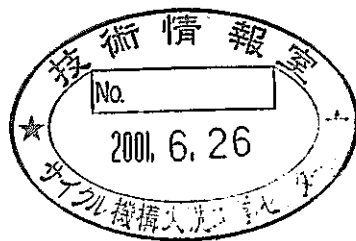


「常陽」窒素ガス気化器の更新

(技術報告書)

2001年3月



核燃料サイクル開発機構
大洗工学センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4-49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to :

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184

Japan

©核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

2001

「常陽」窒素ガス気化器の更新 (技術報告書)

住野公造*、大嶋 淳*、飯塚 透**、小川 徹*
高津戸裕司*、小澤健二*

要 旨

「常陽」窒素ガス供給系の窒素ガス気化器（蒸気式）は、プラントへ窒素ガスを常時供給するというその性格から供用開始後メンテナンスされることなく連続して運転されてきた。しかしながら、近年加温用の水・蒸気を内包する外槽（水槽）の腐食が進行しこれ以上の使用が不可能となったため、窒素ガス気化器の更新を行う必要が生じた。

更新においては、既設の蒸気式窒素ガス気化器を外槽の腐食対策を施した同等の構造・性能を有するものに交換するとともに、蒸気式窒素ガス気化器のメンテナンス（停止）時にプラントへ窒素ガスを供給するための空温式窒素ガス気化器を新たに設置した。さらに従来からの懸案事項であった外槽内の水温及び供給窒素ガス温度の監視を中央制御室からできるようにした。

更新工事終了後、これらの改良点の機能確認、運転参考データ採取を目的に性能試験を行い、更新した窒素ガス気化器が所期の性能を有していることを確認した。

性能試験により得られた主な成果を以下に示す。

- (1) 蒸気式窒素ガス気化器が更新前の気化器と同等以上の性能を有していることを確認した。
- (2) 空温式窒素ガス気化器の運転により、1次系配管・機器を内包する原子炉格納容器内床下エリアを窒素雰囲気（酸素濃度4%以下）に維持できることを実証した。
- (3) 通常運転及び負荷運転（原子炉格納容器内床下エリアの窒素置換）時の外槽内の水温と供給窒素ガス温度の関係が明らかとなった。

* 大洗工学センター 照射施設運転管理センター 実験炉部 原子炉第二課

** 現 三菱重工業株式会社

March, 2001

Replacement of Nitrogen Gas Evaporator of JOYO

Kozo SUMINO*, Jun OSHIMA*, Toru IIZUKA**, Toru OGAWA*
Yuji TAKATSUDO* and Kenji OZAWA*

ABSTRACT

The nitrogen gas evaporator using steam heating is a main component of the nitrogen gas supply system of JOYO and had been operated without the maintenance in order to supply nitrogen gas to the plant continuously. However, the necessity of replacing the nitrogen gas evaporator occurred due to the corrosion of the tank which involved water and steam for the heating in the recent years.

Therefore, the nitrogen gas evaporator using steam was replaced with a new one that has a tank made of stainless steel, and the nitrogen gas evaporator using air heating was newly installed in order to supply the nitrogen gas during the maintenance of the nitrogen gas evaporator using steam heating. In addition, thermometers were installed at water in a tank and supply nitrogen gas in order to monitor these temperatures from the main control room.

The main results of a preoperation function test were as follows;

- (1) It was confirmed that the performance of the new nitrogen gas evaporator using steam heating was more than it of the old one.
- (2) The nitrogen gas evaporator using air heating could successfully maintain the nitrogen gas atmosphere (within 4% oxygen concentration) in the lower part of the reactor containment vessel.
- (3) The correlation between the water temperature in a tank and the supply nitrogen gas temperature were confirmed for the normal and maximum operations.

* Maintenance Engineering Section, Experimental Reactor Division, Irradiation Center, Oarai Engineering Center, JNC.

** Mitsubishi Co, Ltd.

目 次

1. 緒 言	1
2. 新窒素ガス気化器の設計	2
2.1 窒素ガス供給設備の概要	2
2.2 窒素ガス気化器に関する懸案事項とその対策	2
2.3 機器設計	3
2.3.1 蒸気式窒素ガス気化器	3
2.3.2 空温式窒素ガス気化器	5
3. 窒素ガス気化器更新の現地工事	12
3.1 旧窒素ガス気化器の撤去	12
3.2 新窒素ガス気化器の据付	13
4. 新窒素ガス気化器の性能試験	24
4.1 試験内容	24
4.2 試験方法	24
4.3 試験結果	25
5. 検討及び評価	31
5.1 新窒素ガス気化器の蒸発能力	31
5.2 蒸気式窒素ガス気化器の水温と窒素ガス温度の関係	32
6. 結 言	34
7. 謝 辞	35
8. 参考文献	36
添付資料 空温式窒素ガス気化器の蒸発能力計算書	37

図リスト

図 2.1	窒素ガス気化器更新前の窒素ガス供給設備系統図	8
図 2.2	窒素ガス気化器更新後の窒素ガス供給設備系統図	9
図 2.3	新蒸気式窒素ガス気化器の構造図	10
図 2.4	空温式窒素ガス気化器の構造図	11
図 3.1	仮設窒素ガス気化器による窒素ガスの供給状況	16
図 3.2	既設の蒸気式窒素ガス気化器の外槽を取外したところ	16
図 3.3	撤去した既設蒸気式窒素ガス気化器	17
図 3.4	新蒸気式窒素ガス気化器の搬入状況	17
図 3.5	新蒸気式窒素ガス気化器の据付状況	18
図 3.6	新蒸気式窒素ガス気化器の外槽内部（蒸発管及び加圧管） の状況	18
図 3.7	空温式窒素ガス気化器の据付状況	19
図 3.8	空温式窒素加圧気化器の据付状況	19
図 3.9	中央制御室に設置した温度指示計と警報窓	20
図 3.10	窒素ガス気化器更新後の窒素ガス供給設備機器配置図	21
図 3.11	窒素ガス気化器更新後の窒素ガス供給設備の状況(1)	22
図 3.12	窒素ガス気化器更新後の窒素ガス供給設備の状況(2)	22
図 3.13	純度出しのラインと純度測定位置	23
図 4.1	蒸気式窒素ガス気化器の性能試験時のフロー	26
図 4.2	空温式窒素ガス気化器の性能試験時のフロー	27
図 4.3	性能試験中の窒素ガス流量と格内床下エリア酸素濃度の 推移	28
図 5.1	格内床下エリア窒素置換時の蒸気式窒素ガス気化器水温 と窒素ガス温度の推移	33

表リスト

表4.1	蒸気式窒素ガス気化器 性能試験データ	29
表4.2	室温式窒素ガス気化器 性能試験データ	30

1. 緒 言

「常陽」窒素ガス供給設備は、液体窒素を気化蒸発させ規定の圧力に調整後、格納容器雰囲気調整系、安全容器呼吸系、予熱窒素ガス系、格納容器内計装用窒素ガス系、廃ガス処理系、1次ナトリウム純化系、メンテナンス用設備へ必要量の窒素ガスを供給する設備である。主要機器である液体窒素を気化する窒素ガス気化器には、1次冷却系機器・配管を内包する原子炉格納容器内床下エリア（以下、格内床下エリア）約5,000m³を所定の時間で空気から窒素雰囲気に置換する必要があるため、2,000Nm³/hの蒸発能力を有するスチーム加温式特殊型の気化器（以下、蒸気式窒素ガス気化器）が用いられている。

蒸気式窒素ガス気化器は、各系統へ常時窒素ガスを供給するという設備の性格から供用開始後メンテナンスされることなく連続して運転されてきた。しかしながら、近年加温用の水・蒸気を内包する外槽の腐食が進行しこれ以上の使用が不可能となったため、懸案事項の対策も加え窒素ガス気化器の更新を行った。

本報告書は、新窒素ガス気化器に施した設備改善、更新工事の概要及び改良点の機能確認、運転参考データ採取を目的に更新工事後に実施した性能試験の結果についてまとめたものである。

2. 新窒素ガス気化器の設計

2.1 窒素ガス供給設備の概要

窒素ガス供給設備の主要機器は、主冷却機建家内1階のガス供給系室（以下、S-408室）に設置されている。液体窒素貯蔵タンク（貯蔵容量：11,000L）に貯えられた液体窒素が蒸気式窒素ガス気化器により気化され、窒素ガスは窒素ガス供給ヘッドに送られる。窒素ガスヘッドからは、主冷却機建家、原子炉建家、原子炉付属建家及び配管ピット内に配置される供給配管、原子炉建家内の格納容器内窒素ガス供給ヘッドあるいは原子炉付属建家内のコールド配管路内窒素ガス供給ヘッドを介して、各系統へ供給される。図2.1に窒素ガス気化器更新前の窒素ガス供給設備の系統図を示す。

蒸気式窒素ガス気化器は、蒸発管を水中に配置し、蒸気により水温（約60℃）を維持することにより液体窒素を蒸発させるものであり、系統に窒素ガスを供給するための送ガスラインと液体窒素貯蔵タンクの圧力を維持する加圧ラインがある。蒸発管、加圧管及び外槽等で構成される。

2.2 窒素ガス気化器に関する懸案事項とその対策

(1) 懸案事項と対策の基本的な考え

窒素ガス気化器についてはこれまでの運転においていくつかの懸案事項があったため、更新するにあたり対策（設備改善）を施した。以下に懸案事項及び対策の基本的な考えを示す。

- ・ 窒素ガス気化器の外槽が炭素鋼（SS400）であるため、錆の発生が著しい。
 - 外槽をステンレス鋼（SUS304）とし、錆の発生を防止する。
- ・ 蒸気の停止等により、外槽内に貯留されている水温が異常に低下した場合でも現場温度計にしか指示されず、検知が遅れる。この状態で運転を続けると、水槽内の水の凍結による水槽の破損、窒素ガスの供給停止や窒素ガス系統への液体窒素流入に到る可能性がある。
 - 水温を現場及び中央制御室に指示するとともに、中央制御室にて警報を発報することにより水温の異常低下を防止する。さらに、窒素ガス気化器の出口配管に温度計を設置し、気化器で確実に液体窒素が気化されていることをガス温度にて確認する。
- ・ 窒素ガス気化器を停止する場合には仮設窒素ガス供給設備を設置する必要があるため、窒素ガス気化器を停止してのメンテナンスが十分に行われていない。
 - 蒸気式窒素ガス気化器のメンテナンス（停止）時に窒素ガスを供給す

るための空温式窒素ガス気化器を製作し設置する。併せて、様々な状況（メンテナンス）に対応できるように系統内に外部からの液体窒素や窒素ガスの受入口を設ける。

(2) 具体的な系統構成

上記の考え方を基にした検討した新しい窒素ガス供給設備の系統構成（改良部分）を以下に示す。図 2.2 に窒素ガス気化器更新後の窒素ガス供給設備の系統図を示す。

- ・ 蒸気式窒素ガス気化器の送ガスライン（蒸気式窒素送ガス気化器）と並列に空温式窒素送ガス気化器を設置する。
- ・ 蒸気式窒素送ガス気化器と空温式窒素送ガス気化器の出入口には弁を設け、運転切替が可能な構成とする。また、出入口弁間には安全弁を設け液封による圧力上昇を防止する。
- ・ 液体窒素貯蔵タンク元弁 V74-M4 と送ガス気化器入口弁間には、外部から受け入れた液体窒素を、送ガス気化器を用いて気化し供給するための外部液体窒素受入口（予備 LN_2 供給ノズル）を設ける。また、安全弁を設け液封による圧力上昇を防止する。
- ・ 送ガス気化器出口弁の下流側に、外部から窒素ガスを受け入れるための外部窒素ガス受入口（予備 N_2 ガス供給ノズル）を設ける。
- ・ 蒸気式窒素ガス気化器の加圧ライン（蒸気式窒素加圧気化器）と並列に空温式窒素加圧気化器を設置する。
- ・ 蒸気式窒素加圧気化器と空温式窒素加圧気化器の出入口には弁を設け、運転切替が可能な構成とする。また、出入口弁間には安全弁を設け液封による圧力上昇を防止する。
- ・ 蒸気式窒素ガス気化器の水温を現場及び中央制御室に指示するとともに、中央制御室にて警報を発報することにより水温の異常低下を防止する。
- ・ 窒素ガス気化器の出口配管に温度計を設け、ガス温度を中央制御室に指示するとともに、中央制御室にて警報を発報することにより気化器にて確実に液体窒素が気化されていることを確認する。
- ・ 蒸気式窒素ガス気化器外槽の蒸気入口に逆止弁を設け、蒸気供給圧低下時に貯留水がボイラへ逆流することを防止する。

2.3 機器設計

2.3.1 蒸気式窒素ガス気化器

(1) 蒸発能力

既設窒素ガス気化器の蒸発能力は、格内床下エリアを含む窒素雰囲気エリアの初期置換を約 13 時間で実施するために必要な窒素ガス供給量を想定し

て2,000Nm³/hに決められた。これまでの運転実績上、問題なく格内床下エリアの窒素ガス置換等が行われていることから、新蒸気式窒素ガス気化器の蒸発能力も既設と同様に2,000Nm³/hとした。

(2) 構造

上記に示す通り既設窒素ガス気化器の蒸発能力は問題なく発揮されていることから、新蒸気式窒素ガス気化器は既設と同等の構造（たて置円筒型、コイル式熱交換器等）とし、伝熱面積は既設以上とした。ただし、ガス供給室の扉寸法（幅1530mm）が既設窒素ガス気化器の外槽外径（Φ1560mm）より小さいため、新蒸気式窒素ガス気化器の外槽外径は扉からの搬入が可能な寸法に縮小した。図2.3に新蒸気式窒素ガス気化器の構造図を示す。

(3) 機器主要目

- | | | |
|-------------------|---|-----------------------------|
| 1) 型式 | : | たて置タンクコイル型蒸発式 |
| 2) 最高使用圧力及び最高使用温度 | | |
| ① 最高使用圧力 | | |
| ・蒸発管 | : | 9.5kg/cm ² G |
| ・加圧管 | : | 9.5kg/cm ² G |
| ・水槽 | : | 静水頭 |
| ② 最高使用温度 | | |
| ・蒸発管 | : | 100°C (-196°C) |
| ・加圧管 | : | 100°C (-196°C) |
| ・水槽 | : | 100°C |
| | | 括弧内は最低使用温度を示す。 |
| 3) 定格仕様 | | |
| ① 蒸発能力 | | |
| ・蒸発管 | : | 2000Nm ³ /h |
| ・加圧管 | : | 102Nm ³ /h |
| ② 伝熱面積 | | |
| ・蒸発管 | : | 21.65m ² /基 |
| ・加圧管 | : | 6.5 m ² /基 |
| ③ 流体 | | |
| ・蒸発管 | : | 液体窒素/窒素ガス |
| ・加圧管 | : | 液体窒素/窒素ガス |
| ・水槽 | : | 温水 |
| ④ 運転圧力 | | |
| ・蒸発管 | : | 7.0~7.7kg/cm ² G |
| ・加圧管 | : | 7.0~7.7kg/cm ² G |

- ・水槽 : 静水頭
- ⑤ 運転温度 (入口/出口)
 - ・蒸発管 : $-196^{\circ}\text{C}/20^{\circ}\text{C}$
 - ・加圧管 : $-196^{\circ}\text{C}/20^{\circ}\text{C}$
 - ・水槽 : 60°C
- ⑥ 蒸気圧力 : 約 $3\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ (飽和蒸気)
- ⑦ 蒸気消費量 : 約 $610\text{kg}/\text{h}$
- 4) 主要寸法
 - ・蒸発管 : $1-1/4\text{B}\times\text{sch}40$ ($\phi 42.7\times t3.6$)
 - ・加圧管 : $1-1/4\text{B}\times\text{sch}40$ ($\phi 42.7\times t3.6$)
 - ・水槽 : I. D $1450\times\text{H}3200$ (mm)
- 5) 主要材料
 - ・蒸発管 : SUS304LTP-S
 - ・加圧管 : SUS304LTP-S
 - ・水槽 : SUS304
- 6) 機器区分
 - ・蒸発管 : 炉規法第4種管
 - ・加圧管 : 適用なし (炉規法第4種管相当)
 - ・水槽 : 一般機器
- 7) 耐震クラス : C

2.3.2 空温式窒素ガス気化器

(1) 構成

空温式窒素ガス気化器は、蒸気式窒素ガス気化器のメンテナンス (停止) 時に液体窒素を気化し窒素ガスをプラントに供給する空温式窒素送ガス気化器と送ガス気化器を使用時に液体窒素貯蔵タンクの圧力を維持する空温式窒素加圧気化器の構成とした。

(2) 蒸発能力

空温式窒素送ガス気化器の蒸発能力は、蒸気式窒素ガス気化器のメンテナンス時の運転を想定し、原子炉停止中 (格内床下エリア: 空気雰囲気、予熱窒素ガス系: 運転) における窒素ガス消費量の平均が約 $17\text{Nm}^3/\text{h}$ (約 $400\text{Nm}^3/\text{day}$) であることから、余裕を見て $50\text{Nm}^3/\text{h}$ とした。空温式窒素送ガス気化器の蒸発能力計算書を添付資料に示す。

(3) 構造

空温式窒素送ガス気化器と空温式窒素加圧気化器は、フィン付き管の空温式の気化器で、空温式窒素送ガス気化器はスターフィン、ヘアーピン管、下

部をU字管で接続する構成とし、たて置きで架台上に設置し架台は基礎を固定した。また、空温式窒素加圧気化器はスターフィン、内管、両端部を集合管で接続する構成とし、横置きで液体貯蔵タンクの下部に設置した。図 2.4 に空温式窒素ガス気化器の構造図を示す。

(4) 機器主要目

- 1) 型式 : スターフィン型空温式
- 2) 最高使用圧力及び最高使用温度
 - ① 最高使用圧力
 - ・空温式窒素送ガス気化器 : 9.5kg/cm²G
 - ・空温式窒素加圧気化器 : 9.5kg/cm²G
 - ② 最高使用温度
 - ・空温式窒素送ガス気化器 : 60°C (-196°C)
 - ・空温式窒素加圧気化器 : 60°C (-196°C)

括弧内は最低使用温度を示す。
- 3) 定格仕様
 - ① 蒸発能力
 - ・空温式窒素送ガス気化器 : 50Nm³/h
 - ・空温式窒素加圧気化器 : 3Nm³/h
 - ・連続運転時間 : 2週間
 - ② 伝熱面積
 - ・空温式窒素送ガス気化器 : 53.2m²/基
 - ・空温式窒素加圧気化器 : 2.27m²/基
 - ③ 流体
 - ・空温式窒素送ガス気化器 : 液体窒素/窒素ガス
 - ・空温式窒素加圧気化器 : 液体窒素/窒素ガス
 - ④ 運転圧力
 - ・空温式窒素送ガス気化器 : 7.0~7.7kg/cm²G
 - ・空温式窒素加圧気化器 : 7.0~7.7kg/cm²G
 - ⑤ 運転温度 (入口/出口)
 - ・空温式窒素送ガス気化器 : -196°C/-25°C
 - ・空温式窒素加圧気化器 : -196°C/-173°C
- 4) 主要寸法
 - ・空温式窒素送ガス気化器 : 1/2B×t1.5 (φ21.7×t1.5)
 - ・空温式窒素加圧気化器 : 1/2B×t1.5 (φ21.7×t1.5)
- 5) 主要材料
 - ・空温式窒素送ガス気化器 : SUS304TP-S

- ・空温式窒素加圧気化器 : SUS304TP-S
 - ・スターフィン : A6063S-T5
- 6) 機器区分
- ・空温式窒素送ガス気化器 : 適用なし (炉規法第4種管相当)
 - ・空温式窒素加圧気化器 : 適用なし (炉規法第4種管相当)
- 7) 耐震クラス : C

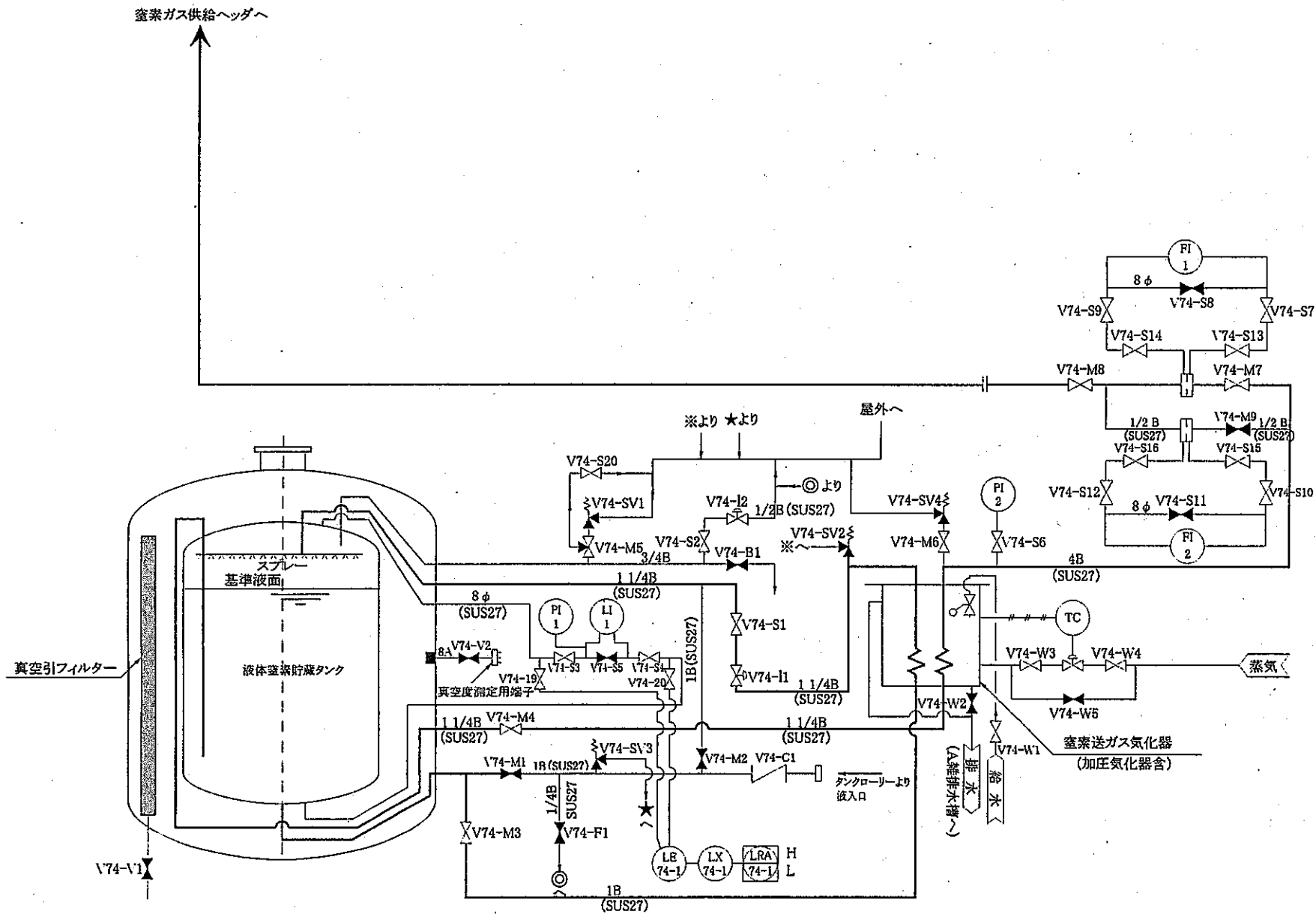


図2.1 窒素ガス気化器更新前の窒素ガス供給設備系統図

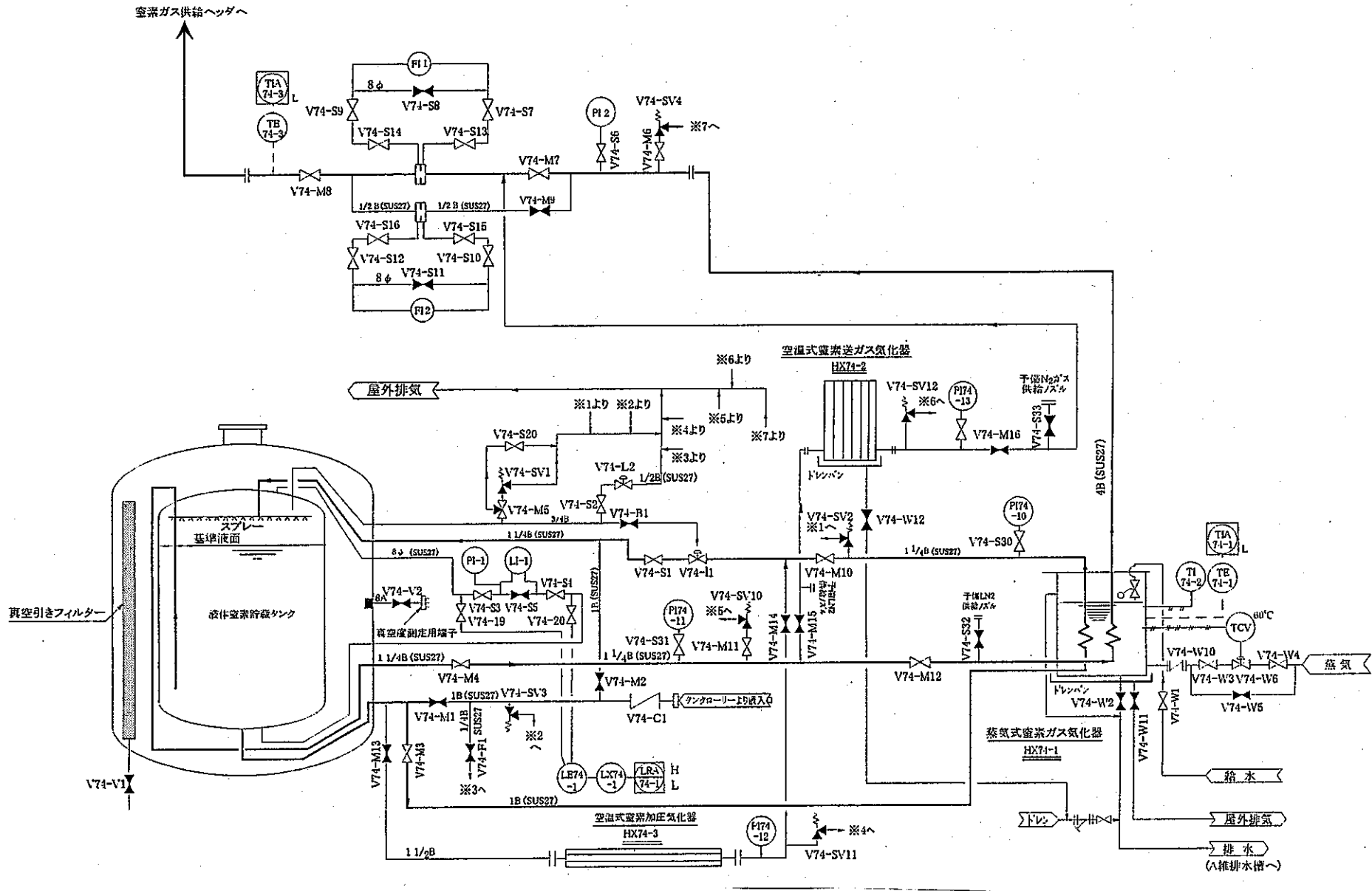
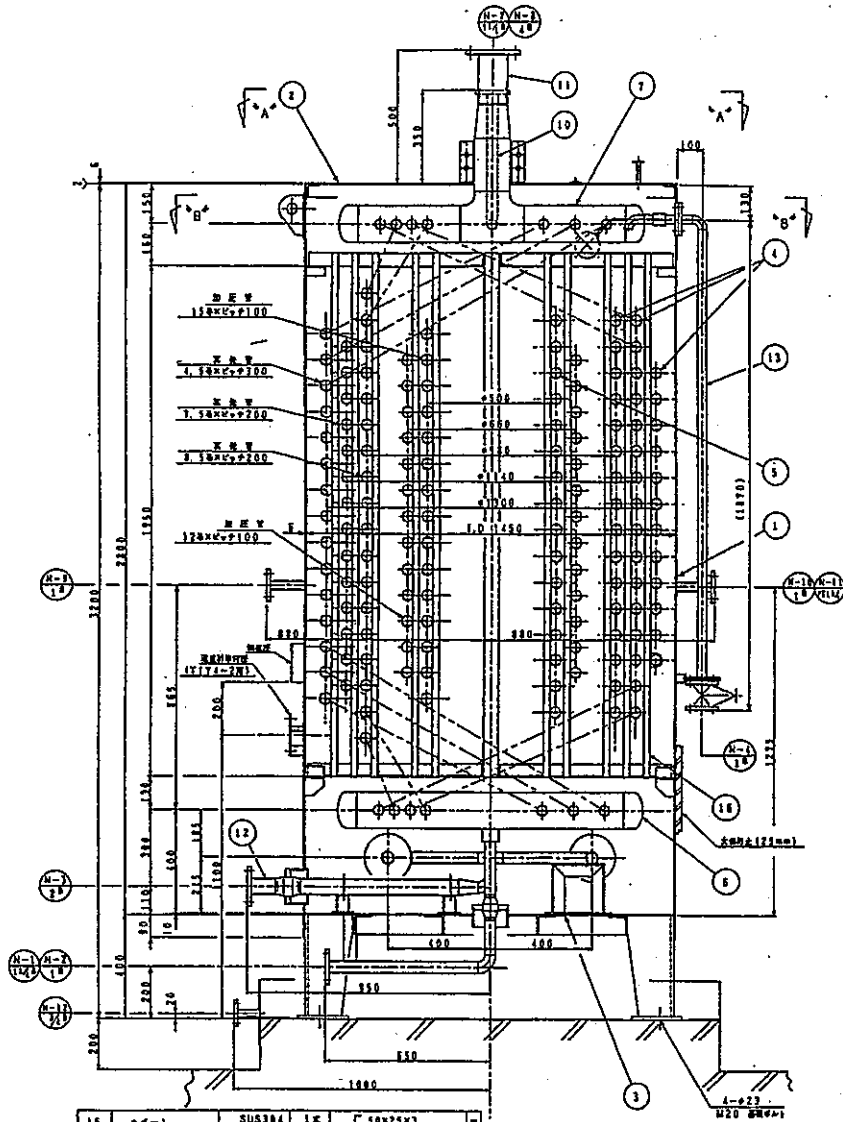
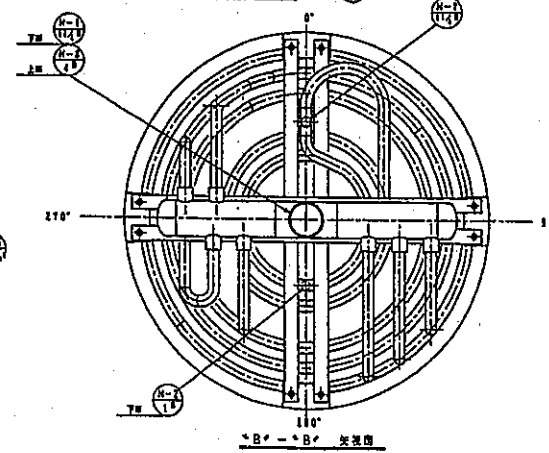
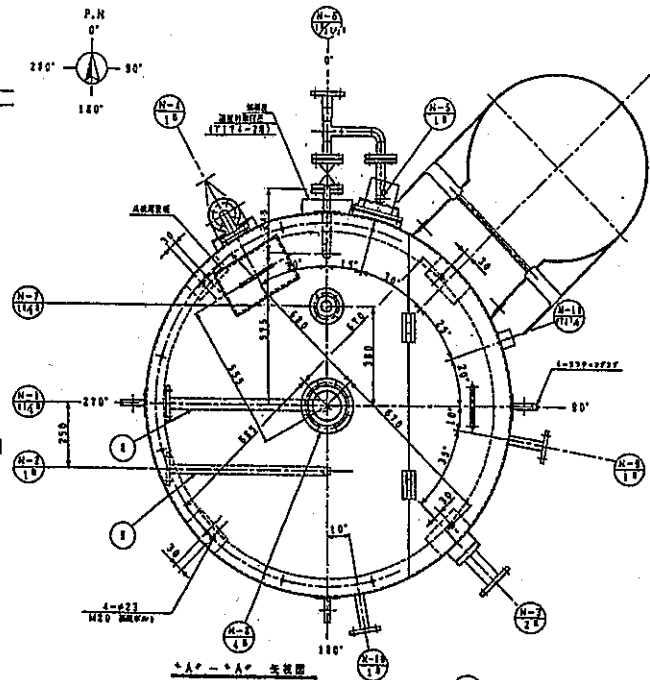
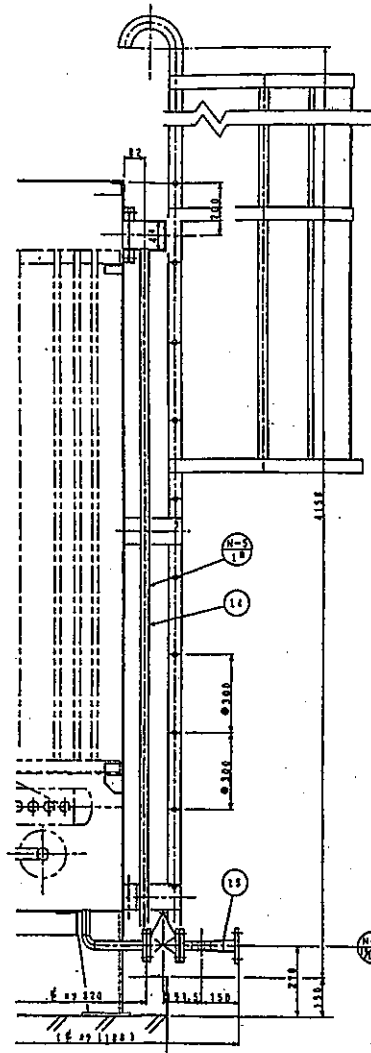


図2.2 窒素ガス化器更新後の窒素ガス供給設備系統図



NO	品名	材質	規格	数量	備考
(NO)	(NOMENCLATURE)	(MATERIAL)	(SPECIFICATION)	(QUANTITY)	(REMARKS)
16	パイプ	SUS304	1K C 10x25x3	1	
15	フランジ	SUS316TP-S	1K 14 1/2 Sch40	1	
14	スチールパイプ	SUS316TP-S	1K 18 Sch40	1	
13	加圧管	SUS316TP-S	1K 2φ Sch20	1	
12	配管	SUS316TP-S	1K 2φ Sch20	1	
11	加圧管	SUS316TP-S	1K 2φ Sch40	1	
10	加圧管	SUS316TP-S	1K 1 1/2 Sch40	1	
9	加圧管	SUS316TP-S	1K 1φ Sch40	1	
8	加圧管	SUS316TP-S	1K 1 1/2 Sch40	1	
7	加圧管	SUS316TP-S	1K 1φ Sch40	1	
6	加圧管	SUS316TP-S	1K 2φ Sch40	1	
5	加圧管	SUS316TP-S	1K 1 1/2 Sch40	1	
4	加圧管	SUS316TP-S	1K 1 1/2 Sch40	1	
3	加圧管	SUS304	1 1φ	1	
2	加圧管	SUS304	1 1φ	1	
1	加圧管	SUS304	1 1φ	1	



品名	材質	規格	数量	備考
M-12	パイプ	2φ	1	JIS10K SQ.RF
M-11	加圧管	1φ	1	JIS10K SQ.RF (TCVA)
M-10	加圧管	1φ	1	JIS10K SQ.FF (Y174-1M)
M-9	加圧管	1φ	1	JIS10K SQ.FF (YE74-2M)
M-8	加圧管	1φ	1	JIS10K SQ.RF JIS10KWB
M-7	加圧管	1φ	1	JIS10K SQ.RF JIS10KWB
M-6	加圧管	1φ	1	JIS10K SQ.RF
M-5	加圧管	1φ	1	JIS10K SQ.RF
M-4	加圧管	1φ	1	JIS10K SQ.RF
M-3	加圧管	1φ	1	JIS10K SQ.RF JIS10KWB
M-2	加圧管	1φ	1	JIS10K SQ.RF JIS10KWB
M-1	加圧管	1φ	1	JIS10K SQ.RF JIS10KWB

図 2.3 新蒸気式窒素ガス気化器の構造図

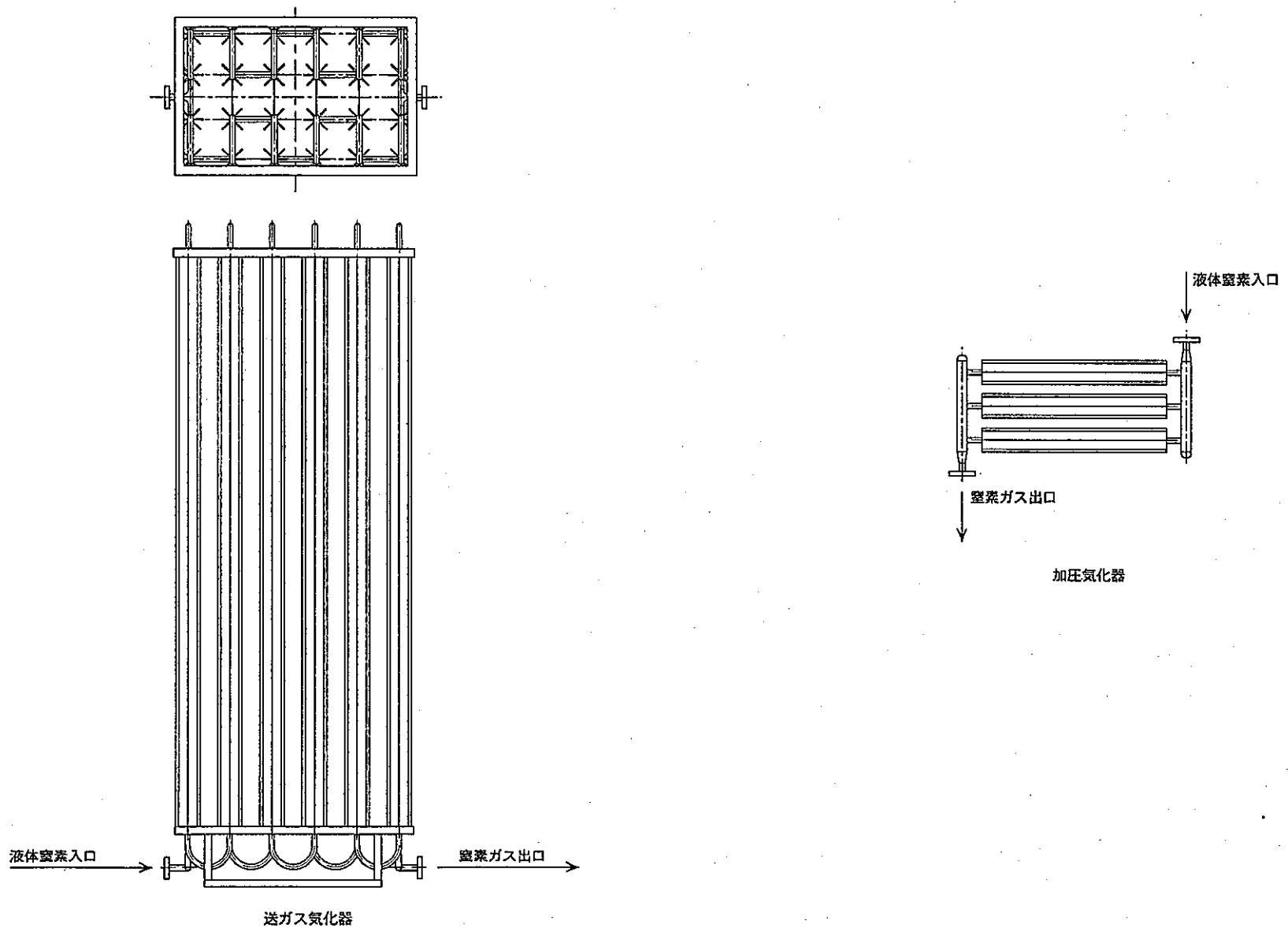


図 2.4 空温式窒素ガス気化器の構造図

3. 窒素ガス気化器更新の現地工事

窒素ガス気化器更新のための現地工事は、「常陽」100MW第35サイクル終了（平成12年6月1日）からMK-Ⅲ改造工事の干渉物撤去工事（先行工事）を開始する（平成12年7月10日）までに実施する必要がある、この約1ヶ月間で仮設窒素ガス気化器の設置、既設窒素ガス気化器の撤去、新窒素ガス気化器の据付及び性能試験を実施した。

なお、事前に工事可能な主冷却建家と中央制御室間の温度指示計用のケーブル敷設工事等は平成11年9月に実施している。

3.1 旧窒素ガス気化器の撤去

(1) 仮設窒素気化器の設置

窒素ガス気化器の更新工事期間中、プラントへ窒素ガス供給を行うため、仮設窒素ガス気化器を設置した。設置場所は本設の窒素ガス気化器と同じ主冷却建家 S-408 室内であり、図 3.1 に示すように壁際に並べた可搬式液化窒素容器（119kgf-N₂）8本に接続しその前に固定した。仮設窒素ガス気化器からプラントへの窒素ガスの供給は、S-408 室内の窒素ガス供給ヘッダの現場表示用圧力計を取外し、替わりに仮設の供給配管を接続して行った。

仮設窒素ガス気化器の仕様を以下に示す。

- ・型式 : 空温式
- ・最高使用圧力 : 9.5kg/cm²G
- ・最高使用温度 : 60℃ (最低使用温度 : -196℃)
- ・蒸発能力 : 200Nm³/h
- ・窒素ガス供給圧力 : 7.0~7.7kg/cm²G

なお、窒素ガス気化器の更新工事期間中、可搬式液化窒素容器には定期的に液体窒素の補充を行い、プラントへの窒素ガス供給を継続的に行った。

(2) 撤去作業の手順

以下に既設窒素ガス気化器の撤去作業の概略手順を示す。

- ① S-408 室内に資材等の搬入を行う。
- ② 仮設窒素ガス気化器の搬入、設置を行う。
- ③ 既設窒素ガス気化器廻りに作業用足場を設置する。
- ④ 既設窒素ガス気化器上部に撤去、据付用の架台（吊具治具を含む）を設置する。
- ⑤ 仮設窒素ガス気化器に液体窒素の通液を行い、窒素ガスを 7.0~7.7kg/cm²G で供給できることを確認する。（図 3.1 参照）

- ⑥ プラントへの窒素ガス供給を既設窒素ガス気化器から仮設窒素ガス気化器に切替える。
- ⑦ 既設窒素ガス気化器の停止操作（給水及びボイラ蒸気の停止、水槽の水抜き等）を行う。
- ⑧ 液体窒素貯蔵タンク内の液体窒素をローリー車へ移充填する。移充填しきれなかった残液については、窒素ガスカードルを用いて窒素ガスをブローし残液を枯らせる。なお、工事期間はタンク内を窒素雰囲気保持する。
- ⑨ 既設窒素ガス気化器の計装品、保温材等の付属品を撤去する。
- ⑩ 配管の切断を行い、不要となる配管を搬出する。
- ⑪ 既設窒素ガス気化器の外槽を切断し、搬出する。（図 3.2 参照）
- ⑫ 既設窒素ガス気化器の蒸発管、加圧管及び集合管を切断し、搬出する。（図 3.3 参照）

3.2 新窒素ガス気化器の据付

(1) 据付作業の手順

以下に新窒素ガス気化器の据付作業の概略手順を示す。

- ① 据付準備（基礎のチェック、墨出し及びベースライナーの選定等）を行う。
- ② 重機を配置し、新窒素ガス気化器の搬入準備を行う。
- ③ 新蒸気式窒素ガス気化器の搬入、据付を行う。（図 3.4～6 参照）
- ④ 空温式窒素送ガス気化器及び空温式窒素加圧気化器の搬入、据付を行う。（図 3.7～8 参照）
- ⑤ 新しい配管、バルブ、サポート及び付属品等を搬入する。
- ⑥ 既設配管と新設配管を溶接し、サポート及び計装品等の付属品を取付ける。
- ⑦ 主に不純物の除去を目的に、系統の新設部分をバルブやフランジ部で細分化し窒素ガスにてブローする。
- ⑧ 機器、配管検査（外観、寸法、据付及び配管現地溶接部の浸透探傷試験）を行う。
- ⑨ 検査範囲の当該配管位置に閉止板を取付け、窒素ガスにて耐圧検査を行う。検査後、閉止板を取外し配管の溶接を行う。
- ⑩ 中央制御室への温度指示計の設置、ケーブルの絶縁抵抗測定及び導通検査を行い、結線する。（図 3.9 参照）
- ⑪ 新蒸気式窒素ガス気化器に保温材及び保温材カバーを取付ける。
- ⑫ 配管及び保温材カバー等の塗装を行う。

- ⑬ 撤去、据付用の架台及び作業用足場を解体、搬出する。
- ⑭ 液体窒素貯蔵タンクの復旧（断熱層の真空度測定、窒素ガスによる純度出し、純度測定、液体窒素によるクールダウン及び液入れ）を行う。
- ⑮ 新窒素ガス気化器及び新設配管をライン別に純度出し及び純度測定した後、プラントへ接続される送ガスライン全体の最終的な純度を確認する。
- ⑯ 新蒸気式窒素ガス気化器の運転準備操作（外槽への水張り、給水及びボイラ蒸気の供給）を行う。
- ⑰ 外槽内の水温が約 60°C になったことを確認した後、液体窒素の通液を行い、窒素ガスを 7.0~7.7kg/cm²G で供給できることを確認する。
- ⑱ プラントへの窒素ガス供給を仮設窒素ガス気化器から新蒸気式窒素ガス気化器に切替え、新窒素ガス気化器の性能試験（試運転）を行う。
- ⑲ 性能試験後、新蒸気式窒素ガス気化器の通常運転に移る。
- ⑳ 仮設窒素ガス気化器の撤去、搬出を行う。

図 3.10 に窒素ガス気化器更新後の窒素ガス供給設備の機器配置、図 3.11 及び図 3.12 に更新後の窒素ガス供給設備の状況を示す。

(2) 系統の純度出し及び純度測定

新窒素ガス気化器の据付後、大気にさらされた窒素ガス供給系統を窒素ガス雰囲気にて復旧しプラントへ接続できるようにするため、窒素ガスによる系統の純度出し及び純度測定作業を行った。

まず、更新工事に伴い空にした液体窒素貯蔵タンクの純度出しを実施した。ローリー車よりタンク内を約 3.0kg/cm² になるまで加圧した後放出するブロー操作（回分式置換法）を 12 回繰り返した後、PI-1 圧力計を取外し純度測定を実施した。純度測定は TOA (Trace Oxygen Analyzer) 測定機器にて酸素濃度を測定し、測定結果は判定基準（10ppm 以下）を十分下回る 0.2ppm であった。次に新窒素ガス気化器及び新設配管をライン別に純度出し及び純度測定を実施した。純度出し及び純度測定の方法は、液体窒素貯蔵タンクの場合と同様である。下表に純度出しのライン、純度測定位置及びブロー回数、図 3.13 に純度出しのライン及び純度測定位置を示す。

	純度出しのライン	純度測定位置	ブロー回数
①	加圧ライン(V74-M3 ライン)	PI74-10	3
②	加圧ライン(V74-M13 ライン)		1
③	蒸気式ライン(V74-M12 ライン)	PI-2	1
④	空温式ライン(V74-M15 ライン)	PI-2	1
⑤	操作盤ライン(V74-M8 ライン)	PI-2	1

各ラインで純度が判定基準を下回ることを確認した後、プラントへ接続される蒸気式及び空温式ライン（送ガスライン全体）を併せて最終的な純度を測定した。測定結果をまとめて下表に示す。これより、全てのラインで判定基準（10ppm 以下）を十分下回ることを確認した。

ライン	測定値 (ppm)	測定レンジ (ppm)	セル流量 (%/h・N ₂)	判定基準 (ppm 以下)
液体窒素貯蔵タンク	0.20	2.0	10	10
加圧ライン	0.53	2.0	10	10
蒸気式ライン	0.22	2.0	10	10
空温式ライン	0.17	2.0	10	10
操作盤ライン	0.27	2.0	10	10
蒸気式+空温式ライン	0.25	2.0	10	10

使用機器：富士電機製 T.O.A 標準ガス：N₂+O₂ 1.1ppm

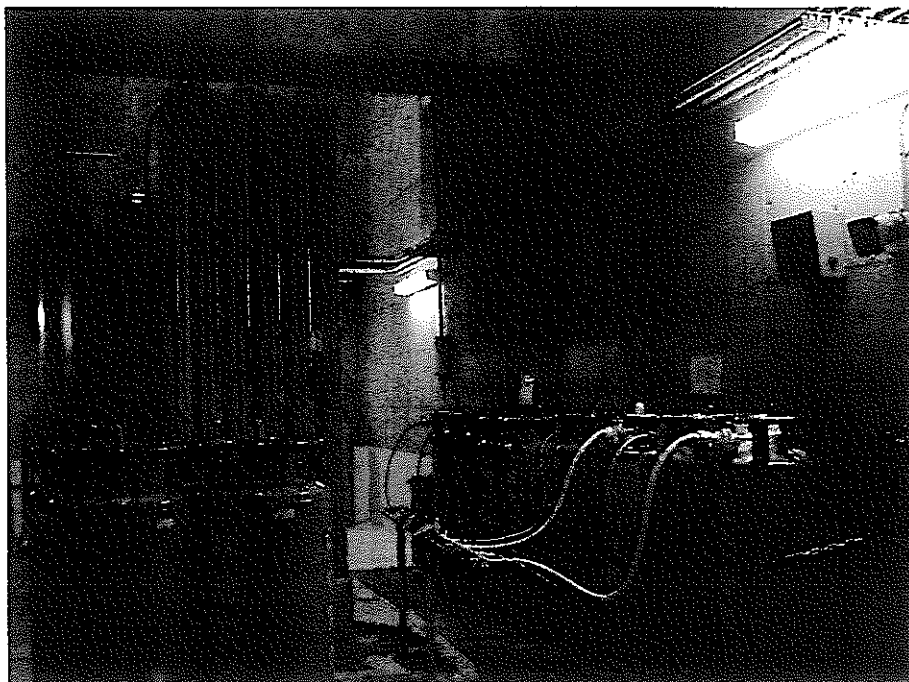


図3.1 仮設窒素ガス気化器による窒素ガスの供給状況
(壁際の8本の可搬式液化窒素容器から供給されている)

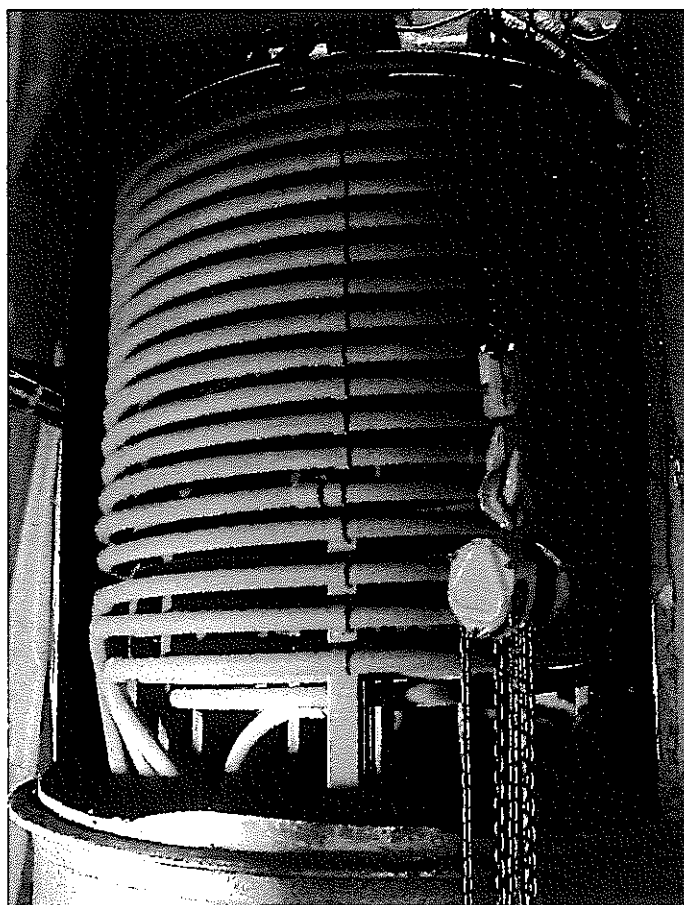


図3.2 既設の蒸気式窒素ガス気化器の外槽を取外したところ

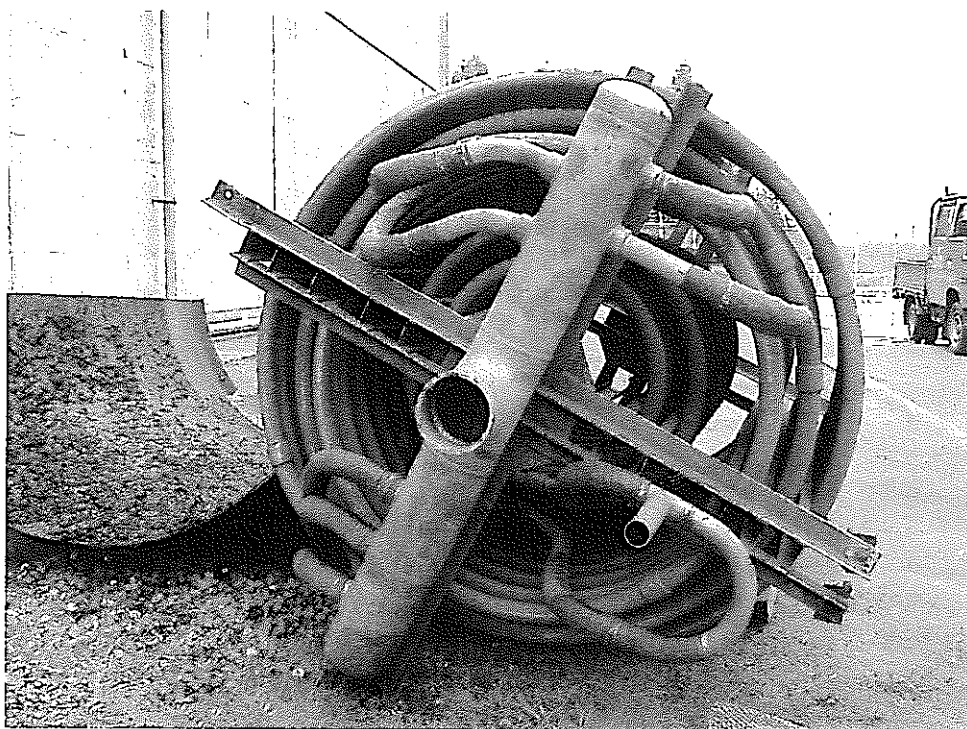


図3.3 撤去した既設蒸気式窒素ガス気化器
(左：外槽、中央：集合管、蒸発管及び加圧管/
外槽の腐食、配管への錆の付着が見られる)

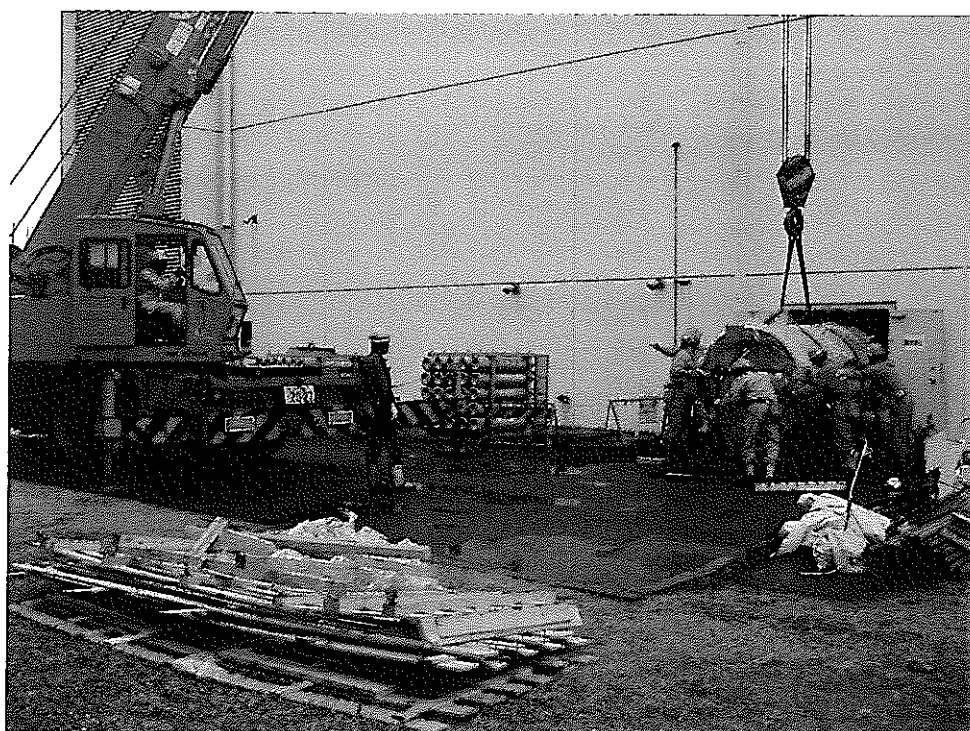


図3.4 新蒸気式窒素ガス気化器の搬入状況

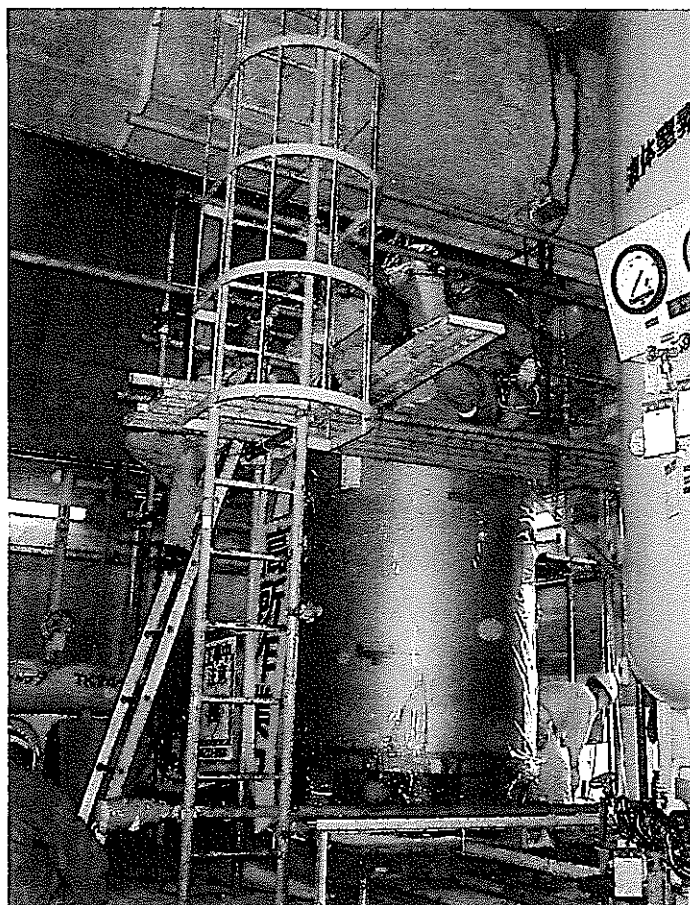


図3.5 新蒸気式窒素ガス気化器据付状況



図3.6 新蒸気式窒素ガス気化器の外槽内部(蒸発管及び加圧管)の状況



図3.7 空温式窒素送ガス気化器の据付状況

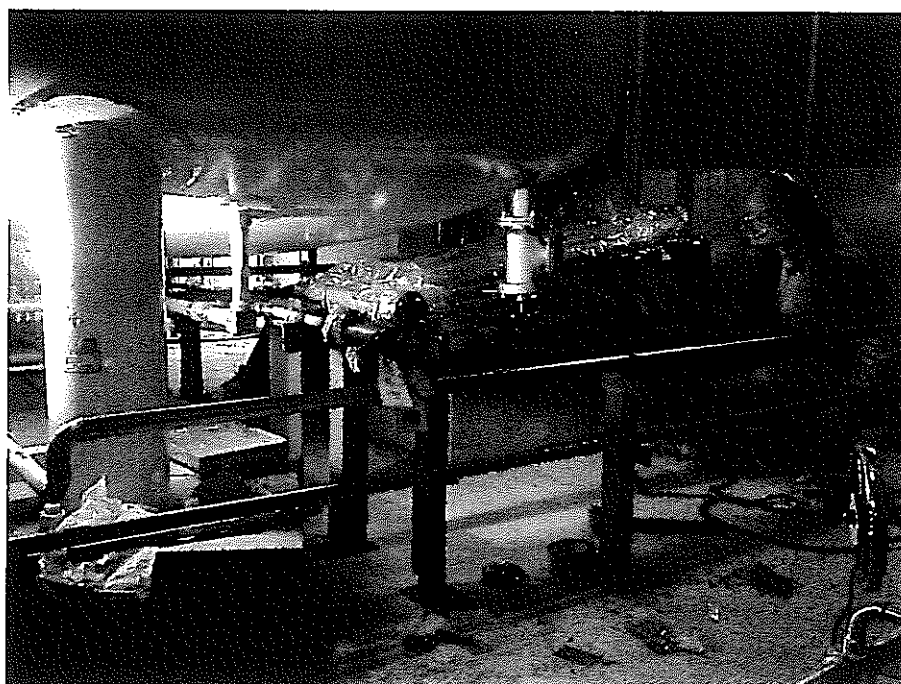


図3.8 空温式窒素加圧気化器の据付状況

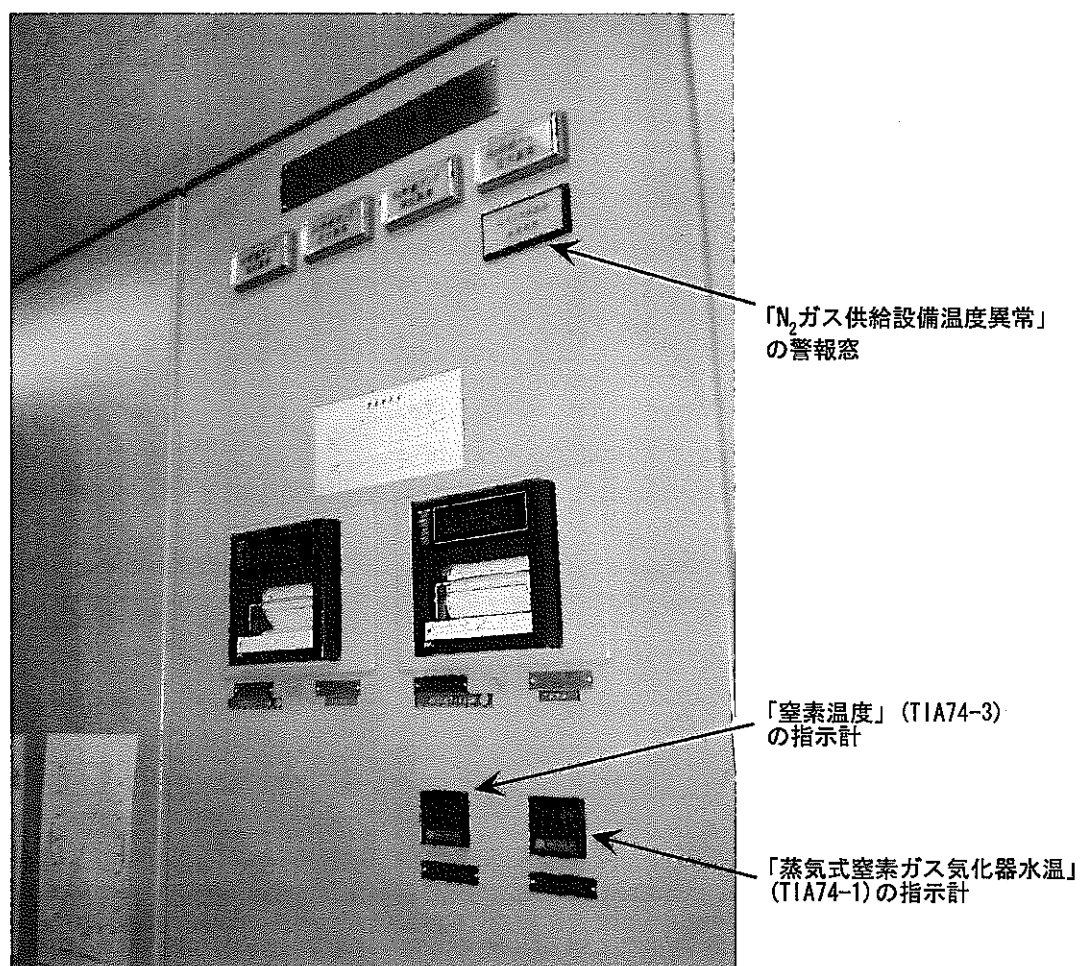


図3.9 中央制御室に設置した温度指示計と警報窓
(Ar N₂供給系盤)

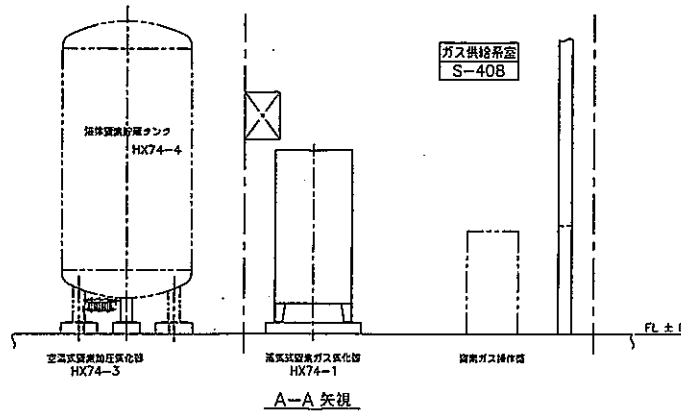
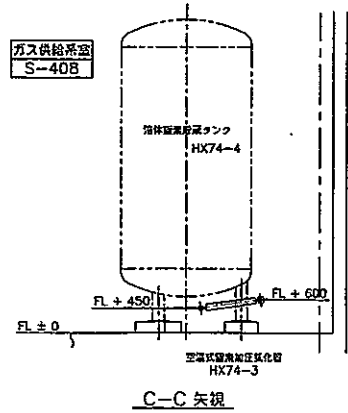
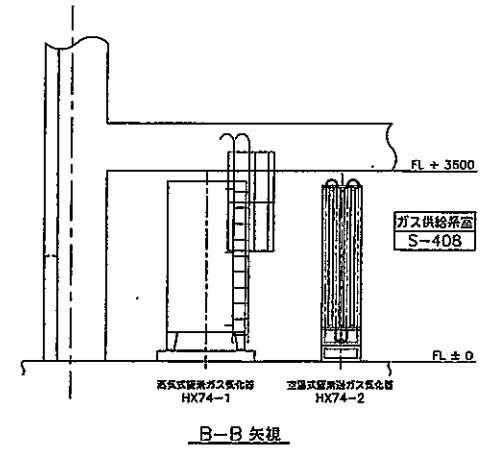
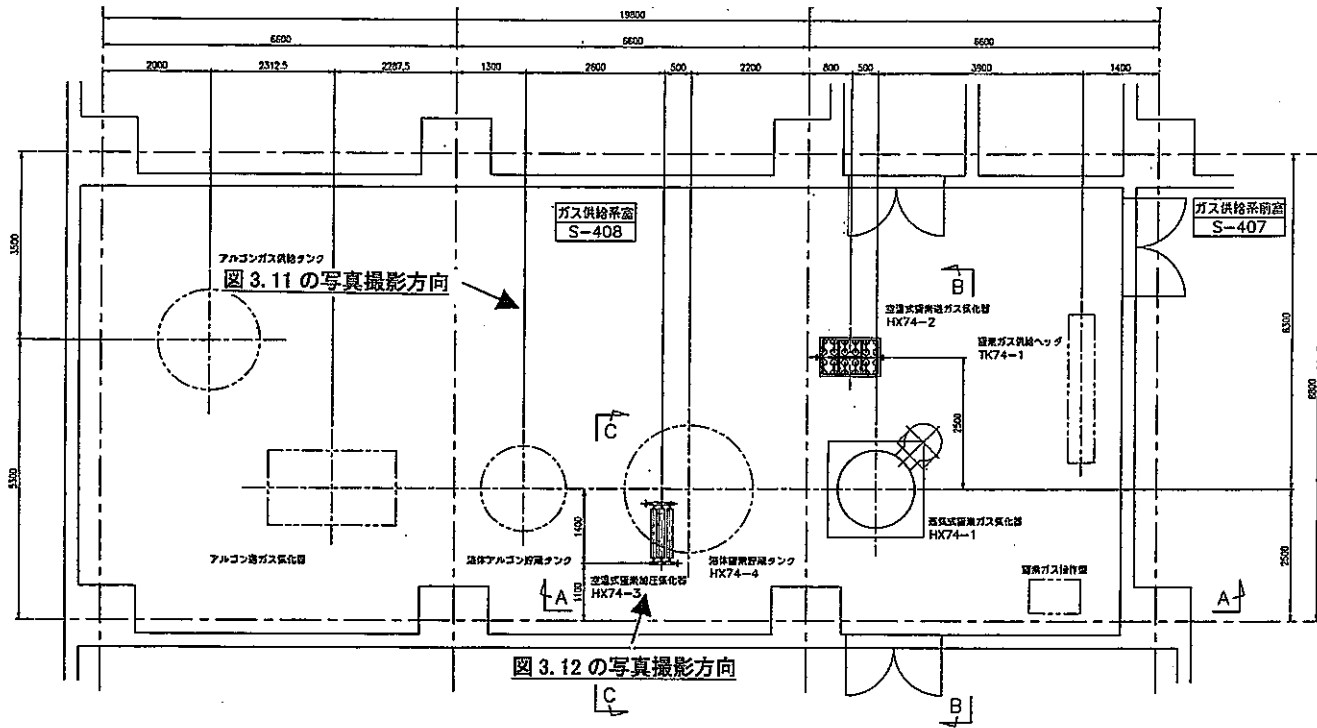


図 3.10 窒素ガス気化器更新後の窒素ガス供給設備機器配置図

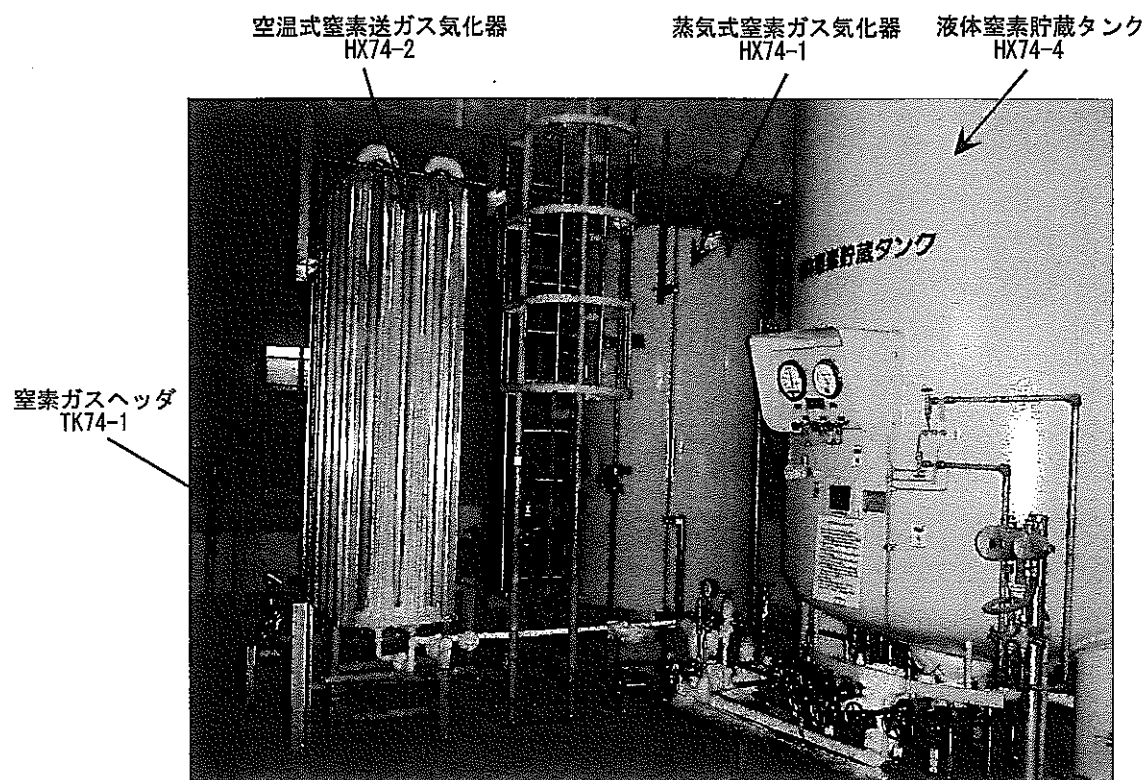


図3.11 窒素ガス気化器更新後の窒素ガス供給設備の状況(1)
(空温式窒素ガス気化器による運転中)

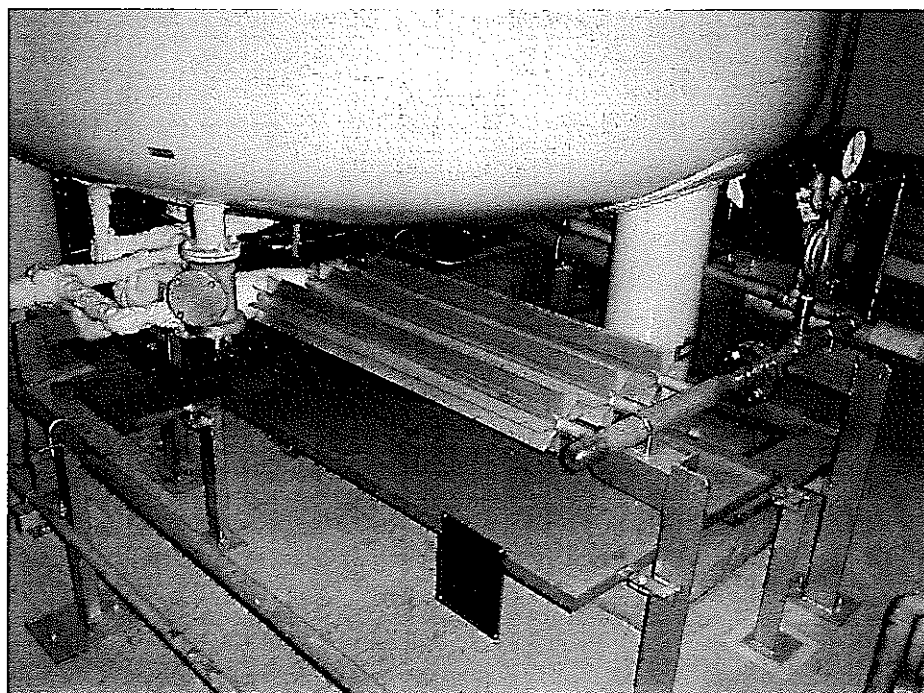


図3.12 窒素ガス気化器更新後の窒素ガス供給設備の状況(2)
(空温式加圧気化器 HX74-3)

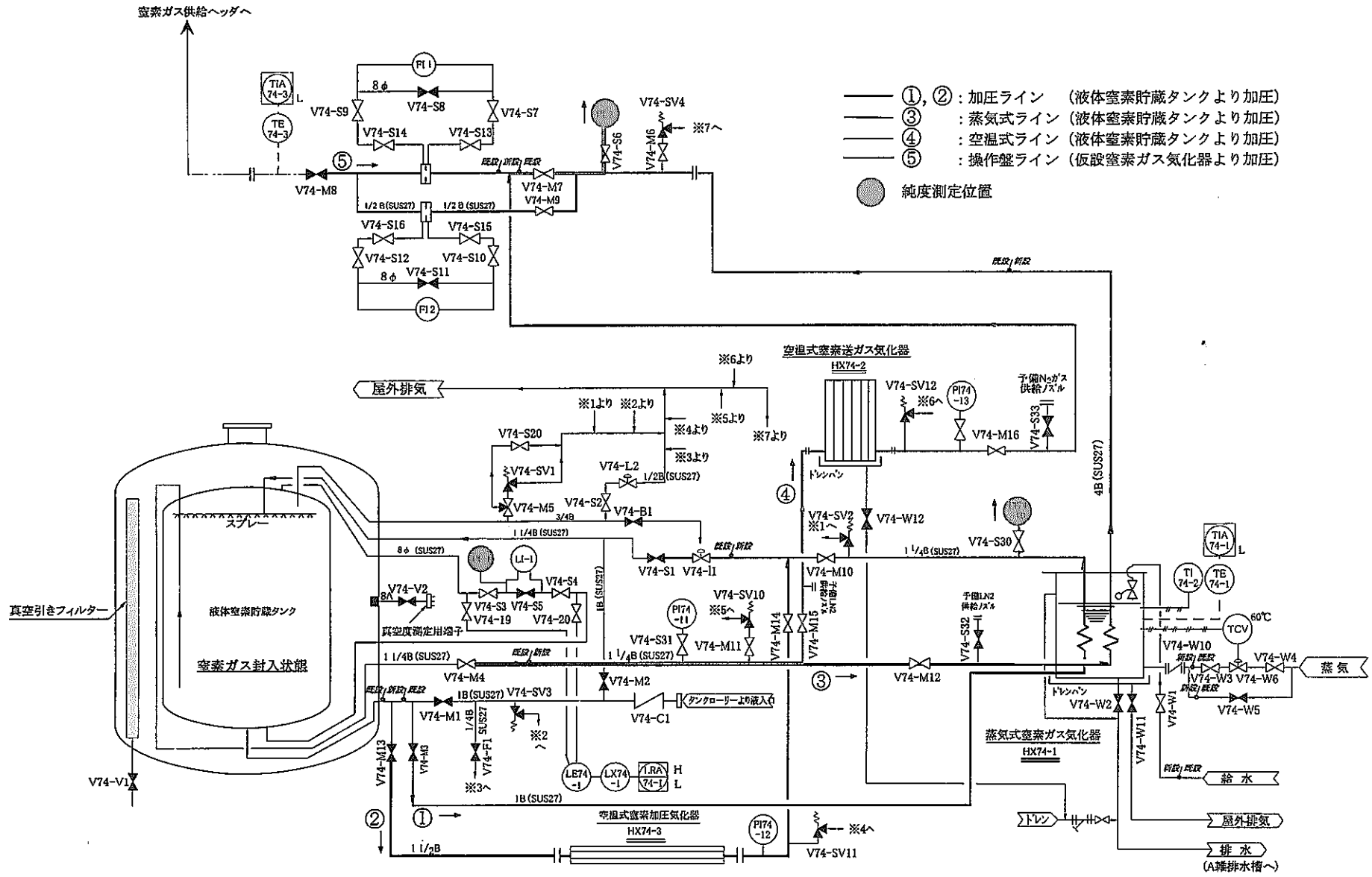


図3.13 純度出しのラインと純度測定位置

4. 新窒素ガス気化器の性能試験

4.1 試験内容

更新工事終了に伴い、仮設窒素ガス気化器から新窒素ガス気化器に切替え、新窒素ガス気化器の性能試験を実施した。性能試験では、以下の内容について確認した。

(1) 蒸気式窒素ガス気化器

- ・蒸発能力が仕様 (2000Nm³/h) を満足すること
- ・旧気化器と同程度の時間で格内床下エリアの窒素置換が可能であること

(2) 空温式窒素ガス気化器

- ・蒸発能力が仕様 (50Nm³/h) を満足すること
- ・格内床下エリアを窒素雰囲気 (酸素濃度 4%以下) で維持できること

4.2 試験方法

(1) 蒸気式窒素ガス気化器

蒸気式窒素ガス気化器を運転することにより、格内床下エリアを酸素濃度約 14%から窒素雰囲気へ置換を行った。また、窒素置換を行いながら格内床下エリア雰囲気の給・排気 (窒素ガス供給制御弁 V84-60、床下窒素ガス排気ダンパ DP84-104) を操作し、蒸発能力が仕様 (2000Nm³/h) 以上になるようにした。

図 4.1 に蒸気式窒素ガス気化器の性能試験時のフローを示す。

<床下置換操作 (性能試験) >

- ・ケース 1 V84-60 15%開、DP84-104 20%開 (通常より少ない給・排気)
- ・ケース 2 V84-60 19%開、DP84-104 30%開 (通常程度)
- ・ケース 3 V84-60 24%開、DP84-104 40%開 (通常より多い給・排気)

(2) 空温式窒素ガス気化器

床下窒素置換後、蒸気式から空温式窒素ガス気化器へ切替えを行い、空温式窒素ガス気化器の運転 (床下圧力設定: AUTO モード/9mmAq 設定) により床下を窒素雰囲気 (酸素濃度 4%以下) で維持した。次に床下圧力設定 AUTO モード (9mmAq 設定) に加え床下給気バイパス弁 V84-63 を開くことにより、蒸発能力が仕様 (50Nm³/h) 以上になるようにした。

図 4.2 に空温式窒素ガス気化器の性能試験時のフローを示す。

<性能試験>

- ・ケース 1 AUTO モード/9mmAq 設定 + V84-63 5/12 回転開
- ・ケース 2 AUTO モード/9mmAq 設定 + V84-63 7/12 回転開

4.3 試験結果

蒸気式窒素ガス気化器の性能試験結果を表 4.1、空温式窒素ガス気化器の性能試験結果を表 4.2 に示す。なお、窒素ガス流量は、流量計の指示値が大きく振れ読み取り誤差が大きいため、液体窒素貯蔵タンクの液位及び圧力変化から換算して求めた。

図 4.3 に性能試験中の窒素ガス流量と格内床下エリアの酸素濃度の推移を示す。

(1) 蒸気式窒素ガス気化器

- ・ケース 3 により、蒸発能力が仕様 (2000Nm³/h) を満足していることを確認した。なお、プラントの制約から約 2100 Nm³/h 以上の能力を出すことは不可能であった。
- ・格内床下エリアの酸素濃度約 14% を 4.3 時間で 2.8% まで下げることができ、従来と同等以上の性能を有していることを確認した。
(旧気化器による前回は約 7 時間で 21% → 2.4%)

(2) 空温式窒素ガス気化器

- ・蒸発能力が仕様 (50Nm³/h) を満足していることを確認した。短時間であれば蒸発能力 180Nm³/h 以上の運転も可能であることがわかった。
- ・格内床下エリアを窒素雰囲気 (酸素濃度 4% 以下) で維持することができ、この間の窒素ガス流量は約 30Nm³/h であった。

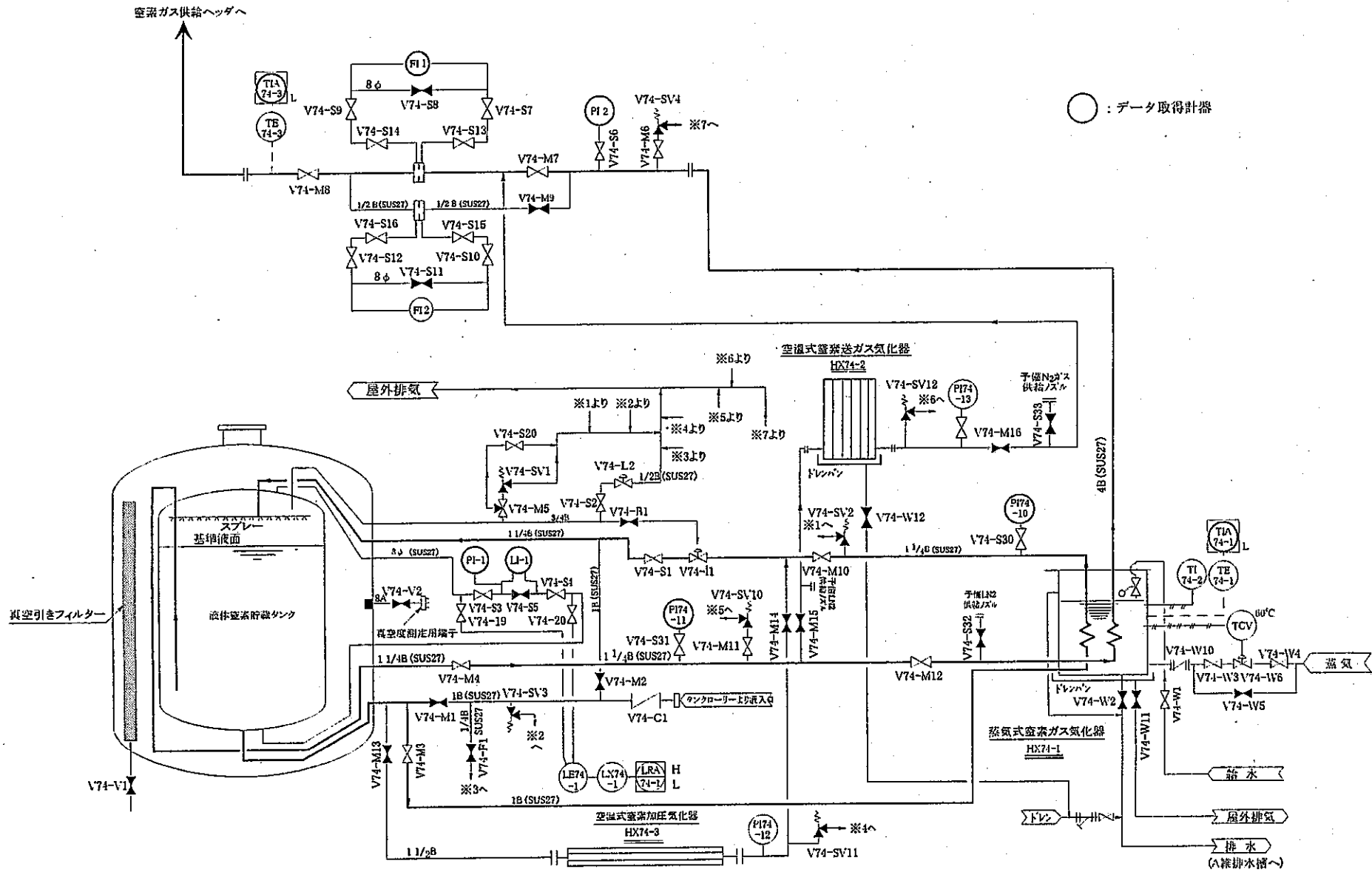


図4.1 蒸気式窒素ガス化器の性能試験時のフロー

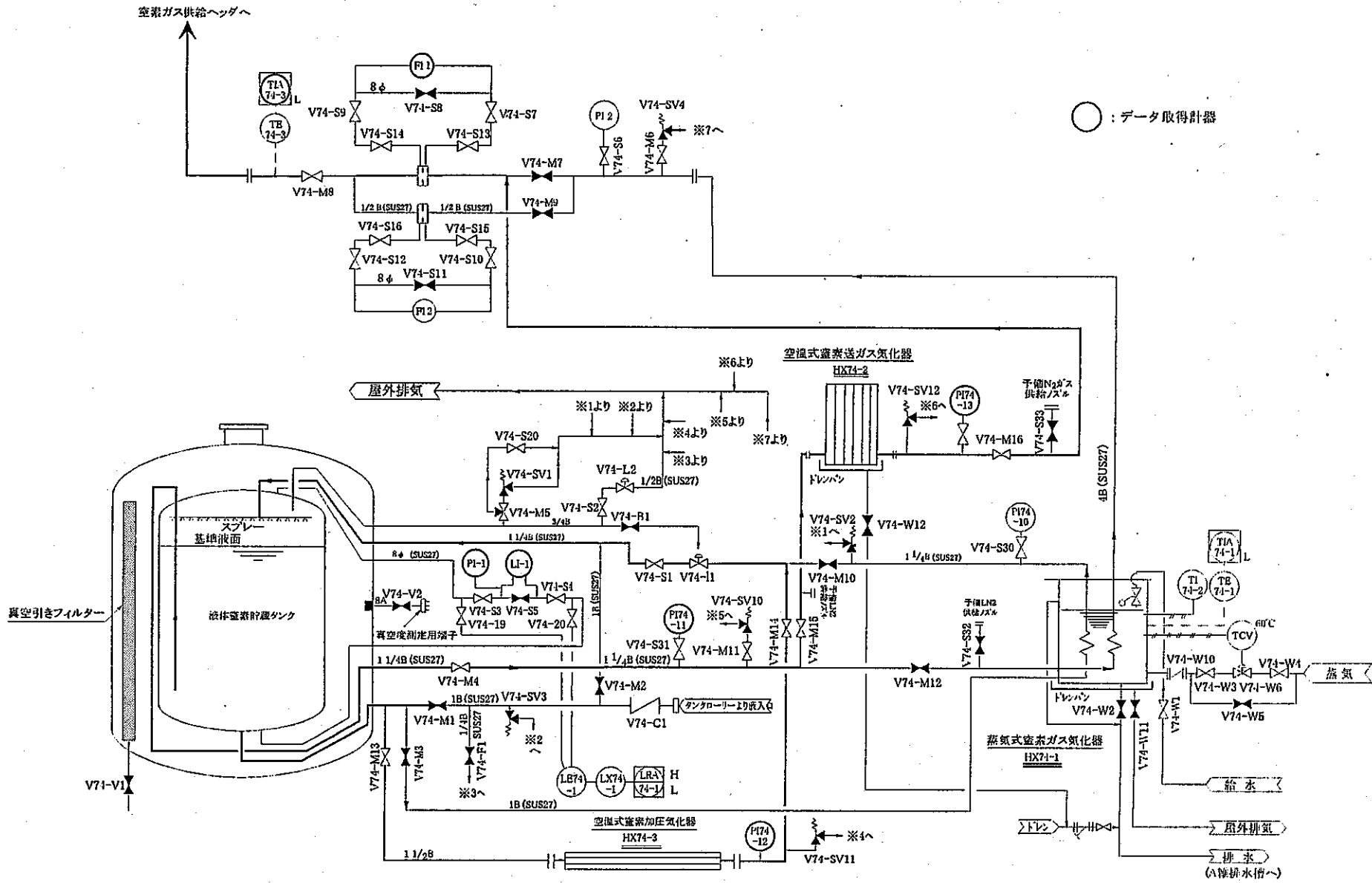


図4.2 空温式窒素ガス気化器の性能試験時のフロー

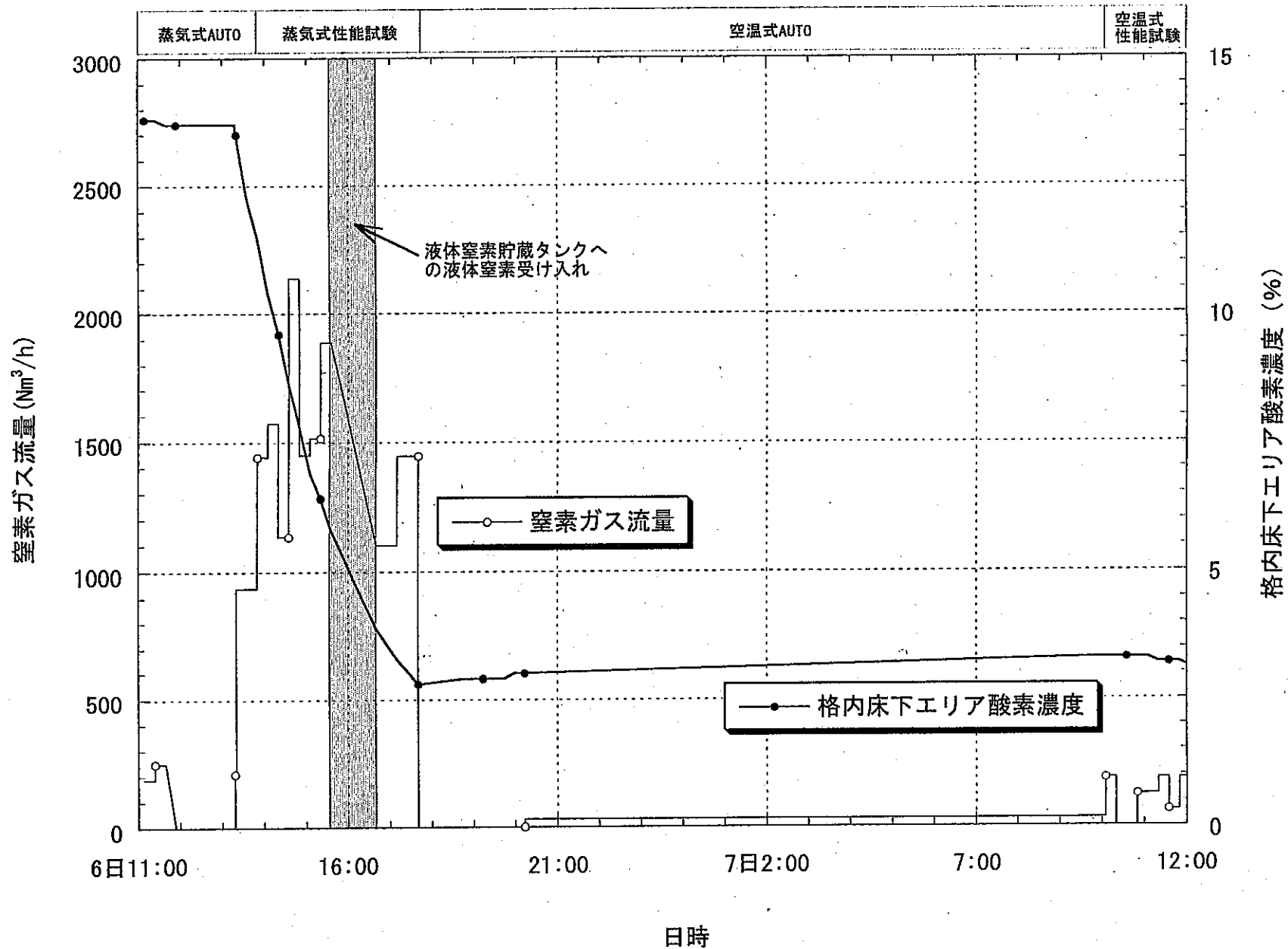


図4.3 性能試験中の窒素ガス流量と格内床下エリア酸素濃度の推移

表4.1 蒸気式窒素ガス気化器 性能試験データ

測定時間	経過時間 (min)	S-408										中央制御室			プラント操作
		液体窒素 液面計 (LI-1) (mm)	液体窒素 液位差 (mm)	窒素ガス流量 (換算値) (Nm ³ /h)	窒素ガス 流量計 (FI-1) (Nm ³ /h)	圧力計					Ar, N ₂ 供給系盤		422盤 格内床下エリア 酸素濃度 (%)		
						窒素ガス 圧力計 (PI-2) (kg/cm ²)	液体窒素タンク 圧力計 (PI-1) (kg/cm ²)	液体窒素入口 配管圧力計 (PI74-11) (MPa)	加圧管窒素ガス 出口圧力計 (PI74-10) (MPa)	供給ヘッダ 圧力計 (PI-1) (kg/cm ²)	蒸気式窒素ガス 気化器水温 (TIA74-1) (°C)	気化器出口 窒素ガス温度 (TIA74-3) (°C)			
11:04	初期データ	3400	—	—	—	6.7	5.6	0.66	0.66	6.8	61.8	24.9	13.8	蒸気式窒素ガス気化器による窒素ガス供給開始	
11:09	0	3400	—	—	—	6.8	6.7	0.68	0.65	7.0	61.8	25.1	13.8	床下圧力設定 (PdRICA84-201) AUTO 7mmAq	
11:24	15	3370	30	188	—	6.7	6.6	0.65	0.63	6.7	61.8	25.9	13.8		
11:39	30	3330	40	248	—	7.4	7.2	0.70	0.72	7.7	61.7	26.2	13.7		
11:54	45	3330	0	0	—	7.1	7.1	0.69	0.71	7.2	61.6	26.3	13.7		
12:09	60	3330	0	0	—	7.3	7.1	0.71	0.71	7.4	61.6	26.5	13.7		
13:00	111	3330	0	0	—	7.5	7.2	0.72	0.72	7.5	61.4	27.5	13.7		
13:18	初期データ	3330	—	—	50	7.3	7.2	0.72	0.72	7.2	61.3	27.5	13.7		格内床下エリア窒素置換開始
13:20	0	3280	—	—	300~2300	6.2	6.8	0.68	0.67	6.2	57.5	42.1	13.5	ケース1 V84-60 15%開 DP84-104 20%開	
13:35	15	3130	150	938	300~2250	6.3	6.7	0.68	0.67	6.2	55.1	46.3	12.3		
13:50	30	2980	150	938	400~2380	6.3	6.5	0.68	0.64	6.0	54.9	45.5	11.5	ケース2 V84-60 18%開 DP84-104 30%開	
14:05	45	2750	230	1442	600~2480	5.8	6.3	0.68	0.63	6.2	53.8	43.7	10.4		
14:20	60	2500	250	1572	800~2500以上	6.5	6.3	0.82	0.62	5.9	54.3	43.5	9.6	ケース3 V84-60 24%開 DP84-104 40%開	
14:35	75	2320	180	1134	800~2500以上	5.9	6.2	0.63	0.60	6.0	52.8	41.9	8.6		
14:50	90	1980	340	2141	800~2500以上	6.3	6.3	0.63	0.63	6.1	52.1	41.3	7.8		
15:05	105	1750	230	1450	800~2500以上	6.3	6.1	0.61	0.60	6.1	51.8	40.9	6.9	ケース3 V84-60 24%開 DP84-104 40%開	
15:20	120	1510	240	1516	800~2500以上	6.3	6.0	0.63	0.60	6.1	51.6	41.3	6.4		
15:35	135	1210	300	1889	900~2500	6.0	6.2	0.60	0.61	5.9	51.6	41.1	5.8		
														液体窒素貯蔵タンクへの液体窒素受入れ	
16:40	0	3170	—	—	600~2450	6.6	6.7	0.84	0.67	6.6	54.5	44.1	3.9	ケース3 V84-60 24%開 DP84-104 40%開	
17:10	30	2820	350	1099	800~2500以上	6.5	6.4	0.62	0.64	6.5	54.4	44.3	3.3		
17:40	60	2360	460	1446	800~2500以上	6.5	6.3	0.63	0.62	6.3	54.1	44.4	2.8		
														液体窒素貯蔵タンクへの液体窒素受入れ	
18:45	0	3480	—	—	—	7.7	7.5	0.74	0.74	7.8	58.9	32.1	2.9	床下圧力設定 (PdRICA84-201) AUTO 9mmAq	
19:00	15	3480	0	0	—	7.6	7.4	0.74	0.74	7.6	58.9	30.5	2.9		
														蒸気式から空温式窒素ガス気化器へ切替え	

判定基準: 蒸気式窒素ガス気化器(HX74-1) 蒸発能力 2000Nm³/h以上

表4.2 空温式窒素ガス気化器 性能試験データ

測定時間	経過時間 (min)	S-408					中央制御室					プラント操作		
		液体窒素液面計 (L-F1) (mm)	液体窒素液位差 (mm)	窒素ガス流量 (換算値) (Nm ³ /h)	窒素ガス流量計 (F-F1) (Nm ³ /h)	圧力計					Ar N ₂ 供給系統		422盤 格内床下エリア 酸素濃度 (%)	
						窒素ガス圧力計 (P-F13) (MPa)	液体窒素タンク 圧力計 (P-F1) (kg/cm ²)	液体窒素入口 配管圧力計 (P-F14-11) (MPa)	加圧管窒素ガス 出口圧力計 (P-F14-12) (MPa)	供給ヘッダ 圧力計 (P-F1) (kg/cm ²)	蒸気式窒素ガス 気化器水温 (T-A74-1) (°C)			気化器出口 窒素ガス温度 (T-A74-3) (°C)
18:06	初期データ	3490	—	—	—	0.17	7.3	0.74	0.33	7.6	—	29.7	2.9	蒸気式から空温式窒素ガス気化器へ切替え
19:13	0	3490	—	—	—	0.73	7.3	0.72	0.75	7.5	—	28.9	2.9	床下圧力設定 (PdRICA84-201) AUTO 9mmAq
19:28	15	3490	0	0	—	0.73	7.3	0.73	0.75	7.5	—	27.1	2.9	
19:43	30	3490	0	0	—	0.72	7.3	0.72	0.74	7.3	—	26.0	2.9	
19:58	45	3490	0	0	—	0.72	7.2	0.72	0.74	7.2	—	25.3	3.0	
20:13	60	3490	0	0	—	0.70	7.2	0.70	0.73	7.2	—	24.9	3.0	
9:26	793	3240	250	30	—	0.70	6.9	0.68	0.73	7.2	—	24.8	3.3	
10:05	0	3230	—	—	—	0.68	7.0	0.68	0.72	7.0	—	24.1	3.3	ケース1
10:20	15	3200	30	187	—	0.68	7.0	0.68	0.72	6.9	—	24.0	3.3	床下圧力設定 (PdRICA84-201) AUTO 9mmAq + V84-63:5/12回転開 (床下給気バイパス弁)
10:35	30	3200	0	0	—	0.68	7.0	0.68	0.72	6.9	—	23.9	3.3	
10:50	45	3200	0	0	—	0.68	7.0	0.68	0.72	6.9	—	23.8	3.3	
11:05	60	3180	20	124	—	0.68	7.0	0.68	0.72	6.8	—	23.6	3.3	
11:20	75	3160	20	125	—	0.67	6.9	0.70	0.72	6.4	—	22.6	3.2	
11:35	90	3130	30	187	100	0.67	6.9	0.70	0.72	6.3	—	21.1	3.2	ケース2
11:50	105	3120	10	62	100	0.67	6.9	0.70	0.72	6.5	—	19.1	3.2	床下圧力設定 (PdRICA84-201) AUTO 9mmAq + V84-63:7/12回転開
12:05	120	3090	30	187	100	0.67	6.9	0.70	0.72	6.5	—	18.4	3.1	
														空温式から蒸気式窒素ガス気化器へ切替え

判定基準: 空温式窒素ガス気化器(HX74-2) 蒸発能力 50Nm³/h以上

5. 検討及び評価

5.1 新窒素ガス気化器の蒸発能力

(1) 蒸気式窒素ガス気化器

蒸気式窒素ガス気化器による格内床下エリアの窒素置換能力は、性能試験において格内床下エリアの酸素濃度約 14% を 4.3 時間で 2.8% まで下げたことから、旧窒素ガス気化器によって実施された通常の窒素置換（約 7 時間で酸素濃度を約 21% → 4% 以下）と比較することにより旧窒素ガス気化器と同等以上であることが確認された。さらに新窒素ガス気化器供用開始後に実施された通常の格内床下エリアの窒素置換において約 6 時間で酸素濃度を約 21% → 4% 以下に下げたことにより、その性能は裏付けられた。

(2) 空温式窒素ガス気化器

空温式窒素ガス気化器の蒸発能力は、2.3 機器設計で示したように蒸気式窒素ガス気化器のメンテナンス時の運転を想定し、原子炉停止中（格内床下エリア：空気雰囲気、予熱窒素ガス系：運転）の窒素ガス消費量の平均値約 17Nm³/h に余裕を見て 50Nm³/h とした。しかし、実際の蒸発能力は添付資料「空温式窒素送ガス気化器 蒸発能力計算書」に示すように室内の温度を -10℃（最低気温）で評価するなど十分余裕を持った数値であり、メーカーも設計計算及び現場の雰囲気等からもっと高い蒸発能力（50Nm³/h 以上）を有しているとの見解を示した。

これらのことから、原子炉運転中及び停止中の格内床下エリアが窒素雰囲気（酸素濃度 4% 以下）である窒素ガス消費量 40～60Nm³/h の条件においても空温式窒素ガス気化器の運転が可能と考え、性能試験において空温式窒素ガス気化器にて格内床下エリアの窒素雰囲気の維持を試みた。この結果、蒸気式窒素ガス気化器による格内床下エリアの窒素置換直後で窒素ガスの供給量が安定しなかったものの、AUTO 制御で約 15 時間格内床下エリアを窒素雰囲気で維持することができた。なお、性能試験の工程から約 15 時間の AUTO 制御運転に止まったが、この間の窒素ガス流量は約 30Nm³/h であり、スターフィンへの霜の付き具合からもさらに長い時間の運転が可能と考えられる。空温式窒素ガス気化器にて格内床下エリアを窒素雰囲気に維持できることを実証したことにより、蒸気式窒素ガス気化器のメンテナンス時（原子炉停止中、格内床下エリアが空気雰囲気）のみならず、原子炉運転中における蒸気式窒素ガス気化器の不具合発生時等にも比較的短期間であれば切替運転ができる見通しを得た。

また、短時間であればさらに高い蒸発能力を出すことが可能であり、事実

性能試験において蒸発能力 180Nm³/h 以上の運転を実証した。

5.2 蒸気式窒素ガス気化器の水温と窒素ガス温度の関係

窒素ガス気化器出口の窒素ガス配管に温度計 (TE74-3) を新設したことにより、格内床下エリア窒素置換時の蒸気式窒素ガス気化器の水温 (TE74-1) と窒素ガス温度の関係等も明らかとなった。図 5.1 に示すように窒素ガス温度は格内床下エリアの窒素置換開始後すぐに上昇 (28℃→46℃)、気化器の水温は下降 (61℃→55℃) し、その後は窒素置換中約 10℃の温度差を保って推移した。これらのデータが得られたこと及び今後も温度監視をしていくことにより、格内床下エリア窒素置換時の蒸気式窒素ガス気化器の過負荷運転防止やその警報設定に活かしていく考えである。

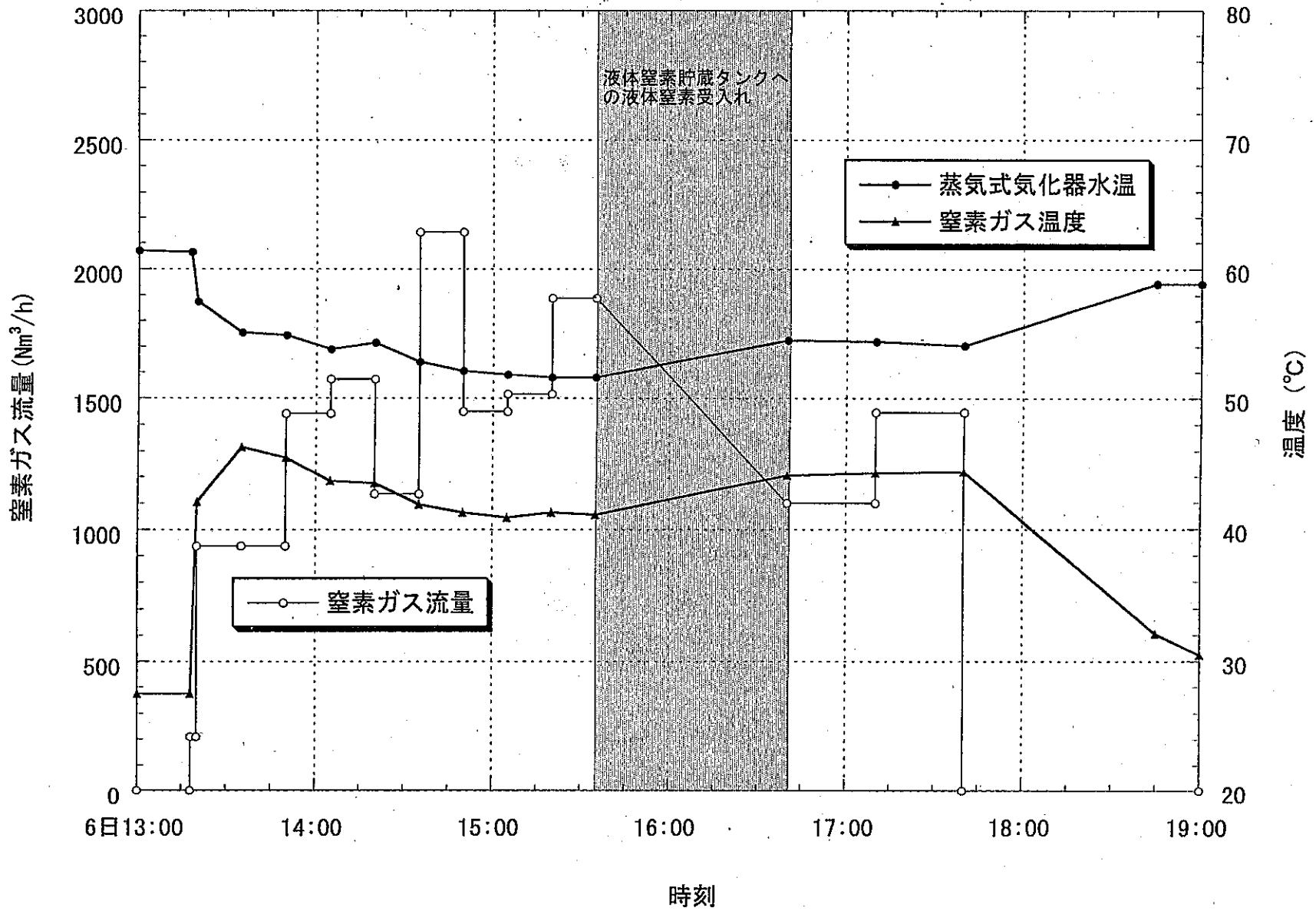


図5.1 格内床下エリア窒素置換時の蒸気式窒素ガス気化器水温と窒素ガス温度の推移

6. 結 言

「常陽」窒素ガス供給系の窒素ガス気化器の更新を平成12年6月～7月に実施した。更新においては、既設の蒸気式窒素ガス気化器を外槽の腐食対策を施した同等の構造・性能を有するものに交換するとともに、蒸気式窒素ガス気化器のメンテナンス（停止）時にプラントへ窒素ガスを供給するための空温式窒素ガス気化器を新たに設置した。さらに従来からの懸案事項であった蒸気式窒素ガス気化器外槽内の水温及び供給窒素ガス温度の監視を中央制御室からできるようにした。

これらの改良点の機能確認、運転参考データ採取を目的に実施した性能試験により得られた主な成果を以下に示す。

- (1) 蒸気式窒素ガス気化器が更新前の気化器と同等以上の性能を有していることを確認した。
- (2) 空温式窒素ガス気化器の運転により、1次冷却系機器・配管を内包する格内床下エリアを窒素雰囲気（酸素濃度4%以下）に維持できることを実証した。これにより、蒸気式窒素ガス気化器のメンテナンス時（原子炉停止中、格内床下エリアが空気雰囲気）のみならず、原子炉運転中における蒸気式窒素ガス気化器の不具合発生時等にも切替運転ができる見通しを得た。
- (3) 通常運転及び負荷運転（格内床下エリアの窒素置換）時の蒸気式窒素ガス気化器外槽内の水温と供給窒素ガス温度の関係が明らかとなった。

以上の結果から、更新した窒素ガス気化器が所期の性能を有していることを確認した。

7. 謝 辞

本更新作業の実施にあたり、更新作業計画の立案及びその実施において多大なる御協力を頂いた東興機械工業㈱の山崎裕治氏、原子炉第一課の大川敏克氏及び常陽産業㈱の石井則夫氏に深く感謝いたします。

また、新窒素ガス気化器の製作を担当した神戸製鋼㈱、大江工業㈱及び日本化学機械製造㈱に感謝の意を表します。

8. 参考文献

- (1) 伝熱工学資料：改訂第4版、社団法人 日本機械学会（1986）
- (2) 河野紀彦編、「アルミ合金製 空温式蒸発器」：石油化学工業発行（1969）

添付資料 空温式窒素ガス気化器 蒸発能力計算書

- ・空温式窒素送ガス気化器
- ・空温式窒素加圧気化器

空温式窒素送ガス気化器

蒸発能力計算書

1. 設計条件

		記号	単位	管内	管外	備考
流 体		—	—	N ₂	空気	
流 量		W0	kg/h	62.55	—	50Nm ³ /h
圧 力		—	kg/cm ²	7.7	大気圧	
温 度	入口	ti1, to1	℃	-196	-10	
	出口	ti2, to2	℃	-25	-10	
連続運転時間		—	h	336	—	2週間
エンタルピー	液	hL	kcal/kg	-29.03	—	at 0 k /-196℃
	ガス	hG	kcal/kg	60.85	—	at 7.7 k /-25℃

2. 必要伝熱面積

交換熱量	$Q = W0 \times (hG - hL)$	kcal/h	5622.0
対数平均温度差	$\Delta T = \frac{(to1 - ti1) - (to2 - ti2)}{\ln \{(to1 - ti1) / (to2 - ti2)\}}$	℃	67.9
総括伝熱係数	U	$\frac{kcal}{m^2 \cdot h \cdot ^\circ C}$	5.0 (係数はメーカー実績による)
必要伝熱面積	$A = \frac{Q}{U \times \Delta T}$	m ²	16.6

3. 有効伝熱面積

スターフィンの単位伝熱面積 <small>スターフィンの根元径×高さ×厚さ×枚数</small> (φ28×H46×t2×8枚)	a	m ² /m	0.815
スターフィンの長さ	L	m	2.72
スターフィンの本数	N	本	24 *1
伝熱面積	A ₁	m ²	53.2
連続運転時間による係数	η	—	0.4 *2
有効伝熱面積 = A ₁ × η	A ₁ '	m ²	21.3

*1 : スターフィンの組み合わせは6本×4列

*2 : 参考文献(2)を参考に設定

4. 計算結果

$$A = 16.6 < A_1' = 21.3$$

空温式窒素加圧気化器

蒸発能力計算書

1. 設計条件

		記号	単位	管内	管外	備考
流 体		-	-	N ₂	空気	
送ガス流量		W0	kg/h	62.55	-	50Nm ³ /h
圧 力		-	kg/cm ²	7.7	大気圧	
温 度	入口	ti1, to1	°C	-196	-10	
	出口	ti2, to2	°C	-173	-10	
連続運転時間		-	h	336	-	2週間
密 度	液	ρL	kg/m ³	680.1	-	at 7.7 k /-173°C
	ガス	ρG	kg/m ³	35.2	-	at 7.7 k /-173°C
エンタルピー	液	hL	kcal/kg	-29.03	-	at 0 k /-196°C
	ガス	hG	kcal/kg	21.04	-	at 7.7 k /-173°C

2. 必要伝熱面積

加圧流量	$W1 = \frac{W0}{(\rho L / \rho G) - 1}$	kg/h	3.414
交換熱量	$Q = W0 \times (hG - hL)$	kcal/h	170.9
対数平均温度差	$\Delta T = \frac{(to1 - ti1) - (to2 - ti2)}{\ln \{(to1 - ti1) / (to2 - ti2)\}}$	°C	174.2
総括伝熱係数	U	$\frac{kcal}{m^2 \cdot h \cdot ^\circ C}$	5.0 (係数はメーカー実績による)
必要伝熱面積	$A = \frac{Q}{U \times \Delta T}$	m ²	0.2

3. 有効伝熱面積

スターフィンの単位伝熱面積 スターフィンの根元径×高さ×厚さ×枚数 (φ28×H46×t2×8枚)	a	m ² /m	0.815
スターフィンの長さ	L	m	0.93
スターフィンの本数	N	本	3
伝熱面積	A ₁	m ²	2.27
連続運転時間による係数	η	-	0.4 *2
有効伝熱面積 = A ₁ × η	A ₁ '	m ²	0.9

4. 計算結果

A = 0.2 < A₁' = 0.9

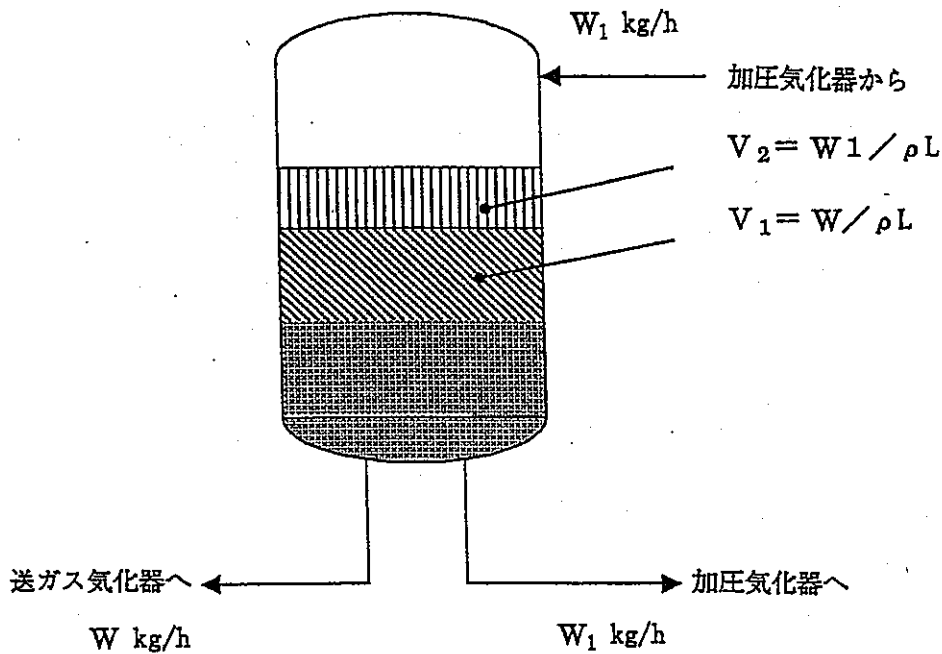
5. 加圧に必要なガス量の算出

【算出式】

$$W_1 = \frac{W}{\rho L / \rho G - 1}$$

CAVの公称能力:	50 Nm ³ /h
W: 貯槽よりの抜出し量	= 62.55 kg/h
ρL : 液密度 (at 7.7 kg/cm ² G / -173°C)	= 680.1 kg/L
ρG : ガス密度 (at 7.7 kg/cm ² G / -173°C)	= 35.2 kg/L
W_1 : 加圧に必要なガス量	= 3.414 kg/h
	= 2.729 Nm ³ /h

∴ 3 Nm³/h



加圧に必要な容積: V (L/h)

$$V = V_1 + V_2 \quad V = W_1 / \rho G$$

$$W_1 / \rho G = W / \rho L + W_1 / \rho L$$

$$\therefore W_1 = \frac{W}{\rho L / \rho G - 1}$$