

JAERI-M
93-058

モノブロックダイバータ模擬試験体の
電子ビーム照射試験

1993年3月

佐藤 和義・秋場 真人・荒木 政則・鈴木 哲
横山 堅二・Ivica ŠMID*¹・Antonio CARDELLA*²
Reiner DUWE*³・E.Di PIETRO*⁴

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。
入手の間合わせは、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）
あて、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）で複写による実費頒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, Tokai-mura, Naka-gun,
Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1993

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 日立高速印刷株式会社

モノブロックダイバータ模擬試験体の電子ビーム照射試験

日本原子力研究所那珂研究所核融合工学部

佐藤 和義・秋場 真人・荒木 政則・鈴木 哲

横山 堅二・Ivica ŠMID*¹・Antonio CARDELLA*²

Reiner DUWE*³・E. Di PIETRO*⁴

(1993年2月19日受理)

原研においては国際熱核融合実験炉ITERの実現を目指すうえで最重要課題の一つであるダイバータ板の開発を、現在精力的に進めている。原研におけるダイバータ開発の一環として、NETチーム及びKFAユーリッヒ研究所が開発したダイバータ模擬試験体の加熱試験を原研の高熱負荷試験装置JEBISにおいて実施した。

今回の試験では最大熱負荷 $23\text{MW}/\text{m}^2$ までのスクリーニング試験と定常熱負荷 $18\text{MW}/\text{m}^2$ の熱サイクル試験を行った。スクリーニングの結果、アーマタイル表面には昇華による損耗が認められたが、き裂等の損傷はなかった。また、熱サイクル試験の結果、照射後のアーマタイル表面に、き裂等の損傷は認められなかった。しかし、サイクル数が600回を越えたあたりで模擬試験体の冷却時定数が漸増する現象が認められた。これは、模擬試験体接合面に欠陥等が発生した可能性があるかと判断される。

尚、本試験はプラズマ対向機器開発に関する日欧協力の一部としておこなった。

那珂研究所：〒311-01 茨城県那珂郡那珂町向山801-1

*1 リサーチフェロー，オーストリア

*2 NETチーム，ドイツ

*3 KFAユーリッヒ研究所，ドイツ

*4 ENEA，イタリア

Electron Beam Irradiation Experiments of
Monoblock Divertor Mock-up

Kazuyoshi SATOH, Masato AKIBA, Masanori ARAKI
Satoshi SUZUKI, Kenji YOKOYAMA, Ivica ŠMID^{*1}
Antonio CARDELLA^{*2}, Reiner DUWE^{*3} and E.Di PIETRO^{*4}

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

(Received February 19, 1993)

It is one of the key issues for ITER to develop the divertor plate. Electron beam irradiation tests were carried out on a NET divertor mock-up using JEBIS at JAERI under a collaboration between The NET team, JAERI and KFA jülich.

Screening tests (maximum heat flux of 23MW/m^2) and thermal cycling tests (18MW/m^2 , 30s, 1000cycle) were carried out. As a result of the screening tests, the erosion caused by sublimation of C/C was observed on the surface of armor tile. No serious damage such as cracks or detachments, however, were found. As a result of the thermal cycling tests, no major damage was detected on the C/C surface. However cooling time constant of the divertor mock-up increased over 600cycle. Therefore it implies that some defects would occur at the brazing interface of the divertor mock-up.

Keywords : ITER, Divertor, Monoblock, Heating Test, Carbon Fiber
Composite, Mo Alloy, TZM, NET, KFA Jülich, J/EC Collaboration

*1 Research Fellow, Austria

*2 NET Team, Germany

*3 KFA Jülich, Germany

*4 ENEA, Italy

目 次

1. はじめに	1
2. モノブロック型ダイバータ模擬試験体	2
3. 試験装置	3
4. 試 験	3
4.1 スクリーニング試験	3
4.2 熱サイクル試験	4
5. 解 析	5
6. ま と め	6
謝 辞	6
参考文献	6

Contents

1. Introduction	1
2. Monoblock Divertor Mock-up	2
3. Test Facility	3
4. Experiment	3
4.1 Screening Tests	3
4.2 Thermal Cycling Tests	4
5. Analysis	5
6. Summary	6
Acknowledgments	6
Reference	6

1. はじめに

国際熱核融合実験炉 ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor)の工学設計活動においてプラズマ対向機器の開発は最重要課題の一つとして挙げられている。

ITERダイバータ板の構造は、図1に示すように冷却管の周りに冷却管を保護するための黒鉛系のアーマタイルをろう付けした構造が提案されている。ITERダイバータ板の熱負荷条件と、提案されている材料を表1及び表2に示す。特にダイバータ板は表1に示すように15 MW/m²以上の過酷な定常熱負荷にさらされることが予想されている。^{(1),(2)}

ダイバータの材料には、アーマ材料として熱及び機械的性質に優れた炭素繊維強化炭素複合材料(C/C)が提案されており、冷却管の材料には銅合金、Mo合金、Nb合金が提案されている。このうち、接合技術の観点からすると、C/C材と線膨張率の近いMo合金が優れている。しかし、Mo合金は水によるコロージョンが激しいため、機器としての信頼性に欠ける。このため、原研では第一候補材に銅合金を、第二候補材にMo合金を冷却管材料に考えている。一方、NETチームでは接合技術を重視してMo合金を冷却管材料として採用している。

今回NETチームで製作されたTZM製の冷却管を採用したダイバータ模擬試験体の実験を実施することは、原研の今後のダイバータ開発にとって意義のあるデータを得ることができる。

本報では、日欧協力の一環として行ったNETモノブロック型ダイバータ模擬試験体の原研のJEBISにおける加熱試験結果及び熱解析結果を報告する。

2. モノブロック型ダイバータ模擬試験体

図2に本試験で使用したダイバータ模擬試験体の全体図を示す。このダイバータ模擬試験体はC/C材のアーマタイル5個がTZM製冷却管にTi-Cu-Ag系のろう材で直接ろう付けされているモノブロック型である。

アーマタイルは、三次元C/C材のN112(SEPCARB)で、主要な物性値を表3に示す。この材料の特徴は、強度、熱伝導率等の熱機械的性質が等方的なことである。特にN112は三次元材にもかかわらず、常温でx,y方向に280 W/mK、z方向には210 W/mKとなっており高い熱伝導率を有している。⁽³⁾ タイルの大きさは25 mm^L × 24 mm^W × 27 mm^Hでタイル間の距離は1 mmである。また、A-A'断面図に示すように、タイル表面から冷却管までは7 mmである。

冷却管はTZM(Ti-Zr-Mo)製である。TZM製の冷却管は無酸素銅製の冷却管と比較すると高強度を有しているが、熱伝導率が低いため無酸素銅製の冷却管より肉厚を薄くする必要がある。TZMが候補材の一つとして挙げられている理由は、高融点のモリブテン材料を冷却管に使用することにより、バーンアウト時に冷却管が溶融するまでの時間が無酸素銅管よりも長くとれるため安全上好ましい、ということである。しかしながら、モリブテン材料は水によるエロージョンが激しいこと、中性子による脆化が大きい等の欠点があり、原研では無酸素銅製の冷却管を第一候補材としている。冷却管の寸法は、A-A'断面図に示したように、外径16 mmで肉厚は1 mmである。冷却管には内部の熱伝達を促進するために、SUS製のスワールテープが挿入されている。

また、B-B'断面図に示したように模擬試験体内部の温度を計測するため、タイル4の表面から2 mmの位置に熱電対が計4本挿入されている。試験は、タイル4、タイル5を使用してスクリーニング試験を行い、タイル2を中心に熱サイクル試験を行った。なお、試験前の非破壊検査の結果、タイル1にろう付け不良による欠陥部が発見されたため、タイル1を使った試験は行わないこととした。

3. 試 験 装 置

本試験で使用したJEBISの断面を図3に示す。JEBISはプラズマ電子銃を備え、加速電極の引き出し孔を変更することによりペンシル状ビームからシート状ビームまで引き出すことが可能である。図3に示すように出力は400kW、加速電圧は最大100kV、加速電流は最大4A、パルス幅は1msから連続で熱流束は最大2000MW/m² (0.8cm²)である。また、図に示す偏向・掃引コイルは磁場を用いて電子ビームを掃引することが可能であり、照射領域は最大1800 cm² (0.2 MW/m²)である。冷却系は、イオン交換樹脂を通した純水を使用しており、最大流量が40 m³/時、入口圧力は最大4 MPaで水温は室温である。

4. 試 験

本試験では、スクリーニング試験と熱サイクル試験を実施した。

加熱はJEBISで行い、冷却はITERの条件である流速10m/s、入口圧力3.5MPaの水で行った。また、アーマタイルの表面温度は赤外カメラを用いて計測した。なお、タイル4に熱電対を取り付け試験を行ったが、うまく動作せず、今回の試験では信頼のおけるデータは得られなかった。このため、試験においては赤外カメラによる表面温度の観察のみを行った。

本試験に先立ち、アーマタイルからの脱ガスを行い、かつ、模擬試験体接合部の健全性を確認するために低熱負荷による予備加熱を行った。加熱条件は熱負荷が2~6 MW/m²で加熱時間は20 ms~10 sである。その結果、照射による表面の温度分布からは、図2に示したタイル1のろう付け不良部を除いて接合不良を表す局所的な高温部は見られなかった。

4.1 スクリーニング試験

この試験は、模擬試験体が耐え得る最大熱負荷を明らかにするために、熱負荷をステップ状に増加させて行った。

本試験では図2に示したタイル4、タイル5を使用した。タイル4では最大熱負荷23MW/m²、加熱時間20sまでの照射を、タイル5では最大熱負荷18MW/m²、加熱時間30sまでの照射を行った。

図4は、試験前に行った模擬試験体長手方向の各熱負荷の分布を示したものである。図に示す熱負荷分布から明らかなように、どの熱負荷でもタイル中心から端部

3. 試験装置

本試験で使用したJEBISの断面を図3に示す。JEBISはプラズマ電子銃を備え、加速電極の引き出し孔を変更することによりペンシル状ビームからシート状ビームまで引き出すことが可能である。図3に示すように出力は400kW、加速電圧は最大100kV、加速電流は最大4A、パルス幅は1msから連続で熱流束は最大2000MW/m² (0.8cm²)である。また、図に示す偏向・掃引コイルは磁場を用いて電子ビームを掃引することが可能であり、照射領域は最大1800 cm² (0.2 MW/m²)である。冷却系は、イオン交換樹脂を通した純水を使用しており、最大流量が40 m³/時、入口圧力は最大4 MPaで水温は室温である。

4. 試験

本試験では、スクリーニング試験と熱サイクル試験を実施した。

加熱はJEBISで行い、冷却はITERの条件である流速10m/s、入口圧力3.5MPaの水で行った。また、アーマタイルの表面温度は赤外カメラを用いて計測した。なお、タイル4に熱電対を取り付け試験を行ったが、うまく動作せず、今回の試験では信頼のおけるデータは得られなかった。このため、試験においては赤外カメラによる表面温度の観察のみを行った。

本試験に先立ち、アーマタイルからの脱ガスをを行い、かつ、模擬試験体接合部の健全性を確認するために低熱負荷による予備加熱を行った。加熱条件は熱負荷が2~6 MW/m²で加熱時間は20 ms~10 sである。その結果、照射による表面の温度分布からは、図2に示したタイル1のろう付け不良部を除いて接合不良を表す局所的な高温部は見られなかった。

4.1 スクリーニング試験

この試験は、模擬試験体が耐え得る最大熱負荷を明らかにするために、熱負荷をステップ状に増加させて行った。

本試験では図2に示したタイル4、タイル5を使用した。タイル4では最大熱負荷23MW/m²、加熱時間20sまでの照射を、タイル5では最大熱負荷18MW/m²、加熱時間30sまでの照射を行った。

図4は、試験前に行った模擬試験体長手方向の各熱負荷の分布を示したものである。図に示す熱負荷分布から明らかなように、どの熱負荷でもタイル中心から端部

までの熱負荷の差は10~15%であり、タイル全域にはほぼ一様な熱負荷を持つビームが照射されていることがわかる。

また、図5は、実験に先だってNETチームが行った温度解析の結果である。図には各熱負荷に対する表面温度、熱電対位置での温度、接合位置での温度が示されている。また、本試験で行った模擬試験体の表面温度の測定結果を図中の点線で示す。同一の熱負荷に対する試験体の表面温度は、計算値と比較すると約10%低い。これは解析が、試験体表面からのふく射を考慮していないためと思われる。

図6は熱負荷 23 MW/m^2 での赤外カメラによる温度分布を示したものである。図より、タイル全域がほぼ 2000°C 以上になっているのがわかる。ここで、タイル中央の温度が 2500°C 以上となっているのは、表面温度が赤外カメラの測定範囲を越えてしまったためである。

図7は試験終了後の模擬試験体表面を示したものである。タイル4とタイル5の表面が黒く変色しているのが観察されたが、き裂は認められなかった。また、ショット毎の冷却時定数を測定したが、有意な変化は見られなかった。このことから、本模擬試験体は表面で 2500°C 以上となるが、接合部には冷却時定数に変化を及ぼすような欠陥は発生しなかったと思われる。

4.2 熱サイクル試験

この試験は、模擬試験体に 18 MW/m^2 の定常熱負荷を与えたときに、何サイクルまで耐え得るかを明らかにするために行った。

本試験は、図2に示すタイル2を使用して行った。加熱条件は、熱負荷 18 MW/m^2 、加熱時間30 s、休止時間30 sで照射回数は1000回である。また、冷却時定数の変化を調べるために、実験データは50サイクルおきに収集した。

図8に赤外カメラで測定した照射中の表面温度分布を示す。図に示す温度分布からわかるように、アーマタイルは中央で 2000°C 、端部で $1600^\circ\text{C} \sim 1700^\circ\text{C}$ の温度分布をもっている。一方図5の計算結果からは、タイル表面の最高温度は 2300°C である。両者を比較すると、解析で得られた温度の方が約 300°C 高い。この 300°C の温度差はふく射による冷却を考慮していないためと判断される。

次に、図9に200, 400, 600, 800, 1000 shot における試験体表面の温度の時間変化を示す。800 shot, 1000 shot の照射終了後の温度変化から、明らかに冷却時定数が漸増していることがわかる。このことから、模擬試験体に除熱性能に影響を及ぼす欠陥が発生したものと判断される。

図10に1000サイクル照射後のダイバータ模擬試験体を示す。照射後の模擬試験体表面は、スクリーニング試験の時と同様に表面が黒く変色しているが、き裂等の損傷は確認されなかった。

5. 解 析

試験と平行して原研独自の二次元定常熱伝導解析を実施し、試験結果との比較を行った。

本計算では汎用有限要素解析コード ABAQUS 4-9-1を使用した。

図1 1に計算で使用したメッシュ構成図を示す。アーマ材であるN112の熱物性は表3及び表4に示したものを参照し、またTZMの熱物性は伝熱工学資料を参照し温度依存性を考慮した。⁽⁴⁾ また、熱物性値は2000℃までは外挿を行った。境界条件として、一様熱負荷を図1 1に示すようにアーマタイル表面に与え、冷却管内面の熱伝達率はThomの式⁽⁵⁾ で与えた。尚、本計算では表面からのふく射冷却とスワールテープによる熱伝達促進効果を考慮にいれた計算は行わなかった。

図1 2には18 MW/m² の一様な熱負荷を表面に与えた場合の定常時の温度分布を示す。図よりタイル表面の中心部の温度は2400℃となっていることが明かとなった。一方、図8に示す試験結果ではタイル表面の中心部の温度は2000℃程度である。両者を比較すると計算結果の温度が試験結果より約400℃高い。これは計算においてスワールテープによる熱伝達促進効果とふく射による影響を考慮しなかったためと考えられる。

6. ま と め

モノブロックダイバータ模擬試験体による加熱試験を、日欧共同研究の一環として原研のJEBISで実施し、以下に示す結果を得た。

- (1) スクリーニング試験では、タイル1個に最大で 23 MW/m^2 の定常加熱を行った。その結果、タイル表面に昇華による変色が認められたが、き裂等は確認されなかった。また、接合部の欠陥を示す冷却時定数に変化を及ぼすような現象は認められなかった。
- (2) 熱サイクル試験では、定常熱負荷 18 MW/m^2 で1000回の繰り返し照射を行った。その結果、600サイクルを越えたあたりで冷却に要する時定数が漸増し欠陥が生じたことが予想される。

尚、模擬試験体は現在NETチームにおいて、詳細な観察が行われている。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり有意義な討論をして頂いた小原祥裕室長をはじめとするNBI加熱研究室の諸氏、関昌弘核融合計画室長及びNETチーム Dr. G. Vieider に感謝の意を表します。また終始激励して頂いた、島本進核融合工学部部長、鹿園直基那珂研究所長に感謝します。

参 考 文 献

- (1): 核融合材料フォーラム
- (2): ITER PLASMA FACING COMPONENTS
- (3): A.Cardella; Tests Performed at JAERI on a NET Divertor Mock-up
- (4): 日本機械学会; 「伝熱工学資料 改訂第4版」
- (5): Thom, J.R.S.ほか2名; proc.Inst.Mech.Engrs.,180,Pt 3C(1966),226

6. ま と め

モノブロックダイバータ模擬試験体による加熱試験を、日欧共同研究の一環として原研のJEBISで実施し、以下に示す結果を得た。

- (1) スクリーニング試験では、タイル1個に最大で 23 MW/m^2 の定常加熱を行った。その結果、タイル表面に昇華による変色が認められたが、き裂等は確認されなかった。また、接合部の欠陥を示す冷却時定数に変化を及ぼすような現象は認められなかった。
- (2) 熱サイクル試験では、定常熱負荷 18 MW/m^2 で1000回の繰り返し照射を行った。その結果、600サイクルを越えたあたりで冷却に要する時定数が漸増し欠陥が生じたことが予想される。

尚、模擬試験体は現在NETチームにおいて、詳細な観察が行われている。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり有意義な討論をして頂いた小原祥裕室長をはじめとするNBI加熱研究室の諸氏、関昌弘核融合計画室長及びNETチーム Dr. G. Vieider に感謝の意を表します。また終始激励して頂いた、島本進核融合工学部部長、鹿園直基那珂研究所長に感謝します。

参 考 文 献

- (1): 核融合材料フォーラム
- (2): ITER PLASMA FACING COMPONENTS
- (3): A.Cardella; Tests Performed at JAERI on a NET Divertor Mock-up
- (4): 日本機械学会; 「伝熱工学資料 改訂第4版」
- (5): Thom, J.R.S.ほか2名; proc.Inst.Mech.Engrs.,180,Pt 3C(1966),226

6. ま と め

モノブロックダイバータ模擬試験体による加熱試験を、日欧共同研究の一環として原研のJEBISで実施し、以下に示す結果を得た。

- (1) スクリーニング試験では、タイル1個に最大で 23 MW/m^2 の定常加熱を行った。その結果、タイル表面に昇華による変色が認められたが、き裂等は確認されなかった。また、接合部の欠陥を示す冷却時定数に変化を及ぼすような現象は認められなかった。
- (2) 熱サイクル試験では、定常熱負荷 18 MW/m^2 で1000回の繰り返し照射を行った。その結果、600サイクルを越えたあたりで冷却に要する時定数が漸増し欠陥が生じたことが予想される。

尚、模擬試験体は現在NETチームにおいて、詳細な観察が行われている。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり有意義な討論をして頂いた小原祥裕室長をはじめとするNBI加熱研究室の諸氏、関昌弘核融合計画室長及びNETチーム Dr. G. Vieider に感謝の意を表します。また終始激励して頂いた、島本進核融合工学部部長、鹿園直基那珂研究所長に感謝します。

参 考 文 献

- (1): 核融合材料フォーラム
- (2): ITER PLASMA FACING COMPONENTS
- (3): A.Cardella; Tests Performed at JAERI on a NET Divertor Mock-up
- (4): 日本機械学会; 「伝熱工学資料 改訂第4版」
- (5): Thom, J.R.S.ほか2名; proc.Inst.Mech.Engrs.,180,Pt 3C(1966),226

表1 ITER設計条件 (熱負荷条件)

Operation Phase Component	Physics		Technology	
	First Wall	Diverter	First Wall	Diverter
Normal Operation				
- Average neutron wall load	1	0.5	0.8	0.4
- Peak/average surface heat flux	0.6/0.15	15~30/0.6	0.6/0.15	15~30/0.6
- Peak volumetric heat load in structure	20	5	15	4
- Number of pulses (at full load)	1		2~5	
- Total burn time	400		10 ⁴ ~3x10 ⁴	4
- Peak neutron damage (steel)	0.7	0.3	12~36	5~15
- Incident DT-ions				
• peak flux	1	4000	1	4000
• energy	10~100	50~100	10~100	60~200
Disruptions				
- Number (at full load)	500		200~500	
- Thermal quench				
• time	0.1~3		0.1~3	
• peak energy deposition	2	10~20	2	10~20
- Current quench				
• time	5~100		5~100	
• radiative energy deposition	2		2	
• run-away electron energy deposition (300 MeV)	30		30	

表2 ITER設計条件 (材料条件)

Operation Phase Component	Physics		Technology	
	First Wall	Divertor	First Wall	Divertor
Materials - Armor • reference • peak temperature °C • baking/conditioning temperature °C	C-Fiber Composites 1800 350/150	Be 1000	W C <500 200/150	W C,Be 1500
- Structure • reference	SS 316	Mo-alloy Nb-alloy DS-Cu	SS 316	Nb-alloy Mo-alloy DS-Cu
- Coolant • Inlet temperature °C • Inlet pressure MPa	Water 1.5	Water 60 3.5	Water 1.5 60	Water 3.5

表3 N112物性値

PROPERTY	UNITS	N112		MFC-1	
		at 23°C	at 1000°C	at 23°C	at 1000°C
Bulk Density	kg/m ³	>1950		1960	
Porosity	%	5			
Tensile Strength X,Y	MPa	65		400	
Tensile Strength Z	MPa	35		2.9	
Compressive Strength X,Y	MPa	160		215.6	
Compressive Strength Z	MPa	180		15.7	
Interlaminar Shear X,Y	MPa	30			
Thermal Conductivity X,Y	W/mK	280	95	425	220
Thermal Conductivity Z	W/mK	210	75	---	---
Specific Heat	J/kgK	800	1900	680	650
Mean Thermal Expansion coefficient X,Y	10 ⁻⁶ /K		2.5		
Mean Thermal Expansion coefficient Z	10 ⁻⁶ /K		3.5		

表4 N112物性値(温度依存)

TEMP. (°C)	Thermal conduct. (W/mK)		Thermal expan. coef. (10 ⁻⁶ /K)		Young's Modulus (GPa)		Rupture Stress (MPa)		
23	280	210			28	24	TENSION	65	35
							COMPRESS.	160	180
350	140	123	1.5	2.7			TENSION		
							COMPRESS.		
500	131	105	1.7	2.9			TENSION		
							COMPRESS.		
1000	95	75	2.4	3.8			TENSION		
							COMPRESS.		
1500	76	62	3.0	4.5	28	24	TENSION	95	45
							COMPRESS.		
2000	58	52					TENSION		
							COMPRESS.		

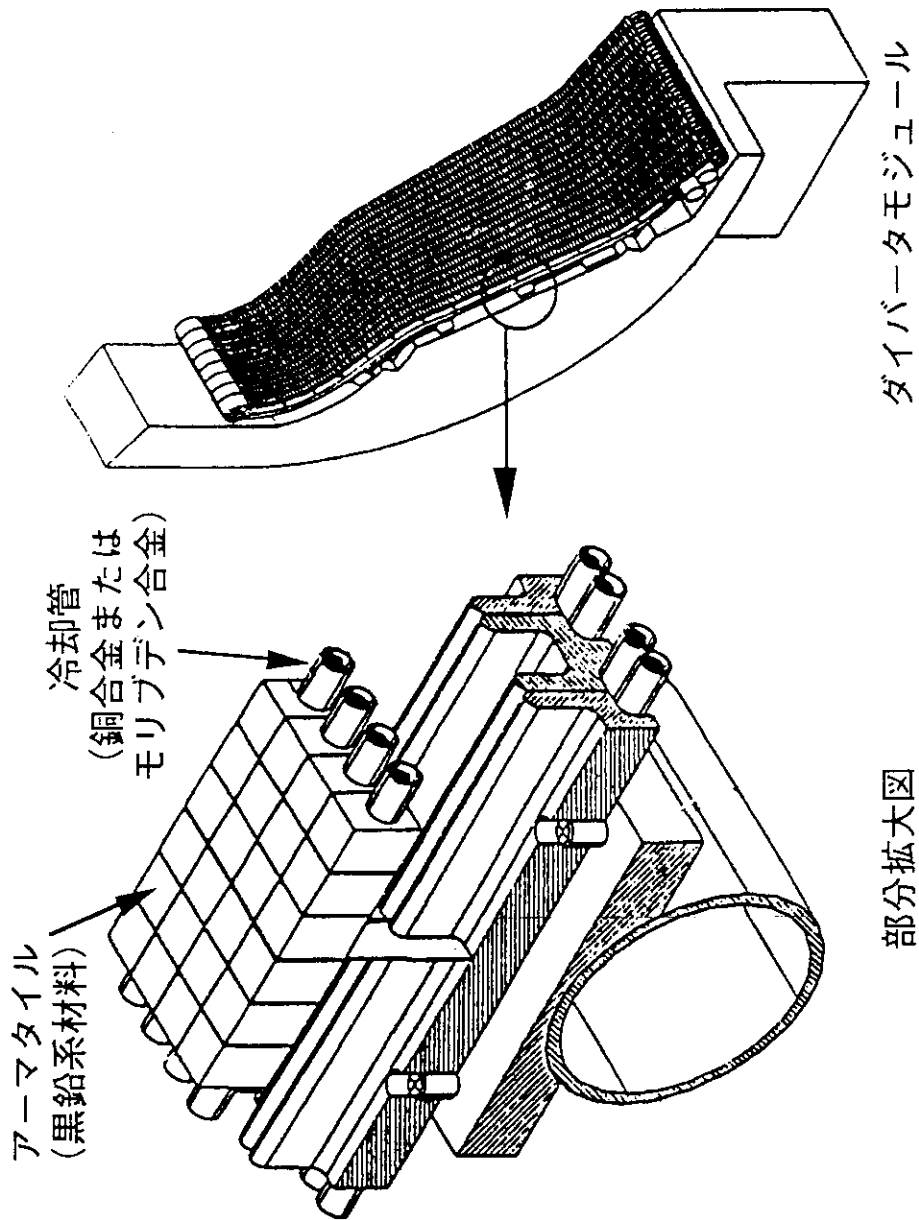


図1 ダイバータ板の構造

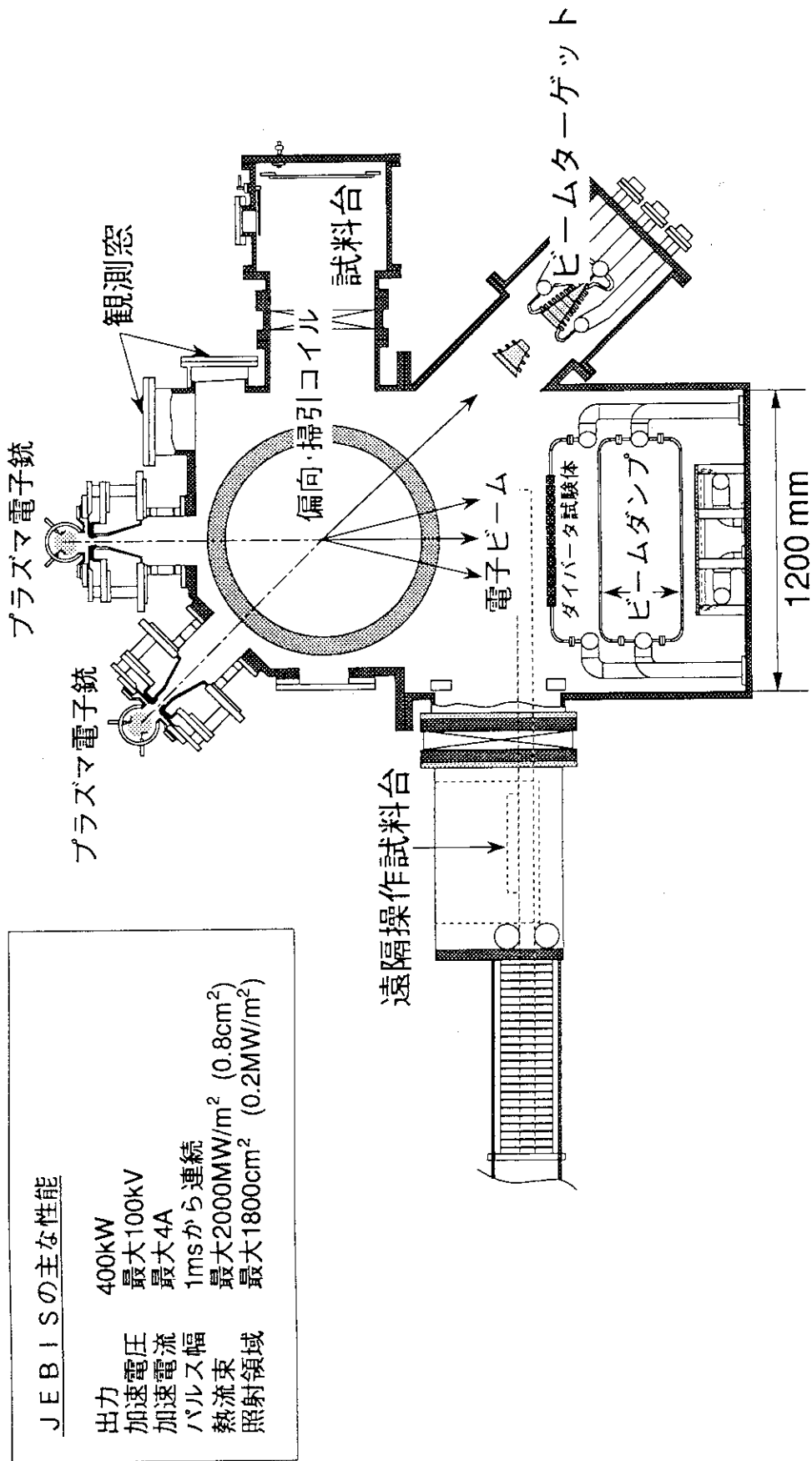


図3 JEBIS (原研電子ビーム照射装置) 全体図断面

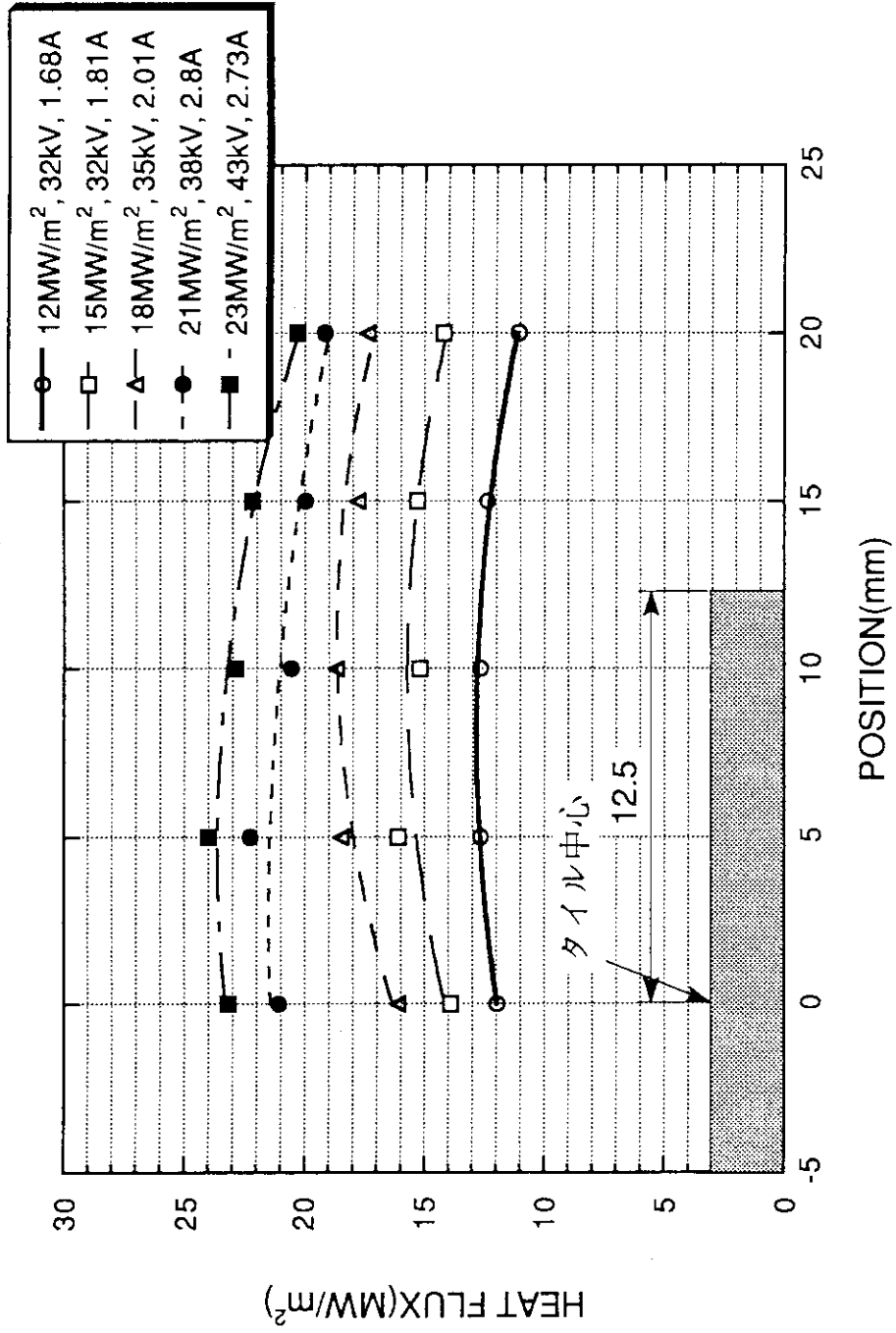


図4 熱負荷分布

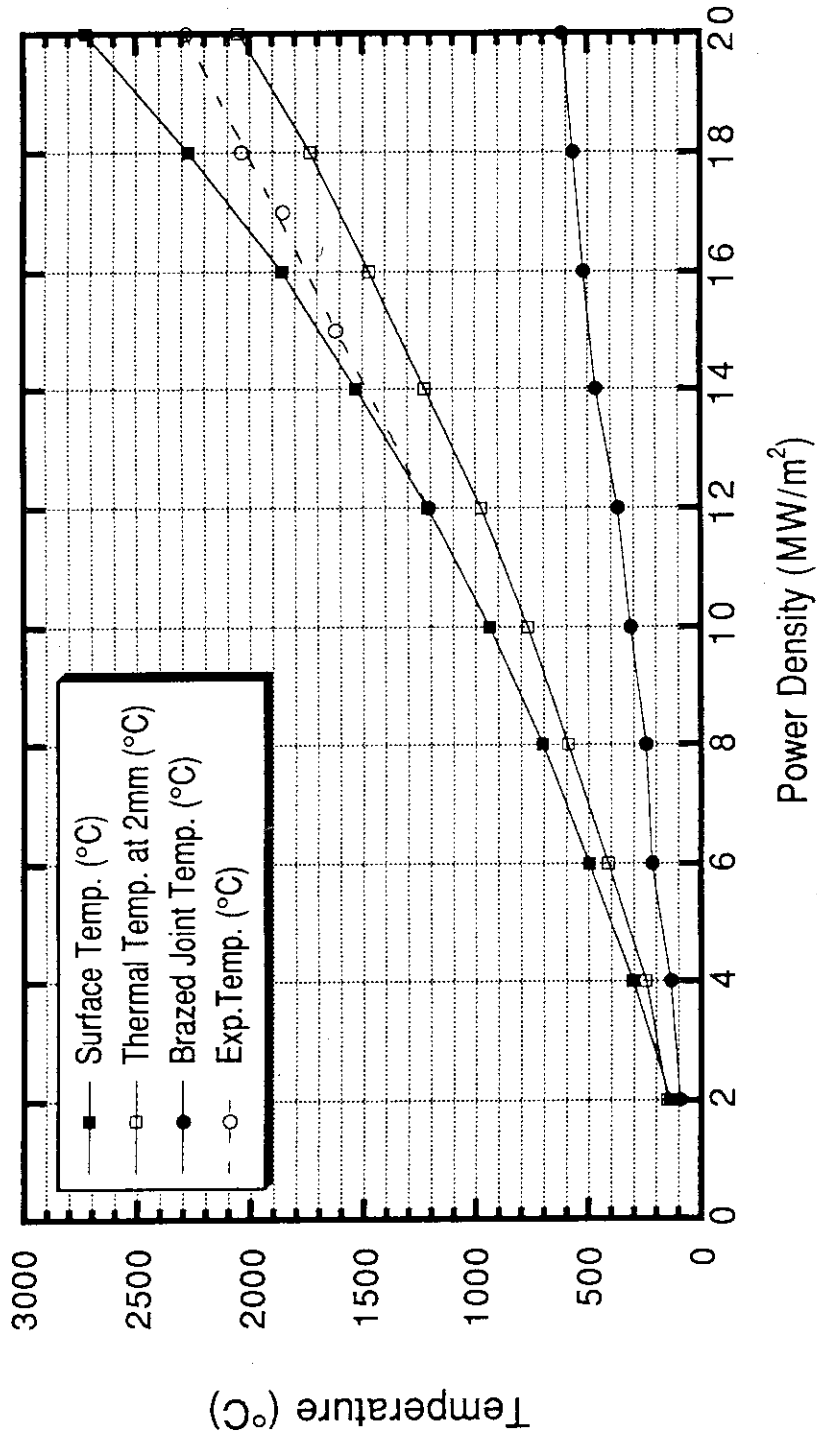


図5 熱負荷に対する解析温度

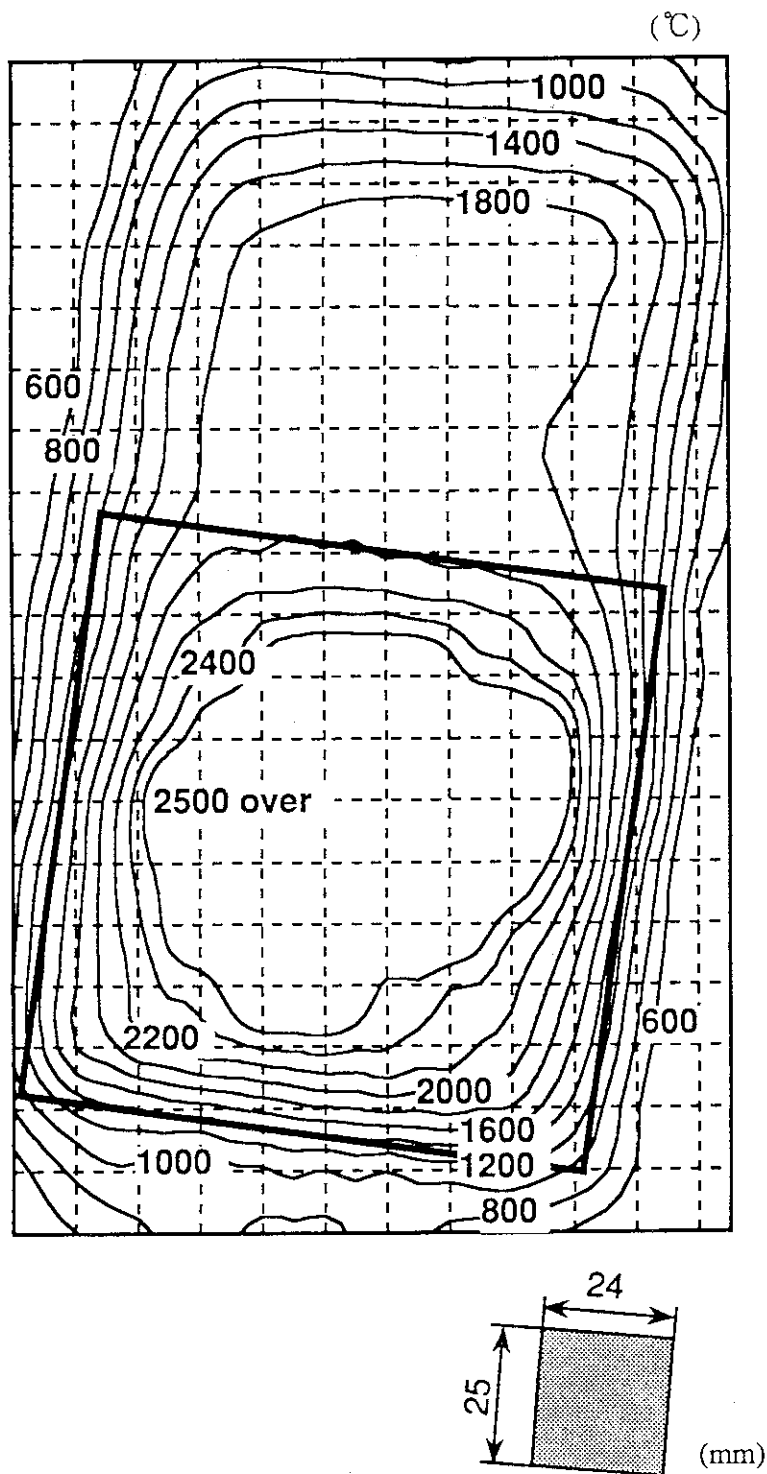


图6 温度分布 (23MW/m², 20s)

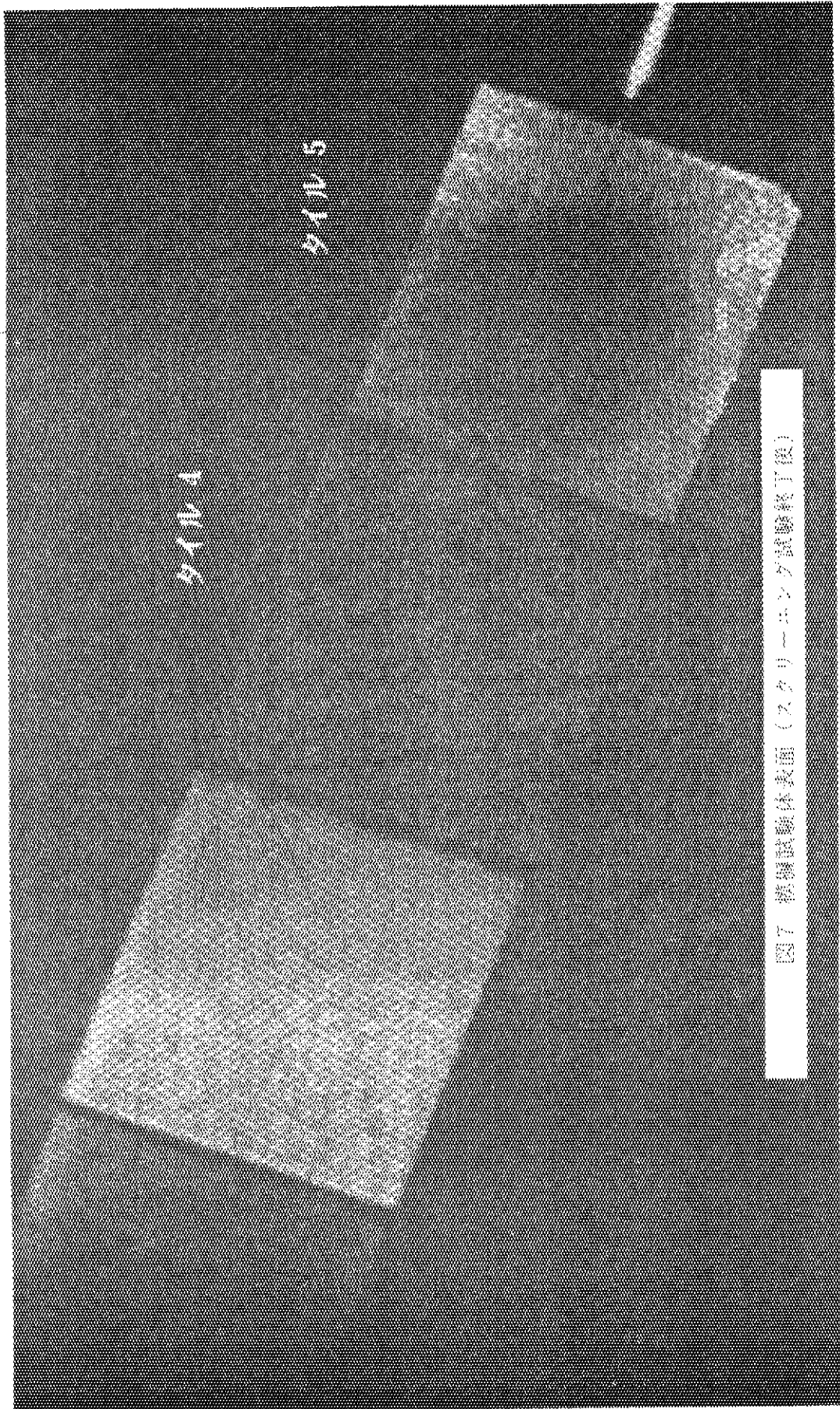


図7 模擬試験体表面（スクリーニング試験終了後）

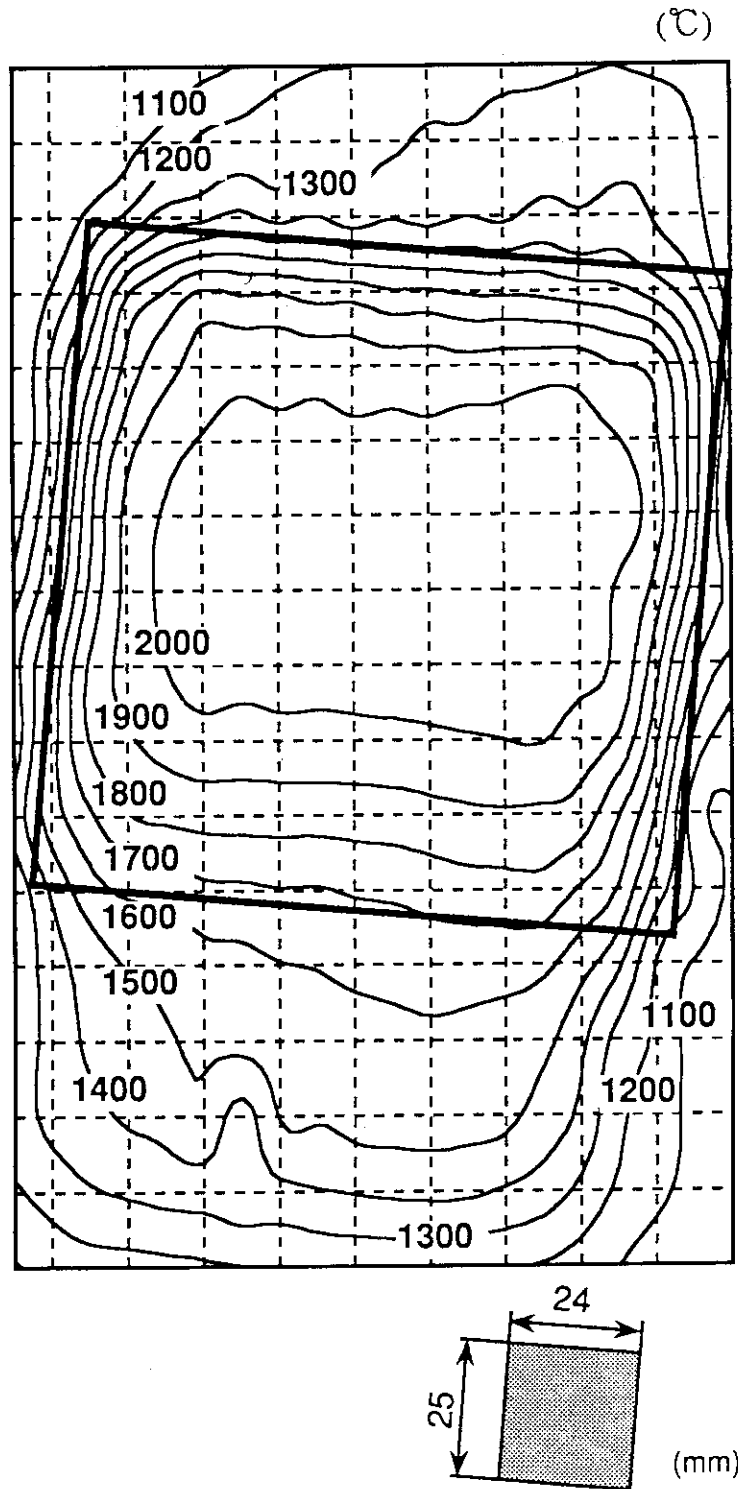


图8 温度分布 (18MW/m², 30s, 600cycle)

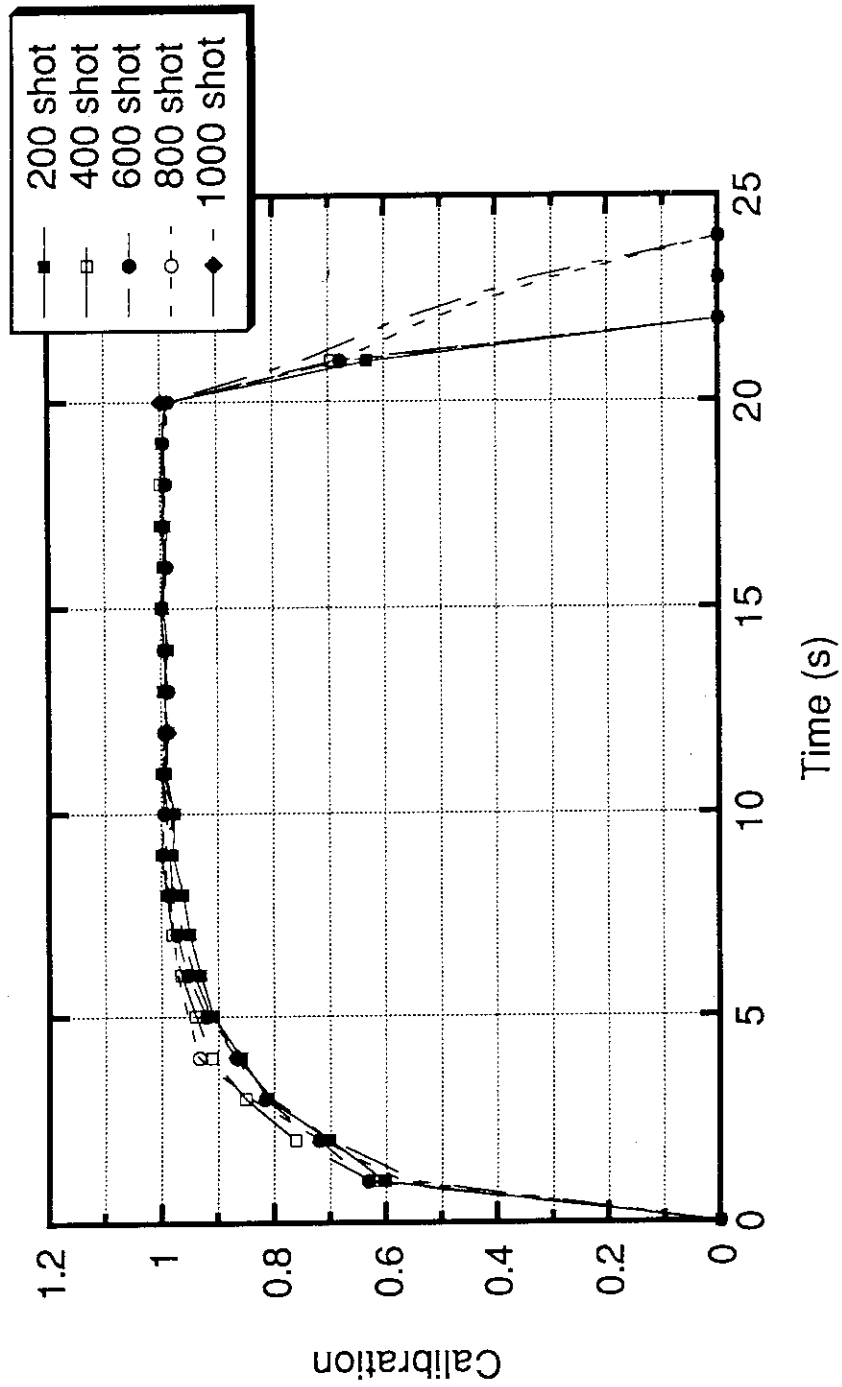


図9 冷却時定数の変化

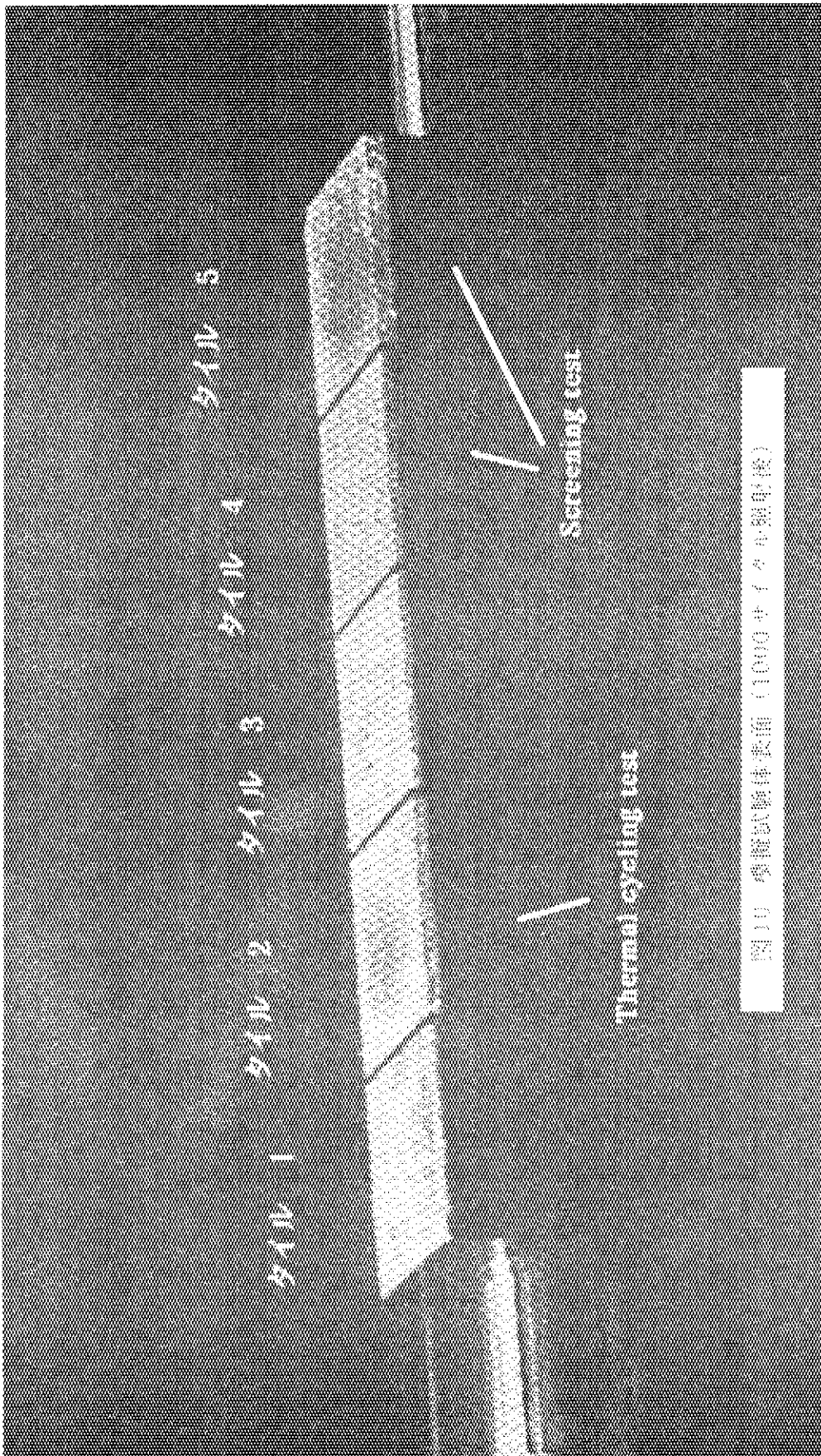


図10 試験試料(表面) (1000倍) (2000倍)

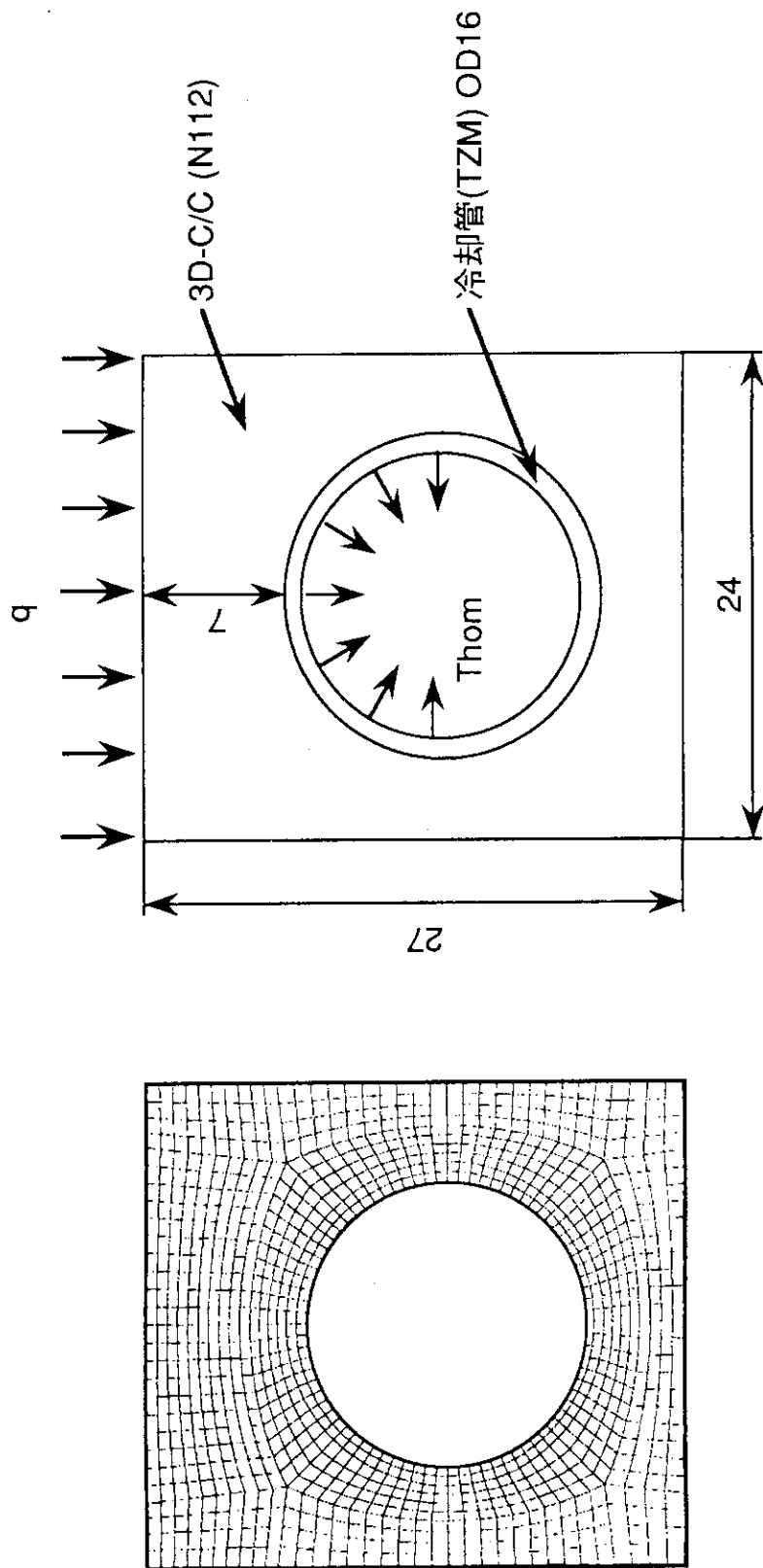


図11 メッシュ構成図

図中の数字は温度に対応

- 1 100 °C
- 2 200 °C
- 3 300 °C
- 4 400 °C
- 5 500 °C
- 6 600 °C
- 7 700 °C
- 8 800 °C
- 9 900 °C
- 10 1000 °C
- 11 1100 °C
- 12 1200 °C
- 13 1300 °C
- 14 1400 °C
- 15 1500 °C
- 16 1600 °C
- 17 1700 °C
- 18 1800 °C
- 19 1900 °C
- 20 2000 °C
- 21 2100 °C
- 22 2200 °C
- 23 2300 °C
- 24 2400 °C
- 25 2500 °C

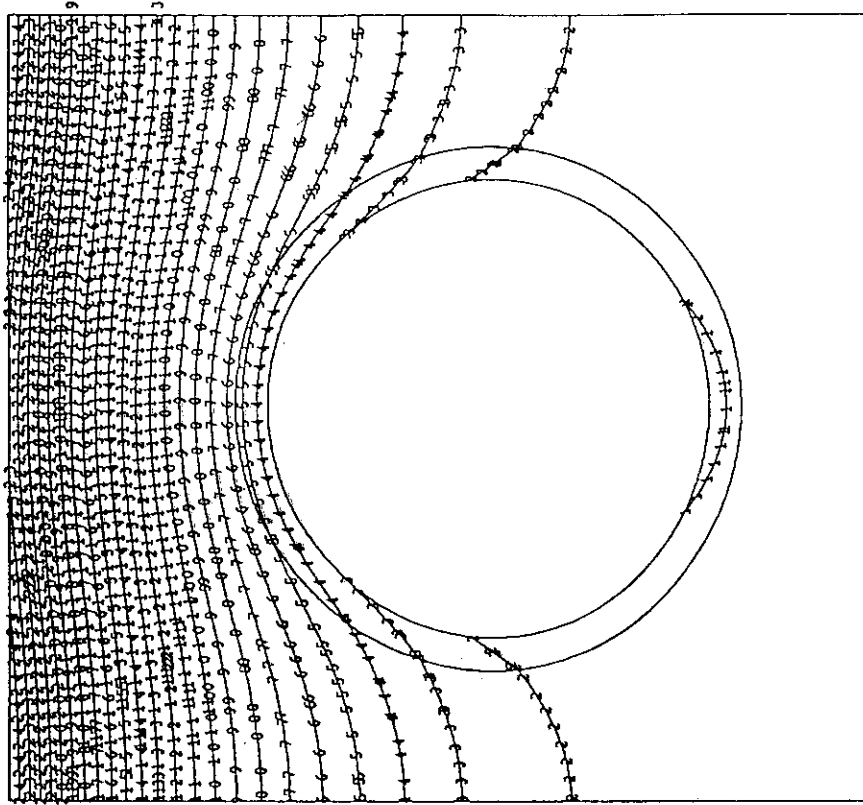


図12 温度分布 (数値解析結果)