

JAERI-Tech

2002-074



JP0250411



内部を加圧した照射用被覆管試験片の製作

2002年9月

磯崎 太*・菊地 泰二・井岡 郁夫
石川 和義・平田 雄二*

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、お申し越し下さい。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行っております。

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.

内部を加圧した照射用被覆管試験片の製作

日本原子力研究所東海研究所工務・技術室
磯崎 太^{*}・菊地 泰二・井岡 郁夫[†]・石川 和義・平田 雄二^{*}

(2002年 8月 1日受理)

現在、超高燃焼度用燃料被覆管材料の開発を進めている。候補材の照射クリープに関わる試験研究の一環として、円管内部にガスを加圧して両端を溶封する照射クリープ測定用加圧封入試験片(圧力管試験片)の製作を行った。本圧力管試験片は、外径7mm、肉厚 0.5mm の円管内部にヘリウムガスを加圧封入して溶接により密封構造とするものである。

この製作に当たっては、高圧下での密封溶接という技術的困難があつたが、既存設備を応用した簡便で短期間に製作出来る手法の考案とモックアップ試験での作業手順を確認し、圧力管試験片内部に最大で5.5MPaのガスを加圧して溶封を行える技術を確立した。

また、原子炉での照射試験により、中性子照射と内圧力の影響から製作した圧力管試験片に発生するクリープ変形を評価するため、照射前後において圧力管試験片外径を高精度で測定する必要がある。そのための高精度自動測定法としてレーザ測定器と旋盤を組み合わせた外径寸法測定を行い、測定精度0.01 μmで測定する方法を確立した。

東海研究所:〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4

[†]エネルギーシステム研究部

*原子力エンジニアリング(株)

Production of Pressurized Cladding Tube Specimen for Neutron Irradiation

Futoshi ISOZAKI[†], Taiji KIKUCHI, Ikuo IOKA⁺, Kazuyoshi ISHIKAWA and Yuji HIRATA^{*}

Division of Engineering Services
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received August 1, 2002)

A Cladding tube material with excellent durability has been developed for the purpose of ultra high burnup of the LWR using MOX fuel. The pressurized tube specimens enclosed with high pressure inert gas were produced for the irradiation creep test. Tube specimens with 7mm outer diameter and 0.5mm wall thickness were sealed by welding, after helium gas was impressed.

In this process, there was a technical problem of welding under high pressure, and it is difficult to seal the pressurized tube specimen in the present facility of our division. The production process was examined by taking shortening in production period and reduction in the cost into consideration. The sealing technique to enclose the helium gas up to 5.5MPa was established by new technique using the present facility and the mock-up test. And, it is necessary to measure the outer diameter of the pressurized tube specimen with high accuracy in order to evaluate irradiation creep deformation arising from neutron radiation and internal pressure. Therefore, the method for measuring at the $0.01 \mu\text{m}$ measurement accuracy was been also established, which employs a laser measuring instrument and a lathe.

Keywords: Irradiation Creep, High Pressure, Sealing Technique, Laser Measuring,

[†] Department of Nuclear Energy System

^{*}Nuclear Engineering Co. Ltd.

目 次

1. はじめに.....	1
2. 試験片の製作仕様.....	2
3. モックアップ試験.....	2
3.1 プレス圧力による漏れ確認試験.....	3
3.2 内圧力による漏れ確認試験.....	5
3.3 配管内圧力の確認試験.....	6
3.4 試験片内の容積確認試験.....	7
4. 圧力管試験片の製作.....	9
5. 圧力管試験片の外径寸法測定.....	13
6. まとめ.....	22
謝　　辞.....	22
参考文献.....	22

Contents

1. Introduction	1
2. Production Specification of Pressurized Tube Specimen	2
3. Mock-up Test	2
3.1 Press Pressure Dependence of the Leakage	3
3.2 Internal Pressure Dependence of the Leakage	5
3.3 Confirmation Test by the Dummy Tube	6
3.4 Gas Capacity of Pressurized Tube Specimen after the Leakage Test	7
4. Production of Pressurized Tube Specimen	9
5. Outer Diameter Measurement of Pressurized Tube Specimen	13
6. Conclusions	22
Acknowledgements	22
References	22

This is a blank page.

1. はじめに

本件は、超高燃焼度MOX燃料用被覆管候補材料である改良型ステンレス鋼管の照射クリープ・データ及びクリープ変形後の引張特性取得を目的に、照射試験用圧力管試験片の製作を行うものである。

本製作に当たっては、研究スケジュールの観点から製作期間短縮の要望が強くあり、最高封止圧力5.5MPa(常温)での密封溶接という技術的困難があった。しかし、今回は5.5MPaと高圧であるが、過去に0.5MPa程度の低圧による製作経験がある金型プレス方式を今回の高圧用に採用してみることにした。

従来より行われてきた低圧の方式は、配管から加圧して配管途中で金型を利用して油圧プレスにより圧着シールし、配管途中を所定の寸法に切断してから、金型をはずして栓を挿入した後、その端部を大気中で溶封するものである。

一方、今回的方式は、高圧力となるため配管から加圧して配管途中で金型を利用して油圧プレスにより圧着シールし、配管途中を所定の寸法に切断してから、金型をはずさず、金型による圧着状態を保持したままで栓を挿入した後、その端部を大気中で溶封するものである。

今回実施する高圧下での密封溶接について、低圧用の閉止技術を高圧用に応用するために、段階的にモックアップ試験を行い、圧力管試験片の製作方法を確立した上で圧力管試験片の製作を行った。

また、製作した圧力管試験片は原子炉での照射試験により、中性子照射と内圧による応力によってクリープ変形が生じ、これが管径の微小な増加としてあらわれる。このため、照射前後における試験片の外径寸法を高精度で測定する技術が必要となり、レーザ測定器と旋盤を組み合わせた方法を考案し、照射試験前の外径寸法の高精度自動測定を行った。

2. 試験片の製作仕様

Fig. 2-1に圧力管試験片の構造図を示す。

製作した圧力管試験片は、Fig. 2-1に示すように外径7mm、肉厚0.5mm、全長72mmで、片側の端栓部から $1/8"$ 配管($\phi 3.175 \times \phi 2$)が突き出た形状をしている。ステンレス製 $1/8"$ 配管から被覆管内部に最大で5.5MPaのヘリウムガスを加圧して、 $1/8"$ 配管途中を金型により油圧プレスで圧着し、その状態を保持したままで更に配管途中を所定の寸法に切断し、栓(棒)を挿入した後溶接により密封する構造である。

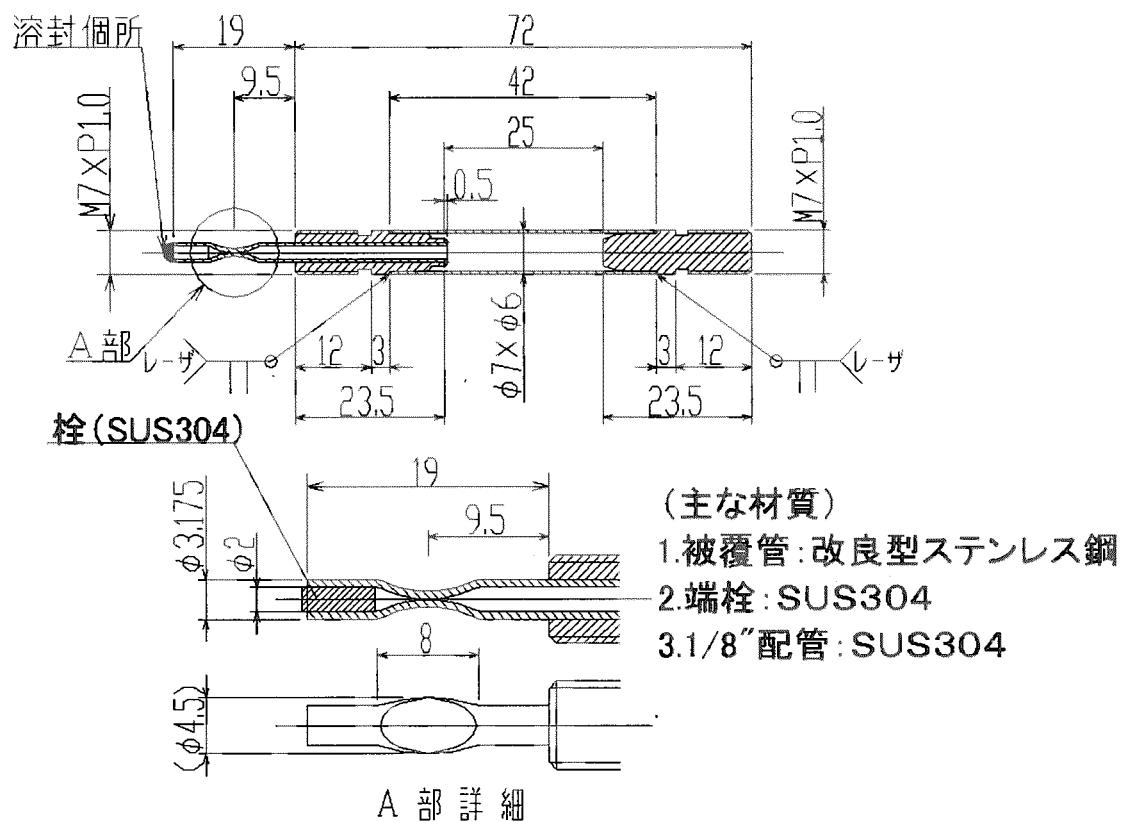


Fig. 2-1 圧力管試験片の構造図

3. モックアップ試験

製作に先立ち、模擬配管($1/8"$ 配管: $\phi 3.175 \times \phi 2$)を使用して油圧プレスによる金型での圧着によって、圧着部の耐圧力とその気密性の確認試験を行い、各種の条件の決定と組立手順を確立することにした。

Photo3-1に今回使用した金型の外観写真と概略図を示す。

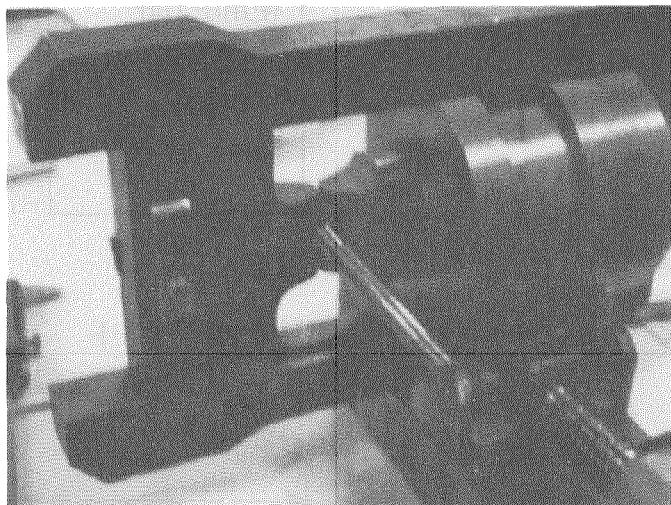
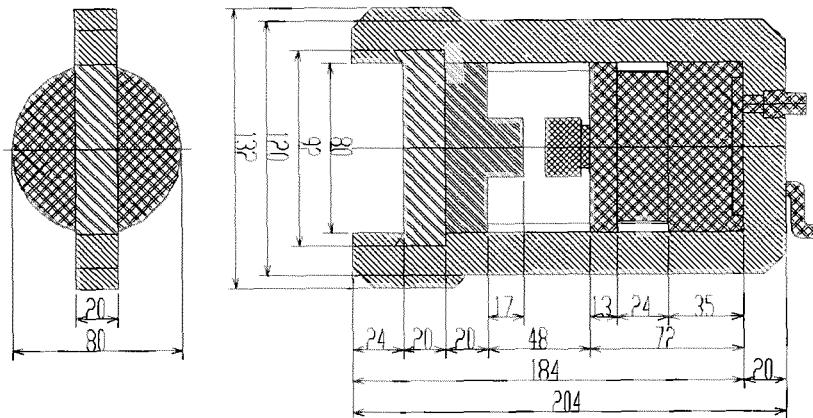


Photo 3-1 金型の外観写真と概略図

3.1 プレス圧力による漏れ確認試験

確実に試験片内部のヘリウムガスをシールするためには、大きな圧着力で封入管を潰す必要があるが、これによって材料の組織が潰れ、肉厚も薄くなつて強度上の問題が発生する。このため、圧着部の強度を保つためには油圧プレス圧力をなるべく少なくして、プレスによる配管の扁平を少なくする必要があり、漏れが発生しない最小油圧プレス圧力を求めた。

試験は、ボンベから窒素ガスを $0.005\text{m}^3/\text{min}$ (圧力 0.4MPa)で流した状態を保持して、油圧プレス圧力を 1.5MPaから 0.5MPa毎に上昇し、その都度バブルテストにより漏れ確認を行うとともに、プレスによる配管の扁平量を確認するため金型隙間を測定した。

Fig. 3-1に漏れ確認試験のフローシートを示す。

Photo3-2に扁平量確認金型隙間の外観写真を示す。

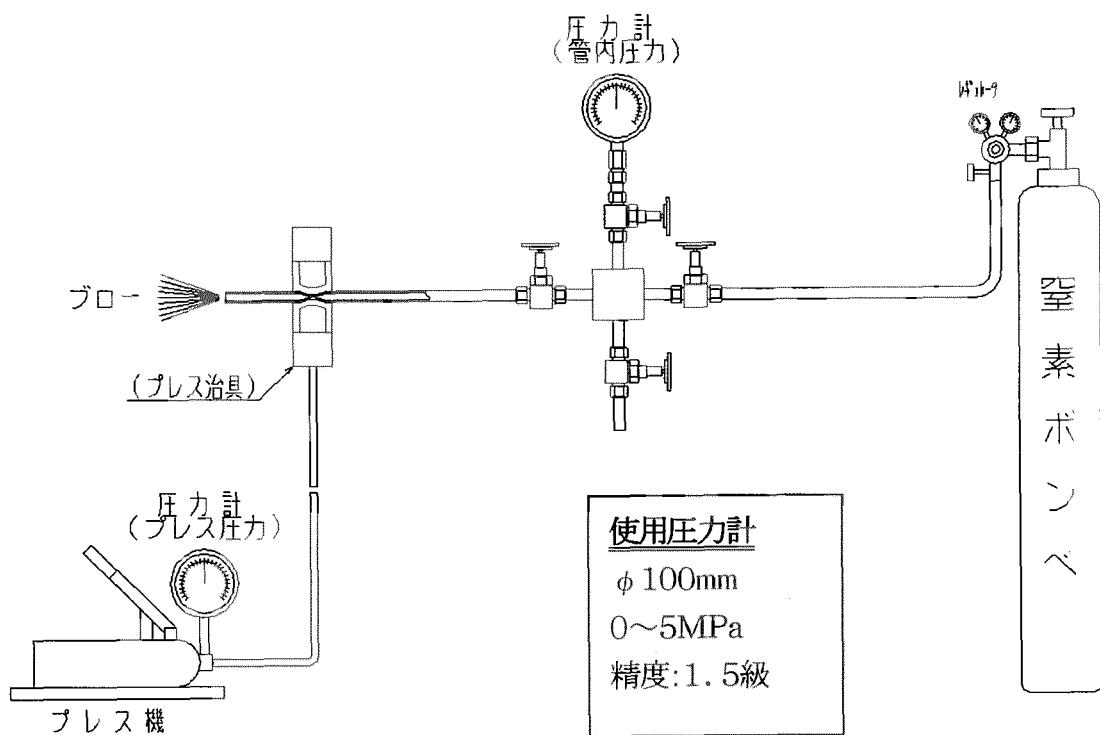


Fig. 3-1 漏れ確認試験のフローシート

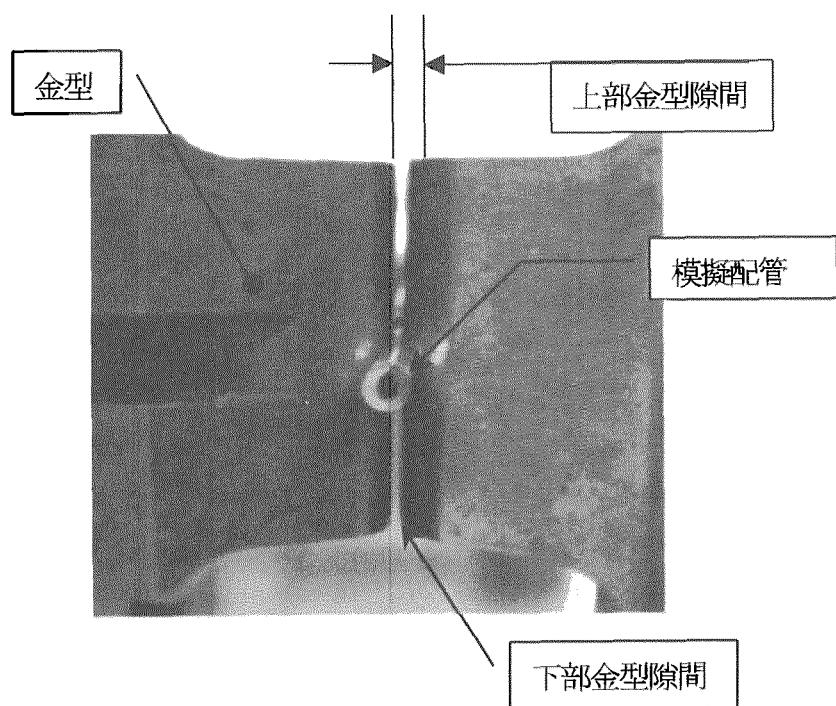


Photo 3-2 扁平量確認金型隙間の外観写真

下記に油圧プレスの圧力による漏れ確認試験結果を示す。

油圧プレス圧力(MPa)	金型隙間(mm)	漏れ(バブルテスト)	配管内圧力(MPa)
1.5		有り	0.4
2.0	0.99	有り	0.4
2.5	0.83／0.90	有り	0.4
3.0	0.83／0.93	無し	0.4

注)金型隙間の数値は、配管の上部／下部の値である。

3.2 内圧力による漏れ確認試験

上記試験で取りあえず、漏れ発生の生じない最小油圧プレス圧力条件を3MPaと決定したので、ボンベから窒素ガスを $0.005\text{m}^3/\text{min}$ (圧力 0.4MPa)で流した状態を保持して、油圧プレス圧力を3MPaで配管途中を閉止し、その後配管内圧力を1MPaから5MPa(1MPa毎に上昇)まで上昇させて、各ステップで漏れ確認を行った。

下記に配管内圧力による漏れ確認試験結果を示す。

配管内圧力(MPa)	漏れ(バブルテスト)	プレス圧力(MPa)
1.0～5.0	無し(全部)	3.0(一定)

更に、配管内圧力の急昇圧による油圧プレス圧力条件の信頼性を確認するため、ボンベから窒素ガスを $0.005\text{m}^3/\text{min}$ (圧力 0.4MPa)流して油圧プレス圧力を3MPaの状態で、配管内圧力を5MPaまで一気に上昇させて漏れ確認を行ったところ漏れが確認された。このため、再度油圧プレス圧力条件を上昇し、配管内圧力を5MPaまで一気に上昇させて確認試験を行った。

下記に、再度実施した油圧プレスの圧力による漏れ確認試験結果を示す。

油圧プレス圧力(MPa)	金型隙間(mm)	漏れ(バブルテスト)	*1 配管内圧力(MPa)
3.0		有り	5.0
4.0		有り	5.0
5.0	0.70	無し	5.0

*1 は、配管内圧力を0～5MPaまで一気に上昇させた。

試験結果は、油圧プレス圧力5MPaで漏れの発生が無くなり、その際の金型隙間は0.7mmであった。その後何度も再試験を実施した結果、漏れの発生は配管内圧力を一気に上昇させることによって、油圧プレス圧力が多少降下してしまうことが原因と判った。しかし、金型隙間から配管の扁平による片側肉厚は0.35mm程度あり、被覆管強度と比べても十分な強度を有する。また、製作での再現性等を考慮に入れて油圧プレス圧力を5MPaに変更することにした。

3.3 配管内圧力の確認試験

Fig. 3-2に配管内圧力の確認試験のフローシートを示す。

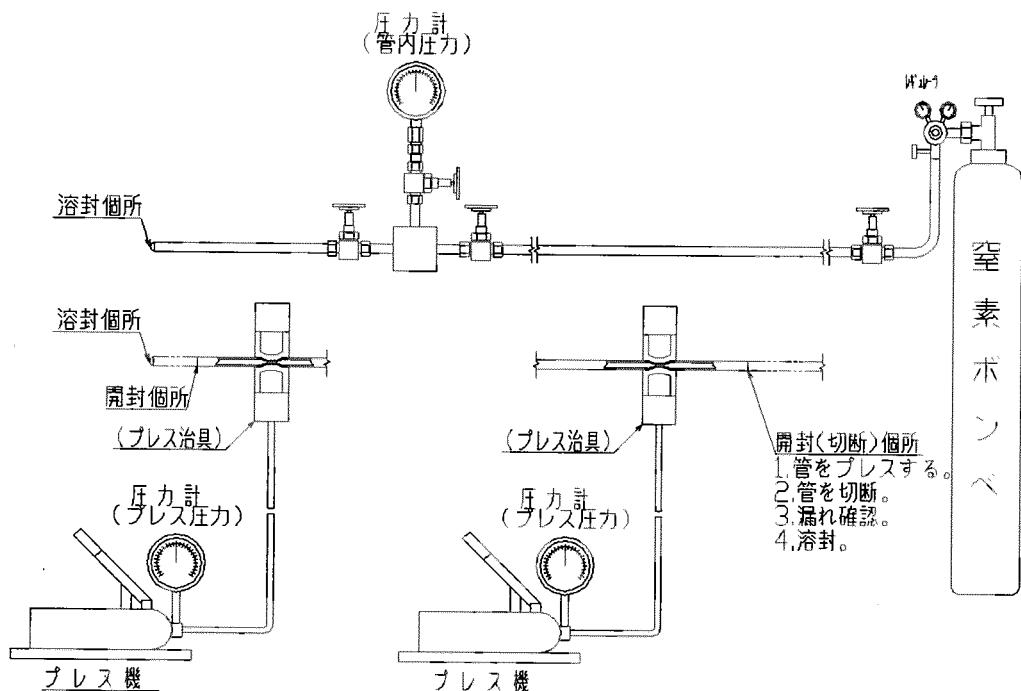


Fig. 3-2 配管内圧力の確認試験のフローシート

確認試験は、管内を真空・置換した後5MPaまで加圧し、圧力計と止め弁のボンベ側の配管途中を油圧プレス5MPaで閉止し、閉止部を溶接で密封し、圧力計の変化を調べた。密封溶接後1時間放置しても圧力計の低下は見られなかった。

以上の結果から、圧力管試験片の組立手順を以下の通りと決定した。

- ① 試験片内部をヘリウムガスで3回以上置換を行う。
- ② 試験片内部に圧力計(A)により、所定圧力を加圧する。
- ③ プレス位置に金型をセットし、圧力計(B)の油圧プレス圧力を5MPaまで加圧し圧着する。(作業中は、當時その圧力を維持すること。)
- ④ プレス位置の一時側圧力を解放し、切断位置で配管を切断する。
- ⑤ 直ちに、切断位置のバブル試験を行い、漏れのないことを確認する。
- ⑥ 切断部の孔に栓(Φ1.6棒)を差し込み、溶接で密封する。
- ⑦ 完成品についてヘリウムリーク検査を実施し、漏れ流量が 1×10^{-7} Pam³/sec以下とする。
- ⑧ 溶接部の放射線透過試験を実施し、各部に異常のないことを確認する。
- ⑨ 外径寸法測定を行う。

Fig. 3-3にガス加圧封入圧着フローシートの概略図を示す。

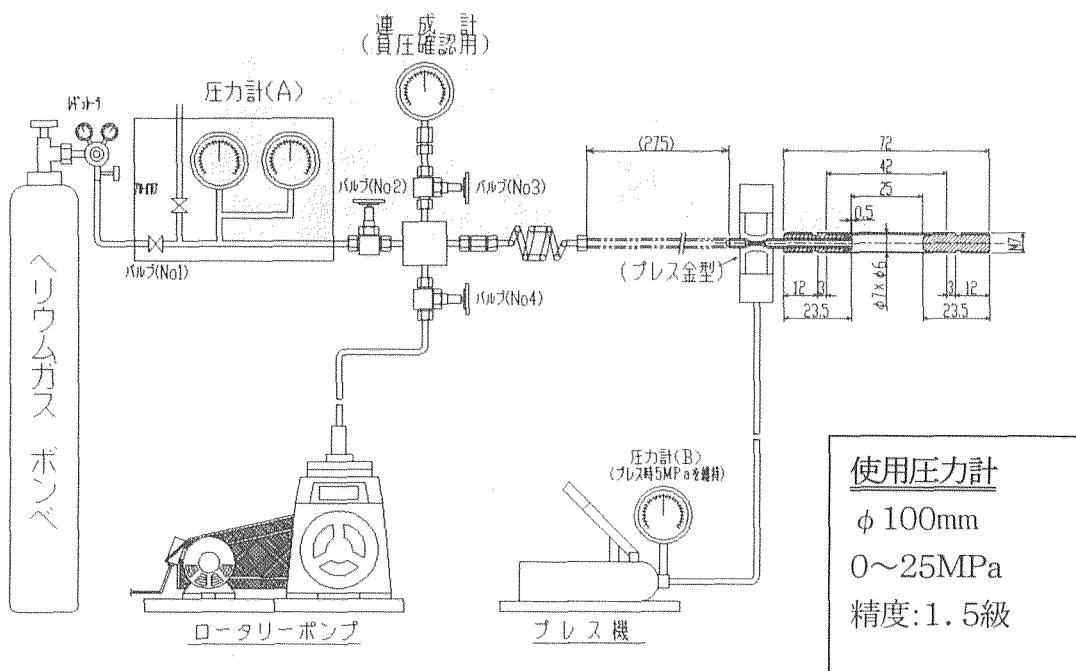


Fig. 3-3 ガス加圧封入圧着フローシート概略図

3.4 試験片内の容積確認試験

モックアップ試験で決定した組立手順と条件によりダミー試験片を製作し、試験片内部に封入したヘリウムガスが、組立中および溶接時に漏れていない事を確認することにした。確認試験は、水中においてダミー試験片の1/8"配管に切り込みを入れて切断し、管内から放出される全てのヘリウムガス容積を採取測定し、計算上の容積と比較する。

Fig. 3-4に内容積確認試験の概略図を、Photo3-3にダミー試験片の外観写真を示す。

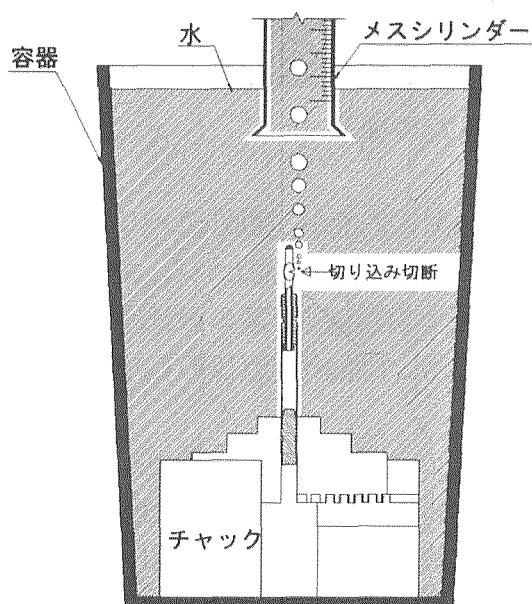


Fig. 3-4 内容積確認試験の概略図

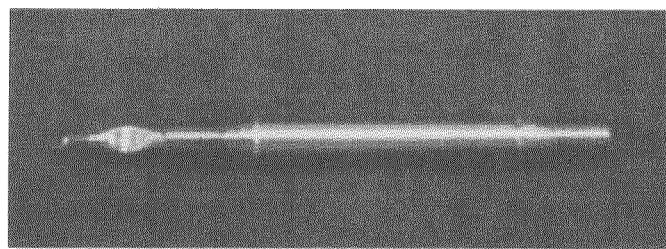


Photo3-3 ダミー試験片の外観写真

ダミー試験片の封入圧力は、 4.2 MPa (42.86 kg/cm^2)であり、ヘリウムガス容積の計算値は、以下の通りである。

$$(計算値) = \text{Pa} \times V$$

$$= \text{封入圧力}(42.86 \text{ kg/cm}^2) \times \text{管内容積(約}0.80\text{cm}^3\text{)} = \underline{\underline{34.29 \text{ cc}}}$$

Photo3-4に容積採取時の気泡の様子を、Photo3-5に全容量のヘリウムガスを採取後の外観写真を示す。

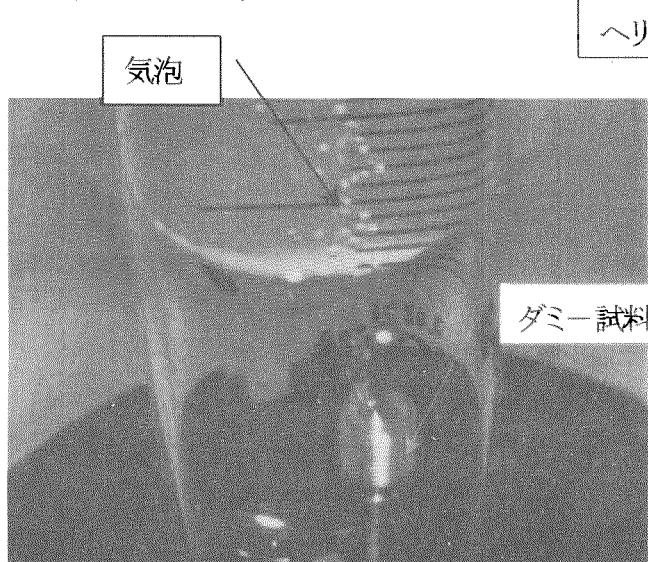


Photo3-4 容積採取時の気泡の様子

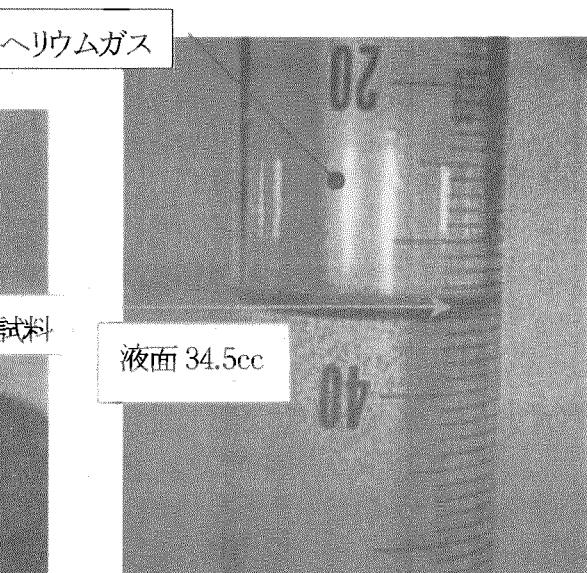


Photo3-5 採取後の外観写真

Photo3-5 から、ダミー試験片の内部から採取したヘリウムガスの測定値は約34.5 ccと判断し、上記の計算結果とほぼ一致していると思われる。また、製作中において行う配管切断後直ちに実施するバブルテストと本容積確認試験の両試験を考え併せて、漏れの発生は無いものと考える。更に、加熱炉を使用して照射温度(300°C)迄昇温した後でも、漏れが無く同様な結果が得られた。

以上の考察により、本手法での $1/8$ "管切断後の溶接による本封止までの時間は短いので、封入ヘリウムガス圧の喪失を推定(計算)しても高々 0.007 MPa ^(注1)相当分なので、本手法によって十分な圧力精度の圧力管試験片を製作することが出来ると結論できる。

(注1) リーク量 $1 \times 10^{-4} \text{ Pam}^3/\text{sec}$ で10分間漏れたと仮定。

Photo3-6 に容積確認試験後の圧力管試験片の外観写真を示す。

切り込み部

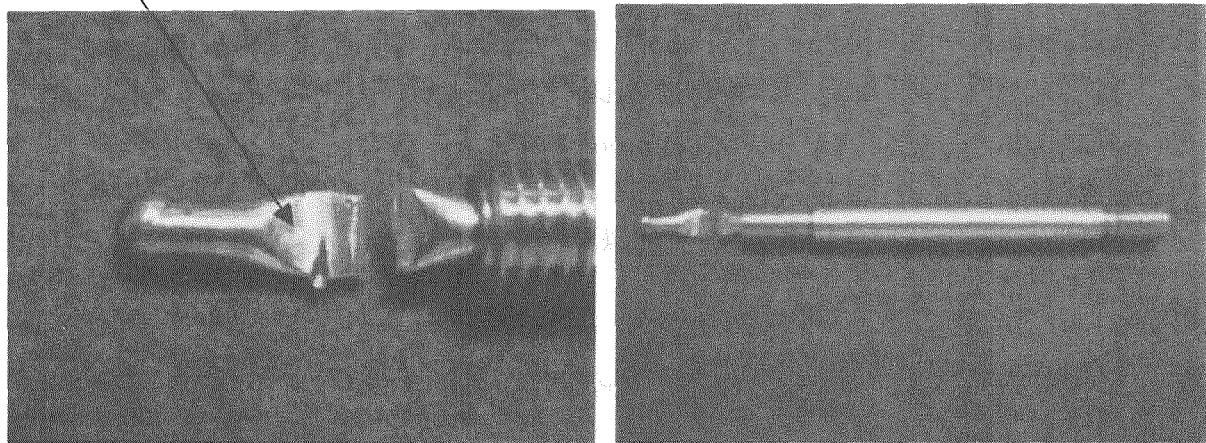


Photo3-6 容積確認試験後の圧力管試験片の外観写真

4. 圧力管試験片の製作

モックアップ試験で決定した最適な組立手順に則り、照射用の圧力管試験片を製作した。製作した圧力管試験片の試験片番号と封入圧力の関係は、下表の通りである。

試験片番号	封入圧力(MPa)
TP-01	0
TP-02	2.6
TP-04	4.0
TP-05	4.8
TP-06	4.8
TP-07	5.5
TP-08	5.5
TP-09	4.0
TP-13	0
TP-14	2.6
TP-15	4.0
TP-16	4.0
TP-17	4.8
TP-18	4.8
TP-19	5.5
TP-20	5.5

製作した圧力管試験片は、以下の検査を実施した。

1) 外径測定

外径5カ所をXY2方向について、デジタルマイクロメータを用いて $1\text{ }\mu\text{m}$ 精度で測定した。

測定器の型式は、MDQ-30M Mitutoyo 製である。

2) 全長測定

$1\text{ }\mu\text{m}$ 精度で移動可能なステージに試験片を置いて、顕微鏡とCCDカメラを通して、ステージの目盛りを直読した。

3) ヘリウムリーク検査

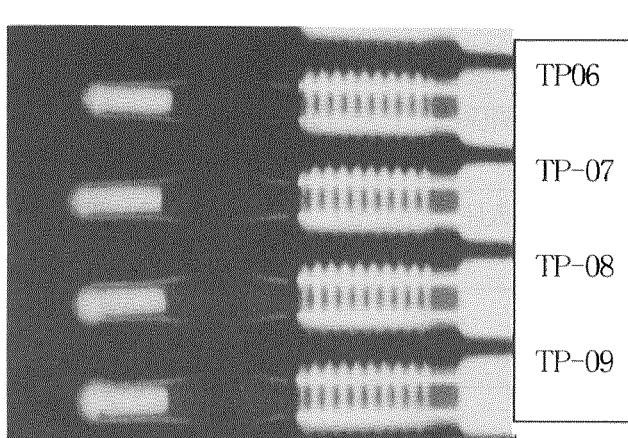
漏れ流量が $1\times 10^{-7}\text{ Pam}^3/\text{sec}$ 以下であること。

4) 溶接部X線透過検査

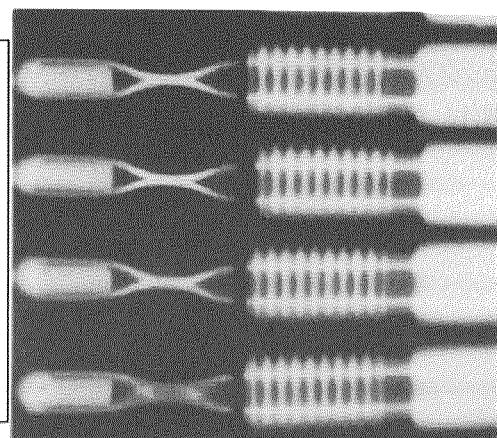
溶接部に割れ・傷及び溶け込み不足の発生が無いこと。

Table4-1とTable4-2に、圧力管試験片の検査結果を示す。

また、下記に、TP-06からTP-09の溶接部X線透過検査のフィルムを示す。



X方向撮影



Y方向撮影

下記に完成品の外観写真を示す。

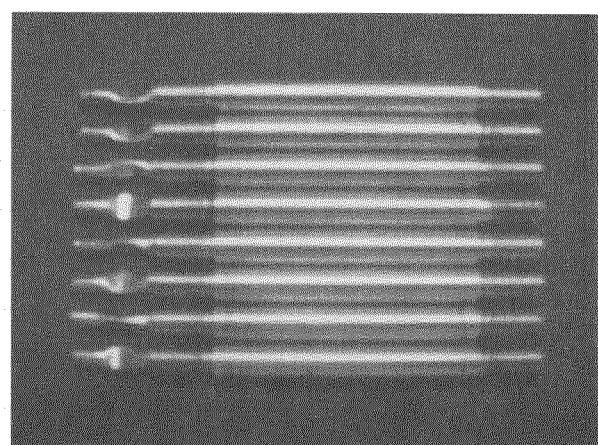
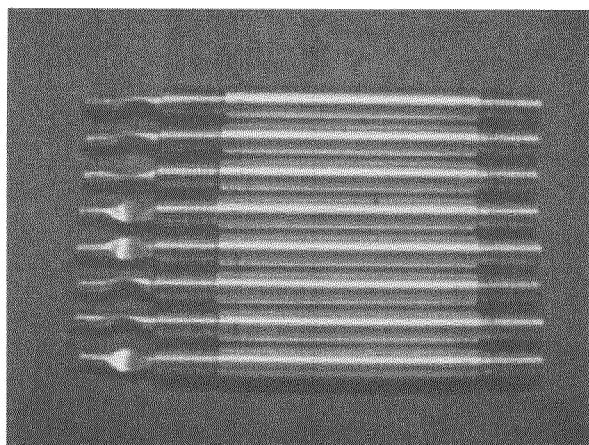
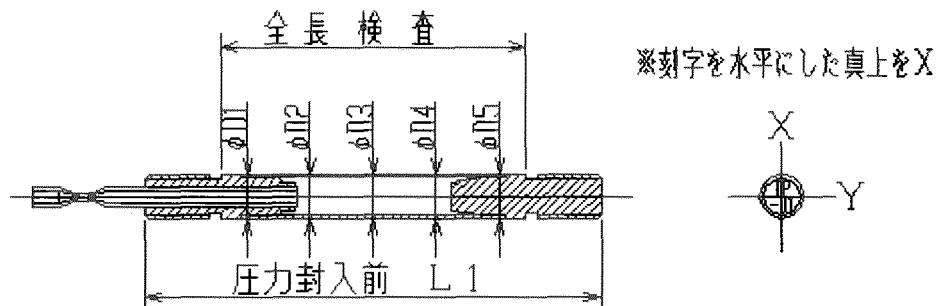
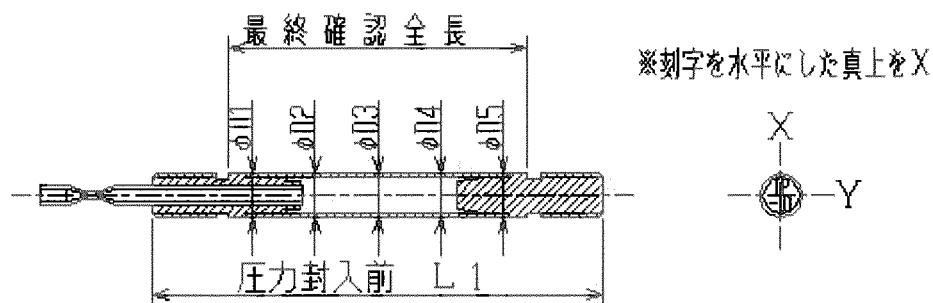


Table4-1 圧力管試験片の検査結果(1)



刻字番号 (封入圧力 MPa)	圧力状態		ϕD_1	ϕD_2	ϕD_3	ϕD_4	ϕD_5	L 1	H_{eff-7} ($P\text{am}^3/\text{s}$)	全長検査
TP-01 (0 MPa)	圧力封入前	X	7.013	6.993	6.994	6.993	7.015	72.05		
	圧力封入後	Y	7.013	6.992	6.994	6.994	7.016	72.06	4.0×10^{-11}	48.038
TP-02 (2.6 MPa)	圧力封入前	X	7.032	6.993	6.995	6.995	7.009	72.03		
	圧力封入後	Y	7.033	6.994	6.993	6.992	7.003	72.02	5.9×10^{-11}	47.950
TP-09 (4.0 MPa)	圧力封入前	X	7.046	6.998	6.994	6.993	7.009	72.09		
	圧力封入後	Y	7.043	6.994	6.993	6.994	7.015	79.07	3.8×10^{-11}	47.868
TP-04 (4.0 MPa)	圧力封入前	X	7.029	6.993	6.995	6.994	7.022	72.04		
	圧力封入後	Y	7.035	6.996	6.993	6.995	7.037	72.03	4.6×10^{-11}	48.002
TP-05 (4.8 MPa)	圧力封入前	X	7.004	6.990	6.993	6.991	7.005	72.03		
	圧力封入後	Y	7.011	6.994	6.994	6.995	7.010	72.04	2.3×10^{-11}	48.014
TP-06 (4.8 MPa)	圧力封入前	X	7.010	6.990	6.995	6.994	7.019	72.04		
	圧力封入後	Y	7.017	6.995	6.995	6.995	7.022	72.03	3.0×10^{-11}	47.937
TP-07 (5.5 MPa)	圧力封入前	X	7.029	6.990	6.993	6.993	7.019	72.02		
	圧力封入後	Y	7.022	6.993	6.992	6.992	7.023	72.02	4.4×10^{-11}	47.967
TP-08 (5.5 MPa)	圧力封入前	X	7.023	6.996	6.996	6.996	7.022	72.05		
	圧力封入後	Y	7.022	6.994	6.995	6.995	7.021	72.02	4.0×10^{-11}	47.935

Table4-2 圧力管試験片の検査結果(2)



刻字番号 (注入圧力 MPa)	圧力状態		Φ D 1	Φ D 2	Φ D 3	Φ D 4	Φ D 5	L 1	ヘリート (Pa m ³ /s)	全長検査
TP-13 (0 MPa)	圧力封入前	X	7.016	6.990	6.991	6.995	7.004	72.06		
	圧力封入後	Y	7.020	6.993	6.992	6.993	7.011	72.05		
TP-14 (2.6 MPa)	圧力封入前	X	7.022	6.991	6.992	6.995	7.012	72.05		
	圧力封入後	Y	7.047	6.994	6.993	6.992	7.003	72.02		
TP-15 (4.0 MPa)	圧力封入前	X	7.012	6.994	6.992	6.996	7.021	72.06		
	圧力封入後	Y	7.002	6.990	6.992	6.992	7.010	72.04		
TP-16 (4.0 MPa)	圧力封入前	X	7.015	6.999	6.995	6.997	7.024		4.6x10 ⁻¹¹	
	圧力封入後	Y	7.018	6.994	6.996	6.995	7.020			48.144
TP-17 (4.8 MPa)	圧力封入前	X	7.018	6.993	6.993	6.992	7.031	72.07		
	圧力封入後	Y	7.027	6.994	6.993	6.994	7.034	72.04		
TP-18 (4.8 MPa)	圧力封入前	X	7.013	6.994	6.996	6.996	7.033		1.3x10 ⁻¹¹	
	圧力封入後	Y	7.036	6.999	6.997	6.996	7.028			48.010
TP-19 (5.5 MPa)	圧力封入前	X	7.014	6.994	6.995	6.996	7.026	72.04		
	圧力封入後	Y	7.021	6.998	6.998	6.995	7.015	72.05		
TP-20 (5.5 MPa)	圧力封入前	X	7.018	6.996	6.997	6.999	7.014		5.3x10 ⁻¹¹	
	圧力封入後	Y	7.025	7.001	7.000	6.996	7.021			48.029
TP-18 (4.8 MPa)	圧力封入前	X	7.022	6.996	6.995	6.995	7.029	72.04		
	圧力封入後	Y	7.019	6.996	6.996	6.998	7.026	72.04		
TP-19 (5.5 MPa)	圧力封入前	X	7.026	7.000	6.997	6.996	7.037		3.4x10 ⁻¹¹	
	圧力封入後	Y	7.018	6.997	7.000	6.999	7.040			48.099
TP-19 (5.5 MPa)	圧力封入前	X	7.030	6.995	6.997	6.994	7.013	72.00		
	圧力封入後	Y	7.019	6.996	6.996	6.996	7.020	72.01		
TP-20 (5.5 MPa)	圧力封入前	X	7.031	6.999	6.999	6.996	7.010		3.4x10 ⁻¹¹	
	圧力封入後	Y	7.019	6.998	6.998	6.999	7.021			48.004
TP-20 (5.5 MPa)	圧力封入前	X	7.020	6.997	6.996	6.995	7.017	72.03		
	圧力封入後	Y	7.014	6.996	6.996	6.998	7.028	72.04		
TP-20 (5.5 MPa)	圧力封入前	X	7.030	7.001	6.997	6.995	7.015		4.0x10 ⁻¹¹	
	圧力封入後	Y	7.016	6.997	6.997	6.999	7.027			48.072

5. 圧力管試験片の外径寸法測定

製作した圧力管試験片の外径寸法を高精度で測定するため、レーザを利用した寸法測定器と旋盤を組み合わせて自動寸法測定装置を作った。これによって圧力管試験片の外形寸法と長さ方向との関係を自動的に収録した。この方法は、ホットラボにおける圧力管試験片の照射後試験において、同様の装置を用いて測定する可能性を試験する目的もあった。

Photo5-1 に測定時の外観写真を示す。

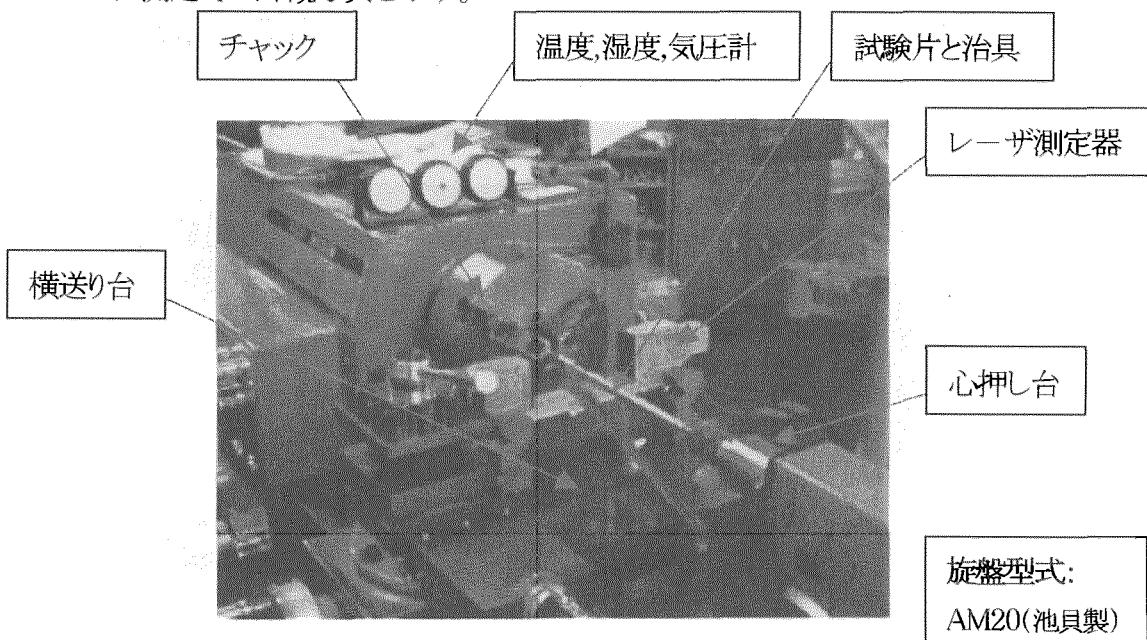


Photo5-1 外径寸法測定外観写真

試験片は、両端のネジ部を利用して治具を取り付け、治具端部を旋盤チャックに固定し、もう片側の端部を旋盤の心押し台で試験片を押して試験片の中心軸が出るようにセットした。また、レーザ測定器は旋盤の横送り台の上に乗せて、レーザ測定器の測定部中心に試験片が来るよう調整し固定した。一方、測定部の系統図は、下記のとおりである。

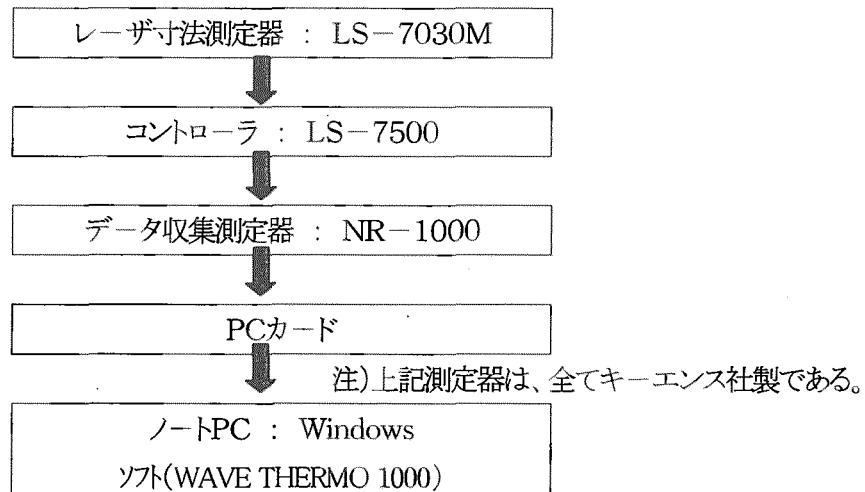


Photo5-2に測定器の外観写真を示す。

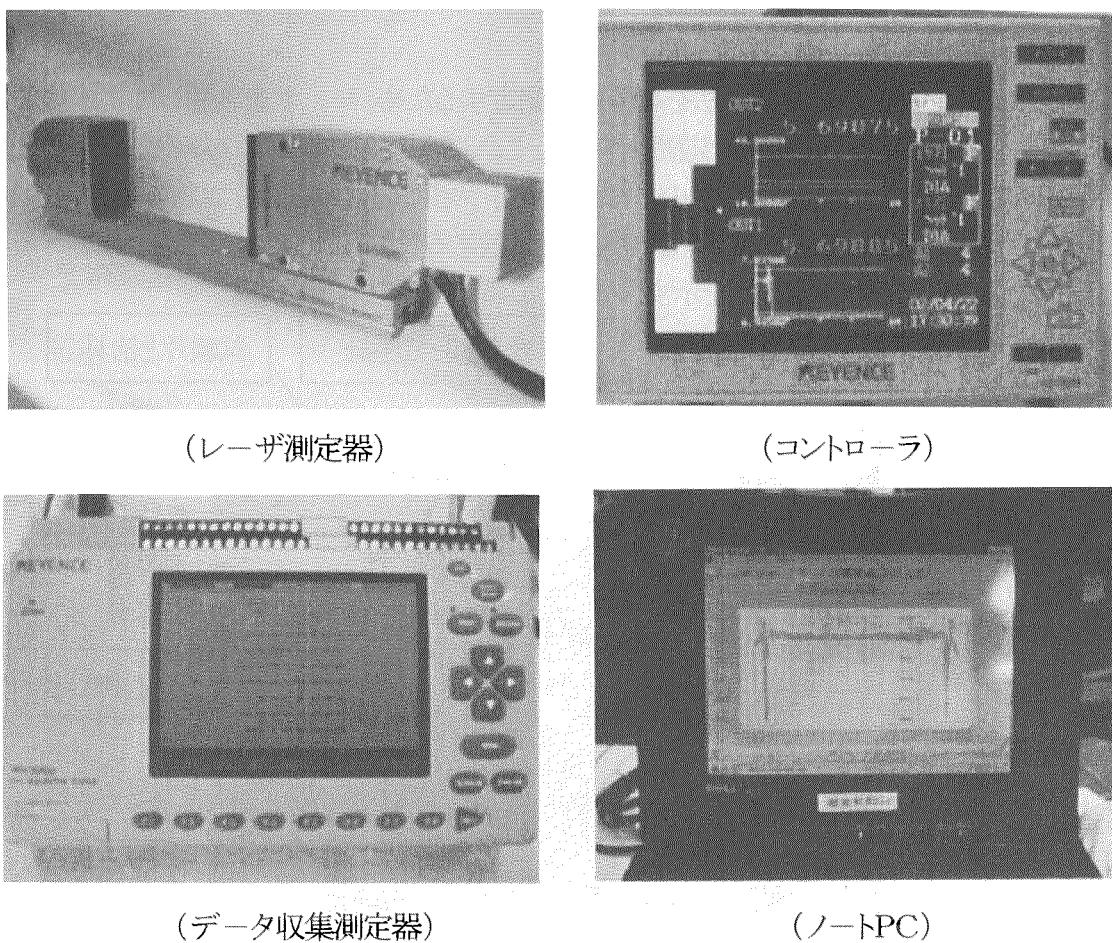


Photo5-2 測定器の外観写真

外形寸法測定は、レーザ測定器を試験片の測定開始位置にセットし、ソフト(WAVE THERMO 1000)のデータ収集開始と共に、旋盤の自動横送りをスタートさせてデータの収集を行う。

寸法測定の各種条件は以下の通りである。

- 1) 測定箇所 :外径7mmの平行部分(長さ約48mm)
- 2) 旋盤回転数 :35回転／分
- 3) 旋盤横送りピッチ :0.7mm／回転
- 4) 旋盤横送り速度 :24.5mm／分(計算値)
- 5) アナログ電圧出力:±10V

公差設定: (+10Vの時に $7010 \mu\text{m}$ に設定) - (-10Vの時に $6950 \mu\text{m}$ に設定)

- 6) 最小表示単位 : $0.01 \mu\text{m}$ (分解能)
- 7) サンプリング周期 :100ms
- 8) 測定平均回数 :512(移動平均方式)
- 9) サンプリング数 :1500

Table5-1 に、収集した試験片(TP01～TP09)中央部付近のサンプルデータを示す。

Table5-1 試験片(TP01～TP09)中央部付近のサンプルデータ

機種名: NR1000 サンプリング周期: 100[ms] ±10V

+10V=7010.000[μm]-10V=-6950.000[μm]

Analog[μm]

TP01	TP02	TP04	TP05	TP06	TP07	TP08	TP09
6998.414	6999.761	7001.204	6999.44	6999.512	6998.99	7001.642	7000.451
6998.228	6999.605	7000.634	6999.646	6999.397	6998.562	7001.444	7000.253
6998.249	6999.44	7000.094	6999.596	6999.989	6998.261	7001.543	7000.199
6997.961	6999.551	7000.525	6999.143	7000.832	6997.961	7001.891	7000.049
6998.219	6999.902	7001.138	6998.567	7000.943	6997.7	7001.891	7000.147
6999.395	7000.304	7001.339	6998.087	7000.457	6997.648	7001.711	7000.396
6999.701	7000.454	7001.354	6997.616	7000.106	6997.988	7001.396	7000.601
6999.263	7000.139	7001.156	6996.749	6999.827	6998.57	7001.45	7000.607
6998.896	6999.713	7000.82	6997.031	6999.548	6998.699	7001.594	7000.601
6998.315	6999.506	6999.98	6998.333	6999.626	6998.453	7001.246	7000.601
6997.771	6999.353	6999.209	6998.861	7000.145	6998.272	7000.943	7000.448
6997.511	6999.404	7000.787	6999.035	7000.889	6998.149	7001.141	7000.304
6997.9	6999.599	7001.864	6998.996	7001.144	6998.149	7001.639	7000.304
6998.354	7000.001	7000.859	6998.852	7000.667	6998.048	7001.744	7000.304
6998.768	7000.448	7000.691	6998.798	7000.049	6998	7001.543	7000.454
7000.1	7000.211	7000.991	6998.948	6999.704	6998.3	7001.393	7000.745
7000.316	6999.959	7001.039	6998.798	6999.344	6998.801	7001.093	7000.703
6998.813	6999.803	7000.646	6998.945	6999.296	6998.849	7000.625	7000.547
6997.871	6999.659	7000.247	6999.002	7000.004	6998.393	6999.684	7000.349
6997.532	6999.404	7000.193	6998.696	7000.727	6998.066	6999.287	7000.199
6997.52	6999.551	7000.445	6998.696	7000.844	6998.099	7000.211	7000.202
6997.919	6999.902	7001.048	6998.948	7000.844	6998.252	7000.595	7000.25
6999.017	7000.205	7001.588	6999.044	7000.508	6998.546	6999.872	7000.319
6999.863	7000.244	7001.831	6998.896	6999.587	6998.99	6999.646	7000.604
6999.425	6999.893	7001.696	6998.732	6998.615	6999.449	6999.845	7000.697
6998.57	6999.557	7001.201	6999.146	6998.146	6999.302	7000.145	7000.648
6998.153	6999.389	7000.73	6999.557	6998.762	6998.937	7000.525	7000.601
6998.015	6999.063	7000.493	6999.698	7000.259	6998.65	7000.592	7000.508

Fig5-1 から Fig5-8 に、寸法測定の収集データからExcelで編集した波形グラフ(TP01～TP09)を示す。

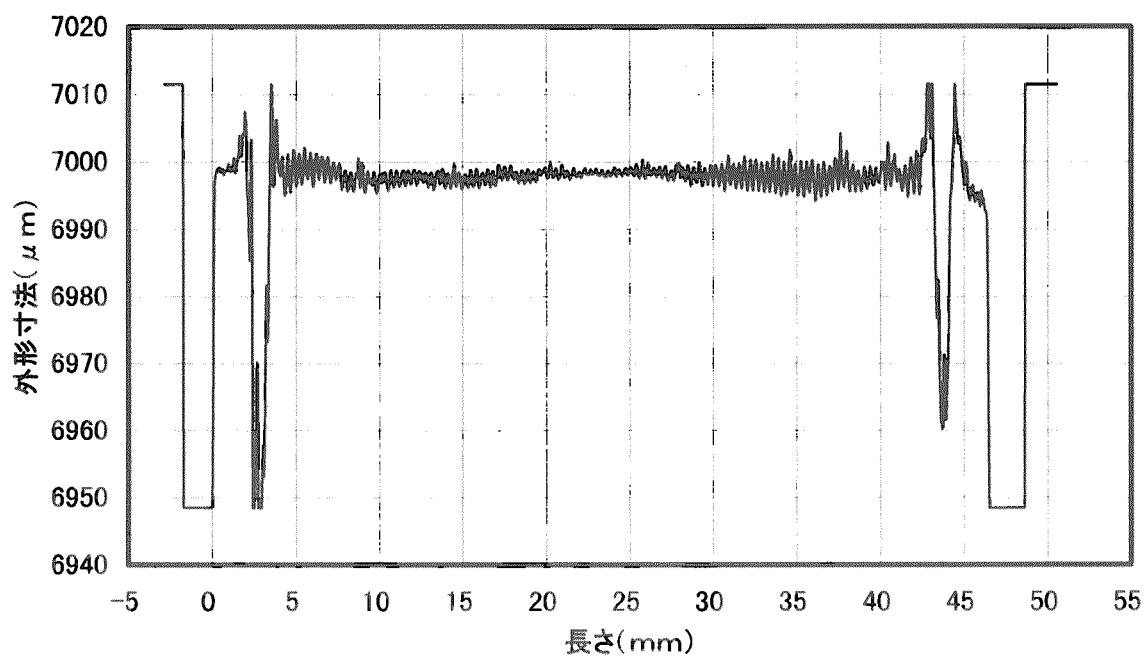


Fig.5-1 レーザ外径測定(TP01: 0 MPa)

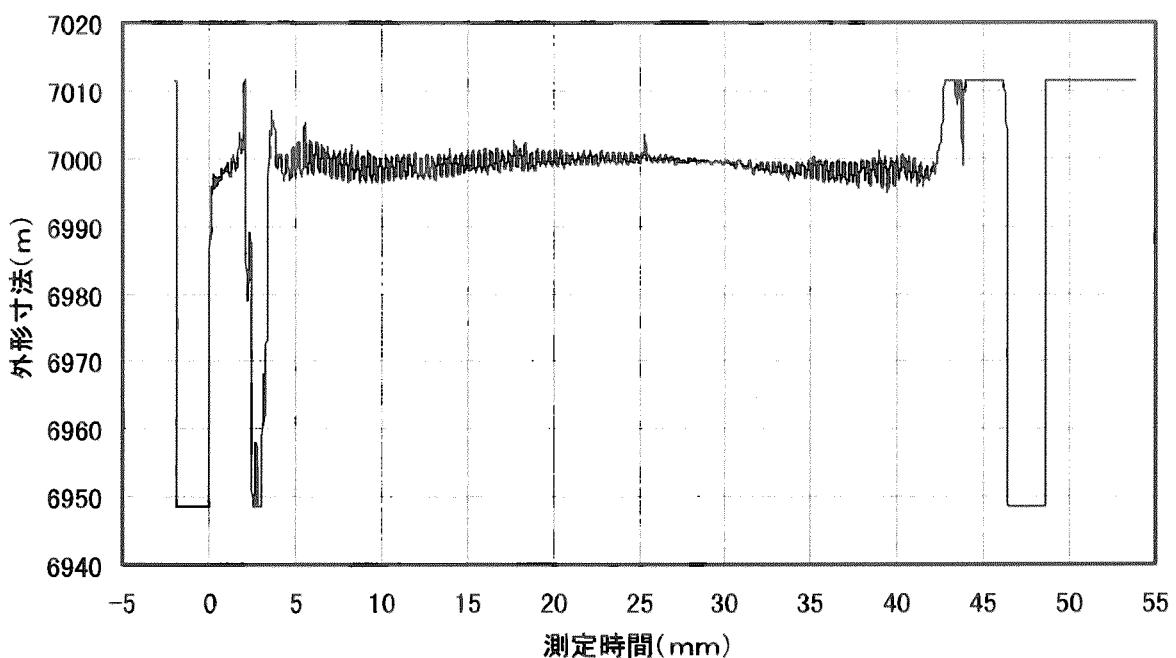


Fig.5-2 レーザ外径測定(TP02: 2.6 MPa)

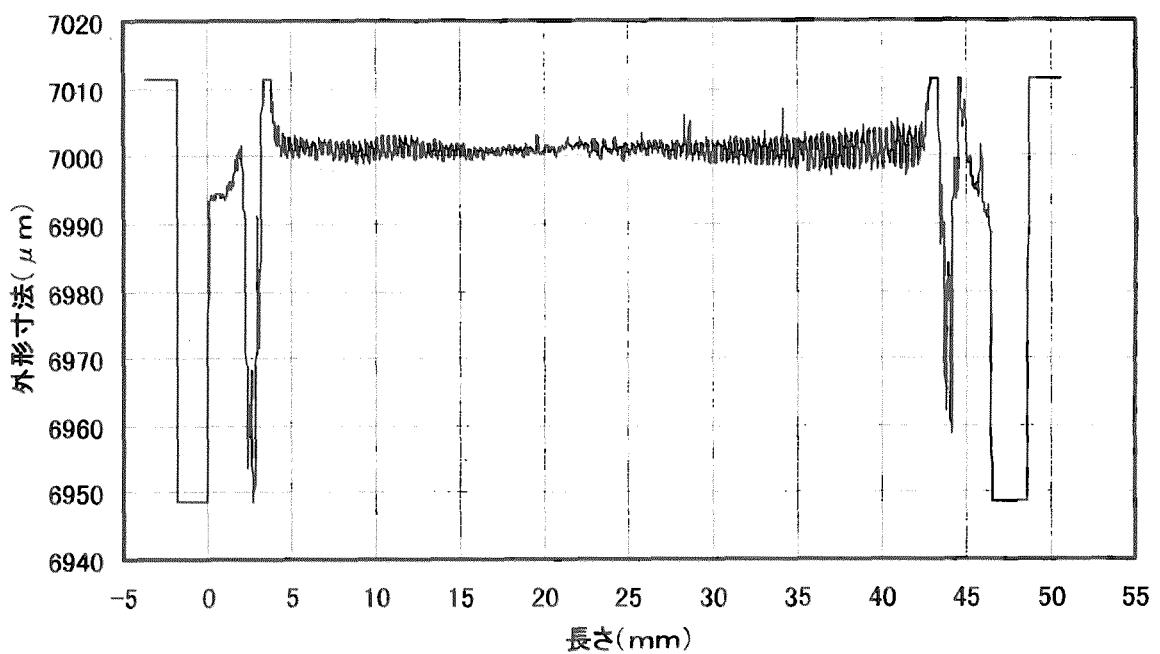


Fig.5-3レーザ外径測定(TP04: 4 MPa)

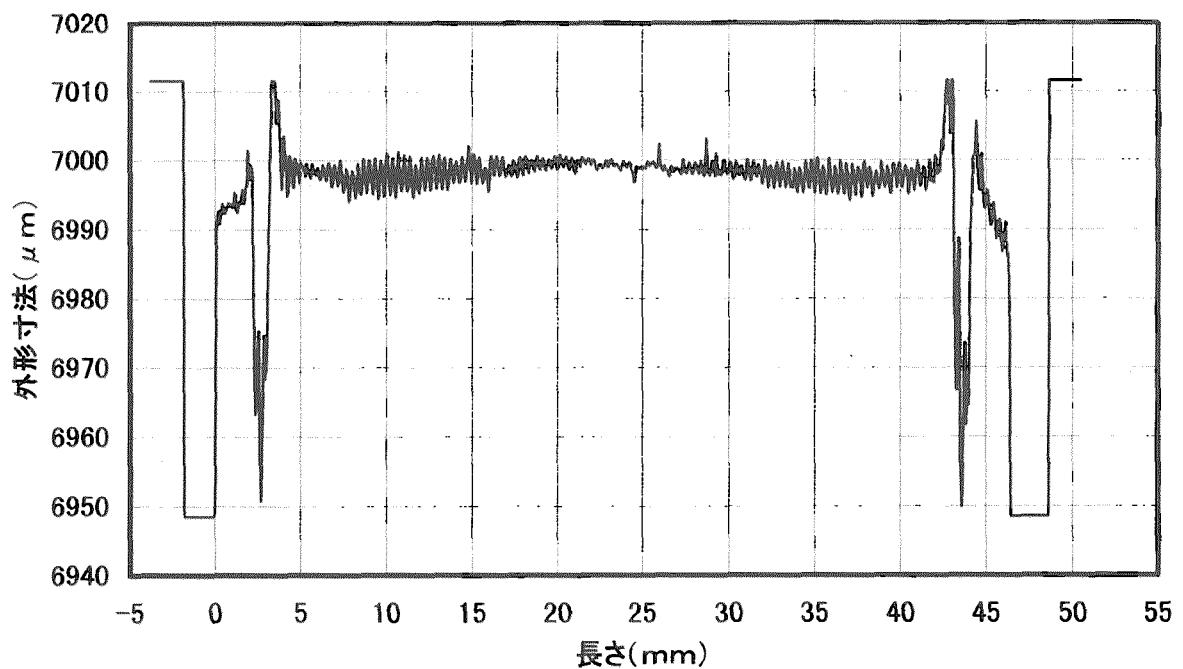


Fig.5-4レーザ外径測定(TP05: 4.8 MPa)

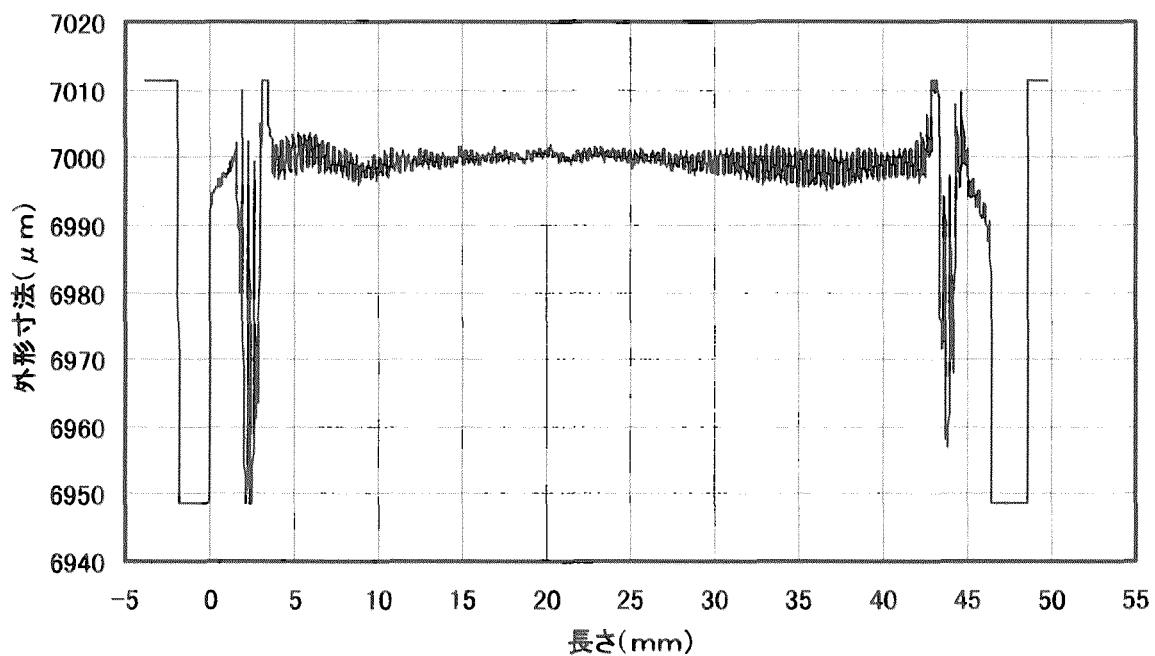


Fig.5-5レーザ外径測定(TP06:4.8MPa)

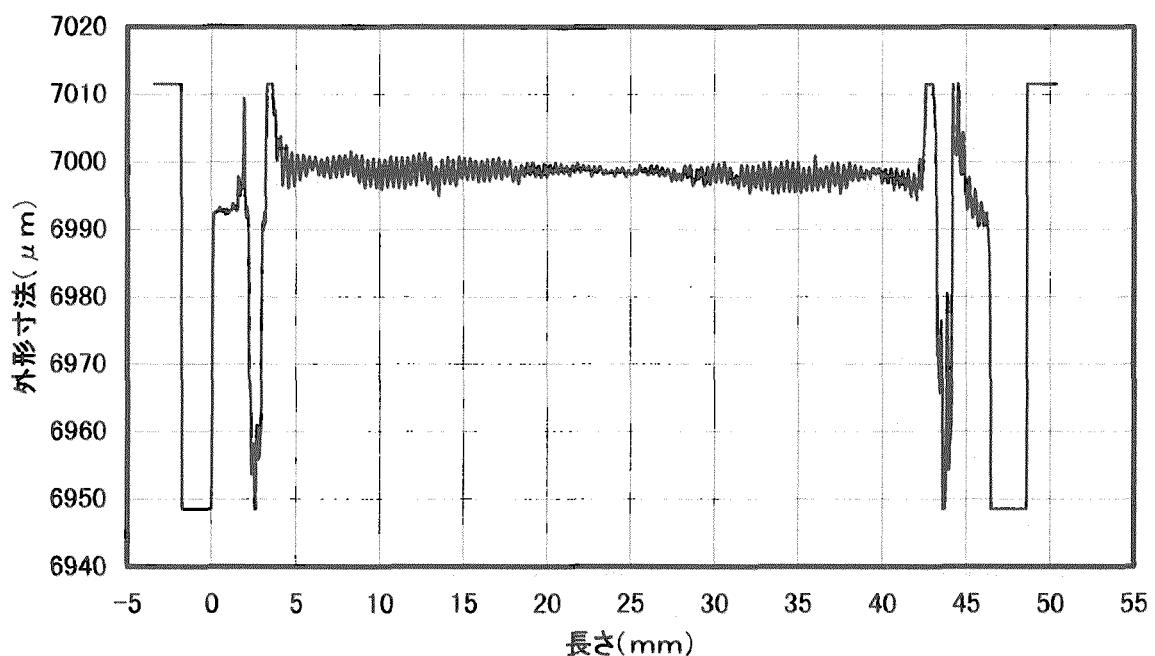


Fig.5-6レーザ外径測定(TP07:5.5MPa)

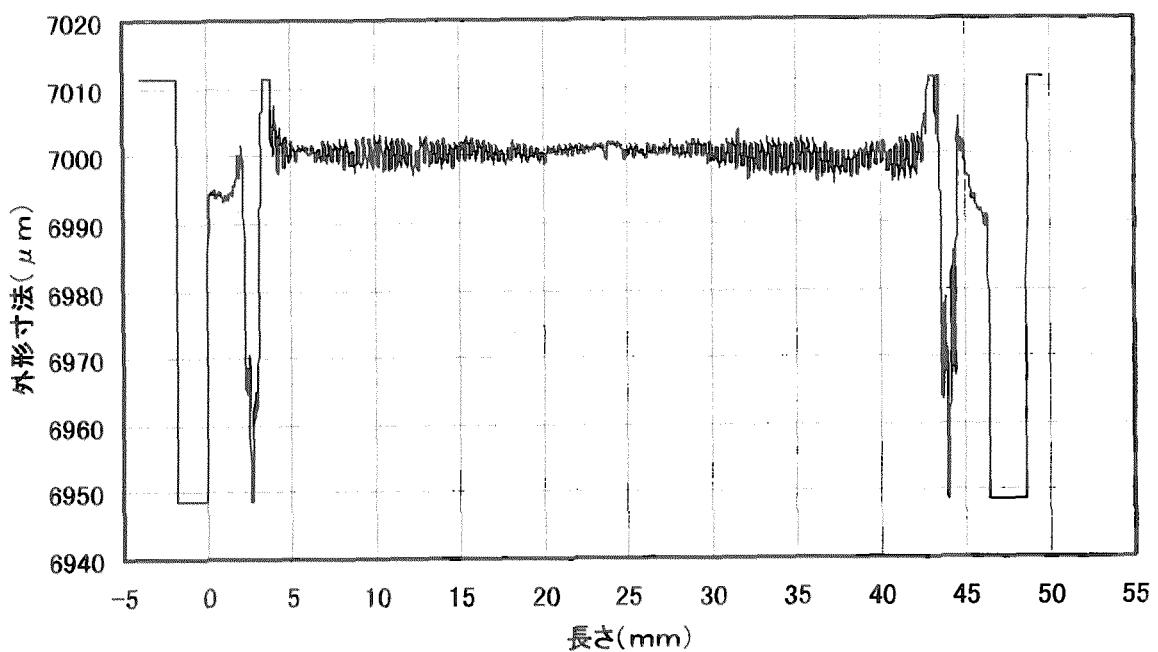


Fig.5-7レーザ外径測定(TO08: 5. 5Mpa)

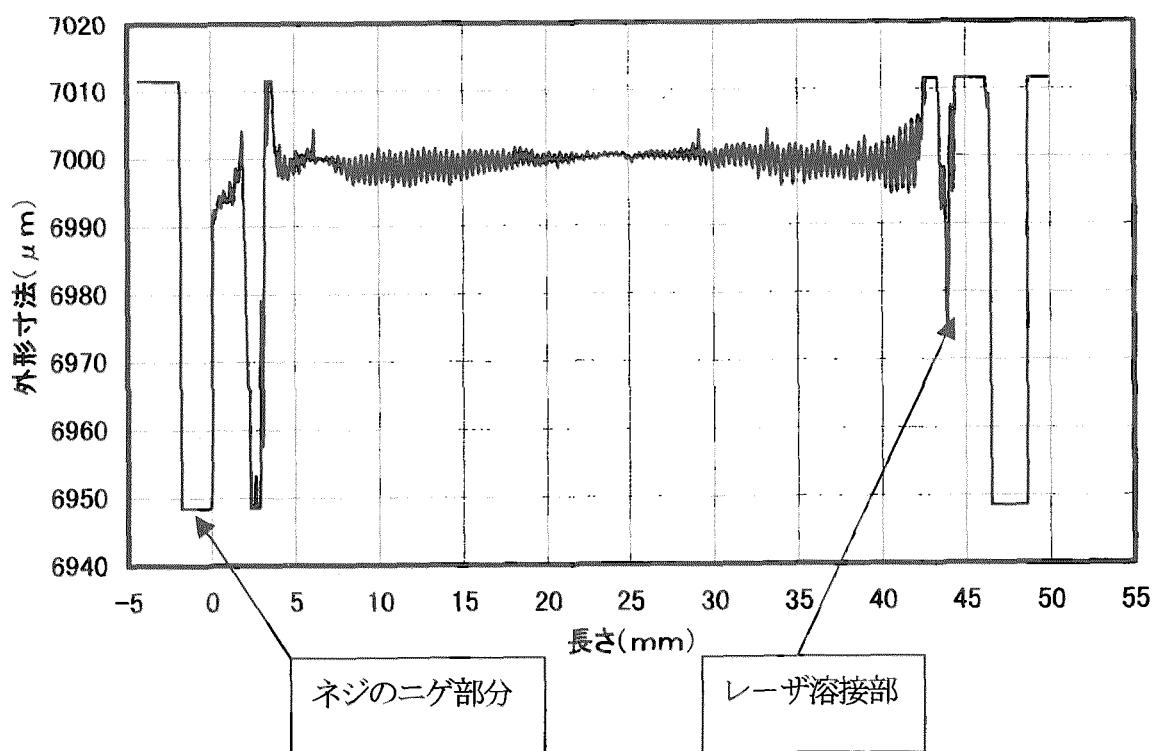


Fig.5-8レーザ外径測定(TP09: 4MPa)

波形グラフは、Fig.2-1 の圧力管試験片の構造図を参照すると、両端の凹み部分は試験片ネジ部のニゲ部分であり、両端のV字形状はレーザ溶接部分である。全てのグラフは、同様な波形を現し、Table5-1 のサンプリングデータからも判るように、目的とする圧力管試験片の高精度の外形寸法測定が行えた。

Fig.5-9 及び Fig.5-10 は、代表的試験片平行中心部約20mm部分の外形寸法の波形グラフを示したものである。各グラフには、線形表示で各試験片の平均外径を近似直線で表示した。

近似直線から各試料の真円度は、約 $\pm 2 \mu\text{m}$ である。

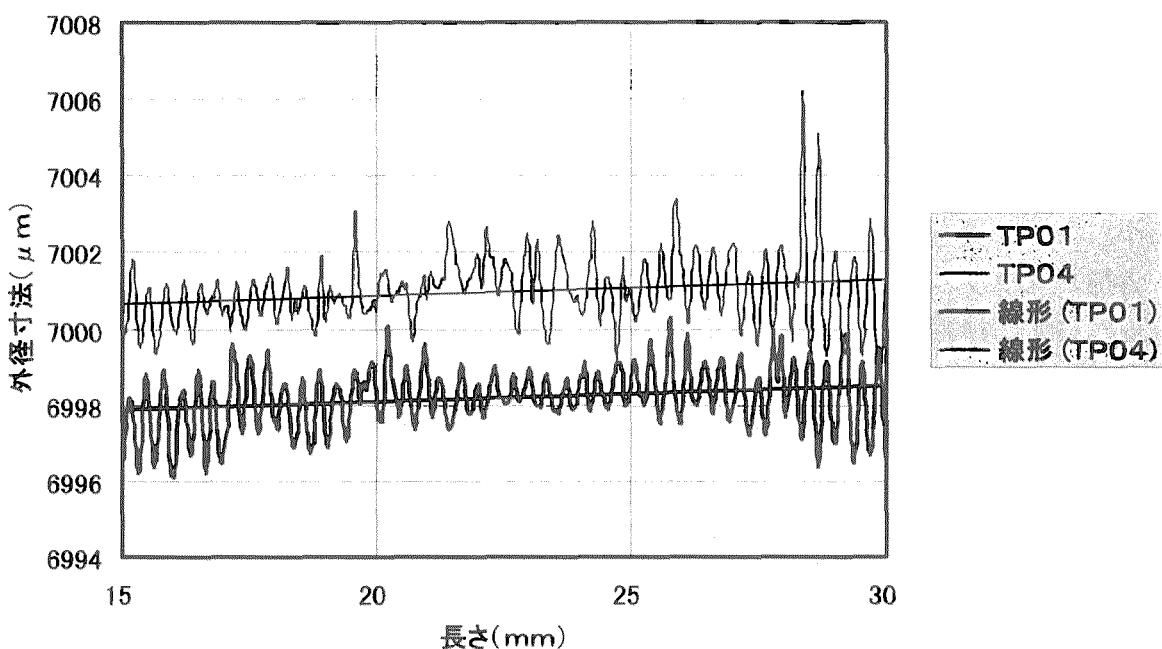


Fig.5-9 平行部外径寸法(1)

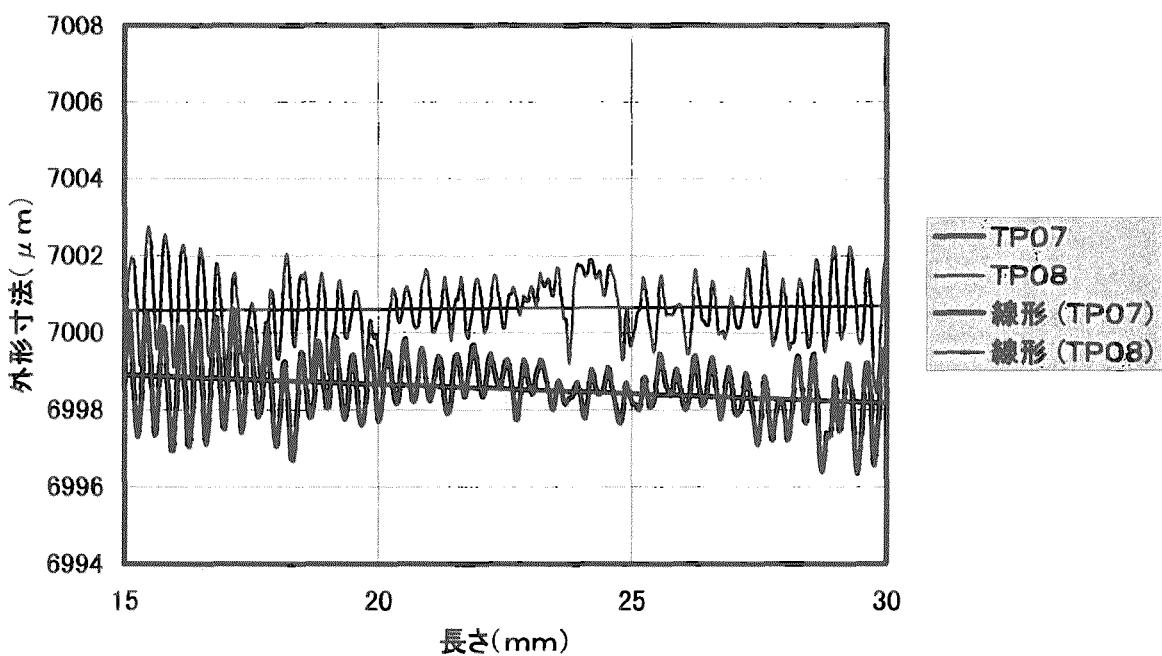


Fig.5-10 平行部外形寸法測定(2)

6. まとめ

超高燃焼度化を図るための燃料用被覆管候補材料である改良型ステンレス鋼管の、照射による照射クリープデータ及びクリープ変形後の引張特性取得を目的に、照射試験用圧力管試験片の製作とレーザー外径測定器を使用した高精度寸法測定を行い以下の知見を得た。

各種モックアップによる確認試験により、製作のための作業手順と条件を確立すると共に、漏れ検査と容積確認試験等により、最大で5.5MPaのヘリウムガスを加圧充填した圧力管試験片の製作を可能とした。

製作した圧力管試験片は原子炉での照射試験により、中性子照射と内圧力の影響からクリープ変形が発生し、寸法の変化が予想される。このために、照射前後における試験片外径寸法の微小な変化を高精度で把握する必要があり、レーザ測定器と旋盤を組み合わせた方法を用いて照射試験前の外径寸法の高精度測定を行った。その結果、測定精度は、 $0.01 \mu\text{m}$ であり、各試料の真円度は、約 $\pm 2 \mu\text{m}$ であった。既設の旋盤を利用してレーザー測定器と組み合わせ、高精度自動外径測定装置としたが、この方法は十分な成功を収めた。

今後予定されている改良型ステンレス鋼燃料被覆管の照射後試験における高精度自動外径測定装置の製作に当たっては、本試験で得られた知見を基に、ホット試験特有の試験操作に対する制約等を考慮した設計とする等の工夫を行う予定である。

謝 辞

本報告書の作成に当たり、武山友憲工作技術グループリーダ及び材料照射解析研究グループ沢井友次氏よりご指導と励ましを頂き深く感謝いたします。また、寸法測定に当たっては、原子力エンジニアリングの関谷三男氏にご協力を頂き深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 井岡 郁夫 他: JAERI-Tech 2001-013、高性能被覆管材料の調査と基礎評価(2001.3)

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	$m \cdot kg/s^2$
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	$N \cdot m$
功率、放射束	ワット	W	J/s
電気量、電荷	クーロン	C	$A \cdot s$
電位、電圧、起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラード	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	$V \cdot s$
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	$cd \cdot sr$
照度	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
線量当量	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
トントン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

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

(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、1eVおよび1u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関係理事会指令では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	MPa(=10 bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg(Torr)	lbf/in ² (psi)
1	10.1972	0.224809			
9.80665	1	2.20462			
4.44822	0.453592	1			
粘度 1 Pa·s(N·s/m ²) = 10 P(ボアズ)(g/(cm·s))					
動粘度 1 m ² /s = 10 ⁴ St(ストークス)(cm ² /s)					
1.33322 × 10 ⁻⁴	1.35951 × 10 ⁻³	1.31579 × 10 ⁻³	1	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 cal = 4.18605 J(計量法)	
								= 4.184 J(熱化学)	= 4.1855 J(15 °C)
	1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻⁷	0.238889	9.47813 × 10 ⁻⁴	0.737562	6.24150 × 10 ¹⁸		= 4.1868 J(国際蒸気表)
	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	仕事率 1 PS(仏馬力)	
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹	= 75 kgf·m/s	
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 ⁻⁷	0.323890	1.28506 × 10 ⁻³	1	8.46233 × 10 ¹⁸	= 735.499 W	
	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		

放射能	Bq	Ci	吸収線量	Gy	rad	照射線量	C/kg	R	線量当量	Sv	rem
	1	2.70270 × 10 ⁻¹¹		1	100		1	3876		1	100
	3.7×10^{10}	1		0.01	1		2.58×10^{-4}	1		0.01	1

(86年12月26日現在)

内部を加圧した照射用被覆管試験片の製作



古紙配合率100%再生紙を使用しています