73	.73	.73	.73	.72	.72	.72	.72	.72	.72	.72	.74
11	A	A	1542.74	1400.38	81.95	29.96	1.52	X	11.85	11.75	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.74	11.73	11.73
			.74					Y	.80	.77	.72	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73
12	A	A	1542.80	1398.12	82.50	30.04	1.54	X	11.83	11.80	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.74	11.74	11.74	11.75	11.73	11.73	
			.78					Y	.89	.79	.73	.73	.73	.74	.73	.73	.73	.73	.73	.74	.74	.74	.73	.72
13	A	A	1542.78	1402.22	81.65	30.07	1.51	X	11.82	11.77	11.75	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.72	11.72	11.73	11.73	
			.86					Y	.79	.80	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.72	.73	.73
14	A	A	1542.90	1400.33	82.90	30.07	1.51	X	11.85	11.74	11.74	11.74	11.74	11.74	11.74	11.74	11.74	11.74	11.74	11.74	11.73	11.73	11.74	11.74
			.84					Y	.77	.74	.74	.74	.74	.74	.74	.74	.74	.74	.74	.74	.74	.74	.74	.73
15	A	A	1542.76	1401.33	80.80	30.12	1.50	X	11.80	11.78	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.72	11.73	11.73
			.80					Y	.80	.80	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73
16	C	B	1542.70	1398.80	81.75	30.10	1.50	X	11.82	11.79	11.74	11.73	11.74	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.74
			.68					Y	.88	.81	.74	.74	.74	.74	.74	.74	.74	.74	.74	.74	.74	.74	.74	.74
17	B	B	1542.94	1398.96	83.40	30.14	1.50	X	11.83	11.75	11.74	11.74	11.74	11.74	11.74	11.74	11.74	11.74	11.74	11.74	11.72	11.74	11.74	
			.90					Y	.78	.78	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73
18	A	A	1542.76	1399.45	82.90	30.16	1.49	X	11.73	11.82	11.76	11.76	11.76	11.76	11.76	11.76	11.76	11.76	11.76	11.76	11.76	11.77	11.76	11.76
			.72					Y	.85	.83	.77	.77	.77	11.77	.77	.77	.77	.77	.77	.77	.77	.76	.75	.75
19	A	A	1542.76	1401.55	80.85	30.14	1.51	X	11.86	11.82	11.75	11.75	11.76	11.76	11.76	11.76	11.76	11.76	11.76	11.76	11.77	11.75	11.75	11.76
			.60					Y	.82	.82	.76	.76	.76	.76	.76	.76	.76	.76	.76	.76	.76	.76	.76	.75

Table 4.5.2 燃料棒寸法（長さ）および重量検査表



Rod NO	Clad NO	寸法 (mm)							重量 (gr)							
		A	B	C	D	E	F	G	Rod 総重量	核物質重量		Zry-2 重量				
		1571.0~1573.0	1541.5~1543.0	~8.0	1.5	~15	1396.0~1404.0	~15		P ₂ O ₅ -UO ₂	UO ₂	IEP clad	2EP	DISK	計	SPRING
10	10032	1572.78	1542.92 x .78	(78.30) 78.0	1.50	14.78	1403.57	15.15	1453.90	1137.20	24.0	274.7	10.70	0.8	286.20	5.90
11	10044	1572.72	1542.74 x .74	(81.75) 81.0	1.52	14.80	1400.38	15.16	1454.60	1141.80	24.0	271.5	10.62	0.8	282.92	5.88
12	10040	1572.76	1542.80 .78	(82.50) 83.0	1.54	14.87	1398.12	15.17	1458.95	1143.10	24.8	273.8	10.55	0.8	285.15	5.90
13	10042	1572.88	1542.78 .86	(81.65) 79.2	1.51	14.91	1402.22	15.16	1467.25	1152.40	24.7	272.8	10.64	0.8	284.24	5.91
14	10019	1572.80	1542.90 .84	(82.90) 81.8	1.51	14.92	1400.33	15.16	1455.50	1139.10	24.7	274.4	10.60	0.8	285.80	5.90
15	10030	1572.88	1542.76 .80	(80.80) 80.0	1.50	14.97	1401.33	15.15	1452.75	1136.30	24.8	274.6	10.37	0.8	285.79	5.88
16	10022	1572.70	1542.70 .68	(81.75) 82.5	1.50	14.98	1398.80	15.12	1457.40	1141.90	24.8	273.6	10.40	0.8	284.80	5.90
17	10002	1572.96	1542.94 .90	(83.40) 82.4	1.50	15.02	1398.96	15.12	1459.90	1144.40	24.5	273.8	10.52	0.8	285.12	5.88
18	10034	1572.76	1542.76 .72	(82.90) 81.8	1.49	15.04	1399.45	15.12	1462.10	1140.00	24.9	279.8	10.66	0.8	291.26	5.94
19	10036	1572.62	1542.76 .60	(80.85) 79.6	1.51	15.05	1401.55	15.09	1455.05	1136.30	24.8	278.3	8.94	0.8	288.04	5.91

*()内はX Rays測定

Table 4.5.3 Heリーク, X線測定, 表面汚染検査表

燃料棒 番号	Heリーク 試験 atomcc/sec	X線写真測定										表面汚染測定			
		第1端栓					第2端栓					スミヤ cpm	直 径 cpm		
		X			Y		X			Y					
10	2.0 ×10 ⁻⁹	① なし	② なし	③ なし	① なし	② なし	③ なし	① なし	② なし	③ なし	① なし	② なし	④ 不 足 12 % ⑤ 13 %		
11	3.3 ×10 ⁻⁹	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	④ 不 足 12 % 減		
12	1.8 ×10 ⁻⁹	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	④ 不 足 15 %	なし	なし	なし	半 周 ふ く れ		
13	3.2 ×10 ⁻⁹	なし	なし	なし	なし	なし	0.5 mm φ 1ケ	なし	なし	0.5 mm φ 1ケ	なし	なし	なし		
14	5.8 ×10 ⁻⁹	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	④ 不 足 10 %		
15	3.2 ×10 ⁻⁹	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし		
16	1.6 ×10 ⁻⁹	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし		
17	2.4 ×10 ⁻⁹	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし		
18	5.9× ×10 ⁻⁹	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	④ 不 足 13 % み	なし	なし	なし	なし		
19	2.9× ×10 ⁻⁹	なし	なし	不 足 ぎ み	なし	なし	不 足 ぎ み	0.2 mm φ 1ケ	なし	なし	0.2 mm φ 1ケ	なし	なし		
基 準	<10 ⁻⁶											<10 dpm	<200 cpm		

注: ① 径5mmφ以上の Porosity ③ とけこみ肉厚以下
 ② 径5mmφ以上の Inclusion ④ 管の肉厚0.6mm以下

Table 4.5.4 核燃料物質重量表

燃料棒 番号	PuO ₂ - UO ₂ ペレット				UO ₂ 断熱 用ペレット		全ウラン量
	Pu富化度	PuO ₂ - UO ₂	Pu *1 g	U *2 g	UO ₂ g	U *2 g	U g
10	2.24 ₃	1137.2	25.51	977.0	24.6	21.7	998.7
11	2.19 ₅	1141.8	25.06	981.4	24.0	21.2	1002.6
12	2.18 ₈	1143.1	25.01	982.6	24.8	21.9	1004.5
13	2.17 ₃	1152.4	25.04	990.8	24.7	21.8	1012.6
14	2.20 ₀	1139.1	25.06	979.1	24.7	21.8	1000.9
15	2.23 ₉	1136.3	25.44	976.2	24.8	21.9	998.1
16	2.17 ₄	1141.9	24.82	981.8	24.8	21.9	1003.7
17	2.19 ₁	1144.4	25.07	983.7	24.5	21.6	1005.3
18	2.24 ₀	1140.0	25.54	979.4	24.9	21.9	1001.3
19	2.25 ₀	1134.3	25.52	974.4	24.8	21.9	996.3
合計	(平均) 2.20 ₉	11410.5	252.07	9806.4	246.6	217.4	10023.8

注1*1 プルトニウム同位体組成

Pu - 239 91.30%

Pu - 240 7.884

Pu - 241 0.780

Pu - 242 0.035

*2 ウラン組成 : 天然ウラン

4.5.10 加工作業を通じての感想

今回の Halden 照射試料は従来の照射試料(即ち全長 20 cm 程度)の概念を捨てた実際の寸法を有するもので最初のプルトニウム燃料であることも考え、加工工程ではできるだけ品質のよいものを作るといふことに主眼をおいた。製作された試料は必ずしも満足するものでなかったが(例えば溶接部不健全)強度その他照射時損傷を生ずることはない判断してより多くの照射データの得られることを希望している。

追 記

照射試料は Halden に送られる前に原研 TCA において反応度測定をおこなった。

このためさらに 表面汚染度

He リーク試験をおこなったが、全て全回測定値と変らず、合格であった。

HALDEN 159 加工関係作業経過

A 溶接入熱条件設定のため予察実験

(溶接部薄つき端栓, 溝なし平面端栓の溶接およびバースト, 金相試験を含む)

42-10-16~43-1-13

実動時間	溶接準備	7日	溶接	12日
作業者2名				

B 本番被覆管の第1端栓溶接およびX線透過試験

43-1-16~2-3

実稼動日数 洗浄溶接(作業者2名)およびX線(1名)

洗浄2名×2日 溶接2名×12日 X線1名×12日

C 充填準備

43-2-19~3-2

ペレット配列用支持台製作2名×3日

ペレット配列 外観検査 5名×3日

第1端栓取付角修正 2名×2日

第2端栓-被覆管組合 重量測定 2名×3日

D 燃料棒, 溶接(第2)非破壊試験

43.3.4~3.30

充填, 開口部, 除染 3名×2日

溶接(第2端栓) 2名×10日

X線および非破壊テスト 1名×13日

別添資料1.

42.11.29.

HBWR 照射ジルカロイ-2管選定順位の基準(I)

設計課

条件 検査課で行った試験条件及び判定基準の資料に基づく。

選定順位

- (1) 用途分類の優位のものを抜き出す
- (2) 内径平均値の優位のものを抜き出す
- (3) 内径平均値が同一の場合は総合判定が優位のもの
- (4) 総合判定が同一の場合は内径最大最小値差が優位のもの

- (5) 内径最大最小値差が同一の場合は内径標準値よりのへだたりが優位のもの
- (6) 内径標準値よりのへだたりが同一の場合は真直度が優位のもの。

選定実例

Pipe No		用途分類	総合判定	内 径			真直度
				平均値	最大最小値差	標準値よりのへだたり	
1	10025	A	C	A	B	B	F
2	10034	A	B	B	C	B	D
3	10031	A	B	B	C	C	D
4	10036	A	C	B	C	C	H
5	10029	A	B	C	A	B	H
6	10022	A	B	C	B	C	F
7	10040	A	C	C	B	B	G
8	10044	A	C	C	B	C	E
9	10002	A	C	C	B	C	G
10	10042	A	C	C	B	C	J
11	10019	A	C	C	B	C	E
12	10046	A	C	C	C	C	J
13	10030	A	B	D	B	B	E

42.12.27

HBWR照射シルカロー2管 選定順位の基準 (II)

設計課

先に行った選定順位の基準によると内径の空気マイクロ測定チャートにバラツキがあるので、下記のように修正する。

条件：検査課の試験条件及び判定基準の資料に基く。

選定順位

- (1) 用途分類の優位のもの
- (2) 内径最大最小値差の優位のもの
- (3) 同差が同一の場合は真直度が優位のもの
- (4) 真直度が同一の場合は内径平均値の優位のもの
- (5) 内径平均値同一の場合は内径の空気マイクロ測定チャート値が優位のもの

選定実例

順位	Pipe No.	用途分類	内 径			備 考
			最大最小差	真直度	平均値	
1	10029	A	0.0085	H	C	加工中にキズが生じ、TCA 実験用へ
2	10044	A	0.0105	E	C	
3	10040	A	0.0125	G	C	
4	10042	A	0.014	J	C	
5	10019	A	0.015	E	C	
6	10030	A	0.017	E	D	
7	10025	A	0.0175	F	A	
8	10022	A	0.0175	F	C	
9	10031	A	0.0185	D	B	加工中にキズが生じ、C1 実験用へ
10	10002	A	0.0185	G	C	
11	10036	A	0.0205	H	B	
12	10046	A	0.0225	J	C	
13	10034	A	0.023	H	B	
14	10026	A	0.0105	E	B	
15	10032	A	0.015	H	A	
16	10009	A	0.017	E	C	

4.6 集合体部材の製造と検査

(磯野, 渡部)

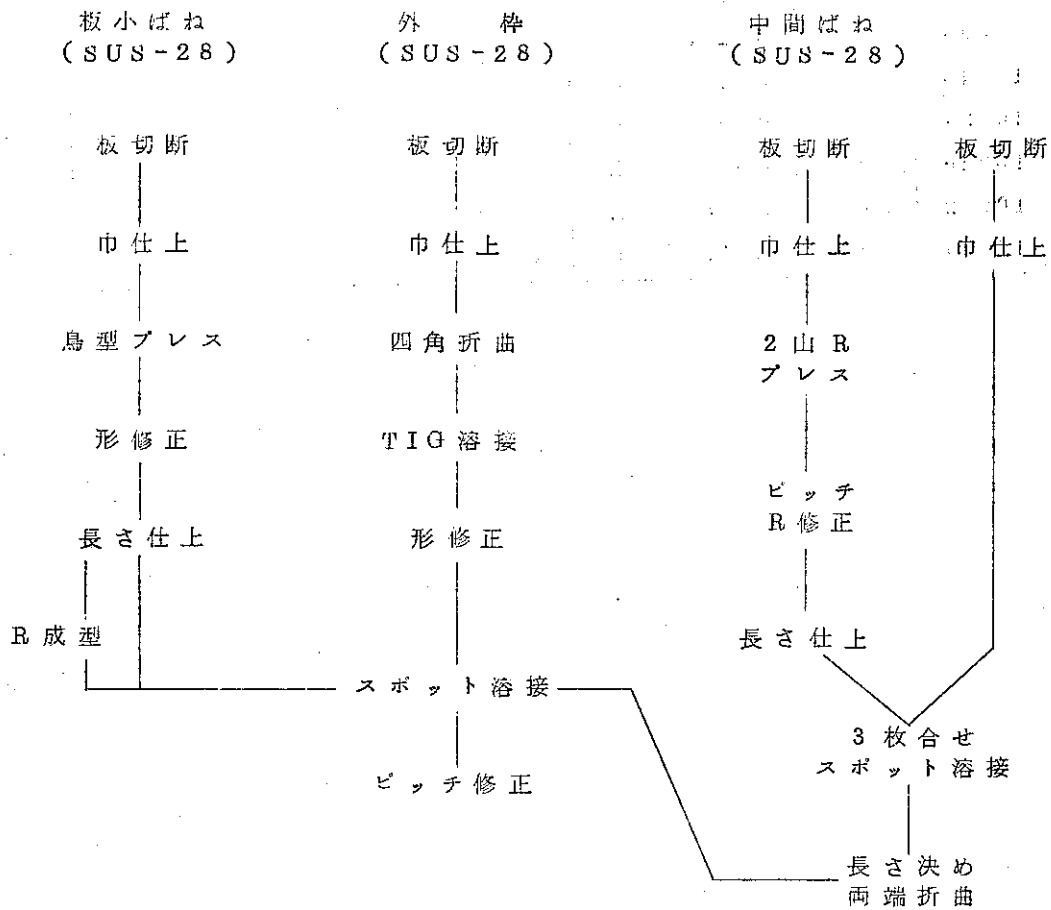
4.6.1 製造

製造した部品は中間スペーサ, 下部スペーサ, 上部スペーサ, 端栓上部案内ロッド, 上部端栓キャップ, 下部案内ロッド, 下部端栓キャップI, 下部端栓キャップIIで本番用と組立試験用のものを製作した。組立試験用は総てSUS-27材を用いたが中間スペーサは製作途中3回の設計変更が行なわれ材料はSUS-27からSUS-28に変更をした。

(1) 中間スペーサの加工

設計図を見ると解るように板金加工であるが, 精度が設計上きびしいので, 総ての部分と部品について金型により成型をし, スポット溶接にしても総型を用いて寸法誤差を最小にした。中間スペーサ加工の工程を表4.6.1に示す。

表4.6.1 中間スペーサの加工工程



まず板小ばねであるがバネ性を必要とするため0.6 mm板を0.3 mmにロール圧延して加工硬化させた材料を用いた。板の巾は巾ゲージで一定にし写真4.6.1の右の2枚合せの治具の合せ目に巾仕上げした板を2枚差込み中間に芯金を挟んでプレスすると鳥の頭のような形のもの抱合せに2枚でき、写真4.6.1の中央の治具はそれを切断して成形し、両端の長さを仕上げるものである。この板小ばねの一部は四隅のR部にスポット溶接されるのでさらに写真4.6.1の左の治具で成型したものをを用いる。

中間ばね部の加工

写真4.6.2の右は8 mmと5 mmの巾ゲージである。中央の治具の2つ合せの間に加工板を2枚合せて差込み中間に2本の芯金を挟んでプレスすると2山R型の中間ばねができ、それを切断して、写真4.6.2の左の治具で成型して、写真4.6.3の右の治具でR部に合せて両端の長さ仕上げをする。写真4.6.3の中央の治具は中間ばねを抱合せ間に巾5 mm X 0.3 mmの板を挟んでスポット溶接をするのであるが、2山のRのずれが燃料ピン間隔に影響するので挟み型を用いた。溶接した中間ばねは写真3の左の工具を用いて2山の丸を芯にして両端を折曲げた。

外枠および組立

写真4.6.4の右はブロックガイドで巾仕上げした板を折曲げてTIG溶接をして再びブロックガイドに通して成型した外枠で、中央は外枠と中間ばねをスポット溶接する治具である。写真4.6.4の左の総型は板小ばねをスポット溶接するものであるが、ずれが多少できて板小ばね取付の精度はあまりよくなかったので再考を要すると思う。センタースペーサの外枠の寸法は中間ばねが平行してスポット溶接された部分はよいが他の部分は板そのものが測定の際に逃げがありよく測定できなかつた。

上部スペーサと下部スペーサの加工

写真4.6.5に示した上部スペーサと下部スペーサの製作は治具ボラの代わりにフライス盤を使用して孔のピッチの精度をだした。その孔を利用して中央にある治具で円周とアーム部を手仕上げした。

写真4.6.6は今まで説明した治工具の順序の一覧のものである。このIFA-159の部品製作の経験はIFA-160に於ても相当に役立てることができた。

(2) 他部材の加工

端栓類の製作は一般工作で加工を行なったが、この製作にあたっては、ねじの芯振れとねじの真直度を注意することが重要であると思われた。さらに組立て試験用のシュラウドと上部支持金具と下部支持金具は外注したこれらの仕上りでA1 鋳物の下部、上部支持金

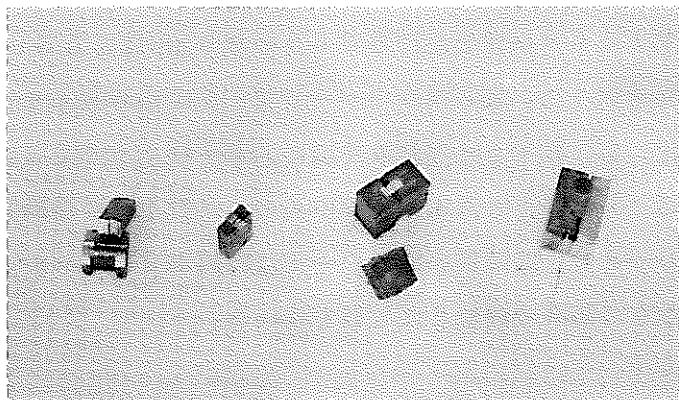


写真 4.6.1 セントラスペーサバネ加工

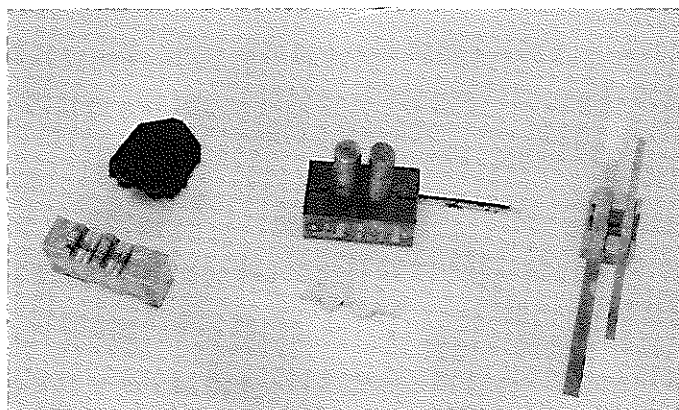


写真 4.6.2 セントラスペーサバネ加工

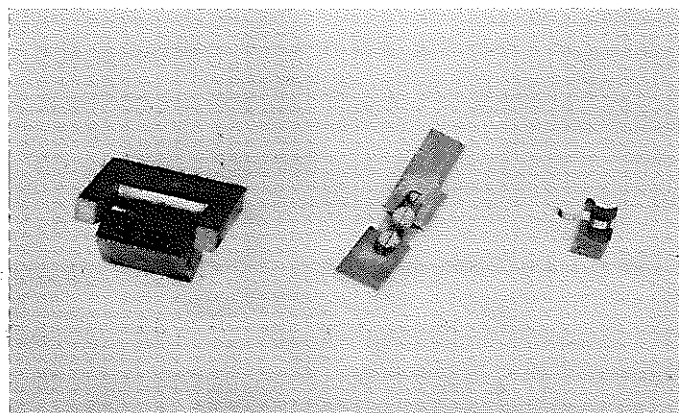


写真 4.6.3 セントラスペーサバネ加工

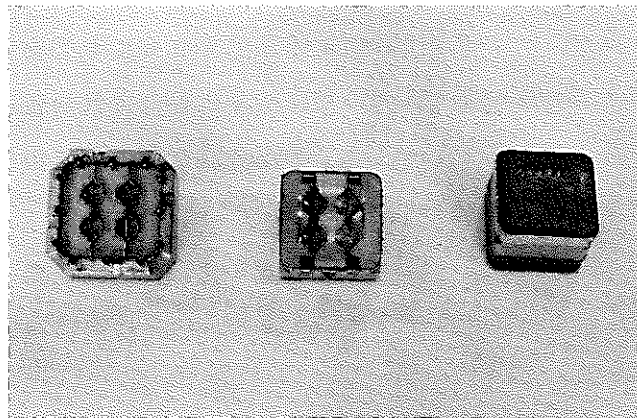


写真 4.6.4 センタスペーサ加工

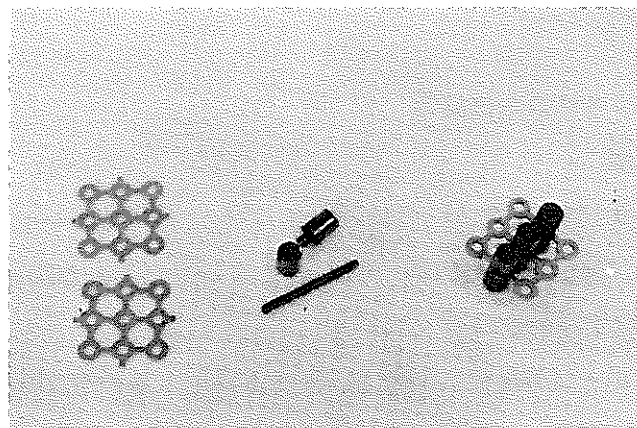


写真 4.6.5 上部および下部スペーサの加工

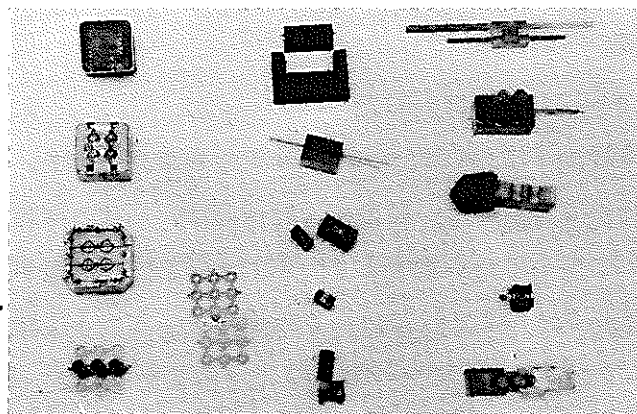


写真 4.6.6 スペーサ加工全図

具は概略良好であったが、シールドは再度手直しをさせても必要寸法にできていなかった。これはコの字形を2つ合わせて四角の筒につくるものでRや各辺の寸法が不揃いでこれ以上外注加工は無理と判断して第一工作で修正金具を製作して修正し、ほぼ必要寸法に仕上げTIG溶接を飛石状に行ない、芯金を通して完成した。

4.6.2 部材検査

各種部材について、主として、形状寸法検査を行ったが、使用部材全種類の検査をするに至らず、断片的である。

検査した項目は、次に記す通りである。

〔燃料ピン用部材検査〕

○燃料ピン用上, 下, 端栓の各部寸法測定

第I次設計分

第II次設計分

○ジルカロイ, ディスクの寸法測定

○スプリングの検査

〔集合体用部材検査〕

○各種 End plug Cap 及び Guide Rod の寸法及び心ブレの測定

○上下スペーサーの寸法測定

○センタースペーサーの各部寸法測定と、標準ベレットを、各区間に挿入しての各ベレット間のピッチの測定

○その他：端栓溶接部のフレ測定による端栓取付角度の測定

上記検査項目について、以下順に、各検査結果を述べる。検査は別添1 IFA 159 部材検査要領書に基づいて行なった。

(1) 燃料ピン用部材検査

a) 燃料ピン用上下端栓の各部寸法測定

表 4.6.2, 4.6.3 に上下端栓の第一次設計分の検査結果を示す。

外径測定で、規格外値があった。第I次設計端栓は、形状の関係で、溶接部ビードが盛り、燃料ピンとしての外径が規格より大きくなると云う問題が起り、第II次設計のものが作られた。表 4.6.4 に第II次設計分(本番用端栓)の寸法測定結果を示す。B部外径が何れも規格より大きい、パイプに打込んで溶接するため、実用上問題なしとした。なお、表中の番号は、パイプ番号で、「右」「左」の記号は、各端栓をパイプと現物合せして、選定、組合せをしたものである。

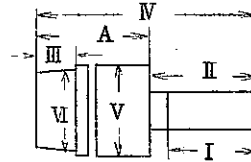


表 4.6.2 Halden End Plug

No.	II ¹⁴ (±0.05) (N-A)	III (5+0.1)	IV (2.9)	A	外 径		判 定
					V 11.7 ±0.05	W 10.23 +0.02 -0	
1	14.00 ₁	4.97 ₃	28.96 ₈	14.96 ₇	α 11.70 ₈ β 11.70 ₈	α 10.24 ₁ β 10.24 ₁	合 "
2	14.01 ₃	4.95 ₁	28.97 ₈	14.96 ₅	72 ₀ 71 ₆	22 ₅ 23 ₀	" "
3	14.00 ₇	5.02 ₆	29.01 ₆	15.00 ₉	72 ₂ 72 ₀	23 ₀ 22 ₉	" "
4	14.01 ₇	4.98 ₀	29.01 ₇	15.00 ₀	67 ₂ 67 ₂	23 ₉ 24 ₀	" "
5	13.98 ₁	4.99 ₁	28.96 ₂	14.98 ₁	73 ₈ 73 ₈	24 ₆ 24 ₆	" "
6	13.99 ₇	5.00 ₀	28.96 ₉	14.97 ₂	73 ₉ 73 ₈	24 ₂ 24 ₃	" "
7	13.99 ₉	4.97 ₂	28.97 ₉	14.98 ₀	70 ₂ 70 ₃	23 ₃ 23 ₂	" "
8	14.01 ₀	4.99 ₃	28.99 ₈	14.98 ₈	71 ₁ 71 ₀	24 ₃ 24 ₃	" "
9	14.01 ₅	5.00 ₅	29.02 ₆	15.01 ₁	72 ₂ 72 ₀	23 ₆ 23 ₈	" "
10	14.01 ₉	5.00 ₀	28.99 ₇	14.97 ₈	70 ₀ 72 ₂	24 ₅ 24 ₇	" "
11	13.97 ₇	5.02 ₂	28.97 ₀	14.99 ₃	73 ₈ 73 ₉	23 ₀ 22 ₉	" "
12	13.97 ₆	5.01 ₅	28.99 ₀	15.01 ₄	72 ₆ 73 ₄	23 ₂ 23 ₃	" "
13	13.99 ₈	5.00 ₁	28.97 ₄	14.97 ₆	71 ₀ 71 ₀	24 ₀ 24 ₀	" "
14	14.01 ₆	4.99 ₄	28.99 ₈	14.98 ₂	72 ₂ 72 ₃	23 ₅ 23 ₅	" "
15	14.00 ₈	4.98 ₈	28.99 ₄	14.98 ₆	74 ₆ 74 ₆	24 ₀ 24 ₁	" "
16	14.01 ₉	4.97 ₈	28.99 ₉	14.98 ₀	72 ₂ 72 ₂	24 ₅ 24 ₄	" "
17	14.00 ₉	4.97 ₆	28.98 ₁	14.97 ₂	71 ₉ 71 ₉	24 ₀ 24 ₁	" "
18	14.01 ₆	4.98 ₈	29.00 ₄	14.98 ₈	72 ₀ 72 ₀	23 ₈ 23 ₈	" "
19	14.00 ₃	4.97 ₉	28.96 ₈	14.96 ₅	71 ₀ 70 ₉	*20 ₄ 20 ₂	否 合
20	13.99 ₉	4.97 ₅	29.01 ₉	15.02 ₀	72 ₁ 72 ₁	23 ₂ 23 ₂	" "
21	14.00 ₃	4.94 ₂	28.98 ₉	14.98 ₆	71 ₀ 71 ₀	22 ₇ 22 ₇	" "
22	14.01 ₄	4.98 ₅	29.01 ₄	15.00 ₀	71 ₆ 71 ₇	24 ₁ 24 ₁	" "

IV: A マイクロメータで測定
 III: コンパレーターで測定
 II: [IV-A]の算出値
 I: ネジ切りのつけ根が判然とせず、正確な測定不能 *印 規格外値
 測定精度, 各記入値につき士 $\frac{5}{1000}$ mm

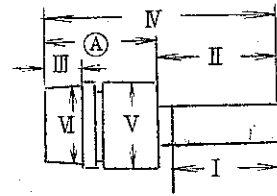


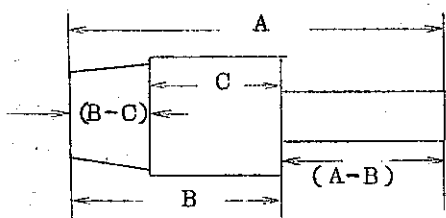
表 4.6.3 Halden End Plug 2

No.	II 16 ± 0.05 (=IV - A)	III (5 ± 0.1)	IV (31)	A	外 径		判 定
					V 11.7 ± 0.05	VI 10.23 ± 0.02 -0	
1	16.007	4.958	30.988	14.981	α 11.731 β 11.733	α 10.234 β 10.235	合
2	15.968	4.968	30.943	14.980	7.28 7.28	2.42 2.41	"
3	16.023	5.011	30.991	14.968	7.30 7.30	2.46 2.46	"
4	15.978	4.994	30.948	14.975	7.20 7.20	2.41 2.41	"
5	16.014	4.967	31.028	15.014	7.12 7.13	* 1.96 1.96	否
6	15.994	5.022	30.979	14.985	7.05 7.10	2.33 2.31	合
7	16.020	5.024	31.008	14.988	7.32 7.32	2.30 2.31	"
8	15.987	5.004	30.967	14.980	6.98 7.01	2.45 2.42	"
9	16.008	5.014	30.988	14.980	7.20 7.18	2.43 2.42	"
10	16.036	4.999	31.028	14.992	7.84 7.33	2.86 2.36	"
11	15.998	4.965	30.918	14.925	7.32 7.31	2.38 2.38	"
12	16.000	5.022	30.989	14.989	7.25 7.26	* 2.24 2.25	否
13	15.988	4.983	20.969	14.981	6.88 6.90	2.42 2.41	合
14	15.994	4.958	30.939	14.945	7.28 7.28	2.37 2.39	"
15	16.001	4.952	30.965	14.964	7.05 7.05	2.40 2.40	"
16	15.996	5.002	30.972	14.976	7.30 7.29	2.38 2.39	"
17	15.988	4.982	30.978	14.992	7.04 7.02	2.42 2.43	"
18	16.019	5.012	31.009	14.990	7.08 7.09	2.40 2.40	"
19	16.007	4.983	30.999	14.992	7.28 7.27	2.32 2.31	"
20	16.018	5.018	31.018	14.998	7.35 7.34	2.36 2.36	"
21	16.003	4.989	30.997	14.994	7.10 7.10	2.44 2.42	"
22	15.993	4.996	30.969	14.976	7.36 7.38	2.26 2.26	"

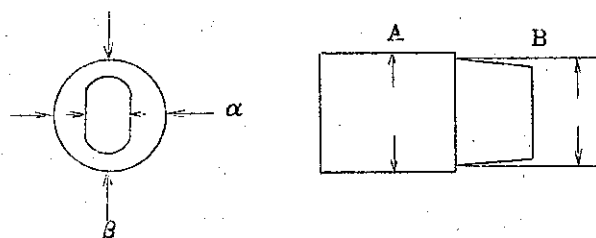
IV A : マイクロメーターで測定
 III : コンプレーターで測定
 II : [IV - A] の算出値
 I : ネジ切りのつけ根が判然とせず、正確な測定不能 *印、規格外値
 測定精度、各記入値につき士 $\frac{5}{1000}$ mm.

表 4.6.4 (1) 本番用端栓検査表結果-(1)

[長さ測定位置記号]



[外径測定位置記号]



パイプ No	端栓 区分	長さ測定位置記号					外径測定位置記号		外径 A		外径 B	
		A	B	C	B~C	A~B	α	β	α	β		
		29.0±0.2 31.0±0.2	15.0±0.15	10.0±0.05	5.0±0.1	14.0±0.05 16.0±0.05	α 1.0+0 -0.02	β 11.7± 0.05	α 10.23 +0.02 -0			
19	右	31.04 ₈	15.01 ₁	10.02 ₂	4.98 ₉	16.03 ₇	9.91 ₁	11.72 ₁	10.30 ₂	10.30 ₀		
	左	29.02 ₄	15.00 ₄	10.00 ₅	4.99 ₉	14.02 ₀	9.89 ₅	11.73 ₀	10.27 ₂	10.27 ₀		
25	右	31.06 ₆	15.01 ₇	10.00 ₀	5.01 ₇	16.04 ₉	10.02 ₀	11.71 ₁	10.32 ₄	10.32 ₄		
	左	29.06 ₄	15.02 ₆	10.03 ₁	4.99 ₅	14.03 ₈	9.94 ₅	11.72 ₄	10.26 ₂	10.26 ₂		
32	右	31.04 ₂	15.01 ₄	10.01 ₀	5.00 ₄	16.03 ₃	9.94 ₅	11.73 ₇	10.29 ₅	10.29 ₆		
	左	29.06 ₈	14.97 ₂	9.96 ₉	5.00 ₃	14.09 ₆	9.93 ₂	11.73 ₁	10.33 ₀	10.33 ₁		
33	右	31.01 ₆	15.00 ₆	9.99 ₉	5.00 ₇	16.01 ₀	9.92 ₄	11.72 ₉	10.30 ₀	10.30 ₀		
		29.04 ₂	15.02 ₈	10.01 ₁	5.01 ₇	14.01 ₄	9.97 ₂	11.70 ₆	10.32 ₄	10.32 ₃		
34	右	31.01 ₅	15.00 ₅	10.00 ₀	5.00 ₅	16.01 ₀	9.96 ₂	11.72 ₇	29 ₀	29 ₁		
		29.02 ₅	14.99 ₉	10.01 ₀	4.98 ₉	14.02 ₆	9.91 ₇	71 ₇	27 ₅	27 ₅		
36	右	31.03 ₇	15.02 ₈	10.03 ₅	4.99 ₃	16.00 ₉	9.94 ₃	73 ₆	29 ₁	29 ₂		
		29.03 ₄	15.03 ₅	10.01 ₅	5.02 ₀	13.99 ₀	9.93 ₂	72 ₅	33 ₅	33 ₇		
42	右	31.07 ₆	15.02 ₅	10.06 ₀	4.96 ₅	16.05 ₁	8.9 ₃	73 ₃	31 ₃	31 ₃		
		29.02 ₀	15.01 ₂	9.99 ₄	5.01 ₈	14.00 ₈	8.8 ₆	70 ₈	27 ₄	27 ₅		
46	右	31.03 ₄	15.02 ₃	10.00 ₆	5.01 ₇	16.01 ₁	9.90 ₆	71 ₇	30 ₈	30 ₈		
		29.03 ₆	15.00 ₈	10.05 ₅	4.95 ₃	14.02 ₈	9.94 ₅	70 ₅	33 ₆	33 ₈		
02	右	31.05 ₆	15.03 ₃	10.04 ₀	4.99 ₃	16.02 ₃	9.91 ₀	11.69 ₄	10.24 ₁	10.24 ₁		
	左	29.00 ₂	15.01 ₅	9.98 ₅	5.03 ₀	13.98 ₇	9.91 ₆	11.70 ₂	24 ₀	24 ₁		
04	右	31.25 ₆	15.02 ₁	9.98 ₂	5.03 ₉	16.23 ₅	9.88 ₂	11.74 ₃	25 ₃	25 ₃		
		29.03 ₅	15.02 ₁	9.98 ₄	5.03 ₇	14.01 ₄	9.87 ₉	75 ₂	23 ₁	23 ₁		
09	右	31.01 ₅	15.02 ₀	10.00 ₉	5.01 ₁	15.99 ₅	9.9 ₃	74 ₇	30 ₁	30 ₁		
		29.03 ₃	15.00 ₅	9.98 ₀	5.02 ₅	14.02 ₈	8.9 ₀	73 ₉	21 ₅	21 ₅		
22	右	31.04 ₅	15.01 ₆	10.00 ₁	5.01 ₅	16.02 ₉	9.1 ₄	73 ₃	27 ₅	27 ₄		
		29.00 ₅	14.99 ₅	10.00 ₅	4.99 ₀	14.01 ₀	8.7 ₉	74 ₂	21 ₉	22 ₀		
26	右	31.02 ₆	15.02 ₀	9.99 ₅	5.02 ₅	16.00 ₆	8.7 ₀	74 ₃	26 ₂	26 ₀		
		29.09 ₆	15.04 ₄	10.01 ₅	5.02 ₉	14.05 ₂	9.3 ₀	73 ₉	24 ₄	24 ₄		
30	右	31.03 ₁	15.03 ₀	9.97 ₇	5.05 ₃	16.00 ₁	9.3 ₅	72 ₃	24 ₈	24 ₈		
		29.10 ₀	15.03 ₅	10.01 ₃	5.02 ₂	14.06 ₅	9.0 ₈	73 ₃	25 ₃	25 ₂		

表 4.6.4 (2) 本番用端栓検査結果-(2)

パイプ 径	端栓 区分	A	B	C	B-C	A-B	外径 A		外径 B	
		29.0±0.2 31.0±0.2	15.0±0.15	10.0±0.05	5.0±0.1	14.0±0.05 16.0±0.05	α	β	α	β
40	右	31.02 ₀	15.01 ₅	9.99 ₄	5.02 ₁	16.00 ₅	90 ₀	73 ₆	23 ₇	23 ₈
	左	28.98 ₁	15.01 ₅	9.97 ₀	5.04 ₅	13.96 ₆	90 ₇	72 ₃	22 ₀	22 ₀
44	右	31.02 ₆	15.05 ₁	9.96 ₈	5.08 ₃	15.97 ₅	94 ₈	73 ₅	25 ₃	25 ₄
	左	29.01 ₅	15.02 ₀	9.98 ₄	5.03 ₅	13.99 ₅	86 ₄	73 ₀	22 ₆	22 ₇
スベア	I	28.82 ₅	14.79 ₃	9.79 ₂	5.00 ₁	14.03 ₂	10.11 ₈	11.72 ₅	10.26 ₄	10.26 ₂
	II	31.01 ₅	15.02 ₂	10.02 ₆	4.99 ₆	15.99 ₃	9.92 ₆	11.69 ₅	10.28 ₆	10.28 ₇

精度 マイクロメーター ± $\frac{5}{1000}$ mm

A, B, C }
外 径 } マイクロメーターで測定

B - C }
A - B } 算 出 値

b) ディスクの測定 (Zircaloy-2 製)

表 4.6.5 に直径と厚みの測定結果を示す。何れも規格内であった。

表 4.6.5 Halden Zircaloy Disk 各部測定結果

No	直径 (2方向)		(1.5±0.1) 厚み (中央部)	判 定
	α ($\frac{10.0}{±0.05}$)	β		
1	10.04	10.04	1.50	〃
2	10.02	10.03	1.51	〃
3	10.04	10.03	1.54	〃
4	10.04	10.04	1.51	〃
5	10.03	10.03	1.51	〃
6	10.01	10.01	1.50	〃
7	10.01	10.01	1.50	〃
8	10.01	10.01	1.50	〃
9	10.02	10.02	1.49	〃
10	10.02	10.02	1.52	〃
11	10.01	10.02	1.52	〃
12	10.02	10.03	1.47	〃
13	10.01	10.02	1.50	〃
14	10.00	10.01	1.51	〃
15	10.02	10.02	1.53	〃

マイクロメーターで測定, 測定精度: 各記入値につき ± $\frac{5}{1000}$ mm

表 4.6.6-1) ハルデン照射燃料用 Inconel -X スプリング検査結果

S 42.11.15 検査課

規格 座	線 径(mm)			コイル外径(mm)			有効巻数	自由長 (mm)	1.117 および (mm)	kg時の長さ および (kg/mm)	2.117 および (mm)	kg時の長さ および (kg/mm)	3.117 および (mm)	kg時の長さ および (kg/mm)	復元長 (mm)	補正バネ定数 (kg/mm)	重 量 (g)
	上	中	下	上	中	下											
		1.30			9.5 ±0.5		20	92								0.24	
1	1.30	1.31	1.31	9.72	9.70	9.68	20 1/2	92.0	87.2	0.23	83.2	0.25	79.0	0.24	92.0	0.24	5.9
2	1.32	1.31	1.31	9.70	9.71	9.68	"	92.2	87.0	0.22	83.1	0.23	79.2	0.24	92.2	0.23	5.9
3	1.30	1.30	1.31	9.69	9.70	9.71	"	92.9	88.3	0.25	84.2	0.24	79.8	0.24	92.8	0.24	5.9
4	1.31	1.31	1.32	9.71	9.70	9.69	"	92.4	87.5	0.23	83.7	0.24	79.2	0.24	92.3	0.24	5.9
5	1.31	1.30	1.31	9.72	9.70	9.69	"	92.8	88.0	0.23	83.7	0.24	79.8	0.24	92.7	0.24	5.9
6	1.32	1.31	1.31	9.68	9.71	9.72	"	92.4	87.6	0.23	83.7	0.24	79.5	0.24	92.4	0.24	5.9
7	1.31	1.31	1.33	9.72	9.71	9.69	"	92.1	87.3	0.23	82.8	0.24	78.9	0.24	92.0	0.24	5.9
8	1.32	1.30	1.31	9.68	9.71	9.72	"	92.4	87.3	0.21	82.7	0.22	78.8	0.23	92.4	0.22	5.9
9	1.31	1.31	1.31	9.68	9.70	9.71	"	92.5	87.8	0.24	83.7	0.24	79.7	0.24	92.5	0.24	5.9
10	1.31	1.30	1.32	9.73	9.70	9.68	"	92.0	87.3	0.24	84.0	0.26	79.4	0.25	92.0	0.25	5.9
11	1.31	1.31	1.32	9.71	9.71	9.69	"	92.4	87.6	0.23	83.4	0.24	79.6	0.25	92.4	0.24	5.9
12	1.31	1.32	1.31	9.68	9.70	9.72	"	92.4	87.3	0.22	83.0	0.23	78.5	0.22	92.3	0.22	5.9
13	1.31	1.31	1.30	9.71	9.70	9.68	"	93.2	88.3	0.23	84.1	0.26	79.8	0.23	93.1	0.24	5.9
14	1.31	1.32	1.32	9.72	9.71	9.69	"	92.2	87.7	0.25	83.3	0.24	79.5	0.25	92.2	0.25	5.9
15	1.31	1.30	1.30	9.68	9.70	9.71	"	92.3	86.7	0.20	82.8	0.22	78.8	0.23	92.2	0.22	5.9

結果・試料は購入100個より15個の抜き取りを行ない、検査を行なったもので線径、コイル外径、有効巻数、自由長、およびバネ定数は、
いづれも規格値を満足している。重量は参考のため測定した値である。

c) スプリングの検査

スプリングは100個納入されたが、そのうち15個を抜取り、スプリングの線径、外径、自由長、有効巻数などの形状寸法検査と、バネ定数の測定を行った。測定結果を、表4.6.6に示す。このスプリングについては、規格値に対する許容限界値が定められていないので、おおよそ、規格値通りであるかどうかを調べたのである。結果としては、形状、寸法測定値も、バネ定数測定値も、ほぼ規格値通りであった。

(2) 集合体部材検査

上下端栓キャップ；上中下スペーサーなどについて、別添1，IFA159，部材検査要領書に示される様な検査を行った。

表4.6.6-(2) 照射試験用スプリング検査成績

住友電気工業KK
S 42.9.26

仮座	外径(mm)	線径(mm)	有効巻数	自由高さ	タワミ荷量<kg>		バネ定数 <kg/mm>
					6mmの時	13mmの時	
1	9.6	1.30	19.5	92.0	1.25	2.8	0.22
2	9.7	1.30	19.5	92.0	1.1	2.65	0.22
3	9.7	1.30	19.5	92.8	1.37	3.06	0.25
4	9.7	1.29	19.5	92.3	1.15	2.75	0.23
5	9.7	1.29	19.5	92.1	1.1	2.7	0.23
6	9.7	1.29	19.5	92.0	1.2	2.8	0.23
7	9.6	1.29	19.5	92.0	1.3	2.95	0.24
8	9.7	1.29	19.5	92.6	1.25	2.8	0.22
9	9.7	1.29	19.5	92.4	1.25	2.8	0.22
10	9.7	1.29	19.5	92.5	1.15	2.75	0.23
11	9.7	1.29	19.5	92.4	1.5	3.3	0.26
12	9.7	1.29	19.5	92.7	1.25	2.8	0.22
13	9.7	1.29	19.5	92.1	1.2	2.85	0.24
14	9.7	1.29	19.5	92.0	1.2	2.85	0.24
15	9.7	1.29	19.5	92.0	1.2	2.8	0.23
規格	9.5φ±0.5	1.3φ	20	92			0.24

a) End Plug Cap の検査

1. End Plug Cap I の各部測定結果を表4.6.7に示す。

各部寸法は、何れも規格内である。先端にスリ割り溝がつけられているが、バリが出ており、それを加えると、全長が、規格より大きくなるものもあるが、實際上問題ない。

心ブレ測定；測定図を、表中に付してあるが、試料b端側に標準ネジを挿入し、標

標準ネジのシャフトをVブロック上で回転させ、先端a部のフレを見て、心ブレとしたが、今回は標準ネジの出来が悪く、標準ネジ自体にも心ブレがあって、精密な測定は、行なえなかった。

他のEnd Plug Capの心ブレ測定も、この場合と同様にして行っている。

ロ End Plug Cap IIの各部測定結果を表4.6.8に示す。

寸法測定は問題ない。心ブレ測定のための標準ネジを挿入したところ、ネジ合せがカタく、完全に締められないものが2個あった。心ブレは、その状態で測ったがバラツキがある。但し、標準ネジ自体にも心ブレがあり、測定精度を低くしている。

ハ End Plug Cap IIIの各部測定結果を表4.6.9に示す

寸法測定値は何れも規格内であったが、ネジ部長さや、心ブレ測定を行なわなかったので、不十分である。

ニ End Plug Cap IVの各部測定結果を表4.6.10に示す。

寸法測定値は何れも規格内、ネジ合せでキツイものがあった。

ホ End Plug Cap Vの各部測定結果を表4.6.11に示す。

全長測定値に規格より小さいものがあるが先端にスリ割り溝をつける際、端部がメクレ上り、バリになってしまったなどの原因により、實際上問題ないがネジ合せでキツイものがあった。

b) 上下スペーサーの検査

Lower Spacer 2個、試料番号A, B, Upper Spacer 2個、試料番号C, Dの計4個につき、各部寸法測定を行った。

測定結果を、図4.6.1～図4.6.4に示す。

円形部分の多い形状のものを手仕上げで作製してあるため、同形の個所でも測定値のバラツキが多い。円形部の直径は、測定位置を変えれば、更に多様な値を示す。又、各円環部接続の平行板部も、形状、寸法がマチマチであった。その一例を試料Dの測定図に示してある。他の3個についてもこの様な測定値を出してはあるが、図示は省略した。

c) センタースペーサーの検査

イ. 各部寸法測定

4個のセンタースペーサー(No.1～No.4)が製作されたが、そのうち、No.2について、各部の寸法を測定したところ、図4.6.5に示すように各部の測定値が、各同形位置の間で、非常なバラツキを示し、設計図通りの形状のものを作成することの

困難さを示した。この様な測定値は、有用性が乏しいので、この種のスペーサーの形状測定は、これ 1 個に停めた。

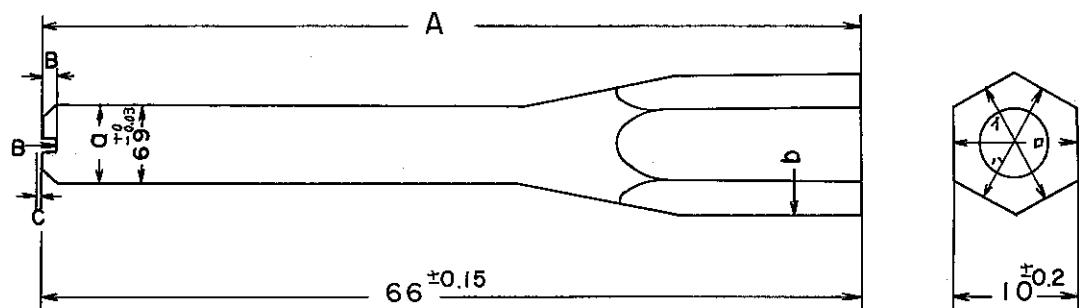
ロ、標準ペレット挿入による各ペレットのピッチ測定

センタースペーサーに、燃料ピンが挿入される 9 個の全区間に、燃料ピン標準外径と同寸法の鉄製ペレットを挿入し、各ペレット中心点間距離を測定して、そのピッチを調べた。測定結果を図 4.6.6~4.6.9 に示す。センタースペーサーの、フック状バネが、燃料ピンを保持するのであるが、形状の不均一から標準ペレットの押え力にもムラがあり、ペレットが挿入区域内で、遊びがある程に、バネ押えの効かない個所もあり、スペーサー No 1 の 2 回の測定値でも再現性に乏しかった。又、ペレットを挿入した時、外枠板が、外側に反っているために、ペレットの押えが効かない個所もありピッチ測定値が不正確になるものについては、センタースペーサー外側寸法に合わせた外枠を用い、これにスペーサーをはめ込んで、外側えの逃げをなくし、ペレットを挿入して測定した。4 個のスペーサーについてのピッチ測定値の分布図を、図 4.6.10 に示す。全ての間隔が規格内に入るとは困難であり、若干の修正をして、No 1 と No 4 が本番用として、用いられた。

(3) 燃料ピン端栓溶接取付角度測定

燃料被覆管に端栓を溶接した際の取付角度を測定した結果を、表 4.6.12 に示す。端栓ネジ部のふれ B と、端栓ネジに端栓キャップを取付け、その先端でのふれ A とを測定し、支点からの距離により、取付角度を算出した。ふれの絶対値は、B 点の方が少いが支点からの距離を考慮すると、取付角度は、端栓キャップを取付けた場合の方が小さいと云う結果になり、稍疑問を残した。支点からの距離のとり方に問題があったか、又は、キャップネジ部のガタが端栓取付角と相殺する場合も考えられるが、一般的に同じ傾向があることから、この推測には無理がある。とに角、取付角度は、大体 30 以内には納まっているようであった。

表 4.6.7 End Plug Cap I の測定結果



番号	長さ			a部 外径			b部 外径			B部中(スキム)	
	A	B	C _(1.57)	イ	ロ	ハ	イ	ロ	ハ	1.05 ^{mm}	1.08 ^{mm}
1	66.08	1.00	0.08	6.89	6.89	6.89	10.00	10.00	10.02	go	nogo
2	66.05	1.03	0.04	6.88	6.88	6.88	10.01	10.00	10.01	〃	〃
3	66.14	0.96	0.08	6.89	6.89	6.89	10.03	10.03	10.03	〃	〃
4	66.08	1.00	0.05	6.89	6.89	6.89	10.01	10.01	10.01	〃	〃

(nogoの部分は物が入る)

心ブレ 先端dにてのふれ(b部=標準ネジを挿入して回転)

番号	ふれ	
1	0.48 ^{mm}	
2	0.62	3.5 ^{mm} ネジ入らぬ
3	1.68	
4	0.60	

(検査用標準ネジのブレ)
0.03^{mm}

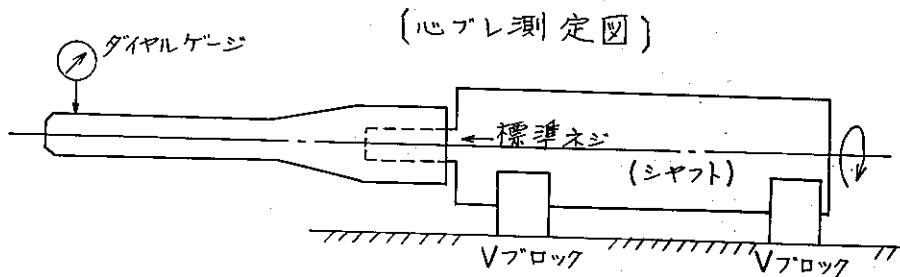
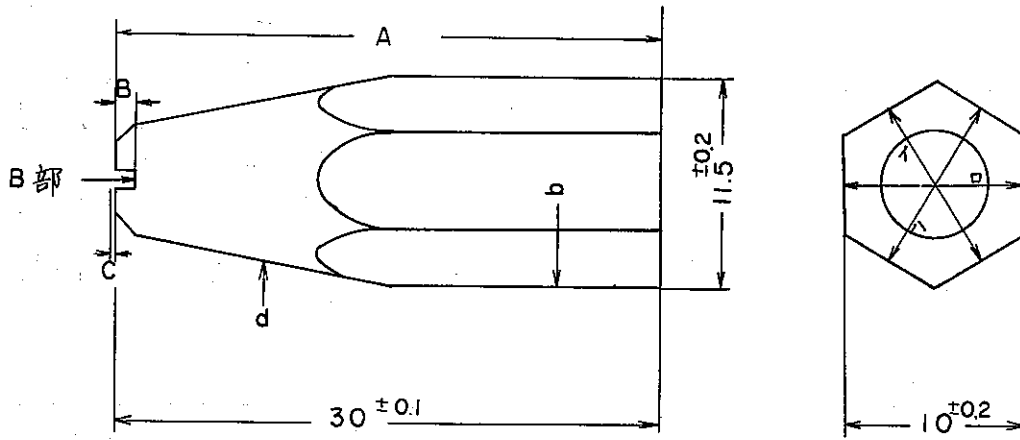


表 4.6.8 End Plug Cap II の測定結果



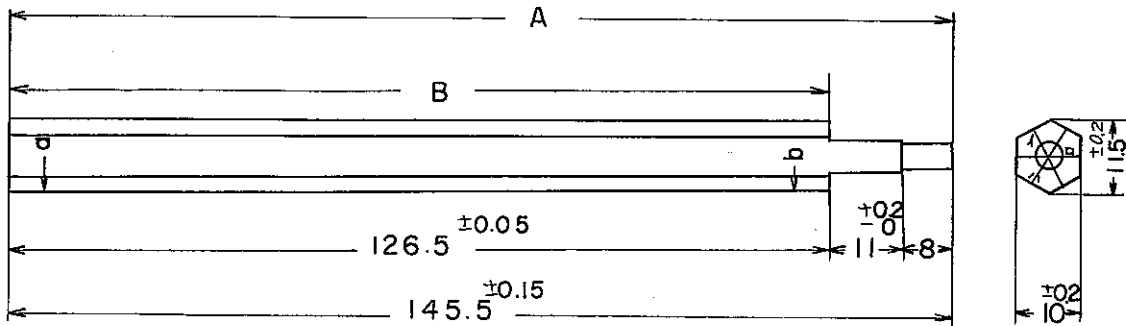
番号	長 さ			b 部 外 径			B 部 中 (3ヶ所)	
	A 部	B 部	C (平均)	ι	ρ	λ	1.05 mm	1.08 mm
1	29.91	0.93	0.01	10.01	10.01	10.01	go	nogo
2	30.03	0.98	0.06	10.01	10.00	10.01	〃	〃
3	29.98	0.98	0.04	10.03	10.03	10.03	〃	〃
4	30.02	0.97	0.04	10.02	10.02	10.02	〃	〃
5	30.00	1.09	0.07	10.02	10.01	10.01	〃	〃

心ブレ (b部には標準ネジを挿入して回転)

	心ブレ d 臭に?	
1	0.23 mm	1.5 mm ^{ネジ} 入らぬ
2	0.13	
3	0.01	1.2 mm 程 残る
4	0.05	〃
5	0.23	

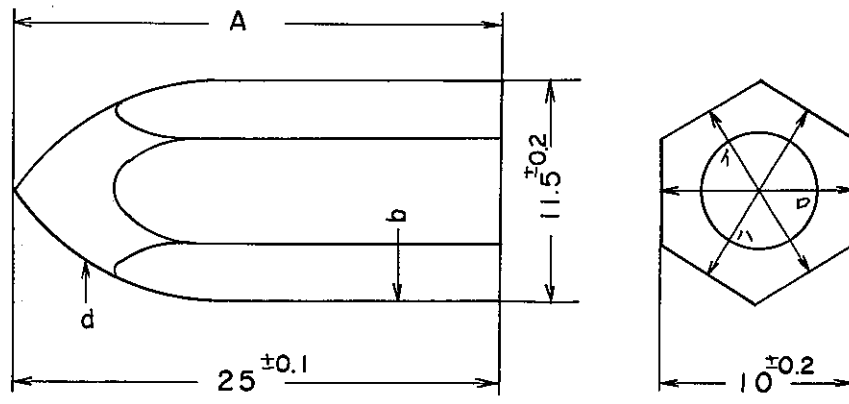
(検査用ネジブレ)
0.03 mm

表 4.6.9 End Plug Cap III の測定結果



番号	長 さ (ミリ)		外 径 (マイクロ)					
	A	B	A		B		ハ	
			a	b	a	b	a	b
NO.1	145.60	126.45	10.04	10.04	10.04	10.04	10.06	10.05
NO.2	145.45	126.50	10.08	10.07	10.08	10.06	10.07	10.06
NO.4	145.65	126.55	10.05	10.04	10.05	10.07	10.05	10.07
NO.5	145.50	126.45	10.05	10.03	10.08	10.05	10.08	10.05

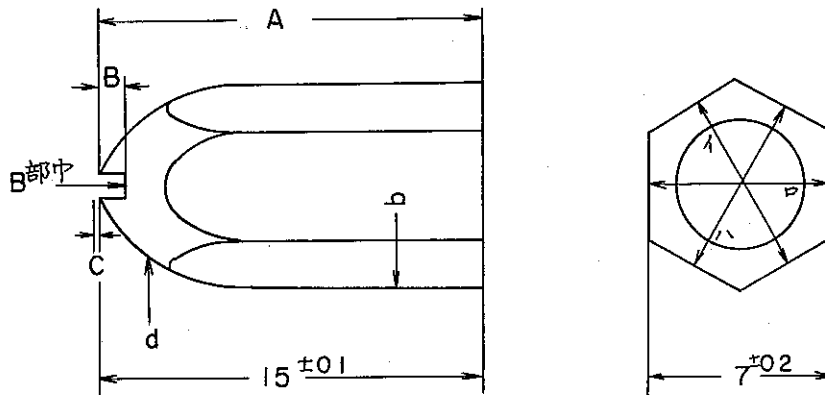
表 4.6.10 End Plug Cap IV の測定結果



番号	長さ		b 部 外 径			d 点の心ズレ
	A 部		イ	ロ	ハ	b部に標準ネジ挿入回転
1	25.07		10.05	10.05	10.05	0.17 mm
2	25.00		10.03	10.04	10.04	0.18 <small>ネジ 3mm程入らぬ</small>
3	25.00		10.03	10.03	10.04	0.11
4	25.02		10.04	10.05	10.04	0.19
5	25.04		10.05	10.05	10.05	0.03

(検査用ネジフレ)
0.03 mm

表 4.6.11 End Plug Cap V の測定結果



番号	長 さ			外 径			B 部 巾 (分り)		b 部に標準を挿入 d 突の心ブレ
	A	B	C (分り)	α	β	γ	1.05	1.08	
1	14.88	0.77	0.07	7.03	7.03	7.02	go	go	0.04 ^{mm}
2	14.84	0.75	0.11	7.04	7.04	7.04	"	"	0.20 (カタイ)
3	14.99	0.86	0.04	7.01	7.01	7.00	"	nogo	0.18 1mm程入る
4	14.90	0.80	0.09	7.04	7.04	7.00	"	go	0.08

(検査用サンプル)
0.1mm

試料 A

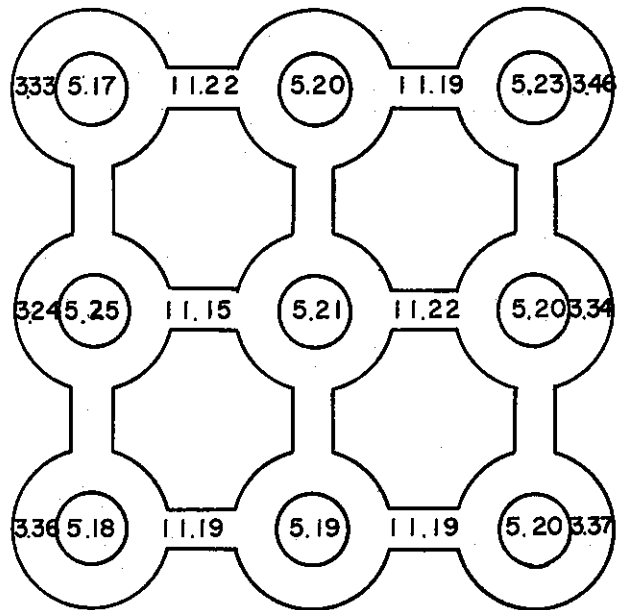
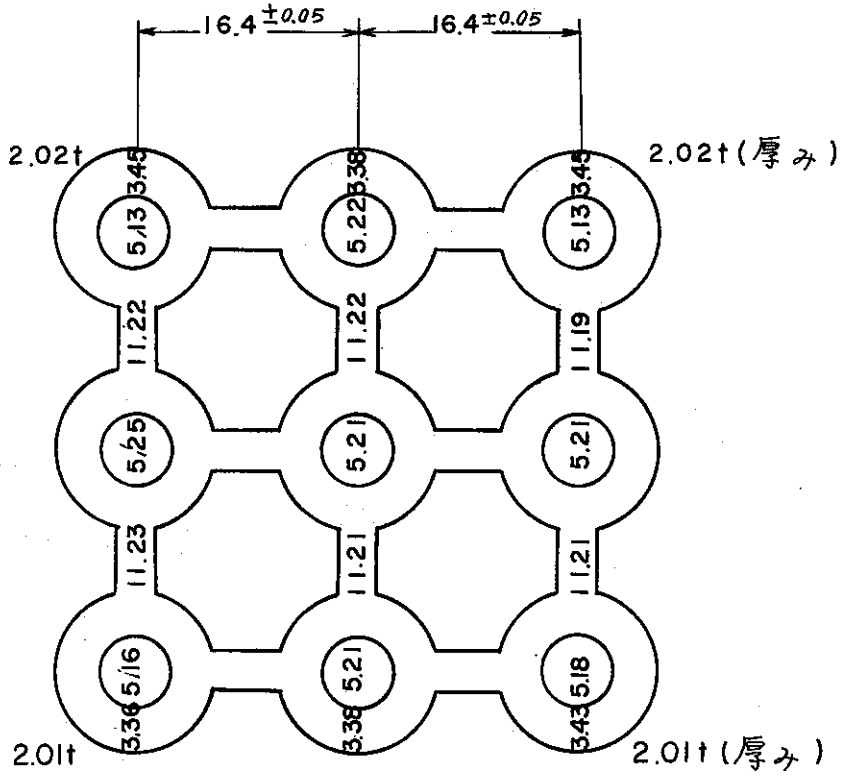


図 4.6.1 下部スペーサーの各部寸法測定結果(1)

試 験 B

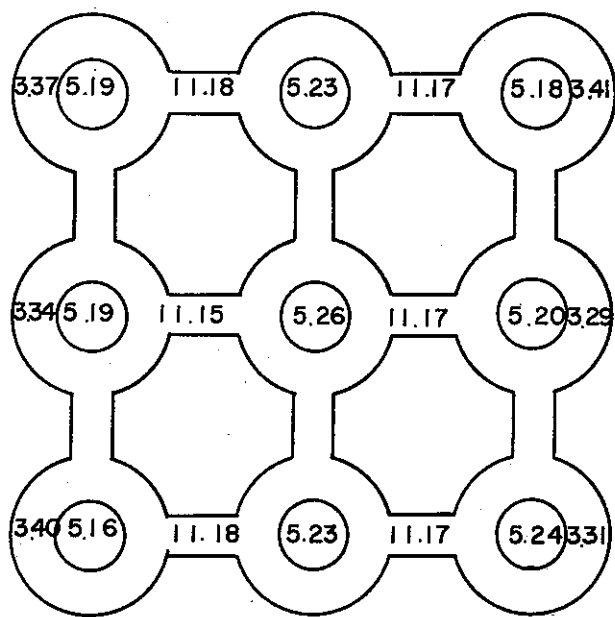
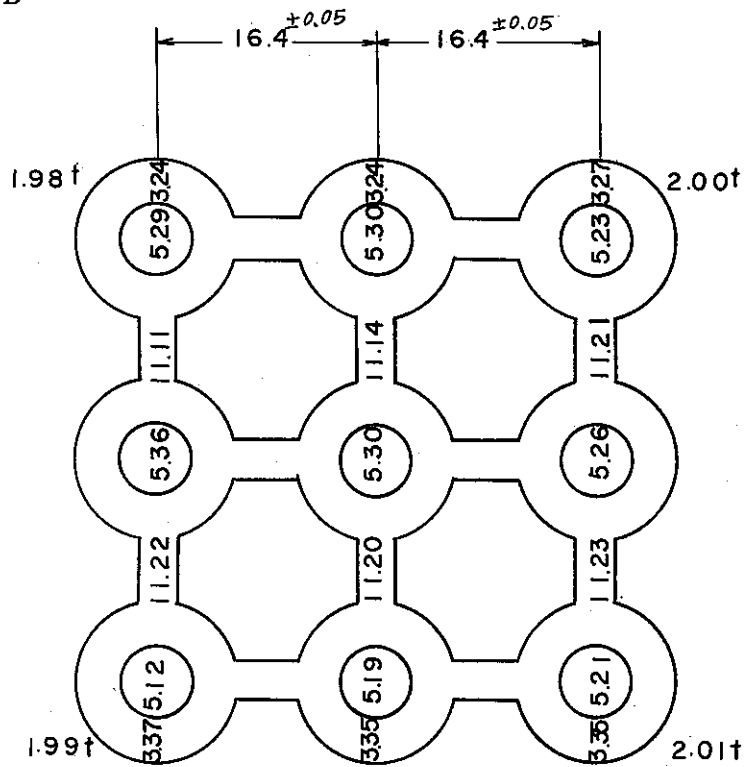


図 4.6.2 下部スペーサーの各部寸法測定結果(2)

試料 C

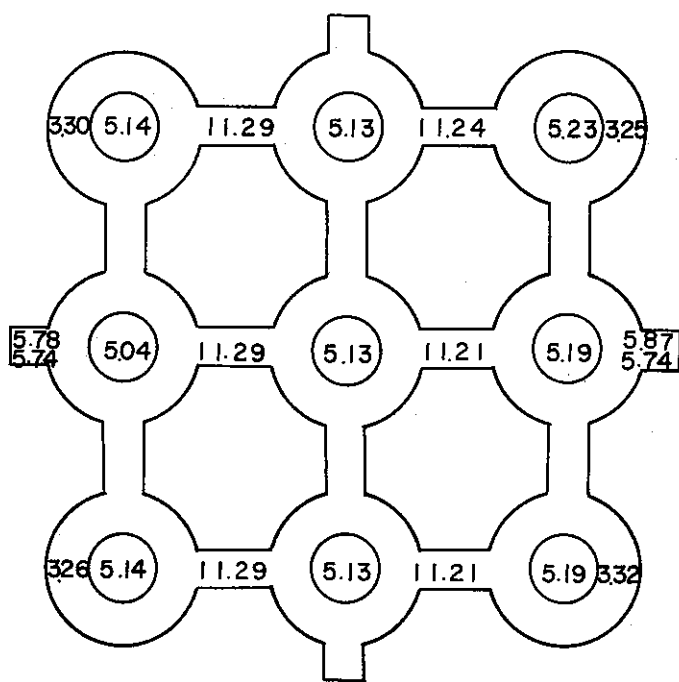
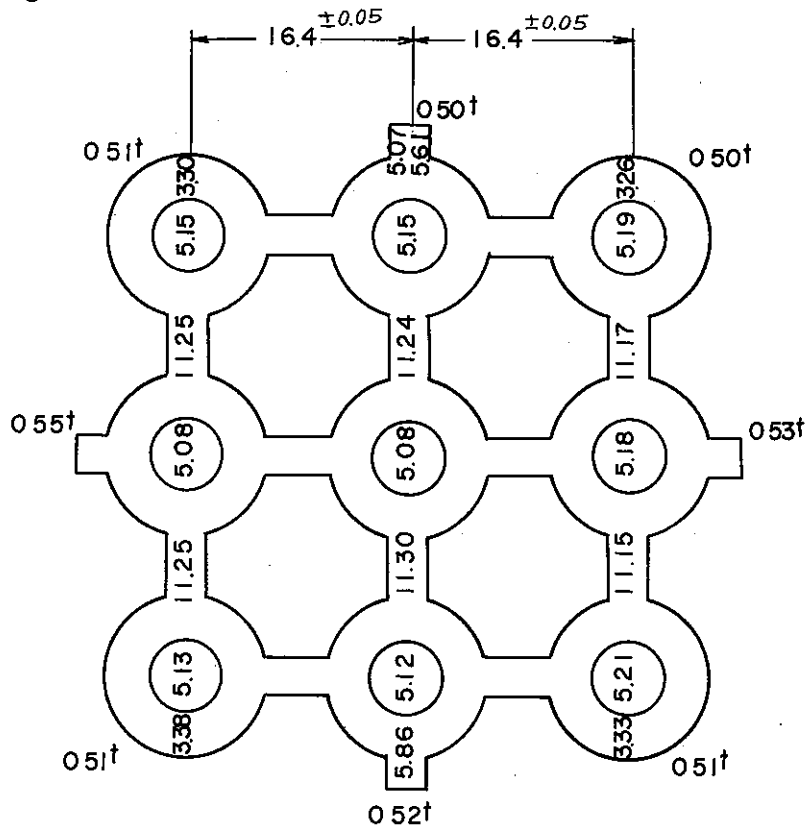
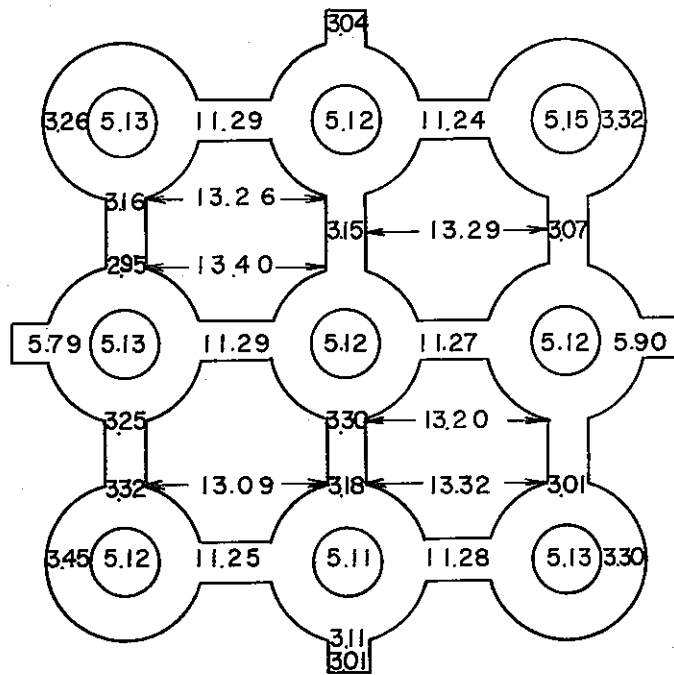
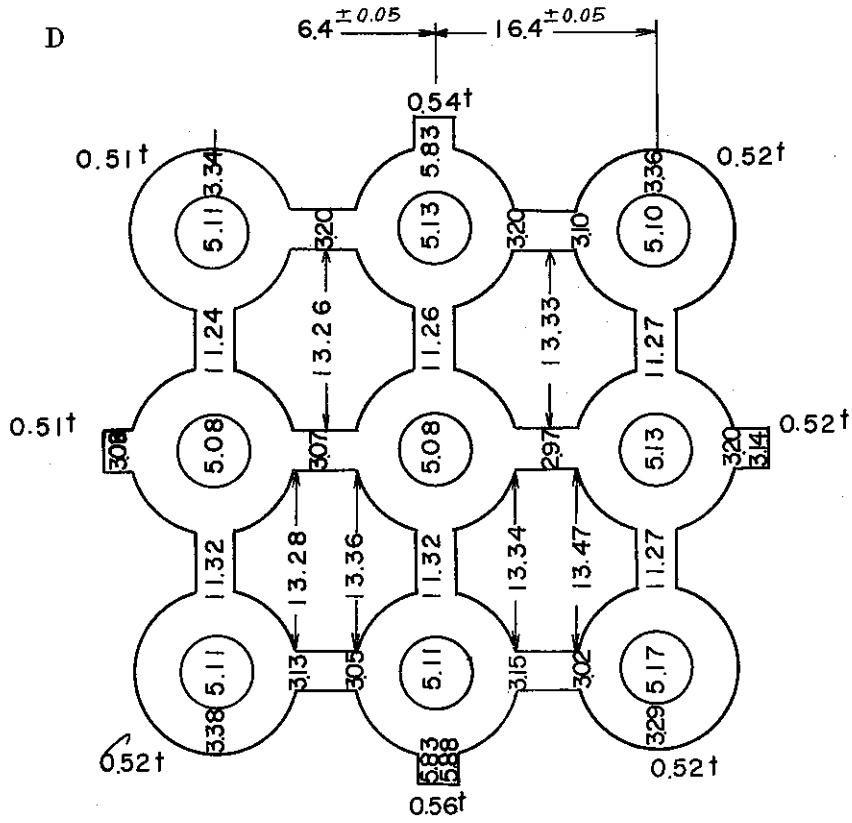


図 4.6.3 上部スペーサーの各部寸法測定結果(1)

試料 D



(注：他のABC 3 ケも、これらの数値は測定してはあらず)

図 4.6.4 上部スペーサーの各部寸法測定結果(2)

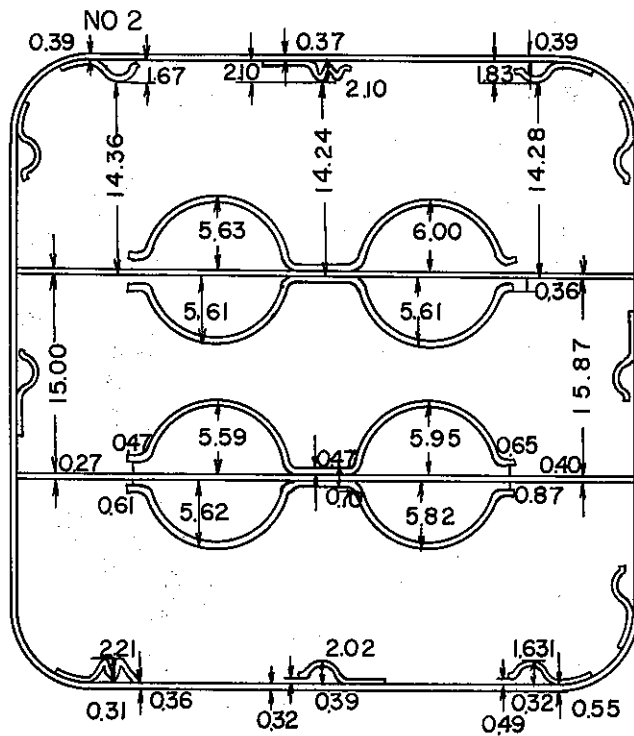
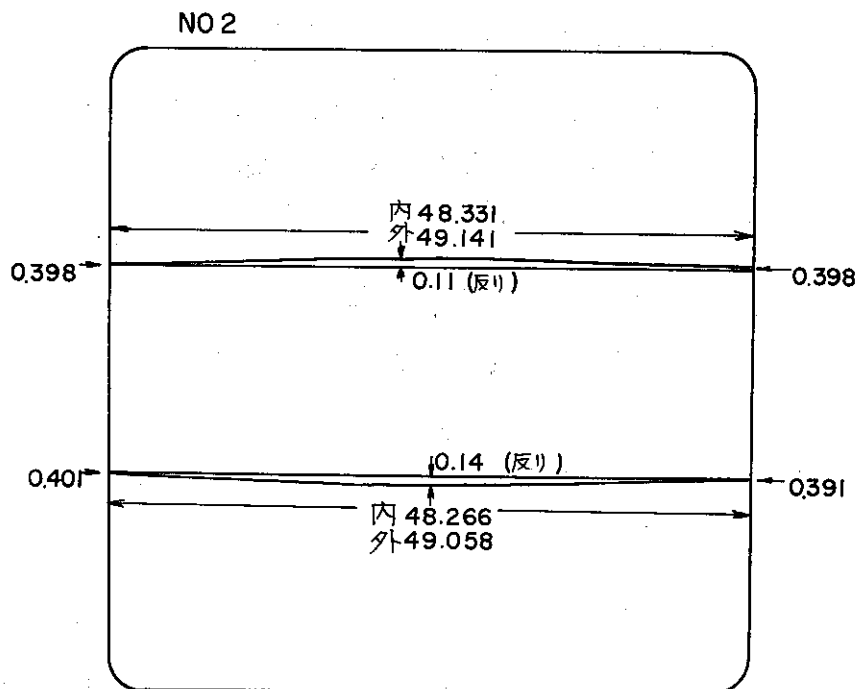


図 4. 6. 5 センタスペーサー各部寸法測定値図
(No 2 について)

内部仕切板の曲り (反り) 及び外枠間寸法



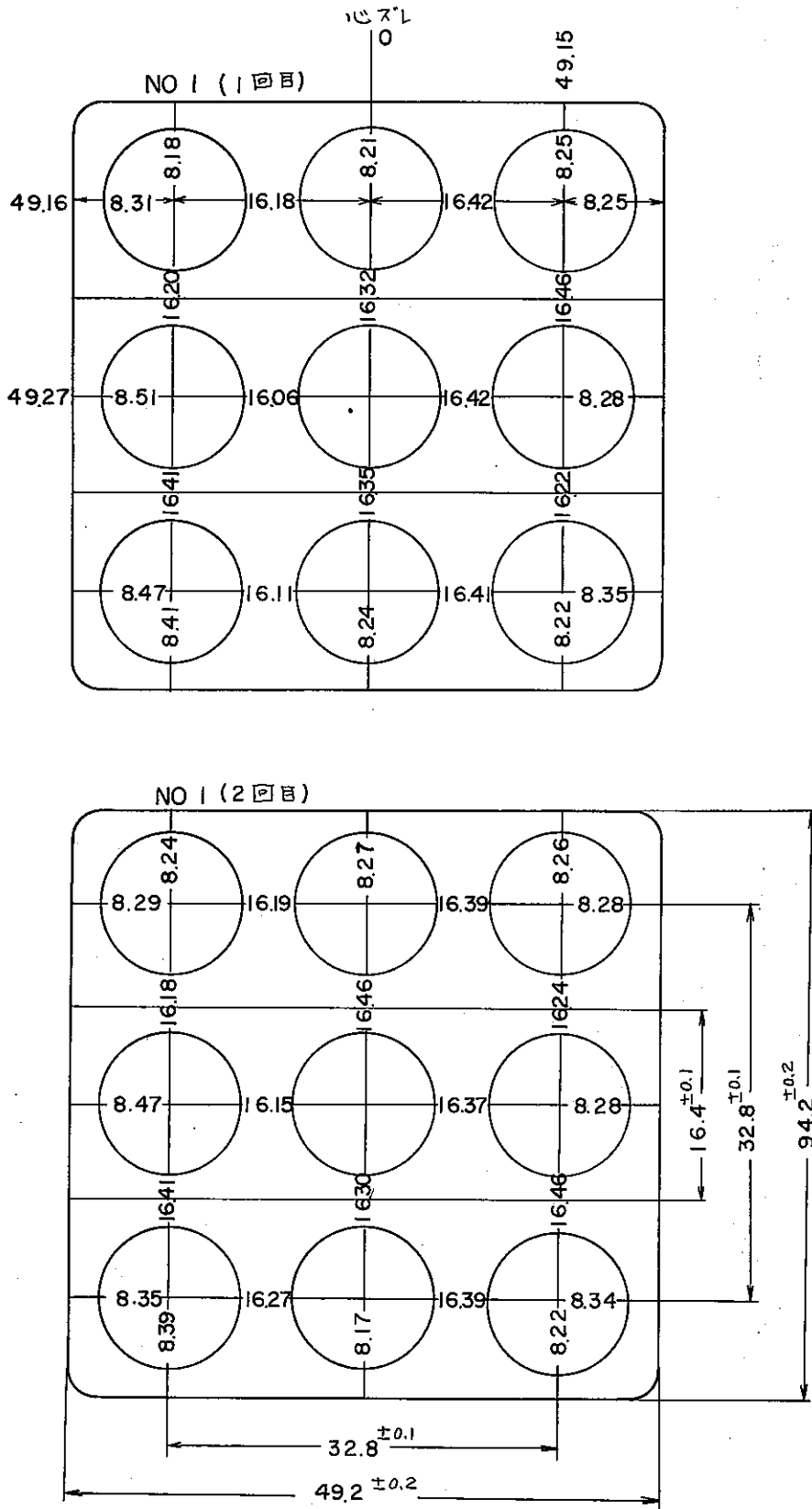


図 4.6.6 センタスペーサーピッチ測定値一(1)

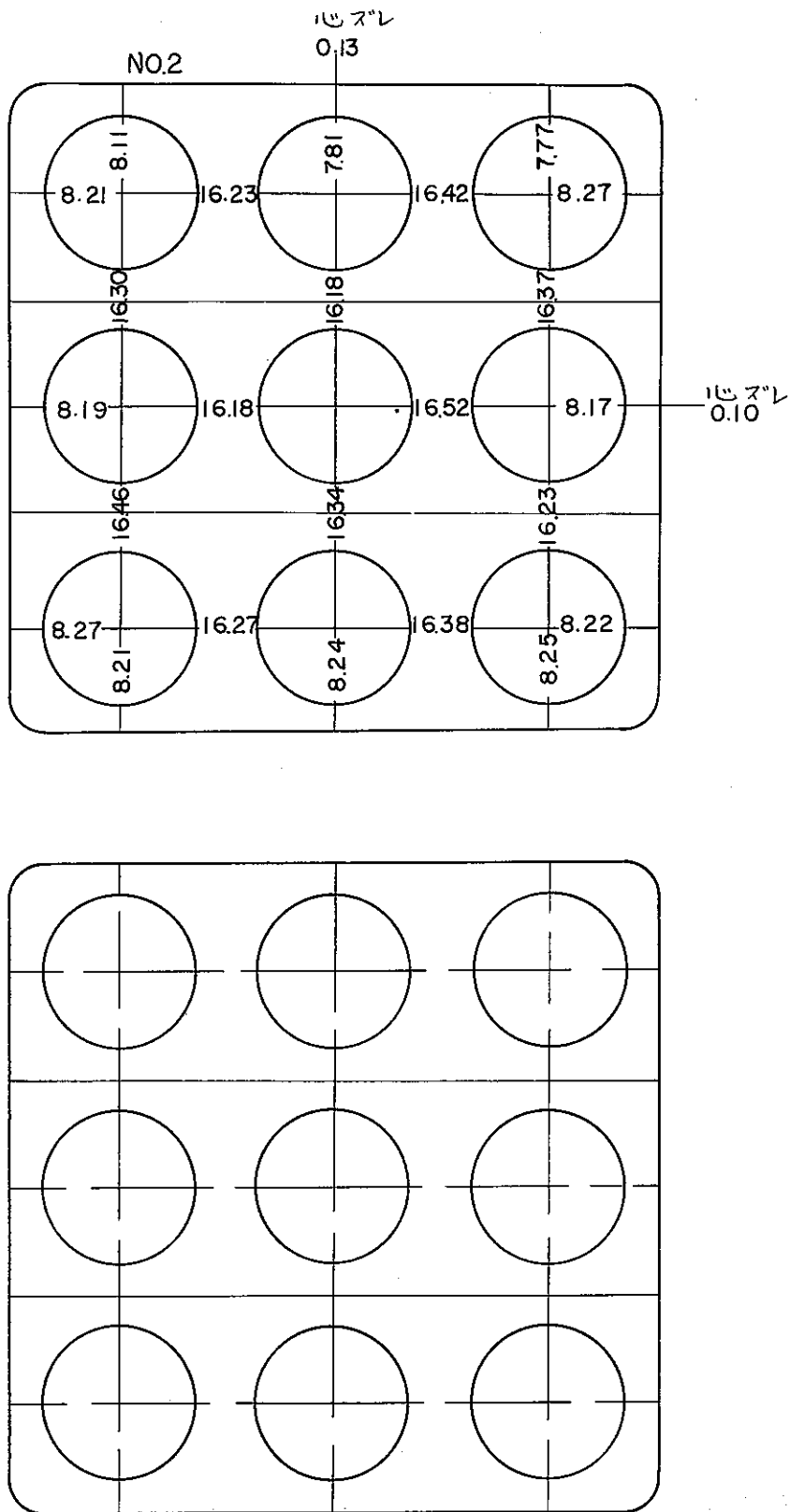
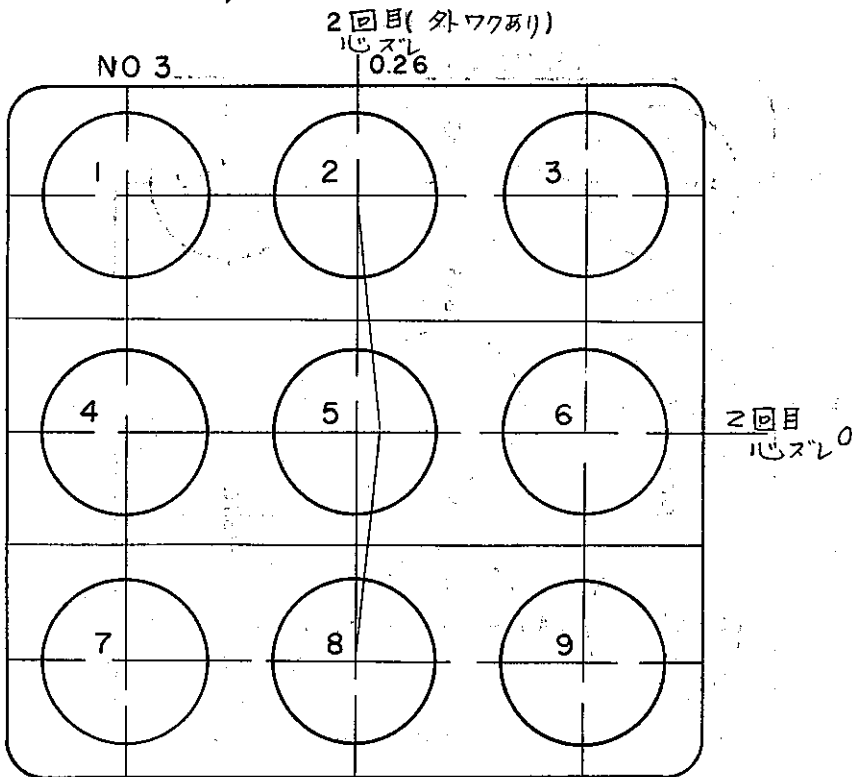
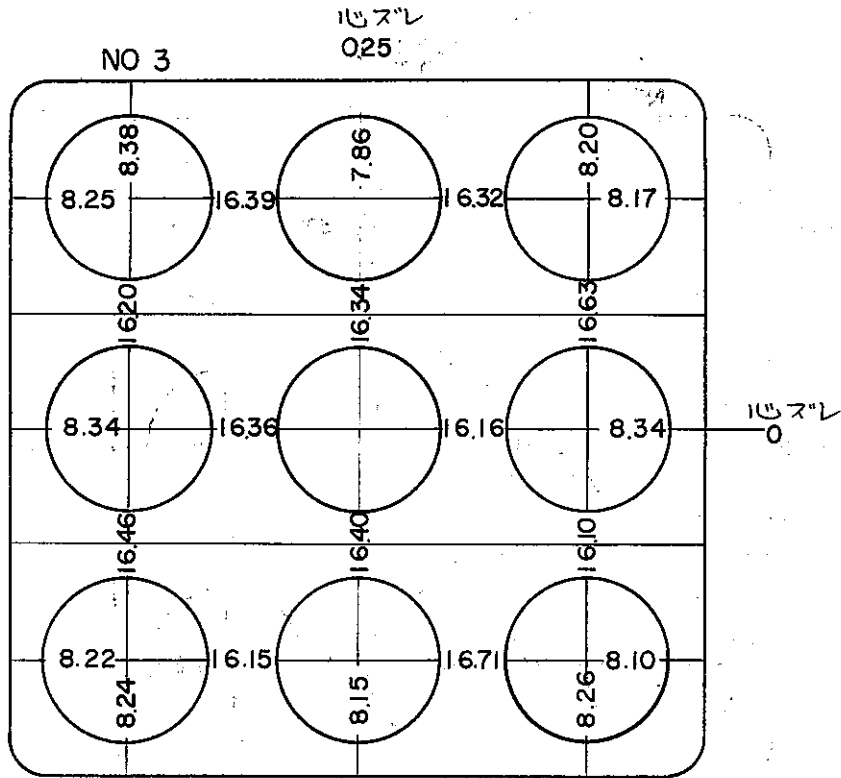


図 4.6.7 センタスペーサーピッチ測定値一(2)



外ワクなしの場合2と8がゆきく測定不能

図 4.6.8 センタスペーサーピッチ測定値(3)

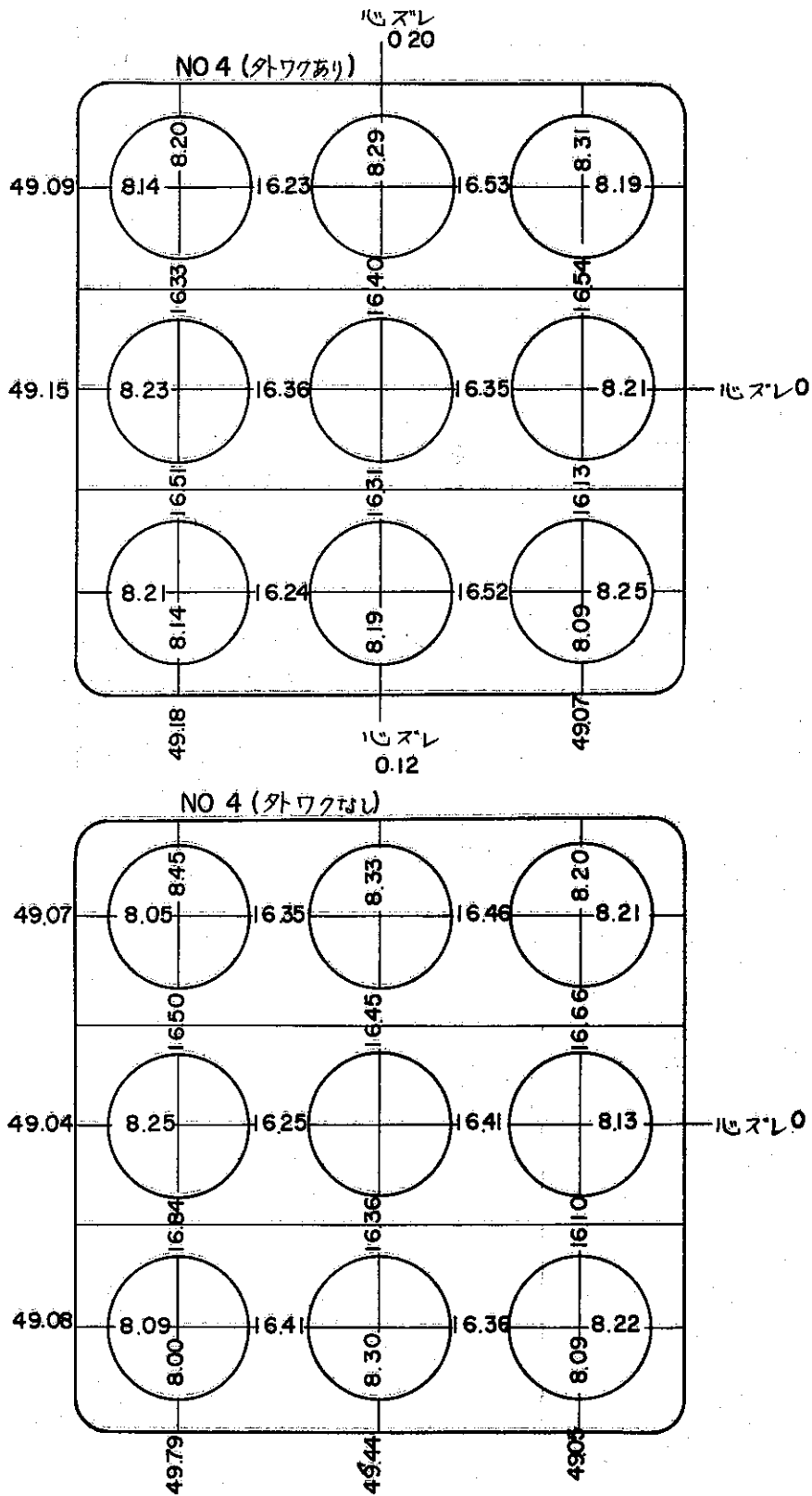


図 4.6.9 センタスペースーピッチ測定値 (4)

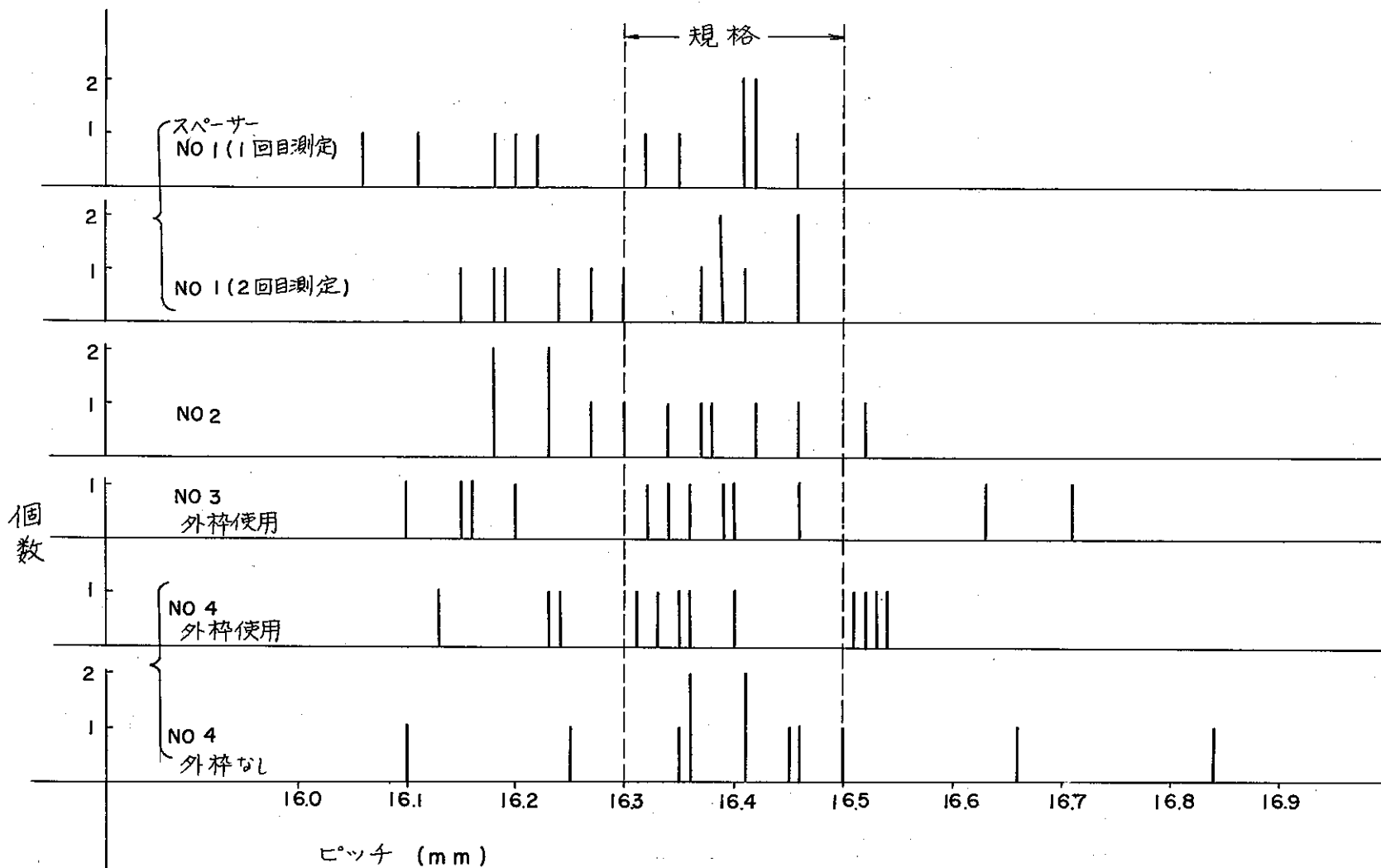
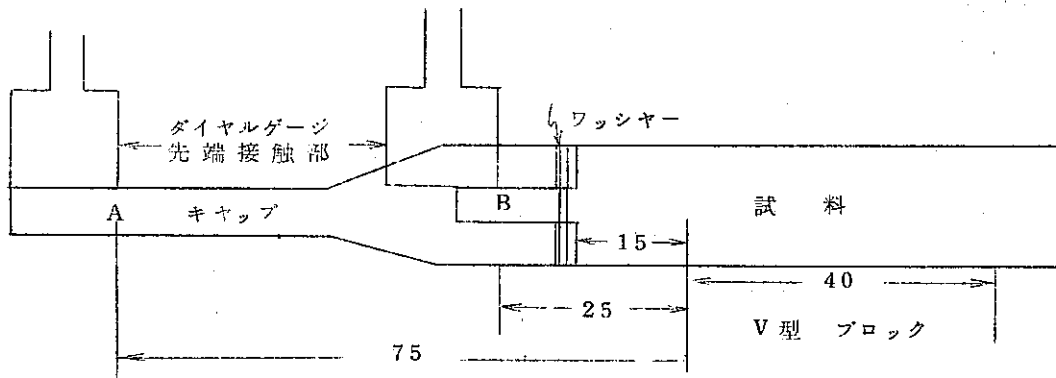


図 4.6.10 センタスペーサーピッチ測定結果

表 4.6.12 Halden 照射燃料棒第 I 端栓取付角度 測定値



パイプ 番号	ダイヤルゲージ振れ (mm)			角 度		
	A 点		B 点	A 点		B 点
	キャップ ①	キャップ ②		キャップ ①	キャップ ②	
10002	0.665	0.660	0.240	30' $\frac{2}{5}$ "	30' $\frac{1}{5}$ "	33'
10004	0.375	0.365	0.140	17' $\frac{1}{5}$ "	16' $\frac{4}{5}$ "	19' 30"
10009	0.160	0.215	0.055	7' 30"	10'	7' 30"
10019	0.145	0.150	0.050	6' $\frac{4}{5}$ "	7'	6' $\frac{4}{5}$ "
10022	0.375	0.440	0.200	17' $\frac{1}{5}$ "	20' $\frac{1}{5}$ "	27' 30"
10025	0.425	0.410	0.165	19' 30"	18' $\frac{1}{5}$ "	22' 30"
10030	0.560	0.540	0.205	25' $\frac{3}{5}$ "	24' $\frac{4}{5}$ "	28' $\frac{1}{5}$ "
10032	0.405	0.350	0.160	18' 30"	16'	22'
10033	0.225	0.190	0.075	10' $\frac{2}{5}$ "	8' $\frac{1}{5}$ "	10' $\frac{1}{5}$ "
10034	0.485	0.500	0.160	22' $\frac{1}{5}$ "	23'	22'
10036	0.235	0.250	0.105	10' $\frac{4}{5}$ "	11' 30"	14' $\frac{1}{5}$ "
10040	0.5000	0.500	0.160	23'	23'	22'
10042	0.450	0.360	0.230	20' $\frac{3}{5}$ "	16' 30"	17' $\frac{4}{5}$ "
10044	0.385	0.360	0.080	17' $\frac{4}{5}$ "	16' 30"	11'
10046	0.645	0.630	0.255	29' 30"	28' $\frac{4}{5}$ "	35'
10026	I 端 0.190	0.175	0.110	8' $\frac{4}{5}$ "	8'	15' $\frac{1}{5}$ "
	II 端 0.165	0.170	0.065	7' $\frac{3}{5}$ "	8'	9'
10028	0.150	0.190		7'	8' $\frac{4}{5}$ "	
10029	0.385	0.470		17' $\frac{3}{5}$ "	21' 30"	

A点は2ケのキャップをつけて測定、B点はキャップをなしでネジ部を測定

技術標準	検査標準	類別	燃料集合体構成部材			
エンドプラグキャップ I 検査指導票		区分	HBWR IFA-159			
		頁	1/6			
		制定・改訂記録	起案 渡部	審査 三浦	承認 青木	
			制定	43年 3月 日		
			改定	年 月 日		
			改定	年 月 日		

注(1) 上欄には準拠規格その他共通事項を記入すること

C/D	検査項目	検査方式		測定器	検査作業要項	合否判定基準
		全数	抜取			
	1. 外径測定	○		マイクロメーター	6角部A-D(イ) B-E(ロ) C-F(ハ) } の測定 上図a点について、(イ)(ロ)(ハ) 3方向測定(測定精度 1/100mm)	
	2. 長さ測定	○		コンパレーター	全長及び先端スリ割り深さ測定 (測定精度 1/100mm)	
	3. スリ割り巾測定	○		スキミゲージ		
	4. ネジ部検査	○		標準ネジ	ネジを挿入して、最深部迄入るかどう りか調べる	
	5. 心ブレ測定	○		標準ネジ ダイヤルゲージ	試料に標準ネジを挿入し、標準ネジ シャフトをVブロック上で回転した 時のa点のブレを、ダイヤルゲージ で測定する	
備考						

技術標準	検査標準	類別	燃料集合体構成部材			
エンドプラグキャップII検査指導票		区分	HBWR IFA-159			
		頁	2/6			
		制定・改訂記録	起案 渡部	審査 三浦	承認 青木	
			制定	43年	月	日
			改定	年	月	日
			改定	年	月	日
			改定	年	月	日

注(1) 上欄には準拠規格その他共通事項を記入すること

C/D	検査項目	検査方式		測定器	検査作業要項	合否判定基準
		全数	抜取			
	1. 外径測定	○		マイクロメーター	6角部A-D(イ) R-E(ロ) C-F(ハ) } を測定する (測定精度 1/100 mm)	
	2. 長さ測定	○		コンパレーター	全長及び先端スリ割り深さ測定 (測定精度 1/100 mm)	
	3. スリ割り巾測定	○		スキミゲージ		
	4. ネジ部検査	○		標準ネジ	ネジを挿入して、最深部まで入るか どうかを調べる	
	5. 心ブレ測定	○		標準ネジ ダイヤルゲージ	試料に挿入したネジのシャフトをV ブロック上で回転した時のa点のブレをダイヤルゲージで測定する	
備考						

技術標準	検査標準	類別	燃料集合体構成部材
エンドプラグキャップⅢ検査指導票		区分	HBWR IFA-159
		頁	3/6

	制定・改訂記録	起案 渡部	審査 三浦	承認 青木	
		制定	43年	3月	日
		改定	年	月	日
		改定	年	月	日

注(1) 上欄には準拠規格その他共通事項を記入すること

C/D	検査項目	検査方式		測定器	検査作業要項	合否判定基準
		全数	抜取			
	1. 外径測定	○		マイクロメーター	6角部A-D(1) B-E(2) C-F(2) } を各両端について測定 (測定精度1/100mm)	
	2. 長さ測定	○		ノギス	全長及び、6角部長さ測定 (精度1/20mm)	
	3. ネジ部検査	○		標準ネジ	M5のメネジ部は、標準ネジ挿入により調べる M4のネジは、エンドプラグキャップVのネジを代用する	

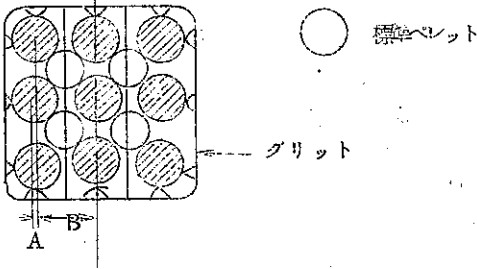
備考

技術標準		検査標準		類別	燃料集合体構成部材		
エンドプラグキャップⅣ検査指導票				区分	HBWR IFA-159		
				頁	4/6		
				制定・改訂記録	起案	審査	承認
					渡部	三浦	青木
					制訂	43年 3 月 日	
					改定	年 月 日	
					改定	年 月 日	
注(1) 上欄には標準規格その他共通事項を記入すること							
C/D	検査項目	検査方式		測定器	検査作業要項	合否判定基準	
		全数	抜取				
	1. 外径測定	○		マイクロメーター	6角部A-D } B-E } を測定する C-F } (測定精度 1/100mm)		
	2. 長さ測定	○		コンパレータ	全長の測定をする (精度測定 1/100mm)		
	3. ネジ部検査	○		標準ネジ	ネジを挿入して、最深部迄入るかどうか調べる		
	4. 心ブレ測定	○		標準ネジ ダイヤルゲージ	試料に標準ネジを挿入し、ネジのシャフトをVブロック上で回転したときのa点のブレをダイヤルゲージで測定する		
備考							

技術標準	検査標準	類別	燃料集合体構成部材			
エンドプラグキャップV検査指導票		区分	HBWR IFA-159			
		頁	5/6			
		制定・改訂記録	起案	審査	承認	
			渡部	三浦	青木	
			制定	43年	3月	日
			改定	年	月	日
			改定	年	月	日

注(1) 上欄には準拠規格その他共通事項を記入すること

C/D	検査項目	検査方式		測定器	検査作業要項	合否判定基準
		全数	抜取			
	1. 外径測定	○		マイクロメーター	6角部 A-D } B-E } を測定 C-F } (測定精度 1/100mm)	
	2. 長さ測定	○		コンパレーター	全長及び先端スリ割り深さ測定 (精度 1/100mm)	
	3. スリ割り巾測定	○		スキミゲージ		
	4. ネジ部検査	○		標準ネジ	ネジを挿入し最深部迄入るか調べる	
	5. 心ぶれ測定	○		標準ネジ ダイヤルゲージ	試料に挿入したネジのシャフトを Vブロック上で回転した時のa点 のブレをダイヤルゲージで測定	
備考						

技術標準	検査標準	類別	燃料集合体構成部材			
グリッド検査指導票 (センタースペーサー)		区分	HBWR IFA-159			
		頁	6/6			
 <p>標準ペレット</p> <p>グリッド</p> <p>A B</p>		制定・改訂記録	起案	審査	承認	
			渡部	三浦	青木	
			制定	43年	3月	日
			改定	年	月	日
			改定	年	月	日

注1) 上欄には基準規格その他共通事項を記入すること。

C/D	検査項目	検査方式		測定器	検査作業要項	合格判定基準
		全ス	抜取			
	ピッチ測定	○	4ヶ	投影器 標準ワク 標準ゲージ(ペレット)	検査用グリッドを、標準外枠にはめ込みそれに標準ゲージを挿入する。標準ペレットの中央部ピットによりたて、よこ、各行、列につき、A(芯ずれ)B(ピッチ)を測定する。	

備考

4.7 モックアップ集合体の試験

(大竹, 高橋)

4.7.1 燃料集合体用グリッド作成に関する試験

HALDEN用グリッドは、この試験を始める前にすでに井滝係長により大体の構造として Fig. 4.7.1 に示すような型が考えられていたが、これに対する構造的な試験はまだ行なわれていなかった。

Fig. 4.7.1 の構造は、内側に円輪をくしざしにするように二本の支持をもつもので、四つの円輪はパイプを輪切りにした形で、中心に通された $1\text{mm}\phi$ の棒に溶接またはろう付で固定される。さらに周囲の枠には 1.7mm 高さの突起がついていて、燃料棒は円輪と突起によって支えられている。

この型状をさらに細部にわたって設計課内で検討を行ない、次の結果を得た。

- ① 中央の円輪部は、もし溶接が悪い場合、くしざし型の二本の支持まわりに回転することが考えられる。
- ② 円輪の部分はバネ性が全くないため、燃料棒にキズがつくことが考えられる。
- ③ グリッドは燃料棒表面にキズをつけず、かつ燃料棒相互の間隔を保てる位にバネ力があること。
- ④ 組立が容易であること。

そのため中央の円輪を一部修正した型を考え、円輪のバネ力の試験を行なった。

(1) 試験 1 中央円輪部のバネ力テスト (i)

Fig. 4.7.1 において、中央円輪部は SUS パイプを用いるが、構造上バネ力は全く期待できないので、Fig. 4.7.2 に示す如く、円輪に切込みを入れて、バネ性を得る試みを行なった。

材料は SUS 27 のパイプを用い、切込みは全周にわたって、上下に 6 か所、12 か所、16 ケ所に入れた。この場合のくしざし型の二本の支持は 1mm 厚の SUS 27 板材を用いた。

試験方法は Fig. 4.7.3 に示すように、標準分鋼を、試験片の上に置いた板の両側からつるし、試験片に荷重を与え、その時のたわみ量を板の上で接しているダイヤルゲージで測定した。このダイヤルゲージはあらかじめ力を加えて変位させておくため、試験片に標準分鋼をつるさなくても、荷重がかかっているが、その力を前もって測定したところ、約 100gr であり、この力は測定には大きく影響しないと見て良いと思われる。

また、分鋼をかける時は、かならず一度荷重が 0 の状態にもどして、基準点を測定した後、次の分鋼をかけるようにした。

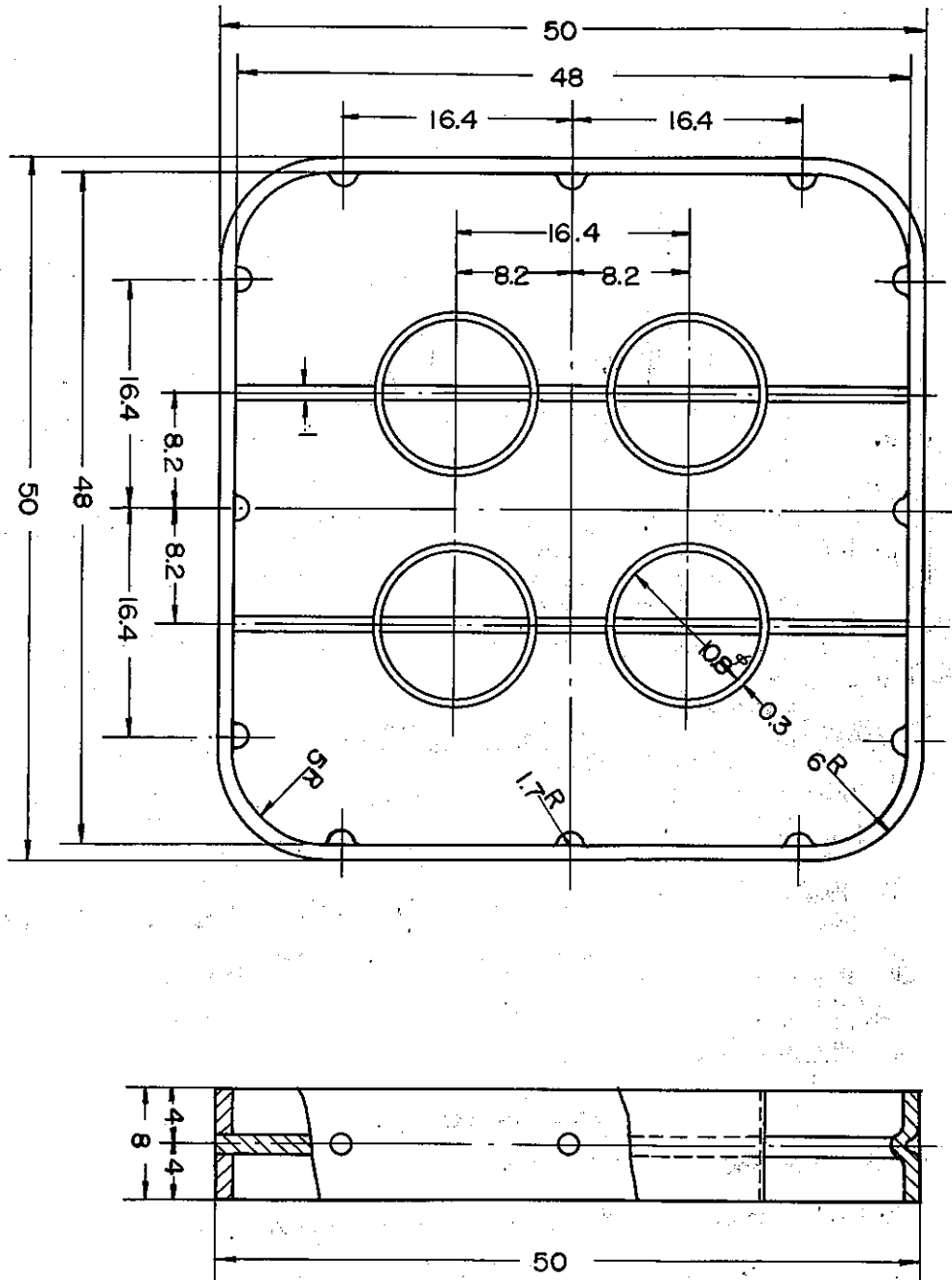


Fig- 4.7.1 HALDEN-159グリッド

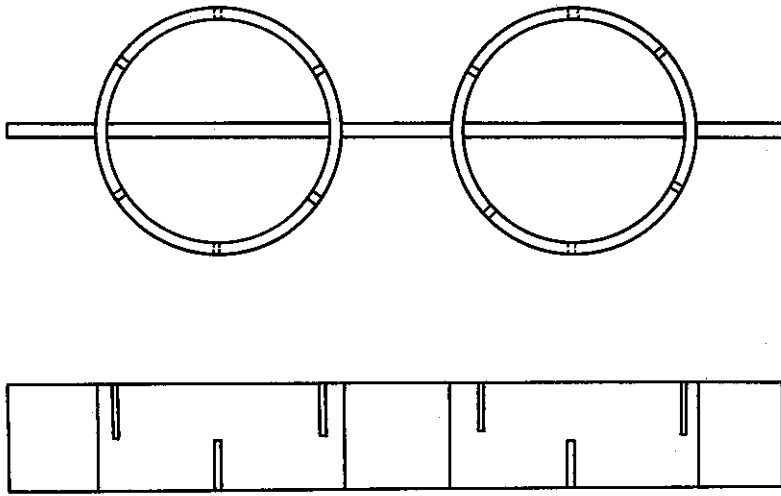


Fig. 4.7.2 中央円輪部の構造 (6 か所切込)

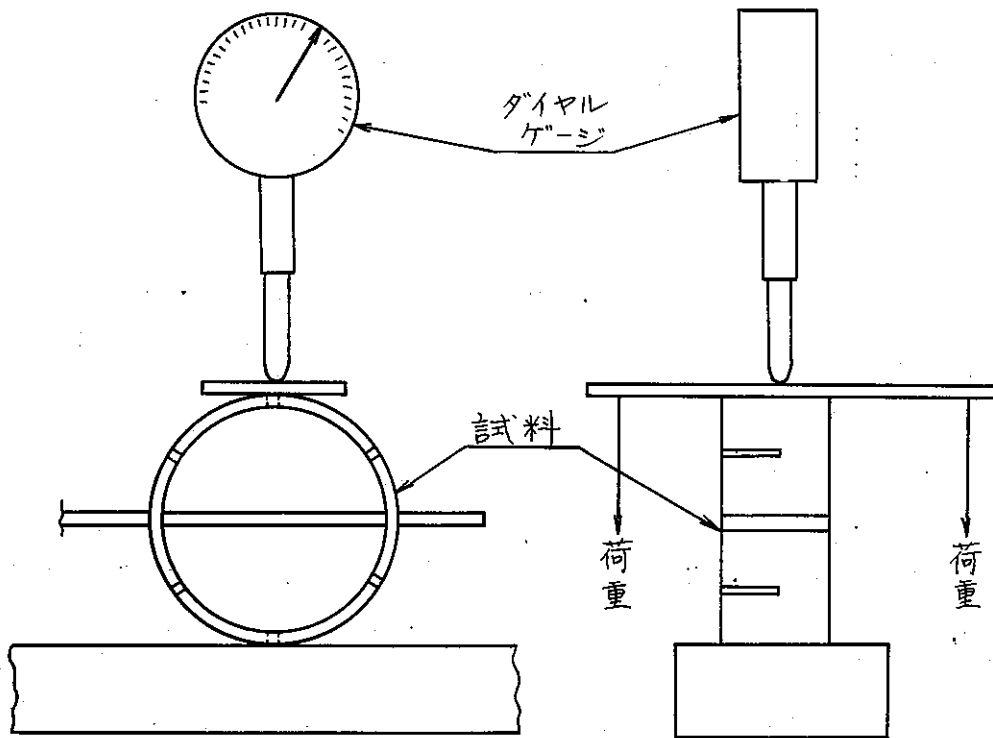


Fig. 4.7.3 実験装置の概要

この結果を Table 4.7.1 に示す。この表より見ると、バネ力は全く期待できないので、中央円輪部分の構造を変更する事を考えた。

この試験を次に述べる。

Table 4.7.1 中央円輪部のバネ力テスト結果 (1)
(たわみ量と荷重の関係)

荷重	切込なし		6 か所		1 2 か所		1 6 か所	
	A (mm)	B (mm)	A (mm)	B	A	B	A	B
0 kg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.0	0.0	0.0						
1.4 2			0.0	0.0	0.0 3	0.0	0.1 0	0.0
2.0	0.0 1	0.0						
2.4 2			0.1 1	0.0	0.1 4	0.0 9	0.1 3	0.0
3.0	0.0 1	0.0						
3.4 2			0.1 6	0.0 5	0.3 2	0.1 9	0.2 7	0.0 8
4.0	0.0 2	0.0						
4.4 2			0.2 2	0.0 5	0.3 7	0.1 9	0.3 4	0.1 8
5.0	0.0 6	0.0 4						
5.4 2			0.2 8	0.1 0	0.5 2	0.2 8	0.4 3	0.1 8
6.0	0.0 8	0.0 4						
6.4 2			0.3 9	0.1 1	0.5 4	0.3 7	0.4 5	0.2 8

A: 荷重を加えた時のたわみ量

B: 荷重を 0 kg にした場合の残留歪量 (荷重前の歪を 0.0 mm にしてある。)

(2) 試験 2. 中央円輪部のバネ力テスト(2)

試験 1 において得られた結果に従って、設計課内での討議により Fig. 4.7.4 のように円輪部を改造し、バネ力のテストを行なった。すなわち考え方は片持の曲り梁によりバネ性を得ようとするものである。

試験方法は、試験 1 と全く同じである。

材質は SUS 27, この形状の加工は検査課が行なった。

この結果を Table 4.7.2, 4.7.3 に示す。バネ力がなく永久変型が 1.0 kg 以下の荷重でも起るが、その大きさは 0.0 2~0.0 3 mm であり、許容できる。

(3) 試験 3. 側面の突起のバネ力テスト

中央の円輪部の構造決定に続いて、側面の 9 個の突起のバネ力テストを行なった。この構造の考え方は、中央円輪部と同じであるが、非溶接側のすき間は、大きな永久変型を起こさない程度にたわみ量を制限するためにつけたものである。(Fig. 4.7.5)

試験方法は試験 1 と同じである。

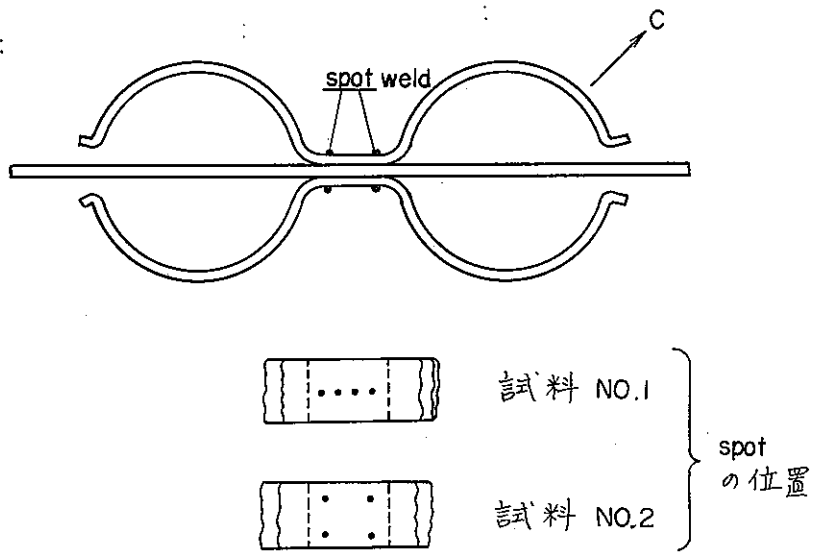


Fig. 4.7.4 中央円輪部の構造

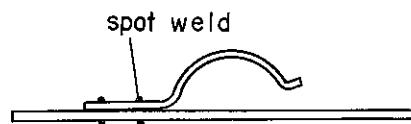


Fig. 4.7.5 側面 の 突起部

材質はSUS 27, この形状の加工は検査課で行った。この結果をTable 4.7.3に示す。

Table 4.7.2 中央円輪部のバネ力テスト結果(2)
(たわみ量と荷重の関係)

荷重 (kg)	試料：No.1		試料：No.2		試料：No.2*	
	A (mm)	B (mm)	A (mm)	B (mm)	A (mm)	B (mm)
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.10	0.032	0.009				
0.21	0.059	0.017	0.085	0.019	0.040	0.020
0.32	0.099	0.019				
0.42			0.152	0.027		
0.54	0.152	0.019				
0.63			0.223	0.022		
0.74	0.210	0.021			0.193	0.006
1.00	0.276	0.023	0.357	0.032	0.284	0.020
1.21	0.329	0.027				
1.31			0.450	0.035		
1.52	0.434	0.043	0.539	0.040	0.530	0.040
1.74	0.501	0.049	0.597	0.042		
2.00	0.572	0.077	0.739	0.129		

A：荷重を加えた時のたわみ量

B：荷重を除いた後のたわみ量（残留歪を示す。）

試料の形状はFig. 4に示す。（試料No.1, No.2の差はspot weldの場所の違いである。）

* 変位の測定場所はFig. 4におけるC方向である。

Table 4.7.3 側面突起部のバネ力テスト

荷重 (kg)	試料：No.1		試料：No.2	
	A	B	A	B
0.	0.0	0.0	0.0	0.0
0.21			0.033	0.006
0.32	0.025	0.004		
0.42			0.059	0.019
0.54	0.040	0.004		
0.63			0.091	0.031
0.74	0.055	0.008		
0.85			0.115	0.041
1.0	0.071	0.010	0.136	0.053
1.21			0.168	0.069
1.32	0.090	0.015		
1.54	0.115	0.024		
1.74	0.140	0.043		

試料No.1, 2はspot weld条件のうち電流を変化させた試料であるが、機械の関係上電流は測定出来ず、機械の目盛で調節したものである。No.1は目盛, 3, No.2は目盛4を用いている。

以上の結果より、Fig. 4.7.6のような構造になったが、燃料棒の重量は、1本当り1.5 kg位であり、この重量をグリッド2個と、下部スペーサーで支えるので、最大1 kgの荷重に耐えられれば良く、Table 4.7.2, 4.7.3, 4.7.4より永久変型も許容されるものと考えられる。

この試験ではSUS 304のAnneal材を用いたが、実際には応力腐食も考え316 L加工材を用いる事にした。これらの試験にSUSを用いたのはInconel材が入手不可能のためであって、グリッド材としてはInconelが好ましいであろう。

次いで応力腐食の試験としてSUS 304と316 Lの比較を行なった。

(4) 試験4. SUS 304とSUS 316 Lの応力腐食試験

試験1, 2, 3に使用したSUS 304はAnneal材であり、実際の照射に使われるのは、316 L加工材であるため、強度が異り、又応力腐食に対する抵抗も異ると思われるので、検査課にオートクレーブを用いた応力腐食試験を依頼した。

試験は、316 L材の購入の状態(0.6 mm厚)とそれを加工した材料(0.6 mmより冷間加工にて0.5 mm厚にする)をA, Bとする。304は同様に購入状態(0.5 mm厚)とその加工材(0.5 mmより0.4 mm厚にする)をC, D, とする。その機械的性質はFig. 4.7.7に示してある。

試験条件は、応力 14 kg/mm^2 , 400°C , オートクレーブ圧力 90 kg/cm^2 , 腐食液は蒸留水+特級食塩で塩素イオン濃度約400 ppmである。Table 4.7.5に条件を示す。また試料の分析値をTable 4.7.6に示す。

この条件で100 hrテストを行い、外観検査に異常がなければあと100 hr 続行した後、引張試験、金相試験により、腐食前試料との比較を行なうようにした。

試験片はJIS 5号とした。

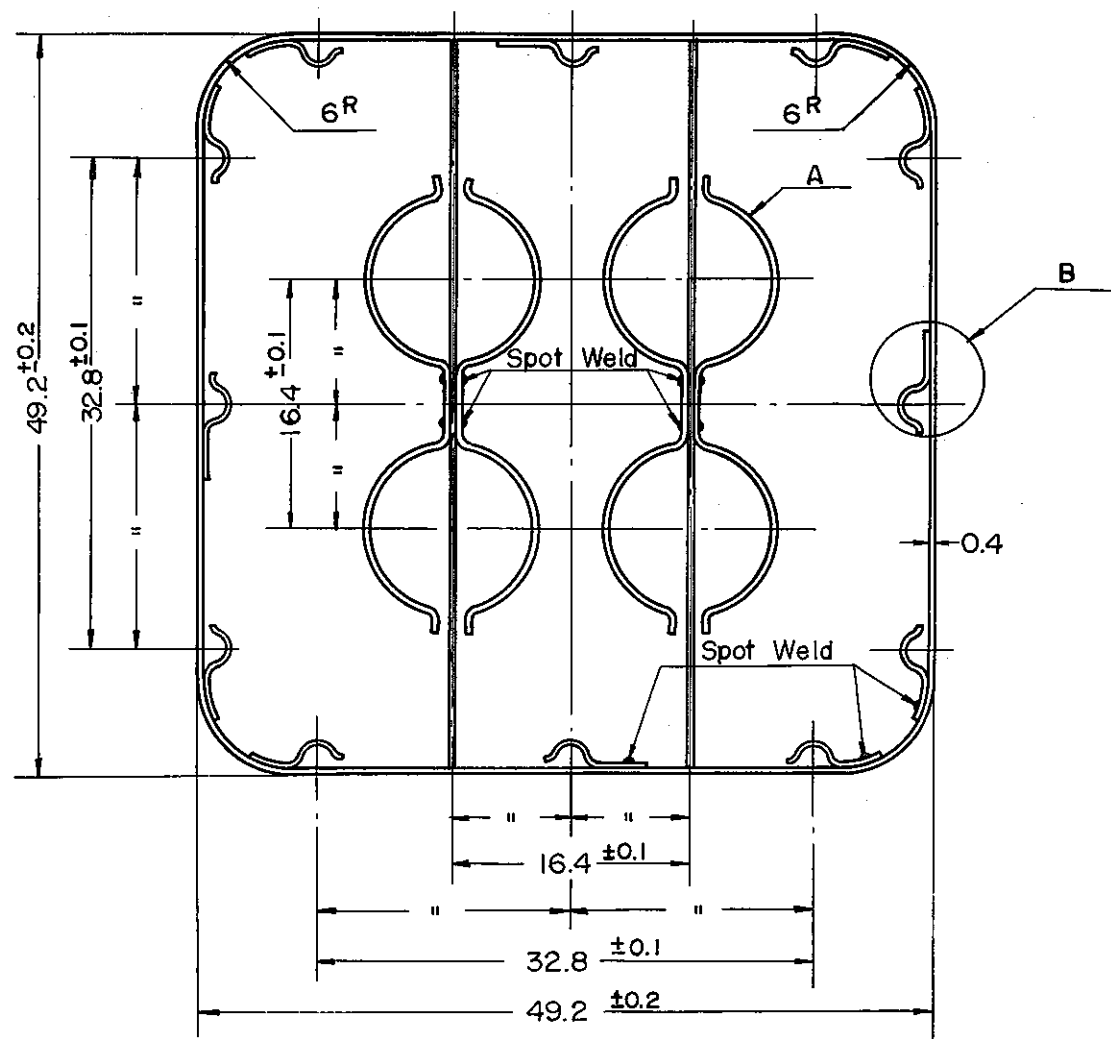
結果

外観検査、100 hr経過時における外観は表面全体が灰黒色を呈し、一部表面に白色の点がみられるものもあったが浸食されていない。

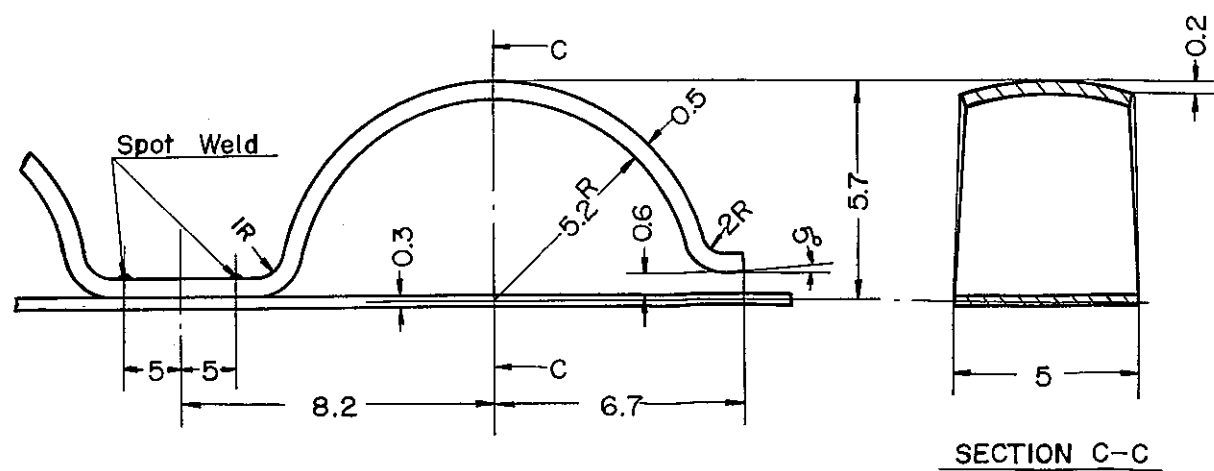
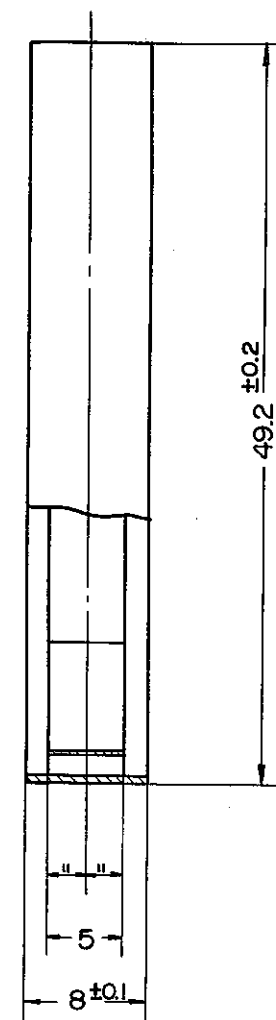
最終200 hr試料については全数黒色に近い色を呈し同じく白色のハン点が一部にみられ、試片平行部の断面も一様に黒色で浸食はみられなかった。

引張試験 試験前試料と100 hrの抜取試料および200 hr試料を比較しても殆んど大差ない。

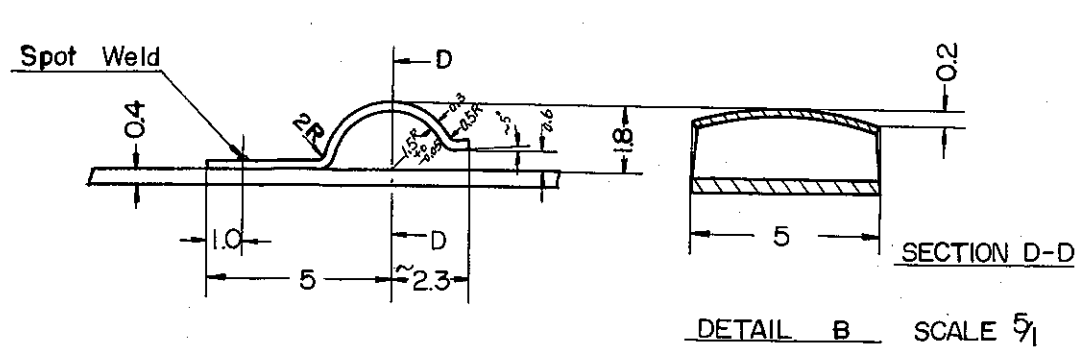
ただしC試料(304材の購入のまま)については他試料と比較して引張強さ、伸びともに低い値を示しているが、原因としては試片調製の仕上げ不良(R部から平行部に移行する部



SCALE $2/1$



DETAIL A SCALE $5/1$



DETAIL B SCALE $5/1$

Fig. 47.6 HALDEN-159 グリット

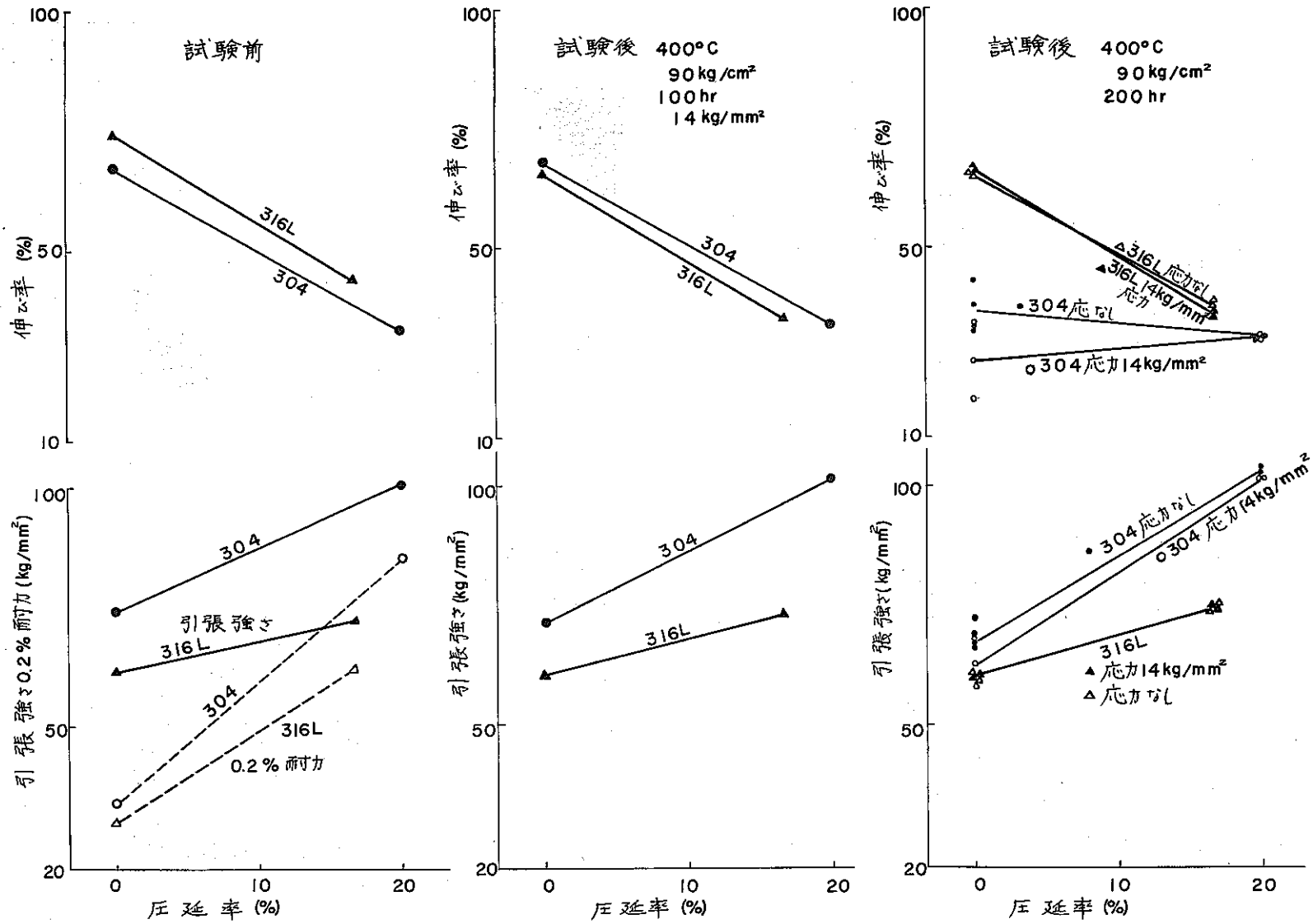


Fig. 4.7.7 応力腐食試験試料 SUS304, 316L 板材の機械的性質

写真 4.7.1

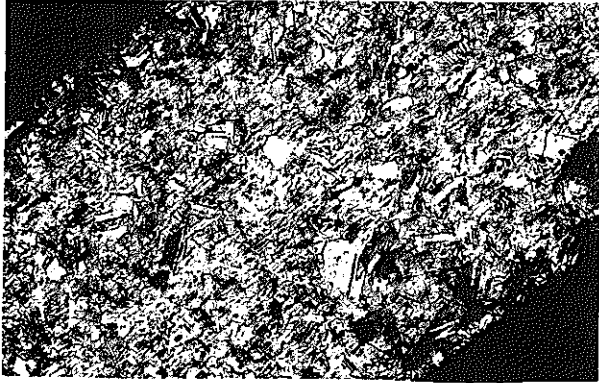
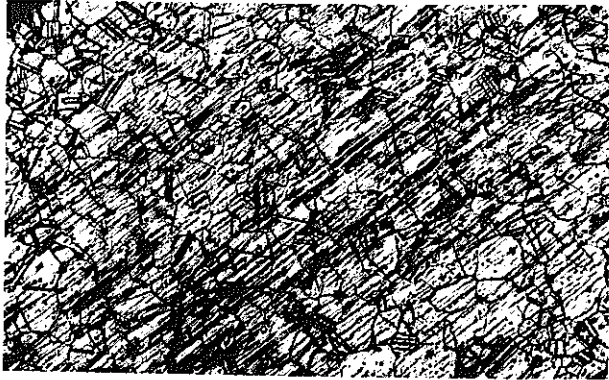


応力腐食試験	<p>304 購入のまま (0.5mm t) ×200</p> 	<p>304 400℃ 90Kg/cm² 200hr Test 14Kg/mm² ×200</p> 
	<p>304 400℃ 90Kg/cm² 100hr Test 14Kg/mm² ×200</p> 	<p>304 400℃ 90Kg/cm² 200hr Test ×200</p> 

写真 4.7.2

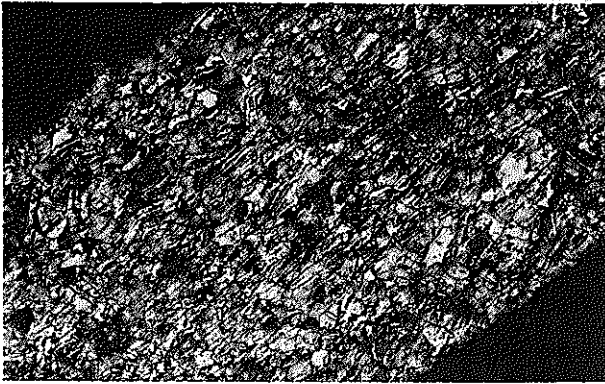
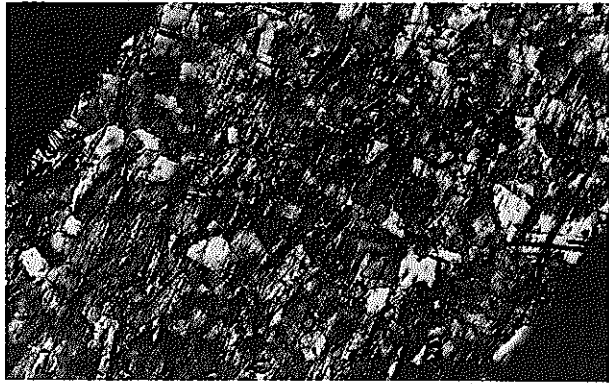
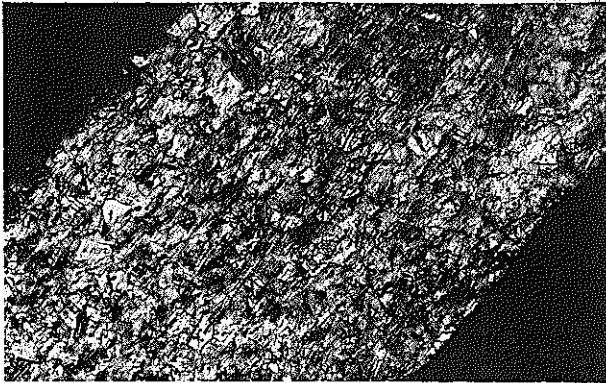
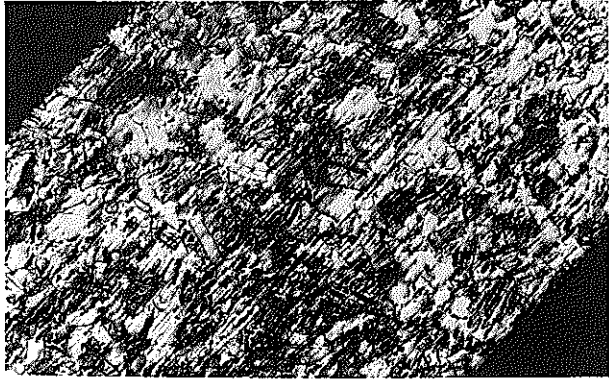
応 力 腐 食 試 験	304 加工材 (0.5mmt → 0.4mmt) ×200	304 加工材 (0.5mmt → 0.4mmt) ×200 400°C 90Kg/cm ² 200hr Test 14Kg/mm ²
		
	304 加工材 (0.5mmt → 0.4mmt) ×200 400°C 90Kg/cm ² 100hr Test 14Kg/mm ²	304 加工材 (0.5mmt → 0.4mmt) ×200 400°C 90Kg/cm ² 200hr Test
		

写真 4.7.3


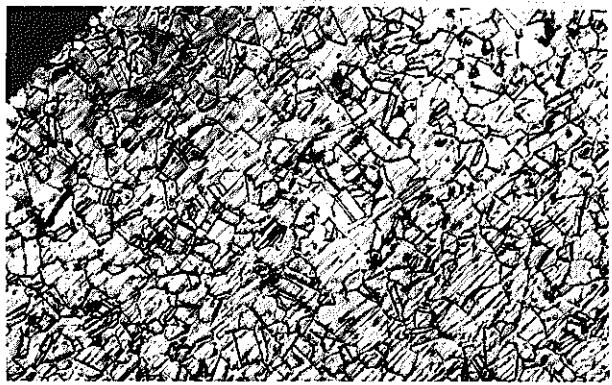
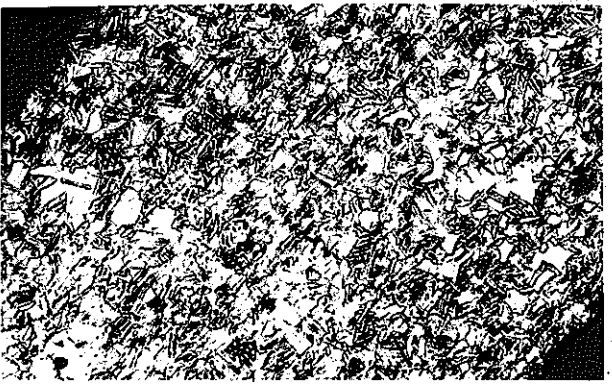

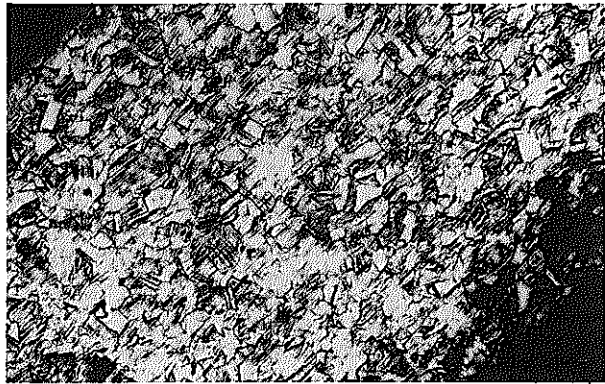
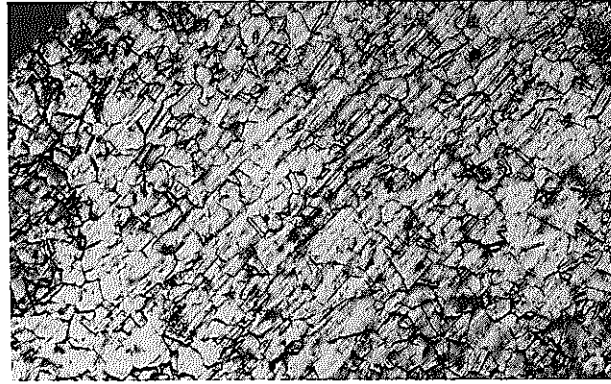

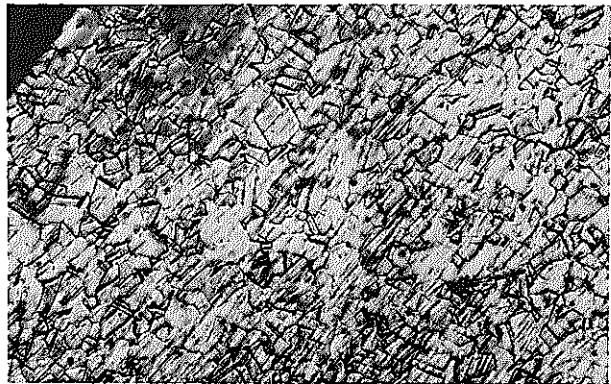
応 力 腐 食 試 験	316L 購入のまま (0.6mmt) × 200	316L 400℃ 90Kg/cm ² 200hr Test $\frac{14Kg}{mm^2}$ (0.6mmt) × 200
		
	316L 400℃ 90Kg/cm ² $\frac{14Kg}{mm^2}$ 100hr Test (0.6mmt) × 200	316L 400℃ 90Kg/cm ² 200hr Test (0.6mmt) × 200
		

写真 4.7.4

応 力 腐 食 試 験	316L 加工材 (0.6mmt → 0.5mmt) × 200	316L 加工材 (0.6mmt → 0.5mmt) 400℃ 90Kg/cm ² 200 hr Test 14Kg/mm ² × 200
		
	316L 加工材 (0.6mmt → 0.5mmt) 400℃ 90Kg/cm ² 100 hr Test 14Kg/mm ² × 200	316L 加工材 (0.6mmt → 0.5mmt) 400℃ 90Kg/cm ² 200 hr Test × 200
		

分)が考えられる。

金相試験 各試料を抜取で破断部に近い部分の断面金相試験を行ったが、一部に変化が認められたものもあるが殆んど差異はない。写真4.7.1~4.7.4にそれらを示す。

Table 4.7.5 HBWR 応力腐食試料引張試験

腐食前試験						
試料番号	σ_B kg/mm ²	$\sigma_{0.2}$ kg/mm ²	ϵ %	ヤング率 kg/mm ²	備考	
304	O1	74.2	33.9	67.3	8.8×10^3	購入のまま (0.5mm ^t)
	D1	100.5	84.9	32.8	3.2×10^4	加工材 (0.4mm ^t)
316L	A1	61.5	29.7	74.3	7.7×10^3	購入のまま (0.6mm ^t)
	B1	72.3	61.9	43.8	3.2×10^4	加工材 (0.5mm ^t)
100hr 腐食試験 (400°C 90 kg/cm ²)						
試料番号	σ_B kg/mm ²	ϵ %	破断所	応力	備考	
304	O3	71.5	68.3	A	14 kg/mm ²	購入のまま (0.5mm ^t)
	D11	101.5	33.8	"		加工材 (0.4mm ^t)
316L	A4	60.5	65.7	"	14 kg/mm ²	購入のまま (0.6mm ^t)
	B11	73.3	35.4	"		加工材 (0.5mm ^t)
200hr 腐食試験 (400°C 90 kg/cm ²)						
316L	A2	60.4	66.7	B	14 kg/mm ²	購入のまま (0.6mm ^t)
	A3	60.5	66.2	A	"	
	A6	60.7	65.1	"	"	
	A7	60.8	66.0	"	"	
	B2	74.9	36.2	"	14 kg/mm ²	加工材 (0.5mm ^t)
	B3	74.2	35.2	"	"	
	B6	74.4	36.9	"	"	
	B7	74.6	36.5	"	"	
304	C1	67.8	34.1	標線外	14 kg/mm ²	購入のまま (0.5mm ^t)
	C4	62.1	26.1	C	"	
	C6	68.3	32.3	標線外	"	
	C7	67.1	33.5	B	"	
	D2	101.3	30.2	"	14 kg/mm ²	加工材 (0.6mm ^t)
	D3	101.3	30.7	A	"	
	D6	102.5	30.6	"	"	
	D7	103.3	30.0	"	"	

Table 4.7.6 HBWR 応力腐食試験液分析値

	塩素イオン濃度 ppm	溶存酸素 ppm	PH
試験前	380	10.4	5.00
試験後 (100hr Test)	830	6.1	6.10
試験前 (更新)	354	97	618
試験後 (100hr Test)	654	63	668

4.7.2 グリッド間隔の決定

HALDEN側より提案として中間に2個のグリッドを入れる案が出されたため、その位置の決定のために、簡単な計算を行なった。

この計算仮定として、

- ① 下端完全固定、
- ② 燃料棒全長にわたって、燃料ペレットが入っているとす、(すなわち全長にわたって等分布荷重)
- ③ 集合体を横にした場合、2個のグリッドには等しい力が加わるようにする。

と考え、梁のたわみの公式を用いて計算した。(Fig. 4.7.8)

この結果、各部の応力比は、 $l_1 = l_2 = l = 2 : 5 : 6$ の時、 $R_B = R_C = R_D = 3.4 : 3.9 : 1$ であった。

たわみ曲線はFig. 4.7.8に示すようになる。この時ピン表面の最大応力は、 1.16 kg/mm^2 最大たわみは約 0.46 mm である。これらの値では問題にはならないであろう。

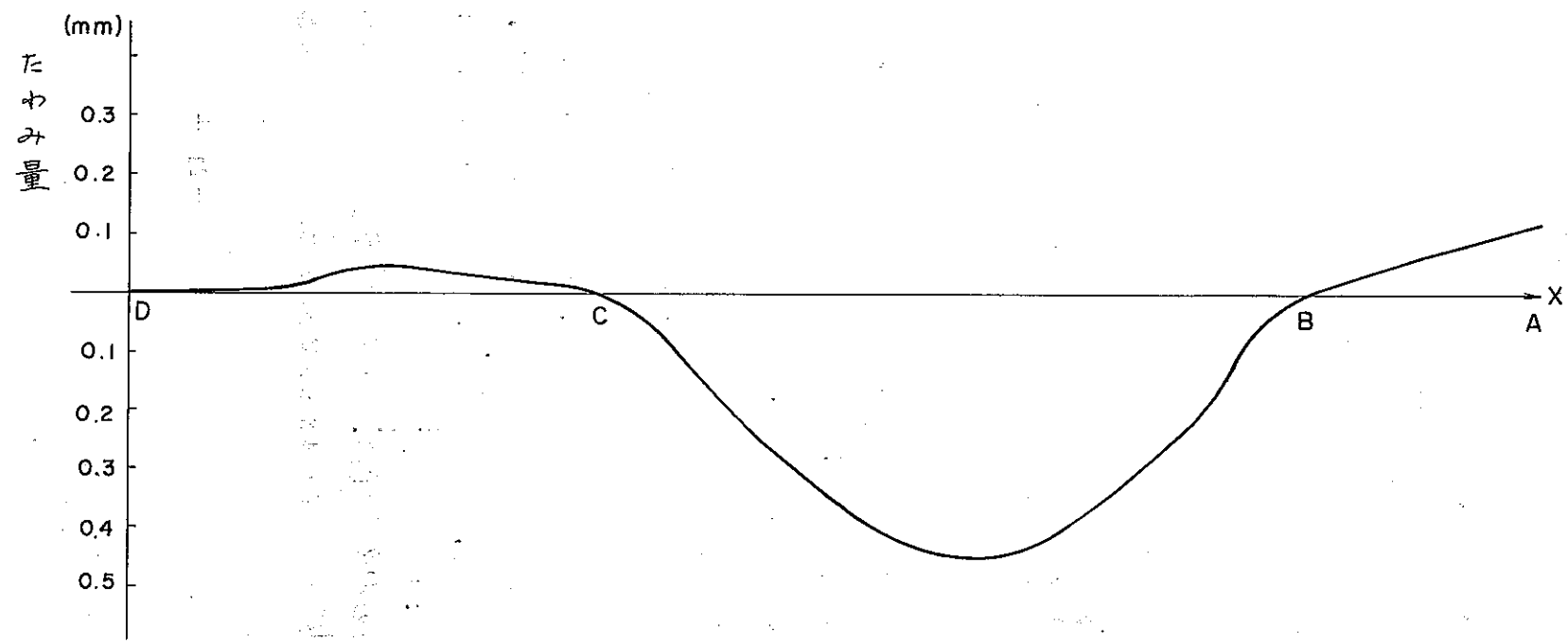
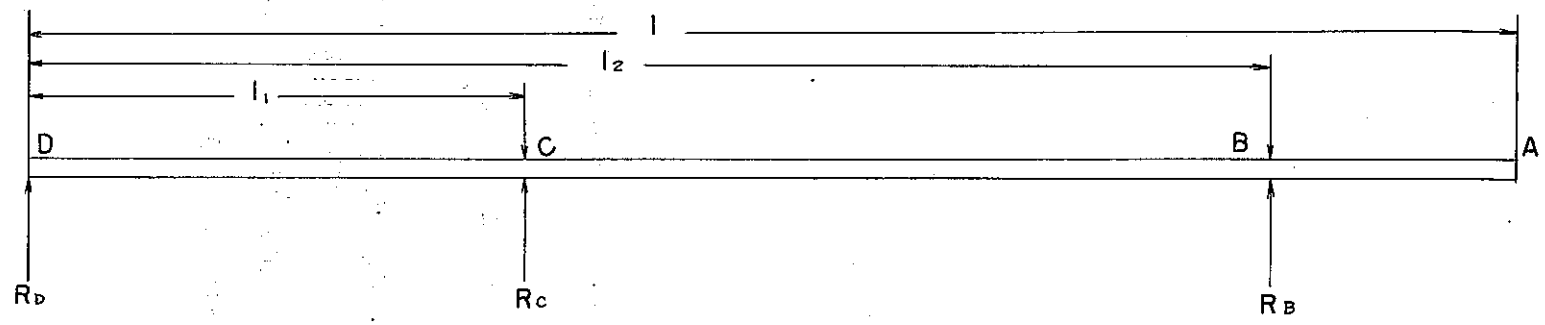


Fig- 4.7.8 燃料棒たわみ曲線

4.7.3 集合体の水流動実験

HALDEN-159, 160集合体のモックアップ試験として、流体圧力損失の測定、振動の測定を行った。

ループは单相流であり、水温も60°C位であるので、HALDEN, HBWRの条件である240°C, 二相流とは異なるが、一応の比較の目安にはなる。

○ HALDEN - 159 Mock up 用集合体

HALDEN 照射用 shroud を型どった Zn メッキした鉄製の channel box に assembly を組み込み、水ループのテストセクションに挿入して流体圧損を測定した。測定装置を Fig. 4.7.9 に示す。

燃料棒は、11.7 mm ϕ Zry-II tube に 10.2 mm ϕ X 10 mm 長さの鉄製ペレットを入れて、密封したものである。全長は 1570 mm で、全部で 9 本ある。

燃料棒の固定方法は 9 本中 4 本を用いて channel box の壁に固定し、残り 5 本は、固定された 4 本によって支えられているスペーサー（下部スペーサー）に固定されている。

これらの寸法はすべて HALDEN 照射用 Assembly と同じである。

○ HALDEN - 160 Mock-up 用集合体

159 と異なる所はグリッドと燃料棒である。グリッドは図番 T 442-10500 (64 頁) に示す。燃料棒は 12.23 mm 外径肉厚 0.7 mm の Zry-2 (酸化被膜なし) clad に 20 mesh, 60 mesh, 100 mesh の鉄粉をそれぞれ 6 : 2 : 2 に混合充填し、VIPAC の照射用燃料棒を模擬したものである。

他の部品は HALDEN - 160 集合体と同じ材質、形状で流動実験用 channel box も HALDEN - 159 Mockup up 試験と同じものを用いた。

測定装置を Fig. 4.7.10 に示す。

測定方法

測定は、差圧、流速、水温について行った。又振動は HALDEN - 160 のみ測定した。

差圧は Fig. 4.7.9, 4.7.10 の A, B 点に静圧取出口をあげ、6 mm ϕ 圧力導管にて、水銀マンノメーターまで導き水銀の高さの差を測定した。

流速は、集合体入口に位置する電磁流量計にて流量を測定し、集合体内の流速に換算した。すなわち

$$U = \frac{\text{電磁流量計での流量}}{\text{集合体流路断面積}}$$

水温は Cu-Con 熱電対を集合体入口に挿入し、打点式記録計により起電力を測定し、温度に換算した。

振動は、燃料棒にストレインゲージを円周方向に180度をはなして二枚はり、振動によるゲージの抵抗変化を電磁オシロで記録させた。

差圧測定データは、マサツ係数(f)とレイノルズ(Re)の関係に直してまとめた。

$$Re = \frac{U \times d_e}{\nu}$$

$$f = \frac{g_c \cdot d_e}{2 \rho u^2} \times \frac{\Delta P}{L}$$

但し d_e : 水力直径
 ν : 動粘性係数
 ΔP : 測定差圧
 L : 燃料棒全長
 g_c : 重力換算係数

測定結果

HALDEN-159の測定結果をTable 4.7.7に、160をTable 4.7.8に示す。又fとReの関係を図4.7.11に示す。

HALDEN-160の振動測定結果はTable 4.7.8に一所に示した。これを流速と燃料棒表面歪の関係としてFig. 4.7.12にプロットしたが、明かに流速と共に歪は増大する。又ここで、燃料棒を両端単純支持、等分布荷重(流水による力は等しく加わると仮定)とすると、

$$\text{振巾} : \delta = \frac{5}{24} \cdot \frac{l^2}{d} \cdot \epsilon$$

ϵ = ピン表面歪

l = グリッド間隔

d = 燃料棒直径

この式をもとにして計算した振巾をTable 4.7.8に示すが、流速との関係でプロットするとFig. 4.7.13のように、流速の増大と共に振巾が大きくなる。

振動数は、流速の遅い所では低い値であるが、大体120~130cpsと思われる。

HALDEN-159と160の圧損はFig. 4.7.11よりわかるように159は一般の市販のパイプと同じ値でありグリッドの圧損の影響は認められないが、160では少し大きい値

を示しており、グリッドの影響が認められる。

HALDEN 炉は BWR なのでその圧損は、一成分一相流の本実験とは異なるが、1例として一成分二相流の圧損を図示する。(Fig. 4.7.14)この図を用いて本実験結果より二相流の圧損を求めてみる。

今HALDEN-160で $U=5.2\text{ m/sec}$ の時 $\Delta P=0.65\text{ kg/cm}^2$ であり、Fig. 6で7 rod BundleでQuality=20%をとると、

$$\frac{dp}{dL} = \frac{dp}{dL} \times 13.5 = 0.65 \times 13.5 = 8.8\text{ kg/cm}^2$$

もちろんFig. 4.7.13の結果は三角配置であり、又HALDENで照射中はQuality軸方向に変化するので、上記の値は正しくないが、目安は立つであろう。

Table 4.7.7 HALDEN - 159 : 測定結果

実験番号	差 圧 mm Hg	流速 m/sec		動粘性係数		レイノルズ数 $\times 10^5$	アサツ係数 $\times 10^3$
		流量計流量 (m^3/sec)	Channel box 流 速	水 温	m^2/sec		
1	78	0.379	2.52	20	1.01	0.288	5.45
2	170	0.580	3.86	25	0.90	0.495	5.07
3	294	0.710	4.73	27.5	0.85	0.643	5.84
4	380	0.893	5.94	31.9	0.78	0.879	4.78
5	540	0.982	6.54	35.0	0.73	1.035	5.61
6	600	1.094	7.28	37.2	0.70	1.20	5.03
7	640	1.116	7.43	40.0	0.67	1.28	5.15
8	600	1.116	7.43	42.1	0.64	1.34	4.83
9	620	1.138	7.57	44.5	0.62	1.41	4.81
10	620	1.134	7.55	47.0	0.59	1.48	4.83
11	620	1.134	7.55	50.0	0.56	1.56	4.83
12	620	1.152	7.67	52.7	0.54	1.64	4.68
13	590	1.129	7.51	55.0	0.52	1.67	4.65
14	580	1.116	7.43	57.5	0.50	1.72	4.67
15	560	1.094	7.28	60.0	0.48	1.75	4.69
16	440	0.946	6.29	62.0	0.47	1.56	4.94
17	280	0.759	5.05	64.5	0.45	1.30	4.88
18	270	0.714	4.75	66.5	0.44	1.26	5.32
19	210	0.620	4.13	42.1	0.64	0.745	5.47
20	410	0.844	5.62	44.5	0.62	1.05	5.77
21	510	1.018	6.77	50.0	0.56	1.40	4.94
22	690	1.116	7.43	54.0	0.53	1.64	5.55
23	800	1.210	8.05	56.2	0.51	1.82	5.48
24	860	1.254	8.35	63.0	0.46	2.10	5.48
25	710	1.121	7.46	64.5	0.45	1.92	5.67
26	480	0.933	6.21	66.5	0.44	1.65	5.53
27	200	0.620	4.13	69.0	0.42	1.14	5.21

Table 4.7.8 HALDEN-160: 測定結果

HALDEN 水流動実験データ表 (IFA-100) S43.1.2.20, 23, 25

実験番号	流速 m/sec	水温 °C	差圧(マンメータ)		Rod 振 動		
			mmHg	kg/cm ²	振動数c/s	×10 ⁶ ピン表面径mm	×10 ³ 振巾 cm
1	1.15	23.0	60	0.075	125	2.57	1.16
2	3.50	25.0	244	0.306	137	5.30	2.39
3	5.80	28.2	610	0.765	138	4.69	2.12
4	5.20	31.0	520	0.652	132	6.21	2.81
5	4.85	33.0	440	0.552	128	4.69	2.12
6	4.40	34.0	390	0.489	127	4.54	2.05
7	3.50	35.0	305	0.382	126	4.54	2.05
8	3.25	35.5	215	0.269	131	5.98	2.70
9	2.70	37.0	147	0.184	130	3.48	1.57
10	1.70	37.0	78	0.098	154	2.57	1.16
11	0.80	16.0	13	0.016	122	2.88	1.30
12	1.63	20.5	52	0.065	125	2.42	1.09
13	2.70	23.0	140	0.175	126	4.24	1.92
14	3.60	24.5	254	0.318	131	4.54	2.05
15	4.40	26.5	380	0.477	125	5.30	2.39
16	5.60	28.5	600	0.753	135	7.72	3.49
17	0.35	14.5	6	0.007	89	3.78	1.71
18	0.80	17.0	19	0.024	124	2.42	1.09
19	1.15	19.0	36	0.045	125	3.03	1.37
20	1.55	21.0	67	0.084	88	2.65	1.20
21	2.00	22.3	103	0.129	125	3.25	1.47
22	2.45	25.5	145	0.182	124	3.78	1.71
23	3.05	27.0	196	0.246	126	4.69	2.12
24	3.60	28.5	249	0.312	127	4.24	1.92
25	3.95	30.7	304	0.381	123	4.77	2.16
26	4.50	34.0	381	0.478	125	6.06	2.74
27	4.95	36.5	464	0.582	125	7.72	3.49
28	5.20	39.0	516	0.647	125	8.33	3.76
29	6.55	42.0	814	0.021	138	6.81	3.08
30	5.60	43.5	570	0.715	134	5.91	2.67
31	5.10	45.0	474	0.594	126	5.15	2.33
32	4.75	46.5	464	0.582	125	5.07	2.29
33	4.40	48.0	343	0.430	105	4.09	1.85
34	3.80	49.0	288	0.361	127	3.78	1.71
35	3.35	50.0	220	0.276	131	5.15	2.33
36	2.85	51.0	160	0.200	128	3.78	1.71
37	2.00	51.7	97	0.121	115	2.57	1.16
38	1.70	52.5	65	0.081	108	1.82	0.82
39	1.15	54.0	30	0.037	128	2.57	1.16

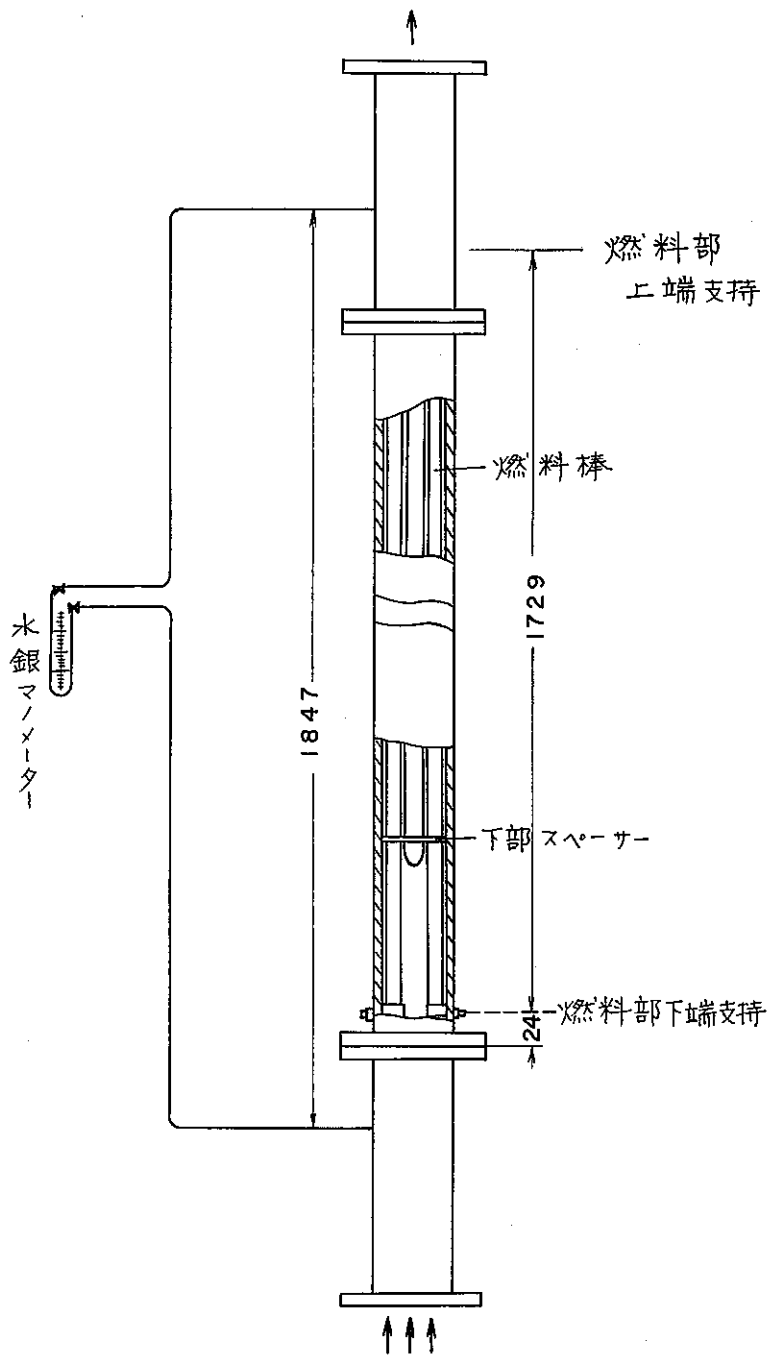


Fig. 4.7.9 HALDEN-159 流動実験用Channel Box

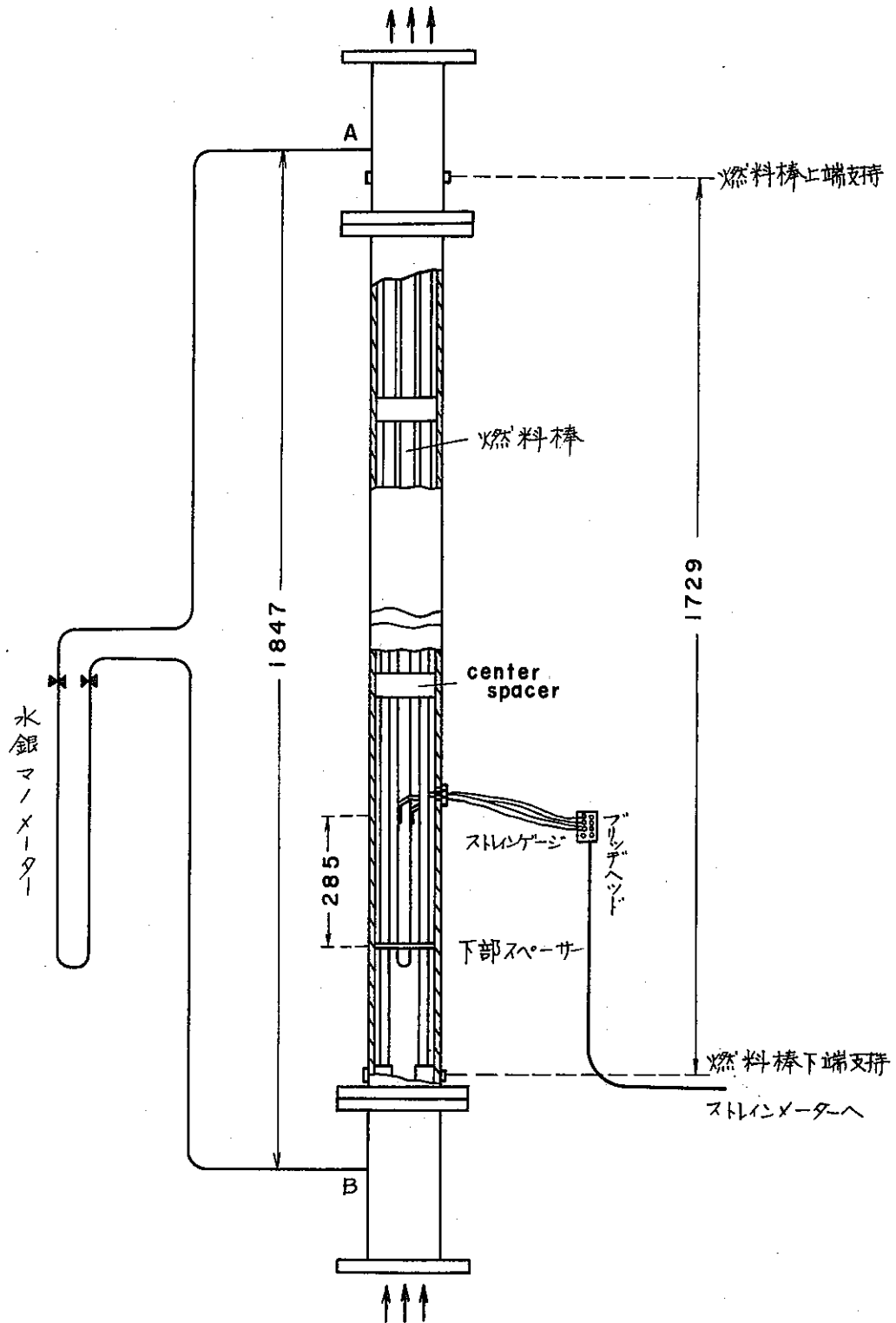


Fig. 4.7.10 HALDEN-160 流動実験用 Channel Box

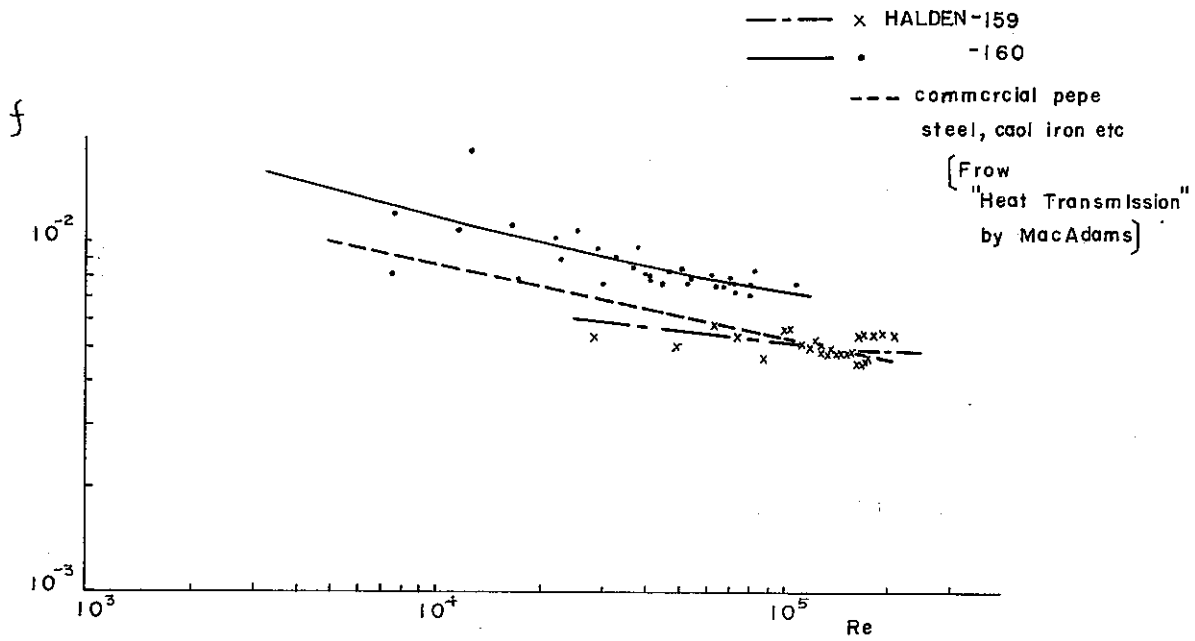


Fig. 4.7.11 マサツ係数とレイノルズ数の関係

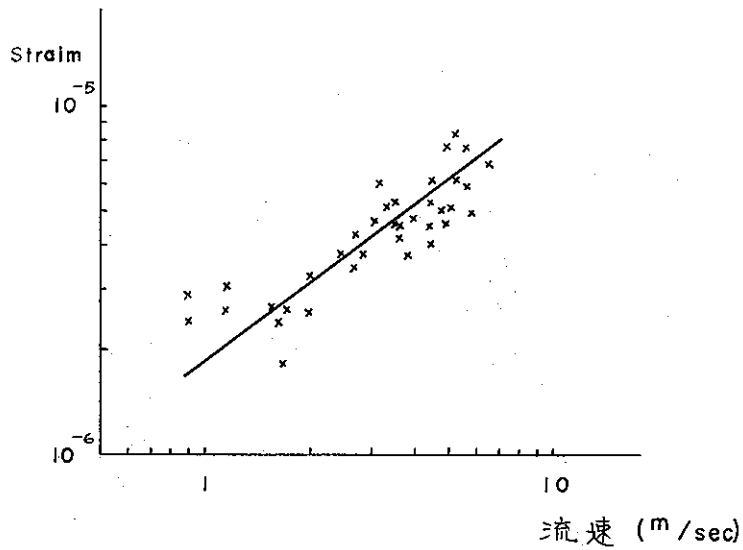


Fig. 4.7.12 燃料棒表面歪と流速の関係 (HALDEN-160)

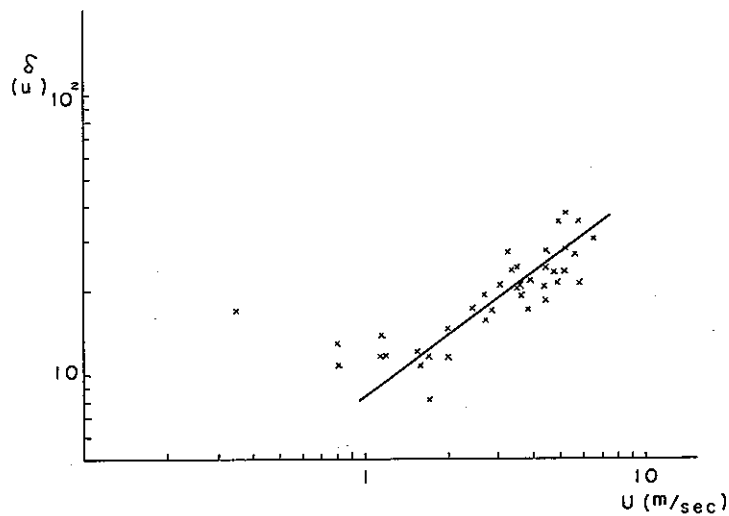


Fig. 4.7.13 流速と振巾の関係 (HALDEN-160)

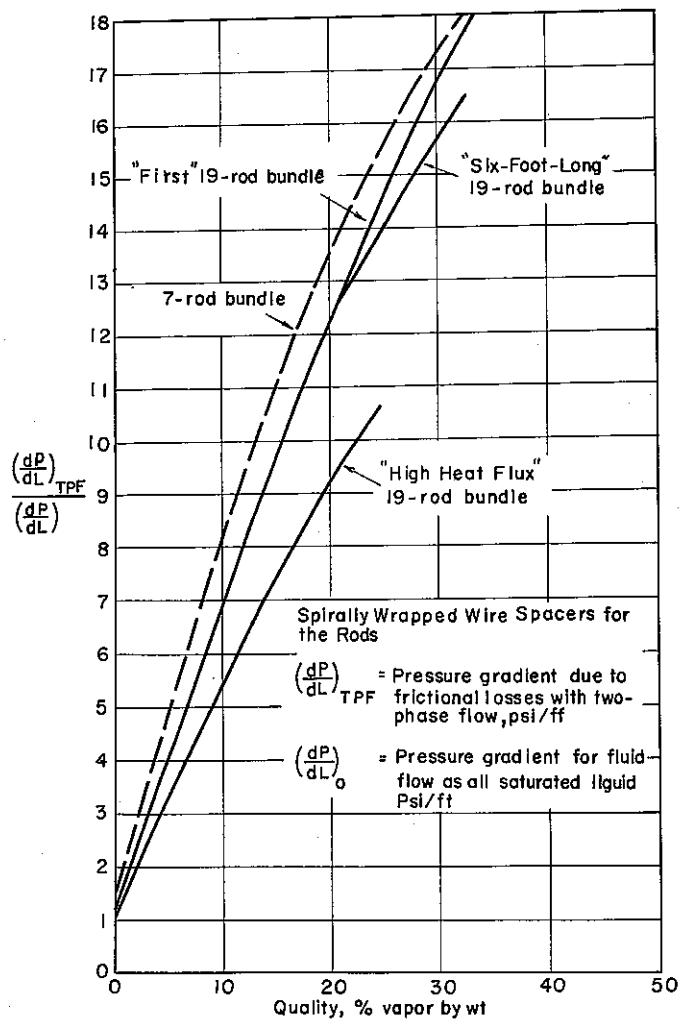


Fig. 4.7.14

4.8 燃料棒内のペレット充填設計

(湯本, 福島)

4.8.1 IFA-159 燃料のペレット配列設計

1) 目的

HBR照射用 IFA-159 燃料棒の製作に当り, $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$ ペレットとジルカロイ被覆管との組合せを決め, また Active Length を 1400 ± 4 mm 以内にするに於ける。

2) 方法

製品 10 本の被覆管とペレットの組合せを決める前にそれぞれ次のように整理した。

a) 被覆管

- i) 検査課の検査結果に基づき^{*1)}被覆管の選定を行ない^{*2)}順位をつけた。
- ii) 第一端栓後の試作課の試験成績に基づき^{*3)}2つのグループに分類した。既ち,

イ) コーナロッドグループ被覆管 4 本

10044

10040

10042

10019

ロ) 中間ロッドグループ被覆管 6 本

10030

10022

10002

10034

10036

10032 or 10025

b) ペレット

- i) 製造係のペレット密度表^{*4)}に基づき, 合格ペレット準合格ペレットを分けてペレット直径の太い順に並べた。
- ii) 次に同直径では Pu linear content の高い順に並べた。
- iii) 更に, 合格ペレットで Pu linear content が設計標準値 (178.3mg/cm) の $\pm 3\%$ 以内のものを選び出した。

以上のペレット在庫分布を Table 4.8.2 に示す。なお H-02, H-06 については, H-02 が Total Gas (0.35cc/g), H-06 が Cl の不純物 (23ppm) となって設計値を超えているため注意すべきペレットとして別に分類した。

Table 4.8.1 ペレット配列組合せ設計のまとめ

燃料棒 分類番号	ジルカロイ被覆管		PuO ₂ -UO ₂ ペレット			全燃料重量	
	整理番号	平均内径	平均直径	実効長	装荷個数	PuO ₂ -UO ₂	Pu
P159-1	10044	10.231 mm	9.999 mm	1399.10 mm	104	1141.05 g	25.05 g
P159-2	10040	10.222	10.024	1399.59	101	1143.81	24.97
P159-3	10042	10.220	10.037	1399.42	99	1153.02	25.05
P159-4	10019	10.213	9.974	1399.78	106	1140.72	25.10
P159-5	10030	10.209	9.952	1399.29	104	1136.36	25.44
P159-6	10022	10.223	10.015	1399.65	101	1143.79	24.87
P159-7	10002	10.223	10.006	1398.72	99	1145.06	25.08
P159-8	10034	10.213	9.967	1399.69	102	1139.40	25.52
P159-9	10036	10.217	9.974	1400.62	103	1135.42	25.55
P159-10	10032	10.204	9.937	1402.79	105	1138.19	25.52

なお、各燃料棒の長さ方向のギャップ間隔については 4.8.2 項に示されている。

参考資料

- *1) 公社HBWRジルカロイ-2管試験条件および判定基準, 検査課, 42年9月
- *2) HBWR照射IFA-159燃料のペレットのつめ方について, 設計課, 43.1.5
- *3) ハルデン燃料棒第一端溶接成績, 加工係, 43.2.9
- *4) Halden ペレット密度表, 乾式グループ, 42年10月

ペレットの整理, 分類, 計算等にFACOM-230の作業で協力いただいた青木氏に感謝いたします。

Table 4.8.2 IFA-159 燃料ペレットの直径、規格別分布

規格 Pellet Dia mm	合格ペレット				準合格ペレット			
	合格* +3% > Cpu > -3%	Linear Pu Content		HO2	HO6	準合格 +6% > Cpu > -8%	HO2	HO6
		+7% > Cpu > +3%	-3% > Cpu > -9%					
10.05	10	0	0	0	0	2	0	0
10.04	71	4	2	0	0	10	0	0
10.03	72	2	10	0	2	15	1	1
10.02	33	8	13	1	0	8	1	2
10.01	36	16	16	5	1	5	1	4
10.00	48	7	9	3	5	6	0	3
9.99	39	13	13	5	8	21	3	1
9.98	43	16	4	4	13	17	1	5
9.97	42	30	6	6	5	35	4	0
9.96	18	14	5	3	6	63	1	1
9.95	6	2	0	0	1	75	1	1
9.94	0	0	0	0	0	68	0	0
9.93	0	0	0	0	0	22	0	0
9.92	1	0	0	0	0	4	0	0
計	419	112	78	27	41	351	13	18

Table 4.8.3 コーナロッドグループ燃料棒ペレット配列分布

Pellet Dia mm	Opu * ±3% 以内のPellet数	ジルカロイパイプ				他のパイプ
		10044	10040	10042	10019	
10.05	10			10		0
10.04	71			71		0
10.03	73		54	18		0
10.02	33		33			0
10.01	37	24	12			0
10.00	48	48	2**			0
9.99	39	32			7	0
9.98	43				43	0
9.97	42				42	0
9.96	18				11	7
9.95	6				3	3
9.94	0					
9.93	0					
9.92	1					1
計	421	104	101	99	106	11

* Cpu: Linear Pu content 178.3 mg/cm (標準設計値)

** 合格ペレットのHO2

Table 4.8.4-1 中間ロッド・グループ燃料棒ベレット配列分布(1)

Pipe No. 規格 ベレット径	10002				10022			
	合格		準合格		合格			
	Linear Pu Content		Linear Pu Content		Linear Pu Content			
	$-3\% > C_{pu} > -9\%$	HO6	HO2	$+6\% > C_{pu} > -8\%$	$+7\% > C_{pu} > +3\%$	$-3\% > C_{pu} > -9\%$	HO2	HO6
10.05				2				
10.04				10	4	2		
10.03			1	15	2	10		2
10.02			1	8	8	13	1	
10.01			1	5	16	16	5	1
10.00				6	7	9		5
9.99	13	6	3	21				
9.98			1	6				
9.97								
9.96								
9.95								
9.94								
9.93								
9.92								
小計	13	6	7	73	37	50	6	8
計	99				101			

Table 4.8.4-2 中間ロッド・グループ燃料棒ベレット配列分布(2)

Pipe No. 規格 ベレット径	10036					10034		
	合格					合格		準合格
	Pu Linear Content							Linear Pu Content
	$+3\% > C_{pu} > -3\%$	$+7\% > C_{pu} > +3\%$	$-3\% > C_{pu} > -9\%$	HO2	HO6	HO2	HO6	$+6\% > C_{pu} > -8\%$
10.05								
10.04								
10.03								
10.02								
10.01								
10.00								
9.99		13		5	2			
9.98		16	4	1	5	4	7	11
9.97		30	6	1	1	3		35
9.96	1	13	5		1			42
9.95								
9.94								
9.93								
9.92								
小計	1	72	15	6	9	7	7	88
計	103					102		

Table 4.8.4-3 中間ロッド・グループ燃料棒ベレット配列分布 (3)

Pipe No 規格 ベレット径	10030						10032	
	合格			準合格			準合格	
	Linear Pu Content		HO2	HO6	HO2	Linear Pu Content	HO2	Linear Pu Content
	+3%>Cpu >-3%	+7%>Cpu >+3%						
10.05								
10.04								
10.03								
10.02								
10.01								
10.00								
9.99								
9.98								
9.97								
9.96	6	1	3	5	1	21		
9.95	3	2				62	1	
9.94							13	
9.93							68	
9.92							21	
							2	
小計	9	3	3	5	1	83	1	
計	104						105	

Table 4.8.5 残ベレット

	合格				準合格		
	Linear Pu Content		HO2	HO6	Linear Pu Content	HO2	HO6
	+3%>Cpu >-3%	+7%<Cpu <-9%					
10.05						0	
10.04						0	
10.03						1	
10.02						2	
10.01						4	
10.00			1			3	
9.99						1	
9.98		1		1		5	
9.97			2	4	4	0	
9.96						1	
9.95				1		1	
9.94						0	
9.93					1	0	
9.92	1				2	0	
計	1	1	3	6	3	4	
残ベレット 計 36コ							

HBWR照射IFA-159燃料のペレット配列変更

Pipe No 10040

57番の HO8-20, 94番のH14-21, を抜き
100番にHO2-20, 101番にHO2-2を入れる。

充填長 1399.92 mm 重量 1143.8376 gr

Pipe No 10036

26番の HO9-47のペレットが欠けている部分があるため、代わりにHO6-126
を入れる。

33番の HO8-211を抜いてHO6-121を入れる。

充填長 1400.11 重量 1134.9837 gr

Pipe No 10032

長さ調節の為 88番N40-22 Height 13.68を抜き105番にH18-123
Height12.10を入れる。

充填長 1401.21 mm 重量 1137.7454 gr

4.8.2 IFA-159燃料のペレット-被覆管間のギャップ間隔

ペレットと被覆管との組合せ、並びに被覆管へのペレット配列にあたり、コーナロッドグループにおいては、最小ギャップがなるべく一様に、かつ0.2mmの直径的ギャップの設計値に近くなるよう考慮した。中間ロッドグループにおいては、燃料棒間のギャップの相違を少なくするように、被覆管を平均最小内径の太い順に、またペレットを直径の大きい順に並べ、大きい方から組合せを決めた。しかしながら、設計値のギャップを保障するための被覆管に相当するペレットがなかったり、また逆にペレット直径に対する適当な被覆管がなかったりして、選択の自由度が少ないため、全燃料棒に対して必ずしも希望どおりにはいかなかった。次に、各燃料棒の直径的ギャップの範囲およびバラツキのまとめを示す。

被覆管分類番号	直径的最小ギャップの範囲	ギャップのバラツキ
コーナロッドグループ		
10044	0.220 ~ 0.245 mm	0.025 mm
10040	0.190 ~ 0.210 mm	0.020 mm
10042	0.175 ~ 0.190 mm	0.015 mm
10019	0.225 ~ 0.260 mm	0.035 mm

中間ロッドグループ

10030	0.240～0.270 mm	0.030 mm
10022	0.190～0.222 mm	0.032 mm
10002	0.170～0.250 mm	0.080 mm
10034	0.230～0.255 mm	0.025 mm
10036	0.225～0.270 mm	0.045 mm
10032	0.252～0.275 mm	0.023 mm

第1群のグラフは使用した被覆管の直角2方向の内径(α 、 β)のエアマイクロメータによるチャート曲線*1である。

第2群のグラフは使用した燃料棒の直径的最小ギャップを示す。

グラフの読み方

第1群のグラフ (232～233頁)

被覆管の直角2方向(α 、 β)の空気マイクロメータによる内径値のチャート曲線を示す。

横軸は被覆管の長さ

縦軸は α 、 β 方向の内径値

第2群のグラフ (234～238頁)

下側の図

被覆管の最小内径値を示す。既に第1群のチャート曲線に基づき、 α 、 β いずれか小さな内径をとり出し、折線的に表わしたグラフである。

横軸は被覆管の長さ

縦軸は内径の最小値

上側の図

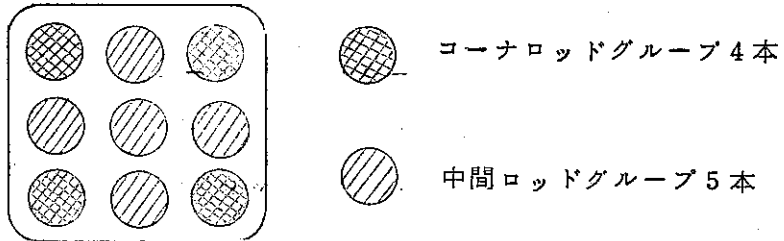
被覆管の最小内径値(下側の図)に対応するペレット装荷時の直径的最小ギャップを示す。

横軸は燃料棒長さ方向で、右側が第1端栓側で最左側の数字は Active Length を示す。

縦軸は直径的最小ギャップを示す。

図中の数字はそこに装荷されているペレットの直径群の値(mm)が示されている。

燃料集合体として組まれるときのコーナロッドおよび中間ロッドグループの燃料棒配置は次のようになる。



*1 公社HBWRジルカローイ-2管試験条件および判定基準, 検査課42年9月

第 1 群 の グ ラ フ

被験管分類番号
10044

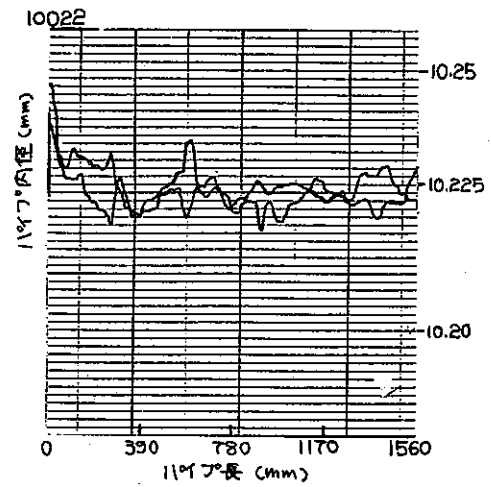
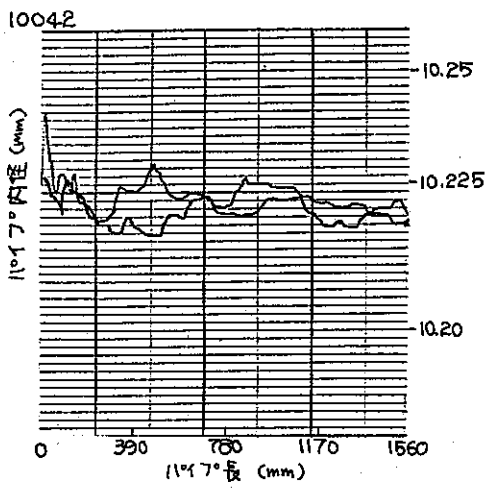
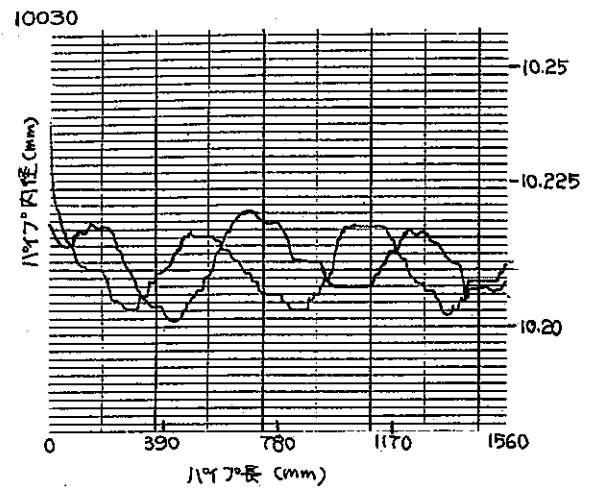
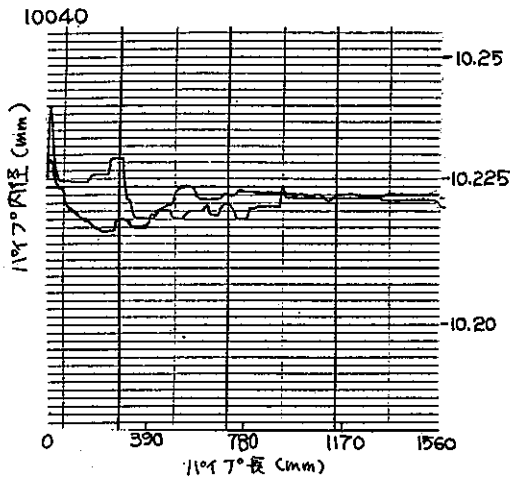
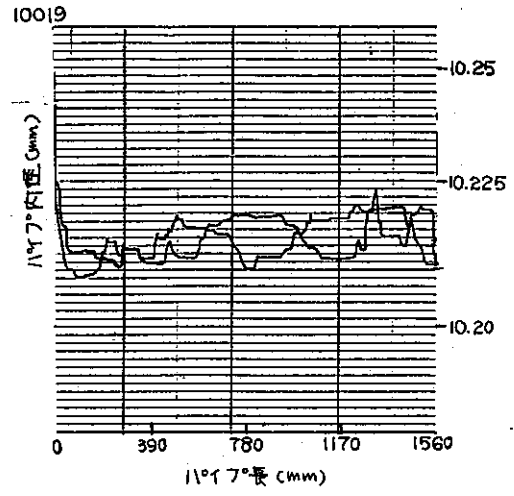
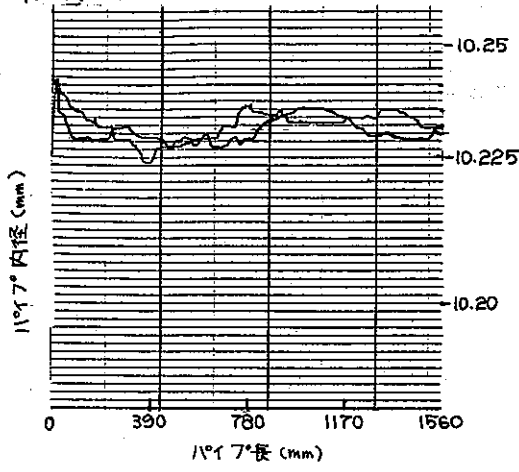


Fig. 4.8.1 ~ 4.8.3

Fig. 4.8.4 ~ 4.8.6

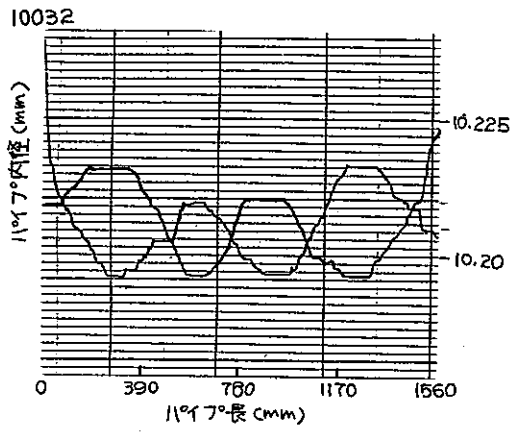
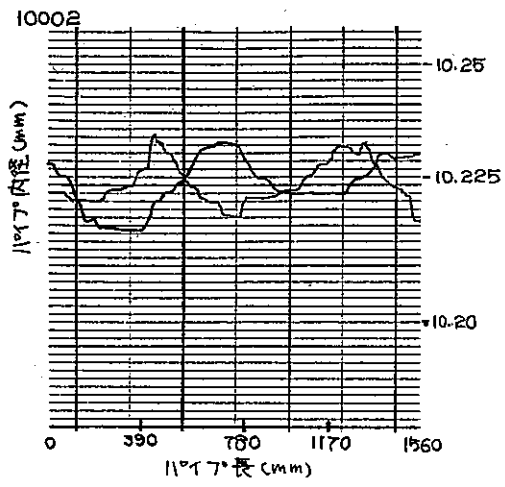


Fig. 4.8.10

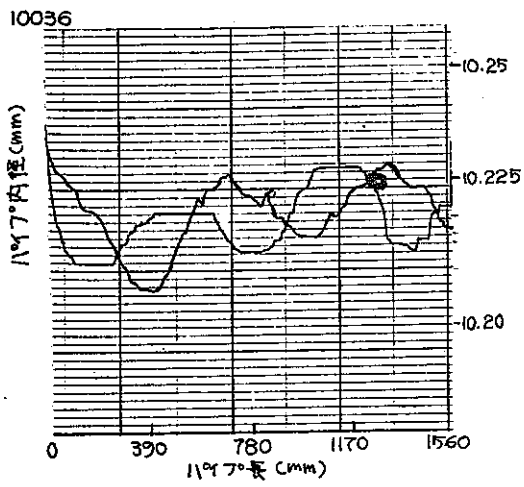
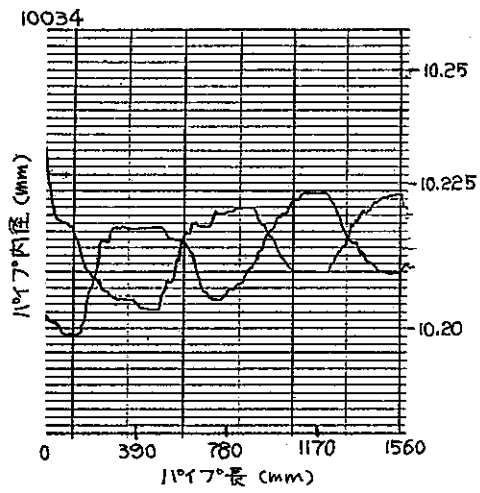


Fig. 4.8.7 ~ 4.8.9

第 2 群 の グ ラ フ

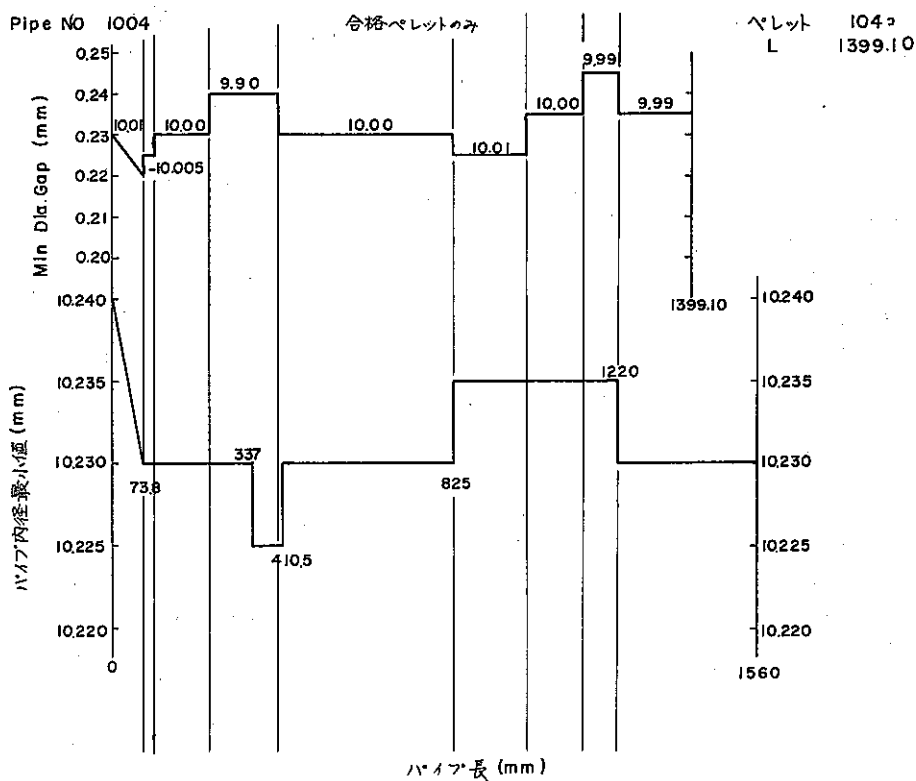


Fig. 4.8.11

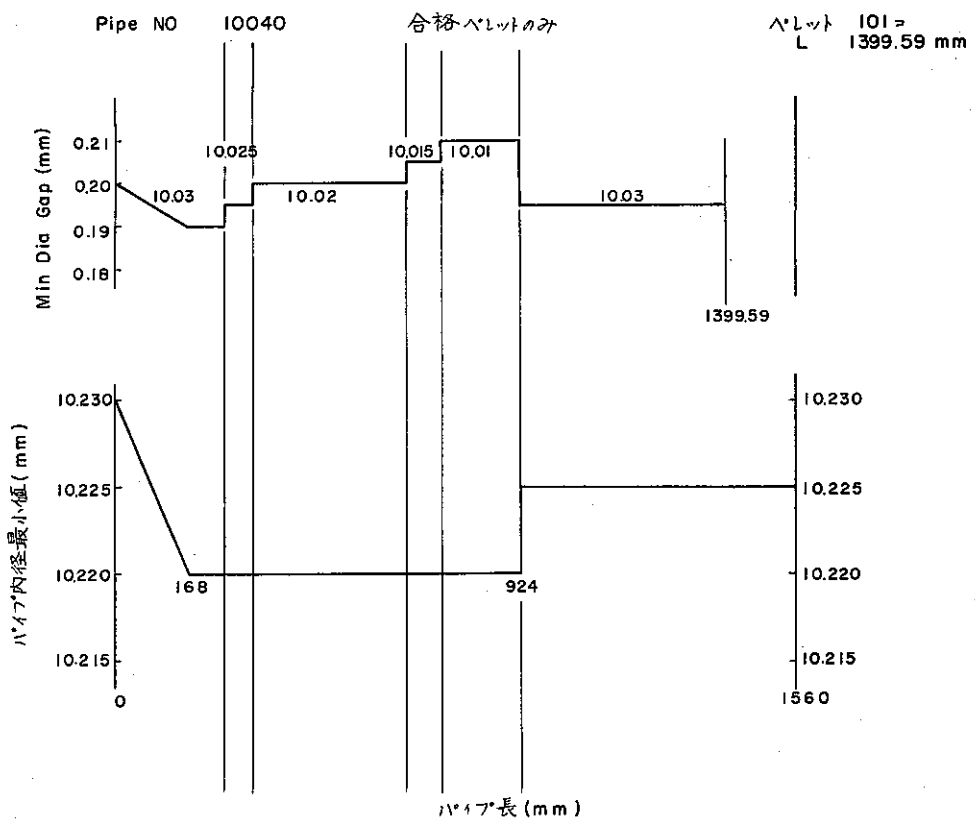


Fig. 4.8.12

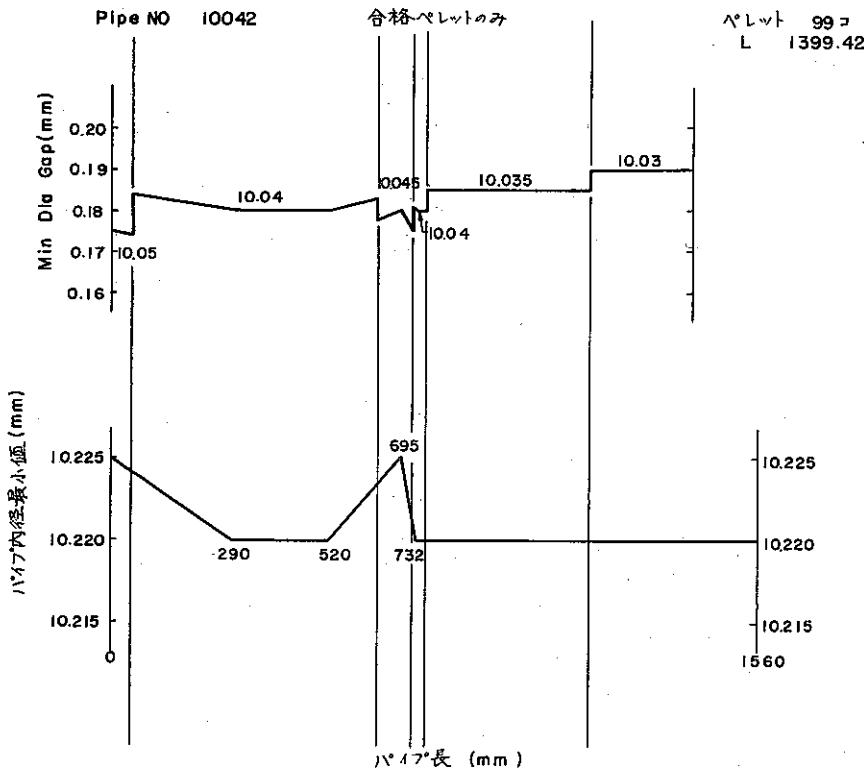


Fig. 4.8.13

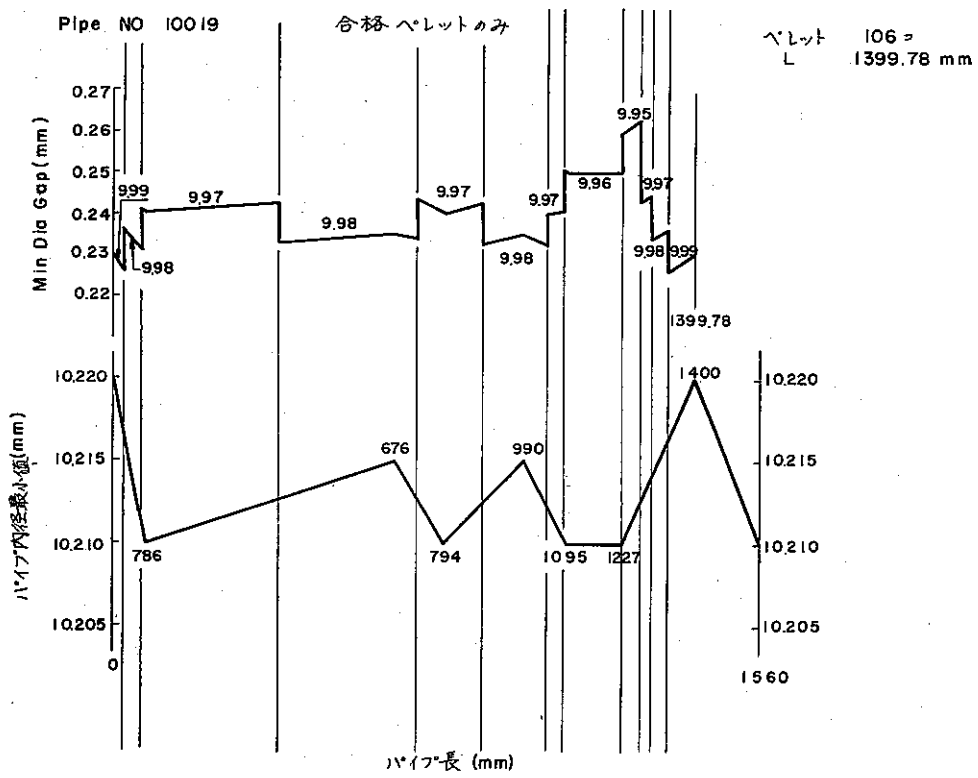


Fig. 4.8.14

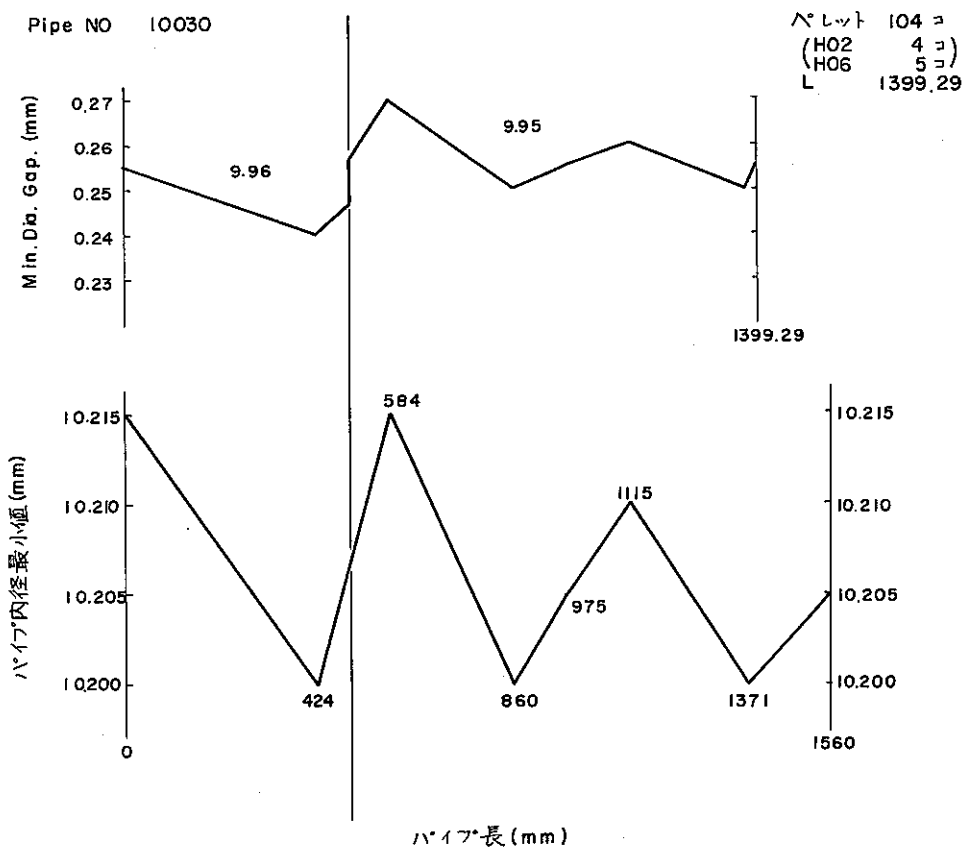


Fig. 4.8.15

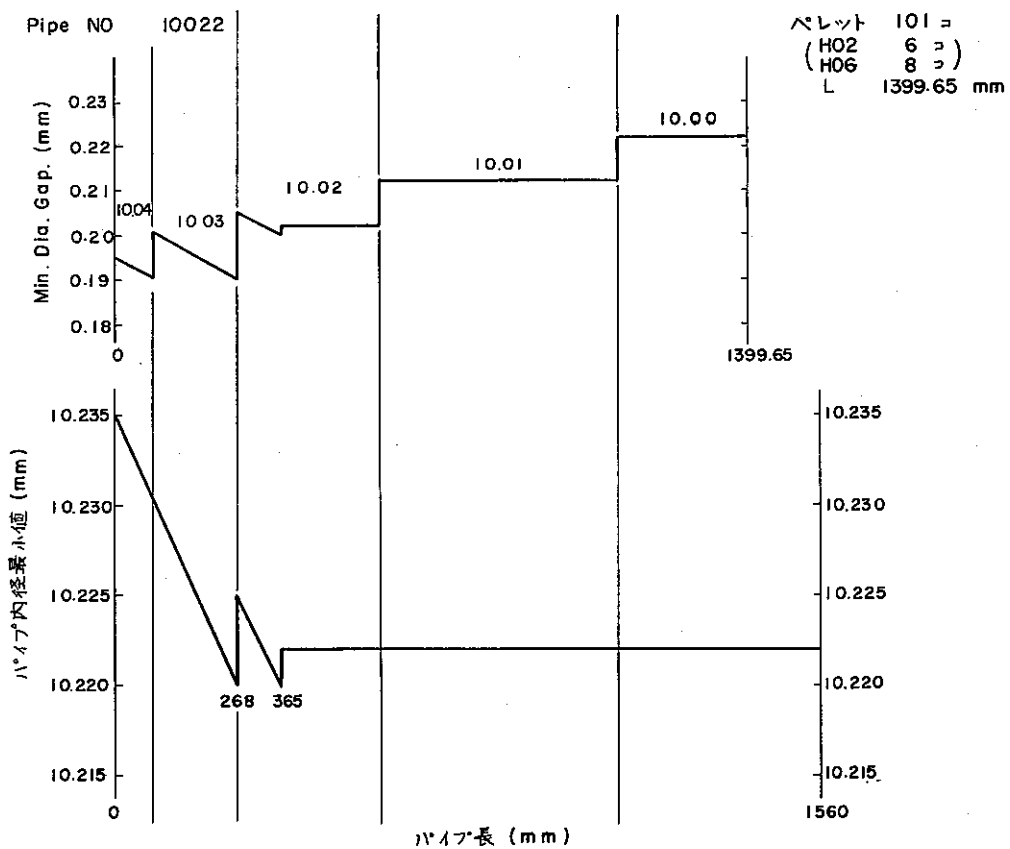


Fig. 4.8.16

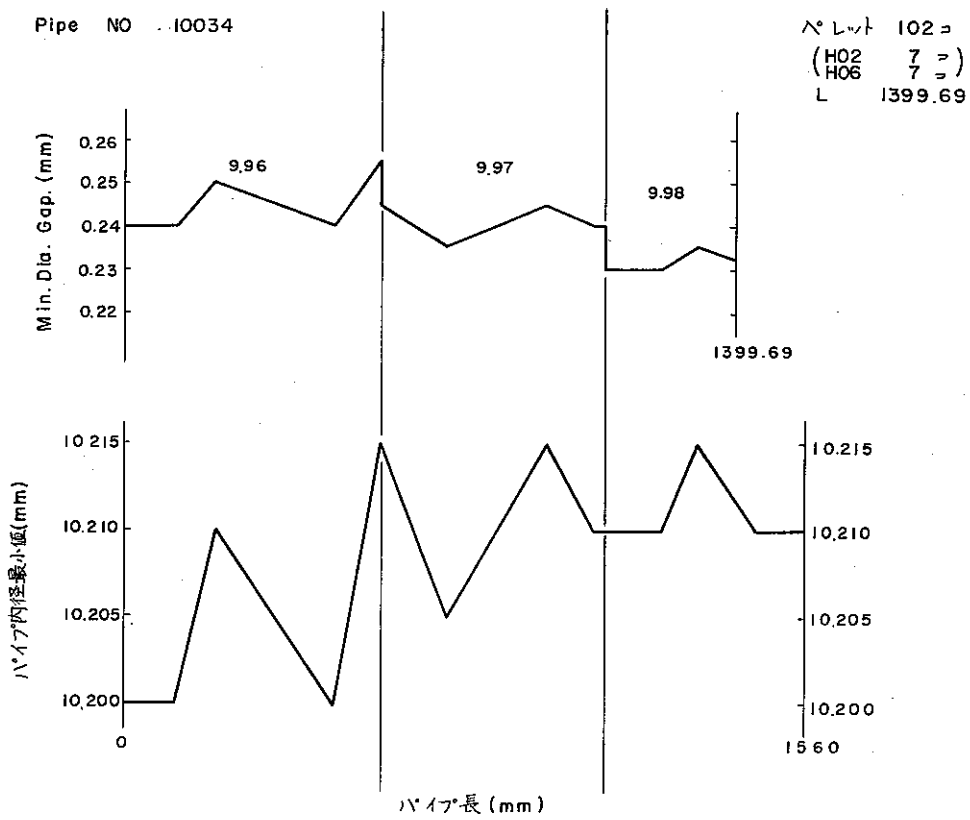


Fig. 4.8.17

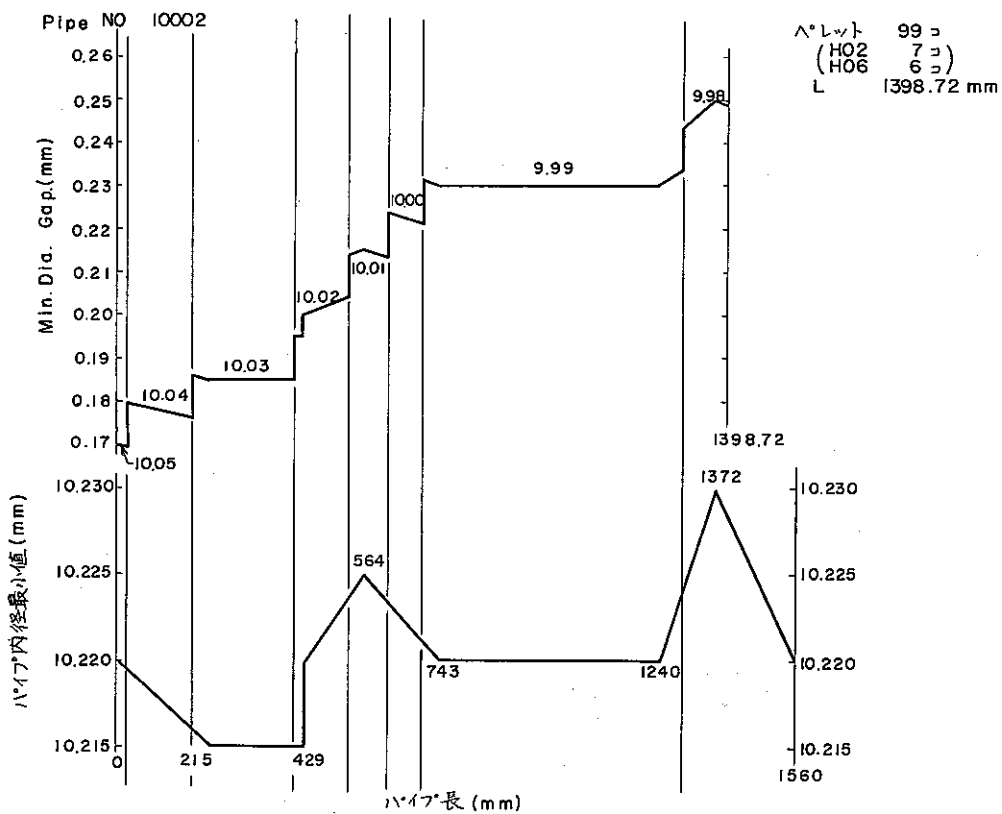


Fig. 4.8.18

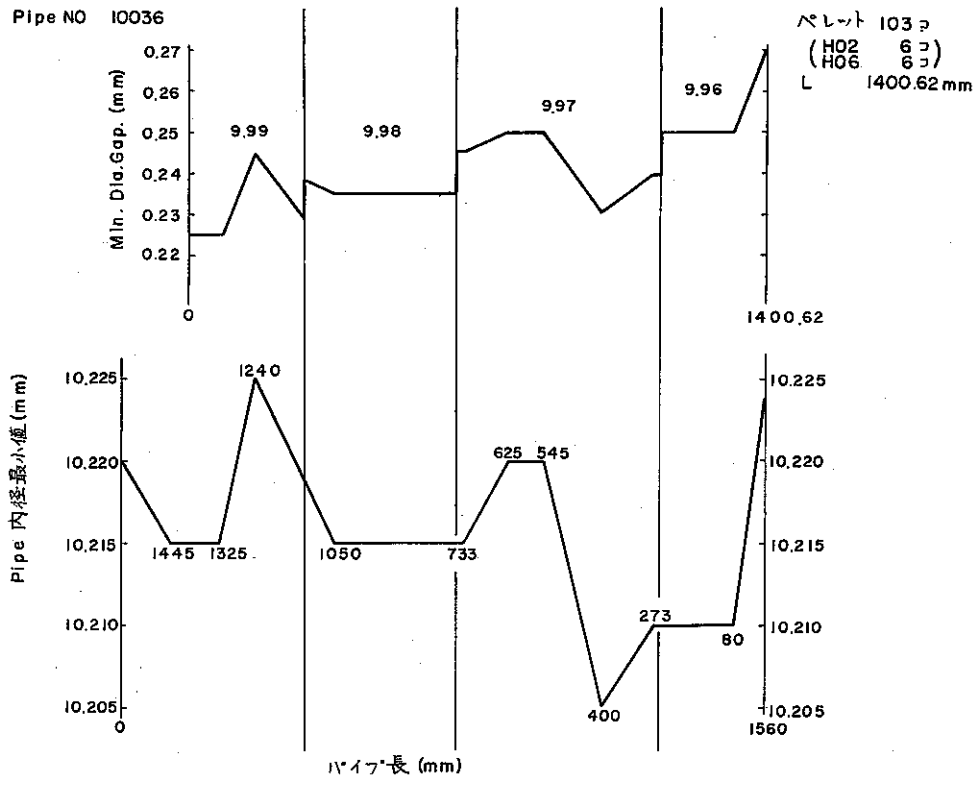


Fig. 4.8.19

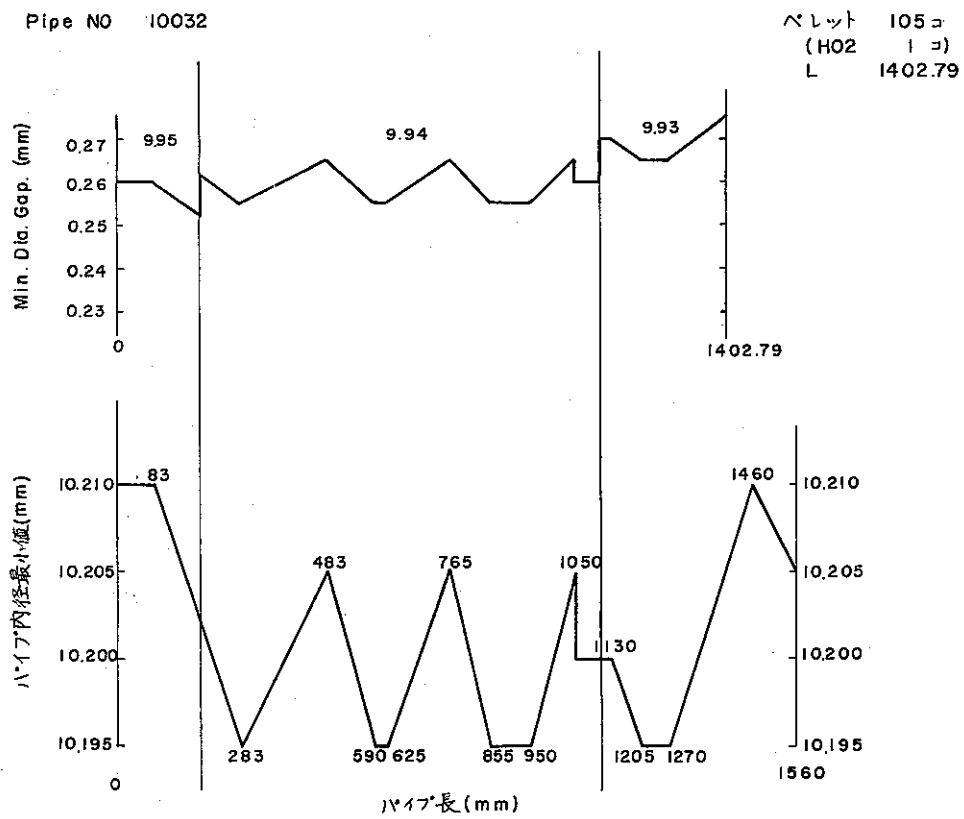


Fig. 4.8.20

4.8.3 IFA-159 燃料棒の組合せ，配列設計の結果

索引

ジルカロイ-2管整理番号	頁
10044	240
10040	242
10042	244
10019	246
10030	248
10022	250
10002	252
10034	254
10036	256
10032	258

表のよみ方

PIPE NO	ジルカロイ-2管整理番号
NO	ペレットのつめる順序
PEL-NO H	Lot 番号とペレット番号
N	塩ビ管番号と同管内のペレット順序番号
DIA	ペレット直径mm 2点測定値は平均
HEIGHT	ペレット高さmm
WEIGHT	ペレット重量 g
P-W/O	プルトニウム重量率 W/o
Pu/H	単位長当りのプルトニウム量, $\times 10^{-1}$ gPu/cm

なお最終ラインの数字は順に，ペレット平均直径，全ペレット実効長， $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$ ペレット全重量，Pu の平均重量率，および単位長さ当りの平均Pu 量をそれぞれ表わすものである。

PIPE NO. 10044.-1

NO	PEL-NO	DIA.	HEIGHT	WEIGHT	PU-W/O	PU/H
1	H18 231	10.010	12.29	10.0785	2.21	1.812
2	H18 227	10.010	12.29	10.0711	2.21	1.810
3	H18 228	10.010	12.28	10.0590	2.21	1.810
4	H18 229	10.010	12.27	10.0329	2.21	1.807
5	H18 220	10.010	12.27	10.0243	2.21	1.805
6	H13 163	10.010	12.95	10.6934	2.17	1.791
7	H13 93	10.005	12.90	10.6279	2.17	1.787
8	H15 75	10.005	13.89	11.2544	2.19	1.774
9	H08 166	10.000	13.71	11.0953	2.27	1.837
10	H07 139	10.000	13.88	11.3801	2.24	1.836
11	H18 150	10.000	11.96	9.8515	2.21	1.820
12	H18 131	10.000	12.28	10.0965	2.21	1.817
13	H18 130	10.000	12.23	10.0477	2.21	1.815
14	H09 68	10.000	13.65	10.7376	2.30	1.809
15	H18 208	10.000	12.28	10.0465	2.21	1.808
16	H11 113	10.000	13.60	11.1335	2.20	1.801
17	H04 42	10.000	14.26	11.4134	2.25	1.800
18	H18 221	10.000	12.24	9.9692	2.21	1.799
19	H08 26	9.990	13.80	11.1798	2.27	1.838
20	H08 27	9.990	13.87	11.2363	2.27	1.838
21	H08 24	9.990	13.80	11.1715	2.27	1.837
22	H07 136	9.990	13.97	11.4470	2.24	1.835
23	H07 129	9.990	13.96	11.4370	2.24	1.835
24	H07 143	9.990	13.99	11.4332	2.24	1.830
25	H18 218	9.990	12.42	10.2072	2.21	1.816
26	H18 126	9.990	12.24	10.0197	2.21	1.809
27	H18 116	9.990	16.33	13.3666	2.21	1.808
28	H18 234	9.990	12.24	10.0111	2.21	1.807
29	H18 222	9.990	12.25	10.0133	2.21	1.806
30	H18 204	9.990	12.26	10.0128	2.21	1.804
31	H05 48	9.990	13.54	10.8100	2.25	1.796
32	H11 117	10.000	13.09	10.6886	2.20	1.796
33	H18 210	10.000	12.25	9.9560	2.21	1.796
34	H17 145	10.000	13.86	11.3980	2.18	1.792
35	H17 138	10.000	13.89	11.4240	2.18	1.792
36	H17 147	10.000	13.92	11.4319	2.18	1.790
37	H17 224	10.000	13.88	11.3970	2.18	1.790
38	H13 99	10.000	12.94	10.6598	2.17	1.787
39	H13 131	10.000	12.91	10.6325	2.17	1.787
40	H13 162	10.000	12.85	10.5842	2.17	1.787
41	H13 164	10.000	12.94	10.8550	2.17	1.786
42	H13 100	10.000	13.06	10.7450	2.17	1.785
43	H13 112	10.000	12.89	10.6051	2.17	1.785
44	H13 157	10.000	12.93	10.6390	2.17	1.785
45	H17 213	10.000	13.87	11.3584	2.18	1.785
46	H13 92	10.000	12.96	10.6603	2.17	1.784
47	H13 114	10.000	12.93	10.6325	2.17	1.784
48	H13 136	10.000	12.86	10.5678	2.17	1.783
49	H13 166	10.000	12.95	10.6433	2.17	1.783
50	H15 98	10.000	13.95	11.3625	2.19	1.783
51	H15 30	10.000	13.95	11.3549	2.19	1.782
52	H17 225	10.000	13.81	11.2945	2.18	1.782
53	H17 206	10.000	13.81	11.2848	2.18	1.781
54	H13 115	10.000	12.93	10.6065	2.17	1.780
55	H15 9	10.000	14.01	11.3896	2.19	1.780

PIPE NO. 10044-2

NO	PEL-NO	DIA.	HEIGHT	WEIGHT	PU-W/O	PU/H
56	H13 86	10.000	12.91	10.5897	2.17	1.779
57	H15 31	10.000	13.92	11.3095	2.19	1.779
58	H15 5	10.000	13.92	11.3068	2.19	1.778
59	H15 8	10.000	13.95	11.3309	2.19	1.778
60	H17 221	10.000	13.83	11.2744	2.18	1.777
61	H15 94	10.000	13.94	11.3093	2.19	1.776
62	H15 11	10.000	13.97	11.3279	2.19	1.775
63	H13 133	10.010	12.95	10.6877	2.17	1.790
64	H17 237	10.010	13.87	11.3850	2.18	1.789
65	H13 149	10.010	12.89	10.6248	2.17	1.788
66	H11 132	10.010	13.61	11.0558	2.20	1.787
67	H17 218	10.010	13.87	11.3684	2.18	1.786
68	H17 219	10.010	13.88	11.3592	2.18	1.784
69	H15 73	10.010	14.09	11.4753	2.19	1.783
70	H15 49	10.010	14.02	11.3952	2.19	1.779
71	H15 40	10.010	13.97	11.3540	2.19	1.779
72	H13 155	10.010	12.93	10.5915	2.17	1.777
73	H13 118	10.010	12.99	10.6338	2.17	1.776
74	H15 70	10.010	13.95	11.3129	2.19	1.776
75	H17 203	10.010	13.81	11.2565	2.18	1.776
76	H17 268	10.010	14.04	11.4223	2.18	1.773
77	H17 247	10.010	13.73	11.0397	2.18	1.752
78	H17 266	10.010	13.86	11.1322	2.18	1.750
79	H15 20	10.000	14.07	11.4002	2.19	1.774
80	H15 82	10.000	13.89	11.2499	2.19	1.773
81	H15 92	10.000	14.00	11.3304	2.19	1.772
82	H15 62	10.000	13.93	11.2633	2.19	1.770
83	H15 63	10.000	14.00	11.3089	2.19	1.769
84	H15 55	10.000	13.90	11.2085	2.19	1.765
85	H15 76	9.995	13.97	11.3710	2.19	1.782
86	H11 112	9.990	13.52	11.0262	2.20	1.794
87	H11 148	9.990	13.50	11.0012	2.20	1.792
88	H18 230	9.990	12.21	9.8978	2.21	1.791
89	H11 122	9.990	13.62	11.0876	2.20	1.790
90	H17 208	9.990	13.84	11.3528	2.18	1.788
91	H11 152	9.990	13.34	10.8364	2.20	1.787
92	H13 95	9.990	13.11	10.7783	2.17	1.784
93	H17 238	9.990	13.81	11.2948	2.18	1.782
94	H15 99	9.990	13.97	11.3577	2.19	1.780
95	H15 24	9.990	13.95	11.3327	2.19	1.779
96	H17 222	9.990	13.83	11.2806	2.18	1.778
97	H15 6	9.990	13.93	11.3090	2.19	1.777
98	H17 212	9.990	13.76	11.2144	2.18	1.776
99	H15 37	9.990	13.92	11.2854	2.19	1.775
100	H15 100	9.990	13.93	11.2834	2.19	1.773
101	H15 64	9.990	14.00	11.3321	2.19	1.772
102	H15 74	9.990	13.98	11.3130	2.19	1.772
103	H15 61	9.990	14.05	11.3568	2.19	1.770
104	H14 16	9.990	14.83	12.1068	2.16	1.763

9.9990 1399.10 1141.0515 2.195 1.7901

PIPE NO. 10040.-1

NO	PEL-NO	DIA.	HEIGHT	WEIGHT	PU-W/O	PU/H
1	H13 129	10.030	12.72	10.5306	2.17	1.796
2	H18 273	10.030	12.41	10.0855	2.21	1.796
3	H13 107	10.030	12.88	10.6571	2.17	1.795
4	H13 158	10.030	13.10	10.8192	2.17	1.792
5	H14 47	10.030	14.71	12.1964	2.16	1.790
6	H15 57	10.030	14.01	11.4541	2.19	1.790
7	H15 87	10.030	13.95	11.4052	2.19	1.790
8	H15 89	10.030	13.90	11.3659	2.19	1.790
9	H14 79	10.030	14.60	12.0985	2.16	1.789
10	H15 39	10.030	13.94	11.3930	2.19	1.789
11	H15 81	10.030	13.93	11.3850	2.19	1.789
12	H15 97	10.030	14.00	11.4418	2.19	1.789
13	H14 33	10.030	14.60	12.0901	2.16	1.788
14	H15 32	10.030	13.97	11.4080	2.19	1.788
15	H15 54	10.030	13.94	11.3826	2.19	1.788
16	H15 68	10.030	14.05	11.4730	2.19	1.788
17	H15 56	10.030	13.92	11.3664	2.19	1.788
18	H15 90	10.030	13.93	11.3739	2.19	1.788
19	H13 94	10.025	12.85	10.6055	2.17	1.790
20	H13 125	10.025	12.73	10.5014	2.17	1.790
21	H15 48	10.025	13.96	11.3720	2.19	1.784
22	H15 41	10.025	13.97	11.2763	2.19	1.767
23	H18 267	10.023	12.36	10.0508	2.21	1.797
24	H18 129	10.020	12.00	9.9070	2.21	1.824
25	H18 112	10.020	16.48	13.5707	2.21	1.819
26	H04 43	10.020	14.68	11.7829	2.25	1.805
27	H17 101	10.020	13.99	11.5721	2.18	1.803
28	H18 219	10.020	12.28	9.9805	2.21	1.796
29	H13 98	10.020	12.96	10.7178	2.17	1.794
30	H11 153	10.020	13.64	11.1108	2.20	1.792
31	H17 262	10.020	13.76	11.3085	2.18	1.791
32	H17 209	10.020	13.97	11.4693	2.18	1.789
33	H15 60	10.020	13.96	11.3987	2.19	1.788
34	H15 83	10.020	13.97	11.4103	2.19	1.788
35	H15 1	10.020	13.99	11.4207	2.19	1.787
36	H15 95	10.020	13.93	11.3639	2.19	1.786
37	H17 228	10.020	13.88	11.3525	2.18	1.783
38	H13 152	10.020	12.95	10.6371	2.17	1.782
39	H15 53	10.020	13.97	11.3737	2.19	1.782
40	H15 14	10.020	13.95	11.3484	2.19	1.781
41	H04 38	10.020	14.22	11.2509	2.25	1.780
42	H15 7	10.020	14.00	11.3766	2.19	1.779
43	H15 3	10.020	13.98	11.3560	2.19	1.778
44	H18 262	10.020	12.42	9.9814	2.21	1.776
45	H15 96	10.020	14.00	11.3472	2.19	1.775
46	H18 264	10.020	12.44	9.9930	2.21	1.775
47	H18 265	10.020	12.38	9.9160	2.21	1.770
48	H17 264	10.020	13.92	11.2242	2.18	1.757
49	H17 232	10.020	13.92	11.1980	2.18	1.753
50	H18 272	10.017	12.36	9.8918	2.21	1.768
51	H13 143	10.015	13.18	10.8941	2.17	1.793
52	H13 160	10.015	12.91	10.6317	2.17	1.787
53	H13 121	10.015	13.04	10.7245	2.17	1.784
54	H15 52	10.015	13.85	11.2870	2.19	1.784
55	H13 127	10.015	13.01	10.6788	2.17	1.781

PIPE NO. 10040-2

NO	PEL-NO	DIA.	HEIGHT	WEIGHT	PU-W/O	PU/H
56	H08 155	10.010	13.75	11.1350	2.27	1.838
58	H04 46	10.010	14.05	11.4432	2.25	1.832
59	H18 148	10.010	11.99	9.8966	2.21	1.824
60	H18 127	10.010	12.28	10.1208	2.21	1.821
61	H05 49	10.010	13.48	10.7960	2.25	1.802
62	H04 47	10.010	14.90	11.9319	2.25	1.801
63	H04 41	10.010	14.54	11.6213	2.25	1.798
64	H17 133	10.010	13.99	11.5230	2.18	1.795
65	H17 137	10.010	13.93	11.4669	2.18	1.794
66	H17 215	10.010	13.90	11.4217	2.18	1.791
67	H17 220	10.010	13.89	11.4154	2.18	1.791
68	H13 142	10.010	14.67	12.1062	2.17	1.790
69	H14 78	10.030	14.69	12.1534	2.16	1.787
70	H15 25	10.030	13.96	11.3930	2.19	1.787
71	H15 36	10.030	13.91	11.3515	2.19	1.787
72	H15 78	10.030	13.98	11.4101	2.19	1.787
73	H14 48	10.030	14.59	12.0595	2.16	1.785
74	H14 64	10.030	14.61	12.0791	2.16	1.785
75	H14 77	10.030	14.72	12.1658	2.16	1.785
76	H15 13	10.030	14.01	11.4195	2.19	1.785
77	H15 77	10.030	13.84	11.2806	2.19	1.785
78	H14 41	10.030	14.59	12.0570	2.16	1.784
79	H15 29	10.030	13.85	11.2858	2.19	1.784
80	H15 65	10.030	13.87	11.3005	2.19	1.784
81	H14 72	10.030	14.65	12.0992	2.16	1.783
82	H17 231	10.030	13.95	11.4104	2.18	1.783
83	H14 14	10.030	14.63	12.0704	2.16	1.782
84	H14 1	10.030	14.74	12.1637	2.16	1.782
85	H14 7	10.030	14.64	12.0787	2.16	1.782
86	H15 19	10.030	13.97	11.3734	2.19	1.782
87	H15 85	10.030	14.01	11.4062	2.19	1.782
88	H14 53	10.030	14.65	12.0799	2.16	1.781
89	H15 35	10.030	13.93	11.3333	2.19	1.781
90	H15 26	10.030	13.96	11.3582	2.19	1.781
91	H14 11	10.030	14.73	12.1416	2.16	1.780
92	H15 91	10.030	13.89	11.2895	2.19	1.779
93	H15 10	10.030	14.06	11.4160	2.19	1.778
94	H14 21	10.030	14.49	11.9170	2.16	1.776
95	H14 59	10.030	14.59	12.0023	2.16	1.776
96	H14 83	10.030	14.66	12.0462	2.16	1.774
97	H15 15	10.030	14.02	11.3514	2.19	1.773
98	H14 37	10.030	14.77	12.1135	2.16	1.771
99	H14 26	10.030	14.86	12.1746	2.16	1.769
100	H17 261	10.030	14.00	11.3378	2.18	1.765
101	H17 263	10.030	14.11	11.3784	2.18	1.757
100	H02 20	10.000	14.76	11.6278	2.22	1.797
101	H02 2	10.000	14.33	11.5429	2.22	1.788
		10.0237			2.188	1.7874

1399.92 1143.8376

PIPE NO. 10042.-1

NO	PEL-NO	DIA.	HEIGHT	WEIGHT	PU-W/O	PU/H
1	H14 55	10.050	14.61	12.1630	2.16	1.798
2	H13 102	10.050	13.10	10.8377	2.17	1.795
3	H15 79	10.050	13.96	11.4299	2.19	1.793
4	H15 46	10.050	13.96	11.3738	2.19	1.784
5	H18 232	10.040	12.34	10.0807	2.21	1.805
6	H18 233	10.040	12.31	10.0429	2.21	1.802
7	H14 54	10.040	14.58	12.1330	2.16	1.797
8	H14 38	10.040	14.67	12.1850	2.16	1.794
9	H15 86	10.040	13.94	11.4228	2.19	1.794
10	H13 119	10.040	12.79	10.5732	2.17	1.793
11	H14 12	10.040	14.53	12.0643	2.16	1.793
12	H14 36	10.040	14.58	12.1050	2.16	1.793
13	H15 51	10.040	13.96	11.4296	2.19	1.793
14	H15 69	10.040	13.91	11.3936	2.19	1.793
15	H17 229	10.040	14.05	11.5590	2.18	1.793
16	H14 69	10.040	14.54	12.0691	2.16	1.792
17	H14 65	10.040	14.65	12.1588	2.16	1.792
18	H15 22	10.040	13.92	11.3955	2.19	1.792
19	H17 226	10.040	13.95	11.4722	2.18	1.792
20	H14 68	10.040	14.72	12.2108	2.16	1.791
21	H15 2	10.040	13.84	11.3209	2.19	1.791
22	H15 66	10.040	13.88	11.3566	2.19	1.791
23	H14 20	10.040	14.70	12.1884	2.16	1.790
24	H14 45	10.040	14.53	12.0468	2.16	1.790
25	H14 4	10.040	14.70	12.1770	2.16	1.789
26	H14 17	10.040	14.68	12.1550	2.16	1.788
27	H14 29	10.040	14.59	12.0743	2.16	1.787
28	H14 34	10.040	14.76	12.2164	2.16	1.787
29	H14 57	10.040	14.69	12.1558	2.16	1.787
30	H15 4	10.040	13.92	11.3648	2.19	1.787
31	H14 82	10.040	14.62	12.0975	2.16	1.787
32	H14 62	10.040	14.68	12.1430	2.16	1.786
33	H15 43	10.040	13.86	11.3032	2.19	1.786
34	H15 72	10.040	13.99	11.4146	2.19	1.786
35	H17 234	10.040	13.98	11.4480	2.18	1.785
36	H15 42	10.040	14.02	11.4230	2.19	1.784
37	H17 227	10.040	13.95	11.4107	2.18	1.783
38	H14 52	10.040	14.66	12.0982	2.16	1.782
39	H14 18	10.040	14.68	12.1081	2.16	1.781
40	H14 70	10.040	14.74	12.1596	2.16	1.781
41	H15 38	10.040	13.96	11.3502	2.19	1.780
42	H14 25	10.040	14.69	12.0954	2.16	1.778
43	H14 13	10.040	14.72	12.1036	2.16	1.776
44	H15 34	10.040	13.97	11.3338	2.19	1.776
45	H14 27	10.040	14.63	12.0270	2.16	1.775
46	H13 132	10.045	13.10	10.8611	2.17	1.799
47	H13 97	10.045	13.10	10.8530	2.17	1.797
48	H14 9	10.045	14.61	12.1141	2.16	1.790
49	H14 42	10.045	14.60	12.1007	2.16	1.790
50	H14 39	10.045	14.62	12.0843	2.16	1.785
51	H15 45	10.045	14.01	11.3660	2.19	1.776
52	H14 84	10.040	14.41	11.8460	2.16	1.775
53	H15 44	10.040	13.95	11.2743	2.19	1.769
54	H13 128	10.035	13.05	10.8267	2.17	1.800
55	H13 111	10.035	12.73	10.5390	2.17	1.796

PIPE NO. 10042-2

NO	PEL-NO	DIA.	HEIGHT	WEIGHT	PU-W/O	PU/H
56	H13 110	10.035	12.83	10.6020	2.17	1.793
57	H15 17	10.035	13.98	11.4514	2.19	1.793
58	H15 33	10.035	13.99	11.4559	2.19	1.793
59	H15 71	10.035	13.96	11.4351	2.19	1.793
60	H14 8	10.035	14.58	12.1020	2.16	1.792
61	H14 35	10.035	14.60	12.1162	2.16	1.792
62	H14 5	10.035	14.57	12.0874	2.16	1.791
63	H14 24	10.035	14.68	12.1714	2.16	1.790
64	H14 28	10.035	14.70	12.1802	2.16	1.789
65	H14 32	10.035	14.69	12.1672	2.16	1.789
66	H14 49	10.035	14.81	12.2680	2.16	1.789
67	H14 46	10.035	14.56	12.0592	2.16	1.789
68	H14 40	10.035	14.55	12.0411	2.16	1.787
69	H13 134	10.035	14.82	12.2032	2.17	1.786
70	H14 15	10.035	14.70	12.1513	2.16	1.785
71	H14 58	10.035	14.68	12.1367	2.16	1.785
72	H14 73	10.035	14.60	12.0708	2.16	1.785
73	H14 71	10.035	14.57	12.0460	2.16	1.785
74	H15 67	10.035	13.90	11.3263	2.19	1.784
75	H14 67	10.035	14.66	12.0915	2.16	1.781
76	H14 23	10.035	14.76	12.1654	2.16	1.780
77	H14 19	10.035	14.76	12.1551	2.16	1.778
78	H14 6	10.035	14.65	12.0500	2.16	1.776
79	H14 60	10.035	14.66	12.0520	2.16	1.775
80	H14 44	10.035	14.75	12.1140	2.16	1.773
81	H14 74	10.035	14.83	12.1735	2.16	1.773
82	H18 108	10.030	16.63	13.7768	2.21	1.830
83	H18 223	10.030	12.33	10.1621	2.21	1.821
84	H18 203	10.030	12.32	10.1037	2.21	1.812
85	H05 53	10.030	14.07	11.2999	2.25	1.807
86	H15 59	10.030	13.96	11.5170	2.19	1.806
87	H18 211	10.030	12.31	10.0315	2.21	1.800
88	H13 161	10.030	12.97	10.7451	2.17	1.797
89	H13 147	10.030	12.80	10.6054	2.17	1.797
90	H17 204	10.030	13.95	11.5023	2.18	1.797
91	H17 216	10.030	14.01	11.5414	2.18	1.795
92	H13 104	10.030	13.10	10.8330	2.17	1.794
93	H13 154	10.030	12.93	10.6949	2.17	1.794
94	H17 202	10.030	13.95	11.4840	2.18	1.794
95	H14 213	10.030	14.68	12.1821	2.16	1.792
96	H13 137	10.030	12.84	10.6047	2.17	1.792
97	H14 81	10.030	14.54	12.0573	2.16	1.791
98	H14 76	10.030	14.58	12.0852	2.16	1.790
99	H15 18	10.030	13.92	11.3835	2.19	1.790

10.0374 1399.42 1153.0198 2.173 1.7898

*

PIPE NO. 10019-1

NO	PEL-NO	DIA.	HEIGHT	WEIGHT	PU-W/O	PU/H
1	H13 123	9.990	12.98	10.6596	2.17	1.782
2	H13 101	9.990	12.94	10.6158	2.17	1.780
3	H08 164	9.980	13.68	11.0919	2.27	1.840
4	H10 104	9.980	13.22	10.7024	2.27	1.837
5	H08 22	9.980	13.77	11.1338	2.27	1.835
6	H10 106	9.970	13.16	10.6676	2.27	1.840
7	H08 158	9.970	13.67	11.0711	2.27	1.838
8	H10 79	9.970	13.31	10.7683	2.27	1.836
9	H10 73	9.970	13.21	10.6618	2.27	1.832
10	H10 81	9.970	13.16	10.5990	2.27	1.828
11	H07 132	9.970	14.06	11.4425	2.24	1.822
12	H18 146	9.970	12.23	10.0157	2.21	1.809
13	H18 139	9.970	12.19	9.9818	2.21	1.809
14	H18 144	9.970	12.16	9.9328	2.21	1.805
15	H11 128	9.970	13.53	11.0894	2.20	1.803
16	H11 138	9.970	13.03	10.6845	2.20	1.803
17	H11 116	9.970	13.55	11.0934	2.20	1.801
18	H11 119	9.970	13.28	10.8610	2.20	1.799
19	H11 129	9.970	13.52	11.0488	2.20	1.797
20	H11 137	9.970	13.50	11.0238	2.20	1.796
21	H11 109	9.970	13.05	10.6534	2.20	1.795
22	H11 115	9.970	13.55	11.0548	2.20	1.794
23	H11 146	9.970	13.24	10.7895	2.20	1.792
24	H11 143	9.970	13.60	11.0579	2.20	1.788
25	H11 126	9.970	12.98	10.5398	2.20	1.786
26	H11 144	9.970	13.62	11.0595	2.20	1.786
27	H17 109	9.970	13.78	11.2877	2.18	1.785
28	H11 136	9.970	13.15	10.6619	2.20	1.783
29	H11 149	9.970	13.54	10.9691	2.20	1.782
30	H17 139	9.970	13.77	11.2413	2.18	1.779
31	H07 130	9.980	13.94	11.3900	2.24	1.830
32	H11 150	9.980	13.09	10.8602	2.20	1.825
33	H07 140	9.980	14.13	11.4799	2.24	1.819
34	H18 209	9.980	12.23	10.0312	2.21	1.812
35	H18 235	9.980	12.25	10.0480	2.21	1.812
36	H18 125	9.980	12.24	10.0348	2.21	1.811
37	H18 205	9.980	12.24	10.0283	2.21	1.810
38	H18 238	9.980	12.23	10.0193	2.21	1.810
39	H11 151	9.980	13.16	10.8250	2.20	1.809
40	H18 128	9.980	12.25	10.0306	2.21	1.809
41	H18 212	9.980	12.23	9.9983	2.21	1.806
42	H18 226	9.980	12.21	9.9753	2.21	1.805
43	H11 111	9.980	13.03	10.6905	2.20	1.804
44	H11 139	9.980	13.23	10.8374	2.20	1.802
45	H18 145	9.980	12.21	9.9600	2.21	1.802
46	H11 145	9.980	13.09	10.7043	2.20	1.799
47	H11 110	9.980	13.51	11.0409	2.20	1.797
48	H18 107	9.980	16.30	13.2559	2.21	1.797
49	H11 118	9.980	13.65	11.1237	2.20	1.792
50	H17 135	9.980	13.83	11.3477	2.18	1.788
51	H17 124	9.980	13.82	11.3295	2.18	1.787
52	H17 127	9.980	13.82	11.3296	2.18	1.787
53	H17 141	9.980	13.84	11.3405	2.18	1.786
54	H17 223	9.980	13.81	11.3190	2.18	1.786
55	H17 140	9.980	13.81	11.3109	2.18	1.785

PIPE NO. 10019-2

NO	PEL-NO	DIA.	HEIGHT	WEIGHT	PU-W/O	PU/H
56	H13 165	9.970	12.84	10.5062	2.17	1.775
57	H11 124	9.970	13.13	10.5902	2.20	1.774
58	H13 116	9.970	12.87	10.5215	2.17	1.774
59	H17 146	9.970	13.73	11.1731	2.18	1.774
60	H13 89	9.970	12.87	10.5194	2.17	1.773
61	H13 130	9.970	12.92	10.5526	2.17	1.772
62	H13 139	9.970	12.86	10.4987	2.17	1.771
63	H13 96	9.970	12.89	10.5051	2.17	1.768
64	H15 21	9.970	13.92	11.2210	2.19	1.765
65	H15 27	9.970	13.99	11.2734	2.19	1.764
66	H15 50	9.970	13.97	11.2565	2.19	1.764
67	H15 16	9.970	13.86	11.1618	2.19	1.763
68	H13 103	9.980	12.81	10.5090	2.17	1.780
69	H13 117	9.980	12.95	10.6219	2.17	1.779
70	H13 126	9.980	13.11	10.7492	2.17	1.779
71	H13 87	9.980	12.87	10.5482	2.17	1.778
72	H13 105	9.980	12.88	10.5518	2.17	1.777
73	H13 113	9.980	12.90	10.5692	2.17	1.777
74	H13 156	9.980	13.11	10.7412	2.17	1.777
75	H13 159	9.980	13.05	10.6908	2.17	1.777
76	H13 109	9.980	12.85	10.5221	2.17	1.776
77	H13 151	9.980	12.85	10.5143	2.17	1.775
78	H11 147	9.980	13.64	10.9964	2.20	1.773
79	H13 91	9.980	12.96	10.5830	2.17	1.771
80	H15 12	9.970	13.99	11.2653	2.19	1.763
81	H15 84	9.970	13.97	11.2508	2.19	1.763
82	H15 80	9.970	13.87	11.1612	2.19	1.762
83	H08 169	9.960	13.37	10.8260	2.27	1.838
84	H10 86	9.960	13.24	10.7211	2.27	1.838
85	H10 94	9.960	13.19	10.6746	2.27	1.837
86	H10 82	9.960	13.20	10.6563	2.27	1.832
87	H18 122	9.960	12.19	9.9624	2.21	1.806
88	H18 236	9.960	12.17	9.9442	2.21	1.805
89	H11 131	9.960	13.02	10.6372	2.20	1.797
90	H11 114	9.960	13.55	11.0564	2.20	1.795
91	H11 127	9.960	13.63	11.1033	2.20	1.792
92	H11 140	9.960	13.60	11.0548	2.20	1.788
93	H11 135	9.960	12.97	10.5244	2.20	1.785
94	H18 118	9.950	12.16	9.9193	2.21	1.802
95	H18 207	9.950	12.15	9.8773	2.21	1.796
96	H13 141	9.945	12.54	10.1510	2.17	1.756
97	H13 148	9.965	12.88	10.5154	2.17	1.771
98	H13 153	9.965	12.83	10.4789	2.17	1.772
99	H13 138	9.975	12.86	10.5323	2.17	1.777
100	H15 88	9.980	13.98	11.2800	2.19	1.767
101	H15 28	9.980	13.96	11.2947	2.19	1.771
102	H15 23	9.985	13.90	11.2155	2.19	1.767
103	H17 230	9.990	13.73	11.0610	2.18	1.756
104	H13 120	9.990	12.90	10.5201	2.17	1.769
105	H13 122	9.990	12.58	10.2777	2.17	1.772
106	H13 108	9.990	12.94	10.6072	2.17	1.778

9.9735 1399.78 1140.7157 2.200 1.7928

*

PIPE NO. 10030.-1

NO	PEL-NO	DIA.	HEIGHT	WEIGHT	PU-W/O	PU/H
1	H09 70	9.960	13.68	11.0092	2.30	1.850
2	H06 81	9.960	14.01	11.1892	2.28	1.820
3	H07 135	9.960	13.80	11.2168	2.24	1.820
4	H06 83	9.960	13.63	10.8693	2.28	1.818
5	H06 78	9.960	13.33	10.6014	2.28	1.813
6	H07 142	9.960	13.79	11.1650	2.24	1.813
7	H02 9	9.960	14.17	11.5712	2.22	1.812
8	H06 98	9.960	13.63	10.8090	2.28	1.808
9	H06 116	9.960	12.79	10.1330	2.28	1.806
10	H02 7	9.960	14.61	11.8837	2.22	1.805
11	H02 29	9.960	14.22	11.5014	2.22	1.795
12	H15 101	9.960	13.77	11.1829	2.19	1.778
13	H17 144	9.960	13.73	11.1990	2.18	1.778
14	H17 239	9.960	13.71	11.1753	2.18	1.776
15	H15 47	9.960	13.86	11.1279	2.19	1.758
16	N34 1	9.960	14.09	11.5243	2.22	1.815
17	H18 243	9.960	12.18	9.9913	2.21	1.812
18	H18 137	9.960	12.18	9.9806	2.21	1.810
19	H18 136	9.960	12.20	9.9853	2.21	1.808
20	H18 225	9.960	12.17	9.9528	2.21	1.807
21	N36 1	9.955	13.18	10.6834	2.27	1.840
22	N38 16	9.955	14.17	11.5330	2.26	1.839
23	N39 21	9.955	14.03	11.5152	2.24	1.838
24	N44 4	9.955	14.20	11.5440	2.26	1.837
25	N39 17	9.955	14.05	11.5239	2.24	1.837
26	N44 8	9.955	14.12	11.4753	2.26	1.836
27	N36 14	9.955	13.16	10.6434	2.27	1.835
28	N41 1	9.955	14.23	11.5507	2.26	1.834
29	N39 22	9.955	13.98	11.4290	2.24	1.831
30	N39 20	9.955	13.95	11.4022	2.24	1.830
31	N39 16	9.955	13.69	11.1890	2.24	1.830
32	N36 8	9.955	13.16	10.6144	2.27	1.830
33	N37 20	9.955	13.73	11.2090	2.24	1.828
34	N37 22	9.955	13.70	11.1725	2.24	1.826
35	N35 6	9.955	13.54	11.0758	2.20	1.799
36	N37 13	9.955	12.95	10.5621	2.20	1.794
37	N37 5	9.955	13.50	10.9943	2.20	1.791
38	H10 80	9.950	13.22	10.7659	2.27	1.848
39	H08 8	9.950	13.63	11.0614	2.27	1.842
40	H10 75	9.950	13.21	10.7131	2.27	1.840
41	H17 110	9.950	13.70	11.1604	2.18	1.775
42	H13 168	9.945	13.38	10.7772	2.17	1.747
43	N40 11	9.950	13.42	10.9484	2.30	1.876
44	N41 26	9.950	13.40	10.9037	2.30	1.871
45	N35 24	9.950	13.45	10.9418	2.30	1.871
46	N44 25	9.950	13.39	10.8812	2.30	1.869
47	N35 10	9.950	13.60	11.0340	2.30	1.866
48	N35 14	9.950	13.43	10.8755	2.30	1.862
49	N40 12	9.950	13.41	10.8246	2.30	1.856
50	N35 3	9.950	13.25	10.7650	2.27	1.844
51	N36 25	9.950	13.20	10.7133	2.27	1.842
52	N39 18	9.950	14.10	11.5848	2.24	1.840
53	N36 2	9.950	13.15	10.6609	2.27	1.840
54	N36 7	9.950	13.24	10.7190	2.27	1.837
55	N43 12	9.950	13.98	11.4617	2.24	1.836

PIPE NO. 10030-2

NO	PEL-NO	DIA.	HEIGHT	WEIGHT	PU-W/O	PU/H
56	N36 17	9.950	13.21	10.6856	2.27	1.836
57	N36 10	9.950	13.16	10.6484	2.27	1.836
58	N36 9	9.950	13.13	10.6191	2.27	1.835
59	N36 6	9.950	13.16	10.6352	2.27	1.834
60	N36 11	9.950	13.16	10.6352	2.27	1.834
61	N36 18	9.950	13.15	10.6076	2.27	1.831
62	N39 24	9.950	13.67	11.1734	2.24	1.830
63	N43 9	9.950	13.63	11.0535	2.24	1.816
64	H18 239	9.950	12.17	9.9696	2.21	1.810
65	N39 11	9.950	13.11	10.7680	2.20	1.806
66	N39 9	9.950	13.22	10.8488	2.20	1.805
67	N39 8	9.950	13.18	10.8173	2.20	1.805
68	H18 120	9.950	12.16	9.9260	2.21	1.803
69	N39 10	9.950	13.52	11.0696	2.20	1.801
70	N39 7	9.950	13.52	11.0519	2.20	1.798
71	N40 17	9.950	13.49	11.0122	2.20	1.795
72	N37 6	9.950	13.49	10.9930	2.20	1.792
73	N37 1	9.950	13.00	10.5778	2.20	1.790
74	N37 9	9.950	12.95	10.5379	2.20	1.790
75	H17 117	9.950	13.74	11.2610	2.18	1.786
76	H17 115	9.950	13.73	11.2161	2.18	1.780
77	N37 4	9.950	13.06	10.5039	2.20	1.769
78	N37 15	9.950	13.55	11.0360	2.08	1.694
79	N37 18	9.950	13.75	11.1800	2.08	1.691
80	N37 19	9.950	13.51	10.9835	2.08	1.691
81	N37 16	9.950	14.07	11.4212	2.08	1.688
82	N37 17	9.950	13.72	10.9155	2.08	1.654
83	N41 20	9.945	13.46	10.9703	2.30	1.874
84	N41 24	9.945	13.41	10.9156	2.30	1.872
85	N41 18	9.945	13.53	10.9971	2.30	1.869
86	N42 2	9.945	13.42	10.9034	2.30	1.868
87	N35 25	9.945	13.56	11.0163	2.30	1.868
88	N35 23	9.945	13.42	10.8918	2.30	1.866
89	N35 21	9.945	13.39	10.8521	2.30	1.864
90	N41 19	9.945	13.54	10.9732	2.30	1.863
91	N35 16	9.945	13.49	10.9007	2.30	1.858
92	N42 15	9.945	13.09	10.6470	2.27	1.846
93	N44 10	9.945	14.17	11.5458	2.26	1.841
94	N36 16	9.945	13.19	10.6957	2.27	1.840
95	N44 6	9.945	14.11	11.4844	2.26	1.839
96	N35 1	9.945	13.19	10.6864	2.27	1.839
97	N44 18	9.945	14.14	11.4857	2.26	1.835
98	N42 18	9.945	13.08	10.5690	2.27	1.834
99	N42 20	9.945	13.10	10.5850	2.27	1.834
100	N36 5	9.945	13.16	10.6124	2.27	1.830
101	N36 20	9.945	13.17	10.6165	2.27	1.829
102	N42 17	9.945	13.15	10.5760	2.27	1.825
103	N35 5	9.945	12.94	10.5146	2.20	1.787
104	N37 8	9.945	13.32	10.7972	2.20	1.783

9.9516 1399.29 1136.3612 2.239 1.8181

*

PIPE NO. 10022.-1

NO	PEL-NO	DIA.	HEIGHT	WEIGHT	PU-W/O	PU/H
1	H11 121	10.040	12.94	11.2450	2.20	1.911
2	H08 205	10.040	13.83	11.4617	2.27	1.881
3	H08 6	10.040	13.73	11.3400	2.27	1.874
4	H07 138	10.040	14.19	11.7746	2.24	1.858
5	H12 135	10.040	13.72	11.2567	2.08	1.706
6	H12 159	10.040	14.12	11.5666	2.08	1.703
7	H08 159	10.030	13.76	11.3365	2.27	1.870
8	H08 163	10.030	13.73	11.2864	2.27	1.865
9	H06 125	10.030	14.18	11.4296	2.28	1.837
10	H06 76	10.030	12.83	10.3355	2.28	1.836
11	H12 115	10.030	14.09	11.5942	2.08	1.711
12	H12 215	10.030	14.24	11.7081	2.08	1.710
13	H12 177	10.030	14.09	11.5853	2.08	1.710
14	H12 154	10.030	14.07	11.5410	2.08	1.706
15	H12 149	10.030	14.12	11.5854	2.08	1.706
16	H12 145	10.030	14.12	11.5662	2.08	1.703
17	H12 155	10.030	13.69	11.1954	2.08	1.700
18	H12 147	10.030	13.64	11.0523	2.08	1.685
19	H12 161	10.030	13.69	11.0900	2.08	1.684
20	H12 160	10.030	14.16	11.4483	2.08	1.681
21	H08 147	10.020	13.76	11.3360	2.27	1.870
22	H08 167	10.020	13.75	11.3165	2.27	1.868
23	H08 210	10.020	13.78	11.3440	2.27	1.868
24	H08 13	10.020	13.75	11.3046	2.27	1.866
25	H08 149	10.020	13.73	11.2850	2.27	1.865
26	H08 151	10.020	13.68	11.2345	2.27	1.864
27	H08 154	10.020	13.73	11.2690	2.27	1.863
28	H08 165	10.020	13.67	11.2133	2.27	1.862
29	H02 31	10.020	14.58	11.8404	2.22	1.802
30	H12 113	10.020	14.08	11.5950	2.08	1.712
31	H12 129	10.020	13.69	11.2539	2.08	1.709
32	H12 118	10.020	14.08	11.5750	2.08	1.709
33	H12 121	10.020	13.68	11.2231	2.08	1.706
34	H12 153	10.020	14.22	11.6698	2.08	1.706
35	H12 214	10.020	14.08	11.5431	2.08	1.705
36	H12 150	10.020	14.07	11.5011	2.08	1.700
37	H12 148	10.020	13.68	11.1750	2.08	1.699
38	H12 173	10.020	14.10	11.5192	2.08	1.699
39	H12 202	10.020	14.24	11.5331	2.08	1.684
40	H12 200	10.020	14.18	11.4070	2.08	1.673
41	H12 203	10.020	13.78	11.0586	2.08	1.669
42	H12 204	10.020	14.28	11.4590	2.08	1.669
43	H02 17	10.010	14.20	11.7021	2.22	1.829
44	H06 104	10.010	13.80	11.0212	2.28	1.820
45	H02 6	10.010	14.48	11.7394	2.22	1.799
46	H02 8	10.010	14.38	11.6527	2.22	1.798
47	H02 14	10.010	14.30	11.5452	2.22	1.792
48	H02 12	10.010	14.21	11.4372	2.22	1.786
49	H08 1	10.010	13.82	11.4247	2.27	1.876
50	H09 48	10.010	13.66	11.1331	2.30	1.874
51	H08 11	10.010	13.71	11.3158	2.27	1.873
52	H08 3	10.010	13.80	11.3853	2.27	1.872
53	H08 148	10.010	13.78	11.3562	2.27	1.870
54	H08 209	10.010	13.75	11.3330	2.27	1.870
55	H08 10	10.010	13.69	11.2659	2.27	1.868

PIPE NO. 10022-2

NO	PEL-NO	DIA.	HEIGHT	WEIGHT	PU-W/O	PU/H
56	H08 174	10.010	13.65	11.2350	2.27	1.868
57	H08 2	10.010	13.75	11.3091	2.27	1.867
58	H08 207	10.010	13.76	11.3223	2.27	1.867
59	H08 161	10.010	13.69	11.2489	2.27	1.865
60	H08 212	10.010	13.64	11.1705	2.27	1.859
61	H09 46	10.010	13.54	10.9416	2.30	1.858
62	H09 33	10.010	13.54	10.9073	2.30	1.852
63	H09 29	10.010	13.78	11.0568	2.30	1.845
64	H08 173	10.010	13.77	11.1887	2.27	1.844
65	H12 143	10.010	14.05	11.5714	2.08	1.713
66	H12 125	10.010	14.08	11.5891	2.08	1.712
67	H12 122	10.010	13.69	11.2510	2.08	1.709
68	H12 116	10.010	14.05	11.5353	2.08	1.707
69	H12 138	10.010	14.22	11.6747	2.08	1.707
70	H12 142	10.010	14.05	11.5330	2.08	1.707
71	H12 163	10.010	13.69	11.2412	2.08	1.707
72	H12 170	10.010	13.69	11.2252	2.08	1.705
73	H12 117	10.010	14.06	11.5240	2.08	1.704
74	H12 128	10.010	14.19	11.6224	2.08	1.703
75	H12 169	10.010	14.05	11.4985	2.08	1.702
76	H12 166	10.010	14.07	11.5194	2.08	1.702
77	H12 174	10.010	14.03	11.4717	2.08	1.700
78	H12 216	10.010	13.68	11.1692	2.08	1.698
79	H12 165	10.010	14.20	11.5946	2.08	1.698
80	H12 162	10.010	14.18	11.5589	2.08	1.695
81	H08 7	10.000	13.70	11.2972	2.27	1.871
82	H08 156	10.000	13.69	11.2864	2.27	1.871
83	H08 15	10.000	13.67	11.2202	2.27	1.863
84	H08 16	10.000	13.80	11.2894	2.27	1.857
85	H09 38	10.000	13.50	10.8995	2.30	1.856
86	H09 31	10.000	13.49	10.8776	2.30	1.854
87	H09 60	10.000	13.60	10.9305	2.30	1.848
88	H06 87	10.000	14.11	11.3254	2.28	1.830
89	H06 73	10.000	13.56	10.8825	2.28	1.829
90	H06 82	10.000	13.49	10.8025	2.28	1.825
91	H06 91	10.000	12.75	10.2082	2.28	1.825
92	H12 114	10.000	13.65	11.1920	2.08	1.705
93	H12 168	10.000	14.05	11.5181	2.08	1.705
94	H12 201	10.000	14.05	11.5021	2.08	1.702
95	H12 167	10.000	13.70	11.2100	2.08	1.701
96	H12 140	10.000	13.61	11.1250	2.08	1.700
97	H12 127	10.000	14.17	11.5758	2.08	1.699
98	H12 157	10.000	14.17	11.5530	2.08	1.695
99	H12 164	10.000	13.65	11.1138	2.08	1.693
100	H12 152	10.000	13.59	10.9553	2.08	1.676
101	H06 94	10.000	13.44	10.6964	2.28	1.814
		10.0146	1399.65	1143.7875	2.174	1.7766

*

PIPE NO. 10002.-1

NO	PEL-NO	DIA.	HEIGHT	WEIGHT	PU-W/O	PU/H
1	H18 106	10.050	16.78	13.9914	2.21	1.842
2	N41 13	10.045	14.08	11.1897	2.25	1.788
3	H17 267	10.043	13.44	11.1980	2.18	1.816
4	H18 111	10.040	15.97	13.3430	2.21	1.846
5	N34 20	10.040	14.57	12.1085	2.17	1.803
6	N34 17	10.040	14.60	12.1490	2.16	1.797
7	N34 14	10.040	14.60	12.1463	2.16	1.796
8	H13 106	10.040	13.04	10.9590	2.17	1.823
9	H14 30	10.035	14.53	12.0750	2.16	1.795
10	H14 63	10.035	14.55	12.0898	2.16	1.794
11	H14 2	10.035	14.60	12.1200	2.16	1.793
12	H14 66	10.035	14.55	12.0844	2.16	1.793
13	H18 270	10.033	14.64	12.2401	2.21	1.847
14	H18 271	10.030	16.29	13.5642	2.21	1.840
15	H18 261	10.030	17.04	14.1370	2.21	1.833
16	N32 10	10.030	14.05	11.2639	2.25	1.803
17	N34 19	10.030	13.10	10.8780	2.17	1.801
18	N32 13	10.030	14.20	11.3582	2.25	1.799
19	N34 13	10.030	14.69	12.2018	2.16	1.794
20	N34 16	10.030	14.60	12.1326	2.16	1.794
21	N38 4	10.030	14.16	11.4392	2.22	1.793
22	N34 12	10.030	14.55	12.0762	2.16	1.792
23	N34 18	10.030	14.57	12.0573	2.16	1.787
24	H18 263	10.027	12.38	9.9210	2.21	1.771
25	N34 15	10.025	14.57	12.1007	2.16	1.793
26	H14 51	10.030	14.71	12.2452	2.16	1.798
27	H14 31	10.030	14.57	12.1140	2.16	1.795
28	H14 56	10.030	14.62	12.1380	2.16	1.793
29	H18 268	10.023	16.01	13.3240	2.21	1.839
30	H18 101	10.020	15.79	13.0736	2.21	1.829
31	H17 265	10.020	13.93	11.5624	2.18	1.809
32	N32 5	10.020	15.08	12.0707	2.25	1.800
33	N32 11	10.020	13.65	10.8815	2.25	1.793
34	N33 7	10.020	13.79	10.9825	2.08	1.656
35	N40 1	10.015	14.17	11.6771	2.22	1.829
36	H13 146	10.020	12.90	10.6836	2.17	1.797
37	H13 124	10.015	12.84	10.6205	2.17	1.794
38	H17 119	10.010	13.45	11.1347	2.18	1.804
39	H17 114	10.010	13.94	11.5190	2.18	1.801
40	N32 6	10.010	14.81	11.8023	2.25	1.793
41	N32 9	10.010	13.52	10.7477	2.25	1.788
42	N32 3	10.010	14.89	11.7836	2.22	1.756
43	N41 17	10.010	14.06	11.4814	2.08	1.698
44	N34 8	10.000	14.40	11.9468	2.24	1.858
45	H18 213	10.000	12.28	10.1443	2.21	1.825
46	N32 4	10.000	13.99	11.2104	2.25	1.802
47	H17 121	10.000	13.94	11.5193	2.18	1.801
48	N32 8	10.000	14.15	11.1718	2.25	1.776
49	N38 9	9.995	14.33	11.6048	2.26	1.830
50	N34 11	9.990	13.67	11.2583	2.27	1.869
51	N34 5	9.990	15.20	12.5202	2.24	1.845
52	H18 134	9.990	12.29	10.1505	2.21	1.825
53	N32 2	9.990	14.37	11.8053	2.22	1.823
54	H18 147	9.990	12.27	10.1260	2.21	1.823
55	H18 135	9.990	12.29	10.1365	2.21	1.822

PIPE NO. 10002-2

NO	PEL-NO	DIA.	HEIGHT	WEIGHT	PU-W/Q	PU/H
56	H18 110	9.990	16.43	13.5167	2.21	1.818
57	H18 149	9.990	12.30	10.1185	2.21	1.818
58	N41 11	9.990	13.48	10.8242	2.25	1.806
59	H17 113	9.990	13.91	11.4904	2.18	1.800
60	H17 106	9.990	13.89	11.4643	2.18	1.799
61	H17 129	9.990	13.86	11.4233	2.18	1.796
62	H17 132	9.990	13.91	11.4616	2.18	1.796
63	H17 240	9.990	13.84	11.4033	2.18	1.796
64	H17 105	9.990	13.81	11.3639	2.18	1.793
65	N32 7	9.990	13.59	10.8095	2.25	1.789
66	N32 12	9.990	13.90	11.0550	2.25	1.789
67	N38 3	9.990	13.93	11.0976	2.22	1.768
68	H12 132	9.990	14.05	11.5349	2.08	1.707
69	H12 110	9.990	14.21	11.6555	2.08	1.706
70	H12 130	9.990	13.65	11.2015	2.08	1.706
71	H12 137	9.990	13.67	11.2182	2.08	1.706
72	H12 131	9.990	14.19	11.6352	2.08	1.705
73	H12 171	9.990	13.66	11.2011	2.08	1.705
74	H12 139	9.990	14.17	11.6070	2.08	1.703
75	H12 134	9.990	14.05	11.5022	2.08	1.702
76	H12 176	9.990	14.05	11.5032	2.08	1.702
77	H12 111	9.990	13.62	11.1410	2.08	1.701
78	H12 172	9.990	14.15	11.5311	2.08	1.695
79	H12 158	9.990	14.16	11.5168	2.08	1.691
80	H12 151	9.990	13.56	10.9124	2.08	1.673
81	H06 89	9.990	14.94	12.1200	2.28	1.849
82	H06 90	9.990	13.80	11.0831	2.28	1.831
83	H06 71	9.990	13.73	11.0114	2.28	1.828
84	H06 84	9.990	13.75	11.0065	2.28	1.825
85	H06 93	9.990	13.10	10.4668	2.28	1.821
86	H06 68	9.990	14.08	11.2372	2.28	1.819
87	H13 145	9.990	13.10	10.7847	2.17	1.786
88	H13 144	9.985	12.86	10.5768	2.17	1.784
89	N40 5	9.985	14.32	11.7611	2.26	1.856
90	N4 2	9.985	14.31	11.7434	2.26	1.854
91	N43 1	9.985	13.86	11.2230	2.27	1.838
92	N37 24	9.985	13.98	11.1871	2.22	1.776
93	H13 88	9.980	12.89	10.5837	2.17	1.781
94	N38 1	9.975	14.19	11.4842	2.22	1.796
95	N34 6	9.980	14.30	11.8253	2.24	1.852
96	N41 6	9.980	14.40	11.7049	2.26	1.837
97	H18 102	9.980	16.42	13.4882	2.21	1.815
98	N38 8	9.975	14.29	11.6599	2.26	1.844
99	N38 13	9.975	14.30	11.6668	2.26	1.843

10.0057 1398.72 1145.0628 2.191 1.7930

*

PIPE NO. 10034.- |

NO	PEL-NO	DIA.	HEIGHT	WEIGHT	PU-W/O	PU/H
1	N38 18	9.955	14.24	11.5795	2.26	1.837
2	N36 23	9.955	13.20	10.6997	2.27	1.840
3	N38 20	9.955	14.26	11.6215	2.26	1.841
4	N38 5	9.955	14.25	11.6238	2.26	1.843
5	N38 19	9.955	14.20	11.5918	2.26	1.844
6	N44 16	9.955	14.28	11.6789	2.26	1.848
7	N40 6	9.955	14.34	11.7319	2.26	1.848
8	N35 9	9.955	13.61	11.0096	2.30	1.860
9	N35 26	9.955	13.45	10.8886	2.30	1.861
10	N35 8	9.955	13.60	11.0195	2.30	1.863
11	N42 3	9.955	13.47	11.0020	2.30	1.878
12	N39 1	9.955	13.51	11.0401	2.30	1.879
13	H17 108	9.960	13.80	11.3039	2.18	1.785
14	H17 142	9.960	13.77	11.2828	2.18	1.786
15	H17 112	9.960	13.81	11.3194	2.18	1.786
16	H17 111	9.960	13.76	11.2790	2.18	1.786
17	H17 126	9.960	13.79	11.3119	2.18	1.788
18	H17 125	9.960	13.75	11.2840	2.18	1.789
19	H17 116	9.960	13.77	11.3077	2.18	1.790
20	N37 3	9.960	13.52	11.0435	2.20	1.797
21	N37 7	9.960	13.52	11.0461	2.20	1.797
22	H18 141	9.960	12.23	10.0094	2.21	1.808
23	H18 117	9.960	12.22	10.0305	2.21	1.814
24	N41 3	9.960	14.20	11.4816	2.26	1.827
25	N44 13	9.960	14.22	11.5350	2.26	1.833
26	N36 4	9.960	13.16	10.6433	2.27	1.835
27	N38 14	9.960	14.18	11.5178	2.26	1.835
28	N39 15	9.960	14.62	11.9795	2.24	1.835
29	N39 23	9.960	14.08	11.5564	2.24	1.838
30	N38 6	9.960	14.14	11.5096	2.26	1.839
31	N39 14	9.960	14.06	11.5510	2.24	1.840
32	N44 7	9.960	14.29	11.6383	2.26	1.840
33	N41 4	9.960	14.29	11.6413	2.26	1.841
34	N43 4	9.960	14.10	11.6007	2.24	1.842
35	N34 4	9.960	14.17	11.6554	2.24	1.842
36	N38 15	9.960	14.29	11.6546	2.26	1.843
37	N44 15	9.960	14.17	11.5581	2.26	1.843
38	N38 7	9.960	14.28	11.6460	2.26	1.843
39	N39 19	9.960	14.11	11.6100	2.24	1.843
40	N35 22	9.960	13.60	11.0354	2.30	1.866
41	N35 12	9.960	13.64	11.0851	2.30	1.869
42	N40 13	9.960	13.44	10.9895	2.30	1.880
43	N35 20	9.965	13.52	10.0450	2.30	1.708
44	N38 21	9.965	14.32	11.6272	2.26	1.835
45	N38 22	9.965	14.18	11.5222	2.26	1.836
46	N38 10	9.965	14.22	11.5643	2.26	1.837
47	N44 20	9.965	14.34	11.6890	2.26	1.842
48	N38 12	9.965	14.23	11.6052	2.26	1.843
49	N41 5	9.965	14.33	11.6862	2.26	1.843
50	N38 17	9.965	14.29	11.6682	2.26	1.845
51	N40 4	9.965	14.23	11.6614	2.26	1.852
52	N35 19	9.965	13.43	10.8439	2.30	1.857
53	N35 11	9.965	13.63	11.0529	2.30	1.865
54	N35 13	9.965	13.45	10.9437	2.30	1.871
55	N35 15	9.965	13.51	11.0174	2.30	1.875

PIPE NO. 10034-2

NO	PEL-NO	DIA.	HEIGHT	WEIGHT	PU-W/O	PU/H
56	N33 6	9.970	12.85	10.0994	2.24	1.760
57	H17 131	9.970	13.79	11.3047	2.18	1.787
58	H17 123	9.970	13.76	11.2890	2.18	1.788
59	H17 242	9.970	13.79	11.3226	2.18	1.789
60	H17 143	9.970	13.82	11.3453	2.18	1.789
61	H17 118	9.970	13.85	11.3786	2.18	1.790
62	H17 120	9.970	13.81	11.3423	2.18	1.790
63	H17 205	9.970	13.76	11.3154	2.18	1.792
64	H17 107	9.970	13.78	11.3392	2.18	1.793
65	N41 12	9.970	13.57	10.8638	2.25	1.801
66	H18 140	9.970	12.21	10.0146	2.21	1.812
67	H18 138	9.970	12.23	10.0302	2.21	1.812
68	H18 216	9.970	12.22	10.0195	2.21	1.812
69	H18 240	9.970	12.20	10.0190	2.21	1.814
70	H18 124	9.970	12.22	10.0305	2.21	1.814
71	H18 242	9.970	12.21	10.0353	2.21	1.816
72	N37 21	9.970	13.70	11.1492	2.24	1.822
73	N34 7	9.970	12.65	10.3950	2.24	1.840
74	N38 23	9.970	14.30	11.7006	2.26	1.849
75	N34 3	9.970	14.33	11.8371	2.24	1.850
76	N35 18	9.970	13.41	10.8890	2.30	1.867
77	N34 9	9.970	13.65	11.2403	2.27	1.869
78	H02 4	9.970	14.56	11.8479	2.22	1.806
79	H02 33	9.970	14.52	11.8454	2.22	1.811
80	H02 13	9.970	14.23	11.6419	2.22	1.816
81	H02 24	9.980	14.80	11.6340	2.22	1.745
82	H02 28	9.980	14.53	11.6622	2.22	1.781
83	H02 26	9.980	14.62	11.7591	2.22	1.785
84	H02 25	9.980	14.71	11.8761	2.22	1.792
85	N41 10	9.975	14.11	11.3701	2.25	1.813
86	N39 25	9.975	14.15	11.6468	2.24	1.843
87	N35 17	9.975	13.39	10.7730	2.30	1.850
88	H17 130	9.980	13.81	11.3401	2.18	1.790
89	H17 241	9.980	13.84	11.3755	2.18	1.791
90	H17 245	9.980	13.82	11.3625	2.18	1.792
91	H17 136	9.980	13.84	11.3790	2.18	1.792
92	H17 122	9.980	13.88	11.4490	2.18	1.798
93	H18 244	9.980	12.25	10.0673	2.21	1.816
94	H18 247	9.980	12.26	10.0997	2.21	1.820
95	H18 143	9.980	12.24	10.0869	2.21	1.821
96	H06 88	9.980	12.62	10.0350	2.28	1.812
97	H06 86	9.980	14.09	11.2097	2.28	1.813
98	H06 105	9.980	14.17	11.2948	2.28	1.817
99	H06 80	9.980	13.39	10.6722	2.28	1.817
100	H06 127	9.980	12.90	10.2957	2.28	1.819
101	H06 72	9.980	13.68	10.9199	2.28	1.819
102	H06 69	9.980	14.10	11.2776	2.28	1.823

9.9666 1399.69 1139.4023 2.240 1.8230

*

PIPE NO. 10036-1

NO	PEL-NO	DIA.	HEIGHT	WEIGHT	PU-W/O	PU/H
1	H06 102	9.990	13.85	11.0399	2.28	1.817
2	H06 123	9.990	14.13	11.1575	2.28	1.800
3	H09 42	9.990	13.55	10.9993	2.30	1.867
4	H08 5	9.990	13.34	10.9695	2.27	1.866
5	H09 34	9.990	13.60	11.0370	2.30	1.866
6	H08 17	9.990	13.80	11.3379	2.27	1.865
7	H09 55	9.990	13.65	11.0248	2.30	1.857
8	H08 18	9.990	13.82	11.3025	2.27	1.856
9	H10 93	9.990	13.32	10.8931	2.27	1.856
10	H09 32	9.990	13.70	11.0510	2.30	1.855
11	H09 71	9.990	13.57	10.9426	2.30	1.854
12	H09 69	9.990	13.52	10.8952	2.30	1.853
13	H08 19	9.990	13.79	11.2479	2.27	1.851
14	H08 170	9.990	13.75	11.1572	2.27	1.841
15	H08 208	9.990	13.75	11.1572	2.27	1.841
16	H02 16	9.990	14.21	11.6833	2.22	1.825
17	H02 11	9.990	14.39	11.6799	2.22	1.801
18	H02 19	9.990	14.37	11.6361	2.22	1.797
19	H02 1	9.990	14.73	11.8515	2.22	1.786
20	H02 3	9.990	14.67	11.7671	2.22	1.780
21	H09 63	9.980	13.55	11.0429	2.30	1.874
22	H08 9	9.980	13.71	11.2812	2.27	1.867
23	H09 58	9.980	13.52	10.9718	2.30	1.866
24	H09 35	9.980	13.45	10.8945	2.30	1.863
25	H09 37	9.980	13.64	11.0360	2.30	1.860
26	H06 47 126	9.980 9.970	13.53 13.32	11.0194	2.30	1.859
27	H09 52	9.980	13.51	10.9100	2.30	1.857
28	H09 65	9.980	13.57	10.9592	2.30	1.857
29	H10 108	9.980	13.35	10.9039	2.27	1.854
30	H09 67	9.980	13.59	10.9519	2.30	1.853
31	H08 23	9.980	13.78	11.2264	2.27	1.849
32	H10 89	9.980	13.25	10.7905	2.27	1.848
X 33	H06 21 121	9.980	13.74 13.54	11.1856 10.7532	2.27	1.847 1.810
34	H06 67	9.980	13.72	11.0500	2.28	1.836
35	H06 99	9.980	13.07	10.4661	2.28	1.825
36	H08 25	9.980	13.79	11.2196	2.27	1.846
37	H08 21	9.980	13.72	11.1625	2.27	1.846
38	H08 14	9.980	13.77	11.1937	2.27	1.845
39	H10 100	9.980	13.22	10.7434	2.27	1.844
40	H10 95	9.980	13.12	10.6530	2.27	1.843
41	H06 74	9.980	13.71	10.9675	2.28	1.823
42	H06 85	9.980	13.67	10.9260	2.28	1.822
43	H12 119	9.980	14.14	11.5527	2.08	1.699
44	H12 123	9.980	14.23	11.5851	2.08	1.693
45	H12 144	9.980	14.13	11.5033	2.08	1.693
46	H12 156	9.980	13.59	11.0630	2.08	1.693
47	H09 62	9.970	13.56	11.0754	2.30	1.878
48	H09 53	9.970	13.52	11.0348	2.30	1.877
49	H09 64	9.970	13.68	11.1437	2.30	1.873
50	H09 45	9.970	13.52	11.0067	2.30	1.872
51	H09 49	9.970	13.47	10.9433	2.30	1.868
52	H09 66	9.970	13.54	10.9937	2.30	1.867
53	H09 50	9.970	13.47	10.9285	2.30	1.866
54	H09 61	9.970	13.45	10.9088	2.30	1.865
55	H09 54	9.970	13.66	11.0805	2.30	1.865

PIPE NO. 10036-2

NO	PEL-NO	DIA.	HEIGHT	WEIGHT	PU-W/O	PU/H
56	H09 39	9.970	13.62	11.0424	2.30	1.864
57	H09 40	9.970	13.46	10.9108	2.30	1.864
58	H09 44	9.970	13.48	10.9295	2.30	1.864
59	H09 56	9.970	13.63	11.0200	2.30	1.859
60	H09 30	9.970	13.43	10.8484	2.30	1.857
61	H09 59	9.970	13.60	10.9827	2.30	1.857
62	H09 36	9.970	13.40	10.8056	2.30	1.854
63	H10 103	9.970	13.25	10.8135	2.27	1.852
64	H08 153	9.970	13.71	11.1797	2.27	1.851
65	H08 168	9.970	13.71	11.1632	2.27	1.848
66	H10 83	9.970	13.25	10.7926	2.27	1.848
67	H10 107	9.970	13.23	10.7709	2.27	1.848
68	H10 101	9.970	13.26	10.7950	2.27	1.848
69	H08 162	9.970	13.73	11.1737	2.27	1.847
70	H10 96	9.970	13.26	10.7928	2.27	1.847
71	H10 84	9.970	13.24	10.7748	2.27	1.847
72	H10 85	9.970	13.25	10.7775	2.27	1.846
73	H08 172	9.970	13.72	11.1455	2.27	1.844
74	H10 78	9.970	13.21	10.7260	2.27	1.843
75	H10 98	9.970	13.20	10.7186	2.27	1.843
76	H10 88	9.970	13.23	10.7350	2.27	1.841
77	H12 136	9.970	13.60	11.1237	2.08	1.701
78	H12 126	9.970	13.59	11.0955	2.08	1.698
79	H12 124	9.970	14.15	11.5383	2.08	1.696
80	H12 120	9.970	14.16	11.5402	2.08	1.695
81	H12 141	9.970	13.77	11.2154	2.08	1.694
82	H12 109	9.970	13.55	11.0331	2.08	1.693
83	H02 23	9.970	14.73	11.7591	2.22	1.772
84	H09 51	9.960	13.55	11.0426	2.30	1.874
85	H09 57	9.960	13.46	10.9463	2.30	1.870
86	H09 72	9.960	13.21	10.7439	2.30	1.870
87	H09 43	9.960	13.47	10.9141	2.30	1.863
88	H10 206	9.960	13.49	11.0678	2.27	1.862
89	H09 41	9.960	13.60	10.9859	2.30	1.857
90	H10 87	9.960	13.23	10.7663	2.27	1.847
91	H10 90	9.960	13.22	10.7560	2.27	1.846
92	H10 74	9.960	13.18	10.7023	2.27	1.843
93	H10 77	9.960	13.23	10.7440	2.27	1.843
94	H10 76	9.960	13.18	10.6950	2.27	1.842
95	H10 91	9.960	13.19	10.7055	2.27	1.842
96	H10 102	9.960	13.21	10.7221	2.27	1.842
97	H17 103	9.960	13.67	11.1480	2.18	1.777
98	H06 96	9.960	13.09	10.1824	2.28	1.773
99	H12 112	9.960	13.57	11.0649	2.08	1.696
100	H12 133	9.960	13.50	10.9368	2.08	1.685
101	H12 146	9.960	13.51	10.9324	2.08	1.683
102	H12 175	9.960	13.51	10.8967	2.08	1.677
103	H11 125	9.960	13.58	10.0545	2.20	1.628
		9.9744	1400.62	1135.4161	2.250	1.8239
			1400.11	1134.9837		

PIPE NO. 10002-1

NO	PEL-NO	DIA.	HEIGHT	WEIGHT	PU-W/O	PU/H
1	N44 12	9.950	14.31	11.6866	2.26	1.845
2	N43 11	9.950	14.16	11.6490	2.24	1.842
3	N44 3	9.950	14.21	11.5851	2.26	1.842
4	N44 17	9.950	14.16	11.5300	2.26	1.840
5	N44 14	9.950	14.20	11.5493	2.26	1.838
6	N38 11	9.950	14.39	11.6389	2.26	1.827
7	N40 18	9.945	14.60	11.9404	2.24	1.831
8	N39 13	9.945	13.70	11.1822	2.24	1.828
9	N40 20	9.945	13.68	11.1636	2.24	1.827
10	N40 15	9.945	13.65	11.1653	2.20	1.799
11	N39 4	9.945	13.38	10.9131	2.20	1.794
12	N37 25	9.945	13.89	11.1836	2.22	1.787
13	N44 21	9.945	13.86	10.9681	2.25	1.780
14	N35 7	9.945	13.11	10.5958	2.20	1.778
15	N40 9	9.940	13.54	11.0362	2.30	1.874
16	N34 10	9.940	13.78	11.3707	2.27	1.873
17	N40 14	9.940	13.60	11.0745	2.30	1.872
18	N41 22	9.940	13.58	11.0435	2.30	1.870
19	N42 1	9.940	13.63	11.0803	2.30	1.869
20	N41 23	9.940	13.39	10.8522	2.30	1.864
21	N36 3	9.940	13.14	10.6486	2.27	1.839
22	N42 19	9.940	13.18	10.6728	2.27	1.838
23	N36 15	9.940	13.25	10.7342	2.27	1.838
24	N35 4	9.940	13.20	10.6830	2.27	1.837
25	N42 25	9.940	13.16	10.6518	2.27	1.837
26	N35 2	9.940	13.21	10.6949	2.27	1.837
27	N36 21	9.940	13.13	10.6300	2.27	1.837
28	N36 13	9.940	13.15	10.6456	2.27	1.837
29	N36 22	9.940	13.16	10.6356	2.27	1.834
30	N39 12	9.940	13.68	11.1983	2.24	1.833
31	N44 9	9.940	14.03	11.3730	2.26	1.832
32	N42 24	9.940	13.20	10.6562	2.27	1.832
33	N43 7	9.940	13.64	11.1461	2.24	1.830
34	N44 11	9.940	14.03	11.3572	2.26	1.829
35	N40 21	9.940	13.63	11.1337	2.24	1.829
36	N43 5	9.940	13.65	11.1440	2.24	1.828
37	N36 24	9.940	13.21	10.6372	2.27	1.827
38	N43 10	9.940	13.83	11.2784	2.24	1.826
39	N43 6	9.940	13.63	11.1057	2.24	1.825
40	N37 23	9.940	13.61	11.0568	2.24	1.819
41	N41 14	9.940	13.82	11.0757	2.25	1.803
42	H18 237	9.940	12.14	9.9077	2.21	1.803
43	H18 217	9.940	12.14	9.8996	2.21	1.802
44	H18 121	9.940	12.11	9.8533	2.21	1.798
45	N40 16	9.940	12.96	10.5808	2.20	1.796
46	N39 2	9.940	13.14	10.7261	2.20	1.795
47	N39 6	9.940	12.93	10.5295	2.20	1.791
48	N37 12	9.940	12.97	10.5381	2.20	1.787
49	N42 7	9.940	13.21	10.7289	2.20	1.786
50	N42 5	9.940	13.05	10.5990	2.20	1.786
51	N37 2	9.940	12.95	10.5109	2.20	1.785
52	N41 8	9.940	12.87	10.2134	2.25	1.785
53	N37 14	9.940	12.92	10.4654	2.20	1.782
54	N37 11	9.940	13.08	10.5939	2.20	1.781
55	H17 211	9.940	13.68	11.1600	2.18	1.778

PIPE NO. 10032-2

NO	PEL-NO	DIA.	HEIGHT	WEIGHT	PU-W/O	PU/H
56	N37 10	9.940	13.07	10.5234	2.20	1.771
57	N41 15	9.940	13.48	10.8779	2.08	1.678
58	N40 10	9.935	13.57	11.0520	2.30	1.873
59	N44 1	9.935	13.49	10.9779	2.30	1.871
60	N41 25	9.935	13.52	10.9758	2.30	1.867
61	N41 21	9.935	13.53	10.9345	2.30	1.858
62	N42 9	9.935	13.09	10.6263	2.27	1.842
63	N40 3	9.935	14.01	11.4081	2.26	1.840
64	N40 8	9.935	13.95	11.4135	2.25	1.840
65	N40 7	9.935	13.97	11.4175	2.25	1.838
66	N42 14	9.935	13.23	10.7127	2.27	1.838
67	N44 5	9.935	14.06	11.4273	2.26	1.836
68	N42 22	9.935	13.13	10.6090	2.27	1.834
69	N36 19	9.935	13.13	10.6090	2.27	1.834
70	N43 3	9.935	13.15	10.6147	2.27	1.832
71	N40 23	9.935	13.90	11.3647	2.24	1.831
72	N40 25	9.935	13.68	11.1824	2.24	1.831
73	N42 16	9.935	13.15	10.6044	2.27	1.830
74	N44 19	9.935	14.00	11.3410	2.26	1.830
75	N36 12	9.935	13.19	10.6330	2.27	1.829
76	N43 2	9.935	13.08	10.5405	2.27	1.829
77	N42 11	9.935	13.16	10.5944	2.27	1.827
78	N40 24	9.935	13.62	11.1111	2.24	1.827
79	N41 9	9.935	13.52	10.7917	2.25	1.795
80	N39 5	9.935	12.95	10.5638	2.20	1.794
81	N39 3	9.935	12.93	10.5299	2.20	1.791
82	N42 4	9.935	13.42	10.8209	2.20	1.773
83	N44 23	9.930	13.53	10.9678	2.30	1.864
84	N44 2	9.930	13.11	10.6033	2.27	1.835
85	N42 23	9.930	13.16	10.6204	2.27	1.831
86	N43 8	9.930	13.62	11.1052	2.24	1.826
87	N42 12	9.930	13.11	10.5440	2.27	1.825
88	N40 22	9.930	13.68	11.1213	2.24	1.821
89	H18 241	9.930	12.11	9.8516	2.21	1.797
90	H18 133	9.930	12.14	9.8578	2.21	1.794
91	H18 132	9.930	12.10	9.8186	2.21	1.793
92	H18 245	9.930	12.15	9.8546	2.21	1.792
93	N42 6	9.930	13.10	10.6013	2.20	1.780
94	N41 16	9.930	13.84	11.2034	2.08	1.683
95	N44 24	9.925	13.56	10.9962	2.30	1.865
96	N44 27	9.925	13.45	10.8816	2.30	1.860
97	N42 21	9.925	12.88	10.4292	2.27	1.838
98	N42 27	9.925	13.09	10.5900	2.27	1.836
99	N42 10	9.925	13.15	10.6396	2.27	1.836
100	N40 19	9.925	13.65	11.1653	2.24	1.832
101	N42 26	9.925	13.15	10.6166	2.27	1.832
102	N42 13	9.925	13.11	10.5177	2.27	1.821
103	N42 8	9.925	13.06	10.5604	2.20	1.778
104	N44 22	9.925	13.46	10.8978	2.08	1.684
105	H18 119	9.920	12.09	9.8173	2.21	1.794
105	H18 123	9.920	12.10	9.7745	2.21	1.785

9.9370 ~~1402.79~~ ~~1136.1922~~ 2.243 1.8194
 (1401.21) (1137.7454)

4.8.4 IFA-159燃料の Identification

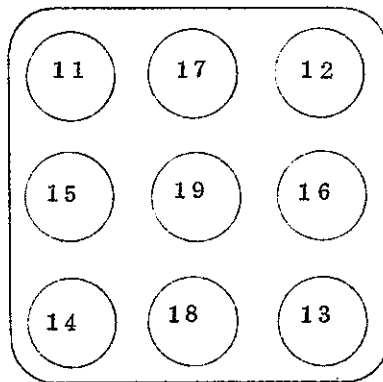
HBWR照射 IFA-159燃料の Identification を下記のように決めた。送付燃料 10本をそれぞれ次のように刻印する。

燃料棒分類番号	刻 印		
P 159-10	JA*	HI**	10
P 159-1	"	"	11
P 159-2	"	"	12
P 159-3	"	"	13
P 159-4	"	"	14
P 159-5	"	"	15
P 159-6	"	"	16
P 159-7	"	"	17
P 159-8	"	"	18
P 159-9	"	"	19

*JA JAPAN

**HI HBWR第1次燃料

集合体内の配置は次のようになる



10はスペア燃料棒

5 IFA-159 の炉物理試験*

IFA-159 の HBWR 照射に先立って、設計の妥当性の一部を確認するため、照射前の炉物理特性試験が、原研と動燃との共同研究契約に基づき、TCA で実施された。

試験の主目的は、(1) IFA-159 の出力分布に対する設計評価の妥当性を確認すること。(2) 燃料棒相互の核的一様性を確認すること。および(3) $\text{PuO}_2 - \text{UO}_2$ 燃料に関する実験値を集積すること等であったが、同時に燃料集合体において興味ある問題として、(4) 集合体内の位置による燃料棒表面の中性子束非等方性に関する測定値も得られた。その他、反応度効果および垂直方向の外挿距離等の補足的な測定も行なわれた。測定および結果の詳細については、PNCPU-REPORT-038 を参照されたい。この報告書では、以上の項目について、燃料棒試験と集合体試験に分けて、概要を記す。

* 「3×3格子燃料集合体 (HALDEN照射 IFA-159) に関する臨界実験および出力分布の解析」

5.1 燃料棒試験

(湯本)

燃料棒の炉物理特性試験として、各燃料棒（予備燃料棒を含む10本）の核的一様性が等価反応度を測定することによって確認された。いわゆる、燃料棒10本にプルトニウムが均一に分散しているかどうか、反応度の値で比較されることになる。この測定方法は、 $\text{PuO}_2 - \text{UO}_2$ の単一燃料棒実験で用いられたものと同様に、Fig. 5.1に示す52セルトラップ円環炉心の中心軸に沿って、測定しようとするIFA-159の燃料棒を1本毎挿入し、水位等価反応度法を適用して、その燃料棒の等価反応度が測定された。

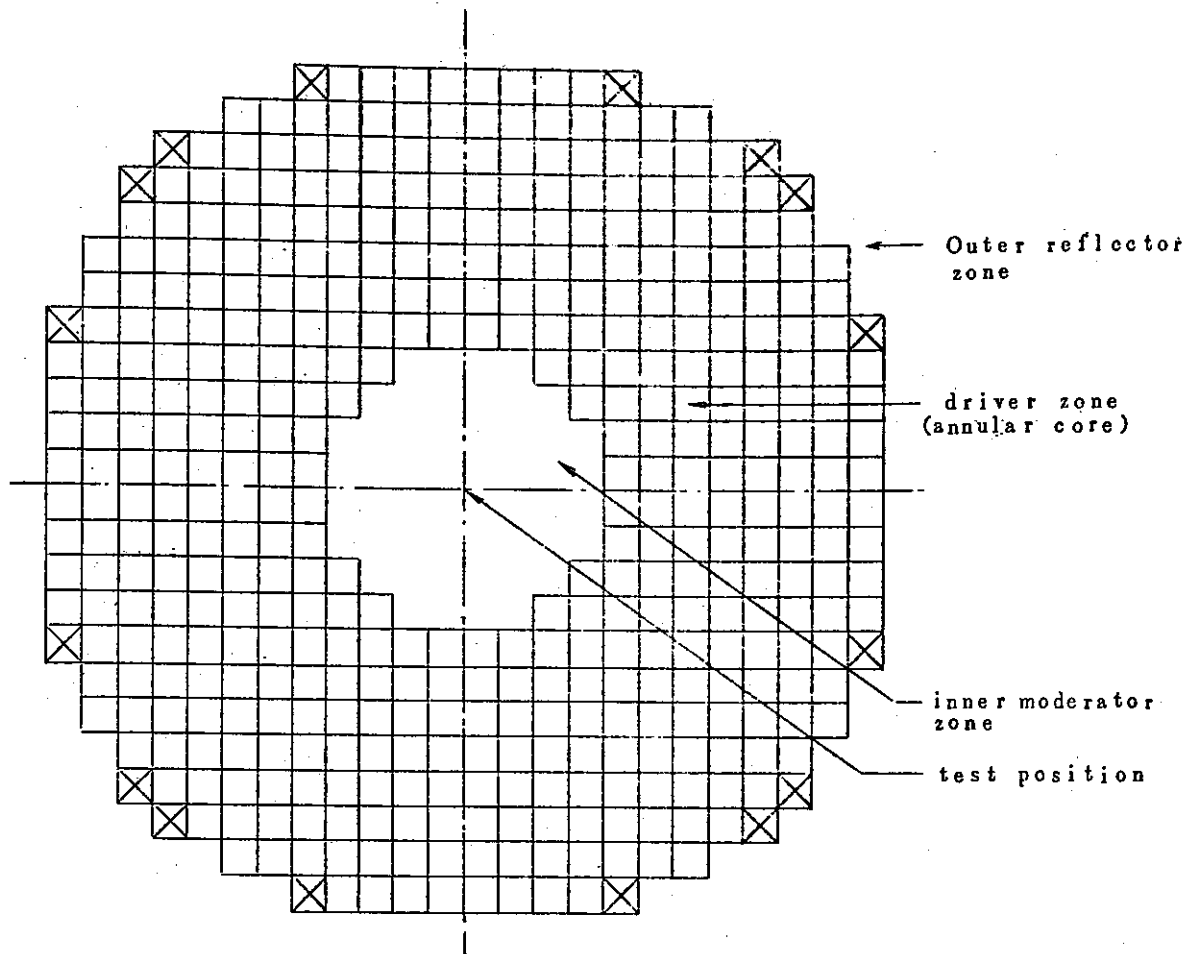
燃料棒正味の反応度効果は、燃料棒の等価反応度と同一構造の中空被覆管の等価反応度との差として得られた。測定結果はTable 5.1に示されるとおりで、燃料棒のプルトニウム分散度に関する反応度一様性はきわめてよいことが確かめられた。

Table 5.1 Uniformity of the Reactivity Worth of rods for IFA-159 Fuel

No. of IFA-159 Fuel Rod	IFA-159 Fuel Rod			Reactivity Worth			Remarks
	Active Length	$\text{PuO}_2 - \text{UO}_2$ Weight	Pu Linear Content	net (ρ)	difference (ρ)	Judgment $< 3\sigma$	
	mm	g	mg/cm				
Rods Average	1400.5	1141.1	180.1	91.54			
JA-HI-10	1403.6	1137.2	181.9	"	-0.345	2σ	$\sigma_a = \sqrt{\frac{\sum(\rho - \bar{\rho})^2}{(n-1)}}$ $= 0.27\%$ Relative Variance $\sigma_r = \frac{\sigma_a}{\rho} = 0.29\%$
" 11	1400.4	1141.8	179.0	"	+0.157	σ	
" 12	1398.1	1143.1	178.7	"	-0.018	σ	
" 13	1402.2	1152.4	179.0	"	+0.487	2σ	
" 14	1400.3	1139.1	179.3	"	-0.023	σ	
" 15	1401.3	1136.3	181.8	"	-0.295	2σ	
" 16	1398.8	1141.9	177.7	"	+0.133	σ	
" 17	1399.0	1144.4	179.3	"	+0.155	σ	
" 18	1399.5	1140.0	182.3	"	+0.110	σ	
" 19	1401.6	1136.3	182.4	"	-0.361	2σ	
Reference							
TA # 2 5.9% UO_2 Fuel							24 rods $\sigma_a = 0.70\%$ $\sigma_r = 0.65\%$
TA # 2 2.6% UO_2 Fuel							24 rods $\sigma_a = 0.65\%$ $\sigma_r = 0.95\%$

この結果から、燃料棒に含まれるプルトニウム含有量を関数とすると、反応度効果は、Fig. 5.2に示すように、ほぼ直線関係にあることが認められた。なお、今回の試験結果は、かなり熱化された熱中性子場におけるものであり、中性子スペクトルの変化に対応してどのよう

な結果が得られるかは明らかではない。また、この等価反応度は、照射履歴によって変わるので、HBWR照射終了後、再びTCAでの同一炉心において、同様の測定を行ない、等価反応度を測定し、照射による反応度効果の減少を評価するのは興味ある問題であると考えられる。



□ indicates a unit cell consisted of moderator and a fuel rod. The volume ratio V_{H_2O}/V_{UO_2} is 1.84. The fuel is 2.6 w/o UO_2 with 12.5% ϕ and 1441 μg .

⊗ indicates a peripheral fuel for criticality adjustment. The whole core consists of 440 fuels and its effective critical water level is 1312.8 μg without any sample at center. Equivalent radius of inner moderator zone is 79.5 μg , and equivalent thickness of the annular core is 165.2 μg .

Fig. 5.1 Plan view of test core

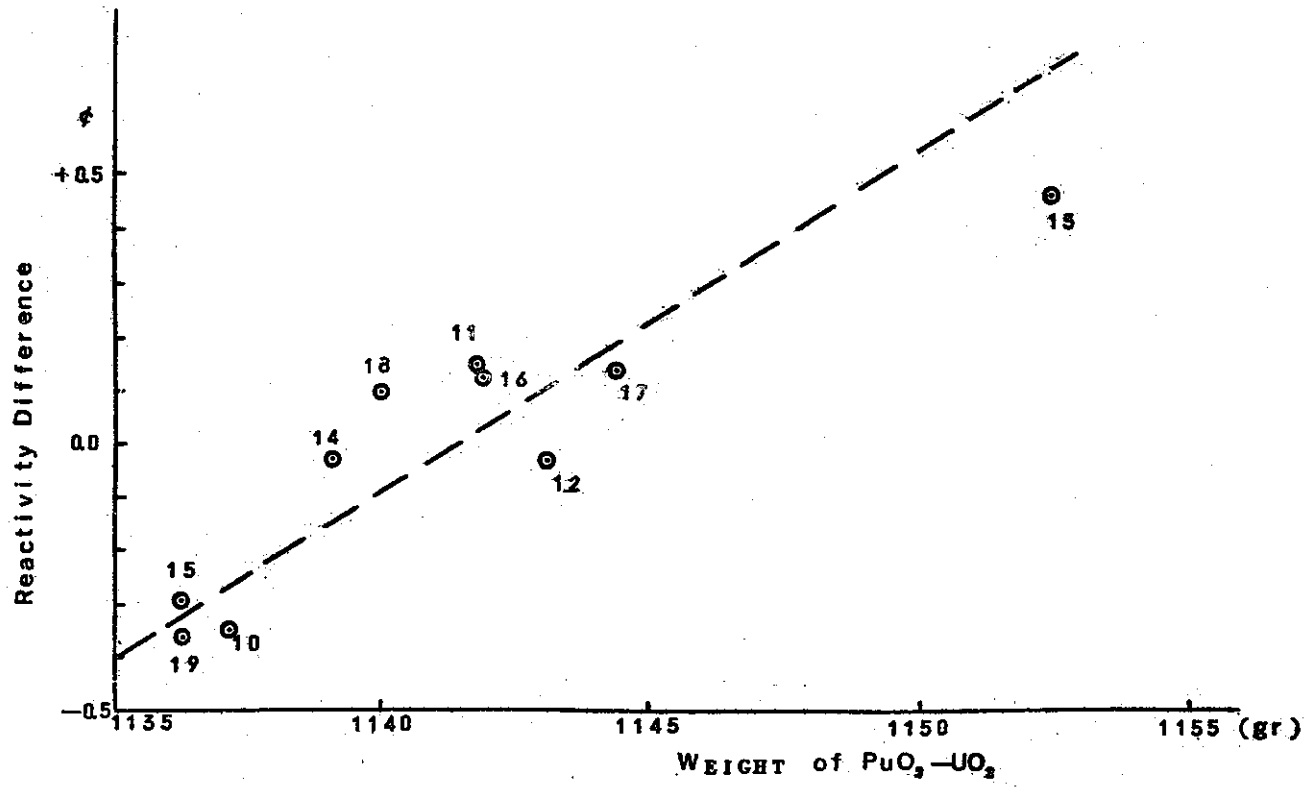


Fig. 5.2 Fuel Weight vs. Reactivity Difference

5.2 集合体試験

(湯本)

今回の実験の主目的は、IFA-159の集合体内半径方向の出力ピーキング因子が、HBWR照射において、いかなる値となるかを実験的に確認することにあった。HBWRは重水減速沸騰冷却炉であり、燃料集合体間隔は広く、隣接集合体の中心間距離は約13cmとなる。運転状態においては集合体内部はボイド率が、出口で90%代にも達し、また、平均では40~60%にもなる。したがって集合体内部での減速効果はきわめて低いものと考えられる。一方、TCAは軽水減速系であり、HBWR炉内の状況とはかなり相違する点が考えられるが、測定をパラメトリックに行なうことによって、HBWRにおける状況を推定できるよう考慮した。

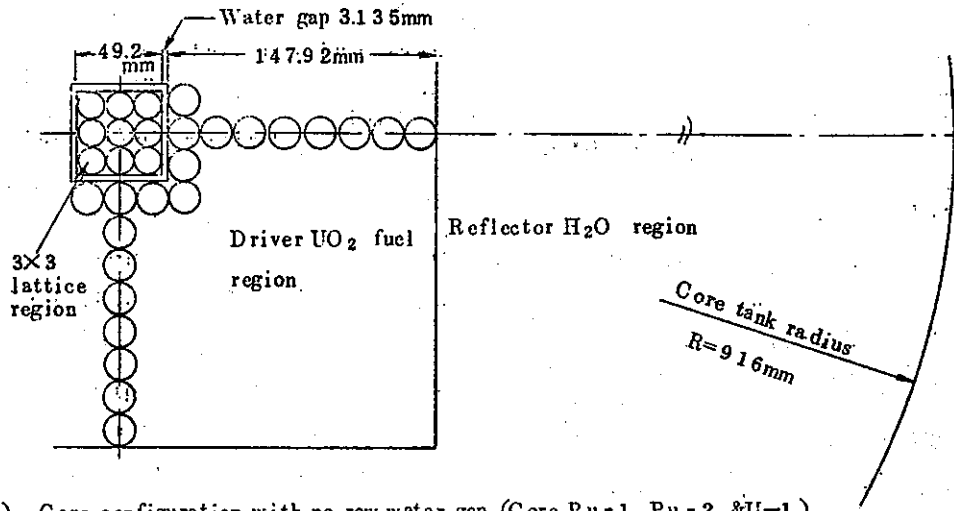
これらのことに関して、今回の実験は、炉心中央に PuO_2 - UO_2 燃料を 3×3 の正方格子に組んだIFA-159集合体をおき、その周囲を2.6% $\text{E} \cdot \text{UO}_2$ のドライバー燃料で取囲んだ炉心を採用した。中性子スペクトルの相違による変化をみるためには、IFA-159集合体とドライバー UO_2 格子領域との境界の水ギャップ幅を、次の3つのパラメータとして変化させた。すなわち、1) 最小隣接境界(No Row Water Gap)、2) 1列水ギャップ境界(One Row Water Gap) 3) 2列水ギャップ境界(Two Row Water Gap)。また、集合体のボイド率を模擬するため、IFA-159集合体内部に減速材(軽水)を満した場合(Flood)および空にした場合(Unflood)の両極端について測定した。これらの炉心構成図をFig. 5.3に示し、測定概要をTable 5.2に示す。以下、出力分布、中性子束の非等方性、および反応度効果等について順に記す。

5.2.1 出力分布

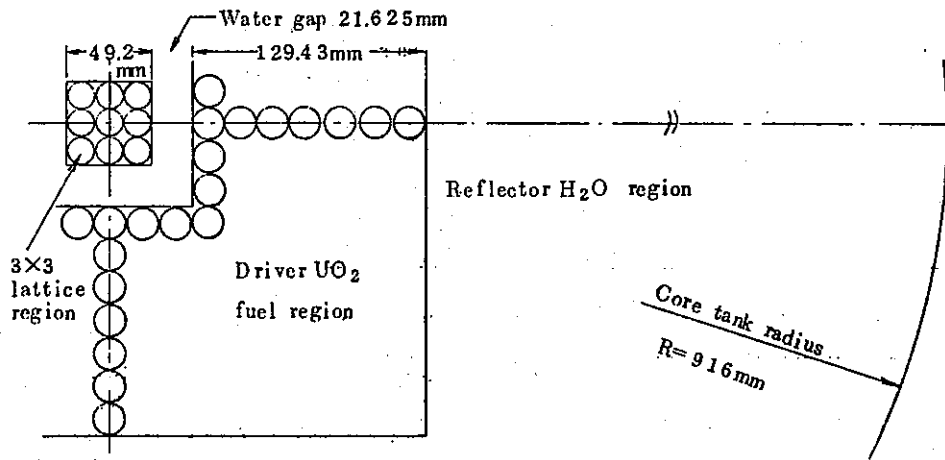
出力分布は水平断面が正方形の炉心の中央にIFA-159と同一寸法のテストチャンネルボックス(ただし材料はジルカロイ-2でなくアルミニウム)を設定し、そこに燃料棒9本を挿入し、80~100ワット・分程度の照射を行ない、約1時間冷却後取出して、燃料棒の核分裂生成物のガンマ線強度を計数する方法で測定された。

IFA-159の燃料に関し、上述の6ケースについて、測定が行なわれた。その結果は、燃料集合体平均値で規格化した値として、Fig. 5.4に示される。これらの結果から、次の事項が明らかになった。

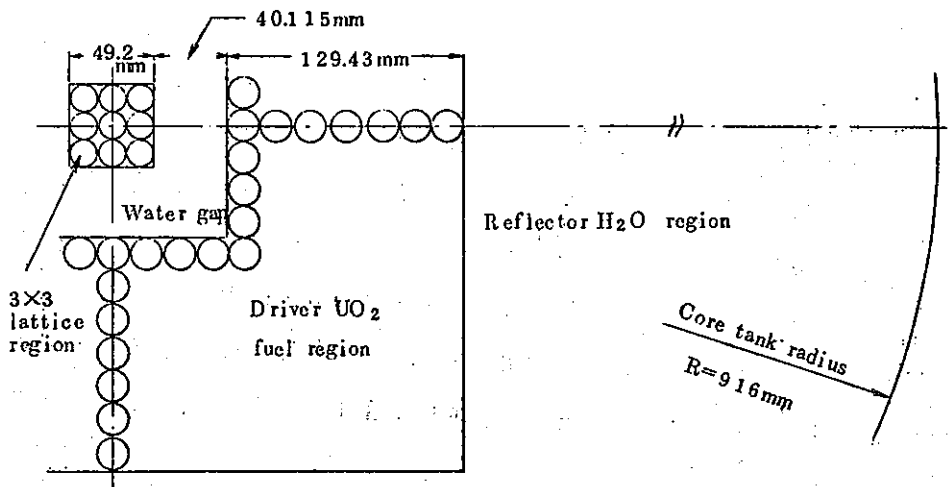
- 1) IFA-159のUnflood状態で、出力ピーキング因子は、周囲の水ギャップの変化にほとんど関係せず、 1.071 ± 0.015 である。
- 2) IFA-159のFlood状態で、出力ピーキング因子は、水ギャップの変化に対し



a) Core configuration with no row water gap (Core Pu-1, Pu-2, &U-1)



b) Core configuration with one row water gap (Core Pu-3, Pu-4, &U-2)

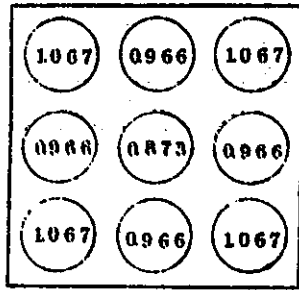


c) Core configuration with one row water gap (Core Pu-5, Pu-6, &U-3)

Fig. 5.3 Horizontal cross-section of core configurations used

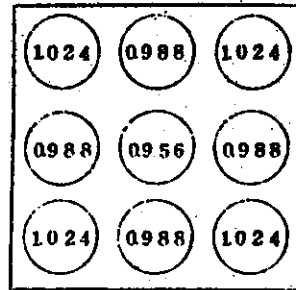
Table 5.2 Measurement program Summary

Core Configuration	3×3 lattice region		Regions boundary	Driver region		Core lattice array	Measurement date	Type measurements
	Fuel	Moderator		Fuel	%			
Pu-1	PuO ₂ -UO ₂	Unflood	No row water gap	26PAUO ₂	352	19×19	'68-5-18	a. Power distribution b. Reactivity of Core c. " of 3×3 region d. Activation distribution in 3×3 region e. Axial extrapolation length of 3×3 region.
Pu-2	PuO ₂ -UO ₂	Flood	No row water gap	26PAUO ₂	352	19×19	'68-5-19	
Pu-3	PuO ₂ -UO ₂	Unflood	One row water gap	26PAUO ₂	336	19×19	'68-5-20	
Pu-4	PuO ₂ -UO ₂	Flood	One row water gap	26PAUO ₂	330	(19×19)-6	'68-5-21	
Pu-5	PuO ₂ -UO ₂	Unflood	Two rows water gap	26PAUO ₂	392	21×21	'68-5-22	
Pu-6	PuO ₂ -UO ₂	Flood	Two rows water gap	26PAUO ₂	392	21×21	'68-5-23	
U -1	JP-II UO ₂	Unflood	No row water gap	26PAUO ₂	352	19×19	'68-6-5	
U -2	JP-II UO ₂	Unflood	One row water gap	26PAUO ₂	336	19×19	'68-6-6	
U -3	JP-II UO ₂	Unflood	Two rows water gap	26PAUO ₂	392	21×21	'68-6-7	



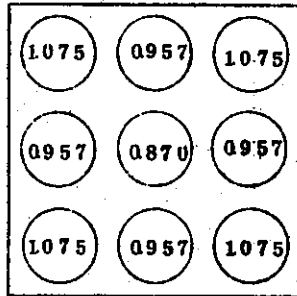
Core Pu-1

- ① Unflood
- ② No row gap



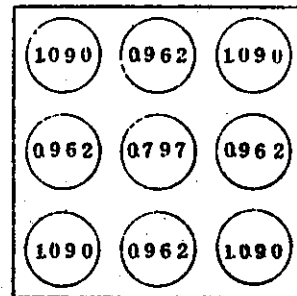
Core Pu-2

- ① Flood
- ② No row gap



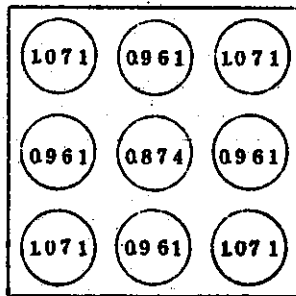
Core Pu-3

- ① Unflood
- ② One row gap



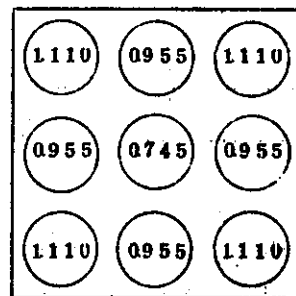
Core Pu-4

- ① Flood
- ② One row gap



Core Pu-5

- ① Unflood
- ② Two row gap



Core Pu-6

- ① Flood
- ② Two row gap

Fig. 5.4 Relative power distribution in IFA-159

て、次のように変化している。

- | | |
|--------------|---------------|
| a) 水ギャップ無し | 1.024 ± 0.054 |
| b) 1列水ギャップ境界 | 1.090 ± 0.019 |
| c) 2列水ギャップ境界 | 1.110 ± 0.018 |

UnfloodとFloodとを比較して、水ギャップ無しの場合はピーキング因子が小さくなっているのは、UnfloodのDry latticeに比較してFloodの場合、チャンネル内の軽水が減速効果に寄与するためと考えられる。一方、1列および2列水ギャップの場合は、Unfloodに較べFloodのピーキング因子が増大していることは、水ギャップの設定によって、水ギャップ中に熱中性子束のピーキングが生じ、かつ、Floodの方は中性子吸収効果が大きいことによるものと考えられる。この中性子束分布に関する様子は、Fig. 5.5およびFig. 5.6に示すPDQ-5の計算値からも明らかである。

以上の実験解析から、IFA-159のHBWR照射時における半径方向ピーキング因子の評価を考えると、厳密に言えば、軽水減速と重水減速との相違があるので、不明確さはやむをえないが、次の2点からIFA-159の半径方向出力ピーキング因子は、多く見積っても高々10%増の1.10程度以内であると評価される。すなわち、a) HBWR照射時では、今回の1列または2列水ギャップ実験例にみられるような大きな中性子束ピーキングは生じないものと考えられる。b) 集合体内の減速材がHBWR照射時では、平均ポイド率が40~60%にもなり、また、軽水よりも重水の方が中性子吸収効果が少ないことから、今回のFloodよりもむしろUnflood実験例に近くなることが予想される。

HBWR照射におけるIFA-159の半径方向出力ピーキング因子は、2.2節で示されているように、設計計算で1.165に評価されたが、これは実験解析1.10よりもかなり大きくなっている。このことは設計計算に採用した計算法が安全側に評価している点では満足すべきものであることを示しているが、設計解析の観点からは不十分であった。こういう観点から、今回のTCA実験から得られた測定値を計算で適合させる努力を行なった。設計解析時では、THERMOSコードのみを用いた。いわゆる、熱群1次元の問題として計算を行なったが、実験解析計算では、熱、高速群2次元問題として扱った、いわゆる、THERMOS-HRG-PDQコードを適用した。この解析法を用いた結果は、いずれのケースについても実験誤差の範囲内で、よい一致がみられた。*

今回の実験では、IFA-159集合体内の出力分布の測定と並行して、ドライバー領

* PNCPU-REPORT-038

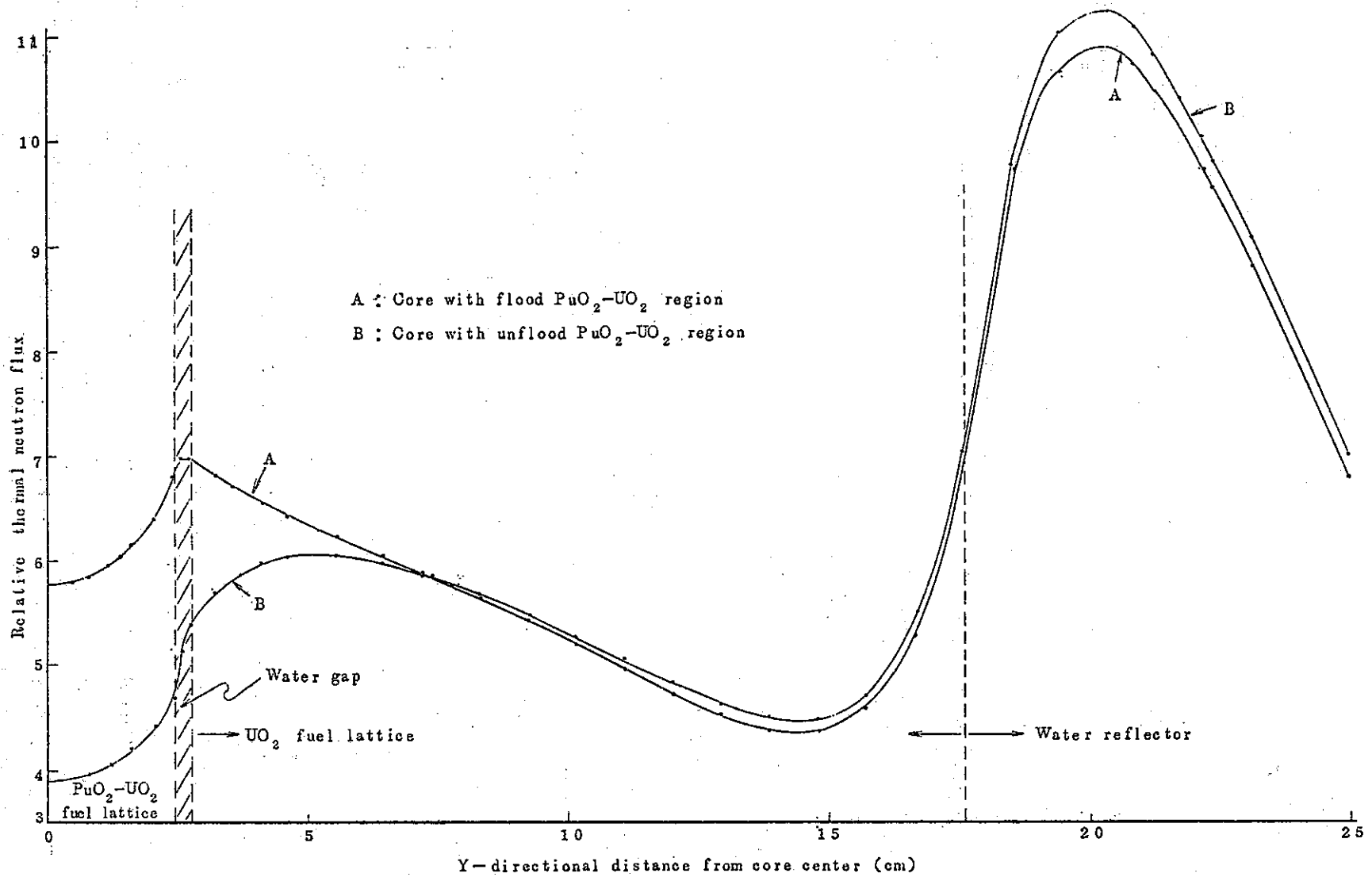


Fig. 5.5 A calculated thermal neutron flux distributions in core with no row water gap (Y-directional)

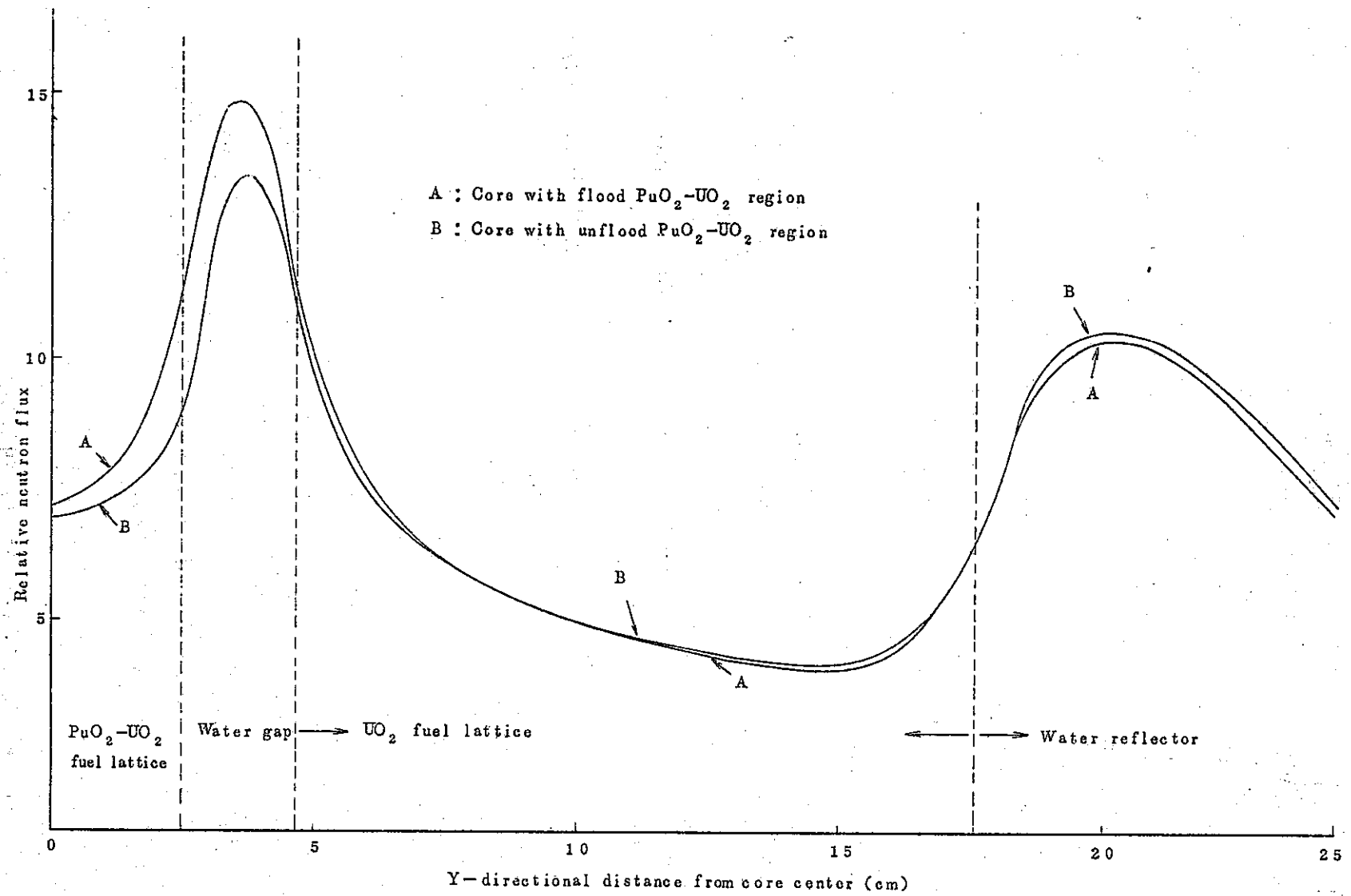


Fig. 5.6 A calculated thermal neutron flux distributions in core with one row water gap (Y-directional)

域の UO_2 燃料の出力分布をも測定した。これは、将来プルトニウム燃料棒が既存の軽水動力炉へ用いられる場合、 UO_2 と PuO_2-UO_2 燃料とが共存した形で適合されることが予想されるので、いわゆる UO_2 と PuO_2-UO_2 燃料を含む多領域炉心における出力分布の実験的検討を行なう目的のためであった。この実験値と計算値との適合を THERMOS-HRG-PDQ コードで行なったが、その結果を Fig. 5.1 から Fig. 5.10 に示すように、相対出力分布は、U と Pu との単位核分裂当りのガンマ線強度が異なるため、その補正因子のとり方によって、かなり変化している。厳密には運転中の同一場所における U と Pu との核分裂比率と照射後のガンマ線強度比率の時間的変化を正確に求める必要がある。これに関し、われわれの TCA 実験グループでも、またサクストン等で、種々努力されているが、その測定はまだ十分でなく、今後十分に検討すべき問題である。

5.2.2 中性子束の非等方性

出力分布の測定値は各燃料の相対出力を示すが、その値は燃料棒毎の平均値であって、燃料が非等方的な中性子束で照射されたとしても出力分布の測定値には、その効果は現われない。しかし、燃料集合体内で中性子束がどのような歪みを示すかは、核設計、熱設計の観点からは興味深い問題であるので、出力分布の測定と同時に、IFA-159 燃料棒周囲の中性子束分布が測定された。

この IFA-159 集合体は 9 本の燃料棒が 3×3 格子に配列されているので、対象位置関係から 3 グループに分けられる。すなわち、中心と前後左右方向と対角方向のものである。測定は、Fig. 5.11 に示されるこれらの各グループから 1 本づつをえらび、その燃料棒周辺に金箔をまきつけ、照射後それを 6 等分して計数し、中性子束放射化分布が得られた。なお、各箔の相対感度は重量によって補正された。測定結果は、燃料棒の 60 度間隔での中性子束の角度依存性として、Fig. 5.12 から Fig. 5.14 に示す。

この測定結果から明らかなのは、水ギャップ無しで Flood 状態の場合以外は、すなわち、Unflood の全ての場合および Flood で水ギャップに大きな中性子束ピーキングが生じる場合は、コーナーの燃料棒はかなり非等方的に照射され、その非等方性は 20~30% の大きさとなることを示している。これに関しては、燃料設計および燃料の照射後試験結果の解析に考慮されるべき問題と考えられる。

5.2.3 反応度効果

IFA-159 の反応度効果は、出力分布および中性子束の非等方性放射化分布等の測定

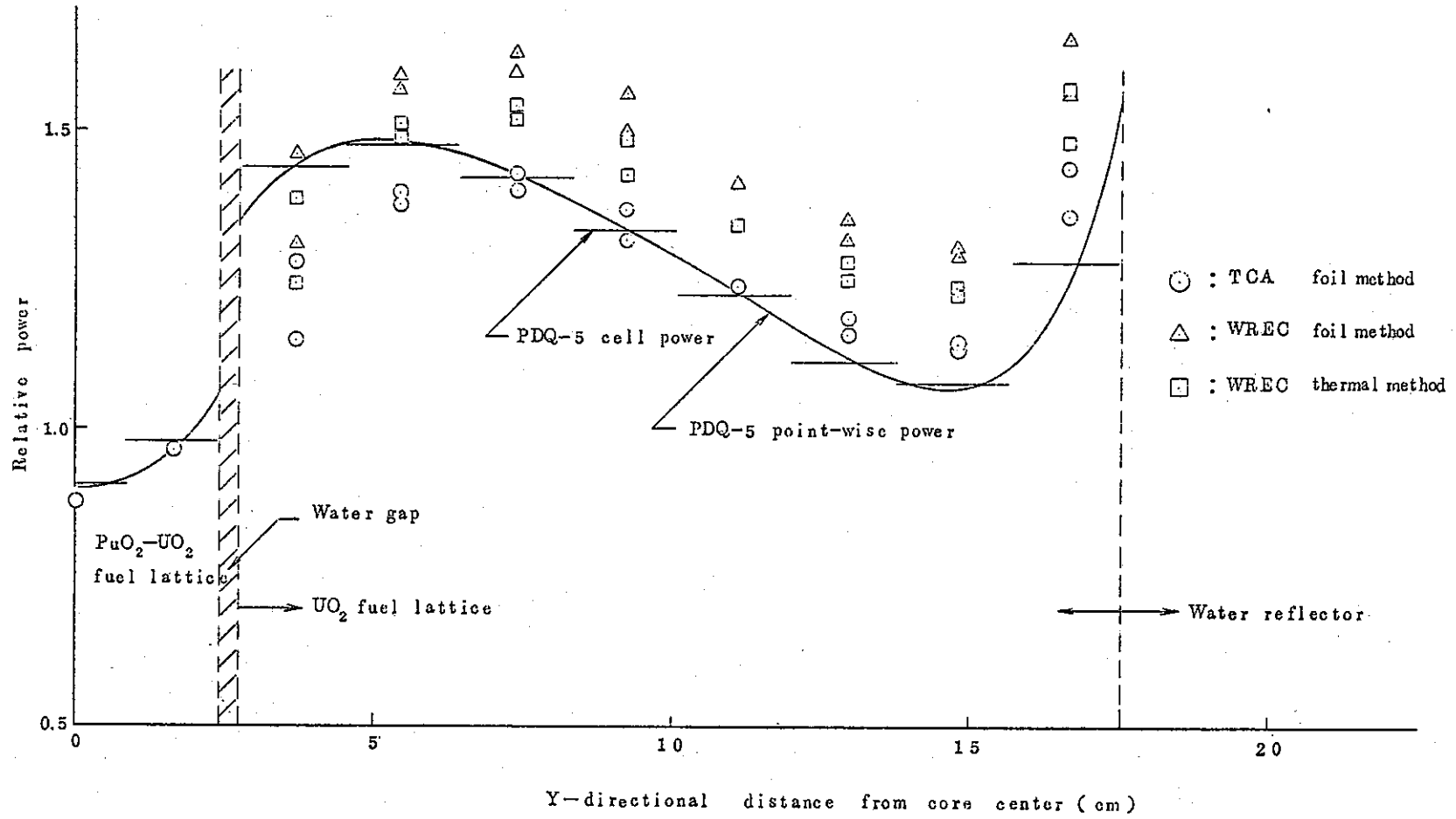


Fig. 5.7 A comparison of calculated and measured power distribution in core configuration (Pu-1) with no gap, unflood PuO₂ - UO₂ fuel (Y-directional)

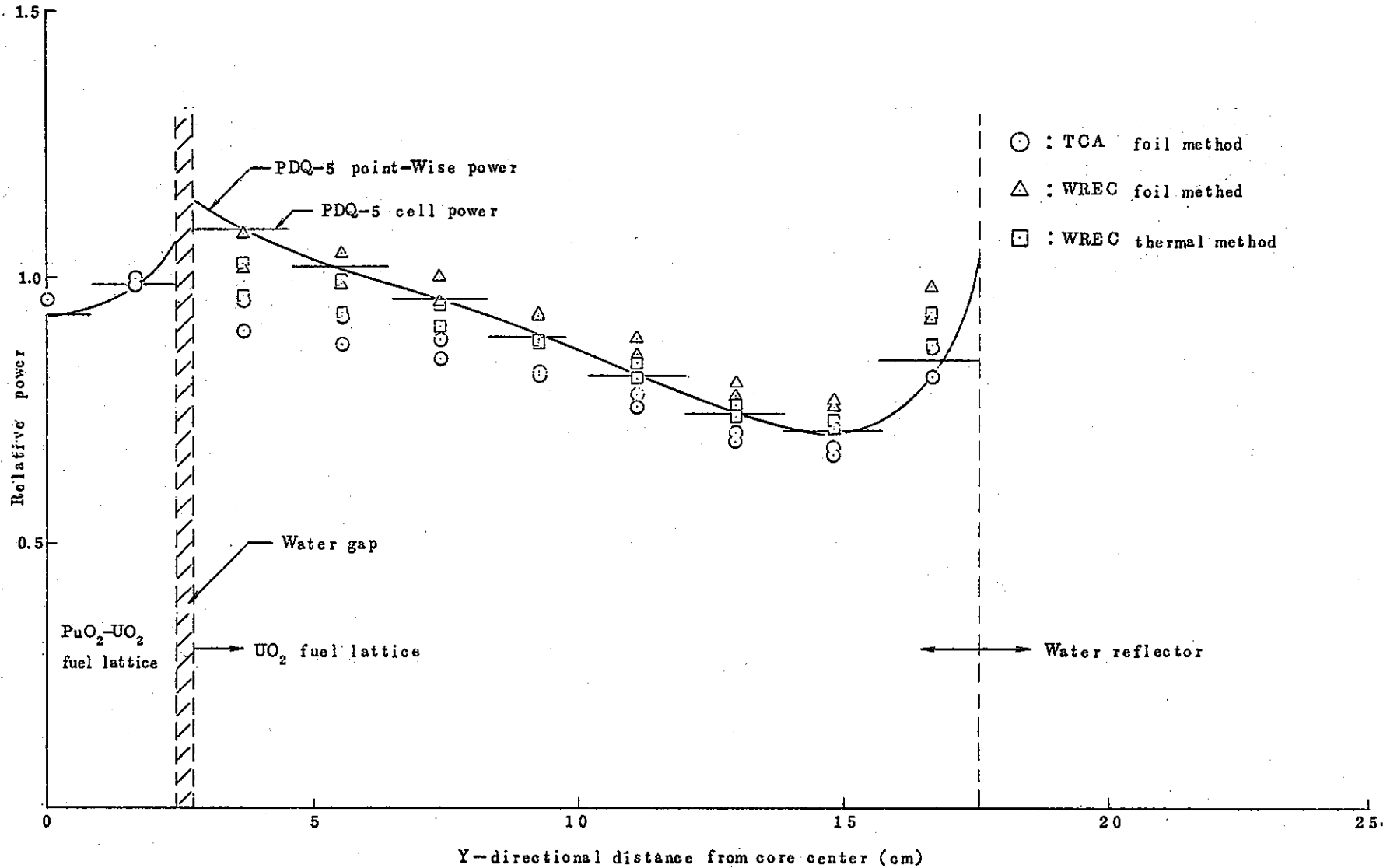


Fig. 5.8 A comparison of calculated and measured power distribution in core configuration (Pu-2) with no gap, flood PuO₂ - UO₂ fuel (Y-directional)

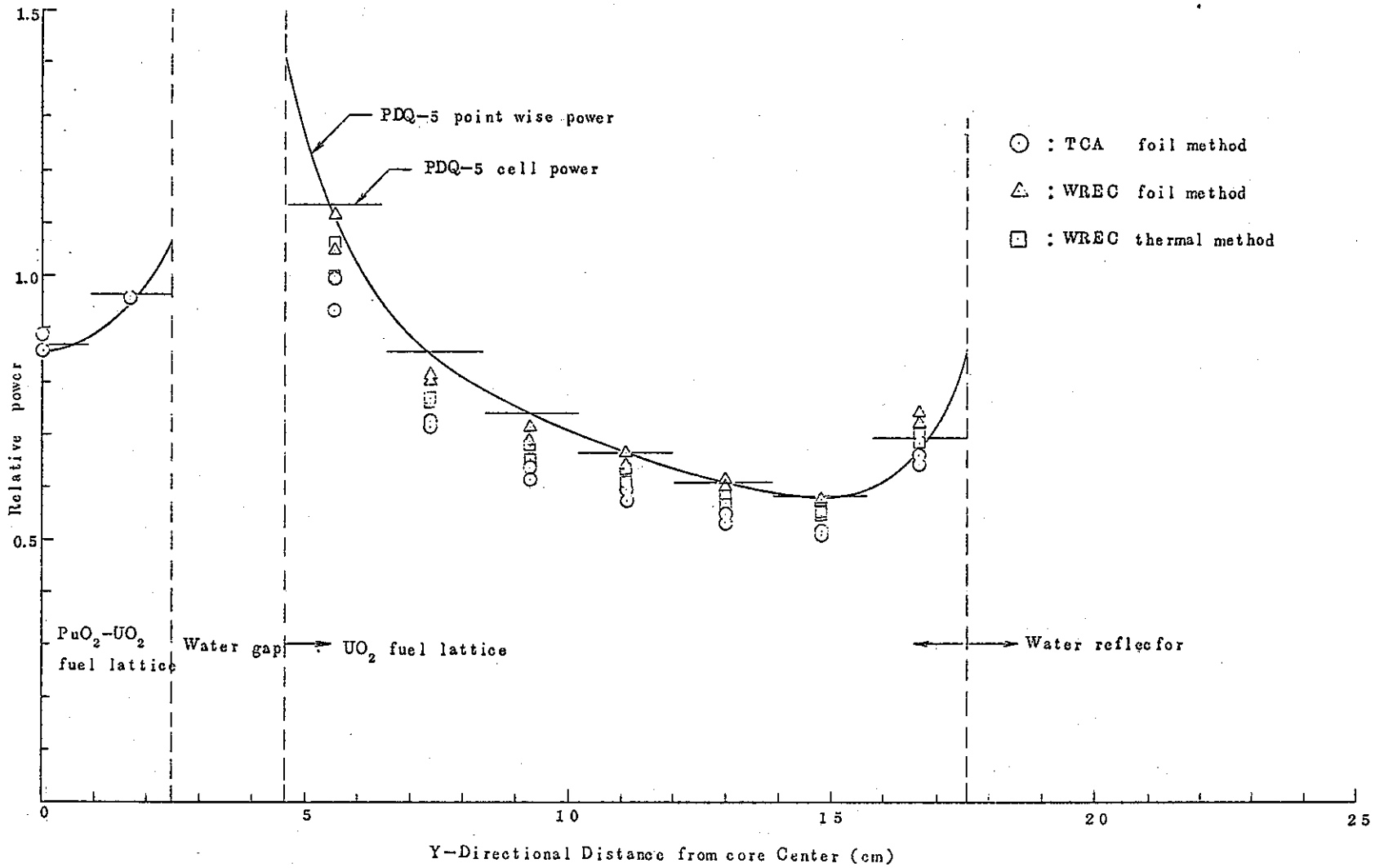


Fig. 5.9 A comparison of calculated and measured power distribution in core configuration (Pu-3) with one gap, unflood PuO₂-UO₂ fuel (Y-directional)

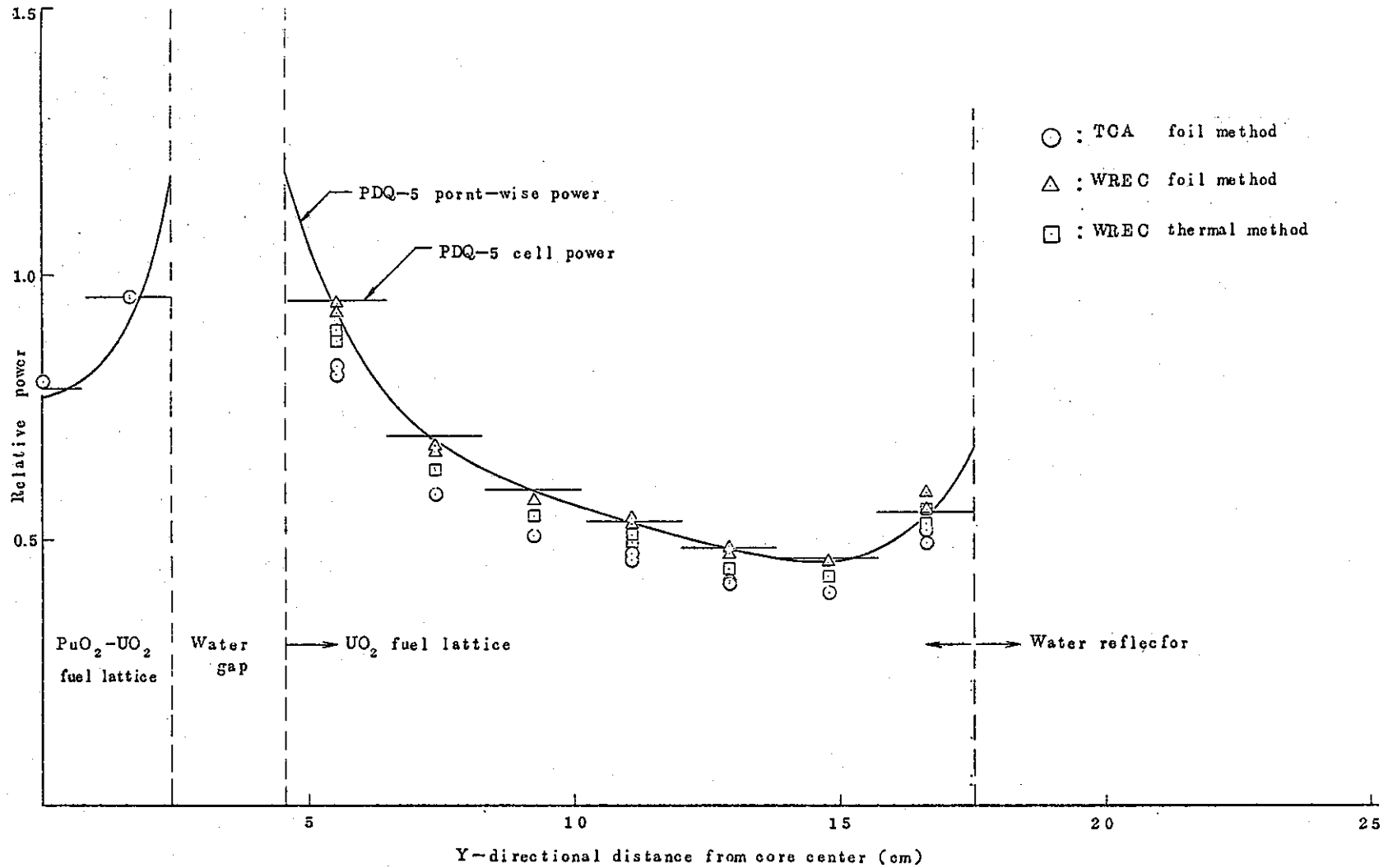
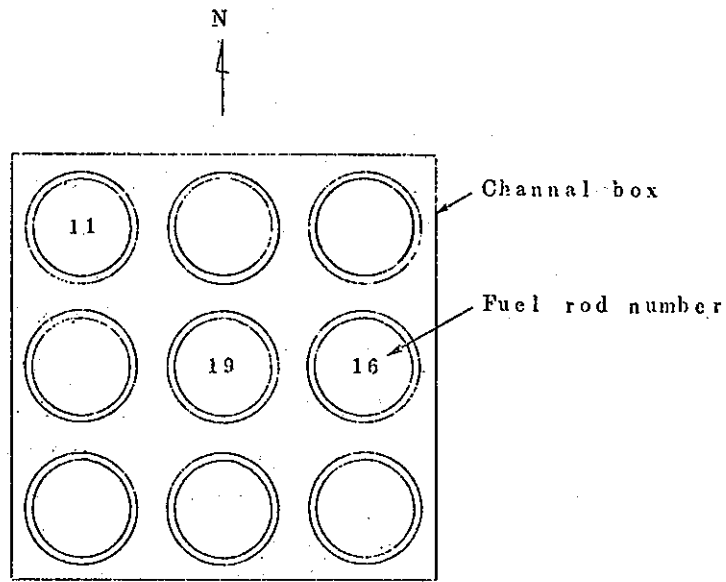
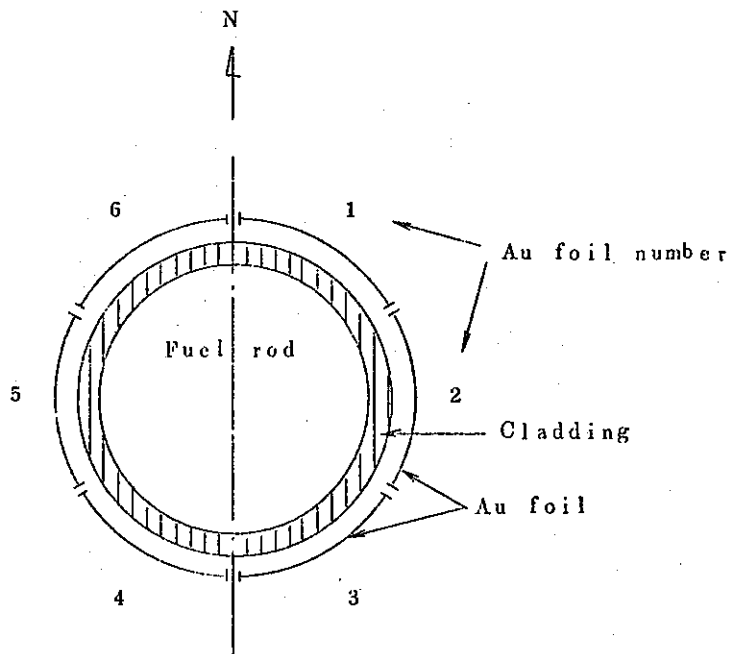


Fig. 5.10 A comparison of calculated and measured power distribution in core configuration (Pu-4) with one gap, flood PuO₂ - UO₂ fuel (Y-directional)



a) Fuel arrangement and assessment



b) Foil position

Fig. 5.11 Arrangement and assessment of fuel rods and foils

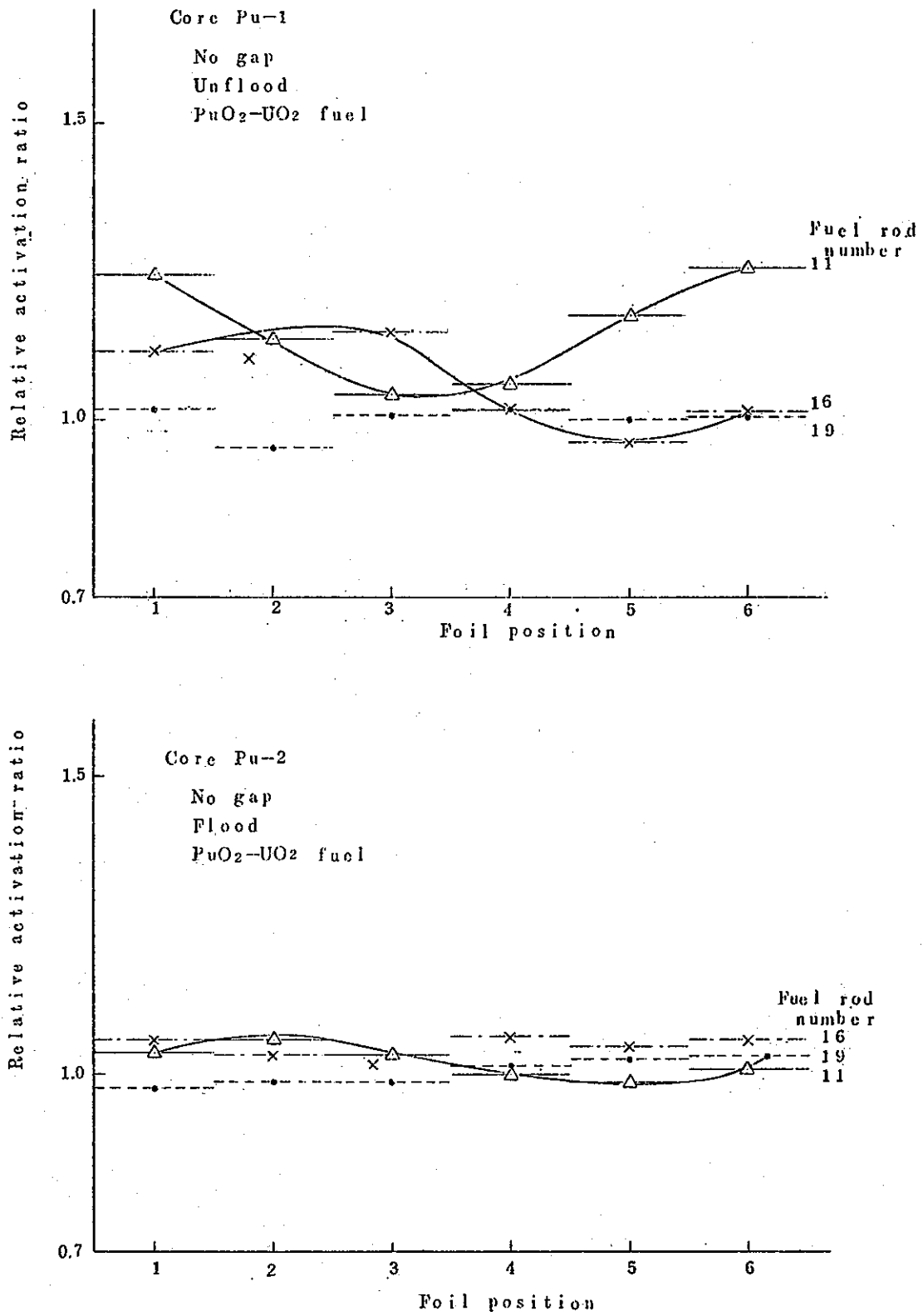


Fig. 5.12 Relative activation ratio by Au foil in core Pu-1 and Pu-2

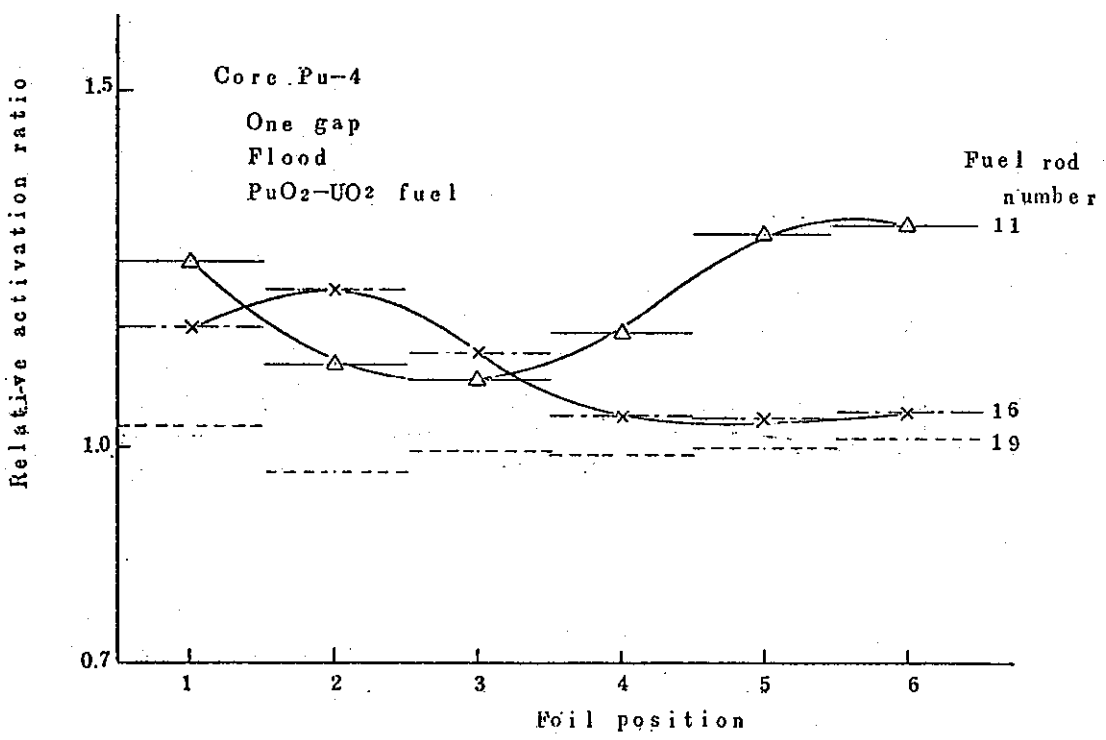
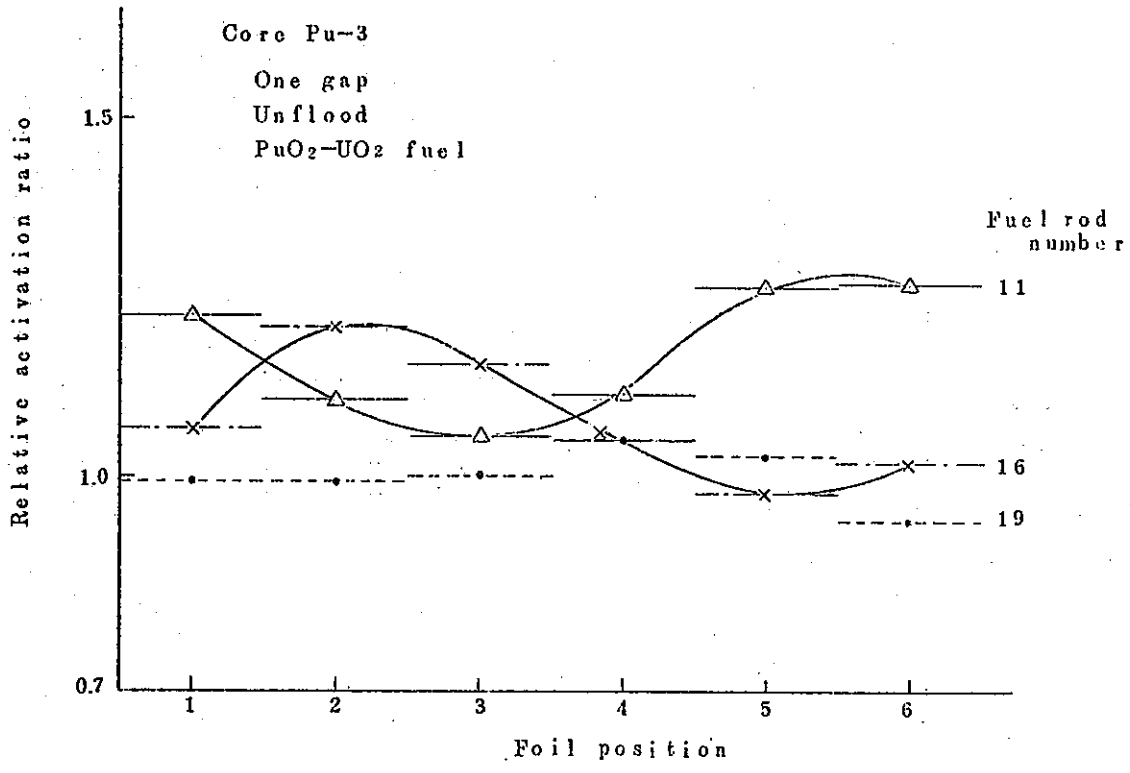


Fig. 5.13 Relative activation ratio by Au foil in core Pu-3 and Pu-4

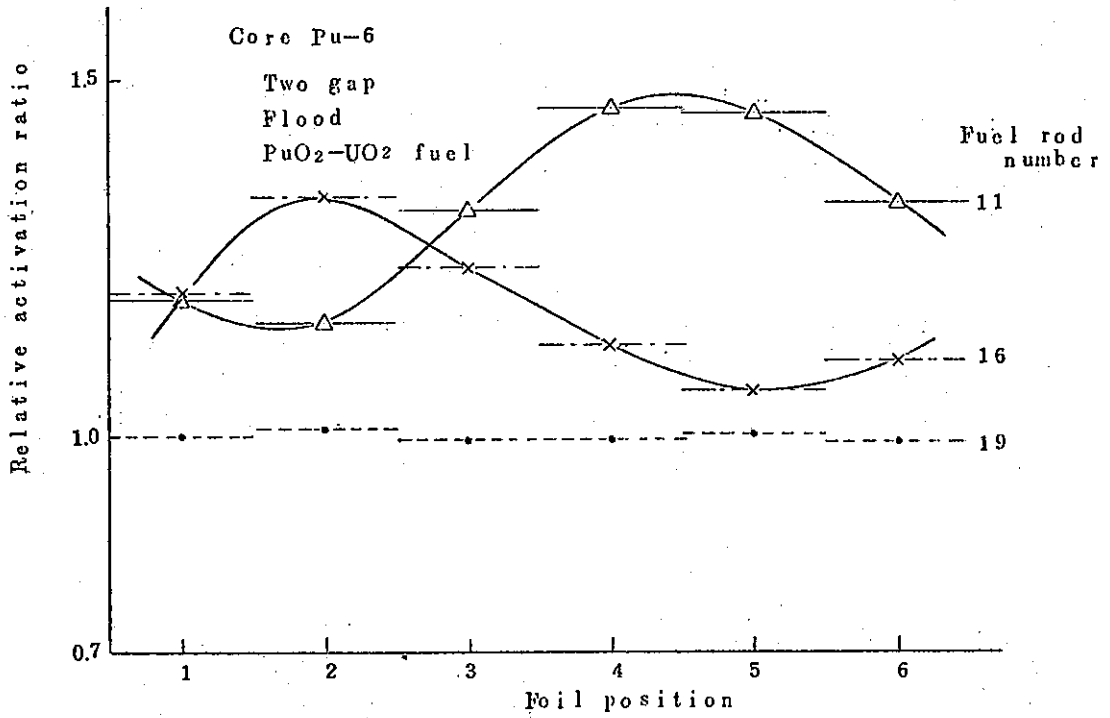
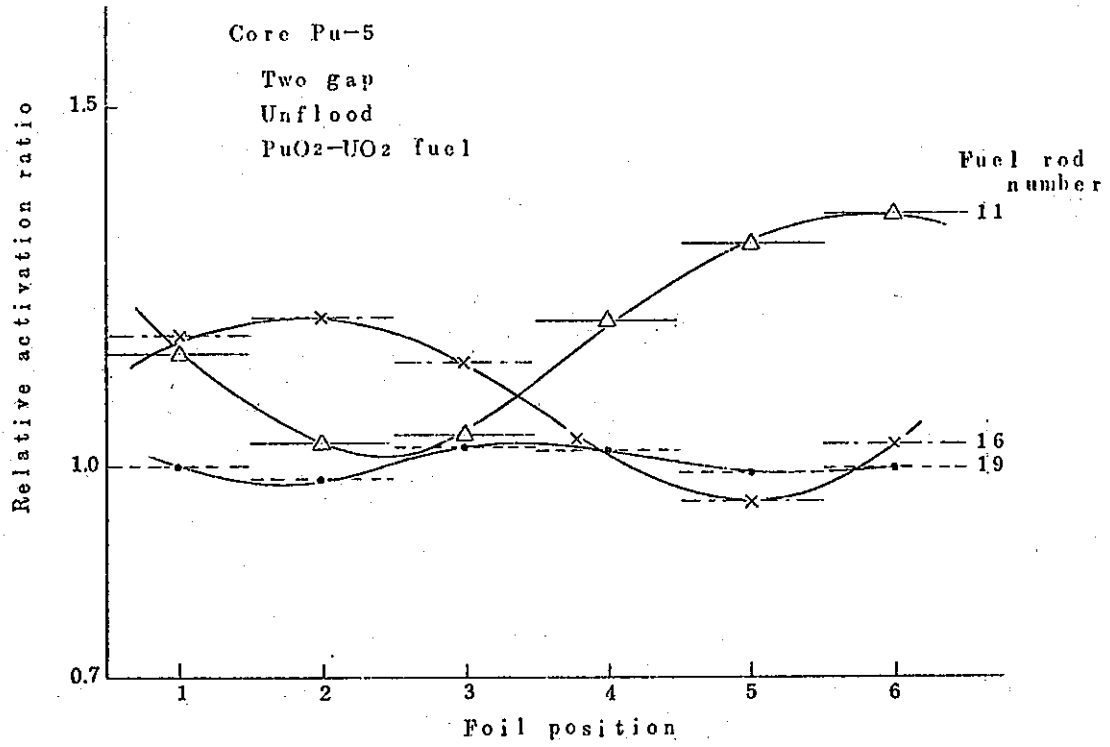


Fig. 5.14 Relative activation ratio by Au foil in core Pu-5 and Pu-6

に使用された炉心構成において、臨界水位の高さを得ることによって求められた。その臨界水位の高さの結果は、各炉心構成毎に、Table 5.3 に示される値が得られた。これらの値は、主として水平断面が正方形になるような炉心構成を採用したので、ほとんどの炉心構成において、燃料集合体が冠水状態で測定されていない。

反応度効果の比較に便利をよりに、上記の測定値を、完全冠水状態（反射体を含む高さとして1730mmの水位）に統一するため、その余剰反応度が水位等価反応度法を用いて求められ、Table 5.3 に示される。

Table 5.3 Measured reactivity for IFA-159 and JP-II type UO_2 fuel channel with 3×3 lattice

Core No.	Fuel in 3×3 channel	Core configuration			Reactivity	
		Array	In channel	Gap	H*(mm)	Sex**(ϕ)
Pu-1	IFA-159	19×19	Unflood	No	1565.4	353
Pu-2	"	19×19	Flood	No	1184.3	211.0
Pu-3	"	19×19	Unflood	One	1358.1	113.8
Pu-4	"	$19 \times 19 - (3 \times 2)$	Flood	One	1274.9	154.8
Pu-5	"	21×21	Unflood	Two	1388.4	99.9
Pu-6	"	21×21	Flood	Two	1513.5	51.5
U-1	JP-II UO_2	19×19	Unflood	No	1573.4	31.5
U-2	"	19×19	Flood	One	1506.2	50.7
U-3	"	21×21	Unflood	Two	1648.4	12.0
U-4	"	$21 \times 21 + (5 \times 4)$	Flood	Two	1356.1	114.7

* : Critical water height

** : Reactivity at fully reflected core (1730mm)

この水位等価反応度による冠水状態への変換に伴う誤差は、水位が1350mmから1730mmについて±0.2セント、1350mm以下のものについては最悪の場合で±5セントになる可能性がある。

集合体自体の反応度効果は、集合体の等価反応度と同一構造の中空被覆管で構成される等価反応度との差として得られる。したがって、中空被覆管のみの集合体反応度効果も測定された。反応度効果を比較検討するため、IFA-159と同一形状集合体のJP-II型燃料（2.6w/o E. UO_2 ペレット直径、107mm ϕ 、被覆管外1223mm ϕ ）との比較をTable 54に、FloodとUnfloodとの比較をTable 55に、また、水ギャップの効果を見るための比較をTable 56に、それぞれ示す。

Table 5.4 Net difference of reactivity worth between IFA-159 and JP-II fuel channel

Core configurations			Net reactivity difference*(ϕ)
Array	In channel	Gap	
19×19	Unflood	No	- 0.8
19×19	"	One	+ 58.7
21×21	"	Two	+ 85.8
21×21	Flood	Two	+ 74.4

$$*\Delta\rho = \left\{ \rho_{ex}(\text{IFA-159}) - \rho_{ex}(\text{IFA-159 clad}) \right\} - \left\{ \rho_{ex}(\text{JP-II}) - \rho_{ex}(\text{JP-II clad}) \right\}$$

Table 5.5 Reactivity effect of moderator in test fuel channel

Core configurations			Reactivity difference*(ϕ)
Array	Fuel in channel	Gap	
19×19	IFA-159	No	+ 175.7
19×19	"	One	+ 83
21×21	"	Two	- 48.4
21×21	JP-II UO ₂	Two	- 37

$$*\Delta\rho = \rho_{ex}(\text{Flood}) - \rho_{ex}(\text{Unflood})$$

Table 5.6 Reactivity effect of peripheral water gap around test fuel channel

Core configurations			Reactivity difference*(ϕ)
Array	Fuel in channel	H ₂ O in channel	
19×19	IFA-159	Unflood	+ 78.0
19×19	"	Flood	- 14
19×19	IFA-159 clad	Unflood	- 163
19×19	JP-II UO ₂	"	+ 19.2
19×19	JP-II UO ₂ clad	"	- 162

$$*\Delta\rho = \rho_{ex}(\text{One gap}) - \rho_{ex}(\text{No gap})$$

6 IFA-159 の出荷

6 IFA-159の出荷

(湯本)

TCAにおける炉物理特性試験後、1963年5月27日プルトニウム燃料部へ持ち帰り、外観検査およびHeリーク試験等の再検査を行ない、異常のないことを確認して、外部放射線量率の測定、輸送容器のこん包を行ない、5月28日に東海事業所から出荷された。羽田飛行場からヘルデンへの空輸は翌29日に行なわれた。

1) 燃料棒の再検査

炉物理試験中に異常が生じたかどうかを確認するために、全数について外観検査、Heリーク試験、表面汚染検査が実施された。その結果がTable 6.1にまとめられているようにまったく異常がないことが確認された。

Table 6.1 TCA実験後のHalden燃料棒再試験結果 43-5-27.

燃料棒 No	Heリーク試験 atom cc/sec *1	表面汚染		外 観 検 査 (測定者 検査課 大森)
		スミヤ	直接	
10	1.9×10^{-9}	*2	*2	合格 (全面に取扱いによるアタリキズ。スリキズあり、 第2端栓部に溶接チャックキズあり、全て20μ以下)
11	1.9×10^{-9}			合格 (#)
12	1.7×10^{-9}			合格 (#)
13	1.9×10^{-9}			合格 (#)
14	3.8×10^{-9}			合格 (#)
15	3.8×10^{-9}			合格 (#)
16	1.7×10^{-9}			合格 (#)
17	3.8×10^{-9}			合格 (#)
18	1.7×10^{-9}			合格 (#)
19	5.1×10^{-9}			合格 (#)

* 1. HeリークはNo 14. 15. 17, No10. 11. 13, No12. 16. 18およびNo19の4グループに分け測定。

* 2. 全試料から9個スミヤしその結果全部0cpmなので汚染なしと判定。

2) 外部放射線量率

燃料棒の放射線量率が安全管理課の手によって、原研への出荷時と空輸こん包時に測定された。

a 原研への出荷時の放射線量率

燃料棒1本, 3本, 10本毎それぞれについて, 表面および表面からの距離の関数として測定された。

測定に際し, 燃料棒は0.3mm厚のビニール被覆外部から行なわれた。使用した測定器はAloka ICS-101B型のサーベイメータである。測定結果を $\beta + \gamma$ 線および γ 線について, それぞれFig. 6.1, Fig. 6.2に示す。なお, 容器表面(輸送容器中の中容器)の放射線量は $\beta + \gamma$ 線で1.0 mR/hrであった。

b 空輸こん包時の放射線量率

測定結果をTable 6.2に示す。

Table 6.2 HALDEN IFA-159 燃料棒10本出荷サーベイ報告

43. 5. 28

RMO 鴨志田 強

(1) 10本全部取り出した時

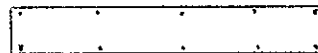
表面	7.2	mR/hr	(γ 線のみ)
----	-----	-------	-----------------

10 cm	3.2	"	
-------	-----	---	--

30 cm	1.6	"	
-------	-----	---	--

スミヤ 9コ all Negative

(2) 組み込んだ時



表面	2.4	mR/hr	(γ 線のみ)
----	-----	-------	-----------------

10 cm	1.2	"	
-------	-----	---	--

20 cm	0.8	"	
-------	-----	---	--

50 cm	0.4	"	
-------	-----	---	--

スミヤ 4コ all Negative

(3) 照射用輸送容器の表面

0.16 mR/hr ($\beta \cdot \gamma$)

(4) 積み込んだ時の運転席

0.10 mR/hr 以下 ($\beta \cdot \gamma$)

測定器 Cutiepie No-2

3) 出荷物品および検査表

IFA-159のHEWE照射に必要な物品を次のように分けてこん包し、丸善水戸運輸へ引渡しを行ない、同社の小型トラックで羽田まで運搬された、

a 燃料輸送容器(800kg重量金属製)、図面参照(289頁)

- イ 照射用燃料棒 9本
- ロ 同予備燃料棒 1本
- ハ 中性子束分布測定用ワイヤホルダ

中空器内の収納配置図をFig 6.3に示す。

b 集合体部材および工具類(木箱製)

別送品として、Table 6.3に示す集合体部材および工具類を木箱にこん包し、空輸した。

Table 6.3 HALDEN-159 PARTS, TOOLS LIST

PARTS	PIECES	BOX NO.
1. LOWER GUIDE ROD	4	1
2. LOWER END PLUG CAP I	5	1
3. LOWER END PLUG CAP II	4	1
4. UPPER END PLUG CAP I	5	1
5. UPPER GUIDE ROD	4	1
6. HOLDER PLATE	12	1
7. WASHER	30	1
8. SPRING WASHER	25	1
9. Zry-2 CHIPS	20	1
10. CENTER SPACER	4	3.4
11. LOWER SPACER	2	2
12. UPPER SPACER	2	2
13. SCREW (HOLDER PLATE)	35	1
14. SCREW (SUPPORTER)	32	1
15. SCREW (SPARE)	35	1
16. MONITOR WIRE (A1-Co)	2.8 M	5
17. END PLUG CAP (MAKE SHIFT)	10	1
18. MONITOR WIRE TUBE	7 M	
TOOLS	PIECES	BOX NO.
1. BOX SPACER	2	1
2. ASSEMBLING JIG	2	1
3. DRIVER	3	1
4. SPANNER	2	1

c 燃料棒製品の検査表を付録1に示す用式でHalden側に報告した。

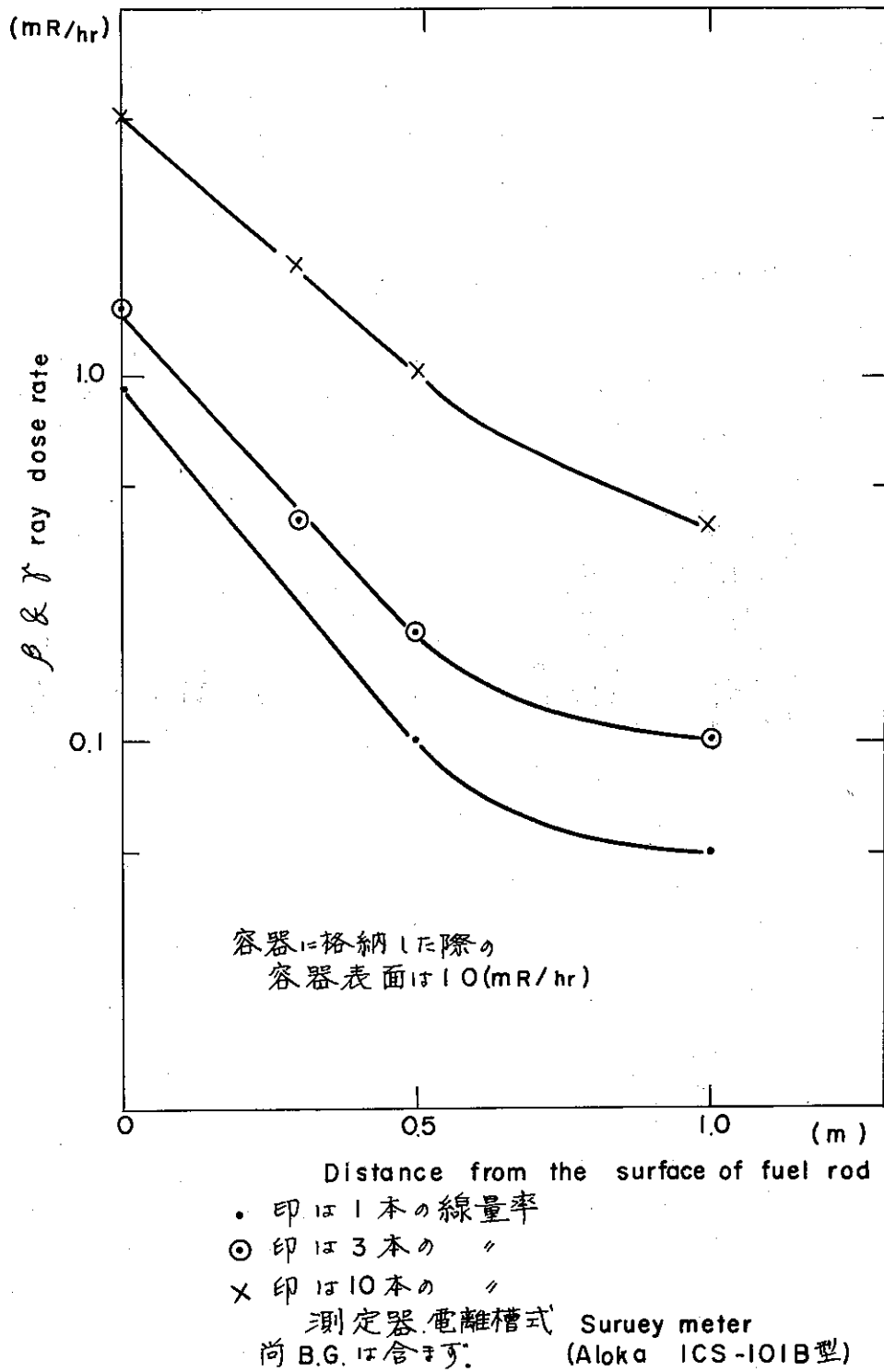
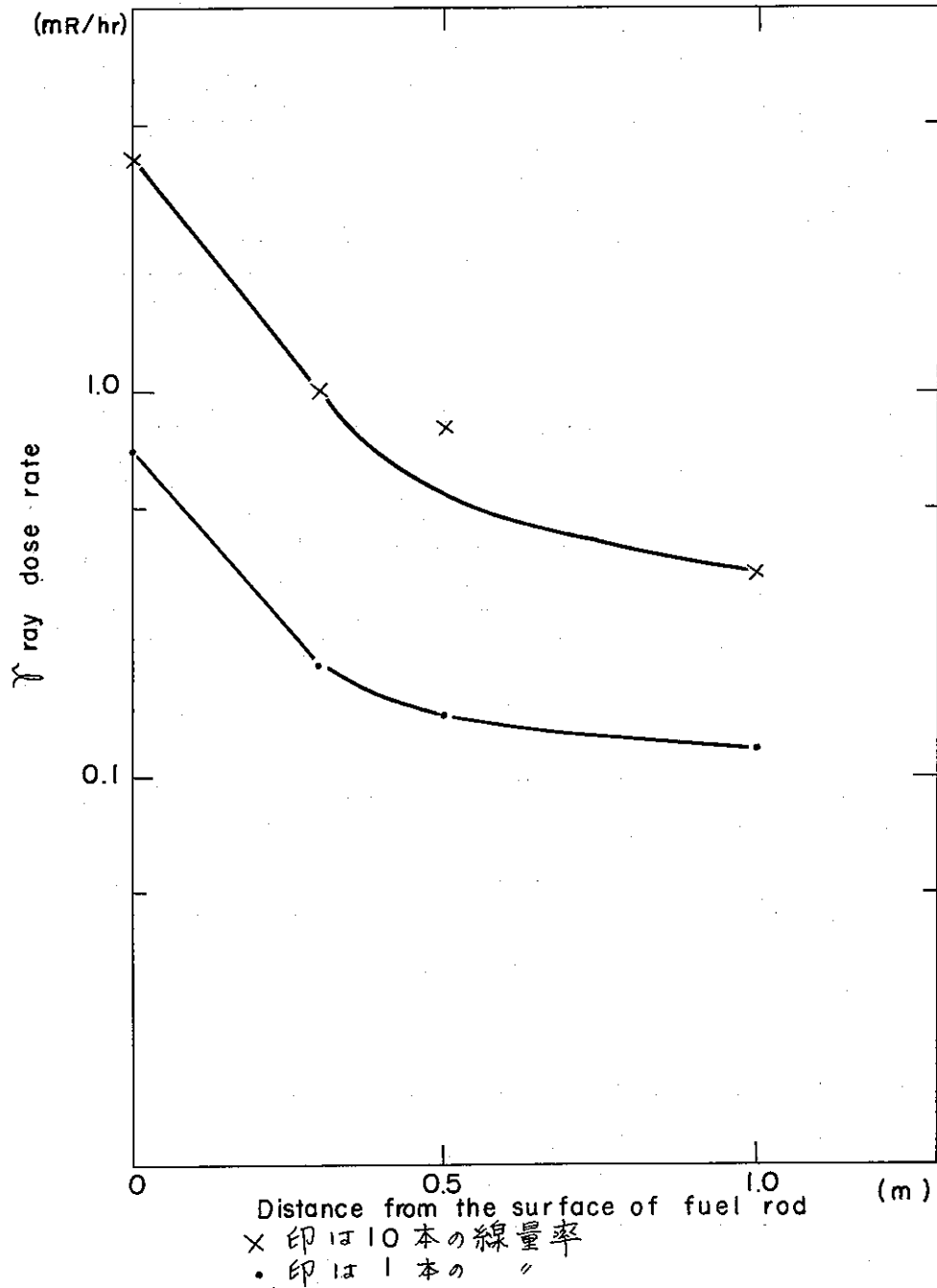


Fig. 6.1 Measured β & γ ray dose rate of IFA-159 fuel rod



測定器 電離槽式 Survey meter
 尚 B.G. は含まず

Fig. 6.2 Measured γ ray dose rate of IFA-159 fuel

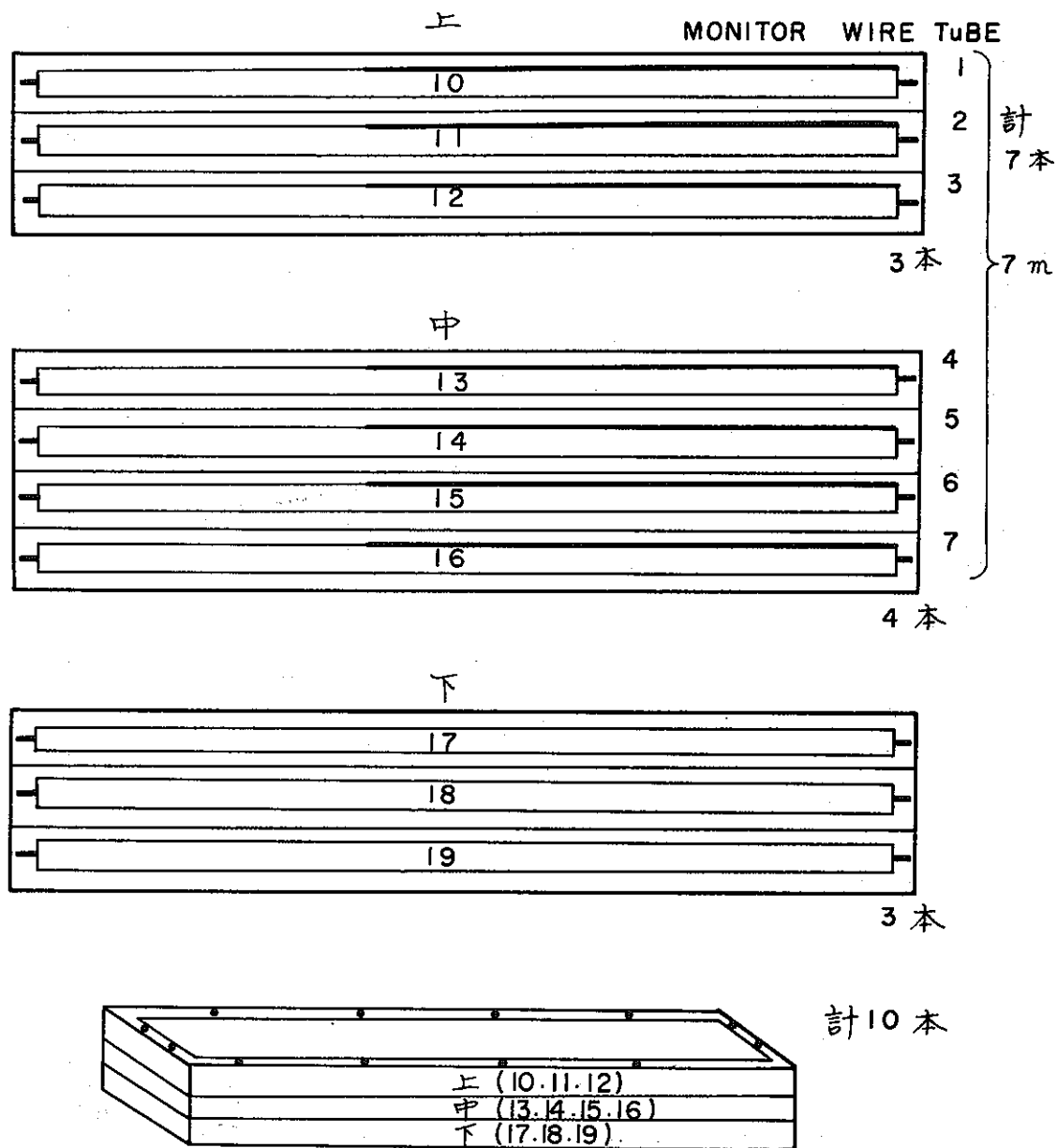
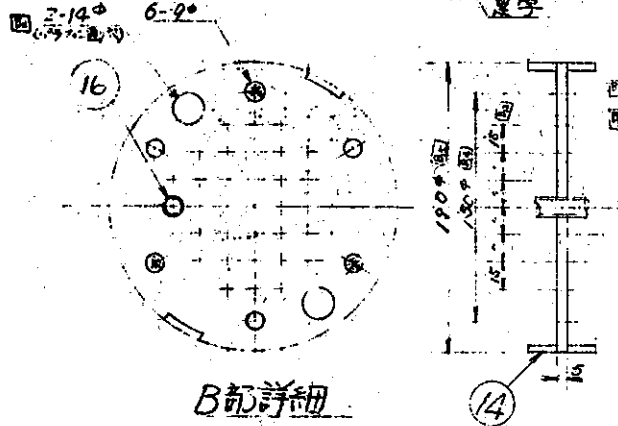
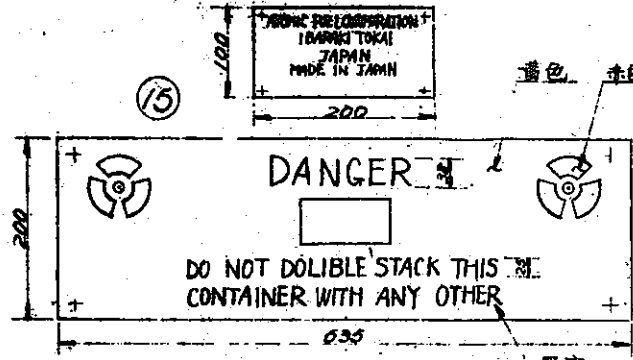
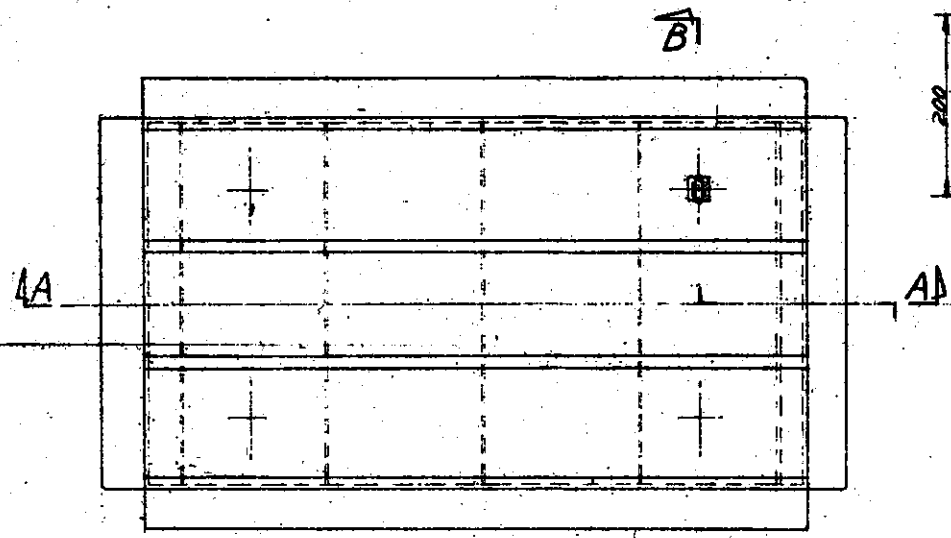
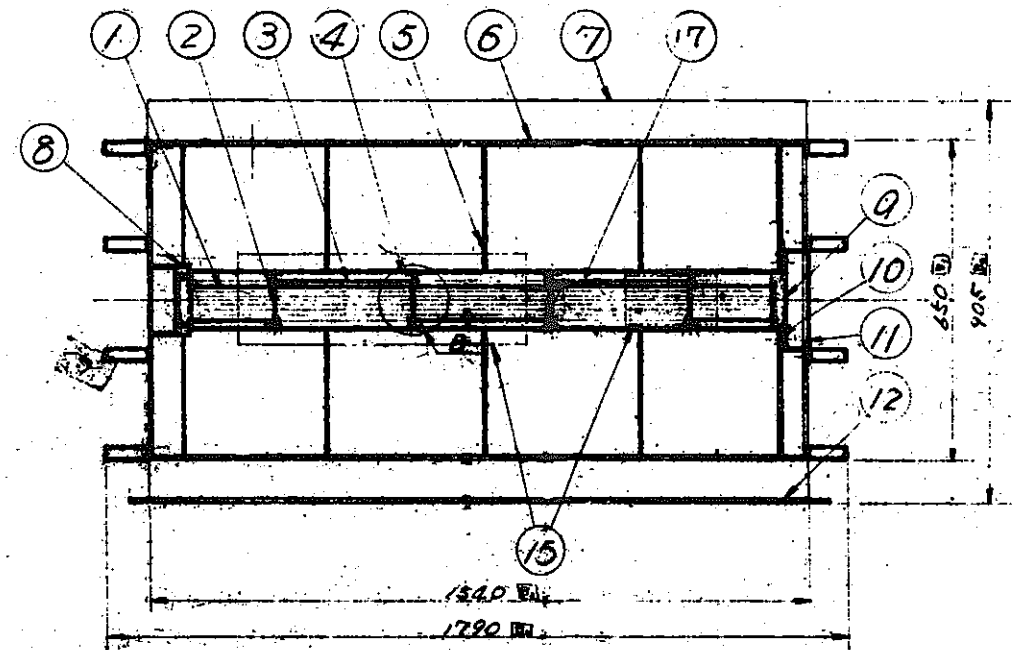


Fig. 6.3 Halden IFA-159Pin格納配置図

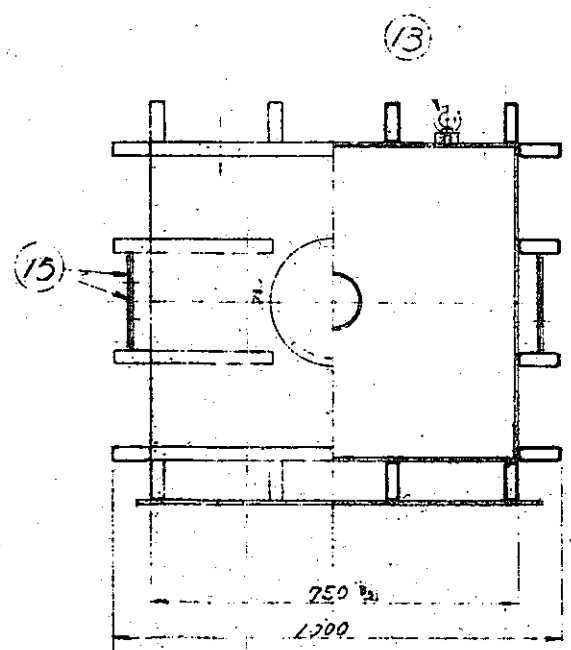
第三角法
THE THIRD ANGLE PROJECTION



序号	名称	数量	材料	備註
ITEM	DESCRIPTION	NO.	MATERIAL	NOTE
1	燃料棒	36		
2	燃料棒止め板	4	SUS27	
3	厚板	15	SUS27	
4	内筒部	1	SUS27	
5	リ	12	SS41	
6	容器本体	1	SS41	
7	角パイプ	15	SS41	
8	燃料棒受け	2	SUS27	
9	フランジ	1	SUS27	
10	ハッポン	1	材7L	
11	カハ	1	SS41	
12	底板	1	SS41	
13	アイボルト	4	S260	
14	燃料棒止め板リド	8	SUS27	
15	ラベ	2		
16	燃料棒挿入管	36	SUS27	径6.6φ
17		1	鋼	



A-A断面



B-B断面

注記
 ①-④は燃料棒止め板は、10個の孔の内、2個の孔は燃料棒が通らない。
 ②燃料棒止め板間には燃料棒受けが設けられ、B部詳細の孔と燃料棒受けとの間に燃料棒が通らない。
 ③燃料棒径 12.7mm
 ④⑤は36本の燃料棒挿入管の内、④は燃料棒挿入管の径は6.6φ、⑤は燃料棒径と同じ径である。

三菱原子力工業株式会社
 設計 山崎 高橋
 監製 山崎 高橋
 検査 山崎 高橋
 承認 山崎 高橋
 12月12日

出図先	枚数	DATE OF ENG.	第三角法	TITLE
DISTRIBUTION	COPY	12/13	THE THIRD ANGLE PROJECTION	原子燃料公社向
作図	1			燃料輸送容器
設計	1			比例尺之倍
監製	1			
検査	1			
承認	1			
製図	1			
合計	7			

8249-D-001

三菱原子力工業株式会社
 MITSUBISHI ATOMIC POWER INDUSTRIES, INC.

7 IFA-160 の製造

7.1 概要

ゾルーゲル法による $\text{PuO}_2 - \text{UO}_2$ 粒の製造，ゾルーゲル粒の試験，ジルカロイ管の検査と評価，振動充填と燃料棒製造，集合体部材の製造と検査等について以下に記述する。

7.2 ゾルーゲル法による $\text{UO}_2 - \text{PuO}_2$ の製造

(角田, 小山)

7.2.1 まえがき

プルトニウムのサーマル利用を目的として，HALDEN炉に於ける照射計画が進められている。すでにペレット型燃料については，IFA-159計画として照射中であるが，それに続くIFA-160計画として，ゾルーゲル・バイパック型燃料が来春照射開始の予定で準備が進められている。

今回同燃料のゾルーゲル粒の製造を終了したので製造に関するデータを報告する。製造に当たったのは6月から10月迄であるが，途中焼結炉の故障が2度あったりしたため正味は約2.5ヶ月間であった。製造した量は混合酸化物 ($3.1\% \text{PuO}_2 - \text{UO}_2$) として20kg弱である。母体となるウラン・ゲルは生産課から供給を受けた。

7.2.2 製造工程と製造日程

ゾルーゲル高密度粒塊の製造工程は，これ迄に開発された工程をそのまま踏襲した。フローシートを図7.2.1に示す。精製ウラン・ゲルはやはり従来の方法で生産課に於いて製造してもらった。

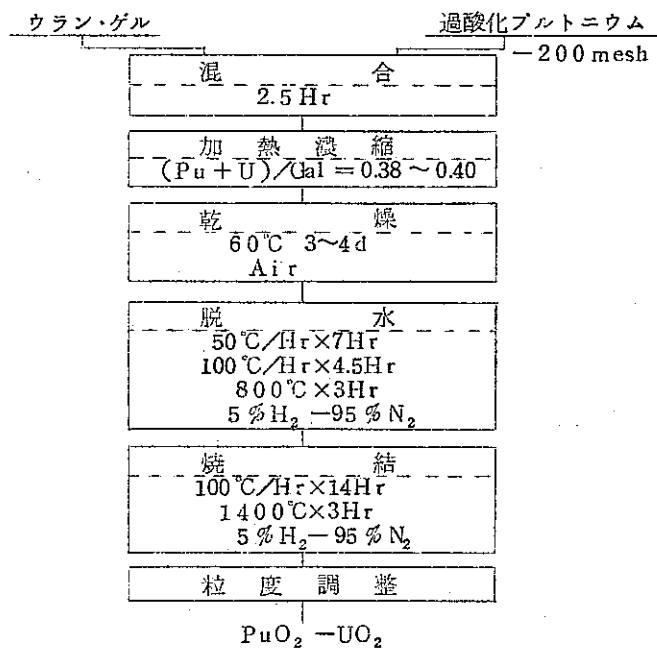


図7.2.1 フローシート

ウラン・プルトニウムの混合法は、計量管理、作業能率などの点ですぐれている。ゲル粉末法（ウラン水和酸化物ゲルに過酸化プルトニウム粉末を添加）を採用することにした。混合ゲルの加熱濃縮、乾燥も従来どおりであるが、脱水条件はこれ迄の昇温速度 $50^{\circ}\text{C}/\text{hr}$ 、 800°C 2 時間保持を 10 迄採用し以降は $50^{\circ}\text{C}/\text{hr}$ で 350°C 迄昇温続いて $100^{\circ}\text{C}/\text{hr}$ で 800°C 迄昇温、保持時間を 3 時間とした。これは、脱水・脱塩の効果を増して焼結製品の粒度を大きくするためである。焼結条件は、従来どおり昇温速度 $100^{\circ}\text{C}/\text{hr}$ 、 1400°C 3 時間保持である。

製造日程は、予め表 7.2.1 に示すような予定をたてた。

6 月から開始して 10 月迄に 17 ロット（1 ロット約 1 kg）を処理するスケジュールである。それに基づいて生産課にも、ウラン・ゲルの供給を依頼した。

しかし、実際には焼結炉の故障のため日程の変更を余儀なくされ、またウラン・ゲルのウラン濃度分析エラーに依って、1 ロット不良品ができたリバイバック工程でのやり繰りなどのため 20 ロット迄製造することになった。ただしロット No 1 は、当照射試験の先行試験として GETR に於いて IRT-C 照射試験が準備されているためその試料とした。

結局、焼結炉の修理が出来た 8 月末から集中的に予定量を、消化しなければならなかった。実際製造に要した日数は表 7.2.2 のとおりである。

7.2.3 過酸化プルトニウム粉末の調整

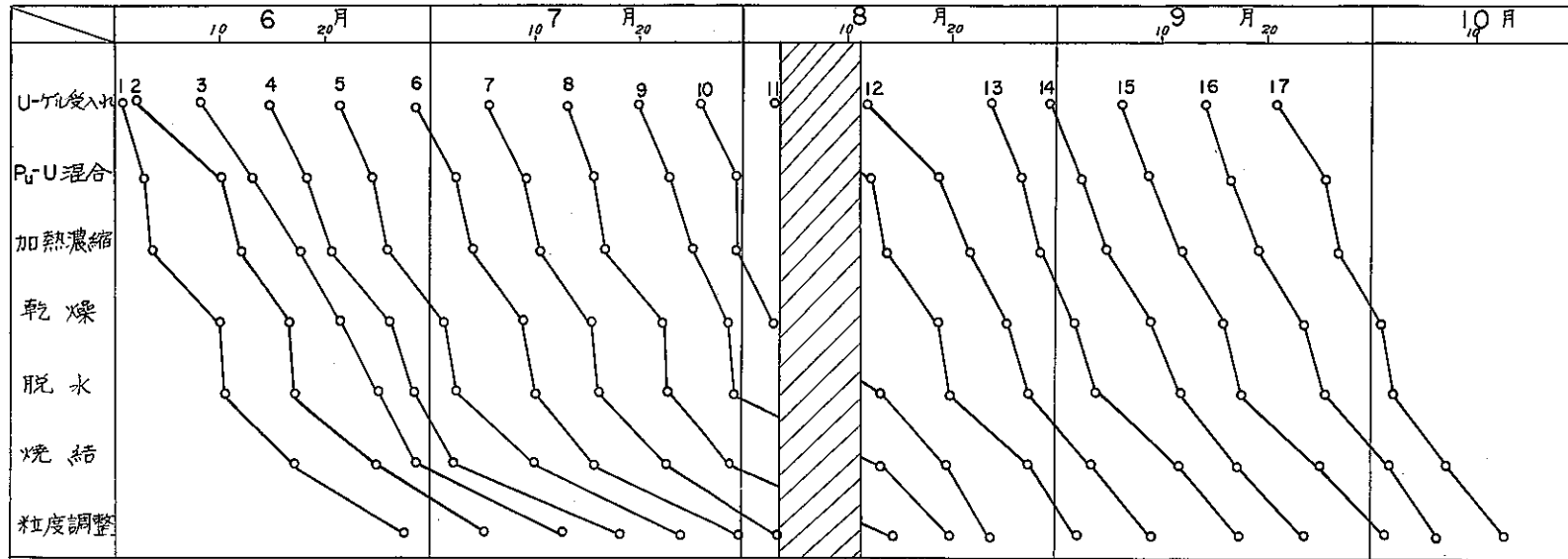
ウラン・プルトニウム混合には、先に行なった混合実験の結果ウラン・プルトニウムの混合均一性が良好であった過酸化プルトニウムの乾燥粉末を用いることとした。

過酸化プルトニウム沈殿の出発原料は主として PuO_2 粉末を硝酸で溶解した硝酸プルトニウム（約 $200\text{ g Pu}/\ell$ ）溶液であるが、途中の沈殿工程中でのロスや焼結失敗試料の作り直し等でプルトニウム量が不足する結果となったため、 $\text{PuO}_2 - \text{UO}_2$ 混合酸化物からウラン・プルトニウムの分別沈殿法により、プルトニウムを分離回収した硝酸プルトニウムも追加使用した。

分別沈殿シユウ酸沈殿法により、沈殿の条件は酸濃度 2~3 N で U 約 $20\text{ g}/\ell$ 以下となる様にして、Free $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 0.01 M となる様に添加し、ウランを上澄液にプルトニウムを沈殿に補集して精製した。

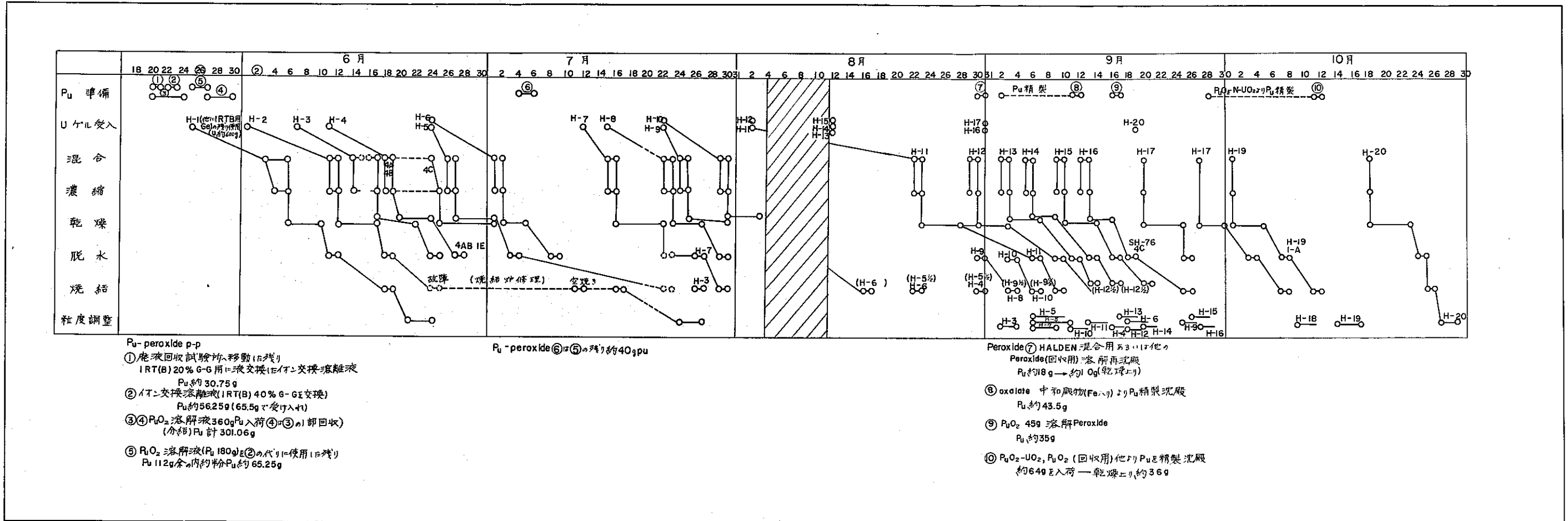
過酸化プルトニウムの沈殿は一般的方法に依り、硝酸プルトニウム溶液に市販の濃過酸化水素水を添加して沈殿を生成る過した。こうして生成した過酸化プルトニウム沈殿を 100°C ~ 130°C で 17~20 Hr 乾燥した後、混合ゲル中でのプルトニウムスポットのできるのをさ

表 7.2.1 HALDEN-160 用 試 料 製 造 予 定



	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月
P _U -泥殿作成	100 ^g P _U × 5.5 バッチ	0	0	0	0	0
U-ケル受入れ	1	5	4	4	3	0
U-P _U 混合	0	5	5	3	4	0
加熱濃縮	0	5	5	3	4	0
乾燥	0	5	4	4	4	0
脱水	0	4	5	3	4	1
焼結	0	3	5	3	4	2
粒度調整	0	1	5	4	4	3

表 7.2.2 製造日程 (実 績)



けるためまたウランとの混合条件を整えるため-200 meshの粉末に調整した。

7.2.4 ウラン・プルトニウム混合

表7.2.3 図7.2.2に示すような生産課から入手した UO_2 ゲル(1ロット約950gU)1ロットをU300gずつの3バッチに分けて混合するが、まずU300gに相当するゲル量を秤量しピーカに受け入れる。スターラでかきまぜつつ、さきに調整した過酸化プルトニウム濃度が3.1% PuO_2-UO_2 となるように秤量添加した。

表7.2.3 受入れウラン・ゲル

No.	受け入れ月日	GeL wt.	Ucont.(%)	U. wt.	Memo.
0	4-25	3690(g)	27.19	1,003.3	
1	5-27	2890	31.13	899.7	
2	6-10	2800	33.65	942.2	
3	6-17	3100	30.21	936.5	
4	6-18	3000	31.38	941.4	
5	6-29	3100	30.90	957.9	
6	"	3000	32.68	980.4	
7	7-20	3000	31.49	944.7	
8	"	3200	30.47	975.0	
9	7-27	3100	31.04	962.2	
10	"	3100	30.55	947.1	
11	8-3	3000	32.15	964.5	
12	"	2900	31.57	915.5	
13	8-23	2700	35.85	968.0	
14	"	3100	28.53	884.4	U 36.4 g追加
15	"	3100	30.12	933.7	
16	9-3	2900	32.12	931.5	
17	"	2700	31.70	855.9	U 63.5 g追加
18	9-13	2400	39.93	958.3	
19	"	3000	31.82	954.6	
20	9-21	3100	30.39	942.1	
		62,880		19,798.9	
		2,994	31.66	942.8	

但し、ロット19、ロット20は過酸化プルトニウム量の関係で若干バッチの大きさを変更した。プルトニウム粉末添加後更に2.5時間混合攪拌した。ウランゲル量の多いロット19、ロット20は、それぞれ4時間、3時間に延長した。

ウラン・プルトニウム混合終了後、ゲル中のガスを放出させ混合均一性を高め、更に乾

-296-

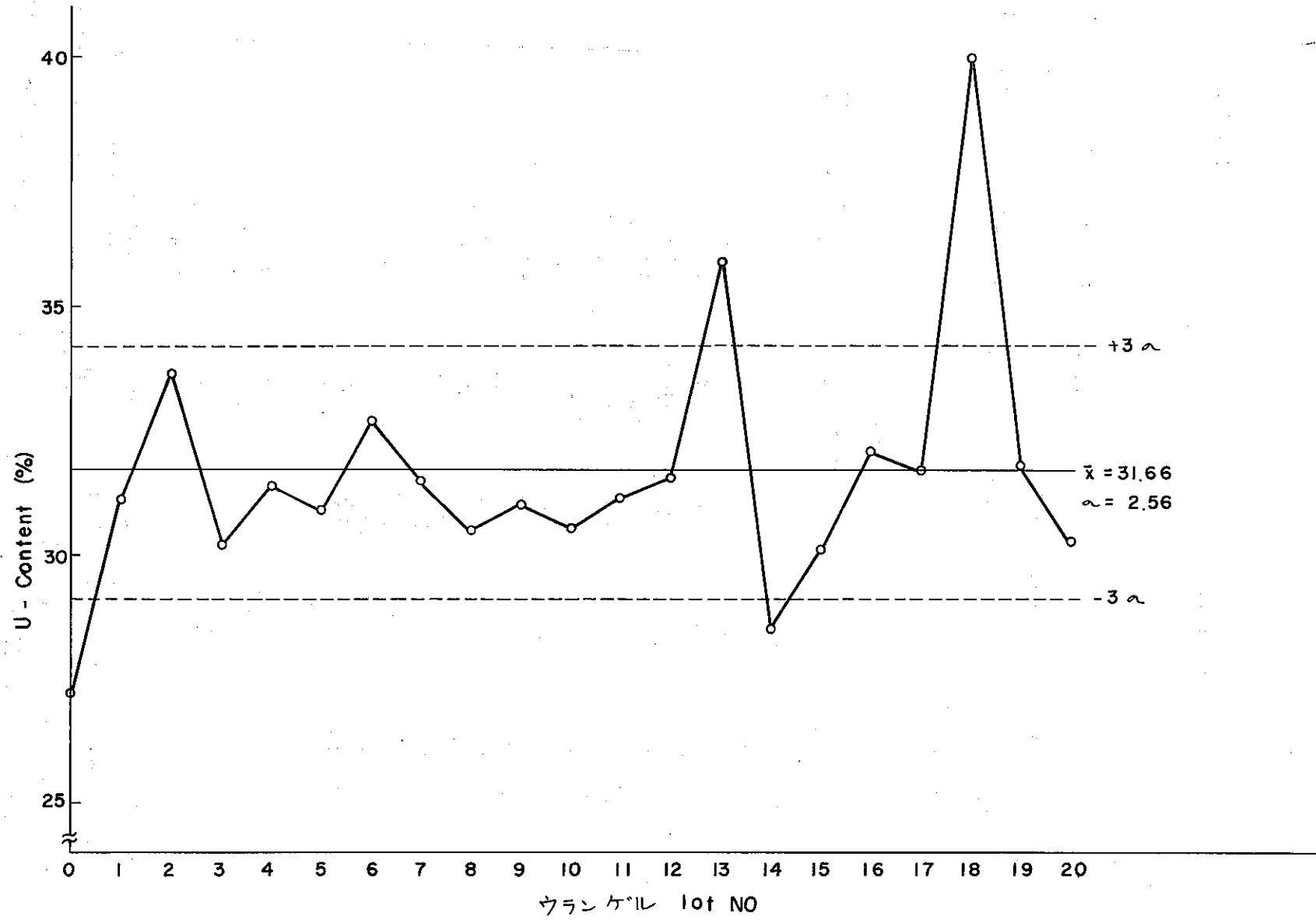


図 7.2.2 ウラン・ゲル濃度のバラツキ

燥日数短縮する等の目的のため、混合ゲルの加熱濃縮を行なった。容器は、丸底ガラスフラスコを用い、マントルヒータで加熱した。加熱濃縮は(U+Pu)/Gel比が、0.38~0.40となる迄行なった。濃縮比は初め0.40~0.42の値で行なったが、焼結後のPuO₂-UO₂の粗粒部が少なくなる傾向にあったため、1つの対策として濃縮比を下げることにした。またロット18では受け入れウランゲルそのものが39.93wt%Uと高濃度であったため、加熱濃縮を行なわないで乾燥することとした。

混合ゲルの乾燥は60℃の乾燥器内で3~4日間乾燥した。これらを表7.2.4に示す。

7.2.5 脱水・焼結

脱水・焼結条件は、これ迄のゾルーゲル法で確立されてきた。50℃/Hr 昇温800×2時間保持の脱水、100℃/Hr 昇温1400℃×3時間保持の焼結を行なったが、脱水時間の短縮、焼結体の粗粒化を計るために脱水条件を若干変更し、50℃/Hrで350~400℃迄昇温後800℃迄100℃/Hrで昇温し、保持は800℃×3時間の脱水を行なう事とした。焼結条件は変更していない、なお脱水・焼結の雰囲気には5%H₂-N₂ガスの還元ふんい気を用いた。途中焼結炉に故障がありロット2および5は途中迄焼結後再焼結した。ロット7は、2回脱水後焼結したが、焼結炉の異常で比較的粗粒部しか製品としては得られなかった。ロット5の再焼結、ロット6、9および12の焼結は、ペレット製造に用いる焼結炉を用いて焼結した。

7.2.6 焼結体製品性状

焼結体のPu濃度、密度、不純物の測定結果は表7.2.6 図7.2.3~6のとおりである。この結果プルトニウム濃度は3.1%よりも若干高いところに偏りのある傾向があったがロット14はUO₂ゲル中のウラン濃度が実際によりかなり低い分析値が出ていたため、この分析値に従ってプルトニウム添加を行なった結果異常に低い値となってしまった。またロット17、19の2ロットは原因不明ながらプルトニウム濃度が高すぎて規格を外れた。このロット以外は十分にスペックを満足させることができた。また密度に関しては、これ迄の実験、製造経験により95±1% T.D位の値を期待したのであったがばらつきに若干の広がりがあるとはいえ96.5±1.5% T.Dの範囲にほぼ納まり期待値より中心が1.5% T.Dも上昇し、良い結果を得ることができた。

これらについて製造規格(スペック)と製品結果をまとめると、次表の如くなり、密度の規格をもう少し高くしても良かった。外は、真に良い一致をしていて偶然とはいえ無駄の

表7.2.4 製造条件

Lot No.	ウラン・ゲル			過酸化プルトニウム			混合	濃縮	乾燥	脱水	焼結	
	U%	Gel g	Ug	Pu%	粉g	Pu g	時間	Pu+U/Gel	日			
1	27.19	1103	300	71.18	135	9.61	2.5	0.41	4	50°C/Hr 800°C×2Hr	100°C/Hr 1400°C×3Hr	
		a)1103	300		135	9.61	2.5	0.40				
	31.13	b) 964	300	71.18	135	9.61	2.5	-	5			
		964	300		135	9.61	2.5	0.40				
2	33.65	947	295	71.18	132.5	9.43	2.5	0.41	6	50°C/Hr 800°C×2Hr	100°C/Hr 1400°C×3Hr	
		892	300		71.18	135	9.61	2.5				0.40
		892	300	70.11	137	9.61	2.5	0.41	5			
		892	300		137	9.61	2.5	0.40				
3	30.21	993	300	71.96	134	9.64	2.5	0.41	4	50°C/Hr 800°C×2Hr	100°C/Hr 1400°C×3Hr	
		993	300		71.96	134	9.64	2.5				0.41
		993	300	80.51	134	9.64	2.5	0.41	3			
		956	300		71.96	134	9.64	2.5				0.42
4	31.38	c) 956	300	80.51	11.9	9.58	2.5	0.40	5	50°C/Hr 800°C×2Hr	100°C/Hr 1400°C×3Hr	
		971	300	80.51	11.9	9.58	2.5	0.41				
		971	300	80.51	11.9	9.58	2.5	0.40				
		971	300	80.51	11.9	9.58	2.5	0.43				
5	30.90	918	300	80.51	11.9	9.58	2.5	0.40	3	50°C/Hr 800°C×2Hr	*) 100°C/Hr 1400°C×3Hr	
		918	300		80.51	11.9	9.58	2.5				0.40
		918	300	80.51	11.9	9.58	2.5	0.42	6			
		953	300		80.51	11.9	9.58	2.5				0.44
6	32.68	953	300	80.51	9.9	9.61	2.5	0.46	4	50°C/Hr 800°C×2Hr	*) 100°C/Hr 1400°C×3Hr	
		953	300		80.51	11.9	9.58	2.5				0.42
		953	300	80.51	11.9	9.58	2.5	0.44	6			
		985	300		75.77	127	9.62	2.5				0.41
7	31.49	985	300	75.77	127	9.62	2.5	0.40	4	50°C/Hr 800°C×2Hr	100°C/Hr 1400°C×3Hr	
		985	300		75.77	127	9.62	2.5				0.40
		985	300	80.51	127	9.62	2.5	0.40	5			
		966	300		75.77	127	9.62	2.5				0.40
8	30.47	966	300	75.77	127	9.62	2.5	0.39	5	~400°C ~800°C 50°C/Hr 100°C/Hr 800°C×3Hr	*) 100°C/Hr 1400°C×3Hr	
		966	300		75.77	127	9.62	2.5				0.40
		966	300	80.51	127	9.62	2.5	0.38	4			
		982	300		80.51	11.9	9.58	2.5				0.35
9	30.55	982	300	80.51	11.9	9.58	2.5	0.35	4	~400°C ~800°C 50°C/Hr 100°C/Hr 800°C×3Hr	100°C/Hr 1400°C×3Hr	
		982	300		80.51	11.9	9.58	2.5				0.35
		933	300	80.51	11.9	9.58	2.5	0.38	5			
		933	300		80.51	11.9	9.58	2.5				0.38
10	32.15	933	300	80.51	11.9	9.58	2.5	0.38	5	~350°C ~800°C 50°C/Hr 100°C/Hr 800°C×3Hr	100°C/Hr 1400°C×3Hr	
		933	300		80.51	11.9	9.58	2.5				0.38
		950	300	80.51	11.9	9.58	2.5	0.38	4			
		950	300		80.51	11.9	9.58	2.5				0.38
11	31.57	950	300	80.51	11.9	9.58	2.5	0.38	4	~350°C ~800°C 50°C/Hr 100°C/Hr 800°C×3Hr	*) 100°C/Hr 1400°C×3Hr	
		950	300		80.51	11.9	9.58	2.5				0.39
		950	300	77.30	124	9.59	2.5	0.40	4			
		837	300		77.30	124	9.59	2.5				0.41
12	35.85	837	300	77.30	124	9.59	2.5	0.40	3	~350°C ~800°C 50°C/Hr 100°C/Hr 800°C×3Hr	100°C/Hr 1400°C×3Hr	
		837	300		77.30	124	9.59	2.5				0.41
		1052	300	73.25	131	9.60	2.5	0.42	3			
		1052	300		73.25	131	9.60	2.5				0.42
13	28.53	924	263.6	77.30	124	9.59	2.5	0.40	4	~350°C ~800°C 50°C/Hr 100°C/Hr 800°C×3Hr	100°C/Hr 1400°C×3Hr	
		102	36.6		77.30	124	9.59	2.5				0.40
		996	300	73.25	131	9.60	2.5	0.39	4			
		996	300		73.25	131	9.60	2.5				0.38
14	30.12	996	300	73.25	131	9.60	2.5	0.38	4	~350°C ~800°C 50°C/Hr 100°C/Hr 800°C×3Hr	100°C/Hr 1400°C×3Hr	
		996	300		73.25	131	9.60	2.5				0.38
		934	300	72.7	132	9.60	2.5	0.38	3			
		913	293.2		75.77 77.30 72.7	7.6 2.7 2.1	9.38	2.5				0.38
15	32.12	946	300	76.1	12.6	9.59	2.5	0.38	5	~350°C ~800°C 50°C/Hr 100°C/Hr 800°C×3Hr	100°C/Hr 1400°C×3Hr	
		946	300		76.1	12.6	9.59	2.5				0.38
		746	236.5	76.1	12.6	9.59	2.5	0.38	3			
		198	63.5		76.1	12.6	9.60	2.5				-
16	31.70	751	300	76.1	12.6	9.59	2.5	-	5	~350°C ~800°C 50°C/Hr 100°C/Hr 800°C×3Hr	100°C/Hr 1400°C×3Hr	
		751	300		76.1	12.6	9.60	2.5				-
		751	300	76.16	12.6	9.60	2.5	-	3			
		751	300		76.16	12.6	9.60	2.5				-
17	39.93	751	300	76.1	12.6	9.59	2.5	-	5	~350°C ~800°C 50°C/Hr 100°C/Hr 800°C×3Hr	100°C/Hr 1400°C×3Hr	
		751	300		76.1	12.6	9.60	2.5				-
		751	300	76.16	12.6	9.60	2.5	-	3			
		751	300		76.16	12.6	9.60	2.5				-
18	31.82	1264	402.2	76.16 76.1	12.6 4.6	9.60 3.3	4.0	0.39	5	"	"	
		1277	388	71.53	16.9	12.1	3.0	0.38				4
		1277	388		71.53	16.9	12.1	3.0				
		1219	388	71.53	16.9	12.1	3.0	0.38				
19	30.39	1277	388	71.53	16.9	12.1	3.0	0.38	4	~350°C ~800°C 50°C/Hr 100°C/Hr 800°C×3Hr	100°C/Hr 1400°C×3Hr	
		1277	388		71.53	16.9	12.1	3.0				0.38
		1219	388	71.53	16.9	12.1	3.0	0.38	4			
		1219	388		71.53	16.9	12.1	3.0				0.38
20	31.82	1219	388	71.53	16.9	12.1	3.0	0.38	4	~350°C ~800°C 50°C/Hr 100°C/Hr 800°C×3Hr	100°C/Hr 1400°C×3Hr	
		1219	388		71.53	16.9	12.1	3.0				0.38
		1219	388	71.53	16.9	12.1	3.0	0.38	4			
		1219	388		71.53	16.9	12.1	3.0				0.38

表 7.2.5

Lot No.	脱水月日	焼結月日	焼結炉別	特記事項
1	6-11	6-18	ゾルーゲル炉	
2	6-18	6-24, 7-16	〃	ゾルーゲル炉ヒーターリード線断線, 再焼結,
3	6-24	7-25	〃	
4	6-27	8-30	〃	
5	7-3	7-22	〃	雷雨のための停電, ガス切れとなって試料酸化
6	7-8	8-16, 8-22	ペレット炉	ペレット炉で1/4づつ
7	7-22	7-29	ゾルーゲル炉	ゾルーゲル炉ヒーター断線, 炉心管破損, 粗粒のみ使用可,
8	7-29	9-3	〃	
9	8-30	9-3, 9-6	ペレット炉	ペレット炉で1/4づつ
10	9-3	9-6	ゾルーゲル炉	
11	9-6	9-9	〃	
12	9-9	9-13, 9-16	ペレット炉	ペレット炉で1/4づつ
13	9-11	9-13	ゾルーゲル炉	
14	9-13	9-14	〃	
15	9-16	9-20	〃	
16	9-18	9-25	〃	
17	9-25			
18	10-4	10-7	〃	
19	10-7	10-11	〃	
20	10-24	10-25	〃	

ない工程能力であった。

	製品のバラツキ		スペック	
	\bar{x}	3σ	中心	巾
PuO ₂ 濃度 % *	3.13	±0.15	3.1	±0.5
密度 % **	96.5	±0.9		

* ロット17, 19を除く

** ロット17を除く

不純物に関しては, ロット2で焼結炉故障による多少の不純物混入があったが, 規格内に十分入っている。炭素だけが規格内で上限に近い。これに関しては, 焼結炉修理の際これ迄炉心管接続部に使用していたカーボンウールの使用を取り止めたが効果はなかった。

水分, 吸着ガスについては, 粗粒部で測定の結果は良好な値を示したが, 中粒, 細粒部を考慮し, また安全のため全部脱ガスを行なうことにした。

表7.2.6 測定・分析結果

SN841-71-31

No.	Spec.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	19	20	
PuO ₂ Cont. (%)	3.1 ± 0.15	3.15	3.13	3.05	3.91	3.15	3.11	3.06	3.08	3.20	3.19	3.15	3.08	3.15	2.94	3.10	3.14	3.20	3.78*	3.19	
Density (%T·D)	—	96.57	95.96	97.44	96.08	98.60	95.24	96.99	96.93	97.89	97.07	97.36	96.05	95.93	96.27	96.51	94.94	95.20	96.76	95.99	
O/M	—	1.992	1.990	1.988	2.00 _s	1.99 _s	2.02	1.98 ₇	1.99 _s	1.99 _s	1.98 ₆	1.98 ₂	1.98 ₇	1.98 ₇	1.98 ₆	2.00 ₇	1.99 ₆	2.00 _s	1.98 ₃	1.98 _s	
Impurities.	Ag (p.p.m)	—	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	
	Al	500	13	170	15	140	330	15	85	20	<10	15	<10	10	20	15	60	10	25	50	40
	B	1.0	<0.3	0.4	0.4	<0.3	<0.3	<0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	<0.3	<0.3	<0.3	0.4	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
	Ca	100	17	<5	<5	5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<10	<10	<10
	Cd	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	Co	60	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
	Cr	500	33	50	<10	35	20	20	25	10	<10	25	<10	10	<10	<10	<10	<10	25	25	30
	Cu	50.0	3	15	5	5	<3	<3	5	<3	<3	<3	<3	<3	3	<3	<3	<3	3	5	4
	Fe	500	21	350	80	25	90	<10	65	50	25	75	45	45	35	20	60	30	220	220	230
	Mg	50.0	<2	30	5	15	8	<2	10	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<0.2	<2	2	2	3
	Mn	10.0	<6	15	<6	<6	<6	<6	<6	<6	<6	<6	<6	<6	<6	<6	<6	<6	<6	<6	<6
	Mo	150	—	15	20	25	30	30	40	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	25	25	45
	Ni	300	<10	110	40	30	30	20	45	95	20	30	35	20	90	70	40	20	40	45	60
	Pb	20.0	—	10	<10	<10	<10	<10	10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
	Si	500	25	120	90	60	45	40	45	40	80	40	25	45	20	30	25	25	40	50	50
	Sn	5.0	—	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
	V	1.0	<3	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
	Zn	20.0	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
	O	100	50	70	90	60	50	40	60	40	40	90	60	50	80	50	50	60	90	80	90
	Cl	20.0	5.5	10	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	7	<5	<5	8	9	<5
F	10.0	<5	<5	<5	<5	<5	<5	11	6	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	8	<5	<5	
N	75.0	<30	<30		<30		<30	<30	35		36		40		50			45			
Moisture	200	—	—	59	<30	55	<30	<30	90	80							<30	<30			
Gas	ul/g	—	—	<30	<30	<30	41.0	<30	<30	50.8	<30	30		30		<30				<30	

* Lot19 不合格

表 7.2.7 焼結後粒度分布

No.	mesh		+ 6	- 6 ~ + 8	- 8 ~ + 10.5	- 10.5 ~ + 20	- 20 ~ + 65	- 65	計
	wt (g)	%							
1	wt (g)		88.9	129.0	211.0	383.9	172.1	38.2	1023.1
	%		8.69	12.61	20.62	37.52	16.82	3.73	99.99
2	wt (g)		110.9	179.2	237.4	270.8	152.3	32.3	982.9
	%		11.28	18.23	24.15	27.55	15.49	3.29	99.99
3	wt (g)								770.1
	%								100.00
4	wt (g)		56.9	155.8	189.5	351.5	198.8	35.7	988.2
	%		5.76	15.77	19.18	35.57	20.12	3.61	100.1
5	wt (g)		92.7	93.3	145.2	293.6	192.1	48.3	865.2
	%		10.71	10.78	16.78	33.93	22.20	5.58	99.98
6	wt (g)		225.4	184.2	225.9	221.5	126.7	15.9	999.6
	%		22.55	18.43	22.60	22.16	12.68	1.59	100.01
7	wt (g)		142.7	135.3	138.5	85.0	31.0	10.7	543.2
	%		26.27	24.91	25.5	15.65	5.71	1.97	100.01
8	wt (g)		162.0	116.5	194.1	333.5	175.5	25.2	1006.8
	%		16.09	11.57	19.28	33.12	17.43	2.50	99.99
9	wt (g)		515.8	116.2	125.8	161.4	79.2	9.7	1008.1
	%		51.17	11.53	12.48	16.01	7.86	0.96	100.01
10	wt (g)		196.0	131.5	204.4	317.0	172.4	28.7	1105.0
	%		18.67	12.52	19.43	30.19	16.42	2.73	99.96
11	wt (g)		436.5	145.8	96.3	194.1	123.5	26.7	1022.9
	%		42.67	14.25	9.41	18.98	12.07	2.61	99.99
12	wt (g)		305.9	157.2	167.7	208.3	142.7	36.3	1018.1
	%		30.05	15.42	16.47	20.46	14.02	3.57	99.99
13	wt (g)		120.7	134.0	200.8	326.3	184.5	39.2	1005.5
	%		12.00	13.33	19.97	32.45	18.35	3.90	100.00
14	wt (g)		259.0	159.6	171.0	277.5	214.3	50.0	1131.4
	%		22.90	14.11	15.11	24.53	18.94	4.42	100.01
15	wt (g)		348.4	166.4	193.5	214.8	102.4	13.0	1038.5
	%		33.55	16.02	18.63	20.68	9.86	1.25	99.99
16	wt (g)		333.5	193.3	195.4	197.5	87.3	13.7	1020.7
	%		32.67	18.94	19.14	19.35	8.55	1.34	99.98
18	wt (g)		424.2	183.9	164.6	150.8	78.5	12.8	1014.8
	%		41.80	18.12	16.22	14.86	7.74	1.26	100.00
19	wt (g)		164.6	105.5	105.2	166.3	117.5	4.6	663.7
	%		24.80	15.90	15.85	25.06	17.70	0.69	100.00
20	wt (g)		425.1	276.8	283.4	252.4	112.0	4.7	1354.4
	%		31.38	20.44	20.92	18.64	8.27	0.35	100.00
計	wt (g)		4409.2	2763.5	3249.7	4406.2	2462.8	445.7	17737.1 *
	%		24.86	15.58	18.32	24.84	13.89	2.51	(18507.2)**

Lot 3 は初期粒度分布を測定しなかったため逆算による推定値である

* Lot 3 を含まず

** Lot 3 を含む

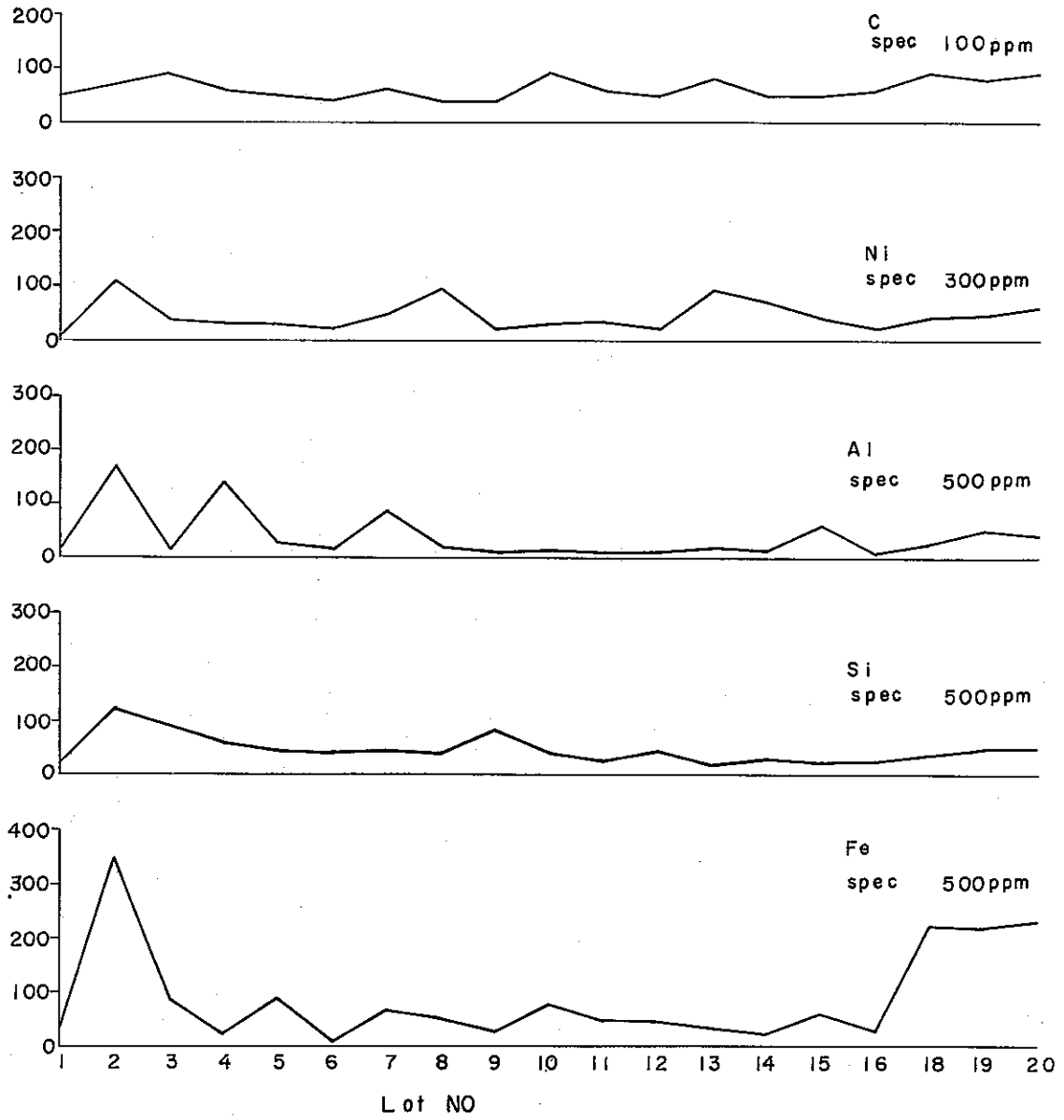


図 7.2.3 おもな不純物

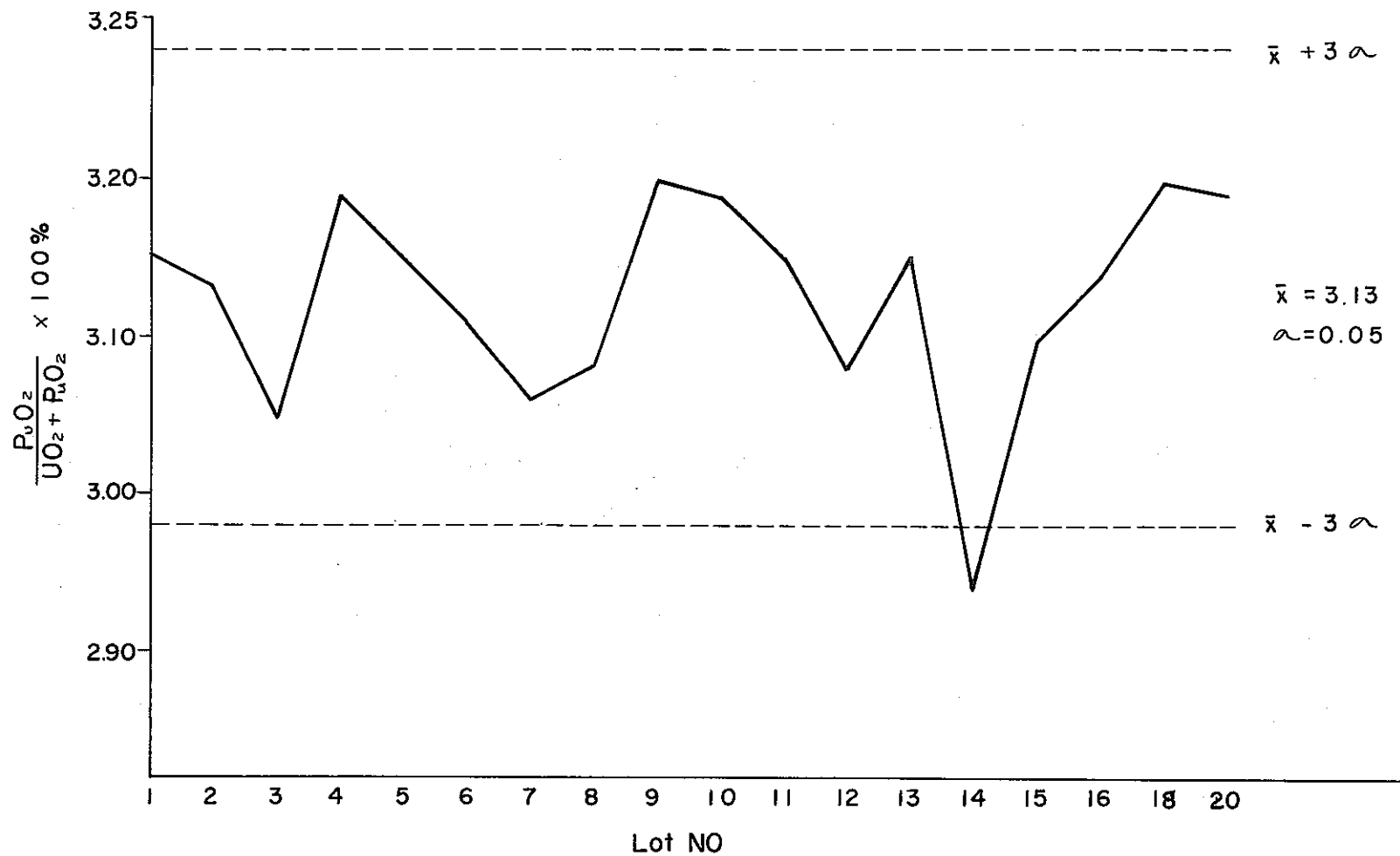
spec. $3.1 \pm 0.5 \%$ 

図7.2.4 製品プルトニウム濃度のバラツキ

spec. 94 ± 1%

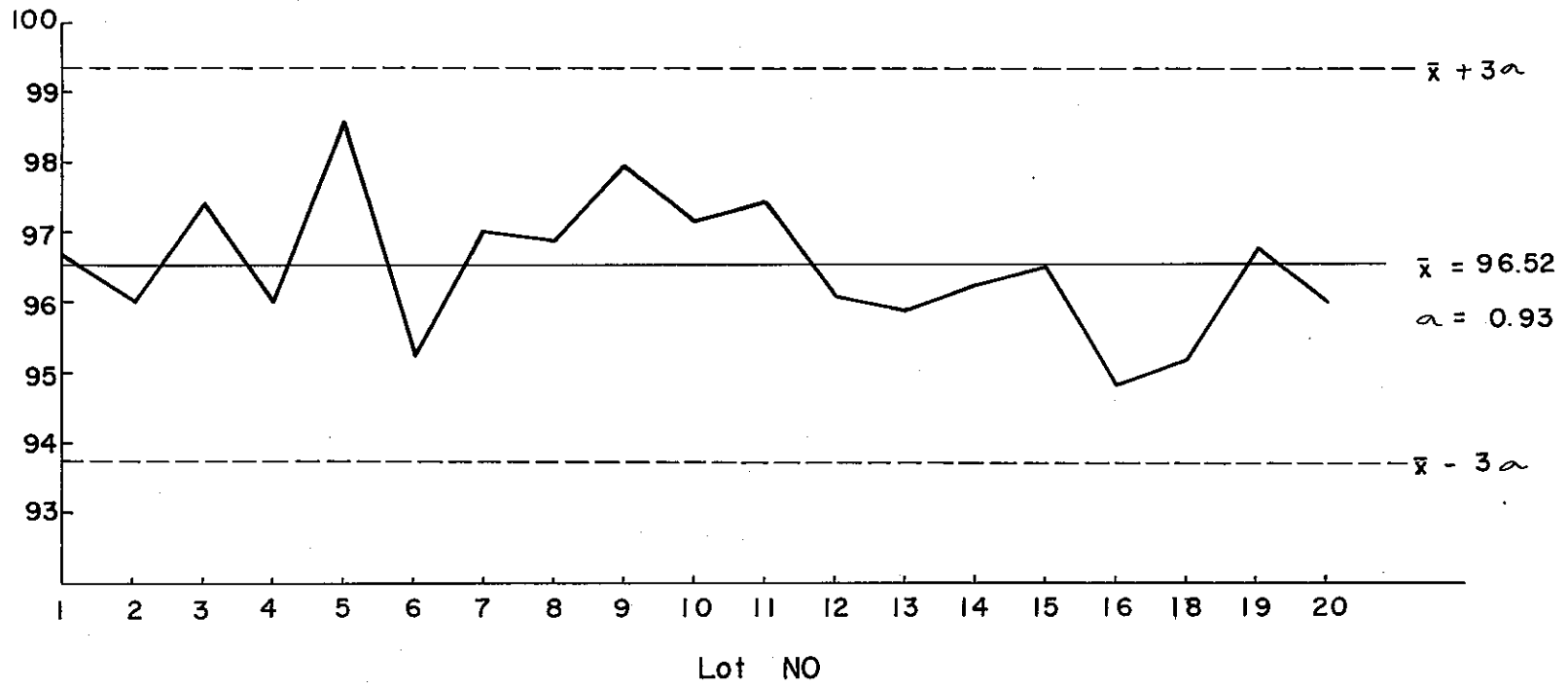


図7.2.5 製品密度のパラツキ

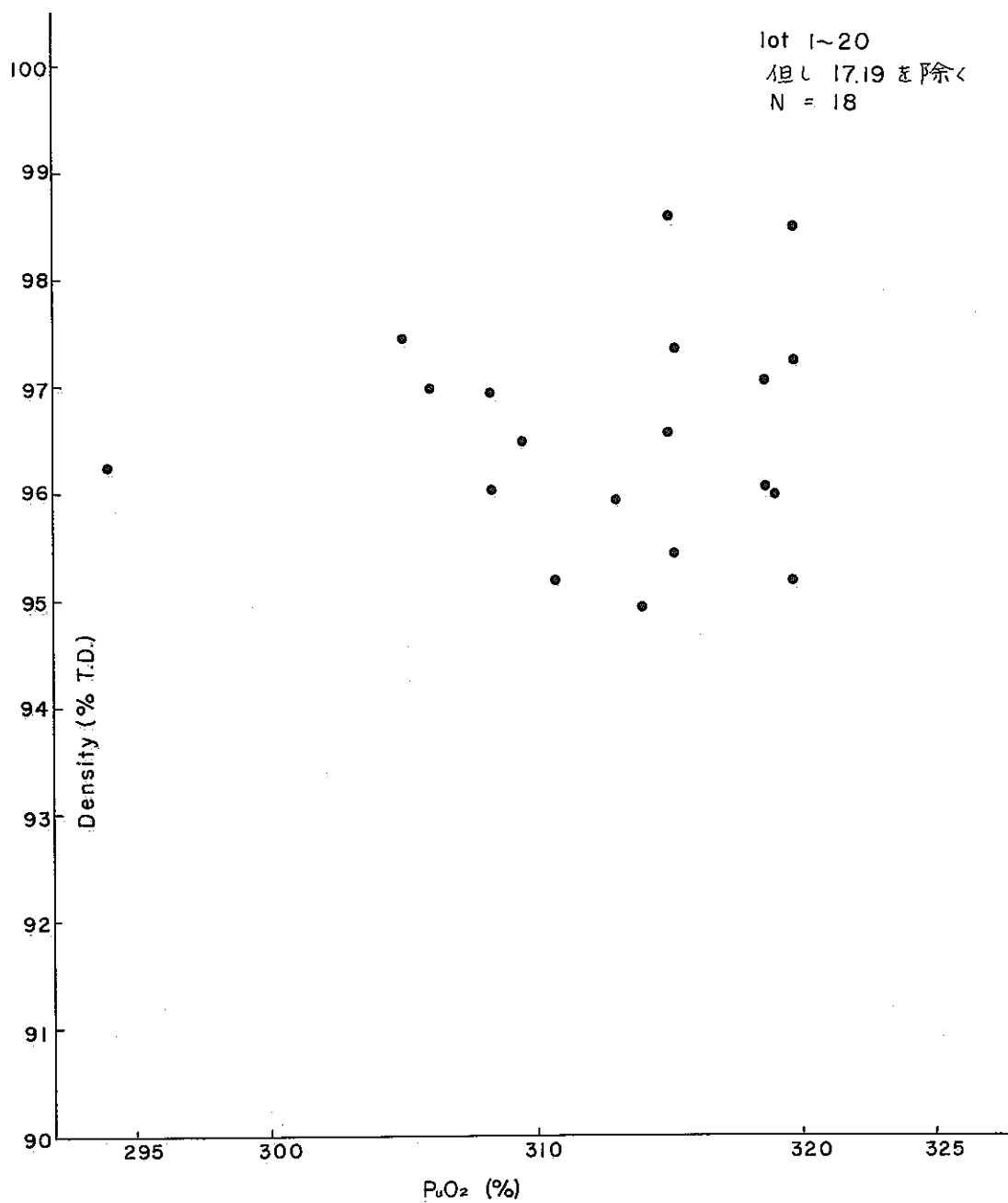


図 7.2.6 Pu 濃度と製品密度

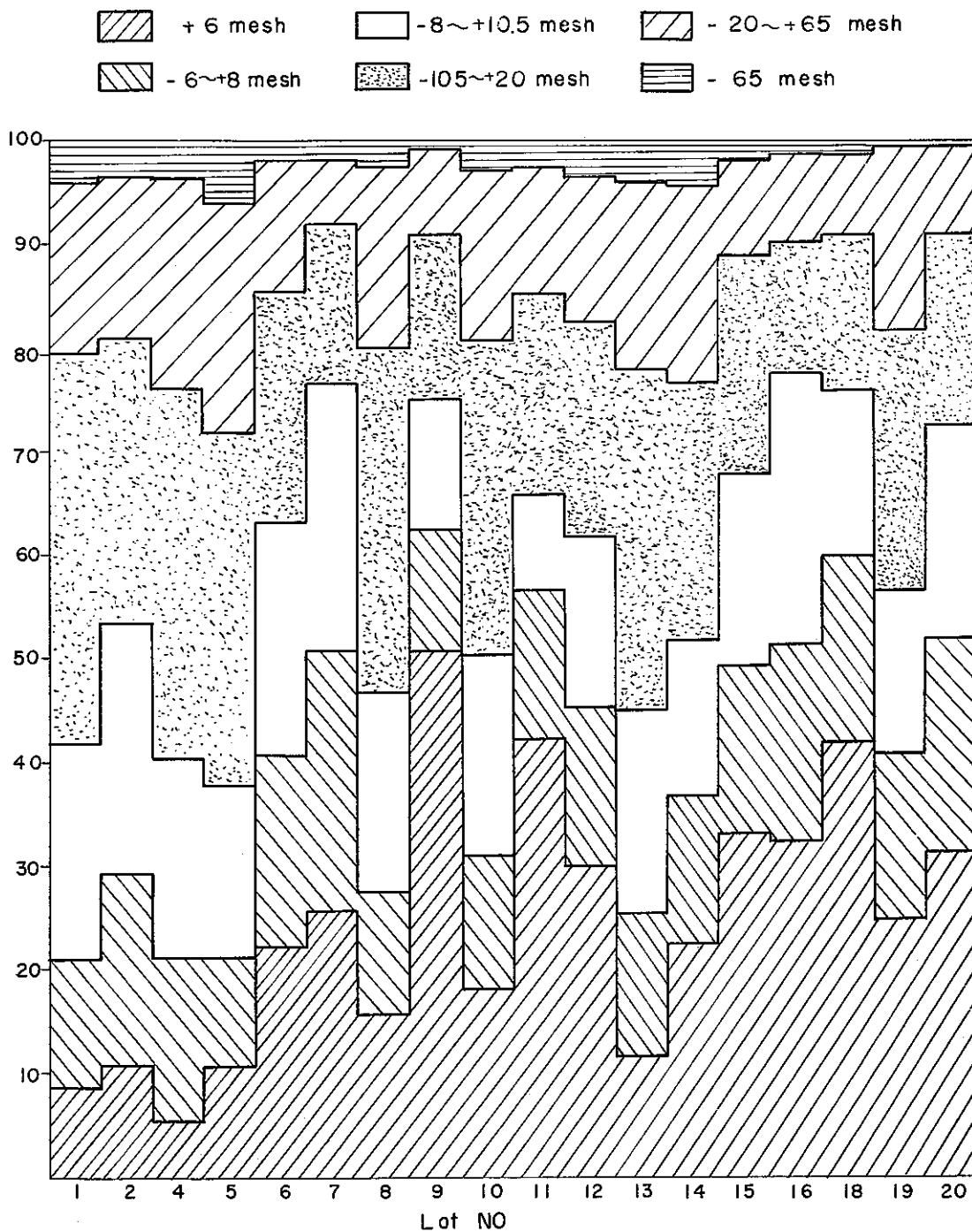


図 7.2.7 焼結後粒度分布

金相写真，オートラジオグラフ等も全ロット撮られているが特別問題となるところもなさ
 そうである。

7.2.7 篩別・粒度調整

焼結体 $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$ の粒度分布は表 7.2.7 図 7.2.7 のとおりであるが，初めの 5 ロットは焼結炉
 故障や粒度調整の不慣れとみられる原因で粗粒部が少なく +10 mesh 分が 40% 前後と
 低い結果となってしまったが，後半のロットでは，粗粒部の増加が認められ +10 mesh
 分として最高 77% 迄の増加により全体として 50% 強に迄上げることができた。VIPAC で
 要求する粒度分布は，-6 ~ +10.5 mesh，-20 ~ +65 mesh，-325 mesh，の 3
 成分であるため，ボールミルを使用して -325 mesh を作った。+6 mesh 粒を粉碎して，
 -8 ~ 10.5 mesh の粗粒を得る効率は，表 7.2.8 の如く 63% であった。

表 7.2.8 +6 mesh 粒 粉 碎

No.	+6 mesh (wt)	-6~+8meshe		-8~+10.5mesh		-6~+10.5mesh	
		wt(g)	%	wt(g)	%	wt(g)	%
1	88.9 ^R	43.1	48.5	15.0	16.9	58.1	65.4
2	110.9	36.8	33.2	4.2	3.8	41.0	37.0
4	56.9	5.5	9.7	26.8	47.1	32.3	56.8
5	92.7	30.2	32.6	19.8	21.4	50.0	54.0
6	225.4	91.6	40.6	46.0	20.4	137.6	61.0
7	142.7	78.3	54.9	25.0	17.5	103.3	72.5
8	162.0	54.8	33.8	23.5	14.5	78.3	48.3
9	515.8	219.7	42.7	117.6	22.8	337.3	65.5
10	196.0	83.4	42.6	31.3	15.95	114.7	58.5
11	436.5	231.9	53.1	56.4	12.9	288.3	66.0
12	305.9	161.8	53.0	48.0	15.7	209.8	68.7
13	120.7	54.7	45.7	21.4	17.7	76.1	63.2
14	259.0	106.9	41.3	58.2	22.5	165.1	63.8
15	348.4	179.4	51.5	76.2	21.9	255.6	73.3
16	333.5	120.8	36.0	90.1	26.9	210.9	63.0
18	424.2	164.1	38.7	100.2	23.6	264.3	62.3
19	164.6	82.0	49.8	34.6	22.1	116.6	70.8
20	425.1	150.4	35.4	94.3	22.2	244.7	57.6
計	4409.2	1895.4	43.0	888.6	20.2	2784.0	63.1

Ball-mill による粉砕はおもに $-10.5 \sim +20$ mesh 粒を 6~7 時間粉砕して、60~70% の効率で -325 mesh 粒を得た。初期には、 $-10.5 \sim +20$ mesh 部分もそれ以下のサイズに粉砕していたが、後半では $-10.5 \sim +20$ mesh 粒は、そのままに残し 4 成分とすることとした。

こうして得た製品粒度組成は表 7.2.9 図 7.2.8 に示すとおり、 $-6 \sim +10.5$ mesh 粗粒部が加重平均で 50% 強、 $-10.5 \sim +20$ mesh 11% 強、 $-20 \sim +65$ mesh 中間部 21% 細粉部 16% 強を得ることができた。

7.2.8 あとがき

ゾルゲル法によって $UO_2 - PuO_2$ をキログラムオーダーそれも約 20 kg と言うまとまった量を製造したのは、初めての経験である。

途中焼結炉の故障に遭遇したときには、目先が真暗になる想いであったが、無事修理に成功してからはゾルゲルグループの頑張りは当然としても各方面からの応援を受けてともかく全体の計画に大きな影響を与えることなく、製造を紙えることができた。全部で 20 ロットの製造を行なったが、No. 17, 19 の 2 ロットはプルトニウム濃度が規格を外れたため不合格となった。使用したグローブボックスは、混合、乾燥用および脱水焼結用合計 2 台が専用ボックスで他に若干使用させてもらったが、主として 2 つのボックスで作業を行なった。

作業は専属的には 4 各で行なったが、他に炉番等で応援を受けた。

この製造期間特に生産課にはウラン・ゲルの製造をこちらのスケジュールに合わせていただくなど多大の御協力を願ったし、分析係にはプルトニウム濃度の分析等で特に急いでもらうことが多かった。第 2 係には炉番に応援してもらった。感謝の意を表する。

表7.2.9 製品粒度組成

Lot No	mesh	-6~+8	~8~+105	-10.5~+20	-20~+65	-325	計
		wt(g)	%				
1	wt(g)	172.1	226.5		344.9	233.2	976.7
	%	17.62	23.19		35.31	23.88	100.00
2	wt(g)	216.0	241.6		260.0	216.6	934.2
	%	23.12	25.86		27.83	23.19	100.00
3	wt(g)	104.2	164.8		338.4	155.7	763.1
	%	13.65	21.60		44.35	20.40	100.00
4	wt(g)	155.8	221.8	293.8	198.8	183.3	1053.5
	%	14.79	21.05	27.89	18.87	17.40	100.00
5	wt(g)	123.5	165.0		351.0	187.6	827.1
	%	14.93	19.95		42.44	22.68	100.00
6	wt(g)	275.8	271.9	35.4	200.7	152.0	935.8
	%	29.47	29.06	3.78	21.45	16.24	100.00
7	wt(g)	213.6	163.5		75.5	86.0	538.6
	%	39.66	30.36		14.02	15.97	100.01
8	wt(g)	171.3	217.6	196.0	213.0	155.6	953.5
	%	17.97	22.82	20.56	22.34	16.32	100.01
9	wt(g)	335.9	243.4	100.4	150.7	152.0	982.4
	%	34.19	24.78	10.22	15.34	15.47	100.00
10	wt(g)	214.9	235.7	217.0	172.4	157.0	997.0
	%	21.55	23.64	21.77	17.29	15.75	100.00
11	wt(g)	377.7	152.7	241.6	176.7	166.3	1115.0
	%	33.87	13.70	21.67	15.85	14.91	100.00
12	wt(g)	319.0	215.7	96.6	179.4	161.3	972.0
	%	32.82	22.19	9.94	18.46	16.59	100.00
13	wt(g)	188.7	222.2	193.1	203.0	120.2	927.2
	%	20.35	23.96	20.83	21.89	12.96	99.99
14	wt(g)	266.5	229.2	177.4	249.6	154.9	1077.6
	%	24.73	21.27	16.46	23.16	14.37	99.99
15	wt(g)	345.8	269.7	83.6	139.6	170.1	1008.8
	%	34.28	26.73	8.29	13.84	16.86	100.00
16	wt(g)	314.1	285.5	86.5	133.3	120.5	939.9
	%	33.42	30.38	9.20	14.18	12.82	100.00
18	wt(g)	348.0	264.8	57.6	146.0	159.8	976.2
	%	35.65	27.13	5.90	14.96	16.37	100.01
19	wt(g)	187.5	139.8	100.0	135.8	91.5	654.6
	%	28.64	21.36	15.28	20.75	13.98	100.01
20	wt(g)	427.2	377.7	178.1	168.3	119.7	1271.0
	%	33.61	29.72	14.01	13.24	9.42	100.00
混	wt(g)					469.2	469.2
	%					100.00	100.00
計	wt(g)	4757.6	4309.1	2057.1	3837.1	3412.5	18373.4
	%						

Lot No 19はR濃度が高過ぎて不合格となる。

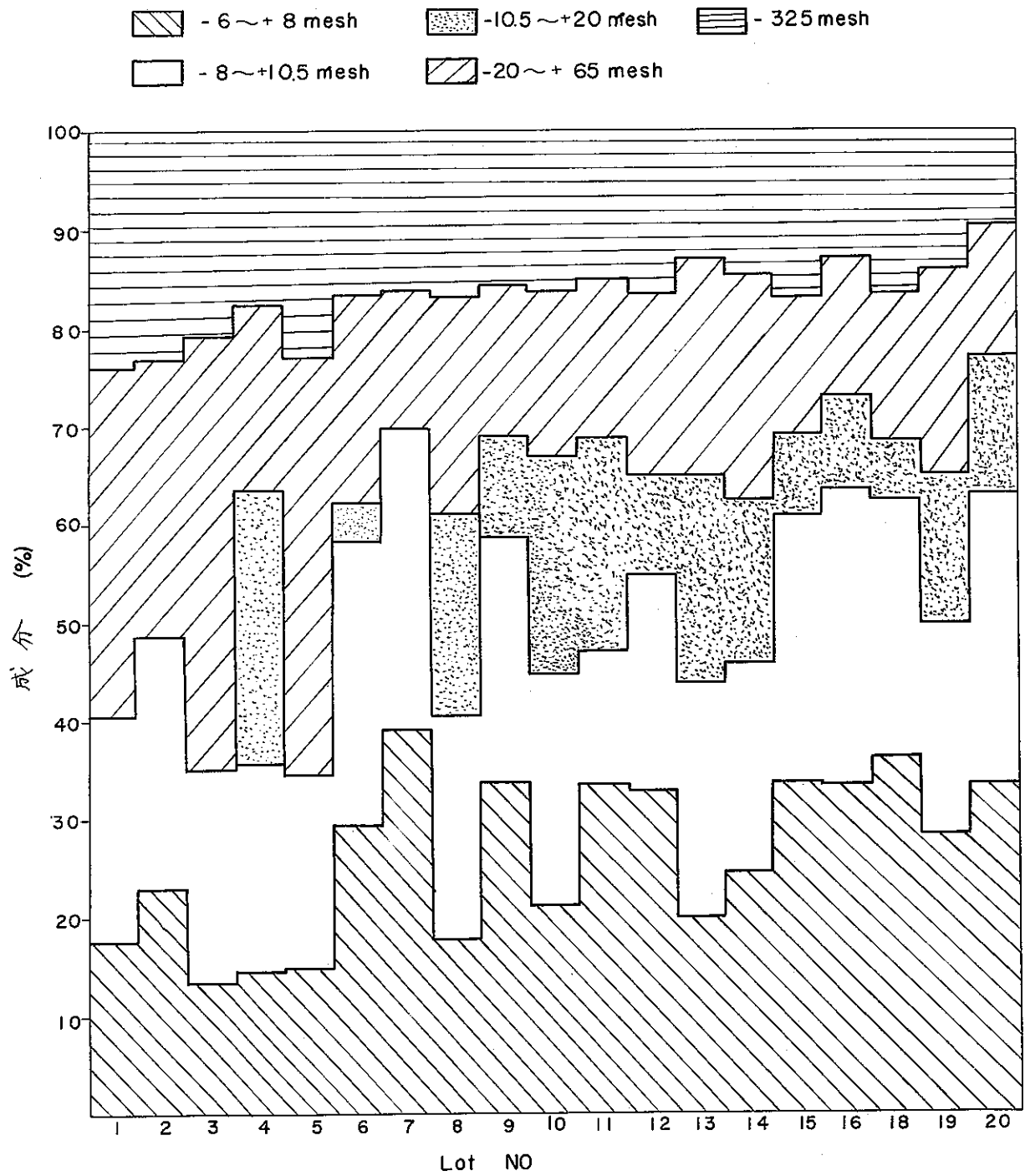


図 7.2.8 粒度調整後の製品粒度分布

7.3 HALDEN-160 物性試験結果

(小泉)

全般的にみて、Crackの発生がみられる、これは sol-gel 燃料特有のもので乾燥、焼結の過程で生じるものである。また pellet と比較して結晶粒が小さい。Pu の均一性については、Pu spot と言うよりは、帯状の濃淡分布がみられるのが特徴である。

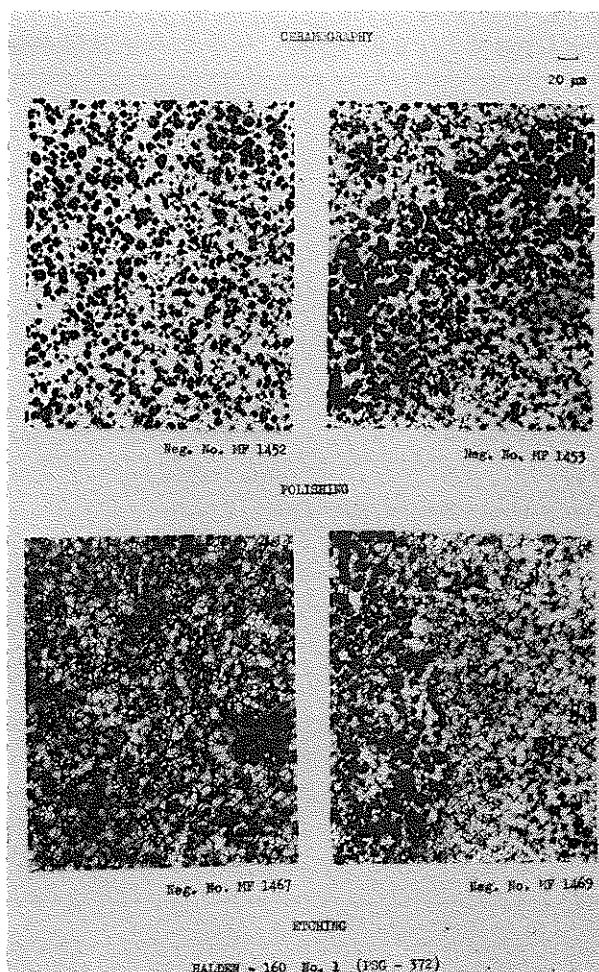
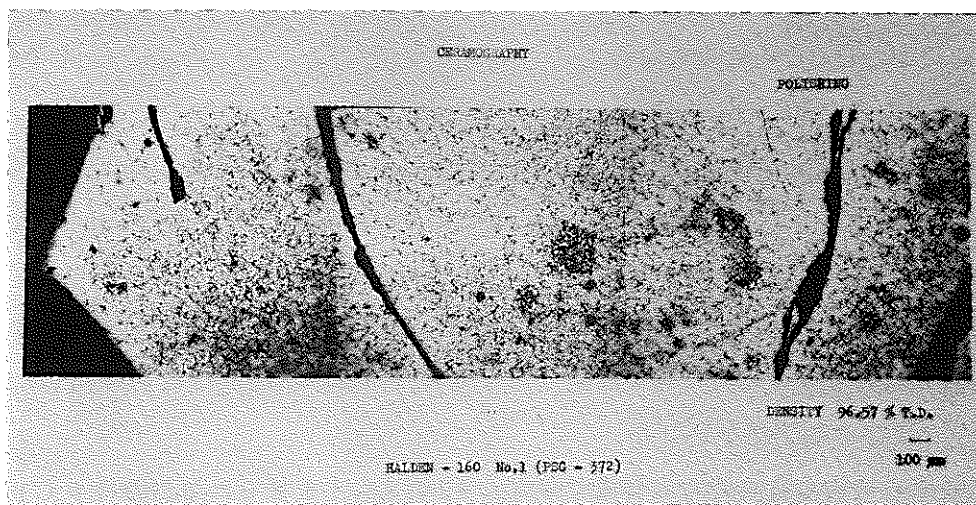
金 相：Pellet にはみられない大小の Crack がみられる。void の分布は sol-gel 特有の部分的に異なる濃淡分布を示している。結晶成長は Pellet に比して少く 5 μ 以下が多い。

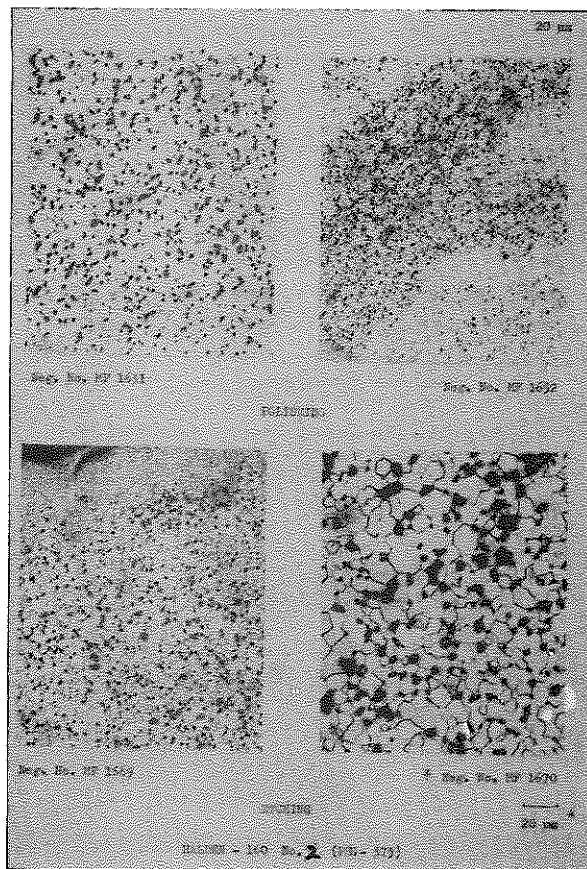
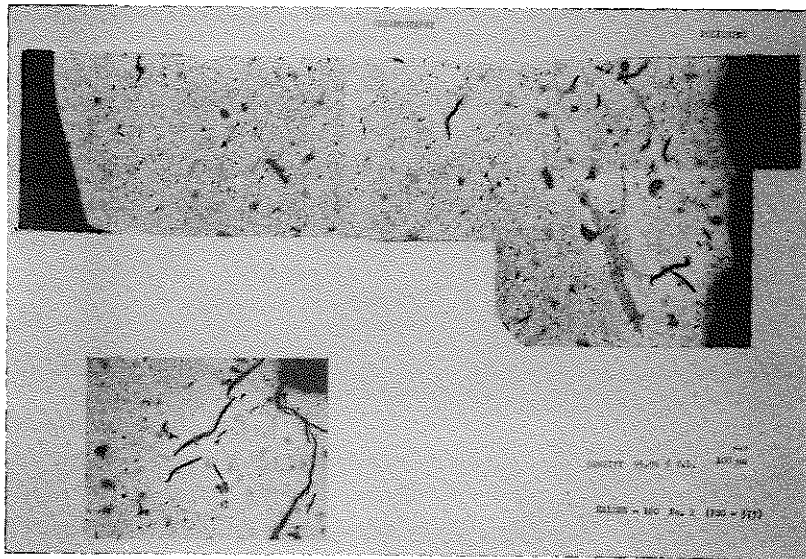
オートラジオグラフィ：帯状の濃淡分布が特徴である。Pu の spot も見られるが数は少く Pellet の場合より spot は大きい。

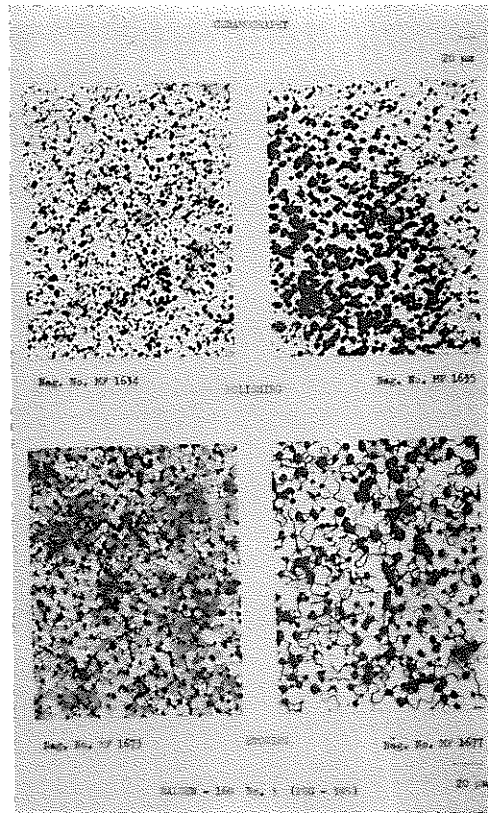
X 線：テストは行なわなかった。

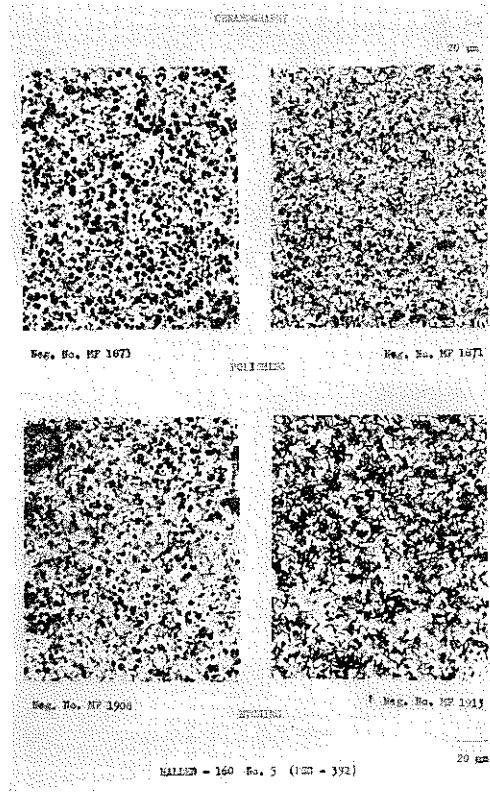
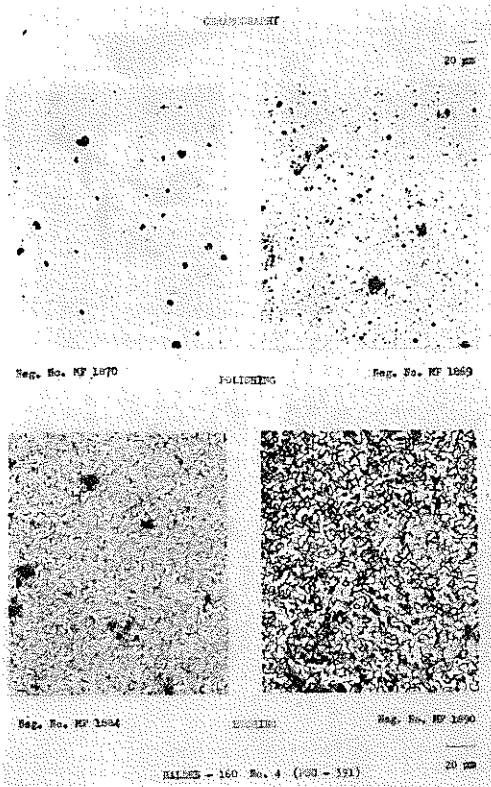
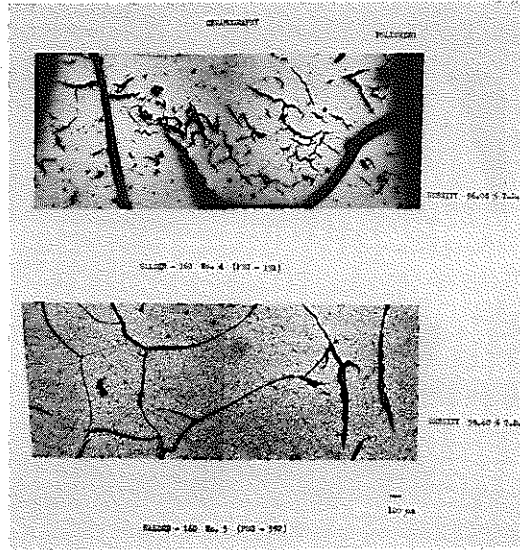
HALDEN-160 金相、オートラジオ試験結果

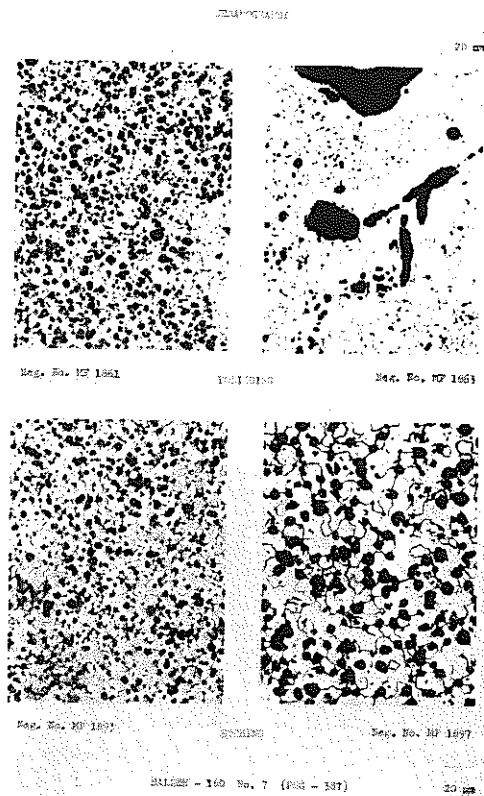
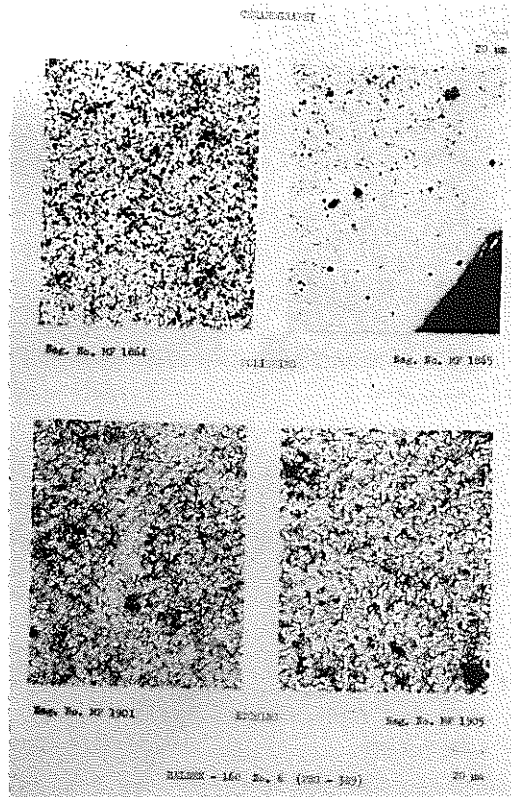
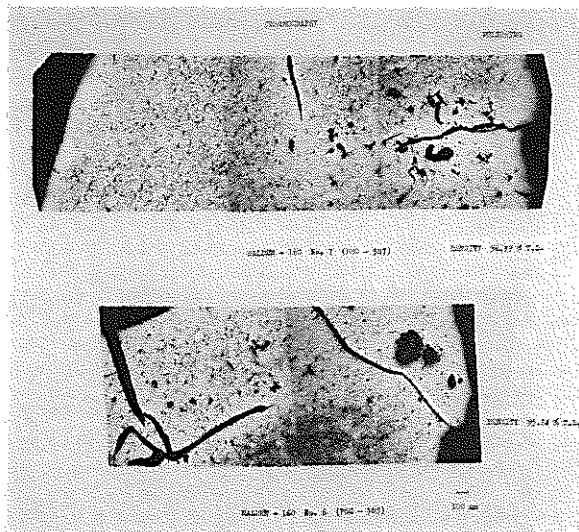
No.	PSG No	金 相 Void 寸法 分布 Crack Au μ	結晶粒 Au μ	オートラジオ	オート 評価	
1	372	<10 μ . 均一 1) Void 集団部あり Max 100 μ	有	<10 μ	粒部に帯状に PuO ₂ 偏析 粒内	D
2	373	" クラック状あり	"	"	同上	D
3	385	"	"	"	大小 PuO ₂ の偏析多い	D
4	391	Void 少なく、均一	小多い	5 μ	固溶性が非常によい	A
5	392	<10 μ . 多く、均一	多	<5 μ	粒内、端部に帯状に PuO ₂ 偏析	D
6	389	<5 μ . "	有	"	PuO ₂ の偏析が見られるが <50 μ で数は少ない	A
7	387	<10 μ . 多、均一	有	<10 μ	PuO ₂ の偏析は大きい数が少ない	C
8	393	"	多	<5 μ	同上	C
9	394	"	有	"	固溶性が非常によい	A
10	396	<10 μ . 多、均一 クラック状多い	有	"	PuO ₂ の偏析は見られるが小さくて数が少ない	A
11	397	<5 μ 多く、均一	"	"	同上	A
12	400	"	"	"	PuO ₂ の偏析は大きい数が少ない	C
13	399	"	"	"	大小 PuO ₂ の偏析が多い	D
14	401	"	"	"	小さい PuO ₂ の偏析が多い	B
15	403	<10 μ . 少なく、均一	"	"	大小 PuO ₂ の偏析が多い	D
16	408	<5 μ . 多く、均一	"	"	同上	D
18	410	<10 μ . 少、均一 大 Void 見られる	"	"	同上 同上	D D
19	411	<10 μ . 多く、均一	"	<10 μ	同上	D
20	415	"	"	<5 μ	同上	D

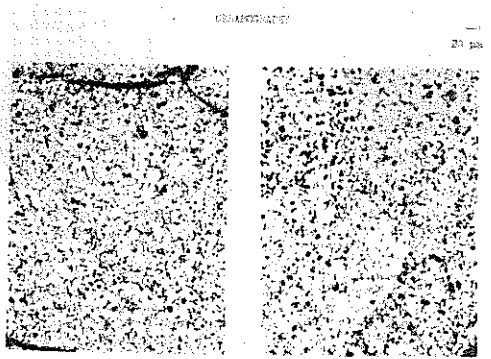
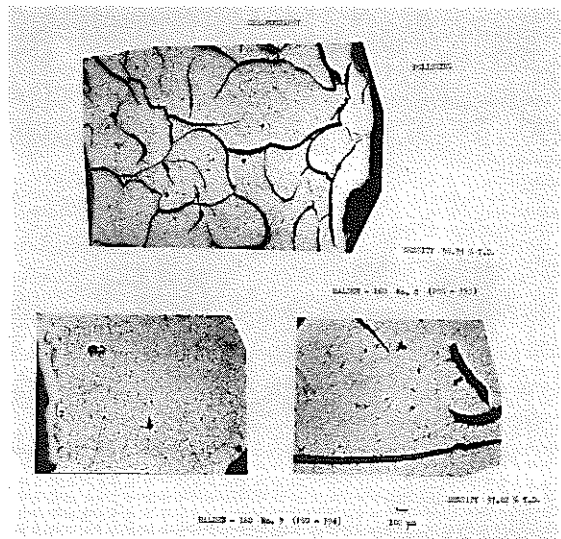




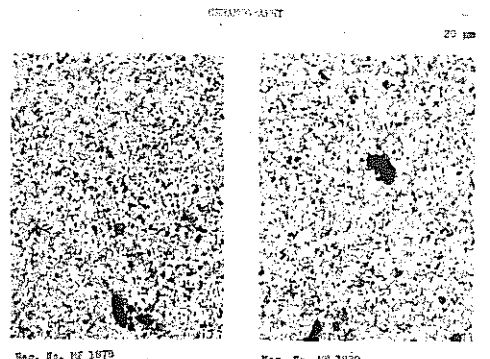




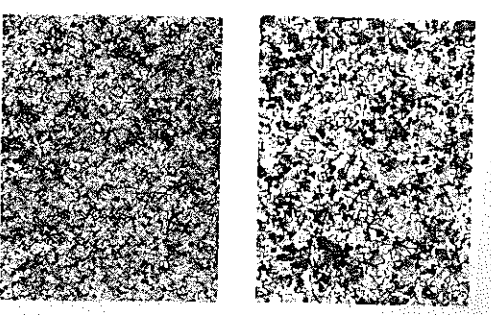




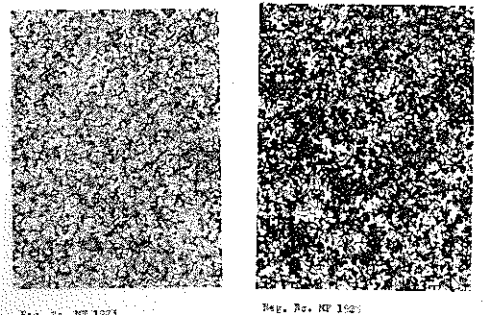
Neg. No. NF 1274 Neg. No. NF 1277



Neg. No. NF 1278 Neg. No. NF 1280



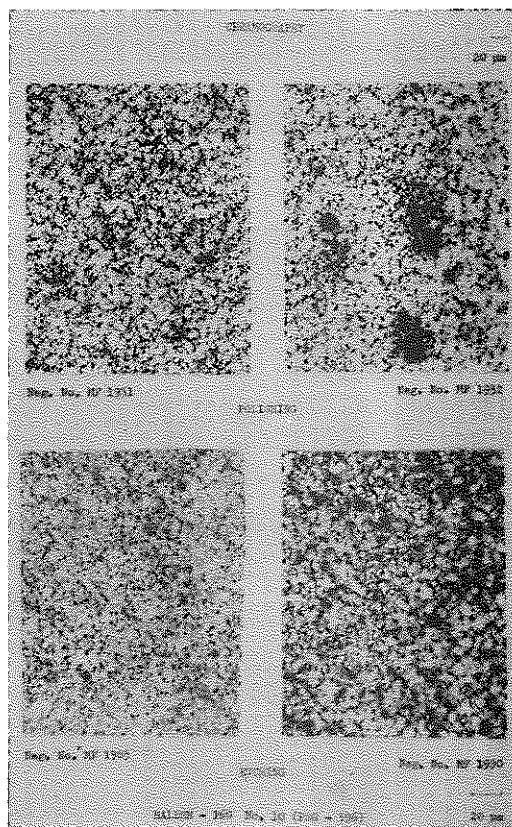
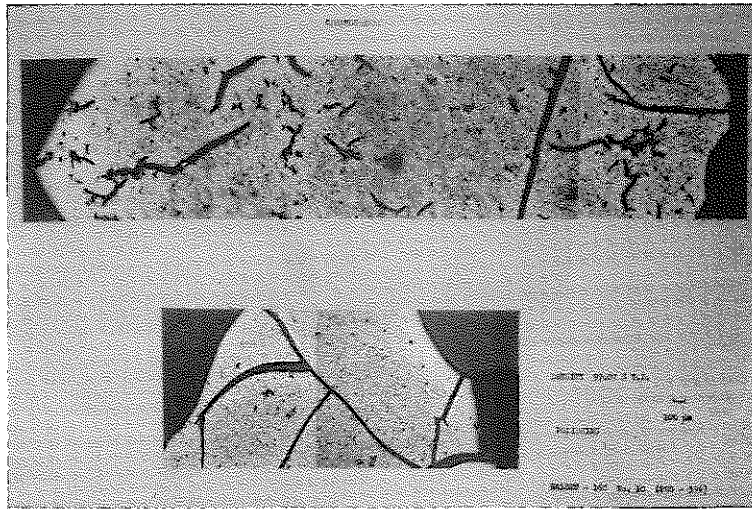
Neg. No. NF 1275 Neg. No. NF 1276



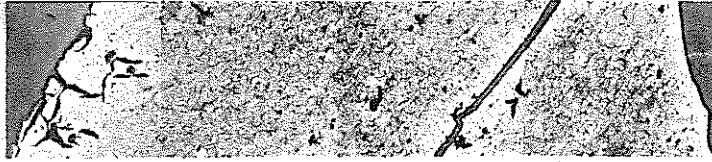
Neg. No. NF 1273 Neg. No. NF 1272

HALDEN - 140 No. 8 (124 - 125) 20 mic

HALDEN - 140 No. 9 (124 - 124) 20 mic

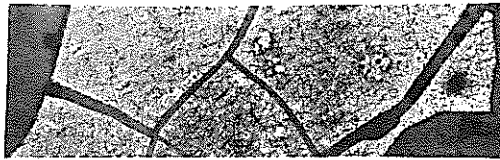


CLARIFICATION



HALSH - 150 No. 11 (PS - 391)

200 μm



200 μm

HALSH - 150 No. 11 (PS - 391)

200 μm

CLARIFICATION

20 μm



Fig. No. MF 1945



Fig. No. MF 1944

20 μm

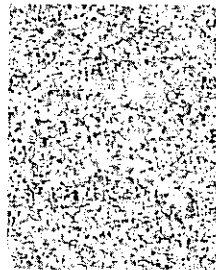


Fig. No. MF 1941



Fig. No. MF 1940

20 μm



Fig. No. MF 2001

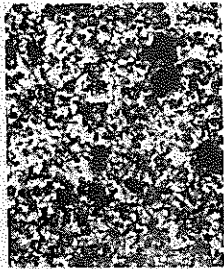


Fig. No. MF 2005

20 μm



Fig. No. MF 1956

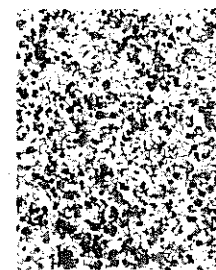


Fig. No. MF 1955

20 μm

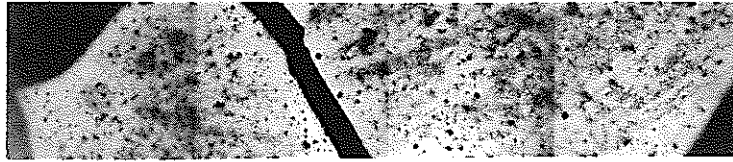
HALSH - 150 No. 11 (PS - 391)

20 μm

HALSH - 150 No. 11 (PS - 391)

20 μm

UNCLASSIFIED



BALMIST - 160 No. 14 (FOM - 400)

20 µm



BALMIST - 160 No. 14 (FOM - 400)

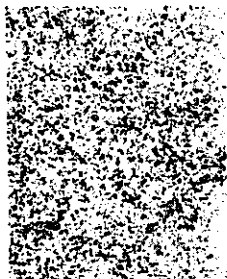
20 µm

UNCLASSIFIED

20 µm

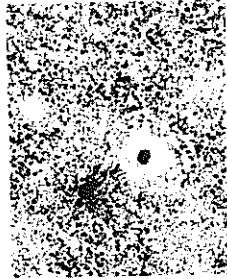
UNCLASSIFIED

20 µm

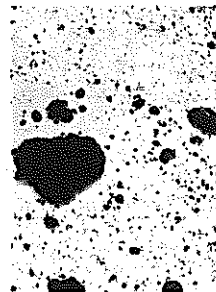


Reg. No. NF 1990

UNCLASSIFIED

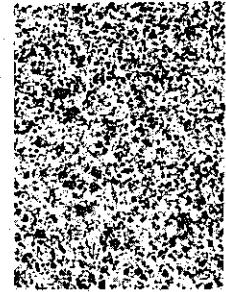


Reg. No. NF 1949

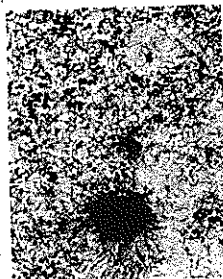


Reg. No. NF 1988

UNCLASSIFIED

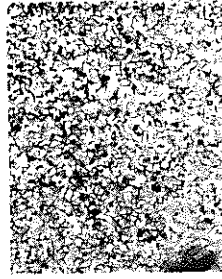


Reg. No. NF 1954

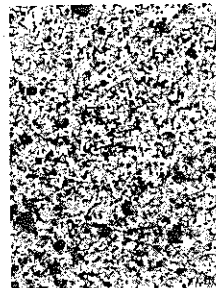


Reg. No. NF 2007

UNCLASSIFIED

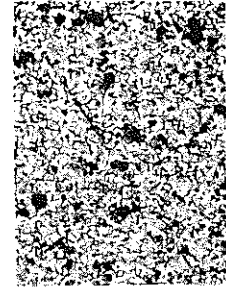


Reg. No. NF 2034



Reg. No. NF 2015

UNCLASSIFIED



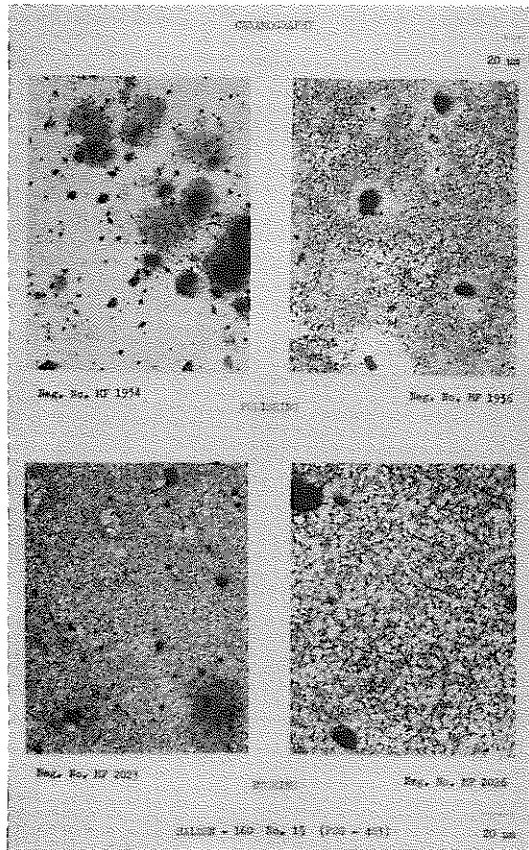
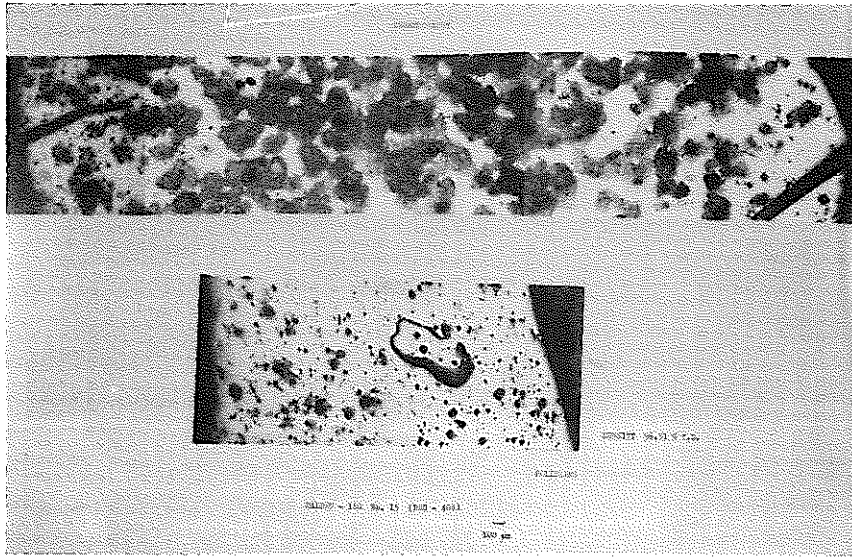
Reg. No. NF 2022

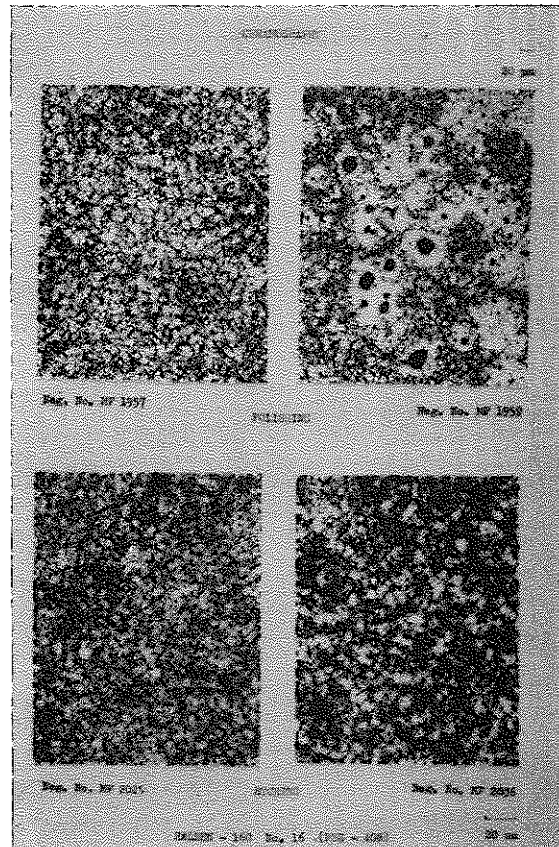
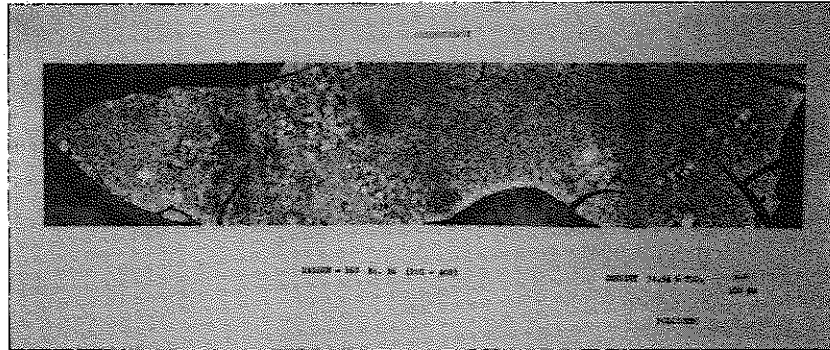
BALMIST - 160 No. 12 (FOM - 400)

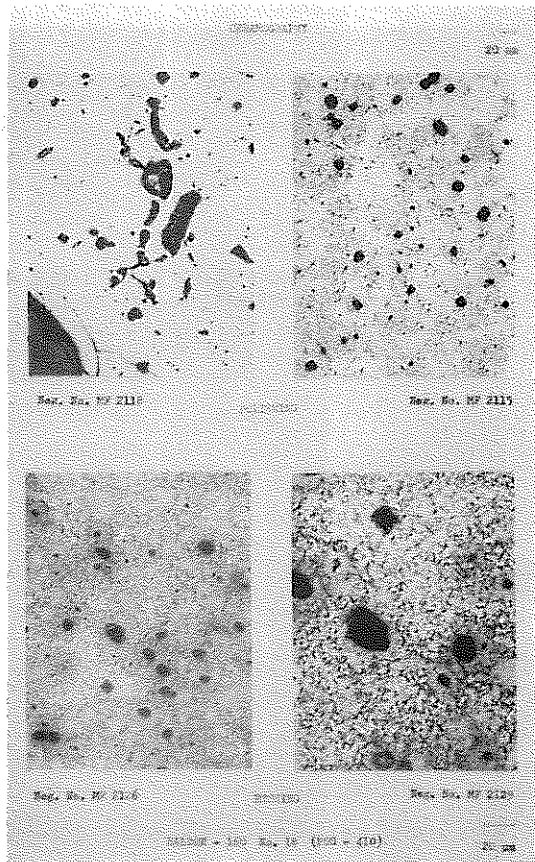
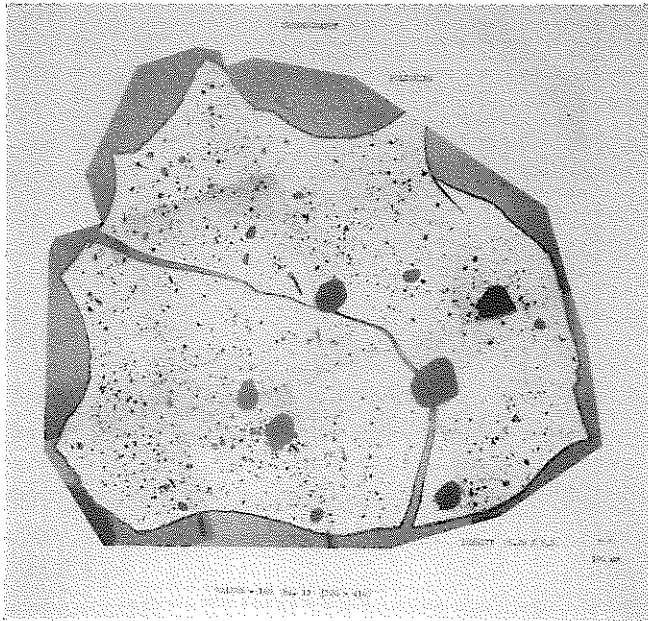
20 µm

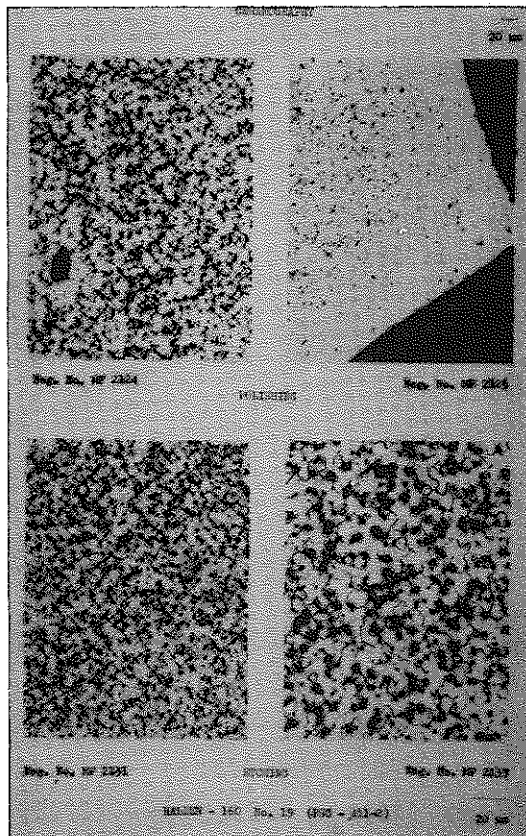
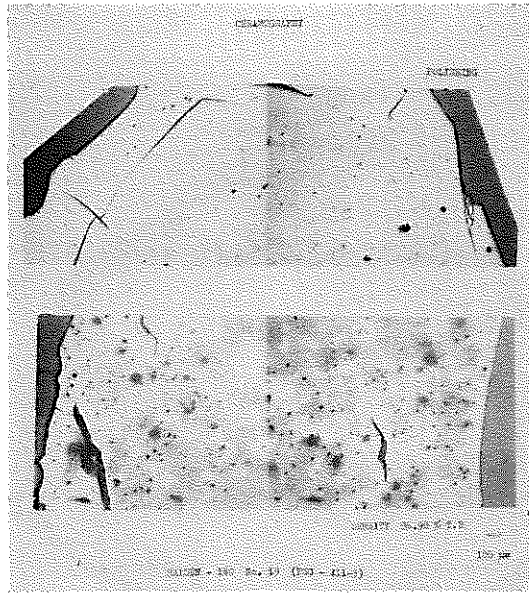
BALMIST - 160 No. 14 (FOM - 400)

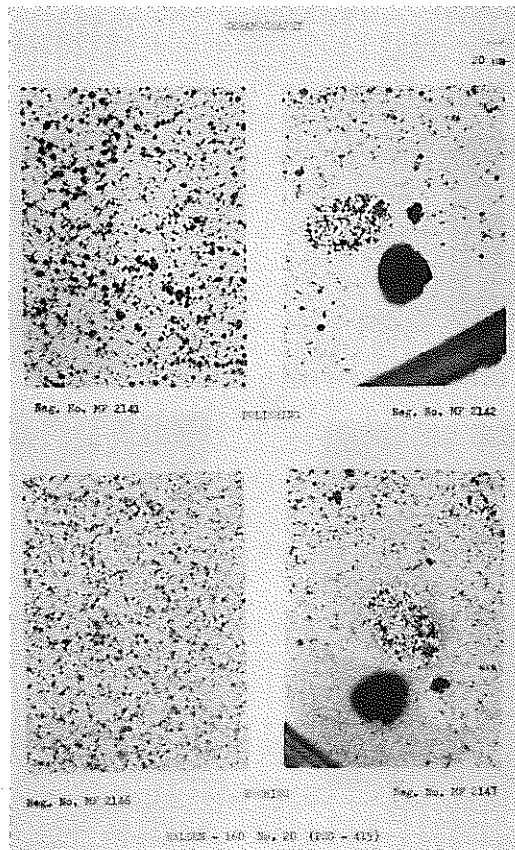
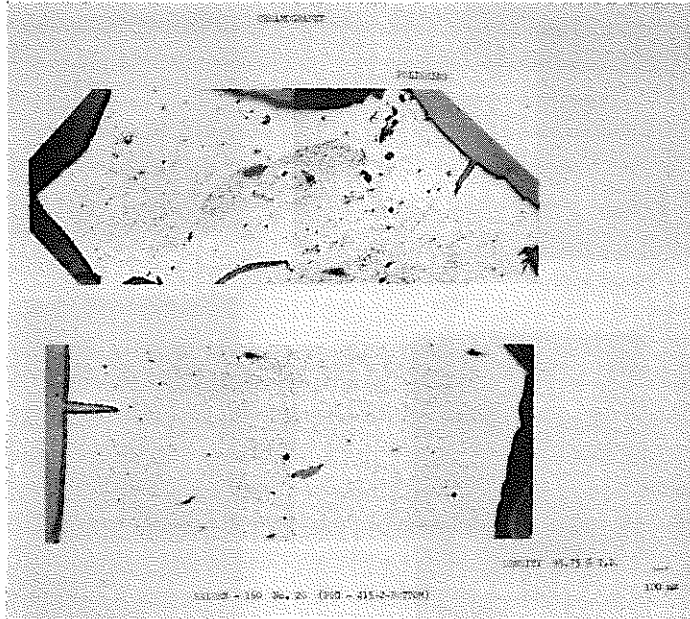
20 µm

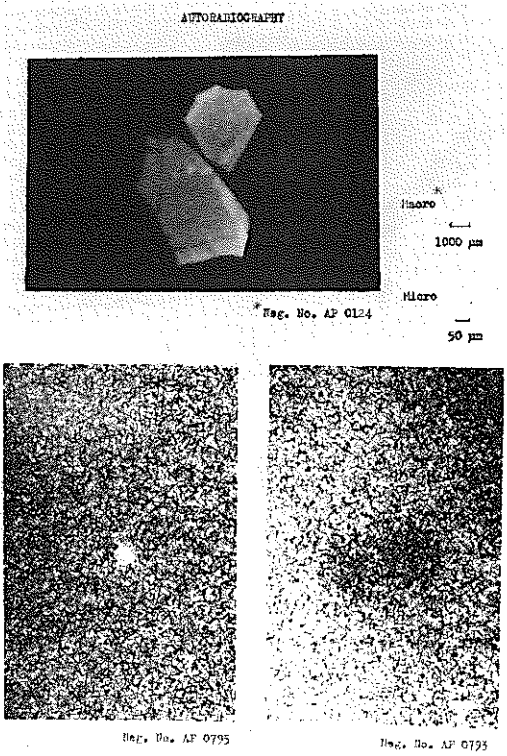




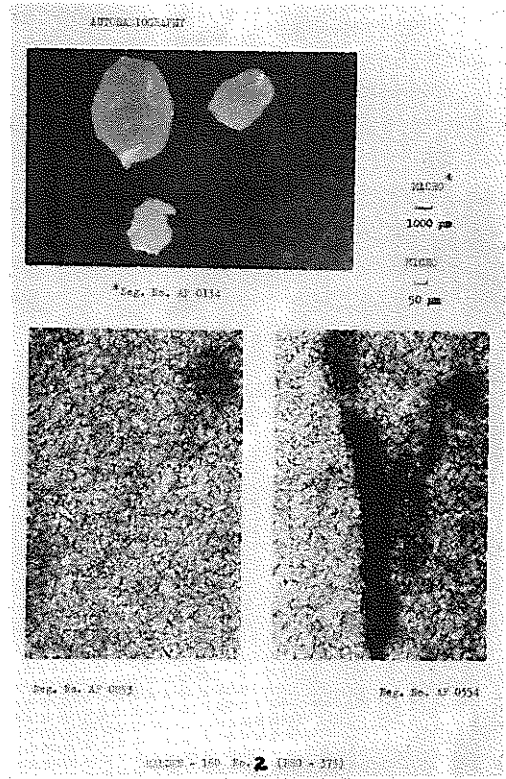




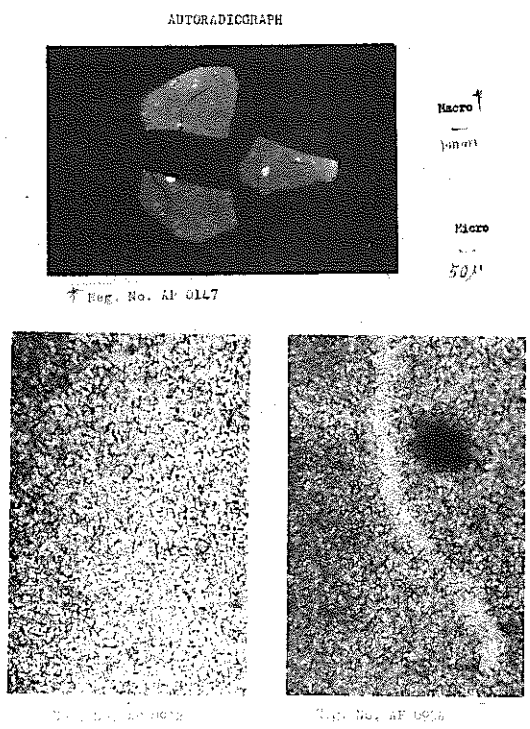




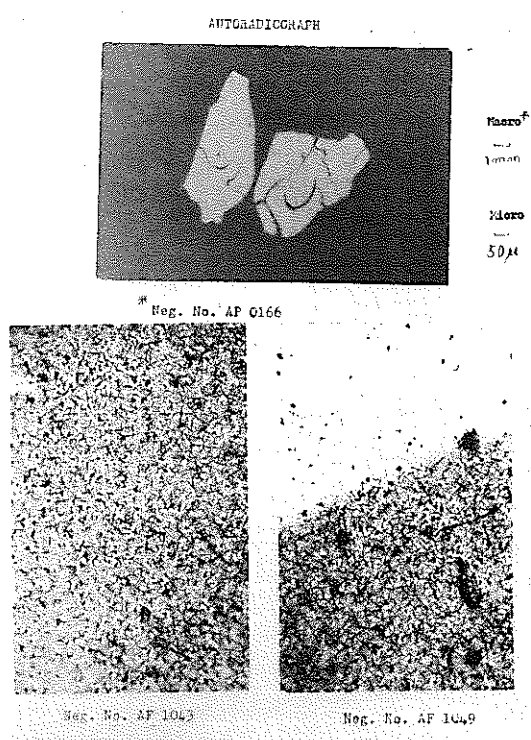
HALDEN - 160 No. 1 (PG - 372)



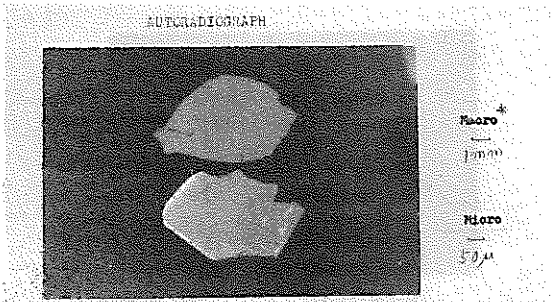
HALDEN - 160 No. 2 (PG - 373)



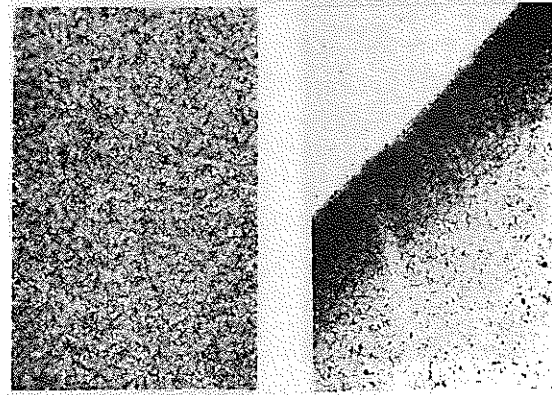
HALDEN - 160 No. 3 (PG - 385)



HALDEN - 160 No. 4 (PG - 391)



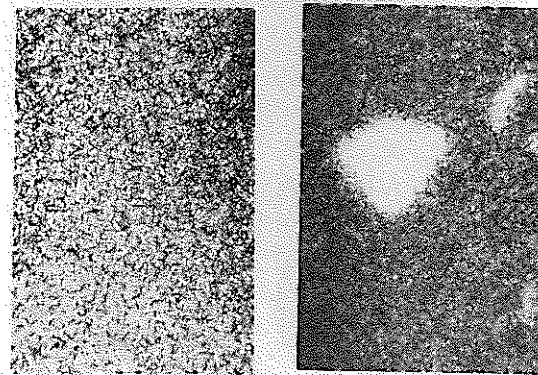
* Neg. No. AP 0167



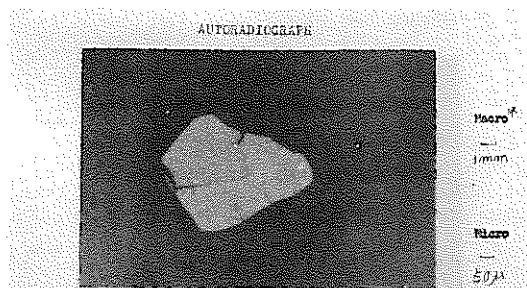
HALDEN - 160 No. 5 (FSG - 392)



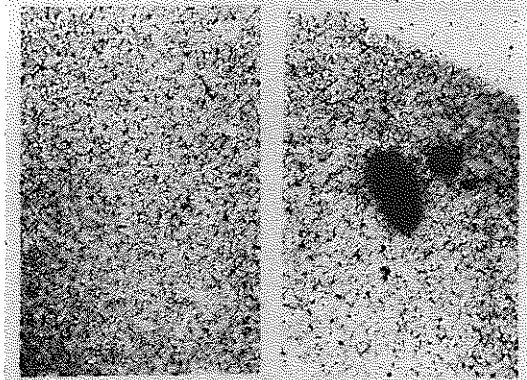
* Neg. No. AP 0168



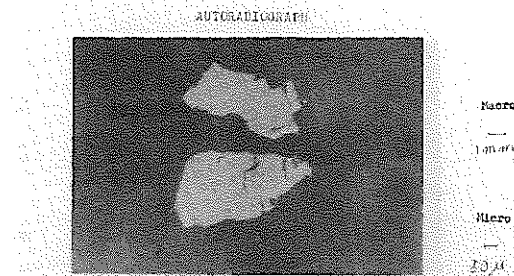
HALDEN - 160 No. 6 (FSG - 397)



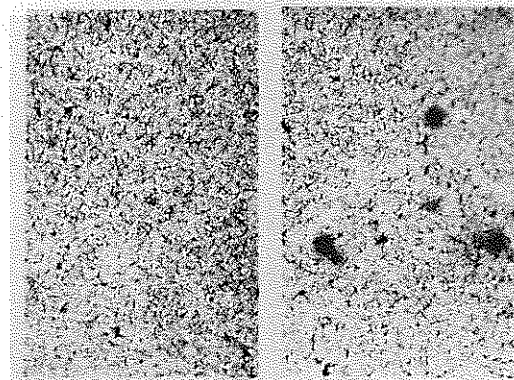
* Neg. No. AP 0165



HALDEN - 160 No. 7 (FSG - 389)

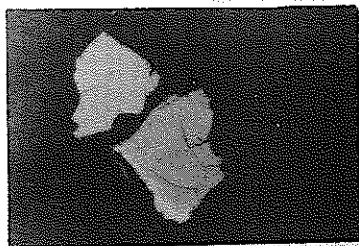


* Neg. No. AP 0166



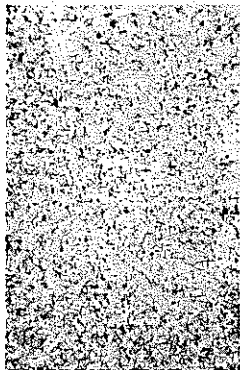
HALDEN - 160 No. 8 (FSG - 393)

AUTODIAGRAM

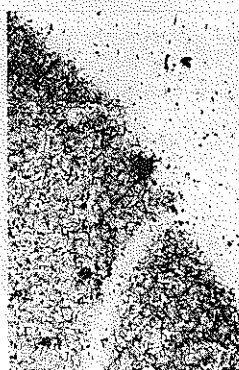


Macro
100μ
Micro
50μ

Neg. No. AF 0169



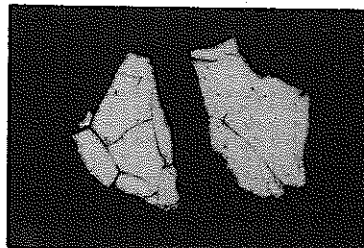
Neg. No. AF 1065



Neg. No. AF 1067

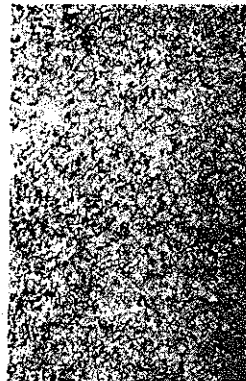
HALDEN - 160 No. 9 (FSG - 394)

AUTODIAGRAM

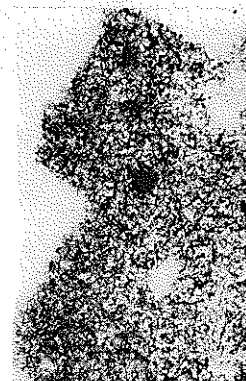


Macro
100μ
Micro
50μ

Neg. No. AF 0170



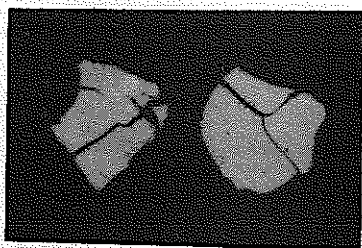
Neg. No. AF 1071



Neg. No. AF 1073

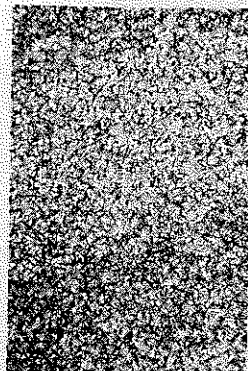
HALDEN - 160 No. 10 (FSG - 396)

AUTODIAGRAM



Macro
100μ
Micro
50μ

Neg. No. AF 0172



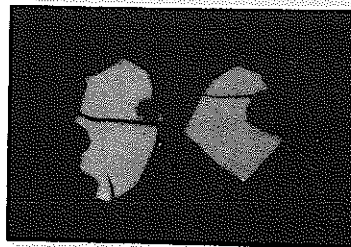
Neg. No. AF 0177



Neg. No. AF 0170

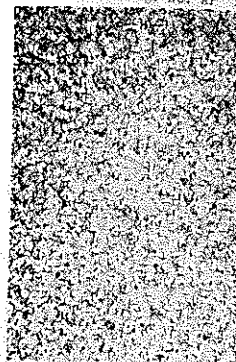
HALDEN - 160 No. 11 (FSG - 397)

AUTODIAGRAM

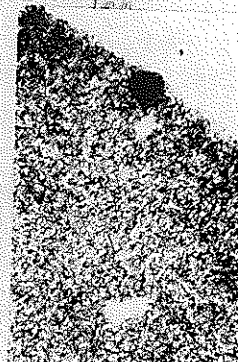


Macro
100μ
Micro
50μ

Neg. No. AF 0173

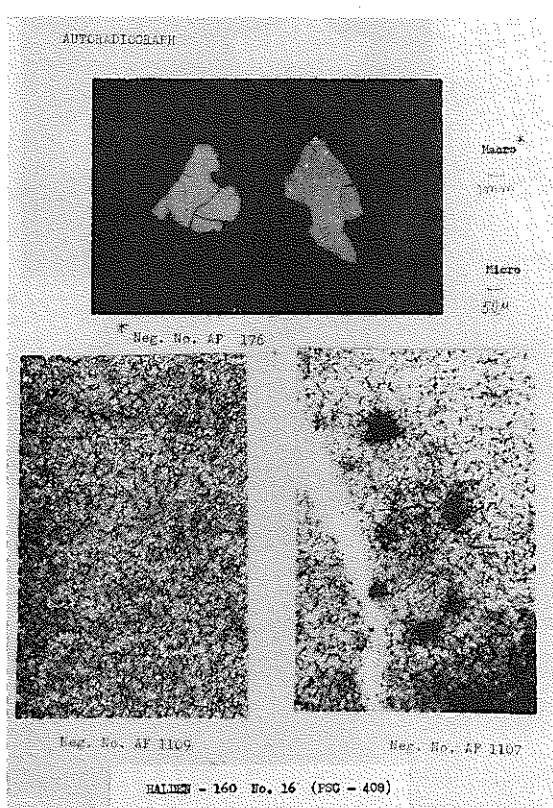
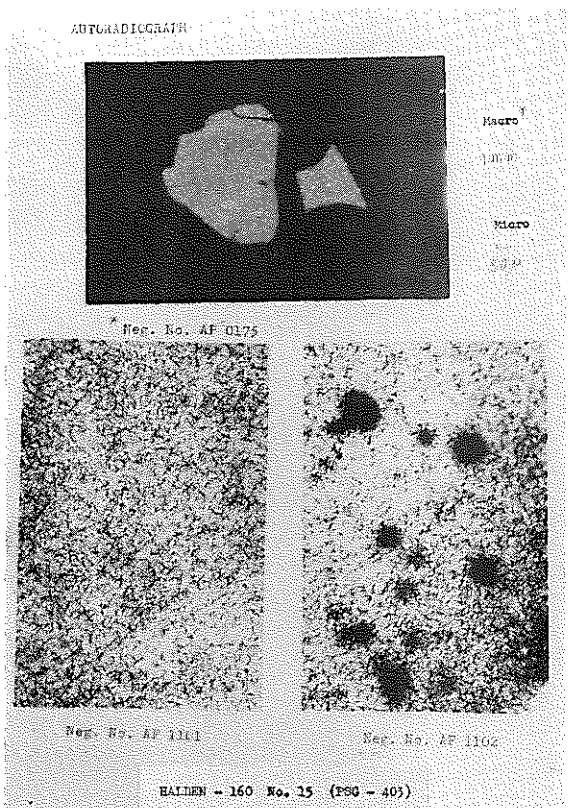
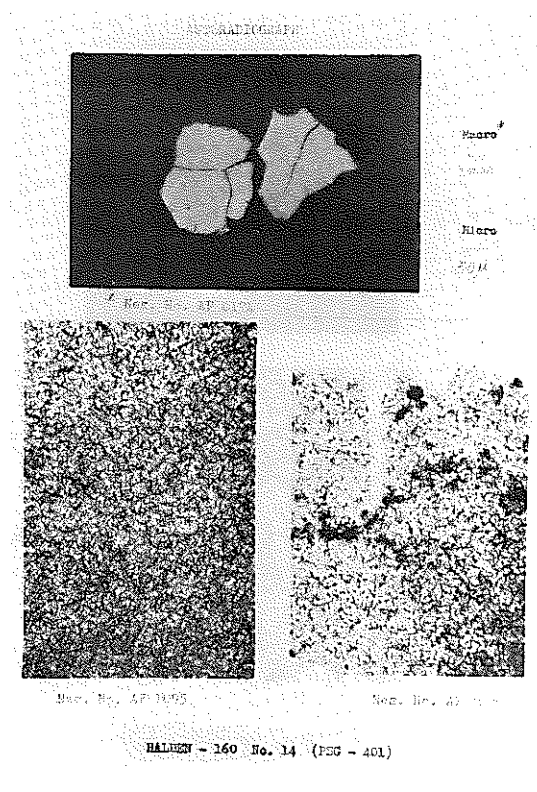
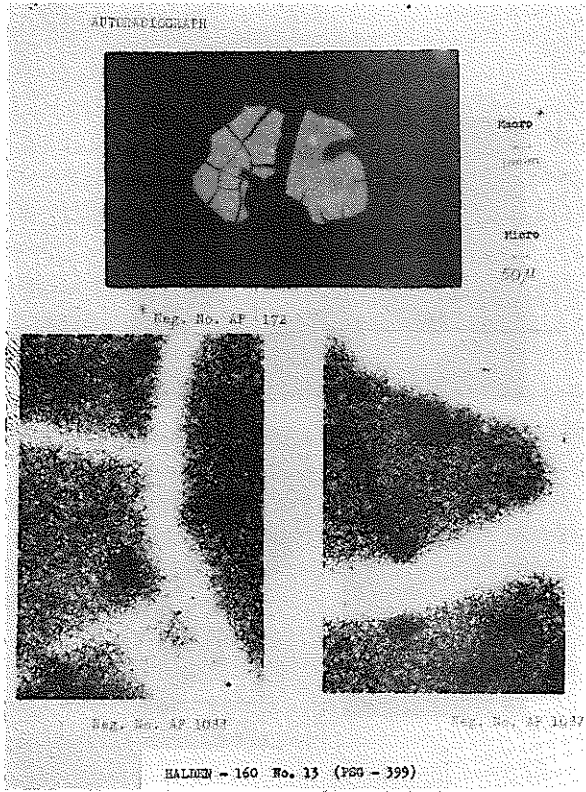


Neg. No. AF 1079

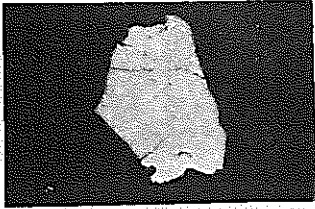


Neg. No. AF 1090

HALDEN - 160 No. 12 (FSG - 400)

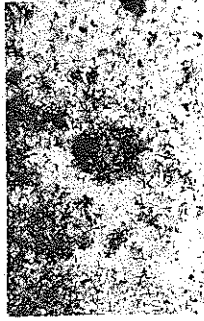
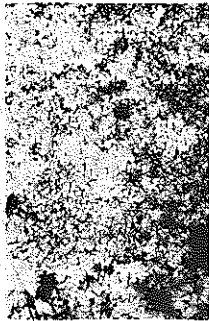


MACROPHOTOGRAPH



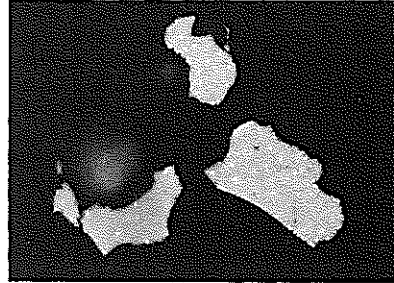
Macro

Micro



HALDEN - 160 No. 18 (PSG - 410)

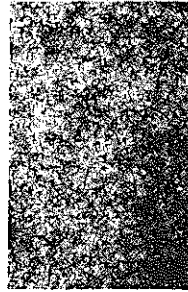
MACROPHOTOGRAPH



Macro

Micro

Micro

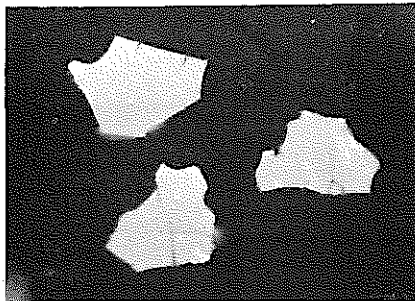


HALDEN - 160 No. 19 (PSG - 411)

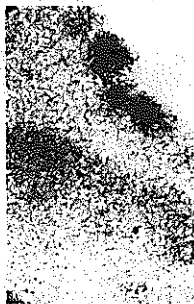
HALDEN - 160 No. 19 (PSG - 411)

MACROPHOTOGRAPH

Macro



Micro



HALDEN - 160 No. 20 (PSG - 415)

HALDEN-160

SN 841-71-31

	No * P93	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	19	20
		Spec	372	373	3385	391	392	389	387	393	394	396	397	400	399	401	403	408	410	411
PuO ₂ cont. (%)	3.1 ± 0.15	3.15	3.13	3.05	3.19	3.15	3.11	3.06	3.08	3.20	3.19	3.15	3.08	3.15	2.94	3.10	3.14	3.20	3.78*	3.19
Density (% T·D)	—	96.57	95.96	97.44	96.08	98.60	95.24	96.99	96.93	97.89	97.07	97.36	96.05	95.93	96.27	96.51	94.94	95.20	96.76	95.99
O/M	—	1.992	1.990	1.988	2.003	1.995	2.02	1.987	1.998	1.995	1.986	1.982	1.987	1.987	1.986	2.007	1.996	2.005	1.983	1.985
Ag (P·P·m)	—	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Al	500	13	170	15	140	30	15	85	20	< 10	15	< 10	10	20	15	60	10	25	50	40
B	1.0	< 0.3	0.4	0.4	< 0.3	< 0.3	< 0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.3	0.4	< 0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.3
Ca	100	17	< 5	< 5	5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 10	< 10	< 10
Cd	0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5
Co	6.0	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Cr	500	33	50	< 10	35	20	20	25	10	< 10	25	< 10	10	< 10	< 10	< 10	< 10	25	25	30
Cu	500	3	15	5	5	< 3	< 3	5	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	3	< 3	< 3	< 3	3	5	4
Fe	500	21	350	80	25	90	< 10	65	50	25	75	45	45	35	20	60	30	220	220	230
Mg	500	< 2	30	5	15	8	< 2	10	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 0.2	< 2	2	2	3
Mn	100	< 6	15	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6
Mo	150	—	15	20	25	30	30	40	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	25	25	45
Ni	300	< 10	110	40	30	< 30	20	45	95	20	30	35	20	90	70	40	20	40	45	60
Pb	200	—	10	< 10	< 10	< 10	< 10	10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	10
Si	500	25	120	90	60	45	40	45	40	80	40	25	45	20	30	25	25	40	50	50
Sn	50	—	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	10	< 10	< 10	< 10	< 10	10
V	1.0	< 3	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	10
Zn	200	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	50
O	100	50	70	90	60	50	40	60	40	40	90	60	50	80	< 50	50	60	90	80	90
Cl	200	5.5	10	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	7	< 5	< 5	8	9	5
F	100	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	11	6	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	8	< 5	5
N	7.50	< 30	< 30	< 30	< 30	40	< 30	< 30	36	46	36	50	40	50	50	60	30	45	40	42
Moisture	200	—	—	59	< 30	55	< 30	< 30	90	80	< 30	< 30	25	41	30	< 20	< 30	< 30		30
Gas	#1/g	—	—	< 30	< 30	< 30	41.0	< 30	< 30	50.8	< 30	30	140	30	< 30	30	< 30	32		30

Impurities.

* Lot 19 Spec. out

7.4 ジルカロイ管の検査と評価

(三浦 信)

7.4.1 ジルカロイ被覆管の購入

- | | |
|------------|---|
| (1) 材質 | ジルカロイ-2 |
| (2) 寸法 | 内径 10.83±0.04 mm
肉厚 0.7 ±0.07 mm
長さ 1800 ± 1 mm |
| (3) 曲り | 1/1000 以下 |
| (4) 引張強さ | 52 kg/mm ² 以上 |
| (5) 耐力 | 45 kg/mm ² 以上 |
| (6) 伸び | 12 %以上 |
| (7) 押抜け | 15 %以上 |
| (8) 内圧破壊強さ | 630 kg/cm ² 以上 |
| (9) 結晶粒度 | ASTM No. 7 以上 |
| (10) 表面粗さ | 10 S 以下 |
| (11) 欠陥 | 深さ 70 μ 以下 |

7.4.2 非破壊検査

被覆管の非破壊検査は HBWR IFT-160 照射試験燃料棒用ジルカロイ管検査要領および判定基準に従って行ない、実験照射試験に供した被覆管についてその結果を表 7.4.1 に示した。

7.4.3 材料試験

被覆管の材料試験としてオートクレーブ前は製作者側で行ない、動燃ではオートクレーブ後の試片について試験を行なった。その結果を表 7.4.2 および 7.4.3 写真 7.4.1 および 7.4.2 に示した。

「HBWR IFT-160 照射試験燃料棒用ジルカロイ管」検査要領および判定基準

(1) 外観(肉眼)検査

外観表面欠陥：外径表面の外観を肉眼で検査し次のことと分類する。

A：いかなる表面欠陥も認められないもの

B：深さの浅い(30 μ 以下)ひっかききず、あな、あたりきずなどの欠陥がごく僅

かに認められるもの

C : 深さの浅い (30 μ 以下) でひっかききず、あな、あたりきずなどの欠陥が多量に認められるもの

D : 規格に定められた欠陥にほぼ近い欠陥 (深さ 30 μ ~70 μ 程度) が認められるもの

O : 規格に定められた以上の欠陥 (深さ 70 μ 以上) の認められるもの

内径表面欠陥 : 内径表面欠陥を光にかざして肉眼で検査し、さらにあやしい場合には管内検査鏡を用いて検査し、次のごとく分類する。

A : 肉眼検査でいかなる表面欠陥も認められないもの

B : 肉眼検査で疑わしいもので、これを管内検査鏡で調べ深さの浅い (30 μ 以下) とされる欠陥がごく僅かに認められるもの

C : 肉眼検査で疑わしいもの、これを管内検査鏡で調べ深さの浅い (30 μ 以下) とされる欠陥が多量に認められるもの

D : 肉眼検査で疑わしいもので、これを管内検査鏡で調べ規格に定められた欠陥にほぼ近い欠陥 (深さ 30 μ ~70 μ 程度) が認められるもの

O : 肉眼検査で疑わしいもので、これを管内検査鏡で調べ規格に定められた以上の欠陥 (深さ 70 μ 以上) の認められるもの

表面仕上度 : 外径表面を JIS 表面アラサ試験片と対比して肉眼で検査し次のように分類する。

A : 0.8 S 以下

B : 1.5 S 以下

C : 3 S 以下

D : 6 S 以下

E : 10 S 以下

O : 10 S 以上

(2) 内径 (空気マイクロ) 測定

背圧型 (御器谷メタル製) 装置を用いて直角 2 方向の内径 (α ・ β) を測定し被覆管 No 側を零点としたチャートに記入する。

なおこの場合に各回とも管自体は自転させながら測定する、測定結果はチャートに貼付し、チャートの右側に α ・ β 方向測定それぞれの場合の最大指示値および最小指数値 (計器上の読み) を $\pm\mu$ (標準内径は 10.830mm) で示して括弧内に記入し、さらに

測定値を指示値の較正曲線より求めて括弧内記入指示値の右側に記録する。

なお4つの記録値中の最大値および最小値にはアンダーラインを付し，測定結果は次のごとく分類する。

Grade 欄 A : 測定値が標準内径 10.830 ± 0.010 mm 以内におさまるもの

B : " ± 0.020

C : " ± 0.030

D : " ± 0.040

E : " ± 0.060

O : " ± 0.060 を超えるもの

Grade 欄右欄 A : 測定値 (4つの値) の最大値と最小値の差が 0.010 mm 以内のもの

(()括弧内に記入) B : " 0.020 "

C : " 0.030 "

D : " 0.040 "

E : " 0.050 "

F : " 0.060 "

G : " 0.070 "

H : " 0.080 "

I : " 0.080 を超えるもの

Grade 欄最右欄

(()括弧内に記入)

A : 測定値 (4つの値) の最大値と最小値の中間の値 (平均値) が $+0.040 \sim +0.031$ mm のもの

B : " $+0.030 \sim +0.021$ "

C : " $+0.020 \sim +0.011$ "

D : " $+0.010 \sim +0.001$ "

E : " $0 \sim -0.010$ "

F : " $-0.011 \sim -0.020$ "

G : " $-0.021 \sim -0.030$ "

H : " $-0.031 \sim -0.040$ "

I : " $+0.041$ 以上または -0.041

以下のもの

(3) 肉厚(マイクロ)測定

肉厚用マイクロメータを用いて45度毎に各端8点を測定する。IはNo側IIはNoと反対側とする。測定値は5/1000mm単位で記録する(記録は45度毎に第1測定値は①欄、第2測定値は②欄-----に記入する)

なお総平均の欄には16測定値の平均値を1/1000mm単位で記録し(平均欄は記入の要なし)16測定値の最大値、最小値の値にはアンダーラインを付す。

以上の結果は次のように分類する。

Grade欄 A:測定値(16の値)が標準肉厚0.70±0.010mm以内におさまるもの

B:	"	±0.020	"
C:	"	±0.030	"
D:	"	±0.040	"
E:	"	±0.050	"
O:	"	±0.050を超えるもの	

Grade欄下欄 A:測定値(16の値)の最大値と最小値の差が0.010mm以内のもの

(()括弧内に記入)B:	0.020
C:	0.030
D:	0.040
E:	0.050
F:	0.060
G:	0.070
H:	0.080
I:	0.090
J:	0.100
K:	0.100を超えるもの

Grade欄下欄 A:測定値(16の値)の総平均値が0.651~0.660mmにあたるもの

(()括弧内に記入)B:	"	0.661~0.670	"
C:	"	0.671~0.680	"
D:	"	0.681~0.690	"
E:	"	0.691~0.700	"
F:	"	0.701~0.710	"
G:	"	0.711~0.720	"

Grade 欄下欄 H : 測定値 (16 の値) の総平均値が 0.721 ~ 0.730 mm にあたるもの

() 括弧内に記入) I : " 0.731 ~ 0.740 "

J : " 0.741 ~ 0.750 "

K : " 0.751 mm 以上または 0.650 mm 以下のもの

(4) 真直度 (ダイヤル・ゲージ) 測定

定盤基準法によりダイヤル・ゲージを用いて測定 1 以下のような配置の I・C・II の位置における曲り (1 回転した時のゲージの振れの 1/2 の値) を 1/100 mm 単位で記録する。



I・C・II の測定値の最大値を「max」欄に記入する。また次のごとく分類「Grade」欄に記入する。

- A : 真直度 (max) が 0.18 mm (1000 mm 換算 0.1 mm) 以内のもの
- B : " 0.36 mm (" 0.2 mm) "
- C : " 0.54 mm (" 0.3 mm) "
- D : " 0.72 mm (" 0.4 mm) "
- E : " 0.90 mm (" 0.5 mm) "
- F : " 1.08 mm (" 0.6 mm) "
- G : " 1.26 mm (" 0.7 mm) "
- H : " 1.44 mm (" 0.8 mm) "
- I : " 1.62 mm (" 0.9 mm) "
- J : " 1.80 mm (" 1.0 mm) "
- O : " 1.80 mm (1.0 mm) を超えるもの

(5) 長さ (ノギス) 測定

200 mm ノギスを用いて 1/10 mm 単位で測定し、測定値を記入する。

(6) 重量 (天秤) 測定

1.2 kg メトラー直天天秤を用いて 1/10 g 単位で測定し測定値を記入する。

(7) 超音波探傷試験

水浸式探傷法により横波を用いて球面探触子により探傷し、長さ (軸) 方向欠陥の検出のために走査した第 1 回走査チャートを上段欄に円周方向の欠陥の検出のために走査した

第2回走査チャートを下段欄に貼付する。

探傷条件：装置：sperry UW型

探傷周波数：10 MC

ビーム径：0.2 mm ϕ

ビーム入射角：27 度

試料回転数：1400 rpm

試料の送り速度：0.1 mm/回転

走査：軸方向，円周方向欠陥に対して走査

なお上記2枚の探傷チャートを標準欠陥（欠陥の方向・位置・寸法は標準欠陥チャートに付起）チャーの信号と比較して次のように判定分類に記入する。

「欠陥Ⅰ」欄深さが30 μ 以下の欠陥で明らかに欠陥として定められる欠陥信号数

「欠陥Ⅱ」欄深さが30 μ ～70 μ 程度の欠陥と認められる欠陥信号数

「欠陥Ⅲ」欄深さが70 μ 以上の欠陥信号数

（欠陥数が6以上の時は多数と表示する）

Grade 欄 A：欠陥Ⅰ・Ⅱ・Ⅲが認められないもの。

B：欠陥Ⅰが1ヶ所のみ認められないもの。

C：欠陥Ⅰが2ヶ所以上認められたもの。

D：欠陥Ⅱが認められたもの。

O：欠陥Ⅲが認められたもの。

(8) オートクレーブ試験

オートクレーブ処理を終了した被覆管について外径表面を肉眼で観察し次のように分類する。

外観検査 白点：明確に白点と判断される場合はその状況を1か所，数か所，多数で表示する。疑わしいものはその状況を特記事項の欄に記入する。

白線：明確に白線と判断される場合には，その状況を1か所，数か所，多数で表示し，長さを特記事項欄に記入する。疑わしいものはその状況を特記事項欄に記入する。

白色化：明確に白色化の認められる場合はその状況を1か所，数か所，多数で表示し，疑わしいものはその状況を特記事項欄に記入する。

Grade 欄 A：明確な白点，白線，白色化の認められないもの

B：疑わしい白点，白線，白色化が各1ヶ所以内認められるもの

SN841-71-31

C: 疑わしい白点, 白線, 白色化が数ヶ所以上認められるもの

D: " 多数 "

O: 明確な白点, 白線, 白色化のいずれかが1ヶ所以上認められたもの

Grade 欄下欄 オートクレープ後の真直度測定:(4)と同じ方法で測定, 記入する。

表 7.4.1 HBWR IFT-160 照射試験燃料棒用ジルカロイ管検査結果一覧表

No.	オートクレープ前											超音波探傷				オートクレープ後		備考	
	外 観			内 径			肉 厚			真直度	長 さ (mm)	重 量 (g)	欠 陥			ク ラ ス	外 観		真直度
	外 表面欠陥	内 表面欠陥	表 面仕上度	標準値よりのへだたり	最大値と最小値の差	平均値	標準値よりのへだたり	最大値と最小値の差	平均値				I	II	III				
神戸																			
11008	B	A	A	B	A	E	C	C	C	C	1800.0	308.6	0	0	0	A	A	A	
11012	C	A	A	A	B	E	B	B	F	C	1799.9	306.6	0	0	0	A	A	D	
11024	B	A	A	A	A	E	D	E	G	B	1800.0	307.7	0	0	0	A	A	C	
11032	B	B	A	B	C	E	D	G	F	C	1800.1	304.8	0	0	0	A	A	E	
11034	B	B	A	A	B	E	C	C	G	C	1800.2	308.0	0	0	0	A	A	D	
11037																			
住友																			
52	B	A	A	D	D	F	C	D	G	J	1802.9	305.2	0	0	0	A	A	A	
71	B	A	A	D	B	G	D	D	G	I	1802.2	305.9	0	0	0	A	A	B	
76	B	A	A	D	C	F	D	D	G	F	1802.3	306.1	0	0	0	A	A	A	
79	B	A	A	D	B	G	D	F	F	J	1802.2	305.3	0	0	0	A	A	A	

表 7.4.2 JP-2 照射試験燃料棒用ジルカロイ管試験結果 (破壊試験)

昭和 43年 3月 2日 検査課

SN841-71-31

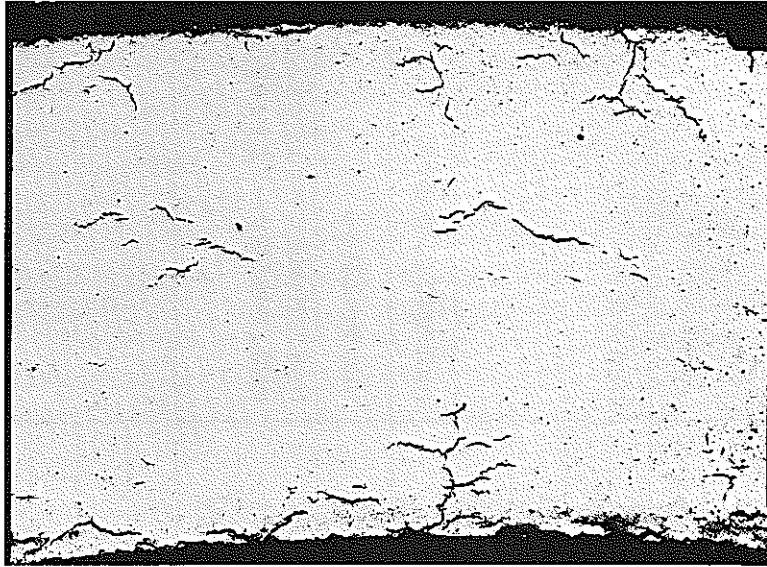
製造者			神戸製鋼所				備考		
manufacture No.			NP15						
Charge No. (Lot No.)			3716 (1)						
試験に用いた管 No.			11015						
オートクレープ処理の有無			無 (神戸製鋼所)		有 (事業団試験値)				
引張試験	σ_B	(規格) > 52 kg/mm ²	64.5	63.9	(1) 66.5	(2) 66.6	(3) 66.7	(4) 66.2	(1). 標点外破断 (2). C破断 (3). A破断 (4). A破断
	$\sigma_{0.2}$	> 45 kg/mm ²	47.6	47.2	49.5	50.5	50.2	51.1	
	ϵ	> 12 %	21.0	22.4	15.9	20.1	24.1	21.0	
押抜け試験		> 15 %	55	51	(1) 50.2	(2) 49.3			(1). 亀裂なし. 座屈する。 (2). " "
扁平試験		(扁平われまで外径 に対する%)			(1) 54.3	(2) 53.6			(1). 微小亀裂発生 (2). "
内圧破壊試験	$\sigma_{0.2}$	(歪ゲージによる測定値) kg/cm ²			930		910		(1). 筆1端栓ビードより 30 mm. (2). 筆1端栓ビード部 *エンド・プラグ部より破損
	σ_B	630 kg/cm ²	1080	815*	(1) 1040	(2) 1030			
カタサ試験 (平均値)	Hv	(横断面)							
	Hv	(縦断面)							
	HRB	(縦断面)				86.6			
結晶粒度	(横断面) (縦断面)	> ASTM. No.	8			9.5			
水素化物金相試験 (方位. Fu)					別添 (Fu=0.27)				
内圧破壊試験 円周方向伸び %					5.5				

- 340 -

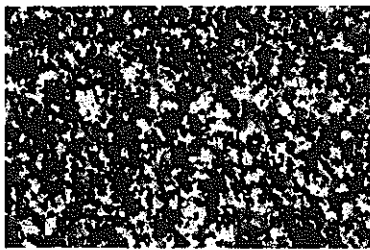
表 7.4.3 HBWR IFT-160 照射試験燃料棒用ジルカロイ管試験結果 (破壊試験)

SN841-71-31

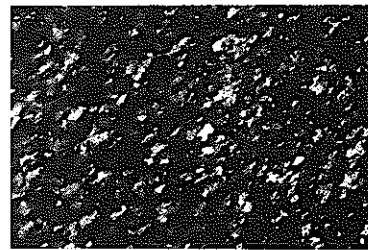
製 造 者		住 友 金 属 工 業				備 考		
manufacture No								
Charge No (Lot No)		357						
試験に用いた管 No		55						
オートクレープ処理の有無		無 (住友金属工業)		有 (事業団試験値)				
試 験 項 目	引張試験	(規格)			(1)	(2)	(1)(2) A 破断	
		σ_B	> 53 kg/mm ²	70.4	69.6	64.8		64.5
		$\sigma_{0.2}$	> 45 kg/mm ²	51.2	51.9	49.8		49.1
		ϵ	> 12 %	21	18	22.3	22.0	
	押 拡 げ 試 験		> 15 %	65.3	59.7	(1) 48.9	(2) 51.7	(1)(2) 亀裂なし, 座屈する
	扁 平 試 験		扁平われまで外径に対 する %			(1) 48.7	(2) 49.0	(1)(2) 微小亀裂あり
	内圧破壊試験	$\sigma_{0.2}$	歪ゲージによる測定値 —— kg/cm ²			(1) 990	(2) 945	(1) 第 2 端栓溶接ビードより 25 mm (2) 第 1 端栓溶接ビードより 100 mm
		σ_B	> 630 kg/cm ²	1020	1050	1075	1055	
	カタサ試験 (平均値)	H_V	(横断面)			234		
		H_V	(縦断面)			255		
HR_B		(縦断面)			91			
結 晶 粒 度		(横断面) ≥ ASTM No. 7 (縦断面)	10	10	10.3			
水素化物金相試験 (方位, Fn)					別添 (Fn = 0.17)			
内圧破壊試験		円周方向伸び %			5.3	13.2		



水素化物横断面
×100

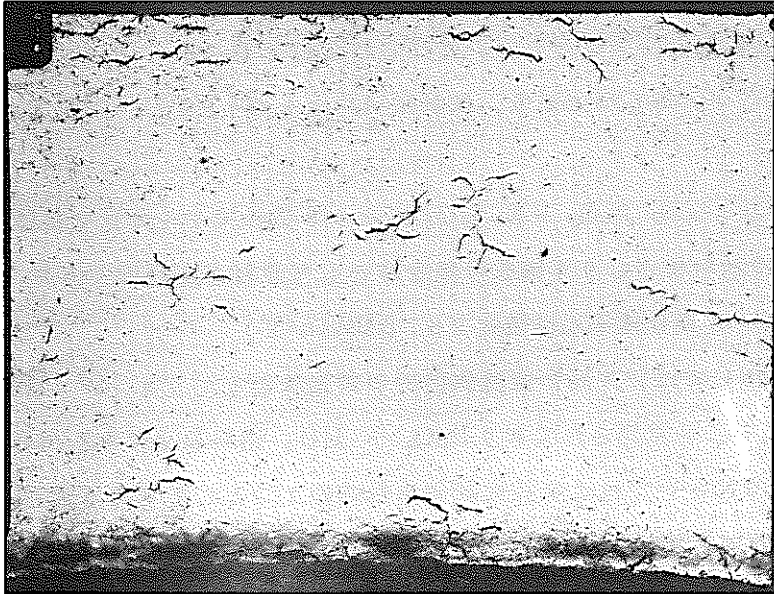


結晶粒度横断面
×100

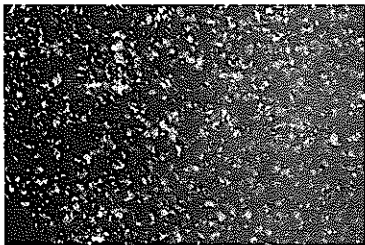


結晶粒度縦断面
×100

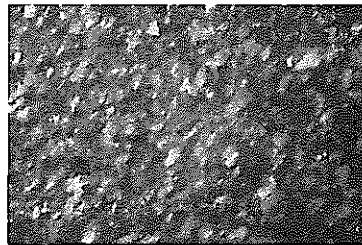
写真7.4.1 Zry-2管(11015)の水素化物および結晶粒度



水素化物横断面
× 100



結晶粒度横断面
× 100



結晶粒度縦断面
× 100

写真 7.4.2 Zry-2 管 (55) の水素化物および結晶粒度

7.5 振動充填と燃料棒製造

(志賀)

7.5.1 Halden 照射試験の目的

プルトニウムの中性子炉への利用について核的物性測定とともに照射時の熱的評価(熱流束)は最も重要な因子である。これらの試験を Halden Reactor (5MW power 重水減速BWR)で実施しつつあり、試験はペレットの159と今回の Vipac の160に大別される。

159照射は2.5 w/o PuO₂ - N. UO₂ ペレット燃料でジルカロイ被覆管に封入し全長約1570mmの燃料棒とし9本構成の集合体として照射が進行中である。(43年6-24炉内装荷 12-3 集合体平均燃焼度2670MWD/T)

しかし一方PNCでは従来高密度塊状燃料の製造法としてゾル・ゲル法燃料の充填については、振動充填法が開発されておりPuO₂ - UO₂ 燃料製造にも応用される見通しなので、今回の160においてはこの技術評価も目的の1つとして考えられた。

なおHBWR照射に伴う燃料照射特性値の比較を資料1に示した(設計課データ)

7.5.2 IFA-160 主要設計仕様

- 1.) 集合体 9本構成 3×3 ピッチ 16.4 mm 燃料有効長1400 mm
- 2.) 燃料 PuO₂ - N. UO₂ PuO₂ 3.1 w/o ゾル・ゲル-Vipac
86%TD 燃料外径 10.83 mm
- 3.) 被覆管 ジルカロイ-2 内径10.83 mm 管厚0.7 mm 管全長 約1500 mm

燃料棒形状

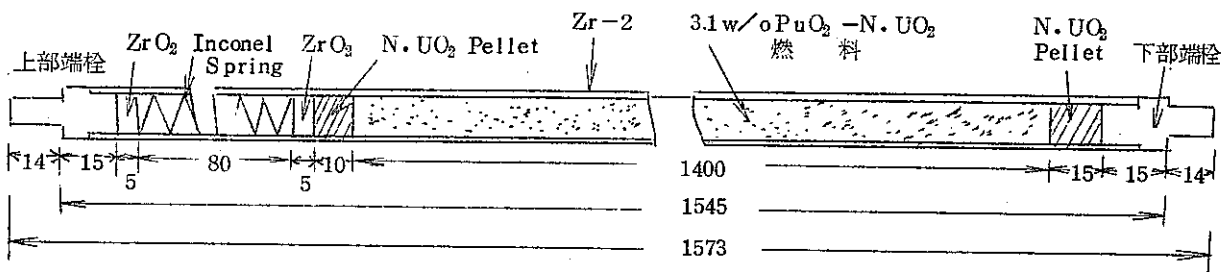
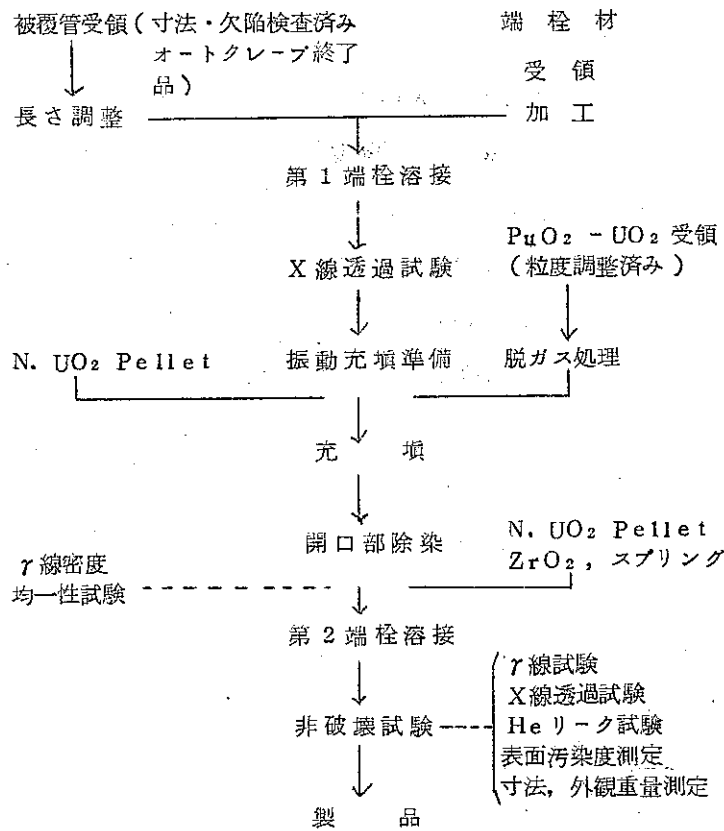


Fig. 7.5.1

7.5.3 照射試料加工工程（燃料棒製作）



7.5.4 被覆管・端栓材の選定と加工

被覆管は国内メーカーの神戸製鋼所および住友金属kkの製品を検査課において寸法（長さ・外・内径）曲り，および欠陥検査（超音波探傷試験）をおこない，さらにオートクレーブ試験を経て健全性試験に合格したものを約20本照射試料用としてさらに数本をvipac試験用として受領した。これらの被覆管は必要寸法長に調整しさらに上下端栓がそれぞれ組み合わされ加工された。これらの作業は検査課の協力で実施された。

7.5.5 第1端栓溶接とX線透過試験

溶接施工に当って問題となる入熱条件について現在迄の経験では次の如き2方法が考えられた。a)大電流-短時間溶接 溶接による熱影響部は少ないがX線試験では欠陥指摘が多い。b)小電流-長時間溶接 a)に比較しX線試験良好 ただし内圧による破製試験強度では殆んど差は認められない a)方法はHalden 159にb)方法はGETRI-RT(A)に採用した。今回の溶接においては両者を比較検討しb)の小電流-長時間溶接により第1端栓を溶接しX線による健全性透過試験により評価した。その条件および成績は次のとおりである。

溶接方法 . . . $1 \sim 3 \times 10^{-4}$ mmHg 排気, Heガス1気圧導入, 燃料棒回転5秒/周, 溶接電流22~25 Amp, 溶接時間13~14秒電流減小時間2秒

X線透過試験 管電圧180KV, 電流4mA, 照射時間10分, X・Y2方向撮影

試験結果 溶接施工本数20 欠陥認められないもの11本 一方向に欠陥あり 5本
2方向に欠陥あり 4本

溶接試験で問題となる欠陥(i)溶接部の Porosity (黒点)が直径5mm ϕ 以上 (ii) inclusion (白点)が直径0.5mm ϕ 以上のものは認められなかったが2方向に欠陥あるものは除き欠陥の少ないもののみを照射用に供した。

7.5.6 PuO₂ - UO₂ 混合酸化物燃料の充填前処理

製造されたゾルーゲル塊状粒は粒度調整し振動充填されるが規定充填密度に充填するためには, PuO₂ - UO₂ の粒密度と粒度分布を調整する必要がある従来の実験データを解析し, 依頼した粒密度は 96 ± 2 % 粒度分布は粗粒6~10mesh; 中間粒20~65mesh 微粒-325mesh = 60w/o; 20w/o; 20w/o であった。しかし製造実績から推定し次の如く粗粒範囲を拡げた。

6~10mesh; 10~16mesh = 50w/o; 10w/o

製品の品質については不純物, O/Mその他物性値についても問題はなかった(製造Lot No 17, 19を除く)がガス成分については Vipac 燃料の破損の1つとも考えられるので, 可能な範囲で低くすることとし, 試験課分析係の協力を得, 真空脱ガス法により脱ガス処理を行ない, 脱ガス試料はデシケータ中に存在した。脱ガス炉は管状炉を用い各粒度別ごとに脱ガスした。また脱ガス状態は 1×10^3 mmHg の真空で, 400°C/hr で2hr 昇温800°C 3hr 保持後, 自然冷却で120°Cまで4hr 降温。

7.5.7 振動充填予察実験

当燃料棒の充填密度に関する仕様は Bulk Density 86 ± 1 % T.D. Local Density Variation ± 6 % TD であり, Sol-Gel 粒子の密度を95%TD位とすると, 充填効率は90.5%を必要とする。経験からこの程度の密度充填を得ることは困難ではないが, Thermal Insulator Pellet 充填して振動充填した場合 Insulator の干渉による密度の低下を考慮しなければならない。この影響下で十分仕様を維持できるだけの充填条件を得る必要がある。

また APDA 等の高速炉燃料ピンと比較して、いわば大型燃料ともいべき今回のような燃料棒の製作は未経験でもあり、安全作業の工程も確立しなければならない。

高密度を得るにはまず最適な粒度分布を得ることが肝要で計算では 8~10:20~65; -325mesh=60:20:20w/o であるが、Sol-Gel 充填粉末の歩留をよくするため、粗粒成分を 6~10 mesh にひろげて粒度調製を行なっているため 6~10:20~65:-325mesh=60:20:20w/o の粒度分布で Fuse UO₂ を代用して予察実験を行なった。

7.5.7.1 振動条件

振動条件の設定は充填密度に関する要求を満たすだけでなく振動による被覆管の疲労も考慮しなければならない。つまり強振を与えることは望ましくない。強振は共振点や低周波の振巾が大きくなった時に著しくなる。しかし強振は高密度を得るべく影響力があり、有効な利用が重要である。

Table 7.5.1

条件	試料添加	保持	Sweep (315/min)
A	8G 300 cps	20G 300 cps	70G 1000~3000 cps 3kg 荷重
B	3~4分	無荷重	70G 300~3000 cps "
A'	電磁フィード	2分	40G 300 cps 4kg 荷重 2分保持
B'			70G 1000~3000 cps 4kg 荷重
			70G 300~3000 cps 4kg 荷重

* 共振点:空管で700 cps 付近

以上のような考え方で Table 7.5.1 のような振動条件で充填密度及び軸方向の均一密度の比較を行なった。

A条件は共振点及び低周波を用いない場合、B条件は共振点、低周波を通過させた場合である。A' B' 条件はそれに荷重を 4kg を重くし、A' 条件は 300 cps の低周波で荷重をかけて、弱い加速度で保持した場合を組み入れたものである。

B B' の条件で 300~3000 cps 70G は 300 cps での加速度の調節で燃料棒の振れが激しくて実際は 40G 位しかだせなかった。

Table 7.5.2

原料	添加時間	振動時間	充填密度% T.D	充填効率%
A	5 min	21 min	83.3	85.0
	?	20	84.7	86.4
A'	3	20	86.0	87.8
	"	10	86.2	88.0
B	4	13	85.0	86.8
B'	2	13	85.2	87.0

Table 7.5.2に示すように90%の充填効率を得ることはできなかったが軸方向の均一密度に関してはスライドでも示すようにA'条件で良好な結果を得ることができた。A条件と比較して他の条件の方が高い密度を得ているのは、やはり低周波の影響であろうと考えられる。

被覆管の疲労を考えるとA条件が望しいが、しかし振動時間が非常に長く望ましくない。

7.5.7.2 Insulatorによる充填性の影響

(GETRの経験ではInsulatorを装填して充填すると、密度の低下ばかりでなく軸方向の均一密度の悪化やInsulatorの浮き上りの問題が生じた。今回は長尺ではあるが同じような現象が起こると心配されるので、実際に UO_2 Insulator Pelletを装填してその影響を調べた。

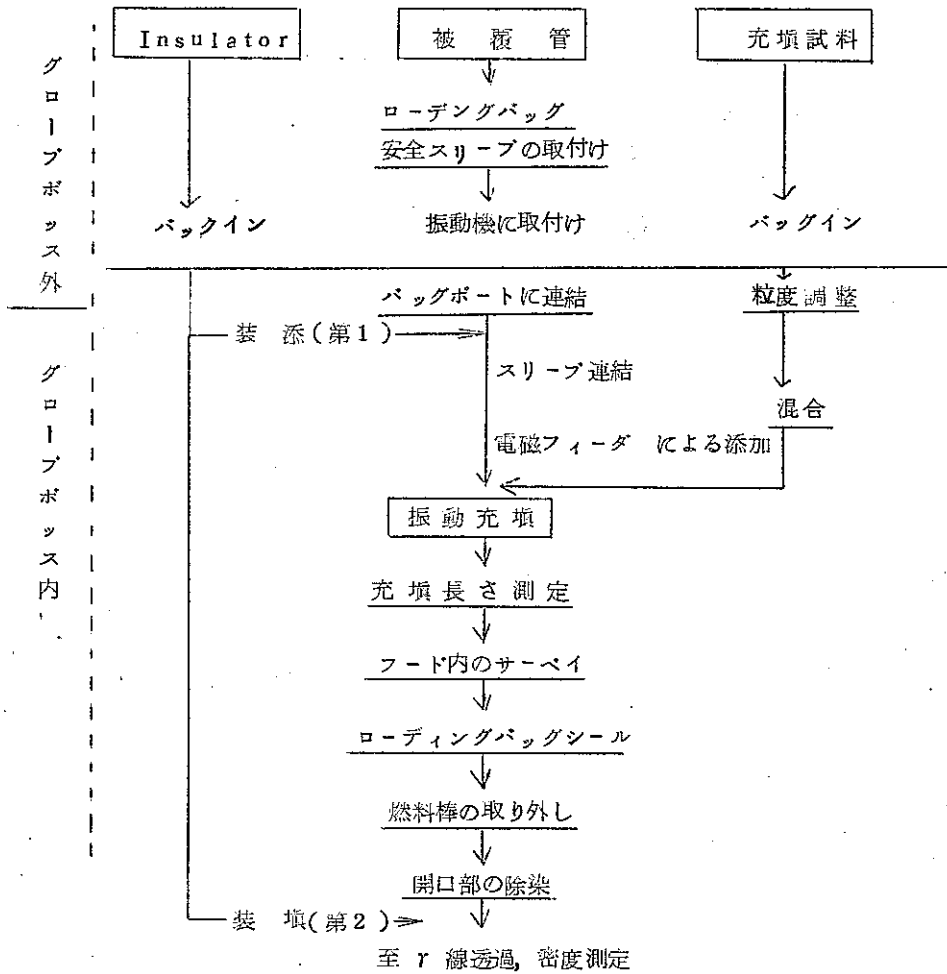
振動充填はA'を用い6~10:20~65:-325mesh=60:20:20w/6の粒度分布で4本充填した。

前述の現象は被覆管とInsulatorとのギャップが大きいと生じやすいと考えられるので、できるだけギャップ小さくして装填した。

その結果、充填密度は85.7, 85.5, 86.4, 86.3% T.DとInsulatorのない時とほとんど変わらなかったが、ガンマー線透過測定法による軸方向の均一密度に関してはInsulatorから10 cmにわたって密度の低下がみられた。これはやはりInsulatorの干渉と思われた。

7.5.7.3 本番充填

前記の予察実験を基に次のような作業工程を確立し、これに沿って、本番充填作業を行った。



各工程でスペックアウトした燃料棒は、吐き出し用ボックスに移動されて管口のみをバックインして充填物を吐き出し、篩分して再充填した。一応この作業工程に沿って11本の燃料棒を製作し予備を含めて10本を製品（照射試料）にすることができた。次にこれらの製品の製品の製作過程を述べる。

7.5.7.4 粒度調整

前項でも触れてあるように充填試料の絶対量の不足から当初の粒度分布よりもさらに粗粒成分をひろげ、6~10:10~16:20~65:-325mesh=50:10:20:20w/oにした。このような多成分系は密度を低くすると共に密度の均一性も悪くするが充填密度に関しては仕様と通りの密度充填を得ることができた。これは当初予定した粒子密度よりも96.7% T.Dと高い密度を得ていることと、Table 7.5.3に示すように充填後、かなりの粒子の粉砕がみられるが振動中の粒子の粉砕は粒子間のポイドをうめる作用し

充填効率を高くするものと考えられる。

Table 7.5.3

粒度調整 mesh	充填前の分布		充填後の分布			
	gr	W/O	clad% F	84.7% TD	clad% J	860% TD
6~10	600	50	413.25g	35.0W/o	367.35g	30.2W/o
10~16	120	10	225.05	19.0	241.55	20.0
16~20			36.10	3.0	41.95	3.9
20~65	240	20	249.95	20.5	267.35	22.2
65~325			13.35	1.1	22.15	1.8
-325	240	20	256.05	21.4	263.95	21.9

7.5.7.5 振動充填

Table 7.5.4 でもわかるように充填条件が燃料棒毎に異なりあるが予察実験で得られた振動条件では、充填密度が低いばかりでなく仕様に達するまでの時間が非常に長く、その時間は一律でない。clad %A の如く Sweep 時間に 20 分もかかって仕様に達するものもあった。これは被覆管の疲労を考えるとかえって好ましくない。そこで燃料を製作しながらいろいろ振動条件を変えてみた。その結果 Table 7.5.4 のように高い加速度の 300cps の適用が肝要であった。従来の振動の Sweep はどんな場合でも低周波からスタートさせ、密度が目標に達したら高周波でストップさせることを原則としてきた。これは大意はなく、振動条件の再現性を考えてのことであるが、高い加速度で 300cps からスタートする場合、スタート点で加速度や増幅器の電流を調整している間（1~2分）に被覆管の横振れが甚しく、また粉末の飛散が起こる。そこでこのような現象のない 500cps からスタートさせ、300cps を瞬間的に通過させることによって 70G という高い加速度で振動することができ、これによって短時間で容易に仕様に達すべき密度充填を得ることができた。なお 700cps 付近の共振点は充填中に感じられなかった。充填物により被覆管の特性が変わり共振点も低周波の方に移動したのと考えられる。

clad % K L S T のように添加時間を 7 分に長くし添加直後の密度を上げることによってさらに振動時間を短縮することができた。最終的には下記の振動条件で行なった。

- 8 G 300 cps 7~8 分で試料添加
- 20 G 300 cps 無荷重で 3 分保持
- 70 G 500~3000 cps 4kg 荷重で 5 分 Sweep

70G 300~3000cps 4kg 荷重で500cps からスタート

仕様に達するまで Sweep (3~5分)

300~3000cps の Sweep で直接振動しないのは clad 4M の試みでわかるように燃料下部の密度の低下が著しい。

500~3000cps の Sweep を間に入れることによって燃料下部の密度の低下が緩和された。また上記の条件で300cps の通過は7~8個位で粉末の飛散もみられないし、この程度であれば被覆管の疲労の心配ないと考えられた。

以上の経験を経て Halden - 160 照射試料の製作を終了した。

7.5.8 開口部除染

振動充填後燃料により汚染された部分はオープンポートボックスにおいて除染作業を行った。現在迄燃料棒加工工程中最も問題の多いところでベレットに比較し Vipac 燃料は特に除染が困難であった。除染作業は棉棒にアルミナ粉末あるいはアルコールを浸し管の内壁を根気よく掃くわけであるが管の内壁に発生したすり傷等に入ったプルトニウムの除去が困難であることが大きな原因とも考えられる。

しかし管の内外面はスミヤ測定では0カウント、直接 α サーベイでは最大1000cpm、可能な限り低カウントに除染した。

除染後、N. UO_2 pellet を装荷し、移動防止用のガーゼを充填して r 線均一試験に合致した燃料棒は再度除染し溶接に回される。

7.5.9 r 線密度均一性試験

燃料棒に充填された PuO_2 - N. UO_2 粉末の充填状態即ち充填密度の均質性についての試験は ^{137}Cs 、250mCi の r 線を用い、試験所で開発製作した r 線密度測定装置を使用して行なった。なお燃料棒の送りは横型支持送り装置によった。

Gain 1/4X1000 CW 175X10 BL 5.45

T.C. 1Sec C. Range 1000kcpm HV 750V O' adjs 660

Fs adjs 7.40

使用したスリット径は3.0mmおよび5.5mm ϕ の2種類で前者は評価用に後者は参考用であった。燃料のみかけ長さに対する解析率は97.2% (3.0mm ϕ)および93.3% (5.5mm ϕ)であった。

なお試験結果については前述7.5.7に示した。

7.5.10 第2端栓溶接とX線透過試験

燃料棒は開口部分に脱ガス用の端栓を詰め溶接ボックスに搬入され、予備真空化され後 He ガスで1気圧のふんい気で溶接する。Halden 159の経験を通じ予備真空化を $1.0 \times 10^{-4} \sim 10^{-5}$ mmHgにするにはペレットの場合に比較し約2倍5～8時間の排気時間を必要とした。溶接の入熱条件については次の如き問題が発生した。即ち第1端栓と同様

a) 小電流・長時間溶接方式では溶接の終末時に内部ガス吹きが起こり溶接が失敗した。その原因として溶接時間が長いと熱は管を伝わり流れ相当の範囲が高温化する。このため封入されたHeガス圧が上昇し外部に吹き出ることと推定されたので次でHalden 159同様 a) 大電流・短時間方式に切り換えガス吹きを防止し得た。なお溶接条件は次の通り、

溶接電流 32～33 Amp 溶接時間 4～6秒

電流減小時間 3秒

溶接部はさらにX線透過試験によりその健全性がチェックされたがb)の方法では、溶接部に黒点を認め外観的には良好でも問題があり、再溶接で救済を余儀されたものもある。しかし照射試料大部分は159の条件a)で溶接したもので照射時の問題はないものと考えられる。

7.5.11 非破壊試験

製品の品質および健全性試験として以下の各項目がなされた

X線透過試験(端栓溶接部および構造プレナム部)

r線密度試験(充填燃料の均質性 local variation)

Heリーク試験, 表面汚染度, 寸法・重量測定.

試験結果はTable 7.5.4にまとめて記載したが大要は次のとおりである。

a) 振動充填密度

14本充填試料は84.7%～86.3%範囲であったが密度の低いものと内部均質性(local variation)の悪いものは再度充填をおこない照射用として12本さらにその内容により10本を選んだ。

b) X線透過試験

第2端栓部はXおよびY方向より透過し健全性を確認したが第1端栓に比較し欠陥の指摘が多かった。

即ちXY方向ともに健全4本, 一方向に欠陥あり7本, 2方向欠陥1本

c) Heリーク試験

全数 10^9 cc/sec のリーク率で問題はなかった。

d) 表面汚染測定

振動充填試料の最大の問題は開口部除染の困難さと表面汚染とで Table 7.5.4 に示した如くスミヤーでは 0 count であるが燃料棒全体では fix あるいは中性子その他による count が最大 400 cpm さらに溶接終了部(第2端栓)では fix Contamination と考える検出が最大 1200 cpm 存在した。

e) 寸法測定はすべて規格内であった。

7.5.12 総合判定

前述の 12 本の製作品は各試験項目毎に評価されさらに全体としての総合的評価を行ない、

a) X線による欠陥品およびγ線による内部不均一品が除外され Table 7.5.4 に示す。

10本が照射試料として決定した。

7.5.13 加工を通じての問題点と反省

今回の照射試料の製作については十分慎重に、しかも安全に最良の品質をモットーとして作業を進めたが次の諸点は問題として考える。

a) 振動充填

a-1, 充填長および bulk density は一応満足し得たが、軸方向の密度不均一で、特に燃料体の上、下部に密度低下を認めたとことで、下部は Thermal insulator の振動がその原因とも考えられるが上部低下部はさらに検討し解決を必要と思われた。

b) 溶接

第1端栓に比較して第2端栓溶接では思わぬ問題に出会った感じであったが大電流・短時間溶接で切り抜けたがジルカロイの溶接についてはさらに基礎的なデータを取り入熱条件はあくに務める。

c) 除染および表面汚染

振動充填(特にプル燃料)に特に問題であり、まづ汚染を防止する方法、除染を容易にする作業手順検討する予定である。

しかし以下の諸点はよい意味での問題点当試料の特徴と考える。

a) ゼルゲル粒の密度

当初95%TDを目標と聞いたが96%以上と非常に良好で振動充填が規格値に入り得たのもそれが最大の原因と感謝している。

b) 脱ガス処理

今回の照射試料は全部真空脱ガス処理を試験分析系の協力で実施し保存も十分注意したのでとかく問題とされる核物質内の含有ガスについてはトラブルは少ないであろう。

Table 7.5.4-1

No.	第1端接続時間	X線試験	振動	充填	Bulk Density %TD	上中下	PuO ₂ -UO ₂ 充満量 (gr)	溶接(第2端径)		X線		He リーク	表面積 上-スミ 中-直接 下-溶接	寸法	線重量 g	備考	判定	照射量
								第1回 電流, 時間, 真空度	第2回 電流, 時間, 真空度	X方向	Y方向							
11008	24~25A B-2S	X OK 不足 Y OK OK	66~10mesh 605 1210g 10~16 121 3.13% 20~65 242 PuO ₂ -325	8G 300 cps 電磁フイーター添加 7'05" 20G 300 cps no load keep 3' 70G 500~3000 cps 4kg load 5' 70G 300~3000 cps 3'17"	85.42	+5.6~ -35.6 +4.7 ~-3.1 +3.7~ -10.0	1209.26	2.3 × 10 ⁵ 33A 5(3)sec		OK	OK ヤレパイプ ふくれあり		0 300 1200	合格	1527.62		B	26
11011	23A 13-2S	X OK OK Y OK OK	上 会 1210g 3.10% PuO ₂	8G 300 cps 電磁フイーター添加 4' 5" 20G 300 cps no load keep 3' 70G 500~3000 cps 4kg load 4' 70G 300~3000 cps 5'	86.33	+4.0 ~-2.3 +2.2 ~-1.8 +2.2 ~-8.1	1208.26	2.8 × 10 ⁶ 33A 4(3)sec		OK	OK	上 合	0 150 900	合格	1525.00		A	23
11016	23A 13-2S	X 不足 OK Y OK OK	上 会 1210g 3.13% PuO ₂	8G 300 cps 電磁フイーター添加 4'25" 20G 300 cps no load keep 3' 70G 500~3000 cps 4kg load 5' 70G 300~3000 cps 8'55"										合格				
11020	24A 24A 13-2S	X OK 不足 Y OK OK	Vipac 練習用															
11022	24A 24A 13-2S	X 不足 不足 Y 不足 不足	Vipac 練習用															
11024	22~24A 13-2S	X 不足 OK Y 不足 OK	6~10mesh 600g 1200g 10~16 120 3.13% 20~65 240 PuO ₂ -325 240	8G 300 cps 電磁フイーター添加 4' 20G 300 cps no load 2' 40G 300 4kg load 1'45" 70G 500~3000 cps load 20' 70G 300~3000 cps load 0'40" 70G 1000 cps 0'20"	85.18	+3.7~ -15.0 +4.5 ~-6.7 +3.0~ -14.0	1201.24	3.9 × 10 ⁵ 23~24A 11(2)sec	13(2)	OK	黒点1ヶ		0 200 800	合格	1519.10		O	20
11025	23A 13-2S	X OK 不足 Y OK 不足	6~10mesh 600g 1200g 10~16 120 3.13% 20~65 240 PuO ₂ -325 240	8G 300 cps 電磁フイーター添加 4' 20G 300 cps no load 2' 40G 300 cps 4kg load 1'35" 70G 500~3000 cps 4kg load 10'	84.71		1199.55	1.6 × 10 ⁴ 22~23A 16(2)sec								不合格 燃料吐 き出し	不	
11027		X Y																
11029	2 23~24A 14-2S	X 不足 不足 Y 不足 OK																

7.6 集合体部材の製造と検査

7.6.1 製造

(磯野 健治)

(1) センタスペーサの製作

設計図を比較すればわかるとおり、前回の IFA 159 の経験を生かして、センタスペーサの設計は大きい改良がなされた。まず外枠の幅は 2.5 倍に燃料ピンを支える板ばねは流れに添うように変更し各マスは独立したものに、そして板ばねにはインコネル-X を用いて弾性を強めるなどの考慮がなされた。図 7.6.1 (1), (2) また製作者側からの改良の要望として外枠板の切溝は板幅の中間をプレス抜きにするようにした。このため最終の組立て格子を TIG 溶接した時変型するのを防ぐことができたが、外枠を 2 か所で TIG 溶接しなくてはならない欠点があるので、更に検討を要すると思う。製作の工程を表 7.6.1 に示す。

表 7.6.1 中間スペーサの加工工程表

板 (INCONEL-X)	パ ネ	外 枠	格 子 (SUS-28)
切	断	切	断
幅	仕上	幅	仕上
ブ	レ	四	溝
R	成	角	切
長	型	折	込
さ	仕上	曲	長
		TIG	さ
		溶	仕
		接	上
		四	ス
		角	ポ
		修	ッ
		正	ト
		ブ	溶
		レ	接
		ス	(板
		ポ	ば
		ッ	ね)
		ト	格
		溶	子
		接	組
			込
		組	
		込	
		み	
		TIG	
		溶	
		接	
		溶	
		接	
		部	
		仕	
		上	
		ピ	
		ッ	
		チ	
		修	
		正	

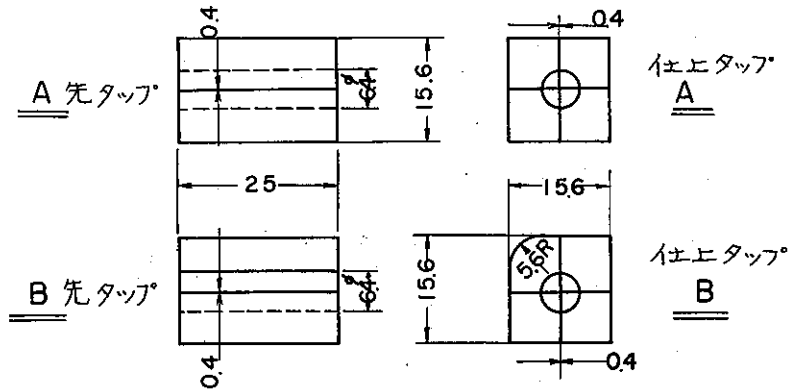
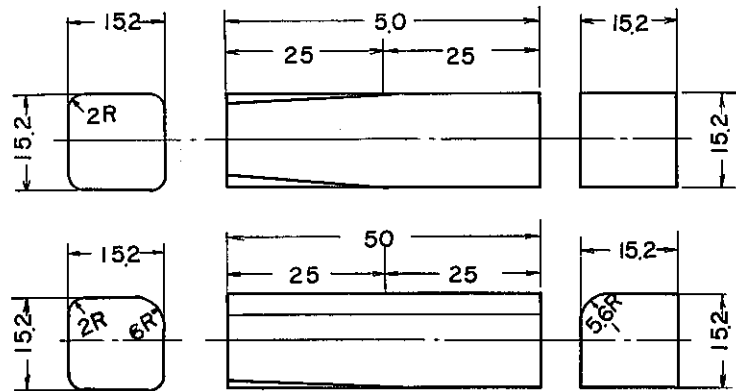
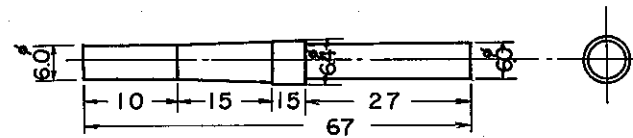
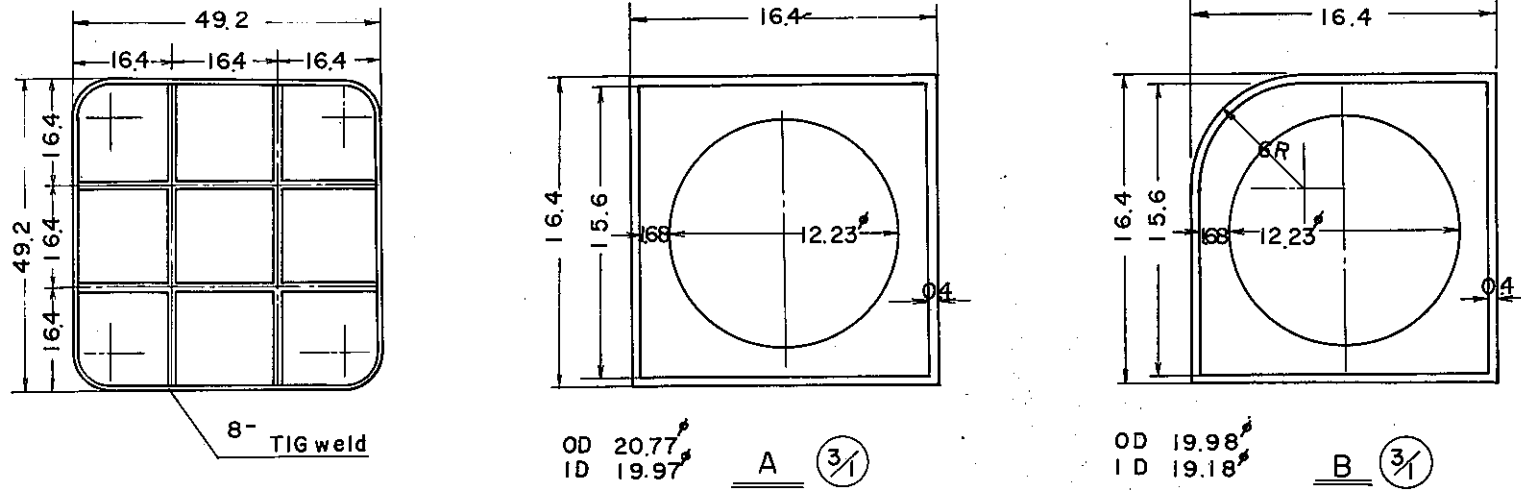


図 7.6.1 (1) IFA 160 のセントスペース工作図 (含治具)

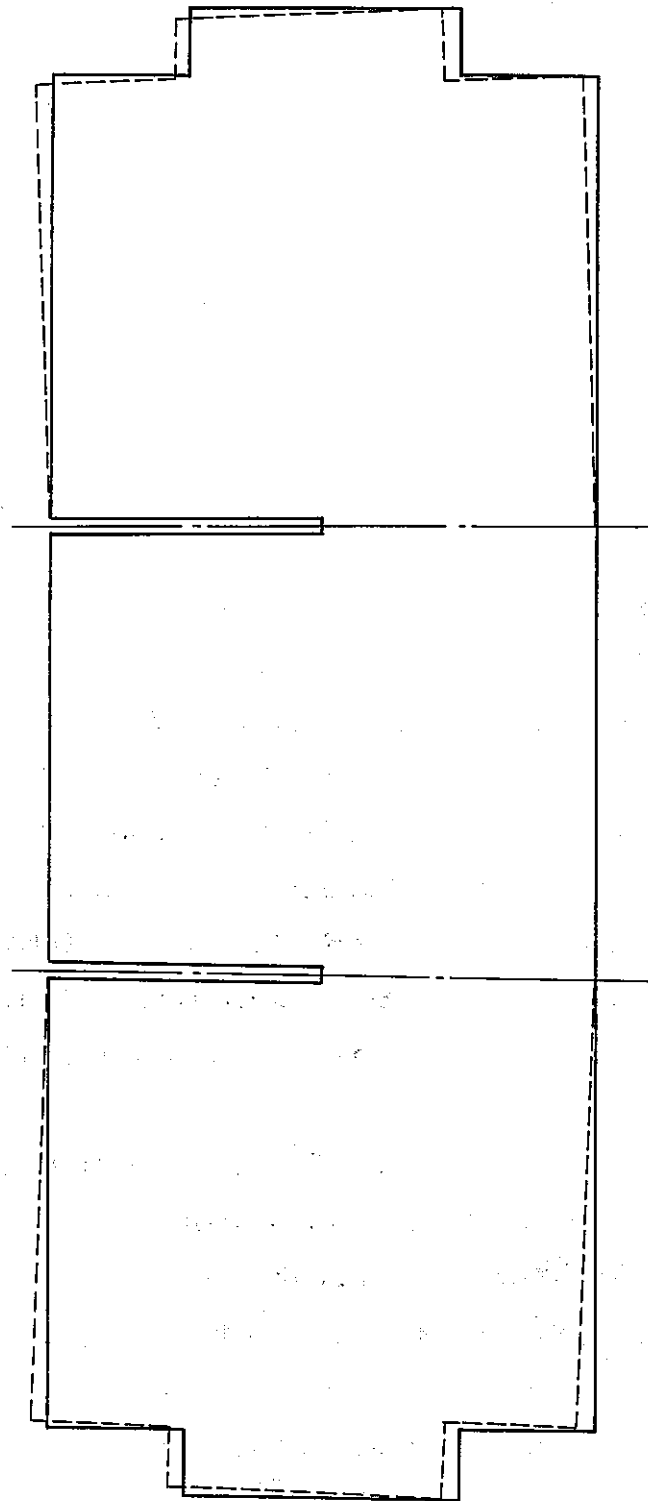


図7.6.1 (2) センタスペース内枠図

また工程の説明は写真を用いて順を追って説明することとする。

板ばねの加工

写真7.6.1の右は4^{mm}の幅ゲージで、幅仕上げによりこれを通ったインコネル-X (0.3^{mm}厚)板は中央の金型でプレスして鳥の頭のような形にして切断する。次に左の金型でR部を芯にして両端の長さを仕上げると板ばねができる。

写真7.6.2の右は外枠の板と格子になる板の20^{mm}幅ゲージで、上に乗っているのは幅仕上げしたSUS-28の0.4^{mm}圧延板材をフライス盤で溝切加工と長さ段付仕上げしたものである。写真7.6.2の中央は格子板に板ばねを表と裏にそして切り溝に対して上下にスポット溶接機で抱き合せてスポット溶接する。写真7.6.2の左はスポット溶接した溶接部を平にヤスリで仕上げをしたその治具を示した。写真7.6.3はスポット溶接機で格子板に板ばねをスポット溶接しているところである。手前の電極は外枠に板ばねを溶接するときのものを示した。

写真7.6.4は外枠加工の治具を示した。幅仕上げしたSUS-28の外枠板は右のブロックガイドに合わせて四角に折曲げるが、R部が弾性でもどるため中央のR修正治具を用いる。左の治具は外枠板の継目をTIG溶折するもので薄板溶接に便利である。TIG溶接した外枠は再びブロックガイドに合わせて修正した。

写真7.6.5は自製のプレス機械で、外枠の四面に各2条の溝抜きをこの装置で加工した。手前の先に溝のある板は打抜いた時、くい込んだ刃を外枠から外す際に使用するものである。

写真7.6.6の右はスポット溶接して溶接部を仕上げた格子に組込んだものである。中央はプレスで抜いた外枠の内側にスポット溶接で板ばねを溶接して格子を組込んだものが左の状態である。

写真7.6.7は日立製作所製のスポット溶接機で左側は制御装置、右側が溶接装置である。電極を冷却する冷却水のゴムホースはこの際使用しなかった。

写真7.6.8の右の総型は外枠に格子を組込み、各辺の2条に出ている格子板をTIG溶接する時に使用するものである。溶接したセンタスペースの溶接部仕上げ後のものを左に示した。

写真7.6.9の右はピッチ修正とバネ調整の治具である。センタスペースを2個ガイド内に重ねて錘加重でバネ調整をしながらピッチ修正を行なった。バネ調整は燃料ピンを出し入れするときに表面に傷がつかないようにかつ9本の燃料ピンも同時に動かすことができるように0.5~0.6 kgの錘加重で被覆管が通るように最終的に調整した。0.5 kg



写真 7.6.1 センタスペーサバネ加工

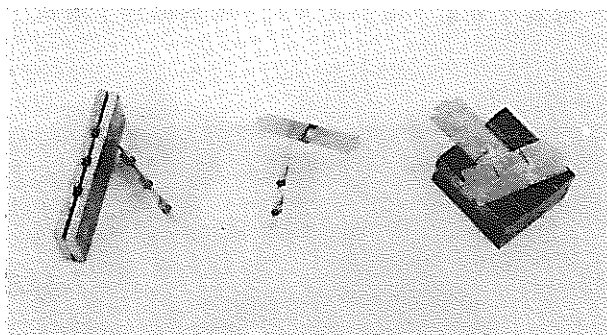


写真 7.6.2 センタスペーサバネ加工

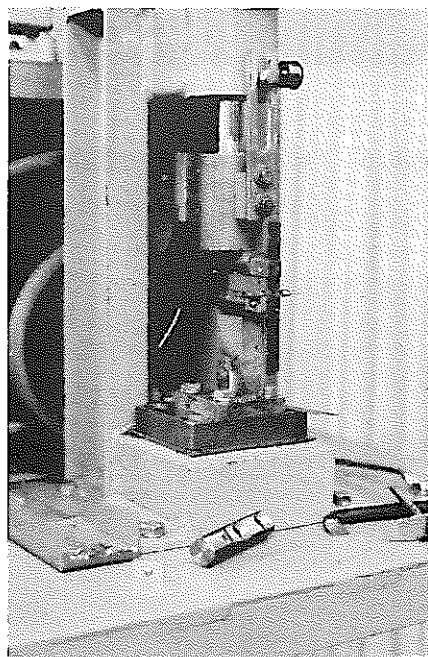


写真 7.6.3 センタスペーサバネスポット溶接

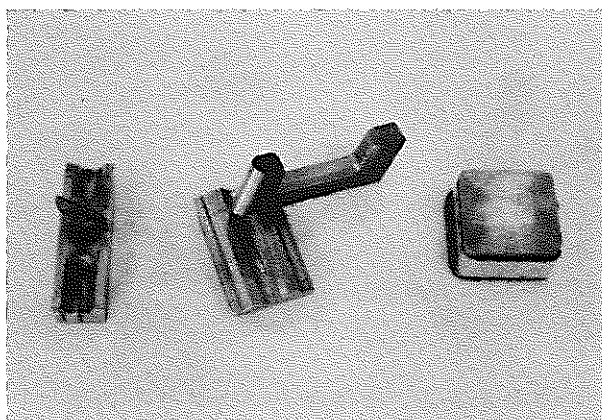


写真 7. 6. 4 センタスペーサ外枠加工治具

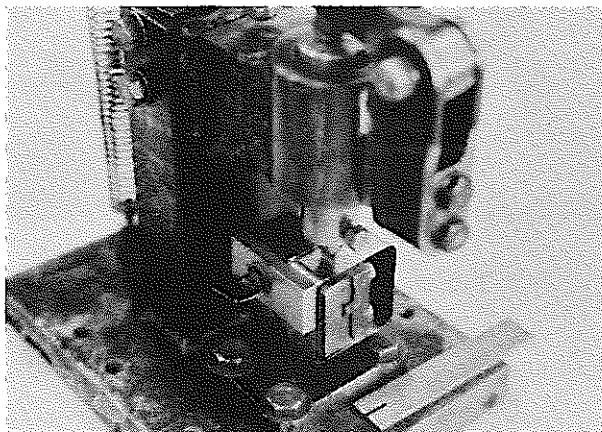


写真 7. 6. 5 センタスペーサ外枠孔円抜機

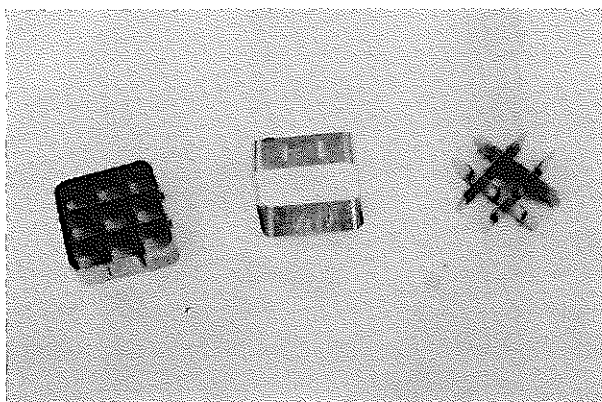


写真 7. 6. 6 センタスペーサ部品・組立

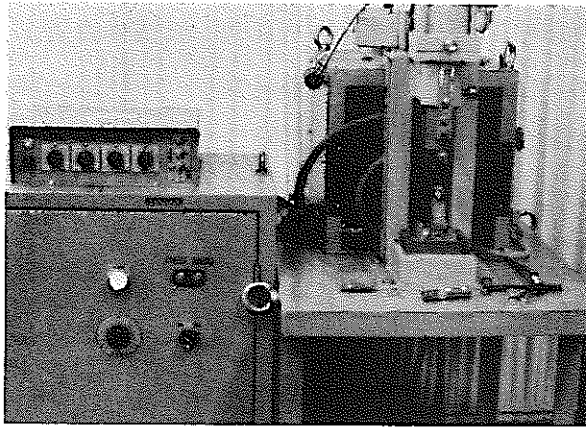


写真 7.6.7 スポット溶接機

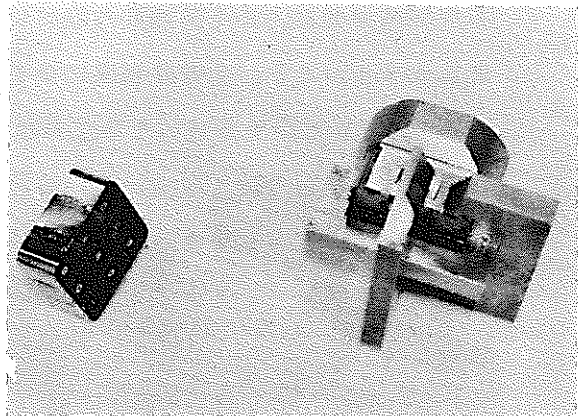


写真 7.6.8 外棒と円棒の溶接治具

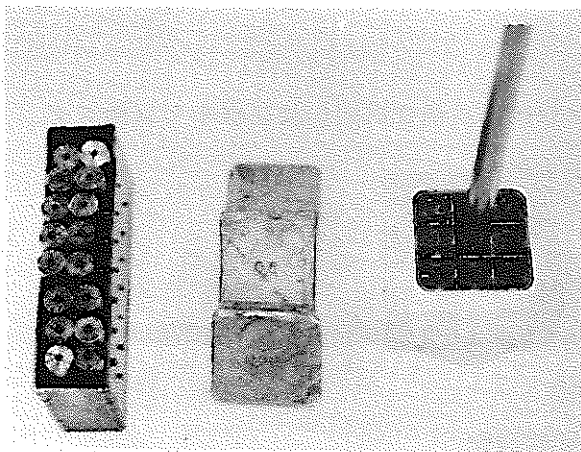


写真 7.6.9 センタスペーサピッチ修正
およびバネ調整

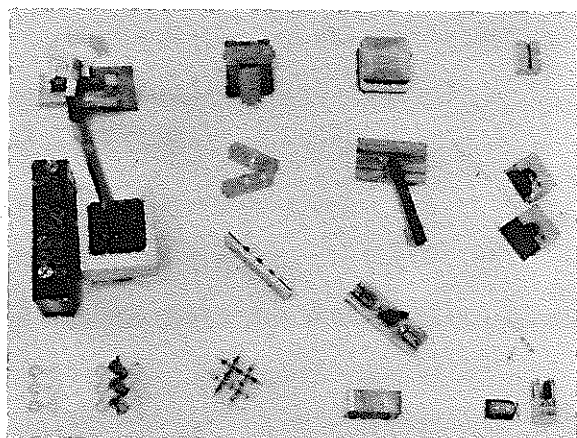


写真 7.6.10 IFA160 センタスペーサ
加工全図

以下では燃料ピンを支持安定させるに不相当とした。左のケース内の棒はバネを調整する調整棒である。また錘加重の際に使用した被覆管はオートクレーブ処理した方が白管よりスベリがよく、白管は表面にすぐ傷がつき加重調整に使用しなかった。

写真7.6.10は今まで述べた治工具の一覧である。

なお製作者から今後スペーサを作る際の参考までに意見を述べると外枠はパルプを金型で押抜けて作る方法もあるし、また各格子それぞれパイプを角型に押抜けて成型し組立て溶接してスペーサとする方法も別途に考えたので、その治具および加工図面を添えて報告を終る。

7.6.2 部材検査

(渡部 卓朗)

各種部材について、主として、形状寸法検査を行なったが、使用部材全種類の検査をするに至らず断片的である。

検査した項目は、次に記すとおりである。

- 各種End Plug Cap 及びGuide Rod の寸法測定と、ネジ部はめ合いの心ブレの測定
- 上下スペーサーの寸法測定
- センタースペーサーの各部寸法測定、ピン保持バネ強さ測定、及び標準ピン型ジグを、各区間に挿入しての各ピンジグ間のピッチ測定
- ホルダープレートの形状寸法測定
- スプリングの形状寸法検査(燃料ピン用部材)

以上の事項につき検査を行なった。検査は別添2, IFA 160 部材検査要領書に基づいて行なった。以下順に検査結果を述べる。

(i) 各種End Plug Cap 及びGuide Rod の寸法測定

(a) Top Guide Rod の測定結果を表7.6.1に示す。

全長が規格より大きいものが数個あるが、Rod 先端ネジ締付用スリ割り溝加工の際のバリが残っているためのものである。先端部外径が規格より1/100mm大きいものが相当あったが繰取誤差介入も考えられ実用上は問題が少い。標準ネジと組合わせた心ブレの測定値が相当バラツいている点問題であったが、値の小さいものを本番に用いた。表中に心ブレ測定図を記してあるが、他のEnd Plug の心ブレ測定もこれを同様にして行なった。

b) Top End plug Cap の測定結果を表 7.6.2 に示す。

外径に規格よりやや大き目の値を示すものが多いが、実用上に差支えない。

心ブレの値は小さい。

c) Bottom Guide Rod の測定結果を表 7.6.3 に示す。

全長が、規格値よりやや大き目のものが数個あった。ネジ部心ブレ測定値は、スパンが長いだけに、ふれがやや大き目のものが多い、最大のもので約 2° の傾きがある。本番用には、これらの値の小さいものを用いている。

d) Bottom End Plug Cap I の測定結果を表 7.6.4 に示す。

各部寸法測定値は、全数規格内である。ネジ部が、心ブレ測定用標準ネジと合わず、キツイものも多く心ブレ測定のできないものがあった。タップとも合わず、キツイものが多かったが、端栓材との現物合わせでは、割合良く合った。

e) Bottom End Plug Cap II の測定結果を表 7.6.5 に示す。

全長が規格よりやや大きいものが多いが実用上問題はない。

心ブレは、スパンが短いだけに、小さい値を示している。

(2) 上下スペーサの寸法測定

上部スペーサ 7 個、下部スペーサ 6 個について、各部寸法測定をした。

a) 上部スペーサの寸法測定

各測定位置図を図 7.6.2 に示し、測定値を表 7.6.6 ~ 7.6.8 に示す。手仕上げのため、各部測定値のバラツキが大きく、円形の仕上げにもムラがある。

b) 下部スペーサの寸法測定

各測定位置図を図 7.6.3 に示し、測定値を、表 7.6.9 ~ 7.6.11 に示す。上部スペーサと同様に手仕上げのため、寸法バラツキが多い。

(3) センタースペーサの検査

a) 標準ピン型ジグ挿入によるピッチ測定 (製作されたままのものについて)

2 個のスペーサを 30mm 間隔にして、9 個の区間全部に 70mm 長さの標準ピンジグを通して立て片端面部のピンジグ中心点間隔を測定した。10 個のスペーサの測定に対し、常に、No. 10 のスペーサを下にし、No. 10 のスペーサの測定の場合だけ No. 9 スペーサを、下側に組み合わせた。図 7.6.4 に、各スペーサのピッチ測定値分布図を示す。ピッチとしては、規格内および、規格より小さ目の値を持つスペーサが多い。なお全般に燃料ピン保持用の板バネ強さが大で、ピンの挿入がキック、燃料ピン挿入の際被覆管外面にキズをつけるおそれがあるため、バネ

力を弱める加工，およびピッチ規格外の個所の修正加工が行なわれた。

b) ピッチ測定（第Ⅰ次修正後のものについて）

別項に詳述するが，最初作られた10個のスペーサのうち，6個について2個づつ3組の組合せを作り，バネ保持力の調整を行なったため第Ⅰ次修正以後は，6個のスペーサについて，ピッチの測定も各2個の組合せで行なっている。図7.6.5に第Ⅰ次修正後のピッチ測定値分布図を示す。修正しても，測定値は相変らずバラツキ，規格外値も相当ある。どうしても，ひずみが残るようで，修正加工が困難であることを示している。再度修正作業が行われ，それについてのピッチの再測定を行った。

c) ピッチ測定（第Ⅱ次修正後のものについて）

図7.6.6に，再修正されたスペーサについてのピッチ測定値を示す。

まだ，規格値より大分かけ離れた値を示す個所がある。

d) ピッチ測定（第Ⅲ次修正後のものについて）

図7.6.7に，第Ⅲ次修正を行なったスペーサのピッチ測定結果を示す。この時点でも全数が規格内に入ることができなかったが，修正はこれで打切り，ピッチのバラツキの割合少ないものが本番用として，用いられた。第Ⅲ次修正後のものについて，各位置での測定値を表7.6.12に示す。

e) スペーサ各部寸法測定

ピッチ修正されたスペーサ6個につき，各部寸法測定を行なった。測定結果を表7.6.13に示す。各仕切板，外枠板が平面でないので，測定位置により値が相当変わるとい状態であった。

f) スペーサのピン保持バネ強さ測定

最初製作されたままのものは，燃料ピン保持用バネ力が強過ぎて，ピン挿入がキツク，ピン表面にキズをつけるおそれがあるために，バネ力を小さくする修正を行なった。修正を行なった。修正後のスペーサ内の板バネについて，燃料ピンに対する，保持力を測定した。

測定方法：6個のスペーサについて，2個ずつ3組の組み合わせを作り，各2個を重ねて，各区間にピンを挿入しておき，1区間づつピンの上部に荷重をかけて行き，ピンが，スペーサー内を摺動し出した時の荷重を，記録するという方法である。

第Ⅰ次修正時と，第Ⅱ次ピッチ修正時の，測定値を，表7.6.14に示す。最終的には，各区間とも，0.50 kg～0.75 kgの間に納まった。但し，この値は，2個のスペー

サの組み合わせが変わると、幾分違う値になり得る。

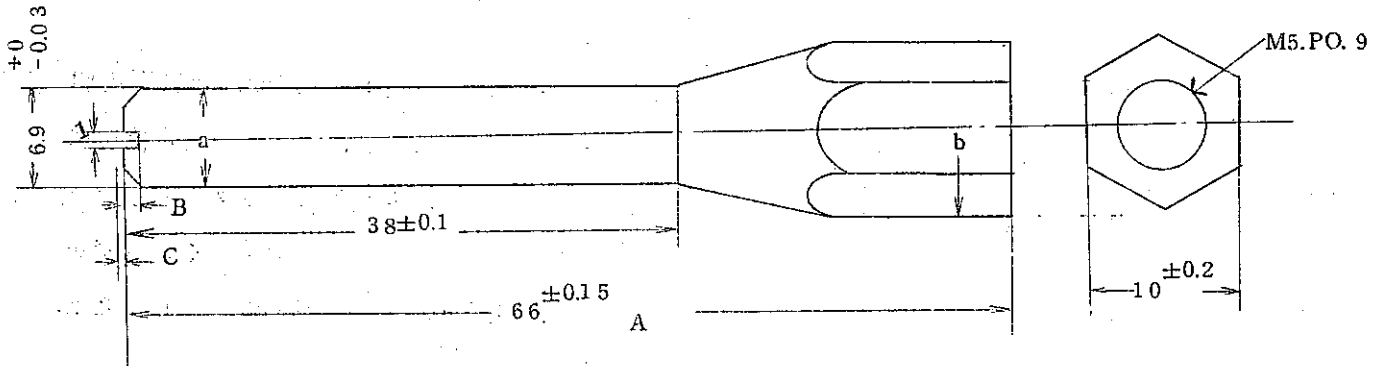
(4) ホールダ・プレートの検査

各部寸法測定と、ネジ孔の検査を行なった結果を、表 7.6.15 に示す。寸法測定箇所については、大部分規格内であったが、手仕上であるため幅、厚みなど測定位置によりムラがある。ネジ孔のピッチは問題なしであったが、ネジ孔にタップを通したところ、キツイものが7個程あった。また、ネジ孔の角度が面と直角ではなく、ネジを立ててみると、ネジが相当傾くものがあったが、実用上、ネジを締めつけてしまえば、問題は少くなると思われる。

(5) スプリングの検査(燃料ピン用部材)

スプリングは100個納入されたものから15個を抜取り、スプリングの線径、外径、自由長、有効巻数などの形状、寸法検査と、バネ定数の測定を行なった。測定結果を表 7.6.16 に示す。IFA 159 の場合と同様に、今回も、規格値に対する許容限界値が定められていないので、大体規格値通りであるかを調べたのである。結果として、形状、寸法は、ほぼ規格値通りであったが、バネ定数は、全般的に規格値に対し、やや、小さ目であった。

表 7.6.1 TOP GUIDE ROD の各部測定結果



No	長さ			a 部外径			b 部外径			すり割り幅		心ぶれ
	A	B	C	A-D	B-E	C-F	A-D	B-E	C-F	mm 0.8ゲージ	mm 0.9ゲージ	
1	66.16	1.21	0.05	6.91	6.91	6.91	9.95	9.94	9.96			0.11
2	66.09	1.14	0.05	6.90	6.90	6.90	9.90	9.93	9.94			0.37
3	66.09	1.12	0.05	6.91	6.91	6.91	10.03	9.95	9.95			0.33
4	66.14	1.13	0.01	6.90	6.90	6.90	9.98	9.98	9.94			0.12
5	65.88	0.96	0.05	6.90	6.90	6.90	10.03	10.02	10.04			0.24
6	66.15	1.08	0.05	6.90	6.90	6.90	10.19	10.13	10.18			0.41
7	66.20	1.21	0.02	6.89	6.89	6.89	10.03	10.00	9.96			0.56
8	66.23	1.18	0.04	6.88	6.88	6.88	10.11	10.09	10.08			0.13
9	66.10	1.23	0.03	6.90	6.90	6.90	10.02	9.96	9.98			0.24
10	66.10	1.18	0.05	6.90	6.90	6.90	10.03	10.04	10.06			0.05

※ 心ブレ

○ ベース $\frac{3}{100}$ mm

○ アンダーラインはネジのかたいもの

【心ブレ測定図】

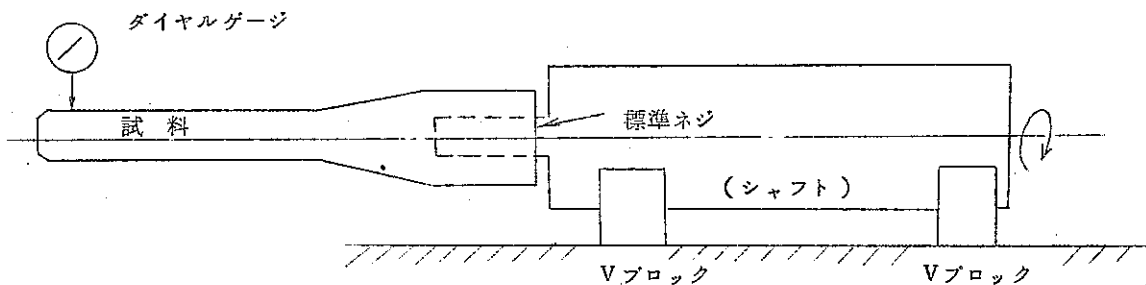
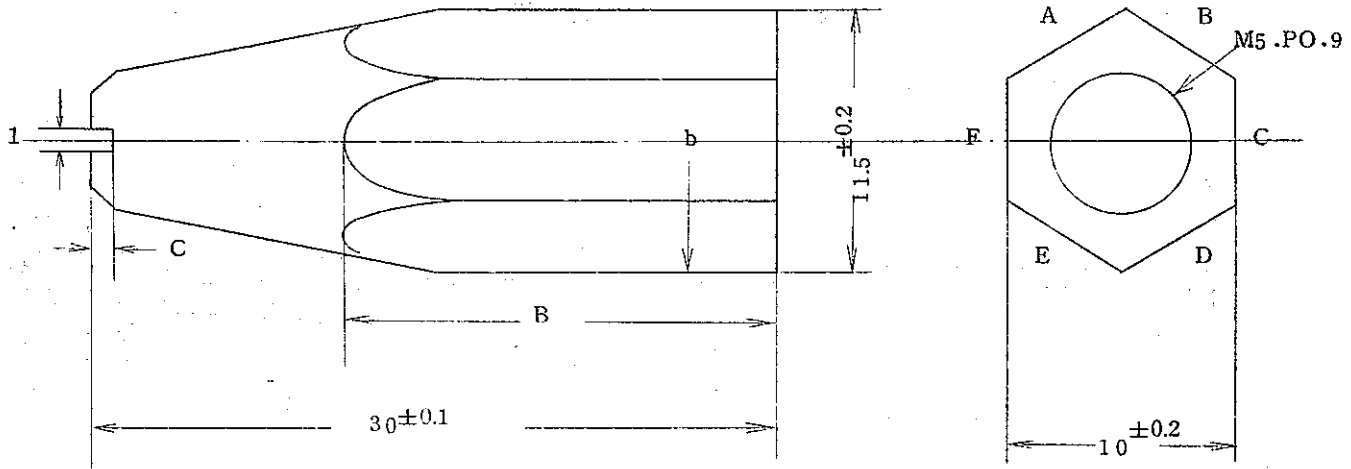


表 7.6.2 TOP ENDPLUG CAP の各部測定結果

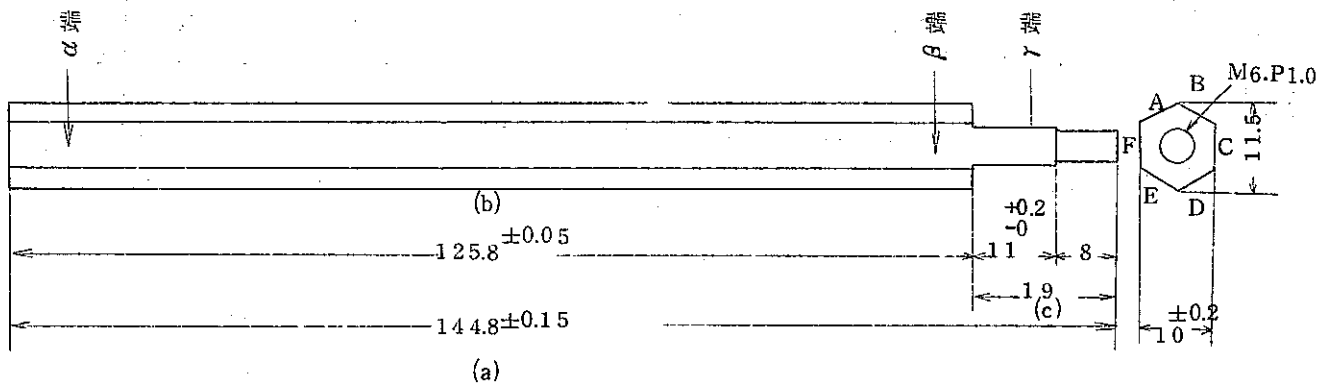


No.	長さ			b 部外径			スリ割り幅		心ブレ
	A	B	C	A-D	B-E	C-F	0.8ゲージ ^{mm}	0.9ゲージ ^{mm}	
1	30.01	18.21	0.94	9.99	9.98	9.97	go	nogo	0.13
2	29.98	19.48	1.12	9.95	9.76	10.10	go	nogo	0.10
3	30.00	18.57	1.07	10.01	10.01	10.02	go	nogo	0.07
4	30.02	17.29	1.05	10.27	10.25	10.32	go	nogo	0.05
5	29.92	18.04	1.26	10.17	10.15	10.14	go	nogo	0.01
6	29.99	17.76	1.50	10.14	10.03	9.97	go	nogo	0.08
7	30.00	17.55	1.15	10.27	10.27	10.28	go	nogo	0.07
8	29.98	17.25	1.14	10.26	10.24	10.22	go	nogo	0.03
9	30.01	17.73	1.12	10.13	10.12	10.13	go	nogo	0.06
10	30.02	17.63	1.23	9.97	10.04	9.99	go	nogo	0.03
11	29.97	18.08	1.11	10.07	10.02	10.01	go	nogo	0.09
12	29.98	17.05	1.11	10.07	10.05	10.11	go	nogo	0.13

ネジ合 (スキ間 1mm内)

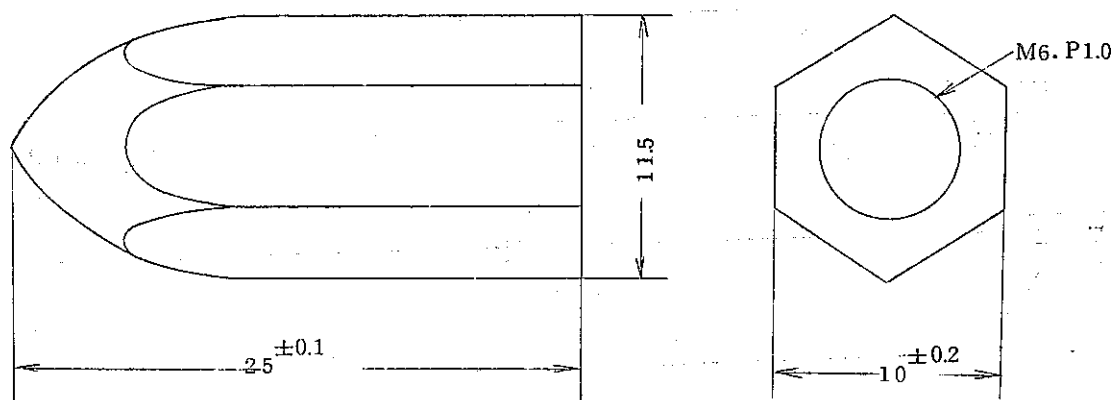
⊗
○
○
○
○
⊗
⊗
○
○
○
○
○
○

表 7.6.3 BOTTOM GUIDE ROD の各部測定結果



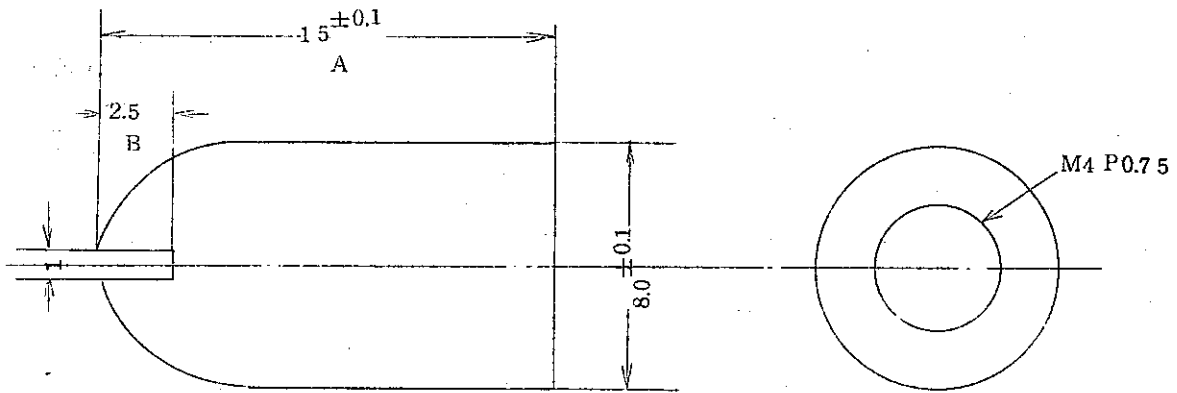
No	長			外 径						心ぶれ 1/100 mm
	全長 (a)	(b)	(c)	A - D		B - E		C - F		
				α	β	α	β	α	β	
1	145.04	125.76	19.27	10.03	9.99	10.03	9.43	10.07	9.47	0.61
2	144.92	125.78	19.15	10.18	10.13	10.12	10.11	10.15	10.10	0.34
3	145.07	125.76	19.31	10.10	10.03	10.11	10.02	10.09	10.20	0.31
4	144.92	125.77	19.15	10.06	10.00	10.07	10.02	10.05	10.02	0.50
5	144.93	125.78	19.16	10.08	10.06	10.07	10.05	10.08	10.07	0.20
6	144.93	125.77	19.16	10.07	10.08	10.07	10.12	10.06	10.04	0.20
7	145.02	125.78	19.25	10.09	9.98	10.16	10.08	10.09	10.12	0.19
8	144.82	125.70	19.12	10.16	10.07	10.06	10.00	10.12	10.06	0.30
9	144.94	125.78	19.16	10.10	10.08	10.16	10.04	10.11	10.10	0.23
10	144.95	125.75	19.20	9.44	9.38	10.00	9.98	10.03	9.97	0.61

表 7.6.4 BOTTOM END PLUG CAP I の各部測定結果



No	長さ	外 径			心ぶれ	ベース $\frac{1}{100}mm$ 心ブレ用ネジ	ネジ現物 合わせ
	全 長	A - D	B - F	C - F			
1	24.96	10.08	10.06	10.07	0.01		
2	25.00	10.11	10.12	10.14	0.02	×	○
3	25.00	10.12	10.12	10.16	0.01	×	○
4	24.90	10.09	10.08	10.10	0.06	×	○
5	24.97	10.04	10.05	10.09	0.03		○
6	24.84	10.11	10.10	10.12		×	○
7	24.97	10.11	10.11	10.13	0.01		○
8	24.88	10.11	10.11	10.11	0.01		○
9	24.83	10.11	10.13	10.14	0.01		○
10	25.00	10.12	10.10	10.20		×	○
11	24.96	10.09	10.13	10.08		×	○
12	25.00	10.10	10.11	10.12	0.02		○

表 7.6.5 BOTTOM END PLUG CAP II の各部寸法結果



No.	長 寸			外 径		すり割り幅		心ぶれ
	A	B		α	β	0.8ゲージ ^{mm}	0.9ゲージ ^{mm}	ベース $\frac{1}{100}$ mm
1	15.15	2.63		8.04	8.04	go	nogo	0.06
2	15.11	2.63		8.08	8.07	go	go	0.04
3	15.15	2.54		8.06	8.06	go	nogo	0.07
4	15.16	2.62		8.05	8.05	go	nogo	0.03
5	15.16	2.72		8.06	8.06	go	nogo	0.05
6	15.17	2.75		8.09	8.08	go	nogo	0.04
7	15.19	2.63		8.09	8.09	go	nogo	0.05
8	15.19	2.55		8.05	8.05	go	nogo	0.07
9	15.24	2.39		8.08	8.08	go	nogo	0.02
10	15.17	2.43		8.06	8.06	go	nogo	0.07

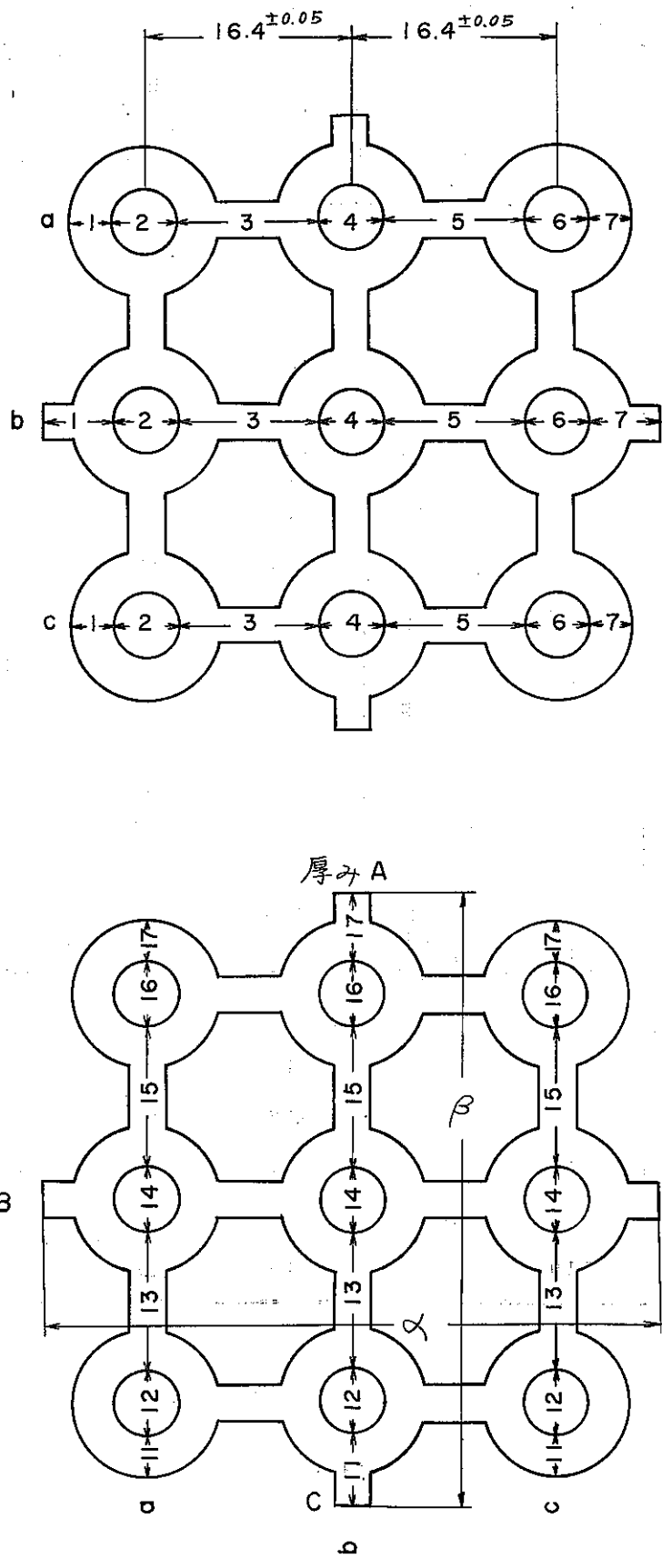


図 7.6.2 トップスペーサ各部測定位置図

表 7.6.6 トップ・スベーサ各部測定値 (1)

スベーサ ナンバ	測 定 位 置						
	1 - a	2 - a	3 - a	4 - a	5 - a	6 - a	7 - a
No. 1	3.57	5.11	11.27	5.10	11.22	5.12	3.56
2	3.57	5.10	11.27	5.10	11.33	5.10	3.62
3	3.59	5.10	11.26	5.13	11.26	5.12	3.56
4	3.59	5.10	11.32	5.09	11.27	5.10	3.60
5	3.61	5.10	11.29	5.11	11.30	5.10	3.56
6	3.59	5.10	11.30	5.12	11.29	5.12	3.60
7	3.60	5.10	11.30	5.11	11.30	5.11	3.56
	1 - b	2 - b	3 - b	4 - b	5 - b	6 - b	7 - b
No. 1	6.04	5.12	11.28	5.13	11.26	5.13	6.08
2	6.09	5.10	11.28	5.14	11.26	5.10	6.12
3	6.09	5.12	11.28	5.13	11.26	5.12	6.08
4	6.09	5.11	11.26	5.12	11.28	5.11	6.09
5	6.07	5.12	11.23	5.15	11.31	5.12	6.07
6	6.07	5.13	11.26	5.10	11.31	5.10	6.05
7	6.10	5.11	11.24	5.15	11.29	5.11	6.07
	1 - c	2 - c	3 - c	4 - c	5 - c	6 - c	7 - c
No. 1	3.58	5.11	11.29	5.12	11.29	5.11	3.60
2	3.58	5.11	11.30	5.12	11.28	5.12	3.61
3	3.64	5.10	11.31	5.11	11.29	5.11	3.58
4	3.59	5.10	11.28	5.12	11.29	5.11	3.61
5	3.59	5.10	11.30	5.11	11.30	5.09	3.60
6	3.55	5.12	11.31	5.12	11.27	5.08	3.60
7	3.60	5.10	11.30	5.10	11.30	5.10	3.57

表 7.6.7 トップ・スペーサ各部測定値 (2)

スペーサ ナンバ	測 定 位 置						
	11-a	12-b	13-a	14-a	15-a	16-a	17-a
No. 1	3.57	5.12	11.29	5.12	11.30	5.11	3.67
2	3.56	5.10	11.30	5.12	11.30	5.10	3.58
3	3.60	5.10	11.29	5.12	11.30	5.11	3.59
4	3.56	5.12	11.28	5.13	11.28	5.12	3.57
5	3.60	5.08	11.29	5.10	11.33	5.10	3.59
6	3.42	5.10	11.29	5.11	11.30	5.11	3.59
7	3.61	5.11	11.32	5.10	11.28	5.10	3.58
	11-b	12-b	13-b	14-b	15-b	16-b	17-b
No. 1	6.05	5.12	11.31	5.14	11.24	5.09	6.07
2	6.05	5.13	11.30	5.19	11.82	5.11	6.06
3	6.06	5.11	11.31	5.12	11.25	5.12	6.06
4	6.06	5.13	11.29	5.14	11.24	5.11	6.03
5	6.08	5.11	11.27	5.13	11.29	5.12	6.04
6	6.09	5.13	11.22	5.14	11.33	5.12	6.06
7	6.09	5.11	11.25	5.14	11.29	5.11	6.07
	11-c	12-c	13-c	14-c	15-c	16-c	17-c
No. 1	3.58	5.12	11.27	5.13	11.29	5.12	3.57
2	3.59	5.12	11.28	5.11	11.29	5.12	3.56
3	3.61	5.10	11.29	5.12	11.28	5.11	3.58
4	3.59	5.12	11.29	5.11	11.28	5.12	3.56
5	3.56	5.10	11.31	5.13	11.26	5.13	3.59
6	3.57	5.10	11.31	5.11	11.29	5.11	3.58
7	3.56	5.11	11.29	5.11	11.30	5.12	3.58

表 7.6.8 トップスペーサ，外側間隔，厚み測定値

測定位置 番号	外側間隔		板厚 <i>mm</i>			
	α	β	A	B	C	D
1						
2						
3	50.08	50.05	0.53	0.53	0.53	0.53
4	50.06	50.01	0.55	0.54	0.54	0.54
5	50.07	50.06	0.54	0.53	0.54	0.53
6	50.01	50.06	0.54	0.53	0.54	0.53
7	50.07	50.06	0.53	0.53	0.53	0.55

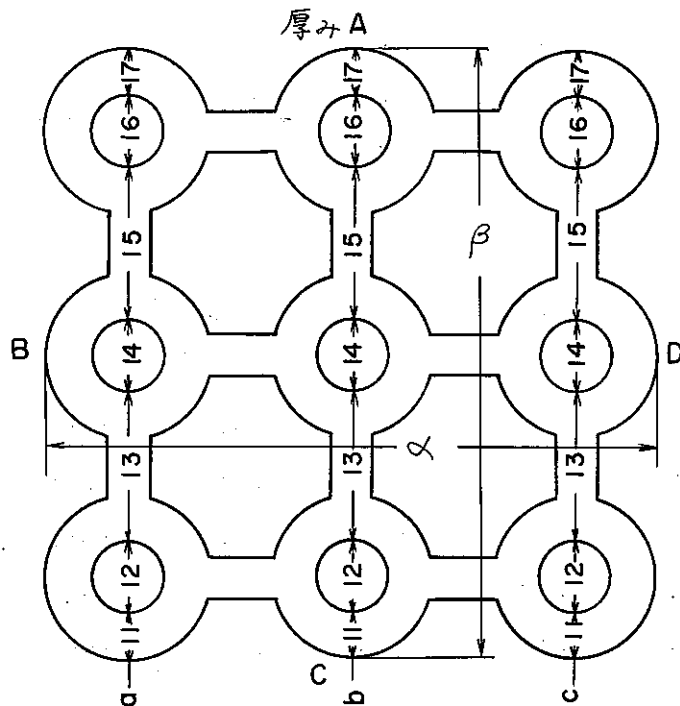
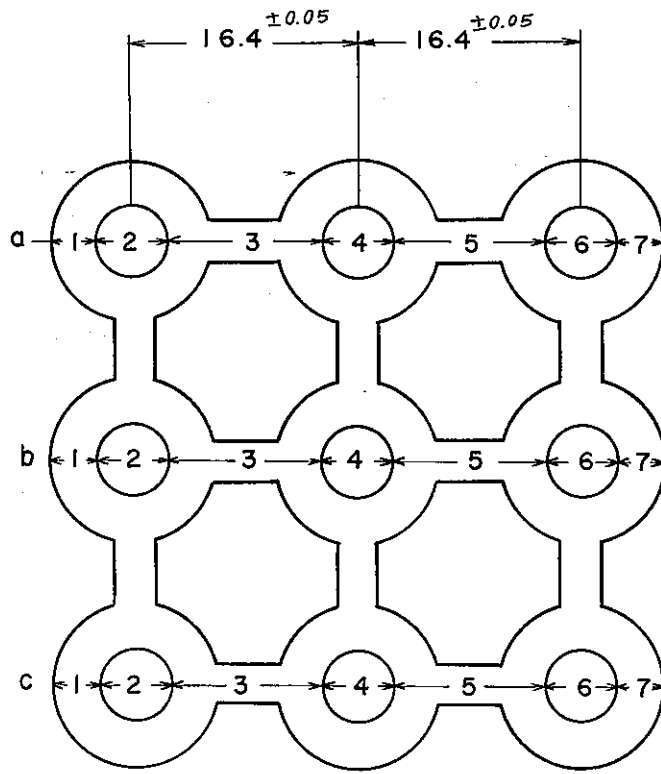


図 7.6.3 ボトムスペーサ各部測定位置図

表 7.6.9 ボトム・スペーサ 各部測定値 (1)

スペーサ ナンバ	測 定 位 置						
	1 - a	2 - a	3 - a	4 - a	5 - a	6 - a	7 - a
№ 1	3.19	6.13	10.27	6.13	10.23	6.13	3.14
2	3.13	6.14	10.23	6.04	10.31	6.17	3.00
3	3.16	6.13	10.26	6.15	10.24	6.14	3.14
4	3.12	6.13	10.29	6.12	10.26	6.12	3.16
5	3.09	6.14	10.27	6.14	10.24	6.14	3.11
6	3.10	6.14	10.29	6.12	10.25	6.15	3.08
7							
	1 - b	2 - b	3 - b	4 - b	5 - b	6 - b	7 - b
№ 1	3.13	6.13	10.25	6.14	10.21	6.14	3.09
2	3.10	6.14	10.28	6.13	10.21	6.13	3.16
3	3.16	6.14	10.23	6.14	10.27	6.13	3.06
4	3.14	6.14	10.24	6.11	10.29	6.13	3.15
5	3.12	6.13	10.28	6.13	10.28	6.13	3.13
6	3.13	6.15	10.25	6.13	10.30	6.11	3.16
7							
	1 - c	2 - c	3 - c	4 - c	5 - c	6 - c	7 - c
№ 1	3.10	6.15	10.16	6.13	10.29	6.13	3.14
2	3.11	6.15	10.25	6.14	10.24	6.13	3.06
3	3.08	6.17	10.27	6.13	10.23	6.18	3.09
4	3.11	6.12	10.27	6.13	10.25	6.13	3.06
5	3.12	6.16	10.30	6.13	10.25	6.15	3.07
6	3.15	6.11	10.28	6.12	10.25	6.12	3.19
7							

表 7.6.10 ボトム スペーサ 各部測定値 (2)

スペーサ ナンバ	測 定 位 置						
	11-a	12-b	13-a	14-a	15-a	16-a	17-a
№ 1	3.06	6.12	10.32	6.08	10.32	6.12	3.10
2	3.14	6.13	10.30	6.13	10.26	6.13	3.15
3	3.12	6.14	10.26	6.13	10.20	6.12	3.12
4	3.11	6.11	10.18	6.15	10.29	6.12	3.13
5	3.03	6.15	10.27	6.11	10.24	6.10	3.17
6	3.13	6.12	10.21	6.14	10.27	6.13	3.11
7							
	11-b	12-b	13-b	14-b	15-b	16-b	17-b
№ 1	3.10	6.12	10.30	6.12	10.28	6.14	3.10
2	3.07	6.14	10.24	6.13	10.29	6.14	3.12
3	3.17	6.12	10.24	6.12	10.22	6.14	3.08
4	3.13	6.12	10.23	6.11	10.24	6.15	3.11
5	3.05	6.12	10.26	6.12	10.23	6.12	3.19
6	3.14	6.13	10.25	6.11	10.26	6.13	3.12
7							
	11-c	12-c	13-c	14-c	15-c	16-c	17-c
№ 1	3.09	6.13	10.25	6.13	10.29	6.12	3.09
2	3.15	6.10	10.32	6.10	10.27	6.12	3.08
3	3.11	6.12	10.12	6.13	10.26	6.13	3.15
4	3.12	6.10	10.29	6.11	10.15	6.14	3.08
5	3.14	6.14	10.15	6.12	10.29	6.13	3.12
6	3.15	6.12	10.28	6.12	10.16	6.14	3.11
7							

表 7.6.11 ボトムスペーサ外測間隔，厚み測定値

測定位置 番号	外 側 間 隔		板 厚 <i>mm</i>			
	α	β	A	B	C	D
1						
2						
3	4515	4508	2.00	1.98	1.95	1.98
4	4520	4505	2.03	2.03	2.03	2.03
5	4519	4509	2.00	2.01	2.02	2.02
6	4520	4512	2.04	2.04	2.03	2.04

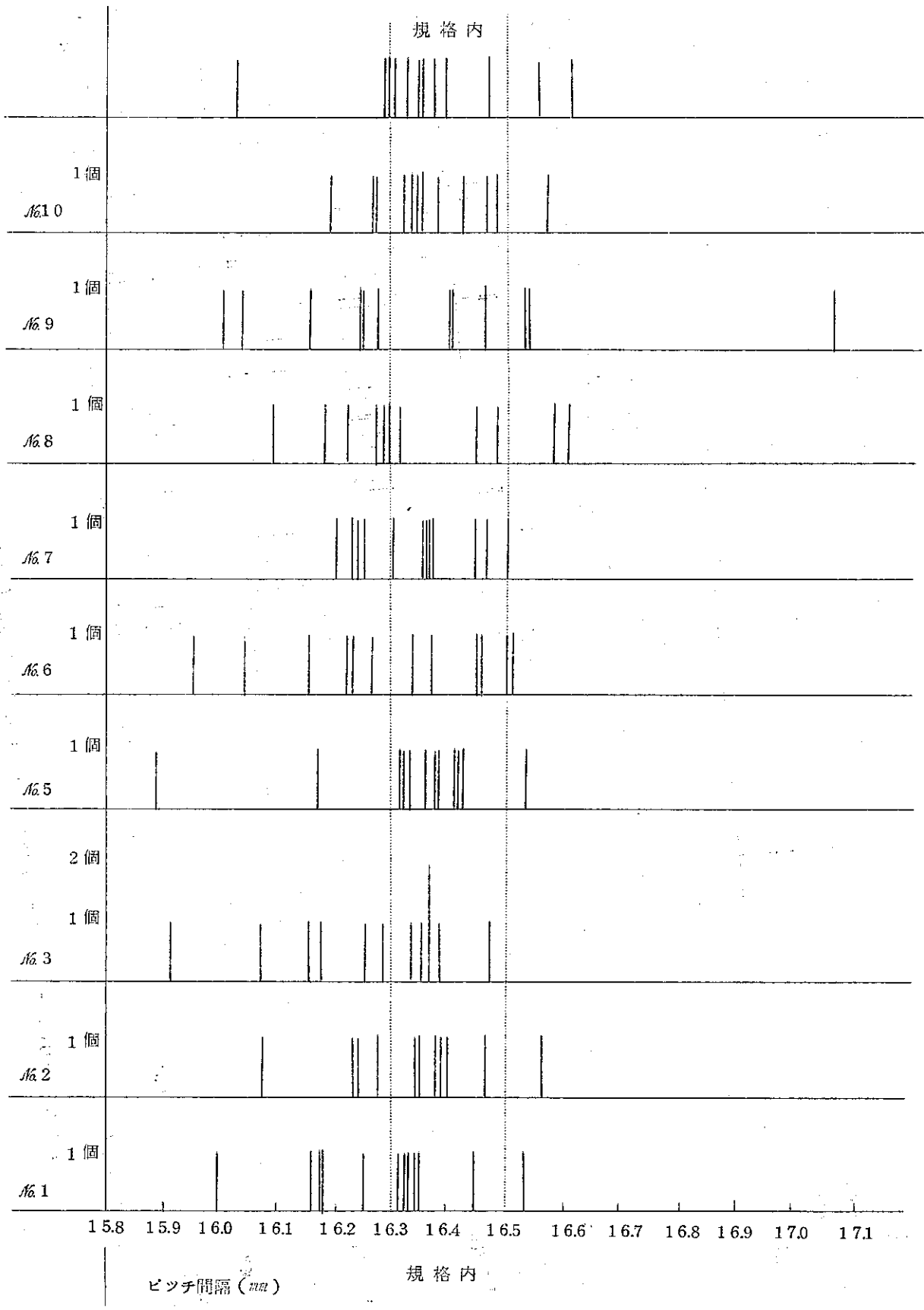


図 7.6.4 CENTER SPACER ピッチ分布 (製作されたままについて)

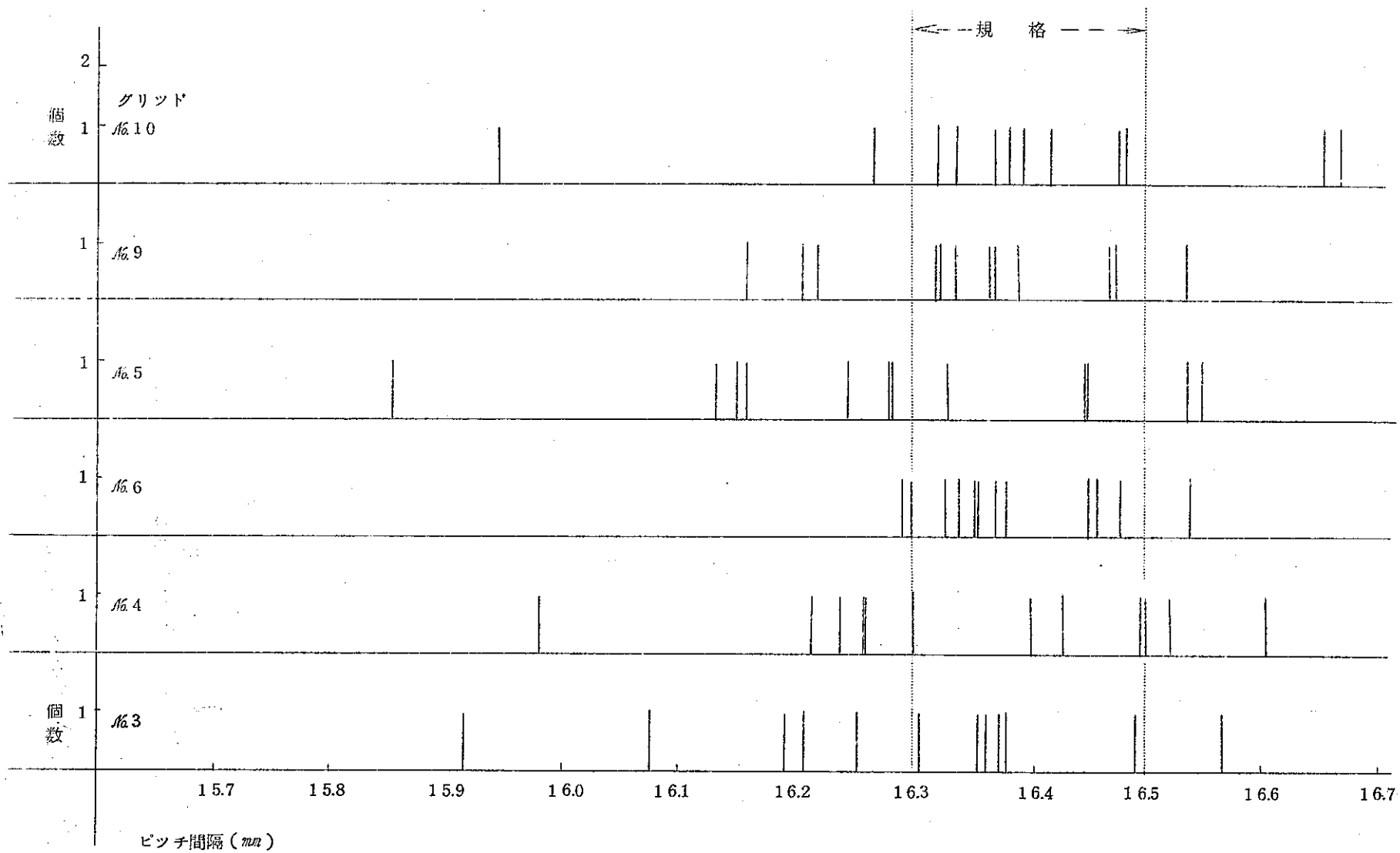


図 7.6.5 HBWR-センタースペーサ再加工後ピッチ測定 (第I次修正後)

(43.11.18)

SN841-71-31

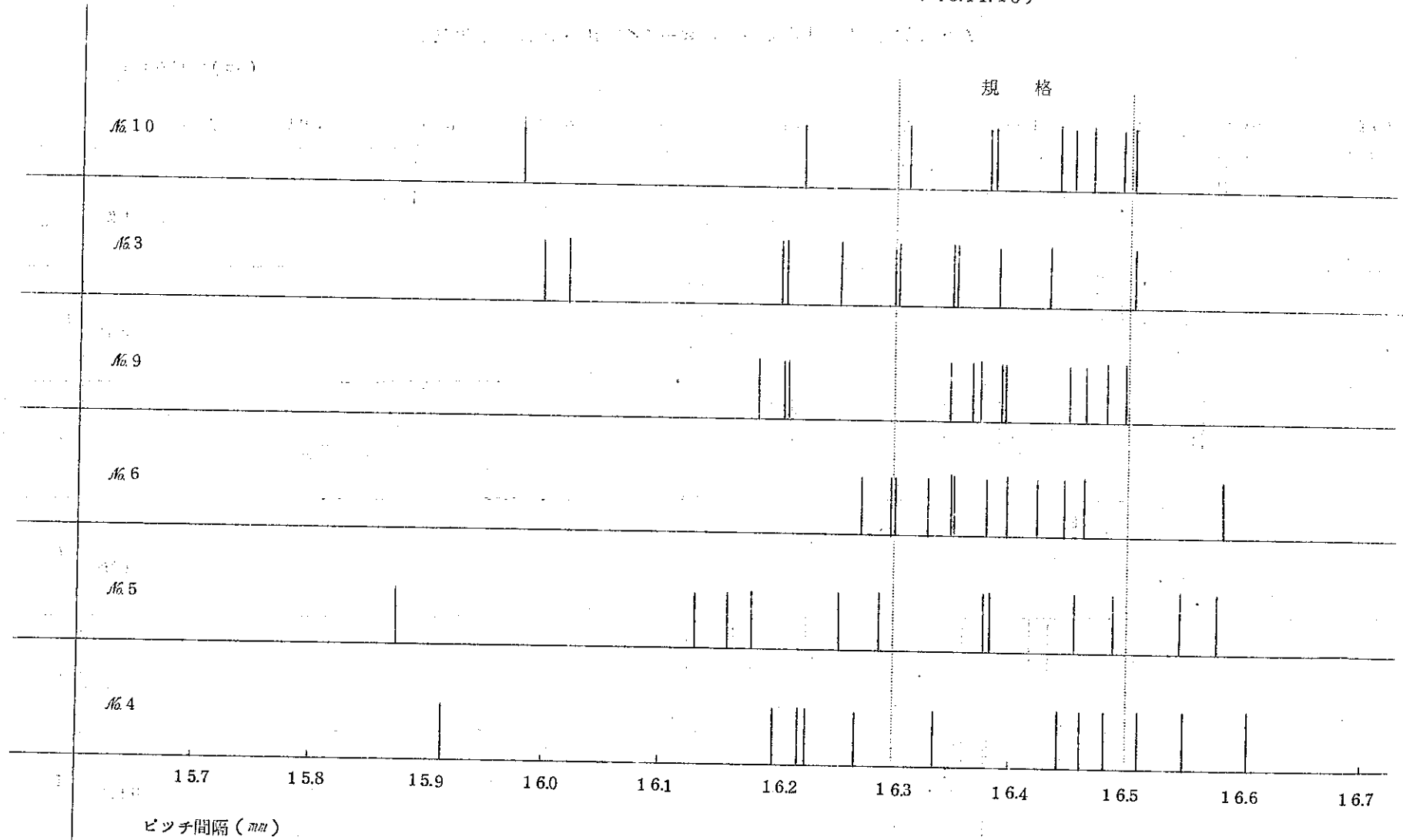


図 7.6.6 HBWR-センター スペーサ第II次修正後ピッチ測定

—383—

43. 11. 25

規格

—384—

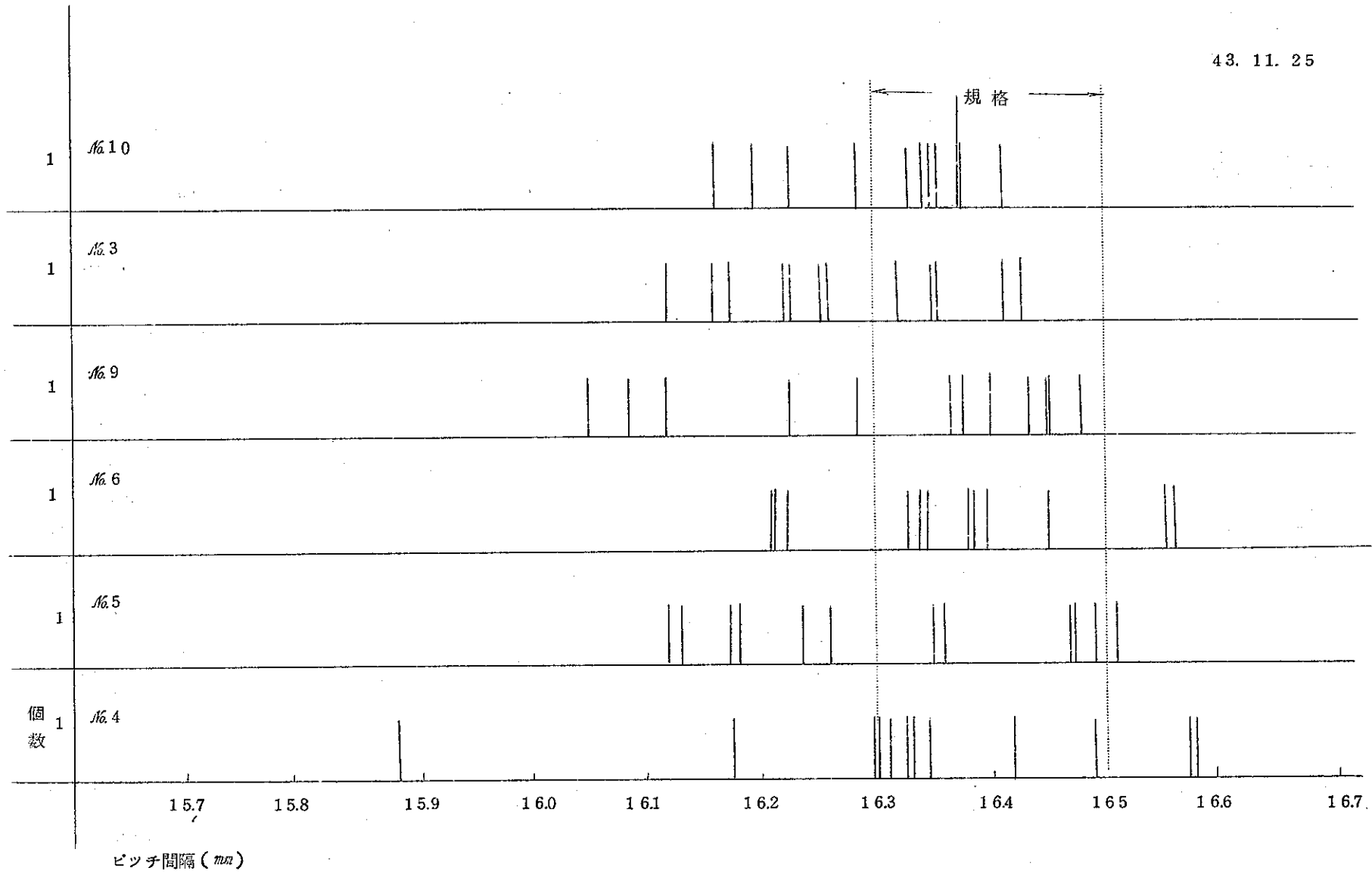
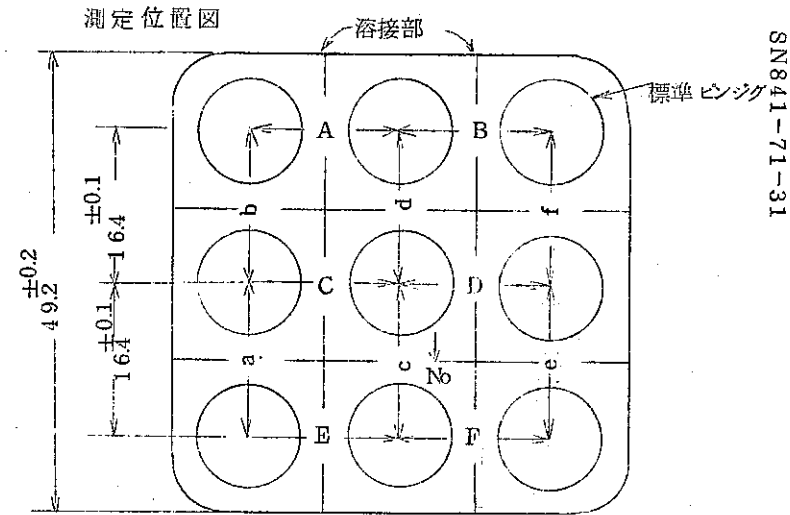


図 7.6.7 HBWR センターベース 第三次修正後ピッチ

表 7.6.12 第三次修正後のスペーサ各位置ピッチ測定結果

右図スペーサ内各標準ピンシグ中心点間を測定
 測定の際は、スペーサ No.4と5, No.6と9, No.3と10,
 の組み合わせで行なった。



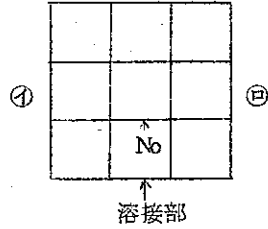
SN841-71-31

測定結果

測定位置 試料番号	A	B	C	D	E	F	a	b	c	d	e	f
No. 4	16.572	16.301	16.310	16.490	16.331	16.344	16.578	16.174	15.883	16.299	16.419	16.325
5	16.118	16.129	16.180	16.490	16.258	16.510	16.469	16.347	16.357	16.471	16.171	16.235
6	16.381	16.327	16.449	16.336	16.221	16.397	16.386	16.345	16.560	16.212	16.209	16.553
9	16.400	16.048	16.284	16.365	16.451	16.266	16.478	16.376	16.116	16.434	16.449	16.085
3	16.411	16.222	16.117	16.352	16.227	16.427	16.253	16.157	16.348	16.178	16.260	16.319
10	16.160	16.328	16.225	16.375	16.347	16.192	16.342	16.353	16.373	16.410	16.283	16.373

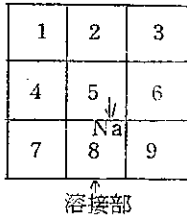
表 7.6.13 センター スペーサ , 高さ, 板厚測定 (第三次修正後のもの 6 ケにつき)

マイクロメータ使用



番 号	高 さ		外径 ① - ② 間		板 厚	
	①	②	上	下	①	②
Grid. 4	19.98	20.03	49.39	49.22	0.41	0.42
G. 5	20.03	20.05	49.61	49.49	0.42	0.45
G. 6	20.04	20.04	49.40	49.22	0.43	0.43
G. 9	20.03	19.99	49.53	49.66	0.42	0.42
G. 3	20.04	20.02	49.47	49.28	0.42	0.42
G. 10	19.95	19.96	49.29	49.39	0.39	0.40
			板がそっていたりするので参考値			

表 7.6.14 センタースペース，ピン保持ハネ強さ測定値
(第 I 工作業での測定値)



全域にピンジグを通しておき，1区間づつ，燃料ピンサイズパイプを挿入して，そのパイプの摺動し出す荷重を記録

第 I 次修正時 (11/8)

第 II 次修正時 (11/15)

$\frac{G3}{G4}$	Kg		
	0.77	0.67	0.37
	0.77	0.67	0.47
	0.67	0.72	0.77

$\frac{G4}{G5}$	Kg		
	0.70	0.55	0.75
	0.55	0.60	0.65
	0.55	0.65	0.70

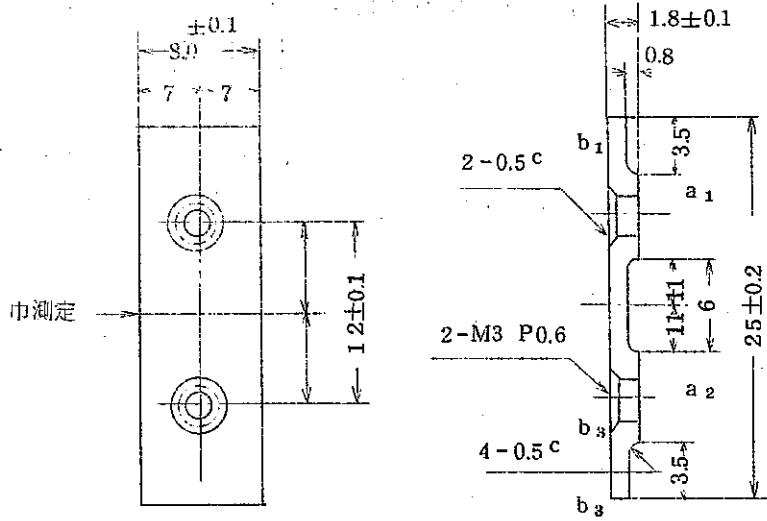
$\frac{G5}{G6}$	0.67	0.67	0.77
	0.77	0.60	0.67
	0.67	0.60	0.47

$\frac{G6}{G9}$	0.70	0.65	0.60
	0.75	0.50	0.75
	0.65	0.65	0.70

$\frac{G9}{G10}$	0.47	0.67	0.55
	0.67	0.55	0.67
	0.55	0.60	0.60

$\frac{G3}{G10}$	0.75	0.75	0.50
	0.55	0.60	0.60
	0.50	0.60	0.55

表 7.6.15 HOLDER PLATE 各部測定結果



	長さ	幅	厚み					ネジ, タップ通し
			a ₁	a ₂	b ₁	b ₂	b ₃	
1	25.09	8.00	1.86	1.86	1.05	1.09	1.07	タップ通し ○ ネジ穴曲り
2	25.09	8.01	1.73	1.75	1.00	1.01	1.01	○ "
3	25.07	7.98	1.73	1.71	1.04	1.04	1.01	○ "
4	25.12	7.99	1.85	1.87	0.99	1.06	1.13	○ "
5	25.12	8.05	1.82	1.87	1.05	1.10	1.04	○ "
6	25.12	8.00	1.80	1.84	1.06	1.05	1.05	× ×
7	25.17	8.06	1.74	1.74	1.02	1.02	1.04	○ 曲り
8	25.07	7.96	1.74	1.74	1.02	1.01	1.00	○
9	24.97	7.96	1.82	1.83	1.04	1.08	1.07	× ×
10	25.00	7.99	1.81	1.79	1.08	1.08	1.07	× ×
11	25.19	8.05	1.78	1.75	1.07	1.13	1.08	× ×
12	25.07	7.99	1.76	1.74	1.08	1.04	1.01	× ×
13	25.08	7.99	1.71	1.76	1.07	1.04	1.02	× ×
14	25.06	8.02	1.73	1.75	1.05	0.98	1.04	○
15	25.10	8.01	1.79	1.83	1.05	1.09	1.07	× ×
16	25.10	7.44	1.83	1.87	1.05	1.07	0.98	○
17	25.13	7.99	1.76	1.75	0.99	1.02	1.02	○
		測定位置によりムラ多い						

表 7.6.16 HALDEN-160 SPRING 検査結果

S 43. 9. 29

検査課

測定者 小 沢

SN841-71-31

規格 No.	線 径 (mm)			コイル外径 (mm)			有効波数	自由長	1.117kg 荷重		2.117kg 荷重		3.117kg 荷重		復元長 (mm)	補正バネ定数 Kg/mm	重 量 (g)
	上	中	下	上	中	下			高 さ (mm)	バネ定数	高 さ (mm)	バネ定数	高 さ (mm)	バネ定数			
		130			1020		17	92								0.25	
1	131	130	131	1020	1019	1021	17	92.8	87.3	0.20	82.8	0.21	78.5	0.22	92.6	0.21	5.5
2	131	132	131	1019	1019	1017	"	93.7	87.5	0.18	83.1	0.20	78.8	0.21	92.9	0.20	5.46
3	131	130	130	1019	1019	1017	"	92.6	86.8	0.19	82.6	0.20	78.5	0.21	92.4	0.20	5.51
4	132	131	130	1020	1019	1017	"	92.4	87.2	0.21	82.4	0.21	78.6	0.23	92.4	0.22	5.5
5	130	130	130	1020	1019	1018	"	92.7	87.5	0.21	83.4	0.23	78.4	0.21	92.6	0.22	5.5
6	132	131	131	1020	1020	1022	"	92.4	88.0	0.25	83.5	0.24	79.0	0.23	92.4	0.24	5.52
7	130	131	130	1018	1018	1020	"	92.6	88.2	0.25	83.5	0.23	78.7	0.22	92.6	0.23	5.5
8	131	132	130	1018	1019	1018	"	92.5	87.3	0.21	82.3	0.21	78.1	0.22	92.3	0.21	5.5
9	130	131	131	1018	1016	1015	"	92.4	87.5	0.23	83.0	0.23	79.3	0.24	92.4	0.23	5.48
10	131	131	132	1015	1016	1018	"	92.4	87.3	0.22	83.3	0.23	78.3	0.24	92.4	0.23	5.5
11	131	130	131	1018	1018	1017	"	92.8	87.2	0.20	82.8	0.21	78.1	0.23	92.8	0.21	5.5
12	131	131	131	1020	1018	1015	"	92.8	87.3	0.20	82.8	0.21	78.1	0.23	92.6	0.21	5.45
13	131	131	132	1021	1021	1020	"	92.0	86.2	0.19	81.6	0.20	77.2	0.21	91.6	0.20	5.5
14	131	130	130	1019	1018	1016	"	92.4	87.2	0.21	82.4	0.21	77.7	0.21	92.2	0.21	5.48
15	130	130	130	1019	1018	1016	"	92.3	86.6	0.18	82.4	0.21	76.6	0.20	92.3	0.20	5.49

技術標準	検査標準	類別	燃料集合体構成部材			
トップガイドロッド検査指導票		区分	HBWR IFA-160			
		頁	1/9			
		制定・改訂記録	起案	審査	承認	
			渡部	三浦	青木	
			制定	43年	10月	日
			改訂	年	月	日
			改訂	年	月	日

注(1) 上欄には準拠規格その他共通事項を記入すること

No	検査項目	検査方式		測定器	検査作業要項	合否判定基準
		全数	抜取			
1.	外径検査	○		マイクロメータ	六角部A-D間(φ) B-E間(φ) C-F間(φ) } の測定 上図 a 点について(イロト)3方向測定 (測定精度 1/100mm)	
2.	長さ測定	○		コンパレータ マイクロメータ	全長及び先端スリ割り深さ測定 (測定精度 1/100mm)	
3.	スリ割り幅測定	○		スキミゲージ		
4.	ネジ部検査	○		標準ネジ	ネジを挿入して、最深部迄入るか どうか調べる	
5.	心ブレ測定	○		標準ネジ ダイヤルゲージ	試料に標準ネジを挿入し、標準ネジ シャフトをVブロック上で回転した 時の a 点のブレを、ダイヤルゲージ で測定する	
備考						

技術標準	検査標準	類別	燃料集集体構成部材			
トップエンドプラグキャップ検査指導票		区分	HBWR IFA-160			
		頁	2/9			
		起案	審査	承認		
		渡部	三浦	青木		
		制定	43年	10月	日	
		改訂	年	月	日	
		改訂	年	月	日	

注(1) 上欄には準拠規格その他共通事項を記入すること

C/D	検査項目	検査方式		測定器	検査作業要項	合否判定基準
		全数	抜取			
	1. 外径測定	○		マイクロメータ	6角部 A-D(イ) B-E(ロ) C-F(ハ) } を測定する (測定精度 1/100mm)	
	2. 長さ測定	○		コンパレータ マイクロメータ	全長及び先端スリ割り深さ測定 (測定精度 1/100mm)	
	3. スリ割り幅測定	○		スキミゲージ		
	4. ネジ部検査	○		標準ネジ ダイヤルゲージ	試料に挿入したネジのシャフトとV ブロック上で回転した時のa点の ブレをダイヤルゲージで測定する	

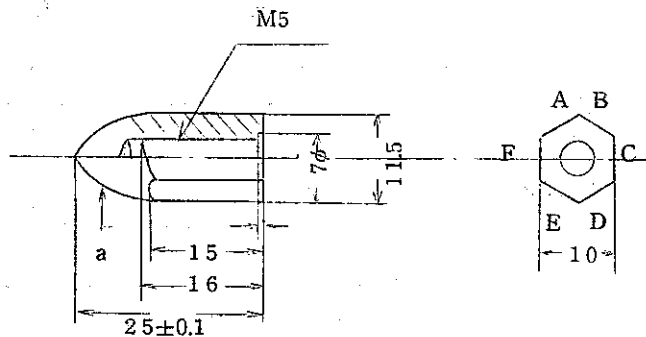
備考

技術標準	検査標準	類別	燃料集合体構成部材			
ボトムガイドロッド検査指導票		区分	HBWR IFA-160			
		頁	3/9			
		制定・改訂記録	起案	審査	承認	
			渡部	三浦	青木	
			制定	43年	10月	日
			改訂	年	月	日
			改訂	年	月	日

注(1) 上欄には準拠規格その他共通事項を記入すること

C/D	検査項目	検査方式		測定器	検査作業要項	合否判定基準
		全数	採取			
	1. 外径測定	○		マイクロメータ	6角部 A-D(イ) } を各両端につ B-E(ロ) } いて測定 C-F(ハ) } (測定精度 1/100 mm)	
	2. 長さ測定	○		マイクロメータ	全長及び6角部長さ測定 (精度 1/20 mm)	
	3. ネジ部検査	○		標準ネジ	M5のメネジ部は、標準ネジ挿入により調べる。 M4のネジは、エンドプラグキャップVのネジを代用する。	
	4. 心ブレ測定	○		標準ネジ ダイヤルゲージ	試料に標準ネジを挿入し、標準ネジシャフトをVブロック上で回転した時のa点のブレを、ダイヤルゲージで測定する。	
備考						

技術標準	検査標準	類別	燃料集合体構成部材
ボトムエンドプラグキャップⅡ検査指導票		区分	HBWR IFA-160
		頁	4/9



制定・改訂記録	起案	審査	承認
	渡部	三浦	青木
	制定	43年 10月	日
	改訂	年 月	日
	改訂	年 月	日

注(1) 上欄には準拠規格その他共通事項を記入すること

C/D	検査項目	検査方式		測定器	検査作業要項	合否判定基準
		全数	抜取			
	1. 外径測定	○		マイクロメータ	6角部 A-D } B-E } を測定する。 C-F } (測定精度 1/100 mm)	
	2. 長さ測定	○		コンパレータ マイクロメータ	全長の測定をする。 (精度 1/100 mm)	
	3. ネジ部検査	○		標準ネジ ダイヤルゲージ	試料に標準ネジを挿入し、ネジのシャフトをVブロック上で回転したときのa点ダイヤルゲージで測定する。	

備考

技術標準		検査項目		類別	燃料集合体構成部材		
ボトムエンドキャップ II 検査指導票				区分	HBWR IFA-160		
				頁	5/9		
				制定・改訂記録	起案 渡部	審査 三浦	承認 青木
					制定	43年 10月	日
					改訂	年 月	日
					改訂	年 月	日
					改訂	年 月	日
注(1) 上欄には準拠規格その他共通事項を記入すること							
c/c	検査項目	検査方式		測定器	検査作業要領	合否判定基準	
		全数	抜取				
	1. 外径測定	○		マイクロメータ	α, β, 直角2方向 (測定精度 1/100mm)		
	2. 長さ測定	○		コンパレータ マイクロメータ	全長及び先端スリ割り 深さ測定 (精度 1/100mm)		
	3. スリ割り巾測定	○		スキミゲージ			
	4. ネジ部検査	○		標準ネジ	ネジを挿入し最深部迄入るか調べる。		
	5. 心ブレ測定	○		標準ネジ ダイヤルゲージ	試料に挿入した標準ネジのシャフトをVブロック上で回転した時のa点のブレをダイヤルゲージで測定。		
備考							

技術標準		検査標準		類別	燃料集合体構成部材		
ホルダープレート 検査指導票				区分	HBWR IFA-160		
				頁	6/9		
				制定・改訂記録	起案	審査	承認
			渡部		三浦	青木	
			制定		43年 10月	日	
			改訂		年 月	日	
			改訂		年 月	日	
注(1) 上欄には準拠規格その他共通の事項を記入すること							
C/D	検査項目	検査方式		測定器	検査作業要領	合否判定基準	
		全数	抜取				
	1. 寸法測定	○		マイクロメータ	長さA, 巾B, 厚み a ₁ a ₂ b ₁ b ₂ b ₃ を測定する。		
	2. ネジ穴検査	○		標準ネジ	標準ネジと現部合せする。		
	3. ネジ穴ピッチ検査	○		標準ネジ マイクロメータ	標準ネジを2本通し, 2本のネジの 外側間隔を測定する。		
備考							

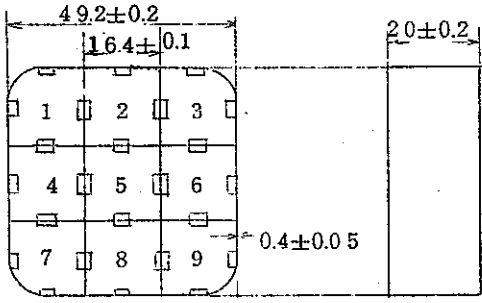
技術標準 検 査 標 準 トップスペーサ 検査指導票	類 別 燃料集合体構成部材																								
	区 分 HEWR IFA-160																								
	頁 7/9																								
	肉厚 0.5 制 定・改訂記録 <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:15%;">起 案</td> <td style="width:15%;">審 査</td> <td style="width:15%;">承 認</td> <td style="width:55%;"></td> </tr> <tr> <td>渡 部</td> <td>三 浦</td> <td>青 木</td> <td></td> </tr> <tr> <td>制 定</td> <td>4 3 年</td> <td>1 0 月</td> <td>日</td> </tr> <tr> <td>改 訂</td> <td>年</td> <td>月</td> <td>日</td> </tr> <tr> <td>改 訂</td> <td>年</td> <td>月</td> <td>日</td> </tr> <tr> <td>改 訂</td> <td>年</td> <td>月</td> <td>日</td> </tr> </table>	起 案	審 査	承 認		渡 部	三 浦	青 木		制 定	4 3 年	1 0 月	日	改 訂	年	月	日	改 訂	年	月	日	改 訂	年	月	日
起 案	審 査	承 認																							
渡 部	三 浦	青 木																							
制 定	4 3 年	1 0 月	日																						
改 訂	年	月	日																						
改 訂	年	月	日																						
改 訂	年	月	日																						
注(1) 上欄には準拠規格その他共通事項を記入すること																									
C/D	検 査 項 目	検 査 方 式 全数 抜取	測 定 器	検 査 作 業 要 領	合 否 測 定 基 準																				
	各部寸法測定	○	マイクロメータ	円環部幅, 接続直線部幅測定																					
	孔径, 孔間隔測定	○	コンパレータ 投影器 マイクロメータ	孔径, 孔間隔を測定する																					
	厚み測定	○	マイクロメータ	各部板厚を測る																					
備 考																									

技術標準	検査標準	類別	燃料集合体構成部材			
ボトムスペーサ 検査指導票		区分	HBWR IFA-160			
		頁	8/9			
<p>肉厚 2.0</p>		制定・改訂記録	起案	審査	承認	
			渡部	三浦	青木	
			制定	43年	10月	日
			改訂	年	月	日
			改訂	年	月	日

注(1) 上欄には準拠規格その他共通事項を記入すること

C/D	検査項目	検査方式		測定器	検査作業要項	合否判定基準
		全数	抜取			
	各部寸法測定	○		マイクロメータ	円環部幅, 接続直線部幅測定	
	孔径, 孔間隔測定	○		コンパレータ 投影器 マイクロメータ	孔径, 孔間隔を測定する	
	厚み測定	○		マイクロメータ	各部板厚を測る	

備考

技術標準		検査標準		類別	燃料集合体構成部材		
セクタ スペーサ 検査指導票				区分	HBWR IFA-160		
				頁	9/9		
				制定・改訂記録	起案	審査	承認
					渡部	三浦	青木
					制定	43年 10月	日
					改訂	年 月	日
					改訂	年 月	日

10ヶ

注(1) 上欄には準拠規格その他共通事項を記入すること

C/D	検査項目	検査方法		測定器	検査作業要領	合否判定基準
		全数	仮取			
	寸法測定	○		マイクロメータ	外径, 幅(高さ), 内径, 板厚を測定する。	
	ピッチ測定	○		ピンジグ コンパレータ	スペーサを2個重ねたものにピンジグを通しピンジグピッチを測定する	

備考

8 IFA-160 の炉物理試験

次の文献に詳述されているので、参照されたい。

“PuO₂-UO₂の炉物理特性(9)3×3格子燃料集合体(HALDEN照射IFA-160)に関する臨界実験”PNCT-3164, 1969. 9

9. Halden 160 出荷

9 HALDEN 160 出荷

(志賀)

HALDEN 160 照射用集合体においてPNCで準備出荷すべき品目と必要数量と出荷数量を以下に示した。

なお燃料棒およびMonitor wire tubeは燃料棒輸送用Containerで他部品は一括して木製容器で発送された。

品名	必要量	発送量	
Fuel Rod	9	10	HALDEN 159 の輸送
Monitor Wire (Al-Co)		3 m	Container 再使用
Monitor Wire Tube		3 m	
Bottom Spacer	1	2	
Center Spacer	2	4	
Top Spacer	1	2	
Top Grid Rod	4	5	
Top End Plug Cap	5	6	
Bottom Grid Rod	4	5	
Bottom End Plug Cap I	5	6	
Bottom End plug Cap II	4	5	
Spring Washer	4	10	
Lock Washer	9	15	
Washer	9	15	
Holder Plate	8	12	
Screw	16	Holder plate 20 Supporter 20 Spare 20	
Tools			
1. Box Spanner		2	
2. End Plug Cap		10	

作業経過は次の通り

TACにおける反応度測定終了プル燃料搬入	44-1-22
外観・Heリーク・表面汚染測定	1-23~24
梱包作業	44-1-25

それらを写真9.1から9.10までに示す。

東海からオスロー迄の輸送業務は三菱原子工業を通じて行なわれた。

(契約No 43-D-846)

4.4.1.27 東海発 - 羽田着

29 羽田発 ASA No 988 便 22時発

30 オスロー着 11時30分

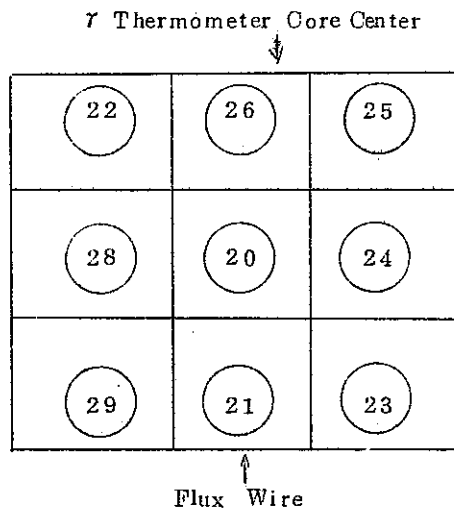
オスローからハルデン迄の輸送はハルデン側で行なわれたオスロー到着輸送用 Container等は直ちに炉に搬入された。

かくてHALDENとの打ち合わせとおり燃料棒および部材は2月1日迄に現地納入を終了した。

集合体組立は2月11日HALDEN Reactor側で行なわれた。

しかし燃料棒No 27は表面スリ傷を認め(TCA実験時発生)予備燃料棒No 29と交換し組み立てを終了した。

集合体における燃料棒の配列は以下のとおりである。



燃料棒ごとの重量・組成不純物等についての製品検査表は付録2に示す。

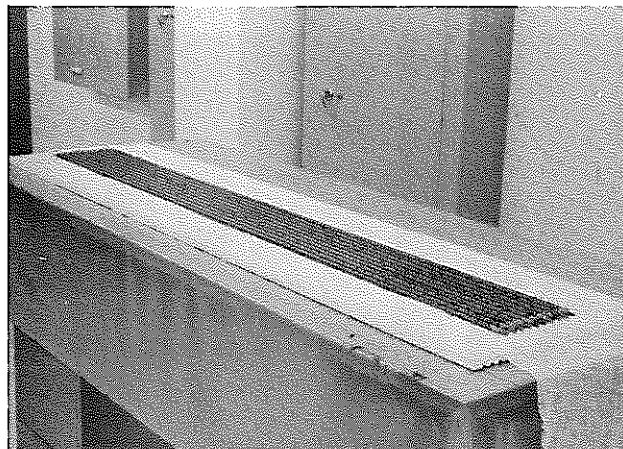


写真 9.1 燃料棒 全景

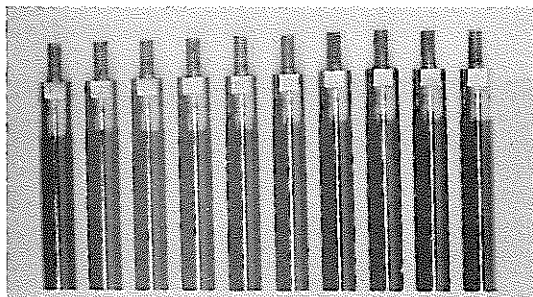


写真 9.2 下部端栓と試料

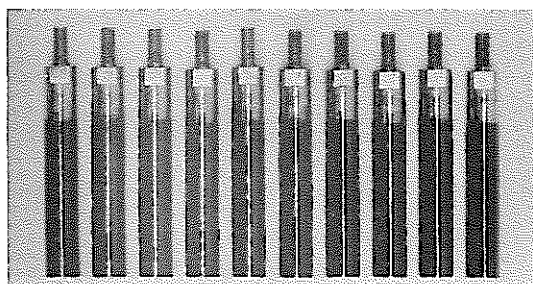


写真 9.3

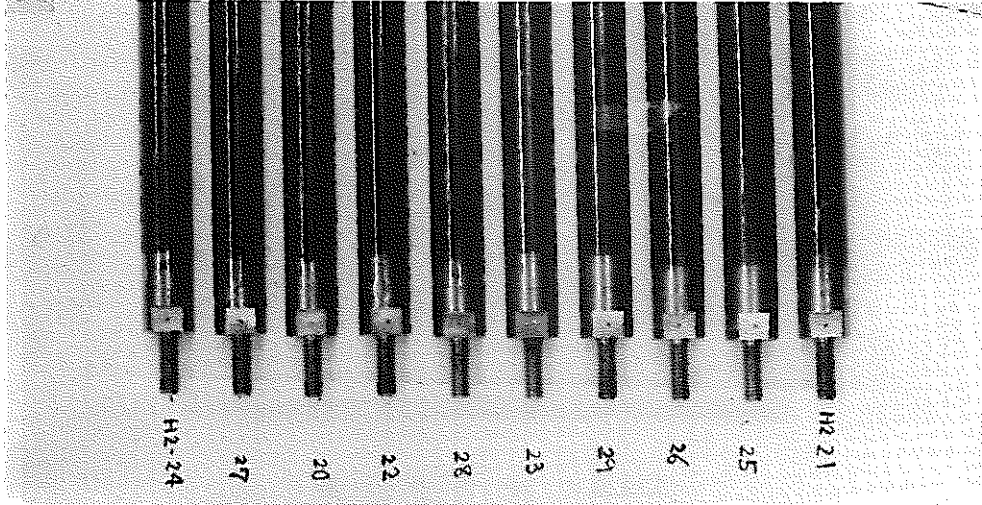


写真9.4 上部端栓刻印

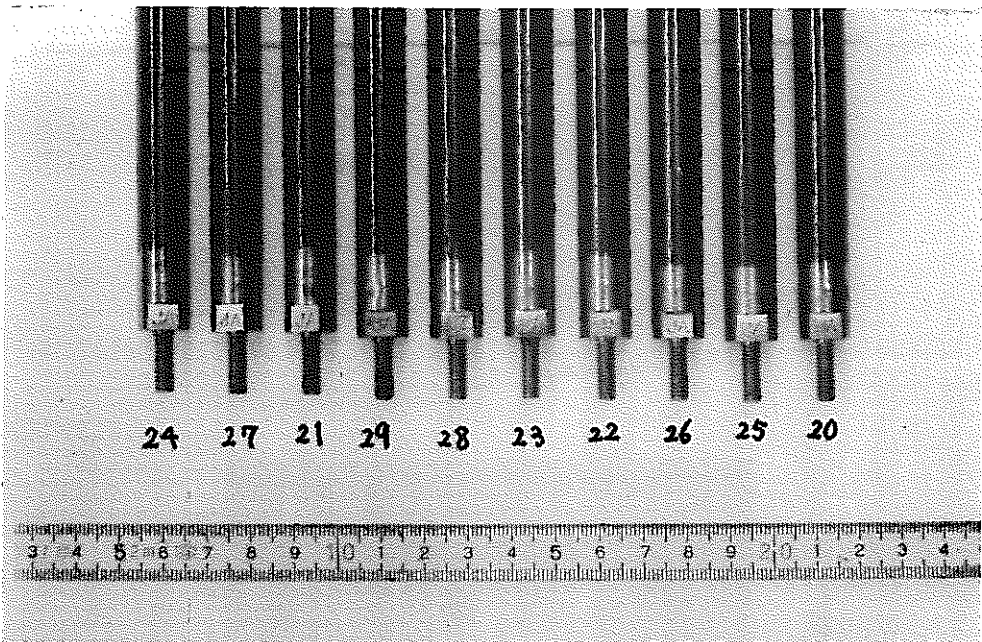


写真9.5

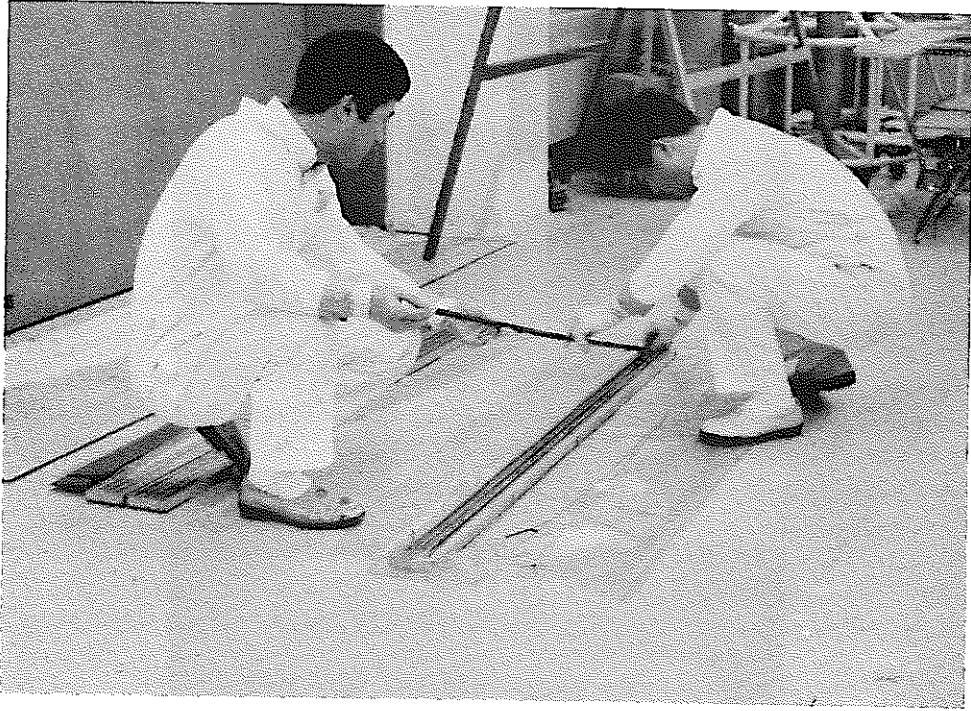


写真9.6 梱包作業

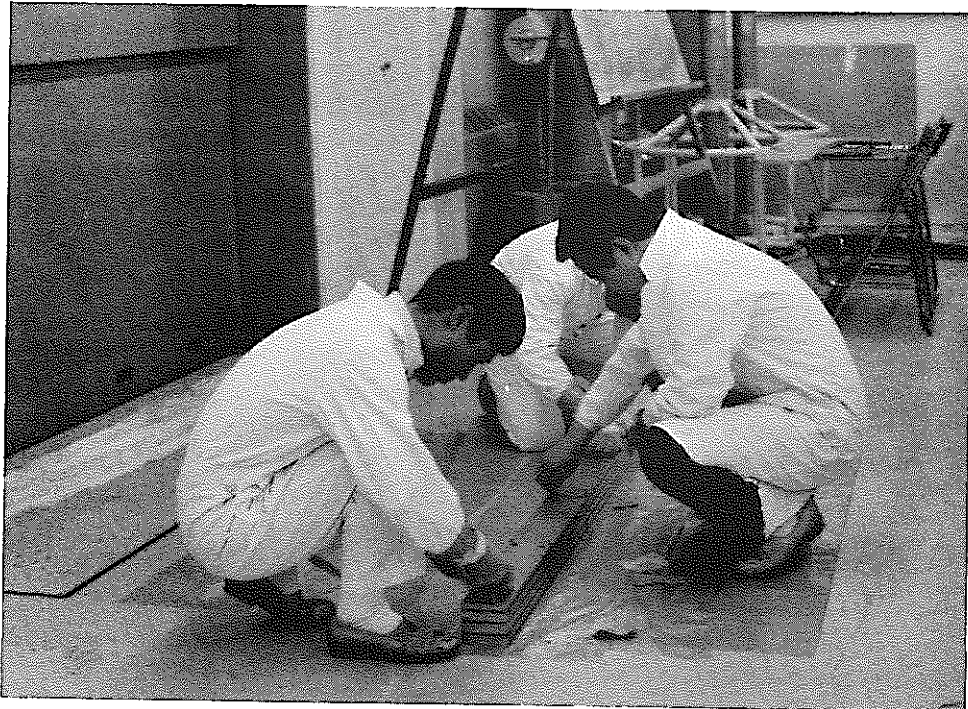


写真9.7

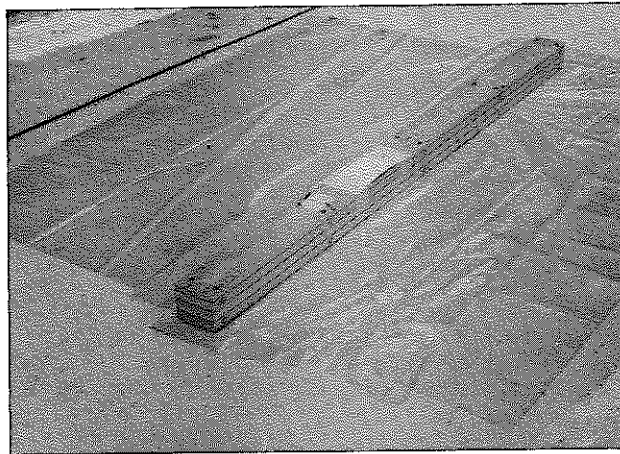


写真 9.8

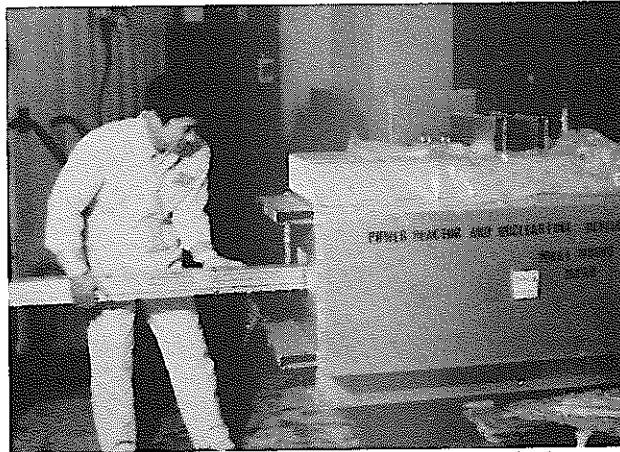


写真 9.9

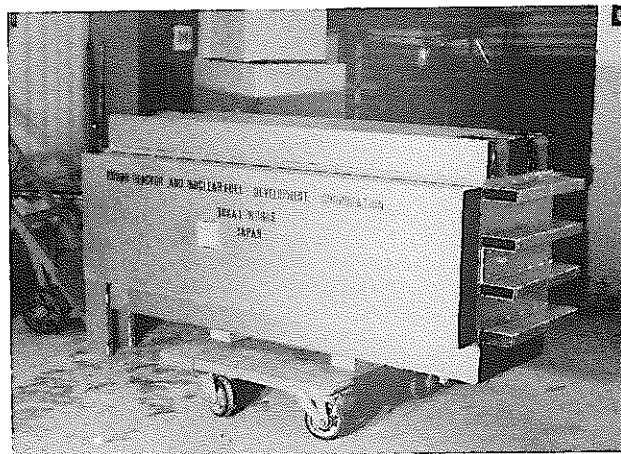


写真 9.10 輸送用コンテナ

10 ハルデン照射試料の製造経費

10 ハルデン照射試料の製造経費

(山下)

15 kg M. O. / Batch を基本として

1 Batch M. O. の製造経費総計 1,569,050 円

1 kg M. O. 当り製造経費 104,600 円

内 訳:

	1 kg M. O. 当り	}	直接製造費	10,360 円
1. ペレット製造費	60,160 円		分析費	46,700 円
			試験費	3,100 円
2. 製造施設の消耗費	7,090 円			
	製造装置, ボックス類			
3. 回収費	25,500 円			
4. ピン加工費	11,860 円			

 合計 104,600 円 / kg M. O.

10.1. ペレット製造費 902,400 円

条件: 15 kg M. O. / Batch

5% PuO₂ - 95% N. UO₂

(1) 原料粉末試験 410,500 円

PuO₂ 分析 300,000 円

(750 g × 2 lot × ◎ 150,000 円, Pu, U, 不純物)

N. UO₂ 分析 100,000 円

(15,000 g × 1 lot × ◎ 100,000 円, U, 不純物)

粉末物性 10,500 円

(3 samples × ◎ 3,500 円, カサ密度, 比表面積, 平均粒度)

(2) 混合工程 8,200 円

分析費 7,200 円

(7.5 kg × 2 Batch, 3 samples / Batch × ◎ 1,200 円)

◎ 1,200 円 × 2 × 3

ボール消耗 1,000 円

(3) バインダ添加 800 円

バインダ 200 円, 工具消耗 500 円, ビーカ 100 円

- (4) 造粒
 (5) 成型 30,300円
 ダイス1/2個として30,000円, 工具類300円
 (6) 予備焼結 21,450円
 CO₂, N₂ + H₂ ガス, 6 m³ × 100円 + 5 m³ × 800円
 ヒータ 100,000円 / 30回, ポート類 8,450円
 (7) 本焼結 45,450円
 N₂ + H₂ ガス 22,000円, ヒータ類 300,000円 / 20回
 ポート類 8,450円
 (8) ペレット検査 1,000円
 工具類 1,000円
 (9) 研摩 18,200円
 研磨残 18,000円, 工具類 200円
 (10) 乾燥
 (11) 製品試験 336,000円
 U, Pu, 不純物分析, O/M 2 samples × ◎ 150,000円
 金相 6 samples × ◎ 6,000円
 (12) 貯蔵 1,000円
 容器 1,000円
 (13) 共通消耗品 29,500円
 ビニルバッグ 20枚 × ◎ 500円
 グローブ 1双 × ◎ 8,000円
 修理代 2,000円
 アブソリュートフィルタ 1/10個 × ◎ 90,000円
 紙, 薬品類 500円

1 0.2. 製造施設の消費費 106,350円

- (1) 混合作業 14,500円
 秤 84,000円 / 120 Batch = 700円
 大型ボールミル 420,000円 / 60回 = 7,000円
 ニーダ 720,000円 / 120回 = 6,000円
 乾燥器 96,000円 / 120回 = 800円

- (2) 成型作業 20,000円
 プレス 4,000,000円 / 200回 = 20,000円
- (3) 予焼・本焼 30,000円
 炉 6,000,000円 / 200回 = 30,000円
- (4) グローブボックス 33,000円
 10ボックス × ◎ 2,000,000円 / 600回 = 33,000円
- (5) 脱ガス炉 8,850円
 炉 2,500,000円 / 850回 × ◎ 5 kgM.O. ÷ 590円

10.3. 回収費 382,400円

15 kgM.O. / Batch, 20% 不良品 = 3 kgM.O. / Batch

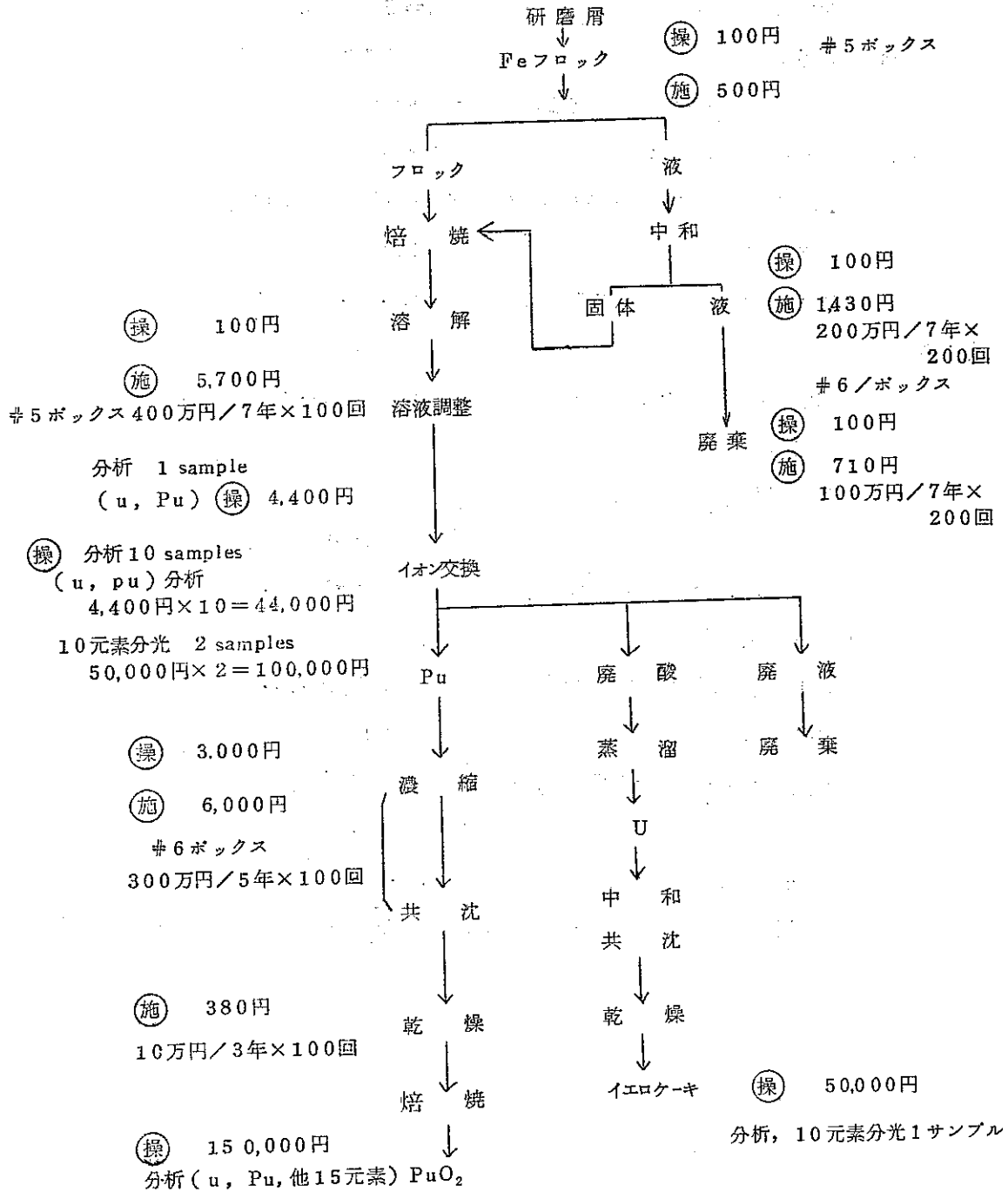
- (1) 湿式回収 362,000円
 (操業費 (操) + 施設費 (施)) (操) 347,400円
 (施) 14,600円
- ① 研磨屑, 混合, プレス飛散量 500 gM.O.
- ② 製品完了後の残品 30 ~ 40 kg
 lot毎に分けたときの数量 500 gM.O.

- (2) 乾式回収 20,400円
 (操業費 (操) + 施設費 (施)) (操) 2,400円
 (施) 18,000円

1 Batchからの回収量 2,000 g M.O.

回収費のうち操業費 (操) と施設消耗費 (施) の明細は次の図参照のこと。

(3) 湿式回収工程



(4) 乾式回収工程

15 kg M. O. / Batch (操) 2,400円

(施) 18,000円

① 粉砕 クラッシュヤ 250,000円/5年×100回=500円

- ② 焙焼 ヒータ, 容量 5,000,000円 / 500回 = 10,000円
1,000円
- ③ 還元 $N_2 + H_2$ 6,000円
- ④ 混合 プレンダ 200,000円 / 400回 = 500円

1 0.4. ピン加工費 (燃料ピン1本当り) 11,860円 / 本

(1) ペレット受入 3,560円 / 本

- ① 外観検査 保存, ルーペ 50円
- ② スタック長, 重量 工具 20,000円 / 200本 = 100円
秤 300,000円 / 500本 = 600円

③ 充填

- ビニルバッグ 1枚 200円
- 防汚染マスク 1ヶ 300円

④ 除染 第1 (溶接前) 開口部除染

綿棒, アルコール 100円

第2 (溶接後) アルミナ 50円

- ⑤ 溶接 第1端栓 } 5本1回溶接 300円
第2 " }

ヘリウムガス 200円

溶接棒 100円

- ⑥ 被覆管切断 } 上下1組 1,000円
端栓材加工 }

- ⑦ X線測定 仮端栓 500円

第1, 2端栓 650円

プレナムフィルム 2枚 600円

現像液その他 50円

- ⑧ He リークテスト 液体窒素 1日 3ℓ × 200円 } 60円
1回 10本 }

- ⑨ 保存 50円

- ⑩ 修理代 200円

(2) 加工施設の消耗 4,000円 / 本

- ① ボックス (39-40)

3,000,000円 / 10年 × 200日 × 5本 = 300円

② フード(49-50)

1,000,000円×3/10年×200回×5本=300円

③ 溶接機 6,000,000円/7年×150回×5本=1,000円

④ Heリークテスト 3,000,000円/5年×150回×5本=800円

⑤ X線 6,000,000円/5年×150回×5本=1,600円

(3) 共通消耗品 4,300円/本

ビニルバッグ	5枚	2,500円
グローブ	1/10双	800円
フィルタ	1/100個	900円
薬品		100円

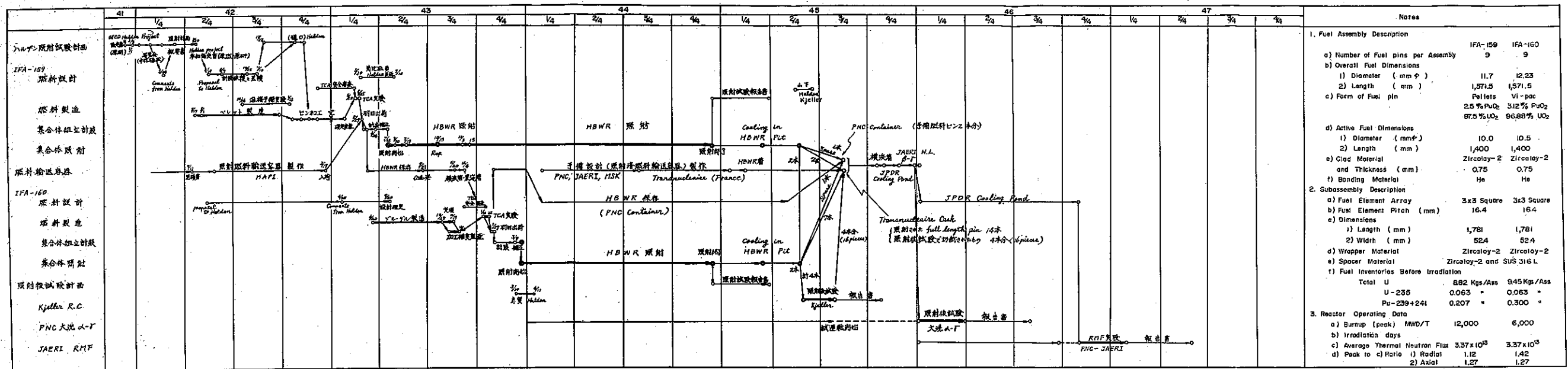
11 タイムスケジュール

(山下)

本照射試験計画の全体スケジュールを Table 11.1 に示す。また、照射後試験に関するタイムスケジュールを Table 11.2 に示す。参考のため、本計画のプルトニウムの熱中性子炉利用開発計画における位置付けを Table 11.3 のタイムスケジュールで示す。

Table 11.1 ハルデン HBWR におけるプルトニウム燃料集合体の照射試験計画の実施経過と今後の予定

44年12月現在記録

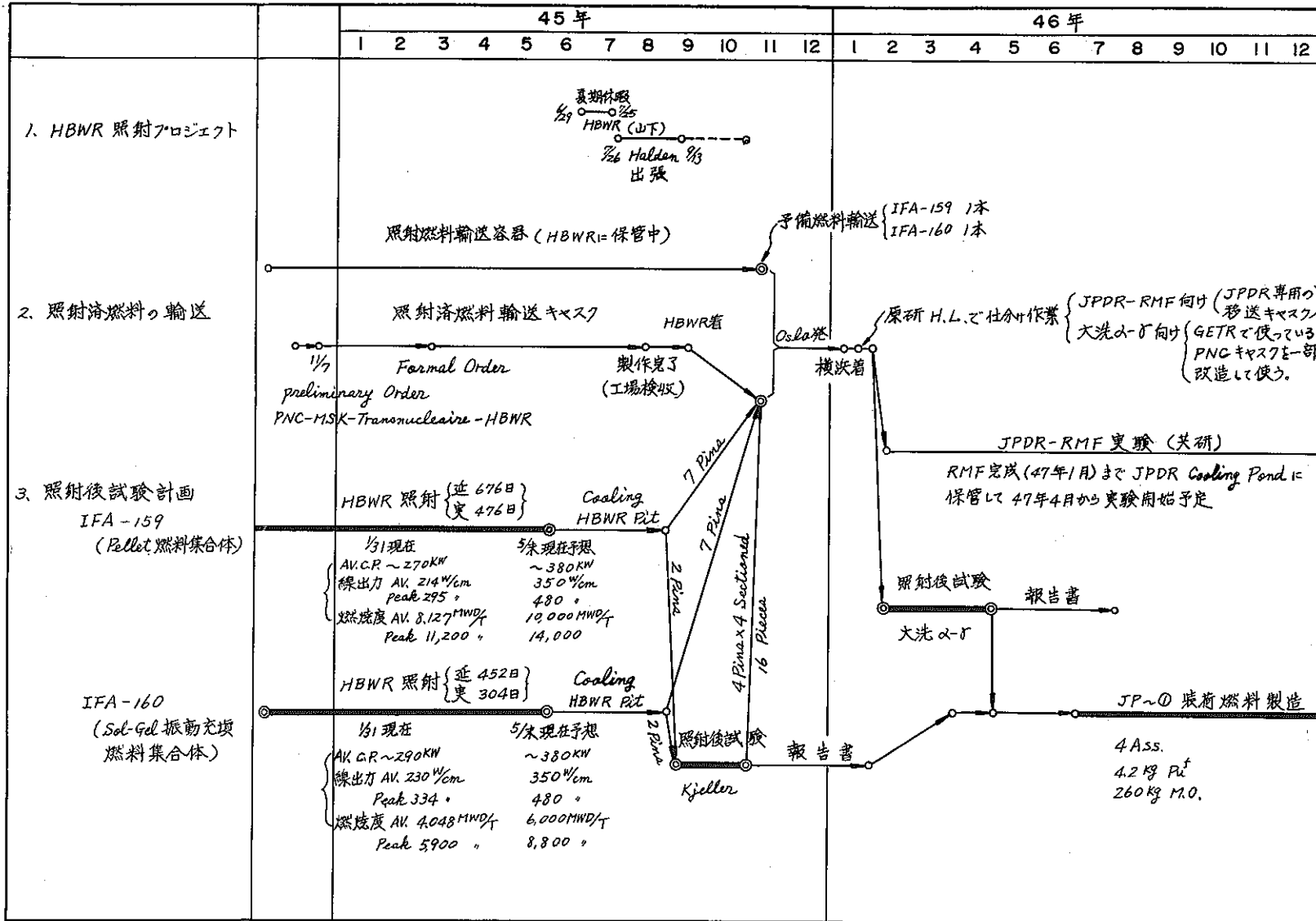


1. 月報, OECD Harwell Project 参加報告 42.1.1.
2. 月報, 原子力研究所 Harwell Project 参加報告 42.7.20

Notes	
1. Fuel Assembly Description	
a) Number of Fuel pins per Assembly	IFA-159: 9, IFA-160: 9
b) Overall Fuel Dimensions	
1) Diameter (mm φ)	11.7, 12.23
2) Length (mm)	1,571.5, 1,571.5
c) Form of Fuel pin	Pellets, VI-pac 2.5% PuO ₂ , 312% PuO ₂ 97.5% UO ₂ , 96.88% UO ₂
d) Active Fuel Dimensions	
1) Diameter (mm φ)	10.0, 10.5
2) Length (mm)	1,400, 1,400
e) Clad Material and Thickness (mm)	Zircaloy-2, Zircaloy-2 0.75, 0.75
f) Bonding Material	He, He
2. Subassembly Description	
a) Fuel Element Array	3x3 Square, 3x3 Square
b) Fuel Element Pitch (mm)	16.4, 16.4
c) Dimensions	
1) Length (mm)	1,781, 1,781
2) Width (mm)	524, 524
d) Wrapper Material	Zircaloy-2, Zircaloy-2
e) Spacer Material	Zircaloy-2 and SUS 316 L
f) Fuel Inventories Before Irradiation	
Total U	882 Kgs/Ass, 945 Kgs/Ass
U-235	0.063 %, 0.063 %
Pu-239+241	0.207 %, 0.300 %
3. Reactor Operating Data	
a) Burnup (peak) MWD/T	12,000, 6,000
b) Irradiation days	
c) Average Thermal Neutron Flux	3.37x10 ¹⁵ , 3.37x10 ¹⁵
d) Peak to c) Ratio	
1) Radial	1.12, 1.42
2) Axial	1.27, 1.27

Table 11.2 HBWR 照射 { IFA-159 } の照射後試験, 日本持帰り輸送計画

45. 2. 26 PNC-Pu



あ と が き

PuO_2 - UO_2 燃料集合体のハルデン炉照射試験計画は昭和42年から始まり今なお継続中である。その間実施責任者、主担当者、その他の関係者の異動もあり、蓄積された貴重なデータは、ファイリング・キャビネットの奥深くねむっていた。現時点では手直しすべきところも少なくないが、時期を逸することを恐れてあえてそのまま(44年3月現在)印刷し、参考資料として配布することにした。なお照射、照射後試験については第2報としてまとめるつもりである。

(宮脇)

付 録

- | | |
|------------------|-----|
| 1. IFA-159の製品検査表 | 417 |
| 2. IFA-160の製品検査表 | 425 |

Appendix 1
Material Specification and Fabrication Data
of HALDEN IFA 159 Test Fuel Rods
In PNC Irradiation Program

Aug. 23, 1968

Plutonium Fuel Development Laboratory

PNC Tokai Works

1. Sheath and End Plug

Material :

Zircaloy-2

		<u>Sheath</u>
Strength (kg/ m ²)	σ_B Room Temp. 380°C	64.7 ~ 65.5 33.1
	σ_y Room Temp. 380°C	48.2 ~ 48.8 25.4
Elongation (%)	Room Temp. 380°C	22.2 ~ 22.4 12.2
Grain Size (μ) :		8.5
Burst Test on Cladding and Welds of Similar Fuel Rod. (kg/cm ²)		1,115 ~ 1,135

Composition :

	Sheath		End Plug	
	%	ppm	%	ppm
Sn	1.39		1.34	
Fe	0.16		0.14	
Cr	0.10		0.10	
Ni	0.06		0.05	
C		1,260		1,300
H (before anto- clave treatment)		14.18		5
N		48.45		79

Welding Method : Both end plugs were welded by D.C. straight polarity TIG method in helium gas atmosphere.

2. PuO₂-UO₂ FuelFuel type : UO₂-PuO₂ Pellet

(Mechanically blended and sintered, unground and ground)

Pellets : densities 94 ± 1.5 % T.D.
dimensions 10.0 ± 0.05 mm ϕ × 14 mm height

Thermal insulators at top and bottom of fuel ends :
natural UO₂ Pellet

PuO₂ Enrichment (w/o) :

Specification	2.5 ± 0.1
Average of 10 Rods	2.50
Maximum	2.55
Minimum	2.46

O/M Ratio

Specification	2.00	+ 0.01	- 0.02
Average of 10 Rods	2.00		
Maximum	2.01		
Minimum	1.99		

Isotopic Composition

Uranium	Natural	
Plutonium	Pu - 239	91.30 %
	Pu - 240	7.884
	Pu - 241	0.780
	Pu - 242	0.035

Impurities (ppm)

	Specification	Typical	Max.	Min.
Ag	-	0.3	0.5	< 0.1
Al	-	60	100	50
B	< 1.5	0.3	0.9	< 0.2
C	< 100	50	80	< 30
Ca	< 100	5	6	1
Cd	< 1.0	< 0.3	0.3	< 0.3
Cl	< 10	8	10	< 5
Co	-	< 10	< 10	< 10
Cr	< 500	10	40	< 5
Cu	< 40	0.5	1	< 0.5
F	< 25	< 5	14	< 5
Fe	< 500	100	300	50
Mg	< 50	< 2	5	< 2
Mn	-	3	5	< 2
N	< 75	50	60	< 30
Ni	< 300	10	20	< 4
Si	-	20	20	8
V	-	< 5	< 5	< 5
Zn	-	< 20	< 20	< 20
Total gas including H ₂ O (μ l/g of fuel)	< 200	70	200	< 30
H ₂ O (μ l/g of fuel)	-	< 10	40	< 10

Weight of Fuel Materials Shown in Table A1.1.

Loading : The gap and linear fissile content were controlled for each rod according to the data of the clad inner diameter and the density, diameter and plutonium content of each pellet.

For this purpose, FACOM 203-10 computer was used.

3. Burnable Position

None

4. Spring

Material

Inconel-X

SN 841-71-31

5. Thermal Insulator

Material

Nat. UO₂

6. Zircaloy-2 Disk

Material

Zircaloy-2

7. Dimension, Weight and Density of IFA 159 Fuel Rods, Shown in Table A1.2.

Table A1.1. Weight of Fuel Materials

No. of Identification	Fuel Pellets				Thermal Insulators		Total Uranium
	PuO ₂ Content (%)	Wt. of Mixed Oxide (g)	Pu (g)	U (g)	UO ₂ (g)	U(g)	(g)
JA-Hi-10	2.543	1,137.2	25.51	977.0	24.6	21.7	998.7
JA-Hi-11	2.488	1,141.8	25.06	981.4	24.0	21.2	1,002.6
JA-Hi-12	2.480	1,143.1	25.01	982.6	24.8	21.9	1,004.5
JA-Hi-13	2.463	1,152.4	25.04	990.8	24.7	21.8	1,012.6
JA-Hi-14	2.494	1,139.1	25.06	979.1	24.7	21.8	1,000.9
JA-Hi-15	2.536	1,136.3	25.44	976.2	24.8	21.9	998.1
JA-Hi-16	2.464	1,141.9	24.82	981.8	24.8	21.9	1,003.7
JA-Hi-17	2.484	1,144.4	25.07	983.7	24.5	21.6	1,005.3
JA-Hi-18	2.539	1,140.0	25.54	979.4	24.9	21.9	1,001.3
JA-Hi-19	2.551	1,134.4	25.52	974.4	24.8	21.9	996.3
	2.504	11,410.5	252.07	9,806.4	246.6	217.4	10,023.8

Table A1.2 Dimension and Weight of IFA-159 Fuel

Number of Identification	JA-HI-10	JA-HI-11	JA-HI-12	JA-HI-13	JA-HI-14	JA-HI-15	JA-HI-16	JA-HI-17	JA-HI-18	JA-HI-19
1. Fuel Pellet										
Pu Enrich. w/o	2.243	2.195	2.188	2.173	2.200	2.239	2.174	2.191	2.240	2.250
Density (Axial Av.) g/cc	10.47	10.40	10.35	10.41	10.42	10.44	10.36	10.41	10.44	10.37
Diameter (") mm	9.937	9.999	10.024	10.037	9.974	9.952	10.015	10.006	9.967	9.974
Length mm	1403.57	1400.38	1398.12	1402.22	1400.33	1401.33	1398.80	1398.96	1399.45	1401.55
Weight Pu g	25.51	25.06	25.01	25.04	25.06	25.44	24.82	25.07	25.54	25.52
U g	977.0	981.4	982.6	990.8	979.1	976.2	981.8	983.7	979.4	974.4
UO ₂ -PuO ₂ g	1137.2	1141.8	1143.1	1152.4	1139.1	1136.3	1141.9	1144.4	1140.0	1134.3
2. Insulator Pellet										
Density g/cc	10.47	10.20	10.52	10.46	10.46	10.52	10.50	10.36	10.52	10.48
Diameter mm	10.0±0.05	10.0±0.05	10.0±0.05	10.0±0.05	10.0±0.05	10.0±0.05	10.0±0.05	10.0±0.05	10.0±0.05	10.0±0.05
Length mm	29.93	29.96	30.04	30.07	30.07	30.02	30.10	30.14	30.16	30.14
Weight U g	21.7	21.2	21.9	21.8	21.8	21.9	21.9	21.6	21.9	21.9
UO ₂ g	24.6	24.0	24.8	24.7	24.7	24.8	24.8	24.5	24.9	24.8
3. Fuel Rod										
Inner Diameter, mm	10.204	10.231	10.222	10.220	10.213	10.209	10.223	10.223	10.213	10.217
Thickness, Av. mm	0.768	0.741	0.767	0.756	0.770	0.773	0.770	0.764	0.792	0.783
Diametral Gap., mm	0.252	0.220	0.190	0.175	0.225	0.240	0.190	0.170	0.230	0.225
	~0.275	~0.245	~0.210	~0.190	~0.260	~0.270	~0.222	~0.250	~0.255	~0.270
Total Length, mm	1402.79	1399.10	1399.59	1399.42	1399.78	1399.29	1399.65	1398.72	1399.69	1400.62
Length of Spring, mm	89.0	87.0	89.0	85.0	87.0	86.0	88.0	88.0	87.0	91.0
Volume of Plenum, cc	6.539	6.820	6.988	6.814	6.862	6.709	6.932	6.924	6.862	6.681
Weight of Spring, g	5.90	5.88	5.90	5.91	5.90	5.88	5.90	5.88	5.94	5.91
Weight of tube (+ 1st. E.P.) g	274.7	271.5	273.8	272.8	274.4	274.6	273.6	273.8	279.8	278.3
Weight of End Plugs (2nd E.P.) g	10.80	10.75	10.80	10.75	10.80	10.80	10.75	10.75	10.80	10.80
Total Weight, g	1454.00	1454.73	1459.20	1467.36	1455.70	1453.18	1457.75	1460.13	1462.24	1456.91

SN 841 - 71 - 31

Appendix 2

Design and Fabrication Data of IFA-160

Feb. 1, 1969

Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation

Yasuji Nakamura

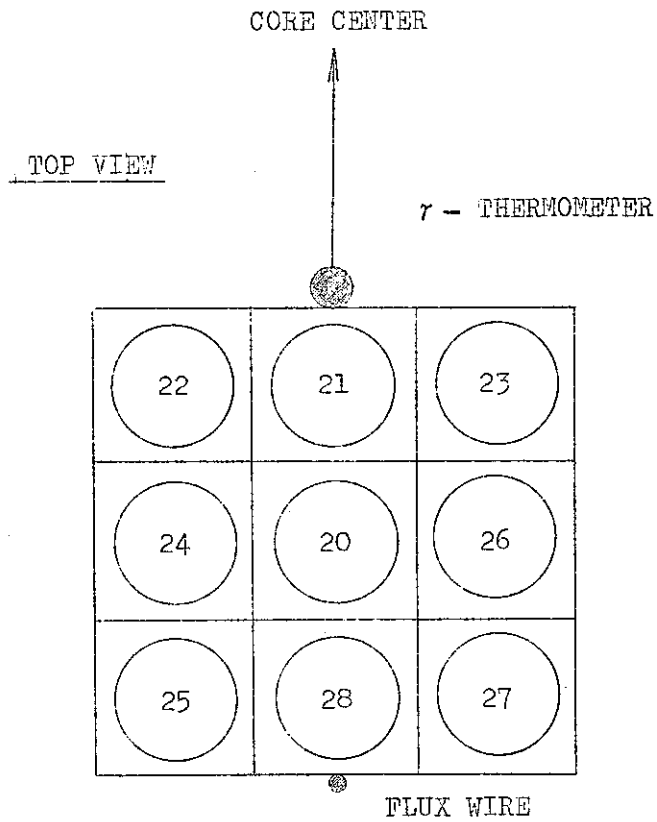
Manager of Plutonium Fuel Division

Summary of Test Condition and Performance

Objectives ;

To obtain information on performance of PuO₂-UO₂ fuels fabricated by vibratory compaction.

1. Fuel Enrichment	U-235	0.718 w/o
	PuO ₂	3.13 w/o(PuO ₂ /UO ₂ + PuO ₂)
2. Fuel Rod Array	3x3	
3. Lattice Pitch	16.4 mm	
4. Fuel Diameter	10.83 mm (Nominal)	
5. Clad Diameter	O.D. 12.23 mm (Nominal)	
	I.D. 10.83 mm (Nominal)	
6. Fuel Active Length	1400 mm	
7. Pu Isotopic Composition		
	Pu-239	90.498 w/o
	Pu-240	8.513 w/o
	Pu-241	0.942 w/o
	Pu-242	0.047 w/o
<u>Relative Flux Position 1.0</u>		
8. Channel Power	350 kw (Requirement)	
9. Total Peaking Factor	1.45	(Radial 1.13 Axial 1.22 Hot Spot 1.05)
10. Avg. Lin. Heat Rating	278 w/cm	
11. Max. Lin. Heat Rating	388 w/cm	
12. Peak Surf. Heat Flux	105.6 w/cm ²	
13. Avg. Center Temp.	1260 °C	
14. Max. Center Temp.	1800 °C	
15. Cooling Condition	Natural Circulation	



○ : FUEL ID. NO.

ARRANGEMENT OF IFA-160 IN HBWR.

Table A2.1 Fuel (PuO₂-UO₂)

		JA-H2-20	JA-H2-21	JA-H2-22	JA-H2-23	JA-H2-24	JA-H2-25	JA-H2-26	JA-H2-27	JA-H2-28	JA-H2-29
PuO Enrich. (w/o) (Ave.)		3.13	3.13	3.12	3.10	3.13	3.13	3.13	3.13	3.13	3.11
Fuel Dia., (mm) (Ave.)		10.825	10.805	10.804	10.828	10.826	10.809	10.823	10.829	10.831	10.814
Active Length (X-ray) (mm)		1395.25	1399.50	1397.75	1397.49	1405.92	1403.72	1404.68	1392.95	1398.72	1399.25
Weight (g)	PuO ₂ -UO ₂	1201.42	1200.19	1217.21	1208.26	1208.03	1209.54	1209.26	1208.20	1207.69	1214.57
	Pu	33.17	33.13	33.50	33.04	33.35	33.39	33.38	33.35	33.34	33.32
	U	1025.32	1024.27	1038.90	1031.48	1030.96	1032.25	1032.01	1031.11	1030.67	1036.76
Density (% T.D.)	(g/cc)	9.35	9.34	9.51	9.39	9.33	9.39	9.36	9.41	9.37	9.45
	Ave.	(85.1)	(85.0)	(86.6)	(85.4)	(84.9)	(85.4)	(85.2)	(85.7)	(85.3)	(86.0)
	Max.	U C L +3.7 +4.5 +3.0	U C L +3.6 +3.1 +2.2	U C L +2.8 +4.3 +2.9	U C L +4.0 +2.2 +2.2	U C L +5.0 +5.0 +1.8	U C L +5.2 +4.0 +2.2	U C L +5.6 +4.7 +3.7	U C L +4.2 +6.0 +4.2	U C L +5.0 +3.8 +2.8	U C L +3.6 +3.2 +2.8
Min.	-15.0 -6.7 -14.0	-4.9 -8.1 -7.2	-9.6 -4.3 -6.2	-2.3 -1.8 -8.1	-17.5 -18.0 -7.5	-8.1 -1.2 -8.1	-15.6 -3.1 -10.0	-7.7 -0.7 -13.2	-14.0 -4.4 -6.0	-3.6 -2.8 -10.2	
Moisture (μl S.T.P./g. fuel)		< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20

- 429 -

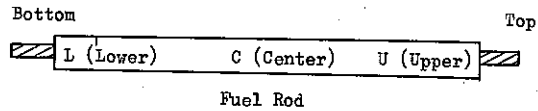


Table A2.2

Insulator Pellet (Nat. UO₂)

		JA-H2-20	JA-H2-21	JA-H2-22	JA-H2-23	JA-H2-24	JA-H2-25	JA-H2-26	JA-H2-27	JA-H2-28	JA-H2-29	
Density (g/cc)	Top	10.27	10.38	10.38	10.33	10.26	10.28	10.33	10.27	10.32	10.33	
	Bottom	10.45	10.50	10.40	10.44	10.30	10.24	10.49	10.43	10.40	10.36	
Length (mm)	Top	10.00	10.00	9.95	10.00	9.95	10.10	10.00	10.05	9.90	10.10	
	Tottom	15.05	15.10	15.00	14.95	15.15	15.10	15.00	15.10	15.00	14.95	
Diameter (mm)	Top	10.65	10.65	10.65	10.65	10.65	10.65	10.65	10.65	10.65	10.65	
	Bottom	10.60	10.60	10.65	10.65	10.65	10.70	10.60	10.60	10.65	10.65	
Weight (g)	UO ₂	Top	9.15	9.25	9.20	9.20	9.10	9.25	9.20	9.20	9.10	9.30
		Bottom	13.90	14.00	13.90	13.90	13.90	13.90	13.90	13.90	13.90	13.80
	U	Top	8.06	8.15	8.11	8.11	8.02	8.15	8.11	8.11	8.02	8.19
		Bottom	12.25	12.33	12.25	12.25	12.25	12.25	12.25	12.25	12.25	12.16

Cladding and Parts

Inner Dia. (Ave.) mm	10.825	10.805	10.804	10.828	10.826	10.809	10.823	10.829	10.831	10.814
Thickness (Ave.) mm	0.716	0.712	0.707	0.707	0.711	0.714	0.711	0.713	0.712	0.714
Total Length mm	1546.30	1546.40	1546.30	1546.54	1546.42	1546.52	1546.48	1546.50	1546.52	1546.30
Length of Spring (free) mm	88.0	84.1	84.0	91.0	83.0	85.0	83.0	94.0	83.0	84.0
Vol. of Plenum cc	6.9	6.5	6.6	7.2	6.4	6.7	6.5	6.7	6.6	6.5
Wt. of Cladding + Top, Bottom, End Plug g	285.18	283.36	282.75	284.30	285.37	283.33	286.00	284.84	289.95	282.47

Total Weight g	1519.10	1516.25	1532.60	1525.00	1525.70	1525.47	1527.62	1525.60	1530.07	1529.42
----------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Table A2.3

Impurity

Element	Spec. ppm	Typcal. ppm	Max. ppm	Min. ppm
Al	500.0	60	170	< 10
B	1.0	< 0.3	0.4	< 0.3
Ca	100.0	5	< 5	< 5
Cd	0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5
Co	6.0	< 10	< 10	< 10
Cr	500.0	20	50	< 10
Cu	50.0	3	15	< 3
Fe	500.0	100	350	< 10
Mg	50.0	3	30	< 0.2
Mn	10.0	< 6	10	< 6
Mo	150.0	20	45	< 10
Ni	300.0	45	110	20
Pb	20.0	< 10	10	< 10
Si	500.0	50	120	20
Sm	5.0	< 10	< 10	< 10
V	1.0	< 10	< 10	< 10
Zn	20.0	< 50	< 50	< 50
C	100.0	50	90	40
F	10.0	< 5	10	< 5
N	75.0	< 30	40	< 30
Cl	80.0	< 5	10	< 5

PuO₂ Enrichment

Spec.	3.1 ± 0.15 w/o
Ave. (10 rods)	3.124 w/o
Max.	3.13 w/o
Min.	3.10 w/o

O/M Ratio

Ave.	2.00
Max.	2.02
Min.	1.99

Isotopic Composition

Uranium	Natural
Plutonium	Pu-239 90.498%
	Pu-240 8.513%
	Pu-241 0.942%
	Pu-242 0.047%