

# 加速器調整履歴の蓄積

早川 建<sup>1,A)</sup>、横山和枝<sup>A)</sup>、田中俊成<sup>A)</sup>、早川恭史<sup>A)</sup>、佐藤 勇<sup>A)</sup>、  
境 武志<sup>B)</sup>、菅野浩一<sup>B)</sup>、石渡謙一郎<sup>B)</sup>、

<sup>A)</sup> 日本大学量子科学研究所

〒274-8501 船橋市習志野台 7 - 24 - 1

<sup>B)</sup> 日本大学理工学部理工学研究科

〒274-8501 船橋市習志野台 7 - 24 - 1

## 概要

日大 LEBRA の電子線形加速器はビームを維持するために、オペレーターが付いて調整していなければならない。オペレーターの負荷を軽減するために、半自動もしくは自動運転ができることが望まれる。加速器運転中はビーム維持のために、オペレーターはマイクロ波の位相とステアリングコイルを含む収束系の調整を行なっている。この調整操作を記録し、その記録を解析することによって、加速器の挙動と運転制御の手法を評価する。この結果とビーム変動要因の解析に基づいて自動運転のシステムを構築する予定である。

## 1. はじめに

現在加速器の運転操作は、タイミングの調整、クライストロンパルス電圧の昇降、電子銃の操作を除いて、全てパソコンを通して行なっている<sup>[1]</sup>。従って、オペレーターの行った調整行為を記録するのは比較的容易である。第2章で、制御システムのハードウェアの概要を、第3章でデータ集積を含むソフトウェアを簡単に説明する。第4章で、蓄積されたデータの例を紹介する。

## 2. 制御システム

制御用に使っているパソコンはクロック 1GHz の

Celeron プロセッサを搭載しており、この用途には十分な性能を持っていると思われる。各機器の配置を図1に、パソコンと各種機器との接続形態を図2に示す。制御用パソコンからは3系統のインターフェイスを通して機器との間で信号のやり取りを行なっている。一系統はシリアルインターフェイス (RS232C) を介して OMRON 社製のシーケンサー3台に接続されている。クライストロンのパルス変調器から発生するノイズの影響を避けるため、信号を光に変換して伝送している。シーケンサーの内、2台はパルス変調器の制御に使われ、1台が収束系の電源制御その他に使われている。

シリアルインターフェイスのもう一つのポートは、もう1台のパソコンに接続されている。このパソコンは GP-IB バスを介して、運動量分析系の90度偏向電磁石及び、四極電磁石の電源に接続されている。このパソコンはサーバーとして動作しており、制御用パソコンで動く制御プログラムからの指令により、電流値の設定及び、読み込みを行なう。このような方式にした理由は GP-IB バスのアクセス時に発生するオーバーヘッドを軽減するためである。また、バスの延長とパルスモジュレーターのノイズの影響を避けるため、光延長ケーブルを採用している。

移相器及び減衰器は制御用パソコンの PCI バスに接続された汎用の16bit 入出力ボードを介して制御している。

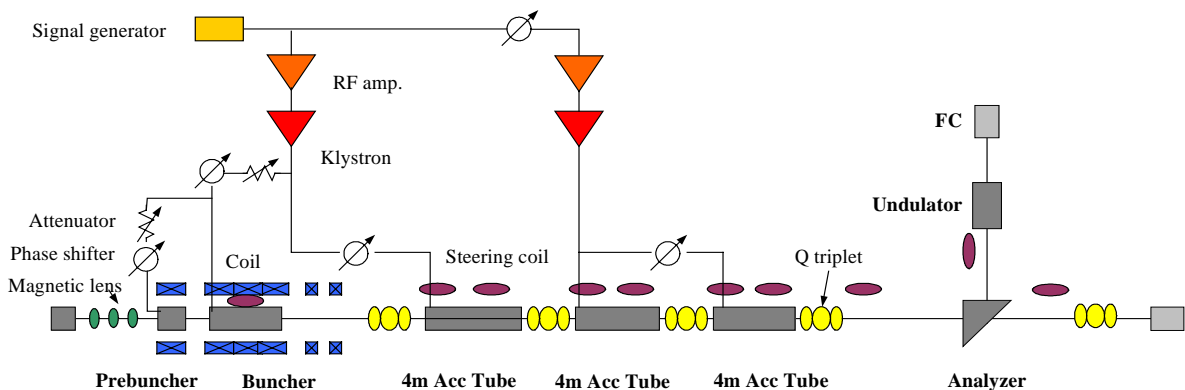


図1. マイクロ波伝送系及びコイル、電磁石の配置図。

<sup>1</sup> E-mail: hayakawa@lebra.nihon-u.ac.jp

## 2.1 収束系

収束系の制御は 1 台のシーケンサーが受け持っており、12 組の xy ステアリングコイル、3 組のアンジュレーター内ステアリングコイル、5 組の Q トリプレット、3 台のマグネティックレンズ、3 台のソレノイドコイル及び、数台の補助的コイルの電源が含まれる。ここに繋がれている電源は全て制御電圧に比例した電流を出力する方式で制御されている。シーケンサーは電源の数に対応するチャンネル数の DA コンバーターを持ち、制御用パソコンからのデータに基づいて制御電圧を発生し、電源に印加している。また、ステアリングコイルなど、極性の切換えが必要なものは、出力部にリレーが取り付けられており、これもシーケンサーからの信号によって切換えられる。

## 2.2 移相器、減衰器

移相器、減衰器は新旧取り混ぜ、様々な形式のものが使われている。RF アンプの入力段に使われている高速 A を除いては、全て可動部を持ち、それらをモーターで動かすことにより位相及び減衰量を調節している。モーターにステッピングモーターが使われている機器と、AC モーターが使われている機器とがあり、AC モーターの場合は、リレーを使って直接接点を開閉し、ステッピングモーターの場合は、以前マイクロトロン制御用に使っていたステッピングモーターコントローラーを流用している。移相量及び減衰量はモーターの移動量をポテンシオメーターで読み取る方式になっている。このコントローラーはデジタルの電圧計が組み込まれており、同じイ

ンターフェイスを介して、モーターの駆動量を読み取っている。高速 A は、位相と振幅の補償を行なうためのフィードバックループの構成要素であり、調整には使わない。

## 3. 制御プログラム

制御プログラムは Windows2000 の元で動くプログラムとして、簡便性と、メンテナンスしやすさから Visual Basic で記述した。マイクロ波系と、その他の系統は別のプログラムとして制作したが、別プログラムにする意味は特に無く、単に開発の都合によるものであり、いずれ統合する予定である。

移相器・減衰器の制御プログラムは指定された機器の選択と ON/OFF 操作、デジタル電圧計の読み取りをするだけである。ディスプレイに表示されたフォーム上には機器を選択し、ON 操作をするためのコマンドボタンと電圧計から読み取った値を表示するためのテキストボックスが配置され、位相は角度(相対値)に変換して表示し、減衰量は対応するポテンシオメーターから読み取った電圧の値をそのまま表示している。入出力ボードへのアクセスは、ボードに付属のコントロールを使って行なった。調整履歴は、1 分毎及びどれかのコマンドボタンが押されるたびにハードディスク上のファイルに記録している。

収束系を操作するプログラムは加速器全体の制御と、監視を行なっているプログラムの一部である。シリアルインターフェイスを介して、シーケンサーのモジュールを操作することにより制御を実現している。マン・マシンインターフェイスは 2 台のディスプレイとマウス及びキーボードである。ほとんど

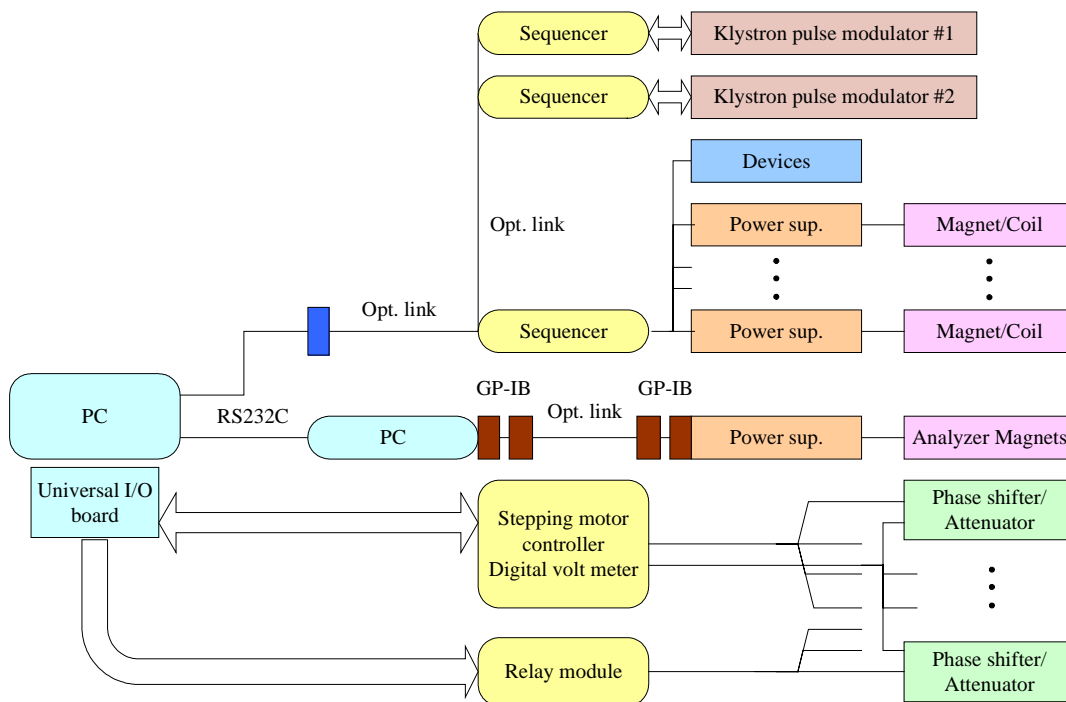


図2. 制御系接続図。三系統のインターフェイスが使われている。シリアルインターフェイスの2系統は電磁石とパルスモジュレーターの制御に使われ、汎用入出力ボードを介して、移相器と減衰器を制御している。

の操作はマウスによって行なう。対象が多いので、操作性を高めるため、ディスプレイ上に加速器の概略図を描き、各電磁石・コイルの置かれている位置に、対応する処理を呼び出すコマンドボタンを配置した。操作履歴の記録は、シーケンサーへのアクセスを全て記録することにより実現した。制御プログラムは、立ち上がった直後に、シーケンサーに設定されているデータを全て吸い上げるので、この方式で、データを取り落とすことはない。

#### 4. 調整履歴

概要で述べたように、本研究の当面の目的は電子線形加速器のビーム維持の自動化である。現在は保存されている収束系と移相器・減衰器などの値を使えば、再現性良くビームを出すことができる。只エネルギーを合わせるための微調整は必要である。加速器は電源投入後、クライストロン、導波管、加速管などの温度が上昇する。おおむね2時間程度で定常状態に達するが<sup>[2]</sup>、定常状態に達した後も、 $\pm 1$  程度変動する室温と、 $\pm 0.2$  程度変動する加速管冷却水および商用電源変動の影響によって、ビームの状態が変化する。マイクロ波の位相は、高速 A を利用した位相補償回路によって、クライストロンの出口では、 $\pm 0.3$  度程度に安定化されている。しかし、これは立体回路および加速管の変動を補償するものではない。これらの変動によって、電子ビー

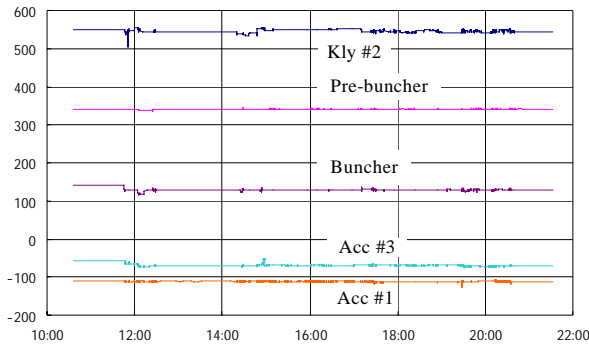


図3 .全移相器の調整記録横軸は時刻、縦軸は相対位相(度)。

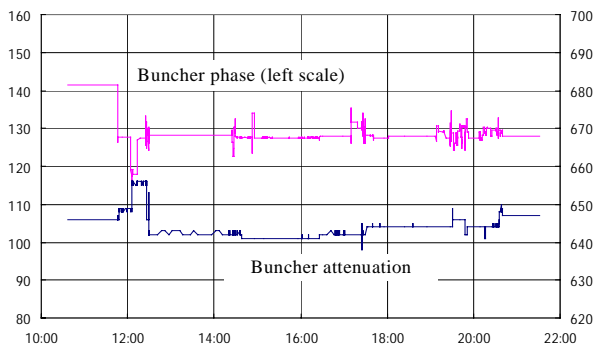


図4 .バンチャーの位相(左目盛)と減衰量(右目盛、数字が大きいほど減衰量が大きい)。

ムの状態は絶えず変化している。オペレーターはこのビームの変動を抑制するように調整を行なっているのである。

一例として図3から5に5月31日における移相器と減衰器の調整記録を示す。この日は午前10時頃クライストロンパルスモジュレーターのLVを入れ、10時半頃HVを投入している。ビーム加速を行なったのは12時からで、ビーム調整後、12時40分から午後2時20分頃まで中断し、その後9時頃まで連続的にビーム加速及びFELの実験を行なっている。図3は全移相器の位相調整の記録で、12時頃のビーム立ち上げ時と、14時20分頃の再開時に比較的大きく位相を動かしているのがわかる。図4はバンチャーの位相と減衰量を調整した記録で、最初の調整時に、減衰量の調整も試みていることが読み取れる。また、約2時間半の周期で、バンチャーの位相が動かされている。これはFELの発振を維持させるための操作だと思われるが、この周期は加速器室の室温の変動周期にほぼ一致しているの、何か関連がありそうである。図5はクライストロン2号機と加速管#3の位相である。図1からわかるように、クライストロン2号機の位相は加速管#2の位相と同じで、加速管#3の位相はこれに相対的な位相である。この2本の加速管の位相を調整することによって、エネルギーとスペクトルの両方を調整することが出来るので、最も頻繁に操作する位相である。この日も14時20分以降実験が終了するまで継続的に操作が行なわれている。

自動運転を実現するためには勿論ビームの状態をデータとして取り込めるようにすることが不可欠である。この部分は準備中である。これらの記録を蓄積し、環境因子と合わせて解析することにより、加速器の挙動が明らかになり、変動の予測ができるようになると思われる。それによって、自動運転を実現する予定である。

#### 参考文献

- [1] K.hayakawa, et al, "CONTROL SYSTEM OF FEL LINAC AT NIHON UNIVERSITY" Proceedings of the 23<sup>rd</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan, Tsukuba, Sep. 16-18, 1998
- [2] K.Yokoyama et al, these Proceedings.

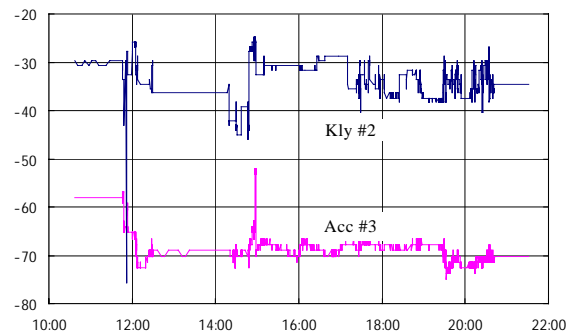


図5 .クライストロン2号機と加速管#3の位相の推移。