

鉛ビスマス高温腐食ループ（OLLOCHI）の開発

Development of High Temperature LBE Corrosion Test Loop "OLLOCHI"

斎藤 滋 万 涛 大久保 成彰 北 智士
大林 寛生 佐々 敏信

Shigeru SAITO, Tao WAN, Nariaki OKUBO, Satoshi KITA
Hironari OBAYASHI and Toshinobu SASA

原子力科学研究部門
J-PARC センター
核変換ディビジョン

Nuclear Transmutation Division
J-PARC Center
Sector of Nuclear Science Research

March 2022

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。
本レポートはクリエイティブ・コモンズ 表示 4.0 国際 ライセンスの下に提供されています。
本レポートの成果（データを含む）に著作権が発生しない場合でも、同ライセンスと同様の
条件で利用してください。（<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>）
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ウェブサイト（<https://www.jaea.go.jp>）
より発信されています。本レポートに関しては下記までお問合せください。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 JAEA イノベーションハブ 研究成果利活用課
〒 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.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).
Even if the results of this report (including data) are not copyrighted, they must be used under
the same terms and conditions as CC-BY.
For inquiries regarding this report, please contact Institutional Repository and Utilization Section,
JAEA Innovation Hub, 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

鉛ビスマス高温腐食ループ（OLLOCHI）の開発

日本原子力研究開発機構 原子力科学研究部門 J-PARC センター

核変換ディビジョン

斎藤 滋、万 涛^{*1}、大久保 成彰、北 智士^{*2}、大林 寛生、佐々 敏信

(2021 年 12 月 3 日受理)

長寿命放射性廃棄物の核変換を実現するため、日本原子力研究開発機構（JAEA）が研究を進めている加速器駆動システム（ADS; Accelerator Driven System）では、核破砕ターゲット及び未臨界炉心冷却材として鉛ビスマス共晶合金（LBE; Lead-Bismuth Eutectic alloy）を採用している。ADSとともに、将来のADSの開発に向けて材料照射データベースを構築するためJ-PARCで検討を進めている陽子照射施設を実現するためには、LBEを安全に利用するために解決すべき課題が多い。特に、T91（改良9Cr-1Mo鋼）やSUS316LなどのADSの主要な鋼材に対して、400-550 °Cの温度範囲におけるLBE流動下の腐食データは、ADSや陽子照射施設の設計に不可欠である。その際、鋼材の腐食抑制に大きく影響するLBE中酸素濃度も腐食データベースの重要なパラメータとなる。そこで、JAEAはLBEと鋼材の共存性試験並びにLBE取扱いに関連した技術開発を目的として、“OLLOCHI（Oxygen-controlled LBE LOop for Corrosion tests in High-temperature）”と名付けた大型の腐食試験ループを新たに製作した。OLLOCHIはLBE中酸素濃度を自動調整する機能を有し、高温部及び低温部の最高使用温度はそれぞれ550 °C、450 °Cであり、ADSの設計値を包含するように設定している。2,000時間以上に及ぶループの特性試験の結果、設計通りの性能を発揮することが確認された。本報告書ではOLLOCHIの概要と各機器の詳細、特性試験結果ならびに今後の試験計画について述べる。

Development of High Temperature LBE Corrosion Test Loop “OLLOCHI”

Shigeru SAITO, Tao WAN^{*1}, Nariaki OKUBO, Satoshi KITA^{*2}, Hironari OBAYASHI
and Toshinobu SASA

Nuclear Transmutation Division, J-PARC Center,
Sector of Nuclear Science Research,
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received December 3, 2021)

Lead-bismuth eutectic alloy (LBE) is a major candidate for a spallation target material and core coolant of an accelerator driven system (ADS) which has been developed in the Japan Atomic Energy Agency (JAEA) to transmute high-level radioactive wastes. A proton irradiation facility to build a material irradiation database for future ADS development is under considering in the J-PARC. To realize both the ADS and the above-mentioned facility, there are many issues on operational safety of LBE to be solved. Especially, corrosion data for the major materials such as T91 (Modified 9Cr-1Mo steel) and SS316L at the temperature range between 400 and 550 °C under the conditions of flowing LBE with a controlled oxygen are not sufficient to design the ADS and the facility. JAEA developed a new large-scale corrosion test loop named “OLLOCHI (Oxygen-controlled LBE Loop for Corrosion tests in High-temperature)” aiming to perform the compatibility tests between the LBE and the steels, as well as to develop the LBE operation technology. OLLOCHI has a function to automatically control the oxygen concentration in LBE. The maximum temperature at the regions of high-temperature and low-temperature of the OLLOCHI are 550 °C and 450 °C respectively to cover the ADS designed condition. As a result of 2,000 hours operation, it was demonstrated that the OLLOCHI showed the designed performance. In this report, outline of the OLLOCHI, details of the components, results of characteristic tests, and the future experimental plan are described.

Keywords: ADS, Lead-bismuth Eutectic Alloy (LBE), Corrosion Test Loop

*1 Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Science

*2 Growth Industry Create Corporation

目 次

1. 序論	1
2. OLLOCHI の概要	2
2.1 装置の検討	2
2.1.1 設計の基本指針	2
2.1.2 装置の設計性能	3
2.2 装置全体構成	4
2.2.1 LBE 循環系	4
2.2.2 試験部	4
2.2.3 カバーガス・酸素濃度制御系	9
2.2.4 計測制御系	12
2.3 主要機器の詳細	17
2.3.1 ドレインタンク	17
2.3.2 LBE 配管	17
2.3.3 LBE 弁類	17
2.3.4 電磁ポンプ	19
2.3.5 加熱器	19
2.3.6 膨張タンク	20
2.3.7 冷却器	21
2.3.8 流量計	23
2.3.9 フィルター・差圧計	25
2.3.10 その他	25
2.4 試験部及び膨張タンク内の流動解析	26
2.4.1 試験部の流動解析	26
2.4.2 膨張タンク内の流動解析	26
2.4.3 温度分布及び応力解析	26
3. 性能確認試験	49
3.1 全体計画	49
3.2 試験の概要と目的	50
3.2.1 気密試験	50
3.2.2 LBE 無し昇温試験	50
3.2.3 LBE 等温循環試験	50
3.2.4 電磁流量計校正比較試験	50
3.2.5 温度差運転試験	51
3.3 試験結果	52
3.3.1 気密試験	52
3.3.2 昇温試験	52

3.3.3 LBE 等温循環試験	52
3.3.4 電磁流量計校正比較試験	52
3.3.5 温度差運転試験	54
4. 装置の現状と今後の予定	68
5. まとめ	69
謝辞	69
参考文献	69
付録 A 主要な機器の図面	70
付録 B 運転マニュアル（腐食試験時）	86

Contents

1. Introduction	1
2. Outline of the OLLOCHI	2
2.1 Design of the loop	2
2.1.1 Guiding principle of the loop design	2
2.1.2 Target design of the loop	3
2.2 Overall structure of the loop	4
2.2.1 LBE circulating system	4
2.2.2 Testing parts	4
2.2.3 Cover gas and oxygen control systems	9
2.2.4 Instrumentation and control systems	12
2.3 Components	17
2.3.1 Drain tank	17
2.3.2 LBE piping	17
2.3.3 LBE valves	17
2.3.4 Electro-magnetic pump	19
2.3.5 Heaters	19
2.3.6 Expansion tank	20
2.3.7 Cooler	21
2.3.8 Flow meters	23
2.3.9 Filter and differential pressure gauge	25
2.3.10 Others	25
2.4 Thermal-hydraulic and structural analyses	26
2.4.1 Flow pattern in the test section	26
2.4.2 Flow pattern in the expansion tank	26
2.4.3 Temperature and thermal stress on the structure	26
3. Performance confirmation tests	49
3.1 Testing plan	49
3.2 Test outline and objectives	50
3.2.1 Air-tightness test	50
3.2.2 Heat-up test without LBE	50
3.2.3 LBE isothermal circulation test	50
3.2.4 Electromagnetic flowmeter calibration and comparison tests	50
3.2.5 Temperature difference circulation test	51
3.3 Results	52
3.3.1 Air-tightness test	52
3.3.2 Heat-up test	52

3.3.3 LBE isothermal circulation test	52
3.3.4 Electromagnetic flowmeter calibration and comparison tests	52
3.3.5 Temperature difference circulation test	54
4. Current status of the loop and future plan	68
5. Concluding remarks	69
Acknowledgements	69
References	69
Appendix A Drawings of major components	70
Appendix B Operation manual for corrosion test	86

表リスト

Table 2.2.1	Flow velocity at specimen position for plate type specimen	28
Table 2.2.2	Flow velocity at specimen position for rod type specimen	28
Table 2.2.3	List of interlock	29
Table 2.3.1	Calculation result of pressure loss in the loop	30
Table 3.1.1	Experimental plan of OLLOCHI	55
Table 3.3.1	Results of leak test at RT	56
Table 3.3.2	Results of leak test at 250 °C	56

図リスト

Fig. 2.1.1	Configuration of OLLOCHI	32
Fig. 2.2.1	Flow diagram of OLLOCHI	33
Fig. 2.2.2	Configuration of components for corrosion test and material testing	34
Fig. 2.2.3	Configuration of the cover-gas/oxygen control system	35
Fig. 2.2.4	Flow-diagram of the cover-gas/oxygen control system	36
Fig. 2.3.1	Performance curve of the EMP	37
Fig. 2.4.1	Drawing of the specimen holder for plate type specimens	38
Fig. 2.4.2	LBE flow contour in the specimen holder	38
Fig. 2.4.3	Model for thermal hydraulic analysis in the expansion tank	39
Fig. 2.4.4(a)	LBE flow contour in the expansion tank (lengthwise cross section)	39
Fig. 2.4.4(b)	LBE flow contour in the expansion tank (lateral cross section)	40
Fig. 2.4.5(a)	LBE flow vector in the expansion tank (lengthwise cross section)	40
Fig. 2.4.5(b)	LBE flow vector in the expansion tank (lateral cross section)	41
Fig. 2.4.6(a)	Temperature distribution in the expansion tank and sample holders (case#1, lengthwise cross section)	41
Fig. 2.4.6(b)	Temperature distribution in the expansion tank and sample holders (case#1, lateral cross section)	42
Fig. 2.4.7	Thermal stress distribution in the expansion tank (case#1, lengthwise cross section)	42
Fig. 2.4.8(a)	Temperature distribution in the sample holders (case#1, lengthwise cross section)	43
Fig. 2.4.8(b)	Thermal stress distribution in the sample holders (case#1, lengthwise cross section)	43
Fig. 2.4.9(a)	Temperature distribution in the expansion tank and sample holders (case#2, lengthwise cross section)	44

Fig. 2.4.9(b) Temperature distribution in the expansion tank and sample holders (case#2, lateral cross section)	44
Fig. 2.4.10 Thermal stress distribution in the expansion tank (case#2, lengthwise cross section)	45
Fig. 2.4.11(a) Temperature distribution in the sample holders (case#2, lengthwise cross section)	45
Fig. 2.4.11(b) Thermal stress distribution in the sample holders (case#2, lengthwise cross section)	46
Fig. 2.4.12(a) Temperature distribution in the expansion tank and sample holders (case#3, lengthwise cross section)	46
Fig. 2.4.12(b) Temperature distribution in the expansion tank and sample holders (case#3, lateral cross section)	47
Fig. 2.4.13 Thermal stress distribution in the expansion tank (case#3, lengthwise cross section)	47
Fig. 2.4.14(a) Temperature distribution in the sample holders (case#3, lengthwise cross section)	48
Fig. 2.4.14(b) Thermal stress distribution in the sample holders (case#3, lengthwise cross section)	48
Fig. 3.2.1(a) Configurations of calibration for the EMF	57
Fig. 3.2.1(b) Configurations of calibration for the EMF2	57
Fig. 3.3.1 Temperature trend graph for LBE temperatures	58
Fig. 3.3.2 Trend graphs of calibration for the EMF	59
Fig. 3.3.3 Calibration curve of the EMF	60
Fig. 3.3.4 Trend graphs of calibration for the EMF2	61
Fig. 3.3.5 Calibration curve of the EMF2	62
Fig. 3.3.6 Comparison for the output of the EMF and EMF2	63
Fig. 3.3.7 Temperature trend graph for condition#1	64
Fig. 3.3.8 The relationship between inlet valve lift of the air cooler and temperature difference for condition #1	64
Fig. 3.3.9 Temperature trend graph for condition#2	65
Fig. 3.3.10 The relationship between inlet valve lift of the air cooler and temperature difference for condition #2	65
Fig. 3.3.11 Temperature trend graph for condition#3	66
Fig. 3.3.12 The relationship between inlet valve lift of the air cooler and temperature difference for condition #3	66
Fig. 3.3.13 Summary of the relationship between inlet valve lift of the air cooler and temperature difference	67

Fig. A.1	Drawing of the test sections of OLLOCHI	70
Fig. A.2	Drawing of the specimens for corrosion test	71
Fig. A.3	Drawing of the specimen holder	71
Fig. A.4	Drawing of the sample exchange box	72
Fig. A.5	Drawing of the testing machine	72
Fig. A.6	Drawing of the specimens for creep, tensile/SSRT and fatigue tests	73
Fig. A.7	Drawing of the jigs for creep test	73
Fig. A.8	Drawing of the frame for testing machine	74
Fig. A.9	Drawing of the control panel for cover gas system	75
Fig. A.10	Flow-diagram of the gas supply system	75
Fig. A.11	Drawing of the control panel for oxygen control system	76
Fig. A.12	Drawing of the oxygen sensor	76
Fig. A.13	Drawing of the mount for oxygen sensors	77
Fig. A.14	Drawing for pre-heaters and thermo-couples of OLLOCHI	78
Fig. A.15	Drawing of level gauge in expansion tank of OLLOCHI	78
Fig. A.16	Drawing of the drain tank	79
Fig. A.17	Drawing of the EMP	79
Fig. A.18	Drawing of the main heater	80
Fig. A.19	Drawing of the expansion tank	81
Fig. A.20	Drawing of the air cooler	82
Fig. A.21	Drawing of the EMF	83
Fig. A.22	Drawing of the EMF2	83
Fig. A.23	Drawing of the mount for the ultrasonic flow meter2	84
Fig. A.24	Drawing of the filter unit	85

This is a blank page.

1. 序論

日本原子力研究開発機構（JAEA）では、長寿命放射性廃棄物の核変換技術を実用化するため、核破砕ターゲット及び炉心冷却材として鉛ビスマス共晶合金（LBE; Lead-Bismuth Eutectic alloy）を第1候補とした加速器駆動システム（ADS; Accelerator Driven System）の研究を進めている¹⁾。鋼材の腐食が実用化に向けた課題となっている。LBEによる鋼材の腐食に関する研究は、静的腐食試験、LBE流動下での腐食試験などがロシアをはじめ、欧州（ドイツ、ベルギー、イタリア、スペインなど）、米国、日本、韓国、中国、インドなどで実施されてきた。現在までに得られた鋼材の耐食性に関する主な知見は、以下のとおりである²⁾。

- ① 400 °C 以下ではほとんど腐食は生じないが、それ以上では腐食が生じ、温度上昇とともに腐食が激しくなる。
- ② Ni は LBE への溶解度が大きく、Ni を含むオーステナイト鋼は Ni を含まないフェライト/マルテンサイト（F/M）鋼より耐食性が劣る。
- ③ 一般に鋼材中の Cr 濃度を高めると耐食性が向上する。また、Al、Si を含む鋼材や表面改質材では、より耐食性が向上する。
- ④ 腐食挙動は LBE 中の酸素濃度に依存しており、運転中の鋼材の腐食を抑制するには、表面に安定な酸化皮膜が形成される適切な酸素濃度範囲を維持する必要がある。
- ⑤ LBE に流れがあると腐食が進みやすい。特に系内に温度差があると質量移行により腐食が進行する。
- ⑥ LBE 中で鋼材が破壊しやすくなる液体金属脆化（LME）の可能性が示唆されている。
- ⑦ エロージョン（壊食）は流れ場において鋼材表面が削られる現象で、LBE の流速が 2 m/s 以上の場合や、流れの向きが急速に変わる箇所（屈曲部や拡大・縮小部など）で生じることが報告されている。

これらの特性から、将来の ADS 設計や、ADS 実用化のために J-PARC で検討が進められている陽子照射施設²⁾の実現には、LBE に関する腐食挙動をより詳細に把握する必要がある。特に、T91（改良 9Cr-1Mo 鋼）や SUS316L などの鋼材に関して、400-550 °C の非等温場で酸素濃度制御下かつ LBE 流動下における材料腐食データの系統的な収集が不可欠である。また、液体金属脆化（LME）や流れ加速腐食（FAC）³⁾についてのデータ、知見も不十分である。これらのデータを取得するとともに、LBE 取扱いに関連した技術開発を行う目的で、“OLLOCHI（Oxygen-controlled LBE LOop for Corrosion tests in HIgh-temperature）”と名付けた腐食試験ループを新たに製作した。OLLOCHI は、2018 年春までに本体及び加熱器や試験片交換ボックスなどの設置と、分岐した試験部への流量計設置、材料試験用配管の設置および LBE 無しでの運転試験を終えた。その後、流量制御試験、温度差運転など LBE を循環する機能試験を実施したのち、2020 年 11 月から腐食試験を開始した。本報告書では OLLOCHI の概要と各機器の詳細、特性試験結果ならびに今後の試験計画について述べる。

2. OLLOCHI の概要

2.1 装置の検討

2.1.1 設計の基本指針

OLLOCHI は、ADS の研究開発計画の一環として、実機を想定した高温（最高 550 °C）における LBE と鋼材の共存性試験並びに LBE 取扱いに関連した技術開発を行うための装置である。本装置設計の基本指針を以下に述べる。

LBE と鋼材の共存性試験に関しては、

①高温（最高550 °C）での腐食試験が可能であること

ADS実機の最高温度である550 °Cまでの温度範囲で酸素濃度制御下かつLBE流動下の腐食データを系統的に取得するために、

- ・試験温度は最高550 °C、温度差は最大100 °C、酸素濃度は 10^{-5} wt.%～ 10^{-7} wt.%、試験部での流速は最大2 m/sが得られること。
- ・効率よく試験を行うため試験部を複数設置し、各試験部の流量を測定できること。
- ・試験片はホルダーに収納する方式とし、試験片の形状は板状、棒状、配管形状などが可能であること。
- ・試験片ホルダーの取り出し・交換の際に、酸素濃度等の試験条件を極力維持できるように、LBEをドレインせずに試験片ホルダーが交換できること。

②LBE流動下で応力付加試験が可能であること

LMEが生じる条件を明らかにするために、

- ・LBE流動下で材料強度試験が可能であること。
- ・試験温度、温度差、酸素濃度、流速などをパラメータとした試験が可能であること。

③FACの試験が可能であること

FAC が生じる条件を明らかにするために、

- ・様々な試験片形状で試験を行えること。
- ・試験温度、温度差、酸素濃度、流速などをパラメータとした試験が可能であること。
- ・効率よく試験を行うため試験部を複数設置し、各試験部の流量を測定できること。

LBE 取扱いに関連した技術開発に関しては、

④酸素濃度測定・制御技術を確認すること

高温かつ非等温の大型ループでの酸素濃度測定と酸素濃度制御技術を確認するため、

- ・酸素センサーを高温部、低温部それぞれに複数設置できること。
- ・酸素濃度を自動制御できること。

⑤LBE の純化技術を確認すること

LBE 中の不純物を除去するための技術開発を行うため、

- ・交換できるフィルターユニットをバイパスラインに設置できること。
- ・膨張タンクより分析用の LBE をサンプリングできること。

以上の条件を基に決定した装置の設計性能を次項に示す。

2.1.2 装置の設計性能

2.1.1 で示した装置設計の基本指針より、装置の設計性能は以下とした。

流体	LBE（鉛ビスマス共晶合金（45%Pb-55%Bi））
使用温度	最高 550 °C
温度差	最大 100 °C（空気冷却器による）
試験部流速	最大 2 m/s
設計圧力	0.5 MPa
全体構成	閉ループ型とする。
配管	使用温度に応じた材質を選定する。主要配管の口径は試験部が最大流速の時でも十分に低い流速（0.5 m/s 以下）となるように選定する。
配管継ぎ手	原則溶接継手とする。
ポンプ	最も実績のある電磁ポンプとする。
流量計	主流部に異なる方式の流量計を設置する。分岐した試験部ごとに流量計を設置する。
酸素濃度測定	高温部、低温部それぞれに酸素センサーを複数設置し、試験時は常時酸素濃度を測定可能とする。
酸素濃度制御	膨張タンクのカバーガスに Ar-H ₂ または Ar-O ₂ ガスを注入し、自由液面を介して LBE 中の酸素濃度を制御する方式とする。
試験部	流路を分岐させて複数設置する。酸素濃度等維持のため、試験片ホルダーは LBE をドレインせずに交換可能とする。そのため、試験部上端にサンプル交換用グローブボックスを設置できる構造とする。腐食試験の他、材料強度試験、流れ加速腐食試験も行える構造とする。
フィルター	バイパスラインに交換可能なフィルターユニットを設置し、不純物除去試験を実施可能とする。

これらの設計条件に基づく装置の全体構成を Fig. 2.1.1 に示す。

2.2 装置全体構成

Fig. 2.1.1に示すように、OLLOCHIはLBE循環系、カバーガス・酸素濃度制御系、計測制御系ならびに試験部から構成される。以下に各系統の詳細について述べる。

2.2.1 LBE 循環系

LBE 循環系は、Fig. 2.2.1 に示すようにドレインタンク、配管・弁類、電磁ポンプ、加熱器、膨張タンク、冷却器、流量計及びフィルターから構成される。LBE 循環系は冷却器前後で高温部と低温部に分けられ、高温部配管は高温強度と耐食性の観点から T91 製、高温部機器の加熱器や膨張タンクの容器は高温強度の観点から 2.25Cr-1Mo 鋼製とした。これらの高温部の最高使用温度は 550 °C である。低温部は配管、機器類ともに使用実績が豊富な SUS316L 製で、最高使用温度は 450 °C である。以下に各機器の概略を述べる。詳細は別途 2.3 に記載した。

低温部に設置されるのは、ドレインタンク、電磁ポンプ、流量計、弁類及びフィルターである。ドレインタンクは系統の最下部に設置される。電磁ポンプはループの下部側に設置され、環状流路リニア誘導型である。流量計には電磁流量計と超音波流量計が採用され、主流部、分岐部それぞれに設置される。弁類は低温部にのみ設置され、目的に応じて自動弁と手動弁を使用している。フィルターはバイパス配管部に設置され、任意の流量 (0~100%) で LBE を主流から分岐・浄化できる。

高温部には、加熱器、冷却器と試験部を含む膨張タンクが設置される。加熱器は各分岐ラインに一台ずつ設置されており、分岐ラインごとに異なる温度を設定できる。冷却器は高温部と低温部の間に設置され、強制空冷式で SUS316L 製である。膨張タンクは系統の最上部に設置され、3 つの試験部を設置している。

これら全ての LBE 機器及び配管、弁類には予熱ヒーターと保温材、熱電対が取り付けられるとともに、溶融した LBE がドレイン時に途中で滞留することなく最下部のドレインタンクに必ず集約できるよう、1/25 以上の勾配が設けられている。また、高温の LBE が漏れ出ることのないよう、フランジはフィルターユニット部のみに使用し、その他は全て溶接構造としている。なお、万が一 LBE が循環系外に漏洩した場合に備え、膨張タンクに設置されたレベル計のインターロック回路により漏洩を検知し、LBE をドレインする。また、インターロックに不具合が生じた場合に対応するため、ループ架台床面をトレイ構造とし、循環系内の LBE の全量を受容し、装置外への LBE の拡散を防止する構造としている。

2.2.2 試験部

試験部は、Fig. A.1に示すように膨張タンク直下の高温試験部、高温試験部に挿入される試験片ホルダー及び試験治具、膨張タンク上に設置される試験片交換ボックス、試験機架台、試験機から構成される。なお、膨張タンク上部に設置する機器構成は、(1)腐食試験時と(2)材料試験時でそれぞれ異なるため、これらの試験は同時には実施しないこととしている。

(1)腐食試験時

腐食試験時は膨張タンク上部に試験片交換ボックスを設置する。試験片交換ボックス内は不

活性ガス雰囲気調整可能である。試験部の終端は膨張タンク内にあり、試験片ホルダーは膨張タンク上部のノズルから LBE の自由液面を介して試験部へ挿入する。ノズルには試験片交換ボックスに繋がるベローズを設置しており、ベローズをボックス下部に接続することにより、膨張タンク内に大気が入ることを防ぐ構造としている。これにより試験片ホルダー交換時に LBE をドレインすることなく LBE 中の酸素濃度等の状態を保持することができ、異なる試験部で異なる暴露時間を設定した試験を実施することが容易に可能となっている。

高温試験部

高温試験部とは、3 本に分岐した配管を膨張タンク手前で流量を高めるため細径化した部分を指す。試験片ホルダーは、膨張タンク上部のノズルを介してこの細径配管内部に挿入して設置する。

配管径	3/4B、長さ約 500 mm
材質	T91（改良 9Cr-1Mo 鋼）
最高使用温度	550 °C
員数	3 箇所

試験片及び試験片ホルダー

腐食試験片は Fig. A.2 に示すように厚さ 1 mm の板状または直径 7.65 mm の棒状試験片とする。それぞれの試験片に対する主流部流量と試験部流速の関係を Table 2.2.1 及び Table 2.2.2 に示す。ADS 設計における最大流速である 2 m/s を達成するためには、板状試験片を用いる場合、主流部流速を試験部 1 箇所では約 15 L/min、試験部 2 箇所では約 30 L/min に設定する。本ループの最大流量が 30 L/min であるため、試験部を 3 箇所とも使用する場合には、LBE 流速は 2 m/s 未満となる。棒状試験片を用いて試験部流速を 2 m/s とする場合には、主流部流量を試験部 1 本で約 10 L/min に、試験部 2 本で約 20 L/min に、試験部 3 本で約 30 L/min に、それぞれ設定することで達成できる。また、各試験部のバルブを調整することにより、各試験部に異なる流速を付与することも可能である。

板状試験片用試験片ホルダーの材質・構造は以下の通りである（Fig. A.3）。

- ・試験片挿入管（品番①）は T91（改良 9Cr-1Mo 鋼）製の 3/8B の管材内面に深さ 1.0 mm、幅 1.1 mm の溝が上下に一对あり、この溝に板状腐食試験片を挿入する構造である。
- ・試験片挿入管（品番②）は T91 製の 3/8 B の管材の側面に長穴を開け、LBE の流路としている。①と②は溶接にて接続する。
- ・試験片押さえ板（品番③）は T91 製で厚さ 1 mm の板であり、溝部に溶接することで溝部に挿入した試験片を固定する。
- ・下側試験片吊りロッド（品番④）は SFVAF22 製で、ロッドの上端部には M8 ネジ加工を施し、下端部は試験片挿入管に差し込み溶接する。
- ・連結用長ナット（品番⑤）は SUS 製の M8、全長 30 mm である。
- ・六角ナット（品番⑥）は M8、SUS 製である。

試験片交換ボックス

試験片交換ボックスは、グローブポート付きアクリル製窓部、SUS 製底板、SUS 製天板、SUS 製前面、裏面及び側面パネル、サンプル交換用パスボックスから構成される。試験片交換ボックス内部の雰囲気はアルゴンガスで置換でき、LBE が空気に触ることなく試験片ホルダーの交換が可能である。

試験片交換ボックスの仕様（図面は Fig. A.4）

主要材質	ステンレス、アクリル
寸法	1370(W) × 550(D) × 1400(H) mm
グローブポート	φ200 mm × 6 箇所
使用圧力	微正圧
その他	パスボックス 1 個付き
員数	1 台
付属品	ゴム製グローブ、ガス系配管、電気機器類、計測機器類

ガス系配管

ガス系配管は、試験片交換ボックス内の排気及びガス置換に使用する。入口側、出口側配管それぞれにバルブを有し、出口側配管には圧力計、圧力逃し弁も設置される。パスボックスにもガス系配管を接続する。

ガス系配管の仕様

口径	1/4 インチ
材質	SUS316L
接続方式	スウェージロック
圧力計	ブルドン管式
圧力逃し弁	1 基
弁類	手動弁

(2)材料試験時

材料試験時は試験片交換ボックスを撤去し、Fig. 2.2.2 に示すように試験機架台及び試験機を設置する。試験機に接続する試験治具を膨張タンク上部中央のノズルから試験部へ挿入する構造となる。

試験機

試験機は、試験機本体、試験機制御装置及びデータ処理装置から構成される。試験機本体は、アクチュエータの駆動にリニアモーターを採用している。制御装置には完全フルデジタル制

御システムを採用し、リニアモーター部には差動トランス式位置検出センサーに加え光学式リニアエンコーダを用いることで、疲労試験のみならず引張試験等の静的試験にも対応可能である。本体のロードセルはリニアモーター式アクチュエータの先端に装着されている。軸芯中央部には加速度センサーが組み込まれ、同加速度センサーで加速度を検出し、制御システムで慣性効果を自動的に補正することにより、試験片に与えられた正確な力をリアルタイムで制御・表示することが可能である。以下にこれらの機器の仕様を示す。

試験機本体の仕様（図面は Fig. A.5）

形式	卓上型（インストロン製 E3000）
寸法	幅 706 mm、奥行き 450 mm、高さ 1750 mm
質量	240 kg
荷重定格	±3 kN
最大垂直試験空間	850～1200 mm（アクチュエータ中間点）
ベース	T スロット 4 本付き定盤
支柱間隔	455 mm
クロスヘッド固定	クイッククランプ式
クロスヘッド昇降	電動式

リニアモーター式アクチュエータの仕様

搭載形式	クロスヘッドマウント型（上部）
シリンダー駆動方式	リニアモーター式
荷重定格	±3 kN（動的）、±2.1 kN（静的）
ストローク	±30 mm（60 mm）
変位検出方式	作動トランス式 LVDT 及び光学式リニアエンコーダ

ロードセルの仕様

荷重定格	±5 kN
加速度補正	有

制御装置の仕様

制御ボード	
制御対象	引張圧縮軸（単軸）
自己診断機能	有
閉ループコントロール	
タイプ	PID+Lag+外部補正入力
ループ整形	変位、荷重及び歪み（自動・手動）
波形発生	

設定範囲	フルスケールの 105%
周波数範囲	0.00001～1,000 Hz
内部波形	サイン、三角、矩形、ハーバーサイン、 ハーバー三角、ハーバー矩形、ランプ、台形
データロギング	
サンプリングレート	最高 10 kHz まで任意に選択可能

データ処理装置の仕様

ハードウェア	
データ処理装置	パーソナルコンピュータ、PC ラック収納
オペレーティングシステム	日本語 Windows 7（スタンドアロンで使用）
ソフトウェア	
データ処理用ソフトウェア	
付属ソフトウェア	試験機操作用、疲労試験設定、データ収集用
制御モード	位置（アナログ、デジタル）、荷重、ひずみ
波形	正弦波、三角波、矩形波、台形波
取得データ	荷重、振幅、ひずみ、試験サイクル数等

試験片

Fig. A.6 にクリープ試験、引張り/SSRT 試験及び疲労試験用の試験片を示す。クリープ試験片は全長 90 mm、つかみ部は M6 ねじ、ゲージ部寸法は $\phi 3.0 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ である。引張り/SSRT 試験片は SS-J3 型であり、全長 16 mm、つかみ部幅は 4 mm、ゲージ部寸法は幅 1.2 mm、板厚 0.76 mm、全長 5 mm である。疲労試験片は全長 25 mm、つかみ部幅は 5 mm、ゲージ部寸法は全長 $\phi 1.6 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ である。引張り/SSRT 試験及び疲労試験片は J-PARC 陽子照射施設における照射試験用と共通の試験片である。

試験治具

Fig. A.7 にクリープ試験用の試験治具の試験片取付部を示す。試験片取付部は、ガイドパイプ、下部端栓、下部シャフト及び中間シャフトなどから構成される。ガイドパイプは試験機の底盤に固定され、下部シャフトは端栓を介してガイドパイプに接続される。中間シャフトは試験機のアクチュエータに接続される。試験片のつかみ部はねじ加工されており、下部シャフトと中間シャフトの間に取り付けられることで、応力が負荷される構造となる。

試験機架台

試験機架台は、Fig. 2.2.2 の右下写真に示すように 3 階作業テラスの床板にアンカーボルトで固定される。試験機はこの架台上に設置され、ボルトで固定される。以下に具体的な仕様を示す。（図面は Fig. A.8）

型式	鉄骨構造 1 体式
材質	炭素鋼

員数

1 式

2.2.3 カバーガス・酸素濃度制御系

ガス系は、Fig. 2.2.3に示すようにガスライン、ガスコントロールパネル、酸素濃度自動制御装置及び酸素センサーから構成される。ガス系の役割は、(1)LBE循環系のガス置換、(2)ドレインタンクの溶解したLBEを加圧し、配管側を減圧することによるLBEの揚液、(3)通常運転時のカバーガス供給、(4)酸素濃度制御時の酸化還元ガス供給である。

ガスライン

ガスコントロールパネル、酸素濃度自動制御装置の系統図を Fig. 2.2.4 に示す。系統の各機器は SUS316L 製配管とスウェージロック継ぎ手により接続される。

ガスラインの仕様は、

口径	1/4 インチまたは 3/8 インチ
材質	SUS316L
接続方式	スウェージロック
安全弁	0.5 MPa

ベーパートラップ

ベーパートラップは、LBE の蒸気がガス系のラインに移行することを防ぐ目的で膨張タンク排気側及びドレインタンクへのガスラインに設置される。トラップ内のメッシュ構造のフィルターは交換可能な構造である。以下に具体的な仕様を示す。

型式	ワイヤメッシュデミスター内蔵型
ハウジング寸法、材質	2B (φ60.5) × 200 mm、SUS316L
デミスター規格、材質	SK-192、SUS304
員数	2 基

ガスコントロールパネル

ガスコントロールパネルは、パネル、手動バルブ、圧力計、安全弁、真空ポンプ及びそれらを接続する配管継ぎ手から構成される。

ガスコントロールパネルの仕様（図面は Fig. A.9）

形式	自立式（鋼製アングル、SUS 製パネル）
手動バルブ	ニードルバルブ（SS-1RS4）、10 個
圧力計	AC15（-0.1～1.0 MPa）、2 個
圧力トランスミッター	KH15、2 個
安全弁	SL-38（呼び径 15A）、2 個
真空ポンプ	佐藤真空ラムダ P65D、1 台
配管	1/4 インチ（SUS316）

酸素濃度自動制御装置

酸素濃度自動制御装置は、ガス供給系、ガス排気系ならびに監視制御系から構成される。ガス供給系は Fig. A.10 に示すように、カバーガス系、酸化ガス系、還元ガス系及び送気系で構成され、カバーガス系、酸化ガス系及び還元ガス系は合流後、送気系を経て膨張タンクに接続される。

ガス供給系の仕様

カバーガス系

送気ガス圧力調整器	Koflock 6600B-SS-1-1/4-1、1台
圧力表示器	SMC G46-7-02M-C(Pt1/4"、～0.7 MPa)、1台
送気側ガス導入弁（電磁）	CKD AB41-03-6-D-2HABS-DC24V(Pt3/8"NC)、1台
マスフローコントローラー	Azbil MQV0002CSSE0001D0(2L/m、Swage1/4")、1台

酸化ガス系

送気ガス圧力調整器	Koflock 6600B-SS-1-1/4-1、1台
圧力表示器	SMC G46-7-02M-C(Pt1/4"、～0.7 MPa)、1台
送気側ガス導入弁（電磁）	CKD AB41-03-6-D-2HABS-DC24V(Pt3/8"NC)、1台
マスフローコントローラー	Azbil MQV9500CSSE0001D0(0.5L/m、Swage1/4")、1台
逆止弁	SwageLock SS-4C-1/3(Pt3/8")、1台

還元ガス系

送気ガス圧力調整器	Koflock 6600B-SS-1-1/4-1、1台
圧力表示器	SMC G46-7-02M-C(Pt1/4"、～0.7 MPa)、1台
送気側ガス導入弁（電磁）	CKD AB41-03-6-D-2HABS-DC24V(Pt3/8"NC)、1台
マスフローコントローラー	Azbil MQV0002CSSE0001D0(2L/m、Swage1/4")、1台
逆止弁	SwageLock SS-4C-1/3(Pt3/8")、1台

送気系

送気側ブロー弁（手動）	フジキンVUP-920-12.7(Swage1/2)、1台
圧力センサー	Yokogawa FP101A-C33-C100A*B(Pt1/2 abs 1MPa 0-5V)、2台
送気側ガスメイン弁（電磁）	CKD AB41-03-6-D-2HABS-DC24V(Pt3/8"NC)、2台
安全弁	フジキンVURF-041L-12.7-A(Swage1/2)、1台

ガス排気系は、背圧弁、電磁弁等で構成され、背圧弁により膨張タンク内ガス圧力が任意の圧力以上到達時に排気される。また、強制排気弁による膨張タンク内圧放出、並びに既設真空ポンプによるガス置換を可能とする構成にする。なお、排気系にはフィルターを内蔵したベーパートラップが設置されている。

ガス排気系の仕様

排気側切替弁（手動）	フジキン VUP-920-12.7(Swage1/2)、2台
------------	--------------------------------

排気弁（電磁）	CKD AB41-03-6-D-2HABS-DC24V(Pt3/8"NC)、1 台
排気弁（電磁）	CKD AB42-03-6-D-2HABS-DC24V(Pt3/8"NO)、1 台
背圧調整器	Koflock 6800BL-SS-1/4-1(Pt1/4" 10L/m)、1 台
流量計	Koflock RK1050-15-S-1/4-Ar-2L/m、1 台

監視制御系の仕様（制御盤の図面は Fig. A.11）

制御系

PLC	キーエンス製KV7500
タッチパネル	キーエンス製VT5-10W
表示、記録対象	酸素センサー出力、マスフローコントローラ流量 各電磁弁、ガス供給系各部圧力、LBE温度

酸素センサー

酸素センサーには白金電極空気参照（Pt/Air）型を採用し、高温部と低温部に各 2 本ずつ設置される。なお、固体電解質破損時に LBE が外部へ漏洩しない様にするため、ハウジング内にフリーズシール構造を持つ。

酸素センサーの技術仕様を以下に示す。（図面は Fig. A.12）

型式	白金電極空気参照型
測定対象	LBE
使用温度	350～600 °C
最大使用圧力	0.5 MPa
固体電解質	6 mol イットリア安定化ジルコニア (YSZ) (ZR-6Y)
固体電解質形状、寸法	試験管型（全長 300 mm、外径 8 mm、内径 5 mm）
電極	Pt ペースト+ステンレス製ワイヤー
出力端子	BNC コネクタ
ハウジング部材質	ステンレス製
ハウジング部構造	フリーズシール構造により YSZ 破損時に LBE が外部へ漏洩しないようにする。
ハウジング部取り付け	1/2 インチスウェージロック
員数	4 本

酸素センサーは配管途中のマウント部に 15° の角度でスウェージロックにより取り付ける。酸素センサーマウント部の仕様を以下に示す。（図面は Fig. A.13）

（高温部）

最高温度	550 °C
胴部	T91（1-1/2B×Sch80）、1 本
酸素センサー取付けノズル	STPA24（1/2B×Sch40）、2 本
コネクター	1/2 インチスウェージロック（SUS316）、2 個

員数	1 基
(低温部)	
最高温度	450 °C
胴部	SUS316L (1-1/4B × Sch20S)、1 本
酸素センサー取付けノズル	SUS316 (φ15 × t1.0)、2 本
コネクター	1/2 インチスウェージロック (SUS316)、2 個
員数	1 基

2.2.4 計測制御系

計測制御系は、熱電対、予熱ヒーター及び保温材、センサー類及び制御盤から構成される。

熱電対

熱電対は、予熱ヒーターの温度制御用、配管機器の温度監視用及び LBE の液温監視用に分類される。以下に各熱電対の仕様を示す。

予熱ヒーターの温度制御用熱電対の仕様 (Fig. A.14 において TE○○で示す熱電対)

型式	シース型
種類	K
階級	JIS 0.75
外径	1.6 mm
シース材質	SUS316L
員数	32 本

配管機器の温度監視用熱電対の仕様 (Fig. A.14 において TM○○で示す熱電対)

型式	シース型
種類	K
階級	JIS 0.75
外径	1.6 mm
シース材質	SUS316L
員数	9 本

LBE 液温監視用熱電対の仕様 (Fig. A.14 において T○○で示す熱電対)

型式	シース型
種類	K
階級	JIS 0.75
外径	3.2 mm
シース材質	SUS316L
員数	14 本
その他	ウェルに挿入して使用

予熱ヒーター及び保温材

予熱ヒーターは、配管、機器類を設定した温度に保つために設置する。保温材は配管、機器からの放熱を抑えるとともに、火傷から人員を防護する役割を持つ。

予熱ヒーターの要求仕様

予熱最高温度	高温部 550 °C、低温部 450 °C
予熱昇温時間	4 時間（配管、弁、機器） 24 時間（ドレインタンク）
型式	マイクロヒーター
シース材質	SUS316

予熱ヒーターの容量は、上記要求仕様を満たすため、以下の計算により決定した。

(1)計算条件

ヒーター機能	予熱及び温度保持
被加熱物材質	SUS316L、Cr-Mo 鋼（T91、STPA24 等）
初期温度	0 °C
室温	30 °C
保温材	1 層目 セラミックファイバー保温材 2 層目 ロックウール保温材

(2)計算式及び計算

計算式及び計算を以下に示す。

被加熱物（構造物）の昇温容量

$$W_1 = G \times C \times (\theta_2 - \theta_1) \times 1/T \times 1/3.6$$

保温表面からの放散熱量（円筒部）

$$W_2 = 2 \times \pi \times L \times (\theta_2 - \theta_1) / \{ (2/\alpha_1 \times D_3) + \ln(D_2/D_1)/\lambda_1 + \ln(D_3/D_2)/\lambda_2 \}$$

保温表面からの放散熱量（平面部）

$$W_3 = S_1 \times (\theta_2 - \theta_1) / \{ (1/\alpha_1 + t_1/\lambda_1 + t_2/\lambda_2) \}$$

突起部からの放散熱量

$$W_4 = \text{SQRT}(\alpha_2 \times P \times \lambda_3 \times S_2) \times (\theta_2 - \theta_1) \times n$$

LBE の昇温容量

$$W_5 = G \times \{ C \times (\theta_2 - \theta_1) + Lf \} \times 1/T \times 1/3.6$$

ここで

$W_{\text{添字}}$	: 昇温または放散熱量	(W)
T	: 昇温時間	(h)
G	: 被加熱物の質量	(kg)
C	: 被加熱物の比熱 (SUS316L=0.51、Cr-Mo 鋼=0.47)	
θ_1, θ_2	: 初期温度、昇温温度	(°C)

α_1 、 α_2	: 保温表面、突起部表面熱伝達率	(W/m ² ・K)
t_1 、 t_2	: 保温材 1 層目、2 層目厚さ	(m)
D_1 、 D_2 、 D_3	: 保温材 1 層目内径、1 層目外径、2 層目外径	(m)
λ_1 、 λ_2	: 保温材 1 層目 2 層目、熱伝導率	(W/m・K)
λ_3	: 脚（軸）等熱伝導率	(W/m・K)
L	: 配管（機器）長さ	(m)
S_1 、 S_2	: 保温部、伝熱部表面積	(m ²)
P	: 伝熱部周長	(m)
n	: 伝熱部数量	(本)
L_f	: LBE 融解熱	(kJ/kg)

配管、弁、機器の予熱ヒーター容量

$$WA = (W_1 + W_2 + W_3 + W_4) \times K$$

ドレインタンクの予熱ヒーター容量

$$WA = (W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5) \times K$$

ここで

K : 安全率（1.2 または 1.5）。

安全率は以下のように定めた。

ドレインタンク	1.5
膨張タンク	1.2
加熱器	胴体と平板は 1.2、ヒータは 1.5
冷却器	3/4 配管部は 1.2、ケーシングとフィンチューブは 1.5
フィルター	1.5
試験部	1.2
配管	1.2
弁	1.5

(3)計算結果

ヒーター容量の計算結果を以下に示す。

ドレインタンク	4.1 kW
膨張タンク	4.0 kW
加熱器	2.5 kW
冷却器	6.34 kW
フィルター	0.4 kW
試験部	0.23 kW/m
(3/4B 配管 + 3/8B 配管)	0.12 kW

配管

1B × Sch20S 配管	0.21 kW/m
1・1/4B × Sch20S 配管	0.24 kW/m
1・1/2B × Sch80 配管	0.40 kW/m
弁	
1・1/4B 弁	0.86 kW
1B 弁	0.36 kW

保温材の要求仕様

保温材厚さ	保温材は雰囲気+30 °C 以下となる厚みとする
主保温材	セラミックファイバー、ガラスウール等
仕上げ	アルミ蒸着ガラスクロス仕上げ

以下の計算により上記要求仕様を満たせるかを確認した。

(1)計算条件

ヒーター機能	予熱及び温度保持
初期温度	0 °C
室温	30 °C
予熱温度	高温部 550 °C、低温部 450 °C
保温材	1 層目 セラミックファイバー保温材 2 層目 ロックウール保温材

(2)計算式及び計算

計算式及び計算は以下に示す。

保温材表面温度（円筒部）

$$\theta_s = W_2 / (\alpha_1 \times \pi \times D_3 \times L) + \theta_r$$

保温材表面温度（平面部）

$$\theta_s = W_3 / (\alpha_1 \times S_1) + \theta_r$$

ここで

θ_s	保温表面温度	(°C)
θ_r	室温	(°C)

(3)計算結果

保温材表面温度は、所定の保温材厚を担保することにより、いずれも室温（30 °C）＋30 °C 以下であることが示された。

センサー類

センサー類は、LBE レベル計、カバーガス圧力計、電磁流量計及び超音波流量計である。カバーガス圧力計は 2.2.3 で、電磁流量計は 2.3.4 で、超音波流量計は別報 4)にてそれぞれ述

べることとし、ここでは LBE レベル計について述べる。

LBE レベル計

LBE レベル計は膨張タンク及びドレインタンク内の LBE レベルを検知するためのものである。膨張タンクにはレベル M とレベル L の 2 本設置され、レベル L はインターロックに組み込まれている。それぞれの設置高さは Fig. A.15 に記載した。ドレインタンクにはレベル H とレベル L の 2 本設置される。これらのレベル計を監視することにより、LBE の所在や充填量を確認するとともに、後述する電磁流量計の校正を実施する。

型式	接点式
電極保持器	オムロン製 BS-1 S
電極棒外径	5.23 mm
電極棒材質	SUS316
員数	4 本

制御装置

制御装置は、制御盤内に試験ループの電源、制御回路などを配置した装置で PLC によるループの監視・操作機能を有している。

制御装置の仕様

型式	自立式
機能	各種機器、予熱ヒーターの電源 1 式 各種機器、予熱ヒーターの制御回路 1 式
計装の物理量	各部温度、LBE 温度、LBE 流量、LBE 液位、 酸素センサー出力、カバーガス圧力
インターロック	有り (Table 2.2.3)
員数	1 式

2.3 主要機器の詳細

本節では主要な機器の役割、仕様等について詳細に述べる。

2.3.1 ドレインタンク

ドレインタンクは、系統の最低レベル位置に設置する。起動時には LBE を加熱融解し、循環系に LBE を揚液する機能を有する。停止時あるいは異常時にはドレイン弁を開放し、系統内の LBE を重力によりドレインして貯留する容器である。重力によるドレインを補助するため、運転中は膨張タンクと均圧にして運用する。以下に具体的な仕様を示す。

ドレインタンクの仕様（図面は Fig. A.16）

型式	縦置円筒形、上部蓋は溶接構造
材質	SUS316L
内容積	147L（実際の LBE 装荷量は 110L）
LBE 出入口ノズル	1 本
LBE 注入ノズル	1 本
ガス系ノズル	1 本
LBE 液温用熱電対ウエル	1 本
レベル計	2 本（液位 H、液位 L、各 1）
LBE 予熱機能	有（最高温度 450 °C）
員数	1 基

2.3.2 LBE 配管

配管類は、高温部と低温部に分けられ、高温部は T91 製、低温部は SUS316L 製である。LBE 配管は、各機器を連結し、鉛ビスマスを循環する機能を有する。全ての配管には予熱ヒーターと保温材が設置され、熱電対が取り付けられている。

LBE 配管の仕様

配管口径	高温部 1-1/2 B、低温部 1-1/4 B
材質	高温部 T91、低温部 SUS316L
接続方式	フィルターユニット以外は全て溶接
予熱機能	有（最高温度：高温部 550 °C、低温部 450 °C）

2.3.3 LBE 弁類

弁類はすべてベローズ型であり、低温部にのみ設置される。ドレイン弁のみ自動弁とし、インターロックに接続して緊急停止時の LBE ドレイン操作に対応している。ドレイン弁以外は手動弁であり、バイパスラインや試験部の流路の変更に用いる。弁本体は SUS316 または SUS316L 製である。全ての弁類に予熱ヒーター、保温材及び熱電対が取り付けられている。

LBE ドレイン弁の役割

LBE 揚液時にはドレイン弁を閉じてドレインタンクと配管部を区切り、ドレインタンク側を加圧、配管部を減圧して差圧をつけ、この状態でドレイン弁を開放することで LBE を揚液する。運転中はドレイン弁を閉じて LBE を配管部に保持する。また、異常時にはインターロックにより、ドレイン弁を開放することで、膨張タンクや配管内の LBE を重力によりドレインタンクへ落下させることで、LBE の漏洩を防ぐ。

LBE ドレイン弁の仕様

形式	空気操作式ベローズバルブ (大野バルブ製 NA-20Y)
口径	25A
動作モード	Normally open
動作圧力	0.49 MPa
材質	SUS316
接続方式	両端溶接
員数	1 台

LBE 手動弁の役割

LBE 手動弁は、主流部の電磁流量計と試験部の間、フィルター用バイパスラインの分岐部、並びに試験部の各加熱器手前とフィルター前後の合計 7 箇所に設置され、循環運転/純化運転の切り替え、試験部の切り替え、電磁流量計校正時の流路切り替えに用いる。

LBE 手動弁の仕様（主流部）

形式	手動式ベローズバルブ
口径	1-1/4B (32A)
材質	SUS316
接続方式	両端溶接
員数	2 台

LBE 手動弁の仕様（加熱器 1 及び 2 手前とフィルター前後）

形式	手動式ベローズバルブ
口径	1B (25A)
材質	SUS316
接続方式	両端溶接
員数	4 台

LBE 手動弁の仕様（加熱器 3 手前）

形式	手動式ベローズバルブ
----	------------

口径	1/2B (15A)
材質	SUS316
接続方式	両端溶接
員数	1 台

2.3.4 電磁ポンプ

電磁ポンプは、ループの下部側に設置され、熔融した LBE を電磁力によって駆動し、系統内を循環させる。電磁ポンプの仕様を選定するため、系統内の圧力損失を以下のように計算した。

(1) 計算条件

流体	LBE
流体温度（低温部、高温部）	450 °C、550 °C
配管仕様（低温部、高温部）	1-1/4B × Sch20S、1-1/2B × Sch80

(2) 計算結果

計算結果を Table 2.3.1 に示す。ループの圧力損失は約 2.8×10^4 Pa である。この結果より、電磁ポンプとして助川電気工業製 LSP-40H を選定した。この機種の出力予想曲線を Fig. 2.3.1 に示す。電磁ポンプへの印加電圧が 80 V 時において、LBE 流量が 20 L/min（1.2 m³/h）時の吐出圧力は 8.0×10^4 Pa である。電磁ポンプの仕様は以下の通りである。

電磁ポンプの仕様（図面は Fig. A.17）

形状	環状流路型リニア誘導式
型番	LSP-40H（助川電気工業）
定格流量	20 L/min
ポンプ性能	出力予想曲線（Fig. 2.3.1）による
設計使用温度	450 °C
ダクト管、材質	φ42.7 × t3.0（1-1/4B × Sch20S）、SUS316L
流量調整方法	駆動用電磁回路電圧調節
駆動用電磁回路	三相 AC 0～110V（50 Hz）、容量 16 KVA（Max）
予熱ヒーター	1,100 W × 2（常備、予備、各 1）
熱電対	3 本（ダクト予熱制御用、ダクト温度監視用、コイル温度監視用、各 1 本）
コイル冷却ファン	3 台
重量	約 130 kg
員数	1 台

2.3.5 加熱器

加熱器は、各分岐ラインの試験部手前に各 1 台（合計 3 台）設置される。LBE に最大 100 °C の温度差の付加が可能な性能を有する。加熱器の容量は以下の計算より決定した。

(1)計算条件

・ LBE 流量	8 L /min (板状試験片の場合、試験部で約 1m/s)
・ LBE 入口温度	450 °C
・ LBE 出口温度	550 °C

(2)計算式及び計算

$$Q = 1/3600 \times V \times \gamma \times C_p \times (T_2 - T_1)$$

ここで

Q	必要熱量	kW
V	LBE 流量	8 L /min = 0.48 m ³ /h
γ	LBE 比重量	10120 kg/m ³
C _p	LBE 比熱	0.146 kJ/kg・°C at 500 °C
T ₁	LBE 入口温度	450 °C
T ₂	LBE 出口温度	550 °C

(3)計算結果

$$Q = 1/3600 \times 0.6 \times 10120 \times 0.146 \times (550-450) = 19.7 \text{ kW}$$

加熱器容量はこれに余裕率 1.2 を見込み、24 kW とした。

加熱器の仕様 (図面は Fig. A.18)

形式	円筒型
ヒーター容量	24 kW (2.67 kW × 9 本)
使用温度	最高 550 °C
容器材質	2.25Cr-1Mo 鋼
配管材質	T91
配管口径	1-1/2B × Sch80
員数	3 台

2.3.6 膨張タンク

膨張タンクは、試験装置の最高レベル位置に設置され、LBE の熱膨張を吸収する他、系統内のガス置換の機能を有する。試験部の上端が膨張タンク内部に突出し、上部に設置したノズルから試験片ホルダーの交換を行う。タンク上部はグローブボックスに接続され、試験片ホルダー交換時に LBE が空気に触れない構造となる。接点式液位計を 2 本設置し、それぞれ液位 H 及び液位 L を指示する。循環時の液面レベルの設計値は高温試験部の上端から 3 cm 以上としている。また、酸素濃度制御用ガスの給気口及び排気口、液面観察用のビューポートをそれぞれ設置する。以下に具体的な仕様を示す。

膨張タンクの仕様 (図面は Fig. A.19)

型式	横置円筒型
材質	2.25Cr-1Mo 鋼
内容積	約 40 L
試験用ノズル	NW50 (3箇所)
ガス系ノズル	2 本
LBE 液温計測用熱電対ウエル	1 本
レベル計	2 本 (液位 M、液位 L、各 1)
液面観察用ビューポート	1 基
員数	1 基

2.3.7 冷却器

冷却器は、強制空冷型であり、高温側酸素センサー取り付け部の下流に設置し、LBE 温度を最大 100 °C 下げることが可能な性能とする。

冷却器の仕様は以下の計算により決定した。

(1) 計算条件

F_L	LBE 流量	20 L /min
T_i	LBE 入口温度	550 °C
Q	必要熱交換熱量	55 kW
F_A	冷却空気流量	40 m ³ /min
t_i	冷却空気入口温度	35 °C
d_1	伝熱管内径	0.0222 m
d_2	伝熱管外径	0.0272 m

(2) 計算式及び計算

(2-1) LBE の出口温度 (T_o)、中間温度 (T_M) 及び冷却空気の出口温度 (t_o) は、

$$T_o = T_i - Q / (F_N \times 10^{-3} \times 60 \times Y_N \times C_{PN}) = 438.0 \text{ °C}$$

$$T_M = (T_i + T_o) / 2 = 494.0 \text{ °C}$$

$$t_o = Q / (F_A \times 60 \times Y_A \times C_{PA}) + t_i = 109.0 \text{ °C}$$

ここで

Y_L	LBE 比重量	10087 kg /m ³
C_{PL}	LBE 比熱	0.1460 kJ / kg・°C
Y_A	空気の比重量	1.103 kg /m ³
C_{PA}	空気の比熱	1.008 kJ / kg・°C

(2-2) 管内熱伝達率 (α_i) は、

$$\alpha_i = Nu_L \times \lambda_L / d_1$$

ここで

Nu_L (LBE のヌセルト数) は、

$$\begin{aligned} \text{Nu}_L &= 5.0 + 0.025 \times \text{Pe}^{0.8} = 5.0 + 0.025 \times (\text{Re}_L \times \text{Pr}_L)^{0.8} \\ &= 5.0 + 0.025 \times (v_L \times d_e / \nu_L \times \text{Pr}_L)^{0.8} = 7.02 \end{aligned}$$

v_L (管内 LBE 流速) は、

$$v_L = F_N / 8 / (1000 \times a \times 60) = F_N / 8 / (1000 \times (d_1^2 \times \pi / 4) \times 60) = 0.108 \text{ m/s}$$

d_e	相当直径	0.0222 m
ν_L	LBE 動粘性係数	$1.38 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
Pr_L	LBE プラントル数	1.40×10^{-2}
λ_L	LBE 熱伝導率	14.6 W/m・°C

以上より、 $\alpha_i = 4618 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{°C)}$

(2-3) 管外熱伝達率 (α_o) は、

$$\alpha_o = 0.092 \times (\text{Re})^{0.722} \times (\text{Pr}_A)^{1/3} \times \lambda_A / d_e$$

ここで

Re_A (空気のレイノルズ数)	$\text{Re}_A = v_A d_e / \nu_A$
v_A (空気の流速)	$v_A = F_A / (a \times 60)$
a (流路面積)	$a = L_D \times W_D \cdot \{L_D \times d_2 + (F_d - d_2) \times F_t \times F_h\} \times F_N$

また、

L_D	冷却ダクト長さ	0.761 m
W_D	冷却ダクト幅	0.375 m
d_2	管外径 (フィン根元径)	0.0272 m
F_d	フィン外径	0.0492 m
F_t	フィン厚さ	0.002 m
F_n	フィン枚数 (伝熱管 1 本あたり)	134
F_N	1 断面における伝熱管本数	8

より、 $a = 0.0726 \text{ m}^2$ となり、従って、 $v_A = 9.2 \text{ m/s}$ となる。

$$d_e \text{ (相当直径)} \quad d_e = 2 \times A_0 \times F_L / \pi \times P$$

ここで

A ₀ (内管外周面積)	A ₀ = A _f + A _r	
A _f (伝熱管 1 m 当りフィン面積)	A _f = 2 × (π / 4) × (F _d ² -d ₂ ²) × f _n = 0.5280 m ²	
A _r (伝熱管 1 m 当りフィン無し管外周面積)	A _r = π × d ₂ (1-f _n × F _t) = 0.0513 m ²	
f _n	伝熱管 1m 当りフィン数	200
F _L	フィン長さ	0.67 m

$$P \text{ (濡れ長さ) は、} P = 2 \times (F_d - d_2) \times F_n + 2 (L_D \cdot F_t \times F_n) = 6.88 \text{ m}$$

であり、上記より、 $d_e = 0.0359 \text{ m}$ となる。また、

Pr_A	空気のプラントル数	0.719
λ_A	空気の熱伝導率	0.0276 W/m・°C

であり、以上より、 $\alpha_o = 76 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$ となる。

$$(2-4) \text{フィン抵抗 (rf)} : rf = (1 / \alpha_o) \times ((1 - Ef) / (Ef + Ar / Af))$$

ここで

$$Ef = \tanh Ub / Ub$$

$$Ub = Fh (\alpha_o / (\lambda_F \times (Ft / 2)))^{1/2}$$

$$Fh \quad \text{フィン高さ} \quad 0.011 \text{ m}$$

$$\lambda_F \quad \text{フィン熱伝導率} \quad 22.02 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

より、 $Ub = 0.6471$ となり、 $rf = 0.0016 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ となる。

$$(2-5) \text{熱通過率 (U)} : U = 1 / (1 / \alpha_o) + rf + (A_o / A_m) \times (t / \lambda_s) + (1 / \alpha_o) \times (A_o / A_i)$$

ここで

$$A_m \text{ (内管平均周面積)} \quad A_m = \pi \times (d_2 - d_1) / \ln(d_2 / d_1) = 0.0773 \text{ m}^2$$

$$t \text{ (内管厚み)} \quad t = (d_2 - d_1) / 2 = 0.0025 \text{ m}$$

$$\lambda_s \text{ (管熱伝導率)} \quad 22.02 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

以上より、 $U = 57.5 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ となる。

(3)計算結果

$$T_{em} \text{ (平均温度差)} \quad T_{em} = ((T_i - t_i) - (T_o - t_o)) / \ln((T_i - t_i) / (T_o - t_o))$$

以上より必要伝熱面積 (A) 及び必要伝熱管長 (L) は、

$$A = Q / (U \times T_{em}) / 3.6 = 2.303 \text{ m}^3$$

$$L = A / A_o = 3.976 \text{ m} \div 4 \text{ m}$$

となる。

計算結果に基づき、冷却器の仕様は以下の通りとした。(図面は Fig. A.20)

形式	強制空冷式
フィンチューブ寸法、材質	$\phi 27.2 \times t 2.5$ (3/4B $\times$ Sch20S)、SUS316
フィン寸法、材質	高さ 11 mm、厚さ 2 mm、SUS304
配管口径	1-1/4B、フィン付き
入口側ヘッダー口径、材質	2B $\times$ Sch40、STPA24
出口側ヘッダー口径、材質	2B $\times$ Sch40、SUS316L
最大温度差	100 $^\circ\text{C}$ 以上
重量	約 150 kg
員数	1 台

2.3.8 流量計

腐食試験条件並びに質量移行を促進させる温度差運転時において重要なパラメータとなる LBE 流量を監視、制御するための流量計として、電磁流量計と超音波流量計を採用した。電磁流量計は主流部（電磁ポンプ下流）と分岐部（第 3 試験ラインの加熱器手前）にそれぞれ 1 基

設置される。以下に電磁流量計の仕様を示す。

(主流部用、図面は Fig. A.21)

形式	永久磁石式
型番	EF-A25-6R-PB (助川電気工業)
員数	1 基
流量範囲	～20 L/min
最高使用温度	500 °C
最高使用圧力	0.5 MPa (ゲージ)
流路管 寸法、材質	測定部 $\phi 34.0 \times t3.0$ (1B $\times$ Sch20S)、SUS316LTP-S 接続部 $\phi 42.7 \times t3.0$ (1 1/4B $\times$ Sch20S)、SUS316LTP-S
予熱ヒーター	150W、常備・予備各 1
熱電対	K(CA)クラス 2 シース型非設置、常備・予備各 1
ケース材質	SUS304
重量	約 35 kg

(分岐部用、図面は Fig. A.22)

形式	永久磁石式
型番	EF-A15-6R-PB (助川電気工業)
員数	1 基
流量範囲	～20 L/min
最高使用温度	500 °C
最高使用圧力	0.5 MPa (ゲージ)
流路管 寸法、材質	測定部 $\phi 21.7 \times t3.7$ (1/2B $\times$ Sch80)、SUS316LTP-S 接続部 $\phi 21.7 \times t2.5$ (1/2B $\times$ Sch20s)、SUS316LTP-S
予熱ヒーター	100W、常備・予備各 1
熱電対	K(CA)クラス 2 シース型非設置、常備・予備各 1
ケース材質	SUS304
重量	約 35 kg

超音波流量計は、計測部の流量算出に伝播時間差法式を用いた。流量計が設置可能である領域が限定されること、流路管径が細いこと、LBE と固液界面の濡れ性を向上させる観点から、プラグ液浸型の超音波センサユニットを採用し、対向させた 2 つのセンサユニットで超音波パルス信号の送受信を行う。センサユニットは接液プラグ、最高耐熱温度 500 °C の超音波センサで構成され、接液プラグを介して信号を LBE 中へ送信する。LBE との濡れ性を向上させることを目的として、LBE に液浸される接液プラグの先端には、超鏡面仕上げ処理を施した。センサユニットを流れの上流側と下流側にそれぞれ直線状に配置する都合上、測定部の配管形状は π 字型形状とした。当該の超音波流量計は、主流部は電磁ポンプの下流側、分岐部は第 1 試験ライン及び第 2 試験ラインの加熱器上流側にそれぞれ 1 基設置した。

超音波流量計測定部の仕様は以下の通りとした。(図面は Fig. A.23)

測定部形式	n 字型
接液部材質	T91 又は SUS316L
最高使用温度	450 °C
員数	主流部 1 基、分岐部 2 基

超音波センサーと測定器、データ処理系については、文献 4)に基づく。

2.3.9 フィルター・差圧計

フィルターは、冷却器の下流側で分岐したバイパス配管部にフランジで取り付けられる。分岐部には手動バルブが設置され、純化運転時のみ LBE を流す事が可能とする。

フィルターの仕様は以下の通りとした。(図面は Fig. A.24)

形式	ワイヤメッシュデミスター内蔵型
ハウジング寸法、材質	3B (φ89.1 mm) × 200 mm、SUS316L
デミスター規格、材質	SK-192、SUS304
最高使用温度	450 °C
員数	1 基

LBE 用差圧計

LBE 用差圧計は、フィルターの両端から延長した導圧管にスウェージロックで取り付けられる。フィルター出入り口間の差圧を測定する事でフィルターの閉塞を検知する。

鉛ビスマス用差圧計の仕様は以下の通りとした。

形式	ダイアフラムシール式 (長野計器製 GC52)
接液部材質	SUS316L
封入液	水銀
最高使用温度	340 °C
員数	1 基

2.3.10 その他

架台

架台は配管、機器類を保持するための構造物である。以下に具体的な仕様を示す。

型式	鉄骨構造 3 分割式
材質	炭素鋼
員数	1 式

床トレイ

本装置の架台底部の構造は、万が一循環系から LBE が漏洩した際、その場で LBE を確実に回収できるように受け皿構造とした。トレイは、ループに充填した LBE を全量受容可能な容量としている。

2.4 試験部及び膨張タンク内の流動解析

本節では LBE の流動解析等を行い、腐食試験部や膨張タンク内の流れ分布を評価した。さらに第 1 及び第 2 試験部を異なる温度で運転した際の温度分布を解析し、各部に発生する熱応力を評価した。なお、LBE の物性値は、OECD/NEA の LBE ハンドブック⁵⁾の値を用いた。

2.4.1 試験部の流動解析

板状試験片を装着した定常状態での LBE 流動解析を行った。Fig. 2.4.1 に試験片ホルダー図面を示す。ホルダーを 70 万メッシュに分割し、乱流モデルとして高 Re 数の標準 $\kappa-\varepsilon$ モデルを用いて解析した。入口側の LBE 流速は 0.108 m/s、出口側を圧力バウンダリーとした。

試験部の LBE 流速分布解析結果を Fig. 2.4.2 に示す。左の図は試験部全体図、中央の図は試験片装着部の拡大図及び右の図は先端部の拡大図である。中央の図に示すとおり、試験片領域における LBE 流速は、先端部を除き流れ方向に沿ってほぼ一様（約 0.6 m/s）であった。右の図では、試験片の固定板と 1 枚目の試験片付近までの十数ミリ程度の範囲で不均一な流れが見られており、試験片装填時に注意する必要がある。

2.4.2 膨張タンク内の LBE 流動解析

Fig. A.19 の膨張タンク図面をもとに、Fig. 2.4.3 に示す解析モデル（302 万メッシュ）を作成し、膨張タンク内の流動解析を行った。モデル化にあたり、自由液面に露出した試験片ホルダーのロッド部は省略した。乱流モデルは高 Re 数用標準 $\kappa-\varepsilon$ モデルとした。解析では、腐食試験時の状態（LBE は第 1 試験部及び第 2 試験部のみに流れ、第 3 試験部は閉止）を模擬した。入口側の LBE 流速は、第 1 試験部及び第 2 試験部でそれぞれ 0.3 m/s とし、LBE の自由液面を圧力バウンダリーとした。なお、A-A 断面は第 1 試験部の縦断面を、B-B 断面は第 2 試験部の縦断面を、C-C 断面は出口配管の縦断面をそれぞれ示す。

膨張タンク内 LBE 流速分布の解析結果を Fig. 2.4.4(a)（縦断面）及び Fig. 2.4.4(b)（横断面）にそれぞれ示す。また、膨張タンク内 LBE 流速ベクトル図を Fig. 2.4.5(a)（縦断面）及び Fig. 2.4.5(b)（横断面）にそれぞれ示す。解析結果から、膨張タンクの自由液面における LBE の最大流速は 0.2 m/s 程度であり、ガスの巻き込みに繋がる大きな流れの乱れも見られなかった。また、流れによる振動発生も極めて少ないと想定され、装置の運転に大きな影響は無いと考えられる。

2.4.3 温度分布及び応力解析

OLLOCHI では、第 1 試験部と第 2 試験部に異なる温度を設定して試験を行うことが可能である。その場合の膨張タンク内及び試験片ホルダー内の温度分布及び応力解析を、以下の 3 つのケースを想定して実施した。なお、より厳しい条件で解析するため、現在の装置性能での最大温度差 100 °C を超える 150 °C の温度差も想定した。また、高温側、低温側試験部と出口配管との位置関係を入れ替えた条件も解析対象に含めた。

- (1) 温度差 100 °C（第 1 試験部=550 °C、第 2 試験部=450 °C）
- (2) 温度差 150 °C（第 1 試験部=550 °C、第 2 試験部=400 °C）

(3) 温度差 150 °C (第 1 試験部=400 °C、第 2 試験部=550 °C)

その他の解析条件及び解析モデルは前節と同一とした。以下に解析結果を示す。

(1) 温度差 100 °C (第 1 試験部=550 °C、第 2 試験部=450 °C)

試験部に 100 °C の温度差がある場合の膨張タンク内及び試験片ホルダー上部の温度分布の解析結果を Fig. 2.4.6(a) (縦断面) 及び Fig. 2.4.6(b) (横断面) にそれぞれ示す。この場合の膨張タンク内の熱応力分布 (縦断面) を Fig. 2.4.7 に示す。最大応力は第 2 試験部で発生している 139 MPa であり、450 °C における T91 の許容応力 $3S_m=3 \times 153=459$ MPa より十分小さい。また、試験片ホルダー内の温度分布及び熱応力分布の解析結果を Fig. 2.4.8(a) 及び Fig. 2.4.8(b) にそれぞれ示す。最大応力は 39 MPa であり、こちらも 450 °C における T91 の許容力 459 MPa よりも十分小さく、本条件での運転に支障は無いと考えられる。

(2) 温度差 150 °C (第 1 試験部=550 °C、第 2 試験部=400 °C)

本解析条件での膨張タンク内及び試験片ホルダー上部の温度分布の解析結果を Fig. 2.4.9(a) (縦断面) 及び Fig. 2.4.9(b) (横断面) にそれぞれ示す。この場合の膨張タンク内の熱応力分布 (縦断面) を Fig. 2.4.10 に示す。最大応力は第 2 試験部で発生している 208 MPa であり、400 °C における T91 の許容応力 $3S_m=3 \times 160=480$ MPa より十分小さい。また、試験片ホルダー内の温度分布及び熱応力分布の解析結果を Fig. 2.4.11(a) 及び Fig. 2.4.11(b) にそれぞれ示す。最大応力は 58 MPa であり、400 °C における T91 の許容力 480 MPa よりも十分小さく、本条件での運転も支障は無いと考えられる。

(3) 温度差 150 °C (第 1 試験部=400 °C、第 2 試験部=550 °C)

当該条件での膨張タンク内及び試験片ホルダー上部の温度分布の解析結果を Fig. 2.4.12(a) (縦断面) 及び Fig. 2.4.12(b) (横断面) にそれぞれ示す。この場合の膨張タンク内の熱応力分布 (縦断面) を Fig. 2.4.13 に示す。最大応力は第 2 試験部で発生している 257 MPa であり、550 °C における T91 の許容力 $3S_m=3 \times 115=345$ MPa より小さい。また、試験片ホルダー内の温度分布及び熱応力分布の解析結果を Fig. 2.4.14(a) 及び Fig. 2.4.14(b) にそれぞれ示す。最大応力は 59 MPa であり、550 °C における T91 の許容力 345 MPa よりも十分小さく、本条件での運転も支障は無いと考えられる。ただし、本条件での運転を実施する場合には、(2) のように、高温となる試験部を第 1 試験部側に設定することで、より安全側で試験を実施できることが明らかになった。

Table 2.2.1 Flow velocity at specimen position for plate type specimen.

	Nominal diameter	Outer diameter	Radial thickness	Inner diameter	Cross section
	Sch40	(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)
Sample holder	3/8B, 10A	17.3	2.3	12.7	126.61
Plate type specimen	-	-	1	12.7	12.70
Flow channel	-	-	-	-	113.91

	One test section			Two test sections					Three test sections			
Flow rate at main flow (L/min)	10	15	20	10	15	20	25	30	15	20	25	30
Flow velocity at specimen position (m/s)	1.46	2.19	2.93	0.73	1.10	1.46	1.83	2.19	0.73	0.98	1.22	1.46

Table 2.2.2 Flow velocity at specimen position for rod type specimen.

	Nominal diameter	Outer diameter	Radial thickness	Inner diameter	Cross section
	Sch40	(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)
Sample holder	3/8B, 10A	17.3	2.3	12.7	126.61
Plate type specimen	-	7.65	-	-	49.54
Flow channel	-	-	-	-	80.67

	One test section			Two test sections				Three test sections			
Flow rate at main flow (L/min)	5	10	15	10	15	20	25	15	20	25	30
Flow velocity at specimen position (m/s)	1.03	2.07	3.10	1.03	1.55	2.07	2.58	1.03	1.38	1.72	2.07

Table 2.2.3 List of interlock.

Component	EMP	EMP cooling fan	MH1	MH2	MH3	Brower	Vacuum pump	Heaters	MH1	MH2	MH3	MH1	MH2	MH3	Ex. tank	EMF	Electric supply (1)-(3)	Whole
Event	Electric leak Over load	Electric leak Over load	Electric leak Over load	Electric leak Over load	Electric leak Over load	Electric leak Over load	Electric leak Over load	Electric leak Over load Temp. high	Outlet temp. high	Outlet temp. high	Outlet temp. high	Temp. high	Temp. high	Temp. high	LBE level low	Flow rate low	Stop	Emergency stop
Sensor	ELB	ELB	ELB	ELB	ELB	ELB	ELB	ELB, T.C.	T.C. (T6)	T.C. (T10)	T.C. (T17)	T.C. (T7)	T.C. (T11)	T.C. (T18)	Level gauge (LE3)	EMF	Electric relay	Emergency stop button
EMP	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○
EMP cooling fan※1	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○
MH1	×	×	○	×	×	×	×	×	○	×	×	○	×	×	○	○	○	○
MH2	×	×	×	○	×	×	×	×	×	○	×	×	○	×	○	○	○	○
MH3	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	○	×	×	○	○	○	○	○
Brower	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○
Vacuum pump	×	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○
Heaters	×	×	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	○	×	○	○
Drain valve	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○※2	×	○	○

※1: Cooling fan starts when electromagnetic pump duct temperature is 200 °C.

※2: Invalid during interlock release.

Table 2.3.1 Calculation result of pressure loss in the loop (1/2).

	記号	説明	単位	算出式	LBE主流配管		試験部	加熱器	冷却器
					1-1/4B	1-1/2B	3/8B	6B	3/4B
流量条件	T	流体温度	°C		LBE 450	LBE 550	LBE 550	LBE 550	LBE 450
	q	標準流量	m ³ /h		1.2	1.2	0.6	1.2	0.3
	Q	換算流量	m ³ /s		0.00033	0.00033	0.00017	0.00033	0.00008
	γ	比重	kg/m ³		10181	10059	10059	10059	10181
直管部圧損	n	試験部の数			1	1	2	2	1
	d	流路相当直径	m		0.0367	0.0384	0.0127	0.151	0.0222
	L	管長さ	m		14.7	5	0.3	1	8
	A	流路面積	m ²		0.001058	0.001158	0.000127	0.01789	0.000387
	V	流速	m/s		0.32	0.29	1.32	0.01845	0.22
	ν	動粘性係数 (× 10 ⁻⁶)	m ² /s		0.138	0.126	0.126	0.126	0.138
	Re	レイノルズ数		Vd/ν	83800	87718	132613	221060	34634
	λ	摩擦損失係数		$0.3164Re^{-0.25}$ (2000<Re<10 ⁵)	0.0186	0.01839	0.01658	0.01459	0.02319
	g	重力加速度	m/s ²		9.8	9.8	9.8	9.8	9.8
	P1	直管圧損	Pa	$\gamma \times \lambda \times L / d \times V^2 / 2$	3764.9	997.4	6864.4	0.331	1972
バンドR圧損	n	バンドRの数			14				16
	δ	バンドR角度	°		90				90
	R	バンドR	m		0.2				0.1
	ζ	係数		$0.131+0.1632(d/R)^{3.5}$	0.131				0.132
	P2	エルボ圧損	Pa	$\gamma \times \zeta \times V^2 / 2$	930				497.7
エルボ圧損	n	エルボの数			2	7			
	δ	エルボ角度	°		90	90			
	R	エルボR	m		0.05	0.06			
	ζ	係数		$0.131+0.1632(d/R)^{3.5}$	0.197	0.171			
	P2	エルボ圧損	Pa	$\gamma \times \zeta \times V^2 / 2$	198.8	500.1			

Table 2.3.1 Calculation result of pressure loss in the loop (2/2).

	記号	説明	単位	算出式	LBE主流配管		試験部	加熱器	冷却器
					1-1/4B	1-1/2B			
急拡大圧損	n	急拡大の数			1			2	4
	D1	小径側流路直径	m		0.037			0.038	0.022
	A1	流路面積	m ²		0.001058			0.001158	0.000387
	D2	大径側流路直径	m		0.0384			0.1552	0.0535
	A2	大径側流路面積	m ²		0.001158			0.018918	0.002248
	V	小径側流速	m/s		0.32			0.29	0.22
	P3	急拡大圧損	Pa	$\zeta \times (1-A1/A2)^2 \times V^2/2$	3.8			734.4	646.7
急縮小圧損	n	急縮小の数				1		2	4
	D1	大径側流路直径	m			0.0384		0.1552	0.0535
	A1	大径側流路面積	m ²			0.001158		0.018918	0.002248
	D2	小径側流路直径	m			0.021		0.038	0.022
	A2	小径側流路面積	m ²			0.00036		0.001158	0.000387
	A2/A1	係数				0.31		0.06	0.17
	ζ	係数				0.29		0.29	0.29
	V	小径側流速	m/s			0.93		0.29	0.22
	P4	急縮小圧損	Pa	$\gamma \times \zeta \times V^2/2$		1252.7		252	273.7
ティー部閉止部圧損	n	ティー部閉止部の数			2				
	D	流路直径	m		0.0367				
	A	流路面積	m ²		0.001058				
	V	流速	m/s		0.32				
	ζ	係数			0.05				
	P5-1	ティー部閉止部圧損 (本流→本流)	Pa	$\gamma \times \zeta \times V^2/2$	50.5				
	n	ティー部閉止部の数			2				
	D	流路直径	m		0.0367				
	A	流路面積	m ²		0.001058				
	V	流速	m/s		0.32				
	ζ	係数			1.2				
	P5-3	ティー部閉止部圧損 (支流→本流)	Pa	$\gamma \times \zeta \times V^2/2$	1213.1				
弁圧損	n	弁の数			3				
	CV	係数			27				
	G	比重			10.181				
	P7	弁圧損	Pa	$G/(CV/1.17 \times V)^{1/2} \times g$	8093.7				
	小計		Pa		14254.8	2750.2	6864.4	986.7	3390.1
	合計		Pa		28246.3				

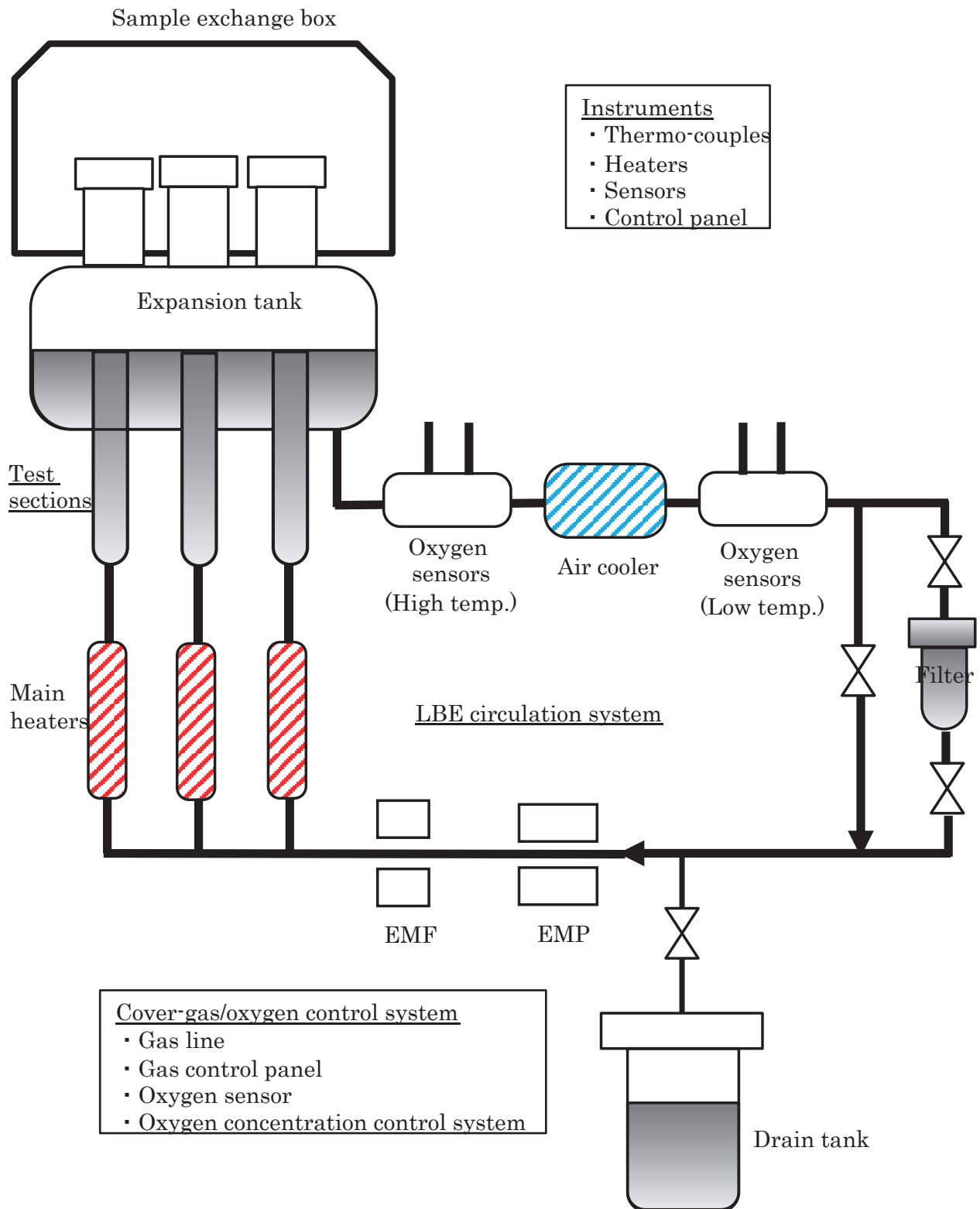


Fig. 2.1.1 Configuration of OLLOCHI.

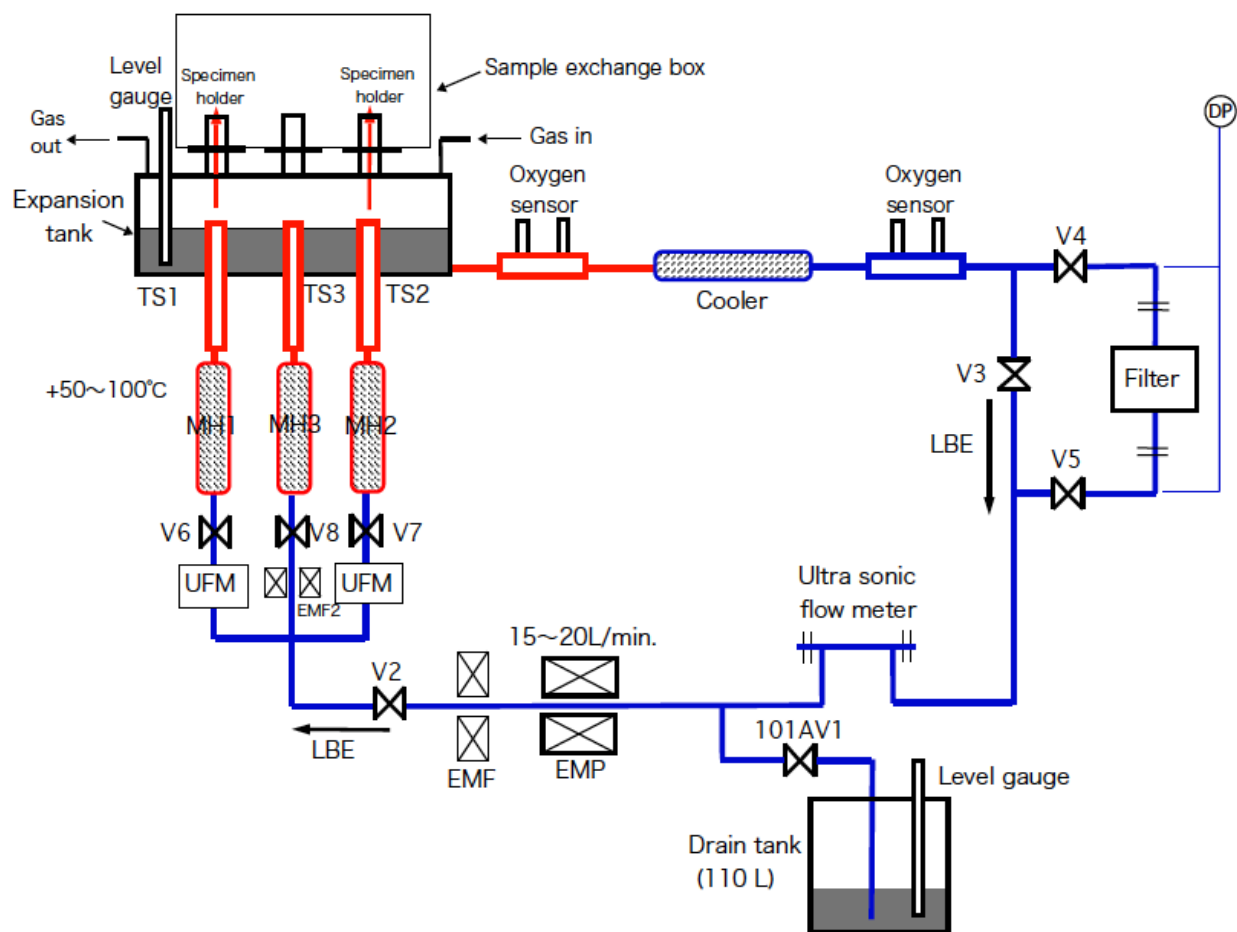


Fig.2.2.1 Flow diagram of OLLOCHI.

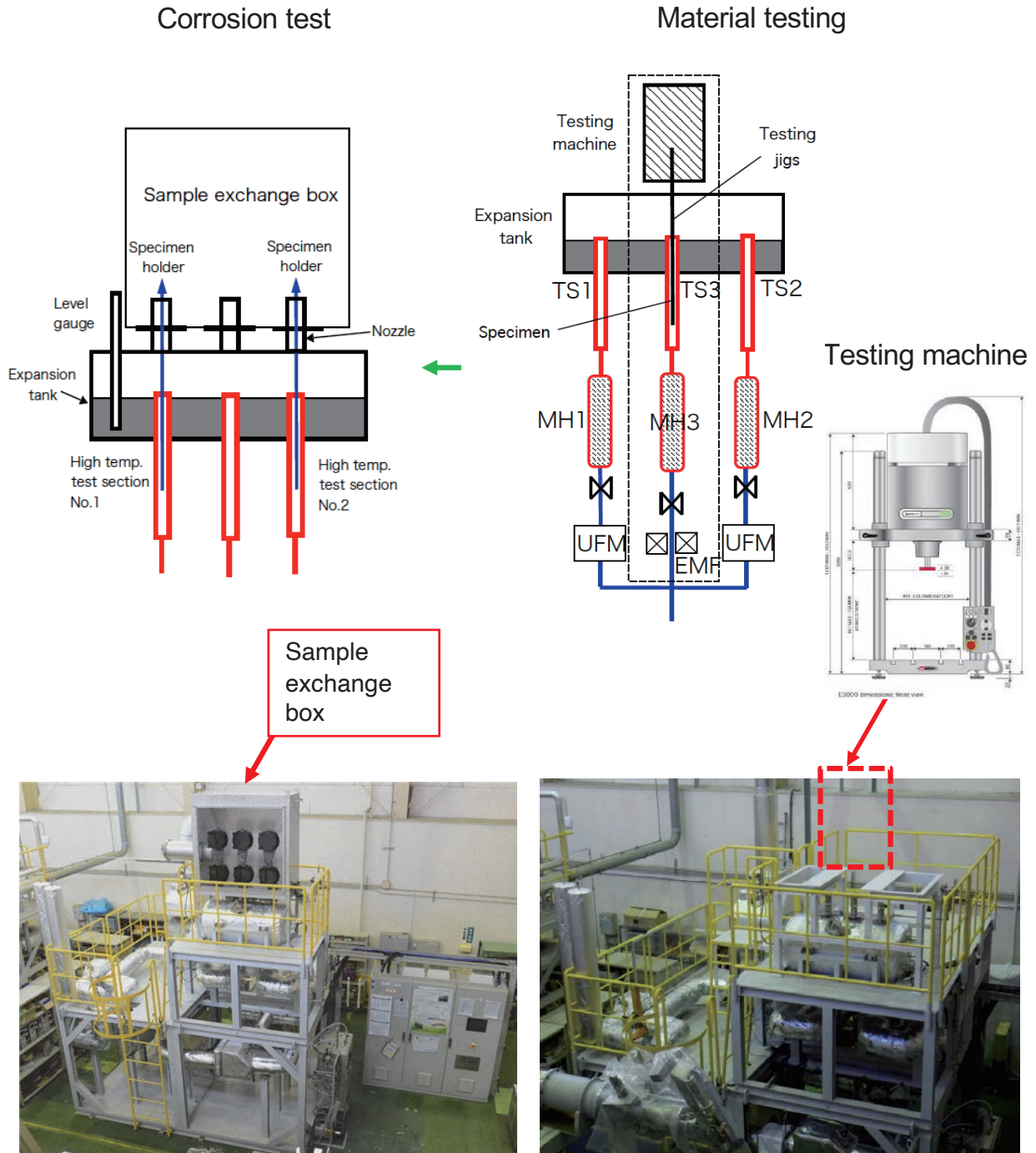


Fig. 2.2.2 Configuration of components for corrosion test and material testing.

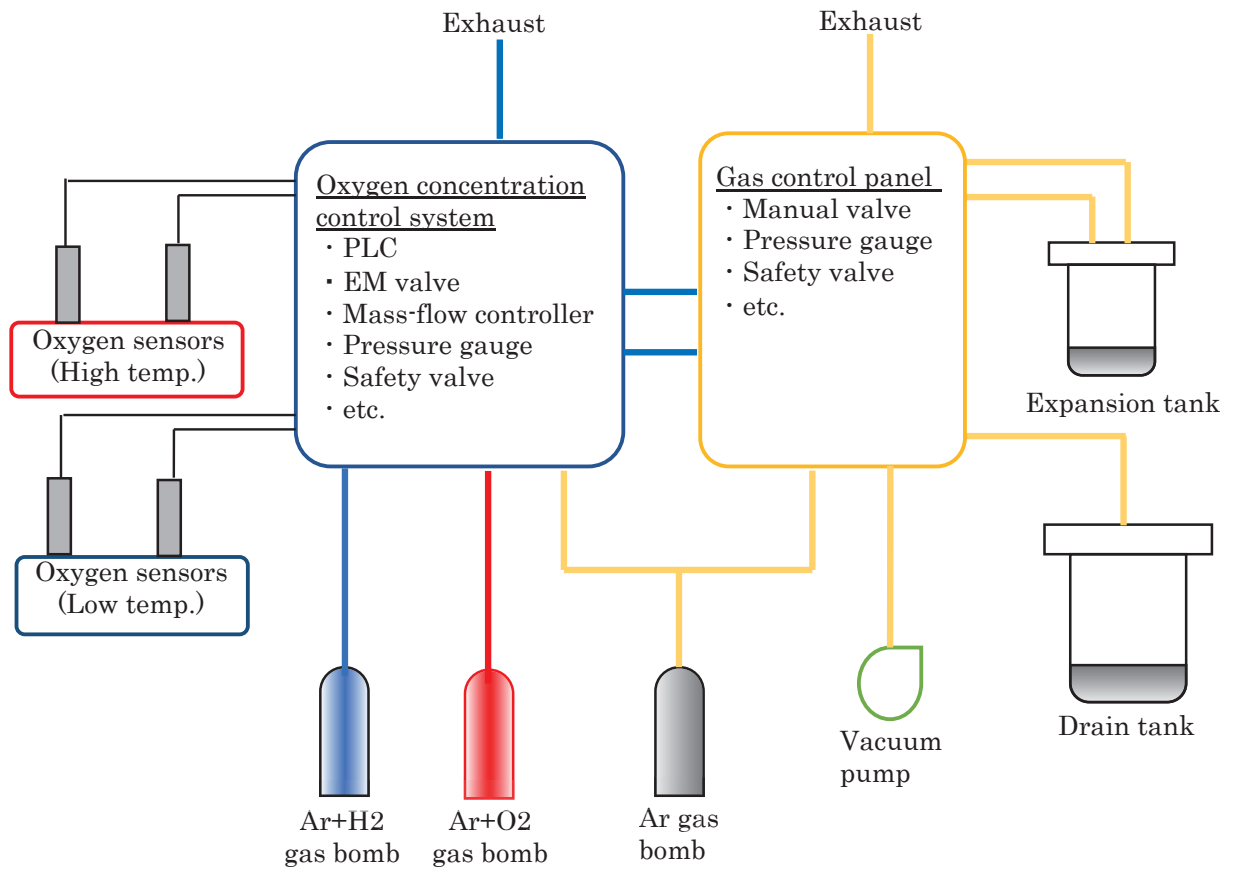


Fig. 2.2.3 Configuration of the cover-gas/oxygen control system.

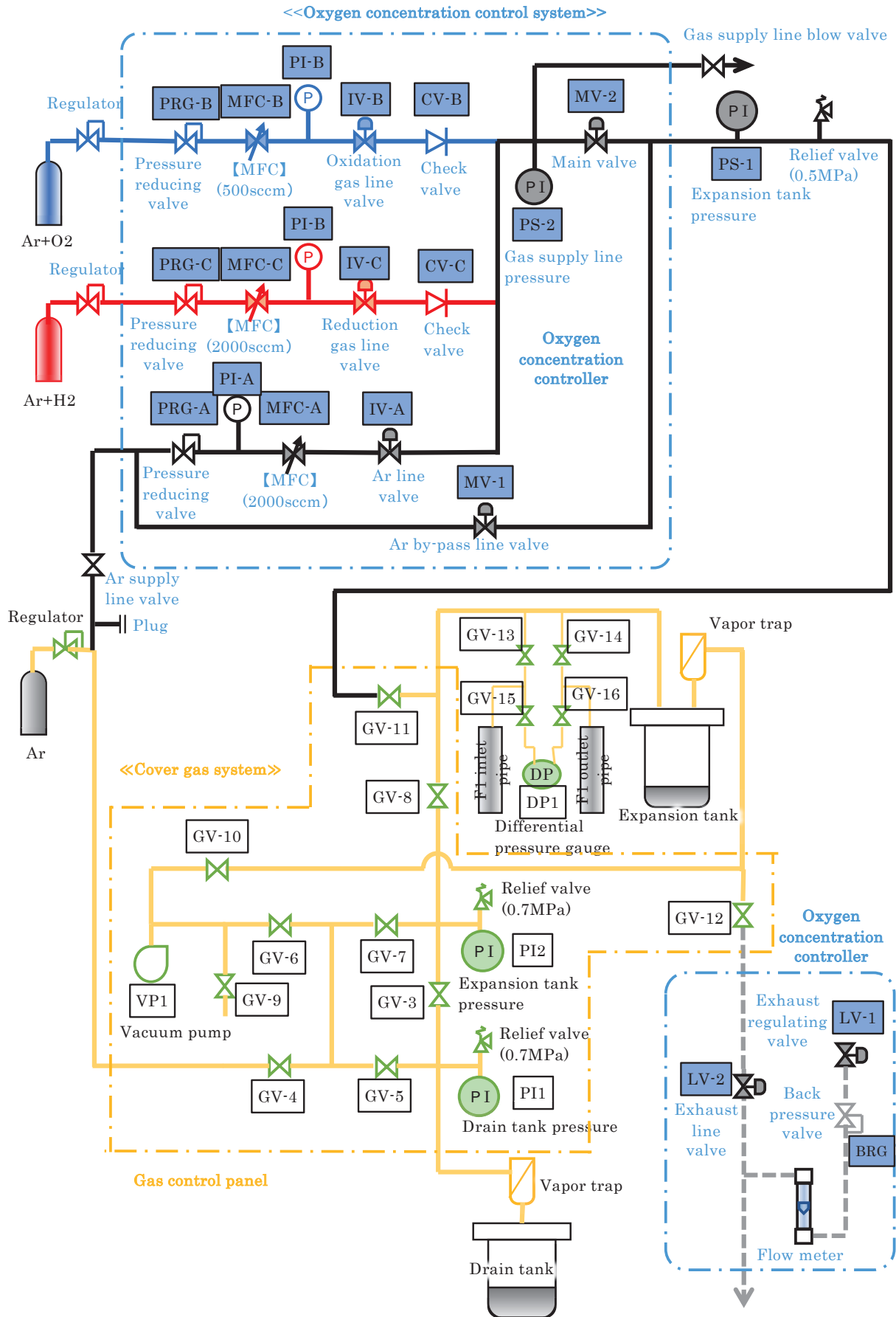


Fig. 2.2.4 Flow-diagram of the cover-gas/oxygen control system.

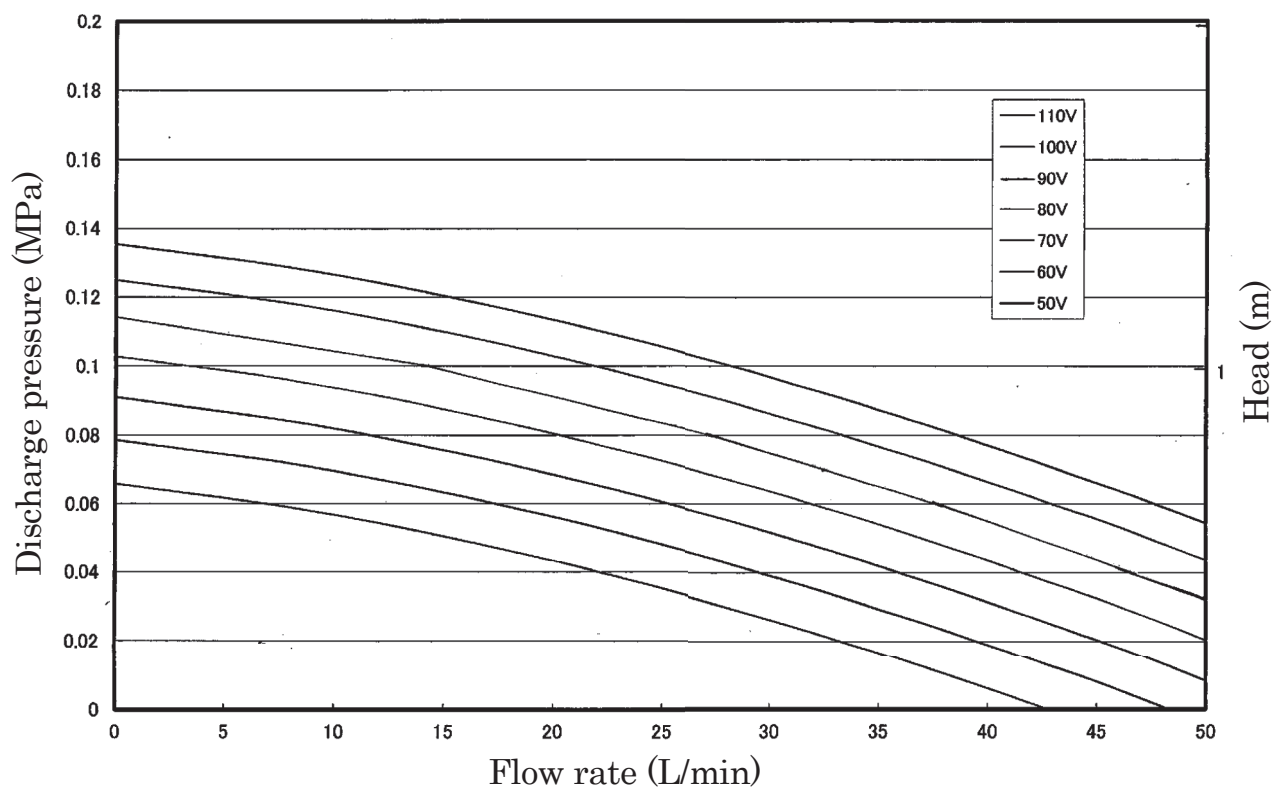


Fig. 2.3.1 Performance curve of the EMP.

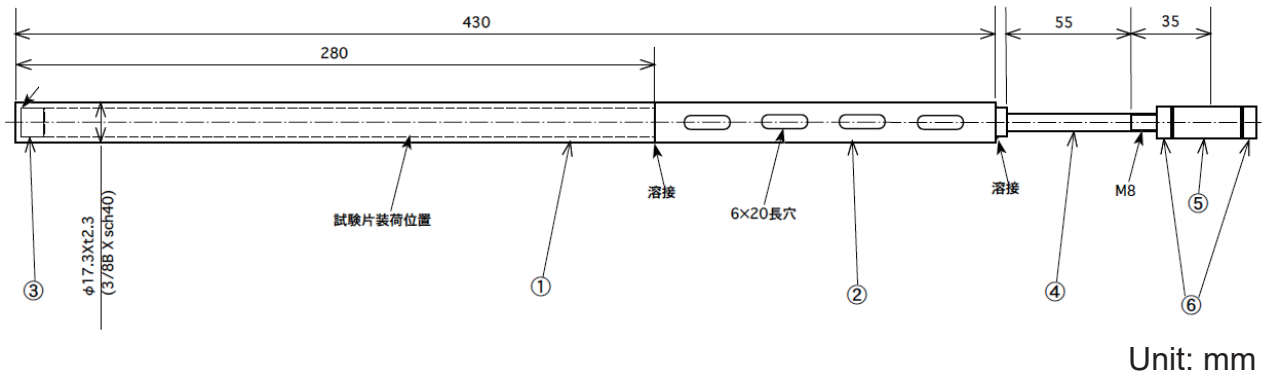


Fig. 2.4.1 Drawing of the specimen holder for plate type specimens.

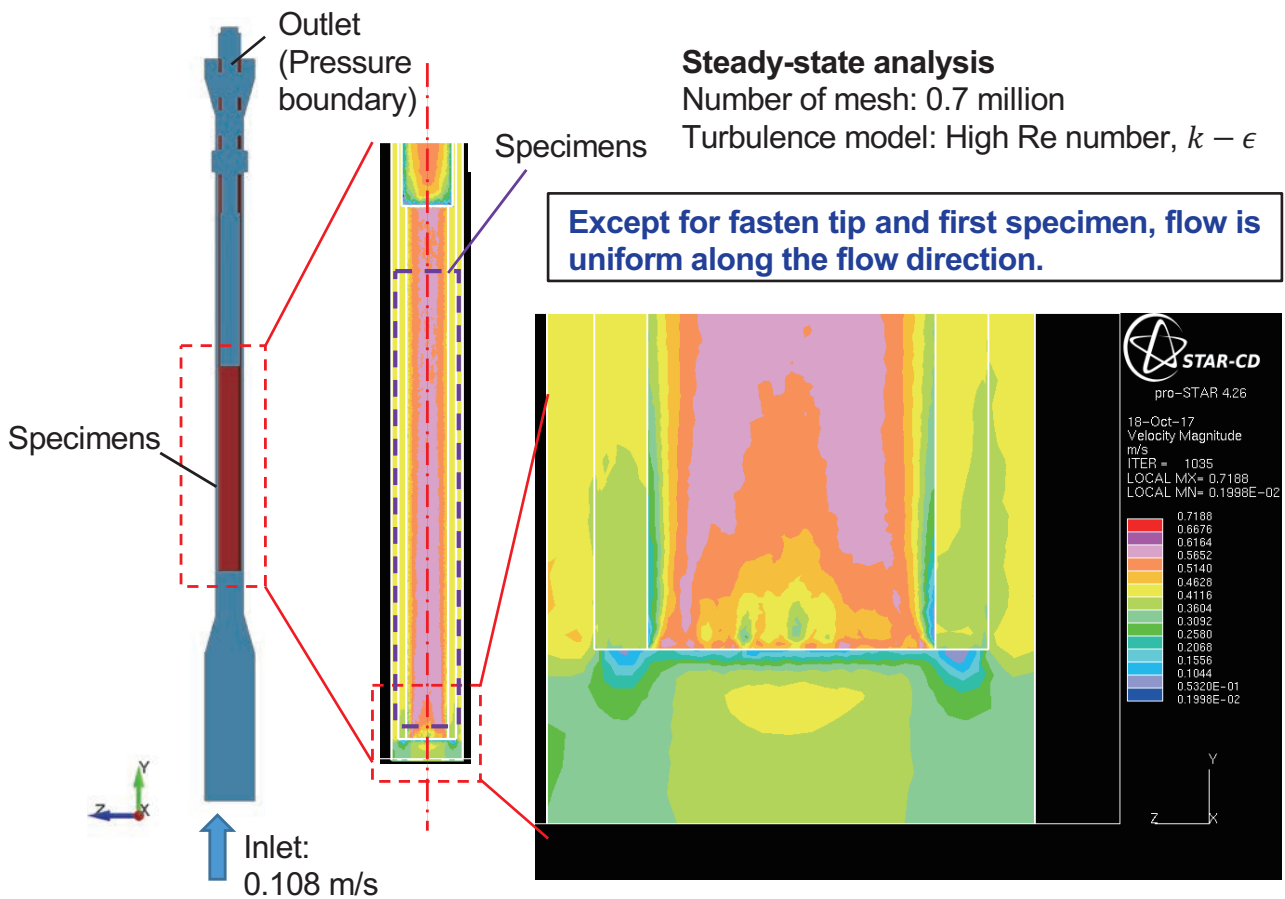


Fig. 2.4.2 LBE flow contour in the specimen holder.

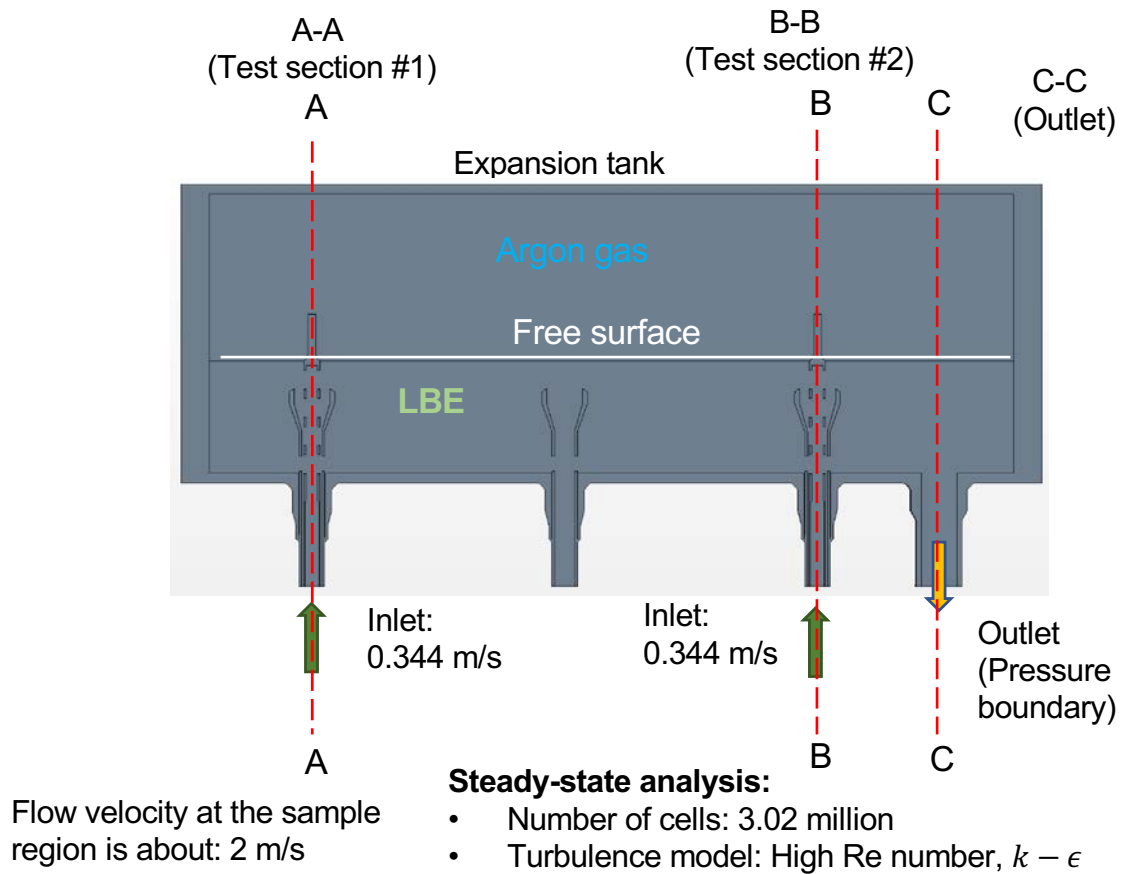


Fig. 2.4.3 Model for thermal hydraulic analysis in the expansion tank.

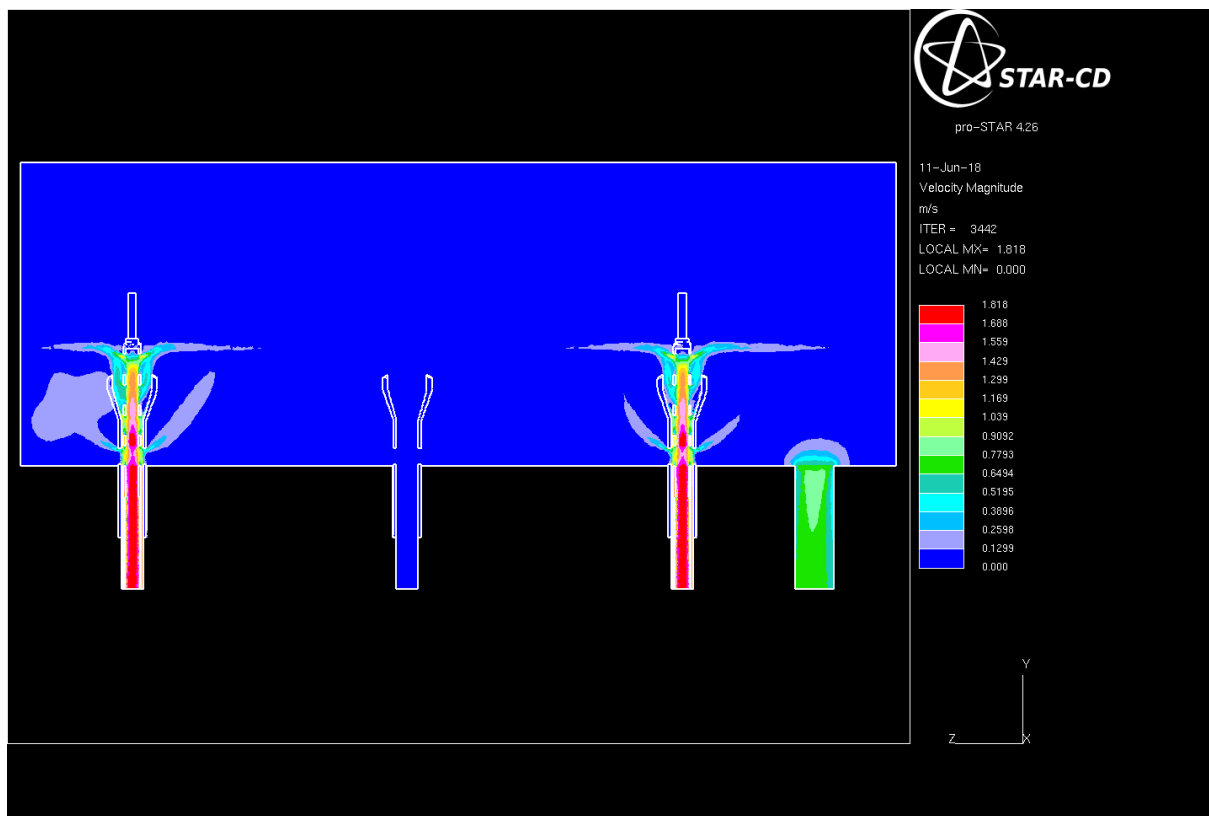


Fig. 2.4.4(a) LBE flow contour in the expansion tank (lengthwise cross section).

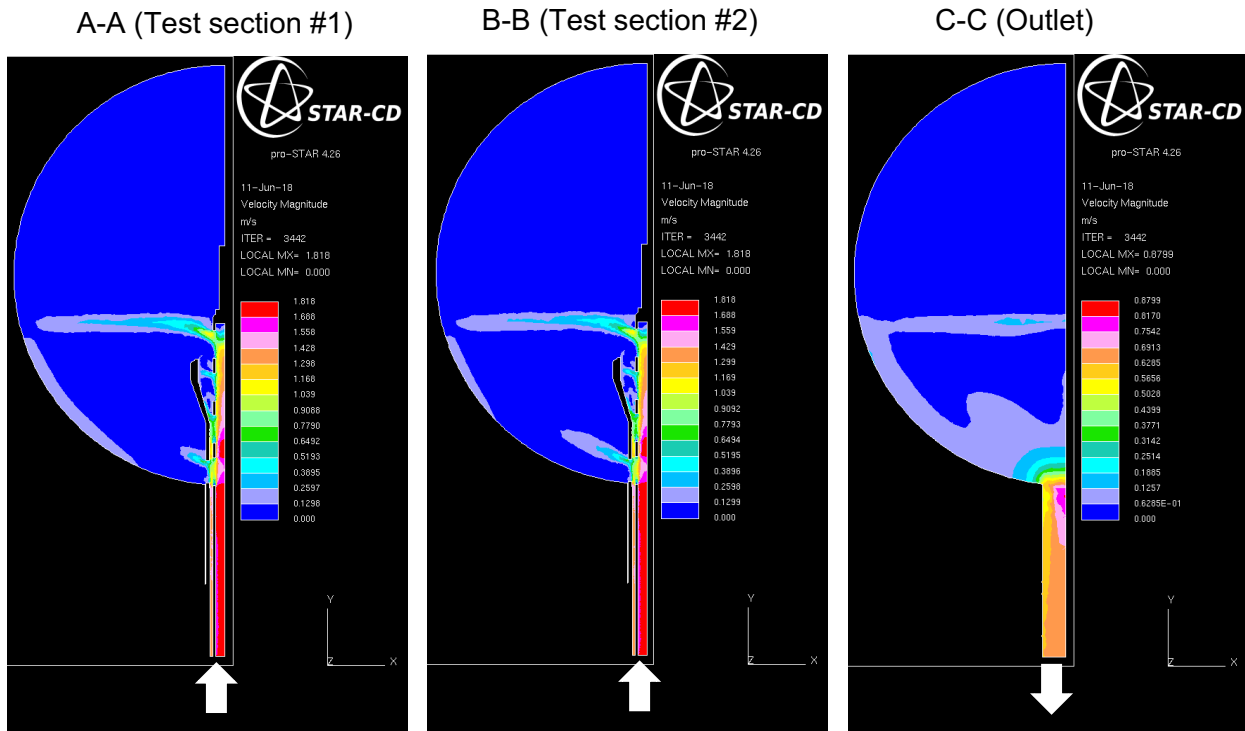


Fig. 2.4.4(b) LBE flow contour in the expansion tank (lateral cross section).



Fig. 2.4.5(a) LBE flow vector in the expansion tank (lengthwise cross section).

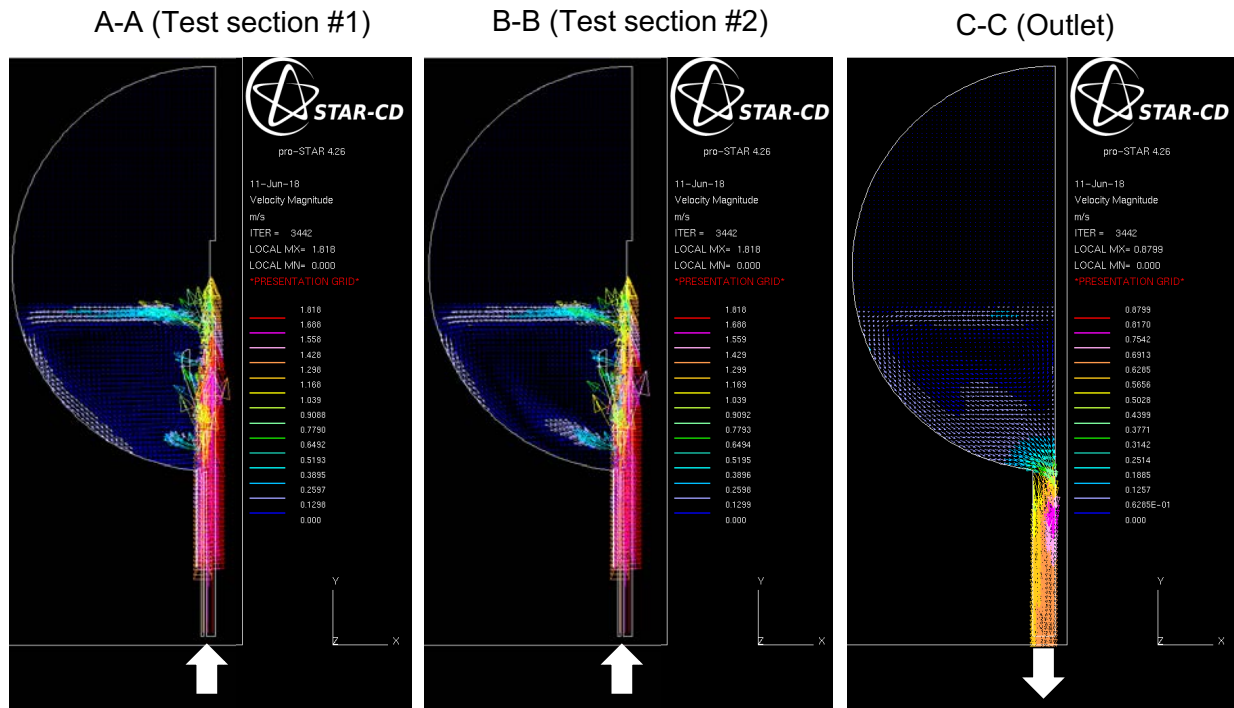


Fig. 2.4.5(b) LBE flow vector in the expansion tank (lateral cross section).

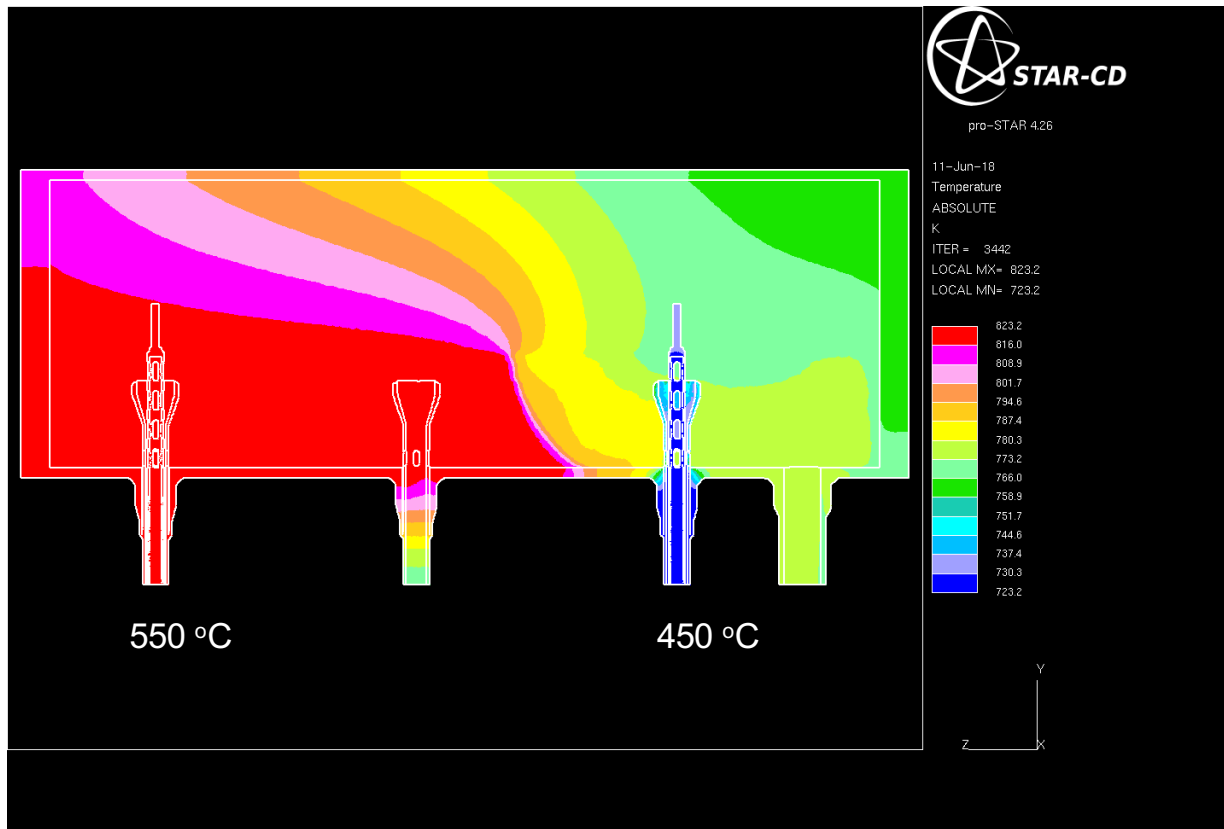


Fig. 2.4.6(a) Temperature distribution in the expansion tank and sample holders (case#1, lengthwise cross section).

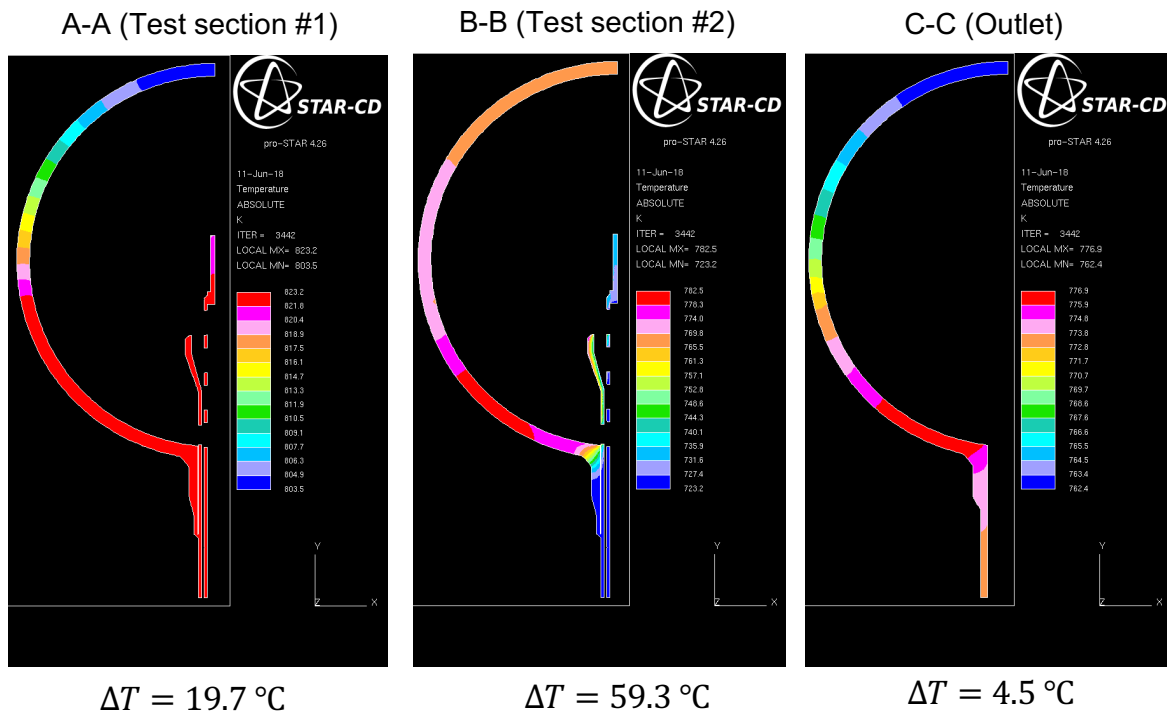
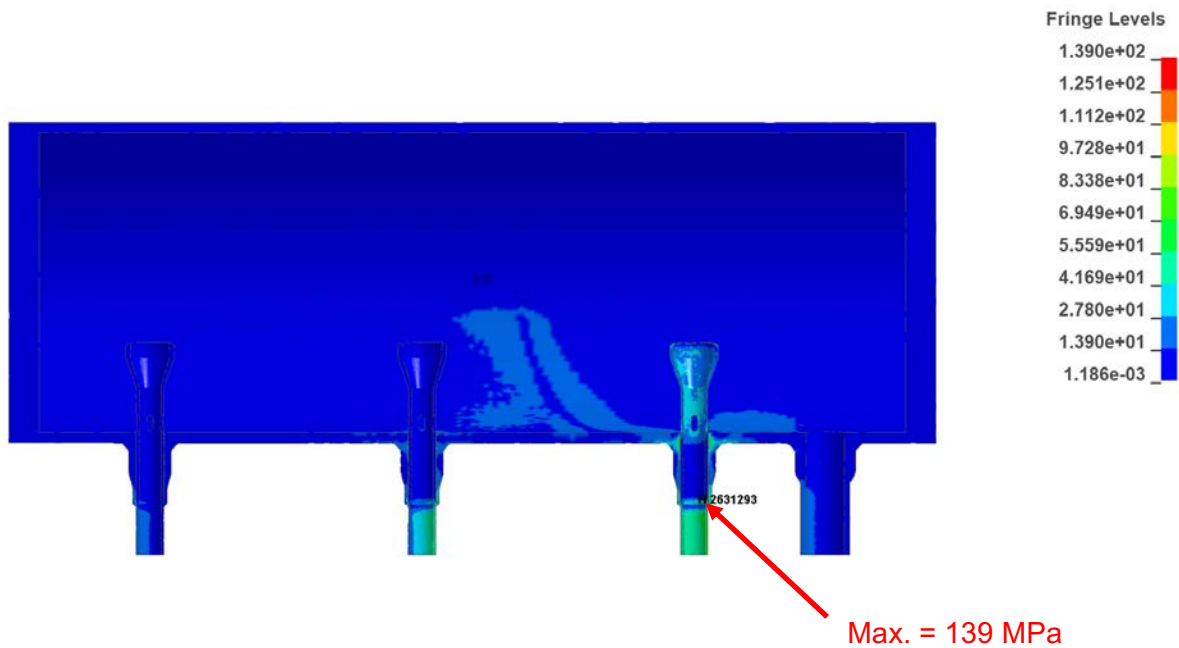


Fig. 2.4.6(b) Temperature distribution in the expansion tank and sample holders (case#1, lateral cross section).



$$\text{Max.} = 139 \text{ MPa} < 3S_m (\text{T91, @450 }^{\circ}\text{C}) = 3 \times 153 \text{ MPa} = 459 \text{ MPa}$$

Fig. 2.4.7 Thermal stress distribution in the expansion tank (case#1, lengthwise cross section).

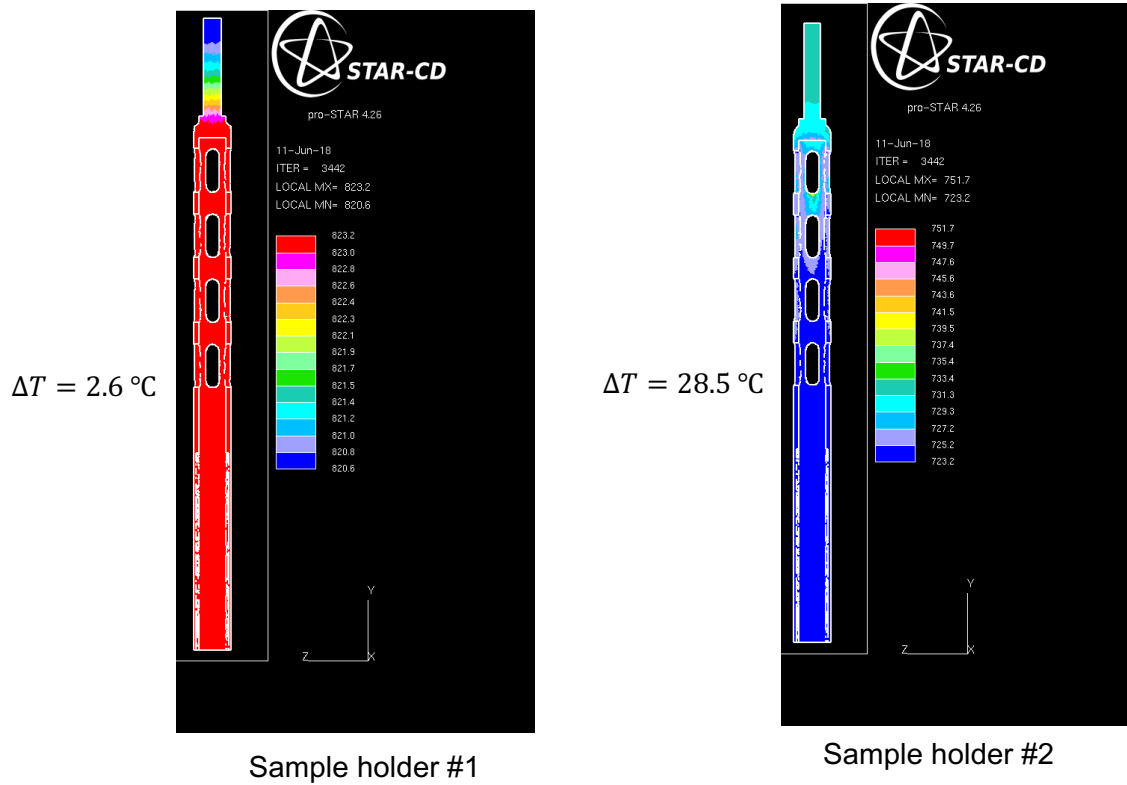


Fig. 2.4.8(a) Temperature distribution in the sample holders (case#1, lengthwise cross section).

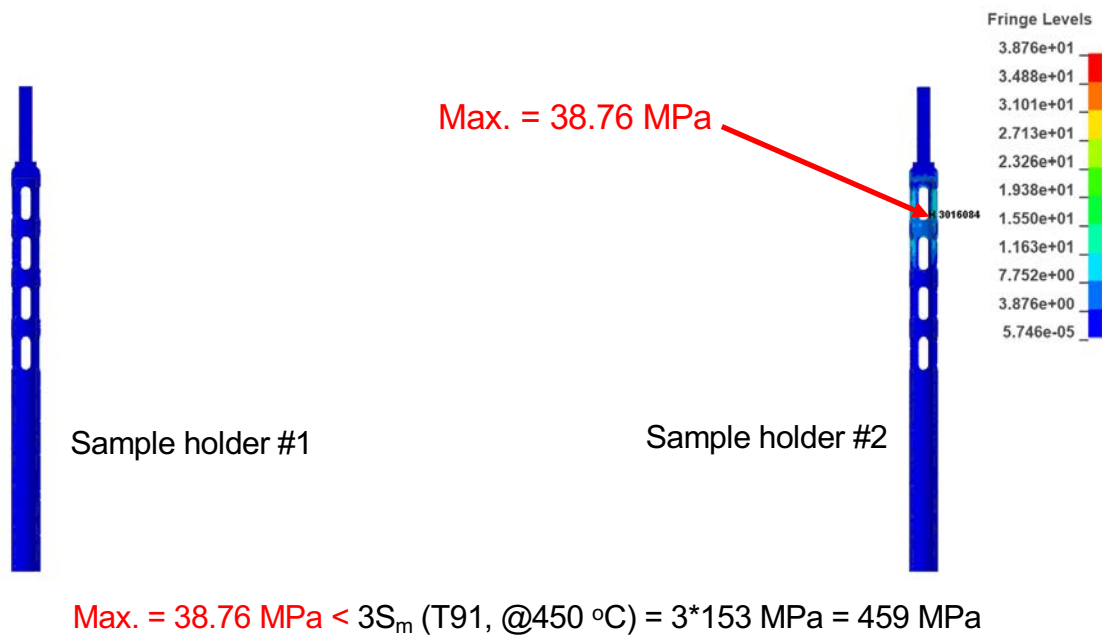


Fig. 2.4.8(b) Thermal stress distribution in the sample holders (case#1, lengthwise cross section).

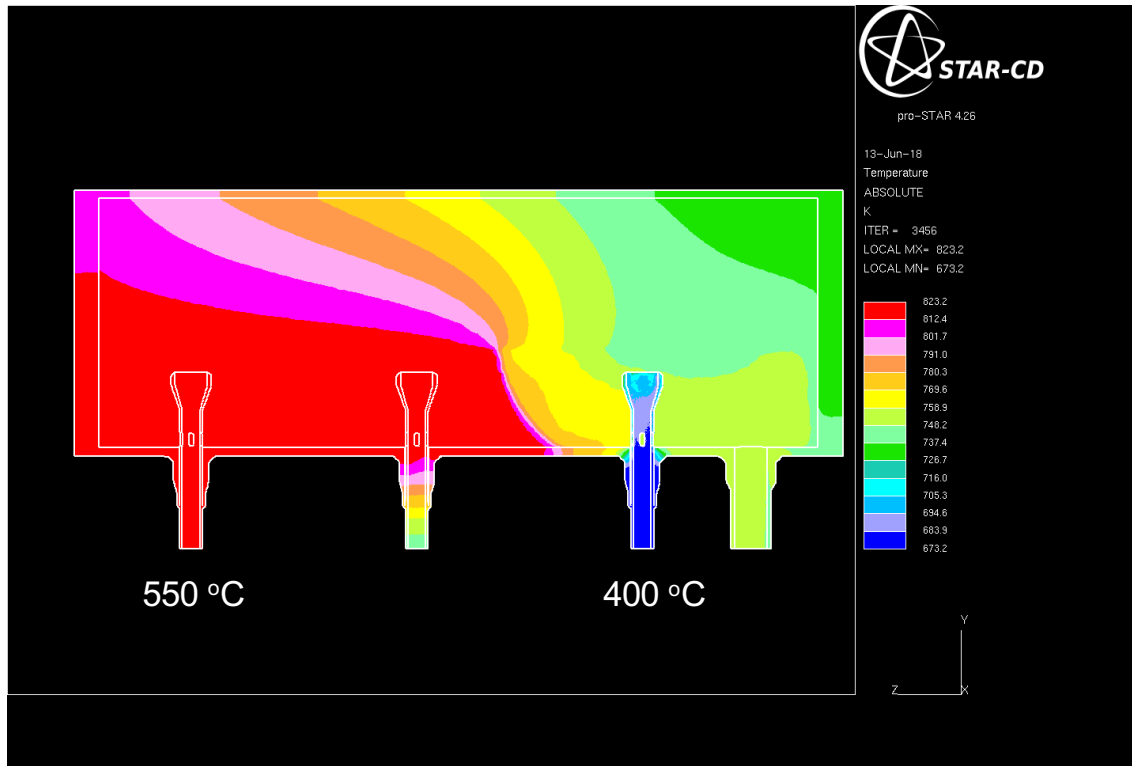


Fig. 2.4.9(a) Temperature distribution in the expansion tank and sample holders (case#2, lengthwise cross section).

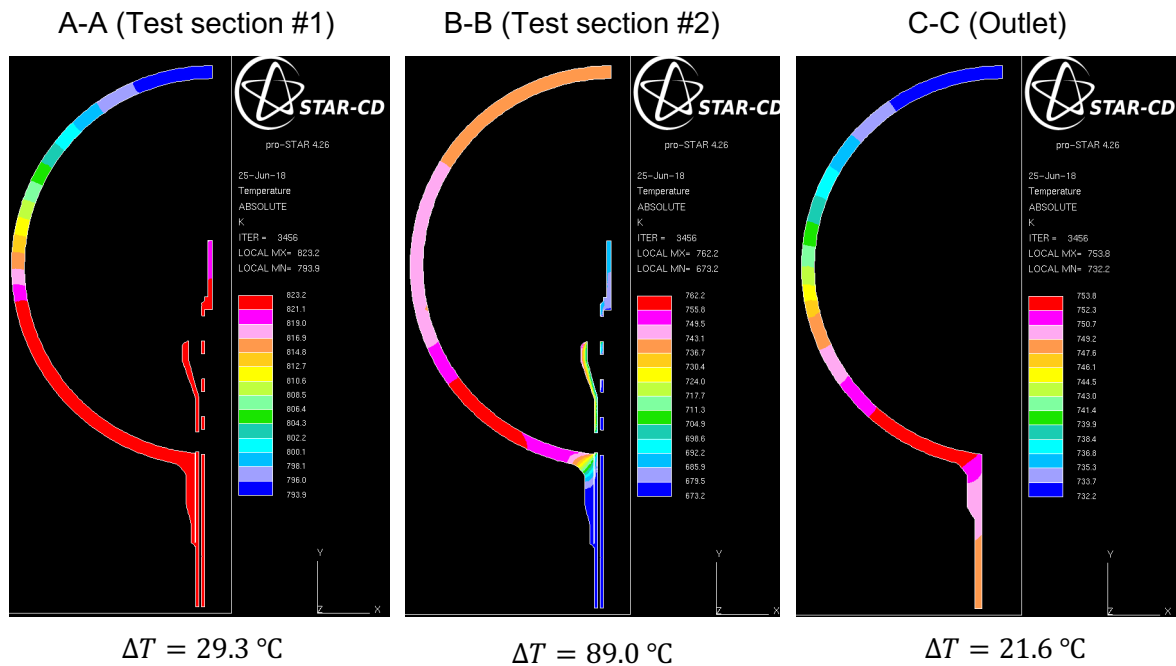


Fig. 2.4.9(b) Temperature distribution in the expansion tank and sample holders (case#2, lateral cross section).

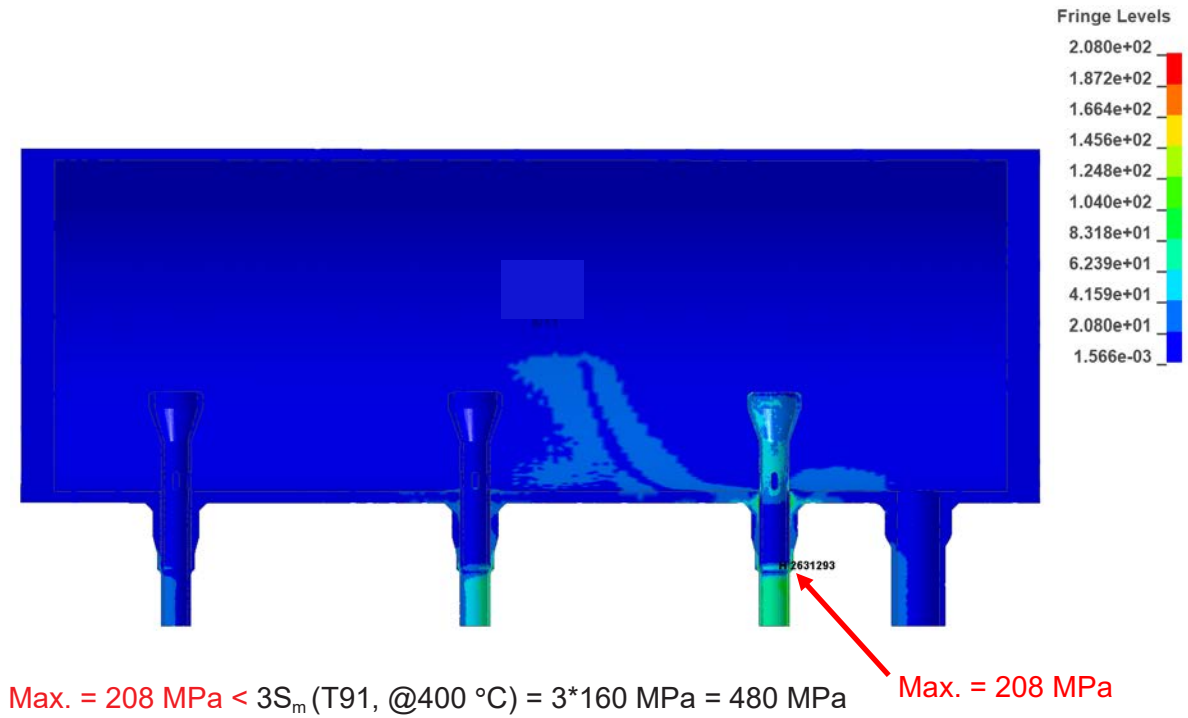


Fig. 2.4.10 Thermal stress distribution in the expansion tank (case#2, lengthwise cross section).

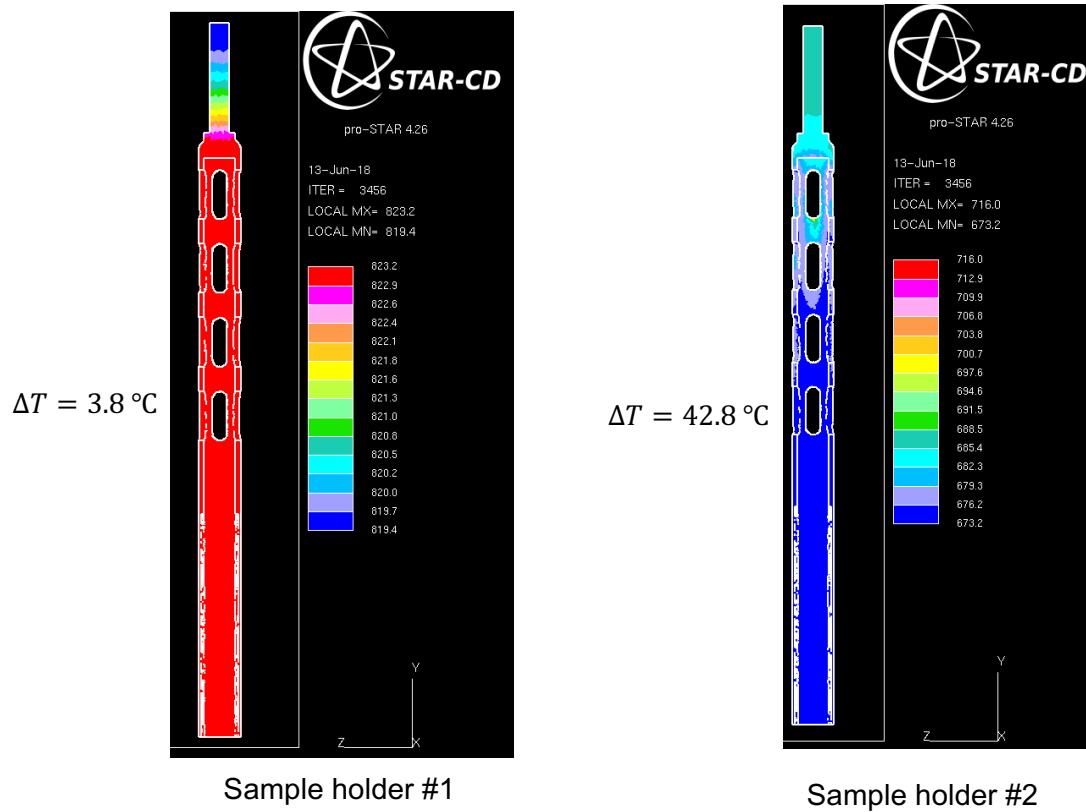


Fig. 2.4.11(a) Temperature distribution in the sample holders (case#2, lengthwise cross section).

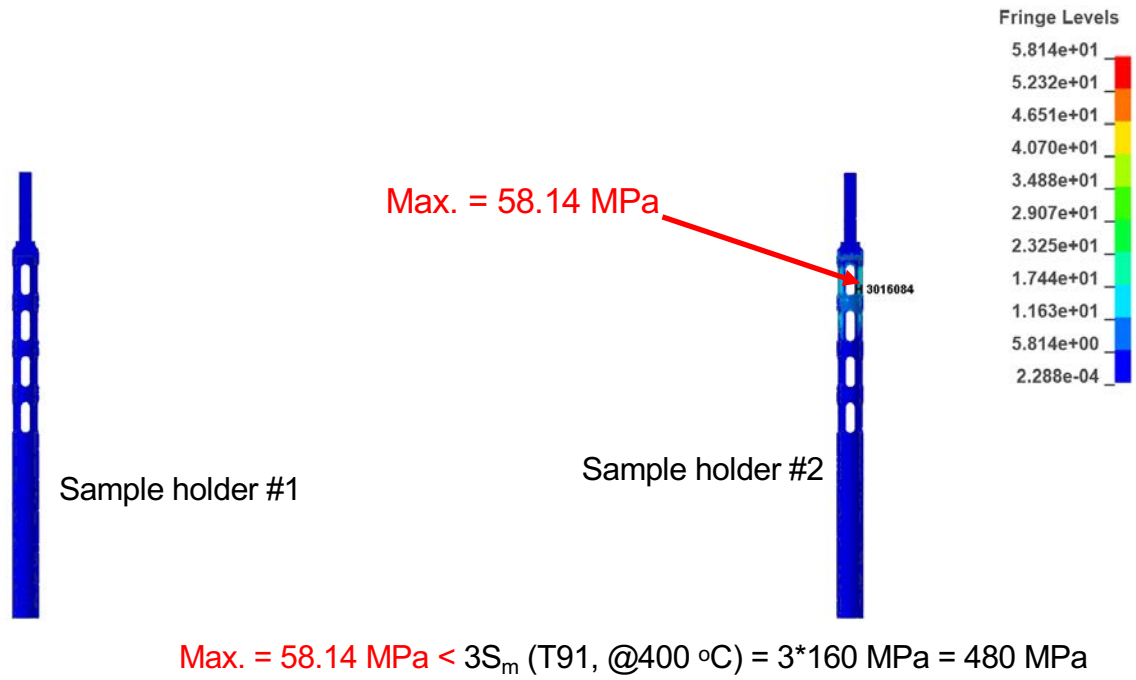


Fig. 2.4.11(b) Thermal stress distribution in the sample holders (case#2, lengthwise cross section).

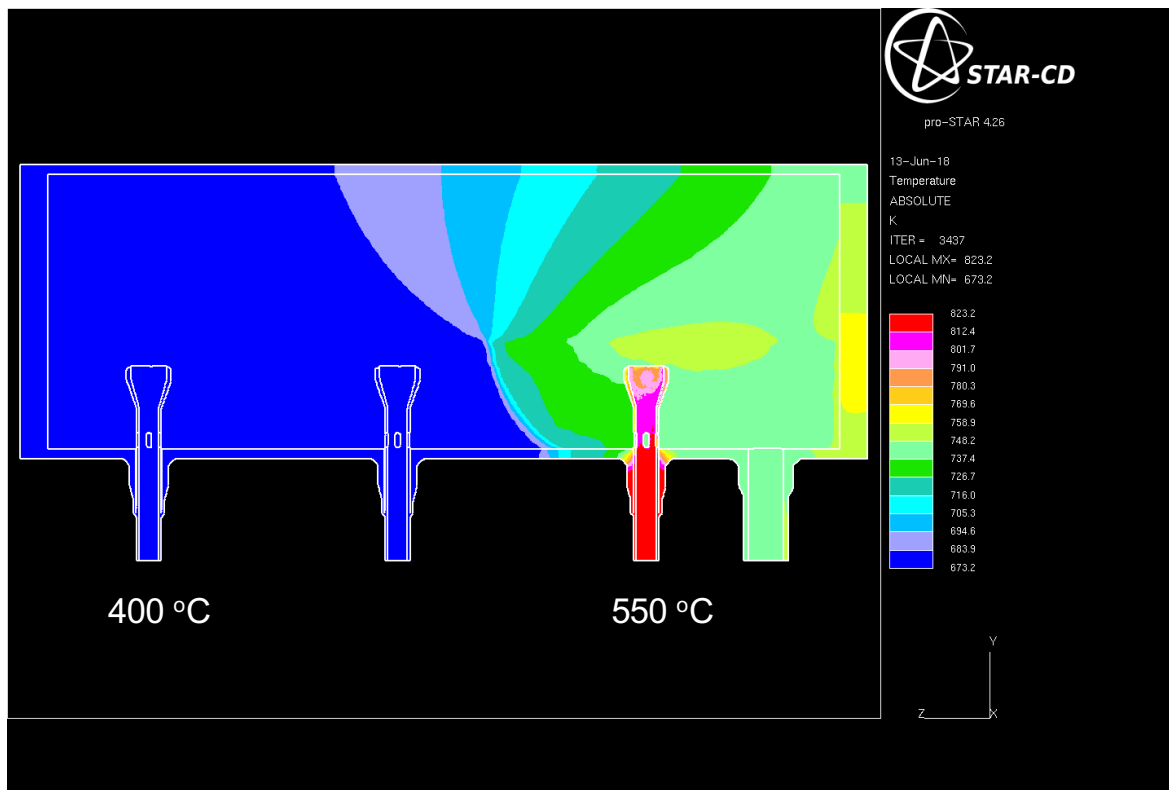


Fig. 2.4.12(a) Temperature distribution in the expansion tank and sample holders (case#3, lengthwise cross section).

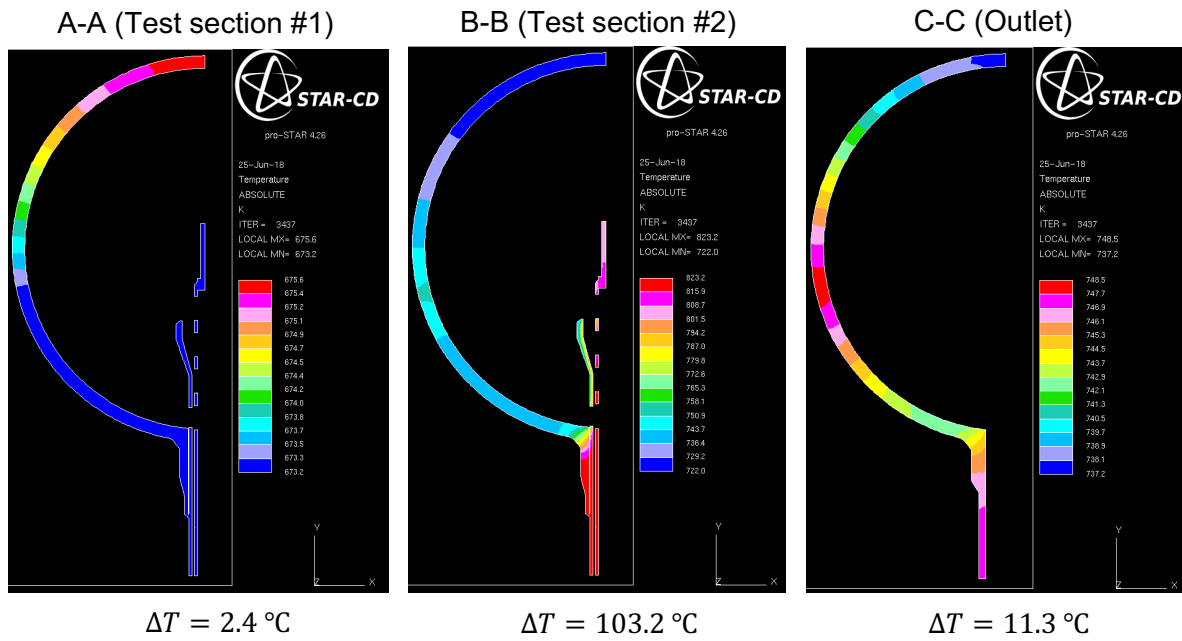


Fig. 2.4.12(b) Temperature distribution in the expansion tank and sample holders (case#3, lateral cross section).

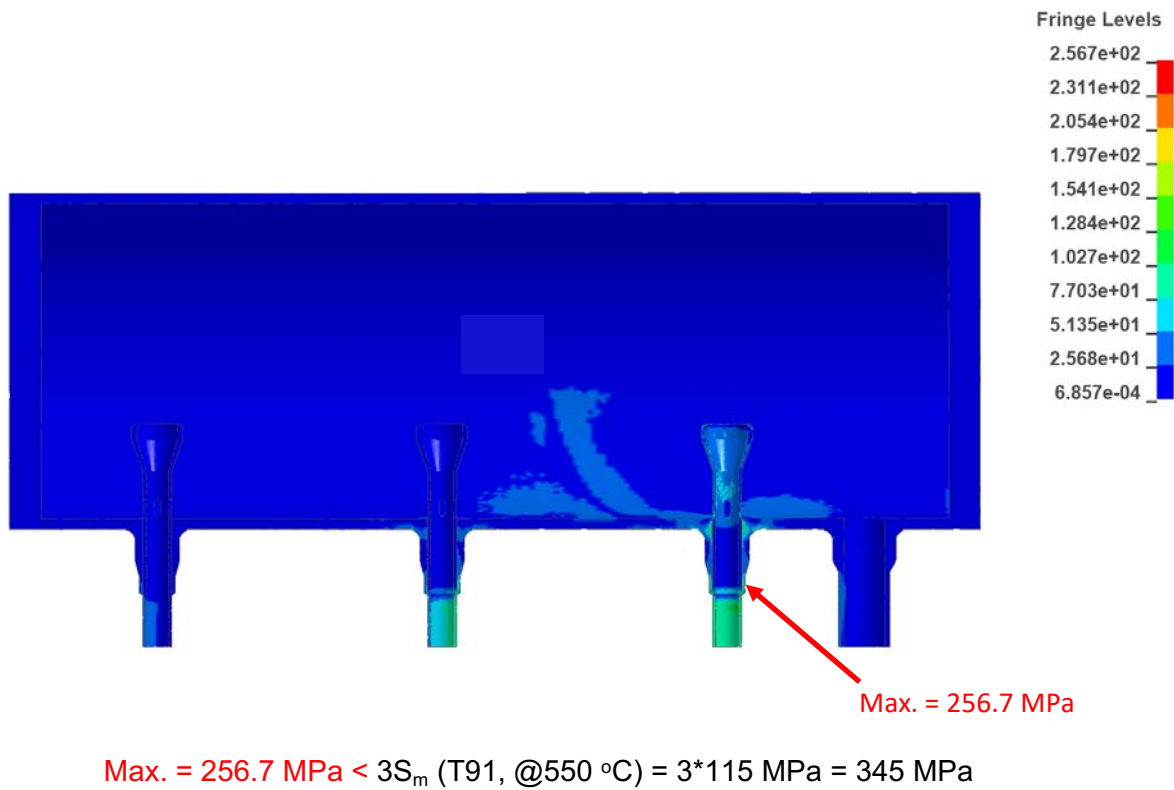


Fig. 2.4.13 Thermal stress distribution in the expansion tank (case#3, lengthwise cross section).

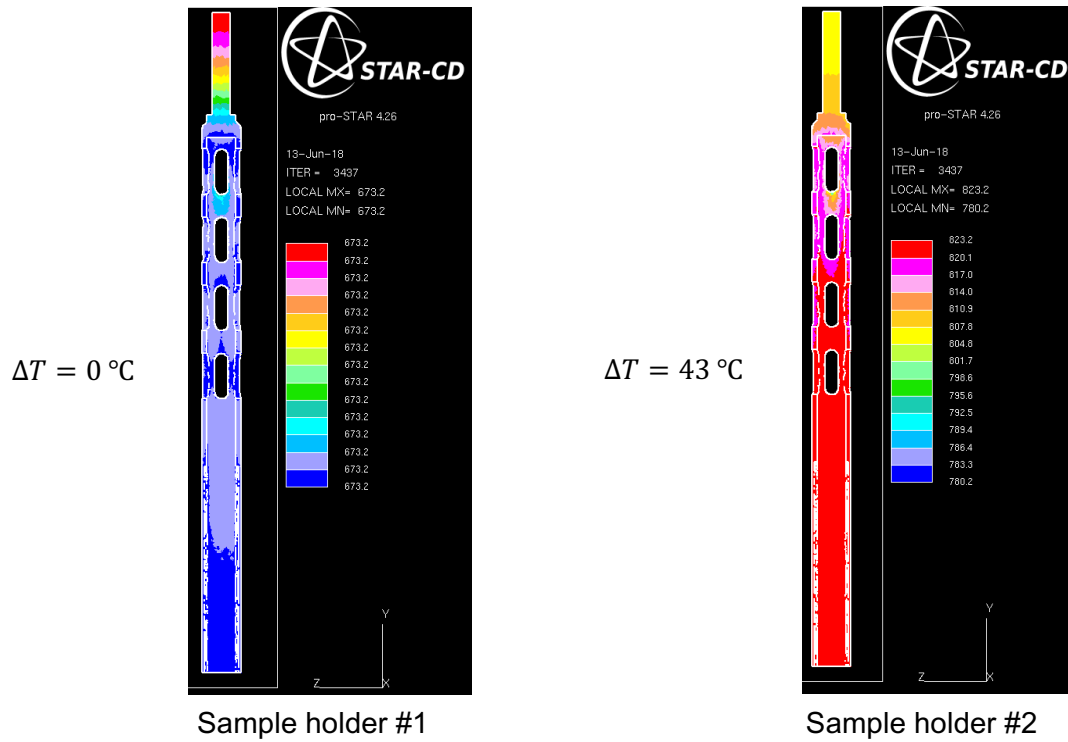
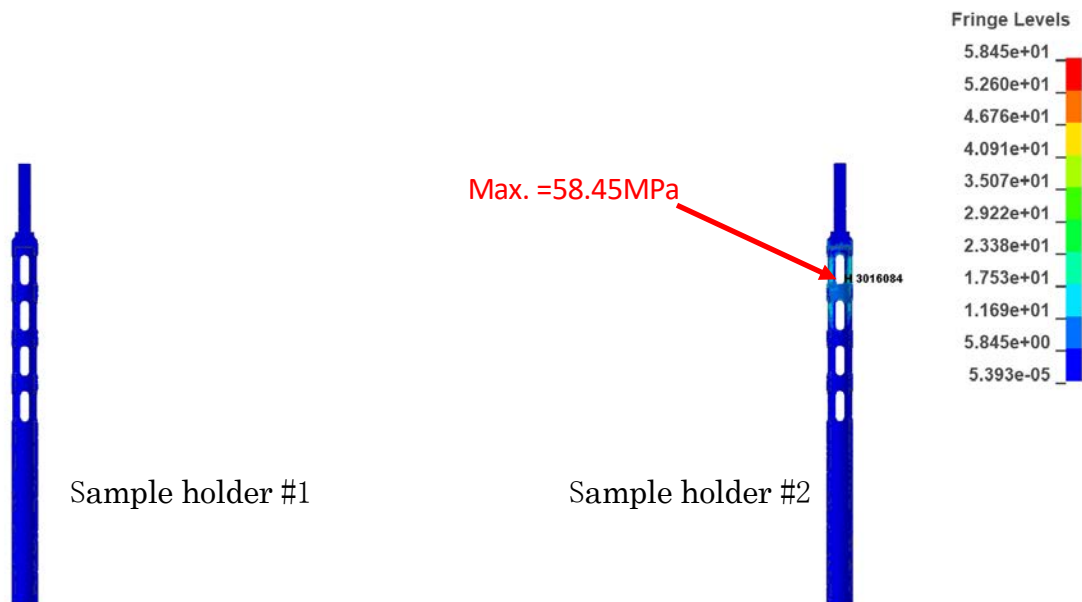


Fig. 2.4.14(a) Temperature distribution in the sample holders (case#3, lengthwise cross section).



$$\text{Max.} = 58.45 \text{ MPa} < 3S_m (\text{T91, @550 } ^{\circ}\text{C}) = 3 \times 115 \text{ MPa} = 345 \text{ MPa}$$

Fig. 2.4.14(b) Thermal stress distribution in the sample holders (case#3, lengthwise cross section).

3. 性能確認試験

3.1 全体計画

OLLOCHI を用いた LBE 中腐食試験の全体計画を Table 3.1.1 に示す。

腐食試験開始前に、以下の調整運転や機能確認試験を実施する。

- (1)気密試験
- (2)LBE 無し昇温試験
- (3)LBE 等温循環試験
- (4)電磁流量計校正、比較試験
- (5)温度差運転試験
- (6)酸素センサー試験、酸素濃度制御試験
- (7)超音波流量計、電磁流量計比較試験
- (8)設計最大能力下での温度差運転試験（最大温度 550 °C、 ΔT 100 °C）

なお、本報告書では(1)～(5)について報告する。

3.2 試験の概要と目的

3.2.1 気密試験

系統内の気密が保たれることの確認を目的とし、以下の条件で行う。なお、LBE は揚液しない。

・ 対象	LBE循環系並びにガスライン
・ 方法	内圧法
・ 使用ガス、圧力	アルゴンガス、0.3 MPa（ゲージ）
・ 保持時間	120分以上
・ 試験温度	室温並びに250 °C
・ 判定基準	圧力計にて圧力低下のないこと。

※試験手順の概略は、付録 B「運転マニュアル（腐食試験時）」を参照。

3.2.2 LBE 無し昇温試験

予熱ヒーター・保温材の機能試験として、系統内の各部が設定した温度に所定の時間内に昇温し、保持できることを確認する。LBE は揚液しない。試験の概要を以下に記す。なお、本試験では固化した LBE を含むドレインタンクと加熱器容器は除外する。

・ 対象	LBE循環系（一部を除く）
・ 目標温度	高温部550 °C、低温部450 °C
・ 到達時間	高温部6時間、低温部4時間以内

3.2.3 LBE 等温循環試験

電磁ポンプ機能試験として、LBE をドレインタンクで融解後、循環系に揚液し、電磁ポンプにより循環しながら、系統内の温度を一定に保持できることを確認する。試験条件を以下に記す。

・ 対象	LBE循環系
・ 試験温度	400 °C
・ 保持時間	1時間以上
・ 判定基準	流量計の出力等によるLBE循環の確認。 系統内の温度のばらつき、変動の確認。 LBEの漏洩、異常な振動等のないこと。

3.2.4 電磁流量計校正比較試験

落下法による電磁流量計の校正を行う。2 系統の電磁流量計の比較試験を行った。試験の条件を以下に記す。

・ 対象	電磁流量計EMF（主流部） 電磁流量計EMF2（試験部）
・ 方法	落下法

- ・試験温度 400 °C

※落下法とは、Fig. 3.2.1(a)及び Fig. 3.2.1(b)に示す体系において、バルブ開度を調整することで、ドレイン弁開時に膨張タンク内の既知量の LBE がドレインするのに要する時間と、そのときの電磁流量計出力の関係から校正曲線を得る手法である。

3.2.5 温度差運転試験

加熱器・冷却器機能試験として、LBE を揚液し、電磁ポンプにより循環しながら、系統内を非等温とした状態を保持できることを確認する。本試験は、温度差運転の結果をもとに運転手順を確立することも目的とする。試験の条件を以下に記す。

- ・対象 LBE循環系
- ・試験温度 高温部450 °C、低温部350 °C
- ・保持時間 1時間以上
- ・確認項目 系統内の温度のばらつき、変動の確認。
冷却器ダクトの開度と温度差の確認。

(1)条件①

流路 1 及び 2、LBE 流量 16.8 L /min （試験部流速 1.23 m/s）

(2)条件②

流路 1 及び 2、LBE 流量 21.0～22.4 L /min （試験部流速 1.64 m/s）

(3)条件③

流路 3、LBE 流量 9.0 L /min （試験部流速 1.32 m/s）

3.3 試験結果

3.3.1 気密試験

試験は酸素センサー並びに超音波流量計設置後に実施した。室温並びに 250 °C における気密試験の結果をそれぞれ Table 3.3.1 及び Table 3.3.2 に示す。室温条件では、0.3 MPa 加圧後の 34 分間の圧力低下はほとんど見られなかった。さらに 0.4 MPa 以上に加圧後、1448 分経過後の圧力低下は 0.01 MPa 程度であり、室温変化を考慮するとほぼ圧力低下無しといえる。250 °C の条件では 977 分まで圧力低下は見られず、十分な気密が保たれていることが確認された。

3.3.2 昇温試験

室温からの昇温試験の結果、LBE 循環系は 1 時間以内に 100 °C 昇温可能であり、低温部は約 4 時間で 450 °C に、高温部は約 6 時間で 550 °C に達した。ドレインタンクは LBE の融解に時間を要するため、LBE が凍結している室温から約 10 時間で 250 °C に達した。ドレインタンクと加熱器容器を除き目標の時間以内に最高温度に昇温できることが確認された。

3.3.3 LBE 等温循環試験

全系統を 400 °C に保持した LBE 等温循環試験の結果を Fig.3.3.1 に示す。温度や流量はほぼ一定に維持され、変動は十分小さいことが分かった。また、LBE の漏洩、異常な振動等はなく、問題なく循環運転できることが確認された。

3.3.4 電磁流量計校正比較試験

主流部の電磁流量計 EMF の校正試験を実施するため、Fig.3.2.1(a)に示したバルブ V6 の開度を 4 段階（0.75 回転戻し、1 回転戻し、1.5 回転戻し及び 2 回転戻し）で調整し、落下法による試験を実施した。Fig.3.3.2 に上記 4 条件下での EMF 出力とレベル計出力のトレンドグラフを示す。レベル計 H の出力上昇からレベル計 L の出力上昇までで判定した、一定量の LBE が流下するために要する経過時間は、それぞれ 519 秒、202 秒、106 秒及び 80 秒であった。得られた LBE 流量と電磁流量計出力の平均値をプロットすることで得られた校正曲線を Fig.3.3.3 に示す。

続いて第 3 試験部に設置した EMF2 の校正試験を実施するため、Fig.3.2.1(b)に示したバルブ V8 の開度を 3 段階（1 回転戻し、2 回転戻し及び 3 回転戻し）で調整し、落下法による試験を実施した。Fig.3.3.4 に EMF2 出力とレベル計出力のトレンドグラフを示す。一定量の LBE の流下時間に相当する、レベル計 H の出力上昇からレベル計 L の出力上昇までに要した時間はそれぞれ 254 秒、95 秒及び 65 秒であった。得られた LBE 流量と電磁流量計出力の平均値をプロットして得られた校正曲線を Fig.3.3.5 に示す。

第 3 試験部のみを開とし、EMF と EMF2 を直列運転とした時の流量表示と電磁ポンプのインバータ出力の関係を Fig.3.3.6 に示す。流量表示を比較した結果、同じインバータ出力に対して EMF の方が EMF2 よりも約 15%程度流量表示が大きいことが分かった。通常、電磁流量計は数%程度の誤差は有しているが、この 15%の差はそれよりも大きい。この要因の

一つとして校正の時期が約 1 年異なり、先に校正を行った EMF の電極表面の酸化物が LBE との摩耗により減少したため出力が大きくなったことが考えられる。また、EMF2 は配管径が細くなっている上にエルボ直下に設置されており、流れが乱れていることも誤差拡大の要因と推測される。

従って、定常時の参照流量の監視用として電磁流量計を用い、本装置を用いた材料腐食試験では、分岐した各試験流路それぞれに対し超音波流量計を設置してより厳密な流量を測定した上で各流路のバルブ調整により試験条件を設定する方針とした。

3.3.5 温度差運転試験

高温部 450 °C、低温部 350 °C の温度差運転試験を流路及び LBE 流量を変えて先に述べた 3 条件で行った。以下にその結果を示す。

条件①：LBE 温度のトレンドグラフを Fig.3.3.7 に示す。系統全体を 350 °C に昇温し、次に加熱器及び高温部を 25 °C 刻みで昇温した。続いて低温側を 350 °C に保ちつつ所定の温度差となるように冷却器の入口、出口ダンパーを調整した。高温部 450 °C、低温部 350 °C に到達後 1 時間保持したが、温度は安定していた。冷却器ダンパー開度と温度差の関係を Fig. 3.3.8 に示す。出口側ダンパー開度が 45%以上の時、入口側ダンパー開度が 50%以上で温度差 100 °C 以上を達成できることが分かった。

条件②：LBE 温度のトレンドグラフを Fig.3.3.9 に、冷却ダンパー開度と温度差の関係を Fig. 3.3.10 にそれぞれ示す。LBE 流量が大きい本条件下では、出口側ダンパーを全開とした時、入口側ダンパー開度が 90%で温度差 100 °C を達成できることが分かった。

条件③：LBE 温度のトレンドグラフを Fig.3.3.11 に、冷却ダンパー開度と温度差の関係を Fig. 3.3.12 にそれぞれ示す。流路が 1 本となるこの条件では、出口側ダンパーが 30%以上の時、入口側ダンパー開度が 20%以上で温度差 100 °C 以上を達成できることが分かった。

冷却ダンパー開度と温度差の関係のまとめを試験片位置の流速とともに Fig. 3.3.13 に示す。試験片位置の流速が 1.0～1.5 m/s の範囲で温度差が 100 °C 以上の試験が可能であることが示された。

Table 3.1.1 Experimental plan of OLLOCHI.

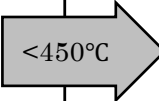
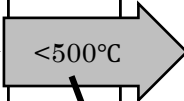
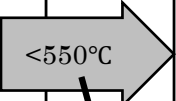
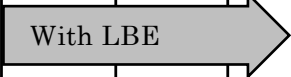
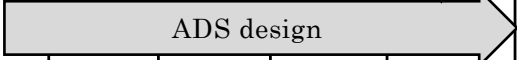
FY	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Corrosion test									
Conditioning									
Modification	▽ Main part and oxygen control system (Step-1)	▽ Flow meter at test section (Step-2)	▽ Testing machine (Step-3)						
Oxygen concentration control									

Table 3.3.1 Results of leak test at RT.

Time (min)	0	3	18	23	31	34	0	30	50	1448
PI-1 (MPa)	0.310	0.309	0.309	0.309	0.309	0.309	0.412	0.411	0.411	0.411
PI-2 (MPa)	0.303	0.303	0.303	0.303	0.303	0.303	0.406	0.405	0.405	0.405

Table 3.3.2 Results of leak test at 250 °C.

Time (min)	0	26	72	866	977
PI-2 (MPa)	0.211	0.212	0.214	0.211	0.211

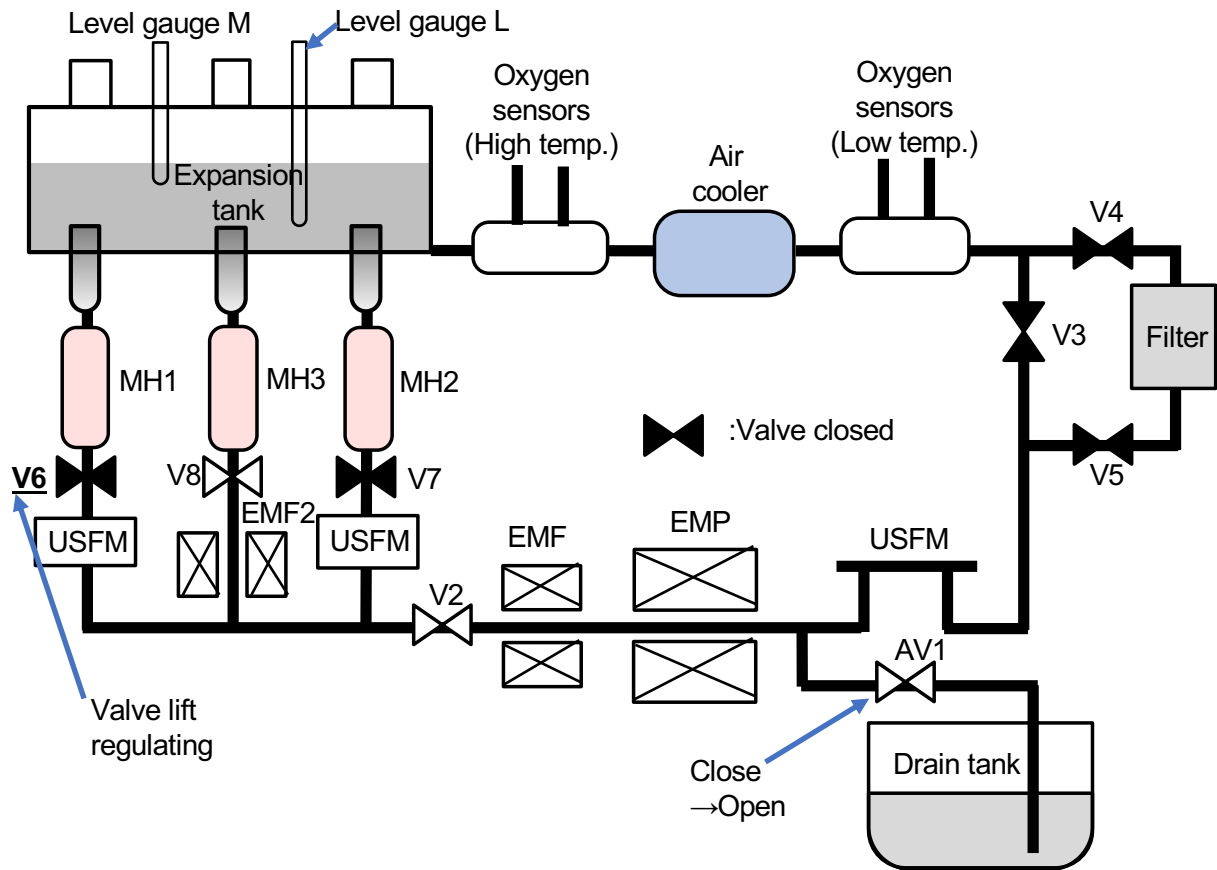


Fig. 3.2.1(a) Configurations of calibration for the EMF.

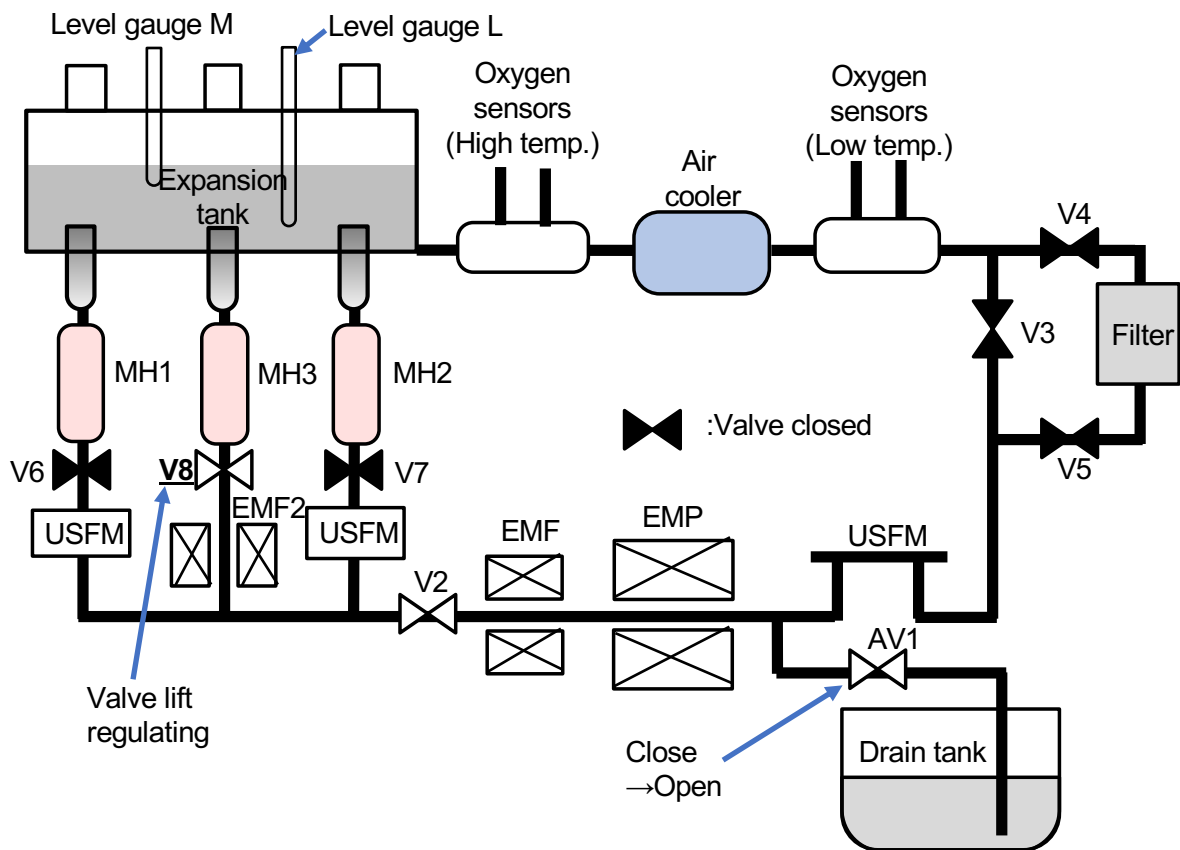


Fig. 3.2.1(b) Configurations of calibration for the EMF2.

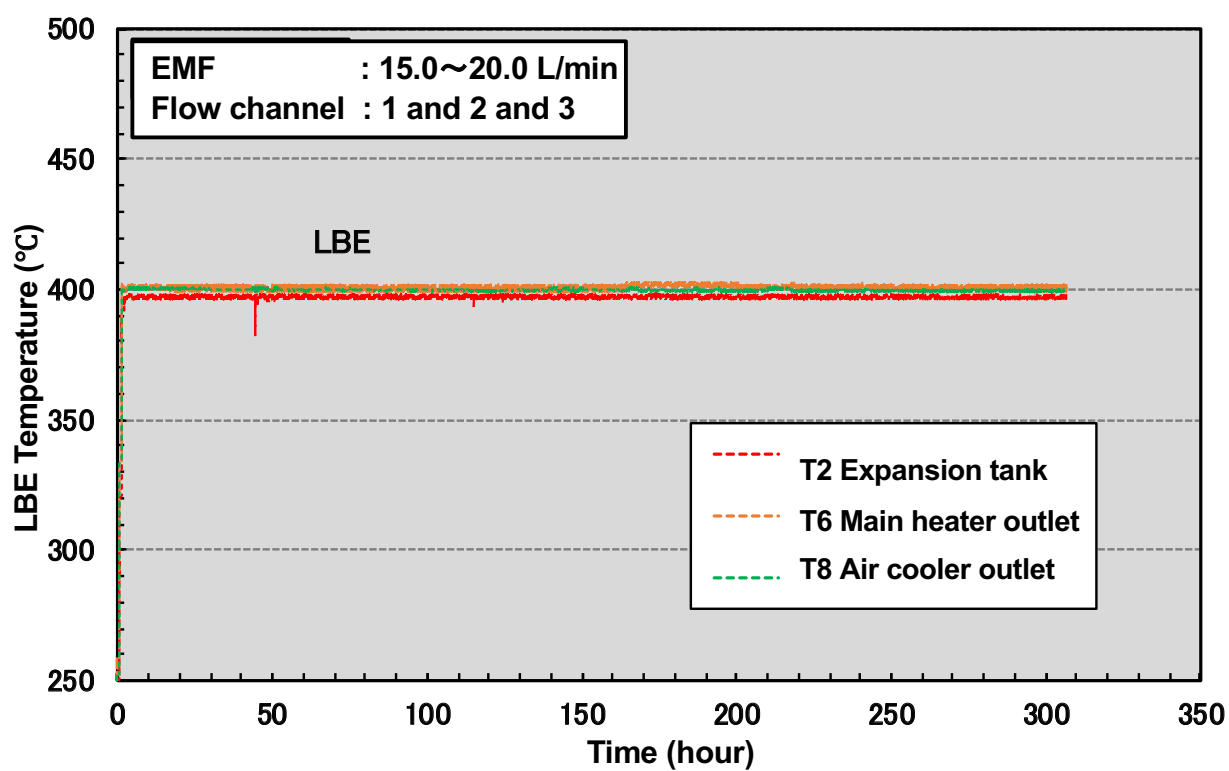


Fig. 3.3.1 Temperature trend graph for LBE temperatures.

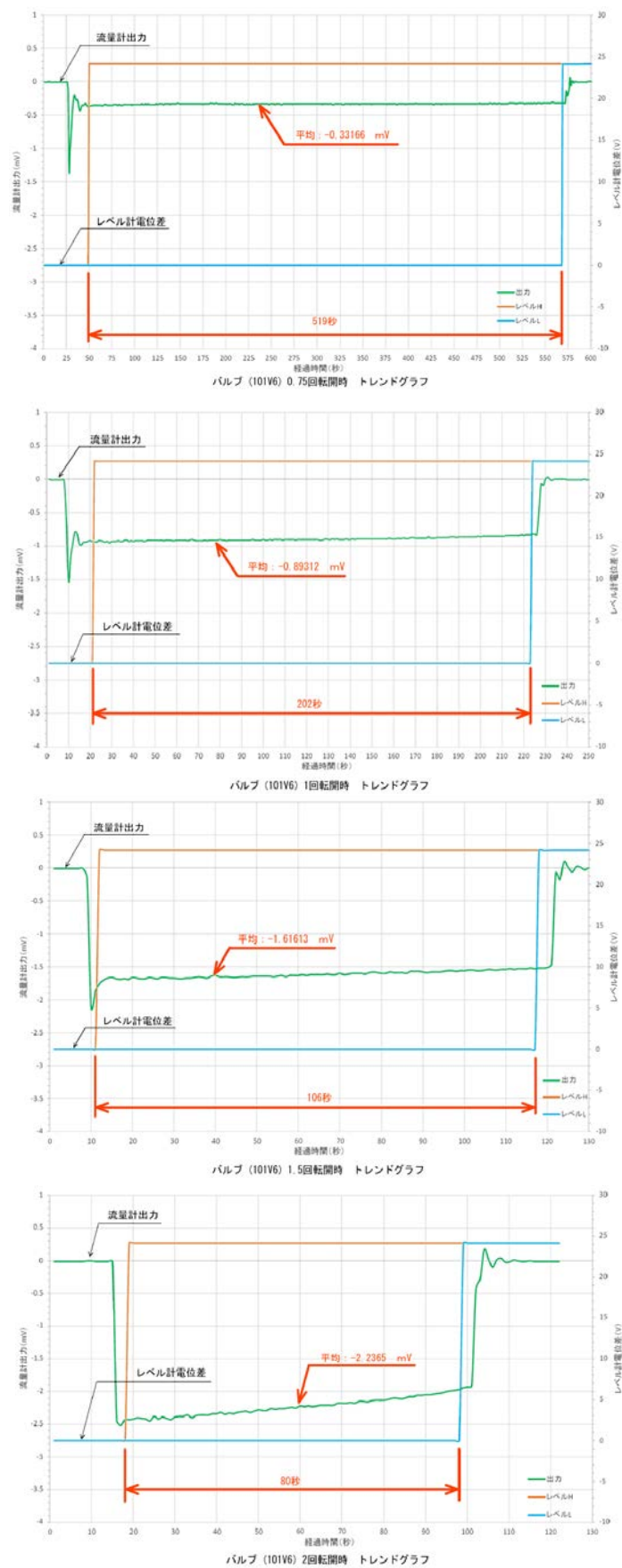


Fig. 3.3.2 Trend graphs of calibration for the EMF.

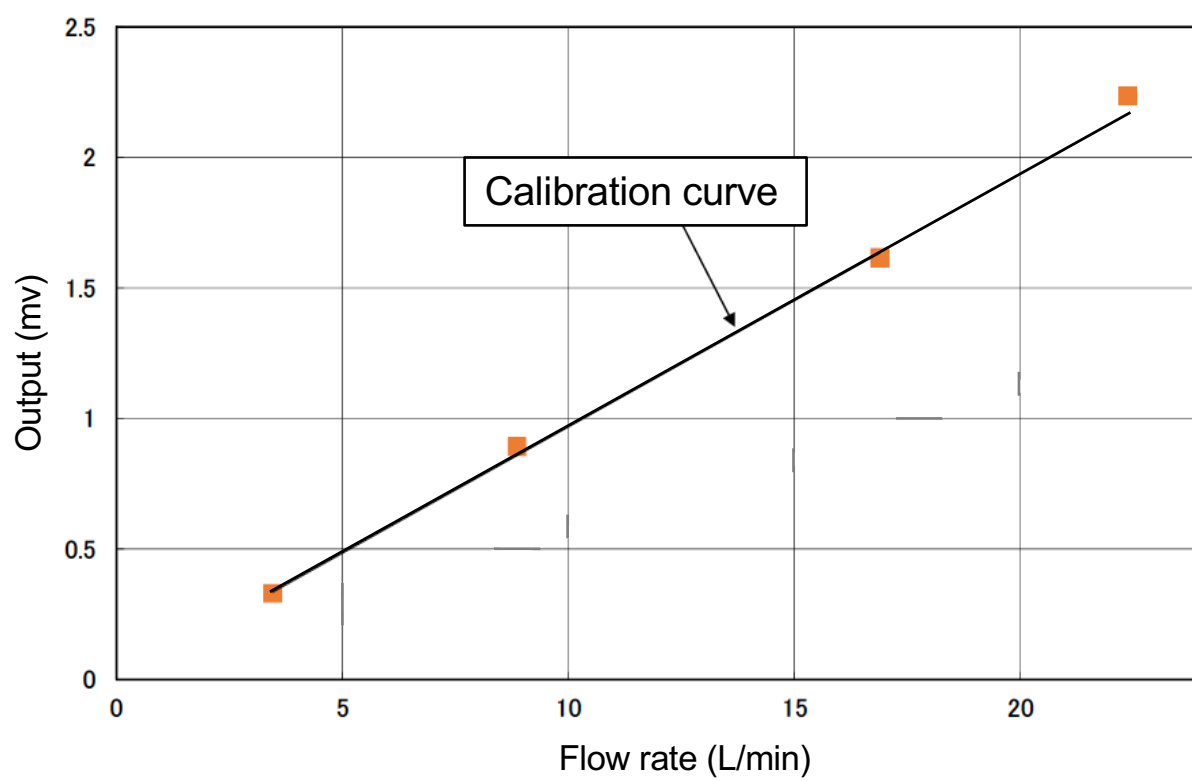


Fig. 3.3.3 Calibration curve of the EMF.

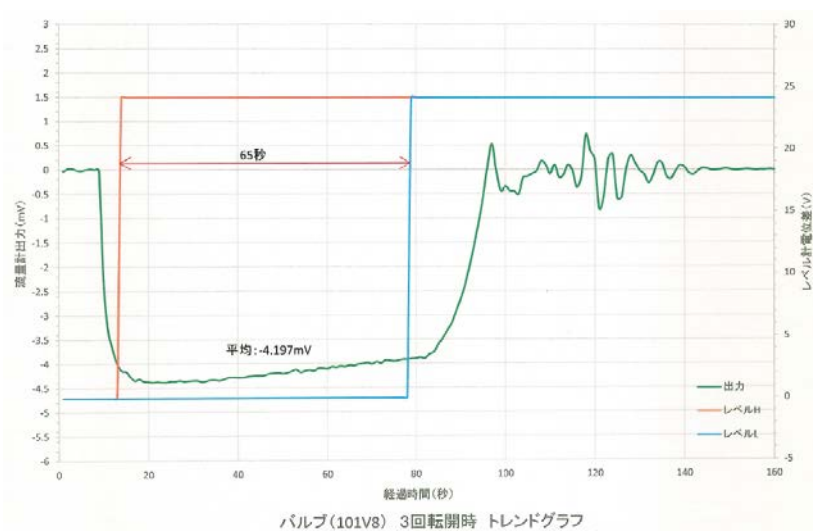
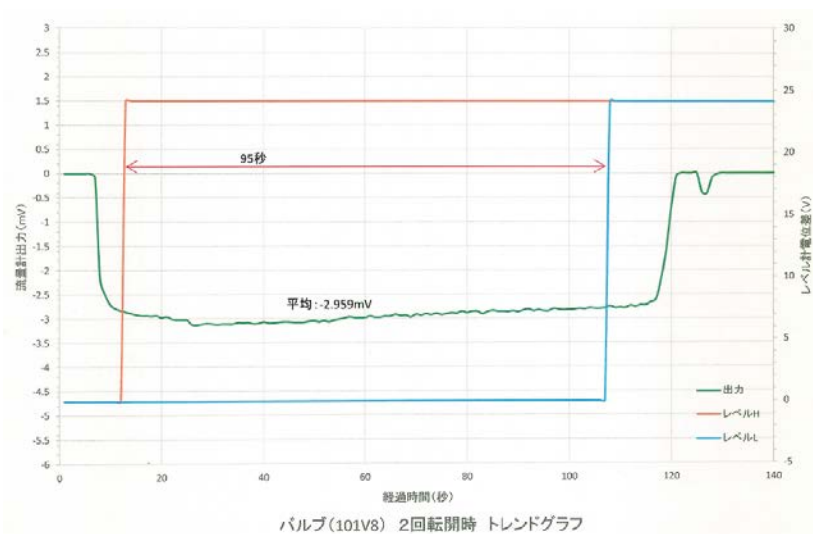
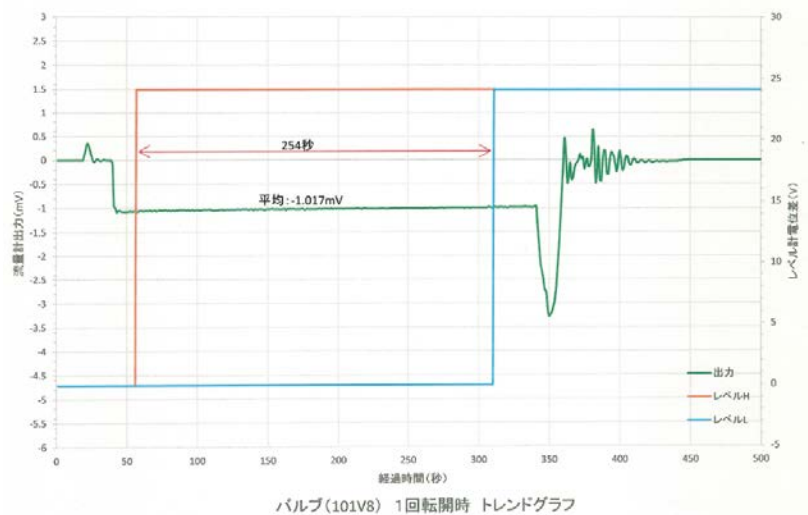


Fig. 3.3.4 Trend graphs of calibration for the EMF2.

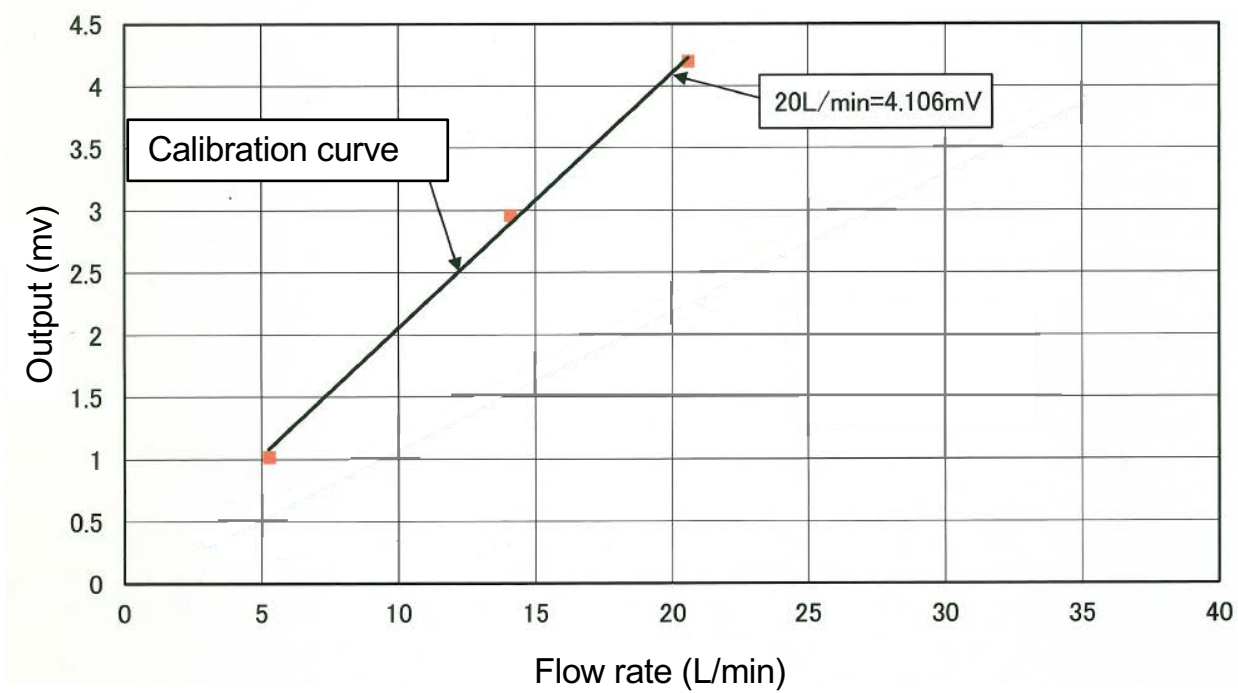


Fig. 3.3.5 Calibration curve of the EMF2.

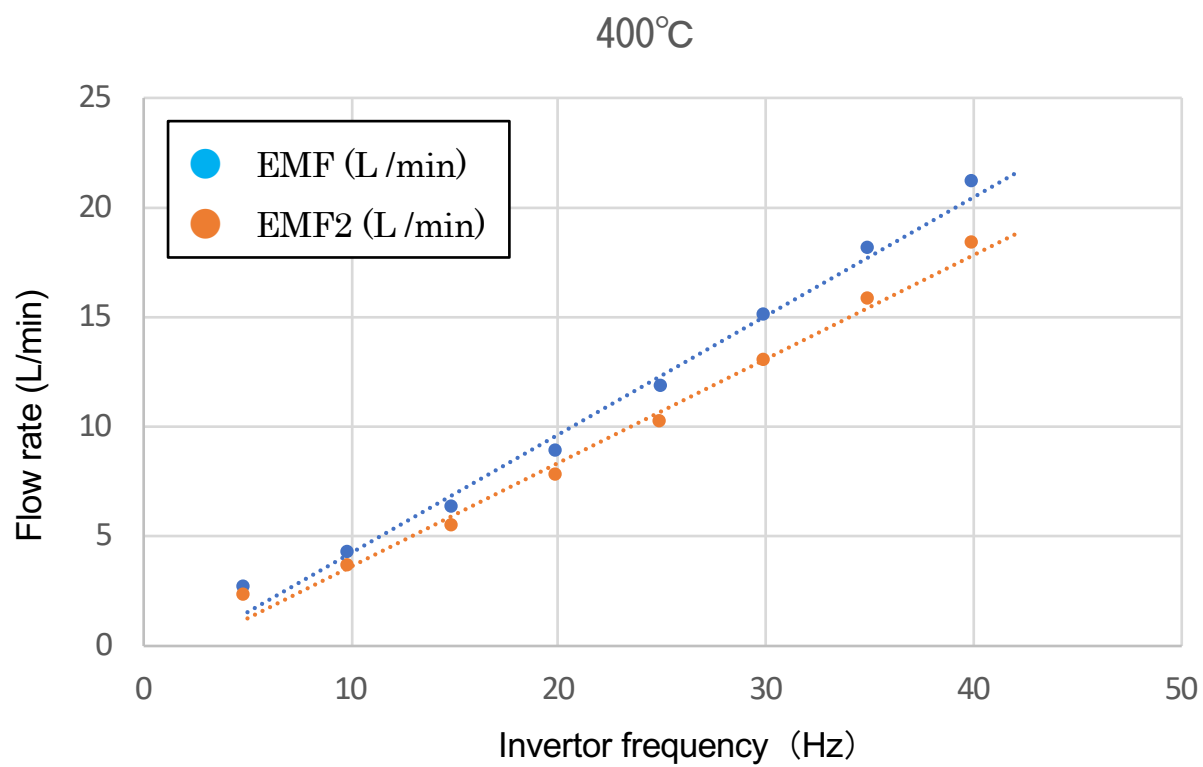


Fig. 3.3.6 Comparison for the output of the EMF and EMF2.

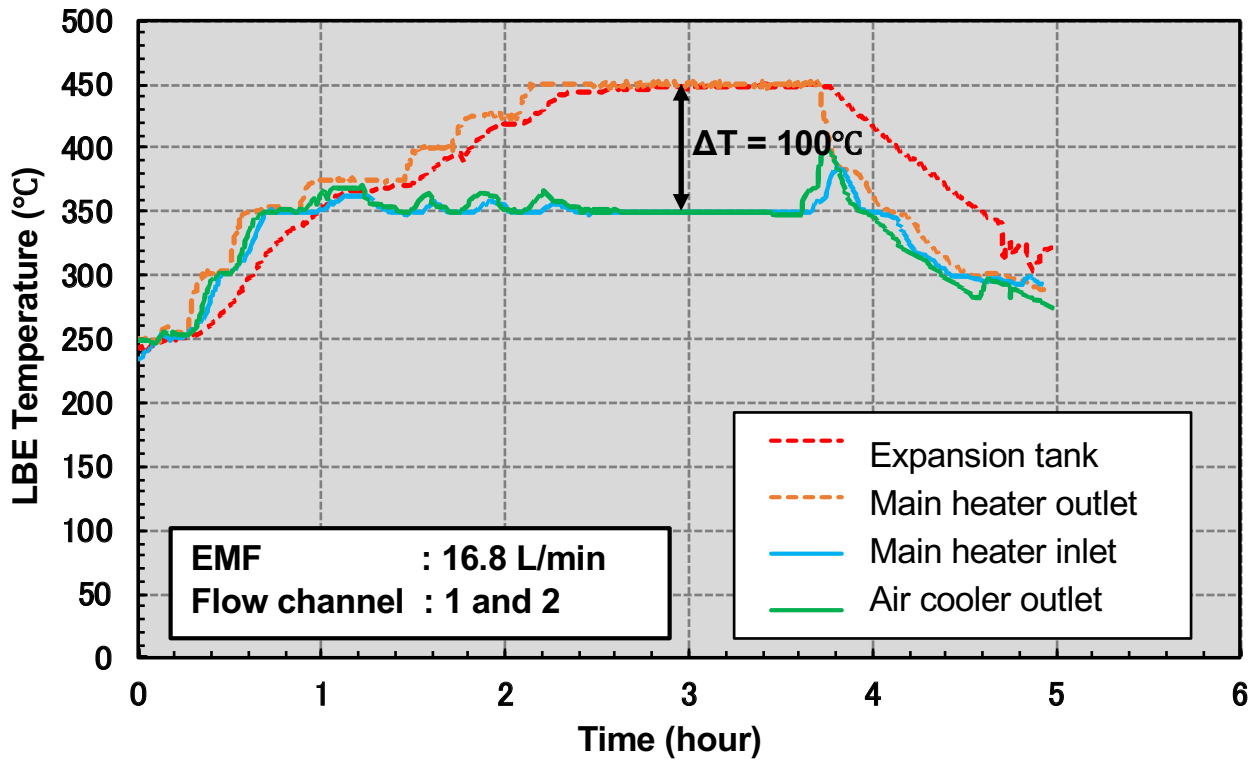


Fig. 3.3.7 Temperature trend graph for condition#1.

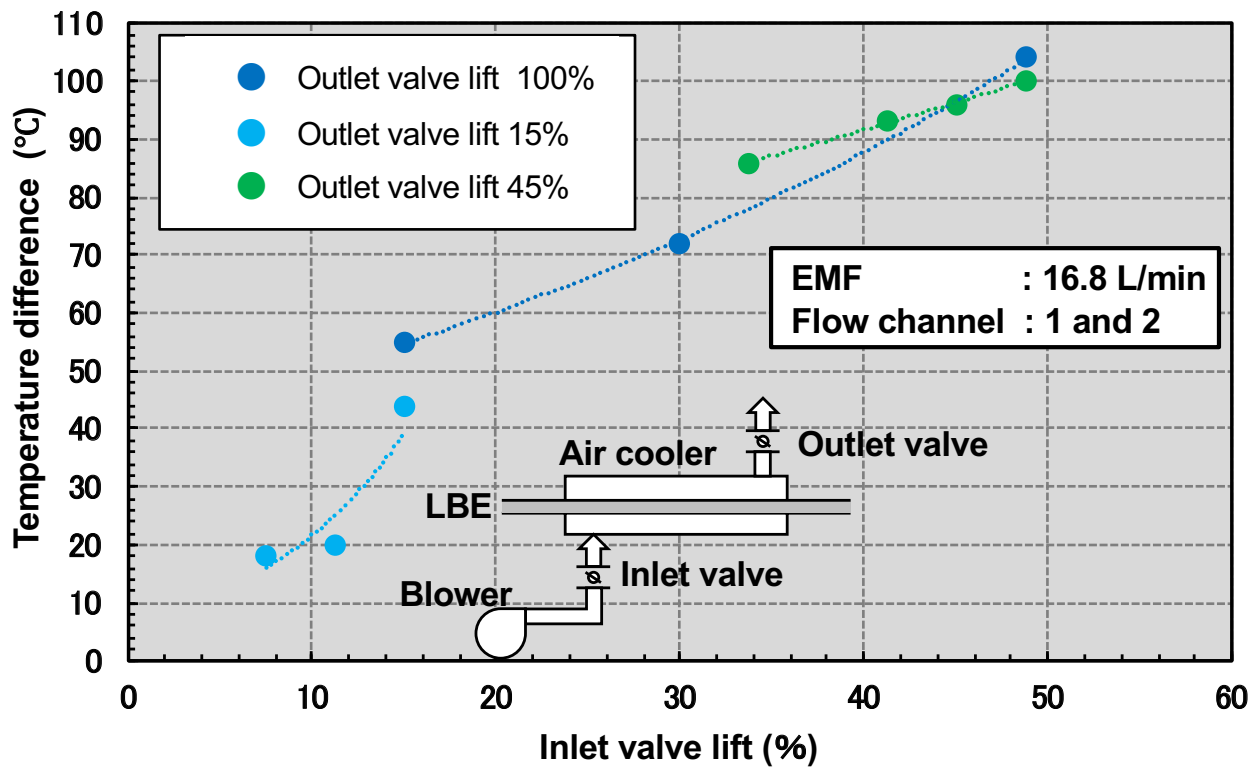


Fig. 3.3.8 The relationship between inlet valve lift of the air cooler and temperature difference for condition #1.

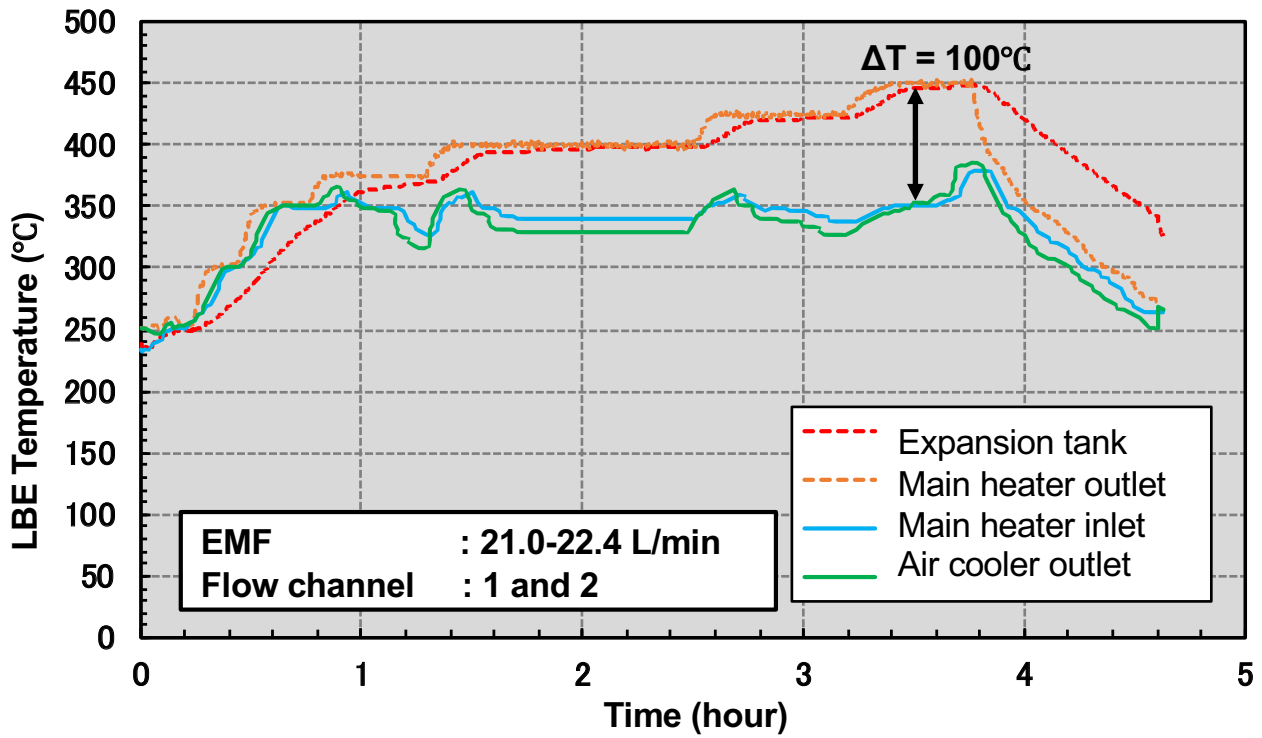


Fig. 3.3.9 Temperature trend graph for condition #2.

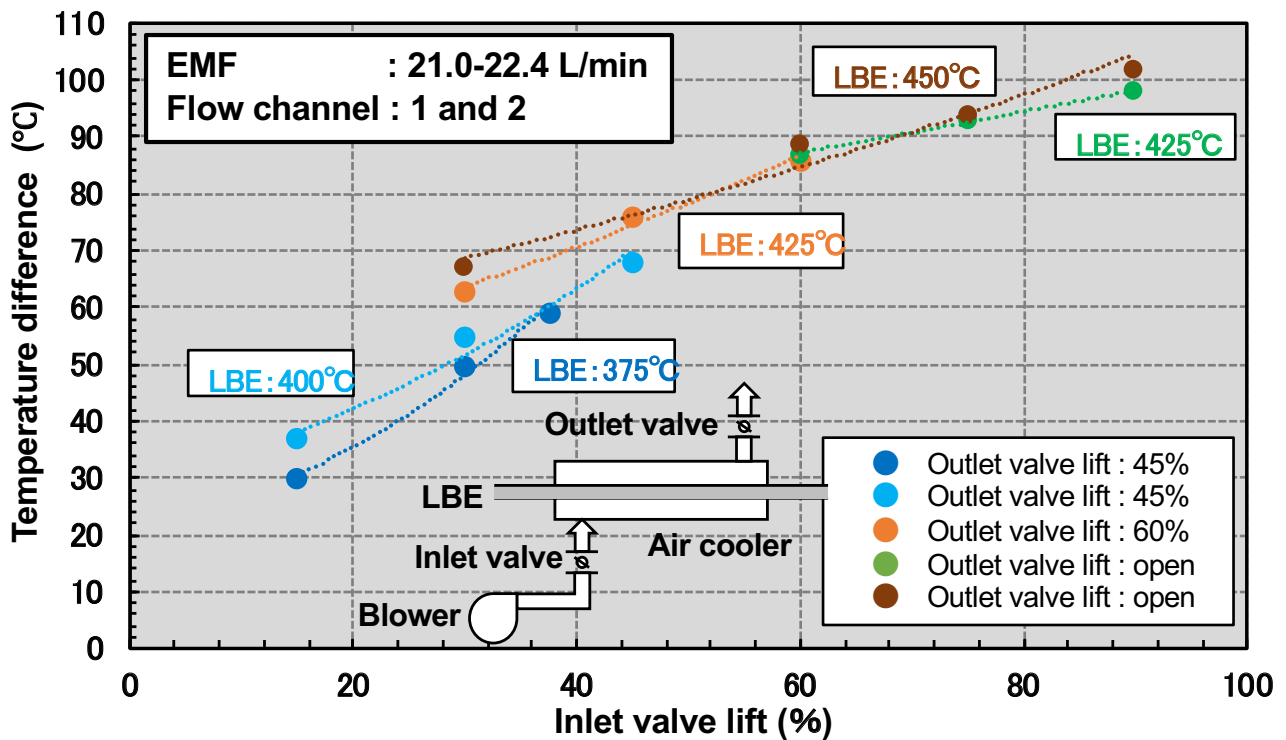


Fig. 3.3.10 The relationship between inlet valve lift of the air cooler and temperature difference for condition #2.

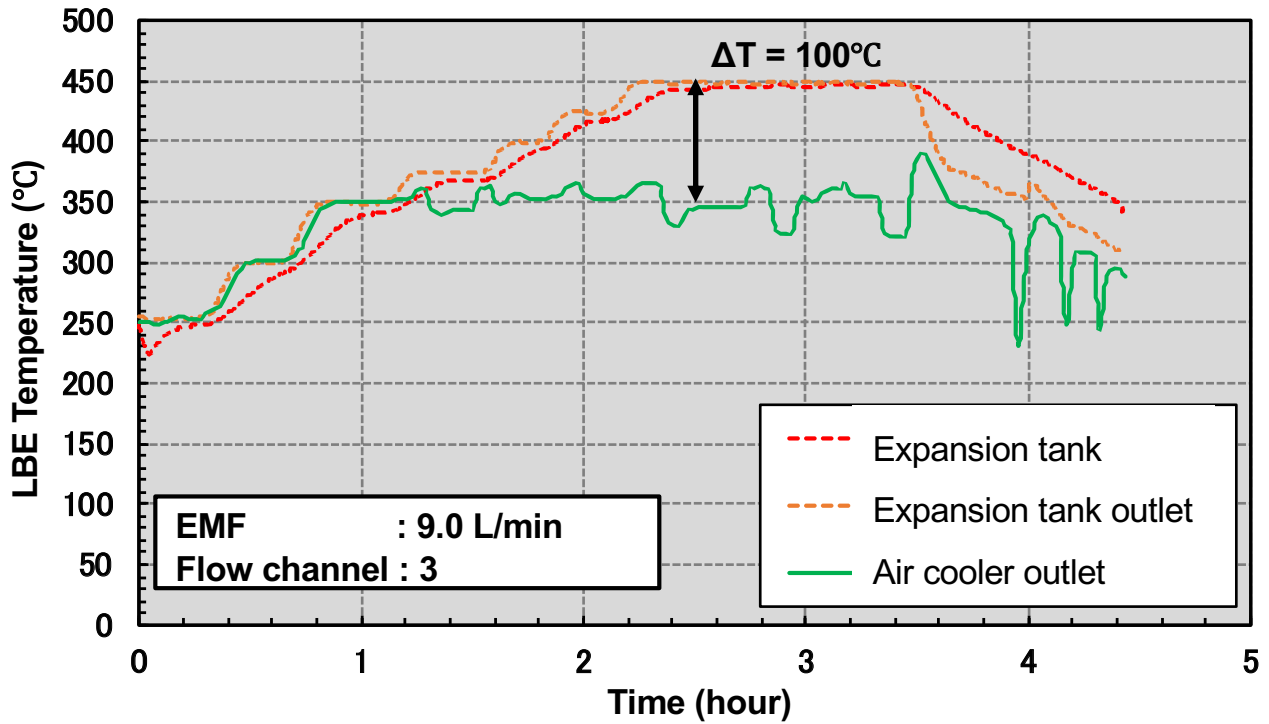


Fig. 3.3.11 Temperature trend graph for condition#3.

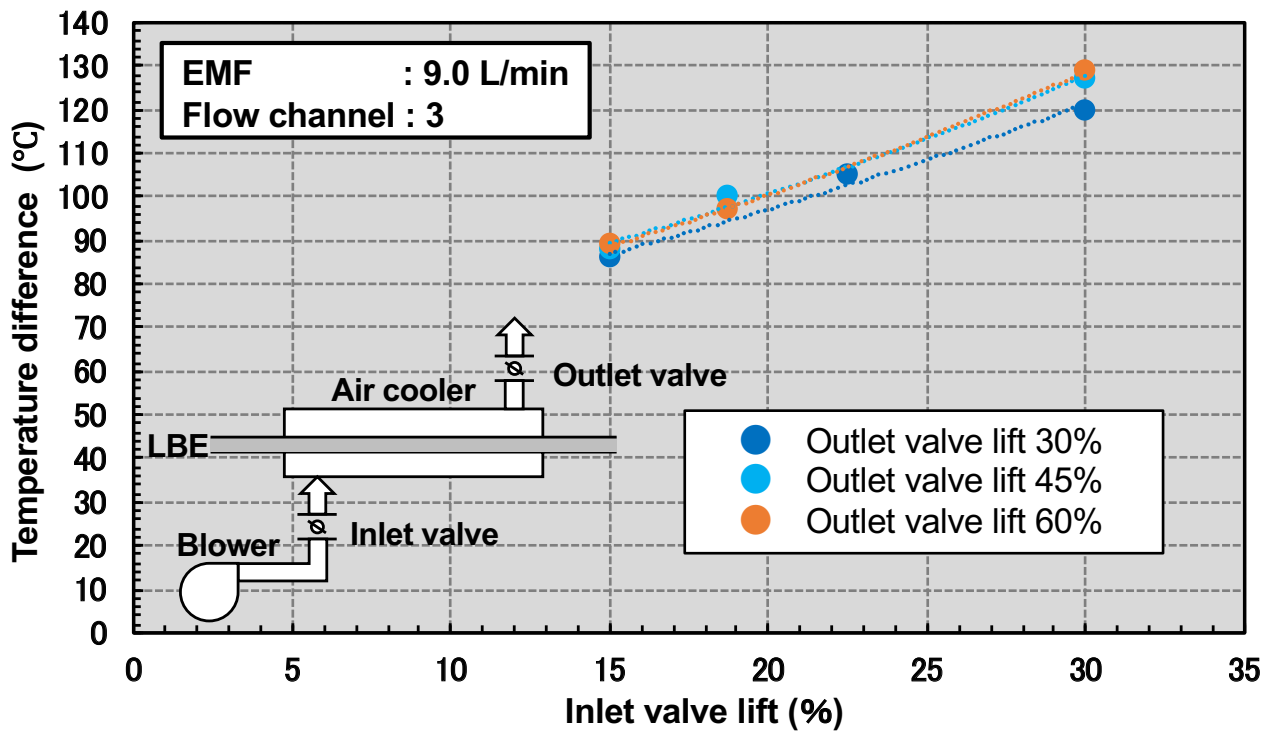


Fig. 3.3.12 The relationship between inlet valve lift of the air cooler and temperature difference for condition #3.

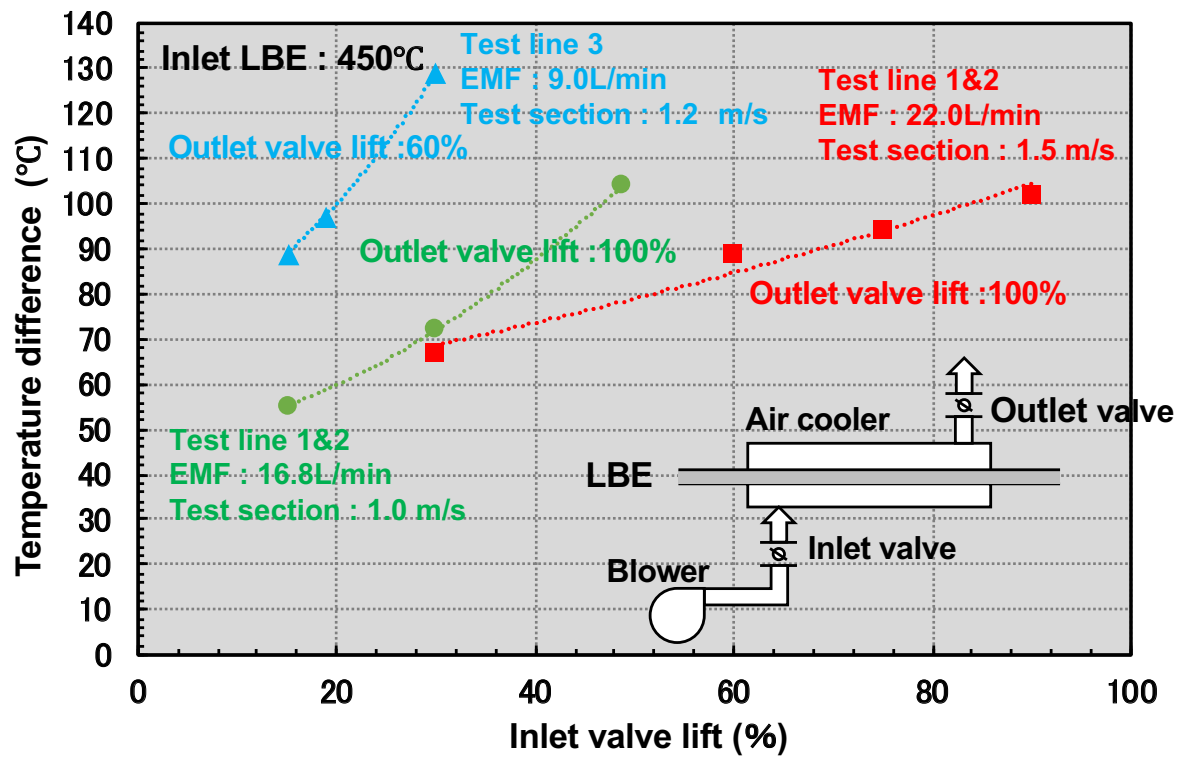


Fig. 3.3.13 Summary of the relationship between inlet valve lift of the air cooler and temperature difference.

4. 装置の現状と今後の予定

3.3 の試験結果より、450 °C 以下での試験では良好な結果が得られ、さらに以下の機能試験及び装置の改良を実施した。

- ・制御系の改善

腐食試験の効率化とデータの信頼性向上のため、酸素濃度制御の自動化や、温度の一括設定機能やデータのロギング機能の追加、超音波流量計と酸素センサー信号の取り込みなどの制御プログラムの改良を行った。

- ・流量計性能試験

超音波流量計を取付け、電磁流量計との比較試験を行った。前章で示した通り、電磁流量計の精度は十分ではないため、試験結果に応じ、より性能の高い流量計を基準に運転を行う。

- ・試験片交換の手順の確立

試験片交換ボックスを設置し、LBE をドレインせずにゴム製グローブを介して試験片ホルダーを交換するための作業手順を確立する。

- ・酸素センサー試験、酸素濃度制御試験

酸素濃度制御は高温運転、腐食試験に必須であり、既に酸素センサーを設置し、酸素濃度の手動制御試験を終了している。さらに酸素自動濃度制御試験を開始し、450 °C 以下では酸素濃度を安定的に制御できる見通しを得ている。試験の結果は別報にて報告予定である。

以上より、腐食試験実施に必要な試験を終えたため、2020 年 11 月から腐食試験を開始した。

- ・腐食試験

ADS 候補材料について腐食試験を行い、腐食量、腐食形態を評価する。なお、腐食試験は Campaign 1 (最高温度 450 °C、 $\Delta T=100$ °C、酸素濃度: 10^{-6} wt%、2,000 時間) 及び Campaign 2 (最高温度 450 °C、 $\Delta T=100$ °C、酸素濃度: 飽和濃度で予備酸化→ 10^{-6} wt%、2,000 時間) の 2 回の試験を実施済みで、Campaign 3 (最高温度 450 °C、 $\Delta T=100$ °C、酸素濃度: 10^{-6} wt%、7,000 時間) を 2021 年 10 月に開始した。

- ・長期運転時の安定性の確認

上記腐食試験を通じ、外気温等の変化の影響や長期運転時の各機器の安定性を確認する。

また、今後計画している機能試験は以下の通りである。

- ・高温での酸素濃度制御試験

上記腐食試験終了後、最高温度 500 °C 及び 550 °C で $\Delta T=100$ °C の条件で酸素濃度制御試験を行い、高温腐食試験を行うために必要なパラメータを取得する。

- ・LBE 流動下材料試験

LBE 流動下での材料試験を行い、F/M 鋼の液体金属脆化 (LME) 感受性を評価する。

- ・流れ加速腐食 (FAC) 試験

流れにより配管の腐食が加速される現象を理解するために、様々な形状の試験体を用い、流速や温度差をパラメータとした試験を行う。

5. まとめ

LBE 中の腐食データ取得や LBE 取扱いに関連した技術開発を行うため、OLLOCHI と名付けられた新しい腐食試験ループを製作した。LBE 無しでの調整運転、LBE 流量制御試験、温度差運転などを 450 °C 以下で実施し、良好な結果を得た。450 °C、2,000 時間の腐食試験は実施済みで、今後はより高温、長時間の腐食試験開始に向けて酸素濃度制御試験、高温運転試験等を実施する。

謝辞

OLLOCHI の製作において、装置本体の設計製作並びに現地据付工事にあたっては助川電気工業株式会社から多大な協力を得ました。装置の運転開始にあたっては J-PARC センター核変換ディビジョン施設利用開発セクション並びに物質・生命科学ディビジョン中性子源セクションの多くの方々に貴重な助言と協力を頂きました。本報告書の執筆にあたっては、J-PARC センター池田裕二郎氏に貴重な助言を頂きました。ここに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) K. Tsujimoto, H. Oigawa, K. Kikuchi, Y. Kurata, M. Mizumoto, T. Sasa, S. Saito, K. Nishihara, M. Umeno, and H. Takei, “Feasibility of Lead-bismuth-Cooled Accelerator-Driven System for Minor-Actinide Transmutation”, Nucl. Technol., Vol. 161, No.3, pp. 315-328, (2008).
- 2) J-PARC センター核変換ディビジョン, J-PARC 核変換実験施設技術設計書 -ADS ターゲット試験施設 (TEF-T) -, JAEA-Technology 2017-003 (2017), 539 p.
- 3) T. Wan and S. Saito, “Flow-Accelerated Corrosion of Type 316L Stainless Steel Caused by Turbulent Lead-Bismuth Eutectic Flow”, Metals 8, 627, (2018).
<https://doi.org/10.3390/met8080627>
- 4) H. Obayashi, M. Hirabayashi, T. Sasa, K. Ara, “Development of Plug-in Type Ultrasonic Flowmeter for Lead-Bismuth Spallation Target System”, Proceedings of 11th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics, Operation and Safety (NUTHOS-11), 10 p. (USB Flash Drive), (2016).
- 5) OECD NEA, Handbook on Lead-Bismuth Eutectic Alloy and Lead Properties, Materials Compatibility, Thermal-Hydraulics and Technologies; 2015 Edition; (2015).

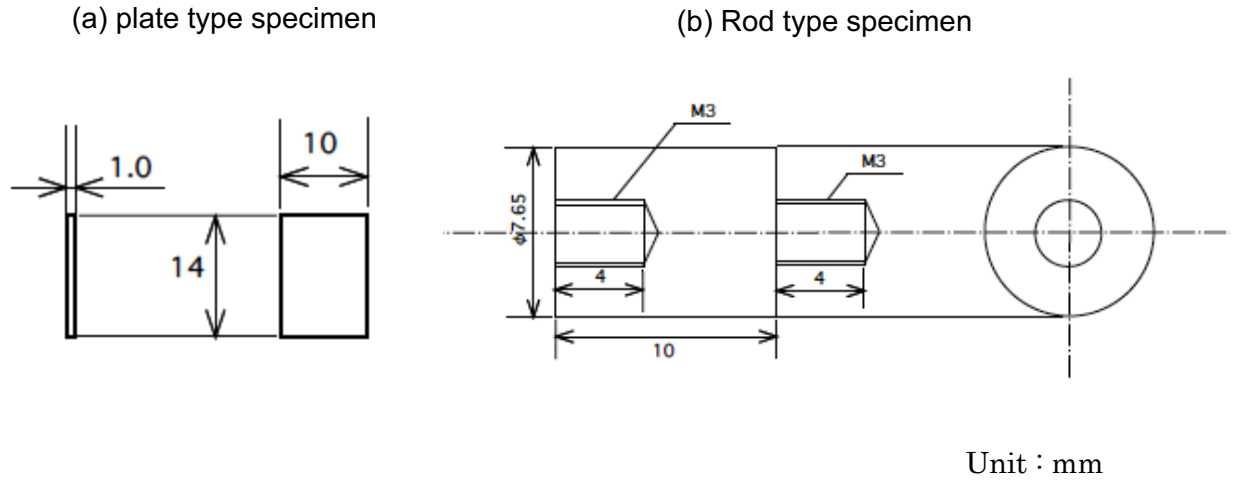


Fig. A.2 Drawing of the specimens for corrosion test.

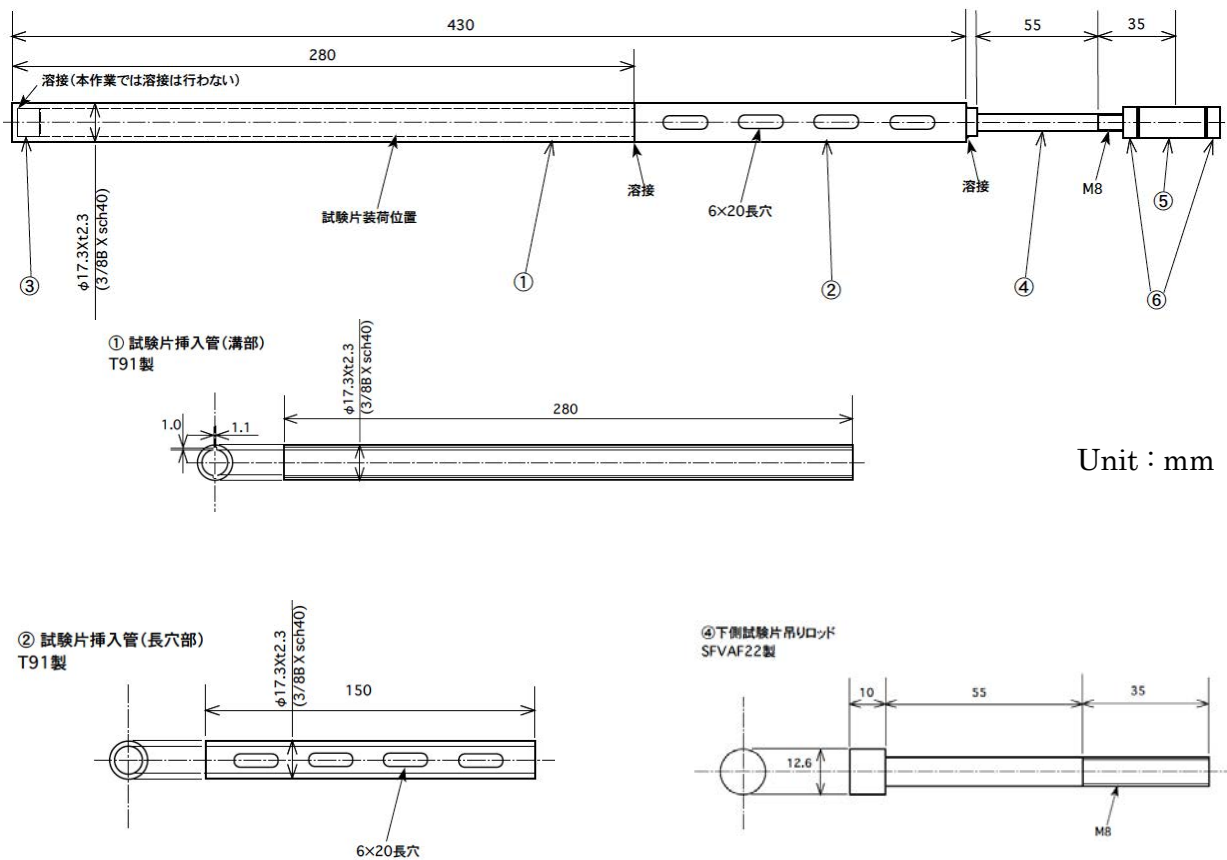


Fig. A.3 Drawing of the specimen holder.

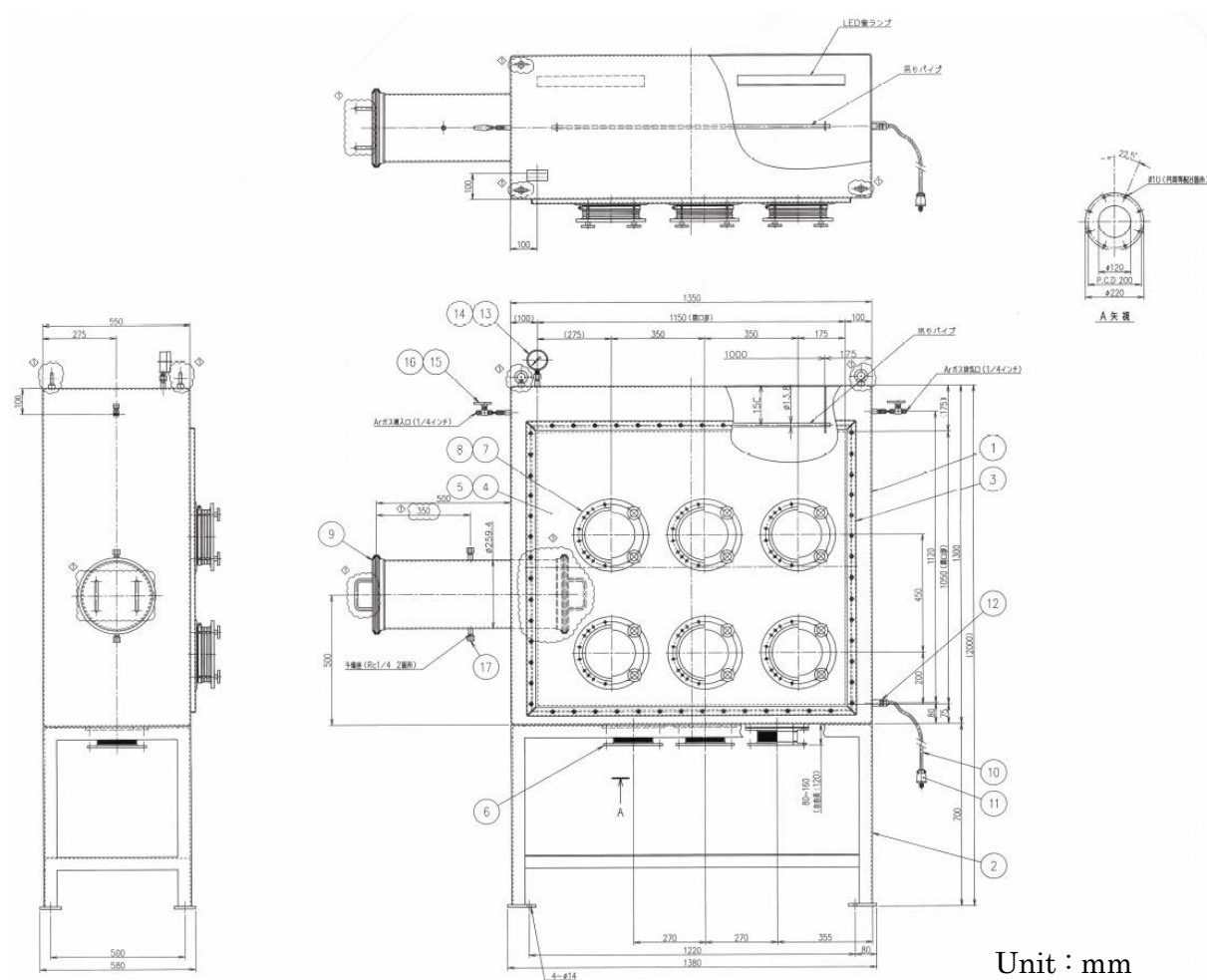


Fig. A.4 Drawing of the sample exchange box.

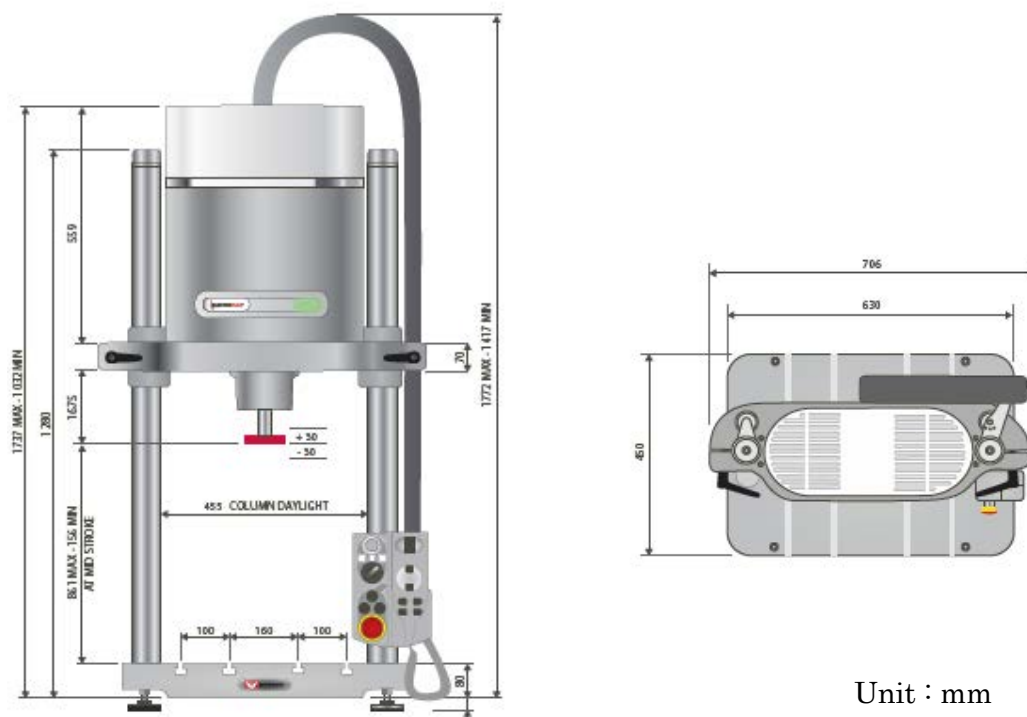


Fig. A.5 Drawing of the testing machine.

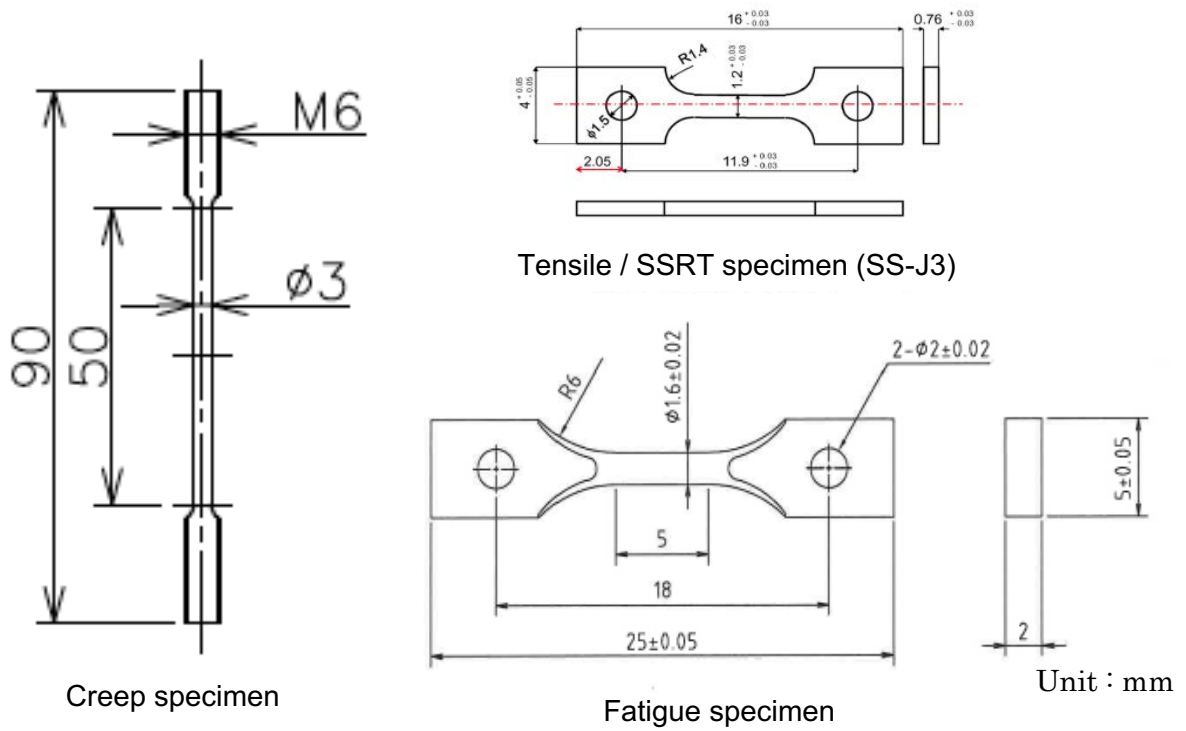


Fig. A.6 Drawing of the specimens for creep, tensile/SSRT and fatigue tests.

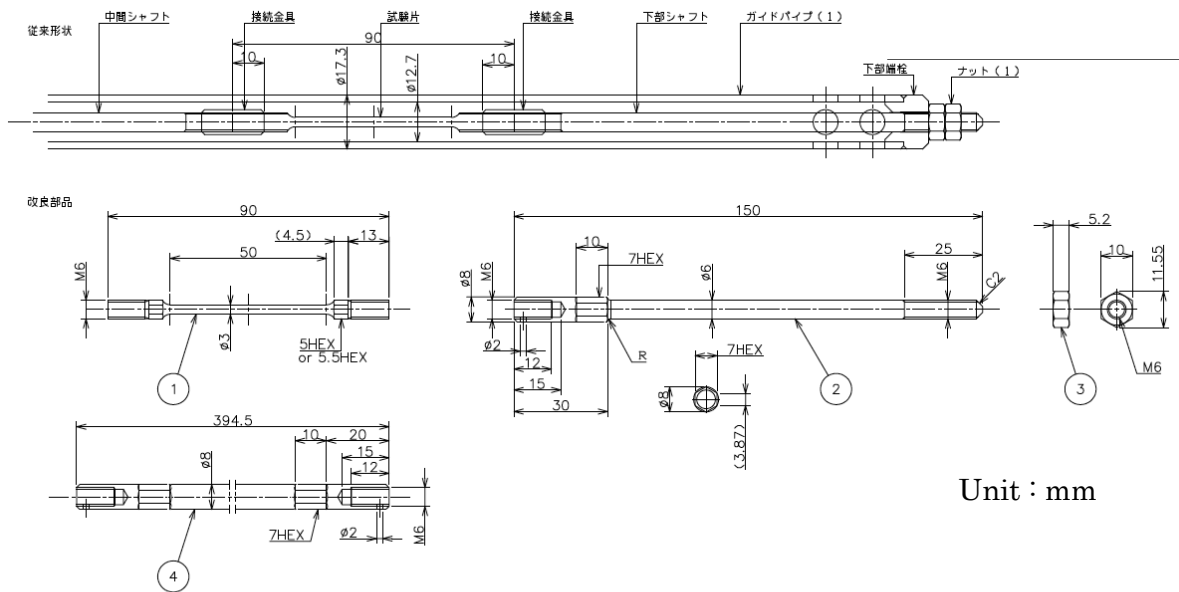


Fig. A.7 Drawing of the jigs for creep test.

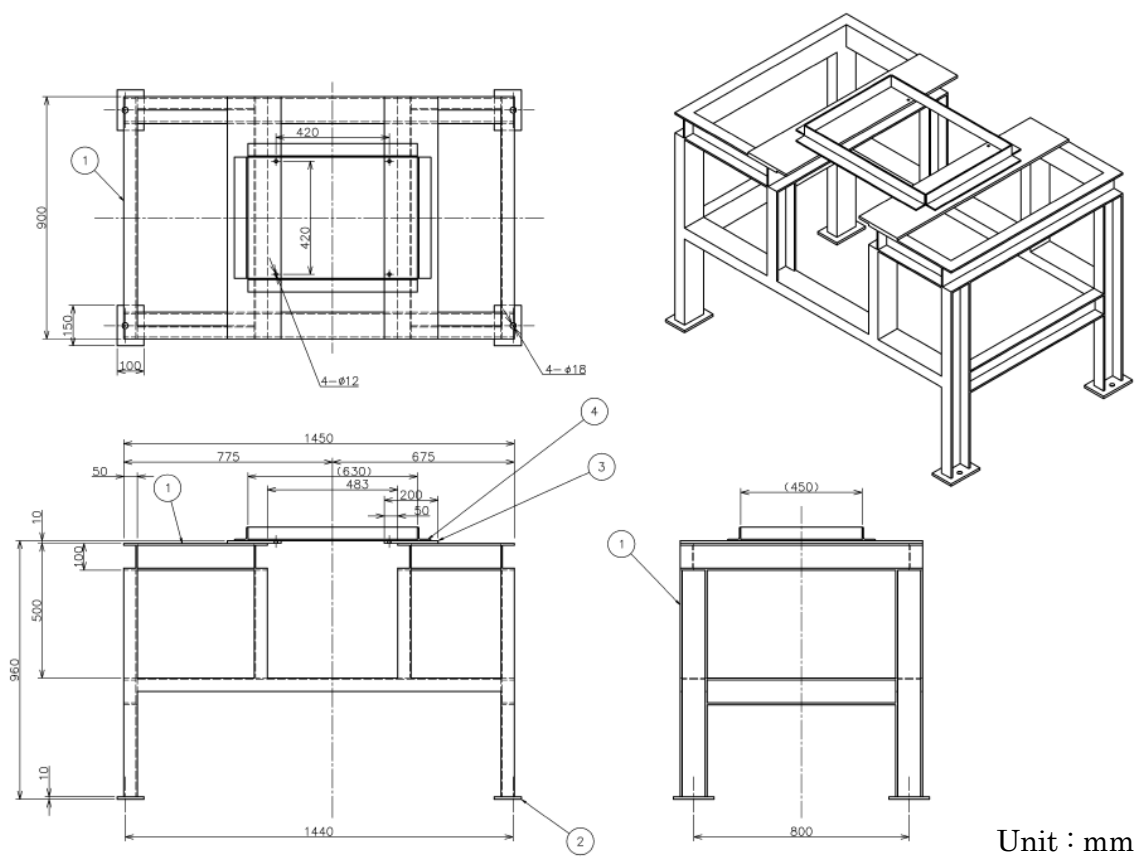


Fig. A.8 Drawing of the frame for testing machine.

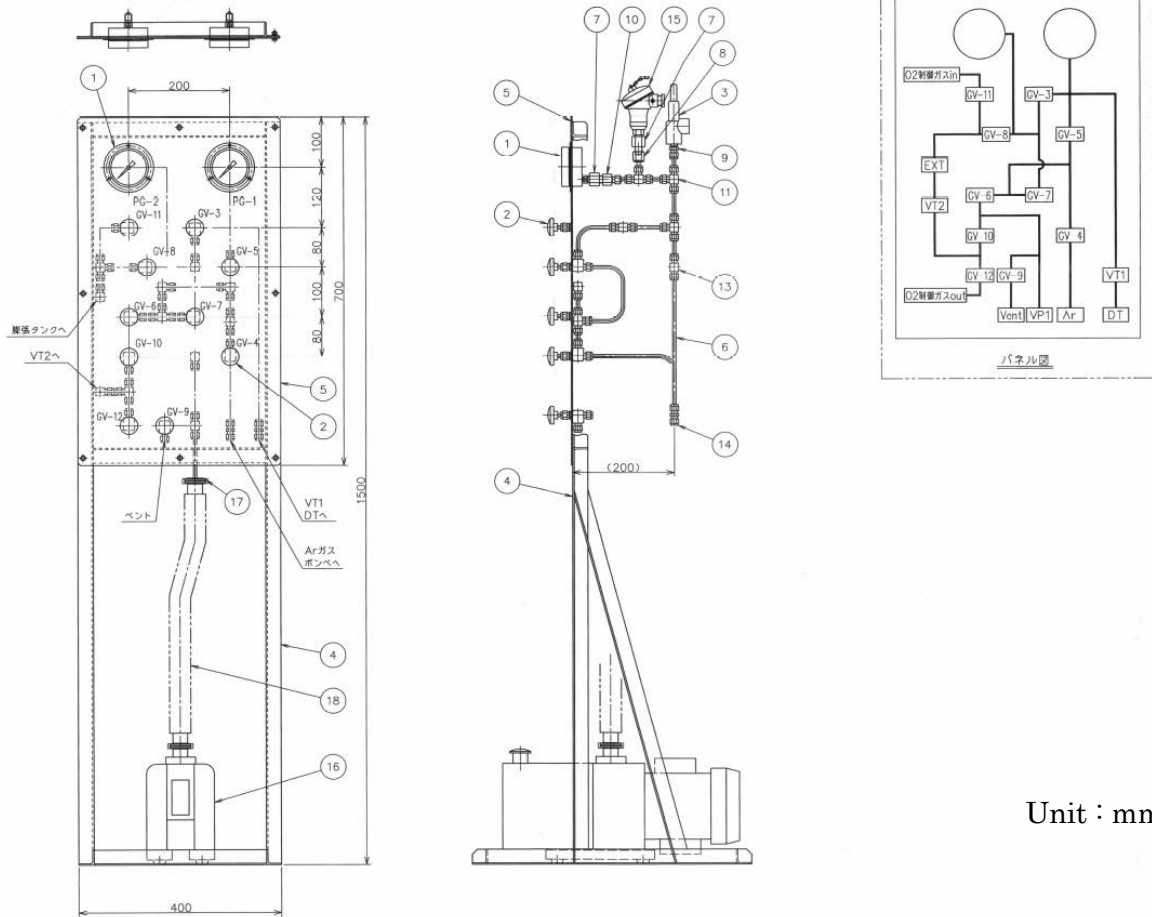


Fig. A.9 Drawing of the control panel for cover gas system.

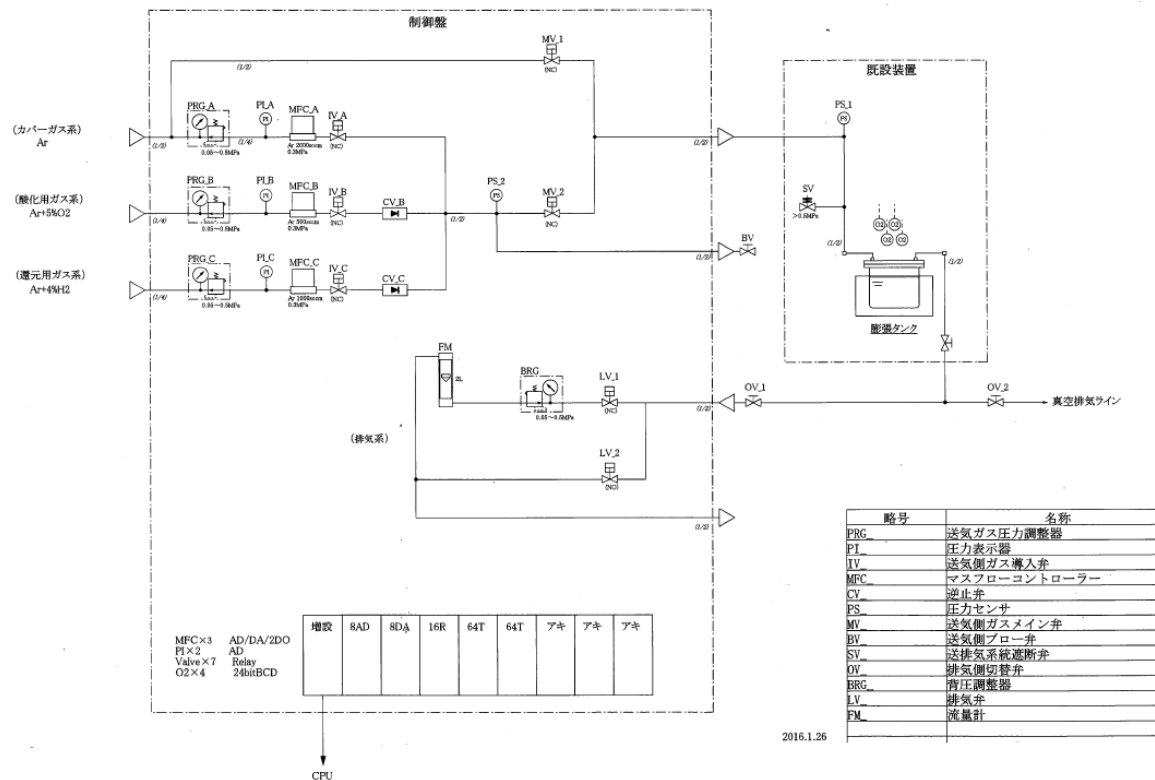
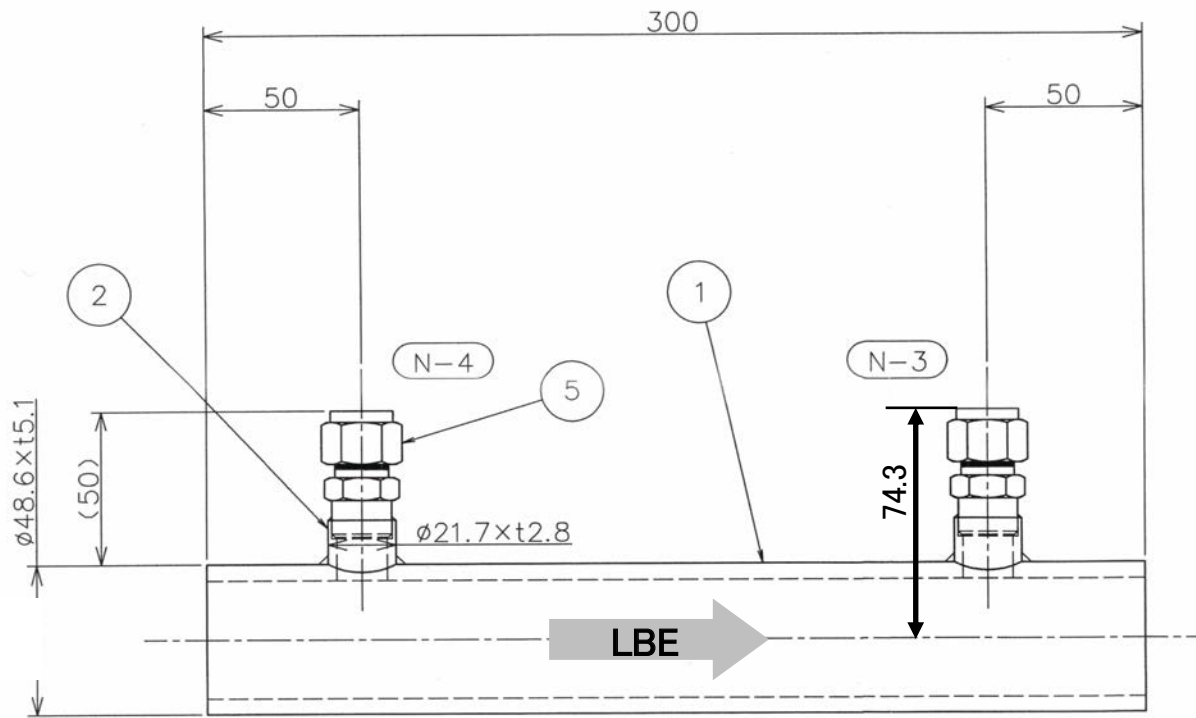
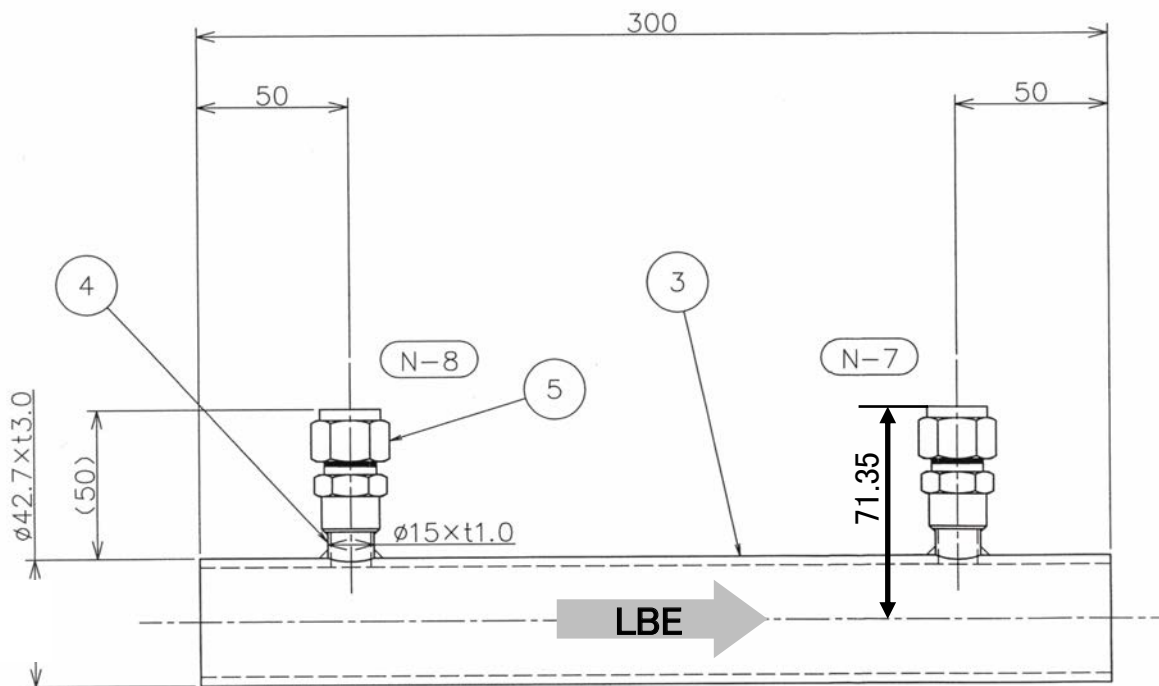


Fig. A.10 Flow-diagram of the gas supply system.



High temp. region

Unit : mm



Low temp. region

Unit : mm

Fig. A.13 Drawing of the mount for oxygen sensors.

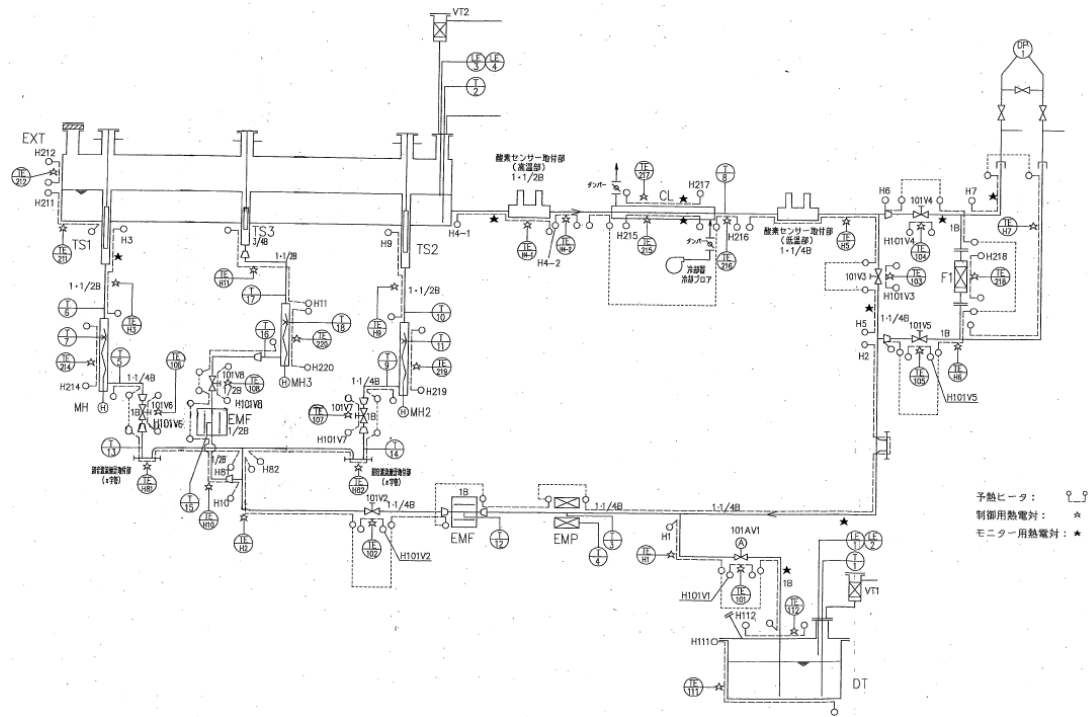


Fig. A.14 Drawing for pre-heaters and thermo-couples of OLLOCHI.

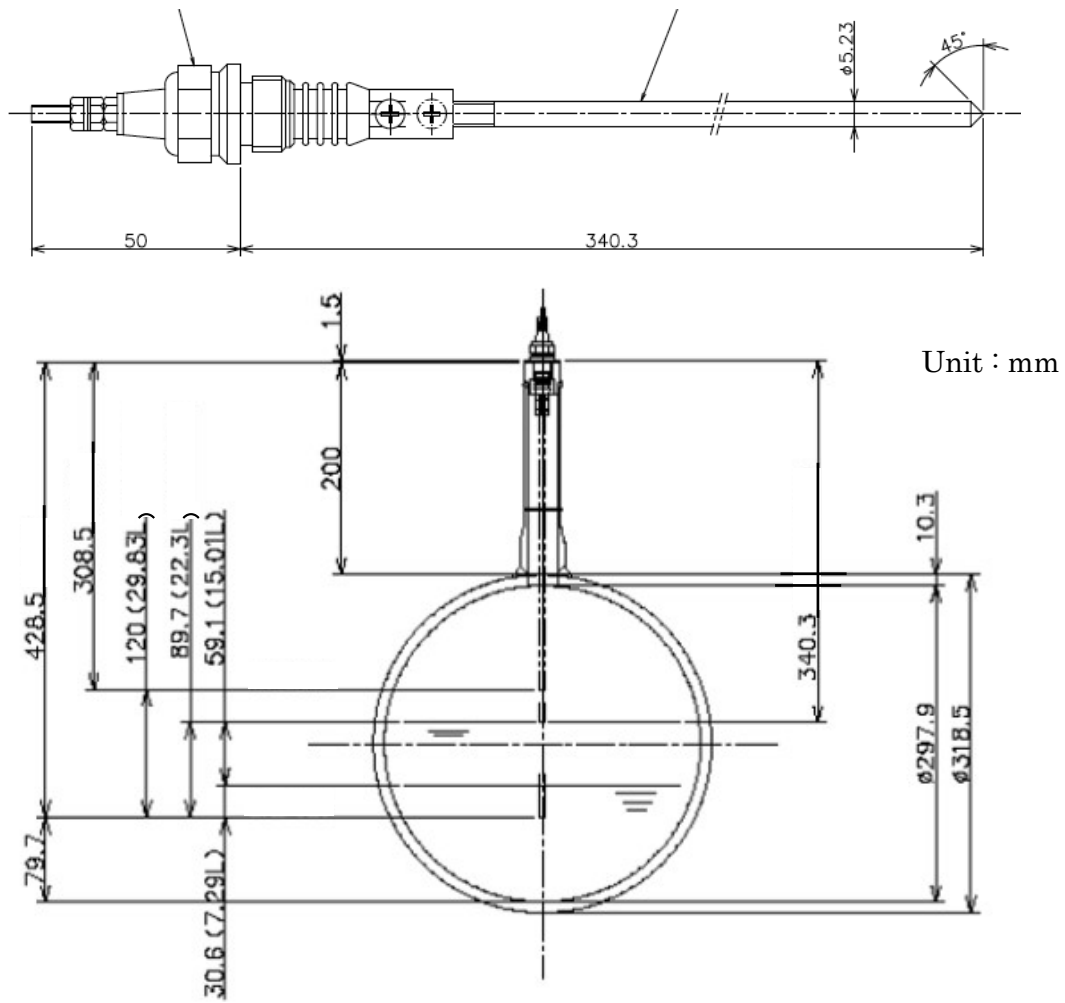
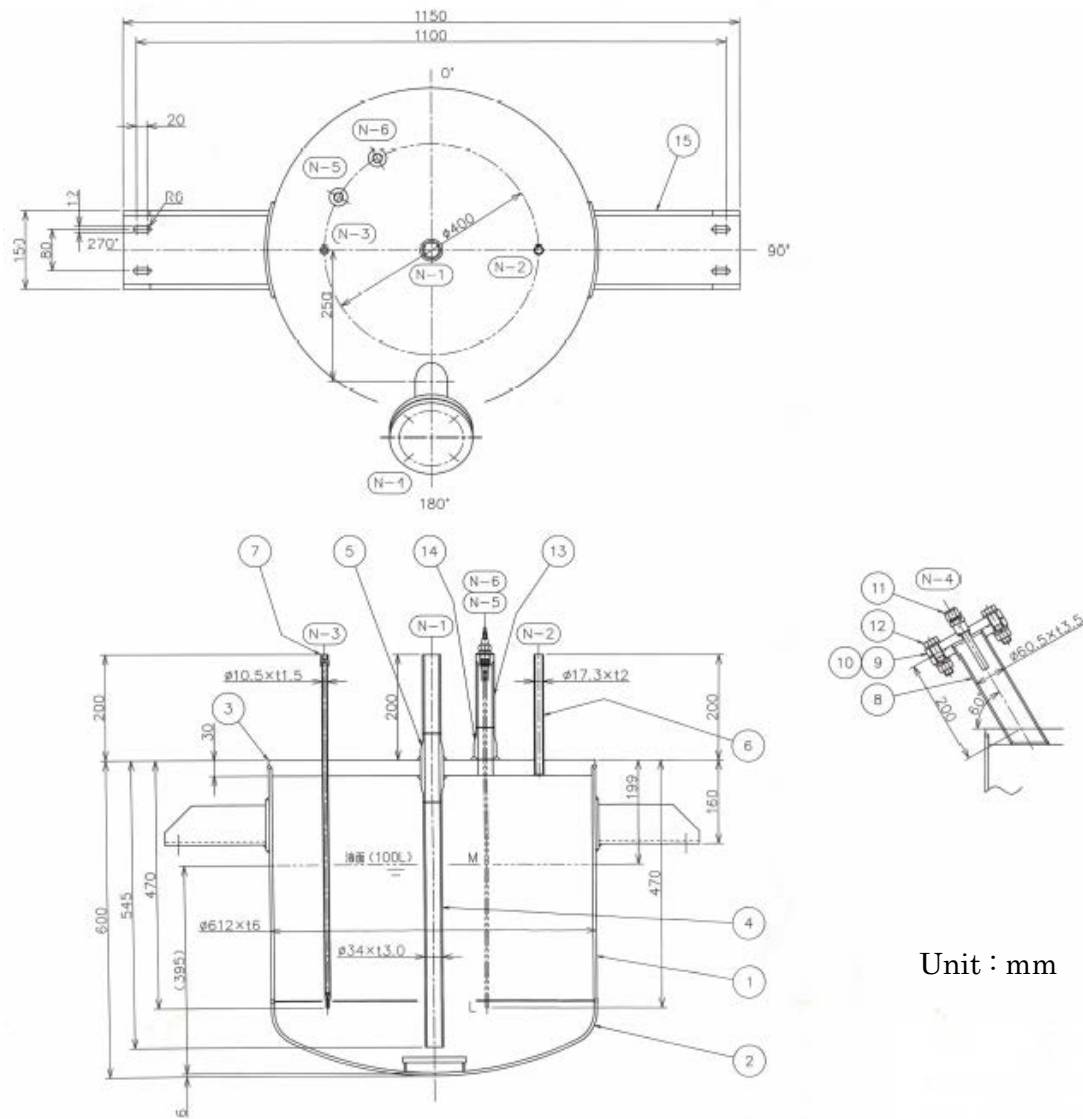
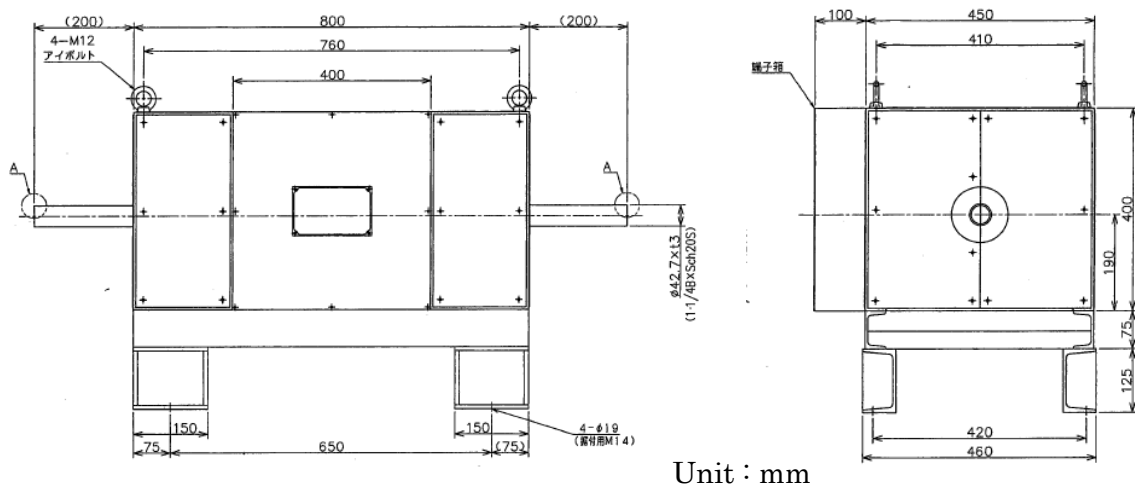


Fig. A.15 Drawing of level gauge in expansion tank of OLLOCHI.



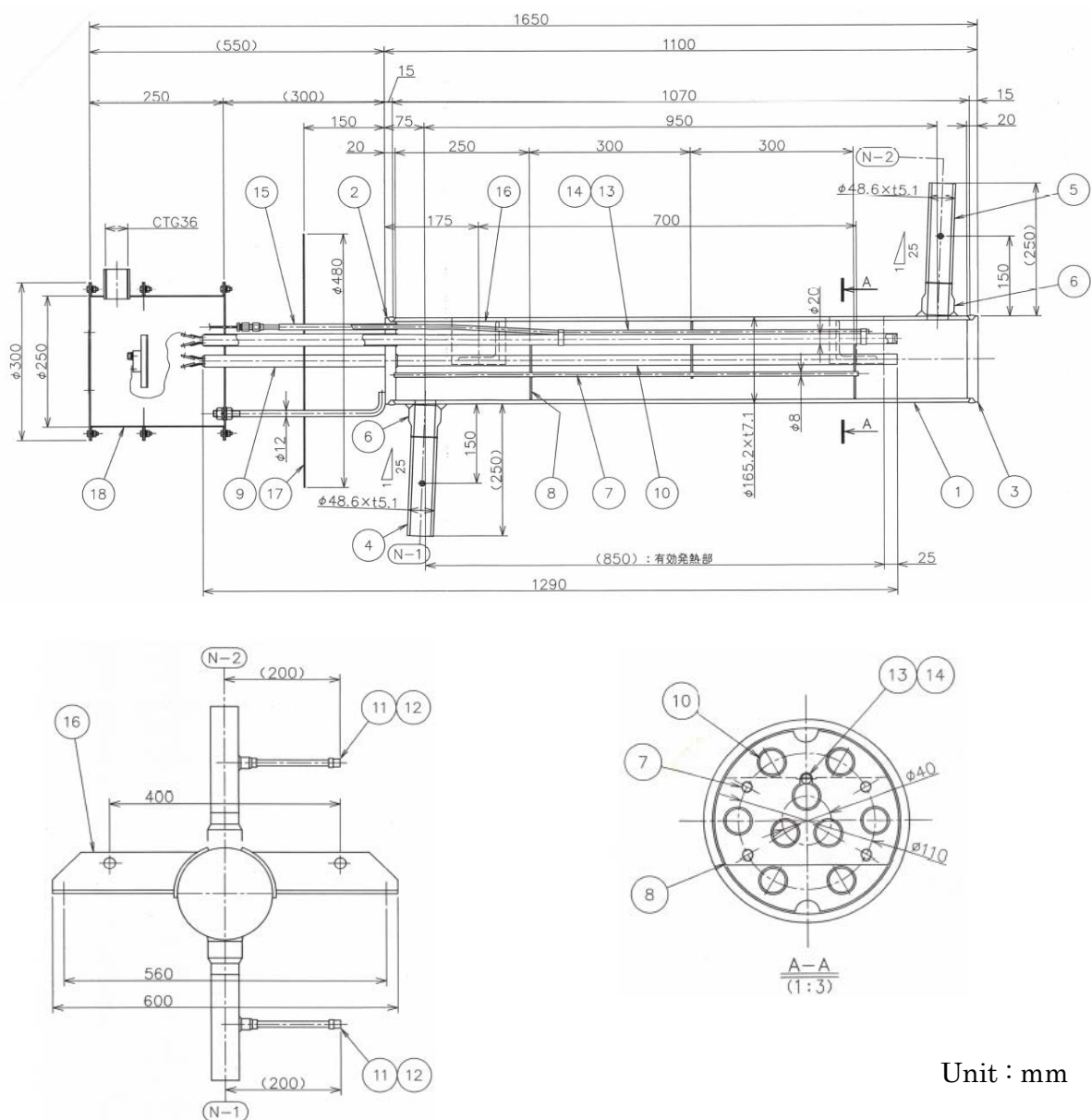
Unit : mm

Fig. A.16 Drawing of the drain tank.



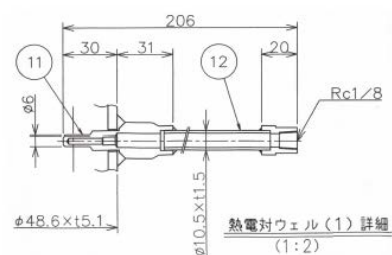
Unit : mm

Fig. A.17 Drawing of the EMP.



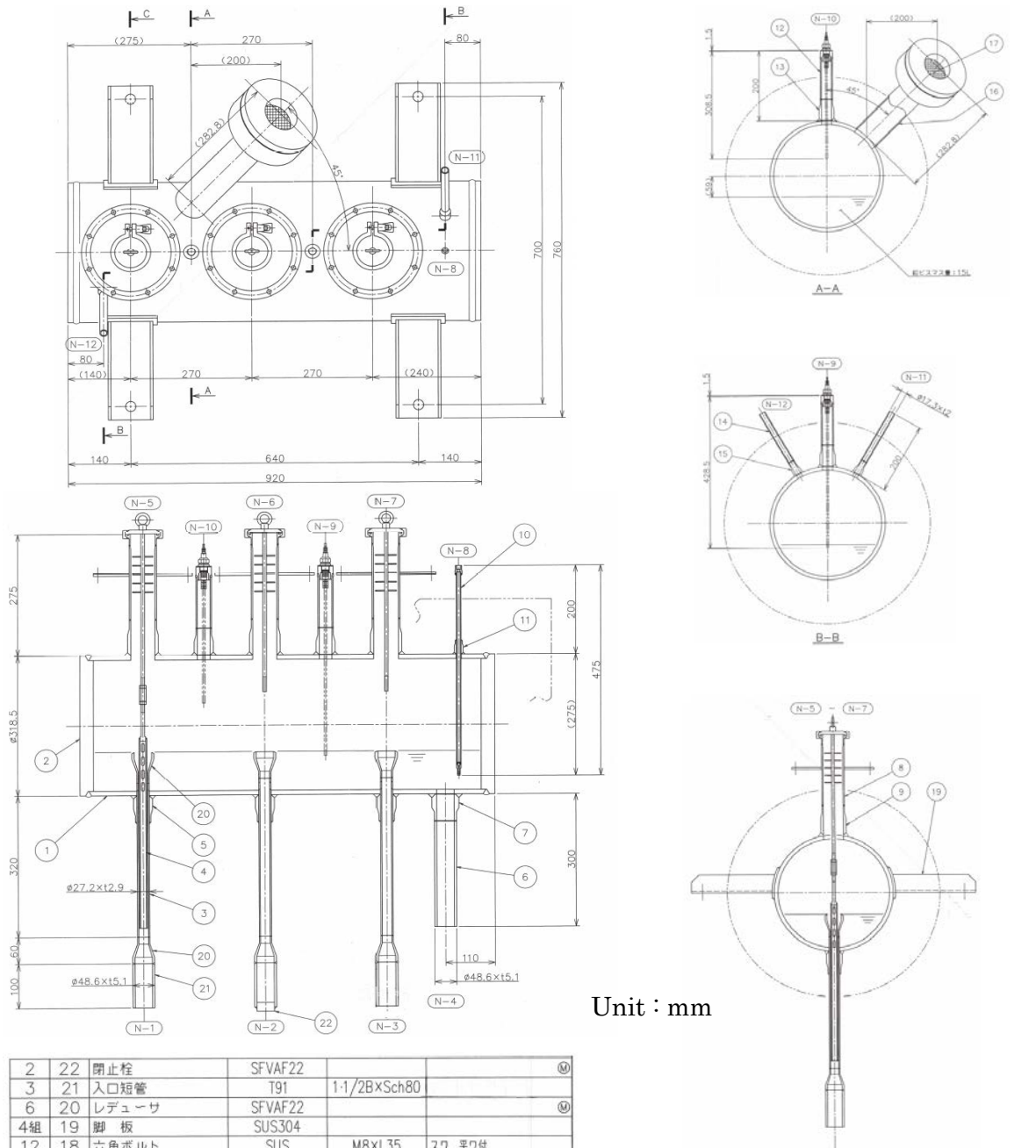
Unit : mm

1	18	端子箱	SUS304			
1	17	断熱材カバー	SUS304			
4	16	脚 板	SUS304			
1	15	熱電対スリーブ	SUS316TP-S		φ11.2x1.4	㊟
1	14	熱電対ウエル(2)	SUS316		φ8.0x1.5	㊟
1	13	通気温防止用熱電対	シース・SUS316	φ3.2、K		
2	12	熱電対ウエル(1)	SUS316		φ10.5x1.5	㊟
2	11	熱電対ウエル(1) 先端	SFVAF22			㊟
9	10	ヒータエレメント	シース・SUS316	φ20		㊟
9	9	ヒータスリーブ	SUS316TP-S		φ23.2x1.4	㊟
3	8	バツフル板	SUS316		t3	㊟
4	7	ロッド	SUS316			㊟
2	6	管 台	SFVAF22			㊟
1	5	出口ノズル	T91	1:1/2BxSch80		
1	4	入口ノズル	T91	1:1/2BxSch80		
1	3	平板(2)	SFVAF22			㊟
1	2	平板(1)	SFVAF22			㊟
1	1	胴	SPA24	6BxSch40		㊟
異数	品番	部 品 名	材 質	寸法・記事	備 考	



ノズル 一覧				
ノズルNo.	用 途	材 質	ノズル寸法	数量
N-1	入口ノズル	T91	1・1/2B×Sch80	1
N-2	出口ノズル	T91	1・1/2B×Sch80	1

Fig. A.18 Drawing of the main heater.

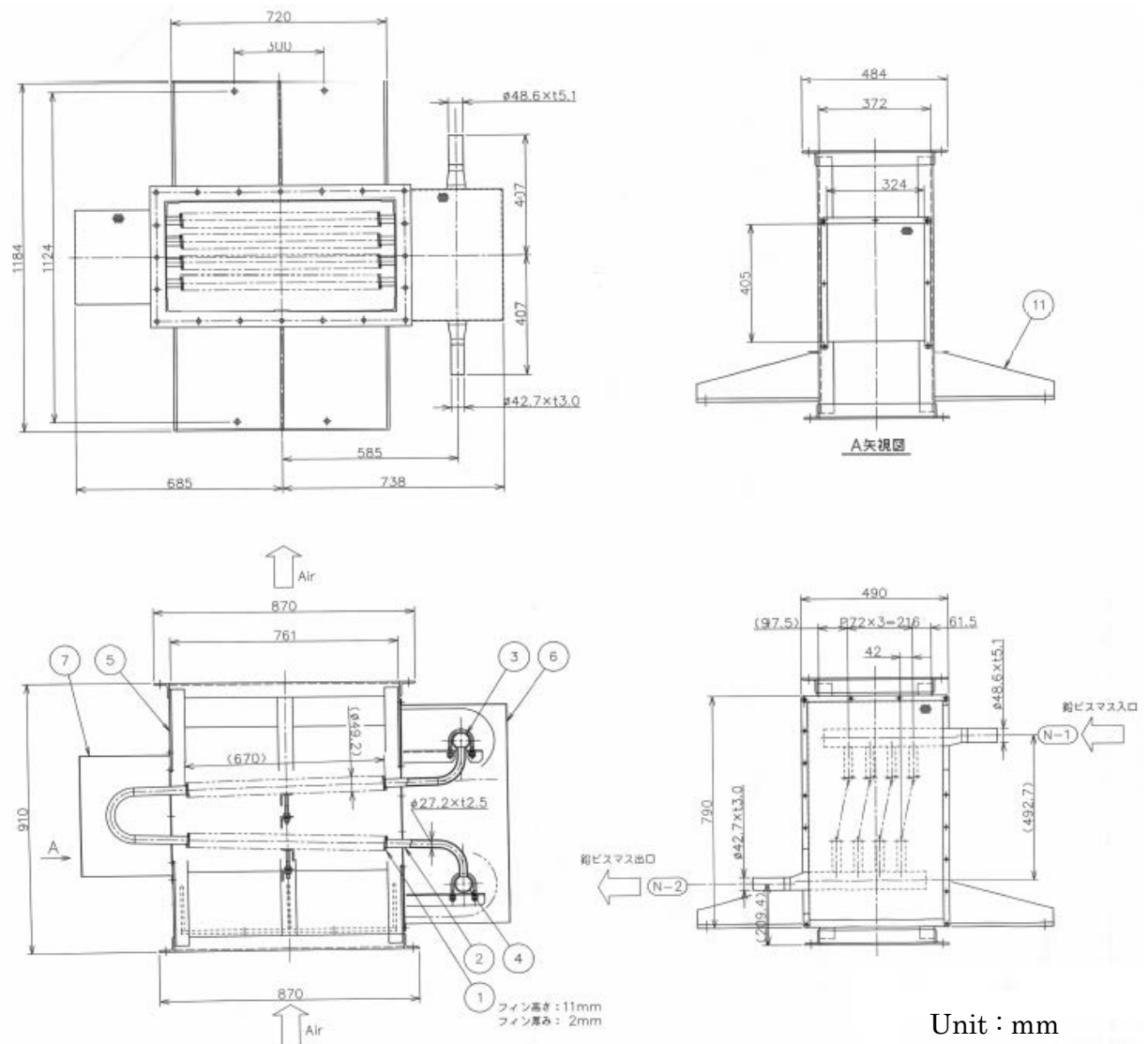


Unit : mm

2	22	閉止栓	SFVAF22			④
3	21	入口短管	T91	1-1/2B×Sch80		
6	20	レデューサ	SFVAF22			④
4組	19	脚板	SUS304			
12	18	六角ボルト	SUS	M8×L35	スワ、平ワ付	
1組	17	覗き窓	強化ガラス			
1	16	覗き窓ノズル	SUS316TP-S	2-1/2B×Sch10S		④
2	15	管台(6)	SUS316			④
2	14	Arガスノズル	SUS316TP-S	3/8B×Sch20S		④
2	13	管台(5)	SUS316			④
2	12	レベル計ノズル	SUS316TP-S	1B×Sch20S		④
1	11	管台(4)	SUS316			④
1	10	熱電対ウェル	SUS316			④
3	9	管台(3)	SUS316			④
3	8	試験片取出レノズル	SUS316TP-S	2B×Sch20S		④
1	7	管台(2)	SFVAF22			④
1	6	出口ノズル	T91	1-1/2B×Sch80		
3	5	管台(1)	SFVAF22			④
2	4	試験片挿入管	T91	DC-010-965		
3	3	入口ノズル	T91	3/4B×Sch40		
2	2	平板	SFVAF22			④
1	1	胴	STPA24	12B×Sch40		④
異数	品番	部品名	材質	寸法・記事	備考	

ノズル一覧				
ノズルNo.	用途	材質	ノズル寸法	数量
N-1	Pb-Bi入口ノズル(1)	T91	1-1/2B×Sch80	1
N-2	Pb-Bi入口ノズル(2)	T91	1-1/2B×Sch80	1
N-3	Pb-Bi入口ノズル(3)	T91	1-1/2B×Sch80	1
N-4	Pb-Bi出口ノズル	T91	1-1/2B×Sch80	1
N-5	試験片取出レノズル(1)	SUS316TP	2B×Sch20S	1
N-6	試験片取出レノズル(2)	SUS316TP	2B×Sch20S	1
N-7	試験片取出レノズル(3)	SUS316TP	2B×Sch20S	1
N-8	熱電対ウェル	SUS316TP	1/8B×Sch20S	1
N-9	レベル計(M)ノズル	SUS316TP	1B×Sch20S	1
N-10	レベル計(H)ノズル	SUS316TP	1B×Sch20S	1
N-11	Arガス入口ノズル	SUS316TP	3/8B×Sch20S	1
N-12	Arガス出口ノズル	SUS316TP	3/8B×Sch20S	1

Fig. A.19 Drawing of the expansion tank.



2	11	脚 板	SUS304		
	10	欠 番			
	9	欠 番			
	8	欠 番			
1	7	カバー (2)	SUS304	t1、打抜き鋼板	
1	6	カバー (1)	SUS304	t1、打抜き鋼板	
一式	5	ダクト	SUS304		
1	4	出口側ヘッダー	SUS316LTP-S	2B×Sch40	
1	3	入口側ヘッダー	STPA24	2B×Sch40	
一式	2	配管	SUS316TP-S	3/4B×Sch20S	
8	1	フィンチューブ	フィン: SUS304 ▼: SUS316TP-S	3/4B×Sch20S、t2	
異数	品番	部 品 名	材 質	図 番	備 考

ノズル一覧				
ノズルNo.	用 途	材 質	ノズル寸法	数量
N-1	入口ノズル	T91	1-1/2B×Sch80	1
N-2	出口ノズル	SUS316LTP	1-1/4B×Sch20S	1

Fig. A.20 Drawing of the air cooler.

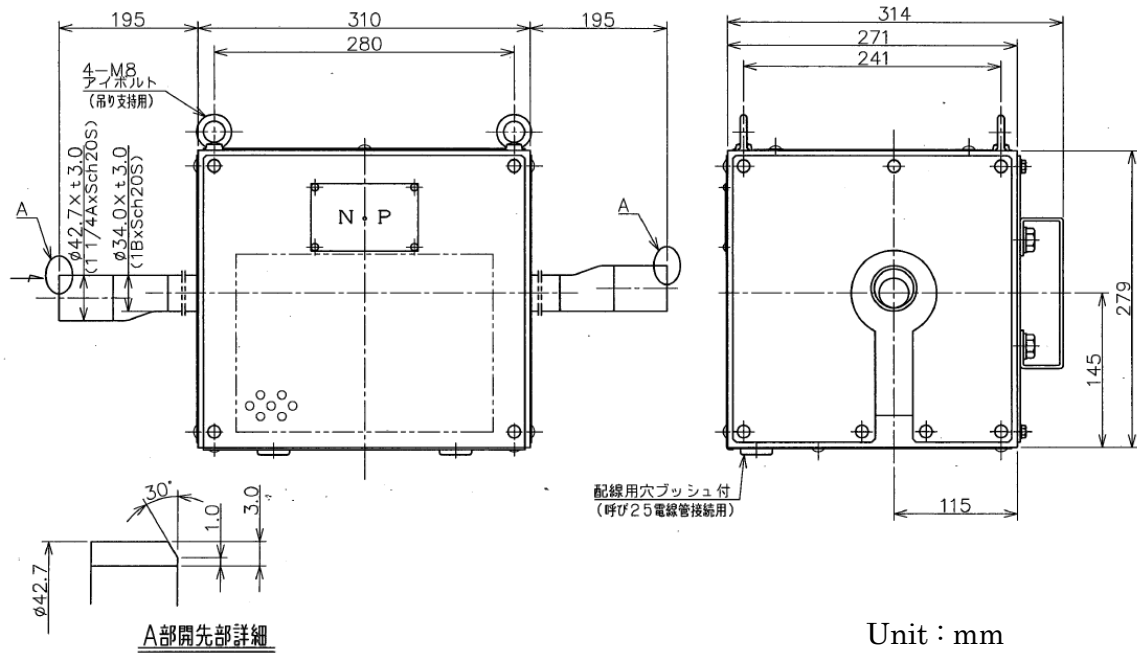


Fig. A.21 Drawing of the EMF.

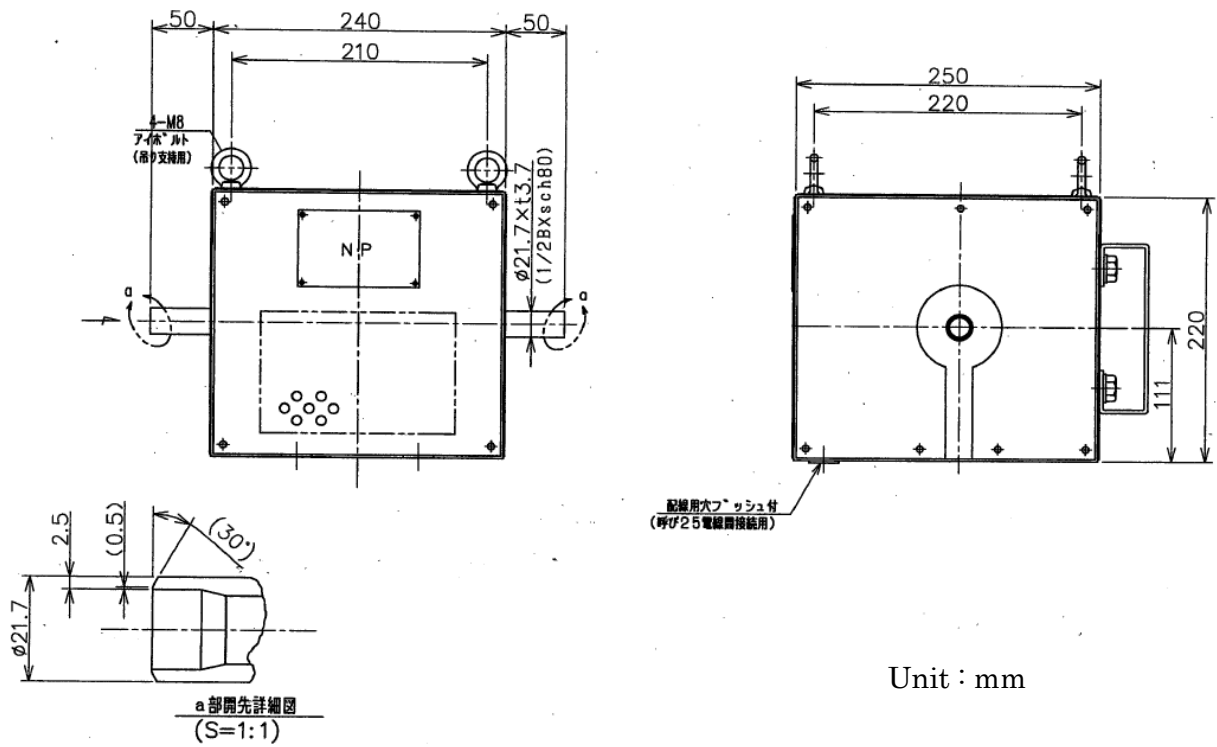
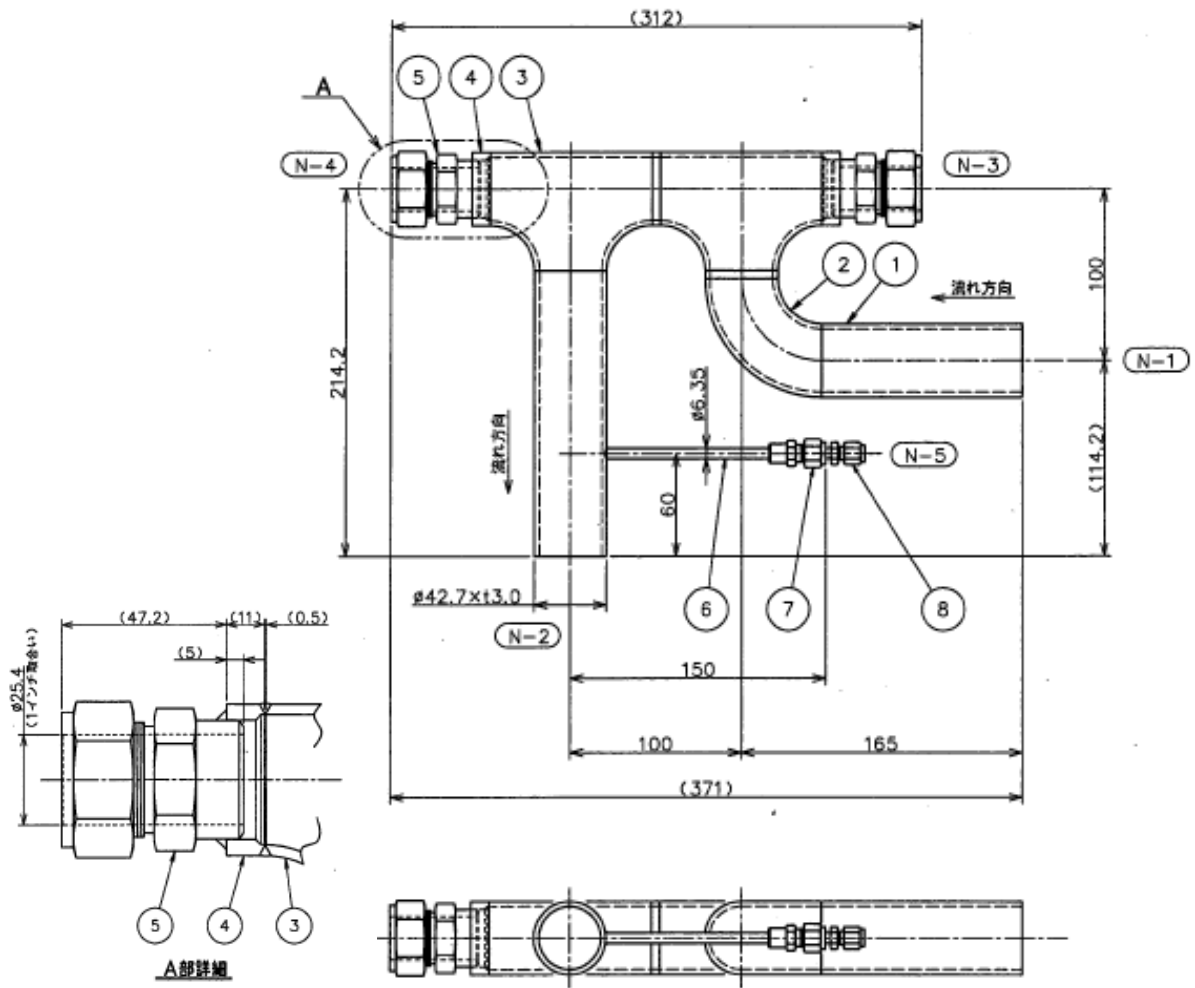


Fig. A.22 Drawing of the EMF2.

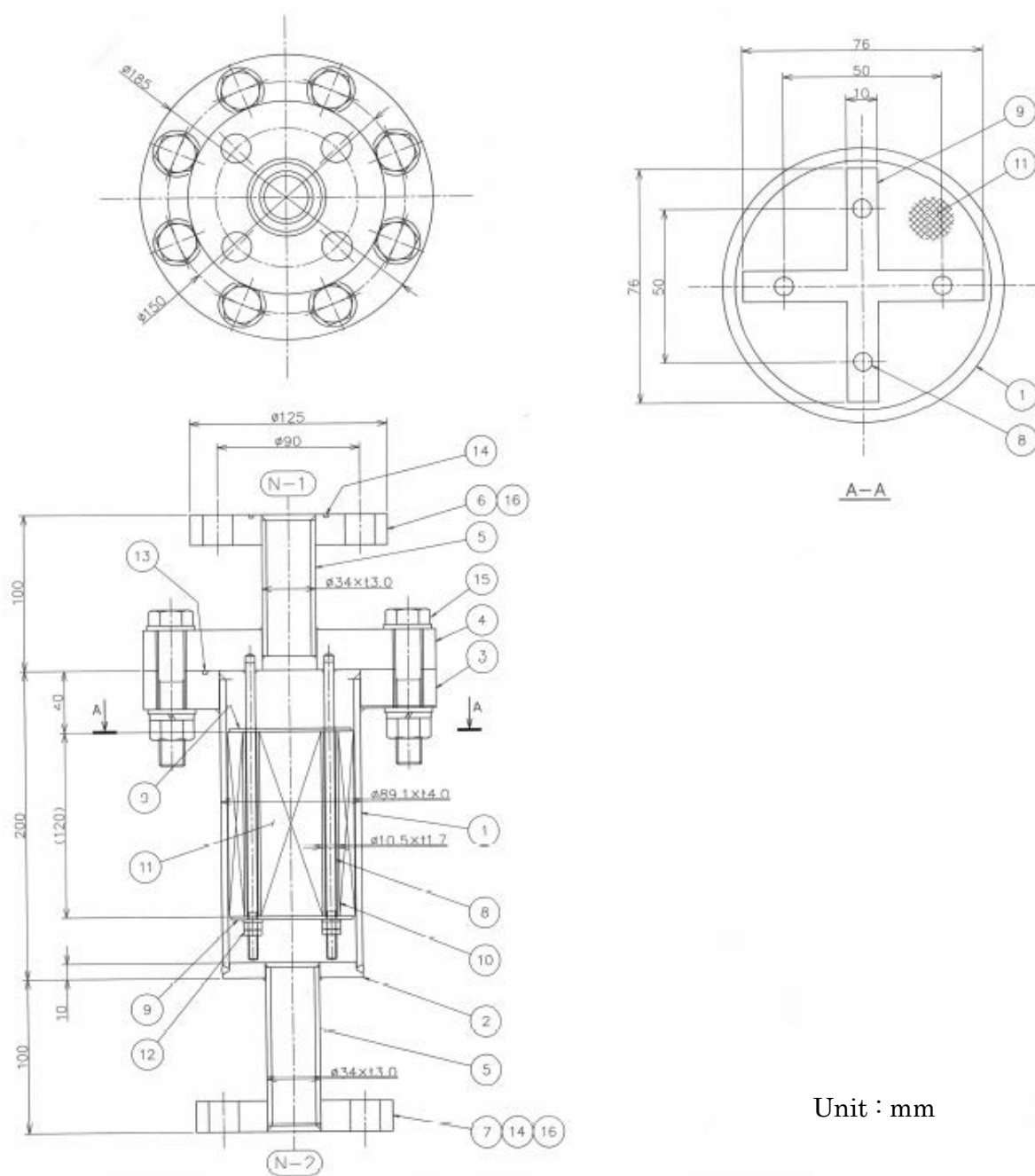


Unit : mm

ノズル一覧				
ノズルNo.	用途	材質	ノズル・取付寸法	数量
N-1	Pb-Bi入ロノズル	SUS316LTP	1-1/4B×Sch20S	1
N-2	Pb-Bi出ロノズル	SUS316LTP	1-1/4B×Sch20S	1
N-3	超音波流量計取付ノズル(1)	SUS316	1インチ	1
N-4	超音波流量計取付ノズル(2)	SUS316	1インチ	1
N-5	熱電対取付ノズル	SUS316	1/8インチ	1

1	8	レデューサー	SUS316	1/8インチ用	SS-200-R-4BT	
1	7	チューブ差し込み用接続コネクタ	SUS316	1/4インチ用	SS-400-6-4W	
1	6	チューブ	SUS316TP-S	φ6.35×t0.89		
2	5	おすパイプ接続コネクタ	SUS316	1インチ用	SS-1610-1-16WBT	
2	4	ボス	SUS316	φ45相当		(M)
2	3	同径ティー	SUS316LTP-S	1-1/4B×Sch20S		(M)
1	2	90°ロングエルボ	SUS316LTP-S	1-1/4B×Sch20S		(M)
4	1	配管	SUS316LTP-S	1-1/4B×Sch20S		(M)
異数	品番	部品名	材質	寸法・記事	備考	

Fig. A.23 Drawing of the mount for the ultrasonic flow meter2.



Unit : mm

Fig. A.24 Drawing of the filter unit.

付録 B 運転マニュアル（腐食試験時）

1.1 【事前準備作業】

No.	確認内容および操作	防護具・工具等	備考
1	ループ構成機器類 設置状況確認 - 各機器、配線、カバーガス系統等の目視確認。 - 装置周辺から可燃物の撤去、整理整頓。 - 試験目的に合った機器が膨張タンク（EXT）上に設置されていることを確認。		
2	大実験室 分電盤 EA-3、北-1 NFB 投入 ①OLLOCHI 100V 系電源（EA-3-1）「ON」。 ②OLLOCHI 200V 系電源（北-1①～③）「ON」。 ③OLLOCHI 制御盤受電表示灯（AC100V 系、AC200V 系（1）（2）（3）点灯確認。		※「電源喪失エラー」が出るため、200V 系電源は全て受電状態にする。
3	制御盤 電源投入 ①200V 系供給電源 MCCBM1～3 「ON」。 - 予熱ヒーター電源 ELCB1～ELCB2 「ON」。 - 電磁ポンプファン用電源 ELCB101 「ON」。 ②100V 系供給電源 MCCBM4 「ON」。 - 制御・計測系電源 MCCB1～4 「ON」。 ③タッチパネル等通電確認。		
4	カバーガス準備 ①GV13、GV14 「閉」を確認。 ②カバーガス（Ar）ボンベ元弁 「開」。 ③圧力調整弁「昇圧」側へ調整、二次側送気弁 「開」。 ④GV4 を「開」、GV5 を徐々に「開」、系統内のカバーガス圧力を「0.1 (MPa)」程度に調整。		※テラス上で作業する場合は、転落防止チェーンを取り付けること。
5	ドレインタンク（DT）予熱ヒーター起動 循環運転の準備として、DT を 250℃に予熱し、LBE を融解しておく。		
6	ビデオカメラ設置 EXT の覗き窓に液面を観察するためのビデオカメラ、照明を設置する。		※テラス上で作業する場合は、転落防止チェーンを取り付けること。

1.2【系統内ガス置換】

No.	確認内容および操作	防護具・工具等	備考
1	系統内真空引き ①制御盤タッチパネル右下の空操弁 101AV1「開」確認。 ②ガス系操作盤で GV3～GV12 は全て「閉」を確認。GV3 と GV8 を「開」。 ③タッチパネル右下の真空ポンプ VP1「入」で起動。 ④ガス系操作盤で GV6 を「開」。続いて GV7 を「開」にして系統内を真空引き。 圧力計 PG1 にて-0.09 MPa まで真空引き、その後 10 分程度保持する。 ⑤GV6 を「閉」。 ⑥タッチパネル右下の真空ポンプ VP1「切」で真空ポンプ停止、GV9 を「開」、大気解放。GV9 を「閉」。		
2	系統内アルゴンガス注入、放出 ①GV7 を「閉」。 ②GV4 を「開」。 ③GV5 を少し「開」、圧力を PG1 にて 0.1 MPa まで徐々に上げる。 ※気密試験を行う場合は、0.3 MPa 以上で 30 分以上保持する。 ④GV5、GV4 を「開」。 ⑤GV9、GV6、GV7 を「開」、系統内の圧力を抜き、0.01 (MPa) 以下に調整。 ⑥GV7、GV6、GV9 を「閉」。 (これを 2～3 回程度繰り返す)		

1.3 【各部予熱ヒーター起動、昇温】

No.	確認内容および操作	防護具・工具等	備考
1	予熱ヒーター設定 ①タッチパネルメイン画面下部の「制御設定画面」をタッチ、画面を切り替える。 ②「制御設定画面 1～4」で各ヒーターについて、指示値(PV)(黄枠)＝室温程度を確認、設定値(SV)(青枠)をタッチし、「250(℃)」に変更する。 ③画面下部の「同調選択」で全て青色点灯(同調有効)とする。 ④画面下部の「メイン画面」をタッチ、メイン画面に戻る。		
2	冷却器ダンパー操作 ・冷却器ダンパーを入口側、出口側ともに全閉とする。		
3	予熱ヒーター起動 ①タッチパネルメイン画面右下の「予熱ヒーター電源操作」をタッチ、画面を切り替える。 ②「予熱ヒーター電源操作ウインドウ」で一括「入」をタッチし、予熱ヒーター「入」赤色点灯にする。 ③「閉じる」をタッチ、メイン画面に戻る。 ④メイン画面で「入」にした予熱ヒーターの赤色点灯を確認。		
4	昇温確認・バルブ操作 ①各部温度指示値が 250℃に達したことを確認。 ②空線弁 101AV1、バルブ 101V2、101V3、101V6、101V7 および 101V8 の全開を確認。 ③フィルター前後のバルブ 101V4 および 101V5 の全開を確認。	※装置下部へ立ち入る場合は、ヘルメットを着用。バルブ操作時は革手袋着用。バルブは 150℃以上で操作すること。	※各部温度が 250℃に達したことを確認してから次の工程に進む。達しない場合は温調設定、保温材等を確認する。

1.4 【鉛ビスマスの揚液】

No.	確認内容および操作	防護具・工具等	備考
1	膨張タンク内減圧 ①タッチパネル右下の空操弁 101AV1 を「閉」。 ②ガス系操作盤で GV3～GV12 は全て「閉」を確認。 ③タッチパネル右下の真空ポンプ VP1「入」で起動。 ④ガス系操作盤で GV6、GV7、GV8 を「開」にして膨張タンク内を真空引き。 圧力計 PG2 にて-0.05 MPa まで引く。 ⑤GV7、GV6 を「閉」。 ⑥タッチパネル右下の真空ポンプ VP1「切」で真空ポンプ停止、GV9 を「開」、大気解放。GV9 を「閉」。		※空操弁は 150℃以上で操作すること。
2	ダンプタンク内ガス加圧 ①GV4 を「開」。 ②GV5 を徐々に「開」、PG1 で 0.1 (MPa) まで加圧。 ③GV5 を「閉」。		
3	揚液開始 ①制御盤タッチパネル上部の液位低インターロックをタッチし「解除中」にする。 ②タッチパネル右下の空操弁 101AV1 を「開」、揚液開始。DT の液位計 LE2 消灯確認。 ③GV5 を徐々に「開」、PG1 で 0.3 (MPa) まで加圧。 ④タッチパネル右下部の液位計 LE3 が点灯したら直ちに GV5 を「閉」、空操弁 101AV1 を「閉」。		※膨張タンクの覗き窓で揚液を確認。 ※液位計 LE3 が点灯してから次の工程に進む。点灯しない場合、一旦ドレンする。
4	ガス圧バランスと液位調整 ①GV4 を「閉」。 ②GV3 を「開」にしてガス圧をバランスさせる。 ③GV9、GV6、GV7 を「開」、系統内の圧力を抜き、0.02 (MPa) に調整。 ④GV7、GV6、GV9 を「閉」。 ⑤制御盤タッチパネル上部の液位低インターロックをタッチし「動作中」にする。		

1.5 【鉛ビスマスの等温循環運転、昇温】

No.	確認内容および操作	防護具・工具等	備考
1	制御盤 電源投入 ①加熱器用ブレーカ ELCBMH1、ELCBMH2「ON」。 ②電磁ポンプ用ブレーカ ELCB100「ON」。 ③冷却器ブロワ用ブレーカ ELCB102「ON」。		
2	電磁ポンプ起動 ①タッチパネルメイン画面左下 電磁ポンプ運転ボタンをタッチし、赤色点灯にする。 ②SV の数値部分をタッチ、10 キーウインドウでインバータ周波数を入力する。 ③流量計「EMF」の測定値を確認しながらインバータ周波数を徐々に上げ、流量を 15 L/min. 程度に調整する。		
3	各部昇温 ①各予熱ヒーターを 50℃刻みで 350℃まで昇温する。ただし、ダンプタンク、ドレン弁、チャージラインは 300℃に設定する。 ②タッチパネル制御設定画面 2 で加熱器 1 及び 2 を 250℃に設定する。 ③タッチパネルメイン画面左下 加熱器「入」ボタンをタッチし、赤色点灯にする。 ④加熱器も予熱ヒーターと同様、50℃刻みで 350℃まで昇温する。 ⑤各部温度指示値が 350℃に達したことを確認。		※ 各 部 温 度 が 350℃に達したことを確認してから次の工程に進む。達しない場合は温調設定、保温材等を確認する。
4	圧力調整 ①温度上昇に伴い圧力が上昇するため、ガス系操作盤で GV9、GV6、GV7 を「開」にして 0.02 MPa に調整する。 ②GV7、GV6、GV9 を「閉」。		

1.6 【非等温循環運転】

No.	確認内容および操作	防護具・工具等	備考
1	高温部側、加熱器昇温開始 ①各部温度指示値が 350℃に達したことを確認。 ②高温部側予熱ヒーター、加熱器を 450℃に設定する。		
2	冷却器ブロー作動 ①タッチパネルメイン画面右下 冷却器ブロー「入」ボタンをタッチし、赤色点灯にする。 ②冷却器ブローの入口、出口ダンパー開度を調整し、所定の温度差（100℃）にする。		
3	全体昇温 ①高温部指示値が 450℃、低温部指示値が 350℃に達したことを確認。 ②各予熱ヒーター、加熱器を 25℃刻みで所定の温度まで昇温する。 ③高温部側の上限は 550℃、低温部側の上限は 450℃とする。		
4	圧力調整 ①温度上昇に伴い圧力が上昇するため、ガス系操作盤で GV9、GV6、GV7 を「開」にして 0.02 MPa に調整する。 ②GV7、GV6、GV9 を「閉」。		

1.7 【冷却運転】

No.	確認内容および操作	防護具・工具等	備考
1	各部降温、加熱器停止 ①タッチパネル制御設定画面で各予熱ヒーターを 350℃に設定する。 ②タッチパネル制御設定画面 2 で加熱器 1 及び 2 を 350℃に設定する。 ③タッチパネルメイン画面左下 加熱器「切」ボタンをタッチし、緑色点灯にする。 ④加熱器用ブレーカ ELCBMH1、ELCBMH2「OFF」。		
2	冷却器ブロー停止 ①各部温度指示値が 350℃に低下を確認。 ②タッチパネルメイン画面右下 冷却器ブロー「切」ボタンをタッチし、緑色点灯にする。 ③冷却器ブロー用ブレーカ ELCB102「OFF」。		
3	各部降温 ①タッチパネル制御設定画面で各予熱ヒーターを 250℃に設定する。 ②各部温度指示値が 250℃以下に低下を確認。		
4	循環停止 ①タッチパネルメイン画面左下 電磁ポンプの SV の数値部分をタッチ、10 キーウインドウでインバータ周波数を徐々に下げ、0 Hz にする。 ②電磁ポンプ停止ボタンをタッチし、緑色点灯にする。電磁ポンプ用ブレーカ ELCB100「OFF」。 ③流量計の測定値がゼロになるまで数分待機。		
5	試験片取出し・交換 ①腐食試験時 「試験片ホルダー交換手順書」に従い、試験片ホルダーの取出し、交換を行う。 ②材料強度試験時 「試験治具交換手順書」に従い、試験治具の取出し、交換を行う。 ③試験終了の場合、1.8 節に進み、運転を停止する。 ④試験を継続する場合、1.5 節に戻り、運転を継続する。		

1.8【鉛ビスマスのドレン】

No.	確認内容および操作	防護具・工具等	備考
1	循環停止 ①流量計の測定値がゼロであることを確認。		
2-1	鉛ビスマスのドレン（フィルタリング有り） ①タッチパネルメイン画面上部の液位低インターロックをタッチし、「解除中」にする。 ②101V4、101V5 を「開」。 ③101V3、101V6～101V8 を「閉」。 ④タッチパネルメイン画面右下の空線弁 101AV1 を「開」、ドレン開始。 ⑤数分後、101V3、101V6～101V8 を「開」。 ⑥DT の液位高（LE2）が点灯するまで数分程度待機。	※装置下部へ立ち入る場合は、ヘルメットを着用。バルブ操作時は革手袋着用。	
2-2	鉛ビスマスのドレン（フィルタリング無し） ①タッチパネルメイン画面上部の液位低インターロックをタッチし、「解除中」にする。 ②タッチパネルメイン画面右下の空線弁 101AV1 を「開」、ドレン開始。 ③DT の液位高（LE2）が点灯するまで数分程度待機。		
3	系統内ガス圧力調整 ①GV3 を「開」、DT と EXT の圧力をバランスさせる。 ②GV7、GV6 を「開」、GV9 を徐々に「開」、PG1 で 0.02 (MPa) まで減圧。 ③GV9、GV7、GV6 を「閉」。		
4	予熱ヒーター設定・降温確認 ①タッチパネル制御設定画面で各予熱ヒーター設定値 250℃を確認する。 ②各部温度指示値 250℃以下を確認。		

1.9 【電源、カバースガス等 停止操作】

No.	確認内容および操作	防護具・工具等	備考
1	カバースガス系統停止操作 ①各部温度指示値が室温程度に低下したことを確認。 ②PG1 および PG2 を 0.02 (MPa) 程度に調整。 ③GV3～GV12 はすべて「閉」を確認。 ④カバースガス (Ar) ポンベ元弁「閉」。 ⑤圧力調整弁「降圧」側へ調整、二次側送気弁「閉」。		
2	制御盤 主電源遮断 ①制御・計測系電源 MCCB1～4「OFF」。 ②100V 系供給電源 MCCBM4「OFF」。 ③200V 系供給電源 MCCBM1「OFF」。 ④200V 系供給電源 MCCBM2「OFF」。 ⑤200V 系供給電源 MCCBM3「OFF」。		
3	大実験室 分電盤 EA-3、北 1 NFB 遮断 ①OLLOCHI 100V 系電源 (EA-3-1)「OFF」。 ②OLLOCHI 200V 系電源 (北-1①)「OFF」。 ③OLLOCHI 200V 系電源 (北-1②)「OFF」。 ④OLLOCHI 200V 系電源 (北-1③)「OFF」。 ⑤OLLOCHI 制御盤受電表示灯 (AC100V 系、AC200V 系 (1) (2) (3) 消灯確認。		

