JAEA-Technology 2015-049 DOI:10.11484/jaea-technology-2015-049



炉外高温高圧水ループ試験装置の性能試験 (受託研究)

Performance Test of Ex-core High Temperature and High Pressure Water Loop Test Equipment (Contract Research)

中野 寛子	上原 聡明	武内 伴照	柴田 裕司
中村 仁一	松井 義典	土谷 邦彦	

Hiroko NAKANO, Toshiaki UEHARA, Tomoaki TAKEUCHI, Hiroshi SHIBATA Jinichi NAKAMURA, Yoshinori MATSUI and Kunihiko TSUCHIYA

> 原子力科学研究部門 大洗研究開発センター 照射試験炉センター

Neutron Irradiation and Testing Reactor Center Oarai Research and Development Center Sector of Nuclear Science Research March 2016

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。 本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。 なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ(<u>http://www.jaea.go.jp</u>) より発信されています。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究連携成果展開部 研究成果管理課 〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方 2 番地4 電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency. Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to Institutional Repository Section,

Intellectual Resources Management and R&D Collaboration Department, Japan Atomic Energy Agency.

2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2016

JAEA-Technology 2015-049

炉外高温高圧水ループ試験装置の性能試験 (受託研究)

日本原子力研究開発機構 原子力科学研究部門 大洗研究開発センター 照射試験炉センター

中野 寛子、上原 聡明^{*1}、武内 伴照、柴田 裕司 中村 仁一、松井 義典、土谷 邦彦

(2015年12月15日受理)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構では、原子力施設でシビアアクシデントが発生した 際に、プラント状態を監視するため、過酷環境下でも高解像度で監視できる耐放射線性カメラ、 炉内の情報を伝送するための無線伝送システムならびに計測線等の高度化に向けた要素技術の基 盤整備を進めている。計測線の高度化開発の一環として、高温型 MI ケーブルの信頼性およびそ れらを構成するシース材料の特性を調べるため、PWR 及び BWR 条件の炉内環境を模擬できる炉 外高温高圧水ループ試験装置を整備した。本装置は、圧力容器(オートクレーブ)、水質調整タン ク、送水ポンプ、高圧定量ポンプ、予熱器、熱交換器および純水精製装置などから構成されてい る。

本報告書は、炉外高温高圧水ループ試験装置の製作にあたって構成する機器の基本設計及び当該装置を用いた性能試験結果についてまとめたものである。

本報告書は、経済産業省資源エネルギー庁からの受託事業として実施した「発電用原子炉等安 全対策高度化技術基盤整備事業(特殊環境下で使用可能な監視システム高度化)」の一環として、 日本原子力研究開発機構が実施した成果の一部である。

大洗研究開発センター:〒311-1393 茨城県東茨城郡大洗町成田町 4002

*1 特定課題推進員(原子力エンジニアリング株式会社)

Performance Test of Ex-core High Temperature and High Pressure Water Loop Test Equipment (Contract Research)

Hiroko NAKANO, Toshiaki UEHARA^{**1}, Tomoaki TAKEUCHI, Hiroshi SHIBATA Jinichi NAKAMURA, Yoshinori MATSUI and Kunihiko TSUCHIYA

> Neutron Irradiation and Testing Reactor Center Oarai Research and Development Center Sector of Nuclear Science Research Japan Atomic Energy Agency Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

> > (Received December 15, 2015)

In Japan Atomic Energy Agency, we started research and development so as to monitor the situations in the Nuclear Plant Facilities during a severe accident, such as a radiation-resistant monitoring camera, a radiation-resistant transmission system for conveying the in-core information, and a heat-resistant signal cable. As a part of developments of the heat-resistant signal cable, we prepared ex-core high-temperature and high-pressure water loop test equipment, which can simulate the conditions of BWRs and PWRs, for evaluating reliability and properties of sheath materials of the cable. This equipment consists of autoclave, water conditioning tank, high-pressure metering pump, preheater, heat exchanger and water purification equipment, etc.

This report describes the basic design and the performance test results of ex-core high-temperature and high-pressure water loop test equipment.

Keywords: High-temperature and High-pressure Water, SSRT, Water Loop, Autoclave, Performance Test

The project is supported by R&D program for Plant Safety Enhancement of the Agency for Natural Resources and Energy, Ministry of Economy, Trade and Industry (METI), Japan.

*1 Special Topic Researcher (Nuclear Engineering, Ltd.)

目 次

1. はじめに	…1
2. 炉外高温高圧水ループ試験装置の基本仕様及び設計・製作	…1
2.1. 基本仕様	…1
2.2. 構成機器の基本設計及び製作	5
2.3. 炉外高温高圧水ループ試験装置の試運転	19
3. 炉外高温高圧水ループ試験装置の性能試験方法	23
3.1. 初期運転時における水質測定	23
3.2. 荷重制御装置の長期荷重測定	23
3.3. 溶存酸素濃度·溶存水素濃度測定試験	24
4. 炉外高温高圧水ループ試験装置の性能試験結果	24
4.1 . 初期運転時の水質測定試験	24
4.2. 荷重制御装置の長期荷重測定試験	29
4.3. 溶存酸素濃度・溶存水素濃度測定試験	37
5. まとめ	39
謝辞	40
参考文献	40
付録 炉外高温高圧水ループ試験装置の操作方法	41

Contents

1. Introduction ······1
2. Specifications, design and fabrication of ex-core high-temperature and high-pressure water loop test equipment
2.1. Specifications ······1
2.2. Basic design and fabrication of components
2.3. Trial run of ex-core high-temperature and high-pressure water loop test equipment
3. Performance test methods of ex-core high-temperature and high-pressure water loop test equipment \cdots 23
3.1. Water quality measurement during initial operation
3.2. Long-term load measurement of load control device
3.3. Concentration measurement of dissolved oxygen and dissolved hydrogen
4. Results of performance tests of ex-core high-temperature and high-pressure water loop test equipment 24
4.1. Water quality measurement during initial operation
4.2. Long-term load measurement of load control device
4.3. Concentration measurement of dissolved oxygen and dissolved hydrogen
5. Conclusion ······ 39
Acknowledgments 40
References 40
Appendix Operation of ex-core high-temperature and high-pressure water loop test equipment

1. はじめに

わが国では、平成26年4月に閣議決定された「エネルギー基本計画」^[1]において、いかなる事 態においても国民生活や経済活動に支障がないよう、エネルギー需給の安定に万全を期すという 考え方が示されている。この方針のもと、再生可能エネルギーや省エネルギーの最大限の拡大を 図ることとされており、再生可能エネルギーの導入拡大やよりスマートなエネルギーマネジメン ト等への取組みを進めるなかで、原子力発電の依存度を「可能な限り低減させる」としながらも、 「重要なベースロード電源」と位置づけ、東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故(以降、 福島第一原発事故と称す)以前と同様に原子力発電を活用していくことが示された。このため、 既設の原子力発電所については、安全第一の原則に基づき、科学的な安全基準に基づく原子力規 制委員会の専門的な判断を尊重して、安全と認められた場合には再稼動を進めることとしている。 原子力の安全確保は至上命題であることから、福島第一原発事故の経験や教訓を踏まえ、既設原 子力発電所について、シビアアクシデント対策を中心に安全対策の高度化を適切に進めていくこ とが必要であり、原子力利用の安全を支える技術や人材を維持・強化していくことは喫緊の課題 となっている。

安全を支える基礎基盤となる研究・技術開発については、平成23年6月に取りまとめられた日本国政府報告書^[2]にある教訓、平成24年3月に当時の原子力安全・保安院が発表した「東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の技術的知見について」^[3]にある対策に基づいて、優先順位の高い項目を中心に進められている。本課題は、政府報告書にある教訓14「原子炉及び格納容器などの計装系の強化」に基づき、対策27「事故時における計装設備の信頼性確保」や対策28「プラント状態の監視機能の強化」に関する研究・技術開発であり、シビアアクシデント発生時のプラント状態を把握する能力の向上のために進められている。

本報告書は、原子力施設でシビアアクシデントが発生した際に、プラント状態を監視し、正確 な状況把握能力の向上を図るため、原子炉内計測データを着実に取得できる計測システム等の高 度化に向けた要素技術の基盤整備として、信号線や信号線を構成する芯線、絶縁材および被覆材 の選定に必要な試験データを取得するための炉外高温高圧水ループ試験装置の整備についてまと めたものである。

2. 炉外高温高圧水ループ試験装置の基本仕様及び設計・製作

2.1. 基本仕様

整備する炉外高温高圧水ループ試験装置の設計条件を表 2-1 に示す。本試験装置の仕様として は、まず PWR 及び BWR の炉内水環境条件を模擬することのできる小型圧力容器(オートクレー ブ)を設置することとし、オートクレーブの最高使用温度及び最高使用圧力を 350℃及び 18MPa とした。また、高圧定量ポンプを設置し、オートクレーブに高温高圧水を安定して供給できるこ ととした。次に、オートクレーブに供給する循環水の水質制御が可能であることとした。このた め、必要に応じて循環水中に酸素、水素、窒素、ヘリウム等のガスを注入し、循環水の溶存酸素 量や溶存水素量を制御できる機能を持たせた。また、水質を一定に維持するため、循環水を精製 するとともに、腐食生成物を除去できるようにした。さらに、水質を測定するための測定器や循 環水サンプリングラインを設置することとした。

炉外高温高圧水ループ試験装置の主要循環系概略図を図 2-1 に示す。本装置は、2 基の小型圧 力容器(オートクレーブ)、水質調整タンク、高圧定量ポンプ、予熱器、熱交換器、純水精製装置 などから構成されている。2 基あるオートクレーブは並列に接続され、2 基同時に高温高圧水下で の試験を可能とすることとした。炉外高温高圧水ループ試験装置の製作の開始にあたって、これ ら主要な構成機器の基本設計を行った。基本設計に基づいた炉外高温高圧水ループ試験装置の詳 細設計を図 2-2 及び図 2-3 に示す。次項に主要構成機器の基本設計及び製作について記載する。

項目	設計条件		
試験温度	室温~350℃		
使用圧力	最大 18MPa		
循環流量	最大 30L/h (各オートクレーブ 15L/h)		
水質計測項目	溶存酸素濃度、溶存水素濃度、pH、電気伝導率		
試験計測項目 温度、圧力、腐食電位、荷重、変位			
計時計約	オートクレーブ①:引張試験片、CT 試験片、等		
武映武科	オートクレーブ②:MI ケーブル、ECP センサ、等		

表 2-1 炉外高温高圧水ループ試験装置の設計条件



図 2-1 炉外高温高圧水ループ試験装置の主要循環系概略図





2.2. 構成機器の基本設計及び製作

1) 小型圧力容器(オートクレーブ)

炉外高温高圧水ループ試験装置には、2 基の小型圧力容器(オートクレーブ①及びオートクレー ブ②)を設置した。これらのオートクレーブは、最高使用温度 350℃(設計温度:380℃)及び最高 使用圧力 18MPa を設計条件とし、労働安全衛生法施行令第一条第六号の小型圧力容器として設計 した。申請にあたって、胴、鏡板又は管板、ふた板、ふた板締め付けボルト等の基本設計を行い、 安全弁又はこれに代わる安全装置が必要となる。このため、圧力容器構造規格による強度計算に あたっては、容器内形状を「円筒ルツボ型」とし、オートクレーブ内容積は 0.0011m³(1.1ℓ)以内に なるように内寸法を∲80×218.5mm(オートクレーブ①)及び∲70×278.5mm(オートクレーブ②)で行 った。炉外高温高圧水ループ試験装置に設置する 2 基のオートクレーブの基本構造を表 2-2 に示 す。これらのオートクレーブの製作後、最大使用圧力の 1.5 倍の水圧試験(温度:室温 20℃、圧力: 27MPa)を行い、良好であることを確認した。本結果より、一般社団法人日本ボイラ協会へ小型圧 力容器の申請を行い、個別検定を合格した。

部品名及び設計条件(オートクレーブ①)							
HE	材質	最大内径	長さ		板の厚さ		
川四	SUS316L	80mm	218.5m	m	10mm		
	材質	形式	すみのす	しみ	板の厚さ		
鏡板又は管板			の内半谷	Z E			
	SUS316L	平板	10mm	1	30mm		
	材質	形式	板の厚	さ	フランジ部の		
ふた板					厚さ		
	SUS316L	平板	73mm	ı	69.5mm		
とたちなみ仕けギルト	材質	呼	び径		数		
ふた牧神の竹りかルト	SNB16	I	M16		8		
安全弁又はこれに代わ	種類	形式	呼び谷	Z.	個数		
る安全装置	ばね式安全弁	揚程式	3.56m	n	1		
	部品名及び設計	条件(オートクレ	ーブ②)				
HE	材質	最大内径	長さ		板の厚さ		
川四	SUS316L	70mm	278.5mm		10mm		
	材質	形式	すみの丸み		板の厚さ		
鏡板又は管板			の内半径				
	SUS316L	平板	10mm		25mm		
	材質	形式	板の厚さ		フランジ部の		
ふた板					厚さ		
	SUS316L	平板	65mm		61.5mm		
とたちなみ仕けギルト	材質		び径		数		
ふた牧神の竹りかルト	SNB16	1	А16		6		
安全弁又はこれに代わ	種類	形式	呼び径		個数		
る安全装置	ばね式安全弁	揚程式	3.56m	3.56mm 1			

表 2-2 炉外高温高圧水ループ試験装置に設置する小型圧力容器の基本構造

設計した2基のオートクレーブは、目的に応じた試験が可能なように以下の通りとした。

オートクレーブ①は、き裂進展試験及び低歪速度引張試験(SSRT: Slow Strain Rate Test)が可能な 荷重制御装置を設置し、MIケーブルを構成する金属シース材等の応力腐食割れ特性を評価できる ものとした。SSRT 試験法とは、腐食性環境で引張試験片を低歪速度で引張ることによって、材 料の応力腐食割れ(SCC: Stress Corrosion Cracking)感受性を評価する方法である。

オートクレーブ①に設置する荷重制御装置の概略図及び性能をそれぞれ図 2-4 及び表 2-3 に示

す。本荷重制御装置は東伸工業株式会社製 TRANSDUCER であり、変位速度 0.0001~0.1mm/min、 荷重制御波形をランプ波、定荷重、三角波及び台形波などとした制御が可能である。また、オー トクレーブ①の「ふた」部には、腐食電位計及び熱電対などを装荷できる電極用ポートを4箇所 設置し、材料の腐食特性等を計測・評価できるようになっている。荷重制御装置に設置する試験 ジグは、き裂進展試験及び SSRT 試験の2 種類のものとし、それぞれの試験ジグに設置する試験 片を準備した。本装置の性能試験として、(1)荷重波形を三角波及び台形波等とした制御特性、(2) 低歪引張特性を調べた。き裂進展試験用試験ジグ及び SSRT 試験用試験ジグの形状を図 2-5 及び 図 2-6 に、それらのジグに設置する試験片の形状を図 2-7 及び図 2-8 に示す。

オートクレーブ②は、過酷環境下で使用するために開発した MI ケーブル等の電気的特性を測定するために、「ふた」部に電極用ポートを 16 箇所設置した。MI ケーブル等を設置するためのジグ(計測線用ジグ)の形状を図 2-9 に示す。MI ケーブル等をオートクレーブ②に設置した後、PWR もしくは BWR の高温高圧条件にて MI ケーブルの絶縁抵抗、導通抵抗、温度等の測定を行うことが可能である。





		▶ 2-3 荷重制御装	置の性能		
型式		最大負荷容量	駆動方式	試験内容	ストローク
SERT-30型		30kN	電気機械方式	定荷重試験	MAX. 30mm
型式		曹歩	測定レンジ	田力	
引張型ロード1	ノバン	30kN	任意設定	$DC 0 \sim 10 V$	
型式		測定範囲	測定レンジ	田山	
歪ゲージ式変位	検出器	$0{\sim}20~{ m mm}$	任意設定	DC 0~10V	
制御方式		制御波形	制御入力	速度設定	速度範囲
マイクロコンピ フルデジタル制((荷重・変位をフ 力とするデジタ)	ュータによる 創方式 イードバック入 レサーボ式)	う だ だ た だ 一 行 が 一 行 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一	荷重・変位	ファンクションキーおよび 10 キーによる キー入力設定方式	0.0001mm/min ~0.1mm/min
本装置には、下記 ①自動荷重除荷、(9	己の安全回路が。 3プルロッド停-	あり、アラーム設定止 のどちらかを選	画面によって警報入 択することが可能で	人力時に ざある。	

मि
6
圄
峩
渔
壍
荷
\mathcal{O}

- 9 -





単相 200 V 4kW

最高使用圧力: 18 MPa 最高使用温度: 350 ℃ 容 量:約1.1{ 電 気 容 量: 単相 2001





図 2-6 SSRT 試験用ジグの詳細図



図 2-7 き裂進展試験用 0.5T-CT 試験片の形状



図 2-8 SSRT 試験に用いる引張試験片の形状



図 2-9 計測線用ジグの形状

2) 水質調整タンク

シース材は金属材料が使用されるが、長期にわたる炉内での使用にあたっては、材料特性を把 握する必要がある。特に、使用環境における破損、腐食等を評価するうえでは、PWR 及び BWR の水質をできるだけ模擬した環境での試験が必要不可欠である。一般的な PWR 及び BWR におけ る一次冷却水の水質条件を表 2-4 に示す^[4]。BWR の一次冷却水は基本的には高純度水であるが、 PWR はホウ素、リチウムが ppm オーダーで含まれるため純水ではない。このため、PWR 一次系 水質を模擬するためには、ホウ素、リチウムの添加・調整系が必要になるが、今回整備した装置 では温度・圧力・溶存酸素濃度・溶存水素濃度のみ模擬できることとした。

炉外高温高圧水ループ試験装置には水質調整タンクを設置し、PWR 及び BWR の炉内水質を模擬するために必要となる溶存酸素濃度及び溶存水素濃度の制御ができるようにした。循環水中の溶存酸素濃度及び溶存水素濃度の制御にあたっては、不活性ガス(N₂, Ar, He, 等)、H₂もしくは O₂が添加された標準ガスをそれぞれ水質調整タンクに導入し、導入したガスを循環水中でバブリングすることにより行った。なお、溶存水素濃度を制御するため H₂を添加した標準ガスも使用することから、水素ガスの防爆対策として、水質調整タンクに専用の排気ラインを敷設し、実験室の外に水素を排出できるように安全対策を講じた。溶存酸素濃度及び溶存水素濃度の測定は、水質調整タンクの出口側(オートクレーブ①及び②供給側)にそれぞれ溶存酸素計および溶存水素計を設置した。溶存酸素計及び溶存水素計の主な仕様^{[5][6]}を表 2-5 に示す。

溶存酸素計及び溶存水素計は、東亜DKK 社製の Model DODI-1 及び Model DHDI-1 を選定した。 これらの計器は、火力発電所や原子力発電所等における高圧ボイラや金属腐食試験プラント等の 給水系統の溶存酸素の測定に多く使用されているものであり、隔膜形の電極(DO 電極及び DH 電 極)で供給水中の溶存酸素及び溶存水素を測定する。なお、測定範囲は、µg/ℓ(ppb)~mg/ℓ(ppm)と 広く、校正は大気中で可能である。

項目	PWR	BWR		
電気伝導率(μS/cm)	1~40	< 0.2		
pH(-)	4.2~10.5	5.4~5.8(室温:6.5~8.0)		
ボロン濃度(ppm)	0~4000			
Li 濃度(ppm)	0.2~2.2			
溶存酸素濃度(ppm)	< 0.005	~ 0.2		
溶存水素濃度(ppm)	2.2~3.1	~ 0.01		

表 2-4 PWR 及び BWR 通常運転時の水質管理値(例)^[4]

	溶存酸素計[5]	溶存水素計[6]
型式	DODI-1	DHDI-1
測定方式	隔膜型ポーラログラフ式	隔膜型ポーラログラフ式
測定レンジ	20、200μg/ℓ、2、20mg/ℓ	20、200µg/ℓ、2、20mg/ℓ
繰返し性	フルスケールの±1%±1dig (一定条件下)	フルスケールの±1%±1dig (一定条件下)
応答性	90%応答 15 秒以下 (ゼロ-大気中)	90%応答 30 秒以下 (100%H₂ガス→0%H₂ガス)
測定温度	0∼50°C	0∼45°C
温度補償範囲	5~40°C	5~40°C
測定液圧力	0.5MPa 以下(ゲージ圧)	1MPa以下(ゲージ圧)
測定液流量	0.05~2ℓ/min	0.2~2ℓ/min

表 2-5 溶存酸素計及び溶存水素計の主な仕様

3) 高圧定量ポンプ及びアキュムレータ

水質調整タンク内で水質調整した循環水は、高圧定量ポンプにより PWR 及び BWR の条件まで 昇圧する。高圧定量ポンプは NIKKISO 社のミルフロー制御容量ポンプを使用し、圧力調節弁に て所定の圧力条件まで昇圧する。高圧定量ポンプは、ダイヤフラム式ポンプであるため、試験中 の圧力変動をできるだけ小さくするために、アキュムレータが設置されている。このアキュムレ ータは日本アキュムレータ社製のブラダ形アキュムレータを選定し、ガス圧を調整することによ り PWR もしくは BWR の条件で使用可能である。アキュムレータの仕様⁽⁷⁾を表 2-6 に示す。昇圧 した循環水は、熱交換器及び予熱器を経て、オートクレーブ内へ一定の流量で循環水を供給する こととなる。なお、高圧部には安全上、安全弁が設置されており、17.5MPa で設定されている。

適用検査・規格	高圧ガス保安法(認定)
ブラダ材質	標準ニトリルゴム
最高使用圧力	21MPa
呼称ガス容積	2.5L
公与佃仕垟	トップキャップ標準
和义则化物	ダイナックバルブ(Gねじ)
給排側仕様	ステンレス鋼
本体仕様	標準材質(炭素鋼)
処理仕様	内外面 : 標準めっき
作動流体	石油系・その他

表 2-6アキュムレータの仕様[7]

4) 熱交換器、予熱器及び冷却器

循環水の加熱及び冷却を効率よく行うとともに、予熱器及び冷却器の負荷を軽減するために、 熱交換器を設けている。炉外高温高圧水ループ試験装置に設置されている熱交換器の概略図を図 2-10 に示す。本熱交換器は、二重管式熱交換器とした。高圧定量ポンプにより送られた常温の循 環水は、二重管外側を流れ、予熱器へ送水される。一方、オートクレーブ①及び②より高温循環 水は二重管内側を流れ、70℃まで降温され、冷却器へ送水されている。なお、本熱交換器は、小 型圧力容器として法的な適用を受けている。

熱交換器で昇温された循環水は予熱器で加熱し、所定の温度まで昇温される。炉外高温高圧水 ループ試験装置に設置されている予熱器の概略図を図 2-11 に示す。本予熱器は、内部にヒータ を装荷した内部加熱方式であり、発熱体としてニクロム線を使用している。ヒータ容量は 200V ×6kW を使用し、最高使用温度は 350℃である。予熱器で加熱された循環水は、オートクレーブ に導入され、オートクレーブに設置されているヒータにて所定の試験温度で保持される。

オートクレーブからの循環水は、熱交換器を経て、冷却器で室温まで冷却される。高温の循環 水はコイル管内を通り、チラーで冷却されている冷却水で冷却されている。表 2-7 に PWR 条件 で試験を行った際の温度分布の一例を示す。

機器	名		測定温度	備考
1 執 赤		入口側	30°C	向法刑・二重符の从側
1	熱父換益	出口側	150°C	同加至・二重官の外側
0	之劫吧	入口側	150°C	
		出口側	260°C	
3 オートクレーブ	入口側	260°C		
	オードクレーノ	出口側	325°C	
4	劫六協聖	入口側	300°C	「「「「「「「「「「」」」」「「「」」」」」「「」」「「」」」」
4	<u> 然义</u> 按奋	出口側	220°C	同加至・二重官の時間
5	冷却器	入口側	220°C	っくれ焼犬・チラー冷却水で冷却
		出口側	35°C	コイル官式・テノー行动水で行动

表 2-7 炉外高温高圧水ループ試験装置の温度分布測定(例)

5) 純水精製装置

オートクレーブからの循環水は、降温及び降圧した後、水質を維持させるためにイオン交換樹 脂に流される。設置したイオン交換樹脂塔の仕様を表 2-8 に示す。なお、本イオン交換樹脂は電 気伝導率を維持するのに十分な量を装荷できるものとした。

表 2-8 炉外高温高圧水ループ試験装置に設置したイオン交換樹脂の仕様

		メークアップ月	用イオン交換樹脂			
型式	樹脂量	付属機器				
		低圧フ	イルター	流量計	低圧バルブ	
カートリッジ式	10L×2本	型式	材質	目盛	材質	
		カートリッジ式	ポリプロピレン	2~20 L/min	SUS304	



図 2-10 炉外高温高圧水ループ試験装置に設置した熱交換器の詳細図



図 2-11 炉外高温高圧水ループ試験装置に設置した予熱器の詳細図

6) 計測制御系統等

炉外高温高圧水ループ試験装置の計測制御系統は以下に示す項目を満足するよう設計、製作した。制御盤は、記録計、計測装置、制御装置、警報装置、各種操作スイッチ等を収容する構造とし、試験データは記録計を介してデータ収集のためのパソコンに保存される。炉外高温高圧水ル ープ試験装置の計測制御系統の外観写真を図 2-12 に示す。

荷重制御装置の操作盤は、本制御盤内に設置し、荷重及び変位の設定、LCD 表示パネルで計測 値がデジタル表示できるようにした。なお、ファンクションキー及び数字キーにて、アンプ定数 設定、記録計出力、レンジ設定、オートゼロ、スパン校正等を行う。出力はアナログ出力のほか、 GP-IB インターフェースが標準装備されている。また、過荷重警報、過変位警報、破断荷重値を 設定することができ、ランプとブザーで表示するとともに、外部警報出力(リレー接点)が付いて いるものとした。

循環水の水質を測定するための pH 計、電気伝導率計、溶存酸素濃度計及び溶存水素濃度計の 計測系も本制御盤に内蔵され、水質測定結果を出力できるようになっている。

循環水の圧力調整系は、水質調整タンク、高圧定量ポンプ等が配置されている配管系統に設置 させている。その外観写真を図 2-13 に示す。ここでは、弁により試験圧力を手動で調整するほ か、循環水の総流量の調整は高圧定量ポンプのストロークを自動又は手動で調節することにより 行う。なお、運転・保守に必要な箇所には、圧力計、流量計、温度計、弁等が設置されている。 また、炉外高温高圧水ループ試験装置での機器、配管等からの漏水を検知し、本試験装置を安全 に停止するための漏水検知器が設置されている。



図 2-12 炉外高温高圧水ループ試験装置の計測制御系統の外観写真



図 2-13 炉外高温高圧水ループ試験装置の循環水の圧力調整系外観写真

2.3. 炉外高温高圧水ループ試験装置の試運転

主要な構成機器を製作し、炉外高温高圧水ループ試験装置を組立て、工場検査を行った後、照 射試験開発棟に設置した。照射試験開発棟内の配置図及び設置後の炉外高温高圧水ループ試験装 置の外観写真を図 2-14 及び図 2-15 に示す。配置後、炉外高温高圧水ループ試験装置の試運転を 行った。この結果、図 2-16 に示すとおり、①15MPa までの昇圧、②15MPa での昇温(300℃)及び ③降温・降圧試験を行い、昇圧、昇温・降温、流量調節・安定性、高圧定量ポンプ起動・停止等、 正常に動作・運転できることを確認した。また、図 2-17 及び図 2-18 に示す通り、オートクレー ブ①に付加されている荷重制御装置も正常に制御可能であることを確認した。





図 2-15 炉外高温高圧水ループ試験装置の外観写真



図 2-16 炉外高温高圧水ループ試験装置の試運転時の圧力・温度履歴



図 2-17 炉外高温高圧水ループ試験装置の試運転時の荷重履歴(三角波制御)



図 2-18 炉外高温高圧水ループ試験装置の試運転時の荷重履歴(台形波制御)

3. 炉外高温高圧水ループ試験装置の性能試験方法

完成した炉外高温高圧水ループ試験装置について、①初期運転時における水質測定、②荷重制 御装置の長期荷重測定及び③溶存酸素・溶存水素濃度測定の性能試験を行った。

3.1. 初期運転時における水質測定

炉外高温高圧水ループ試験装置において、水質を管理し炉内環境を模擬できることが重要となることから、室温から325℃までの当該試験装置の水質測定試験を行った。水質の測定は、炉外高温高圧水ループ試験装置に設置されている電気伝導率計により、循環水の電気伝導率を連続測定した。また、循環水をサンプリングして、pH計を用いて循環水のpH測定を行うとともに、ICP発光分析による循環水中の不純物測定を行った。

水質測定試験は、試験温度の昇温時における水質測定及び連続運転(PWR 条件)時における水質 測定の2つの条件で行った。

試験温度の昇温時における水質測定試験において、循環水の温度を室温、100℃、200℃及び 300℃とし、圧力を15MPaで一定として、合計でおよそ80時間の連続運転を行った。

連続運転(PWR 条件)時における水質測定試験において、PWR 条件を模擬することが可能であれ ば、BWR 条件を模擬できる性能を有するとみなした。したがって、試験条件は、循環水の温度 を 325℃、圧力を 15MPa で一定として、合計で約 260 時間の連続運転を行った。

3.2. 荷重制御装置の長期荷重測定

炉外高温高圧水ループ試験装置のオートクレーブ①に付加された荷重制御装置の性能試験として、0.5T-CT 試験片を用いた荷重制御プログラム及び変位速度制御プログラムの動作確認と引張 試験片を用いた SSRT 試験を行った。

それぞれの試験ジグ及び試験片の形状は、前述した図 2-5~図 2-8 に示すとおりである。

荷重制御装置の性能は前述した表 2-3 の通りである。制御波形はランプ波、定荷重、三角波及 び台形波の4種類であるが、荷重制御プログラムにおいて、三角波制御と台形波制御による性能 試験を行うことでランプ波及び定荷重の性能を確認可能である。

荷重制御プログラムの動作確認における試験条件は、温度を室温、100℃、200℃及び 300℃とし、圧力を15MPaで一定として、荷重制御パターンを三角波制御及び台形波制御によるものとし、荷重範囲を 2~5 kN とした。

変位速度制御プログラムにおける試験条件は、温度を 200℃及び 300℃とし、圧力を 15MPa で 一定として、変位制御パターンを台形波制御によるものとし、変位速度を 1.5×10⁻¹mm/min、1.5 ×10⁻²mm/min、1.5×10⁻³mm/min、1.5×10⁻⁴mm/min として計 8 パターンを行った。さらに、SSRT 試験の試験条件は、対象がオーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 で、温度を 325℃、圧力を 15MPa で一定として、変位速度を 5.0mm/min、5.0×10⁻¹mm/min、5.0×10⁻²mm/min、5.0×10⁻³mm/min、5.0 ×10⁻⁴mm/min の 4 パターンとして行った。

3.3. 溶存酸素濃度·溶存水素濃度測定試験

炉外高温高圧水ループ試験装置に標準ガス(N₂+20%O₂、N₂+3.5%H₂)ボンベ及び純N₂ガスボンベ を接続し、水質調整タンク中の循環水中に各々のガスのバブリングをすることにより、溶存酸素 濃度及び溶存水素濃度の変化を測定した。溶存酸素濃度及び溶存水素濃度の測定は、前述した DO 計及び DH 計により行い、パソコンのデータ収集 YEW 製ハイブリットレコーダに保存した。ま た、水質調整タンク内の圧力による循環水中の溶存酸素濃度及び溶存水素濃度への影響も調べた。

4. 炉外高温高圧水ループ試験装置の性能試験結果

4.1. 初期運転時の水質測定試験

室温から325℃までの当該試験装置の水質測定試験を行った。

まず、試験温度の昇温時における水質測定試験について、室温、100℃、200℃及び 300℃にお ける測定結果を図 4-1~図 4-4 に示す。これらの図には、オートクレーブ①及び②の温度・圧力の 測定結果とともに、電気伝導率及び pH の測定結果も示している。この結果、循環水温度が室温 及び 100℃における電気伝導率は、入口側では 0.09µS/cm で一定であった。なお、出口側におい て 0.10 µS/cm の値を得ている。一方で、pH は 6.0 近傍で大きく変化がないことが確認できた。循 環水温度が 200℃及び 300℃における電気伝導率は、入口側では 0.09 µS/cm であるのに対して、 出口側では入口側よりも大きい値であることが確認された。しかし、循環水温度が 300℃におけ る電気伝導率は、運転時間にともなって値が小さくなる傾向を確認した。一方で、pH は 6.0 近傍 で大きく変化がないことを確認した。

表 4-1 に試験温度の昇温時における水質測定試験について、室温、100℃、200℃及び 300℃に おける循環水中の不純物分析結果を示す。この結果、炉外高温高圧水ループ試験装置の運転とと もに、Ca及び Mgの量が減少する傾向にあることを確認した。これは、炉外高温高圧水ループ試 験装置の連続運転によって循環水がイオン交換樹脂を循環することで不純物元素が除去され、初 期運転時と比較して減少したと考えられる。

次に、連続運転(PWR 条件)時における水質測定試験に関する測定結果を図 4-5 に示す。この結果、運転時間が経つにつれて電気伝導率が徐々に低下しており、炉外高温高圧水ループ試験装置の水質が向上することがわかった。

よって、炉外高温高圧水ループ試験装置の初期運転時の水質測定を行い、本試験装置について、 運転とともに炉内環境を模擬した水質条件での試験を行える見通しを得た。





JAEA-Technology 2015-049

測定元素	測定項目	(ddd)						
試料	Ca	Co	Cr	Fe	Mg	Mn	Na	Ni
BLK(精製水)	16.8	N.D.	N.D.	N.D.	3.100	1.98	N.D.	1.730
BLK(精製水)	26.4	N.D.	N.D.	N.D.	5.580	1.88	N.D.	1.180
BLK(精製水)	3.9	N.D.	N.D.	N.D.	0.711	1.86	N.D.	1.420
BLK(精製水)平均値	15.7	N.D.	N.D.	N.D.	3.130	1.91	N.D.	1.443
H26.5/19-入口側	57.9	N.D.	N.D.	N.D.	13.100	1.87	N.D.	0.109
H26.5/19-出口側	56.5	N.D.	N.D.	N.D.	9.060	2.25	N.D.	5.660
H26.5/21-入口側	10.2	N.D.	N.D.	N.D.	0.982	2.03	N.D.	1.300
H26.5/21-出口側	31.3	N.D.	N.D.	N.D.	6.020	2.10	N.D.	5.590
H26.5/22-入口側	34.5	N.D.	N.D.	N.D.	4.520	1.71	N.D.	1.310
H26.5/22-出口側	11.3	N.D.	N.D.	N.D.	0.575	2.07	N.D.	5.640
H26.5/27-入口側	23.2	N.D.	N.D.	N.D.	3.880	1.59	N.D.	1.030
H26.5/27-出口側	36.5	N.D.	N.D.	N.D.	6.250	1.72	N.D.	3.930
H26.6/3-入口側	14.7	N.D.	N.D.	N.D.	1.990	1.64	N.D.	1.660
H26.6/3-出口側	7.7	N.D.	N.D.	N.D.	0.789	1.81	N.D.	7.560

表 4-1 循環水中の ICP 発光分光分析による不純物測定結果

JAEA-Technology 2015-049



(a) 水質測定 (電気伝導率・pH)



(b) オートクレーブ① (温度・圧力)



(c) オートクレーブ② (温度・圧力)



4.2. 荷重制御装置の長期荷重測定試験

荷重制御装置の性能確認として、荷重制御プログラム及び変位速度制御プログラムを実行する こととし、三角波制御及び台形波制御について、繰り返し安定性及び高温高圧水条件下での試験 を行った。この結果、繰り返し安定性については、三角波制御及び台形波制御とも100回以上の 繰返し荷重を負荷しても、安定した制御で試験が可能であることを確認した。循環水温度が室温 (30℃)、100℃、200℃及び 300℃で、圧力が 15MPa の高温高圧水条件下における三角波制御の結 果を図 4-6 及び図 4-7、台形波制御の結果を図 4-8 及び図 4-9 に示す。この結果、各試験温度で圧 力が 15MPa の高温高圧水条件下における三角波制御及び台形波制御も問題なく動作することが 確認できた。

次に、循環水温度を 200℃及び 300℃とし、圧力 15MPa の高温高圧水条件下における変位速度 制御試験を行った。このとき、変位速度を 1.5×10⁻¹~1.5×10⁻⁴ mm/min と変化させて台形波制御 による性能確認を行った。その結果を図 4-10 及び図 4-11 に示す。図 4-10(a)及び図 4-11(d)におい て設定とは異なる挙動を示した。これは図 4-10(a)では、以前に設定したプログラムの影響である こと、図 4-11(d)では、データ収集系のパソコンがスリープモードになり、データ読み込み時にエ ラーを起こしていたことがわかった。これらの発生要因を取り除くことにより、循環水温度が 200℃及び 300℃で、圧力が 15MPa の高温高圧水条件下における変位速度制御試験は問題なく動 作することを確認した。なお、変位速度制御にて、変位速度が遅くなるほど収集するデータ量が 多くなるので、データの取得方法に関しては検討しておく必要がある。

さらに、オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 に対して、温度を 325℃、圧力を 15MPa、変 位速度を $5.0 \times 10^{1} \sim 5.0 \times 10^{4}$ mm/min と変化させて SSRT 試験を実施した結果を図 4-12 に示す。 この結果、変位速度が $5.0 \times 10^{-1} \sim 5.0 \times 10^{-3}$ mm/min のときは応力—歪曲線に特徴的な部分を確認 することはできなかった。しかし変位速度が 5.0×10^{-4} mm/min のとき、歪が 0.25 付近のときや 0.4 付近のときに鋸刃状の曲線を確認した。これは SUS304 において動的歪時効が起こったためと考 えられる。動的歪時効とは、一定の温度域で歪を与えることで、材料の硬度及び強度が上昇する 現象^[8]であり、変位速度を変更した SSRT 試験により、材料の特性をより詳細に評価できる見通 しも得た。







 $2\sim 4.5~\mathrm{kN}$

荷重制御;三角波②(荷重範囲

奚 4-7

- 31 -



- 32 -



 $2\sim 5~{
m kN}$

荷重制御;台形波②(荷重範囲

奚 4-9

- 33 -







- 36 -

4.3. 溶存酸素濃度・溶存水素濃度測定試験

炉外高温高圧水ループ試験装置の水質調整タンク中にある循環水に対して標準ガス(N₂+20%O₂、 N₂+3.5%H₂)及び純N₂ガスをバブリングし、溶存酸素濃度及び溶存水素濃度の変化を測定した。 なお、溶存酸素計及び溶存水素計の設置場所を図 4-13 に示す。

炉外高温高圧水ループ試験装置における溶存酸素計及び溶存水素計の性能試験結果を図 4-14 に示す。水質調整タンクに供給するガスとしては、それぞれ N₂ ガス、N₂+20%O₂ 標準ガス及び N₂+3.5%H₂標準ガスとした。この結果、20%O₂ ガス供給時には、溶存酸素濃度の増加が観測され た。次に N₂+3.5%H₂標準ガス供給時には溶存水素濃度の増加が観測された。最後に N₂ ガス供給 時には、溶存酸素濃度及び溶存水素濃度は徐々に減少していることが観測された。以上の結果よ り、設置した計器が正常に動作していることが確認できた。

一方で、本性能試験では図 4-14 において飽和溶存酸素濃度及び飽和溶存水素濃度に至っていないのは、十分な時間を得られていないためであると考えられる。

循環水中における飽和溶存酸素濃度及び飽和溶存水素濃度の温度依存性を図 4-15 に示す。これ らを炉外高温高圧水ループ試験装置に酸素及び水素を溶存させる基準値とした。

また、水質調整タンク内の印加による循環水中の溶存水素濃度への影響を調べるため、N2+ 3.0%H2標準ガスをバブリングし、印加前後の溶存水素濃度の変化を測定した。100%H2ガスボン べを用いて水質調整タンクに水素を供給したとき、飽和溶存水素濃度は水温 30℃で 1.48mg/ℓ で あるから、N2+3.0%H2標準ガス供給時には 44µg/ℓ 溶存することとなる。しかし、実際の計測で は、水質調整タンク内の圧力が 0.0MPaG では溶存水素濃度は 30µg/ℓ、0.06MPaG では 50 µg/ℓ で あることを観測した。よって、水質調整タンク内を印加することによる溶存水素濃度の依存性を 確認し、溶存水素濃度をより増加させるためには水素濃度の高いガスをバブリングする等の措置 を取る必要がある。



図 4-13 炉外高温高圧水ループ試験装置における溶存酸素計及び溶存水素計の設置場所



図 4-14 溶存酸素計(DO 計)及び溶存水素計(DH 計)の性能試験結果



(a)飽和溶存酸素濃度

(b)飽和溶存水素濃度

図 4-15 純水中における飽和溶存酸素濃度及び飽和溶存水素濃度の温度依存性

5. まとめ

原子力施設でシビアアクシデントが発生した際に、プラント状態を監視し、正確な状況を把握 する能力の向上を図るため、原子炉内計測データを着実に取得できる計測システム等の高度化に 向けた要素技術の基盤整備として、信号線や信号線を構成する芯線、絶縁材及び被覆材の選定に 必要な試験データを取得するための炉外高温高圧水ループ試験装置を整備し、本試験装置の性能 試験を行い、以下のことが分った。

(1) 炉外高温高圧水ループ試験装置の運転時間に伴う水質変化を評価するため、当該試験装置 に設置されている電気伝導率計による循環水の電気伝導率測定、循環水のサンプリングによる pH 測定及び ICP 発光分光分析による不純物測定を行った。その結果、電気伝導率は運転時間にとも なって値が小さくなること、pH は 6.0 近傍で一定であること、初期運転時の循環水中の不純物元 素が減少し、安定になることを確認した。これにより、炉内環境を模擬した水質条件での試験に 見通しを得た。

(2) 荷重制御装置の性能確認として、0.5T-CT 試験片を用いた荷重制御の確認と引張試験片を 用いた変位速度制御の確認を行った。その結果、荷重制御プログラム及び変位速度制御プログラ ムの正常動作を確認し、十分な性能を満たしていることを確認した。

(3) 炉外高温高圧水ループ試験装置に標準ガス(N2+20%O2、N2+3.5%H2)ボンベ及び純N2ガス ボンベを接続し、水質調整タンク中の循環水中に各々のガスをバブリングすることによる、溶存 酸素濃度及び溶存水素濃度の制御性を確認した。その結果、供給するガス種を変更することによ り、溶存酸素濃度及び溶存水素濃度の制御が可能であることを確認し、目的の水質での試験を実 施できる見通しを得た。

今後、炉外高温高圧水ループ試験装置を用いて、計測線(MIケーブル)の高温高圧水環境下にお ける各種性能試験を行い、シビアアクシデントを模擬した環境下における信頼性の高い計測技術 の基盤整備を進めていく。

謝辞

本研究開発成果は、経済産業省資源エネルギー庁からの受託事業として実施した発電用原子炉 等安全対策高度化技術基盤整備事業「特殊環境下で使用可能な監視システム高度化」の一部であ る。

本研究開発の実施にあたり、大洗研究開発センター 荒木政則副所長(兼照射試験炉センター 長)に有意義なご指導及びご助言を頂いた。また、本報告書をまとめるにあたり、安全研究・防災 支援部門安全研究センター 材料・構造安全研究ディビジョン 材料・水化学研究グループ 知 見康弘研究副主幹に有意義なご助言を頂いた。以上の方々に、深甚なる謝意を表します。

参考文献

[1] 資源エネルギー庁,平成 26 年 4 月 11 日閣議決定, エネルギー基本計画, http://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic plan/. (参照年月日 2015 年 9 月 28 日).

[2] 原子力災害対策本部編,原子力安全に関する IAEA 閣僚会議に対する日本国政府の報告書
東京電力福島原子力発電所の事故について-, http://www.kantei.go.jp/jp/topics/2011/iaea houkokusho.html. (参照年月日 2015 年 9 月 28 日).

[3] 原子力安全・保安院編,東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の技術的知見について(平成 23 年 6 月), http://www.meti.go.jp/press/2011/03/20120328009/20120328009.html. (参照年月日 2015 年 9 月 28 日).

[4] 原子力安全研究協会(編),軽水炉燃料のふるまい 第4版,(2003 年7月)、p.283 http://www.rist.or.jp/atomica/data/pict/02/02020302/03.gif.(参照年月日2015年10月14日).

[5] 東亜 DKK 社編, 溶存酸素計 MODEL DODI-1 型(取扱説明書).

[6] 東亜 DKK 社編, 溶存水素計 MODEL DHDI-1 型(取扱説明書).

[7] 日本アキュムレータ株式会社編, NACOL ACCUMULATOR アキュムレータ総合カタログ 2015.

[8] 財団法人電力中央研究所,SUS316L ステンレス鋼の溶接熱影響部の硬化現象と引張特性の 関係一動的ひずみ時効の発現に及ぼす温度とひずみ速度の影響-,(平成 19 年 6 月).

付録 炉外高温高圧水ループ試験装置の操作方法

※盤内の作業時には、感電に注意すること

1. 起動前確認

「装置付近の漏水を確認!」

2. 起動手順

 分電盤内のブレーカ「ON」 ① 「電灯盤 L-5」:メインブレーカ ② 「動力盤 P-1」:メインブレーカ :高温高圧ループ :高温高圧ループ用チラー 	
 割御操作盤の漏電ブレーカ「ON」 主電源表示灯の「点灯」を確認する。 	

 3) 制御操作盤の電源スイッチ「ON」 ① 操作パネル:「ON」 ② 荷重負荷制御・計測パネル:「ON」 ③ 電源表示灯の「点灯」を確認する。 	
 4) チラーユニットの確認 ① IN/ OUT バルブ:「開」 ② 水槽内の水量を確認する。 	
 5) チラーユニットの起動 ①「SET」ボタンを長押しして設定温度の「23℃」を確認 ② 起動スイッチ:「ON」。 	

 6) 通水確認 ① 各フロースイッチを確認し、通水の有 無を確認する。 	
7) オートクレーブへの試験片取付け。	 「試験片取付け方法」参照 オートクレーブシール部溝の傷の有無とパッキンの傷及び変形を確認する。 パッキンに傷および変形がある場合には交換する。 (パッキンを交換する場合には、パッキン及びシール部溝に傷がないことを確認し、ゴミ及び油脂を完全に取り除くこと。)

8) 水質調整タンクの水位確認

 水位がレベル計の半分未満の場合に は、V1バルブより精製水を給水する。
 給水時は、V2及び RV2 も開にする。



9) バルブの開閉確認

- 開: V1、V2、V3、V4、V7、V9、V10、V12、V13、V17、V20、V23、V24、V26、V27、 V28、V30、V32、V33、1HV1、1HV2、1HV3
- 閉: V5、V6、V8、V11、V14、V15、V16、V18、V19、V21、V22、V25、V29、V31、1HV4、 2HV1、2HV2、2HV3、2HV4、3HV1、1V1、1V2、2V1

10) 高圧保圧弁「RV1」の全開確認
① ハンドルが、反時計回りで止まってい ることを確認する。
11) オートクレーブ内への注水準備
① ラインバルブ[1HV3]:閉
② パージバルブ[1V2]:開



 15) 計測ポンプ(P3) 電源「ON」 ① タッチパネルの「ポンプ操作画 面」にて計測ポンプを「ON」に する。 ② ポンプの運転音と流量計(FI5、 FI6)に流量が出ていることを確 認する。 	
 16) 圧力計の上限警報圧力を確認 ① 上下限接点付圧力計(PIS2、 PIS3、1PIS1)の警報指針を試験 圧力+1 MPa または、試験圧力 +10%になっていることを確認 する。 	
 17) 試験圧力まで昇圧 ① 高圧保圧弁[RV1]のハンドルを時計回りに少しずつ回す。 ② 昇圧時は流量・圧力を常時確認しながら操作する。(機器保護のため急激に昇圧しないこと) 	
 18) 試験圧力・シール部漏洩の確認。 ① 試験圧力は、圧力計(主に 1PIS1)及び圧力表示器にて確認 する。 ② 循環装置、オートクレーブのパ ッキン、シール部等の水の漏洩を 確認する。 	

 19) 電気伝導率の確認 ① 入口側計測ライン・出口側計測ラインの電気導電率を確認する。 入口側計測ライン: 0.06 µS/cm 出口側計測ライン: <0.15 µS/cm (電気伝導率がよくならない場合には、 イオン交換樹脂を交換する。) 	
 20) 温度調節器に試験温度及び時間を入力 ① 試験温度及び到達時間と異常警報温度 をプログラム式温度調節器に入力する。 ② 予熱器及びオートクレーブ(A)温度調 節器には基本的に同じプログラムを入 力する。 (詳細は、操作説明書を参照のこと。) 	
 記録計の起動 ペーパーレス記録計の電源 ON (通常、電源スイッチは常時 ON 状態) 記録項目、チャート速度を確認する。 記録「REC」スイッチを ON にし、記録を開始する。 	
 22) データ処理用 PC の起動 ① パソコンを立ち上げる。起動パスワードを入力する。 ② ペーパーレス記録計とパソコン間の LAN ケーブル接続の確認を行う。 (記録計を「ON」にしていないとデータ処理を行うことができない。) 	<image/>

 23) データ処理ソフトの起動 ① DAQLOGGER ソフト「マネージャ」 をダブルクリックし起動する。 	
 24) データ取得準備 ① データ処理ソフトの「ロガー」をクリ ックし、「設定 (S)」をクリックする。 ② サンプリング速度、インターバル、デ ータのファイル名を入力する。 ③ 「レコード開始」をクリックし、デー タ取得を開始する。 ④ 記録アイコンが、反転していることを 確認する。 	************************************



 26) 試験圧力・水質の確認 ① 試験圧力、水質(CON、pH) が安定していることを確認する。 	
27) 試験片の定荷重保持	
① 昇温時の試験片保護のため定荷重 「0.1 kN」にて保持する。	
 28) ヒータの出力量を確認 ① 予熱器及びオートクレーブのヒータ 出力量(電力調整器の目盛:6~8)を 確認する。 	



- 31) 試験温度の確認
 - ① 試験温度に到達したことを確認する。
 - 1)温度昇温中、予熱器の温度が上昇しており、オートクレーブ内部の温度が 上昇していない場合にはヒータ出力 量を調節する。
 - 2) 圧力の安定も同時に確認する。
 - 試験温度が安定していることを確認 する。

(安定しない場合には、各温度調節器の PID をオートチューニング(AT)にする。なお、安定しないときには、
 各ヒータ出力量を増減後、再度オートチューニングする。)







 32) 圧力計の下限接点圧力を設定 ① 上下限接点圧力計「PIS3」、「1PIS1」、「2PIS1」の警報指針を試験圧力 -1MPaに設定する。 (試験圧力-10%でも可。) 	
 33) 伸び計の粗調整 ① 伸び計のスピンドルを調節して(0) 近辺に粗調整する。 (伸び計のストロークが 20mm 以上 あることを確認する。) 	
 34) 荷重、変位の0リセット ① 制御 / 計測ソフトで荷重、変位を (0)kN、(0)mmにする。 (定荷重制御を中止する。) 	
 35) 試験開始 ① 制御/計測ソフトに試験条件及びデータ収集の設定を入力する。制御波形・試験荷重・負荷速度・繰り返し回数・各異常警報設定・データ保存先等 ② プログラムを「START」させて試験を開始する。 (試験開始後、荷重・変位が変化していることを確認する。) 	





 42) 記録計の停止 ①「フロッピーマーク」をクリックし、 データを保存する。 ②「STOP」をクリックしてデータ取得 を停止する。 ③「RECORD」アイコンに色が戻った ことを確認する。 	
43)降圧 ① 高圧保圧弁を「反時計回り」に少し ずつ圧力を確認しながらゆっくり回 し大気圧(0 MPa)にする。	
 44) 計測ポンプ(P3)停止 ① タッチパネルのポンプ操作画面「計 測ポンプ(1)」「計測ポンプ(2)」の 「OFF」をタッチして停止する。 ② ポンプの運転音と流量計(FI5)の流 量が0L/minであることを確認する。 	FEEDIPE) HICH PRESS. (P2) FEALSURE (P3) FEALSURE (P4) FEEDIPE) HICH PRESS. (P2) FEALSURE (P4) FEALSURE (P4) FEEDIPE) HICH PRESS. (P2) FEALSURE (P4) FEEDIPE) HICH PRESS. (P4) FEALSURE (P4) FEEDIPE) HICH PRESS. (P4) FEEDIPE) HICH PRESS. (P4) FEEDIPE) HICH PRESS. (P4) FE



 47)オートクレーブからの試験片取外し (1) 試験水排水 ① 圧力計 (1PIS1) が 0MPa である ことを確認する。 ② バルブ(1HV2)と(1HV3)を全開に する。 ③ ドレンバルブ(1V1)の下にバケツ 等を用意し、バルブを「開」、パー ジバルブ(1V2)を「開」にして排水 開始する。 	1HV2 1HV3
(2) ボルトを緩める① レンチで少しずつ対角線状に緩め て外す。	

- (3) 上部容器の上昇
 - 油圧ポンプのリリースバルブを右 側に止まるまで倒し、ハンドルを前 後に動かして、ゆっくりオートクレ ーブ上部容器を試験片が取り外す ことのできる位置まで上げる。
 - ② 上部容器の落下防止のため左右セ パレートカラーで固定する。
- (4) 試験片取り外し
 - 試験片を慎重に取り外す。
 - 絶縁材を取り外すときには、特に キズをつけないように注意して行う。
- (5) シール部のチェック
 - パッキン及びシール面のキズや変 形の有無を確認する。





 51)制御操作盤の各電源「OFF」 ① 操作パネル主電源スイッチとタッチパネルホーム画面電源スイッチを押して OFF にする。 	
 52)制御操作盤の漏電ブレーカ「OFF」 ① 3相 200Vの漏電ブレーカを OFF にする。 	
 53)分電盤のブレーカ OFF ① 動力盤「P-1」と電灯盤「L-5」内のブレーカを OFF にして作業を終了する。 	ГР-1 ј ГL-5 ј

This is a blank page.

表 1. SI 基本単位				
甘大昌	SI 基本単位			
盔半里	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	А		
熱力学温度	ケルビン	Κ		
物質量	モル	mol		
光度	カンデラ	cd		

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立	「単位の例			
and SI 組立単位	SI 組立単位			
名称	記号			
面 積 平方メートル	m ²			
体 積 立方メートル	m ³			
速 さ , 速 度 メートル毎秒	m/s			
加 速 度メートル毎秒毎秒	m/s^2			
波 数 毎メートル	m ⁻¹			
密度, 質量密度 キログラム毎立方メート	ル kg/m ³			
面 積 密 度 キログラム毎平方メート	ν kg/m ²			
比体積 立方メートル毎キログラ	ム m ³ /kg			
電 流 密 度 アンペア毎平方メート	\mathcal{N} A/m ²			
磁 界 の 強 さ アンペア毎メートル	A/m			
量 濃 度 ^(a) , 濃 度 モル毎立方メートル	mol/m ⁸			
質量濃度 キログラム毎立方メート	ル kg/m ³			
輝 度 カンデラ毎平方メート	ν cd/m ²			
屈 折 率 ^(b) (数字の) 1	1			
比 透 磁 率 (b) (数字の) 1	1			
(a) 量濃度(amount concentration)は臨床化学の分野では物質濃度				

(substance concentration)ともよばれる。
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

			SI 組立単位	
組立量	名称	記号	他のSI単位による	SI基本単位による
		10.0	表し方	表し方
平 面 角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立 体 角	ステラジアン ^(b)	$sr^{(c)}$	1 ^(b)	m^2/m^2
周 波 数	ヘルツ ^(d)	Hz		s ⁻¹
力	ニュートン	Ν		m kg s ⁻²
E 力 , 応 力	パスカル	Pa	N/m ²	$m^{-1} kg s^{-2}$
エネルギー,仕事,熱量	ジュール	J	N m	$m^2 kg s^2$
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
電荷,電気量	クーロン	С		s A
電位差(電圧),起電力	ボルト	V	W/A	$m^2 kg s^{-3} A^{-1}$
静電容量	ファラド	F	C/V	$m^{-2} kg^{-1} s^4 A^2$
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	$m^2 kg s^{-3} A^{-2}$
コンダクタンス	ジーメンス	s	A/V	$m^{-2} kg^{-1} s^3 A^2$
磁東	ウエーバ	Wb	Vs	$m^2 kg s^2 A^{-1}$
磁 束 密 度	テスラ	Т	Wb/m ²	$kg s^{-2} A^{-1}$
インダクタンス	ヘンリー	Н	Wb/A	$m^2 kg s^{-2} A^{-2}$
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光東	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd
照度	ルクス	lx	lm/m ²	m ⁻² cd
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq		s ⁻¹
吸収線量,比エネルギー分与,	ガレイ	Gy	J/kg	m ² e ⁻²
カーマ	, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	Gy	ong	
線量当量,周辺線量当量,	2 ((g)	Su	I/lrg	2 -2
方向性線量当量,個人線量当量		30	o/kg	III S
酸素活性	カタール	kat		s ⁻¹ mol

酸素活性(カタール) kat [s¹ mol
 (a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはや ュヒーレントではない。
 (b)ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。 実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明 示されない。
 (c)測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d)へルツは周頻現象についてのみ、ペラレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (e)センシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。やレシウス度とケルビンの
 (d)ペルジは周頻現象についてのみ、ペラレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (e)センジス度はケルビンの特別な名称で、1、通道を表すために使用される。それシウス度とケルビンの
 (f)放射性核種の放射能(activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
 (g)単位シーベルト(PV,2002,70,205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4.単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

	S	[組立単位	
組立量	名称	記号	SI 基本単位による 表し方
粘度	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
カのモーメント	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
表 面 張 九	コニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角 速 度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹
角 加 速 度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	$m m^{-1} s^{-2} = s^{-2}$
熱流密度,放射照度	ワット毎平方メートル	W/m^2	kg s ⁻³
熱容量、エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2 kg s^2 K^1$
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$m^2 s^{-2} K^{-1}$
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^{2} s^{2}$
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電 荷 密 度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ s A
表 面 電 荷	「クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ² s A
電 束 密 度 , 電 気 変 位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ² s A
誘 電 卒	コァラド毎メートル	F/m	$m^{-3} kg^{-1} s^4 A^2$
透 磁 率	ペンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$m^2 kg s^2 mol^1$
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	$m^2 kg s^{-2} K^{-1} mol^{-1}$
照射線量(X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ s A
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	$m^{2} s^{3}$
放 射 強 度	ワット毎ステラジアン	W/sr	$m^4 m^{-2} kg s^{-3} = m^2 kg s^{-3}$
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2 sr)$	m ² m ⁻² kg s ⁻³ =kg s ⁻³
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³	$m^{-3} s^{-1} mol$

表 5. SI 接頭語							
乗数	名称	記号 乗数		名称	記号		
10^{24}	э 9	Y	10 ⁻¹	デシ	d		
10^{21}	ゼタ	Z	10 ⁻²	センチ	с		
10^{18}	エクサ	Е	10^{-3}	ミリ	m		
10^{15}	ペタ	Р	10^{-6}	マイクロ	μ		
10^{12}	テラ	Т	10 ⁻⁹	ナノ	n		
10^{9}	ギガ	G	10^{-12}	ピコ	р		
10^{6}	メガ	М	10^{-15}	フェムト	f		
10^{3}	+ 1	k	10^{-18}	アト	а		
10^{2}	ヘクト	h	10^{-21}	ゼプト	z		
10^{1}	デカ	da	10^{-24}	ヨクト	v		

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位					
名称	記号	SI 単位による値			
分	min	1 min=60 s			
時	h	1 h =60 min=3600 s			
日	d	1 d=24 h=86 400 s			
度	•	1°=(π/180) rad			
分	,	1'=(1/60)°=(π/10 800) rad			
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648 000) rad			
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²			
リットル	L, 1	1 L=1 l=1 dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³			
トン	t	$1 t=10^3 kg$			

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で

名称	記号	SI 単位で表される数値			
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J			
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ^{·27} kg			
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da			
天 文 単 位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m			

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg≈133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m
海 里	М	1 M=1852m
バーン	b	$1 \text{ b}=100 \text{ fm}^2=(10^{\cdot 12} \text{ cm})^2=10^{\cdot 28} \text{m}^2$
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	の単位しの教徒的な問題は
ベル	В	31単位との数値的な関係は、 対数量の定義に依存。
デシベル	dB -	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値		
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J		
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N		
ポアズ	Р	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s		
ストークス	St	$1 \text{ St} = 1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} = 10^{-4} \text{m}^2 \text{ s}^{-1}$		
スチルブ	$^{\mathrm{sb}}$	$1 \text{ sb} = 1 \text{ cd cm}^{-2} = 10^4 \text{ cd m}^{-2}$		
フォト	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² =10 ⁴ lx		
ガ ル	Gal	1 Gal =1cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²		
マクスウエル	Mx	$1 \text{ Mx} = 1 \text{ G cm}^2 = 10^{-8} \text{Wb}$		
ガウス	G	$1 \text{ G} = 1 \text{Mx cm}^{-2} = 10^{-4} \text{T}$		
エルステッド ^(a)	Oe	1 Oe ≙ (10 ³ /4 π)A m ⁻¹		
(a) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 ≦ 」				

は対応関係を示すものである。

			表	10.	SIに 尾	属さないその他の単位の例
	4	名利	5		記号	SI 単位で表される数値
キ	ユ		IJ	-	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
$\scriptstyle u$	\sim	ŀ	ゲ	\sim	R	$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg}$
ラ				ĸ	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
$\scriptstyle u$				ム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガ		$\boldsymbol{\mathcal{V}}$		7	γ	$1 \gamma = 1 \text{ nT} = 10^{-9} \text{T}$
フ	T.		N	Ξ		1フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メー	ートル	采	カラゞ	ット		1 メートル系カラット= 0.2 g = 2×10 ⁻⁴ kg
ŀ				N	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標	準	大	気	圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
力			IJ	-	cal	1 cal=4.1858J(「15℃」カロリー), 4.1868J (「IT」カロリー), 4.184J(「熱化学」カロリー)
Ξ	ク			~	u	$1 \mu = 1 \mu m = 10^{-6} m$