

JT-60SAにおけるP-NBI加熱装置 データ収集システムのプロトタイプの開発

Prototype Development of P-NBI Data Acquisition System for the JT-60SA

篠崎 信一 本田 敦 大島 克己
清水 達夫 沼澤 呈* 池田 佳隆

Shinichi SHINOZAKI, Atsushi HONDA, Katsumi OSHIMA
Tatsuo SHIMIZU, 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

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, 2008

JT-60SA における P-NBI 加熱装置データ収集システムのプロトタイプの開発

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

篠崎 信一・本田 敦・大島 克己^{*1}・清水 達夫^{*2}

沼澤 呈^{*}・池田 佳隆⁺

(2008 年 4 月 4 日受理)

国際熱核融合実験炉(ITER)のサテライトトカマクおよ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-60U 用正イオン NBI (P-NBI) は、入射パルスを 30 秒から 100 秒に伸長することが求められている。一方、既存のデータ収集システムは高価な CAMAC をベースとしており、製作から 20 年以上が経過したため、故障頻度が高くなり、運転にも支障をきたすようになっている。このため JT-60SA に向けて、100 秒のデータ収集機能と高い信頼性のあるデータ収集システムの開発に着手した。第 1 段として、今回、低コストの汎用品を組合せた 100 秒データ収集システムの検証システム（プロトタイプ）を開発・製作し、その基本性能を検証した。この結果、ユーザー要求に柔軟に対応可能な 100 秒システムをユーザー独自で構築できることが確認できた。

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）

^{*2} 技術開発協力員

^{*} 株式会社ストリーム

⁺ 経営企画部

Prototype Development of P-NBI Data Acquisition System for the JT-60SA

Shinichi SHINOZAKI, Atsushi HONDA, Katsumi OSHIMA^{*1}, Tatsuo SHIMIZU^{**2}
Susumu NUMAZAWA* and Yoshitaka IKEDA⁺

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

(Received April 4, 2008)

The modification of the JT-60U to a fully superconducting coil tokamak, JT-60SA (Super Advanced), has been programmed as the satellite device for the ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) and as the national centralized tokamak. The present positive ion-based NBI system (P-NBI), which has employed the expensive CAMAC and has been operated for 20 years, is required to extend its pulse duration from 30 s to 100 s for JT-60SA. Recently, the frequency of troubles on the data acquisition system has increased due to its age-induced deterioration. To realize the long pulse operation and to maintain the high reliability on JT-60SA, we set to develop a new acquisition system. As a first step, we have designed and constructed a prototype acquisition system, which is combined with instruments highly available on the market, to confirm the basic performance. The result indicates that the new system allows us to construct a highly flexible and user-friendly acquisition system at low cost without highly technical software developing.

Keywords : JT-60SA, NBI, Data Acquisition

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

^{*2} Collaborating Engineer

* Stream Co.,LTD

+ Policy Planning and Administration Department

目 次

1. はじめに	1
2. 新データ収集システムの開発	1
2.1 検証システムの機器の構成	2
2.2 JT-60への入射実験時の動作	4
3. データ収集システムの検証	4
4. 今後の検討項目	5
5. まとめ	5
謝辞	6
参考文献	6

Contents

1. Introduction	1
2. Development of new data acquisition system	1
2.1 Outline of prototype system	2
2.2 Operational procedure on JT-60U operation	4
3. Verification test of prototype system	4
4. Future plan	5
5. Summary	5
Acknowledgments	6
References	6

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、現在の JT-60 を超伝導トカマク装置に改造する JT-60SA(JT-60 Super Advanced)計画が日本と欧州の間で進められている。JT-60SA 計画では、ITER のサテライトトカマクとして ITER を支援するとともに原型炉に向か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 という)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。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、信頼性の高い制御システムに更新することを計画した。本報告書では、まず制御システムの更新のうち、2007 年度より開始した、データ収集システムのプロトタイプの開発とその検証試験について述べる。

2. 新データ収集システムの開発

JT-60SA での正イオン NBI のデータ収集システムにおいては、既存システムの大幅改造よりも、最新の計測機器を用いた新データ収集システムを開発し、収集時間の 100 秒化を目指す。今回、このデータ収集システムの基本設計を検証するため、検証システム(プロトタイプ)を開発し動作試験を実施した。

JT-60SA 用 NBI では実験運転時の入射パルス幅を 100 秒とし、その実験運転期間を~20 年という長期間に想定しているため、データ収集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 に JT-60SA における P-NBI の要求性能を示す。

表-1 JT-60SA 用 P-NBI の要求性能

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 (1 ユニットあたり 2 イオン源) 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

データ収集システムの構築にあたり次のようなことに留意して検討を行った。

- (1) ユーザー設計・製作を前提とし、経費削減とともに性能向上を目指した改造にもユーザー側で柔軟に対応する。
- (2) 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ために、ユニット単位での分散管理方式を採用する。
- (3) 規格に則った汎用品で構成することにより、高経年化時や性能向上を目指した改造にも柔軟に対応できるシステムとする。
- (4) 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。

これら基本方針をもとに、データ収集システムを構成する主要機器としてWE7000(横河電機製)ならびに Device-net(IEC 標準規格に準拠したフィールドネットワーク製品)を中心としたPLC を用いたデータ収集システムのプロトタイプ(以下、検証システムと称する)を構築し、その性能を検証することとした。

図-1に検証システムの構成図を示す。

2.1 検証システムの機器の構成

現在、P-NBI 加熱装置を構成する機器を運転しているときの値(電圧、電流、温度など)のアナログデータは、CAMAC や PLC によって収集され、計算機システムにて P-NBI の入射パワーの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-2に P-NBI の 1 ユニット分において収集するデータ(運転値信号など)を示す。表-3に WE7000 にて収集する信号の一覧を、表-4に PLC にて収集する信号の一覧を示す。

表-2 データ収集系信号(1 ユニット分)

信号名	収集周期	信号点数	既設設備名	検証システムで収集した項目	検証システムで使用した機器
高速アナログ	10 ms	20	CAMAC(系)	○	WE7000
低速アナログ	100 ms	10		○	WE7000
デジタル	400 ms	53		—	—
アナログ	100 ms	83	現場データ収集盤(系)	○	PLC/Device-net
デジタル	400 ms	136		—	—

(1) PC ベースの計測器「WE7000」

高速アナログデータ収集では、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。今回は 10ms サンプリングで 100 秒以上のアナログ信号が収集でき、収集時間精度 $90 \mu\text{s}$ を満足する仕様がコストパフォーマンス的に最適であるため、このデータ収集システムを採用した。

WE7000 で今回収集したデータの一覧を表-3に示す。

(2) PLC/SPU ユニット

近年、PLC(Programmable Logic Controller)は目覚しい進歩を遂げており、コストパフォーマンスの高さ、保守の容易性、市販のソフトウェアを導入することにより、効率的な開発ができるという利点がある。今回は、OMRON 製の PLC である「CJ1G」をこのデータ収集システムに採用した。時系列データの収集には SPU ユニット(PLC のデータを CSV ファイルとして収集・保存する)を使い収集を行う。PLC で今回収集したデータの一覧を表-4に示す。

(3)SCADA ソフト「RS-View32」

WE7000 および PLC で収集したデータは計算機システムから監視する必要がある。P-NBI の新制御システムでは汎用 PC の使用を想定しており、ヒューマン・インターフェイス(HMI)機能を担う、監視・操作画面を作成するにあたり、開発用ツールである SCADA (ラダープログラミング、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])を採用した。

この SCADA としては、既に原子力機構で実施した大型ヘリウム冷凍設備の制御システムの自主開発で実績がある Rockwell Software 社製 RSView32 を採用した。この SCADA 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、作成対応が可能である。
- 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将来的に見た場合拡張性が高い。

今回、この検証システムの構築にあっても SCADA を使用することにより、原子力機構において効率的なプログラムの作成を行うことが可能となった。

今回 SCADA 上で作成した画面の種類を図-2に示す。表示画面の例を図-3～5に示す。

これらの画面はマウスにより簡単にデータを参照できるようにした。

(4)Device-net

JT-60 本体室におけるデータ収集には、その場所がノイズ環境下であるため、優れた耐ノイズ性能を発揮する Device-net を採用した。

中央制御室～JT-60 本体室間においては電気的絶縁を考慮し、光と Device-net の変換器(フェニックスコンタクト社製 PSI-MOS-DNET CAN/FO 850/BM)を使用した。光ケーブルは既設のものを流用することによりコストダウンをはかった。

(5) データ処理・蓄積サーバー

WE7000 で収集したデータの処理とデータの蓄積を行う機能を 1 つの CPU で実行し、データ処理から蓄積まで要する処理時間の短縮とコストダウンをはかった。

2.2 JT-60 への入射実験時の動作

JT-60 への入射実験時におけるデータ収集システムの動作は、既設の制御システムと同等とした。ただし 100 秒入射を想定した設定としたため、JT-60 のプラズマ放電が終了した後も収集を継続する。JT-60 の放電シーケンスにおけるデータ収集システムの動作の概要を図-6 に示す。

WE7000 による取り込みは、入射準備指令の信号を受信して開始し、106 秒間データを収集した後、データ処理・蓄積サーバーへ転送され、ハードディスクに格納される。

PLC/SPU による取り込みは、WE7000 と同じように入射準備指令の信号を受信して開始し、決められた時間データを収集した後、データ処理・蓄積サーバーへ転送され、ハードディスクに格納される。

WE7000 ならびに PLC/SPU の動作フローを図-7 に示す。

3. データ収集システムの検証

平成 19 年 11 月～12 月期の JT-60 の実験運転時において、P-NBI#2 ユニットの運転データを収集し、検証を行った。WE7000 と PLC/SPU それぞれで収集したデータと、並行して収集している既設のデータ収集システムで収集したデータを比較した。

3.1 WE7000 による高速データの収集

ショット No.E47893 において、既設 CAMAC モジュールにて収集した高速アナログデータの一部を図-8 に、WE7000 で取り込んだデータを図-9 に示す。

WE7000 と既設 CAMAC モジュールで収集したデータ値(電圧、電流)を比較した。同一ショットにおいて、収集された 20 チャンネルにおいて、時間ズレ、数値の差等を調べた結果、時間ズレは 10ms サンプリングにおいて無く、数値の差もフルスケール(入力信号最大値)に対して ±0.5% 程度であった。

3.2 PLC/SPU による低速データの収集

JT-60 本体室に設置されている既設データ収集盤で収集したデータを図-10 に、PLC/SPU で収集データを図-11 に示す。

既設データ収集盤のサンプリング周期は 200ms のため、PLC/SPU で収集(100ms/S)したデータと比較するとより細かく収集していることがわかる。また、既設データ収集盤はデータ収

集中にエラーを起こすことが多く、回避するために定期的にリセットしている。データの途中に抜けているところがあるのはこのためである。PLC/SPU はデータ収集中にエラーを起こすこともなく極めて順調であった。また、収集した数値(温度)の差を比較したところ、フルスケール(入力信号最大値)に対して±0.5% 程度の結果となった。

3.3 連続収集における安定性

データ処理蓄積サーバーにてプログラム(SCADA,WE7000 取り込み用ソフト)を起動後、JT-60 の放電シーケンスに合わせ、データの収集/格納を実施し、そのプログラムを停止させることなく、連続で収集できるかを試験した。連続 357 ショット(期間にして約 1 ヶ月)停止することなく動作させることができた。

4. 今後の検討項目

JT-60SA 用 NBI 加熱装置に対応するデータ収集システムを低コストで構築するため、収集精度が高く、耐ノイズ性にも強い、データ収集システムのプロトタイプを PC ベース計測器(WE7000)と PLC を組み合わせて開発し、データ収集試験を実施した。この結果、目標とする性能(収集時間精度の高さ、長時間のデータ収集等)でデータ収集が実行できていることを確認できた。

今後、データ収集システムの完成度をさらに向上させるために検討が必要と考えられる項目は以下のとおりである。

- (1) SCADA で効率良く PLC/SPU、WE7000 で収集したデータを表示するためには、PC(データ処理・蓄積サーバー)へのデータフォーマット変換を高速に行うソフトウェア(SCADA 用変換ソフトウェア)の開発が必要である。
- (2) 12 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)の表示を SCADA が取扱うことになるため、処理速度や通信速度の低下を防ぐ対策(分散化処理等)を十分に考慮する必要がある。
- (3) 開発する SCADA 変換ソフトウェアの機能として、演算処理機能(入射パワーの計算など)や、データ編集、他のサーバーへの転送機能などを備えておく必要がある。

5. 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、制御システムにおいても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今後進める必要がある。

今回検証したデータ収集システムにおいて、当初懸念されていたノイズ等による誤動作等もなく、

順調にデータを収集することができた。今後、データ収集システムについては他の P-NBI ユニットにも展開する予定である。

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”, プラズマ・核融合学会誌, 82, 8, pp.455-469 (2006).
- [2] Y.Ikeda et al., “Technical design of NBI system for JT-60SA”, Proc. 24th Symp. Fusion Tech., Warsaw, Poland, September, 2006, p.3-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, pp.22-26 (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] 本田　敦他：“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”, JAEA-Technology 2007-026 (2007)
- [6] 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-M87-169 (1987).

表-3 WE7000収集データ一覧

アナログ No	WE7000		TAG名	機器名称	略称	信号取り出し箇所		工業計器単位
	Slot	Ch				端子番号	端子番号	
AI001	1	1	21A002	加速電源 第一正電極電圧	Vacc	319KCP1	TB-04	13 14 10V / 200kV
AI002	2	2	21A022	加速電源 第一正電極電流	Iacc	319KCP1	TB-04	15 16 10V / 100A
AI003	1	3	21A042	加速電源 第二正電極電圧	Vg	319KCP1	TB-04	17 18 10V / 200kV
AI004	4	4	21A062	加速電源 第二正電極電流	Ig	319KCP1	TB-04	19 20 0~10V / -5A~5A
AI005	5	5	22A002	減速電源 出力電圧	Vs	319KCP1	TB-04	21 22 10V / -5kV
AI006	6	6	22A022	減速電源 出力電流	Is	319KCP1	TB-05	1 2 10V / 25A
AI007	1	11	23A022	偏向磁石電源 出力電流	Irm	319KCP1	TB-05	3 4 10V / 2000A
AI008	2	12	23A042	偏向磁場	Brm	319KCP1	TB-05	5 6 10V / 1KG
AI009	3	13	25A042	アーク電源A 電源端出力電圧	VarcPA	319KCP1	TB-05	7 8 10V / 200V
AI010	4	14	25A062	アーク電源A 負荷端出力電圧	VarcA	319KCP1	TB-05	9 10 10V / 200V
AI011	5	15	25A082	アーク電源B 電源端出力電圧	VarcPB	319KCP1	TB-07	1 2 10V / 200V
AI012	6	16	25A102	アーク電源B 負荷端出力電圧	VarcB	319KCP1	TB-07	3 4 10V / 200V
AI013	7	17	25A122	アーク電源A 出力電流	IarcA	319KCP1	TB-07	5 6 10V / 2000A
AI014	8	18	25A142	アーク電源B 出力電流	IarcB	319KCP1	TB-07	7 8 10V / 2000A
AI015	9	19	25A162	アーク電源A アーキング電流	IubA	319KCP1	TB-07	9 10 10V / 200A
AI016	10	20	25A182	アーク電源B アーキング電流	IubB	319KCP1	TB-07	11 12 10V / 200A
AI017	1	21	26A002	フライメント電源A 出力電圧	VfIA	319KCP1	TB-07	13 14 10V / 20V
AI018	2	22	26A022	フライメント電源B 出力電圧	VfIB	319KCP1	TB-07	15 16 10V / 20V
AI019	3	23	26A042	フライメント電源A 出力電流	IfIA	319KCP1	TB-07	17 18 10V / 500A
AI020	4	24	26A062	フライメント電源B 出力電流	IfIB	319KCP1	TB-07	19 20 10V / 500A
AI021	1	31	39A002	ビームモニタガス導入系ガス流量	-	319KCP2	TB-49	19 20 5V / 6pa·m3/s
AI022	4	2	39A022	中性化セルガス導入系ガス流量	Qn	319KCP2	TB-49	21 22 5V / 6pa·m3/s
AI023	3	33	39A042	中性化セルガス導入系 PV-10電圧	-	319KCP2	TB-50	1 2 5V / 100V
AI024	1	41	24A022	打消しコイル電源出力電流	Icc	319KCP2	TB-53	11 12 10V / 2000A
AI025	2	42	24A042	残留磁場	Bcc	319KCP2	TB-53	13 14 0~10V / -50G~50G
AI026	3	43	24A062	漏洩磁場	Bs	319KCP2	TB-53	15 16 0~10V / -500G~500G
AI027	5	4	25A002	アーク電源A QSW出力電圧	VarcACA	319KCP2	TB-53	17 18 0~10V / AC0~600V
AI028	5	45	25A022	アーク電源B QSW出力電圧	VarcACB	319KCP2	TB-53	19 20 0~10V / AC0~600V
AI029	NC	-	27A002	イオン源ガス導入系 PV-10電圧(設定値)	-	319KCP2	TB-53	21 22 -
AI030	6	46	27A022	イオン源ガス導入系 ガス流量	Qis	319KCP2	TB-54	1 2 10V / 6Pam3/s

表-4 PLC(Device-net)データ収集一覧

アナログNo	TAG名	入力Ch	転送先	機器名称	工業計器単位
AI001	36A021	3300	D14	カロリーメータセグメント温度1	0~5V / 0~500°C
AI002	36A022	3301	D15	カロリーメータセグメント温度2	0~5V / 0~500°C
AI003	36A023	3302	D16	カロリーメータセグメント温度3	0~5V / 0~500°C
AI004	36A024	3303	D17	カロリーメータセグメント温度4	0~5V / 0~500°C
AI005	36A025	3304	D18	カロリーメータセグメント温度5	0~5V / 0~500°C
AI006	36A026	3305	D19	カロリーメータセグメント温度6	0~5V / 0~500°C
AI007	36A027	3306	D20	カロリーメータセグメント温度7	0~5V / 0~500°C
AI008	36A028	3307	D21	カロリーメータセグメント温度8	0~5V / 0~500°C
AI009	36A029	3308	D22	カロリーメータセグメント温度9	0~5V / 0~500°C
AI010	36A030	3309	D23	カロリーメータセグメント温度10	0~5V / 0~500°C
AI011	36A031	3310	D24	カロリーメータセグメント温度11	0~5V / 0~500°C
AI012	36A032	3311	D25	カロリーメータセグメント温度12	0~5V / 0~500°C
AI013	36A033	3312	D26	カロリーメータセグメント温度13	0~5V / 0~500°C
AI014	36A034	3313	D27	カロリーメータセグメント温度14	0~5V / 0~500°C
AI015	36A035	3314	D28	カロリーメータセグメント温度15	0~5V / 0~500°C
AI016	36A036	3315	D29	カロリーメータセグメント温度16	0~5V / 0~500°C
AI017	36A037	3316	D30	カロリーメータセグメント温度17	0~5V / 0~500°C
AI018	49A091	3317	D53	第3ビームリミタ温度1	0~5V / 0~1000°C
AI019	49A092	3318	D54	第3ビームリミタ温度2	0~5V / 0~1000°C
AI020	49A093	3319	D55	第3ビームリミタ温度3	0~5V / 0~1000°C
AI021	49A094	3320	D56	第3ビームリミタ温度4	0~5V / 0~1000°C
AI022	49A095	3321	D57	第3ビームリミタ温度5	0~5V / 0~1000°C
AI023	49A096	3322	D58	第3ビームリミタ温度6	0~5V / 0~1000°C
AI024	49A097	3323	D59	第3ビームリミタ温度7	0~5V / 0~1000°C
AI025	49A098	3324	D60	第3ビームリミタ温度8	0~5V / 0~1000°C
AI026	49A099	3325	D61	第3ビームリミタ温度9	0~5V / 0~1000°C

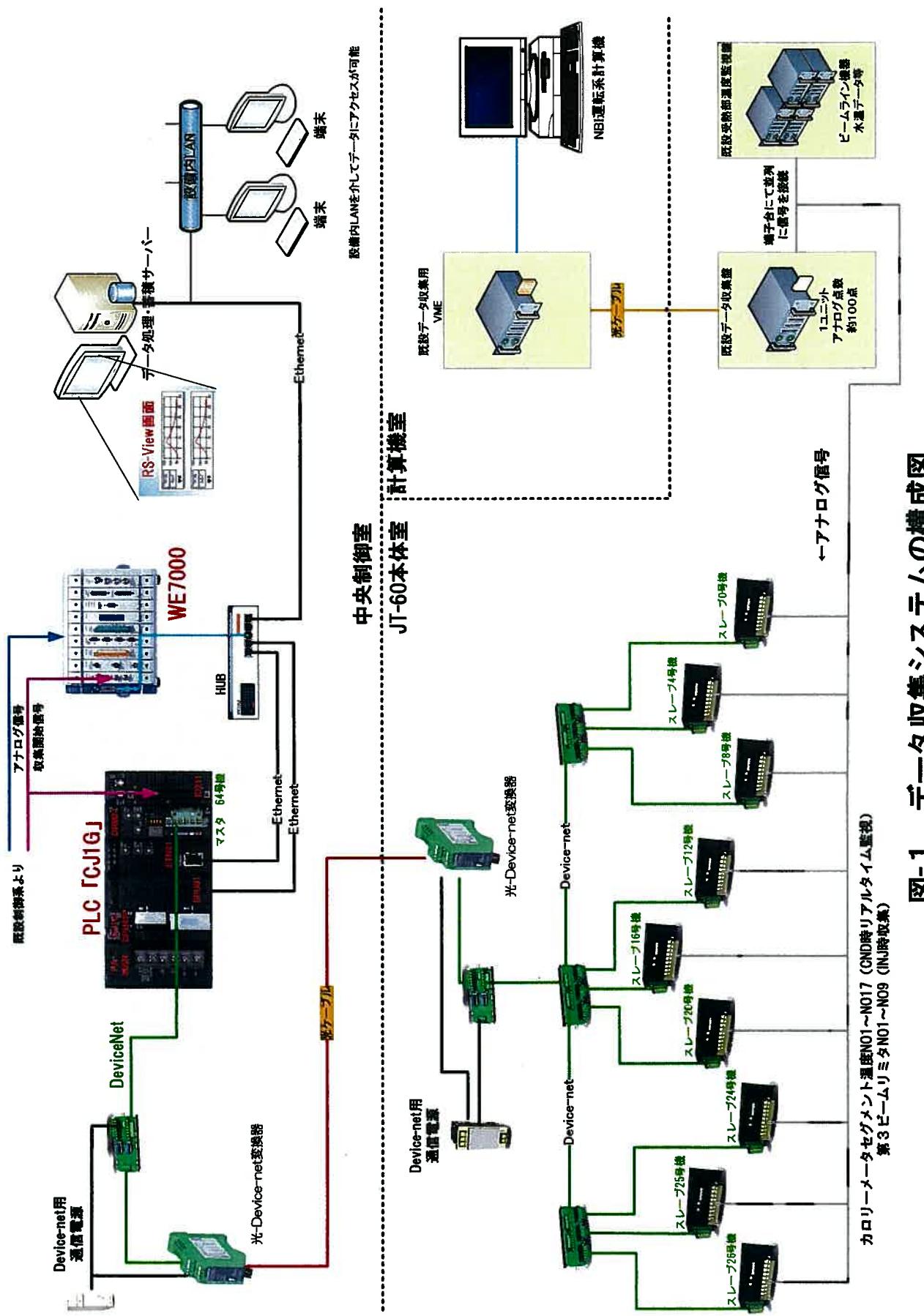


図-1 データ収集システムの構成図

This is a blank page.

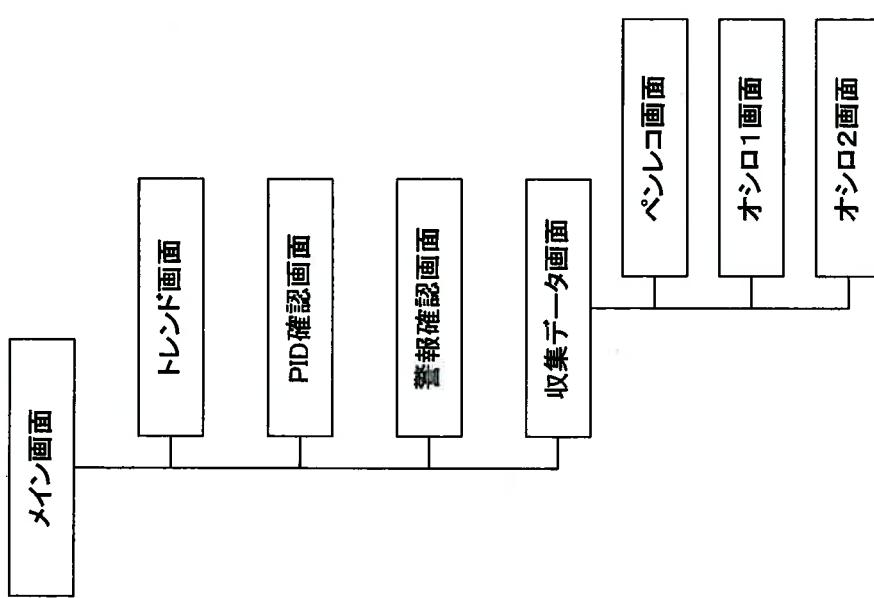


図-2 データ収集システムの画面の種類

図-3 表示画面（メイン画面）

This is a blank page.

PID確認画面（データ収集盤アナログ）

CAMAC盤(A)	CAMAC盤(D)	CAMAC盤(D)共通	データ収集盤(A)	データ収集盤(D)			
PID NO.	信号名	単位	値	信号名	PID NO.	信号名	単位
50A002	ビームタミタヘロース出入口水温差	°C	-50.0	ビームタミタフジン温度4	37A034	ビームタミタフジン温度4	°C
50A022	カロリメータ出入口水温差	°C	-50.0	ビームタミタフジン温度5	37A035	ビームタミタフジン温度5	°C
50A042	WJ出入口水温差	°C	-50.0	ビームタミタフジン温度6	37A036	ビームタミタフジン温度6	°C
50A052	ビームタミタ出入口水温差	°C	-50.0	ビームタミタフジン温度7	37A037	ビームタミタフジン温度7	°C
50A082	中性化セル出入口水温差	°C	-50.0	ビームタミタフジン温度8	37A038	ビームタミタフジン温度8	°C
50A102	1オン運FG出入口水温差	°C	-50.0	ビームタミタフジン温度9	37A039	ビームタミタフジン温度9	°C
50A122	1オン運SC出入口水温差	°C	-50.0	ビームタミタフジン温度10	37A040	ビームタミタフジン温度10	°C
50A142	1オン運GG出入口水温差	°C	-50.0	ビームタミタフジン温度11	37A041	ビームタミタフジン温度11	°C
50A162	1オン運FG出入口水温差	°C	-50.0	ビームタミタフジン温度12	37A042	ビームタミタフジン温度12	°C
50A182	1オン運ED出入口水温差	°C	-50.0	ビームタミタフジン温度13	37A043	ビームタミタフジン温度13	°C
33A011	中性化セルA温度1	°C	0.00	ビームタミタフジン温度14	37A044	ビームタミタフジン温度14	°C
33A012	中性化セルA温度2	°C	0.00	ビームタミタフジン温度15	37A045	ビームタミタフジン温度15	°C
33A151	中性化セルB温度1	°C	0.00	ビームタミタフジン温度16	37A046	ビームタミタフジン温度16	°C
33A152	中性化セルB温度2	°C	0.00	ビームタミタフジン温度17	37A047	ビームタミタフジン温度17	°C
36A021	カロリメータセグメント温度1	°C	21.9	ビームタミタフジン温度18	37A048	ビームタミタフジン温度18	°C
36A022	カロリメータセグメント温度2	°C	19.7	ビームタミタフジン温度19	37A049	ビームタミタフジン温度19	°C
36A023	カロリメータセグメント温度3	°C	20.4	ビームタミタフジン温度20	37A050	ビームタミタフジン温度20	°C
36A024	カロリメータセグメント温度4	°C	20.1	ビームタミタフジン温度21	37A051	ビームタミタフジン温度21	°C
36A025	カロリメータセグメント温度5	°C	19.3	ビームタミタフジン温度22	37A052	ビームタミタフジン温度22	°C
36A026	カロリメータセグメント温度6	°C	21.5	第3ヒームリミタ温度1	49A091	第3ヒームリミタ温度1	°C
36A027	カロリメータセグメント温度7	°C	22.3	第3ヒームリミタ温度2	49A092	第3ヒームリミタ温度2	°C
36A028	カロリメータセグメント温度8	°C	21.9	第3ヒームリミタ温度3	49A093	第3ヒームリミタ温度3	°C
36A029	カロリメータセグメント温度9	°C	20.3	第3ヒームリミタ温度4	49A094	第3ヒームリミタ温度4	°C
36A030	カロリメータセグメント温度10	°C	19.5	第3ヒームリミタ温度5	49A095	第3ヒームリミタ温度5	°C
36A031	カロリメータセグメント温度11	°C	20.0	第3ヒームリミタ温度6	49A096	第3ヒームリミタ温度6	°C
36A032	カロリメータセグメント温度12	°C	16.2	第3ヒームリミタ温度7	49A097	第3ヒームリミタ温度7	°C
36A033	カロリメータセグメント温度13	°C	19.0	第3ヒームリミタ温度8	49A098	第3ヒームリミタ温度8	°C
36A034	カロリメータセグメント温度14	°C	20.1	第3ヒームリミタ温度9	49A099	第3ヒームリミタ温度9	°C
36A035	カロリメータセグメント温度15	°C	19.5	WJ冷却管水温差1	35A011	WJ冷却管水温差1	°C
36A036	カロリメータセグメント温度16	°C	20.8	WJ冷却管水温差2	35A012	WJ冷却管水温差2	°C
36A037	カロリメータセグメント温度17	°C	20.8	WJ冷却管水温差3	35A013	WJ冷却管水温差3	°C
37A031	ビームタミタフジン温度1	°C	0.0	WJ冷却管水温差4	35A014	WJ冷却管水温差4	°C
37A032	ビームタミタフジン温度2	°C	0.0				
37A033	ビームタミタフジン温度3	°C	0.0				

Main PID ANN 收集データ

図-4 表示画面 (PID確認画面)

This is a blank page.

Shot.No E47893

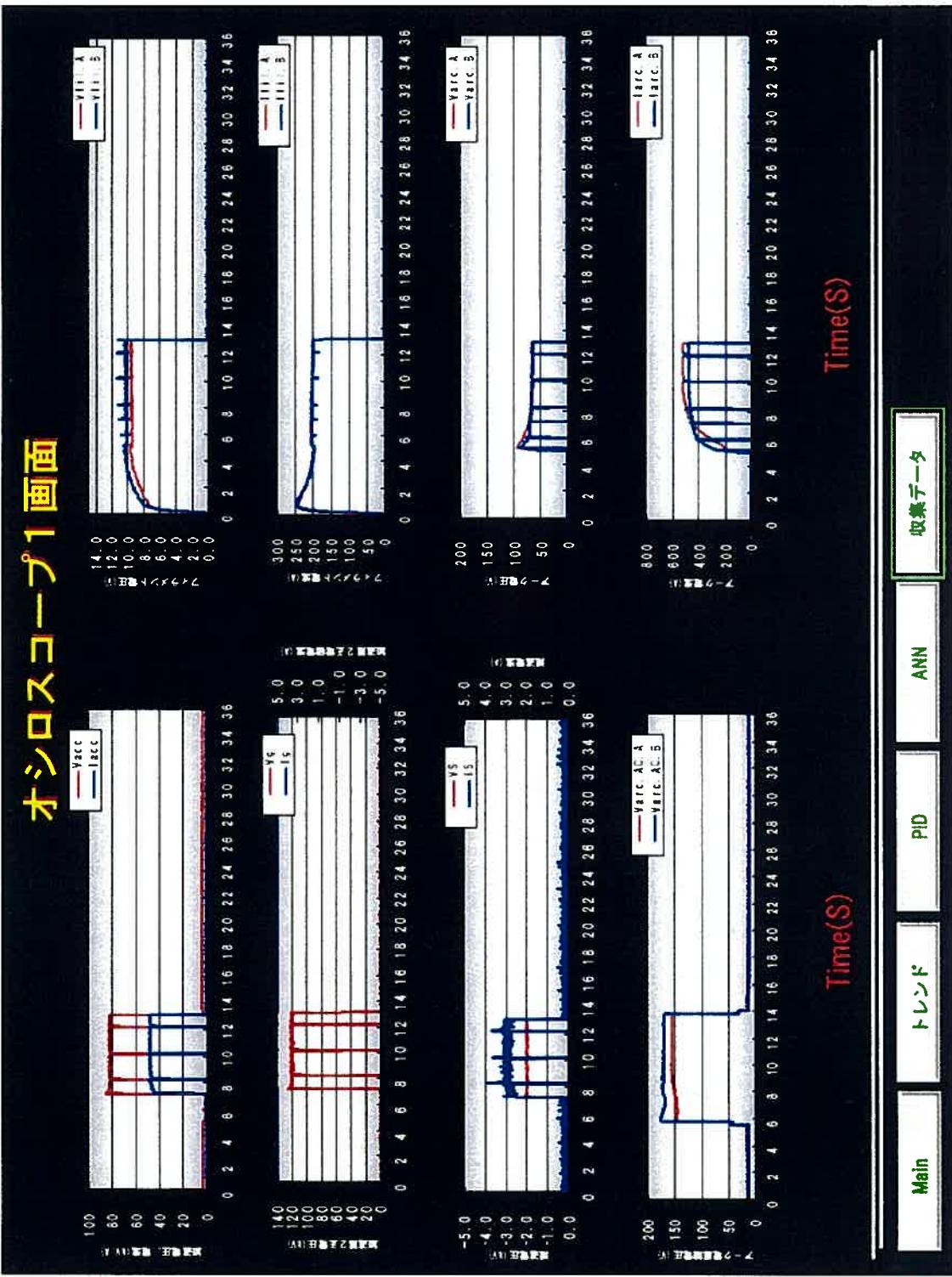


図-5 表示画面（オシロスコープ画面）

This is a blank page.

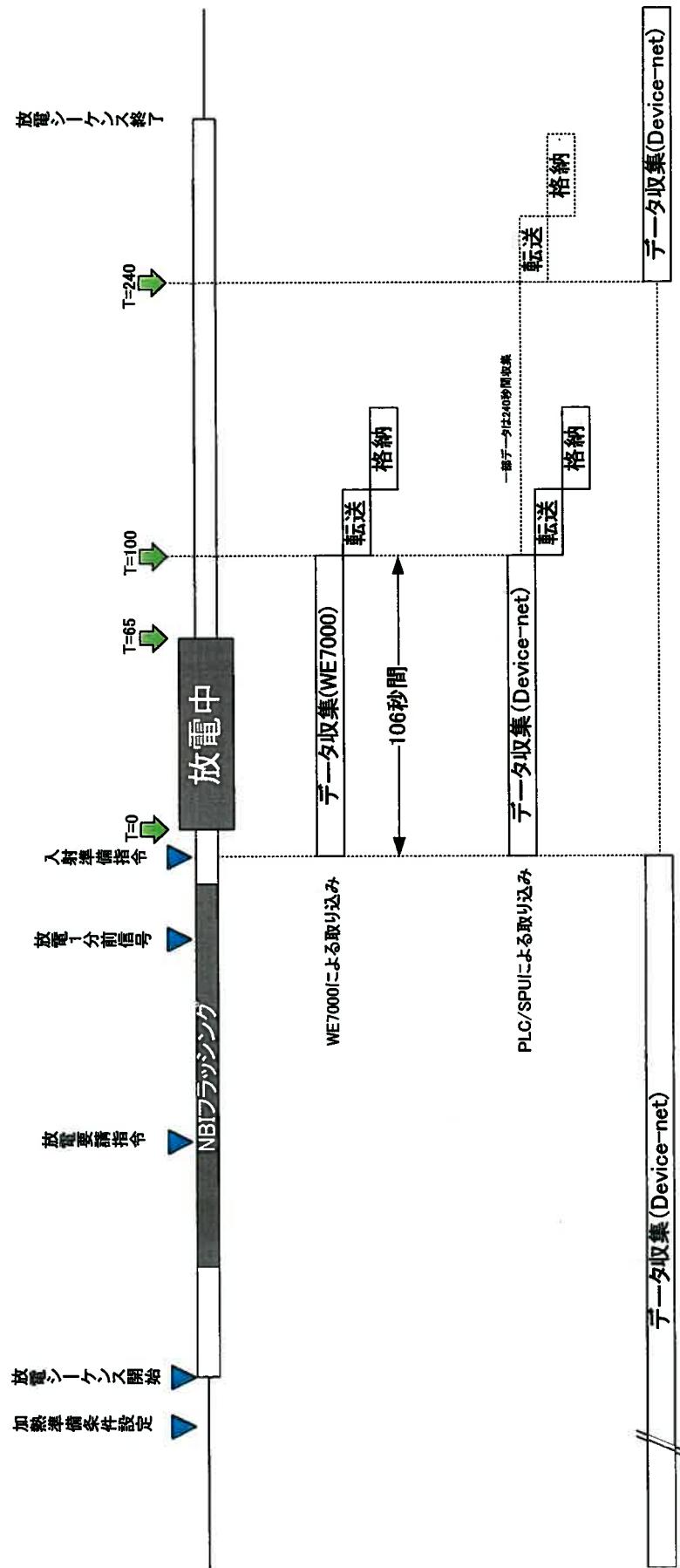


図-6 放電シーケンスとデータ収集システムの収集時間

This is a blank page.

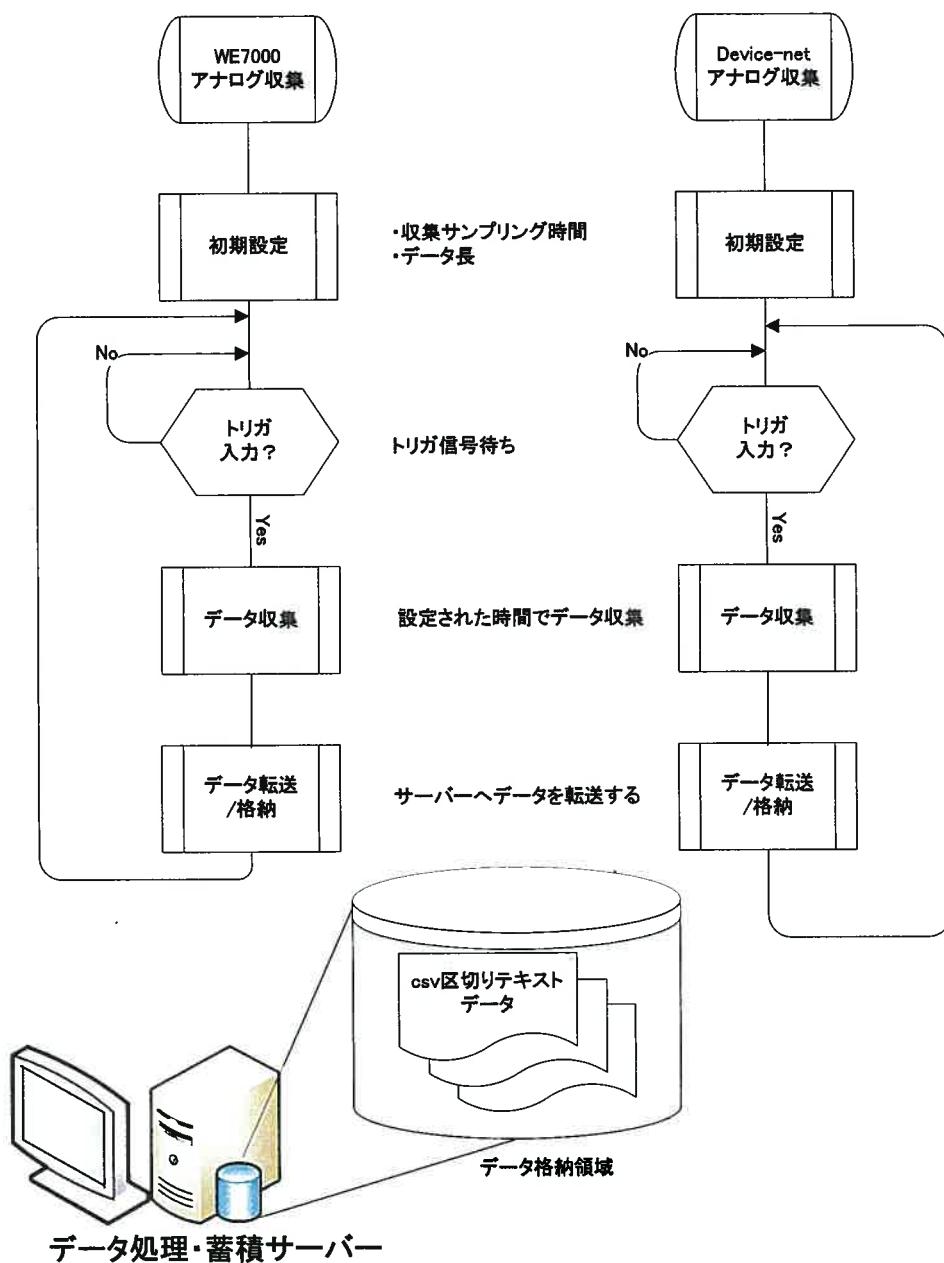


図-7 WE7000ならびにPLC/SPUの動作フロー

This is a blank page.

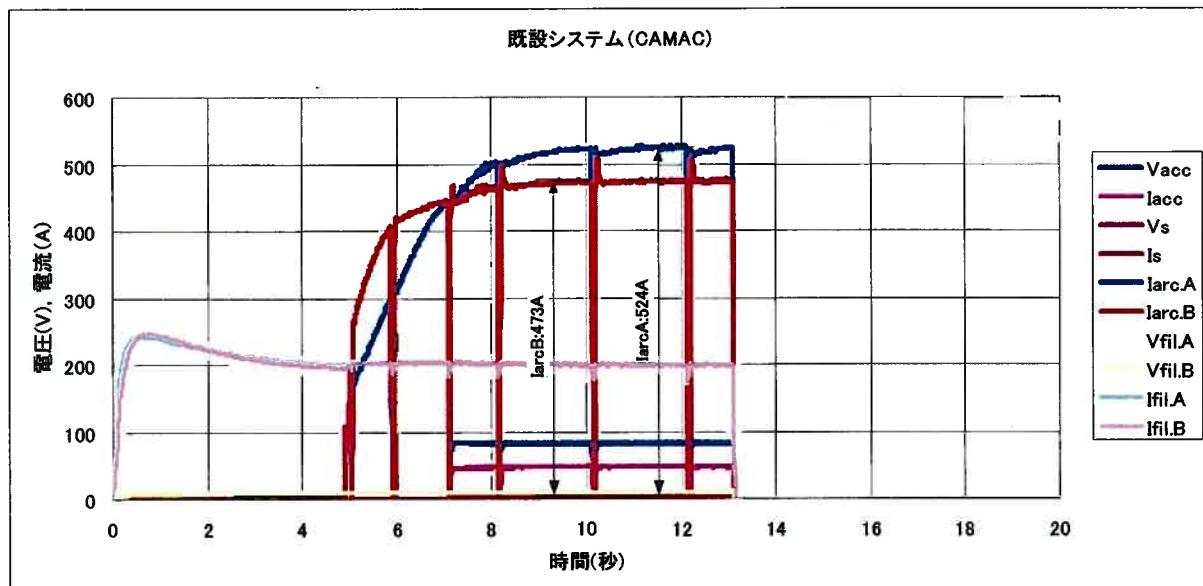


図-8 既設CAMACにより取り込んだデータ

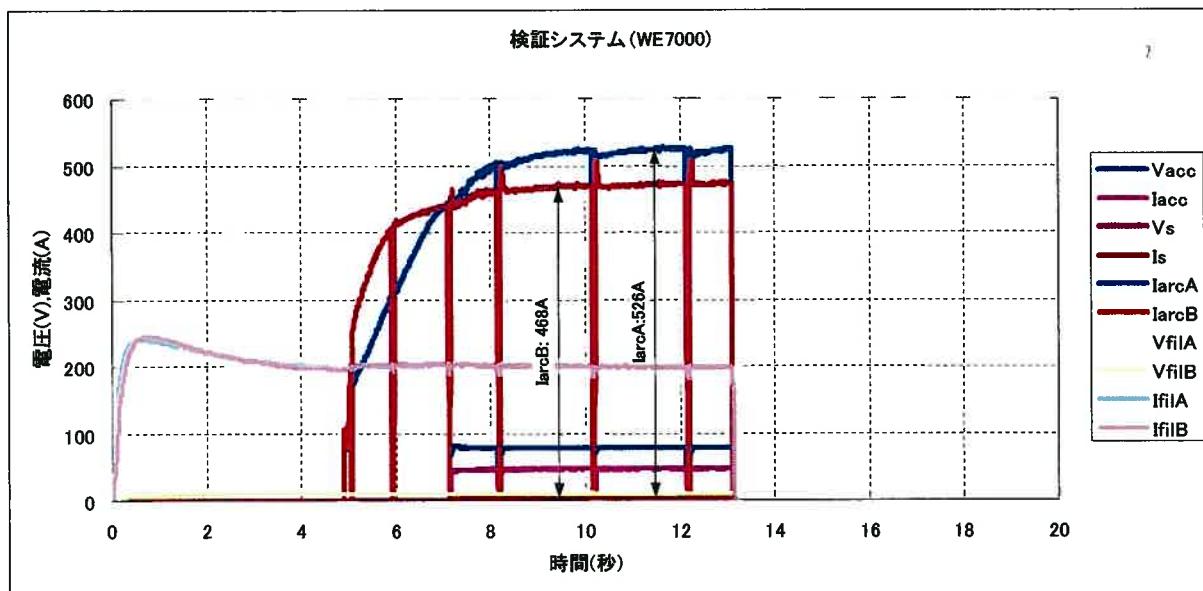


図-9 WE7000により取り込んだデータ

This is a blank page.

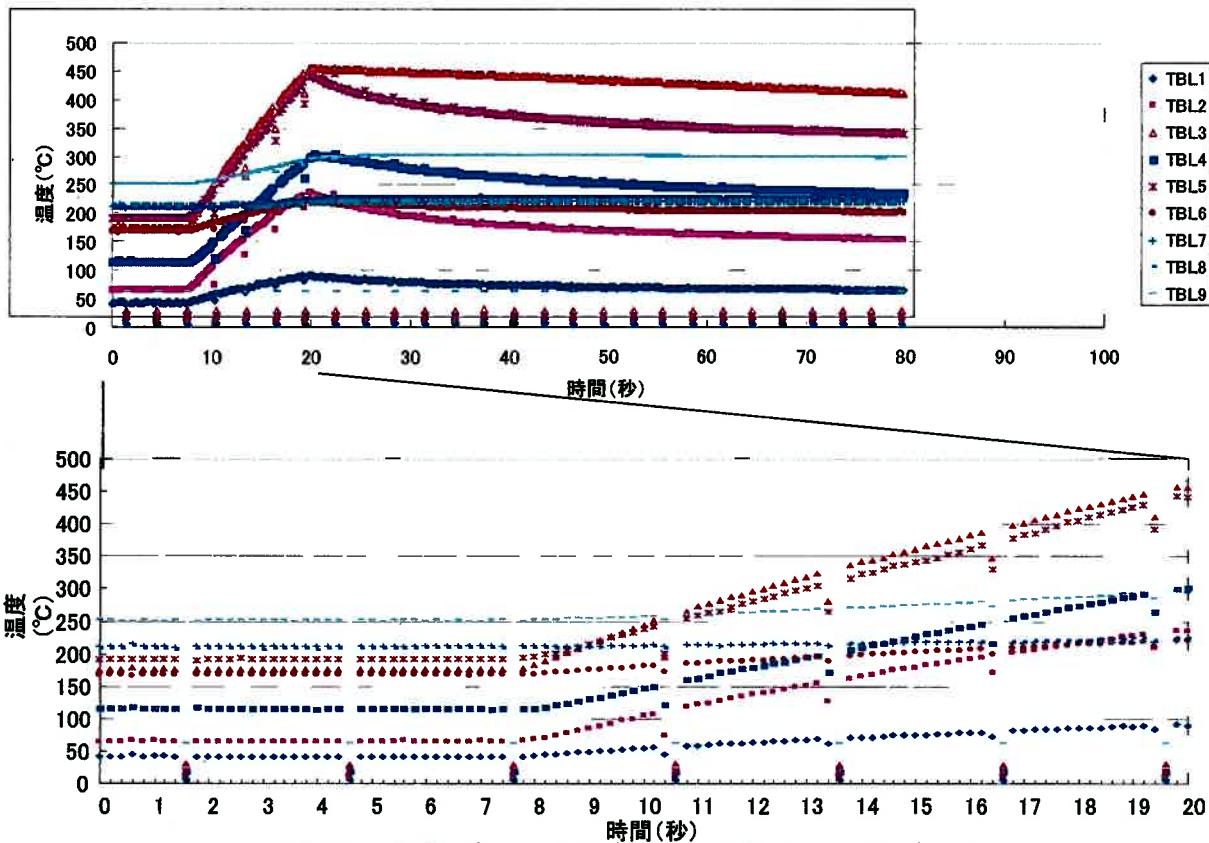


図-10 既設データ収集盤により取り込んだデータ

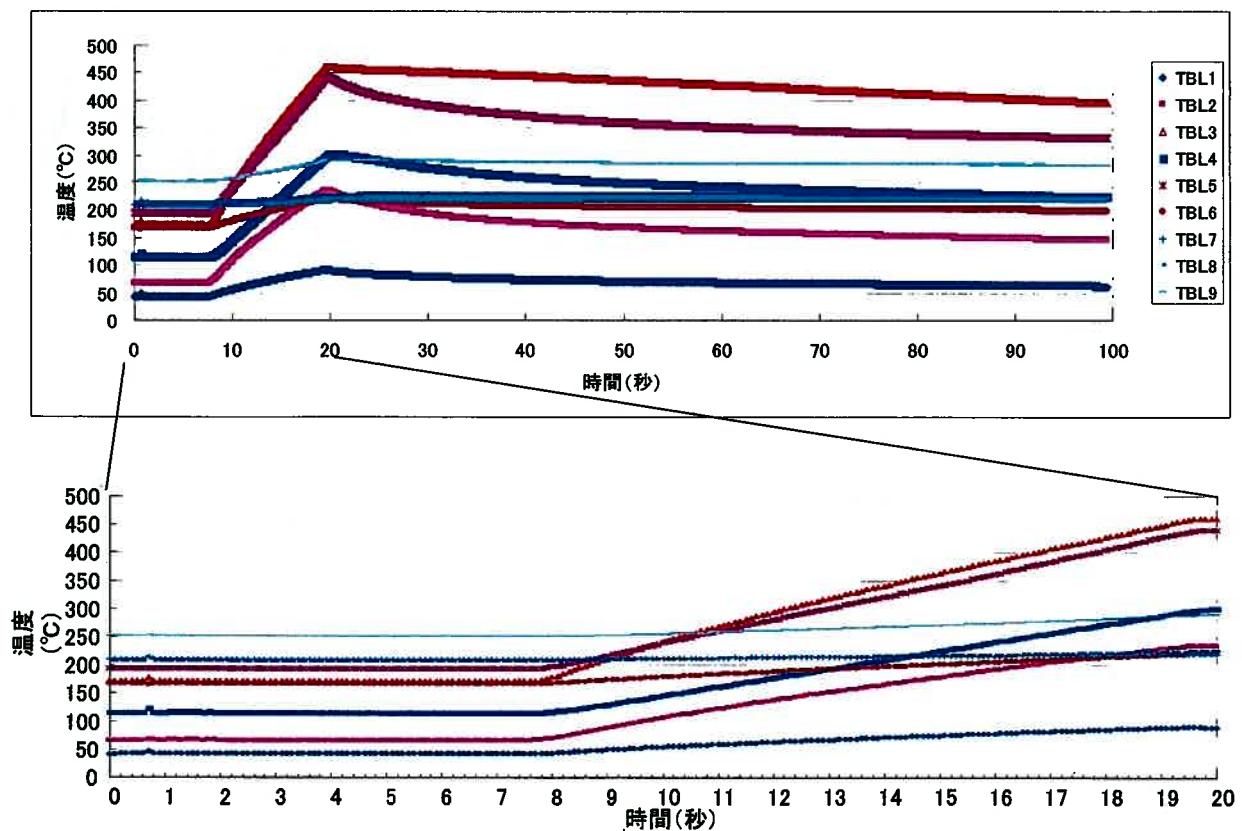


図-11 PLC/SPUにより取り込んだデータ

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	m ⁻¹
密度(質量密度)	キログラム毎立法メートル	kg/m ³
質量体積(比体積)	立法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
(物質量)の濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率	(数の)1	1

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		
	名称	記号	他のSI単位による表し方
平面角	ラジアン ^(a)	rad	$m \cdot m^{-1}=1^{(b)}$
立体角	ステラジアン ^(a)	sr ^(c)	$m^2 \cdot m^{-2}=1^{(b)}$
周波数	ヘルツ	Hz	s^{-1}
圧力	ニュートン	N	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
エネルギー、仕事、熱量	パスカル	Pa	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
工作效率、放熱束	ジュール	J	$N \cdot m$
電荷、電気量	ワット	W	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
電位差(電圧)、起電力	クーロン	C	J/s
静電容量	アンドラード	F	$s \cdot A$
電気抵抗	オーム	Ω	W/A
コンダクタンス	シemens	S	C/V
磁束密度	テスラ	T	V/A
インダクタンス	ヘンリイ	H	$V \cdot s$
セルシウス温度	セルシウス度 ^(d)	°C	Wb/m^2
光束	ルーメン	lm	Wb/A
(放射性核種)の放射能吸収線量、質量エネルギー一分与、カーマン量当量、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	ベクレル	Bq	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
	レーヴィ	Gy	$cd \cdot sr^{(c)}$
			$lm \cdot m^{-2}$
	ルクス	lx	$cd \cdot sr^{(c)}$
	ルクス度	lm/m ²	$lm \cdot m^{-4} \cdot cd=m^{-2} \cdot cd$
			s^{-1}
			$m^2 \cdot s^{-2}$
			J/kg
			$m^2 \cdot s^{-2}$
			J/kg
			$m^2 \cdot s^{-2}$

- (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る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。組立単位を形作るとき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が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		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘度	パスカル秒	Pa · s	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$
表面張力	ニュートンメートル	N · m	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
角速度	ニュートン每メートル	N/m	$kg \cdot s^{-2}$
角加速度	ラジアン每秒	rad/s	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}=s^{-2}$
熱流密度、放射照度	ラジアン每平方秒	rad/s ²	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}=s^{-2}$
熱容量、エンタルピー	ワット每平方メートル	W/m ²	$kg \cdot s^{-3}$
熱容量、エンタルピー(比熱容量)	ジュール每ケルビン	J/K	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
質量熱容量(比熱容量)	ジュール每キログラム	J/(kg · K)	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
質量エントロピー	每ケルビン		
質量エネルギー(比エネルギー)	ジュール每キログラム	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
熱伝導率	ワット每メートル每ケルビン	W/(m · K)	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$
体積エネルギー	ジュール每立方メートル	J/m ³	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
電界の強さ	ボルト每メートル	V/m	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
体積電荷	クーロン每立方メートル	C/m ³	$m^{-3} \cdot s \cdot A$
電気変位	クーロン每平方メートル	C/m ²	$m^{-2} \cdot s \cdot A$
誘電率	フアラド每メートル	F/m	$m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
透磁率	ヘンリー每メートル	H/m	$m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
モルエネルギー	ジュール每モル	J/mol	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1}$
モルエントロピー	ジュール每モル每ケルビン	J/(mol · K)	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
モル熱容量	クーロン每キログラム	C/kg	$kg^{-1} \cdot s \cdot A$
照射線量(X線及びγ線)	クーロン每キログラム	C/kg	$kg^{-1} \cdot s \cdot A$
吸収線量率	グレイ每秒	Gy/s	$m^2 \cdot s^{-3}$
放射強度	ワット每ステラジアン	W/sr	$m^4 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3} = m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
放射輝度	ワット每平方メートル每ステラジアン	W/(m ² · sr)	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3} = kg \cdot s^{-3}$

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}	ペクタ	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}	ゼット	z
10^1	デカ	da	10^{-24}	ヨクト	y

表 6. 國際単位系と併用されるが國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	1h = 60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86400 s
度	°	$1^\circ=(\pi/180) \text{ rad}$
分	'	$1'=(1/60)^\circ=(\pi/10800) \text{ rad}$
秒	"	$1''=(1/60)'=(\pi/648000) \text{ rad}$
リットル	L	$1L=1 \text{ dm}^3=10^{-3} \text{ m}^3$
トン	t	$1t=10^3 \text{ kg}$
ネーベル	Np	$1Np=1$
ベル	B	$1B=(1/2) \ln 10 (Np)$

表 7. 國際単位系と併用されこれに属さない単位でSI単位で表される數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數値
電子ボルト	eV	$1eV=1.60217733(49) \times 10^{-19} \text{ J}$
統一原子質量単位	u	$1u=1.6605402(10) \times 10^{-27} \text{ kg}$
天文単位	ua	$1ua=1.49597870691(30) \times 10^{11} \text{ m}$

表 8. 國際単位系に属さないが國際単位系と併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位であらわされる數値
海里	里	1 海里=1852m
ノット	ト	1 ノット=1 海里每時=(1852/3600)m/s
アード	ル	$1a=1 \text{ dam}^2=10^2 \text{ m}^2$
ヘクタール	ha	$1ha=1 \text{ hm}^2=10^4 \text{ m}^2$
バル	bar	$1 \text{ bar}=0.1 \text{ MPa}=100 \text{ kPa}=1000 \text{ hPa}=10^5 \text{ Pa}$
オングストローム	Å	$1 \text{ Å}=0.1 \text{ nm}=10^{-10} \text{ m}$
バーン	b	$1 \text{ b}=100 \text{ fm}^2=10^{-28} \text{ m}^2$

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數値
エルグ	erg	$1 \text{ erg}=10^{-7} \text{ J}$
ダイナ	dyn	$1 \text{ dyn}=10^{-5} \text{ N}$
ボアズ	P	$1 \text{ P}=1 \text{ dyn} \cdot s / cm^2=0.1 \text{ Pa} \cdot s$
ストークス	St	$1 \text{ St}=1 \text{ cm}^2/s=10^{-4} \text{ m}^2/s$
ガウス	G	$1 \text{ G}=\Delta 10^{-4} \text{ T}$
エルステッド	Oe	$1 \text{ Oe}=\Delta(1000/4\pi) \text{ A/m}$
マクスウェル	Mx	$1 \text{ Mx}=\Delta 10^{-8} \text{ Wb}$
スチール	sb	$1 \text{ sb}=1 \text{ cd}/cm^2=10^4 \text{ cd}/m^2$
ホル	ph	$1 \text{ ph}=10^4 \text{ lx}$
ガル	Gal	$1 \text{ Gal}=1 \text{ cm}/s^2=10^{-2} \text{ m}/s^2$

表10. 國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數値
キュリ	Ci	$1 Ci=3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$
レントゲン	R	$1 R=2.58 \times 10^{-3} \text{ C/kg}$
ラド	rad	$1 rad=1 \text{ cGy}=10^{-2} \text{ Gy}$
レム	rem	$1 rem=1 \text{ cSv}=10^{-2} \text{ Sv}$
X線単位		$1X \text{ unit}=1.002 \times 10^{-4} \text{ nm}$
ガンマ	γ	$1 \gamma=1 \text{ nT}=10^{-9} \text{ T}$
ジャンスキー	Jy	$1 \text{ Jy}=10^{-26} \text{ W} \cdot m^{-2} \cdot Hz^{-1}$
フェルミ	fm	$1 fermi=1 \text{ fm}=10^{-15} \text{ m}$
メートル系カラット		$1 \text{ metric carat}=200 \text{ mg}=2 \times 10^{-4} \text{ kg}$
トル	Torr	$1 \text{ Torr}=(101.325/760) \text{ Pa}$
標準大気圧	atm	$1 \text{ atm}=101.325 \text{ Pa}$
カラリ	cal	
ミクロ	μ	$1 \mu=1 \text{ um}=10^{-6} \text{ m}$

