

JAERI-Tech

95-015



核融合炉(ITER)用遠隔保守機器・
部品照射試験装置の設計と製作

1995年3月

八木敏明・森田洋右・瀬口忠男

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（〒319-11 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。

This report is 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, 1995

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

核融合炉 (ITER) 用遠隔保守機器・部品照射試験装置の設計と製作

日本原子力研究所高崎研究所材料開発部

八木 敏明・森田 洋右・瀬口 忠男

(1995年2月6日受理)

熱核融合炉開発の一環として、遠隔保守機器部品及びそれら材料の耐放射線性評価を行うため、「核融合炉 (ITER) 用遠隔保守機器・部品照射試験装置」を設計し、製作した。本装置はITERで使用する遠隔保守機器の電線・ケーブル、各種センサー及び材料などを、高温放射線環境である100～350℃の温度下で高線量率の γ 線を照射できる装置である。照射容器内の線量率の均一性、温度の均一性、高線量率照射及び各種雰囲気中で照射することを考慮して製作した。

完成後の装置の特性は、照射容器内の線量率が $2 \times 10^6 \text{R}$ (レントゲン) /hの高線量率で均一であり、温度分布も350℃まで10℃以内の温度範囲で制御できることが分かった。今後、高い温度での高分子材料の照射や照射下での核融合炉用遠隔保守機器・部品の特性評価に役立つことが期待される。

Design and Construction of γ -Rays Irradiation Facility for
Remote-handling Parts and Components of Fusion Reactor

Toshiaki YAGI, Yousuke MORITA and Tadao SEGUCHI

Department of Material Development
Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Watanuki-cho, Takasaki-shi, Gunma-ken

(Received February 6, 1995)

For the evaluation of radiation resistance of remote-handling system for International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER), "high dose-rate and high temperature (upper 350°C) γ -rays irradiation facility" was designed and constructed. In this facility, the parts and components of remote-handling system such as sensing devices, motors, optical glasses, wires and cables, etc., are tested by irradiation with 2×10^6 Roentgen/h Co-60 γ -rays at a temperature up to 350°C under various atmospheres (dry nitrogen gas, argon gas, dry air and vacuum).

Keywords : Remote-handling System, Fusion Reactor, High Dose-rate, High Temperature, Co-60 γ -rays

目 次

1. はじめに	1
2. 設計の概要	2
2.1 製作の目的	2
2.2 使用条件	2
2.3 装置の設置条件	3
2.4 装置の基本設計	3
2.5 安全対策	4
3. 装置の製作	4
3.1 装置の構成	4
3.2 円筒形照射容器	6
3.3 温度及び圧力制御部	9
4. 装置の性能	9
4.1 照射容器内外の線量率分布	9
4.2 照射容器内の温度分布	17
4.3 照射容器内の圧力	29
5. まとめ	29
謝辞	30
参考文献	30

Contents

1. Introduction	1
2. Design of Facility	2
2.1 Purpose of Design	2
2.2 Setting Condition	2
2.3 Condition of Construction	3
2.4 Principle of Design	3
2.5 Safety Consideration	4
3. Construction of Facility	4
3.1 Composition of Facility	4
3.2 Cylindrical Irradiation Vessel	6
3.3 Temperature and Pressure Control	9
4. Characteristics of Facility	9
4.1 Dose Rate Map	9
4.2 Temperature Map	17
4.3 Pressure	29
5. Conclusion	29
Acknowledgements	30
Reference	30

1. はじめに

国際熱核融合実験炉（ITER：International Thermonuclear Experimental Reactor）では種々の核融合反応の中でも、より低い温度で臨界条件の達成可能なD-T（重水素-三重水素）反応を行うことを計画している。D-T反応では、この核融合反応にともない14 MeVの中性子が発生し、反応容器等を放射化する。このため、核融合実験終了後の反応容器等のメンテナンスは一切、遠隔操作で行う必要がある。この例として、炉壁のアーマータイルの交換や、頻度は少ないがブランケットやダイバータの交換がある¹⁾。この遠隔保守の環境はプラズマを停止した後の反応容器内でγ線線量率 10^7 R/h、300℃と見積られている。この環境で遠隔保守機器を1000時間作動させるとして、積算線量 10^{10} Rに耐える機器類を開発する必要がある²⁾。

遠隔保守機器には動力源として各種のモーターやアクチュエータ、近接センサーや接触センサーなどの各種センサー類、観察のためのペリスコープやイメージファイバ類、これらのための大量の電線類が必要である。現在までの研究で、金属材料やセラミックス材料の機械的強度はこのような大量のγ線照射に耐えることが分かっている。しかし、機能素子として使用するセンサーや光ファイバー等は放射線照射によって容易にその機能を劣化させてしまうことが明かとなっている³⁾。また、電線の絶縁材として使用されている有機高分子化合物やグリース類の有機材料も、このような大量のγ線照射によって著しい特性劣化を起こす。しかし、高分子材料でもポリイミド系やポリニトリルエーテル系材料は室温、窒素雰囲気中などで 10^{10} R以上の耐放射線性を示すことが明かとなっており⁴⁻⁶⁾、さらに新しい高耐放射線性高分子材料の可能性もある。

核融合炉（ITER）用遠隔保守機器・部品照射試験装置（以下、極限環境機器照射試験装置とする）は上記の遠隔保守機器・部品のための耐放射線性実験を行うための照射容器であり、均一で高いγ線線量率 2×10^6 R/hと最高350℃までの温度可変できることを特徴とする装置である。この装置により、従来ほとんど行われていない高線量率、 10^{10} Rまでの高線量、及び高温（150～350℃）の照射実験により、各種材料の新たな照射特性やこれらを用いた高耐放射線性機器類の開発が可能となる。本報告書は極限環境機器照射試験装置による研究目的、装置の構造と特性について述べる。

2. 設計の概要

2. 1 製作の目的

本装置は核融合炉遠隔保守機器・部品の耐放射線性研究の一環として、電線及びコネクタ、各種センサー及びそれらを構成する材料の高温下での γ 線照射試験に用いるものである。以下の項目を重点的に研究し、耐放射線性の核融合炉遠隔保守機器類の評価と開発を目的とする。

(1) 各種機器に用いる有機絶縁電線の高温(最大300℃)下における耐放射線性の評価と 10^8 Gyに耐える絶縁電線を開発すること。

(2) 高温(最大300℃)の不活性ガス雰囲気において、高耐放射線性の有機材料を選択し、配線用各種コネクタ、電気部品を開発すること。

(3) 各種センサー類の高線量率及び高線量照射下での耐放射線性を評価すること、並びに耐放射線性センサー類を開発すること。

特に、遠隔保守機器の使用環境下での耐放射線性(寿命)を評価するために、本装置を用いて γ 線照射下での通電状態での作動と特性変化を調べることも重要な目的である。

2. 2 使用条件

核融合炉遠隔保守機器類の使用される環境条件はITERのEDA(Engineering Design Activity)から下表のように求められている。

表 ITERのプラズマ停止24時間後の線量率⁷⁾

位置	γ 線線量率 (R/h^{-1})
第一壁	$< 10^7$
ブランケット	$10^7 \sim 10^6$
真空容器	$10^6 \sim 10^5$
クライオスタット中	$10^5 \sim 10^{-3}$

核融合プラズマのシャットダウン後から、遠隔保守機器を最低でも1000時間稼働させるとして、 $10^7 R/h \times 10^3 h = 10^{10} R$ の耐放射線性を必要とする。環境の雰囲気は、現在のところ乾燥空気か乾燥窒素が考えられている。また、

温度は核融合装置内はガンマ線による発熱などにより最高300℃と推定されている。

以上のことから、本装置を用いて試験する試料はγ線をできるだけ高線量率で均一に照射する必要がある。照射雰囲気は有機高分子絶縁材料にとっては劣化の起こり易い乾燥空気、また、劣化の起こりにくい乾燥窒素やアルゴンガスなどの不活性ガス雰囲気、及び真空中などで照射できることが必要である。照射時の温度は室温から350℃程度までの範囲で任意の温度で照射できる必要がある。このほかに、照射下での電線やセンサー類の特性を調べるために本装置の照射容器内からフィードスルーを通して外部測定装置と接続する必要がある。

2. 3 装置の設置条件

本装置の照射に関する基本的な条件はすでに述べたように、γ線を高線量率で均一に照射することである。このための照射方法として、高崎研究所の⁶⁰Co-γ線源（径12mm，長さ450mmのペンシル型）を利用する場合は、照射容器を円筒型にして、この周りに円筒状に線源を配置するか、あるいは長方形の箱形容器を照射容器としこの長手方向の両面に線源を配置する方法が考えられる。

計算による線量評価では、円筒形に線源を配置するのが容器内の線量率の均一性が最もよく、かつ比較的高い線量率が得られることが分かった。また、円筒状に配置した線源の外側においても高い線量率が得られ、他の試料を空気中等で照射可能である。

以上のことから、照射容器内のγ線線量率を10⁶R/h以上とするとき、利用する線源の配置は高さ450mm，直径500mmの円筒状となる。なお線源の全強度は6.99PBq（189kCi；1994.4.1現在）である。

2. 4 装置の基本設計

装置の照射容器の直径を高線量率照射ができること、及びできるだけ大きな内容積とすることをもとに約450mmφとした。照射に際しては、照射の停止及び開始の毎に⁶⁰Co-γ線源を載せた線源台が水中の線源保持場所（水深約6mのプール）から円筒形の照射容器の周りへと移動する。このとき、線源台と照射容器が接触したり、衝突したりして線源台が故障したり、動かなくなるようなことが最も注意すべき事からである。このため、線源台と照射容器の間の最も狭いところでも最低50mmの間隔を保てるようにした。このため500mmφの線源台を作製し、これに1本81.8TBq（2212Ci）及び225.7TBq（5385Ci；いずれも1994.4.1現在）のペンシル形線源（径1

2 mm, 高さ 450 mm) を各 23 本を交互に配置した。円筒形照射容器の側面は肉厚を厚くすると γ 線を遮蔽してしまうため、可能なかぎり薄くする必要がある。補強材を入れることとして、厚さ 1 mm のステンレス材とした。

円筒形照射容器内の温度を可変させるために、ヒーターを取り付ける必要がある。ヒーターを容器の中心に置くか、容器の内周に置くかという問題があるが、ここでは容器内の温度の均一性を考慮して容器の内周壁に螺旋状に付けることとした。容器内の照射雰囲気を変えるためのガス置換や真空中照射のために、容器内を 10^{-4} torr まで減圧にできるようにした。また、加圧下の照射は照射容器の側面の材料の肉厚から 2 atm となる。

照射容器の側面の材料の肉厚が薄いことから、容器のフィードスルーはすべて容器の蓋部分に設けることとした。

2. 5 安全対策

高分子材料を $100 \sim 350$ °C の温度下で照射するとき、材料から水素ガスが発生する。このため密封した照射容器内で酸素等が存在するとき、照射線量や照射時間の増大につれて水素ガスが蓄積し爆発する可能性を考慮する必要がある。

本装置で照射する高分子有機材料はポリイミド系の耐放射線性の高い材料が主なものであるので、 γ 線照射によるガス発生は G 値は 0.1 以下であるが、温度の高いところでのこのような測定値はきわめて少ない。温度の高いところでは照射による反応が連鎖反応の開始となって急速な反応が起きることも考えられる。このような高い温度での照射による発生ガスの蓄積を一定濃度以下に抑えて、安全を保つために置換ガス中での照射はすべてガスを常時、一定量放出し、その放出量に相当するガスを供給するガス流通法を採用した。

このほかガス圧が 1 kg/cm^2 以上になったときにガスの供給を停止する安全装置、及び照射容器内の温度が設定温度から所定の温度幅ずれるとヒーターへの電力供給が停止するようになっている。

3 . 装置の製作

3. 1 装置の構成

本装置は円筒形照射容器、温度制御部、減圧ポンプ系、各種ガス供給系、記録系からなる。各部の配置と配管の接続を Fig. 1 に示す。

円筒形照射容器は高崎研究所コバルト第 1 棟第 3 セルに設置され、円筒状に配置された ^{60}Co - γ 線源により、照射容器の外部から照射される。照射容器には

2 mm, 高さ 450 mm) を各 23 本を交互に配置した。円筒形照射容器の側面は肉厚を厚くすると γ 線を遮蔽してしまうため、可能なかぎり薄くする必要がある。補強材を入れることとして、厚さ 1 mm のステンレス材とした。

円筒形照射容器内の温度を可変させるために、ヒーターを取り付ける必要がある。ヒーターを容器の中心に置くか、容器の内周に置くかという問題があるが、ここでは容器内の温度の均一性を考慮して容器の内周壁に螺旋状に付けることとした。容器内の照射雰囲気を変えるためのガス置換や真空中照射のために、容器内を 10^{-4} torr まで減圧にできるようにした。また、加圧下の照射は照射容器の側面の材料の肉厚から 2 atm となる。

照射容器の側面の材料の肉厚が薄いことから、容器のフィードスルーはすべて容器の蓋部分に設けることとした。

2. 5 安全対策

高分子材料を $100 \sim 350$ °C の温度下で照射するとき、材料から水素ガスが発生する。このため密封した照射容器内で酸素等が存在するとき、照射線量や照射時間の増大につれて水素ガスが蓄積し爆発する可能性を考慮する必要がある。

本装置で照射する高分子有機材料はポリイミド系の耐放射線性の高い材料が主なものであるので、 γ 線照射によるガス発生 G 値は 0.1 以下であるが、温度の高いところでのこのような測定値はきわめて少ない。温度の高いところでは照射による反応が連鎖反応の開始となって急速な反応が起きることも考えられる。このような高い温度での照射による発生ガスの蓄積を一定濃度以下に抑えて、安全を保つために置換ガス中での照射はすべてガスを常時、一定量放出し、その放出量に相当するガスを供給するガス流通法を採用した。

このほかガス圧が 1 kg/cm^2 以上になったときにガスの供給を停止する安全装置、及び照射容器内の温度が設定温度から所定の温度幅ずれるとヒーターへの電力供給が停止するようになっている。

3. 装置の製作

3. 1 装置の構成

本装置は円筒形照射容器、温度制御部、減圧ポンプ系、各種ガス供給系、記録系からなる。各部の配置と配管の接続を Fig. 1 に示す。

円筒形照射容器は高崎研究所コバルト第 1 棟第 3 セルに設置され、円筒状に配置された ^{60}Co - γ 線源により、照射容器の外部から照射される。照射容器には

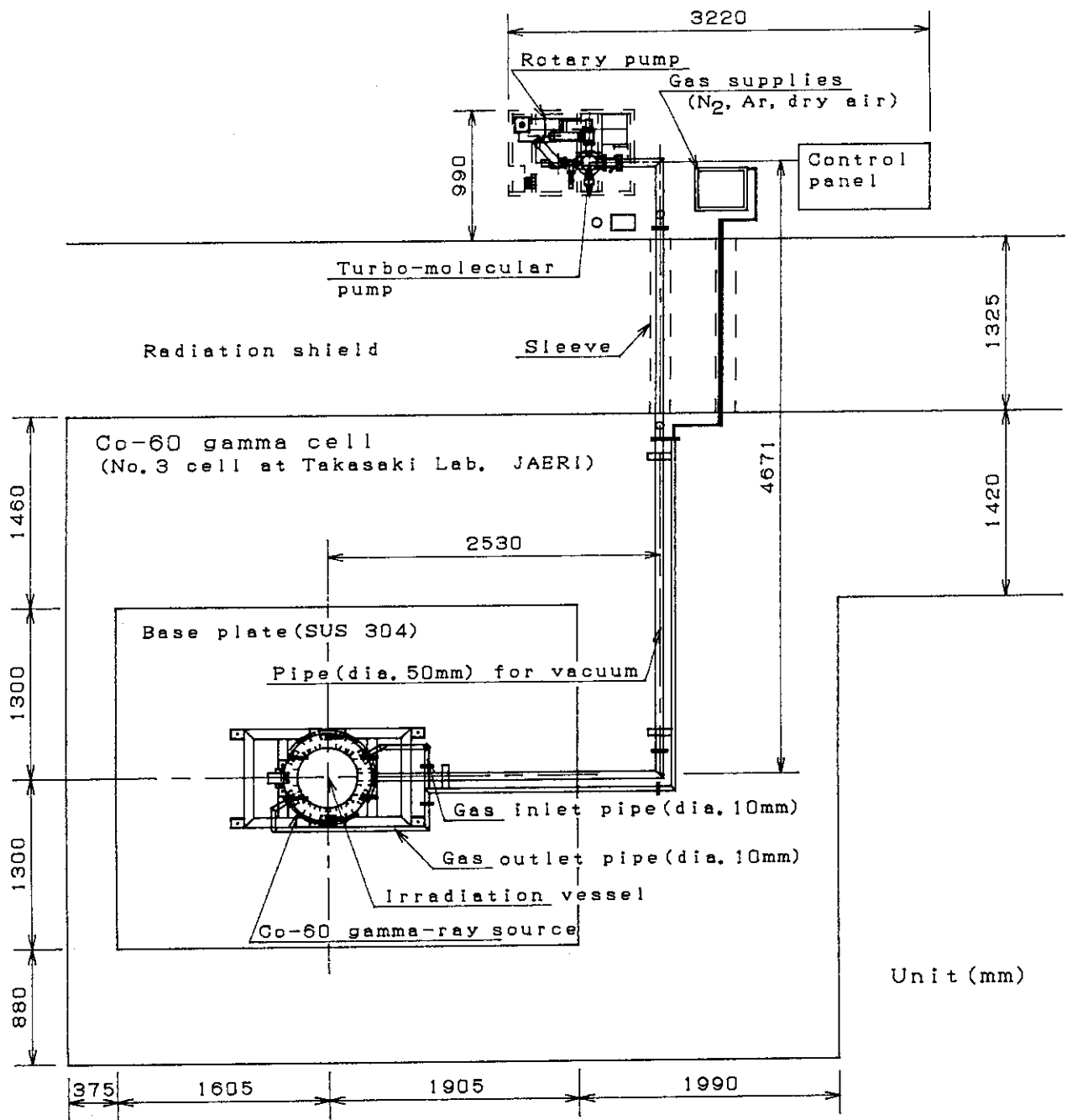


Fig.1 Layout of γ - rays irradiation facility

50 mm φ の配管が接続しており、これによって照射室外に置いたターボ分子ポンプを用いて照射容器内を 10^{-4} torr の減圧とする。乾燥空気や乾燥窒素などの雰囲気中で照射する場合は照射室外の各ポンプより別の配管を通して照射容器に供給される。照射容器内が所定の圧力になったら、リークバルブより流量を調整した後排気する。照射時の照射容器の温度と圧力は常時記録される。

3. 2 円筒形照射容器

照射容器本体の図面を Fig. 2 に示す。この容器の内表面に 3 つに分けたヒーター（上部、中部、下部）が取り付けられている。これらは別々に温度制御されるようになっており、照射容器内のより均一な温度制御ができるようになってきている。各フランジのシールはニトリルゴム製の O リング及びヘリコフレックスガスケット（銅の中空ガスケット）を適所に用いた。上部の蓋部分のシールは O リングを用いているが照射により硬化して劣化するので適時に交換が必要である。また、温度を上げて照射する場合は蓋部分の温度が高くなることから、蓋部分には冷却水を流すようにした。

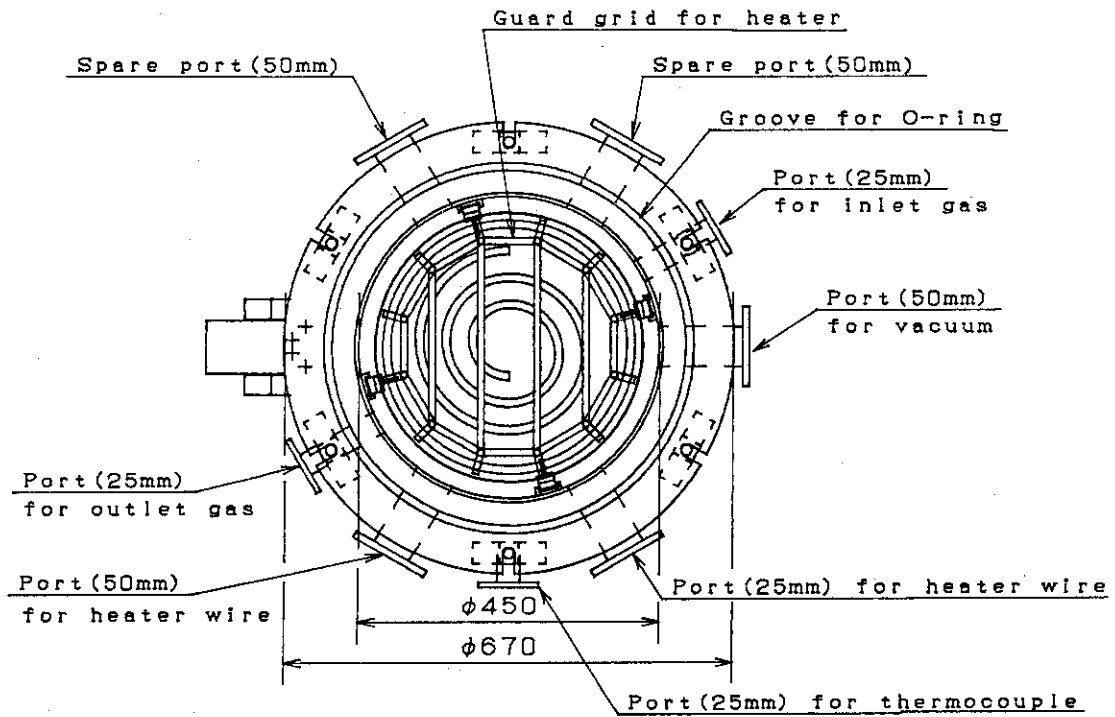
照射容器内には照射試料を入れるための円筒形の金網でできた容器がある。さらにこの中に試料を固定するための四段に分かれた試料保持具がある。

(1) 照射容器本体

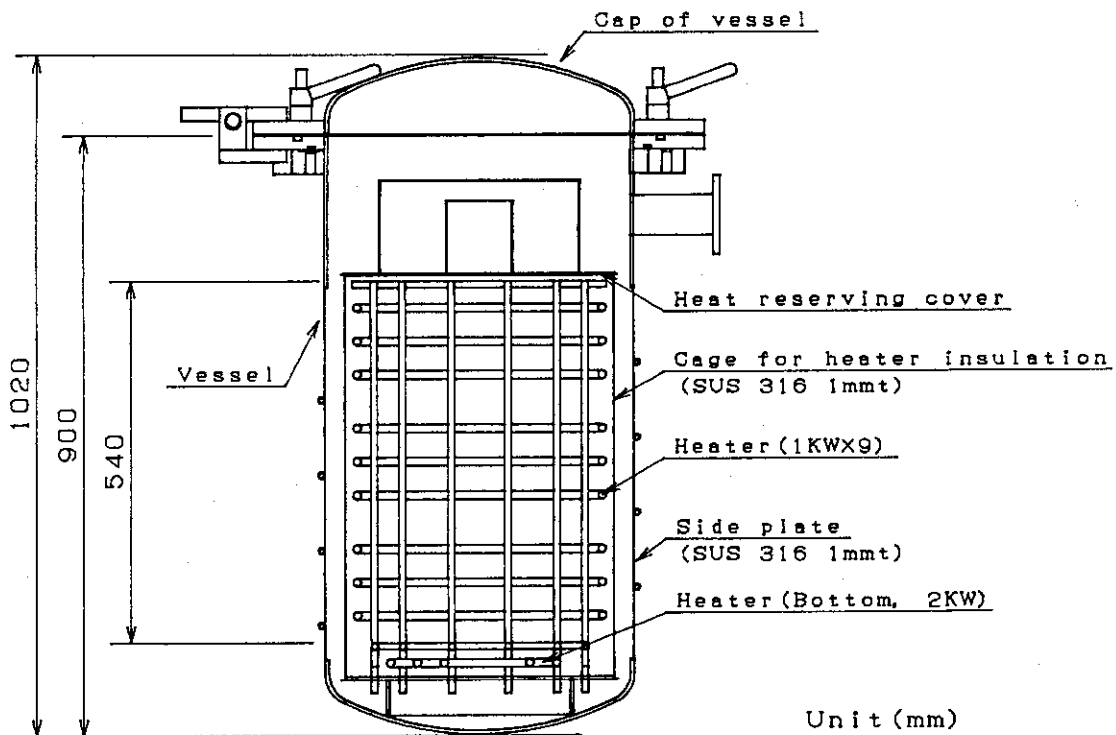
大きさ	直径 450 mm φ、高さ 1020 mm、 約内容積 160×10^3 cc		
材質	円筒容器部（加熱される部分）	SUS 316	厚さ 1 mm（補強材あり）
	容器蓋部（水冷されている部分）	SUS 304	
設計圧力	10^{-4} torr から 2 atm		
設計温度	室温から 350 °C		
フランジ	円筒容器部	ヒーター用（50 A；サイズ 50 mm φ） 2 個、真空排気用（50 A）1 個、ガス導入用（25 A） 2 個 予備用 2 個（50 A）	
ヒーター	底面	2 kW x 1 本、	側面 1 kW x 9 本
付属品	フランジ付き蓋部（Fig. 3 に示す）		
	フランジ	FG-50	4 個（50 mm φ）
		FG-100	1 個（100 mm φ）

(2) 試料容器

大きさ	直径 300 mm φ、高さ 525 mm		
金網	SUS 316（網目は 10 メッシュ）		



(a) Top plane view



Unit (mm)

(b) Cross section view

Fig.2 Schematic draw of irradiation vessel

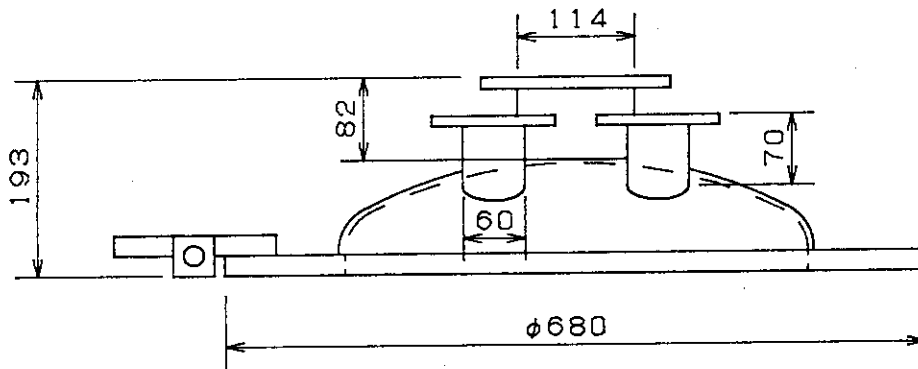
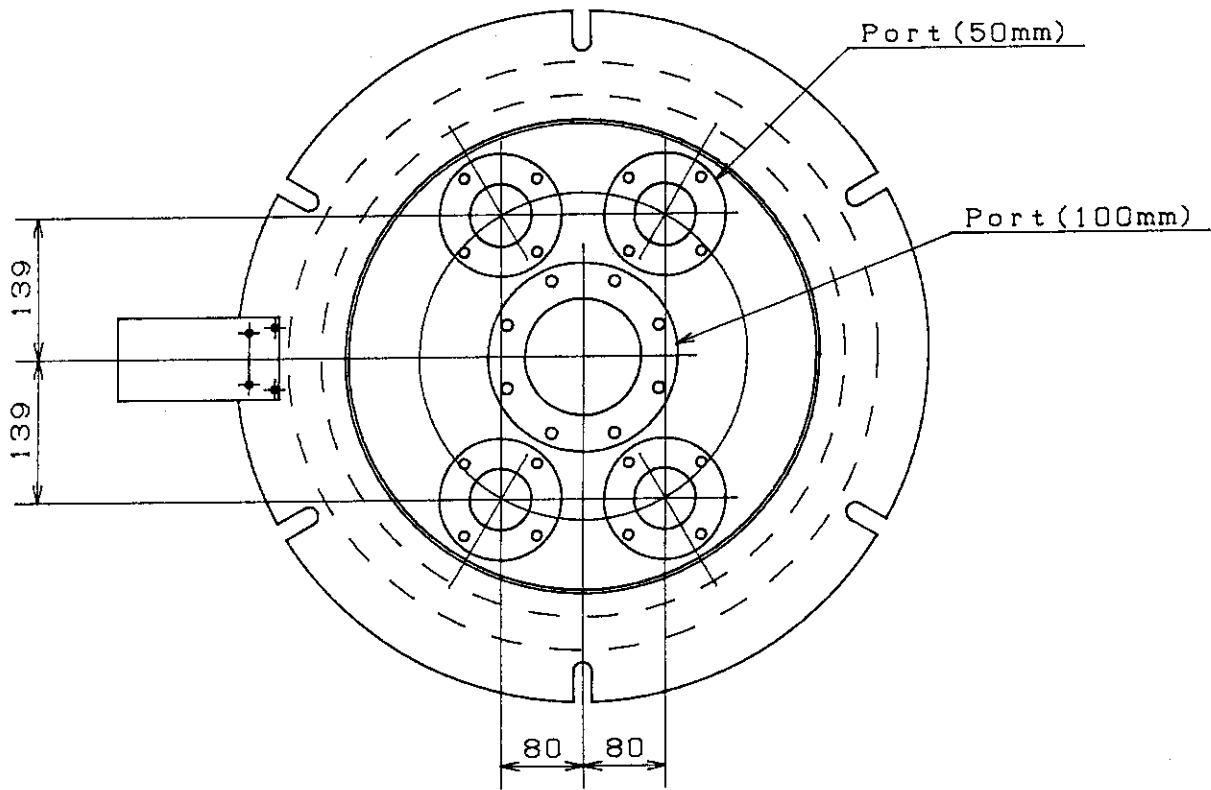


Fig.3 Cap of irradiation vessel(attached large ports)

円筒形照射容器の完成後の写真をFig. 4に示す。

3. 3 温度及び圧力制御部

照射容器の温度は内壁の上部、中部、下部の各ヒーターの近傍の3箇所で検出している。容器の温度制御はこの3箇所の温度を用いて、各部所のヒーターを制御している。設定温度より 10°C 以内に温度分布が納まるように設計した。

照射容器の圧力は照射室内に圧力計を入れることができないので、照射室外の配管の途中にピラニ及びペニング真空計（エドワーズPRM10K, 同CP25K）を入れて測定している。また、乾燥空気ポンベや高純度窒素ポンベからのガスは減圧弁を通った後、流量計を通して照射容器内に導入される。容器内の圧力は同じく照射室外の配管の途中に圧力計を付けて測定している。リークバルブからは常時 0.5 l/min のガスを排出する。この状態で所定の圧力になるように再調整する。照射容器の温度を上げたときも圧力の再調整を行う必要がある。

照射容器の温度と圧力は常時記録される。Fig. 5に装置の制御盤及びガス供給系の写真を示す。

4. 装置の性能

4. 1 照射容器内外の線量率分布

(1) 照射容器内の線量率分布

高崎研、コバルト第1棟第3セルに設置された照射容器内の線量率分布をアラニン線量計（アミノグレイ；日立電線（株）製）で測定した。アラニン線量計素子の照射容器内での配置をFig. 6-1及びFig. 6-2に示す。コバルト線源の高さは 45 cm なので、照射容器の底から 5 、 26 、 47 、及び 12 、 22 、 33 、 40 cm の各高さで東西及び南北方向に 7.1 cm 、及び 4.8 cm おきに線量測定を行った。線量計の照射時間は 20 分であった。この結果をTable 1及びFig. 7-1及びFig. 7-2に示す。照射容器内では容器の底 5 cm から 33 cm までほぼ $2 \times 10^6\text{ R/h}$ （R（レントゲン）は照射線量の単位）であり、東西及び南北方向では照射容器の周辺でわずかに高くなっている。この周辺でのわずかな線量率の変化は、線源が容器の円周上に配置されているため線源に近いことによるもので計算上でもこのような傾向になる。高さ方向では 40 cm 以上で明かに線量率が低下する。以上の結果から、この照射容器内では照射容器の底 5 cm から 33 cm まではほぼ均一な線量率分布を示し、線量率は $2 \times 10^6\text{ R/h}$ であることが分か

円筒形照射容器の完成後の写真をFig. 4に示す。

3. 3 温度及び圧力制御部

照射容器の温度は内壁の上部、中部、下部の各ヒーターの近傍の3箇所を検出している。容器の温度制御はこの3箇所の温度を用いて、各部所のヒーターを制御している。設定温度より 10°C 以内に温度分布が納まるように設計した。

照射容器の圧力は照射室内に圧力計を入れることができないので、照射室外の配管の途中にピラニ及びペニング真空計（エドワーズPRM10K, 同CP25K）を入れて測定している。また、乾燥空気ポンベや高純度窒素ポンベからのガスは減圧弁を通った後、流量計を通して照射容器内に導入される。容器内の圧力は同じく照射室外の配管の途中に圧力計を付けて測定している。リークバルブからは常時 0.5 l/min のガスを排出する。この状態で所定の圧力になるように再調整する。照射容器の温度を上げたときも圧力の再調整を行う必要がある。

照射容器の温度と圧力は常時記録される。Fig. 5に装置の制御盤及びガス供給系の写真を示す。

4. 装置の性能

4. 1 照射容器内外の線量率分布

(1) 照射容器内の線量率分布

高崎研、コバルト第1棟第3セルに設置された照射容器内の線量率分布をアラニン線量計（アミノグレイ；日立電線（株）製）で測定した。アラニン線量計素子の照射容器内での配置をFig. 6-1及びFig. 6-2に示す。コバルト線源の高さは 45 cm なので、照射容器の底から 5 、 26 、 47 、及び 12 、 22 、 33 、 40 cm の各高さで東西及び南北方向に 7.1 cm 、及び 4.8 cm おきに線量測定を行った。線量計の照射時間は 20 分であった。この結果をTable 1及びFig. 7-1及びFig. 7-2に示す。照射容器内では容器の底 5 cm から 33 cm までほぼ $2 \times 10^6\text{ R/h}$ （R（レントゲン）は照射線量の単位）であり、東西及び南北方向では照射容器の周辺でわずかに高くなっている。この周辺でのわずかな線量率の変化は、線源が容器の円周上に配置されているため線源に近いことによるもので計算上でもこのような傾向になる。高さ方向では 40 cm 以上で明かに線量率が低下する。以上の結果から、この照射容器内では照射容器の底 5 cm から 33 cm まではほぼ均一な線量率分布を示し、線量率は $2 \times 10^6\text{ R/h}$ であることが分か

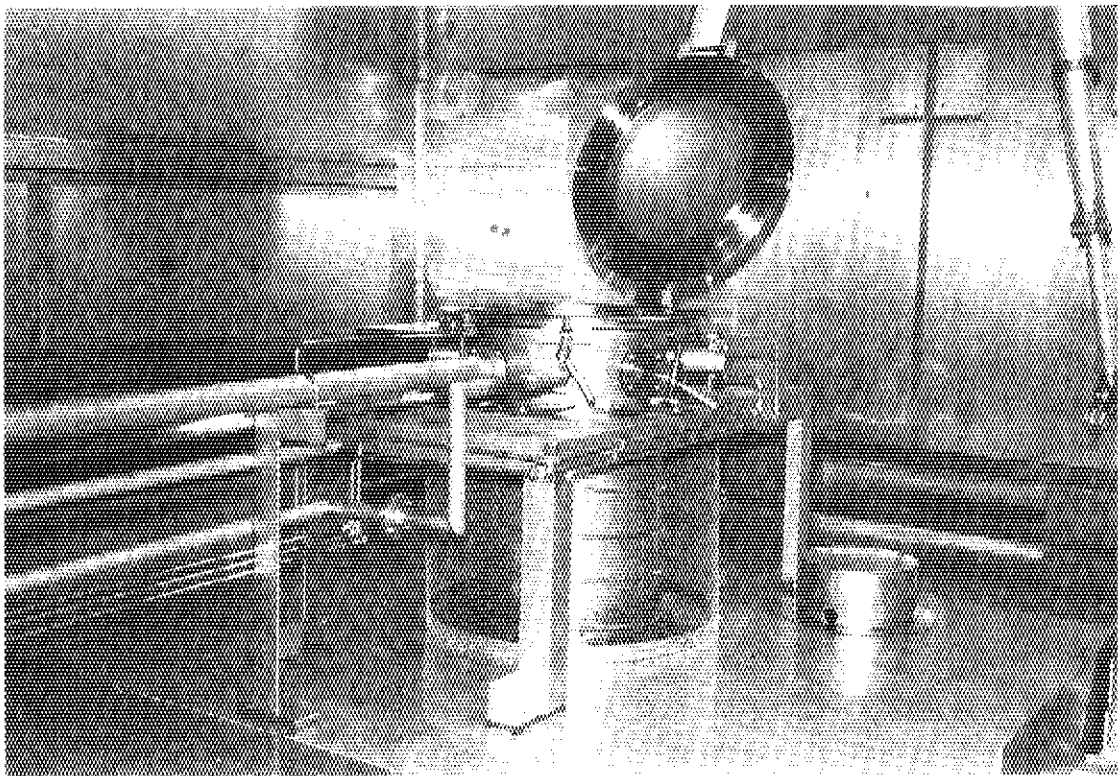
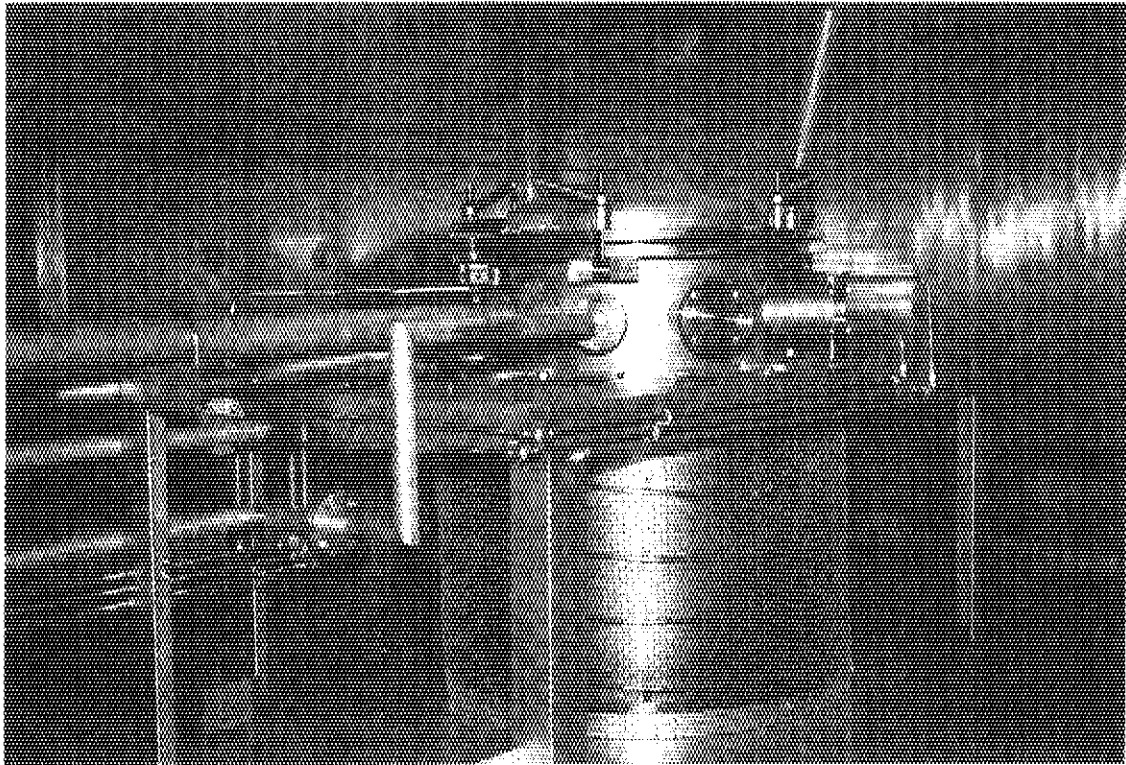


Fig.4 Photographs of irradiation vessel

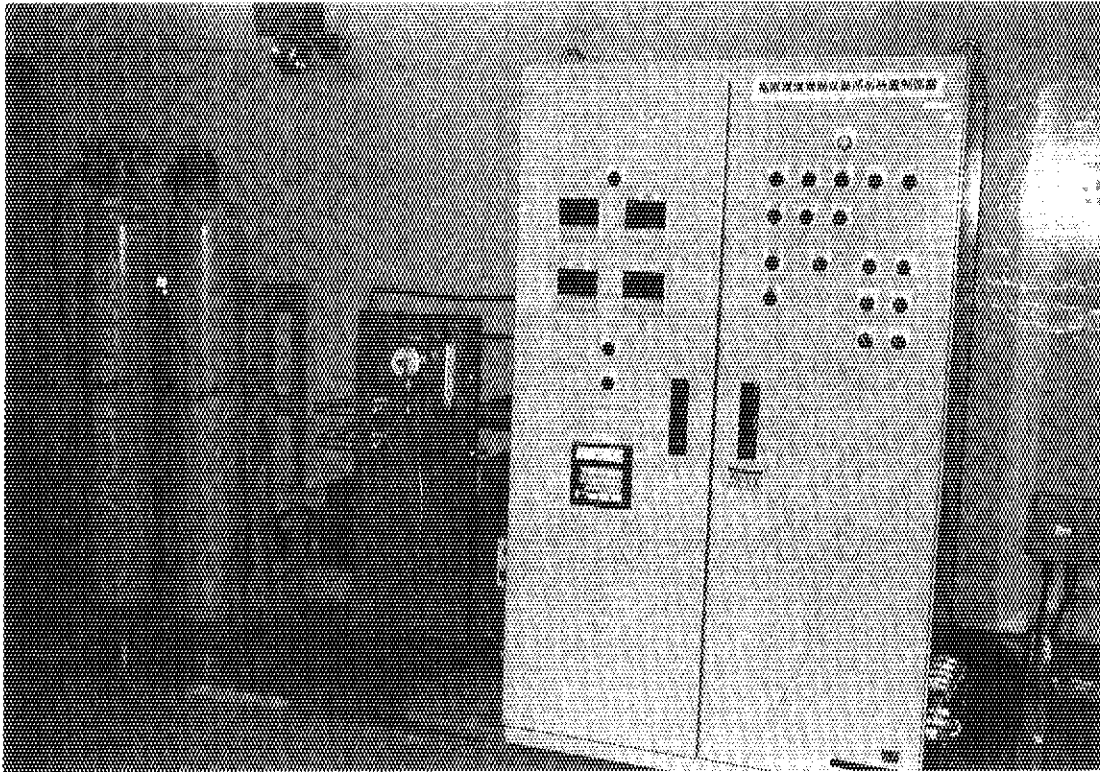


Fig.5 Photograph of control panel and gas supply

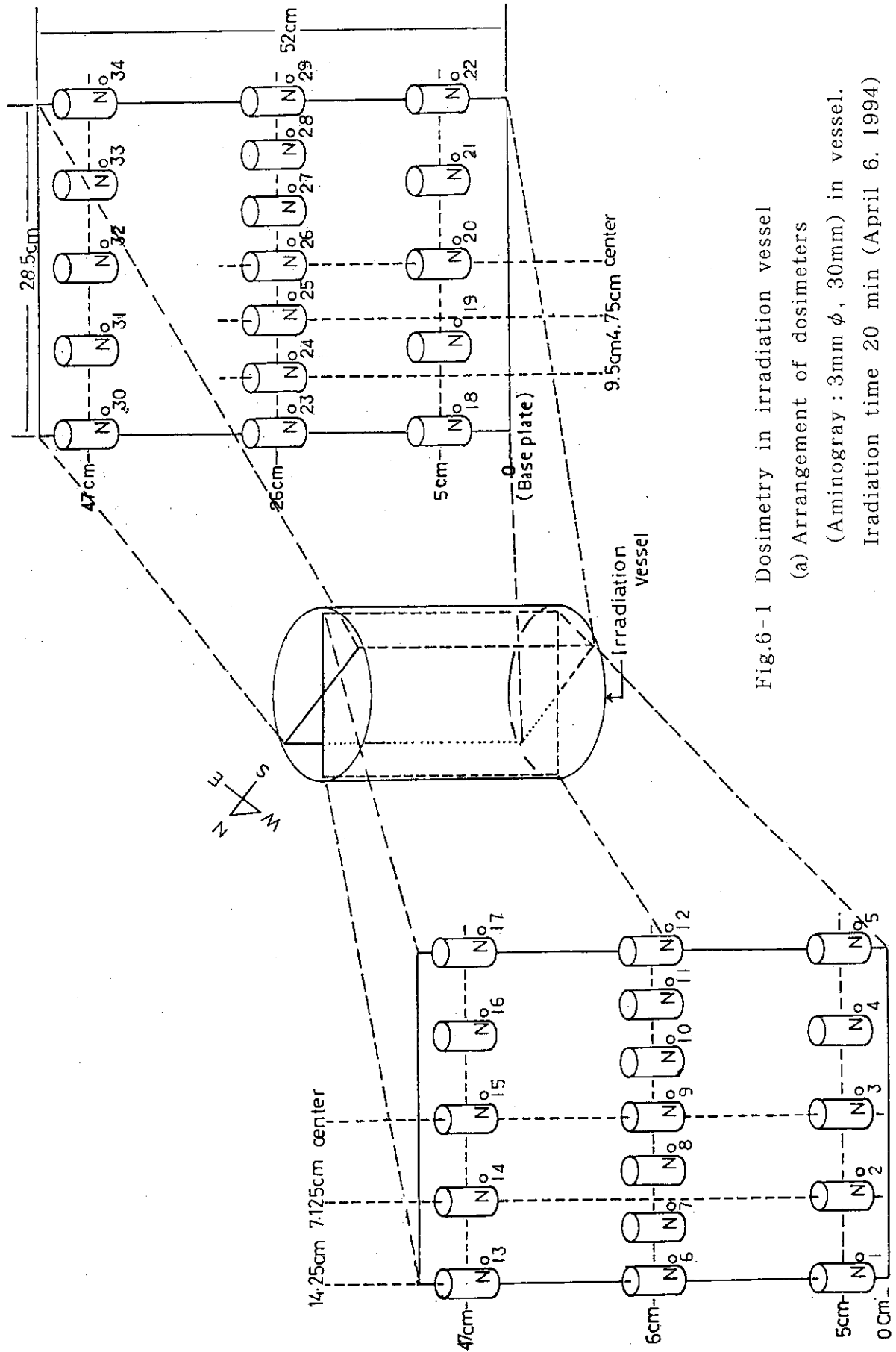


Fig.6-1 Dosimetry in irradiation vessel

(a) Arrangement of dosimeters

(Aminogray : 3mm ϕ , 30mm) in vessel.

Irradiation time 20 min (April 6, 1994)

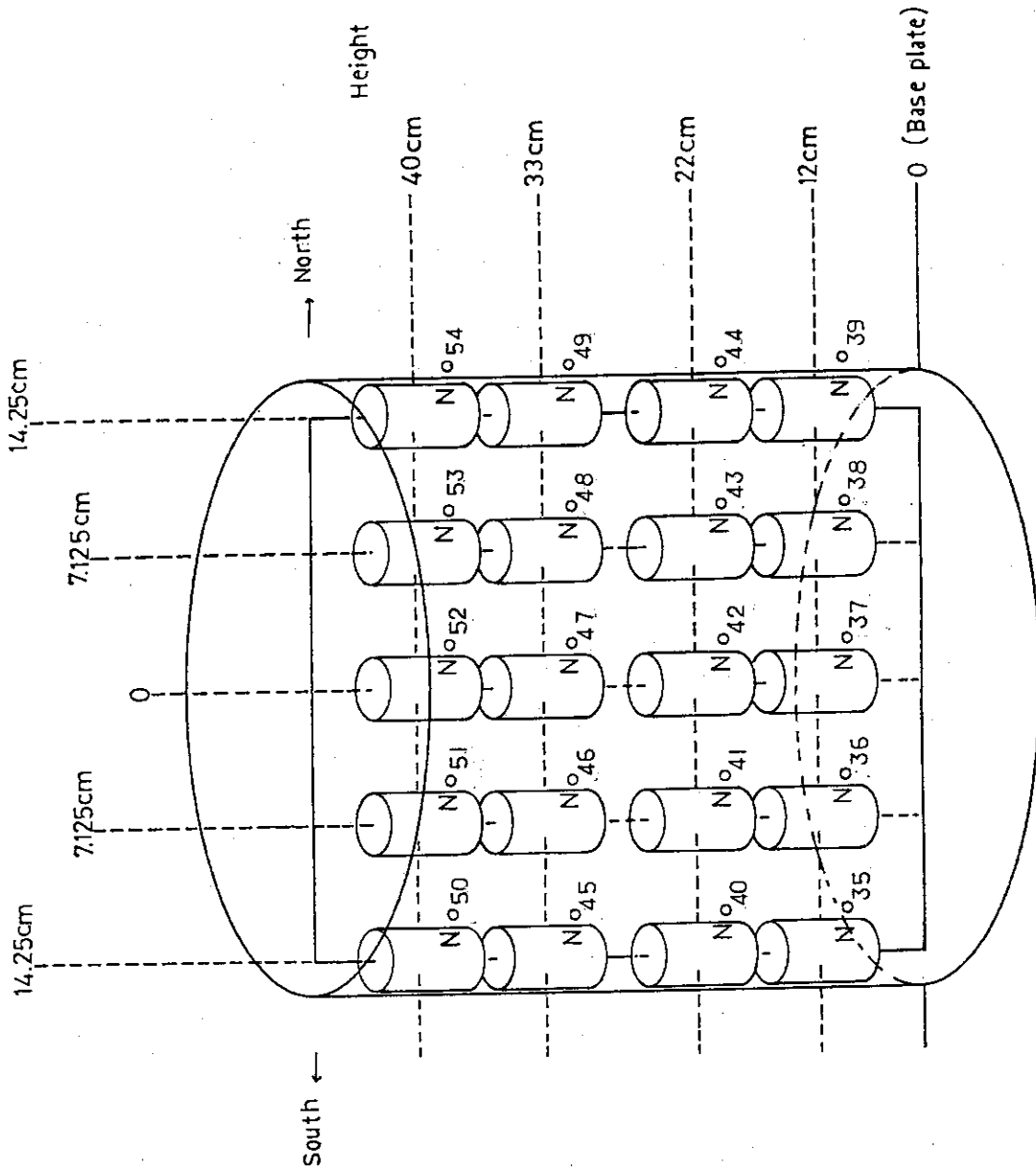


Fig.6-2 (Continued)
 (a) Arrangement of dosimeters
 Irradiation time 20 min

Table 1 Dose rate in irradiation vessel (April 6, 1994)

(a) East-West direction in vessel

Height from base plate	Distance from center	Dose rate (R/h)								
		West ← 14.25cm	9.50cm	7.125cm	4.75cm	Center 0 cm	4.75cm	7.125cm	9.50cm	East → 14.25cm
5 cm		2.10×10^6 (No1)	-----	1.90×10^6 (No2)	-----	1.94×10^6 (No3)	-----	1.91×10^6 (No4)	-----	2.07×10^6 (No5)
2 6 cm		2.26×10^6 (No6)	2.15×10^6 (No7)	-----	2.08×10^6 (No8)	2.04×10^6 (No9)	2.08×10^6 (No10)	-----	2.11×10^6 (No11)	2.27×10^6 (No12)
4 7 cm		1.23×10^6 (No13)	-----	1.24×10^6 (No14)	-----	1.26×10^6 (No15)	-----	1.24×10^6 (No16)	-----	1.19×10^6 (No17)

(a) North-South direction in vessel

Height from base plate	Distance from center	Dose rate (R/h)								
		North ← 14.25cm	9.50cm	7.125cm	4.75cm	Center 0 cm	4.75cm	7.125cm	9.50cm	South → 14.25cm
5 cm		2.00×10^6 (No18)	-----	1.84×10^6 (No19)	-----	1.95×10^6 (No20)	-----	1.94×10^6 (No21)	-----	2.03×10^6 (No22)
1 2 cm		2.14×10^6 (No39)	-----	1.98×10^6 (No38)	-----	2.03×10^6 (No37)	-----	2.05×10^6 (No36)	-----	2.19×10^6 (No35)
2 2 cm		2.21×10^6 (No44)	-----	2.03×10^6 (No43)	-----	2.09×10^6 (No42)	-----	2.09×10^6 (No41)	-----	2.24×10^6 (No40)
2 6 cm		2.18×10^6 (No23)	2.07×10^6 (No24)	-----	2.03×10^6 (No25)	2.10×10^6 (No26)	1.98×10^6 (No27)	-----	2.11×10^6 (No28)	2.23×10^6 (No29)
3 3 cm		1.81×10^6 (No49)	-----	1.74×10^6 (No48)	-----	1.81×10^6 (No47)	-----	1.84×10^6 (No46)	-----	1.92×10^6 (No45)
4 0 cm		1.49×10^6 (No54)	-----	1.47×10^6 (No53)	-----	1.56×10^6 (No52)	-----	1.51×10^6 (No51)	-----	1.56×10^6 (No50)
4 7 cm		1.22×10^6 (No30)	-----	1.23×10^6 (No31)	-----	1.31×10^6 (No32)	-----	1.24×10^6 (No33)	-----	1.21×10^6 (No34)

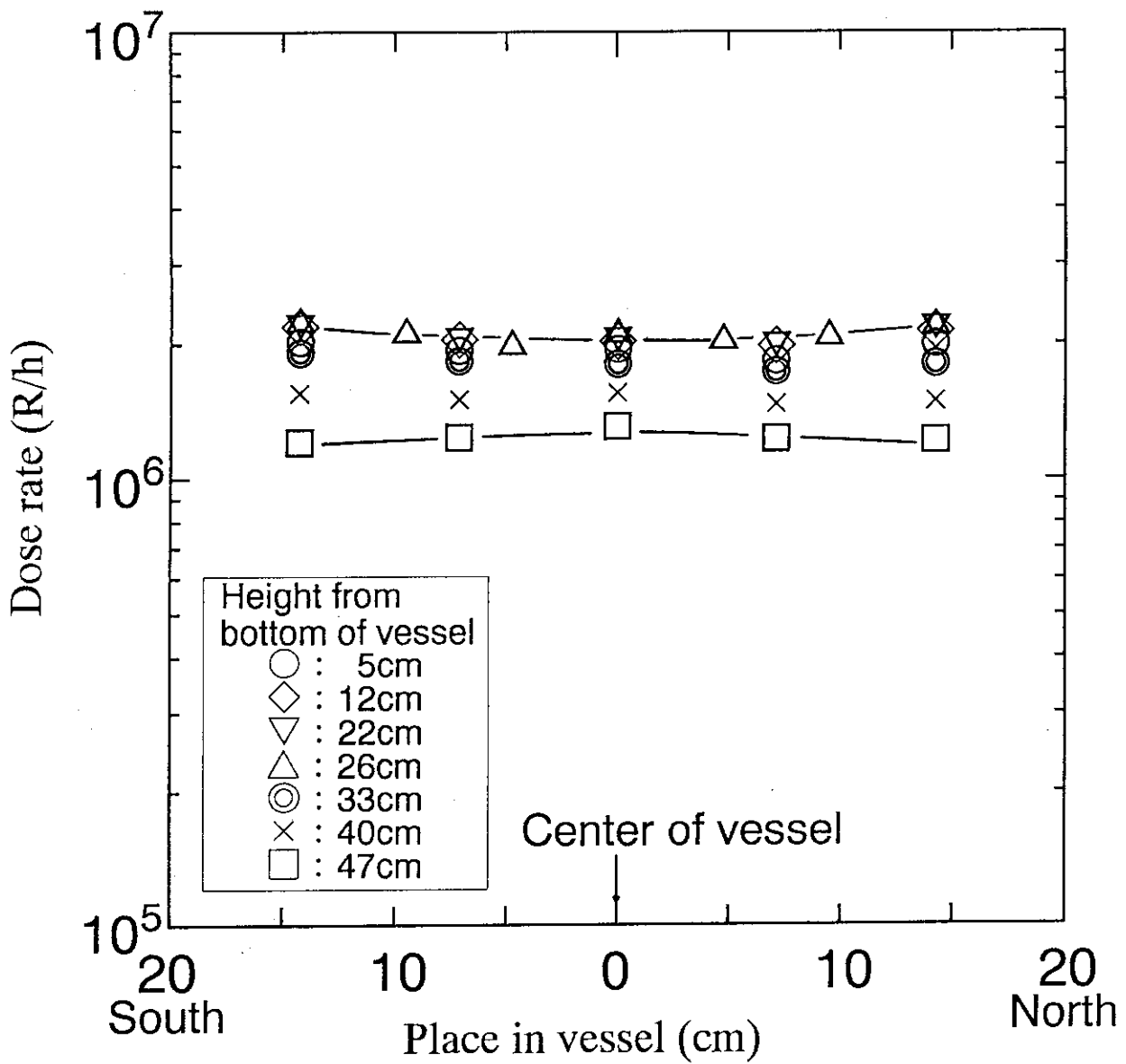


Fig.7-1 Dose rate map in irradiation vessel
(No.3 cell at Takasaki Lab. JAERI)

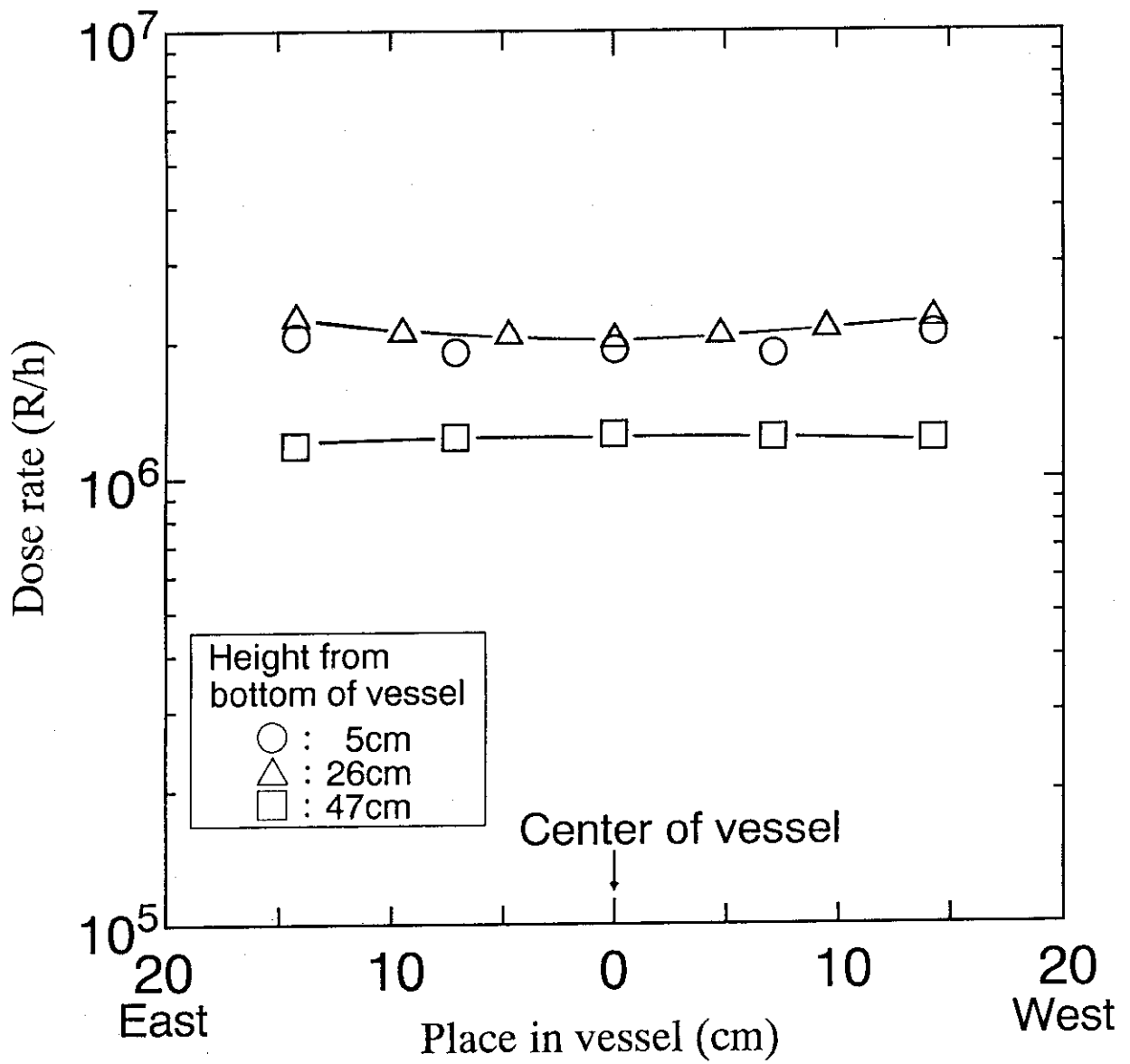


Fig.7-2 (Continued)

った。

(2) 照射容器外の線量率分布

照射容器の外側にも室温、空气中照射試料を置くことができる。そこで照射容器外の線量率分布も測定した。アラニン線量計の配置をFig. 8に示す。この結果をTable 2及びFig. 9-1~3に示す。線源を保護している保護金網のところでは約 $2 \times 10^6 \text{ R/h}$ の線量率があり、離れるにしたがって低下するが10 cmまでは $1 \times 10^6 \text{ R/h}$ の高い線量率での照射ができることが分かった。

アラニン線量計と異なる平行平板型電離箱を用いて、同様の測定を行った。この結果をTable 3に示す。アラニン線量計と電離箱の結果は5%以内で一致した。

4. 2 照射容器内の温度分布

照射容器内に窒素ガス（大気圧）を入れ、容器内の試料保持具の各位置に熱電対をつけた。この位置をFig. 10に示す。100、150、200、250℃の各温度に温度設定したときの照射容器内の温度変化をFig. 11に示す。照射容器内の温度はヒーターに入力してから100℃の設定値まで約8分で到達した。この後、50℃の温度差の設定値を約6分で所定の温度に達した。照射容器内の温度分布は容器中心のNo. 1, 2, 3はほぼ同じ温度である。容器壁のNo. 5、容器の蓋部（水冷）に近いNo. 4の温度は容器の中心部の温度より約10℃ずれている。このことから照射容器内がガスに満たされているときは容器内の昇温速度は早く、また、容器中心部の上下方向での温度差は小さいことが分かる。さらに、照射容器内に同じく窒素ガスを入れ、同時に幾つかの細物電線試料を入れた状態で照射容器の横方向の温度分布を測った。熱電対をつけた各測定点をFig. 12に、測定結果をFig. 13に示す。約12分で所定の設定温度に達し、また、昇温時には各場所で温度の差はあるが12~18分でこれらの温度差はほとんどなくなる。以上のことから、照射容器内にガスが満たされている（大気圧以上）ときは照射容器内の温度分布（ $\Delta 5^\circ\text{C}$ 以内）は小さいことが分かった。

一方、照射容器内を真空にしたときの温度変化をFig. 14に示す。上記の容器内にガスが満たされているときに比べ、昇温は緩やかである。例えば、室温から100℃までは初期の立ち上がりは早いですが平衡に達するには約1時間かかる。これはガスの対流による熱伝達が少なくなったためと思われる。このことから、真空中照射では容器内の温度の均一性や昇温時間に多めの裕度や時間を考慮すべきである。

また、 γ 線照射時の照射容器は γ 線を吸収して温度が上昇する。線量率が $2 \times 10^6 \text{ R/h}$ のとき、蓋部の冷却もあり、また、容器の肉厚も薄いことから照射容器の昇温は約50℃であった。

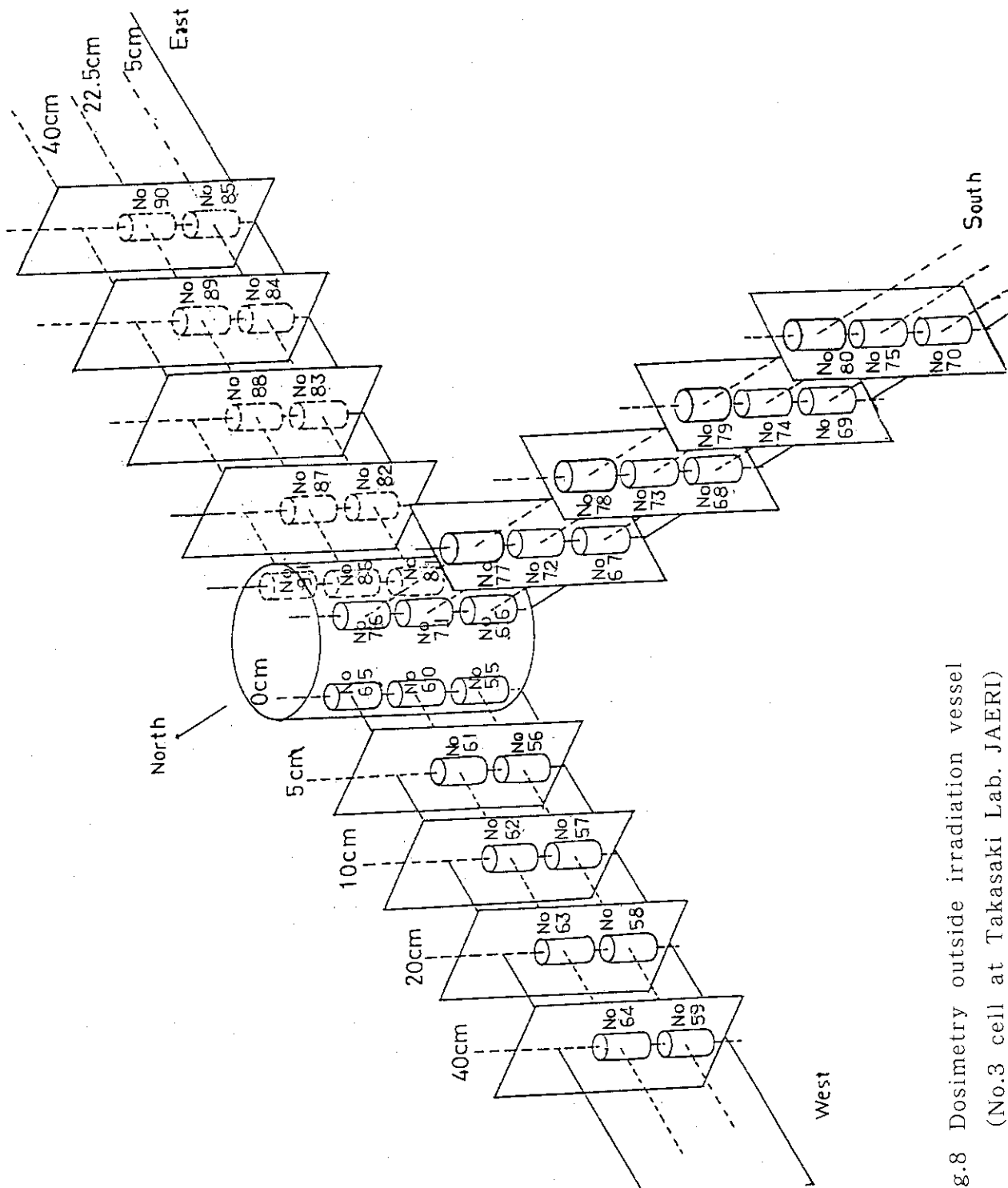


Fig.8 Dosimetry outside irradiation vessel
(No.3 cell at Takasaki Lab. JAERI)

Table 2 Dose rate outside irradiation vessel

(a) West side

Height from base plate	Distance from outside of vessel	Dose rate (R/h)				
		0 cm	5 cm	10 cm	20 cm	40 cm
5 cm		1.71×10^6 (No55)	1.31×10^6 (No56)	9.73×10^5 (No57)	6.22×10^5 (No58)	3.61×10^5 (No59)
	22.5 cm	2.22×10^6 (No60)	1.69×10^6 (No61)	1.20×10^6 (No62)	7.29×10^5 (No63)	3.92×10^5 (No64)
40 cm		1.69×10^6 (No65)	-----	-----	-----	-----

(b) East side

Height from base plate	Distance from outside of vessel	Dose rate (R/h)				
		0 cm	5 cm	10 cm	20 cm	40 cm
5 cm		1.77×10^6 (No81)	1.35×10^6 (No82)	1.04×10^6 (No83)	6.88×10^5 (No84)	3.75×10^5 (No85)
	22.5 cm	2.29×10^6 (No86)	1.79×10^6 (No87)	1.28×10^6 (No88)	8.04×10^5 (No89)	3.96×10^5 (No90)
40 cm		1.71×10^6 (No91)	-----	-----	-----	-----

(c) South side

Height from base plate	Distance from outside of vessel	Dose rate (R/h)				
		0 cm	5 cm	10 cm	20 cm	40 cm
5 cm		1.54×10^6 (No66)	1.25×10^6 (No67)	9.49×10^5 (No68)	6.47×10^5 (No69)	3.71×10^5 (No70)
	22.5 cm	2.08×10^6 (No71)	1.61×10^6 (No72)	1.15×10^6 (No73)	7.27×10^5 (No74)	3.96×10^5 (No75)
40 cm		1.62×10^6 (No76)	1.26×10^6 (No77)	9.24×10^5 (No78)	6.44×10^5 (No79)	3.60×10^5 (No80)

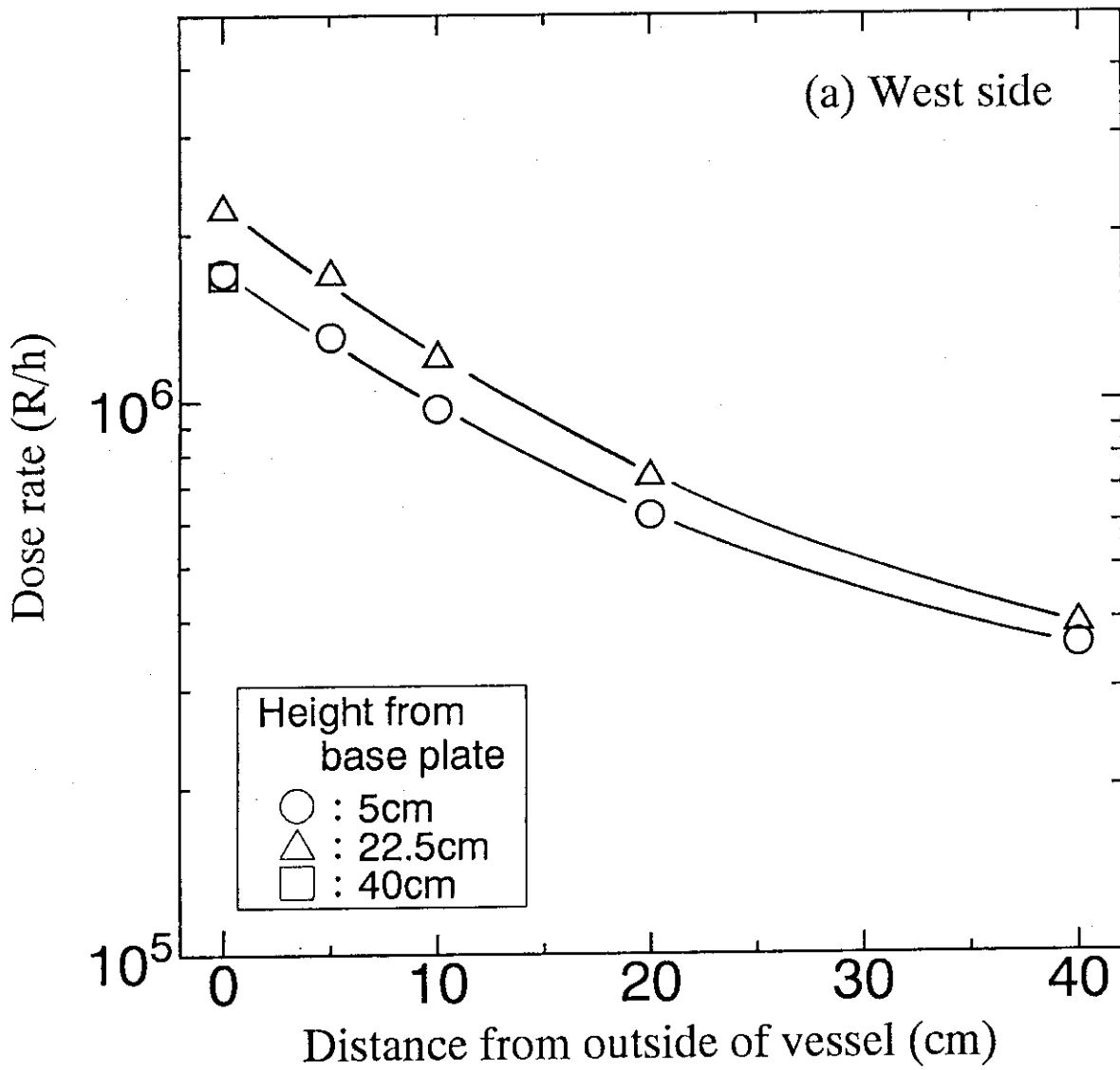


Fig.9-1 Dose rate map outside irradiation vessel
 (No.3 cell at Takasaki Lab. JAERI)
 (a) West side

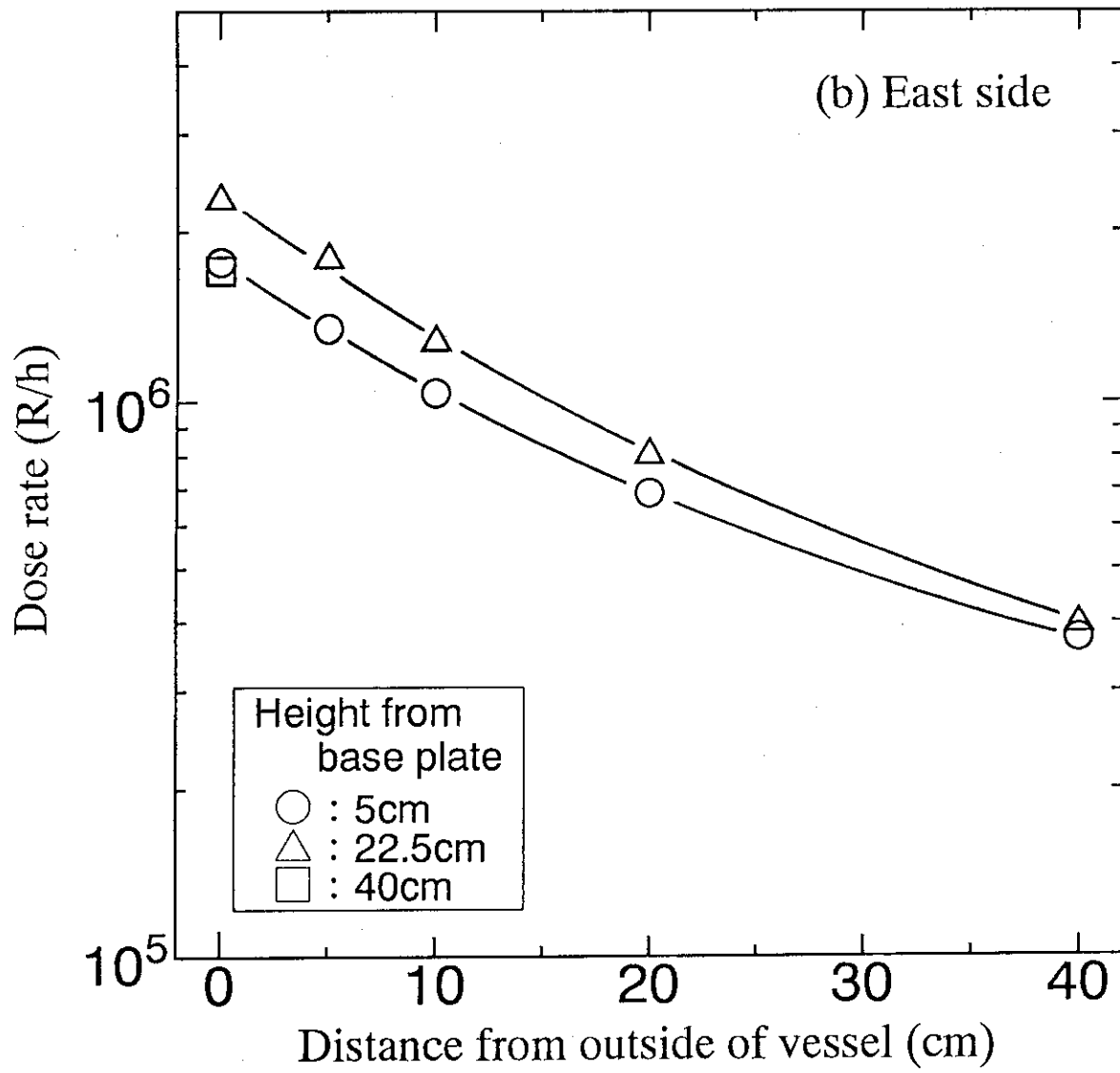


Fig.9-2 (Continued)
(b) East side

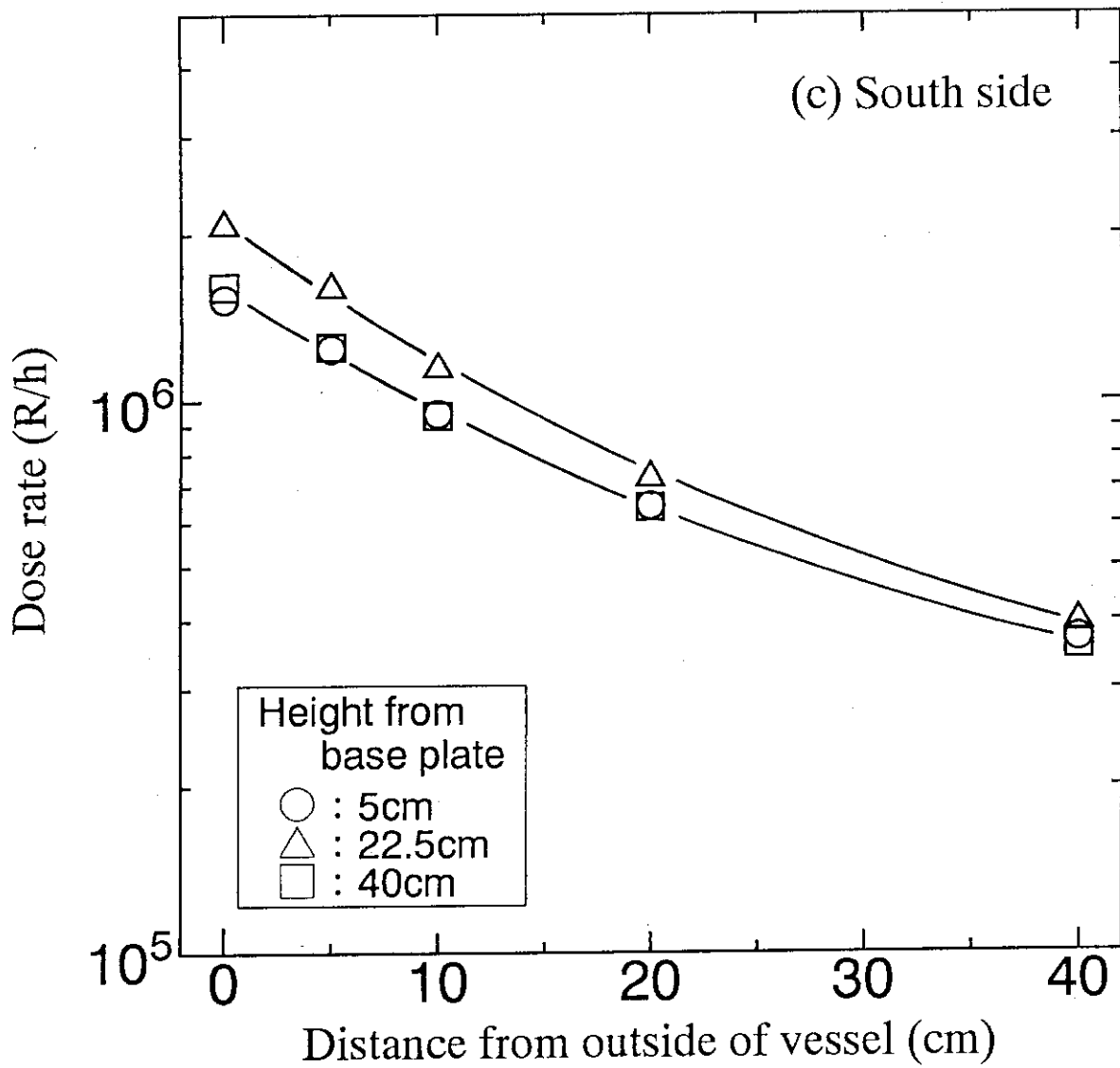


Fig.9-3 (Continued)
(c) South side

Table 3 comparison of dose rate measured by alanine dosimeter and ionizing chamber.

(Height from base plate = 22.5cm)

(a) East side

Distance from outside of vessel (cm)	Alanine dosimeter	Ionizing chamber		A / B
	Dose rate (R/h) (A)	Measured current (amp.)	Dose rate (R/h) (B)	
0	2.29×10^5			
5	1.79×10^5			
10	1.28×10^5	3.956×10^{-8}	1.26×10^5	1.013
20	8.04×10^5	2.386×10^{-8}	7.62×10^5	1.055
30		1.638×10^{-8}	5.23×10^5	
40	3.96×10^5	1.213×10^{-8}	3.87×10^5	1.023

(b) South side

Distance from outside of vessel (cm)	Alanine dosimeter	Ionizing chamber		A / B
	Dose rate (R/h) (A)	Measured current (amp.)	Dose rate (R/h) (B)	
0	2.08×10^5			
5	1.61×10^5	4.843×10^{-8}	1.55×10^5	1.041
10	1.15×10^5	3.633×10^{-8}	1.16×10^5	0.991
20	7.27×10^5	2.189×10^{-8}	6.99×10^5	1.040
30				
40	3.96×10^5			

(measured at April/14/1994)

Plate type ionizing chamber (JTC-8, No.3)

$$\text{Dose rate(R/h)} = 2.9135 \times 10^{13} \times K \times I$$

$$K = (273+T)/273 \times 10^{13}/P$$

T (Temperature) ; 23.5 °C

P (Pressure of atmosphere) ; 1004 hpa

I ; Measured current (amp.)

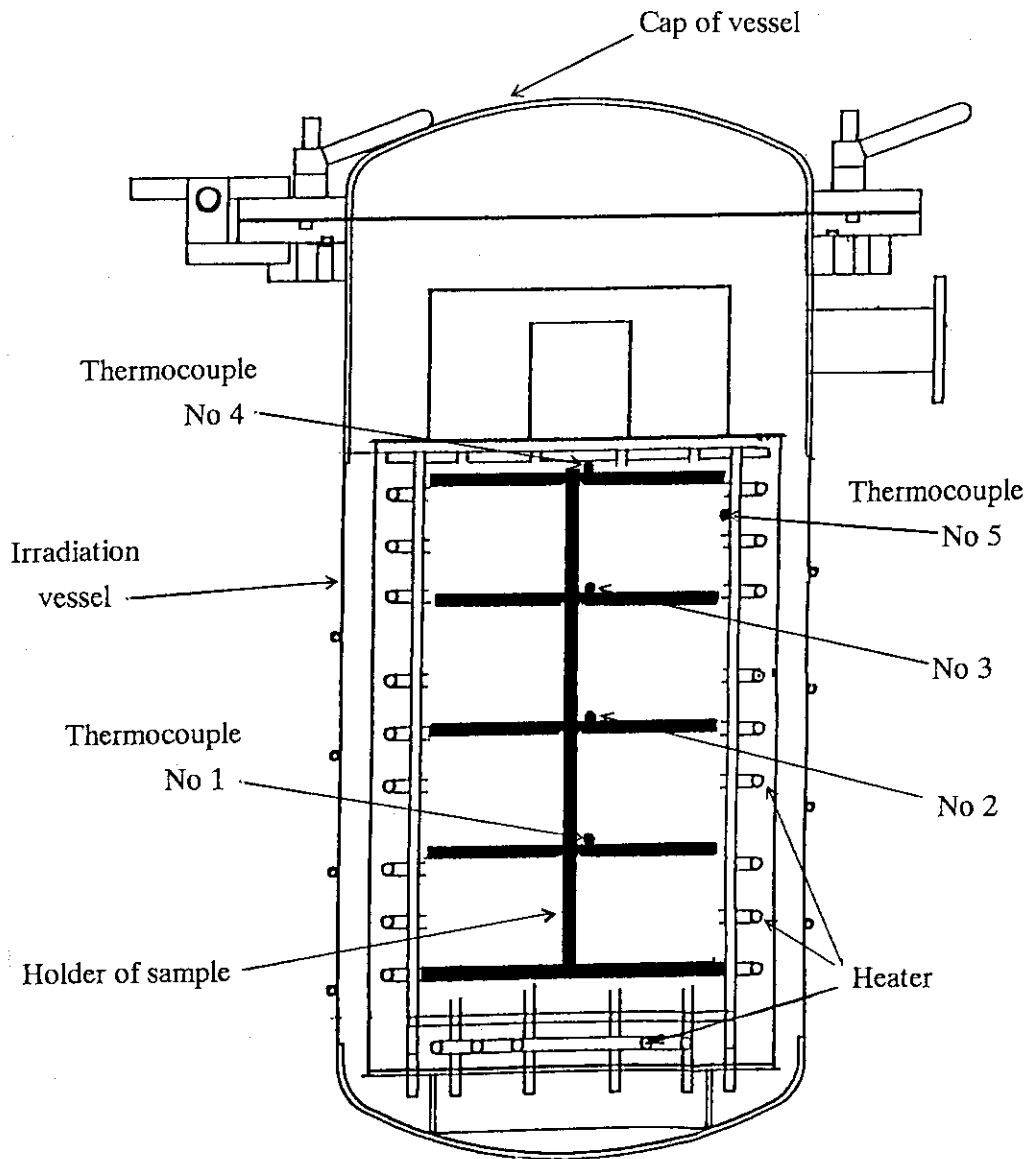


Fig.10 Position of thermocouples in irradiation vessel
(Vertical direction)

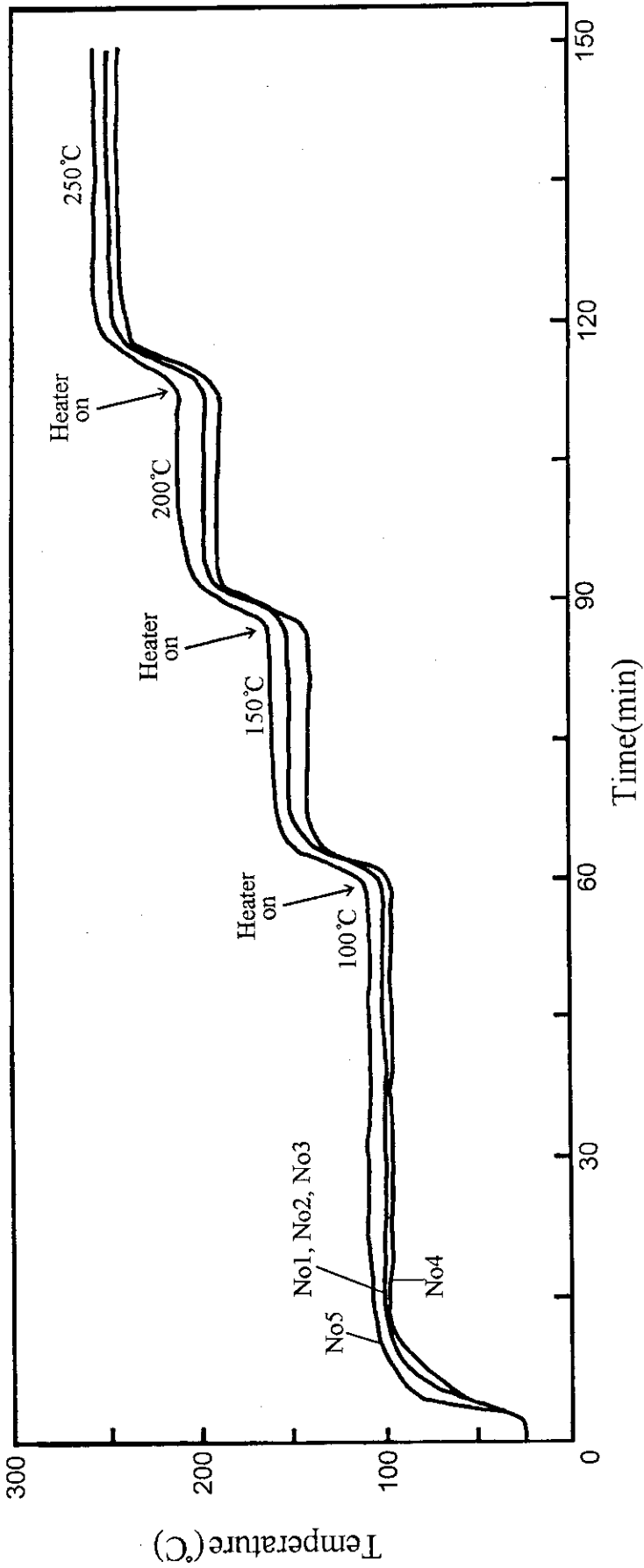


Fig.11 Temperature of vertical direction in irradiation vessel
(In dry nitrogen gas stream)

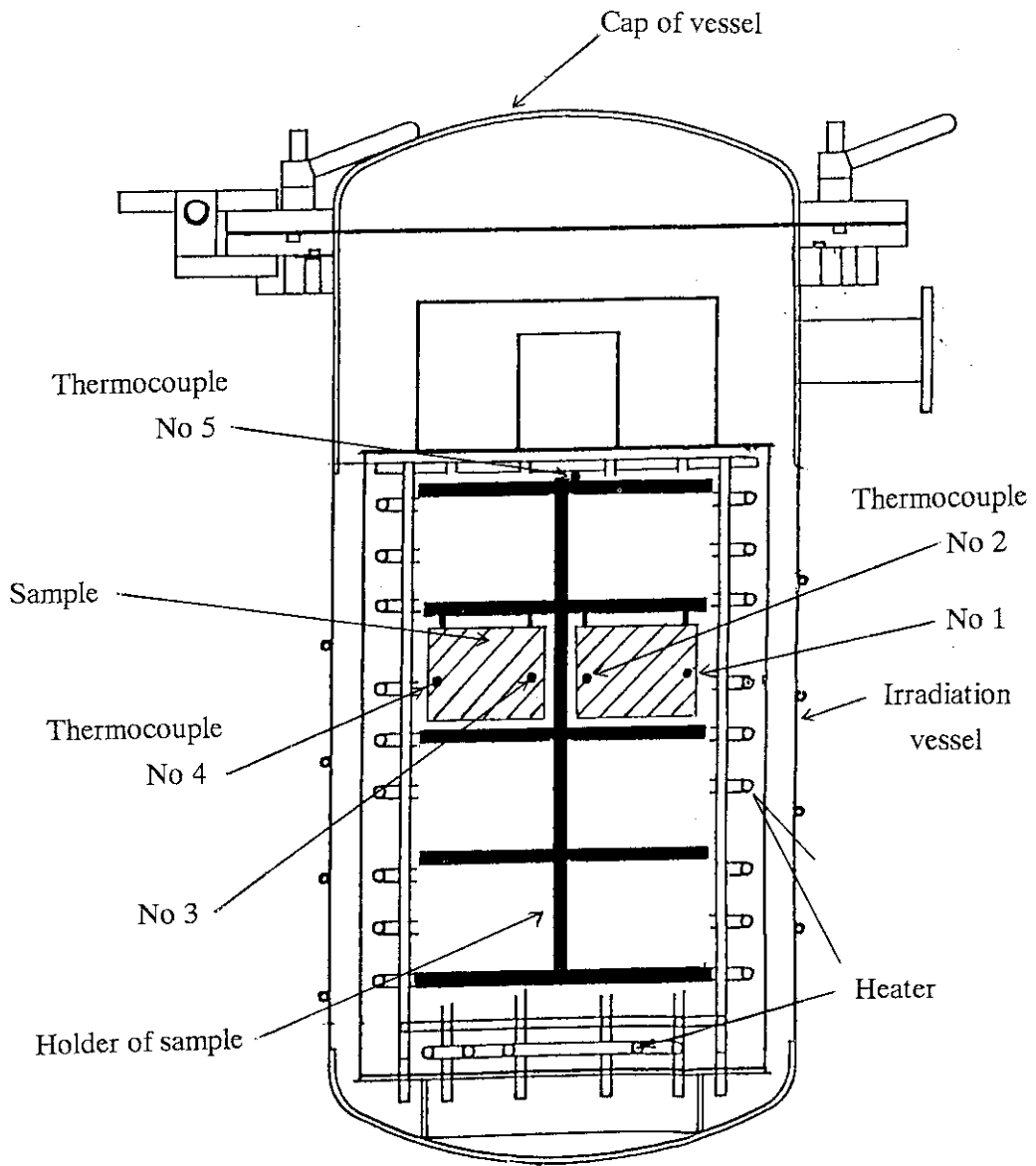


Fig.12 Position of thermocouples in irradiation vessel
(Traverse direction)

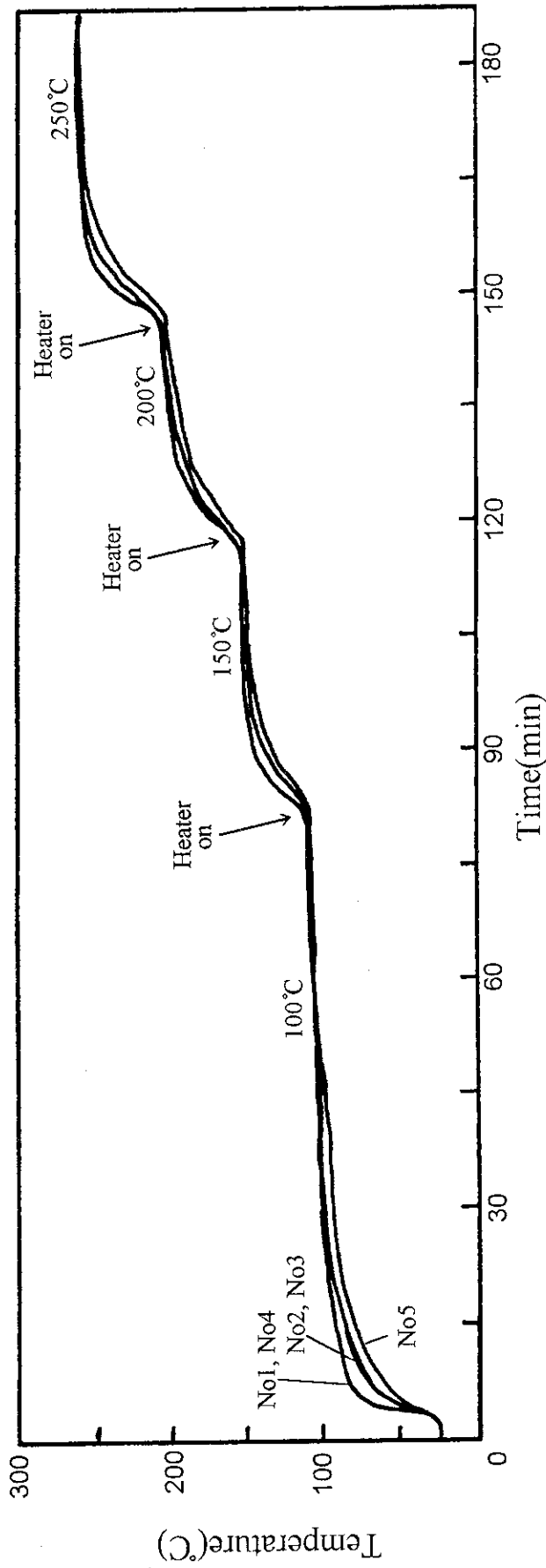


Fig.13 Temperature of traverse direction in irradiation vessel
(In dry nitrogen gas stream)

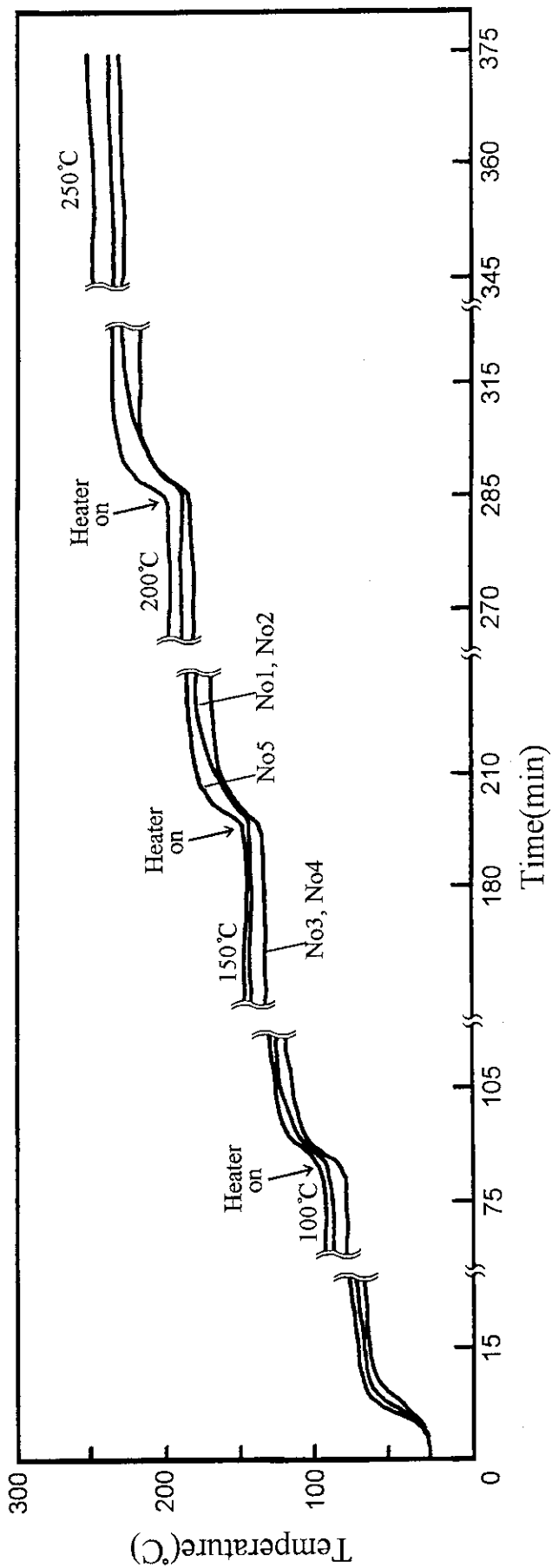


Fig.14 Temperature of vertical direction in irradiation vessel
(Under vacuum (10^{-4} torr))

4. 3 照射容器内の圧力

照射容器内の真空は約 1×10^{-2} torr でターボ分子ポンプ（大阪真空、TG200VA）を作動させてから、10分で 7×10^{-3} torr、90分で 1×10^{-5} torr となった。しかし、この真空計は照射室外の真空ポンプの近くに配置されているので、ポンプから離れた照射室内の容器内の真空度は異なっている可能性がある。そこで照射容器にピラニ真空計をつけて測定したところ照射室外の真空度 1.5×10^{-2} torr のとき容器内では 1.5×10^{-1} torr、同じく 7.0×10^{-3} torr のとき 1.1×10^{-3} torr であった。すなわち、照射容器内では約1桁真空度が落ちている。しかしながら、ガス置換のためや高分子材料の高い温度での真空中照射では 10^{-3} torr 程度の真空度で十分である。

減圧に関する本装置の問題点はフランジや配管の接続部に有機材料のOリングを用いていることである。照射時間が経過するにしたがって、このOリングが硬化し、収縮してガスが漏れるようになる。試料の出し入れに使用する上蓋を除き、今後はすべて銅のガスケットによるメタルシールかヘリコフレックスのシールとすべきである。また、照射容器と真空配管の間にベローを入れることも必要である。

5. ま と め

ITERの遠隔保守機器類の照射実験及びこれらの耐放射線性機器類の開発のための装置「核融合炉（ITER）用遠隔保守機器・部品照射試験装置」を製作した。これは遠隔保守機器類の電線・ケーブル、各種センサー及び材料、小型の機器類などを $100 \sim 350$ °C の温度下で高線量率の γ 線を照射できる装置である。製作にあたって、照射容器内の線量率の均一性、温度の均一性、高線量率照射及び各種雰囲気での照射を考慮した。最も重点を置いたのが線量率と温度の均一性であった。

完成後の装置の特性は予定の性能を有することが確認され、今後の高い温度での高分子材料の照射や照射下での核融合炉用機器類の特性評価に役立つことが期待される。

4. 3 照射容器内の圧力

照射容器内の真空は約 1×10^{-2} torr でターボ分子ポンプ（大阪真空、TG200VA）を作動させてから、10分で 7×10^{-3} torr、90分で 1×10^{-5} torr となった。しかし、この真空計は照射室外の真空ポンプの近くに配置されているので、ポンプから離れた照射室内の容器内の真空度は異なっている可能性がある。そこで照射容器にピラニ真空計をつけて測定したところ照射室外の真空度 1.5×10^{-2} torr のとき容器内では 1.5×10^{-1} torr、同じく 7.0×10^{-3} torr のとき 1.1×10^{-3} torr であった。すなわち、照射容器内では約1桁真空度が落ちている。しかしながら、ガス置換のためや高分子材料の高い温度での真空中照射では 10^{-3} torr 程度の真空度で十分である。

減圧に関する本装置の問題点はフランジや配管の接続部に有機材料のOリングを用いていることである。照射時間が経過するにしたがって、このOリングが硬化し、収縮してガスが漏れるようになる。試料の出し入れに使用する上蓋を除き、今後はすべて銅のガスケットによるメタルシールかヘリコフレックスのシールとすべきである。また、照射容器と真空配管の間にベローを入れることも必要である。

5. まとめ

ITERの遠隔保守機器類の照射実験及びこれらの耐放射線性機器類の開発のための装置「核融合炉（ITER）用遠隔保守機器・部品照射試験装置」を製作した。これは遠隔保守機器類の電線・ケーブル、各種センサー及び材料、小型の機器類などを $100 \sim 350$ °C の温度下で高線量率の γ 線を照射できる装置である。製作にあたって、照射容器内の線量率の均一性、温度の均一性、高線量率照射及び各種雰囲気での照射を考慮した。最も重点を置いたのが線量率と温度の均一性であった。

完成後の装置の特性は予定の性能を有することが確認され、今後の高い温度での高分子材料の照射や照射下での核融合炉用機器類の特性評価に役立つことが期待される。

4. 3 照射容器内の圧力

照射容器内の真空は約 1×10^{-2} torr でターボ分子ポンプ（大阪真空、TG200VA）を作動させてから、10分で 7×10^{-3} torr、90分で 1×10^{-5} torr となった。しかし、この真空計は照射室外の真空ポンプの近くに配置されているので、ポンプから離れた照射室内の容器内の真空度は異なっている可能性がある。そこで照射容器にピラニ真空計をつけて測定したところ照射室外の真空度 1.5×10^{-2} torr のとき容器内では 1.5×10^{-1} torr、同じく 7.0×10^{-3} torr のとき 1.1×10^{-3} torr であった。すなわち、照射容器内では約1桁真空度が落ちている。しかしながら、ガス置換のためや高分子材料の高い温度での真空中照射では 10^{-3} torr 程度の真空度で十分である。

減圧に関する本装置の問題点はフランジや配管の接続部に有機材料のOリングを用いていることである。照射時間が経過するにしたがって、このOリングが硬化し、収縮してガスが漏れるようになる。試料の出し入れに使用する上蓋を除き、今後はすべて銅のガスケットによるメタルシールかヘリコフレックスのシールとすべきである。また、照射容器と真空配管の間にベローを入れることも必要である。

5. ま と め

ITERの遠隔保守機器類の照射実験及びこれらの耐放射線性機器類の開発のための装置「核融合炉（ITER）用遠隔保守機器・部品照射試験装置」を製作した。これは遠隔保守機器類の電線・ケーブル、各種センサー及び材料、小型の機器類などを $100 \sim 350$ °C の温度下で高線量率のγ線を照射できる装置である。製作にあたって、照射容器内の線量率の均一性、温度の均一性、高線量率照射及び各種雰囲気での照射を考慮した。最も重点を置いたのが線量率と温度の均一性であった。

完成後の装置の特性は予定の性能を有することが確認され、今後の高い温度での高分子材料の照射や照射下での核融合炉用機器類の特性評価に役立つことが期待される。

謝 辞

本装置に関する線源の計算、組立、また、電離箱による線量測定に際し、高崎研究所、照射施設管理課、金沢孝夫、金子広久、羽田徳之の各氏にご協力を頂いた。また、アラニン線量計による照射容器内外の線量測定を(財)放射線照射振興協会の横尾典子氏にお願いした。ここに謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) T.Honda et al., "ITER Assembly and Maintenance". ITER Documentation Series, No.34, IAEA, 1991
- 2) 近藤 光昇 他、「ITER炉内コンポーネントの遠隔保守修理機器の設計と試作開発」、JAERI-M 93-066(1993)
- 3) 矢作 吉之助(編) 「原子力施設における光ファイバ利用の現状と今後の展望」 日本原子力学会誌 Vol 27, No.9, pp768(1985)
- 4) 森田 洋右 他、「ポリイミドの大線量 γ 線照射効果」 電気学会絶縁材料研究会資料 EIM-88-129(1988)
- 5) T.Sasuga et al., Polymer, Vol 26, July, p1045(1985)
- 6) T.Sasuga, ibid., Vol 32, No.9, p1539(1991)
- 7) ITER JCT Communication "Specification for Irradiation of Standard Components for Remote Handling System" April 24 1994

謝 辞

本装置に関する線源の計算、組立、また、電離箱による線量測定に際し、高崎研究所、照射施設管理課、金沢孝夫、金子広久、羽田徳之の各氏にご協力を頂いた。また、アラニン線量計による照射容器内外の線量測定を(財)放射線照射振興協会の横尾典子氏にお願いした。ここに謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) T.Honda et al., "ITER Assembly and Maintenance". ITER Documentation Series, No.34, IAEA, 1991
- 2) 近藤 光昇 他、「ITER炉内コンポーネントの遠隔保守修理機器の設計と試作開発」、JAERI-M 93-066(1993)
- 3) 矢作 吉之助(編) 「原子力施設における光ファイバ利用の現状と今後の展望」 日本原子力学会誌 Vol 27, No.9, pp768(1985)
- 4) 森田 洋右 他、「ポリイミドの大線量 γ 線照射効果」 電気学会絶縁材料研究会資料 EIM-88-129(1988)
- 5) T.Sasuga et al., Polymer, Vol 26, July, p1045(1985)
- 6) T.Sasuga, ibid., Vol 32, No.9, p1539(1991)
- 7) ITER JCT Communication "Specification for Irradiation of Standard Components for Remote Handling System" April 24 1994