

DEVELOPMENT OF L-BAND RF GUN (VI)

Keigo Kawase^{#,A)}, Ryukou Kato^{A)}, Akinori Irizawa^{A)}, Masaki Fujimoto^{A)}, Fumoyoshi Kamitsukasa^{A)}, Hiroki Ohsumi^{A)}, Masaki Yaguchi^{A)}, Goro Isoyama^{A)}, Ken Watanabe^{B)}, Hitoshi Hayano^{B)}, Junji Urakawa^{B)}, Toshikazu Takatomi^{B)}, Masao Kuriki^{C)}, Shigeru Kashiwagi^{D)}

^{A)} Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University, 8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization, Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

^{C)} Graduate School of Advanced Sciences of Matter, Hiroshima University,
1-3-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, Hiroshima, 739-8530

^{D)} Research Center for Electron Photon Science, Tohoku University,
1-2-1 Mikamine, Taihaku, Sendai, Miyagi, 982-0826

Abstract

In order to upgrade the performance of the electron linac at the Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University, we have been developing an L-band photocathode rf-gun collaborating with Osaka University, KEK, and Hiroshima University. It is a 1.5-cell rf-gun operating in 1.3 GHz based on the developed at DESY for the test facility of the international linear collider. Comparing with the DESY type, the new rf-gun is designed to have a good thermal stability by increasing the cooling power of the cavity. At the last year, we have finished the low-level rf study and the adjustment of the resonant frequency and field distribution of the cavity. And furthermore, we have started a basic study of the development of the laser system to drive the rf-gun. We have designed the laser system based on the mode-lock fiber laser oscillator and fiber amplifier. In this meeting, we report the results of the low-level rf study of the rf-gun cavity and the present status of the mode-lock fiber laser oscillator.

Lバンドフォトカソード RF 電子銃の開発 (VI)

1. はじめに

現在、大阪大学、KEK、広島大学と共同でLバンドフォトカソードRF電子銃の開発研究を実施している。このRF電子銃は国際リニアコライダの試験加速器のためにDESYで開発された1.3GHz、1.5セルのフォトカソードRF電子銃と同様の設計をもとに、さらに冷却能力を増強したものである。

これまでに加速器学会等において、本研究の設計詳細、組み立て前の各種試験と特性評価などを報告してきた[1 - 4]。昨年度の加速器学会年会においては、RF電子銃空洞本体のロウ付け前に実施した銅サンプルのロウ付け試験の詳細と、空洞本体のロウ付け前後での共振周波数と電場分布の測定結果、さらにロウ付け時の空洞変形に起因すると考えられる周波数と電場分布の設計値からのずれについて報告した。

今年度の年会においては、空洞の変形を修正することによる共振周波数と電場分布の修正と、冷却配管を取り付けた後の最終的な低レベルRF試験の結果とハイパワーRF導入試験のための準備状況について報告する。さらに昨年度から開始しているカソード駆動用のレーザーシステムの開発の概要と、製作したファイバーレーザー発振器の特性についても報告する。

2. 空洞の低レベルRF試験と調整

現在製作しているRF電子銃空洞の主要部はそれ

ぞれカソード側空洞部（ハーフセル側）、アイリス部、出口側空洞部（フルセル側）の3つの空洞部品から構成されており、これらをロウ付けにより結合する。昨年度に報告した通り、ロウ付け後、空洞の共振周波数はロウ付け前と比較して880kHz低下した。さらにビーズ法による空洞内電場分布の測定を実施した結果、ハーフセルとフルセルのピーク電場強度比が1と設計したところをフルセルの方が1.64倍大きかった。この共振周波数および電場分布の変化は、ロウ付け時に空洞本体を保持していた部分に荷重がかかり、カソード側および出口側端板が内側に凹んだことが原因と考えられる。実際に、空洞の外形寸法を計測したところ、両端板ともに数100μmオーダーで空洞中心部が凹んでいた。また共振周波数と電場分布の変化の振る舞いについては、電磁場計算コードSUPERFISHを用いて、実際の凹みと同様の振る舞いであることを確認した。そのため、周波数および電場分布を調整するために、空洞両端板中心部の引き出し作業を、周波数・電場強度比を確認しながら実施した。

周波数・電場分布調整は図1に記したように油圧ジャッキにより空洞を変形させて実施した。これは先行器であるDESY型LバンドRF電子銃空洞の製作時にも実施した手法とほぼ同様である。図2に記したように、ジャッキによって空洞端板を引き出していくと途中で共振周波数変化の振る舞いが変わる点があり、ここで空洞が永久変形したと考えられる。実際に、ジャッキによる荷重を解放した後、再度荷重をかけると永久変形させた周波数までは緩やかに

変化し、その点でまた周波数変化の振る舞いに変化する。このような操作をカソード側、出口側の各端板についてその周波数と電場強度比の変化量を確認しながら、目標周波数となり、かつ、強度比が1となるように引出量を見積もって、空洞調整を実施した。その結果、ほぼ理想的な周波数と電場分布が得られた。

その後、空洞周辺の冷却水配管等を再度ロウ付けして取り付けた。この時には、空洞本体に不要な自重負荷がかからないように、空洞外周の肉厚部で自重を保持するようにしてロウ付けを実施した。その結果、配管ロウ付け後の共振周波数および電場分布の測定において、実施前と比較して大きな変化は見られなかった。最終的な共振周波数と電場分布の測定結果を図3に記す。



図1：周波数調整器と調整中の電子銃空洞の様子。陰極側調整時は、RF 入力結合器試作器を利用して共振周波数を測定し、出口側調整時はアンテナ結合器を利用する。

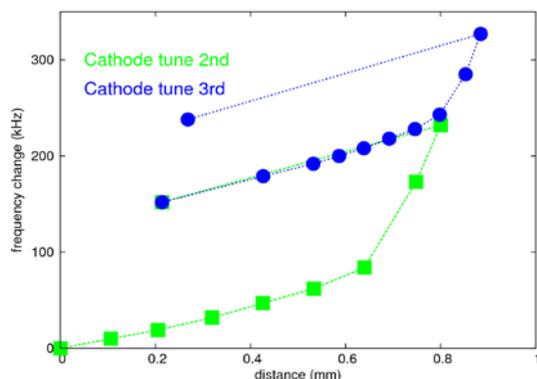


図2：カソード側調整時の共振周波数変化。

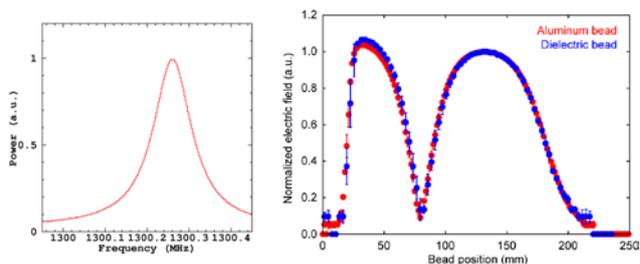


図3：冷却水管等ロウ付け後の共振周波数(a)と電場分布(b)。

3. ハイパワーRF 試験のための準備

空洞の低レベル RF 試験および調整が終了したので、KEK の超伝導 RF 試験施設 (STF) においてハイパワーRF 試験を実施するための準備を進めている。現在 STF で先行して稼働している DESY 型 L バンド RF 電子銃で使用している RF 導入系、冷却水系等を利用し、ハイパワーRF 導入試験を実施する。RF 導入用入力結合器は共用が困難であるため、先行器を参考に新たに製作した。

今夏、STF の夏季の長期運転停止、保守期間を利用して、製作した RF 電子銃空洞のハイパワーRF 導入試験を実施する予定である。

4. カソード駆動用レーザーシステム

フォトカソード駆動用のパルスレーザーシステムの開発も開始している。ここでは、汎用性、安定性とコストの面からファイバーレーザーを基礎としたレーザーシステムを選択した。昨年度からまず、モード同期ファイバーレーザー発振器[5, 6]の製作を進めている。レーザー媒質にはイットリビウム添加ファイバーを用い、繰り返し数は大阪大学産業科学研究所量子ビーム科学施設にある L バンド電子ライナックの自由電子レーザー実験に利用しているバンチ繰り返し数である 108 MHz に合わせて調整している。この発振器の概要を図4に記す。

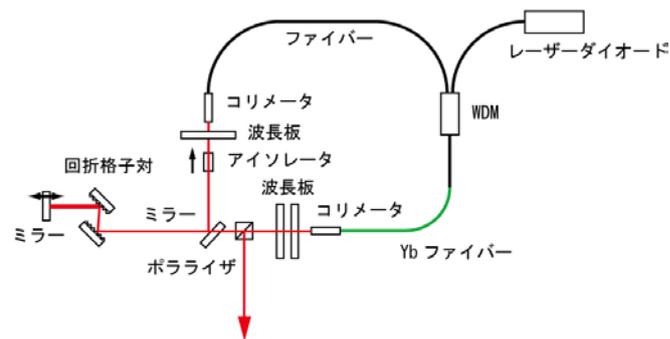


図4：モード同期ファイバーレーザー発振器の概要。

現在、モード同期した 108 MHz のパルス動作で、平均出力パワーは 100 mW 以上の出力を得ており、CW 成分が無視できると仮定すると、パルス強度は 1 nJ と見積もることができる。フォトダイオードで測定したパルス波形を図 5 に記す。また、図 6 に分光器で測定したモード同期スペクトルを記す。ガウス分布を仮定したスペクトル幅より、フーリエ限界パルス幅は 70 fs と見積もることができる。

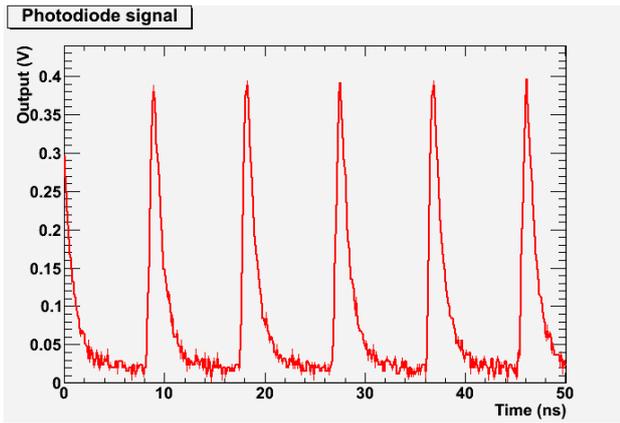


図 5：フォトダイオードで計測したモード同期レーザーパルス波形。

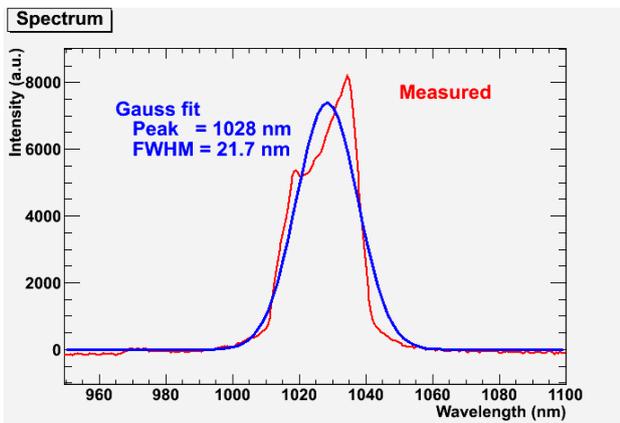


図 6：モード同期した時のレーザースペクトル。

パルス強度やパルス幅などの基本的なパラメータについては、今後自己相関計測系を構築し、詳細に計測する必要がある。また、加速器運転との同期を取るために、繰り返し数同期システムの構築も今後の開発事項である。

5. まとめ

開発を進めている L バンド RF 電子銃の主要部分である RF 空洞の組み上げがほぼ完了し、低レベル RF 試験を完了した。今後、ハイパワー RF 導入試験へ移行する。

カソード駆動用レーザーシステムの開発については、レーザー発振器を製作し、発振を確認した。今

後、出力パラメータの詳細な計測や、同期系の構築、後段の増幅システムの構築を進める。

6. 謝辞

本研究は高エネルギー加速器研究機構大学等連携支援事業の援助を受けて実施している。RF 空洞の製作はコミヤマエレクトロンが実施している。ファイバーレーザー開発に関しては、東京大学物性研究所の小林氏、原子力研究開発機構の近藤氏、小菅氏、大阪大学レーザーエネルギー学研究センターの吉田氏、栗田氏に多くのご助言、ご示唆を受けている。

参考文献

- [1] S. Kashiwagi, et al., "Development of L-band photocathode RF gun", Proceedings of the 5th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 33rd Linear Accelerator Meeting in Japan, (Aug. 6 – 8, 2008, Higashihiroshima, Hiroshima), 984.
- [2] S. Kashiwagi, et al., "Development of L-band photocathode RF gun (II)", Proceedings of Particle Accelerator Society Meeting 2009, (Aug. 5 – 7, 2009, Tokai, Ibaraki), 885.
- [3] G. Isoyama, et al., "Development of L-band photocathode RF gun (III)", Proceedings of the 7th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, (Aug. 4 – 6, 2010, Himeji, Hyogo), 818.
- [4] G. Isoyama, et al., "Development of L-band photocathode RF gun (III)", Proceedings of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, (Aug. 1 – 3, 2011, Tsukuba, Ibaraki), 1152.
- [5] X. Zhou, et al., Opt. Exp **16**, 7055 (2008).
- [6] T. Kurita, et al., Opt. Exp **19**, 25199 (2011).