

原子力発電所用デジタル計装(全自動式走行形中性子束校正モニタ制御装置, 放射性ダストモニタ)の開発

Development of Digital Instruments for Nuclear Power Plants (Automatic Controller of Traversing Incore Probing Monitor and Dust Radiation Monitor)

近年、原子力発電所の大容量化に伴い、運転員の負担軽減と省力化が要請されている。その解決策として、マイクロコントローラ制御を導入する方法が一般化しつつある。本論文では、最近製品化を完了した代表例2件について紹介する。

TIP検出器の走行制御及び中性子束の計測と記録を自動で行なう全自動式TIP制御装置、並びに原子力発電所内の作業現場の放射能濃度を自動集中監視する放射性ダストモニタである。これらの自動化により大幅な省力化を、自己診断及び自動校正機能を付加することにより高信頼化を実現した。

野口 跡見* Atomi Noguchi
藤谷 十一* Soichi Fujitani
及川美夏子* Mikako Oikawa
松宮 章一* Shôichi Matsumiya
茅野 博之** Hiroyuki Kayano

1 緒 言

原子力発電所での省力化と装置の高信頼化を目的として、デジタル計装の全自動式TIP(Traversing Incore Probing Monitor: 走行形中性子束校正モニタ)制御装置と放射性ダストモニタを開発した。前者は、検出器走行、校正管選択、記録紙交換など操作の自動化、及び複数検出器の同時走行制御により省力化と測定時間の短縮を図っている。後者は放射能濃度計算と記録及び検出器校正などの自動化により省力化している。また、ともに自己診断機能の充実など十分な検討に基づく設計により高信頼化を図っている。

以下に、その具体的方法と特長について述べる。

2 全自動式TIP制御装置

TIPは原子炉のLPRM(Local Power Range Monitor: 局部出力領域モニタ)検出器の校正と、炉内中性子束分布の測定に用いる装置である。

TIPの系統図を図1に示す。

TIPは1チャンネル当たり最大10本のLPRM検出器集合体の校正を行なう構造になっており、出力が1,100MW級では5チャンネルで構成する。TIP検出器は通常シールドチェンバー内に収納しておき、校正作業時にLPRM検出器集合体に内蔵の校正管を走行させて、原子炉内の中性子束分布を測定する。TIP制御装置は、TIP検出器の挿入及び引抜きを行なうため

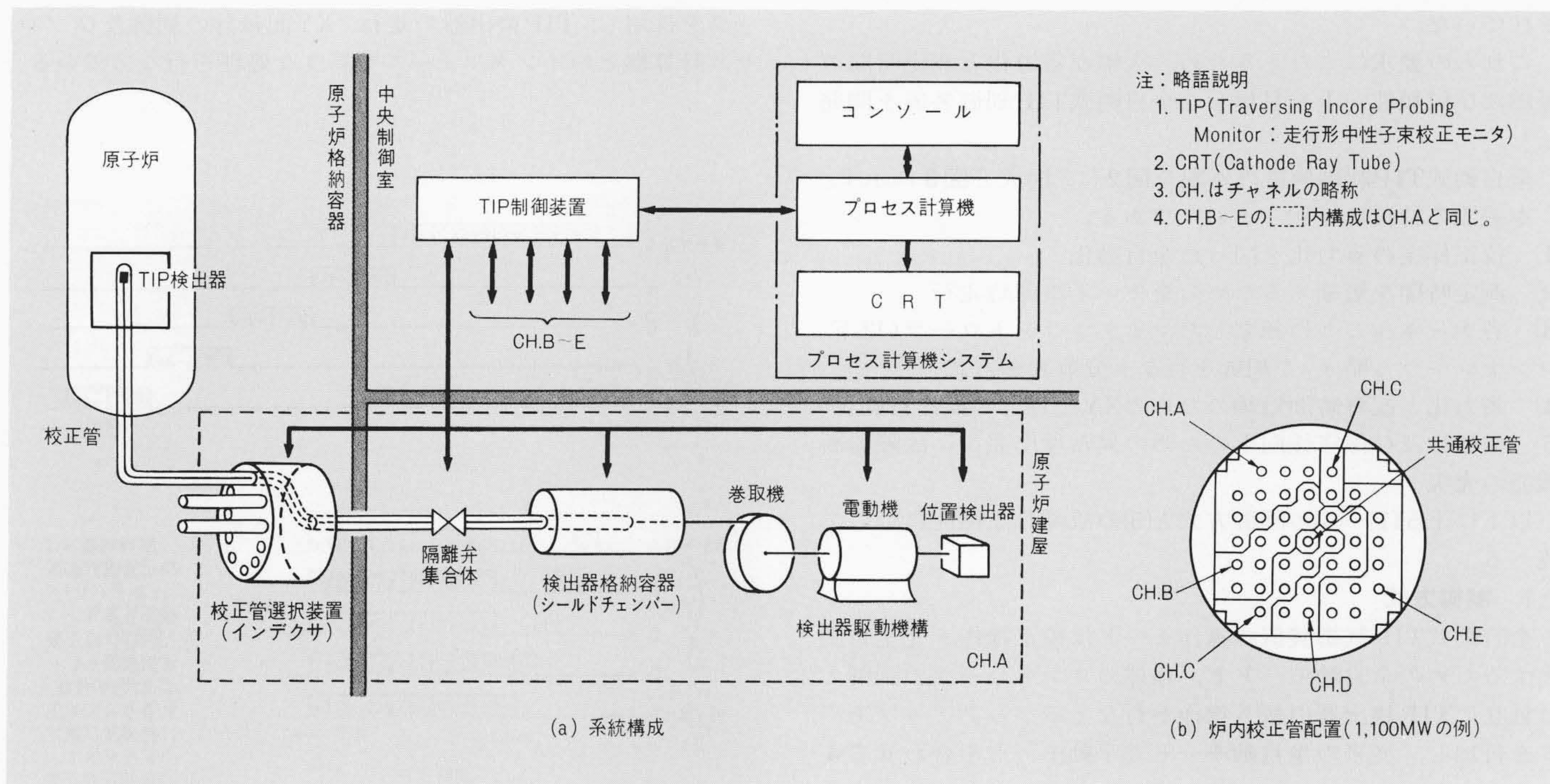


図1 TIP系統図 TIP制御装置によりTIP検出器は原子炉内を走行し、原子炉内の中性子束分布データがプロセス計算機に入力される。

* 日立製作所大みか工場 ** 日立製作所原子力事業部



図2 試作装置の外観 本外観は5チャンネル実装の場合を示している。全自動モードの場合、オペレータは本装置の操作をしなくても校正作業が行なえる。

の検出器駆動機構の制御、走行する校正管を選択する校正管選択装置の制御、格納容器内外を隔離するための弁集合体の開閉制御及び走行速度の切替制御などを行なう。

従来のTIP制御装置は、操作員が長時間(1,100MW級の場合約5時間)手動で細心の注意を払って操作しなければならず、また、その間原子炉出力を一定に保つ必要があるなどプラントの運転操作に時間を要しており、その改良が強く要求されていた。

これらの要求にこたえるため、大幅な省力化と測定時間の短縮及び信頼性向上を目指した全自動式TIP制御装置を開発した。

全自動式TIP制御装置の外観を図2に、構成を図3に示す。

本装置の特長は下記のとおりである。

- (1) 校正作業の省力化を図った全自動化
- (2) 測定時間を短縮するための全チャンネル同時走行
- (3) 各チャンネルごとに独立したマイクロコントローラ(以下、コントローラと略す)で制御を行なう分散制御方式
- (4) 省力化と記録時間短縮のためのXY記録計の操作自動化
- (5) 信頼性及び保守性向上のための異常検出並びに故障診断機能の充実

以下に上記(1)~(4)の制御方式と(5)の故障診断機能について述べる。

2.1 制御方式

全自動式TIP制御装置の操作モードは校正操作を完全自動化するための全自動モードと、後述のコントローラの制御とは独立にTIP検出器引抜き操作が行なえるバックアップモードを付加し、従来の半自動モードと手動モードを合わせて4モードにした。

全自動モードはプロセス計算機からの指令により、TIP校正作業を全校正管について自動的に行なうものである。全自動モードによるTIP検出器の走行方式として、各チャンネルを直列的に走行させる単一走行と、全チャンネルを並列的に走行

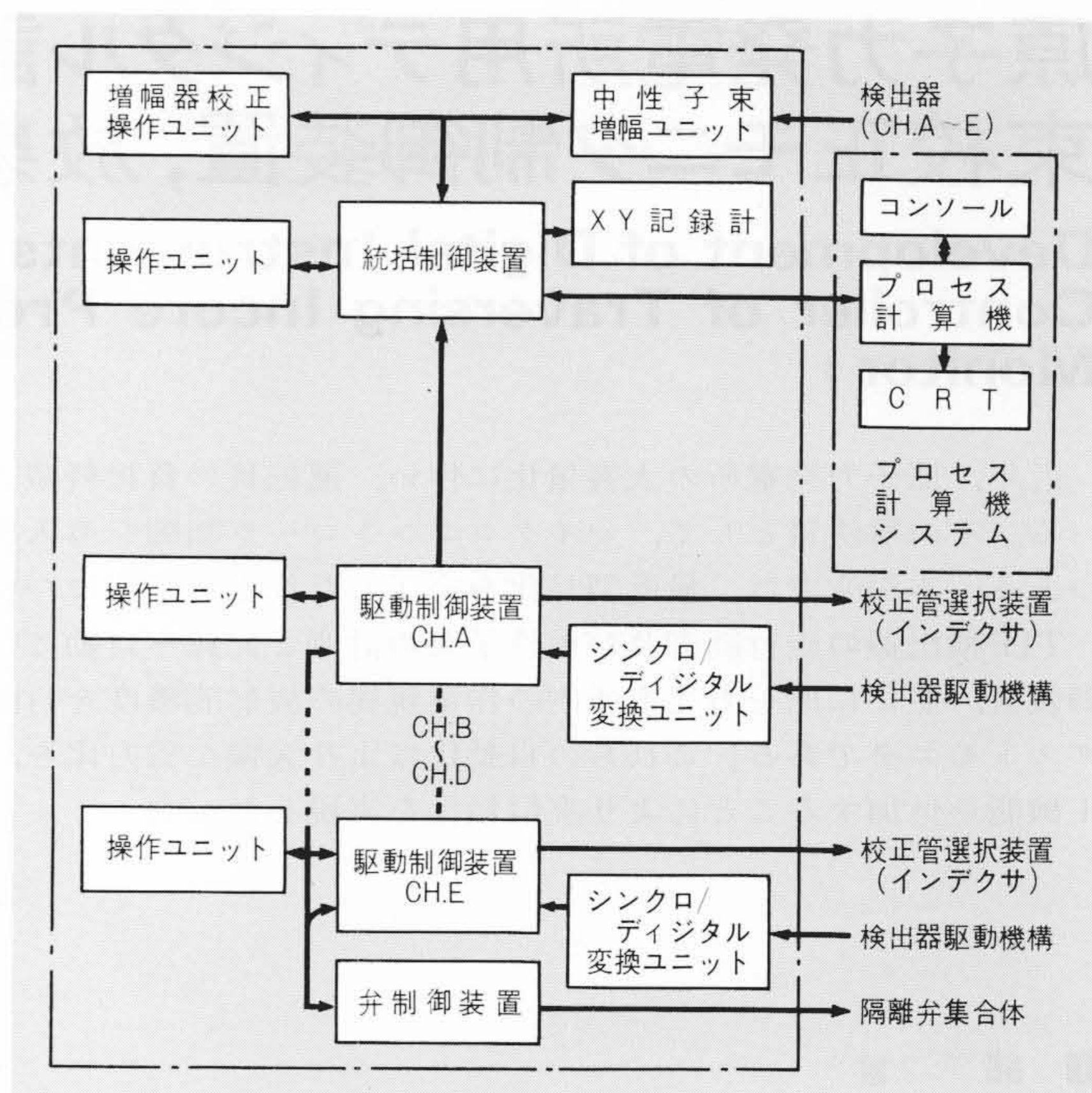
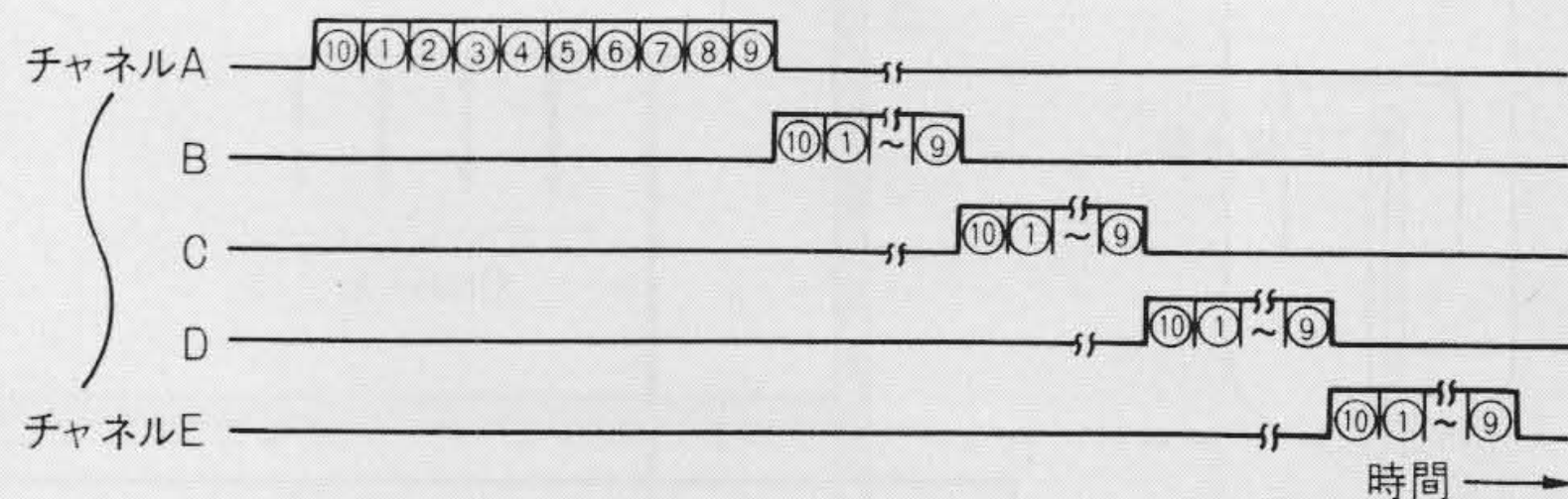


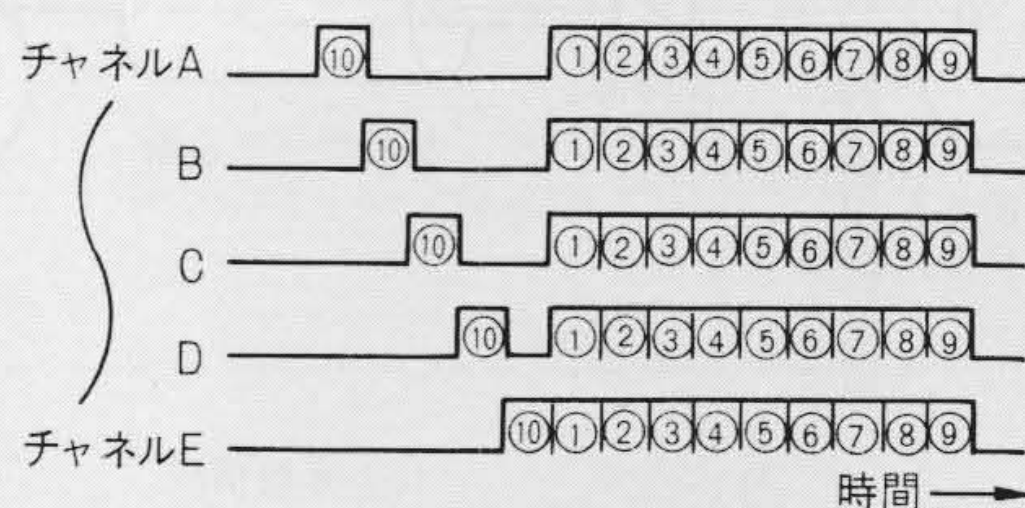
図3 全自動式TIP制御装置の構成 マイクロコントローラ内蔵の各チャンネル用駆動制御装置と統括制御装置を中枢とした分散制御方式となっている。全自動モードの場合はプロセス計算機により制御する。

させる同時走行の2種類を開発した。単一走行と同時走行の各タイムチャートを図4に示す。同時走行は同図(b)に示すように、各チャンネルが相互校正管の走行を終了した後、全チャンネルが同時に走行するので全校正管の走行に要する時間が従来よりも大幅に短縮できる。なお、全自動モードはオプション機能であり、本装置は従来装置とリプレースも可能である。

本装置は各チャンネル用及び統括制御用に1台ずつコントローラを採用し、TIP検出器の走行、XY記録計の制御及びプロセス計算機とのインタフェースで高度な処理を行なっている。



(a) 単一走行



(b) 同時走行

- 注: 1. 〇囲み内数字は校正管選択装置(インデкса)の校正管番号
2. 「n」は校正管選択装置(インデкса)の校正管番号nでの走行制御及び測定の実行を示す。
3. ⑩は相互校正管

図4 全自動モード走行タイムチャート (a)は各チャンネルが連続的に走行する単一走行方式で、(b)は相互校正管を各チャンネルが走行後、全チャンネルが並列に走行する同時走行方式である。同時走行を行なうことにより、校正時間が大幅に短縮できる。

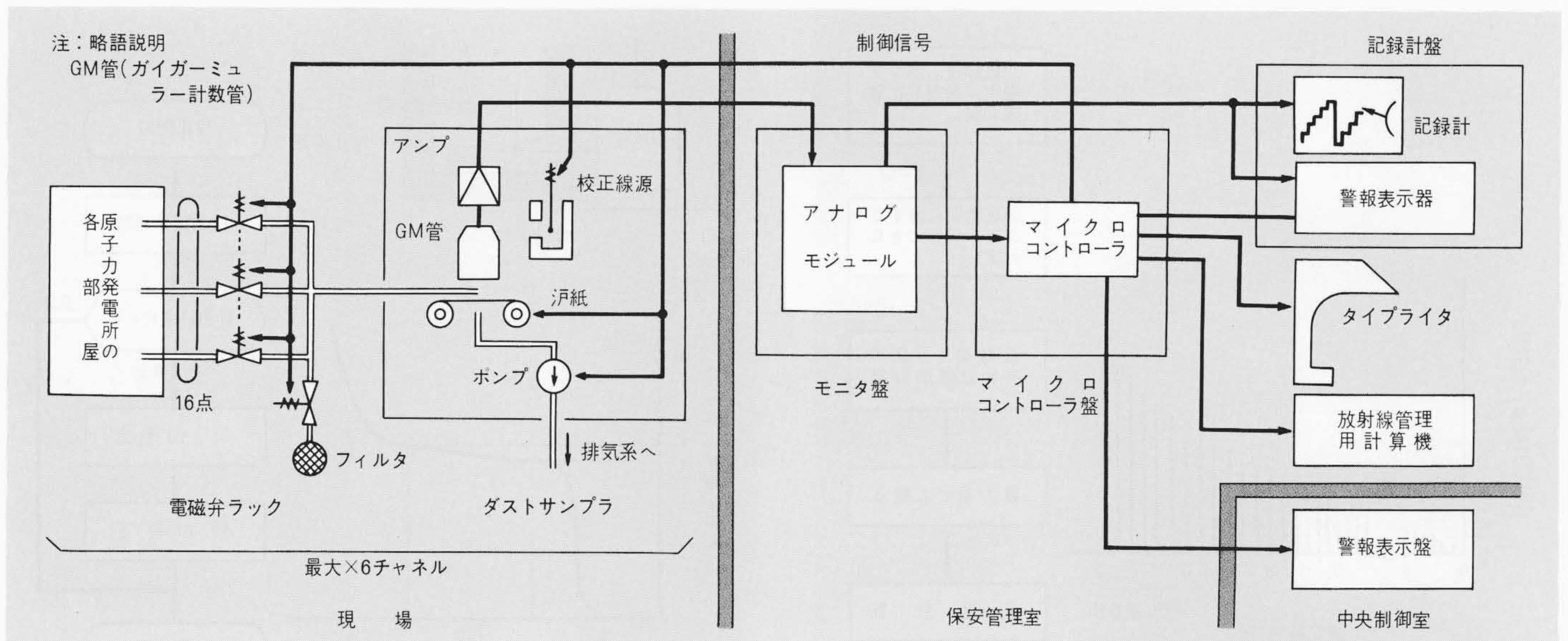


図5 放射性ダストモニタのシステム全体構成 マイクロコントローラの制御により、原子力発電所の各部屋の空気を順次サンプリングし、濃度計算を行ない記録印字するとともに、放射能濃度高レベルなどの警報を表示する。

XY記録計は各チャンネル共通に使用できるように手動スイッチやコントローラ自身の制御により選択するようにした。記録紙はコントローラによる自動巻取機能や、従来操作員が手書きで記録紙に記入していた校正管座標等の自動印字機能なども付加し、操作員の負担を低減した。

また、TIP検出器の位置検出には従来の接点出力式検出器に代えシンクロ発信機を採用したのをはじめ、従来の機械的部品を半導体回路やソフトウェアによる処理にすべて置き換え信頼性を向上させた。

2.2 故障診断

全自動式TIP制御装置では、故障診断機能を充実させることにより保守性及び信頼性を向上させた。

- (1) 全自動式TIP制御装置からの走行・停止指令に対する検出器駆動状態の監視
- (2) 校正管選択装置の動作の監視
- (3) 制御定数の誤設定及び設定後の異常変動の監視
- (4) コントローラ間の伝送異常、プログラム処理異常などコントローラ自身の異常監視

上記診断機能により異常が検出されれば診断結果に応じた表示を行ない、異常が発生したチャンネルの制御を停止させるようにした。

3 放射性ダストモニタ

本装置は、原子力発電所の保安管理のために、発電所内各建屋に数十箇所の試料採取点を設け、各点での空気中の塵埃内に含まれる放射能を検出し、連続的に監視するシステムである。

従来は試料採取点の切替制御を電磁リレーで行ない、測定値の濃度換算は手計算で行なっていたが、放射線管理の強化とともに測定点が増加し、操作員の負担が増大したため省力化と高信頼化が要求されるようになった。そこで、これらの制御と情報処理をマイクロコントローラで実行する装置を開発した。

図5に本システムの機器構成を示す。現場設置機器は、電磁弁の開閉を順次行なって試料採取点を選択する電磁弁ラックと、放射性粒子を含んだ空気を吸引し汚紙に捕集し、GM管

(ガイガーミュラー計数管)により放射能レベルを測定するダストサンプラである。制御盤は、この測定信号を受信しペン記録計を駆動するモニタ盤、電磁弁とポンプなどの制御を行なうとともに、状態表示などを行なうマイクロコントローラ盤(図6に外観を示す)、情報処理結果を記録印字するタイプライタ及び警報を出力するアナンシェータ盤から成る。マイクロコントローラとしては日立制御用計算機HIDIC 08-Eを採用した。本装置の特長は下記のとおりである。

- (1) 試料採取点の切替とダストサンプラの動作を、マイクロコントローラの制御により行ない、リレーロジックをなくした高信頼度制御方式。
- (2) 高レベル放射性塵埃に対して、検出器への無用な照射を

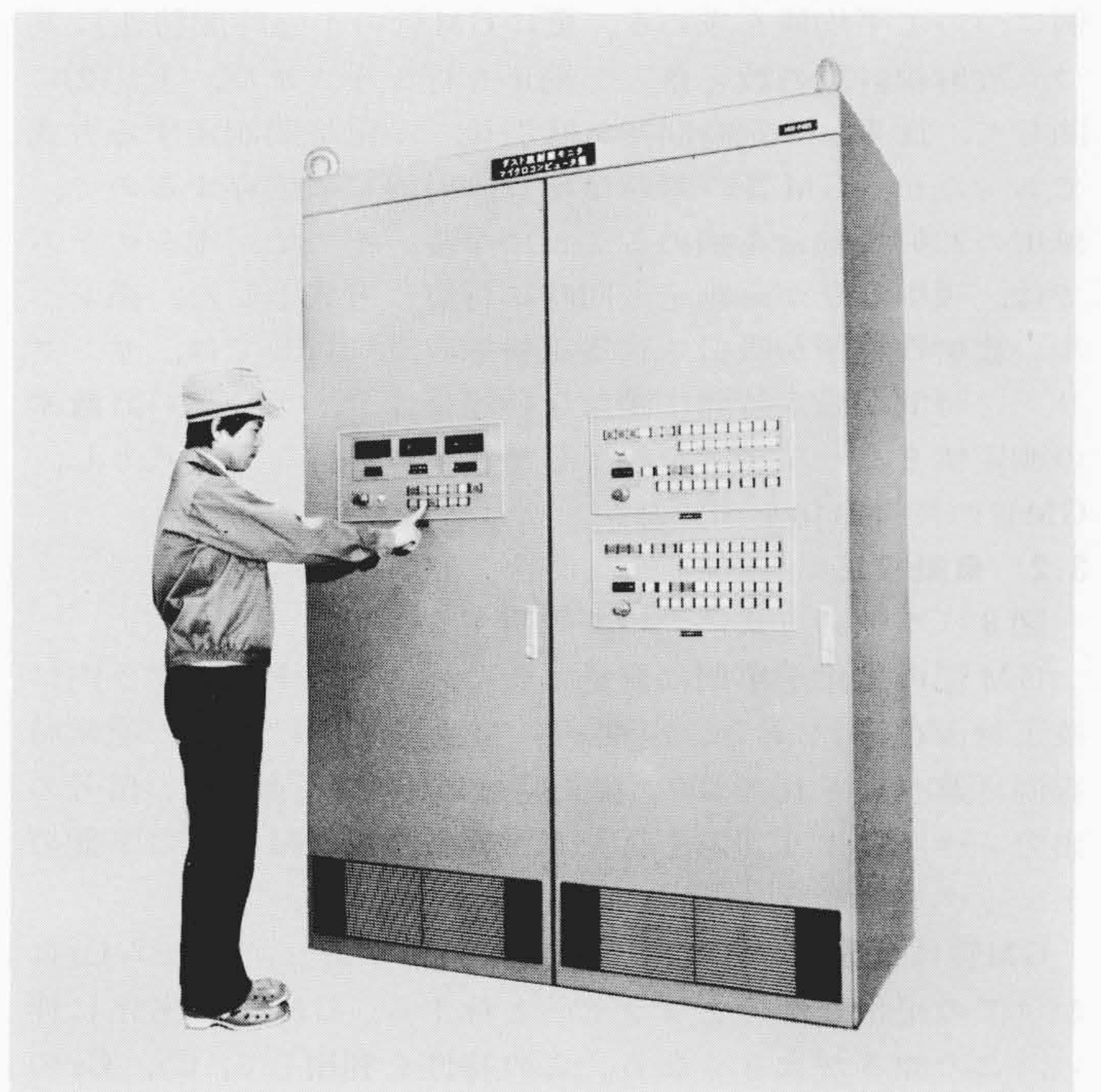


図6 放射性ダストモニタマイクロコントローラ盤 システムの主な制御、情報処理を行なうマイクロコントローラ盤外観を示す(2チャンネル用)。

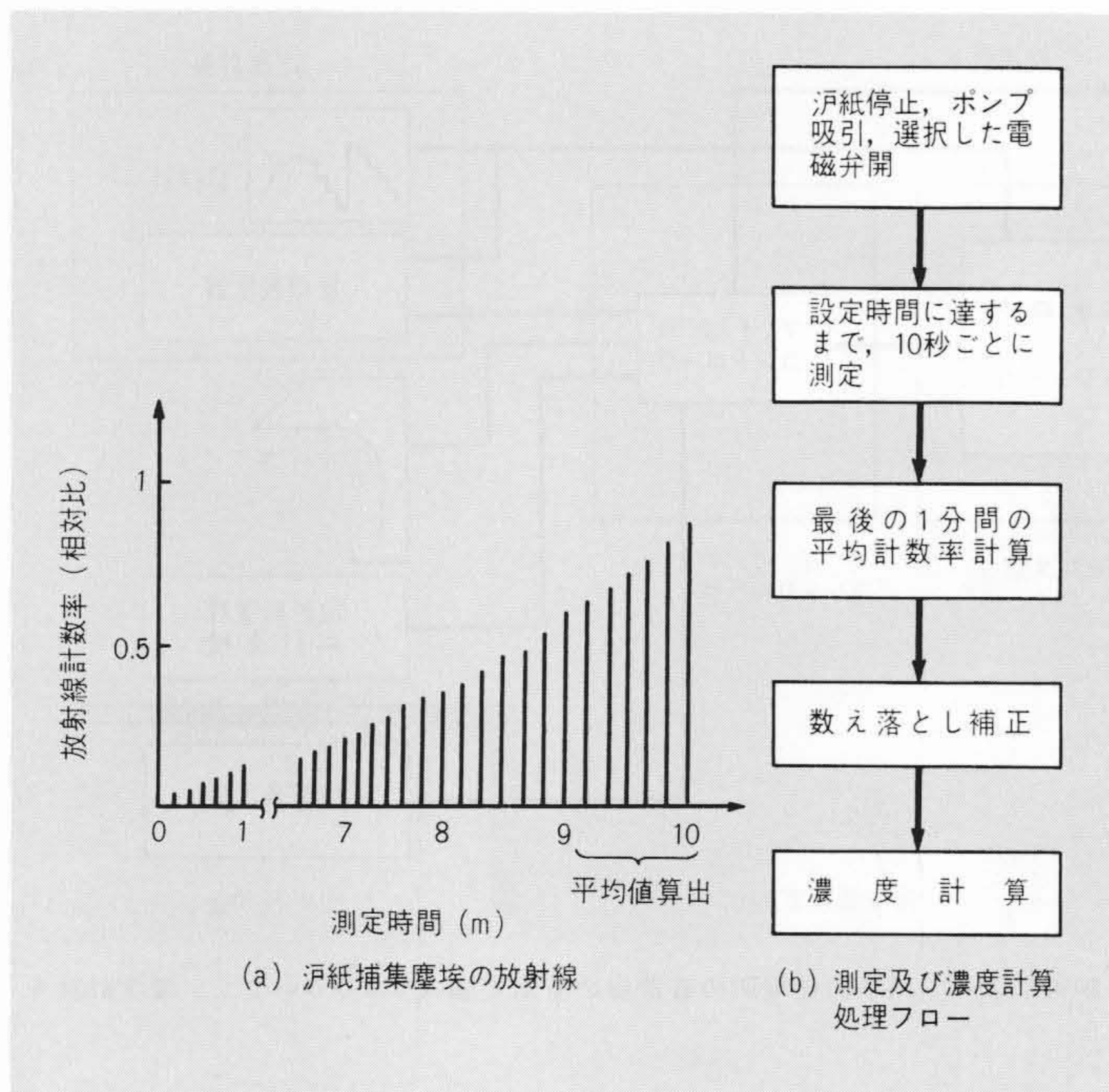


図7 測定及び濃度計算処理のフロー マイクロコントローラのソフトウェアにより、ダストサンプラの制御と濃度計算を行なう。放射線計数の統計的ゆらぎや、GM管の不感時間に伴う数え落としの補正も行なう。

回避する測定方式。

- (3) 放射線計数率の測定値を放射能濃度に自動換算し、記録印字する方式。
 - (4) GM管の定期的自動校正による異常の早期発見
 - (5) バックグラウンド値の定期的自動校正による測定精度向上
- 以下に上記(1)及び(2)の測定方式と(4)及び(5)の自動校正について述べる。

3.1 測定方式

図7に本システムの測定及び濃度計算処理のフローを示す。放射線の統計的ゆらぎを考慮し、1分間10秒ごとのデータ6個について平均値を求める。更にGM管の不感時間特性に基づく放射線計数の数え落とし補正を行なう。また、上記(2)に関して、従来は一定時間空気吸引後、一定時間測定する方式であったが、GM管の寿命は積算放射線量に依存するので、無用の照射は寿命を縮めることになる。そこで、本システムでは、吸引しながら測定も同時に行なう方式とした。高レベルの放射性粒子が吸引される試料採取点に対しては、サンプリング時間が設定時間に満たない場合でも、十分高い計数率の測定値をもって測定を終了し濃度換算を行なう方式とし、GM管の長寿命化を図った。

3.2 自動校正

図8に本制御方式について説明する。

GM管の劣化を早期に発見するため、ダストサンプラ内に校正線源 Cs^{137} をおき、定期的に自動校正を行なう。通常時線源は遮へいされており、校正時だけGM管を照射し、信号の出力レベルにより判定を行なう。異常の場合には更に下記のチェックを行なう。

GM管には図8に示すような計数特性があり、 C_1 から C_2 にかけての平坦な部分をプラトーと称する。GM管の劣化に伴い、この傾きが大きくなる。この特性を利用して、 C_1 、 C_2 の値を測定し傾きを求め、ある一定値を超えた場合にGM管の劣化とみなす。本方式によりGM管の劣化を早期に発見し、

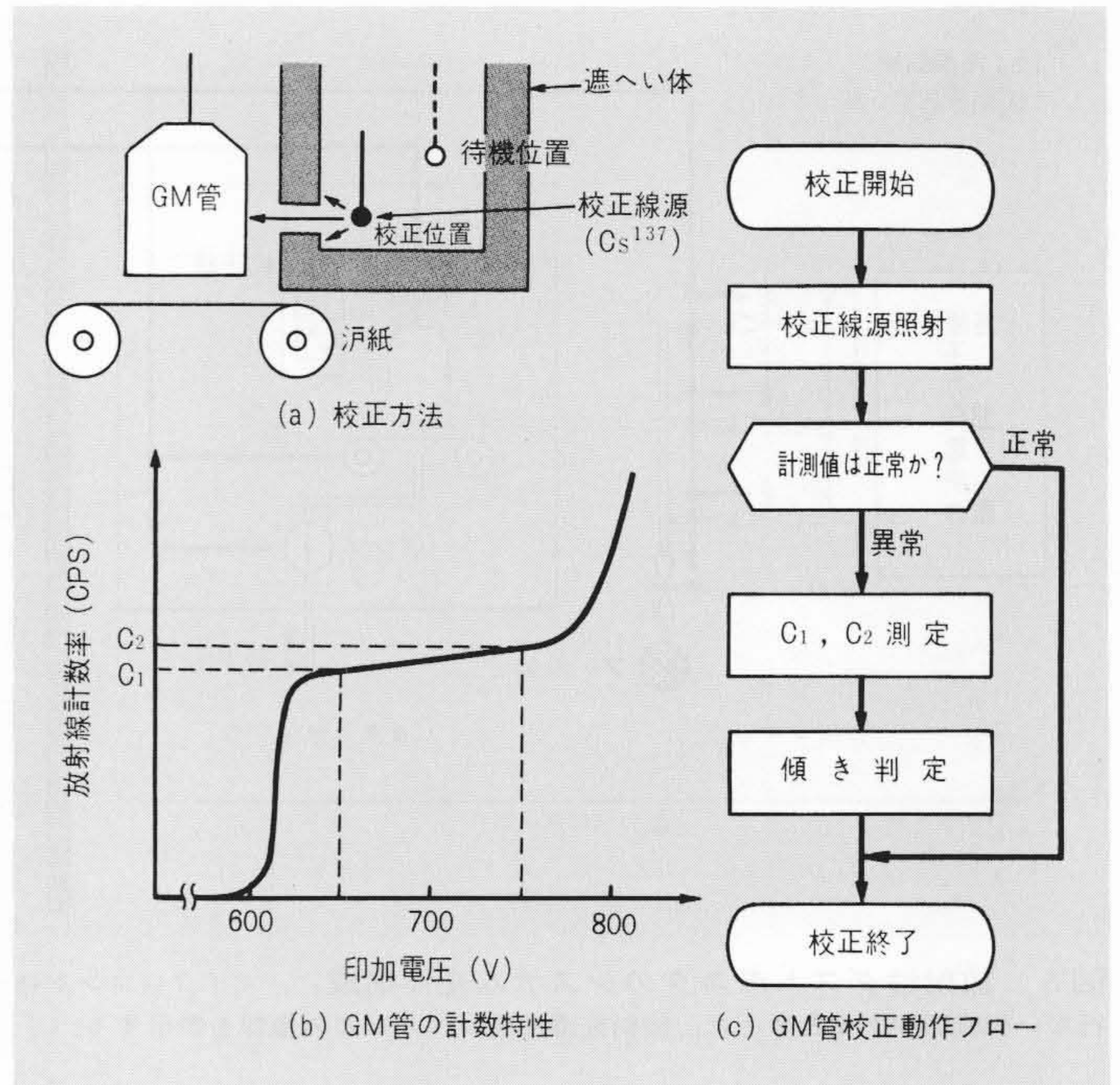


図8 GM管の自動校正 定期的に校正線源によりGM管を照射し、信号の出力レベルをチェックするとともに、プラトー特性をチェックしてGM管の劣化を早期に発見する。

放射線測定の精度も向上させることができる。

また、バックグラウンド値は放射能濃度計算に用いる値であり、定期的に校正する必要があるが、これも定期的に自動校正することとし省力化と計算精度の向上を図った。

4 性能及び信頼性の確認

全自動式TIP制御装置及び放射性ダストモニタは徹底した単体試験、総合動作試験及び信頼度試験を行ない、いずれも所期の性能を満足することを確認した。

特に信頼性については、厳しい部品レベルでの認定試験、装置としての耐環境試験、電源変動試験、ノイズ試験、耐震試験、耐衝撃試験などを実施して性能を確認するとともに、種々の信頼性解析による評価を行なって十分な信頼性をもっていることを確認した。

5 結 言

走行形中性子束校正モニタでは、マイクロコントローラによる全自動化と同時走行制御採用によりTIP校正操作での省力化を実現するとともに、校正作業時間を短縮し、プラントの運転操作を容易にした。

更に、故障診断機能付加などにより装置の信頼性及び保守性を向上させた。

放射性ダストモニタでは、原子力発電所内の多数の測定点に対し、マイクロコントローラの制御を導入して高信頼化を図るとともに、GM管及びバックグラウンドの自動校正を行ない測定精度を向上させ、濃度換算を自動化して省力化を実現した。

以上のTIP制御装置(ただし、全自動モードは設置されていない。)及び放射性ダストモニタは、ともに東京電力株式会社福島第二原子力発電所2号機に納入した。

終わりに、本開発に当たり御指導をいただいた東京電力株式会社の関係各位に対し、深謝の意を表わす次第である。