T
~~S~~N241 74-01

配布限定

区分変更	
変更後の区分	~~[illegible]~~
決裁年月日	平成13年11月30日

DFR 464/1 B_4C 照射試験

中間報告

昭和49年1月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
S	N241 74-01

この資料は 図書室保存資料です
閲覧には技術資料閲覧票が必要です

動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室

動力炉・核燃料開発事業団
高速増殖炉開発本部

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

〒319-1184　茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部　技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

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

T
N241 73−01

登録区分
2001.11.30
変更表示

配布限定

DFR 464/1 B_4C照射試験 中間報告

要　　旨

ホウ素含有量の異る3ケの90%濃縮高密度B_4Cペレットを英国の高速実験炉DFRで照射し、約2 atom%の B燃焼度を得た。

本報告書は試験計画の概要と英国より断片的に入手した照射後試験結果をとりまとめたものである。

照射したB_4Cペレットは、亀裂あるいは割れを生じ、キャプセルから取出し後崩壊したものもあったが、その破片は比較的大きなものであった。照射した3ケのB_4Cペレットのうち、化学量論的にホウ素過剰のペレットは最もひどい割れを生じ、ヘリウム・ガス放出率も最も高かった。これに対し、ストイキイオメトリックなB_4Cペレットは、亀裂の度合も、またヘリウム・ガス放出率も最も小さく、照射に対して最も安定なことが明らかになった。炭素過剰のB_4Cペレットは上述の2ケのペレットの中間に位置するような照射挙動を示した。

昭和49年 1月
高速増殖炉開発本部
植 松 邦 彦
樫 原 英千世 ※
河 田 東海夫

※ 現在大洗工学センター照射集合体試験室（FMF）勤務

目　　次

1. まえがき …… 1
2. 照射試料及びキャプセル …… 2
　2－1　炭化ホウ素ペレット …… 2
　2－2　照射キャプセル …… 5
3. 照　　射 …… 9
4. 照射後試験結果 …… 14
　4－1　非破壊照射後試験 …… 14
　4－2　破壊照射後試験 …… 14
　　A　ヘリウム・ガス放出率 …… 19
　　B　ペレットの欠け，割れ …… 23
　　C　Liの移動について …… 30
　　D　照射済みB_4Cペレットの線量率 …… 31
　　E　金相試験 …… 32
　　F　密度測定 …… 34
　　G　^{10}B質量分析 …… 35
　　H　SiC温度モーターによる冷却材温度の評価 …… 36
5. ま と め …… 37
参 照 文 献 …… 38
APPENDICES
　Appendix-1　英国原子力公社との照射試験契約書に添付の試験計画 …… 41
　Appendix-2　キャプセル及び照射リグの図面 …… 49
　Appendix-3　部材検査結果及び写真 …… 55
　Appendix-4　MATERIAL INSPECTION RECORDS to Accompany Parts of Absorber Pins Supplied by P.N.C for DFR-B_4C Irradiation Program …… 66
　Appendix-5　DFR464/1 B_4C Experiment Pre-Irradiation Information …… 77
　Appendix-6　DFR464/1 B_4Cの照射試験についての K.Q.Bagley氏との打合せメモ …… 83

Appendix—7 COMPUTER OUTPUT
DFR464/1 PNC B_4C
Neutron Dose in 15 Groups(N.V.T.) 87
Appendix—8 DEREでの設計計算時に使用したギャップ・コンダクタンス
逆算推定 93

1. まえがき

炭化ホウ素ペレットは、既に稼動中の実験炉，原型炉級のものから、現在計画中の大型炉まで含め、各国のほとんどすべての高速炉で制御棒材として採用されている。

ところで、炭化ホウ素は、制御棒として使用している間、当然のことながら多量の高速中性子に曝されることになるので、それによって引起こされる種々の現象、すなわち、

^{10}Bの（n，α）反応に伴うヘリウム・ガスの発生

ペレットのスウェリング

ペレットの欠けや割れの発生、あるいは粉化現象

熱伝導度をはじめとする諸物性値の変化

等、いわゆる照射効果について十分な知識を得ておくことが必要である。しかしながら、これまでのところ、海外においても炭化ホウ素の高速炉照射実験は十分とは云えず、公表されているデータも少い。

現在　茨城県の大洗町に建設中の高速実験炉「常陽」においても、制御棒材としては炭化ホウ素ペレットが使用されることになっているが、その照射挙動を把握するために、「常陽」の仕様に近い高濃縮度，高密度の炭化ホウ素ペレットの高速炉照射実験を計画し、英国のDFR（Dounreay Fast Reactor）を利用して実施した。照射は昭和46年11月に終りこれまでに英国におけるすべての照射後試験を完了したが、この報告書は実験計画の内容とこれまでに英国原子力公社より入手した照射後試験結果の一部をとりまとめたものである。なお、英国での照射後試験結果については、これまでに非破壊試験に関する報告書のみを入手しているが、破壊試験結果を含む最終報告書も、近々実施先の英国原子力公社より入手される予定である。

2. 照射試料及びキャプセル

2.1 炭化ホウ素ペレット

照射用の炭化ホウ素ペレットは「常陽」制御棒の仕様に近いということで、^{10}B 濃縮度90%，ペレット密度約98%T.D. のものをホット・プレス法により製造した。(注)

ペレットのホウ素含有量については、照射効果に対するストイキオメトリの影響を調べることを目的に、Table 1 に示したような3種類のものを用意した。

Table 1 B_4C Pelltes for DFR 464/1 Irradiation Experiment

Specimen NO.	1—1	2—1	3—1	JOYO Spec.
Boron Content(wt%)	80.4	77.2	75.0	≧75.5
Diameter (mm)	13.64	13.63	13.58	15.0±0.1
Length (mm)	20.10	20.13	20.20	25.0±0.2
Weight (gr.)	6.826	6.942	6.869	—
Pellet Density(g/m³)	2.33	2.36	2.35	≧2.30
Relative Density※(%T.D.)	97.3	98.9	98.2	(≧96.2)
^{10}B—enrichment(at%)	90.38 ± 0.37			≧91

※ Theoretical density is assumed to be 2.39g/cm³ for 90% ^{10}B enriched boron carbide.

(注) ペレットの製造は電気化学工業(株)中央研究所で行なった。

Table 2 B_4C 分析結果

	90%B^{10} 濃縮B_4C			
	粉末仕様	粉末分析結果(仏)	粉末分析結果	ペレット分析結果
1. 主成分				
全ホウ素(B)	76.5 w/o	78.40 w/o	80.42±0.21 w/o	79.3±0.21 w/o
全炭素(C)	残り	20.47 w/o	19.88±0.34 w/o	20.9±0.34 w/o
(全炭素+全ホウ素)	99.0 w/o min			
2. 不純物	(max)			
B2O3	0.10 w/o	0.05 w/o		
Fe	0.22 w/o	0.11 w/o	244 ppm	356 ppm
Si	0.10 w/o	0.10 w/o	460 ppm	740 ppm
Mg	0.12 w/o	0.01 w/o	24 ppm	16 ppm
Al	0.13 w/o	0.02 w/o	<50 ppm	<50 ppm
Ti	その他：2000ppm	その他：1000ppm		
Cl+F	(Ni,Co,W,Mo,Ca,	(Ni,Co,W,Mo,Ca,		
Ca	Mn等を含む)	Mn等を含む)	320 ppm	59 ppm
Cu			< 5 ppm	< 5 ppm
Co			<10 ppm	<10 ppm
Ni			<25 ppm	<25 ppm
Mn			< 5 ppm	< 5 ppm
Na				
FreeB			0.10 w/o	0.10 w/o
3. 同位元素組成				
^{10}B	90.0 a/o min	90.38±0.37 a/o	89.61±0.02 a/o	
4. 粉末粒度分布	10μ以下：80%以上	10μ以下：87.6%	0～2μ：6 w/o	
	20μ以下：99%以上	10～20μ：12.4%	2～6μ：37 w/o	
		20μ以上：なし	6～10μ：30 w/o	
			10～14μ：11 w/o	
			平均粒径：6.5μ	

	90% B^{10} 濃縮B_4C			
	粉末仕様	粉末分析結果(仏)	粉末分析結果	ペレット分析結果
5. 密度	95%T.D.以上		2.368 g/cc	98.25～99.34% T.D.
6. X線回析			B_4C以外認められず	

注1. 分析・試験法： ①全ホウ素（滴定法）， ②全炭素（燃焼法）， ③Si（比色法）， ④Si以外の不純物（原子吸光法）， ⑤同位元素組成（質量分析）， ⑥粉末粒度分布（沈降天秤法）， ⑦粉末密度（ピクノメーター法）， ⑧ペレット密度（寸法・重量法）， ⑨FreeB(H2O2:HNO3 ＝1：1溶液で抽出されるホウ素）

注2. 「90%B^{10}濃縮B_4C粉末の同位元素組成分析」以外は電気化学工業K·K中央研究所でおこなわれた。

「90%B^{10}濃縮B_4C粉末の同位元素組成分析」は動燃・東海事業所技術部分析課でおこなわれたが、濃縮B_4C粉末の標準試料がないため質量分析器の較正をおこなっていない状態でのデーターである。

注3. 「90%B^{10}濃縮B_4C粉末の粉末分析結果（仏）」は粉末供給元のフランスATELIERS PARTIOT CEMENTATION社の分析結果である。

注4. 「粉末分析結果」「ペレット分析結果」のうち、全ホウ素および全炭素を加えたものは100w/oをこえる結果になっているが、これは分析精度の面で今後の技術向上をまたれるものである。

注5. 天然B_4Cの理論密度：2.52 gr/cc，90 %B^{10}濃縮B_4Cの理論密度：2.37gr/cc
天然B_4Cの化学量論的B含有率：78.28 w/o
90%B^{10}濃縮B_4Cの化学量論的B含有率：77.08 w/o

ペレット製造に使用した濃縮B_4C原料粉末はフランスのAteliers Partiot Cementation社より購入したものであり、その成分分析の結果をTable 2にまとめた。

2.2 照射キャプセル

今回の照射実験では、Fig.1に示したようなB_4Cペレットとキャプセル部材を動燃事業団から英国に送付し、キャプセル組立ては先方DERE(Dounreay Experimental Reactor Establishment)の工作工場で行なった。キャプセルの概略はFig.2に示した通りであり、外筒としては「常陽」ブランケット燃料用試作被覆管を利用した。ペレットとキャプセル外筒とのギャップは、「常陽」用制御棒におけるB_4Cペレットと被覆管のギャップと同様、直径で0.2㎜とした。また、ペレット下側のディスクには、やはり「常陽」の場合と同様に直径1.8㎜φの孔をあけた。特に、照射によりペレットが粉化するまでに崩壊するというようなことが生じた場合、B_4C破片が上述ディスクの孔から下に落ち込むということがないかどうかを確認するために、ガス・プレナムはキャプセルの下側に設けた。

このようなキャプセルを3ケ縦方向にならべて、Fig.3に示したようなDFR高温材料照射用リグに装荷した。高温材料照射用リグの上半分には燃料ピンが組込まれておりこの燃料の発熱により、冷却材(NaK)を加熱し、所定の照射温度を得ることができる。なお、冷却材の出口側(DFRの場合冷却材は下向流であるから、リグの下側)にはSiC 温度モニタが組込まれており、照射完了後に冷却材の出口測度を評価することができる。

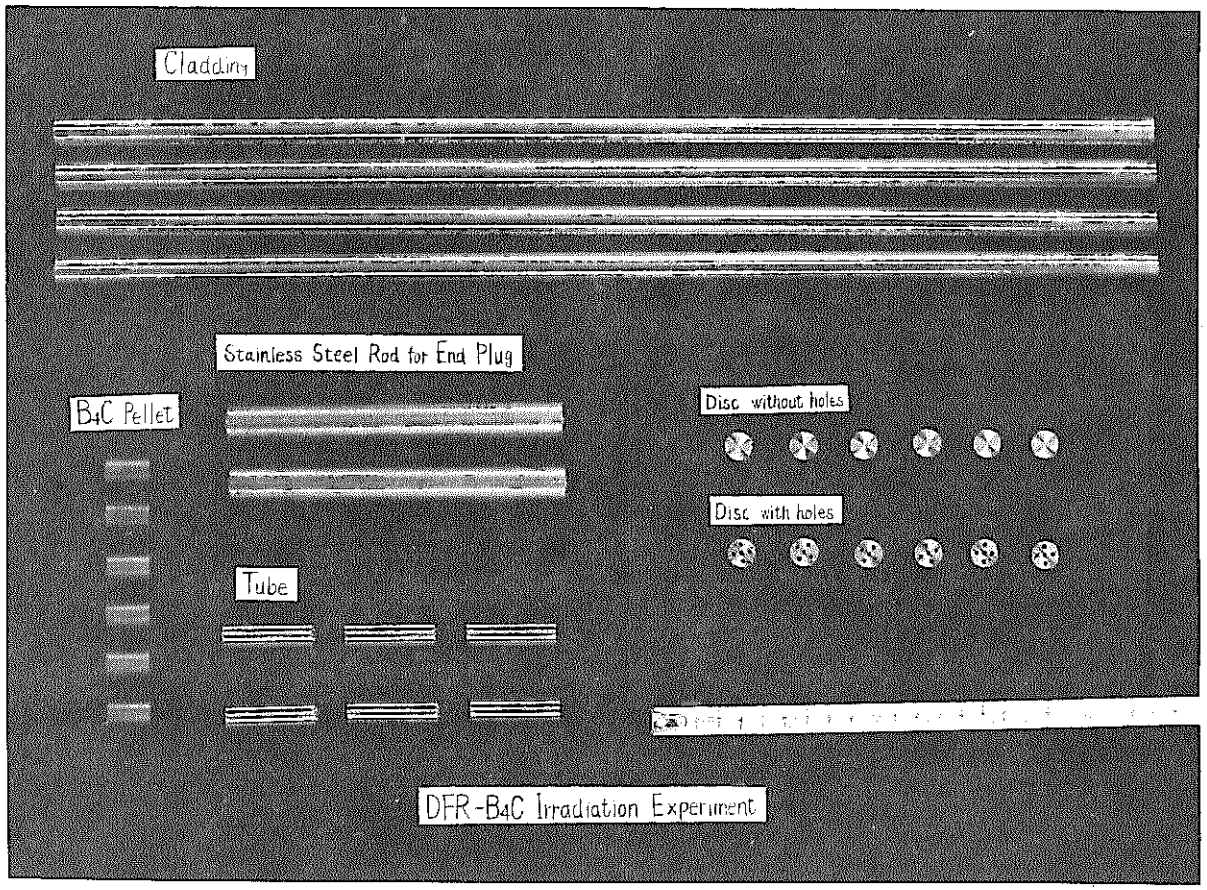
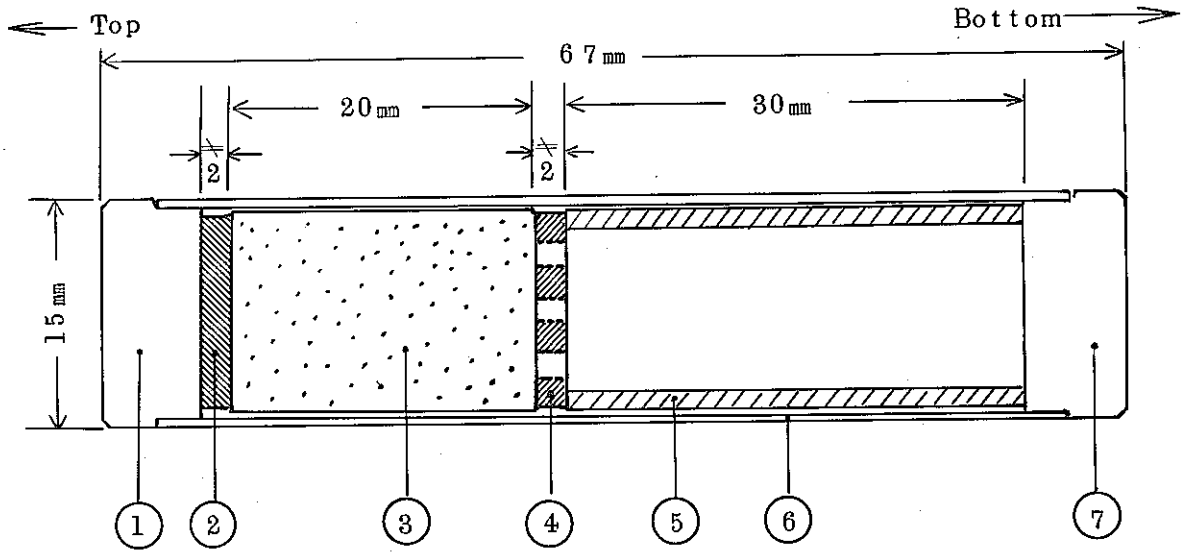
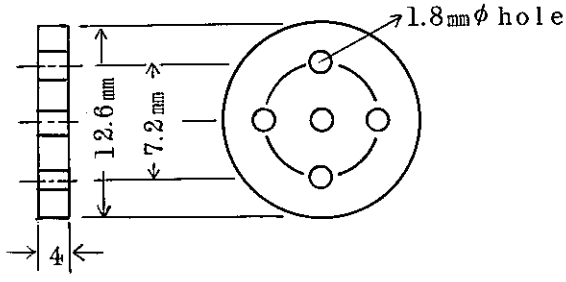


Fig.1 B_4C Pellets and Capsule Components



STENLESS STEEL DISC with HOLES



No.	Name	Materisl	Dimension
1	Upper End Plug	AISI 316	
2	Disc without Hole	AISI 316	12.6mmφ x 2mm t
3	B_4C Pellet	B_4C	13.6mmφ x 20mm L
4	Disc with Holes	AISI 316	12.6mmφ x 2mm t
5	Tube	AISI 316	Inner Dia.13.4 mm Outer Dia.10.6 mm
6	Cladding	AISI 316	Inner Dia.15.0 mm Outer Dia.13.8 mm
7	Lower End Plug	AISI 316	

Fig.2 B_4C CAPSULE FOR DFR 464/1 IRRADIATION EXPERIMENT

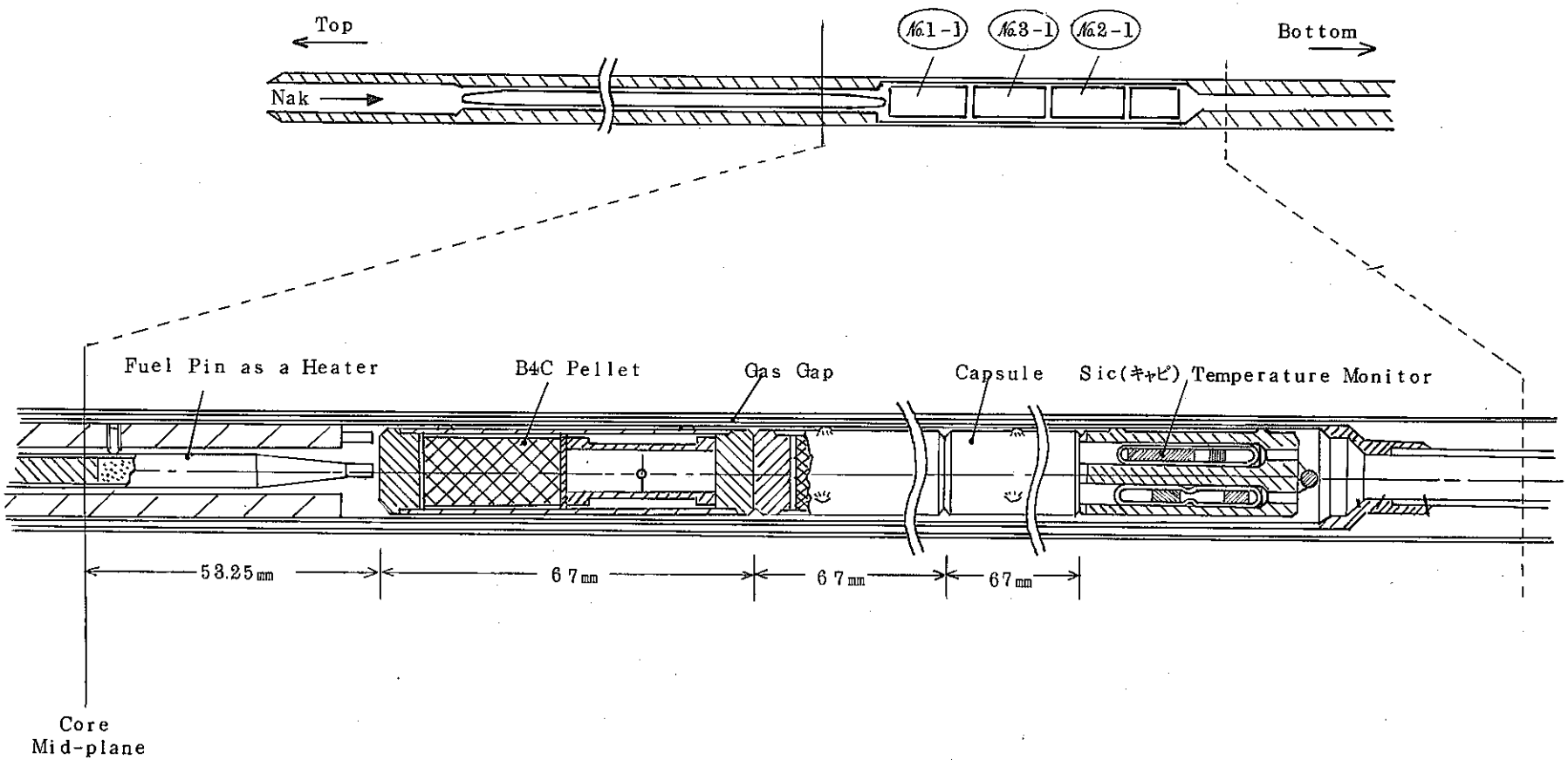


Fig.3 Irradiation Vehicle for DFR 464/1 Experiment

3. 照　　射

照射は英国の高速実験炉DFR(Dounreay Fast Reactor)の炉心内Pitch 25(Fig.4参照)において2サイクル、約112日間行なった。この間のDFR運転履歴をFig.5に、また、照射条件の概略をTable 3にまとめた。

Table 3 SUMMARY OF IRRADIATON CONDITION

Irradiation Position	: DFR Core Pitch25
Total Flux	: $1.3 \sim 1.8 \times 10^{15}$ n/cm².sec
Clad Mid-Wall Temperature	: 418°C[a]
Pellet Center Temperature	: 670°C[a]
Effective Irradiation Days	: 112.7 days
Total Fluence	: $1.2 \sim 1.7 \times 10^{22}$ nvt
^{10}B Burn-up	: 2.0～2.2 atom%[b]
Number of Thermal Cycles	: 7

(a) Predicted values in the design calculation where the heating rate of B4C is assumed to be 27w/g.

(b) Estimated value which does not include the effet of "self shielding" or flux depression in the pellet.

Fig.6及びFig.7にPitch 25における中性子スペクトルと、112日間照射による積算中性子照射量、および^{10}B燃焼度の分布を図示した。

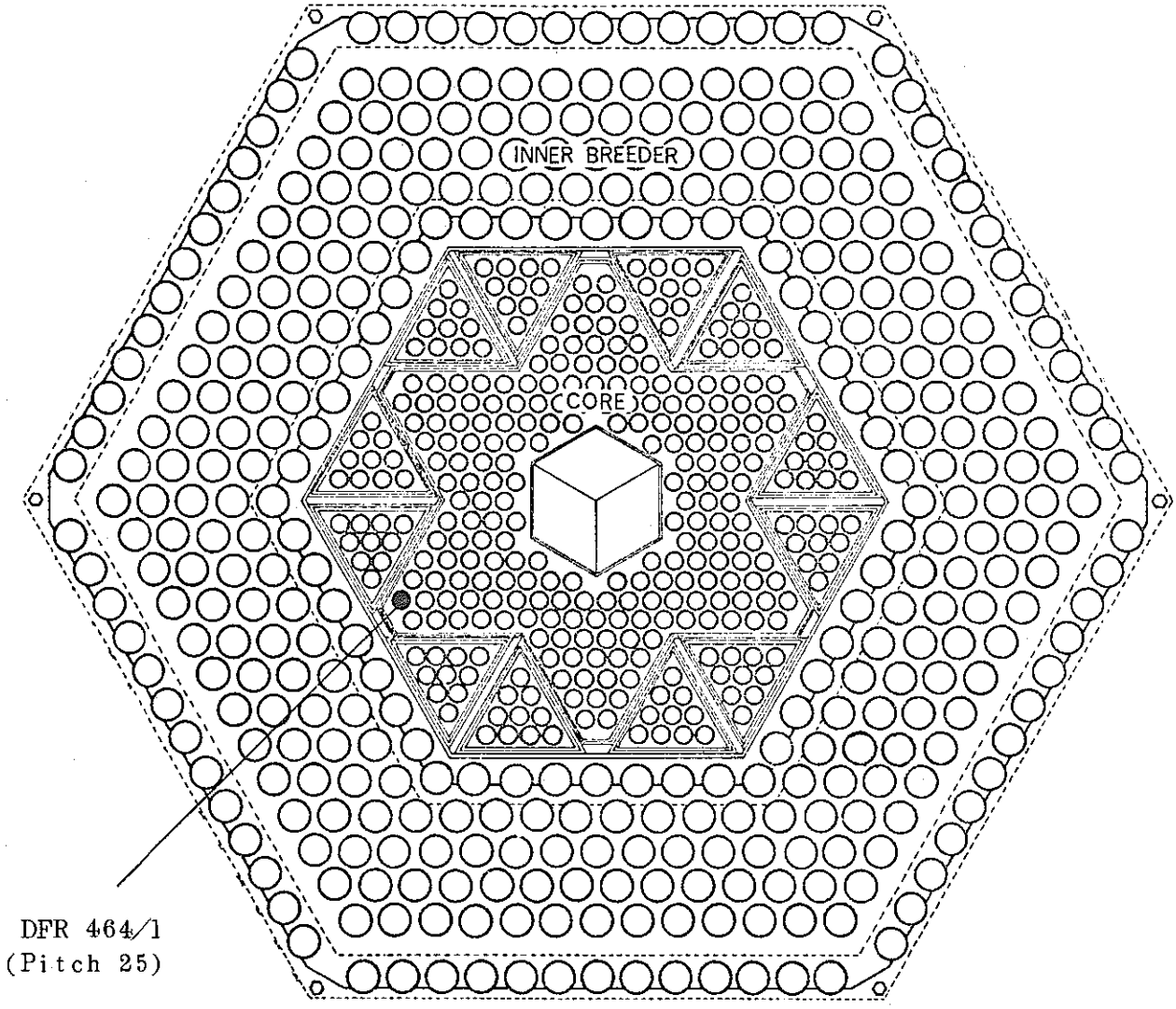


Fig.4 Irradiation Position in DFR Core

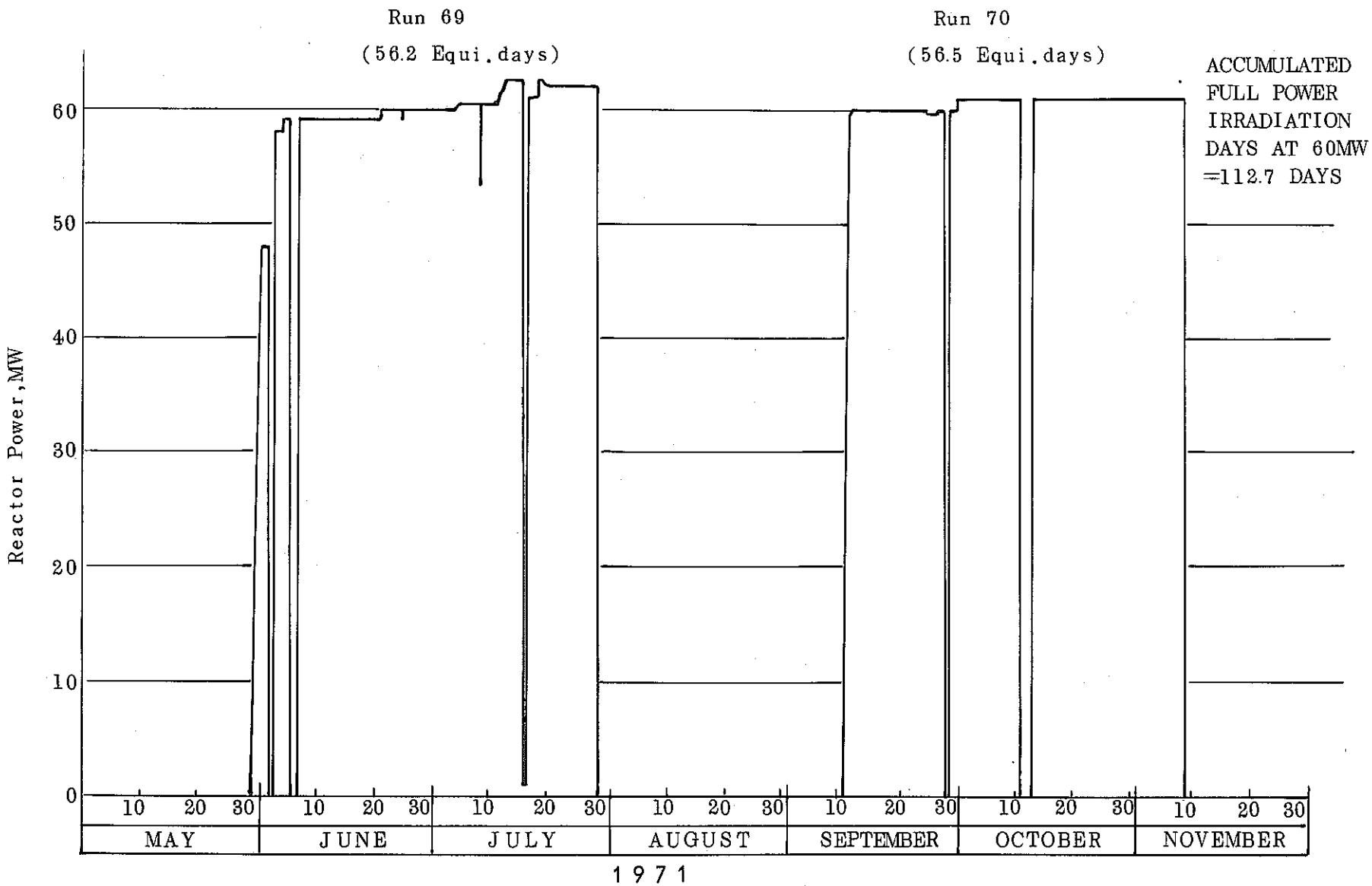


Fig.5 REACTOR OPERATION HISTORY FOR RUNS 69 AND 70

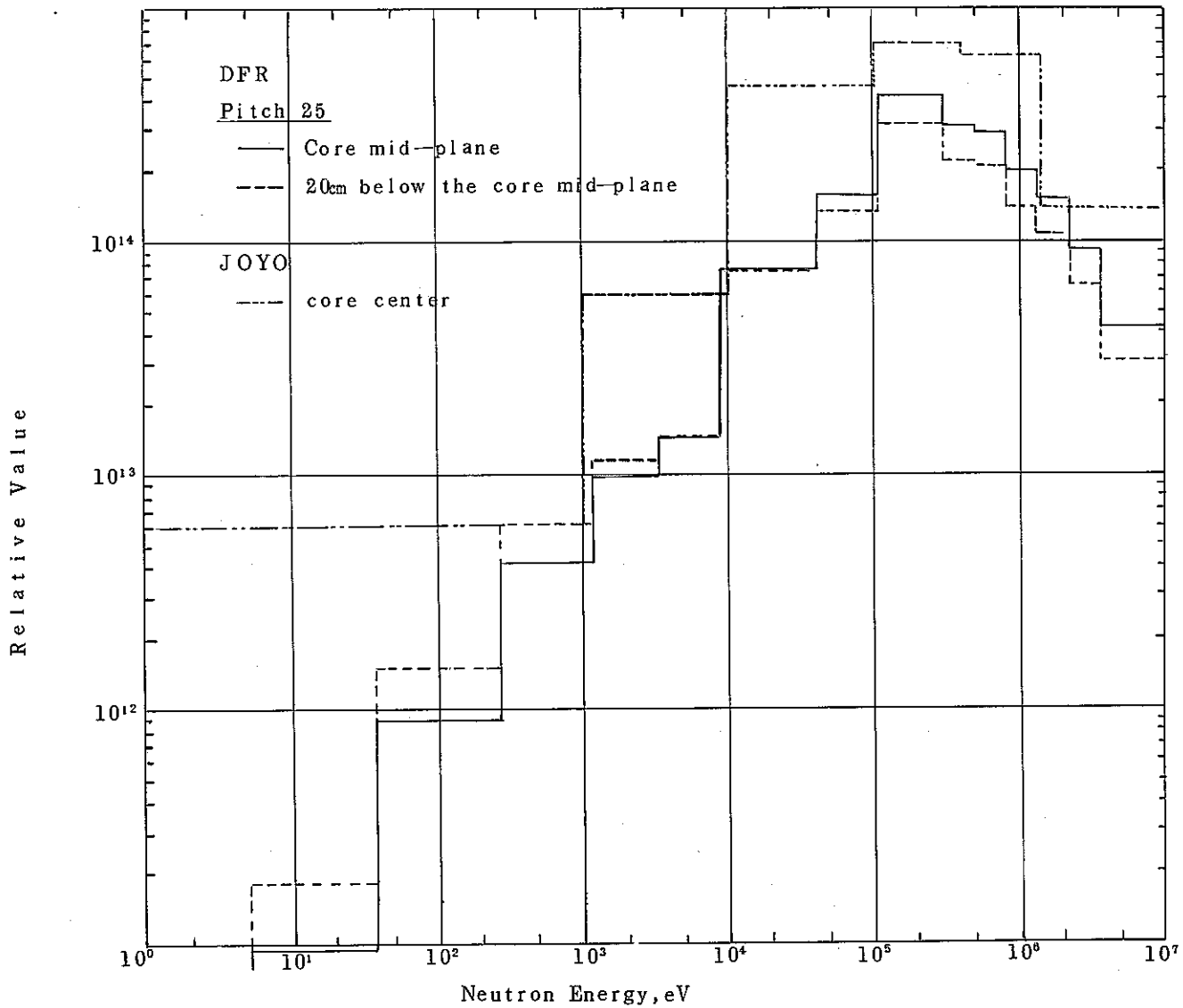


Fig.6 NEUTRON ENERGY SPECTRUM AT PITCH 25

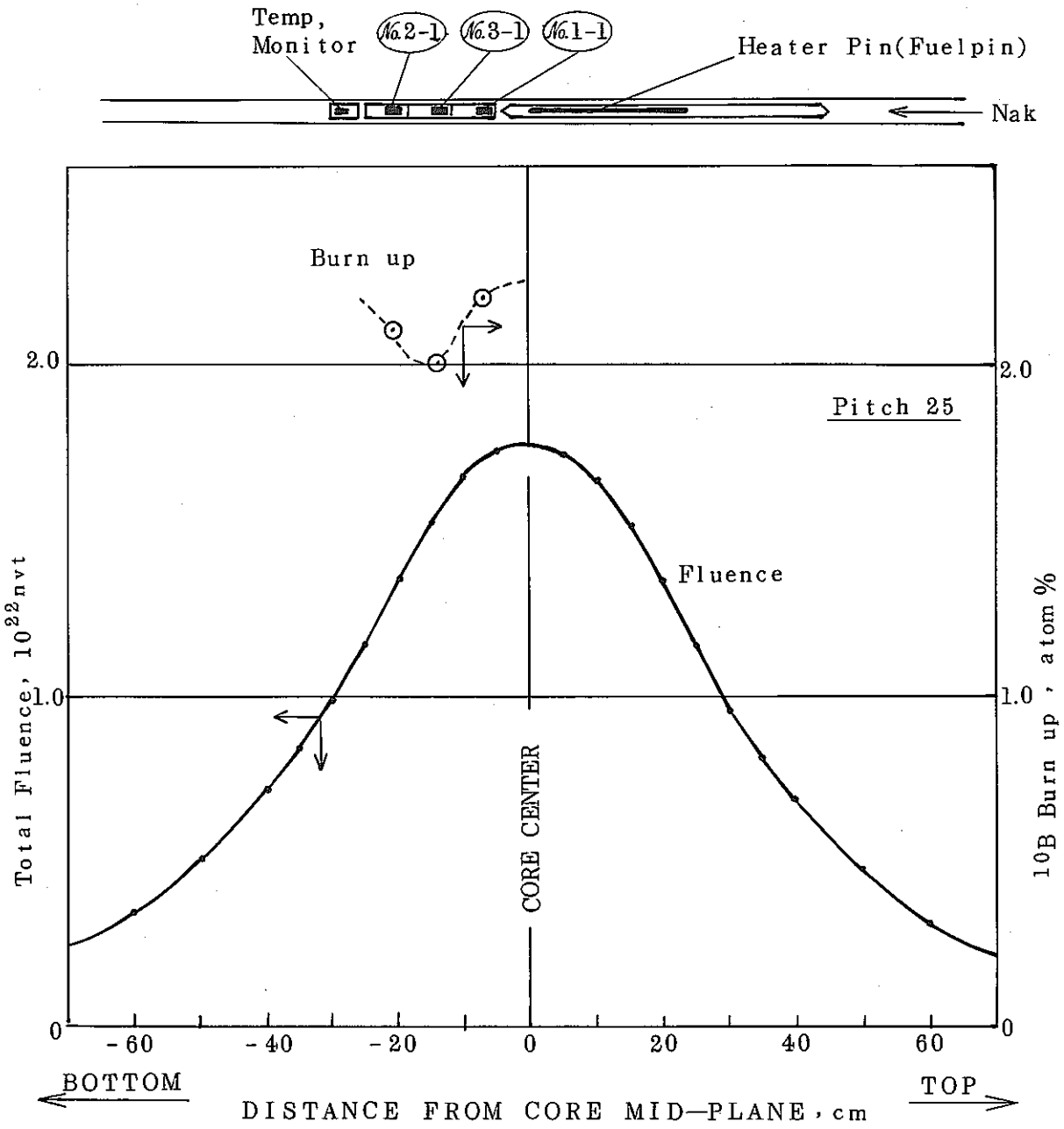


Fig.7 AXIAL DISTRIBUTION OF TOTAL FLUENCE AND BURN UP

4. 照射後試験結果

4.1 非破壊照射後試験

DFR炉心内での約112日間の照射完了後、リグをDEREのホットラボに移し照射後試験を行なった。

DEDEのホットラボで実施した非破壊照射後試験は、

(1) リグ全体のX線ラジオグラフィ

(2) リグ解体

(3) 各キャプセルの各観検査（含外観写真）

(4) 各キャプセルのX線ラジオグラフィ

(5) 各キャプセルの寸法・重量測定

(6) 温度モニタ（SiC）による冷却材温度評価

等で、SiCによる温度評価以外の結果はキャプセルの非破壊試験報告書[1)]として既に入手済みである。

照射後のリグ全体及びリグ解体後の各々のキャプセルのX線ラジオグラフィをFig.8およびFig.9に示した。これらX線ラジオグラフィやFig.10の外観写真に示されているようにキャプセルはすべて十分に良好な状態を保っていた。

4.2 破壊照射後試験

前述の非破壊照射後試験に引続いてパンクチャー・テストを行なった後、キャプセルの切断を行ない、B_4Cペレットの破壊照射後試験を行なった。

No.1—1キャプセル内のB_4Cペレットがこわれていたために、当初の破壊照射後試験計画に若干の変更が加わり、最終的にはTable 4に示したような項目の試験を行なうことになった。X線回析、密度測定、および燃焼度測定についてはペレット径方向の2点または3点について行なうことにした。

Table 4 The scope of Destructive Examinations

	Top Specimen No 1 — 1	Bottom Specimen No 2 — 1	Middle Specimen No 3 — 1
Metallurgical Examination	—	1 section	1 section
^{10}B Burn Up Analysis	2	3	3
Density Measurements	1	3	3
Micro drilling to obtain Lattice Parameters	—	3	3
X-Ray diffraction	2	3	3
Electron Microscopy	1	—	—

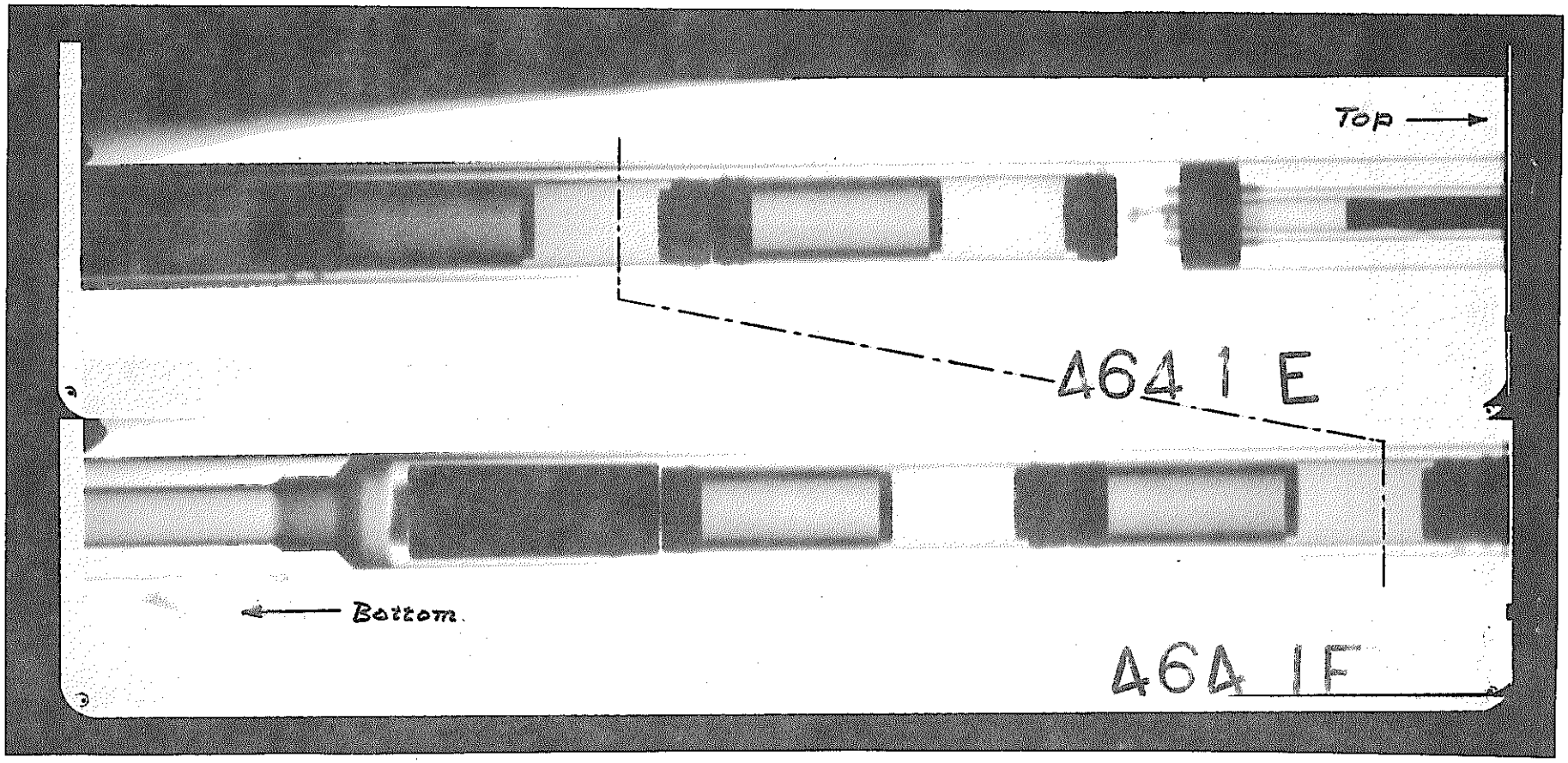


Fig.9 X—Ray Radiography of Irradiation Vehicle

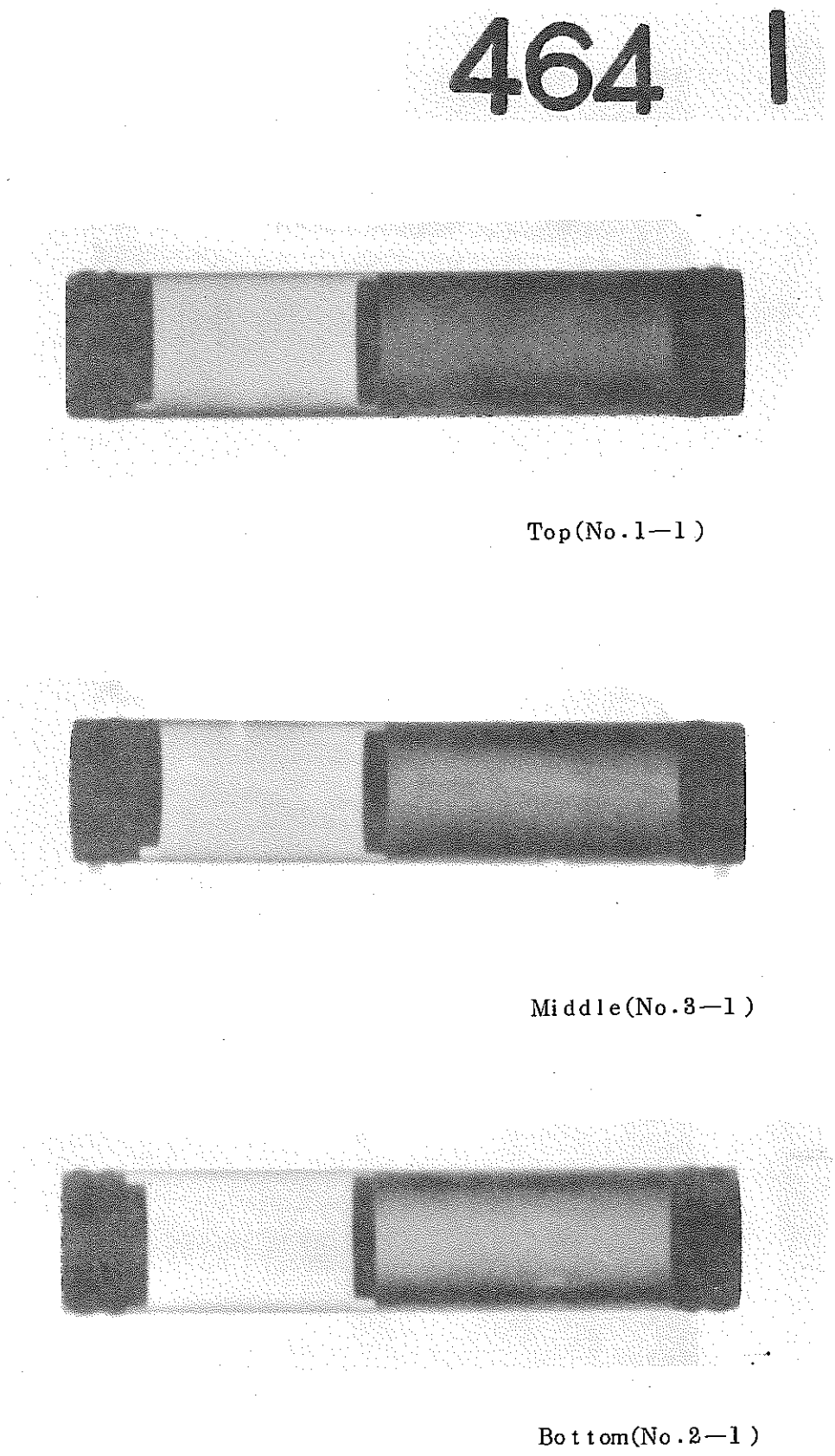
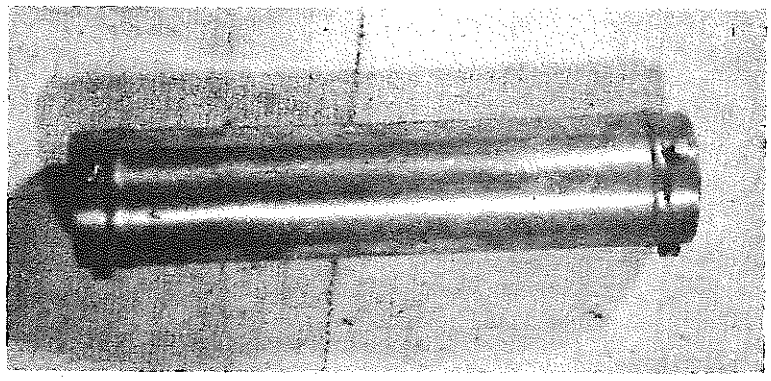
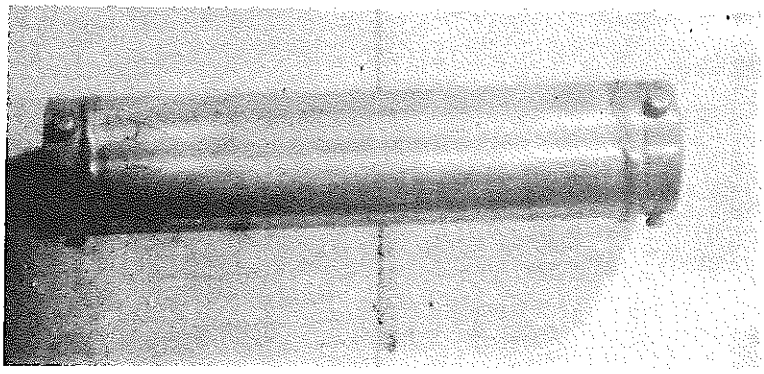


Fig.9 X-ray Radiography of B_4C Capsules after Irradiation



Top(No.1—1)

Middle(No.3—1)



Bottom(No.2—1)

Fig.10 B_4C Capsules after Irradiation

これらの英国における破壊照射後試験は既に完了しているが、その結果についての最終報告書は未だ入手されてない。なお、試験済み試料はすべて国内に持帰り、大洗工学センター照射材料試験室（MMF）で追加の照射後試験を行なう予定である。

破壊試験の最終報告書は前述の如く未入手であるが、これまでに断片的に入手した結果を以下にまとめておく。これらは、

(1) 英国原子力公社からのテレックスによる情報

(2) 昭和47年7月に英国原子力公社のメンバーが来日した際にDEREのK.Q. Bagley博士より入手した資料

(3) 昭和47年11月にFBR本部樫原研究員がDEREを訪問した際に入手した資料[2)]

等をまとめたものである。

A. ヘリウムガス放出率

パンクチャー・テストの結果については1972年6月2日付けのテレックスで以下のような報告を入手した。この結果は前述の非破壊試験報告書[1)]にも記載されている。

The gas release data obtained from the three capsules in DFR 464/1 were as follows:

Table 5 Gas Release Data

Capsule Position in Rig	Volume of Gas Extracted 20°C, ml	Volume of Helium Derived from Boron STP, ml	Estimated B.U. of Boron % B—10 atoms	Helium Released % Helium Generated
Top (No.1—1)	58	51	2.2	21
Middle (No.3—1)	28	23	2.0	10
Bottom (No.2—1)	20	16	2.1	7

— Telex R—137 (2/6/72) —

47年7月に来日したK.Q.Bagley博士によれば、DEREのパンクチャー・マシンにおけるガス捕集系の全容積は2032 mlで、今回のキャプセル・パンクチャー時の系内圧力の読みは、パンクチャー前が0.01mmHg，パンクチャー後は10〜20mmHgであった。

また、ヘリウムガス放出率の算出にあたって使用した^{10}Bの燃焼によるヘリウムガス生成量は計算から求めたものであり、その計算には、自己遮蔽効果（Self shielding factor）は考慮されていないとのことである。Bagley氏から入手した計算メモを以下に記しておく。

D1217 P.N.C. B4C exp. DFR 464/1

Irradiation for 111.9 days at P.25

R.R. at core centre $= 1.044 \times 10^{-24} \times 2.5 \times 10^{15}$

$= 2.61 \times 10^{-9}$ r/at/sec

$= 2.255 \times 10^{-4}$ r/at/day

$= 2.523 \times 10^{-2}$ r/irrdn

Axial posi. of mid pt. of B4C pellets — 7.2 cms Capsule 1

— 13.9 cms 〃 2

— 20.6 cms 〃 3

∴ % Burn up of ^{10}B(in a/o) = 2.2% for Capsule 1

2.0% 〃 2

2.1% 〃 3

These estimates are based on TRG Memo 4042(D).

Volume of pellet of B4C $= \frac{13.6}{2}^{2} \pi h = 46.24 \times 3.142 \times 20$ c.m.m.

$= 2.906$ c.cms.

$\rho = 2.5$ gr/cc

wt. of B4C = 7.3 gr.

90.3 w/o enriched ∴ wt. of $B^{10} \cong 5.1$ gr.

1 gr mol in B^{10} = 10gr or 0.5 gr mol. wts/capsule $= 3.115 \times 10^{23}$ atoms

of these 6.85×10^{21} atoms have converted to helium.

∴ at STP 1 gr mol vol occupies 22.4l

∴ Vol of helium/capsule 250cc

These figures can only be regarded as estimates as no allowance is made for selfshielding or flux depression.

I hope they will meet your requirements. If you have any question please let me know.

Bagley氏によれば、Self shielding factorの推定値は0.5(注)であり、ペレット全体の平均燃焼度を考える際は英国側の計算値（2.0～2.2 atom%）にこの値をかけなければならないということであったが、その考え方に従えば、ヘリウム・ガス放出率計算時にもselt shielding factorを考慮に入れるべきであり、その結果は次のようになる。

Table 6 Corrected Helium Gas Release Rate

Capsnle Position in Rig	Corrected Estimation of ^{10}B Burn Up % B—10 atoms	Helium Gas Release Rate %
Top (No.1—1)	1.1	42
Middle (No.3—1)	1.0	20
Bottom (No.2—1)	1.05	14

この修正結果を米国の照射データと比較してFig.11に示した。

ヘリウム・ガス放出率については今後、質量分析結果その他から平均燃焼度の正確な評価を行なうことにより再度評価する必要がある。

また、ガス放出率は照射温度と対応させて考えるべきであり、照射中のペレット平均温度に関する正確な評価も今後行なわなければならない。

(注) 正確な値を知らせるよう連絡しているが回答は得られていない。

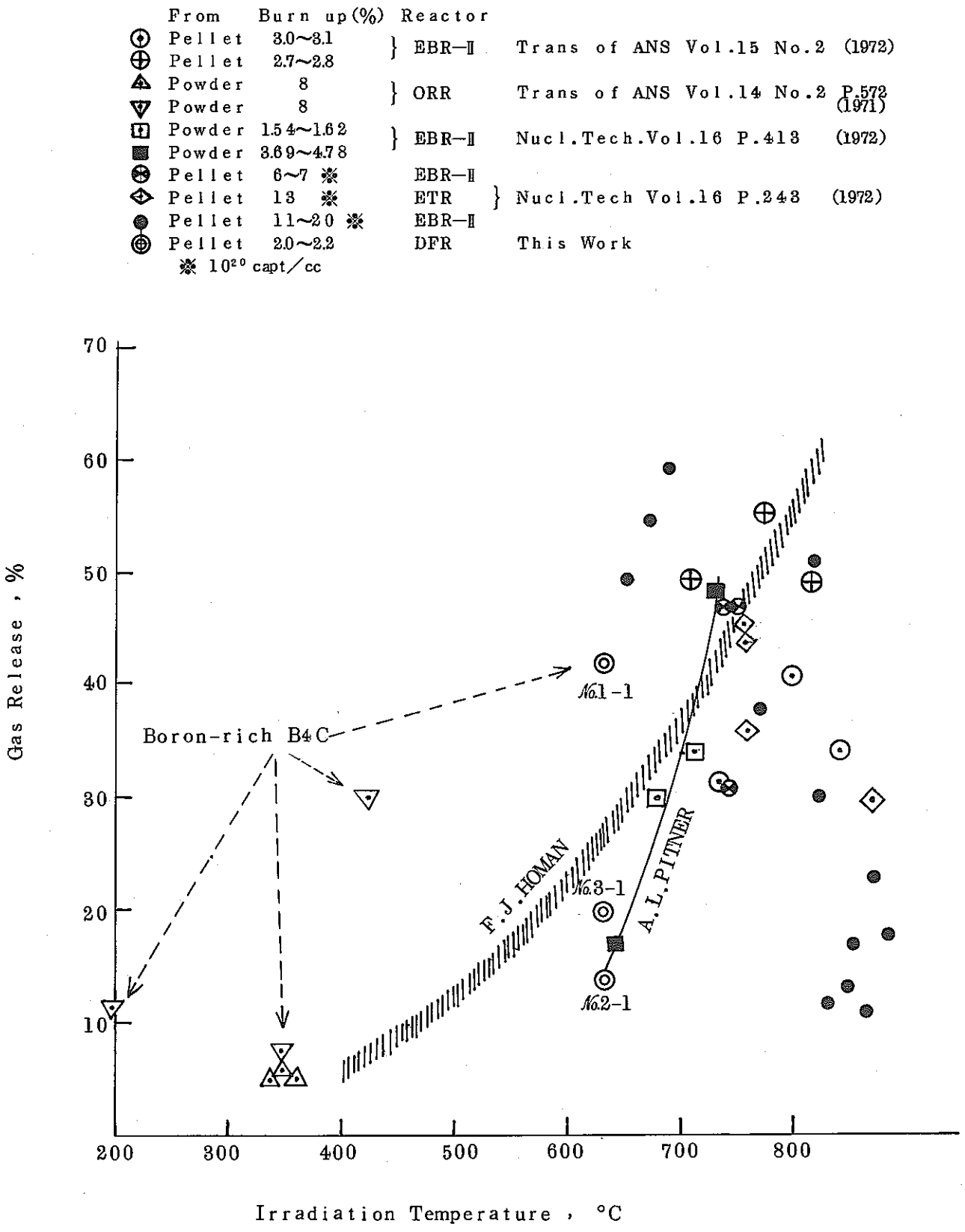


Fig.11 Gas Release from Irradiated Boron Carbide

B ペレットの欠け，割れ

ヘリウム・ガス捕集を行なった後キャプセルを切断したところ、ペレットに割れが生じていることが明らかになった。この点についてのテレックスによる英国からの最初の連絡は以下の通りであった。

REF BORON CARBIDE IRRADIATION EXPERIMENT DFR 464/1
THE THREE CAPSULES CONTAINING THE IRRADIATED SAMPLES HAVE BEEN CUT OPEN TO EXPOSE THE TOP OF THE CARBIDE PELLETS AND IT CAN BE SEEN THAT THE PELLETS ARE EXTENSIVELY CRACKED ALTHOUGH THEY REMAIN COHERENT WHILE SUPPORTED BY THE STAINLESS STEEL CLAD. ON ATTEMPTING TO EXTRACT THE BORON CARBIDE FROM THE FIRST CAPSULE, THE PELLET FRAGMENTED INTO A HEAP OF IRREGULARLY SHAPED PIECES OF MAXIMUM DIMENSION APPROXIMATELY 3MM AND THE ORIGINAL POSITION OF ANY FRAGMENT WITHIN THE PELLET CANNOT BE ESTABLISHED. NO ATTEMP WILL BE MADE TO EXTRACT THE PELLETS FROM THE REMAINING CAPSULES UNTIL WE HEAR FROM YOU.

— Telex R—117 (9/5/72) —

THE PELLET WHICH FRACTURED DURING EXTRACTION FROM THE CAPSULE WAS NUMBERED 1.1 AND OCCUPIED THE HIGHEST POSITION IN THE VEHICLE.

— Telex R—137 (2/6/72) —

この連絡により、本照射試験の前に実施したGETR—B4C照射試験[3]で経験したような"粉化現象"を当初予想したが、事実はそれほどではなく、Fig.12〜14に示す通りであった。

VISUAL EXAMINATION OF 464/1 CAPSULES

UPPER CAPSULE (No.1—1)

Fig 12a shows the pieces of broken B4C pellet remaining in the capsule after attempts to remove the pellet whole. Fig 12b

shows the top of the pellet which initially fell out of the capsule during these attempts.

Fig 12c shows the pieces of boron carbide which remained after removal of all the B_4C from the capsule. Even the thin end piece shown in fig 12b shattered on handling by tongs.

MIDDLE CAPSULE (No.3—1)

Fig 13 shows the capsule with the end cut off. The B_4C pellet can be seen to be heavily cracked. The circular markings are due to the capsule spacer which was in contact with this face.

BOTTOM CAPSULE (No.2—1)

Fig 14 shows the capsule as for the middle capsule. Here the B_4C pellet is rather less cracked on the visible surface. A thin crack can be seen at 8 o'clock $\frac{2}{3}$rds of the way along a radius to the pellet centre.

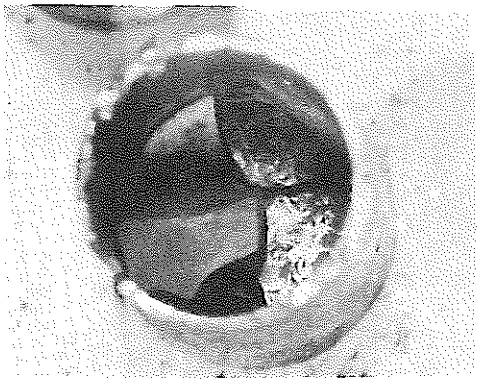


Fig.12a

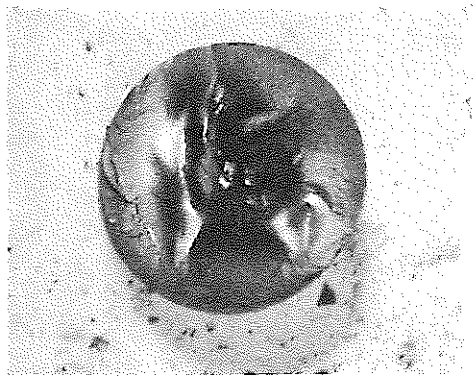


Fig.12b

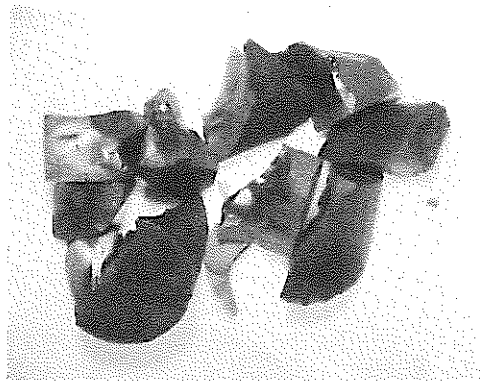


Fig.12c

Fig.12 Broken B4C Pellet No 1—1 (Top Capsule)

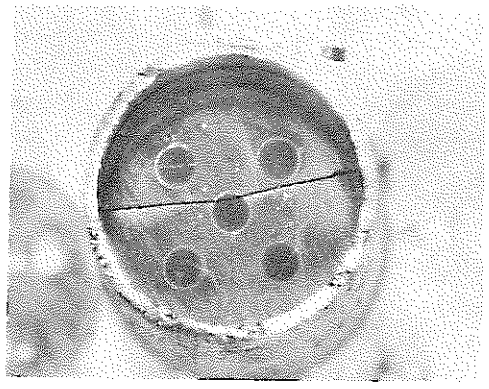


Fig.13 Top View of Specimen No.3—1
(Middle Capsule)

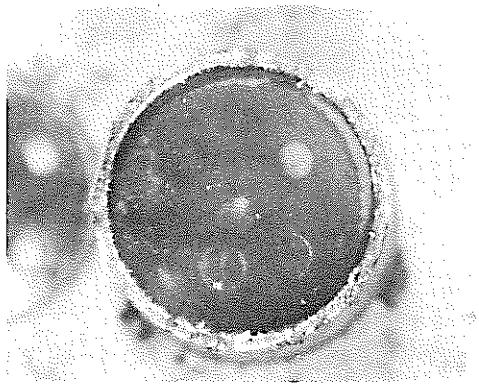


Fig.14 Top View of Specimen No.2—1
(Bottom Capsule)

最もひどい割れを示したのは化学量論的にホウ素過剰なNo.1—1ペレットであり、ほぼストイキオメトリックなNo.2—1ペレットの場合、外観写真上クラックはほとんど見えなかった。炭素過剰のNo.3—1ペレットの割れはNo.1—1に比べるとはるかに軽度であった。これらの結果から、割れに対してはストイキオメトリックなB4Cペレットが最も安定であり、ホウ素過剰なペレットは最も不安定であるという推論ができる。

最も割れのひどいNo.1—1ペレットも、キャプセル内ではペレットの形状を保っていたことはX線ラジオグラフィ等からも明らかであり、当初心配されたような下部プレナムのペレット破片の落ち込みも起こらなかったようである。

PARTICLES OF B4C IN CAPSULE PLENA

NO SIGN OF LOOSE PARTICLES COULD BE SEEN WITHIN THE CAPSULES IN THE SPACE ABOVE OR BELOW THE PELLETS DURING X-RADIOGRAPHY EXAMINATION OR FIRST INSPECTION AFTER CUTTING OPEN THE CAPSULES. DISINTEGRATION OF THE PELLET FROM CAPSULE I OCCURRED ONLY AFTER ATTEMPTS WERE MADE TO EXTRACT IT FROM ITS CAPSULE AND THE PIECES RETRIEVED WERE RELATIVELY LARGE AND ANGULAR : FINE PARTICLES WERE NOT SEEN AMONG THE FRAGMENTS.

— Telex R—239 (18/9/72) —

GETR（熱中性子炉）で照射したB4Cディスク（^{10}B濃縮度90%，密度約99%T.D. ディスク厚さ0.5㎜）は"粉化"と云えるほどまでに細かく崩壊してしまい、[3]今回のDFR照射試験を計画した背景には、こういった現象がペレット状のB4Cについても、高速炉内で制御棒として使用している間に起こるのではないかという危惧があった。しかしながら、今回の照射試験の結果からは、高速炉照射においては、ペレットに"割れ"は生ずるものの、"粉化"にまでは至らないということが確認できた。但し、今回照射試験では、^{10}B平均燃焼度の推定値は1 atom%程度であり、「常陽」制御棒として使用されるB4Cペレットの予想到達燃焼度約5 atom%に比べるとはるかに低いという点には注意する必要がある。

GETRで経験したB4Cの"粉化現象"は照射試料が非常に薄いディスク状であったことと、熱中性子による照射であるという特殊事情に困るところが大きいと推定される。

Fig.12およびFig.13からペレットの割れはいずれも、中心部から外側に向かって放射状に発生しており、これらの割れは照射中にペレット内に生じた温度勾配との相関が深いものと思われる。

ペレットに割れが生じる原因の1つとして原子炉の起動・停止に伴う熱衝撃が考えられるが、その影響を調べるために44年度に行なった炉外熱衝撃試験の結果の一部をFig.15に示す。

ここに見られる破面の外観は、Fig.12cに見られる破面の外観に非常に良く似ていることがわかる。

Fig.15は温度差230°C（370°C～500°C）の急熱急冷を50回繰返した結果であるが、温度変化の大きさを430°Cとした熱衝撃試験では1～3回の急熱・急冷の繰返しでペレットに亀裂が生じた。[4)]

今回の照射試験では、炉の起動・停止に伴う熱サイクル数は7回で、それに伴うペレット中心部の温度変化は440°C程度[(注)]であったと推定される。

以上述べたように、今回の照射ペレットに関しては、その割れ方や破面の状況から判断して熱的な効果、すなわち、熱衝撃が、割れの主要原因であったと考えられる。

(注) 照射中のペレット中心温度は計算上では670°C、これに対し、停止時のペレット温度は、冷却材入口温度に等しくなると仮定すれば230°Cとなる。従って炉運転時（全出力）と炉上時のペレット中心温度の変化は670－230＝440°Cとなる。

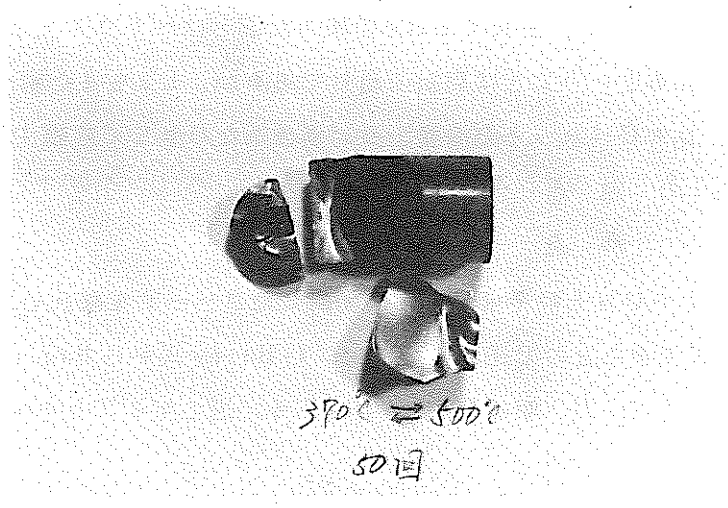


Fig.15 Apparent View of the Broken B4C Pellet After the Repeated Rapid Heating and Cooling (SJ227 70—01より)

Fig.13,14に示されたNo.2—1およびNo.3—1ペレットの端面には両方とも、孔あきディスクと接触していた跡が残されているが、No.3—1のほうがその跡がより明確についている。

このことからは、ステンレス鋼とB4Cとの化学的両立性に対して、B4Cのストイキオメトリが何らかの影響を及ぼすのではないかということが推測される。この点については試料の国内持帰り後、追加照射後試験で詳細に調べる必要があろう。

また、キャプセルとペレットとの間にはギャップがある程度残っており、キャプセルから比較的容易にペレットを取りだすことができたという点についても注目すべきであろう。

YOU MAY BE INTERESTED TO LEARN THAT THE BROKEN CARBIDE PELLET IN THE SECOND CAPSULE EXAMINED PUSHED OUT WITHOUT DIFFICULTY.

— Telex R—181 (19/7/72) —

C　Liの移動について

^{10}Bは中性子とのいわゆる（n，α）反応により、ヘリウム（He）とリチウム（Li）とを生成する。生成するHeの相当な部分はヘリウム・ガスとしてペレット外に放出されるということは周知の通りであるが、Liもまた融点や沸点が比較的低いために、B4Cペレットの温度が高い場合かなり激しく移動すると云われている。

Liの　融　点 …… 181°C

　　沸　点 …… 1338°C

No.1—1ペレットのキャプセルに使用したスペーサを酸洗いしたところ、30mgのLiが回収できたとの記述が以下に掲げたBatey氏からBagley氏への手紙にある。このことから、Liの一部はB4Cペレット外に出てキャプセル内壁等に付着するということが明らかになった。

（47.7.28　Dr.Bagleyより入手の資料）

DFR 464/1 B4C Experiment

Capsule 1.

Samples from edge and centre have been sent for:

i) Density

ii) X—ray measurements (lattice parameter)

iii) Burn—up estimation

The spacer was leached with 2—N HNO_3 and Li^7 value of 2.00mg/cm² obtained (30 ± 1 Mg of Li / 15 cm²).

Capsule 2.

The intact boron carbide pellet was extracted from the clad and mounted in resin and then cut in half.

One half is being examined metallographically at the present time (preliminary obtained photos are enclosed in PNDC copy only). The other half has been sent to Chemistry for drilling in the three agreed position — edge, mid-radius and center. The drillings will then be sent for burn—up and lattice parameter estimations.

To be started

Capsule 1　A sample has yet to be sent for electron microscopic examination by replica technique for examination of a fracture surface.

Batey
F & M
15/7/72

D　照射済みB4Cペレットの線量率

キャプセルから取出し、中心面で2分割したNo.3−1ペレットの片方（約3.4g）について、昭和47年7月14日に線量測定を行なった。その結果は以下の通りであった。

1フィート離れて	4mR/hr
表面密着状態で	16mR/hr

この値は表現を変えれば、

1.24mR/hr/g　at　30cm

となる。

RADIOACTIVITY

THE DOSE RATE MEASURED ON A HALF PELLET FROM CAPSULE 2 WAS 4MR / HR AT 1 FOOT, 16 MR / HR AT 'CONTACT'. PELLET 3 IS STILL IN ITS STAINLESS STEEL SLEEVE AND, PROVIDED IT CAN BE PUSHED OUT INTACT, ACTIVITY MEASUREMENTS WILL BE REPEATED ON THE BARE PELLET.

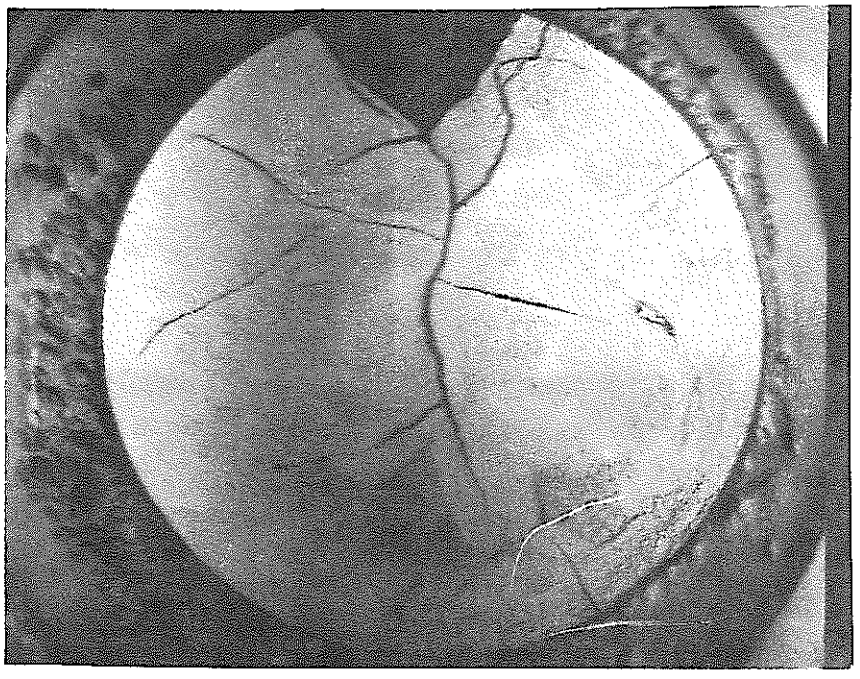
— Telex R—239　(18/9/72)　—

なお、照射が終了したのは昭和46年11月9日であるから、上記の測定までには247日の冷却期間があったことになる。

E 金相試験

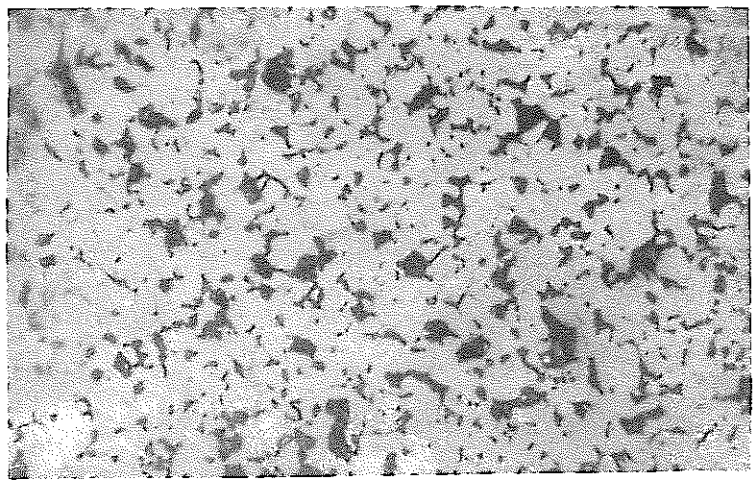
金相写真はこれまでに、No.3—1ペレットに関するもののみを入手している。入手した写真をFig.16およびFig.17に示す。

（注：これら写真の原版は処理状態が悪く部分的に変色してしまっている。）

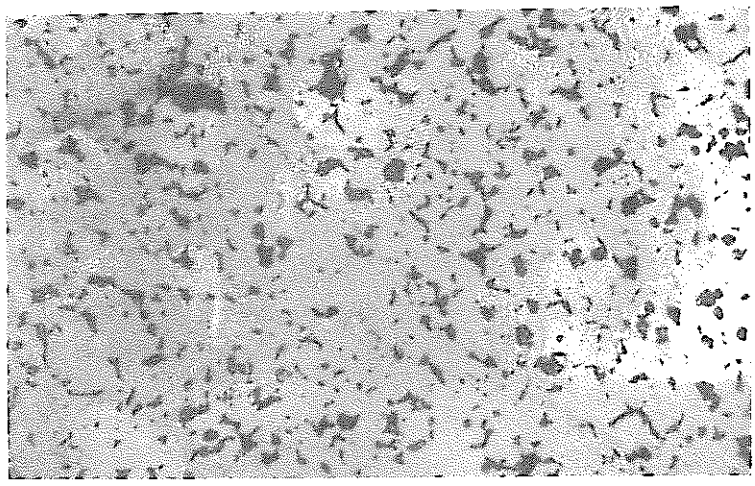


Macro(Middle Capsule) X～7.5

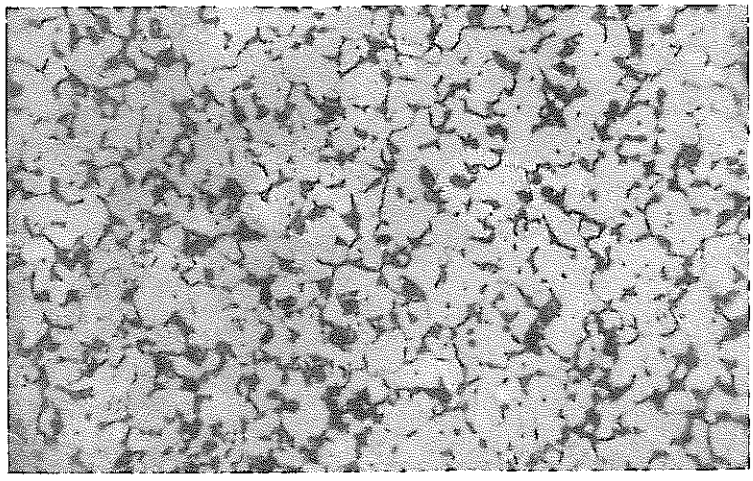
Fig.16 Macrography of No.3—1 Specimen (Middle Capsule)



EDGE ×500



CENTRE ×500



MID RADIUS ×500

Fig.17 Micrography of No.3—1 Specimen (Middle Capsule)

F　密度測定

今回照射したＢ４Ｃペレットは^{10}Ｂ濃縮度が９０％と高く、自己遮蔽効果が比較的大きいために、ペレットの中心部と外側では^{10}Ｂ燃焼度が相当異ることが予想された。

そこで、密度変化についてもペレット中心部と外側とである程度の差が生ずるであろうということから、No.2—1およびNo.3—1ペレットに関しては径方向３ケ所（center，mid—radius，edge）、No.1—1ペレットについては径方向２ケ所（center，edge）の密度測定を試みた。

No.1—1ペレットはキャプセルから取出す際に崩れてしまったので、ペレットの中心部と外側のそれぞれに相当する破片を適当にひろい出し密度測定を行ない、以下のような結果を得た。

Table 7　Density of B4C Pellet No.1—1 before and after Irradiation

Before Irradiation		2.33 g/m³	Calculated from weight and dimension
After Irradiation	Center	2.310	Measured by immersion method
	Edge	2.282	

他のペレットに関する結果は現在のところ未入手である。

なお、測定方法はいわゆる液浸法で、1.回の測定に必要なサンプル量は約1.5ｇであり、測定精度は±0.05％(注)ということである。（引用文献(2)，ページ76参照）

(注)　±5％または±0.05g／ccのことか？

G　^{10}B質量分析

^{10}B燃焼度の径方向分布を調べるために、密度測定の場合と同様にNo.2—1およびNo.3—1ペレットについては径方向3ケ所から、またNo.1—1ペレットについては2ケ所からサンプリングして、それぞれ^{10}B/^{11}Bの質量分析を行なった。

樫原研究員（当時ＦＢＲ本部，現在大洗工学センターＦＭＦ勤務）がＤＥＲＥを訪問した際に入手した結果を以下に示す。

Table 8　Result of ^{10}B/^{11}B Mass Analysis

Specimen Identification and Sampling Position	Atom %		Weight %	
	B^{10}	B^{11}	B^{10}	B^{11}
Unirradiated Specimen	89.60	10.40	89.49	10.51
Pellet No.2—1 (Bottom)				
Edge	89.46	10.54	89.35	10.05
Mid—radius	89.38	10.62	89.28	10.72
Center	89.37	10.63	89.27	10.73
Pellet No.3—1 (Middle)				
Edge	89.18	10.82	89.07	10.93
Mid—radins	89.54	10.46	89.43	10.57
Center	89.47	10.53	89.36	10.64
Pellet No.1—1 (Top)				
Edge	89.44	10.56	89.34	10.66
Center	89.51	10.49	89.40	10.60

これらの結果から得られる^{10}B燃焼度は0.06～0.42 atom %となり、これは計算による推定値（Self shielding factorを考慮しないで、2.0～2.2 atom %）に比べ非常に小さい。この点については、質量分析の精度とあわせて、測定結果そのものについても詳細に検討する必要がある。英国ではこの後、もう一度分析をやり直しているようであるが、新しい結果は現在のところ未だ入手されていない。

質量分析の結果は燃焼度、およびヘリウム・ガス放出率決定の際の決め手となる重要データであるので、試料持帰り後再度我々自身の手で質量分析を行なってみることも必要であろう。

H　SiC温度モニターによる冷却材温度の評価

SiC温度モニターにより得られた冷却材温度は以下のテレックスに記されているように、455±20°Cであった。

TEMPERATURE INDICATIONS

THE SILICON CARBIDE TEMPERATURE MONITORS FROM THE BOTTEM OF THE VEHICLE INDICATED A TEMPERATURE OF 455 ± 20 DEG C. THIS VALUE WAS DETERMINED BY THE STANDARD INFLEXION TECHNIOUE IN WHICH LATTICE PARAMETERS ARE MEASURED AFTER ANNEALING AT SPECIFIC TEMPERATURES ON EITRER SIDE OF THE PREDICTED IRRADIATION TEMPERATURE AND THE ACTUAL TEMPERATURE INFERRED FROM THE POINT OF INTERSECTION OF THE TWO LINES OBTAINED BY JOINING THE EXPERIMENTAL VALUES.

— Telex R—239 (18/9/72) —

当初の設計では被覆管温度（mid—wall temp）が418°Cということであったが上記の結果を見ると、実際の照射温度は設計値より数10°C高かったことがわかる。ペレットの照射温度については今後、上記温度モニタによる測定結果や、^{10}B質量分析結果から逆算した発熱量等をもとに再評価する必要がある。

5. むすび

以上、照射計画の概要とこれまでに入手した照射後試験結果をまとめたが、ここに収録したデータは完全なものではない。従って結果についての最終的な評価は、データが完全にそろった時点、すなわち英国における破壊照射後試験の最終報告書を入手した後に行なうべきであろうが、現時点までに得られた結果を総括すると以下のようなことがいえる。

(1) ペレットは照射により割れを生じ、キャプセルから取出した後、崩壊したものであったが、その破片は比較的大きく、"粉化"には至らなかった。

(2) 割れは、化学量論的にホウ素濃度が過剰のB4Cペレットにおいて最もひどく、ストイキオメトリックなB4Cペレットは最も割れが軽度であった。

(3) 今回のB4Cペレットの割れの最も主要な原因は原子炉の起動・停止に伴う熱衝撃と考えられる。

(4) ヘリウム・ガスの放出率はホウ素量過剰のペレットが最も高く(40%以上)、ストイキオメトリックなペレットが最も低かった(14%)。炭素過剰のB4Cペレットは両者の中間の値を示した。

(5) ^{10}Bの(n,α)反応によって生じるLiの一部はペレット外に蒸発して被覆管内壁等に付着する。

(7) 照射済みペレットの線量率は約250日の冷却後の測定では30cm離れて約1.24mR/hr/g—B4Cであった。

今回の照射試験ではホウ素含有量の異る3ケのB4Cペレットを照射したが、その照射条件は3ケについてほぼ同一であり、割れや、ヘリウム・ガス放出率等から判断すると、化学量論的なB4Cペレットが、照射に対して最も安定であったと結論できる。

なお。英国で試験の済んだB4C試料はキャプセル部材とともに国内に持帰り、大洗工学センター照射材料試験室において追加の照射後試験を行なう予定である。

参　照　文　献

(1) SB 001 OE/464/023

The Post Irradiation Non—Destructive Examination of the PNC Boron(90% Enriched B^{10}) Carbide Capsules Experiment DFR464/1 At an Estimated 2.0～2.2% Burn Up B^{10} Atoms

D.A.Campbell, W.M.Sloss(DERE), June 1972

(2) SN260 73—03

海外出張報告（フランスおよびイギリス）

高速増殖炉開発本部　昭和48年2月

(3) SA 002 71 NEDC—12179

Post—Irradiation Examination of PNC—B4C Wafers

R.E.Smith et al, (GE—IPO), March 1971

(4) SJ227 70—01

B4Cペレットの物性測定ならびにB4Cペレット片より焼結用粉末の回収試験

電気化学工業株式会社　昭和45年2月28日

APPENDICES

Appendix—1

英国原子力公社との照射試験契約書に添付の試験計画

Appendix—2

キャプセル及び照射リグの図面

Appendix—3

部材検査結果及び写真

Appendix—4

MATERIAL INSPECTION RECORDS to Accompany Parts of Absorber Pins Supplied by P.N.C for DFR—B4C Irradiation Program

Appendix—5

DFR 464/1 B4C Experiment Pre—Irradiation Information

Appendix—6

DFR 464/1 B4Cの照射後試験についてのK.Q.Bagley氏との打合せメモ

Appendix—7

COMPUTER OUTPUT

DFR 464/1 PNC B4C Neturon Dose in 15 Groups (N.V.T.)

Appendix—8

DEREでの設計計算時に使用したGap Conductanceの逆算推定

Appendix—1

英国原子力公社との照射試験契約書に添付の試験計画

Schedule A

Specifications for Irradiation in DFR of PNC Boron Carbide Specimens

(A)	Specimen	Boron Carbide B_4C
	No. of Pellets B_4C	1 per capsule
	Pellet dia	13.6 mm
	Pellet length	20.0 mm
	Pellet density	97-99% T.D.
	B10 enrichment	90.3 wt %
(A)	Capsule	
	No. of Capsules	3
	Outer diameter (over pips)	17.7 mm
	Outer diameter (over barrel)	15.0 mm
	Inner diameter	13.8 mm
	Assembly details	Drawing ZAE 71710
	~~Foil material (if any)~~	
(B)	Irradiation Conditions	
	Cladding temperature	Approx 418 °C
	Specimen centre temperature	Approx 670 °C
	No. of Reactor Operating Runs	2 - 69 and 70
	Irradiation Vehicle	Drawing ZAE 71710.

SCHEDULE B

PROGRAMME FOR THE IRRADIATION IN DFR OF PNC BORON CARBIDE SPECIMENS

SCHEDULED REACTOR RUN NO. NOMINAL DAYS DURATION IRRADIATION - 55 days SHUT DOWN - 30 days	69 70 71 72
SCHEDULED EXPERIMENT NO. DFR 464	←——→

Schedule C

Inspection Records to accompany components referred to in Schedule F.

(a) Mensuration & weight of each Specimen with identification number.

(b) Composition of Specimen material.

(c) Certification that components are in accordance with Schedule F.

Schedule D

REPORTS

(A) Reports on pre-irradiation examination

When loading of the Capsules into the Irradiation Vehicle has been completed, and the Irradiation Vehicle is loaded into the DFR, the Authority will send to PNC a report containing:

(a) A radiograph of the loaded Irradiation Vehicle showing the positions of the Capsules.

(b) Reactor Start Up Conditions

Monthly reports on irradiation conditions

Monthly reports will contain:

Reactor Operating Conditions.

Final Irradiation Report

The Authority shall prepare a final report for the Scheduled Experiment, containing:

A summary of all the data contained in the monthly reports

The final irradiation conditions

Information on the last shut-down specifying whether the encapsulated specimens have been 'quenched' or have cooled down slowly

Storage conditions (if any)

Temperature assessment from the temperature monitors

Results and accuracy of the monitoring devices

(B) Post-Irradiation Examination Report

The Authority shall prepare a report on the Post Irradiation Examination carried out. For details of the Examinations refer to Schedule E.

Schedule E

Examination of unirradiated pellets and Post Irradiation Examination of Capsules and Boron Carbide Specimens

Examination of unirradiated pellets

X-Ray diffraction (2 samples)

Burn up analysis (2 samples)

Post Irradiation

Non-Destructive Examination of Capsule

Visual Examination

Mensuration: total length, diameter of barrel

Weight

X-radiography

Assessment of Temperature Monitors

Destructive Examination

Puncture of each capsule and gas analysis

Macrography and micrography by optical microscope of each B_4C pellet

X-ray diffraction analysis of each B_4C pellet

B10 burn-up analysis of each B_4C pellet

Density and volume measurement of each B_4C pellet

Schedule F

Schedule of Material and Components to be Provided by PNC

1. B_4C Pellet

Dimension	13.6 mm diameter x 20 mm length
Enrichment	90.3 wt .%
Density	97 99 % T.D
Quantity	6
	3 for irradiation i.e. 1 per capsule
	3 for spare

2. Cladding (to be cut to length by the Authority)

Outer Diameter	15.0 mm
Inner Diameter	13.8 mm
Length	about 500 mm
Material	AISI 316
	Solution Treatment and 10 % Reduction
Quantity	4

3. Disc with holes

Dimension	12.6 dia. x 2 mm thickness
Hole Dimension	1.8 mm diameter
Material	AISI 316
Quantity	6
	3 for irradiation
	3 for spare

4. Disc without holes

Dimension	12.6 dia. x 2 mm thickness
Material	AISI 316
Quantity	6
	3 for irradiation
	3 for spare

5. Tube (to be cut to length by the Authority)

Outer Diameter	13.4 mm
Inner Diameter	10.6 mm
Length	40 mm
Material	AISI 316
Quantity	6
	3 for irradiation
	3 for spare

6. Stainless Steel Rod for End Plug (End plug manufactured by the Authority)

Diameter	18 mm
Length	150 mm
Material	AISI 316
Quantity	2

Appendix—2

キャプセル及び照射リグの図面

Drawing No. ZAE 71319

B—10 CARBIDE CAPSULE

Drawing No. ZAE 71710

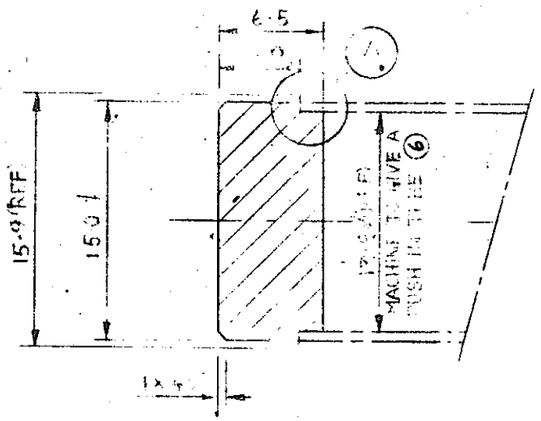
PNC B—10 CARBIDE IRRADIATION—D.F.R.

TENTATIVE PROPOSAL

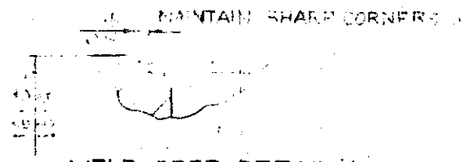
ZAE 71739

IF IN DOUBT ASK

A2 – DRAWING BLANK



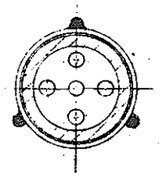
END CAP DETAIL



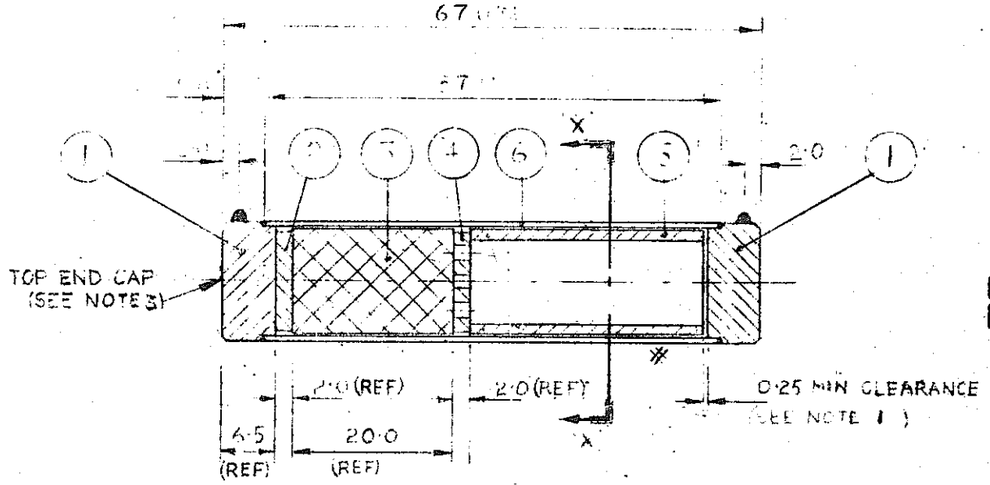
WELD PREP DETAIL A

MATERIAL LIST

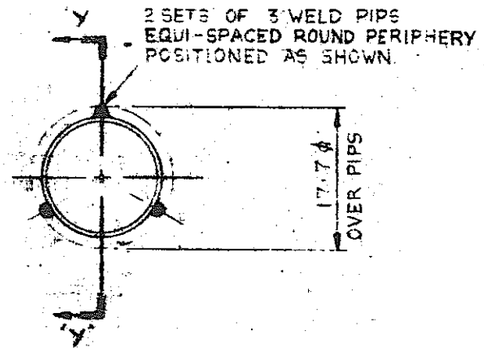
ITEM Nº	DRG Nº CODE Nº	DRG MOD	MATL	NO OFF	DESCRIPTION	SUPPLIED BY ORDER Nº
1	-		AISI 316	2	END CAP 18 mm ϕ STST. BAR.	PNC.
2			AISI 316	1	DISC 12·6 mm ϕ x 2 mm THICK.	PNC.
3			B_4C	1	B_4C PELLET 13·6 mm ϕ 20 mm LONG (SEE TABLE)	PNC.
4			AISI 316	1	DISC WITH 5 x 1·8 mm HOLES 12·6 mm ϕ x 2 mm THICK	PNC.
5			AISI 316	1	TUBE 12·4 mm O/D 10·6 mm I/D.	PNC.
6			AISI 316	1	CLADDING TUBE 15 mm O/D 13·3 mm I/D.	PNC.



SECTION 'X'-'X'



SECTION 'Y'-'Y'



B_4C PELLET (ITEM 3)	
DIMENSIONS	13·6 mm ϕ x 20 mm LONG
ENRICHMENT	90·3 % WT.
DENSITY	97 – 99% T.D.

ACTUAL SIZE.

MANUFACTURE NOTES

1) ITEM 5 TO BE MACHINED TO GIVE 0·25 mm MINIMUM CLEARANCE WITH ITEM 1.
2) ELECTRO ETCH DRG Nº & CURRENT MOD LET EF WHERE SHOWN THUS ※.
3) ELECTRO ETCH "TOP" ON TOP END CAP.
4) B_4C PELLET MUST ALWAYS BE POSITIONED AS SHOWN IN RELATION TO TOP END CAP.
5) MACHINED SURFACES TO BE 63 CLA.

DRAWING REGISTRY D.E.R.E. 6 MAY 1971

ALL DIMENSIONS, UNLESS OTHERWISE STATED, ARE IN mm

REFERENCE DRAWINGS.
ZAE 71740. – DFR464
PNC BIO CARBIDE IRRADIATION ARRGT

STANDARD NOTES.
1. REMOVE ALL BURRS AND SHARP EDGES.
2. DRAWING MUST NOT BE SCALED.
3. TOLERANCES EXCEPT WHERE STATED:– DECIMAL ± 0·1 mm
4. WELD SYMBOLS WHERE SHOWN TO B.S. 499.
5. MACHINING SYMBOLS TO ZSK 15118.

MODIFICATION	MOD. BY	APPD. BY	DATE

DRAWING OFFICE.	BIG DO
DRAWN BY	D.A. [illegible]
TRACED BY	
CHECKED BY	[illegible]
APPROVED BY	G. [illegible]
DATE.	21·2·71
SCALE.	2/1 & 4/1

SECURITY CLASS IN CONFIDENCE.

THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF THE UNITED KINGDOM ATOMIC ENERGY AUTHORITY IT MUST NOT BE COPIED OR ALTERED WITHOUT THE CONSENT OF THE AUTHORITY AND MUST BE RETURNED IMMEDIATELY ON COMPLETION OF THE ORDER.

IDENTIFICATION Nº	DIVISION	BUILDING Nº	QUANTITY
	DERE	D1100	

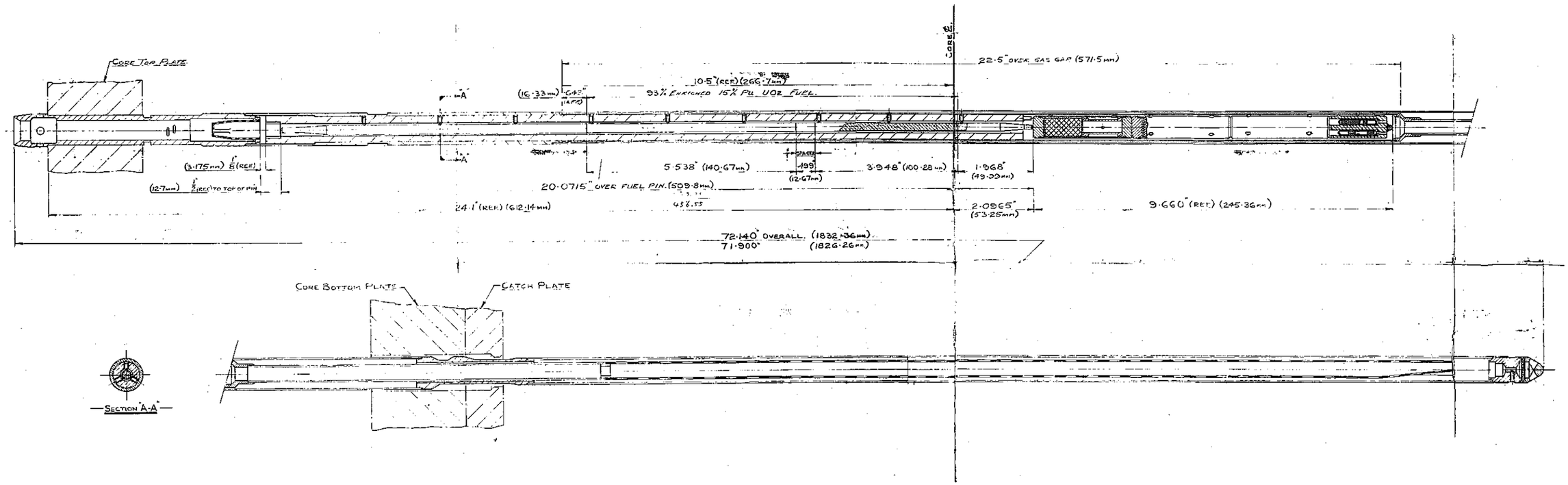
U.K.A.E.A.
DOUNREAY, THURSO, CAITHNESS.

DRAWING Nº ZAE 71739

TITLE BIO CARBIDE CAPSULE

D1100 – DETAIL – MECHANICAL

SN241 73-01



IDENTIFICATION No.	WORKS OR SITE	BUILDING No.	QUANTITY
	DOUNREAY	D1100	

UNITED KINGDOM ATOMIC ENERGY AUTHORITY
DOUNREAY THURSO CAITHNESS

DATE	DRAWING OFFICE	DRAWN BY	TRACED BY	CHECKED BY	APPROVED BY
26-11-70	RIG. O.O.	J. BUCHAN			

SCALE: FULL SIZE

DRAWING No. ZAE.71710

SECURITY CLASS: IN CONFIDENCE.

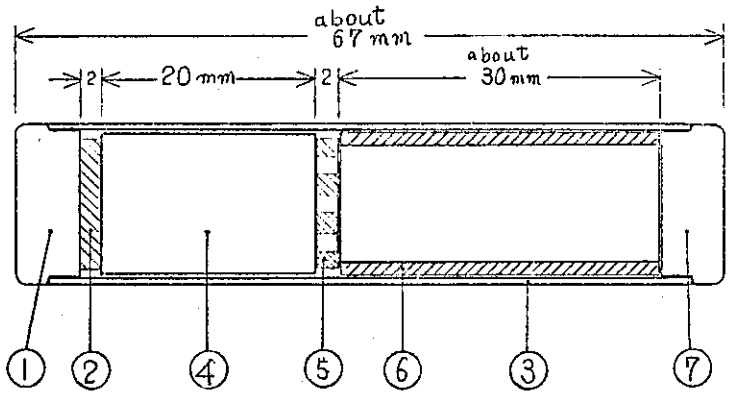
THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DOCUMENT SHALL NOT BE TRANSMITTED TO A THIRD PARTY WITHOUT TO CONSENT OF THE U.K.A.E.A.

TITLE: PNC BIO CARBIDE IRRADIATION - D.F.R.

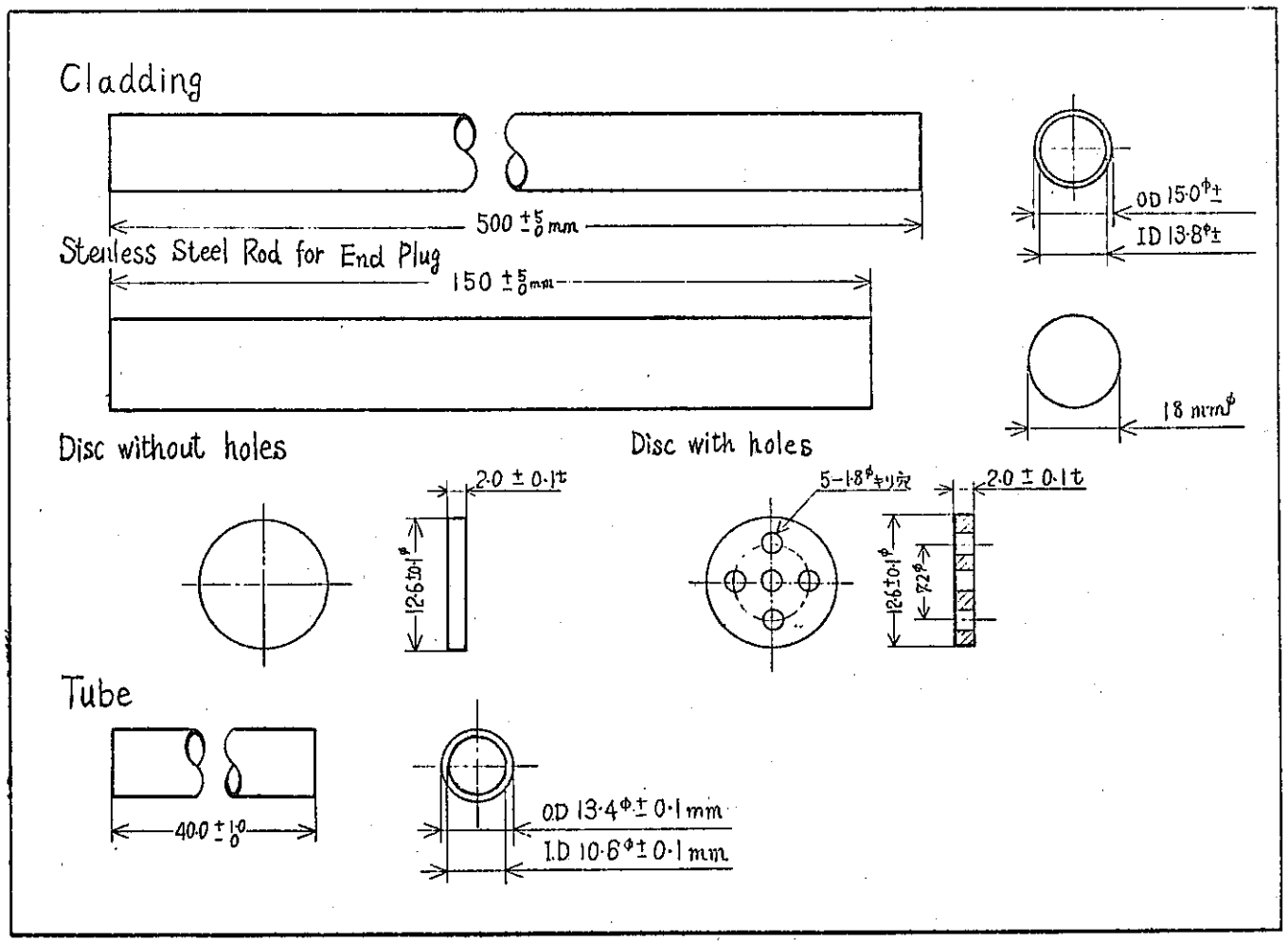
TENTATIVE PROPOSAL.

Appendix−3

DFR−B4C 部材検査結果及び写真 DFR−B4C



			Quantity
① Upper End Plug	(SUS 32)		1
② Disc without Holes	(SUS 32)	12·6$^{\phi}$ x 2	6
③ Cladding	(SUS 32)	O.D. 15$^{\phi}$, I.D. 13·8$^{\phi}$	4
④ B_4C Pellet		13·6$^{\phi}$x 20	6
⑤ Disc with Holes	(SUS 32)	12·6$^{\phi}$x 2 (穴1·8$^{\phi}$ 5ヶ付)	6
⑥ Tube	(SUS 32)	(O.D. 13·4$^{\phi}$, I.D. 10·6$^{\phi}$)x40	6
⑦ Lower End Plug	(SUS 32)		1

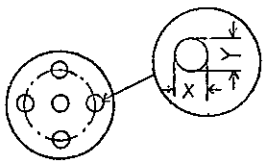

Cladding
500 ±5/0 mm
OD 15.0φ±
ID 13.8φ±
Stenless Steel Rod for End Plug
150 ±5/0 mm
18 mmφ
Disc without holes
2.0 ± 0.1t
12.6±0.1φ
Disc with holes
5-1.8φキリ穴
2.0 ± 0.1t
12.6±0.1φ
7.2φ
Tube
40.0 ±1.0/0
OD 13.4φ± 0.1 mm
I.D 10.6φ± 0.1 mm

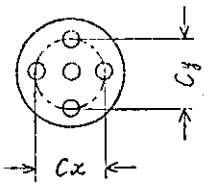
DFR-B_4C 照射用ピン部材　寸法検査表

単位 mm

部材	記号	外径 NO. 側 最大	外径 NO. 側 最小	外径 NO. 側 平均	外径 反NO. 側 最大	外径 反NO. 側 最小	外径 反NO. 側 平均	内径 NO. 側 最大	内径 NO. 側 最小	内径 NO. 側 平均	内径 反NO. 側 最大	内径 反NO. 側 最小	内径 反NO. 側 平均	長さおよび板厚	基準値
端栓	R-1	18.45	18.45	18.45	18.5	18.5	18.5	—	—	—	—	—	—	151.2	$18.0 \times 150^{+5}_{-0}$
	R-2	18.45	18.45	18.45	18.5	18.5	18.5	—	—	—	—	—	—	151.25	
スリーブ	S-1	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	40.5	OD. 13.4±0.1mm
	S-2	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	40.35	ID. 10.6±0.1mm
	S-3	13.4	13.35	13.4	13.4	13.4	13.4	10.6	10.55	10.6	10.6	10.6	10.6	40.5	長さ
	S-4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	10.6	10.6	10.6	10.6	10.55	10.6	40.55	$40.0^{+1.0}_{-0}$ mm
	S-5	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	40.5	
	S-6	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	10.6	10.55	10.6	10.6	10.6	10.6	40.5	
おさえ板（穴なし）	1	12.6	12.6	12.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.0	12.6±0.1mmφ
	2	12.6	12.6	12.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.0	
	3	12.6	12.6	12.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.0	厚さ
	4	12.6	12.6	12.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.95	2.0±0.1mm
	5	12.6	12.6	12.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.95	
	6	12.6	12.6	12.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.0	
おさえ板（穴つき）	1	12.6	12.6	12.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.0	12.6±0.1mmφ
	2	12.6	12.6	12.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.0	厚さ
	3	12.6	12.6	12.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.0	2.0±0.1mm
	4	12.6	12.6	12.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.0	
	5	12.6	12.6	12.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.95	1.8mmφ穴 5ヶ付
	6	12.6	12.6	12.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.0	

DFR-B_4C 照射用ピン部材 寸法検査表





単位 mm

部材	穴つきおさえ板の穴径 mmφ										穴位置	
	a		b		c		d		e			
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	Cx	Cy
穴つきおさえ板 1	1.8	1.8	1.85	1.85	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	7.25	7.3
2	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	7.4	7.1
3	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	7.2	7.2
4	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	7.25	7.4
5	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	7.4	7.3
6	1.8	1.8	1.8	1.8	1.85	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	7.4	7.45
基準値	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	7.2	7.2

尼崎市東向島西之町一番地
住友金属工業株式会社鋼管製造所

検査成績表

No. Q 3185 F
昭和45年4月28日

注文先 動力炉・核燃料開発事業団 殿 FBRプランケット用被覆管 規品 格名 JIS G3459-32(SUS 32TP) S-C

外径 mm 厚 mm 長サ mm

作業番号 Q 3185 寸法 15.0 0.6 2000 「A-No.102」

本数・全長(m)重量 kg

受注数量 200 85 完

検査数量 54本 管No. S142-S195

水圧試験	検査	試験					
160 kg/cm²	表面・寸法	扁平	押拡	曲ゲ	鍔出	ミクロ	腐食
※ ○	○	○	○			○	○

破壊水圧値(Kg/cm²)
降伏値 : 655, 650
破壊値 : 685, 685
※○は検査、試験結果良を示す

非金属介在物試験

	T		H	
A系	2.5	2.5	0	0
B系	1.5	1.5	0	0
C系	1.0	1.0	0	0
D系	2.0	2.0	0	0.5

	試験番号	引張試験 降伏点 kg/mm²	引張試験 引張強サ kg/mm²	引張試験 伸 % (50 mm)	カタサ Hv	カタサ HRB	化学成分 % C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Co	B	N
規格 最小		40	60	25	—	—	.04						11.00	16.00	2.00			
規格 最大		—	—	—	—	—	.08	.75	2.00	.03	.03	—	14.00	18.00	3.00	.10	.001	.035
Ch.No. 981280	常温	65.4	75.6	32	249	99.6	レードル											
		67.6	77.1	33	249	99.6	.07	.55	1.62	.002	.014	.24	13.16	16.90	2.55	.07	.0005	.0280
	最小	20	30	15														
	最大	—	—	—														
Lot No. 3							チエツク											
	高温 650℃	34.5	42.4	20			.07	.57	1.59	.004	.012	.23	13.09	16.70	2.50	.06	.0004	.0286
		35.7	42.3	22			.07	.55	1.55	.003	.011	.23	13.11	16.80	2.45	.06	.0004	.0280

記事
超音波探傷試験：リヨウ
液体浸透探傷試験…良
オーステナイト粒度(No.6 FINER)：7.5, 7.9
硝酸腐食試験：別紙
表面アラサ(3S以下)
外面：0.8, 0.8
内面：0.8, 0.8

住友金属工業株式会社鋼管製造所
検定部 検査課長

鋼管 検査 1A4 ヲ 22kg

〔別　紙〕

No. Q 3185 F

昭和45年4月28日

1. 硝酸腐食試験（ASTM A262 C法）

Lot. No.	1	2	3	4	5	平　均
~~1~~	~~76~~	~~145~~	~~141~~	~~245~~	~~322~~	~~186~~
~~2~~	~~105~~	~~121~~	~~126~~	~~231~~	~~175~~	~~152~~
3	76	139	174	233	298	184
~~4~~	~~75~~	~~122~~	~~174~~	~~199~~	~~258~~	~~166~~
規　格			≦ 400			

（単位 10^{-5} i.P.M）

提出番号特品第 50105 号

動力炉核燃料開発事業団御中

昭和 45 年 3 月 16 日

住友電気工業株式会社

特殊線事業部生産部品質保証課

兵庫県伊丹市昆陽字宮東一番地

契約番号 —

契約数量 160kg (80本)

仕様書 45年1月

製作番号 CS6117

検査数量 1078kg (50本) (30本)

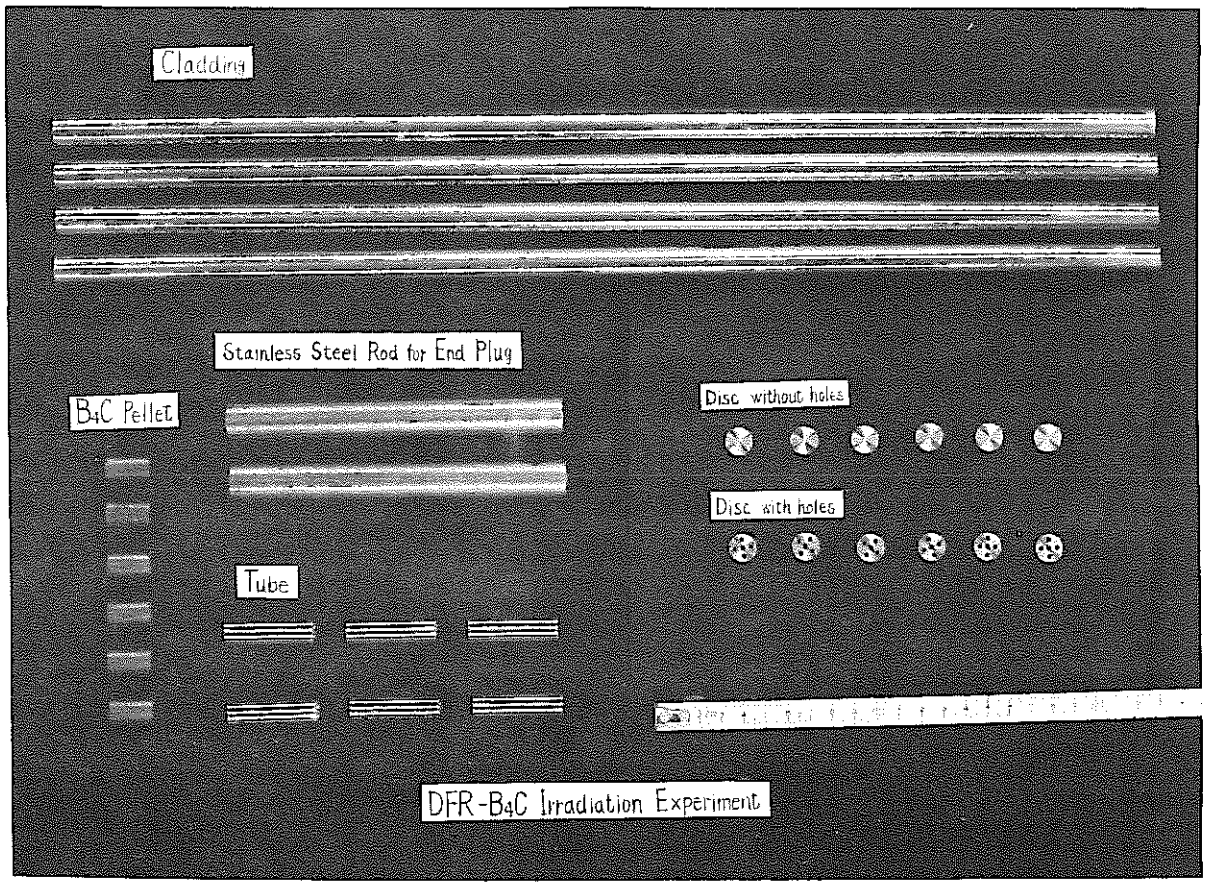
試験成績

高速実験炉燃料集合体用
端栓棒 316TYPE
18.0mm × 1000mm

試験項目 / 規格 / 把No.	直径 mm	引張り強さ kg/mm²	伸 200mm %	捻回 mm 回	屈曲 mm 回	接付自己径 2D	180°曲げ試験	メッキ試験	脱炭試験	腐蝕試験	
	18.0 ±1.0	— 以上	— 以上	偏径差 0.8mm 以下	長さ mm 1,000±20			HRB	結晶粒度	cm/month	
常温	18.47	62.4	52	0.6	1000						
	18.45	62.6	52	0.7	1020			75.8	2.0	0.00593	

項目	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
規格 (%)	0.04 ~0.08	≦0.75	≦2.00	0.03 以下	0.03 以下	11.00 ~14.00	16.00 ~18.00	2.00 ~3.00
98145	0.068	0.56	1.57	0.001	0.012	12.90	16.68	2.43
	Co≦0.10	B≦0.001	N≦0.035					
			0.020					

DFR-B4C


Cladding
Stainless Steel Rod for End Plug
B4C Pellet
Disc without holes
Disc with holes
Tube
DFR-B4C Irradiation Experiment

Appendix—4

SN241 73-01

MATERIAL INSPECTION RECORDS

to Accompany Parts of Absorber Pins

Supplied by P.N.C.

for DFR-B_4C Irradiation Program

Kunihiko UEMATSU

Senior Engineer

Fast Breeder Reactor Development
Project

Power Reactor and Nuclear Fuel
Development Corporation

Contents :

(a) List of Supplied Materials

(b) Material Specification and Results

(c) Mensuration Results of Supplied Material

1. Cladding
2. Stainless Steel Rod for End Plug
3. Tube
4. Disc with holes
5. Disc without hole
6. B_4C Pellet

(a) List of Supplied Materials

1. Cladding

Outer Diameter	15.0 mmϕ
Inner Diameter	13.8 mmϕ
Length	about 500 mm
Material	AISI 316 Solution Treatment and 10% Reduction
Quantity	4

2. Stainless Steel Rod for End Plug

Diameter	18 mmϕ
Length	150 mm
Material	AISI 316
Quantity	2

3. Tube

Outer Diameter	13.4 mmϕ
Inner Diameter	10.6 mmϕ
Length	40 mm
Material	AISI 316
Quantity	6 3 for irradiation 3 for spare

4. Disc with holes

Dimension	12.6 mmϕx 2 mm thickness
Hole Dimension	1.8 mmϕ
Material	AISI 316
Quantity	6 3 for irradiation 3 for spare

5. Disc without holes

Dimension	12.6 mm x 2 mm thickness
Material	AISI 316
Quantity	6 3 for irradiation 3 for spare

6. B_4C Pellet

Dimension	13.6 mmϕ x 20 mm length
Enrichment	90.3 wt. %
Density	97 - 99 % T.D.
Quantity	6 3 for irradiation 3 for spare

(b) Material Specification and Results

1. Cladding

Item	Specification	Result
Grade	AISI 316	Solution Treatment & 10% Reduction Work
Burst Test		
Yield Pressure(kg/cm^2)		655,650
Burst Pressure(kg/cm^2)		685,685
Tensile Test at Room Temperature		
Yield Strength(kg/cm^2)	Min. 40	65.4, 67.6
Rupture Strength(kg/cm^2)	Min. 60	75.6, 77.1
Elongation (GL500mm)(%)	Min. 25	32, 33
Tensile Test at Room Temperature		
Yield Strength(kg/cm^2)	Min. 20	34.5, 35.7
Rupture Strength(kg/cm^2)	Min. 30	42.4, 42.3
Elongation(GL500mm)(%)	Min. 15	20, 22
Composition		
C (%)	0.04-0.08	0.07
Si	Max. 0.75	0.57
Mn	Max. 2.00	1.59
P	Max. 0.03	0.004
S	Max. 0.03	0.012
Cu	-	0.23
Ni	11.00-14.00	13.09
Cr	16.00-18.00	16.70
Mo	2.00-3.00	2.50
Co	Max. 0.10	0.06
B	Max. 0.001	0.0004
N	Max. 0.035	0.0256
Grain Size (ASTM No.)	No 6 Finer	7.5, 7.9
Surface Roughness		
Outer	Max. 3S	0.8S
Inner	Max. 3S	0.8S
Flatter Test		Good
Ultrasonic Test		Good
Cladding No.		S-151

2. Stainless Steel Rod, Disc with holes, Disc without hole and Tube

Item	Specification	Result
Grade	AISI 316	
Tensile Test at Room Temperature Rupture Strength(kg/cm^2)		62.4, 62.6
Composition		
C (%)	0.04-0.08	0.068
Si	Max. 0.75	0.56
Mn	Max. 2.00	1.57
P	Max. 0.03	0.001
S	Max. 0.03	0.012
Ni	11.00-14.00	12.90
Cr	16.00-18.00	16.68
Mo	2.00-3.00	2.43
Co	Max. 0.10	-
B	Max. 0.001	-
N	Max. 0.035	0.020
Grain Size (ASTM No.)		7.0

(c) Mensuration Results of supplied materials

1. Cladding

Item	Specification	Result
Outer Diameter (mm)	15 ± 0.05	Max. 15.025 Min. 15.010
Inner Diameter (mm)	13.8	Max. 13.809 Min. 13.796
Thickness (mm)	0.6 ± 0.05	Max. 0.625 Min. 0.600
Length		
C-1 (mm)		51.5
C-2		50.8
C-3		50.6
C-4		50.3

2. Stainless Steel Rod for End Plug

Item	Specification	Result
Diameter		
R-1	18.0 (mm)	Max. 18.50 mm Min. 18.45 mm
R-2		Max. 18.50 mm Min. 18.45 mm
Length		
R-1	$150 \pm {}^{5}_{0}$ (mm)	151.20 mm
R-2		151.25 mm

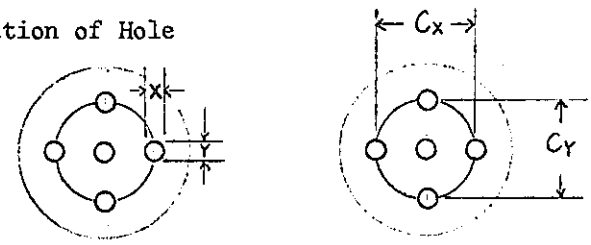
3. Tube

Item	Specification	Result
Outer Diameter(mm)	13.4 ± 0.1	
S-1		Max. 13.4, Min. 13.4
S-2		Max. 13.4, Min. 13.4
S-3		Max. 13.4, Min. 13.35
S-4		Max. 13.4, Min. 13.4
S-5		Max. 13.4, Min. 13.4
S-6		Max. 13.4, Min. 13.4
Inner Diameter(mm)	10.6 ± 0.1	
S-1		Max. 10.6 Min. 10.6
S-2		Max. 10.6 Min. 10.6
S-3		Max. 10.6 Min. 10.55
S-4		Max. 10.6 Min. 10.55
S-5		Max. 10.6 Min. 10.6
S-6		Max. 10.6 Min. 10.55
Length (mm)	$40.0 \pm {}^{1.0}_{0}$	
S-1		40.5
S-2		40.35
S-3		40.5
S-4		40.55
S-5		40.5
S-6		40.5

4. Disc with holes

Item	Specification	Result
Diameter (mm)	12.6 ± 0.1	
1		12.60
2		12.60
3		12.60
4		12.60
5		12.60
6		12.60
Thickness (mm)	2.0 ± 0.1	
1		2.00
2		2.00
3		2.00
4		2.00
5		1.95
6		2.00

Mensuration of Hole



(mm)

No.	Hole Diameter (mmφ)										Hole Location	
	a		b		c		d		e			
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	Cx	Cy
1	1.8	1.8	1.85	1.85	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	7.25	7.3
2	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	7.42	7.1
3	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	7.24	7.2
4	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	7.25	7.4
5	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	7.43	7.3
6	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	7.42	7.45

5. Disc without hole

Item	Specification	Result
Diameter (mm)	12.6 ± 0.1	
1		12.60
2		12.60
3		12.60
4		12.60
5		12.60
6		12.60
Thickness (mm)	2.0 ± 0.1	
1		2.00
2		2.00
3		2.00
4		1.95
5		1.95
6		2.00

6. B_4C Pellet

B-10 Enrichment : 90.38 ± 0.37 w/o

Nominal Dimension : 13.6 mm^{Dia} x 20 mm^{Length}

No.	Boron Content (wt.%)	B C Weight (gr.)	Dia-meter (mm)	Length (mm)	Density (g/c.c.)	R.D.* (%)	
1-1	80.4	6.826	13.64	20.10	2.33	97.3	for irradiation
1-2	80.4	6.988	13.58	20.48	2.36	98.6	for spare
2-1	77.2	6.942	13.63	20.13	2.36	98.9	for irradiation
2-2	77.2	6.921	13.65	20.13	2.35	98.3	for spare
3-1	75.0	6.869	13.58	20.20	2.35	98.2	for irradiation
3-2	75.0	6.899	13.63	20.18	2.33	97.5	for spare

* R.D. : Relative Density
100% R.D. = 2.39 g/cc.

Appendix—5

DFR 464/1 B4C Experiment Pre—Irradiation Information

SN241 73—01

開示制限

S3001
71
464/1

DOUNREAY EXPERIMENTAL REACTOR ESTABLISHMENT

FUEL ELEMENT INSPECTORATE

RECEIPT INSPECTION OF FUEL ELEMENT COMPONENTS

PNC B10 CARBIDE IRRADIATION

03

Description CORE ELEMENT Drg. No. ZAE 71710 Code No. DFR 464/1

Suppliers D1215ASSY Con/Ris C of I

Qty. Received 1 No. Passed No. Rejected

Remarks:

RIG FINAL INSPECTION

CHECK	DRG DIMENSION	ACTUAL DIMENSION	REMARKS
O/D UPPER SECTION	0·822 DIA MAX	ACCEPTS 0·822 RING GAUGE	OK
O/D LOWER SECTION	0·695 DIA MAX	ACCEPTS 0·695 RING GAUGE	OK
LENGTH	71·900"-72·140"	71 980"	OK
BOW	·050 TIR MAX	·030 TIR	OK AFTER RECT.
BASE TOP FITTING	0·543 MAX	ACCEPTS 0·543 PLUG GAUGE	OK
WELDS			OK
CLEALINESS			OK
CUTTING LINE			OK
RADIOGRAPH ASSESSMENT	G 080 1-6 REFERS		OK

Element Satisfactory

[illegible]

30·4 71

[illegible] Signed Date

[illegible] Signed [illegible] Date 30·4·71

[illegible]

SN241 73-01

D.F.R. EXPERIMENTAL FUEL ELEMENT

INSPECTION SHEET

D.F.R. PROPOSAL No. 4/84 ELEMENT No. 664/11

TYPE ~~Mixed Oxide Power Cycling Supt~~
~~(28" Pin 4'6" Pin Watch etc.)~~

COMPONENT INSPECTION - G.A. No. ZAE 71710 ZAE 71710 [illegible]

Component	Drawing No. & Mod.	Remarks - OK, Concession No. or Reject
Top End Fitting	✓ ZSK 10690	OK TO MOD A & Concd 50/10
Inner Tube	✓ ZSK 10691	OK TO MOD D.
Outer Tube	✓ ZSK 11060	OK TO MOD A.
Spigot Tube	✓ ZSK 9781	OK TO MOD D
Catchpot Tube	✓ ZSK 14897	OK TO DRG.
Bottom Orifice	✓ ZSK 14498	OK TO MOD A
Bottom Fitting	✓ ZSK 14499	OK TO MOD B.
Bottom Adaptor	✓ ZSK 11777	OK TO MOD A
Gagging Sleeve	✓ ZSK 11655	OK TO MOD C
Top Filter	✓ ZSK 14341	OK TO MOD D
Support Spider	ZSK 10692	OK TO MOD D
Main Filter	✓ ZSK 16732	OK TO DRG.
~~TOP FILTER~~	~~[illegible]~~	
GUIDE TUBE ASSY	✓ ZSK 16812	VISUAL INSPECTION ONLY FOR.
TEMP. MONITOR HOLDER	✓ ZSK 16815	CORRECT MOD & DAMAGE.
TEMP MONITOR NOT SUBMITTED	✓ ZSK 14978	[illegible] 13-2-71.
GUID TUBE ASSY.	ZSK 16812	~~[illegible]~~ OK TO MOD A
TEMP. MONITOR HOLDERS	ZSK 16815	NOT SUBMITTED

Signed [illegible]

Date 2.4.71

M111.A4.5/65

SN241 73-01

DOUNREAY EXPE[illegible] ESTABLISHMENT

EXPERIMENTAL FUEL ELEMENT/IRRADIATION RIG CERTIFICATE

Complying with Procedure for Submission of Irradiation Experiment Proposals in the D.F.R. Rev. 2 (J.L. Phillips).

(a) Specimens

This is to certify that specimens for D.F.R. 464/1 have been assembled according to Rig No. _____ and that the internal components comply with the appropriate drawing No. All concessions on the above have been examined by me and are listed hereunder:-

JAPANESE BIO CARBIDE CAPSULES

TOP	MID	BOT.	
1·1	3·1	2-1	SEE DOCUMENTS 8 & 9.

Signed: [illegible] Date: 23/4/71

(b) Vehicle

This is to certify that the whole assembly has been assembled according to Drawing No. 7710 C, that the internal components comply with the appropriate drawings and that it is in a clean condition, fit for irradiation and is being supplied in a clean container for irradiation in Run 69. All concessions on the above have been examined by me and are listed hereunder:

CONCESSION 50/70

Signed: [illegible] Date: 23/4/71

M109.A4.4/5

APPLICATION FOR A CONCESSION

TO: Rig Design Office,
D.8570,
D.E.R.E.
U.K.A.E.A.

D.O. Ref	CONC/50/70.
I & P Ref:	
G.A. NO.	VARIOUS

TITLE DFR core rig fittings.

Component TOP FITTING	Number Involved 100 off	Drg No. 2SK 10690 A.
Previous Applications (I. & P. ref.) NIL		
Previous Concessions Granted (D.O. ref.) NIL.		

DETAILS OF REQUEST undersize on 0·823"/0·826" diameter.
No 5 by 0·0015" No 6 by 0·0015"
No 9 by 0·003" No 7 by 0·001" OK

No 1. length of identification flat is ¼" too long – lower end. OK

No 2. 0·598"/0·600" diam is oversize by 0·001" OK

No 3 the 4 off ¼" holes are not equally spaced. OK

No 4. 0·700"/0·715" diam. means is 0·005" oversize. OK

No 10 0·598" diam is 0·002" undersize to original diameter. OK

No 8. Oversize 0·013" on 2·530" dim. OK
undersize 0·001" on 0·900" dim.

I. & P. Date 15/4/70

DESIGN OFFICE COMMENTS 891

Acceptable

S. Leet.
(A.D.E. RIG D.O.)
Date 15/4/70

THIS APPLICATION IS APPROVED. Components accepted under this concession are to be packed separately from other components and identified by the D.O. REFERENCE AS ABOVE. Assemblies made from these components must have the D.O. REFERENCE recorded on their accompanying records.

They are to be used for .....

Date 15/4/70 S. Leet
E.II RIG D.O.

This Application is NOT APPROVED SIGNED .....
E.II RIG D.O.

Copies to:

CUSTOMER MR LEET	1
RIG WORKSHOP	—
RIG COMM.	—
MR COCKE 1200	1

DMTR OPS	—
RIG D.O. FILE	—
MR CORMACK 1215	11
INSP 1202	1

D031.A4.8/64.

Appendix—6

DFR 464／1 B4Cの照射後試験についてのK.Q.Bagley氏との打合せメモ

SN241 73—01

昭和47年7月28日　15：00～　本社第6会議室

UKAEA ： K.Q.Bagley , J.M.Buchanan , Gillings

PNC ： 河　田

（第2，第3キャプセルの試験について）

河　田 ：Telexで持帰りたいと連絡したNo.2—1キャプセルについてもNo.3—1キャプセルと同様の試験をお願いしたい。

Dr.Bagley ： 了解した。　（Memo72—76参照）

河　田 ： これらの試験はすべてpelletのmid—planeで行なってほしい。

Dr.Bagley ： No.3—1キャプセルについては既に金相写真を撮った。これは先日手渡した資料の中に含まれている。（本文Fig.16,17参照）

これは、resinで固めた後半分に切断したmid—planeの写真だ。残り半分のペレットは毀してもよいか？密度測定のためにペレットのcenter,mid-radius,edgeのそれぞれの位置からfragmentを採取する必要がある。

河　田 ： OKである。ところで、clad tubeを除いたペレットのactivityはどの程度であったか。

Dr.Bagley ： not completely inactiveである。取扱いは顕微鏡用のものに似た小さいセルでできた。activityの正確な測定値は手もとにはないが、後で知らせる。

河　田 ： キャプセルはcuttingのとき縦にするのか、横にするのか？

Dr.Bagley ： 水平にセットする。

河　田 ： cuttingの時プレナム部にB4Cの破片または粉末が落ちていなかったか?

Dr.Bagley ： なかったように思う。よく分からない。

河　田 ： SiCによる温度評価は終ったか？

Dr.Bagley ： 未だ終っていない。9月末までには行う予定。方法はlenght measurement と X—ray diffractionとがあるが、後者でやる。このほうが良い精度が得られる。

（燃焼度，ガス放出率等）

河　田 ： 先日neutron doseのtable（Appendix—7参照）をもらった。これか

ら燃焼度を計算するためには^{10}Bの断面積とself shielding factorを知る必要がある。設計時にはどのような値を用いたのか？

Dr.Bagley： 燃焼度計算の際にはself shielding factorは考慮してない。従って実際の平均燃焼度は我々の計算値よりdepressionの分だけ低くなるだろう。ガス放出率の計算に用いたガス生成量は燃焼度から算出した。従って実際のガス生成量もflux depressionの分だけ計算値より小さくなるので、ガス放出率は逆に、先日渡した報告書の値より大きくなるはずだ。

ところで、heat rating計算の際にはgood estimationと思われるself shielding factor 0.5を仮定して用いた。この0.5という値はaverage to peak ratioである。depressionを仮定すればQ＝27w/gとなるが、without depressionではQ＝45w/gとなってしまう。燃焼度計算のメモがあるのでcopyを渡す（本文 21頁参照）。

河　田： 燃焼度測定は^{10}B/^{11}Bの質量分析によると思うが、7Li分析からはどうであろうか。

Dr.Bagley：Liのanalysisから燃焼度を得ることはむつかしい。Liは移動が激しいからである。

河　田： Liはpellet—clad chemical compatibilityに関係するのではないか？

Dr.Bagley： Liはvolatileであるので、clad内面やプレナム部にdepositする。1st capsule の spacer に depositしたLiの分析結果がここにあるので渡す。（本文31頁参照）

河　田： パンクチャー・テストの際、実際にどの程度のpressureが得られたのか？

Dr.Bagley： systemの内部を真空に引いた。system内部の有効容積は2032mlである。pressure before puncturingは0.01mmHg，pressure after puncturingは10～20mmHgであった。報告書では測定系のdead volumeの補正をしてある。

河　田： 3ケの試料間のgas release rateの大きな違いについて、どう考えるか?

Dr.Bagley： stoicbiometryの差はその1つの理由として考えられる。

河　田： 試料を日本に返送する際は、ペレット，clad tube，disk，spacer等、キャプセルを構成したものすべてを返送して欲しい。

Dr.Bagley： 了解した。

Appendix—7

COMPUTER OUTPUT

DFR 464/1 PNC B4C

Neutron Dose in 15 Groups (N.V.T.)

08:39:58 24NOV71

* DFR 464/1 PNC B4C R69.70 P25

IRRADIATION 111.9 FULL POWER DAYS AT PITCH 25

NEUTRON DOSE IN 15 GROUPS (N.V.T.)

GROUP	1	2	3	4	5	6	7	8
LOWER ENERGY BOUND (EV)	0.3680E 07	0.2230E 07	0.1350E 07	0.8210E 06	0.4980E 06	0.3020E 06	0.1110E 06	0.4090E 05
Z(CM)								
70.0	0.1181E 19	0.4295E 19	0.1793E 20	0.3953E 20	0.8687E 20	0.1743E 21	0.4355E 21	0.3136E 21
60.0	0.2285E 19	0.8309E 19	0.3306E 20	0.7479E 20	0.1729E 21	0.3021E 21	0.6723E 21	0.4684E 21
50.0	0.8096E 19	0.2600E 20	0.8614E 20	0.1695E 21	0.3565E 21	0.5599E 21	0.1098E 22	0.7135E 21
40.0	0.3237E 20	0.8727E 20	0.2259E 21	0.3717E 21	0.6887E 21	0.9592E 21	0.1668E 22	0.9758E 21
35.0	0.6305E 20	0.1555E 21	0.3527E 21	0.5351E 21	0.9286E 21	0.1212E 22	0.1991E 22	0.1089E 22
30.0	0.1220E 21	0.2783E 21	0.5493E 21	0.7697E 21	0.1253E 22	0.1516E 22	0.2342E 22	0.1180E 22
25.0	0.2342E 21	0.4982E 21	0.8646E 21	0.1119E 22	0.1696E 22	0.1917E 22	0.2763E 22	0.1251E 22
20.0	0.3112E 21	0.6544E 21	0.1111E 22	0.1419E 22	0.2106E 22	0.2308E 22	0.3200E 22	0.1357E 22
15.0	0.3647E 21	0.7655E 21	0.1296E 22	0.1650E 22	0.2427E 22	0.2623E 22	0.3574E 22	0.1468E 22
10.0	0.4014E 21	0.8430E 21	0.1429E 22	0.1819E 22	0.2670E 22	0.2863E 22	0.3865E 22	0.1562E 22
5.0	0.4221E 21	0.8885E 21	0.1509E 22	0.1925E 22	0.2827E 22	0.3014E 22	0.4050E 22	0.1624E 22
0.0	0.4305E 21	0.9070E 21	0.1541E 22	0.1966E 22	0.2886E 22	0.3068E 22	0.4117E 22	0.1647E 22
-5.0	0.4258E 21	0.8962E 21	0.1520E 22	0.1936E 22	0.2839E 22	0.3019E 22	0.4057E 22	0.1627E 22
-10.0	0.4061E 21	0.8535E 21	0.1444E 22	0.1835E 22	0.2688E 22	0.2869E 22	0.3874E 22	0.1568E 22
-15.0	0.3678E 21	0.7733E 21	0.1308E 22	0.1660E 22	0.2438E 22	0.2620E 22	0.3573E 22	0.1476E 22
-20.0	0.3078E 21	0.6506E 21	0.1108E 22	0.1410E 22	0.2093E 22	0.2285E 22	0.3174E 22	0.1370E 22
-25.0	0.2158E 21	0.4686E 21	0.8315E 21	0.1080E 22	0.1648E 22	0.1870E 22	0.2713E 22	0.1278E 22
-30.0	0.1111E 21	0.2631E 21	0.5379E 21	0.7513E 21	0.1218E 22	0.1493E 22	0.2318E 22	0.1219E 22
-35.0	0.6073E 20	0.1553E 21	0.3592E 21	0.5380E 21	0.9210E 21	0.1208E 22	0.1990E 22	0.1119E 22
-40.0	0.3207E 20	0.8891E 20	0.2320E 21	0.3762E 21	0.6849E 21	0.9563E 21	0.1668E 22	0.9943E 21
-50.0	0.9006E 19	0.2896E 20	0.9411E 20	0.1772E 21	0.3580E 21	0.5656E 21	0.1114E 22	0.7275E 21
-60.0	0.3073E 19	0.1097E 20	0.4176E 20	0.8550E 20	0.1836E 21	0.3247E 21	0.7214E 21	0.4994E 21
-70.0	0.1520E 19	0.5572E 19	0.2271E 20	0.4395E 20	0.9247E 20	0.1896E 21	0.4749E 21	0.3407E 21

* DFR 464/1 PNC 84C R69.70 P25

IRRADIATION 111.9 FULL POWER DAYS AT PITCH 25

NEUTRON DOSE IN 15 GROUPS (N.V.T.)

GROUP	9	10	11	12	13	14	15
LOWER ENERGY BOUND (EV)	0.9120E 04	0.3360E 04	0.1230E 04	0.2750E 03	0.3730E 02	0.5040E 01	0.4140E 00
Z(CM)							
70.0	0.3869E 21	0.6988E 20	0.2072E 21	0.1892E 21	0.1161E 21	0.3550E 20	0.5768E 19
60.0	0.5255E 21	0.1044E 21	0.2518E 21	0.2364E 21	0.1586E 21	0.4807E 20	0.7603E 19
50.0	0.7308E 21	0.1496E 21	0.3151E 21	0.2942E 21	0.1964E 21	0.5898E 20	0.9156E 19
40.0	0.8748E 21	0.1845E 21	0.3404E 21	0.2823E 21	0.1484E 21	0.4752E 20	0.7307E 19
35.0	0.8895E 21	0.1828E 21	0.3155E 21	0.2392E 21	0.9545E 20	0.3521E 20	0.5406E 19
30.0	0.8558E 21	0.1818E 21	0.2511E 21	0.1784E 21	0.6055E 20	0.2028E 20	0.3296E 19
25.0	0.7535E 21	0.1497E 21	0.1439E 21	0.8411E 20	0.2030E 20	0.3498E 19	0.8507E 18
20.0	0.7164E 21	0.1388E 21	0.1057E 21	0.5172E 20	0.1097E 20	0.1289E 19	0.2707E 18
15.0	0.7213E 21	0.1371E 21	0.9656E 20	0.4385E 20	0.9288E 19	0.1008E 19	0.1699E 18
10.0	0.7398E 21	0.1396E 21	0.9605E 20	0.4265E 20	0.9100E 19	0.9756E 18	0.1522E 18
5.0	0.7556E 21	0.1428E 21	0.9660E 20	0.4241E 20	0.8965E 19	0.9422E 18	0.1460E 18
0.0	0.7625E 21	0.1441E 21	0.9714E 20	0.4261E 20	0.9022E 19	0.9491E 18	0.1464E 18
-5.0	0.7584E 21	0.1431E 21	0.9712E 20	0.4281E 20	0.9098E 19	0.9638E 18	0.1500E 18
-10.0	0.7467E 21	0.1409E 21	0.9731E 20	0.4354E 20	0.9345E 19	0.1010E 19	0.1617E 18
-15.0	0.7371E 21	0.1402E 21	0.1006E 21	0.4673E 20	0.1015E 20	0.1115E 19	0.2032E 18
-20.0	0.7516E 21	0.1459E 21	0.1193E 21	0.6227E 20	0.1554E 20	0.1857E 19	0.4365E 18
-25.0	0.8291E 21	0.1644E 21	0.1910E 21	0.1248E 21	0.5513E 20	0.1128E 20	0.1956E 19
-30.0	0.9404E 21	0.1824E 21	0.3146E 21	0.2427E 21	0.1536E 21	0.4307E 20	0.5987E 19
-35.0	0.9554E 21	0.1829E 21	0.3524E 21	0.2918E 21	0.1846E 21	0.5275E 20	0.8049E 19
-40.0	0.9210E 21	0.1807E 21	0.3657E 21	0.3250E 21	0.2195E 21	0.6508E 20	0.1009E 20
-50.0	0.7651E 21	0.1477E 21	0.3392E 21	0.3289E 21	0.2350E 21	0.7307E 20	0.1170E 20
-60.0	0.5808E 21	0.1143E 21	0.2834E 21	0.2883E 21	0.2057E 21	0.6570E 20	0.1081E 20
-70.0	0.4391E 21	0.8916E 20	0.2335E 21	0.2475E 21	0.1714E 21	0.5575E 20	0.9370E 19

* DFR 464/1 PNC B4C R69.70 P25

IRRADIATION 111.9 FULL POWER DAYS AT PITCH 25

NEUTRON DOSE IN 15 GROUPS (N.V.T.)

SUM OF GROUPS	1 TO1	2	3	4	5	6	7	8
LOWER ENERGY BOUND (EV)	0.3680E 07	0.2230E 07	0.1350E 07	0.8210E 06	0.4980E 06	0.3020E 06	0.1110E 06	0.4090E 05
Z(CM)								
70.0	0.1181E 19	0.5476E 19	0.2341E 20	0.6193E 20	0.1488E 21	0.3231E 21	0.7586E 21	0.1072E 22
60.0	0.2285E 19	0.1059E 20	0.4365E 20	0.1184E 21	0.2914E 21	0.5935E 21	0.1266E 22	0.1734E 22
50.0	0.8096E 19	0.3410E 20	0.1202E 21	0.2897E 21	0.6462E 21	0.1206E 22	0.2304E 22	0.3017E 22
40.0	0.3237E 20	0.1196E 21	0.3455E 21	0.7172E 21	0.1406E 22	0.2365E 22	0.4033E 22	0.5009E 22
35.0	0.6305E 20	0.2186E 21	0.5712E 21	0.1106E 22	0.2035E 22	0.3247E 22	0.5238E 22	0.6327E 22
30.0	0.1220E 21	0.4004E 21	0.9496E 21	0.1719E 22	0.2972E 22	0.4488E 22	0.6831E 22	0.8011E 22
25.0	0.2342E 21	0.7323E 21	0.1597E 22	0.2716E 22	0.4412E 22	0.6329E 22	0.9092E 22	0.1034E 23
20.0	0.3112E 21	0.9656E 21	0.2076E 22	0.3495E 22	0.5601E 22	0.7909E 22	0.1111E 23	0.1247E 23
15.0	0.3647E 21	0.1130E 22	0.2426E 22	0.4076E 22	0.6503E 22	0.9125E 22	0.1270E 23	0.1417E 23
10.0	0.4014E 21	0.1244E 22	0.2673E 22	0.4492E 22	0.7162E 22	0.1003E 23	0.1389E 23	0.1545E 23
5.0	0.4221E 21	0.1311E 22	0.2820E 22	0.4745E 22	0.7572E 22	0.1059E 23	0.1464E 23	0.1626E 23
0.0	0.4305E 21	0.1337E 22	0.2878E 22	0.4844E 22	0.7730E 22	0.1080E 23	0.1492E 23	0.1656E 23
-5.0	0.4258E 21	0.1322E 22	0.2842E 22	0.4778E 22	0.7617E 22	0.1064E 23	0.1469E 23	0.1632E 23
-10.0	0.4061E 21	0.1260E 22	0.2704E 22	0.4539E 22	0.7227E 22	0.1010E 23	0.1397E 23	0.1554E 23
-15.0	0.3678E 21	0.1141E 22	0.2449E 22	0.4109E 22	0.6547E 22	0.9167E 22	0.1274E 23	0.1422E 23
-20.0	0.3078E 21	0.9585E 21	0.2066E 22	0.3477E 22	0.5569E 22	0.7855E 22	0.1103E 23	0.1240E 23
-25.0	0.2158E 21	0.6844E 21	0.1516E 22	0.2596E 22	0.4245E 22	0.6115E 22	0.8828E 22	0.1011E 23
-30.0	0.1111E 21	0.3742E 21	0.9121E 21	0.1663E 22	0.2882E 22	0.4375E 22	0.6692E 22	0.7911E 22
-35.0	0.6073E 20	0.2161E 21	0.5752E 21	0.1113E 22	0.2034E 22	0.3242E 22	0.5233E 22	0.6352E 22
-40.0	0.3207E 20	0.1210E 21	0.3529E 21	0.7292E 21	0.1414E 22	0.2370E 22	0.4039E 22	0.5033E 22
-50.0	0.9006E 19	0.3797E 20	0.1321E 21	0.3093E 21	0.6673E 21	0.1233E 22	0.2347E 22	0.3075E 22
-60.0	0.3073E 19	0.1405E 20	0.5580E 20	0.1413E 21	0.3249E 21	0.6496E 21	0.1371E 22	0.1870E 22
-70.0	0.1520E 19	0.7092E 19	0.2980E 20	0.7376E 20	0.1662E 21	0.3558E 21	0.8307E 21	0.1171E 22

* DFR 464/1 PNC 84C R69.70 P25

IRRADIATION 111.9 FULL POWER DAYS AT PITCH 25

NEUTRON DOSE IN 15 GROUPS (N.V.T.)

SUM OF GROUPS	1 TO9	10	11	12	13	14	15(TOTAL)
LOWER ENERGY BOUND (EV)	0.9120E 04	0.3360E 04	0.1230E 04	0.2750E 03	0.3730E 02	0.5040E 01	0.4140E 00
Z(CM)							
70.0	0.1459E 22	0.1529E 22	0.1736E 22	0.1925E 22	0.2041E 22	0.2077E 22	0.2083E 22
60.0	0.2260E 22	0.2364E 22	0.2616E 22	0.2852E 22	0.3011E 22	0.3059E 22	0.3066E 22
50.0	0.3748E 22	0.3898E 22	0.4213E 22	0.4507E 22	0.4704E 22	0.4763E 22	0.4772E 22
40.0	0.5884E 22	0.6068E 22	0.6409E 22	0.6691E 22	0.6839E 22	0.6887E 22	0.6894E 22
35.0	0.7216E 22	0.7399E 22	0.7714E 22	0.7954E 22	0.8049E 22	0.8084E 22	0.8090E 22
30.0	0.8866E 22	0.9048E 22	0.9299E 22	0.9478E 22	0.9538E 22	0.9558E 22	0.9562E 22
25.0	0.1110E 23	0.1125E 23	0.1139E 23	0.1147E 23	0.1149E 23	0.1150E 23	0.1150E 23
20.0	0.1318E 23	0.1332E 23	0.1343E 23	0.1348E 23	0.1349E 23	0.1349E 23	0.1349E 23
15.0	0.1489E 23	0.1503E 23	0.1512E 23	0.1517E 23	0.1517E 23	0.1518E 23	0.1518E 23
10.0	0.1619E 23	0.1633E 23	0.1643E 23	0.1647E 23	0.1648E 23	0.1648E 23	0.1648E 23
5.0	0.1701E 23	0.1716E 23	0.1725E 23	0.1730E 23	0.1731E 23	0.1731E 23	0.1731E 23
0.0	0.1732E 23	0.1747E 23	0.1757E 23	0.1761E 23	0.1762E 23	0.1762E 23	0.1762E 23
-5.0	0.1708E 23	0.1722E 23	0.1732E 23	0.1736E 23	0.1737E 23	0.1737E 23	0.1737E 23
-10.0	0.1628E 23	0.1643E 23	0.1652E 23	0.1657E 23	0.1658E 23	0.1658E 23	0.1658E 23
-15.0	0.1495E 23	0.1509E 23	0.1519E 23	0.1524E 23	0.1525E 23	0.1525E 23	0.1525E 23
-20.0	0.1315E 23	0.1330E 23	0.1342E 23	0.1348E 23	0.1349E 23	0.1350E 23	0.1350E 23
-25.0	0.1094E 23	0.1110E 23	0.1129E 23	0.1142E 23	0.1147E 23	0.1148E 23	0.1148E 23
-30.0	0.8852E 22	0.9034E 22	0.9349E 22	0.9591E 22	0.9745E 22	0.9788E 22	0.9794E 22
-35.0	0.7307E 22	0.7499E 22	0.7843E 22	0.8134E 22	0.8319E 22	0.8372E 22	0.8380E 22
-40.0	0.5954E 22	0.6135E 22	0.6500E 22	0.6825E 22	0.7045E 22	0.7110E 22	0.7120E 22
-50.0	0.3840E 22	0.3987E 22	0.4327E 22	0.4655E 22	0.4891E 22	0.4964E 22	0.4975E 22
-60.0	0.2451E 22	0.2565E 22	0.2849E 22	0.3137E 22	0.3343E 22	0.3408E 22	0.3419E 22
-70.0	0.1611E 22	0.1700E 22	0.1933E 22	0.2181E 22	0.2352E 22	0.2408E 22	0.2417E 22

TIME = .600 MINS

FORTRAN STOP

Appendix—8

DEREでの設計計算時に使用したギャップ・コンダクタンスの逆算推定

今回のB4C照射試験におけるペレット温度および被覆管温度の設計予測値は

clad mid−wall temp. ＝418°C

pellet center temp. ＝670°C

である。（Appendix−1. shadule A および本文中引用文献(1)参照）

これらの計算に用いたB4Cの発熱量はDEREのK.Q.Bagley博士によれば、

q＝27w/g

である。（Appendix−6参照）

また照射計画立案時の打合せメモによると英国側はB4Cの熱伝導度として、

B4C＝0.156w/cm°C

という値を採用している。（この値はORNLのデータと比べてみると、未照射高密度B4Cペレットの700°C近辺における値に相当する。 ― 別添図面参照）

以上の値をもとに、DEREで設計時に用いたと思われるギャップ・コンダクタンスの値を逆算推定してみる。

仮　定

q＝27w/g (uniform heat generation in B4C pellet)

λ_{B4C}＝0.156w/cm°C

clad mid−wall temp.＝418 °C

pellet center temp. ＝670 °C

1. Surface Temp. of B4C Pellet : $T_{p.s.}$

Pellet dia.＝13.6mmφ

linear wt. of B4C pellet＝3.45g/cm

linear heat rating qe＝27w/g×3.45g/cm＝93.2w/cm

$$\Delta T_{pellet} = \frac{qe}{4\pi\lambda_{B4C}} = \frac{93.2}{4\times3.14\times0.156} = 48\ °C$$

$T_{p.s.}$＝670−48＝622 °C

2. Temp. of Clad Inner Surface : $T_{cl.i}$

$$\Delta T_{clad} = \frac{qe}{2\pi\lambda_{sus}} \ln \frac{ro}{ri}$$

where $\lambda_{sus} = 0.189\ w/cm\ °C$

$ro = 0.75cm$ (onter radius)

$ri = 0.69cm$ (inner radius)

$$\Delta T_{clad} = 6.0\ °C$$

$$T_{cl.i} = T_{clad\ mid} + \frac{\Delta T_{clad}}{2} = 418 + 3 = 421\ °C$$

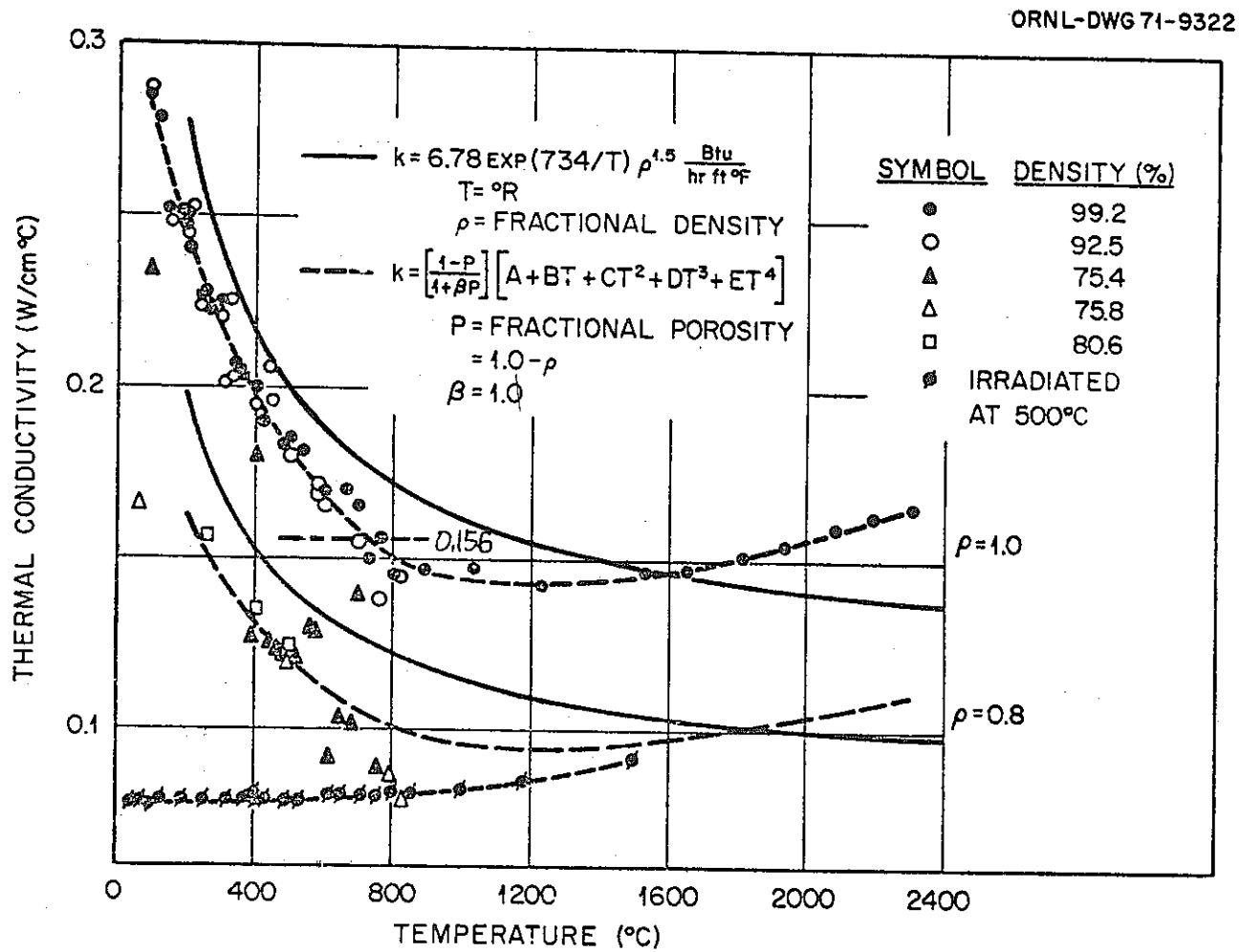
3. Gap Conductance : h_{gap}

$$\Delta T_{gap} = T_{p.s} - T_{cl.i} = 622 - 421 = 201\ °C$$

$$h_{gap} = \frac{qe}{\pi \bar{r} \Delta T_{gap}}$$

$$\bar{r} = \frac{ri + r_{pellet}}{2} = \frac{0.69 + 0.68}{2} = 0.685cm$$

$$h_{gap} = \frac{93.2}{3.14 \times 0.685 \times 201} = 0.215\ w/cm^2\ °C = 380\ BTU/ft^2 \cdot hr \cdot °F$$



Thermal Conductivity of B_4C