

JAERI-Tech

2002-097



JP0350014



HTTRの照射設備の開発及び炉内データの取得方法
— I - I 型材料照射試験用設備 —

2002年12月

柴田 大受・菊地 孝行・宮本 智司*・小倉 一知*

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、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、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越してください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 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。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 2002

編集兼発行 日本原子力研究所

HTTR の照射設備の開発及び炉内データの取得方法

～ I-I 型材料照射試験用設備 ～

日本原子力研究所大洗研究所高温工学試験研究炉開発部
柴田 大受・菊地 孝行・宮本 智司*・小倉 一知*

(2002 年 11 月 7 日 受理)

高温工学試験研究炉 (HTTR : High Temperature Engineering Test Reactor) は、熱出力 30MW の黒鉛減速・ヘリウムガス冷却型の高温ガス炉であり、高温ガス炉技術の基盤の確立と高度化に加えて、高温の照射環境を活かして高温工学に関する先端的基礎研究を行うことを目的としている。今後 HTTR では、安全性実証試験や高温試験運転の実施に加え、高温で広い照射空間を利用して照射試験を進めていく計画である。本報告書は、これまでに開発した、HTTR の初めての照射設備である I-I 型材料照射試験用設備について、その設計及び照射試験における炉内データの取得方法についてまとめたものである。本設備は HTTR で金属材料の照射下クリープ試験を実施するため設計されており、大型の試験片に安定して大きな荷重をかけられること、照射温度制御性に優れていること等の特長を有している。照射下クリープ特性は、新たに開発した差動トランスにより、また炉内の照射データは、熱電対や自己出力型中性子検出器(SPND)により連続的に測定し、照射試験後にフルエンスモニタにより中性子照射量を評価する予定である。ここで得られる試験結果は、初めての炉内の照射データであることから、今後の高温ガス炉技術の高度化等にも貢献することが可能である。

大洗研究所：〒311-1394 茨城県東茨城郡大洗町成田町新堀 3607

* 日本原子力発電(株)

Development of Irradiation Rig in HTTR and Dosimetry Method
~I-I Type Irradiation Equipment ~

Taiju SHIBATA, Takayuki KIKUCHI, Satoshi MIYAMOTO* and Kazutomo OGURA*

Department of HTTR Project
Oarai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received November 7, 2002)

The High Temperature Engineering Test Reactor (HTTR) is a graphite-moderated, helium gas-cooled test reactor with a maximum power of 30MW. The HTTR aims not only to establish and upgrade the technological basis for the HTGRs but also to perform the innovative basic research on high temperature engineering with high temperature irradiation fields. It is planned that the HTTR is used to perform various engineering tests such as the safety demonstration test, high temperature test operation and irradiation test with large irradiation fields at high temperatures. This paper describes the design of the I-I type irradiation equipment developed as the first irradiation rig for the HTTR and does the planned dosimetry method at the first irradiation test. It was developed to perform in-pile creep test on a stainless steel with large standard size specimens in the HTTR. It can give great loads on the specimens stably and can control the irradiation temperature precisely. The in-core creep properties on the specimens are measured by newly developed differential transformers and the irradiation condition in the core is monitored by thermocouples and self-powered neutron detectors (SPNDs), continuously. The irradiated neutron fluence is assessed by neutron fluence monitors of small metallic wires after the irradiation. The obtained data at the first irradiation test can strongly be contributed to upgrade the technological basis for the HTGRs, since it is the first direct measurement of the in-core irradiation environments of the HTTR.

Keywords : I-I type Irradiation Equipment, Irradiation Rig, In-pile Creep,
Dosimetry, HTTR, HTGR

* The Japan Atomic Power Company

目次

1. はじめに	1
2. HTTR 及び I-I 型材料照射試験用設備の概要	1
2.1 HTTR の照射場の概要	1
2.2 I-I 型照射設備の概要	2
3. I-I 型材料照射試験用設備の構造	2
3.1 原子炉圧力容器内の構造物	3
3.2 原子炉圧力容器外の構造物	4
4. 炉内データの取得方法	4
5. まとめ	5
謝辞	5
参考文献	5
付録	15

Contents

1. Introduction	1
2. Outline of HTTR and I-I Type Irradiation Equipment	1
2.1 Outline of HTTR Irradiation Fields	1
2.2 Outline of I-I Type Irradiation Equipment	2
3. I-I Type Irradiation Equipment	2
3.1 Components in Reactor Pressure Vessel	3
3.2 Component out of Reactor Pressure Vessel	4
4. Dosimetry Method for In-core Data	4
5. Summary	5
Acknowledgements	5
References	5
Appendix	15

This is a blank page.

1. はじめに

高温工学試験研究炉 (HTTR : High Temperature Engineering Test Reactor) は、熱出力 30MW の黒鉛減速・ヘリウムガス冷却型の高温ガス炉であり、原子炉出口冷却材温度は 850℃ (定格運転) 及び 950℃ (高温試験運転) である。日本原子力研究所 (原研) では、HTTR を中核施設として、高温ガス炉技術の基盤の確立と技術の高度化、高温の照射環境を活かして新技術の創製を目指す高温工学に関する先端的基礎研究などを推進してきている^{1)~4)}。HTTR では 1998 年の初臨界の後、1999 年から出力上昇試験を開始し、定格熱出力 30MW 及び原子炉出口冷却材温度約 850℃ を達成して 2002 年 3 月に使用前検査合格証を取得した⁵⁾。今後は、高温ガス炉の固有の安全性を実証する安全性実証試験、原子炉出口冷却材温度 950℃ の達成を目指した高温試験運転に加え、高温で広い照射空間を利用して照射試験を実施していく計画である^{3)~4)}。

原研では、HTTR を用いた照射試験研究の一つとして、1998 年度から日本原子力発電(株)との共同研究を進めてきている。これは、高速炉構造用ステンレス鋼 (316FR 鋼) について高温照射環境下での照射下クリープ試験、照射後及び未照射材炉外クリープ試験を実施し、クリープ強度特性に及ぼす照射効果を評価するとともに、関連データと合わせ、将来の高温環境下における発電用原子炉機器の信頼性向上に関して有益な情報を得ること、また、高温照射技術の高度化に資することを目的としたものである。そこで、HTTR で照射下クリープ試験を実施するため、HTTR の初めての照射設備である I-I 型材料照射試験用設備 (以下、I-I 型照射設備という) の開発を進めてきた^{6)~7)}。I-I 型照射設備は 1999 年から製作を開始し、2002 年 9 月に使用前検査合格証を取得した。本報告書は、I-I 型照射設備の設計及び照射試験における炉内データの取得方法についてまとめたものである。

2. HTTR 及び I-I 型材料照射試験用設備の概要

2.1 HTTR の照射場の概要

HTTR の原子炉本体の構造を Fig.1 ⁴⁾ に示す。炉心は六角柱状のブロック型燃料を用いており、被覆燃料粒子を焼結した燃料コンパクトを黒鉛スリーブに収め、それを黒鉛製の燃料ブロックの孔に挿入するピン・イン・ブロック型を採用しており、燃料領域は 30 個の燃料カラム (ブロックを積み上げた鉛直方向の 1 列をカラムという) から成る。Fig.2 ⁴⁾ は、炉心の水平断面であり、炉心中央部の燃料ブロックの周辺には、黒鉛製の可動反射体ブロック及び固定反射体ブロックが配置されている。試験研究炉である HTTR では、炉内の各領域において照射試験を実施することが可能であり、照射場として、照射雰囲気が高温度であること、大きな照射空間を有すること等の特徴を有している。HTTR の照射条件一覧を Table1 ²⁾ に示す。燃料領域、可動反射体領域及び固定反射体領域で照射試験が可能であるが、現在計画されている I-I 型照射設備に

よる照射試験は、可動反射体領域 A のうちの一つのコラム（照射用 N18 スタンドパイプ直下の E21 カラム）において実施される。

2.2 I-I 型照射設備の概要

原研では、HTTR の初めての照射試験設備として、1998 年度から I-I 型材料照射試験用設備の開発を進めてきている。本設備は、HTTR の照射場としての特徴を活かして、JIS⁹⁾に定める標準サイズの試験片を用いて金属材料の高温環境下での照射下クリープ試験を行うものである。これまで、非照射環境でのクリープ試験データは、JIS 標準サイズの試験片で取得されているにもかかわらず、照射下でのクリープ試験には、これまで他の試験炉では照射スペースの制限や必要とされる荷重の最大容量の観点から、標準試験片の適用が困難なため小型の試験片を使用せざるを得なかったのが現状であり、近年では金属材料の変形に及ぼす形状効果の影響が注目されてきている⁹⁻¹⁰⁾。一方、HTTR の優れた照射特性を活用すれば、この照射中の試験片に安定して大きな荷重を付加することができ、標準サイズの試験片を用いて、原子炉内の高温環境下におけるクリープ速度やクリープ破断時間といった照射下クリープ挙動を調べることが可能である。このように、HTTR の I-I 型照射設備で得られるデータは、これまで他の原子炉で取得されている小型試験片を用いた照射試験データとともに、構造材料の照射による特性変化を評価する上で非常に重要である。

HTTR での照射下クリープ試験条件の目標値を Table2 に示す。試験片の材料は高速炉用構造材として開発された 316FR 鋼 (FBRgrade type 316) である。これは、高温強度特性に優れた SUS316 を基本として、JIS の規格範囲内で炭素を低減し代わりに窒素とリンを添加することにより高温強度と延性の向上を図った材料である¹¹⁻¹²⁾。試験片の寸法は他の原子炉で使用される小型試験片とは異なり、JIS 標準サイズの試験片を採用して、試験部直径 6mm、平行部長さ 30mm である。照射下クリープ試験の目標温度は、550℃と 600℃と設定し、照射試験中の目標温度の許容範囲は、JIS⁹⁾に従い±3℃とした。HTTR の可動反射体領域 A における高速中性子照射量は、70 日間の定格運転では約 $1.2 \times 10^{23} \text{n/m}^2 (E > 0.18 \text{MeV})$ であり、この期間にクリープ試験片が破断まで到達するには、引張応力はそれぞれの温度で 343MPa (550℃)、248MPa (600℃) と評価された。これらの場合、上記の標準サイズの試験片に対して必要な引張荷重は、それぞれ 9.7kN と 7.0kN である⁶⁻⁷⁾。

3. I-I 型材料照射試験用設備の構造

I-I 型照射設備は、HTTR において上記の条件で照射下クリープ試験を実施できるよう設計されている。Fig.3 に I-I 型照射設備の炉内への装荷状態を示す。設備は、I-I 型上部遮へい体ブロック、原子炉圧力容器内に装荷される全長約 8900mm の長尺の部分、そして圧力容器の外に設置される荷重付加装置から成る。なお、HTTR に既設の上部遮へい体ブロックとスタンドパイプクロージャは、I-I 型照射設備の設置時には、それぞれ I-I 型上部遮へい体ブロックと I-I

型スタンドパイプクロージャに交換される。

3.1 原子炉圧力容器内の構造物

原子炉圧力容器内には、全長約 8900mm からなる長尺の構造物が挿入され、これは I-I 型スタンドパイプクロージャに吊り下げられた構造となっている。I-I 型スタンドパイプクロージャは、HTTR の圧力容器のスタンドパイプのひとつ（照射用 N18 スタンドパイプ）に設置され、他のスタンドパイプに設置されているスタンドパイプクロージャと同様に原子炉冷却材の圧力バウンダリを形成する。そのため、照射設備の炉心への装荷・取出は、原子炉の停止時に実施する。

この長尺の構造物の下端部は、直径 113mm、長さ約 2600mm の 3 本の管状の部品に分かれており、そのうち 2 本は照射ユニット、残りの 1 本はガイド管である。それぞれの照射ユニット下部には JIS 標準サイズの引張試験片が 3 個ずつ同じレベルに配置されている。照射ユニットとガイド管は、炉心の可動反射体領域の黒鉛ブロックに設けられている直径 123mm の 3 個の孔に各々挿入され、試験片の位置が燃料領域の燃料ブロックに相当するレベルとなるよう設置される。この位置は、燃料カラムの燃料ブロック 5 段から構成される領域の上から二段目のブロックのレベルに相当する。I-I 型照射設備は、HTTR の制御棒交換機を用いて照射スタンドパイプを通じて上方から炉内に装荷されるため、炉心内への挿入時に照射ユニットの損傷を防止するため、ガイド管は照射ユニットより 100mm 長い構造となっている。

この圧力容器内に設置する長尺の構造物は 2 式製作した。一つは（炉内データ測定用）、炉内の照射位置における温度や中性子束といった照射条件を測定するのが主な目的であり、照射下クリープ試験に先行して炉内データ測定を行うためのものである。この測定により HTTR の照射条件を初めて直接的に測定することができ、次の照射試験を精度良く実施する上で非常に重要である。また、初めての直接の測定であることから、ここで得られるデータは、今後の高温ガス炉技術の高度化を推進して行くため等にも大きく貢献することができる。もう一つは（照射下クリープ試験用）、照射条件の確認後に照射下クリープ試験を実施するためのものであり、各照射ユニット内に装荷された試験片のうち、1 個は照射下クリープ試験に用いられ、他の 2 個の試験片は照射後クリープ試験に用いられる。炉内データ測定用と照射下クリープ試験用ともに炉内計装からの電気信号は I-I 型スタンドパイプクロージャに設けられたコネクタを経由して炉外で監視される構造となっている。

Fig.4¹³⁾に照射ユニットが装荷される照射孔内の縦方向の温度分布を示す。試験片が装荷される照射ユニット下端部は 500℃以上の高温であり、I-I 型照射設備では、この高温の雰囲気温度を有効に活用して、550 と 600℃での照射下クリープ試験を実施するものである。試験片は主にこの炉内の熱によって加熱されるが、原子炉運転時の炉内の温度変動の影響を緩和して試験片の温度変動を少なくするために、照射ユニット内の試験片は、周方向及び上下方向に断熱材で囲まれている。また、試験片を囲むように電気ヒータが設置されており、試験温度 550℃と 600℃を目標温度範囲±3℃以内に制御するのに用いられる⁹⁾。電気ヒータの最大熱出力は 300W であり、通常 1 系統での使用であるが、予備のため 2 系統配置されている。

3.2 原子炉圧力容器外の構造物

照射下クリープ試験において、試験片への引張荷重は、HTTR 格納容器内のスタンドパイプ室に設置される荷重付加装置によって加えられる。荷重付加装置の構造を Fig.5 に示す。この装置では、炉外の一般的なクリープ試験で使用されている重錘方式を採用しており、重錘とレバーにより試験片に最大 9.8kN の荷重を安定して付加することができる⁶⁾⁷⁾。

試験片への荷重の付加は原子炉が定格出力に到達して試験片温度が安定してから行い、照射ユニット内の試験片は荷重伝達軸によって引っ張られる。付加される荷重は荷重伝達軸に設置されたロードセルにより検知され、試験片がクリープの進行によって伸びると、レバーを自動的に水平に調整して安定して正確な荷重が加えられる構造となっている。

4. 炉内データの取得方法

I-I 型照射設備で 2 式製作した長尺の構造物（炉内データ測定用、照射クリープ試験用）のうち、炉内データ測定用は最初に炉内に装荷して多くのデータを取得することを目的としているため、照射クリープ試験用よりも多くの数の炉内計装を配備している¹⁴⁾。I-I 型照射設備で使用している炉内計装を Table3 に示す。炉内の中性子束は SPND（自己出力型中性子検出器）で連続して測定する。使用している SPND の検出部は $\phi 2 \times 70\text{mm}$ の寸法で、エミッタにロジウム、コレクタにインコネル 600 を使用している。また、照射試験後に積算の中性子照射量を評価するため、石英管に小さな金属ワイヤを封入した中性子束モニタ（フルエンスモニタ）を装荷している。モニタワイヤは、熱中性子及び高速中性子の測定に用いるよう Table4 に示す種類を選定した。Fig.6 に I-I 型照射設備（炉内データ測定用）への SPND 及びフルエンスモニタの装荷位置を示す。装荷位置は炉内の中性子束の分布を調べるため、鉛直方向に分散させた配置としている¹⁴⁾。

照射中の温度は、K 型熱電対により連続して測定する。Fig.7 に I-I 型照射設備（炉内データ測定用）への熱電対の配置を示す。一つの照射ユニットについて、温度の測定点は、縦方向に 6 点、試験片位置で 3 点である¹⁴⁾。

照射下クリープ試験における試験片の伸びは、差動トランスを照射ユニット内の試験片上部に設置して連続して測定する。照射ユニットは高いところで 500℃ 以上の高温となることから、コイルに MI (Mineral Insulator) ケーブルを用いて高温でも使用可能な差動トランスを新たに開発した。この差動トランスは、変位の測定の目標分解能を JIS⁸⁾に従い 10 μm とし、事前に高温条件下で長期の安定性を確認している⁶⁾⁷⁾。

5. まとめ

原研では、1998年度から日本原子力発電(株)との共同研究として、HTTRを用いた照射試験研究を進めてきており、その中で、HTTRの初めての照射設備であるI-I型材料照射試験用設備の開発を行ってきた。本設備はHTTRで金属材料の照射下クリープ試験を実施するため設計されており、大型の試験片に安定して大きな荷重をかけられること、照射温度制御性に優れていること等の特長を有している。照射下クリープ特性は、新たに開発した差動トランスにより、また炉内の照射データは、熱電対や自己出力型中性子検出器(SPND)により連続的に測定し、照射試験後にフルエンスモニタにより中性子照射量を評価する予定である。I-I型照射設備は1999年から製作を開始し、2002年9月に使用前検査合格証を取得した。I-I型照射設備によりHTTRの照射条件を初めて直接的に測定することができることから、そこで得られるデータは、今後の高温ガス炉技術の高度化を推進して行くため等に大きく貢献することが期待される。

謝辞

本報をまとめるにあたり、貴重なご助言をいただきました核熱利用研究部高温照射研究グループの石原正博GLに深く感謝いたします。また、激励と助言をいただきました高温工学試験研究炉開発部HTTR技術開発室の伊与久達夫室長に感謝いたします。さらに、共同研究の実施に関して、原研高温工学試験研究炉開発部の大久保実研究主幹、原電研究開発室の黒田雄二氏に深く感謝します。

参考文献

- 1) 齋藤伸三：原子力誌, 32, 847(1990).
- 2) Saito, S., et al. : JAERI1332, "Design of the High Temperature Engineering Test Reactor" (1994).
- 3) 日本原子力研究所：“高温工学試験研究の現状”(1999).
- 4) Japan Atomic Energy Research Institute：“Present Status of HTGR Research & Development” 2000.
- 5) 中川繁昭、他：JAERI-Tech 2002-069, “高温工学試験研究炉の出力上昇試験－試験経過及び結果の概要－”(2002).
- 6) Shibata, T., Kikuchi, T., Miyamoto, S., Ogura, K. and Ishigaki, Y. : "Proc. of Basic Studies in the Field of High-temperature Engineering, OECD/NEA, Paris, France", 145(2002).

- 7) 柴田大受、菊地孝行、宮本智司、小倉一和、石垣嘉信 : FAPIG, 161, 3(2002).
- 8) 日本工業規格 : JIS Z2271, “金属材料の引張クリープ試験方法” (1978).
- 9) N.A.Fleck, G.M.Muller, M.F.Ashby and J.W.Huchinson : Acta Metall.Mater., 2, 475(1994).
- 10) T.Malmberg, I.Tsagrakis, I.Eleftheriadis, E.C.Aifantis, K.Krompholz and G.Solomons : “Trans. of SMiRT16, Washington DC,USA”, F01/1(2001).
- 11) Wada,Y., Yoshida, E.,Kobayashi, T and Aoto, K. : “Trans. of Int. Conf. on Fast Reactor and Related Fuel Cycles”,.Vol.I, 7.2-1(1991).
- 12) 宮地紀子、阿部康弘、浅山泰、青砥紀身、鶴飼重治 : 材料, 46, 500(1997).
- 13) 石原正博、馬場信一、高橋常夫、相原純、柴田大受、星屋泰二 : JAERI-Tech 2002-054, “高温工学に関する先端的基礎研究用 HTTR 照射試料の温度評価” (2002).
- 14) Shibata, T., Kikuchi, T., and Shimakawa, S. : “Proc. of 11th Int. Symp. on Reactor Dosimetry(ISRD2002), Brussels, Belgium”, to be published.

Table 1 Major specifications of irradiation regions in HTTR ²⁾.

Irradiation region	Max. irradiation volume (mm)	Max. neutron flux (n/m ² /s)		Region temperature (°C)
		Fast (>0.18MeV)	Thermal (<2.38eV)	
Center column region	1 block size (*)	2×10^{17}	7×10^{17}	400-1100
Test fuel loading region	1 block size (*)	2×10^{17}	5×10^{17}	400-1100
Replaceable reflector region A	300(Dia.)x500(L)	2×10^{16}	4×10^{17}	400-800
·I-I type equipment	113(Dia.)x100(L) (**) (2 units and 1 guide)	2×10^{16}	4×10^{17}	550 and 600 (at specimen)
Replaceable reflector region B	130(Dia.)x500(L)	2×10^{16}	4×10^{17}	400-800
Permanent reflector region	100(Dia.)x3000(L)	8×10^{14}	3×10^{17}	400-600

(*) Hexagonal block with 360(across flat)x580(H)mm

(**) Length at specimen

Table2 Target conditions of in-pile creep test in HTTR.

Specimen	
Material	316FR steel(FBR grade type 316ss)
Size(gauge)	$\phi 6 \times 30$ mm
Irradiation Temperature	550 and 600°C
Tensile Stress/Load	343 MPa/9.7 kN at 550°C 248 MPa/7.0 kN at 600°C
Neutron Fluence(E>0.18 MeV)	1.2×10^{19} n/cm ²

Table3 In-core instruments for I-I type irradiation equipment.

Neutron Flux	SPND(Self-Powered Neutron Detector) $\phi 2 \times 70\text{mm}$ (Sensor) Emitter: Rhodium Collector: Inconel600
Neutron Fluence	Fluence Monitor Wire:Al-0.41%Co, Fe, Cu, 86%Cu-12%Mn
Temperature	Thermocouple K-type
Creep Elongation	Differential Transformer Coil:Fine MI(Mineral Insulated) Cable

Table 4 Neutron fluence monitors inserted in irradiation rig for HTTR.

No.	Dosimeter Material	Reaction	Half life (day)	Wire weight (mg)	Number of monitors
1	Fe	$^{54}\text{Fe} (n, p) ^{54}\text{Mn}$	312.3	8.2	26
2	Al-0.41%Co	$^{59}\text{Co} (n, \gamma) ^{60}\text{Co}$	1924.06	2.2	26
3	86%Cu-12%Mn	$^{55}\text{Mn} (n, 2n) ^{54}\text{Mn}$	312.3	6.3	24
4	Cu	$^{63}\text{Cu} (n, \alpha) ^{60}\text{Co}$	1924.06	10.8	24
5	Fe	$^{58}\text{Fe} (n, \gamma) ^{59}\text{Fe}$	44.503	8.2	26

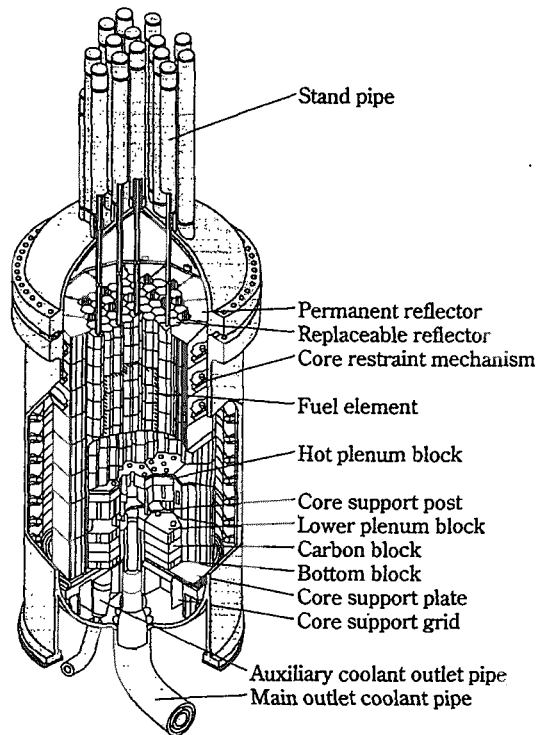


Fig. 1 Cutaway drawing of HTTR core ⁴⁾.

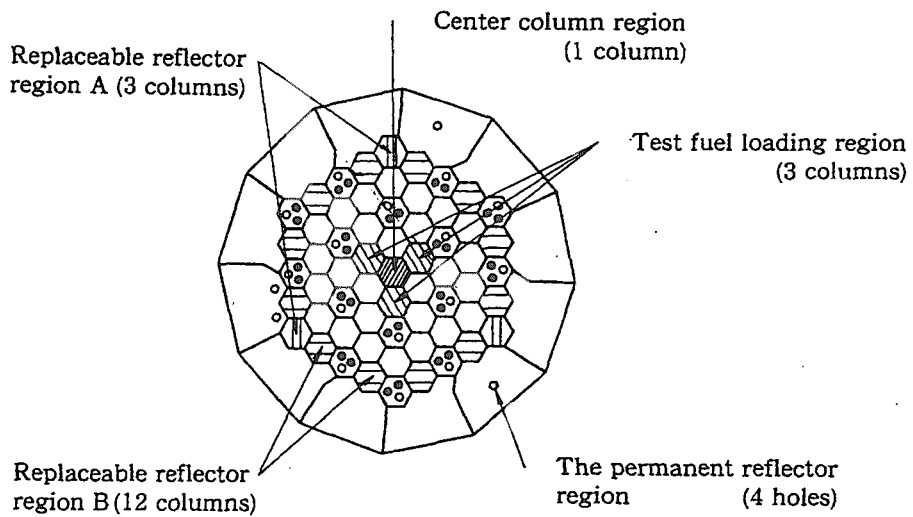


Fig. 2 Cross-sectional view of irradiation regions in HTTR core ⁴⁾.

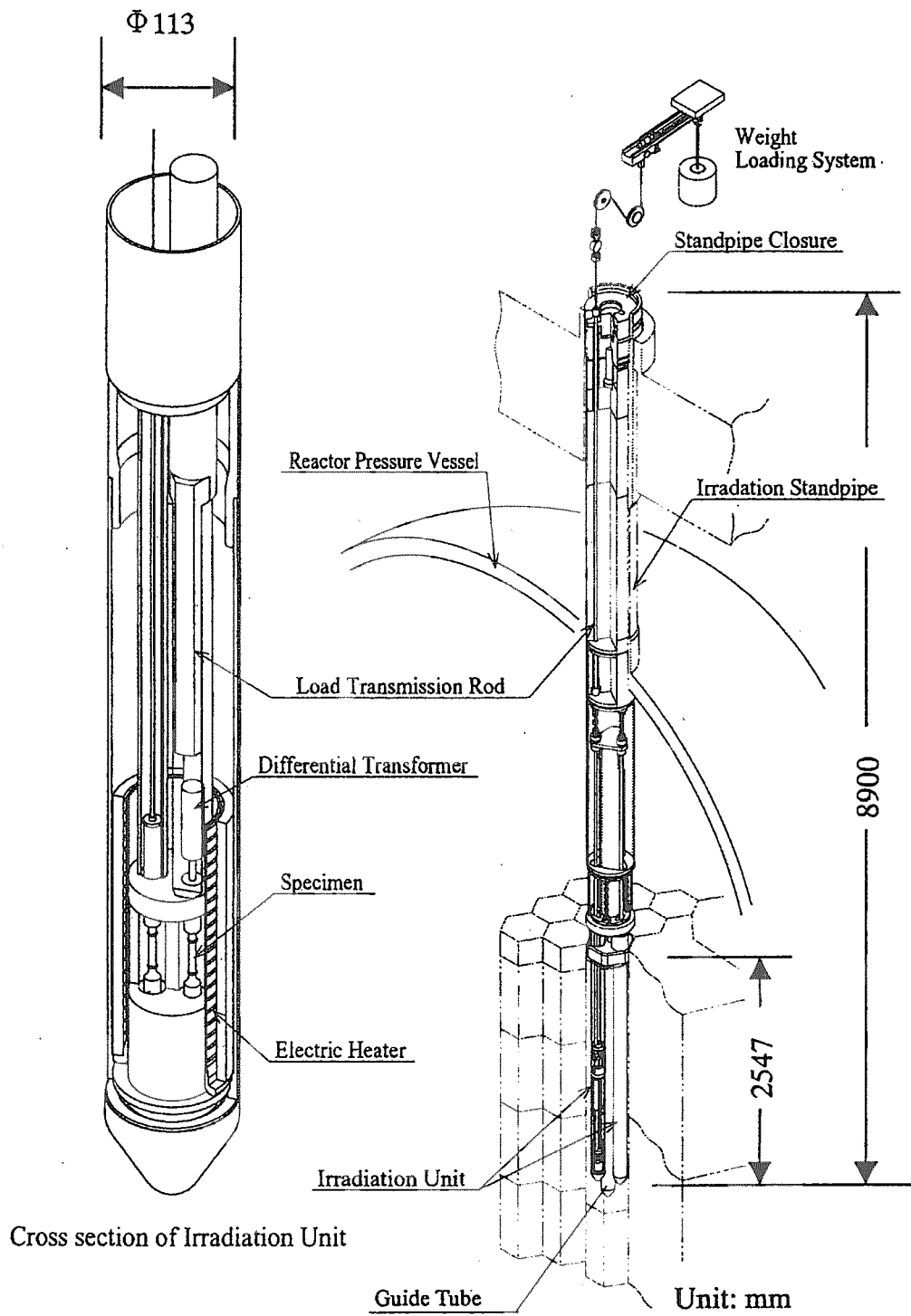


Fig.3 Cutaway drawing of I-I type irradiation equipment.

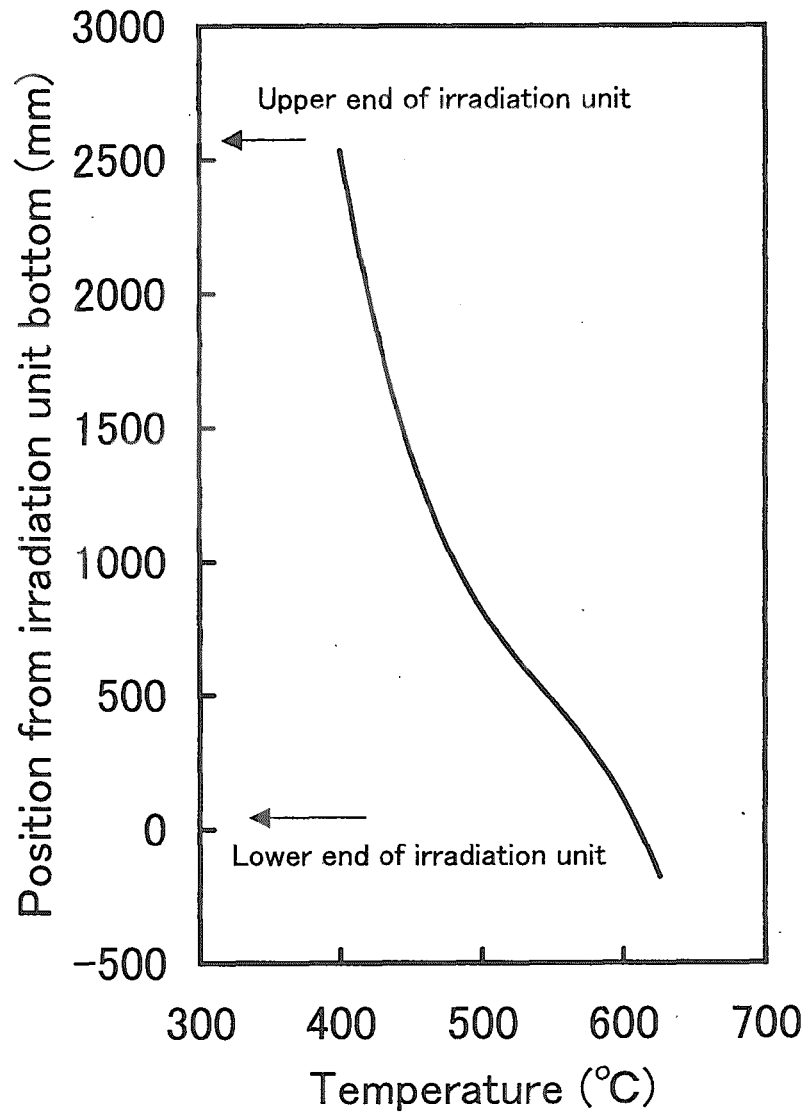


Fig. 4 Temperature at irradiation hole in vertical direction ¹³⁾.

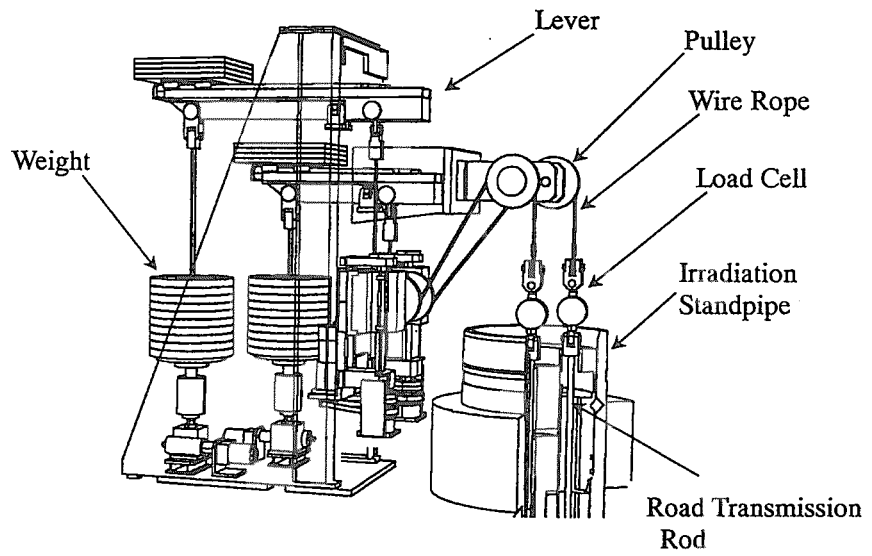
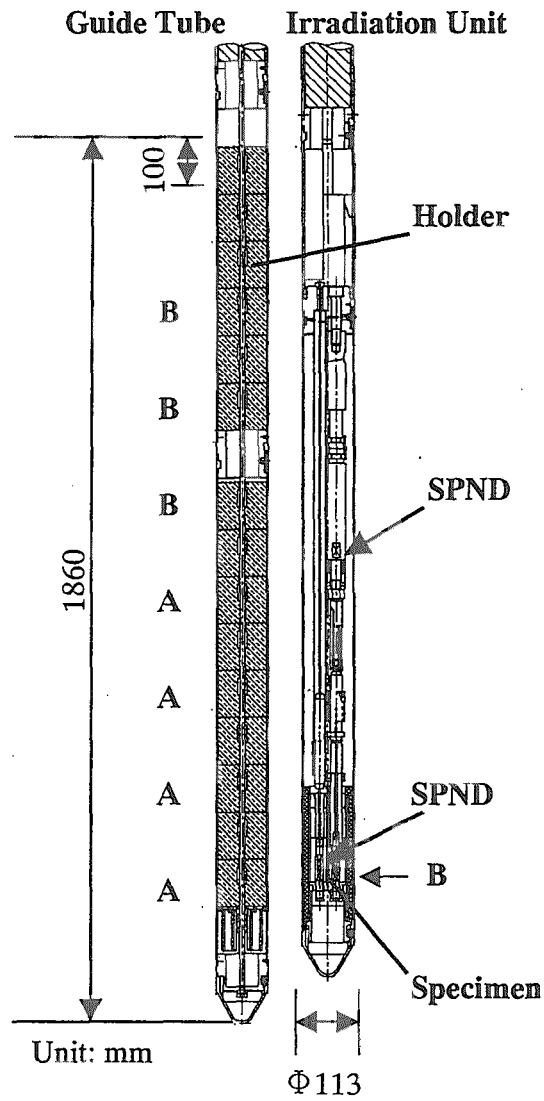


Fig. 5 Weight loading system of I-I type irradiation equipment



Neutron Fluence Monitors Set A: dosimeters No.1-5 (in Table 4) Set B: dosimeters No.1, 2 and 5 (in Table 4)

Fig.6 Location of neutron fluence monitors and SPNDs in irradiation rig.

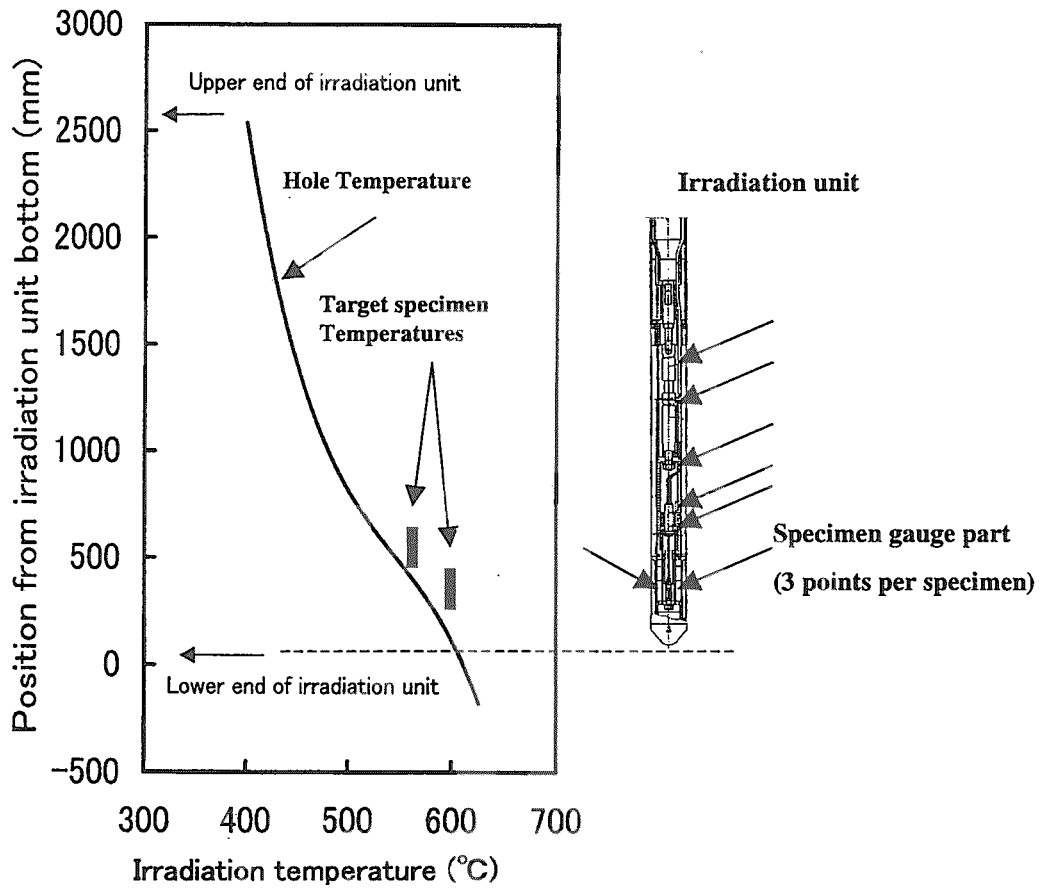
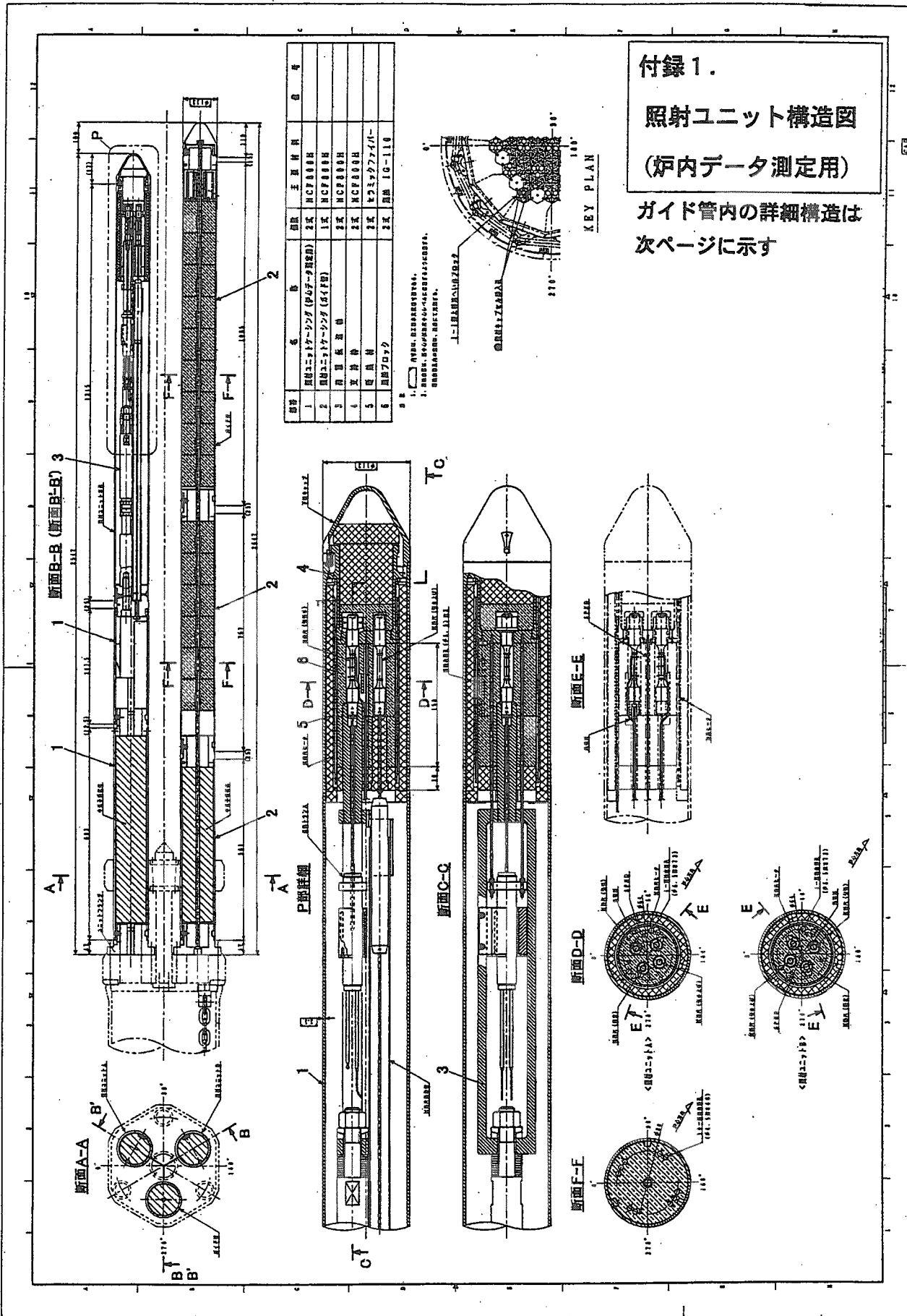


Fig.7 Temperature profile at irradiation hole in which irradiation unit is to be inserted and target specimen temperatures. Arrows at unit are temperature measuring points by thermocouples.

付録

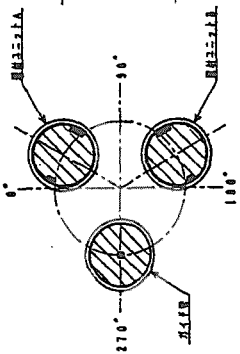
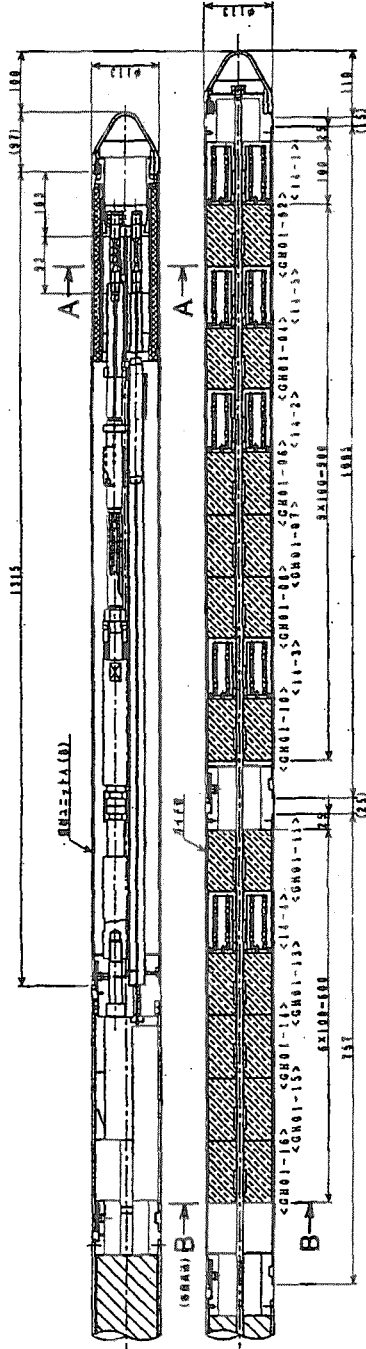
付録1. 照射ユニット構造図（炉内データ測定用）

付録2. 照射ユニット構造図（照射下クリープ試験用）



付録1.
 照射ユニット構造図
 (炉内データ測定用)
 ガイド管内の詳細構造は
 次ページに示す

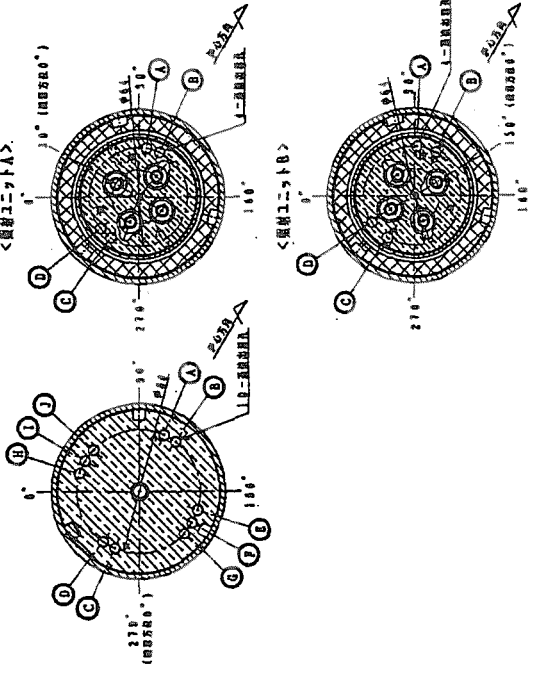
図 2
 1. 検出器本器の、プラント内設置寸法。
 2. 検出器、上向き等設置寸法、コト、



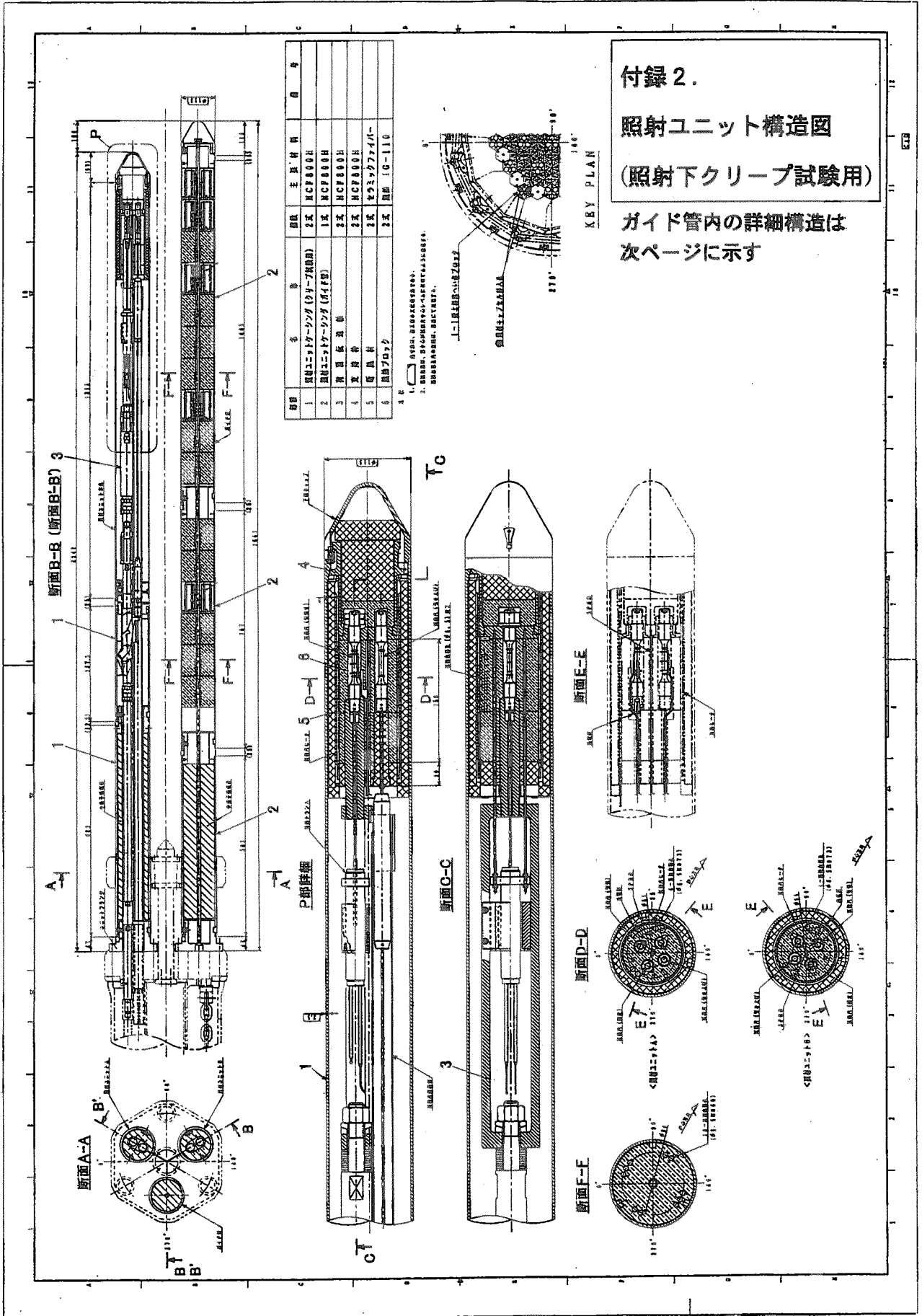
器名	種別	検出器 No.	設置 No.	設置 No.	設置 No.
GR01-01-A	A	1-1	101	1-1	101
GR01-01-B	B	2-1	201	2-1	201
GR01-01-C	C	3-1	301	3-1	301
GR01-01-D	D	4-1	401	4-1	401
GR01-02-A	A	1-2	102	1-2	102
GR01-02-B	B	2-2	202	2-2	202
GR01-02-C	C	3-2	302	3-2	302
GR01-02-D	D	4-2	402	4-2	402
GR01-03-A	A	1-3	103	1-3	103
GR01-03-B	B	2-3	203	2-3	203
GR01-03-C	C	3-3	303	3-3	303
GR01-03-D	D	4-3	403	4-3	403
GR01-04-A	A	1-4	104	1-4	104
GR01-04-B	B	2-4	204	2-4	204
GR01-04-C	C	3-4	304	3-4	304
GR01-04-D	D	4-4	404	4-4	404
GR01-05-A	A	1-5	105	1-5	105
GR01-05-B	B	2-5	205	2-5	205
GR01-05-C	C	3-5	305	3-5	305
GR01-05-D	D	4-5	405	4-5	405
GR01-06-A	A	1-6	106	1-6	106
GR01-06-B	B	2-6	206	2-6	206
GR01-06-C	C	3-6	306	3-6	306
GR01-06-D	D	4-6	406	4-6	406
GR01-07-A	A	1-7	107	1-7	107
GR01-07-B	B	2-7	207	2-7	207
GR01-07-C	C	3-7	307	3-7	307
GR01-07-D	D	4-7	407	4-7	407
GR01-08-A	A	1-8	108	1-8	108
GR01-08-B	B	2-8	208	2-8	208
GR01-08-C	C	3-8	308	3-8	308
GR01-08-D	D	4-8	408	4-8	408
GR01-09-A	A	1-9	109	1-9	109
GR01-09-B	B	2-9	209	2-9	209
GR01-09-C	C	3-9	309	3-9	309
GR01-09-D	D	4-9	409	4-9	409
GR01-10-A	A	1-10	110	1-10	110
GR01-10-B	B	2-10	210	2-10	210
GR01-10-C	C	3-10	310	3-10	310
GR01-10-D	D	4-10	410	4-10	410
GR01-11-A	A	1-11	111	1-11	111
GR01-11-B	B	2-11	211	2-11	211
GR01-11-C	C	3-11	311	3-11	311
GR01-11-D	D	4-11	411	4-11	411
GR01-12-A	A	1-12	112	1-12	112
GR01-12-B	B	2-12	212	2-12	212
GR01-12-C	C	3-12	312	3-12	312
GR01-12-D	D	4-12	412	4-12	412
GR01-13-A	A	1-13	113	1-13	113
GR01-13-B	B	2-13	213	2-13	213
GR01-13-C	C	3-13	313	3-13	313
GR01-13-D	D	4-13	413	4-13	413
GR01-14-A	A	1-14	114	1-14	114
GR01-14-B	B	2-14	214	2-14	214
GR01-14-C	C	3-14	314	3-14	314
GR01-14-D	D	4-14	414	4-14	414
GR01-15-A	A	1-15	115	1-15	115
GR01-15-B	B	2-15	215	2-15	215
GR01-15-C	C	3-15	315	3-15	315
GR01-15-D	D	4-15	415	4-15	415
GR01-16-A	A	1-16	116	1-16	116
GR01-16-B	B	2-16	216	2-16	216
GR01-16-C	C	3-16	316	3-16	316
GR01-16-D	D	4-16	416	4-16	416
GR01-17-A	A	1-17	117	1-17	117
GR01-17-B	B	2-17	217	2-17	217
GR01-17-C	C	3-17	317	3-17	317
GR01-17-D	D	4-17	417	4-17	417
GR01-18-A	A	1-18	118	1-18	118
GR01-18-B	B	2-18	218	2-18	218
GR01-18-C	C	3-18	318	3-18	318
GR01-18-D	D	4-18	418	4-18	418
GR01-19-A	A	1-19	119	1-19	119
GR01-19-B	B	2-19	219	2-19	219
GR01-19-C	C	3-19	319	3-19	319
GR01-19-D	D	4-19	419	4-19	419
GR01-20-A	A	1-20	120	1-20	120
GR01-20-B	B	2-20	220	2-20	220
GR01-20-C	C	3-20	320	3-20	320
GR01-20-D	D	4-20	420	4-20	420

断面 A-A

断面 B-B



ガイド管内詳細構造及びフルエンスモニタ装荷位置 (炉内データ測定用)



付録2.
照射ユニット構造図
(照射下クリープ試験用)

ガイド管内の詳細構造は
次ページに示す

This is a blank page.

国際単位系 (SI) と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m·kg/s ²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N·m
工率, 放射束	ワット	W	J/s
電気量, 電荷	クーロン	C	A·s
電位, 電圧, 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束度	ルーメン	lm	cd·sr
照射度	ルクス	lx	lm/m ²
放射能	ベクレル	Bq	s ⁻¹
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量等量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分, 時, 日	min, h, d
度, 分, 秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

1 eV=1.60218×10⁻¹⁹J
1 u=1.66054×10⁻²⁷kg

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 ¹⁸	エクサ	E
10 ¹⁵	ペタ	P
10 ¹²	テラ	T
10 ⁹	ギガ	G
10 ⁶	メガ	M
10 ³	キロ	k
10 ²	ヘクト	h
10 ¹	デカ	da
10 ⁻¹	デシ	d
10 ⁻²	センチ	c
10 ⁻³	ミリ	m
10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ⁻¹⁸	アト	a

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バーン	b
バル	bar
ガール	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

1 Å=0.1nm=10⁻¹⁰m
1 b=100fm²=10⁻²⁸m²
1 bar=0.1MPa=10⁵Pa
1 Gal=1cm/s²=10⁻²m/s²
1 Ci=3.7×10¹⁰Bq
1 R=2.58×10⁻⁴C/kg
1 rad=1cGy=10⁻²Gy
1 rem=1cSv=10⁻²Sv

(注)

- 表1-5は「国際単位系」第5版, 国際度量衡局1985年刊行による。ただし, 1 eVおよび1 uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里, ノット, アール, ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは, JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC閣僚理事会指令では bar, barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

換 算 表

力	N(=10 ⁵ dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
	9.80665	1	2.20462
	4.44822	0.453592	1

粘度 1 Pa·s(N·s/m²)=10 P(ポアズ)(g/(cm·s))

動粘度 1 m²/s=10⁴St(ストークス)(cm²/s)

圧	MPa(=10bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg(Torr)	lbf/in ² (psi)
	1	10.1972	9.86923	7.50062×10 ³	145.038
力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322×10 ⁻⁴	1.35951×10 ⁻³	1.31579×10 ⁻³	1	1.93368×10 ⁻²
	6.89476×10 ⁻³	7.03070×10 ⁻²	6.80460×10 ⁻²	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J(=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft·lbf	eV
	1	0.101972	2.77778×10 ⁻⁷	0.238889	9.47813×10 ⁻⁴	0.737562	6.24150×10 ¹⁸
	9.80665	1	2.72407×10 ⁻⁶	2.34270	9.29487×10 ⁻³	7.23301	6.12082×10 ¹⁹
	3.6×10 ⁶	3.67098×10 ⁵	1	8.59999×10 ⁵	3412.13	2.65522×10 ⁶	2.24694×10 ²⁵
	4.18605	0.426858	1.16279×10 ⁻⁶	1	3.96759×10 ⁻³	3.08747	2.61272×10 ¹⁹
	1055.06	107.586	2.93072×10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515×10 ²¹
	1.35582	0.138255	3.76616×10 ⁻⁷	0.323890	1.28506×10 ⁻³	1	8.46233×10 ¹⁸
	1.60218×10 ⁻¹⁹	1.63377×10 ⁻²⁰	4.45050×10 ⁻²⁶	3.82743×10 ⁻²⁰	1.51857×10 ⁻²²	1.18171×10 ⁻¹⁹	1

1 cal= 4.18605J (計量法)
= 4.184J (熱化学)
= 4.1855J (15°C)
= 4.1868J (国際蒸気表)
仕事率 1 PS(仏馬力)
= 75 kgf·m/s
= 735.499W

放射能	Bq	Ci
	1	2.70270×10 ⁻¹¹
	3.7×10 ¹⁰	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58×10 ⁻⁴	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

H T T R の照射設備の開発及び炉内データの取得方法
— I I I 型材料照射試験用設備 —