

京大化研電子加速器施設の現状

白井 敏之¹、岩下 芳久、杉村 高志²、頓宮 拓、野田 章、森田昭夫³

京都大学化学研究所原子核科学研究施設

〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄

概要

京都大学化学研究所の電子加速器施設においては、1995年度より100MeV電子線形加速器が稼働していたが、2001年からは、その下流に設置された電子蓄積、ストレッチャーリング(KSR)がビーム共用運転を開始したため、現在の電子線形加速器の主な役割は、KSRの入射器になっている。それに合わせて、リニアックでは主クライストロンの更新やトリガー系の変更などがおこなわれ、入射運転のスタディがおこなわれてきた。こうしたリニアックの変更点と、現状を報告する。

1. はじめに

京都大学化学研究所では、1995年より日本原子力研究所の協力を得て、100MeV電子リニアックを稼働させ、電子ビームを用いた実験をおこなってきた^[1]。リニアックの構成は、Sバンドのバンチャー加速管と3本のレギュラー加速管からなり、最大100MeV、100mA、1μsec、20Hzの電子ビームを供給することができる。この電子加速器全体のレイアウトは、図1に示されている。この図は、化学研究所原子核研究施設のイオン線形加速器実験棟北側エリアを示したものである。利用実験は、主に

物性、放射線物理、高エネルギー実験用検出器開発、加速器開発に関するものであった。

また、これとほぼ同時期から、このリニアックを入射器とする電子リング(KSR)の建設もおこなってきたが^[2]、1999年9月に、その調整運転を開始し、2001年1月からビーム供用を開始した。KSRは当初放射光リングとして計画が開始されたが、リニアックからの電子ビームを用いたカウンター実験のデータ収集効率を上げるために、ストレッチャーとしての役割も持たせることになった。現在は、レーザコンプトン散乱などの蓄積電子ビームを用いた実験をおこなう蓄積モードと、100MeV以下でゆっくりと取り出した電子ビームを実験に供する、ストレッチャーモードの2種類の運転をおこなっている^[3]。

KSRの運用が始まって以降は、外へ取り出した電子ビームを用いた実験は、ストレッチャーモードが主体になり、リニアックはKSRへの入射器としての役割を中心にしていく予定である。そのために、リニアックにはいくつかの変更が加えられたが、ここでは、そのうちの主クライストロンの更新と、トリガー系の変更について述べる。KSRの入射システムや入射ビームラインに関しては、既に発表があるので、ここでは省略する^[4]



Figure 1 Electron accelerator facility at ICR, Kyoto University

¹ E-mail: shirai@kyticr.kuicr.kyoto-u.ac.jp

^{2,2} Present address: 高エネルギー加速器研究機構

Table 1 Beam parameters for the injection to KSR

Beam energy	100 MeV for storage mode 50 – 100 MeV for stretcher mode
Beam current	100 mA
Pulse width	10 – 50 nsec for storage mode 100 nsec for stretcher mode
Repetition	0.25Hz for storage mode 1 Hz for stretcher mode
Energy spread	1 % (FWHM)

2. 入射ビームパラメータ

線形加速器からのビーム入射パラメータが表 1 に示されている。ビーム蓄積モードでは、ビームのパルス幅を変えることで、バケットのフィリングパターンを変更しているのに対し、ストレッチャーモードでは、全バケットにビームを入射するため、ビームパルス幅が異なっている。

蓄積モードでのビーム繰り返しは、水平方向のダンピングタイムに相当している。ストレッチャーモードのビーム繰り返しは、リニアックのそれと同じ 20 Hz が望ましいが、現時点では入射セプタムやキッカー電源などのハードウェアの制限により、1 Hz にとどまっている。これに対し、リニアックの高周波パルスの繰り返しは、ビームエネルギーをできるだけ一定に保つために、ビームパルスの繰り返しに関係なく、常に 1.5 Hz で運転されている。

3. 主クライストロンの交換

リニアックの運転開始当初から、3 本ある加速管の主クライストロンとして、高周波出力 20 MW の ITT-8568 (ITT) が用いられてきた。しかし、今後の入手性に不安があることと、このリニアックを入射器として使用する場合、定格のビームエネルギーが 100 MeV しかないため、仮に寿命やトラブルで、高周波出力が低下した場合でも、ビームエネルギーがこれ以上下がらないよう、高周波出力にマージンがあることが望ましかった。そこで、ITT-8568 と形状の近い、PV3030A1, A2 (三菱) にクライストロンを交換するテストをおこなった^[5]。

予算と時間の関係から、まずは、モジュレータ電源、クライストロンオイルタンク、収束コイルを既存のまま流用し、クライストロンマウント部分とヒータ電源だけを交換することで、どの程度出力ができるか、テストベンチを組んで測定をおこなった。図 2, 図 3 がその結果である。それぞれ、カソード電圧と入力高周波電力を変化させたときの、出力高周波電力を示している。このときの高周波周波数は 2857 MHz、パルス幅は 3 μsec、パルス繰り返しは 1.5 Hz である。結論からいうと PV3030A1, 2 は、ITT-8568 用のシステムでも問題なく、その定格に近い動作をした。また、ITT-8568 との比較では、表 2 に書いてあるように、必要な入力高周波電力は高くなったが、出力電力もその分上昇し、モジュレータ

電源出力が 230 kV の時、24 MW が得られた。この最大出力はテストベンチでの放電で制限されており、250 kV をかければ、30 MW は出力されると思われる。この出力の増加により、十分な運転マージンを得ることができた。

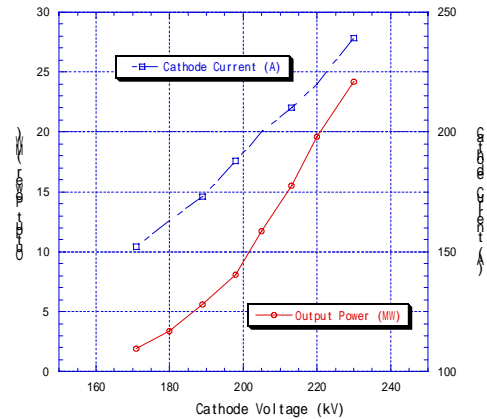


Figure 2 Measured RF output power and the perveance at the various cathode voltages. The RF frequency is 2857 MHz, the input RF power is 200 W.

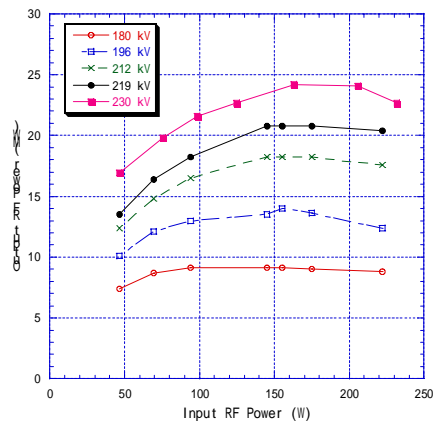


Figure 3 Relation between RF output power and the input RF power. The RF frequency is 2857 MHz. The solenoid field was optimized with each cathode voltage.

Table 2 RF parameters of the klystron ITT-8568 and PV3030A1

	ITT-8568	PV3030A1
Heater	15 V, 14 A	15.5 V, 16 A
Cathode Voltage	240 kV	230 kV
Cathode Current	240 A	230 A
Input Power	100 W	160 W
Output Power	20 MW	24 MW
Power Gain	53 dB	51.8 dB
RF frequency	2857 MHz	2857 MHz

このテスト後、2000年度には、すべてのクライストロンがPV3030A1, A2に交換され、その後2年間トラブルなく稼働している。

4. トリガーシステム

KSRの高周波周波数は116.7 MHzで、ハーモニクスは10である。ストレッチャーモードではこの10バケットすべてにビームを入射するが、ビーム蓄積モードではすべてに入射した場合、イオントラッピングが顕著になりビーム寿命が低下するため、バケットの半分程度にビームを入れてイオントラッピングを抑制している。また、実験によっては、シングルパンチ運転をおこなうことも考えられる。そのため、リニアックのトリガーシステムに、電子ビームパンチをKSRの特定の高周波バケットに入射できるようにするタイミングモジュール (Synchroniser) を追加した (図4参照) [6]。

図5はタイミングモジュールのブロック図である。このモジュールは、基本的にはKSRの基準高周波の波数を数えるカウンターで、特定のバケットのタイミングでビームトリガーを発行している。この機能の大半は、プログラマブルロジックモジュール (TIBPAL20R8-5CNT, 動作周波数 125 MHz) を用いて、インプリメントされている。

5. おわりに

KSRが運転を開始し、リニアックもその入射器として、稼働を続けている。ただ、2001年度には、モジュレータの高圧電源部が燃えるという重大事故があり、その修理のため長い時間をとられた。我々の場合、高圧電源部と他のモジュレータ部は別筐体という設計になっており、この部分を今後どうするかは、課題として残っている。

また、これまでおこなってきた線形加速器の電子ビームを用いた実験は、KSRのストレッチャーモードに移行したいと考えているが、そのためにはKSRへの入射効率、取り出し効率が問題となってくる。現在の取り出し効率は50%程度であるが、入射効率は、短パンチビームの場合でも25%程度になっている。これは、放射減衰を待って入射、蓄積

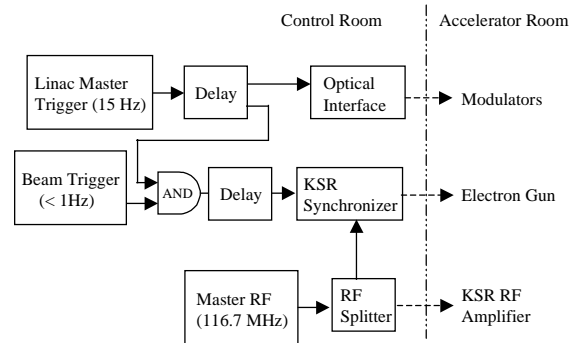


Figure 4 Block diagram of the trigger system of KSR and the injector linac.

できる蓄積モードでは、さほどシビアな問題にはならないが、ストレッチャーでは大きな問題である。そのために、リニアック入射ビームのエネルギー広がりの縮減と、ビームラインに挿入されているフォイル (真空分離用) の除去などを考えていかなければならない。

6. 謝辞

ここで述べたリニアックの各部の改造は、高エネルギー加速器研究機構の福田氏、三菱電機通信機製作所、放射線医学総合研究所の方々のご協力によっておこなわれました。ここに感謝申し上げます。

参考文献

- [1] T. Shirai, et al., Proc. of the Linear Accelerator Conference, Geneva, Switzerland, 123-125 (1996).
- [2] A. Noda, et al., Proc. of the European Particle Accelerator Conference, Sitges (Barcelona), Spain, 451-453 (1996).
- [3] T. Sugimura, et al., Jpn. J. Appl. Phys. 41 2276-2284 (2002)
- [4] T. Shirai, et al., Proc. of the 1999 Particle Accelerator Conference, New York, 1999, 3110-3112 (1999).
- [5] T. Shirai, et al., Beam Science and Technology, NSRF ICR Kyoto Univ., 6, 3-6 (2001)
- [6] A. Morita, et al., Beam Science and Technology, NSRF ICR Kyoto Univ., 6, 11-13 (2001)

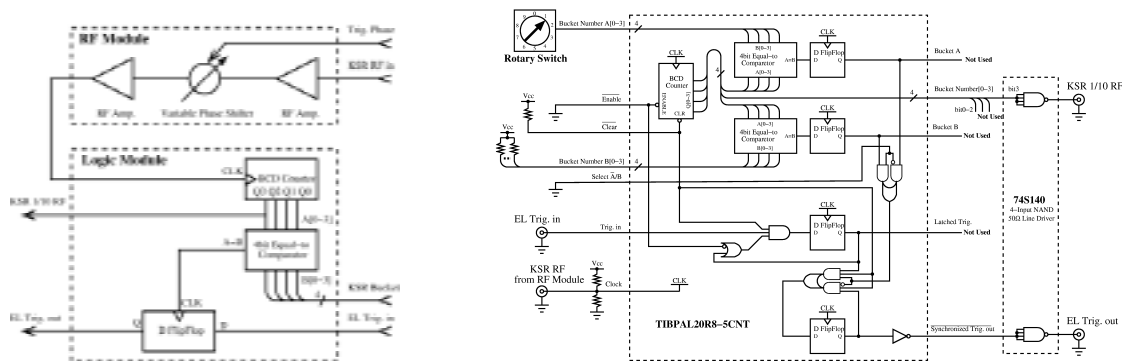


Figure 5 Block diagram of KSR synchronizer (left) and the logic module (right).