

[07-P04]

## Present Status of the JNC High Power CW Electron Linac

MASAHIRO Nomura, KOICHIRO Hirano, HAYANORI Takei, YOSHIO Yamazaki,  
GENRIN Nakayama, MAKOTO Hasegawa, YUKO Kato\*, TAKEHIRO Ishikawa\*\*, TOMOKI Komata\*\*

Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4002, Naritacho, Oaraimachi, Ibaraki, 311-13 JAPAN

### Abstract

Design and construction of a high power CW electron linac was started in 1989 at PNC. The construction of the linac was completed in March 1997 and the beam commissioning was started in November 1998. After the beam commissioning, we have been successful to produce 420  $\mu$ sec width electron beam with 74 mA peak and energy 8 MeV. In the beam test, we measured the radiation level in an electron gun room and pressure at chopper slits on the condition of 2 msec width electron beams. The preliminary results show those are going to be problems more than 100 kW high power operation. In those measurements, a vacuum leak was occurred at a ceramic duct. Now we are investigating the cause of this trouble. It is necessary to prepare beam monitors and interlock systems for long pulse beams and also high quality beams are required.

## 大強度CW電子線形加速器の現状

### 1. 序

サイクル機構では、平成元年度から加速器を用いた核変換の可能性を探るために解決しなければならない問題の一つである、大強度CW電子線形加速器の開発を行ってきた。この開発課題としては、文字通り「大電流電子ビームの加速」と核変換におけるエネルギーバランスを考えた場合に重要となる「加速器のエネルギーの高効率化」である。「大電流電子ビームの加速」に関しては、ビーム出力200 kW、平均電流20 mAを目標に、BBUを抑制する為に、加速周波数として1249.135 MHz (L-Band)を採用した。また、「加速器のエネルギーの高効率化」に関しては、RFを再利用し効率を上げる為の進行波還流型加速管の採用、加速器のエネルギー効率を決定する重要な要素であるクライストロンの開発も行った。

加速器のハードの開発は、平成4年度の高エネルギー物理学研究所との共同研究によりKEK Assemble Hallで行った1.2 MW (CW)クライストロン及び進行波還流型加速管の要素開発から始ま

り、平成7年12月には、大洗工学センター量子工学試験施設(QTF)に入射部(電子銃~バンチャー)、第一加速管及びビームダンプを据え付け、平成8年度上期には、繰返しは0.1 ppsと低いものの、パルス幅3 msecの長パルスビームの加速に成功した。平成9年度には加速器全体の据え付けを完了させ、各要素の調整、電子銃及びRFエージングを行い、平成10年12月に施設検査に合格、翌平成11年1月から本格的なビーム試験を開始した。今回の発表では、主に施設検査までのビームコミッショニングとその後約1ヶ月行なったビーム試験の結果について述べる。

### 2. 加速器の概要

まず初めに、本加速器の基本仕様を表1に示す。電子銃はDCタイプの電子銃で、加速電圧は200 kV(DC)である。この電子銃の特徴は、カソード部分が回転構造を持ち、真空を破ること無くビームライン以外にもビームを出射し、エミッタ

\* 原子力システム株式会社

\*\* 株式会社ベスコ

ンス等の測定ができる点である。

表1 加速器基本仕様

エネルギー	10MeV
ピーク電流	100mA
パルス幅	4msec
繰り返し	50pps
平均ビーム電流	20mA
平均ビーム出力	200kW
加速周波数	1249.135 MHz
加速モード	$2\pi/3$
加速管の本数	8
クライストロンの本数	2

入射部は2台の磁場レンズ、2波混合型チョッパー空洞とスリット、プリバンチャー及びバンチャーより構成されている。磁場レンズから第一加速管までの低エネルギー領域はチョッパー部分を除いてソレノイドコイルによりビームの発散を防いでいる。また、この2波混合型チョッパー空洞では、基本周波数とその2倍の周波数のRFを使用することによりエミッタンスの増加を押さえている。

加速管は先に述べた様に、RFを再利用し効率を上げる為に、進行波還流型加速管を採用している。クライストロンからのRFは、立体回路に設置された位相器により各加速管独立に位相を調整できるようになっている。また、ビームダンプは大強度の電子ビームを受け止められる様に、ビームを一度四極電磁石で発散させ、その後円錐上になった銅のディスクで受け止めている。

測定系に関しては、位置モニター、電流値モニター、プロファイルモニタ及びビームロスモニターが各加速管毎に設置されている。また、これらのモニターを用いて測定された情報は、VMEを経由してNextStep上のプログラムで収集されている。

### 3. コミッショニング

ビームコミッショニングの目的は、ピーク電流50 mA、ビーム幅400  $\mu$ sec、繰り返し1 ppsのビーム

を加速し、施設検査に合格することである。ビームコミッショニングを始めるにあたり先ず問題となったのは電子銃の放電である。先に述べた様に我々の電子銃は、200 kV(DC)の高圧電源を有し、しかも電子銃自体の形状が通常の電子銃に比べ複雑な構造をしている。設計の段階ではこれらを考慮し、真空度及び陽極と陰極との間隔やその形状等に注意を払い、高圧印加時には微小な放電が起きた場合でも即座に検知できる様にモニターとしてSSDを使用する等の対応をしてきた。しかし、ビームコミッショニング前に微弱な放電が起こり始め、それが連続的なものとなり、そのレベルも徐々に高くなっていった。電子銃を分解し内部を観察したところ、放電により生じたと思われる傷がいたる所で観測された。そこで、これらの部品を複合電界研磨に掛け表面状態を良好にし、更に、電子銃の加速電圧を150 kVに下げることにより放電を押さえてビームコミッショニングを開始した。

次に問題となったのは、パルス幅を20  $\mu$ secから100  $\mu$ secまで広げた時に起こったビーム不安定性である。原因は、入射部に設置されたプロファイルモニターに使用しているデマルケストのチャージアップであった。これらのプロファイルモニターはビームプロファイルを観測していない時はビームラインから約10 cm 引込んだ状態にある為、特にチャージアップには注意を払っていなかった。しかし、プロファイルモニターがソレノイドコイル内に設置されていること、また、ビームコミッショニング中でビーム輸送系の調整が不十分であること等を考えるとチャージアップ対策は必要であった。この問題に関しては金属メッシュをデマルケスト表面に付けることにより解決した。

その後は、電子銃の加速電圧が設計値よりも低いことや、チョッパー、プリバンチャー及びバンチャーによるビーム圧縮の調整に時間を費やしたが最終的には、ピーク電流74 mA、パルス幅420  $\mu$ sec、繰り返し1 ppsのビームを約8 MeVまで加速することができ、無事施設検査に合格することができた。しかし、今後ビーム出力を上げていく段階で改善していかなければならない課題も判明した。一つは、ビーム幅を420  $\mu$ secまで広げた時に電

電子銃室の漏洩線量が予想より高かったこと、もう一つは同様にビーム幅を広げた時にチョッパースリットの真空が悪化したことである。また、今回のビームコミッシング中にVME、GP-IBを経由してコントロールしている磁場輸送系の電源が数回制御不能となった。原因は、GPIBのコントローラーが密閉式の電源ラック上部に設置されている為、磁場輸送系電源の発熱によりラック内の温度が上昇したため、測定の結果、局所的には40度以上になっていた。これについては、電源ラックの前後の扉を解放状態にし温度上昇を防ぐことにより対応した。

#### 4. ビーム試験

ビーム試験では、パルス幅2 msecのビームを加速し、ビームコミッシング時に判明した今後の課題、電子銃室の放射線漏洩線量とチョッパースリット部の真空度の測定を行なった。

まず初めに、パルス幅20  $\mu$ secの短パルスビームを用いて軌道調整を行なった後に、ビーム位置と電流値をモニターしながらパルス幅を徐々に2 msecまで広げていった。パルス幅が1 msecを越えたあたりからビームが不安定になり始め、2 msecまで広げた段階では、電流値が約2割程度変動していた。ビームが不安定な為、精度の高い測定はできなかったが、電子銃室で漏洩線量の測定をした結果、ピーク電流250mA(電子銃出口)、パルス幅2 msec、繰り返し1 ppsの条件で、漏洩線量は0.4  $\mu$ Sv/hと低い値であった。また、チョッパースリット部の真空度に関しては、漏洩線量測定と同じビーム条件で測定した結果、真空度は $1.5 \times 10^{-8}$  Torrから $7 \times 10^{-8}$  Torrに悪化した。これらの測定結果から、電子銃室の漏洩線量とチョッパースリットの真空度は当面は問題にならないが、今後デューティーが高くなりビーム出力が100 kWを越えた段階で改善の余地があることが判明した。

このパルス幅を2 msecまで広げ漏洩線量と真空度を測定中に最終の第七加速管とビームダンプとの間で真空リークが発生した。試験終了後、リーク箇所の調査を行った結果、DCCT用セラミックダクトに亀裂が発見されたため、ダクトを取り外し内部を観察したところ、ビームによるものと

思われる跡がセラミックの溶接部分に見られた。試験中のロスモニターの値がリークが起きるまで大きな変化が無かったことから、突然ビームの一部がダクトに当たったとは考えにくく、ビーム幅を広げた時に起こったビーム不安定性により、ビームハローが断続的にダクトに当たり、最終的にリークを引き起こしたと考えられる。また、このダクトが四極電磁石の後方に設置されており、四極電磁石を強く作用させたことにより、ハロー部分にビームの集中する部分ができ、それがリークを引き起こし易くしていた可能性もある。原因については現在調査中であるが、今後は、ビーム品質の向上は当然であるが、長パルスビームを加速している時でもビームの情報、パルス内でのビーム位置や電流値の変化、ビームプロフィールの情報を得ることのできるモニター系の整備とそれらの情報を基にしたインターロック系の整備を行なう必要がある。

#### 5. まとめ

ビームコミッシングより、ピーク電流74 mA、パルス幅420  $\mu$ sec、繰り返し1 ppsのビームを安定して加速することができるようになった。その後約1ヶ月のビーム試験では、パルス幅を2 msecまで広げ、電子銃室の放射線漏洩線量とチョッパースリット部の真空度の測定を行なった。これらの測定結果から、漏洩線量と真空度は当面は問題にならないが、今後ビーム出力が100 kWを越えた段階で改善の余地があることが判明した。また、この測定中にビームハローによるものと思われるDCCT用セラミックダクトのリークが発生した。原因は現在調査中であるが、対策としてはビーム品質の向上、モニター系及びインターロック系の整備が必要である。

#### 謝辞

大強度CW電子線形加速器の開発にあたり、豊富な経験に基づく有益な助言をして下さった高エネルギー加速器研究機構及び日本大学原子力研究所の方々、特に、鳥塚賀治教授、佐藤勇教授に感謝いたします。また、付帯設備系の運転や施設検査対応等加速器運転をサポートして下さいました他のビームグループのメンバーに感謝いたします。