

冷却系機器開発試験施設・ナトリウム試験装置 (マザーループ) の製作

Construction of the Sodium Test Loop in
Advanced Technology Experiment Sodium Facility (AtheNa)

今村 弘章 鈴木 将 下山 一仁 宮越 博幸

Hiroaki IMAMURA, Masashi SUZUKI, Kazuhito SHIMOYAMA and Hiroyuki MIYAKOSHI

高速炉・新型炉研究開発部門

大洗研究所

高速炉基盤技術開発部

Fast Reactor Fundamental Technology Development Department

Oarai Research and Development Institute

Sector of Fast Reactor and Advanced Reactor Research and Development

June 2019

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 (<https://www.jaea.go.jp>)
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, 2019

冷却系機器開発試験施設・ナトリウム試験装置（マザーループ）の製作

日本原子力研究開発機構 高速炉・新型炉研究開発部門
大洗研究所 高速炉基盤技術開発部

今村 弘章、鈴木 将^{*1}、下山 一仁、宮越 博幸

(2019年3月28日受理)

高速炉開発における安全性強化や技術実証の確立を目指した研究開発に向けて、冷却系機器開発試験施設（AtheNa 施設）の整備を進めており、この一環として、このたびナトリウム試験装置（マザーループ）の製作・設置を完遂させた。本装置は、世界最大級の約240tの大容量ナトリウムを保有し、純度管理された高温ナトリウムを、大型機器開発やシステム開発等の技術実証のための各試験部へ安定して供給できるものであり、今後の国際協力を含めた研究開発として大いに期待されるものである。

本報は今後の研究開発に資することを狙いに、ナトリウム試験装置（マザーループ）の設計仕様や製作・設置状況、及び機能確認結果の記録をとりまとめたものである。

Construction of the Sodium Test Loop in Advanced Technology Experiment Sodium Facility
(AtheNa)

Hiroaki IMAMURA, Masashi SUZUKI*¹, Kazuhito SHIMOYAMA and Hiroyuki MIYAKOSHI

Fast Reactor Fundamental Technology Development Department
Oarai Research and Development Institute
Sector of Fast Reactor and Advanced Reactor Research and Development
Japan Atomic Energy Agency
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received March 28, 2019)

To enhance the R&D on safety engineering in the developing project of future fast reactors, the large sodium test loop ("Mother Loop") of Advanced Technology Experiment Sodium Facility (AtheNa) has been constructed.

Mother Loop contains about 240 ton sodium, which is the largest of the world. The role of the Mother Loop is to supply impurity-controlled high temperature sodium to large structural and technology demonstration test sections. AtheNa is greatly expected as an infrastructure for future R&D in the framework of international cooperation, for instance.

For future experiments, this report compiles the design specifications, fabrication process and performance demonstration results of the Mother Loop.

Keywords:Sodium Test Loop, Advanced Technology Experiment Sodium Facility (AtheNa)

*1 ART KAGAKU Co.,Ltd.

目 次

1. 緒 言	1
2. 全体概要	1
2.1 AtheNa 施設の概要	1
2.2 マザーループの概要	1
3. 設計仕様と系統構成	2
3.1 系統設計の基本的考え方	2
3.1.1 設計寿命	2
3.1.2 系統機能	2
3.1.3 系統の設計仕様	3
3.2 想定異常事象に対する安全上の基本的考え方	5
3.2.1 ナトリウム漏えい	5
3.2.2 電源喪失及び制御設備の機能喪失	5
3.2.3 地震	5
3.2.4 系統の過大な圧力上昇、熱過渡	5
3.2.5 ユーティリティ喪失	6
4. 機器製作	6
4.1 機器仕様	6
4.1.1 ダンプタンク	6
4.1.2 電磁ポンプ	7
4.1.3 コールドトラップ	7
4.1.4 エコノマイザ	7
4.1.5 戻り加熱器	8
4.1.6 ガス抜きポット	8
4.1.7 プラギング計	8
4.1.8 ベーパートラップ 1 (ダンプタンク 1 用)	8
4.1.9 ベーパートラップ 2 (ダンプタンク 2 用)	9
4.1.10 ベーパートラップ 4 (ガス抜きポット用)	9
4.1.11 ナトリウム弁	9
4.1.12 カバーガス弁	9
4.1.13 安全弁 (カバーガス系)	10
4.1.14 ナトリウム配管	10
4.1.15 ナトリウムサンプリング装置	10
4.1.16 保温材	10
4.1.17 外装板	11
4.1.18 ライナー	11
4.1.19 アルゴンガスヘッダー	11

4.2	主要機器製作状況	11
4.2.1	ダンプタンク	11
4.2.2	電磁ポンプ	13
4.2.3	コールドトラップ	13
4.2.4	エコノマイザ	14
4.2.5	戻り加熱器	14
4.2.6	プラグイング計	15
4.2.7	ベーパートラップ	16
4.2.8	ナトリウム弁	16
4.2.9	ナトリウムサンプリング装置	17
4.3	大型ダンプタンクの輸送・搬入	17
4.3.1	輸送前官庁手続き	17
4.3.2	海上輸送	17
4.3.3	陸上輸送	18
5.	現地据付工事	19
5.1	ダンプタンク	19
5.2	電磁ポンプ	21
5.3	コールドトラップ	21
5.4	エコノマイザ	21
5.5	戻り加熱器	22
5.6	ガス抜きポット	22
5.7	プラグイング計	23
5.8	ベーパートラップ1	23
5.9	ベーパートラップ2	23
5.10	ベーパートラップ4	23
5.11	ナトリウム弁	24
5.12	ナトリウム配管	24
5.13	ナトリウムサンプリング装置	25
5.14	ライナー	25
5.15	保温材	26
6.	運転制御システム	26
6.1	運転操作	26
6.1.1	起動停止操作(電源、補機系)	26
6.1.2	予熱操作	26
6.1.3	ナトリウム充填操作	26
6.1.4	ガスブロー操作(ダンプタンク)	27
6.1.5	純化運転操作	27
6.1.6	ナトリウムドレン操作	27

6.1.7	ガス導通操作	28
6.1.8	ダンプタンク間のナトリウム移送操作	28
6.1.9	ナトリウムサンプリング操作	28
6.2	異常時のインターロック	28
6.2.1	緊急ドレン	28
6.2.2	緊急停止	28
6.2.3	監視制御盤重故障時	29
6.2.4	窒素ガス供給源喪失	29
6.3	監視制御システム	29
6.3.1	マザーループ監視制御システム構成	29
6.3.2	予熱制御系	30
6.3.3	電磁ポンプ制御系	31
6.3.4	戻り加熱器制御系	31
6.3.5	コールドトラップ冷却用送風機制御系	31
6.3.6	プラグGING計制御系	31
6.3.7	カバーガス圧力制御系	32
7.	機能確認	32
7.1	予熱機能	32
7.1.1	ダンプタンク予熱特性	32
7.1.2	ナトリウム循環システムの予熱特性及び保温外装温度	33
7.1.3	配管熱変位	33
7.2	ナトリウム充填・ドレン機能	34
7.2.1	ダンプタンクへのナトリウム受け入れ	34
7.2.2	系統内へのナトリウム充填	34
7.2.3	系統内のナトリウムドレン	34
7.3	ナトリウム循環機能	35
7.3.1	戻り加熱器	35
7.3.2	電磁ポンプ	35
7.4	ナトリウム純化・管理機能	35
7.4.1	コールドトラップ温度制御機能	35
7.4.2	プラグGING計機能	36
7.4.3	ナトリウムサンプリング装置機能	37
7.5	監視制御システム	37
8.	結 言	39
	謝辞	39
	参考文献	39

Contents

1. Introduction	1
2. Overview	1
2.1 Outline of equipment	1
2.2 Outline of the large sodium test loop.....	1
3. Design specification and system configuration.....	2
3.1 Basic concept of system design.....	2
3.1.1 Design life	2
3.1.2 System function	2
3.1.3 System design specification	3
3.2 Safety approach to assumed abnormal events.....	5
3.2.1 Sodium leak	5
3.2.2 Loss of power and loss of control equipment.....	5
3.2.3 earthquake	5
3.2.4 Excessive pressure rise and thermal transients in the system.....	5
3.2.5 Utility lost	6
4. Equipment production.....	6
4.1 Equipment specification	6
4.1.1 Dump tank	6
4.1.2 Electro-magnetic pump	7
4.1.3 Cold trap	7
4.1.4 Economiser	7
4.1.5 Reheater for sodium circulation	8
4.1.6 Degassing pot	8
4.1.7 Plugging meter	8
4.1.8 Vapor trap 1 for dump tank 1	8
4.1.9 Vapor trap 2 for dump tank 2	9
4.1.10 Vapor trap 4 for degassing pot	9
4.1.11 Sodium valve	9
4.1.12 Cover gas valve	9
4.1.13 Cover gas safety valve	10
4.1.14 Sodium piping	10
4.1.15 Sodium sampling equipment	10
4.1.16 Thermal insulation	10
4.1.17 Outer board	11
4.1.18 liner	11
4.1.19 Argon gas header	11

4.2	Main equipment production status.....	11
4.2.1	Dump tank	11
4.2.2	Electro-magnetic pump	13
4.2.3	Cold trap	13
4.2.4	Economiser	14
4.2.5	Reheater for sodium circulation	14
4.2.6	Plugging meter	15
4.2.7	Vapor trap	16
4.2.8	Sodium valve	16
4.2.9	Sodium sampling equipment	17
4.3	Transportation of large dump tanks.....	17
4.3.1	Government procedures before transport	17
4.3.2	Marine transport	17
4.3.3	Land transportation	18
5.	Installation work.....	19
5.1	Dump tank	19
5.2	Electro-magnetic pump	21
5.3	Cold trap	21
5.4	Economiser	21
5.5	Reheater for sodium circulation.....	22
5.6	Degassing pot	22
5.7	Plugging meter	23
5.8	Vapor trap 1	23
5.9	Vapor trap 2	23
5.10	Vapor trap 4	23
5.11	Sodium valve	24
5.12	Sodium piping	24
5.13	Sodium sampling equipment	25
5.14	liner	25
5.15	Thermal insulation	26
6.	Operation control system.....	26
6.1	operation	26
6.1.1	Start stop operation	26
6.1.2	Preheating operation	26
6.1.3	Sodium filling operation	26
6.1.4	Gas blow operation	27
6.1.5	Purification operation	27
6.1.6	Sodium drain operation	27

6.1.7	Gas conduction operation	28
6.1.8	Sodium transfer operation between tanks	28
6.1.9	Sodium sampling operation	28
6.2	Interlock at the time of abnormality occurrence.....	28
6.2.1	Emergency drain	28
6.2.2	Emergency stop	28
6.2.3	In case of control board heavy failure	29
6.2.4	Loss of nitrogen gas supply	29
6.3	Supervisory control system	29
6.3.1	System configuration	29
6.3.2	Preheating control system	30
6.3.3	Electro-magnetic pump control system	31
6.3.4	Reheater for sodium circulation control system.....	31
6.3.5	Control system for cold trap cooling blower.....	31
6.3.6	Plugging meter control system	31
6.3.7	Cover gas pressure control system	32
7.	Function check.....	32
7.1	Preheating function	32
7.1.1	Dump tank preheating characteristics	32
7.1.2	Heating characteristics of sodium circulation system, temperature of heat insulation exterior plate	33
7.1.3	Thermal displacement of piping	33
7.2	Sodium filling and draining	34
7.2.1	Sodium acceptance to dump tank	34
7.2.2	Sodium filling to the-strain	34
7.2.3	Sodium drain to the strain	34
7.3	Sodium circulation function	35
7.3.1	Reheater for sodium circulation	35
7.3.2	Electro-magnetic pump	35
7.4	Sodium purification and management function.....	35
7.4.1	Cold trap temperature control function	35
7.4.2	Control function of plugging meter	36
7.4.3	Control function of sodium sampling equipment.....	37
7.5	Supervisory control system	37
8.	Conclusion	39
	Acknowledgments	39
	References	39

1. 緒言

高速炉の安全性向上や実証技術の確立に向けて、その柱のひとつとなる冷却系機器開発試験施設（Advanced Technology Experiment Sodium(Na) Facility、以下「AtheNa 施設」という。）を活用した研究計画が進められている^{[1][2]}。

高速炉の冷却材には液体金属ナトリウム（以下「ナトリウム」という。）が適用され、実液のナトリウムを用いた試験研究が評価信頼度を高めるために重要となる。このため、AtheNa 施設の整備の一環として、純化されたナトリウムを各試験部へ安定供給できるナトリウム試験装置（以下「マザーループ」という。）を AtheNa 施設内に新たに製作し据え付けた。マザーループは、約 240t のナトリウム量を保有する世界最大級のナトリウム施設であり、実証規模レベルの大型機器やシステムを用いた試験装置として期待がされ、仏国等との国際協力の観点からも注目されている。

本報はマザーループの設計条件、機器仕様及び主要な機器の現地据付状況等の製作・設置の記録及び機能確認の結果をとりまとめたものである。

2. 全体概要

2.1 AtheNa 施設の概要

AtheNa 施設は、高速炉の安全性強化及び機器実証等に関する試験研究を実施するために、平成 21 年に消防法に基づく危険物一般取扱所として設置の許可を得て、平成 24 年 1 月に竣工した施設であり、平成 30 年 11 月現在の金属ナトリウムの最大取扱数量は 350t である。施設は地上 2 階の鉄骨造で幅約 130m、奥行き約 62m、高さ約 55m の大きさを有し、耐震は建築基準法における基準値の 1.5 倍としている。将来的な研究開発に備えて、ナトリウム加熱器室や給水/蒸気系室も有し、受変電設備は約 6,950kVA、自家発電設備は定格容量で 1,250kVA となっている。AtheNa 施設の外観及び平面図を図 2-1 に示す。マザーループは施設中央のナトリウム試験室に設置されている。

2.2 マザーループの概要

今回完成したマザーループの全体系統図を図 2-2 に、全体外観を写真 2-1 に示す。

マザーループはナトリウムの貯蔵と、将来計画される各試験部へ純化されたナトリウムを安定して供給することを役割としている。マザーループとは、「マザー(mother)&ドーター(daughter)の系統構成」で例えると、ナトリウムの純化機能を有する主循環系統を指す「親」であり、ドーターループはマザーループからナトリウムの供給を受ける試験部系統を指す「子」を意味している。

マザーループの主たる特長は、世界最大級のナトリウム量約 240t を保有し、数 t～100t 程度のナトリウムを用いた実証規模レベルの様々な大型ナトリウム機器やシステムの技術開発にも利用可能であることである。また、ナトリウム中の主要不純物（酸素や水素）を純化でき、この純化されたナトリウムを試験部に安定して供給できる機能を

有する。

ナトリウムの純化は、ナトリウム中不純物の溶解度が温度依存性を有することを利用し、温度を低温に維持することで過飽和になった不純物（主に酸素、水素）をコールドトラップ内のメッシュ部に析出させて捕獲するものである。ナトリウム中の酸素濃度は、コールドトラップのメッシュ部温度を任意に変更することで制御できる。

系統は、ナトリウムを貯蔵するダンプタンク 2 基、ナトリウム中の不純物を捕獲するためのコールドトラップ、系統内ナトリウムを 435℃まで加熱できる戻り加熱器等より構成され、アルゴンガス供給設備、窒素ガス供給設備及び真空排気設備と接続されている。

本構成により、ナトリウムの貯蔵、貯蔵ナトリウムの純化並びに将来計画される各試験装置へのナトリウム供給及びドレンナトリウム受入れの機能を持っている。

ダンプタンクピットに位置するダンプタンク頂部から、最も高い位置に設置されているガス抜きポットまでは、約 17m の高低差となり、系統は 50A サイズ (2B Sch20S) のステンレス鋼製配管で繋がれている。ナトリウムの循環は、環状流路型リニア誘導式の電磁ポンプの駆動にて行われる。

万が一のマザーループ内でナトリウム漏えいが生じた場合には、これを検知できるとともに、漏えいの拡大を抑制に備えた対策が講じられている。また、制御監視盤の故障による制御設備の機能喪失を考慮し、無停電電源より供給される緊急監視操作盤によりマザーループの緊急ドレンを可能としている。緊急ドレン弁は、手動閉開機能付きの遠隔操作式空気作動弁としている。

3. 設計仕様と系統構成

3.1 系統設計の基本的考え方

3.1.1 設計寿命

マザーループの設計寿命は、運転期間として延べ 10 万時間を想定している。10 万時間は、使用年数 30 年、年間稼働率 33%を見込んだ考え方である。

3.1.2 系統機能

マザーループの全体系統図 (図 2-2) に示すように、系統は 2 基のダンプタンク (容積: 約 150m³)、ナトリウム純化機能を有するコールドトラップ (容積: 約 1.8m³)、ナトリウムのプラグ温度を測定することにより間接的にナトリウム中の不純物濃度を管理するプラグング計、系統内のナトリウムを採取できるバイパスフロールー型のサンプリング装置等で構成される。これらの系統機能の考え方は以下のとおりである。

(1) ナトリウム循環・貯蔵機能

実証規模レベルの大型機器試験や系統システム試験を可能とし、ナトリウム貯蔵量として総有効容積を約 270m³ (約 240t at 250℃) を 2 基のダンプタンクに受

け入れる貯蔵能力を有するものとしている。また、ナトリウム純化を行うため、電磁ポンプを用いてナトリウム循環（定格流量 3t/h (at 235°C)）ができ、所定の温度に加熱された高温ナトリウムを各試験装置へ供給が合理的に行えるものとしている。

(2) ナトリウム純化・管理機能

系統構成材料の腐食や系統閉塞等を抑制するために、コールドトラップにてナトリウム中の酸素濃度を 1ppm（コールドトラップ底部温度 120°C に相当）まで純化できるものとしている。コールドトラップは酸素換算で不純物捕獲量 30kg を想定している。また、ナトリウム中の不純物濃度を定量的に測定するため、分析に供するナトリウムを採取（約 100 cm³/回）でき、かつ純化状態をオンラインで確認できるプラグギング計を有するものとしている。

(3) 充填・ドレン機能

将来計画される各試験装置にナトリウムを充填でき、各試験装置からのドレンを受け入れることができるものとしている。なお、ダンプタンク基数は 2 基とし、ダンプタンク間のナトリウム移送が可能なシステムとしている。また、ダンプタンク 2 は、異常時等において各試験装置からの緊急ドレンされたナトリウムを 30 分以内で速やかに受け入れることができるものとしている。

(4) 予熱機能

ナトリウム内包なしの状態では機器・配管を 200°C まで 200 時間で昇温可能なものとしている。また、ナトリウムを内包したダンプタンクの昇温については、常温から 200°C までの昇温を約 2 週間で可能としている。予熱制御については各予熱設定温度に対し ±20°C 以内で制御できるものとなっている。

(5) カバーガス制御機能

ナトリウム自由液面を有する機器にアルゴンガスを供給し、かつ、カバーガス圧力の調整ができるものとしている。

3.1.3 系統の設計仕様

ナトリウム系統は大気との接触を避けるために密閉構造であり、そのナトリウムバウンダリを成す機器配管（カバーガス系を含む）は、高温強度及び耐腐食性の観点からオーステナイト系ステンレス鋼（SUS304）を適用している。ナトリウム機器や配管に使用しているオーステナイト系ステンレス鋼は、マザーループの起動・停止に伴う昇温・降温の繰返し温度変化で熱膨張・収縮するが、これに伴い繰返し発生する熱荷重や熱ひずみに対しても優れた特性を有している。

また、エロージョンを考慮し配管内流速を 5m/s 以下、ナトリウムドレン時に配管内にナトリウムが残留しないようにナトリウム配管勾配は 1/50 以上としている。

(1) 系統仕様

① 最高使用温度

・ナトリウム系 : 435°C（高温純化運転時の系統温度を考慮）

- ・ダンプタンク 1～第 1 止弁 : 250℃
- ・ペーパートラップ入口 : 250℃
- ・ガス抜きポットからガス抜きポット入口弁 : 350℃
- ・カバーガス系 (130 系) : 80℃

最高使用温度区分を図 3-1 に示す。

② 最高使用圧力

- ・ナトリウム系 : 0.9MPa
- ・ダンプタンク～カバーガス真空排気弁及びカバーガス排気弁 : 0.6MPa
- ・ガス抜きポット～カバーガス供給連通弁及びカバーガス排気連通弁 : 0.9MPa
- ・アルゴンガス供給設備～カバーガス供給弁及び窒素ガス供給系 : 0.98MPa

最高使用圧力区分を図 3-2 に示す。

- ③ 通常運転流量 : 3t/h
- ④ 通常運転温度 : 130℃～235℃
- ⑤ 通常運転圧力 : -0.1～0.5MPa
(-0.1MPa はナトリウム充填前真空引き時の圧力)
- ⑥ カバーガス圧力 : 0.1～0.5MPa (通常時 0.02～0.05MPa)
- ⑦ 環境条件 (気温)
(周囲温度) : 夏 33℃ (屋外)
: 冬 -5℃ (屋外)

なお、室内温度の上限は 40℃とする。

(2) 配管支持構造部の設計

- ① 高温ナトリウム配管の支持構造部では、熱変位を拘束せず地震荷重を支持する目的でメカニカルスナバが採用されることがあるが、マザーループの最高使用温度は 435℃、ナトリウム配管口径は 50A であり配管支持構造部はレストレイントタイプの支持構造を採用している。
- ② 配管支持構造部の設計に当たっては、配管引き回しから配管モデルを作成し、定ピッチスパン法 (目標とする固有振動数あるいは応力を基に算出した直管の最大許容支持間隔を用いて配管系を設計する方法) で配管支持構造部の設置位置を検討し、機器との取り合い、配管自重及び弁の質量バランスを考慮し設置位置を決定している。
- ③ 解析による地震動、熱応力、変位に関する評価結果より、許容値を満足するように配管支持構造部の設置場所を調整し定めている。
- ④ 配管がコの字配置となる部分は、エルボ付近に配管支持構造部を設置し、コの字の上下における水平方向と鉛直方向の荷重を支える構造としている。また、垂直配管には、倒れを防止するため、水平方向の配管支持構造部を設置している。
- ⑤ ナトリウム配管が支持構造部に溶接固定のアンカ構造部 2 箇所 (009-001-01、009-003-01) は、応力評価結果は許容値以内であったが、拘束をより緩和できる配管支持構造に変更している。

アンカ構造部 2 箇所 (009-001-01、009-003-01) の位置を図 3-3 に、構造部改善前後の配管支持構造を図 3-4 及び図 3-5 に示す。

3.2 想定異常事象に対する安全上の基本的考え方

3.2.1 ナトリウム漏えい

万が一、ナトリウム漏えいが生じた場合に、これを早期に検知できるとともに、漏えいの拡大を抑制できる機能を有するものとする。ナトリウム漏えい検知には、検知機能の異なる接触型の漏えい検知器に加え、煙感知器及び監視カメラを配備している。漏えい検知器は各機器や弁に配備し、特にダンプタンクや戻り加熱器には複数の検知器を、ナトリウム弁にはベローズ部位に接触型の漏えい検知器をそれぞれ配備し、漏えい部位を同定できる仕組みとしている。さらに、各階の主要な箇所には監視カメラ及び煙感知器 (感知面積 75m²) を配備している。これらは監視員が常駐する中央制御室にて警報吹鳴や映像で認識することができるものとしている。

漏えいの拡大防止として、床面積 5m² 以内毎に高さ 5cm の堰を設けた床ライナー (1 区画の容積 1.25m³ 以下) を敷設している。万が一ナトリウムが堰を超えても床ライナー上を囲んで設置された連通管を通じて地下ピットの貯留槽 (ライナーと燃焼抑制板で囲まれた空間) へ漏えいナトリウムがドレンされる構造となっている。貯留槽へは窒素ガス又はアルゴンガスを供給し窒息効果により貯留槽内のナトリウム燃焼を抑制する設計となっている。

3.2.2 電源喪失及び制御設備の機能喪失

商用電源喪失や制御監視盤の重故障時でもマザーループを安全に停止させるため、電源喪失や制御装置故障の影響を受けない無停電電源設備 (バッテリー) により操作可能なマザーループ緊急用監視操作盤を設置している。マザーループ緊急用監視操作盤により、ナトリウム系統の緊急停止あるいは緊急ドレン操作ができ、この緊急停止、緊急ドレンの状況や停止状態の確認に必要とするプロセス量 (ダンプタンクのナトリウム液位、ナトリウム温度等) の監視を可能としている。

3.2.3 地震

ナトリウムバウンダリを有する機器・配管 (含む、カバーガス系) は、0.36G (水平地震力)、それ以外は、0.24G (水平地震力) に耐え、地震発生時はマザーループに損傷等が生じることなく、安全に緊急停止あるいは緊急ドレン操作を行えるものとしている。

3.2.4 系統の過大な圧力上昇、熱過渡

系統の過大な圧力上昇を防止するためカバーガス系に安全弁を設置している。安全弁は、ナトリウム充填時に加圧使用するダンプタンク 1、2 に各 1 台、最も高い位置に設置されているガス抜きポットに 1 台設置されている。安全弁の設定値は、カバ

ーガス圧力が各機器の最高使用圧力を超えないよう、ダンプタンク 1、2 安全弁は 0.6MPa、ガス抜きポット安全弁は 0.9MPa に設定されている。

また、想定すべき熱過渡として、高温ナトリウム（550℃）のダンプタンク 2 への緊急ドレンを供用期間中に計 20 回（2 回/年×10 年間）想定した設計としている。この事象は将来的な試験部における高温運転時（550℃）の緊急ドレンも想定し、ダンプタンク 2 は、緊急ドレンノズルをサーマルスリーブ形状することによりダンプタンク胴体とノズル接続部の応力を低減している。

なお、緊急ドレン時のインターロック動作により、系統内のナトリウムはダンプタンク 2 にドレンされ、サーマルスリーブ形状のノズルを有しないダンプタンク 1 には高温のナトリウムが流入しないようになっている。

3.2.5 ユーティリティ喪失

ユーティリティ（窒素ガス）喪失時に緊急ドレンを要する運転操作が発生した際でも、緊急ドレン操作に関連する窒素ガス駆動の空気作動弁（緊急ドレン操作等に使用する弁 20 台）を手動開閉できる機能を有している。

また、窒素ガス喪失時にはナトリウム機器及びナトリウム配管中のナトリウムを保持させるため、緊急ドレン弁をフェールクローズ（全閉）させる機能としている。

4. 機器製作

4.1 機器仕様

4.1.1 ダンプタンク

- | | |
|----------------------|-------------------------|
| (1) 型式 | : 横置円筒型 |
| (2) 基数 | : 2 基 |
| (3) ナトリウム保有量 | : 120t/基 |
| (4) 幾何容積 | : 150m ³ /基 |
| (5) 最高使用圧力、温度 | |
| ① ダンプタンク 1 | |
| 最高使用圧力 | : 0.6MPa（内圧）／0.1MPa（外圧） |
| 最高使用温度 | : 250℃（内圧）／250℃（外圧） |
| ② ダンプタンク 2 | |
| 最高使用圧力 | : 0.6MPa（内圧）／0.1MPa（外圧） |
| 最高使用温度 | : 435℃（内圧）／250℃（外圧） |
| (6) 通常充填・ドレン時ナトリウム温度 | : 200℃ |
| (7) 主要材質 | : SUS304 |
| (8) 電源喪失及び緊急ドレン回数 | : 20 回 |
| (9) ヒータ電気容量 | : 115kW |

図 4-1、図 4-2 にダンプタンク 1、2 の外形図を示す。

4.1.2 電磁ポンプ

- | | |
|---------------|-----------------------------|
| (1) 型式 | : 環状流路型リニア誘導式 |
| (2) 基数 | : 1 基 |
| (3) 最大ナトリウム流量 | : 100L/min |
| (4) 最高使用圧力 | : 0.9MPa (内圧) / 0.1MPa (外圧) |
| (5) 最高使用温度 | : 435°C (内圧) / 250°C (外圧) |
| (6) 定格流量 | : 3t/h (56L/min at 235°C) |
| (7) 定格揚程 | : 45m |
| (8) 最大流量 | : 5.14t/h (100L/min) |
| (9) 主要材質 | : SUS304 |

図 4-3 に外形図を示す。

4.1.3 コールドトラップ

- | | |
|------------|-------------------------------|
| (1) 型式 | : 強制空気冷却/メッシュ充填式 |
| (2) 基数 | : 1 基 |
| (3) 最高使用圧力 | : 0.9 MPa (内圧) / 0.1 MPa (外圧) |
| (4) 最高使用温度 | : 435°C (内圧) / 250°C (外圧) |
| (5) 不純物捕獲量 | : 30kg-酸素換算 |

(ダンプタンク 1,2 に受け入れたナトリウムを初期純化し、その後のマザーループ運転において捕獲可能な不純物量)

- | | |
|------------------|-----------------------|
| (6) 定格流量 | : 3t/h (マザーループ純化運転時) |
| (7) 定格温度 (入口/出口) | : 150°C/130°C (純化運転時) |
| (8) 最低温度 | : 120°C |
| (9) 温度制御範囲 | : 120°C~200°C |
| (10) 温度制御精度 | : ±5°C (目標値) |
| (11) 主要材質 | : SUS304 |

図 4-4 に外形図を示す。

4.1.4 エコノマイザ

- | | |
|--------------------|-----------------------------|
| (1) 型式 | : 横置きシェルアンドチューブ式 |
| (2) 基数 | : 1 基 |
| (3) 最高使用圧力 | : 0.9MPa (内圧) / 0.1MPa (外圧) |
| (4) 最高使用温度 | : 435°C (内圧) / 250°C (外圧) |
| (5) 交換容量 | : 96kW (ダンプタンク循環運転時) |
| (6) 定格流量 | : 3t/h (マザーループ純化運転時) |
| (7) 入口定格温度 (胴側/管側) | : 235°C/130°C (純化運転時) |
| (8) 出口定格温度 (胴側/管側) | : 150°C/214°C (純化運転時) |

(9) 主要材質 : SUS304

図 4-5 に外形図を示す。

4.1.5 戻り加熱器

(1) 型式 : 横置円筒型電気式
 (2) 基数 : 1 基
 (3) 最高使用圧力 : 0.9MPa (内圧) / 0.1MPa (外圧)
 (4) 最高使用温度 : 435°C (内圧) / 250°C (外圧)
 (5) 定格加熱容量 : 60kW
 (6) 定格流量 : 3t/h (純化運転時)
 (7) 定格温度 (入口/出口) : 215/235°C (純化運転時)
 (8) 主要材質 : SUS304

図 4-6 に外形図を示す。

4.1.6 ガス抜きポット

(1) 型式 : 縦置円筒型
 (2) 基数 : 1 基
 (3) 容量 : 約 0.1m³
 (4) 最高使用圧力 : 0.9MPa (内圧) / 0.1MPa (外圧)
 (5) 最高使用温度 : 350°C (内圧) / 250°C (外圧)
 (6) 主要材質 : SUS304

図 4-7 に外形図を示す。

4.1.7 プラギング計

(1) 型式 : 強制空冷振動式/自動連続式
 (2) 基数 : 1 基
 (3) 最高使用圧力 : 0.9MPa (内圧) / 0.1MPa (外圧)
 (4) 最高使用温度 : 435°C (内圧) / 250°C (外圧)
 (5) 定格流量 : 1L/min
 (6) 定格温度 : 235°C (マザーループ純化運転時)
 (7) 測定範囲 : 120°C~250°C

図 4-8 に外形図を示す。

4.1.8 ベーパートラップ 1 (ダンプタンク 1 用)

(1) 型式 : 縦置円筒型 自然空冷式
 (2) 最高使用圧力 : 0.6MPa (内圧) / 0.1MPa (外圧)
 (3) 最高使用温度 : 250°C (内圧) / 250°C (外圧)
 (4) 定格流量 : 70NL/min

- (5) 定格温度 : 200°C
- (6) 主要材質 : SUS304

図 4-9 に外形図を示す。

4.1.9 ベーパートラップ 2 (ダンプタンク 2 用)

- (1) 型式 : 縦置円筒型 自然空冷式
- (2) 最高使用圧力 : 0.6MPa (内圧) / 0.1MPa (外圧)
- (3) 最高使用温度 : 435°C (内圧) / 250°C (外圧)
- (4) 定格流量 : 70NL/min
- (5) 定格温度 : 200°C
- (6) 主要材質 : SUS304

図 4-10 に外形図を示す。

4.1.10 ベーパートラップ 4 (ガス抜きポット用)

- (1) 型式 : 縦置円筒型 自然空冷式
- (2) 最高使用圧力 : 0.9MPa (内圧) / 0.1MPa (外圧)
- (3) 最高使用温度 : 350°C (内圧) / 250°C (外圧)
- (4) 定格流量 : 50NL/min
- (5) 定格温度 : 200°C
- (6) 主要材質 : SUS304

図 4-11 に外形図を示す。

4.1.11 ナトリウム弁

- (1) 数量 : 1 式
- (2) 最高使用圧力 : 0.9MPa (内圧) / 0.1MPa (外圧)
- (3) 最高使用温度 : 435°C (内圧) / 250°C (外圧)
- (4) 主要材質 : SUS304
- (5) 主要口径 : 15A、50A、65A
- (6) その他 : ベローズ部のナトリウム漏えいを検出するため、接触型漏えい検出器が設置されている。

図 4-12 に外形図を示す。

4.1.12 カバーガス弁

- (1) 数量 : 1 式
- (2) 最高使用圧力 : 0.9MPa (内圧) / 0.1MPa (外圧)
- (3) 最高使用温度 : 80°C (内圧) / 60°C (外圧)
- (4) 主要材質 : SUS304

4.1.17 外装板

- | | |
|----------|-----------------------------|
| (1) 数量 | : 1 式 |
| (2) 材質 | : カラー鉄板 (JIS G3312:2013 相当) |
| (3) 表面温度 | : 55°C以下 |

4.1.18 ライナー

- | | |
|-------------------------------|---------------------|
| (1) 材質 | : SS400 |
| (2) 板厚 | : 6mm (床)、4.5mm (壁) |
| (3) 外周部堰高さ | : 90mm |
| (4) 5m ² 未満の区画の堰高さ | : 50mm |

4.1.19 アルゴンガスヘッダー

- | | |
|------------|-----------------------------|
| (1) 型式 | : 横置円筒型 |
| (2) 基数 | : 1 基 |
| (3) 容量 | : 約 0.03m ³ |
| (4) 最高使用圧力 | : 0.9MPa (内圧) / 0.1MPa (外圧) |
| (5) 最高使用温度 | : 80°C (内圧) / 60°C (外圧) |

図 4-15 に外形図を示す。

4.2 主要機器製作状況

主要機器の製作状況を以下に示す。

4.2.1 ダンプタンク

マザーループダンプタンクは、ナトリウムの貯蔵、試験装置へのナトリウム充填・ドレンを実施するため、以下の(1)から(16)の順番で、容量 150m³のタンク 2 基 (ダンプタンク 1、2) を製作した。

(1) 素材入荷

ダンプタンク 1、2 製作時に使用した素材の、ダンプタンク製作メーカーへ入荷時の状況を写真 4-1 に示す。

(2) 鏡板搬入

ダンプタンク鏡板は、ダンプタンク本体の組立を実施した工場とは別な場所で製作後、組立を実施する工場までを海上輸送し、ダンプタンク本体の組立作業を実施した。海上輸送後の水切り作業前の鏡板を写真 4-2 に示す。

(3) 胴体部材料切断

ダンプタンク胴体部の材料は、自動切断機を使用して切断作業を実施した。胴体部の切断作業状況を写真 4-3 に示す。

(4) 胴体溶接部開先加工

切断した胴体部の材料は、溶接前に自動開先加工機を使用して開先加工作業を実施した。胴体部の開先加工状況を写真 4-4 に示す。

(5) ノズル穴開先加工

ダンプタンクノズル穴は、ノズル取付前に開先加工を実施した。ノズル穴の開先加工状況を写真 4-5 に示す。

(6) 胴体部曲げ加工

胴体部に使用する胴板は、曲げ加工用ローラを使用して胴体部の曲げ加工作業を実施した。胴体部の曲げ加工作業状況を写真 4-6 に示す。

(7) 胴体長手溶接（内面）

胴体部の曲げ加工を実施した後、長手方向内面の溶接を実施した。胴体長手方向内面部の溶接作業状況を写真 4-7 に示す。

(8) 胴体長手溶接（外面）

胴体部長手方向内面の溶接後、胴体部長手方向外面の溶接を実施した。胴体長手方向外面部の溶接作業状況を写真 4-8 に示す。

(9) 胴体周方向組立

胴体長手方向の溶接を実施した後、胴体周方向の組立作業を開始した。組立中の胴体を写真 4-9 に示す。

(10) 胴体周溶接（内面）

胴体周方向の組立を実施した後、周方向内面部の溶接作業を実施した。周方向内面部の溶接作業状況を写真 4-10 に示す。

(11) 胴体周溶接（外面）及びタンク内部配管組立

胴体周方向内面部の溶接作業を実施した後、周方向外面部の溶接作業を実施した。周方向外面部溶接作業状況を写真 4-11 に示す。

また、ダンプタンク内部に挿入するノズル配管部の組立作業を実施した。タンク取付前のノズル配管部を写真 4-12 に示す。

(12) 受皿製作及びノズル溶接（外面）

ダンプタンクへ流入するナトリウムによる熱衝撃からダンプタンク胴体部を保護するため、ナトリウム充填ドレンノズルの下部のタンク底部へ受け皿を設置した。設置したダンプタンク受け皿を写真 4-13 に示す。

また、ダンプタンクに取り付けるノズルについて、外面部の溶接作業を実施した。ノズル外面部の溶接作業状況を写真 4-14 に示す。

(13) ノズル溶接（内面）

ノズル内面部の溶接作業は、ダンプタンクノズル外面部の溶接作業後に実施した。ノズル内面部の溶接作業状況を写真 4-15 に示す。

(14) ダンプタンク内面洗浄

ダンプタンク内部の受け皿及びノズル取付後に内面洗浄作業を実施した。洗浄作業状況を写真 4-16 に示す。

(15) 耐圧検査及び気密検査

組立が完了したダンプタンク 1、2 は耐圧検査及び気密検査を実施した。ダンプタンクの気密検査状況を写真 4-17 に示す。

(16) ダンプタンク 1、2 製作完了

耐圧検査及び気密検査が終了したダンプタンク 1 及びダンプタンク 2 の工場製作完了状況をそれぞれ写真 4-18 及び写真 4-19 に示す。

4.2.2 電磁ポンプ

マザーループのナトリウム循環には、環状流路型リニア誘導式の電磁ポンプが使用されている。ポンプ流量はインバータにより電磁ポンプコイル部に流れる電圧及び周波数を制御している。以下に電磁ポンプの製作状況を示す。

(1) コア芯

コイル部の組立てに使用するコア芯の外観を写真 4-20 に示す。

(2) コイル巻き付け用ボビン胴材外観及びボビン側面板外観

コイル巻き付けに使用するボビン胴材 18 個の外観を写真 4-21 に、コイル巻き付け用ボビンの側面部に使用する側面板 38 枚の外観を写真 4-22 に示す。

(3) 耐圧検査及び製作完了

組立てが完了した電磁ポンプは、耐圧試験を実施した。耐圧試験状況を写真 4-23 に示す。耐圧試験実施後の製作完了状態を写真 4-24 に示す。

4.2.3 コールドトラップ

コールドトラップは、胴本体、冷却ジャケットの 2 重構造で、胴本体の内部はナトリウム中の不純物を捕獲するためのステンレスメッシュが充填されている。以下にコールドトラップの製作状況を示す。

(1) 冷却ジャケット及び上部鏡板内面

冷却ジャケット製作時の外観を写真 4-25 に示す。また、胴上部の鏡板製作時における内面状況を写真 4-26 に示す。

(2) 下部鏡面部ヒータ及び保温材取付

コールドトラップ下部鏡面部には予熱ヒータを設置している。下部鏡面部の予熱ヒータ設置状態を写真 4-27 に示す。また、下部鏡面部予熱ヒータ設置部分の外面には保温材が取り付けられている。下部鏡面部への保温材の取付状態を写真 4-28 に示す。

(3) 冷却用送風機及び入口ダンパ組合せ

コールドトラップ冷却用送風機は、コールドトラップの冷却に必要な風量を確保するためのものである。組合せ前の冷却用送風機を写真 4-29 に示す。

また、コールドトラップ冷却用空気の取入口には取入空気量が調整可能な入口ダンパが設置されている。入口ダンパは冷却用送風機出口とコールドトラップ本体間に設置される。入口ダンパとコールドトラップ本体の組合せ状況を写真 4-30 に示す。

(4) 胴体内部及び上鏡板と内胴

胴体部製作時の内部状態を写真 4-31 に示す。また、上鏡板と内胴部の製作完了

状況を写真 4-32 に示す。

(5) 耐圧試験及び全体外観

製作完了したコールドトラップについて耐圧試験を実施した。耐圧試験状況を写真 4-33 に示す。また、組立完了後のコールドトラップ全体外観を写真 4-34 に示す。

4.2.4 エコノマイザ

エコノマイザは U 字管型シェルアンドチューブ方式熱交換器で、コールドトラップ出入口のナトリウム配管に接続される。コールドトラップで降温されたナトリウムは、エコノマイザによりコールドトラップ出入口ナトリウムと熱交換を行い系統温度近傍まで回復される。以下にエコノマイザの製作状況を示す。

(1) 伝熱管外観及び伝熱管内面

エコノマイザ伝熱管製作時の外観を写真 4-35 に、伝熱管 7 本の内面状態を写真 4-36 に示す。

(2) 管付管板及び管付管板伝熱管挿入

エコノマイザ伝熱管は管付管板に挿入され溶接される。溶接前の管付管板を写真 4-37、管付管板溶接前の伝熱管挿入状態を写真 4-38 に示す。

(3) 耐圧試験及び全体外観

製作完了したエコノマイザについて耐圧試験を実施した。耐圧試験状況を写真 4-39 に示す。また、組立完了後のエコノマイザ外観を写真 4-40 に示す。

4.2.5 戻り加熱器

戻り加熱器は、コールドトラップによるナトリウム純化で冷却された熱量を補い、マザーループで循環しているナトリウム温度とほぼ同じ温度に戻すためのシースイータを内挿している機器である。以下に戻り加熱器の製作状況を示す。

(1) 容器組込前バッフル位置及びバッフル板外観

平板部の容器組込前のバッフル位置の状態を写真 4-41 に示す。また、バッフル板の外観を写真 4-42 に示す。

(2) 平板部及び内部ヒータ外観

内部ヒータが貫通する平板部の組み込み状態を写真 4-43 に示す。内部ヒータは直接ナトリウム中に設置されている。容器からの取り出し部には、ヒータスリーブが設けられており、ヒータスリーブと内部ヒータの隙間に入り込むナトリウムを固化できる長さを確保した位置で、スリーブと内部ヒータが溶接されている。内部ヒータの外観を写真 4-44 に示す。

(3) 内部ヒータ胴体への組み込み状況

取付した内部ヒータの、胴体部への組み込み作業を実施した。内部ヒータの組み込み状態を写真 4-45 に示す。また、内部ヒータ用端子箱閉止前の戻り加熱器胴体への内部ヒータ組込完了状態を写真 4-46 に示す。

(4) 耐圧試験及び製作完了

製作完了した戻り加熱器について耐圧試験を実施した。耐圧試験状況を写真 4-47 に、製作完了後の戻り加熱器全体外観を写真 4-48 に示す。

4.2.6 プラギング計

プラギング計はナトリウム中の不純物濃度を間接的に測定するものであり、プラギング計用電磁ポンプ、電磁流量計、エコノマイザ、オリフィス、冷却器、冷却器ファン、ヒータ、配管等から構成される。以下にプラギング計の製作状況を示す。

(1) プラギング計用電磁ポンプ

プラギング計用電磁ポンプは、定格流量約 1L/min の環状流路型リニア誘導式が使用されている。ナトリウム配管接続前の電磁ポンプ外観を写真 4-49 に示す。

(2) メイン流量測定用電磁流量計

メイン流量測定用電磁流量計は、流量計測範囲 0~3L/min の永久磁石式が使用されている。メイン流量測定用電磁流量計の外観を写真 4-50 に示す。

(3) オリフィス流量測定用電磁流量計

オリフィス部には、流量計測範囲 0~3L/min の永久磁石式のオリフィス流量測定用の電磁流量計が設置されている。オリフィス流量測定用電磁流量計の外観を写真 4-51 に示す。

(4) ストレーナフィルタ

ナトリウム出入口配管ノズル部には、ストレーナフィルタが設置されている。ストレーナフィルタの外観を写真 4-52 に示す。ストレーナフィルタを出入口ノズル部へ溶接した状態を写真 4-53 に示す。

(5) 冷却器

クーラーオリフィス部には冷却器が設置され、冷却器で冷却されたナトリウムがオリフィスに流入する。冷却器は冷却管へ冷却フィンを取付けた構造となっている。冷却フィンを取付けた冷却器の外観を写真 4-54 に示す。

(6) オリフィス

プラギング計オリフィス部の外観を写真 4-55 に示す。プラギング計のオリフィス径（孔数は 1 個）は $\phi 1.2\text{mm}$ である。

(7) プラギング計用エコノマイザ

プラギング計用エコノマイザは U 字管型シェルアンドチューブ方式の 2 重管構造で、プラギング計に流入したナトリウムは、プラギング計用エコノマイザにより熱交換され系統に戻される。プラギング計用エコノマイザの外観を写真 4-56 に示す。

(8) バイパス用オリフィス部

プラギング計バイパスオリフィス部の溶接後状態を写真 4-57 に示す。バイパス用オリフィス部のオリフィス径（孔数は 1 個）は $\phi 2.3\text{mm}$ である。

(9) 予熱ヒータ取付

プラギング計ユニット内の配管、機器類には $\phi 8\text{mm}$ のシーズ型予熱ヒータが設置

されている。エコノマイザ及び冷却管部の予熱ヒータ設置状態を写真 4-58 に示す。

(10) 耐圧試験及びユニット外観

製作完了したプラグング計は耐圧試験を実施した。耐圧試験状況を写真 4-59 に示す。また、組立完了した工場出荷前のプラグング計ユニットの外観を写真 4-60 に示す。

4.2.7 ベーパートラップ

ベーパートラップは、カバーガス中に含まれるナトリウムベーパーを捕集するためのものである。ベーパートラップは、ダンプタンク 1 用のベーパートラップ 1、ダンプタンク 2 用のベーパートラップ 2、ガス抜きポット用のベーパートラップ 4 の計 3 基ある。以下にベーパートラップの製作状況を示す。

(1) 胴内部及び上部フランジ

胴内部へのメッシュ挿入前の内部清浄度確認状況を写真 4-61 に示す。また、上部フランジ部より胴内部の清浄度確認を実施した際の状況を写真 4-62 に示す。

(2) メッシュ外観及び耐圧試験

メッシュ組立が完了し、胴内部への挿入する前のメッシュ外観を写真 4-63 に示す。また、メッシュ挿入後のベーパートラップ耐圧試験状況を写真 4-64 に示す。

(3) 製作完了

製作が完了し工場出荷前のベーパートラップを写真 4-65 に示す。

4.2.8 ナトリウム弁

ナトリウム弁にはベローズシール弁が使用されており、ベローズ部のナトリウム漏えいを検出するため、接触型ナトリウム漏えい検出器が設置されている。以下にナトリウム弁の製作状況を示す。

(1) ディスク及びステム

ナトリウム弁組立前のディスク洗浄時の外観状態を写真 4-66 に示す。また、ステムには二硫化モリブデン乾性潤滑被膜処理 (MoS₂ ドライフィルム処理) をしているため、表面外観部が黒色を呈している。ステムの外観を写真 4-67 に示す。

(2) ボディー及びトリム

ボディーへトリムを挿入する前の、ボディー内部洗浄作業の状況を写真 4-68 に示す。また、トリムの外観状態を写真 4-69 に示す。

(3) ボディー部 PT 検査 (浸透液及び探傷液)

製作したボディーは PT 検査を実施した。PT 検査時の浸透液塗布状況を写真 4-70 に示す。

また、PT 検査時の探傷液塗布状況を写真 4-71 に示す。

(4) リップ部 PT 検査 (浸透液及び探傷液)

製作したリップ部は PT 検査を実施した。PT 検査時の浸透液塗布状況を写真 4-72 に、探傷液塗布状況を写真 4-73 に示す。

(5) ヘリウムリーク検査及び弁座漏えい検査

組立したトリム部分についてはヘリウムリーク検査を実施した。ヘリウムリーク検査状況を写真 4-74 に示す。また、弁座漏えい検査状況を写真 4-75 に示す。

(6) 作動試験及び組立完了

組立が完了したナトリウム弁について作動試験を実施した。空気作動式のナトリウム弁の作動試験状況を写真 4-76 に示す。組立完了時のナトリウム弁を写真 4-77 に示す。

4.2.9 ナトリウムサンプリング装置

ナトリウムサンプリング装置は、ナトリウム純度管理のため系統循環するナトリウムをサンプリングチューブへバイパス流入させ、急速冷却後に採取するためのものである。

ナトリウムサンプリング装置は、マザーループナトリウム配管から分岐するナトリウム配管、ナトリウムサンプリング装置の出入口ナトリウム弁、ナトリウム配管と接続するサンプリングチューブ、サンプリングチューブ内を真空引きするための真空ポンプ、サンプリングチューブ冷却用ボンベラック及びボンベ用レギュレータ等で構成される。

4.3 大型ダンプタンクの輸送・搬入

4.3.1 輸送前官庁手続き

ダンプタンクは、直径約 4m、全長約 12m、重量約 60t の大型重量物であり、大型特殊車両による輸送となる。このため、一般道路を利用した現地への輸送搬入に当たっては、監督官庁や関係部署に対して事前説明を実施した。

(1) 道路関係

常陸河川国道事務所道路管理第 1 課及び茨城県水戸土木事務所道路管理課に対して搬入について事前連絡を行い、輸送に当たり特殊車両通行許可申請書を提出した。また、輸送日が確定した時点で再度、連絡を行った。

(2) 警察関係

水戸警察署交通第 1 課規制係へ輸送に当たり現場警戒及び大洗町町道信号機移動の要望書を輸送前に提出するとともに、茨城県警察本部交通部交通規制課管制係へ輸送概要の説明を実施した。

(3) 大洗町

輸送概要について都市建設課へ説明を行い町道使用について許可を頂くとともに、ダンプタンク製作メーカーにおいて都市建設課へ輸送前の事前伺いを実施した。

4.3.2 海上輸送

(1) 輸送区間

製作されたダンプタンク 2 基は、兵庫県加古郡播磨町にあるダンプタンク製作

工場構内の岸壁から小型鋼船（1600t 級）を使用し、海上輸送日程約 3 日（平成 24 年 6 月 9 日～11 日）で大洗港第 4 ふ頭に到着した。

- ① 仕出港 : 兵庫県加古郡播磨町 タンク製作工場構内岸壁
- ② 目的港 : 茨城 大洗港 第 4 ふ頭
- ③ 納入場所 : 日本原子力研究開発機構 大洗研究所内 AtheNa 施設

(2) 輸送方法及び経路

兵庫県加古郡播磨町にある工場構内岸壁より、茨城大洗港の第 4 ふ頭岸壁まで 1600t 級の小型鋼船で運搬した。海上輸送経路は以下のとおりである。

経路：兵庫県加古郡播磨町 工場構内岸壁→潮岬→大王崎→御前崎→野島崎
→犬吠崎→大洗港

(3) 水切り

大洗港到着後に 500t 吊トラッククレーンにて水切りを行い、特殊運搬車両にセットした。

4.3.3 陸上輸送

(1) 陸上輸送ルート

茨城大洗港第 4 ふ頭よりトレーラに積載し、大洗研究所 AtheNa 施設まで約 6km を陸上輸送した。ダンプタンク輸送には、GH ナセル台車トレーラ（トレーラ A）及び GH85-1 型トレーラ（トレーラ B）の 2 台を使用した。

輸送時の車両も含めた総重量は、トレーラ A が約 114t、トレーラ B が約 132t で、輸送ルート上の耐荷重を検討した結果、袖ヶ浦橋の耐荷重 70t を超えることが判明したため、この橋を通過しないルートをあらかじめ設定した。

陸上輸送ルート及び輸送状況を図 4-16 に示す。

輸送ルート：大洗港→大洗港湾道路→県道 2 号線→町道 8-2087 号
→町道 8-1294 号→国道 51 号線→大洗研究所 AtheNa 施設

(2) 陸上輸送実績

ダンプタンク運搬時の総重量はトレーラ B が最大（約 132t）となり、特殊トレーラによる輸送となった。なお、本トレーラの台車部分は油圧により車高を最大 0.15m 降下させることが可能となっている。国道 51 号線夏海歩道橋（走行車線 2 車線の中央車線真上）は歩道橋下までの高さが 5.41m であるが、歩道橋通過時は輸送車両の車高を下げた状態（トレーラ A 高さ 5.33m、トレーラ B 高さ 5.18m）で走行した。

輸送時の主要寸法、重量等を以下に示す。

- ① 輸送品目 : ダンプタンク 2 基
- ② ダンプタンク寸法 : 4.1m(外径)×11.99m(長さ)
- ③ 輸送時寸法
 - トレーラ A : 約 33.49m(長さ)×約 4.16m(幅)×約 5.48m(高さ)
 - トレーラ B : 約 33.02m(長さ)×約 4.16m(幅)×約 5.33m(高さ)

④ ダンプタンク重量 : 60t/基

⑤ 総重量 (車両込)

トレーラ A : 約 114t

トレーラ B : 約 132t

トレーラ A への積載図を図 4-17 に、トレーラ B への積載図を図 4-18 に示す。

輸送隊列編成については、積載幅の最大幅が約 4.5m であり、輸送時は 2 車線を原則として占有することとなるため、各交差点には交通誘導員を配置し交通誘導を行なった。また、積載車両の前後に誘導車を配置し、運行の安全を確保した。

ダンプタンクは、平成 24 年 6 月 14 日午前 0 時過ぎに大洗港から出発した。ダンプタンク 2 基をトレーラ 2 台で輸送し、約 2 時間 30 分かけて大洗研究所 AtheNa 施設に到着した。国道 51 号線夏海歩道橋付近を輸送中の状況を写真 4-78 に示す。

陸上輸送を行い、大洗研究所南門前まで陸上輸送されてきたダンプタンクの状況を写真 4-79 に示す。

(3) 建家内搬入

AtheNa 施設内のダンプタンクピットに据え付けるため、トレーラをナトリウム試験室東側シャッター開口部より建家内に移動しようとしたところ、トレーラ低床部が地面と接触する恐れのあることが確認された。トレーラの後退による建家への進入角度を確認した結果、最大斜度が 7.7° であることが判明したため、侵入路の最大斜度を緩くするため碎石を敷設し、最大斜度を 3.7° に改善した。進入路の勾配調整前後の状況を写真 4-80 に示す。また、碎石後の斜度改善後におけるダンプタンクのトレーラ積載状況を写真 4-81 に示す。

斜度改善の結果、後退で車両侵入が可能であることが確認できたことから同年 6 月 17 日にトレーラを建家内に引き込みを実施した。碎石後にダンプタンクを建屋内へ搬入状況を写真 4-82 に示す。

ダンプタンクは建屋内へ搬入後、建家天井クレーンを使用し、ダンプタンクピットに据え付けを実施した。建屋内搬入完了時の状況を写真 4-83 に示す。

5. 現地据付工事

5.1 ダンプタンク

(1) 基準芯設定

ダンプタンク据付前に建屋基準芯を確認しタンク据付基準芯を床、壁に罫書きを実施した。基準芯の罫書き作業状況を写真 5-1 に示す。

(2) 基礎台チップング

ダンプタンク据付前の基準芯確認後、基礎台部分のチップング作業を実施した。基礎台部分のチップング作業状況を写真 5-2 に示す。

(3) 基礎架台設定

① レベリングブロック設置

固定側に 10 台、可動側に 8 台のレベリングブロックを配置し、高さ方向は Y レベルで高さ許容範囲内に収まるように設定した。基礎台部分へのレベリングブロック配置状況を写真 5-3 に示す。

② 固定側架台設置

固定側架台をレベリングブロック上にクレーンにて吊下ろし、架台基準芯とタンク基準芯を鋼尺、下げ振りで合わせた後、固定側架台のタンク据付面で FL-6740mm±1mm (4 箇所×2 脚×1 基)になるようレベリングブロックのねじ部を回して調整した。固定架台の据付状況を写真 5-4 に示す。

③ タンク据付け

架台設置が完了した基礎部に建家天井クレーンを使用してダンプタンクの据付けを実施した。天井クレーンによるダンプタンクの吊上げ作業状況を写真 5-5 に示す。

④ タンク基礎部グラウト施工

ダンプタンク基礎部にダンプタンクを据付後、基礎部のグラウト施工を実施した。使用グラウト材には、デンカ株式会社製のプレタスコン TYPE-M を使用した。

ダンプタンク基礎部のグラウト施工作業状況を写真 5-6 に示す。

⑤ 基礎部型枠取外し

ダンプタンク基礎部のグラウト施工が完了し、グラウトが固化した後、型枠の取り外し作業を実施した。型枠取外し後のダンプタンク基礎部を写真 5-7 に示す。

⑥ 基礎ボルト本締め

トルクレンチ及びパワーレンチで基礎ボルト、固定ボルトの締結を行った。トルク管理値は以下で管理した。

基礎ボルト：650N・m±15%、固定ボルト：600N・m±15%

基礎ボルトの締結作業状況を写真 5-8 に示す。

⑦ 据付完了

ダンプタンク 1 基礎部へのダンプタンク 1 据付け状態を写真 5-9 に、ダンプタンク 2 基礎部へのダンプタンク 2 据付け状態を写真 5-10 に示す。また、ダンプタンク 1、2 の据付位置実測値を表 5-1 に示す。

⑧ 保温施工

ダンプタンク据付け完了後に保温施工作業を実施した。ダンプタンクの保温施工状態状況を写真 5-11 に示す。

⑨ 外装板施工

保温施工が完了した後に外装板施工作業を実施した。ダンプタンク 1、2 の胴体下部には、接触型ナトリウム漏えい検出器（ケーブル型）が設置されている。ダンプタンクの外装板施工状態を写真 5-12 に示す。

5.2 電磁ポンプ

電磁ポンプは据付架台上に M16 ボルト 4 本で固定され、電磁ポンプ流路管はマザーループのナトリウム配管と突き合わせ溶接で接続されている。電磁ポンプ架台に設置した電磁ポンプの状態を写真 5-13 に示す。また、架台設置時の据付位置実測値を表 5-2 に示す。

電磁ポンプをはじめとするナトリウム機器類は、据付時の位置(水平方向・高さ方向)を適切に管理することにより、ナトリウムドレン時に配管内にナトリウムが残留しないようにナトリウム配管勾配である 1/50 以上を確保している。

5.3 コールドトラップ

コールドトラップは、コールドトラップ本体、送風機、入口ダンパ、出口ダンパ等で構成され、コールドトラップ本体と送風機はコンクリート製のベース架台上に設置されている。

(1) コールドトラップ搬入

コールドトラップ現地搬入状況を写真 5-14 に示す。

(2) コールドトラップ本体据付

コールドトラップ本体は、AtheNa 施設建設時に製作されたコンクリート製ベース架台上へ設置した。コールドトラップ本体とコンクリート製ベース架台間には、コンクリート面の水平方向、高さ方向を調整するためのベースプレートが設置されており、コールドトラップ本体はベースプレート上に M20 ボルト 12 本で固定されている。コールドトラップ本体据付状況を写真 5-15 に示す。また、コールドトラップ本体据付時の据付位置実測値を表 5-3 に示す。

(3) 保温材施工

コールドトラップ本体据付後に保温施工作業を実施した。コールドトラップ出入口配管及び上鏡板近傍の保温施工状態を写真 5-16 に示す。

(4) 外装板施工

コールドトラップ本体の保温施工が完了した後に外装板を設置した。外装板施工後の外観を写真 5-17 に示す。

5.4 エコノマイザ

(1) エコノマイザ据付

エコノマイザは固定支持部が、外胴入口ノズル近傍に設置されており、エコノマイザの重心から離れた位置となっていることから、エコノマイザの自重が一箇所に集中するのをさけ自重を分散させるためにスプリングハンガを設置している。エコノマイザを取付架台へ固定した保温施工前の状態を写真 5-18 に示す。また、エコノマイザ据付時の据付位置実測値を表 5-4 に示す。

(2) 保温材施工

エコノマイザの保温施工状態を写真 5-19 に示す。

(3) 外装板施工

保温施工が完了した後に外装板を設置した。外装板施工後の外観状態を写真 5-20 に示す。

5.5 戻り加熱器

戻り加熱器は横置円筒型電気式で、エコノマイザからのナトリウムを受け入れ、戻り加熱器内に設置された内挿シースヒータにより加熱し、戻り加熱器上部からナトリウムを送り出す構造となっている。

(1) 戻り加熱器据付

戻り加熱器胴体部にはナトリウム充填前の予熱のため、内挿シースヒータ 15 本×4kW（電力密度約 5.0W/m²、発熱部長さ 1300mm）とは別に予熱ヒータ（シースヒータ）が施工されている。また、戻り加熱器の出口ノズル側の胴体下部及び入口ノズル側の胴体下部には、接触型ナトリウム漏えい検出器（ケーブル型）が設置されている。接触型ナトリウム漏えい検出器の構造はダンプタンク 1、2 に設置されているものと同様である。戻り加熱器を取付架台へ固定した保温施工前の状態を写真 5-21 に示す。また、戻り加熱器据付時の据付位置実測値を表 5-5 に示す。

(2) 保温施工後

保温施工後の外観状態を写真 5-22 に示す。

(3) 外装板施工後

戻り加熱器の出口ノズル側の胴体下部及び入口ノズル側の胴体下部には、接触型ナトリウム漏えい検出器が設置されている。外装板施工後の外観状態を写真 5-23 に示す。

5.6 ガス抜きポット

ガス抜きポットは、ナトリウム充填時にナトリウム配管系統内ガス抜きを行うためのものである。なお、マザーループにナトリウムを充填する際、マザーループガス抜きポットの据付高さレベルまでナトリウムが充填されたことを検知するための接点式ナトリウム液位計が 2 基設置されている。液位計はナトリウム充填完了液位である鏡板外面頂部から 638.9mm 挿入された位置を検知するものが 1 基（ガス抜きポット内ナトリウム容量 0.0189m³）、鏡板外面頂部から 103.9mm 挿入された位置を検知するものが 1 基（ガス抜きポット内ナトリウム容量 0.08m³）設置されている。

(1) ガス抜きポット据付

ガス抜きポット胴部には予熱のためのシースヒータが施工されている。ガス抜きポットを取付架台へ固定した保温施工前の状態を写真 5-24 に示す。また、ガス抜きポット据付時の据付位置実測値を表 5-6 に示す。

(2) 保温施工

保温施工後の外観状態を写真 5-25 に示す。

(3) 液位計取付フランジ部のパッケージ保温

ガス抜きポット用液位計はフランジ部に設置されており、フランジ部の保温はパッケージ構造となっている。液位計フランジ部のパッケージ保温施工後の外観状態を写真 5-26 に示す。

(4) 外装板施工

ガス抜きポットの上部鏡板に溶接されている上部及び下部液位計用取付フランジに、接点式ナトリウム液面計が設置されている。外装板施工後の外観状態を写真 5-27 に示す。

5.7 プラギング計

プラギング計を構成している、電磁ポンプ、電磁流量計、エコノマイザ、オリフィス、冷却器、冷却ファン、ヒータ、配管等は工場にてユニット内に組立が実施され、現地に搬入された。

(1) プラギング計据付

プラギング計出入配管溶接作業前の架台への設置状態を写真 5-28 に示す。また、プラギング計据付時の据付位置実測値を表 5-7 に示す。

(2) 出入口配管溶接後

架台への据付が完了したプラギング計出入口配管の溶接作業を実施した。配管溶接後のプラギング計を写真 5-29 に示す。

(3) 保温・外装板施工

配管部の溶接完了後、保温施工及び外装板施工を実施した。外装板施工後の外観状態を写真 5-30 に示す。

5.8 ベーパートラップ 1

ベーパートラップ 1 は縦置円筒型の自然空冷式であり、ダンプタンク 1 から排出されるカバーガス中のナトリウムベーパーの捕獲効率を高めるため保温材がない状態で設置した。また、人が容易に寄り付けることができる高さ約 2m に設置されているため接触時の火傷防止のため胴部外周にステンレス製の金網が設置されている。ベーパートラップ 1 の架台への設置状態を写真 5-31 に示す。

5.9 ベーパートラップ 2

ベーパートラップ 2 はダンプタンク 2 に設置し、ベーパートラップ 1 と同様の設置状態である。ただし、1 階フロアレベルから約 3m の高さにあり胴部への接触の恐れがないことから、胴部外周のステンレス製金網はない。ベーパートラップ 2 の架台設置状態を写真 5-32 に示す。

5.10 ベーパートラップ 4

ベーパートラップ 4 はガス抜きポットに設置し、ベーパートラップ 1 と同様の設置状態である。また、大型鉄骨架構 4 階（フロアレベル+22.5m）フロアより高さ約 0.25m

に設置されているため、ベーパートラップ 1 と同様に接触防止用ステンレス製の金網で囲っている。ベーパートラップ 4 の架台設置状態を写真 5-33 に示す。

5.11 ナトリウム弁

ナトリウム弁は弁サポートを取付後、取り合い先のナトリウム配管を開先加工後に溶接して設置した。なお、溶接時には弁ボディ及びディスク面への溶接による影響を避けるため弁を開いた状態で、溶接作業中は開閉操作を行わないように実施している。

(1) ナトリウム弁据付

ナトリウム配管への溶接が完了しナトリウム弁本体に弁ヒータ、予熱制御用熱電対を取付ける前の状態を写真 5-34 に示す。

(2) 保温及び外装板施工

保温及び外装板が施工され施工完了状態のナトリウム弁を写真 5-35 に示す。

5.12 ナトリウム配管

ナトリウム配管の溶接に当たっては、開先面及び継手部の両端 25mm 以上の範囲について清掃し油脂分を除去した後、突合せ溶接時はバックシールドガスを流して酸素濃度 0.3%以下の状態で実施した。

(1) 仮付け

ナトリウム配管の仮付け溶接作業状況を写真 5-36 に示す。

(2) 異物混入防止プラグ挿入状況

開先加工作業時は配管内部へ切粉が混入することを防止するため、異物混入防止のためのプラグを配管内部に挿入して作業を実施した。異物混入防止プラグの配管内挿入状態を写真 5-37 に示す。

(3) 開先加工

異物混入防止プラグ挿入完了後開先加工を実施した。自動開先加工機を使用した開先加工作業状況を写真 5-38 に示す。

(4) 異物混入確認

開先加工完了後に異物混入防止プラグの取り外しを行い配管内部に異物がないことを確認した。異物混入確認作業の状況を写真 5-39 に示す。

(5) 耐圧検査

溶接作業が完了したナトリウム配管類について、大洗町消防本部による立会検査（耐圧検査）を実施し合格した。耐圧検査の状況を写真 5-40 に示す。

(6) 熱電対取付

ナトリウム配管へ熱電対の取付作業を実施した。ナトリウム配管への熱電対取付状態を写真 5-41 に示す。

(7) 予熱ヒータ取付

ナトリウム配管への予熱ヒータ取付作業を実施した。ナトリウム配管への予熱ヒータ取付状態を写真 5-42 に示す。

(8) 保温施工

熱電対、予熱ヒータの設置が完了したナトリウム配管について、保温施工を実施した。保温施工時は保温継ぎ目を極力下方向又は壁方向となるようにし多層構造の保温部は合わせ目をずらして施工している。また保温材の継ぎ目と配管溶接部の重複を避けて保温されている。保温施工状態を写真 5-43 に示す。

(9) 外装板施工

保温施工表面に塗装溶融亜鉛めっき鋼板製の外装板施工を実施した。外装板の継ぎ目は極力下方向又は壁方向となるよう施工されている。外装板施工後の外観状態を写真 5-44 に示す。

5.13 ナトリウムサンプリング装置

ナトリウムサンプリング装置は、サンプリング管とその出入口弁、サンプリング管予熱ヒータ、サンプリング管真空引き用真空ポンプ、圧縮空気ボンベによる急速冷却系から構成されるユニットであり、そのユニットをナトリウム系統に設置した。

(1) サンプリング装置ナトリウム配管接続準備

ナトリウムサンプリング装置出入口配管と取合う、マザーループナトリウム配管への接続前状況を写真 5-45 に示す。

(2) サンプリング装置ナトリウム配管接続

ナトリウムサンプリング装置は、マザーループコールドトラップバイパス弁の上流側に入口配管、下流側に出口配管が接続され、接続されたサンプリング装置ナトリウム配管の出入口部にはベローズシール方式のナトリウム弁を設置している。

配管接続位置を図 5-1 に示す。マザーループナトリウム配管への接続後状況を写真 5-46 に示す。

(3) 据付完了

ナトリウムサンプリング装置の据付完了状態を写真 5-47 に示す。

5.14 ライナー

マザーループが設置されている場所の床及び壁面のコンクリート部には、ナトリウムとの接触を防止するため鋼製のライナーが設置されている。1 階床ライナーの施工状態を写真 5-48 に示す。ダンプタンクピット内のライナーは、後打ち金物及び下地材の取付けを実施後にライナー板の溶接作業を実施した。ダンプタンクピット内後打ち金物の施工状態を写真 5-49 に、下地材の取付状態を写真 5-50 に、ライナー板の溶接作業状況を写真 5-51 に、ライナー施工完了状態を写真 5-52 に示す。

また、1 階床ライナーの概念図を図 5-2 に、ダンプタンクピット内の床ライナーの概念図を図 5-3 に示す。

5.15 保温材

保温設備は、運転状態で、かつ雰囲気温度が 40℃の場合においても保温材外表面が 55℃以下になるよう施工されている。保温材質は配管や機器等によって若干異なっている。

配管には、第 1 層目にはセラミックペーパータイプのリフラクトリーセラミックファイバー（ニチアス製ファインフレックス 1300 ペーパー T）が施工され、第 2 層目にロックウール（ニチアス製 MG マイティーカーバー）が施工されている。

機器類（ダンプタンク 1、2 を除く）には、第 1 層にはセラミック又はファインフレックスタイプのリフラクトリーセラミックファイバー（ニチアス製ファインフレックス 1300 ペーパー T、ニチアス製ファインフレックスブランケット又は（ITM 製 FXL ブランケット）が施工され、第 2 層にロックウール（ニチアス製 MG ワイヤードブランケット）が施工されている。

ダンプタンク 1、2 には、第 1 層目にセラミックフェルトタイプのリフラクトリーセラミックファイバー（ITM 製 FXL ブランケット）が施工され、第 2 層目にロックウール（ニチアス製 MG ワイヤードブランケット）が施工されている。

また、配管・機器の目地材には、セラミックウール繊維質保温材（ITM 製 FXL ブランケット又はニチアス製ファインフレックスブランケット）を使用している。配管部の保温施工例を図 5-4 に示す。

6. 運転制御システム

6.1 運転操作

6.1.1 起動停止操作（電源、補機系）

マザーループを起動するために必要な機器・設備の点検を行い異常が無いことを確認した後、機器・設備の電源設備を起動するとともにユーティリティ系設備を起動する。停止操作では、運転監視上必要な系統を除く機器・設備を停止する。

6.1.2 予熱操作

系統の予熱操作は運転モードに合わせて、予熱のコントロールを実施する。ベーパートラップ以降のカバーガス系に予熱ヒータは設置されていない。また、ダンプタンク、ガス抜きポットのカバーガス空間とアルゴンガスヘッダーを連通させ、これらのカバーガス圧力を一定に保つ。

6.1.3 ナトリウム充填操作

(1) 加圧充填前真空引き操作

真空排気系の真空ポンプにより系統内を約 266Pa(abs)まで真空引きする。真空引きの際はカバーガス圧力が真空となっていない部位がないよう、計器保護のため真空引き時に閉するダンプタンク 1 カバーガス圧力伝送器（130-PT11）、ダンプ

トラップドレン弁を開としてドレンする。また、ドレンに使用しないダンプタンクのカバーガス空間とアルゴンガスヘッダーを連通させ、これらのカバーガス圧力を一定に保つ。

6.1.7 ガス導通操作

マザーループのドレン操作が終了した後、ナトリウムが系統内に残留していないことを確認するため、ガス導通操作を行う。ガス抜きポットからカバーガスを供給し、所定の弁を閉じてダンプタンクまでの配管経路を形成し、ダンプタンク側で圧力の上昇を確認することによりガス導通確認を行う。カバーガスはベーパートラップを介し、屋外へ排気する。

6.1.8 ダンプタンク間のナトリウム移送操作

ダンプタンク間のナトリウム移送は、該当するダンプタンク間にカバーガス圧力差をつけて主配管を経由して行う。加圧移送の場合は、連結配管高さ分のカバーガス圧を移送元のダンプタンクに加え、移送先のタンクは、ベーパートラップを介して余分なカバーガスを排気する。

6.1.9 ナトリウムサンプリング操作

ナトリウムサンプリング装置は、マザーループのプラグング計出口配管部にある110-HV22弁の上流側にサンプリング装置入口配管を、110-HV22弁の下流側の戻り配管へサンプリング装置出口配管が接続されている。ナトリウムサンプリング時はサンプリング管を真空引き、予熱したのち、サンプリング装置入口弁及び出口弁を順番に開として、サンプリング管内のフラッシング運転を18時間以上実施したのち、サンプリング装置出口弁を閉としてサンプリング管の冷却操作後、サンプリング装置入口弁を閉することによりサンプリングする。

6.2 異常時のインターロック

6.2.1 緊急ドレン

緊急ドレンは、ナトリウム漏えい発生時や監視制御盤故障等により系統内のナトリウムを緊急的にダンプタンク内に落とす場合に緊急ドレンスイッチを操作して行う。緊急ドレンスイッチの操作に連動して、電磁ポンプ、コールドトラップ冷却用送風機、プラグング計電磁ポンプ及び冷却ファン、戻り加熱器ヒータ、真空ポンプがトリップ（停止）する。系統内のナトリウムは通常ドレン時と同じ経路でダンプタンク2にドレンされるため、遠隔操作弁110-AV8、110-AV2、110-AV10、130-AV23弁を遠隔にて全開する。

6.2.2 緊急停止

緊急停止は、監視制御盤故障時等に緊急停止SWを操作することによって、動的機

器（電磁ポンプ冷却用送風機、プラグイン計用電磁ポンプ冷却用送風機を除く）が自動的に停止する。この時、監視制御盤で監視操作対象の空気作動弁は、ナトリウムを保持（現状維持）するために全閉（フェイルクローズ）状態とする。また、予熱ヒータも停止させる。緊急停止後、異常状態や故障箇所の確認を行い、プラント再起動又は緊急ドレン操作を行う。

6.2.3 監視制御盤重故障時

監視制御盤重故障時には、動的機器（電磁ポンプ冷却用送風機、プラグイン計用電磁ポンプ冷却用送風機を除く）が自動停止する。監視制御盤で監視操作対象の空気操作弁は、ナトリウムを保持（現状維持）するために全閉（フェイルクローズ）させる。また、予熱ヒータも停止させる。その後、監視制御盤の復旧又は緊急ドレン操作を行う。

6.2.4 窒素ガス供給源喪失

窒素ガス供給系ヘッダーの圧力が低下し、空気操作弁操作の窒素ガスを供給できなくなった場合、窒素ガス供給系ヘッダー圧力低低の警報を発報する。

6.3 監視制御システム

6.3.1 マザーループ監視制御システム構成

本システムは、マザーループ監視制御 OIS (Operational Interface Station) 盤、マザーループ監視制御 CPU 盤、マザーループ監視制御 PI/O 盤、マザーループ監視制御サーバー (SVR) 盤、ハードコピー (ハードコピー機)、ラインプリンタ (プリンタ機)、マザーループ緊急用監視操作盤から構成される。マザーループの監視制御システム構成を図 6-1 に示す。

マザーループ監視制御 OIS 盤、CPU 盤及びサーバー (SVR) 盤は、単一故障によりマザーループの操作及び監視が不可能になることを回避するためシステムを二重化構成としている。

なお、マザーループ緊急用監視操作盤は、マザーループ監視制御 CPU 盤重故障時にマザーループ緊急停止及び緊急ドレン操作を行う機能を有し、マザーループの停止状態確認に必要なプロセスデータ（ダンプタンク 1、2 液位、ダンプタンク 1、2 カバーガス圧力、電磁ポンプ出口ナトリウム温度、電磁ポンプコイル温度、戻り加熱器出口ナトリウム温度、窒素ガス供給母管圧力）を監視用の LCD ディスプレイ画面に出力する機能を備え、マザーループ運転に当たって重要度の高い警報（ナトリウム漏えい、ダンプタンク 1、2 液位高高、電磁ポンプコイル温度高高）、ナトリウムドレン操作に必要な弁開閉スイッチを有する。さらに、マザーループ監視制御 CPU 盤重故障時に緊急ドレン操作を可能とするリレー回路で構成されている。

マザーループ緊急用監視操作盤の監視操作警報項目を表 6-1 に示す。

6.3.2 予熱制御系

(1) 予熱温度制御機能

予熱温度制御は、マザーループ監視制御 CPU 盤において、各ヒータブロック単位で独立した制御回路を設け、図 6-2 に示したように温度設定値と実温度の偏差に対するデッドバンドを設定し、各ヒータに対して ON-OFF 制御を行う。

また、各ヒータブロックは、予熱温度と温度設定値との偏差に対し上下限の警報設定値を設定し、予熱温度がその範囲を逸脱した場合には予熱温度高/低警報をマザーループ監視制御 OIS 盤に出力する。同一機器及び配管等で複数のヒータブロックが設けられ同一のパターンの予熱運転を行うものは、1つのヒータグループにまとめて同一の温度設定値で制御される。

予熱制御系のシステム構成を図 6-3 に示す。

ヒータグループは、予熱温度制御系の運転モード（ダンプタンク予熱運転、ナトリウム充填運転、ナトリウム循環・純化運転、ナトリウムドレン運転、装置停止）に応じて5つのグループに分かれヒータを一括して制御できる。

また、ヒータブロックは、ナトリウム配管、ナトリウム弁、ダンプタンク 1、ダンプタンク 2、戻り加熱器、ガス抜きポット、コールドトラップ、プラグイン計、エコノマイザ、電磁ポンプ、電磁流量計の 11 ブロックに分かれブロック毎にヒータ制御が可能である。

表 6-2 に、ヒータブロックとヒータグループの関係を表した予熱運転パターン表を示す。

(2) 予熱温度設定値の自動変更機能

マザーループ監視制御 CPU 盤において、各運転モード及びヒータグループ毎に、個々のヒータブロックに対応した予熱温度設定値を自動的に変更する機能を有している。予熱昇温時は機器、配管に対するヒータブロック間の温度偏差を小さくし、機器、配管等が熱過渡上許容し得る昇温率を超えないよう予熱制御している。

また、予熱温度設定値の変更は、マザーループ監視制御 CPU 盤のソフトウェアの時間関数設定により目標温度に到達するまで、あらかじめ設定された変化率でランプ状に自動変更することが可能となっている。

予熱温度制御を開始させる際、制御を開始させるヒータグループの制御用熱電対の値を初期設定値とする機能を有している。予熱温度設定値は、自動制御中にランプ変更機能が除外された場合、その時点の値を保持する。

予熱制御用熱電対の断線が発生し計測値が計測範囲を逸脱する異常が生じた場合は、異常が生じた熱電対のヒータグループは予熱温度設定値の自動変更が除外される機能を有している。

ヒータグループ「ダンプタンク 1」及び「ダンプタンク 2」は、ヒータグループ内のヒータ間の温度差が大きくなるように昇温制御する必要がある。このため、制御中のヒータブロックに予熱温度高又は低警報が発報した場合に温度設定

値の自動変更を一時停止する機能を有している。この機能は、予熱温度高又は低警報が解除された時点で制御が自動で再開される。

6.3.3 電磁ポンプ制御系

電磁ポンプは、主循環系統のナトリウム流量を所定の値に一定制御するため、電磁流量計（110-FT1）からの信号により電磁ポンプの印加電圧を制御している。電磁ポンプ制御回路は、マザーループ監視制御 OIS 盤、マザーループ監視制御 CPU 盤、マザーループ監視制御 PI/0 盤及びマザーループ緊急用監視操作盤により構成される。電磁ポンプ制御のシステム構成を図 6-4 に示す。

流量制御は、マザーループ監視制御 CPU 盤により、電磁ポンプ出口ナトリウム電磁流量計（110-FT1）からの流量信号と設定値の偏差信号を PI 演算し、制御信号(DC4-20mA)をマザーループ監視制御 PI/0 盤から電磁ポンプ電源盤に出力している。

6.3.4 戻り加熱器制御系

戻り加熱器制御系は、コールドトラップ運転時に冷却されるナトリウム温度をマザーループ循環中のナトリウム温度まで回復させるため、戻り加熱器出口ナトリウム温度を測定している熱電対（110-TE61）からの温度信号に基づき、戻り加熱器ヒータの供給電力を調整し温度制御する。戻り加熱器制御は、マザーループ監視制御 OIS 盤、マザーループ監視制御 CPU 盤、マザーループ監視制御 PI/0 盤、マザーループ緊急用監視操作盤により構成される。戻り加熱器制御のシステム構成を図 6-5 に示す。

6.3.5 コールドトラップ冷却用送風機制御系

コールドトラップ冷却用送風機は、コールドトラップジャケット部に送られた空気によりコールドトラップ内のナトリウムを冷却させるためのものである。

コールドトラップ冷却用送風機制御系は、コールドトラップ下部に設置した熱電対（110-TE33）の温度信号により、コールドトラップ冷却用送風機の回転数を制御し冷却風量を調整する。コールドトラップ冷却用送風機制御系は、マザーループ監視制御 OIS 盤、マザーループ監視制御 CPU 盤、マザーループ監視制御 PI/0 盤及びマザーループ緊急用監視操作盤より構成される。コールドトラップ冷却用送風機制御系のシステム構成を図 6-6 に示す。

6.3.6 プラギング計制御系

プラギング計制御系は、プラギング計オリフィス部のナトリウム流量計の信号をフィードバックし、冷却用送風機の回転数を制御することによりオリフィス部の温度を自動制御するものである。これにより、以下に述べる不純物の析出、溶解の繰り返しにより測定する自動振動式及びオリフィスを半閉塞状態で測定する自動連続式の 2 つの自動測定モードを備えている。また、プラギング計冷却用送風機の回転数を手動制御しプラグ温度を測定する手動モード測定が可能である。

プラグイン計制御系は、マザーループ監視制御 OIS 盤、マザーループ監視制御 CPU 盤、マザーループ監視制御 PI/0 盤及びマザーループ緊急用監視操作盤より構成される。プラグイン計制御系のシステム構成を図 6-7 に示す。

(1) 自動振動式測定モード

マザーループ監視制御 PI/0 盤からプラグイン計ユニットへ、オリフィスナトリウム電磁流量計からの流量信号と任意に設定した上限及び下限流量設定値を基にプラグイン計冷却用送風機を制御して、不純物の析出、溶解を繰り返させることにより測定する。

(2) 自動連続式測定モード

オリフィスナトリウム電磁流量計からの流量信号と設定値の偏差信号を PI 演算し、制御信号 (DC4-20mA) をマザーループ監視制御 PI/0 盤からプラグイン計ユニットに出力することにより測定する。

6.3.7 カバーガス圧力制御系

カバーガス圧力制御系は、カバーガス圧力を一定に制御するために、カバーガス圧力調整弁を制御するものである。本系統は、マザーループ監視制御 OIS 盤、マザーループ監視制御 CPU 盤及びマザーループ監視制御 PI/0 盤で構成され、マザーループ監視制御 CPU 盤にて、カバーガス供給圧力信号と設定値の偏差信号を PI 演算し、制御信号 (DC4-20mA) をマザーループ監視制御 PI/0 盤からカバーガス圧力制御弁の電空変換器へ出力することによりカバーガス圧力調整弁を制御し、カバーガス圧力を調整する。

窒素ガス供給系ヘッダーの圧力が低下し、カバーガス圧力制御系の圧力調節弁操作の窒素ガスを供給できなくなった場合 (窒素ガス供給源喪失時) には、窒素ガス供給系ヘッダー圧力低低の警報を発報する。

カバーガス圧力制御系のシステム構成を図 6-8 に示す。

7. 機能確認

7.1 予熱機能

7.1.1 ダンプタンク予熱特性

図 7-1 及び図 7-2 に、予熱ヒータによる 24 時間連続昇温状態とした条件下におけるダンプタンク 1、2 内のナトリウム昇温曲線をそれぞれ示す。ダンプタンク 1、2 内には、それぞれ約 120t のナトリウムを保有している。昇温曲線はダンプタンク 1 を約 25℃ (常温) から約 160℃まで、ダンプタンク 2 を約 80℃から約 235℃まで連続予熱したケースである。温度はナトリウム温度を示し、タンク内に挿入されている温度計 (110-TI12、110-TI22) で確認をした。なお、各ダンプタンクの予熱ヒータの出力は 115kW である。

ダンプタンク 1 を昇温した結果、ナトリウム温度約 25°C からナトリウム溶融開始（相変化開始）までに約 40 時間（昇温速度約 1.9°C/h）、潜熱時間（溶融開始から溶融完了まで）に約 30 時間、溶融完了から約 160°C 到達までに約 35 時間（昇温速度約 1.7°C/h）をそれぞれ要し、系統内にナトリウムを充填できる状態（約 25°C から約 160°C まで昇温）に達するには合計約 105 時間を要することが確認できた。

ダンプタンク 2 については、潜熱時間に約 30 時間、約 160°C までの昇温に約 35 時間であり、上記のダンプタンク 1 とほぼ同等な予熱性能であることが確認できた。

これらの結果は、設計仕様の常温（約 20°C）から 200°C まで約 2 週間（約 336 時間）に対し、約 130 時間（昇温速度 1.7°C/h、200°C まで）で昇温可能であり十分な予熱機能を有していることが確認された。

次に、図 7-3 には予熱停止後のナトリウム温度約 190°C から常温までのダンプタンク 2 の降温曲線を示す。ダンプタンクの上下で測定しているナトリウム温度は同じ経過を示しており、一様な降温特性であることが分かる。約 190°C のナトリウムがナトリウム凝固（約 97°C）まで約 1,900 時間（概ね 2.5 か月）が必要であることが確認された。また、降温時の潜熱時間は約 900 時間であった。これらの予熱特性確認の結果、今後の運転工程を策定する上で有効なデータが取得された。

7.1.2 ナトリウム循環系統の予熱特性及び保温外装温度

図 7-4 に系統へのナトリウム充填前における主要機器の予熱昇温曲線を示す。予熱特性は、設計条件である 200°C まで 200 時間以内に対し、15 時間以内で 200°C に達しており、予熱性能が十分であることが確認された。なお、予熱昇温速度は機器、配管等が熱過渡上許容し得る昇温率を超えないよう 50°C ステップで設定値を変更し、制御範囲は設定値に対して ±20°C としている。

図 7-5 にマザーループ系統温度約 400°C におけるナトリウム循環状態における、保温外装板の表面温度を示す。保温材の外表面温度は最高でも約 34°C であり、設計温度の < 55°C に対して問題ないことを確認した。

7.1.3 配管熱変位

(1) 配管熱変位測定

熱変位に伴う配管の移動量は、高温運転時における機器配管の健全性を確保する上で重要である。配管の熱変位量は、予熱時（約 235°C）から高温運転時（約 420°C）において設計どおり移動し、過度な応力が生じていないか確認した。確認は高温となった配管の変位（配管サポート部の変位）を計測し、解析結果と照合することにより、変位方向性と熱変位量の適正を確認した。図 7-6 に熱変位測定点を示す。

測定点は、設計時における解析値と照合可能な（現場でのアクセス可能な配管支持構造部）位置 62 点を測定した。配管移動量測定は支持構造部に設置したスケールの目視確認により 0.5mm 単位で読み取った。

(2) 配管熱変位測定結果

配管熱変位測定結果と解析値の比較結果を、表 7-1 に示す。測定結果は設計メーカーより提示された値を基準として±20mm を判定値とした。表 7-1 に示した変位測定点は、常温状態から系統温度約 400℃に向けた昇温、その後常温状態にまでの降温過程における変位を確認した結果をまとめたものであり、変位測定の結果、判定値とした±20mm を逸脱する箇所は確認されなかった。なお、表 7-1 に記載のマザーループ運転開始前の常温時における変位量が 0mm より測定開始となっていない点があるが、これはそれ以前に実施したマザーループ運転により配管熱変位で移動した配管が常温に戻った時点を変位量測定開始時の読み取り値としているためである。

7.2 ナトリウム充填・ドレン機能

7.2.1 ダンプタンクへのナトリウム受け入れ

ダンプタンクの据付後に、AtheNa 施設に隣接するナトリウム取扱施設から移送配管を敷設し、ガス圧力差法によってダンプタンク 1、2 にナトリウムを各々120t、合計約 240t を受け入れた。移送方法等の詳細は著者らの前報^[3]を参照されたい。受入れたナトリウムの純度確認結果（ダンプタンク 2 で平成 28 年 2 月 19 日採取）は表 7-2 に示すとおりであり、高速炉用ナトリウムの購入規格^[4]に示されている原子力級ナトリウムの管理値を満足していることを確認した。

7.2.2 系統内へのナトリウム充填

マザーループのナトリウム配管及び機器類へ、ダンプタンクピットに位置するダンプタンク頂部から、最も高い位置（高低差約 17m）に設置されているガス抜きポットまでのナトリウム充填性を確認した。

ナトリウム充填は、ナトリウム配管及び機器内のガス溜まりを排除することを目的に真空充填法を採用した。ダンプタンクと充填するナトリウム配管及び機器側の系統差圧を計画的に管理・調整することで、ガス抜きポットの高さまで予定どおりに充填できることを確認した。また、ナトリウム充填時は、ダンプタンク及びガス抜きポットに設置されている各ナトリウム液位計、ナトリウム配管及び機器類に設置されている熱電対の温度変化等によって充填状況を確認できた。ナトリウム充填後の循環運転では、ナトリウム流動時のガス巻き込み音や配管振動もなく、ガス抜きポットナトリウム液面計の信号変動もなかったことから、系統内のガス溜まりを排除できたことが確認できた。

7.2.3 系統内のナトリウムドレン

通常ドレンの機能確認とともに、不具合やトラブルの発生時における緊急ドレン機能、並びにドレンの所要時間を確認した。所要時間はダンプタンクのナトリウム液位計によってナトリウム充填量の約 90%にドレン量が達した時間とした。通常運転

時（約 200℃）における系統内のナトリウム量は、循環系が約 0.5m³、コールドトラップが約 1.8m³で、合計 2.3m³である。

図 7-7 に系統全体ドレン時（循環系+コールドトラップ）における時間経過とダンプタンク液位変化との関係を示す。この結果、約 25 分で問題なくダンプタンク内にナトリウムがドレンできることを確認した。

図 7-8 にコールドトラップドレン弁をあらかじめ開とし、系統全体のドレン時のダンプタンク液位変化を示す。この場合は、約 11 分でドレンが完了することを確認した。ドレン完了は、その後の系統ガス導通検査でも確認できた。

緊急ドレンはできるだけ速やかに完了することが望ましい。今回の確認結果から、コールドトラップのドレン弁操作時間を踏まえても、ナトリウム充填量（約 2.3m³）の約 90%にドレン量が到達するまで 25 分以内であり、設計要求の 30 分以内を満足することが確認できた。

7.3 ナトリウム循環機能

7.3.1 戻り加熱器

戻り加熱器は、コールドトラップによるナトリウム純化で強制冷却された熱量を補い、循環しているナトリウム温度とほぼ同じ温度に回復・維持するための機能が要求される。機能確認ではナトリウム加熱器に内挿されるシースヒータを用い定格流量 3t/h の循環状態において、コールドトラップ系統のナトリウム合流後も循環ナトリウム温度を維持できることが確認された。

7.3.2 電磁ポンプ

電磁ポンプは、ナトリウムを強制循環するための機器である。系統循環状態（コールドトラップ及びエコノマイザ循環、ダンプタンクバイパス）において、戻り加熱器出口ナトリウム温度約 235℃及び約 420℃で実施した電磁ポンプ性能を確認結果を表 7-3 及び図 7-9 に示す。

確認の結果、設計条件である最大流量 5.14t/h(100L/min)、ナトリウム温度約 420℃に対し、系統循環状態（コールドトラップ及びエコノマイザ循環、ダンプタンクバイパス、ナトリウム温度約 420℃）において、電磁ポンプへの印加電圧は約 25V で循環流量 100L/min を確保できることが確認できた。また、電磁ポンプ定格流量運転時のコイル温度は約 72℃であり、電磁ポンプコイルの最高使用温度 200℃に対し、十分な裕度があることを確認した。なお、ナトリウム温度約 235℃と約 420℃でわずかに特性の差異が認められるが、これはナトリウム密度が温度によって異なるためである。

7.4 ナトリウム純化・管理機能

7.4.1 コールドトラップ温度制御機能

コールドトラップは、ナトリウム中の不純物溶解度が低温ほど小さくなることを利用し、系統温度よりも低温のメッシュ部にナトリウム中不純物（主に酸素や水素）

を析出させ捕獲する機器である。これによって系統構成材料の腐食や系統閉塞等を抑制する役割を成すものである。したがって、コールドトラップ内のメッシュ部温度を低温状態で安定して制御できることが重要である。また、メッシュ部温度と下記に述べるプラグ温度との相関性から不純物捕獲性を確認することが重要である。

冷却機能確認では、コールドトラップ下部に設置された制御用温度計（110-TI34）により、コールドトラップ冷却用送風機出力を制御し、下部温度を 120℃まで冷却した。定格流量(3t/h)運転時にコールドトラップ制御温度を 190℃から 125℃までステップ上に変更した際のコールドトラップ内部の温度分布を図 7-10 に示す。メッシュ内の温度は、制御温度に伴って下部、中部、上部と段階的な温度分布を示し、メッシュ下部では設計目標の約 120℃まで冷却・制御できることが確認できた。

次にコールドトラップ出入口に設けられたエコノマイザ（熱交換器）の機能を確認した。コールドトラップ純化運転にて降温されたナトリウムは、エコノマイザにより熱交換し系統温度近くまで回復させ循環系統に戻す構成となっている。

ナトリウム流量が定格流量（3t/h）、エコノマイザ入口温度 369℃において熱交換機能を確認した結果、エコノマイザ出入口ナトリウム温度差（管側出口と胴側入口）は 17℃であり、胴側熱交換量 208kW、管側熱交換量 201kW、熱通過率は 6,680W/(m²℃)であった。図 7-11 にこれら熱交換量と熱通過率及び対数平均温度差の関係を、表 7-4 に伝熱特性データを示す。今回確認された熱通過率は設計値の条件に依らず約 1.5 倍であった。これは伝熱面積の余裕分として考えることができ、エコノマイザの伝熱性能は十分な裕度を有していることが確認できた。

7.4.2 プラギング計機能

プラギング計は、ナトリウム中の不純物が飽和温度以下で析出、飽和温度以上で溶解する性質を利用し、オリフィスに不純物が析出し流量が減少し始める温度（プラグ温度）と、溶解し流量が復帰し始める温度（アンプラグ温度）を測定し、その平均温度（平均プラグ温度）から溶解度曲線に基づく不純物濃度を間接的に求めるものである。

プラギング計を用いた測定結果の一例を図 7-12 に示す。オリフィス温度の降温・昇温に伴ってオリフィス流量の減少や回復が認められ、プラグ温度とアンプラグ温度の現象が確認できた。なお、プラギング計オリフィス部に設置されているヒータ（110-TI8-07）が ON となっている場合、オリフィス流量の周期的な変動が見られたことから、プラグ温度測定時に当該部分のヒータを OFF として測定することにより、オリフィス流量の周期的な変動が改善することが確認された。

オリフィス流量は周期的な変動以外に、約 0.04L/min 程度の流量ゆらぎが確認されており、図 7-12 のオリフィス流量は、前後 10 秒の流量値を移動平均化処理したものとなっている。

図 7-13^[5]にコールドトラップ最低温度の変化に伴うプラグ温度を示す。平均プラグ温度はコールドトラップ最低温度の変化に追従しており、ナトリウム中の不純物純化状態を確認するため十分な機能を有していることの見通しを得た。

7.4.3 ナトリウムサンプリング装置機能

ナトリウムのサンプリング装置は、ナトリウム中の不純物濃度を定量的に分析し確認をするためにナトリウムを採取する重要な機能である。ナトリウムサンプリング時は、サンプリング管内に極力ガス空間が生じず、かつ偏析がないようにサンプリング管を短時間で急冷できることが必要である。ナトリウムサンプリング後のサンプリング管急冷結果を図 7-14 に示す。圧縮空気の冷却によってサンプリング管の各ポイントともほぼ均一に、かつ 20 秒以内でナトリウム凝固点まで急冷できることを確認した。また、サンプリング管 1 本で約 100 cm³のナトリウム量を採取できることが確認できた。

以上、運転中におけるナトリウム純化や不純物の管理は重要である。その役割を成すコールドトラップ、プラグイン計及びナトリウムサンプリング装置について機能確認を行った。これらの結果、コールドトラップの低温運転によるナトリウム純化機能や、プラグイン計及びサンプリング装置による純化状態の管理機能を有している見通しを得た。今後は機能信頼度を高めるための改善や定量評価を進めていく予定である。

7.5 監視制御システム

本システムを構成している、マザーループ監視制御 OIS (Operational Interface Station) 盤、マザーループ監視制御 CPU 盤、マザーループ監視制御 PI/O 盤、マザーループ監視制御サーバー (SVR) 盤、マザーループ緊急用監視操作盤類について以下に示す機能確認を実施し作動状態が良好であることを確認した。

(1) マザーループ監視制御 OIS 盤

マザーループの運転に必要な監視・操作及び警報出力機能、タッチスクリーン付 LCD ディスプレイの動作が正常であることを確認した。また、予熱制御運転に係る機能（予熱制御系に関する運転操作及び制御状態監視機能）が正常に動作し、予熱電源盤のヒータ接触器 ON-OFF 制御する信号が、プロセス制御用 LAN により送出されるとともに、予熱ヒータの過電流の模擬することにより漏電遮断器 (ELB) が動作し、予熱電源盤よりマザーループ監視制御 PI/O 盤を介してマザーループ監視制御 OIS 盤へ漏電遮断器 (ELB) トリップ警報が発報することを確認した。

(2) マザーループ監視制御 CPU 盤

マザーループ監視制御 CPU 盤について、マザーループの運転に必要な以下の機能が正常に動作するとともに、接触型ナトリウム漏えい検出器よりの漏えい模擬信号により漏えい検出回路が正常に動作し警報が発報することを確認した。

① 予熱ヒータ制御機能

- ② 弁類制御機能
 - ③ 電磁ポンプ制御機能
 - ④ 戻り加熱器ヒータ制御機能
 - ⑤ コールドトラップ冷却用送風機制御機能
 - ⑥ プラギング計制御機能
 - ⑦ 制御機器インターロック機能
- (3) マザーリング監視制御PI/O 盤
- マザーリング監視制御システムで実施する運転監視、操作及び系統制御に必要な信号の入出力処理が正常に機能し、マザーリング緊急用監視操作盤に取り込まれる信号が、PI/O 盤から正常に送出されることを確認した。
- (4) マザーリング監視制御サーバ (SVR) 盤
- マザーリング各機器の起動・停止状態や検出器類 (熱電対、圧力伝送器、ナトリウム液面計等) からのデータを収録するサーバ盤に、正常にデータが取得され保存されていることを確認した。
- (5) マザーリング緊急用監視操作盤
- マザーリング監視制御 CPU 盤重故障を模擬した信号により、緊急用監視操作盤への警報が正常に作動することを確認した。また、マザーリング緊急停止及び緊急ドレン操作により、各ナトリウム機器、弁類のインターロックが正常に作動すること、マザーリング運転に当たって重要度の高い警報 (ナトリウム漏えい、ダンプタンク 1、2 液位高高、電磁ポンプコイル温度高高)、ナトリウムドレン操作に必要な弁開閉スイッチが正常に動作することを確認した。
- さらに、マザーリングの停止状態確認に必要なプロセスデータ (ダンプタンク 1、2 液位、ダンプタンク 1、2 カバーガス圧力、電磁ポンプ出口ナトリウム温度、電磁ポンプコイル温度、戻り加熱器出口ナトリウム温度、窒素ガス供給母管圧力) が監視用の LCD ディスプレイ画面に出力されることを確認した。

8. 結 言

高速炉の安全性向上や実証技術の確立に向けて、その柱のひとつとなる冷却系機器開発試験施設（AtheNa 施設）を活用した研究計画を進めるため、AtheNa 施設内に新規ナトリウム試験装置（マザーループ）が完成した。本マザーループは、純度管理された高温ナトリウムを各試験部へ安定供給するためのものであり、その要求される機能が十分に有していることが作動試験や実液試験によって確認できた。マザーループは、約 240t のナトリウム量を保有する世界最大級のナトリウム試験装置であり、今後の高速炉の安全性強化等を目指した研究開発に備えることができた。

謝辞

今回、冷却系機器開発試験施設へのマザーループ製作・設置の実施に当たり、多大なご指導及び助言を頂いた大洗研究所ナトリウム機器技術開発グループの吉田英一氏、設置作業等にご協力を頂いた郡司英樹氏を始めとする検査開発株式会社の関係者、機能確認にご協力頂いた宮内勇一氏を始めとする東興機械工業株式会社の関係者に謝意を表します。

参考文献

- [1] 鍋島 邦彦ほか, ナトリウム冷却高速炉におけるシビアアクシデント時の炉内冷却に関する研究, 大型ナトリウム試験装置 AtheNa-RV の設計検討, 日本原子力学会 2016 年春の年会予稿集, 1D11, 2016.
- [2] 田中 正暁ほか, ナトリウム冷却高速炉における崩壊熱除去システムの炉内冷却特性に関する研究; 多様な炉内冷却器を有するナトリウム試験装置への試験要求項目の予備的検討, 日本原子力学会 2017 年秋の大会予稿集, 2J20, 2017.
- [3] 今村 弘章ほか, 大量ナトリウムの施設間移送, JAEA-Technology 2015-020, 2015, 85p.
- [4] ナトリウム教育委員会, ナトリウム技術読本, JNC-TN9410 2005-011, 2005, 805p.
- [5] 鈴木 将ほか, プラギング計によるナトリウム中の不純物(酸素濃度)管理に関する検討, 日本原子力学会 2016 年春の年会予稿集, 2N05, 2016.

表 5-1 ダンプタンク 1、2 据付位置実測値

タンク据付位置実測値

単位:mm

	TK 1 実測値	TK 2 実測値
設計値	1 7 5 0 mm	4 2 5 0 mm
実測値	1 7 4 8 mm	4 2 4 9 mm
設計値	3 1 5 0 mm	3 1 5 0 mm
実測値	3 1 5 0 mm	3 1 5 3 mm

タンク据付レベル実測値 (架台上面プレート面で測定)

「FL-8000 より 1260」

測定点	TK1 実測値 (mm)	TK2 実測値 (mm)
A	1 2 6 0	1 2 5 8
B	1 2 6 0	1 2 5 8
C	1 2 5 9	1 2 5 8
D	1 2 6 0	1 2 5 8

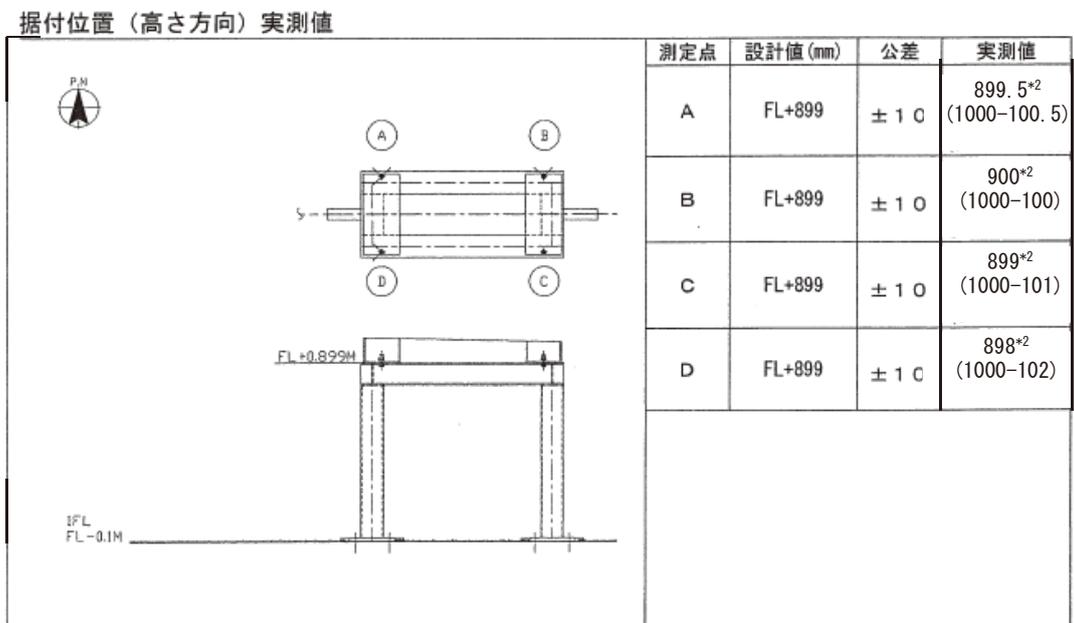
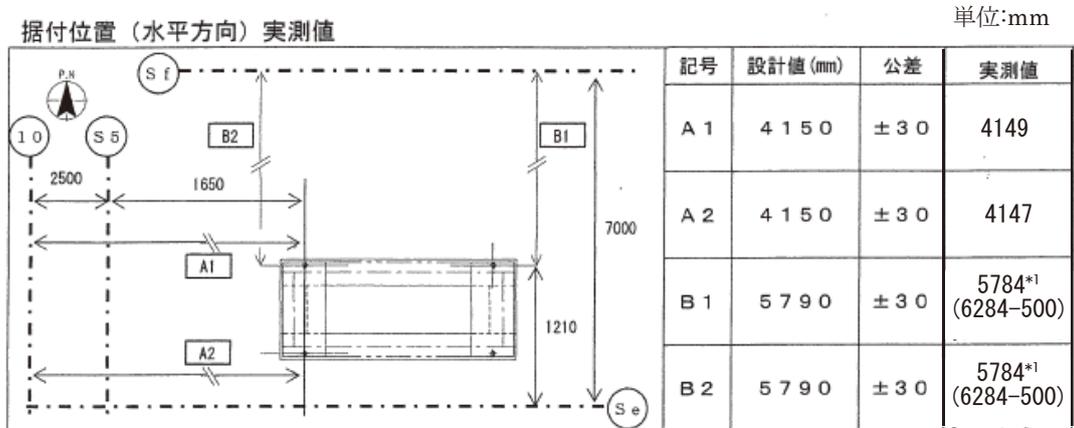
水平度

	TK 1	TK 2
高低差	-1 ~ 0 mm	-1 ~ -2 mm
脚間スパン	8 3 3 0 mm	8 3 3 0 mm
水平度	-1 / 8330 mm / mm	-2 / 8330 mm / mm

高低差は据付レベルデータより算出

注) TK1 : ダンプタンク 1、TK2 : ダンプタンク 2

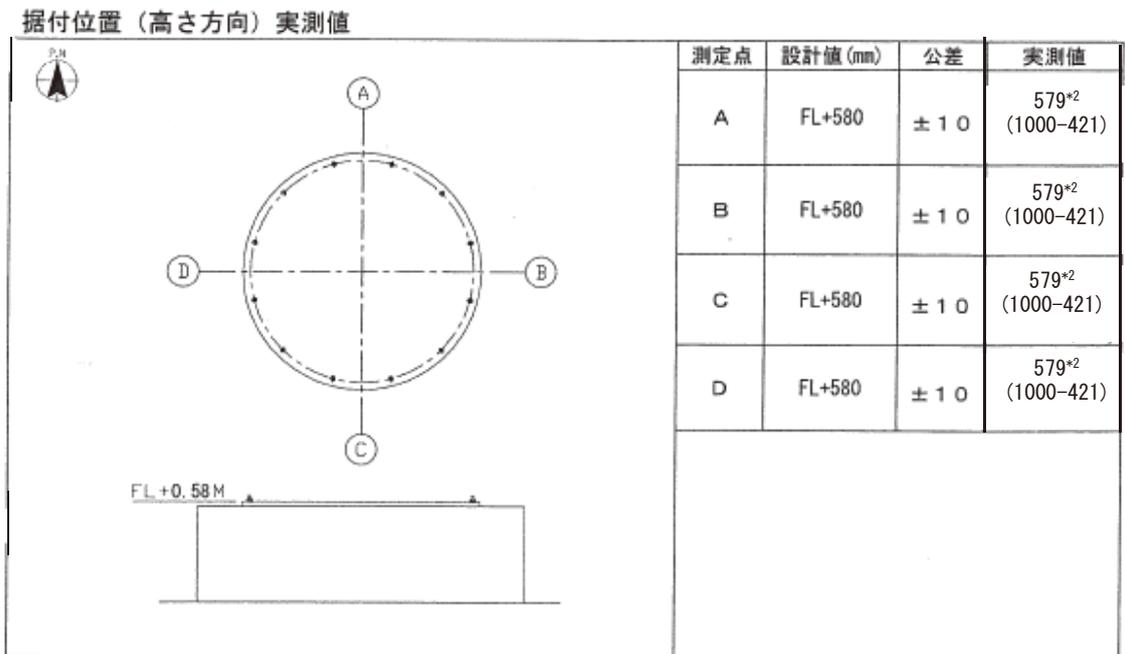
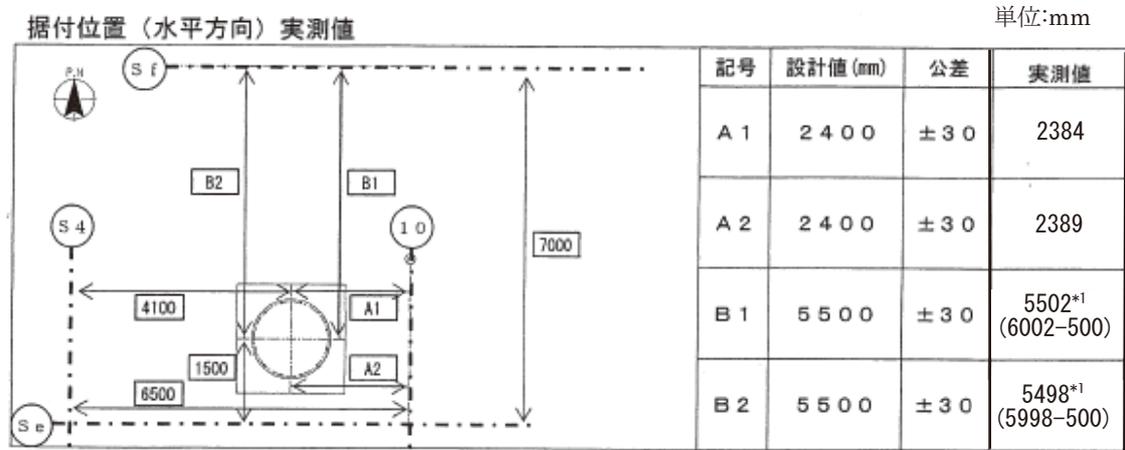
表 5-2 電磁ポンプ据付位置実測値



*1: 水平方向 B1,B2 については、(Sf)通りの北側 500 を基準位置として測定。

*2: 高さ方向については、FL+1000 を基準位置として測定。

表 5-3 コールドトラップ本体据付位置実測値



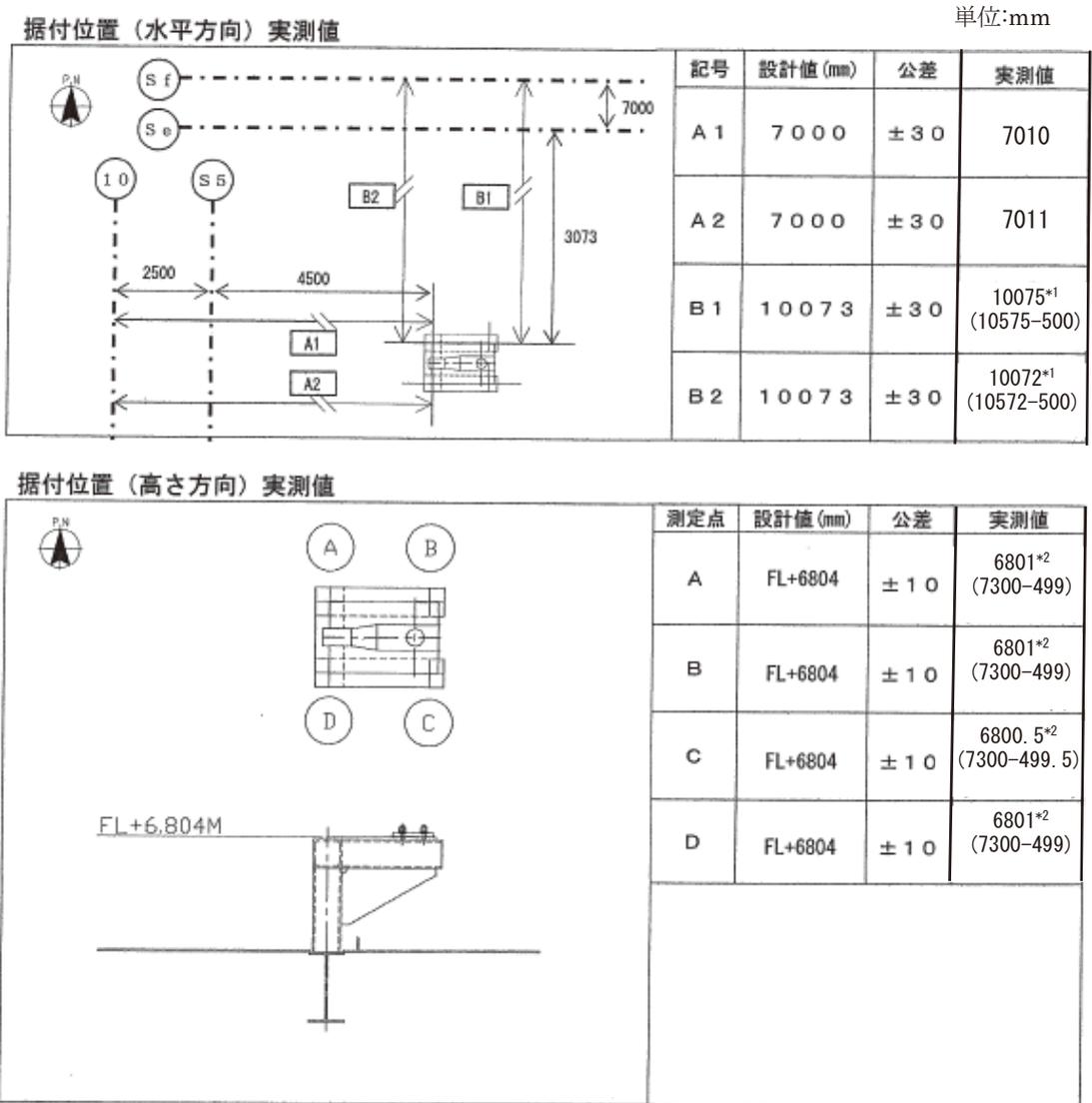
水平度

高低差	0mm
全スパン	1600mm
水平度	0mm/mm

*1: 水平方向 B1,B2 については、(Sf)通りの北側 500 を基準位置として測定。

*2: 高さ方向については、FL+1000 を基準位置として測定。

表 5-4 エコノマイザ据付位置実測値

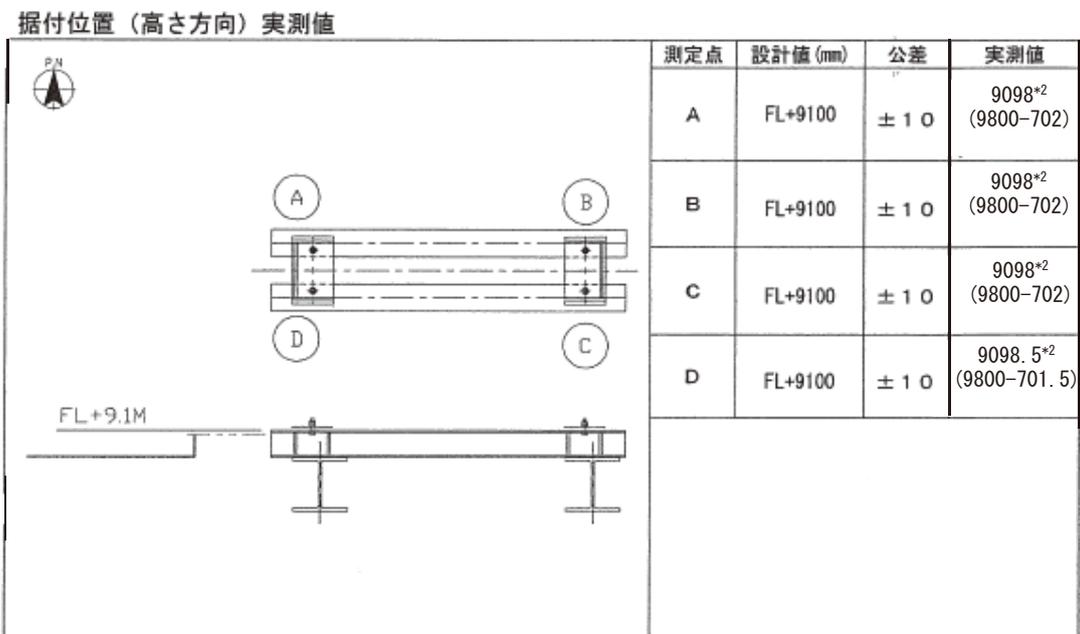
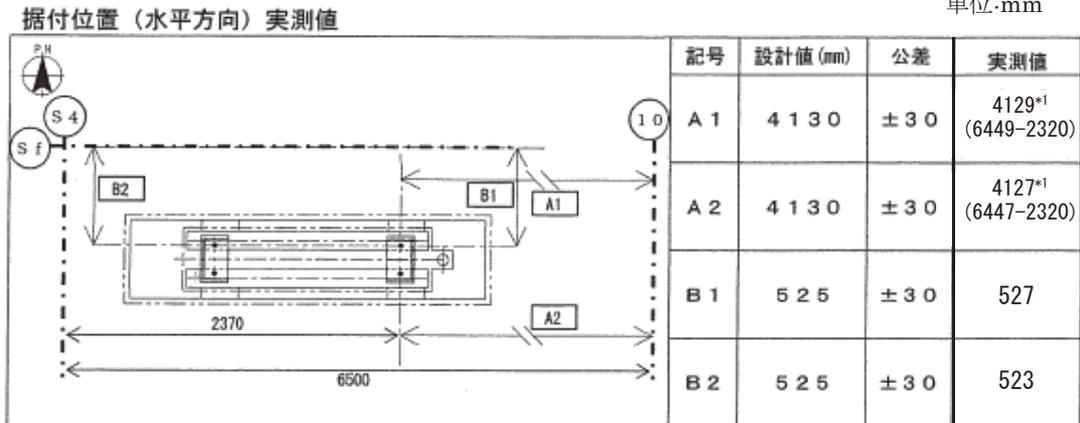


*1: 水平方向 B1,B2 については、(Sf)通りの北側 500 を基準位置として測定。

*2: 高さ方向については、FL+7300 を基準位置として測定。

表 5-5 戻り加熱器据付位置実測値

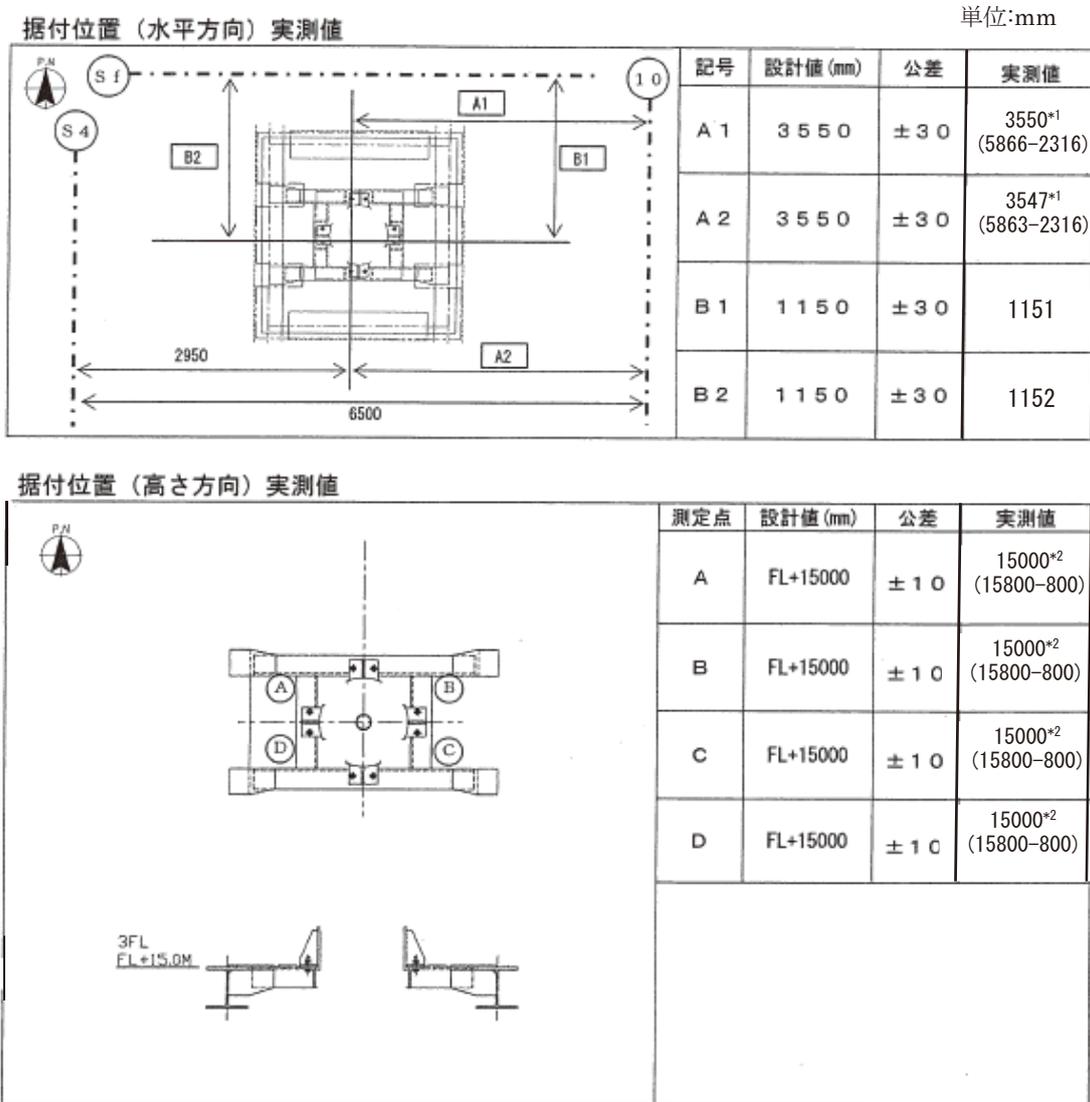
単位:mm



*1: 水平方向 A1,A2 については、(5)通りの西側端を±0mm に合わせて (10)通りの位置 (2320) を算出した。

*2: 高さ方向については、FL+9800 を基準位置として測定。

表 5-6 ガス抜きポッド据付位置実測値



*1: 水平方向 A1,A2 については、(S5)通りの西側端を±0mm に合わせて

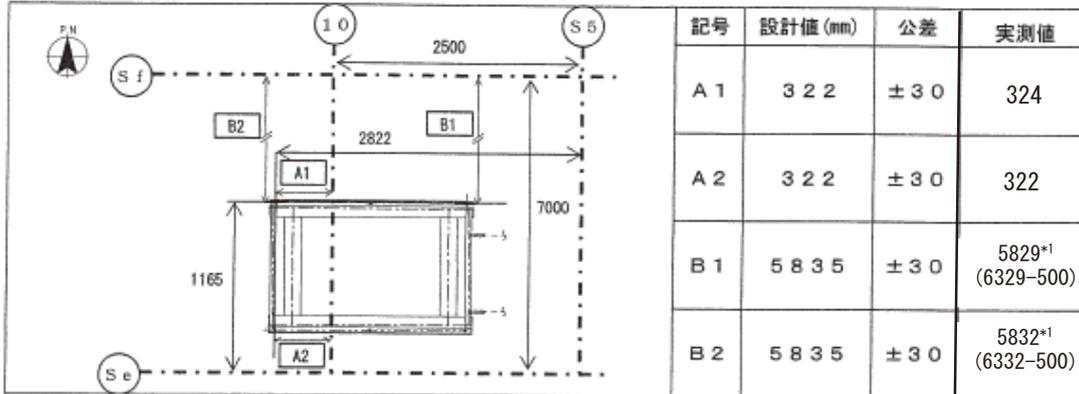
(10)通りの位置 (2316) を算出した。

*2: 高さ方向については、FL+15800 を基準位置として測定。

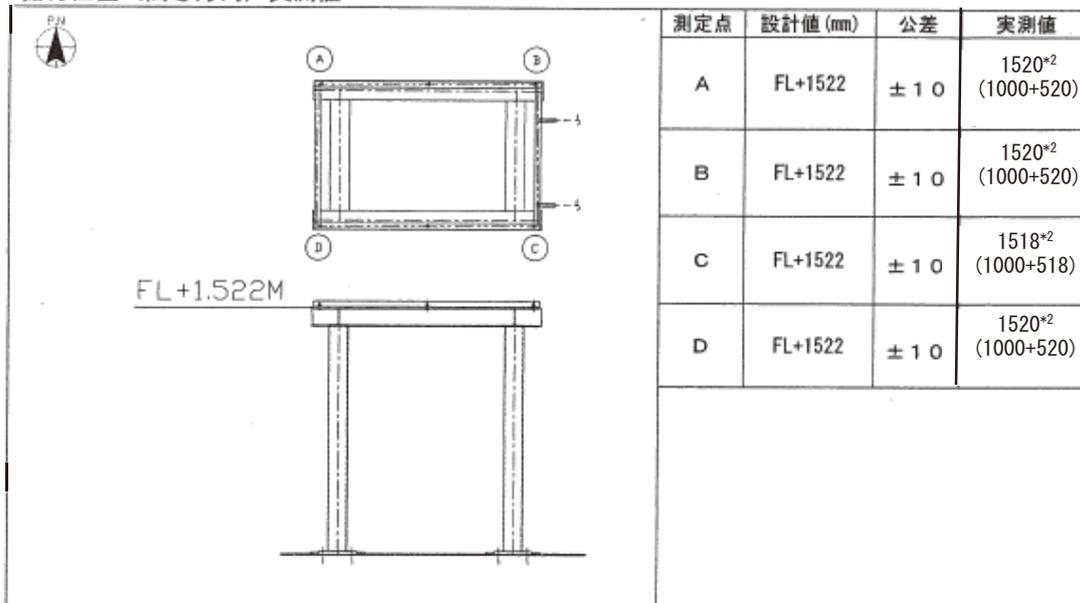
表 5-7 プラギング計据付位置実測値

据付位置（水平方向）実測値

単位:mm



据付位置（高さ方向）実測値



*1: 水平方向 B1,B2 については、(Sf)通りの北側 500 を基準位置として測定。

*2: 高さ方向については、FL+1000 を基準位置として測定。

表 6-1 マザーループ緊急用監視操作盤の監視操作警報項目

No.	監視操作警報項目	指示	記録	操作 (スイッチ)	警報
1	ダンプタンク 1 連続式液位	○	○	—	○液位高高
2	ダンプタンク 2 連続式液位	○	○	—	○液位高高
3	ダンプタンク 1 カバーガス圧力	○	○	—	—
4	ダンプタンク 2 カバーガス圧力	○	○	—	—
5	窒素ガス供給母管圧力	—	○	—	○圧力低, 低低
6	戻り加熱器出口ナトリウム温度	—	○	—	—
7	電磁ポンプ出口ナトリウム温度	—	○	—	—
8	電磁ポンプコイル温度	—	○	—	○温度高, 高高
9	プラグイン計電磁ポンプコイル温度	—	○	—	○温度高
10	電磁ポンプ冷却用送風機	—	—	○	—
11	プラグイン計電磁ポンプ冷却用送風機	—	—	○	—
12	110-AV1 弁	—	—	○	—
13	110-AV2 弁	—	—	○	—
14	110-AV7 弁	—	—	○	—
15	110-AV8 弁	—	—	○	—
16	110-AV10 弁	—	—	○	—
17	130-AV13 弁	—	—	○	—
18	130-AV23 弁	—	—	○	—
19	緊急停止	—	—	○	○
20	緊急ドレン	—	—	○	○
21	マザーループ監視制御 OIS 盤故障	—	—	—	○
22	マザーループ監視制御 CPU 盤重故障	—	—	—	○
23	マザーループ監視制御 SVR 盤故障	—	—	—	○
24	ナトリウム漏えい検知	—	—	—	○漏えい警報
25	ガス抜きポット液位 (上)	—	—	—	○液位高

表 6-2 予熱運転パターン

予熱運転モード ヒータブロック	ヒータグループ				
	ダンプタンク 予熱運転	ナトリウム 充填運転	ナトリウム循環 ・純化運転	ナトリウム ドレン運転	装置停止
ナトリウム配管 ヒータブロック No. 110-H1-01~33	OFF	200±20℃ 50℃/h	200±20℃	200±20℃	OFF
ナトリウム弁 ヒータブロック No. 110-H2-01~19	OFF	200±20℃ 50℃/h	200±20℃	200±20℃	OFF
ダンプタンク 1 ヒータブロック No. 110-H3-01~20	200±10℃ 20℃/h	200±10℃	200±10℃	200±10℃	OFF
ダンプタンク 2 ヒータブロック No. 110-H4-01~20	200±10℃ 20℃/h	200±10℃	200±10℃	200±10℃	OFF
戻り加熱器 ヒータブロック No. 110-H5-01~02	OFF	200±20℃ 50℃/h	200±20℃	200±20℃	OFF
ガス抜きホット ヒータブロック No. 110-H6-01~02	OFF	200±20℃ 50℃/h	200±20℃	200±20℃	OFF
コールドトラップ ヒータブロック No. 110-H7-01~04	OFF	200±20℃ 20℃/h	OFF	150±20℃ 20℃/h	OFF
ブレイキング計 ヒータブロック No. 110-H8-01~09	OFF	200±20℃ 20℃/h	200±20℃	200±20℃	OFF
エコマイサ ヒータブロック No. 110-H9-01~02	OFF	200±20℃ 50℃/h	200±20℃	200±20℃	OFF
電磁ポンプ ヒータブロック No. 110-H10-01~03	OFF	200±20℃ 50℃/h	200±20℃	200±20℃	OFF
電磁流量計 ヒータブロック No. 110-H11-01~02	OFF	200±20℃ 50℃/h	200±20℃	200±20℃	OFF

表 7-1 配管熱変位測定結果 (1/2)

測定日	H28. 1. 28 H28. 1. 29	H28. 2. 15	H28. 2. 19	H28. 2. 22	H28. 2. 24	H28. 2. 29	H28. 3. 30	H28. 4. 15 H28. 4. 18			
循環モード	常温時	予熱時 (235℃)	Na 充填後 (235℃)	Na 充填後 (400℃)	Na 充填後 (300℃)	降温後 (200℃)	ドレン後 (200℃)	常温時 DT1:103.8℃ DT2:118.6℃ (TI13, TI23)	解析 435℃における 最大移動量*1	H27 年度測定時の熱 変位量 420℃時	備 考
	—	—	DT2 より充填	ループ単独	ループ単独	ループ単独	ループ単独	—			
計測対象 (サポート No.)	変化量 : mm										
測定点温度	常温	235℃	→	400℃	300℃	200℃	200℃	常温			
001-001-01	X ;	0.0	-10.0	-10.0	-18.0	-14.0	-8.0	-8.0	0.0	-22.1	-20.0
測定点温度	常温	235℃	→	→	→	190℃	200℃	常温			
006-007-01	X ;	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-1.0	-10.6	0.0
	Z ;	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.7	1.0
測定点温度	常温	235℃	→	→	→	190℃	200℃	常温			
007-003-01	X ;	0.0	-3.0	-4.0	-5.0	-5.0	-5.0	-4.0	-3.0	-17.8	-6.0
	Z ;	4.0	7.0	7.0	8.0	8.0	8.0	8.0	6.0	13.5	9.0
測定点温度	常温	235℃	→	400℃	300℃	200℃	200℃	常温			
008-005-02	X ;	0.0	16.0	20.0	23.0	19.0	11.0	10.0	1.0	26.4	24.0
測定点温度	常温	235℃	→	→	→	190℃	200℃	常温			
008-009-01	Z ;	5.0	12.0	12.0	13.0	13.0	10.0	10.0	5.0	22.1	17.0
測定点温度	常温	235℃	→	400℃	300℃	200℃	200℃	常温			
009-002-01	X ;	-1.0	-18.0	-22.0	-23.0	-18.0	-13.0	-10.0	-1.0	-25.3	-23.0
測定点温度	常温	235℃	→	400℃	300℃	200℃	200℃	常温			
009-006-01	X ;	2.0	-9.0	-10.0	-18.0	-15.0	-9.0	-9.0	0.0	-24.2	-21.0
	Z ;	-4.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	0.0	0.0	4.9	3.0
測定点温度	常温	235℃	→	400℃	300℃	200℃	200℃	常温			
010-009-01	X ;	1.0	-18.0	-17.0	-22.0	-20.0	-14.0	-13.0	-4.0	-29.9	-18.0
	Y ;	0.0	-15.0	-17.0	-23.0	-23.0	-20.0	-15.0	-9.0	-34.6	1.0
測定点温度	常温	235℃	→	400℃	300℃	200℃	200℃	常温			
002-004-01	X ;	0.0	-3.0	-3.0	-4.0	-4.0	-4.0	-6.0	-2.0	-13.6	-10.0
測定点温度	常温	235℃	→	400℃	300℃	200℃	200℃	常温			
002-007-01	Z ;	0.0	8.0	8.0	8.0	5.0	6.0	7.0	7.0	25.2	12.0
測定点温度	常温	235℃	→	→	→	190℃	200℃	常温			
003-001-01	X ;	-2.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-1.0	-1.0	-6.3	-4.0

表 7-1 配管熱変位測定結果 (2/2)

測定日	H28. 1. 28 H28. 1. 29	H28. 2. 15	H28. 2. 19	H28. 2. 22	H28. 2. 24	H28. 2. 29	H28. 3. 30	H28. 4. 15 H28. 4. 18			
循環モード	常温時	予熱時 (235℃)	Na 充填後 (235℃)	Na 充填後 (400℃)	Na 充填後 (300℃)	降温後 (200℃)	ドレン後 (200℃)	常温時 DT1:103.8℃ DT2:118.6℃ (TI13, TI23)	解析 435℃における 最大移動量*1	H27 年度測定時の熱 変位量 420℃時	備 考
	—	—	DT2 より充填	ループ単独	ループ単独	ループ単独	ループ単独	—			
計測対象 (サポート No.)	変化量 : mm										
測定点温度	—	235℃	→	→	→	190℃	200℃	—			
004-001-01	Z ;	-4.0	-12.0	-12.0	-12.0	-12.0	-11.0	-10.0	-5.0	-16.1	-13.0
測定点温度	—	235℃	→	400℃	300℃	200℃	200℃	—			
010-001-01	X ;	1.0	-4.0	-6.0	-10.0	-10.0	-4.0	-4.0	1.0	-5.7	-10.0
	Z ;	3.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	10.3	4.0
測定点温度	—	235℃	→	400℃	300℃	200℃	200℃	—			
010-004-01	Z ;	7.0	37.0	40.0	64.0	56.0	35.0	32.0	11.0	69.1	62.0
測定点温度	—	235℃	→	400℃	300℃	200℃	200℃	—			
002-003-01 撤去後	X ;	0.0	0.0	5.0	12.0	10.0	10.0	3.0	6.0	22.5	下げ振り部 で計測
	Y ;	0.0	-12.0	-13.5	-23.0	-18.0	-11.5	-12.0	0.3	-30.1	
	Z ;	-2.0	14.0	14.0	20.0	17.0	12.0	15.0	3.0	17.1	
測定点温度	—	235℃	→	400℃	300℃	200℃	200℃	—			
010-009-02 撤去後 (スプリングハンガ)	X ;	0.0	-6.0	-7.0	-13.0	-9.0	-6.0	-5.0	0.0	-18.4	
	Y ;	0.0	-14.5	-25.0	-36.0	-29.2	-22.7	-16.4	-12.0	-28.1	
	Z ;	0.0	2.0	7.0	8.0	6.0	3.0	3.0	0.0	7.1	
測定点温度	—	235℃	→	400℃	300℃	200℃	200℃	—			
002-002-01	X ;	0.0	9.0	9.0	13.0	13.0	13.0	12.0	12.0	26.2	

*1 : マザーループ製作メーカー解析値はナトリウムサンプリング装置及び超音波流量計用配管設置前の値
変位量の基準線は施工時のけがき線を基準 (0.0mm) としている。

表 7-2 ナトリウム分析結果

分析元素	管理値 ^[5] [wt. ppm]	分析結果[wt. ppm]
酸素	<30	11.7±0.4
水素	<5	0.55±0.04
炭素	<30	7.03±0.50
鉄	<5	0.069±0.02
ニッケル	<1	0.049±0.0003
クロム	<1	0.0066±0.0003
塩素	<30	<5
カリウム	<300	105±5
カルシウム	<10	0.111±0.008
ホウ素	<4	<0.02

表 7-3 電磁ポンプ性能試験結果 (1/2)

電磁ポンプ インバータ 出力電圧[V]	電磁ポンプ インバータ 出力周波数[Hz]	電磁ポンプ インバータ 出力電流[A]	電磁流量計 流量制御計 110-FIC1 MV 値[%]	電磁流量計 流量制御計 110-FIC1 PV 値[L/min]	電磁流量計下流 ナトリウム温度 110-TE51[°C]
3.5	0.97	15.7	2.0	8.2	235.2
4.7	1.46	22.3	3.0	14.6	238.0
5.9	1.98	27.8	4.0	21.0	238.3
7.1	2.47	32.4	5.0	27.2	238.4
8.3	2.97	36.2	6.0	33.3	234.4
9.5	3.48	39.3	7.0	39.3	233.2
10.7	3.95	41.7	8.0	44.9	233.2
13.0	4.46	43.7	10.0	50.7	232.8
13.4	4.97	45.3	10.3	56.3	231.0
14.2	5.10	45.6	11.0	57.9	230.5
15.5	5.47	46.6	12.0	61.9	231.3
16.7	5.97	47.8	13.0	67.1	232.2
17.8	6.46	48.5	14.0	72.3	236.6
19.0	6.98	49.3	15.0	77.4	238.9
20.2	7.45	50.0	16.0	82.2	239.6
21.4	7.95	50.8	17.0	87.5	239.8
22.6	8.46	51.4	18.0	92.3	239.7
23.0	8.96	51.8	18.3	97.2	239.5
23.0	9.12	52.1	18.4	98.7	238.9
23.2	9.17	52.1	18.5	99.3	238.7

戻り加熱器出口 Na 温度約 235°C時

表 7-3 電磁ポンプ性能試験結果 (2/2)

電磁ポンプ インバータ 出力電圧[V]	電磁ポンプ インバータ 出力周波数[Hz]	電磁ポンプ インバータ 出力電流[A]	電磁流量計 流量制御計 110-FICI MV 値[%]	電磁流量計 流量制御計 110-FICI PV 値[L/min]	電磁流量計下流 ナトリウム温度 110-TE51[°C]
5.9	2.0	26.80	4.0	17.3	381.2
7.1	2.5	31.30	5.0	23.6	383.2
8.3	3.0	35.10	6.0	29.5	385.6
9.5	3.5	38.30	7.0	35.5	389.4
10.6	4.0	40.70	8.0	41.1	395.0
11.8	4.5	42.80	9.0	46.9	395.0
13.0	5.0	44.40	10.0	52.2	390.0
14.2	5.5	46.00	11.0	57.3	385.9
14.5	5.6	46.00	11.2	58.2	385.4
15.5	6.0	47.00	12.0	62.2	387.6
16.6	6.5	48.20	13.0	67.1	389.3
17.8	7.0	49.00	14.0	72.1	389.8
19.0	7.4	49.70	15.0	76.7	388.3
20.2	8.0	50.40	16.0	81.4	386.8
21.4	8.5	51.00	17.0	86.0	387.3
22.6	9.0	51.40	18.0	90.4	387.8
23.8	9.5	51.90	19.0	94.9	386.9
25.2	10.1	52.40	20.2	100.0	386.6

戻り加熱器出口 Na 温度約 420°C時

表 7-4 エコノマイザ伝熱特性データ

評価項目	測定値	設計値		
		実験時 ^{※3}	SG 循環時 ^{※2}	DT 循環時 ^{※3}
Na 流量 (t/h)	3.11 ^{※1}	←	3.00	3.00
エコノマイザ胴側 入口 Na 温度[°C]	369.0	←	430.0	235.0
エコノマイザ胴側 出口 Na 温度[°C]	185.6	←	185.0	150.0
エコノマイザ管側 入口 Na 温度[°C]	171.9	←	150.0	130.0
エコノマイザ管側 出口 Na 温度[°C]	348.3	←	394.0	214.0
エコノマイザ 出入口 Na 温度差[°C] (管側出口－胴側入口) ^{※1}	20.7	←	36.0	21.0
胴側熱交換量[kW] ^{※1}	208	←	266.3	95.1
管側熱交換量[kW] ^{※1}	201	←	268 ^{※3}	94.6
熱交換量比 (管側/胴側) [%] ^{※1}	96.6	←	100	99.4
熱通過率[W/(m ² °C)] ^{※1}	6,680	4,454	4,422	4,420
対数平均温度差[°C] ^{※1}	17.0	←	35.5	20.5

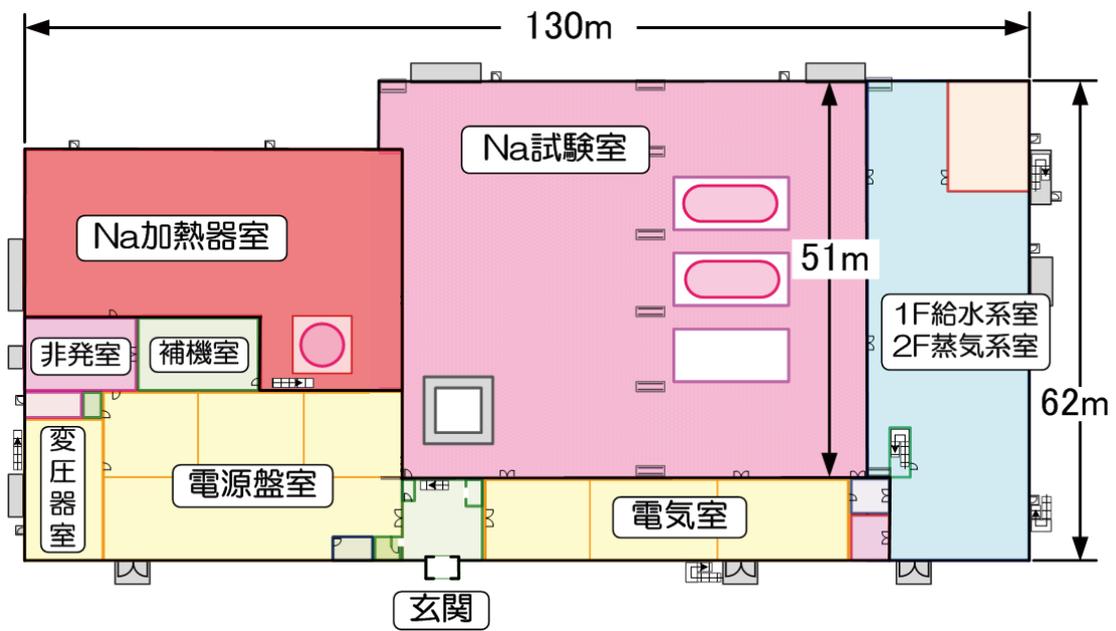
※1 有効数字 4 桁以下四捨五入

※2 エコノマイザ機器設計計算書を参照

※3 エコノマイザ機器設計計算書を参考に計算



AtheNa 施設の外観



AtheNa 平面図

図 2-1 AtheNa 施設の外観及び平面図

This is a blank page.

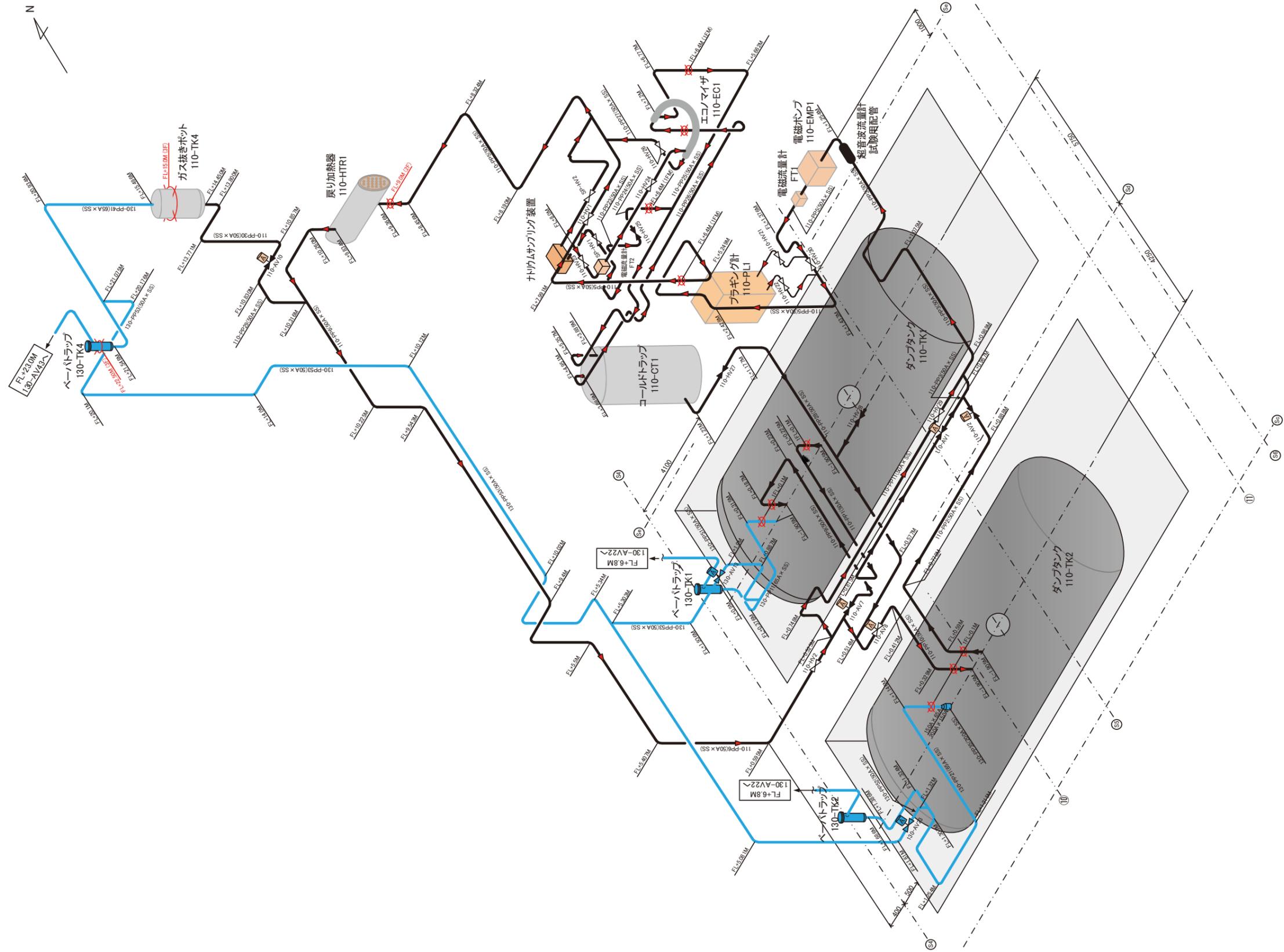


図 2-2 マガーループ全体系統図

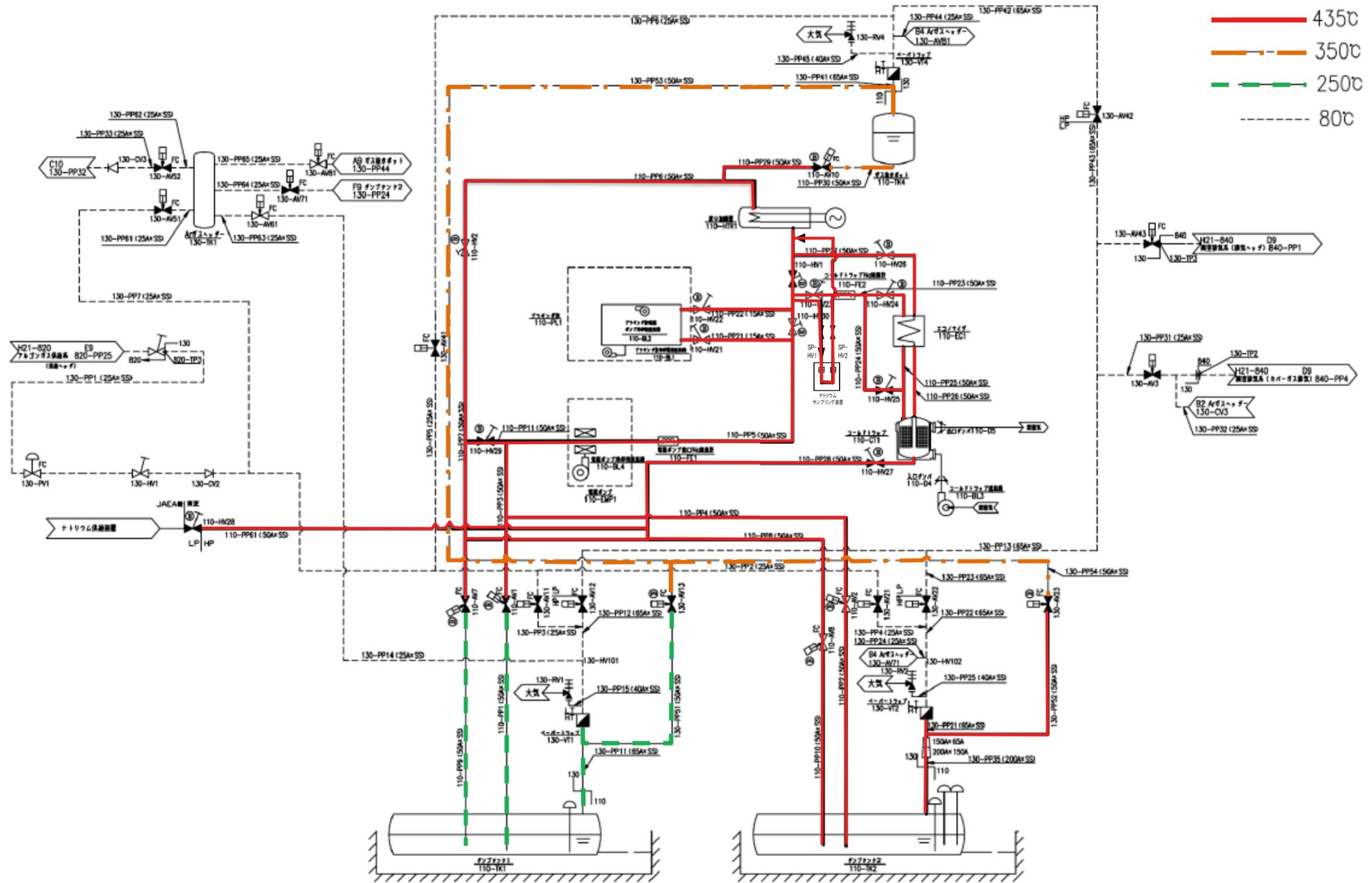


図 3-1 最高使用温度区分図

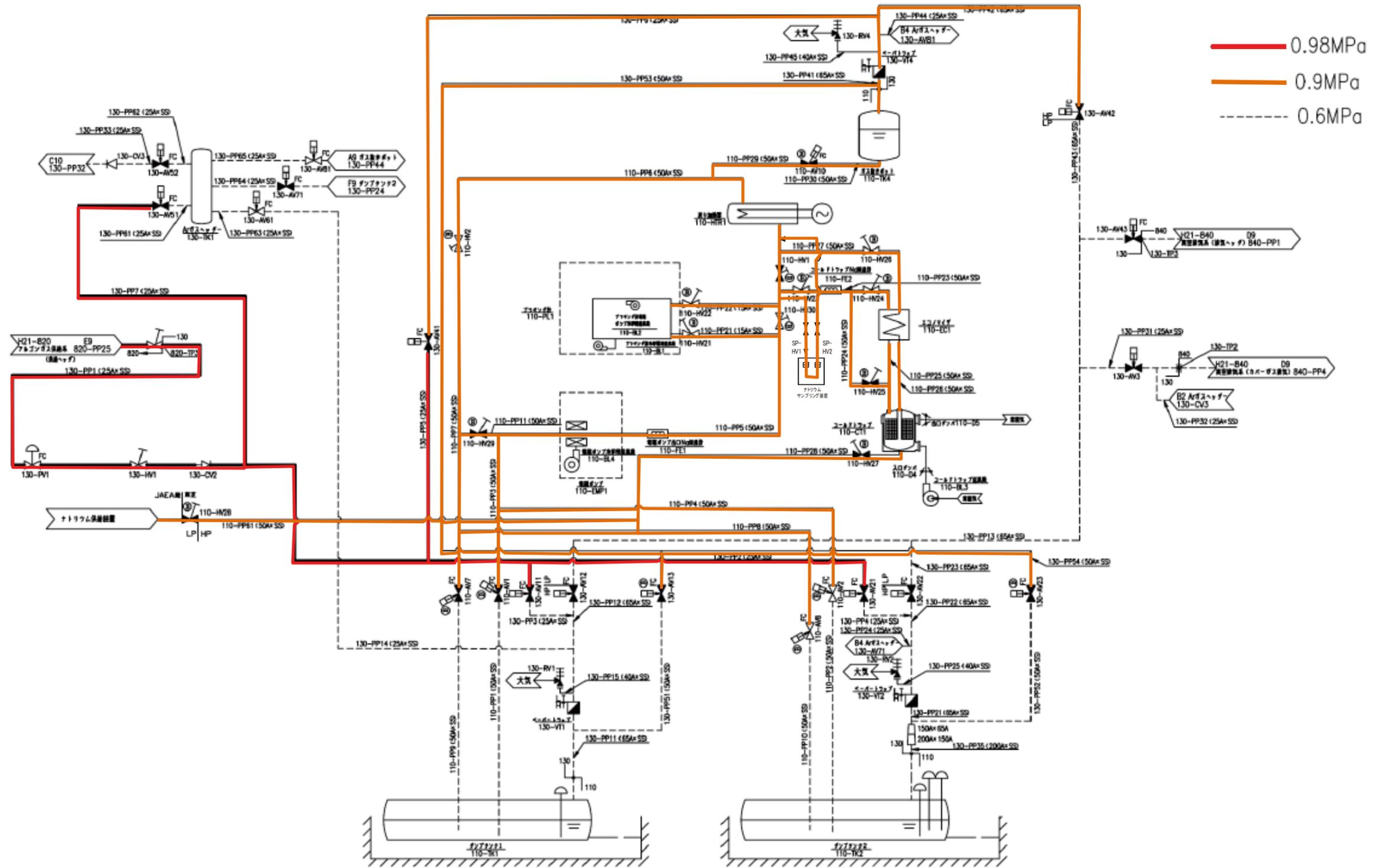


図 3-2 最高使用圧力区分

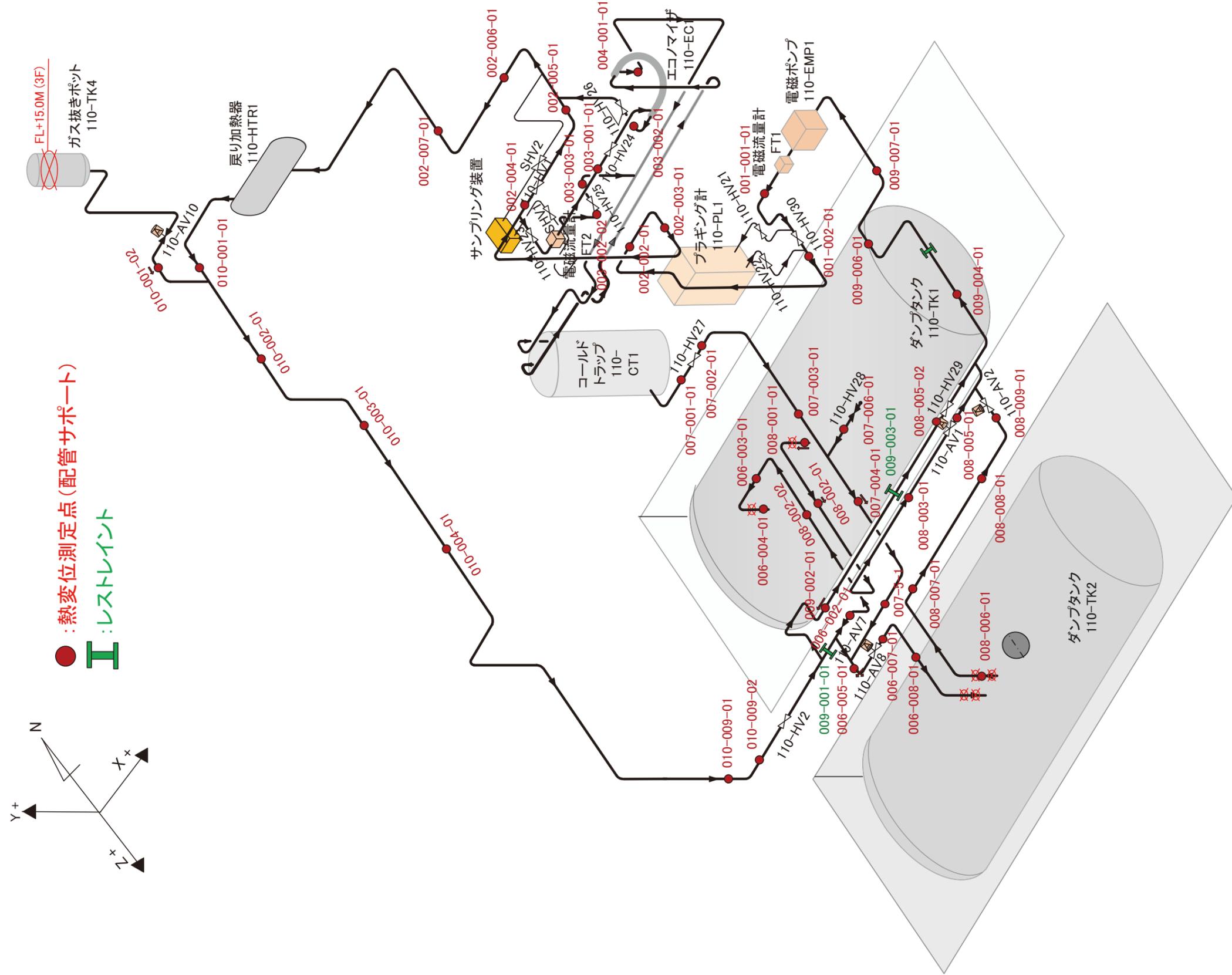


図 3-3 配管支持構造部配置

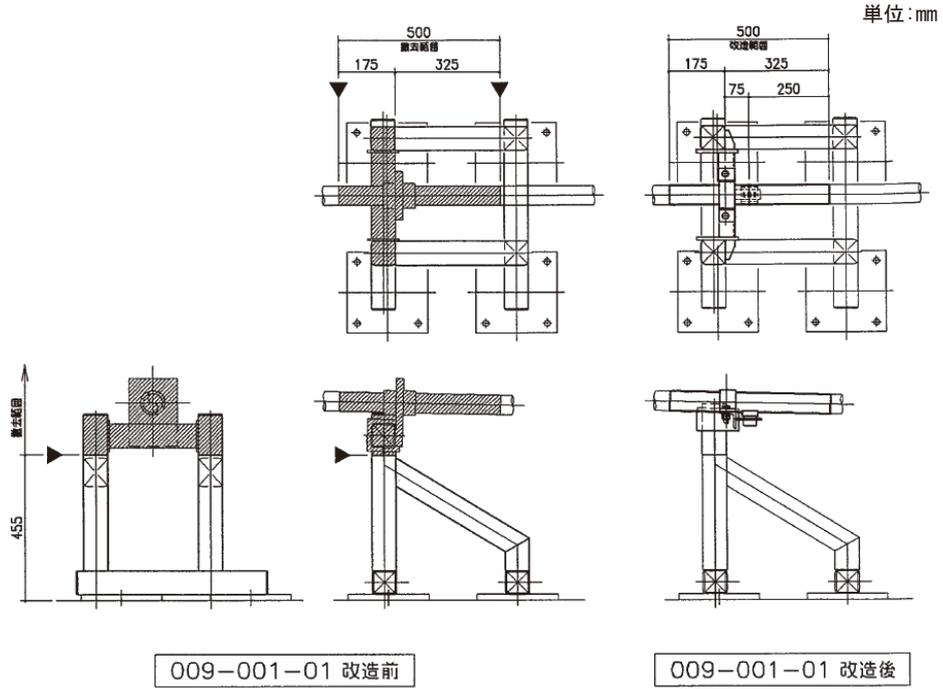


図 3-4 アンカ構造部 (009-001-01) の改善前後の配管支持構造

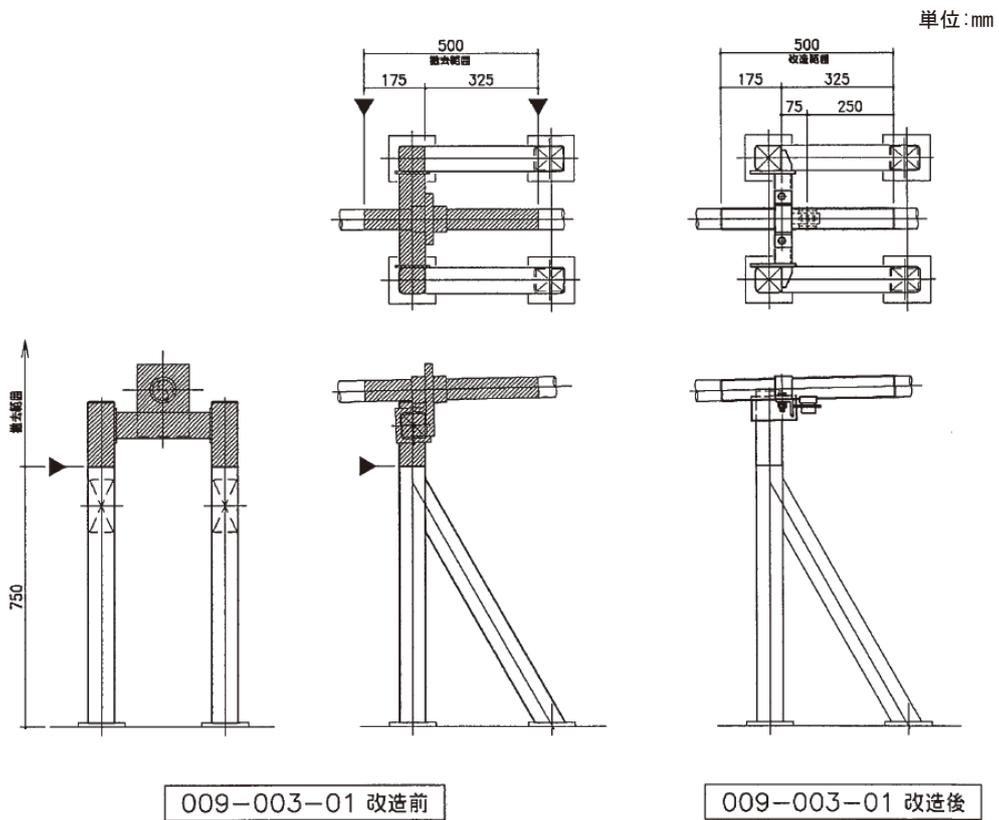
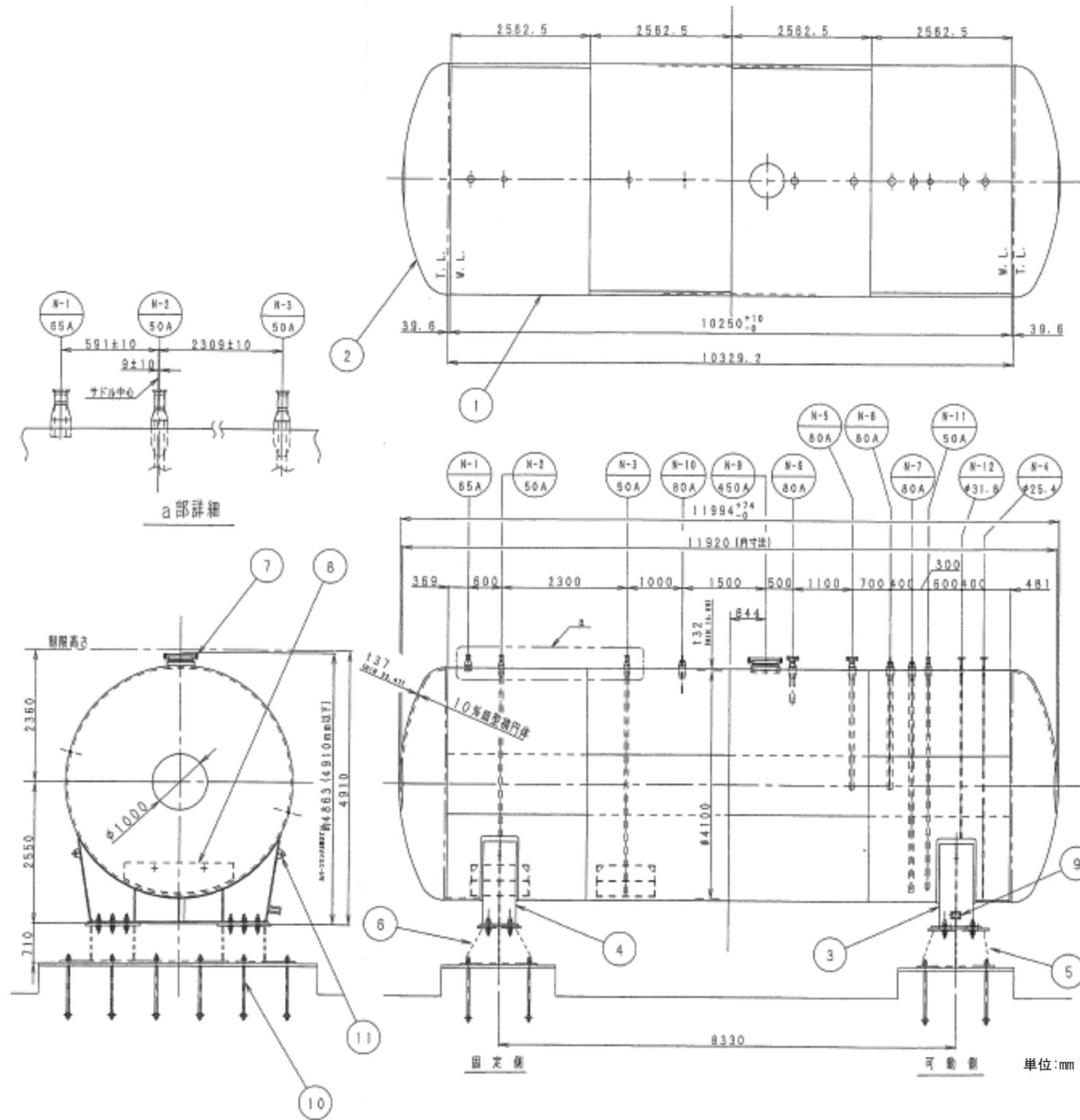


図 3-5 アンカ構造部 (009-003-01) の改善前後の配管支持構造

This is a blank page.



記号	名称	数量	寸法	フランジ規格 又はスケジュール
N-1	カバーガスノズル	1	65A	Sch20S
N-2	Na 戻り管ノズル	1	50A	Sch20S
N-3	Na チャージドレンノズル	1	50A	Sch20S
N-4	連続式液面計取付座	1	φ 25.4mm	φ 25.4mm×t2.3mm JIS 10K
N-5	接点式液面計取付座(下)	1	80A	Sch20S JIS 30K
N-6	接点式液面計取付座(上)	1	80A	Sch20S JIS 30K
N-7	Na 中温度計取付座(下)	1	80A	Sch20S
N-8	Na 中温度計取付座(上)	1	80A	Sch20S
N-9	マンホール	1	450A	JIS 10K
N-10	カバーガス中温度計取付座	1	80A	Sch20S
N-11	Na 汲上ノズル	1	40A	Sch20S
N-12	温度補償プローブ取付座	1	φ 31.8mm	φ 31.8mm×t2.3mm JIS 10K

図番	品名	数量	材質	記事等
1	胴板	4	SUS304	t32mm
2	鏡板	2	SUS304	t37mm
3	可動側サドル	1	SUS304	ベースプレート t38mm リブ t25mm
4	固定側サドル	1	SUS304	ベースプレート t38mm リブ t25mm
5	可動側架台	1	SS400	ベースプレート t38mm リブ t25mm
6	固定側架台	1	SS400	ベースプレート t38mm リブ t25mm
7	マンホールカバー	1	SUSF304	JIS 10K 450A
8	受皿	1	SUS304	底板 t10mm
9	銘板	1	SUS304	t0.8mm
10	アンカーボルト/ナット	24	SS400/SS400	M42×310L
11	ラッシングピース	4	SUS304	t19mm

図 4-1 ダンプタンク 1 外形図

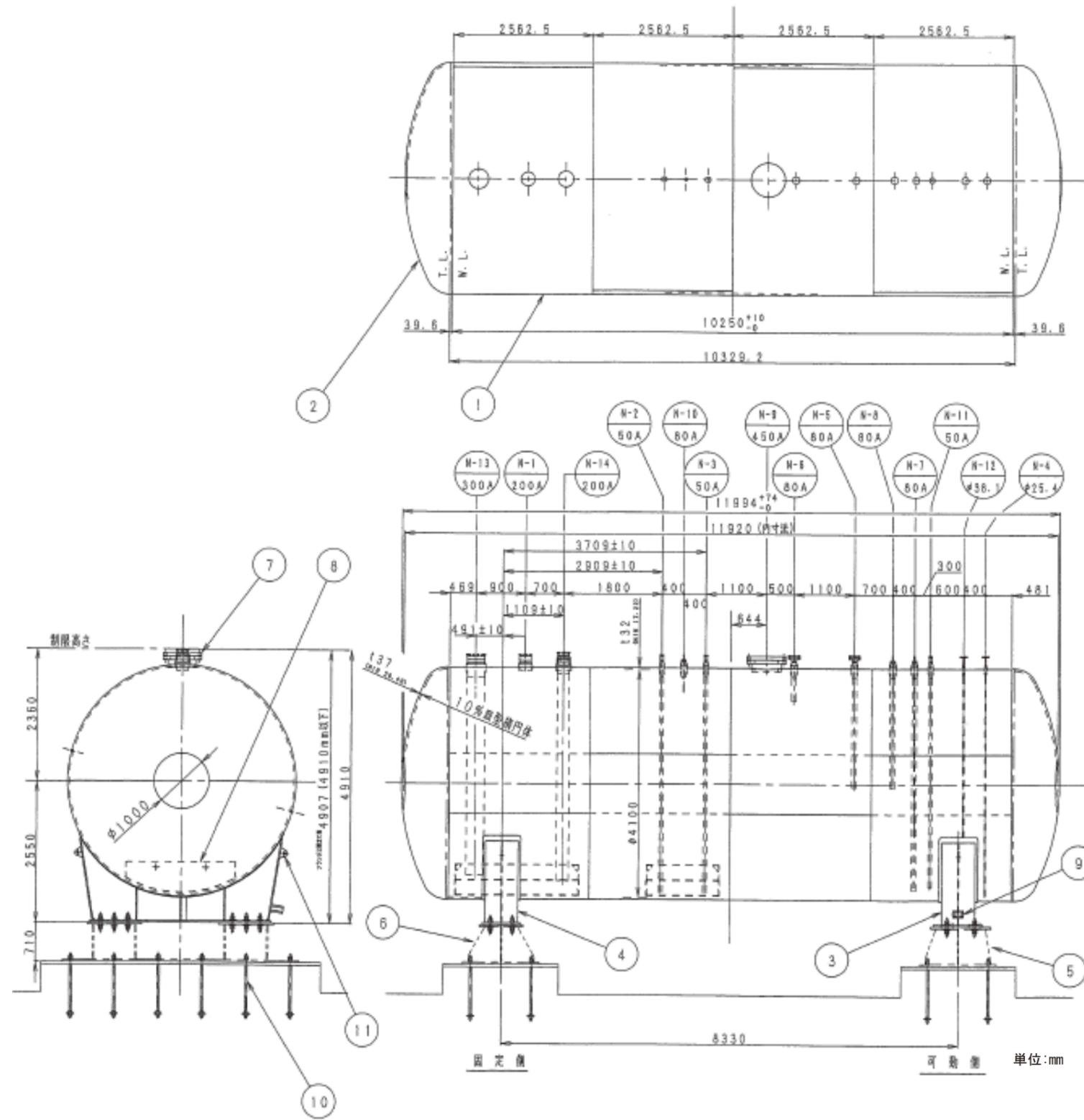


図 4-2 ダンプタンク 2 外形図

記号	名称	数量	寸法	フランジ規格 又はスケジュール
N-1	カバーガスノズル	1	200A	Sch20S
N-2	Na 戻り管ノズル	1	50A	Sch20S
N-3	Na チャージドレンノズル	1	50A	Sch20S
N-4	連続式液面計取付座	1	φ 25.4mm	φ 25.4mm × t2.3mm JIS 10K
N-5	接点式液面計取付座(下)	1	80A	Sch20S JIS 30K
N-6	接点式液面計取付座(上)	1	80A	Sch20S JIS 30K
N-7	Na 中温度計取付座(下)	1	80A	Sch20S
N-8	Na 中温度計取付座(上)	1	80A	Sch20S
N-9	マンホール	1	450A	JPI #300
N-10	カバーガス中温度計取付座	1	80A	Sch20S
N-11	Na 汲上ノズル	1	40A	Sch20S
N-12	温度補償プローブ取付座	1	φ 31.8mm	φ 31.8mm × t2.3mm JIS 10K
N-13	流量計校正ドレンノズル	1	300A	Sch20S
N-14	緊急ドレンノズル	1	200A	Sch20S

図番	品名	数量	材質	記事等
1	胴板	4	SUS304	t32mm
2	鏡板	2	SUS304	t37mm
3	可動側サドル	1	SUS304	ベースプレート t38mm リブ t25mm
4	固定側サドル	1	SUS304	ベースプレート t38mm リブ t25mm
5	可動側架台	1	SS400	ベースプレート t38mm リブ t25mm
6	固定側架台	1	SS400	ベースプレート t38mm リブ t25mm
7	マンホールカバー	1	SUSF304	JPI #300 450A
8	受け皿	1	SUS304	底板 t10mm
9	銘板	1	SUS304	t0.8mm
10	アンカーボルト/ナット	24	SS400/SS400	M42×310L
11	ラッシングピース	4	SUS304	t19mm

図番	品名	数量	材質	記事等
1	流路管	1	SUS304TP-S	50A×Sch20S
2	接続管	2	SUS304TP-S	50A×Sch20S
3	コア	1	接液部 SUS304, SUSU304TP	—
4	コイル部	1	アルミ	—
5	冷却ファン	5	アルミ	—
6	ケーシング	1	SS	—
7	入口側流路固定板	1	SUS304	—
8	入口側スリーブ	1	SUS304	—
9	入口側ブッシング	1	SUS304	—
10	スペーサブッシング	3	SUS304	—
11	出口側スリーブ	1	SUS304	—
12	出口側流路固定板	1	SUS304	—
13	ヒータ	6	シース NCF600	—
14	熱電対	6	シース SUS316 K型	—
15	据付用ボルト, ナット	4組	SUS	M16×55L

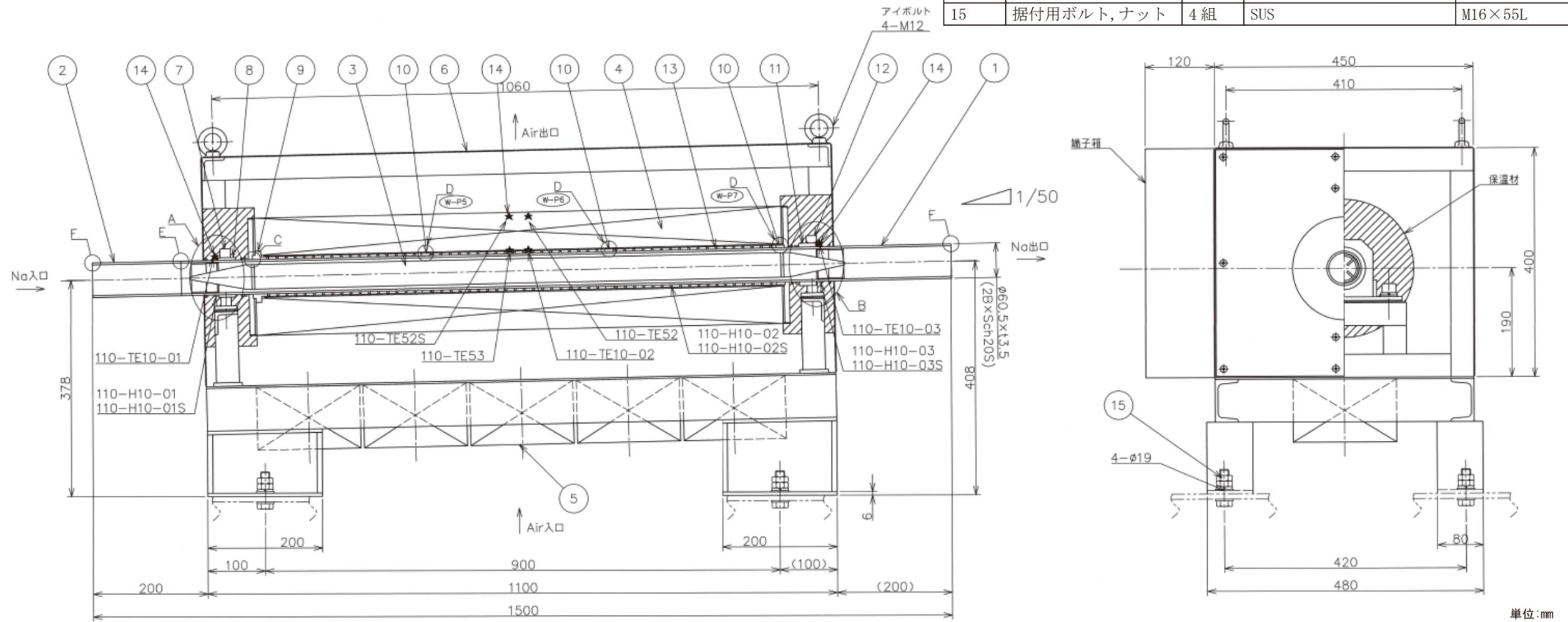
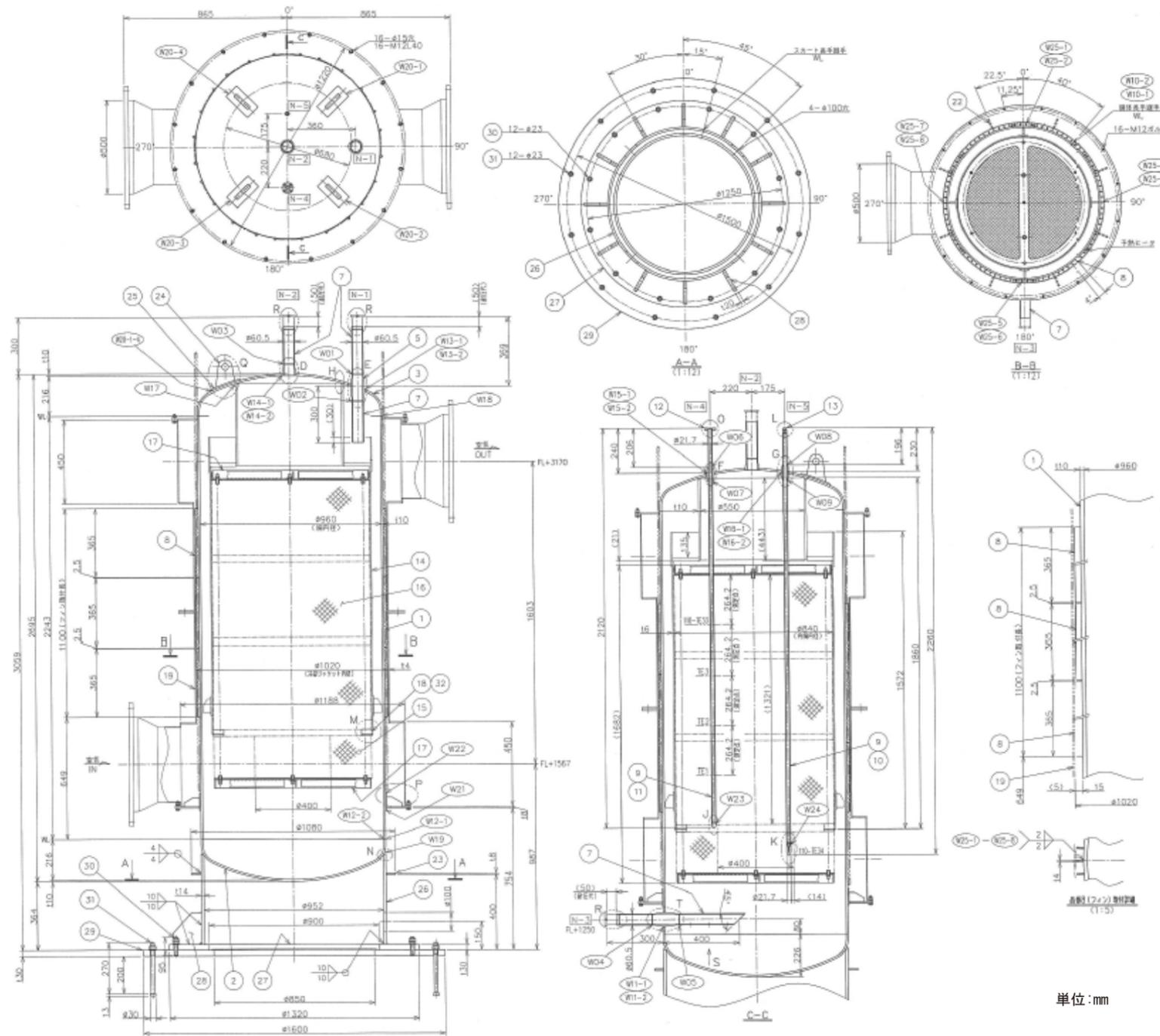


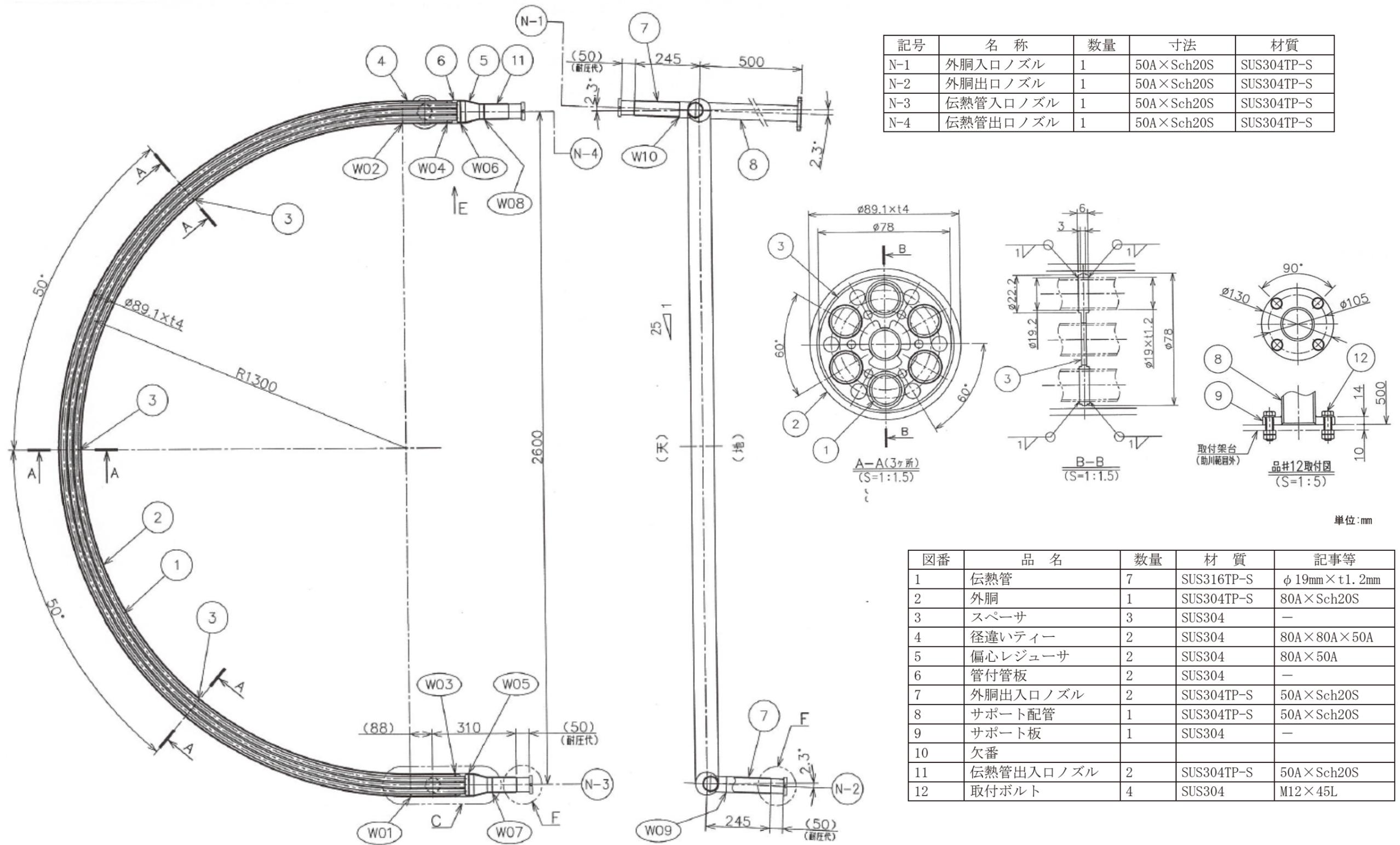
図 4-3 電磁ポンプ外形図



記号	名称	数量	寸法	材質
N-1	入口ノズル	1	50A×Sch20S	SUS304TP-S
N-2	出口ノズル	1	50A×Sch20S	SUS304TP-S
N-3	ドレンノズル	1	50A×Sch20S	SUS304TP-S
N-4	熱電対ウェル(1)	1	15A×Sch20S	SUS304TP-S
N-5	熱電対ウェル(2)	1	15A×Sch20S	SUS304TP-S

図番	品名	数量	材質	記事等
1	外胴	1	SUS304	t10mm
2	下鏡部	1	SUS304	t10mm
3	上鏡部	1	SUS304	t10mm
4	50A 管台(1)	1	SUS304	φ 75mm
5	50A 管台(2)	2	SUS304	φ 75mm
6	15A 管台	2	SUS304	φ 40mm
7	50A 管台	1	SUS304TP-S	50A×Sch20S
8	フィン	270	SUS304	t4mm
9	熱電対ウェル	2	SUS304TP-S	15A×Sch20S
10	端栓(1)	1	SUS304	φ 24mm
11	端栓(2)	1	SUS304	φ 24mm
12	ウェルフランジ	1	SUS304	t14mm
13	Rc1/4 ボス	1	SUS304	φ 24mm
14	内胴	1	SUS304	—
15	予備メッシュ	1	SUS304	—
16	メッシュ	1	SUS304	—
17	メッシュサポート	1	SUS304	—
18	メッシュ固定座	6	SUS304	—
19	冷却ジャケット	1	SUS304	—
20	下部冷却ジャケット支持板	1	SUS304	t8mm
21	支持板当板	1	SUS304	t6mm
22	支持板補強板	8	SUS304	t10mm
23	リブ	1	SUS304	t8mm
24	吊金具	4	SUS304	t20mm
25	吊金具当板	4	SUS304	t6mm
26	スカート	1	SUS304	t14mm
27	据付プレート	1	SUS304	t30mm
28	補強リブ	12	SUS304	t20mm
29	ベースプレート	1	SS400	t30mm
30	据付ボルト	12	SS400	M20×95L
31	基礎ボルト	12	SS400	M20×270L
32	スペーサ	6	SUS304	—

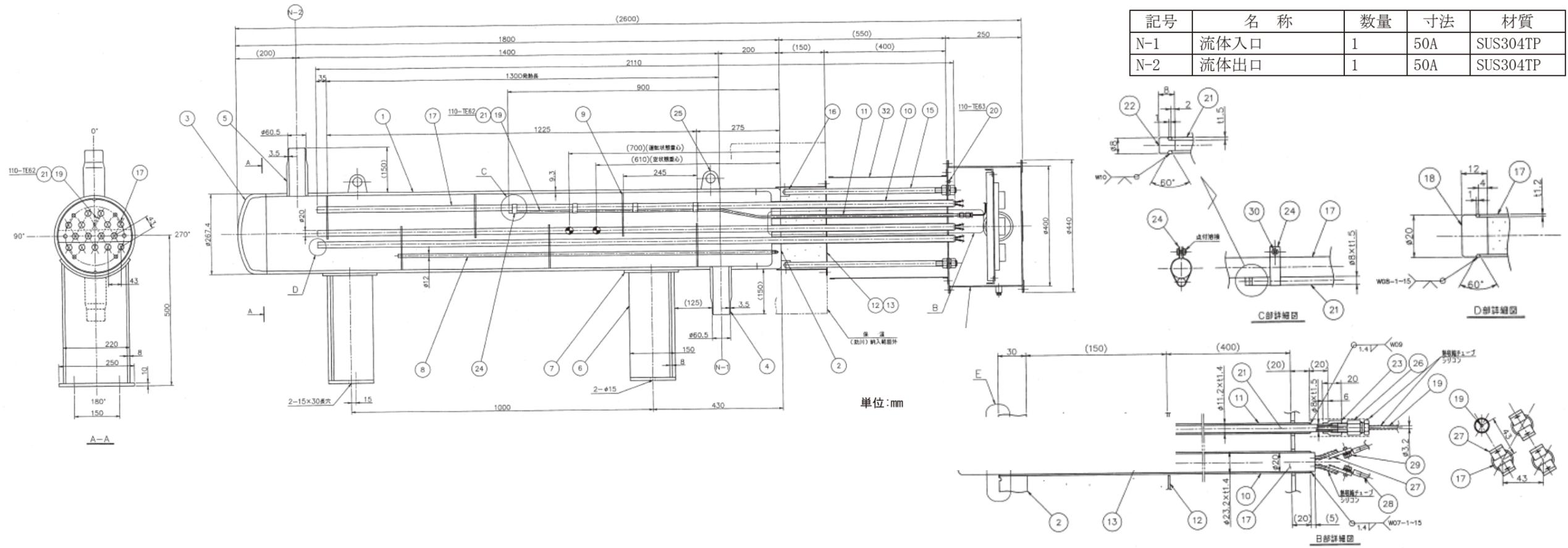
図 4-4 コールドトラップ外形図



記号	名称	数量	寸法	材質
N-1	外胴入口ノズル	1	50A×Sch20S	SUS304TP-S
N-2	外胴出口ノズル	1	50A×Sch20S	SUS304TP-S
N-3	伝熱管入口ノズル	1	50A×Sch20S	SUS304TP-S
N-4	伝熱管出口ノズル	1	50A×Sch20S	SUS304TP-S

図番	品名	数量	材質	記事等
1	伝熱管	7	SUS316TP-S	φ 19mm×t1.2mm
2	外胴	1	SUS304TP-S	80A×Sch20S
3	スペーサ	3	SUS304	—
4	径違いタイ	2	SUS304	80A×80A×50A
5	偏心レギュレーサ	2	SUS304	80A×50A
6	管付管板	2	SUS304	—
7	外胴出入口ノズル	2	SUS304TP-S	50A×Sch20S
8	サポート配管	1	SUS304TP-S	50A×Sch20S
9	サポート板	1	SUS304	—
10	欠番			
11	伝熱管出入口ノズル	2	SUS304TP-S	50A×Sch20S
12	取付ボルト	4	SUS304	M12×45L

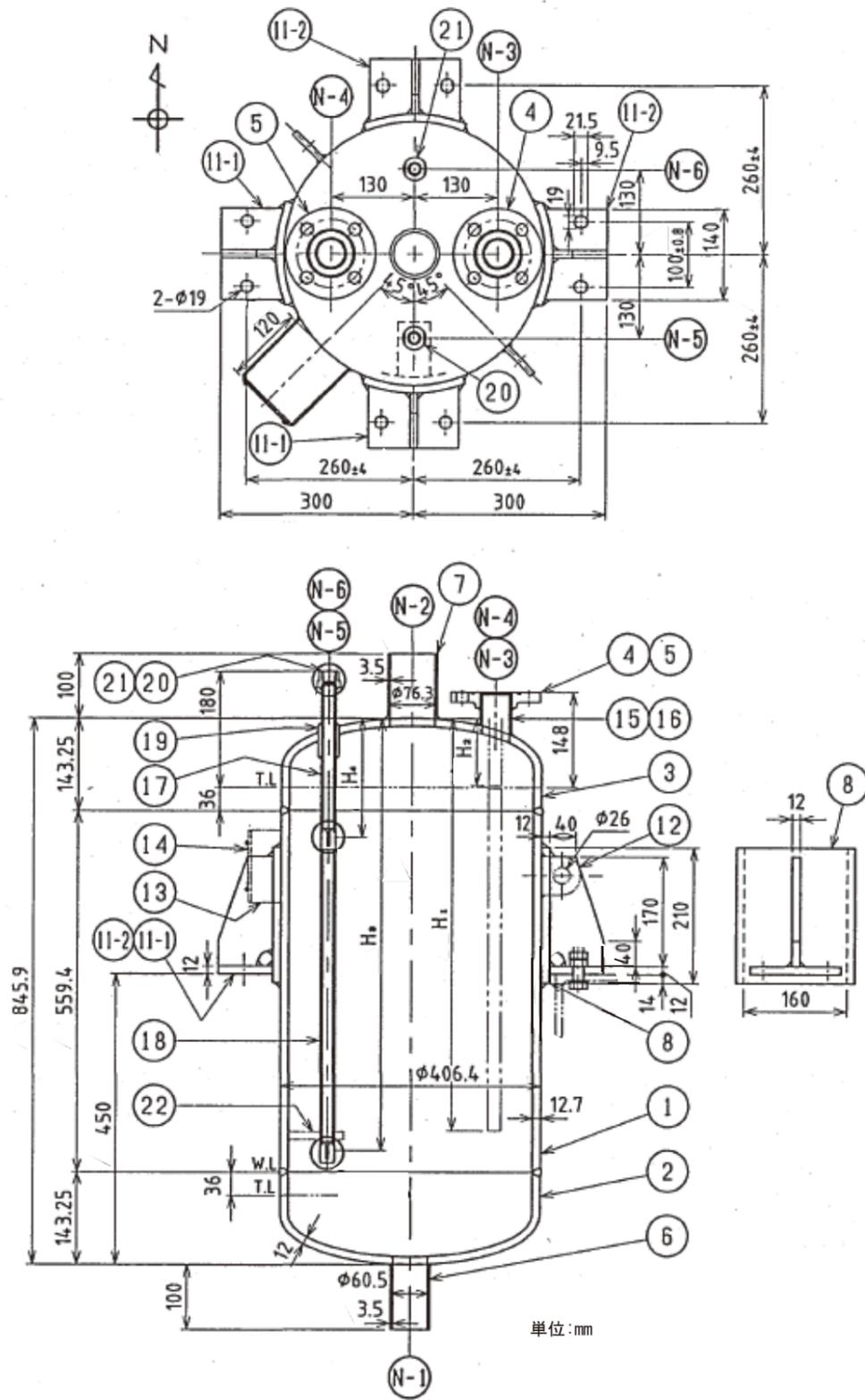
図 4-5 エコノマイザ外形図



記号	名称	数量	寸法	材質
N-1	流体入口	1	50A	SUS304TP
N-2	流体出口	1	50A	SUS304TP

図番	品名	数量	材質	記事等	図番	品名	数量	材質	記事等
1	胴体	1	SUS304TP	250A×Sch40	17	ヒータエレメント	15	シース SUS316TP	φ 20mm
2	平板	1	SUS304	—	18	端栓	15	SUS316	—
3	鏡板	1	SUS304	—	19	熱電対(1)	1	シース SUS316TP	φ 3.2mm、K 型
4	入口管台	1	SUS304TP	—	20	熱電対(2)	1	シース SUS316TP	φ 1.0mm、K 型
5	出口管台	1	SUS304TP	—	21	熱電対保護管	1	SUS316TP	φ 8mm×t1.5mm
6	サドル	2	SUS304	—	22	保護管端栓	1	SUS316	—
7	当板	2	SUS304	φ 12mm	23	ボス	1	SUS304	—
8	ロッド	6	SUS304	t3mm	24	固定金具	4	SUS304	—
9	バップル板	6	SUS304	φ 23.2mm×t1.4mm	25	吊金具	2	SUS304	—
10	ヒータスリーブ	15	SUS304TP	φ 11.2mm×t1.4mm	26	コンプレッションフィッティング	1	SUS304	—
11	熱電対スリーブ	1	SUS304TP	—	27	端子板	30	SUS304	—
12	断熱材カバー	1	SUS304	—	28	リード線	30	LKGB	5.5mm ²
13	断熱材	1	セラミック保温材	—	29	ボルト、ばね座金、平座金	30	SUS	M4×10L
14	端子箱	1	SUS304	—	30	ボルト、ナット	4	SUS	M3×10L
15	端子箱支柱	6	SUS304	φ 18mm	31	欠番			
16	座	6	SUS304	—	32	火傷防止金網	1	SUS	—

図 4-6 戻り加熱器外形図

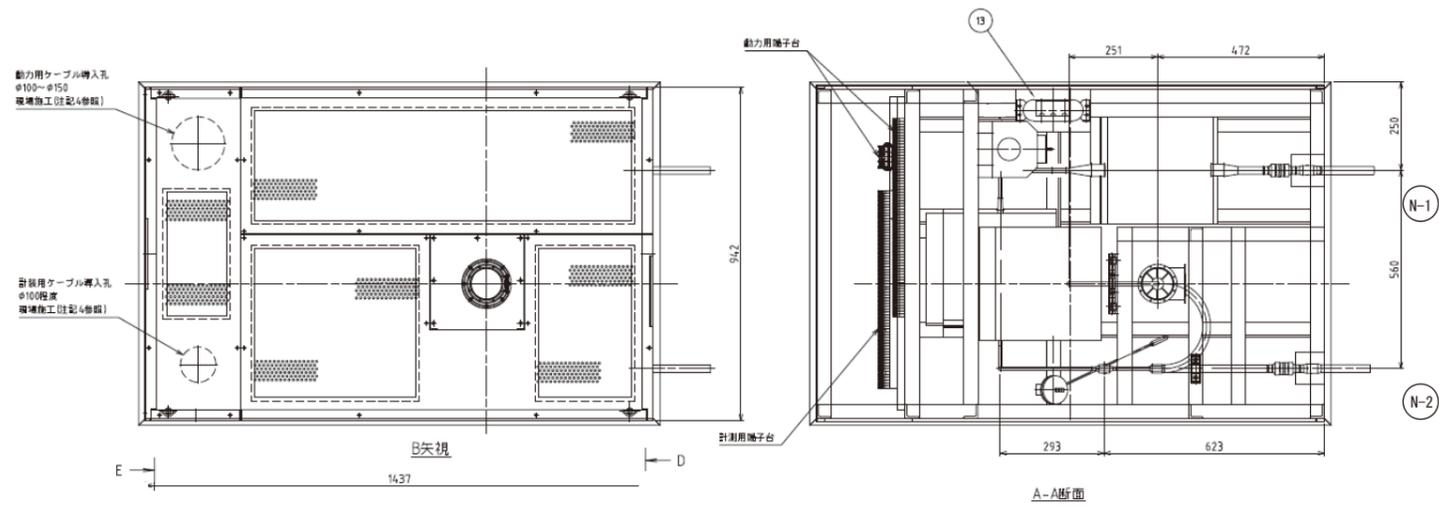


記号	名称	数量	寸法
N-1	ナトリウム入口ノズル	1	50A×Sch20S
N-2	カバーガス入口ノズル	1	65A×Sch20S
N-3	液面計充填完了検知座	1	40A×Sch20S
N-4	液面計高検知座	1	40A×Sch20S
N-5	下部熱電対取付座	1	15A×Sch40
N-6	上部熱電対取付座	1	15A×Sch40

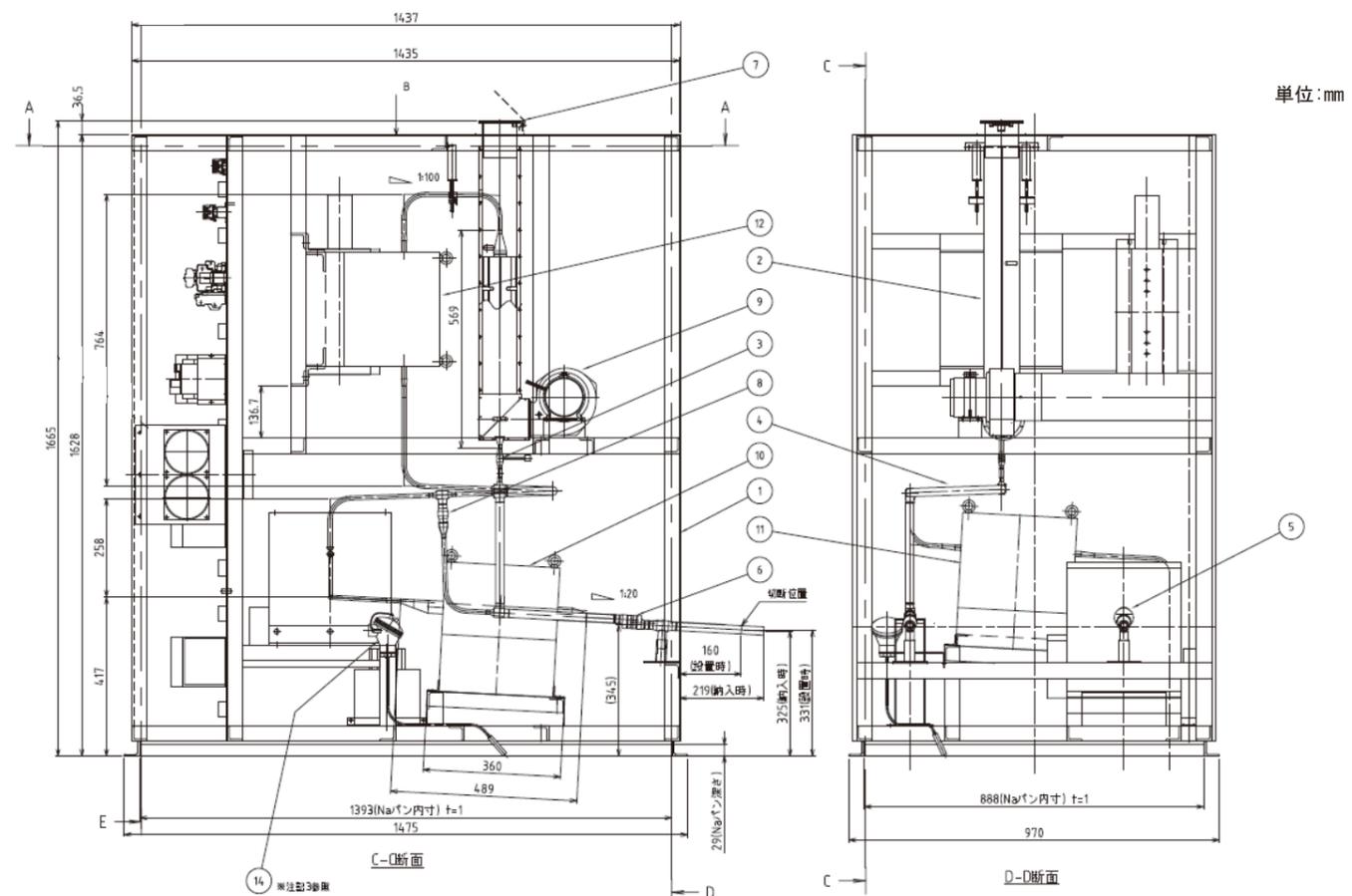
測定位置	鏡板外面頂部からの深さ (液位 mm)
N-3 充填完了液位 (H ₁)	638.9
N-4 液位高検知液位 (H ₂)	103.9
N-5 下部ナトリウム温度計測位置 (H ₃)	688.9
N-6 上部ナトリウム温度計測位置 (H ₄)	203.9

図番	品名	数量	材質	記事等
1	胴	1	SUS304TP-S	400A×Sch40
2	下部鑑板	1	SUS304	2:1 半楕円
3	上部鏡板	1	SUS304	2:1 半楕円
4	下部液位計取付フランジ	1	SUS304	16K-40A
5	上部液位計取付フランジ	1	SUS304	16K-40A
6	ナトリウム配管ノズル	1	SUS304TP-S	50A×Sch20S
7	カバーガス配管ノズル	1	SUS304TP-S	65A×Sch20S
8	脚当板	4	SUS304	—
9	欠番	—	—	—
10	欠番	—	—	—
11-1	脚	2	SUS304	—
11-2	脚 (長穴付)	2	SUS304	—
12	アイプレート	2	SUS304	—
13	銘板取付座	1	SUS304	—
14	銘板	1	SUS304	—
15	下部液面計管台	1	SUS304TP-S	40A×Sch20S
16	上部液面計管台	1	SUS304TP-S	40A×Sch20S
17	上部熱電対保護管	1	SUS304	15A×Sch40
18	下部熱電対保護管	1	SUS304TP-S/SUS304	15A×Sch40
19	スリーブ	2	SUS304TP-S/SUS304	—
20	下部熱電対取付座	1	SUS304	Rc1/2
21	上部熱電対取付座	1	SUS304	Rc1/2
22	サポート	1	SUS304	—

図 4-7 ガス抜きポット外形図



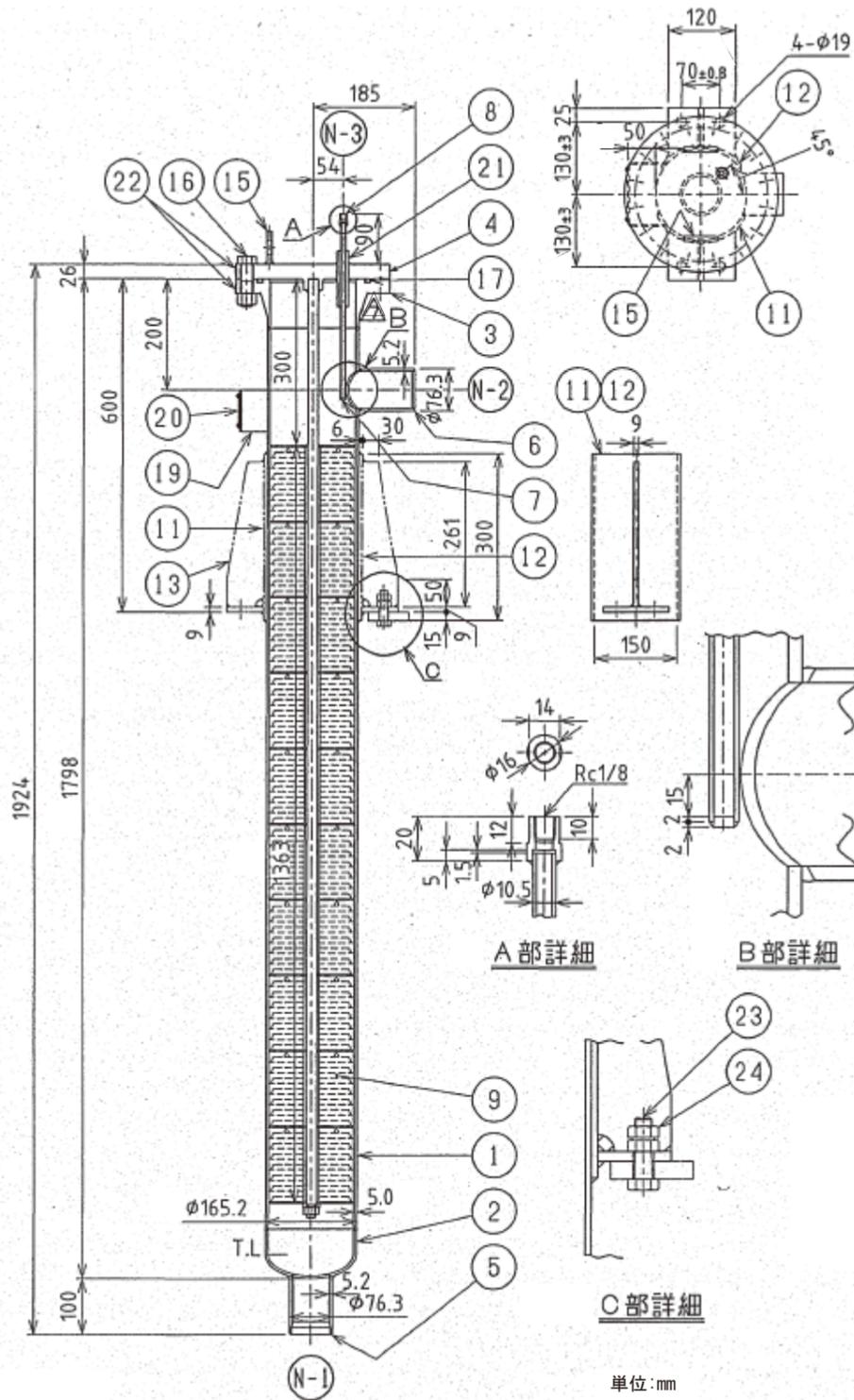
記号	名称	数量	寸法
N-1	ナトリウム入口ノズル	1	15A×Sch20S
N-2	ナトリウム出口ノズル	1	15A×Sch20S



単位: mm

図番	品名	数量	材質	記事等
1	外箱	1	SS	—
2	クーラーオリフィス部	1	SUS304	—
3	プラグインオリフィス	1	SUS304	—
4	エコマイザ	1	SUS304	U字型シェルアンドチューブ式
5	ストレーナ (入口)	1	SUS304	—
6	ストレーナ (出口)	1	SUS304	—
7	冷却ダクト蓋	1	SUS304	—
8	バイパスオリフィス	1	SUS304	—
9	冷却器用ファン	1	アルミ	MB1225-B
10	電磁ポンプ	1	SUS304TP-S	LPS-10H-4R3
11	電磁流量計	1	SUS304TP-S	メイン流量計
12	電磁流量計	1	SUS304TP-S	オリフィス流量計
13	低圧進相コンデンサ	1	—	200V 400μF
14	ナトリウム漏えい検出器	1	シース SUS316	—

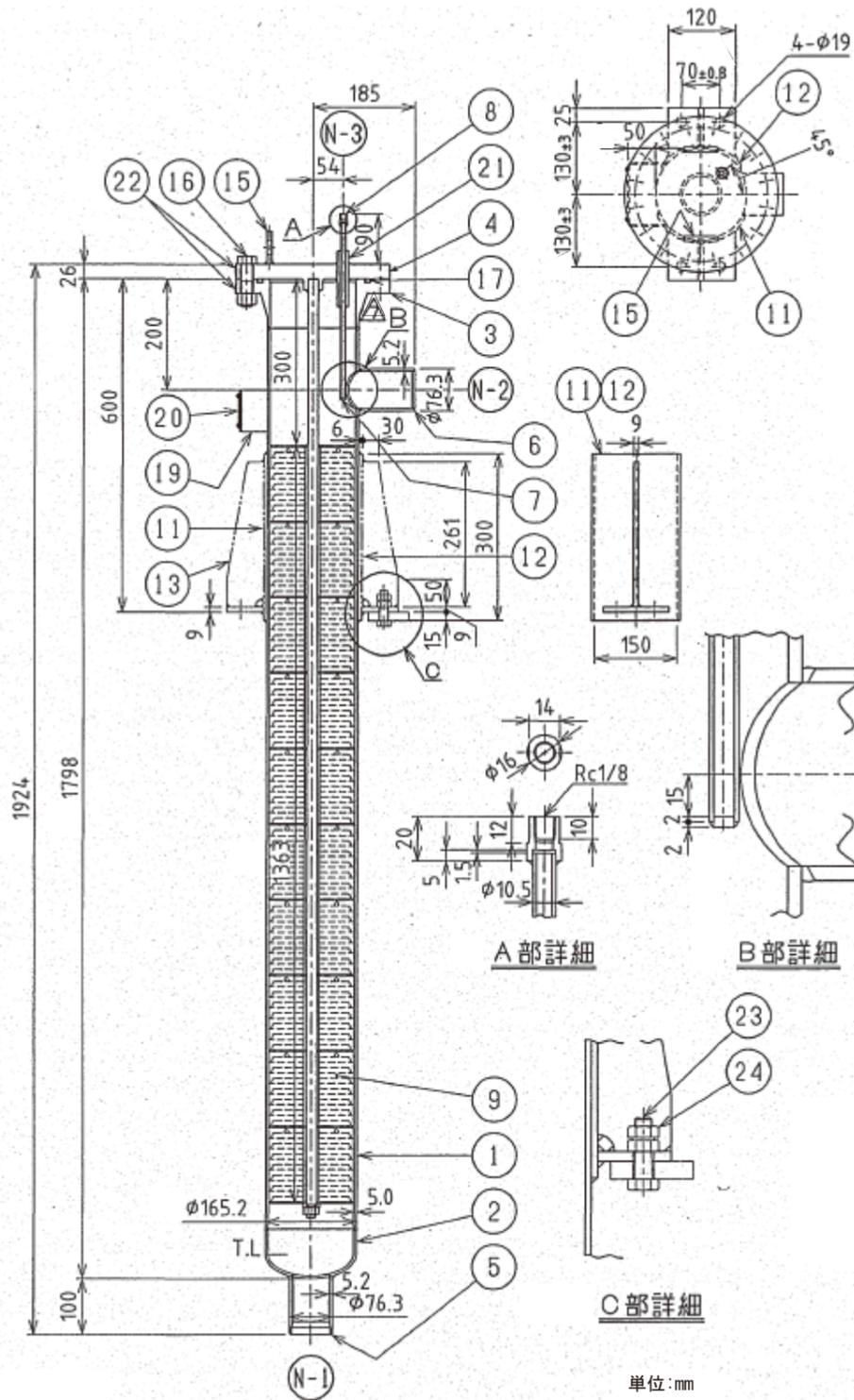
図 4-8 プラギング計外形図



記号	名称	数量	寸法
N-1	カバーガス入口ノズル	1	65A×Sch40
N-2	カバーガス出口ノズル	1	65A×Sch40
N-3	熱電対取付座	1	6A×Sch40

図番	品名	数量	材質	記事等
1	胴	1	SUS304TP	150A×Sch20S
2	キャップ	1	SUS304	150A×Sch20S
3	胴フランジ	1	SUSF304	—
4	ふた	1	SUSF304	—
5	カバーガス入口ノズル	1	SUS304TP	65A×Sch40
6	カバーガス出口ノズル	1	SUS304TP	65A×Sch40
7	熱電対保護管	1	SUS304TP/SUS304	6A×Sch40
8	熱電対取付座	1	SUS304	Rc1/8
9	ペーパートラップメッシュ	—	SUS304	積層タイプ
10	欠番	—	—	—
11	脚当板	1	SUS304	t6mm
12	脚当板	1	SUS304	t6mm
13	脚	2	SUS304	—
14	欠番	—	—	—
15	アイプレート	2	SUS304	—
16	六角ボルト、ナット	16	SUS316	M20
17	メタル中空Oリング	1	SUS321	φ200mm×φ3.2mm×t0.5mm
18	欠番	—	—	—
19	銘板取付座	1	SUS304	—
20	銘板	1	SUS304	—
21	スリーブ	1	SUS304	—
22	舌付座金	32	SUS304	M20用
23	六角ボルト	4	SUS304	M16×55L
24	六角ナット	4	SUS304J3	M16用

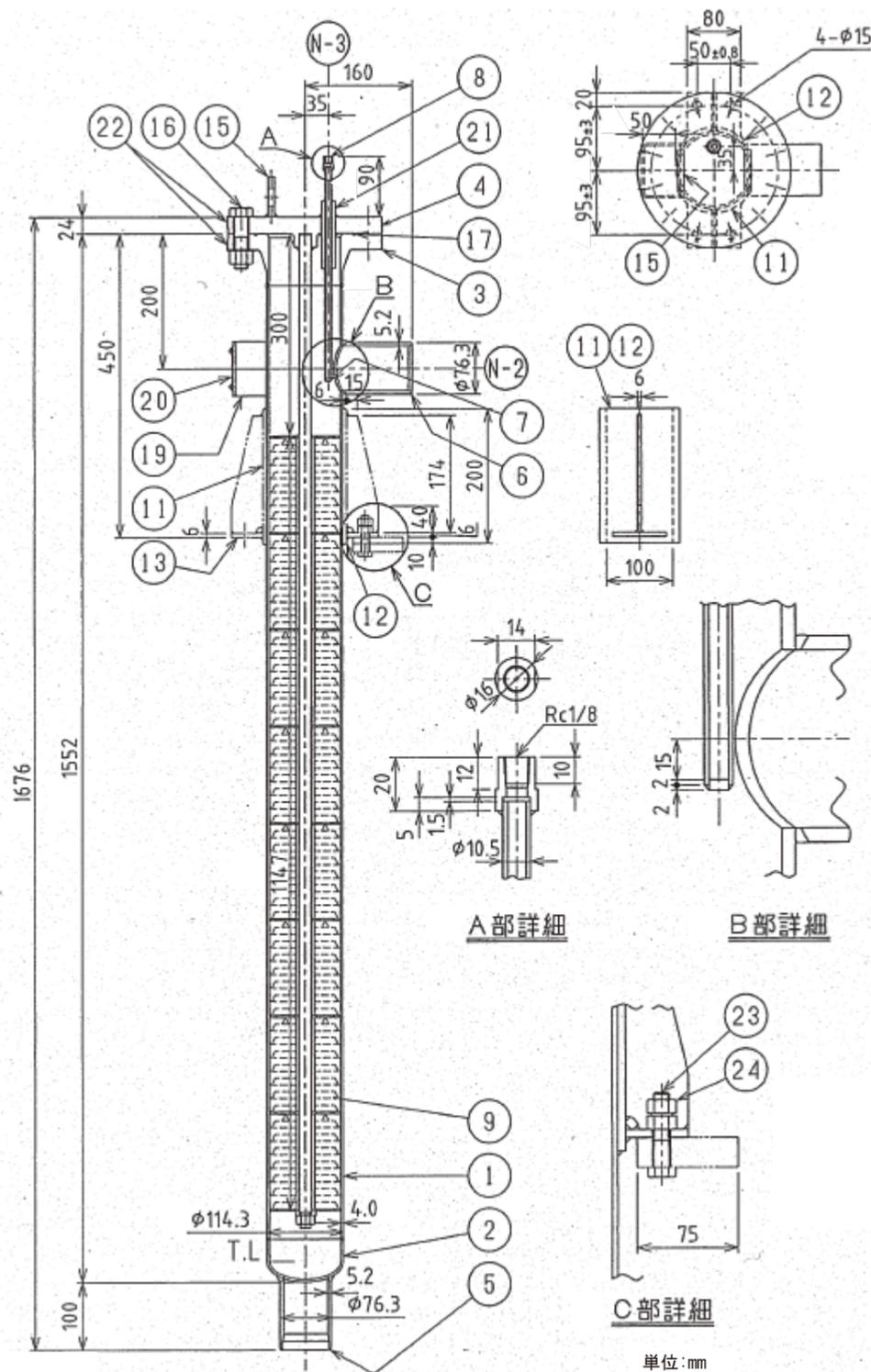
図 4-9 ペーパートラップ 1 外形図



記号	名称	数量	寸法
N-1	カバーガス入口ノズル	1	65A×Sch40
N-2	カバーガス出口ノズル	1	65A×Sch40
N-3	熱電対取付座	1	6A×Sch40

図番	品名	数量	材質	記事等
1	胴	1	SUS304TP	150A×Sch20S
2	キャップ	1	SUS304	150A×Sch20S
3	胴フランジ	1	SUSF304	—
4	ふた	1	SUSF304	—
5	カバーガス入口ノズル	1	SUS304TP	65A×Sch40
6	カバーガス出口ノズル	1	SUS304TP	65A×Sch40
7	熱電対保護管	1	SUS304TP/SUS304	6A×Sch40
8	熱電対取付座	1	SUS304	Rc1/8
9	ベーパートラップメッシュ	—	SUS304	積層タイプ
10	欠番	—	—	—
11	脚当板	1	SUS304	t6mm
12	脚当板	1	SUS304	t6mm
13	脚	2	SUS304	—
14	欠番	—	—	—
15	アイプレート	2	SUS304	—
16	六角ボルト、ナット	16	SUS316	M20
17	メタル中空Oリング	1	SUS321	φ200mm×φ3.2mm×t0.5mm
18	欠番	—	—	—
19	銘板取付座	1	SUS304	—
20	銘板	1	SUS304	—
21	スリーブ	1	SUS304	—
22	舌付座金	32	SUS304	M20用
23	六角ボルト	4	SUS304	M16×55L
24	六角ナット	4	SUS304J3	M16用

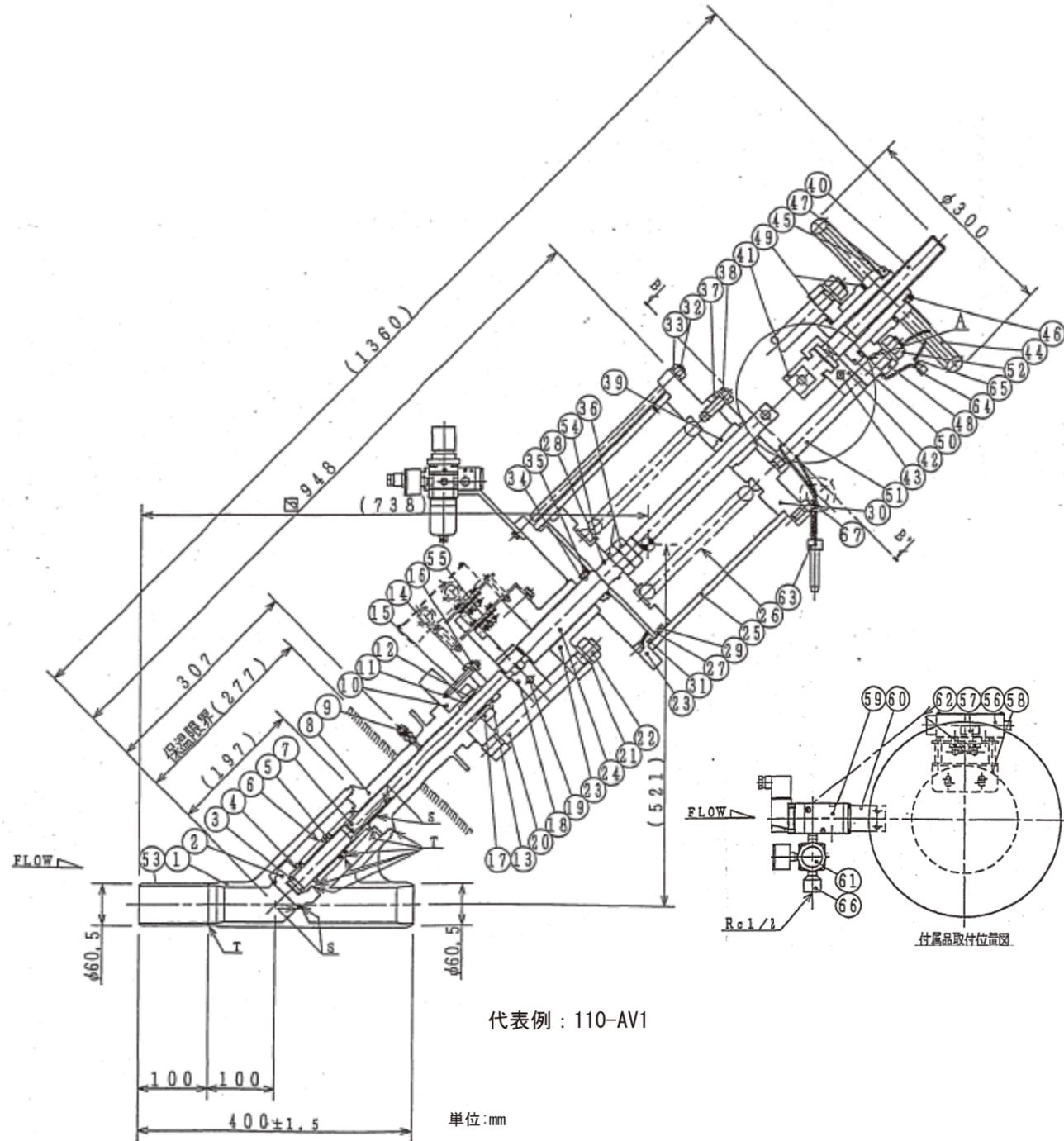
図 4-10 ベーパートラップ 2 外形図



記号	名称	数量	寸法
N-1	カバーガス入口ノズル	1	65A×Sch40
N-2	カバーガス出口ノズル	1	65A×Sch40
N-3	熱電対取付座	1	6A×Sch40

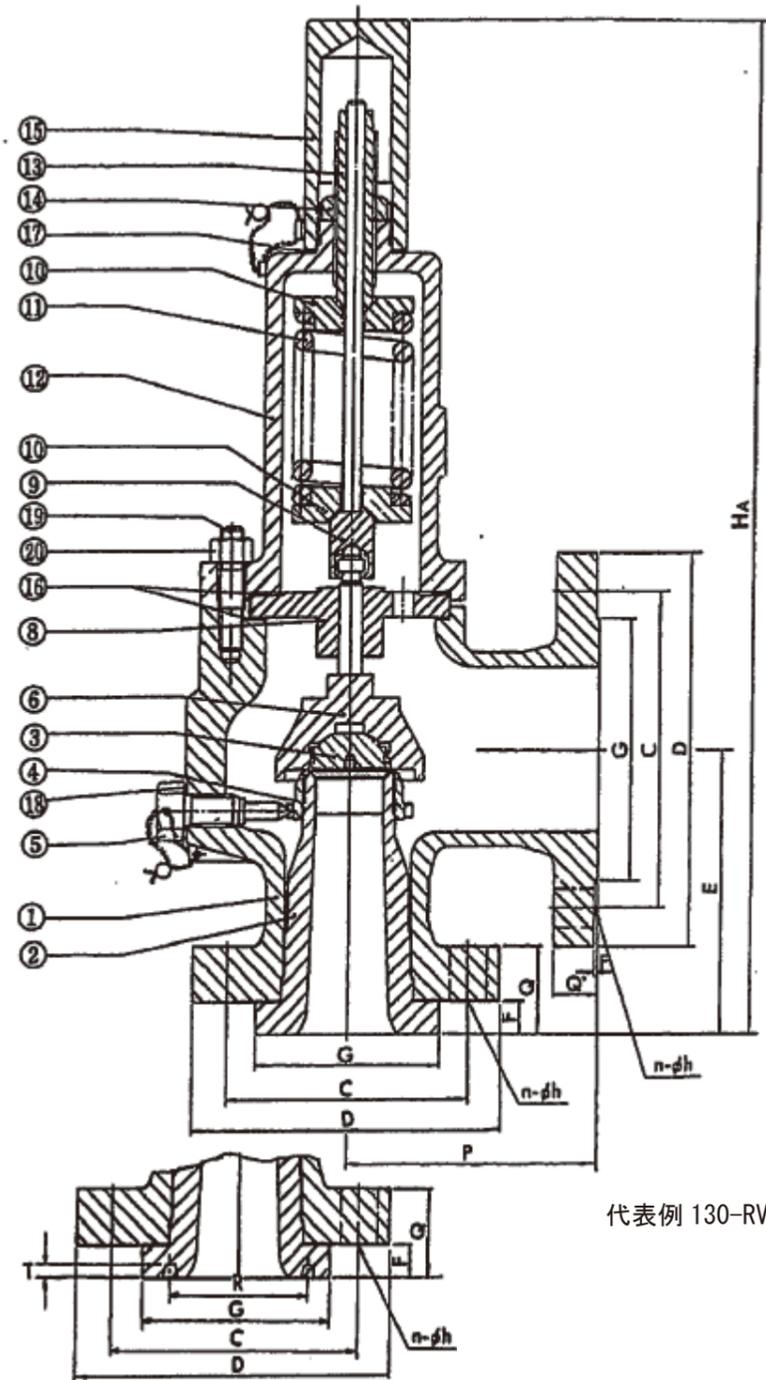
図番	品名	数量	材質	記事等
1	胴	1	SUS304TP	100A×Sch20S
2	キャップ	1	SUS304	100A×Sch20S
3	胴フランジ	1	SUSF304	—
4	ふた	1	SUSF304	—
5	カバーガス入口ノズル	1	SUS304TP	65A×Sch40
6	カバーガス出口ノズル	1	SUS304TP	65A×Sch40
7	熱電対保護管	1	SUS304TP/SUS304	6A×Sch40
8	熱電対取付座	1	SUS304	Rc1/8
9	ベーパートラップメッシュ	—	SUS304	積層タイプ
10	欠番	—	—	—
11	脚当板	1	SUS304	t6mm
12	脚当板	1	SUS304	t6mm
13	脚	2	SUS304	—
14	欠番	—	—	—
15	アイプレート	2	SUS304	—
16	六角ボルト、ナット	12	SUS316	M20
17	メタル中空Oリング	1	SUS321	φ150mm×φ3.2mm×t0.5mm
18	欠番	—	—	—
19	銘板取付座	1	SUS304	—
20	銘板	1	SUS304	—
21	スリーブ	1	SUS304	—
22	舌付座金	24	SUS304	M20用
23	六角ボルト	4	SUS304	M12×55L
24	六角ナット	4	SUS304J3	M12用

図 4-11 ベーパートラップ 4 外形図



図番	品名	数量	材質	図番	品名	数量	材質
1	ボディ	1	SUSF304	36	ロックナット	2	SUS304
2	ディスク	1	SUS304	37	ステー支持板	1	SUS304
3	カラー	1	SUS304	38	ボルト、スプリングワッシャー	4	SUS304
4	ディスクステムリング	1	SUS304	39	シリンダーブッシュ	1	C3604
5	ベローズリング	1	SUS304	40	ステム	1	SUS304
6	ベローズ	2	SUS316L	41	ステムホルダー	1	SUS304
7	ステム	1	SUS304	42	カップリング	1	SUS304
8	ボンネット	1	SUS304	43	六角穴付ボルト	2	SUS304
9	ブラインドナット	1	SUS304	44	ハンドホイール	1	FCMB270
10	接続フランジ	1	SUS304	45	ネームプレート	1	A1050P
11	ガイドブッシュ	1	SUS304	46	止めネジ	1	SUS304
12	グランドパッキン	1	膨張黒鉛	47	ホイールナット	1	SUS304
13	グランド	1	SUS304	48	スリーブ	1	SUS304
14	グランドフランジ	1	SUS304	49	ベアリング	2	—
15	グランドボルト	2	SUS304	50	ネジブッシュ	1	SUS420J2
16	六角ナット	2	SUS304	51	ステーボルト	3	SUS304
17	ロックナット	1	SUS304	52	ナット、スプリングワッシャー	3	SUS304
18	カップリング	1	SUS304	53	パイプ	1	SUS304TP-S
19	六角穴付ボルト	2	SUS304	54	スプリング受け	1	SS400
20	ステーボルト	3	SUS304	55	リミットスイッチ	4	—
21	スプリングワッシャー	3	SUS304	56	ターミナルボックス	1	SS400, SPCC
22	六角ナット	3	SUS304	57	端子台	1	—
23	シリンダー下蓋	1	SUS304	58	スイッチ取付板	1	SUS304
24	ピストンロッド	1	SUS304	59	電磁弁	1	—
25	シリンダーチューブ	1	A5056	60	電磁弁取付板	1	SUS304
26	スプリング	1	SUP9	61	フィルターレギュレータ	1	—
27	ピストン	1	SS400	62	空気配管部品	1	—
28	Oリング	1	NBR	63	鎖付接続ピン	1	SUS630
29	Oリング	1	NBR	64	南京錠	1	—
30	シリンダー上蓋	1	SUS304	65	ボールチェーン	1	SUS304
31	Oリング	1	NBR	66	変換プラグ	1	SUS304
32	ステーボルト	8	SUS304	67	アイボルト	2	SUS304
33	ナット、スプリングワッシャー	16	SUS304				
34	シリンダーブッシュ	1	C3604				
35	Oリング	1	NBR				

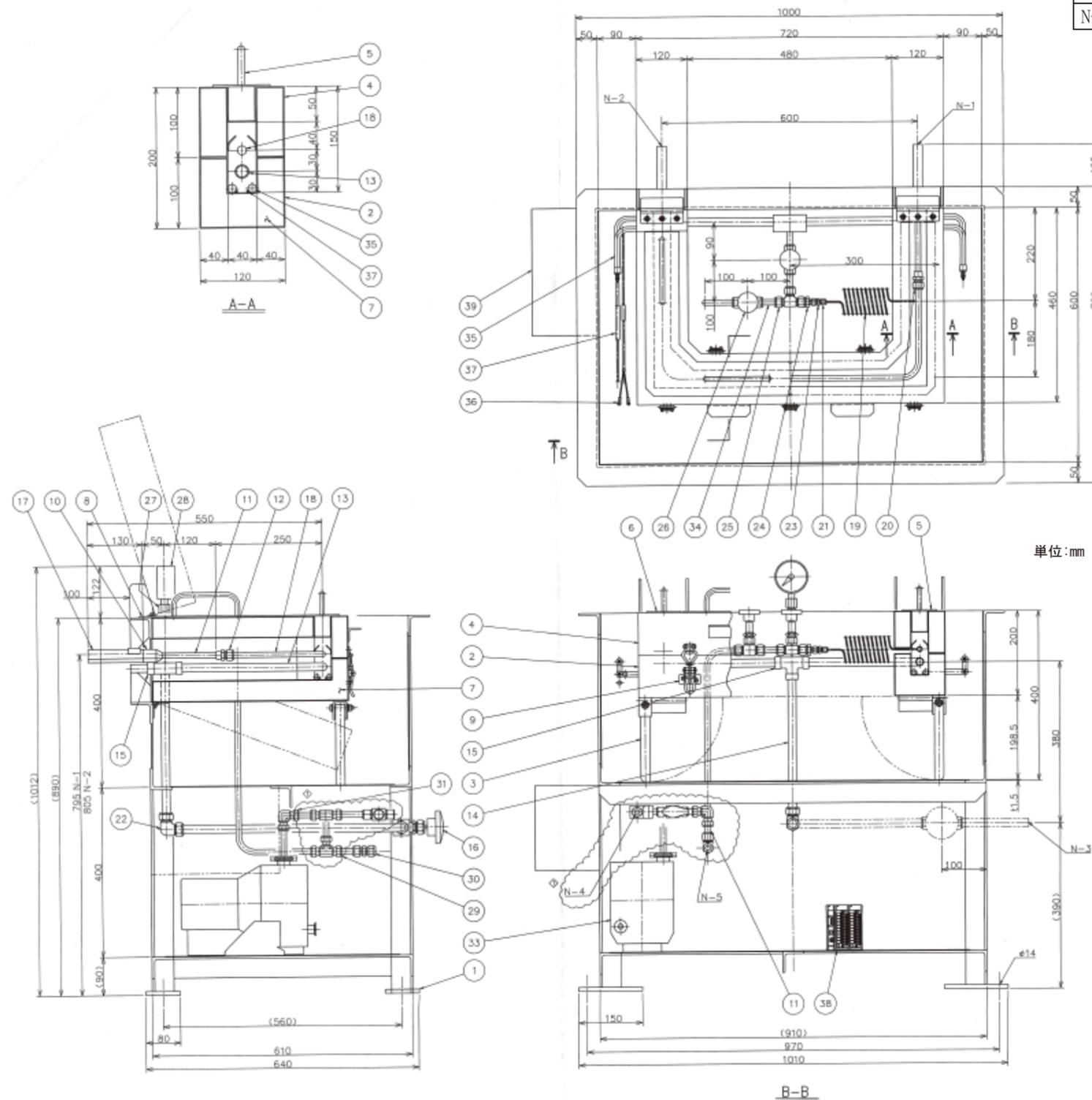
図 4-12 ナトリウム弁・カバーガス弁外形図



	プランジ寸法[mm]						面間寸法[mm]		全長[mm]
	D	C	G	Q	F	n-φh	E	P	HA
入口	140	105	81	41	18.5	4-19	124.0	120.5	495
出口	155	120	96	16	2	4-19			

図番	品名	数量	材質
1	ボディー	1	SCS13A
2	ノズル	1	SUS304
3	ディスクインサート	1	SUS304
4	ノズルリング	1	SUS316
5	セットスクリュー	1	SUS304
6	ディスクホルダー	1	SUS304
7	欠番	—	—
8	ガイド	1	SUS304
9	スピンドル	1	SUS304
10	スプリングワッシャー	1	SUS304
11	スプリング	1	SCS13A
12	ボンネット	1	SCS13A
13	アジャストボルト	1	SUS304
14	ロックナット	1	SS400
15	キャップ	1	SUS304
16	ガスケット	1	SUS316
17	ガスケット	1	SUS316
18	ガスケット	1	SUS316
19	スタッドボルト	1	SUS316
20	ナット	1	SUS316

図 4-13 安全弁（カバーガス系）外形図



記号	名称	数量	寸法	記号	名称	数量	寸法
N-1	ナトリウム入口	1	15A	N-4	真空破壊口	1	1/2B
N-2	ナトリウム出口	1	15A	N-5	アルゴンガス供給口	1	1/2B
N-3	空気供給口	1	3/4B				

図番	品名	数量	材質	記事等
1	架台	1	SUSF304	—
2	下部保温ダクト	1	SUS304	—
3	支持金具	2	SUS304	—
4	上部保温ダクト	1	SUS304	—
5	蓋保温カバー(R)	1	SUS304	—
6	蓋保温カバー(L)	1	SUS316L	—
7	保温材	1	ファインフレック スブランケット	—
8	蝶番	4	SUS304	—
9	アジャスト・ファスナー	7	SUS304	C-1223
10	偏心レジャーサ	2	SUS304	15A×1/2B
11	チューブ	1	SUS304TP	φ 12.7mm×t1.24mm
12	おすパイプ溶接コネクタ	2	SUS316	SS-810-1-8W
13	冷却チューブ	1	SUS304TP	φ 19.05mm×t1.24mm
14	サンプリングチューブ	1	SUS304TP	φ 19.05mm×t1.24mm
15	ユニオン・ティー	3	SUS316	SS-12-TSW-3
16	ストップバルブ	1	SUS316	SS-18RS12
17	パイプ	2	SUS304TP	15A×Sch20S
18	サンプリング管	1	SUS304TP	φ 12.7mm×t1.24mm
19	フリーズシール	1	SUS304TP	φ 3mm
20	ナット・フェルール	1	SUS316	SS-812-1、SS-810-SET
21	ナット・フェルール	1	SUS316	SS-3M2-1、SS-3M0-SET
22	ユニオン・エルボ	1	SUS316	SS-1210-9
23	レジャーサ	1	SUS316	SS-3M0-R-4
24	レジャーサ	1	SUS316	SS-400-R-8
25	ユニオン・ティー	2	SUS316	SS-810-3
26	ベローズシールバルブ	2	SUS316	SS-8BG
27	めすコネクター	1	SUS316	SS-810-7-6RG
28	連成計	1		PF3/8 AC10-133
29	プラグ・バルブ	2	SUS316	SS-8P6T
30	ユニオン	1	SUS316	SS-810-6
31	ユニオン・エルボ	2	SUS316	SS-810-9
32	欠番	—	—	—
33	真空ポンプ	1	—	ISP-50-SV1 50L/min
34	チューブ	1	SUS304TP	φ 12.7mm×t1.24mm
35	予熱ヒータ	2	SUS316 (シース)	0.5kW, 100V
36	熱電対	6	SUS316 (シース)	φ 1.6、K型 クラス 1
37	ナトリウム漏えい検出器	2	Ni(エレメント)	ケーブル型 SUS 編組 シース
38	データロガー	1	—	NR500
39	中継端子箱	1	—	—

図4-14 ナトリウムサンプリング装置外形図

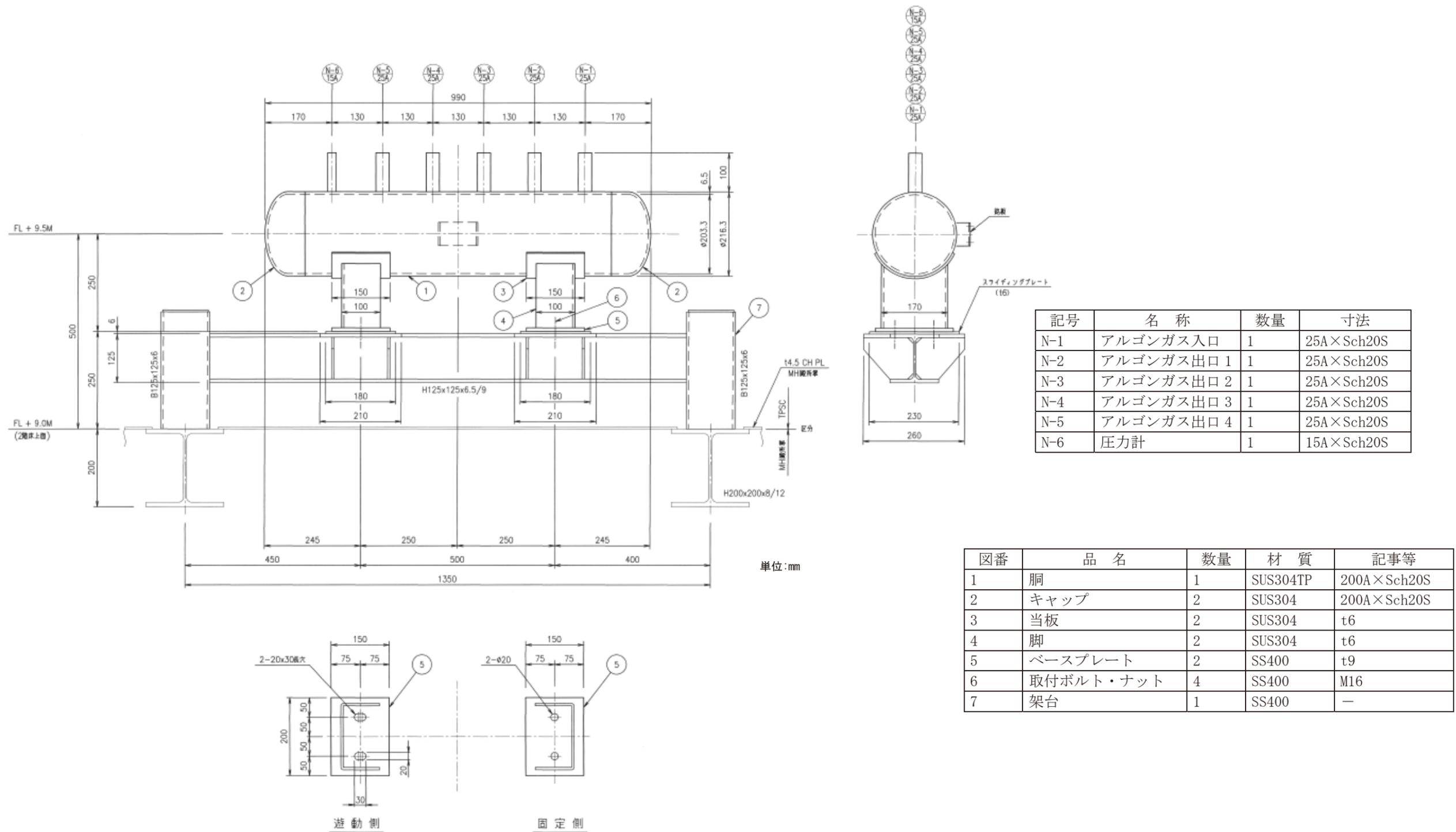
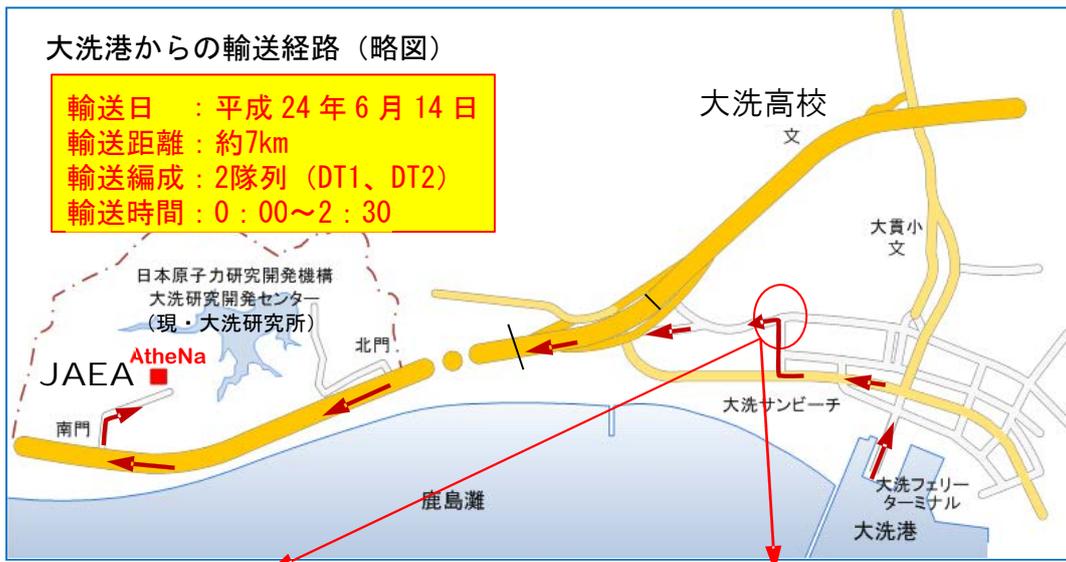


図 4-15 アルゴンガスヘッダー外形図



海岸病院入口交差点左折

図 4-16 ダンプタンク陸上輸送ルート及び輸送状況

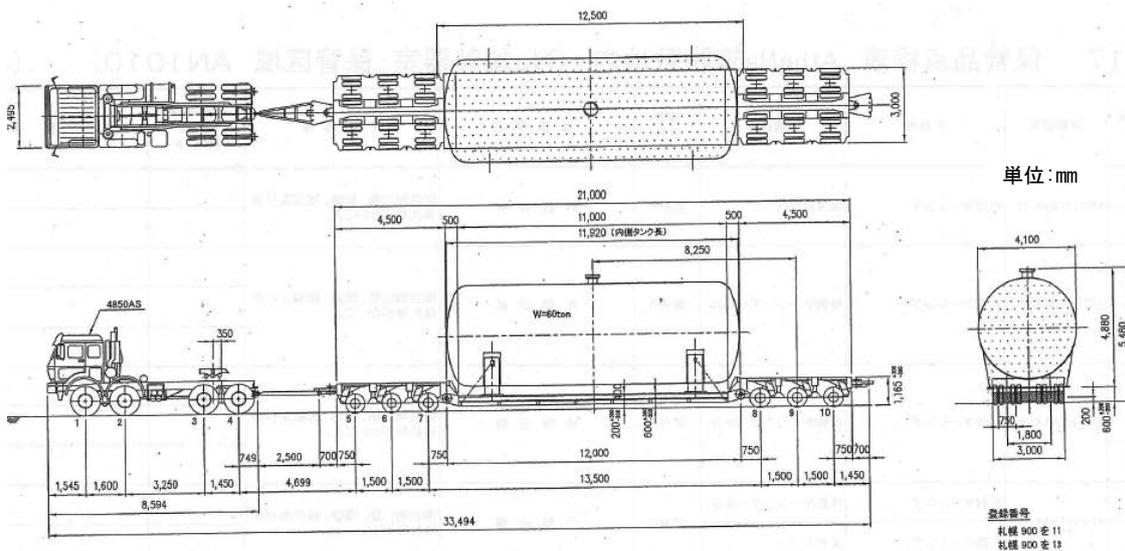


図 4-17 ダンプタンク車両積載図（トレーラ A）

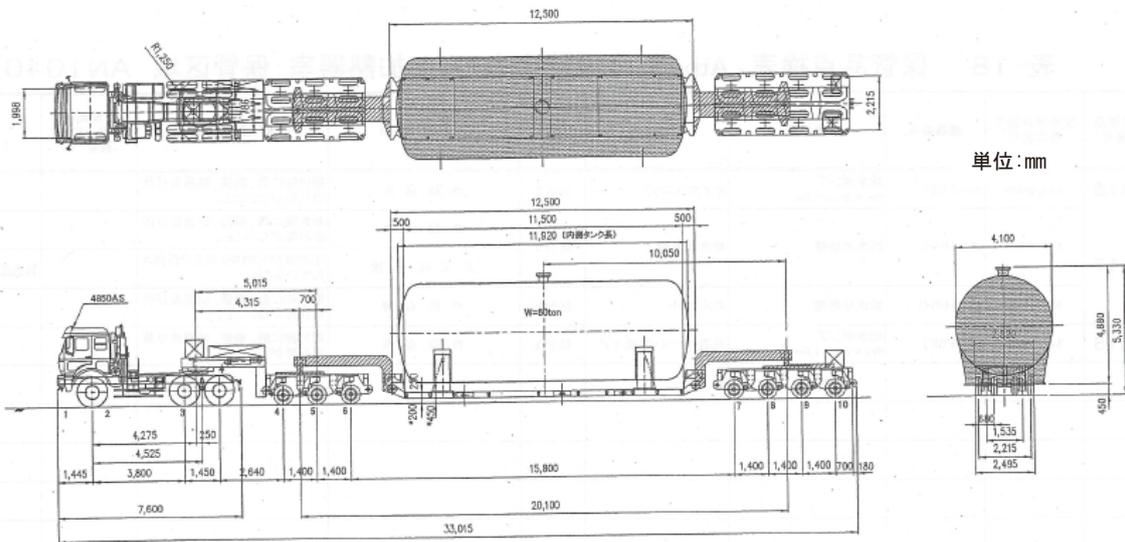


図 4-18 ダンプタンク車両積載図 (トレーラ B)

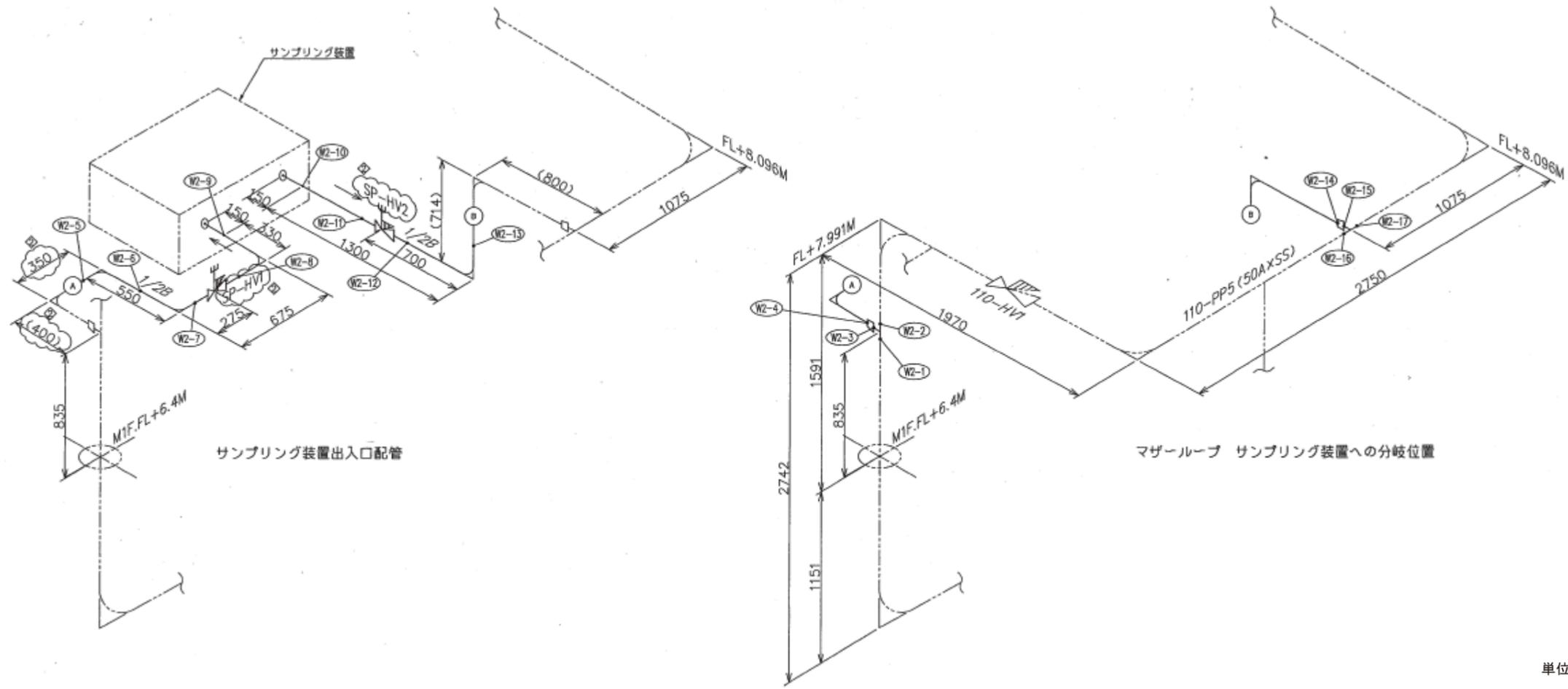


図 5-1 ナトリウムサンプリング装置出入口配管接続位置アイソメ図

単位:mm

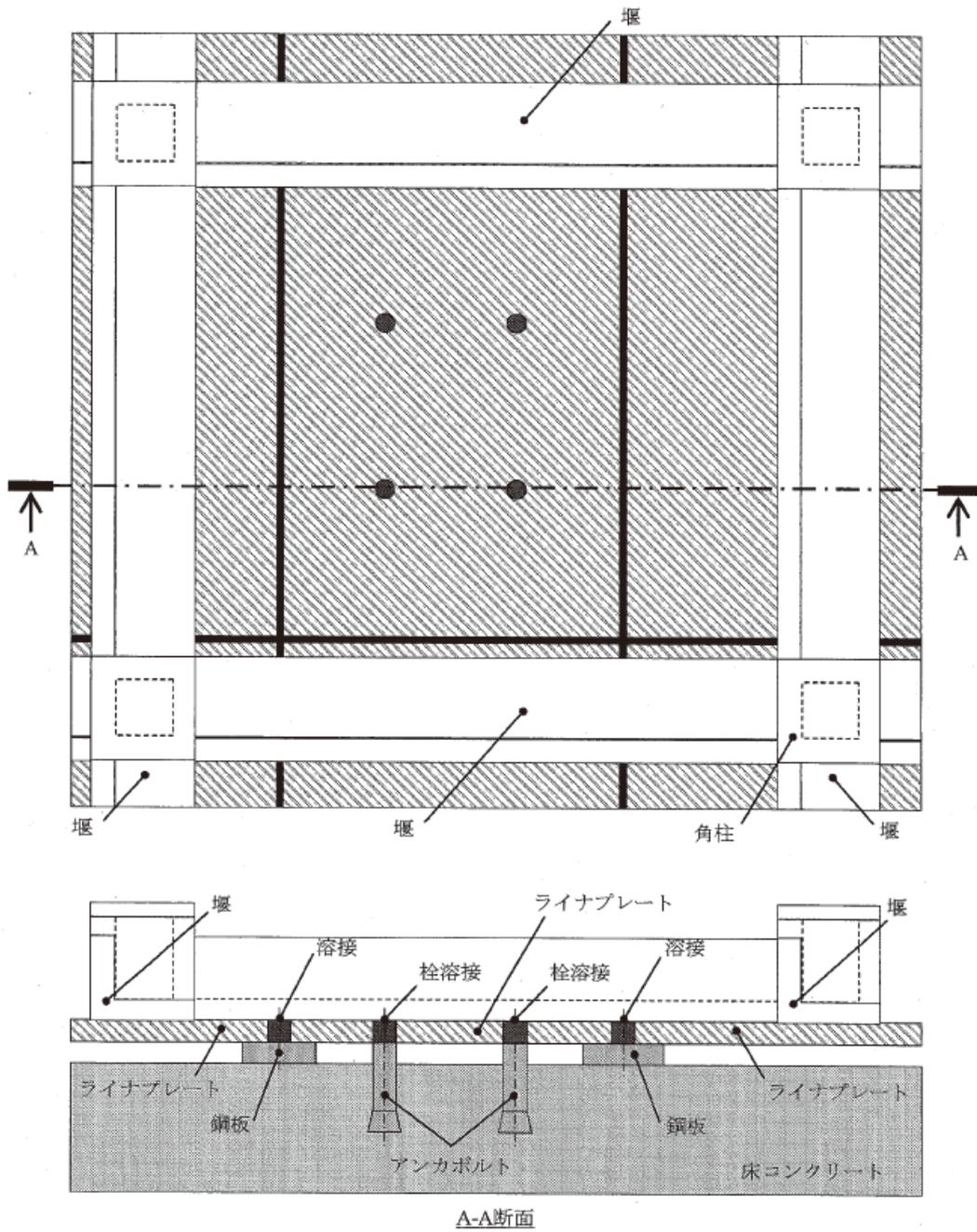


図 5-2 1階床ライナー概念図

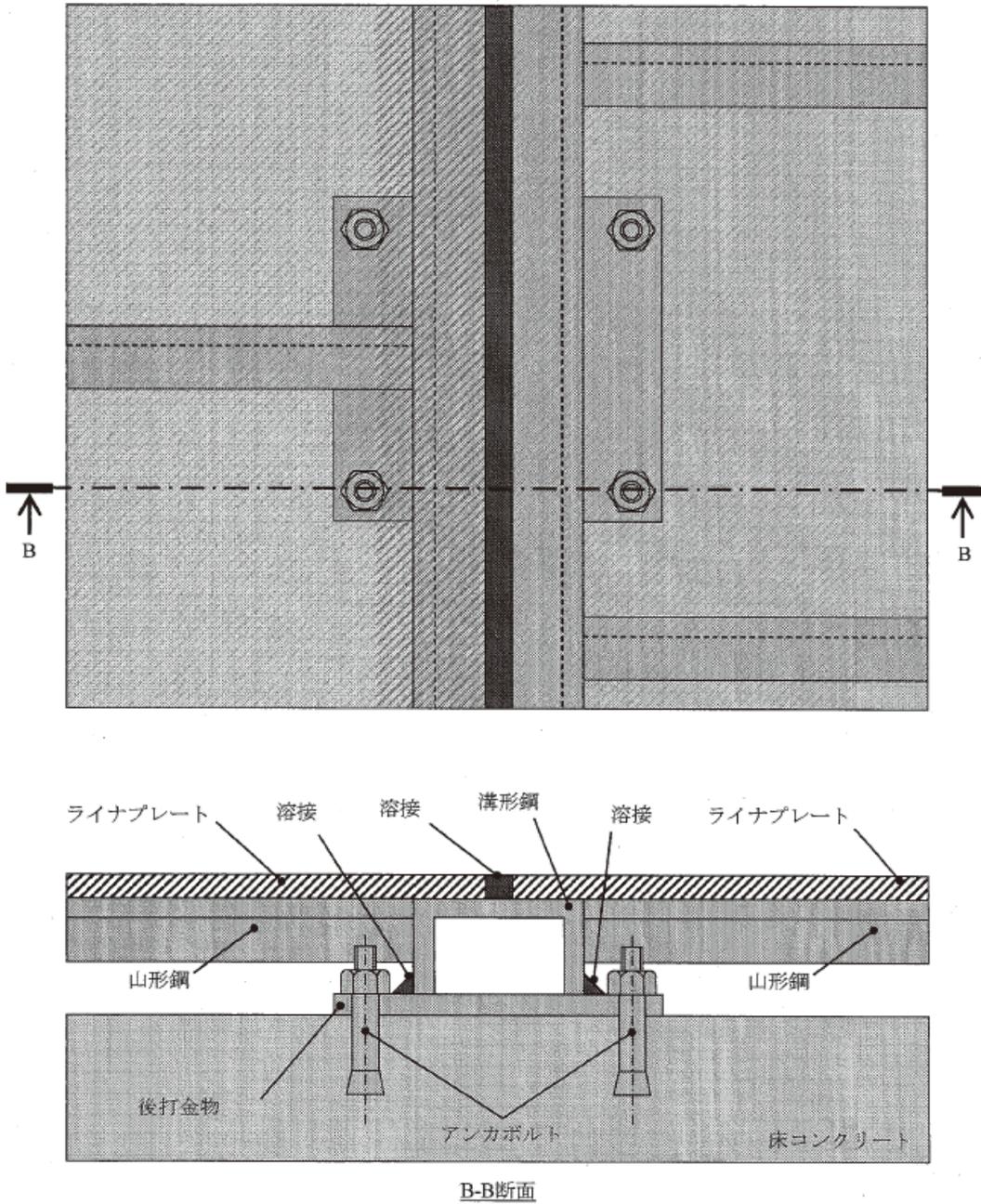
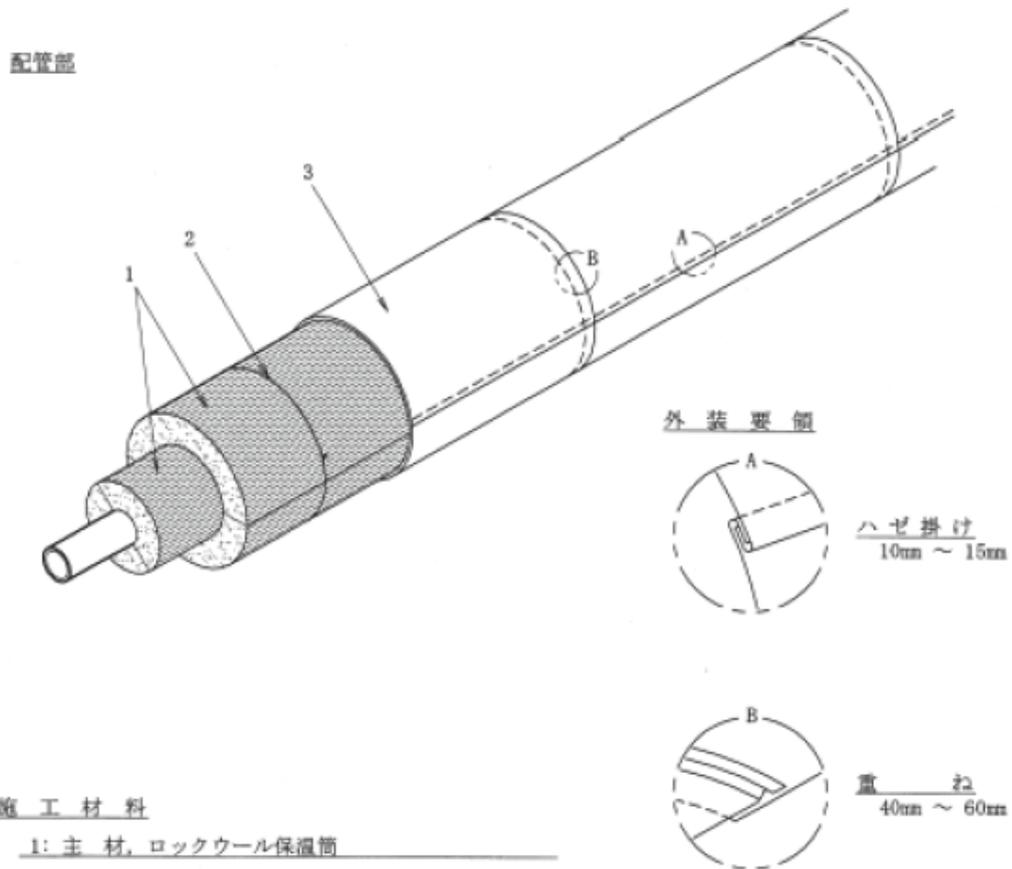


図 5-3 ダンプタンクピット内の床ライナー概念図



施工材料

- 1: 主材, ロックウール保温筒
- 2: 補強材, 鉄線
- ※ 目地材, 繊維質保温材
- 3: 外装材, シルバーカラー鉄板
- ※: 外装材は, 必要に応じジャケットカバーも併用する。

施工要領

- 1: 保温筒(主材)は隙間なく取り付ける。
- 2: 補強材で緊縛する。
- ※ 保温筒(主材)は隙間なく取り付け, 継ぎ目に隙間が出来た場合は目地材を用いる。
- 3: 外装材は美観よく仕上げ, ハゼ掛け位置は壁方向又は下方向とする。(ナトリウム飛散の制限)
- 注. 垂直配管の外装板は, ビス, つり子, ハゼ折り曲げ 等のずれ止め加工をする。

図 5-4 配管部の保温施工例

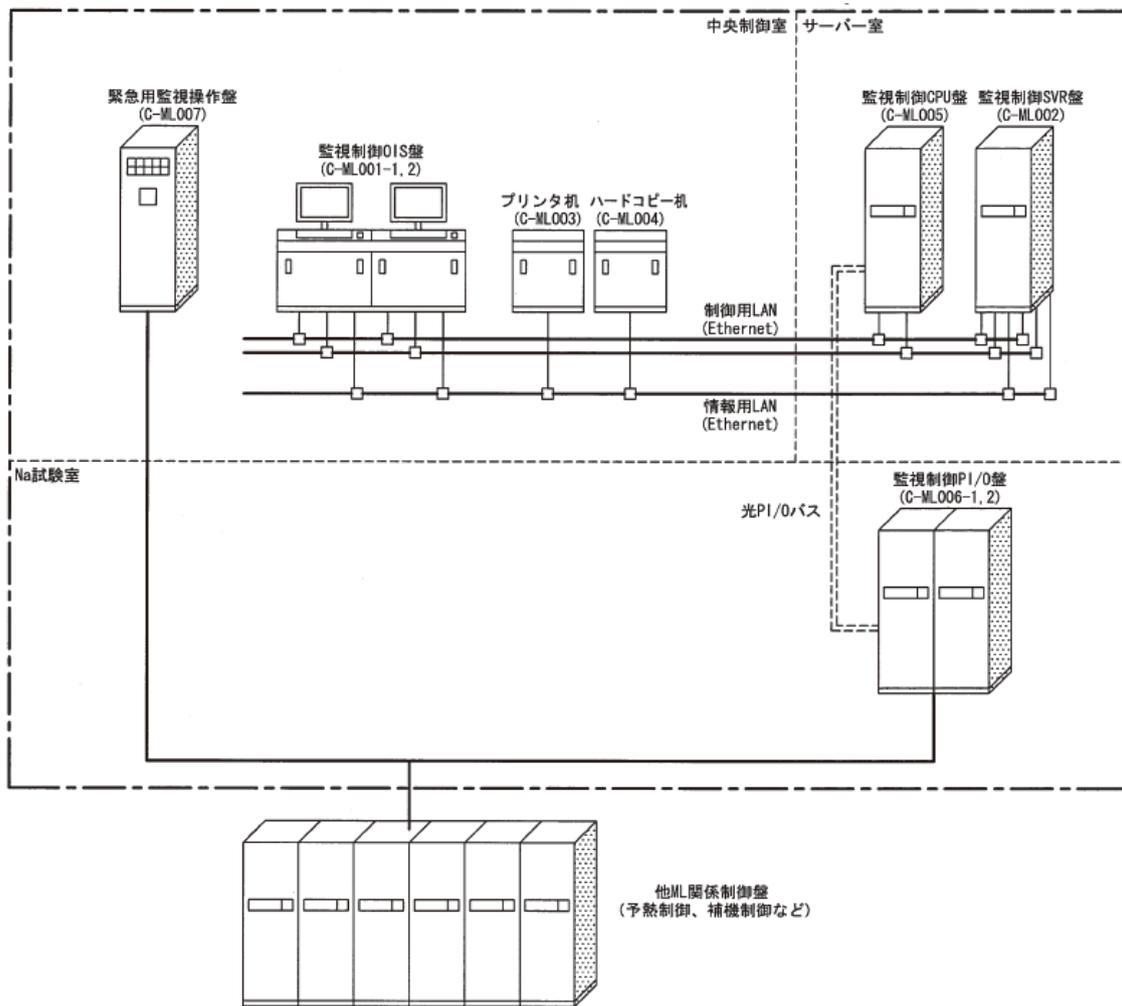


図 6-1 マザーループの監視制御システム構成

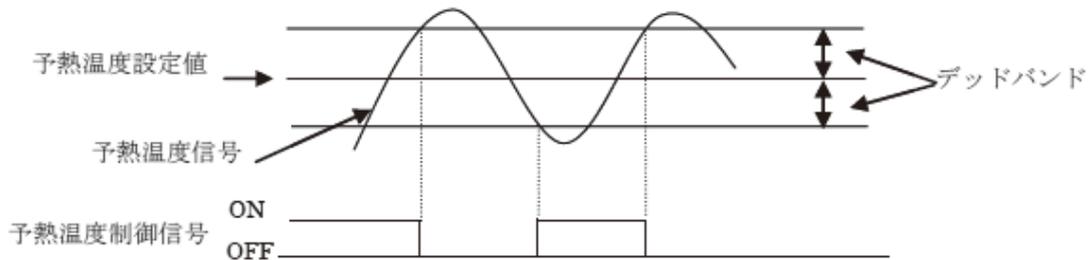


図 6-2 予熱ヒータの ON-OFF 制御

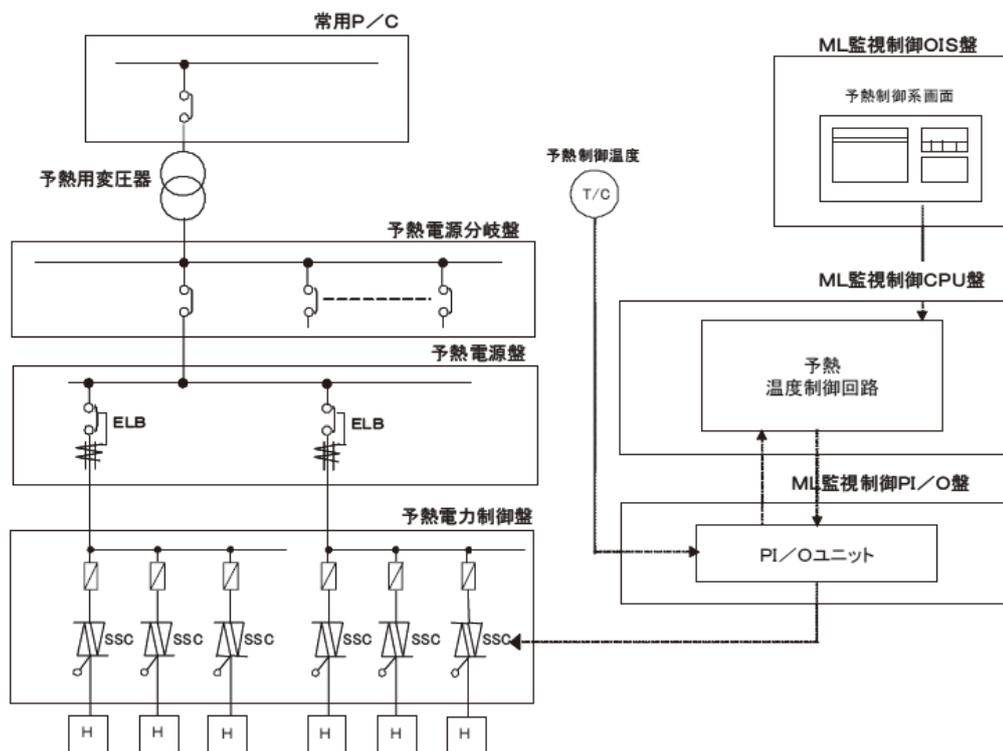


図 6-3 予熱制御系のシステム構成図

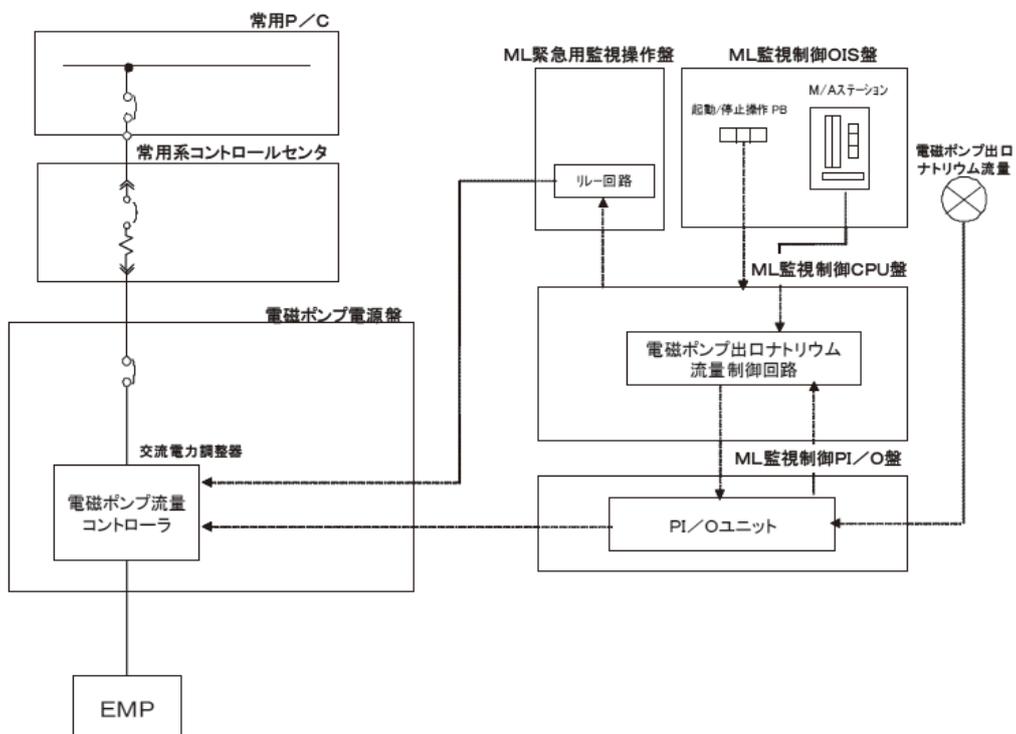


図 6-4 電磁ポンプ制御のシステム構成

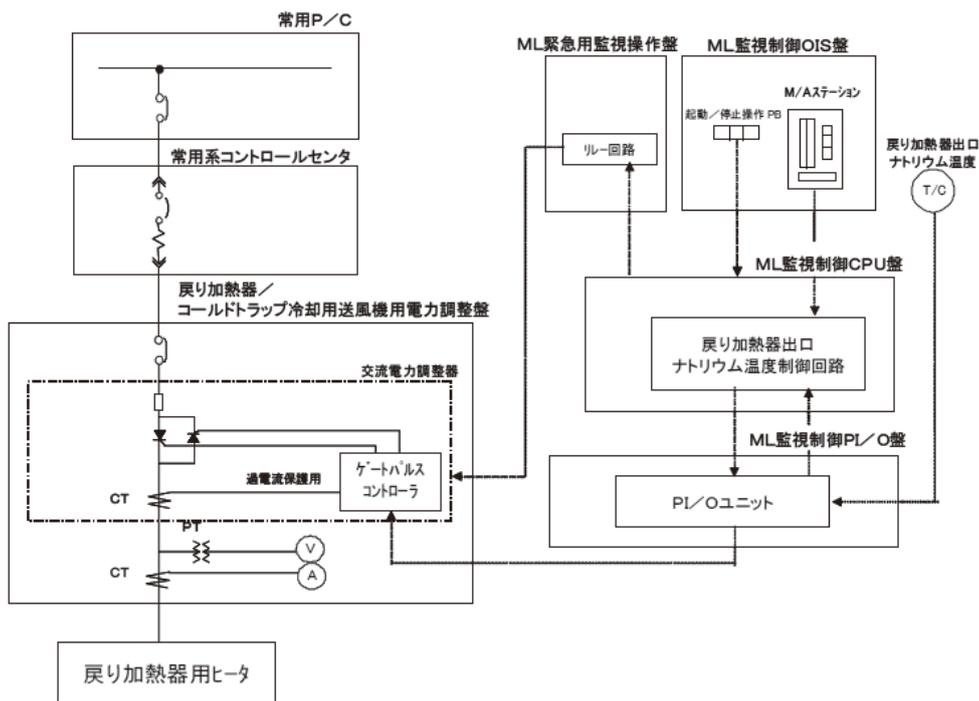


図 6-5 戻り加熱器制御のシステム構成

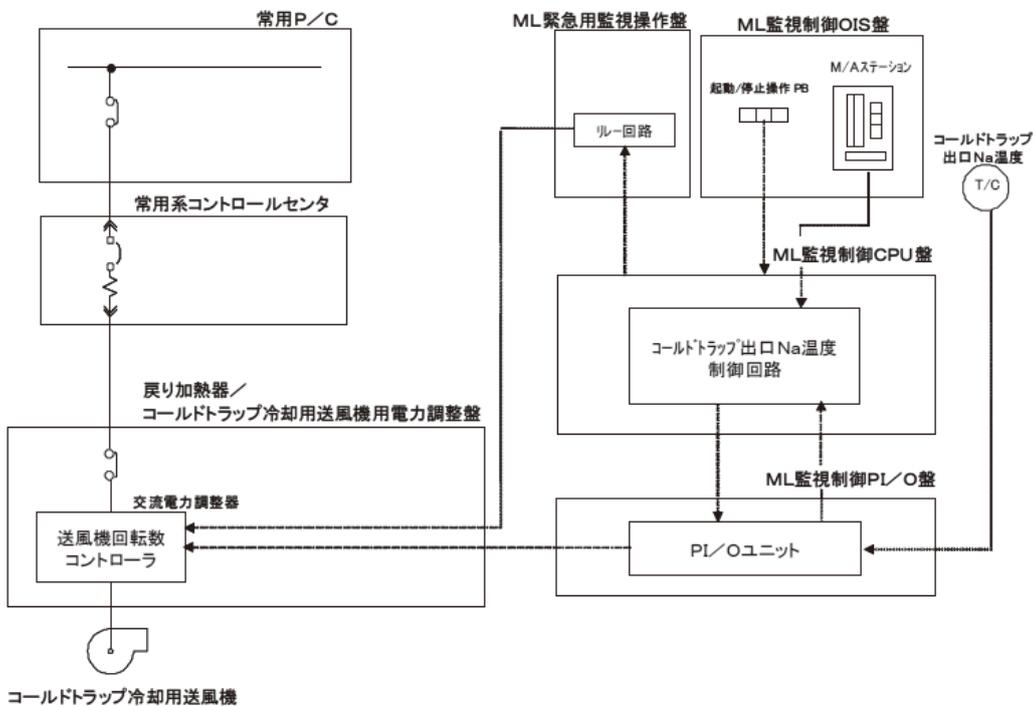


図 6-6 コールドトラップ冷却用送風機制御系のシステム構成

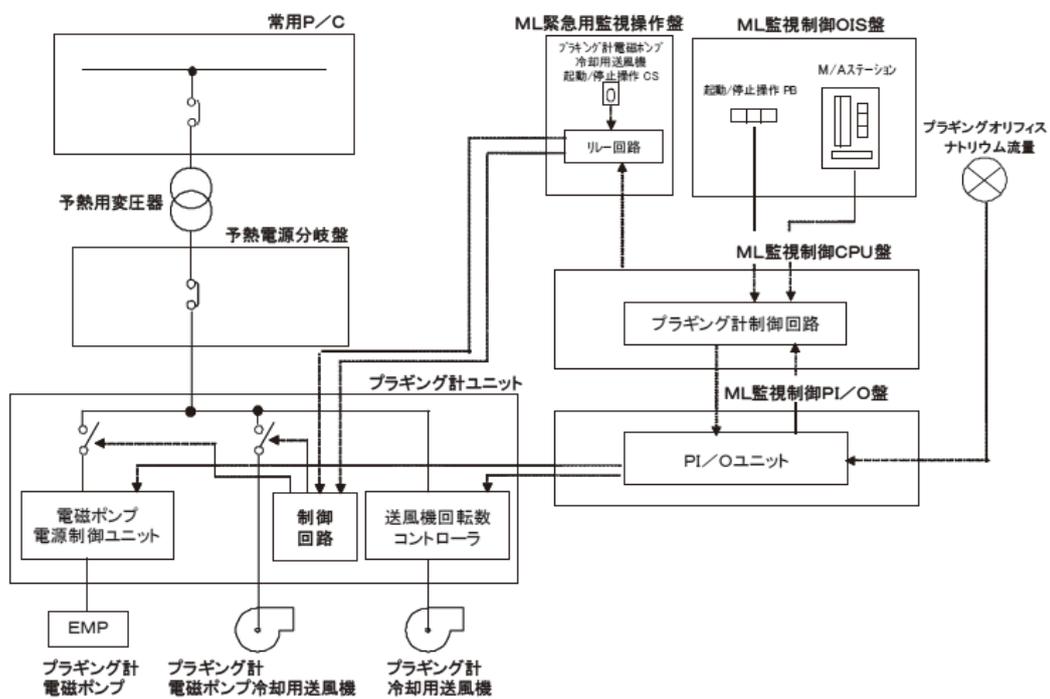


図 6-7 プラギング計制御系のシステム構成

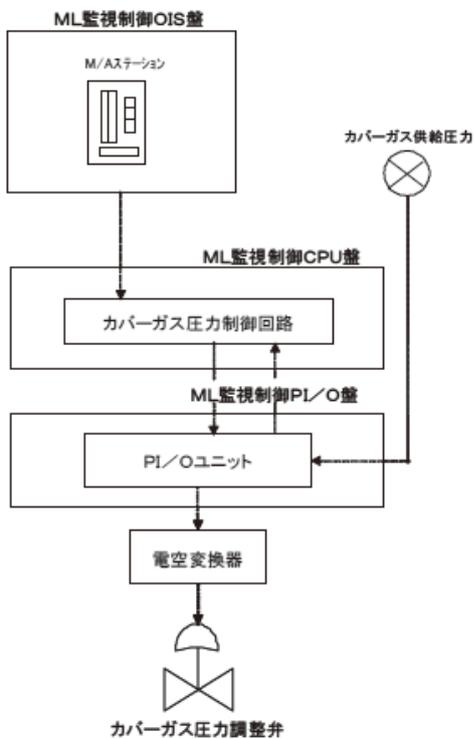


図 6-8 カバーガス圧力制御系のシステム構成

ダンプタンク1ナトリウム温度 (110-TI12)

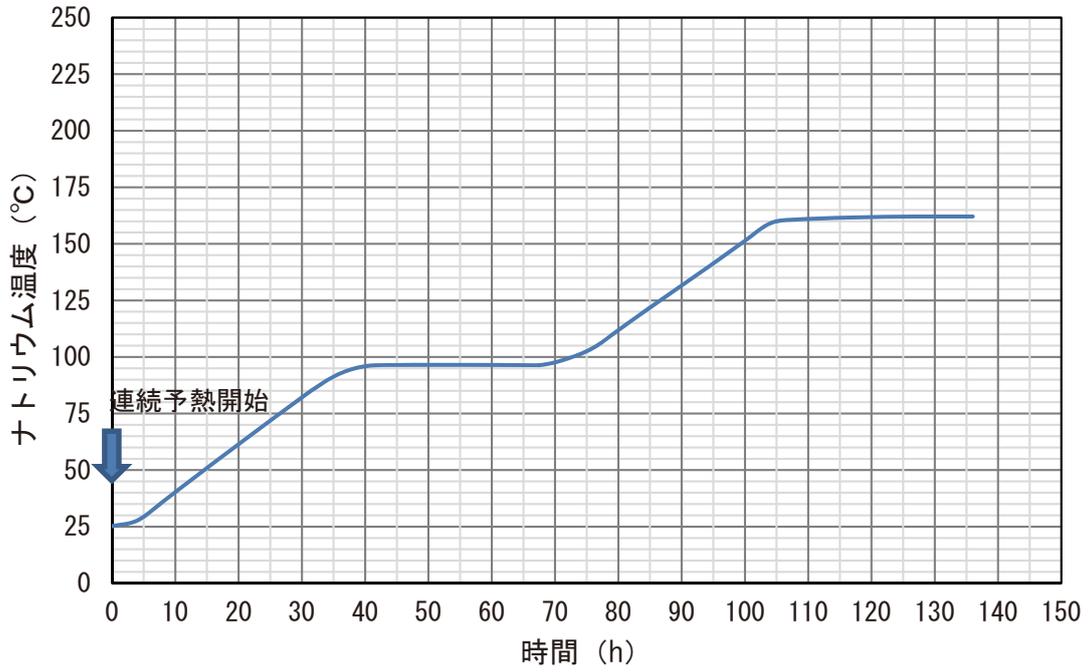


図 7-1 ダンプタンク 1 予熱昇温曲線

ダンプタンク2ナトリウム温度 (110-TI22)

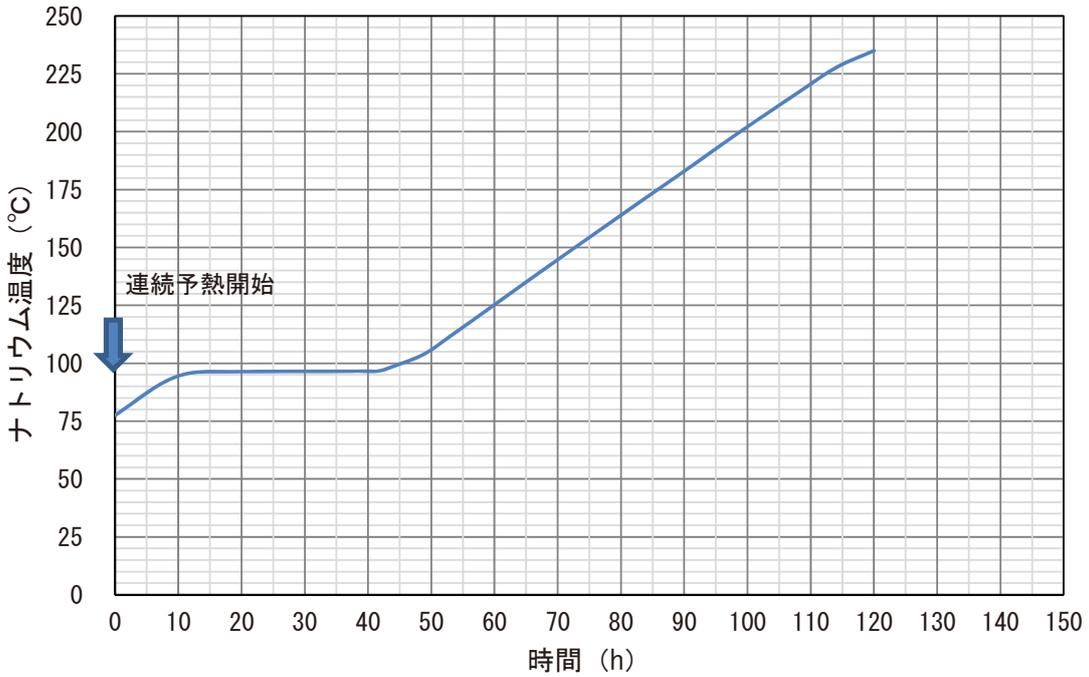


図 7-2 ダンプタンク 2 予熱昇温曲線

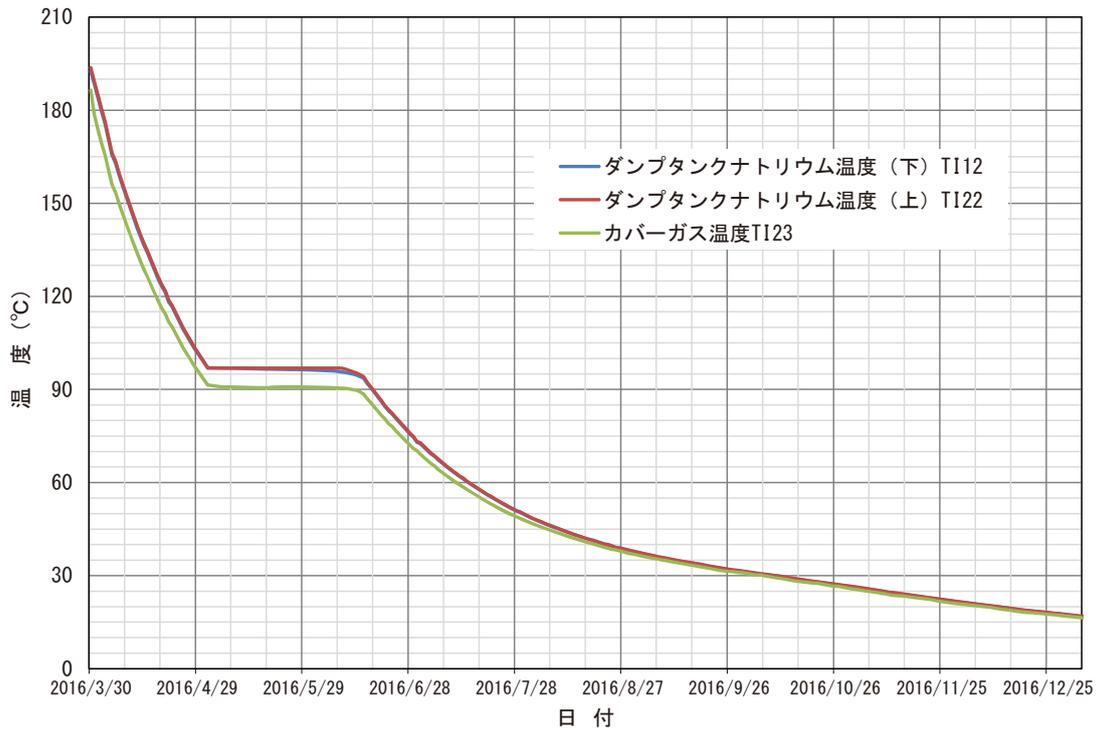


図 7-3 ダンプタンク 2 降温曲線

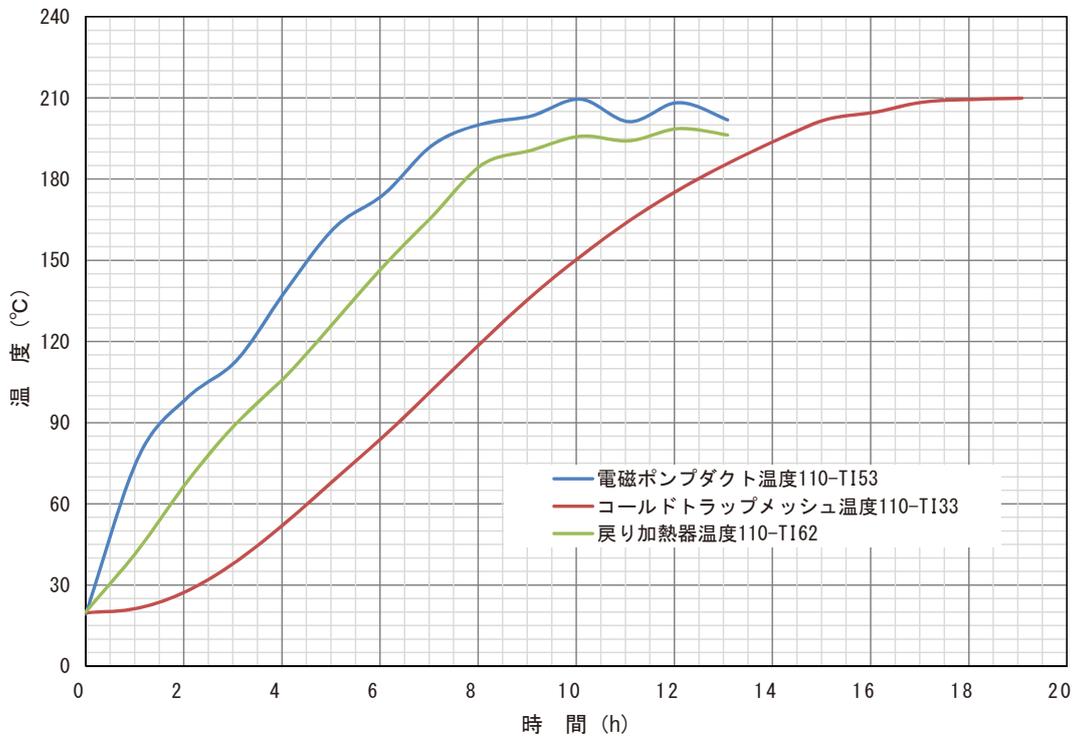


図 7-4 ナトリウム循環系統予熱昇温曲線

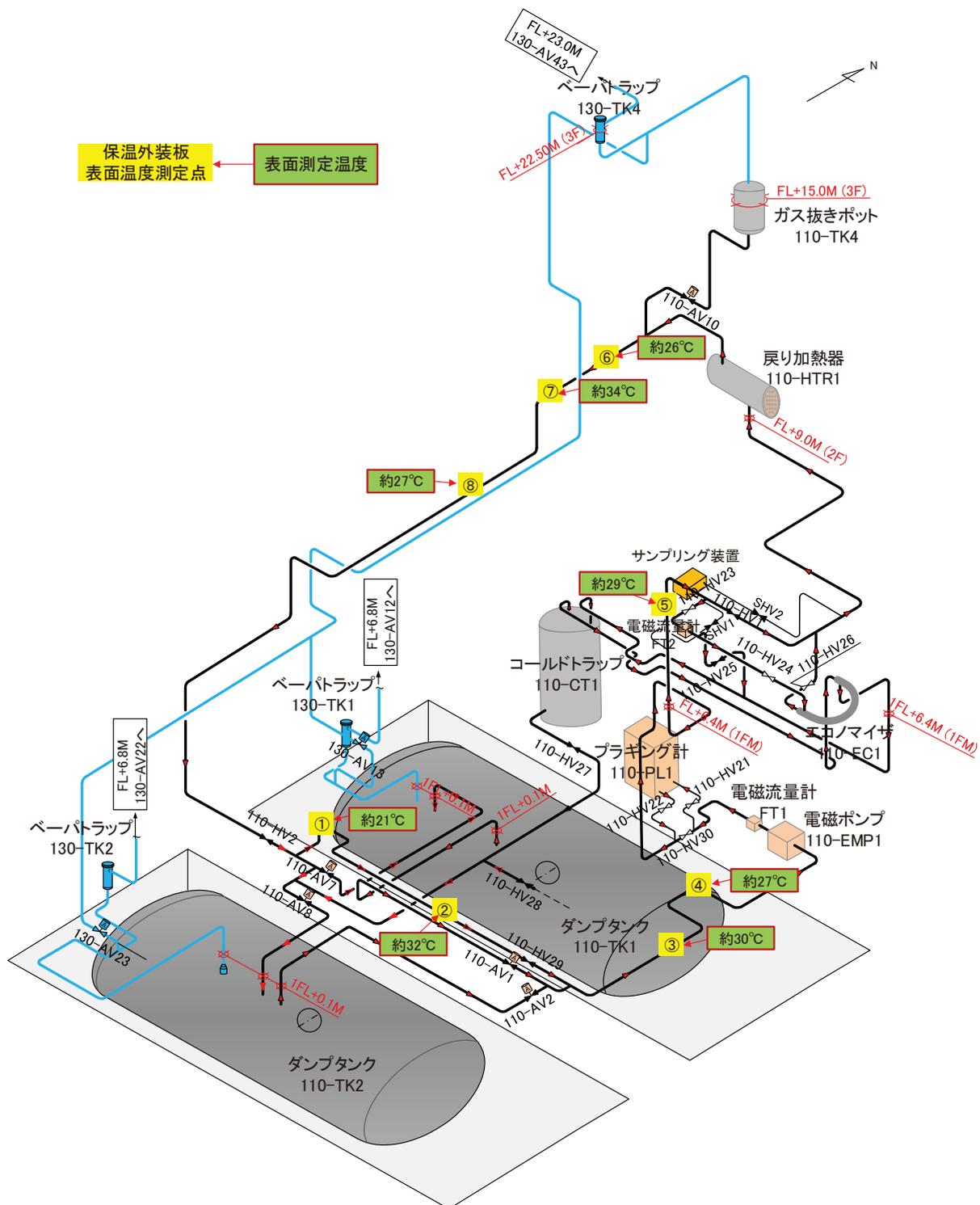
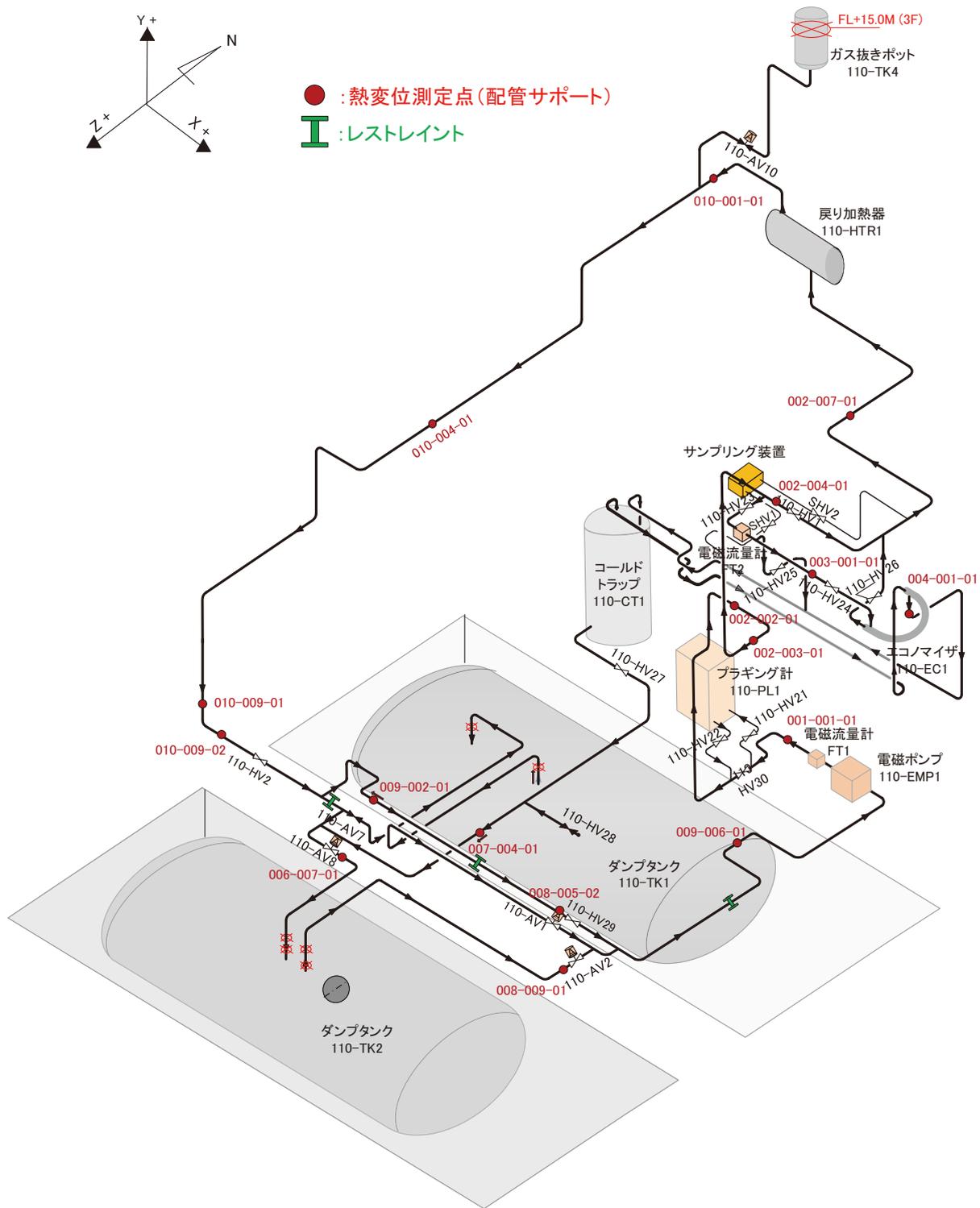


図 7-5 保温外装板の表面温度確認結果



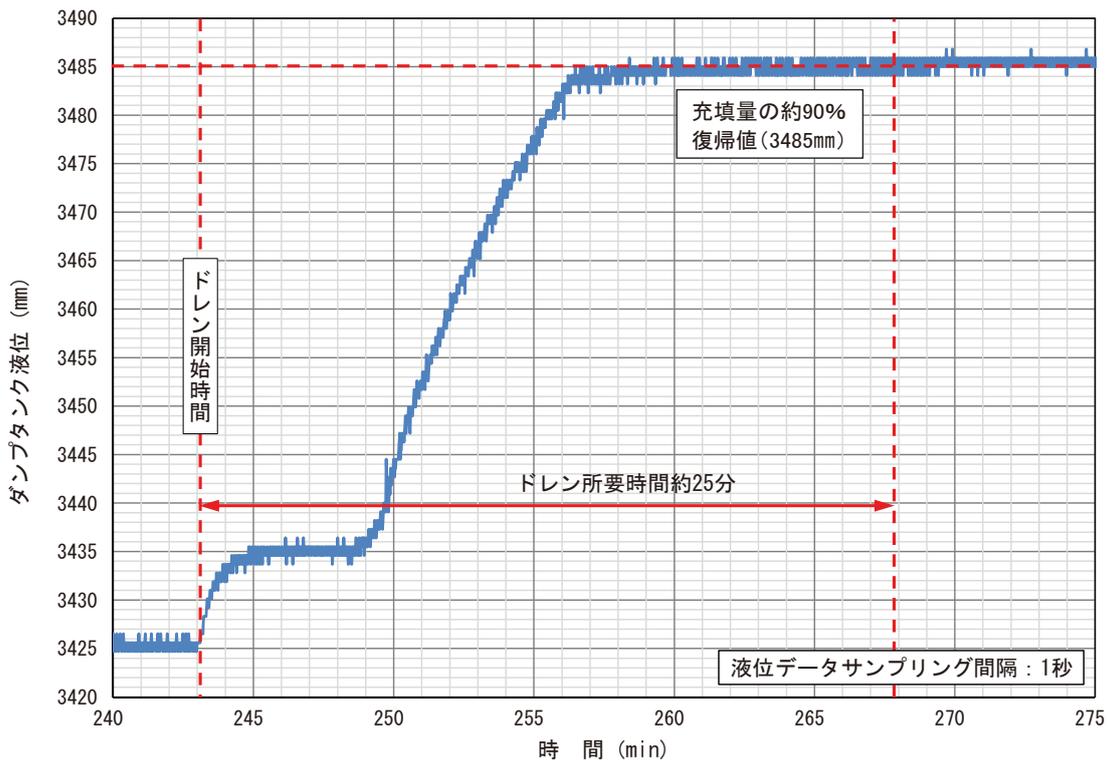


図 7-7 系統ドレン時のダンプタンク 2 液位変化
(CT ドレン弁をドレン途中より「開」としたケース)

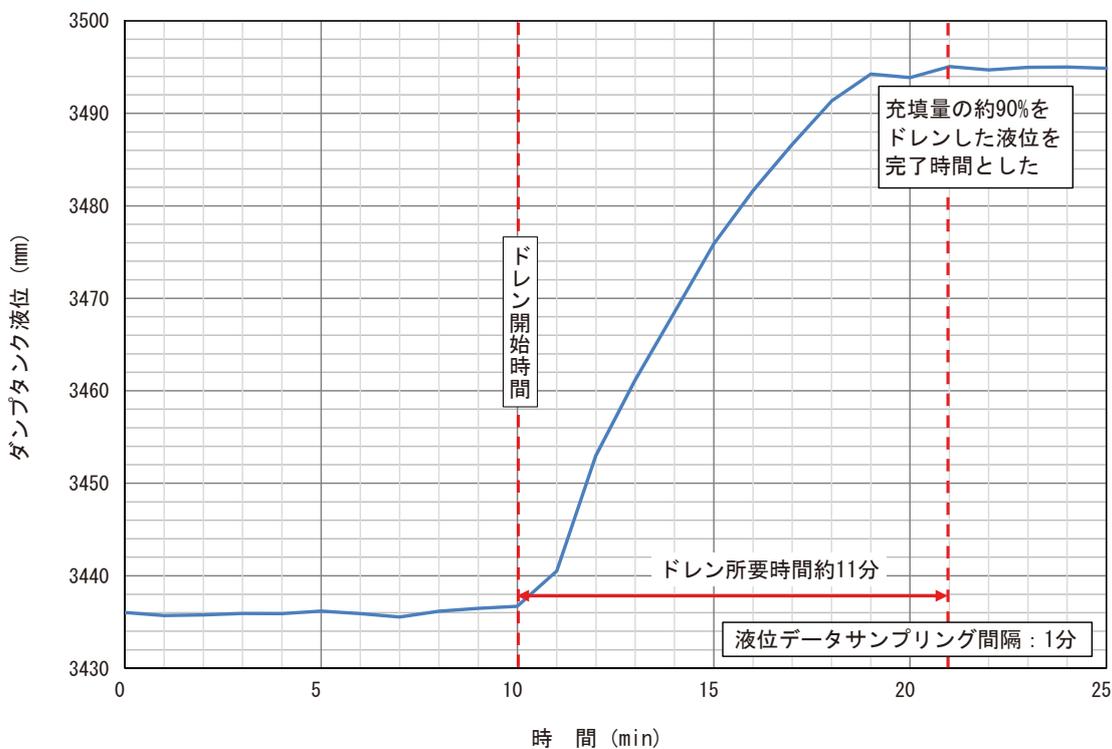


図 7-8 系統ドレン時のダンプタンク 2 液位変化
(CT ドレン弁をあらかじめ「開」としたケース)

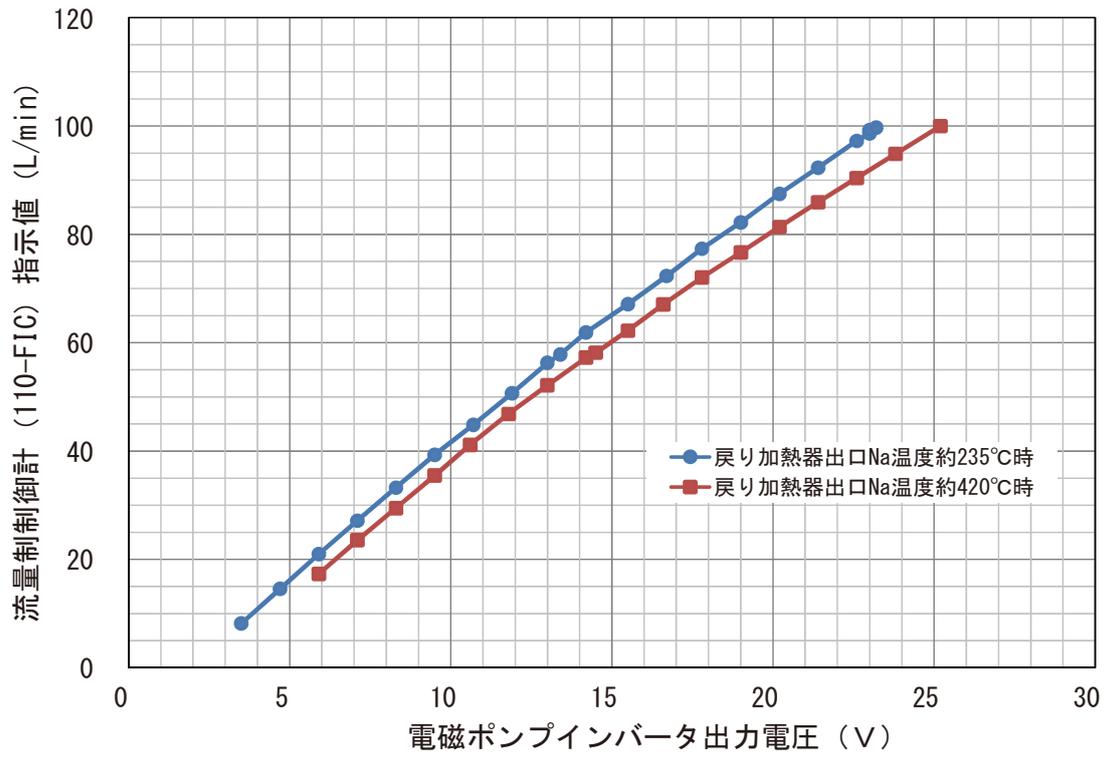


図 7-9 電磁ポンプ機能確認結果

コールドトラップ各部推移 (定格流量、系統循環DT2切り離し状態)

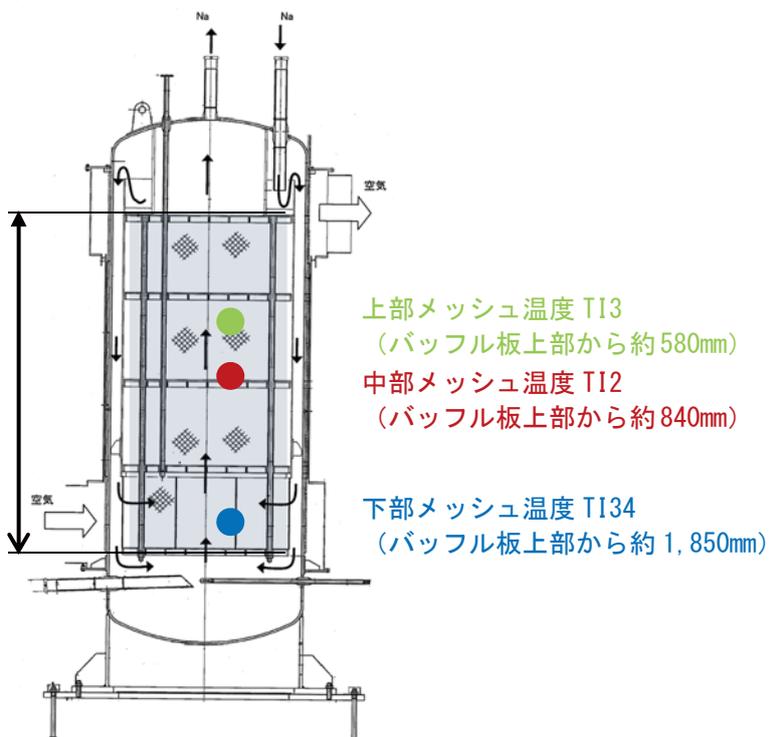
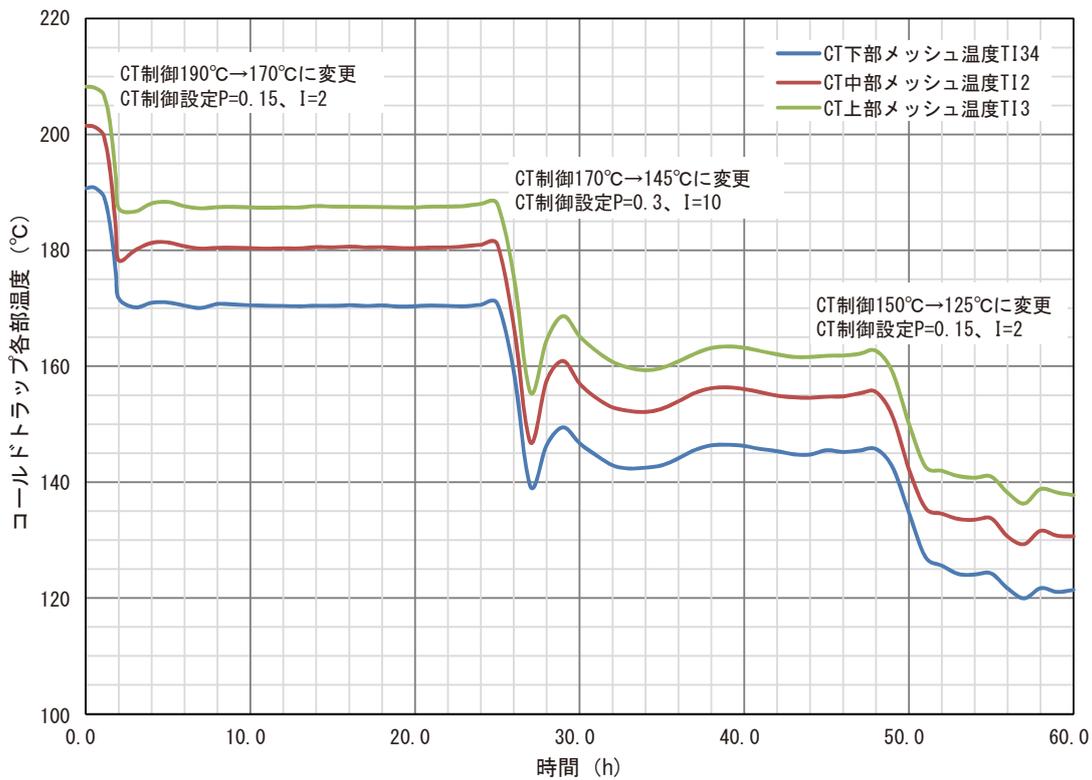


図 7-10 純化運転時のコールドトラップ各部温度

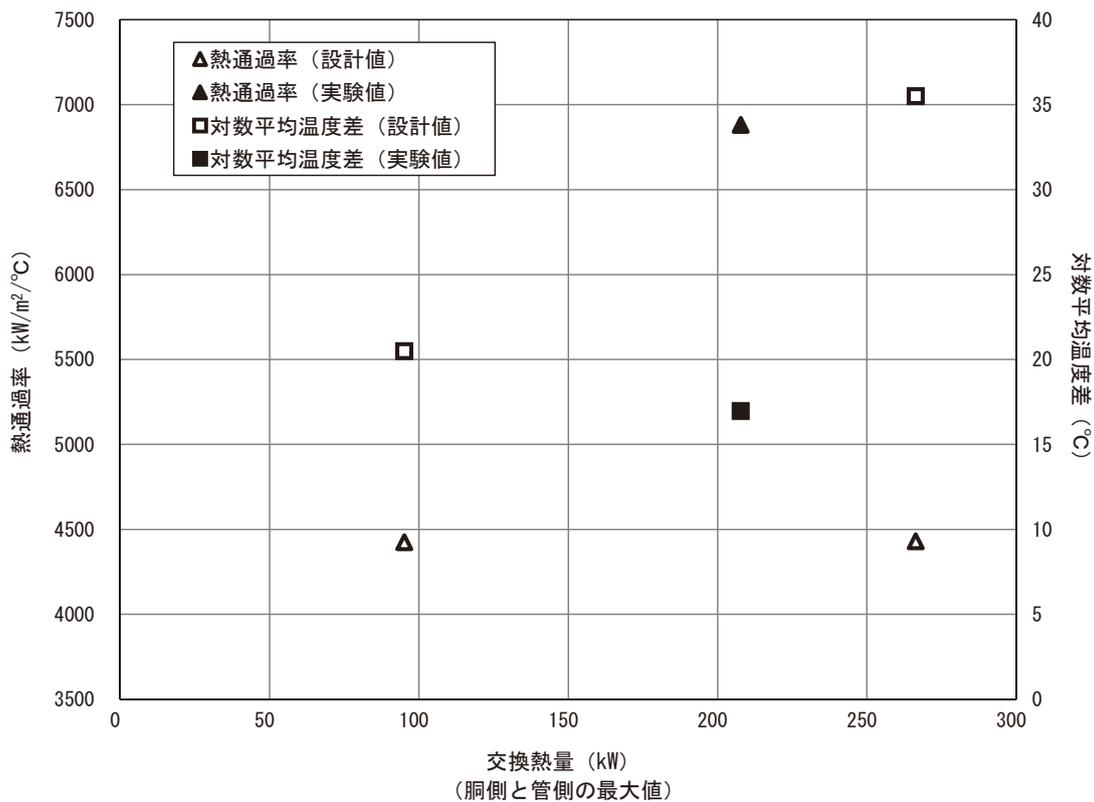


図 7-11 エコマイザ熱交換量と熱通過率及び対数平均温度差の関係

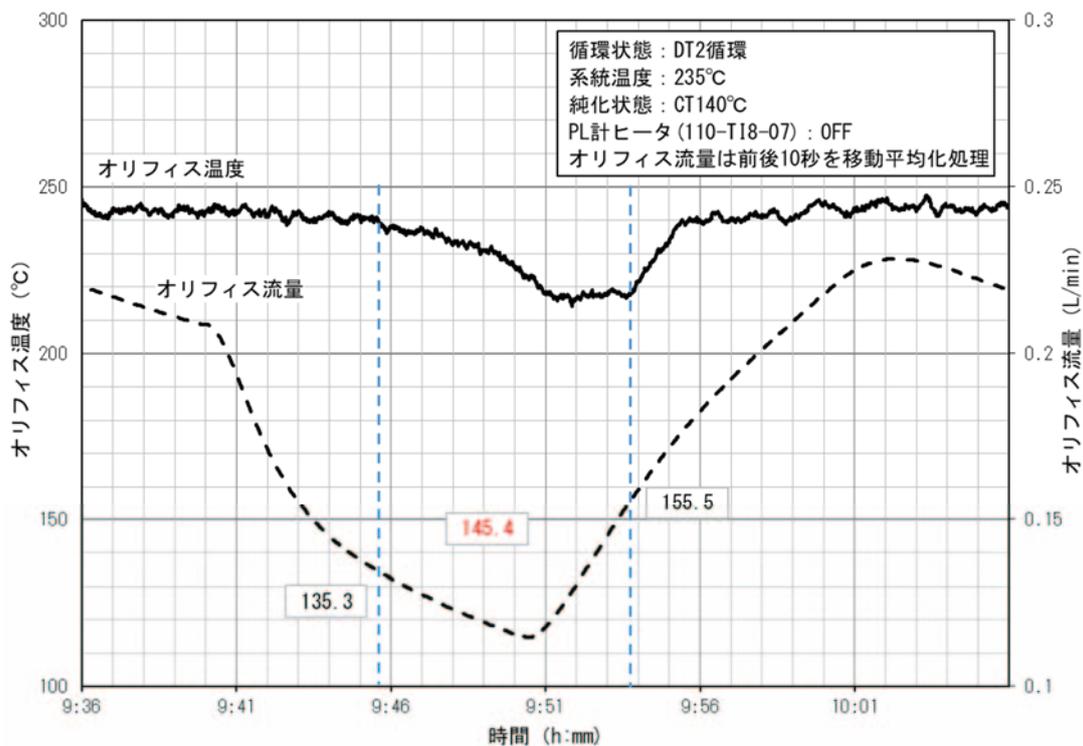


図 7-12 プラギング計を用いたプラグ温度測定結果の一例

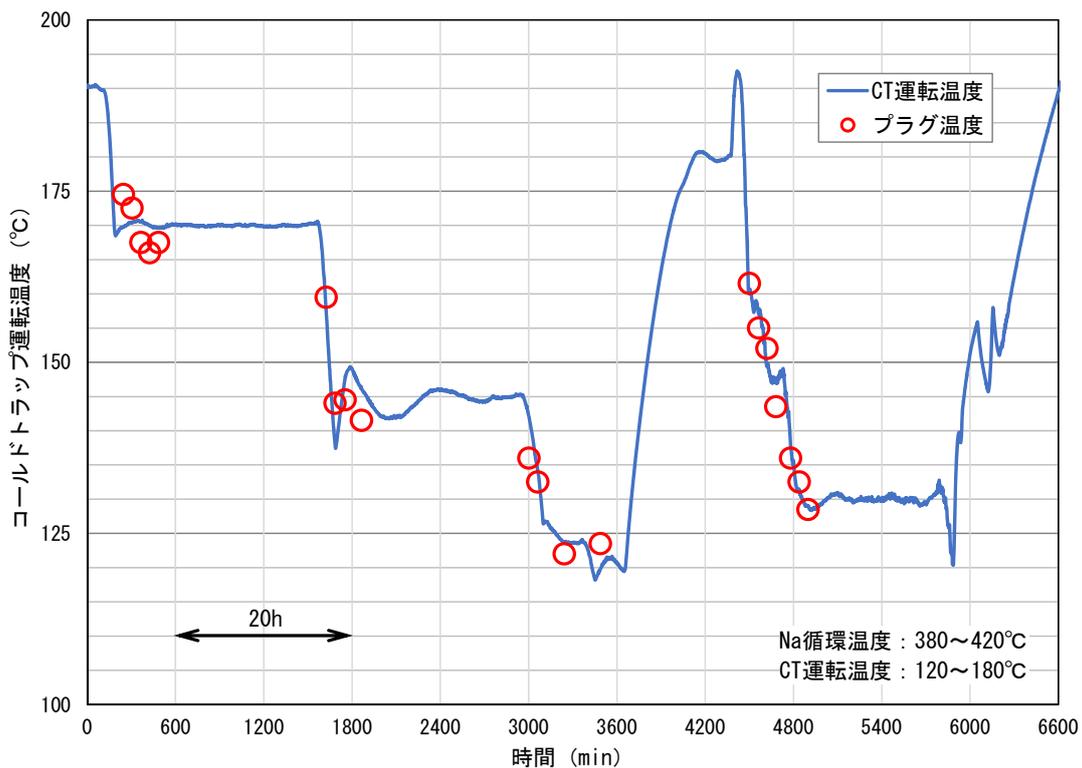
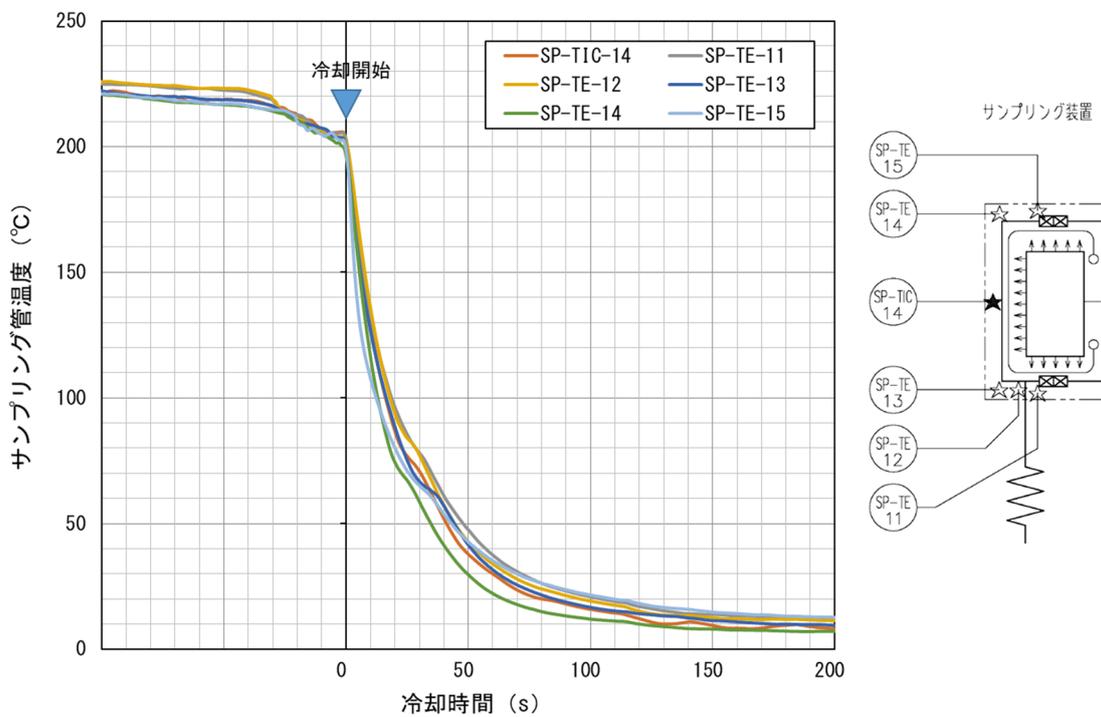


図 7-13 コールドトラップ運転温度変化に伴うプラグ温度挙動^[5]



2016年2月19日サンプリング時

図 7-14 ナトリウムサンプリング管急冷状態



写真 2-1 マザーloopの全体外観

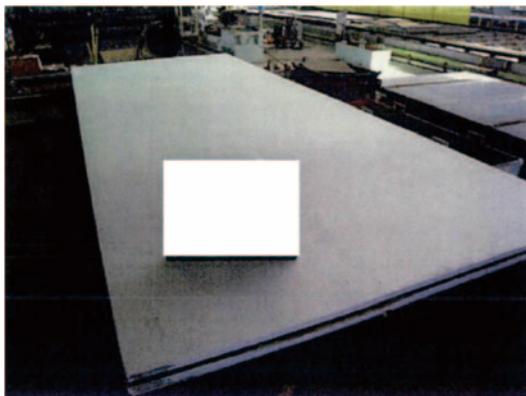


写真 4-1 ダンプタンク素材入荷



写真 4-2 ダンプタンク鏡板
海上輸送後水切り前

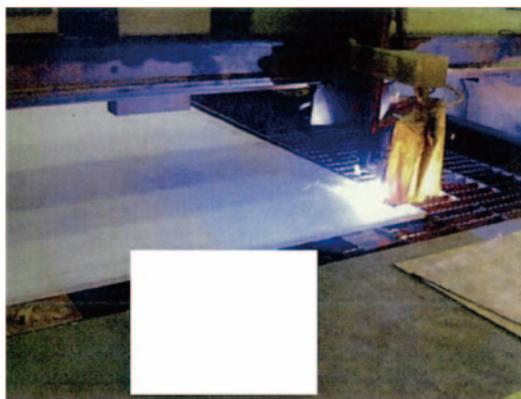


写真 4-3 ダンプタンク胴体
材料切断作業

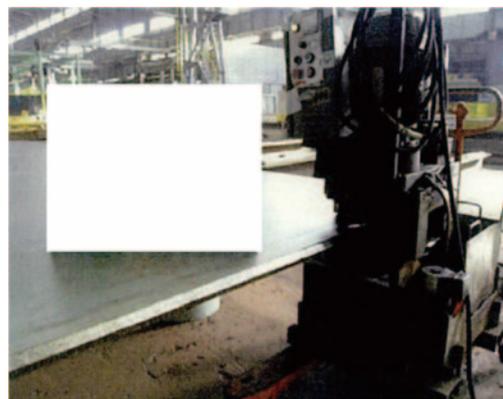


写真 4-4 ダンプタンク胴体
溶接部開先加工作業

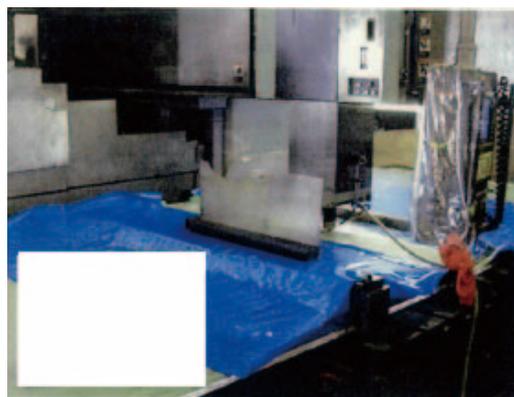


写真 4-5 ダンプタンク
ノズル穴部開先加工作業



写真 4-6 ダンプタンク
胴体部曲げ加工作業



写真 4-7 ダンプタンク
胴体長手方向内面部溶接作業



写真 4-8 ダンプタンク
胴体長手方向外面溶接作業



写真 4-9 ダンプタンク
胴体周方向組立作業



写真 4-10 ダンプタンク
胴体周方向内面溶接作業



写真 4-11 ダンプタンク
胴体周方向外面溶接作業



写真 4-12 ダンプタンクノズル配管部



写真 4-13 ダンプタンク受皿



写真 4-14 ダンプタンク
ノズル外面溶接作業

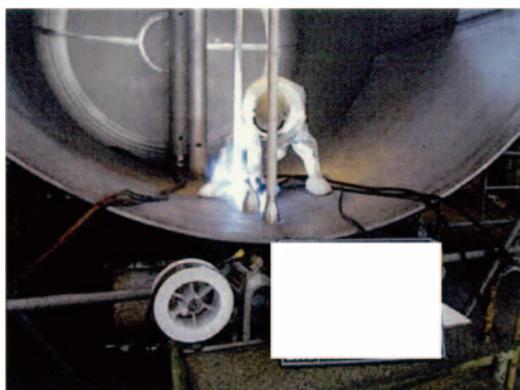


写真 4-15 ダンプタンク
ノズル内面溶接作業



写真 4-16 ダンプタンク内面洗浄作業



写真 4-17 ダンプタンク気密検査



写真 4-18 ダンプタンク 1 製作完了



写真 4-19 ダンプタンク 2 製作完了



写真 4-20 電磁ポンプ
コア芯材料外観



写真 4-21 電磁ポンプコイル巻き付け用
ボビン胴材外観



写真 4-22 電磁ポンプコイル巻き付け用
ボビン側面板外観



写真 4-23 電磁ポンプ耐圧試験



写真 4-24 電磁ポンプ製作完了

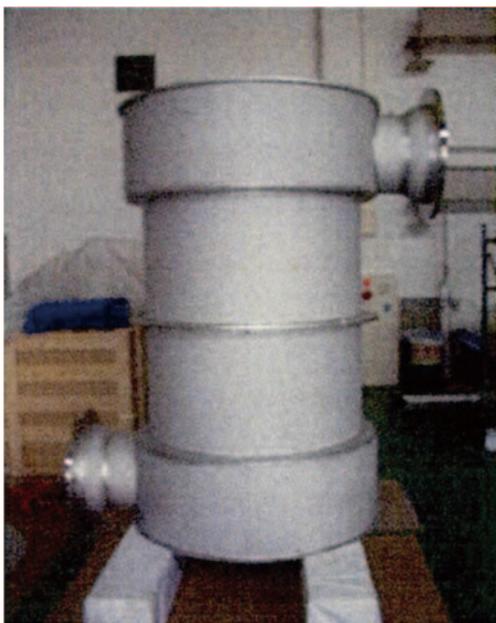


写真 4-25 コールドトラップ
冷却ジャケット外観



写真 4-26 コールドトラップ
上部鏡板内面



写真 4-27 コールドトラップ
下部鏡面部ヒータ

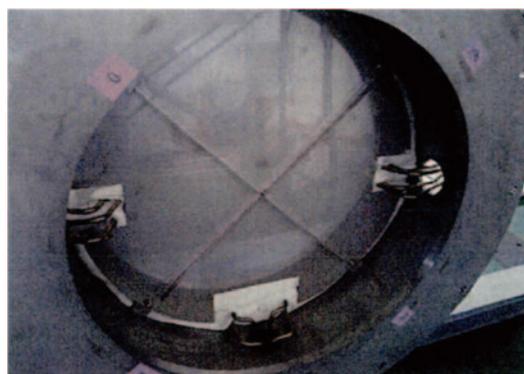


写真 4-28 コールドトラップ
下部鏡面保温材取付状態



写真 4-29 コールドトラップ
冷却用送風機



写真 4-30 コールドトラップ
入口ダンパ組合せ状況



写真 4-31 コールドトラップ胴体内部外観



写真 4-32 コールドトラップ
上鏡板と内胴外観



写真 4-33 コールドトラップ耐圧試験

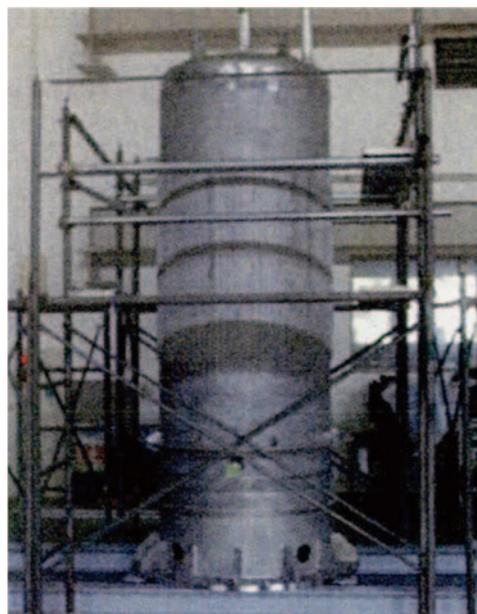


写真 4-34 コールドトラップ組立完了



写真 4-35 エコノマイザ伝熱管外観



写真 4-36 エコノマイザ伝熱管内面状態



写真 4-37 エコノマイザ
管付管板単体外観



写真 4-38 エコノマイザ
管付管板への伝熱管挿入状態



写真 4-39 エコノマイザ耐圧試験



写真 4-40 エコノマイザ組立完了

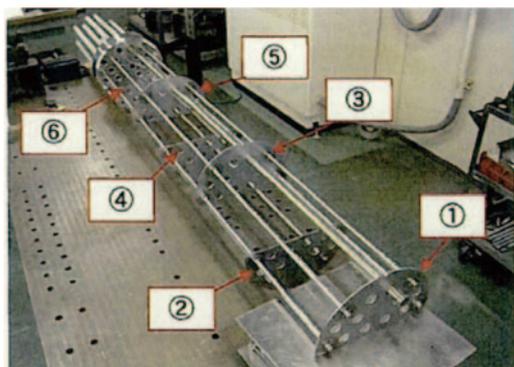


写真 4-41 戻り加熱器容器組込前
バッフル位置 (①～⑥)

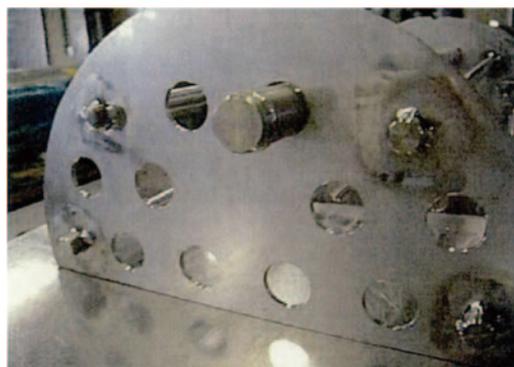


写真 4-42 戻り加熱器バッフル板外観

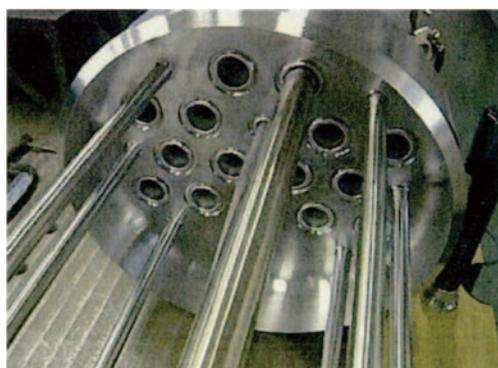


写真 4-43 戻り加熱器平板部



写真 4-44 戻り加熱器内部ヒータ



写真 4-45 戻り加熱器
内部ヒータ組込状態



写真 4-46 戻り加熱器
内部ヒータ組込完了



写真 4-47 戻り加熱器耐圧試験

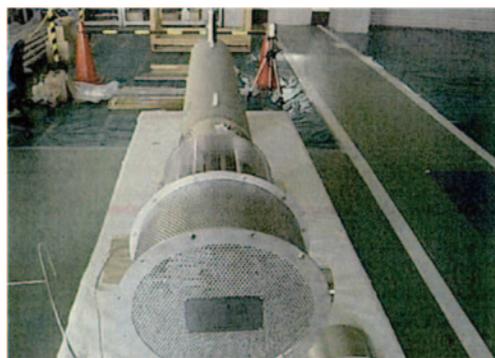


写真 4-48 戻り加熱器製作完了

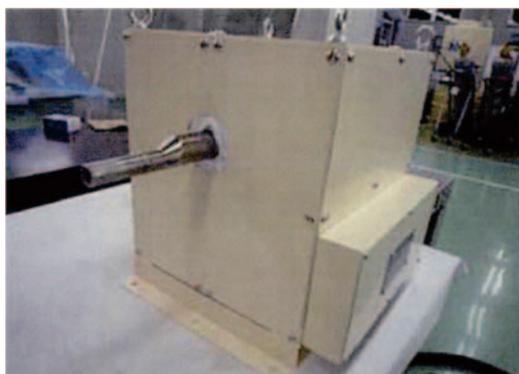


写真 4-49 プラギング計電磁ポンプ



写真 4-50 プラギング計
メイン流量測定用電磁流量計



写真 4-51 プラギング計
オリフィス流量測定用電磁流量計



写真 4-52 プラギング計
ストレーナフィルタ



写真 4-53 プラギング計
トレーナ・出入口ノズル部

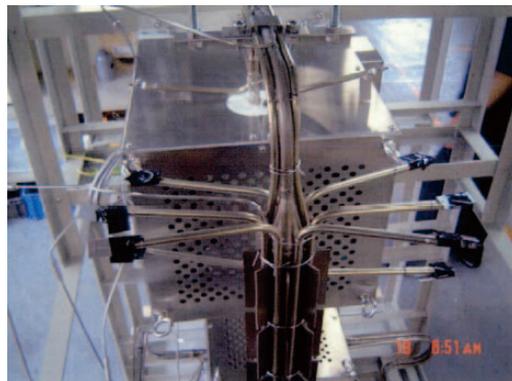


写真 4-54 プラギング計冷却器



写真 4-55 プラギング計
オリフィス部



写真 4-56 プラギング計
エコノマイザ



写真 4-57 プラギング計
バイパス用オリフィス部



写真 4-58 プラギング計
エコノマイザ・冷却管部の
予熱ヒータ取付状態



写真 4-59 プラギング計耐圧試験



写真 4-60 プラギング計組立完了
ユニット外観

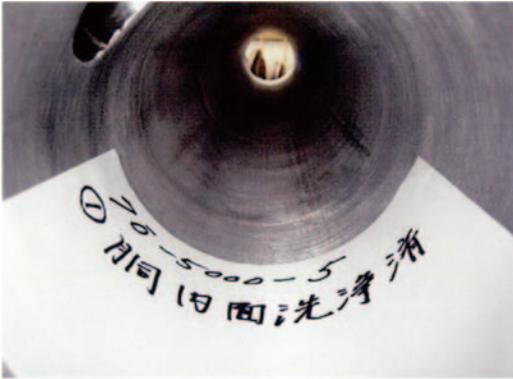


写真 4-61 ベーパートラップ
胴内部 (洗浄後)

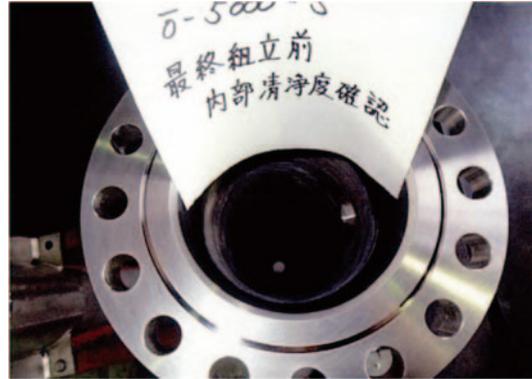


写真 4-62 ベーパートラップ
上部フランジ部からの内面清浄度確認



写真 4-63 ベーパートラップ
メッシュ



写真 4-64 ベーパートラップ
耐圧試験
(向かって右側 VT-1、中央 VT-2、左側 VT-4)

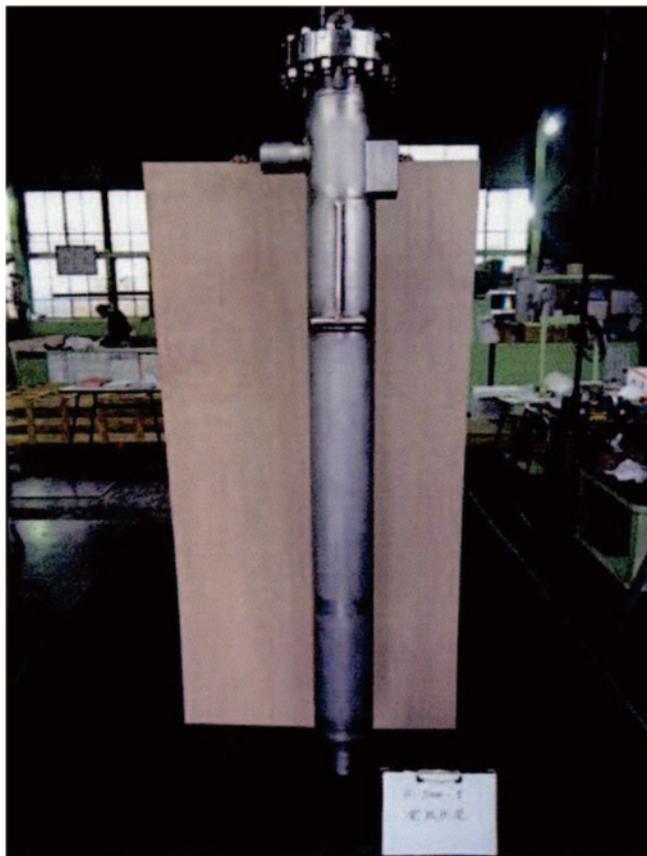


写真 4-65 ベーパーラップ製作完了



写真 4-66 ナトリウム弁
ディスク洗浄時外観



写真 4-67 ナトリウム弁
ステム外観



写真 4-68 ナトリウム弁
ボディー内部洗浄作業



写真 4-69 ナトリウム弁
トリム部外観



写真 4-70 ナトリウム弁ボディー部
PT 検査 (浸透液)



写真 4-71 ナトリウム弁ボディー部
PT 検査 (探傷液)



写真 4-72 ナトリウム弁リップ部
PT 検査 (浸透液)



写真 4-73 ナトリウム弁リップ部
PT 検査 (探傷液)



写真 4-74 ナトリウム弁
ヘリウムリーク検査



写真 4-75 ナトリウム弁
弁座漏えい検査



写真 4-76 ナトリウム弁
作動試験 (空気作動)

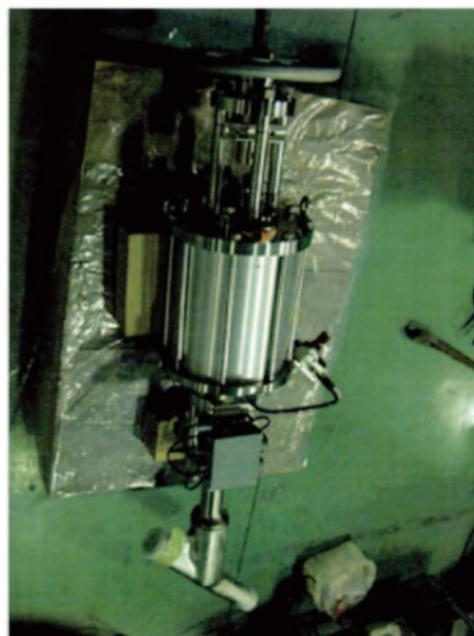


写真 4-77 ナトリウム弁
組立完了



写真 4-78 ダンプタンク陸上輸送状況（国道 51 号線夏海歩道橋通過中）



写真 4-79 大洗研究所南門前まで陸上輸送されてきたダンプタンク

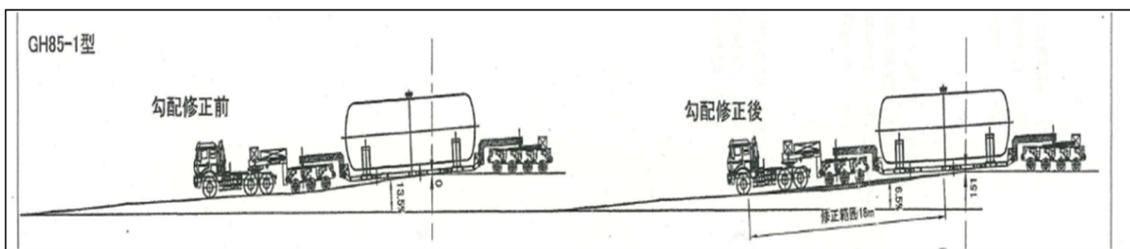


写真 4-80 斜度改善前後の状況



写真 4-81 斜度改善後におけるダンプタンクのトレーラ積載状況



写真 4-82 ダンプタンク建屋内搬入



写真 4-83 建屋内ダンプタンク搬入完了



写真 5-1 ダンプタンク据付前タンク据付基準芯罫書き作業



写真 5-2 ダンプタンク基礎台チップング作業



写真 5-3 基礎台部への高さ調整用レベリングブロック配置状況



写真 5-4 固定側架台据付



写真 5-5 天井クレーンによるダンプタンクの吊上げ作業



写真 5-6 ダンプタンク基礎部のグラウト施工作业



写真 5-7 ダンプタンク基礎部グラウト施工後の型枠取り外し状態



写真 5-8 ダンプタンク基礎ボルト、固定ボルトの締結作業



写真 5-9 ダンプタンク 1 据付状態 (養生シート取外後)



写真 5-10 ダンプタンク 2 据付状況 (養生状態)



写真 5-11 ダンプタンク保温施工状態 (ダンプタンク 1)



写真 5-12 ダンプタンク外装板施工状態 (ダンプタンク 1)



写真 5-13 電磁ポンプ据付



写真 5-14 コールドトラップ現地搬入



写真 5-15 コールドトラップ本体据付
(写真中央がコールドトラップ本体)



写真 5-16 コールドトラップ本体保温施工後



写真 5-17 コールドトラップ本体据付



写真 5-18 エコノマイザ据付け状態



写真 5-19 エコノマイザ保温施工後



写真 5-20 エコノマイザ外装板施工後



写真 5-21 戻り加熱器据付状態



写真 5-22 戻り加熱器保温施工後



写真 5-23 戻り加熱器外装板施工後



写真 5-24 ガス抜きポット据付状態



写真 5-25 ガス抜きポット保温施工後



写真 5-26 ガス抜きポット液位計フランジのパッケージ保温状態



写真 5-27 ガス抜きポット外装板施工後



写真 5-28 プラギング据付状態



写真 5-29 プラギング計出入口配管溶接後の外観



写真 5-30 プラギング計外装板取付施工後



写真 5-31 ベーパートラップ 1 設置状態



写真 5-32 ベーパートラップ 2 設置状態



写真 5-33 ベーパートラップ 4 設置状態



写真 5-34 ナトリウム弁保温施工前の状態



写真 5-35 ナトリウム弁外装板施工後



写真 5-36 ナトリウム配管仮付け溶接作業



写真 5-37 異物混入防止プラグ挿入状態



写真 5-38 開先加工状況



写真 5-39 配管内異物混入確認状況



写真 5-40 大洗消防本部による立会検査（耐圧検査）



写真 5-41 ナトリウム配管への熱電対取付状態

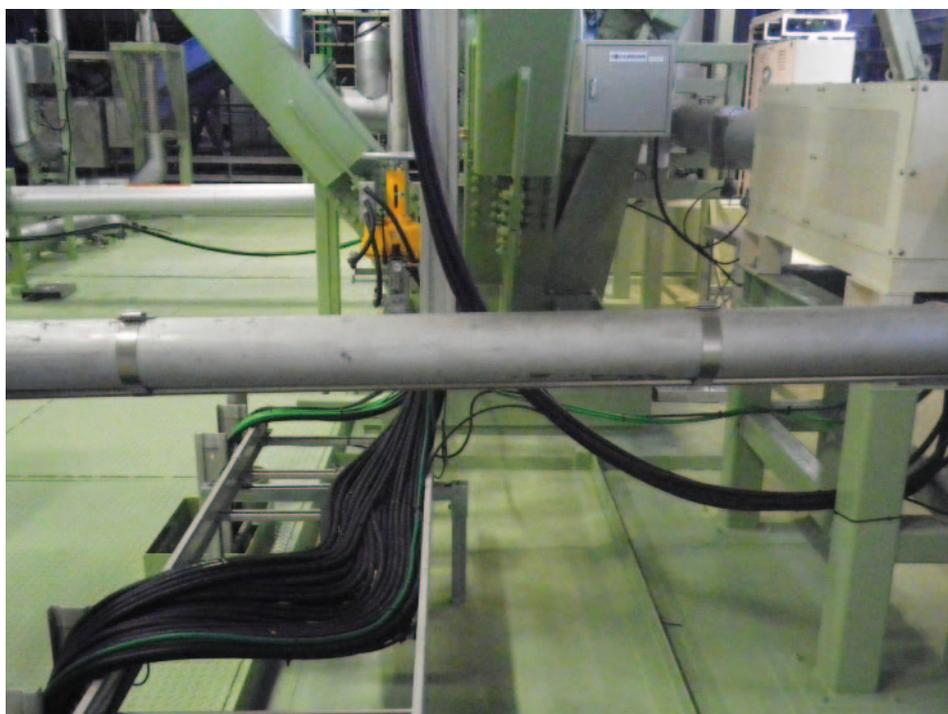


写真 5-42 ナトリウム配管への予熱ヒータ取付状態



写真 5-43 ナトリウム配管保温施工



写真 5-44 ナトリウム配管外装板施工後



写真 5-45 ナトリウムサンプリング装置配管接続前作業



写真 5-46 ナトリウムサンプリング装置配管接続後（保温施工前）



写真 5-47 ナトリウムサンプリング装置据付状態（保温施工後）



写真 5-48 1階床ライナー施工（ライナー塗装前）



写真 5-49 ダンプタンクピット後打ち金物施工



写真 5-50 ダンプタンクピット内下地材取付



写真 5-51 ダンプタンクピットライナー溶接作業



写真 5-52 ダンプタンクピット内ライナー施工完了

This is a blank page.

国際単位系 (SI)

表1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質량	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

組立量	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ル	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ル	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 ³
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ル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の)	1
比透磁率 ^(b)	(数字の)	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

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(e)	1 ^(b)	m ² /m ²
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz		s ⁻¹
力	ニュートン	N		m kg s ⁻²
圧力, 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	C		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	S	A/V	m ² kg ⁻¹ s ³ A ²
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	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
光照射量	ルーメン	lm	cd sr ^(e)	cd
放射線量	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
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, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
酸素活性化	カタール	kat		s ⁻¹ 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コ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) ヘルツは周期現象についてのみ、ベク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) セル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。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
 (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

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
表面張力	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
角加速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角加減	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² =s ⁻²
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電荷密度	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電表面電荷	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ 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
誘電率	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
透磁率	ファラド毎メートル	F/m	m ³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
モルエネルギー	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
吸収線量率	ジュール毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ s A
放射線強度	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射輝度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ m ⁻² kg s ⁻³ =m ² kg s ⁻³
酵素活性濃度	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
	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	ヨタ	Y	10 ¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ⁻¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ⁻²¹	zepto	z
10 ¹	デカ	da	10 ⁻²⁴	yocto	y

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, l	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単位で表される数値が実験的に得られるもの

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	M	1 M=1852m
バイン	b	1 b=100fm ² =(10 ¹² cm ²) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的關係は、 対数量の定義に依存。
ベレル	B	
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	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s
ストークス	St	1 St=1cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フオト	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² =10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(a)	Oe	1 Oe _e =(10 ³ /4π)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「△」は対応關係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1 メートル系カラット=0.2 g=2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.1858J (「15°C」カロリ), 4.1868J (「IT」カロリ), 4.184J (「熱化学」カロリ)
マイクロン	μ	1 μ=1μm=10 ⁻⁶ m

