

DEVELOPMENT OF AN S-BAND MULTI-CELL ACCELERATING CAVITY FOR RF GUN AND BOOSTER LINAC

Tatsuro Aoki^{†A)}, Abhay Deshpande^{B)}, Junji Urakawa^{B)}, Noboru Kudo^{B)}, Kazuyuki Sakaue^{A)},
Toshikazu Takatomi^{B)}, Nobuhiro Terunuma^{B)}, Masafumi Fukuda^{B)}, Masakazu Washio^{A)},

^{A)} Research Institute for Science and Engineering, Waseda University (RISE)

17 Kikui-cho, Shinjuku-ku, Tokyo, 162-0044, Japan

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization

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

Abstract

We have been developing a photocathode rf gun. The rf gun with multi cell can produce a high energy electron beam, so it may be used for numerous applications such as medicine and industry. At Laser Undulator Compact X-ray source (LUCX), we have developed a compact X-ray source based on inverse Compton scattering^[1]. An S-band 3.5 cell rf electron gun which is 20 cm long can produce a high quality electron beam with energy of more than 10 MeV. According to the simulation, the emittance of 3.5 cell rf gun is as low as that of 1.6 cell rf gun. The electromagnetic design has been performed by the code SUPERFISH, and the particle tracing by PARMELA. The new rf gun is already installed and produced a high quality electron beam with energy of 8.7 MeV. As a consequence of the substantial efforts of developing rf cavity, we decide to make a compact RF accelerating structure with more cell for achieving a smaller system. The measurement results of using the 3.5 cell rf gun, the design of 12 cell booster cavity, and current status of 12 cell cavity manufacturing will be presented at the conference.

3.5 cell S-band フォトカソード RF 電子銃及び 12 cell 加速管開発

1. はじめに

レーザーフォトカソード RF 電子銃は小型かつ高品質な電子ビーム源として広く用いられており、短パルス電子源・円形加速器への入射器^[2]などとして様々な場面で利用されている。我々のグループはこれまでに S-band の 1.6 cell 空洞で構成された電子銃を 10 台以上製作し、安定運転することに成功している。一昨年度、従来型の 1.6 cell 電子銃構成に替え、モード間隔 (0 モードと π モードの周波数差) の広い電子銃空洞を設計・製作した。その結果、十分なモード間隔である 8.6MHz を得るとともに、暗電流が小さく、Q 値が高いことを確認した^[3]。このモード間隔の広い空洞の製作に成功したことで、より Cell 数の多い空洞の開発が可能であると判断した。今回は 3.5Cell の空洞を採用し、ビームエネルギーが 10MeV まで加速することができるため、医療や産業の分野において、今後さらに応用性を広げるものとなる。

RF 電子銃の作製にあたり、シミュレーションコード SUPERFISH を用いて共振周波数が π モードで 2856MHz の 3.5 cell 高周波加速空洞の設計を行い、モードの分離が十分であることを確認した。また、その加速空洞により生成される電子ビームを、シミュレーションコード PARMELA を用いて解析し、従来よりも高品質な電子ビーム生成が可能であることを確かめた。そのシミュレーション結果を基に空洞製作を進め、昨年度無事製作を終了し、現在ビーム試験を進めている。ビーム試験の結果より 10MeV 近い電子ビームの生成を確認した。

これら一連の開発努力によりさらに多くの加速空洞を有する 12 cell 加速管の開発に見通しがつき、現在デザインを進めている。3.5 cell RF 電子銃と 12 cell 加速管を合わせて用いることにより、高エネルギーかつさらに小型な加速器が実現可能となる。本講演では、3.5 cell RF 電子銃の設計・試験結果及び 12 cell 加速管の空洞設計と現時点までの製作状況を報告する。

2. 3.5 CELL RF 電子銃製作

はじめに、3.5 cell RF 電子銃を製作するにあたり、 π モードでの共振周波数のターゲットを 2856MHz とした。以下図 1 に π モードで共振している 3.5 cell 空洞の形状と電磁場の様子を示す。図中の灰色で塗られた部分が空洞となっており、この構造体を横軸を中心軸として一回転させたものが空洞の立体的な形となる。赤線が空洞内での電場の様子である。

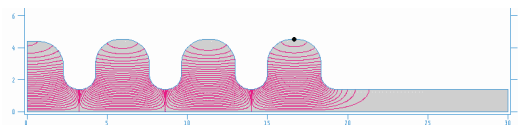


図 1: SUPERFISH による 3.5 cell RF 電子銃シミュレーションの様子

空洞シミュレーション結果を元に製作を進め、昨年度無事製作が完了した (図 2)。その後電子銃は、KEK 内に設置された先端加速器研究施設 (ATF) のビームラインに入射器として導入され、安定運転に成功している。

* Work supported by JST Quantum Beam Program

[†] aokitatsuro@ruri.waseda.jp

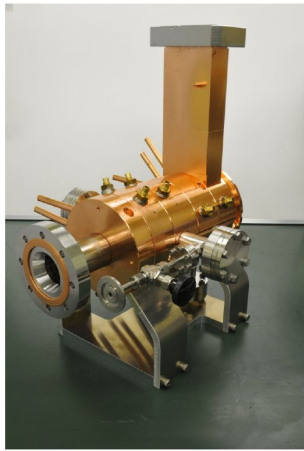


図 2: 製作終了後の 3.5 cell RF 電子銃

また ATF に導入した際の空洞内のビーム軸上における電場強度分布と各モードの共振周波数測定結果を図 3、4 に示す。

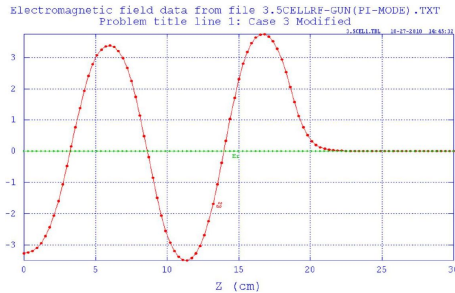


図 3: 3.5 cell RF 電子銃空洞内ビーム軸上の電場強度分布

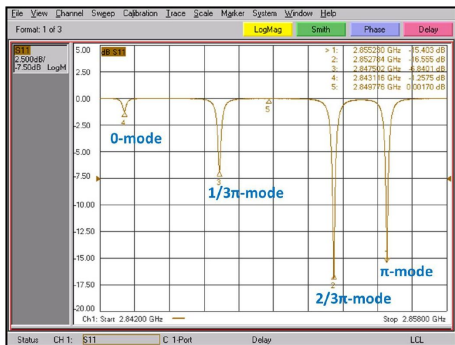


図 4: 各モードの共振周波数

図 4 よりモード間隔が十分に広いことが確認できる。表 1 に共振周波数の測定によって得られた本空洞のパラメータを示す。

3. ビーム加速試験

3.5 cell RF 電子銃を ATF のビームラインに導入した後、実際に電子ビームを生成し解析することで電子銃の性能評価を行った。エージングを行った後、これまで電子銃へ最大で高周波電力 13MW の入力に成功し、8.7MeV のエネルギーをもつ電子ビームの生成が確認で

きた (図 5)。現在のところ、生成できているビームエネルギーは RF のパワーによって制限されており、10MeV を超えるビームの生成が可能であると考えている。

表 1: 3.5 cell RF 電子銃のパラメータ

π モード共振周波数	2855.235 MHz (真空中 2856 MHz)
Q 値	15456
β	0.71
Temperature	34.7
Mode Separation	12.164 MHz

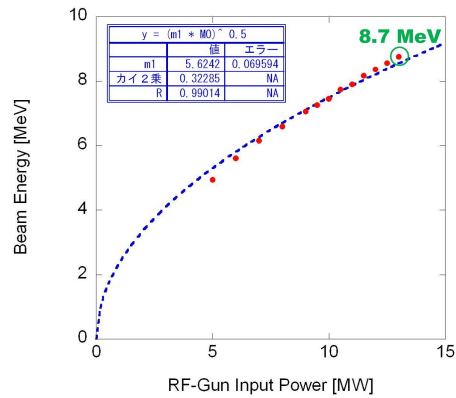


図 5: 3.5 cell RF 電子銃のインプットパワーに対する電子ビームのエネルギー

また RF 位相に対して加速される電子ビームの電荷量とエネルギーを調べ、PARMELA を用いたビームシミュレーション結果と比較し近い挙動を示すことが確認できたため (図 6)、最終的にはほぼ予定通りの空洞形状とすることができたことがわかる。

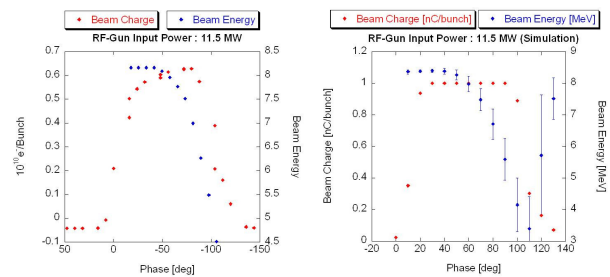


図 6: RF 位相に対する電荷量とエネルギー (左) 測定結果 (右) PARMELA シミュレーション

4. 12 CELL 加速管開発

3.5 cell RF 電子銃の製作・試験結果を受け、さらに多くの加速空洞を有する 12 cell 加速管開発の見通しがあった。現在、空洞シミュレーションコード SUPERFISH により空洞形状の最適化を行っている (図 7)。

製作するにあたりターゲットとしたのは π mode での共振周波数が 2856MHz であり、Field Balance が全ての

cell において等しくなるものである。SUPERFISH により得られた 12cell 加速管内の電場強度分布と空胴パラメータを図 8、表 2 示す。

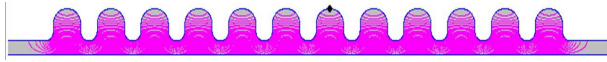


図 7: SUPERFISH による 12 cell 加速管空胴シミュレーション

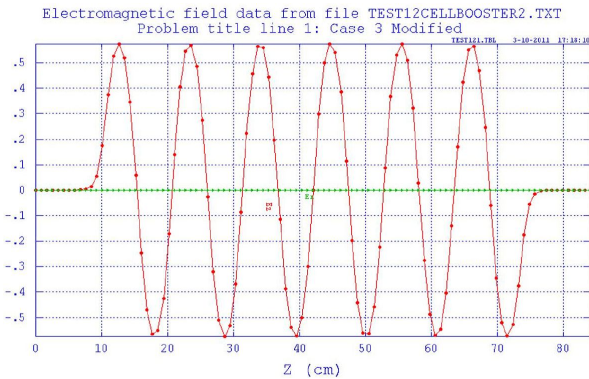


図 8: 12 cell 加速管内のビーム軸上における電場強度分布

表 2: 12 cell 加速管のパラメータ

π モード共振周波数	2856 MHz
Q 値	15456
シャントインピーダンス	55.43 M Ω /m
Mode Separation	13.3 MHz

ここで問題となるのが 12 cell の加速空胴を持つことから共振モードが $0/11\pi$ モードから $11/11\pi$ モードの 12 個存在するため、Q 値が 15000 程度において 13MHz のモード間隔は必ずしも十分ではない。そこで、3.5 cell RF 電子銃の形状をそのまま踏襲したのからアイリスを全体的に小さくすることで、モード間隔が広がることをシミュレーションにより確認した。従来型空胴の場合とアイリスを全体的に 3mm 小さく設計した場合の各モード共振周波数を図 9 (左側) に示す。また従来型空胴における 2856MHz における π モードと $10/11\pi$ モードの混じり込みの様子を図 9 (右側) に示す。

このシミュレーション結果を実際の空胴において確かめるため、12 cell 加速管その内 4 cell 分の空胴材料を用いて、従来型形状までの削り代を利用しモード間隔を拡げる試験に着手している (図 10)。今後、アイリスを小さくしたことによるビームへの影響も考慮しつつ、モード間隔の取れる最適値を模索し、設計を固めた上で製作に入る予定である。

製作終了後、KEK 内に設置された小型電子線加速器 (LUCX) に導入しビーム加速試験を行う予定である。現在ビームラインに組み込まれている 3m の進行波型加速

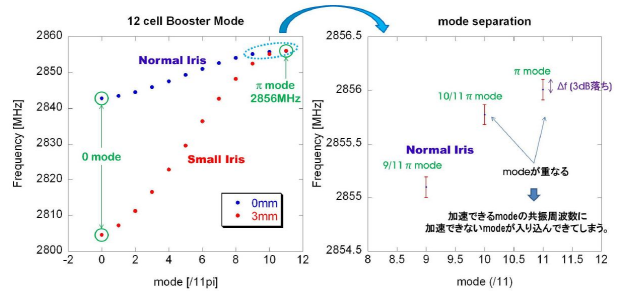


図 9: 各モードの共振周波数 (左) 従来型空胴と small iris 空胴のモード間隔 (右) 従来型空胴の 2856MHz におけるモードの混じり込み

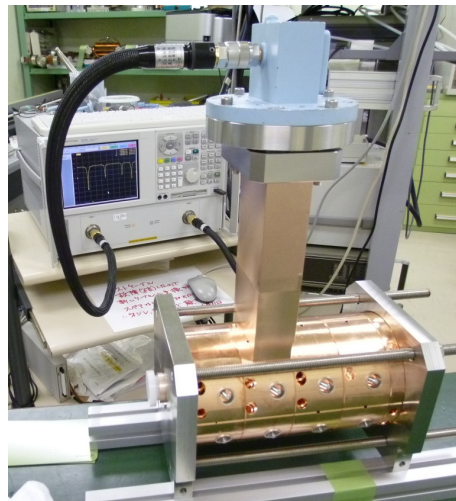


図 10: 4 cell 加速空胴を用いたモード間隔拡大試験

管と比べ得られる電子ビームのエネルギーやエミッタンスは損色ないことをシミュレーションにより確認しているため、性能はそのままに 3m から 80cm への装置の小型化が可能となる。

5. まとめと今後

今回無事製作を終えた 3.5 cell RF 電子銃が十分な性能であることを確かめられたため、その結果を受け 12 cell 加速管の開発に着手した。今後 3.5 cell RF 電子銃のより詳細な性能評価試験を行う予定である。また今年中に 12 cell 加速管製作を終え、最終的に LUCX ビームラインにおいて 3.5 cell RF 電子銃と 12 cell 加速管をこれまで用いてきた 1.6 cell RF 電子銃と 3m 加速管に替え同時に導入することで、12 cell 加速管のビーム加速試験を行い、小型かつ高エネルギー電子ビーム生成可能な加速器の実現を目指す。

参考文献

- [1] Kazuyuki Sakaue et al., Rev. Sci. Instrum. 80, 123304 (2009).
- [2] N. Terunuma et al., Nucl. Instr. and Meth. A 613 (2010), p. 1.
- [3] Abhay Deshpande, Nucl. Instr. and Meth. A 600 (2009), p. 361.