

JAERI-M  
83-014

大型ハイブリッドガスカウンターの特性

1983年2月

沢田 正康\*・杉山 康治・竹腰 英子

JAERI-M 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。  
入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）  
あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城  
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。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Section, Division  
of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun,  
Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1983

---

編集兼発行 日本原子力研究所  
印 刷 山田軽印刷所

大型ハイブリッドガスカウンターの特性

日本原子力研究所東海研究所物理部

沢田正康\*・杉山康治・竹腰英子

(1983年1月25日受理)

大型ハイブリッドガスカウンターをJAERI重イオンスペクトログラフ(ENMA)用に製作した。これは、3個の位置感応ワイヤ比例計数管をもつ、グリッドと分割陽極付電離箱により構成されている。スペクトログラフの収束面に沿っての有効長さ、有効奥行、有効高さは、それぞれ、46 cm, 55 cm, 7 cmである。

入射イオンはカウンターの長さ上に45度に入射し、その奥行に対して平行に通過する。テストベンチとスペクトログラフに装着時のカウンター特性を $^{241}\text{Am}$ - $\alpha$ 線源を用いて測定した。得られた位置分解能は1 mmである。また46 cmの有効長さの大半は良い直線性を示した。 $\Delta E$ の分解能は大きな電極の静電容量から生じる380 KeVの回路ノイズにより制限される。 $\Delta E$ の分解能は $\Delta E$ の11 cm奥行に対する80 KeV回路ノイズに加算されたエネルギー損失ストラグリングの値に依存する。本報告では、測定上の詳細を述べた。

---

\* 筑波大学物理系

JAERI-M 83-014

Characteristics of a Large Hybrid Gas Counter

Masayasu SAWADA,\* Yasuharu SUGIYAMA and Eiko TAKEKOSHI

Division of Physics, Tokai Research Establishment, JAERI

(Received January 25, 1983)

A large hybrid gas counter has been constructed for use with JAERI magnetic spectrograph for heavy ion research (ENMA). It consists of a gridded, split anode ionization chamber with three position sensitive wire proportional counters. The effective values for length along the focal plane of spectrograph, depth and height are 46 cm, 55 cm and 7 cm, respectively. The incident ions have a  $45^{\circ}$  angle of incidence on the length of the counter and pass through in parallel with its depth. The characteristics of the counter on a test bench and with the spectrograph are measured with a  $^{241}\text{Am}$  -  $\alpha$  source. The position resolution obtained is typically 1 mm and also most of the effective length of 46 cm is in a good linearity. The E resolution is limited by the 380 keV electronics noise, which results from the capacitance of large electrodes. The  $\Delta E$  resolution depends on the values of energy loss straggling in addition to the 80 keV electronics noise for the 11 cm depth of  $\Delta E$ . The details of measurements are reported.

Keywords; Nuclear Instrument, Gas Counter, Focal Plane Detector, Position Resolution, Total Energy Resolution, Energy Loss Resolution

---

\* Institute of Physics, The University of Tsukuba

## 目 次

I 序 .....	1
II 大型ハイブリッドガスカウンターの動作原理 .....	1
III カウンターの構成 .....	2
1. カウンターの構造 .....	2
1.1 電離箱 .....	2
1.2 電圧分割回路 .....	3
1.3 電場補償 .....	3
1.4 比例計数管 .....	4
2. カウンター真空箱 .....	4
3. ガス操作系 .....	5
IV カウンターの特性 .....	5
1. テストベンチ上での特性 .....	6
1.1 比例計数管の特性 .....	6
1.2 電離箱の特性 .....	6
1.3 比例計数管のシールドワイヤの効果 .....	7
2. スペクトログラフに装着した場合の特性 .....	7
2.1 電場補償の効果 .....	7
2.2 比例計数管の特性 .....	8
2.3 電離箱の特性 .....	8
V 重イオン測定のための改良 .....	8
1. $\Delta E$ カウンターの改良 .....	8
2. シールドの増設 .....	9
3. 電場補償の改良 .....	9
4. その他の改良 .....	9
VI まとめ .....	10
附録 カウンター操作上の注意 .....	12
1. ガス操作系の扱い .....	12
(1) 真空時 .....	12
(2) ガス注入時 .....	13
(3) 使用時 .....	13

(3') ガス交換時 .....	13
(4) ガス排気時 .....	14
(5) 真空引 .....	15
(6) リーク時 .....	15
(7) 真空引 .....	15
2. カウンターの扱い .....	16

## Contents

I. Introduction .....	1
II. Principle and Operation of the Large Hybrid Gas Counter.....	1
III. Composition of the Counter .....	2
1. Construction of the counter.....	2
1.1 Ionization chamber .....	2
1.2 Voltage divider circuit .....	3
1.3 Cathode strips .....	3
1.4 Proportional counter .....	4
2. Counter chamber .....	4
3. Gas handling system .....	5
IV. Characteristics of the Counter .....	5
1. Characteristics on a test bench.....	6
1.1 Characteristics of the proportional counters.....	6
1.2 Characteristics of the ionization chamber .....	6
1.3 Effectiveness of the shielded wires of the proportional counter .....	7
2. Characteristics with the spectrograph .....	7
2.1 Effectiveness of the cathode strips .....	7
2.2 Characteristics of the proportional counters.....	8
2.3 Characteristics of the ionization chamber.....	8
V. Improvements on heavy ion measurements .....	8
1. Improvement of the $\Delta E$ counter .....	8
2. Extension of the electromagnetic shield .....	9
3. Improvement of the cathode strips .....	9
4. Improvement for others .....	9
VI. Conclusion .....	10
References .....	11

Appendix: Remarks on the counter handling .....	12
1. Treatment of the gas handling system .....	12
(1). Holding the vacuum .....	12
(2). Filling the gas .....	13
(3). Using the counter .....	13
(3'). Refreshing the gas .....	13
(4). Evacuating the gas .....	14
(5). Evacuating the chamber to the vacuum .....	15
(6). Breaking the vacuum with dried nitrogen gas .....	15
(7). Evacuating the chamber to the vacuum .....	15
2. Treatment of the counter .....	16



## I. 序

磁気スペクトロメータを用いて、重イオン核反応研究を行う場合には、従来、軽イオン測定で行われてきた収束面に沿っての簡単な位置検出のみでは不十分であり、複数の位置検出用の比例計数管と、初期エネルギー損失および、全エネルギー測定のための電離箱を複合したハイブリッドガスカウンターが有用である。

この種のカウンターは最初、米国ロチェスター大学<sup>1)</sup>で開発され、その後、少しずつ改良が加えられて、米国アルゴンヌ国立研究所<sup>2)</sup>、オーストラリア国立大学<sup>3)</sup>、米国オークリッジ国立研究所<sup>4)</sup>、西ドイツ重イオン研究所<sup>5)</sup>において、磁気スペクトロメータと組合せて重イオン核反応研究に使用されてきた。JAERI重イオン spektログラフ (ENMA: ENergy and Mass Analyzer)<sup>6)</sup>に対しても同種のカウンタが試作された。

本報告では、カウンタの構成の詳細と<sup>241</sup>Am- $\alpha$ 線源によるカウンター特性の測定結果を述べる。測定はテストベンチおよびENMAに装着して行われた。

磁気スペクトロメータの収束面に沿っての位置検出の直線性と固有位置分解能および、位置信号でゲートした場合の初期エネルギー損失と全エネルギーの分解能が検討された。さらに、カウンター特性測定上の関連事項の詳細が記されている。これらのデータは、今後より大型のカウンター製作のための基礎資料とされる。

## II. 大型ハイブリッドガスカウンターの動作原理

ハイブリッドガスカウンターは平行平板型の電離箱と3個の比例計数管から構成されている。電離箱の陽極と陰極の間には2式のグリッドがある。陰極に近い方の第1グリッドは、陰極の固有静電容量と比較して十分に大きな静電容量のコンデンサーにより陰極とAC結合され、いわゆるFaraday cage型になっている。陽極に近い方の第2グリッド(Frisch grid)は陽極と陰極との組合せにより、Frisch grid付き電離箱を形成している。

電離箱の陽極は、いくつかのエネルギー損失、 $\Delta E$ を得るために、分割されている。比例計数管は、陽極とは同一平面上にあり、 $\Delta E$ 用の陽極に対して、前段、中段、後段に配置されている。

入射粒子は薄膜窓を通りぬけ、陰極と第1グリッド間のガス空間(イソブタンなど)に入り、飛跡に沿ってガスを電離し、電子と陽イオン対を生成する。ガス中の電子の流動速度は、陽イオンのそれと比較して、約1000倍であり、出力信号の速い成分は、電子の移動により支配される。電子は静電場によって約 $0.3 \mu\text{s}/\text{cm}$ の時間で上方の陽極側へと移動する。

電離箱からの出力信号は、電子が第1グリッドを通過し、第2グリッドの方へ移動しはじめると、第1グリッドに誘導が生じ、AC結合した陰極から全エネルギー(E)パルスが取出される。第2グリッドを経て電子が陽極に近づくと、陽極に誘導が生じ、初期エネルギー損失パ

## I. 序

磁気スペクトロメータを用いて、重イオン核反応研究を行う場合には、従来、軽イオン測定で行われてきた収束面に沿っての簡単な位置検出のみでは不十分であり、複数の位置検出用の比例計数管と、初期エネルギー損失および、全エネルギー測定のための電離箱を複合したハイブリッドガスカウンターが有用である。

この種のカウンターは最初、米国ロチェスター大学<sup>1)</sup>で開発され、その後、少しずつ改良が加えられて、米国アルゴンヌ国立研究所<sup>2)</sup>、オーストラリア国立大学<sup>3)</sup>、米国オークリッチ国立研究所<sup>4)</sup>、西ドイツ重イオン研究所<sup>5)</sup>において、磁気スペクトロメータと組合せて重イオン核反応研究に使用されてきた。JAERI重イオンスペクトログラフ (ENMA: ENergy and Mass Analyzer)<sup>6)</sup>に対しても同種のカウンタが試作された。

本報告では、カウンタの構成の詳細と<sup>241</sup>Am- $\alpha$ 線源によるカウンター特性の測定結果を述べる。測定はテストベンチおよびENMAに装着して行われた。

磁気スペクトロメータの収束面に沿っての位置検出の直線性と固有位置分解能および、位置信号でゲートした場合の初期エネルギー損失と全エネルギーの分解能が検討された。さらに、カウンター特性測定上の関連事項の詳細が記されている。これらのデータは、今後より大型のカウンター製作のための基礎資料とされる。

## II. 大型ハイブリッドガスカウンターの動作原理

ハイブリッドガスカウンターは平行平板型の電離箱と3個の比例計数管から構成されている。電離箱の陽極と陰極の間には2式のグリッドがある。陰極に近い方の第1グリッドは、陰極の固有静電容量と比較して十分に大きな静電容量のコンデンサーにより陰極とAC結合され、いわゆるFaraday cage型になっている。陽極に近い方の第2グリッド(Frisch grid)は陽極と陰極との組合せにより、Frisch grid付き電離箱を形成している。

電離箱の陽極は、いくつかのエネルギー損失、 $\Delta E$ を得るために、分割されている。比例計数管は、陽極とほぼ同一平面上にあり、 $\Delta E$ 用の陽極に対して、前段、中段、後段に配置されている。

入射粒子は薄膜窓を通りぬけ、陰極と第1グリッド間のガス空間(イソブタンなど)に入り、飛跡に沿ってガスを電離し、電子と陽イオン対を生成する。ガス中の電子の流動速度は、陽イオンのそれと比較して、約1000倍であり、出力信号の速い成分は、電子の移動により支配される。電子は静電場によって約 $0.3 \mu\text{s}/\text{cm}$ の時間で上方の陽極側へと移動する。

電離箱からの出力信号は、電子が第1グリッドを通過し、第2グリッドの方へ移動し始めると、第1グリッドに誘導が生じ、AC結合した陰極から全エネルギー(E)パルスが取出される。第2グリッドを経て電子が陽極に近づくと、陽極に誘導が生じ、初期エネルギー損失 $\Delta E$

ルス ( $\Delta E$ )、および、残存エネルギーパルス ( $E_f$ ) が取出される。

陽極側に移動してきた電子の一部は比例計数管に入り込み、芯線 (10  $\mu\text{m}$  直径の抵抗芯線) のごく近傍で電子なだれを発生する。芯線両端からの出力は、電荷分割法によって、位置検出に用いられる。前段と中段の比例計数管の出力は、重イオンスペクトロメータの収束面上に入射したイオンの位置と入射角を算定するために、また、後段の比例計数管の出力は、入射イオンがカウンター内で停止したかどうかを識別するために用いられる。

### Ⅲ. カウンターの構成

#### Ⅲ. 1 カウンターの構造

製作した大型ハイブリッドカウンターの外形および断面の縮尺図を図1に示す。外形の大きさは、上下の面が長辺 760 mm、短辺 545 mm の平行四辺形 (長辺間の距離 385 mm、長辺と短辺のなす角度は 45 度) であり、高さが 170 mm である。カウンターの有効領域は、収束面に沿った長さが 460 mm、奥行 545 mm、高さが 70 mm である。

図1において①が電離箱の陰極、②と③がそれぞれ第1および第2グリッド、⑤と⑦が電離箱の陽極であり、④と⑥が位置および角度検出用の比例計数管、⑧がカウンターを通りぬけたイオンを識別するための比例計数管である。

##### Ⅲ. 1.1 電離箱

陽極 (図1の⑤と⑦) は同じ大きさの4個の電極から成っている。個々の電極は巾 80 mm、長さ 540 mm のアルミニウム板であり、断面は図1に示されるような形状もち、隣接する比例計数管に対する静電容量がなるべく小さくなるようにしてある。陽極はガラスエポキシ樹脂の絶縁板に固定され、カウンター上部の同一平面上に並べられている。通常は、粒子入射側の1つ⑤を独立させて、初期エネルギー損失測定用として、また、他の3つ⑦は電氣的に結合させて残存エネルギー測定用として使用するが、必要に応じて分割使用が可能である。

第1グリッド②と第2グリッド③は、それぞれ、直径 125  $\mu\text{m}$  の Be/Cu ワイヤ 386 本から成り、線中心間隔は 1 mm である。これらのグリッドは、ガラスエポキシ樹脂の絶縁ルール材上に張られている。

陰極①はアルミニウムの1枚板であり、第1グリッドの絶縁ルール取付枠上に置かれている。第1グリッドおよび、第2グリッドの絶縁ルール取付枠は、陰極と電氣的に結合されている。

カウンターの外側枠はクリーンアース系<sup>\*</sup>に接地され、その底面は陰極と大地間の静電容量が出来ただけ小さくなるようにしてある。

各部の位置関係は、陰極と第1グリッド間が 70 mm、第1グリッドと第2グリッド間が 15

\* 測定系のアースは動力用の一般アースとは別系統になっている。(後述)

ルス ( $\Delta E$ )、および、残存エネルギーパルス ( $E_f$ ) が取出される。

陽極側に移動してきた電子の一部は比例計数管に入り込み、芯線 (10  $\mu\text{m}$  直径の抵抗芯線) のごく近傍で電子なだれを発生する。芯線両端からの出力は、電荷分割法によって、位置検出に用いられる。前段と中段の比例計数管の出力は、重イオンスペクトロメータの収束面上に入射したイオンの位置と入射角を算定するために、また、後段の比例計数管の出力は、入射イオンがカウンター内で停止したかどうかを識別するために用いられる。

### Ⅲ. カウンターの構成

#### Ⅲ. 1 カウンターの構造

製作した大型ハイブリッドカウンターの外形および断面の縮尺図を図1に示す。外形の大きさは、上下の面が長辺 760 mm、短辺 545 mm の平行四辺形 (長辺間の距離 385 mm、長辺と短辺のなす角度は 45 度) であり、高さが 170 mm である。カウンターの有効領域は、収束面に沿った長さが 460 mm、奥行 545 mm、高さが 70 mm である。

図1において①が電離箱の陰極、②と③がそれぞれ第1および第2グリッド、⑤と⑦が電離箱の陽極であり、④と⑥が位置および角度検出用の比例計数管、⑧がカウンターを通りぬけたイオンを識別するための比例計数管である。

##### Ⅲ. 1.1 電離箱

陽極 (図1の⑤と⑦) は同じ大きさの4個の電極から成っている。個々の電極は巾 80 mm、長さ 540 mm のアルミニウム板であり、断面は図1に示されるような形状もち、隣接する比例計数管に対する静電容量がなるべく小さくなるようにしてある。陽極はガラスエポキシ樹脂の絶縁板に固定され、カウンター上部の同一平面上に並べられている。通常は、粒子入射側の1つ⑤を独立させて、初期エネルギー損失測定用として、また、他の3つ⑦は電氣的に結合させて残存エネルギー測定用として使用するが、必要に応じて分割使用が可能である。

第1グリッド②と第2グリッド③は、それぞれ、直径 125  $\mu\text{m}$  の Be/Cu ワイヤ 386 本から成り、線中心間隔は 1 mm である。これらのグリッドは、ガラスエポキシ樹脂の絶縁レール材上に張られている。

陰極①はアルミニウムの1枚板であり、第1グリッドの絶縁レール取付枠上に置かれている。第1グリッドおよび、第2グリッドの絶縁レール取付枠は、陰極と電氣的に結合されている。

カウンターの外側枠はクリーンアース系<sup>\*</sup>に接地され、その底面は陰極と大地間の静電容量が出来るだけ小さくなるようにしてある。

各部の位置関係は、陰極と第1グリッド間が 70 mm、第1グリッドと第2グリッド間が 15

\* 測定系のアースは動力用の一般アースとは別系統になっている。(後述)

mm, 第2グリッドと陽極間が6 mmである。また, 大地と各部の間の静電容量の測定値は  $\Delta E$  陽極が 80 pF, 第1グリッドが 120 pF, 陰極が 400 pF である。第2グリッドは, クリーンアース系に接地する。

### Ⅲ. 1. 2 電圧分割回路

電離箱の各部にバイアスを与えるための電圧分割回路のダイアグラムを図2に示す。図2の回路はⅢ. 1. 3で述べる電場補償板を取付けた場合のものである。回路は陽極系と陰極系が同一基板上に配線され, カウンター上面に固定されている。バイアスの直流電源には, 電池の出力に可変抵抗を付け, 電圧可変にしたものを使用した。電池を用いた理由は, 陽極および陰極の大地に対する静電容量がかなり大きいので, 電源からのノイズの混入を最小にしたいためである(但し, テストベンチでの測定では,  $\Delta E$ についてはJAERI MODEL MOA 高圧電源を使用した)。

第2グリッド(Frisch grid)が陽極と電離空間側を静電的に有効にシールドするためには, 第2グリッドと陰極間の電位差と第2グリッドと陽極間の電位差に以下のような条件が必要である<sup>7)</sup>。

$$\frac{V_A - V_{G_2}}{V_{G_2} - V_C} = \frac{P + P\rho + 2\ell\rho}{a - a\rho - 2\ell\rho}$$

ここで

$V_A$  : 陽極の電位

$V_{G_2}$  : 第2グリッドの電位

$V_C$  : 陰極の電位

$P$  : 第2グリッドと陽極の距離

$a$  : 第2グリッドと陰極の距離

$r$  : 第2グリッドのワイヤ半径

$d$  : 第2グリッドのワイヤ中心間の距離

$$\rho = 2\pi r / d$$

$$\ell = d(\rho^2/4 - \ln\rho) / 2\pi$$

である。 $V_{G_2} = 0$ として上の条件をこのカウンターについて計算すると  $V_A \geq 0.16 V_C$ となる。

### Ⅲ. 1. 3 電場補償

カウンターの有効高さ(第1グリッドと陰極間の距離)は70 mmであり, これは, ENMAの収束面での像の最大高さ45 mmを考慮したものである。この値はオークリッジ研究所のカウンター<sup>4)</sup>の有効高さ65 mmよりも大きい。オークリッジ研究所のカウンターでは, 電離箱の前後, および, 両横の電場の一様性を高め, さらにより囲まれたFaraday cageとするための電場補償が, 陰極構造に附加されている。JAERIのカウンターに対しても同様の電場補償を附加することが必要である。テストベンチでは電場補償のない状態で特性の測定を行ったが, ENMAに装着した場合には, Ⅲ. 2で述べる接地したシールドが, カウンターの前面15 mmに接近し

ているため、以下のような電場計算を行って、電場補償板の配置場所およびバイアス値を定めた。

図3 aに、カウンターの入口附近の電場の数値計算の結果を示す。計算は2次元の4点の差分方程式をGauss-Seidel法によって解いた。図3 bには、電場補償板を配置した場合のカウンター入口附近の電場の数値計算の結果を示す。この場合、入口側の電場補償板は、長さ440 mm、巾10 mm、厚さ1 mmの銅板であり、陰極面から12 mmの高さと54 mmの高さに配置し、また両側のものは長さ600 mm、巾10 mm、厚さ1 mmのアルミニウム板であり、陰極面から40 mmの高さと54 mmの高さの所に配置した(図1のカウンターの縮尺図に点線で示されている)。図3 a, 3 bの数値計算の結果から、入口附近の電場の一様性が改善されている様子が判るが、電場補償の効果についてはIV. 4で述べる。各電場補償板の取付位置はIII. 1. 2で述べた電位分割回路による電位と整合するようにしてある。

### III. 1. 4 比例計数管

3個の比例計数管は同じ構造のものであり、図1の④、⑥、⑧の位置に配置されている。芯線は10  $\mu\text{m}$ のNi/Crを用い、2 gの張力をかけて張ってある。芯線の長さは約650 mm、抵抗は6.8 K $\Omega$ である。陰極は芯線に垂直な断面が、第2グリッド側に開口している。

巾4 mmの開口部には、芯線に平行に直径50  $\mu\text{m}$ の金メッキしたタングステンワイヤが2本張っており、比例計数管の陰極と共に接地してある。これはIV. 1. 3に述べるように、比例計数管の出力と陽極出力のクロストークを避けるためのシールドワイヤである。比例計数管の開口部面と第2グリッドの距離は3 mmであり、電離箱の陽極よりも第2グリッドに3 mm近くしてある。

## III. 2 カウンター真空箱

カウンターの外箱となる真空箱はSUS製であり、その内壁とカウンターとは、上面60 mm、下面50 mm、左右の面がそれぞれ115 mm離れている。カウンター真空箱とENMAの真空側とは20 mm  $\times$  800 mmの粒子入射窓を持つ変換フランジで区切られている。

粒子の入射窓には2~4  $\mu\text{m}$ 厚のポリエステル膜を使用している。薄膜のシールは膜をアピエゾン・グリースで薄膜ホルダーに張り付け、その上にバイトン、シートをかぶせ、バイトンOリングを有するカウンター真空箱の取付フランジにより押える方法を採用した。取付フランジにボルトで装着して行く過程では、膜に大気圧に対して負差圧をかけながら、ステップを経て、徐々に締付を行い、使用ガス圧の2倍程度を膜に持たせて締付を終える。このようなシール法を用いると、締付過程で、薄膜にかゝる部分的なストレスを除くことが出来て、カウンター使用時に予期しない膜の破壊をもたらすことはない。イソブタンを用いた場合、2  $\mu\text{m}$ 厚で100 mb、4  $\mu\text{m}$ 厚で200 mbまでのガス圧に対して、高真空側へのリークは認められなかった。

カウンター外箱には、信号取出の高周波同軸ケーブルコネクタが装着しており、それらの外層は最終的に信号用ケーブル系のクリーンアース系に接続する<sup>8)</sup>。一方、ENMA側の真空箱は動力用の一般アース系に接続しているため、ノイズ対策の面から、カウンター外箱とENMAの真空箱は、変換フランジのカウンター側で、暫定的に絶縁された。しかし、薄膜ホルダーは

ENMA 側のフランジに装着してあるために、カウンター前面はクリーンアースから開口した状態であった。このためEカウンターの出力信号へのノイズの混入（電波によるノイズ侵入）を除去する目的で、カウンターと薄膜ホルダーの間に、クリーンアースに接続したシールドを入れた。

シールドは、カウンター真空箱の正面開口部をほぼ覆う大きさのアルミ板に  $10\text{ mm} \times 800\text{ mm}$  の粒子入射口をくりぬいたものである。これにより、カウンターはクリーンアースで囲まれた状態となり、ノイズに対する遮蔽効果（特に、 $\Delta E$ 、E出力に対するもの）は良好であった（粒子入射口を大きくした場合についてはV. 2で述べる）。

### Ⅲ. 3 ガス操作系

カウンター真空箱に、ガスを供給するためのガス操作系のダイアグラムを図4に示す。ガス系の配管には  $1/2$  インチのSUSパイプとホークジョイントを用いている。

このガス系には、ガス圧をモニターし、ガスの流入口に付けられた電磁弁をコントロールして、設定したガス圧を保つ制御系が組込まれている。ガス圧のモニターには、BALZERS社製のAPRO10(センサ)とAPGO10(メータ)の組合せによる絶体圧力計（使用ガスの種類により指示圧力値の差はない）を、ガス流入口の電磁弁にはBALZERS社製のRMEO10型レギュレーティングバルブを、また、ガス圧の制御には上に述べたガス圧モニタと電磁弁に接続出来るBALZERS社製RVGO40型バルブコントローラを用いた。このガス操作系は、操作が容易であり、また、操作ミスをしにくい。また、ガスをフローした場合のガス圧制御能力もすぐれている。ガスフローの場合には、カウンター真空箱のガスの流入、排気の両口に、ニードル弁を組合せ使用して、ロータリーポンプで排気しながら使用する。

カウンターからのガスの排気は、タンデム加速器建家に特設された“可燃ガス強制排気系”を通して、外部に排気される。

## Ⅳ. カウンターの特性

カウンターの特性測定はまず、テストベンチ上で行い、その後、ENMAに装着した状態で行った。測定には、 $^{241}\text{Am}$ - $\alpha$ 線源 ( $E_{\alpha} = 5.48\text{ MeV}$ )を用いた。

カウンターガスは、イソブタンを用い  $40 \sim 60\text{ mb}$  の圧力値で使用した。

測定回路のブロック、ダイアグラムを図5に示す。前置増巾器は、比例計数管用としてJAERIモジュール125を低インピーダンス用に変換したもの<sup>9)</sup>、電離箱用としてORTEC社製142PCを用いた。主増巾器は必要に応じて、リサーチアンプ(CANBERRA, MODEL 1412)とスペクトロスコピーアンプ(CANBERRA, MODEL 2010)を使用した。

データの収集・処理には、PDP-11/04, 55によるタンデム加速器データ収集処理システム<sup>10)</sup>を使用した。比例計数管の位置の算出および位置でゲートしたデータの収集は、上記のシステムのソフトウェアによって行った。

ENMA側のフランジに装着してあるために、カウンター前面はクリーンアースから開口した状態であった。このためEカウンターの出力信号へのノイズの混入(電波によるノイズ侵入)を除去する目的で、カウンターと薄膜ホルダーの間に、クリーンアースに接続したシールドを入れた。

シールドは、カウンター真空箱の正面開口部をほぼ覆う大きさのアルミ板に10mm×800mmの粒子入射口をくりぬいたものである。これにより、カウンターはクリーンアースで囲まれた状態となり、ノイズに対する遮蔽効果(特に、 $\Delta E$ 、E出力に対するもの)は良好であった(粒子入射口を大きくした場合についてはV.2で述べる)。

### Ⅲ. 3 ガス操作系

カウンター真空箱に、ガスを供給するためのガス操作系のダイアグラムを図4に示す。ガス系の配管には $1/2$ インチのSUSパイプとホークジョイントを用いている。

このガス系には、ガス圧をモニターし、ガスの流入口に付けられた電磁弁をコントロールして、設定したガス圧を保つ制御系が組込まれている。ガス圧のモニターには、BALZERS社製のAPRO10(センサ)とAPGO10(メータ)の組合せによる絶体圧力計(使用ガスの種類により指示圧力値の差はない)を、ガス流入口の電磁弁にはBALZERS社製のRMEO10型レギュレーティングバルブを、また、ガス圧の制御には上に述べたガス圧モニタと電磁弁に接続出来るBALZERS社製RVGO40型バルブコントローラを用いた。このガス操作系は、操作が容易であり、また、操作ミスをしにくい。また、ガスをフローした場合のガス圧制御能力もすぐれている。ガスフローの場合には、カウンター真空箱のガスの流入、排気の両口に、ニードル弁を組合せ使用して、ロータリーポンプで排気しながら使用する。

カウンターからのガスの排気は、タンデム加速器建家に特設された“可燃ガス強制排気系”を通して、外部に排気される。

## Ⅳ. カウンターの特性

カウンターの特性測定はまず、テストベンチ上で行い、その後、ENMAに装着した状態で行った。測定には、 $^{241}\text{Am}$ - $\alpha$ 線源( $E_{\alpha} = 5.48 \text{ MeV}$ )を用いた。

カウンターガスは、イソブタンを用い40~60mbの圧力値で使用した。

測定回路のブロック、ダイアグラムを図5に示す。前置増巾器は、比例計数管用としてJAERIモジュール125を低インピーダンス用に変換したもの<sup>9)</sup>、電離箱用としてORTEC社製142PCを用いた。主増巾器は必要に応じて、リサーチアンプ(CANBERRA, MODEL 1412)とスペクトロスコピーアンプ(CANBERRA, MODEL 2010)を使用した。

データの収集・処理には、PDP-11/04, 55によるタンデム加速器データ収集処理システム<sup>10)</sup>を使用した。比例計数管の位置の算出および位置でゲートしたデータの収集は、上記のシステムのソフトウェアによって行った。



#### IV. 1 テストベンチ上での特性

$\alpha$ 線源は、カウンター前面と平行に移動可能なアーム上に設置した。 $\alpha$ 線源とカウンター前面の距離は55 mmであった。 $\alpha$ 線をコリメートし、カウンターの長さ方向（収束面に平行）に対する入射位置を定めるために、スリット板（60 mm  $\times$  500 mm）、厚さ0.2 mmのポリカーボネイトシートに巾1 mm、高さ40 mmのスリットを10 mm間隔で切抜いたものをカウンター前面に置いた。高さ方向の $\alpha$ 線の拡りは次の方法によりコリメートした。前段比例計数管の位置分解能測定では、カウンター前面から内側に100 mm入った所に、有感領域5 mm  $\times$  95 mmのSi半導体検出器を置き、それと前段比例計数管出力の同時計数測定を行って、カウンターへの粒子入射の高さ方向を2 mmにしぼった。また、電離箱のエネルギー分解能の測定ではポリカーボネイトのスリットの高さを5 mmにしぼった。

##### IV. 1.1 比例計数管の特性

前段比例計数管と中段比例計数管について $^{241}\text{Am}$ - $\alpha$ 線測定における芯線の付加電圧と前置増巾器の出力電圧の関係を図6に示す。ガス圧40 mb、電離箱の陽極電圧+250 V、陰極電圧-400 Vであり、 $\alpha$ 線はカウンターの中央に入射し、比例計数管の陽極の両端の出力が等しい場合である。この電圧領域では、芯線電圧と出力電圧の関係が指数的であり、比例領域にあることが判る。

主増巾器の時定数（微分および積分時間）と位置分解能の関係を調べた。前置増巾器の出力パルスの立上り時間が約0.3  $\mu\text{s}$ （回路の立上り時間は0.15  $\mu\text{s}$ である）であったので、微分と積分時間を0.25  $\mu\text{s}$ と0.5  $\mu\text{s}$ の組合せにした。結果は微分と積分時間が等しい場合の方が異なる場合に比較して位置分解能がよく、0.25  $\mu\text{s}$ と0.5  $\mu\text{s}$ ではその差が認められなかった。また、1  $\mu\text{s}$ より遅い時定数の組合せでは、位置分解能は0.25  $\mu\text{s}$ と0.5  $\mu\text{s}$ のものに比較して悪くなった。以後の測定では、比例計数管の主増巾器の時定数は、微分・積分共に0.25  $\mu\text{s}$ とした。

ガス圧と芯線の付加電圧が位置分解能に及ぼす影響をガス圧26~54 mb、電圧750~890 Vの範囲で調べた。結果を表1に示す。表内の数値は位置スペクトルの半値巾を長さ(単位はmm)に換算してある。位置分解能はガス圧、付加電圧とも高い方が良くなっている。

図7にガス圧54 mb、付加電圧850 Vの時の位置スペクトルを示す。スリット巾は1 mmであるが、シングルスリットとして使用しているため、 $\alpha$ 線は前段比例計数管の位置で1.6 mmに拡って居り、この寄与を測定値の1.9 mmから除くと、位置の固有分解能は1 mmとなる。

##### IV. 1.2 電離箱の特性

陽極と陰極の電圧分割回路において、用いた標準的な電圧は $V_A = +250\text{ V}$ 、 $V_C = -400\text{ V}$ である。この場合、陰極と第1グリッド間の電場 $E$ が最も弱く43 V/cmであり、ガス圧 $P=40\text{ mb}$ とすると、 $E/P = 1, 1\text{ V/cm} \cdot \text{mb}$ である。この条件においてイソブタンの電子の流動速度は約3.5 cm/ $\mu\text{s}$ であり、飽和値に近くなっている<sup>11)</sup>。イソブタンの電子の流動速度の $E/P$ 依存性はこの近辺ではゆるやかであるので、電場および、ガス圧の変化が電離箱の出力に及ぼ

す影響は少い。実際、陽極と陰極の電圧を±30%程度変化させて見たが、出力のパルス波高および立上りの時間の変化は程んど認められなかった。

$\Delta E$ 、E、 $E_f$ の前置増巾器出力は、主増巾器において(1~2)  $\mu$ sの微分および積分時間で整形された。

エネルギー分解能の測定は、カウンター前面のスリットに制限されて入射する $\alpha$ 線の中、特定の角度のものを前段比例計数管と電離箱の出力の同時計数により選び出して行った。Eカウンターでは全飛程がカウンター内に入るように50 mbと60 mbにおいて測定し、イソプタンの $\alpha$ 粒子に対する阻止能のデータ<sup>12)</sup>を用いて、エネルギー較正を行った。図8にガス圧50 mbの時のEスペクトルを示す。エネルギー分解能は380 keVであった。 $\Delta E$ カウンターについても同様の測定を行い、ガス圧50 mbにおいてエネルギー分解能180 keVを得た。図9にガス圧50 mbの時の $\Delta E$ スペクトルを示す。

$\Delta E$ およびEカウンターの分解能はパルサーからの標準パルスの半値巾が測定された $\alpha$ 線のスペクトルの半値巾とほぼ同じになった。このことからこのガス圧ではエネルギーの拡りの大半は $\Delta E$ 、Eカウンター共に、カウンターの静電容量からくる電氣的ノイズにより占められていることが判った。

#### IV. 1.3 比例計数管のシールドワイヤの効果

カウンターのガス圧40 mbの時比例計数管の芯線の付加電圧が0 Vの場合と850 Vの場合の電離箱の出力パルス波高を比較した。Eカウンターの出力では変化は認められなかったが、 $\Delta E$ カウンターの出力パルス波高は、比例計数管の付加電圧が850 Vの場合、0 Vの場合に比較して十数%低下した。このため、比例計数管の第2グリッド側の開口部に2本のシールドワイヤを取付けてクロストークを防ぐことを試みた。結果は良好であり、 $\Delta E$ カウンターの出力パルス波高の低下は付加電圧が850 Vのとき、2%にとどまった。クロストークの原因は比例計数管の芯線の周りの電子なだけだが、開口部を通して第2グリッドに誘導を起し、さらにそれが陽極に誘導を起して、出力を低下させていたと考えられる。

#### IV. 2 スペクトログラフに装着した場合の特性

カウンターをENMAに装着し、周辺の整備を行って後ENMAの散乱槽に<sup>241</sup>Am- $\alpha$ 線源を入れ、ENMAの分析電磁石を通して $\alpha$ 線をカウンターに入射し各部の特性を測定した。

##### IV. 2.1 電場補償の効果

ENMAに装着した場合、Ⅲ.2で述べたクリーンアース系のシールドが、カウンターの前面1.5 cmの距離に接近して居り、電離箱の入口附近の電場の一様性が悪くなる。その影響は前段比例計数管の出力に現れた。

テストベンチ上で、ガス圧40 mb、付加電圧800 Vの条件において、前置増巾器の出力が約250 mVであったが、カウンター前面に上記シールドを付けた状態では出力が約50 mVに低下した。このためⅢ.1.3で述べた電場補償板を装着した所、出力は約250 mVになり、電場補償

が有効であることが判った。

#### IV. 2. 2 比例計数管の特性

前段比例計数管の位置検出の直線性を全有感領域にわたって測定した。IV. 1 に述べたポリカーボネイトのスリットをカウンターの前面に取付けた状態でENMAの双極電磁石の磁場を順次変化させ、 $\alpha$ 線の入射位置を変えながら全有感領域にわたって測定した。ガス圧40 mb, 付加電圧800 Vの測定結果を図10に示す。ほぼ全領域にわたって良好な直線性を得た。測定の結果得られたチャンネル数と長さの比は15.6チャンネル/cmであった。ただし位置スペクトルは1024チャンネルで分析した。また、この時のカウンターの固有分解能は1.2 mmであった。

#### IV. 2. 3 電離箱の特性

ENMAに装置した場合の $\Delta E$ およびEカウンターの $^{241}\text{Am}$ - $\alpha$ 線のエネルギー分解能は、ガス圧40 mb, 陽極電圧+250 V, 陰極電圧-400 Vの条件において、 $\Delta E$ カウンタに対しては160 keV, Eカウンタに対しては360 keVであった。 $\Delta E$ カウンターのエネルギーの拡りの要因は、回路系の電気ノイズによるものが80 keV, ガス中のエネルギー損失ストラグリングによるものが90 keV, 残りの130 keVはカウンターの固有分解能, $\alpha$ 線源自体の不均一, 粒子入射窓の厚さの不均一などの影響である。ガス中のストラグリングの計算はTschalarの計算<sup>13)</sup>にBethe-Livingstonの補正<sup>14)</sup>を行った。Eカウンターのエネルギーの拡りは、回路系の電気ノイズがそのほとんどを占めていた。

$\Delta E$ カウンターの回路系の電気ノイズがENMAに装着した場合、テストベンチの場合に比較して、大巾に減少したのは、バイアス電源を電池に替えたのに加えてENMA周辺のノイズ(動力系のインピーダンスの高いものから発生する電波ノイズが大半であった)除去を行ったためである。

## V. 重イオン測定のための改良

これまでに $^{241}\text{Am}$ - $\alpha$ 線によるカウンターの特性を述べてきた。重イオンに対する特性は、入射重イオンビーム, 重イオン核反応, 使用するターゲットおよびENMAの特性と合せて検討する必要がある。現在, 重イオン核反応研究と共にこれらの総合的な特性の測定が進行中であるが、こゝでは重イオン核反応測定にあたって、改良した部分を述べるにとどめる。

### V. 1 $\Delta E$ カウンターの改良

重イオン測定において、前段の $\Delta E$ カウンターのエネルギー損失が大きすぎると、原子番号Zの分解能が悪くなる。このため4個の陽極の中、 $\Delta E$ カウンターとして使用していた前段の電極80 mm × 540 mmのものを40 mm × 540 mmのもの2個に取替えた。各々からの出力は独立に取出せるようにして、前方から $\Delta E_1$ ,  $\Delta E_2$ カウンターとし厚い $\Delta E$ カウンターが必要な

が有効であることが判った。

#### IV. 2. 2 比例計数管の特性

前段比例計数管の位置検出の直線性を全有感領域にわたって測定した。IV. 1 に述べたポリカーボネイトのスリットをカウンターの前面に取付けた状態でENMAの双極電磁石の磁場を順次変化させ、 $\alpha$ 線の入射位置を変えながら全有感領域にわたって測定した。ガス圧40 mb, 付加電圧800 Vの測定結果を図10に示す。ほぼ全領域にわたって良好な直線性を得た。測定の結果得られたチャンネル数と長さの比は15.6チャンネル/cmであった。ただし位置スペクトルは1024チャンネルで分析した。また、この時のカウンターの固有分解能は1.2 mmであった。

#### IV. 2. 3 電離箱の特性

ENMAに装置した場合の $\Delta E$ およびEカウンターの $^{241}\text{Am}-\alpha$ 線のエネルギー分解能は、ガス圧40 mb, 陽極電圧+250 V, 陰極電圧-400 Vの条件において、 $\Delta E$ カウンタに対しては160 keV, Eカウンタに対しては360 keVであった。 $\Delta E$ カウンターのエネルギーの拡りの要因は、回路系の電気ノイズによるものが80 keV, ガス中のエネルギー損失ストラグリングによるものが90 keV, 残りの130 keVはカウンターの固有分解能, $\alpha$ 線源自体の不均一, 粒子入射窓の厚さの不均一などの影響である。ガス中のストラグリングの計算はTschalarの計算<sup>13)</sup>にBethe-Livingstonの補正<sup>14)</sup>を行った。Eカウンターのエネルギーの拡りは、回路系の電気ノイズがそのほとんどを占めていた。

$\Delta E$ カウンターの回路系の電気ノイズがENMAに装着した場合, テストベンチの場合に比較して, 大巾に減少したのは, バイアス電源を電池に替えたのに加えてENMA周辺のノイズ(動力系のインピーダンスの高いものから発生する電波ノイズが大半であった)除去を行ったためである。

## V. 重イオン測定のための改良

これまでに $^{241}\text{Am}-\alpha$ 線によるカウンターの特性を述べてきた。重イオンに対する特性は, 入射重イオンビーム, 重イオン核反応, 使用するターゲットおよびENMAの特性と合せて検討する必要がある。現在, 重イオン核反応研究と共にこれらの総合的な特性の測定が進行中であるが, こゝでは重イオン核反応測定にあたって, 改良した部分を述べるにとどめる。

### V. 1 $\Delta E$ カウンターの改良

重イオン測定において, 前段の $\Delta E$ カウンターのエネルギー損失が大きすぎると, 原子番号Zの分解能が悪くなる。このため4個の陽極の中,  $\Delta E$ カウンターとして使用していた前段の電極80 mm × 540 mmのものを40 mm × 540 mmのもの2個に取替えた。各々からの出力は独立に取出せるようにして, 前方から $\Delta E_1$ ,  $\Delta E_2$ カウンターとし厚い $\Delta E$ カウンターが必要な

時は、各々の出力をデータ処理系で加算した。

## V. 2 シールドの増設

Ⅲ. 2 に述べたシールド板の入射粒子口は、高さ 10 mm であったが、測定効率を上げるために高さを 25 mm まで広げた。これにともなって、ENMA 側の開口部からの電波ノイズの侵入が増大した。このために新たにシールド薄膜をカウンターとⅢ. 2 で述べたシールド板の間を取付けた。薄膜はアルミ蒸着した 2  $\mu$ m 厚のポリエステル膜であり、これは 155 mm  $\times$  840 mm の 3 mm 厚のアルミ板に 30 mm  $\times$  820 mm の粒子入射口をもつ枠に良い電伝性を保持して取付られた。このシールドは、電場補償板から 5 mm 離して、カウンター外枠にアルミニウムの固定板で取付られ、クリーンアースに接続している。この結果、カウンター前面はクリーンアースで完全に覆われた状態となり、ENMA 側からの電波ノイズの侵入は完全に除去された。

## V. 3 電場補償の改良

上に述べたようにクリーンアースに接地したシールドが、カウンターの前面にさらに接近したために、第 1 グリッドと第 2 グリッドの入口附近の電場を補正する必要性が生じた。このため、カウンター前面の電場補償板を、第 1 グリッドと第 2 グリッド間にも電場補償を入れたものに作り変えた。新しい電場補償板は 90 mm  $\times$  600 mm のプリント基板をエッチングして電極を残し 30 mm  $\times$  500 mm の粒子入射口をあけたものである。核反応測定においては後段の通過粒子に対するリゼクトカウンター（比例計数管）も重要になるので、カウンター後面から 5 mm 離れた位置において両側の電場補償の電極を橋渡しするように取付けられている。

## V. 4 その他の改良

V. 1 で述べた  $\Delta E$  カウンターの改良と、V. 1. 3 で述べた新しい電場補償に整合するように、電位分割回路を図 11 のように改良した。また、重イオン測定のために変換フランジの粒子入射窓のポリエステル膜を 2  $\mu$ m 厚のものに取替えた。

## Ⅵ. ま と め

大型ハイブリッド型ガスカウンターが製作された。このカウンターは平行平板型の電離箱と3個の比例計数管から構成されている。カウンターの有効領域は、長さ（磁気スペクトログラフに装着した場合の収束面に沿っての長さ）460 mm，奥行545 mm，高さ70 mmである。入射イオンはカウンターの長さ上に45度に入射し、そして、その奥行に対して平行に通過する。世界の各地の重イオン用磁気スペクトログラフに装着されている同種のカウンターと比較するともっとも大型のものである。

カウンターの特性は $^{241}\text{Am}$  -  $\alpha$ 線源 ( $E_{\alpha} = 5.48 \text{ MeV}$ ) を用いて測定された。テストベンチにおける測定結果、および、JAERI重イオンスペクトログラフ (ENMA) に装着された場合の測定結果が記されている。比例計数管に対する位置検出の固有分解能は1 mmであり、有効長さ460 mm上で直線性は良好であった。また、電離箱に対する $\Delta E$ 分解能は、有効奥行113 mm，イソブタンガス圧40 mb，陽極電圧+250 V，陰極電圧-400 Vの条件において、ENMAに装着時の最終的な値は160 keVであった。この中、回路系の電気ノイズからの要因が80 keV，ガス中のエネルギー損失ストラグリングによるものが、90 keV，残りの130 keVはカウンターの固有分解能， $\alpha$ 線源および入射窓の厚さの不均一などによるものである。電離箱におけるE分解能は $\Delta E$ カウンターと同じ測定条件において360 keVであった。このエネルギーの拡りは回路系の電気ノイズからのものがその大半であった。

重イオンに対する特性は、入射重イオンビーム、重イオン核反応、使用するターゲットおよび、ENMAの特性と合せて検討する必要がある。現在、重イオン核反応研究と共に、これらの総合的な特性測定が進行中であるが、重イオン核反応測定にあたっていくつかの改良を行った。 $\Delta E$ カウンターの有効奥行を1/2 (56 mm) にし、カウンター前面からの電波ノイズ侵入防止用シールドの増設、電離箱に対する電場補償の改良、粒子入射窓を4  $\mu\text{m}$  ポリエステル膜から2  $\mu\text{m}$  厚のものへの取替などを行った。

製作されたこの大型ハイブリッドガスカウンターの動作状態は極めて安定であり、長期の使用に十分に耐える構造に完成することが出来た。カウンターの製作、および特性測定を通して経験したいくつかの事柄は、同種のカウンターのより大型のものに対する製作のための基礎資料として、極めて有用である。

## 参 考 文 献

- 1). D. Shapira, R. M. Devries, H. W. Furbright, J. Toke and M. R. Clover; Nucl. Instr. and Meth. 129(1975)123.
- 2). J. R. Eraskine, T. H. Braid and J. C. Stoltzfus; Nucl. Instr. and Meth. 135(1976)67.
- 3). T. R. Ophel and A. Johnson; Nucl. Instr. and Meth. 157(1978)461.
- 4). D. Shapira, G. L. Bomar, J. L. C. Ford Jr., J. G. Gomez Del Campo and L. C. Dennis; Nucl. Instr. and Meth. 169(1980) 77
- 5). F. Puhlkofer; Contribution to the Study Weekend on Use of Magnetic Spectrometers in Nuclear Physics, Daresbury (1979)
- 6). Y. Sugiyama, N. Shikazono, H. Ikezoe and H. Ikegami; Nucl. Instr. and Meth. 187(1980)25.
- 7). O. Bunemann, T. E. Cranshaw and J. A. Harvey; Can. J. Res. A27(1949)191
- 8). 月橋芳広, 吉田忠, 竹腰英子 JAERI-M 8142 (1979)
- 9). 原研エレクトロニクス課 金子記一氏製作
- 10). 菊池士郎, 富田芳明, 河原崎雄紀, 大内勲, 竹内末広, 丸山倫夫, JAERI-M 9136 (1980)
- 11). V. Palladino and B. Sadaulet; Nucl. Instr. and Meth. 128(1975) 323
- 12). J. F. Ziegler; Stopping Powers and Ranges in All Element Matter Vol.4 (Pergamon Press 1977).
- 13). C. Tschalar; Nucl. Instr. and Meth. 61(1968)141.
- 14). M. S. Livingston and H. A. Bethe; Rev. Mod. Phys. 9(1937)245.

## 附録 カウンター操作上の注意

製作された大型ハイブリッドガスカウンターの動作状態は極めて安定であり、長期の使用に十分に耐えうる構造に完成することが出来た。カウンターの製作、特性測定を通じて経験したいくつかの注意事項を以下に述べる。

### 1. ガス操作系の扱い

Ⅲ. 3 においてガス操作系の説明をしたが、実際にガス系を操作するにあたっては、操作手順を確実に把握しなければならない。図 4 にガス操作系のダイアグラムを示したが、ENMA に装着した場合の全操作系を図 12 および表 2 に示す。この操作系の通常動作は (1) 真空時 → (2) ガス注入時 → (3) 使用時 → (4) ガス排気時 → (5) 真空引 → (6) リーク時 → (7) 真空引 → (1) 真空時の順序に進行する。長時間の使用時の場合には (3) 使用時 → (3) ガス交換時 → (3) → 使用時のループが繰返される場合もある。(1), (2), (3), (3'), (4), (5), (6), (7) に対する各バルブの OPEN (O), CLOSE (X) の操作、およびロータリポンプの ON, OFF 操作順序は表 2 中の各操作系の状態に対して、数字により指示されている。前状態から移行する状態において、バルブの指示が同じ場合の動作指示の数字は、その確認が重要な場合である。図 12 において V<sub>0</sub>, V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub> は通常 CLOSE の状態を保持する。これらのバルブは粒子入射窓の装着時とガスをフローして使用したい場合に用いる。

#### (1) 真空時

V<sub>B</sub>, V<sub>6</sub>, V<sub>7</sub> および V<sub>G</sub> は CLOSE, V<sub>T</sub>, V<sub>B</sub>, V<sub>3</sub>, V<sub>4</sub>, V<sub>5</sub> は OPEN 状態である。この状態では、カウンターチェンバーと、V<sub>B</sub> と粒子入射窓の空間およびガス操作系の大半はターボモレキュラーポンプ (500 ℓ/sec) システムにより排気されている。V<sub>G</sub> には 2 次側が真空に排気可能な減圧弁を用いている。従ってポンプの元栓は CLOSE であるが減圧弁の 2 次側は OPEN にして排気する。上記状態において先づリークチェックを行わなければならない。通常 V<sub>T</sub> の下のターボモレキュラーポンプ・T 管に "マス・アナライザヘッド" を取付け各部にヘリウムガスをかけて、リークチェックを行っている。このマス・アナライザによるリークチェック法は、観測されるマススペクトルを分析することにより、ガスポンプの元栓からのイソブタンガスのリークも検知出来て非常に便利である。

真空時には、ガス流入口の電磁弁 (RME 010) はバルブコントローラ (RVG 040) の設定値 O とパワ OFF の状態により完全に CLOSE されている。真空状態は、3 個のブルドンゲージ (BG), 1 個のピラニゲージ (PIG), コールドカソードゲージ (CCG) および絶体圧力計 (APR 010 センサー, APG メータ) でモニターされている。真空度は、 $1 \times 10^{-5}$  TORR 以下を保持している。



## (2) ガス注入時

(1)真空時 → (2)ガス注入時の移行の手順を記す。

1.  $V_E$  : CLOSE (X) の確認
2.  $V_T$  : OPEN (0) の確認
3.  $V_B$  : カウンターとENMAのバイパスバルブ (手動) をCLOSE (X) する
4.  $V_5$  : CLOSE (X) する
5.  $V_G$  : 減圧弁の2次側をCLOSEして、ポンベの元栓をOPEN (0) にし、2次側にガスを出す (目盛: +0), 2次側のバルブをOPEN (0) にする。この時V3の上のブルドンゲージ (BG) にガス圧が指示される。
6.  $V_4$  : CLOSE (X) する
7. ロータリポンプをONする
8.  $V_6$  : OPEN (0) にし、 $V_4 \sim V_6$  間のガスを排気し洗浄する。 $V_3$  の上のBGが0になることを確認する。
9.  $V_6$  : CLOSE (X) する
10.  $V_3$  : CLOSE (X) する
- 10<sup>1</sup> バルブコントローラ (RVG040) の設定値を0にし、パワをONする。
11.  $V_4$  :  $V_4$  の上のメタリングバルブがFULL OPENしていることを確認し、 $V_4$  をOPEN (0) にして、RVGの設定値を0 → 10 mbに上げ APRメータでカウンターに充填されたガス圧を読みとり設定値を少しづつ上げて使用ガス圧に達した時、設定値のヘリポットを固定して、RVGのパワをOFFにする
12.  $V_G$  : ポンベの元栓をCLOSE (X) する
13.  $V_6$  : OPEN (0) にする
14.  $V_3$  : OPEN (0) にして、 $V_G$  の2次側～ $V_6$  の間のガスを排気する。 $V_3$  上のBGにより完全に排気されたことを確認する。
15.  $V_4$  : CLOSE (X) する
16.  $V_3$  : CLOSE (X) する
17.  $V_6$  : CLOSE (X) する
18. ロータリポンプをOFFする

## (3) 使用時 ((2) → (3))

1.  $V_E$  :  $V_E$  と入射窓の間のコールドカソードゲージ (CCG) により、入射窓からENMA側へのガスリークがないことを確認して後、 $V_E$  をOPEN (0) にする

(3)<sup>1</sup> ガス交換時 ((3) → (3)<sup>1</sup>)

1.  $V_E$  : CLOSE (X) する
2. ロータリポンプをONする
3.  $V_6$  : OPEN (0) する
4.  $V_3$  : OPEN (0) する

5. V<sub>4</sub> : V<sub>G</sub> の 2 次側にガスが洩れ出ていることもありうるので V<sub>4</sub> を OPEN にし、V<sub>G</sub> の 2 次側～V<sub>6</sub> の間を排気する。V<sub>3</sub> 上の BG の指示が 0 になっていることを確認する。
6. V<sub>4</sub> : CLOSE (X) する
7. V<sub>5</sub> : 徐々に OPEN (0) にし、APRメータによりカウンターチェンバ内のガスが約 5mb まで排気されたことを確認する
8. V<sub>5</sub> : CLOSE (X) する
9. V<sub>3</sub> : CLOSE (X) する
10. V<sub>G</sub> : 減圧弁の 2 次側は OPEN になっているので、ポンベの元栓を OPEN (0) に 2 次側にガスを出す (目盛 : + 0)
- 10! バルブコントローラ (RVG040) の設定値を 0 にし、パワを ON する
11. V<sub>4</sub> : OPEN (0) にして、RVG の設定値を 0 → 10 mb に上げ APRメータでカウンターに充填されたガス圧を読み取り設定値を少しづつ上げて使用ガス圧に達した時設定値のヘリポットを固定して RVG のパワを OFF にする
12. V<sub>G</sub> : ポンベの元栓を CLOSE (X) する
13. V<sub>3</sub> : OPEN (0) にして、V<sub>G</sub> の 2 次側～V<sub>6</sub> の間のガスを排気する。V<sub>3</sub> 上の BG により完全に排気されたことを確認する
14. V<sub>4</sub> : CLOSE (X) する
15. V<sub>3</sub> : CLOSE (X) する
16. V<sub>6</sub> : CLOSE (X) する
17. ロータリポンプを OFF する  
次いで (3) 使用時にもどる。

#### (4) ガス排気時 ( (3) → (4) )

(3), 使用時の操作に続く。

1. V<sub>E</sub> : CLOSE (X) の確認をする
2. ロータリポンプを ON する
3. V<sub>6</sub> : OPEN (0) する
4. V<sub>3</sub> : OPEN (0) する
5. V<sub>4</sub> : V<sub>G</sub> の 2 次側～V<sub>6</sub> 間にはガス洩れがないことを確認するため V<sub>4</sub> を OPEN (0) にし、V<sub>G</sub> の 2 次側～V<sub>6</sub> 間を排気する
6. V<sub>4</sub> : CLOSE (X) する
7. V<sub>5</sub> : 徐々に OPEN (0) し、APRメータによりカウンター内のガスが約 5mb まで排気されたことを確認する
8. V<sub>6</sub> : CLOSE (X) する
9. V<sub>B</sub> : 手動バルブを徐々にあけ、ターボモレキュラポンプ、システムで排気する。ターボモレキュラポンプのゲートバルブが自動 CLOSE する場合は次に続く
10. V<sub>T</sub> : OPEN (0) する。3 個の BG, APRメータは真空指示となり、また、PIG,

CCGは真空度を指示する。真空度が $10^{-5}$  TORRへと良くなることを確認する。

11. ロータリポンプをOFFする。

**(5) 真空引 ((4) → (5))**

1. V<sub>4</sub> : V<sub>G</sub>の2次側にリークがないことを減圧弁の2次側メータで確認してからOPEN (0)にする。状態は(1)真空時の状態に達する

**(6) リーク時 ((5) → (6))**

カウンターチェンバ内に配置されているカウンターの修理などの時には、カウンターチェンバを乾燥したN<sub>2</sub>ガスでパージする

1. V<sub>E</sub> : CLOSE (X) の確認をする
2. V<sub>T</sub> : CLOSE (X) する
3. V<sub>B</sub> : OPEN (0) の確認をする
4. V<sub>4</sub> : CLOSE (X) する
5. V<sub>3</sub> : OPEN (0) にする
6. V<sub>5</sub> : OPEN (0) にする
7. V<sub>7</sub> : ポリエチレン袋に乾燥N<sub>2</sub>を充満したものを取付け、V<sub>7</sub>を徐々にOPEN (0) にしながらパージを行う。この時3個のBG, APRメータを見ながら行う。完全に大気圧になったことを確認する
8. V<sub>7</sub> : CLOSE (X) する

**(7) 真空引 ((6) → (7))**

(6)のリーク時につづく真空引の手順である。

1. V<sub>E</sub> : CLOSE (X) を確認する
2. V<sub>7</sub> : CLOSE (X) を確認する
3. V<sub>B</sub> : OPEN (0) を確認する
4. ロータリポンプをONにする
5. V<sub>6</sub> : 徐々にOPEN (0) する
6. V<sub>3</sub> : OPEN (0) を確認する。V<sub>3</sub>上のBGが0になることを確認する
7. V<sub>4</sub> : V<sub>G</sub>の二次側が真空状態であることを確認する。(V<sub>G</sub>のガスポンベ元栓からのガスリークを発見した場合は、この時点で修理すること)。OPEN (0) にする。
8. V<sub>5</sub> : 徐々にOPEN (0) し、V<sub>E</sub>と入射窓間のBG, カウンターチェンバ上のBG, APRメータにより正常に排気されて行くことを確認する。
9. V<sub>6</sub> : APRメータが約5mbになった時CLOSE (X) する
10. V<sub>T</sub> : ターボモレキュラーポンプのゲートバルブV<sub>T</sub>をOPEN (0) する
11. ロータリポンプをOFFする。状態は(1)の真空時の状態に達する

図12に示されているV<sub>0</sub>~V<sub>7</sub>には、NUPROの手動ベロースバルブ、V<sub>G</sub>には2次側が真

空排気しうる手動減圧弁， $V_8$ には手動のゲートバルブを用いている。

上記したガス系操作手順を確実にを行うためには各々のバルブの開閉状態の指示信号が得られることが望ましいが，現在使用中のものでは指示信号が取れない。将来良質のバルブで指示信号が取れるものが入手しうるようになれば，ガス操作系を改良する計画である。

## 2. カウンターの扱い

電離箱系統，比例計数管系統の扱いについて分けられる。電離箱系統は構造的に非常に安定であるが，比例計数管系統は $10\ \mu\text{m}$ のNi/Cr芯線および $50\ \mu\text{m}$ のシールド線のはり方に注意をしなければならない。

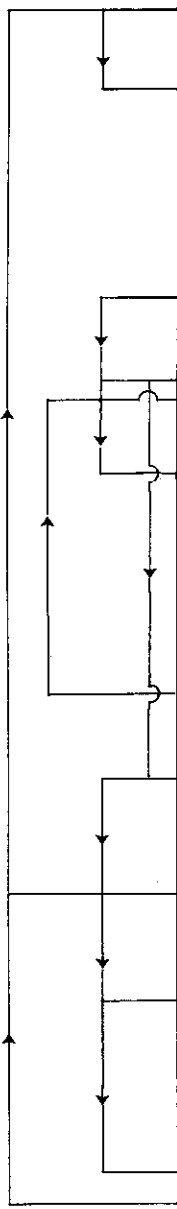
また，比例計数管系統は比較的電気ノイズの混入，侵入に強いが電離箱系統は総合的にノイズ対策が施されていないならば実用化は困難である。

表1 ガス圧および付加電圧に対する比例計数管の位置分解能

電圧 (V) ガス圧 (mb)	750	800	850	890
26		3.8	2.2	
38	3.3	3.0	2.2	
48	3.1	3.0	2.1	
54	3.1	3.0	1.9	1.9

表中の数値は測定したスペクトルの半値巾を長さ (mm) に換算してある。この値の中にはスリット巾と $\alpha$ 線源からの幾何学的拡りが含まれている。

表2 ガス操作系の状態に対するバルブ操作手順



ガス操作系の状態	バルブの種類									ロータリポンプ
	VE	VT	VB	V3	V4	V5	V6	V7	VG	
(1) 真空時	X	○	○	○	○	○	X	X	X	OFF
(2) ガス注入時	1 X	2 ○	3 X	10 X	6 X	4 X	8 ○	X	5 ○	7 ON
				14 ○	11 ○		9 X		12 X	18 OFF
				16 X	15 X		13 ○			
							17 X			
(3) 使用時	1 ○	○	X	X	X	X	X	X	X	OFF
(3) ガス交換時	1 X	○	X	4 ○	5 ○	7 ○	3 ○	X	10 ○	2 ON
				9 X	6 X	8 X	16 X		12 X	17 OFF
				13 ○	11 ○					
				15 X	14 X					
(4) ガス排気時	1 X	10 ○	9 ○	4 ○	5 ○	7 ○	3 ○	X	X	2 ON
					6 X		8 X			11 OFF
(5) 真空引	X	○	○	○	1 ○	○	X	X	X	OFF
(6) リーク時	1 X	2 X	3 ○	5 ○	4 X	6 ○	X	7 ○	X	OFF
								8 X		
(7) 真空引	1 X	10 ○	3 ○	6 ○	7 ○	8 ○	5 ○	2 X	X	4 ON
							9 X			11 OFF

○ : OPEN, X : CLOSE

数字は操作順序である。

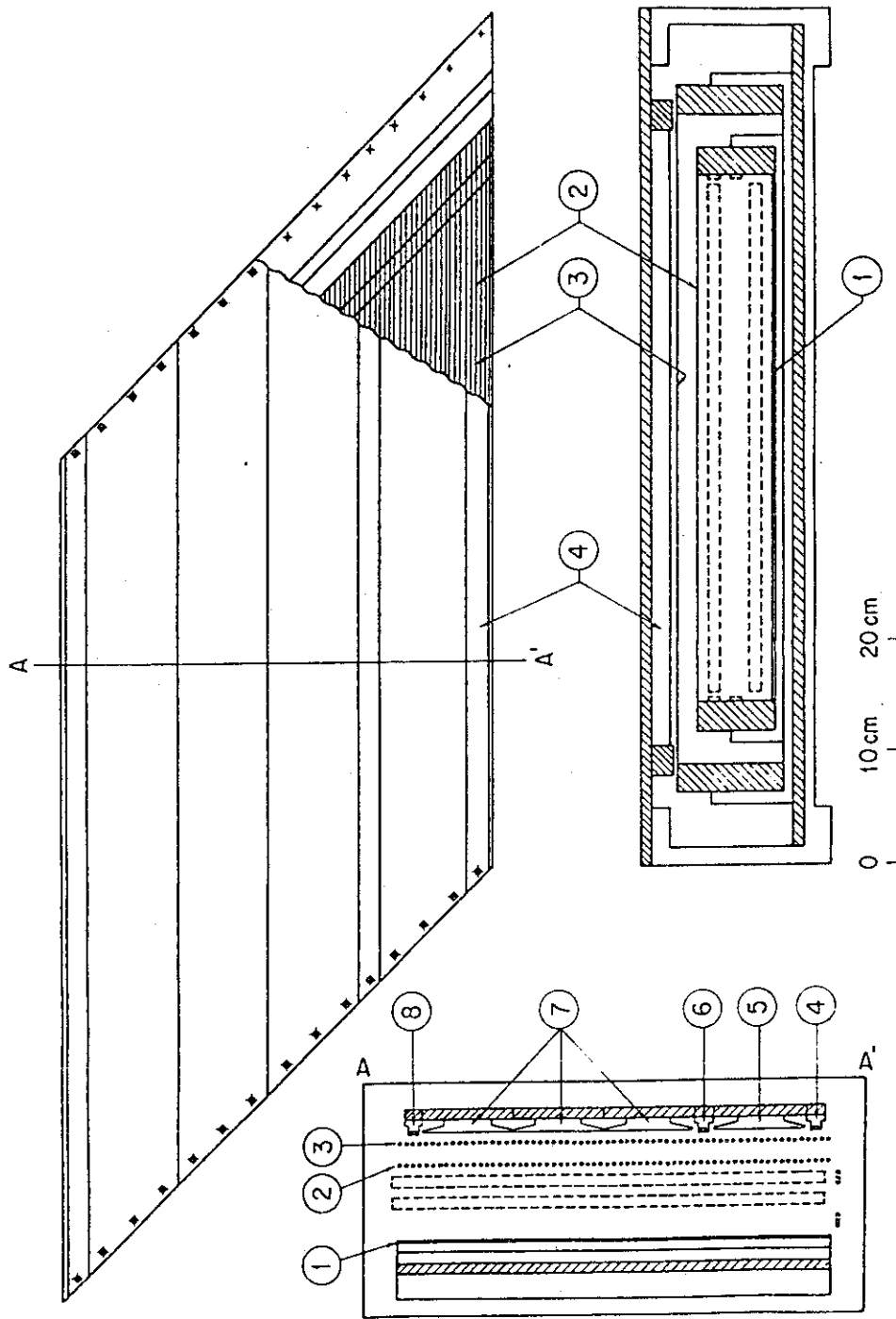


図1 カウンター縮尺図

- ①：陰極 (Eカウンター)    ②：第1グリッド
- ③：第2グリッド    ④：前段比例計数管
- ⑤：陽極 (AEカウンター)
- ⑥：中段比例計数管    ⑦：陽極 (E<sub>f</sub>カウンター)
- ⑧：後段比例計数管

斜線は絶縁材料，破線は電場補償の位置を示す。

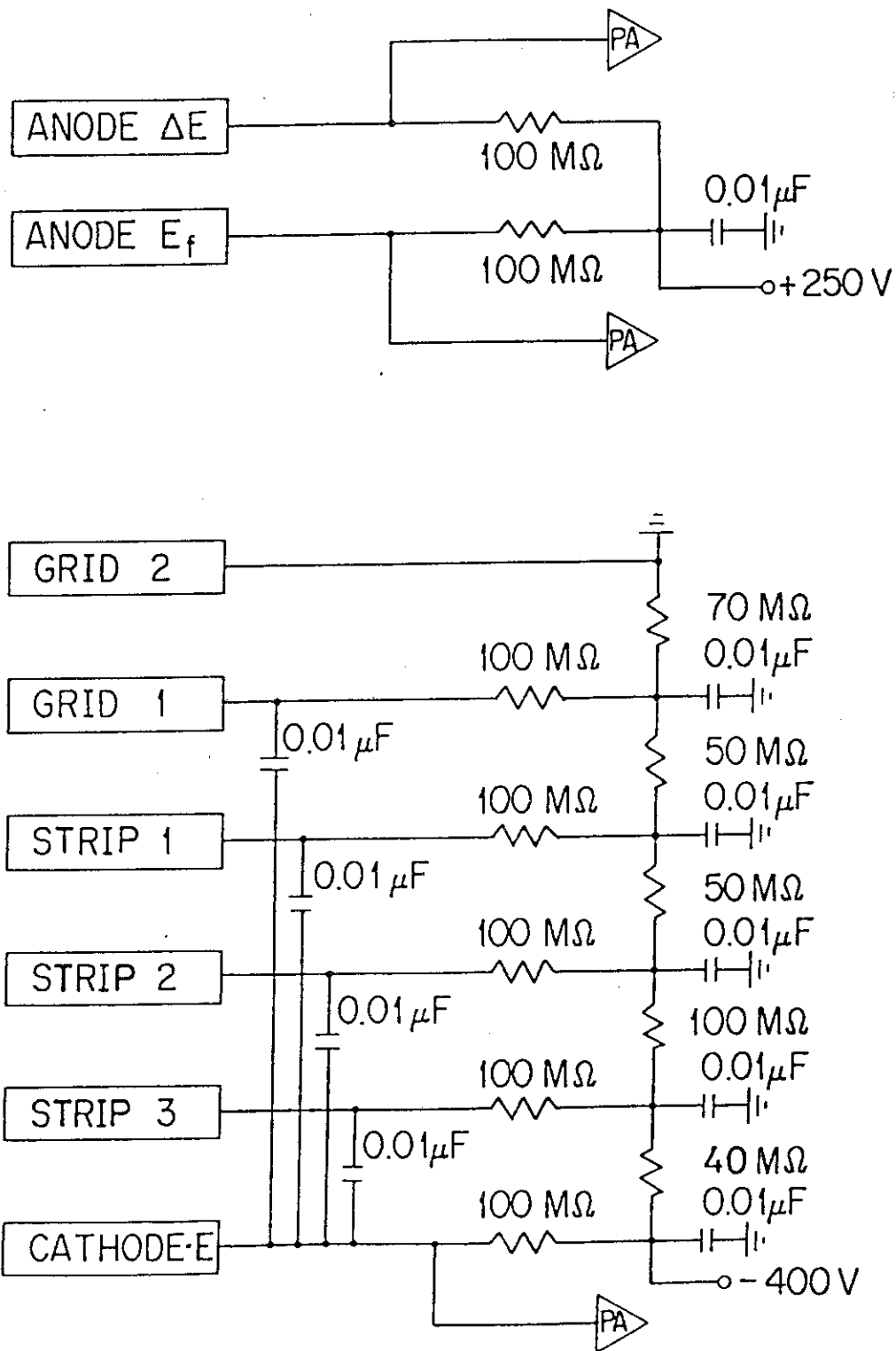
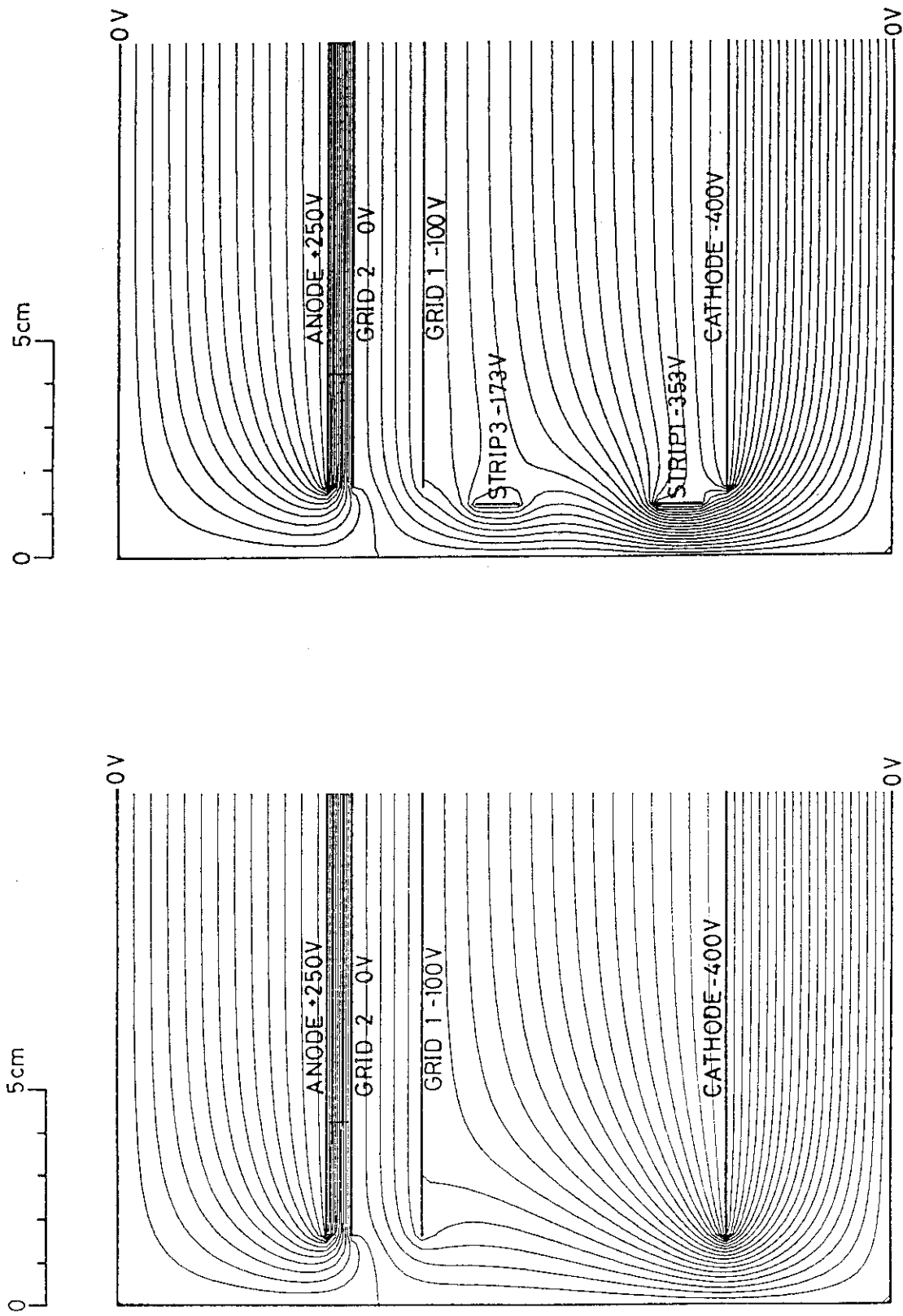


図2 電圧分割回路  
 電場補償を付けた場合の回路であり STRIP  
 1～3は電場補償板に対応する。





(b)

(a)

図3 カウンター入口附近の電場

図1のAA'断面におけるカウンター前面附近の電場の数値計算の結果であり、曲線は20Vおきの等電位面を示す。3aは電場補償のない場合、3bは電場補償を付けた場合である。スケールは縦横共に同じである。

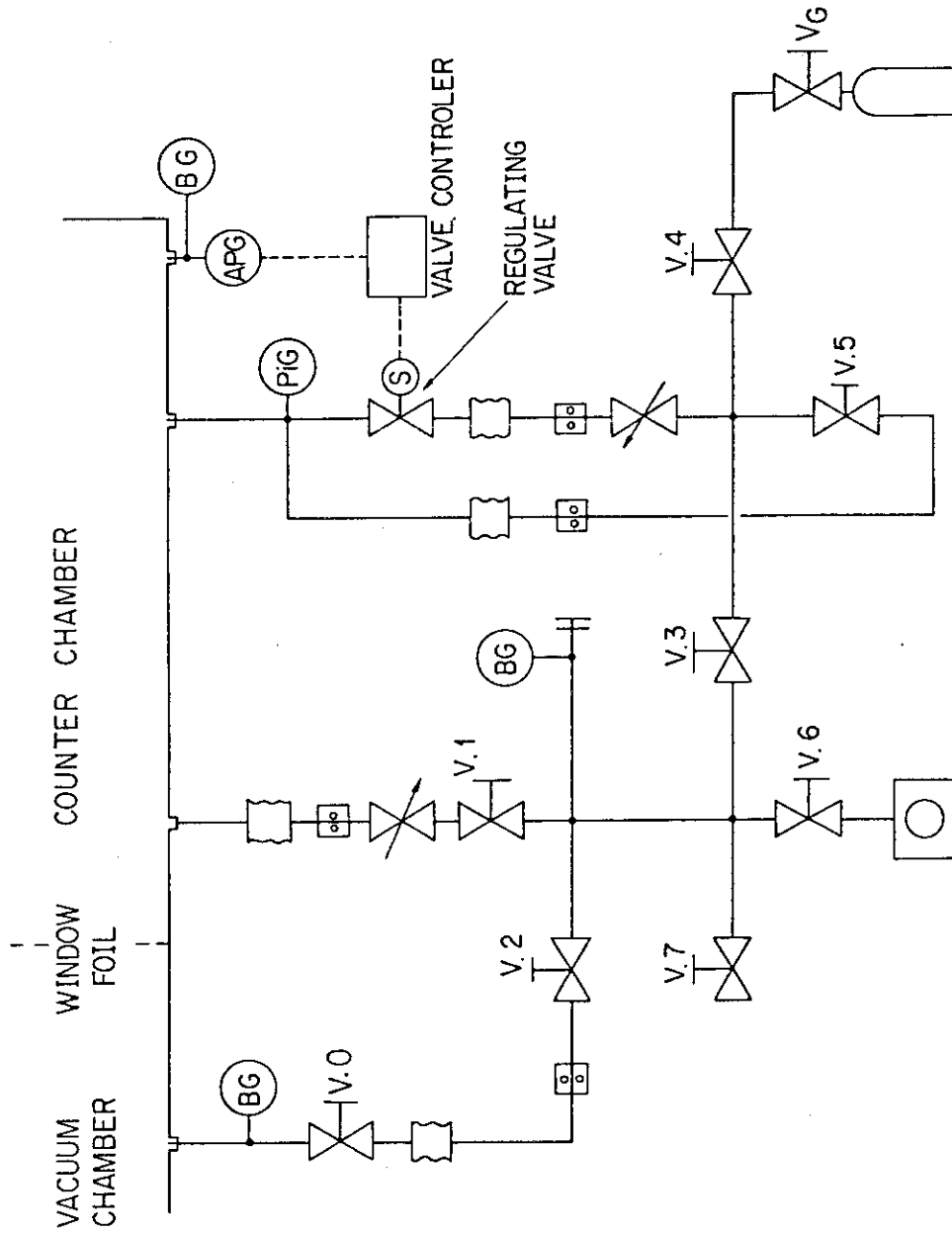


図4 ガス操作系のダイヤグラム  
各部の記号はJIS規格による。

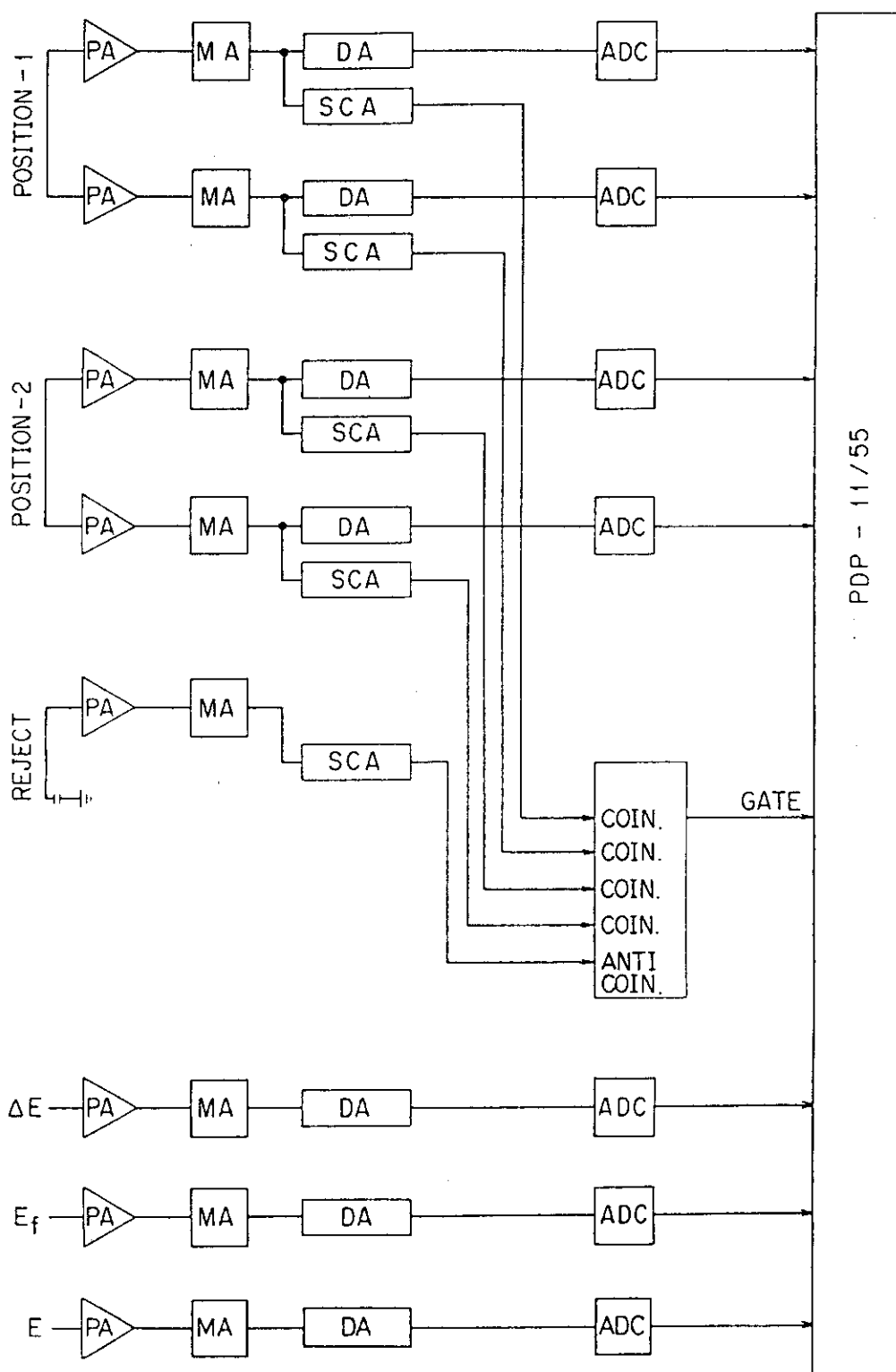


図5 測定回路のブロック、ダイヤグラム

PA: 前置増巾器, MA: 主増巾器, DA: デイレイ増巾器  
 SCA: タイミング・シングルチャンネル・アナライザー  
 ADC: アナログ・デジタル・コンバータ

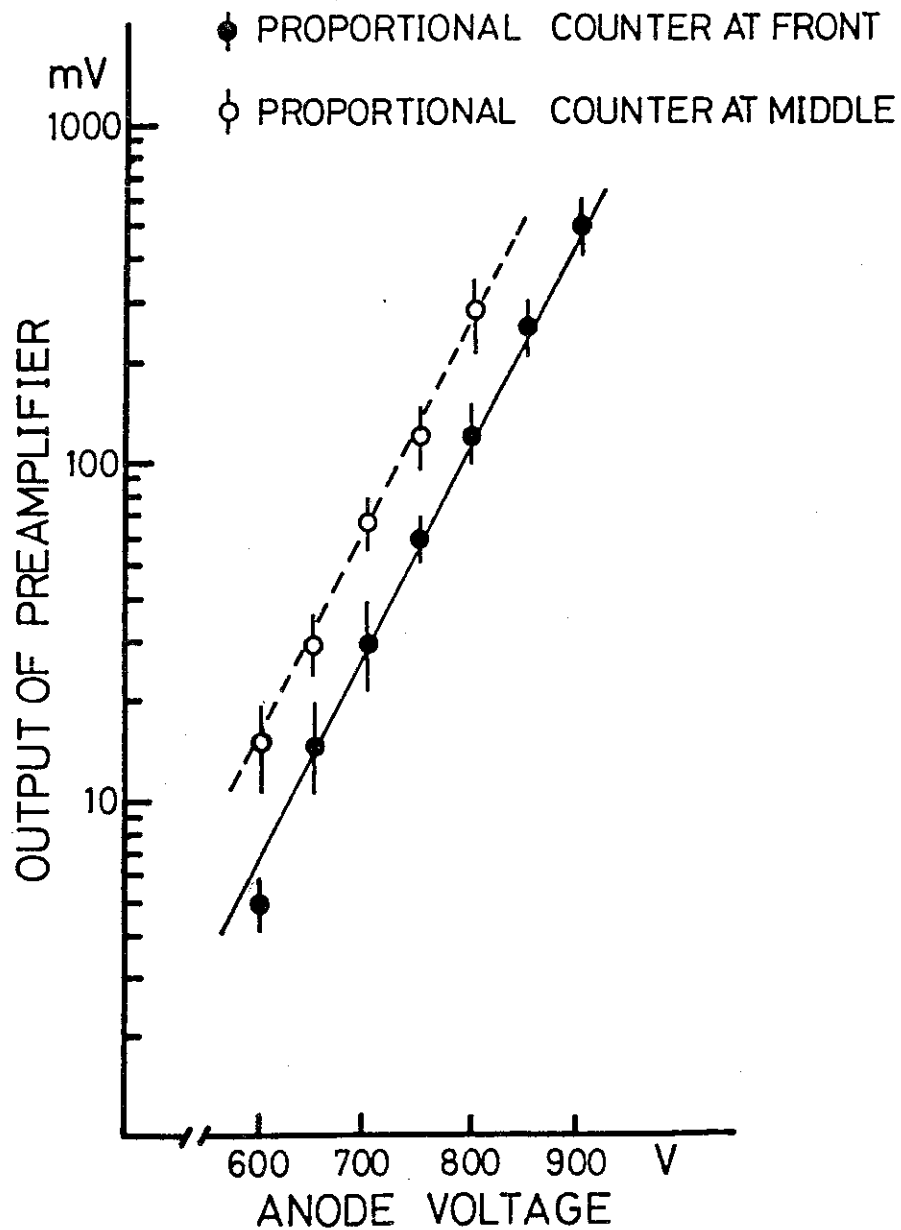


図6 比例計数管の付加電圧と出力の関係  
 横軸は比例計数管の芯線への付加電圧，縦軸は前置増巾器の出力である。テストベンチにおいてガス圧40 mb， $^{241}\text{Am}$  -  $\alpha$  線をカウンターの中央（長さ方向）に入射して測定した場合である。

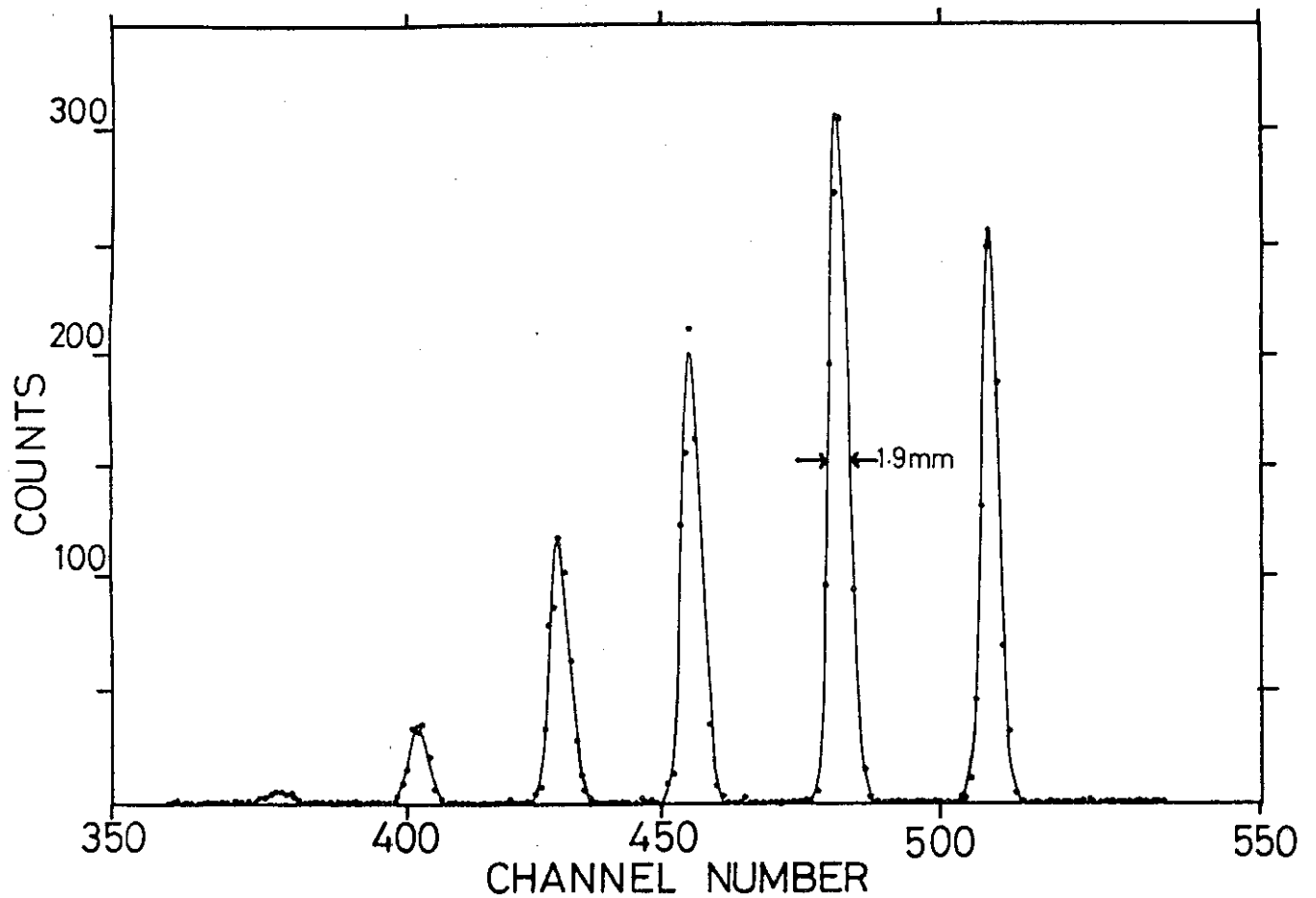


図7 位置スペクトル

テストベンチで測定された位置スペクトルを示す。

スリット巾1 mm, スリットの間隔10 mmであるが, 各スリットに対する $\alpha$ 線の入射角が同じでないのでピーク間の距離は一定ではない。スリットはシングルであるから $\alpha$ 線はカウンター内でスリット巾よりも拡っている。半値巾1.9 mm中 $\alpha$ 線による拡りは1.6 mmでありこれを除いたカウンターの固有分解能は1 mmである。

測定条件はガス圧50 mb, 比例計数管の芯線への付加電圧+850 V, 電離箱の陽極電圧+250 V, 陰極電圧-400 Vである。

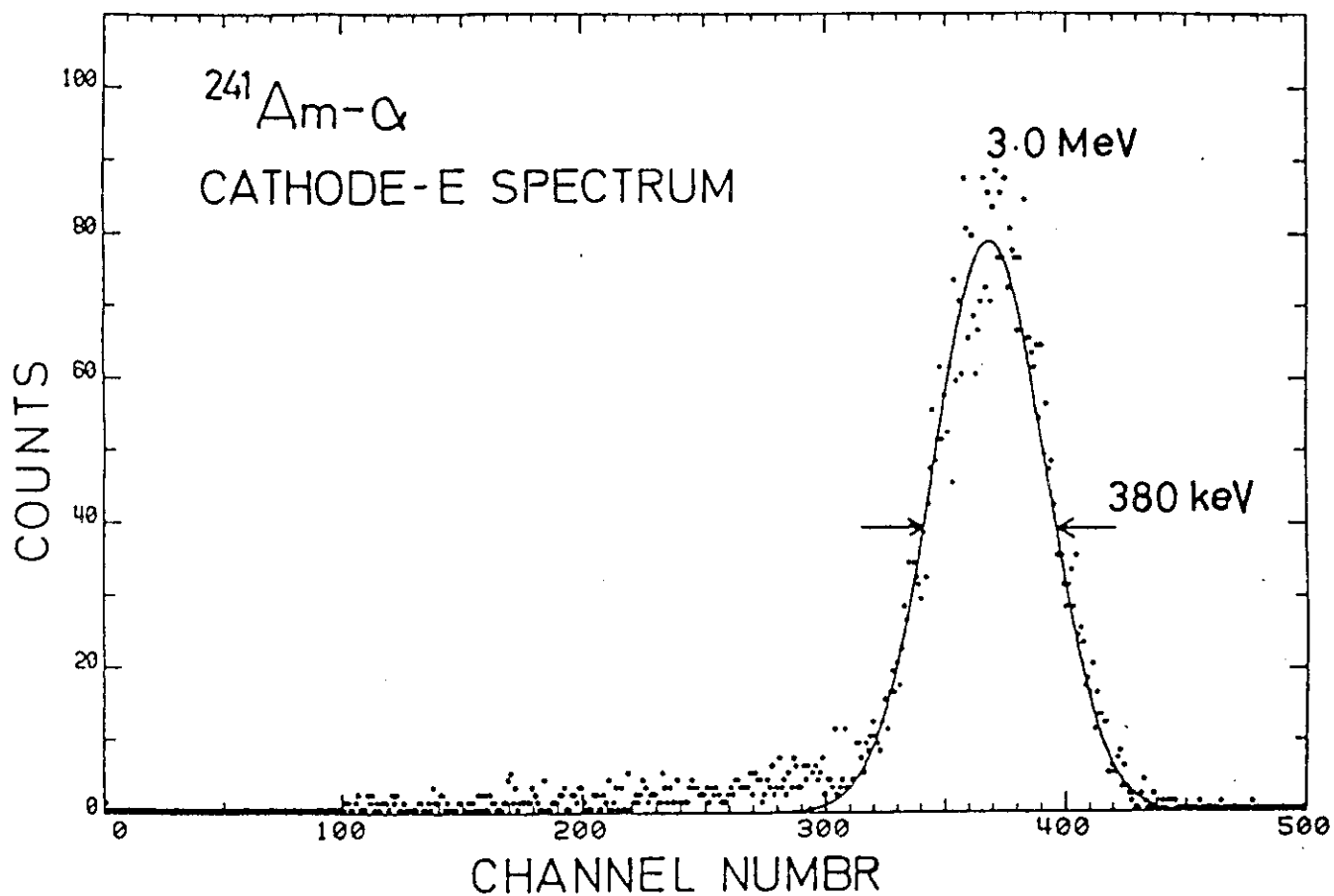


図8 Eカウンターのスเปクトル

テストベンチで測定した  $^{241}\text{Am}-\alpha$  線のEスペクトルであり、  
 図7において半値巾を示したピークでゲートしたものである。  
 図中の曲線はガラス分布の  $\chi^2$  フィットしたものである。

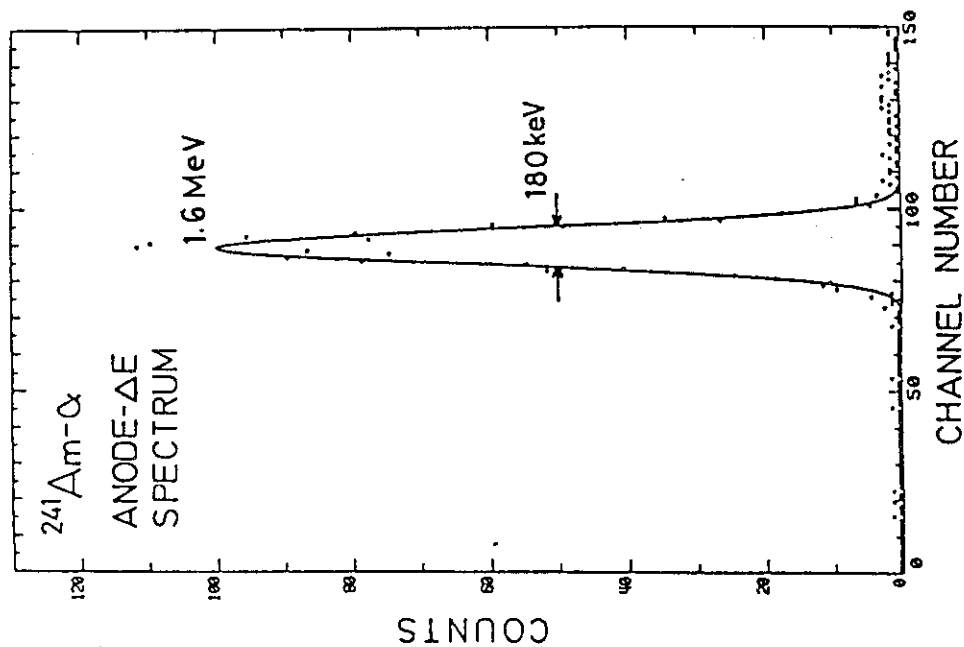


図9 4Eカウンターのスペクトル

テストベンチで測定した<sup>241</sup>Am- $\alpha$ 線の $\Delta E$ スペクトルであり、図7において半値巾を示したピークでゲートしたものである。図中の曲線はガウス分布の $\chi^2$ フィットしたものである。

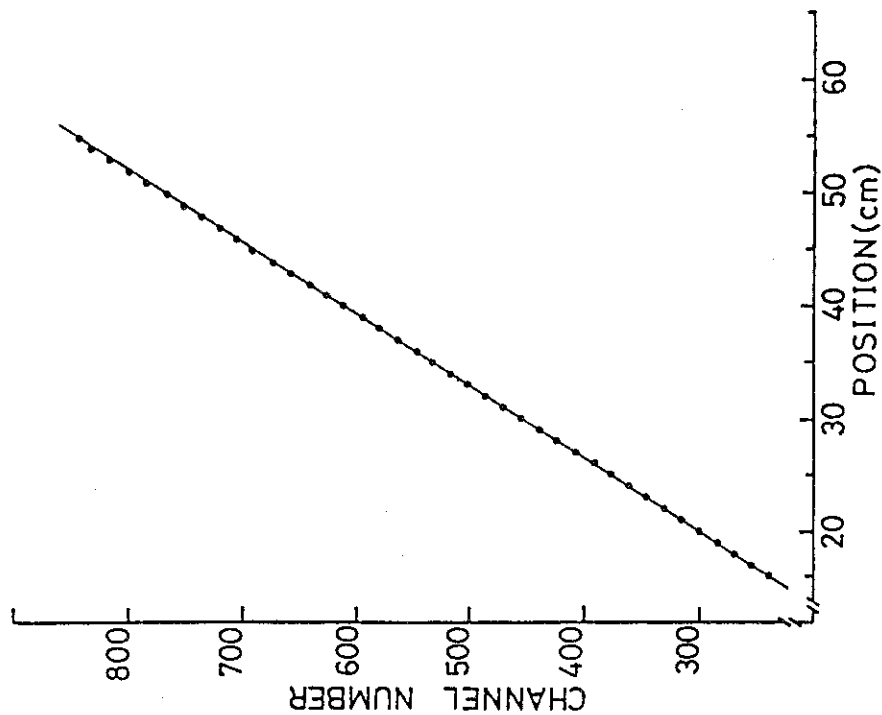


図10 位置検出器の直線性

ENMAスペクトロメーターに装着して測定した前段比例計数管の位置の直線性を示す。<sup>241</sup>Am- $\alpha$ 線をENMAの分析電磁石を通してカウンターに入射し順次、電磁石の磁場を変化させて測定した。

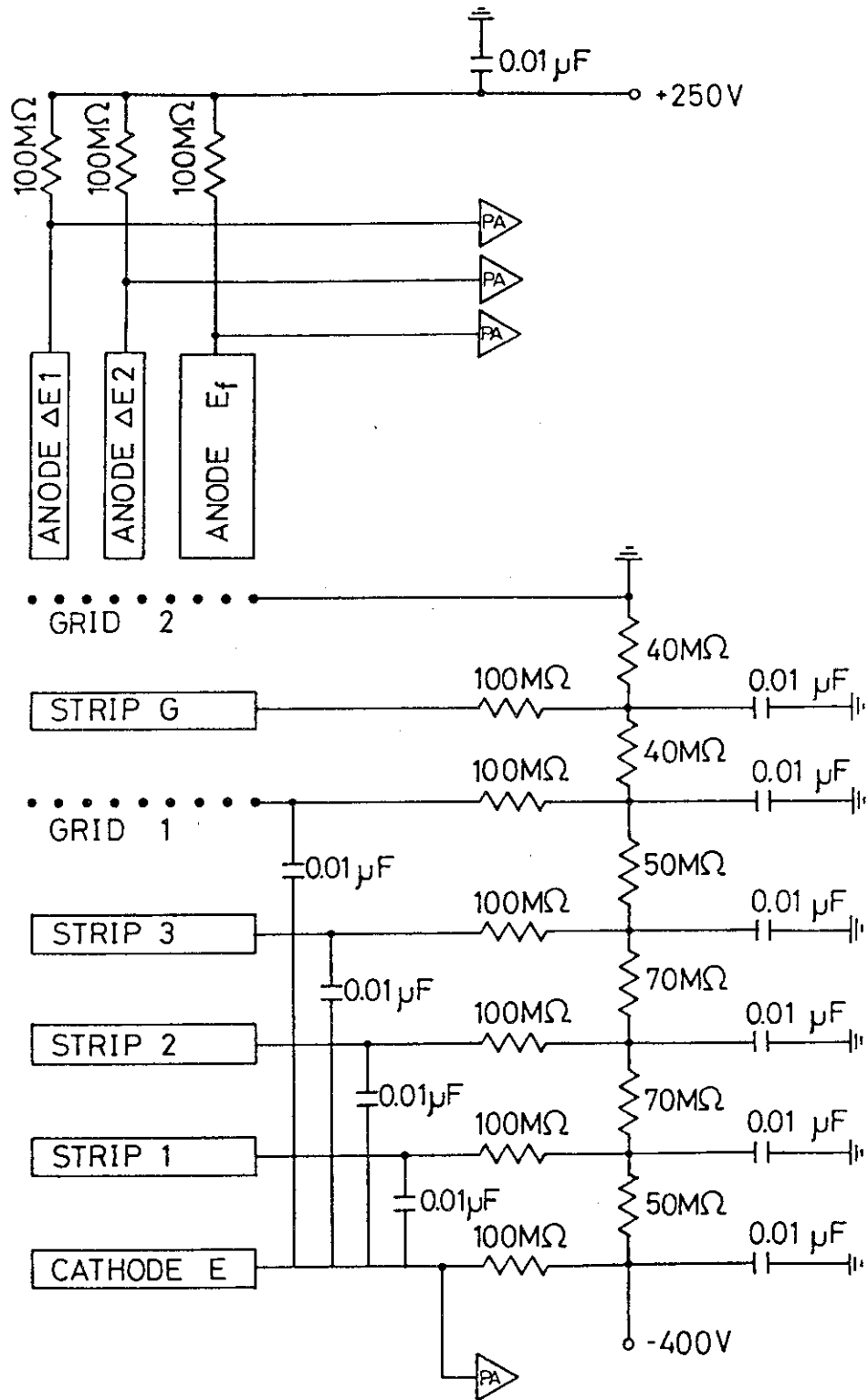


図 11 重イオン測定のために改良した電位分割回路  
 STRIP-G, STRIP-1~3は電場補償板に対応する。



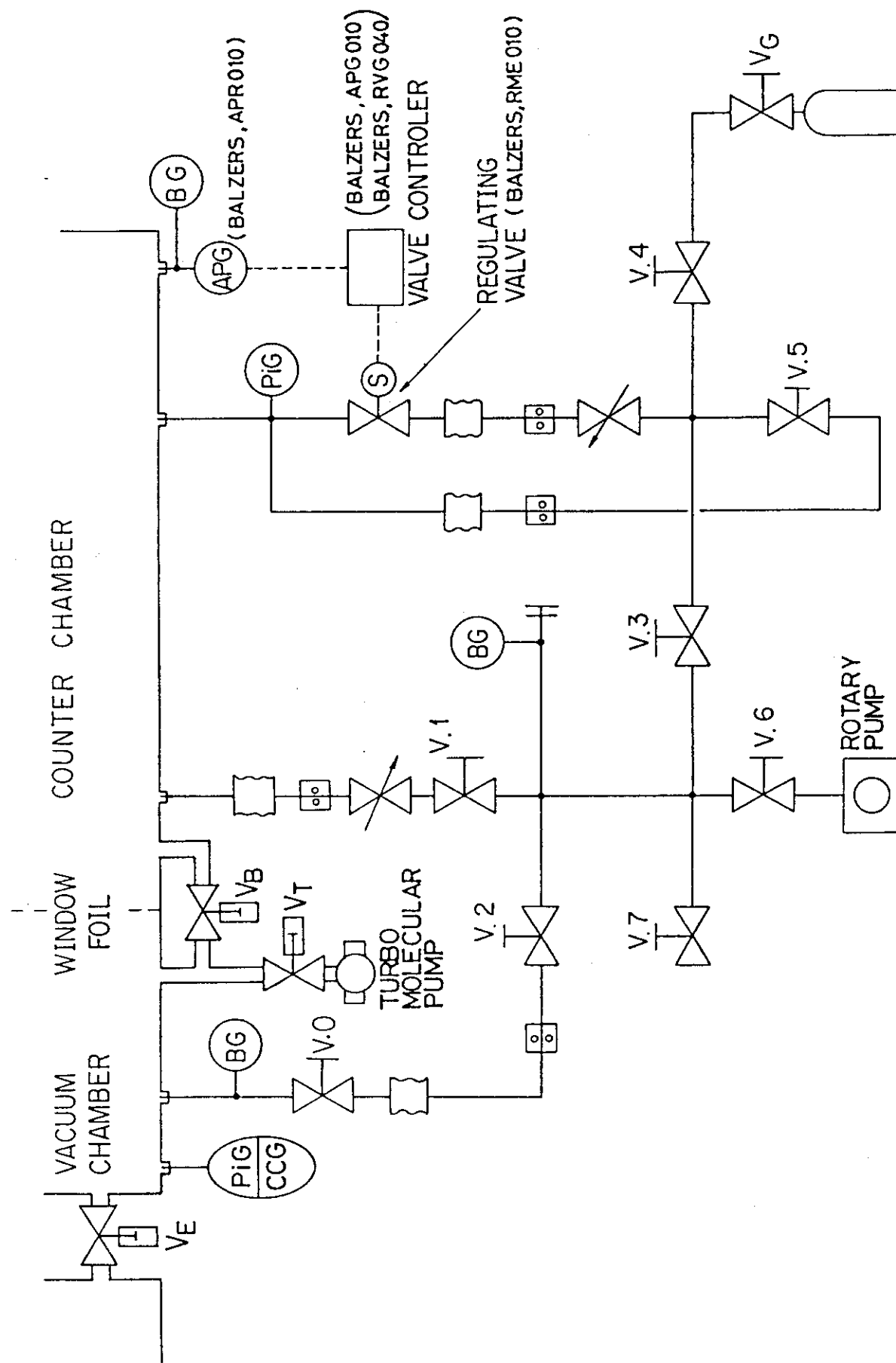


図 12 ENMA に装着した場合の総合的なガス操作系  
表 2 と共に、ガス操作系の状態に対するバルブ操作手順を示す。