



JP0750169

JT-60SAにおけるP-NBI加熱装置の 制御システム(100秒化)の予備設計検討

Design Study of a New P-NBI Control System
for 100-s Injection in JT-60SA

本田 敦 岡野 文範 篠崎 信一 大島 克己
沼澤 呈* 池田 佳隆

Atsushi HONDA, Fuminori OKANO, Shinichi SHINOZAKI, Katsumi OOSHIMA
Susumu NUMAZAWA* and Yoshitaka IKEDA

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 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つております。

〒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

JT-60SAにおけるP-NBI 加熱装置の制御システム(100秒化)の予備設計検討

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・篠崎 信一・大島 克己^{*1}

沼澤 呈*・池田 佳隆

(2007年1月26日受理)

国際熱核融合実験炉(ITER)のサテライトトカマク及びトカマク国内重点化装置として、JT-60U本体を超伝導トカマク装置に改造する JT-60SA(JT-60 Super Advanced)計画が進められている。JT-60SA化における主加熱装置である正イオンNBI 加熱装置(P-NBI)は、既存の入射パルスを30秒から100秒に伸長し、12ユニットで24MWの中性粒子ビーム入射が求められる。このためには、製作から20年以上経過した現行の大型制御システム(デジタル:約4000点)を全面的に改造する必要がある。新制御システムの予備設計を、拡張性、コストパフォーマンスに加え、プログラムの自主開発の視点から行った。この結果、大型システムにおいてもPLC(Programmable Logic Controller)を主要機器に用いたユニット単位制御方式の導入により、現行制御機能を確保しつつ拡張性を有する100秒化制御システムを汎用品の組合せで構築できることが明らかとなった。

那珂核融合研究所(駐在):〒311-0193 茨城県那珂市向山801-1

*1 出向職員(日本アドバンストテクノロジー株式会社)

* 株式会社ストリーム

Design Study of a New P-NBI Control System for 100-s Injection in JT-60SA

Atsushi HONDA, Fuminori OKANO, Shinichi SHINOZAKI, Katsumi OOSHIMA^{*1},
Susumu NUMAZAWA *and Yoshitaka IKEDA

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

(Received January 26 ,2007)

The modification of the JT-60U to a fully superconducting coil tokamak, JT-60SA (Super Advanced), has been programmed as the satellite devise for the ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) and as the national centralized tokamak. The present positive-ion-based NBI system (P-NBI), which has been operated for 20 years and will be the main heating system on JT-60SA, is required to manage the long pulse injection extended from 30 s to 100 s at the power of 24 MW with 12 units. To realize such a requirement, the original control system handling more than 4000 digital data is to be fully remodeled. Design study of the new control system has been conducted from viewpoint of market availability, system extensibility, cost-effectiveness and independent development in programming. It has been concluded that a distributed control system using PLC (Programmable Logic Controller) could be applied to the large-scale control system for 100-s operations with satisfaction of the evaluation viewpoints.

Keywords : JT-60SA , NBI ,100 s ,PLC, Basic Design Study

^{*1} Research Staff On Loan (Nippon Advanced Technology Co.,LTD)

* Stream Co.,Ltd.

目 次

1.	はじめに	1
2.	更新の基本方針とスケジュール	1
3.	既設制御システム	3
4.	100 秒化の設計検討	4
4.1	PLC の高速処理に対する検討	4
4.2	PLC によるデータ収集に対する検討	5
4.3	SCADA ソフトの計算機システムに対する検討	6
4.4	PLC を用いた制御システム全体の検討	6
5.	今後の検討項目	7
6.	まとめ	8
	謝辞	8
	参考文献	8

Contents

1.	Introduction	1
2.	Design philosophy and schedule	1
3.	Existing control system	3
4.	Design study for 100-s operation	4
4.1	High-speed processing of PLC	4
4.2	Data acquisition by PLC	5
4.3	Computer system for SCADA software	6
4.4	PLC-based control system	6
5.	Future plan	7
6.	Summary	8
	Acknowledgments	8
	References	8

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-60)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おり、JT-60本体を超伝導トカマク装置に改造する JT-60SA(JT-60 Super Advanced の略)計画が新たに日本と欧州で進めることとなった^[1]。図-1に JT-60SA の鳥瞰図を示す。JT-60SA 計画では、ITER のサテライトトカマクとしての ITER を支援するとともに原型炉に向けた高圧力定常化プラズマ研究が行われる。このため 12 基からなる正イオン中性粒子入射加熱装置(以下 P-NBI)により入射パワー 24MW(2MW/基)、100 秒間の加熱実験が求められている^[2]。既設の P-NBI の最長入射パルスは 30 秒であり、この 100 秒入射を実現するためには、電源設備の増力化に加え、制御システムの大幅な改造が必要である。一方、P-NBI 制御システムは、JT-60 の運転開始から 20 年余りが経過し各機器は高経年化による故障が頻発してきている。また制御機器がシステム専用設計のため代替品による交換保守が困難であり、実験運転にも支障をきたし始めてきている。このため 100 秒入射対応を契機に、汎用品を用いた信頼性の高い制御システムに更新することとした。さらに制御システム更新にあたっては、これまでの P-NBI の装置の運転機能を最大限確保しつつ、研究・開発成果を制御機能に容易に反映できる拡張性の高いシステム構築を目指すこととした。これらの考えを基に汎用品 PLC(Programmable Logic Controller の略)を主要機器に用いた制御システムの基本設計を行うこととした。PLC 導入にあたっては、既設制御システムの分析を行い、その高速制御性や多量のデータ処理が PLC で代用できるかを明らかにする必要がある。本報告書では、まず制御システムの更新に対する基本方針を示した後、3 章で既設制御システムの機能分析結果を示す。4 章ではその分析結果と最新の汎用 PLC との機能比較を行うとともに PLC を用いる制御システム全体像を示す。5 章、6 章には今後の検討項目とまとめを述べる。

2. 更新の基本方針とスケジュール

JT-60SA 用 NBI では運転パルス巾を 100 秒化運転制御(表-1 に示す)するに加え、その実験運転期間を~20 年という長期間を想定しているため、新制御システムの設計に当たっては、当初から、高経年化対策にも考慮した機器選定が必要である。

表-1 JT-60SA 用 P-NBI の要求性能

総中性粒子ビーム入射パワー	24MW
ビームエネルギー	85keV(標準定格)
ビーム入射時間	最長 100 秒
デューティーサイクル	1/30(ビーム入射時間最長 100 秒)
入射ユニット数	12 ユニット(2 付ソース/ユニット) 準垂直入射：8 ユニット 接線入射(順方向)：2 ユニット 接線入射(逆方向)：2 ユニット

具体的には、(1)一部の故障で制御上関連するユニットが停止してしまう現象を回避すること、(2)性能向上を目指した改造・改良にも容易に対応できる拡張性を持つこと、(3)実績のある既設制御システムの制御ロジックを継承し、装置の安全性を最大限確保すること、に留意して更新の基本方針は以下のように定めた。

- ①規格に則った汎用品で構成することにより、高経年化時にも柔軟に対応できるシステムとする。
- ②装置の運転稼働率の向上のため、ユニット単位での分散管理方式を採用する。
- ③機器構成を簡素化し、高い信頼性を持ったシステム設計を行う。

これら基本方針を基に、主要機器として PLC を導入した新制御システムを構築することとした。図-2 に新制御システム基本構想図を示す。これは PLC が近年目覚しい進歩を遂げており、実際 JT-60においても NBI 用大型ヘリウム製造装置の制御システム(アナログ入出力：約 400 点、デジタル入出力：約 800 点、制御ループ数：約 400)に PLC が導入され、良好な運転実績をあげていることが大きな理由である^{[3],[4]}。PLC の特徴は、コストパフォーマンスの高さにある。部品の交換が容易なうえ部品調達面でも長期に安定した供給が受けられるなど保守性にも優れている。また、市販のソフトウェアが容易に入手でき、更新作業の大部分を占めるプログラミングにおいても開発用ツール(ラダープログラミング用、監視コントロール及びデータ収集用基本ソフト[Supervisory Control and Data Acquisition : 以下 SCADA]用)が提供されている。このため当機構が独自で効率的にプログラミング製作を行うことが可能であり、更新ではハードウェアを購入して、ソフト開発・動作試験を自主製作する予定である。このことは、経費の大幅削減が可能という大きなメリットに加え、装置完成後の保守・改良が容易に可能との効果を生ずる。

なおデジタル入出力点数だけでも 4000 点を越える P-NBI 全ユニットの制御システムの更新にあたっては、横並びシステム構成の特長を生かして、まず既設 1 ユニットを用いてプロトタイプを製作(平成 20 年後期から 22 年前期)し、その後 JT-60 実験運転中で新制御ロジックの健全性を確認後(平成 22 年後期から 23 年前期)、全 12 ユニットへ展開(平成 23 年後期から)を図る、という段階的な開発を行う予定である。図-3 に更新に向けたスケジュール案を示す。

3. 既設制御システム

新制御システム設計・検討に当たり、既設 P-NBI 制御システムの性能・機能等を把握するため、制御ロジックの調査・検討を行った。図-4 に既設制御システム全体構成図を示す。既存の制御システムは制御盤類と計算機システムから成り、前者が P-NBI の基本動作である電源の通電／停止、遮断器の投入／開放などを管理し、後者が機器のデータ収集／処理などの応用動作部分を管理して機能分担を行っている。制御盤類は NBI 操作デスク(CP1)、電源系制御盤(CP2)、受配電設備盤(CP3)、ビームライン系関連制御盤(CP4,CP5)と計算機システムから構成されている。それぞれの制御盤類は表-2 のように機能分担されている。

表-2 制御盤類別構成機器とその機能

制御盤類名称	主構成機器	機能
NBI 操作デスク (CP1)	TDG、SC、 制御リレー	入射タイミング、指令等の管理・分配、運転操作等
電源系制御盤 (CP2)	TSC、SC、 制御リレー	現場電源の通電・遮断タイミング管理等
	CP2D	現場直流高圧電源の制御及び光通信等
	UD	磁場関係電源の監視・制御
受配電設備盤 (CP3)	制御リレー	定常系、変動系などの受配電設備の監視・操作等
ビームライン系制御盤 (CP4,CP5)	制御リレー	受熱機器、1次冷却系、 補助真空排気系の監視・操作等
計算機システム	高性能小型計算機 (W/S)	収集データの表示、演算、編集及び 放電シーケンス制御等
	CAMAC システム	高速アカウト信号を含むデータ収集
	現場データ収集盤	アカウト信号を含むデータ収集

TDG：タイミング 分配器、SC：シーケンコントローラ

TSC：タイミング 制御部、CP2D：低圧制御ユニット、UD：偏向・打消コイル保護装置

W/S：ワクステーション

CAMAC：計算機によるデータ収集・制御用に比較的高速な入出力速度を持つバス規格

制御盤の CP3、CP4、CP5 に関してはリレーで構成され、統括制御している現場機器は基本的なもののみでありインターロック等の変更頻度は少ない。CP1、CP2 は専用ハード基板、SC 及びリレーから成り、イオン源の調整運転等を反映し、各電源のインターロック等の設定値変更の頻度は前者に比べ格段に多い^[5]。そのなかでも、タイミング分配器(TDG)とタイミング制御部(TSC)は、タイマ機能を有した制御ロジックを記憶させたメモリ IC(Read Only Memory：以下

ROM)搭載の専用ハード基板の組み合わせであり、これにより電源の運転タイミング制御・管理を行っている。ビーム入射時は、TDG が JT-60 全系制御設備(以下全系)タイミングシステムから運転指令、保護関係信号を受け光多重通信によりユニット毎の TSC に分配する。TSC は TDG から受けたビーム入射に必要な各種信号と現場電源の運転信号を組み合わせ、ビーム引出用加速電源の運転／遮断(GTO-ON/OFF)信号などの高速ロジック処理を実施している。光多重通信は図-4 ように上位制御盤である CP1 と下位制御盤 CP2(7 ユニット/グループ×2)や、CP2 内の列盤(2 ユニット/1 列×7)を光ケーブルで結び制御盤間での保護インターロックに使用している。

また、計算機システムは、①運転監視、②膨大な点数のデータ(アナログ入力:約 1600 点、デジタル入力:約 4000 点)の収集、③収集データの演算処理、④放電シーケンス制御など多くの処理を 1 台の運転系ワークステーション(WorkStation:以下 W/S)で行っている。

4. 100 秒化の設計検討

新制御システムを構成する機器として PLC を導入することが最も有効であると考えることは既に述べた。そこで、PLC による制御が既設制御システムと同等な制御が可能かを調査・検討する必要がある。このため特に重要な機能として以下の項目について PLC の性能の調査を実施した。

- ①PLC による高速の制御処理が可能か？
- ②PLC による高速周期のアナログデータの同時収集等は可能か？
- ③SCADA が計算機システムに適合するかどうか？
- ④PLC を用いた全体のシステム構築がどこまで可能か？

4.1 PLC の高速処理に対する検討

TSC の専用ハード基板で行うイオン源用電源の高速の ON/OFF 制御を PLC にて継承可能かを検討した。表-3 に 1 ユニット当たりの TSC の入出力信号を示す。

表-3 TSC の入出力信号(1 ユニット当たり)

入力信号名	目標処理速度	TSC 処理出力信号名	出力点数	送信先
入射開始指令	200 μs 以下	GTO-ON 信号	4	CP2D
入射中断指令	200 μs 以下	GTO-OFF 信号	4	CP2D
BD・ア-キング 信号	200 μs 以下	GTO-OFF 信号	6	CP2D

TSC のハード基板内でのロジック処理は、数 10 μs で行っているが、基板の信号授受は入出力フィルタ(時定数 200 μs)で制限されていることが分かった結果、システム上では入出力フィルタの時定数と同等の速度で処理できれば問題ないことが判明した。そのため最速で 200 μs で処理可能な高速 PLC を用いてシステム構築することとした。ただし、現在入手可能な PLC で目標処理速度(200 μs 以下)の高速処理を対応させるには、プログラム量(基本命令のみで 2.8k

ステップ程度)、入出力点数(入出力リフレッシュワード数: 4 ワード=64 端子)の制限がある。このため入射開始指令、入射中断指令及び BD・アーキング信号の処理プログラムの設計にあたってはこの条件を考慮して行う必要がある。

また制御室の TSC が行う遠隔制御(現場電源設備まで約 200 m)として SCR-ON 指令(目標処理時間: 数 ms)がある。この指令制御は PLC の光通信対応リモート I/O(遠隔制御用入出力機器)機能を用いることで目標処理時間を満足することが可能である。

全系タイミングシステムから TDG が受信する信号に関しては、専用ハードウェアでユニット毎に直接 TSC に入力する方式を採用する予定である。これによりユニット単位で独立化を図り、将来、全系タイミングシステムの変更があっても容易に対応可能とともに、制御システム簡素化と通信時間の短縮を図る。

4.2 PLC によるデータ収集に対する検討

電源機器の運転値(電圧、電流など)の高速アナログデータは、制御用 PLC の入力信号や計算機システムにおいて P-NBI のパワー計算などに利用される。そのため計測器の各入力信号チャンネル間で同期のとれたデータ収集をすることが重要である。表-4 に現在の P-NBI-1 ユニットで収集するデータ(運転値信号など)を示す。

表-4 データ収集系信号 (1 ユニット当たり)

信号名	収集周期	信号点数	既設設備名
高速アカウグ	10 ms	20	CAMAC(系)
低速アカウグ	100 ms	10	
デジタル	400 ms	53	
アカウグ	100 ms	83	現場データ 収集盤(系)
デジタル	400 ms	136	

すなわち、高速アナログデータ収集は、各チャンネル間(20ch/1 ユニット)収集時間精度は 1 ms 以内でビーム入射時間(最長 100s)分のデータ収集が求められている。この条件を満足する機器を調査した結果、高速アナログデータ収集として、当機構で導入実績がある PC ベースの計測器(横河電機製; WE7000)が対応可能であることが分かった。WE7000 は同時サンプリング対応ボード等にて超高速収集仕様(数 10 ns)も選択可能だが、10ms サンプリングで 100 秒分のデータ容量が収集でき、収集時間精度の満足する仕様(収集時間精度: 90 μ s)がコストパフォーマンス的に最適である。また、収集周期 100ms 以上の低速アナログデータ等は、PLC でも対応可能であるとも調査の結果分かった。最終的にデータ収集系は、WE7000 と PLC について使用環境下(ノイズ環境等)での健全性(誤動作が無いこと等)を検証試験で見極め、採用機種を決定する予定である。

4.3 SCADA ソフトの計算機システムに対する検討

PLC で収集、制御するデータは計算機システムから監視・制御操作する必要がある。新計算機システムでは汎用の PC を想定しており、ヒューマン・インターフェイス(HMI)機能を担う、監視・制御操作画面の製作として SCADA が使用可能を調査した。この SCADA としては、既に当グループで実施した大型ヘリウム冷凍設備の制御システム更新作業で使用した Rockwell Software 社製 RSView32 を第一候補とし検討を行った。このソフトの特長は次のとおりである。

- ①プログラミング経験が少ない者でも、製作対応が可能である。
- ②色彩表現が豊かな監視・制御画面の作成が可能である。
- ③PLC↔PC 間の標準規格準拠の通信ソフトウェア(OPC サーバ)の提供が受けられる。
- ④拡張性が高い。

この結果、計算機システムで SCADA による画面作成は可能であることが明らかとなった。ただし下記の課題が存在している。

- ①計算機システムに組み込んだ SCADA で PLC の収集データを表現するには、PLC から PC へのデータフォーマット変換を行うソフトウェア開発が必要である。
- ②12 ユニット分のデータ量(アナログ入力:約 1600 点、デジタル入力:約 4000 点)を SCADA が取扱う為、プログラムによる通信速度の低下を十分に考慮する必要がある。
- ③開発する SCADA 変換ソフトウェアには、演算処理機能(入射パワー計算など)や、データ編集、転送機能なども備えておく必要がある。

このため予備検証試験として、1 ユニット分の収集データ画面を作成し演算処理時間などの確認を行った上で、12 ユニット同時のデータ収集を考慮したシステム開発(ソフトウェアを含む)を行う予定である。図-5 にデータ収集システムの機器構成を示す。

4.4 PLC を用いた制御システム全体の検討

前述までの機器別の検討結果から、PLC 主体で構成する新制御システム全体の検討を行った。表-5 に機器別制御システム更新の検討結果を示す。

制御盤類は、高速でタイミング制御・管理を行う TDG、TSC で高速処理面に制限はあるものの、CP2D を除き、PLC に移行可能である結果が得られた。各機器用 PLC の通信ネットワークは、標準規格準拠の FL-net(Ethernet をベースにした異機種間通信を目的としたオープンネットワークで通信時間が保証されている)を基本に構成した。また、データの収集、演算及び制御に関するロジック等の各種処理を複数の PC で負荷分散を図ったシステムとした。図-6 に新制御システムの機器構成案を示す。

表-5 機器別制御システム更新の検討結果

盤・機器名		PLC 化	検討結果
CP1	TDG	○	移行可能。 制御ロジックの処理量を精査し TDG 機能と CP1 機能の統合または分離の決定を検証試験後に行う。
	SC		表示器等を使用するためそのまま。
制御リレー	—	—	表示器等を使用するためそのまま。
CP2	TSC	○	移行可能。
	SC		基本的に 1 ユニット単位に独立させ制御・管理を行う。
	UD	○	移行可能。アログ処理時間の考慮が必要。
	CP2D	×	電源設備の一部のため、現システムの使用。
	制御リレー	—	表示器等を使用するためそのまま。
PLC 間ネットワーク	—	—	FL-net を採用(異種 PLC との通信、VME にも対応)。
計算機システム	W/S	—	汎用パソコンに移行可能。 SCADA リフト等の開発が必要。
	CAMAC	△	高速アログデータ収集面で PC ベース計測器を選択。
データ収集盤	—		—

○ : PLC 化可能、× : PLC 化不可、△ : 一部に PLC 化可能

5. 今後の検討項目

今後の検討予定項目は次のとおりである。

①既設制御システムのロジックの調査・解析作業の完遂

既設各機器の制御ロジックの調査・解析作業(図面の電子ファイル化作業を含む)の完遂を目指す。

②新制御システムの詳細設計検討

調査及び検討結果を基に高速処理と保護インターロックを含む、新制御システム・プロトタイプの詳細設計検討を行う。

③PLC による高速処理の検証試験

PLC における高速処理の時間応答(処理速度)が所定の範囲に納まっているかの検証を行う。

④SCADA 変換ソフトウェアの開発と検証試験

計算機システムで監視・制御画面等の製作に大きく影響を及ぼす SCADA 変換ソフトウェアの開発を行う。検証試験は JT-60 実験時に行うため、既設計算機システムの動作を妨げないようしながら、試験用データ収集システムを並行に動作させて行う。

図-7 に PC ベース計測器と PLC で構築した検証試験用データ収集システムの構成を示す。

検証内容は、既設計算機システム(W/S と CAMAC)で収集する信号を、検証試験用データ収集システム(汎用 PC、PC ベース計測器及び PLC)にも取り込み並行収集を実施する。収集した

データを開発した SCADA 変換ソフトウェアで処理し、得られた結果を表示させ、既設システムと比較する。図-7 のシステムの予備検証試験で得られた結果をプロトタイプの構築に反映させ、プロトタイプの検証試験ではさらに詳細な項目についても確認していく予定である。

6. まとめ

JT-60SA 計画で、P-NBI は 12 基により入射パワー 24MW、100 秒間の加熱性能が求められている。このため P-NBI の制御システムは、電源設備の増力と併せ、これに対応する必要がある。さらに、既存設備の高経年化対策も必要なことから、P-NBI 制御システムの全面的な更新計画を検討した。

- ・新制御システムは、汎用性や拡張性に優れ、コストパフォーマンス面でも利点があり、開発ツールも充実していることから、PLC を主要機器と選択した。
- ・前記の基本方針に沿った予備設計の検討結果、現行制御システムの機能を PLC に移行することは可能(CP2D を除く)であることが明らかとなった。ただし高速制御に関しては制御ロジックの精査、入出力点数等の整理が必要であること、及び SCADA 用変換ソフトの開発により、PLC の収集・制御データを PC 上で画面処理が可能であることが判明した。
- ・今後、本検討結果を基に PLC を主要機器とする、P-NBI 100 秒化の制御システムの構築を目指す。

謝 辞

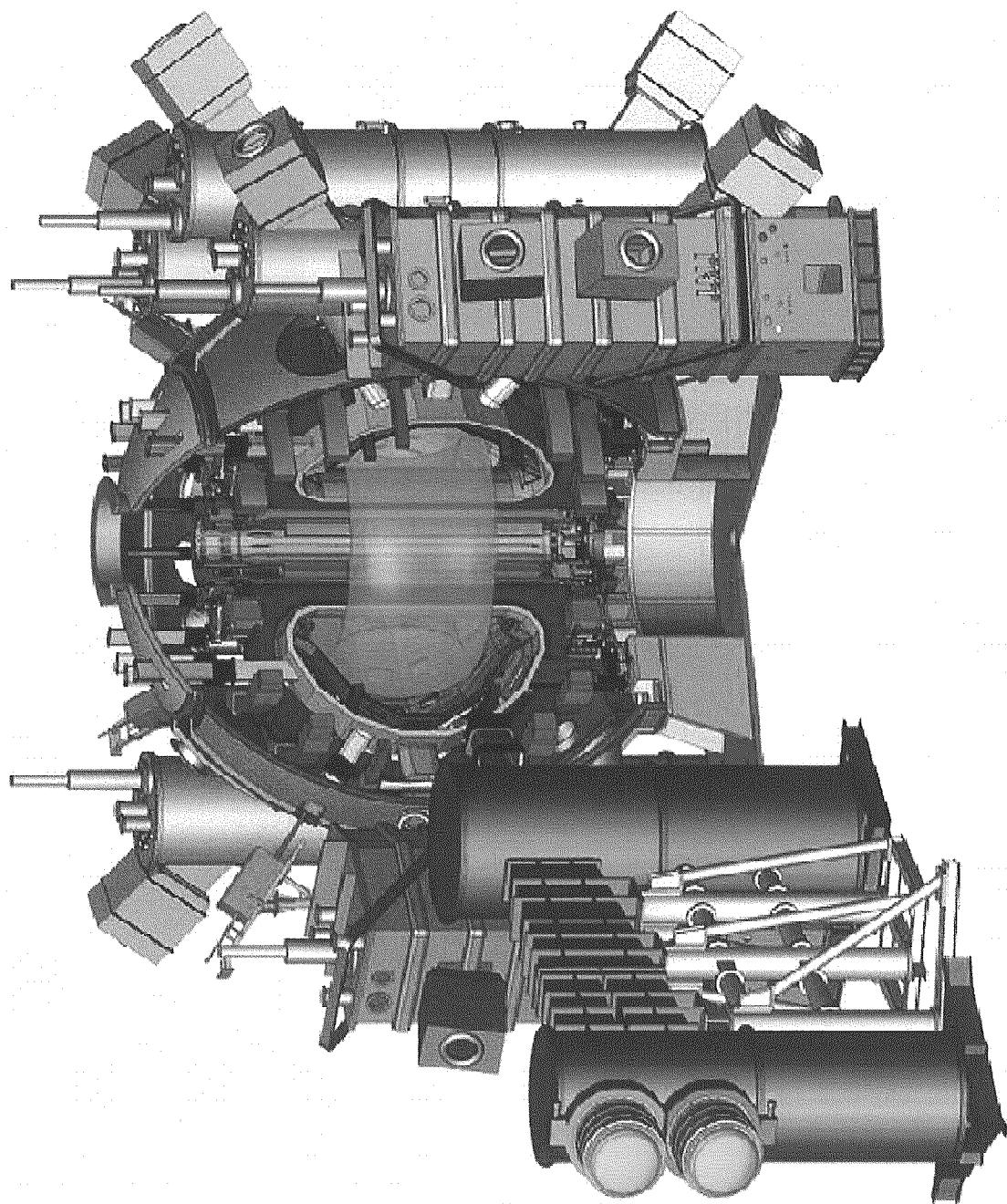
本報告書をまとめるにあたり、河合視己人粒子ビーム加熱システム開発グループサブリーダーをはじめとする粒子ビーム加熱システム開発グループの皆様に感謝を申し上げます。

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

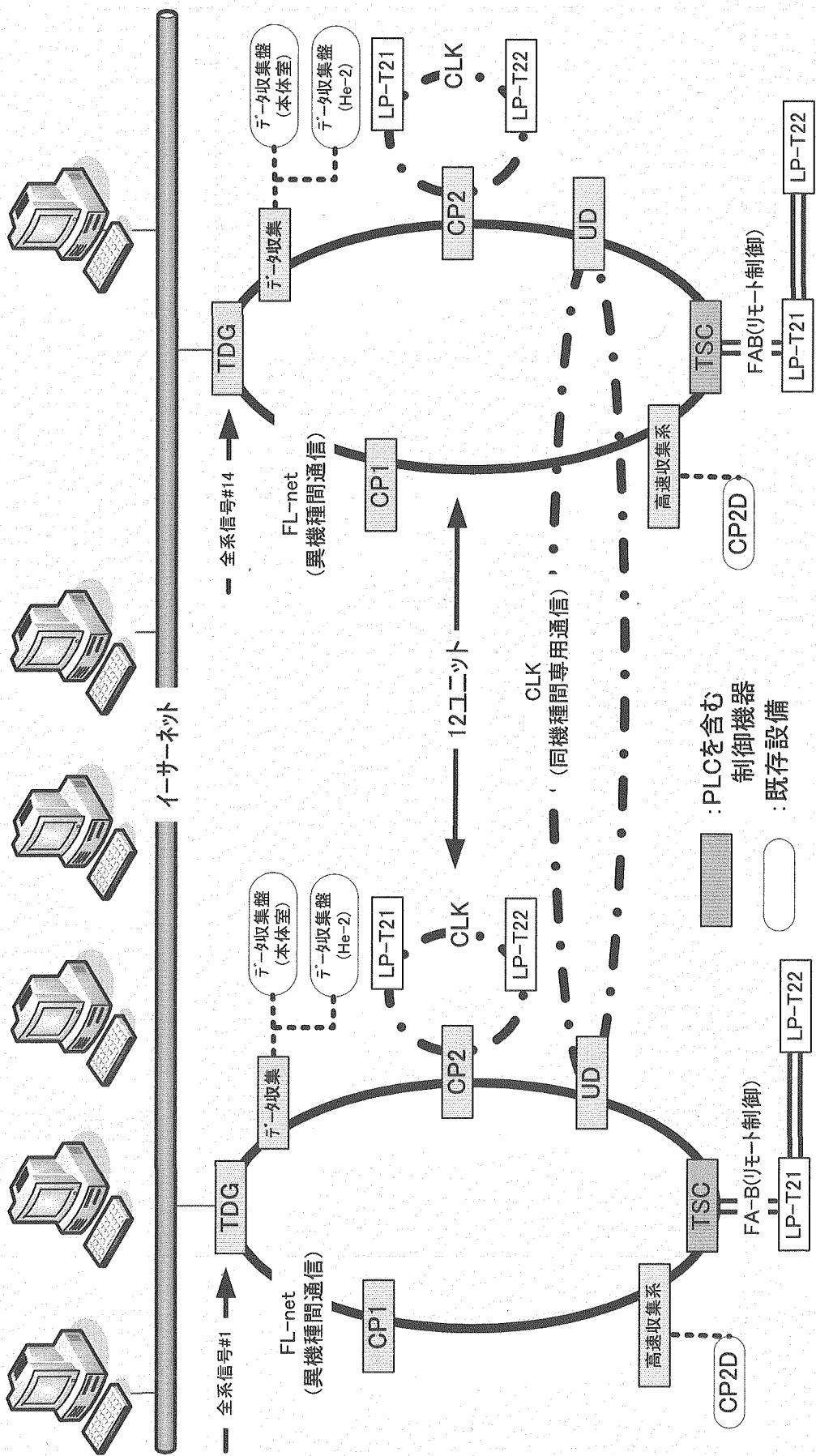
参考文献

- [1] 菊池 満他：“日欧の幅広いアプローチ計画と国内計画による JT-60SA 計画”，プラスマ・核融合学会誌, 82, 8, P455-469 (2006).
- [2] Y.Ikeda et al., “Technical design of NBI system for JT-60SA”, Proc. 24th Symp. Fusion Tech., Warsaw, Poland, September, 2006, P3-B-336.
- [3] 岡野文範他：“核融合／大型ヘリウム製造の負荷変動帰還制御への PLC 計装の活用”，計装, 49, 3, P22-26 (2006).
- [4] 本田 敦他：“JT-60U における NBI 加熱装置用ヘリウム冷凍設備の PLC 制御”，JAEA-Technology 2006-020 (2006).
- [5] 栗山正明他：“JT-60 粒子入射加熱装置の設計及び技術開発”，JAERI-M 87-169 (1987).

図-1 JT-60SA 热取図



This is a blank page.



CP1: NBI操作デスク, TDG: タイミング分配器, CP2: 電源系制御盤, TSC: タイミング制御部, CP2D: 低圧制御ユニット, UD: 偏向・打消コイル保護装置, LP-T21, LP-T22: 光多重通信装置

図-2 新制御システムの基本構想

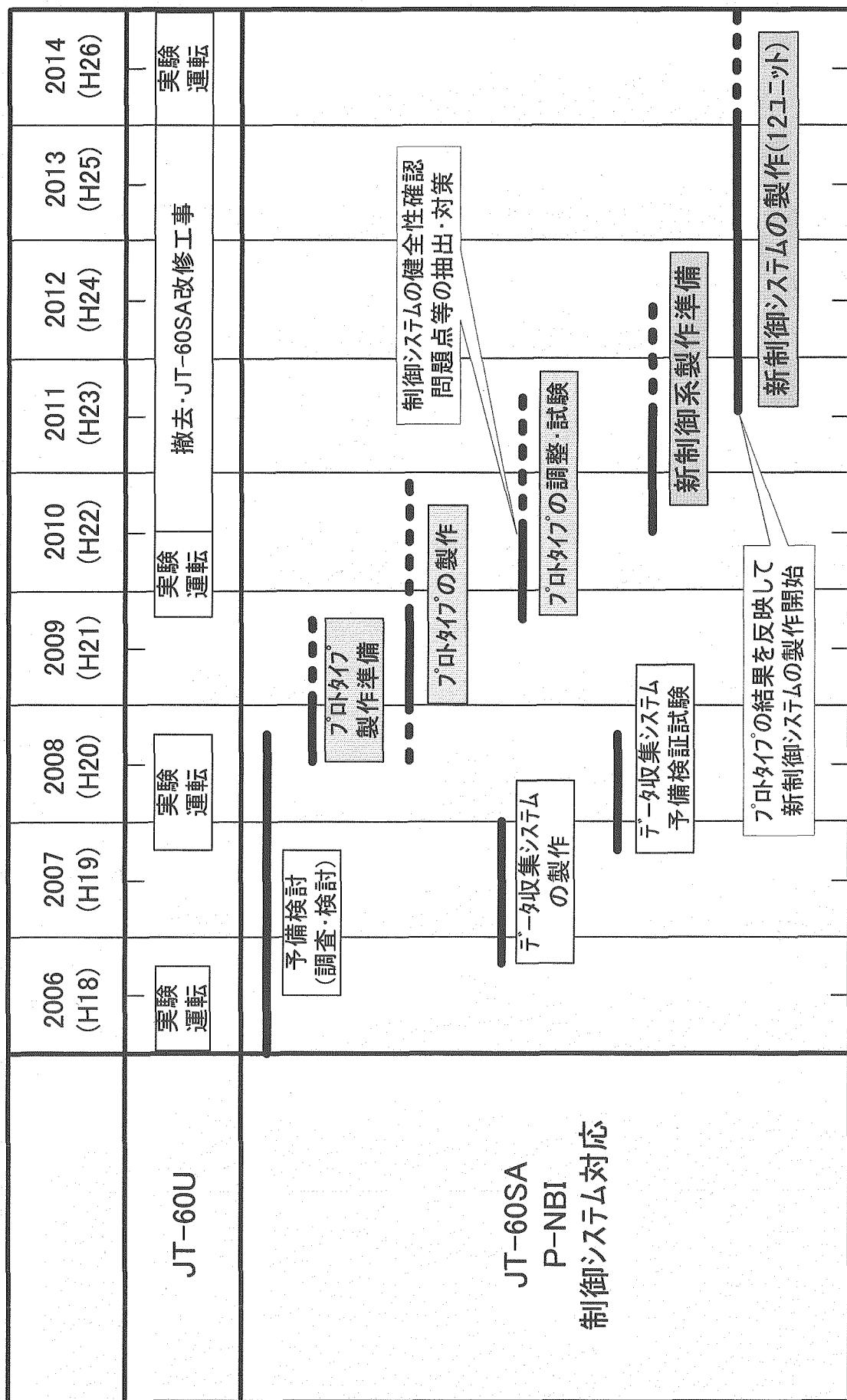
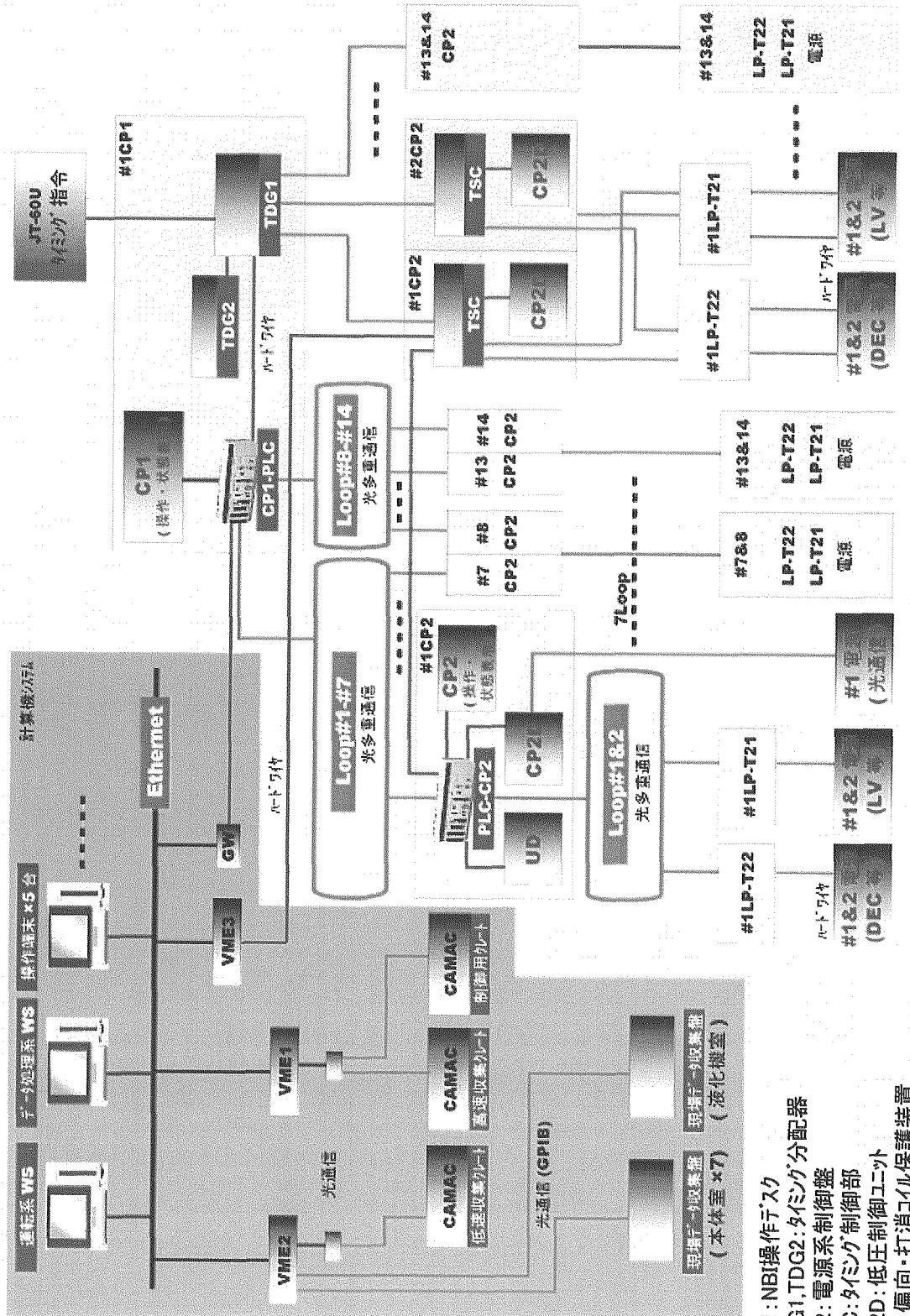


図-3 更新に向けたスケジュール



図一四 既設制御システム構成図

This is a blank page.

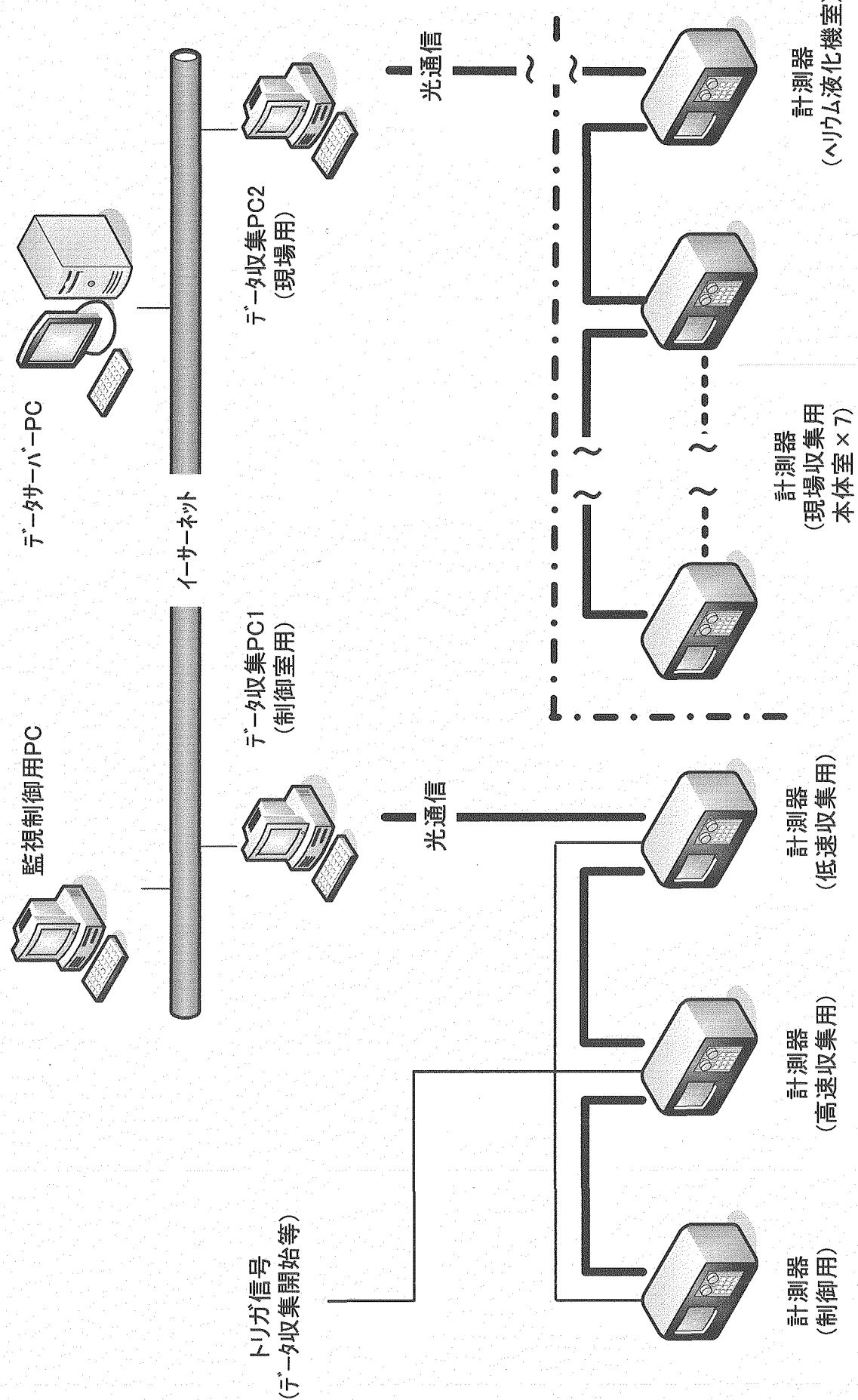
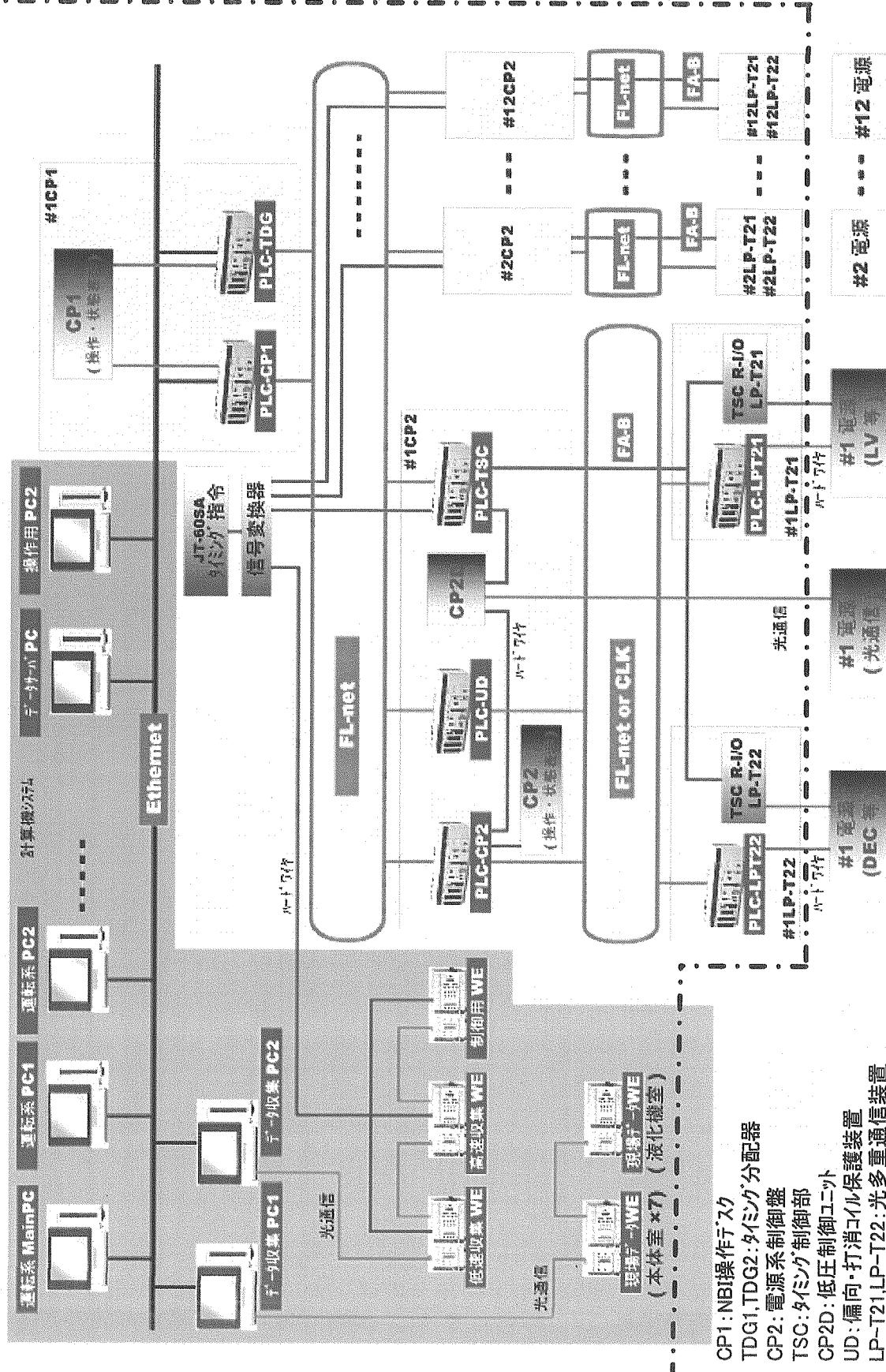


図-5 データ収集システム構成図

This is a blank page.

更新範囲**図—6 新制御システム構成図**

This is a blank page.

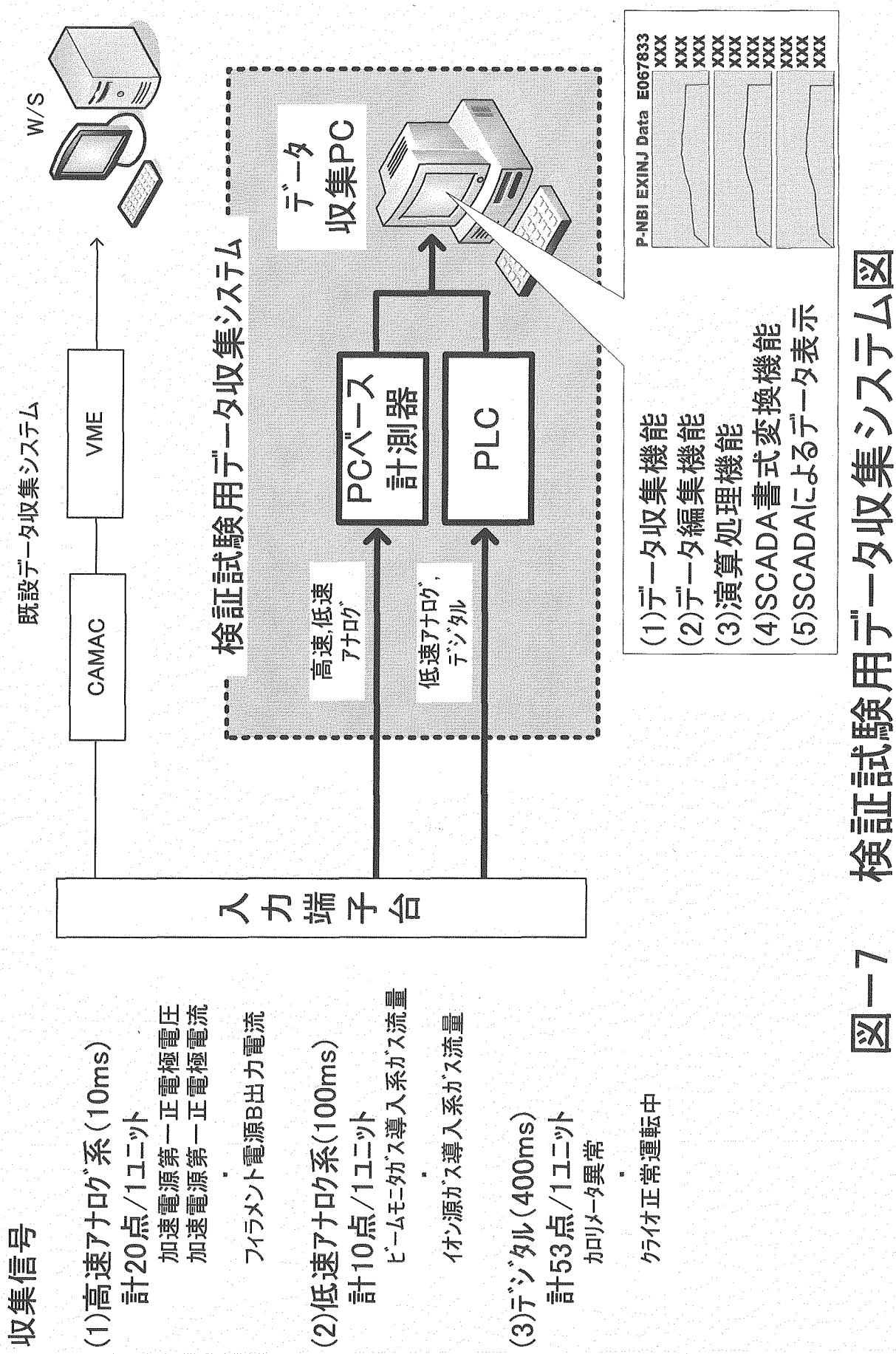


図-7 検証試験用データ収集システム図

This is a blank page.

