



改良型キャプセル温度制御装置の設計

Design of Advanced Capsule Temperature Control System

小沼 勇一 井上 修一 岡田 祐次 作田 善幸 菅野 勝

Yuichi ONUMA, Shuichi INOUE, Yuji OKADA, Yoshiyuki SAKUTA and Masaru KANNO

大洗研究開発センター

照射試験炉センター

材料試験炉部

Department of JMTR Operation
Neutron Irradiation and Testing Reactor Center
Oarai Research and Development Center

June 2011

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

独立行政法人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
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
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, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2011

改良型キャプセル温度制御装置の設計

日本原子力研究開発機構 大洗研究開発センター

照射試験炉センター 材料試験炉部

小沼 勇一、井上 修一、岡田 祐次、作田 善幸、菅野 勝

(2011年 4月 1日 受理)

大洗研究開発センターのJMTR (Japan Materials Testing Reactor : 材料試験炉) では、キャプセル照射装置を用いた照射試験において、照射試料の温度制御能力を向上させるための取り組みを実施している。これまでに照射キャプセル内の照射試料の温度を制御する装置に、リアルタイムの原子炉出力の信号を取り込み、原子炉出力の変動に基づき、先行値制御を行うことにより照射試料の温度を精度よく制御することができるキャプセル温度自動制御装置を開発した。

JMTR再稼働後においては、未知の材料挙動の解明及び材料の開発により、将来社会に向けた新たな原子力エネルギー開発に貢献し、世界でもトップレベルの高精度で温度制御された照射試験データを得られるようにするため、改良型キャプセル温度制御装置の開発を進めている。

本報告では、この改良型キャプセル温度制御装置の現在の開発状況を報告する。

Design of Advanced Capsule Temperature Control System

Yuichi ONUMA, Shuichi INOUE, Yuji OKADA, Yoshiyuki SAKUTA
and Masaru KANNO

Department of JMTR Operation
Neutron Irradiation and Testing Reactor Center
Oarai Research and Development Center
Japan Atomic Energy Agency
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received April 1, 2011)

The Japan Materials Testing Reactor (JMTR) in the Oarai Research and Development Center has been continued to improvement of the temperature control capability for irradiation specimens is being carried out for applying the JMTR.

The JMTR had developed and been utilized the high accuracy capsule temperature control system had developed by adopting a feed forward control using measured reactor output power, and have been utilized in the JMTR. Based on the development knowledge, the advanced capsule temperature control system is now under development taking into consideration of additional function and so on so as to obtain high quality irradiation test data in the world in order to contribute the nuclear technology development.

In this report, the development status of the advanced capsule temperature control system is summarized.

Keywords : JMTR, Capsule, Irradiation Test, Temperature Control

目 次

1. はじめに	1
2. キャプセル温度制御の概要	1
3. 改良型キャプセル温度制御装置の設計基本方針	2
4. 改良型キャプセル温度制御装置の追加機能	3
4.1 温度制御システムの独立2系統制御	3
4.2 大容量ヒータ盤	3
4.3 真空温度制御系の改良	4
4.4 中性子検出器計測盤	4
5. まとめ	5
謝 辞	5

Contents

1. Introduction	1
2. Outline of irradiation capsule temperature control system	1
3. Design concept of the advanced capsule temperature control system	2
4. Additional function of the advanced capsule temperature control system	3
4.1 Independent dual control system of temperature	3
4.2 Large capacity heater device	3
4.3 Improvement of vacuum temperature control system	4
4.4 Neutron detector measurement device	4
5. Summary	5
Acknowledgements	5

This is a blank page.

1. はじめに

大洗研究開発センターのJMTR（Japan Materials Testing Reactor：材料試験炉）では、キャプセル照射装置を用いた照射試験において、照射試料の温度制御能力を向上させるための取り組みを実施している。これまでに照射キャプセル内の照射試料の温度を制御する装置に、リアルタイムの原子炉出力の信号を取り込み、原子炉出力の変動に基づき、先行値制御を行うことにより照射試料の温度を精度よく制御することができるキャプセル温度自動制御装置を開発した。これにより、原子炉定常運転時の小さな出力の変化に対してだけでなく、原子炉起動時から定格出力までの出力上昇時の原子炉の出力変化に対しても試料温度を一定に保つことができるようになった。

JMTR再稼働後においては、未知の材料挙動の解明及び材料の開発により、将来社会に向けた新たな原子力エネルギー開発に貢献し、世界でもトップレベルの高精度で温度制御された照射試験データを得られるようにするため、温度制御システムの独立2系統制御化、大容量ヒータ盤の追加によるヒータ出力の大容量化、真空温度制御系の改良による真空温度制御系の制御応答の向上、及び中性子検出器計測盤の追加によるオンラインでの中性子束の測定を可能とする改良型キャプセル温度制御装置の開発を進めている。

Fig. 1に改良型キャプセル制御装置の全体構成を示す。

2. キャプセル温度制御の概要

照射試験に用いるキャプセルは、燃料や材料試料を筒状の容器に入れて炉内に装荷し、照射試験を行なうものである。

照射試料はガンマ線や中性子線によって自己発熱され、その温度は原子炉出力、制御棒位置、冷却水温度等によって変化する。照射試験では試料温度を目的の温度に制御する必要があるが、JMTRではその方法として真空温度制御とヒータ温度制御の二つの制御方法を用いている。

キャプセル内の試料の周りには、ガス層と電気ヒータが設けられており、ガス層の圧力（真空度）とヒータの出力を調整して試料温度を制御する。キャプセルに取り付けられた熱電対、ヒータ線、ガス層圧力制御管は、炉プール水と隔離するため案内管と呼ばれる管を通して導き出し、炉プールの周りに設置した温度制御装置に接続する。

Fig. 2にキャプセル温度制御の概要を示す。また、照射試験における真空温度制御及びヒータ温度制御の原理を以下に示す。

(1) 真空温度制御

照射キャプセル内の照射試料の周囲に設けたガス層の圧力を調整し、熱伝導率を変化させることにより、照射試料の温度を調節する制御方法である。ガス圧力の調整は、供給するヘリウムガス量と排気量をバランスさせることにより行なう。

(2) ヒータ温度制御

照射キャプセル内の試料の周囲に配置した電気ヒータの出力を調整することにより、照射試料の温度を調節する制御方法である。

実際の照射試験においては、照射条件に応じて、真空温度制御のみ、ヒータ温度制御のみの場合に加えて、これらの制御方法を併用する場合がある。

3. 改良型キャプセル温度制御装置の設計基本方針

改良型キャプセル温度制御装置は、世界でもトップレベルの高精度で温度制御された照射試験データを得られるようにするため、温度制御技術の高度化を図った装置である。このため、最新のプロセス制御技術、計算機技術を駆使して、将来の機能拡張に対応できるシステムとし、下記基本方針に従って設計、試作、製作するものとした。

- (1) 併用型温度制御装置に使用するプロセスコントローラは、フィードバック制御とシーケンス制御を融合して、自立して制御が実行できる分散制御型とする。また、制御ネットワークを通してその動作を遠隔制御できるものとする。
- (2) 併用型温度制御装置は、1台で温度制御キャプセル2本分の制御能力を持つものとする。但し、プロセスコントローラは各キャプセルの制御システム毎に分離し、その故障によって複数のキャプセル照射試験に影響を与えることが無いように設計する。
- (3) リアルタイム及び並列進行が要求される制御及び安全上必要な動作はプロセスコントローラの制御で完結させ、オペレータステーションが故障した場合でも照射試験が継続できるよう設計する。また、併用型温度制御装置にローカル操作パネルを設置し、オペレータステーション故障時のバックアップ機能を持たせる。
- (4) 改良型キャプセル温度制御装置の最終構成は、併用型温度制御装置5台、大容量ヒータ盤2台、中性子検出器計測盤2台、オペレータステーション2台を予定する。この場合、個々のオペレータステーションは全ての装置の運転監視ができるものとし、どのオペレータステーションも同じ機能、性能を持つよう設計する。
- (5) 併用型温度制御装置1台は、真空温度制御系2系統とヒータ温度制御系12系統を持ち、制御方式や運転方式の異なる2本のキャプセルを制御することができる。また、キャプセル本数に応じて必要な台数を制御ネットワークに接続して使用する。アプリケーションプログラムは、このような運用を考慮し、複数のキャプセルを対象とした制御システム構築が容易にできるよう設計する。
- (6) システム運転中、全体のキャプセル照射試験に影響を与えることなく、併用型温度制御装置やオペレータステーション等の機器が交換可能なよう設計する。

- (7) 制御ネットワークは、制御及びデータ収集の定周期性を保証できる十分高速なものを採用する。また将来、上位の情報ネットワーク（Ethernet）と接続することにより、照射試験データの外部参照や共有が容易に実現できるよう設計する。
- (8) プロセスコントローラの制御プログラム、オペレータステーションの画面構成、帳票出力フォーマットは、必要に応じて原子力機構が変更可能なよう、容易なエンジニアリング環境を持たせる。

4. 改良型キャプセル温度制御装置の追加機能

改良型キャプセル制御温度装置は、照射試験用キャプセルを接続して試料の温度を制御する併用型温度制御装置、大きな容量のヒータを使用するキャプセルに電力を供給する大容量ヒータ盤、キャプセルに装荷した中性子検出器（SPND）の微小電流を計測する中性子検出器計測盤、更に、これら照射実験装置のデータ収集と運転状態監視・操作を総合的に管理するキャプセル総合制御システムから構成される。

Fig. 3に併用型温度制御装置を、Fig. 4に大容量ヒータ盤に使用する直流定電圧定電流源及び中性子検出器計測盤を示す。また、Fig. 5に改良型キャプセル温度制御装置のシステム設計を示す。

新たに追加した機能の詳細を次に示す。

4.1 温度制御システムの独立2系統制御

従来の併用型温度制御装置は、真空温度制御系2系統とヒータ温度制御系6系統を持ち、1台で温度制御キャプセル2本の制御が可能である。しかし、温度制御キャプセルの合計ヒータ本数が6本を超える場合は、真空温度制御系が2系統あるにも関わらず1本の温度制御キャプセルしか制御できなかった。

改良型キャプセル温度制御装置では、併用型温度制御装置のヒータ系統を6系統から10系統に増やすとともに、大容量ヒータ盤の2系統と連携することにより、温度制御装置の真空温度制御系1系統とヒータ温度制御系6系統から構成される独立した温度制御系を2系統持たせ、ヒータ数6本の温度制御キャプセル2本分の制御を可能とした。

Fig. 6に併用型温度制御装置の計測制御部概略図を、Fig. 7に併用型温度制御装置の入出力信号一覧を示す。また、Fig. 8にオペレータステーションの運転監視画面（温度制御系1系統分）を示す。

4.2 大容量ヒータ盤

大容量ヒータ盤は、改良型キャプセル温度制御装置で新たに設置するもので、内筒に電気ヒータピンを内包した出力校正試験用ヒータキャプセルの電気ヒータ出力を制御する装置である。出力校正試験用ヒータキャプセルは、電気ヒータへの高精度で安定した電力

の供給が要求されることから、電気ヒータの出力制御に、併用型温度制御装置に使用しているサイリスタ（SCR：Silicon Controlled Rectifier）よりも応答が速く、低ノイズの直流定電圧定電流源を採用し、最大50Aの大容量ヒータに安定した電力の供給を可能とした。また、ヒータ温度制御系の電力調整器として機能し、併用型温度制御装置と連携してキャプセルの試料温度制御に使用するが、併用型温度制御装置のヒータ容量（定格電流15A）の約3倍の容量を持つことから、従来よりも大きな容量のヒータを使用するキャプセルの温度制御を可能とした。

4.3 真空温度制御系の改良

従来の真空温度制御は、目的の試料温度となるよう、1つのPID温度調節計で電動流量調節弁とマスフローコントローラの開度を調整してガス層の圧力を可変していたため、ガス圧力が安定するまでに時間がかかり制御応答が遅かった。そこで、真空温度制御系にカスケード制御を適用し、2つのPID温度調節計を組み合わせ2つのループを組み、二次ループの温度調節計でガス圧力を直接制御する方法を採用することとした。これにより、試料温度の制御性に影響するガス圧力の操作応答が早まり、ガス圧力の制御応答の向上が図れる。

真空機械装置のガス圧力を直接制御するには、ガス圧力を数10Paから数10kPaの範囲で連続して測定する必要がある。従来の真空機械装置に使用しているピラニ真空計では、単独でこの広い範囲を測定することができず、圧力計との併用が必要で、ガス圧力を連続して測定することができなかった。この広い範囲を連続して測定できるピラニ・キャパシタンスゲージ真空計を採用することで、ガス圧力を直接制御する方法を可能とした。

4.4 中性子検出器計測盤

照射試験キャプセルに装荷した中性子検出器（SPND）は、照射される中性子束密度に応じて微小電流を発生する検出器である。中性子検出器計測盤は、改良型キャプセル温度制御装置で新たに設置するもので、併用型温度制御装置と連携して微小電流を計測し、オンラインで中性子束を測定するものである。また、総合制御システムで集中管理することにより、運転状態の監視、データの収集・保存、帳票作成等を可能とした。

5. まとめ

平成 12 年度に設置した従来型のキャプセル温度自動制御装置は、原子炉出力変更中でも試料温度を一定に保つことができる温度制御装置として開発され、多様なキャプセルの照射試験に実績を残してきた。今後、益々多様化する照射試験に対応するため、現在、改良型キャプセル温度制御装置の設計、試作を進めている。平成 22 年度は、併用型温度制御装置、大容量ヒータ盤及び中性子検出器計測盤各 1 台とキャプセル総合制御システムの設計、試作及び特性評価を行い、平成 23 年度の改良型キャプセル温度制御装置の全体整備に備える。

現在に至るまで、JMTRではキャプセルの温度制御性能の向上を目指して、キャプセル温度制御装置の改良を続け、多くのキャプセル温度制御の技術を蓄積してきた。これらの経験と技術を、次世代のキャプセル温度制御装置の性能向上に活用していく予定である。

謝 辞

本報告書をまとめるにあたっては、照射課の北島敏雄氏にキャプセル温度制御装置の構造や性能等についてご指導、助言を頂いた。また、技術課の松井義典課長代理に照射試験用キャプセルの構造や性能等についてご指導、助言を頂いた。

以上の方々に、深甚なる謝意を表す。

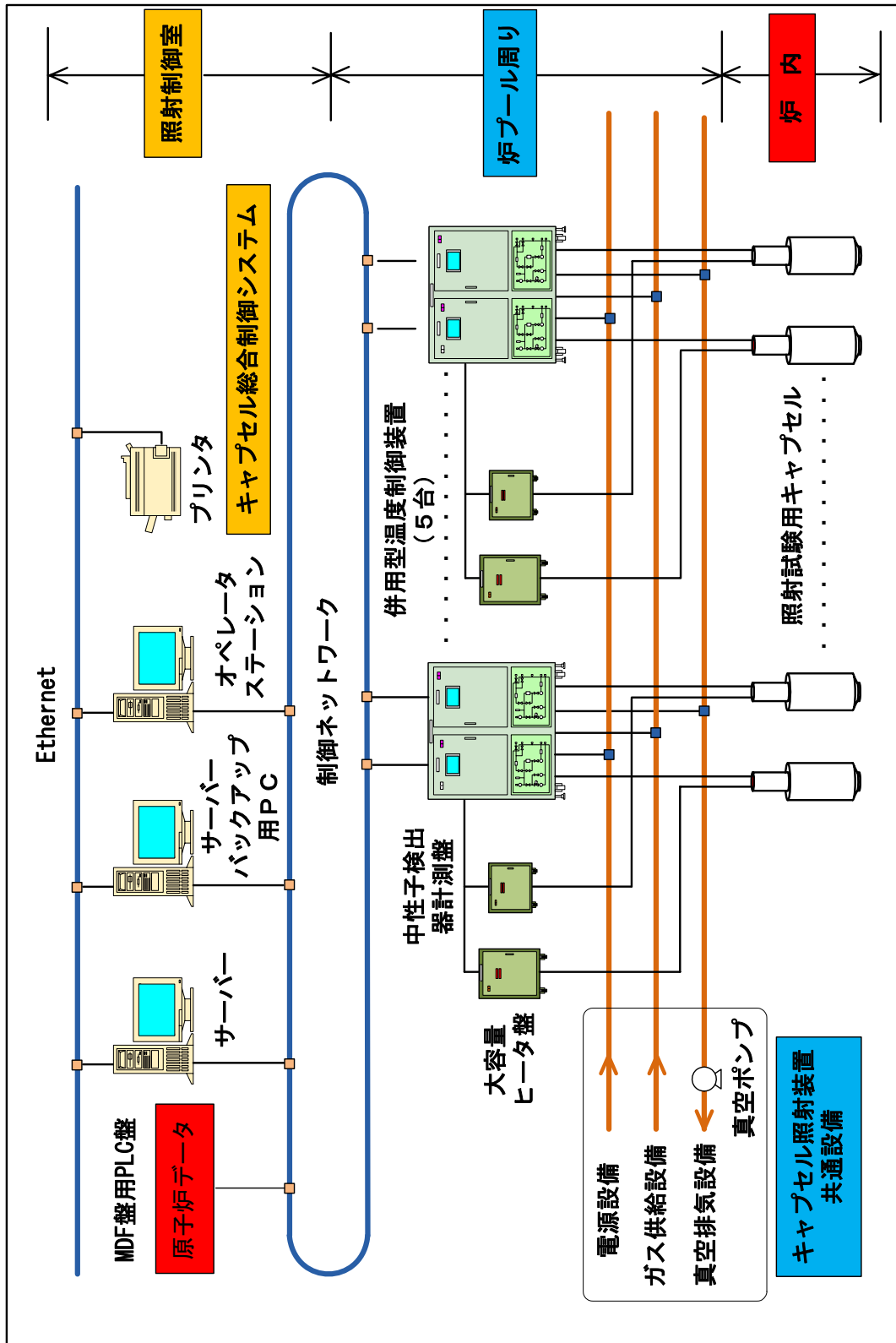


Fig. 1 改良型キャプセル温度制御装置の全体構成

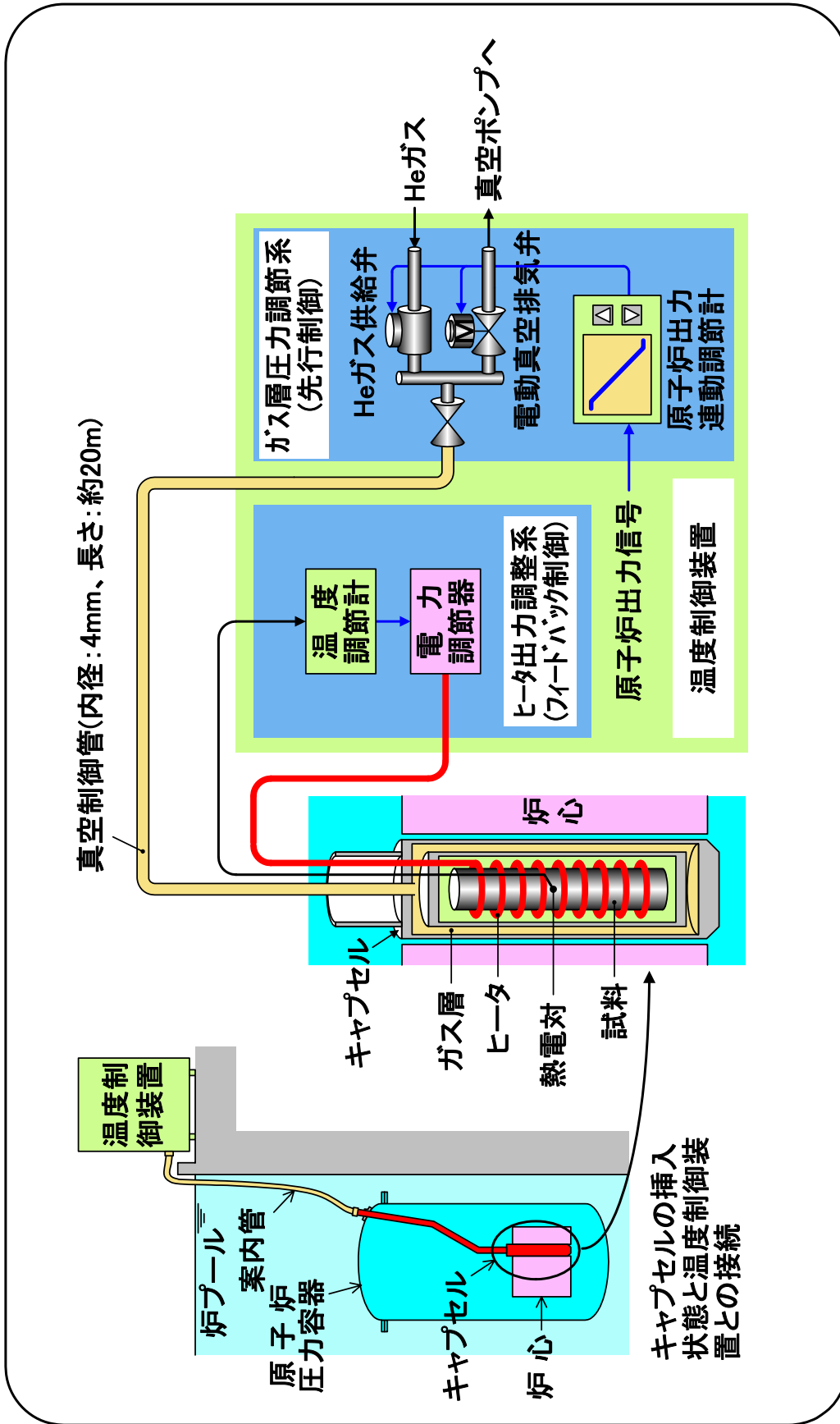


Fig. 2 キャプセル温度制御の概要



併用型温度制御装置の前面



併用型温度制御装置の裏面



Fig. 3 併用型温度制御装置



大容量ヒータ盤に使用する直流定電圧定電流源



中性子検出器計測盤

Fig. 4 大容量ヒータ盤に使用する直流定電圧定電流源
及び中性子検出器計測盤

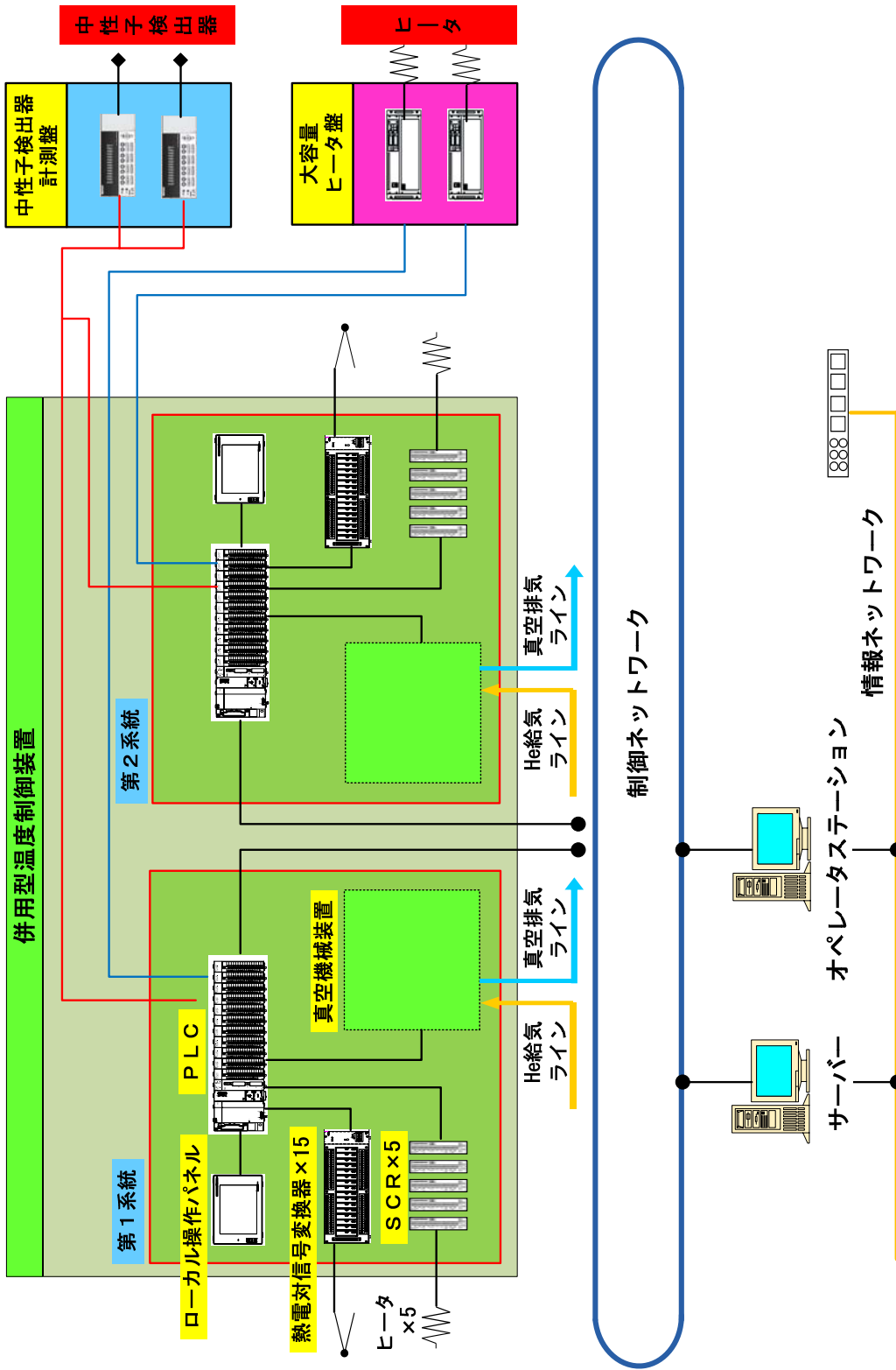


Fig. 5 改良型キャプセル温度制御装置のシステム設計

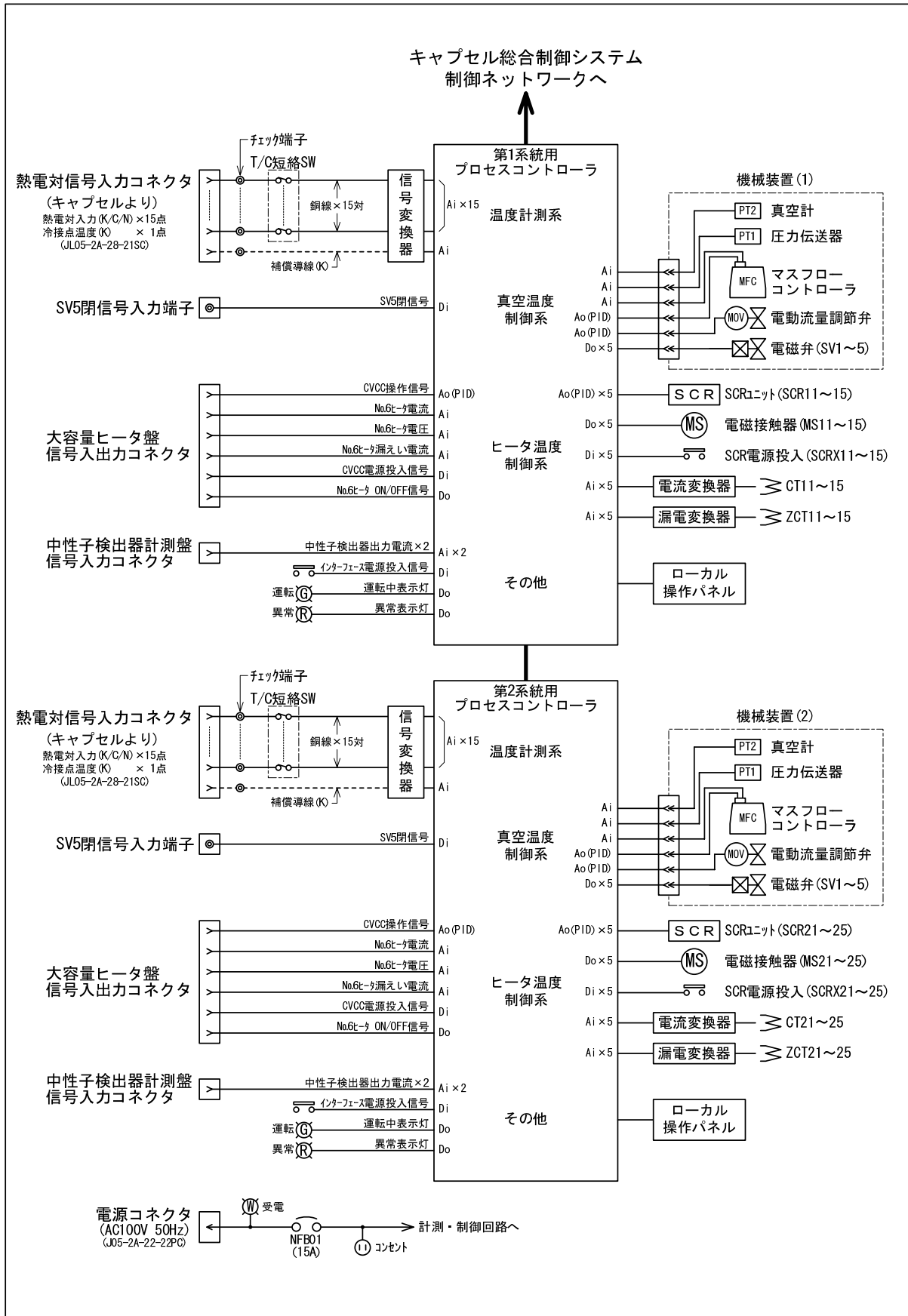


Fig. 6 併用型温度制御装置の計測制御部概略図

系統	タグ	項目	入出力種別	工学範囲	備考	
温度測定系	TCCJ	冷接点温度	Ai	0~75°C	検出端はK熱電対 ・外部冷接点温度補償方式 ・許容信号源抵抗は1kΩ以上、入力インダクタンスは電源断時を含めて1MΩ以上とする。 ・熱電対毎に高/低警報、ダンプ温度の3種を設ける他、制御熱電対について制御偏差警報、ヒータ断温度を設ける。	
	TC01	No.1熱電対温度	Ai	K熱電対:0~800°C C熱電対:0~2000°C N熱電対:0~900°C		
	TC02	No.2熱電対温度	Ai			
	TC03	No.3熱電対温度	Ai			
	TC04	No.4熱電対温度	Ai			
	TC05	No.5熱電対温度	Ai			
	TC06	No.6熱電対温度	Ai			
	TC07	No.7熱電対温度	Ai			
	TC08	No.8熱電対温度	Ai			
	TC09	No.9熱電対温度	Ai			
	TC10	No.10熱電対温度	Ai			
	TC11	No.11熱電対温度	Ai			
	TC12	No.12熱電対温度	Ai			
	TC13	No.13熱電対温度	Ai			
	TC14	No.14熱電対温度	Ai			
TC15	No.15熱電対温度	Ai				
真空温度制御系	PMCM	機械装置圧力	Ai	0~500kPa(abs)	工学値変換式: $P=10^{(E-3.5)}$ *1	
	VACM	機械装置真空度	Ai	0~150000Pa(abs)		
	FGAS	Heガス流量	Ai	0~100SCCM		
	—	MFC操作信号	Ao	0~100%		
	—	電動弁操作信号	Ao	0~100%		
	—	SV5閉信号	Di	—		
	—	SV1開閉出力	Do	—		
	—	SV2開閉出力	Do	—		
	—	SV3開閉出力	Do	—		
ヒータ温度制御系	HTI1	No.1ヒータ電流	Ai	0~15A	警報は、SCR及びCVCCの出力を制限する電流とヒータ断電流の2種をヒータ毎に設ける他、No.6ヒータ断電圧を設ける。No.6ヒータ電圧とNo.6ヒータ電流は大容量ヒータ盤から入力する。また、これらの測定値からNo.6ヒータ電力を演算で求める。	
	HTI2	No.2ヒータ電流	Ai	0~15A		
	HTI3	No.3ヒータ電流	Ai	0~15A		
	HTI4	No.4ヒータ電流	Ai	0~15A		
	HTI5	No.5ヒータ電流	Ai	0~15A		
	HTI6	No.6ヒータ電流	Ai	0~50A		
	HTV6	No.6ヒータ電圧	Ai	0~300V	警報は、SCR及びCVCCの出力を制限する漏れ電流をヒータ毎に設ける。No.6ヒータ漏れ電流は大容量ヒータ盤から入力する。 ヒータ系による温度制御は制御設定値フィードバック機能付きPID温度調節計で行うものとし、ヒータ電流及び漏れ電流が指定値を超えないよう、操作出力を制限する機能を持つこと。詳細は仕様書本文並びに打合せにより決定する。CVCC操作信号は、大容量ヒータ盤へ出力する。	
	HIL1	No.1ヒータ漏れ電流	Ai	0~100mA		
	HTL2	No.2ヒータ漏れ電流	Ai	0~100mA		
	HTL3	No.3ヒータ漏れ電流	Ai	0~100mA		
	HTL4	No.4ヒータ漏れ電流	Ai	0~100mA		
	HTL5	No.5ヒータ漏れ電流	Ai	0~100mA		
	HTL6	No.6ヒータ漏れ電流	Ai	0~100mA		
	—	No.1 SCR操作信号	Ao	0~100%		
	—	No.2 SCR操作信号	Ao	0~100%		
	—	No.3 SCR操作信号	Ao	0~100%		
	—	No.4 SCR操作信号	Ao	0~100%		
	—	No.5 SCR操作信号	Ao	0~100%		
	—	CVCC操作信号	Ao	0~100%		
	—	No.1 SCR電源投入信号	Di	—		CVCC電源投入信号は、大容量ヒータ盤から入力する。
	—	No.2 SCR電源投入信号	Di			
	—	No.3 SCR電源投入信号	Di			
	—	No.4 SCR電源投入信号	Di			
	—	No.5 SCR電源投入信号	Di			
—	CVCC電源投入信号	Di				
—	No.1 ヒータON/OFF出力	Do	—	No.6 ヒータON/OFF出力信号は、大容量ヒータ盤へ出力する。		
—	No.2 ヒータON/OFF出力	Do				
—	No.3 ヒータON/OFF出力	Do				
—	No.4 ヒータON/OFF出力	Do				
—	No.5 ヒータON/OFF出力	Do				
—	No.6 ヒータON/OFF出力	Do				
その他	ND01	SPND-1出力電流	Ai	0~0.2/2/20μA	信号は中性子検出器計測盤から入力する。	
	ND02	SPND-2出力電流	Ai	0~0.2/2/20μA	ヒータコンタクのレンジ変更に対応すること。	
	—	インターフェイス電源投入	Di	—		
	—	運転中表示灯点灯信号	Do	—		
—	異常表示灯点灯信号	Do	—			

*1) MFC(マスフローコントローラ)と電動弁は差動方式で操作するものとし、操作信号とそれぞれの開度関数は任意に設定できるものとする。真空系による温度制御は制御設定値フィードバック機能付きPID調節計(カスケード制御も可)、ヒータ出力連動調節計、制御設定値連動調節計、原子炉出力連動調節計の4種で行うものとする。詳細は仕様書本文並びに打合せにより決定する。

Fig. 7 併用型温度制御装置の入出力信号一覧

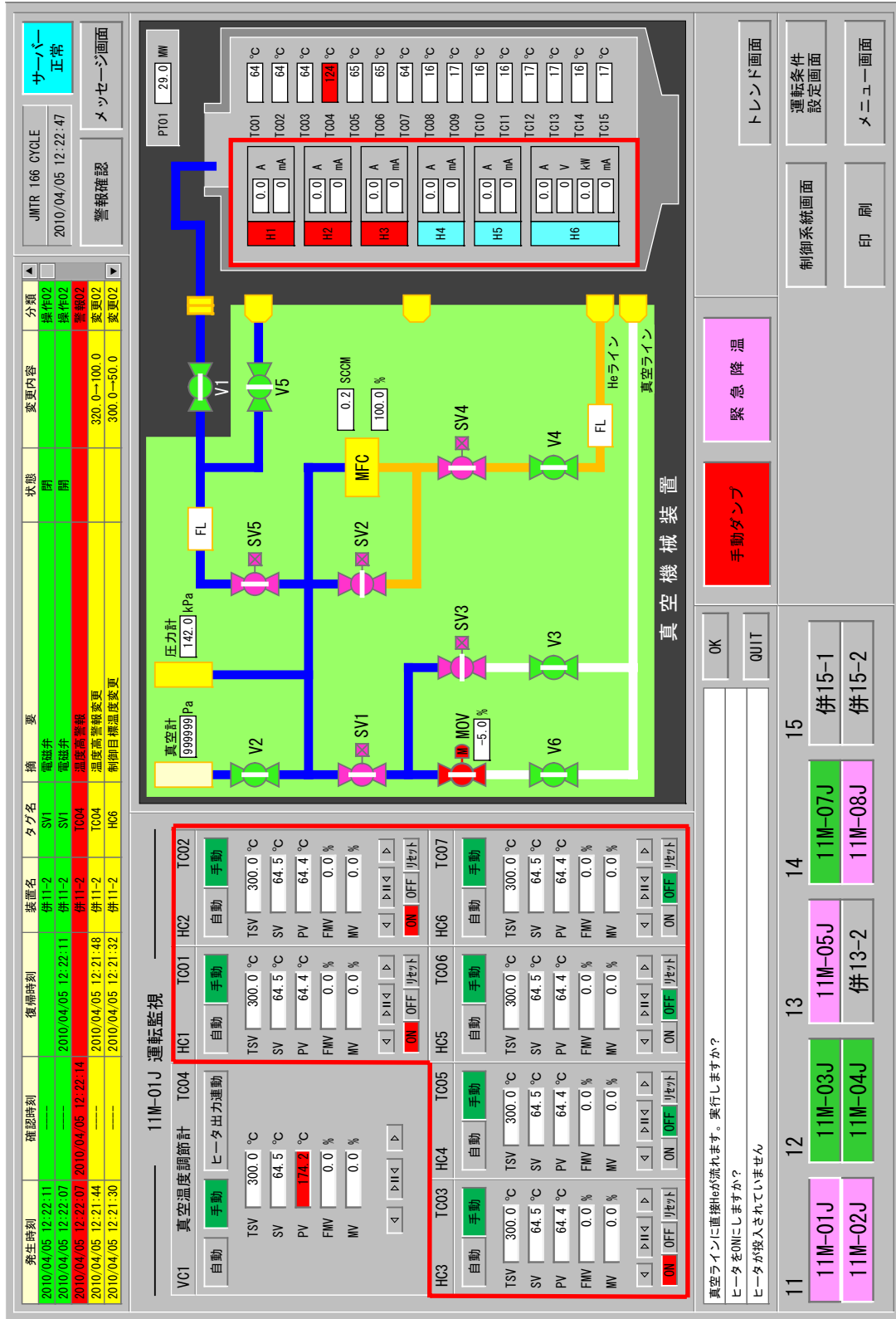


Fig. 8 オペレータステーションの運転監視画面（温度制御系1系統分）

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	立法メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の)	1
比透磁率 ^(b)	(数字の)	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI組立単位		
	名称	記号	他のSI単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s
電荷, 電気量	クーロン	C	s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	Vs
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C	K
光照射度	ルーメン	lm	cd sr ^(c)
放射線量	グレイ	Gy	J/kg
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq	s ⁻¹
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg
酸素活性化	カタール	kat	s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の間には1:1の関係がある。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
 (g) 単位シーベルト (PV.2002.70,205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI組立単位	
	名称	記号
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s
表面張力	ニュートンメートル	N m
角速度	ニュートン毎メートル	N/m
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m ²
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K
比エネルギー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m ³
電荷密度	ジュール毎立方メートル	J/m ³
電表面電位	ジュール毎立方メートル	J/m ³
電束密度, 電気変位	ジュール毎立方メートル	J/m ³
誘電率	ジュール毎立方メートル	J/m ³
透磁率	ジュール毎立方メートル	J/m ³
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)
照射線量 (X線及びγ線)	ジュール毎キログラム	J/kg
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s
放射線強度	ワット毎ステラジアン	W/sr
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)
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³

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	ゼプト	z
10 ¹	デカ	da	10 ²⁴	ヨクト	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1 L=1 dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=10 ³ kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

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

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1 MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322 Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1 nm=100 pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852 m
バイン	b	1 b=100 fm ² =(10 ¹² cm) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600) m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的関係は、 対数量の定義に依存。
ベレル	B	
デジベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1 Pa s
ストークス	St	1 St=1 cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1 cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フオト	ph	1 ph=1 cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1 cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1 Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe _e =(10 ³ /4π) A m ⁻¹

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「△」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1 cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1 メートル系カラット=200 mg=2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.1858 J (「15°C」カロリ), 4.1868 J (「IT」カロリ), 4.184 J (「熱化学」カロリ)
マイクロン	μ	1 μ=1 μm=10 ⁻⁶ m

