

DEVELOPMENT OF L-BAND PHOTOCATHODE RF GUN

Shigeru Kashiwagi^{1,A)}, Ryukou Kato^{A)}, Yutaka Morio^{A)}, Yoshikazu Terasawa^{A)}, Kenichiro Huruhashi^{A)},
Goro Isoyama^{A)}, Hitoshi Hayano^{B)}, Toshiya Muto^{B)}, Junji Urakawa^{B)}, Masao Kuriki^{C)}, Chie Shonaka^{C)}

^{A)} Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University

8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

^{C)} Graduate School of Advanced Sciences of Matter, Hiroshima University

1-3-2 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, Hiroshima, 739-8511

Abstract

We have begun a project to develop the L-band photocathode RF gun for the 40 MeV L-band linac at ISIR, Osaka University in collaboration with KEK. The L-band linac with an RF frequency of 1.3 GHz is equipped with a thermionic electron gun and it can accelerate a high-intensity single-bunch electron beam with charge up to 91 nC/bunch. Because the large normalized emittance of $\sim 10^{-4}$ m-rad is a limiting factor in the experiments, it is required to develop a new electron gun capable of providing an electron beam with much lower emittance. Since a group at the KEK is developing a photocathode RF gun in the L-band for the International Linear Collider (ILC) project, we have joined the group to develop a RF gun. In developing such an RF gun, we take the photocathode RF gun for ILC as a starting model. In this first year, characteristics of the RF gun cavities will be measured at KEK for ILC fabricated by FNAL. We plan to optimize the structure of the RF gun for ISIR with computer simulation. We will report the plan and progress to develop a photocathode RF gun for the L-band linac.

LバンドフォトカソードRF電子銃の開発

1. はじめに

現在、阪大産研Lバンド電子ライナックでは100kV直流印加型熱カソード電子銃により大電荷量の単バンチ電子ビームを生成し、パルスラジオリンスなどの放射線化学研究や単一通過型FEL (SASE) の基礎研究を行っている。こうしたビーム利用実験の更なる高度化のために、2008年度よりKEK加速器支援事業の一環として、低エミッタンスかつ大電荷量電子ビーム生成が可能な、LバンドフォトカソードRF電子銃の開発をKEK・広島大学と共同で開始した。一方、KEKの超伝導高周波試験施設 (STF) において、ILCスペックのマルチバンチ電子ビームを使った超伝導空腔評価実験が計画されている。そのビーム実験を行うための電子源として1.5セルLバンドRF電子銃空腔を現在、米国フェルミ国立研究所 (FNAL) で製作中である。我々は、FNALで製作中のSTFビーム実験用空腔のローレベルRF評価およびハイパワー試験をKEKと共同で行い、そのRF特性やビームシミュレーションの結果をもとに阪大産研用RF電子銃の最適化を行う予定である。現在、FNAL空腔の最終的な周波数調整方法の検討を、空腔形状変化と共振周波数(1.3GHz, π モード)およびフィールドバランスの関係を計算する事により行っている。同時に、ローレベルRF測定に用いる同軸RFフィード型カップラーの設計・

製作にも着手した。本発表では、FNALで製作中のRF電子銃空腔の電磁場計算結果やローレベルRF空腔評価の状況、PARMELAによるビーム特性評価の結果などについて報告する。

2. LバンドフォトカソードRF電子銃

2.1 LバンドRF電子銃空腔

LバンドRF電子銃空腔 (共振周波数: 1300MHz) の設計では、まず現在FNALで製作中の1.5セル空腔をもとに行う事とした。このLバンドRF電子銃空腔は欧州のXFELプロジェクトで使用されているRF電子銃空腔と同じデザインのものである。これは、BNLタイプのSバンドRF電子銃空腔[1]をLバンドへ

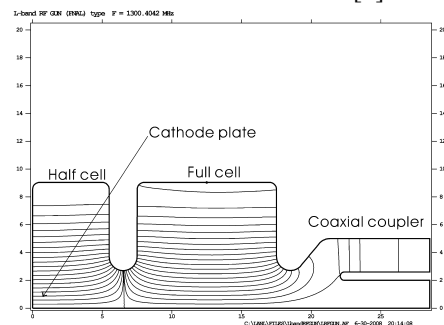


図1: LバンドRF電子銃の電場分布 (π モード)

¹ E-mail: shigeruk@sanken.osaka-u.ac.jp

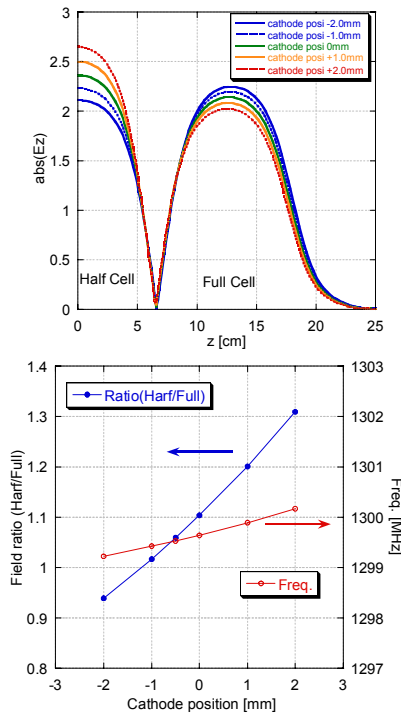


図2 (上)ビーム軸上電場強度のハーフセル長の関係、(下)カソード壁位置(0mmの位置がデザインのハーフセル長)とフィールドバランスおよび共振周波数

とスケールアップし、ハイ Duty の RF 供給にも耐えるように冷却水の取り回しを改良したものにしている[2]。そして、空洞内での電磁場の軸対称性のために同軸カップラーが用いられている。(また、空洞壁に多くの冷却配管があるため、BNL タイプの様にフルセルから RF 供給ができないので同軸カップラーが採用された) 図1に SuperFish [3] で計算した、Lバンド RF 電子銃空洞形状と電場分布(π モード)を示す。主な空洞形状は、ハーフセルとフルセル長はそれぞれ55mmと100mm、セル直径(2b)は約180mm、ディスク径(2a)およびフルセル下流側の開口径は約54mmである。

2.2 RF電子銃空洞の周波数調整

FNALで製作中のRF電子銃空洞の最終的な周波数

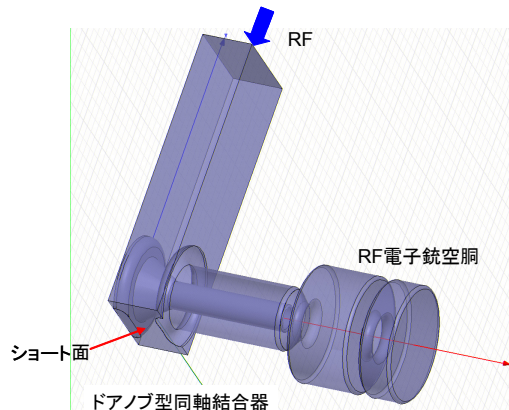


図3 LバンドRF電子銃空洞とドアノブ型同軸結合器 (HFSS計算に用いたモデル形状)

調整は日本国内で行う。共振周波数の調整を冷却水温度で行い、フルセルとハーフセルの電場強度比の調整はカソード取付け壁およびフルセル下流壁を機械的に押す事により調整する。

SuperFishを使い空洞径(2b)が変化した時の周波数変化を計算した。その結果、空洞半径が1mm変化すると共振周波数が約15.02 MHz変化する事が分かった。形状変化による周波数変化係数と銅の線膨張率($\alpha = 1.6 \times 10^{-5} / K$)から、冷却水温度を $1^\circ C$ 上昇させると約24KHz/ $^\circ C$ だけ共振周波数が下がる事が分かった。この温度変化に対する周波数変化量は、DESYでの実験的に測定された-22 KHz/ $^\circ C$ とよく一致する。また、カソード取付け壁を押す事でフィールドバランスがどれだけ変化するかについても計算を行った。その結果、1mmハーフセル長を変える事により電場強度比が10%変化する事が分かった。実際には、数100 μm セル長を変化させる事が限界であるため、空洞変形による電場強度比の調整は数%程度と考えている。

2.2 ドアノブ型同軸導波管変換器

前述したようにRF電子銃空洞へのRF供給には同軸カップラーを用いる。高周波源から角型導波管により供給されるRF (TE01モード) を結合器の同軸

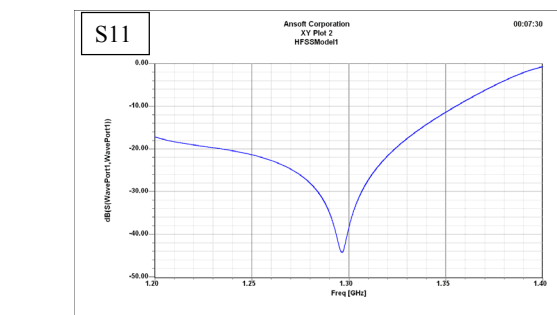
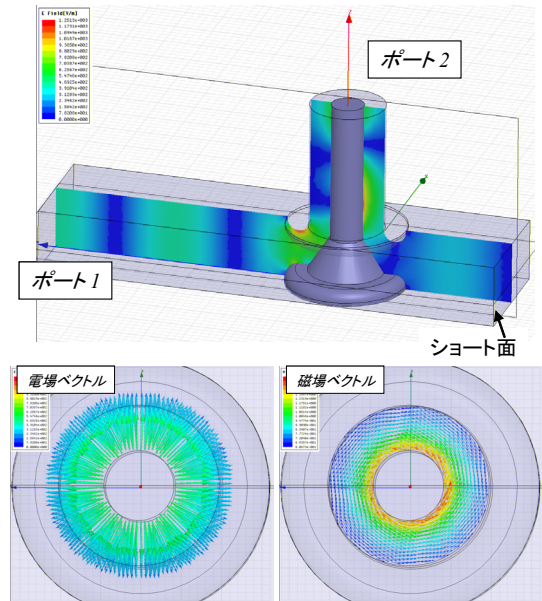


図4 (上)ショート板位置を決める際に用いたカップラーモデル、(中)ポート2の電場・磁場ベクトル分布、(下) S11周波数特性

モード (TEMモード) に変換するためにドアノブ型同軸導波管変換器を使用する。この同軸導波管変換器を含む同軸カップラーも空胴と同じくFNALで製作されるが、空胴の完成時期がカップラーよりも先になるため、RF空胴の特性測定のためにローレベル測定用のダミー同軸導波管変換器を製作する。そのためにHFSS [2]を使いドアノブ型同軸導波管変換器形状について考察を行った。

図3にHFSSの計算に用いたLバンドRF電子銃空胴およびドアノブ型同軸導波管結合器を示す。FNALの設計ではドアノブの一部を切り落とした位置にショート面を設ける設計になっている。加工の容易さなどを考え、製作するローレベル用カップラーは同軸中心より少し距離をとった位置にショート面を設けるモデルについて検討を行った。図4に検討を行ったドアノブ変換器カップラーのモデル、ポート2での電場と磁場強度分布、S11の周波数依存を示す。この時のHFSSでの計算では、ドアノブ形状はFNALのデザインと同じとし、入力側への反射が最小となるように (S11が最小) ショート板位置を決めた。ショート板を同軸中心から223mmの位置に設置した時にS11が最小となった。ショート位置を同軸中心より離れたため容量性スタブの機能は弱くなり、端板は反射補正の機能をなしていると考えられる。全体の導波管長が若干長くなるが、今回の測定用カップラーはショート面を同軸中心から離れた図4にある形状のものを作成する。

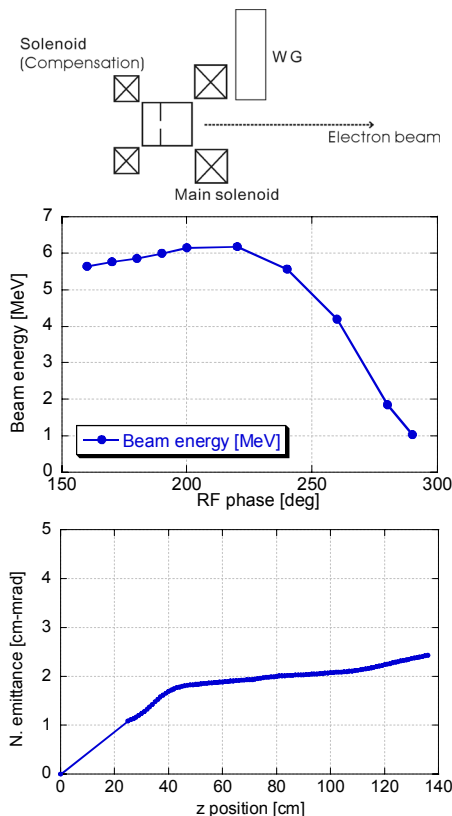


図5：(上) PARMELA計算に用いたレイアウト、(中) レーザー入射位相と加速管出口でのビームエネルギー、(下) ビーム軸に沿った規格化横方向(x)ビームエミッタンス。

3. ビームシミュレーション

PARMELAコードを用いてビームシミュレーションを行った。ビームラインは、RF電子銃空胴とエミッタンス補正用のソレノイド電磁石、カソード上磁場を打ち消すための補正用ソレノイド (Backingコイル) で構成されるものとした (図5上)。

カソード上の加速勾配を60MV/mとした時、RF電子銃でのエネルギー利得は最大約6.2MeVという結果が得られた。レーザーのRFに対する入射位相とエネルギー利得の関係を図5中に示す。また、ソレノイド磁石の位置や強度など、パラメータの最適化が十分なされていないが、ビーム軸に沿ったエミッタンス変化の一例を図5下に示す。この時のパラメータは、電荷量：1nC、レーザーサイズ：1mm (σ)、パルス長：10ps (σ)、レーザー入射位相：220°、ソレノイド磁場強度：1400Gaussであった。ドイツのPITZ (Photo Injector Test Facility at DESY Zeuthen) では、電荷量：1nCで3πmm mradの規格化横方向エミッタンスビームが達成されているという報告がなされている[2]。今後、カソードでのレーザーサイズやパルス長、入射位相、またソレノイド磁場の最適化など、パラメータサーチを行う必要がある。

また、LバンドRF電子銃では同軸カップラーを採用しているためエミッタンス補正用のソレノイドのボア径が大きくなる。そのため、ビームエミッタンスを劣化させるBzの縦方向磁場勾配(dBz/dz)がソレノイド電磁石の端部に大きく生じる。また、カソードでの磁場をゼロに補正するためにBackingコイルを用いるが、横方向磁場勾配(dBr/dr)は完全に打ち消す事ができない。今後、ソレノイドの形状設計および配置、同軸導波管径 (特に外導体径) の最適化が重要である。その他、RF空胴の熱計算を行い、冷却配管の新たな取り回しについても検討する。その結果をもとに、空胴壁に周波数調整用のチューナー取り付けの可能性について検討する。

謝辞

KEKの渡邊謙氏には、HFSSによる同軸導波管変換器の計算に際し、多くの助言を頂きました。ここに感謝致します。本研究は高エネルギー加速器研究機構の平成20年度加速器科学総合支援事業「大学等連携支援事業」の補助を受け行われている。

参考文献

- [1] X. J. Wang et al., Nucl. Instr. and Meth. A 375 (1996) 82-86.
- [2] K. Abrahamyan et al., Nucl. Instr. and Meth. A 528 (2004) pp.360-365.
- [3] http://laacg1.lanl.gov/laacg/services/serv_codes.phtml
- [4] <http://www.ansoft.com/products/hf/hfss/>