

JAERI-Tech
99-070



JP9950614



JFT-2M用多チャンネルX線
モニターシステムの開発

1999年9月

岡野文範・海野一美

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 滋城県那珂郡東海村）あて、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 滋城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.
Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 〒319-1195, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1999
編集兼発行 日本原子力研究所

JFT-2M用多チャンネルX線モニターシステムの開発

日本原子力研究所那珂研究所核融合装置試験部

岡野 文範・海野 一美

(1999年8月26日受理)

高性能トカマク開発試験装置（JFT-2M）では、プラズマ放電（約6分周期、持続時間約1秒）に伴い、高エネルギーの逃走電子がリミタ等に衝突してX線が発生する。このX線発生量を管理区域境界において許容線量以下とし、安全管理をより確実なものとする目的で、JFT-2M多チャンネルX線モニターシステムを新たに製作した。本システムは、4台の電離箱型検出器をJFT-2M装置本体の周りに配置し、X線発生量のトロイダル方向分布を把握可能とした。検出器からの出力信号は光変換され線量計本体を経由して、パーソナルコンピュータでデータ収集・処理される。また、X線発生量が過大となった場合、それを検知してプラズマ放電を安全に停止するインターロック機能も設けた。

これにより、X線の発生状況をJFT-2Mのプラズマ制御に素早く反映することができ、より確実に管理区域境界における許容線量を超えないよう管理可能となった。

Development of a Multi-channel X-ray Monitor System for the JFT-2M Tokamak

Fuminori OKANO and Kazumi UMINO

Department of Fusion Facilities

(Tokai Site)

Naka Fusion Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received August 26, 1999)

In the JFT-2M tokamak, hard X-rays are generated due to collision of high-energy runaway electrons with limiters and RF antennas at tokamak discharges (discharge duration: about 1 s, operation cycle 5 - 6 minutes). In order to suppress the X-ray generation under the permissible level at the boundary of the controlled area of the facility and to increase the radiation control capability, a multi-channel X-ray monitor system has been newly developed for the JFT-2M. In this system four ionization chambers are installed around the torus every 90 degrees in the toroidal direction so as to measure the toroidal distribution of the X-rays. The output signals from the detectors are converted to optical signals. The optical signals are transmitted to the personal computer via the GP-IB board for data processing. The interlock signal is generated by this system when the signal exceeds the permissible X-ray level. The interlock signal stops the JFT-2M tokamak discharge. The development of this monitoring system has made it possible to control the X-ray generation. Then, it has surely made it possible to keep the radiation control rule in the JFT-2M.

Keywords:JFT-2M, X-ray, X-ray Monitor System, Tokamak Discharge

目 次

1.	はじめに	1
2.	JFT-2M の X 線管理	1
3.	システム構成と機能・性能	2
	3.1 検出器	2
	3.2 プリアンプ	2
	3.3 線量計本体	3
	3.4 データ収集系	3
4.	測定結果	4
5.	まとめ	5
謝 辞		6
参考文献		6

Contents

1.	Introduction	1
2.	X-Ray Management by JFT-2M	1
3.	System Configuration, Feature and Performance	2
	3.1 Detector	2
	3.2 Preamplifier	2
	3.3 Dosimeter Main Unit	3
	3.4 Data Acquisition System	3
4.	Measurement Results	4
5.	Summary	5
Acknowledgments		6
References		6

This is a blank page.

1. はじめに

高性能トカマク開発試験装置（JFT-2M）では、核融合プラズマ研究の先進的な課題に積極的に取り組み、革新的アイデアを盛り込んだ多くの開発研究を進めている。炉心プラズマの高性能化に関する研究開発では大学との協力を積極的に進め、ITER物理R&Dとしての各種実験を実施して、ITER工学設計活動に貢献している。

JFT-2Mの実験運転ではプラズマ放電（約6分周期、持続時間約1秒間）に伴いX線が発生する。X線は一周電圧が高く、電子密度の低いプラズマ状態で発生する高エネルギーに加速された逃走電子がリミター等に衝突して発生する。X線発生量のトロイダル方向分布は、JFT-2Mの実験条件により変化するため、X線発生量の正確なモニターにはX線検出器1台では従来不十分であった。このため、同一性能の検出器4台をトロイダル方向に等間隔に配置することにより、多様な実験条件でのX線発生量のトロイダル方向分布の変化に対応できるよう機能向上を図ることを目的として本システムを製作した。

本報告書はJFT-2MにおけるX線モニターシステムの多チャンネル化による機能向上開発の内容についてまとめたものである。

2. JFT-2MのX線管理

JFT-2Mのある東海研究所^①では管理区域境界における許容線量は、 $20\mu\text{Sv}/\text{週}$ ($20\mu\text{Sv}/48\text{h}$) に定められている。そのため、JFT-2M施設内（図1に示す）の管理区域境界での線量は許容線量以下に抑えなければならない。現在のJFT-2M建家の遮蔽^②は、鉄筋コンクリート150mm、鉛遮蔽体15mmであるが、制限なしに放電をした場合、X線発生量は許容線量を超えてしまう可能性がある。そのため、JFT-2Mでは以下のようないX線管理を行っている。

1) 線量計による環境モニター

建家内の管理区域境界周辺全域にX線測定用の線量計（ガラス管線量計、熱ルミネセンス線量計）を設置している。ガラス管線量計は3ヶ月毎、熱ルミネセンス線量計（TLD）は測定場所により異なるが、1週間および1ヶ月毎に発生線量を測定している。許容線量を超えそうな場合は運転制限および適切な遮蔽対策を行い運転を再開する。

2) 運転中の出入り管理

運転員等が被曝しないように、JFT-2Mの運転シーケンスにドアインターロックを組み込み、X線が発生する運転中には管理区域内に入室できないようにしている。

3) 放電中のX線管理

放電中のX線管理はX線モニターシステムを用いて放電毎のX線発生量とその時間変

化をモニターし記録して、プラズマ制御の指標としている。また、異常放電により X 線の発生量が多い場合には、ある一定のインターロックレベルを設定して強制的にプラズマ放電を停止させる。これにより X 線の多量発生を抑えている。

以上 3 項目を厳守することにより、管理区域境界での X 線による線量を許容線量以下とし、運転員の被曝を防止して安全な実験運転が行われている。

3. システム構成と機能・性能

多チャンネル X 線モニターシステムの機器構成は図 2 に示すように検出器・プリアンプ・線量計本体・データ収集系から構成される。以下に各機器の詳細を示す。

3.1 検出器

本システム用の X 線検出器は過去の使用実績、並びに①構造が簡単、②経年劣化が少ない、③エネルギー特性が安定している等の特長から、電離箱型（イオンチャンバー）^{3) 4)} 検出器を使用した。電離箱型検出器は放射線によって生成された空気中のイオン対が電極に集められ生じる電離電流を測定する方式である。具体的には、本電離箱は原研の線量管理課にて特性試験を行い良好なデータが得られた米国 EXRADIN 社製の SHONKA-WYCKOFF 電離箱型検出器を使用した。表 1 に EXRADIN 社製の電離箱型検出器の仕様を示す。

表 1 電離箱型検出器の主要諸元

電離箱型式	800 cm ³ A6 型
容 積	800 cm ³
最大測定線量	1000 μ Sv/秒
応答速度	30 msec
エネルギー測定範囲	0.1~3 MeV

検出器の配置を図 3 に示す。4 台の検出器を JFT-2M 装置本体の周囲トロイダル方向に等間隔で設置した。ポロイダル方向の配置は、JFT-2M の X 線発生分布を実際に測定して一番発生線量の多かった真空容器の赤道面（床から 2200 mm）とし、また、作業員の作業スペースを考慮して真空容器表面から約 1800 mm 離れた個所とした。

3.2 プリアンプ

プリアンプは検出器からの電離電流値を入力し、光ファイバーケーブルを介して線量計本体にパルス信号を送り出す機能を有し、入力電流として最大 1000 μ Sv/秒に相当する電流が入力できる。また、プリアンプは電離箱型検出器内の電極に直流電圧（通常 300 VDC、最大 500 VDC）を印加するための電圧供給の役割をも有する。

入力された電離電流信号はプリアンプ内で A/D 変換され、さらに V/F 変換されパルス信号として線量計本体に送られる。入力された電離電流を增幅するアンプ部は多くのノイズ源からの影響を受けないようシールド用の筐体内に収納されている。さらに検出器からプリアンプまでのケーブルはノイズ防止のため専用のシールドケーブル（長さ、50 cm）を使用し、さらにシールド用に鉄製のメッシュを巻いている。

3.3 線量計本体

図 4 に示すように、線量計本体は本システム全体の統括部であり、JFT-2M 運転制御室内的制御盤にデータ収集用計算機と一緒に収納されている（写真 1）。線量計本体と検出器・プリアンプは各チャンネル同一のものを採用し、故障時の入替えが可能なよう互換性を持たしている。メインケースには、最大 8ch までの線量計本体のユニットが収納でき、拡張性を持たせた。X 線の測定は JFT-2M からの測定開始用信号を受けて、プラズマ放電開始に合わせてサンプリングタイム 1 ms で、1500 ms 間行われる。TDC (Taylor 型放電洗浄) 運転時の線量は低エネルギーの X 線であり、コンディショニング用の放電のため特に測定量を解析する必要性がない。そのため、データ収集用計算機には送信しないで、表示器にのみ表示させる。線量は表示専用の補助線量計にも表示される。

各検出器の信号はメインの CPU を介してメモリーに保存される。さらに線量計本体は以下の機能を有する。

- 1) インターロック機能：どれか 1ch でも設定線量を超過したときは、プラズマ放電を停止するためのインターロック信号をプラズマ制御用計算機に送信する。
- 2) データ送信：メインメモリーから GP-IB ボードを経由してデータ収集用計算機にデータを送信する。
- 3) 表示：1 ショット線量および積算線量の値を表示する（補助線量計を含む）。
- 4) CAMAC 信号：CAMAC システムを経由してプラズマのデータ収集計算機に線量データを送信する。

3.4 データ収集系

データ収集用計算機としてパーソナルコンピュータ (PC) を用い、CRT、光磁気ディスク (MO) ドライブ、ネットワーク対応のプリンタのハードウェアとソフトウェアより構成される。

1) ハードウェア

【パーソナルコンピュータ】

- ・ CPU : Pentium Pro (200MHz)
- ・ HD : 2.0GB
- ・ メモリー : 96MB
- ・ 21 インチ CRT
- ・ MO ドライブ : 230MB

【プリンタ】

- ・カラーレーザープリンタ (10BASE-T)

2) ソフトウェア

オペレーティングシステム (OS) は Windows95 であり、開発言語は Visual Basic Ver4.0 を用いた。

基本機能として以下を備えており、最大 8ch のデータを収集できる。また、データは表計算ソフト「MS Excel」形式であり、端末計算機等で LAN を介してショット毎のデータを見ることが可能である。

- ・検出器からのデータ収集
- ・収集データの保存
- ・各チャンネル「1 ショット間線量／線量率の経時変化グラフ」及び「積算線量（折れ線グラフ）／ショット間線量（バーグラフ）」のリアルタイム表示、最大値表示
- ・各チャンネル「1 ショット間線量／線量率の経時変化グラフ」及び「積算線量（折れ線グラフ）／ショット間線量（バーグラフ）」の過去データ表示、最大値表示
- ・各グラフ X 軸、Y 軸の最大-最小値の任意可変、拡大-縮小表示、Y 軸のログ-リニア変更
- ・各グラフの印刷出力
- ・ファイルメンテナンス機能

付図 1 に 1 ショット間線量の経時変化の表示例を、また、付図 2 に多チャンネル X 線モニターシステムの出力データ（日報）の印字出力例を示す。

4. 測定結果

JFT-2M 多チャンネル X 線モニターシステムにて測定された典型的な X 線波形とその時のプラズマ電流および一周電圧を図 5 に示す。この放電では X 線発生量はインターロックの設定線量に達せず、1 秒間プラズマが維持されている。プラズマ放電の立上りはある程度密度が高いため一周電圧が高くても X 線量は上昇せず、放電が進むにつれ密度が低くなり一周電圧に対応した量の X 線が発生している。また、放電停止時には、プラズマがリミタ等に衝突して短時間に多量の X 線が発生している。

多チャンネル X 線モニターシステムを導入したことによりトロイダル方向における X 線の発生分布が明確に分かってきた。X 線発生量の分布は真空容器内に設置した機器の配置等に大きく左右され、トロイダル方向に非一様であるのが JFT-2M での特徴である。そのため、真空容器内の改造等を行った直後のプラズマ放電時には細心の注意を払って X 線量を測定する必要がある。特に X 線発生量が制御室側に極在する場合には、その近傍に設置したチャンネルのインターロックの設定値を低めに設定する必要が生じてくる。真空容器の構造が開ダイバータ時のトロイダル方向の X 線量発生分布と閉ダイバータ時のそれを比較して図 6 に示す。開ダイバータ時と閉ダイバータ時を比較しての X 線発生量分布が変化し

ているのは、真空容器内に設置してあった速波電流駆動（FW）用のアンテナを撤去したため、今までFWのアンテナのガードリミタに当たっていたプラズマが半分割部の固定リミターに当たりX線の発生個所が変わったものと推測される。

また、多チャンネルX線モニターシステムの重要な機能としてインターロック機能がある。インターロック機能の目的は、X線が多量に発生する異常放電を停止し、X線の発生量を極力低く抑えることにある。図7に設定線量に達したときのインターロック動作の流れを示す。1ショット間線量が設定線量レベルを超過したらインターロック信号（TTL信号）により、ダイバータ用のコイル電流（Qコイル）を維持したまま、プラズマ電流維持用コイル（Sコイル）の電流を遮断する。これにより、プラズマはダイバタコイルに引き寄せられて急速に消滅（ディスラプション）し、X線の発生が停止する。

5. まとめ

JFT-2MのX線管理としては発生するX線量を管理区域境界にて許容線量（ $20\mu\text{Sv}/\text{週}$ ）以下に抑えることおよび運転員等の被曝防止を目的として、以下の3項目を実施している。

1. 線量計による環境モニター：ガラス管線量計、TLDにて管理区域境界のX線量を測定。
2. 運転中の出入り管理：運転シーケンスに組み込んだドアインターロック機構による被曝防止。
3. 放電中のX線管理：インターロック機能によるプラズマ放電の停止。

放電中のX線管理をより確実なものとするため、多チャンネルX線モニターシステムを開発した。JFT-2Mでは実験条件により発生するX線量のトロイダル方向分布は変化するため、X線量のモニター用検出器は、従来の1台では不十分であった。この点を改善するため、同一性能の検出器をトロイダル方向に4ヶ所配置することにより、X線発生分布の変化に対応できるように機能向上を図った。本システムでは、1) チャンネル（現状4ch）毎に1msのサンプリングタイムで1ショット中のX線の経時変化を測定することができ、また、2) 異常放電においてX線が多量に発生し、設定線量を超過した場合に、インターロック信号でプラズマ放電を停止することができる。これにより、実験運転におけるX線発生の情報が多く得ることができるようになった。また、各チャンネル毎に設定できるインターロック機能によりX線が多量発生する異常放電をトロイダル方向分布に応じた設定で停止することが可能になり、より安全に実験運転ができるようになった。

謝　　辞

JFT-2M 多チャンネル X 線モニターシステムの製作に当たり御指導、御助言を賜りました小池常之 JFT-2M 試験室長、山本正弘 JFT-2M 試験室長代理に心から感謝申し上げます。また、データ収集系に関する技術的指導をして頂いたプラズマ物理実験研究室の三浦幸俊主任研究員に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 東海研究所編. 放射線安全取扱手引 (1996)、3p.
- 2) 核融合科学研究所技術部編. 平成 9 年度核融合科学研究所技術研究会報告書(1998)、220p.
- 3) 三浦 功他. 放射線計測学. 東京、裳華房、(1074)、43p.
- 4) 財) 電子科学研究所編. エックス線作業主任者講習会テキスト (1991)、62p.

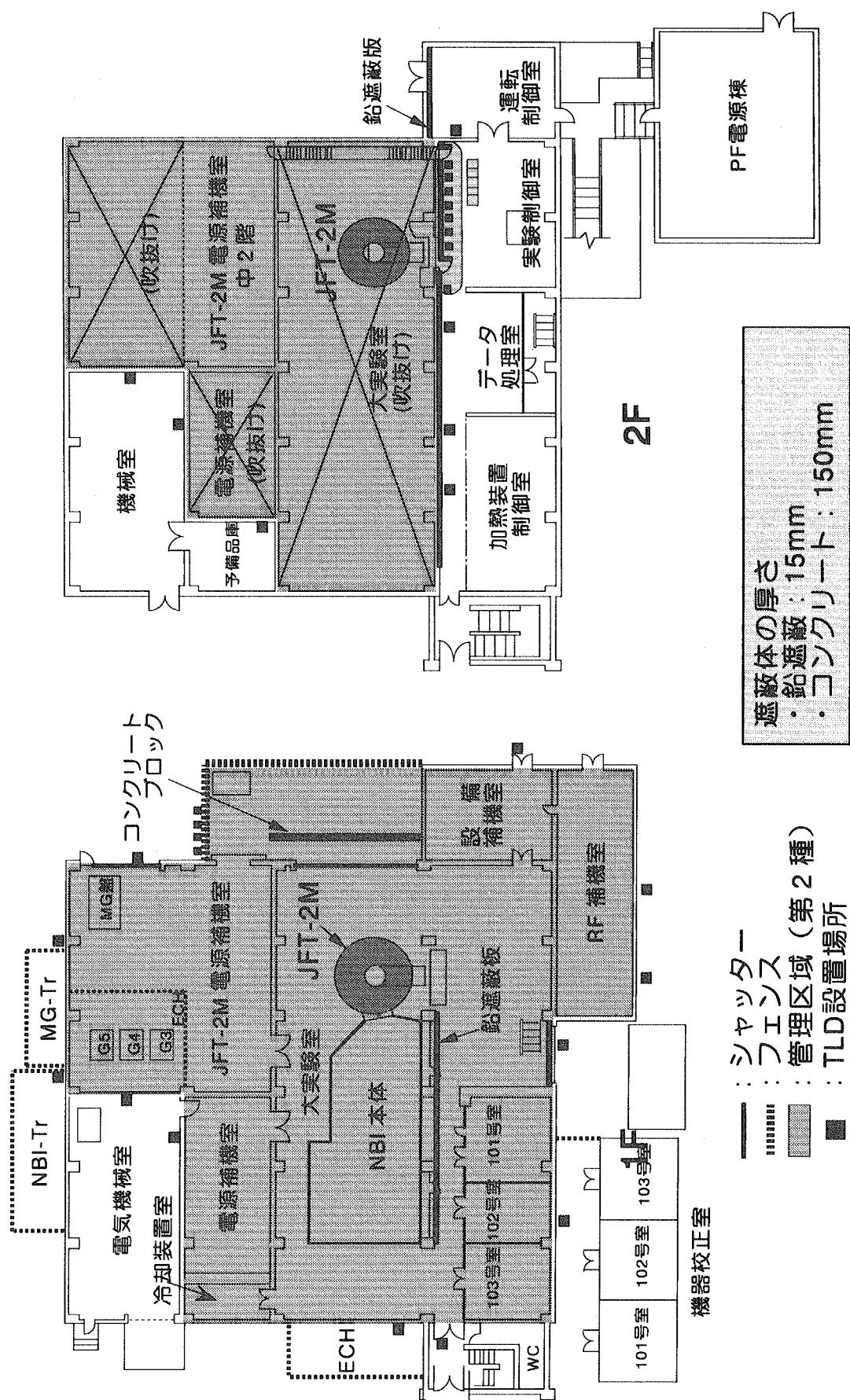


圖 1-1 JFT-2M 建家配置

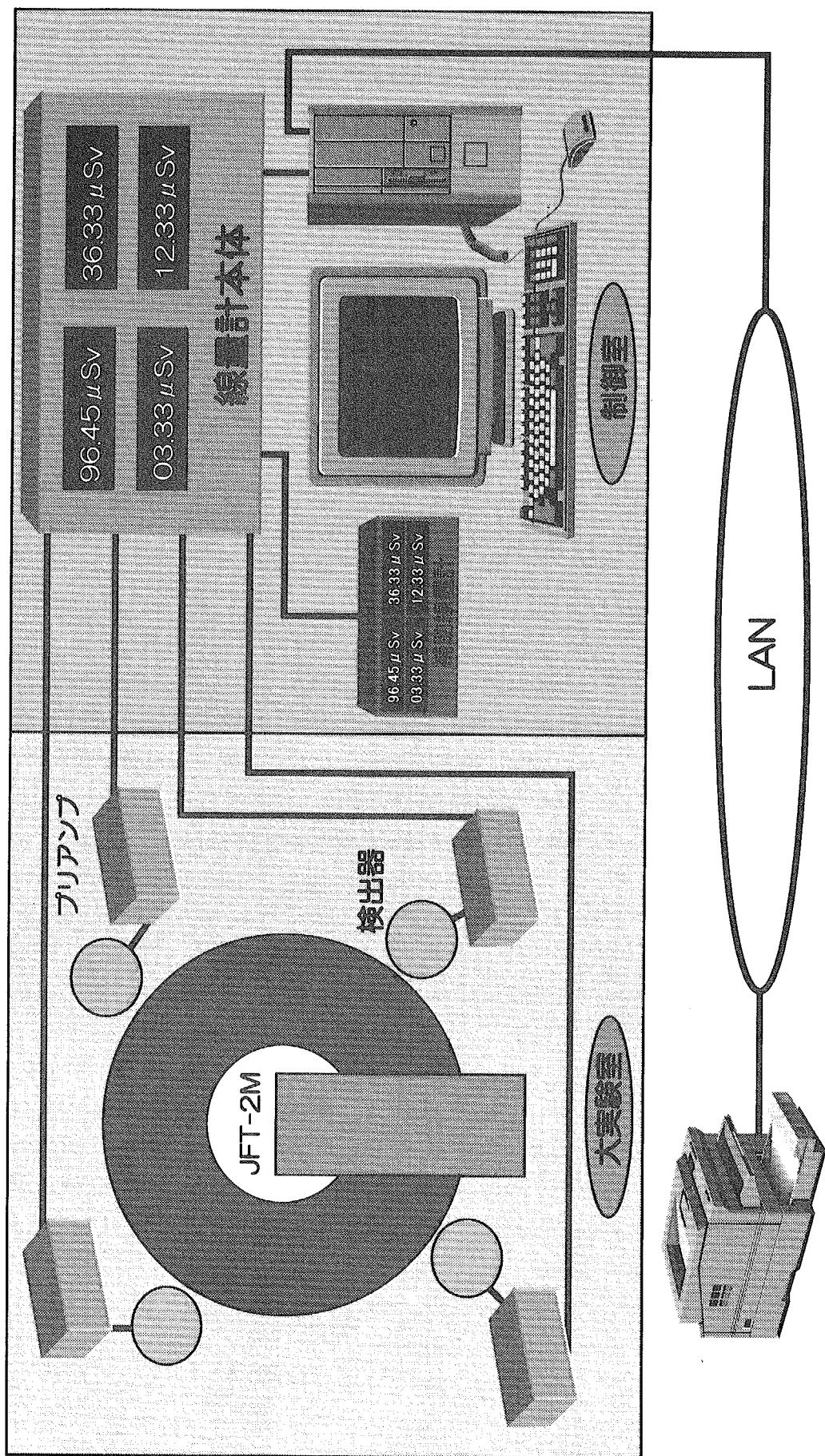


図2. 多チャンネルX線モニターシステムの機器構成

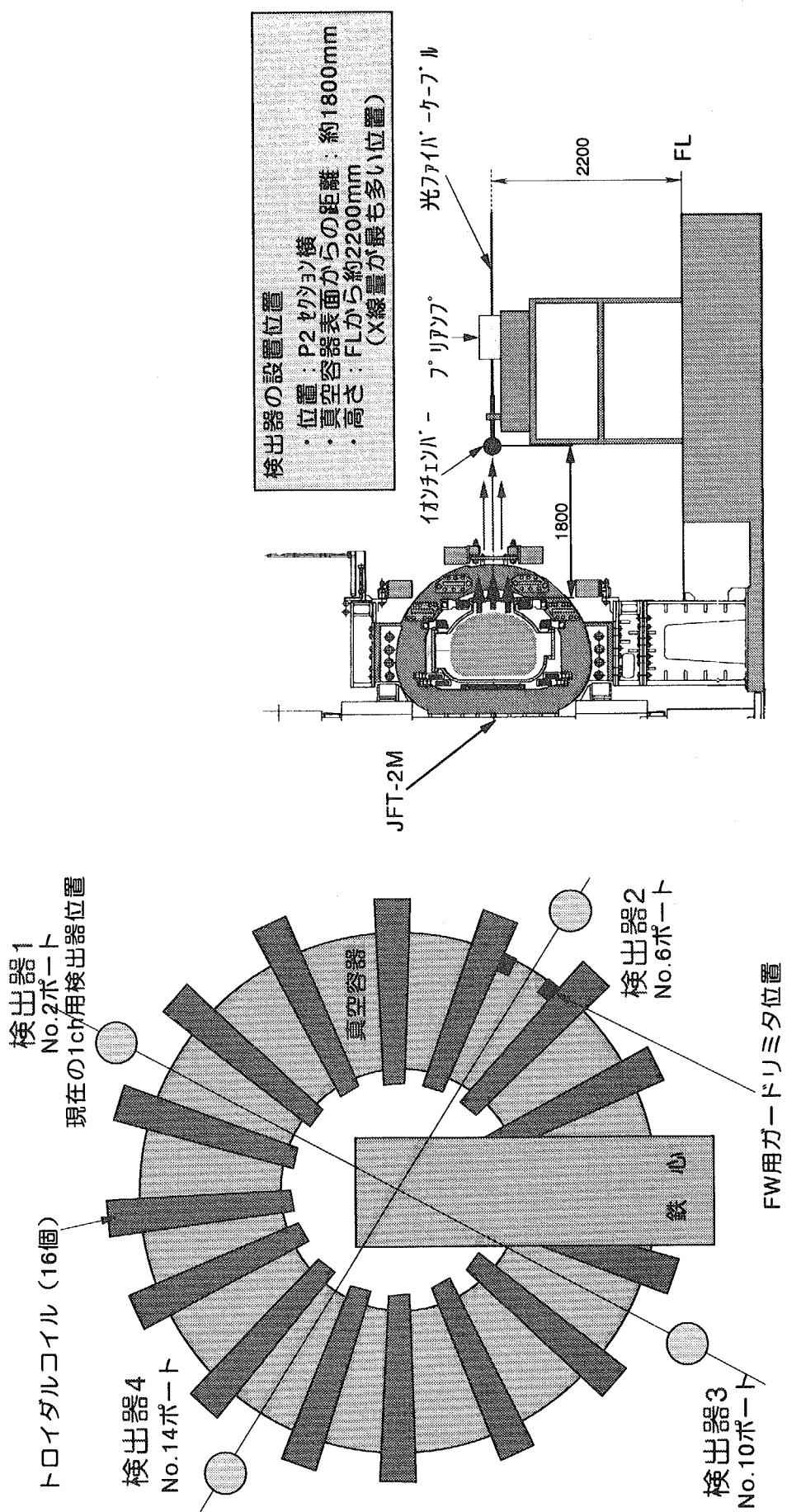


図3. 検出器の配置図

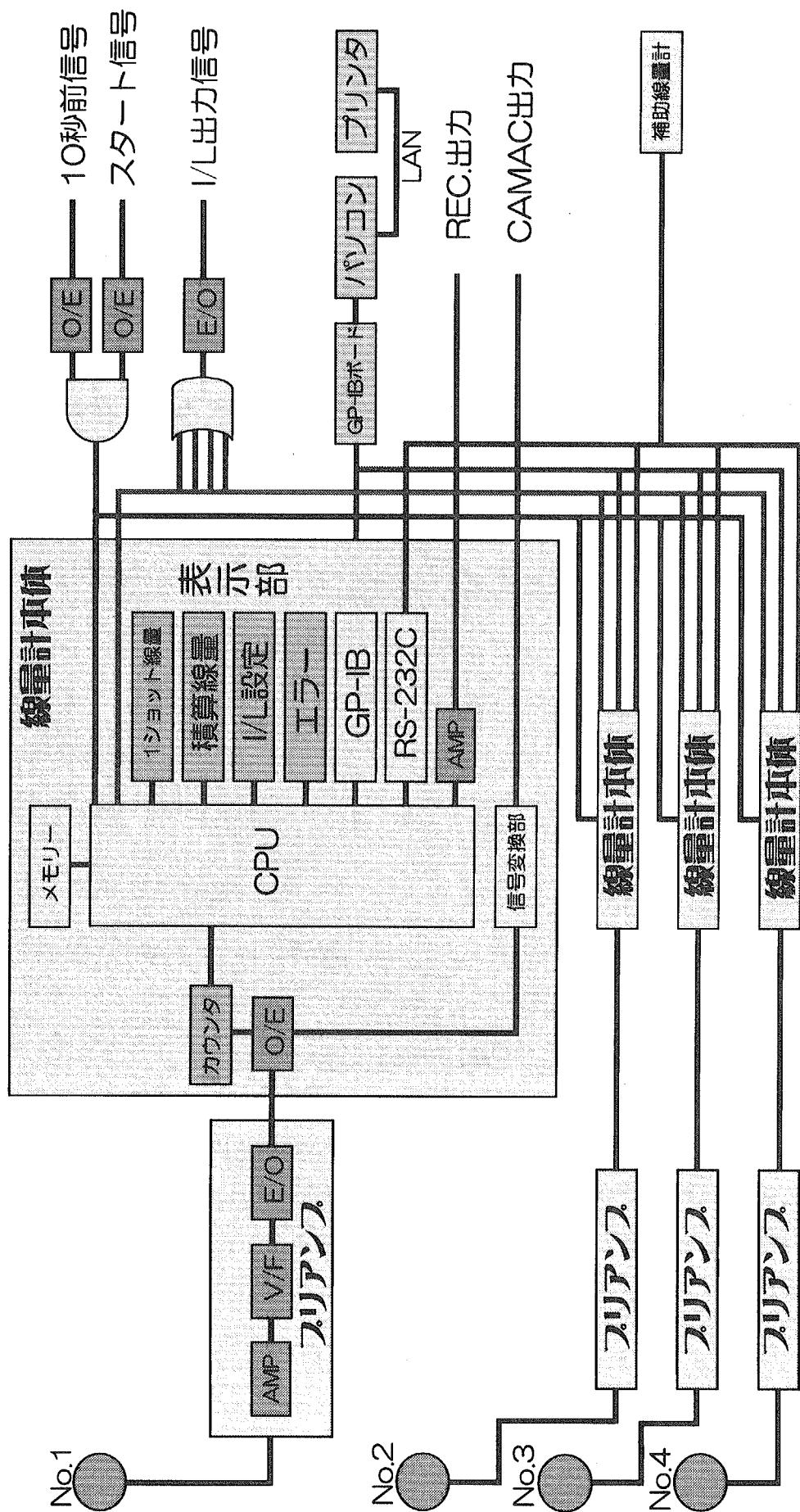


図4. 多チャンネル線モニターシステムの回路図

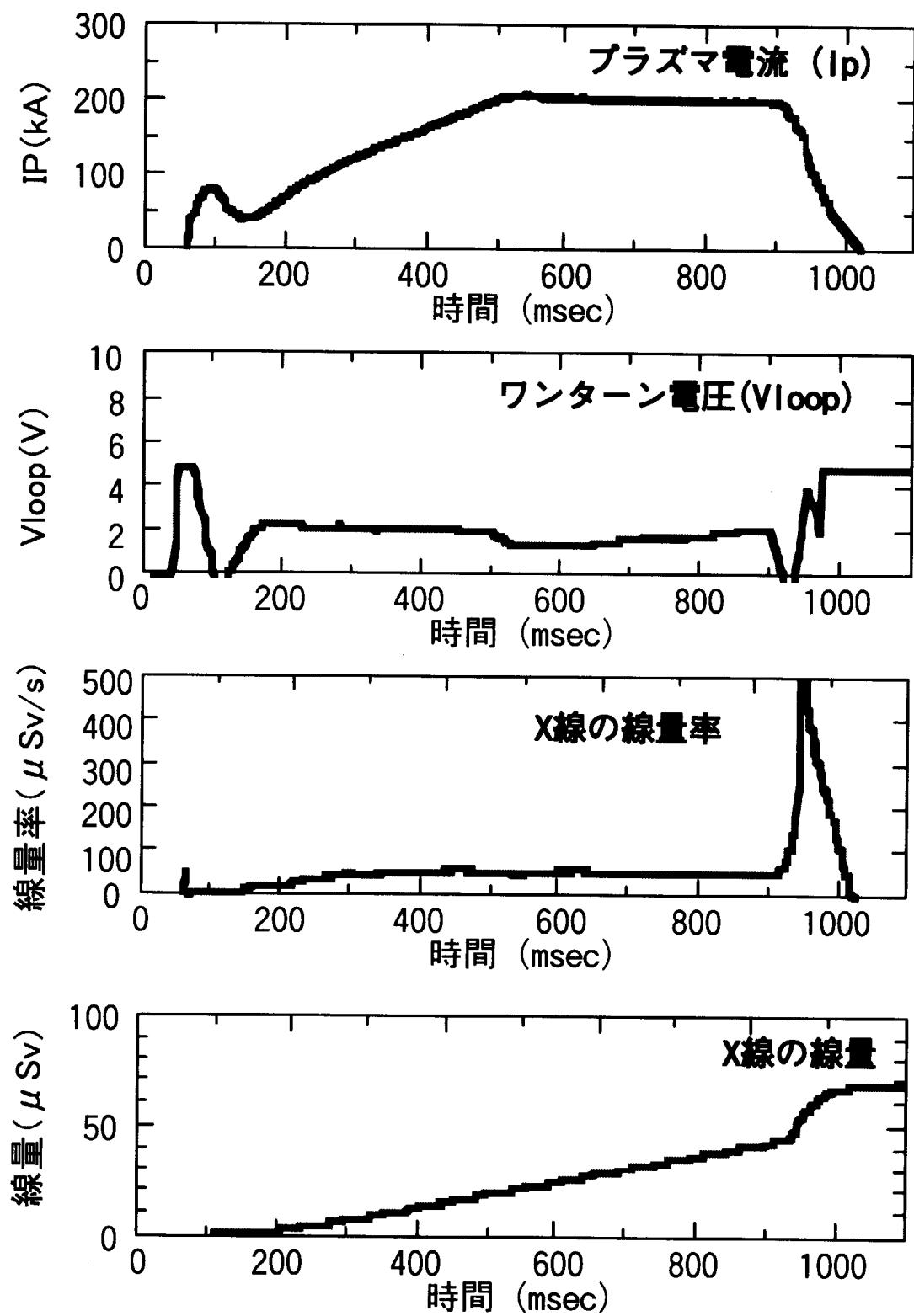
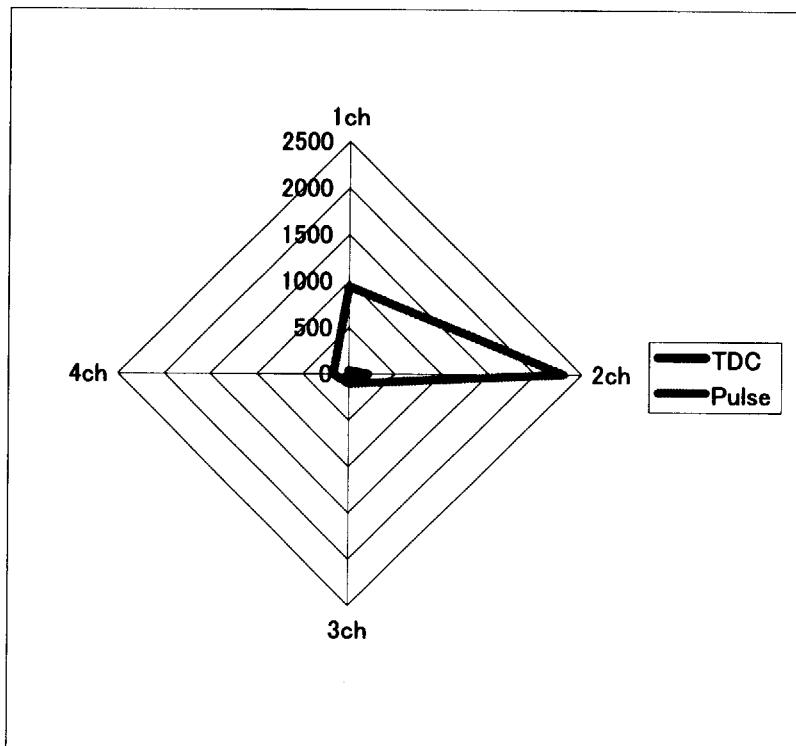
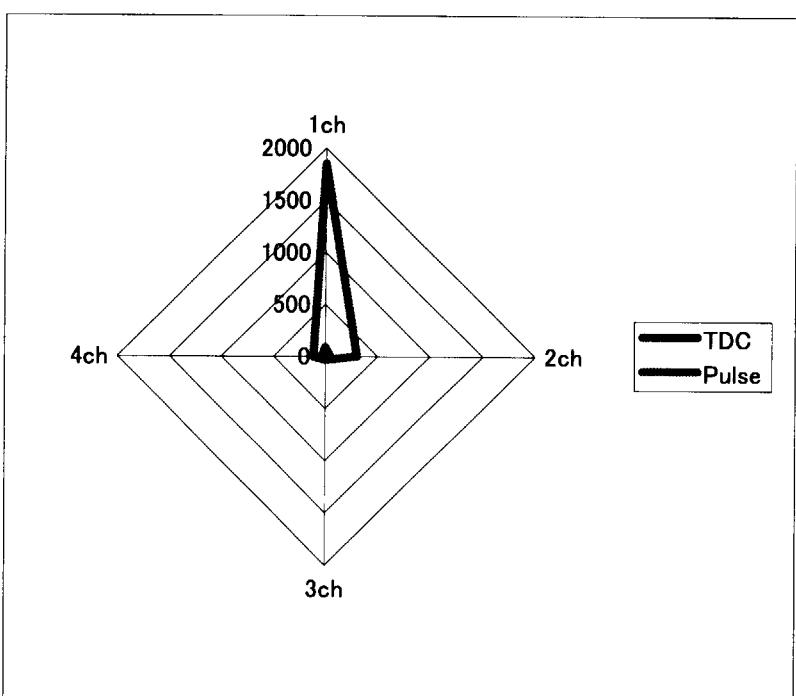


図5. プラズマとX線の出力波形

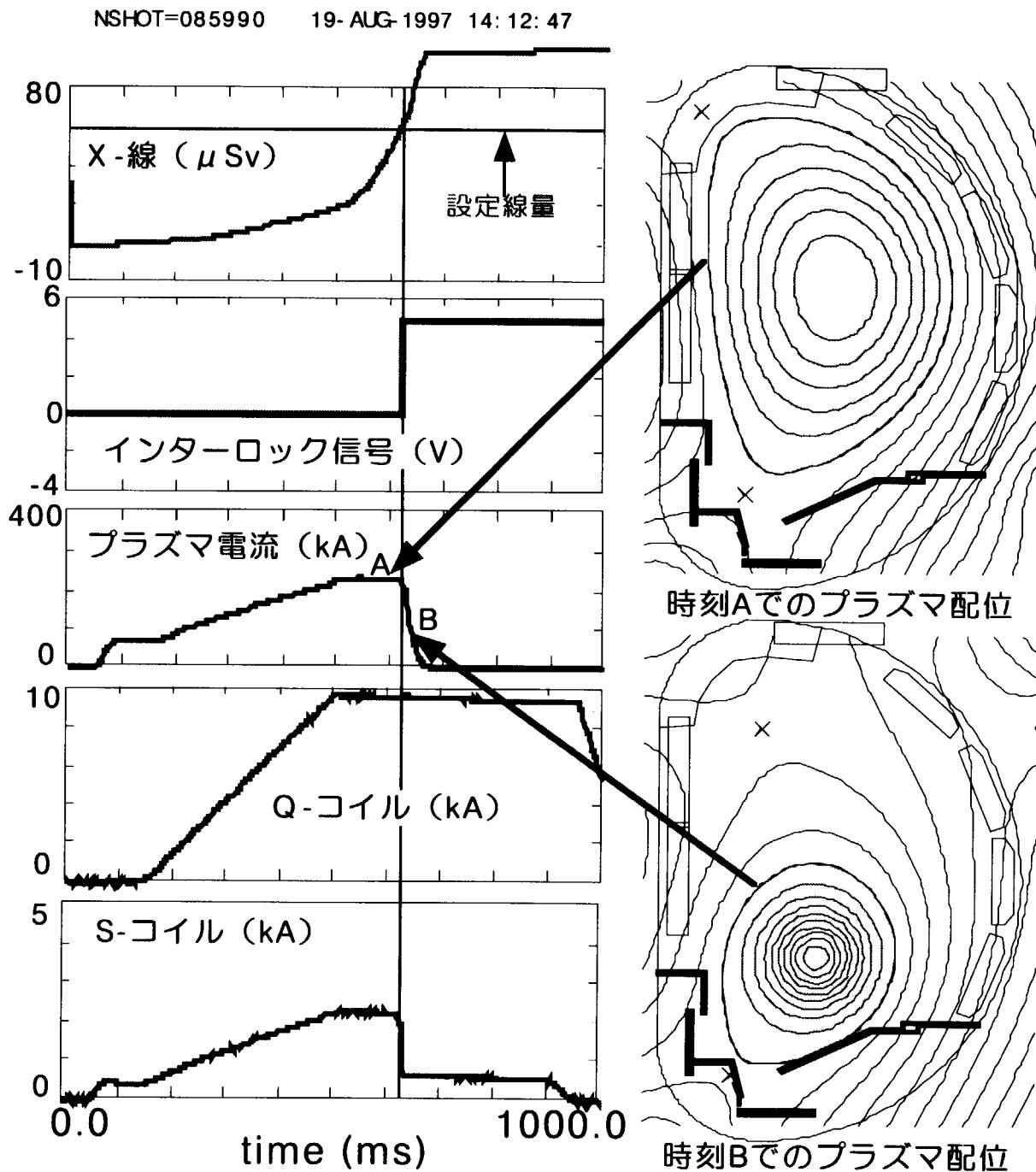


閉ダイバータ時の発生分布



開ダイバータ時の発生分布

図6. トロイダル方向のX線量発生分布



- ・ 設定線量に達した時、インターロック信号によりダイバータ用のコイル電流（Qコイル電流）を維持したまま、プラズマ電流を維持するための電流（トランスの一次側：Sコイル電流）をオフする。
- ・ これにより、プラズマはダイバータコイルに引き寄せられて急速に消滅（ディスラプション）し、X線発生が止まる。

図7. 設定線量に達した時のインターロック動作

This is a blank page.

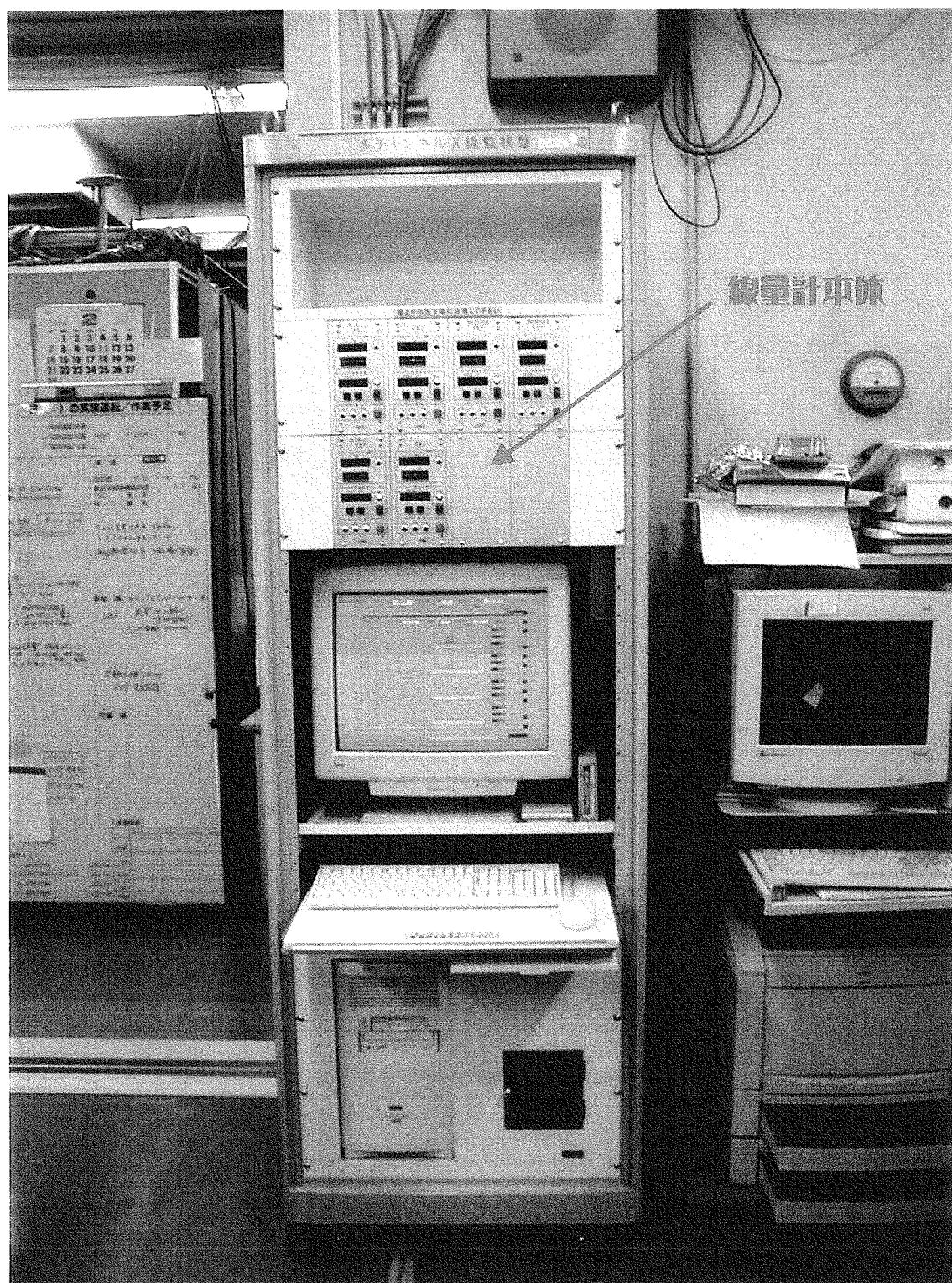
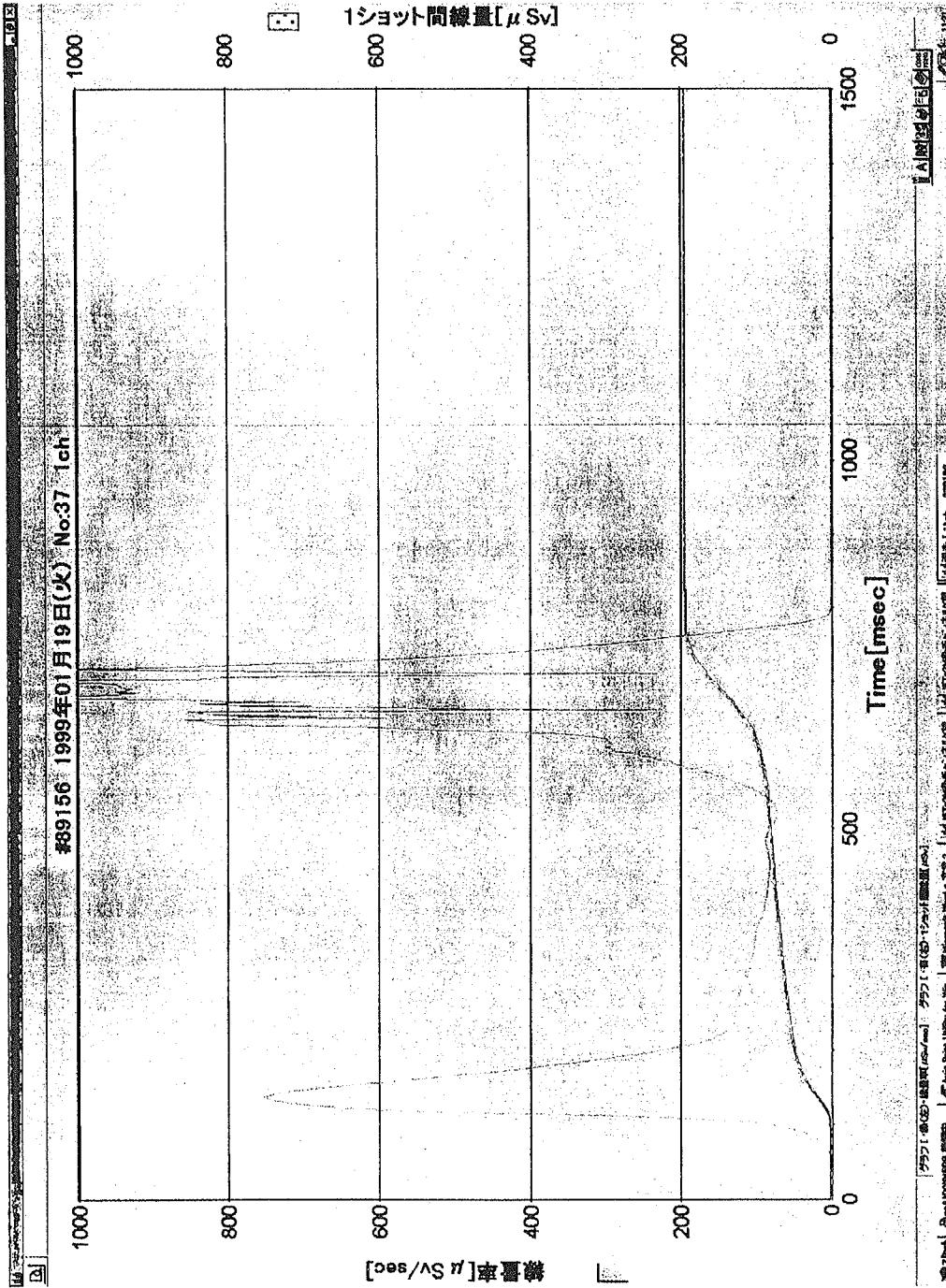


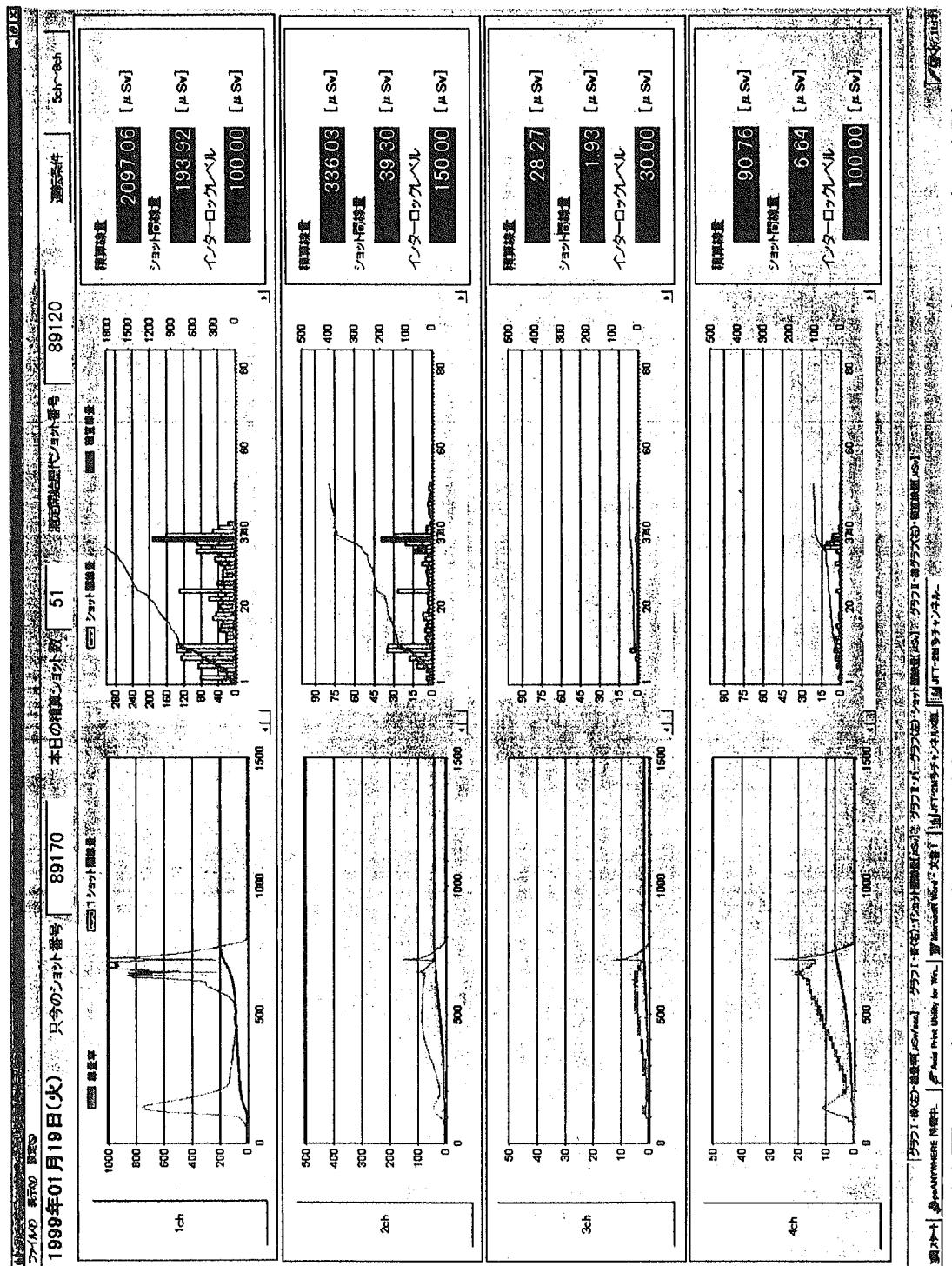
写真 1.多チャンネルX線モニターシステム用制御盤

This is a blank page.



付図 1.1 ショット間線量の経時変化

This is a blank page.



付図2. 多チャンネルX線モニターシステムの出力データ(日報)

This is a blank page.

国際単位系(SI)と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	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
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	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
功率、放射束	ワット	W	J/s
電気量、電荷	クーロン	C	A·s
電位、電圧、起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラード	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
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	°C	
光束度	ルーメン	lm	cd·sr
照度	ルクス	lx	lm/m ²
放射能	ベクレル	Bq	s ⁻¹
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分、時、日	min, h, d
度、分、秒	°, ′, ″
リットル	L, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 ¹⁸	エクサ	E
10 ¹⁵	ペタ	P
10 ¹²	テラ	T
10 ⁹	ギガ	G
10 ⁶	メガ	M
10 ³	キロ	k
10 ²	ヘクト	h
10 ¹	デカ	da
10 ⁻¹	デシ	d
10 ⁻²	センチ	c
10 ⁻³	ミリ	m
10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ⁻¹⁸	アト	a

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バーン	b
バール	bar
ガル	Gal
キュリ	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

$$1 \text{ Å} = 0.1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ b} = 100 \text{ fm}^2 = 10^{-28} \text{ m}^2$$

$$1 \text{ bar} = 0.1 \text{ MPa} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

$$1 \text{ rad} = 1 \text{ cGy} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

$$1 \text{ rem} = 1 \text{ cSv} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

(注)

- 表1~5は「国際単位系」第5版、国際度量衡局1985年刊行による。ただし、1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里、ノット、アール、ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは、JISでは流体の圧力を表す場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC閣僚理事会指令ではbar、barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

換算表

力	N(=10 ⁵ dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
9.80665		1	2.20462
4.44822		0.453592	1

$$\text{粘度 } 1 \text{ Pa}\cdot\text{s} (\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2) = 10 \text{ P} (\text{ポアズ}) (\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{s}))$$

$$\text{動粘度 } 1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St} (\text{ストークス}) (\text{cm}^2/\text{s})$$

圧力	MPa(=10 bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg(Torr)	lbf/in ² (psi)
力	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 ³	145.038
	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322 × 10 ⁻⁴	1.35951 × 10 ⁻³	1.31579 × 10 ⁻³	1	1.93368 × 10 ⁻²
	6.89476 × 10 ⁻³	7.03070 × 10 ⁻²	6.80460 × 10 ⁻²	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J(=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft · lbf	eV	1 cal = 4.18605 J(計量法)
	1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻⁷	0.238889	9.47813 × 10 ⁻⁴	0.737562	6.24150 × 10 ¹⁸	= 4.184 J(熱化学)
	9.80665	1	2.72407 × 10 ⁻⁶	2.34270	9.29487 × 10 ⁻³	7.23301	6.12082 × 10 ¹⁹	= 4.1855 J(15 °C)
	3.6 × 10 ⁶	3.67098 × 10 ⁵	1	8.59999 × 10 ⁵	3412.13	2.65522 × 10 ⁶	2.24694 × 10 ²⁵	= 4.1868 J(国際蒸気表)
	4.18605	0.426858	1.16279 × 10 ⁻⁶	1	3.96759 × 10 ⁻³	3.08747	2.61272 × 10 ¹⁹	仕事率 1 PS(仮馬力)
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹	= 75 kgf·m/s
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 ⁻⁷	0.323890	1.28506 × 10 ⁻³	1	8.46233 × 10 ¹⁸	= 735.499 W
	1.60218 × 10 ⁻¹⁹	1.63377 × 10 ⁻²⁰	4.45050 × 10 ⁻²⁶	3.82743 × 10 ⁻²⁰	1.51857 × 10 ⁻¹⁹	1.18171 × 10 ⁻¹⁹	1	

放射能	Bq	Ci
	1	2.70270 × 10 ⁻¹¹
	3.7 × 10 ¹⁰	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照 射 線 量	C/kg	R
	1	3876
	2.58 × 10 ⁻⁴	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

(86年12月26日現在)

JET-2用多チャンネルX線モニターシステムの開発