



JAEA-Technology

2007-022



JP0750203

**HTTR 水素製造システム
炉外技術開発試験装置の構成と機器仕様
(受託研究)**

HTTR Hydrogen Production System
Structure and Main Specifications of Mock-up Test Facility
(Contract Research)

加藤 道雄 林 光二 会田 秀樹 大橋 弘史 佐藤 博之
稲葉 良知 岩月 仁 高田 昌二 稲垣 嘉之

Michio KATO, Koji HAYASHI, Hideki AITA, Hirofumi OHASHI
Hiroyuki SATO, Yoshitomo INABA, Jin IWATSUKI
Shoji TAKADA and Yoshiyuki INAGAKI

大洗研究開発センター技術開発部

Technology Development Department
Oarai Research and Development Center

March 2007

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Technology

本レポートは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 (<http://www.jaea.go.jp/index.shtml>)
より発信されています。このほか財団法人原子力弘済会資料センター*では実費による複写頒布を行っ
ております。

〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2番地4
日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920

*〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2番地4 日本原子力研究開発機構内

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920

HTTR 水素製造システム 炉外技術開発試験装置の構成と機器仕様 (受託研究)

日本原子力研究開発機構 大洗研究開発センター 技術開発部

加藤 道雄・林 光二⁺¹・会田 秀樹・大橋 弘史⁺²・佐藤 博之⁺²・稲葉 良知⁺³
岩月 仁⁺²・高田 昌二⁺²・稲垣 嘉之

(2007年1月26日受理)

炉外技術開発試験装置(以後、炉外試験装置)は、水素製造システムの過渡挙動及び蒸気発生器によるヘリウム温度変動の緩和性能を調べるため、並びに動特性解析コードの検証データの取得を目的として製作されたものである。炉外試験装置は120Nm³/hの水素製造能力を有しており、水素製造法についてはメタンの水蒸気改質法($\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} = 3\text{H}_2 + \text{CO}$)を用いた。原子炉の代わりに熱源として電気ヒータが設置されており、HTTRと同様に化学反応器の入口で880℃(4MPa)まで昇温することができる。炉外試験装置は2002年の2月に完成し、2002年3月から2004年12月にかけて7回の運転が行われた。

本報告書は、炉外試験装置の構成と主仕様について述べたものである。

本報告書は、電源開発促進対策特別会計法に基づく文部科学省からの受託事業として、日本原子力研究開発機構(旧日本原子力研究所)が実施した平成17年度「核熱利用システム技術開発」の成果です。

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

⁺¹ 大洗研究開発センター材料試験炉部

⁺² 原子力基礎工学研究部門 核熱応用工学ユニット

⁺³ 大洗研究開発センター高温工学試験研究炉部

HTTR Hydrogen Production System
Structure and Main Specifications of Mock-up Test Facility
(Contract Research)

Michio KATO, Koji HAYASHI⁺¹, Hideki AITA, Hirofumi OHASHI⁺², Hiroyuki SATO⁺²,
Yoshitomo INABA⁺³, Jin IWATSUKI⁺², Shoji TAKADA⁺² and Yoshiyuki INAGAKI

Technology Development Department
Oarai Research and Development Center
Japan Atomic Energy Agency
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received, January 26, 2007)

The mock-up test facility was fabricated to investigate performance of the steam generator for mitigation of the temperature fluctuation of helium gas and transient behavior of the hydrogen production system for HTTR and to obtain experimental data for verification of a dynamic analysis code. The test facility has an approximate hydrogen production capacity of 120Nm³/h and the steam reforming process of methane; $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} = 3\text{H}_2 + \text{CO}$, was used for hydrogen production of the test facility. An electric heater was used as a heat source instead of the reactor in order to heat helium gas up to 880 °C (4MPa) at the chemical reactor inlet which is the same temperature as the HTTR hydrogen production system. Fabrication of the test facility was completed in February in 2002, and seven cycle operations were carried out from March in 2002 to December in 2004.

This report describes the structure and main specifications of the test facility.

Keywords: Nuclear Heat Utilization, HTTR, Hydrogen Production System, Steam Reforming, Mock-up Test Facility

Present study was entrusted from Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology.

⁺¹ Department of JMTR, Oarai Research and Development Center

⁺² Nuclear Applied Heat Technology Division, Nuclear Science and Engineering Directorate

⁺³ Department of HTTR, Oarai Research and Development Center

目 次

1. 緒 言	1
2. 炉外試験装置の概要	2
2. 1 炉外試験装置の系統構成	2
2. 2 熱流動条件	3
2. 3 制御系と安全系	4
3. 水蒸気改質器	13
3. 1 概 要	13
3. 2 反応管設計の特認	14
3. 3 防爆構造の認可	17
3. 4 機器仕様	18
4. ヘリウムガス循環設備	21
4. 1 概 要	21
4. 2 系統構成	21
4. 3 機器仕様	22
4. 4 警報及びインターロック	28
5. 水蒸気供給設備	38
5. 1 概 要	38
5. 2 系統構成	38
5. 3 機器仕様	40
5. 4 警報及びインターロック	46
6. 原料ガス供給設備	56
6. 1 概 要	56
6. 2 系統構成	56
6. 3 機器仕様	59
6. 4 警報及びインターロック	62
7. 後処理設備	72
7. 1 概 要	72
7. 2 系統構成	72
7. 3 機器仕様	79
7. 4 警報及びインターロック	83
8. 不活性ガス供給設備	96
8. 1 概 要	96
8. 2 系統構成	96
8. 3 機器仕様	101
8. 4 警報及びインターロック	103
9. 冷却水供給設備	110
9. 1 概 要	110

9. 2	系統構成	110
9. 3	機器仕様	112
9. 4	警報及びインターロック	114
10.	電気設備	119
10. 1	概要	119
10. 2	系統構成	119
10. 3	機器仕様	124
10. 4	警報及びインターロック	130
11.	プラント試験計測計装設備	157
11. 1	概要	157
11. 2	系統構成	158
11. 3	機器仕様	168
11. 4	警報及びインターロック	170
12.	その他の設備	206
12. 1	防消火設備	206
12. 2	可燃性ガス検知設備	207
13.	結 言	208
	謝 辞	208
	参考文献	209

Contents

1. Introduction	1
2. Outline of Mock-up Model Test Facility	2
2.1 System Diagram	2
2.2 Thermal and Hydraulic Condition	3
2.3 Control and Safety Systems	4
3. Steam Reformer	13
3.1 Outline	13
3.2 Authorization of Design Method of Reaction Tube	14
3.3 Authorization of Explosion Proof Function	17
3.4 Component Specifications	18
4. Helium Gas Circulation System	21
4.1 Outline	21
4.2 System Diagram	21
4.3 Component Specifications	22
4.4 Alarm and Interlock	28
5. Steam Supply System	38
5.1 Outline	38
5.2 System Diagram	38
5.3 Component Specifications	40
5.4 Alarm and Interlock	46
6. Raw Gas Supply System	56
6.1 Outline	56
6.2 System Diagram	56
6.3 Component Specifications	59
6.4 Alarm and Interlock	62
7. Product Gas Combustion System	72
7.1 Outline	72
7.2 System Diagram	72
7.3 Component Specifications	79
7.4 Alarm and Interlock	83
8. Inert Gas Supply System	96
8.1 Outline	96
8.2 System Diagram	96
8.3 Component Specifications	101
8.4 Alarm and Interlock	103
9. Cooling Water Supply System	110
9.1 Outline	110

9.2 System Diagram 110

9.3 Component Specifications 112

9.4 Alarm and Interlock 114

10. Power Supply System 119

 10.1 Outline 119

 10.2 System Diagram 119

 10.3 Component Specifications 124

 10.4 Alarm and Interlock 130

11. Plant Control and Instrument System 157

 11.1 Outline 157

 11.2 System Diagram 158

 11.3 Component Specifications 168

 11.4 Alarm and Interlock 170

12. Other Systems 206

 12.1 Fire Protection and Extinction System 206

 12.2 Leak detection System of Combustible Gas 207

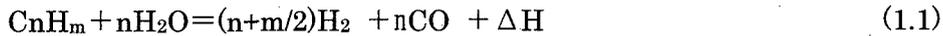
13. Concluding Remarks 208

Acknowledgements 208

References 209

1. 緒 言

水素は、近年の燃料電池自動車への期待の高まりに見られるように、新しいエネルギー源として注目を集め、近い将来において需要の急増が予想される。ところが、水素は自然界ではそのほとんどが水や化石燃料等の化合物の形態で存在するため、水素単体で取り出すためにはそれらに何らかのエネルギーを与える必要がある。工業界における水素製造は、主として次式に示す炭化水素と水の化学反応（水蒸気改質反応と水性ガスシフト反応）により行われている。



ここで、(1.1)式は水蒸気改質反応で、標準反応熱 ΔH はメタンの場合 206kJ/mol であり、(1.2)式は水性ガスシフト反応で、標準反応熱 $\Delta H'$ は -41kJ/mol である。反応全体としては吸熱反応となり、現状の工業界では反応に必要な熱を化石燃料の燃焼熱で供給している。したがって、今後水素需要が増加すると、発電による廃熱や化石燃料の燃焼ガスである CO_2 の増加に繋がることから、如何に環境への負荷をかけずに大量の水素を製造することが重要な課題となっている。

原子力研究開発機構（以後、原子力機構）は、原子力による将来の水素利用社会への貢献を目指し、高温ガス炉を用いた水素製造システムの研究開発を進めている。高温ガス炉は、冷却材にヘリウムガス、主要構造材並びに減速材に黒鉛を用いることにより、原子炉出口における冷却材温度は 950℃ に及ぶ。この熱を利用して水分解を行えば、 CO_2 の排出がない、環境に優しい水素製造を行うことができる。高温ガス炉と水素製造設備を接続する上での安全課題及び技術課題を抽出するため、HTTR と水素製造設備（メタンの水蒸気改質法）の接続（HTTR 水素製造システム）について検討を行った⁽¹⁾。その結果、原子炉と水素製造システムを安定に運転するための制御技術の開発、プラント動特性解析コードの検証データの取得等を技術課題として抽出して炉外試験を計画し⁽²⁾、文部科学省からの受託研究「核熱利用システム技術開発」において、図 1.1 に示す炉外技術開発試験装置（以後、炉外試験装置）を製作した。なお、炉外試験装置では、水素の製造法として(1.2)式に示すメタンの水蒸気改質法を用いた。

炉外試験装置は、平成 9 年から設計・製作を開始して平成 14 年 2 月に完成し、平成 14 年 3 月から平成 16 年 12 月にかけて 7 回の運転を無事達成した⁽⁴⁾⁽⁸⁾。本報告書は、炉外試験装置の機器構成、主要機器の仕様について述べるものである。

2. 炉外試験装置の概要

2. 1 炉外試験装置の系統構成

炉外試験装置は、原子炉への外乱を防止する運転制御技術の確立、並びに運転技術の習得を目的とした試験運転が実施できるように、HTTR 水素製造システムのうち中間熱交換器から下流の機器構成を模擬し、ヘリウムガスの熱源には原子炉の代わりに電気ヒータ（ヘリウムガス加熱器）を用いた装置である。表 2.1 に HTTR 水素製造システムと炉外試験装置の主要諸元、表 2.2 に炉外試験装置の定格条件を示す。また、図 2.1 に炉外試験装置の系統構成、図 2.2 に機器配置図を示す。図 2.3 に炉外試験装置の全景、図 2.4 に主要機器（水蒸気改質器、ヘリウムガス加熱器、蒸気発生器）、図 2.5 にその他の設備の写真を示す。

炉外試験装置は、原料ガスと水蒸気を反応させて水素を製造するための水蒸気改質器、熱源となるヘリウムガスを水蒸気改質器に供給するヘリウムガス供給設備、水蒸気改質器に原料を供給するための原料ガス供給設備及び水蒸気供給設備、起動及び停止時に水蒸気改質器に窒素ガスを供給するための不活性ガス供給設備、水蒸気改質器で製造された水素等の生成ガスを燃焼処分するための後処理設備の他、冷却水設備、計測制御設備、電気設備等で構成している。

ヘリウムガス循環設備は、ヘリウムガス循環機（HENDEL から移設）、原子炉に相当するヘリウムガスの加熱源となる電気ヒータを内蔵したヘリウムガス加熱器、ヘリウムガス中の不純物を除去するヘリウムガス精製設備（HENDEL から移設）、ヘリウムガス供給設備の圧力調整を行うヘリウムガス供給・回収・圧力調整設備、ヘリウムガス冷却器等で構成した。

原料ガス供給設備は、液化天然ガス（LNG）の状態で作成する LNG タンク、LNG ポンプ、LNG を気化するための LNG 蒸発器、原料ガス加熱器、原料ガス過熱器等から成る。

水蒸気供給設備は、純水を貯蔵するための給水受入タンク、水予熱器、蒸気発生器、蒸気過熱器等から成る。

後処理設備は、水蒸気改質器で生成した生成ガスを燃焼処分するためのフレアスタック、生成ガス冷却器等で構成した。反応に使用されなかった水蒸気については、生成ガス冷却器で水に凝縮し、反応の原料として再利用する。

不活性ガス供給設備は、HTTR 水素製造システムの起動・停止時において、水蒸気改質器入口のヘリウムガス温度が 600℃以下のときに、原料ガスの代わりに窒素ガスを供給するための設備で、液体窒素（LN₂）の状態で作成する LN₂ タンク、LN₂ ポンプ、LN₂ 蒸発器から成る。600℃以下の温度域で原料ガスを供給すると触媒に炭素が析出する可能性があるため、この温度域では窒素ガスを流す。起動時にはヘリウムガス温度の上昇とともに窒素ガスを原料ガスに、停止時にはヘリウムガス温度の降下とともに原料ガスを窒素ガスに徐々に置換できる構成にした。また、触媒の使用開始時に触媒を還元するための水素供給設備を設けた。使用前の触媒には、担体であるアルミナに触媒金属である Ni が NiO の形で担持されている。しかし、NiO では触媒としての活性を示さないため、水素を流して Ni へ還元する。

炉外試験装置は、このほかに各機器へ電気を供給するための電気設備、炉外試験装置の制御及び試験データの取得を行う計測制御設備、各機器へ冷却水を供給する冷却水供給設備、各設備の調節弁（空気操作弁）に圧縮空気を供給するための計装用圧縮空気供給設備並びに防消火設備か

ら構成される。

2. 2 熱流動条件

炉外試験装置の熱流動条件については、温度、圧力については HTTR 水素製造システムと同じ条件下で試験を行えるものとした。ヘリウムガスやプロセスガス（原料ガス、水蒸気、改質反応後の生成ガス、窒素ガスの総称）の流量については、水蒸気改質器の反応管内外の熱伝達特性、圧力損失特性、改質反応特性を明らかにする上で必要な最小限とし、HTTR 水蒸気改質器の設計案による反応管本数 30 本のうち 1 本を模擬できること、すなわち、HTTR 水素製造システムの 1/30 とした。炉外試験装置の定格運転条件を以下に示す。ここで定格運転条件とは、HTTR 水素製造システムと同じ温度、圧力であり、各ガスの流量については上述したように HTTR 水素製造システムの 1/30 である。また、ヘリウムガス、原料ガス、水蒸気の供給能力は、定格運転状態から原料ガス及び水蒸気の供給量等を変動させて水蒸気改質器で外乱を発生させ、そのときの蒸気発生器出口でのヘリウムガス温度の変動、反応管の差圧制御特性等を調べる動特性試験を行うために、定格運転状態から 20~30% の裕度を考慮して定めた。

(1) ヘリウムガスの定格運転条件

・水蒸気改質器入口圧力	4.0 MPa
・水蒸気改質器入口温度	880℃
・水蒸気改質器出口温度	650℃
・ガス循環機入口温度	150℃
・循環流量範囲	0~120 g/s、定格運転時 91 g/s

(2) 原料ガス（天然ガス）の定格運転条件

・水蒸気改質器入口圧力	4.3 MPa
・水蒸気改質器入口温度	450℃
・水蒸気改質器出口温度	600℃
・供給流量範囲	0~16 g/s、定格運転時 12 g/s

(3) 水蒸気の定格運転条件

・水蒸気改質器入口圧力	4.3 MPa
・水蒸気改質器入口温度	450℃
・供給流量範囲	0~58 g/s、定格運転時 47 g/s

(4) 反応条件及び水素製造量

・水蒸気／原料ガス供給比 (S/C 比)	2.0~4.0、定格運転時 3.5
・水素製造量	110 Nm ³ /h

2. 3 制御系と安全系

(1) 制御系の構成

HTTR 水素製造システムの起動・停止は、原子炉の起動・停止に連動して行う。原子炉の起動・停止時には、ヘリウムガスの循環流量、温度及び圧力が変化するため、このときにおいても原子炉への外乱防止、並びに反応管の健全性を確保するように原料ガス及び水蒸気の供給流量、圧力調整の方法を最適化する必要がある、その運転方法を炉外技術開発試験で確立する。このため、原子炉の起動・停止に伴うヘリウムガスの温度変化（昇温・降温速度：13～26℃/h）、圧力変化（昇圧・降圧速度：0.027～0.1MPa/h）を模擬できる制御系、並びに原料ガス・水蒸気の供給方法を最適化するために必要な供給量、圧力の制御系を設ける。また、水蒸気改質器の特性試験のために、水蒸気改質器入口のヘリウムガス及び原料ガスの温度制御系、S/C 比制御系等を設ける。さらに、原子炉への外乱を防止する上で重要な蒸気発生器の圧力制御系及び水位制御系、反応管の健全性を確保する上で重要な反応管の差圧制御系を設ける。なお、詳細は3章で述べる。

(2) 安全系の構成

炉外試験装置は、異常が発生したときに緊急停止を行い安全性の確保と財産保護を行う設計としている。安全確保の必要条件を①、②に、また財産保護の必要条件を③に示す。

- ①水素製造並びに加熱源（ヘリウムガス加熱器）を停止するとともに、原料ガス供給設備の一部、後処理設備（水蒸気改質器を含む）の可燃性ガスを窒素ガスで置換し、可燃性ガスの貯蔵を原料ガス供給設備の LNG タンク、原料ガスサージタンク等に留める。
- ②水蒸気改質器反応管及び蒸気過熱器伝熱管の健全性を確保するため、その設計差圧の条件を担保する。
- ③触媒への炭素析出を防止してその健全性を確保し、再使用を可能にする。

緊急停止の方法として、次の3つを設けた。

- ①緊急停止1：インターロックにより自動で動作する方法で、プロセスガスとヘリウムガスの圧力を高圧で保持して、かつ、水蒸気改質器反応管及び蒸気過熱器伝熱管のプロセスガスとヘリウムガスの差圧を設計差圧内に保持する。
- ②緊急停止2：インターロックにより自動で動作する方法で、プロセスガスとヘリウムガスの両方を大気開放することにより、水蒸気改質器反応管及び蒸気過熱器伝熱管の差圧を設計差圧内に保持する
- ③緊急停止3：運転員の判断により手動で行う方法で、動作内容は緊急停止2と同じである。

緊急停止に係わる系統図を図 2.6 に示す。異常により原料ガスや水蒸気の供給が停止した場合には、フェイルセーフ機能により原料ガス供給設備の止弁 B、水蒸気供給設備の止弁 C が閉、窒素ガス供給設備の止弁 A が開となって、流量調節弁 A で所定の流量に制御して窒素ガスを供給し、水蒸気改質器の下流に設置した差圧制御弁 A で反応管の差圧制御を行う。蒸

気過熱器の伝熱管については、定格運転状態では閉となっている止弁 D を開とすることにより、伝熱管内に窒素ガスを充填して差圧制御弁 A で、伝熱管の差圧制御を同時にできる構成とした。また、緊急停止に係わるシステムの故障の確率を少なくするために、緊急停止に必要な量の窒素ガスを常に高圧のサージタンクに保持し、その圧力で窒素ガスを流すようにして、窒素ガス供給設備のポンプ等が故障しても緊急停止の機能を確保できるようにした。さらに信頼性の向上を図る場合は、窒素ガス供給設備の流量調整弁 A、差圧制御弁 A、並びにその制御系を二重化することで対応した。

商用電源や計装用空気が喪失した場合であっても、炉外試験装置を緊急停止させるためには、窒素ガスの供給が必要である。このため、窒素ガス供給流調弁、窒素ガス供給遮断弁は、フェイル・オープン仕様を選択した。これにより、商用電源或いは計装用空気源遮断時には各々の弁は自動的に開放となり、窒素ガスサージタンク内の圧力により窒素ガスが供給できる構成とした。

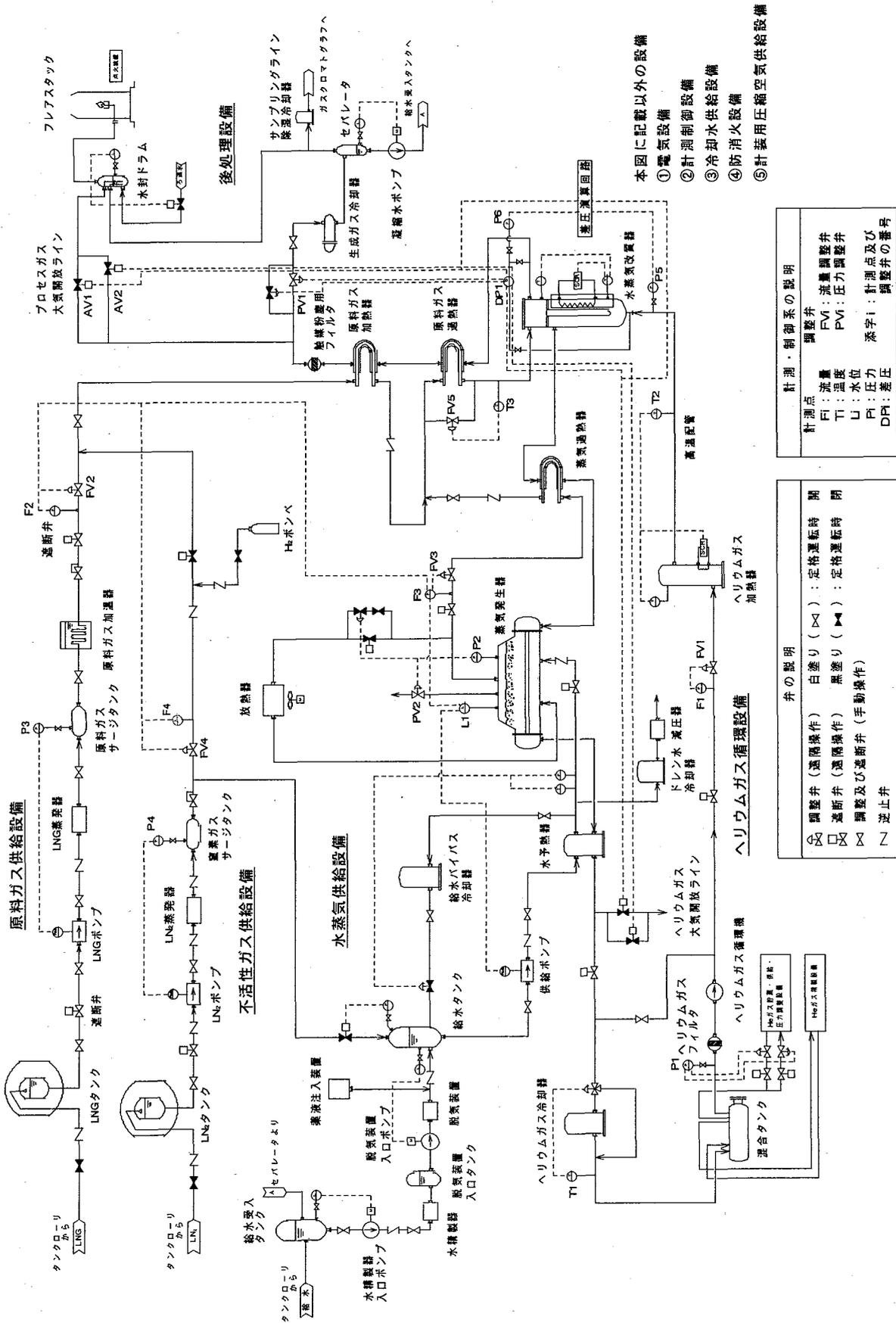
また、大気開放については、ヘリウムガス循環設備及び後処理設備に設けた大気開放弁より、ヘリウムガス及びプロセスガスを排出する。

表 2.1 HTTR 水素製造システムと試験装置の主要諸元

項目	HTTR 水素製造システム	試験装置
SR 入口ヘリウムガス圧力/ プロセスガス圧力	4.5 / 4.1 MPa	4.5 / 4.1 MPa
SR 入口ヘリウムガス温度/ プロセスガス温度	450 / 880 °C	450 / 880 °C
SR 出口ヘリウムガス温度/ プロセスガス温度	580 / 585 °C	600 / 650 °C
原料ガス流量	1400 kg/h	43.2 kg/h
ヘリウムガス流量	9070 kg/h	327.6 kg/h
蒸気炭素比(S/C)	3.5	3.5
水素製造率	4240 Nm ³ /h	110 Nm ³ /h
加熱源	核熱(10 MW)	電気加熱器(0.42 MW)

表 2.2 試験装置の定格条件

系統・機器と項目	定格条件
水蒸気改質器ヘリウムガス側	
・圧力	4.1 MPa
・入口温度	880°C
・出口温度	650°C
水蒸気改質器プロセスガス側	
・圧力	4.4 MPa
・入口温度	450°C
・出口温度	600°C
・水素製造率	110Nm ³ /h
・蒸気炭素比	3.5
・ヘリウムガスプロセスガス間差圧制御	0.04 MPa
ヘリウムガス循環設備	
・循環機入口温度	150°C
・循環流量	91 g/s (0~120 g/s)
原料ガス供給設備	
・供給圧力	4.95 MPa
・供給流量	12 g/s (0~16 g/s)
蒸気供給設備	
・供給圧力	4.6 MPa
・供給流量	47 g/s (0~58 g/s)
窒素供給設備	
・供給圧力	4.95 MPa
・起動時の供給流量	15 g/s (0~30 g/s)
・待機時の供給流量	30 g/s (0~30 g/s)



本図に記載以外の設備

- ① 電気設備
- ② 計測制御設備
- ③ 冷却水供給設備
- ④ 防消火設備
- ⑤ 計装用圧縮空気供給設備

計測・制御系の説明	
計測点	調整弁
F1: 流量	FV1: 流量調整弁
T1: 温度	PV1: 圧力調整弁
L1: 水位	添字 i: 計測点及び調整弁の番号
PI: 圧力	
DP1: 差圧	

弁の説明	
調整弁 (遠隔操作)	白塗り (◇): 定待運転時 閉
遮断弁 (遠隔操作)	黒塗り (◻): 定待運転時 閉
調整及び遮断弁 (手動操作)	
逆止弁	

図 2.1 炉外技術開発試験装置の系統構成

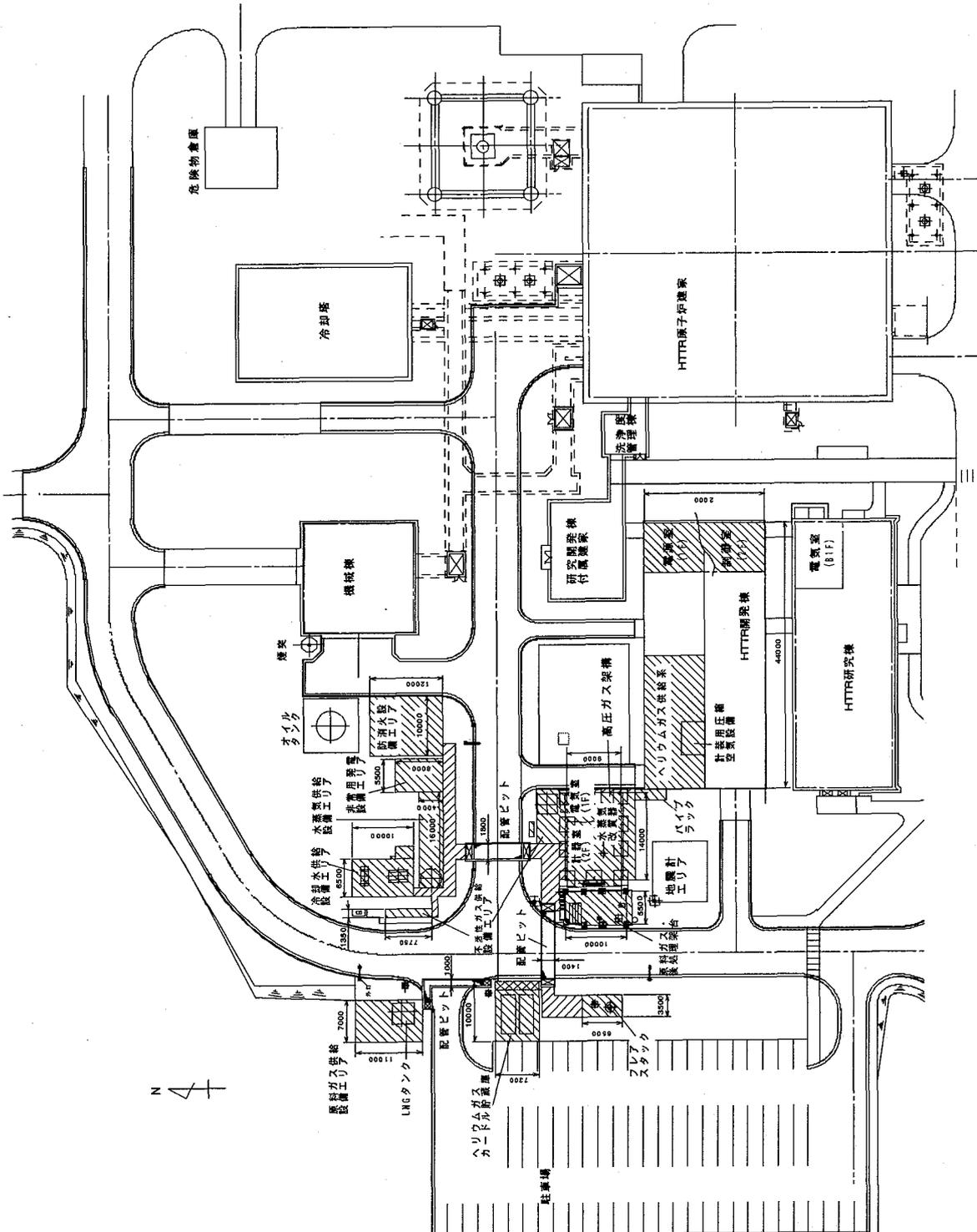


図 2.2 炉外技術開発試験装置の機器配置図

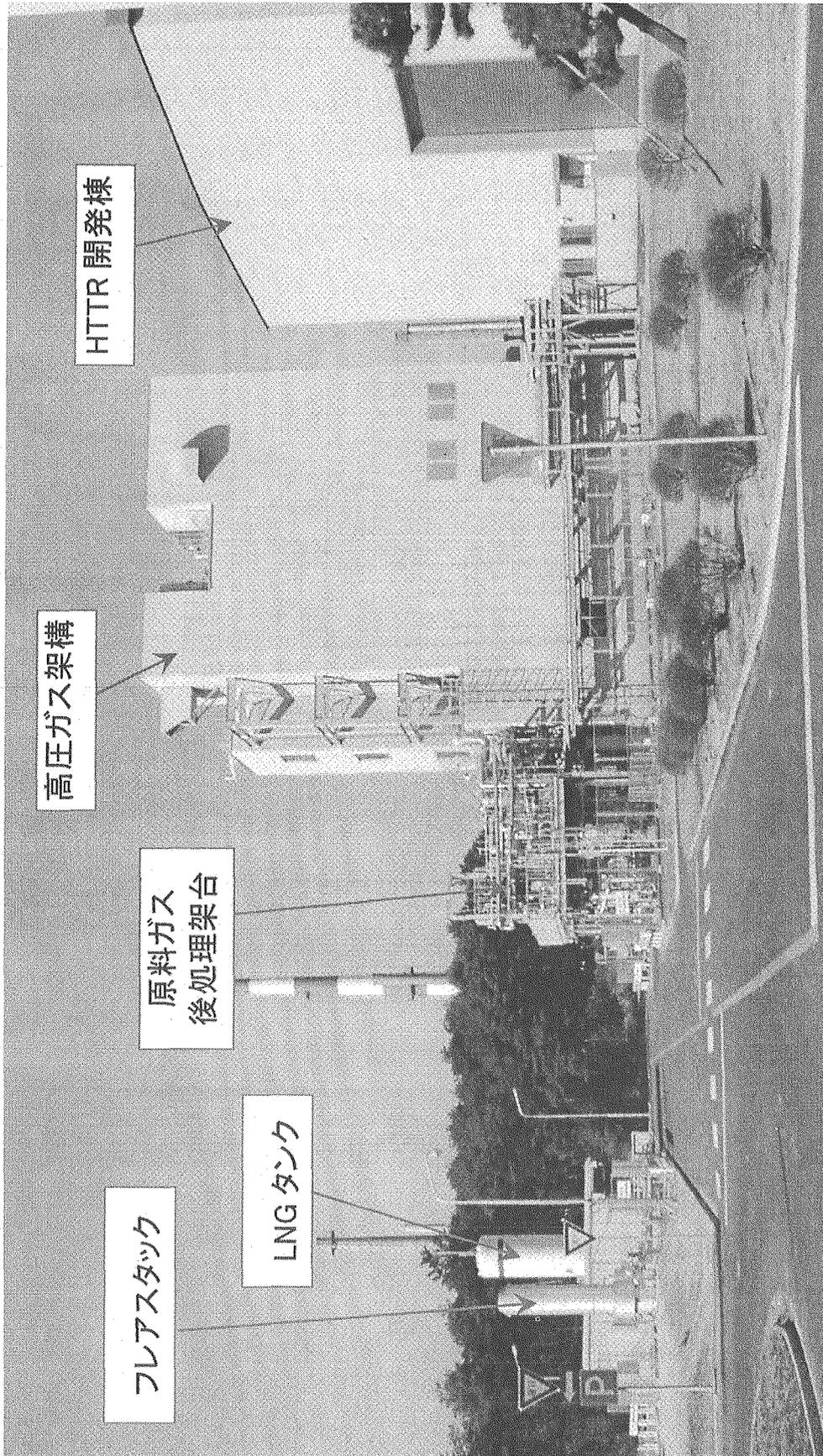


図 2.3 炉外技術開発試験装置の全景

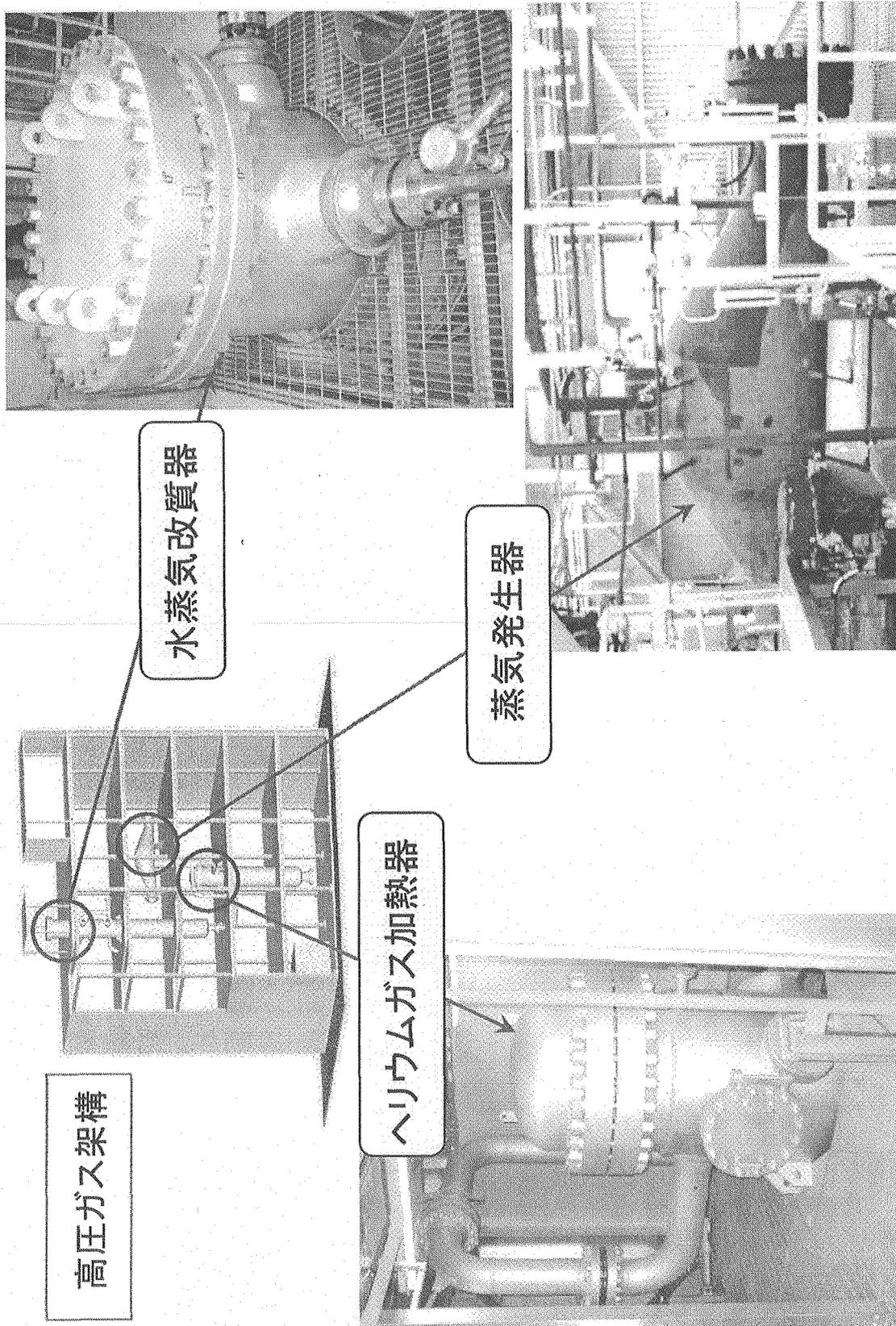


図 2.4 炉外技術開発試験装置の主要機器



図 2.5 炉外技術開発試験装置のその他の設備

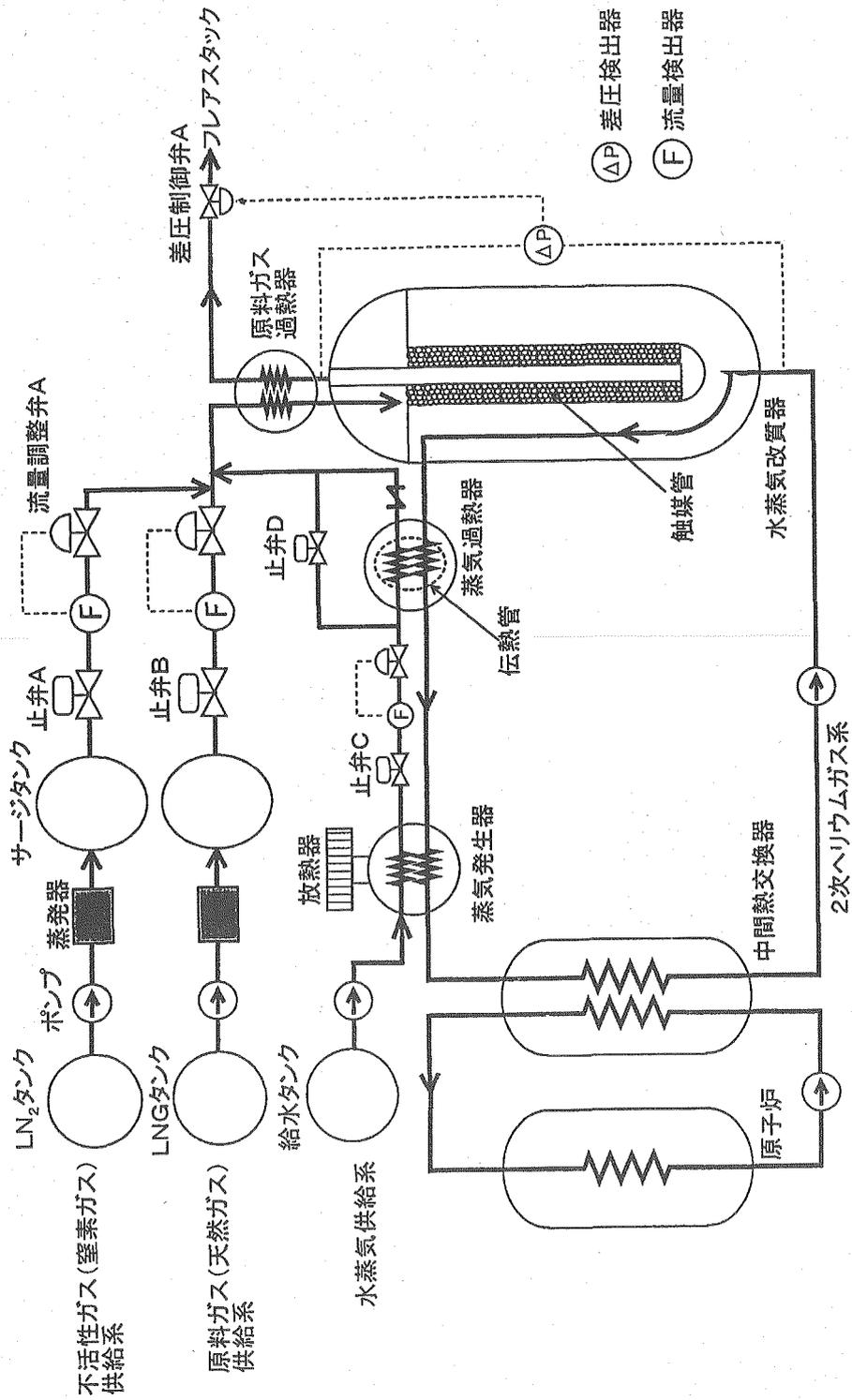


図 2.6 緊急停止に係わる系統図

3. 水蒸気改質器

3.1 概要

水蒸気改質器はヘリウムガスにより加熱することにより天然ガス（メタン）と水蒸気を反応させ、水素を製造する機器であり、また、その内部に収納された反応管がヘリウムガスとプロセスガスの圧力境界を構成する重要な機器でもある。メタンガスと水蒸気の反応は(2.1-1)式、(2.1-2)式で表されるとおり、全体として吸熱反応となる。水蒸気改質器の構造を図 2.5 に示す。圧力容器（胴）の中で、ニッケル触媒を充填した反応管に水蒸気とメタンガスを流し、反応管の外側から高温のヘリウムガスによって加熱する構造になっている。反応管は伝熱促進が要求されることから、管の肉厚を厚くすることが出来ないため、反応管の内外の差圧を小さくすることで、反応管にかかる応力を抑え、破損を防ぐ構造にした。

水蒸気改質器には、触媒を充填したパイヨネット型反応管を 1 本設置しており、その反応管の外側にはヘリウムガスの流路を確保するためにガイド管を設置している。圧力容器の下部ノズルから圧力容器内に入ったヘリウムガスは、反応管とガイド管から形成される環状流路を流れて、対流伝熱により反応管内を流れるプロセスガスに熱を与える。プロセスガスは、原料であるメタンと水蒸気が圧力容器の上部ノズルから反応管内に入り、触媒層で改質反応を行いながら下部へ向かって流れる。反応管内には内管が設置されており、改質反応が終了したプロセスガスは、内管を通して圧力容器外へ出る。改質反応終了後のプロセスガスは高温の熱を有しており、内管を通る過程で反応途中のプロセスガスへ熱を与える。すなわち、再生熱交換器の機能を有している。また、ガイド管の外側に補償ヒーターを設け、圧力容器からの放熱による熱損失を補正して、ヘリウムガスとプロセスガスの熱交換特性を精度よく測定する構造にした。

ヘリウムガスの伝熱促進法については、ドイツでの実績を基に反応管の外側にガイド管を設けて、ヘリウムガスはガイド管と反応管の間を流れる構造とした。しかし、反応管の据付が可能なガイド管との隙間を 5mm としても、ヘリウムガスの熱伝達率は $750\text{W/m}^2\text{K}$ で目標 ($1,170 \sim 1,450\text{W/m}^2\text{K}$) に達しないため、Knudsenらの実験式を基に反応管外表面に直交フィン（高さ：2mm、幅：1mm、ピッチ：3mm）を設け、熱伝達率を $2,100\text{W/m}^2\text{K}$ まで向上させる設計とした。この伝熱促進効果については、試験により確認することとした。水蒸気改質器の構造を図 3.1 に示す。

水蒸気改質器は特性測定のための内部に熱電対を配置した。ヘリウムガス温度 5 点、触媒層内プロセスガス温度 5 点、内管内プロセスガス温度 4 点、反応管（触媒管）外壁温度 5 点、ガイド管温度 5 点、補償ヒーター取付管外壁温度 5 点、管板温度 1 点、補償ヒーター表面温度 1 点である。温度計測点の配置を図 3.2 に示す。

水蒸気改質器は高圧ガス保安法特定設備に従い設計・製作を行ったが、以下の項目について新たな認可が必要となった。

- ① 反応管は、高圧ガス保安法に定められた設計基準の適用外となる構造を有するため、特認が必要である。
- ② 水蒸気改質器においては、可燃性ガスを内蔵する圧力容器内に補償ヒーター（電気式のシースヒーター）を設置するため、高圧ガス施設の設置許可を出す茨城県庁から、水蒸気改

質器が防爆構造であることを要求された。

以下にこれら認可の内容と対応策を述べる。

3. 2 反応管設計の特認

(1) 反応管の設計条件と特認内容

反応管の設計条件を以下に示す。

- ・材 質：円筒胴；NCF800HTF、球形鏡；NCF800H
- ・設計温度：920℃
- ・設計差圧：外圧に対して0.5MPa、内圧に対して1.0MPa
- ・設計寿命：20,000時間

特認の内容を以下に示す。

①反応管の差圧設計

「高圧ガス保安法特定設備検査規則第9条第5項基通(4)項」には、「対象とする設備の設計圧力は、耐圧部分の使用し得る最高圧力とする。」という記述があり、これを適用するとヘリウムガス及びプロセスガスの全圧を考慮して反応管を設計しなければならない。差圧設計を行うためには特認が必要である。

②反応管の外圧設計

反応管は円筒胴とその下端部にある球形鏡に分けられる。球形鏡の外圧設計に対する基準は、「高圧ガス保安法特定設備検査規則第12条第1項第6号」に定められており、NCF800Hが適用可能な温度域は705℃以下である。しかし、反応管の設計温度は920℃であり、設計基準の適用外となる。また、円筒胴の外圧設計に対する基準は、「高圧ガス保安法特定設備検査規則第14条第1項第2号」に定められており、設計基準を適用できる許容引張応力は10N/mm²以上である。しかし、920℃におけるNCF800HTFの許容引張応力は7.2N/mm²であることから、設計基準の適用外である。このため特認が必要である。

(2) 特認の対応

特認の対応策として以下の①～③を高圧ガス保安協会へ提案した。

- ①クリープを考慮した構造解析により、設計の妥当性を証明する。
- ②反応管の設計条件を担保するための反応管保護装置を設置する。
- ③運転中に反応管の破損を検知する監視装置を設置する。

高圧ガス保安協会が開催する特別技術事前審査委員会でこの対応策の技術検討が行われ、妥当であると了承された。しかし、反応管のクリープ疲労に係わる追加検討を要求されたため、①項の構造解析においてクリープ疲労についても評価した。

1) クリープを考慮した構造解析

以下に対応策の詳細と検討結果を述べる。

- a) 反応管は高温雰囲気で使用されるため、3次元有限要素法解析コード MARC を用い

てクリープを考慮した構造解析を行った。反応管の材質である NCF800H の物性値及びクリープ構成式はそれぞれ文献より引用した。実施した解析は以下の①～⑤である。

- ①定格運転のときに、ヘリウムガスの全圧（外圧：4.0MPa）のみが反応管にかかった場合の解析
- ②定格運転のときに、プロセスガスの全圧（内圧：4.29MPa）のみが反応管にかかった場合の解析
- ③設計条件（温度：920℃、外圧：0.5MPa）の解析
- ④設計条件（温度：920℃、内圧：1.0MPa）の解析
- ⑤炉外試験装置の通常起動・通常停止におけるクリープ疲労解析

上記の①は、次項で述べる反応管保護装置が作動したときに反応管に設計差圧以上の外圧がかかる可能性があるため、最も厳しい外圧条件で反応管の座屈に至る経過を明らかにする目的で実施した。併せて、反応管の円筒胴と球形鏡のどちらがより強い強度を有しているかを評価した。反応管が軸対称であるため、解析モデルは反応管の周方向 1/4 の 3次元モデルとした。実際の反応管において円筒胴の長さは、球形鏡の接続部（A点）から 7m であるが、解析モデルでは A点から 1m（B点）とした。この理由は、3次元解析モデル並びに円筒胴のみを対象とした 2次元解析モデルとも、座屈に至るまでの経過が B点では変わらないことによる。したがって、3次元解析モデルではこれ以上の長さをとる必要はない。そこで B点の座屈に至るまでの時間経過を調べた。解析では、製作公差を考慮して反応管の初期扁平率を 1.39% とし、反応管の温度をヘリウムガス温度の定格運転条件である 880℃ とした。4.0MPa の外圧がかかった時点から次第に反応管の変形が進行し、約 170 時間（h）後に座屈した。なお、A点では変形がなく、球形鏡の強度が円筒胴よりも大きいことを明らかにした。

②は、①と同様に反応管保護装置が作動したときに反応管に設計差圧以上の内圧がかかる可能性があるため、最も厳しい内圧条件で反応管の破断に至る経過を明らかにする目的で実施した。解析手法は①と同じである。反応管の初期扁平率（1.39%）を考慮して最大内径と最小内径について B点の破断に至るまでの時間経過を調べた。4.29MPa の外圧がかかった時点から次第に反応管の内径が増加する、すなわち膨らむ状態となり、約 5,270h 後に破断した。なお、A点では変形がなかった。

③及び④は、設計条件（温度：920℃、外圧：0.5MPa 及び内圧：1.0MPa）で反応管に変形が生じないことを確認するためのもので、設計寿命の 2 倍である 40,000h まで解析を行った。①及び②の評価で示したように、強度的には円筒胴が弱いことから円筒胴のみを対象とし、計算時間を短縮するために 2次元モデルで評価した。その結果、変形は見られず、40,000h まで使用したとしても反応管の健全性が確保されることを明らかにした。

⑤は通常起動及び通常停止時における反応管のクリープ疲労を評価したものである。クリープ疲労は、反応管の温度変化時に発生する熱応力に起因する。また、熱応力はフィン等の形状が急激に変化する部分の近傍で大きくなる。このため、解析モデルはフィンを含む円筒胴の 2次元モデルとした。また、反応管の評価部は円筒胴の触媒層の部分、すなわち球形鏡の接続部（A点）及び円筒胴 6m の頂部（C点）とした。反応管の温度変化は、

ヘリウムガス及びプロセスガスの温度変化に依存する。また、炉外試験装置ではヘリウムガスの温度を制御し、プロセスガスの温度はヘリウムガス温度の変化に追従させる。このため、反応管の温度変化に大きく影響するものはヘリウムガス温度の変化であり、クリープ疲労の解析ではヘリウムガス温度の変化率を $40^{\circ}\text{C}/\text{h}$ とした。HTTR の通常起動及び通常停止におけるヘリウムガスの温度変化が $15^{\circ}\text{C}/\text{h}\sim 35^{\circ}\text{C}/\text{h}$ であるから、 $40^{\circ}\text{C}/\text{h}$ の変化率は安全側である。この温度条件を基に通常起動及び通常停止時における反応管の温度変化を解析し、その結果を基にクリープ疲労損傷を求めた。クリープ疲労損傷はフィンの底部で最も大きくなっており、しかもC点の方が大きい。この結果から求めた通常起動・停止の許容回数は1048回であり、炉外試験装置の最大想定回数50回に対して十分な余裕を有していた。この結果から、反応管のクリープ損傷は問題ないと言える。

2) 反応管の保護装置

反応管の健全性を確保するためには、設計温度及び設計差圧を担保することが必要である。このうち、設計温度については安全側とするため水蒸気改質器入口のヘリウムガス温度を計測点とし、この温度が設計温度の範囲内で所定の値に達した場合には、炉外試験装置を緊急停止するインタロックを設けた。緊急停止により熱源であるヘリウムガス加熱器への通電が停止するので、反応管が設計温度を超えることはない。

しかし、緊急停止システムが作動したとしても反応管には設計差圧以上の差圧が生じる可能性がある。このため、設計差圧の範囲内で差圧が所定の値に達した場合には、炉外試験装置を緊急停止し、反応管内外のプロセスガス及びヘリウムガスを大気開放する反応管保護装置を設けた。後処理設備で原料ガス加熱器の下流にプロセスガスの大気開放ライン、ヘリウムガス循環設備で水予熱器の下流にヘリウムガスの大気開放ラインを設け、放出するプロセスガスはフレアスタックで燃焼処分する。反応管保護装置が作動して大気開放を行っているときに、反応管には設計差圧以上の差圧がかかる可能性がある。しかし、大気開放に要する時間は1～2分程度であり、1) 項の①及び②で示した座屈並びに破断に要する時間に比較して遙かに短いことから、設計差圧以上の差圧が生じたとしても問題ない。

反応管保護装置には以下に示す信頼性向上策を施した。

- a) 反応管の差圧計測系を二重化する。具体的には、ヘリウムガスとプロセスガスの差圧を直接計測する差圧計の他、ヘリウムガスの圧力計とプロセスガスの圧力計から差圧演算回路で差圧を演算する。
- b) 信号処理系は、CPU (中央演算処理装置) 及びI/O (入出力回路) を二重化する。また、計測器及び信号処理系は無停電電源装置から給電する。
- c) 大気開放ライン及び大気開放弁は、並列に二重化する。大気開放弁には停電時等になるフェイルトウセーフ機能を設ける。

反応管保護装置が作動する条件(反応管内外の差圧)は、反応管の設計差圧の範囲内で、差圧計測誤差(計測器の誤差、信号処理系の誤差等を含む総合誤差で、圧力計を用いた場合の $\pm 0.05\text{MPa}$)を考慮して、以下のように定めている。ここで、外圧状態を記号-、内圧状態を記号+で表す。この方法で表示すると、反応管の設計差圧は -0.5MPa 及び $+1.0\text{MPa}$ 、

差圧制御の設定値は+0.04MPaとなる。

イ) 過大差圧 (外圧) による大気開放の設定値: -0.44MPa

ロ) 過大差圧 (外圧) による警報の設定値: -0.32MPa

ハ) 過大差圧 (内圧) による警報の設定値: +0.40MPa

ニ) 過大差圧 (内圧) による大気開放の設定値: +0.52MPa

3) 反応管の監視装置

反応管は、プロセスガスの圧力がヘリウムガスの圧力よりも高い状態で運転されるため、反応管に破損が生じた場合には、ヘリウムガス中にプロセスガス (メタン、水素、一酸化炭素等) が漏えいする。そこで、運転中にヘリウムガス中の不純物 (メタン、水素、一酸化炭素等) を常時監視すれば、反応管の破損を検知することができる。このため、ヘリウムガス循環設備にガスクロマトグラフを設置して、反応管の破損を検知できるようにした。破損を検知した場合には、炉外試験装置を停止する。

以上の検討結果は特別技術事前審査委員会で承認され、この結果を受けて通商産業大臣へ特認申請を行い、平成 10 年 11 月に認可を得た。

3. 3 防爆構造の認可

防爆構造については、工場電気防爆指針 (ガス防爆) に従い、(社) 産業安全技術協会に認可申請を行った。以下に防爆構造であることの主な要求事項とその対応を述べる。ここで、工場電気防爆指針 (ガス防爆) の用語において、電熱器は補償ヒーター、電気加熱装置は補償ヒーターを含む水蒸気改質器全体に相当する。また、加熱槽は補償ヒーター以外の水蒸気改質器部分をさすが、ここでは圧力容器と表現する。

a) 電気加熱装置は、加熱槽内が爆発性雰囲気にならないように、所定の流体で満たされていること。

対応: 圧力容器内で補償ヒーターが設置されている部分は、ヘリウムガス雰囲気であり、爆発性雰囲気にはならないことを満足している。

b) 加熱槽は、被加熱流体 (ここではヘリウムガス) の化学的性質、使用圧力及び温度などに対して十分な耐久力を有すること。

対応: 水蒸気改質器は、高圧ガス保安法特定設備に基づき設計・製作を行っているので満足している。

c) 電熱器に用いる端子箱は、耐圧防爆構造または安全増防爆構造とすること。

対応: 市販の安全増防爆構造の端子箱を用いることで対応する。

d) 加熱槽に対する保護装置を設けること。その機能は、イ) 所定の被加熱流体で満たされているときに、はじめて電熱器に通電できること、ロ) 通電中に加熱槽内の被加熱流体の流量等に異常が生じた場合は電熱器の通電を停止することである。

対応: 上記のイ) に対しては、圧力容器内のヘリウムガス圧力が所定の値になった後に補償ヒーターに通電できるインタロックを設け、ロ) に対しては、ヘリウムガスの循環が停止した場合には補償ヒーターへの通電を止めるインタロックを設けること

で対応した。

- e) 電気加熱装置で爆発性ガスに触れる部分の温度は、爆発性ガスの種類により定められた温度等級の80%の値を超えないように温度保護装置を設け保護すること。

対応：炉外試験装置で対象となる爆発性ガスはメタン、水素、一酸化炭素であり、それに対応した温度等級は450℃、その80%は360℃となる。また、上記のガスが漏洩した場合には压力容器の表面に接する可能性がある。これらのことから、压力容器の表面温度を計測し、360℃になった場合には炉外試験装置を停止するインタロックを設けることで対応した。なお、内部断熱構造を施すことにより、設計では压力容器の表面温度を約150℃と推定している。

以上の対応をとることで、水蒸気改質器の防爆性について（社）産業安全技術協会から了解を得、水蒸気改質器の設計・製作を行った。

3. 4 機器仕様

(1) 本 体

本体型式	バイヨネット反応管収納縦置円筒型
数量	1基
流体	反応管内 プロセスガス / 胴側 ヘリウムガス 流量 プロセスガス 59 g/s / ヘリウムガス 91 g/s
入口/出口温度	ヘリウムガス 880 / 650℃ プロセスガス 450 / 600℃
交換熱量	109 kW
設計温度	压力容器 400℃
設計圧力	压力容器 ヘリウムガス 4.42 MPa プロセスガス 4.91 MPa
材質	压力容器 SCM4-1 / 管板 SFVAF22A
補償ヒータ容量	32 kW

(2) 反応管

数量	1本
設計温度	920℃
設計加圧	外圧 0.5 MPa / 内圧 1.0 MPa
材 質	NCF800HTF 及び NCF800H
寸 法	147.8 ^{0.D} ×10 ^t ×7300 mm (触媒充填長：4700 mm)
設計寿命	20,000 時間
充填触媒	ニッケル触媒

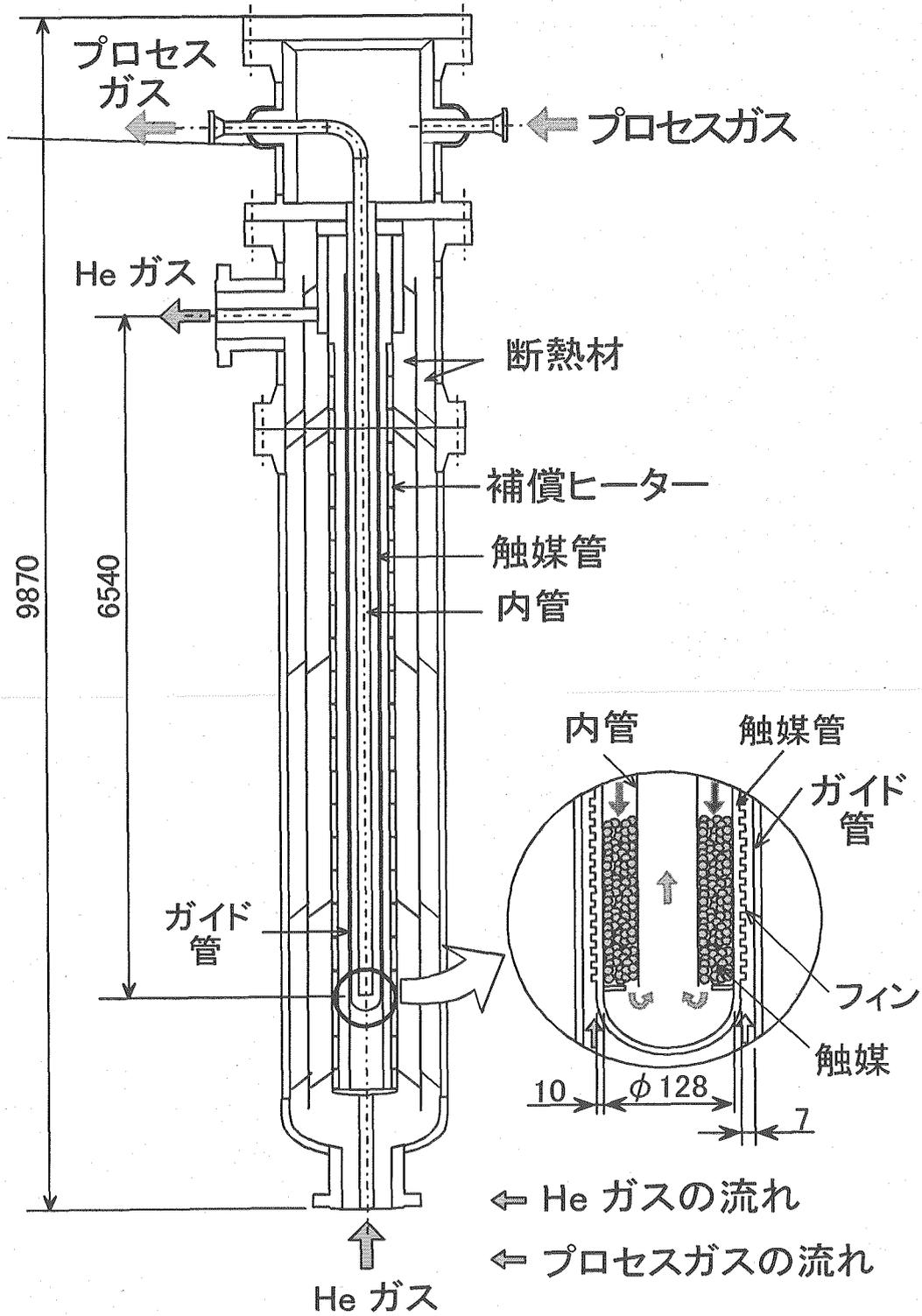


図 3.1 水蒸気改質器の構造

4. ヘリウムガス循環設備

4.1 概要

ヘリウムガス循環設備は、水蒸気改質器、蒸気発生器等に所定の流量、温度、圧力でヘリウムガスを供給する設備で、高温・高圧のヘリウムガスを循環する主循環設備、ヘリウムガスの圧力を制御するヘリウムガス圧力調整設備、ヘリウムガス中の不純物を除去するヘリウムガス精製設備で構成される。

4.2 系統構成

主循環設備、ヘリウムガス圧力調整設備、ヘリウムガス精製設備の各系統構成について以下に示す。

(1) 主循環設備

図 4.1 に主循環設備の系統図を示す。混合タンクのヘリウムガスはフィルタ経由でヘリウムガス循環機に入り、循環機に対する所定の流量で系統の圧力損失に見合う昇圧を行ない系統に送り出される。バイパス分岐後、本流側のヘリウムガスは流量調整弁 CV2H の開度調整で水蒸気改質器に対する所定の流量に制御された後、ヘリウムガス加熱器（電気ヒータ式）内の黒鉛製ヒータで約 900℃ 以上に加熱され、放熱量を極力抑えた高温内部断熱配管を通過して、水蒸気改質器に所定の温度（定格では 880℃）で供給される。水蒸気改質器では、ヘリウムガスはメタンガスと水蒸気から水素を製造する為の加熱源として使用され、さらに蒸気過熱器、蒸気発生器、水予熱器の加熱源として使用される。その後、バイパスヘリウムガスと合流して、ヘリウムガス冷却器で所定の温度まで冷却された後、混合タンクに戻る。尚、ヘリウムガス循環機は、東海研究所に設置されていた大型構造機器実証試験ループ（HENDEL）にて使用していた設備を移設して使用している。

主循環設備の通常運転時（ガス循環機流量 400g/s 時）の熱物質収支図を図 4.2 に、化学反応停止試験時（ガス循環機流量 400g/s 時）の熱物質収支図を図 4.3 に示す。水蒸気改質器入口温度 880℃、水蒸気改質器入口流量 91g/s、循環機出口流量 350g/s、ヘリウムガス冷却器出口温度 150℃ の目標値に対し、偏差がほとんどなく（ほぼ±0.3%以内で制御）、設定値どおりの運転ができています。

(2) ヘリウムガス圧力調整設備

ヘリウムガス循環設備の圧力制御に関しては、系全体の圧力として、混合タンクの圧力（PIC51H）を制御する方式とした。混合タンクにヘリウムガス圧力調整設備が接続され、供給弁 CV23U と回収弁 CV2U をスプリット制御（目標値に近いときは両方とも閉める。偏差が大きくなればどちらか一方の弁を開け、ヘリウムガスを混合タンクに供給または混合タンクから回収する方式）により主循環設備の圧力を目標値に制御する。

ヘリウムガス圧力調整設備の系統図を図 4.4 に、熱物質収支図を図 4.5 に示す。ヘリウムガスを貯蔵する高圧及び低圧ヘリウムガスカードル、混合タンクにヘリウムガスを供給する供

給弁 CV23U、混合タンクからヘリウムガスを回収する回収弁 CV2U、回収したヘリウムガスを一時貯蔵するレシーバタンク、レシーバタンクのヘリウムガスを圧縮し高圧にしてカードルに戻すためのヘリウムガス圧縮機等からなる。

(3) ヘリウムガス精製設備

ヘリウムガス精製設備は、主循環設備のヘリウムガスに含まれる不純物ガス (H_2 、 CO 、 CH_4 、 N_2 、 O_2 、 CO_2 、 H_2O) を吸着除去するための設備である。ヘリウムガス中の不純物は、主に内部断熱材、ヘリウムガス加熱器の黒鉛ヒータなどから発生する。

ヘリウムガス精製設備は、酸化銅ベッド、モレキュラーシーブベッド、コールドチャコールベッド、ガス循環機、ヘリウムガス加熱器、再生ガス加熱器、及び熱交換器等の各機器から構成されている。概略の系統を図 4.6 に示す。本設備は、東海研究所に設置されていた大型構造機器実証試験ループ (HENDEL) のヘリウムガス精製設備を移設して使用している。

4. 3 機器仕様

ヘリウムガス循環設備の主要機器の仕様を以下に示す。

(1) 主循環設備

1) ヘリウムガス循環機

主循環設備内のヘリウムガスを循環させる機器である。系統内ヘリウムガスの圧力損失に見合う昇圧を行ない系統へ送り出す。

形式	縦型完全密閉 動圧ガス軸受型
数量	1基
流体	ヘリウムガス
流量	350 g/s (定格値)
設計温度	400 °C
設計圧力	4.42 MPa
主要材質	ステンレス鋼 (ケーシング)、低合金鋼 (軸、インペラ)
回転数調整方式	インバータ装置 (正弦フィルター付)
定格容量	297 kVA
周波数可変範囲	50 ~ 200 Hz
電動機形式	三相 400 V 2極 かご型
回転数制御範囲	3,000 ~ 12,000 rpm

2) ヘリウムガス加熱器

水素製造システムにおける原子炉を模擬し、黒鉛ヒータによりヘリウムガスを過熱し、所定の温度まで昇温する機器である。図 4.7 にヘリウムガス加熱器の機器構造図を示し、下記に主要仕様を示す。

形式	円筒状電気加熱ヒータ
----	------------

数 量	1 基
容 量	423 kW
使用流体名	ヘリウムガス
使用流量	91g/s
使用圧力	4.04 MPa
入口温度	150 °C
出口温度	950 °C
黒鉛ヒーター寸法	φ32 ^{OD} ×6t ×3370 mm
黒鉛ヒーター本数	6 本
黒鉛ヒーター材料	等方性黒鉛 ET10A
断熱材材料	カオウール

3) 混合タンク

ヘリウムガス圧力調整設備から供給されたヘリウムガスを一時貯蔵し、主循環設備内のヘリウムガスの圧力が急激に変化するのを低減するためのタンクである。

形 式	円筒式
数 量	1 基
設計温度	400 °C
設計圧力	4.42 MPa
容 量	1 m ³

4) フィルタ

ヘリウムガス循環機上流に設置され、内部断熱用の保温材等から出る粉塵がヘリウムガス循環機へ流入するのを防止するための機器である。

形 式	円筒式
数 量	1 基
設計温度	450 °C
設計圧力	4.42 MPa
流体名	ヘリウムガス
流 量	0.4 kg/s
容器材質	STPA22S

5) 高温配管

高温のヘリウムガスを放熱による温度低下から防止するための配管で、ヘリウムガス加熱器、水蒸気改質器、蒸気過熱器、蒸気発生器の各機器間に設置されている。高温ヘリウムガスが流れるライナーと耐圧管の間に内部断熱用の保温材を設置した構造となっている。

形 式	内部断熱配管
-----	--------

数 量	1 式
耐圧管設計温度	400 °C
耐圧管設計圧力	4.42 MPa
流 体	ヘリウムガス
流 量	91 g/s
流体温度	最高 950 °C
主要材質	STPA24 (耐圧管) インコロイ 800H (ライナー) イソウール (断熱材)

6) ヘリウムガス冷却器

水蒸気改質器、蒸気過熱器、蒸気発生器、水予熱器で冷却されたヘリウムガスを、さらに冷却し、所定の温度にするための機器である。入口に設置された制御弁により流量を変化させ出口温度を調整する。図 4.8 に機器構造図を示し、下記に主要仕様を示す。

形 式	二重管式 (平滑管)	
数 量	1 基	
設計交換熱量	81.8 kW	
必要電熱面積	0.908 m ²	
流 体	ヘリウムガス (胴側)	冷却水 (管側)
流 量	350 g/s (胴側)	175 g/s (管側)
圧 力	3.92 MPa (胴側)	4.33 MPa (管側)
入口温度	195 °C (胴側)	32 °C (管側)
出口温度	150 °C (胴側)	42 °C (管側)
対数平均温度	135 °C	
胴寸法	102.3 ^{OD} ×6t mm	
伝熱管外径	48.6 ^{OD} ×5.1 ^t ×8000 mm	
伝熱管本数	1 本	
外管内径	102.3 mm	
胴材料	STPA22S	
伝熱管材料	STPT41S	

(2) ヘリウムガス圧力調整設備

1) レシーバタンク

主循環設備より回収したヘリウムガスを一時貯蔵しておくためのタンクである。

形 式	縦型円筒式
数 量	1 基
設計圧力	4.42 MPa
設計温度	50 °C

容 量	2.115 m ³
流 体	ヘリウムガス
材 質	SB450

2) ヘリウムガス冷却器

主循環設備より回収するヘリウムガスをほぼ常温まで冷却するための機器である。

形 式	二重管式
数 量	1 基
設計圧力	0.687 / 4.42 MPa (管側/胴側)
設計温度	200 / 400 °C (管側/胴側)
伝熱面積	0.3 m ² / 基
材 質	STPA22S、STB340-S (外胴、伝熱管)
流 体	冷却水 / ヘリウムガス
流 量	559 kg/h、10 g/s (管側、胴側)
出入口温度	入口 32/165 °C (管側/胴側) 出口 42/40 °C (管側/胴側)

3) ヘリウムガス圧縮機

レシーバタンクに回収したヘリウムガスを昇圧し、ヘリウムガスカードルへ貯蔵するための機器である。

形 式	4 気筒 単動 4 段圧縮 空冷 オイルレス式
数 量	1 基
最終段設計圧力	19.7 MPa
吐出圧力	14.7 MPa
吐出量	60 Nm ³ /h 以上
軸動力	28.4 kW

(3) ヘリウムガス精製設備

1) ガス循環機

ヘリウムガス精製設備の各機器にて発生する圧力損失分を補償し、ヘリウムガスを循環させるための機器である。

形式	水冷式堅型無給油式圧縮機 (複動 1 段圧縮機)
数 量	1 基
設計圧力	4.42 MPa
設計温度	50 °C
吸入圧力	3.92 MPa
吐出圧力	4.12 MPa
風 量	13 g/s
軸動力	7.5 kW

温 度	40 / 100 □ (吸込/吐出)
吸入口径	20 A
吐出口径	20 A
流 体	ヘリウムガス

2) 酸化銅ベット

ヘリウムガス中の不純物のうち水素及び二酸化炭素を、亜酸化銅と反応させて水と二酸化炭素にするための機器である。

形 式	縦型円筒式
数 量	2 基
設計圧力	4.42 MPa
設計温度	400 °C
常用温度	300 °C
内容積	0.02 m ³
材 質	SUS304
加熱器容量	0.78 kW × 2 基

3) モレキュラーシーブベット

酸化銅ベットで生成された水と二酸化炭素を吸着除去するための機器である。

形 式	縦型円筒式
数 量	2 基
設計圧力	4.42 MPa
設計温度	350 °C
常用温度	300 °C
内容積	0.04 m ³
材 質	SUS304
加熱器容量	0.93 kW × 2 基

4) コールドチャコールベット

ヘリウムガス中の不純物のうち酸素、窒素、メタン等を-196°Cに冷却し、吸着除去するための機器である。

形 式	縦型円筒式活性炭吸着式
数 量	2 基
設計圧力	4.42 MPa
設計温度	-196 ~ 200 °C
常用温度	-196 °C
内容積	0.02 m ³
加熱器容量	2 kW × 2 基

材 質 SUS304

5) 高温熱交換器

主循環設備からのヘリウムガスと、主循環設備へ送り出される精製されたヘリウムガスとの熱交換を行い、精製されたヘリウムガスの温度を上昇させるための機器である。

形 式	シェル&チューブ型熱交換器
数 量	1 基
設計圧力	4.42 MPa
設計温度	450 °C
常用温度	400 °C
伝熱面積	4.1 m ² × 4
材 質	SUS304

6) 中温熱交換器

酸化銅ベットにて過熱されたヘリウムガスと、チャコールベットで冷却されたヘリウムガスの熱交換を行い、ガス循環機入口ヘリウムガス温度を低下させるための機器である。

形 式	シェル&チューブ型熱交換器
数 量	1 基
設計圧力	4.42 MPa
設計温度	450 °C
常用温度	300 °C
伝熱面積	4.1 m ² × 4
材 質	SUS304

7) モレキュラーシープ冷却器

モレキュラーシープベットに流入するヘリウムガスを冷却するための機器である。

形 式	2 重管熱交換器
数 量	1 基
設計圧力	4.42 MPa
設計温度	75 °C
伝熱量	1740 kcal/h
材 質	SUS

8) 冷水循環機

モレキュラーシープ冷却器の冷却水を冷却するための機器である。

形 式	空冷一体型排熱方式
数 量	1 基
冷却能力	3000 kcal/h

循環水温度範囲	約 0~10 °C
循環水流量	30 ℓ/min
ポンプ吐出圧力	3 kg/cm ² G
電 源	3相 200V 50Hz 12A
循環水	水

4. 4 警報及びインターロック

機器及び配管の温度、圧力等が設計値を越える可能性がある場合や、正常な運転を維持するのに必要な範囲を逸脱する可能性がある場合には、警報を発し、或いは、炉外試験装置を自動緊急停止させる。警報及び緊急停止項目を以下に示す。警報設定値についてはプラント試験計測計装設備の章で述べる。

- 1) ヘリウムガス循環機出口圧力「低」で警報、「低低」で緊急停止 1 (差圧保持)
- 2) ヘリウムガス循環機出口圧力「高」で警報
- 3) ヘリウムガス循環機出口流量「高」で警報
- 4) ヘリウムガス循環機出口温度「高」で警報
- 5) ヘリウムガス加熱器入口流量「低」で警報、「低低」で緊急停止 1 (差圧保持)
- 6) ヘリウムガス加熱器入口流量「高」で警報
- 7) 水分濃度「高」で警報、「高高」で昇温停止
- 8) ヘリウムガス加熱器ヒータエレメント表面温度「高」で警報
- 9) ヘリウムガス加熱器上部ヘリウムガス温度「高」で警報、「高高」で緊急停止 1 (差圧保持)
- 10) 水蒸気改質器入口圧力「高」で警報、「高高」で緊急停止 1 (差圧保持)
- 11) 水蒸気改質器入口温度「高」で警報、「高高」で緊急停止 1 (差圧保持)
- 12) 水蒸気改質器出口温度「高」で警報、「高高」で緊急停止 1 (差圧保持)
- 13) ヘリウムガス冷却器出口合流温度「高」で警報
- 14) ヘリウムガス循環機入口温度「高」で警報、「高高」で緊急停止 1 (差圧保持)
- 15) ヘリウムガス循環機入口圧力「高」で警報、「高高」で緊急停止 1 (差圧保持)
- 16) ヘリウムガス循環機入口フィルタ差圧「高」で警報
- 17) ヘリウムガス循環機差圧「高」で警報、「高高」で緊急停止 1 (差圧保持)
- 18) ヘリウムガス循環機モータ巻線温度「高」で警報、「高高」で緊急停止 1 (差圧保持)
- 19) ヘリウムガス循環機スラスト軸受温度「高」で警報、「高高」で緊急停止 1 (差圧保持)
- 20) ヘリウムガス循環機下部ジャーナル軸受温度「高」で警報、「高高」で緊急停止 1 (差圧保持)
- 21) ヘリウムガス循環機回転数「低」で警報、「低低」で緊急停止 1 (差圧保持)
- 22) ヘリウムガス循環機回転数「高」で警報、「高高」で緊急停止 1 (差圧保持)
- 23) ヘリウムガス循環機モータ電流「高」で警報
- 24) 回収ヘリウムガス圧力「高」で警報
- 25) 冷却器出口ヘリウムガス温度「高」で警報

- 26) レシーバタンク圧力「高」で警報
- 27) 圧縮機入口ヘリウムガス圧力「高」で警報
- 28) 圧縮機入口ヘリウムガス温度「高」で警報
- 29) 圧縮機ダストフィルタ差圧「高」で警報
- 30) 圧縮機出口ヘリウムガス圧力「高」で警報
- 31) 圧縮機出口ヘリウムガス温度「高」で警報
- 32) ヘリウムガスカードル圧力「高」で警報
- 33) 供給ヘリウムガス圧力「高」で警報

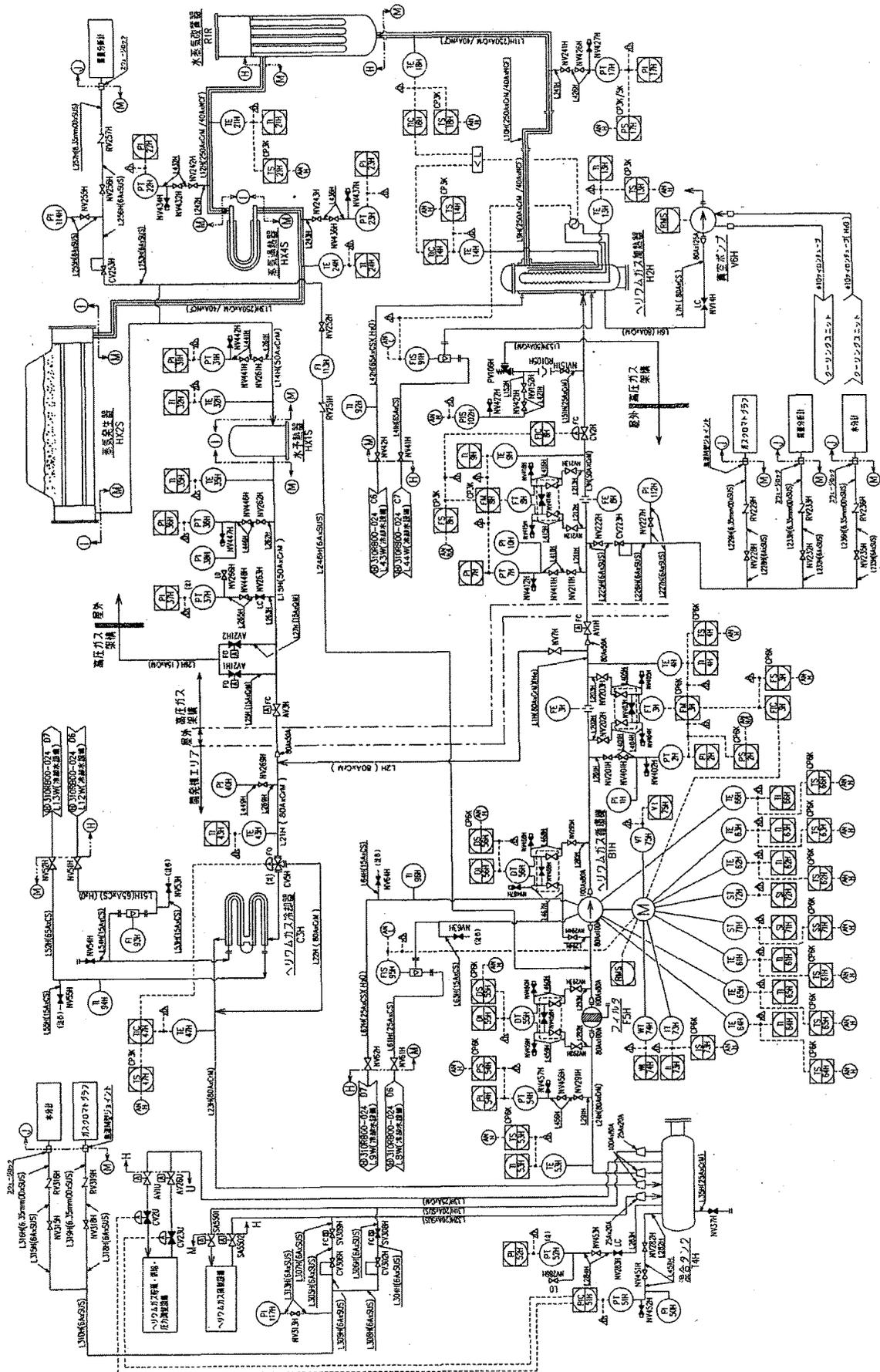


図 4.1 ヘリウムガス循環設備の系統図

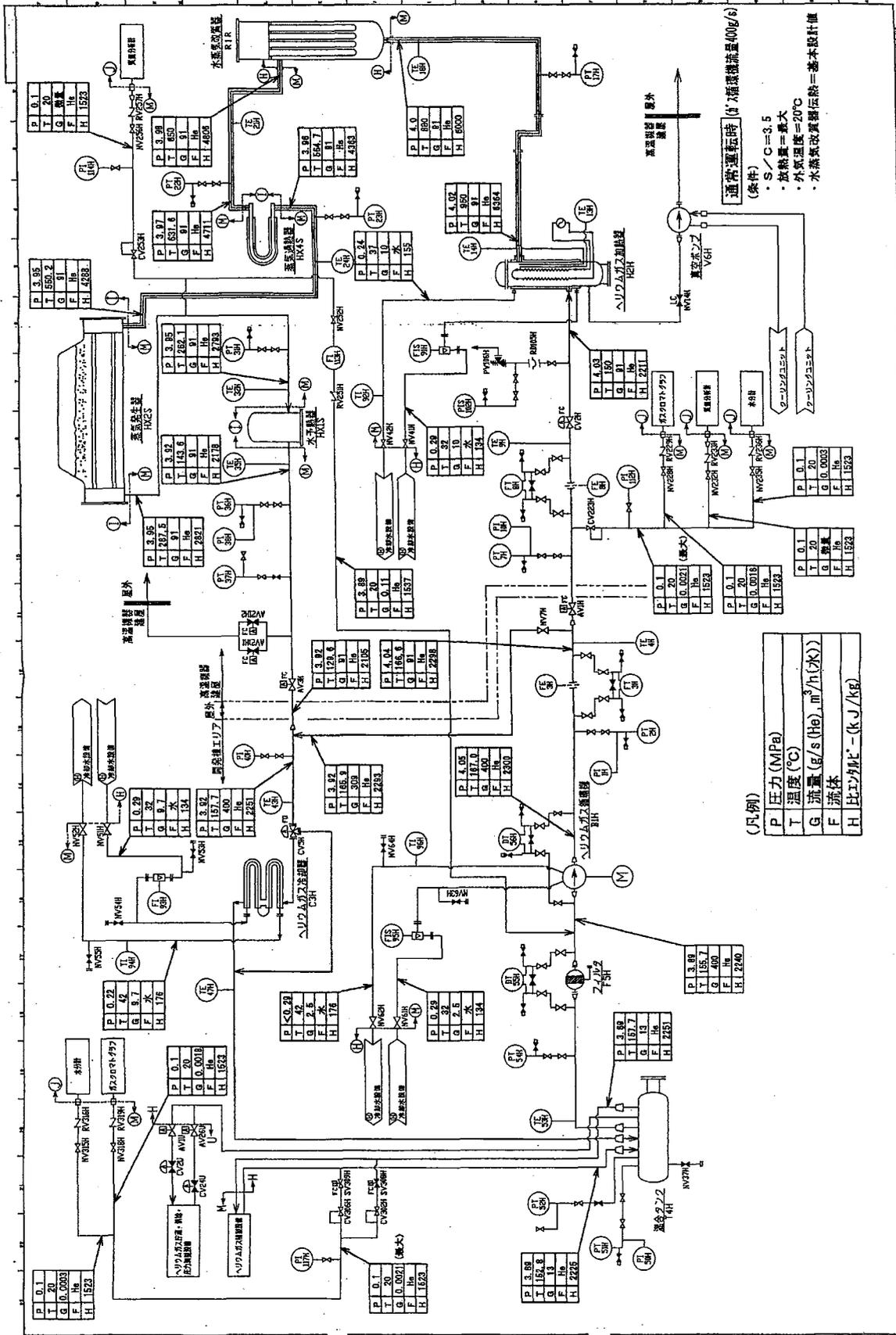


図 4.2 通常運転時のヘリウムガス循環設備の熱物質収支図

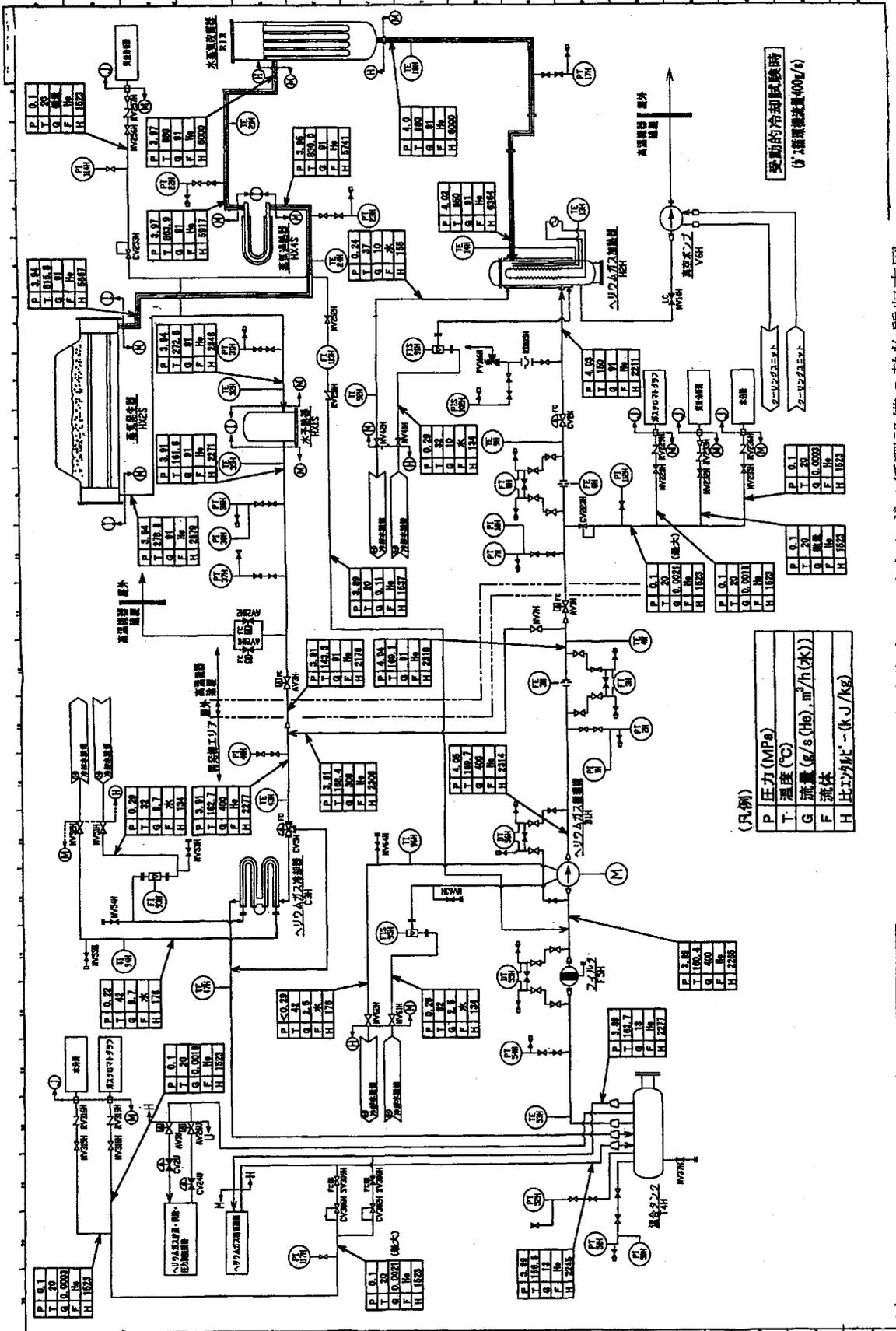
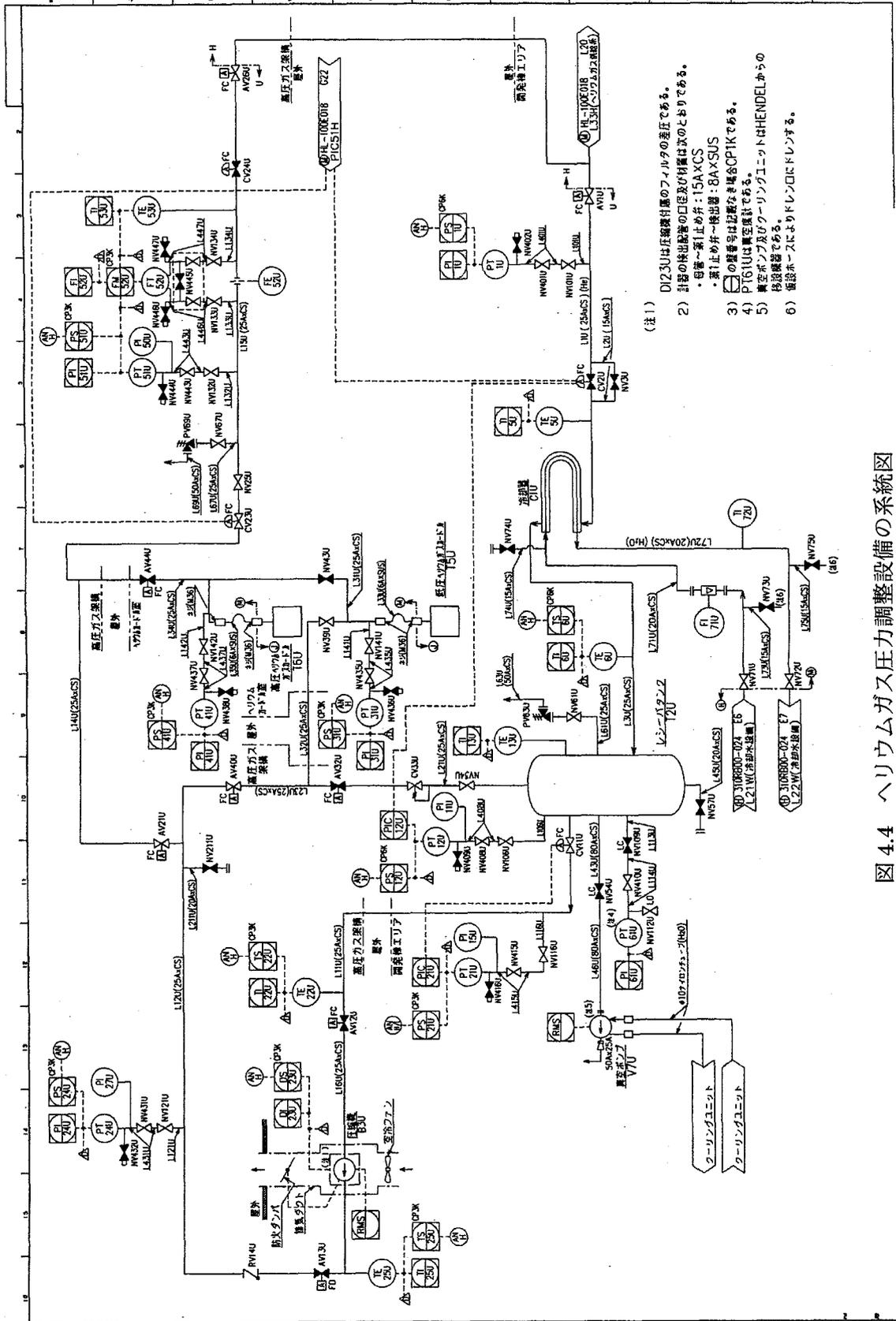


図 4.3 化学反応停止試験時のヘリウムガス循環設備の熱物質収支図



- (注1)
- 1) D123Uは圧縮機付属のフィルタの差圧である。
 - 2) 計器の検出範囲の口径及び材質は次のとおりである。
 - ・切替～素1止め弁：15A×CS
 - ・素1止め弁～検出器：8A×SUS
 - 3) の番号は記号なき場合はCP1Kである。
 - 4) PT16Uは真正検計である。
 - 5) 真空ポンプ及びワーキングユニットはHENDELからの検出器である。
 - 6) 管線ホースによりドリレンロにドレンする。

図 4.4 ヘリウムガス圧力調整設備の系統図

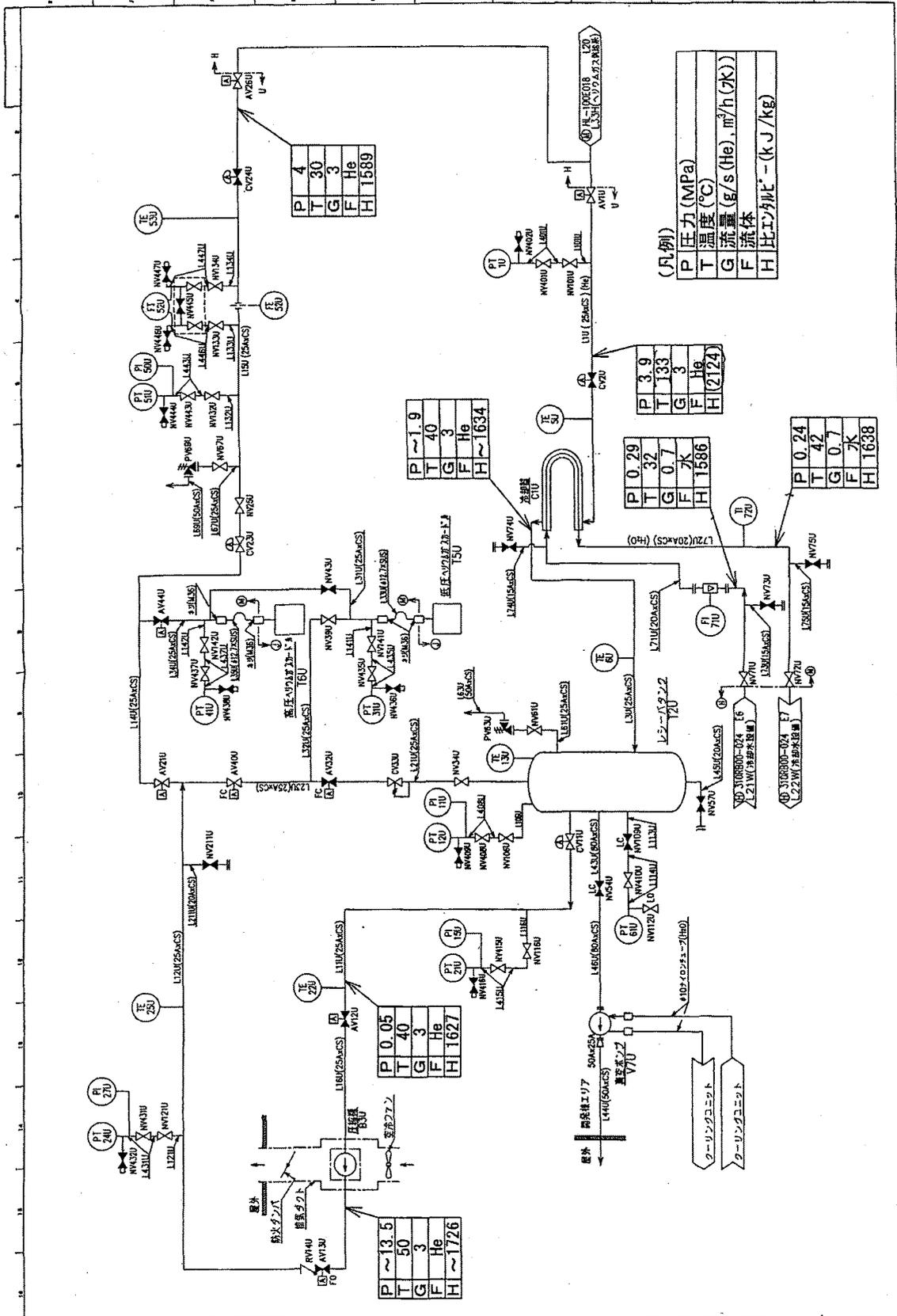


図 4.5 ヘリウムガス圧力調整設備の熱物質収支図

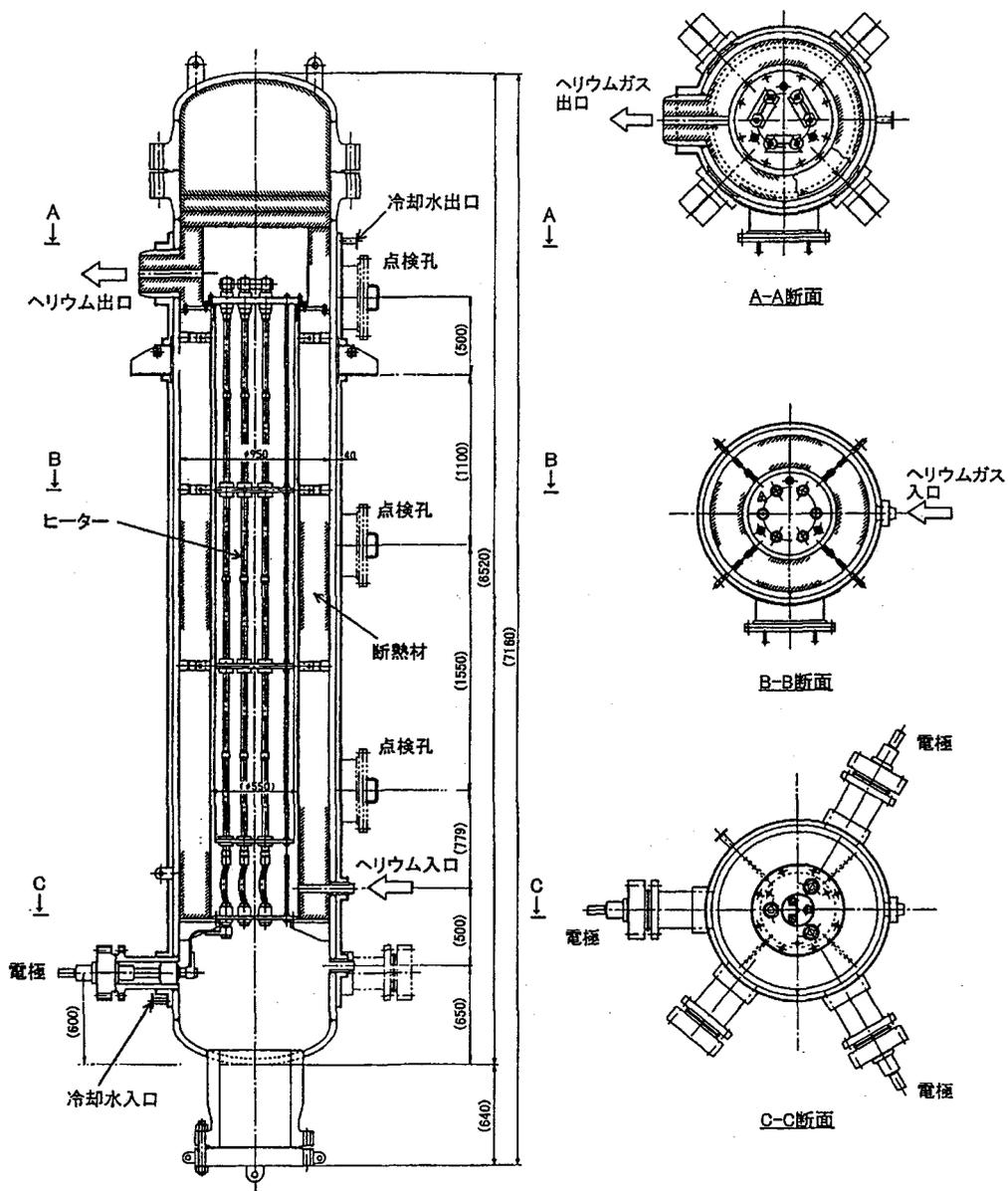


図 4.7 ヘリウムガス加熱器の構造図

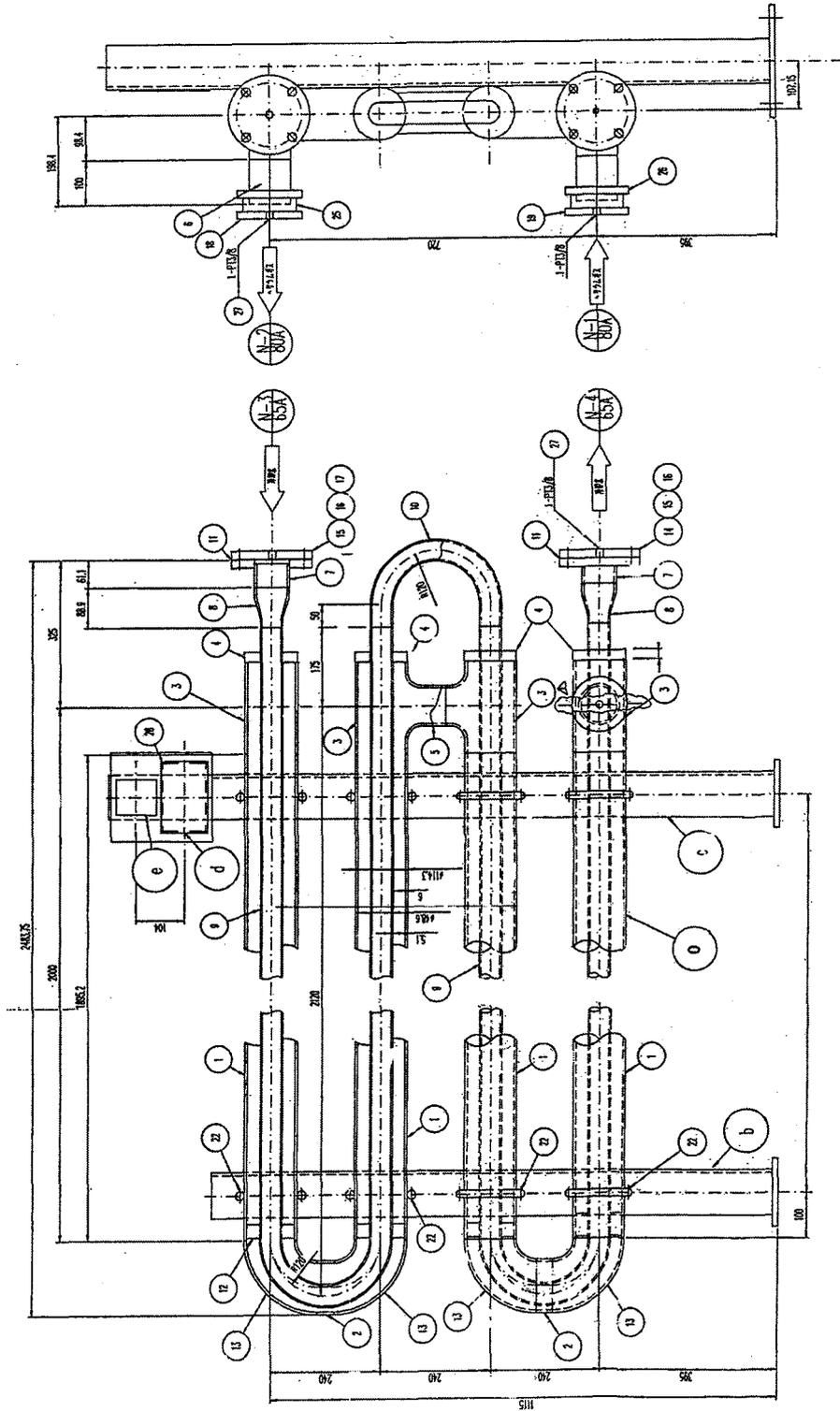


図 4.8 ヘリウムガス冷却器の構造図

5. 水蒸気供給設備

5.1 概要

水蒸気供給設備は、水蒸気改質器に必要な水蒸気を供給するための設備である。また水蒸気改質器において、水素製造のための化学反応が変化し、出口でヘリウムガスの温度変動が発生した場合には、蒸気発生器出口においてヘリウムガス温度を $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 以内に緩和する機能を有している。

5.2 系統構成

水蒸気供給設備の系統図、並びに通常運転時（水蒸気改質器出口ヘリウムガス温度 650°C ）の熱物質収支図を図 5.1 に、化学反応停止試験時（水蒸気改質器出口ヘリウムガス温度 880°C ）の熱物質収支図を図 5.2 に示す。系統は、給水受入タンク、水精製器、水精製器入口ポンプ、水精製器、脱気装置、薬液注入装置、給水タンク、供給ポンプ、水予熱器、蒸気発生器、蒸気過熱器、放熱器、給水バイパス冷却器、ドレン水冷却器、減圧器、ブロー蒸気冷却器及び配管弁類から構成される。

(1) 通常運転時の構成

純水をタンクローリーにより運搬し、給水受入タンクに貯蔵する。給水受入タンクの水は水精製器入口ポンプにより水精製器へと移送し、不純物を除去した後、脱気装置により溶存酸素を除去する。その後、薬液注入装置から供給されるアンモニアにより所定の pH 値（pH8～9）に調整し給水タンクに一時貯留する。給水タンクからは供給ポンプを使って水予熱器に送り飽和温度より 30°C 程度低温のサブクール水まで昇温する。次に蒸気発生器で温度約 259°C 、圧力 4.5MPa の飽和水蒸気となり、さらに、蒸気過熱器によって約 330°C の過熱蒸気として、原料ガス供給系（原料ガス加熱器出口）へ水蒸気改質に必要なプロセスガスの一つとして供給し、ここでメタンガスと混合する。水蒸気改質器への水蒸気供給は、水蒸気改質器入口ヘリウムガス温度が 700°C になった時点で行い、それまで蒸気過熱器で過熱された水蒸気はブロー蒸気冷却器で冷却し、ドレン水として系外に排出する。

水蒸気改質器へ供給する水蒸気流量は、原料ガス供給系からの信号により水蒸気とメタンの混合比を調整しながら蒸気過熱器入口流量調節弁を制御して行う。また、蒸気発生器の水蒸気側圧力は、蒸気発生器圧力調節弁により余剰水蒸気を大気放出して一定に制御する。

水予熱器では、予熱器出口の給水温度が飽和温度未満になるよう給水流量を流しているが、水予熱器出口給水温度が高くなった場合には、給水バイパスラインを經由して給水バイパス冷却器により降温させ、給水タンクに戻し給水温度を調節する。通常運転時における流量、圧力、流量の定格値は、過熱水蒸気供給量 0.047 kg/s 、蒸気発生器水蒸気圧力 4.51 MPa 、原料ガス供給系取合点圧力 4.3 MPa 、原料ガス供給系取合点温度約 330°C である。

(2) 放熱器を用いたヘリウムガス冷却システムの構成

水蒸気改質器で化学反応が完全に停止した場合には、水蒸気改質器によるヘリウムガスの

熱除去ができないため、蒸気発生器入口のヘリウムガス温度が定格時に比較して約 250°C 上昇する。このとき、水蒸気の生成量は定格時の 2 倍以上となるため、蒸気発生器へは多量の給水が必要となる。そこで蒸気発生器の上部に放熱器を設置し、蒸気発生器で生成された水蒸気を放熱器で冷却し、凝縮水を蒸気発生器に戻すことによって、蒸気発生器への新たな給水が不要で、ヘリウムガスを冷却できるシステムの検証を本炉外試験装置の主要目的の一つとしている。

通常運転から放熱器を用いたヘリウムガス冷却システムへの系統の切り替えは、事前に蒸気発生器の余剰水蒸気を放熱器経由で系外に放出している状態で、蒸気過熱器入口及び蒸気発生器ドレン水遮断弁を「全閉」にし、原料ガス供給系への過熱水蒸気の供給を停止する。60 秒後、放熱器スチームトラップ入口遮断弁を「全閉」、180 秒後に放熱器入口遮断弁を「全閉」にする。放熱器入口圧力と蒸気発生器内の圧力が等しくなった時に放熱器出口遮断弁を「全閉」、蒸気発生器入口給水遮断弁を「全閉」にする。これにより蒸気発生器と放熱器との間に自然循環流路が形成されこの流路への出入りは遮断される。

この自然循環流路構成にて蒸気発生器のヘリウムガス側から伝熱管を介して水蒸気側へ伝達された熱で発生した水蒸気は、放熱器へ受動的に供給、除熱され、凝縮水として蒸気発生器に戻る。

なお、水予熱器では、ヘリウムガス加熱による給水の沸騰を防止するために給水の供給を継続し、水予熱器を出た給水は給水バイパス冷却器を経由して除熱され、給水タンクへ戻され再循環する。またこの試験中、蒸気過熱器はヘリウムガスで加熱されるが、水蒸気側は水蒸気供給を遮断した状態になる。この時、蒸気過熱器伝熱管の健全性を確保するために、蒸気過熱器出口逆止弁バイパスラインにより蒸気過熱器と水蒸気改質器をつないだ状態で、伝熱管の水蒸気側管内圧力とヘリウム側圧力との差圧が所定の値になるように不活性ガスを供給する。受動的冷却特性試験時における蒸気発生量及び蒸気発生器水蒸気圧力はそれぞれ、0.147kg/s、4.51MPa である。

(3) 運転上の補足説明

- ・通常運転時の水蒸気改質器への過熱蒸気供給量は S/C=3.5 において 0.047kg/s(約 196kg/h) を供給できる。
- ・受動的冷却特性試験時は、蒸気発生器と放熱器との間で自然循環流路を構成し、ヘリウムガスを除熱する事ができる。
- ・通常運転時は S/C 制御を実施し、原料ガス供給系からの信号により蒸気発生器出口蒸気流量調節弁を制御して、水蒸気改質器へ供給する過熱蒸気流量を調整できる。
- ・蒸気発生器圧力調節弁により余剰蒸気を大気放出する、また、放熱器入口蒸気発生器圧力調節弁により余剰蒸気を放熱器に通気することで蒸気発生器の器内圧力を一定に制御できる。
- ・受動的冷却特性試験時に蒸気過熱器伝熱管の管内と管外の差圧を保持できる。冷却試験時は蒸気過熱器への蒸気の流入が遮断されるため伝熱管の内圧を確保できるように不活性ガス供給系より原料ガス供給系を経由して不活性ガスを蒸気過熱器に供給する。

- ・ 蒸気発生器水位により供給ポンプの回転数を制御して給水流量を調整し、蒸気発生器水位を一定に保つことができる。
- ・ 給水タンク出口の給水 pH を調整するために、薬液注入ポンプを給水タンクへの給水流量に応じた制御で薬液注入量を制御する。
- ・ 炉外試験装置運転中に蒸気発生器給水温度を飽和温度未満にするために、水予熱器出口の給水温度と圧力に基づき、水予熱器給水温度調節弁を制御して水予熱器出口の給水温度を調整する。
- ・ 起動時、原料ガス供給系への蒸気供給開始は、蒸気改質器入口ヘリウム温度が 700℃になった時点とし、蒸気供給開始から蒸気定格流量まで約 40 分間で増加させる。

5.3 機器仕様

水蒸気供給設備の主要機器について、以下に仕様を示す。

(1) 給水受入タンク

水蒸気供給設備の給水供給源タンクであり、タンクローリーからの給水を受け入れ、水蒸気系に純水を供給するものである。

形式	縦型円筒容器
数量	1基
容量	23.7 m ³
貯蔵物質	純水
設計圧力	大気圧
設計温度	0~40℃
主要材質	SUS304

(2) 水精製器入口ポンプ

給水受入タンクに貯蔵されている純水を水精製器に供給するダイヤフラム型の定流量ポンプである。

形式	渦巻型ポンプ
数量	1基
容量	1.8 m ³ /h
揚程	10 m
流体	純水
電動機出力	0.2 kW

(3) 水精製器

水精製器は給水受入タンクの水を、イオン交換することで不純物を除去する装置である。カチオン (Na⁺、Ca²⁺イオンを交換する) 樹脂とアニオン (Cl⁻、SO₄²⁻を交換する) 樹脂を混合充填したカートリッジに通水することで高純度の水が得られる。

形 式	イオン交換樹脂
数 量	1 基
容 量	0.3 m ³ /h
流 体	純水
設計圧力	0.34 MPa
設計温度	40 °C

(4) 脱気装置

脱気装置は水中の溶存酸素を取り除く機器である。中空糸の脱気膜の内部を真空にし、外側に給水を通すことで給水中の溶存酸素を取り除くもので、水精製器で純化された給水を貯蔵する脱気装置入口タンクと脱気膜を備えた脱気装置ユニットから構成される。

1) 脱気装置入口タンク

形 式	円筒縦型大気開放タンク
数 量	1 基
容 量	0.5 m ³
貯蔵物質	純水
設計圧力	水頭圧
設計温度	40 °C
主要材質	FRP

2) 脱気装置ユニット

数 量	1 基
定格処理能力	300 kg/h
設計圧力	0.245 MPa
設計温度	40 °C

(5) 薬液注入装置

蒸気発生器への給水を pH8.0~8.5 に調整するためにアンモニア希釈水を系統へ注入する装置で、薬液注入タンクと薬液注入ポンプから構成される。

1) 薬液注入タンク

形 式	縦置丸型
数 量	1 基
容 量	0.2 m ³
貯蔵物質	アンモニア希釈水(0.01%)
設計圧力	水頭圧
設計温度	60 °C
主要材質	RE (ポリエチレン)

2) 薬液注入ポンプ

形 式	電磁式定流量注入ポンプ
-----	-------------

数 量	1 基
容 量	最大 20 ml/min
揚 程	最大 90 m
流 体	アンモニア希釈水(0.01%)
電動機出力	13 kW

(6) 給水タンク

水質調整された給水を一定量蓄え、水予熱器や蒸気発生器への安定供給を確保するためのタンクである。

形 式	縦型円筒容器
数 量	1 基
容 量	2.31 m ³
貯蔵物質	純水
設計圧力	0.34 MPa
設計温度	80 °C
主要材質	SM400B

(7) 供給ポンプ

水予熱器を経由して、給水タンクの給水を蒸気発生器へ供給するためのプランジャー型のポンプで、インバータ制御により供給流量を制御し、吐出部にはアキュムレーターを設置している。

形 式	プランジャー型定流量ポンプ
数 量	1 基
容 量	0.3 m ³
揚 程	最大 500 m
流 体	純水
電動機出力	3.7 kW

(8) 水予熱器

蒸気発生器へ供給する純水を予熱する横置型縦フィンチューブ式二重管型熱交換器である。尚、受動的冷却特性試験時は、水予熱器の器内水の沸騰を防ぐために通水を行い、給水バイパス冷却器で除熱して給水タンクへ戻す循環運転を行う。図 5.3 に機器構造図を示す。

形 式	縦フィンチューブ式二重管型		
数 量	1 基		
交換熱量	54 kW		
設計圧力	管側 4.91 MPa	胴側	4.42 MPa
設計温度	管側 300 °C	胴側	350 °C
流体	管側 純水	胴側	ヘリウムガス

流量	管側 0.065 kg/s	胴側 0.091 kg/s
主要材質	外胴 STPT370-S	伝熱管 STB340-SC

(9) 蒸気発生器

蒸気発生器は、ヘリウムガスと水の熱交換を行う伝熱管、伝熱管を収納する圧力容器等から構成される。図 5.4 は蒸気発生器の構造を示したものである。蒸気発生器出口でヘリウムガスの温度変動を緩和するために、蒸気発生器内に十分な水を保有できる蒸気発生部と蒸気ドラムを一体化した構造（ケトル型）を採用した。さらに、コンパクト化を図るために、伝熱管は直管方式とした。このとき伝熱管の熱膨張の吸収方法が重要となる。そこで、管板をやや薄めに製作し、管板の強度を伝熱管で補強する（伝熱管がサポートの役割を果たす）とともに、伝熱管の熱膨張は管板を歪ませることにより吸収する方式（クダステー方式）を用いた。また、圧力容器からの放熱量を低減するために、圧力容器の周囲に保温材を設置した。

蒸気発生器は直管型横置円筒容器で、定格運転時に天然ガスの水蒸気改質に必要な水蒸気を蒸気過熱器側へ所定量供給すると共に、改質器出口で発生した外乱（ヘリウムガスの変動）を放熱器との組み合わせで緩和し、原子炉へ影響を与えない機能を持たせている。この緩和機能は、外乱の大きさに応じ、放熱器との間に形成される自然循環流路（放熱器ライン）を使い、発生器によってヘリウムガスを冷却した際に生成された水蒸気を放熱器で凝縮させ、蒸気発生器へ戻している。

ヘリウム側では、ヘリウム入口管台から流入したヘリウムガスは、管板から 27 本の伝熱管の内側を流れ、管外の水と熱交換を行い、反対側の管板で合流してヘリウム出口管台から容器外へ流出する。一方、水側では、給水は容器下部の給水管台から流入し、容器内に液面を形成して伝熱管内側のヘリウムガスと熱交換して、容器上部に設けられた水蒸気管出口から水蒸気として流出する。ヘリウム入口側は高温ヘリウムガスが流入するので内部断熱構造になっている。

異常時及び起動停止時においては発生した水蒸気を容器上部の水蒸気出口管台を出た後、放熱器を経由してそこで凝縮水とした後に放熱器循環水入口から蒸気発生器へ戻るようになっている。

形式	直管式横置円筒型	
数量	1 基	
交換熱量	定格時 135 kW	異常時 251 kW
設計圧力	管側 4.91MPa	胴側 4.91MPa
設計温度	ヘリウム側胴 350℃	
	伝熱管（管側／胴側）	350／300 ℃
流体	管側 ヘリウム	胴側 純水、水蒸気
流量	管側 327.6 kg/h	胴側 239 kg/h
主要材質	ヘリウム胴、水室 SGV480	
	管板	SFVAF11A
	伝熱管	STBA23

(10) 蒸気過熱器

蒸気過熱器は蒸気発生器で発生した飽和水蒸気を過熱し、原料ガスと混合させ水蒸気改質器に供給する U 字型二重管式熱交換器で、電熱管外をヘリウムガスが、伝熱管内を水蒸気が行く対抗流熱交換器である。ヘリウムガス流路はライナーにて形成され、ライナー固定サポート間でスライド出来る構造で熱膨張が吸収できる構造としている。このためライナーはヘリウムガスの圧力境界を形成せず、耐圧管がヘリウムガスの圧力境界を形成する。

なお、受動的冷却特性試験時には、蒸気発生器からの水蒸気供給が遮断された状態で運転されるため、伝熱管内の水蒸気側圧力が維持できなくなり、不活性ガスを代替ガスとして蒸気過熱器出口逆止弁バイパス弁から不活性ガス供給系より蒸気過熱器へ供給、充填し伝熱管内の圧力を維持する。そして、不活性ガス充填後は、伝熱管外にヘリウムガス、管内に不活性ガスの状態となり水蒸気改質器のヘリウムガス／不活性ガスの差圧制御装置を使用し、蒸気過熱器伝熱管の管外／管内の差圧を維持する。図 5.5 に機器構造図を示す。

形式	U字管型二重管式	
数量	1 基	
交換熱量	18 kW	
設計圧力	蒸気プレナム 4.91 MPa,	耐圧管 4.42 MPa
	伝熱管(管側 内圧/外圧) 4.91 MPa/4.42 MPa	
設計温度	蒸気プレナム(出口/入口) 510/400 °C	
	耐圧管 400 °C	伝熱管 600 °C
流体	管側 水蒸気	胴側 ヘリウム
流量	管側 47 g/s	胴側 91 g/s
主要材質	耐圧管、水室	STPA23
	管板	SFVAF11A
	伝熱管	SB-163 N08810

(11) 給水バイパス冷却器

受動的冷却特性試験時において、水予熱器での給水の沸騰を防止するために水予熱器で加熱された給水を冷却するもので、横置型のヘアピン状にセットされた二重管型熱交換器である。図 5.6 に機器構造図を示す。

形式	二重管型	
数量	1 基	
交換熱量	60 kW	
設計圧力	管側 4.91 MPa	胴側 0.684 MPa
設計温度	管側 300 °C	胴側 300 °C
流体	管側 純水	胴側 冷却水
流量	管側 0.075 kg/s	胴側 5.2 m³/h
主要材質	外胴 STPT410-S	伝熱管 STS410-S

(12) 放熱器

受動的冷却特性試験時に蒸気発生器との間に形成される自然循環流路において、蒸気発生器で発生した水蒸気を冷却する。伝熱管を持つ放熱器本体と放熱器ファンから構成される。図 5.7 に機器構造図を示す。

1) 放熱器本体

形式	強制通風式空気冷却器	
数量	1 基	
交換熱量	266kW	
設計圧力	4.91MPa	
設計温度	-10～300 °C	
流体	管側 水蒸気、	胴側 空気
流量	管側 0.15 kg/s、	胴側 2.5 kg/s
主要材質	上下部板,管板 SB410	
	伝熱管	STB340 (フィン アルミニウム)

2) 放熱器ファン

形式	軸流ファン
数量	1 基
容量	138 m ³ /min
静圧	200Pa
流体	空気
電動機出力	1.5kW

(13) ドレン水冷却器

蒸気発生器の器内水質を維持するための蒸気発生器からのブロー水の冷却、及び起動中の蒸気過熱器並びに周辺配管のフラッシングにおける水蒸気の冷却を行う二重管型ヘリカルコイル式の熱交換器である。図 5.8 に機器構造図を示す。

形式	二重管型ヘリカルコイル式	
数量	1 基	
交換熱量	29 kW	
設計圧力	管側 4.91 MPa	胴側 0.687 MPa
設計温度	管側 400 °C	胴側 400 °C
流体	管側 純水	胴側 冷却水
流量	管側 0.02 kg/s	胴側 0.694 kg/s
主要材質	SUS316	

(14) 減圧器

蒸気発生器等からの高温・高圧ドレン水はドレン水冷却器で冷却されるが、それらドレン水を系外に排出するためにこの減圧器で減圧させる。

形式	減圧管型（可変式）
数量	1基
設計圧力	4.91 MPa
設計温度	80 °C
流体	純水
流量	0.02 kg/s
主要材質	SUS316TP

(15) ブロー蒸気冷却器

原料ガス供給系への水蒸気供給開始条件が成立するまで、蒸気過熱器出口の水蒸気を冷却する。

形式	二重管型ヘリカルコイル式	
数量	2基	
交換熱量	40 kW	
設計圧力	管側 4.91 MPa,	胴側 0.687 MPa
設計温度	管側 400 °C	胴側 400 °C
流体	管側 水蒸気	胴側 冷却水
流量	管側 0.014 kg/s	胴側 1.1 kg/s
主要材質	SUS316L	

5. 4 警報及びインターロック

水蒸気供給設備についての警報およびインターロックは次の通りである。警報設定値についてはプラント試験計測計装設備の章で述べる。

- 1) 蒸気発生器水位「低」で警報、「低低」で緊急停止1（差圧保持）
- 2) 蒸気過熱器出口水蒸気温度「高」で警報、「高高」で緊急停止1（差圧保持）
- 3) 蒸気過熱器出口水蒸気圧力「高」で警報、「高高」で緊急停止1（差圧保持）
- 4) 蒸気過熱器出口水蒸気流量「高」で警報、「高高」で緊急停止1（差圧保持）
- 5) 蒸気過熱器出口水蒸気圧力「低」で警報、「低低」で緊急停止2（大気開放）
- 6) 給水受入タンク水位「低」で警報、発信2.5時間継続後水精製器入口ポンプトリップ
- 7) 水精製器入口ポンプ電動機保護回路「トリップ」で警報及び水精製器入口ポンプトリップ
- 8) 脱気装置入口タンク水位「低」で警報、「低低」で脱気装置入口ポンプトリップ
- 9) 脱気装置入口ポンプ電動機保護回路「トリップ」で警報及び水精製器入口ポンプトリップ
- 10) 給水タンク水位「低」で警報、「低低」で供給ポンプトリップ
- 11) 供給ポンプ出口圧力「低」で警報、「低低」で供給ポンプトリップ
- 12) 給水バイパス冷却器出口給水温度「高」で警報、「高高」で供給ポンプトリップ
- 13) 水予熱器出口給水温度「低」で警報、「低低」で供給ポンプトリップ

- 14) 供給ポンプインバータ故障で警報及び供給ポンプトリップ
- 15) 水蒸気供給設備停止で警報及び供給ポンプトリップ
- 16) 炉外試験装置常用電源喪失で警報及び供給ポンプトリップ
- 17) 放熱器ファン用インバータ故障で警報及び放熱器ファンをトリップ
- 18) 水蒸気供給設備停止で警報及び放熱器ファンをトリップ
- 19) 常用電源喪失で警報及び放熱器ファンをトリップ
- 20) 蒸気発生器水位「低」で警報、「低低」で蒸気発生器供給水遮断弁「全閉」
- 21) ドレン水冷却器入口冷却水量「低」で警報、「低低」で蒸気発生器ドレン水遮断弁「全閉」

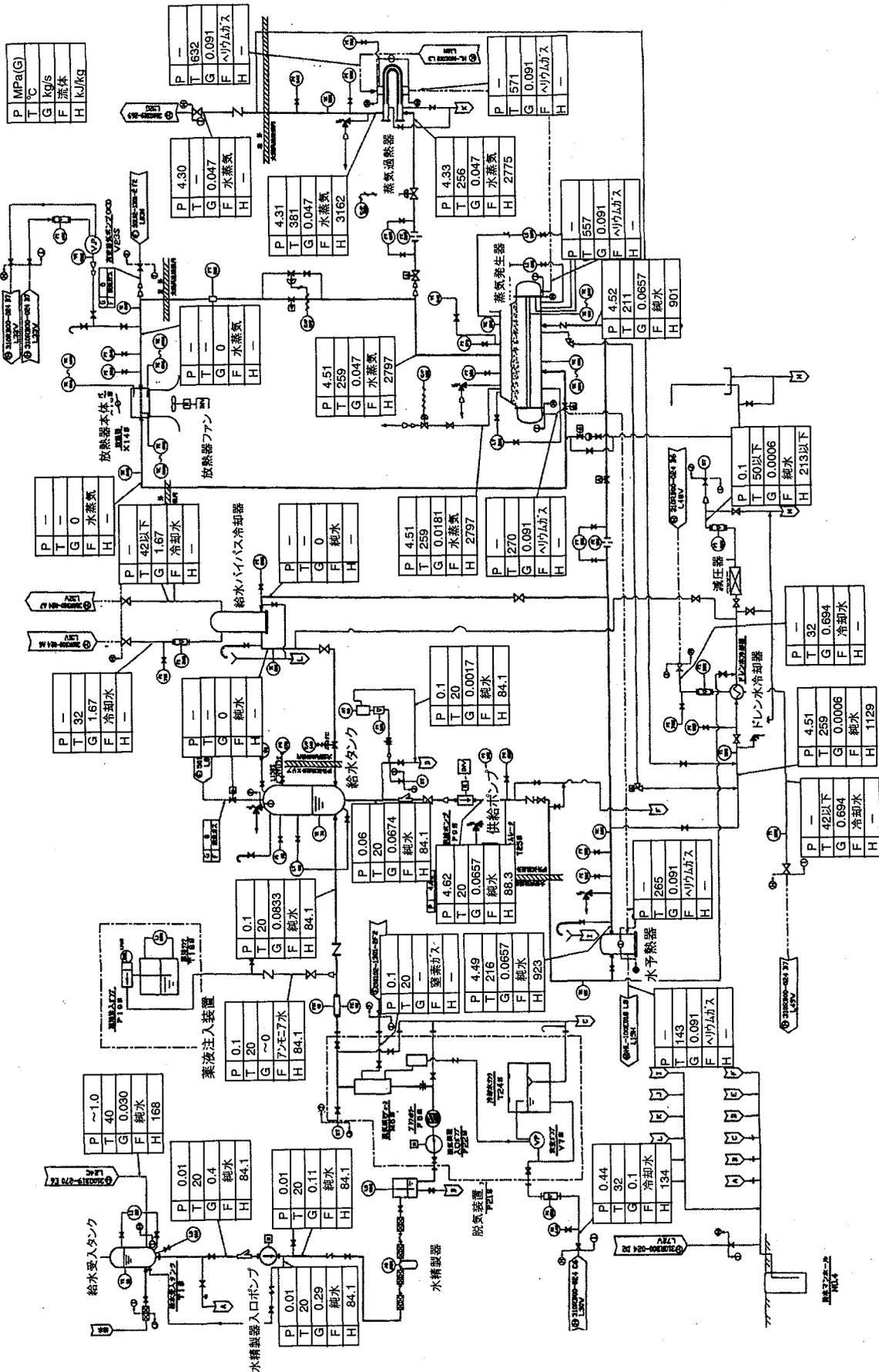


図 5.1 水蒸気供給設備の系統図と定格運転時における熱物質収支

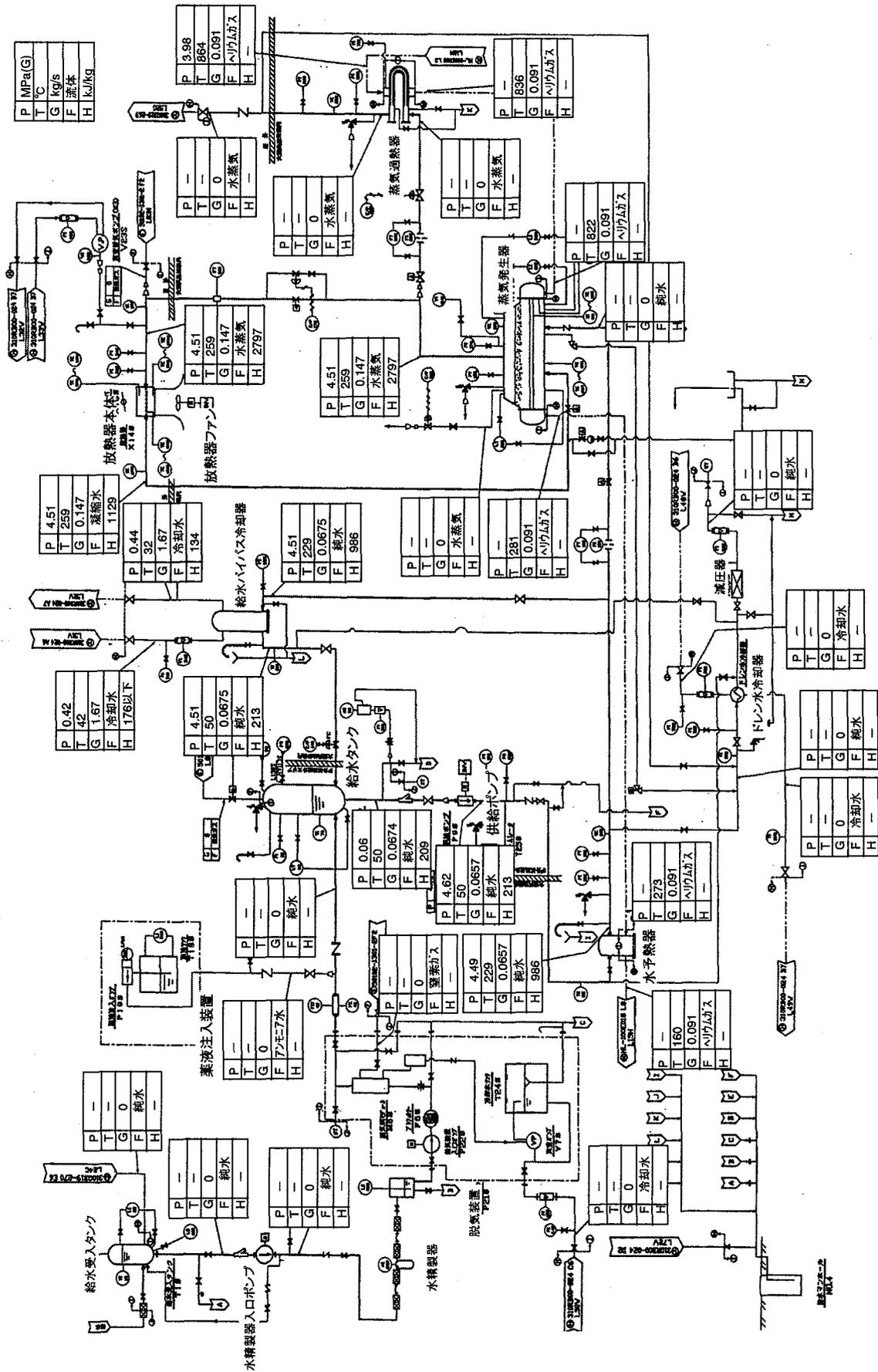


図 5.2 化学反応停止試験時における熱物質収支

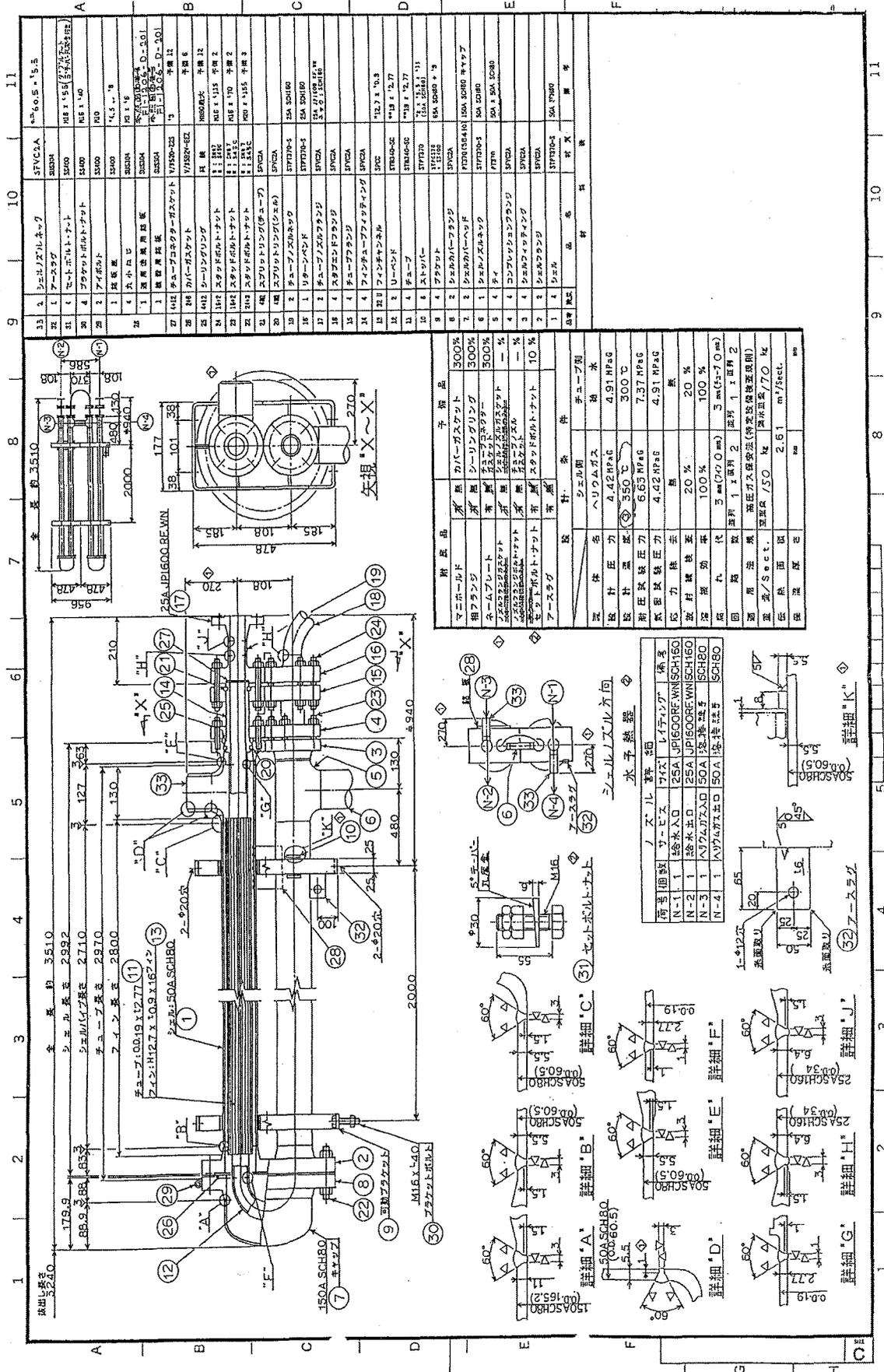


図 5.3 水予熱器構造図

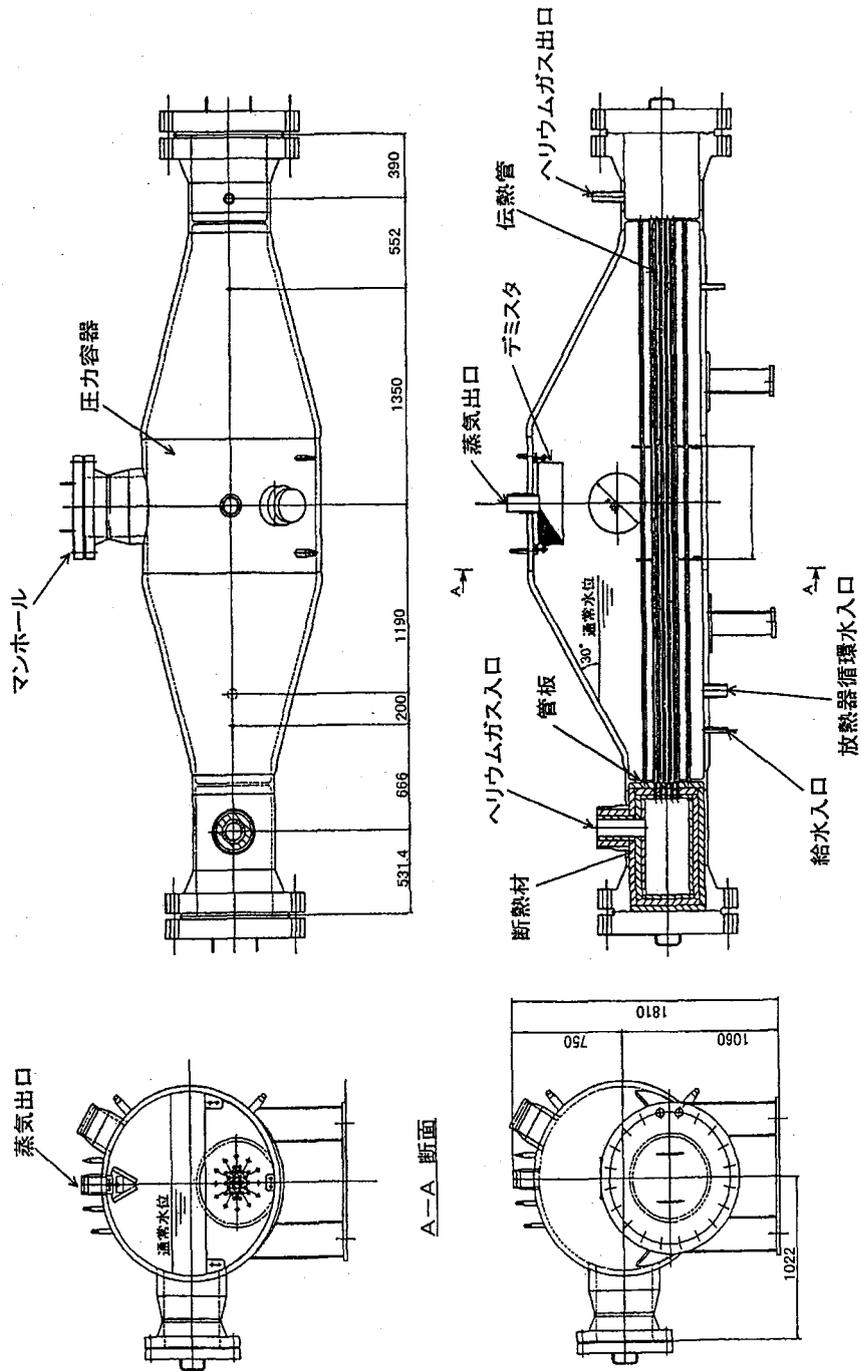


図 5.4 蒸気発生器構造図

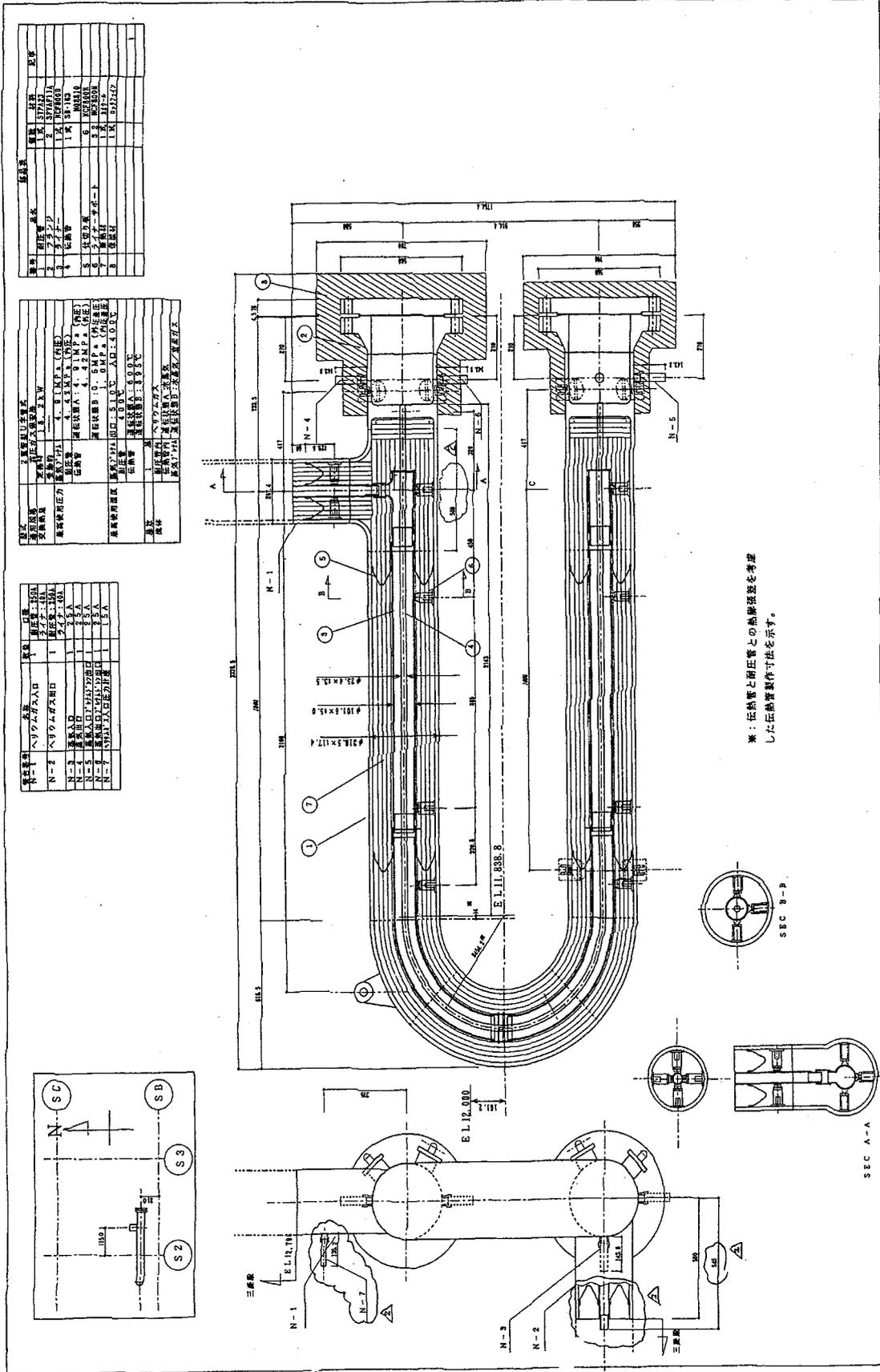


図 5.5 蒸気過熱器構造図

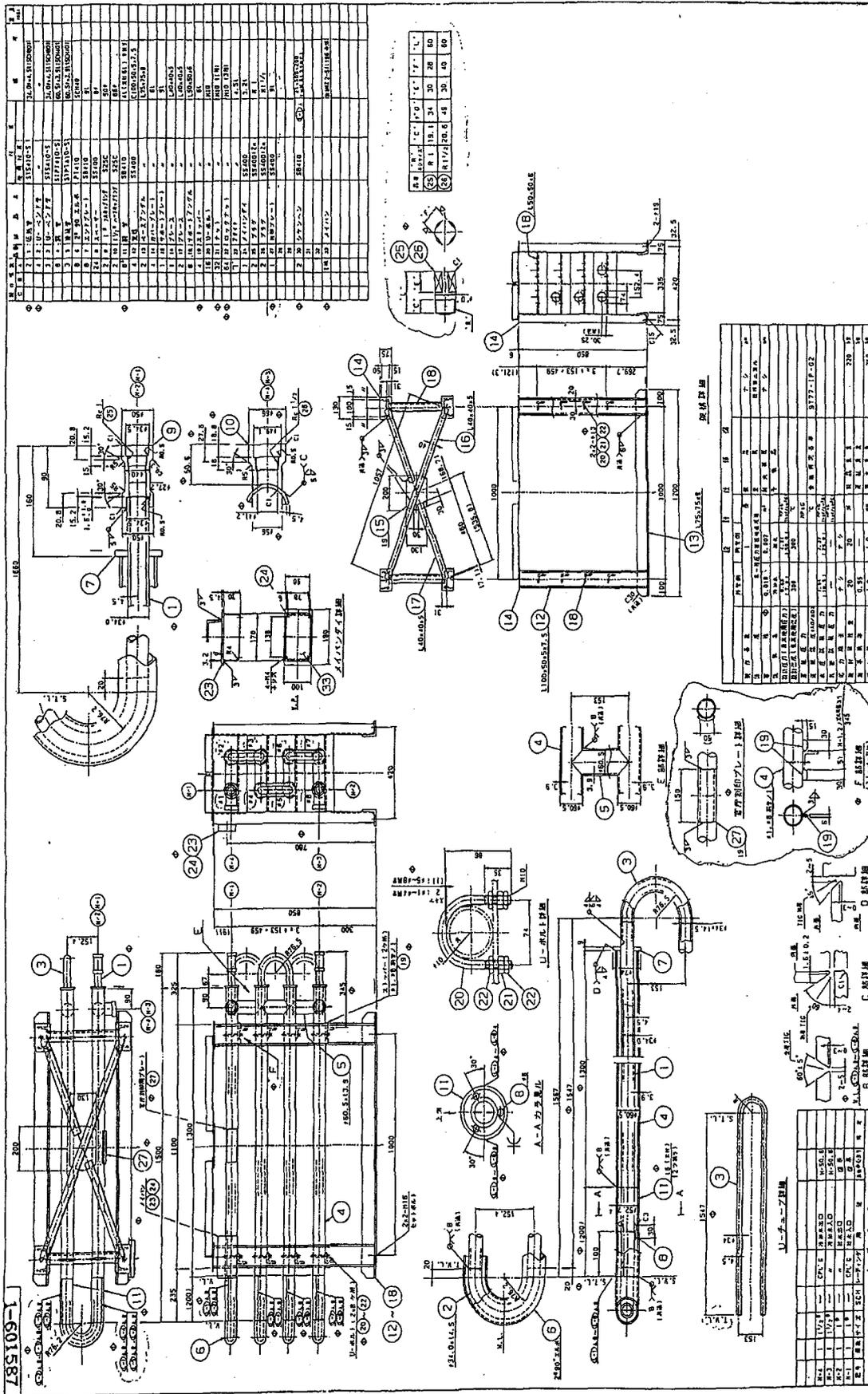


図 5.6 給水パイプ冷却器構造図

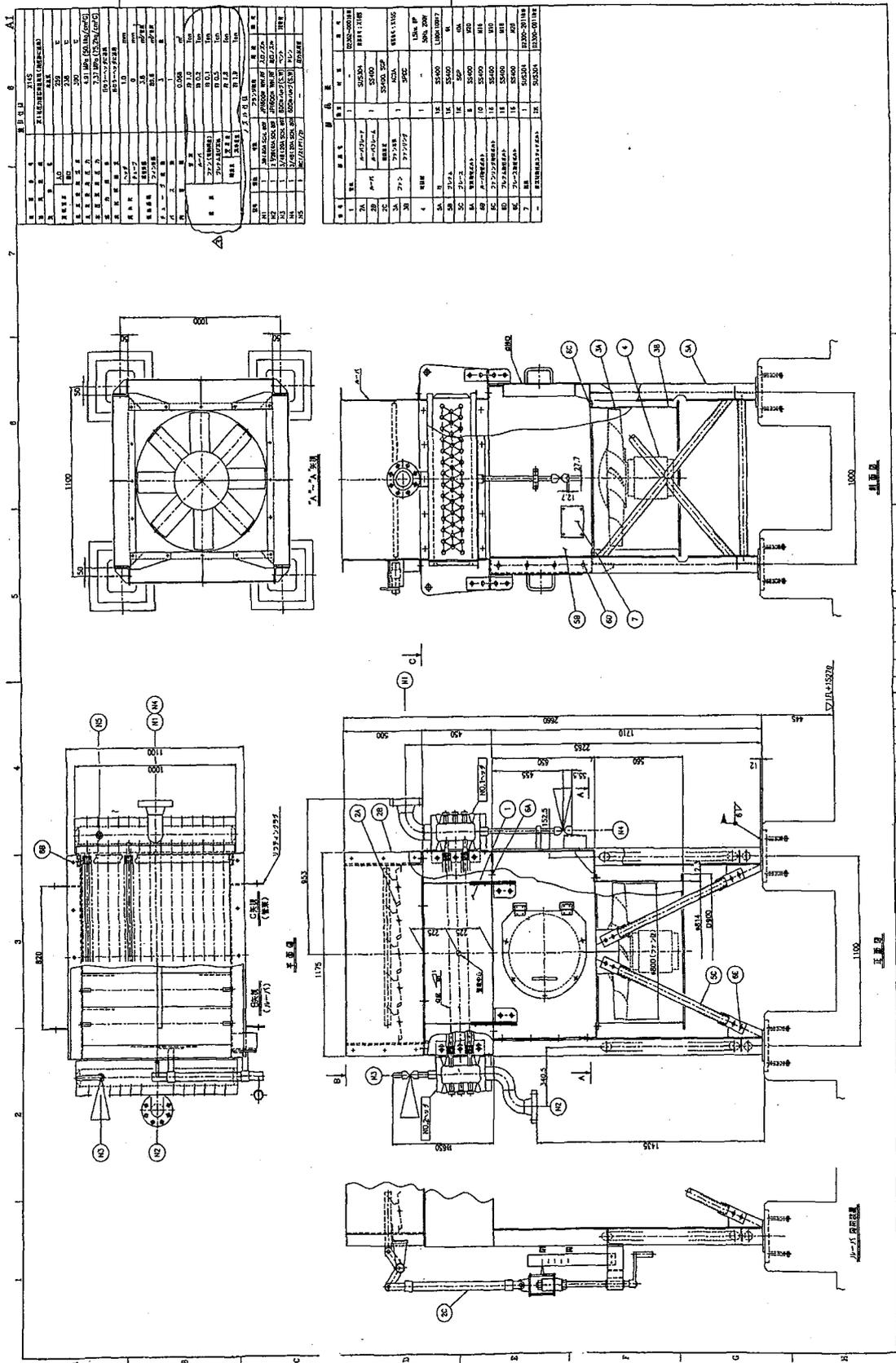


図 5.7 放熱器構造図

6. 原料ガス供給設備

6.1 概要

原料ガス供給設備は、LNG タンク内に貯蔵した LNG（液化天然ガス）を気化して、水蒸気と混合し、所定範囲内の圧力、流量及び温度で水蒸気改質器に供給することを目的とした設備であり、LNG タンク、LNG ポンプ、LNG 蒸発器、原料ガス加温器、原料ガスサージタンク、原料ガス加熱器、原料ガス過熱器等で構成される。

6.2 系統構成

図 6.1 に原料ガス供給設備の系統図及び熱物質収支図を示す。定格運転時において、LNG タンクからの LNG を LNG ポンプにより昇圧し、LNG 蒸発器を通して常温の天然ガスとして、原料ガスサージタンクに蓄圧する。原料ガスサージタンク内の原料ガスは原料ガス加温器にて約 60℃ に昇温し、更に圧力調節弁にて所定の圧力（5.46MPa）に減圧した後、流量調節弁にて所定の流量として供給する。供給された原料ガスは、原料ガス加熱器で約 350℃ に加熱し、水蒸気供給系からの蒸気と所定の混合比で混合して、その混合ガスを原料ガス過熱器で約 450℃ に過熱し水蒸気改質器に供給する。また、天然ガス成分の監視のため、ガスをサンプリングしてガスクロマトグラフィによる成分分析を行う。

(1) 原料ガス加温器の仕様（ガス減圧による低温下対策）

一般的に高圧のガスを減圧弁等の絞りを通して膨張・減圧して低圧側に流すとジュールトムソン効果によりガス温度が下がる。これは、ガスの種類によっても大きく違いがあるが、天然ガスの主成分であるメタンは低温、高圧では大きく変わるため対策が必要となる。また、ジュールトムソン膨張ではガスは外部に対して仕事をせずに圧力が低下する。膨張の前後でエンタルピーと運動エネルギーの和が一定に保たれるが、通常運転エネルギーの変化は無視できる程度なので、等エンタルピー変化と考えて良い。このことから、熱力学線図を使って天然ガスの減圧効果を評価する。メタンのエンタルピー線図によると、19.7MPa、0℃の天然ガスを 4.85MPa まで減圧した場合、温度は約-54℃となり機器及び弁に障害を与える可能性がある。このため、減圧弁の上流に原料ガス加温器を設置し昇温することとする。原料ガス加温器の仕様は、エンタルピー線図に基づきガス温度を 60℃ に昇温する設定とする。

(2) 圧力・流量制御法

水蒸気改質器に流す天然ガスは、圧力と流量が一定となるように制御しており、制御系は上流側より圧力調節弁、流量調節弁、水蒸気改質器を挟んで差圧調節弁と 3 つの制御器を直列に並べる構成となっている。

起動時の流量調節は、最初に窒素ガスと天然ガスを入れ替えるため、窒素ガス流量を減少させ、天然ガス流量を増加していく操作を行う。また、天然ガスの供給量の増加は、ヘリウムガスの温度変化に連動させており、水蒸気改質器入口ヘリウムガス温度が 730℃ の時に供給を開始し、定格の 880℃ に達したときに天然ガスの供給流量が定格の 12g/s になるように設定して

いる。

流量制御は、差圧式流量計の値(圧力、温度を補正)を元に流量調節弁でPID制御する方法とされているが、確認のための機能試験を行った結果、原料ガス供給流量が発散的な自励振動を起こし、制御定数の調整では解決しなかった。

振動は、流量計、調節計、制御弁で構成される自動制御系と、制御対象である流量調節弁から上流の流量計までの配管や弁等の物理システムとで形成するフィードバックループの内部で発生した自励振動と考えられることから、以下の対策を行うことで制御構成を変更した。

- a) 原料ガス流量調節計 FIC13G の入力側にアナログ式の低域通過型フィルタ(LPF)を挿入して振動周波数付近の制御ゲインを低減させることにより、不安定振動成分の循環を阻止する。
- b) 原料ガス供給圧力調節弁から原料ガス供給流量調節弁までの配管部のガス体積を、配管径 15A から 25A に変更することにより約 3 倍の容量に増加し、圧力の変化速度を約 1/3 に減少させる改造を行った。

(3) 緊急時における停止対応

原料ガス供給設備の緊急停止方法について、安全性の確保と財産保護の観点から検討を進めた。

a) 安全性の確保

原料ガス供給設備の緊急停止では、動的機器の停止及び空気操作弁の閉止を行い、天然ガスの供給を止めると共に低温低圧の LNG と常温高圧の天然ガスの区分に分ける。このとき、可燃性ガスである天然ガスをフレアスタックを介さずに系外に放出しないこと、及びヘリウムガスとプロセスガスの圧力境界を確保することとした。その結果、安全性については、以下の対応とした。

- ①天然ガスの供給遮断時に系内の圧力の急上昇を起こさせない。常温高圧の天然ガスの区分は直射日光による温度上昇を考えて設計圧力に裕度をもたす。
- ②LNG タンクから自然蒸発する天然ガスはフレアスタックへ流す。
- ③常に高温雰囲気(最高温度 880℃)で 2 次ヘリウムガスとプロセスガスの圧力境界を形成する水蒸気改質器反応管の気密性及び機器健全性を保持するため、別系統である不活性ガス供給系からの窒素ガスを原料ガスと入れ替えることで差圧制御を行うとともに、触媒層内のメタン、CO 等を除去して、触媒の炭素析出を防止する。

b) 財産保護

異常時の緊急停止が繰り返し起こったとしても健全性が確保されて、以下の条件を満たすものとする。

- ①水蒸気改質器反応管の健全性を確保し、系内の機器が再使用可能であること。
- ②配管内での炭素析出を防止してその健全性を確保し、再使用可能であること。

(3) 配管の選定

HTTR 水素製造システムの 1/30 スケールモデルである 炉外試験装置は、HTTR 水素製造

システムに比べて流量が少なく配管等のヒートロスが大きいことから、計算上では、十分に保温材を巻いても起動停止時に蒸気の凝縮が起こることが判っており、凝縮・再沸騰に伴う圧力変動の要因となる問題がある。このため、蒸気の凝縮問題については、HTTR 水素製造システムと同条件になるように、適所の配管にテープヒータを巻いて放熱分を補償することで、凝縮を防止する対策を採用する。また、本系統設備で使用するガスは、可燃性の高压ガスであり一般的に配管流速を遅くすることが推奨されていることから、下記の値を基に配管口径を選定している。

- ①可燃性の高温高压ガス部は 5m/s 以下
- ②可燃性の低温低压ガス部は 30m/s 以下

(4) 高压ガス保安法による規定

原料ガス供給設備では、0.2MPa 以上の LNG 及び 1MPa 以上の天然ガスを取り扱うため、高压ガス保安法の一般則規定に基づき可燃性の高压ガスとして高压ガス保安法の一般則に定められた規定を守る必要がある。関連する主な法規規定は、可燃性ガスの製造設備に関わるものであり、下記の規定等を満足する設計を行っている。

- ①可燃性ガスの製造設備は、その外面から火気を取り扱う施設に対し 8 m 以上の距離を有し、又は当該製造設備と火気を取り扱う施設との間に当該製造設備から漏えいしたガスが当該火気を取り扱う施設に流動することを防止するための施設を設置すること。(一般則 第六条三項)
- ②ガス設備に使用する材料は、ガスの種類、性状、温度及び圧力等に応じ適切なものであること。(一般則 第六条十四項)
- ③高压ガス設備には、告示で定めるところにより、温度計を設け、かつ、当該設備内の温度が常用の温度を超えた場合に直ちに常用の温度の範囲内に戻すことが出来るような措置を講ずること。(一般則 第六条十八項)
- ④高压ガス設備には、告示で定めるところにより、圧力計を設け、かつ、当該設備内の圧力が許容圧力を超えた場合に直ちにその圧力を許容圧力以下に戻すことが出来る安全装置を設けること。(一般則 第六条十九項)
- ⑤可燃性ガスの高压ガスに係る電気設備は、防爆性能を有する構造であること。(一般則 第六条二十六項)

(5) その他

原料ガス供給設備は、LNG タンク内に貯蔵した LNG (液化天然ガス) を気化して、途中から合流した蒸気と合せて、所定範囲内の圧力、流量及び温度で原料ガス+蒸気を水蒸気改質器に供給することを目的とした系統設備であり、炉外試験装置の原料ガス供給設備の設計・機器製作に当たっては、以下の工夫を行った。

- ①水蒸気改質器反応管は差圧設計としており、水蒸気改質器の上流にある本系統の供給圧力、流量はできるだけ変動が少なくなる仕様とした。
- ②高压ガス保安法の規定等を満足するように、機器配置、材料、インターロック、防爆性能

等を考えた構成とした。

- ③ガス減圧による低温下対策として温水加温式の原料ガス加温器を設けた。
- ④HTTR 水素製造システムに比べて配管等のヒートロスが大きく、起動停止時などに蒸気の凝縮が起こり、凝縮、再沸騰に伴う圧力変動の問題があることから、配管にテープヒータを巻いて放熱分を補償する対策を行った。
- ⑤その他の構成機器について、安全を考慮した機器仕様を決定した。
- ⑥水蒸気改質反応を行うための原料となる天然ガスを連続供給する。
- ⑦水蒸気改質器反応管において、ヘリウムガス循環設備との差圧を一定に保持するため原料ガスの供給圧力をヘリウムガス循環設備の圧力以上となるように保持・制御する。
- ⑧天然ガスと蒸気を混合させて原料ガスを作る。
- ⑨水蒸気改質器反応管への原料ガス供給温度を昇温し、保持・制御する。

6. 3 機器仕様

(1) LNG タンク

LNG を貯蔵するためのタンクであり、二重殻構造で内槽に LNG、外槽はパーライトを充填し、かつ真空状態とした断熱構造であり、自然蒸発量は 0.5wt%/日以下（大気圧状態で 90% 充填時、1 日の平均温度 30℃にて）である。仕様容量は、試験を 3 日連続して行うのに必要な LNG 量に基づいて設計している。図 6.2 に LNG タンクの機器構造図を示す。

1) LNG タンク本体

形 式	二重殻円筒型パーライト断熱タンク
数 量	1 基
容 量	15 m ³
設計圧力	0.932 MPa
設計温度	-196～40 °C
外圧条件	大気圧(0.101 MPa)
主要材質	内槽：SUS304 外槽：SS400

2) 加圧蒸発器 (LNG タンク付き)

形 式	空温式
数 量	1 基
公称能力	約 9 Nm ³ /h (LNG に対する能力)
流 体	LNG
設計圧力	2.00 MPa
設計温度	-196～40 °C
主要材質	A6063S A5052TD

(2) LNG ポンプ

LNG ポンプは、LNG タンク内の LNG を LNG 蒸発器へ輸送するポンプである。LNG ポンプは間欠運転とし、原料ガスサージタンク圧力が低下した場合、圧力低信号(7.0MPa)により LNG ポンプが自動起動して、圧力高信号(13.0MPa)にて LNG ポンプを自動停止する。LNG ポンプ流量は、間欠運転とするために、定格流量の 2 倍の送液能力を持たせる。図 6.3 に LNG ポンプの機器構造図を示す。

形 式	容積型往復ポンプ
数 量	1 台
定格吐出量	0.024 kg/s (121 Nm ³ /h)
定格全揚程	41.2 MPa
設計圧力	24.6 MPa
設計温度	-196 ~ 40 °C
主要材質	SUS304

(3) LNG 蒸発器

LNG 蒸発器は、LNG を空気と熱交換して天然ガスに気化させる空温式の蒸発器である。空温式蒸発器は、定格流量で 4 時間までの連続運転が可能であるが、更に運転を継続すると霜が付くことにより蒸発器の性能が低下する。本装置の使用条件は 4 時間以内での間欠運転とし、必要伝熱面積 81.8m² に対して約 2.5 倍の有効伝熱面積 205.3m² の余裕を持たせた。図 6.4 に LNG 蒸発器の機器構造図を示す。

形 式	空温式
数 量	1 基
公称能力	0.024 kg/s (121 Nm ³ /h) (LNG を対象)
流 体	LNG
使用入口温度	約-164 °C
使用出口温度	約-10 °C
設計圧力	24.6 MPa
設計温度	196 ~ 40 °C
主要材質	SUS304TP-S

(4) 原料ガスサージタンク

原料ガスサージタンクは、LNG を気化した天然ガスを一時貯蔵するタンクである。タンクローリから LNG タンクに補給を行う時は、安全を考え LNG ポンプの運転を停止し、この間の運転流量は原料ガスサージタンクに貯めた分を流す仕様とする。このため、原料ガスサージタンク容量は、LNG の補給時間約 2 時間以上供給できる仕様とする。図 6.5 に原料ガスサージタンクの機器構造図を示す。

形 式	横型長尺容器
数 量	4 基

容 量	0.5 m ³ /基
設計圧力	24.6 MPa
設計温度	-30 °C ~ 40 °C
主要材質	SCM435

(5) 原料ガス加温器

原料ガス加温器は、天然ガスを加温する機器である。原料ガス加温器の下流にある減圧弁(CV13G)で天然ガスを減圧する際に、過冷却が起こり機器及び弁に障害を与える恐れがあるため、予め天然ガスを加温することで減圧後の過冷却を防止するものである。図 6.6 に原料ガス加温器の機器構造図を示す。

形 式	温水加温式(電気ヒータ)	
数 量	1 基	
ヒータ容量	5 kW	
流 体	原料ガス(コイル管側)、ろ過水(水槽側)	
入口原料ガス温度	約-10 °C	
出口原料ガス温度	約 60 °C	
水槽水量	約 185 °C	
水槽温度	72~75 °C	
コイル管側設計圧力	24.6 MPa	
水槽側設計圧力	水頭圧	
コイル管側設計温度	-30 °C ~ 90 °C	
水槽側設計温度	90 °C	
主要材質	水槽	: SS400
	コイル	: SUS304TP

(6) 原料ガス加熱器

原料ガス加熱器は、水蒸気改質器へ供給する天然ガスを予熱する再生熱交換器で、水蒸気改質器から出た生成ガスと熱交換を行う。原料ガスと蒸気の混合ガスを作る場合、混合させる原料ガスと蒸気の温度は凝縮や熱ショック等の観点から同様の温度で混合させた方がよい。このため、原料ガス加熱器は、常温の原料ガスを混合させる蒸気温度まで昇温する仕様とする。図 6.7 に原料ガス加熱器の機器構造図を示す。

形 式	二重管式 U 字管型	
数 量	1 基	
交換熱量	12 kW	
	内管側	外管側
流 量	0.012 kg/s	0.059 kg/s
流 体	原料ガス	生成ガス
使用入口温度	0 °C	400 °C

使用出口温度	350 °C	318 °C
設計圧力	4.91 MPa	4.91 MPa
設計温度	490 °C	490 °C
主要材質	SUS316TP	

(7) 原料ガス過熱器

原料ガス過熱器は、天然ガスと水蒸気の混合ガスを水蒸気改質器へ供給する前に予熱する再生熱交換器で、水蒸気改質器から出た生成ガスと熱交換を行う。改質器入口の温度を一定制御するため、原料ガス過熱器にはバイパスラインと流量調節弁を設けて原料ガス過熱器出口の温度を一定制御する機能を有する。このため、設計では通常運転時、原料ガス過熱器に定格流量の85%の流量を流し、残りの15%はバイパスラインに流すことで機器容量を定める。図6.8に原料ガス過熱器の機器構造図を示す。

形式	二重管式U字管型	
数量	1基	
交換熱量	23 kW	
	内管側	外管側
流量	0.050 kg/s	0.059 kg/s
流体	原料ガス+蒸気	生成ガス
使用入口温度	331 °C	560 °C
使用出口温度	508 °C	406 °C
設計圧力	4.91 MPa	4.91 MPa
設計温度	650 °C	650 °C
主要材質	NCF800HTP	

6. 4 警報およびインターロック

高圧ガス保安法により、LNGタンクに液面計の設置、圧力・温度区分の変わるエリア毎に規定精度の圧力計・温度計を設置し、液面、圧力・温度を監視することが義務づけられている。なお、温度監視においては、設計温度を超えない措置を設けることが義務づけられていることから、所定の温度に達すると警報及び緊急停止するインターロックを設けることを対策としている。また、法規上の設置の義務は無いが安全上の監視項目として液面、圧力、流量等においても適宜、警報及び緊急停止するインターロックを設ける。以下に主要な警報及びインターロック仕様を示す。警報設定値についてはプラント試験計測計装設備の章で述べる。

- 1) LNGタンク圧力「高」で警報
- 2) LNGタンク液位「低」で警報、「低低」で緊急停止1（差圧保持）
- 3) LNGポンプ入口圧力「低」で警報、「低低」で緊急停止1（差圧保持）
- 4) LNGポンプ出口圧力「高」で警報、「高高」で緊急停止1（差圧保持）
- 5) 原料ガスサージタンク圧力「高高」または「低低」で警報、「低低低」で緊急停止1（差圧保持）

- 6) 原料ガス供給流量「高」または「低」で警報
- 7) 原料ガス加熱器入口圧力「低」で警報、「低低」で緊急停止1 (差圧保持)
- 8) 原料ガス加熱器出口温度「高」で警報、「高高」で緊急停止1 (差圧保持)
- 9) 水蒸気改質器入口温度「高」または「低」で警報、「高高」で緊急停止1 (差圧保持)
- 10) 原料ガス加熱器水位「低」で警報、「低低」で緊急停止1 (差圧保持)
- 11) 原料ガス加熱器水温「高」または「低」で警報、「高高」で緊急停止1 (差圧維持)
- 12) 原料ガス供給圧力「高」で警報、「高高」で緊急停止1 (差圧保持)

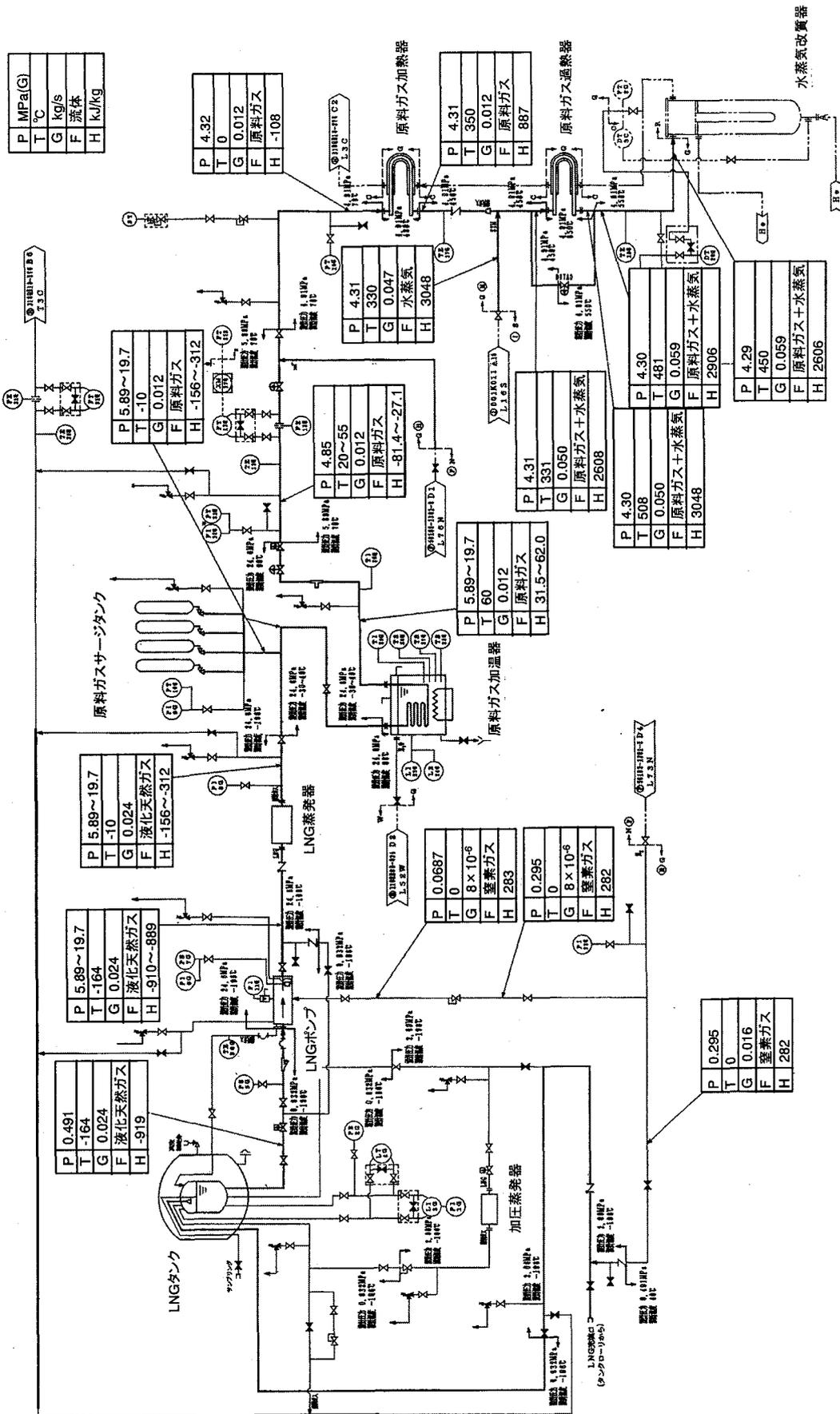
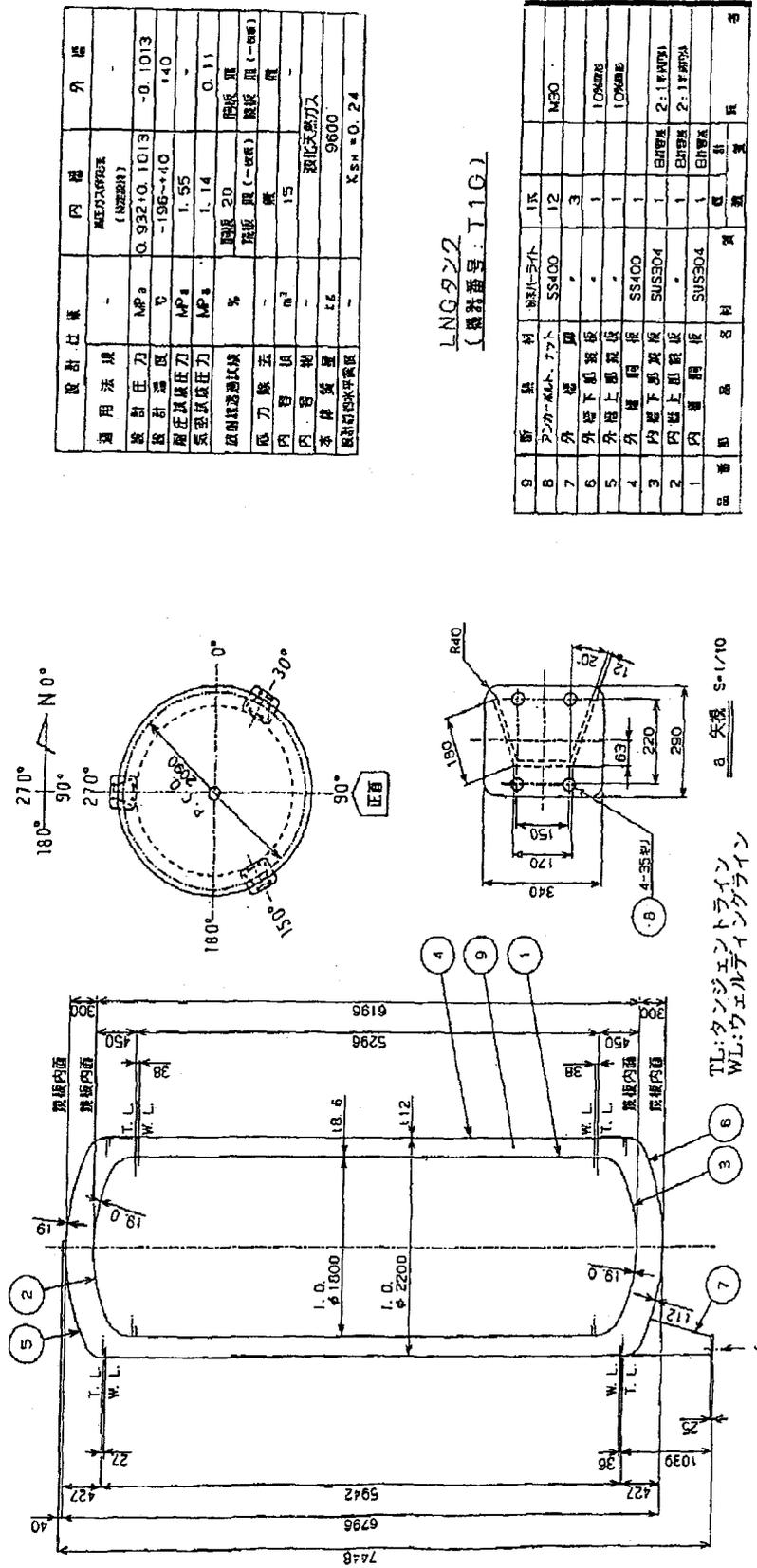


図 6.1 原料ガス供給設備の系統図と定格運転時における熱物質収支



設計仕様		内径	外径
適用規格	-	MEJAPROX (NZEPR)	-
設計圧力	MPa	0.932(0.1013)	0.1013
設計温度	°C	-196→+10	+40
筒体厚さ	MPa	1.55	-
筒体厚さ	MPa	1.14	0.11
筒体厚さ	%	筒体厚さ	筒体厚さ
筒体厚さ	%	筒体厚さ	筒体厚さ
筒体厚さ	m ²	15	-
筒体厚さ	kg	-	液化天然ガス
筒体厚さ	-	-	9600
筒体厚さ	-	-	KSM=0.24

LNGタンク
(機器番号: J110)

品番	部品名	材料	数量	単位	備考
9	断熱材	グラスウール	1	IK	-
8	アンカーボルト	SS400	12	M30	-
7	外筒	鋼	3	-	-
6	外筒下部取付板	-	1	10MM	-
5	外筒上部取付板	-	1	10MM	-
4	外筒側取付板	SS400	1	-	-
3	内筒下部取付板	SUS304	1	ERW	2:1 MPa
2	内筒上部取付板	SUS304	1	ERW	2:1 MPa
1	内筒	SUS304	1	ERW	-
品番	部品名	材料	数量	単位	備考

図 6.2 LNGタンクの構造図

構造仕様	
構造形式	管束型
管束径	φ100
管束数	100
管束間隔	20
管束長さ	2710
管束厚さ	3.0
管束材料	ステンレス鋼
管束仕上り	200℃
管束試験圧	10
管束試験媒体	水

仕様書
[参照: X30]

項目	仕様	単位	備考
管束径	φ100	mm	
管束数	100	本	
管束間隔	20	mm	
管束長さ	2710	mm	
管束厚さ	3.0	mm	
管束材料	ステンレス鋼		
管束仕上り	200℃		
管束試験圧	10	MPa	
管束試験媒体	水		
管束試験条件	常温		
管束試験結果	合格		
管束試験日	2007.12.12		
管束試験場所	JAERI		
管束試験者	〇〇〇		
管束試験長	〇〇〇		
管束試験副長	〇〇〇		
管束試験係	〇〇〇		
管束試験承認者	〇〇〇		
管束試験承認日	2007.12.12		
管束試験承認場所	JAERI		
管束試験承認者	〇〇〇		
管束試験承認長	〇〇〇		
管束試験承認副長	〇〇〇		
管束試験承認係	〇〇〇		

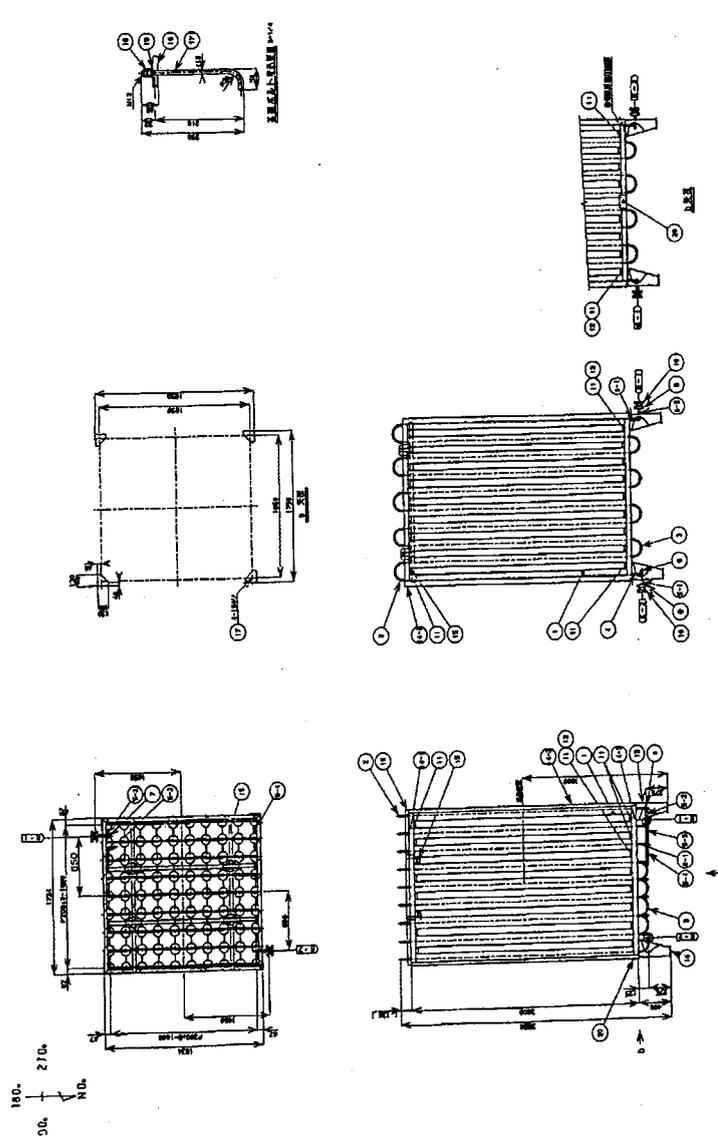
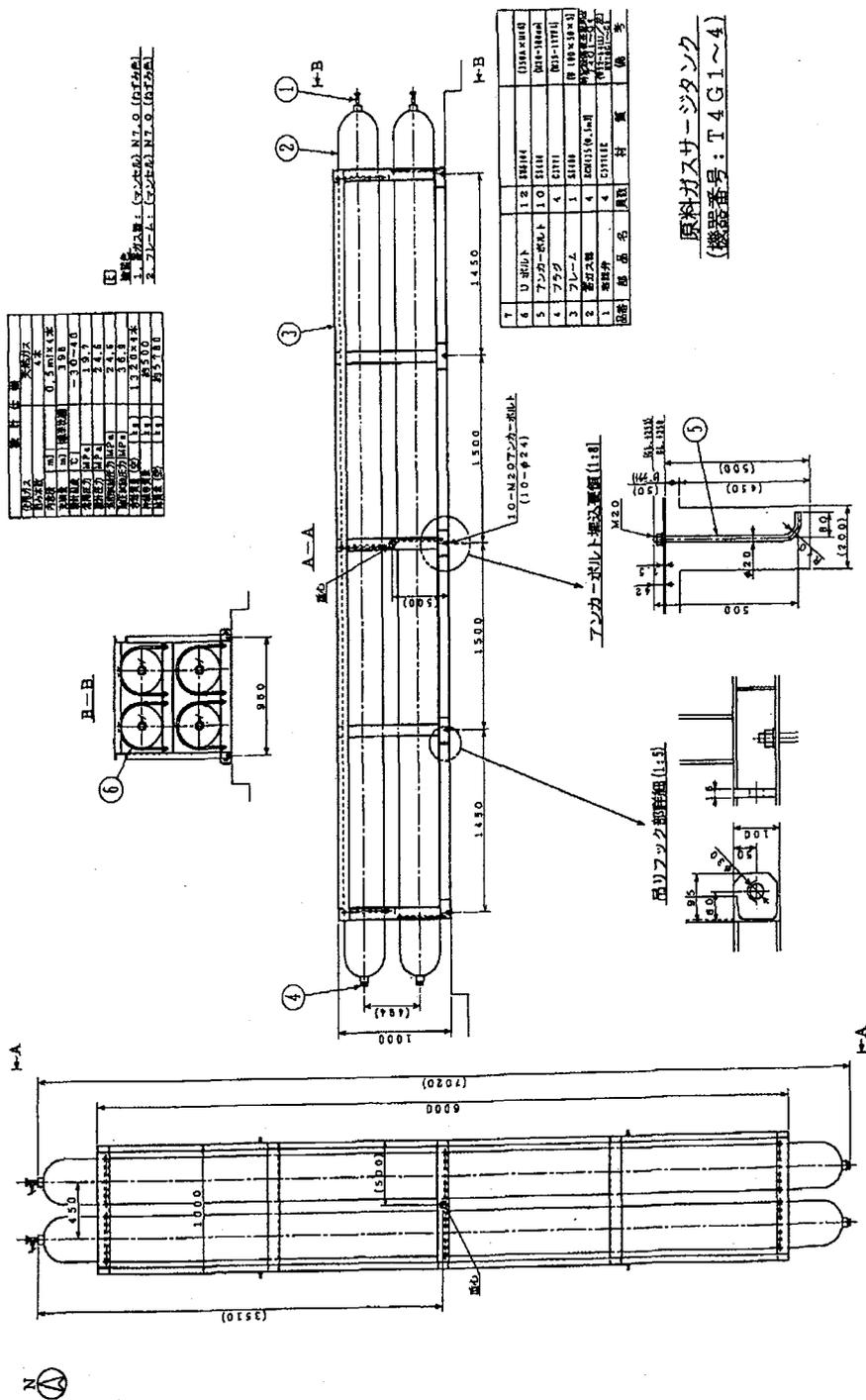


図 6.4 LNG 蒸発器の構造図



(単位:mm)

1) 製造所: 東京製作所 2) 製造番号: K54250
 3) 製造年: 1987年 4) 製造場所: 東京都文京区
 5) 製造者: 東京製作所 6) 製造者住所: 東京都文京区
 7) 製造者電話番号: 03-5681-2111 8) 製造者FAX番号: 03-5681-2112
 9) 製造者Eメール: k54250@kaiyaku.com

品名	原料ガス加温器	製造番号	K54250
仕様	原料ガス加温器	製造年	1987
製造所	東京製作所	製造場所	東京都文京区
製造者	東京製作所	製造者住所	東京都文京区
製造者電話番号	03-5681-2111	製造者FAX番号	03-5681-2112
製造者Eメール	k54250@kaiyaku.com		

部品名	部品番号	数量	単位
原料ガス加温器	1	1	個
原料ガス加温器	2	1	個
原料ガス加温器	3	1	個
原料ガス加温器	4	1	個
原料ガス加温器	5	1	個
原料ガス加温器	6	1	個
原料ガス加温器	7	1	個
原料ガス加温器	8	1	個
原料ガス加温器	9	1	個
原料ガス加温器	10	1	個
原料ガス加温器	11	1	個
原料ガス加温器	12	1	個
原料ガス加温器	13	1	個
原料ガス加温器	14	1	個
原料ガス加温器	15	1	個
原料ガス加温器	16	1	個
原料ガス加温器	17	1	個
原料ガス加温器	18	1	個
原料ガス加温器	19	1	個
原料ガス加温器	20	1	個

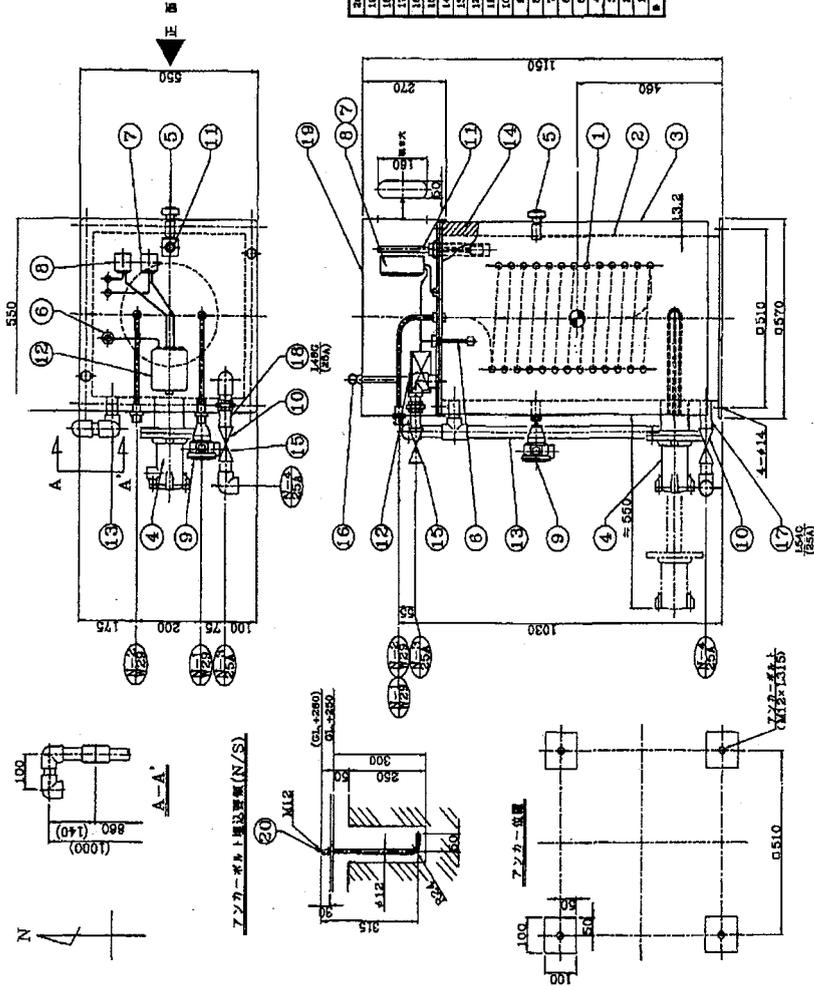


図 6.6 原料ガス加温器の構造図

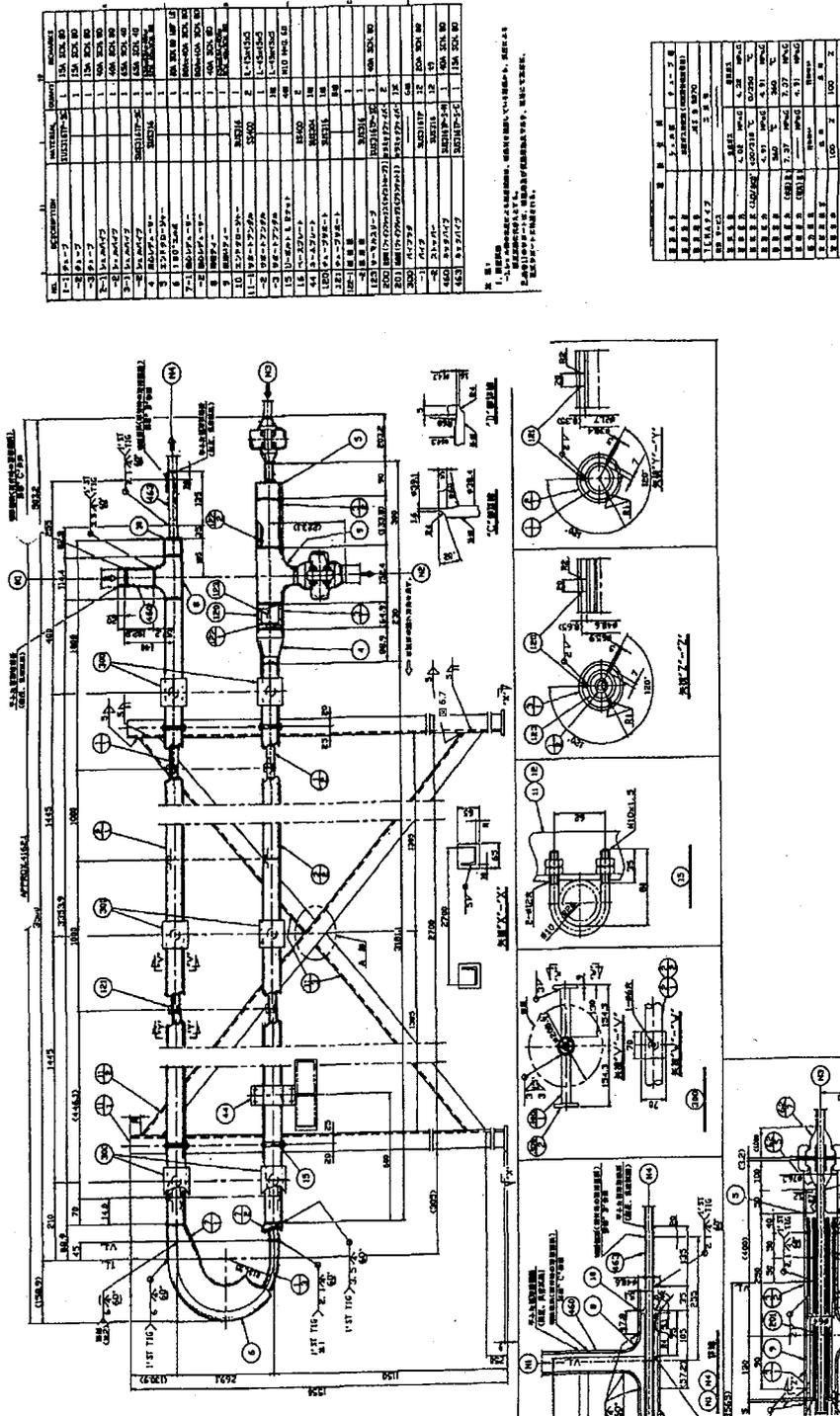


図 6.7 原料ガス加熱器の構造図

NO.	記号	名称	材質	寸法	数量
1	101	燃料管	304 SUS	φ25.4 × 1000	1
2	102	燃料管	304 SUS	φ25.4 × 1000	1
3	103	燃料管	304 SUS	φ25.4 × 1000	1
4	104	燃料管	304 SUS	φ25.4 × 1000	1
5	105	燃料管	304 SUS	φ25.4 × 1000	1
6	106	燃料管	304 SUS	φ25.4 × 1000	1
7	107	燃料管	304 SUS	φ25.4 × 1000	1
8	108	燃料管	304 SUS	φ25.4 × 1000	1
9	109	燃料管	304 SUS	φ25.4 × 1000	1
10	110	燃料管	304 SUS	φ25.4 × 1000	1
11	111	燃料管	304 SUS	φ25.4 × 1000	1
12	112	燃料管	304 SUS	φ25.4 × 1000	1
13	113	燃料管	304 SUS	φ25.4 × 1000	1
14	114	燃料管	304 SUS	φ25.4 × 1000	1
15	115	燃料管	304 SUS	φ25.4 × 1000	1
16	116	燃料管	304 SUS	φ25.4 × 1000	1
17	117	燃料管	304 SUS	φ25.4 × 1000	1
18	118	燃料管	304 SUS	φ25.4 × 1000	1
19	119	燃料管	304 SUS	φ25.4 × 1000	1
20	120	燃料管	304 SUS	φ25.4 × 1000	1
21	121	燃料管	304 SUS	φ25.4 × 1000	1
22	122	燃料管	304 SUS	φ25.4 × 1000	1
23	123	燃料管	304 SUS	φ25.4 × 1000	1
24	124	燃料管	304 SUS	φ25.4 × 1000	1
25	125	燃料管	304 SUS	φ25.4 × 1000	1
26	126	燃料管	304 SUS	φ25.4 × 1000	1
27	127	燃料管	304 SUS	φ25.4 × 1000	1
28	128	燃料管	304 SUS	φ25.4 × 1000	1
29	129	燃料管	304 SUS	φ25.4 × 1000	1
30	130	燃料管	304 SUS	φ25.4 × 1000	1

品名	数量	単位	材質
燃料管	30	本	304 SUS
燃料管	30	本	304 SUS
燃料管	30	本	304 SUS
燃料管	30	本	304 SUS
燃料管	30	本	304 SUS
燃料管	30	本	304 SUS
燃料管	30	本	304 SUS
燃料管	30	本	304 SUS
燃料管	30	本	304 SUS
燃料管	30	本	304 SUS
燃料管	30	本	304 SUS
燃料管	30	本	304 SUS
燃料管	30	本	304 SUS
燃料管	30	本	304 SUS
燃料管	30	本	304 SUS
燃料管	30	本	304 SUS
燃料管	30	本	304 SUS
燃料管	30	本	304 SUS
燃料管	30	本	304 SUS
燃料管	30	本	304 SUS
燃料管	30	本	304 SUS

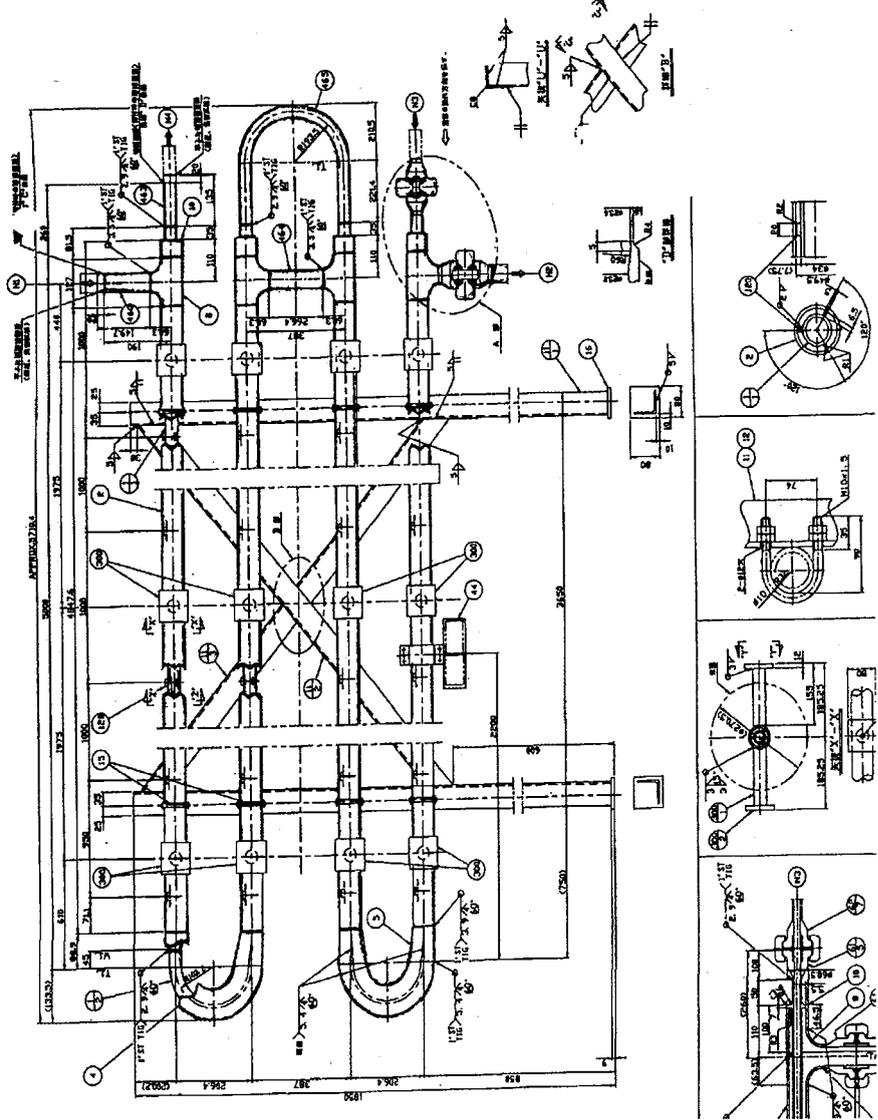


図 6.8 原料ガス過熱器の構造図

7. 後処理設備

7. 1 概要

後処理設備は、水蒸気改質器の差圧を保持するために系内の圧力調節を行うと共に、水蒸気改質器で生成された高温状態である生成ガスを冷却し、排ガス中の水蒸気を凝縮させ水分を除去すること、並びに水分除去後の可燃性生成ガスを燃焼させて安全に大気に放出することを目的とした設備である。

7. 2 系統構成

後処理設備は、ヘリウムガス／生成ガス差圧調節弁、大気開放弁、生成ガス冷却器、セパレータ、凝縮水ポンプ、水封ドラム、フレアスタック、LPG 供給ユニット等で構成される。図 7.1 に系統図及び定格運転時の熱物質収支を示す。

定格運転時において、水蒸気改質器からの約 600℃、4.04MPa の生成ガスを原料ガス過熱器及び原料ガス加熱器で約 300℃まで冷却した後、水蒸気改質器から出る触媒粉塵を除去するための触媒粉塵用フィルタを経由し、ヘリウムガス／生成ガス差圧調節弁で 0.07MPa まで減圧し、更に生成ガス冷却器で約 40℃まで冷却する。冷却した生成ガスはセパレータで気液分離し、凝縮水は、セパレータから凝縮水ポンプを用いて廃棄する。一方、凝縮水と分離した生成ガスは、逆火防止性能をもった水封ドラムを通気後、フレアスタック内のパイロットバーナで着火し、燃焼後、フレアスタックから大気放出する。

また、セパレータ下流には、成分解析を行うためのガスクロへ導くサンプリングラインを設けており、サンプリングラインには、約 15℃まで除湿冷却するためのサンプリング冷却器を設けている。更に、フレアスタックのパイロットバーナの燃料として使用する LPG 供給ユニットを設けている。

水蒸気改質器は伝熱促進上、反応管の肉厚を薄くしているため、ヘリウムガス側と生成ガス側の差圧を抑えることで、材料に対する負荷を軽減し破損を防いでいる。差圧の維持は触媒粉塵用フィルタと生成ガス冷却器の間にある差圧制御弁によって、ヘリウムガスとの差圧が一定になるように制御されている。もし差圧が一定の範囲を超えた場合には緊急停止し、差圧制御弁は差圧を維持するように制御させる。

(1) 差圧制御法

水蒸気改質器反応管はヘリウムガスとプロセスガスの差圧を保持する設計となっており、後処理設備では、ヘリウムガスの圧力にプロセスガスの圧力を一定差圧で追従させて調節する方法の差圧制御系を設けている。

1) 差圧調節弁による制御性

差圧調節弁は、ヘリウムガスとプロセスガスの差圧を常に保持する設計となっている水蒸気改質器反応管の保護のために、水蒸気改質器の反応管内外の差圧計を制御点として、プロセスガスの圧力をヘリウムガス圧力に追従させて自動調節するためのものである。

差圧制御は、低圧から高圧に昇圧していく起動時にも必要であり、炉外試験装置では低

圧時は窒素ガスのみを流し、昇圧途中に水蒸気を投入し、その後に窒素ガスと天然ガスを切り換えて水素製造を行うため、起動時はヘリウムガスと窒素ガス、又はヘリウムガスと窒素ガス+水蒸気、定格時にはヘリウムガスと生成ガスとなる運転移行過程で差圧を常に一定に保つ制御が必要である。このため、特に起動運転時の昇温昇圧中における水蒸気投入時や窒素ガスと生成ガスの切換時などに、差圧変動が起こることが考えられる。

なお、水蒸気改質器で発生する触媒粉がヘリウムガス/生成ガス差圧調節弁の制御性に影響を与えることが考えられることから、触媒粉を除去するための機器として触媒粉塵用フィルタを設けた。

2) 異常時の差圧保護装置

ヘリウムガスとプロセスガスの運転差圧を考慮した反応管の差圧設計は、高圧ガス保安法で特認が必要である。このため、ヘリウムガスとプロセスガスの差圧が設定値を超えたときには、ヘリウムガスとプロセスガスを大気へ放出するため大気開放弁を安全装置として設けた。大気開放弁は2台を並列に設置し二重化してある。これに基づき、ヘリウムガスとプロセスガスの差圧計によるものと、ヘリウムガスとプロセスガスの圧力値より計算機で演算して求めた2種類の差圧計測値を用いて、並列に二つ設けた大気開放弁を開閉する構成を採用した。差圧高高信号に伴って緊急停止すると共にヘリウムガス供給設備及び後処理設備双方の大気開放弁により、圧力を双方同時に大気圧まで落とすことで反応管の圧力に対する設計条件を担保する。図 7.2 に、大気開放弁の信号処理回路と電源の構成を示す。

また、大気開放弁を瞬時に開けて大気開放とすると、約 4MPa の圧力差により臨界速度となり、開放口径に比例して可燃性ガスであるプロセスガスが短時間で大量に放出することとなるため、放出先のフレアスタックにおいて急激な流量変動に伴った炎の吹き消えが起きる恐れがある。このため、大気開放弁については、開速度を緩やかにするように調整した。なお、プロセスガス側の圧力がヘリウムガス側より遅れて大気圧になる場合には内圧によるクリープ破断が問題となるが、解析による破断に要する時間は 5270 時間であるので反応管の健全性には影響しない。

(2) フレアスタックの安全性

可燃性ガスを燃焼処理して大気へ放出するための設備であるフレアスタックには、より安全性を考慮した紫外線式失火検出器を設け、失火検出信号により再着火を自動で行い、再着火失敗信号により緊急停止とする制御を設けた。なお、フレアスタックの失火、安全性に対する対策は次に示すとおりとした。

1) 安全性対策

フレアスタックは、可燃性ガスを燃焼処理するための設備であり、安全性には十分気配慮する必要がある。このため、後処理設備のフレアスタックには、以下に示すような特別な安全対策を行っている。

フレアスタックの型式にはエレベータ型とグラウンドフレア型があるが、処理容量が小さいこと及び燃焼炎が見え無いことと、失火し難く、かつ、騒音の小さいことからグラ

ンドフレア方式を採用した。

- ①フレアスタックは種火であるパイロットバーナにより、被燃焼ガス(生成ガス)のメインバーナを着火するものであり、屋外仕様となるパイロットバーナは 100mm の降水量、50m/s の風速でも失火しない仕様のもを用いた。
- ②安全対策として迅速な失火監視を目的とした赤外線式火炎検出器を設け、失火から 2 秒以内に検出し、5 秒間隔で自動再着火を 5 回行うこととし、失火から 30 秒以内に再着火しない場合には、炉外試験装置を緊急停止させるインターロックを設けた。
- ③水蒸気改質器からの生成ガス以外に、LNG タンクより発生する自然気化分の天然ガスも処理する仕様となっている。
- ④種火ガス供給装置は生成ガスや天然ガスとは別に単独分離して、LPG を燃料に用い(2 系統)、点火電源も無停電電源を用いている。
- ⑤グラウンドフレアスタック本体の内側には、耐火・耐熱を目的として断熱材を設置している。

2) グラウンドフレア性能計算根拠

フレアスタックの燃焼設計条件は表 7.1、図 7.3 の通りであり、炉外試験装置の運転仕様に合わせて、燃焼ガスの種類、流量を変えた条件を全て包絡する仕様である。

本フレアスタック(グラウンドフレア形式)の設計条件は、燃焼総熱量 Q が最大となる通常運転及び緊急放出時が支配的であるため、このケースに対してグラウンドフレア形状を決定した。この場合の燃焼総熱量 Q は以下の通りとなる。

$$Q = 12.89 \left[\text{MJ/m}^3_{\text{N}} \right] \times \frac{22.4 \left[\text{Nm}^3 \right]}{11.18 \left[\text{kg} \right]} \times 0.0317 \left[\text{kg/s} \right] \times 3600 \left[\text{s/h} \right] = 2947 \left[\text{MJ/h} \right]$$

定格運転時ケース燃焼時熱バランスを求める。

$$\begin{aligned} Q &= 12.89 \left[\text{MJ/Nm}^3 \right] \times \frac{22.4 \left[\text{Nm}^3 \right]}{11.18 \left[\text{kg} \right]} \times 0.0317 \left[\text{kg/s} \right] \times 3600 \left[\text{s/h} \right] \times (1 - 0.05) \\ &= W_f \times C_p \times (t_g - t_a) = 2799.9 \left[\text{MJ/h} \right] \end{aligned}$$

ここで、 Q : 燃焼総熱量 (MJ/h)

W_f : 燃焼排ガス量 (kg/h)

C_p : 25℃～ t_g (炉内平均温度)迄の平均定圧比熱 (MJ/kg℃)

t_g : 炉内平均温度 (℃)

t_a : 外気温度 (25℃)

フレアスタック内温度を仮定し、その温度までの平均定圧比熱を使用して熱計算を行うとフレアスタック内温度は約 750℃と推定され、又燃焼排ガス量 W_f は以下ようになる。

$$\begin{aligned}
 Wf &= \frac{2799.9}{Cp \times (tg - ta)} \\
 &= \frac{2799.9}{1.075 \times 10^{-3} \times (750 - 25)} \\
 &= 3590 \text{ [kg/h]}
 \end{aligned}$$

燃焼廃ガス組成の計算平均分子量 (28.9) 及び炉内温度 750℃より体積流量 Vact は以下の通りとなる。

$$\begin{aligned}
 Vact &= \frac{3590 \text{ [kg/h]}}{3600 \text{ [s/h]}} \times \frac{22.4 \text{ [Nm}^3\text{]}}{28.9 \text{ [kg]}} \times \frac{(273 + 750) \text{ [K]}}{273 \text{ [K]}} \\
 &= 2.896 \text{ [m}^3\text{/s]}
 \end{aligned}$$

したがって、グランドフレア出口流速 Uo 及び筒身内流速 Um は以下となる。

$$\begin{aligned}
 Uo &= \frac{Vact}{\pi/4 \times do^2} = \frac{2.896 \text{ [m}^3\text{/s]}}{\pi/4 \times 0.641^2 \text{ [m}^2\text{]}} = 8.97 \text{ [m/s]} \\
 Um &= \frac{Vact}{\pi/4 \times dm^2} = \frac{2.896 \text{ [m}^3\text{/s]}}{\pi/4 \times 0.941^2 \text{ [m}^2\text{]}} = 4.16 \text{ [m/s]}
 \end{aligned}$$

また、燃焼空気量 Wo は以下となる。

$$\begin{aligned}
 Wo &= Wf - Wg = 3590 \text{ [kg/h]} - 0.0317 \text{ [kg/s]} \times 3600 \text{ [s/h]} \\
 &= 3475.9 \text{ [kg/h]} \\
 \text{or } Vo &= \frac{3475.9 \text{ [kg/h]}}{3600 \text{ [s/h]}} \times \frac{22.4 \text{ [Nm}^3\text{]}}{29 \text{ [kg]}} \times \frac{(273 + 25) \text{ [K]}}{273 \text{ [K]}} \\
 &= 0.814 \text{ [m}^3\text{/s]}
 \end{aligned}$$

Wo : 燃焼空気ガス量 [kg/h]

Vo : 燃焼空気体積流量 [m³/h]

Wg : 供給燃焼ガス流量 [kg/h]

空気取り入れ口流速 Ua 及びスカート円環部への空気流入速度 Ui は以下となる。

$$\begin{aligned}
 Ua &= \frac{Vo}{Ao} = \frac{0.814 \text{ [m}^3\text{/s]}}{4 \times 0.25 \times 0.35 \text{ [m}^2\text{]}} = 2.325 \text{ [m/s]} \\
 &\quad Ao : \text{燃焼空気取り入れ口面積 [m}^2\text{]} \\
 Ui &= \frac{Vo}{\pi/4(Di^2 - Do^2)} = \frac{0.814 \text{ [m}^3\text{/s]}}{\pi/4 \times (1.4^2 - 1.05^2) \text{ [m}^2\text{]}} = 1.208 \text{ [m/s]}
 \end{aligned}$$

燃焼に必要な空気量及び生成廃ガス量によるグランドフレア圧力損失を求める。グランドフレア出口損失△Po、グランドフレア内摩擦損失△Pf、空気取り入れ口流入損失△Pa 及びスカート円環部への空気流入損失△Pi は以下となる。

$$\begin{aligned}\Delta P_o &= \frac{U_o^2 \times \rho}{2 \times g} = \frac{1}{2 \times 9.8 [\text{m/s}^2]} \times 8.97^2 [(\text{m/s})^2] \times \frac{28.9 [\text{kg}]}{22.4 [\text{Nm}^3]} \times \frac{273 [\text{K}]}{(273 + 750) [\text{K}]} \\ &= 1.41 [\text{mmH}_2\text{O}] = 13.8 [\text{Pa}]\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P_f &= \frac{U_m^2 \times \rho}{2 \times g} \times f \times \frac{L}{dm} + K \times \frac{U_m^2 \times \rho}{2 \times g} = \frac{U_m^2 \times \rho}{2 \times g} \times \left(f \times \frac{L}{dm} + K \right) \\ &= \frac{1}{2 \times 9.8 [\text{m/s}^2]} \times 4.16^2 [(\text{m/s})^2] \times \frac{28.9 [\text{kg}]}{22.4 [\text{Nm}^3]} \times \frac{273 [\text{K}]}{(273 + 750) [\text{K}]} \times \left(0.027 \times \frac{4 [\text{m}]}{0.94 [\text{m}]} + 0.09 \right) \\ &= 0.062 [\text{mmH}_2\text{O}] = 0.61 [\text{Pa}]\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P_a &= 2.4 \times \frac{U_a^2 \times \rho}{2 \times g} = \frac{2.4}{2 \times 9.8 [\text{m/s}^2]} \times 2.325^2 [(\text{m/s})^2] \times \frac{29 [\text{kg}]}{22.4 [\text{Nm}^3]} \times \frac{273 [\text{K}]}{(273 + 25) [\text{K}]} \\ &= 0.785 [\text{mmH}_2\text{O}] = 7.70 [\text{Pa}]\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P_i &= 0.56 \times \frac{U_i^2 \times \rho}{2 \times g} = \frac{0.56}{2 \times 9.8 [\text{m/s}^2]} \times 1.208^2 [(\text{m/s})^2] \times \frac{29 [\text{kg}]}{22.4 [\text{Nm}^3]} \times \frac{273 [\text{K}]}{(273 + 25) [\text{K}]} \\ &= 0.049 [\text{mmH}_2\text{O}] = 0.48 [\text{Pa}]\end{aligned}$$

したがって、設計ガス量を焼却するに必要な通風力 ΔP_{req} は以下の通りとなる。

$$\begin{aligned}\Delta P_{req} &= \Delta P_o + \Delta P_f + \Delta P_a + \Delta P_i = 1.41 + 0.062 + 0.785 + 0.049 \\ &= 2.31 [\text{mmH}_2\text{O}] = 22.59 [\text{Pa}]\end{aligned}$$

これに対し、炉内温度 750℃、燃焼室長 3.0m によって発生する通風力 ΔP_{avi} は以下の通りとなる。

$$\begin{aligned}\Delta P_{avi} &= 355 \cdot H (1/T_a - 1/T_g) = 355 \times 3 \times (1/298 - 1/1023) \\ &= 2.53 [\text{mmH}_2\text{O}] = 24.8 [\text{Pa}]\end{aligned}$$

ここで H : 燃焼室長 (3.0m), T_a : 外気絶対温度 (298K)
 T_g : 炉内ガス絶対温度 (1023K)

以上の計算により下記が成り立ち、設計仕様を満足する。

$$\begin{aligned}\Delta P_{req} &\leq \Delta P_{avi} \\ 2.31 [\text{mmH}_2\text{O}] &\leq 2.53 [\text{mmH}_2\text{O}]\end{aligned}$$

(3) 生成ガスの組成

定格運転時において後処理設備の主要流体となる生成ガスの組成を表 7.2 に示す。また、生成ガスは、高圧ガス保安法の一般則規定に基づき以下に示す計算結果 (ルシャテリエの式) により可燃性の高圧ガスとして取り扱われる。

$$L = \frac{100}{\left(\frac{n_1}{L_1} + \frac{n_2}{L_2} + \frac{n_3}{L_3} + \dots + \frac{n_i}{L_i} \right)}$$

L : 混合ガスの爆発限界濃度 (Vol.%)

L_i : i 成分の爆発限界濃度 (Vol.%)

n_i : 混合ガス中の i 成分の濃度 (Vol.%)

判定条件

- ①爆発限界の下限が 10%以下のもの。
- ②爆発限界の上限と下限の差が 20%以上のもの。

<計算結果>

爆発限界の下限=9.2%

$L_{\text{下限}}(\text{H}_2) = 4 \text{ (Vol.%)}$, $n(\text{H}_2) = 36 \text{ (Vol.%)}$

$L_{\text{下限}}(\text{CO}) = 12.5 \text{ (Vol.%)}$, $n(\text{CO}) = 4 \text{ (Vol.%)}$

$L_{\text{下限}}(\text{CH}_4) = 5.3 \text{ (Vol.%)}$, $n(\text{CH}_4) = 8 \text{ (Vol.%)}$

爆発限界の上限=90.5%

$L_{\text{上限}}(\text{H}_2) = 75 \text{ (Vol.%)}$, $n(\text{H}_2) = 36 \text{ (Vol.%)}$

$L_{\text{上限}}(\text{CO}) = 74 \text{ (Vol.%)}$, $n(\text{CO}) = 4 \text{ (Vol.%)}$

$L_{\text{上限}}(\text{CH}_4) = 14 \text{ (Vol.%)}$, $n(\text{CH}_4) = 8 \text{ (Vol.%)}$

<判定結果>

以上より判定条件①に抵触するため、生成ガスは可燃性ガスである。

(4) 水封ドラムの信号設定水位の選定根拠

液位低低警報は、液位低低から生成ガス入口ノズルの水封限界ライン(液位計測可能な最下限ライン)まで、プロセスガスの大気開放時にプロセスガスが約 30 分流れた場合の蒸発量約 30ℓ を保持する液位(液高差：100mm)とする。

液位高高は、液位低低と対照となる設定値とするが、自動給水弁の自動閉止が失敗して給水が続いた場合に、液位高高警報より水封ドラム内の水が溢れるまでに約 30 分の余裕を持つものとする。

①条件

伝送器誤差：±0.2%F.S

ツブ I/O 誤差：±0.6%F.S

液位 F.S. : 500mm

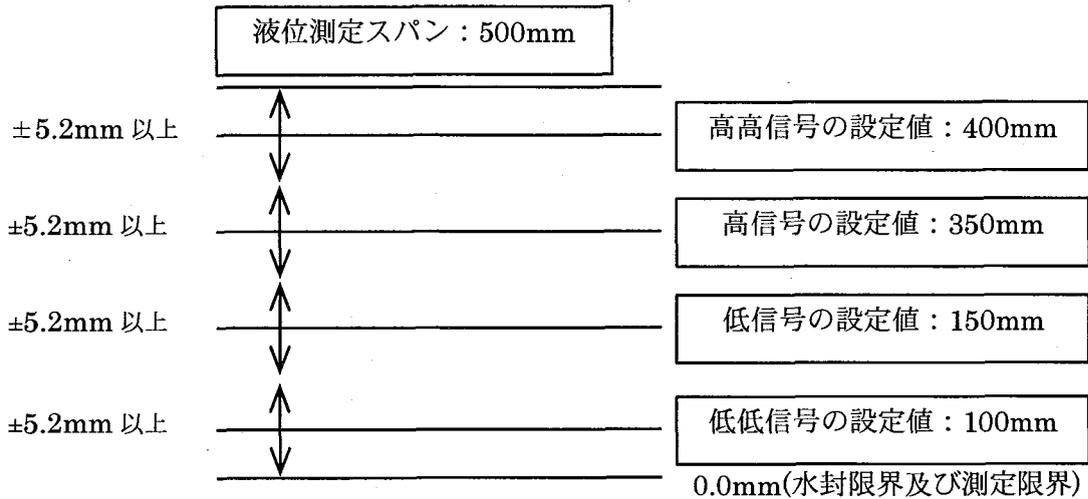
水封ドラム給水流量：約 0.05m³/h

②警報及び緊急停止のインターロック設定誤差の算出

制御誤差=(0.2²+0.6²)^{1/2}=±0.64%F.S

液位誤差=500mm×0.0064=5.2mm

③警報及び緊急停止のインターロック設定値の選定結果



(5) セパレータの信号設定水位の考え方

凝縮水ポンプは、セパレータに溜まった凝縮水をセパレータ液位高信号により自動起動して排水し、セパレータ液位低信号により凝縮水ポンプを自動停止する。

水封ドラムは、封水の液位が所定の範囲内になるように、液位低信号で水封ドラム給水弁を自動開として水の補給を行い、液位高信号で給水弁を自動閉として補給を停止する調節を行っている。

- ①底部～低低警報水位：警報発生後、凝縮水ポンプ停止失敗時に凝縮水が抜けるまでの時間を 10 分以上とした水位とする。
- ②低低警報水位～凝縮水ポンプ起動水位：凝縮水が抜けるまでの時間を 5 分とする。
- ③凝縮水ポンプ制御範囲：10 分でポンプ ON-OFF 制御する水位を持つものとする。
- ④凝縮水ポンプ停止水位～高高警報水位：凝縮水が溜まるまでの時間を 5 分とする。
- ⑤高高警報水位～生成ガス入口ノズル：警報発生後、凝縮水ポンプ故障停止時に生成ガス入口ノズルまで凝縮水が溜まるまでの時間を 10 分以上とした水位とする。

(6) 高圧ガス保安法による規定

後処理設備は、水蒸気改質器から差圧調節弁までの範囲で約 4MPa の高圧ガスを取り扱うため、高圧ガス保安法の一般則に定められた規定を守る必要がある。関連する主な法規規定は、可燃性ガスの製造設備に関わるものであり、下記の規定等を満足する設計を行っている。

- ①可燃性ガスの製造設備は、その外面から火気を取り扱う施設に対し 8m 以上の距離を有し、又は当該製造設備と火気を取り扱う施設との間に当該製造設備から漏えいしたガスが当該火気を取り扱う施設に流動することを防止するための施設を設置すること。(一般則 第六条三項)
- ②ガス設備に使用する材料は、ガスの種類、性状、温度及び圧力等に応じ適切なものであること。(一般則 第六条十四項)
- ③高圧ガス設備には、告示で定めるところにより、温度計を設け、かつ、当該設備内の温度が常用の温度を超えた場合に直ちに常用の温度の範囲内に戻すことが出来るような措

置を講ずること。(一般則 第六条十八項)

④高圧ガス設備には、告示で定めるところにより、圧力計を設け、かつ、当該設備内の圧力が許容圧力を超えた場合に直ちにその圧力を許容圧力以下に戻すことが出来る安全装置を設けること。(一般則 第六条十九項)

⑤可燃性ガスの高圧ガスに係る電気設備は、防爆性能を有する構造であること。(一般則 第六条二十六項)

(7) 配管、計測器類

配管・計測器類について、可燃性の高圧・高温ガスを扱うことから、高圧ガス保安法の一般則に定められた規定を守ると共に、より安全性を考慮した仕様としている。HTTR 水素製造システムの 1/30 スケールモデルである炉外試験装置は、HTTR 水素製造システムに比べて流量が少なく配管等のヒートロスが大きいことから、計算上では、十分に保温材を巻いても起動停止時に水蒸気の凝縮が起こることが判っており、凝縮・再沸騰に伴う圧力変動の要因となる問題がある。このため、水蒸気の凝縮問題については、HTTR 水素製造システムと同条件になるように、適所の配管にテープヒータを巻いて放熱分を補償することで、凝縮を防止する対策を採用する。また、本系統設備で使用するガスは、可燃性の高圧ガスであり一般的に配管流速を遅くすることが推奨されている。このことから、一般的なメーカー推奨基準流速である下記の値を基に配管口径を選定している。

①可燃性の高温高圧ガス部は 5m/s

②可燃性の低温低圧ガス部は 30m/s

計測器類については、高圧ガス保安法により、圧力・温度区分の変わるエリア毎に規定精度の圧力計・温度計を設置し、圧力・温度を監視することが義務づけられている。なお、温度監視においては、設計温度を超えない措置を設けることが義務づけられていることから、所定の温度に達すると緊急停止するインターロックを設けることを対策としている。

また、本系統で測定する生成ガス流量は温圧補正を行ったノルマル値で表すが、水蒸気改質器での化学反応現象を把握するため生成ガスの各成分での正確な流量を得る必要があることから、ガスクロマトグラフィによる成分分析を行い、その結果に基づいて圧縮係数の補正及び各成分流量の算出を行う。

7. 3 機器仕様

(1) 生成ガス冷却器

生成ガス冷却器は高温状態である生成ガスを約 40℃まで冷却させる機器である。生成ガスを排気するにあたり、生成ガス中の水蒸気を凝縮しガスと水を分離するため冷却するものである。図 7.4 に生成ガス冷却器の機器構造図を示す。

形 式	シェルアンドチューブ型
数 量	1 基
交換熱量	140 kW
	胴側
	管側

流 量	0.059 kg/s	4.3 kg/s
流 体	水素ガス 一酸化炭素ガス 二酸化炭素ガス 天然ガス 水蒸気	冷却水
使用入口温度	305 °C	5.2 °C
使用出口温度	40 °C	40 °C
設計圧力	0.187 MPa	0.687 MPa
設計温度	510 °C	510 °C
主要材質	ステンレス鋼	

(2) 触媒粉塵用フィルタ

触媒粉塵用フィルタは、水蒸気改質器から流れてくる触媒粉塵及び析出した炭素粉を除去することで、下流にある差圧調節弁に与える閉塞等の影響を無くすための機器である。比較的類似した構造の水蒸気改質器の運転からの触媒粉除去のメーカー実績に基づき、メッシュ径40 μ mのフィルタを選定した。なお、触媒粉塵の発生原因は、起動停止による各部の熱膨張差での機械的な力による碎粉の発生と言われている。図 7.5 に触媒粉塵用フィルタの機器構造図を示す。

形 式	縦型円筒容器
数 量	1 基
メッシュ径	40 μ m
設計差圧	0.0491 MPa
設計圧力	4.91 MPa
設計温度	510 °C
主要材質	ステンレス鋼

(3) セパレータ

セパレータは、生成ガス冷却器で冷却した生成ガス中の水蒸気を気液分離し、生成ガスはフレアスタックに、凝縮水は水蒸気供給系の給水受入タンクに移送・回収することを目的として設置したものであるが、凝縮水の水質が悪かったために回収せずに廃棄するように変更した。なお、可燃性である生成ガスを水蒸気供給系側に漏出しないように、常にセパレータ内に凝縮水を水封のために溜めて置き、液位高信号により余剰水を排水し、水位低信号で排水を停止する制御を行う。また、安全装置としてセパレータ凝縮水の水位「高高」及び「低低」信号により警報を発する機能を持たせている。図 7.6 にセパレータの機器構造図を示す。

形 式	縦型円筒容器	
数 量	1 基	
	気相	液相

設計流量	0.031 kg/s	0.040kg/s
流 体	水素ガス	凝縮水
	一酸化炭素ガス	
	二酸化炭素ガス	
	天然ガス	
	水蒸気	
設計圧力	0.187MPa	
設計温度	60℃	
主要材質	ステンレス鋼	

(4) 凝縮水ポンプ

凝縮水ポンプは、セパレータに溜まった凝縮水を一定周期にて水蒸気供給系の給水受入タンクに移送・回収するための機器である。なお、下記理由から少流量、間欠運転仕様としたことから、小型少流量タイプのダイヤフラム型ポンプを選定した。

凝縮水ポンプ流量は、間欠運転（ポンプ運転・停止）の周期を約 10 分毎で同じにするために、通常定格運転時の凝縮水発生量である 2.1ℓ/min の 2 倍の送液能力を持たせることとし、4.2ℓ/min とした。図 7.7 に凝縮水ポンプの機器構造図を示す。

形 式	ダイヤフラム型ポンプ
数 量	1 台
定格吐出量	4.2 ℓ/min
定格全揚程	11m
設計圧力	0.187 MPa
設計温度	60 ℃
電動機出力	0.75 kW
主要材質	ステンレス鋼

(5) 水封ドラム

水封ドラムは、フレアスタックからの逆火現象が起こった場合に、上流側への波及を防止する機器である。特に生成ガスには水素が含まれるため、爆ごうを伴う逆火が生じる恐れがあり、その破壊力により重大な災害に至ることがあるので、こうした危険を避けるためには、逆火した火炎をできるだけ早期に消滅させるための安全装置が必要である。

実用的な安全装置としては、水封による逆火防止装置と消炎素子によるフレームアレスタが挙げられるが、本系統設備では日本国内での実績・信頼性が高い水封ドラムを選定した。また、水封ドラムの逆火防止性能を守るためにドラム内の水位を制御し、確実に水封されていることの監視を行っている。図 7.8 に水封ドラムの機器構造図を示す。

形 式	縦型円筒容器
数 量	1 基
設計流量	0.031 kg/s

流 体	水素ガス、一酸化炭素ガス、二酸化炭素ガス、 天然ガス、水蒸気等
設計圧力	0.187 MPa
設計温度	60 °C
主要材質	ステンレス鋼

(6) フレアスタック

フレアスタックは、可燃性ガスを燃焼して大気に放出するための設備である。図 7.9 にフレアスタックの機器構造図を示す。

形 式	グラウンドフレア式
数 量	1 基
設計流量	0.031 kg/s
燃焼流体	水素ガス、一酸化炭素ガス、二酸化炭素ガス、 天然ガス、水蒸気等
設計圧力	0.187 MPa
設計温度	150 °C (燃焼筒外表面)
主要材質	SS400 SUS304

(7) LPG 供給ユニット

LPG 供給ユニットは、フレアスタックの種火であるパイロットバーナにプロパンガスを燃料として供給するものであり、LPG ボンベからの自然蒸発気化によりガスを供給する方式である。LPG ボンベは液量が少なくなると気化量が減少するが、ボンベ 1 本当たりの供給量が少なくなった状態でも、数本を並列に接続することで、規定の流量を確保することができ、ボンベ内の残ガスを有効に使う事が可能となる。フレアスタックのパイロットバーナ燃料の使用量が 0.6 Nm³/h (常用と点火時の違いはない)で、LPG ボンベの 25°C 時の最低気化量が約 0.15 Nm³/h (0.3kg/h) であることから、効率の良い 50kg ボンベ 5 本を 1 セットのボンベ構成とし、これを 2 系統設けて供給圧低下に伴って自動で切り替わるものを採用した。図 7.10 に LPG 供給ユニットの機器構造図を示す。

数 量	5 本 × 2 系統
容 量	50 kg/本
流 体	LPG
設計圧力	1.77 MPa
設計温度	40 °C
使用圧力	0.3 ~ 0.93 MPa
使用温度	0 °C

(8) サンプリグライン除湿冷却器

後処理設備では、水蒸気改質器で反応した生成ガスをガスクロマトグラフィで分析する。サンプリグライン入口でのサンプリグガスの温度、湿度は、40℃、100%RH であり、通常仕様とした場合にはガスクロマトグラフィでの分析に特に問題はないが、ガスクロの分析精度を良くするために、サンプリグガスの露点温度を約 15℃とするための除湿冷却器を設置する。図 7.11 にサンプリグライン除湿冷却器の機器構造図を示す。

形 式	冷水循環による熱交換式
数 量	1 基
流体	胴側：冷却水 管側：生成ガス
生成ガス流量	500 ml/min
生成ガス供給圧力	0.01 ～ 0.1 MPa
生成ガス温度	入口 40 ℃ / 出口 15 ℃
設計圧力	0.187 MPa
設計温度	60 ℃
主要材質	SUS304

7. 4 警報およびインターロック

水蒸気改質器は触媒を加熱するため、高温のヘリウムガスを通す内管の周りに触媒を充填する構造になっている。伝熱促進上、内管の肉厚を薄くしてあり、ヘリウムガス側と生成ガス側の差圧を抑えることで、材料に対する負荷を軽減し破損を防いでいる。差圧の維持は触媒粉塵用フィルタと生成ガス冷却器の間にある差圧制御弁によって、ヘリウムガスとの差圧が一定になるように制御されている。もし差圧が一定の範囲を超えた場合には緊急停止し、差圧制御弁は差圧を維持するように制御させる。

後処理設備についての警報およびインターロックを次に示す。

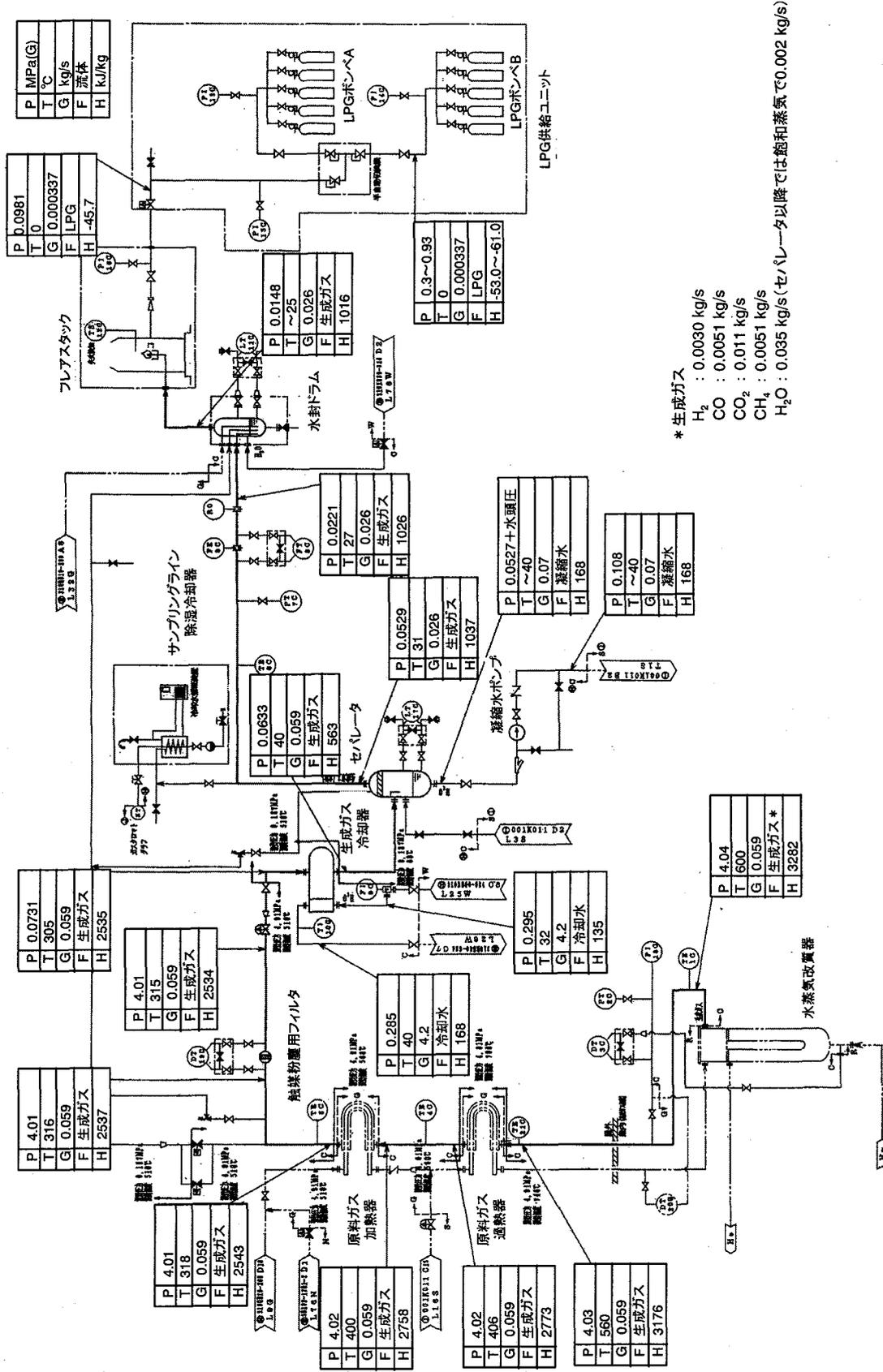
- 1) 水蒸気改質器ヘリウムガス／生成ガス差圧「低」で警報、「低低」で緊急停止（差圧保持）
- 2) 水蒸気改質器ヘリウムガス／生成ガス差圧「高」で警報、「高高」で緊急停止 1（差圧保持）
- 3) 水蒸気改質器出口生成ガス温度「高」で警報、「高高」で緊急停止 1（差圧保持）
- 4) 原料ガス過熱器入口生成ガス温度「高」で警報、「高高」で緊急停止 1（差圧保持）
- 5) 原料ガス過熱器出口生成ガス温度「高」で警報、「高高」で緊急停止 1（差圧保持）
- 6) 原料ガス加熱器出口生成ガス温度「高」で警報、「高高」で緊急停止 1（差圧保持）
- 7) 触媒粉塵用フィルタ出入口差圧「高」で警報、「高高」で緊急停止 2（大気開放）
- 8) セパレータ液位「高」で警報、「高高」で緊急停止 2（大気開放）
- 9) 水封ドラム入口生成ガス温度「高」で警報、「高高」で緊急停止 2（大気開放）
- 10) 水封ドラム入口生成ガス圧力「高」または「低」で警報

表 7.1 フレアスタックの燃焼設計条件

	単位	定格運転時	スタートアップ・シャットダウン	緊急放出時	LNG タンク予冷時	
総質量流量	kg/s	0.0317	0.0177	0.0713	0.0160	
内訳	H ₂	kg/s	0.0036	—	0.0036	—
	CO	kg/s	0.0061	—	0.0061	—
	CO ₂	kg/s	0.015.2	—	0.015.2	—
	H ₂ O	kg/s	0.0024	0.0024	0.0420	—
	CH ₄	kg/s	0.0064	0.0003	0.0064	0.0160
	N ₂	kg/s	—	0.0150	—	—
平均分子量	—	11.18	25.75	14.16	16.00	
計算低位発熱量	MJ/Nm ³	12.89	0.98	7.26	36.10	
使用温度	℃	-10~40	-10~40	400	-10~40	
許容圧力損失 (ドラム入口)	MPa	0.05	0.05	0.05	0.05	

表 7.2 水蒸気改質器出口での定格運転時の生成ガス組成

組成	流量	流量	重量比	mol 体積比	圧力	温度
H ₂	120.0Nm ³ /h	0.0030kg/s	0.05	0.36	1.47MPa	600℃
CO	14.7Nm ³ /h	0.0051kg/s	0.09	0.04	0.18MPa	
CO ₂	20.2Nm ³ /h	0.0110kg/s	0.19	0.06	0.25MPa	
H ₂ O	156.7Nm ³ /h	0.035kg/s	0.59	0.46	1.92MPa	
CH ₄	25.6Nm ³ /h	0.0051kg/s	0.09	0.08	0.31MPa	
計	337.2Nm ³ /h	0.0592kg/s	1.00	1.00	4.04MPa	—



* 生成ガス
 H₂ : 0.0030 kg/s
 CO : 0.0051 kg/s
 CO₂ : 0.011 kg/s
 CH₄ : 0.0051 kg/s
 H₂O : 0.035 kg/s (セパレーター以降では飽和蒸気で0.002 kg/s)

図 7.1 後処理設備の系統図と定格運転時における熱物質収支

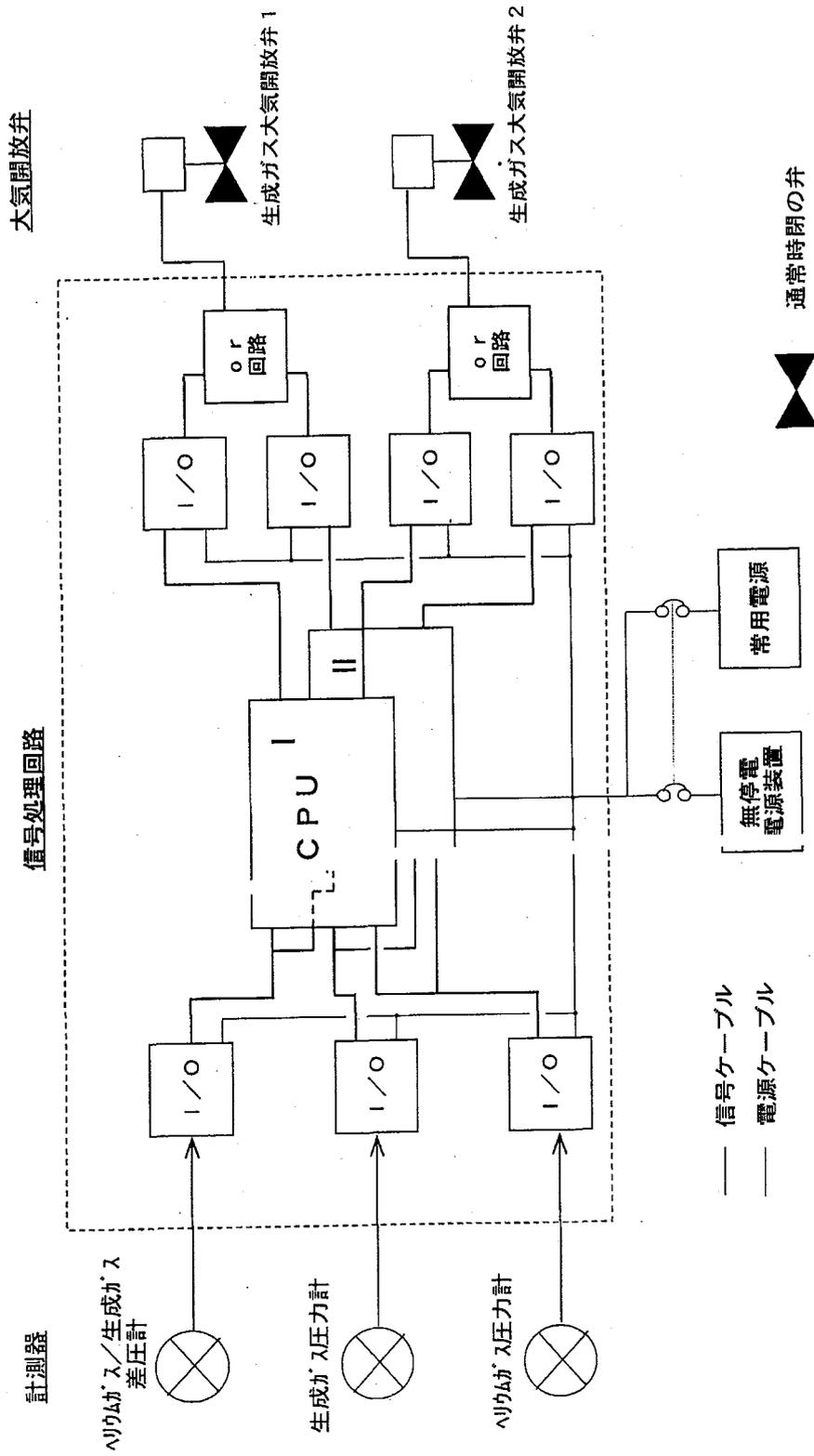


図 7.2 反応管保護装置における生成ガス放出弁の信号処理回路と電源の構成

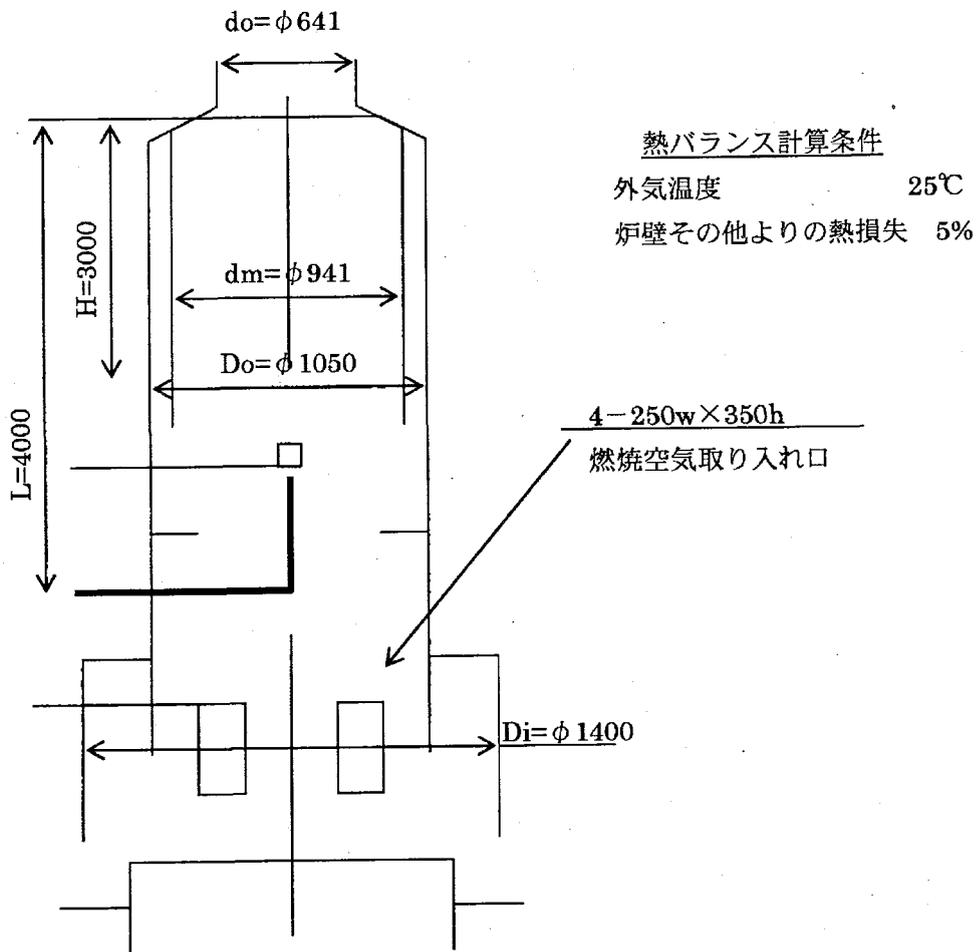


図 7.3 グランドフレアの計算モデル形状図

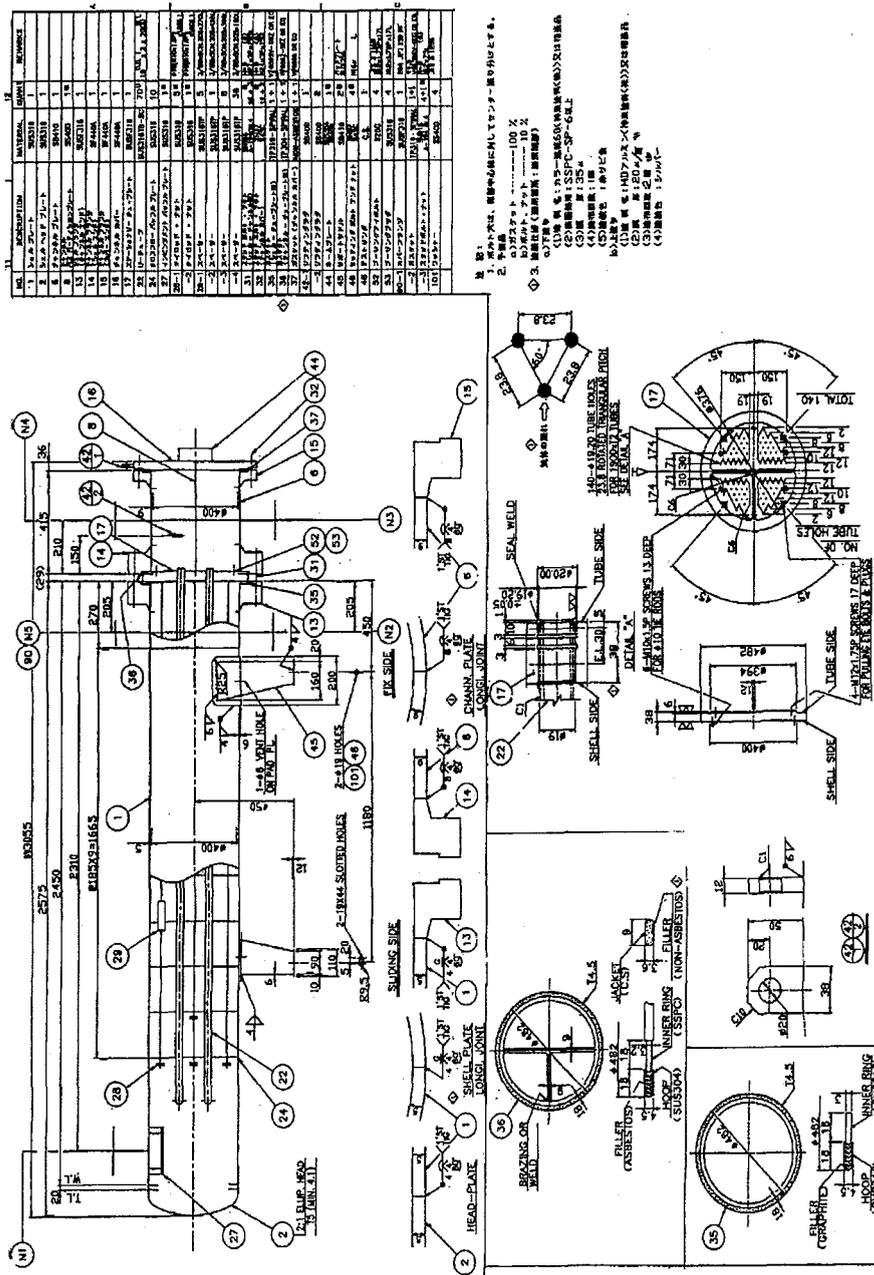


図 7.4 生成ガス冷却器の構造図

ポンプ型式 PUMP TYPE	L	SH	DH	H	備考 REMARKS
063 ~123	207	148	148	590	
153	207	160	160	610	
203 ~253	207	165	165	610	
303 ~353	215	188	188	630	
403 ~503	225	215	215	645	
603 ~703	245	245	245	665	

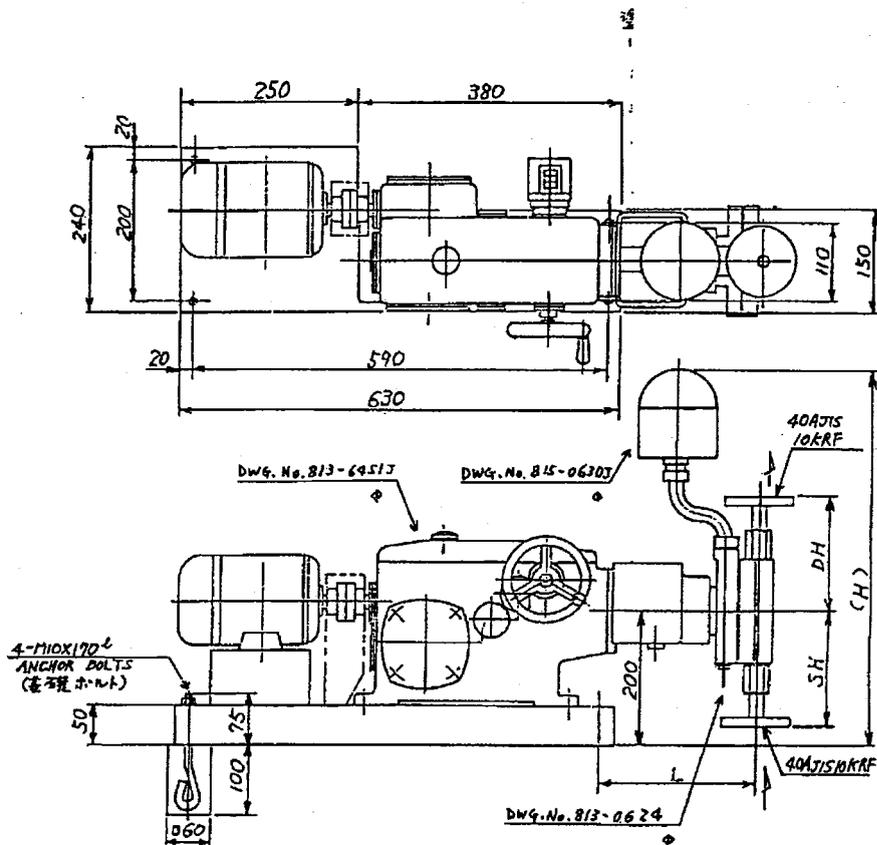


図 7.7 凝縮水ポンプの構造図

設計者	藤野 誠
設計部	機械部
設計図番	13C
材料	ステンレス
寸法	0.0221MPa
温度	27 °C
圧力	0.187 MPa
材質	60 °C
公差	0.281 MPa
公差	0.281 MPa

13	組立図	SUS304	1	JIS10K RF
12	1550A 組立図	CAF	1	JIS10K RF
11	1550A 組立図	SUS F 304	1	JIS10K RF
10	20A 組立図	-	2	JIS10K RF
9	20A 組立図	-	1	JIS10K RF
8	48x28 L22-9	SUS304TP	3	SCH40
7	100A A17	SUS304TP	3	SCH40
6	177 L22	SUS304	2	#20x30 L32
5	177 L22	SS400	3	L34
4	177 L22	SS400	3	L75x75x9
3	2.1 組立図	SUS304	2	L6
2	2.1 組立図	SUS304	1	L6
1	177 L22	MAT'L	NO.	REMARKS

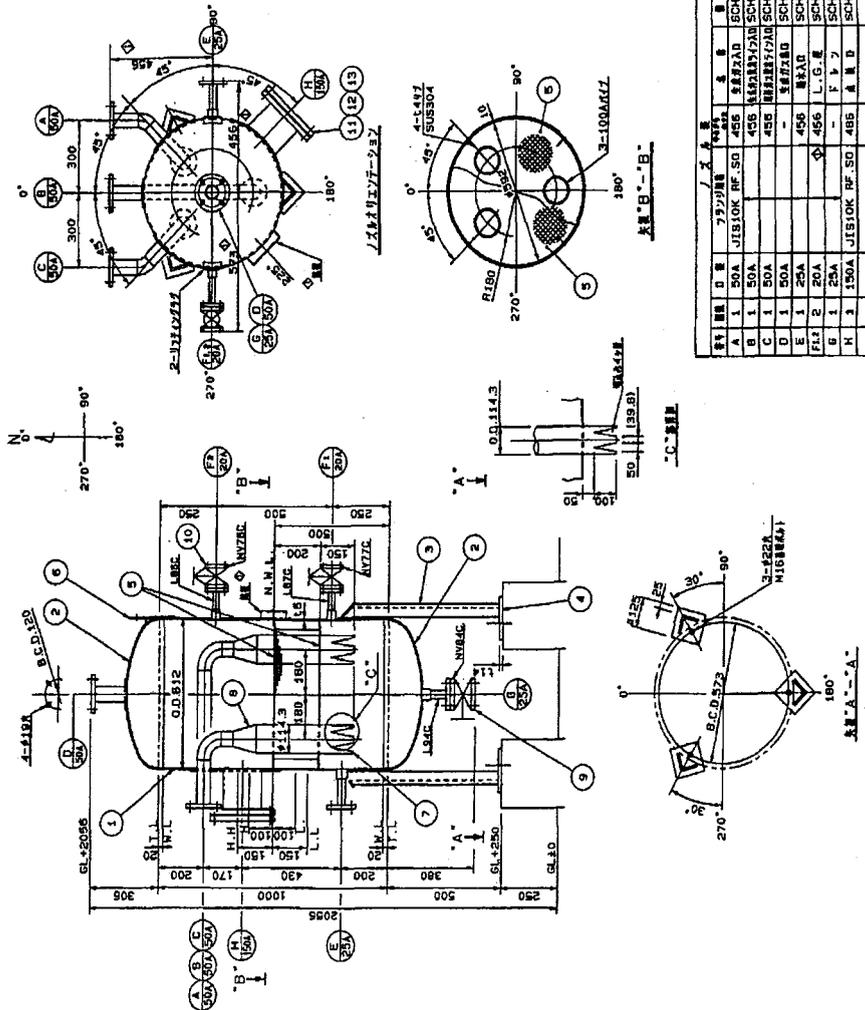


図 7.8 水封ドラムの構造図

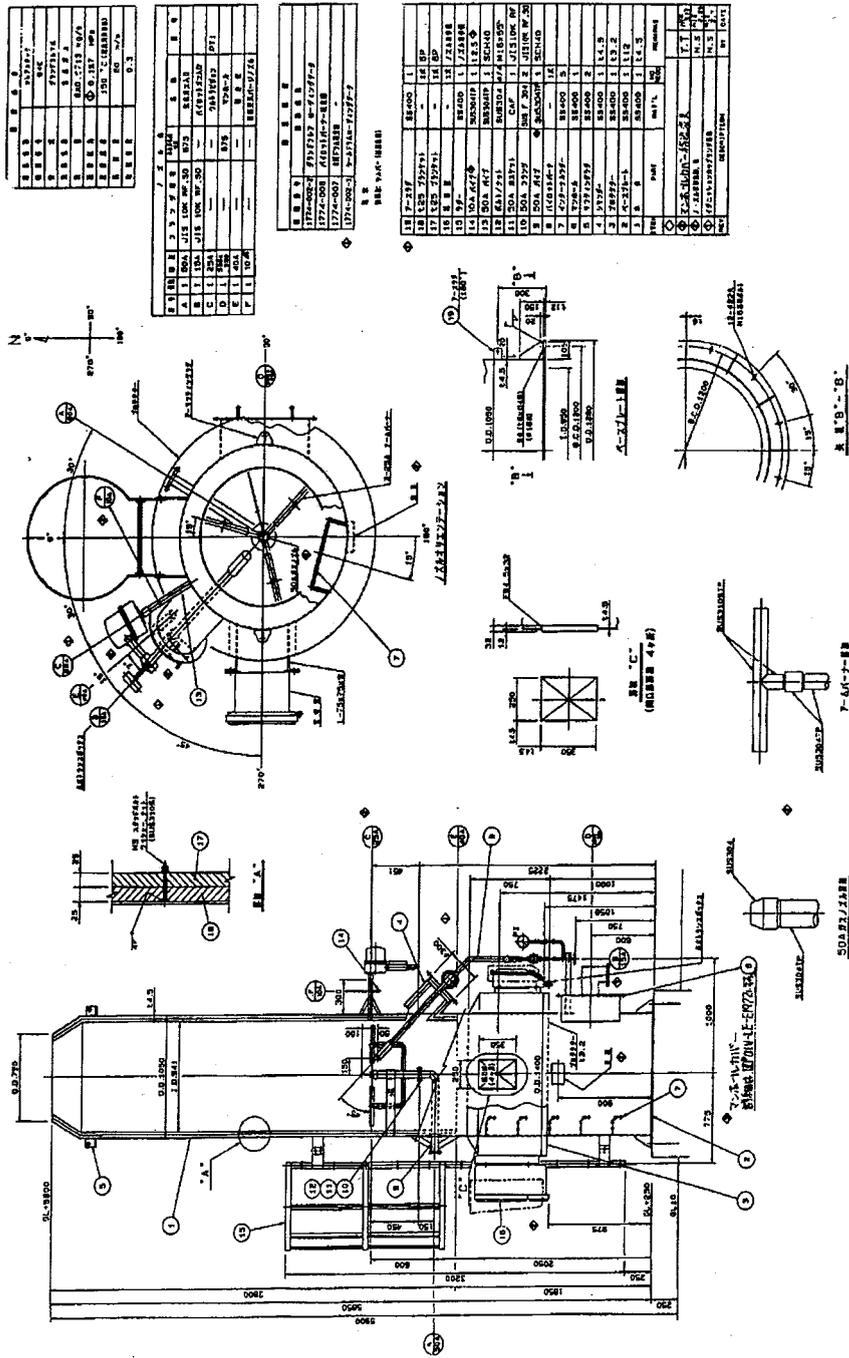


図 7.9 フレアスタックの構造図

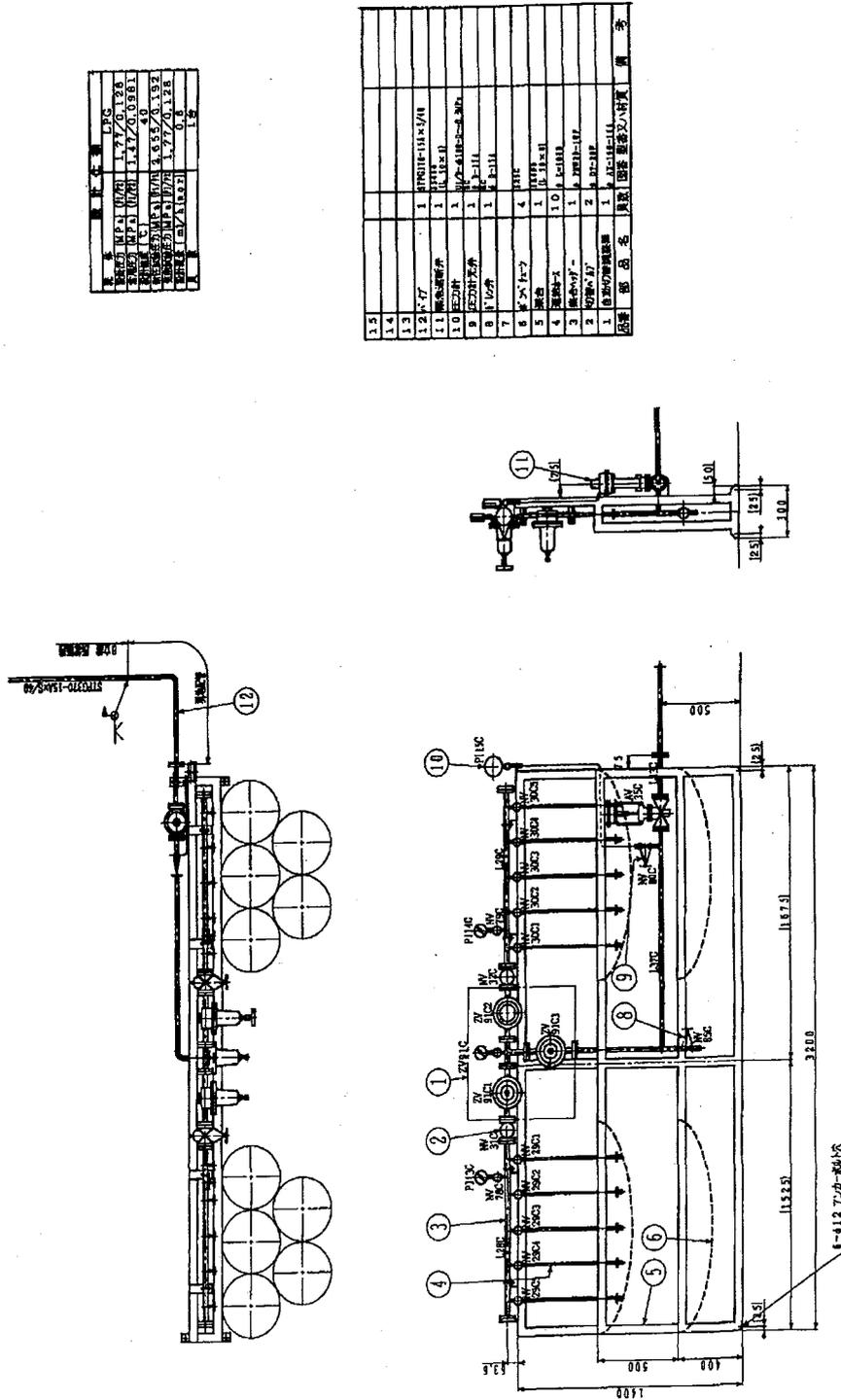


図 7.10 LPG 供給ユニットの構造図

品番	数量	品名	規格
1	1	ステンレス製 TABLETTRAY	SS-885
2	1	換気冷却器	φ165×200L
3	4	ホースバンド	SUS
4	1	ステンレス製 TABLETRAY	SS-885 △
5	1	ステンレス製 TABLETRAY	φ165×200L(厚さ10.340)
6	1	ステンレス製 TABLETRAY	SS-1255
7	1	冷却水循環装置	CXA-1004
8	1	換気冷却器	510×600×900
9	4	7付ネジ	M12
10	2	エルボ	SUS 9.52
11	1	電源コンセント	AC100V
※	2	237×217*	SUS9.52×1090L
※	1	ユニオン	SUS 9.52
※	4	4-77φ-	SUS M12

※：付属品

図：保冷箇所

総質量：(85kg)

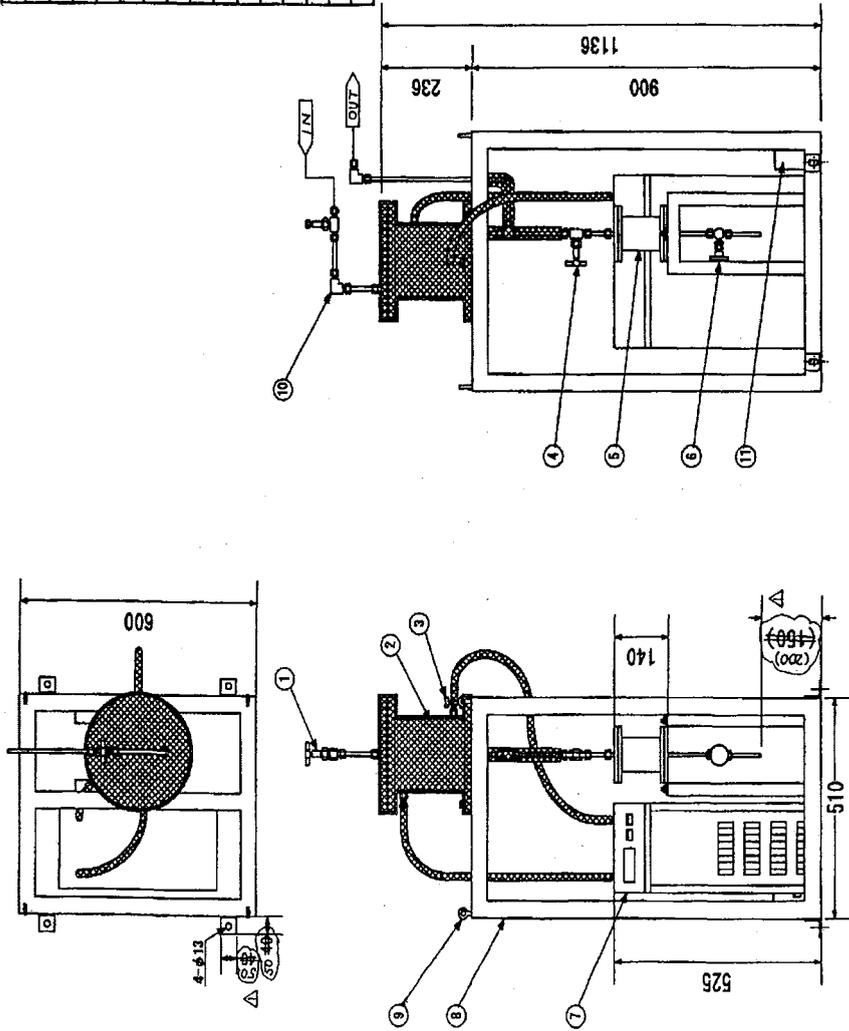


図 7.11 サンプルラインダライン除湿冷却器の構造図

8. 不活性ガス供給設備

8. 1 概要

不活性ガス供給設備は、LN₂（液化窒素）タンク内に貯蔵された LN₂ を気化させ、所定の圧力及び流量に調整し、原料ガス供給設備（水蒸気改質器及び LNG タンクエリア）及び水蒸気供給設備に供給するための設備である。更に、ヘリウムガス精製設備へは冷却用の液体窒素及び再生運転に必要な窒素ガスの供給も行う。

炉外試験装置の起動・停止時において、水蒸気改質器入口のヘリウムガス温度が低いときに、原料ガスの代わりに窒素ガスを供給する設備である。炉外試験装置の起動及び停止時には、水蒸気改質器へ水蒸気を供給する前に原料ガスを供給すると触媒に炭素が析出する可能性があるため、起動時には最初に水蒸気改質器へ窒素ガスを供給し、ヘリウムガス温度の上昇とともに窒素ガスから原料ガスへ、停止時にはヘリウムガス温度の降下とともに原料ガスから窒素ガスへ徐々に置換する。

また、不活性ガス供給設備は、水蒸気改質器内で使用するニッケル(Ni)触媒を還元するための水素を供給する。

8. 2 系統構成

不活性ガス供給設備は、タンクローリーから供給された LN₂（液化窒素）を貯蔵する LN₂ タンク、LN₂ を昇圧して LN₂ 蒸発器に供給する LN₂ ポンプ、LN₂ を気化させる LN₂ 蒸発器、気化した窒素ガスを貯蔵する窒素ガスサージタンク、水蒸気改質器触媒還元用水素を貯蔵する水素ポンプ、及び弁、配管類から構成される。図 8.1 に系統図及び熱物質収支を示す。

LN₂ タンク内の LN₂ は LN₂ ポンプにより所定の圧力（19.6MPa）に昇圧され、LN₂ 蒸発器により気化させ、窒素ガスサージタンクに充填された後、原料ガス供給設備、水蒸気供給設備の各系統へ供給される。

LN₂ ポンプは間欠運転とし、窒素の消費により窒素ガスサージタンク内の圧力が低下した場合、圧力低信号により LN₂ ポンプを自動起動して LN₂ を LN₂ 蒸発器へ送り出し気化させ、窒素ガスサージタンクへ充填し圧力の回復を図る。窒素ガスサージタンクの圧力が所定の圧力に達すれば、圧力高信号により LN₂ ポンプを自動停止し、LN₂ の供給を停止する。

炉外試験装置の異常時には、原料ガス供給設備、水蒸気改質器及び後処理設備の系統内を窒素ガスによりパージするため、窒素ガスサージタンクから窒素ガスを供給する。

また、商用電源や計装用空気が喪失した場合であっても、炉外試験装置を緊急停止させる為に必要な窒素ガスの供給を可能とする必要がある。そのため、窒素ガス供給設備の遮断弁及び制御弁はフェイルオープン仕様のもを使用し、窒素ガスサージタンクの圧力のみで窒素ガスの供給が可能な設計とした。

窒素ガスの供給は、炉外試験装置の起動時に、原料ガス及び水蒸気が供給されるまでの間、原料ガス供給設備／後処理設備内の圧力を保持するため、窒素ガスを供給する。温度上昇後、原料ガスを流し始めると同時に、窒素ガス流量は次第に減少させ、約 30 分で 0g/s にする。

停止時には、原料ガス及び水蒸気を減少させると同時に、窒素ガスを流し始める。原料ガス及び水蒸気の供給が停止した後は、原料ガス供給設備／後処理設備内の圧力を保持するため、窒素ガスを供給し続ける。窒素ガス流量は、流し始め及び流し終わり時を除けば基本的に一定流量制御である。

- ①初期昇圧時：初期昇圧時には、窒素ガスの最低流量（11g/s）で流し始め、約 5.3 時間保持する。その後流量を増加させ、流しはじめから 7.4 時間で 15g/s となるように制御する。窒素ガス流量は 0g/s から流しはじめるのが理想であるが、流量調節弁下流の圧力（＝原料ガス供給設備圧力）が低く、かつ、流量も少ないために、減圧弁の開度がほとんど全閉付近で調整を行うこととなり、不安定になることが考えられる。このため、最低流量は約 11g/s とした。
- ②流量増加：改質器入口ヘリウム温度が 650℃を越えると、窒素ガス流量を 15g/s から 30g/s に約 1.3 時間かけて増加させる。
- ③定常状態：窒素ガス流量が 15g/s 或いは 30g/s の状態を保持し、窒素ガスを供給する。
- ④原料ガス置換：窒素ガスは、原料ガスを流し始めると同時に、30g/s から 11g/s まで約 20 分間かけて減少させ、その後約 10 分間 11g/s を保持した後に遮断弁を閉め 0g/s にする。原料ガスは、4 時間かけて 12g/s まで増加させる。

各部の熱物質収支は以下のようになっている。

- ①LN₂タンク出口：LN₂タンク内熱物質収支条件及び系統運転条件による。
- ②LN₂ポンプ出口：LN₂ポンプは窒素ガスサージタンクが 16.7MPa 以下になると起動し、19.6MPa で停止する運転を行う。LN₂ポンプの通常運転時は、169kg/s (0.0496kg/s) の液体窒素が流れる。LN₂タンクから LN₂ポンプまでの配管は保冷され、かつ距離が短いため、液体窒素の温度は LN₂タンクと同じとする。
- ③LN₂蒸発器出口：LN₂蒸発器は 500 Nm³/h の蒸発能力が有るが、通常運転時は 0.0496kg/s (135 Nm³/h) の流量で運転する。蒸発器出口窒素ガス温度は外気温-10℃となる。したがって外気温が 0℃の場合を想定し、蒸発器出口窒素ガス温度は-10℃とした。
- ④窒素ガス蒸発器出口：窒素ガスサージタンクの圧力は、16.7MPa～19.6MPa の範囲で運転される。流量は系統運転条件によるが、水蒸気改質器昇温時には 43.2 Nm³/h (0.015kg/s)、最大で 76 Nm³/h (0.0264kg/s) の窒素ガスが流れる。LN₂蒸発器から窒素ガスサージタンク間の配管は保冷されておらず、距離が長いため、窒素ガスはほぼ外気温と同じとなる。
- ⑤減圧弁 CV63N 出口：窒素ガスサージタンクの圧力は 16.7MPa～19.6MPa の範囲で保たれており、減圧弁 CV63N で 5.46MPa まで減圧されて各系統へ送られる。減圧時は等エンタルピ変化により、上流側窒素ガス温度が 0℃の場合は-22℃まで低下し、20℃の場合は 0℃まで低下する。
- ⑥原料ガス供給設備取合点：減圧弁 CV63N から原料ガス供給設備取合点までの配管は約 15 m 有り、保温を施行していない配管であるため、窒素ガスは侵入熱により大気温度と同じ

になると考える。

- ⑦ヘリウムガス精製設備取合点（液体窒素）：通常運転時にヘリウムガス精製設備コールドトラップへ液体窒素を供給する。熱物質収支は運転供給条件による。
- ⑧原料ガス供給設備取合点：通常運転時に LNG ポンプシールド用及び LNG 充填時にラインバージ用として窒素ガスを供給する。熱物質収支は運転供給条件による。
- ⑨水蒸気供給設備取合点（脱気装置）：水蒸気供給設備の脱気装置へ窒素ガスを供給する（必要時）。熱物質収支は運転供給条件による。供給圧力は 0.1MPa である。
- ⑩水蒸気供給設備取合点（給水タンク）：水蒸気供給設備の給水タンクへ窒素ガスを供給する（必要時）。熱物質収支は運転供給条件による。供給圧力は 0.1MPa である。
- ⑪水蒸気供給設備取合点（放熱器）：水蒸気供給設備の放熱器へ窒素ガスを供給する（必要時）。熱物質収支は運転供給条件による。供給圧力は 0.1MPa である。
- ⑫ヘリウムガス精製設備取合点：ヘリウムガス精製設備の再生運転時に、再生運転に必要な窒素ガスを供給する。熱物質収支は運転供給条件による。
- ⑬水素ガス供給ライン（ポンベ）：水蒸気改質器反応管還元用の水素ガスを供給する。熱物質収支は運転供給条件による。
- ⑭水素ガス供給ライン：水蒸気改質器反応管還元用の水素ガスを供給する。熱物質収支は運転供給条件による。

(1) LN₂タンク容量設定根拠

不活性ガス供給設備は、各系統に窒素ガス及び液体窒素を供給する。各系統の窒素使用量を表 8.1 に示す。炉外試験装置の運転期間を 1 サイクル 45 日とすると、必要となる LN₂（液化窒素）の総量は次のようになる。

起動時：（サージタンク充填、原料ガス供給設備・後処理設備昇温昇圧等）	5,958 l
運転時：（LNG ポンプシールド、He ガス精製等）	620 l/日
その他：（He ガス再生、LNG 充填等）	1,528 l

したがって、1 サイクルの運転に必要な窒素の量は、

$$V_0 = 5,958 l + 620 l / \text{日} \times 41 \text{ 日 (通常運転期間)} + 1,529 l = 32,843 l$$

となる。本不活性ガス供給設備は、プラント運転中も LN₂ の充填作業が可能であり、必要な LN₂ タンクの容量は充填作業の頻度によって決まる。例えば、LN₂ の充填を運転開始 3 日目に行うとすれば、必要 LN₂ 量 V₁ は、

$$V_1 = 5,958 l + 620 l / \text{日} \times 3 \text{ 日} + 1,529 l = 9,346 l$$

となる。LN₂ タンクの貯蔵残量が 10% 以下になると LN₂ ポンプへの供給が出来なくなるため、LN₂ タンクへの充填は残量が 20% 程度になった時点で行うのが安全である。よって、LN₂ タンク容量は、以下のようになる。

$$V_2 = 9,346 l / (1 - 0.2) = 11,683 l$$

また、LN₂ タンク表面からの入熱により常時 0.5%/日の割合で自然蒸発が起こるため、このロス分も考慮しておく必要がある。この容量に近いメーカー標準品のタンク容量は

15,000ℓである。この容量のタンクを用いると、起動後次の LN₂ 充填まで約 10 日間の連続運転が可能である。

(2) LN₂ ポンプ容量設定根拠

不活性ガス供給設備は、起動時及び異常時に原料ガス供給設備(水蒸気改質器)へ 4.29MPa の窒素ガスを送る必要がある。窒素ガスサージタンクには最高圧力 19.6MPa まで窒素ガスを充填する為、LN₂ ポンプはこの圧力まで昇圧出来る物を選定する必要がある。この昇圧能力を有するメーカー標準品の LN₂ ポンプの定格流量は 258Nm³/h となる。但し、次項で説明する理由により流量 135 Nm³/h で使用する。

(3) LN₂ 蒸発器容量設定根拠

LN₂ 蒸発器は LN₂ を空気と熱交換して窒素ガスに気化させる空温式の蒸発器である。空温式蒸発器は、定格流量で 4 時間までの連続運転が可能であるが、更に運転を継続すると蒸発器の伝熱管に霜が付着して次第に蒸発能力が低下する。一般的には 48 時間の連続運転を行うと定格流量の 28% に低下するので、48 時間連続運転を行う空温式蒸発器では、定格流量の 4~5 倍の蒸発能力を持つ蒸発器を選定する。

炉外試験装置では、LN₂ ポンプの定格流量 135Nm³/h を満足する空温式蒸発器としてメーカー標準品で蒸発量 500Nm³/h の蒸発器を選定した。これにより 48 時間の連続運転でも LN₂ ポンプの定格流量は維持することが出来る。窒素ガスサージタンクの貯蔵量 200Nm³ を充填するのに必要な時間は約 89 分である。

(4) 窒素ガスサージタンク容量設定根拠

窒素ガスサージタンクは、炉外試験装置の通常運転時に LNG ポンプへ窒素ガスを供給すると共に、緊急停止時に備えて系統内パージ用の窒素ガスを貯蔵しておく役目を持つ。LN₂ ポンプの運転方法と合わせて、合理的な窒素ガスサージタンクの容量を設定する。窒素ガスサージタンクに対する要求事項は次の通りである。

- ①異常時(緊急停止時)に備えて、系統パージ用の窒素ガス 100 Nm³ を貯蔵しておく。
- ②炉外試験装置の起動時に、水蒸気改質器へ窒素ガスを通常時 43.6 Nm³/h (15g/s)、最大 76 Nm³/h 供給できること。
- ③炉外試験装置の通常運転時に、LNG ポンプへ 0.024Nm³/h、脱気装置へ 0.5 Nm³/h の窒素ガスを供給すること。

1) 異常時系統パージ用窒素ガス

LN₂ ポンプは次のような運転を行う。窒素ガスサージタンクの圧力が設定圧力 P_L まで達すると LN₂ ポンプを自動起動し LN₂ タンク内の LN₂ を LN₂ 蒸発器に供給して気化させ、窒素ガスサージタンクに充填する。設定圧力 P_H (19.6MPa) に達したら LN₂ ポンプを自動停止する。従って、異常時パージ用窒素ガス 100 Nm³ は、窒素ガスサージタンクの圧力が、LN₂ ポンプ起動設定圧力 P_L まで低下した時点でも確保される必要がある。また、この

異常時パージ用窒素ガスは 5.46MPa (55.7kg/cm²) で供給するため、P_Lは 5.46MPa 以上でなければならない。窒素ガスサージタンクの必要容量を V_C m³ とすると

$$V_C = 100 \times 1.03 / (P_L - 55.7)$$

となる。窒素ガスサージタンクは、内容積 0.5m³ の横置長尺容器を組み合わせて使用するため、実際の窒素ガスサージタンクの容積は 0.5m³ の整数倍となる。窒素ガスサージタンクは、容量 1.0m³ (0.5m³ × 2 基)、設定圧力 P_L = 15.7MPa とした。

2) LN₂ ポンプ運転間隔

LN₂ ポンプの起動停止による運転間隔は、窒素ガスサージタンク設定圧力範囲と窒素ガスの供給量により決定される。ポンプの停止時間 T_S と運転時間 T_M はおよそ次のように求められる。

$$T_S = (P_H - P_L) V / Q_{out}$$

$$T_M = (P_H - P_L) V / Q_{in}$$

但し、Q_{out} : 原料ガス供給設備 (水蒸気改質器) への供給量

Q_{in} : LN₂ ポンプの供給量 - Q_{out}

①通常運転時：通常の起動運転では、原料ガス供給設備 (水蒸気改質器) への供給量 = 43.2Nm³/h、LN₂ ポンプ供給量 = 135Nm³/h の条件で運転を行う。

②最大供給時：窒素ガス供給量を最大で長時間運転する場合は、原料ガス供給設備 (水蒸気改質器) への供給量 = 76Nm³/h、LN₂ ポンプ供給量 = 116Nm³/h の条件で運転を行う。

(5) 窒素ガス供給と反応管保護

反応管や伝熱管の気密性及び健全性確保において最も厳しい事象は、反応管内部の原料ガス及び蒸気の圧力が低下して、また、伝熱管内部の蒸気の圧力が低下して、反応管や伝熱管の外側にヘリウムガスの圧力のみが作用する外圧事象で、これは、原料ガスの供給停止等の異常時に起こり得る。炉外試験装置の水蒸気改質器や蒸気過熱器の設計において、クリープを考慮した構造解析により、外圧事象における反応管と伝熱管の挙動評価を行った。その結果、特に対策を施さなくても、少なくとも 1 回の緊急停止に対して安全性は確保されることが分かった。

しかし、高温・高圧のヘリウムガスの外圧が作用した場合、反応管並びに伝熱管の変形が進行するため、財産保護が困難となる。財産保護を行うためには、反応管並びに伝熱管の内外のプロセスガスとヘリウムガスの差圧を設計差圧内に保持する差圧制御が必要となる。この差圧制御法として、HTTR 水素製造システムの通常起動・停止時に使用する不活性ガス (窒素ガス) 供給設備に着目した。すなわち、原料ガスや水蒸気の供給が停止したとしても、窒素ガスを供給して差圧制御を維持するとともに、触媒層内のメタン、CO 等を除去して、触媒の炭素析出を防止することができる。

(6) 警報及びインターロックの設定値

窒素ガスサージタンクは、異常時に供給するパージ用窒素ガスを、5.46MPa 以上の圧力

で 100 Nm³ 貯めておく必要がある。この要求に対しては既に述べたように、窒素ガスサージタンクの容量が 1.0m³ の場合、最低圧力 15.7MPa を守る必要がある。従って、この圧力を下回る場合には早急に炉外試験装置を停止させる必要がある。よって、窒素ガスサージタンク圧力低で警報を発し、圧力低低で炉外試験装置を緊急停止とする。圧力低低の設定値は上記要求により 15.7MPa とし、圧力低の設定値は 16.2MPa とする。よって、LN₂ ポンプ自動起動用設定圧力はこれより高い 16.7MPa にする。

したがって、LN₂ ポンプは、窒素ガスサージタンクの圧力が 16.7MPa まで低下すると起動し、タンク圧力が 19.6MPa になると停止する断続運転を行う。この場合の LN₂ ポンプの停止時間と運転時間の関係は炉外試験装置への窒素ガス供給量と LN₂ ポンプの供給量から決まる。通常起動時は原料ガス供給設備（水蒸気改質器）への供給量 43.2Nm³/h、LN₂ ポンプ供給量 135Nm³/h の条件で運転すると、LN₂ ポンプを 19 分間運転し 42 分間停止するという供給のサイクルを繰り返す。原料ガス供給設備（水蒸気改質器）への供給量を最大の 76Nm³/h した場合は、LN₂ ポンプを 42 分間運転し 24 分間停止するという供給のサイクルを繰り返す。LN₂ ポンプはインバータ制御を採用しているため、停止時間の短い断続運転を繰り返してもモータが加熱するということがおそれはない。

以上の検討結果から、窒素ガスサージタンクの容量と LN₂ ポンプの起動停止の圧力設定を次のように決定した。

窒素ガスサージタンク容量：	1.0 m ³
LN ₂ ポンプ起動圧力：	16.7 MPa
LN ₂ ポンプ停止圧力：	19.6 MPa

本検討は原料ガス供給設備（水蒸気改質器）へ窒素ガスを 43.2Nm³/h で供給する起動時の場合を条件としているが、通常運転時に LNG ポンプ及び脱気装置へ供給する窒素ガス量は 0.65Nm³/h であり、起動時に比べて充分少ない値であり問題はない。

8. 3 機器仕様

不活性ガス供給設備は、タンクローリーから供給された LN₂（液化窒素）を貯蔵する LN₂ タンク、LN₂ を昇圧して LN₂ 蒸発器に供給する LN₂ ポンプ、LN₂ を気化させる LN₂ 蒸発器、気化した窒素ガスを貯蔵する窒素ガスサージタンクから構成される。これら主要機器の仕様を以下に示す。

(1) LN₂ タンク

LN₂ タンクは、タンクローリーから供給された LN₂（液化窒素）を貯蔵するためのタンクである。図 8.2 に機器構造図を示す。

形式	縦型円筒パーライト&真空断熱二重殻タンク
数量	1 基
容量	16.7 m ³
流体	液体窒素

設計圧力	1.02 MPa
設計温度	-196 ~ 40 °C
外圧条件	大気圧
主要材質	内槽 SUS304 外槽 SS400

(2) LN₂ ポンプ

LN₂ ポンプは、LN₂を所定の圧力に昇圧し、LN₂ 蒸発器に供給するためのポンプである。

図 8.3 に機器構造図を示す。

形 式	往復動式真空ジャケット保冷型
数 量	1 基
流 体	液体窒素
定格吐出量	169 kg/h
設計圧力	21.6 MPa (高圧部) / 0.96 MPa (低圧部)
設計温度	-196 ~ 40 °C
主要材質	SUS304
駆動方式	電動機駆動
電動機	数量 1 基 出力 5.5 kW 電源 3相 50/60 Hz 電圧 200 V インバータコントローラ付属

(3) LN₂ 蒸発器

LN₂ 蒸発器は、大気との熱交換により LN₂を気化させる機器である。図 8.4 に機器構造図を示す。

形 式	空温式蒸発器
数 量	1 基
交換熱量	58680 kcal/h
伝熱面積	197.6 m ²
流体	液体窒素、窒素ガス
蒸発量	最大 500 Nm ³ /h 運転時 135 Nm ³ /h
入口原料ガス温度	-196 °C
出口原料ガス温度	-10 °C
設計圧力	21.6 MPa
設計温度	-196 ~ 40 °C

運転圧力	19.6 MPa
運転温度	入口 -196℃ 出口 -10℃
主要材質	SUS304TP-S

(4) 窒素ガスサージタンク

窒素ガスサージタンクは、LN₂ ポンプにより所定の圧力に昇圧された窒素ガスを一時的に貯蔵する機器である。図 8.5 に機器構造図を示す。

形 式	横型長尺容器
数 量	1 式
容 量	0.5 m ³ × 2 基
流 体	窒素ガス
設計圧力	21.6 MPa
設計温度	40 ℃
運転圧力	15.7 ~ 19.6 MPa
運転温度	大気温度
主要材質	SCM435

8. 4 警報及びインターロック

窒素ガスサージタンクは、異常時に供給するパージ用窒素ガスを、5.46MPa 以上の圧力で 100Nm³ 貯めておく必要がある。従って、窒素ガスサージタンクの圧力が 15.7MPa を下回る場合には早急に炉外試験装置を停止させる。警報及び緊急停止項目を以下に示す。警報設定値についてはプラント試験計測計装設備の章で述べる。

- 1) N₂タンク液位「低」で警報、「低低」で緊急停止 1 (差圧保持)
- 2) LN₂タンク液位「高」で警報
- 3) LN₂タンク圧力「低」で警報
- 4) LN₂タンク圧力「高」で警報
- 5) 窒素ガスサージタンク圧力「低」で警報、「低低」で緊急停止 2 (大気開放)
- 6) 窒素ガスサージタンク圧力「高」で警報、「高高」で緊急停止 1 (差圧保持)
- 7) 窒素ガス流量「低」で警報

表 8.1 各系統の窒素ガス使用量

運転モード	機器名称	N2使用量	単位	使用時間	使用圧力 MPa	合計N2量 Nm3	LN2量 ℓ	LN2内訳(ℓ)		備考
								起動時	運転時(day)	
起動時	窒素ガスサージタンク	200	Nm3/回		19.6	201	310.95	310.95		異常時パージ用100Nm3含む
	給水タンク	2.5	Nm3/サイクル		0.1	2.5	3.87	3.87		
	水蒸気改質器(最大)	76	Nm3/h	48h	常圧~5.46	3648	5643.46	5643.46		改質器昇温(最大)
	水蒸気改質器	43.2	Nm3/h	48h	常圧~5.46	2074	(3208.00)	(3208.00)		改質器昇温(15g/s)
運転時	LNGポンプ	0.15	Nm3/h	連続	0.1	3.6	5.57		5.57	LNGポンプシールド
	脱気装置	0.5	Nm3/h	連続	0.1	12	18.56		18.56	
Heガス精製系 精製・再生		25	(LN2)ℓ/h	連続	0.69		600.00		600.00	
		450	ℓ/サイクル	サイクル	0.69		450.00		450.00	
		25 ℓ/h + 450 ℓ/サイクル	ℓ/サイクル	サイクル	0.69		487.50		487.50	
		7.2	Nm3/h	9h	0.29	64.8	100.25		100.25	
LNG充填時	LNGタンク	12	Nm3/h	0.2h	0.1	2.4	3.71		3.71	LNG充填ラインパージ
停止保管時	SG, SH, 原料ガス 放熱器	7.5	Nm3/サイクル		0.1	7.5	11.60		11.60	
		7	Nm3/サイクル		0.1	7	10.83		10.83	
長期停止時	LNGタンク	300	Nm3/回		0.29	300	464.10		464.10	LNGタンクパージ
合計							5958.28	624.13	1528.00	

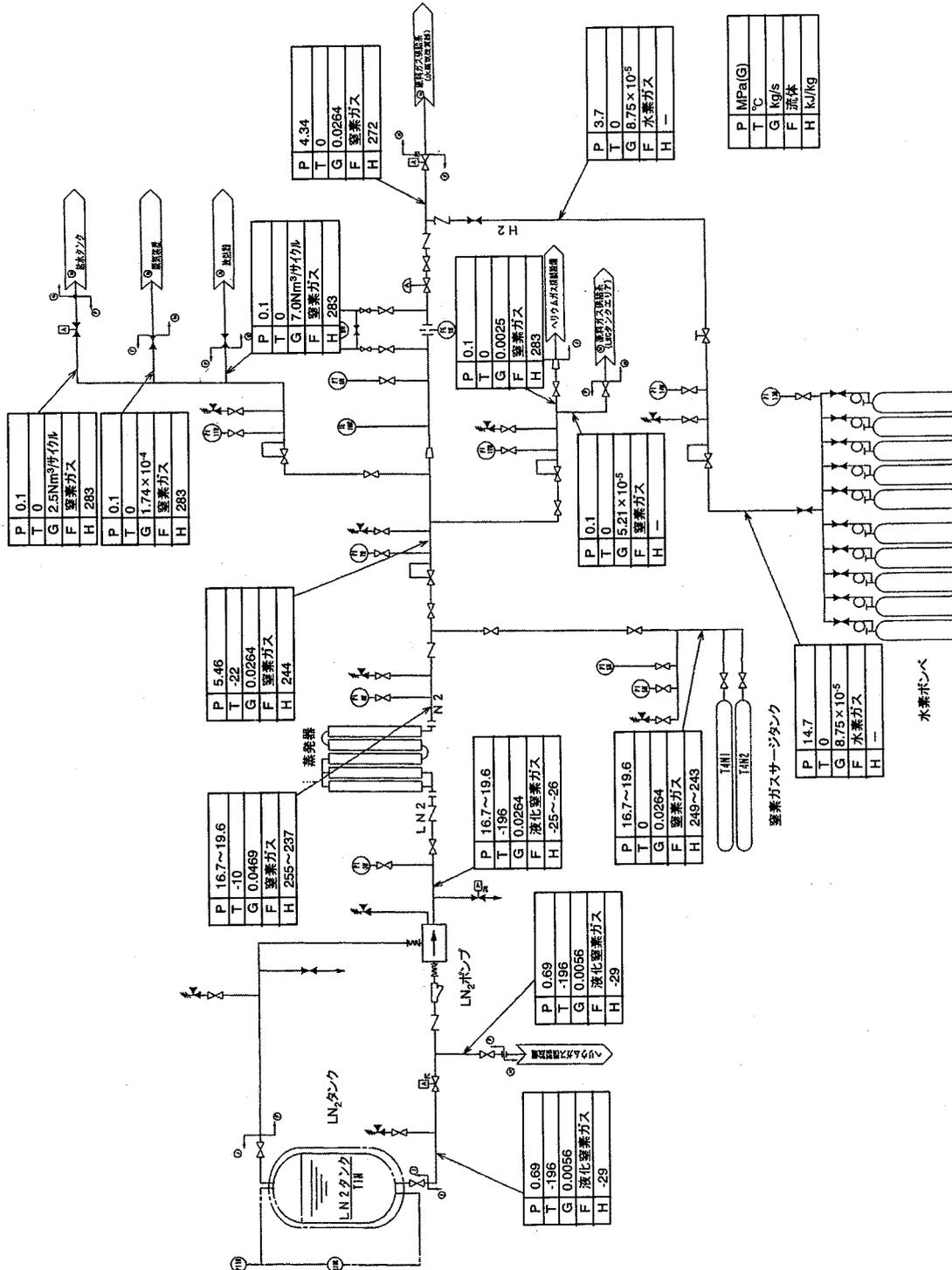
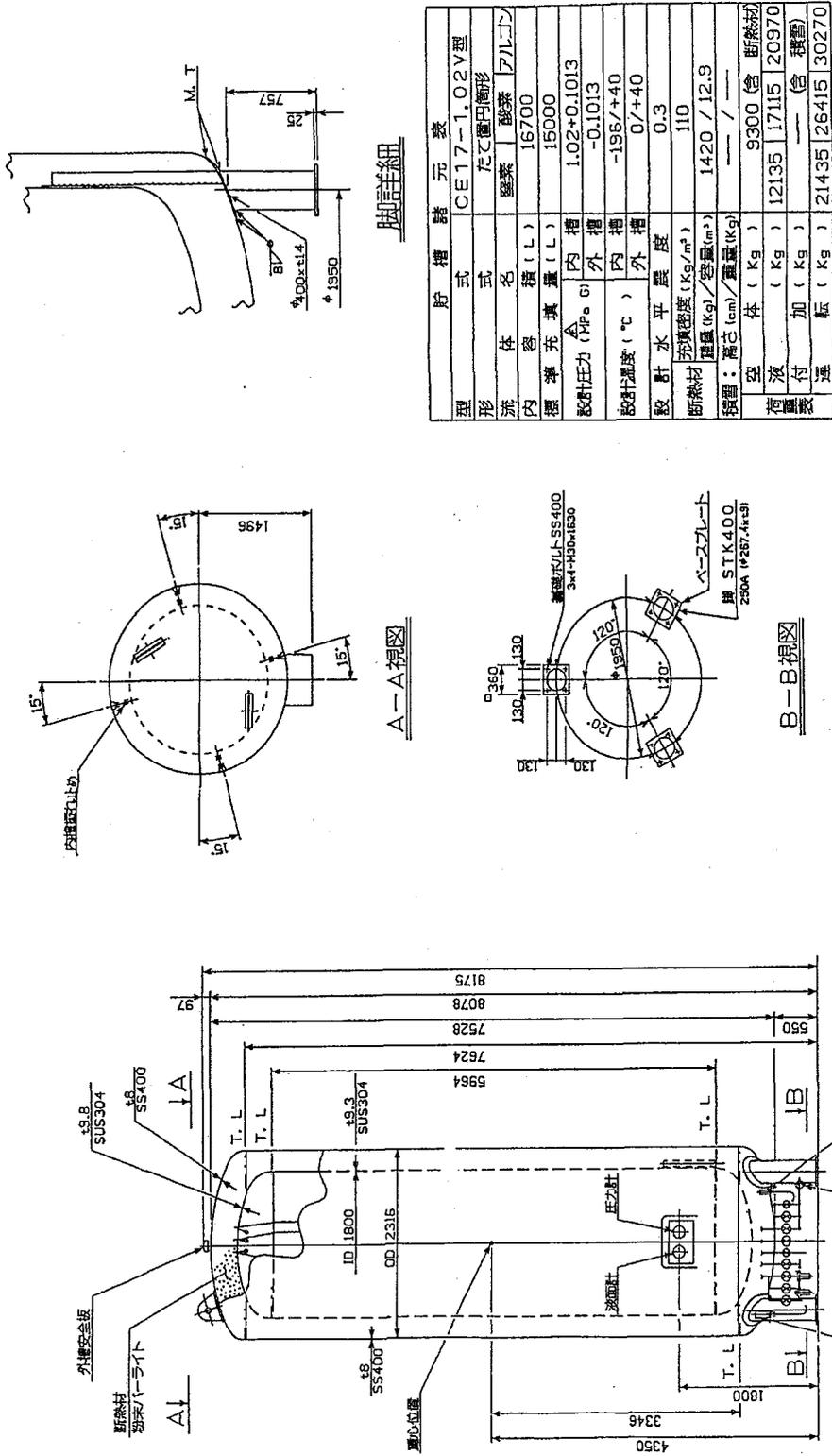


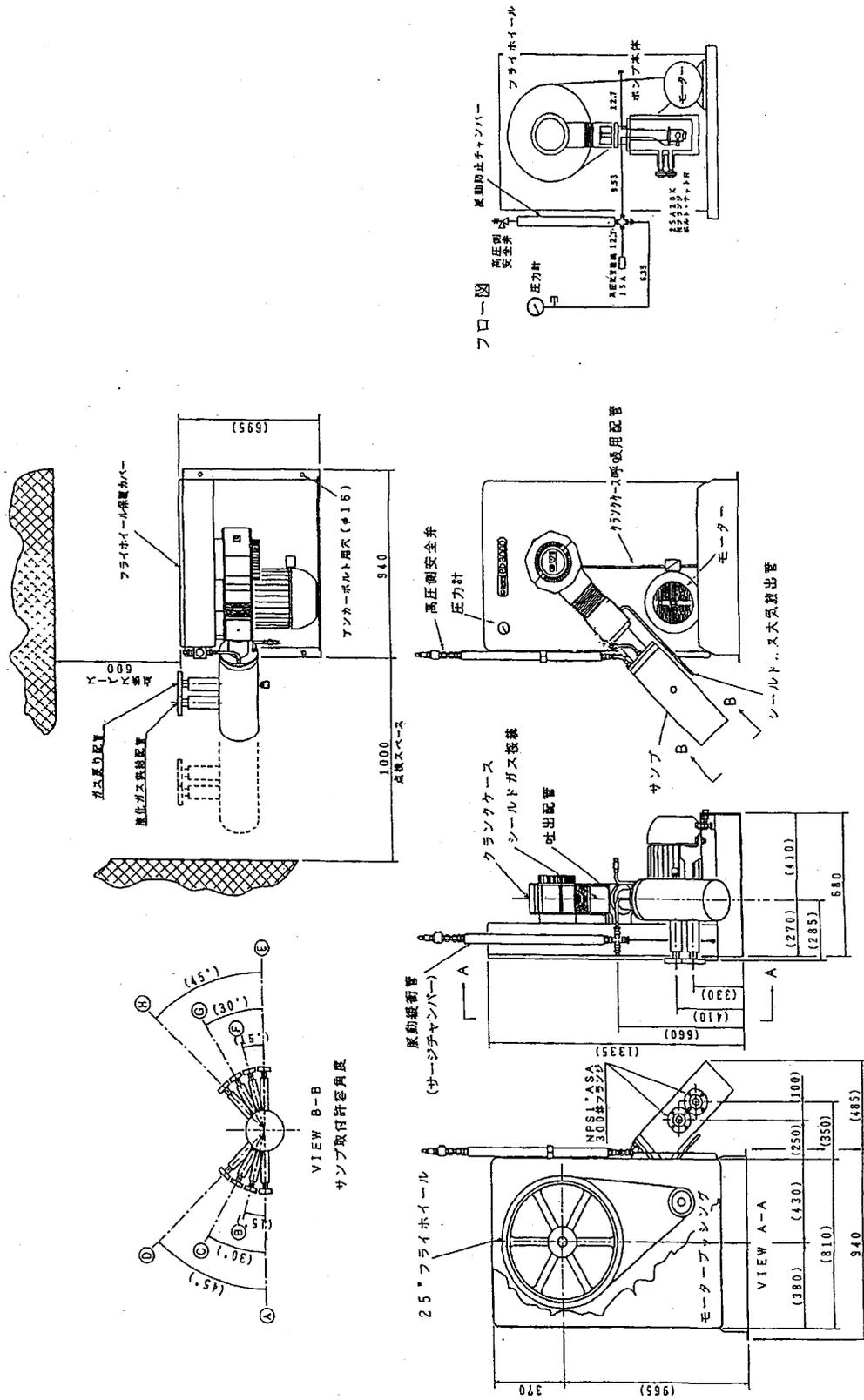
図 8.1 不活性ガス供給設備の系統図と熱物質収支



脚の詳細

貯槽諸元表	
型式	CE17-1.02V型
形式	たて置円筒形
流媒体名	窒素 酸素 アルゴン
内容積 (L)	16700
標準充填量 (L)	15000
設計圧力 (MPa G)	1.02+0.1013
設計温度 (°C)	-196/+40
設計水平震度	0/+40
設計垂直震度	0.3
断熱材	発泡密度 (Kg/m³) 110
積層	断熱材 厚さ (cm) / 質量 (Kg) 1420 / 12.9
容体	(Kg) 9300 (含断熱材)
液加	(Kg) 12135 (含積層)
運	(Kg) 21435 (含積層)
	30270

図 8.2 LN₂タンクの構造図



フロー図

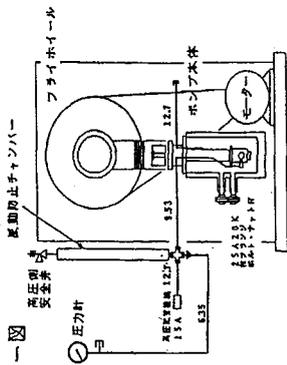
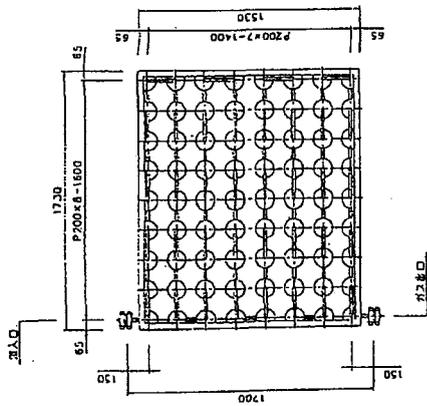


図 8.3 LN₂ ポンプの構造図

接 戻 材 種	
材 質	SUS304/7-3
入口側	15A553204 SFR-A 1315Z
出口側	15A553204 SFR-A 1315Z
材 質	CU2Z0T
入口側	422X14 SFR-A 1322C
出口側	422X14 SFR-A 1322C



設 計 詳 情	
設計名	4072 40726500001
設計温度	-190~+40℃
設計圧力	24.0 MPa
設計速度	36.0 MPa
圧力係数	24.0 MPa
設計媒体	液 体
設計媒体番号	—
設計媒体状態	蒸 気
設計媒体状態番号	①

特 記	
型式	LN ₂ LO ₂ LAT
高さ	500 ㎜/本
大気圧差	-190℃以上
入口温度	—
出口温度	—
設計速度	4100 (体積流:0.001)
設計媒体	LN ₂
設計媒体番号	—
設計媒体状態	蒸 気
設計媒体状態番号	①

7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

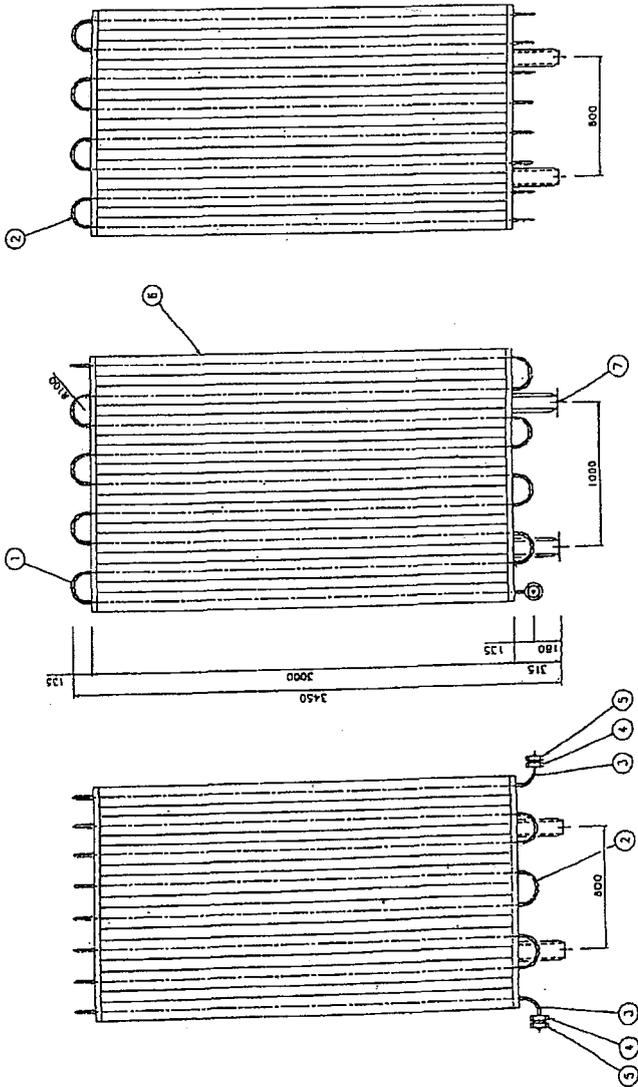


図 8.4 LN₂ 蒸発器の構造図

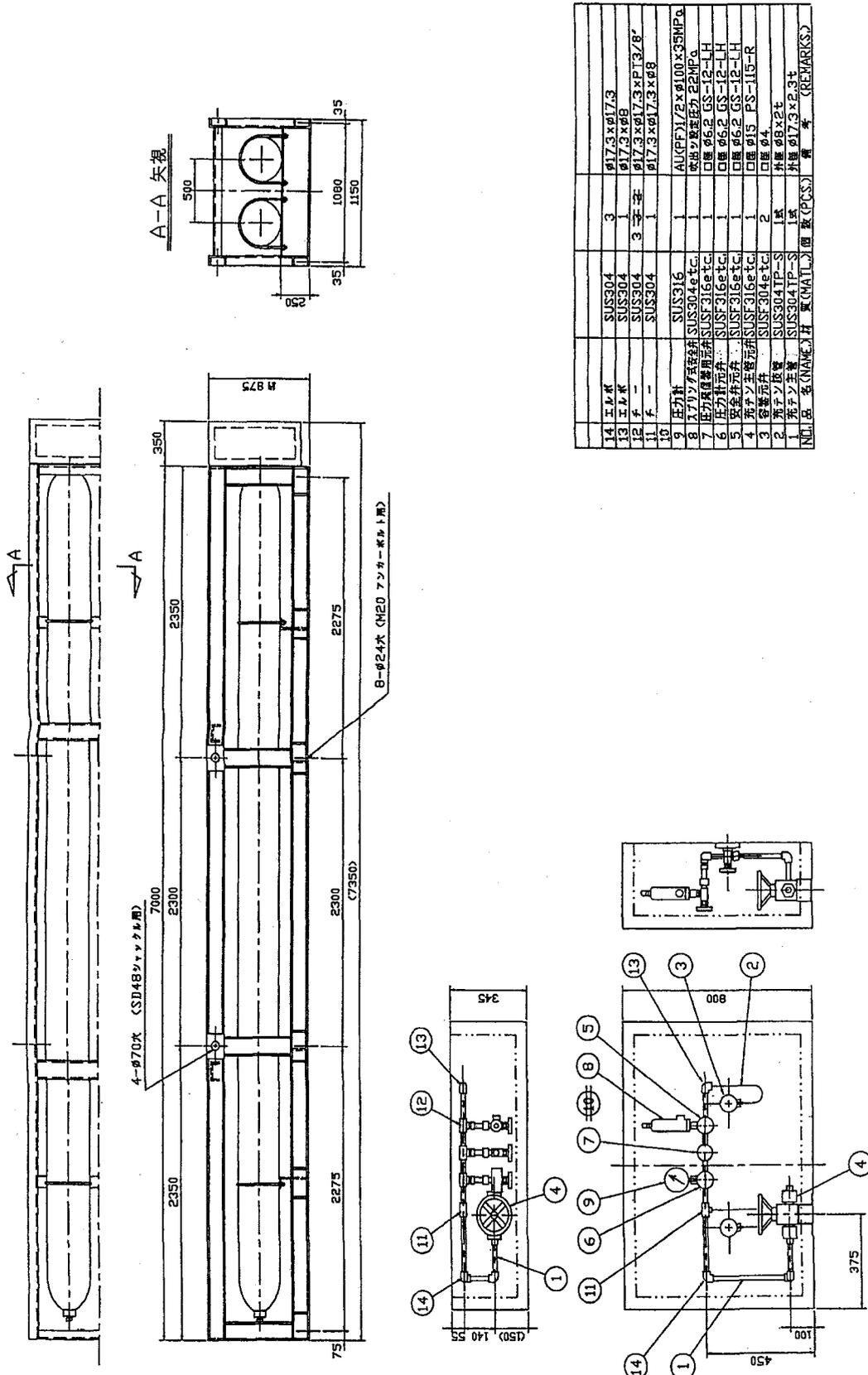


図 8.5 窒素ガスサージタンクの構造図

9. 冷却水供給設備

9.1 概要

冷却水供給設備は、冷却水を循環させ各冷却負荷機器を除熱するための設備である。本設備に要求される炉外試験装置全体の冷却水の負荷集計表を表 9.1 に示す。

9.2 系統構成

冷却水供給設備の系統図を図 9.1 に示す。冷却水設備は、毎時 68ton の冷却水を循環させ、各冷却負荷機器（総熱負荷約 500kW）を除熱する機能を有している。本系統は 1 系統から成り、各冷却負荷機器から発生する熱を除去するためのクーリングタワー、冷却水を循環させるための冷却水ポンプ、薬液を連続注入することができる薬液注入ポンプ、冷却水を送水する配管及び弁等から構成される。

(1) 冷却水設備容量設定

1) クーリングタワー冷却能力の設定

負荷集計表より、冷却負荷機器の通常運転時の最大熱負荷量は 499.7 kW である。クーリングタワーは、これに対して約 1.4 倍の余裕をとり、冷却能力 680 kW の一般標準品を用いた。クーリングタワーの性能曲線を図 9.2 に示す。

2) 冷却水ポンプ定格吐出量の設定

クーリングタワーのサイズに対して、クーリングタワー出口温度を 32℃、入口温度を 42℃とした場合の標準水量が約 68 m³/h となる（メーカーの一般標準）。負荷集計表より、通常運転時の最大流量は 53 m³/h であり、十分満足出来る流量が確保されている。

3) 冷却水ポンプ定格全揚程の設定

冷却水ポンプからクーリングタワーまでの摩擦損失が 0.36MPa であり、これを満足するように冷却水ポンプの定格全揚程は 50m とした。各冷却負荷機器の配置状況より、位置水頭は最も大きい箇所約 16m である。したがって、50m の揚程であれば、冷却水の循環に際して位置水頭分を考慮しても、各所で圧力が負圧になることはない。

4) 保圧弁の一次側圧力設定

冷却水ポンプ停止時の冷却水流出及び配管内が負圧になるのを防止するために、クーリングタワー冷却水入口側に保圧弁が設けられている。保圧弁の一次側圧力は、位置水頭の最大が約 16mであることを考慮し、0.16MPa とした。

(2) 冷却水水質管理

1) 水質管理の目的

冷却水設備は、開放型のクーリングタワーを有するため、溶存酸素が飽和まで溶解し、クーリングタワーでの蒸発による濃縮により、冷却水中の不純物も濃縮される。したがって、良好な冷却性能を維持するためには、強制ブローによる冷却水濃度の調整及び適切な水処理薬品により水質を管理する必要がある。水質管理は以下の目的のために実施する。

- ①腐食防止
- ②スケール防止
- ③スライム防止

2) 冷却水設備に使用する薬液

冷却水設備に使用する薬液（栗田工業株式会社製）を以下に示す。

①基礎処理：炉外試験装置立ち上げ時、系統内に酸化皮膜を作り、設備内の汚れ、金属酸化物等による悪影響を最小限にとどめるために、次の薬品を冷却塔に 1.5 リットル投入し、冷却水ポンプを起動して系統に 96 時間連続通水する。その後、冷却水を全量入れ替え、通常処理を行う。

・クリロイヤル P-300（成分；重合リン酸系）

②通常処理：運転中、防食、スケール発生防止のため、次の薬品を連続注入している。注入量は、熱負荷によって異なり、水蒸気改質器入口ヘリウム温度が 880℃の時 24 パルス、180℃の時 12 パルス、保管運転時 6 パルスに設定して使用する。

・クリロイヤル S-151（成分；ホスホン酸塩、合成ポリマー）

③スライム防止：スライム発生防止のために、次のスライムコントロール剤を週に 1 回、2 リットルを冷却塔にバッチ投入する。

・クリサワー W-200（成分；無機窒素化合物）

3) 水質管理値

上記 2) に示した薬液を使用した場合（通常処理）、冷却水の水質管理値を表 9.2 に示す。

4) 冷却水補給水量及びブロー量

系統からの蒸発、飛散、ブローによる薬液の濃縮倍数、および薬品濃度を一定に保つための補給水量は、次の式で表される。

$$N = (E+B+W) / (B+W)$$

$$M = E+B+W$$

この時の、E、W、B、N、M は次の通りである。

E：蒸発損失量 (m³/h)

W：飛散水量 (m³/h)

B：ブロー水量 (m³/h)

N：濃縮倍数

M：補給水量 (m³/h)

冷却水補給水量及びブロー量については、濃縮倍数 3、蒸発損失量を冷却水流量 (68m³/h) の 2%、飛散水量を冷却水流量の 0.2% と仮定して計算すると、補給水量 M=2.04 m³/h、ブロー水量 B=0.54m³/h となる。

5) 電気伝導度が高い時の処置

クーリングタワーへのろ過水手動補給口止弁 (NV10W) を手動で開とし、ろ過水供給量を増やし、クーリングタワープール水をオーバーフローさせて置換する。電気伝導度が正常な状態になったら、ろ過水手動補給口止弁 (NV10W) を全閉に戻す。

9. 3 機器仕様

(1) 冷却水ポンプ

冷却水を循環させるための機器である。冷却水ポンプは、100%容量のものが2台設置されている。通常運転時は、1台を運転し、他の1台は予備機として待機させる。各冷却負荷機器から出た冷却水はクーリングタワーを通し冷却され、冷却水ポンプにより昇圧された後、再び各冷却負荷機器に戻る。

運転中の冷却水ポンプがトリップした場合は、自動的に予備機が起動する。冷却水ポンプが二重化されているのは、冷却水ポンプがトリップした場合には炉外試験装置は自動緊急停止するが、この場合でも機器保護のため除熱機能を維持する必要があるためである。

冷却水ポンプの起動・停止操作は、現場盤からの手動操作によって行う。

形式	横置き渦巻型	
数量	2台	
定格吐出量	68 m ³ /h	
定格全揚程	50 m	
設計圧力	0.687 MPa	
設計温度	60 °C	
主要材質	ケーシング	FC200
	主軸	SUS403
電動機出力	18.5 kW	

(2) クーリングタワー

クーリングタワーは、各冷却負荷機器から発生した熱を冷却除去する。クーリングタワープールの温度に応じて、クーリングタワー冷却ファンの起動・停止を自動的に行う。クーリングタワー内での蒸発、飛散等による冷却水減少に対する補給は、クーリングタワープール水位の低下により、クーリングタワー内のボールタップが開き自動的に、ろ過水が補給される構造になっている。

クーリングタワー冷却ファンの操作は、現場盤からの手動操作によって行う。クーリングタワーは、各冷却負荷機器を冷却し温度が上昇した冷却水を、空気との熱交換により冷却する。クーリングタワープールの温度に応じて、クーリングタワー上部に設置された冷却ファンの起動・停止を自動的に行う。

形式	低騒音型一般産業用（強制吸引直交流型）
数量	1基
交換熱量	680 kW
流体名	ろ過水（補給水）／冷却水（循環水）
入口温度	38 °C
出口温度	32 °C
主要材質	水槽：鋼板（溶融亜鉛メッキ処理） 填材：塩化ビニール樹脂

	送風機ケーシング：FRP 成形品
電動機出力	3.7 kW
付属品	鉄はしご

(3) 薬液注入装置

冷却水設備内の機器、配管及び弁等の腐食防止及びスケール防止のため、クーリングタワープール内に連続的に薬液を注入する機器である。クーリングタワープール内には、電導度計が設置されており、冷却水中の薬液を含む不純物濃度を常時監視できるようになっている。薬液注入ポンプの起動・停止操作は、ポンプ外面の操作部での手動操作によって行う。

形 式	連続注入方式
数 量	1 式

1) 薬液注入ポンプ

形 式	定量型 (ダイヤフラムポンプ)
数 量	1 台
注入量	0 ~ 30 ml/min
最高吐出量	0.98 MPa
主要材質	PVC
電動機容量	0.015 kW

2) 薬液注入タンク

形 式	箱形 (液面計目盛付き)
数 量	1 基
容 量	100 ℓ
主要材質	PVC

(4) 配管及び弁等

各負荷機器への冷却水の送水は、配管及び弁等を介して行われ、供給する冷却水の流量は、ポンプ出口部とクーリングタワー入口間のバイパスラインにより調整されている。また、各負荷機器への流量配分は、各機器の圧力損失に基づき、各機器の冷却水入口弁又は出口弁によって調整されている。

クーリングタワー冷却水入口側に保圧弁を設け、冷却水ポンプの運転を停止した時に、高所に設置してある機器及び配管内から水の落下を防止できる構造になっている。万一、それらの機器及び配管内から水が落下しても、内部が負圧になることを防止するために、システムの頂部に真空破壊弁が設置されている。

ポンプ保護及び冷却水への砂、ゴミ等の混入を防止するため、主配管にはストレーナが設置されている。また、冷却水の不純物成分が過剰に濃縮するのを防ぐために、クーリングタワー入口の配管に冷却水フローラインが設けられている。

9. 4 警報及びインターロック

以下の場合には警報を発し、運転員に注意を促す。或いは炉外試験装置を自動緊急停止させる。警報及び緊急停止項目を以下に示す。警報設定値についてはプラント試験計測計装設備の章で述べる。

- 1) 冷却水ポンプ出口圧力「低」で警報
- 2) クーリングタワープール水位「低」で警報
- 3) 冷却水ポンプ出口圧力「低」で警報、「低低」で緊急停止1（差圧保持）
- 4) 冷却水ポンプトリップで緊急停止1（差圧保持）
- 5) 冷却水ポンプ予備機起動失敗で緊急停止1（差圧保持）

表 9.1 冷却水負荷集計表

設備	負荷機器名称 (機器番号)	設置基数	通常運転時			メンテナンス時			備考
			運転基数	流量 (m ³ /h)	熱負荷 (kw)	運転基数	流量 (m ³ /h)	熱負荷 (kw)	
ヘリウムガス供給系	ヘリウムガス循環機 (B1H)	1	1	2.5	29.1	—	2.5	0	
	ヘリウムガス加熱器 (H2H)	1	1	10.0	58.1	—	10.0	0	
	ヘリウムガス冷却器 (C3H)	1	1	9.7	93.5	—	9.7	0	
ヘリウムガス精製設備	ヘリウムガス循環機 (B551)	1	1	0.3	3.5	—	0.3	0	
	モレキュラーシーブベット (MB551/MB552)	2	1	0.6 ^(*1)	0 ^(*2)	—	0	0	(*1)断続使用 (*2)冷却水戻りラインなし。
ヘリウムガス貯蔵・供給・圧力調整設備 水蒸気供給系	ヘリウムガス冷却器 (C1U)	1	1	0.7	6.5	—	0.7	0	
	脱気装置真空ポンプ (V7S)	1	1	0.1~ ^(*1) 0.36	0 ^(*2)	—	0	0	(*1)断続使用 (*2)冷却水戻りラインなし。
	給水バイパス冷却器 (X13S)	1	1	6.0	60	—	6.0	0	
	ドレン水冷却器 (X17S)	1	1	2.5	29	—	2.5	0	
	ブロー蒸気冷却器 (X27S,X28S)	2	2	8.0	80	—	8.0	0	
後処理系	真空排気ポンプ (V23S)	1	—	0.12	0	1	0.12	1.2 ^(**4)	(*4)長期保管後の再起動前に使用する。
	生成ガス冷却器 (X1C)	1	1	12.2	140	—	12.2	0	
			合計 (最大)	53.0	499.7	合計 (最大)	52.0	1.2	

表 9.2 冷却水水質管理値

水質項目	単位	ろ過水水質	冷却水水質管理値(*1)
電気伝導度	$\mu\text{s}/\text{cm}$	200以下	1000以下(*2)
PH	—	7.4~7.5	7~9(*2)
塩化物イオン	ppm	20以下	200以下(*2)
溶存酸素濃度	ppm	—	大気飽和
Mアルカリ	ppm	—	100以下
Ca+Mg濃度	ppm	50~60(as CaCo_3)	—
カルシウム硬度	ppm	—	150以下(as CaCo_3)(*3)
シリカ	ppm	—	100以下(as SiO_2)(*3)
濁度	度	0	10以下(*4)
濃縮倍数	—		3

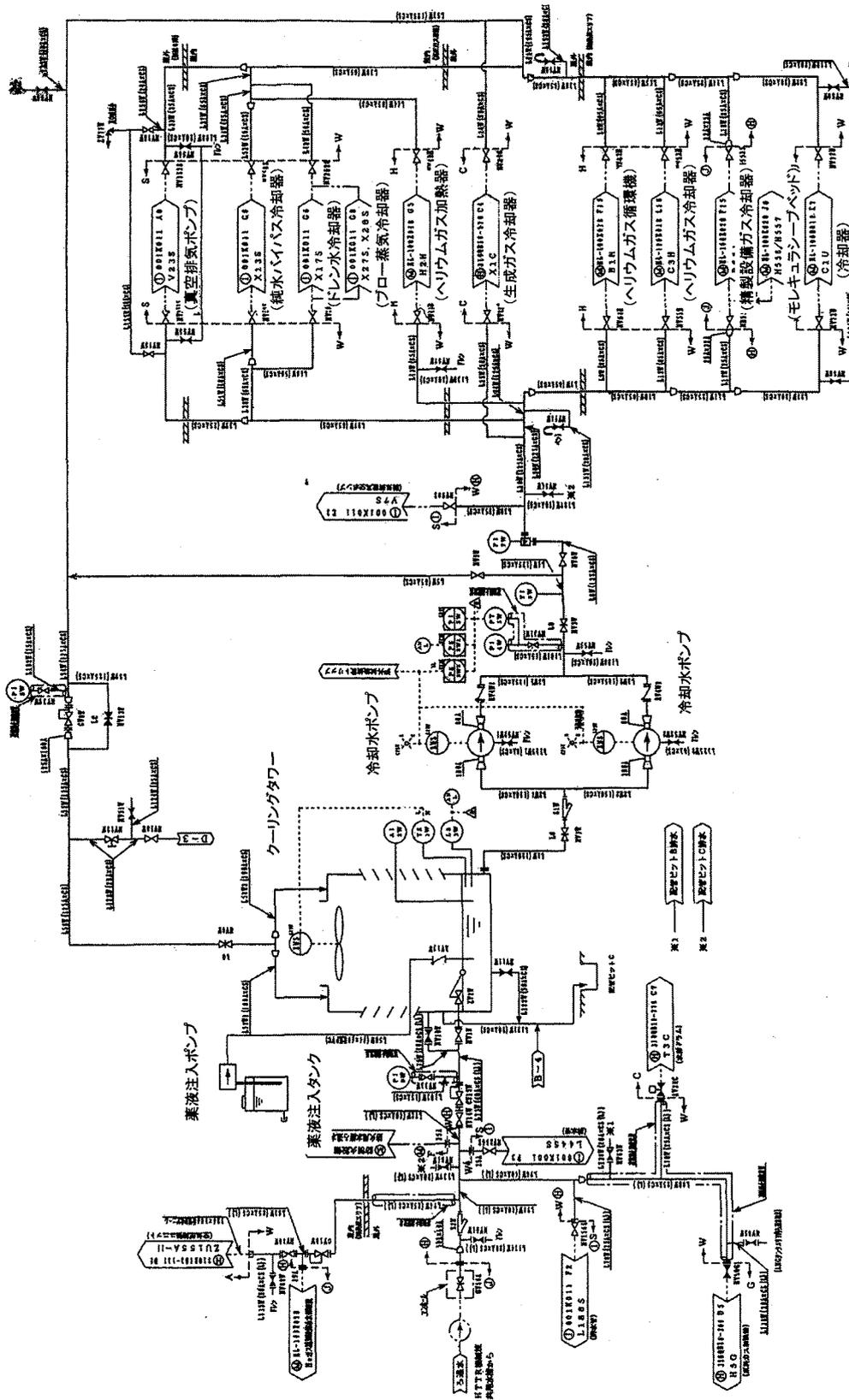


図 9.1 冷却水供給設備の系統図

入口水温37(°C)水量:1950L/min)一定

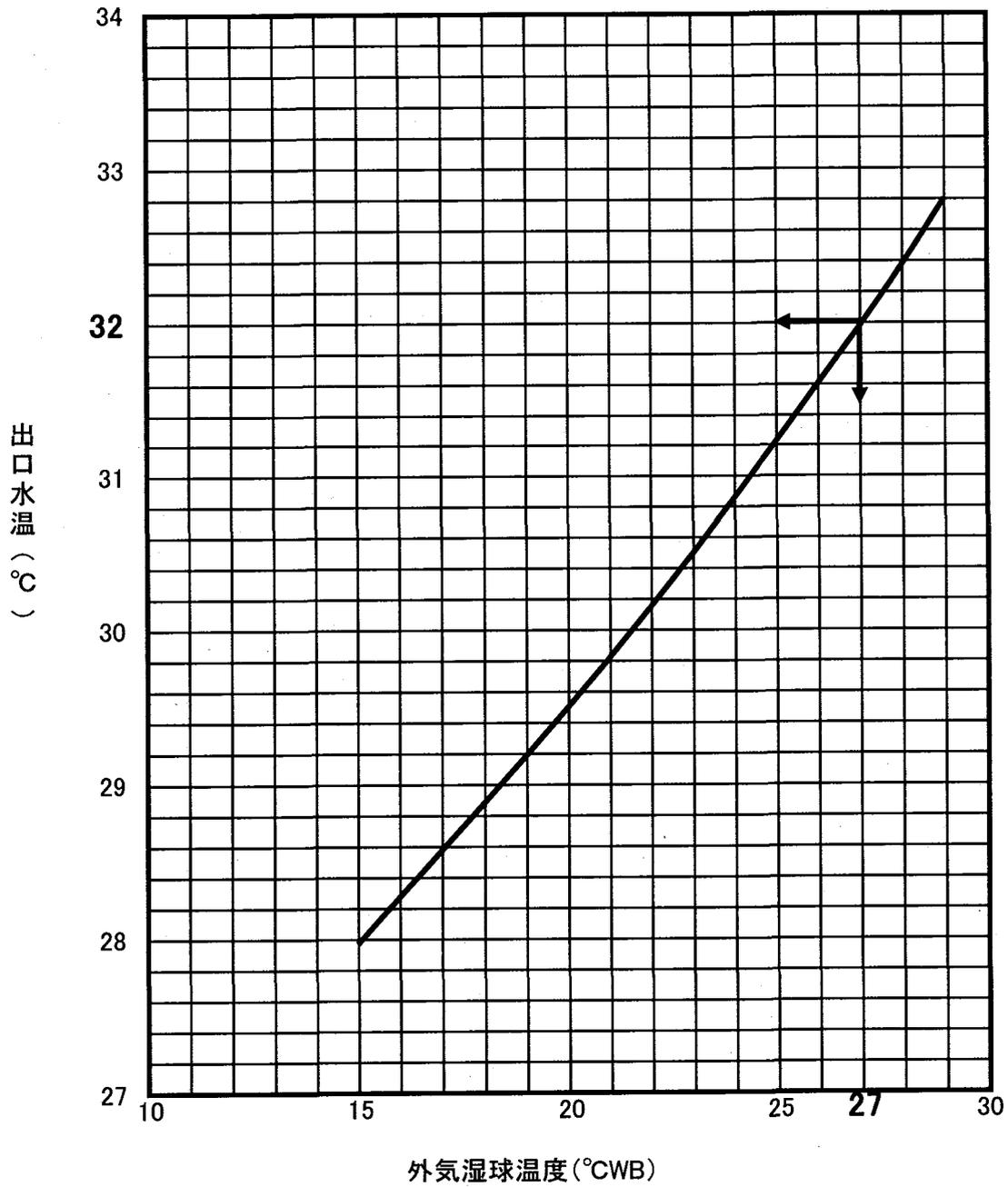


図 9.2 ケーリングタワー性能曲線

10. 電気設備

10. 1 概要

電気設備は、炉外試験装置に必要な電源を供給する設備で、6600V 高圧で受電し、420V、210V、105V、無停電電源等の負荷に電源を供給するものである。

10. 2 系統構成

電気設備は 420V 変圧器盤、420V パワーセンタ、210V 変圧器盤、420V コントロールセンタ、常用 210V コントロールセンタ、非常用 210V コントロールセンタ、無停電電源装置、非常用発電機、直流電源装置で構成される。

炉外試験装置の電源系統図（単線結線図）を図 10.1 に示す。また、電気負荷リストを表 10.1 に示す。炉外試験装置用電源は HTTR 電気室に設置の高圧盤内 F16-05 真空遮断器（VCB）を介して受電し、420V 変圧器盤で 6600V から 420V に変圧している。

420V 変圧器盤で変圧した電源は、420V パワーセンタを介して 5 系統に配電している。420V パワーセンタから配電している機器と系統は、①ヘリウムガス加熱器入出力制御盤、②ヘリウムガス循環機回転数制御装置、③420V コントロールセンタ、④210V 変圧器盤、⑤付属建家Ⅱ実験棟である。420V パワーセンタの入出力には気中遮断器（ACB）を使用し、ACB にはそれぞれ過電流引き外し回路が内蔵しており、過電流と地絡から負荷を保護している。また、過電流引き外しの設定値は高圧盤内 F16-05VCB との保護協調をとるように設定されている。

保護協調は、ある負荷で異常が発生した場合、異常箇所の直近上位の遮断器が動作する前に、更に上流の遮断器が動作して正常な負荷の電源までも遮断することを防ぐものである。そのため、遮断器の動作時間は下流側に位置する程早くなるように保護継電器を整定する。従って、F16-05VCB がトリップする前に 420V パワーセンタの ACB がトリップするように設定してある。

420V コントロールセンタは、420V 系機器への電源を供給する。420V コントロールセンタは、予備を含め 9 ユニットに分かれ、各々のユニットから負荷に電源が供給される構造になっている。各ユニットに電磁遮断器（MCCB）と制御回路があり、過電流と漏電から、負荷を保護する構造になっている。420V コントロールセンタから電源を供給される機器は、①水蒸気改質器補償ヒータ、②ヘリウムガス精製設備、③ヘリウムガス主循環設備用真空ポンプ、④ヘリウムガス圧力調整設備用真空ポンプ、⑤ヘリウムガス貯蔵供給圧力調整設備用圧縮機、⑥水蒸気供給系真空排気ポンプである。

210V 変圧器盤は、420V パワーセンタから受電し変圧器で 210V に変圧後、常用 210V コントロールセンタ及び非常用 210V コントロールセンタに電源を供給している。

非常用 210V コントロールセンタは、常時 210V 変圧器盤から受電しているが、商用電源喪失時は自動的に受電先を非常用発電機に切り替える。商用電源喪失から非常用発電機が起動し、電圧が確立して非常用 210V コントロールセンタが復電するまでの時間は 1 分以内である。非常用 210V コントロールセンタから電源を供給される機器は、①冷却水ポンプ A、②冷却水ポンプ B、③クーリングタワーファン、④無停電電源装置、⑤計装用空気圧縮機、⑥防消火設備送水装置、⑦サンプリング冷却装置、⑧付属建家Ⅱ実験棟、⑨高圧ガス架構照明分電盤である。

常用 210V コントロールセンタは 420V パワーセンタから受電し、常用負荷に電源を供給している。常用 210V コントロールセンタから電源を供給される機器は、①真空ポンプクーリングユニット A、②真空ポンプクーリングユニット B、③冷水循環機、④LNG ポンプ、⑤原料ガス加温器、⑥水精製器、⑦薬液注入ポンプ、⑧給水ポンプ、⑨放熱器ファン、⑩脱気装置、⑪LNG ポンプ、⑫冷却水設備制御盤、⑬液体窒素ローリ用電源、⑭ヘリウムカードル室分電盤、⑮高圧ガス架構動力分電盤、⑯放熱器配管ヒータ、⑰放熱器凍結防止用ヒータ、⑱循環水ポンプ、⑲高圧ガス架構照明分電盤である。

(1) 気中遮断機(ACB)

420V パワーセンタには ACB が使用されている。ACB の保護動作には電子式引外装置が内蔵されている。電子式引き外し装置は CT (変流器)、静止型リレー、MHT (マグネットホールトリガー) で構成されている。420V パワーセンタの受電用 ACB の定格電流は 2000A であり、420V パワーセンタ負荷用 ACB の定格電流は 1250A であるが、ブレーカ主回路に流れる電流は主回路各相に設けた CT によって変流され、CT2 次側の定格電流は受電用 ACB 及び負荷用 ACB 共、50mA である。

長限時、短限時及びプレトリップアラームの電流設定値は、静止型リレーに内蔵の CPU にデジタル量で記憶されており、入力電流積算値が設定値を超えると所定の遅延時間後にプレトリップアラーム信号を発したり、MHT を動作させてブレーカをトリップさせる。瞬時電流保護はアナログ的に比較回路を設け、入力電流が所定の値に達したらダイレクトにサイリスタトリガー回路を動作させ、MHT を動作してブレーカをトリップさせる。地絡電流保護は、瞬時電流保護と同様にアナログ比較回路を構成し、所定の値以上に達したとき、出力は CPU に入り、地絡電流が設定値以上であれば、所定の遅延時間後にサイリスタトリガー回路～MHT を通してブレーカをトリップさせる。

1) 長限時引外装置

長限時電流の検出は実効値検出である。正弦波交流であれば、波高値制御と実効値制御は変わることがないが、高調波を含む場合には波高値の $1/\sqrt{2}$ が実効値とはならない。従って、波高値制御では誤動作が生じるが、実効値制御で有れば誤動作の恐れはない。定格電流の調整はフレーム電流の 100% から 50% まで段階的に調整できる。また、設定値の 600% の電流が流れた場合の引き外し限時時間を 5、10、15、20、30 秒の 5 段階に切り替えることが出来る。

2) 短限時引外装置

短限時引外装置の電流設定は波高値制御を使用し、長限時引外電流設定値の 200%、400%、600%、800%、1000% に設定可能である。短限時引外の時間設定は、100msec、150msec、200msec、250msec、300msec の 5 段階に切り替え可能である。動作時間は (設定時間 - 20msec) ~ (設定時間 + 50msec) の範囲である。また、 I^2t 切り替えスイッチを ON にすることによって I^2t 一定の特性 (ランプ特性) に切り替えることが可能である。 I^2t 切り替えスイッチは、下位にヒューズのような特性の保護機器がある場合の保護協調に使用する。

3) 瞬時引外装置

瞬時引外装置は短絡領域における電流を遮断する場合に作動させるものであり、波高値制御となっている。短絡電流が瞬時引外設定値に達しない場合は、短絡時にも瞬時引外装置が働かず、負荷の保護が出来ない。一方、変圧器、コンデンサ等のように始動突入電流がある場合には、瞬時引外設定値以上の始動電流となり、始動時に瞬時引外装置が動作して始動できないことがある。従って、瞬時引外装置は短絡電流以下で、始動突入電流以上の値に設定する。設定範囲は1次側定格電流の300%~1200%まで連続可調整である。

4) プレトリップアラーム

プレトリップアラームの設定は、定格電流の70%、80%、90%、100%に設定できる。時限は40secである。出力は接点信号であり、a接点1個となっている。

5) 地絡引外装置

地絡引外回路は主回路各相のCTの中性相に補助CTを介し、各相の不均衡電流を測定、整流して検出している。地絡電流検出の設定値は主回路1次側CT定格電流の10%~40%に設定できる。また、動作時間は0.1秒、0.2秒、0.3秒、0.4秒、0.8秒のいずれかに設定できる。

6) 420VパワーセンタACBの設定

420VパワーセンタACBの過電流引外装置の整定値を表10.2に示す。

(2) 210Vパワーセンタ用MCCB(配線用遮断器)

210Vパワーセンタ用MCCBの引外装置は変流器(CT)、静止型リレー、マグネットホールトリガー(MHT)で構成される。主回路の各相にCTが取り付けられ、1次側定格電流に対し2次側定格電流は常に50mAとなるようにCTを選択してある。CTからの電流入力を受け、静止型リレーで過電流時に引外し信号をMTHに出力する。MTHでは引外しスプリングと永久磁石による可動コアがバランスをとって動かないようになっているが、静止型リレーからの引き外し信号を受けて、引き外しコイルを励磁させることによって、バランスが崩れ、引き外される。

1) CT

210Vパワーセンタ用MCCBのCTは、全て2000Aフレームに対し50mAになっている。

2) 長限時引外装置

電流の制御は、高調波が含まれている場合にも誤動作しないように実効値制御で行っている。定格電流は可変であり、マイナスドライバーで調整できる。また、引外に到る時間は5秒、10秒、15秒、20秒、30秒に切り替えることができる。

3) 短限時引外装置

短限時引外電流値は長限時引外電流設定値の200%、400%、600%、800%、1000%の値に設定することができる。また、引外時間設定は、100msec、150msec、200msec、250msec、300msecの5段階に設定可能である。

4) 瞬時引外装置

瞬時引外装置の設定は CT 一次側定格電流の 300%~1200%まで連続可変である。

5) 210V パワーセンタ用 MCCB の設定

210V パワーセンタ用 MCCB の過電流引外装置の整定値を表 10.3 に示す。

(3) 非常用発電機

図 10.2 に非常用発電機起動停止タイムスケジュールを示す。商用電源が喪失し、2 秒後にセルモータが始動しエンジンが起動する。2 秒未満の停電では非常用発電機は起動しない。エンジン起動後、発電機電圧が既定値になったら、1 秒後に遮断器が投入され非常系負荷に電源が供給される。

セルモータの始動は 10 秒間行われ、低速度検出が解除されなかった場合、5 秒後に再度セルモータの始動を繰り返す。最初のセルモータの始動から 45 秒後に始動渋滞故障となる。始動渋滞になるまで、セルモータの始動は 3 回実施することになり、3 回実施しても低速度が解除されなかった場合に始動渋滞信号を発することになる。従って、非常用発電機が正常であれば、商用電源の停電時において、15 秒~45 秒後には非常系負荷に電源が供給されることになる。

復電時においては、電圧が 30 秒間連続して確認された場合（復電 30 秒後）に遮断器が切り替わり、その後 3 分後にエンジン停止指令が出る。従って、起動から停止まで、全て自動的に処理するものである。

(4) 無停電電源装置の特性

無停電電源装置の定常運転時における動作モード説明図を図 10.3 に示す。

1) 運転

交流入力を受電すると無停電電源装置は検出 A が定格入力電圧の $\pm 15\%$ 以内であることを確認し、運転命令待ちの状態になる。交流入力 8AC を投入し、無停電電源装置盤面の操作表示ユニット (DPU) 上の「SELECT」釦を押した後「ON」釦を押すことによって、運転シーケンスが開始し、運転に入る。運転に入ると蓄電池充電用 MCX が ON となり、初期充電を開始する。MCX の ON を確認後、主回路交流入力遮断器 MCCB1 (52R) が ON する。MCCB1 (52R) の ON を確認すると MCX を OFF し、整流器が運転に入る。検出 E と D が等しくなると直流入力用遮断器 MC2 (72B) を ON し、蓄電池と接続され、蓄電池に対し充電を開始する。検出 D が直流電圧 380V 以上を確認し、インバータの出力開閉器 MC3 (42A) を ON し、負荷へ電力を供給する。

2) 停止

無停電電源装置盤面の DPU 上の「SELECT」釦を押し、次に「OFF」釦を押すと停止シーケンスが開始する。「OFF」釦操作後 1msec 後にインバータが停止し、インバータの出力開閉器 MC3 (42A) が OFF する。MC3 (42A) OFF を確認後、整流器を停止する。その後、整流器、インバータが停止していることを確認し MCCB1 (52R) を OFF し、MC2 (72B) を OFF にする。従って、インバータを停止した状態では、蓄電池は充電されない。

3) 停電

無停電電源装置の停電時における動作モード説明図を図 10.4 に示す。運転中、検出 A で定格入力電圧の-15%以下を検出すると、交流入力停電とみなし、整流器は停止する。しかし、蓄電池の直流母線が整流器の直流母線と直結されているので、瞬断することなく、蓄電池を直流電源としてインバータを運転し続け、負荷に電力を供給する。但し、検出 E の蓄電池電圧が放電最終電圧（約 288V）になると、検出 B の直送入力電圧が正常（AC200V \pm 10%以内 50Hz \pm 5%以内）であればインバータから直送に無瞬断で切り替え、直送給電となる。もし、検出 B の直送入力電圧が正常でなければインバータは自動停止し、負荷への電力供給は停止する。

4) 復電

検出 A で交流入力定格入力を 5 秒以上継続した場合、復電と見なし、インバータ運転まで自動的に立ち上がる。但し、蓄電池放電による停止の場合には、自動起動し、インバータ給電になる。

5) 手動操作によるインバータ運転から直送運転への切り替え

無停電電源装置の手動操作によるインバータ運転と直送運転の切り替え説明図を図 10.5 に示す。無停電電源装置がインバータ給電中に無停電電源装置の盤面の DPU 上の「SELECT」釦を押した後、「BYPASS」釦を押すと、検出 C の電圧が検出 B の電圧と同期するよう電圧追従指令を出す。同期運転状態になると直送の遮断器 MC4 (42B) を ON しにする。確認し 80msec 後に MC3 (42A) を OFF し、直送に切り替える。この時インバータは待機状態になる。

6) 手動操作による直送運転からインバータ運転への切り替え

DPU 上の「SELECT」釦を押した後、「INVERTER」釦を押すと、検出 C の電圧が検出 B の電圧と同期するよう電圧追従指令を出し、同期状態となり、インバータ側の MC3 (42A) を ON し、無瞬断でインバータ側に切り替える。その後、直送側の MC4 (42B) を OFF にする。

7) 故障発生時の自動切り替え動作

無停電電源装置の故障発生時の自動切り替え説明図を図 10.6 に示す。インバータが直送電源に同期しながら運転中に重故障または整流器故障が発生すると、故障検出と同時に AC スイッチを点弧と同時に直送側 MC4 (42B) を ON し、無瞬断で直送側に切り替える。インバータは停止し、インバータ側 MC3 (42A) も OFF する。

重故障時には整流器を停止し、直流入力用 MC2 (72B)、入力側 MCCB1 (52R) を OFF にする。軽故障の場合インバータは運転を継続する。

8) 出力過電流発生時の自動切り替え動作

無停電電源装置の出力過電流発生時の自動切り替え説明図を図 10.7 に示す。インバータが同期運転中に出力側で過電流（過負荷）が発生した場合、検出 F の出力電流が定格の 103%を超えると警報を発報し、出力電流制御を行い、過負荷耐量外領域を超えた場合に AC スイッチを点弧し、直送側 MC4 (42B) を投入し、無瞬断で直送側に切り替える。検出 F 値が定常値に戻ると 100%以下であることを確認し、インバータ給電へ自動的に切り

替える。出力制御は図 10.8 の過負荷耐量カーブ内に入るように制御する。過負荷発生時の電流制御と電圧制御の自動切り替え説明図を図 10.9 に示す。

10. 3 機器仕様

(1) 420V 変圧器盤

420V 変圧器盤（図 10.1 の単線結線図中央上参照）は、変圧器と地絡過電流継電器で構成される。変圧器 2 次側 Y 結線の中性点を接地しており、地絡過電流継電器は中性点に流れる電流を検知することによって、地絡を監視するものである。

形式	屋内用 空冷乾式 Δ/Y 結線
数量	1 式
絶縁種	F 種 混触防止板無し
相数	3 相 定格周波数：50 Hz
定格容量	1500 kVA
定格一次電圧	6600 V 定格二次電圧：420 V
定格一次電流	131.2 A 定格二次電流：2060 A
タップ電圧	一次側 6750/6600/6450/6300 V 二次側 420 V
総重量	3220 kg

(2) 420V パワーセンタ

420V パワーセンタ（図 10.1 の単線結線図中央上参照）は、変圧器 2 次側の 420V 電源を受電用 ACB（気中遮断器）で受け、母線と負荷用 ACB を介して負荷に電源を供給するものである。ACB には電子式引き外し装置が内蔵されており、長限時保護、短限時保護、プレトリップアラーム、瞬時電流保護、地絡電流保護を行う。

ACB 内部配線図（展開接続図）を図 10.10 に、また 420V パワーセンタの受電回路 3 線接続図を図 10.11 に、420V パワーセンタ低電圧・地絡保護回路図を図 10.12 に、420V パワーセンタ受電側 ACB ならびに負荷側 ACB の制御回路図を図 10.13 と図 10.14 に示す。

長限時保護は設定値の 100% 電流では動作せず、125% の電流では 2 時間以内に動作するように定められている。短限時保護及び瞬時電流保護のメモリは設定値に対する割合が 100% ~ 1600% に有るように定められているが、保護協調を考慮して設定する。短限時保護の限時は設定値以上の電流で 0.1 秒から 0.5 秒程度で動作する。プレトリップアラームは主幹に ACB を使用した場合に過負荷トリップすれば CPU の電源等重要回路も不意の停電になるので、過負荷になる前に a 接点による信号を発し、対処しようとするものである。地絡電流保護は漏電電流が検知された場合に火災予防のため、遮断器をトリップさせるものである。

ACB の操作電源は DC100V を使用している。DC100V 電源は開発棟 1 階の直流電源分電盤から供給されている。直流電源分電盤は無停電電源装置から受電し、整流器によって直流に変換し、直流負荷に電源を供給している。ACB の仕様は次の通りである。

1) 受電側 ACB 仕様

形 式	AT20
数 量	1 式
定格電圧	600 V
相 数	3 相
定格周波数	50 Hz
定格電流	2000AF/2000AT
制御電源	DC100 V
投入操作方式	電動チャージ方式
引き出し方式	SHT/DC100 V

2) ヘリウムガス加熱器入出力制御装置用 ACB

形 式	AT12
数 量	1 式
定格電圧	600 V
相 数	3 相
定格周波数	50 Hz
定格電流	1200AF/788AT
定格短時間耐電流	50kA 0.5 秒間
制御電源	DC100 V
投入操作方式	電動チャージ方式
引き出し方式	SHT/DC100 V

3) ヘリウムガス循環機回転数制御装置用 ACB

形 式	AT12
数 量	1 式
定格電圧	600 V
相 数	3 相
定格周波数	50 Hz
定格電流	1200AF/397AT
定格短時間耐電流	50kA 0.5 秒間
制御電源	DC100 V
投入操作方式	電動チャージ方式 / DC100 V
引き出し方式	SHT/DC100 V

4) 420V コントロールセンタ用 ACB

形 式	AT12
数 量	1 式
定格電圧	600 V
相 数	3 相
定格周波数	50 Hz
定格電流	1200AF/397AT

定格短時間耐電流	50kA 0.5 秒間
制御電源	DC100 V
投入操作方式	電動チャージ方式 / DC100 V
引き出し方式	SHT/DC100 V

5) 210V 変圧器盤用 ACB

形 式	AT12
数 量	1 式
定格電圧	600 V
相 数	3 相
定格周波数	50 Hz
定格電流	1200AF/788AT
定格短時間耐電流	50kA 0.5 秒間
制御電源	DC100 V
投入操作方式	電動チャージ方式 / DC100 V
引き出し方式	SHT/DC100 V

6) 附属建屋Ⅱ実験棟 (I S 装置) 用 ACB

形 式	AT12
数 量	1 式
定格電圧	600 V
相 数	3 相
定格周波数	50 Hz
定格電流	1200AF/397AT
定格短時間耐電流	50kA 0.5 秒間
制御電源	DC100 V
投入操作方式	電動チャージ方式 / DC100 V
引き出し方式	SHT/DC100 V

(3) 210V 変圧器盤

210V 変圧器盤は 420V パワーセンタから受電し変圧器によって 210V に降圧後、MCCB (配線用遮断器) を介して常用 210V コントロールセンタ及び非常用 210V コントロールセンタに電源を供給するものである。210V 変圧器盤 3 線接続図を図 10.15 に、故障検出回路図を図 10.16 に示す。また、210V 変圧器盤負荷側 MCCB 3 線接続図を図 10.17 に示す。

1) モールド変圧器

形 式	屋内用空冷乾式 Δ/Y 結線
数 量	1 式
絶縁種	F 種 混触防止板無し
相 数	3 相 定格周波数 : 50 Hz
定格容量	500 kVA

定格一次電圧	420 V	定格二次電圧 : 210 V
定格一次電流	687 A	定格二次電流 : 1375 A
タップ電圧	一次側 F440/R420/400 V	
	二次側 210 V	

総重量 1820 kg

2) 受電側 MCCB

形 式	XS2000NE
数 量	1 式
定格電圧	600 V
定格周波数	50 Hz
定格電流	2000AF/1200AT
定格短時間耐電流	35 kA 0.5 秒間
制御電源	DC100 V

3) 常用 210V コントロールセンタ MCCB

形 式	XS2000NE
数 量	1 式
定格電圧	600 V
定格周波数	50 Hz
定格電流	2000AF/1000AT
定格短時間耐電流	35kA 0.5 秒間
制御電源	DC100 V

4) 非常用 210V コントロールセンタ MCCB

形 式	XS2000NE
数 量	1 式
定格電圧	600 V
定格周波数	50 Hz
定格電流	2000AF/1000AT
定格短時間耐電流	35kA 0.5 秒間
制御電源	DC100 V

5) 予備 MCCB 仕様

形 式	XS2000NE
数 量	1 式
定格電圧	600 V
定格周波数	50 Hz
定定格電流	2000AF/400AT
定格短時間耐電流	35kA 0.5 秒間
制御電源	DC100 V

(4) 420V コントロールセンタ

420V コントロールセンタは、420V パワーセンタから受電し、420V 系機器へ電源を供給する。420V コントロールセンタから電源を供給される機器は、①水蒸気改質器補償ヒータ、②ヘリウムガス精製設備、③真空ポンプ 3 台（ヘリウムガス供給系 V6H、V7H 及び、ヘリウムガス貯蔵供給圧力調整設備用 V7U）、④ヘリウムガス貯蔵供給圧力調整設備用圧縮機、⑤水蒸気供給系真空排気ポンプである。420V コントロールセンタは、予備を含め 9 ユニットに分かれ、各々のユニットから負荷に電源が供給される構造になっている。各ユニットに MCCB と制御回路があり、過電流と漏電から、負荷を保護する構造になっている。420V コントロールセンタの単線結線図と展開接続図として、負荷用ユニット制御回路図を図 10.18 に、共通制御回路を図 10.19 に示す。

(5) 常用 210V コントロールセンタ

常用 210V コントロールセンタは 420V パワーセンタから受電し、常用負荷に電源を供給している。常用 210V コントロールセンタの単線結線図とユニットの展開接続図として、負荷用ユニット制御回路図を図 10.20 に、また共通制御回路を図 10.21 に示す。

常用 210V コントロールセンタから電源を供給される機器は、①真空ポンプクーリングユニット A、②真空ポンプクーリングユニット B、③冷水循環機、④LNG ポンプ、⑤原料ガス加温器、⑥水精製器、⑦薬液注入ポンプ、⑧給水ポンプ、⑨放熱器ファン、⑩脱気装置、⑪LN₂ ポンプ、⑫冷却水設備制御盤、⑬液体窒素ローリ用電源、⑭ヘリウムカードル室分電盤、⑮高圧ガス架構動力分電盤、⑯放熱器配管ヒータ、⑰放熱器凍結防止用ヒータ、⑱循環水ポンプ、⑲高圧ガス架構照明分電盤である。

ユニットの過負荷又は漏電については 420V コントロールセンタと同様、コントロールセンタの過負荷一括警報又は漏電一括警報で警報の種別を判断し、ユニットの故障警報でユニットの特定を行うようになっている。

(6) 非常用 210V コントロールセンタ

非常用 210V コントロールセンタは常時 210V 変圧器盤から受電しているが、商用電源喪失時は自動的に受電先を非常用発電機に切り替える。商用電源喪失から非常用発電機が起動し、電圧が確立して非常用 210V コントロールセンタが復電するまでの時間は 1 分以内である。非常用 210V コントロールセンタの単線結線図とユニットの展開接続図として、負荷用ユニット制御回路図を図 10.22、図 10.23 に、共通制御回路を図 10.24 に示す。

非常用 210V コントロールセンタから電源を供給される機器は、①冷却水ポンプ A、②冷却水ポンプ B、③クーリングタワー、④無停電電源装置、⑤計装用空気圧縮機、⑥防消火設備送水装置、⑦サンプリング冷却装置、⑧付属建家実験棟、⑨高圧ガス架構照明分電盤である。

(7) 無停電電源装置

無停電電源系統図を図 10.25 に示す。無停電電源装置は入出力盤、UPS、蓄電池盤から構

成される。無停電電源装置は、非常用 210V コントロールセンタから受電し、通常はバッテリーに充電しながら、DC 電源をインバータで交流に変換して無停電電源分電盤と直流電源分電盤の機器に電源を供給する。

商用電源が喪失した場合、蓄電池の充電は停止するが、インバータへは蓄電池から電源が供給され続ける。しかし商用電源喪失時は蓄電池への充電は停止するため、インバータを介して無停電電源系に電源を供給できる時間は、蓄電池の容量によって限定される。蓄電池は定格負荷運転時で 10 分間使用可能であるように設定されている。実際には、商用電源が停電すると、非常用発電機から 1 分以内に非常用 210V コントロールセンタに電源が供給され、直ちにバッテリーの充電は再開される。従って商用電源が 10 分以上停電しても、無停電電源系統の負荷には電源が供給され続ける。

無停電電源設備の運転形態には商用直送運転とインバータ運転があり、相互の切り替えは同期をとって無停電で切り替えできる。炉外試験装置の運転中はインバータ運転で使用する。

無停電電源設備から電源を供給される負荷には、プラント・試験計測計装系の系統制御盤、機器運転操作盤、フレアスタック点火装置、防消火設備制御盤、火災報知器、LNG ポンプ監視操作盤、サンプリングライン除湿冷却器、冷却水設備制御盤、蒸気発生器真空度計、地震計、誘導灯、外灯、監視カメラ等がある。無停電電源装置の仕様は次の通りである。

定格出力	100 kVA
給電方式	常時インバータ方式
交流入力	3 相 3 線 210 V 50 Hz
直流入力	DC360 V
交流出力	单相 100 V 50 Hz
出力切り替え方式	商用同期無瞬断切り替え
蓄電池	UPS 専用シール鉛蓄電池 180 セル
	放電電流：108 A×10 分
	定格容量 18 AH (10 分間率)
	停電補償時間：10 分

(8) 非常用発電機

炉外試験装置は、停電時に自動で緊急停止するように設計されており、非常用電源が無くても安全に停止出来る。しかし、プラント試験計測計装系の電源が停電すれば、炉外試験装置の監視が不可能となるため、プラント試験計測計装系の電源は無停電電源装置から供給するようにしている。ただし、無停電電源装置の容量が 10 分定格になっていることから、非常用発電機を設置し、無停電電源の電源喪失を防止する構成としている。

1) 交流発電機

出力電圧	200 V
出力電流	837 A
容量	290 kVA
力率	0.8 (遅れ)

相数	3相3線式
周波数	50 Hz
励磁方式	ブラシレス (AVR 付き)
单相出力	100 V 2 kW × 2
2) ディーゼルエンジン	
形式	4 サイクル水冷直列立型直接噴射式 空気冷却器：過給機付 ディーゼルエンジン
気筒数－内径×行程	6 気筒 125 × 150 mm
総排気量	11.00 ℓ
定格出力	256 kW (348 PS)
回転数	1500 rpm
燃料	軽油
燃料タンク	490 ℓ
燃料消費量	63.3 ℓ/h (全負荷時)
冷却水容量	35 ℓ
潤滑油量	40 ℓ
バッテリー×個	2V300AH×12 個直列接続(24V) MSE メンテナンスフリー
充電発電機	無し (AC200V 負荷側より充電するため不要)
始動電動機	24 V - 7.5 kW
騒音値	周囲 1m の平均値 85 dB (A) 以下

10. 4 警報およびインターロック

電気設備の警報は 420V パワーセンタ、210V 変圧器盤、420V コントロールセンタ、210V 常用コントロールセンタ、210V 非常用コントロールセンタ毎にまとめて、一括して制御室に送られ、計算機で確認できる。実際の状況については現場を確認する事によって、掌握できるようになっている。

ACB 電気異常、地絡過電流、過電流、地絡故障の警報時には、ACB または MCCB のトリップを伴う。

1) 420V 変圧器盤

①変圧器異常で警報 (原因：420V 変圧器温度高)

2) 420V パワーセンタ

①ACB 電気異常で警報及び ACB トリップ (原因：過電流、地絡過電流、ACB ユニットの制御器故障の何れか)

②母線地絡で警報及び ACB トリップ

③母線低電圧 (停電) で警報

3) 210V 変圧器盤

①地絡故障で警報及び MCCB トリップ

②母線低電圧 (停電) で警報

- ③制御電源断で警報
- ④変圧器温度高で警報
- ⑤MCCB トリップで警報

4) コントロールセンタ (420V、210V 常用、非常用共通)

コントロールセンタのユニットで漏電或いは過電流によるトリップが生じた場合に、どのユニットで異常が発生したのか、異常の内容は過電流か漏電かを制御室で一瞬にして分かるように制御回路を工夫してある。図 10.18 にコントロールセンタの代表的なユニット内部配線図を示す。過電流については MCCB のトリップ動作接点で故障継電器 30X を動作させ、漏電については ZCT によって漏電を検出し、補助リレー 22X を動作させるようになっている。

30X と 22X のどちらかの信号が発生した場合に故障ユニットの特定を行うため、30X と 22X の OR 信号 (並列接続) を制御室に引いている。この信号によって、故障したユニットの特定が可能である。

一方、図 10.18 はユニット共通制御回路であり、各ユニットの漏電と故障トリップをそれぞれまとめて、制御室に「420V コントロールセンタ漏電」または「420V コントロールセンタ故障」として警報を一括して出すようにしている。

コントロールセンタの全ユニットについて 30X を並列接続 (OR) し、制御室に配線することによっていずれかのユニットで 30X が動作したことを検出出来るようにしている。30X と同様に 22X についても全ユニットの OR 信号を制御室に配線してある。制御室の計算機によって 30X か 22X の動作の判別が行われ、CRT 上に表示される。

従って、運転員は2つの故障信号から、どのユニットでどの様な故障が発生したかが分かるようになっている。

- ①MCC 一括故障 過電流、トリップ
- ②MCC 一括地絡 地絡
- ③ユニット故障 ユニット毎 (ユニットのトリップ)

表 10.1 HTTR 水素製造システム実規模単一管試験装置 電気設備負荷リスト

電気盤名称	電源区分	設備名称	負荷名称	電圧 (V)	相数	容量					備考		
						常用 KW	常用 KVA	非常 KW	無停 KW	無停 KVA		直流 KW	直流 KVA
420V ⁺ ア-セクタ (P/C2E)	常用	ヘリウム供給系	ヘリウム加熱器入出力制御装置*	AC420	3		460						需要率0.8は*のみに乗じた
			2次ヘリウム循環機回転数制御装置*	AC420	3	280	280						
		電気設備	420V/C	AC420	3		229						
			210V変圧器盤	AC420	3		499						
		予備	予備*	AC420	3		(180)						
設計容量	(需要率) × 0.8		(負荷容量合計)			1648							
210V変圧器盤 (E/P3E)	常用	電気設備	常用210V/C	AC210	3		215						
			非常用210V/C	AC210	3		184						
		予備	予備	AC210	3		(100)						
		設計容量	(需要率) × 1		(負荷容量合計)			499					
420Vコンロ-セクタ (MCC4E)	常用	-	制御電源	AC100	1		1						
		ヘリウム供給系	真空ポンプ	AC420	3	6	9.38						
			真空ポンプ	AC420	3	6	9.38						
		水蒸気供給系	真空排気ポンプ 操作盤	AC420	3	1.15	1.8						
		水蒸気改質器	水蒸気改質器補償トランス出力制御装置	AC420	3	35	35						
		ヘリウム精製設備	ヘリウム精製設備変圧器盤	AC420	3		120						
		ヘリウム貯蔵・供給・圧力調整設備	圧縮機制御盤	AC420	3		50						
			真空ポンプ	AC420	3	1.15	1.8						
		予備	予備	AC420	3		(58)						
		設計容量	(需要率) × 0.8		(負荷容量合計)			286					
常用210Vコンロ-セクタ (MCC5E)	常用	-	制御電源	AC100	1		1						
		ヘリウム供給系	真空ポンプケリングユニット	AC210	3		6						
			真空ポンプケリングユニット	AC210	3		6						
		原料供給系	LNGポンプ 監視操作盤	AC210	3	7	10.9						
			原料ガス加温器監視操作盤	AC210	3	5.5	5.5						
		水蒸気供給系	水精製器制御盤	AC210	3	1.5	6.5						
			薬液注入ポンプ	AC210	1	0.01	0.52						
			給水ポンプ	AC210	3	2.2	3.7						
			放熱器ファン	AC210	3	2.2	1.5						
			脱気装置制御盤	AC210	3		3						
		不活性ガス供給系	LN2ポンプ 現場運転監視盤	AC210	3		7.5						
		冷却水設備	薬液注入ポンプ	AC210	1	0.01	0.02						
			高温隔離弁	AC210	3	1.5	2.67						
		ヘリウム精製設備	冷水循環機	AC210	3	3.2	5						
		その他	ヘリウム測定分電盤(常用照明)	AC210	3	2	2						
			大型共通架橋動力分電盤(常用照明)	AC210	3	9.08	9.08						
			大型共通架橋動力分電盤(空調機)	AC210	3	9.26	14.5						
			液体素素ローリ用電源	AC210	3	15	23.4						
		予備	予備	AC210	3		(65)						
			予備	AC210	3		(65)						
			予備	AC210	3		(30)						
		設計容量	(需要率) × 0.8		(負荷容量合計)			269					
非常用210Vコンロ-セクタ (MCC6E)	非常用 (将来)	-	制御電源	AC100	1				1				
		計装用圧縮空気設備	計装用圧縮空気圧縮機	AC210	3		15.5	24.2					
			冷凍式エアドライヤー				0.53						
			ヒートシフトライナー				0.05						
		冷却水設備	ケリングクーラー	AC210	3		4	6.25					
			冷却水ポンプ	AC210	3		18.5	28.9					
		防火設備	送水装置起動盤	AC210	3			40					
		電気設備	無停電電源装置	AC210	3			55					
			無停電電源インサ	AC210	1			0					
		予備	予備	AC210	3			(65)					
		予備	予備	AC210	3			(10)					
		設計容量	(需要率) × 0.8		(負荷容量合計)			230					
無停電電源分電盤	無停電	水蒸気供給系	蒸気発生器真空度計	AC100	1					49			
			蒸気発生器入口給水遮断弁 AV8S	AC100	1				0.02		0.01		
			蒸気発生器入口蒸気遮断弁 AV10	AC100	1				0.02				
			放熱器入口遮断弁 AV18S	AC100	1				0.02				
			放熱器出口遮断弁 AV19S	AC100	1				0.02				
			蒸気発生器ドレン水遮断弁 AV32	AC100	1				0.02				
			放熱器出口スチームトラップ 入口遮断弁 AV8d	AC100	1				0.02				
			蒸気過熱器出口逆止弁AV15	AC100	1				0.02				
				AC100	1								
				AC100	1								
直流電源分電盤	直流			DC100	1						1		

注) 力率, 効率は暫定的に下表の通りとする。

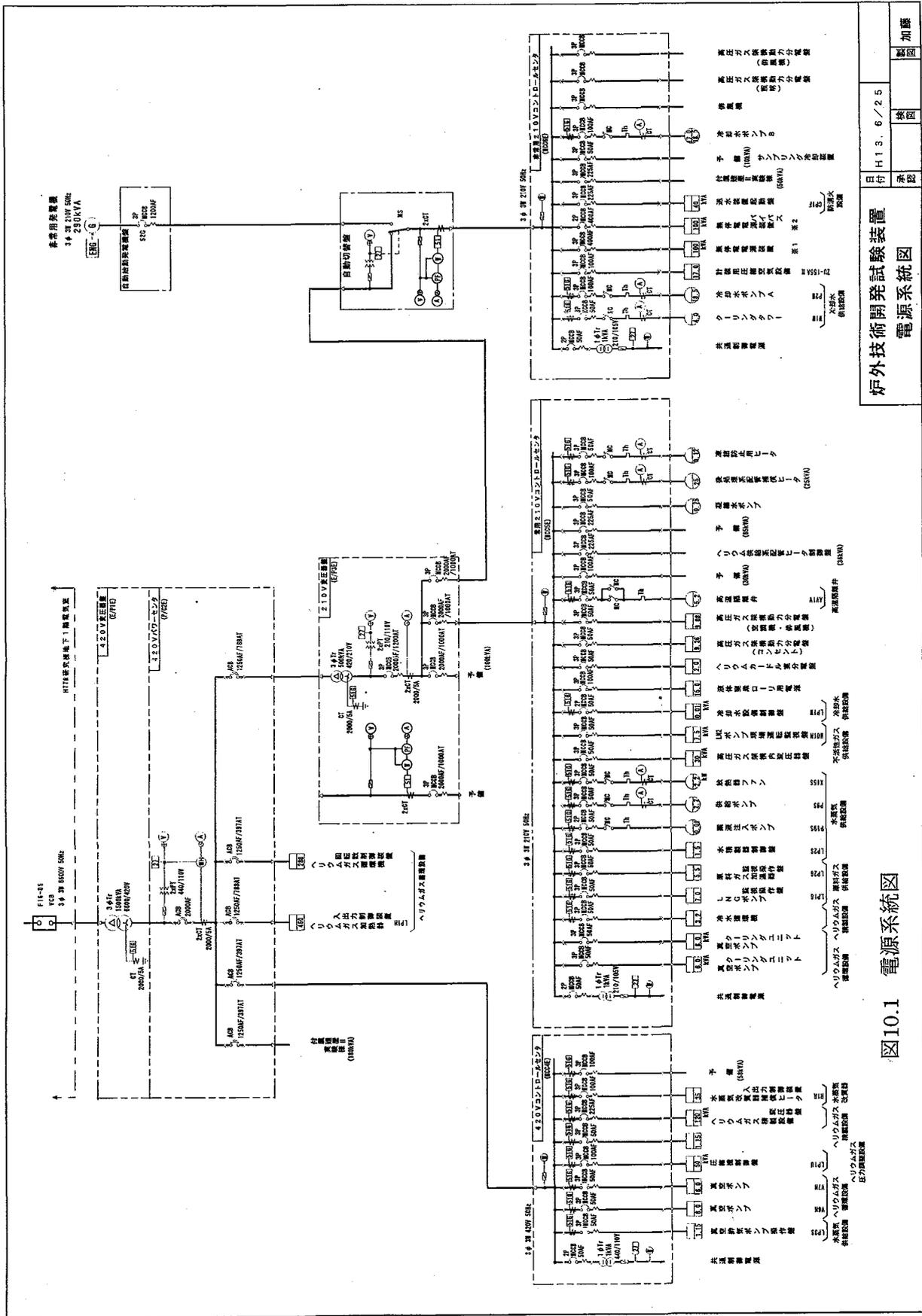
	力率	効率
回転機	22KW以下	0.8
	22KW超75KW以下	0.85
電熱負荷他		1

表 10.2 420V パワーセンタ MCCB 過電流引外装置の整定値

No	ACBユニット名	CT比 1CT	BASE電流 (I ₀) 整定値	保護機能												
				長限時 LSD		短限時 STD		瞬時値 INST	ブレットリップアラーム PRE-TRIP		地絡 GFT		ベース電流 BASE CUR			
				I1	T1 (S)	I2	T2 (mS)		IP	IT	IG	TG (mS)	IO	HOT/ COLD	INST/ MCR	ランプ 特性
1	受電	2000	1.0(2000A)	1	1.25	2	240	NON	-	-	0.4	240	1	COLD	MCR	OFF
2	ヘリウムガス加熱器 入出力制御装置	1250	0.63(788A)	1	5	4	80	NON	-	-	0.4	80	0.63	COLD	MCR	OFF
3	ヘリウムガス循環機 回転数制御装置	630	0.63(397A)	1	10	8	80	NON	-	-	0.4	80	0.63	COLD	MCR	OFF
4	420Vコントロール センタ	630	0.63(397A)	1	10	8	80	NON	-	-	0.4	80	0.63	COLD	MCR	OFF
5	210V変圧器盤	1250	0.63(788A)	1	5	4	160	NON	-	-	0.4	80	0.63	COLD	MCR	OFF
6	附属建屋Ⅱ実験盤	630	0.63(397A)	1	10	8	80	NON	-	-	0.4	80	0.63	COLD	MCR	OFF

表 10.3 210V パワーセンタ ACB 過電流引外装置の整定値

No.	ACBユニット名	CT比 1CT	保護機能						
			長限時 LONG TIME		短限時 SHOT TIME			瞬時値 INST	
			I1 (A)	T1 (S)	I2	T2 (S)	× 10		I3 (kA)
1	引き込み	2000	1200	5	400	0.3	ON	35	
2	常用210Vコントロールセンタ	2000	1000	5	400	0.1	ON	35	
3	非常用210Vコントロールセンタ	2000	1000	5	400	0.1	ON	35	
4	予備(非常用発電機)	2000	1000	5	400	0.1	ON	35	
5	予備	2000	2000	30	1000	0.3	ON	35	



タイマー設定表

デバイス	型式	仕様	設定値	用途
2TRT	H3FA-A	DC24V, 10秒	2秒	停電確認
TL1	H3FA-A	DC24V, 60秒	10秒	くり返し始動 (ON)
TL2	H3FA-A	DC24V, 10秒	5秒	くり返し始動 (OFF)
4BT	H3FA-A	DC12V, 60秒	45秒	始動渋滞
14T	H3FA-A	DC12V, 10秒	30秒	保護回路形成
84GT	H3FA-A	DC12V, 10秒	1秒	電圧確立
84RT	H3FA-A	DC24V, 60秒	30秒	復電確認
84DET	H3FA-B	DC24V, 6分	3分	無負荷運転
5T	H3FA-A	DC24V, 60秒	30秒	停止ロック
8LT	H3FA-A	DC24V, 10分	3分	ベル警報
59GT	H3FA-A	DC24V, 10秒	3秒	過電圧検出

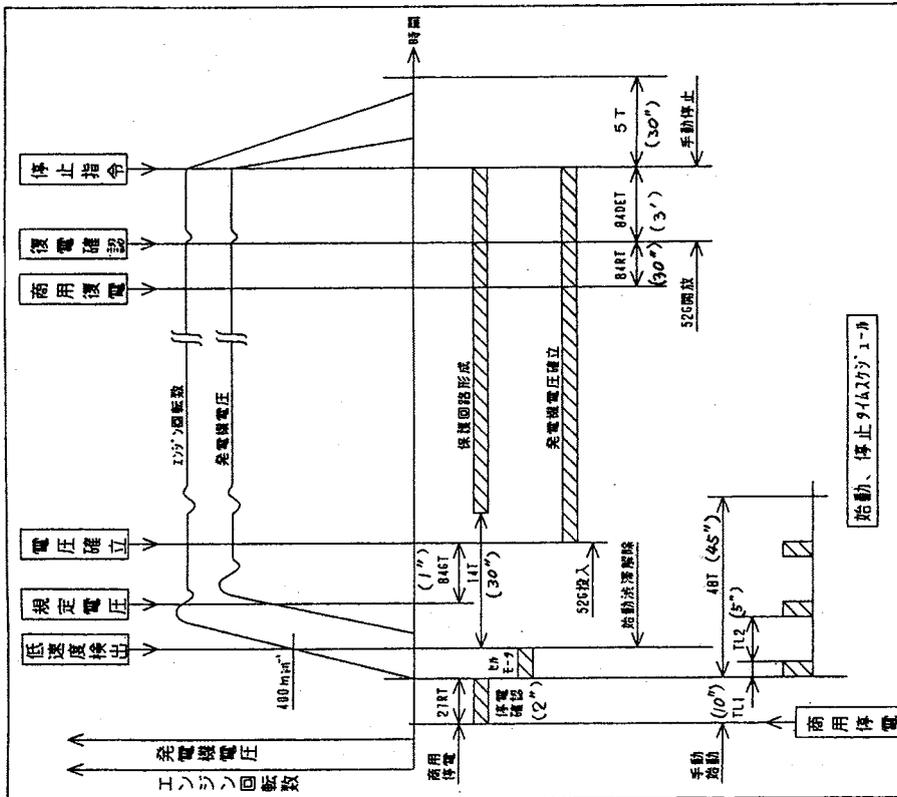


図 10.2 非常用発電機起動停止タイムスケジュール

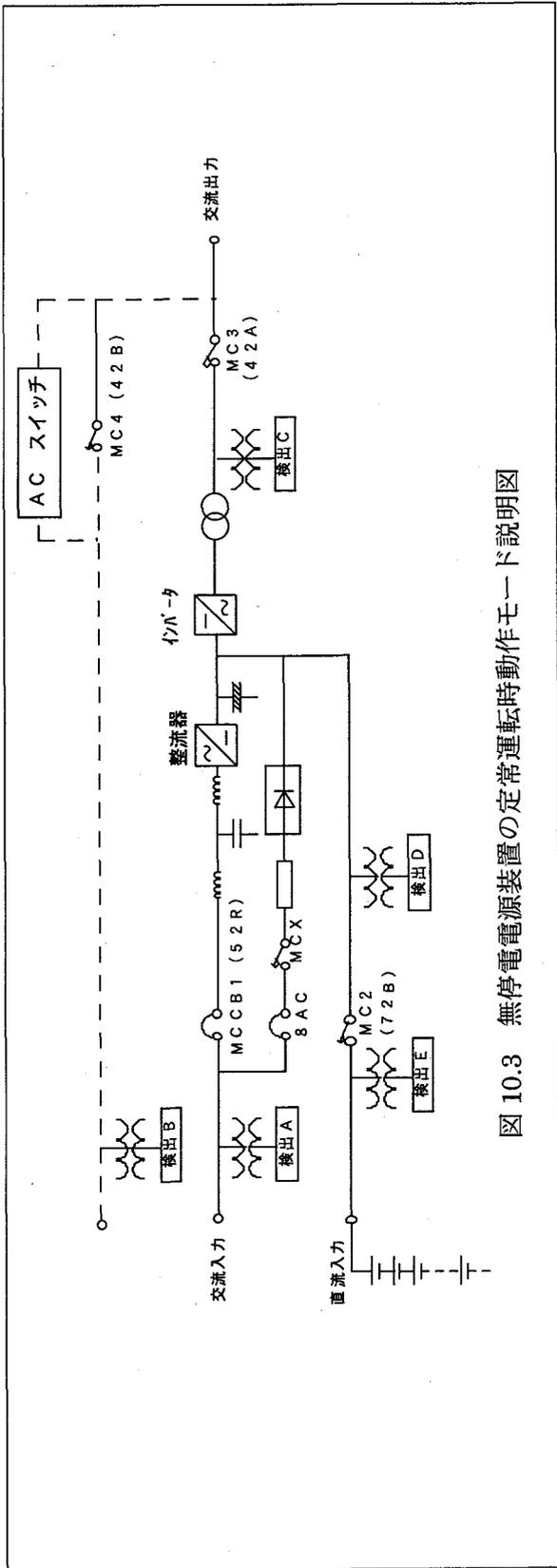


図 10.3 無停電電源装置の定常運転時動作モード説明図

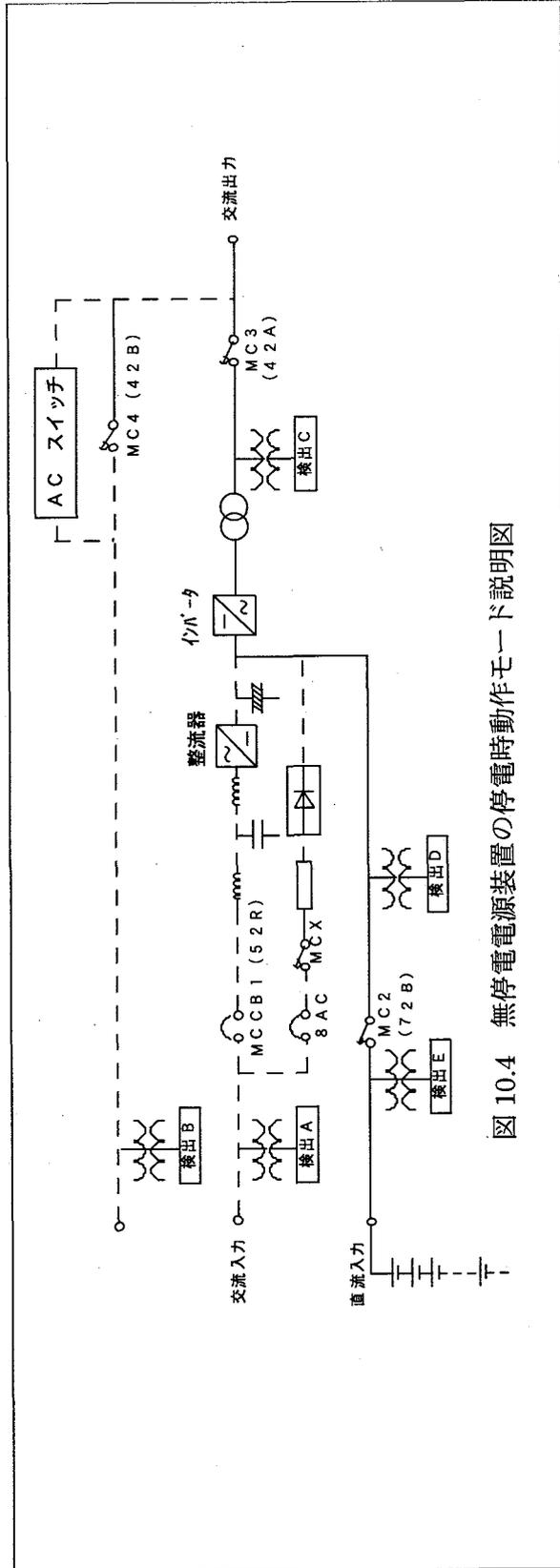


図 10.4 無停電電源装置の停電時動作モード説明図

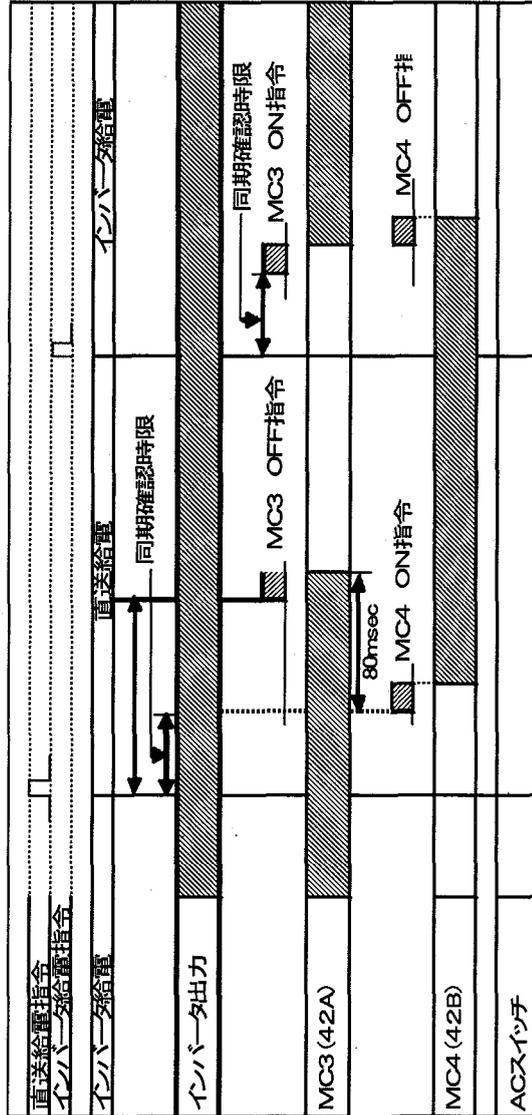
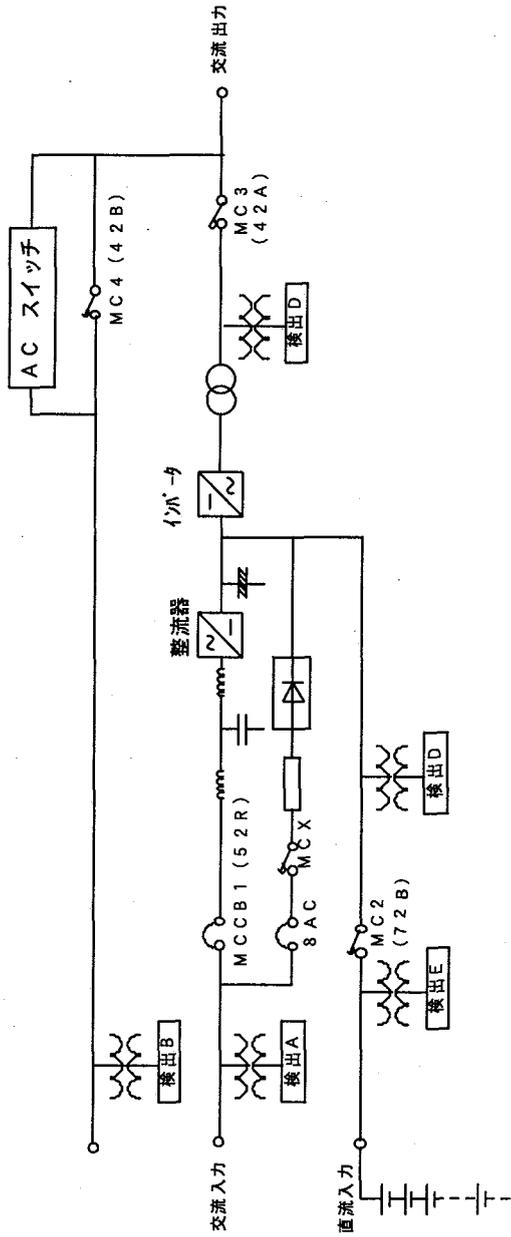


図 10.5 無停電電源装置のインバータ運転と直送運転の切り替え説明図

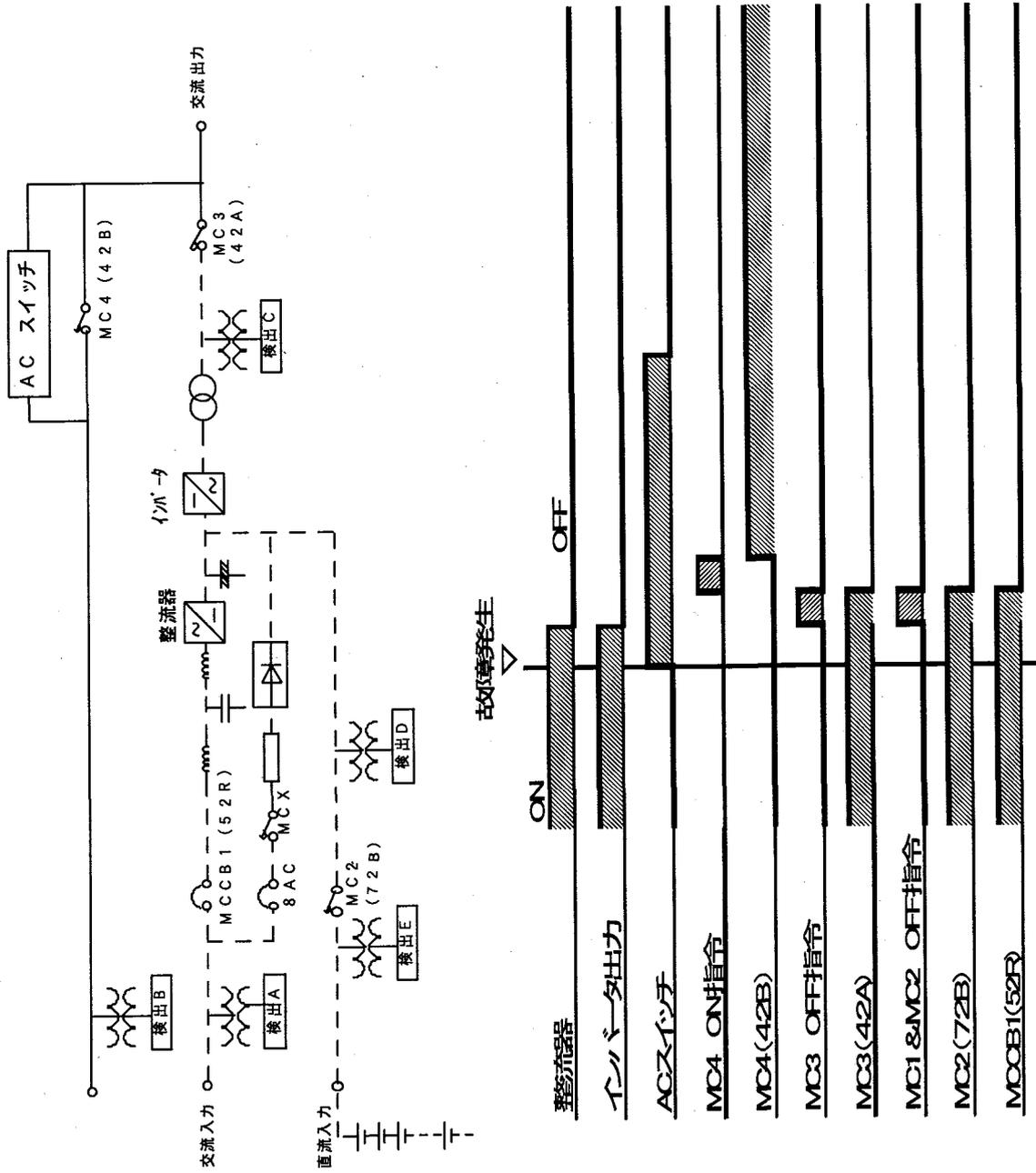


図 10.6 故障発生時における自動切り替え説明図

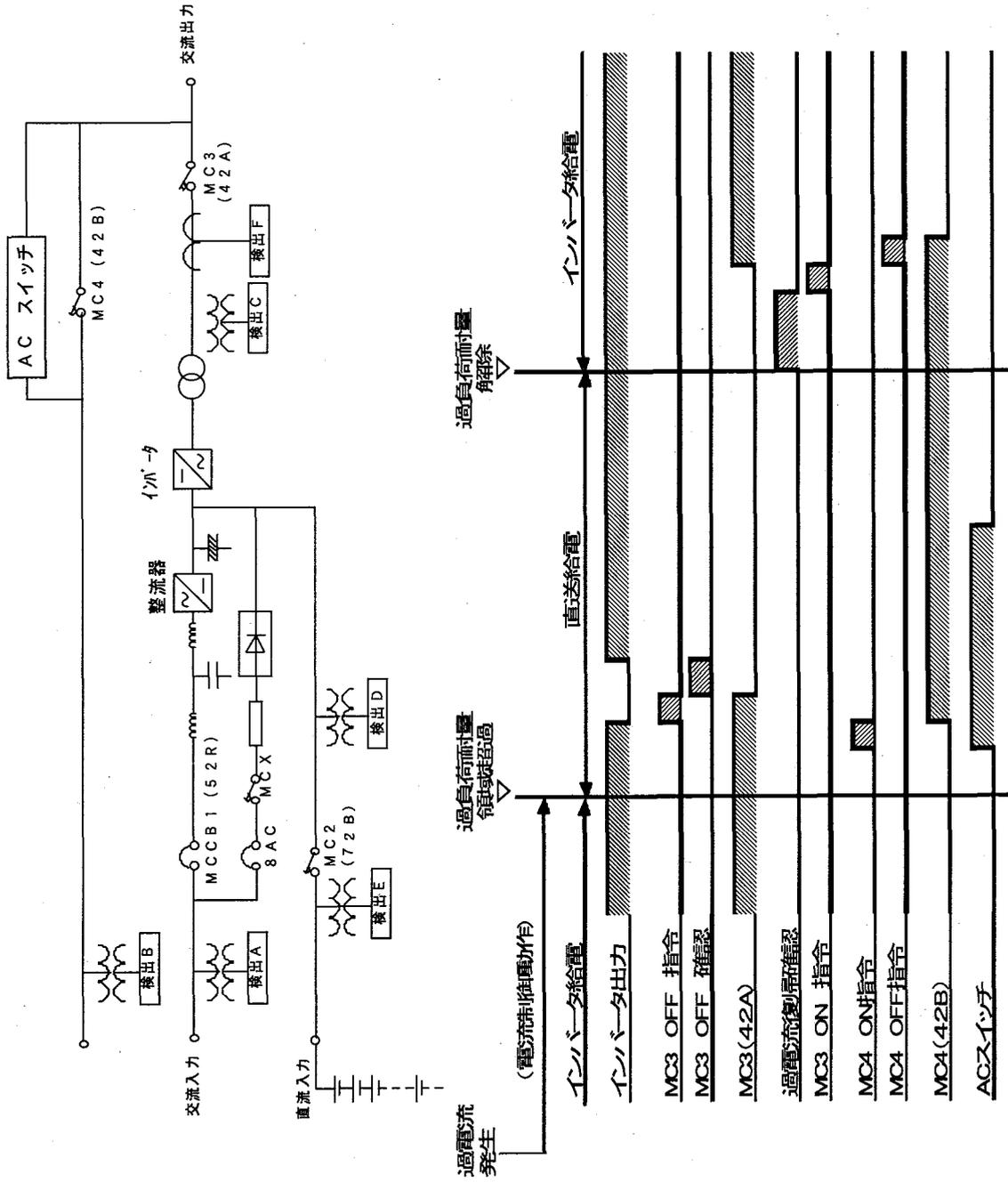


図 10.7 出力過電流発生時の自動切り替え説明図

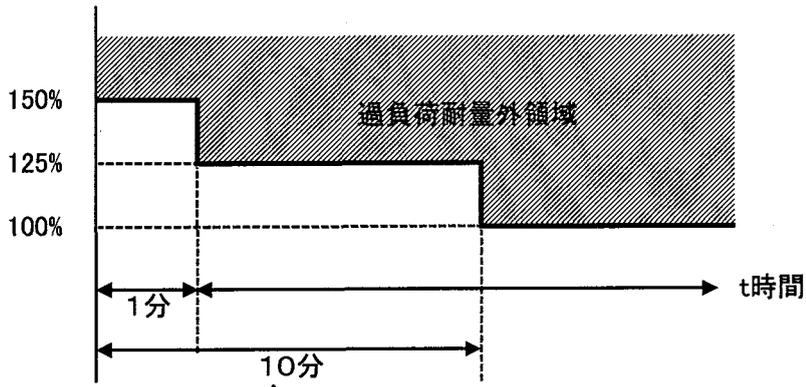
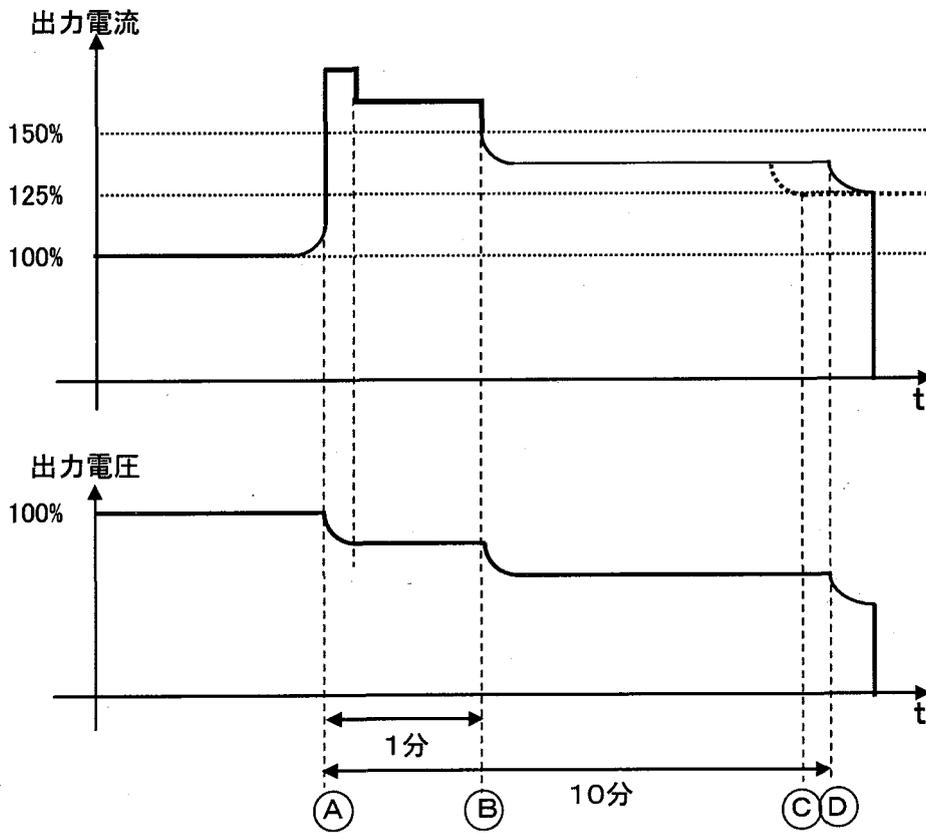


図 10.8 過負荷耐量カーブ



- Ⓐ 過電流発生→150%電流に定電流制御
- Ⓑ 125%に定電流制御
- Ⓒ 過電流解除の場合→運転継続
- Ⓓ 過電流継続の場合→出力電圧判定開始→±10%以内は運転継続、±10%以外はインバータ停止

図 10.9 過負荷発生時の説明図

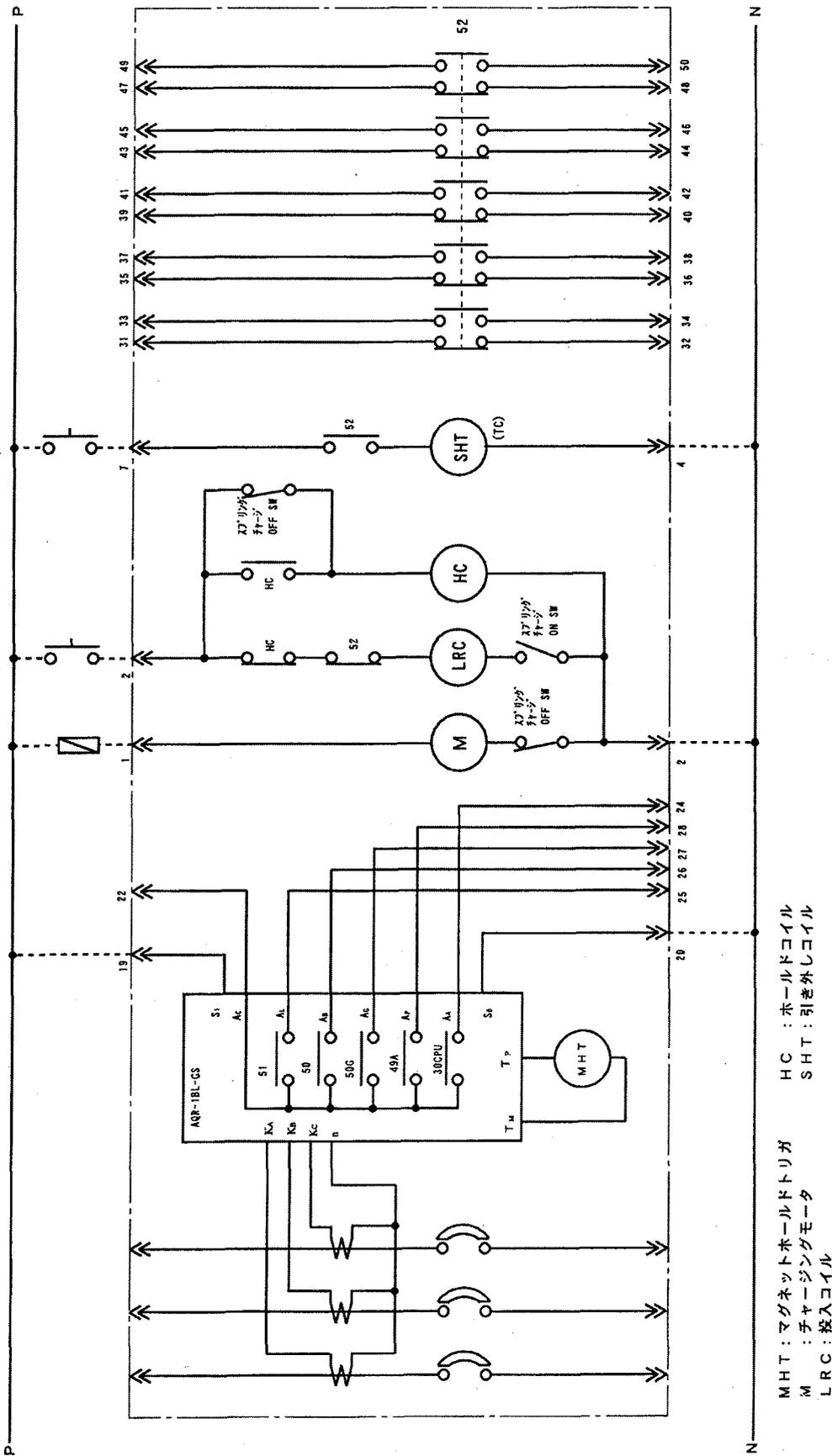


図 10.10 ABC 内部配線図

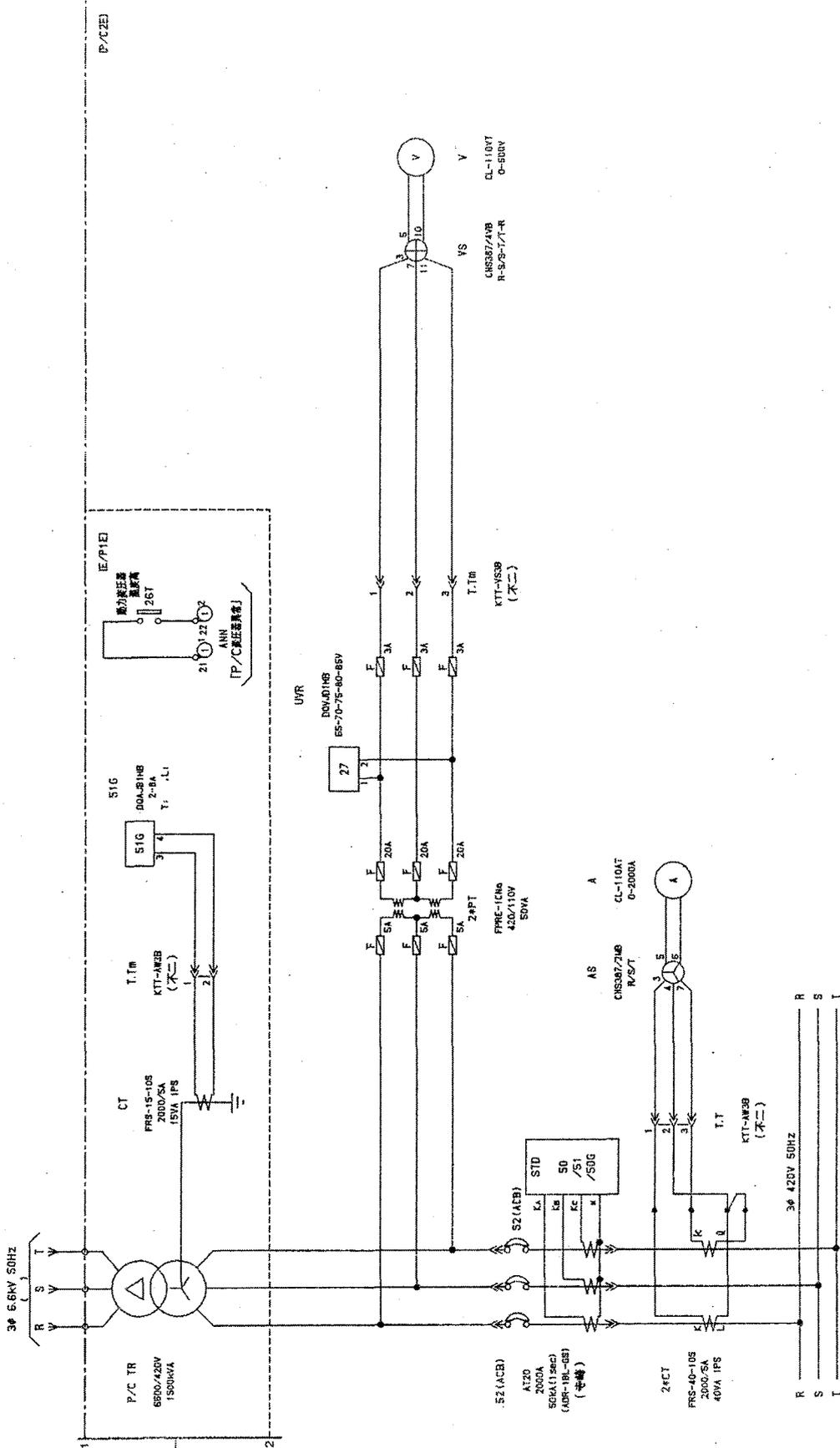


図 10.11 420V パワーセンサーの受電回路 3 線接続図

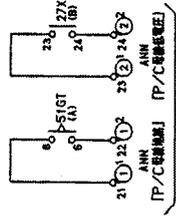
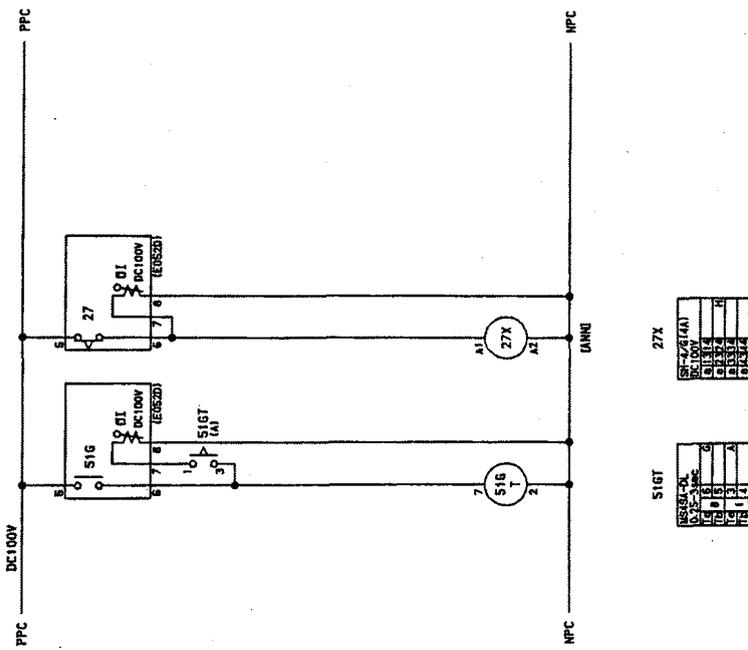


図 10.12 420V パワーセンサーの低電圧、地絡保護回路

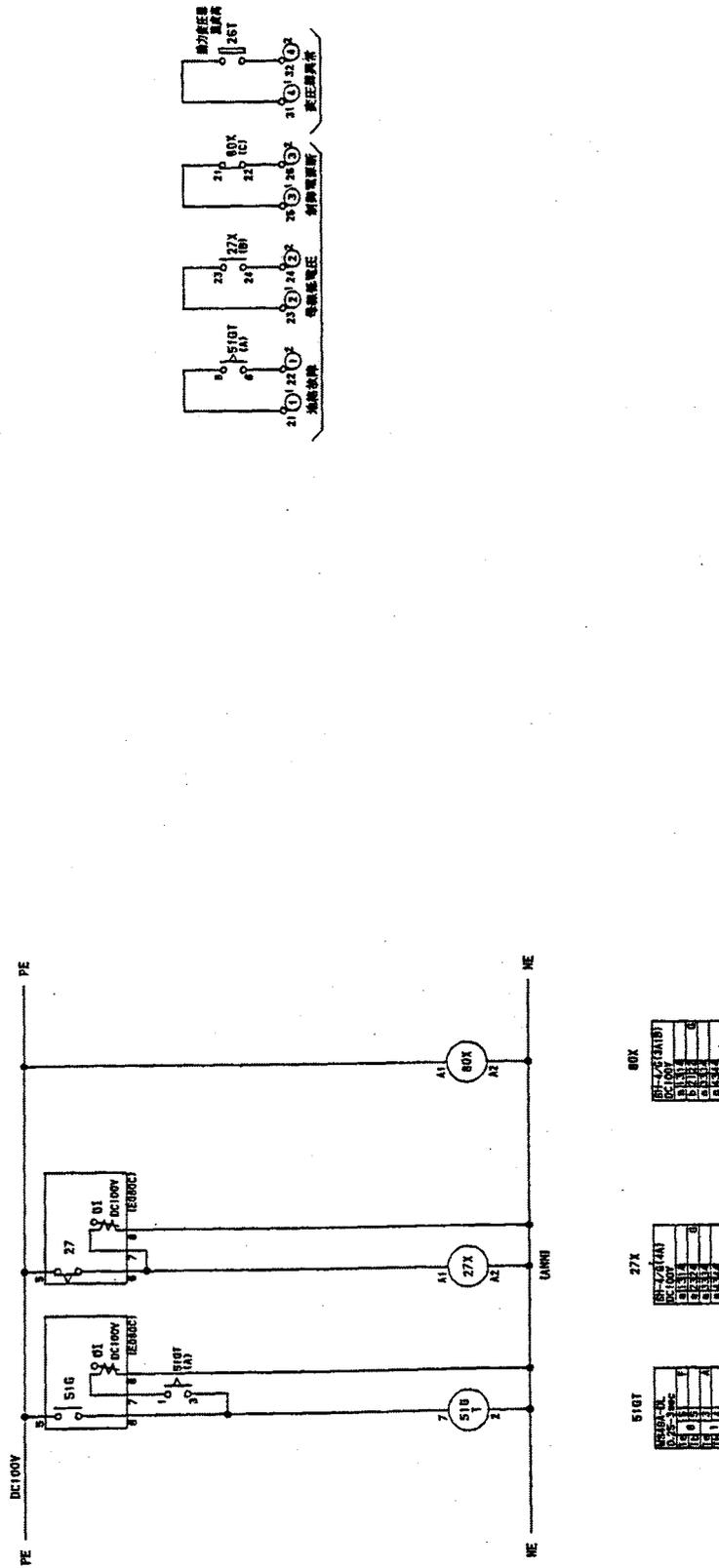


図 10.16 210V 変圧器盤故障検出回路

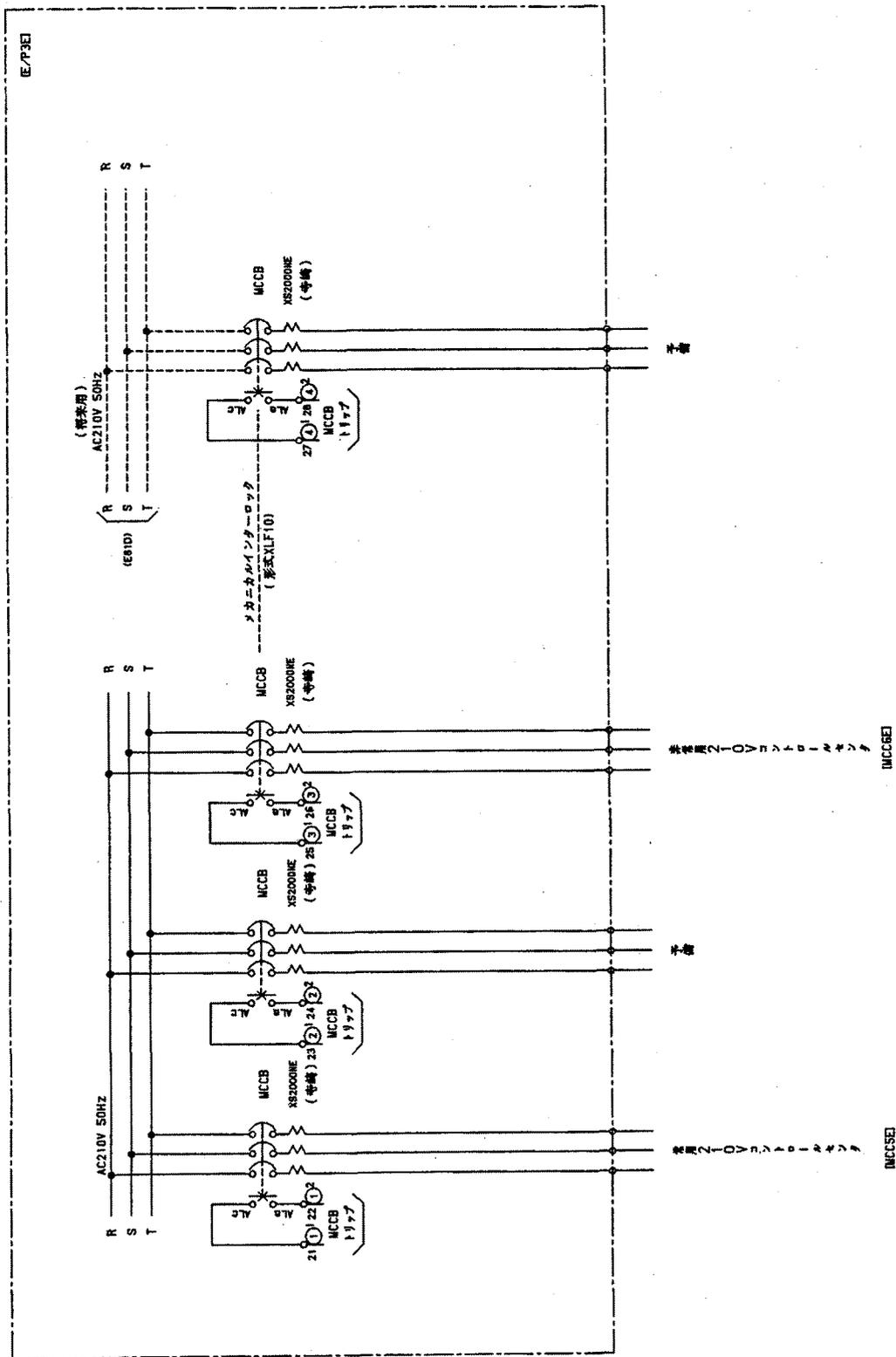


図 10.17 210V 変圧器盤負荷側 MCCB 3 線接続図

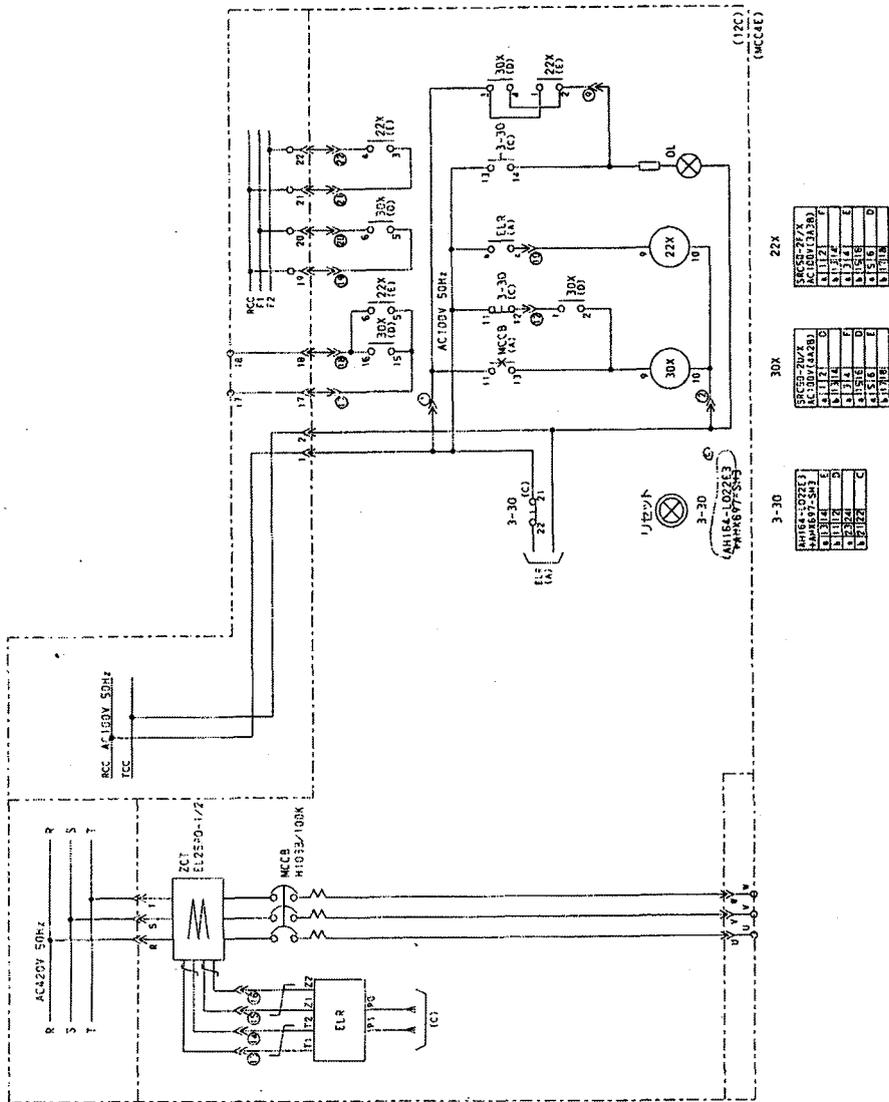
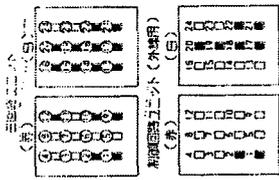
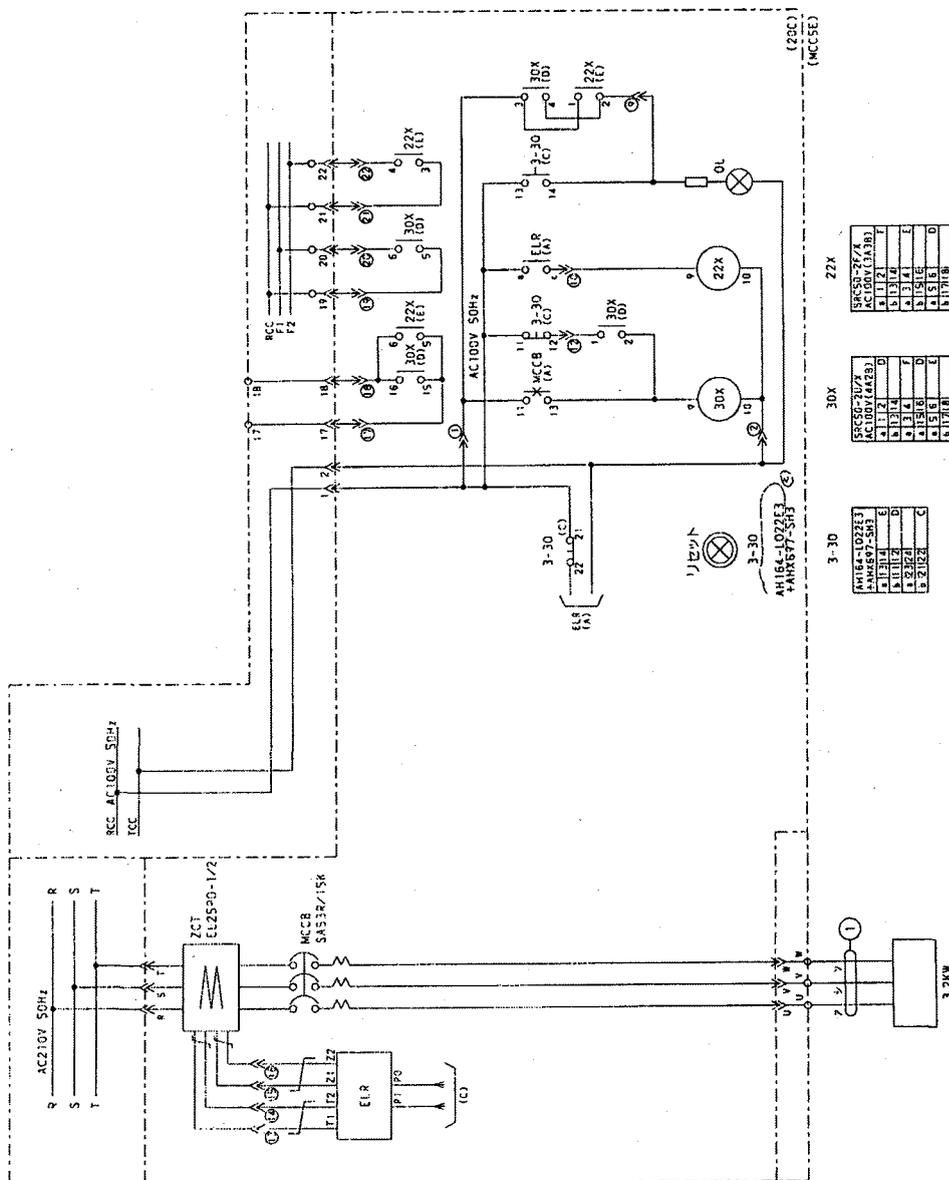
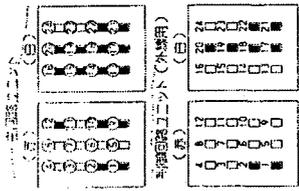


図 10.18 420V コントロールセンターの負荷用ユニット制御回路



3-30	1	2	3	4	5	6	7	8
3-30	1	2	3	4	5	6	7	8

30X	1	2	3	4	5	6	7	8
30X	1	2	3	4	5	6	7	8

22X	1	2	3	4	5	6	7	8
22X	1	2	3	4	5	6	7	8

図 10.20 常用 210V コントロールセンサの負荷用ユニット制御回路

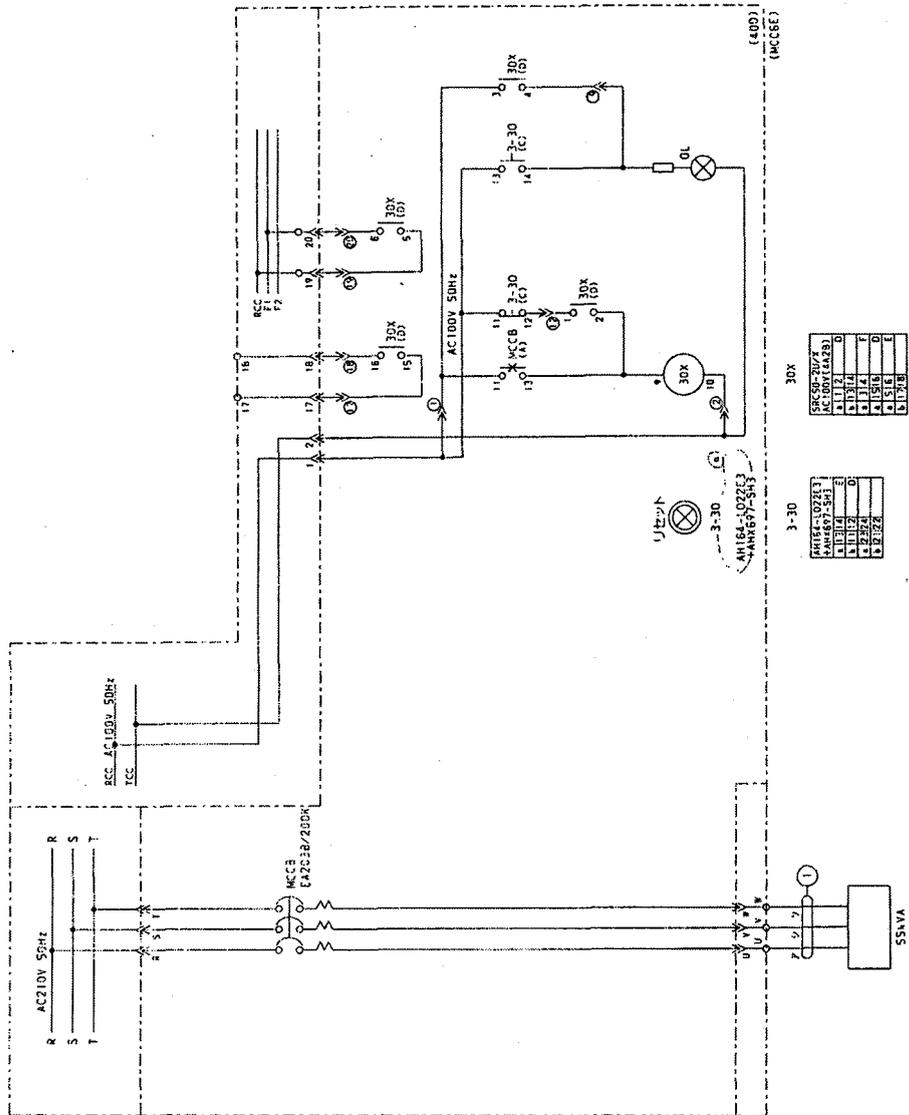
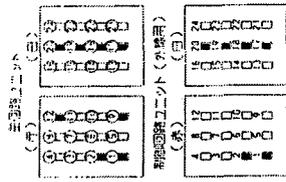


図 10.22 非常用 210V コン트롤セクタの負荷用ユニット制御回路(1)

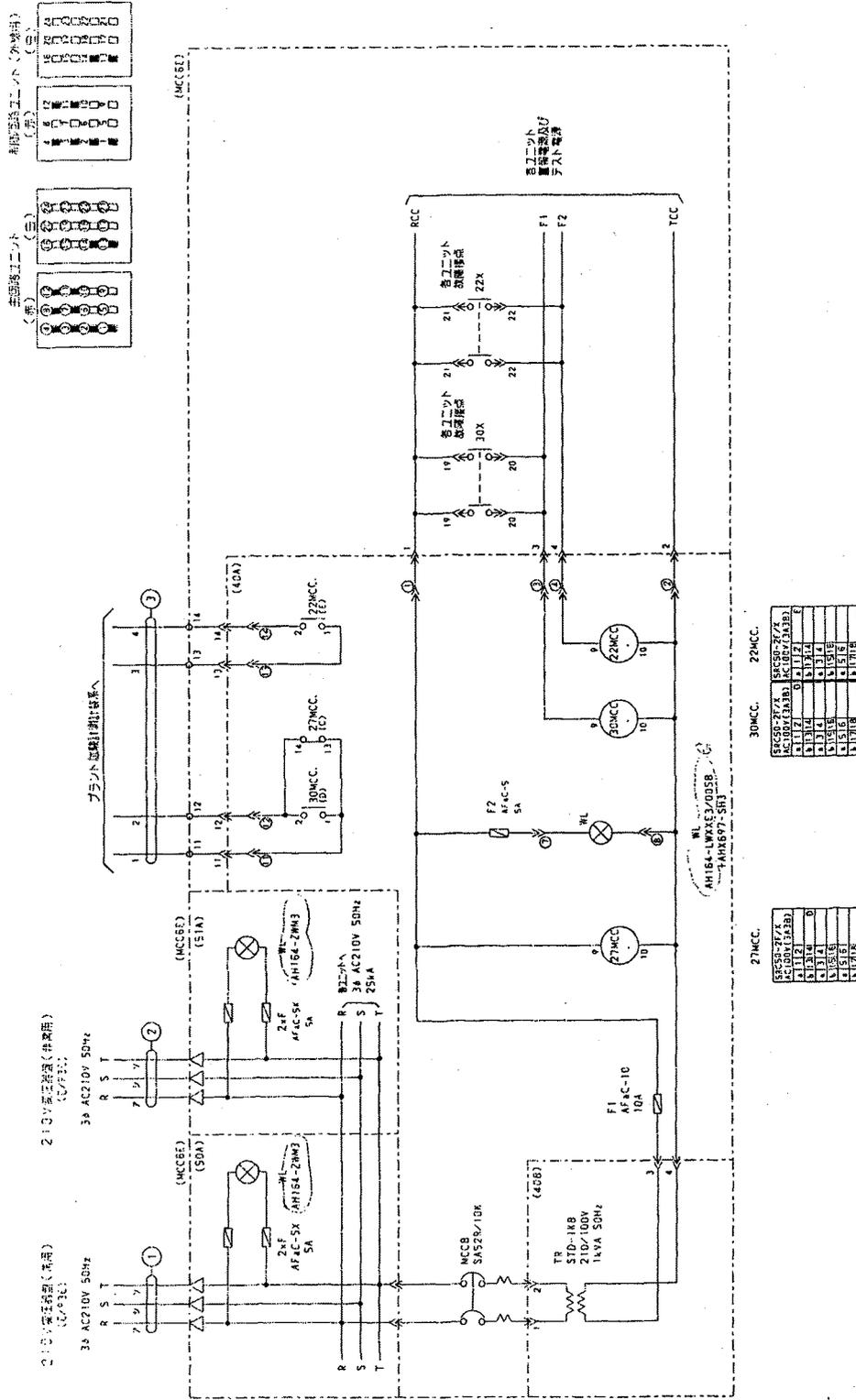


図 10.24 非常用 210V コントロールセンタの共通制御回路

11. プラント試験計測計装設備

11. 1 概要

プラント試験計測計装設備は、炉外試験装置の各設備・機器の集約的な状態監視・操作、自動制御、警報とインターロックならびに各種運転・試験データの収録を行う設備である。プラント試験計測計装設備は、現場機器との信号を取り合う系統制御盤、運転員が監視、操作するための監視操作用ノード、系統制御盤と監視操作用ノード間の通信のための制御設備 LAN および、警報監視用プリンタと運転監視用プリンタで構成される。プラント試験計測計装設備は次の機能を有する。

(1) 監視・操作機能

状態監視は、各系統・機器の温度、圧力、流量、液位等のプロセス量、制御弁、遮断弁等の開度、開閉状態、ヒータやポンプ、ファン等補機類の運転状態を文字情報として制御監視用コンソール上に表示するとともに、また実時間でプロットしたグラフィック画面により集約的に行う。

手動操作は、各系統・機器に配置されたプロセス量の調節器、弁、ヒータやポンプ、ファン等補機類、等を制御監視用コンソールから遠隔操作するものである。

(2) 制御機能

自動制御は、各系統・機器に配置された各プロセス量のフィードバック型調節計により局所的に行う他、ヘリウムガス精製設備等の複合機器乃至複合システムは制御用プログラムによるシーケンス制御を行う。さらに、複数の設備・機器を同期させて操作、制御することによって為し得るプラントの起動、停止、水素製造等の運転操作については、運転員による手動運転は勿論のこと、制御用プログラムによる自動運転を可能としている。

(3) 警報・インターロック

警報とインターロックは、運転中に温度、圧力、流量等のプロセス値が設計値を越えることのないように、プロセス値の異常を検出すると、警報音を発するとともに、危険回避や装置保護のための動作を行い、自動的にプラントを緊急停止させるものである。

(4) データログ機能

運転・試験データの収録は、プラントの運転用に各系統・機器に配置された発信器、熱電対、圧力伝送器等のプロセス計測値や、試験計測のために配置した各種センサ信号を適当な時間間隔でデジタル化し収録するものである。

(5) 信頼性

プラント試験計測計装設備自身の故障が起きた場合、またプラント試験計測計装設備のエネルギー源である商用電源に停電等の異常が起きた場合であっても、炉外試験装置を安全に

停止できる。その停止時にも監視機能を喪失しない、さらに収録データを喪失しない。このために、CPUの二重化、制御監視用コンソールの多重化、ならびに、停電時の電源バックアップを図っている。

11. 2 系統構成

(1) 機器運転操作盤の構成

機器運転操作盤（制御監視用コンソール）は、汎用パソコン（以下、PC）3台、プリンタ2台、緊急停止用押ボタンスイッチ等から成り、各PCはそれぞれ次節に述べる制御用計算機システムと光方式の制御LANで結ばれ、プラント試験計測計装設備のマンマシン・インターフェースとして機能する。機器運転操作盤の構成図を図11.1に示す。各PCは同一機能を持たせてあるので、故障時にも制御監視機能が喪失することはない。PCのモニター画面には以下のものがある。

- ①系統図画面：全体系統と各系統の図があり、各画面には現場の発信器、熱電対、センサ等から集めたプロセス値、弁開度、制御器の設定値、スイッチの状態、各補機類（ポンプ、ファン等）の作動状態などが文字情報で表示される。また、制御器の自動手動切替、制御目標値の設定や変更、制御モード切替、弁の開閉、補機類の運転停止等の手動操作もこの画面から行う。
- ②操作端一覧画面：各系統の制御用調節器、自動手動、弁開閉などの現在の状態を一覧する。
- ③警報画面：系統別に現在出ている警報の源を確認する。
- ④実時間計測値モニター画面（計装ループ）：運転状態毎に実時間で監視すべきプロセス量を集約しグラフ化したものを表示する。
- ⑤プラント自動制御運転プログラムの操作画面（マスターSW）：自動制御運転のコース選択、開始、進行状況の監視と停止、再開等の指示操作を行う。
- ⑥収録データの作図画面（ヒストリカルトレンド）：計測データの確認に使う他、運転中にあっては必要なプロセス量を選択して振幅軸や時間軸を任意に拡大して図示するのに使用する。

運転員はPCのモニター画面を通じて運転状態の監視を行う他、必要に応じて手動操作や制御器の設定、プログラムの開始停止等を指示入力する。なお、各PCは、プラント試験計測計装設備のマンマシン・インターフェースとしての機能の他に、次節に述べる制御用計算機のソフトウェアの管理機能を持ち、制御用プログラムの修正、設定値変更、機能停止再開などを行うことができる。

(2) 系統制御盤の構成

各系統・機器の制御、ならびに警報・インターロックは制御用計算機システムにより行う。この制御用計算機システムは分散型のCPU4台で構成し、相互に光方式の制御LANで結ばれ1つの計算機システムとして機能する。これらCPUとその配下の入出力装置ならびに電源装置を格納したものが系統制御盤である。系統制御盤は制御室に1台（系統制御盤1）、

高圧ガス架構に3台(CPU付き2台(系統制御盤2, 3)、CPU無し1台(系統制御盤4))、開発棟に2台(CPU付き1台(系統制御盤5)、CPU無し1台(系統制御盤6))を配置している。各系統制御盤の構成図を図11.2(a)~(c)に示す。

制御室の系統制御盤1は、マンマシン・インターフェースである機器運転操作盤の運転モード選択操作に基づき各運転モードの切替操作、運転モードに従ったシーケンス制御を行い、さらに各系統・機器の起動・停止指令や調節計の動作指令等を他の系統制御盤に出力する。

高圧ガス架構の系統制御盤2、3、4ならびに開発棟の系統制御盤5、6はCPU配下にデータ入出力装置を持ち、各系統・機器から伝送されてくる流量、圧力等のアナログ信号をA/D変換して取り込むAIユニット、熱電対や測温度抵抗体の起電力を増幅しA/D変換して取り込む入力ユニット、各系統・機器の弁駆動機構等の制御信号をD/A変換してアナログ信号とし伝送するAOユニット、接点信号や状態量などの2値信号(デジタル)を入力するDIユニット、また各系統・機器のデジタル制御信号を出力するDOユニットが接続されている。

各CPUは、各系統・機器の制御対象のPID制御演算、監視、操作等の連続制御機能に関する処理、ならびにインターロック線図に基づく機器の起動・停止、各種弁の開閉制御、各機器の動作状態の監視、異常監視と自動緊急停止等のシーケンス制御機能に関する処理を行う。特に保安上重要な制御・監視対象は2つのCPUを用いて2重処理を行い、片系故障時には他方がバックアップし制御を続行できる構成としている。

(3) データログの機能

運転ならびに試験時の各プロセス量等の計測データを運転操作盤のハードディスクに記録保存するとともに、運転操作盤のCRTに振幅軸、時間軸を任意に設定したトレンドグラフの表示、プリンタへの出力を行う。

(4) 信頼性確保

プラント試験計測計装設備は故障時あるいは商用電源(エネルギー源)喪失時には制御・監視機能を失う。このため、部分故障時対応としてはCPUの2重化、コンソールの複数台化を図り対策していることは既に述べた。ここでは残る全故障時、電源喪失事故の対策について述べる。

①全故障時の対策：プラント試験計測計装設備に致命的な故障を生じた場合、或いは運転員が緊急に装置を停止させた方が良いと判断した場合に対応して、手動緊急停止ボタンを設置し、加熱用ヒータ、補機類(ポンプファン等)、制御弁、遮断弁等の全ての制御対象機器の駆動電源を遮断する措置を講じている。手動緊急停止ボタンを押すことによって炉外試験装置は下記のb)に示すように安全に停止できる。

②停電停止の対策：炉外試験装置は、システム設計において、エネルギー源である商用電源喪失の場合、以下のように安全に装置が停止できるよう設計してある。まず、全ての加熱源のヒータが停止し炉外試験装置は温度降下に向かう他、各種循環機、ポンプ等の動力機械は停止する。制御用電源や空気源も喪失することにより各種弁はフェールオー

ポンやクローズ動作によって予め設定した安全側動作を行う。また化学反応器である水蒸気改質器は加熱源停止と原料ガス供給停止により反応は自動的に停止し、さらに可燃性ガスパージ用の窒素ガスが空気源喪失によるパッシブセーフ機能により窒素ラインの弁が開放され自動的に供給され、水蒸気改質器を含む原料・後処理ラインを窒素パージする。電源喪失後パージが完了するまでの間、フレアスタックには生成ガスや未反応の可燃性ガスが継続して流れ込むが、電源を喪失した状態であっても燃焼は持続する。また、反応管の差圧は電源喪失によりヘリウムガスは大気に開放され、生成ガスも大気圧のフレアスタック放出ラインに開放され、水蒸気改質器反応管の健全性を確保できる。その他の各系統の高圧ガスは貯層や各区画に安全な状態で閉じ込められる。

- ③停電時の電源バックアップ：商用電源喪失時にあって、プラント試験計測計装設備のCPUに故障が無い場合には、小容量の非常用電源があれば炉外試験装置の停止状況を監視できる。この停電時のバックアップ電源として、非常用発電機と無停電電源装置を設置した。商用電源の停電とともに無停電電源装置による電力供給が開始される。無停電電源装置の電力供給能力は約10分間であるが、停電検出後、非常用発電機が自動起動し、以後、炉外試験装置の完全停止までプラント試験計測計装設備による監視が可能である。

(5) 制御設備

各系統・機器は自動制御運転を行うため、PID要素によるプロセス量のフィードバック制御を行う。プラント試験計測計装設備の操作端一覧を図11.3(a)～(d)に、操作・監視のための系統図画面を図11.4(a)～(l)に示す。また、ヒータやポンプ等の補機類の自動運転にはシーケンス制御等を行っている。詳細はプログラム制御の項に述べる。

(6) PID 調節計

プロセス量のフィードバック制御に用いる最も簡単な制御器として、プロセス量の観測値と目標値の差分信号に、比例要素P、積分要素I、微分要素Dの重みをかけて制御信号を作り、そのプロセス量に関係する弁の開度、循環機やポンプの回転数、ヒータ投入電力などを操作することによって、プロセス量を目標値に制御する方式をPID制御という。炉外試験装置で使用するPID制御の多くは、プラント試験計測計装設備の系統制御盤で処理が行われるデジタル方式である。プロセス量は伝送器等を経て系統制御盤のデータ入出力装置のAIユニットでデジタル化され、CPUで演算を行った後、データ入出力装置のAOユニットで再びアナログ化され、現場の弁駆動機構、回転機、ヒータ等の制御盤に伝送される。いま、時刻 t のプロセス量 $x(t)$ 、制御目標を x_0 、制御信号を $y(t)$ 、サンプリング時間間隔を Δt とすると、PID調節計は次の演算を行う。

$$\varepsilon(t-1) = x(t-1) - x_0 \quad (11.1)$$

$$y(t) = \frac{100}{P} \left(\varepsilon(t-1) + \frac{1}{I} \varepsilon(t-1) \Delta t + D \frac{\varepsilon(t-1) - \varepsilon(t-2)}{\Delta t} \right) \quad (11.2)$$

ただし、Pは比例定数、Iは積分定数、Dは微分定数である。炉外試験装置の調節計の Δt

は 10msec である。PID 調節計の定数は、機能試験ならびに第 2 回試験運転において調整され、最終的に表 11.1 に示すように定めた。

(7) プログラム制御

1) マスタースイッチによる自動制御運転

炉外試験装置の自動制御運転を行うための計算機制御プログラム、いわゆるマスタースイッチがある。マスタースイッチは、運転の各段階毎に必要な制御操作内容をブロック化し、開始-完了の繰り返しで予め決められたコースを進んで行く簡易な自動運転プログラムである。その操作画面を図 11.5 に示す。自動運転モードは(a)通常の定格運転と(b)放熱器を用いたヘリウムガス冷却システムの運転の 2 つが用意されている。(b)については、蒸気発生器の冷却に放熱器を使用する場合の運転を、また(a)については放熱器を使用しない場合のものをプログラムしたものである。両運転モードとも、起動から水素製造を経て停止、ヘリウム回収までの運転に必要な一連の運転操作がプログラムされている。たとえば、通常運転モードを選択した場合、次のコースを辿る。

- ①窒素ガス供給・ヘリウムガス初期昇圧：窒素ガスを原料後処理設備に 11g/s 流し、水蒸気改質器の差圧を維持しながら、ヘリウムガス供給設備を 3MPa まで昇圧する。
- ②ヘリウムガス循環・昇温：ヘリウムガスを循環開始し、水蒸気改質器入口のヘリウムガスを 180℃まで昇温する。途中、窒素ガスを 15g/s に増加する。
- ③原料ガス制御・ヘリウムガス昇温・昇圧：水蒸気改質器入口のヘリウムガスを 700℃まで昇温する。途中、窒素ガスを 30g/s に増加する。
- ④水蒸気・原料ガス供給・窒素ガス停止・ヘリウムガス昇温：水蒸気改質器入口ヘリウムガス温度 880℃（定格条件）まで昇温する。この間、水蒸気を 47g/s、原料ガスを 6g/s 供給し水素製造を開始する。またパージ用窒素の供給を停止する。徐々に原料ガスを増加し最終的に 12g/s とし、定格に至る。
- ⑤ヘリウムガス降温・原料ガス流量減：水素製造停止前に水蒸気供給設備の暖機運転を行うため、定格条件から水蒸気改質器入口のヘリウムガス温度 730℃まで降温し、原料ガスを 6g/s まで減少させる。
- ⑥原料ガス/窒素ガス置換・水蒸気停止・ヘリウムガス降温・降圧：ヘリウムガスガスの降温、降圧を開始し、原料ガスを供給停止して水素製造を停止し、窒素ガス 30g/s で置換する。次に水蒸気を供給停止し、その後、ヘリウムガスガスを常温、3MPa まで降温、降圧する。途中、窒素ガスを 15g/s に減少させる。
- ⑦ヘリウムガス再降圧・窒素ガス停止：停止後、ヘリウムガスを回収し、窒素ガスを停止する。

以上であるが、マスタースイッチによる自動運転は簡易自動運転に過ぎず、その原理から分かるように一旦決められた運転コースからはずれると、その後全く同じ運転条件に復帰するのは困難であるから、その後は、手動制御による運転を行うことにしている。

2) プログラム制御とカスケード制御

前項に述べたマスタースイッチは、運転の各段階毎に必要な制御操作内容をブロック化

しプログラムしたものの集まりであるが、それらのプログラムはさらに各機器の調節計、操作端毎に細かく記述されたプログラムの集まりである。

プラント試験計測計装設備では、温度、圧力、流量等のプロセス量の供給開始、増加、減少、停止などは、調節計の制御目標値に増加、減少の形状を時間関数として関数発生器や信号発生器を用いてプログラム化し与えることにより自動操作する。この関数や信号が表 11.2(a)~(b)である。この自動操作は、各調節計の動作モードをカスケード(C)に選択することにより実施できる。また、各調節計や指定された自動弁はカスケードモードとすることにより、1つの指令で同期を取りながら動作するようプログラムが作られている。したがって、水素製造開始時のガス置換操作など、多くのプロセス量や弁の連携した制御操作を要する場合には、これら機能を積極的に使用することにより、マスタースイッチを使用しなくても簡易に運転が行える。

(8) 反応管保護装置と緊急停止システム

炉外試験装置は、高圧ガス製造設備やボイラー設備を内包する施設であり、万一の異常時に対する安全装置として、①圧力異常に対する保護装置(安全弁)、②設計値を超える圧力上昇や温度上昇を回避するための安全装置(緊急停止システム)、③停電時や④地震時の安全停止装置(緊急停止システム)、⑤水蒸気改質器差圧異常時の反応管保護装置、⑥可燃性ガスの漏えい検知装置や⑦フレアスタックの逆火防止装置(水封ドラム)等を備えている。プラント試験計測計装設備は、監視・警報・インターロック機能を用いて、これらの安全装置のうち②、③、④の緊急停止システム、ならびに⑤の反応管保護装置の機能を有する。

1) 反応管保護装置

反応管保護装置は、水蒸気改質器反応管の1次側ヘリウムガスと2次側プロセスガスとの間に設計以上の差圧が生じないように、通常運転時には後処理設備の差圧調節弁で連続的に制御を行っているが、何らかの理由で制御が追従できずその差圧がインターロック値を超えた場合には、反応管内外のプロセスガス及びヘリウムガスを大気開放し、反応管を保護する。この安全装置が反応管保護装置であり、反応管内外の差圧を検出する計測器、信号処理回路、ヘリウムガスとプロセスガスの大気開放ラインから構成される。

反応管保護装置は信頼性を向上させるために2重化している。差圧計測設備はヘリウムガスとプロセスガスの差圧を直接計測する差圧計(DT3C)と、ヘリウムガスの圧力計(PT17H)とプロセスガスの圧力計(PT2C)の計測値からCPUで差圧を演算したものの2系統があり、それぞれの伝送器アナログ信号取り込みラインとCPU演算、ならびに大気開放弁もそれぞれ2重化している。ヘリウムガス供給設備の大気開放弁 AV21H1 及び AV21H2、後処理設備の大気開放弁 AV21C 及び AV36C はともに流量が調節されており、一旦開放が始まると動力無しで差圧を保ちながら数分のうちに大気圧まで降圧できる。水蒸気改質器のヘリウムガスは、蒸気発生器、水予熱器を経て150℃程度まで冷却された後に大気へ放出され、またプロセスガスは大気圧のフレアスタック放出ラインに繋がり、フレアスタックで燃焼処理される。

プラント試験計測計装設備は、反応管保護装置の差圧の連続的監視、インターロック動

作を担当し、電源ならびに制御用空気源が正常な場合には、差圧大を検出した時にインターロックにより大気放出弁を開放する。また、電源ならびに制御用空気源喪失の場合であっても、大気放出弁はフェールオープン動作し、安全装置は正常に作動する。

反応管保護装置が作動する条件（内外の差圧）は、外圧状態を記号－、内圧状態を記号＋で表すと、反応管の設計差圧値は -0.5MPa 及び $+1.0\text{MPa}$ であり、差圧計測誤差（計測器の誤差、信号処理系の誤差等を含む総合誤差で、圧力計を用いた場合の $\pm 0.05\text{MPa}$ ）を考慮して以下のように設定している。

- ① 過大差圧（外圧）による大気開放の設定値： -0.44MPa
- ② 過大差圧（外圧）による警報の設定値： -0.32MPa
- ③ 差圧制御の設定値： $+0.04\text{MPa}$
- ④ 過大差圧（内圧）による警報の設定値： $+0.40\text{MPa}$
- ⑤ 過大差圧（内圧）による大気開放の設定値： $+0.52\text{MPa}$

2) 緊急停止システム

プラント試験計測計装設備は、商用電源喪失（停電）、系統内の圧力や温度等のプロセス値の異常、機器の異常を検出した場合など、炉外試験装置を自動的に緊急停止し、安全を確保する。プラント試験計測計装設備の緊急停止には炉外試験装置の状態に応じて、3つの緊急停止方法がある。

- ① 緊急停止 1：自動停止、水蒸気改質器反応管の差圧を保持
- ② 緊急停止 2：自動停止、ヘリウムガスとプロセスガスを大気開放
- ③ 緊急停止 3：手動停止、ヘリウムガスとプロセスガスを大気開放

これら緊急停止時には、プラント試験計測計装設備は、各機器・系統の状態監視を継続し、全ての系統・機器が正常に停止し、高圧ガスの隔離、可燃性ガスの燃焼処分ができていることを連続監視する。計装用空気供給設備は供給を継続する。冷却水供給設備は継続運転とし、各機器の冷却を促進させる。不活性ガス供給設備は稼動状態に置き、可燃性ガスのパージを続行する。ただし、 LN_2 ポンプ故障等の場合には、窒素ガスサージタンク貯蔵ガスのみで対応する。後処理設備のフレアスタックによる可燃性ガスの燃焼処分を継続する。

緊急停止 1 にあっては差圧制御弁による制御を継続する。水蒸気改質器反応管差圧が大きき場合には緊急停止 2 となり、系統を大気開放して反応管を保護する。緊急停止 3 は、プラント試験計測計装設備の故障時に、運転員の判断で緊急停止できるようにするために設置した押ボタンスイッチによる停止である。なお、停電の場合は、プラント試験計測計装設備が電気設備の停電を検出し、バックアップ電源で動作している間にインターロック動作させて、緊急停止 2 と同じ処理を行う。

(9) CPU2 重化にともなう制御・監視項目

系統制御盤の仕様において、保安上重要な制御・監視対象は 2 つの CPU を用いて 2 重処理を行い、片系故障時には他方がバックアップし制御を続行できる構成にしたと述べた。ここでは、CPU2 重化にともない実施した制御・監視項目の 2 重化について述べる。

系統制御盤のデータ入出力装置は図 11.2 の中のハッチングで示したアナログ入力ユニット AI、デジタル入力ユニット DI が 2 重化している。これらの計測信号は、機器運転操作盤モニター画面では、図 11.4 に示す監視操作バックアップ画面で監視でき、また内部演算では通常用とバックアップ用の比較演算を通じてプラント試験計測設備自身の異常監視を行っている。ハードディスクへの書き込みは、2 重化のために機器運転制御盤の汎用パソコン 2 台でそれぞれ独立に実施しており、片側をバックアップデータとしている。

(10) プロセス量の実時間監視とデータ収録

1) データ収録システム

データの収録システムは、制御システムと共用であり、各種プロセス・データならびに機器の状態を表す 2 値データは、一旦系統制御盤の AI、DI ユニットにより比較的高速のサンプル・レートで取り込まれた後、機器運転制御盤のモニター画面表示用として間引き、転送され、これを機器運転制御盤の汎用パソコンのハードディスクに収録する仕組みである。

2) プロセス量の実時間監視

プラント試験計測計装設備には、各調節器やスイッチの作動状態の監視、手動操作時の監視を容易にするため、操作端に関係するプロセス量の現在のトレンドグラフを機器運転制御盤のモニター画面上に実時間表示する計装ループ画面が用意してある。これは、プラント試験計測計装設備の計測点データを時間軸 30min のレンジにグラフ表示したもので、予め登録した計測点 8 点を表示できる。グラフは 3 秒毎に更新される。

計装ループ画面は、表 11.3 のモニター画面一覧にある通り、12 のパターンを登録してある。各画面の表示項目詳細は表 11.4(a)~(b)に示す通りである。

3) 試験計測点

データ収集は、機器運転制御盤のモニター画面の起動により開始し、全ての計測点のうち予め指定してある計測点のみのデータを 1 秒毎に、一旦、メモリーに貯めていき、一定時間毎にハードディスクに記録する。炉外試験装置では、表 11.5(a)~(h)に示す計測点 430 点のうち、約 400 点を、4 時間毎に 1 ファイルとして記録している。

4) トレンド図示

機器運転制御盤のモニター画面上に収録したデータのヒストリカル・トレンド・グラフを描くことができる。これは、ハードディスクに書き込まれたこれまでのデータ・ファイルから、計測点ならびに日時を指定し、グラフ表示するものである。表示計測点数は最大 8 で、計測点毎に縦軸スケールと曲線の表示色を変えることができる。また、グラフのカラーコピー出力ができる。

(12) 各設備における制御の概要

以下に各設備・機器ごとの制御設備について述べる。

1) ヘリウムガス主循環設備

ヘリウムガス主循環設備は水蒸気改質器に高温ヘリウムを供給・循環する設備であり、

その主要機器であるヘリウムガス循環機ならびにヘリウムガス加熱器はそれぞれ現場制御盤によるローカル制御を行い、プラント試験計測計装計はその上位制御を行う。

ヘリウムガス循環機は出口流量が一定になるよう回転数制御を行う(調節計 FIC3H)。

ヘリウムガス加熱器は下流の水蒸気改質器入口温度が目標値になるよう水蒸気改質器入口温度調節計 TIC18H によりヒータ電力を制御するが、ヒータ過加熱時の保護のためヘリウムガス加熱器上部温度(調節計 TIC14H)も制御に取り入れ、両調節計の制御指令(MV値)のいずれか小さい方を選択する方式(ローセレクト方式)で制御を行う。

ヘリウムガス加熱器入口流量の調節計 FIC8H は、ヘリウムガス加熱器を経て水蒸気改質器に流れるヘリウム流量を制御するもので、入口の流量調節弁 CV2H により流量一定制御を行う。

ヘリウムガス冷却器出口合流部温度の調節計 TIC47H は、ヘリウムガス冷却器入口バイパス弁 CV5H の開度調節により出口温度一定制御を行う。

2) ヘリウムガス圧力調整設備

ヘリウムガス圧力調整設備は、ヘリウムガス主循環設備の混合タンク圧力を基準に、制御目標値が混合タンク圧力より低い場合はヘリウムガスを供給し、制御目標値が混合タンク圧力より高い場合はヘリウムガスを回収することにより、混合タンク圧力を一定に制御する。

このヘリウムガス供給と回収を行う調節計が、混合タンク圧力調節計 PIC51H であり、供給時には遮断弁 AV26U を開き、圧力調節弁 CV23U により供給流量を調節して混合タンク圧力を一定にする。また回収時には AV1U を開き、CV2U により回収流量を調節して混合タンク圧力を一定にする。

なお、供給時にはヘリウムガスカードルから供給されるヘリウムガスを用いる。また、回収時には一旦回収したヘリウムガスはレシーバタンクに貯蔵し、減圧後、圧縮機で再び高圧にしてヘリウムガスカードルに回収する。レシーバタンク圧力調節計 PIC12U は、回収の際レシーバタンクが圧力 2MPa 程度となるよう CV2U の弁開度を制御する。また、圧縮機入口圧力調節機 PIC21U は、回収の際ヘリウムガス圧縮機入口圧力が 0.09MPa となるよう CV11U を調節する。

3) ヘリウムガス精製設備

ヘリウムガス精製設備は、ヘリウムガス中の不純物を触媒によって取り除く精製運転と触媒を再活性化するための再生運転を行う。ヘリウムガスは、酸化銅ベッド、モレキュラーシーブベッド、コールドチャコールベッドの各触媒を順次通過することで、不純物が除去される。これらの触媒の構成は、A、B の 2 系統があり、一方が精製運転を行っている間、他方は再生運転を行いその後待機状態に入る。これらはシーケンス制御による自動制御運転で行われる。

以下は、ヘリウムガス精製設備で使用している PID 制御器一覧である。

①循環機圧縮比制御 PC5501 : ガス循環機 B551 のバイパス弁 PA5501 によりガス循環機出入口差圧を調節する。

②H551 温度制御 TC5503 : ヘリウム加熱器 H551 のヒータ電力を調節する。

- ③SB551 温度制御 TC5504：酸化銅ベッド SB551 のヒータ電力を調節する。
- ④SB551 温度制御 TC5505：酸化銅ベッド SB552 のヒータ電力を調節する。
- ⑤MB551 温度制御 TC5511：モレキュラーシーブベッド MB551 のヒータ電力を調節する。
- ⑥MB551 温度制御 TC5512：モレキュラーシーブベッド MB552 のヒータ電力を調節する。
- ⑦CB551 温度制御 TC5517：コールドチャコールベッド CB551 のヒータ電力を調節する。
- ⑧CB551 温度制御 TC5518：コールドチャコールベッド CB552 のヒータ電力を調節する。
- ⑨H552 温度制御 TC5519：No.2 再生用ガス加熱器 H552 のヒータ電力を調節する。
- ⑩H553 温度制御 TC5516：No.2 再生用ガス加熱器 H553 のヒータ電力を調節する。
- ⑪再生窒素流量制御 FC5502：流量調節弁 FA5502 により窒素ガス流量を調節する。
- ⑫再生空気流量制御 FC5503：流量調節弁 FA5503 により空気流量を調節する。
- ⑬CB551 液面制御 LC5501：コールドチャコールベッド CB551 の入口弁 LA5501 により流入する LN₂ を調節する。
- ⑭CB552 液面制御 LC5502：コールドチャコールベッド CB552 の入口弁 LA5502 により流入する LN₂ を調節する。

4) 不活性ガス供給設備

不活性ガス供給設備は、LN₂（液化窒素）タンク内に貯蔵された LN₂ を LN₂ ポンプで昇圧し、蒸発器で気化させ一旦窒素ガスサージタンクに貯蔵した後、原料ガス供給設備・後処理設備、水蒸気供給設備等にパージ用の窒素ガスを供給する。またヘリウム精製設備に LN₂ を供給する。

LN₂ ポンプ P2N は窒素ガスサージタンクの圧力 PI6N の計測値を基に制御を行い、圧力 18.2MPa と 15.2MPa の間で自動運転を行う。

原料ガス供給設備・後処理設備への窒素ガス供給は、窒素ガス供給流量調節計 FIC9N により CV64N を調節し流量一定制御を行う。

5) 水蒸気供給設備

水蒸気供給設備は、純水を水精製器、脱気装置、薬液注入装置で純化、脱気、pH 処理した後、供給ポンプで送り出され、ヘリウム加熱の水予熱器で温め、蒸気発生器に至る。蒸気発生器ではヘリウム加熱により蒸気を発生させ、ヘリウム加熱の蒸気過熱器で乾き蒸気にして原料ガス供給ラインから蒸気を水蒸気改質器に供給する設備である。

脱気装置、薬液注入装置は現場制御盤によりローカル制御され自動運転する。供給ポンプは現場制御盤によりローカル制御するが、プラント試験計測計装設備により上位の制御も受け、後に述べるように蒸気発生器の水位調節計により制御される。供給ポンプにより送り出された給水は水予熱器を通過した後、蒸気発生器に供給され、また余剰分は給水バイパス冷却器を経て循環し再度供給ポンプに至る。

この循環ループの水予熱器出口から給水バイパス冷却器までの高温部分の温度は、供給

ポンプ流量の他、給水バイパス冷却器出口の流量調節弁 CV14S を用いた水予熱器出口給水温度調節計 TIC14S1 により制御される。ちなみに圧力は、蒸気発生器が圧力制御をしている期間にはそれに従うが、蒸気発生器が圧力制御をしていない水蒸気改質器入口ヘリウム温度がまだ低い期間や高温であっても蒸気発生器への給水が遮断されている期間にはなりゆきとなる。

水予熱器出口給水温度調節計は、水予熱器の沸騰防止のために設けられた制御設備であり、水予熱器出口圧力の計測値から沸騰防止のマージンとして 0.5MPa を差し引いた圧力における水の飽和温度を目標値として CV14S を調節し、循環する水の除熱量を調節して水予熱器出口給水の温度制御を行うものである。

蒸気発生器の制御は、圧力制御と水位制御が行われる。圧力制御は蒸気発生器圧力調節計 PIC16S により余剰蒸気を大気中に放出する調節弁 CV20S または放熱器内への放出弁 CV14S を調節し、圧力一定制御を行う。水位制御は蒸気発生器水位調節計 LIC20S1 により供給ポンプ流量を調節し一定制御を行う。

原料ガス供給設備への蒸気供給流量の制御は、蒸気過熱器入口蒸気流量調節計 FIC22S により、流量調節弁 CV11S を調節することにより一定制御を行う。また、水素製造時に蒸気・原料ガスカーボン比(S/C 比)を一定にした運転をする時には、次項に述べる原料ガス供給流量制御 FIC13G に従属させて蒸気供給流量 CV11S を制御する。この運転は蒸気過熱器入口蒸気流量調節計 FIC22S において S/C 制御モードを選択することで実施される。

6) 原料ガス供給設備

原料ガス供給設備は、LNG タンクに貯蔵する LNG をポンプでくみ上げ蒸発器で気化し一旦原料ガスサージタンクに貯蔵した後、水蒸気改質器へ供給する。

LNG ポンプ P2G は原料ガスサージタンクの圧力 PI10G の計測値を基に現場制御盤により制御を行い、圧力 13.0MPa と 7.0MPa の間で自動運転を行う。

原料ガスサージタンク下流で水蒸気改質器に供給するために圧力調整と流量調整を行うのが、LNG タンクエリア原料ガス出口圧力調節計 PIC21G と原料ガス供給流量調節計 FIC13G である。PIC21G は圧力調節弁 CV13G を調節することにより、また FIC13G は流量調節弁 CV15G を調節することにより、それぞれ圧力、流量一定制御を行う。

また、水蒸気改質器入口の原料ガス温度を一定にするため、水蒸気改質器入口原料ガス + 水蒸気温度調節計により原料ガス過熱器バイパスラインの調節弁 CV19G を調節し、温度一定制御を行う。

7) 後処理設備

後処理設備には、水蒸気改質器反応管の内外差圧制御、セパレータの凝縮水を排出するための凝縮水ポンプ制御、水封ドラムの水を供給するための給水制御が行われる。

水蒸気改質器反応管の内外差圧制御は、水蒸気改質器入口ヘリウムガス圧力に対して水蒸気改質器出口生成ガス圧力が 0.04MPa 高くなるように一定制御するもので、ヘリウムガス供給設備の圧力はヘリウム圧調設備により一定制御が行われているので、プロセスガス側は水蒸気改質器を出た生成ガスをフレアスタックに排出する際に排出流量を流量調節

弁 CV3C により調節することにより、差圧を一定制御する。これが水蒸気改質器ヘリウムガス/生成ガス差圧調節計 DIC3C である。

水蒸気改質器は反応管の周りに放熱量を補償する温度補償ヒータがあり、現場制御盤によりローカル制御され、温度が一定になるよう調整される。実際には、反応管の垂直方向に 5 点配置した熱電対（ガイド管外壁温度 TI20R～TI24R）の温度と、反応管を包む垂直方向に 5 分割した円筒状の温度補償ヒータの外壁温度（ヒータ取付管外壁温度 TI25R～TI29R）が等しくなるよう、各ヒータの電力を制御する。

11. 3 機器仕様

(1) 機器運転操作盤

機器運転操作盤は次の機器から構成される。

監視操作ノード	3 台（汎用パソコン 3 台、CTR ディスプレイ 3 台、キーボード 3 台）
操作パネル	1 台
カラーページプリンタ	1 台
ラインプリンタ	1 台
通信インターフェース	1 式

1) 汎用パソコン本体仕様

CPU クロック	Pentium III 800MHz
メモリ	512MB
内蔵ハードディスク	40MB
CD-ROM	24 倍速
MO	640MB
キーボード、マウス	109 配列準拠キーボード マウス
OS	Windows NT 4.0
CRT	21 インチカラーディスプレイ

2) 操作パネル

集約警報表示器	LED 赤色 6 窓（予備 3 窓含む）
警報表示内訳	プロセス異常、電気設備異常、制御盤異常
押釦スイッチ	
緊急停止	運転を緊急停止する。 モーメンタリタイプ、誤操作防止用スイッチカバー付、 操作表示用赤色 LED 付、
緊急停止リセット	緊急停止を解除する。 モーメンタリタイプ、誤操作防止用スイッチカバー付、
ブザー停止	警報ブザーを停止する。 モーメンタリタイプ、誤操作防止用スイッチカバー付、
警報確認	警報画面の高速フリッカを連続点灯にする。

警報リセット	モーメンタリタイプ、誤操作防止用スイッチカバー付、警報表示を解除する。
テスト	モーメンタリタイプ、誤操作防止用スイッチカバー付、警報動作のテストをする。 モーメンタリタイプ
3) カラーページプリンタ	
印刷方式	電子写真 8 半導体レーザ方式
用紙サイズ	A4
4) ラインプリンタ	
印刷方式	ドットインパクト
用紙サイズ	スプロケット孔付き折り畳み用紙
5) 通信インターフェース	
制御設備 LAN	
通信方式	トークンパッシング方式
同期方式	フラグ同期 (HDLC 準拠)
伝送速度	2 MBPS
最大伝送距離	20 km
ノード間伝送距離	1 km (接着研磨の場合)
伝送路	光 2 芯ケーブル
最大ノード数	32 台
RAS 機能	管理局バックアップ機能 (立上げ時のハードウェアチェック)、ノード間テスト、ウォッチドッグタイム、異常歴機能、ノードバイパス機能
誤り制御	マンチェスタ符号チェック、CRC チェック
情報設備 LAN	
監視操作ノードとカラープリンタの通信インターフェースは、100BASE-TX のイーサネットを使用。	

(2) 系統制御盤

系統制御盤は、系統制御盤① (盤番号 CP2K) から系統制御盤⑥ (盤番号 CP7K) までの 6 面がある。

1) 系統制御盤① (盤番号 CP2K)

系統制御盤(1)は制御室に設置され、主に機器運転操作盤の画面からの系統的な運転モード選択操作に基づく運転モードの切替制御を行う。構成は次の通りである。

電源ユニット	1 台
CPU 装置 (オムロン製 SYMAC CS1)	1 台
デジタル入力ユニット (信号点数 64 点)	1 台
デジタル出力ユニット (信号点数 96 点)	1 台

I/O リレーターミナル 入力用 1 台

2) 系統制御盤②(盤番号 CP3K)～系統制御盤(4)(盤番号 CP5K)

系統制御盤②～④は高圧ガス架構 2 階計器室に設置し、アナログ及びデジタル信号の入出力部インターフェースを持ち、連続制御・演算制御及びシーケンス制御を行う。構成は次の通り。(高圧ガス保安法対応による 2 重化要求回路を有するため、CPU 装置は 2 台設ける。また、PI/O ユニットも 2 重化構造とする。)

電源ユニット		6 台
CPU 装置 (オムロン製 SYMAC CS1)		2 台
アナログ入力ユニット (信号点数 4 点)		11 台
アナログ入力ユニット (信号点数 8 点)		1 台
アナログ出力ユニット (信号点数 4 点)		5 台
熱電対入力ユニット (信号点数 4 点)		12 台
測温抵抗体入力ユニット (信号点数 4 点)		1 台
デジタル入力ユニット (信号点数 64 点)		2 台
デジタル入力ユニット (信号点数 96 点)		3 台
デジタル出力ユニット (信号点数 96 点)		3 台
I/O リレーターミナル	入力用	16 台
	出力用	7 台

3) 系統制御盤(5)(盤番号 CP6K)～系統制御盤(6)(盤番号 CP7K)

系統制御盤⑤、⑥は開発棟エリアに設置し、アナログ及びデジタル信号の入出力部インターフェースを持ち、連続制御・演算制御及びシーケンス制御を行う。構成は次の通りである。

電源ユニット		7 台
CPU 装置 (オムロン製 SYMAC CS1)		1 台
アナログ入力ユニット (信号点数 4 点)		14 台
アナログ入力ユニット (信号点数 8 点)		4 台
アナログ出力ユニット (信号点数 4 点)		6 台
熱電対入力ユニット (信号点数 4 点)		16 台
測温抵抗体入力ユニット (信号点数 4 点)		1 台
デジタル入力ユニット (信号点数 64 点)		5 台
デジタル出力ユニット (信号点数 96 点)		1 台
CPU 装置 I/O リレーターミナル	入力用	4 台
	出力用	1 台

11. 4 警報及びインターロック

(1) 警報・インターロック一覧

プラント試験計測計装設備は、各系統・機器の温度、圧力プラント等のプロセス量を連続監視し、設計値を越える可能性がある場合や、水位などのレベルが正常な運転を維持するの

に必要な範囲を逸脱する可能性がある場合、また機器等の状態に何らかの軽微の異常を検知した場合、まず警報を発し、運転員に注意を促す。さらに値が上昇（あるいは下降）し設定値を超えた場合や重度の故障等の異常を検知した場合は、危険を回避するため炉外試験装置を自動緊急停止させる。

炉外試験装置の警報及び緊急停止項目一覧を表 11.6(a)～(c)に示す。緊急停止する温度、圧力等の値は、計測精度、誤差を考慮し、目安として設計圧力から約 0.2MPa、設計温度から約 10℃低い値とし、各部の圧力、温度の値が設計条件を越えることのない値に設定した。また、警報を発報する値は、原則として安全弁等の安全装置や緊急停止等のインターロックが作動するより内輪の値で、かつ運転員が回避行動を取るのに十分な余裕のある値とした。機器の異常については、炉外試験装置の自動緊急停止を要する重度の異常と、停止を要しない軽微な異常とに分類した。

(2) 警報音と警報表示

各警報は画面上の小さな四角に警報項目を記入した「警報窓」に表示される。発生状況は、警報音（ブザーの発報）ならびに、2つの色表示（無地・赤）と4つの点滅状態（高速点滅、点灯、低速点滅、消灯）によって表す。①警報が発報すると、警報音発報、警報窓は赤くなり、また高速点滅する、②警報確認ボタンを押すと、警報停止し、警報窓は点灯状態になる、③警報要因が復帰すると、警報窓が低速点滅状態になる、④リセットボタンを押すと、警報窓は無地色になり、消灯する。

(3) 一括警報窓と警報画面

警報窓には次の一括警報窓と系統別一覧がある。

1) 系統別一括警報の表示

機器運転操作盤のモニター画面は、系統図、マスターSW、計装ループ、操作端一覧の画面最上部には系統別一括警報窓が設けてあり、それらの画面を表示して監視・操作を行っている時に警報が発報した場合、直ちに発報した系統が特定できるようにしてある。

2) 警報画面：系統別警報状況一覧

さらに、先の系統別一括警報窓をクリックすることにより、全画面を警報表示用に使用した「警報画面」に切り替わり、警報を発報している系統の中の何の項目によって警報が発報しているかを特定できる。

(4) アラームメッセージ画面：警報履歴表示

また、プロセス状態、機器状態、制御システム稼動について異常検知した場合に、その内容をアラームメッセージとして時刻順に画面表示する。

表 11.1 PID 調節計とその設定値

No.	系統	TAG No.	調節計名称	プログラム名	ブロックNo.	ITEM No.	ITEM No.	ITEM No.	備考
					コメント	P(%)	I(s)	D(t)	
1	H	FIC3H	ヘリウムガス循環機出口流量調節計	HTTRCPU2-11	001 FIC3H	054 60.0	055 20	056 0	
2	H	TIC14H	ヘリウムガス加熱器上部温度調節計	HTTRCPU3-15	005 TIC14H	054 50.0	055 300	056 0	
3	H	TIC18H	水蒸気改質器入口温度調節計	HTTRCPU3-16	006 TIC18H	054 30.0	055 300	056 0	
4	H	FIC8H	ヘリウムガス加熱器入口流量調節計	HTTRCPU3-18	008 FIC8H	054 170.0	055 50	056 0	
5	H	TIC47H	ヘリウムガス冷却器出口合流部温度調節計	HTTRCPU3-17	007 TIC47H	054 130.0	055 5	056 0	
6	U	PIC51H	ヘリウムガス供給系混合タンク圧力調節計	HTTRCPU2-13	287 PIC51HPID定数	021 1000	022 100	023 0	通常モード用 P定数は10倍の値を設定 (例 100.0%→1000)
7	U	同上	同上	HTTRCPU2-13	287 PIC51HPID定数	025 1000	026 60	027 0	充填モード用 P定数は10倍の値を設定 (例 100.0%→1000)
8	U	同上	同上	HTTRCPU2-13	288 PIC51HPID定数	021 1000	022 100	023 0	昇温・降温1用 P定数は10倍の値を設定 (例 100.0%→1000)
9	U	同上	同上	HTTRCPU2-13	288 PIC51HPID定数	025 1000	026 100	027 0	昇温・降温2用 P定数は10倍の値を設定 (例 100.0%→1000)
10	U	PIC12U	レシーバタンク圧力調節計	HTTRCPU2-15	288 PIC12U	054 100.0	055 30	056 0	
11	U	PIC21U	圧縮機入口圧力調節計	HTTRCPU3-23	013 PIC21U	054 5.0	055 10	056 0	
12	G	FIC13G	原料ガス供給流量調節計	HTTRCPU3-48	317 初期、定格、PID	021 360.0	022 50	023 0	
13	G	TIC18G	水蒸気改質器入口原料ガス+水蒸気温度調節計	HTTRCPU3-13	003 PIC21G	054 150.0	055 50	056 0	
14	G	PIC21G	LNGタンクエリア原料ガス出口圧力調節計	HTTRCPU3-14	004 PIC21G	054 200.0	055 5	056 0	
15	S	FIC22S	蒸気過熱器入口蒸気流量調節計	HTTRCPU3-20	010 FIC22S	054 130.0	055 5	056 0	
16	S	PIC16S	蒸気発生器圧力調節計	HTTRCPU3-38	021 PIC16S	054 5.0	055 600	056 0	
17	S	LIC20S1	蒸気発生器水位調節計	HTTRCPU3-31	015 LIC21S1	054 10.0	055 600	056 0	
18	S	TIC14S1	水予熱器出口給水温度調節計	HTTRCPU3-35	019 TIC14S1	054 200.0	055 100	056 0	
19	N	FIC9N	窒素ガス供給流量調節弁	HTTRCPU3-19	009 FIC9N	054 700.0	055 15	056 0	
20	C	DIC3C	水蒸気改質器Heガス/生成ガス差圧調節計	HTTRCPU3-11	001 DIC3C	054 150.0	055 40	056 0	
21	精製	PC5501	循環機圧縮比制御	HTTRCPU2-18	004 Advanced PID	054 100.0	055 20	056 0	
22	精製	LC5501	CB551液面制御	HTTRCPU2-19	005 Advanced PID	054 100.0	055 30	056 0	
23	精製	LC5502	CB552液面制御	HTTRCPU2-20	006 Advanced PID	054 100.0	055 30	056 0	
24	精製	FC5502	再生窒素流量制御	HTTRCPU2-21	007 Advanced PID	054 200.0	055 20	056 0	
25	精製	FC5503	再生空気流量制御	HTTRCPU2-22	008 Advanced PID	054 200.0	055 30	056 0	
26	精製	TC5503	H551温度制御	HTTRCPU2-23	009 Advanced PID	054 100.0	055 10	056 0	
27	精製	TC5504	SB551温度制御	HTTRCPU2-24	010 Advanced PID	054 100.0	055 20	056 0	
28	精製	TC5505	SB552温度制御	HTTRCPU2-25	011 Advanced PID	054 100.0	055 20	056 0	
29	精製	TC5511	MB551温度制御	HTTRCPU2-26	012 Advanced PID	054 100.0	055 20	056 0	
30	精製	TC5512	MB552温度制御	HTTRCPU2-27	013 Advanced PID	054 100.0	055 20	056 0	
31	精製	TC5517	CB551温度制御	HTTRCPU2-28	014 Advanced PID	054 20.0	055 20	056 0	
32	精製	TC5518	CB552温度制御	HTTRCPU2-29	015 Advanced PID	054 20.0	055 20	056 0	
33	精製	TC5519	H552温度制御	HTTRCPU2-32	018 Advanced PID	054 100.0	055 20	056 0	
34	精製	TC5516	H553温度制御	HTTRCPU2-33	019 Advanced PID	054 100.0	055 20	056 0	

表 11.2(a) カスケード制御用関数・信号発生器とその設定値 (1/2)

No.	系統	種別	用途	プログラム名	ブロックNo.	ITEM No.	ITEM No.	ITEM No.
					コメント	設定値	設定値	設定値
1	H	SG	He流量立上げ (FIC3H)	HTTRCPU2 -12	107	022	023	024
					立上げモードFG	24.00	20.0	70.00
2	H	SG	He流量立下げ (FIC3H)	HTTRCPU2 -12	106	022	023	024
					立下げモードFG	70.00	20.0	24.00
3	H	FG	He昇温1 (TIC14H)	HTTRCPU3 -28	138	022	023	024
					FG1	2.00	4.0	19.40
4	H	FG	He昇温2 (TIC14H)	HTTRCPU3 -28	140	022	023	024
					FG2	19.40	13.0	75.80
5	H	FG	He昇温3 (TIC14H)	HTTRCPU3 -28	142	022	023	024
					FG3	75.60	4.5	92.00
6	H	FG	He昇温4 (TIC14H)	HTTRCPU3 -28	143	022	023	024
					FG4	75.60	2.5	86.40
7	H	FG	He降温1 (TIC14H)	HTTRCPU3 -28	239	022	023	024
					FG5	92.00	3.8	78.80
8	H	FG	He降温2 (TIC14H)	HTTRCPU3 -28	240	022	023	024
					FG6	78.80	17.8	2.00
9	H	FG	He降温3 (TIC14H)	HTTRCPU3 -28	241	022	023	024
					FG7	86.40	19.5	2.00
10	H	FG	He昇温1 (TIC18H)	HTTRCPU3 -49	250	022	023	024
					FG8	2.00	4.0	18.00
11	H	FG	He昇温2 (TIC18H)	HTTRCPU3 -49	251	022	023	024
					FG9	18.00	13.0	70.00
12	H	FG	He昇温3 (TIC18H)	HTTRCPU3 -49	252	022	023	024
					FG10	70.00	4.5	88.00
13	H	FG	He昇温4 (TIC18H)	HTTRCPU3 -49	253	022	023	024
					FG11	70.00	2.5	80.00
14	H	FG	He降温1 (TIC18H)	HTTRCPU3 -49	254	022	023	024
					FG12	88.00	3.8	73.00
15	H	FG	He降温2 (TIC18H)	HTTRCPU3 -49	255	022	023	024
					FG13	73.00	17.8	2.00
16	H	FG	He降温3 (TIC18H)	HTTRCPU3 -49	256	022	023	024
					FG14	80.00	19.5	2.00
17	H	FG	He流量立上げ (FIC8H)	HTTRCPU3 -27	136	022	023	024
					立上げFG	8.33	20.0	75.83
18	H	FG	He流量立下げ (FIC8H)	HTTRCPU3 -27	135	022	023	024
					立下げFG	75.83	20.0	8.33
19	H	FG	He冷却器温度 (TIC47H)	HTTRCPU3 -17	301	009	010	011
					モード用SV値	0.00	20.00	60.00
						012	013	014
						20.00	70.00	22.50
						015	016	017
						78.00	37.50	100.00
						018		
20	U	FG	He充填 (PIC51H)	HTTRCPU2 -13	112	022	023	024
					He充填モードSV	1.00	7.4	60.00
21	U	SG	He通常運転 (PIC51H)	HTTRCPU2 -13	110	011		
					通常運転モードSV	78.00		
22	U	SG	He回収 (PIC12U)	HTTRCPU2 -15	281	011		
					モード時のSV	41.18		
23	U	FG	He昇温・降温(1) (PIC51H)	HTTRCPU2 -15	131	009	010	011
					He昇温・降温1モードSV	0.00	60.00	54.40
						012	013	014
						60.00	88.00	78.00
						015	016	
24	U	FG	He昇温・降温(2) (PIC51H)	HTTRCPU2 -15		100.00	78.00	
					132	009	010	011
					He昇温・降温2SV	0.00	60.00	49.50
						012	013	014
						60.00	80.00	78.00
25	G	FG	N2/原料ガス置換 (FIC13G)	HTTRCPU3 -48	242	022	023	024
					N/G置換用	37.50	4.0	75.00
26	G	FG	停止1 (FIC13G)	HTTRCPU3 -48	243	022	023	024
					停止1用	75.00	4.0	37.50

表 11.2(b) カスケード制御用関数・信号発生器とその設定値 (2/2)

No.	系統	種別	用途	プログラム名	ブロックNo.	ITEM No.	ITEM No.	ITEM No.
					コメント	設定値	設定値	設定値
27	G	-	停止2 (FIC13G)	HTTRCPU3 -48	-			
28	G	FG	原料ガス置換/N2 (FIC13G)	HTTRCPU3 -48	245 G/N置換用	022 75.00	023 0.1	024 37.50
29	S	SG	制御1 (FIC22S)	HTTRCPU3 -50	264 -	011 27.80		
30	S	SG	制御2 (FIC22S)	HTTRCPU3 -50	261 制御2FG	022 27.80	023 10.0	024 47.80
31	S	-	S/C制御 (FIC22S)	HTTRCPU3 -50	-			
32	S	FG	流量降下1 (FIC22S)	HTTRCPU3 -50	262 流量降下1FG	022 47.00	023 10.0	024 27.80
33	S	FG	流量降下2 (FIC22S)	HTTRCPU3 -50	263 流量降下2FG	022 27.80	023 1.0	024 0.00
34	S	SG	冷却試験移行 (FIC22S)	HTTRCPU3 -50	264 -	013 0.00		
35	S	SG	制御3 (FIC22S)	HTTRCPU3 -50	264 -	014 47.00		
36	S	SG	制御1 (PIC16S)	HTTRCPU3 -38	-			
37	S	SG	制御4 (PIC16S)	HTTRCPU3 -50	312 CV20S圧力設定	009 0.00	010 14.00	011 25.00
						012 14.00	013 70.00	014 90.20
						015 100.00	016 90.20	
38	S	SG	流路切替1 (CV251S用MV)	HTTRCPU3 -51	274 FG2	022 0.00	023 1.5	024 14.00
39	S	FG	流路切替2 (CV251S用MV)	HTTRCPU3 -51	273 FG1	022 14.00	023 15.0	024 50.00
40	S	FG	流路切替3 (CV251S用MV)	HTTRCPU3 -51	275 FG3	022 50.00	023 15.0	024 14.00
41	S	FG	流路切替4 (CV251S用MV)	HTTRCPU3 -51	276 FG4	022 14.00	023 1.5	024 0.00
42	S	FG	制御2 (CV251S用MV)	HTTRCPU3 -51	309 FG9	022 50.00	023 10.0	024 100.00
43	S	FG	流量降下1 (CV251S用MV)	HTTRCPU3 -51	310 FG10	022 100.00	023 10.0	024 50.00
44	S	FG	流路切替1 (CV252S用MV)	HTTRCPU3 -51	278 FG6	022 47.00	023 1.5	024 35.00
45	S	FG	流路切替2 (CV252S用MV)	HTTRCPU3 -51	277 FG5	022 35.00	023 15.0	024 0.00
46	S	FG	流路切替3 (CV252S用MV)	HTTRCPU3 -51	279 FG7	022 0.00	023 15.0	024 35.00
47	S	FG	流路切替4 (CV252S用MV)	HTTRCPU3 -51	280 FG8	022 35.00	023 1.5	024 47.00
48	N	FG	N2供給 (FIC9N)	HTTRCPU3 -22	190 N2供給FG	022 31.68	023 5.3	024 31.68
						025 2.1	026 43.20	027 1.3
						028 86.40		
49	N	FG	N2/原料ガス置換 (FIC9N)	HTTRCPU3 -22	192 N2/G置換FG	022 86.40	023 19.2	024 31.68
						025 10.7	026 31.68	
50	N	FG	原料ガス置換/N2 (FIC9N)	HTTRCPU3 -22	257 G/N2置換FG	022 31.68	023 10.7	024 31.68
						025 19.2	026 86.40	027 60.0
						028 86.40	029 75.0	030 43.20
51	N	FG	N2停止 (FIC9N)	HTTRCPU3 -22	258 N2停止FG	022 43.20	023 120.0	024 31.68
						025 119.9	026 31.68	

表 11.3 モニター画面リスト

No.	画面	名称
1	系統図	サマリ
2		ヘリウムガス供給系
3		ヘリウムガス貯蔵・供給・圧力調整設備
4		ヘリウムガス精製設備
5		原料ガス供給系
6		水蒸気供給系
7		不活性ガス供給系
8		水蒸気改質器
9		後処理系
10		電気設備
11		冷却水・計装空気設備
12		監視操作バックアップ
13	マスターSW	マスターSW
14	計装ループ	起動・停止(1/2)
15		起動・停止(2/2)
16		ヘリウムガス供給系
17		ヘリウムガス貯蔵・供給・圧力調整設備
18		ヘリウムガス精製設備(1/2)
19		ヘリウムガス精製設備(2/2)
20		原料ガス供給系
21		水蒸気供給系
22		不活性ガス供給系
23		水蒸気改質器(1/2)
24		水蒸気改質器(2/2)
25	後処理系	
26	操作端一覧	操作端一覧(1/3)
27		操作端一覧(2/3)
28		操作端一覧(3/3)
29	警報	He供給/He圧調
30		Heガス精製/原料ガス
31		改質器/後処理
32		電気設備/冷却水設備
33		計装空気/プラント試験
34		バックアップ/緊急停止
35		アラームメッセージ
36	ヒストリカルトレンド	ヒストリカルトレンド

表 11.4(a) 計装ループ画面の表示項目一覧(1/2)

画面名称	グラフ表示計測点名	操作端タグNo.と名称
起動・停止(1/2)	DIC3C 水蒸気改質器Heガス生成ガス差圧	CV3C Heガス生成ガス差圧調節弁
	PIC51H 混合タンク圧力	CV2/23U Heガス供給・回収流量制御
	PI17H 水蒸気改質器入口圧力	CV24U Heガス供給流量調節弁
	PI2C 水蒸気改質器出口生成ガス圧力	CV2U Heガス回収流量調節弁
	FIC3H Heガス循環機出口流量	B1H B1H回転数設定値
	FIC8H Heガス加熱器入口流量	CV2H Heガス加熱器入口流量調節弁
	TIC14H Heガス加熱器上部He温度	H2H Heガス加熱器
	PIC12U レシーバタンク圧力	CV2U レシーバタンク圧力制御
起動・停止(2/2)	DIC3C 水蒸気改質器Heガス生成ガス差圧	CV3C Heガス生成ガス差圧調節弁
	TIC18H Heガス加熱器入口He温度	H2H Heガス加熱器
	FIC22S 蒸気過熱器蒸気流量	CV11S 蒸気過熱器入口蒸気流量調節弁
	FIC9N 窒素ガス供給流量	CV64N 窒素ガス供給流量調節弁
	FIC13G 原料ガス供給流量	CV15G 原料ガス供給流量調節弁
	XI37G S/C計測値	S/C S/C設定値
	CV251S 原料ガス供給系入口切替弁MV値	CV251S 原料ガス供給系入口切替弁
	CV252S 蒸気過熱器出口ブロー切替弁MV値	CV252S 蒸気過熱器出口ブロー切替弁
ヘリウムガス供給系	FIC3H Heガス循環機出口流量	B1H B1H回転数設定値
	FIC8H Heガス加熱器入口流量	CV2H Heガス加熱器入口流量調節弁
	TIC14H Heガス加熱器上部He温度	H2H Heガス加熱器
	TIC18H Heガス加熱器入口He温度	H2H Heガス加熱器
	TIC47H Heガス冷却器出口合流温度	CV5H Heガス冷却器入口流量調節弁
ヘリウムガス貯蔵・供給・圧力調整設備	PIC51H 混合タンク圧力	CV2/23U Heガス供給・回収流量制御
		CV2U レシーバタンク圧力制御
		CV24U Heガス供給流量調節弁
		CV2U Heガス回収流量調節弁
	PIC21U 圧縮機入口圧力	CV11U 圧縮機入口圧力調節弁
	PIC51U Heガス供給圧力	CV23U Heガス供給圧力調節弁
ヘリウムガス精製設備(1/2)	FI5501 精製ガス流量	PA5501 ガス循環機バイパス流量調節弁
	PI5514 ガス循環機入口He圧力	
	PI5515 ガス循環機出口He圧力	
	DI5503 ガス循環機差圧	
	TIC5504 酸化銅ベッド(1)中心部温度	H554 ヒータH554
	TIC5505 酸化銅ベッド(2)中心部温度	H555 ヒータH555
	TIC5511 モレキュラーシーブベッド(1)中心部温度	H556 ヒータH556
	TIC5512 モレキュラーシーブベッド(2)中心部温度	H557 ヒータH557
ヘリウムガス精製設備(2/2)	FIC5502 再生ガスN2流量	FA5502 再生用窒素ガス流量調節弁
	FIC5503 再生ガス空気流量	FA5503 再生用空気流量調節弁
	LIC5501 コールドチャコールベッド(1)液面LN2	LA5501 コールドチャコールベッド(A)LN2供給弁
	LIC5502 コールドチャコールベッド(2)液面LN2	LA5502 コールドチャコールベッド(B)LN2供給弁
	TIC5517 コールドチャコールベッド(1)He温度	H558 ヒータH558
	TIC5518 コールドチャコールベッド(2)He温度	H559 ヒータH559
	PI5516 コールドチャコールベッド(1)N2圧力	
	PI5517 コールドチャコールベッド(2)N2圧力	

表 11.4(b) 計装ループ画面の表示項目一覧(2/2)

画面名称	グラフ表示計測点名	操作端タグNo.と名称
原料ガス供給系	PIC21G LNGタンクエリア原料ガス出口圧力	CV13G 原料ガス供給圧力調節弁
	FIC13G 原料ガス供給流量(フィルタ前)	CV15G 原料ガス供給流量調節弁
	FIC13G 原料ガス供給流量(フィルタ後)	CV15G 原料ガス供給流量調節弁
	TIC18G 改質器入口原料ガス+水蒸気温度	CV19G原料ガス過熱器バイパスライン流量調節弁
	FT31G LNGタンクエリア原料ガス放出流量	
水蒸気供給系	LIC20S 蒸気発生器水位	P9S 供給ポンプ
	FI15S 蒸気発生器入口給水流量	P9S 供給ポンプ
	TIC14S 水予熱器給水出口温度	CV14S 水予熱器給水出口温度調節弁
	PIC12S 水予熱器給水出口圧力	
	PIC16S 蒸気発生器水蒸気圧力	CV17S/20S 蒸気発生器圧力圧力調節弁
	FIC22S 蒸気過熱器蒸気流量	CV11S 蒸気過熱器入口蒸気流量調節弁
不活性ガス供給系	FIC9N 窒素ガス供給流量	CV64N 窒素ガス供給流量調節弁
水蒸気改質器 (1/2)	TI20R 水蒸気改質器ガイド管外壁(1)温度	
	TI25R 水蒸気改質器ヒータ取付管外壁(1)温度	X1R1 水蒸気改質器補償ヒータ1
	TI21R 水蒸気改質器ガイド管外壁(2)温度	
	TI26R 水蒸気改質器ヒータ取付管外壁(2)温度	X1R2 水蒸気改質器補償ヒータ2
	TI22R 水蒸気改質器ガイド管外壁(3)温度	
	TI27R 水蒸気改質器ヒータ取付管外壁(3)温度	X1R3 水蒸気改質器補償ヒータ3
水蒸気改質器 (2/2)	TI23R 水蒸気改質器ガイド管外壁(4)温度	
	TI28R 水蒸気改質器ヒータ取付管外壁(4)温度	X1R4 水蒸気改質器補償ヒータ4
	TI24R 水蒸気改質器ガイド管外壁(5)温度	
後処理系	TI29R 水蒸気改質器ヒータ取付管外壁(5)温度	X1R5 水蒸気改質器補償ヒータ5
	DIC3C 水蒸気改質器Heガス生成ガス差圧	CV3C Heガス生成ガス差圧調節弁
	FIC9N 窒素ガス供給流量	CV64N 窒素ガス供給流量調節弁
	PIC51H 混合タンク圧力	CV2/23U Heガス供給・回収流量制御
	PI17H 水蒸気改質器入口圧力	
	PIC51U Heガス供給圧力	
	PIC12U レシーバタンク圧力	
	PI2C 水蒸気改質器出口生成ガス圧力	

表 11.5(a) 計測点一覧 (1/8)

No.	1系統	(機器タグNo.と)信号名称(記述)	Fix タグ名	タイプ	I/Oアドレス	2重化	Fix タグ名	タイプ	I/Oアドレス
1	A	空気槽圧力	PT1A	CA	----		2CIO2301	AI	CPU2:CIO:2301
2	C	AV21C 生成ガス放出弁-A	CIO4_01 4CIO0_01	DI	CPU3:CIO:4:1 CPU4:CIO:0:1	○			
3	C	AV28C 水封ドラム給水入口弁	CIO14_11	DI	CPU3:CIO:14:11				
4	C	AV35C LPGライク遮断弁	CIO5_08	DI	CPU3:CIO:5:8				
5	C	AV36C 生成ガス放出弁-B	CIO4_03 4CIO0_03	DI	CPU3:CIO:4:3 CPU4:CIO:0:3	○			
6	C	DIC3C MV INPUT	DIC3CMVAI	AI	CPU3:DM:3000				
7	C	DIC3C SV INPUT	DIC3CSVAI	AI	CPU3:DM:3032				
8	C	P5C 凝縮水ポンプ	CIO5_03 4CIO1_03	DI	CPU3:CIO:5:3 CPU4:CIO:1:3	○			
9	C	S/C SV INPUT	S/CSVAI	AI	CPU3:DM:3206				
10	C	TE22C	TE22C	CA	----		CIO2575	AI	CPU3:DM:3121
11	C	TE23C	TE23C	CA	----		CIO2576	AI	CPU3:DM:3122
12	C	TE24C	TE24C	CA	----		CIO2577	AI	CPU3:DM:3123
13	C	XI37G(S/C比)	XI37G	AI	CPU3:DM:3204				
14	C	セパレータ液位	LT17C	CA	----		CIO2404	AI	CPU3:CIO:2404
15	C	改質器Heガス/生成ガス差圧 改質器Heガス/生成ガス差圧(バックアップ側)	DM20C DM20C_4	CA	----	○	PT2C-17H PT2C-17H_4	AI	CPU3:DM:3112 CPU4:DM:3112
16	C	改質器室排風機停止	CIO0_00	DI	CPU3:CIO:0:0				
17	C	原料ガス加熱器出口生成ガス温度	TE5C	CA	----		CIO2103	AI	CPU3:CIO:2103
18	C	原料ガス過熱器出口生成ガス温度	TE4C	CA	----		CIO2102	AI	CPU3:CIO:2102
19	C	原料ガス過熱器入口生成ガス温度	TE21C	CA	----		CIO2322	AI	CPU3:CIO:2322
20	C	触媒粉塵用フィルタ出入口差圧	DT19C	CA	----		CIO2411	AI	CPU3:CIO:2411
21	C	水蒸気改質器Heガス/生成ガス差圧	DD3C DT3C	CA	----	○	4CIO2002 CIO2602	AI	CPU4:CIO:2002 CPU3:CIO:2602
22	C	水蒸気改質器出口生成ガス圧力	PD2C PT2C	CA	----	○	4CIO2001 CIO2601	AI	CPU4:CIO:2001 CPU3:CIO:2601
23	C	水蒸気改質器出口生成ガス温度	TE1C	CA	----		CIO2101	AI	CPU3:CIO:2101
24	C	水素製造量	G0_H2_CA	CA	----		G0_H2	AI	CPU3:DM:3210
25	C	水封ドラム液位	LD11C LT11C	CA	----	○	4CIO2004 CIO2604	AI	CPU4:CIO:2004 CPU3:CIO:2604
26	C	水封ドラム入口生成ガス圧力	PT7C	CA	----		CIO2401	AI	CPU3:CIO:2401
27	C	水封ドラム入口生成ガス温度	TE6C	CA	----		CIO2104	AI	CPU3:CIO:2104
28	C	水封ドラム入口生成ガス流量(補正後)	FT8C	CA	----		CIO2402	AI	CPU3:DM:3100
29	C	生成ガス分析計CH4濃度	C-CH4	CA	----		CIO2552	AI	CPU3:DM:3090
30	C	生成ガス分析計CO2濃度	C-CO2	CA	----		CIO2551	AI	CPU3:DM:3089
31	C	生成ガス分析計CO濃度	C-CO	CA	----		CIO2548	AI	CPU3:DM:3088
32	C	生成ガス分析計H2濃度	C-H2	CA	----		CIO2546	AI	CPU3:DM:3078
33	C	生成ガス分析計N2濃度	C-N2	CA	----		CIO2547	AI	CPU3:DM:3079
34	C	生成ガス分析計サンプル流量	FT01B	CA	----		CIO2533	AI	CPU3:CIO:2533
35	E	非常用発電設備異常	CIO0_05	DI	CPU3:CIO:0:5				
36	E	非常用発電設備運転中	CIO0_04	DI	CPU3:CIO:0:4				
37	E	非常用発電設備自動切換(商用側)	CIO0_07	DI	CPU3:CIO:0:7				
38	E	非常用発電設備自動切換(発電側)	CIO0_06	DI	CPU3:CIO:0:6				
39	E	非常用発電設備受電遮断器入	CIO0_03	DI	CPU3:CIO:0:3				
40	G	AV14G 原料ガス供給遮断弁	CIO4_09 4CIO0_09	DI	CPU3:CIO:4:9 CPU4:CIO:0:9	○			
41	G	AV34G 加圧蒸発器入口遮断弁	CIO4_11 4CIO0_11	DI	CPU3:CIO:4:11 CPU4:CIO:0:11	○			
42	G	AV5G LNGタンク出口遮断弁	CIO4_07 4CIO0_07	DI	CPU3:CIO:4:7 CPU4:CIO:0:7	○			
43	G	FIC13G MV INPUT	FIC13GMVAI	AI	CPU3:DM:3001				
44	G	FIC13G SV INPUT	FIC13GSVAI	AI	CPU3:DM:3033				
45	G	FQ13G INPUT	FQ13G	AI	CPU3:DM:3208				
46	G	FQ13G積算	FQ13G_CA	CA	----				
47	G	FQ13G積算リセット	FQ13GRSETDI	DI	CPU3:WR:218:12				
48	G	LNGタンクエリア原料ガス出口圧力	PT21G	CA	----		CIO2424	AI	CPU3:CIO:2424
49	G	LNGタンクエリア原料ガス放出流量	FT31G	CA	----		CIO2431	AI	CPU3:CIO:2431
50	G	LNGタンク液位	LD4G LT4G	CA	----	○	4CIO2011 CIO2611	AI	CPU4:CIO:2011 CPU3:CIO:2611

表 11.5(b) 計測点一覧 (2/8)

51	G	P2G LNGポンプ	4CIO0_04	DI	CPU4:CIO:0:4	○			
			CIO4_04	DI	CPU3:CIO:4:4				
52	G	PIC21G MV INPUT	PIC21GMVAI	AI	CPU3:DM:3003				
53	G	PIC21G SV INPUT	PIC21GSVAI	AI	CPU3:DM:3034				
54	G	TE39G	TE39G	CA	----		CIO2571	AI	CPU3:DM:3117
55	G	TE40G	TE40G	CA	----		CIO2572	AI	CPU3:DM:3118
56	G	TE41G	TE41G	CA	----		CIO2573	AI	CPU3:DM:3119
57	G	TE42G	TE42G	CA	----		CIO2574	AI	CPU3:DM:3120
58	G	TIC18G MV INPUT	TIC18GMVAI	AI	CPU3:DM:3002				
59	G	TIC18G MV Limit INPUT	TIC18GMVLAJ	AI	CPU3:DM:3054				
60	G	TIC18G SV INPUT	TIC18GSVAI	AI	CPU3:DM:3056				
61	G	原料ガス・後処理系配管ヒータ運転	CIO0_08	DI	CPU3:CIO:0:8				
62	G	原料ガス・後処理系配管ヒータ切Pos表示	HEATEROFFDI	DI	CPU3:WR:219:5				
63	G	原料ガス・後処理系配管ヒータ入Pos表示	HEATERONDI	DI	CPU3:WR:219:7				
64	G	原料ガスサージタンク圧力	PT10G	CA	----	○	CIO2612	AI	CPU3:CIO:2612
			PD10G	CA	----		4CIO2012	AI	CPU4:CIO:2012
65	G	原料ガス加熱器出口原料ガス温度	TE17G	CA	----		CIO2111	AI	CPU3:CIO:2111
66	G	原料ガス加熱器入口原料ガス圧力	PT16G	CA	----		CIO2421	AI	CPU3:CIO:2421
67	G	原料ガス供給流量	FT13G	CA	----				
68	G	原料ガス供給流量フィルタ有/無切換後	FT13G_0	AI	CPU3:DM:3072				
69	G	原料ガス供給流量フィルタ無	FT13G_2	CA	----		CIO2532	AI	CPU3:CIO:2532
70	G	原料ガス供給流量フィルタ有	FT13G_1	CA	----		CIO2403	AI	CPU3:CIO:2403
71	G	原料ガス供給流量補正温度	CIO2341	AI	CPU3:CIO:2341				
72	G	原料ガス系警報遮断切	LNG_JOFFDI	DI	CPU3:WR:365:10				
73	G	原料ガス系警報遮断入	LNG_JONDI	DI	CPU3:WR:365:9				
74	G	原料ガス分析計CH4濃度	G-CH4	CA	----		CIO2545	AI	CPU3:DM:3077
75	G	原料ガス分析計CO2濃度	G-CO2	CA	----		CIO2544	AI	CPU3:DM:3076
76	G	原料ガス分析計CO濃度	G-CO	CA	----		CIO2543	AI	CPU3:DM:3075
77	G	原料ガス分析計H2濃度	G-H2	CA	----		CIO2541	AI	CPU3:DM:3073
78	G	原料ガス分析計N2濃度	G-N2	CA	----		CIO2542	AI	CPU3:DM:3074
79	G	原料供給流量補正温度	TE12G	CA	----				
80	G	水蒸気改質器原料ガス/生成ガス差圧	DT20G	CA	----		CIO2423	AI	CPU3:CIO:2423
81	G	水蒸気改質器入口原料ガス+水蒸気圧力	PT19G	CA	----		CIO2422	AI	CPU3:CIO:2422
82	G	水蒸気改質器入口原料ガス+水蒸気温度	TE18G	CA	----		CIO2112	AI	CPU3:CIO:2112
83	H	(緊) He循環機冷却水流量低低	FIS95H	DI	CPU2:WR:367:5				
84	H	AV1H Heガス加熱器入口止め弁	CIO5_11	DI	CPU3:CIO:5:11				
85	H	AV21H1 水予熱器出口大気開放弁1	CIO7_00	DI	CPU3:CIO:7:0	○			
		AV21H1 水予熱器出口大気開放弁1バックアップ	2CIO3_00	DI	CPU2:CIO:3:0				
86	H	AV21H2 水予熱器出口大気開放弁2	CIO7_02	DI	CPU3:CIO:7:2	○			
		AV21H2 水予熱器出口大気開放弁2バックアップ	2CIO3_02	DI	CPU2:CIO:3:2				
87	H	AV3H 水予熱器出口止め弁	CIO5_13	DI	CPU3:CIO:5:13				
88	H	B1H ヘリウムガス循環機	4CIO1_06	DI	CPU4:CIO:1:6	○			
			CIO5_06	DI	CPU3:CIO:5:6				
89	H	B1H回転数調整器起動準備	2CIO1_02	DI	CPU2:CIO:1:2				
90	H	B1H起動準備	2W366_04	DI	CPU2:WR:366:4				
91	H	FIC3H MV INPUT	FIC3HMVAI	AI	CPU2:DM:3004				
92	H	FIC3H SV INPUT	FIC3HSVAI	AI	CPU2:DM:3035				
93	H	FIC8H MV INPUT	FIC8HMVAI	AI	CPU3:DM:3008				
94	H	FIC8H SV INPUT	FIC8HSVAI	AI	CPU3:DM:3036				
95	H	H2H ヘリウムガス加熱器	4CIO0_13	DI	CPU4:CIO:0:13	○			
			CIO4_13	DI	CPU3:CIO:4:13				
96	H	Heガス分析計1CH4濃度	H1-CH4	CA	----		CIO2557	AI	CPU3:DM:3095
97	H	Heガス分析計1CO2濃度	H1-CO2	CA	----		CIO2556	AI	CPU3:DM:3094
98	H	Heガス分析計1CO濃度	H1-CO	CA	----		CIO2555	AI	CPU3:DM:3093
99	H	Heガス分析計1H2濃度	H1-H2	CA	----		CIO2553	AI	CPU3:DM:3091
100	H	Heガス分析計1N2濃度	H1-N2	CA	----		CIO2554	AI	CPU3:DM:3092
101	H	Heガス分析計2CH4濃度	H2-CH4	CA	----		CIO2564	AI	CPU3:DM:3116
102	H	Heガス分析計2CO2濃度	H2-CO2	CA	----		CIO2563	AI	CPU3:DM:3099
103	H	Heガス分析計2CO濃度	H2-CO	CA	----		CIO2562	AI	CPU3:DM:3098

表 11.5(c) 計測点一覧 (3/8)

104	H	Heガス分析計2H2濃度	H2-H2	CA	----		CIO2558	AI	CPU3:DM:3096
105	H	Heガス分析計2N2濃度	H2-N2	CA	----		CIO2561	AI	CPU3:DM:3097
106	H	PC51H MV INPUT	PC51HMVAI	AI		CPU3:DM:3025			
107	H	PC51H1 MV INPUT	PC51H1MVAI	AI		CPU2:DM:3022			
108	H	PIC51H MV INPUT	PIC51HMVAI	AI		CPU2:DM:3020			
109	H	PIC51H SV INPUT	PIC51HSVAI	AI		CPU2:DM:3046			
110	H	TIC14H MV INPUT	TIC14HMVAI	AI		CPU3:DM:3005			
111	H	TIC14H SV INPUT	TIC14HSVAI	AI		CPU3:DM:3052			
112	H	TIC18H MV INPUT	TIC18HMVAI	AI		CPU3:DM:3006			
113	H	TIC18H SV INPUT	TIC18HSVAI	AI		CPU3:DM:3058			
114	H	TIC47H MV INPUT	TIC47HMVAI	AI		CPU3:DM:3007			
115	H	TIC47H SV INPUT	TIC47HSVAI	AI		CPU3:DM:3059			
116	H	UQ75H	UQ75H	AI		CPU3:DM:3200			
117	H	V6H 真空ポンプ	CIO6_11	DI		CPU3:CIO:6:11			
118	H	ヘリウム加熱器ヒータエレメント表面温度	TE13H	CA	----		CIO2413	AI	CPU3:CIO:2413
119	H	ヘリウム加熱器上部ヘリウム温度	TE14H	CA	----		CIO2114	AI	CPU3:CIO:2114
120	H	ヘリウム加熱器入口圧力	PT7H	CA	----		CIO2522	AI	CPU3:CIO:2522
121	H	ヘリウム加熱器入口温度	TE9H	CA	----		CIO2323	AI	CPU3:CIO:2323
122	H	ヘリウム加熱器入口流量(補正後)	FT8H	CA	----		CIO2523	AI	CPU3:DM:3102
123	H	ヘリウム循環機モータ軸受温度	TE64H	CA	----		2CIO2121	AI	CPU2:CIO:2121
124	H	ヘリウム循環機モータ巻線温度(1)	TE61H	CA	----		2CIO2112	AI	CPU2:CIO:2112
125	H	ヘリウム循環機モータ巻線温度(2)	TE62H	CA	----		2CIO2113	AI	CPU2:CIO:2113
126	H	ヘリウム循環機モータ巻線温度(3)	TE63H	CA	----		2CIO2114	AI	CPU2:CIO:2114
127	H	ヘリウム循環機モータ周波数	ST72H	CA	----		2CIO2324	AI	CPU2:CIO:2324
128	H	ヘリウム循環機モータ電圧	VT75H	CA	----		2CIO2311	AI	CPU2:CIO:2311
129	H	ヘリウム循環機モータ電流	IT73H	CA	----		2CIO2331	AI	CPU2:CIO:2331
130	H	ヘリウム循環機モータ電力	WT74H	CA	----		2CIO2332	AI	CPU2:CIO:2332
131	H	ヘリウム循環機下部シャーナル軸受温度	TE65H	CA	----		2CIO2122	AI	CPU2:CIO:2122
132	H	ヘリウム循環機回転数	ST71H	CA	----		2CIO2323	AI	CPU2:CIO:2323
133	H	ヘリウム循環機差圧	DT56H	CA	----		2CIO2322	AI	CPU2:CIO:2322
134	H	ヘリウム循環機出口圧力	PT2H	CA	----		2CIO2302	AI	CPU2:CIO:2302
135	H	ヘリウム循環機出口温度	TE4H	CA	----		2CIO2101	AI	CPU2:CIO:2101
136	H	ヘリウム循環機出口流量(補正後)	FT3H	CA	----		2CIO2303	AI	CPU2:DM:3101
137	H	ヘリウム循環機上部シャーナル軸受温度	TE66H	CA	----		2CIO2123	AI	CPU2:CIO:2123
138	H	ヘリウム循環機入口フィルタ差圧	DT55H	CA	----		2CIO2321	AI	CPU2:CIO:2321
139	H	ヘリウム循環機入口圧力	PT54H	CA	----		2CIO2314	AI	CPU2:CIO:2314
140	H	ヘリウム循環機入口温度	TE53H	CA	----		2CIO2111	AI	CPU2:CIO:2111
141	H	ヘリウム冷却器出口合流温度	TE47H	CA	----		CIO2324	AI	CPU3:CIO:2324
142	H	ヘリウム冷却器入口温度	TE43H	CA	----		2CIO2103	AI	CPU2:CIO:2103
143	H	混合タンク圧力	PT51H	CA	----		2CIO2312	AI	CPU2:CIO:2312
144	H	混合タンク真空度	PT52H	CA	----		2CIO2313	AI	CPU2:DM:3040
145	H	蒸気過熱器出口圧力	PT23H	CA	----		CIO2433	AI	CPU3:CIO:2433
146	H	蒸気過熱器出口温度	TE24H	CA	----		CIO2123	AI	CPU3:CIO:2123
147	H	蒸気発生器出口圧力	PT31H	CA	----		CIO2434	AI	CPU3:CIO:2434
148	H	蒸気発生器出口温度	TE32H	CA	----		CIO2124	AI	CPU3:CIO:2124
149	H	水蒸気改質器出口圧力	PT22H	CA	----		CIO2432	AI	CPU3:CIO:2432
150	H	水蒸気改質器出口温度	TE21H	CA	----		CIO2122	AI	CPU3:CIO:2122
151	H	水蒸気改質器入口圧力	PT17H	CA	----	○	4CIO2003	AI	CPU4:CIO:2003
							CIO2603	AI	CPU3:CIO:2603
152	H	水蒸気改質器入口温度	TE18H	CA	----		CIO2121	AI	CPU3:CIO:2121
153	H	水分計(He加熱器入口)	MTH	CA	----		CIO2412	AI	CPU3:CIO:2412
154	H	水分計(精製設備入口)	MTHZ	CA	----		CIO2414	AI	CPU3:CIO:2414
155	H	水予熱器出口圧力	PT36H	CA	----		CIO2441	AI	CPU3:CIO:2441
156	H	水予熱器出口温度	TE35H	CA	----		CIO2131	AI	CPU3:CIO:2131
157	H	水予熱器出口真空度	PT37H	CA	----		CIO2442	AI	CPU3:DM:3063
158	N	AV81N 給水タンク供給遮断弁	CIO8_06	DI		CPU3:CIO:8:6			
159	N	FIC9N MV INPUT	FIC9NMVAI	AI		CPU3:DM:3009			
160	N	FIC9N SV INPUT	FIC9NSVAI	AI		CPU3:DM:3037			
161	N	LN2タンク圧力	PT1N	CA	----		CIO2443	AI	CPU3:CIO:2443
162	N	LN2タンク液位	LT2N	CA	----		CIO2444	AI	CPU3:CIO:2444

表 11.5(d) 計測点一覧 (4/8)

163 N	P2N LN2ポンプ					CIO8_08	DI	CPU3:CIO:8:8
164 N	窒素ガスサージタンク圧力	PT6N	CA	----		CIO2451	AI	CPU3:CIO:2451
165 N	窒素ガス供給圧力	PT8N	CA	----		CIO2452	AI	CPU3:CIO:2452
166 N	窒素ガス供給温度	TE10N	CA	----		CIO2342	AI	CPU3:CIO:2342
167 N	窒素ガス供給流量(補正後)	FT9N	CA	----		CIO2453	AI	CPU3:DM:3110
168 R	X1R1 MV INPUT	X1R1MVAI	AI	CPU3:DM:3026				
169 R	X1R1 PV INPUT	X1R1PVAI	AI	CPU3:DM:3104				
170 R	X1R1 SV INPUT	X1R1SVAI	AI	CPU3:DM:3064				
171 R	X1R2 MV INPUT	X1R2MVAI	AI	CPU3:DM:3027				
172 R	X1R2 PV INPUT	X1R2PVAI	AI	CPU3:DM:3105				
173 R	X1R2 SV INPUT	X1R2SVAI	AI	CPU3:DM:3065				
174 R	X1R3 MV INPUT	X1R3MVAI	AI	CPU3:DM:3028				
175 R	X1R3 PV INPUT	X1R3PVAI	AI	CPU3:DM:3106				
176 R	X1R3 SV INPUT	X1R3SVAI	AI	CPU3:DM:3066				
177 R	X1R4 MV INPUT	X1R4MVAI	AI	CPU3:DM:3029				
178 R	X1R4 PV INPUT	X1R4PVAI	AI	CPU3:DM:3107				
179 R	X1R4 SV INPUT	X1R4SVAI	AI	CPU3:DM:3067				
180 R	X1R5 MV INPUT	X1R5MVAI	AI	CPU3:DM:3030				
181 R	X1R5 PV INPUT	X1R5PVAI	AI	CPU3:DM:3108				
182 R	X1R5 SV INPUT	X1R5SVAI	AI	CPU3:DM:3068				
183 R	水蒸気改質器Heガス温度(1)	TE1R	CA	----		CIO2132	AI	CPU3:CIO:2132
184 R	水蒸気改質器Heガス温度(2)	TE2R	CA	----		CIO2133	AI	CPU3:CIO:2133
185 R	水蒸気改質器Heガス温度(3)	TE3R	CA	----		CIO2134	AI	CPU3:CIO:2134
186 R	水蒸気改質器Heガス温度(4)	TE4R	CA	----		CIO2141	AI	CPU3:CIO:2141
187 R	水蒸気改質器Heガス温度(5)	TE5R	CA	----		CIO2142	AI	CPU3:CIO:2142
188 R	水蒸気改質器カト管外壁(1)	TE20R	CA	----		CIO2201	AI	CPU3:CIO:2201
189 R	水蒸気改質器カト管外壁(2)	TE21R	CA	----		CIO2202	AI	CPU3:CIO:2202
190 R	水蒸気改質器カト管外壁(3)	TE22R	CA	----		CIO2203	AI	CPU3:CIO:2203
191 R	水蒸気改質器カト管外壁(4)	TE23R	CA	----		CIO2204	AI	CPU3:CIO:2204
192 R	水蒸気改質器カト管外壁(5)	TE24R	CA	----		CIO2211	AI	CPU3:CIO:2211
193 R	水蒸気改質器ヒータース表面温度	DRAFT2531	CA	----		CIO2531	AI	CPU3:CIO:2531
194 R	水蒸気改質器ヒータ取付管外壁(1)	TE25R	CA	----		CIO2212	AI	CPU3:CIO:2212
195 R	水蒸気改質器ヒータ取付管外壁(2)	TE26R	CA	----		CIO2213	AI	CPU3:CIO:2213
196 R	水蒸気改質器ヒータ取付管外壁(3)	TE27R	CA	----		CIO2214	AI	CPU3:CIO:2214
197 R	水蒸気改質器ヒータ取付管外壁(4)	TE28R	CA	----		CIO2221	AI	CPU3:CIO:2221
198 R	水蒸気改質器ヒータ取付管外壁(5)	TE29R	CA	----		CIO2222	AI	CPU3:CIO:2222
199 R	水蒸気改質器プロセガス(1)	TE6R	CA	----		CIO2143	AI	CPU3:CIO:2143
200 R	水蒸気改質器プロセガス(2)	TE7R	CA	----		CIO2144	AI	CPU3:CIO:2144
201 R	水蒸気改質器プロセガス(3)	TE8R	CA	----		CIO2151	AI	CPU3:CIO:2151
202 R	水蒸気改質器プロセガス(4)	TE9R	CA	----		CIO2152	AI	CPU3:CIO:2152
203 R	水蒸気改質器プロセガス(5)	TE10R	CA	----		CIO2153	AI	CPU3:CIO:2153
204 R	水蒸気改質器管板(1)	TE30R	CA	----		CIO2223	AI	CPU3:CIO:2223
205 R	水蒸気改質器触媒管外壁(1)	TE15R	CA	----		CIO2164	AI	CPU3:CIO:2164
206 R	水蒸気改質器触媒管外壁(2)	TE16R	CA	----		CIO2171	AI	CPU3:CIO:2171
207 R	水蒸気改質器触媒管外壁(3)	TE17R	CA	----		CIO2172	AI	CPU3:CIO:2172
208 R	水蒸気改質器触媒管外壁(4)	TE18R	CA	----		CIO2173	AI	CPU3:CIO:2173
209 R	水蒸気改質器触媒管外壁(5)	TE19R	CA	----		CIO2174	AI	CPU3:CIO:2174
210 R	水蒸気改質器内管内プロセガス(1)	TE11R	CA	----		CIO2154	AI	CPU3:CIO:2154
211 R	水蒸気改質器内管内プロセガス(2)	TE12R	CA	----		CIO2161	AI	CPU3:CIO:2161
212 R	水蒸気改質器内管内プロセガス(3)	TE13R	CA	----		CIO2162	AI	CPU3:CIO:2162
213 R	水蒸気改質器内管内プロセガス(4)	TE14R	CA	----		CIO2163	AI	CPU3:CIO:2163
214 R	水蒸気改質器容器表面温度	TE32R	CA	----		CIO2331	AI	CPU3:CIO:2331
215 S	AV10S 蒸気過熱器入口蒸気遮断弁	CIO9_11	DI	CPU3:CIO:9:11				
216 S	AV15S 蒸気過熱器出口逆止弁ハイパス弁	CIO10_06	DI	CPU3:CIO:10:6				
217 S	AV18S 放熱器入口遮断弁(2)	CIO9_13	DI	CPU3:CIO:9:13				
218 S	AV19S 放熱器出口遮断弁	CIO10_00	DI	CPU3:CIO:10:0				
219 S	AV32S 蒸気発生器ドレン水遮断弁	CIO10_02	DI	CPU3:CIO:10:2				
220 S	AV80S 放熱器出口スチームトラップ入口遮断弁	CIO10_04	DI	CPU3:CIO:10:4				
221 S	AV8S 蒸気発生器入口蒸気給水遮断弁	CIO9_09	DI	CPU3:CIO:9:9				
222 S	CV14Sモード選択自動	CV14SMODAU	DI	CPU3:WR:356:7				

表 11.5(e) 計測点一覧 (5/8)

223	S	CV17S MV INPUT	CV17SMVAI	AI	GPU3:DM:3010			
224	S	CV20S MV INPUT	CV20SMVAI	AI	GPU3:DM:3014			
225	S	FIC22S MV INPUT	FIC22SMVAI	AI	GPU3:DM:3017			
226	S	FIC22S SV INPUT	FIC22SSVAI	AI	GPU3:DM:3043			
227	S	P22S 脱気装置入口ポンプ	CIO11_02	DI	GPU3:CIO:11:2			
228	S	P2S 水精製器入口ポンプ	CIO8_13	DI	GPU3:CIO:8:13			
229	S	P9S MV選択状態(1)	3W221_03	DI	GPU3:WR:221:3			
230	S	P9S MV選択状態(2)	3W221_04	DI	GPU3:WR:221:4			
231	S	P9S.MV選択状態(3)	3W221_05	DI	GPU3:WR:221:5			
232	S	P9S 供給ポンプインバータ	CIO5_00	DI	GPU3:CIO:5:0			
233	S	PIC12S MV INPUT	PIC12SMVAI	AI	GPU3:DM:3015			
234	S	PIC12S SV INPUT	PIC12SSVAI	AI	GPU3:DM:3041			
235	S	PIC16S MV INPUT	PIC16SMVAI	AI	GPU3:DM:3016			
236	S	PIC16S SV INPUT	PIC16SSVAI	AI	GPU3:DM:3042			
237	S	PIC16S1 MV INPUT	PIC16S1MVAI	AI	GPU3:DM:3018			
238	S	PIC16S1 SV INPUT	PIC16S1SVAI	AI	GPU3:DM:3044			
239	S	PIC16S2 MV INPUT	PIC16S2MVAI	AI	GPU3:DM:3019			
240	S	PIC16S2 SV INPUT	PIC16S2SVAI	AI	GPU3:DM:3045			
241	S	PIC16SX MV INPUT	PIC16SXMVAI	AI	GPU3:DM:3053			
242	S	PT54S-PT16S(演算値)	PI54S2AI	AI	GPU3:DM:3111			
243	S	TIC14S MV Limit INPUT	TIC14SMVLA I	AI	GPU3:DM:3055			
244	S	TIC14S1 MV INPUT	TIC14S1MVAI	AI	GPU3:DM:3013			
245	S	TIC14S1 SV INPUT	TIC14S1SVAI	AI	GPU3:DM:3060			
246	S	TIC14S2 MV INPUT	TIC14S2MVAI	AI	GPU3:DM:3014			
247	S	TIC14S2 SV INPUT	TIC14S2SVAI	AI	GPU3:DM:3061			
248	S	V23S 真空排気ポンプ	CIO9_06	DI	GPU3:CIO:9:6			
249	S	X15S MV INPUT	X15SMVAI	AI	GPU3:DM:3011			
250	S	給水タンク出口給水pH	AT9S	CA	----	CIO2461	AI	GPU3:CIO:2461
251	S	給水タンク水位	LT8S	CA	----	CIO2454	AI	GPU3:CIO:2454
252	S	給水パイプ冷却器出口給水温度	TE29S	CA	----	CIO2263	AI	GPU3:CIO:2263
253	S	原料ガス供給系入口蒸気温度	TE95S	CA	----	CIO2312	AI	GPU3:CIO:2312
254	S	蒸気過熱器出口蒸気圧力	PT24S	CA	----	CIO2473	AI	GPU3:CIO:2473
255	S	蒸気過熱器出口蒸気温度	TE23S	CA	----	CIO2244	AI	GPU3:CIO:2244
256	S	蒸気過熱器蒸気流量	FT22S	CA	----	CIO2472	AI	GPU3:DM:3049
257	S	蒸気発生器管板温度	TE90S	CA	----	CIO2311	AI	GPU3:CIO:2311
258	S	蒸気発生器水位	LT20S	CA	----	CIO2471	AI	GPU3:CIO:2471
259	S	蒸気発生器水位(圧力補正後)	LT20S C/P	AI	GPU3:DM:3109			
260	S	蒸気発生器水蒸気圧力	PT16S	CA	----	CIO2464	AI	GPU3:CIO:2464
261	S	蒸気発生器伝熱管温度(1)	TE81S1	CA	----	CIO2264	AI	GPU3:CIO:2264
262	S	蒸気発生器伝熱管温度(2)	TE81S2	CA	----	CIO2271	AI	GPU3:CIO:2271
263	S	蒸気発生器伝熱管温度(3)	TE81S3	CA	----	CIO2272	AI	GPU3:CIO:2272
264	S	蒸気発生器伝熱管温度(4)	TE81S4	CA	----	CIO2273	AI	GPU3:CIO:2273
265	S	蒸気発生器伝熱管温度(5)	TE81S5	CA	----	CIO2274	AI	GPU3:CIO:2274
266	S	蒸気発生器伝熱管温度(6)	TE81S6	CA	----	CIO2301	AI	GPU3:CIO:2301
267	S	蒸気発生器内液相温度(1)	TE18S1	CA	----	CIO2233	AI	GPU3:CIO:2233
268	S	蒸気発生器内液相温度(2)	TE18S2	CA	----	CIO2234	AI	GPU3:CIO:2234
269	S	蒸気発生器内液相温度(3)	TE18S3	CA	----	CIO2241	AI	GPU3:CIO:2241
270	S	蒸気発生器内液相温度(4)	TE18S4	CA	----	CIO2242	AI	GPU3:CIO:2242
271	S	蒸気発生器内気相温度	TE19S	CA	----	CIO2243	AI	GPU3:CIO:2243
272	S	蒸気発生器入口給水流量	FT15S	CA	----	CIO2463	AI	GPU3:DM:3048
273	S	水予熱器出口給水圧力	PT12S	CA	----	CIO2462	AI	GPU3:CIO:2462
274	S	水予熱器出口給水温度	TE14S	CA	----	CIO2232	AI	GPU3:CIO:2232
275	S	水予熱器入口給水温度	TE11S	CA	----	CIO2231	AI	GPU3:CIO:2231
276	S	放熱器ファン回転数	ST51S	CA	----	CIO2474	AI	GPU3:CIO:2474
277	S	放熱器出口凝縮水温度	TE26S	CA	----	CIO2252	AI	GPU3:CIO:2252
278	S	放熱器蒸気流量	FT80S	CA	----	CIO2502	AI	GPU3:DM:3051
279	S	放熱器伝熱管温度(1)	TE82S1	CA	----	CIO2302	AI	GPU3:CIO:2302
280	S	放熱器伝熱管温度(2)	TE82S2	CA	----	CIO2303	AI	GPU3:CIO:2303
281	S	放熱器伝熱管温度(3)	TE82S3	CA	----	CIO2304	AI	GPU3:CIO:2304
282	S	放熱器入口蒸気圧力	PT54S	CA	----	CIO2501	AI	GPU3:CIO:2501

表 11.5(f) 計測点一覧 (6/8)

283	S	放熱器入口蒸気温度	TE25S	CA	----		CIO2251	AI	CPU3:CIO:2251
284	S	放熱器放熱フィン周囲温度(出口)(1)	TE28S1	CA	----		CIO2254	AI	CPU3:CIO:2254
285	S	放熱器放熱フィン周囲温度(出口)(2)	TE28S2	CA	----		CIO2261	AI	CPU3:CIO:2261
286	S	放熱器放熱フィン周囲温度(出口)(3)	TE28S3	CA	----		CIO2262	AI	CPU3:CIO:2262
287	S	放熱器放熱フィン周囲温度(入口)(1)	TE27S1	CA	----		CIO2253	AI	CPU3:CIO:2253
288	S	流路状態自動切替	3W365_11	DI	CPU3:WR:365:11				
289	U	B3U 圧縮機	CIO13_07	DI	CPU3:CIO:13:7				
290	U	He回収モード操作SW内ライン点灯用	HEK_LINE	DI	CPU2:WR:356:9				
291	U	He充填モード操作SW内ライン点灯用	HEJ_LINE	DI	CPU2:WR:356:8				
292	U	PIC12U MV INPUT	PC12UMVAI	AI	CPU2:DM:3023				
293	U	PIC12U SV INPUT	PIC12UMVAI	AI	CPU2:DM:3021				
294	U	PIC12U SV INPUT	PIC12USVAI	AI	CPU2:DM:3047				
295	U	PIC21U MV INPUT	PIC21UMVAI	AI	CPU3:DM:3024				
296	U	PIC21U SV INPUT	PIC21USVAI	AI	CPU3:DM:3050				
297	U	PIC51U SV INPUT	PIC51USVAI	AI	CPU3:DM:3051				
298	U	V7U 真空ポンプ	CIO11_03	DI	CPU3:CIO:11:3				
299	U	ヘリウムガス供給流量(補正後)	FT52U	CA	----		CIO2514	AI	CPU3:DM:3103
300	U	レーザータンクヘリウムガス温度	TE13U	CA	----		2CIO2232	AI	CPU2:CIO:2232
301	U	レーザータンク圧力	PT12U	CA	----		2CIO2402	AI	CPU2:CIO:2402
302	U	レーザータンク真空度	PT61U	CA	----		2CIO2404	AI	CPU2:DM:3041
303	U	圧縮機タケフィルタ差圧	DT23U	CA	----		CIO2503	AI	CPU3:CIO:2503
304	U	圧縮機自動運転	3W365_13	DI	CPU3:WR:365:13				
305	U	圧縮機手動運転	3W365_12	DI	CPU3:WR:365:12				
306	U	圧縮機出口ヘリウムガス圧力	PT24U	CA	----		CIO2504	AI	CPU3:CIO:2504
307	U	圧縮機出口ヘリウムガス温度	TE25U	CA	----		CIO2314	AI	CPU3:CIO:2314
308	U	圧縮機入口ヘリウムガス圧力	PT21U	CA	----		CIO2524	AI	CPU3:CIO:2524
309	U	圧縮機入口ヘリウムガス温度	TE22U	CA	----		CIO2313	AI	CPU3:CIO:2313
310	U	回収ヘリウムガス圧力	PT1U	CA	----		2CIO2401	AI	CPU2:CIO:2401
311	U	供給ヘリウムガス圧力	PT51U	CA	----		CIO2513	AI	CPU3:CIO:2513
312	U	供給ヘリウムガス温度	TE53U	CA	----		CIO2321	AI	CPU3:CIO:2321
313	U	高圧ヘリウムガスカソード圧力	PT41U	CA	----		CIO2512	AI	CPU3:CIO:2512
314	U	低圧ヘリウムガスカソード圧力	PT31U	CA	----		CIO2511	AI	CPU3:CIO:2511
315	U	流路状態(1)	3W366_05	DI	CPU3:WR:366:5				
316	U	流路状態(2)	3W366_06	DI	CPU3:WR:366:6				
317	U	流路状態(3)	3W366_07	DI	CPU3:WR:366:7				
318	U	冷却器出口ヘリウムガス温度	TE6U	CA	----		2CIO2231	AI	CPU2:CIO:2231
319	U	冷却器入口ヘリウムガス温度	TE5U	CA	----		2CIO2224	AI	CPU2:CIO:2224
320	W	P2W1 冷却水ポンプA	CIO13_09	DI	CPU3:CIO:13:9				
321	W	P2W2 冷却水ポンプB	CIO13_12	DI	CPU3:CIO:13:12				
322	W	冷却水ポンプ出口圧力	PT5W	CA	----		CIO2521	AI	CPU3:CIO:2521
323	精製系	FIC5502 MV INPUT	FIC5502MVAI	AI	CPU2:DM:3303				
324	精製系	FIC5502 SV INPUT	FIC5502SVAI	AI	CPU2:DM:3319				
325	精製系	FIC5503 MV INPUT	FIC5503MVAI	AI	CPU2:DM:3304				
326	精製系	FIC5503 SV INPUT	FIC5503SVAI	AI	CPU2:DM:3320				
327	精製系	LIC20S1 MV INPUT	LIC20S1MVAI	AI	CPU3:DM:3010				
328	精製系	LIC20S1 SV INPUT	LIC20S1SVAI	AI	CPU3:DM:3038				
329	精製系	LIC20S2 MV INPUT	LIC20S2MVAI	AI	CPU3:DM:3011				
330	精製系	LIC20S2 SV INPUT	LIC20S2SVAI	AI	CPU3:DM:3039				
331	精製系	LIC20S3 MV INPUT	LIC20S3MVAI	AI	CPU3:DM:3012				
332	精製系	LIC20S3 SV INPUT	LIC20S3SVAI	AI	CPU3:DM:3040				
333	精製系	LIC5501 MV INPUT	LIC5501MVAI	AI	CPU2:DM:3301				
334	精製系	LIC5501 SV INPUT	LIC5501SVAI	AI	CPU2:DM:3317				
335	精製系	LIC5502 MV INPUT	LIC5502MVAI	AI	CPU2:DM:3302				
336	精製系	LIC5502 SV INPUT	LIC5502SVAI	AI	CPU2:DM:3318				
337	精製系	No.1再生ガス加熱器H552ヒータ温度	T5522	CA	----		2CIO2174	AI	CPU2:CIO:2174
338	精製系	No.1再生ガス加熱器出口温度	T5519	CA	----		2CIO2171	AI	CPU2:CIO:2171
339	精製系	No.1再生用真空ポンプ入口真空度	P5512	CA	----		2CIO2333	AI	CPU2:DM:3044
340	精製系	No.2再生ガス加熱器H553ヒータ温度	T5523	CA	----		2CIO2201	AI	CPU2:CIO:2201
341	精製系	No.2再生ガス加熱器出口温度	T5516	CA	----		2CIO2164	AI	CPU2:CIO:2164
342	精製系	No.2再生用真空ポンプ入口真空度	P5513	CA	----		2CIO2334	AI	CPU2:DM:3045

表 11.5(g) 計測点一覧 (7/8)

343	精製系	PIC5501 MV INPUT	PIC5501MVAI	AI	CPU2:DM:3300			
344	精製系	PIC5501 PV INPUT	PIC5501PVAI	AI	CPU2:DM:3332			
345	精製系	PIC5501 SV INPUT	PIC5501SVAI	AI	CPU2:DM:3316			
346	精製系	PIC5516 MV INPUT	PIC5516MVAI	AI	CPU2:DM:3312			
347	精製系	PIC5516 SV INPUT	PIC5516SVAI	AI	CPU2:DM:3328			
348	精製系	PIC5517 MV INPUT	PIC5517MVAI	AI	CPU2:DM:3313			
349	精製系	PIC5517 SV INPUT	PIC5517SVAI	AI	CPU2:DM:3329			
350	精製系	PIC5519 SV INPUT	TIC5519SVAI	AI	CPU2:DM:3330			
351	精製系	TIC5503 MV INPUT	TIC5503MVAI	AI	CPU2:DM:3305			
352	精製系	TIC5503 SV INPUT	TIC5503SVAI	AI	CPU2:DM:3321			
353	精製系	TIC5504 MV INPUT	TIC5504MVAI	AI	CPU2:DM:3306			
354	精製系	TIC5504 SV INPUT	TIC5504SVAI	AI	CPU2:DM:3322			
355	精製系	TIC5505 MV INPUT	TIC5505MVAI	AI	CPU2:DM:3307			
356	精製系	TIC5505 SV INPUT	TIC5505SVAI	AI	CPU2:DM:3323			
357	精製系	TIC5511 MV INPUT	TIC5511MVAI	AI	CPU2:DM:3308			
358	精製系	TIC5511 SV INPUT	TIC5511SVAI	AI	CPU2:DM:3324			
359	精製系	TIC5512 MV INPUT	TIC5512MVAI	AI	CPU2:DM:3309			
360	精製系	TIC5512 SV INPUT	TIC5512SVAI	AI	CPU2:DM:3325			
361	精製系	TIC5516 MV INPUT	TIC5516MVAI	AI	CPU2:DM:3315			
362	精製系	TIC5516 SV INPUT	TIC5516SVAI	AI	CPU2:DM:3331			
363	精製系	TIC5517 MV INPUT	TIC5517MVAI	AI	CPU2:DM:3310			
364	精製系	TIC5517 SV INPUT	TIC5517SVAI	AI	CPU2:DM:3326			
365	精製系	TIC5518 MV INPUT	TIC5518MVAI	AI	CPU2:DM:3311			
366	精製系	TIC5518 SV INPUT	TIC5518SVAI	AI	CPU2:DM:3327			
367	精製系	TIC5519 MV INPUT	TIC5519MVAI	AI	CPU2:DM:3314			
368	精製系	ガス循環機差圧	DP5503	CA	----	2CIO2343	AI	CPU2:CIO:2343
369	精製系	ガス循環機出口He圧力	PT5515	CA	----	2CIO2361	AI	CPU2:CIO:2361
370	精製系	ガス循環機出口He温度	T5508	CA	----	2CIO2144	AI	CPU2:CIO:2144
371	精製系	ガス循環機入口He圧力	PT5514	CA	----	2CIO2354	AI	CPU2:CIO:2354
372	精製系	コールドチャコルベット(1)He温度	T5517	CA	----	2CIO2241	AI	CPU2:CIO:2241
373	精製系	コールドチャコルベット(1)液面LN2	LT5501	CA	----	2CIO2373	AI	CPU2:CIO:2373
374	精製系	コールドチャコルベット(1)吸着塔壁温度	T5528	CA	----	2CIO2212	AI	CPU2:CIO:2212
375	精製系	コールドチャコルベット(1)差圧	DP5506	CA	----	2CIO2352	AI	CPU2:CIO:2352
376	精製系	コールドチャコルベット(2)He温度	T5518	CA	----	2CIO2242	AI	CPU2:CIO:2242
377	精製系	コールドチャコルベット(2)液面LN2	LT5502	CA	----	2CIO2374	AI	CPU2:CIO:2374
378	精製系	コールドチャコルベット(2)吸着塔壁温度	T5529	CA	----	2CIO2213	AI	CPU2:CIO:2213
379	精製系	コールドチャコルベット(2)差圧	DP5507	CA	----	2CIO2353	AI	CPU2:CIO:2353
380	精製系	チャコルベット(1)N2圧力	PT5516	CA	----	2CIO2362	AI	CPU2:CIO:2362
381	精製系	チャコルベット(2)N2圧力	PT5517	CA	----	2CIO2363	AI	CPU2:CIO:2363
382	精製系	ヘリウムガス加熱器出口He温度	T5503	CA	----	2CIO2133	AI	CPU2:CIO:2133
383	精製系	ヘリウム加熱器H551ヒータ温度	T5521	CA	----	2CIO2173	AI	CPU2:CIO:2173
384	精製系	モレキュラシーブベット(1)差圧	DP5504	CA	----	2CIO2344	AI	CPU2:CIO:2344
385	精製系	モレキュラシーブベット(2)差圧	DP5505	CA	----	2CIO2351	AI	CPU2:CIO:2351
386	精製系	モレキュラシーブベット(1)中央部温度	T5511	CA	----	2CIO2153	AI	CPU2:CIO:2153
387	精製系	モレキュラシーブベット(1)入口He温度	T5532	CA	----	2CIO2222	AI	CPU2:CIO:2222
388	精製系	モレキュラシーブベット(1)本体温度	T5526	CA	----	2CIO2204	AI	CPU2:CIO:2204
389	精製系	モレキュラシーブベット(2)中央部温度	T5512	CA	----	2CIO2154	AI	CPU2:CIO:2154
390	精製系	モレキュラシーブベット(2)入口He温度	T5533	CA	----	2CIO2223	AI	CPU2:CIO:2223
391	精製系	モレキュラシーブベット(2)本体温度	T5527	CA	----	2CIO2211	AI	CPU2:CIO:2211
392	精製系	モレキュラシーブベット入口He温度	T5510	CA	----	2CIO2152	AI	CPU2:CIO:2152
393	精製系	モレキュラシーブ冷却器出口He温度	T5509	CA	----	2CIO2151	AI	CPU2:CIO:2151
394	精製系	ラインヒータ再生ガス温度	T5520	CA	----	2CIO2172	AI	CPU2:CIO:2172
395	精製系	高温熱交換器出口He温度	T5502	CA	----	2CIO2132	AI	CPU2:CIO:2132
396	精製系	高温熱交換器出口精製He温度	T5515	CA	----	2CIO2163	AI	CPU2:CIO:2163
397	精製系	高温熱交換器入口He温度	T5501	CA	----	2CIO2131	AI	CPU2:CIO:2131
398	精製系	高温熱交換器入口精製He温度	T5514	CA	----	2CIO2162	AI	CPU2:CIO:2162
399	精製系	再生ガスN2流量	FT5502	CA	----	2CIO2371	AI	CPU2:CIO:2371
400	精製系	再生ガス空気流量	FT5503	CA	----	2CIO2372	AI	CPU2:CIO:2372
401	精製系	酸化銅ベット(1)出口He温度	T5530	CA	----	2CIO2214	AI	CPU2:CIO:2214

表 11.5(h) 計測点一覧 (8/8)

402	精製系	酸化銅ベット(1)中央部温度	T5504	CA	----	2CIO2134	AI	CPU2:CIO:2134
403	精製系	酸化銅ベット(1)本体温度	T5524	CA	----	2CIO2202	AI	CPU2:CIO:2202
404	精製系	酸化銅ベット(2)出口He温度	T5531	CA	----	2CIO2221	AI	CPU2:CIO:2221
405	精製系	酸化銅ベット(2)中央部温度	T5505	CA	----	2CIO2141	AI	CPU2:CIO:2141
406	精製系	酸化銅ベット(2)本体温度	T5525	CA	----	2CIO2203	AI	CPU2:CIO:2203
407	精製系	酸化銅ベット(A)差圧	DP5501	CA	----	2CIO2341	AI	CPU2:CIO:2341
408	精製系	酸化銅ベット(B)差圧	DP5502	CA	----	2CIO2342	AI	CPU2:CIO:2342
409	精製系	精製ガス流量	FT5501	CA	----	2CIO2364	AI	CPU2:CIO:2364
410	精製系	中温熱交換器出口He温度	T5507	CA	----	2CIO2143	AI	CPU2:CIO:2143
411	精製系	中温熱交換器入口He温度	T5506	CA	----	2CIO2142	AI	CPU2:CIO:2142
412	精製系	中温熱交換器入口精製He温度	T5513	CA	----	2CIO2161	AI	CPU2:CIO:2161

表 11.6(a) 警報と緊急停止項目 (1/3)

検出器No.	信号名称(略称)	用途	条件	低		高		備考
				停止	警報	警報	停止	
PT2H	Heガス循環機出口圧力	B1H停止	B1H 起動	0.01	0.05	4.07		FS 0~5MPa
FT3H	Heガス循環機出口流量	警報				450		0~500g/s
TE4H	Heガス循環機出口温度	警報				390		
FT8H	Heガス加熱器入口流量	H2H停止		66	75	110		0~120g/s
MT**H	水分濃度	警報				10,15,20		0~100ppm
TE13H	Heガス加熱器ヒータエレメント表面温度	警報				1300		0~1500°C
TE14H	Heガス加熱器上部He温度	H2H停止				940	960	
PT17H	水蒸気改質器入口圧力	H2H停止				4.07	4.22	0~5MPa 2重化
TE18H	水蒸気改質器入口温度	H2H停止				895	910	
TE21H	水蒸気改質器出口温度	H2H停止				875	885	
TE47H	Heガス冷却器出口合流温度	警報				200		
TE53H	Heガス循環機入口温度	B1H停止				380	390	
PT54H	Heガス循環機入口圧力	B1H停止				4	4.2	FS 0~5MPa
DT55H	Heガス循環機入口フィルタ差圧	警報				8		0~100kPa
DT56H	Heガス循環機差圧	B1H停止				250	260	0~300kPa
TE61H	Heガス循環機モータ巻線温度(1)	B1H停止				130	150	
TE62H	Heガス循環機モータ巻線温度(2)	B1H停止				130	150	
TE63H	Heガス循環機モータ巻線温度(3)	B1H停止				130	150	
TE64H	Heガス循環機ラスト軸受温度	B1H停止				120	135	
TE65H	Heガス循環機下部シャフト軸受温度	B1H停止				120	135	
TE66H	Heガス循環機上部シャフト軸受温度	B1H停止				120	135	
ST71H	Heガス循環機回転数	B1H停止	B1H 起動	2700	2800	12500	13000	0~14000rpm
IT73H	Heガス循環機モータ電流	警報				300		0~600A

表 11.6(b) 警報と緊急停止項目 (2/3)

検出器No.	信号名称(略称)	用途	条件	低		高		備考
				停止	警報	警報	停止	
PT1U	回収ヘリウムガス圧力	警報				4.1		-0.1~5MPa
TE6U	冷却器出口ヘリウムガス温度	警報				45		
PT12U	レシーバタンク圧力	警報				4		-0.1~5MPa
PT21U	圧縮機Heガス圧力	警報			0.01	0.63		0~5MPa
TE22U	圧縮機入口Heガス温度	警報				45		
DT23U	圧縮機ダストフィルタ差圧	警報				200		0~500kPa
PT24U	圧縮機出口Heガス圧力	警報				14.9		0~20MPa
TE25U	圧縮機出口Heガス温度	警報				45		
PT31U	低圧Heガスカートル圧力	警報				15.2		0~20MPa
PT41U	高圧Heガスカートル圧力	警報				15.2		0~20MPa
PT51U	供給Heガス圧力	警報				4.3		0~5MPa
LT2N	LN2タンク液位	差圧維持停止		10	20	91		
PT1N	LN2タンク圧力	警報			0.39	0.74		0~2MPa
PT6N	窒素ガスサージタンク圧力	差圧維持停止		14.2	14.7	20.1	21.1	0~25MPa
FT9N	窒素ガス流量	警報				8		0~34.7g/s
LT8S	給水タンク水位	P9S停止	水蒸気系自動	0.5	0.75	1.3		0.4~1.85m
AT9S	給水タンク出口給水ph	警報			7.5	9.3		0~14pH
TE14S	水予熱器出口給水温度	P9S停止	SG圧力 \geq 4.4	180	190	250		
PT16S	蒸気発生器水蒸気圧力	警報				4.7		0~5MPa
LT20S	蒸気発生器水位	差圧維持停止	H2H 起動	0.54	0.62	0.77		0.182~0.9m
FT22S	蒸気過熱器蒸気流量	差圧維持停止			90%	60	70	
TE23S	蒸気過熱器出口蒸気温度	差圧維持停止				490	500	
PT24S	蒸気過熱器出口蒸気圧力高	差圧維持停止	冷却特性試験			4.5	4.73	0~5MPa
PT24S	蒸気過熱器出口蒸気圧力低	大気開放停止	冷却特性試験	3.5	3.8			0~5MPa
TE29S	給水バイパス冷却器出口給水温度	P9S停止				70	75	
TE95S	蒸気過熱器出口蒸気温度	差圧維持停止				430	440	

表 11.6(c) 警報と緊急停止項目 (3/3)

検出器No.	信号名称(略称)	用途	条件	低		高		備考	
				停止	警報	警報	停止		
LT4G	LNGタンク液位	差圧維持停止		1.3	1.5			0~7.6m	
PT10G	原料ガスサージタンク圧力	差圧維持停止		5.7	6.5	21		0~25MPa	
PT16G	原料ガス加熱器入口原料ガス圧力	差圧維持停止	S/C制御中	3.4	3.5			0~5MPa	
PT21G	LNGタンクエリア原料ガス出口圧力	差圧維持停止				5.45	5.55	0~6MPa	
FT13G	原料ガス供給流量	警報	L:S/C制御中		5	15.4		0~16g/s	
TE17G	原料ガス加熱器出口原料ガス温度	差圧維持停止				441	447		
TE18G	水蒸気改質器入口原料ガス+水蒸気温度	差圧維持停止	L:S/C制御中		0	465	475		
DT20G	水蒸気改質器原料ガス/生成ガス差圧	警報				0.37		0~0.5MPa	
XS37G	S/C	差圧維持停止	S/C制御中	2.3	2.4	4.5			
FT31G	LNGタンクエリア原料ガス放出流量	警報				17.2		0~20g/s	
DT3C	水蒸気改質器Heガス/生成ガス差圧	大気開放停止		-0.44	-0.32	0.4	0.52	-0.45~0.55MPa 2重化	
TE1C	水蒸気改質器出口生成ガス温度	差圧維持停止				728	736		
TE21C	原料ガス過熱器入口生成ガス温度	差圧維持停止				728	736		
TE4C	原料ガス過熱器出口生成ガス温度	差圧維持停止				551	557		
TE5C	原料ガス加熱器出口生成ガス温度	差圧維持停止				501	507		
DT19C	触媒粉塵用フィルタ出入口差圧	大気開放停止				45	47	0~80kPa	
LT17C	セパレータ液位	大気開放停止				400	900	1070	0~1200mm
LT11C	水封ドラム液位	大気開放停止				100	250	300	0~500mm
TE6C	水封ドラム入口生成ガス温度	大気開放停止				50	55		
PT7C	水封ドラム入口生成ガス圧力	警報				0.011	0.15		0~1MPa
PT1A	空気槽圧力	警報		0.53	0.58			FS 0~1.5MPa	
PT5W	冷却水ポンプ出口圧力低	差圧維持停止		0.35	0.40			0~1MPa	

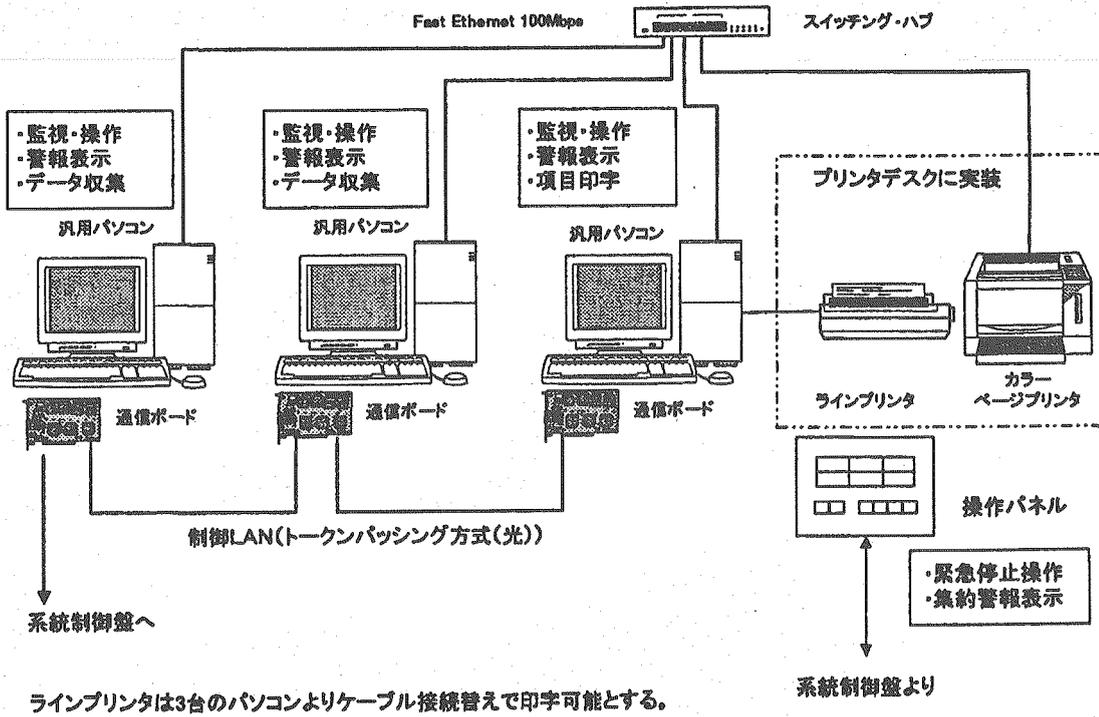


図 11.1 機器運転操作盤の構成

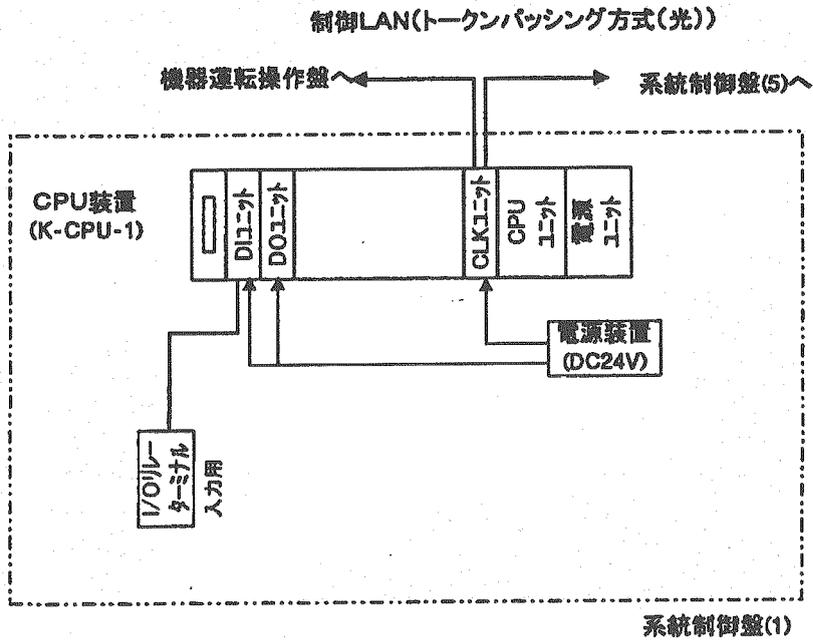


図 11.2(a) 系統制御盤 1 の構成

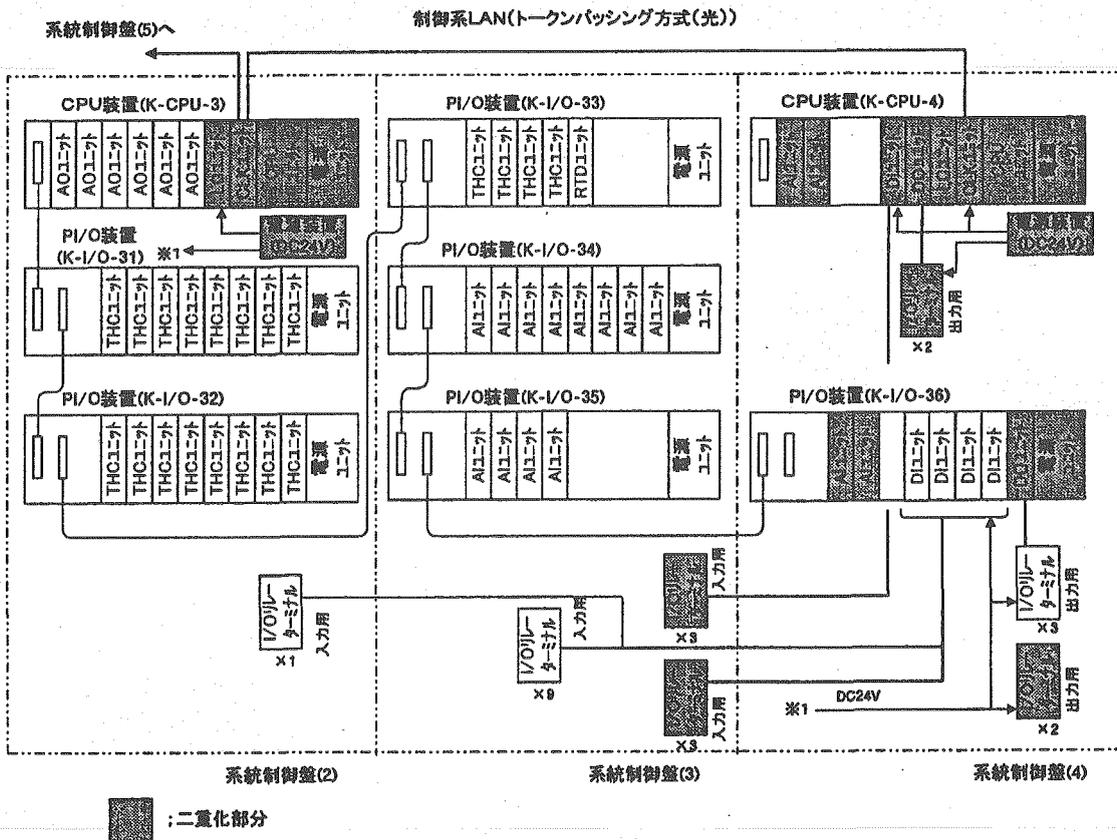


図 11.2 (b) 系統制御盤 2、3、4 の構成

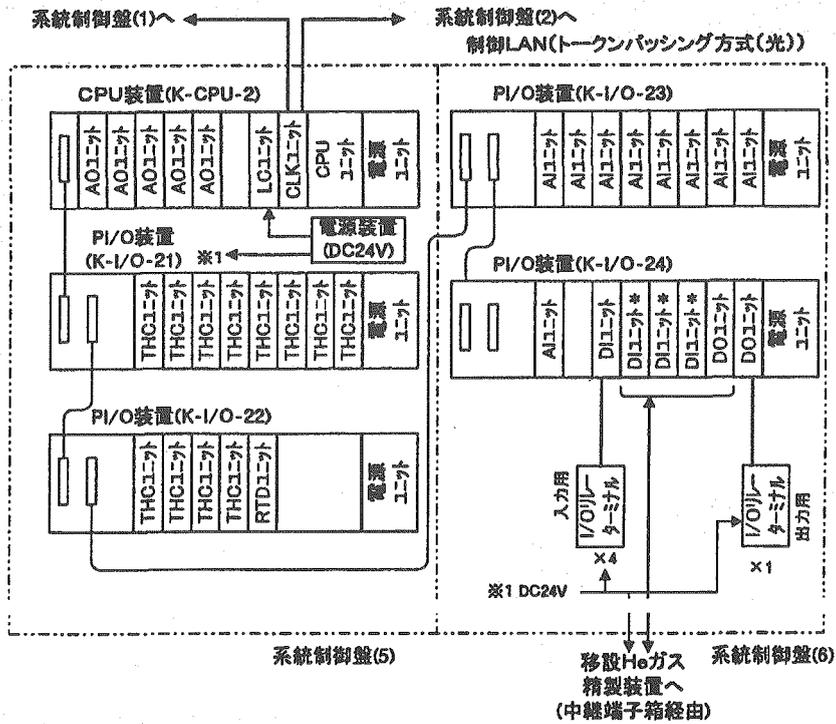


図 11.2 (c) 系統制御盤 5、6 の構成

S01.00DF		操作端一覧 1 / 4		計装空気		緊急停止	
04/12/09 14:32:56		He供給 He圧調		電気設備 冷却水		プラント試験	
<p>ヘリウムガス供給系 操作端No. SW ポジション / 弁状態</p>							
AV1H	ヘリウムガス加熱器入口止め弁	全閉	全開	全閉	全開	全閉	全開
AV2H	水予熱器出口止め弁	全閉	全開	全閉	全開	全閉	全開
AV21H	水予熱器出口大気放出弁1	全閉	全開	全閉	全開	全閉	全開
AV21H2	水予熱器出口大気放出弁2	全閉	全開	C	A	M	M
E1H	ヘリウムガス循環機	停止	運転	C	A	M	M
E1H	B1H回転数設定値	C	A	C	A	M	M
H2H	ヘリウムガス加熱器	切	入	A	M	M	M
H2H	ヘリウムガス加熱器	C	A	A	M	M	M
H2H	ヘリウムガス加熱器	C	A	A	M	M	M
CV2H	ヘリウムガス冷却器入口流量調節弁	C	A	A	M	M	M
CV5H	ヘリウムガス冷却器入口流量調節弁	C	A	A	M	M	M
SV608H	分析計入口弁(1)	全閉	全開	全閉	全開	全閉	全開
SV608H	分析計入口弁(2)	全閉	全開	全閉	全開	全閉	全開
V6H	真空ポンプ	停止	起動	停止	起動	停止	起動
<p>ヘリウムガス貯蔵・供給・圧力調整設備 操作端No. SW ポジション / 弁状態</p>							
AV32U	レバーバック戻り弁	全閉	全開	全閉	全開	全閉	全開
AV40U	圧縮機出口分岐弁(2)	全閉	全開	全閉	全開	全閉	全開
AV44U	高圧ヘリウムガスバルブ仕切弁	全閉	全開	全閉	全開	全閉	全開
CV23U	ヘリウムガス供給・回収流量制御	C	A	M	M	M	M
CV2U	レバーバック圧力制御	C	A	M	M	M	M
CV24U	ヘリウムガス供給流量調節弁	A	M	M	M	M	M
CV2U	ヘリウムガス回収流量調節弁	A	M	M	M	M	M
CV11U	圧縮機入口圧力調節弁	A	M	M	M	M	M
CV23U	ヘリウムガス供給圧力調節弁	A	M	M	M	M	M
<p>ヘリウムガス精製設備 操作端No. SW ポジション / 弁状態</p>							
SA5531	ヘリウムガス入口空気操作弁	全閉	全開	全閉	全開	全閉	全開
SA5532	ヘリウムガス出口空気操作弁	全閉	全開	全閉	全開	全閉	全開
SA5533	ヘリウムガスバイパス空気操作弁	全閉	全開	全閉	全開	全閉	全開
H551	ヒータ H551	切	自動	切	自動	切	自動
SA5534	酸化銅ハットA入口空気操作弁	全閉	全開	全閉	全開	全閉	全開
SA5535	酸化銅ハットB入口空気操作弁	全閉	全開	全閉	全開	全閉	全開
SA5536	酸化銅ハットA出口空気操作弁	全閉	全開	全閉	全開	全閉	全開
SA5537	酸化銅ハットB出口空気操作弁	全閉	全開	全閉	全開	全閉	全開
SA5538	酸化銅ハットA再生ガス入口空気操作弁	全閉	全開	全閉	全開	全閉	全開
SA5539	酸化銅ハットB再生ガス入口空気操作弁	全閉	全開	全閉	全開	全閉	全開
SA5540	酸化銅ハットA再生ガス出口空気操作弁	全閉	全開	全閉	全開	全閉	全開
SA5541	酸化銅ハットB再生ガス出口空気操作弁	全閉	全開	全閉	全開	全閉	全開
SA5542	酸化銅ハットAハイス空気操作弁	全閉	全開	全閉	全開	全閉	全開
SA5543	酸化銅ハットBハイス空気操作弁	全閉	全開	全閉	全開	全閉	全開
SA5544	酸化銅ハットAヘリウムガス出口空気操作弁	全閉	全開	全閉	全開	全閉	全開
H554	ヒータ H554	切	自動	切	自動	切	自動
<p>ヘリウムガス貯蔵・供給・圧力調整設備 操作端No. SW ポジション / 弁状態</p>							
ESU	圧縮機	停止	自動	停止	自動	停止	自動
VTU	真空ポンプ	停止	起動	停止	起動	停止	起動
AV1U	ヘリウムガス回収弁	全閉	全開	全閉	全開	全閉	全開
AV12U	圧縮機入口弁	全閉	全開	全閉	全開	全閉	全開
AV13U	圧縮機出口弁	全閉	全開	全閉	全開	全閉	全開
AV21U	圧縮機出口分岐弁(1)	全閉	全開	全閉	全開	全閉	全開
AV26U	ヘリウムガス供給弁	全閉	全開	全閉	全開	全閉	全開

図 11.3(a) プラント試験計測計装設備機器運転操作盤 操作端一覧の画面 (1/4)

S08.0DF		操作端一覧 3/4		He供給		He槽製		改質器		電気設備		計装空気		バックアップ	
04/12/09		1434.12		He圧調		原料ガス		水蒸気		冷却水		プラント試験		緊急停止	
原料ガス供給系		操作端名称		SWポジション/弁状態		原料ガス供給系		操作端名称		SWポジション/弁状態		原料ガス供給系		操作端名称	
操作端No.		操作端名称		SWポジション/弁状態		操作端No.		操作端名称		SWポジション/弁状態		操作端No.		操作端名称	
P2G	LNGボンプ	停止	自動	起動		P2N	LNGボンプ	停止	自動	起動					
A143	LNGタンク出口遮断弁	全開	全開	全開		AV51N	LNGタンク出口遮断弁	全開	全開	全開					
AV145	原料ガス供給遮断弁	全開	全開	全開		AV56N	原料ガス供給系塞栓ガス遮断弁	全開	全開	全開					
AV146	LNGタンク付圧蒸発器入口遮断弁	全開	全開	全開		AV58N	給水タンク供給遮断弁	全開	全開	全開					
CV150	原料ガス供給流量調節弁	C	A	M		CV54N	塞栓ガス供給流調節弁	C	A	M					
CV155	原料ガス過熱器入口流量調節弁	C	A	M											
CV156	原料ガス供給圧力調節弁	A	A	M											
	原料ガス系警報遮断	切	入												
水蒸気供給系		操作端名称		SWポジション/弁状態		後処理系		操作端名称		SWポジション/弁状態		水蒸気改質器		操作端名称	
操作端No.		操作端名称		SWポジション/弁状態		操作端No.		操作端名称		SWポジション/弁状態		操作端No.		操作端名称	
P68	供給ボンプインバータ	停止	自動	起動		P50	凝縮水ボンプ	停止	自動	起動					
P69	供給ボンプP68	A	M			AV210	生成ガス放出弁-A	全開	全開	全開					
P69	供給ボンプP68	A	M			AV230	水封ドラム給水入口弁	全開	自動	全開					
X1R	放熱器7A1	停止	起動			AV550	LPGタンク遮断弁	全開	全開	全開					
X1S	放熱器7A2	A	M			AV560	生成ガス放出弁-B	全開	全開	全開					
AV105	蒸気発生器入口給水遮断弁	全開	全開	全開		CV50	Heガス/生成ガス差圧調節弁	A	切	入					
AV106	蒸気発生器入口蒸気遮断弁	全開	全開	全開											
AV107	放熱器入口遮断弁(2)	全開	全開	全開											
AV108	放熱器出口遮断弁	全開	全開	全開											
AV205	蒸気発生器ドラム水遮断弁	全開	全開	全開											
AV206	蒸気発生器ドラム水自動切替	手動	自動												
AV207	放熱器出口スチームトラップ入口遮断弁	全開	全開	全開											
AV107S	蒸気過熱器出口逆止弁/Heガス弁	全開	全開	全開											
	水蒸気供給系手動/自動運転切替	手動	自動												
CV145	水予熱器出口給水温度調節弁	A	M												
CV17/205	放熱器蒸気発生器/蒸気発生器圧力調節弁	C	A	M											
CV115	蒸気過熱器入口蒸気流量調節弁	C	A	M											
CV2015	原料ガス供給系入口切換弁	A	M												
CV2520	蒸気過熱器出口ロー切換弁	A	M												

図 11.3(c) プラント試験計装設備機器運転操作盤 操作端一覧の画面 (3/4)

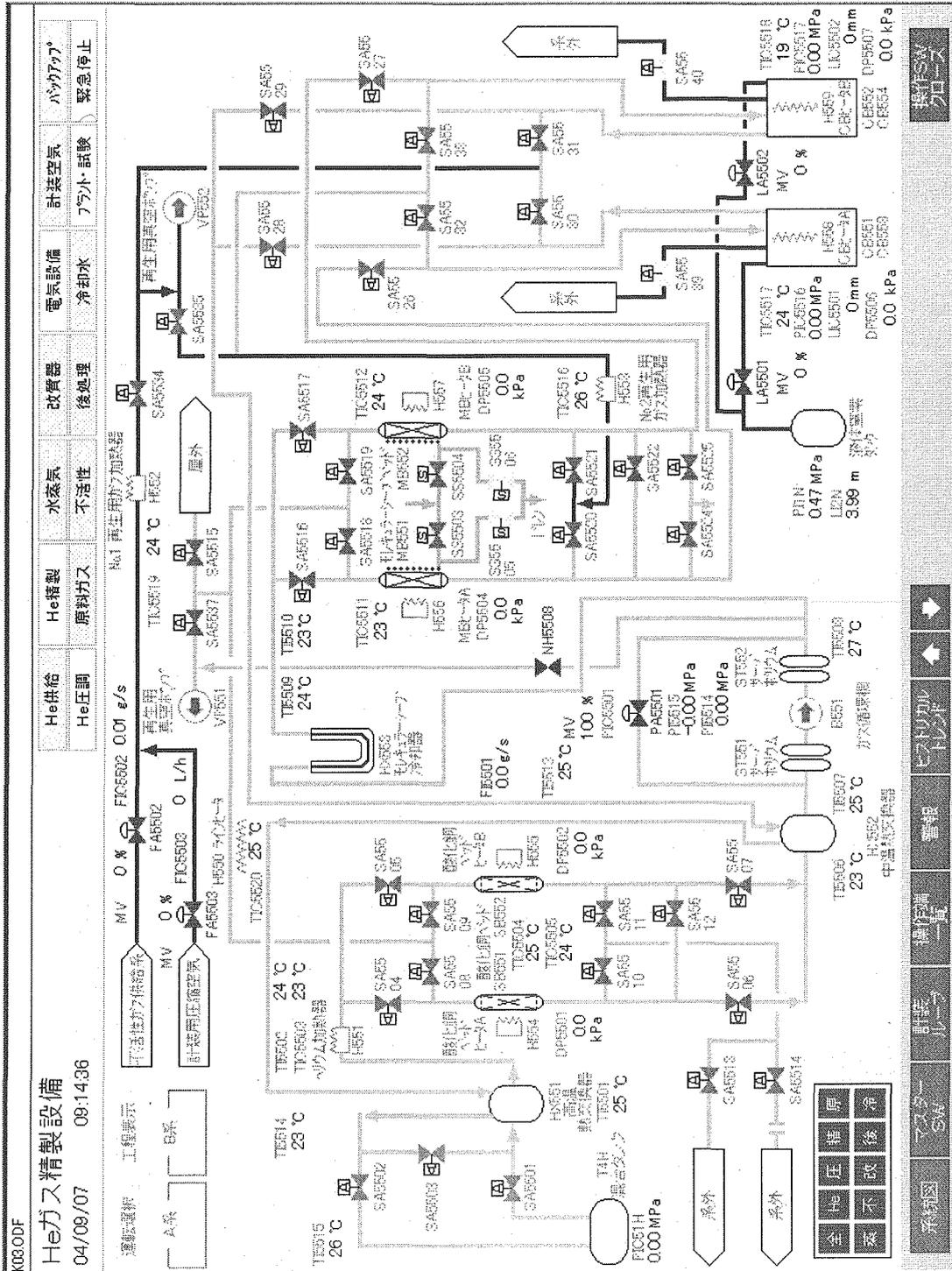


図 11.4(c) ヘリウムガス精製設備の系統図画面

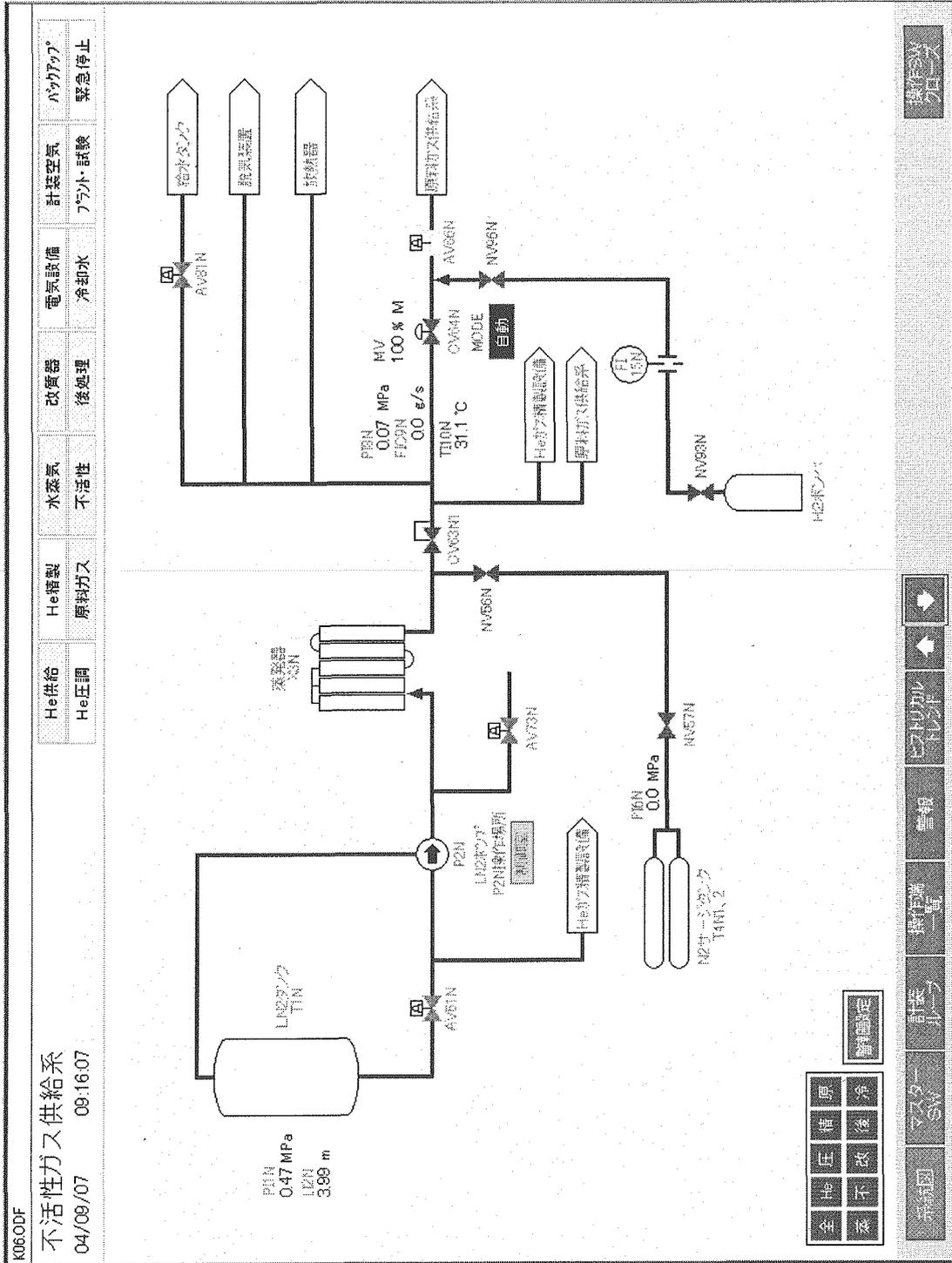


図 11.4(d) 不活性ガス供給系の系統図画面

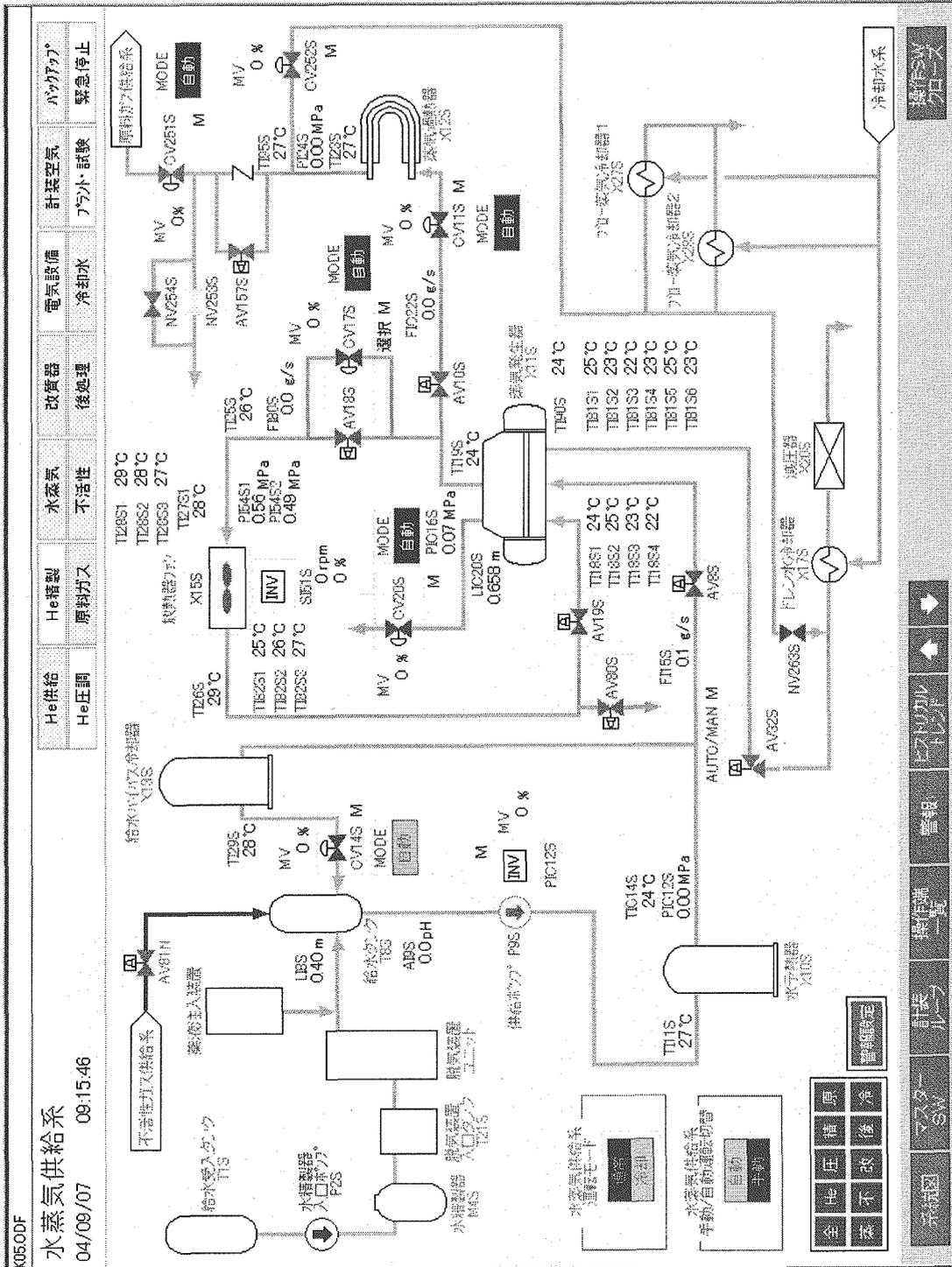


図 11.4(e) 水蒸気供給設備の系統図画面

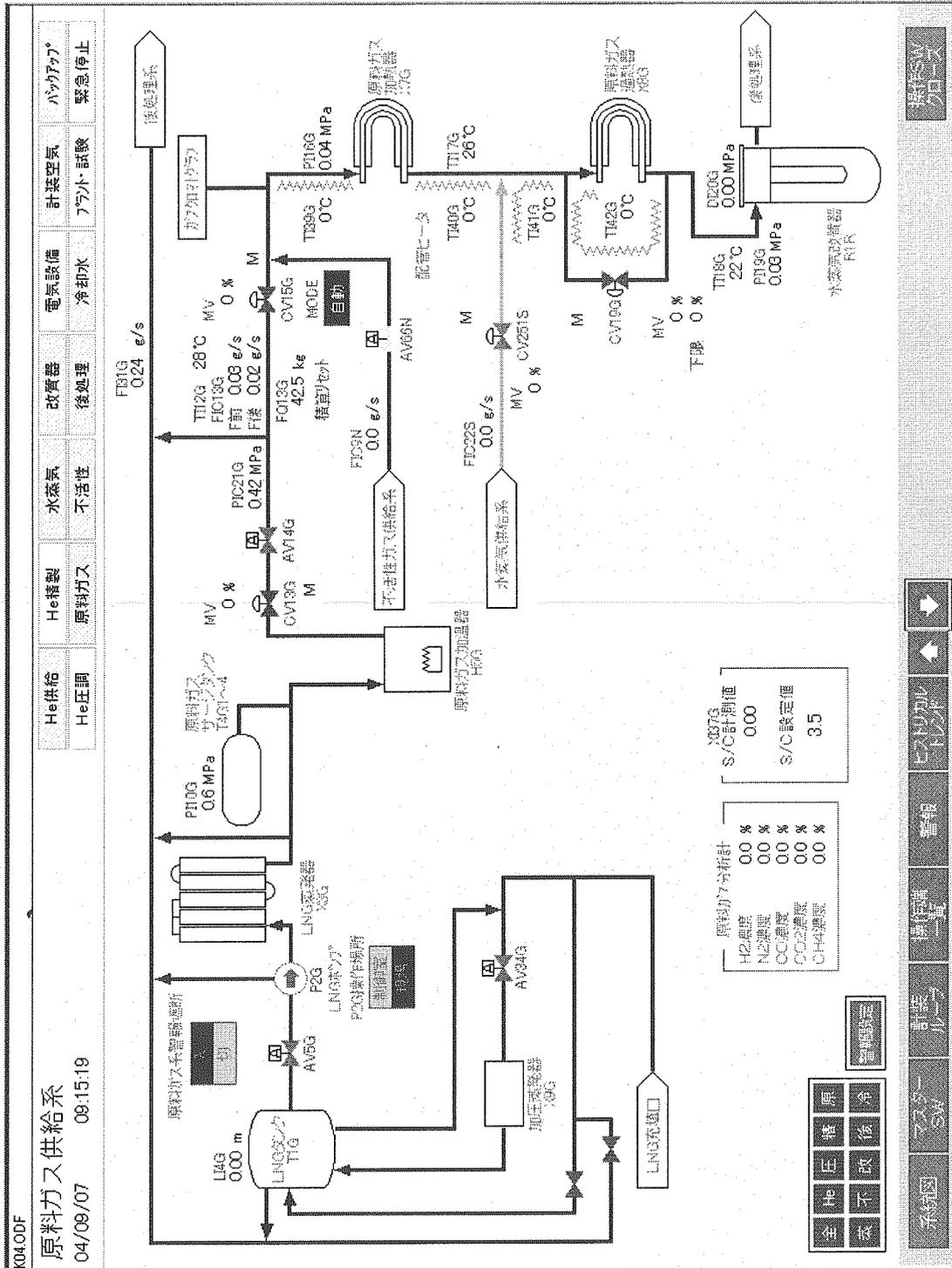


図 11.4(f) 原料ガス供給設備の系統図画面

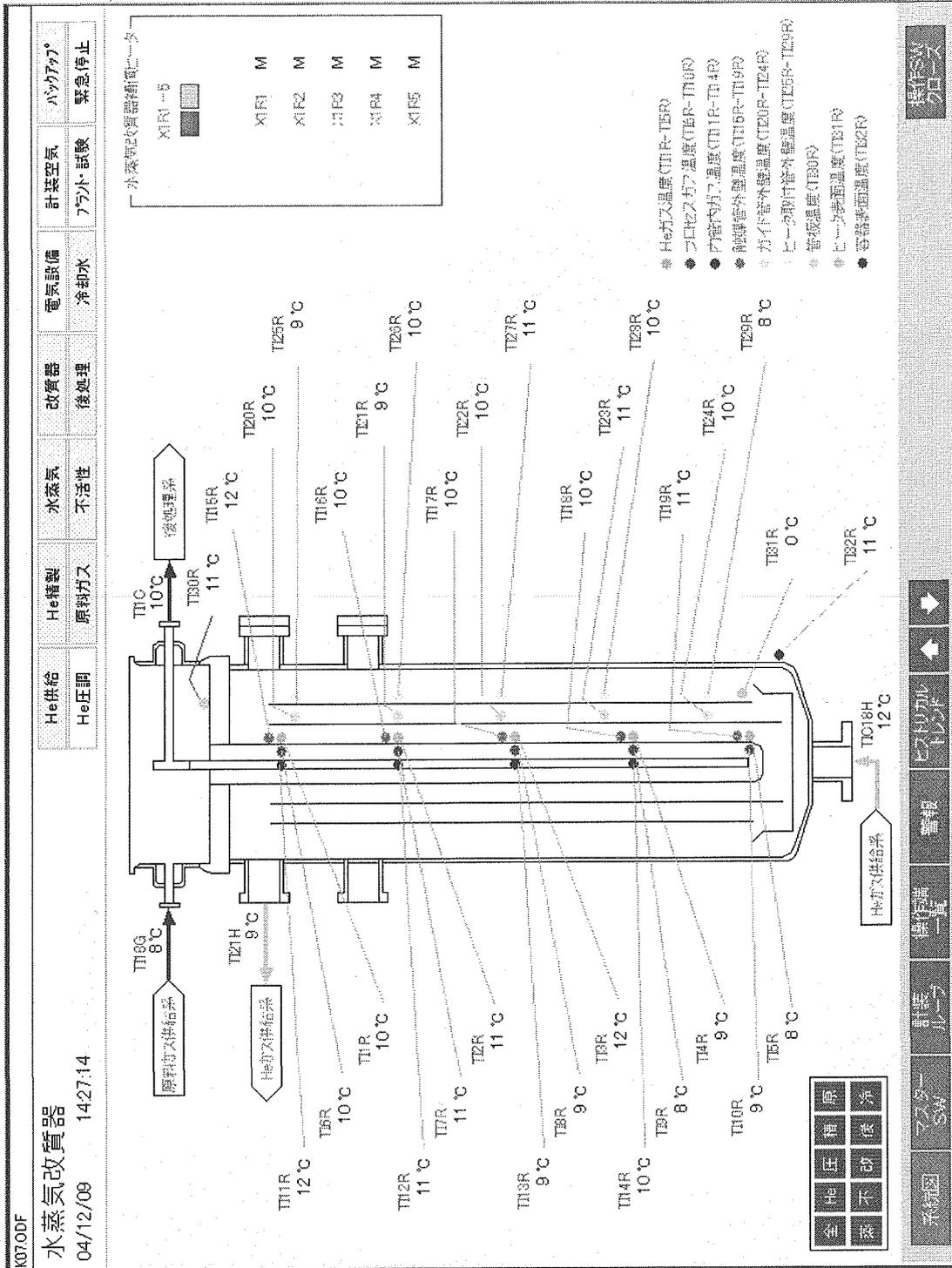


図 11.4(h) 水蒸気改質器の系統図画面

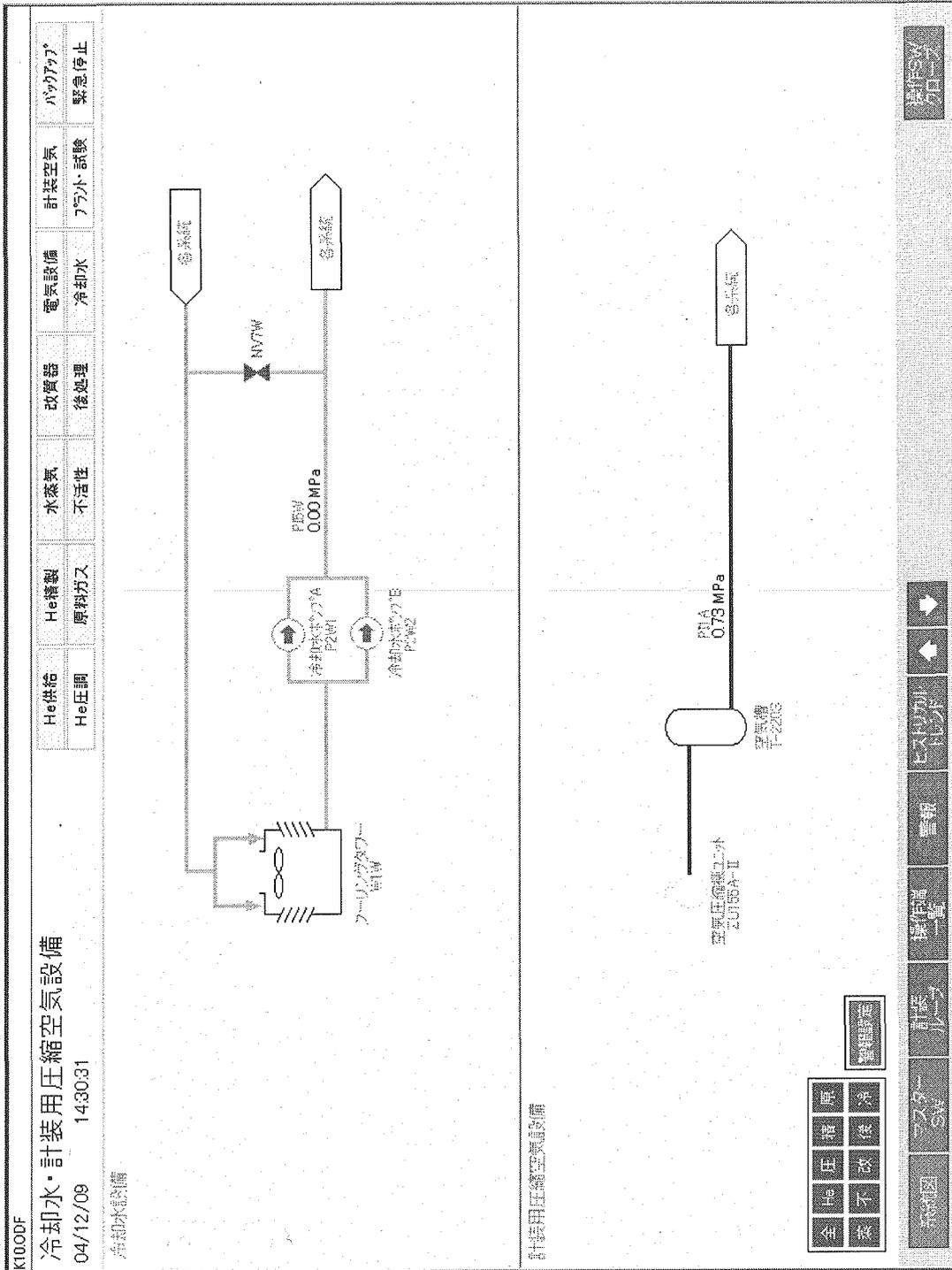


図 11.4(j) 冷却水供給設備・計装用圧縮空気設備の系統図画面

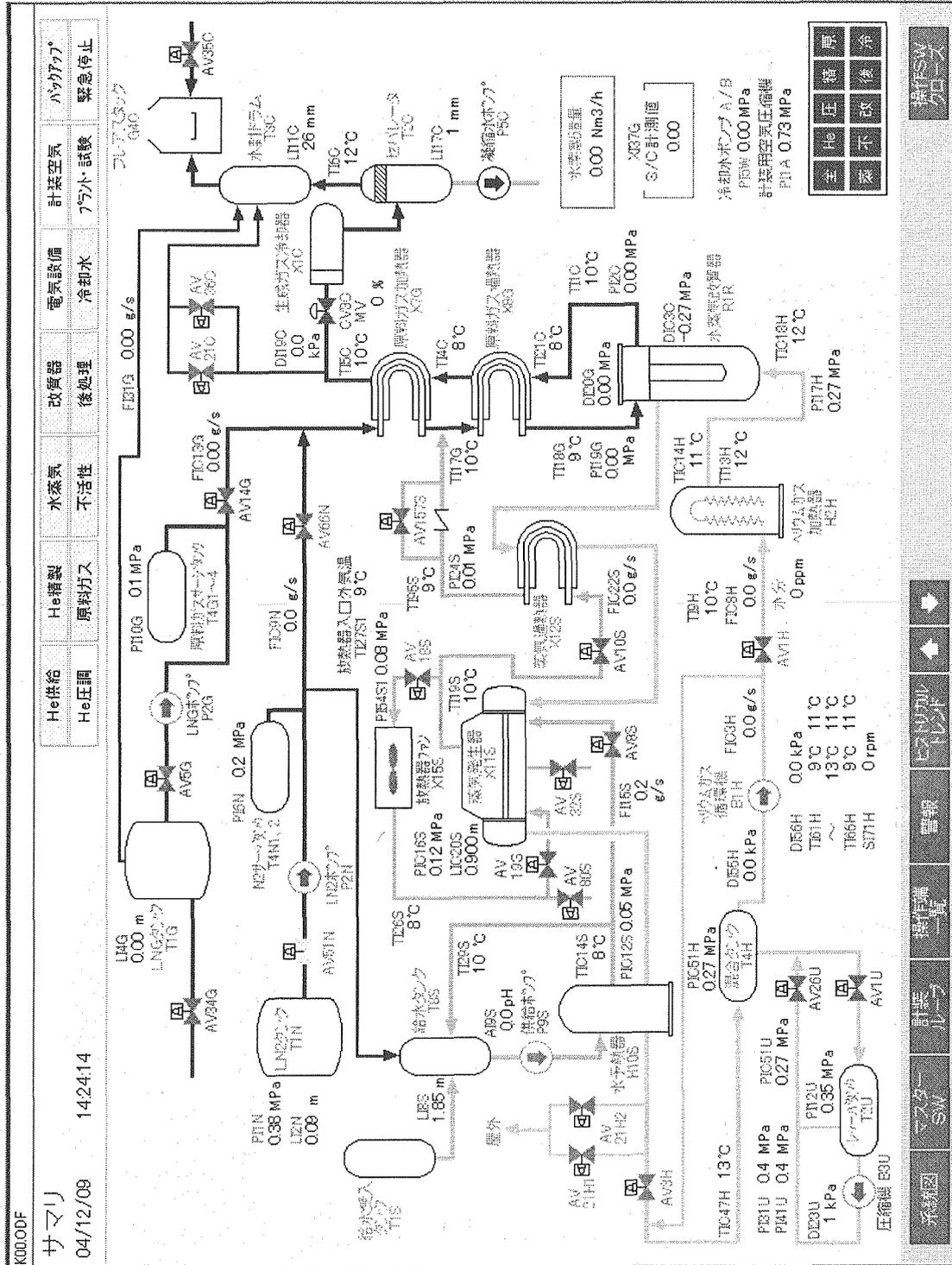


図 11.4(k) サマリ (全体系統) の系統図画面 (1/2)

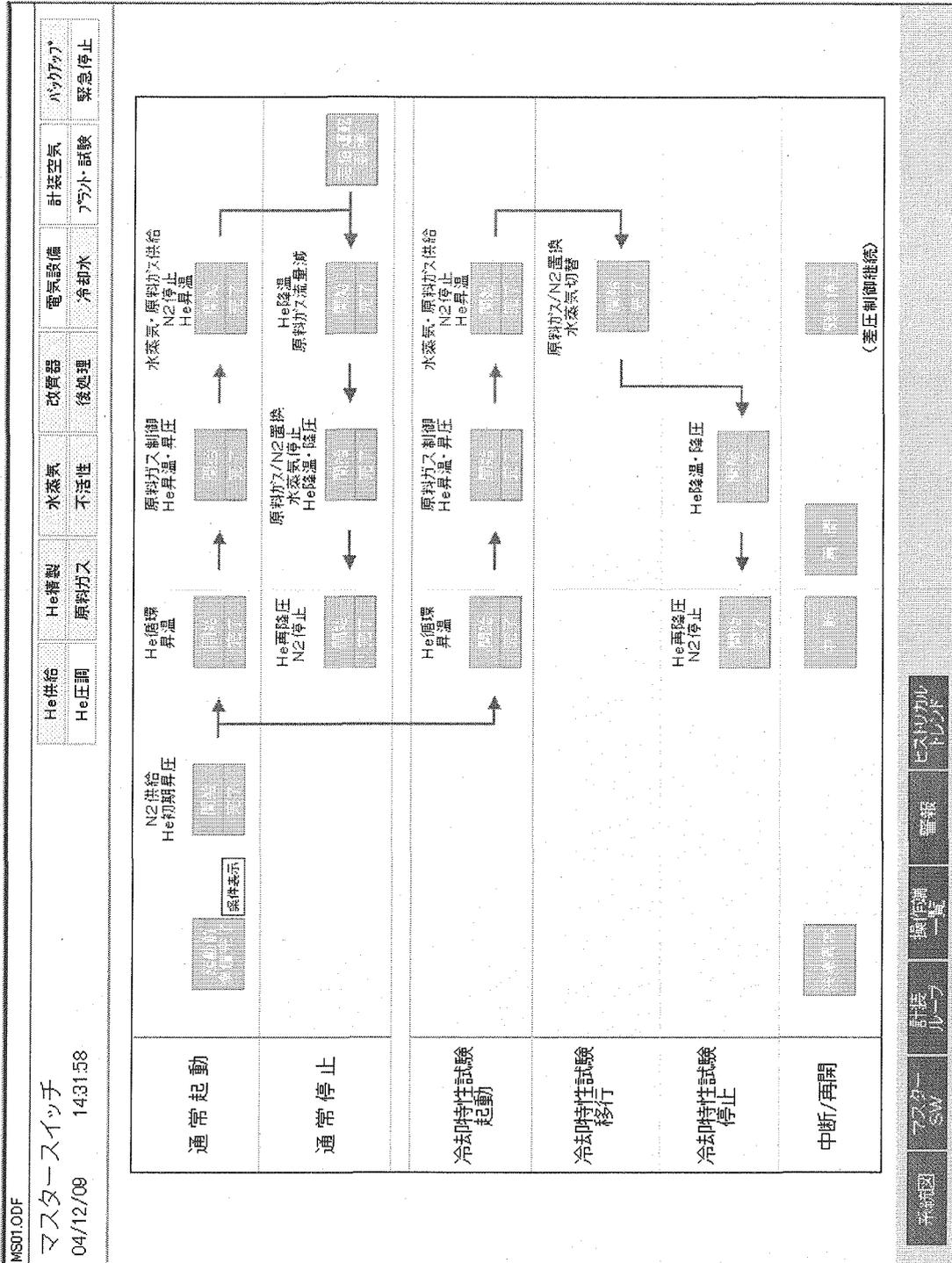


図 11.5 自動制御運転プログラムの操作画面 (マスタースイッチ)

12. その他の設備

12. 1 防消火設備

(1) 概要

防消火設備は、炉外試験装置、機器の防火ならびに消火に使用するもので、防火・温度上昇防止措置設備、消火設備、ならびに火災報知・警報設備、可燃性ガス漏洩検知・警報設備で構成される。防火・温度上昇防止措置設備は、消火栓からのホースによる散水ならびにスプリンクラーによる散水により、天然ガスや不活性ガス等の貯槽類、原料ガス加熱器等の熱交換器の火災時の防火や夏季の日照による温度上昇防止を図るものである。消火設備は可燃性ガスを取り扱う屋外設備や建家内の火災時の初期消火に用いるものである。火災報知・警報設備は高圧ガス架構内の火災報知、屋外設備における火災発見時の手動発信器からなり、警報表示盤で制御室に通報するとともに原子力機構大洗研究開発センターの警報設備に接続する。

(2) 機器仕様

1) 防火・温度上昇防止設備

防火水槽

形式	地上設置型
数量	1基
有効水量	42m ³
主要材料	FRP

送水装置

形式	多段渦巻き型ポンプ（エンジン付き）
数量	1台
流量	約 81m ³ /h
定格揚程	55m

消火栓

形式	二口、65A 差込
数量	1基
水量	最大 800L/min

散水装置

形式	開放型ノズル
数量	1式
水量	最大 550L/min

配管・弁類

数量	1式
流体	ろ過水
主要寸法	(口径) 25A~125A

配管の主要材質	SGP-ZN 等
弁箱の主要材質	FCD-S 等

2) 消火設備

消火器

数 量	17 台
仕 様	ABC 粉末消火器等

12. 2 可燃性ガス検知警報設備

(1) 概 要

可燃性ガス漏洩検知警報設備は、可燃性ガス漏洩を爆発限界濃度に至らぬ微小濃度の段階で検知し制御室に警報を発する設備であって、初期の段階で漏洩停止措置を講ずることにより、可燃性ガス漏洩による火災・爆発を未然に防止することができる。炉外試験装置で取り扱う可燃性ガス、すなわち、原料としての天然ガス、水蒸気改質器で製造される水素、フレアスタックの種火に使用する液化石油ガス、ならびに触媒還元用に使われる水素、の全てを検知対象として、検出器をエリア毎に複数個配置し、感度と信頼性を高めている。

(2) 機器仕様

ガス検知器

形 式	拡散式
数 量	12 台
仕 様	LNG タンクエリア 6 カ所、原料後処理架台エリア 3 カ所、 高圧ガス架構内 3 カ所

13. 結 言

炉外試験装置は、文部科学省からの受託研究「核熱利用システム技術開発」において、平成9年から設計・製作を開始して平成14年2月に完成した。その後、平成14年3月から平成16年12月にかけて7回の運転を無事達成し、蒸気発生器によるヘリウム温度変動の緩和性能及び水素製造システム過渡挙動に関わるデータ取得、動特性解析コードの検証データの取得のほか、水素製造システムの運転・保守管理技術の蓄積等の成果を計画通りに達成し、受託研究を完了することができた。炉外試験装置は、高圧ガス保安法及び労働安全衛生法ボイラー・圧力容器安全規則に基づき、平成17年6月より休止となっている。

今後の計画として、炉外試験装置はISプロセスのパイロット試験装置へ改造される予定であり、炉外試験装置で培った水素製造システムの運転・保守管理技術の経験は、パイロット試験を遂行する上で非常に貴重なものである。

謝 辞

炉外試験装置を用いた研究開発において、ご指導をいただいた特別研究員塩沢周策氏、核熱応用工学ユニット長小川益郎氏に深く感謝致します。さらに、製作・運転にご協力いただいた三菱重工業(株)清水 明氏、榎 明裕氏、森崎 徳浩氏、(株)日立製作所、前田 幸政氏、原子力エンジニアリング(株)塙 博美氏、米川 日出男氏、照沼孝志氏、滑川勝徳氏、柴田一之氏、川邊勝氏に深く謝意を表します。また、本報告書をまとめるにあたり、貴重なご助言を戴いた核熱応用工学ユニット長小川益郎氏、ISプロセス技術開発グループ研究副主幹久保真治氏に深く感謝いたします。

参考文献

- (1) Hada, K., Nishihara, T., Shibata, T., Shiozawa, S., "Design of a Steam Reforming System to be Connected to the HTTR," JAERI-CONF, 96-010, 229 (1996).
- (2) 稲垣, 武田, 西原, 羽田, 林, "HTTR 水素製造システムの炉外実証試験計画", 原子力誌, 41, 250 (1999).
- (3) Inagaki, Y., Nishihara, T., Takeda, T., Hada, K., Hayashi, K., "Out-of-Pile Demonstration Test of Hydrogen Production System Coupling with HTTR," Proc. 7th Int. Conf. on Nucl. Eng., ICON-7101 (1999).
- (4) 榊, 加藤, 林, 藤崎, 会田, 大橋, 高田, 清水, 森崎, 前田, 佐藤, 埴, 米川, 稲垣, "HTTR 水素製造システム実規模単一反応管試験装置の改善事項 (受託研究)", JAERI-Tech 2005-023(2005)
- (5) 林, 稲垣, 加藤, 藤崎, 会田, 武田, 西原, 稲葉, 大橋, 片西, 高田, 清水, 森崎, 榊, 前田, 佐藤, "HTTR 水素製造システム実規模単一反応管試験装置 平成 13 年度試験運転報告", JAERI-Tech 2005-032 (2005)
- (6) 林, 大橋, 稲葉, 加藤, 会田, 森崎, 武田, 西原, 高田, 稲垣, "HTTR 水素製造システム実規模単一反応管試験装置 平成 14 年度試験運転報告", JAERI-Tech 2006-011 (2006)
- (7) 林, 森崎, 大橋, 加藤, 会田, 武田, 西原, 稲葉, 高田, 稲垣, "HTTR 水素製造システム実規模単一反応管試験装置 平成 15 年度試験運転報告", JAERI-Tech 2006-012 (2006)
- (8) 林, 森崎, 大橋, 加藤, 会田, 武田, 西原, 稲葉, 高田, 稲垣, "HTTR 水素製造システム実規模単一反応管試験装置 平成 16 年度試験運転報告", JAERI-Tech 2006-013 (2006)
- (9) Singh, J., Nissen H. F., Harth, J., Fredders, H., Reutler, H., Panknin, W., Mueller, W. D., Harms, H. G., "The Nuclear Heated Steam Reformer - Design and Semitechnical Operating Experiences," Nucl. Eng. Des., 78, 179 (1984).
- (10) Harth, R., Jansing, W., Teubner, H., "Experience Gained from the EVA II and KVK Operation," Nucl. Eng. Des., 121, 173 (1990).
- (11) Santoso, B., Barnet, H., "Notes on HTR Applications in Methanol Production: non-Electric Applications of Nuclear Energy", IAEA-TECDOC, 923, 103 (1997).
- (12) 稲垣, 大内, 藤崎, 加藤, 宇野, 林, 会田, "HTTR 水素製造システムの炉外技術開発試験水蒸気改質器の構造と製作上の技術課題 (受託研究)", JAERI-Tech 99-074(1999)

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
物質の量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	
	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	メートル ⁻¹	m ⁻¹
密度 (質量密度)	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
質量体積 (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 (物質量の) 濃度	アンペア毎メートル	A/m
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率	(数の) 1	1

表5. SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	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3. 固有の名称とその独自の記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位		他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
	名称	記号		
平面角	ラジアン ^(a)	rad		m ² ・m ⁻²
立体角	ステラジアン ^(a)	sr ^(c)		m ² ・m ⁻² =1 ^(b)
周波数	ヘルツ	Hz		s ⁻¹
力	ニュートン	N		m ² ・kg ⁻¹ ・s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ ・kg ⁻¹ ・s ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N・m	m ² ・kg ⁻¹ ・s ⁻²
工率, 放射量	ワット	W	J/s	m ² ・kg ⁻¹ ・s ⁻³
電荷, 電気量	クーロン	C		s ¹ ・A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m ² ・kg ⁻¹ ・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 ⁻¹ ・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
磁束密度	ウェーバ	Wb	V・s	m ² ・kg ⁻¹ ・s ⁻² ・A ⁻¹
磁束	テスラ	T	Wb/m ²	kg ⁻¹ ・s ⁻² ・A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² ・kg ⁻¹ ・s ⁻² ・A ⁻²
セルシウス温度	セルシウス度 ^(d)	°C		K
光照射度	ルーメン	lm	cd・sr ^(e)	m ² ・m ⁻² ・cd=cd
放射能	ベクレル	Bq	lm/m ²	m ² ・m ⁻⁴ ・cd=m ⁻² ・cd
(放射性核種の) 放射能吸収線量, 質量エネルギー分与, カーマ線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量, 組織線量当量	グレイ	Gy	J/kg	m ² ・s ⁻²
	シーベルト	Sv	J/kg	m ² ・s ⁻²

- (a) ラジアン及びステラジアンの使用は、同じ次元であっても異なった性質をもった量を区別するときの組立単位の表し方として利点がある。組立単位を形作る際のいくつかの用例は表4に示されている。
- (b) 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“1”は明示されない。
- (c) 測光学では、ステラジアンの名称と記号srを単位の表し方の中にそのまま維持している。
- (d) この単位は、例としてミリセルシウス度m°CのようにSI接頭語を伴って用いても良い。

表4. 単位の中に固有の名称とその独自の記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		SI 基本単位による表し方
	名称	記号	
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa・s	m ⁻¹ ・kg ⁻¹ ・s ⁻¹
表面張力	ニュートンメートル	N・m	m ² ・kg ⁻¹ ・s ⁻²
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg ⁻¹ ・s ⁻²
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m ² ・m ⁻² ・s ⁻¹ =s ⁻¹
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎平方秒	rad/s ²	m ² ・m ⁻² ・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 ⁻¹ ・s ⁻³
質量熱容量 (比熱容量)	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² ・kg ⁻¹ ・s ⁻² ・K ⁻¹
質量エントロピー	ジュール毎キログラム	J/(kg・K)	m ² ・s ⁻² ・K ⁻¹
質量エネルギー (比エネルギー)	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² ・s ⁻² ・K ⁻¹
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m・K)	m ² ・kg ⁻¹ ・s ⁻³ ・K ⁻¹
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ ・kg ⁻¹ ・s ⁻²
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m ⁻¹ ・kg ⁻¹ ・s ⁻³ ・A ⁻¹
体積電荷	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ ・s ¹ ・A
電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² ・s ¹ ・A
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	m ⁻³ ・kg ⁻¹ ・s ⁴ ・A ²
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	m ² ・kg ⁻¹ ・s ⁻² ・A ⁻²
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m ² ・kg ⁻¹ ・s ⁻² ・mol ⁻¹
モルエントロピー	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol・K)	m ² ・kg ⁻¹ ・s ⁻² ・K ⁻¹ ・mol ⁻¹
モル熱容量	ジュール毎モル	J/mol	m ² ・kg ⁻¹ ・s ⁻² ・K ⁻¹ ・mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ ・s ¹ ・A
吸収線量	グレイ毎秒	Gy/s	m ² ・s ⁻³
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ ・m ⁻² ・kg ⁻¹ ・s ⁻³ =m ² ・kg ⁻¹ ・s ⁻³
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² ・sr)	m ² ・m ⁻² ・kg ⁻¹ ・s ⁻³ =kg ⁻¹ ・s ⁻³

表6. 国際単位系と併用されるが国際単位系に属さない単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	''	1''=(1/60)'=(π/648000) rad
リットル	l, L	1 l=1 dm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=10 ³ kg
ネーパ	Np	1 Np=1
ベル	B	1 B=(1/2) ln10 (Np)

表7. 国際単位系と併用されこれに属さない単位で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 単位であらわされる数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.60217733(49) × 10 ⁻¹⁹ J
統一原子質量単位	u	1 u=1.6605402(10) × 10 ⁻²⁷ kg
天文単位	ua	1 ua=1.49597870691(30) × 10 ¹¹ m

表8. 国際単位系に属さないが国際単位系と併用される他の単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
海里	海里	1 海里=1852m
ノット	ノット	1 ノット=1 海里毎時=(1852/3600)m/s
アール	a	1 a=1 dam ² =10 ² m ²
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=1000hPa=10 ⁵ Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=10 ⁻¹⁰ m
バール	b	1 b=100fm ² =10 ⁻²⁸ m ²

表9. 固有の名称を含むCGS組立単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイナ	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポインズ	P	1 P=1 dyn・s/cm ² =0.1Pa・s
ストークス	St	1 St=1cm ² /s=10 ⁻⁴ m ² /s
ガウス	G	1 G=10 ⁴ T
エルステッド	Oe	1 Oe=(1000/4π)A/m
マクスウェル	Mx	1 Mx=10 ⁻⁸ Wb
スチルブ	sb	1 sb=1cd/cm ² =10 ⁴ cd/m ²
ホト	ph	1 ph=10 ⁴ lx
ガル	Gal	1 Gal=1cm/s ² =10 ⁻² m/s ²

表10. 国際単位に属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
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
X線単位	X unit	1 X unit=1.002 × 10 ⁻¹¹ m
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
ジャンスキー	Jy	1 Jy=10 ⁻²⁶ W・m ⁻² ・Hz ⁻¹
フェルミ	fm	1 fermi=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット	metric carat	1 metric carat=200 mg=2 × 10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr=(101325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.184 J
マイクロン	μ	1 μ=1μm=10 ⁻⁶ m