

## Electromagnetic heat design of S-band Linac

Kohta Kambe<sup>1,A)</sup>, Kunihiro Miyoshi<sup>A)</sup>, Akira Sakumi<sup>A)</sup>, Toru Ueda<sup>A)</sup>, Mitsuru Uesaka<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup>Department of Nuclear Engineering and Management School of Engineering, The University of Tokyo  
22-2 Shirane-shirakata, Tokai, Naka, Ibaraki, 319-1188

### Abstract

At The University of Tokyo, We have been planning to introduce Na<sub>2</sub>Kb cathode which can be driven by visible light and have high QE. But there have been several problems since cartridge-type cathode exchange system. We think these problems are to do with RF Electromagnetic heat. In this conference, we will report the relations of these problems with Electromagnetic heat and future plans of a Na<sub>2</sub>Kb and RFGUN at The University of Tokyo.

### S-band Linac の電磁熱設計

#### 1. はじめに

フォトカソードRF電子銃は、低エミッタンスかつ短バンチ電子ビームの生成が可能な電子源として、リニアコライダーや次世代放射光源であるX線FELへの応用が期待されており、またポンプ&プローブ実験に有用である。

東京大学原子力専攻のライナック施設に設置されているS-bandの18MeV Linac (18L)では、サブピコ秒

からフェムト秒時間領域の現象、特に放射線誘起反応初期過程の解明を目的としたポンプ&プローブ方式の高時間分解能パルスラジオリシスシステムが構築されており、フォトカソードRF電子銃が使用されている<sup>[1], [2]</sup>。

フォトカソードRF電子銃を用いたパルスラジオリシス用の18Lの体系図を図1に示す。18Lは主に、フォトカソードRF電子銃 (1.6 cell BNL-GUN -IV)、加速管、Qマグネット、シケイン型磁気パルス圧縮器からなる。また、フォトカソード励起用レーザー及びプローブ用レーザーの光源は、0.3TWのTi:Sapphireフェムト秒レーザーを使用しており、途中スプリッターで2つに分けている。パルスラジオリシス実験では、超短パルス電子ビーム、高精度同期システム、大電荷量ビームの3つが高時間分解能のために要求される。現在、それぞれの課題について研究が行われている<sup>[3]</sup>

東京大学では高い量子効率を持ち、400nm(Ti:Sapphireレーザーの2倍高調波)の可視光で駆動するNa<sub>2</sub>Kbカソードの導入を計画している。

しかし、東京大学18Lでは、酸素、水分に対する反応性が高い半導体カソードを使用するためのカートリッジ型カソード交換システムの導入以降、さまざまな問題が生じている。

本研究では、18Lにおいて、現在生じている様々な問題と、その原因、今後の展望について報告する。

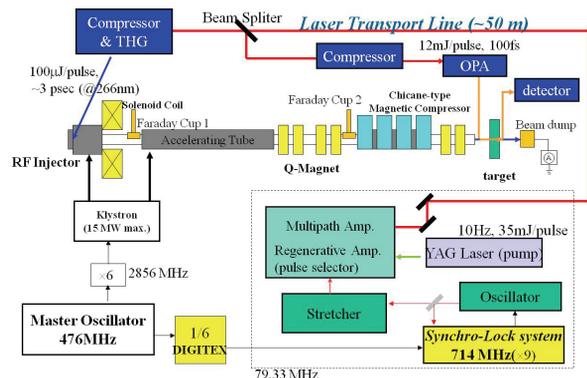


図1. 18Lパルスラジオリシス体系図

#### 2. カートリッジ型カソード交換システム

Cs-Te, Na<sub>2</sub>KsBなどの半導体カソードは高い量子効率をもつため、レーザーに負担をかけず、安定的に大電荷ビームが得られる。しかし、酸素、水分に対する反応性が高いため、カソード生成時から電子銃へのインストール時まで一貫して超高真空に保つ必要がある。18Lに導入されているカートリッジ型カソード交換システム(SPring-8、浜松ホトニクス、東大)は、工場生産されたカートリッジ管内にカソードが真空封じされているため、製膜装置なしで高QEカソードの使用が可能であり、コンパクトである。図2にカートリッジ型カソード交換システムの概略図を示す。

このシステムは、カソード交換可能なRF電子銃端板、カソード交換装置、及びカートリッジ管から成る。Spring-8との違いはカートリッジ管を保管しておくリボルバーがない点である。カソード交換可能なRF電子銃端板とは、通常の端板にプラグ挿入用の孔を開けたものである。

このシステムの機構上の問題で、以前のMgカソード用端板の後ろについていた冷却管が取り除かれている。それぞれの端板の写真を図3に示す。

<sup>1</sup> E-mail: [kasokuki@tree.odn.ne.jp](mailto:kasokuki@tree.odn.ne.jp)

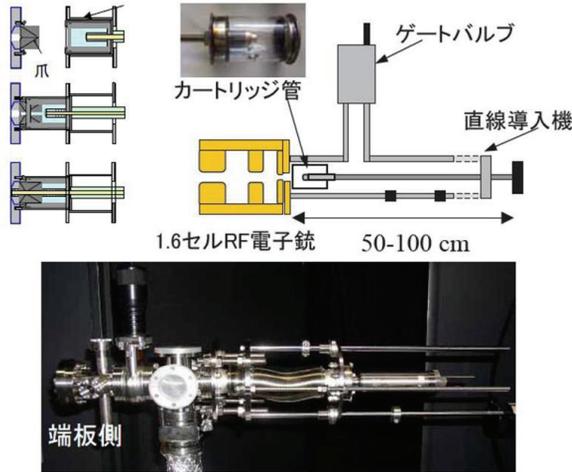


図2 カートリッジ式カソード交換システム概略図



図3Mgカソード端板, カードリッジ型システム用端板

### 3. 東大18Lの問題点

#### 3.1 反射波形の乱れ

東京大学18Lは、高周波を $2\mu s$ 、10pps印加で運転している。図4に高周波の出力に違いによる反射波形を示す。



図4 反射波形

高周波の出力を上げると反射波形の高さが半分になっている。そのため、電場が規定どおりたっていないことが予測される。

高周波の入射波形、反射波とQ値の関係は以下の式で表す。<sup>[4]</sup>

$$E_e = \begin{cases} \alpha \left[ 1 - e^{-\frac{\pi(1+\beta)t}{Q_0}} \right] & (0 < t < t_1) \\ \alpha \left[ e^{-\frac{\pi(1+\beta)t_1}{Q_0}} - 1 \right] e^{-\frac{\pi(1+\beta)(t-t_1)}{Q_0}} & (t > t_1) \end{cases} \quad \beta = \frac{Q[\text{空洞}]}{Q[\text{導波管}]} \quad (1)$$

$$P = \begin{cases} -(E_0 - 1)^2 & (0 < t < t_1) \\ -E_0^2 & (t > t_1) \end{cases} \quad (2)$$

反射波形は導波管のQ値と、空洞のQ値の比 $\beta$ に依存する。端板部の冷却管を取り除いたことで生じる高周波の電磁熱によって、RF電子銃のQ値が変化してしまったことが原因と考えられる。

#### 3.2 電子の透過率

18Lの加速管の前後にFaraday cupが設置されており、電子ビームの電荷量を測定できる。表1に各Faraday cupの電荷量を示す。

カソードの種類にかかわらず、加速管前後の透過率は悪い。原因は3.1で述べたように、熱膨張によって電場強度が減少し、ビームエミッタンスが悪くなったことが原因だと考えられる。

	FC-1	FC-2	透過率
Cs-Te	6nc	4nc	66.6%
Na <sub>2</sub> K Sb	2.2nc	1.7nc	77.2%

表1 電荷量とビーム透過率

### 4. 熱解析

RF電子銃の熱解析には、有限要素法解析ソフトANSYSを使用した。ANSYSは構造解析、伝熱解析、流体解析などの豊富な解析機能を持ち、また複数場(構造/熱/流体...)に対する連成解析機能を持つ。

熱解析を行うにあたって、まずSuperfishで求めた電場分布から、電磁熱を計算しRF電子銃の壁面に熱流束を印加した。以下の境界条件で計算した。

- ① 初期温度 298[K]
- ② 冷却水温度 298[K]
- ③ 冷却水流速 1L/s
- ④ カードリッジシステムと端板の接合部のビーム方向の変形を0
- ⑤ 端板とRF電子銃空洞の接合部のビーム方向の変形を0
- ⑥ 定常解析

図6, 7にRF電子銃温度分布および、熱膨張分布を示す。計算された熱膨張を再びsuperfishに入れて計算すると、共振周波数は92kHzずれている

ことが分かった。Superfishで計算された、18LRF電子銃のQ値は13667.2である。高周波電力が共振周波数に対して正規分布に従うとすると、電場強度は規定の約7割になる。

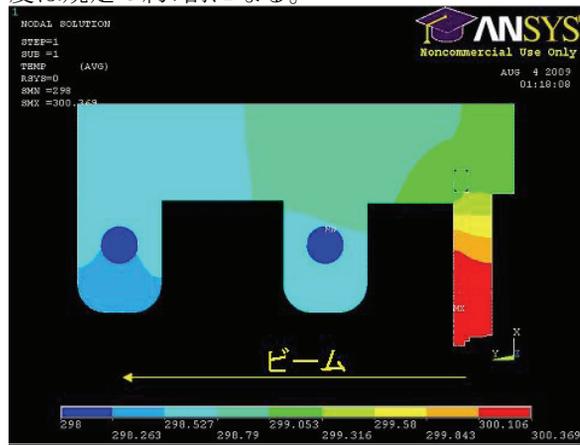


図6 RF電子銃の温度分布

図8 新、旧端板図面  
共振周波数のずれは20kHzに抑えられ、電場も規定の95%になる。

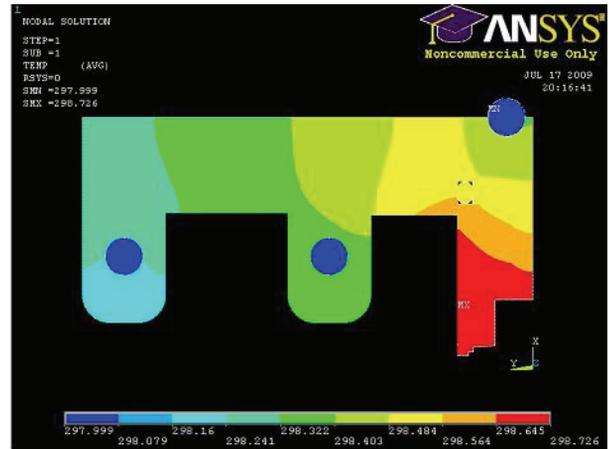


図9 新端板温度分布

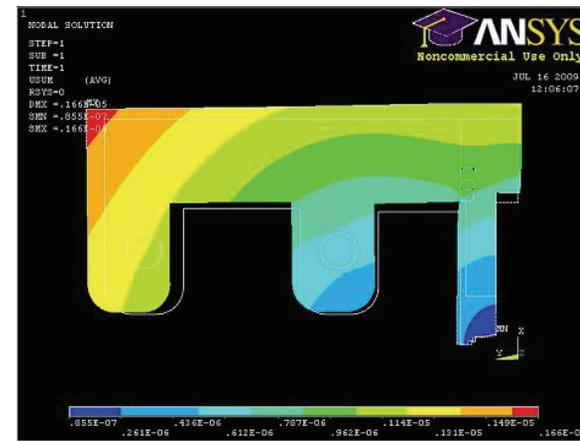


図7 RF電子銃の熱膨張分布



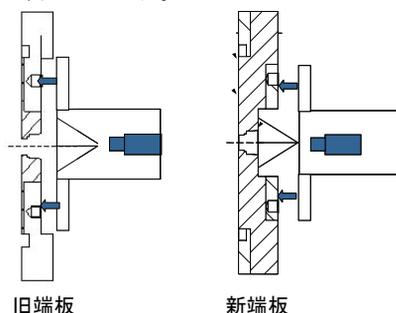
図10 新端板熱膨張分布

## 5. 新端板の製作、取り付け

熱問題を解決するため、冷却管をつけた新しい端板を製作した端板の冷却効果を高めるために銅の割合を多くなるように設計した。そのため、冷却管をカートリッジ型カソード交換システムの機構のうち、カソードの真空を破る鳥口の位置変更した。図8、に記す。

現在カードリッジ型カソード交換システムの取り付けは終了し、ペーキング中である。

また新端板でも熱解析を行った。図9,10に温度分布、熱膨張分布を示す。



## 6. まとめ、今後の予定

熱膨張によって電場強度が規定よりどの程度弱くなっているか予想できた。今後このデータを元に粒子の経路をシミュレーションし、10月の実験と照らし合わせる。また、今回の計算ではQ値の変化による反射波の異常が再現できなかった。過渡解析に計算を代えることで再現を試みる。

今後の予定は、端板熱設計改良を実証して、共振を安定化し、Na2KSbの可視光試験を円滑に実施できる状況を今年度に構築する

## 参考文献

- [1] T. Kobayashi et al, Journal of NUCLEAR SCIENCE and TECHNOLOGY”vol.39, No.1, p.6-14, 2002
- [2] M. Uesaka et al., Radi. Phys. Chem, **60** (2001).
- [3] A. Sakumi, et al., Proc. 2005 PAC 3079-3081
- [4] 谷口義洋, 修士論文, 東京大学(2009)