

筑波大加速器センターラムシフト型偏極 イオン源の現状とそのComputer Control

筑波大

富沢正人

大和良広

田岸義宏

筑波大学加速器センターのラムシフト型偏極イオン源は、1976年に12UDペレトロン加速器において、初めて加速テストをおこなって以来、現在に至るまで、順調な動作を続けている。さらに最近いくつかの改良、開発がなされたのでそのことについて、簡単に述べる。

I イオン源本体

(i) セシウム領域の改良

図1は改良前のイオン源の、図2は改良後のイオン源の概略図である。改良前のイオン源では長時間運転によってセシウムの引出し電極等への付着による放電が問題となっていた。この原因の1つは引出し電極の直後にセシウム炉が置かれていることによるが、ただ引出し電極とセシウム炉の距離を離すことはビーム強度を減らす結果となる。そこで、引出し電極とセシウム炉の間に減速電極を兼ねた磁気レンズを設置することにした。この結果長時間運転後の放電の問題はほとんど無くなった。

次に、現在使用しているセシウム炉を図3に示す。このセシウム炉の特徴は、セシウムの消費量を減らすために、一度蒸発したセシウムをもう一度炉へ戻す工夫がなされていることである。そのためにセシウム炉の壁にはテーパーがつけられ、壁と衝突したセシウム蒸気を液化するために、お湯を壁内に循環させ、壁の温度を一定(40°C)に保っている。通常炉の使用温度(約175°C)で、セシウムの平均消費量は約0.03g/hourである。

(ii) 排気系の改良

従来のイオン源にはプロトンスピンプリップ用コイルがスピフィルターの後置されていた。そのためスピフィルター領域からの磁場の洩れ出しを防ぐために嚴重な磁気シールドがなされていたので、このシールドがアルゴンガスの排気を妨げ、偏極度等に悪影響を与えていると考えられた。そこで、フリップ用コイルを除去しスピフィルターの直後に開放型のクライオポンプが取り付けられた。これに伴いアルゴンチャンバも新しいものが取り付けられた。この一連の改良によって偏極ビーム強度は約1.5倍になり、偏極度も向上した。

(iii) フィラメント

従来duoplasmatronのアーク用フィラメントは、Niメッシュにケミカル R-500 をコー

テイングしたものを使用していた。このフィラメントは寿命を考慮して、約300hで交換していた。使用条件は、

フィラメント電流	40A
ガス圧	0.3~0.5 Torr (水素、重水素ガス)
アーク電流	5A~8A

である。

最近、このフィラメントのかわりに、高寿命で安定といわれるLaB₆フィラメントをテストを兼ねて使用した(図4)。その結果、上記とほとんど同じ条件で寿命は約1000hとNiフィラメントの約3倍の長さであった。ただしこのフィラメントは使用後に空気中に放置すると、傷みが激しく、このテスト期間に10回ほど大気にさらしているのも、もしこのようなことがなければ、寿命はもっと長いであろう。

(iv) ウィーンフィルター

従来のウィーンフィルターは、構造上の問題で電磁石の磁極中心と架台回転軸のずれが大きく、ビームトランスミッションに問題があった。その欠点を無くした新しいウィーンフィルターが現在設置されている。このウィーンフィルターは、磁極中心と架台回転軸の公差が0.08mm以内に押えられており、最大磁場は1753Gauss、磁極長は75.2cmで、あらゆるビームコースでスピン軸を任意の方向に向けることができる。新しいウィーンフィルターの設置に伴いスピン軸の校正をおこなった。この校正は、偏極重陽子ビームで、0度の測定においては、spin-stateが $m_l=0$ のときの反応粒子の数とspin-stateが $m_l=1$ のときの比が

$$\frac{\sigma^0(0^\circ)}{\sigma^1(0^\circ)} = \frac{1 - \sqrt{2}P \cdot T_{20}(0^\circ)(3 \cos^2 \beta - 1)}{1 + 1/\sqrt{2}P \cdot T_{20}(0^\circ)(3 \cos^2 \beta - 1)} \quad (1)$$

のように与えられることを利用したものである (β は、ターゲット上での、スピン軸のビーム方向からの角度)。反応は ${}^3\text{He}(d, p){}^4\text{He}$ を使った。実際の測定では、ウィーンフィルターの電圧をかえてゆき、その比が1になる所 ($\beta = 54.7^\circ$)を探した。あるコースによる測定結果を図5に示すがウィーンフィルターの電圧約50Vがスピン軸の 1° のずれに対応しているのも、この方法によって精度 1° 以内でスピン軸の校正ができた。

つぎに簡単に現在の偏極イオン源の性能を示す。

偏極重陽子強度

500nA (analyzed)

100nA (accelerated)

偏極度

75% (polarized deuteron)

85% (polarized proton)

なお、図6に去年度の筑波大学加速器センターにおけるイオン源の使用状況を示す。

II Computer Control

(i) スピンステイトコントローラー

今まで加速器センターには、PC-8801, S-100 bus system を用いた2-bitのコントロールラインをもつスピンステイトコントローラー (F A S S I C S) が存在したが、老朽化に伴う故障、さらには、ユーザーによるこのシステムの拡張の要求もあって、4-bitのコントロールラインをもつ新しいスピンステイトコントローラーを開発した。このシステムの特徴は次の通りである。

1. スピンステイトを切替える基準 (ビーム量、時間) を決めるために、市販されている preset-timer counter (NIM module) を使用
2. 構造を平易にして内容の変更、拡張が容易
3. スピンステイトコントロールと同時にオンライン偏極度モニターとしても動作

図7に、このシステムの概略図を示す。PC-9801にPI/Oボードとカウンターボードが装着されている。コンピューターは、ゲートモジュール (NIM) を通して preset-timer counterの制御、データ収集用各種ゲート出力、そしてスピンステイトコントロール信号の出力をおこなう。カウンターボード、カウンターモジュールは、偏極度のモニタリングに使われる。スピンステイトコントロール信号 (TTL) は、イオン源室において、optical link module 1 で光に変換され、optical fiber によって高電圧上に置かれている optical link module 2 に伝えられ、そこで制御信号に変換される。さらに、optical link module 1 では、イオン源立上げ時のためのために、ローカルモードでスピンステイトを換えられるようになっている。

偏極陽子の場合、スピンステイトは、スピンステイトフィルター、アルゴン領域の磁場の正、反転によってスピンステイトを換えている。偏極重陽子の場合、スピンステイトフィルターの主磁場を $m_I=0$ (575G) に合せ $m_I=1, -1$ のステイトはスピンステイトフィルターのモジュレーションコイルに、電流を正、逆に流すことによって $m_I=-1$ (585G), $m_I=1$ (565G) を得ている。さらにこのスピンステイトコントローラーによって、主磁場を $m_I=1$ (565G) に合せ、 $m_I=0$ の状態はモジュレーションコイルに電流を流すことによって、 $m_I=-1$ の状態は、 $m_I=1$ の状態でスピンステイトフィルター、アルゴン領域の磁場の反転によって、スピンステイトを切替えることができるようになった。この方法は、偏極度に関して前に述べた方法よりも優れている。

(i i) パソコンと C A M A C による制御

筑波大学加速器センターのタンデム加速器においては、イオンビームを効率良く加速するために 100 k e V 以上のエネルギーを必要とする。従って、そのイオン源は全て、100 k V の高電圧下に設置されている。偏極イオン源から最適なビーム出力を得るためには、100 k V 高電圧下に設置されている種々の電源装置等を調整する必要がある。今までこの調整は、高電圧防御フェンスの外から絶縁棒を介して手動で行なわれてきた。そのためイオン源の調整等は9階イオン源室の現場でしかできず、また、イオン源の各種パラメータの値を常に2階制御室で監視することができず不便を生じていた。そこで、今回パソコンと C A M A C を用いた制御システムを開発し、偏極イオン源の各種パラメータを集中して現場及び2階制御室でコントロールできるように開発を行なった。

1. システム構成

・電源装置

偏極イオン源の様々な電源で、0～10 V の電圧で出力電流又は出力電圧のフルスケールをコントロールでき、0～10 V の電流及び電圧のモニター出力が付いている。

・パーソナルコンピュータ

N E C P C - 9 8 0 1 E / M

・タッチパネルディスプレイ

L E D 、 P D 感知型

・ C A M A C モジュール

P C 用クレートコントローラー、D A C (8 c h) 、 A D C (3 2 c h)

・ P C モジュール

D A C / A D C 、 P I O

・ R S - 2 3 2 C 光ファイバーデータリンク

システムの配置は図 8 参照。

2. プログラム

コントロールソフトウェアのプログラム言語は、P C - 9 8 0 1 シリーズの特殊な機能をフルに活用するため、B A S I C を使用した。

(動作環境は、M S - D O S 上の B A S I C コンパイラーでコンパイルしたものを使用している)

マン・マシンインターフェースの充実を図るために、グラフィクスは念入りにプログラムした。

グラフィクスは図 9 、 1 0 参照。

3. 動作

- ・ディスプレイがマルチスイッチになっていて、RS-232Cを介して電源装置がコントロールできるようになっている。
- ・電源装置のパラメータ、真空値がリアルタイム表示。
- ・イオンビーム種類別の標準パラメータ自動設定。
(タッチパネルの特性上プロテクションが難しく、現在不使用)
- ・全電源装置の停止及び最終パラメータへの自動復帰。
- ・全パラメータのディスク及びプリンターへの記録。
- ・定時のパラメータプリントアウト。(1日3回)

詳しくは、筑波大学技術報告(パソコンとCAMACによる偏極イオン源の制御:大和良広)別刷り参照。

4. ノイズ対策

偏極イオン源では、電源装置や真空ポンプ、コイル磁場反転用リレースイッチ、高電圧電極の放電等から、多種多様のノイズが発生している。このため、コンピュータやCAMACは誤動作を起こしたり、システムダウンを起こしたりしやすい。コンピュータやCAMACにこの影響がないように、次の様な対策を講じた。

- ・DAC/ADCのIN/OUTに対しては、バリスタ、コンデンサ、抵抗を用いたフィルターボックスを設けた。
- ・コンピュータ、CAMACの電源(AC100V)に対しては、絶縁トランス→安定化電源→OA用ノイズフィルターという様に設置している。
- ・DAC/ADCの電源に対しては、全てのICにパスコンを設けた。

5. システムの特徴

- ・日本語表示なので、非常にわかりやすい。
- ・1画面でほとんどのパラメータが常にわかる。
- ・コントロール系が1対1なので、誤操作が少ない。
- ・RS-232C通信方式なので、コントロール端末の移動が容易である。
- ・パソコンを使っているので、ソフトウェアの開発が容易である。

6. 今後の開発予定

- ・ユーザー毎のファイルによるパラメータ管理。
- ・マン・マシンインターフェースの改善を行なう。
(キーボード、マウス、ロータリーエンコーダ等を考えている)
- ・高電圧架台のスペースの問題から、制御機器のコンパクト化を行なう。
- ・ソフトウェアの進歩に伴い、C言語への書き換えも予定している。

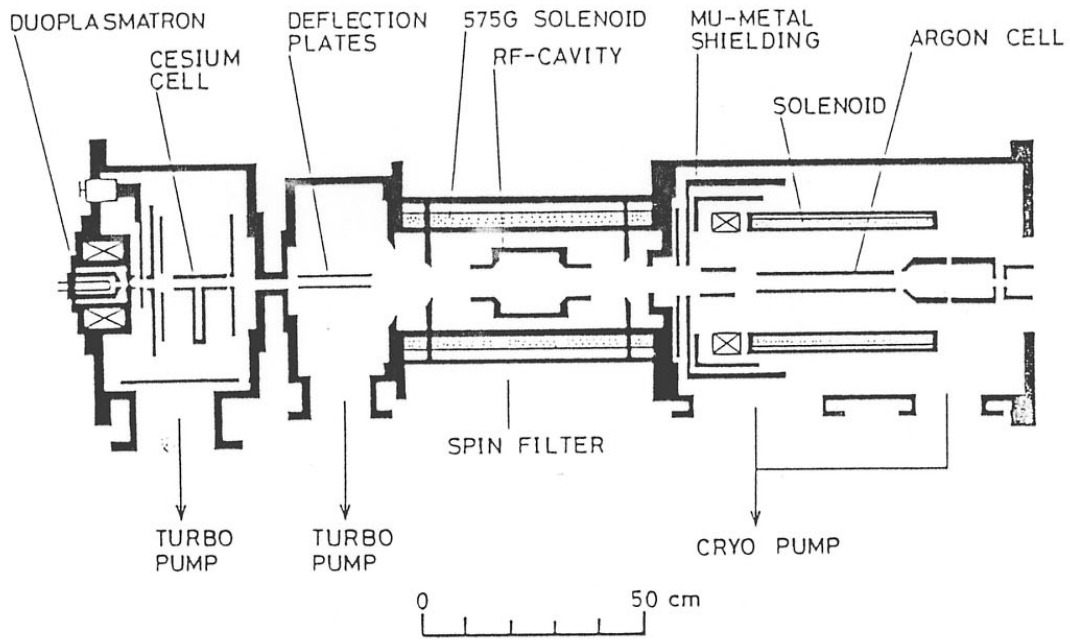


図1 改良前の偏極イオン源の概略図

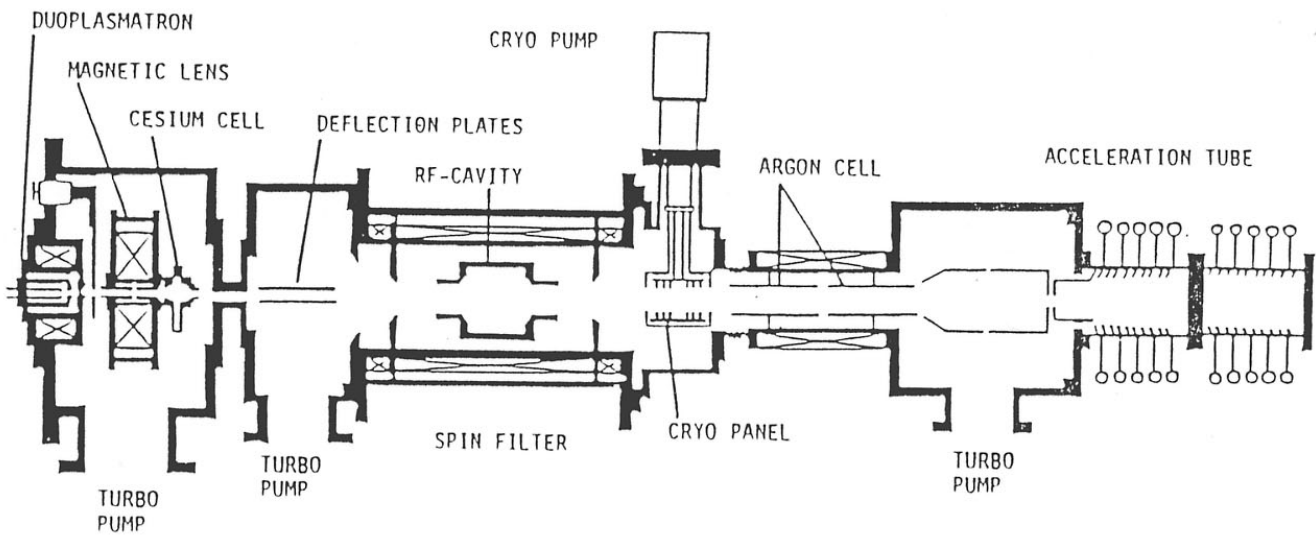


図2 改良後の偏極イオン源の概略図

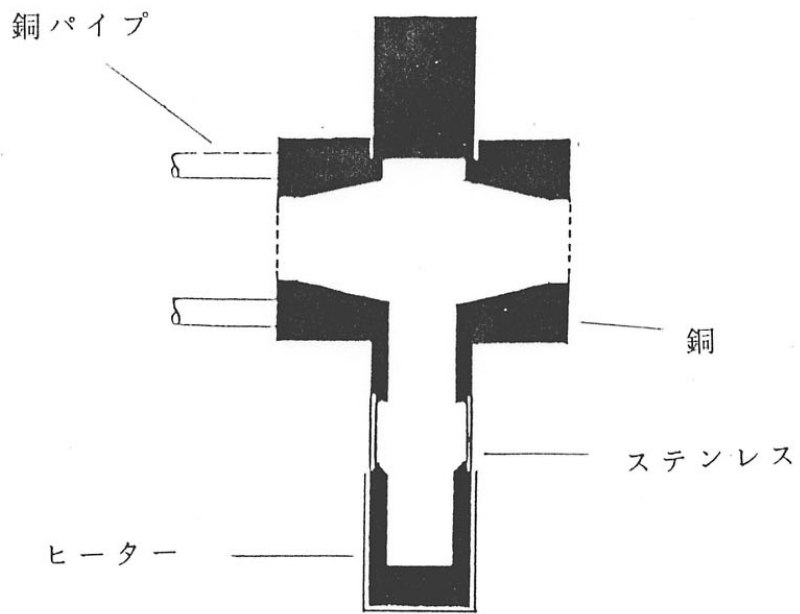


図3 セシウム炉

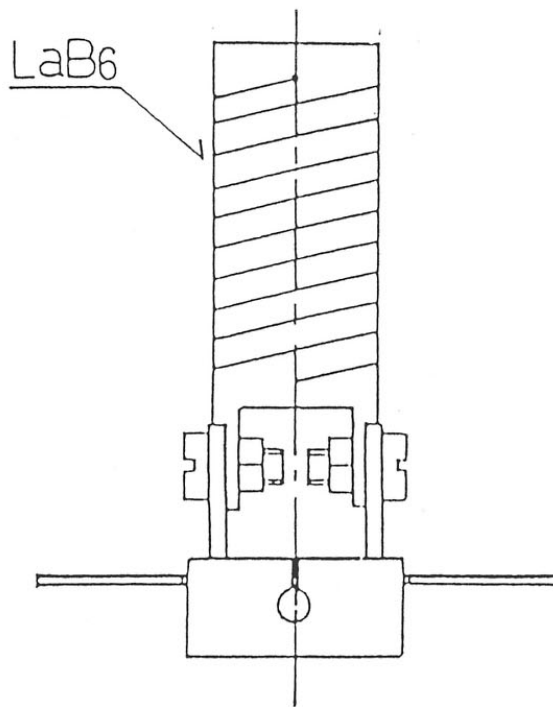


図4 LaB₆ フィラメント

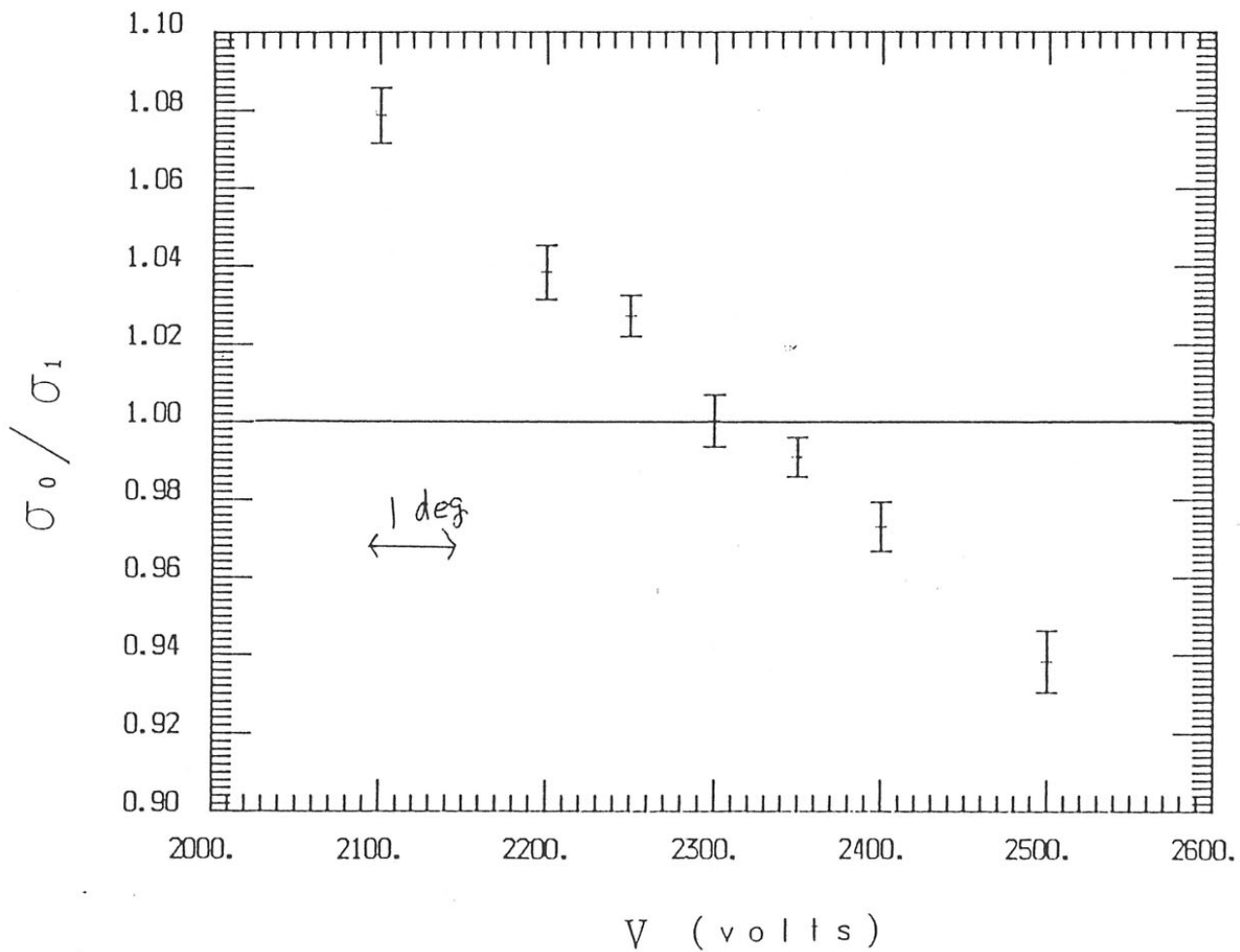


図5 ウィーンフィルターの電圧に対する σ_0 / σ_1

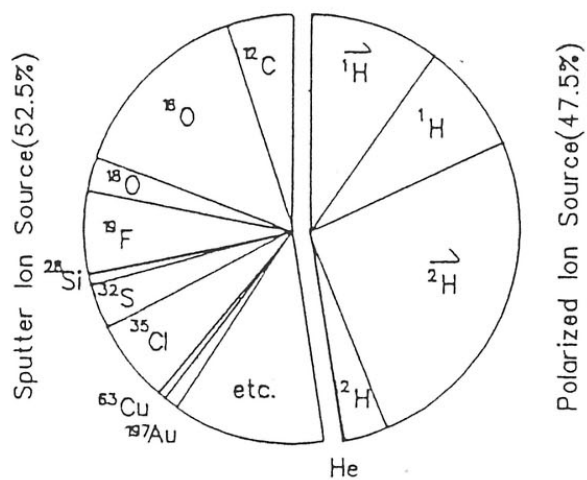


図6 1988年度イオン源の使用状況

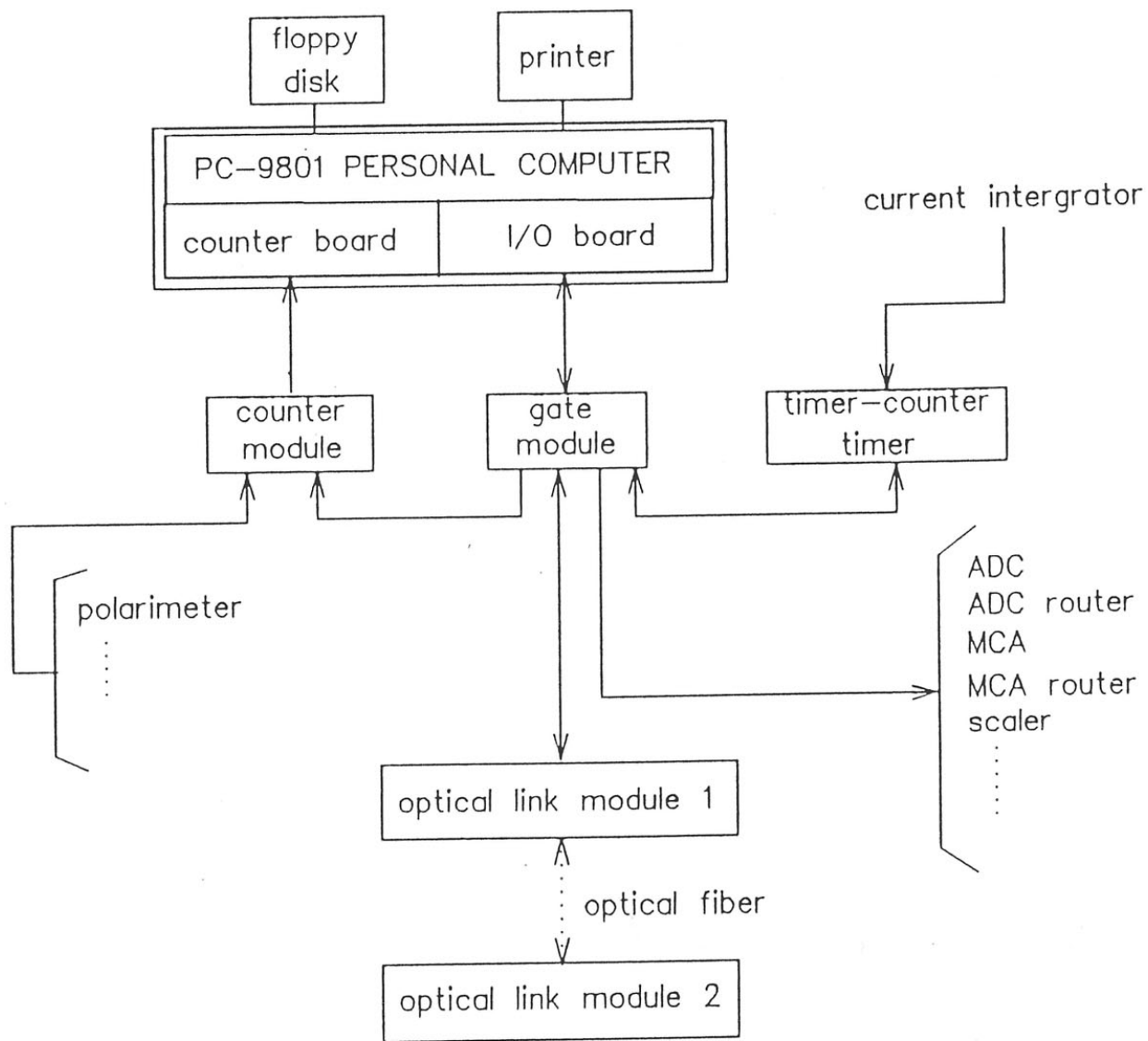


図7 新スピンステイトコントローラーの概略図

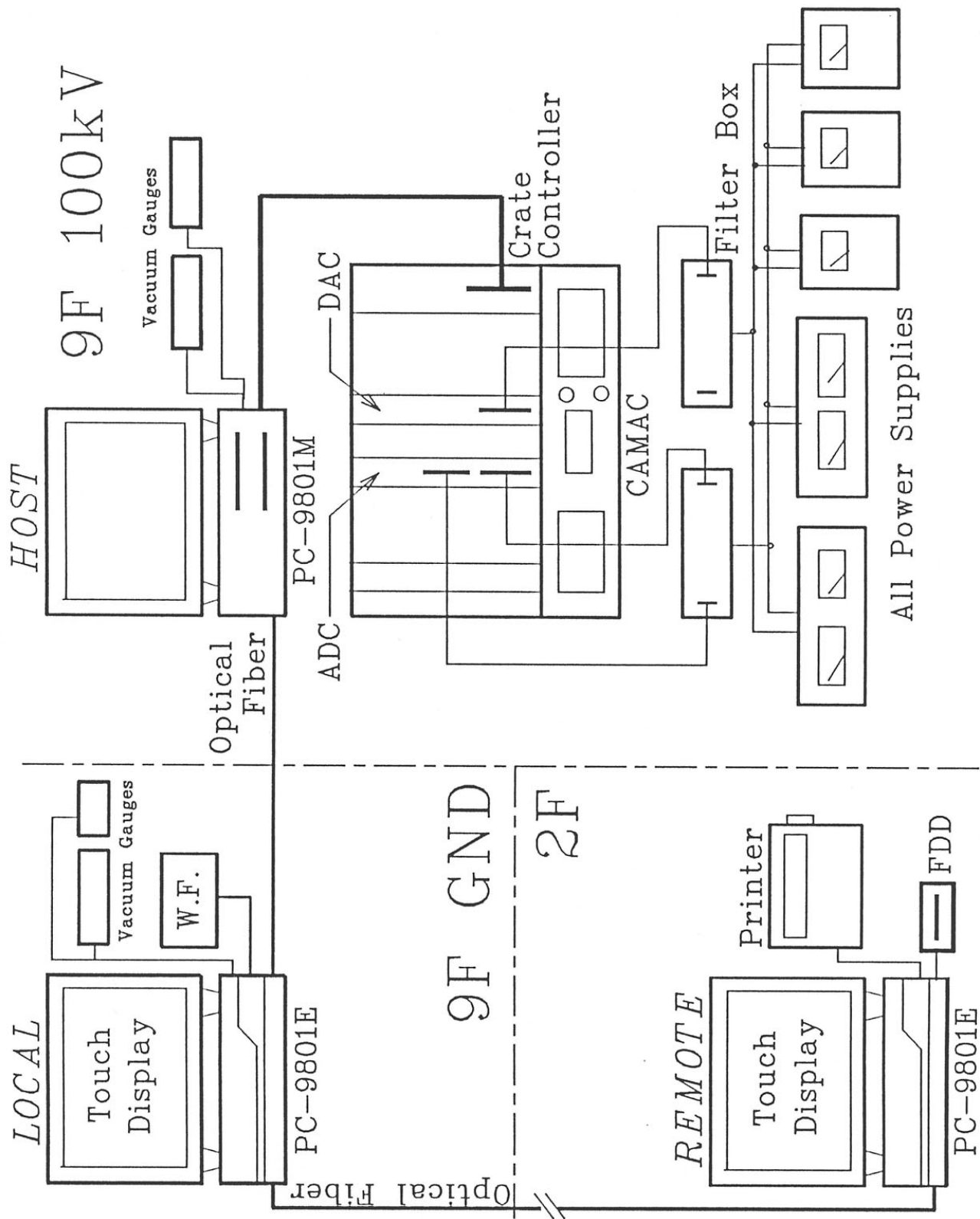


図8 偏極イオン源制御システム配置図

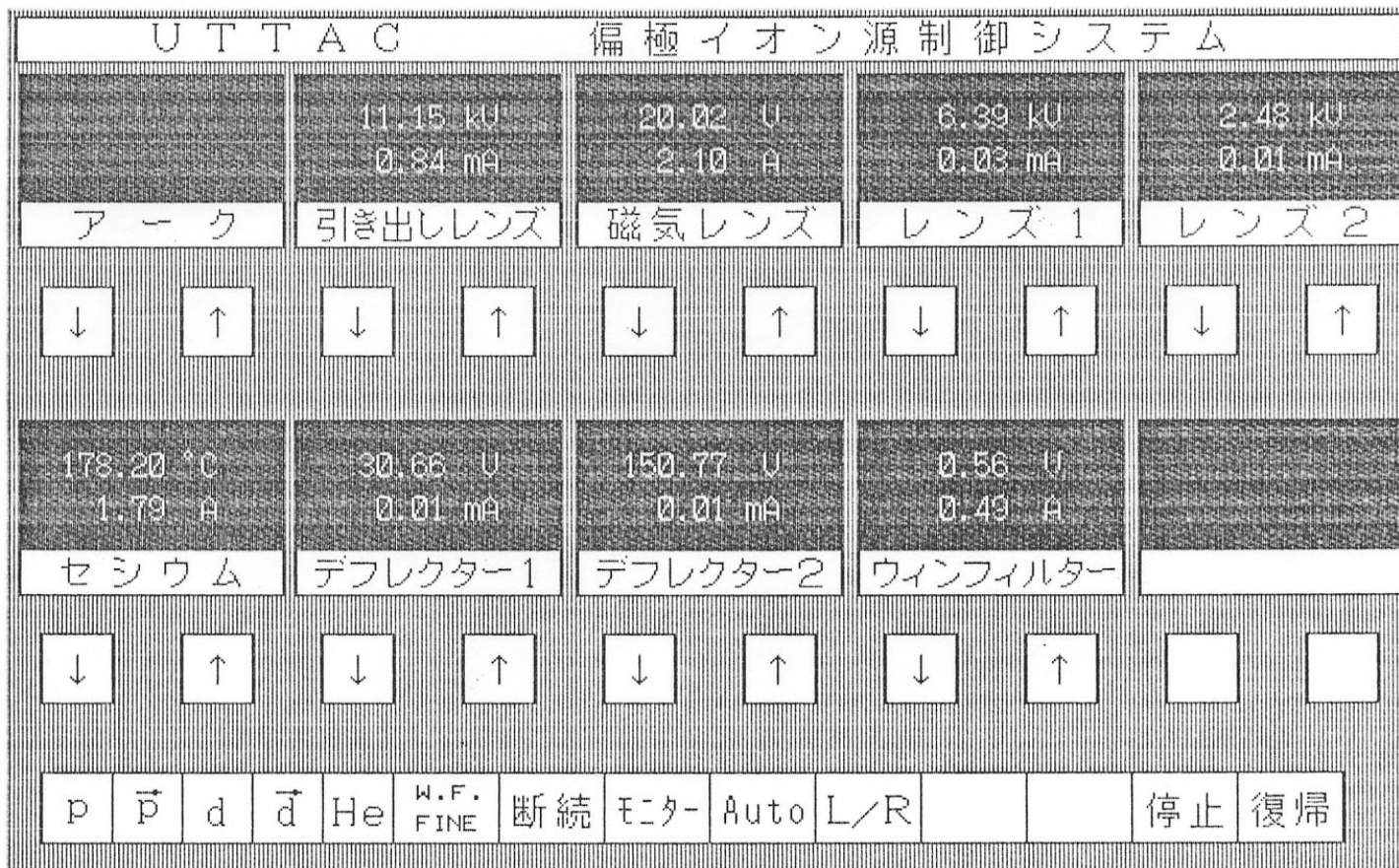


図9 コントロール画面グラフィクス

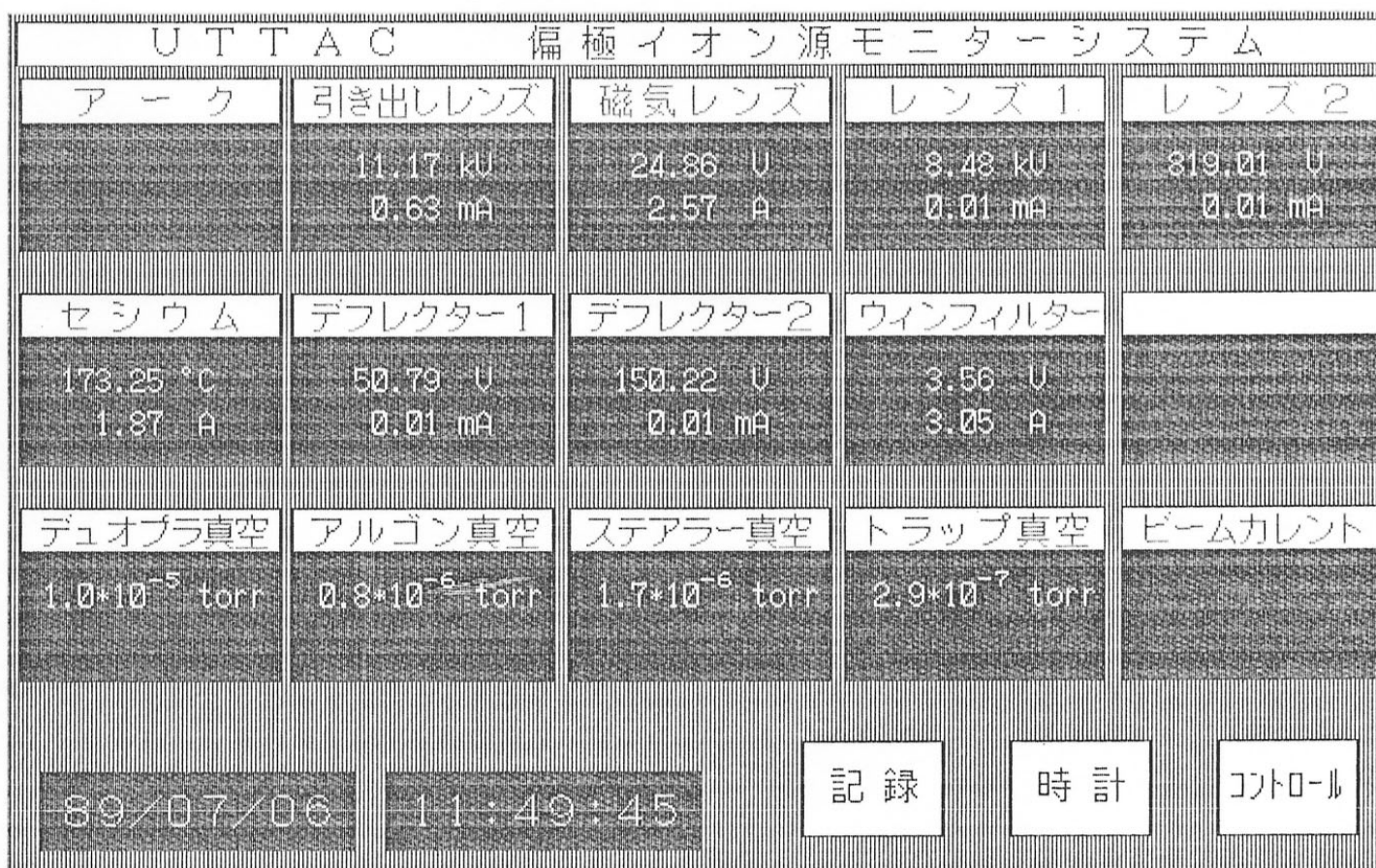


図10 モニター画面グラフィクス