

[P 1–14]

# DEVELOPMENT OF THE ELECTRON-GUN SYSTEM OF THE ISIR SINGLE-BUNCH LINAC FOR IMPROVING THE BRIGHTNESS AND THE PULSE CHARACTERISTICS OF THE BEAM

Okuda S., Suemine S.\*, Yamamoto T., Kozawa T. and Tagawa S.

The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University  
8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka 567, Japan

## ABSTRACT

For improving the brightness and the pulse characteristics of the electron beams of the L-band linac at ISIR, Osaka University a new electron-gun system using YU-156 type cathode-grid assembly has been developed. In the bench-test of the gun the characteristics of the gun has been investigated and the maximum peak beam-current of 26 A has been obtained at an energy of injection of 100 keV for pulse width of 8 ns and the peak current of 30 A is expected for 110 keV. The test experiment of the beam acceleration with the linac is being carried out.

## 産研単バンチライナックにおける電子ビームの輝度およびパルス特性の向上のための電子銃システムの開発

### 1. はじめに

阪大産研38 MeV Lバンドライナックでは、高強度の電子ビームを得るために、大口徑の陰極を持つ大電流の電子銃 (Model-12, ARCO社) を当初から使用してきた。ピコ秒からマイクロ秒まで様々なパルスモードで共同利用研究に対してビームを供給している。

最近ピコ秒単バンチ電子ビームや自由電子レーザーなどの新しい量子ビームの発生と利用に関する研究を行うために、電子ビームに高い質や優れたパルス特性が求められるようになった。現在使用している電子銃では、十分なビーム特性が得られない。自由電子レーザーの発振実験では、高輝度なビームを必要とするので、電子銃を交換して使用している。しかし復帰時の立ち上げに長い時間を要し、扱いを誤った場合のリスクが非常に大きい。

高い電流密度が得られ、パルス特性の優れた陰極アセンブリが、現在多くの電子ライナックで用いられている。これは電子銃の交換と立ち上げに要する時間が比較的短く、比較的安価であるのでリスクも小さい。産研のSバンドライナックでもEIMAC社のY-796型を使用している。

本研究では、産研Lバンドライナックのビームの現状における高い強度を維持し、さらに

#### 1. 単バンチビームの高輝度化

### 2. 電子ビームのパルス特性の向上

3. 電子銃交換手続きの簡単化とリスクの低減を実現することを目的とし、新しい電子銃システムを導入するための開発研究を行った。

### 2. 電子銃システムの現状

産研Lバンドライナックの構成を図1に示す。サブハーモニックプリバンチャー (SHPB) の動作条件と電子銃の入射条件を表1に示す。通常のライナックの条件に比べて、ピーク電流が極めて大きいことが特徴である。単バンチモードにおける通常の電子銃の入射ピーク電流は20 A以下であるが、バンチ当りの最大の電荷量67 nCを達成した時には、約30 Aであった。

グリッドパルサーは、単バンチおよび過渡モードでは、まずアバランシェパルサーを使用して種

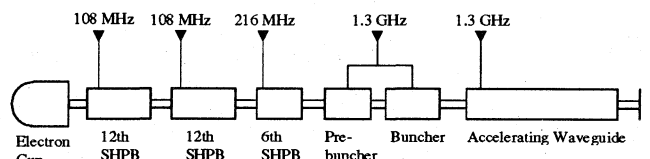


図1 阪大産研Lバンド電子ライナック

表1 電子ビームの入射条件

| 加速ビームモード  | 単バンチ  | 過渡       | 定常      |
|-----------|-------|----------|---------|
| パルス幅      | 5 ns  | 5~100 ns | <2 μs   |
| ピーク電流     | <20 A | <16 A    | <600 mA |
| 動作させるSHPB | 1.2.3 |          |         |

\* Unicon System Corp.

表2 2種の電子銃の比較

|                     | Model-12  | YU-156       |
|---------------------|-----------|--------------|
| 構造                  | 銃全体が一体    | 陰極・グリッドアセンブリ |
| 価格                  | 高         | 低            |
| 入射ピーク電流値 (A)        | 最大30      | 最大30 (推定)    |
| 陰極径 (mm $\phi$ )    | 51        | 20           |
| 陰極、グリッド間隔 (mm)      | 2.5       | 0.15         |
| グリッドパルサーのピーク電圧 (V)  | 最大2000    | 最大300        |
| ビームパルスの立ち上がり時間 (ns) | >1.5      | <1           |
| 電子銃の交換時の立ち上げ時間      | 2~3日      | 2~3時間        |
| その他                 | 低真空で劣化が顕著 |              |

パルスを発生させるが、6種のチャージラインの切り替えによりパルス幅を選択する。定常モードでは、パルサーを長パルス用に切り替え、スタート、ストップパルス信号でパルス幅を連続的に変化させる。いずれの場合も得られた種パルスを板極管 (7698, EIMAC) で増幅する。パルサーシステムは約1.3気圧のSF<sub>6</sub>ガスを封入したタンクの中に収められてコンパクトなものになっている。

### 3. 新しい電子銃システム

必要な大電流を得るために、比較的大きな陰極面を持つEIMAC社のYU-156型陰極グリッドアセンブリを選択した。これは一般にSバンドライナックで使用されているY-796型に比べ陰極面積が1.5倍で、他の条件は同じである。Model-12とこのYU-156の特徴を、今回の試験結果も含めて表2にまとめた。入射ビームのピーク電流値は、いずれも加速電圧約110 kVに対して得られた値である。YU-156ではグリッドパルサーのピーク電圧を低くすることができるので、パルサーシステムがさらにコンパクトなものになる。また両者の陰極径が小さくなることから、ビームの質の向上が期待される。

### 4. 電極およびグリッドパルサー

YU-156のウェネルトおよびアノード電極の形状および配置は、EGUN計算コード (EGN2c) で計算して最適化した。最大電流の目標は30 Aとした。電流密度が従来の6.5倍で、ビームを集束するための電極の幾何学的条件が大きく異なる。このような強い集束を必要とする条件では、通常使用するような広い電流範囲の全てにわたり良いビーム条件を得ることはできない。通常の使用条件では入射電流が20 A以下なので、この値を最大とし、広い電流範囲にわたってビームの質が比較的良くなるような電極形状を求めて製作した。

短パルスの場合のグリッドパルサーは、2段のアバランシェパルサーで、出力電圧を50  $\Omega$  負荷で280

Vとした。動作時の入力インピーダンスは明かではないが、パルサーを4台並列に設置して低いインピーダンスに対応できるようにした。パルサーの大きさは従来のものに比べ、数分の1程度になった。エミッション電流は、陰極、グリッド間に印加するバイアス電圧で制御する。長、短パルスの切り替えは高周波スイッチで行う。

### 5. 試験結果と考察

電子銃、集束電磁石およびビームモニターで構成されるテストベンチを用いて、YU-156による電子銃のビーム試験を行った。グリッドパルサーは試作し、必要とする特性が得られるよう改良した。パルス幅8 ns、加速電圧90 keVでバイアス電圧を変化させた時、電子ビームのピーク電流は図2のように変化した。この図で示したa, b, cの3点の条件に対して、電子銃の出口に設置したビームモニターで観測したビーム波形を図3に示す。図2でピーク電流が最大となる点を超過してバイアス電圧を減少させた時、ビームのパルス幅が増加していることがわかる。これは高い電流密度によるビームの進行方向への広がり起因するものと考えられる。

図2のbのように得られる最大のビームのピーク値を、加速電圧を変えてプロットしたものが図4である。加速電圧100 keVにおけるピーク電流は、これまでに最大26 Aが得られた。これは電極を設計した際の目標値30 Aにほぼ近い値である。ベンチテストでは100 kVが上限であったが、実機で昇圧が可能な110 kVでは、入射電流が30 Aになると推定される。これは単バンチ当りの最大の電荷が得られたこれまでの条件を満足する。ただしビームの質はより向上することが期待される。

加速ビームの質の向上については、現在までに予備的な実装試験によって結果が得られている。平成8年1月に行われた実装試験で、加速電圧84 kV、パルス幅8 ns、ピーク電流12 Aで電子銃からの入射を行った。表1に示した過渡モードで、28 MeVまで電子ビームを加速し、偏向して照射室に

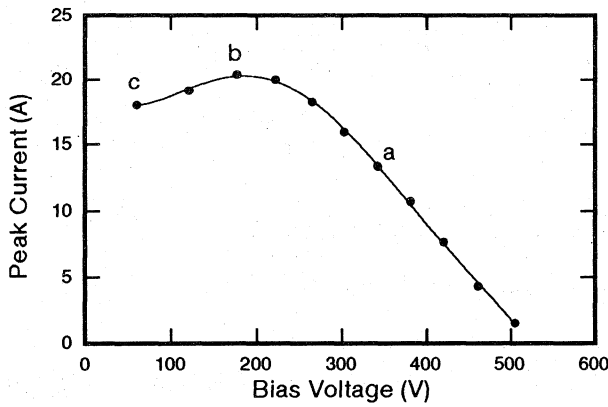


図2 パルス幅8 ns、加速電圧90 kVでの、バイアス電圧とビームのピーク電流との関係

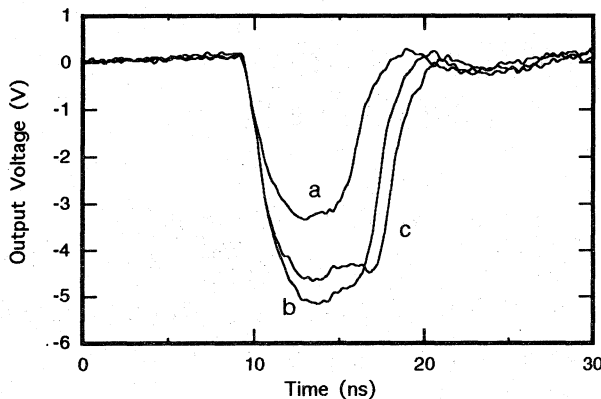


図3 図2のa, b, cの条件における、ビームモニタによる入射ビームの波形

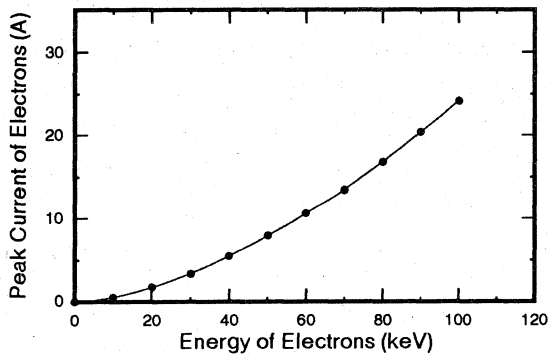


図4 パルス幅8 nsでの、各加速エネルギーにおいて得られた最大のビームのピーク電流

輸送した結果、通常行っているパルスラジオリシス実験でのビーム条件を満足した。この場合、電子銃から入射したビームを、加速して照射室へ輸送する効率が25%向上した。これは、ビームの質が良くなり、ビーム輸送系の狭い部分におけるビー

ムの通過効率が増したためと考えられる。

寿命試験では、電子銃を50日余り使用し、その間4回電極の交換のために真空を破ったが、陰極からのエミッション量の変化は認められなかった。

現在電子銃の最終的な実装試験を行っており、この結果についても報告する予定である。

短パルスビームや高輝度ビームの発生など、それぞれの条件において最も良い特性を要求する特殊な開発研究には、その条件に最適化した電極形状を持った電子銃にその都度つけかえて実験することになる。今後の課題として、電子銃を容易に交換できるシステムを開発する、電子銃の加速電圧を上げる、等の改善が必要である。

## 6. まとめ

産研Lバンドライナックの通常の利用に使用するビーム条件の向上を目的として、新しい電子銃の開発研究を行った。この結果、現状とほぼ同じピーク電流が得られ、パルサーシステムがより小さなものとなった。また電子銃の交換が容易になり、パルス特性の大幅な改善も期待される。現在グリッドパルサーを含めた新しい電子銃システムの実装試験を行っている。

今後、この研究結果をふまえ、短パルスビームや高輝度ビームの発生に対してそれぞれに最適化された条件における研究を進める。

電子銃の電極を製作していただいた産業科学研究所試作工場の皆様に感謝します。