



JAEA-Technology

2006-020



JP0650376

JT-60U における NBI 加熱装置用ヘリウム 冷凍設備の PLC 制御

PLC Control of NBI Cryogenic Facility for JT-60U

本田 敦 岡野 文範 大島 克己 秋野 昇
菊池 勝美 棚井 豊 竹之内 忠 沼澤 量*

Atsushi HONDA, Fuminori OKANO, Katsumi OOSHIMA,
Noboru AKINO, Katsumi KIKUCHI, Yutaka TANAI,
Tadashi TAKENOUCHI and Susumu NUMAZAWA*

核融合研究開発部門
粒子ビーム加熱システム開発グループ

NBI Heating Group
Fusion Research and Development Directorate

March 2006

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刊行している研究開発報告書です。
本レポートの全部または一部を複写・複製・転載する場合は下記にお問い合わせ下さい。

〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4

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

Tel.029-282-6387, Fax.029-282-5920

This report was issued subject to the copyright of Japan Atomic Energy Agency.
Inquiries about the copyright and reproduction should be addressed to :

Intellectual Resources Section,

Intellectual Resources Department

2-4, Shirakata-shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195, JAPAN

Tel.029-282-6387, Fax.029-282-5920

©日本原子力研究開発機構, Japan Atomic Energy Agency, 2006

JT-60UにおけるNBI加熱装置用ヘリウム冷凍設備のPLC制御

日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門

トカマクシステム技術開発ユニット

本田 敦・岡野 文範・大島 克己^{*1}・秋野 昇

菊池 勝美^{*2}・棚井 豊^{*2}・竹之内 忠^{*3}・沼澤 皇*

(2006年1月27日受理)

JT-60中性粒子ビーム入射装置(NBI)は臨界プラズマ試験装置(JT-60U)の主加熱装置の1つである。NBIは14基の正イオンNBIビームユニット(2イオン源/ユニット)と1基の負イオンNBIビームユニット(2イオン源/ユニット)があり、プラズマ源と中性化のためには、1基あたり3~5Pa m³/sの重水素ガスを導入する必要がある。一方、中性ビームが再電離を起こさないように、導入した重水素ガスを素早く排気するために、排気速度20000m³/sの大容量クライオポンプが設置されている。クライオポンプの冷却は2.4kWの冷凍能力を有するヘリウム冷凍設備で行っている。このヘリウム冷凍設備の制御は、1985年以来、DCS計算機システム(総制御ループ数:約400)で行っていた。しかし、近年DCS機器の高経年化等による故障頻度が著しく高くなってきたため、PLC計装を用いて制御システムの更新を実施した。本更新は、エンジニアリングメーカーに頼らず日本原子力研究開発機構の職員が独自に設計・製作したものである。本報告書は、これらの改造への取り組み及び成果についてまとめたものである。

那珂核融合研究所(駐在):〒311-0193 茨城県那珂市向山801-1

*¹ 日本アドバンストテクノロジー株式会社より出向中

*² 原子力エンジニアリング株式会社より出向中

*³ 株式会社巴商会より出向中

* 株式会社ストリーム

PLC Control of NBI Cryogenic Facility for JT-60U

Atsushi HONDA,Fuminori OKANO,Katsumi OOSHIMA^{*1},Noboru AKINO,
Katsumi KIKUCHI^{*2},Yutaka TANAI^{*2},Tadashi TAKENOUCHI^{*3} and Susumu NUMAZAWA*

Division of Tokamak System Technology
Fusion Research and Development Directorate
Japan Atomic Energy Agency
Naka-shi,Ibaraki-ken

(Received January 27,2006)

The JT-60 neutral beam injector (NBI) is the main heating system on JT-60. It has 14 positive ion beam units, each with two ion sources and one negative ion beam unit with two sources, each of which needs Deuterium gas fueling of 3-5Pam³/s for source plasma production and neutralization. A large cryopumping system with pumping speed of 20000 m³/s is installed to quickly exhaust the residual gas not so as to avoid re-ionization of the neutral beam. The cryopumping system is cooled down by a liquid He cryogenic facility, which has a cooling capacity of 2.4 kW. The control system of the cryogenic facility was constructed with DCS (Distributed Control System) computer about 20 years ago, where the number of the feedback control loops was about 400. Recently, the frequency of troubles on the control system has increased due to its age. To obtain a high reliability of the cryogenic facility, a renewal of the control system with a PLC (Programmable Logic Controller) has been established. The whole work such as design, programming and sequential test have been done by JAEA. This report presents the new control system of the NBI cryogenic facility.

Keywords : JT-60U , NBI , Cryopump , DCS, PLC, Cryogenic System

^{*1} On loan from Nippon Advanced Technology Co.,LTD

^{*2} On loan from Nuclear Engineering Co.,LTD

^{*3} On loan from Tomoe Shokai Co.,LTD

* Stream Co.,Ltd.

目 次

1.	はじめに	1
2.	JT-60U NBI 加熱装置用ヘリウム冷凍設備の概要	1
3.	制御システムの選定	2
4.	PLC 計装システムの導入と成果	3
4.1	PLC 計装システムの導入	3
4.2	プロセス制御の動作確認	3
4.3	成果	5
5.	まとめ	6
	謝辞	6
	参考文献	7

Contents

1.	Introduction	1
2.	Outline of cryogenic system for JT-60U NBI	1
3.	Selection of control system	2
4.	Application of PLC and its performance	3
4.1	Application of PLC to control of cryogenic system	3
4.2	Check of process control	3
4.3	Results	5
5.	Summary	6
	Acknowledgments	6
	References	7

This is a blank page.

1. はじめに

日本原子力研究開発機構核融合研究開発部門では、臨界プラズマ試験装置(JT-60U)を用いて高性能プラズマの長時間維持を目指した研究開発を行っている。JT-60Uにおいて高温・高密度プラズマを生成するためにはプラズマを追加熱する必要があり、その主加熱装置として中性粒子ビーム入射装置(NBI)がある(写真 1)。NBI は 14 基の正イオン NBI ビームライン、1 基の負イオン NBI ビームラインから構成されており、ビーム入射運転時に動作ガスとして 1 基当たり 3~5 $\text{Pa}\text{m}^3/\text{s}$ の重水素ガスを導入する必要がある。しかし、本重水素ガスはビーム通路に充満すると加速された中性粒子ビームと衝突し、ビームの損失をもたらす。ビームを効率的に伝送するには重水素ガスを素早く排気してビーム通路での真空度を良くしなければならない。そのために、各ビームラインには液体ヘリウムを冷媒とする凝縮型の大容量クライオポンプ(1 基あたり 1400 m^3/s)が設置されている。

クライオポンプへの液体ヘリウムの供給は、2.4kW の冷凍能力を有する大型ヘリウム冷凍設備(高圧ガス製造施設)で行っている^[1]。本大型ヘリウム冷凍設備は約 20 年前に運転を開始した設備で、制御システムは、DCS(Distributed Control System)計算機システム(総ループ数:約 400)で行っていた。近年、DCS 機器の性能低下等による故障頻度が著しく高くなっているため、また、本システムは製造中止後 10 年経過しているため部品調達も困難な状況で、JT-60U の実験運転に支障をきたし始めている。この対策として、PLC(Programmable Logic Controller)計装を用いた大規模な制御システムの改造を試みた。尚、本改造は、エンジニアリングメーカーに頼らず日本原子力研究開発機構の職員が独自に検討、工夫して実施したものである。

2. JT-60U NBI 加熱装置用ヘリウム冷凍設備の概要

JT-60UNBI 加熱装置用ヘリウム冷凍設備は、並列に設置された 14 基のクライオポンプに液体ヘリウムを安全かつ円滑に供給循環させるための設備である。第 1 図にヘリウム冷凍設備の概略系統を示す。本装置の主要機器であるヘリウム冷凍機は 3.6K で 2.4kW の冷凍能力を有し、液体ヘリウム(循環量は 1500l)は全長約 500m の長尺真空断熱配管を介して 14 基のクライオポンプに並列に供給される^[2]。このように長尺真空断熱配管を介して 14 基のクライオポンプを冷却する場合、クライオポンプの予冷が進行するにつれてクライオポンプの上下遠近等の相対的な設置位置関係により、液体ヘリウムの供給量にバラツキが生じ、14 基のクライオポンプ間で不均衡冷却が発生する。特に定常状態になっているクライオポンプと予冷段階にあるクライオポンプが混在した運転状態では、予冷段階にあるクライオポンプからの負荷変動の影響により、すでに定常に達しているクライオポンプへの液体ヘリウムの供給が不規則となり、その制御は極めて複雑なものとなる。ヘリウム冷凍機の安定な運転のためには、14 基のクライオポンプが時間的にも均等に冷却されることが望ましく、クライオポンプ間の予冷過程における不均衡冷却を抑制し時々刻々変化するシステム全体の運転状況を正確に把握し効率よくクールダウンする制御が必要となる。

る。そのための制御システムでは、DCS システムで構成されアナログ入出力点数約 400 点、デジタル入出力点数約 800 点の信号にてプロセス制御しており、総制御ループ数としては約 400 ループある。第2図に DCS 制御システムの構成図を示す。

3. 制御システムの選定

新しい制御システムへの更新に当たり、『汎用バス(VME、PCI 等)規格を採用したシステム』『PLC 計装を採用したシステム』について検討を行った。第 1 表に制御システム更新案の比較した結果を示す^[3]。その結果、限られた予算と実験スケジュールを厳守するための基本方針『低コスト・短期間での実現』、『既設計装制御機能の継承』『連続運転に対応したシステムの安定性』の観点から総合的に判断し、①コストパフォーマンスが高い②オープン性③保守性等から、『PLC 計装を採用したシステム』を採用した。PLC 計装システムの主要機種として PLC『SYSMAC CS1D』(オムロン社製)を、SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition；監視制御)ソフトは『RSView32』(ROCKWELL SOFTWARE 社製)を以下の理由により選定した^[4]。第 3 図に PLC 計装を採用したシステム概要を示す。

①大規模システム向けのループ制御装置が存在していた

PLC に PID(Proportinal Integral Differential)制御等を中心とする本格的なプロセス制御機能を持つ PLC 用の高度ループ制御装置(ループコントロールボード:LCB)が計器ブロック数 500 と大規模なシステム用として存在していた。この LCB を用いることにより既設の DCS 計装制御機能の継承が可能になった。また、CPU ユニット、電源等主要機器は二重化に対応しておりシステムの堅牢性の観点からも満足したものとなっていた。

②プロセス制御のプログラミングが容易である

PLC 計装システムの開発用ソフトウェアとして「CX-Process Tool」と「CX-Programmer」の 2 種類がオムロン社から提供されている。CX-Process Tool は PID 等のプロセス制御を行う LCB のプログラミングツールである。ループ制御のプログラミングは、ワークシート上で計器ブロックを用いて結線図を書くイメージで使いやすくビジュアル的に制御内容が分かりやすく保守性が良いのが特徴である。シーケンス制御のプログラミングは、シーケンステーブル上に入出力項目を設定するため、ラダー方式に比べて動きがビジュアル的で分かりやすい。CX-Programmer は PLC 特有のラダーシーケンスにてプログラミングをするものである。これらのパッケージソフトウェアにより短期間で DCS のプロセス制御のプログラミングが可能となった。

③SCADA ソフトを用いた表現力豊かな画面作成が可能

RSView32 は CX-Process Tool で Tag(異種アプリケーション間共用データ変数)を生成し、OPC サーバー(パソコン内で異種アプリケーションがデータを共有するためのソフト)を介して Tag を自由に操作し監視制御およびデータ収集が行えるソフトウェアである。機能的には、マウスにて描画感覚で監視制御およびデータ収集画面作成ができ、細かな表現機能により、運転員にアナログおよびデジタルの数値表示は基よりビジュアル感覚で装置の監視状態を表現することができる。

また、RSView32 基本機能としてトレンドデータ(Trend X 使用)、アラーム情報、操作履歴等があり、これらのデータは CSV 形式で管理でき、市販の表計算ソフトを用いてさらに高度な解析も可能である。

4. PLC 計装システムの導入と成果

4.1. PLC 計装システムの導入

PLC 計装システムの導入に当たり、DCS システムの制御機能を再現させる事を基本として、ハードウェア的には DCS をそのまま PLC に置き換えるシステムとした。PLC4 台を光ループで二重化し PLC 間の通信を行う。制御室の PC は、HUB を介して Ethernet 上で PLC と通信を行う。PC の信頼性の観点から、仮に PC がフリーズしても PLC は現状のプロセス制御を実行する。PC はあくまでも監視制御及びデータ収集用で PLC に対して受動的である^[5]。第 4 図に PLC 計装を用いた制御システムの構成を示す。

DCS の約 400 ループのプロセス制御を忠実に再現させるため、初期設計段階で DCS の演算ブロックを CX-Process Tool で使用できる演算ブロックに置き換える作業を実施した。その後、CX-Process Tool にてヘリウム冷凍機、クライオポンプ 1,2 の系統毎に『ループ制御およびシーケンス制御』のプログラミング作業を実施した。ループ制御は、ブロック結線図上に複数の演算ブロックを組み合わせて DCS のプロセス制御を再現させたが、作業途中で DCS の演算ブロックとの機能の違いから、ループ回路や演算ブロックの見直しが行われた。シーケンス制御は DCS のシーケンス制御がシーケンステーブルを使用していた為、スムースにプログラムの移行ができた。プログラミング終了後にデバッグ作業にかかりプログラムの変更・修正を行った。プログラミング作業、デバッグ作業と並行して RSView32 で画面総数約 200 枚の監視画面およびデータ収集画面の作成を行った。最後に総合動作試験として、入出力ユニットを既設設備と接続後、実負荷試験を実施した。PLC 計装で作成したプロセス制御のプログラムが、DCS と同様に実行できることを確認した。実験スケジュールの空いている時期、約 1 年間の期限付きで設計から試験までを実施することができた(第 5 図参照)。

4.2. プロセス制御の動作確認

大型ヘリウム冷凍設備の健全性を確認するために総合動作試験(3 回)を実施した。ヘリウム冷凍機の主なプロセス制御として、ターピン起動シーケンスから冷凍機液化までのステップシーケンス(冷凍機クールダウン)、液体ヘリウム保有量および負荷戻り流量に応じたターピン能力制御、クライオポンプの冷却状態と液体ヘリウムデュワー液位制御等がある。また、クライオポンプの主な制御として、クライオ入口温度閾数による予冷弁制御、14 基クライオポンプパネル温度による不均衡冷却制御(パネル温度との偏差)、クライオンポンプ毎の冷却完了による寒冷ガス戻し制御、温度予冷制御からクライオ液面制御、定常状態での液面安定化の自動化(強制循環シーケンス)がある。総合動作試験により確認できた不具合、特に設備の健全性を阻害するような大きな不具

今は初期の段階から削除するように努め、DCS が行っていた理想的な動作に近づける為に早急に対策の検討を行い、次回の試験時に検証できるようなサポート体制で実施した。以下に代表的なプロセス制御を示す。

①タービン起動シーケンスから冷凍機液化までのステップシーケンス

クライオポンプへ冷媒である液体ヘリウムを供給するために、ヘリウム冷凍機のタービンを起動して液体ヘリウムをデュワーに溜め込む一連のシーケンスを実施する工程である。第 6 図に冷凍機のクールダウンによる機器の温度と液体ヘリウムの液位の変化を示す。タービンを起動して常温付近にあった第 2 タービン入口温度、第 5 熱交出口温度、内部吸着器入口温度、液体ヘリウムデュワー温度が徐々に冷え始め、第 5 熱口出口温度と液体ヘリウムデュワー温度が液化点(8K 以下)になるとデュワーに液体ヘリウムが溜まり始めてきて、冷凍機が正常に液化している様子が分かる。

②クライオポンプの冷却状態液体ヘリウムデュワーの液位制御

冷媒循環系の予冷段階において、液体ヘリウムデュワーへの液保有量は各クライオポンプの冷却状態により、液体ヘリウム循環系全体の液体ヘリウムの管理制御が必要である。

液体ヘリウムデュワーの液位制御は、各クライオポンプへの供給弁制御とデュワーの液体ヘリウムの過剰保有時におけるヒータ蒸発制御の 2 通りが相互に機能する。

1 つはクライオパネル温度低下で冷却完了(定常)ユニット毎に、デュワーの液位目標値(SV)を規定液位分低下させ、冷却に必要な液体ヘリウム量を調整する。もう 1 つは、クライオポンプの定常を受け、デュワーの保有する液体ヘリウム液位上限値が定常ユニット数に応じ液位目標値(SV)減少させる制御である。

第 7 図に示すようにデュワーヒーター出力により液体ヘリウムデュワー液位が変化して液位制御が正常に行われていることが分かる。

③クライオポンプパネル温度による不均衡抑制制御

クライオポンプの予冷は、ポンプ下部からヘリウムガス及び液体ヘリウムにより行われる。予冷弁の制御はクライオポンプの入口温度による温度閾数にて、予冷弁出力を算出する。この閾数は運転経験値であり、クライオポンプ毎に決められている。さらに 14 基のクライオポンプの冷却不均衡を抑制するため、対象クライオポンプのパネル温度(TI1A#N)と全クライオポンプのパネル平均温度(TI1Aave)の偏差を平均温度で除算した値を、対象クライオパネル入口温度の MV 閾数出力値(TI10#N_{MV})に補正係数として乗算することで、予冷弁出力を変化させ冷却進みや遅れを抑制し、全体をほぼ均一に冷却する制御である。下記に本制御の演算式を下記に示す。

$$\alpha = 1 + (TI1A\#N - TI1Aave) / TI1Aave$$

$$\text{予冷弁出力値}(\%) = TI10\#N_{MV} \times \alpha$$

α : 補正係数、TI1A#N : 対象クライオポンプのパネル温度

TI1Aave : 全クライオポンプのパネル平均温度(K)

TI10#N_{MV} : 対象クライオパネル入口配管温度の MV 閾数出力値(K)

第 8 図は不均衡抑制制御を行ったときのクライオパネルの冷却状態を示す。各クライオポンプのパネル温度(TI1A#N)がバラツキを抑えながら冷却されて大きな時間差なく、液化温度に到達する。但し、クライオポンプ N1, N2(負イオン NBI ビームライン用)は、本冷凍設備運転開始後に増設されたもので、他のクライオポンプ(正イオン NBI ビームライン用)に比べて真空断熱配管が延長されているため、その長さに応じて冷却に時間を要するためである。

④定常状態での液面安定化操作の自動化(強制循環シーケンス)

クライオポンプの液面制御は上部気液分離器への液体ヘリウム供給制御による自然循環方式を採用している^[6]。クライオパネルの液面制御は熱負荷で蒸発気泡がパネル上部を介して気液分離器に誘導される流れが生ずる。一方クライオパネルに気液分離器から下部へ供給するラインがあり、自然循環が自動的に起こる。しかし気液分離器から下部へ供給するラインの 2 系統に差圧が生じると片側が流れにくくなる。自然循環が機能していないと周期的な液面変動が発生する。液面安定操作は、第 1 に気液分離器内液位を一定値以上上昇させ、第 2 にクライオ全体の気液分離器の内圧を均一にする目的で出口弁の閉により流れを封じる。最後に気液分離器の内圧を既定値まで上昇させることで一連の操作が終了する。第 9 図に液面安定化制御のフローチャートを示す。液面安定化制御により、第 10 図に示すように周期的な液面変動がなくなり、自然循環がスムーズになったことで安定した液面状態になる。

4.3. 成果

PLC 計装システムの導入の為、低コスト・短期間(実験スケジュールの合間)で、LCB のプロセス制御機能を最大限に活用し DCS と同様のプロセス制御を行う制御システムを構築した。信頼性も二重化対応の計装機器であり、異常時に自動で CPU(中央処理装置)が待機側に切替わることで高い信頼性を得た。また、予備部品を多量に保有する必要がないため管理上も優れている。DCS 時代と比較してデータの共有等オープンなネットワークへの接続が可能となった。パラメータ等の軽微なプログラム修正が PLC 運転中にも容易に行えてメンテナンス性が向上した。今まで、オペレータの経験に頼り個々のバラツキが生じていた、定常状態での液面を安定化させる操作も自動で行われるなど、操作性が大幅に向上したことによりオペレータの負担が軽減された。また、監視制御及びデータ収集において DCS 時より多くの情報量を得ることができ、液体ヘリウム製造装置のハードおよび制御の小さな変化にも対応できるようになった。また、PLC 計装を用いたことにより、低コストでシステムの改造を含めた拡張性を持つシステムに更新できた。PLC 計装を用いた新システムは、平成 17 年 10 月から本格的稼動に入り現在までトラブルなく正常に稼動している。

5. まとめ

1. PLC 計装を用いた制御システムへの改造

大型ヘリウム冷凍設備は約 20 年前に導入された設備であり、制御システムは、DCS 計算機システム(総ループ数:約 400)で行っていた。近年、DCS 機器の性能低下等による故障の頻度が著しく、また、本システムは製造中止後 10 年経過しているため部品調達も困難な状況になっており、実験運転に支障をきたし始めてきた。対策として、PLC 計装を用いた大規模な制御システムの改造を実施した。

2. DCS システムと同様のプロセス制御が可能になった

PLC 計装の LCB のプロセス制御機能を最大限に活用し、DCS と同様のプロセス制御が行うことができた。DCS 時代と比較してデータの共有等オープンなネットワークへの接続が可能となった。パラメータ等の軽微なプログラム修正が PLC 運転中にも容易に行えてメンテナンス性が向上した。定常状態での液面を安定化させる操作も自動で行われ、オペレータの負担が軽減された。監視制御及びデータ収集において DCS 時より多くの情報量を得ることができ液体ヘリウム製造装置のハードおよび制御の小さな変化にも対応できるようになった。監視制御及びデータ収集において DCS 時より多くの情報量を得ることができ大型ヘリウム冷凍設備のハードおよび制御の小さな変化にも対応できるようになった。

3. 低コスト・短期間で改造を実現した

PLC 計装を用いて低コスト・短期間(実験スケジュールの合間)で大型ヘリウム冷凍設備の制御システムを構築することができた。また、PLC 計装を用いた制御システムは、改造を含めた拡張作業も容易に行うことができる大きな利点もある。

謝　　辞

本報告書をまとめるにあたり、池田佳隆粒子ビーム加熱システム開発グループリーダー、大賀徳道粒子ビーム加熱システム開発グループサブリーダーをはじめとする粒子ビーム加熱システム開発グループの皆様に感謝を申し上げます。加えて、協力を頂きました今橋浩一氏他原子力エンジニアリング運転委託関係諸氏に深く感謝いたします。

また、本研究遂行にあたり終始変わらぬ御指導、激励を頂きました栗山正明トカラマク技術開発ユニット長、細金延幸研究主席、山本巧研究主席に感謝を申し上げます。

参考文献

- [1] JT-60 試験部：私信
- [2] 秋野昇他：私信
- [3] 菊池勝美他：大阪大学総合技術研究会実行委員会，平成 16 年度大阪大学総合技術研究会 報告書掲載
- [4] 岡野文範他：計装，工業技術社 2006 年 3 月号掲載
- [5] 岡野文範他：PLC によるプロセス演算機能を用いた大型ヘリウム冷凍設備の制御構築，分子科学研究所技術研究会，平成 17 年度分子科学研究所技術研究会報告書
- [6] 棚井豊他：冷媒循環系制御系計算機更新後の総合試運転，分子科学研究所技術研究会，平成 17 年度分子科学研究所技術研究会報告書

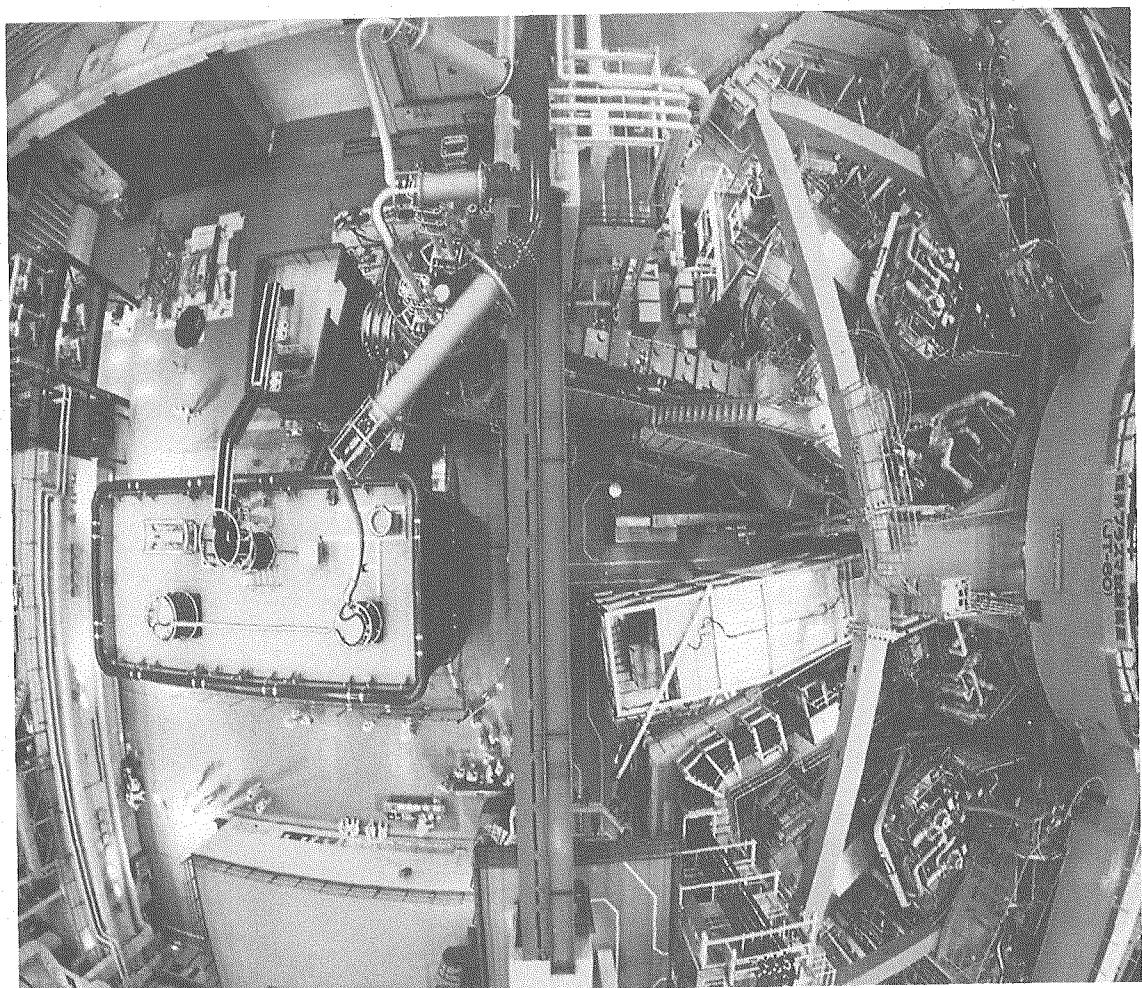
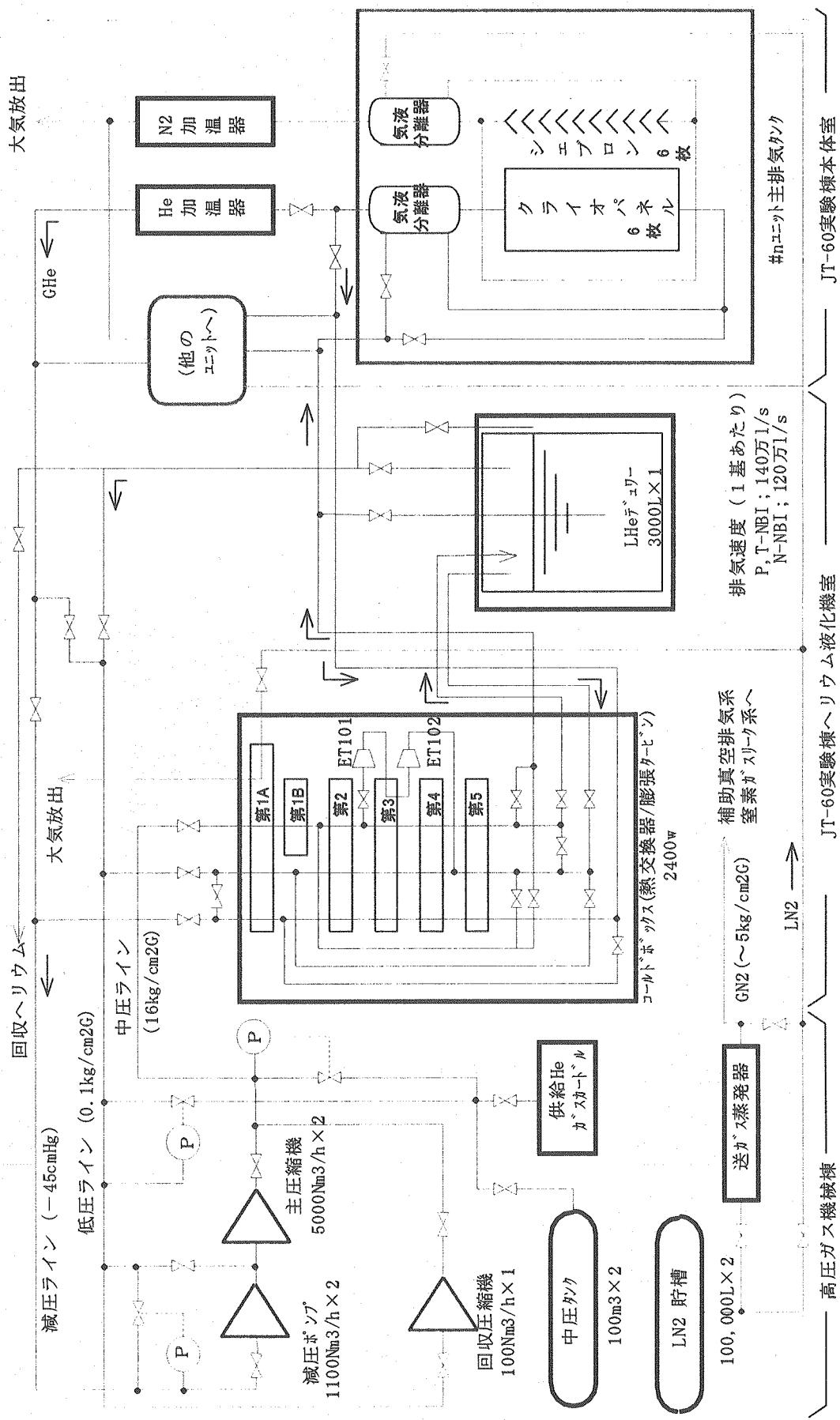
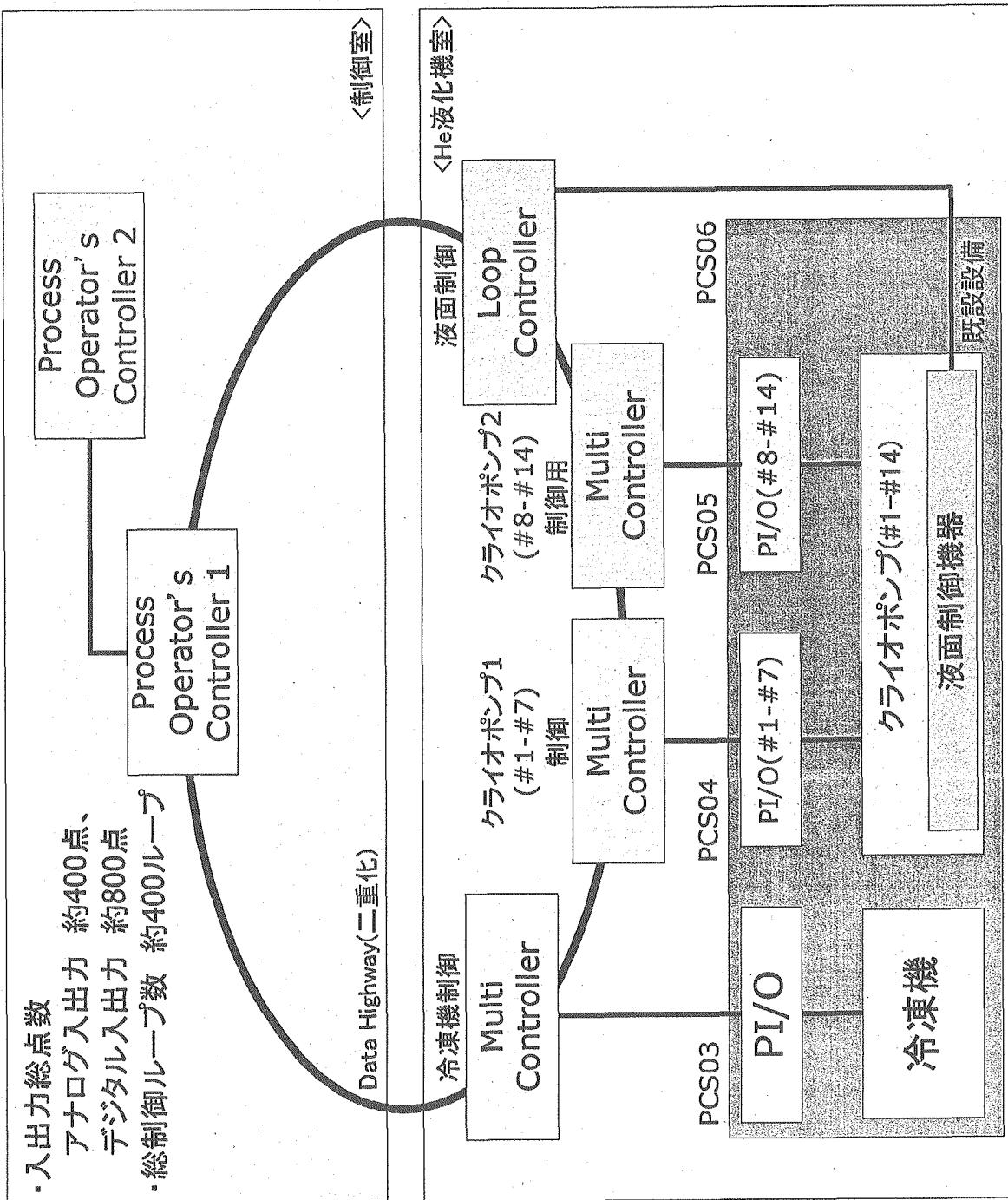


写真1. NBI装置の写真

第1図 ヘリウム冷凍設備・概略系統図

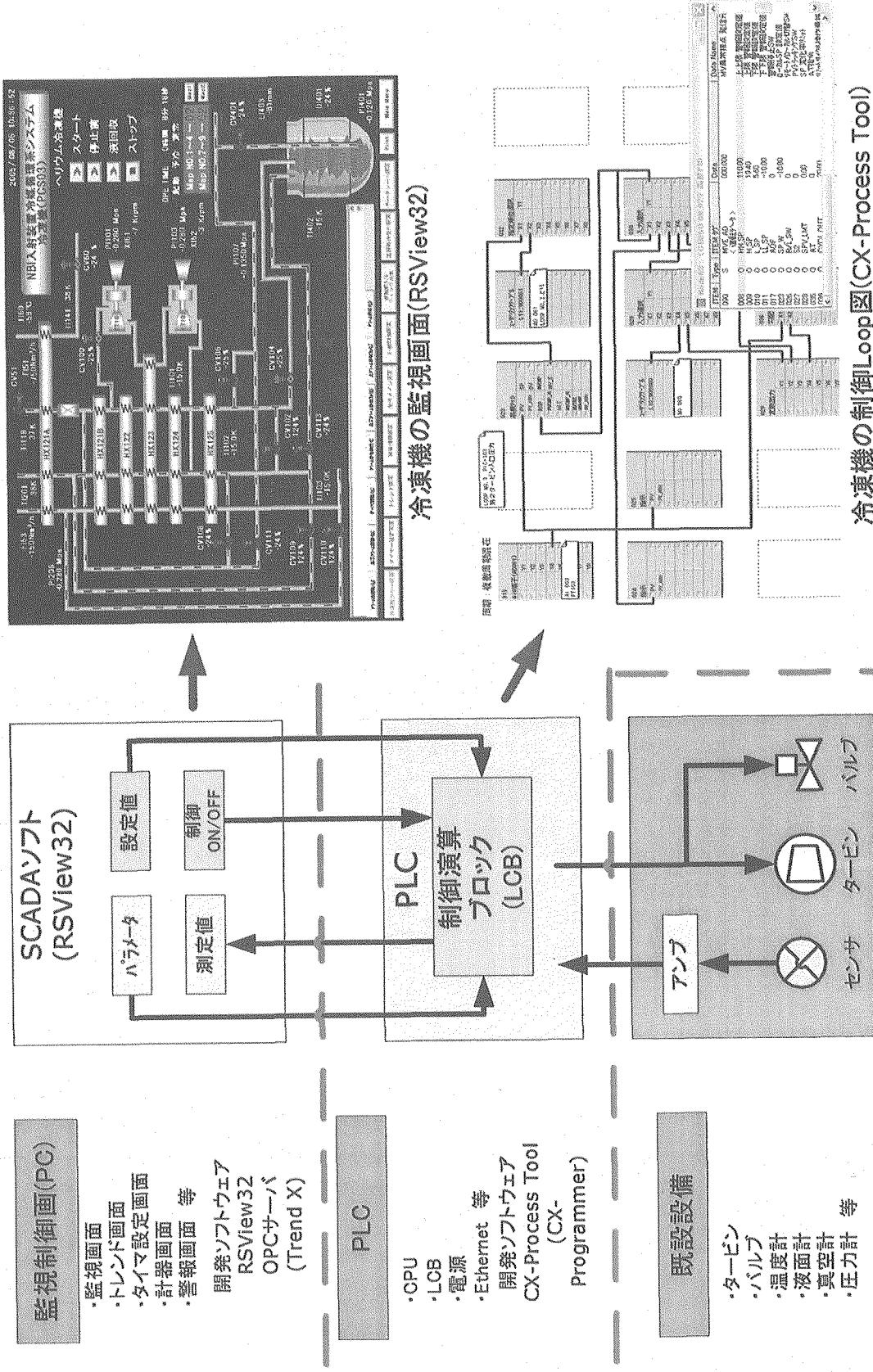


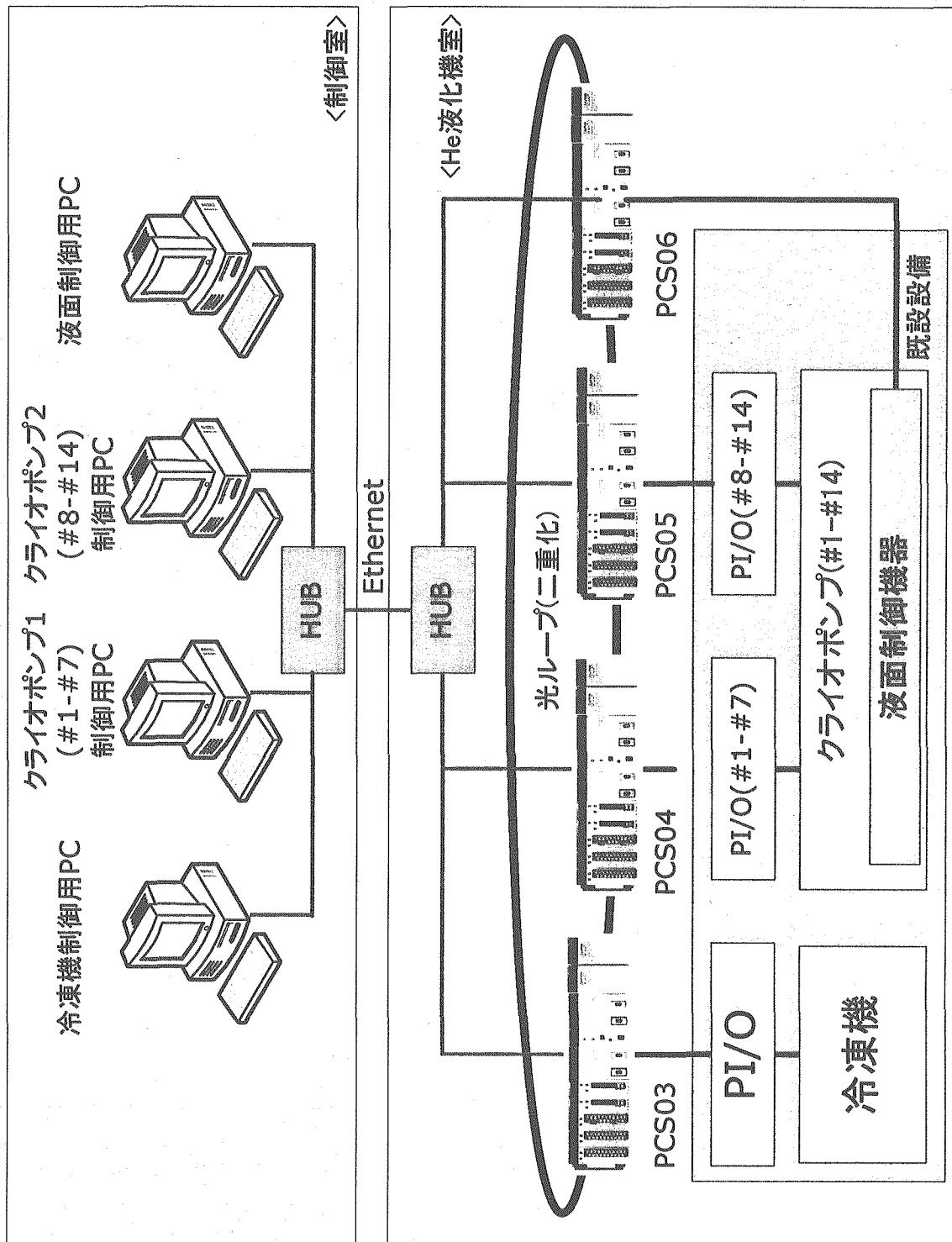


第2図 DCS制御システムの構成

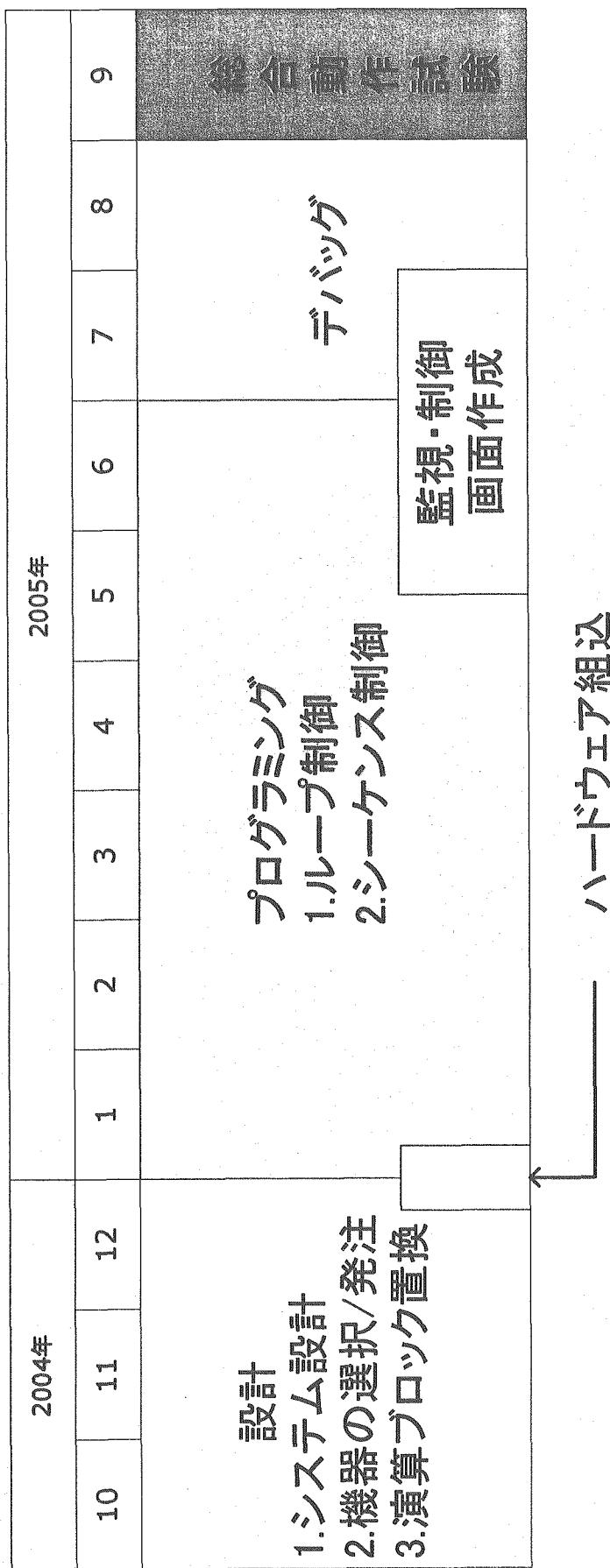
第1表 制御システム更新案の比較

比較項目		汎用BUS規格システム (VME,PCI)	PLCシステム
導入の難易度	計装パッケージ ループ制御 シーケンス制御	ゼロからの計装ソフト ウェア開発が必要	専用開発ソフトが提供 ○
	グラフィック画面 トレンド 警報・帳票	W.SとBUS間通信 ソフトの開発必要	SCADAソフトで簡易に ○
機能	ハードウェア	CPU、OSに依存せず 高速なシステム構築が可能	市販品のためノートでの 計装プロックに制限がある △
	ソフトウェア	ユーチュアル開発が可能 生かしたソフト開発が可能	提供市販ソフト内機能に 制限を受ける △
汎用性・保守性	システム堅牢性	異メーカボードを組合せる ため互換性が問題 ハード2重化は困難	PLCは信頼性をベース とした実績がある 二重化対応が可能 ○
	汎用性・保守性	ボード種の製作メーカーが ボードなり、部品供給に不安	導入メーカは、20年の 部品供給が可能 ○
コスト&時間		一番のウエイトを占める 計装用ソフトウェア開発に 時間が必要とする。	ハードウェアは安価 ソフトウェア開発はPLC 計装専用ソフトで 比較的の短期間で ○

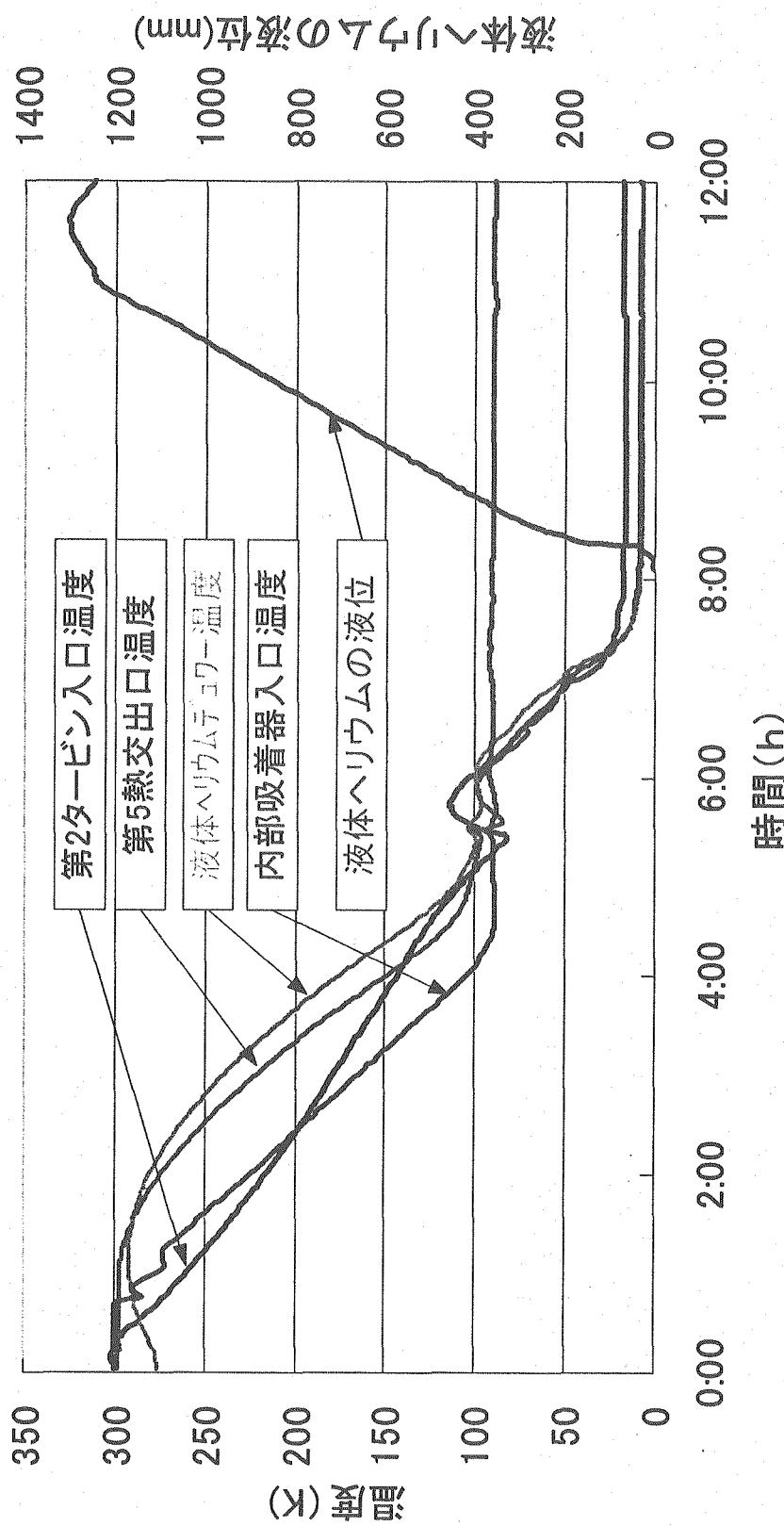




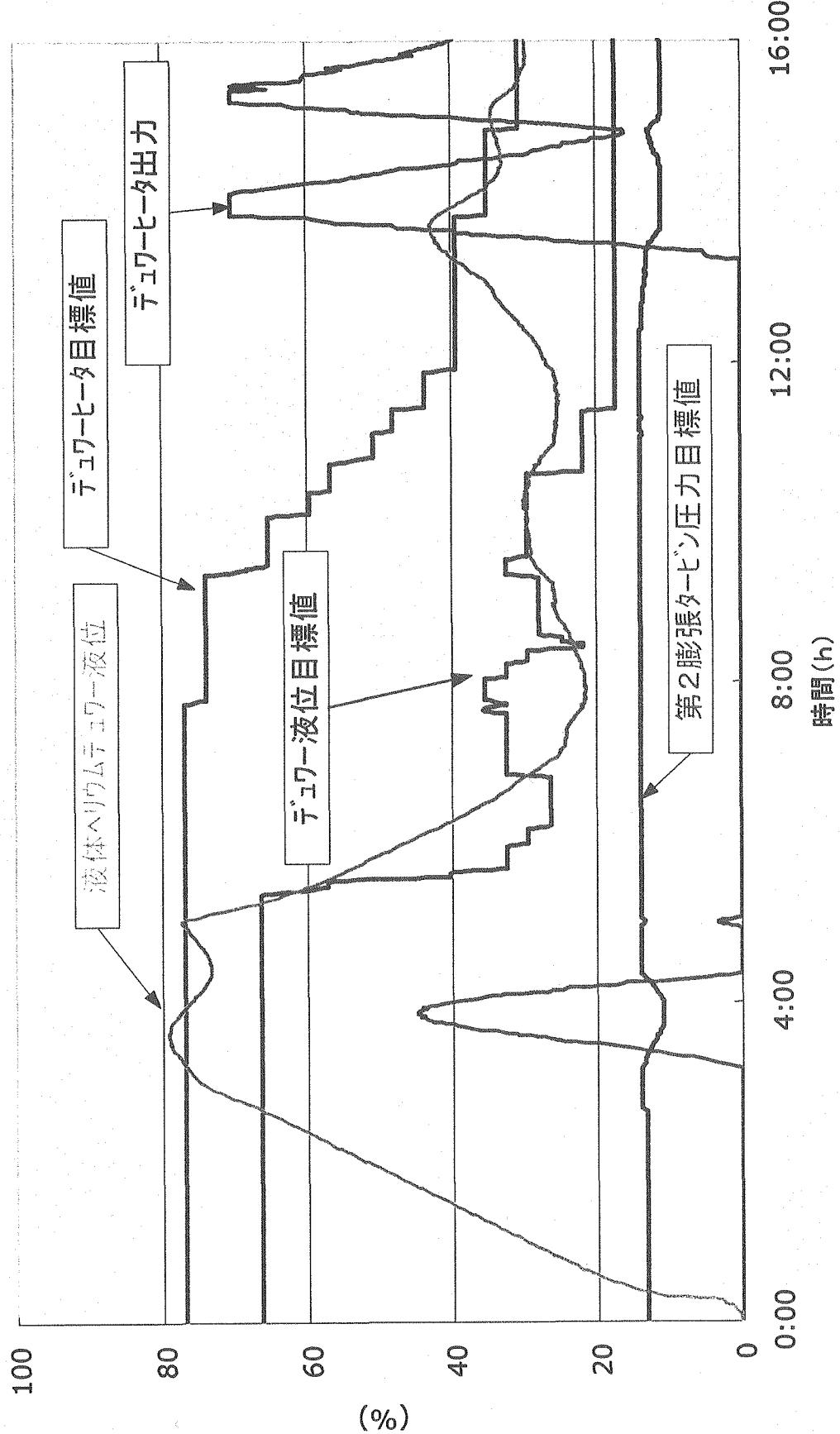
第4図 PLC計装を用いた制御システムの機器構成



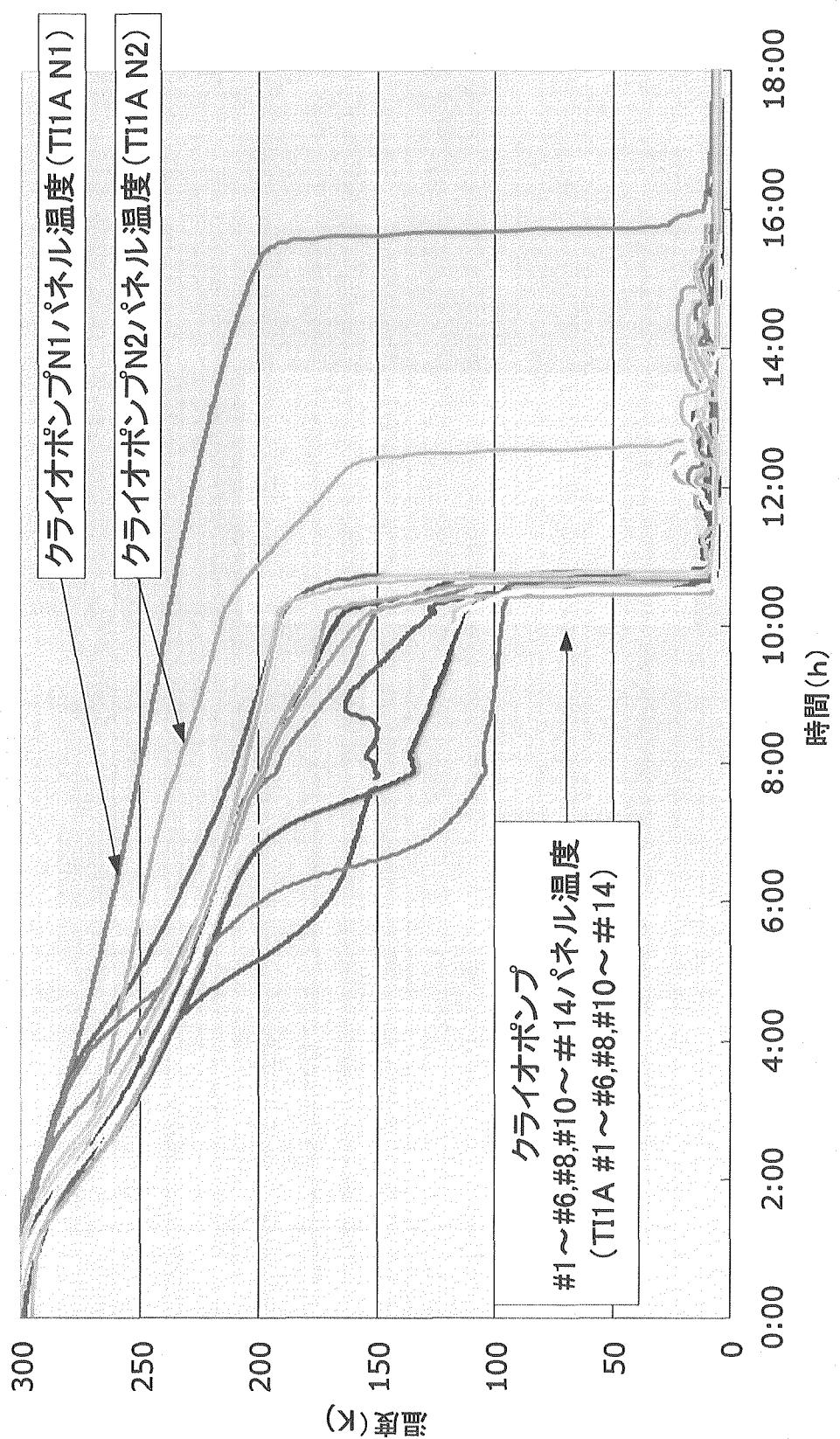
第5図 PLC計装の導入スケジュール



第6図 冷凍機のクールレダウンによる機器の温度と液体ヘリウムの液位の変化



第7図 クライオポンプの冷却状態と液体ヘルムデュワーハルム液位制御



第8図 不均衡抑制制御によるクライオポンプのパネル温度

This is a blank page.

液面安定化制御開始



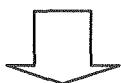
(1) 気液分離器内液位の上昇制御

- ・入口弁を強制的に全開
- ・PID制御の積分制御機能のみ停止



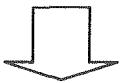
(2) 液位が既定値まで上昇したら

- クライオ全部の気液分離器内圧を均一にする
- ・PID制御の積分制御機能再稼動
 - ・出口弁を閉じる



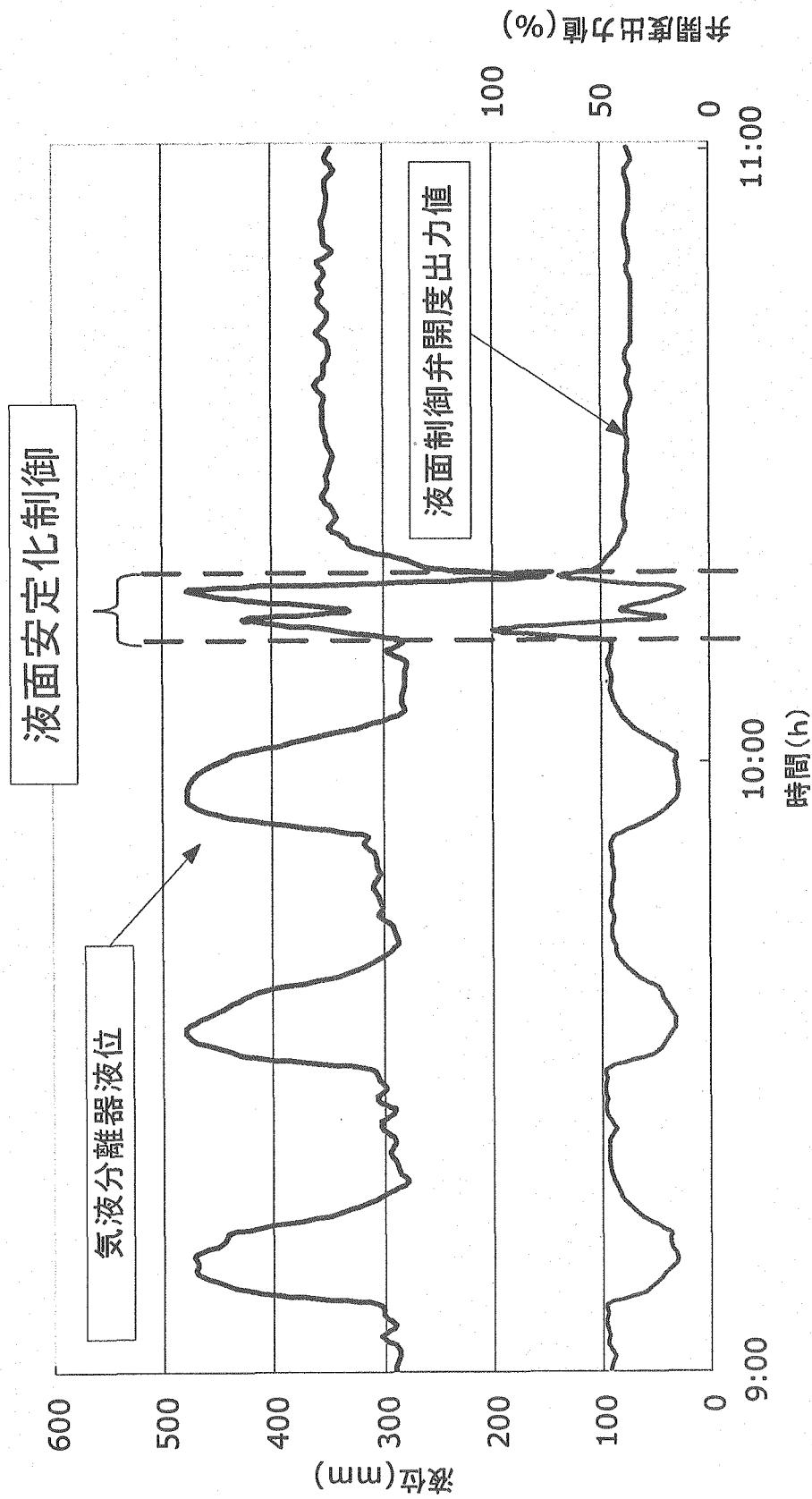
(3) クライオ気液分離器圧力を既定値まで上昇させる

- ・出口弁を定常開度にする



完了

第9図 液面安定化制御のフローチャート



第10図 液面安定化制御による機器状態の変化