

# 水素分析用マイクロビーム制御システムの開発

大和良広、古野興平、笹公和、大島弘行、木村博美  
筑波大学 加速器センター  
<http://www.tac.tsukuba.ac.jp/>

## 1. はじめに

筑波大学加速器センターでは、陽子及び重イオンのマイクロビームによる地球科学試料中の水素・軽元素分析システムを開発している。このシステムにおけるビーム輸送並びにマイクロビーム形成に Windows 2000 ベースの PC と YOKOGAWA WE7000 シリーズを用いた制御システムを開発し、良好な結果が得られたので報告する。ビームライン上の各光学要素に対する計測・制御の通信は 100BASE-TX のイーサネットであり、コントロールソフトウェアの開発は、Visual C++ で行った。

## 2. 開発目標

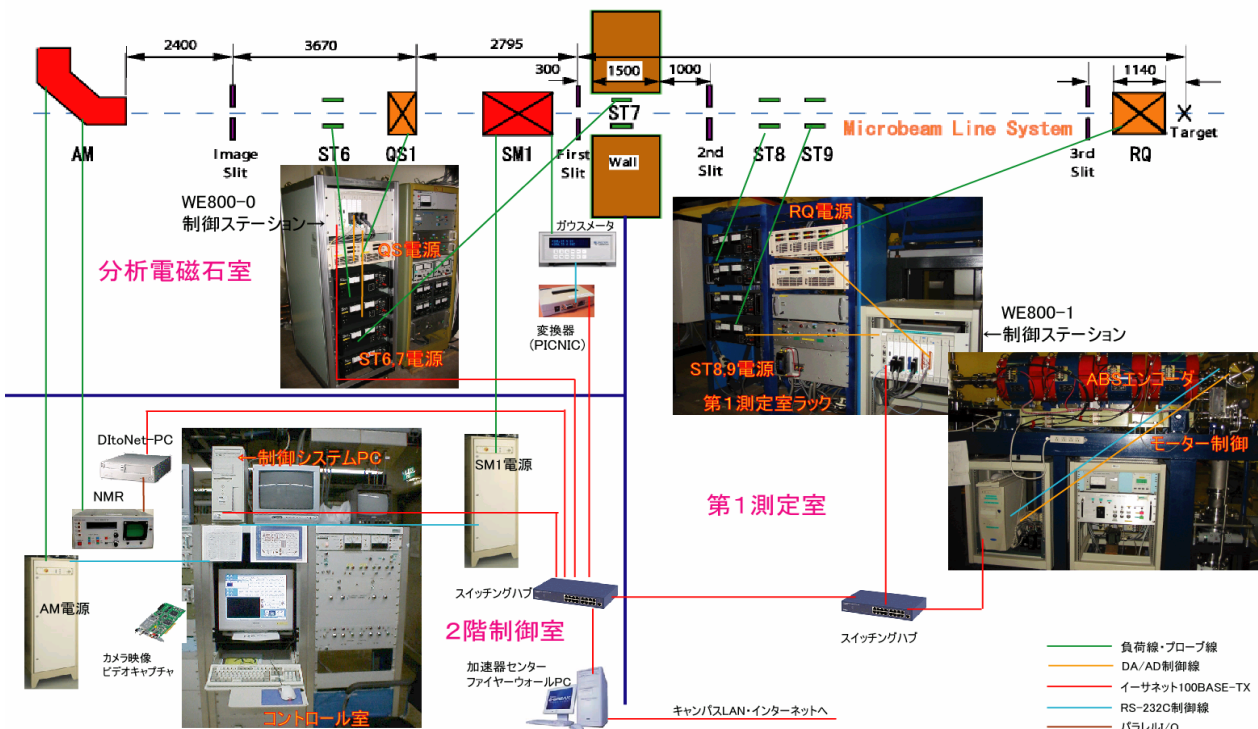
短時間で所定エネルギーのビームをターゲットに輸送し、マニュアル制御は極めてリアルタイム制御(アナログメタルワイヤー制御)に近い状態に最適化する。

## 3. ビーム制御システム

筑波大学加速器センターでは、従来からアナログメタルワイヤーによる計測・制御を行っており、そのため膨大な量のケーブルがケーブルラックに張り巡らされている。現在ケーブルラックにはほとんど空きが無く、新規に機器の計測・制御を行う場合に、新しく多数のアナログメタルワイヤーを引くことは物理的に不可能である。そこで信号の多重化が必要になるが、安定動作の実績があり、規格として寿命の長い通信手段の 100BASE-TX のイーサネットを用いた。マイクロビームシステムの開発が始まってまもなく高速キャンパスネットワーク工事により当センターの各フロアに 100BASE-TX コンセントが設置された事も通信手段の選択に寄与した。

図1に制御系統図を示す。

## 水素分析用マイクロビーム制御システム 制御系統図



2階制御室に置かれたPCにより2台のYOKOGAWA 計測ステーション WE-800<sup>1)</sup> を介して各電源装置の入出力の AD/DA を行っている。モジュールは、PSI モジュール WE7035(12bitAD/DA) 及びロシアン Q(RQ)マグネット用には高分解能・高安定度が要求されるため 4ch100kS・デジタイザモジュール WE7271(16bitAD)と 4ch100kS-DA モジュール WE7281(16bitDA)を用いている。電源装置には、マグネティックステアラー用に高砂製作所のバイポーラ電源 BWS40-7.5 を使い、Q マグネットには同社のスイッチング電源の EX シリーズを用いた。この EX 電源のリップルがビーム径を拡大するので、リップルを最小限にするため電源装置の出力の負極を太い導線でアース接地し、負荷端に 330  $\mu$  F の電解コンデンサと 2.2  $\mu$  F のポリエステルフィルムコンデンサを並列に取り付けた。

図2に測定室の制御系外観を示す。

AM 磁場の測定はエコー電子 NMR の BCD 出力を PC により変換し UDP で読みに行き、SM1 の磁場は Lake Shore のガウスメータの RS-232C 出力を LAN アダプター PICNIC<sup>2)</sup> を用いて読み出している。AM, SM1 の DANFYSIK の電源は RS-232C で制御する。

[測定室マグネット用電源装置及びコントロールモジュールの外観]



図2 測定室マグネット用電源装置及びコントロールモジュールの外観

#### 4. ターゲット制御システム

ターゲットステージのモーターコントロール(図3)はビームライン最後部の PC で行っており VNC により2階制御室でコントロールしている。ターゲットステージの移動はステージの各軸に接続された高精度ボールネジとマグネットカップルを介して直結されたオリエンタルモーターの  $\alpha$  ステッピングモーター AS シリーズの超高分解能な回転により行われている。

ギヤを使わずステージを直動しているためモーターの性能を十分に活かしており 100mm 程度の長距離移動を繰り返した後の位置の再現精度も 2  $\mu$  m 以内である。制御ソフトでは 1 パルス=1  $\mu$  m の設計で移動距離の入力後 S 字加減速動作を行っている。

[ターゲットチェンバーと顕微鏡の外観]

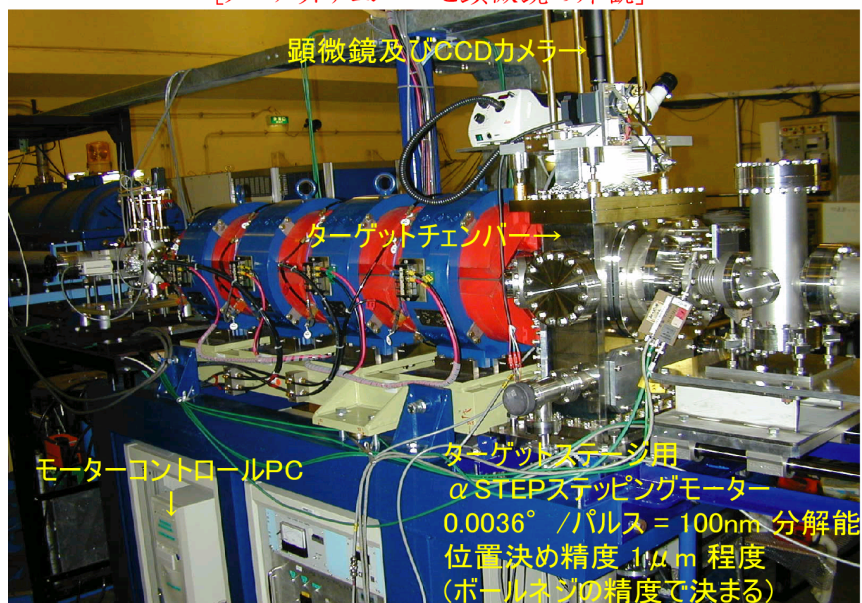


図3 ターゲットチェンバーと顕微鏡の外観

<sup>1)</sup> <http://www.yokogawa.co.jp/Measurement/Bu/WE7000/>

<sup>2)</sup> <http://www.tristate.ne.jp/picnic.htm>

## 5. ソフトウェア

図4にビームトランスポート系の制御画面を示す。制御ソフトウェアは Windows の特徴を生かした設計をした。ファイル選択などコンマダイアログを用いており誰でもマニュアル無しで使えるように心がけた。データの保存形式は CSV(Comma Separated Value)を用い、トランスポートデータ復帰用データとログ収集・保存用 Excel データを同時に保存するようになっている。

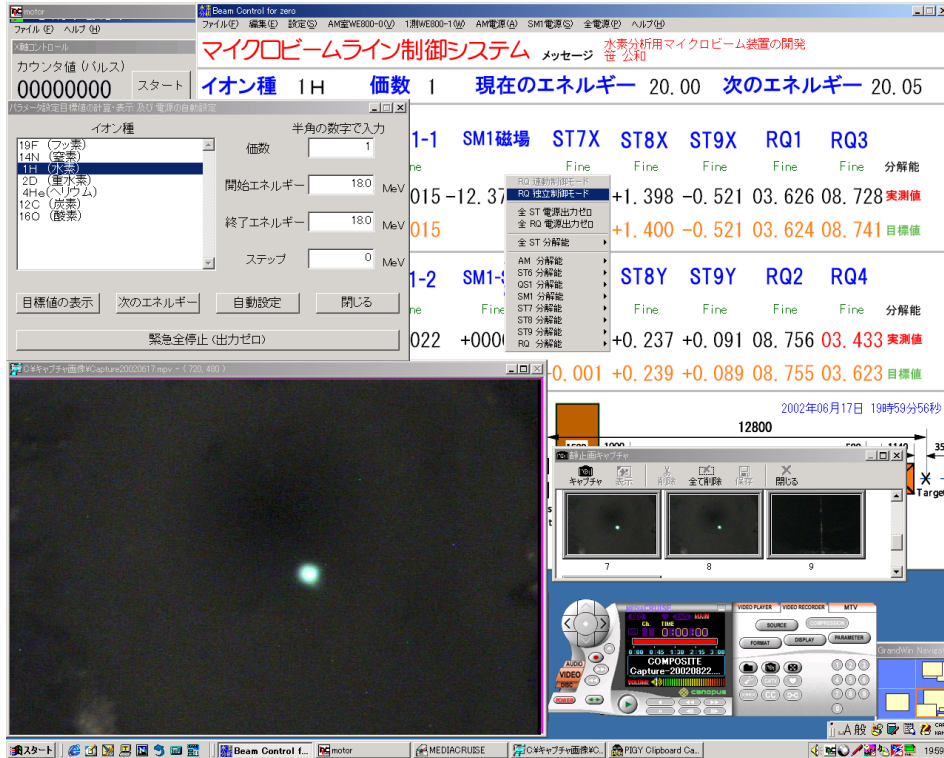


図4 ビーム制御画面

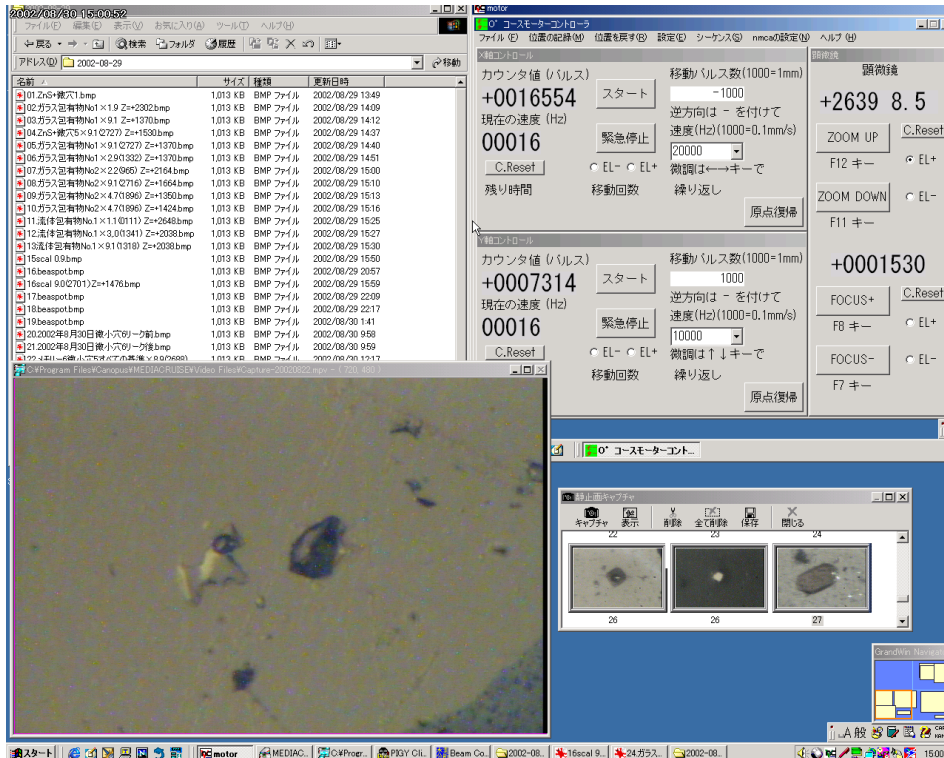


図5 ターゲット制御画面

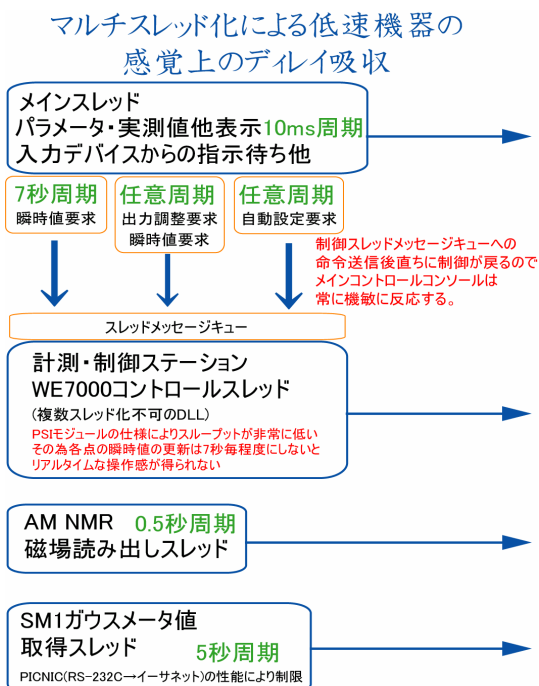
手動制御方法は、マウスにより画面の制御対象を左クリックで選択後、マウスホイールを上下に回して電源の出力をリアルタイムに調整する。これによって発光体ビームモニターを用いたビーム収束状況の観察やメータによるビーム電流変化の観測に集中することができる。分解能の切替や出力のリセットなどは右クリックメニューで選択する。ショートカットキーによる俊敏な動作も可能である。

図5は、ターゲットステージ制御画面と顕微鏡キャプチャ映像である。ビーム制御ソフトとターゲットコントロールソフトを同時に使うと表示面積が足りないため仮想画面ソフトウェアを使い、用途に応じて切り換えて使っている。ソースコードの量は、コメント等も合わせビーム制御システムソフトウェアが合計約 4,600 行、ターゲットステージコントロールソフトウェアが合計約 3,900 行である。

コントロールソフトウェアのプログラム開発は、実行形の最高速度を得るために Visual C++ 6.0J SP5 を用いて C 言語で行い、図6の様に4つ以上のスレッドを並行して走らせるマルチスレッド及び投棄的命令発効によりディレイのある機器を体感させない工夫を施した。ただし、PSI モジュールのスループットが非常に低くチャンネル数が多くなると、これがネックになりその部分を根本的に改善する事は出来ていない。

## 6. WE7000 を使った場合のメリット・デメリット

計測・制御に関する API が全て揃っており機器を直接コントロールするような低レベルでのソース編集の必要が無い点は大変メリットである。しかし、トータルスループットがかなり遅かったり、不具合がある場合にその部分がブラックボックスであるためハード的にもソフト的にもこちらで修正できない点が開発の機動性が悪い点でデメリットである。ただし、YOKOGAWA のサポートは大変しっかりしており問題解決はほぼ可能。



## 7. 本システムの主な機能

- ・ ビームトランスポートデータの実測値表示・保存・読み出し・目標値表示・自動設定
- ・ ロシアン Q-Mag.(RQ) RQ1,4,RQ2,3 連動制御モード・独立制御モード
- ・ 別 Window での AM 磁場計算によるスケールリング・目標値表示・自動設定
- ・ ビデオキャプチャーによるビームモニター・動画・静止画記録
- ・ ビームトランスポートパラメータの自動保存 (csv 個別データ・まとめデータ)
- ・ ターゲットステージのモーションコントロール (X, Y, Z, ZOOM の4軸ステッピングモータ)
- ・ ターゲットステージのシーケンス動作とネットワーク MCA の MCS 動作との連動
- ・ ターゲットステージの位置メモリー40カ所+ファイルへの保存・読み込み

## 8. トラブル・対処・苦労話

- ・ WE7000-PSI(電源 I/O)モジュールから不正電圧が出て電源装置の OVP(Over Voltage Protector)が点いてしまい操作不能になった。→ YOKOGAWA でファームウェアの書き換えと回路修正で対応。更に電源装置の OVP 反応速度を鈍らせるためにコンデンサを付加
- ・ WE7000 が仕様通りに動作しない部分があった
- ・ AM NMR のパラレル読み出しで 5V 電源容量が足りなかった→レギュレータ交換
- ・ ガウスメータ(7bit パリティ奇数)と PICNIC(8bit パリティ無し)の仕様の違いによるデータ読み出しの細工が面倒だった。また PICNIC が非力なため更新周期も 1 秒以上上げられない
- ・ VC++は画面設計のサポートが十分ではないので GUI の設計・製作に苦労した
- ・ 高精度モーターの選定とそのコントローラの選択にテストを含め時間を要した
- ・ ネットワーク MCA の制御部に非常な試行錯誤が必要だった
- ・ モーターコントロールボードのドライバ不良によりリミットスイッチを破損した

## 9. まとめ

共鳴核反応に必要な 16~25MeV の <sup>19</sup>F ビーム、及び ERCS に用いる 20MeV 陽子ビームを約 30 ミクロン程度に絞るマイクロビーム収束系、並びに照射試料の駆動を PC で制御するシステムを完成させた。手動制御の感覚はアナログメタルワイヤーとほぼ同程度の反応である。電源装置の出力設定を前回のビームトランスポートデータに約 30 秒で自動設定でき、ビームの再現性も良好である。ステージモーターコントロールは位置決め精度 1 μm(モーターの精度は 100nm)で4軸同時動作可能であり、位置の再現性も極めて良好。今後、2次元データ収集システムとの連携によるターゲット自動移動及び自動解析、定量データの即時提示を実現していく予定である。