

東北大学大強度電子線形加速器用電子銃の製作

MANUFACTURING OF THE ELECTRON GUN OF HIGH INTENSITY LINAC IN TOHOKU UNIVERSITY

三浦禎雄^{#, A)}, 濱 広幸^{A)}, 高橋 健^{A)}

Sadao Miura^{#, A)}, Hiroyuki Hama^{A)}, Ken Takahashi^{A)}

^{A)} Research Center for Electron Photon Science, Tohoku University

Abstract

High intensity electron Linac in Research Center for Electron Photon Science (ELPH), Tohoku University is upstream high current section of the 300 MeV electron Linac that was constructed in 1967 [1]. This Linac is used for the RI manufacturing etc. The energy is max 70 MeV, the repetition rate is 300 pps, and the beam power is more than 5kW. An electron gun of this Linac is 80 kV DC gun. A cathode of this gun is impregnated type with Ba, and is triode type controlled by grid. Supply of this cathode from the manufacturer is discontinued, and the cathode number of ELPH holdings is a few. Moreover, this electron gun is used by 0.3 A of output current although that designed for several amperes. Because electron beam from the gun is overfocused in present conditions, beam transmission from the gun to exit of Linac is very low as about 30 %. Therefore, I designed a new electron gun optimized in present conditions using the Y646B cathode made by EIMAC that can be get continually. I report this electron gun.

1. 概要

東北大学大強度電子ライナックは 1967 年に建設された 300MeV ライナックの前半ハイカレント部で、2013 年の東日本大震災で被災後に後半の高エネルギー部は廃止され、現在は RI 製造等に使用されている。Table 1 にライナックの仕様を、Figure 1 にライナック構成図を示す。

Table 1: Specifications of Injector

Item	Specifications
Frequency	2856 MHz
Beam energy	10~70 MeV (variable)
Beam pulse width	3 μ s
Pulse repetition	300 pps
Current	140 mA max
Beam power	9 kW max

電子銃は 80 kV の DC 電子銃でここから出力した電子ビームは単空洞のプリバンチャで速度変調を受け、9 セ

ルの進行波型バンチャでバンチングされると同時にエネルギーを約 400 keV に増強され、後続の A1~A8 の 8 本の 1m 加速管で 10~70 MeV に加速される。加速後は分散部を通過しターゲット室へ入射する。A8 加速管出口からターゲット室までのトランスポートラインは震災後に新設された。

本ライナックのビーム透過率は、電子銃出力電流 300mA の時 30%程度と低い。また電子銃出力を増やしても透過電流は変化せず、ビームロスが増大してライナックを放射化させる。この原因は次の 3 点である。

- 1) ライナックの収束系が弱く、大電流を輸送できない。
- 2) 電子銃は大電流 (~5A) 用に設計されており [2]、現状の使用条件である出力 300 mA ではビームが過収束である。これによりライナックインジェクター部でのビーム径が大きく、壁に衝突しビームロスする。
- 3) ライナックの加速管、収束コイル系のアライメントが悪く、ライナックを通過するビームが蛇行していると思われる。

このため出力電流 300mA に最適化された電子銃を設計、製作し、ライナックインジェクター部をビームが余裕を持って透過することを計算機コード PARMELA [3]にて確認した。

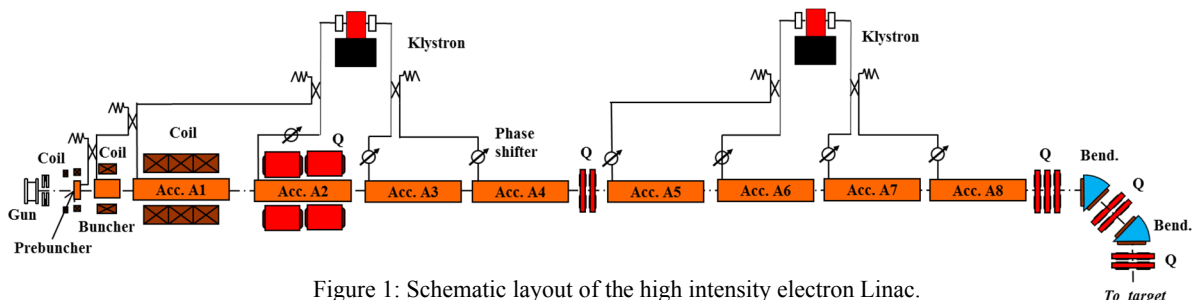


Figure 1: Schematic layout of the high intensity electron Linac.

[#] miura@lns.tohoku.ac.jp

2. 電子銃ビーム解析及び設計

電子銃のビーム解析及び設計は計算機コード E-GUN [4]にて実施した。Figure 2 に現状の電子銃ビームプロファイルを示す。現状電子銃のカソードはバリウム含浸型のカソードで直径は $\phi 16.5$ mm、球面 R12.85 mm の凹型形状、アノード出口径は $\phi 9$ mm である [5]。電子銃直後の収束コイル (G1 コイル) の磁場が侵入しており、カソード表面での磁場は 50 gauss 程度ある。Figure 2 より、出力電流 300mA では加速電界によるビーム収束が大きすぎ、ビームはアノードに到達する前に焦点を結んでいることがわかる。Figure 3 にウェネルト形状を変更し、出力電流 300 mA に最適化した電子銃のビームプロファイルを示す。カソードは継続入手可能な EIMAC の Y646B カソードに変更した。カソード径は $\phi 8$ mm のフラット形状である。アノード形状については変更なしとした。Figure 3 よりビームは緩やかに収束しつつ出力していることがわかる。

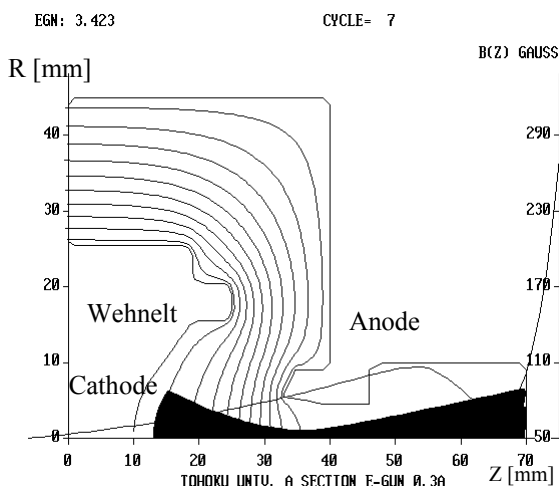


Figure 2: The beam profile of present electron gun (Calculation result by E-GUN).

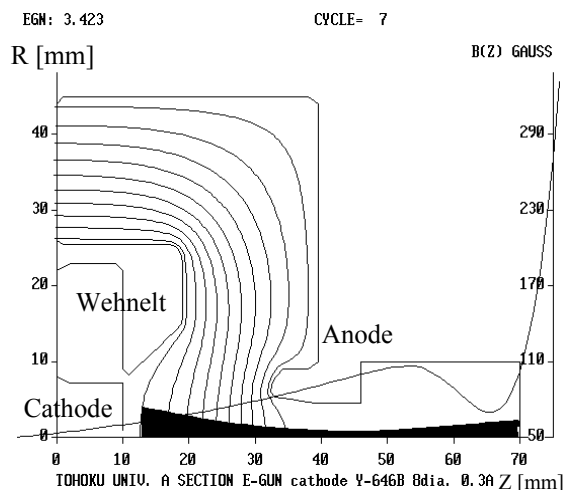


Figure 3: The beam profile of new electron gun (Calculation result by E-GUN).

3. ライナックインジェクター部ビーム解析

電子銃出力ビームを計算機コード E-GUN にて解析した結果を元に、ライナックインジェクター部 (電子銃から加速管 A1 まで) のビーム解析を計算機コード PARMELA にて実施した。収束コイルは G1, G2A, G2B, G3, A11, A12, A13 の計 7 台のソレノイドコイルがある。Figure 4 に現状のビームプロファイルを示す。収束コイル励磁電流は現状 50 MeV での運転条件の通りとした。電子銃からビームは収束と発散を繰り返しながらプリバンチャ、バンチャ空洞を透過し A1 加速管出口に到達している。ビーム透過率は約 28% で、現状運転条件のビーム透過率に近い値であった。Figure 5 に電子銃を新型に変更した時のビームプロファイル計算結果を示す。大強度電子ライナックは加速管、マグネットのアライメントが悪く、マグネット磁場を変更するとビームが曲がってライナックを透過しなくなる可能性が高いため、本計算時も収束磁場条件は変更しなかった。電子ビームはビームダクト、加速管内径に対して十分な余裕をもって A1 加速管出口まで到達し、そのビーム透過率は 78% であった。

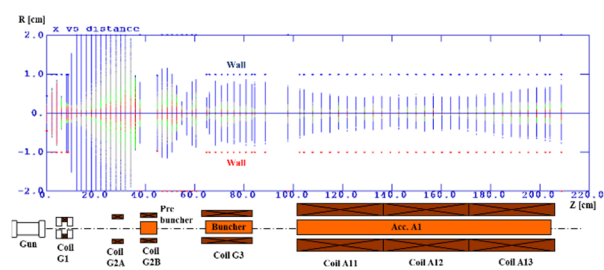


Figure 4: The beam profile of present Linac (Calculation result by PARMELA).

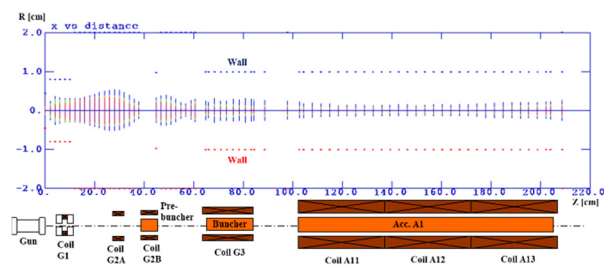


Figure 5: The beam profile of new Linac (New gun) (Calculation result by PARMELA).

4. 新型電子銃の製作

Figure 6 に従来型電子銃の図を示す。従来型電子銃の外筒はガラス製絶縁筒で、新型電子銃でもこれを共用することとし、内筒のみを新規に製作した。新旧電子銃内筒の図を Figure 7 に示す。旧電子銃は大電流用に設計されているため、ウェネルト上面からカソード面までの深さが深い。一方、新型電子銃は 300mA 程度の小電流で最適化した設計であるため、ウェネルト上面からカソード面までの深さが浅いことがわかる。

Y646B カソードは Figure 8 に示すようにグリッドと取付フランジが接地しているため、一般的にはグリッドを電子

銃高圧部に接続し、カソード側に-電位のパルスを入力してビームを出力させるが、従来型電子銃はカソードが電子銃本体に接地しており、グリッドに+電位のパルスを印加する構造となっていたため、本新型電子銃もそれに倣い、Figure 9 のような構造とした。

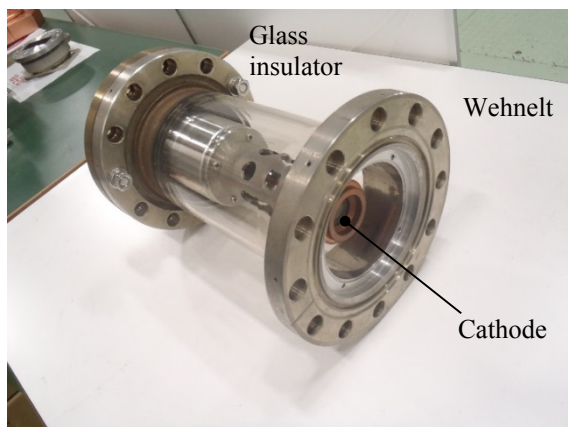


Figure 6: Present electron gun.

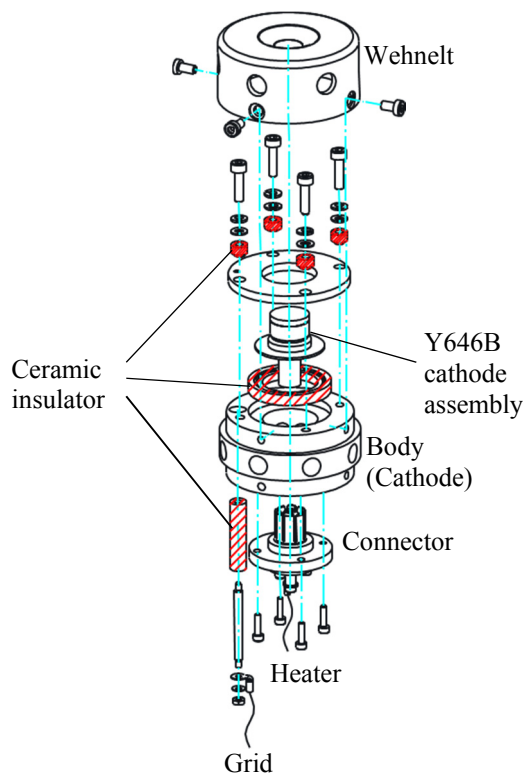
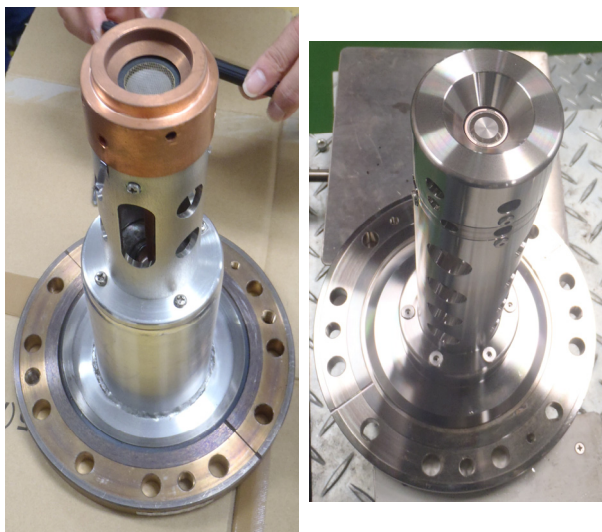


Figure 9: EIMAC Y646B cathode.



Old one

New one

Figure 7: The old and new inner cylinder.

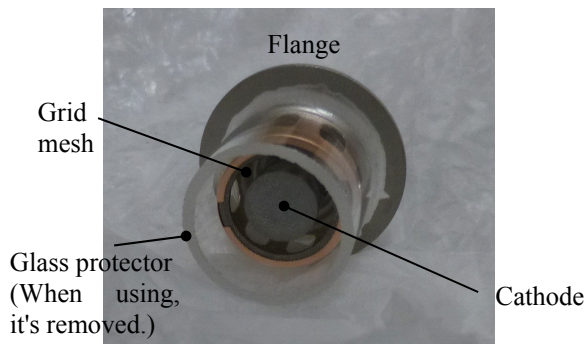


Figure 8: EIMAC Y646B cathode.

5. ビーム試験

電子銃をライナックにインストールする前に、電子銃単体にてビーム試験を行い、電子銃出力ビーム特性を計測することとした。電子銃単体試験セットアップは Figure 10 の通りで、電子銃出力側に 6 方管を設置し、その 6 方管にはビームサイズ計測用のプロファイルモニタ、ビューポート、真空を保持するポンプ、電流値計測用のファラデーカップ等が取り付けられている。電子銃と 6 方管の間には収束用ソレノイドコイルを設置し、ソレノイドコイルの磁場を変化させながらビームサイズを計測することによりビームエミッタンスを測定する(ソレノイドスキャン法 [6])。試験組立完了後、全体をターボポンプで真空引きしながら全体をリボンヒータ+アルミフォイルで加熱し、2 日程度ベーキングを行う。現在はベーキング処理中である。

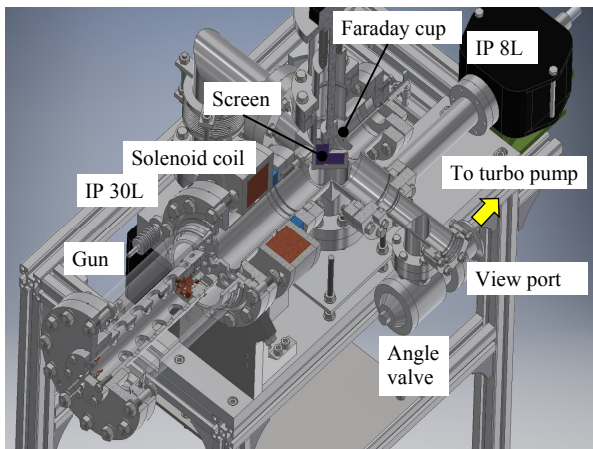


Figure 10: 3/4 cross-sectional view of the electron gun test assembly.

6. まとめ

東北大学大強度電子ライナック用に現運転条件で最適化した電子銃を製作した。PARMELA によるビーム解析では本電子銃を適用することによりビーム出力は倍増することが予想される。現在電子銃は単体ビーム出力試験に向けてベーク中である。

参考文献

- [1] Home page of Research Center for Electron Photon Science (ELPH), Tohoku University.
- [2] Mitsubishi denki Laboratory reports, Vol.9, No.3/4, October 1968.
- [3] http://laacg.lanl.gov/laacg/services/serv_codes.phtml
- [4] <http://egun-igun.com/>
- [5] T. Muto, “東北大学 300MeV ライナックにおける入射器の考察”, 電子光物理学研究センター 加速器グループレポート 2010-3, Jun 2011.
- [6] 秋山 和土, “LaB6 単結晶を用いた熱陰極直流型電子銃のエミッタンス測定”, 東北大学大学院理学研究科 修士論文, 2007.