

J A E R I - M
89-043

インパイル・ループOWL-2と照射試験

1989年3月

池島 義昭・河野 政勝・渡辺 浩之
鈴木 忍・佐藤 均・田中 勲

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

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, 1989

編集兼発行　　日本原子力研究所
印　　刷　　日青工業株式会社

インパイル・ループOWL-2と照射試験

日本原子力研究所大洗研究所材料試験炉部

池島 義昭・河野 政勝・渡辺 浩之

鈴木 忍・佐藤 均・田中 黙

(1989年3月17日受理)

OWL-2は、我が国最大規模のインパイル・ループとして1972年2月JMT-Rに設置されて以来、各種の動力炉用燃料・材料試料の照射試験及び炉工学的試験に使用されてきたが、所期の目的を達成したため廃止することになっている。

廃止した後には、JMT-R性能向上計画の一環として軽水炉の高度化及び核融合炉の開発研究を進めて行くうえで必要な新ループの設置を予定している。

本報告は、インパイル・ループとして設計上考慮した点を中心に、廃止に至るまでの経緯と照射試験、ターピン型流量計の開発、炉内管構造材のサーベランステストの結果及び炉内管で経験したTGSCCとその対策などについてまとめたものである。

In-pile Loop OWL-2 and Irradiation Tests Done with It

Yoshiaki IKESHIMA, Masakatsu KAWANO, Hiroyuki WATANABE
Shinobu SUZUKI, Hitoshi SATO and Isao TANAKA

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

(Received March 17, 1989)

The OWL-2 which was built in the JMTR as the biggest water loop in Japan has been operating for irradiation service since February 1972. The desired objective of the OWL-2, contributing to the development of various nuclear fuels and materials for the light water power reactor and to reactor engineering, has been so fully achieved that the OWL-2 is planned to be dismantled.

After the dismantling, a loop, needed for the improvement of the light water reactor as a part of the JMTR capability improvement program and for the research and development of fusion reactors, is going to be installed in place of the OWL-2 in the JMTR.

This paper deals with the history of the OWL-2 with an emphasis on the technical affairs taken into consideration when designing the OWL-2, the irradiation tests, development of the turbine flow meters, results of the surveillance test of the material of the in-reactor tube, the knowledge gained in the course of the investigation into the cause of TGSCC which developed in the wall of the in-reactor tube, and the countermeasures taken to prevent TGSCC from recurring.

Keywords: JMTR, OWL-2, In-pile Loop, Surveillance Test, SCC

目 次

1. まえがき	1
2. OWL-2 照射設備	1
2.1 OWL-2 の概要	1
2.2 OWL-2 の構成	2
2.3 OWL-2 の照射運転	5
2.4 OWL-2 の照射試験	5
3. 照射試験の成果	6
3.1 プロセス計装用タービン型流量計	6
3.2 OWL-2 炉内管のサーベランステスト	7
3.3 OWL-2 炉内管の亀裂発生と TGSCC 防止対策	8
4. あとがき	9
謝 辞	10
参考文献	11

Contents

1. Introduction	1
2. OWL-2 Irradiation Facility	1
2.1 Description of OWL-2	1
2.2 Description of System	2
2.3 Operation of OWL-2	5
2.4 Irradiation Tests Conducted with OWL-2	5
3. Results Gained from Irradiation Tests with OWL-2	6
3.1 Development of Turbine Flow Meter for Flow Control	6
3.2 Surveillance Test of Material of In-reactor Tube	7
3.3 Occurrence of Break in In-pile Tube and Preventive measures against TGSCC	8
4. Summary and Conclusions	9
Acknowledgement	10
References	11

1. まえがき

JMTRは、軽水減速・冷却タンク型で熱出力50MWの材料試験炉である。JMTRには、現在インパイル・ループとして、OWL-2（大洗水ループ2号）と、高温ガス炉条件で被覆粒子燃料、耐熱材料などの照射試験を目的としたガスループOGL-1（大洗ガスループ1号）の2つがある。^{1),2)}

OWL-2は、1972年2月に動力炉国産化技術の確立と発展に寄与するため設置されたもので、各種の動力炉用燃料・材料試料（以下「照射試料」という。）の照射試験、及び炉工学的試験に使用してきた。

一方、JMTRでは、性能向上計画の一環として軽水炉の高度化に向けての試験研究、及び核融合炉用増殖ブランケットの技術開発に関する照射試験などを目的とした新ループの設置が計画されているので、所期の成果が得られたOWL-2を廃止して、照射スペースの有効利用を図ることにする。^{3),4)} JMTRの炉内配置図をFig.1.1、炉心部写真をPhoto. 1.1に示す。

2. OWL-2 照射設備

2.1 OWL-2 の概要

OWL-2は、OWL-0（大洗水ループ0号、炉外試験用テストループ）、OWL-1（大洗水ループ1号）などの製作経験を参考に、PWR、BWR、ATR用燃料集合体の照射試験ができる大型水ループとして、1968年に設計が開始された。その後、1969年1月に設置変更許可を得て製作を開始し、1972年2月に最終の使用前検査に合格、同年6月から照射試験を開始した。

しかし、1983年3月に炉内管は、貫粒型応力腐食割れ（TGSCC；Transgranular Stress Corrosion Cracking）を起こしたため、再発防止対策を講じた新炉内管と交換し、1986年11月から照射試験を再開している。⁵⁾

OWL-2は、原子炉冷却系とは別に、独立の冷却系を備えた高温・高圧の水ループであり、次の試験を主な目的としている。OWL-2の設置経緯をTable 2.1に、主要性能をTable 2.2に示す。

- (1) 各種のPWR、BWR、ATR用燃料・材料の照射試験
- (2) 同上燃料・材料の両立性試験、冷却材による腐食試験
- (3) 燃料要素アッセンブリーの熱・水力学的試験
- (4) 燃料要素の高熱定格照射実験、限界熱流束照射実験
- (5) 各種の破損燃料試験

1. まえがき

J M T R は、軽水減速・冷却タンク型で熱出力50MWの材料試験炉である。J M T R には、現在インパイル・ループとして、OWL-2（大洗水ループ2号）と、高温ガス炉条件で被覆粒子燃料、耐熱材料などの照射試験を目的としたガスループOGL-1（大洗ガスループ1号）の2つがある。^{1),2)}

OWL-2は、1972年2月に動力炉国産化技術の確立と発展に寄与するため設置されたもので、各種の動力炉用燃料・材料試料（以下「照射試料」という。）の照射試験、及び炉工学的試験に使用してきた。

一方、J M T R では、性能向上計画の一環として軽水炉の高度化に向けての試験研究、及び核融合炉用増殖ブランケットの技術開発に関する照射試験などを目的とした新ループの設置が計画されているので、所期の成果が得られたOWL-2を廃止して、照射スペースの有効利用を図ることにする。^{3),4)} J M T R の炉内配置図をFig. 1.1、炉心部写真をPhoto. 1.1に示す。

2. OWL-2 照射設備

2.1 OWL-2 の概要

OWL-2は、OWL-0（大洗水ループ0号、炉外試験用テストループ）、OWL-1（大洗水ループ1号）などの製作経験を参考に、PWR、BWR、ATR用燃料集合体の照射試験ができる大型水ループとして、1968年に設計が開始された。その後、1969年1月に設置変更許可を得て製作を開始し、1972年2月に最終の使用前検査に合格、同年6月から照射試験を開始した。

しかし、1983年3月に炉内管は、貫粒型応力腐食割れ（TGSCC；Transgranular Stress Corrosion Cracking）を起こしたため、再発防止対策を講じた新炉内管と交換し、1986年11月から照射試験を再開している。⁵⁾

OWL-2は、原子炉冷却系とは別に、独立の冷却系を備えた高温・高圧の水ループであり、次の試験を主な目的としている。OWL-2の設置経緯をTable 2.1に、主要性能をTable 2.2に示す。

- (1) 各種のPWR、BWR、ATR用燃料・材料の照射試験
- (2) 同上燃料・材料の両立性試験、冷却材による腐食試験
- (3) 燃料要素アッセンブリーの熱・水力学的試験
- (4) 燃料要素の高熱定格照射実験、限界熱流束照射実験
- (5) 各種の破損燃料試験

2.2 OWL-2 の構成

OWL-2 は Fig. 2.1 のフローシートに示すとおり、大別して一次系、二次系、給水系、補助系、計測制御安全系、ループキューピクルなどから構成されている。

(1) 一次系

一次系は、炉内部分と炉外部分に分けられる。炉内部分は、照射試料を中性子照射するためには、原子炉圧力容器内に設けられた部分である。一方、炉外部分は、炉内部分に接続して、冷却水の循環閉回路を構成する部分である。

イ. 炉内部分

炉内部分は Fig. 2.2 に示すとおり、炉内管、炉内管を保持するための炉心周辺要素、炉内管を固定するための支持金具、炉内部分を炉外部分に接続するための出・入口枝管などからなる。

炉内管は、耐圧管と外套管の二重管構造からなる貫通型、公称外径 6 in、全長約 11 m の直管であり、原子炉圧力容器の上蓋、炉心格子位置 K・L-3・4 及び同容器の下蓋を貫通している。

耐圧管と外套管の間隙には、熱伝導率の小さい窒素ガスを加圧・充填することにより、高温となる耐圧管と原子炉一次冷却水（同温度；最高 50°C）との熱的絶縁を図っている。また、耐圧管と外套管の温度差から生ずる伸びの調整は、耐圧強度を有するベローズによって行っている。

照射試料は、炉内管上部のトップクロージャからハンガーロッドの先端に取り付けた状態で炉内テストセクション位置まで挿入し、照射試験が行われる。炉内テストセクション部の寸法は、ATR 用燃料集合体が挿入できるように、耐圧管内径 117.8 ± 0.3 mm、有効長さ 1100 mm となっている。

照射試験中の試料各部の温度などの計測は、トップクロージャのコナックスシールを介して引き出した計測線を使って行われる。OWL-2 炉内管の詳細図を Fig. 2.3 に、照射試料組立図の一例を Fig. 2.4 に示す。

炉内部分の主な仕様を以下に示す。

設計圧力； 8.7 MPa (88 kg/cm²G)

設計温度； 300 °C

適用規格；「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準（通商産業省告示第 501 号）」

ASME Boiler and Vessel Code Section VIII, 1968

主要材料；オーステナイト系ステンレス鋼（以下「SUS 316, SUS 316 NG」という。）

ロ. 炉外部分

炉外部分は主循環系、蒸気系、圧力調節系、主冷却系、精製系などからなる。

2 基の主循環ポンプから吐出されたサブクール温度（コンデンサー圧力に相当する一次冷却水の飽和温度とポンプ入口温度との差）10~30°C の一次冷却水は、流量調節弁によって所定流量に調節された後、炉内テストセクション内を上向きに流れ照射試料などの熱除去を行い、再び主循環ポンプの入口側に戻る閉回路を循環する。

一次冷却水の加熱は、照射試料などからの核発熱、主循環ポンプの運転に伴なって発生する熱に加えて、補助サージタンクヒータ（漬浸式）と一次補助ヒータ（外熱式）によって行われる。

主冷却系温度は、高温となった一次冷却水の一部をミキサ（MX 101）を介して主冷却系に流すことにより、200 °Cとなるように制御されている。

主循環系を流れる一次冷却水の温度は、主冷却系流量の一部をミキサ（MX 103）を介して主循環系に戻すことによって、炉内部分入口温度が運転条件となるように調節されている。なお、この炉内部分入口温度と照射試料との温度差は1 °C以内と小さいので、炉内部分入口温度を運転条件と見做すことができる。

一次系の加圧は、補助サージタンク内に発生する蒸気圧を利用して行われる。一次系の圧力調節は、補助サージタンクと連結しているコンデンサー内に、主冷却系から分流した冷却水をスプレーすることによって蒸気圧を調節して行われる。

一次冷却水の流路はFig. 2.5に示すとおり、運転方法によって異なる。加圧水型の場合は、炉内部分からセパレータへ流れる流路を閉じ、主循環ポンプの吸込側に戻る流路となっている。

一方、沸騰水型の場合には、炉内テストセクション部で二相流状態（蒸気含有率；最大20%）となった一次冷却水の大半がセパレータに流れ、飽和水と蒸気に分離される。分離された蒸気は、コンデンサー内に入り凝縮された後、再び飽和水となって主循環ポンプの吸込側に戻る流路となっている。

一次冷却水の流量計測は、主循環ポンプ吐出側に取り付けた2種類の計量計（オリフィス型、プロセス用タービン型）によって行われる。（プロセス用タービン型流量計の詳細については3.1節で述べる。）

このほかインパイル・ループ特有の問題として、一次冷却水中には不溶解性腐食生成物（以下「クラッド」という。）が浮遊し、水質の低下を起こすため、冷却水流量の約1.5%を精製系にバイパスしてイオン交換をすることにより、水質の維持を図っている。

炉外部分の主な仕様を以下に示す。

設計圧力； 11.4 MPa (115 kg/cm²G)

設計温度； 320 °C

最大流量； 1100 kg/min

水 質；電気伝導度：0.36 μs/cm以下、pH：約7、溶存酸素濃度：約50 ppb以下
適用規格；「第1種圧力容器構造規格」

主要材料； SUS 316

(2) 二次系

二次系は、一次系の発熱を除去するための閉回路循環系であり、主循環系、圧力調節系、冷却系、精製系などからなる。

二次系の冷却水は、2基の循環ポンプにより吐出された後、オリフィス型流量計及び流量調節弁によって、常時700 kg/minの流量に制御されている。循環中の二次冷却水は、二次主冷却器を介してUCL系によって冷却が行われ、100 °Cに制御されている。

二次系の圧力は、二次サージタンクヒータ（外熱式）をON-OFFする2位置制御方式によって、同タンク内に発生する蒸気圧を調節して、圧力1.9 MPa (18 kg/cm²G)に制御されている。

また、水質の管理は、一次系と同様に二次系流量の約1.5%を精製系にバイパスして、イオン交換をすることにより行っている。

二次系の主な仕様を以下に示す。

設計圧力；3.0 MPa (30 kg/cm²G)

設計温度；220 °C

最大流量；1000 kg/min

水 質；電気伝導度：0.30 ~ 0.36 μs/cm以下, pH：約7

適用規格；「第1種圧力容器構造規格」

主要材料；SUS 316

(3) 補助系

補助系は、給水系及びその他の系からなる。給水系は、運転前及び運転中に必要に応じて、一次系、二次系に脱イオン水を供給する系である。その他の系には、一次系の排気、排水を収容する排水タンク、OWL-2運転中に試料水を採取するとき使用するサンプリング・ボックスなどがある。

(4) 計測制御安全系

計測制御安全系は、OWL-2を安全、確実、容易にして、かつ総合的な運転管理ができるように集中制御方式を採用している。したがって、OWL-2の運転操作に必要なプロセス計装からの信号は、すべてこの制御盤に集められ、一括して運転状態の監視と制御が行われる。

運転中に異常事態が発生した場合には、事態に応じて直ちに制御盤に警報が発せられるが、軽度なものは運転員の手動操作により回復できるようになっている。さらに、異常事態が進行した場合には、主要プロセスからの異常信号によって一連のインターロックが作動し、自動的にOWL-2がクールダウンするなど安全な方向に措置される。

インターロックの作動信号は、異常事態の程度に応じて次の4段階に分かれている。インターロックの一覧表をTable 2.3に示す。

イ. アラーム（第1動作）；異常事態が発生した場合は、制御盤のブザー及びランプ表示により、異常箇所とその原因を運転員に知らせる。

ロ. ループクールダウン（第2動作）；異常事態が進行した場合は、自動的にループクールダウンのインターロックが作動して、OWL-2の安全を確保する。

ハ. 炉セットバック（第3動作）；異常事態がさらに進行した場合は、ループクールダウンと同様にインターロックが作動して、炉セットバック信号により原子炉の出力を低下させる。

ニ. 炉スロースクラム（第4動作）；さらに異常事態が進行した場合、炉スロースクラム信号により原子炉を自動的に停止させる。

なお、原子炉の停止に関連するインターロック「炉セットバック」と「炉スロースクラム」に関するプロセス計装回路は、検出端から発信器間を「2.out of 3方式」として、仮に1

回路が故障しても他の2回路が正常な場合には、原子炉を停止しないようにしている。

さらに、OWL-2運転中の警報設定器及び調節計などの故障に備えて、プロセス計装回路ごとにバイパス・スイッチを設けて、運転中にも交換できるようになっている。OWL-2の制御盤をPhoto.2.1に示す。

(5) ループキューピクル

炉外部分は、原子炉運転中にOWL-2一次冷却水のクラッドが速中性子($E > 1 \text{ MeV}$)の照射を受け生成する ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co などの放射性核種によって、表面線量率が高くなる。このため、炉外部分は厚さ1mの重コンクリートで囲ったループキューピクル内に収めて、ループキューピクル外壁の表面線量率が $7.2 \times 10^{-10} \text{ C/kg.s}$ (10 mR/h)以下となるように放射線遮蔽を行っている。

ループキューピクルは、外壁を有害な放射性物質が漏れ出さないように気密構造にするとともに、その内部を常時 $4.8 \times 10 \text{ Pa}$ ($5 \text{ mmH}_2\text{O}$)以上の負圧に維持している。

2.3 OWL-2の照射運転

OWL-2の照射運転は、JMTTRの運転工程に合わせて行われる。JMTTRの運転工程は、年間5サイクルを原則としている。1サイクルの標準的運転パターンはFig.2.6に示すとおり、前・後半サイクルとも約12日として、途中に2日間の燃料交換のための中間炉停止期間が設けられている。

照射運転中、炉内管構造材及び照射試料は、原子炉からの γ 線照射を受けて発熱する。このため、原子炉起動の際は、OWL-2を予め加圧水型の準定常状態とすることにより、一次冷却水の核沸騰を抑え、原子炉核計装への悪影響がないようにしている。また、原子炉停止の際は、原子炉を完全に停止した後、OWL-2の降温・降圧を行う方式をとっている。

2.4 OWL-2の照射試験

照射試験は、JMTTRの第13サイクル運転での性能試験を含めて1989年4月までに、炉内テストセクション部で9体、炉外テストセクション部で13体の照射試料について行われてきた。

炉心領域にあたる炉内テストセクション部では、原子炉圧力容器構造材の照射脆化試験、ART用短尺燃料集合体試料による核的・構造的挙動試験などが行われてきたが、現在出力急昇試験用燃料試料のベース照射が行われている。⁶⁾

炉内部分以外の一次系配管に設けられた炉外テストセクション部では、原子炉圧力容器構造材として使用されているSUS 304, SUS 316, 及び耐熱材として使用されているインコネル-600へのクラッドの付着機構の究明、腐食挙動試験などが行われてきた。^{7), 8)} 炉内テストセクション部で行われた照射試験の内容をTable.2.4に示す。

3. 照射試験の成果

OWL-2 の照射試験から得られた多くの成果の中から、代表的な次の 3 件についてその要旨を紹介する。照射試験の成果一覧を Table 3.1 に示す。

3.1 プロセス計装用タービン型流量計

(1) 概 要

OWL-2 の運転方式には、加圧水型と沸騰水型がある。一次冷却水流量（質量流量）は、運転方式によって 50 ~ 1100 kg/min の範囲で変更されるが、流量測定は照射試験の結果を解析するうえから高い精度が要求される。

OWL-2 の場合、50 ~ 400 kg/min の低流量域はプロセス計装用タービン型流量計で、400 ~ 1100 kg/min の高流量域はオリフィス型流量計で測定している。

プロセス計装用タービン型流量計は、測定範囲が狭いが、単相流、二相流の双方について測定できる特徴をもっているうえ小型であるため、動力炉用燃料安全性研究における炉内計装用として使用されている。

(2) プロセス計装用タービン型流量計の概要と改良⁹⁾

プロセス計装用タービン型流量計（以下「プロセス計装用流量計」という。）は、羽根（フロントサポート、リアサポート）、シャフト、ベアリング、ロータなどの回転部分と、流量信号を検出するピックアップ、アンプユニットなどから構成される。

メータボディに入った一次冷却水は、フロントサポート部で流れが整えられた後、ロータを回転させながらリアサポート側に流れる。

ロータの周囲には、メータボディを隔ててピック・オフ・コイルが取り付けられており、ロータの回転数をパルス状の電気信号として検出し、メータボディーを通過する一次冷却水流量に換算している。

プロセス計装用流量計の使用初期には、ベアリングの故障が頻発した。この原因は、プロセス計装用流量計の検出端部が一次冷却水に漬浸する方式であったため、クラッドなどが回転部に浸透・付着して、ベアリングの潤滑性を損ねたものと考えられる。

この対策として、回転部構造の改良と使用材質の変更を行ったところ、回転部の著しい摩耗や使用中にロータが折損するなどの故障はなくなり、長期間の使用に耐え得るものとなった。

プロセス計装用流量計の系統図を Fig. 3.1 に、流量計の構造を Fig. 3.2 に示す。

(3) 炉内計装用タービン型流量計の設計・製作¹⁰⁾

OWL-1 炉内計装用タービン型流量計（以下「炉内計装用流量計」という。）は、プロセス計装用流量計の使用経験を参考に設計・製作したもので、照射試験中に照射試料部を流れる一次冷却水流量を直接に測定できるようにしたものである。

流量計の全体構造は、炉内テストセクション部の空間的制約などから、できるだけ小型化す

る必要があった。そのうえ、照射試験中は、常に原子炉からの速中性子 ($E > 1 \text{ MeV}$) を受けることから、ピック・オフ・コイルを含め計測線は耐放射線性に優れたものを使用した。炉内計装用流量計の構造を Fig. 3.3 に、プロセス計装用及び炉内計装用タービン型流量計の設計総元を Table. 3.2 に示す。

3.2 OWL-2 炉内管のサーベランステスト¹¹⁾

(1) サーベランステストの概要

JMTR に炉内管据え付けを計画した1971年当時は、オーステナイト系ステンレス鋼に関する高照射量での機械的データが不足していたため、当面の措置として炉内管の使用寿命は速中性子照射量 ($E > 1 \text{ MeV}$) で $1 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$ と定められた。

しかし、この値は、金属学的所見などから保守的な値と考えられたので、炉内管据え付けと同時に使用寿命検討のためのサーベランステストが計画され、サーベランステストの結果及び海外データなどから、さらに高照射量でも材料が劣化しないという確証が得られた場合には、炉内管の使用寿命を再検討することになっていた。

(2) サーベランステストの結果

サーベランステスト片は、炉内管構造材と同一素材 (SUS 316 TP) を使って衝撃試験片、引張試験片の二種類を準備した。

各試験片は、炉内管据え付け場所に比べて速中性子束 ($E > 1 \text{ MeV}$) が約 1 柄高い照射孔に挿入して、加速照射試験を実施した。

照射試験は速中性子照射量 ($E > 1 \text{ MeV}$) で $3.4 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$ まで行われ、次の結果が得られた。

イ. 引張強さは Fig. 3.4 に示すとおり、照射量の増加にしたがって増える。

ロ. 引張伸びの傾向は Fig. 3.5 に示すとおり、引張強さの傾向とは逆に照射量の増加にしたがって減少する。

残存伸びは、試験温度が室温の場合非照射材の40%，285 °Cの場合33%あることが明らかとなったが、この値は炉内管構造材と同材質であるSUS 316 TP の非照射材の伸び35%にはほぼ等しく、使用上十分に満足するものであった。

ハ. 衝撃値は、引張伸びの場合と同様に照射量の増加にしたがって減少する。

一方、海外においても速中性子照射量 ($E > 1 \text{ MeV}$) で $3.4 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$ を超えた照射事例が報告されている。たとえば、SUS 347 で $3.0 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$ ($E > 1 \text{ MeV}$) 照射した場合の残存伸びは、照射温度25°Cで35%，照射温度315 °Cで15%であった。ETR のループ炉内管 (SUS 347) は、 $7.2 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$ ($E > 1 \text{ MeV}$) 照射した場合の残存伸びが 10.3 % であった。

(3) 評価

サーベランステスト及び海外での照射事例を参考に強度、伸びなどについて検討した結果、OWL-2 炉内管の使用寿命は速中性子照射量 ($E > 1 \text{ MeV}$) で $3.4 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$ まで延長しても、その性能は十分維持されると判断した。したがって、OWL-2 炉内管の使用寿命を速

中性子照射量 ($E > 1 \text{ MeV}$) で $1.0 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$ から $3.0 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$ まで延長することにした。

3.3 OWL-2 廉内管の亀裂発生と TGSCC 防止対策

(1) まえがき

OWL-2 廉内管は、1983年3月に廉内管頂部の耐圧管に亀裂欠陥が発生したため、同廉内管を原子炉圧力容器内から引抜き、直ちに亀裂原因の究明を行った。

調査の結果、耐圧管内面の打ち疵部の孔食が起点となり、TGSCC に進展したことが明らかとなった。

(2) 亀裂発生箇所

亀裂発生箇所は Fig. 3.6 に示すとおり、グレイロック接続ピース（材質；SUS 316）と耐圧管ティ（材質；SUS 316 TP）との溶接部及びその近傍であった。

OWL-2 は、1972年6月照射試験を開始して以来、亀裂欠陥が発生した1983年3月まで約24,000時間の運転を行ってきた。この間、加圧水型あるいは沸騰水型で多少の運転条件の差はあるが、一次系は圧力 $7.0 \sim 7.3 \text{ MPa}$ ($70 \sim 73 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$)、同温度 $260 \sim 285^\circ\text{C}$ の範囲で運転が行われ、一次冷却水の水質は、電気伝導率 $0.30 \sim 0.36 \mu\text{s/cm}$ 、pH 約 7、溶存酸素濃度 50 ppb 以下に管理されてきた。

(3) 亀裂発生の原因調査

イ. 廉内管の製作履歴

亀裂発生箇所の使用素材は、JIS G 3459 SUS 316 TP を引抜成型法により成型後、溶体化処理を施したものである。溶接は TIG 溶接法により行い、溶接後の溶体化処理や応力除去のための熱処理などは行われていない。また、溶接部は非破壊試験により、健全性の確認を行っている。

ロ. 原因の調査と結果

原因の調査は、亀裂発生箇所から試験片を採取して、金属学的観察、非破壊試験、材料試験などを行った。試験検査の項目と結果を Table 3.3 に示す。

亀裂発生箇所付近の廉内管内面には、多数の打ち疵がみられ、疵部をさらに光学顕微鏡で観察したところ、疵を起点として大きな孔食が発生していた。

特に、溶接部近傍の孔食を起点とした亀裂は、3次元的に軸方向及び周方向に向かって分岐しながら延びており、一部は管壁を貫通していることが判った。さらに、亀裂破面を走査型電子顕微鏡で観察した結果、破面全体にわたって TGSCC の形態を示していることが明らかになった。

亀裂発生箇所は、原子炉圧力容器外に位置しており、原子炉運転中は速中性子 ($E > 1 \text{ MeV}$) による材料の照射脆化は受けないところであったが、フィン付流路変換ブロックがあるため、一次冷却水が滞留しやすい構造部となっていた。このため、亀裂発生箇所付近は、冷却水の循環によって溶存酸素濃度が低減されにくく、万一冷却水中に塩素イオンが混入した場合、局部濃縮による孔食などが起きやすい環境にあったものと推定される。

その結果として、打ち疵部に孔食が発生し、さらに応力の集中しやすい孔食の底部に TG

SCCによる亀裂が起り、OWL-2運転に伴う変動応力と製作時の溶接による残留応力によって、亀裂が徐々に成長して外面まで貫通したものと考えられる(Fig.2.3参照)。

(4) TGSCC防止対策¹²⁾

炉内管の亀裂発生原因是、沸騰水型原子炉のオーステナイト系ステンレス鋼で一般的に起きている粒界型応力腐食割れ(IGSCC; Intergranular Stress Corrosion Cracking)と異なり、孔食を起点としたTGSCCであった。

オーステナイト系ステンレス鋼に起きるTGSCCは、材料の鋭敏化(必要条件ではないが加速要因となる。),引張応力,溶存酸素・温度などの環境条件が同時に一定レベルを超えた時に発生すると言われている。

この一般的な知見に加え、炉内管の亀裂発生原因の調査結果を加味して、新炉内管では次の防止対策を講じた。

- イ. 使用材料は、オーステナイト系ステンレス鋼管JIS G 3459 SUS 316 TP S-C(1978)とし、可能な限り炭素含有量の低減化を図った(C=0.01~0.015%, SUS 316 NG相当品)¹³⁾。
- ロ. グレーロック接続ピースの溶接に当たっては、残留応力の改善を図る目的で開発されたTHS I溶接施行技術(THSI; TIG-Torch Heating Stress Improvement)¹⁴⁾を採用した。
- ハ. OWL-2へ補給する冷却水は、水質監視計を設置して連続監視を行うことにした。
- ニ. 耐圧管内面の疵発生の防止対策としては、流路変換ブロックの形状変更と、試料挿入用治具の改良を行った。

(5) むすび

新炉内管は、適切なTGSCCの防止対策を講じて製作を行い、1986年夏期定期自主検査期間に炉心へ据え付け、同年11月から照射試験を再開した。

4. あとがき

非圧縮性の軽水を冷却材としたOWL-2は、運転中に圧力バウンダリィの損壊などにより圧力保持ができなくなると、高温・高圧の飽和水は急激に蒸気化し、体積膨張を起こすことになる。このため、OWL-2は設計段階からフェール・セーフの考えに基づき、安全運転の維持について周到な対策が講じられてきた。

特に、計測制御安全系においては、誤作動の防止対策、各種のインターロック機構などを設けることにより、安全性の向上に努めてきた。

運転管理の面では、圧力バウンダリィで熱応力が集中すると予想される箇所を重点とした供用期間中検査の徹底と、運転前には計測制御安全系、耐圧試験など事前に健全性の確認を実施した後、運転に入る方法を取ってきた。

このような配慮の結果、OWL-2は大きな異常故障もなく照射運転が行われ、多くの成果を得ることができたが、所期の目的を達成したため廃止する計画である。

SCCによる亀裂が起り、OWL-2運転に伴う変動応力と製作時の溶接による残留応力によって、亀裂が徐々に成長して外面まで貫通したものと考えられる(Fig.2.3参照)。

(4) TGSCC防止対策¹²⁾

炉内管の亀裂発生原因は、沸騰水型原子炉のオーステナイト系ステンレス鋼で一般的に起きている粒界型応力腐食割れ(IGSCC; Intergranular Stress Corrosion Cracking)と異なり、孔食を起点としたTGSCCであった。

オーステナイト系ステンレス鋼に起きるTGSCCは、材料の鋭敏化(必要条件ではないが加速要因となる。),引張応力,溶存酸素・温度などの環境条件が同時に一定レベルを超えた時に発生すると言われている。

この一般的な知見に加え、炉内管の亀裂発生原因の調査結果を加味して、新炉内管では次の防止対策を講じた。

イ. 使用材料は、オーステナイト系ステンレス鋼管JIS G 3459 SUS 316 TP SC(1978)とし、可能な限り炭素含有量の低減化を図った(C=0.01~0.015%, SUS 316 NG相当品)¹³⁾。

ロ. グレーロック接続ピースの溶接に当たっては、残留応力の改善を図る目的で開発されたTHS I溶接施行技術(THS I; TIG-Torch Heating Stress Improvement)を採用した。¹⁴⁾

ハ. OWL-2へ補給する冷却水は、水質監視計を設置して連続監視を行うことにした。

ニ. 耐圧管内面の疵発生の防止対策としては、流路変換ブロックの形状変更と、試料挿入用治具の改良を行った。

(5) むすび

新炉内管は、適切なTGSCCの防止対策を講じて製作を行い、1986年夏期定期自主検査期間に炉心へ据え付け、同年11月から照射試験を再開した。

4. あとがき

非圧縮性の軽水を冷却材としたOWL-2は、運転中に圧力バウンダリィの損壊などにより圧力保持ができなくなると、高温・高圧の飽和水は急激に蒸気化し、体積膨張を起こすことになる。このため、OWL-2は設計段階からフェール・セーフの考えに基づき、安全運転の維持について周到な対策が講じられてきた。

特に、計測制御安全系においては、誤作動の防止対策、各種のインターロック機構などを設けることにより、安全性の向上に努めてきた。

運転管理の面では、圧力バウンダリィで熱応力が集中すると予想される箇所を重点とした供用期間中検査の徹底と、運転前には計測制御安全系、耐圧試験など事前に健全性の確認を実施した後、運転に入る方法を取ってきた。

このような配慮の結果、OWL-2は大きな異常故障もなく照射運転が行われ、多くの成果を得ることができたが、所期の目的を達成したため廃止する計画である。

OWL-2の廃止計画は、Table 4.1に示すとおり、炉内部分と炉外部分とに分けて段階的に行っていくこととする。

炉内部分の撤去作業は、1983年に亀裂発生した炉内管の交換作業で経験はあるが、OWL-2炉内管は貫通型であるため、作業中の原子炉一次冷却水の漏水防止などに細心の注意を払って実施する必要がある。

炉外部分は、長年にわたっての照射試験によって配管、機器内面に約1Ciのクラッドが付着しているものと予想されている。さらに、この炉外部分の撤去作業期間は、約1ヶ年を予定しており、一部は原子炉運転中にも併行して実施することとなるため、原子炉運転及び作業環境を考慮した撤去方法の採用について充分な検討が必要である。

今後J M T Rにおいては、設備の老朽化や更新に伴って大型機器の解体・撤去などが予想されることから、廃棄物の保管・廃棄方針を明確にし対処していく必要がある。

本報告は、OWL-2の設置から廃止に至るまでの概要と、照射試験の成果の一部を紹介したが、インパイル・ループを理解するうえでの一助になれば幸いである。

謝 辞

OWL-2の設置にあたり、御尽力をいただいた野村末雄氏（現；核物質管理センター保障措置分析所理事）、伊丹宏治氏（現；実用燃料試験室長）、青山功氏（現；研究炉利用課長）、伊藤昇氏（現；高温工学試験研究炉設計室課長代理）、坪長氏（現；研究炉開発室課長代理）をはじめとする関係諸氏に深く感謝の意を表します。

また、その後の運転・管理にあたっては、照射第2課、J M T R 関係課室、放射線管理課、廃棄物処理課をはじめとする多くの関係課室員のご協力をいただいたので、重ねて感謝の意を表します。

OWL-2の廃止計画は、Table 4.1 に示すとおり、炉内部分と炉外部分とに分けて段階的に行っていくこととする。

炉内部分の撤去作業は、1983年に亀裂発生した炉内管の交換作業で経験はあるが、OWL-2 炉内管は貫通型であるため、作業中の原子炉一次冷却水の漏水防止などに細心の注意を払って実施する必要がある。

炉外部分は、長年にわたっての照射試験によって配管、機器内面に約 1 Ci のクラッドが付着しているものと予想されている。さらに、この炉外部分の撤去作業期間は、約 1 ケ年を予定しており、一部は原子炉運転中にも併行して実施することとなるため、原子炉運転及び作業環境を考慮した撤去方法の採用について充分な検討が必要である。

今後 J M T Rにおいては、設備の老朽化や更新に伴って大型機器の解体・撤去などが予想されることから、廃棄物の保管・廃棄方針を明確にし対処していく必要がある。

本報告は、OWL-2 の設置から廃止に至るまでの概要と、照射試験の成果の一部を紹介したが、インパイル・ループを理解するうえでの一助になれば幸いである。

謝 辞

OWL-2 の設置にあたり、御尽力をいただいた野村末雄氏（現；核物質管理センター保障措置分析所理事）、伊丹宏治氏（現；実用燃料試験室長）、青山 功氏（現；研究炉利用課長）、伊藤昇氏（現；高温工学試験研究炉設計室課長代理）、坪長氏（現；研究炉開発室課長代理）をはじめとする関係諸氏に深く感謝の意を表します。

また、その後の運転・管理にあたっては、照射第 2 課、J M T R 関係課室、放射線管理課、廃棄物処理課をはじめとする多くの関係課室員のご協力をいただいたので、重ねて感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) Hirokatsu NAKATA, et al., "VHTR FUEL IRRADIATION TESTS BY THE GAS LOOP, OGL-1 AT JMTR" JAERI-M86-068, Apr. 1986
- 2) Hirokatsu NAKATA, et al., "IRRADIATION FACILITIES IN JMTR" JAERI-M82-119, Sep. 1982
- 3) 炉内腐食試験装置検討ワーキング・グループ "炉内腐食試験装置の検討" 未公開資料, Jul. 1988
- 4) 島川聰司, 他 "核融合炉増殖ブランケット試験体の核特性に関する予備解析, (JMTR / OWL - 2 試験)" JAERI-M87-036, Mar. 1987
- 5) 飯村勝道, 他 "OWL - 2 炉内管亀裂の発生原因に関する調査報告" 未公開資料, Feb. 1986
- 6) 伊藤 昇, 他 "JMTR ループ照射試料・I (OWL - 2)" 未公開資料, Sep. 1981
- 7) 井上 正, 他 "放射能蓄積抑制と除染, その1, 高温・高圧ループ配管における化学除染前後の放射性クラッドの解析" 電力中央研究所報告, 280016, Dec. 1980
- 8) H. KANBE, et al., "Deposition of a Radiationactive Corrosion Product in a High-Pressure and High-Temperature Water Loop and its Decontamination" Nuclear Technology, Vol. 60
- 9) 米川 出, 他 "タービン流量計の開発・第2報 (OWL - 2 における炉外性能試験結果)" 未公開資料, Nov. 1979
- 10) 中島照夫, 他 "JMTR における燃料中心温度測定実験(1), 第1次燃料試料 (77LF-33J) の設計と製作" JAERI-M9600-041, Aug. 1981
- 11) 清水正垂, 他 "OWL - 2 炉内管のサーベランステスト" JAERI-M6667, Aug. 1976
- 12) 池島義昭, 他 "OWL - 2 炉内管の貫粒型応力腐食割れ対策 (THSI 溶接残留応力改善法の確性試験報告)" JAERI-M87-041, Mar. 1987
- 13) "Seminar On Countermeasures For BWR Pipe Cracking Palo Alto" California, Jan. 1980
- 14) 梅本忠宏, 他 "管の溶接残留応力の簡便な計算方法", IHI技報, 23, No. 6, 527, 1983

Table 2.1 OWL-2 の設置経緯

1969年	1月 OWL-2 設置変更許可申請 3月 OWL-2 製作契約 4月 OWL-2 設置変更認可
1970年	4月 ～ 炉内部分の据付工事
1972年	4月
1971年	9月 OWL-2 炉内管挿入 10月 OWL-2 一部変更（ブライン冷却装置の増設） 10～11月 炉外部分の性能試験 12月 性能試験用照射試料及び破損試料取扱容器の製作
1972年	1～2月 OWL-2 性能試験（第13Cgy、材料試料） 2月 OWL-2 使用前検査合格 3～4月 OWL-2 性能試験（第14Cgy、燃料試料）
1974年	8月 OWL-2 主循環ポンプの一部改修
1979年	7月 OWL-2 ストレーナの交換
1983年	5月 OWL-2 炉内部分耐圧管の止栓の製作
1984年	7月 インパイルループOWL-2 照射設備の一部更新 その1 (使用前検査) 12月 インパイルループOWL-2 照射設備の更新 (施設検査)
1986年	8月 OWL-2 炉内管挿入 11月 インパイルループOWL-2 照射設備炉内部分の更新 (施設検査) 12月 インパイルループOWL-2 照射設備の一部更新 その2 (使用前検査及び溶接検査)

Table 2.2 OWL-2 の主要性能

項 目		仕 様 ・ 性 能
炉 内 管 炉 心 位 置		K・L-3・4
熱中性子束	最 大	$5.4 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \text{ s}$
	平 均	$4.1 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \text{ s}$
速中性子束 (E>1MeV)	最 大	$5.5 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \text{ s}$
	平 均	$4.2 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \text{ s}$
γ 加熱率 (最大)		0.5 w/g
冷 却 水		輕 水
冷却材流量 (最大)		1100 kg/min
冷却材温度 (最大)		270°C (285°C)*
冷却材圧力 (最大)		7.3 MPa (73 kg/cm² G)
運 転 モ ー ド		加圧水型・沸騰水型
蒸気含有率 (最大)		20%
燃料発熱量 (最大)		850 kW
炉 心 部 有 効 寸 法		$\phi 117.8 \times 750 \ell$ (mm)

* 沸騰水型の場合

Table 2.3 インターロック一覧表

一次系項目	アラーム	炉内管入口ヒータ断	補助サージタンクヒータ断	蒸気過熱ヒータ断	補助サージタンクヒータ断	炉流内量部調分節弁	スプレーフローレギュレーター	一次精製系調節弁閉	補助サージタンク給水弁	補助サージタンク蒸気相弁	炉内管断熱層遮蔽弁閉	一次水ポンプ停止	循環ポンプ停止	炉セットバツク	炉スロースクラム
炉内部分入口流量低	①	②		②		②								③	④
炉内部分入口温度高	①	②													
炉内部分出口温度高	①	②		②		②								③	④
蒸気相流量低	①			②										②	
主循環ポンプNo.1,2シール液温度高	①													②	
補助ポンプNo.1,2シール液温度高	①													②	
補助サージタンク蒸気相出口流量低	①				②									③	④
コンデンサ圧力高	①	②		②										③	④
コンデンサ圧力低	①	②	②入	②			②開度小			②閉				③	④
一次サージタンク水位低	①	②		②									②入	③	④
一次サージタンク水位高	①												②断		
補助サージタンク水位低	①	②	②断	②					②開					③	
補助サージタンク水位高	①							②	②閉						
一次精製系IX入口温度高	①						②							③	
No.1 UCLヘッダー流量低	①	②		②				②						③	
圧空圧力低	①	②		②										③	④
補助サージタンク圧力低	①	②	②入	②										③	
補助サージタンク圧力高	①		②断											③	
二次系主流量低	①	②		②											③
補助サージタンク気液相温度差大	①		①断												
炉内管断熱層圧力高	①											①			
各部ヒータ温度高	①	①	①断	①	①									①	
主循環ポンプNo.1,2過負荷	①													①	
補助ポンプNo.1,2過負荷	①													①	
(C) 停電	①	①	①断	①	①										①
(D) 停電	①	①	①断	①	①										①

二次系項目	アラーム	二次サージタンク	二次側冷却節器弁	給気弁	二次給水泵停止
二次サージタンク圧力高	①	①断			
" " 低	①	②入			
二次サージタンク水位高	①			②断	
" " 低	①			②入	
二次サージタンクヒータ温度高	①	①断			
二次循環ポンプNo.1,2過負荷	①				①
" " シール液温度高	①				②
二次主冷却器出口温度高	①		②開		
キューピクル内外差圧低	①			①	
(C) 停電	①	①断			
(D) 停電	①	①断			

Table 2.4 OWL-2 照射試験一覧

試料名	試 料	照 射 条 件	サイクルNo	照 射 実 構	備 考
71LM-10J	模擬燃料棒 材質 : SUS304 外径 : 16.25φ	運転モード : Pモード 炉内管入口圧力 : 7.3 MPa(73kg/cm ² G) 炉内管入口温度 : 270°C	13		OWL-2 性能試験用試料 (材料試料)
71LF-9J	濃縮度 2%燃料棒 10本 " 5% " 4" " 10% " 13" 模擬燃料棒 1" 燃料 : UO ₂ ペレット 外径 : 16.25φ	運転モード : P & Bモード 炉内管入口圧力 : 7.0 MPa(70kg/cm ² G) 炉内管出口温度 : 285°C 蒸気含有率 : 8%(目標)	14 15	最大試料発熱量 400 kW 最高線出力 415 W/cm 燃料中心最高温度 1600°C	OWL-2 性能試験用試料 (燃料試料)
71LM-11A	引張試験片 51個 衝撃 " 170" 硬さ " 16" 腐食 " 6" WOL " 9" 材質 : ASTM-A533B	運転モード : Pモード 炉内管入力圧力 : 7.0 MPa(70kg/cm ² G) 炉内管入口温度 : 270°C	16		一般原子炉圧力容器材料 (材料試料)
70LF-8P-I	濃縮度 2%燃料棒 18本 " 5% " 18" 燃料 : UO ₂ ペレット 外径 : 14.72φ, 9.74φ 材料試料 引張試験片 48個 材質 : Zr-2.5Nb	運転モード : P & Bモード 炉内管入口圧力 : 7.0 MPa(70kg/cm ² G) 炉内管出口温度 : 285°C 蒸気含有率 : 15%以下	17 18	最大試料発熱量 350 kW 最高線出力 344 W/cm 燃料中心最高温度 1360°C	ATR第4次特殊燃料集合体 (燃料試料) (材料試料)
70LF-8P-II	燃料については同上 材料試料 引張試験片 28個 腐食 " 20"	同 上	20 21 22 24	同 上	同 上 (材料試料のみ交換)
70LF-8P-III	燃料については同上 材料試料 バースト試料(ホルダー) 2個 引張試験片 16" 折り曲げ試験片 6" 腐食試験片 8"	同 上	32 33 34	同 上	同 上 (材料試料のみ交換)
74LF-12P	濃縮度 3%燃料棒 18本 " 5% " 18" 燃料 UO ₂ ペレット 外径 14.72φ, 9.7 φ 材料試料 バースト試料(ホルダー) 2個 引張試験片 16" 折り曲げ試験片 6" 腐食試験片 8"	同 上	35 36 37 43	最大試料発熱量 400 kW 最高線出力 384 W/cm 燃料中心最高温度 1650°C	ATR第4次特殊燃料集合体 (燃料試料) (材料試料)
76LM-12J	計装用試料 3本 照射成長測定試料 6" 外圧クリープ測定試料 27" 内圧 " 4"	運転モード : Pモード 炉内管入口圧力 : 7.3 MPa(73kg/cm ² G) 炉内管入口温度 : 270°C	38 39 40 45 46 47 48 49 50 51 52		軽水炉用燃料被覆管 (材料試料)
79LF-14A	BWR型燃料棒 8本 BWR型 " 18" 模擬燃料棒 10"	運転モード : Pモード 炉内管入口圧力 : 7.3 MPa(73kg/cm ² G) 炉内管入口温度 : 260°C	53 54 55 86	最大試料発熱量 153 kW 最高線出力 225 W/cm 燃料中心最高温度 980°C	BOCA出力急昇試験用 ベース照射試料 (燃料試料)

Table 3.1 OWL-2 照射試験の成果一覧

- (1) 清水正亜 他 " OWL-2 炉内管のサーベランステスト ", JAERI-M 6
667, Aug, 1976
- (2) 村岡進 他 " JMTTR用国産 Zry-2 炉内管の開発 ", JAERI-M 68
56, Jan, 1977
- (3) 島川聰司 他 " 核融合炉増殖ブランケット試験体の核特性に関する予備解析 (JMTTR/OWL-2 試験) ", JAERI-M 87-036, Mar, 1987
- (4) 池島義昭 他 " OWL-2 炉内管の貫粒型応力腐食割れ対策 (THSI溶接残留応力改善法の確性試験報告) ", JAERI-M 87-041, Mar, 1987
- (5) 石塚宏 他 " OWL-2 性能試験用燃料濃縮度の決定 ", 未公開資料, Mar,
, 1972
- (6) 野村靖 他 " 遮蔽計算コード R A A S の概要 ", 未公開資料, Aug, 197
3
- (7) 米川出 他 " OWL-2 運転自動化の開発 ", 未公開資料, Jun, 1974
- (8) 大内正博 他 " 軽水炉燃料被覆管照射実験 (76LM-12J) (照射前試験
検査) ", 未公開資料, Oct, 1977
- (9) 大友昭敏 他 " 軽水炉燃料被覆管照射実験 第1報 (76LM-12J の設計
製作) ", 未公開資料, Mar, 1978
- (10) 米川出 他 " タービン流量計の開発・第1報 (OWL-2 炉外実験用タービン
流量計の設計製作) ", 未公開資料, Jan, 1979
- (11) 米川出 他 " タービン流量計の開発・第2報 (OWL-2 における炉外性能試
験結果) ", 未公開資料, Jan, 1980
- (12) 伊藤昇 他 " BOCA 出力急昇試験用ベース照射試料 (79LF-14A の設
計製作) ", 未公開資料, May, 1981
- (13) 伊藤昇 他 " JMTTR ループ照射試料・I (OWL-2) ", 未公開資料,
Sep, 1981
- (14) 材料試験炉部照射第2課 " OWL-2 照射設備のトラブル報告 ", 未公開資料,
, Nov, 1983
- (15) 飯村勝道 他 " OWL-2 照射設備の炉内管撤去作業 ", 未公開資料, Aug,
1985
- (16) 飯村勝道 他 " OWL-2 炉内管亀裂の発生原因に関する調査報告 ", 未公開
資料, Feb, 1986
- (17) 飯村勝道 他 " 核融合炉増殖ブランケット照射試験に関する検討(1) (試験
体及び照射設備) ", 未公開資料, Mar, 1987
- (18) 池島義昭 他 " OWL-2 照射設備の炉内部分製作 ", 未公開資料, Nov,
1987
- (19) 田井正伸 他 " 高温高圧水ループ一次系配管付着クラッドの調査1 (予備実験
) ", 未公開資料, May, 1988

Table 3.1 (続き)

- (20) 新型転換炉開発本部 "「ふげん」圧力管監視試験の試験法及び評価法 , P N C
Z N 3 4 1 8 3 - 1 3, 1 9 8 3
- (21) 日立製作所 " N F DでのA T R 特殊燃料の照射後試験報告書 , P N C Z J
3 0 2 8 1 - 1 4 (1)、(2), S e p, 1 9 8 1
- (22) 日立製作所 " A T R 特殊燃料の照射後試験 (II) , P N C Z J 3 0 2
8 4 - 0 2 (1)、(2), M a r, 1 9 8 4
- (23) 新型転換炉開発本部 " A T R 燃料のJ M T Rでの照射試験まとめ , D e c,
1 9 7 7

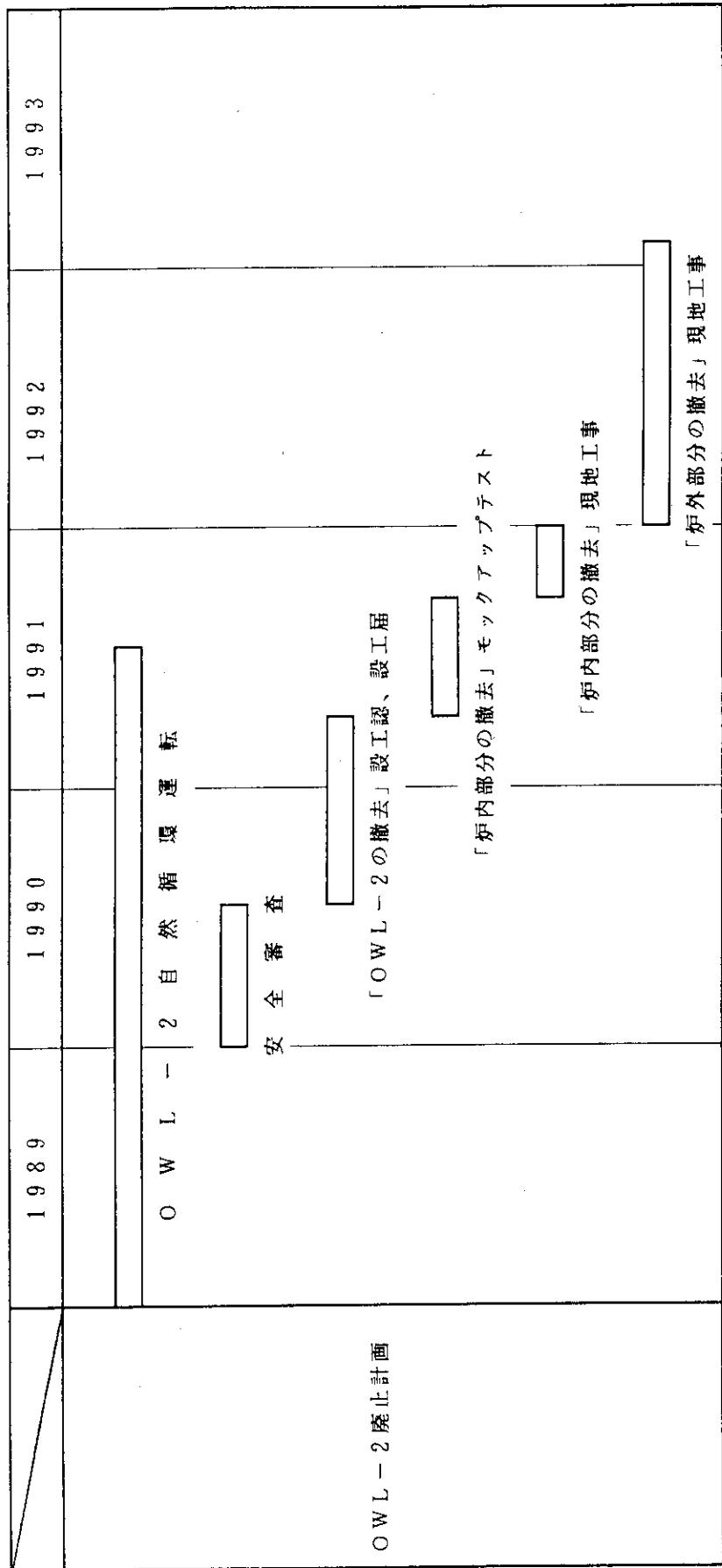
Table 3.2 プロセス用と炉内計装用タービン型流量計の諸元

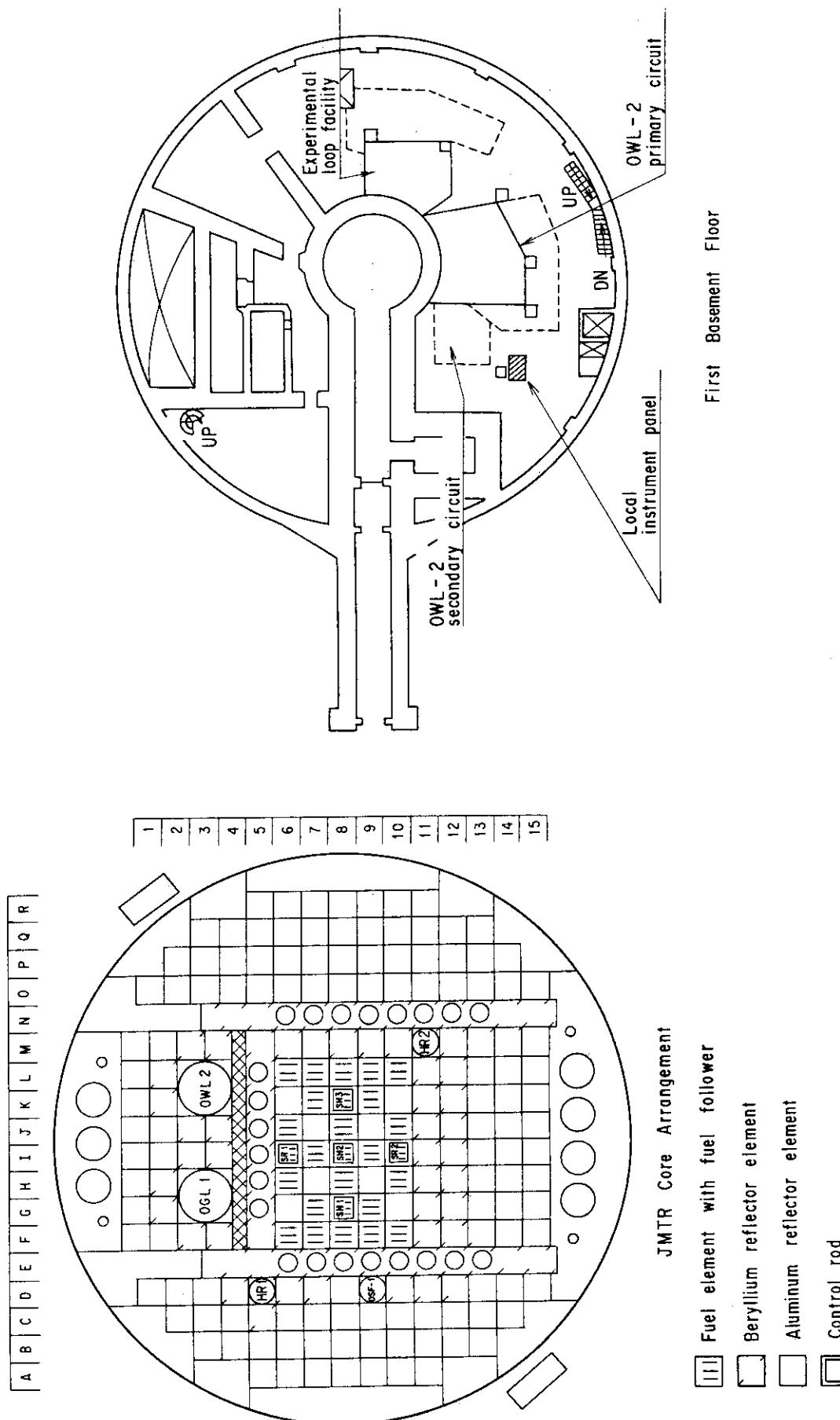
名 称		プロセス用	炉内計装用
内 器	寸 法	1 1/2"	3/4"
	羽 根	6	4
	定格流量範囲	50~400 kg/min (250°C)	32~60 kg/min (45°C)
	定格温度	20~300°C	40~300°C (280°C)
	定格圧力	3.0~7.6 MPa (30~77 kg/cm² G)	7.1 MPa (71 kg/cm² G)
	羽根のひねり角	13.8°	16.8°
	流 体	純 水	純 水
ピックアップコイル	材 質	シャフト；超硬合金 ベアリング；超硬合金 スラスト；17-4 pH	左に同じ
	構 造	ピックアップコイル 外づけ 外 壓；大気圧	ピックアップコイルを 流体内に密封、耐圧、水密構造
	信号発信方式	マグネチック方式	左に同じ
	寸 法	—	20(長)×17(巾)×5.5(厚) mm
マグネット		アルニコ	ランタネット(Sm-Co系) ; 4Φ×4ℓ mm

Table 3.3 非破壊試験項目と結果

試験検査項目		確認事項	結果
外観検査	目視検査	変形、損傷	き裂欠陥部付近にかなりの打ち疵あり。
	顕微鏡検査	孔食の有無	打ち疵の部分には大きな孔食があり、疵のない部分にも小さな孔食が見られる。
	寸法測定	変形、減肉	異常なし。
非破壊試験	放射線透過試験	き裂欠陥の位置、大きさの把握	き裂欠陥は、1方向のみ。 他は異常なし。
	液体浸透探傷試験	き裂欠陥の位置、大きさの把握	き裂欠陥は、1方向のみ。 他は異常なし。
機械試験	硬度測定	母材、き裂欠陥部付近、溶接部の硬度分布	管側の熱影響部の硬度がやや高い。
	引張試験	引張強さ及び降伏強さ	ミルシートの値とほぼ同じ。
金属学的調査	断面マクロ	き裂欠陥部とその周辺の観察	—
	断面ミクロ	き裂欠陥の形状、鋭敏化の度合など	典型的な貫粒型SCCである。
	フェライト量測定	フェライト量分布状況	異常なし。
	破面フラクトグラフィ	き裂欠陥の破面パターンの観察	貫粒型SCCの破面である。
	金属成分分析	金属成分値	ミルシートの値とほぼ同じ。
	粒度測定	結晶粒度	異常なし。
応力測定	拘束応力	拘束状況の把握	小さい。
	残留応力	溶接による残留応力	SCC発生の可能性有。
鋭敏化度測定	EPR法	鋭敏化度	SCC発生の可能性有。

Table 4.1 OWL-2 の廃止計画





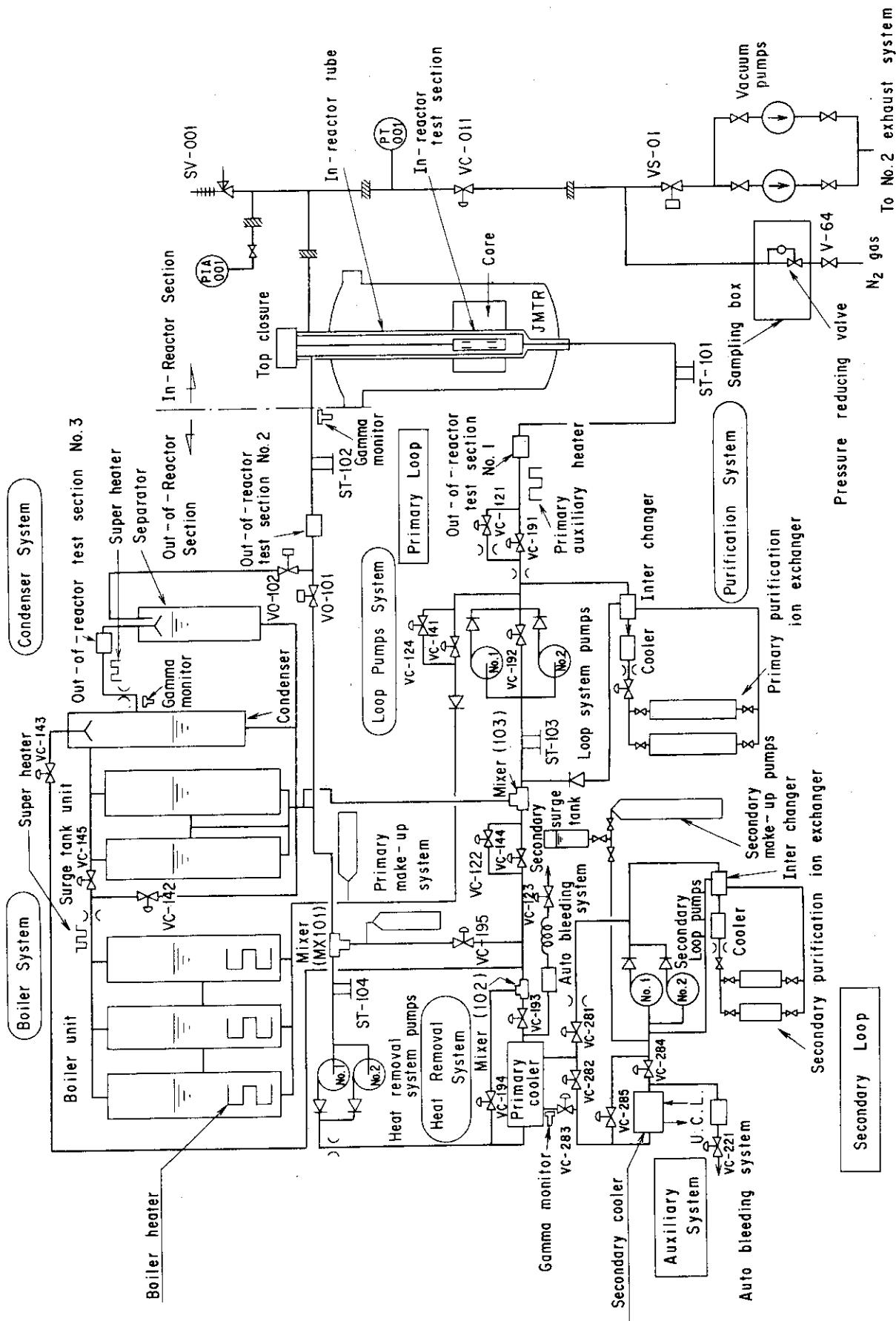


Fig. 2.1 OWL-2 フロートシート

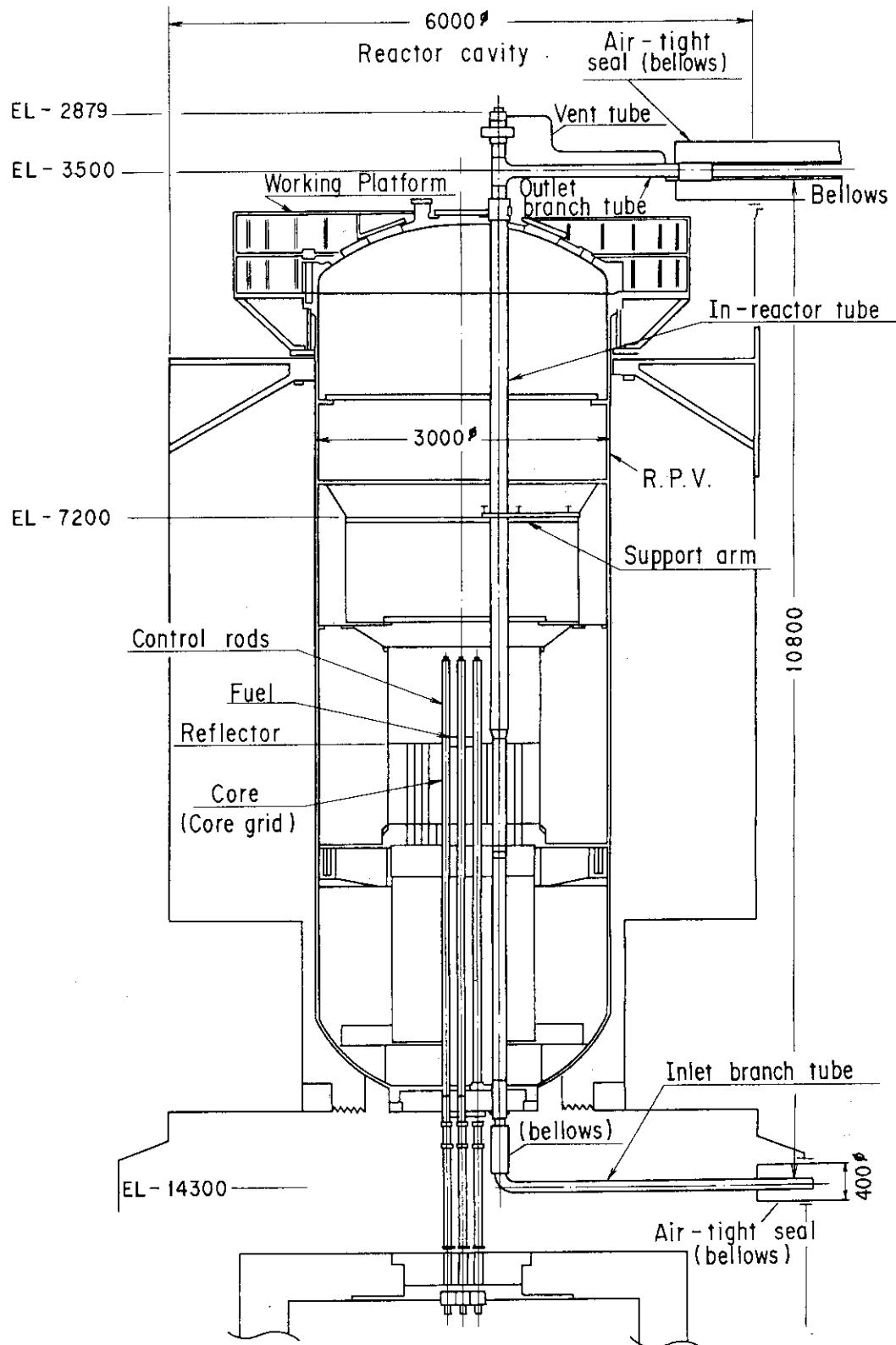


Fig. 2.2 OWL-2 炉内部分の配置図

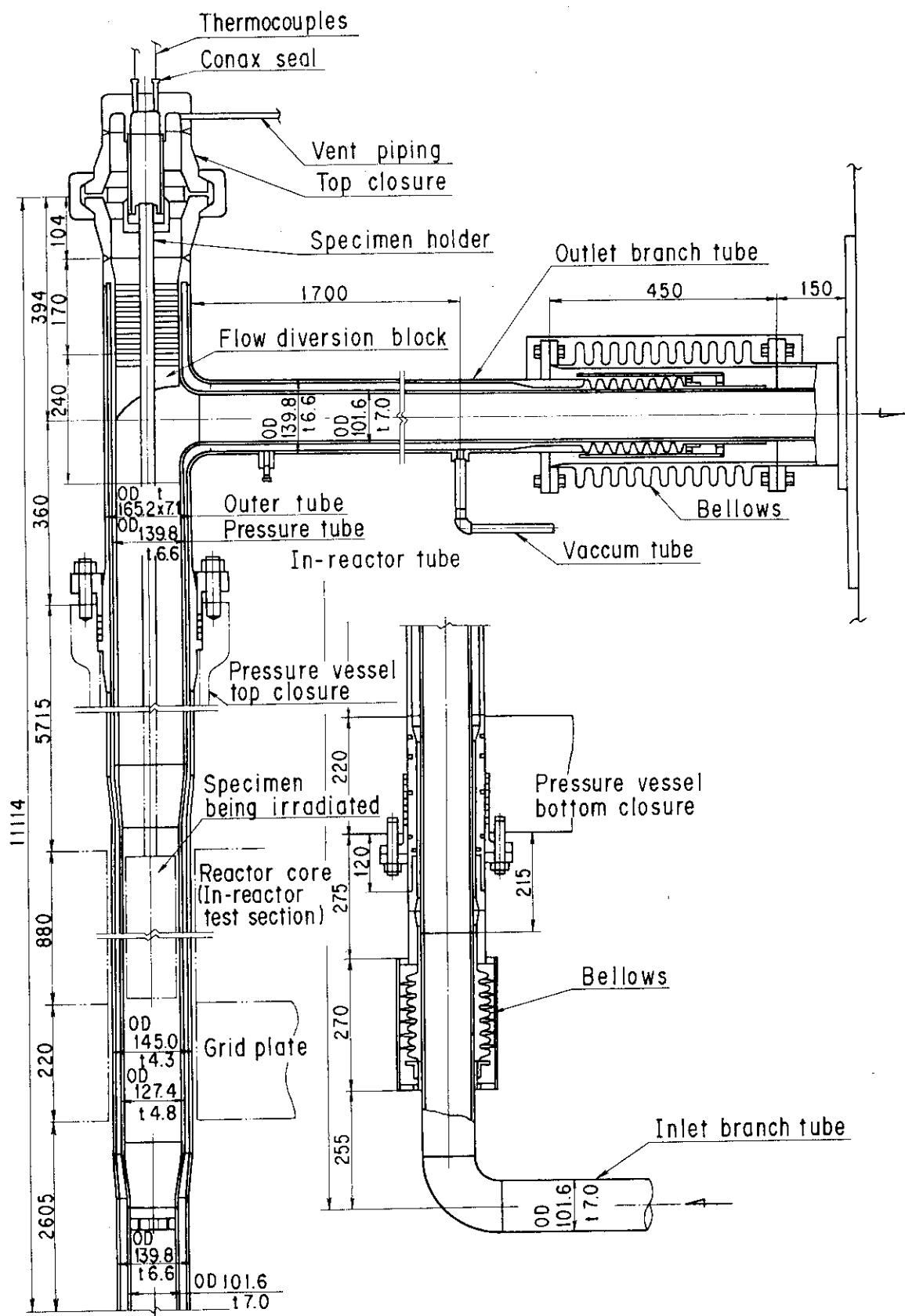


Fig. 2.3 OWL-2 炉内管の詳細図

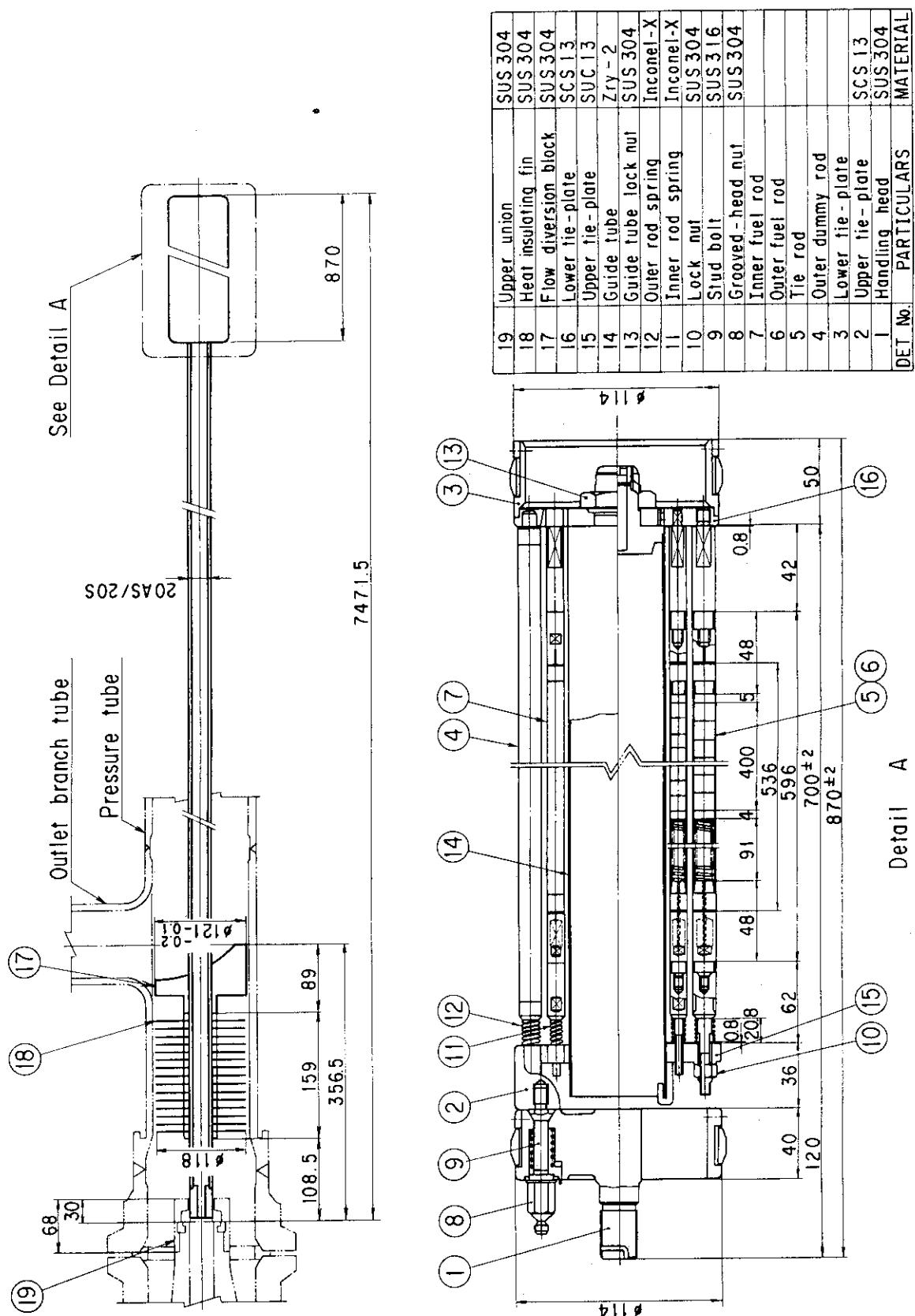
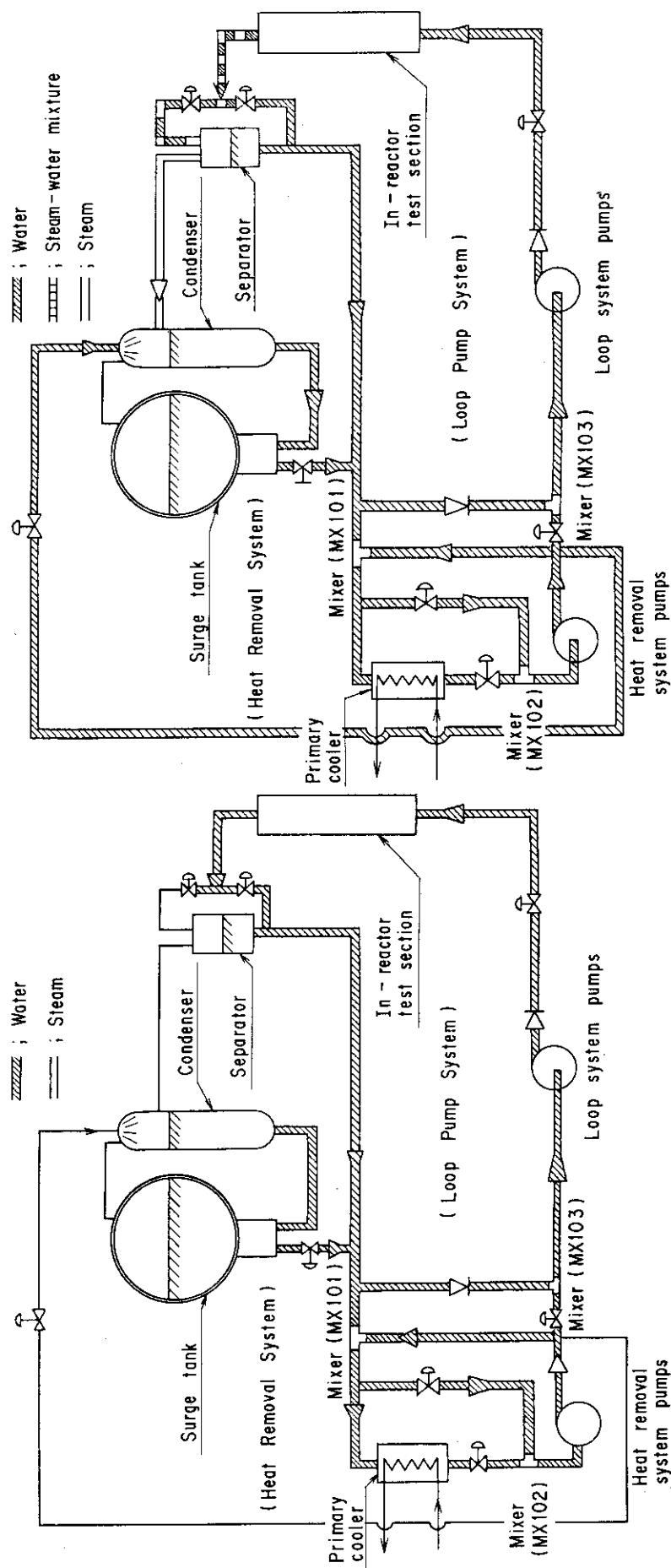


Fig. 2.4 OWL-2 照射試料組立図



Coolant Path in Boiling Water Mode Operation
Coolant Path in Pressurized Mode Operation

Fig. 2.5 加圧水型及び沸騰水型運転フロートシート

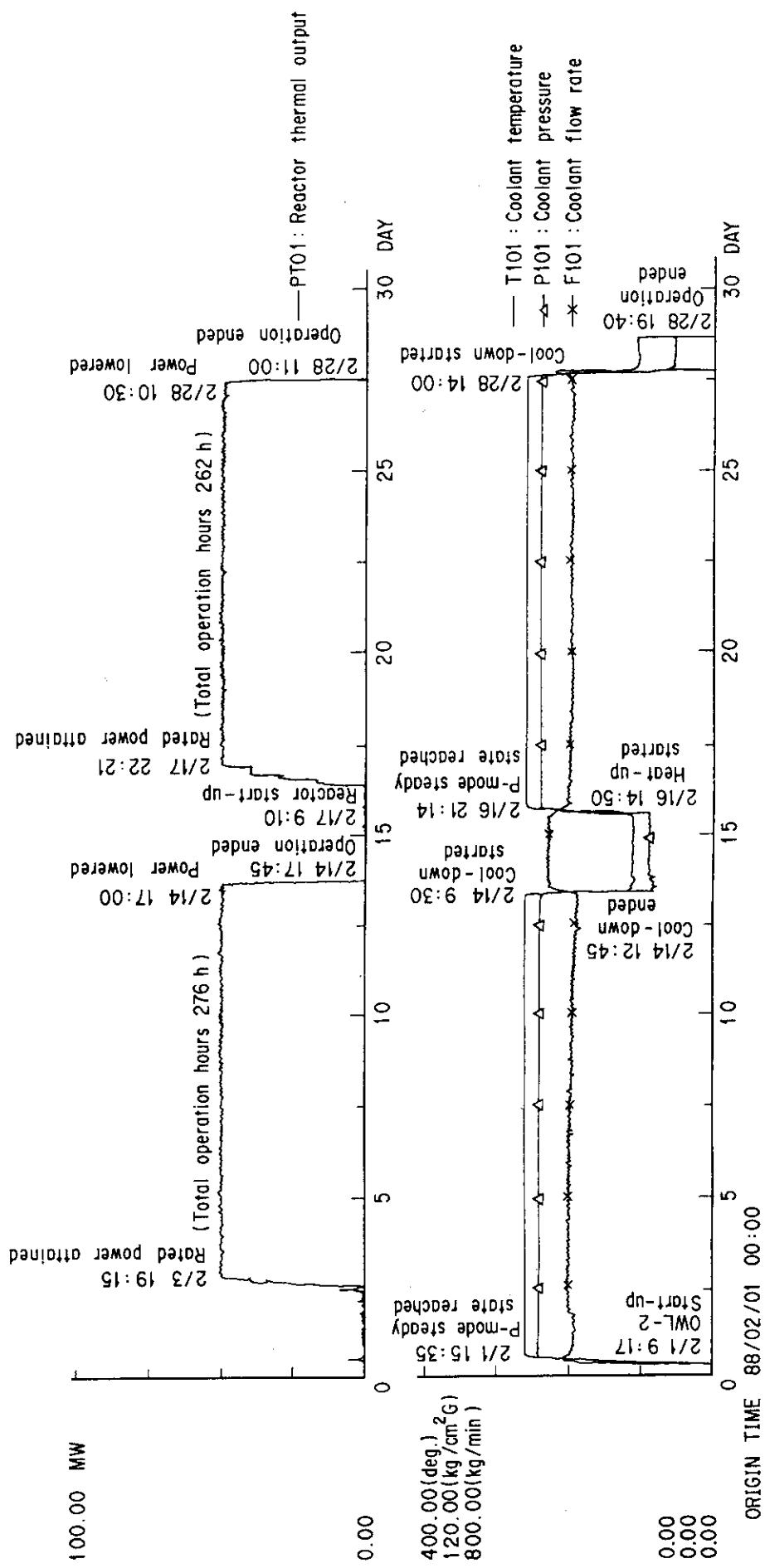


Fig. 2.6 第80運転サイクルの運転実績

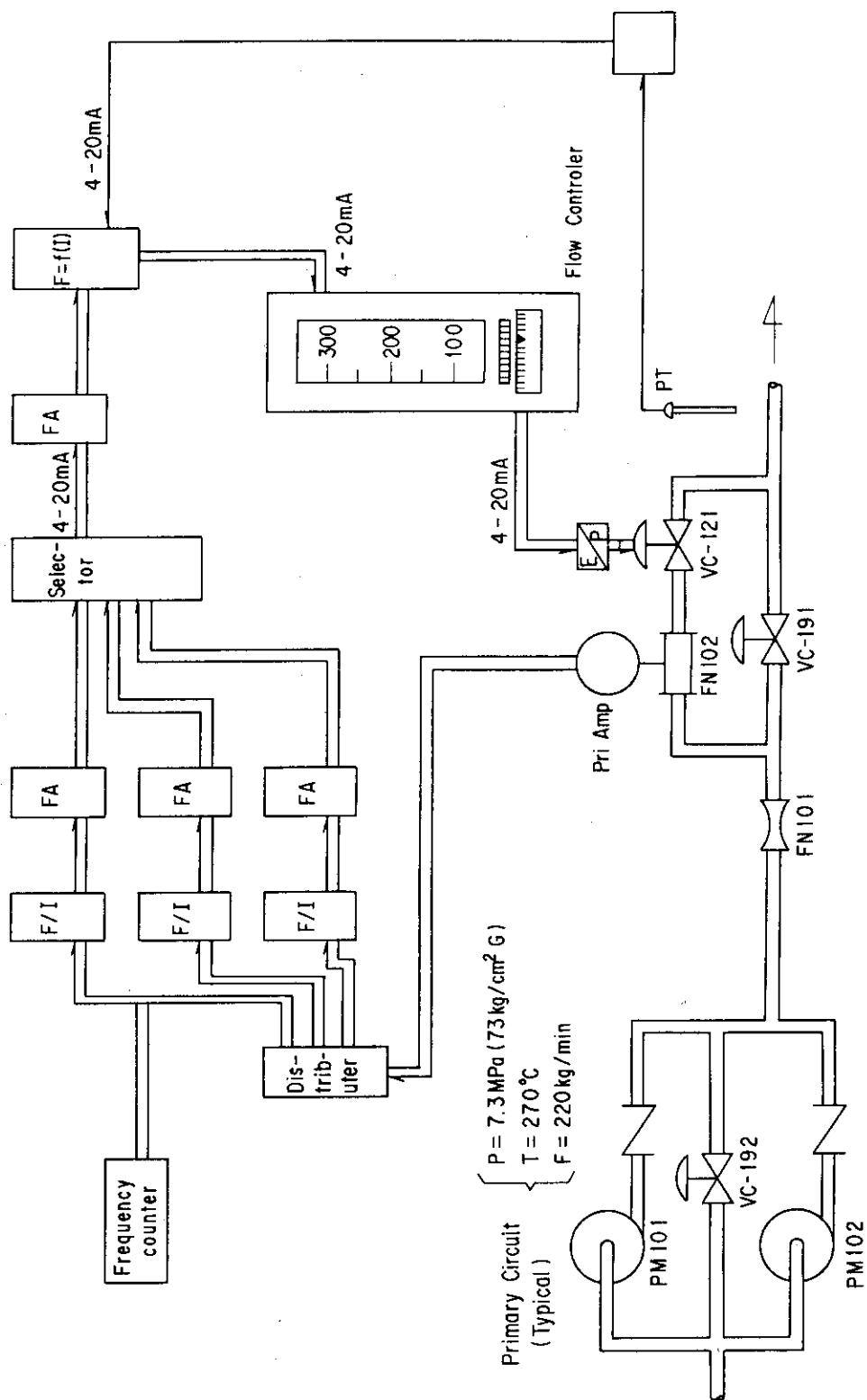
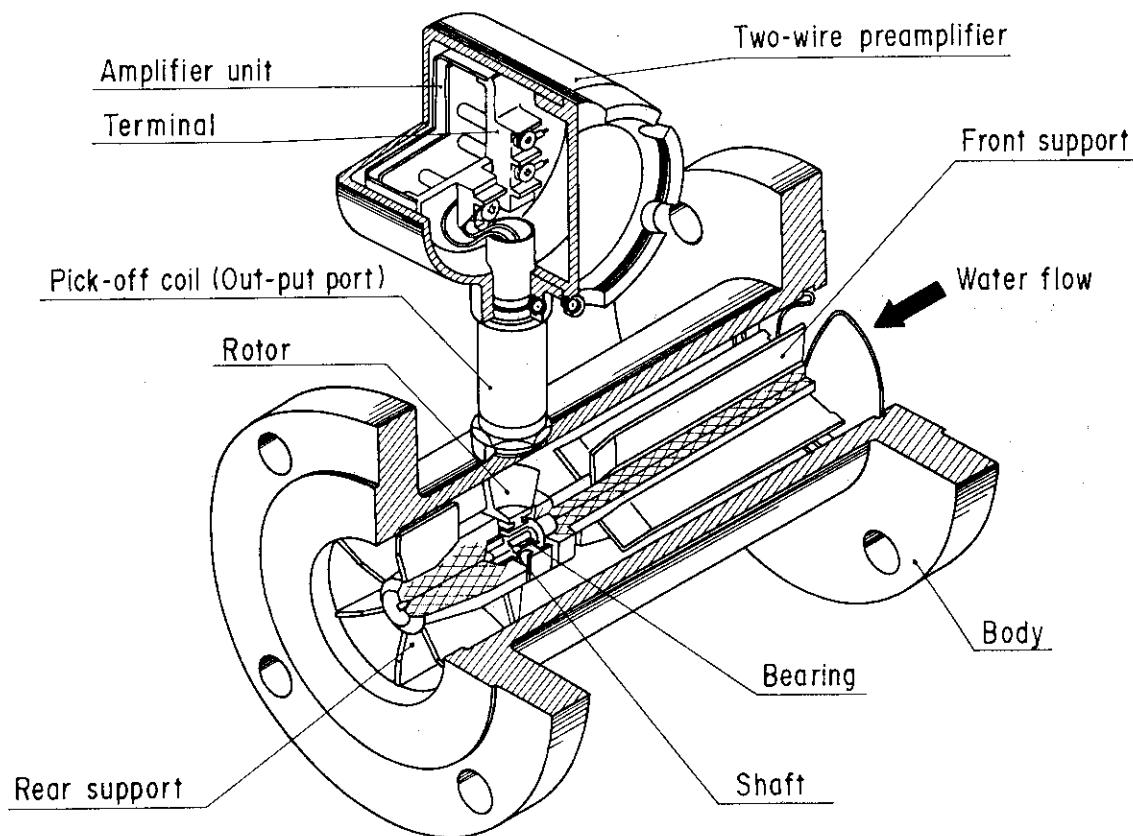


Fig. 3.1 プロセス用タービン型流量計の系統図



F i g . 3.2 プロセス用タービン型流量計の構造図

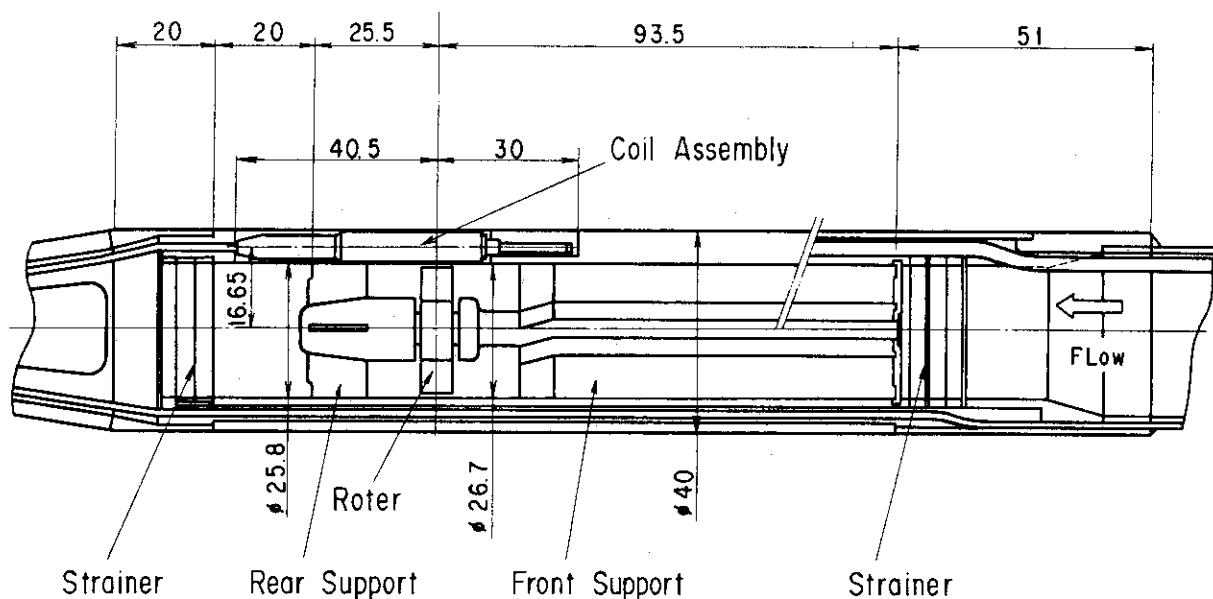


Fig. 3.3 炉内計装用タービン型流量計の構造図

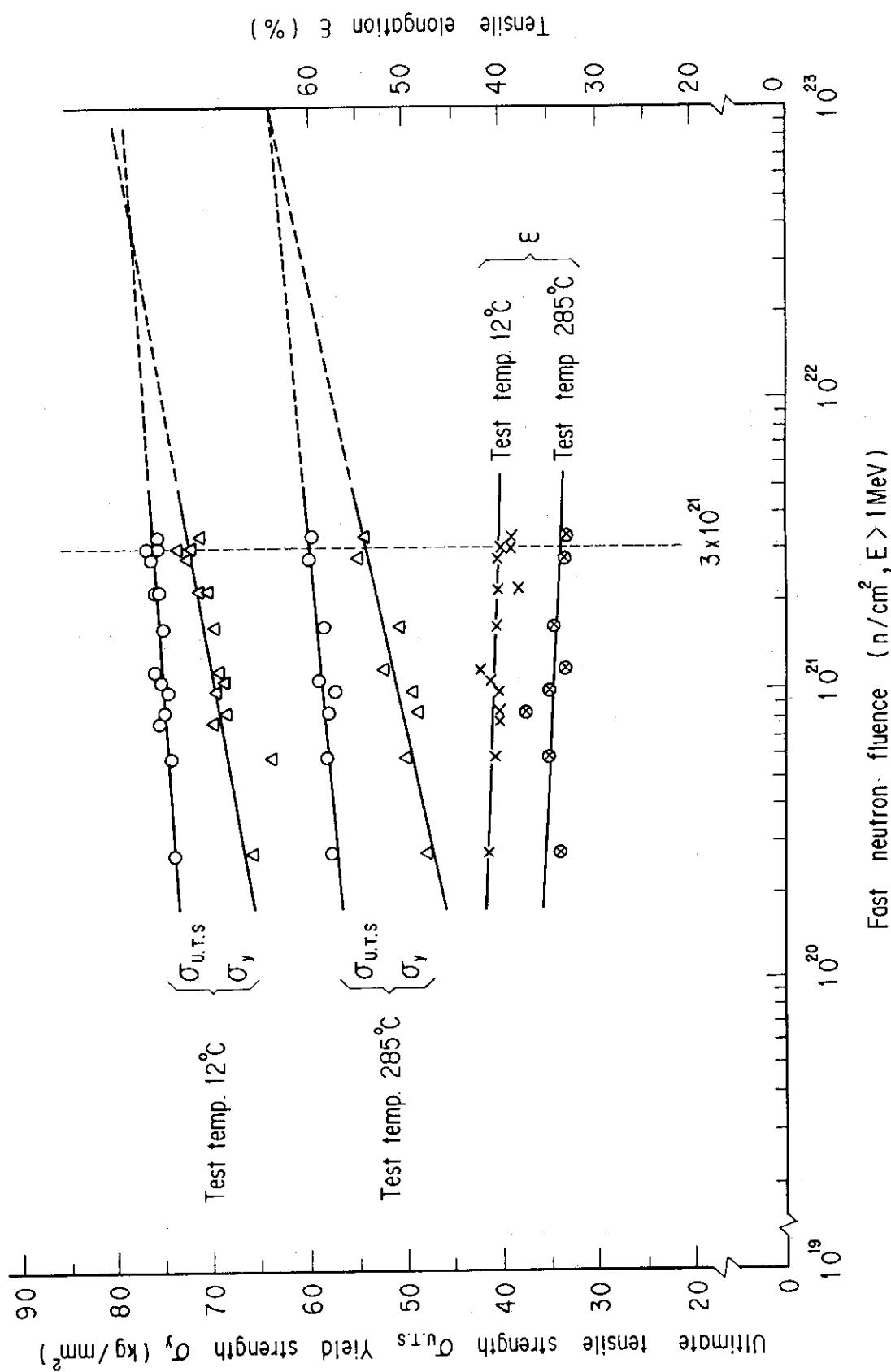


Fig. 3.4 引張強度及び引張伸びに及ぼす照射効果

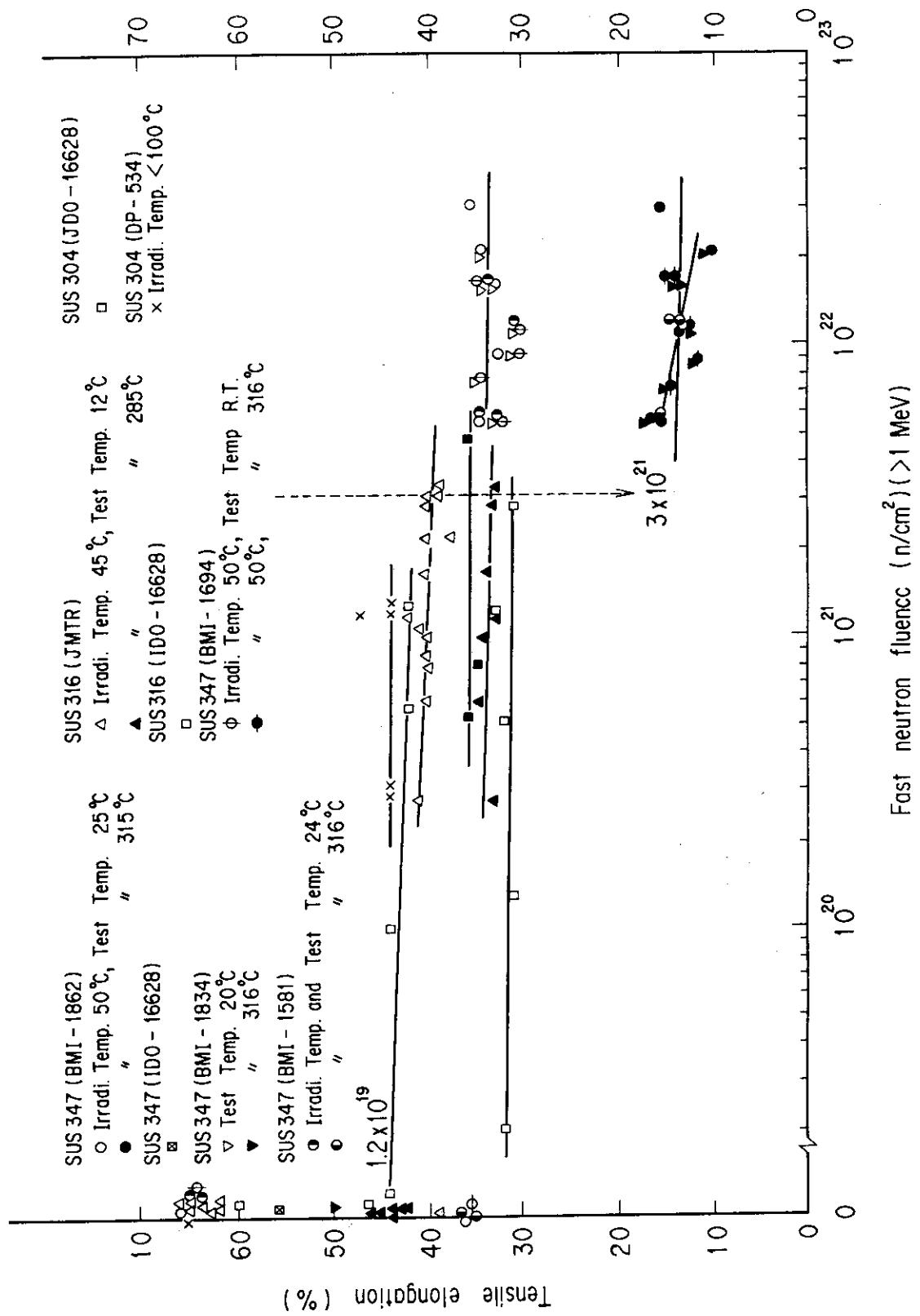


Fig. 3.5 引張伸びに及ぼす照射効果

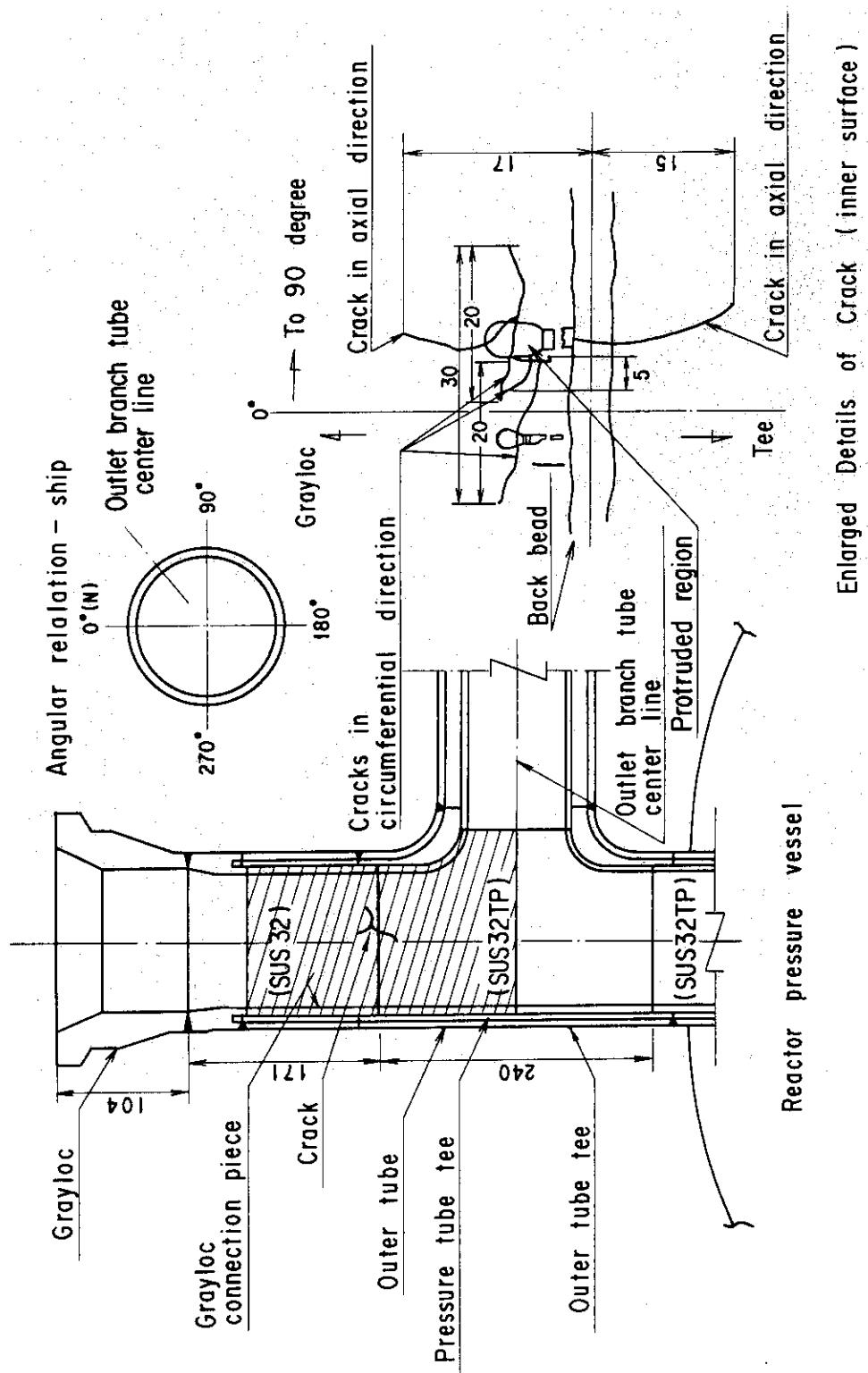


Fig. 3.6 炉内管の亀裂発生箇所

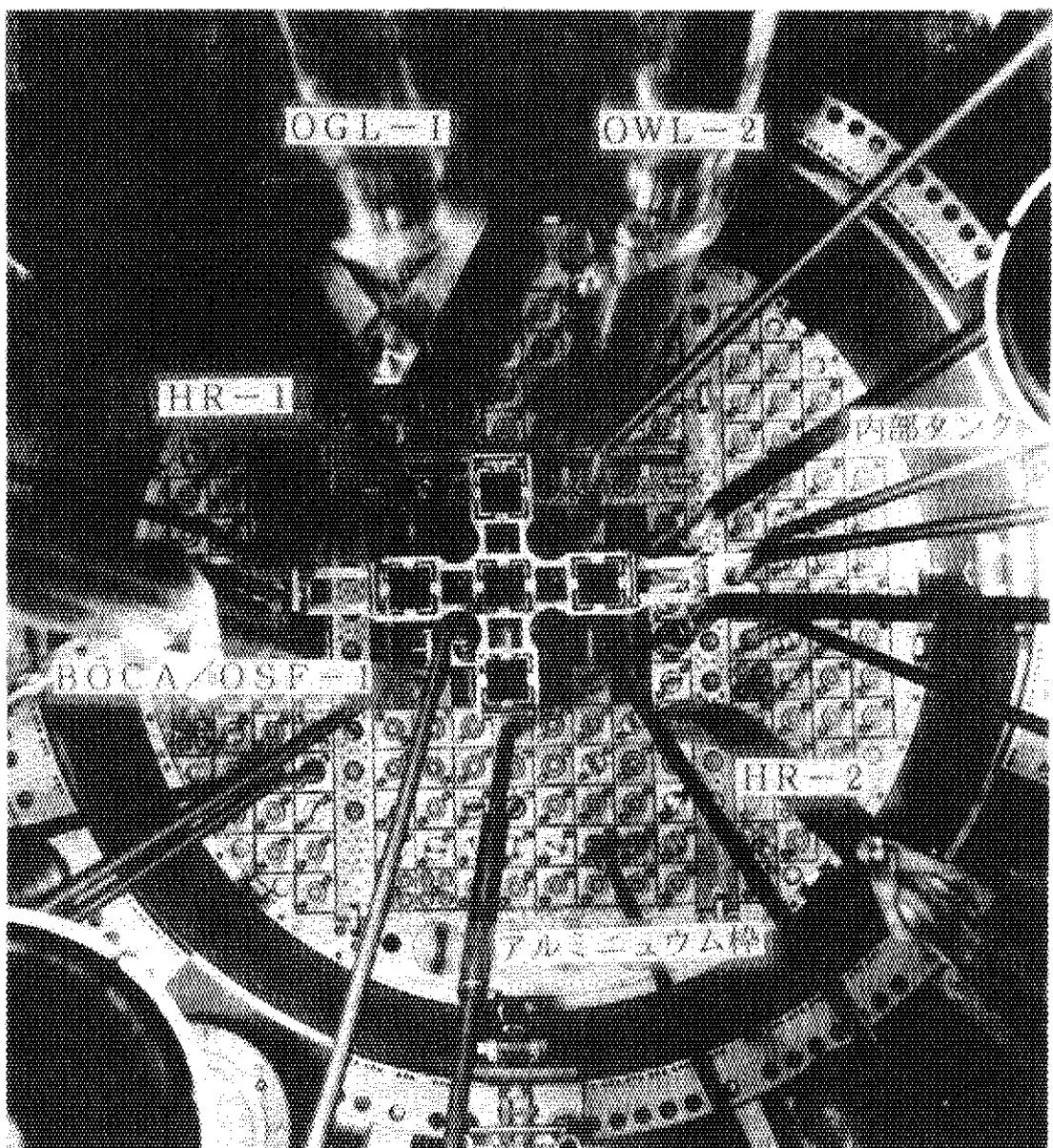


Photo. 1.1 JMTR 炉心部

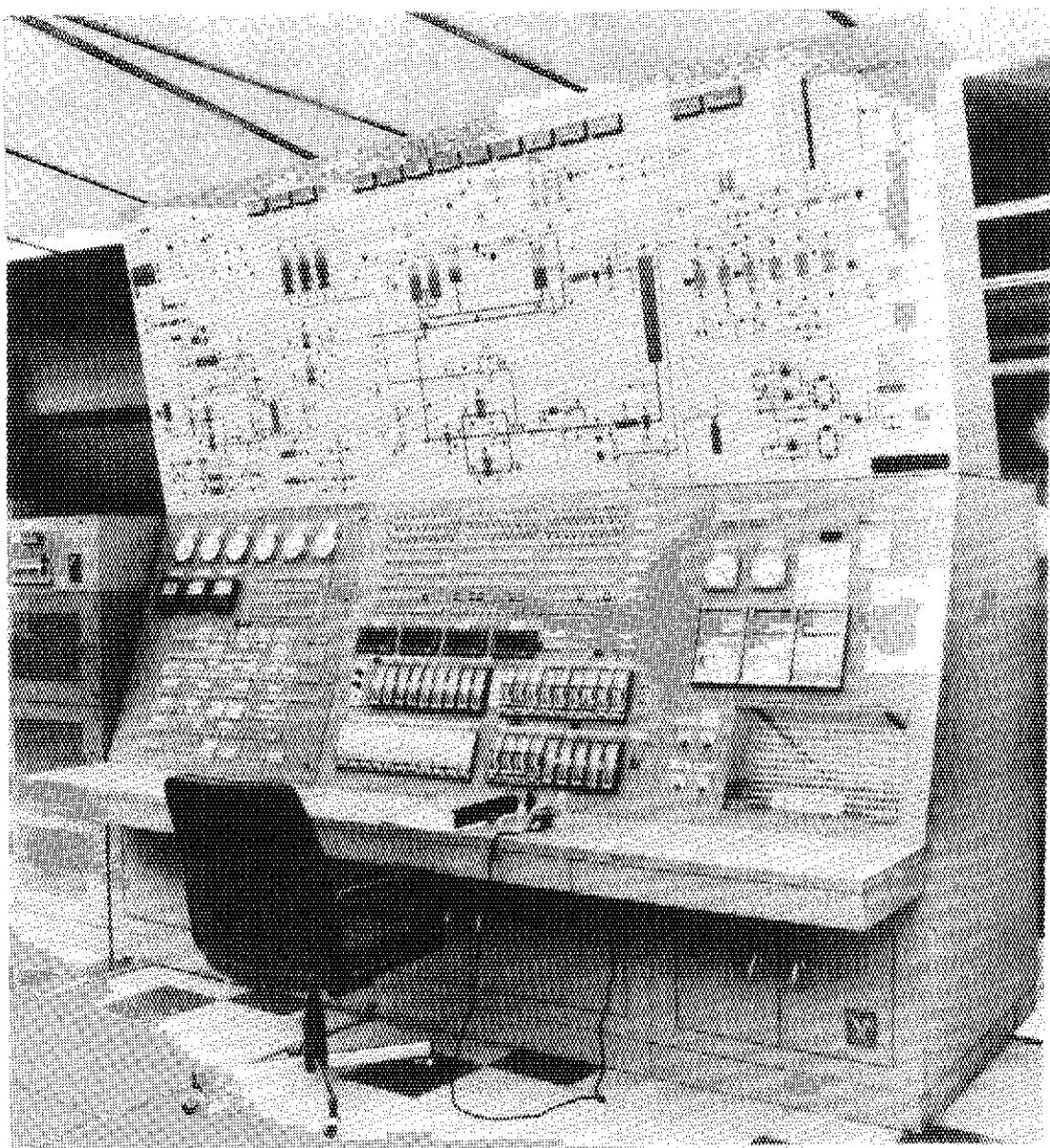


Photo. 2.1 OWL-2 制御盤