

放射線位置検出器による放射性粒子の粒径測定(Ⅲ)

The Measurement of the Radioactive Aerosol
Diameter by Position Sensitive Detectors (Ⅲ)

October 1981

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所

TOKAI WORKS

Power Reactor & Nuclear Fuel Development Corporation

複製あるいは入手については、下記にお問い合わせください。

茨城県那珂郡東海村 〒 319 - 11

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所技術部技術課 東海（02928）2-1111 内線 355

Enquires about copyright and reproduction should be adressed to ;

Tokai Works, Power Reactor and Nuclear Fuel Development
Corporation,

Tokai, Ibaraki, Post No. 319 - 11, Japan.

放射線位置検出器による放射性粒子の粒径測定

村上浩之* 金盛正至**

中本 淳* 関 昭 雄**

要 旨

放射線位置検出器による放射性粒子粒径測定法は、当初の目標である5 μ m巾電極による粒径測定及び均一な低抗性電極による測定が従来のオートラジオグラフィ法と比較して良い精度で測定可能であることがわかっている。本報告書は粒子径情報を、実際の粒子径に変換する情報処理の方式に関する調査検討である。検討の結果粒子径データを実粒子径に変換するにはミニコンクラスの計算機を使用することで可能であることがわかった。

放射性粒子粒径測定法は、放射線位置検出器を用いて実施する場合コスト高となるのが欠点であるが、現在までの研究により、検出部として、①半導体位置検出器を直接用いる方法、②ZnS(Ag)シンチレータ、IITチューブ及び半導体位置検出器を用いる方法があり、出力された粒子径に関する画像処理を行うことにより、粒子の分布状態及び粒子径を目視で迅速に確認できることがわかっている。

PNCT841-81-57
October, 1981

The Measurement of the Radioactive Aerosol
Diameter by Position Sensitive Detectors III

Hiroyuki Murakami* Masashi Kanamori**
Athushi Nakamoto* Akio Seki**

Abstract

The measurement of the diameter of radioactive aerosol, in particular plutonium aerosol, is very important for the internal dose estimation.

Determination of the diameter of radioactive aerosol is performed by using the position sensitive detectors. Position sensitive semiconductor detectors and Scintillation detectors with IIT tube are used as the position sensitive detector.

The filter paper with the radioactive aerosols is contacted to the PSD which is connected to the data processor so that the diameter of the aerosol is calculated from the measured radioactivity.

* Rikkyo University

** Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation

目 次

| | |
|------------------------|---|
| 1. はじめに | 1 |
| 2. 2次元位置検出回路の原理 | 2 |
| 3. 位置情報処理装置の問題点と改良すべき点 | 3 |
| 4. 位置情報処理プロセッサ | 5 |
| 5. マイクロプロセッサの利用 | 6 |
| 6. ま と め | 6 |

1. はじめに

作業者の被ばく線量を決定するために、作業者が吸入したエアロゾルに関する情報として

- ① エアロゾルの濃度
- ② エアロゾルの粒度分布
- ③ エアロゾルの核種及び化学形

の3者を測定し評価することが重要である。このうち①のエアロゾル濃度の測定及び②の核種の測定は現在ほぼ確実に実施できるようになってきているが、②の粒度分布測定と③の化学形の決定は、経験上の推定を行って評価している段階であり、測定方法の必要性が各方面でさげばれてきた。

そこで、本共同研究は、残されている課題のうち放射性粒子粒度分布の測定方法を開発してきた。利用可能な放射線位置検出器としては大きくわけて以下の3種類を用いることができる。

- ① 比例計数管等の空気電離を用いる方法
- ② シンチレーション検出器による方法
- ③ 半導体検出器による方法

それぞれの検出器の原理図の1例を図1に示す。

この中で特に②のシンチレーション検出器による方法及び③の半導体検出器による方法の両者についてサーベイを行い、その基礎となる半導体検出器及びシンチレーション光読み出し部分について開発を行ってきた。シンチレーション光を用いる方法は、イメージインテンシファイアにより機械的に放射線の位置情報を保存し、増幅した後半導体による位置検出器¹⁾あるいはテレビカメラと同様の方法により位置を読み出す方式であり、半導体検出器による方法は放射線情報を直接半導体位置検出器により読み出す方法である。本報告はこのうち半導体検出器及びシンチレーション検出器の位置読み出し部分の基礎となるものである。

従来2次元放射線位置検出器の種類としてチェッカーボード方式、電荷分割方式、遅延線方式等が開発されている。本共同研究においては主として電荷分割方式について開発を行ってきた。電荷分割方式による2次元放射線検出器は図2に示すように三つの方式について試作を行い性能評価を行ってきた。(a)の方式はP側及びN側にそれぞれ直交したマルチストリップ型電極を付け、外部で個別抵抗を接続してX方向及びY方向をそれぞれ1次元位置検出器としたものである。(b)は本質的には(a)と同じであるが、マルチストリップ型電極の換りに抵抗性電極を用いたものである。この方式は連続的な抵抗電極であるため連続的に位置を決めることが出来る。しかし位置分解能はS/Nによって決められる。(c)の方式は片面(P側)の電極に抵抗性電極を用いて片面のみで2次元位置を検出する方式である。位置分解能は(b)と同じである。この方式は抵抗性電極が1個であるため(b)の方式に比べ制作が容易であるが回路系は多少複雑である。

2次元位置検出器から得られる信号は、位置情報処理回路によりX方向及びY方向の位置情

報信号及びエネルギー信号として出力される。(a)及び(b)の方式の検出器からの信号は、本質的には同じ方式であるため位置情報処理回路としては原理的に同一のものである。図3はその原理を示すものである。(c)の方式は片面から2次元位置情報を得るため(a)及び(c)とは多少異なった方式となっている。図4はその原理を示したものである。つまりX及びY方向の相対する信号取り出し電極対をそれぞれ1次元位置検出器と見なして信号処理を行うものである。

プロセッサは位置情報処理回路によってアナログ的に処理されX位置、Y位置及びエネルギー信号として(アナログ信号として)出力された信号をアナログデジタル変換を行い、2次元位置及びエネルギー情報から放射性粒子2次元位置分布、エネルギー分布及び粒径分布等を得ることを目的としたものである。

2. 2次元位置検出回路の原理

電荷分割方式による2次元位置検出器は前に述べたようにP側、N側をそれぞれX方向、Y方向の独立した1次元位置検出器として利用する方式とP側電極を抵抗性電極材料で形成し相対する2組(X方向、Y方向)の信号取り出し電極を設ける方式に大別出来る。位置情報を得るための回路方式は両者で異なっている。図3に前者の回路方式のブロックダイアグラムを示す。この回路方式は第1回の共同研究で開発したものである。図4は後者の回路方式のブロックダイアグラムである。これは図3の装置を2台使用することにより実験的に使用することが出来る。本来は専用回路を開発すべきものであろう。

図3の方式の詳細は文献[1]を参照されたい。以下に片面2次元位置検出器の原理を少し述べる。図5は検出器断面図を模式的に表わしたものである。

P側電極として比較的抵抗の高いパラジウムを用いる。パラジウムを用いる理由の一つは、電極を形成する手段として真空蒸着法を用いているので蒸着温度が装置の限界以内である物質に限られるためである。理想的には白金を電極として使用すべきであろう。一様に蒸着したパラジウム電極に円弧状の信号取り出し電極(金)を4ヶ所に設ける。信号取り出し電極の形状等については十分な検討を行っていないため形状が最良のものとはかぎらない。光位置検出器の市販品では角形の配置となっている。くわしくは文献[2]を参照されたい。

N側は、アルミニウムを蒸着して電極を形成する。

位置情報は抵抗性電極上の相対する二組の信号取り出し電極対によってX方向、Y方向の位置を検出する。エネルギー信号はアルミニウム側電極から取り出される。

位置読出しの演算は次式に示す方式によって行っている。これは位置情報処理装置によって決められているものである。

$$X = \frac{Q_x}{Q_x + Q_{x'}}$$

$$Y = \frac{Q_y}{Q_y + Q_{y'}}$$

$Q_x, Q_{x'}, Q_y, Q_{y'}$ はX方向, Y方向信号取り出し電極に集められた電荷量

演算方式としては次式的方式も可能であるが処理装置を改造する必要があるため実験は行っていない。

$$X = \frac{Q_x - Q_{x'}}{Q_x + Q_{x'}}$$

$$Y = \frac{Q_y - Q_{y'}}{Q_y + Q_{y'}}$$

この方式はX', Y'付近での位置分解能の悪化が少なくない。

3. 位置情報処理装置の問題点と改良すべき点

(1) 前置増幅器

電荷分割形放射線位置検出器は等価的に図6のように表わされる。

$$R_{in} = \frac{C_o}{y_m C_f}$$

$$Q_x = \frac{R_x + R_{in}}{R + 2R_{in}} \cdot Q$$

(2) 電荷有感

前置増幅器の入力抵抗は次のように表わされる。〔3〕

$$R_{in} = \frac{C_o}{y_m C_f}$$

したがって、検出器に入射した放射線によって前置増幅器Xに流入する電荷 Q_x は

$$Q_x = \frac{R_x + R_{in}}{R + 2R_{in}} \cdot Q$$

となる。

したがって、位置精度及び分解能は R_{in} の大きい場合悪化する。

電荷分割方式の位置分解能は

$$\Delta P \approx K'(TC)^{1/2} \cdot \frac{L}{E}$$

と表わされる。これは、位置分解能が前置増幅器の雑音対信号比によって決まることを表わしている。

前置増幅器の等価雑音荷 \overline{ENC} は

$$\overline{ENC}^2 = \frac{1}{2} hTR_s C^2 \int_{-\infty}^{\infty} [W(t)] dt$$

$$+ \frac{1}{2} hT \frac{1}{R_p} \int_{-\infty}^{\infty} [W(t)] dt$$

となる。〔3〕

電荷分割方式では、分割抵抗 R が並列雑音抵抗 R_p となる。台形波形整形を行うとすると

$$\overline{ENC}^2 = \frac{1}{2} hTR_s C^2 \int_{-\infty}^{\infty} \left(\frac{2}{T_m} + \frac{1}{2} hT \frac{1}{R} \left(\frac{2}{3} T_m + W \right) \right) g m$$

R を数 $K \Omega$ と仮定すると直列雑音は無視することが出来る。

$$\overline{ENC}^2 \approx \frac{1}{2} hT \frac{1}{R} \left(\frac{2}{3} T_m + \tau \right)$$

つまり位置分解能は $\sqrt{\frac{\tau}{R}}$ に比例する。 τ を荷収時間 R と同じにすると $\sqrt{\frac{CoR}{R}} = \sqrt{C_D}$

となる。つまり積分時間を電荷収集時間に等しくするならば位置分解能は、検出器容量の平方根に比例する。

(3) 増幅器

電荷分割方式位置検出器からの信号パルスの立上り時間（電荷収集時間）に放射線の入射位置、分割抵抗、検出容量によって異なっている。このため位置情報処理装置では遅延形波形整形を用いた。しかし苛型大面積検出器では立上り時間が遅くなり電荷を十分に集めることが出来ない。つまり $4 \mu S$ より遅い立上り時間のパルスでは電荷 100% 集めることが出来ない。この問題の解決策は波形整形回路にゲートドインテグレーター〔4〕を用いることである。図 7 に gated Integrator の原理を示している。この方式は台形波形整形と等価なものになっている。また積分時間を任意に決めることが出来るので検出器の特性に合わせて積分時間を決めることが出来ること及び割算回路のためのパルスストレッチャー回路が省略出来ること等の利点がある。

放射線入射位置を算出するための割算を現在はアナログ割算器によって行っている。しかし演算精度、ダイナミックレンジ等の点で問題がある。したがって各電極の出力デジタル化した後に計算機により位置、エネルギー等を算出する方式が優れているであろう。計算時間はプログラムによって決まり単純な計算であれば実行時間を数百 μS にすることは容易であろう。また高速演算ユニット等を使用するならば数 μS で演算を行うことも可能であろう。しかしながら計算処理を BASIC 言語等で行うならば、数十 mS 以上かかるであろう。したがって非常に計数率が低い場合以外は BASIC 言語による計算処理は不相当と思われる。

アナログ演算の精度は、アナログ演算を行う集積回路によって決まる。またオフセット調

整, 利得調整のドリフトも演算精度に対して影響が大きい。アナログ演算方式により割算精度1%, ダイナミックレンジ10倍を長期間安定して維持するのは困難であろう。

4. 位置情報処理プロセッサ

放射線位置情報処理回路からは, 放射線入射位置及びエネルギーに対応した波高値を持つパルスが出力される。X, Y出力パルスを2次元波高分析器に入力することにより放射線入射位置分布が得られる。エネルギースペクトルは, エネルギー信号を波高分析することにより得ることが出来る。エネルギー別の入射位置分布はX, Yエネルギーの3次元波高分析を行う必要がある。シングルチャンネル波高分析器を用いて特定のエネルギーを持つ入射放射線を選び出して, 2次元位置分布を測定する方式は簡単であるが測定時間が長くかかる欠点がある。また, 3次元波高分析器(ハードウェア方式)は市販されていない。つまりマルチチャンネル3次元波高分析器はADC-計算器の組み合わせによりソフトウェア, マルチチャンネル波高分析器によって実現されている。

図8はハードウェア方式の2次元マルチチャンネル波高分析器の原理を示すブロックダイアグラムである。

X及びYが同時に入力されるか又は外部トリガー信号が入力されるとX及びYADCはAD変換を開始する。変換終了後AD変換されたX及びYの値は, 2次元記憶装置のX, Yアドレスとして, 記憶内容を読み出し1を加算した後, 結果は再び書き込まれ記憶される。この動作を入力信号ごとに順次くりかえして行う。分析終了後記憶内容はCRTディスプレイ, プリンター等に出力される。

3次元波高分析器も同様な原理で動作が行われる。しかし, 次元が増加するにしたがい, 記憶容量は非常に大きなものとなる。また, 多くの場合データは特定の値に集中しているので, ほとんどの記憶場所は空の状態で使用されていない。つまり, 多次元波高分析器を1次元と同様の方式で実現するのは記憶装置が必要以上に大きくなり, 3次元以上は現実的ではない。

多次元波高分析器は多くの場合入力信号が生じるごとにAD変換された波高値の組を磁気テープ等の大容量記憶装置に記録し, 測定終了後にテープのデータを計算機処理により多次元波高分析を行う方式となっている。測定中のモニターは特定パラメータについてデータの一部をサンプリングして1次元又は2次元ヒストグラムをオンライン処理によって作成することにより行われるのが一般的である。

図9図は立教大学理学部物理学科原子核・放射線研究室で使用されているCAMAC ベース8次元多重波高分析器のブロック・ダイアグラムである。〔5〕このシステムは8台のADCの任意の組合せ(コインシデンスの組合せ)を最大8組まで使用可能である。さらに独立に制御可能な3組の制御押ボタンスウィッチを持っているのでADCを適当に独立な3組に分けることにより3組までの独立な実験を同時に実行することが出来る。また, 適当なパラメータで

選び出したヒストグラムを最大8までオンラインで作成可能である。ディスクに記憶されているリストモードのデータをバックグラウンドジョブとして処理することも可能なシステムとなっている。リストモードで収集されたデータは磁気テープに記憶されオンラインで解析される。解析は多次元解析プログラムZ00Mによって行われる。このプログラムはFORTRANによって書かれているためいろいろな計算機システムで使用することが出来る。

このように多次元多重分析波高分析はほとんど計算機によりリストモードで磁気テープ等の大容量記憶装置に記録され実験終了後に解析される。解析は専用の多次元分析処理プログラムを必要とする。システムの性能はハードウェアと共にデータ収集、解析プログラムが重要になる。特に解析処理のサポートが重要である。多くの場合解析処理プログラム性能によってそのシステムの評価が決められている。

5. マイクロプロセッサの利用

フィルターに附着した放射線粒子の粒径は1つの粒子の放射能を測定することにより測定される。〔6〕フィルターに附着した複数の放射性粒子は位置検出器により位置弁別、エネルギー（核種）弁別を行い個々の放射性粒子の粒径を測定する。

位置検出器からの信号は、位置情報処理回路によりX及びY位置、エネルギーに比例したパルス信号に変換される。

位置情報プロセッサは前に述べたように基本的には多次元パルス波高分析器である。フィルターに附着した放射性粒子のそれぞれの粒径をある程度自動的に測定を行う一つの手段として計算機制御方式の多次元パルス波高分析器を利用する方法がある。

図1.0は、ADCとマイクロコンピュータの組合せによる位置情報処理プロセッサ（4次元パルス波高分析器）のブロックダイヤグラムである。

位置情報処理は図1.1のようなフローで行われる。

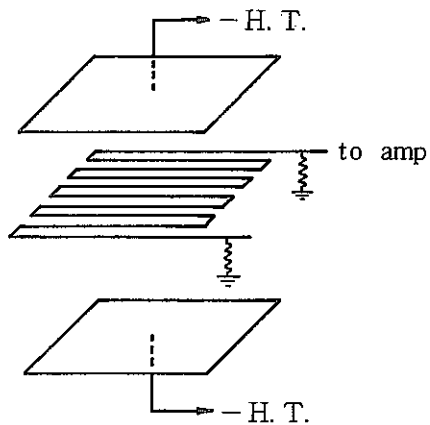
これらの処理は、第一段階としてはシーケンシャルに実行する。したがって処理速度は遅くなるが計数率が非常に低い場合には使用できる。

第二段階としてはマルチタスクによりデータ収集・ファイル処理・位置及び粒径計算・2次元表示等を並行処理で実行する予定である。しかしマイクロコンピュータのオペレーティングシステムが並行処理をサポートしていない場合はオペレーティングシステムを含めたソフトウェアの開発が必要となる。

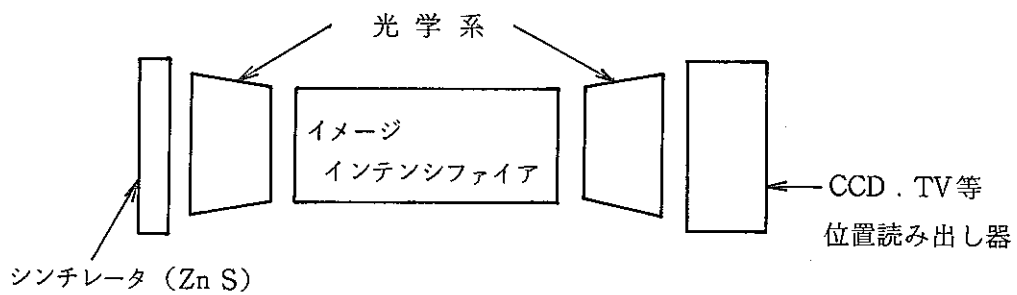
6. まとめ

以上のように、一連の共同研究で放射性粒子の測定に必要な機器を開発した結果、開発課題も明らかとなり試験装置は必要な特性を満足する装置であることが確認された。今後現場に使用する実機の使用条件を明確にし、実機製作上有効に反映する必要がある。

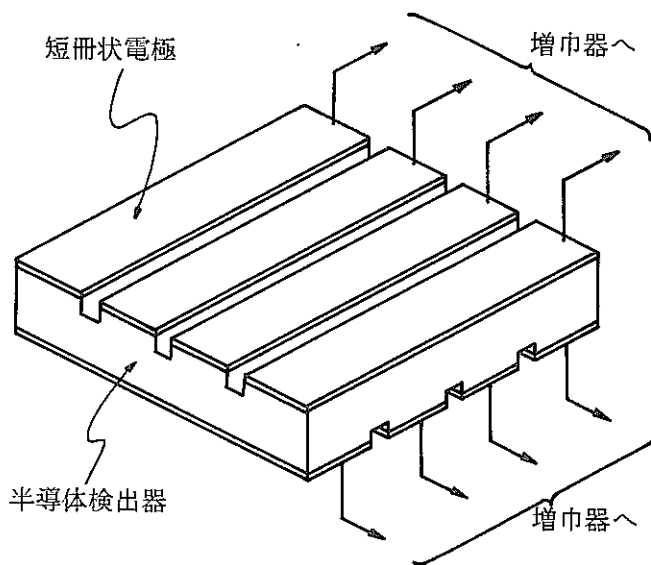
- [1] 「一放線位置検出器による放射線粒子径測定法の開発2」
立教大学との共同研究報告書
- [2] 袴田 祐治 「新半導体検出器と応用」
電子技術 第21巻13号 1979
- [3] V. RadeKa. IEEE Trans. Nucl. Sic
Ns-21 No-1 (1974) 51
- [4] V. Radeka. IEEE Trans. Nucl. Sic
Ns-19 No-1 (1972) 412
- [5] M. Saito. K. Shibata. S. Shirato
原子核研究 Vol. 25 No1
- [6] 中田 啓, 福田 整司
RADIOISOTOPES Vol. 26 No10 (1977) 77



① 比例計数管等の空気電離を用いる方法

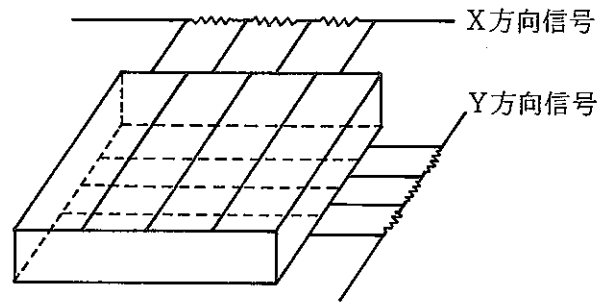


② シンチレーション検出器による方法

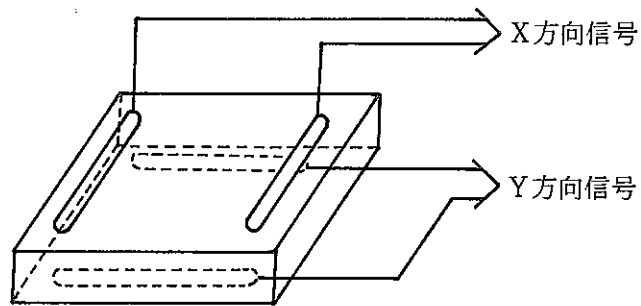


③ 半導体検出器による方法

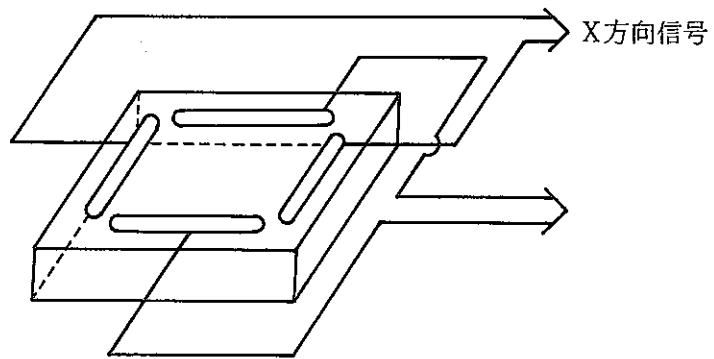
図1 各種の放射線位置検出器



(a)



(b)



(c)

图2 电荷分割放射线2次元位置检出器

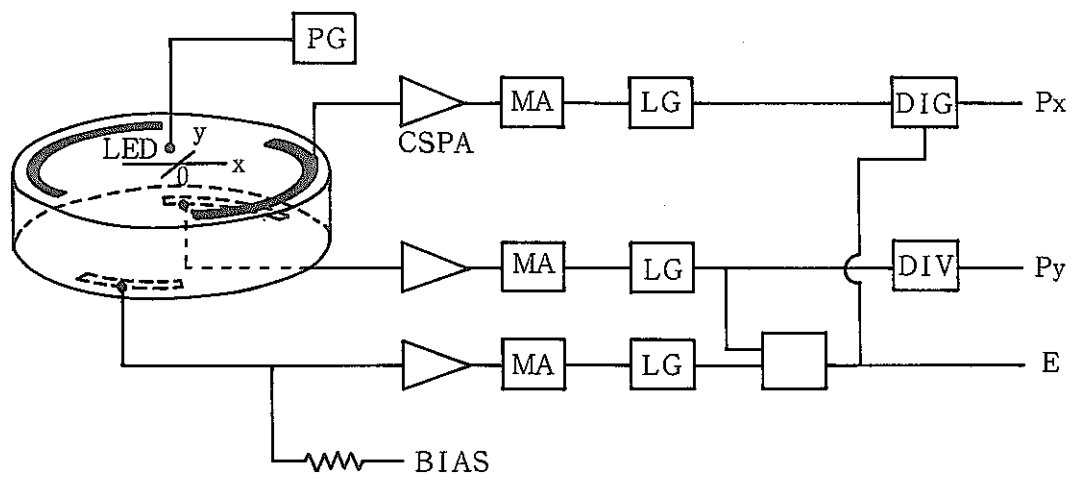


图 3 片面 2 電極型位置檢出器方式

PSD

70 mm ϕ \times 1 ~ 3 mm, $\sim 10 \text{ k}\Omega/\square$

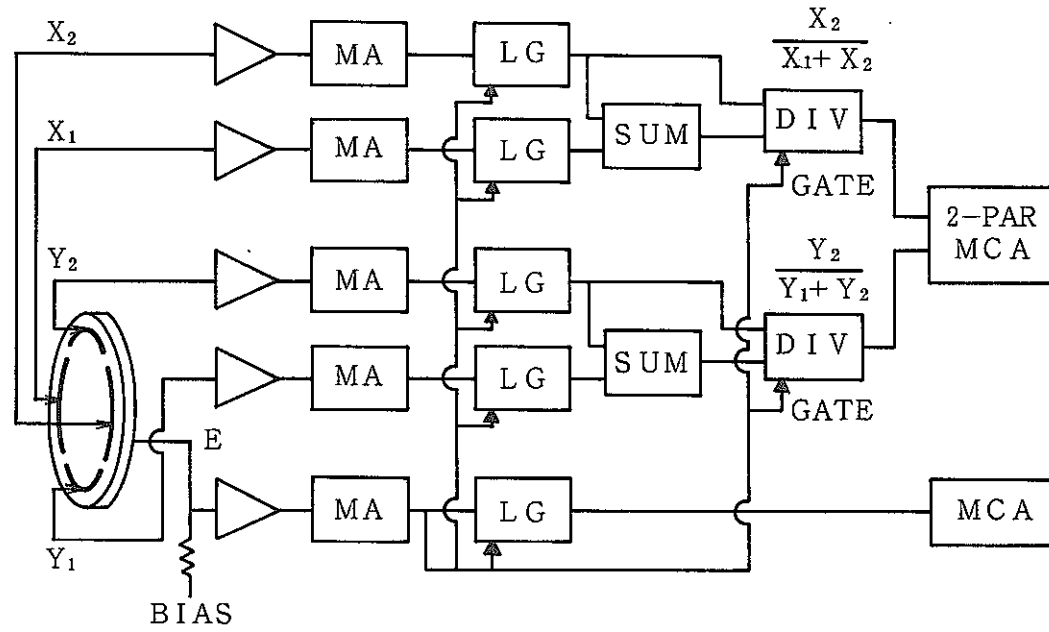
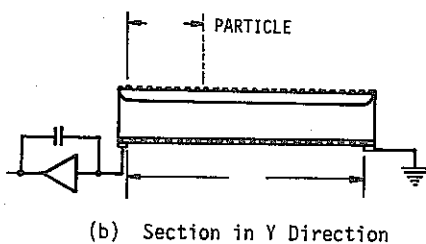
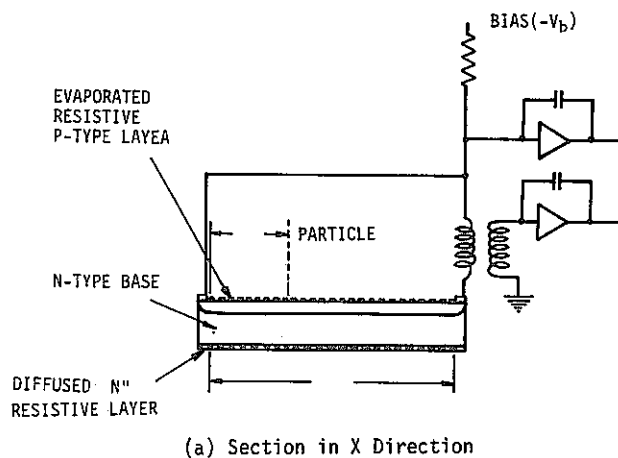


图 4 片面 4 电极型位置检出器方式



Section Views of an X-Y Position Sensing Detector

图 5 檢出器断面模式图

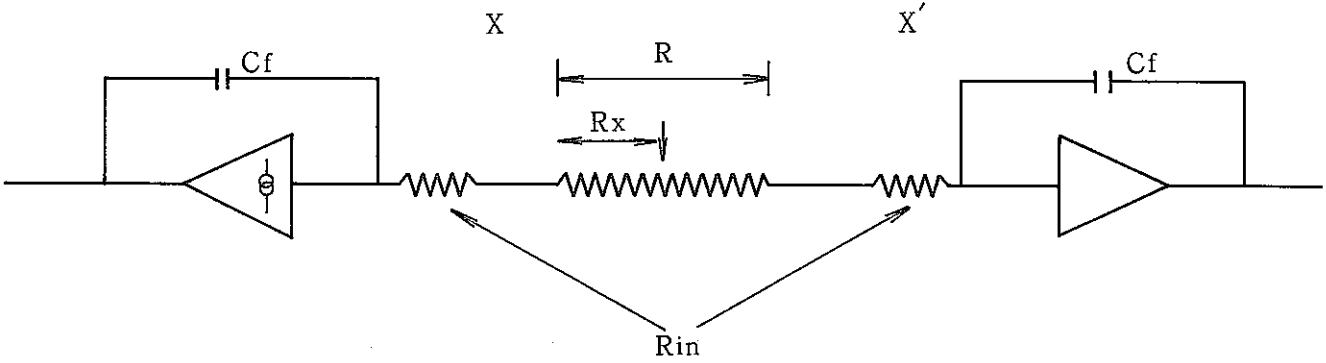


图 6 电荷分割型放射線位置検出器

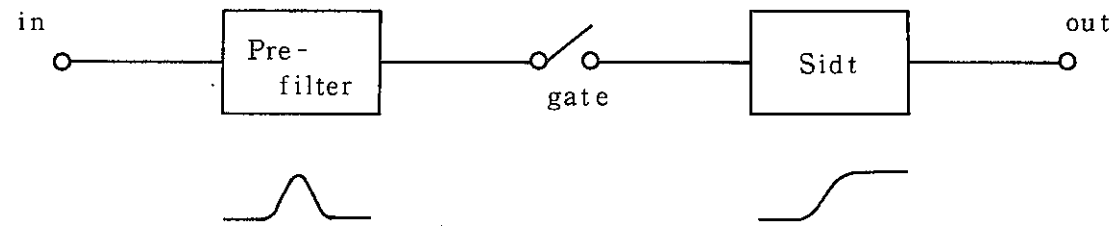


図 7 ゲーテドインテグレータ

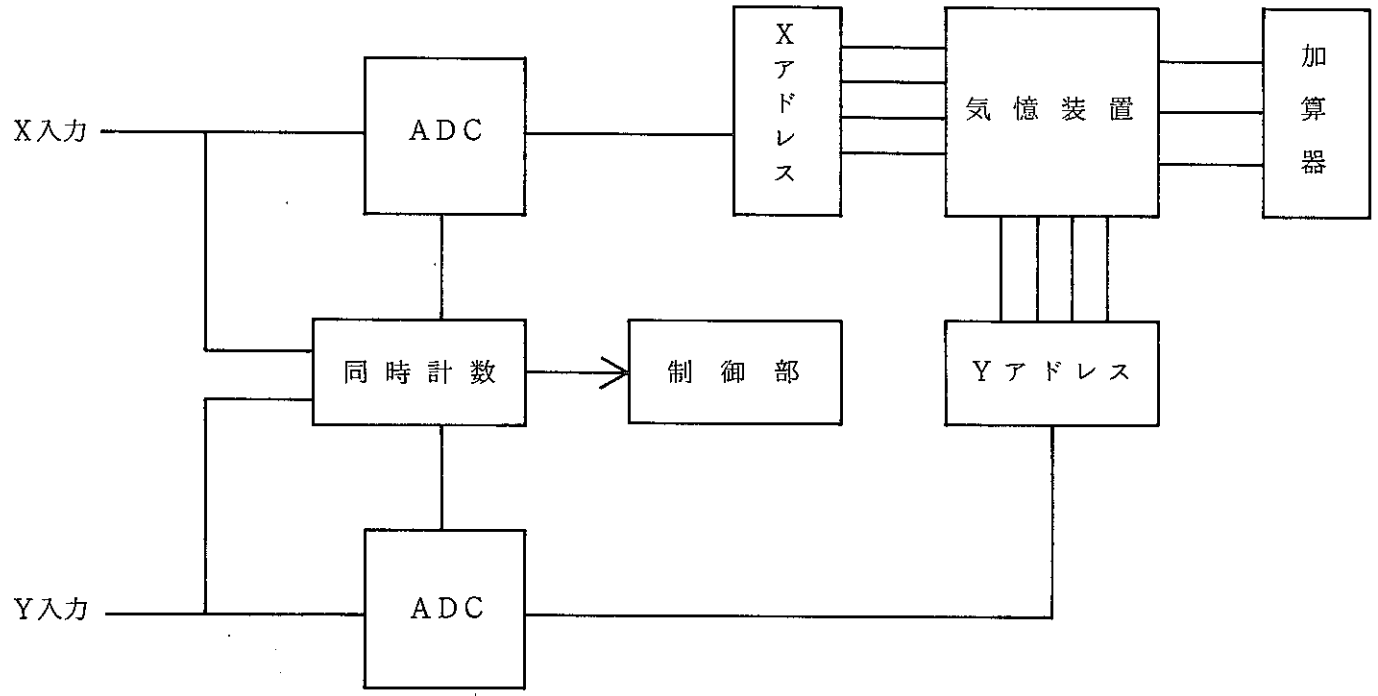


図 8 ハードウェア方式 2次元分析器

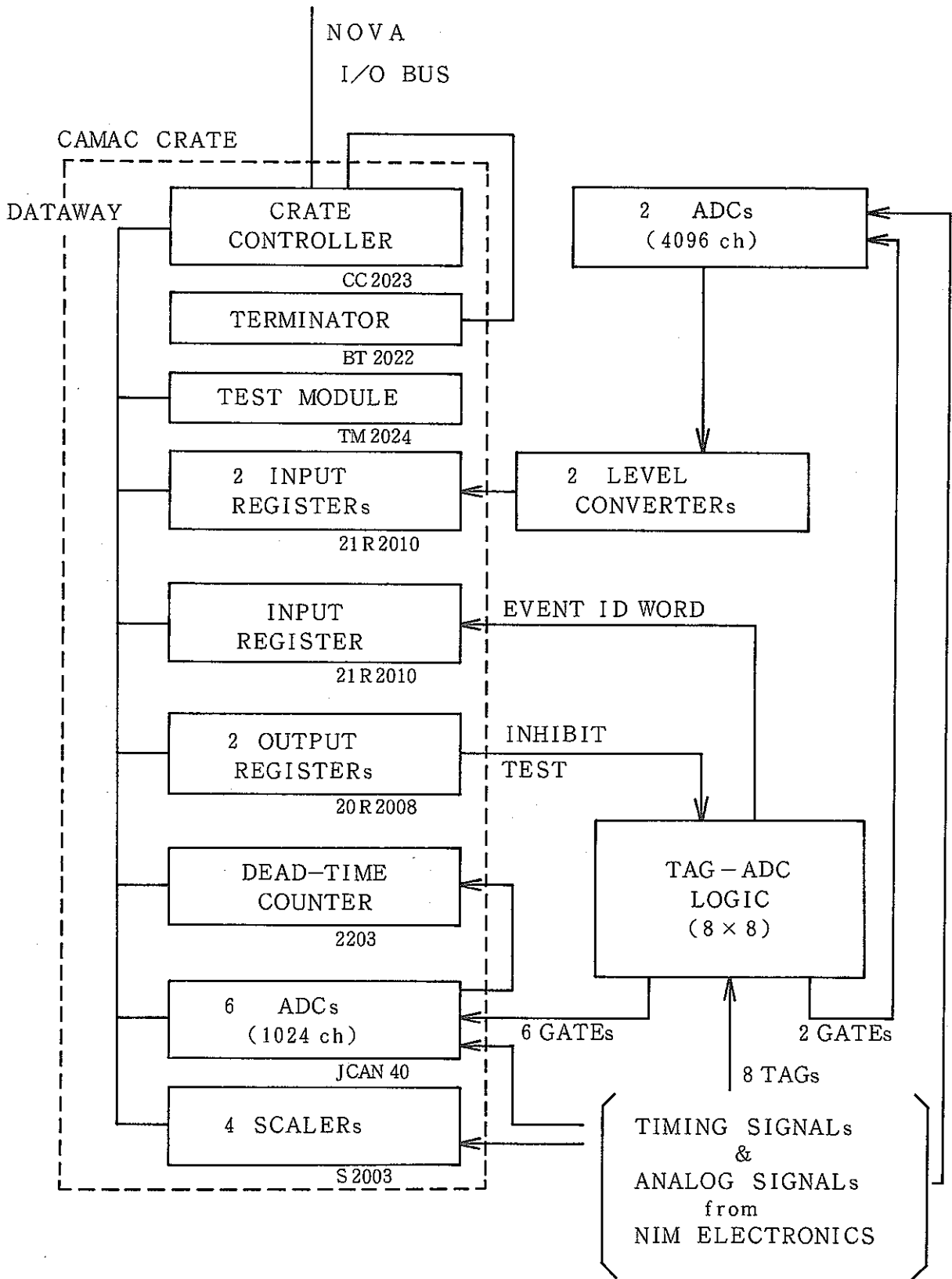


図 9(a) CAMAC ベース多次元分析器

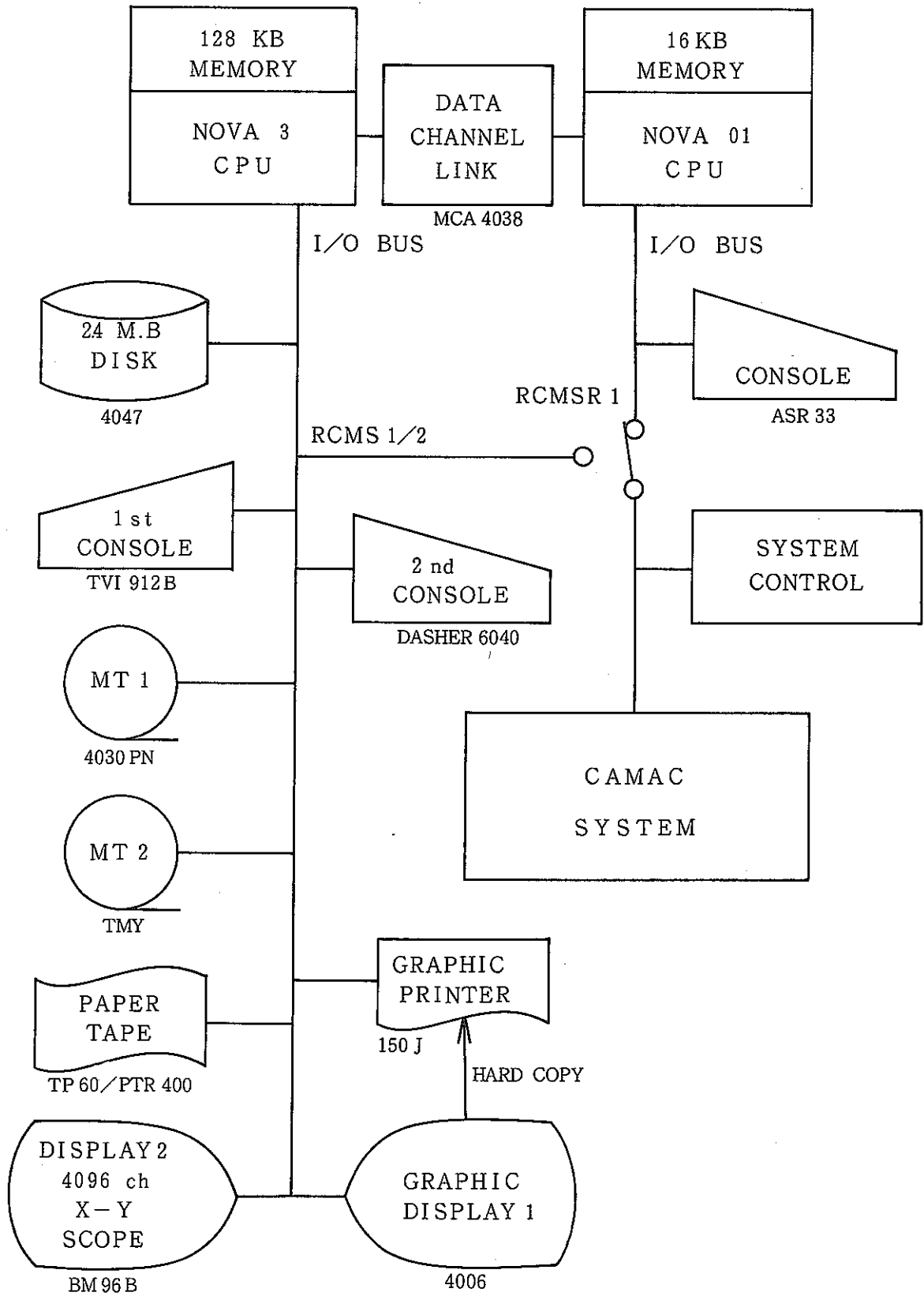


図 9 (b) CAMA ベース 多次元分析器

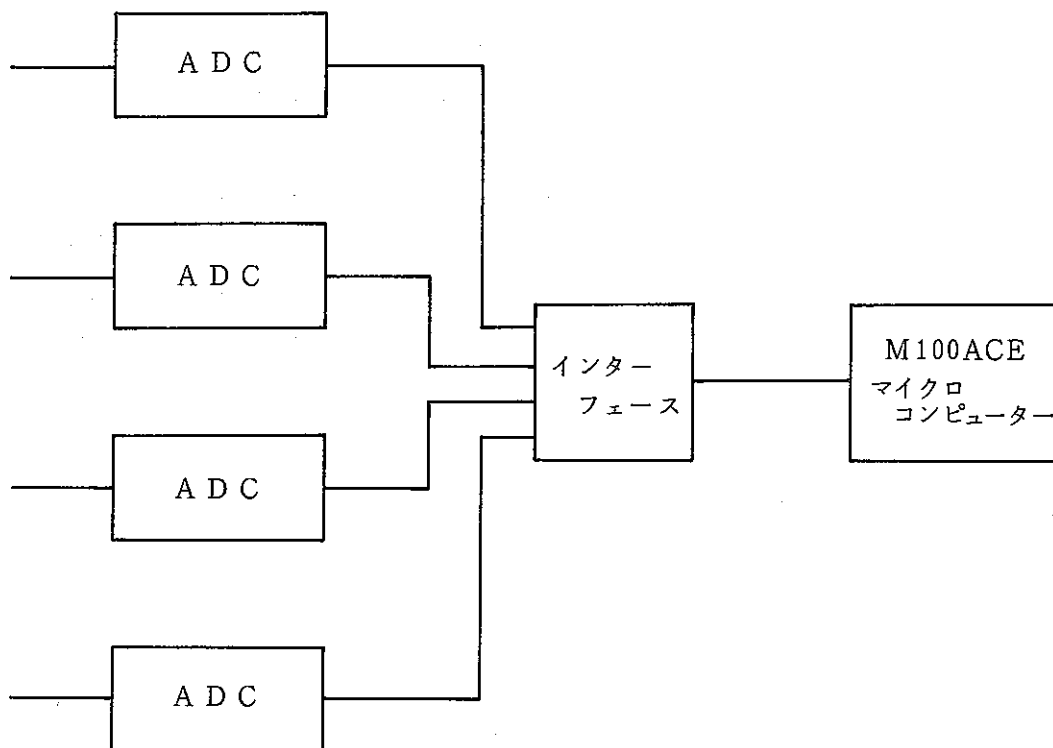


図10 位置情報処理用プロセッサ

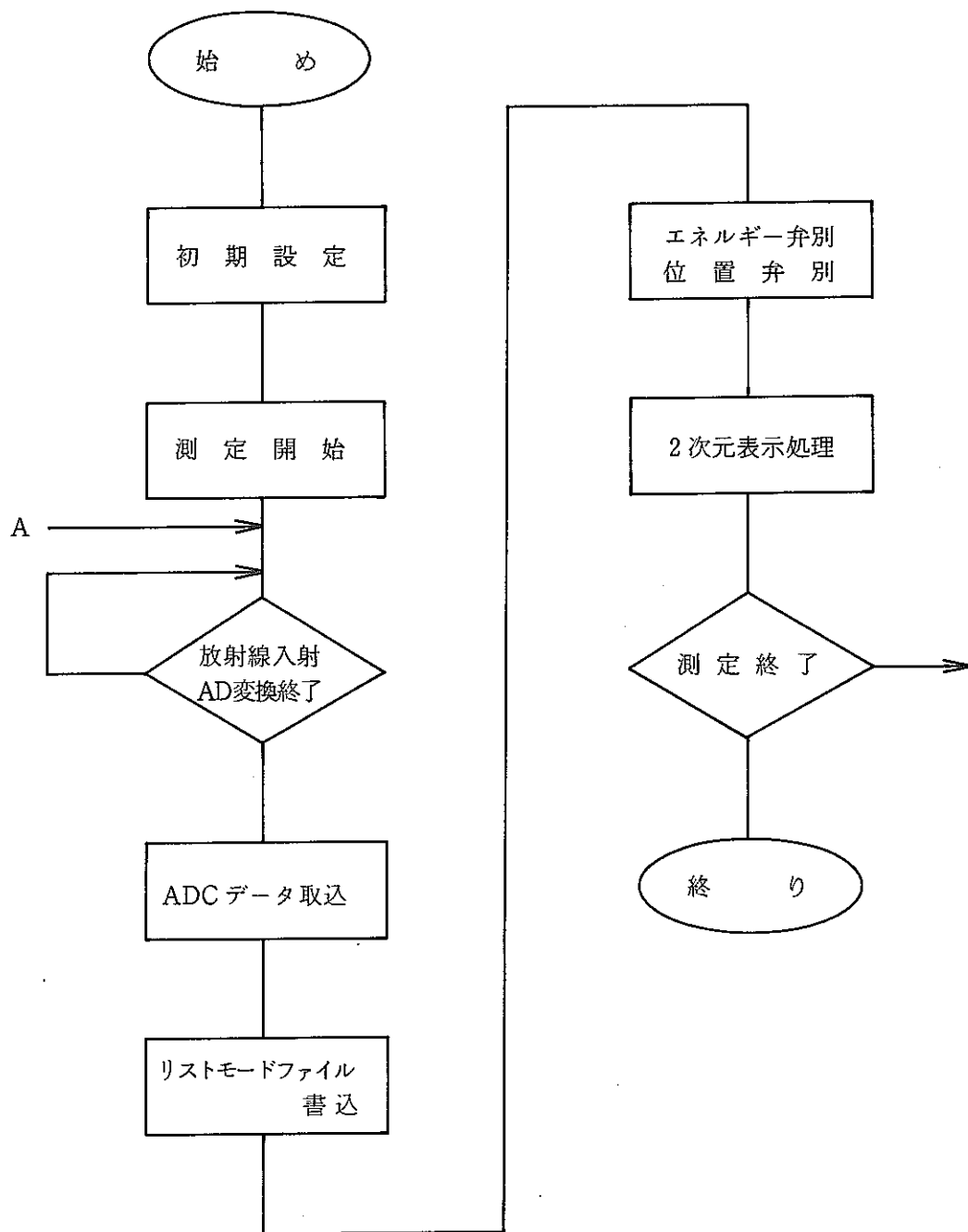


図 11 位置情報処理フローダイヤグラム