

JAERI-M

86-085

JT-60NBIポート内ビームリミタの熱電対出力応答(I)

— 熱電対取付部の等価熱伝導率 —

1986年6月

荒木 政則・栗山 正明

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の問合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）にて、お申しこしください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費領布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokaimura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1986

編集兼発行 日本原子力研究所  
印刷 日青工業株式会社

JT-60NBIポート内ビームリミタの熱電対出力応答(I)  
—熱電対取付部の等価熱伝導率—

日本原子力研究所那珂研究所臨界プラズマ研究部  
荒木 政則・栗山 正明

(1986年5月20日受理)

JT-60NBIポート内ビームリミタの熱電対出力応答解析を行った。この熱電対はビームリミタ保護用及びビームの軸ずれ測定用として使用される。熱電対はビームリミタに設けてある熱電対取付穴に差し込まれ、熱電対曲がり部のスプリングバックを利用してビームリミタに押し付ける方法であるため、熱電対のスプリング効果の良否が温度出力応答を左右する。このためビームリミタ熱電対出力の応答特性を実験的に把握し、その妥当性の評価を行った。

実験の結果、熱電対取付部の等価熱伝導率 $\lambda$ は $4.2 \times 10^{-3} \sim 2.66 \times 10^{-2} \text{ W/m}^\circ\text{C}$ の範囲にあることが明らかとなった。この等価熱伝導率を用いてJT-60NBIポート内ビームリミタがビーム照射される際の熱電対温度応答のシミュレーション計算を行った。

この結果、ビームリミタによる熱流束の測定はビームパルス入射後、約120秒経過後の熱電対出力を測定することにより誤差 $\pm 30\%$ 以内の精度で測定が可能であることがわかった。

Thermal output response analysis on the thermocouples in the beam limiters for the JT-60 NBI drift duct

- The effective thermal conductivity between the thermocouple and the beam limiter -

Masanori ARAKI and Masaaki KURIYAMA

Department of large tokamak research  
Naka Fusion Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Naka-machi, Naka-gun, Ibaraki-ken

( Received May 20, 1986 )

Thermal output response analysis on the thermocouples in the beam limiters for the JT-60 NBI drift duct was performed .

The thermocouple are set up to measure the axis displacement of extracted beams and to protect the beam limiters against the neutral beam.

Each thermocouple is inserted to a hole in the beam limiter. Hence , the thermal contact resistance between the thermocouple and the beam limiter may be changed according to the magnitude of the spring back force.

We have evaluated experimentally the thermal contact resistance between the thermocouple and the beam limiter by introducing the effective thermal conductivity of combined thermal contact resistance and the characteristic thermal resistance of the thermocouple.

The experiments clarified that the effective thermal conductivity  $\lambda$  varies from  $4.2 \times 10^{-3}$  to  $2.66 \times 10^{-2}$  W/m°C.

Using the result , we have simulated numerically the thermocouple output response when the beam limiters receives the pulsed neutral beam.

The result indicates that we can estimate the maximum temperature and heat loading of the beam limiter within the error range  $\pm 30$  % by measuring the data after 120 sec from beam off.

Keywords: Beam Limiter, Thermal Contact Resistance, Spring Back Force  
Effective Thermal Conductivity, Thermocouple, Pulsed Beam  
JT-60 NBI

## 目 次

1. はじめに .....	1
2. 熱電対応答実験 .....	2
3. NBIポート内ビームリミタの熱電対応答解析 .....	4
3.1 計算条件 .....	4
3.2 熱解析 .....	5
4. まとめ .....	8
謝 辞 .....	8
参考文献 .....	9

## CONTENTS

1. Abstract .....	1
2. Model experiment for the output response of the thermocouples .....	2
3. Thermal output response analysis of the thermocouples in the beam limiters for the JT-60 NBI drift duct .....	4
3.1 Conditions of the calculation .....	4
3.2 Analysis .....	5
4. Conclusions .....	8
Acknowledgement .....	8
Reference .....	9

## 1. はじめに

JT-60は臨界プラズマ条件を達成するために第二段加熱が必要であり、この主加熱装置として中性粒子入射装置<sup>1)</sup>が採用されている。JT-60中性粒子入射装置(以下JT-60NBI)は14基のNBIユニットから構成され、上下対称な2ユニットを2段に重ねたものを一对とし、これがトーラスの周囲7箇所を設置される。

JT-60真空容器と各NBIユニットとの接続はそれぞれのNBIポートを介して行われ、図1に一对のNBIユニット鳥瞰図を示す。NBIポートには図2-A, Bに示すようにビームリミタが取付けられる。ビームリミタはNBIポート壁がNBIによる高速の中性粒子の直撃を受けないようにポート内6箇所に設けられており、熱負荷が比較的大きくなる可能性のある箇所及びビームの軸ずれ測定に必要な箇所(計11ヶ/NBIポート)には熱電対が取付けられている。熱電対取付方法は図3に示すようにビームリミタに設けた $3.3\text{mm}\phi_{-0}^{+0.3}$ の穴に熱電対を差し込み、熱電対シース部の曲がり部のスプリングバックを利用して熱電対をビームリミタに押し付ける構造である。このような構造で熱電対を設置する場合、各々の熱電対固有の温度応答性のバラツキに含めてスプリングバックによる押付けの良否が温度出力応答を大きく左右するものと懸念され、ビームリミタ全体の構造を考慮した熱電対出力応答性を定量的に把握し、その妥当性を評価する必要があった。

この報告では、JT-60NBIポート内ビームリミタの熱電対取付方法と同一の方法で熱電対を設置したモデル実験を行い、スプリングバックを利用して押付けた場合の熱電対取付部の熱抵抗をある一定の物質で均一に充填された場合の等価熱伝導率として評価した。次にこの等価熱伝導率を用いてJT-60NBIポート内ビームリミタの熱電対応答解析をいくつかの構造上の条件のもとで行うと共に解析上の問題点についても調べた。

## 2. 熱電対応答実験

実験はJT-60NBI原型ユニット<sup>3)</sup>のドリフト管用ビームリミタと同一のものに熱電対を装着して行った。

図4に実験装置の概要を示す。熱電対はJT-60NBIポートに使用されている3.2φのものを使用した。また、熱電対の設置位置の違いによる温度出力のバラツキがないことを確認するために図4(c)に示すように二列に穴を開け、各列を使用した。JT-60NBIポート内ビームリミタには3.2φの熱電対が $3.3\phi_{-0}^{+0.3}$ の熱電対差し込み用穴に差し込まれるため、本試料の各列には3.4φから4.0φまで0.2mm間隔で計4ヶの穴をピッチ約6.0mmで開け、これらの穴を使用することにより熱電対の設置誤差を模擬した。ビームリミタの真の温度は直接リミタに銀口一付された1φ及び3.2φの熱電対により測定した。熱源としてはシーブヒータを銅板(板厚2.0mm)に銀口一付したものを使用し、ヒータに流す電流を制御することにより、入熱量を変化させて行った。

また熱電対の押付けはJT-60NBIポート内ビームリミタ熱電対と同様に熱電対のスプリングバックを利用し(図4(b))、実験は同ビームリミタ熱電対と同じ条件にするために、真空容器内( $P \cong 6.4 \times 10^{-3}$  Pa)で行った。

実験結果の一例を図5に示す。実験結果から判断して熱電対差し込み用穴径が小さくなるにつれて熱抵抗は小さくなる傾向が明らかとなった。熱電対とビームリミタ間の熱抵抗は様々な構成要素が存在し、これらを解析的に求めることは不可能であるため、実験結果を用いて以下のモデル化により、等価熱伝導率として算出した。つまり、熱電対と同差し込み用穴とをまとめて5mm角の中に物質Aが均一に充填され、かつビームリミタとは完全に熱接触されているものとし、実験結果と一致するように物質Aの物性値を変化させることにより、繰返し計算を行い、実際の熱抵抗を物質Aの等価熱伝導率として評価する手法を用いた。繰返し計算は実験での温度応答値と2%以下の誤差になるまで行うものとした。その時の一例を図6に示す。

図7に熱電対差し込み用穴径とその時の等価熱伝導率の関係を示す。同図より等価熱伝導率は同差し込み用穴径が同一であってもかなりのバラツキが認められるため、熱電対差し込み用穴径が $3.3\phi_{-0}^{+0.3}$ の範囲における等価熱伝導率 $\lambda$ としては各穴径における等価熱伝導率の平均を $\bar{x}$ 、その時の標準偏差を $\sigma_n$ とした時、次式で定義した。

$$\lambda_{\text{hole}} = \bar{x}_{\text{hole}} \pm 2\sigma_{n_{\text{hole}}}$$

添字 hole ; 特定の穴径を示す。

等価熱伝導率は穴径が3.3mmφから4.0mmφまで大きくなるに従って $7.06 \times 10^{-3} \pm 10.82 \times 10^{-3} \sim 15.73 \times 10^{-3} \pm 10.82 \times 10^{-3}$  W/m°Cまで変化するが、ビームリミタの熱電対差し込み用穴径は $3.3\phi_{-0}^{+0.3}$ なので、この時の等価熱伝導率は $4.15 \sim 26.6 \times 10^{-3}$  W/m°Cの範囲となる。

表1に算出した物質Aの熱的特性を示す。

表1 熱電対取付部の熱的特性

等価熱伝導率 (W/m°C)	比熱 (W.S/kg°C)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )
$4.15 \times 10^{-3}$ ~ $2.66 \times 10^{-2}$	1000	2200

注) 熱電対差し込み用穴径 id ; 3.3 mm ~ 3.6 mm



### 3. NBIポート内ビームリミタの熱電対応答解析

2節で求めた熱電対取付部の等価熱伝導率を用いてJT-60 NBIポート内ビームリミタの中で最も熱負荷の大きい第6番目リミタ(図2A参照)について熱電対出力応答解析を行い、ビーム軸ずれ測定の精度及びビームリミタ保護インターロックの設定値について検討した。

#### 3.1 計算条件

JT-60 NBIポート内ビームリミタの計算モデルを図8に示す。また図9に中心部の断面を示す。リミタ①とリミタ台座②はリミタ固定ボルト③で接続される。一方、冷却にはN<sub>2</sub>ガスが使用され、その冷却管⑤はリミタ台座と一体となっている。このような構造で解析を行う上で、以下に示す条件を仮定した。

##### (1) 接触熱抵抗R<sub>c</sub>

リミタとリミタ台座とはボルトにて接続されるため、接触熱抵抗を考慮する必要がある。接触熱抵抗R<sub>c</sub>は次式で定義される<sup>4)</sup>。

$$\frac{1}{R_c} = \alpha_c = \frac{10^4}{\frac{\delta_{MO} + 23}{\lambda_{MO}} + \frac{\delta_{INCONEL} + 23}{\lambda_{INCONEL}}} \cdot \frac{P}{H} \dots\dots\dots (1)$$

ここで

- λ<sub>MO</sub> ; モリブデンの熱伝導率  
( = 137.7 W/m°C )
- λ<sub>INCONEL</sub> ; インコネル625の熱伝導率  
( = 9.3 W/m°C )
- H ; 接触固体のやわらかい方の硬さ  
( H<sub>MO</sub> ≒ H<sub>INCONEL</sub> = 2.1 × 10<sup>8</sup> kg/m<sup>2</sup> )
- P ; 接触面圧力  
( = 1.6 × 10<sup>6</sup> kg/m<sup>2</sup> )
- δ<sub>MO</sub>, δ<sub>INCONEL</sub> ; 接触面の最大粗さ  
( ≒ 25 μ )

したがって

$$\frac{1}{R_c} \cong \alpha_c \cong 1.38 \times 10^3 \text{ W/m}^2\text{°C} \dots\dots\dots (2)$$

となる。ただし、ボルトの拘束力が及ぶ範囲はボルト頭部下面より45°方向とし、この範囲以外の部分は当数値の1/10の値を使用した<sup>5),6)</sup>。また接触熱抵抗は構造物に対する温度依存性はないものとして、全温度域で一定とし、リミタ及びリミタ台座のうねりによる影響もここでは特

に考慮しない。表2に計算に用いた各種材質の熱的特性を示す。

表2 各種材質の熱的特性

	熱伝導率 (W/m°C)	比熱 (W.S/kg°C)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	熱伝導率 (W/m <sup>2</sup> °C)
インコネル625	14.0	477.0	8440	—
モリブデン	117.0	285.0	10200	—
銅	372.0	420.0	8900	—
接触熱抵抗部	1.4*	477.0	8440	—
N <sub>2</sub> ガス	—	—	—	113.0

\* ; 中心部のみ, 周辺部はこの値の1/10とした。

## (2) 熱負荷

図10にJT-60NBIポート内ビームリミタへの最大熱負荷分布を示す。これは表3に示す条件のもとで熱負荷分布計算コード<sup>(2)</sup>により求めたものであり, 最大熱負荷はビームリミタ先端部で $2.9 \times 10^6$  W/m<sup>2</sup>である。図10に示す熱負荷がビームリミタに10秒のパルスビームとしてデューティサイクル1/60で繰返し入射されるものとし, 各ショット間で変化しないものとした。また熱負荷はビームリミタの中心部から周辺(Z軸方向)に向かってわずかに減少するが, ここでは一定とした。

表3 熱負荷計算条件

ビーム電圧	7.5 KeV
ビーム電流	7.0 A
中性化効率	4.2%
ビーム損失	5%
ビームの発散	1.2°
ビームの軸ずれ	0.3°
ビームライン等の設置誤差	2.0 mm
熱変形	1.2 mm

## 3.2 熱解析

熱解析はHEATING 6コード<sup>(7), (8)</sup>を使用した。

JT-60NBIポート内ビームリミタのビーム入射時における温度分布及び温度上昇はビーム入射直前のビームリミタの温度分布(以下ビームリミタのベース温度分布)が定常状態にあるか過渡状態にあるかにより, 大きく変化するため, それぞれの状態での熱解析を行った。ビームリミタのベース温度が過渡状態及び定常状態時の温度上昇の時間変化をそれぞれ図11及び図12に示す。熱負荷は最大 $2.9 \times 10^6$  W/m<sup>2</sup>であるので, ビームリミタの最大温度上昇はベース温度が

定常状態の時で470℃程度であり、冷却用N<sub>2</sub>ガスの初期温度(～100℃)を考慮してもT<sub>max</sub>≒570℃程度でモリブデンの再結晶温度(≒800℃)よりかなり低い温度であった。またビームリミタのベース温度分布を基準とした場合の熱電対感温部の温度上昇と時間変化の関係を図13に示す。

同図より熱電対感温部の温度応答はビーム入射中を含めて、ビーム入射開始時から約60秒間は熱電対取付部の設置状態のバラツキによる影響が著しいため、温度出力指示範囲が広く(70℃以上)、ビームリミタの最大温度及び熱負荷を評価することは困難である。このため、熱電対出力を測定する最適時間t<sub>opt</sub>(ビーム入射開始直後からの経過時間)を調べる必要がある。図13より判断してビーム入射開始後60秒程度経過すれば、これ以降の各熱電対出力値T<sub>n</sub>(t)は下記に示す2次式で近似できる。

$$\left. \begin{aligned} T_1(t) &= 0.00285(t-60)^2 - 0.896(t-60) + 146.4 \\ T_2(t) &= -0.00312(t-60)^2 + 0.440(t-60) + 82.9 \\ T_3(t) &= 0.00311(t-60)^2 - 1.10(t-60) + 130.8 \\ T_4(t) &= -0.00305(t-60)^2 + 0.272(t-60) + 77.6 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

ただし 60 ≤ t ≤ 180

ここで

- t ; ビーム入射開始からの経過時間(sec)
- 添字1 ; λ = 2.66 × 10<sup>-2</sup> W/m℃でベース温度が過渡状態
- 2 ; λ = 4.15 × 10<sup>-3</sup> W/m℃でベース温度が過渡状態
- 3 ; λ = 2.66 × 10<sup>-2</sup> W/m℃でベース温度が定常状態
- 4 ; λ = 4.15 × 10<sup>-3</sup> W/m℃でベース温度が定常状態
- λ : 熱電対測温部の等価熱伝導率(W/m℃)

(3)式に示す4種類の2次式において、その最大値T<sub>1,opt</sub>と最小値T<sub>2,opt</sub>の差ΔT<sub>opt</sub>が最小になる時間tを求めることにより、熱電対出力の最適測定時間t<sub>opt</sub>を決めることができる。

この結果、

$$t_{opt} \approx 110 \text{ sec}$$

であり、この時のΔT<sub>opt</sub>は

$$\Delta T_{opt} \approx 25.0 \text{ }^\circ\text{C}$$

であった。また、ここでt = 110秒の時のΔTとt = 120秒の時のΔTとの差はごくわずか(～1.8℃)であるので、便宜上T<sub>opt</sub> ≒ 120 secとした。この時の熱負荷に対する熱電対の温度上昇を図14に示す。同図より熱負荷が2.9 × 10<sup>6</sup> W/m<sup>2</sup>の時、熱電対測温部の温度上昇は75.5℃～103℃の範囲であり、これから熱負荷の測定精度を求めると、2.9 ±<sub>0.9</sub><sup>1.0</sup> × 10<sup>6</sup> W/m<sup>2</sup>であり、誤差±30%以内でその時の熱負荷の推定が可能であることが明らかとなった。

これはビームリミタの最高温度を推定するという目的は十分、満足しているものと評価できるが、更に精度良く測定するためには以下に示す方法が上げられる。

つまり、ビームリミタのベース温度が定常状態に達した後の次のビーム入射開始から 110 秒経過した時点で熱電対出力による温度上昇を測定することにより、熱負荷は  $2.9 \pm 0.05 \times 10^6 \text{ W/m}^2$  の範囲で推定が可能であり、これは誤差が  $\pm 2\%$  以内で熱負荷を推定できることに相当する。ただし、ベース温度が定常状態に達するためには約 10 ショット必要である。

## 4. ま と め

JT-60NBIポート内ビームリミタの熱電対取付部は熱解析上、様々な構成要素があるため、同熱電対取付部と同一構造の実験装置を用いて熱電対応答実験を行い、熱電対取付部の熱抵抗と熱電対自身の固有熱抵抗を合せた全熱抵抗をある一定の物質で均一に充填された場合の等価熱伝導率として評価した。

この結果、ビームリミタ熱電対測定部の等価熱伝導率 $\lambda$ は $4.15 \sim 26.6 \times 10^{-3} \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ の範囲にあることが明らかとなった。

上記等価熱伝導率を用いてJT-60NBIポート内ビームリミタにパルスビームが照射される際の温度応答のシミュレーション計算を行った。

この結果、同リミタの最高温度及びビームの軸ずれはビーム入射後、120秒経過した時点で測定することにより、 $\pm 30\%$ の誤差内で推定できることを明らかにした。

更に精度良くリミタの温度上昇を測定するためには、ビームリミタのベース温度が定常状態に達した後に上記と同様の測定を行うことが必要であり、この時の誤差は $\pm 2\%$ 以内である。ここでベース温度が定常状態に達するためには約10ショット程度同一熱負荷でビーム入射を行う必要がある。

なお、今後は以下の点に関して詳細な検討を進める必要がある。

- 1) 接触熱抵抗部の温度依存性及びバラツキ
- 2) 各ビーム入射間で熱負荷が異なる場合の熱電対出力応答性

## 謝 辞

本研究を実施するに際し、終始激励と有益な助言を頂きました臨界プラズマ研究部臨界プラズマ加熱開発室長白形弘文氏、核融合研究部加熱工学第1研究室長松田慎三郎氏に心からの感謝の意を表わします。また直接、間接的に御協力して頂きました臨界プラズマ加熱開発室及び加熱工学第1研究室の皆様へ感謝致します。

また不断の激励と支援を頂きました臨界プラズマ研究部長吉川允二氏、同次長田村早苗氏に深く感謝致します。

## 4. ま と め

J T-60 NBIポート内ビームリミタの熱電対取付部は熱解析上、様々な構成要素があるため、同熱電対取付部と同一構造の実験装置を用いて熱電対応答実験を行い、熱電対取付部の熱抵抗と熱電対自身の固有熱抵抗を合せた全熱抵抗をある一定の物質で均一に充填された場合の等価熱伝導率として評価した。

この結果、ビームリミタ熱電対測定部の等価熱伝導率 $\lambda$ は $4.15 \sim 26.6 \times 10^{-3} \text{ W/m}^\circ\text{C}$ の範囲にあることが明らかとなった。

上記等価熱伝導率を用いてJ T-60 NBIポート内ビームリミタにパルスビームが照射される際の温度応答のシミュレーション計算を行った。

この結果、同リミタの最高温度及びビームの軸ずれはビーム入射後、120秒経過した時点で測定することにより、 $\pm 30\%$ の誤差内で推定できることを明らかにした。

更に精度良くリミタの温度上昇を測定するためには、ビームリミタのベース温度が定常状態に達した後に上記と同様の測定を行うことが必要であり、この時の誤差は $\pm 2\%$ 以内である。ここでベース温度が定常状態に達するためには約10ショット程度同一熱負荷でビーム入射を行う必要がある。

なお、今後は以下の点に関して詳細な検討を進める必要がある。

- 1) 接触熱抵抗部の温度依存性及びバラツキ
- 2) 各ビーム入射間で熱負荷が異なる場合の熱電対出力応答性

### 謝 辞

本研究を実施するに際し、終始激励と有益な助言を頂きました臨界プラズマ研究部臨界プラズマ加熱開発室長白形弘文氏、核融合研究部加熱工学第1研究室長松田慎三郎氏に心からの感謝の意を表わします。また直接、間接的に御協力して頂きました臨界プラズマ加熱開発室及び加熱工学第1研究室の皆様へ感謝致します。

また不断の激励と支援を頂きました臨界プラズマ研究部長吉川允二氏、同次長田村早苗氏に深く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) T. SHIBATA et al., 10th Symposium on Engineering Problems of Fusion Research, Philadelphia, 1983.
- 2) 小原, 栗山, JAERI-M 82-066
- 3) Y. OHARA., The 7th Symposium on Ion Source and Ion Assisted Technology, Kyoto, 1983.
- 4) 伝熱工学資料改訂第3版, 日本機械学会編, 1975.
- 5) 築添, 久門, 日本機械学会論文集 37 卷 299 号 P1369-P1377, 1971.
- 6) 中村博雄, “私信”
- 7) D. C. ELROD, W. D. TURNER et al., “HEATING 6; A multidimensional heat conduction analysis with the finite-difference formulation”, ORNL/NUREG/CSD-2/V2, 1981.
- 8) 石黒他, 非線型熱伝導計算コードHEATING 6のベクトル化, JAERI-M 85-153

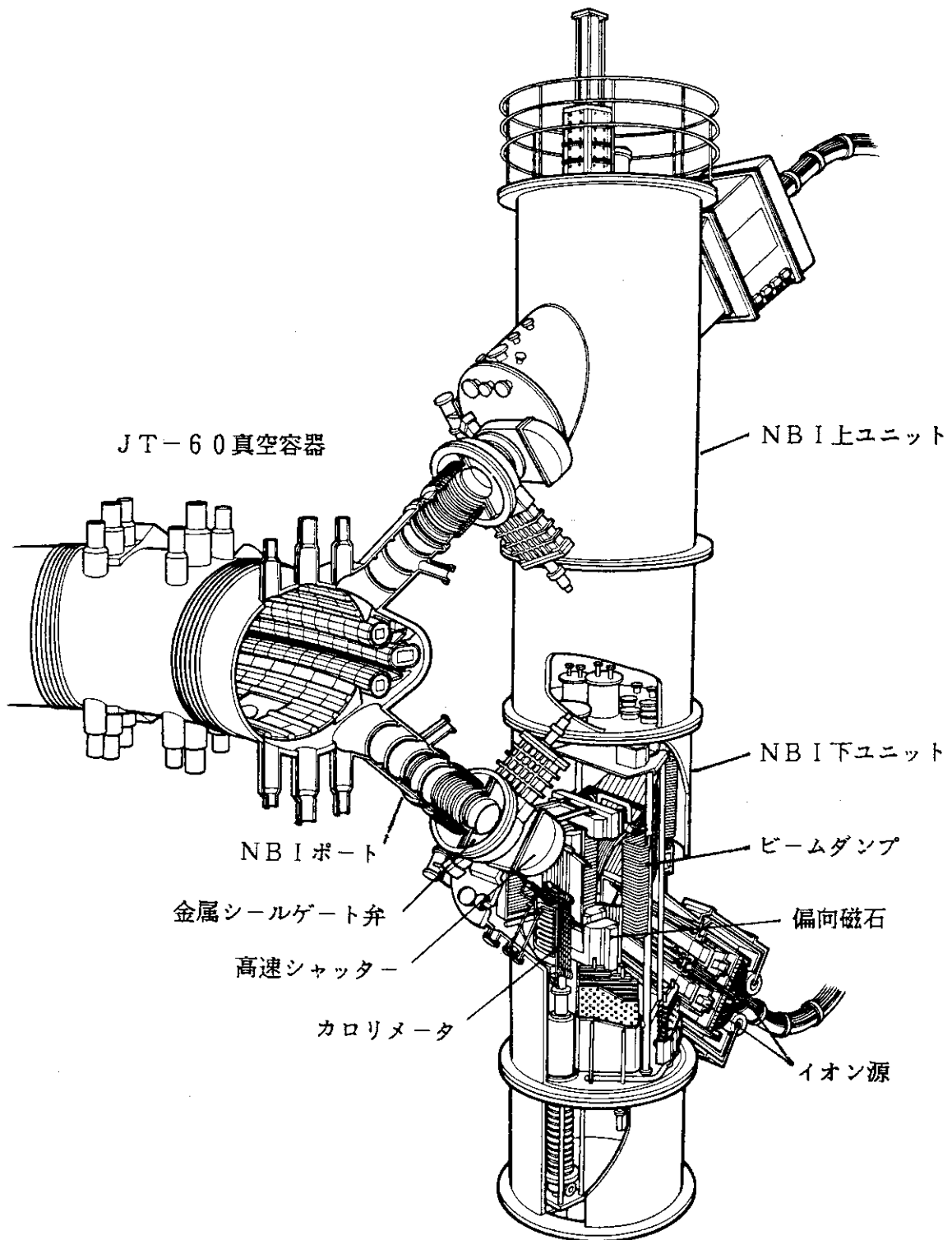


図 1 JT-60 中性粒子入射装置鳥瞰図



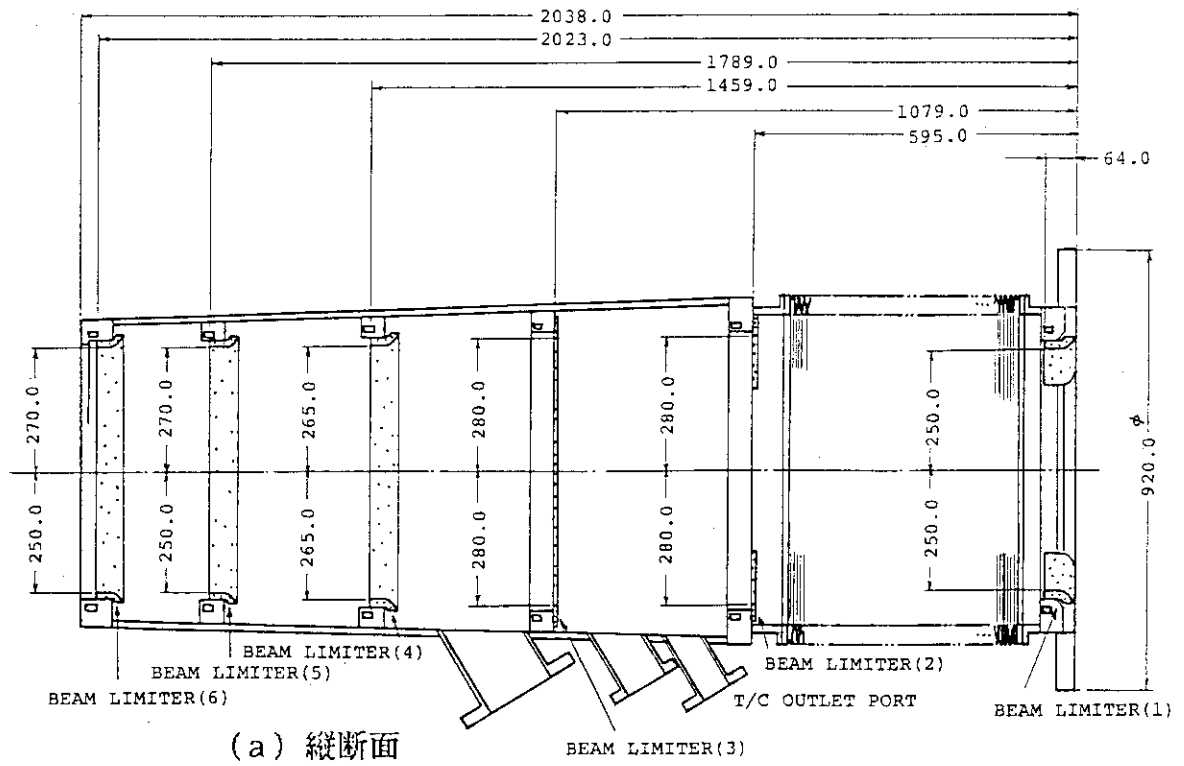
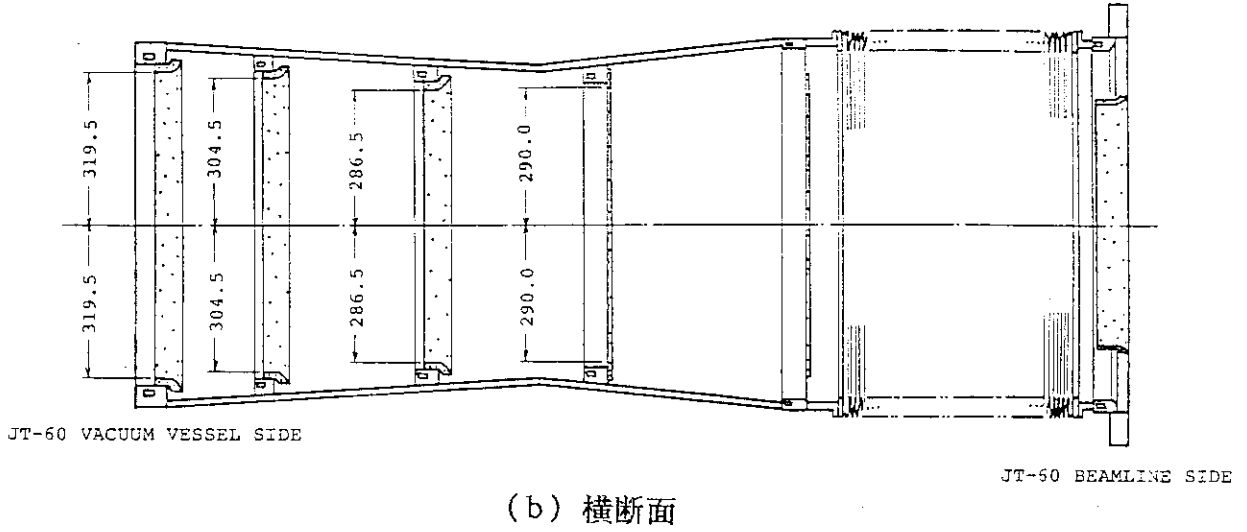
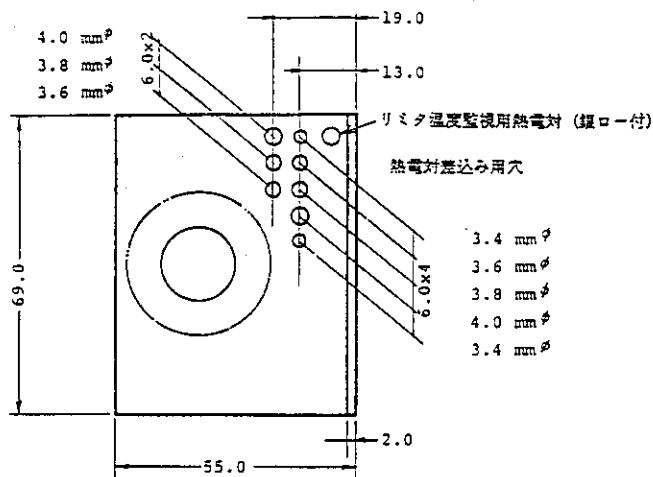
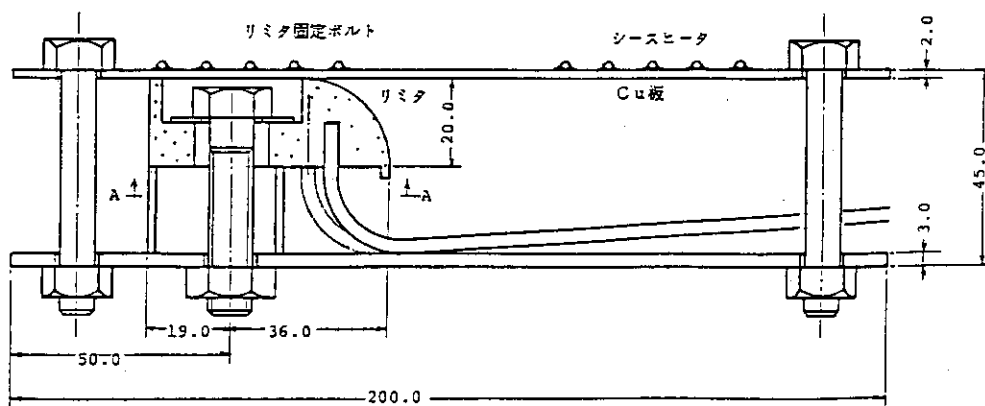


図 2-A JT-60 NBIポート

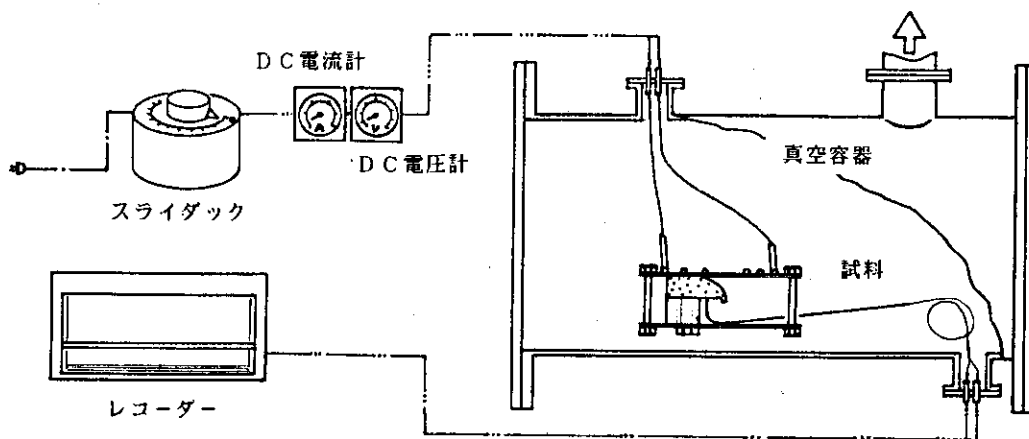




(c) A-A矢視



(b)



(a)

図 4 実験装置概略図

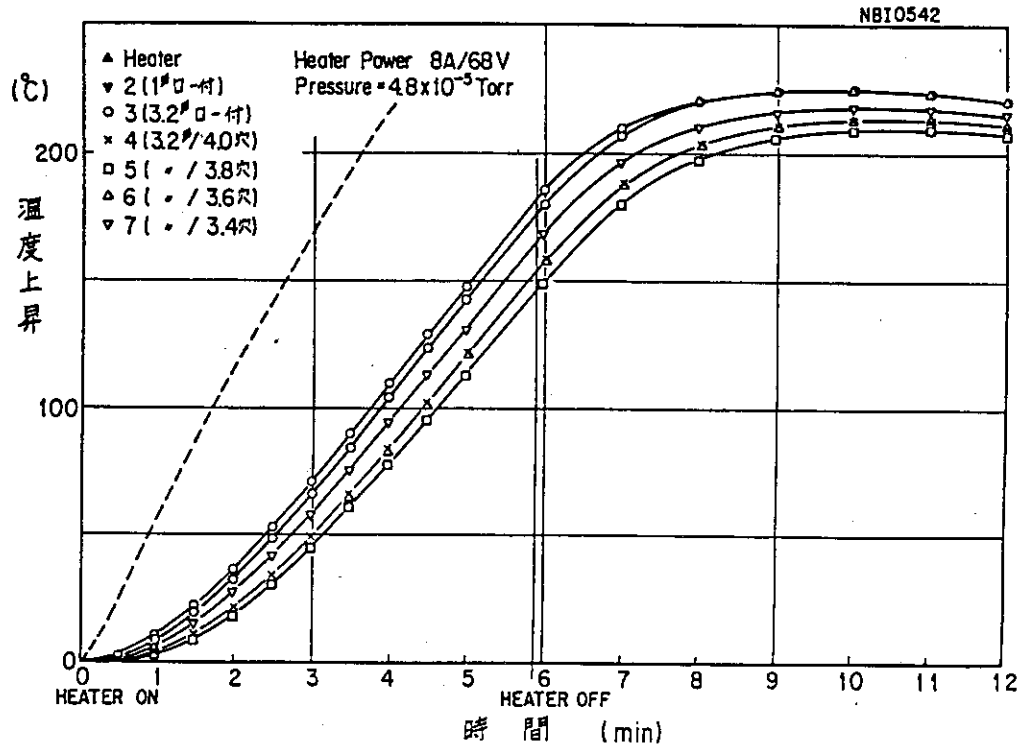


図 5 熱電対応答実験結果

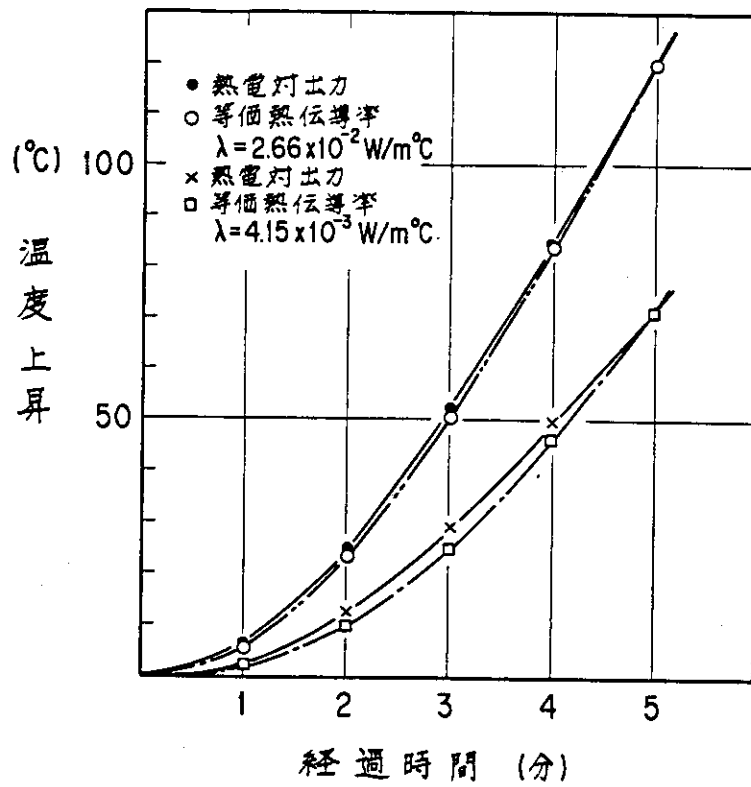


図 6 実験値と計算値の比較

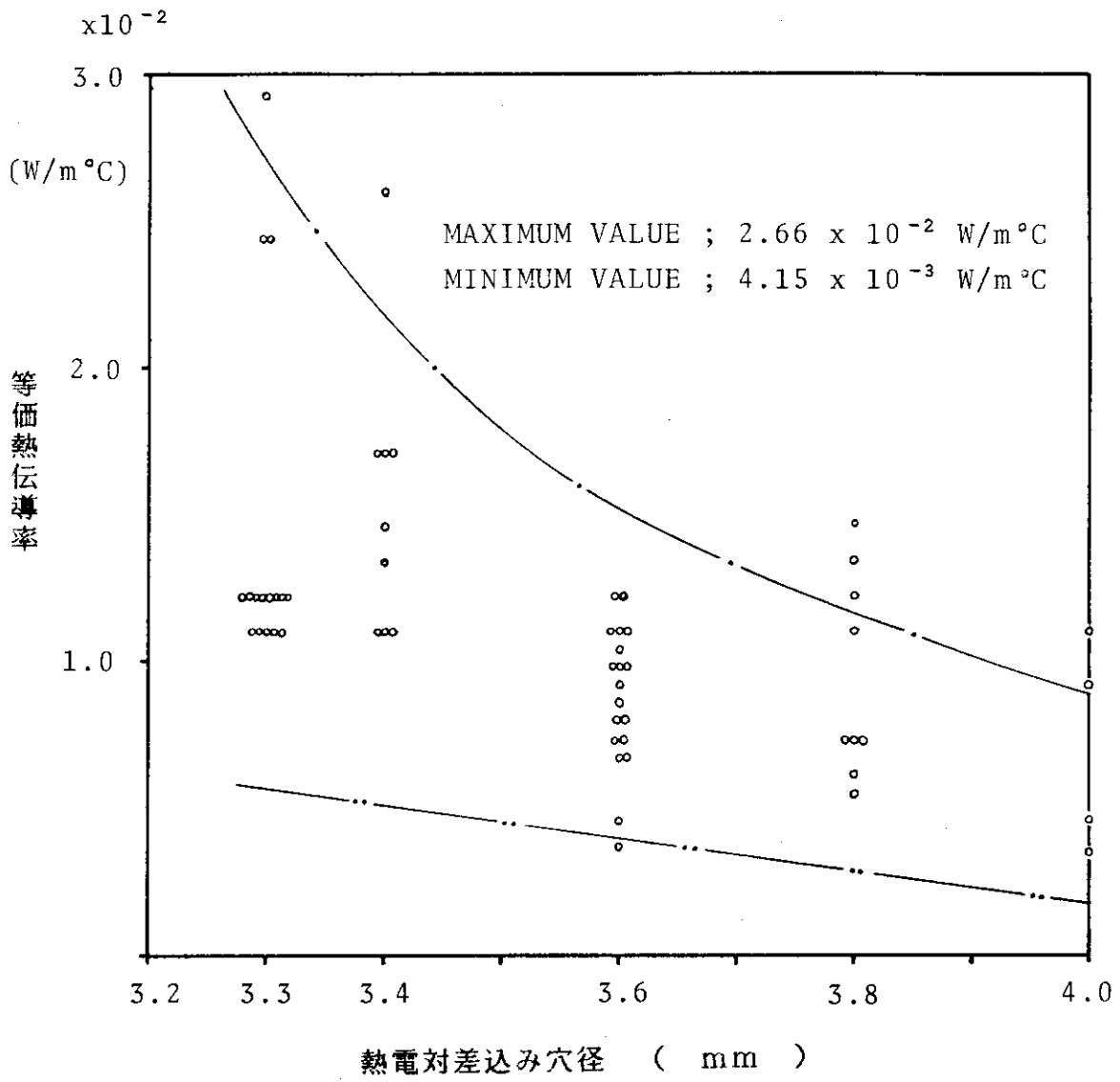


図 7 熱電対测温部の等価熱伝導率

\*\*\*  
UNDEFORMED SHAPE

IAxis= 2    ALPHA= 20.00    BETA= 150.00

\*\*\*

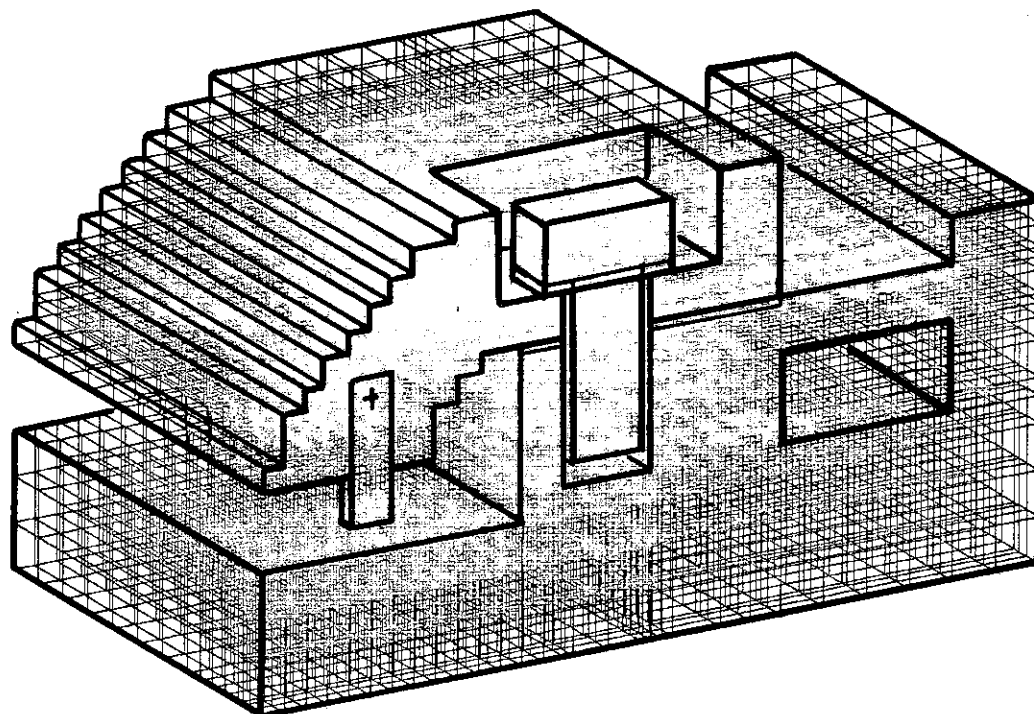


図 8 計算モデル (3次元シミュレーションモデル)

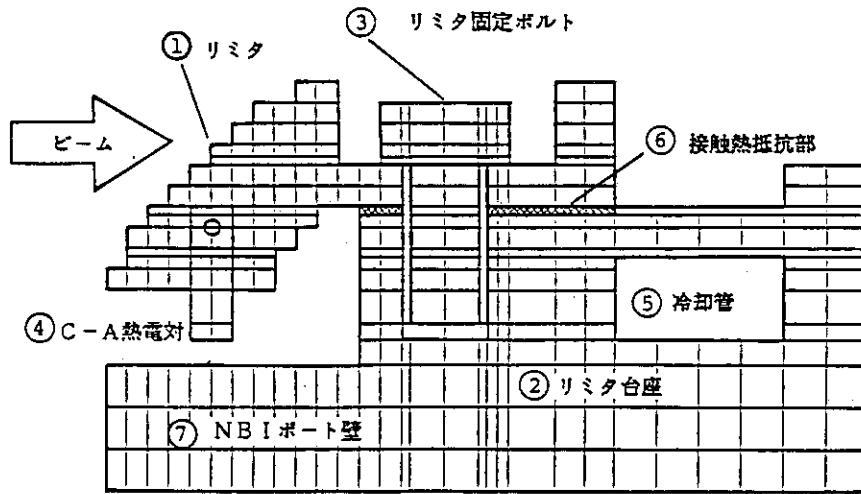


図 9 計算モデル断面 (中心部 ;  $Z = 0.0$ )

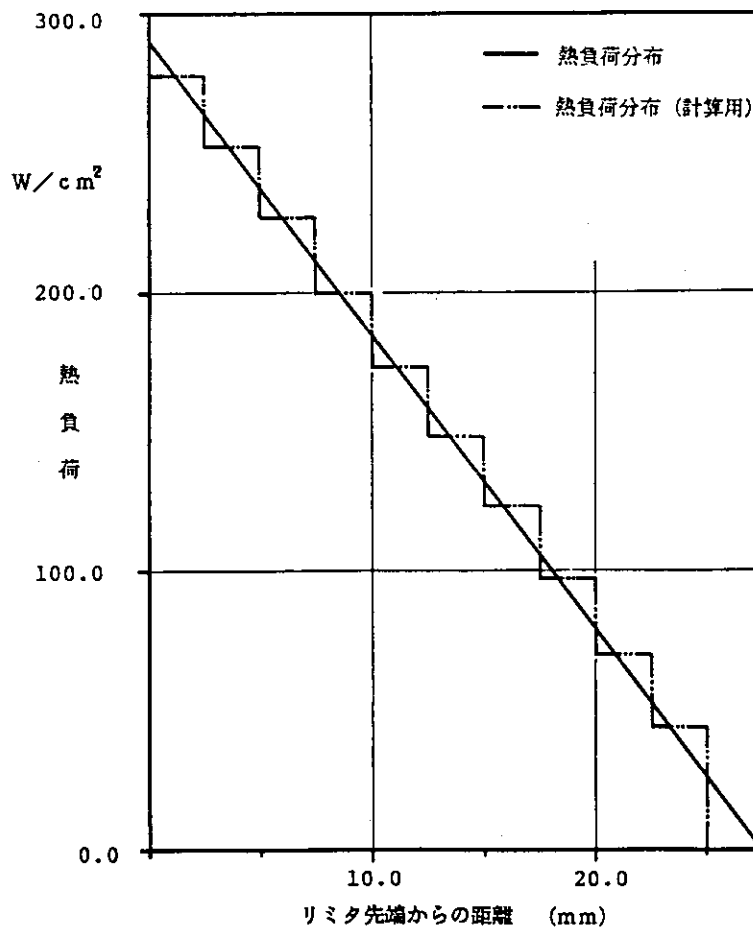


図 10 JT-60NBIポート用ビームリミタの入熱条件

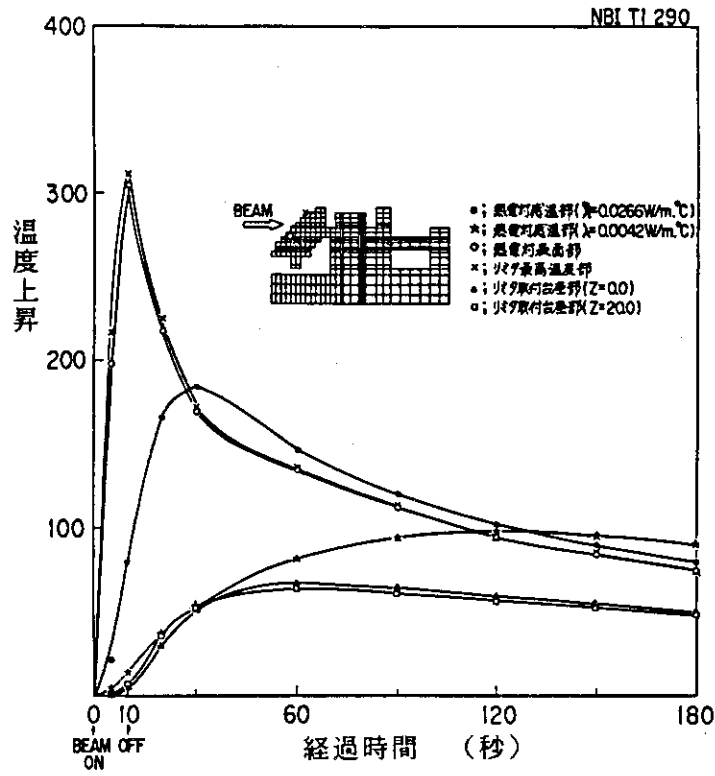


図 1.1 熱電対応答シミュレーション (I)  
— ベース温度が過渡状態の時 —

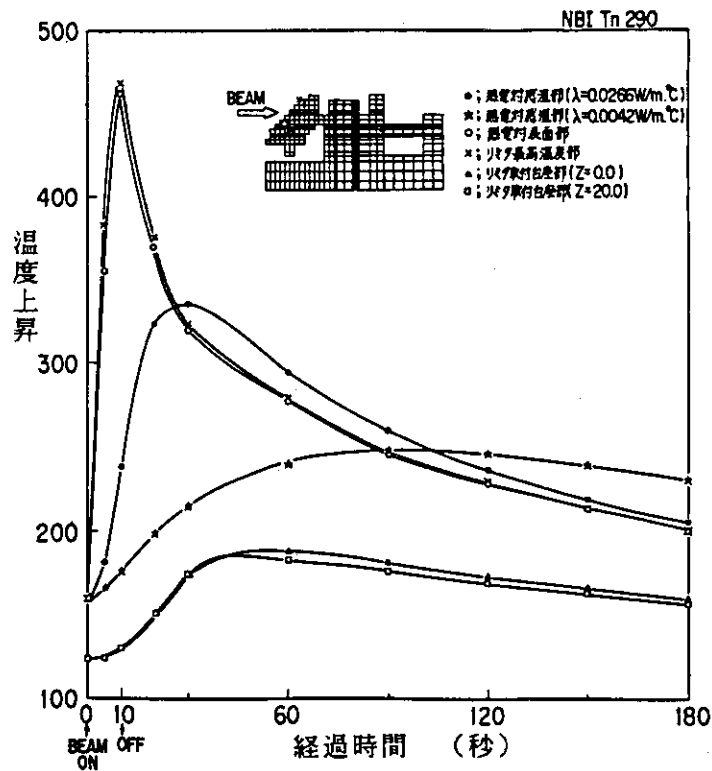


図 1.2 熱電対応答シミュレーション (II)  
— ベース温度が定常状態の時 —



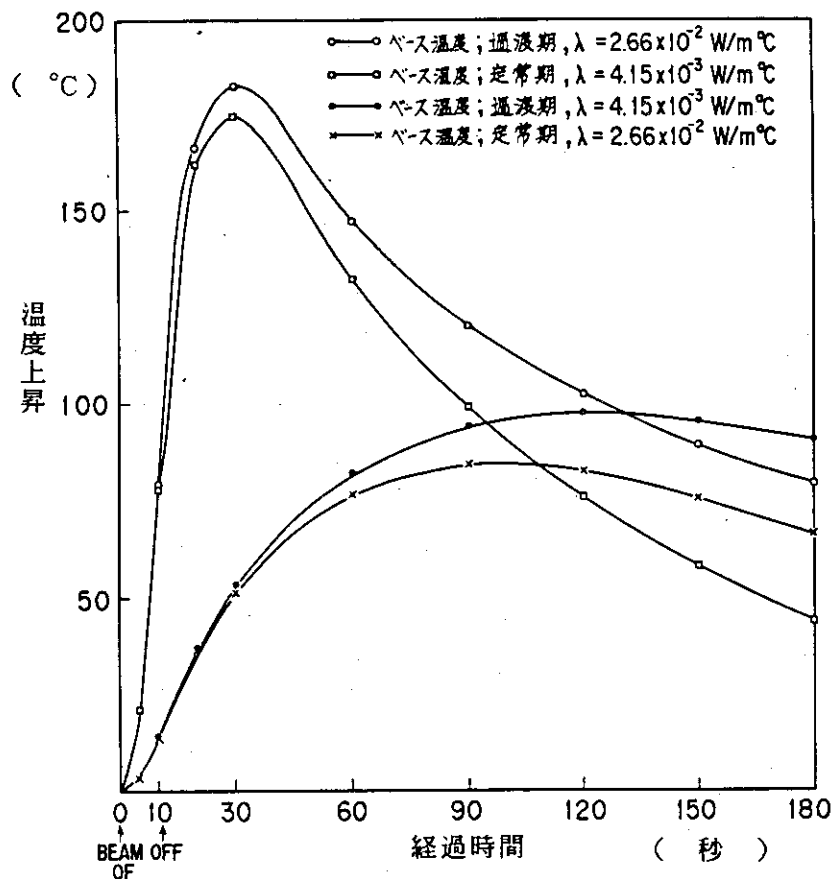


図 13 熱電対応答シミュレーション (III)

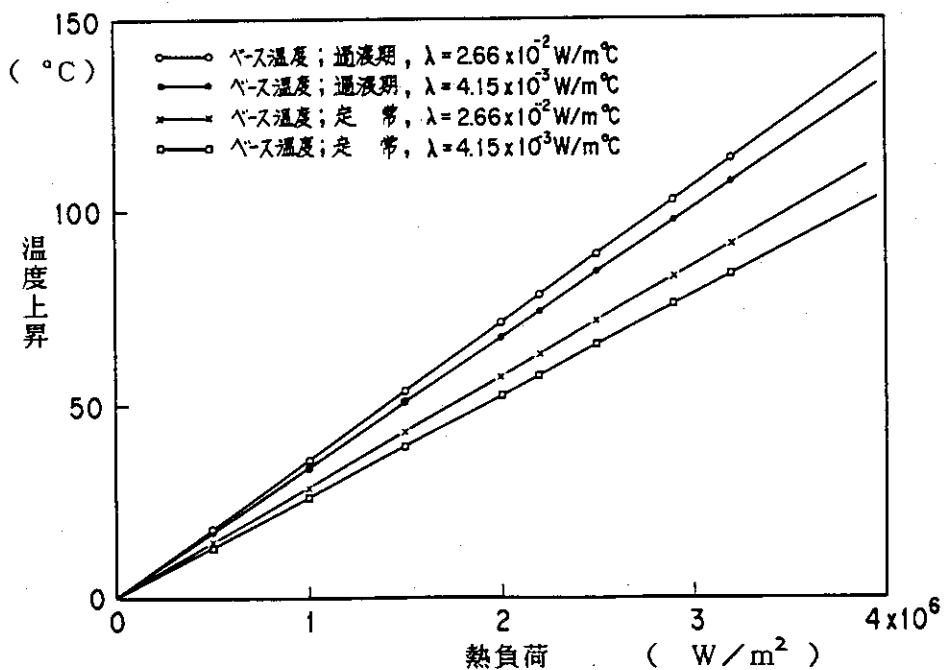


図 14 熱電対感温部温度出力特性

- ビーム入射後120秒経過した時 -