

## DEVELOPMENT OF L-BAND RF GUN (IV)

Goro Isoyama<sup>#,A)</sup>, Ryukou Kato<sup>A)</sup>, Keigo Kawase<sup>A)</sup>, Akinori Irizawa<sup>A)</sup>, Naoya Sugimoto<sup>A)</sup>, Jie Shen<sup>A)</sup>, Sho Hirata<sup>A)</sup>, Masaki Fujimoto<sup>A)</sup>, Fumiyoshi Kamitsukasa<sup>A)</sup>, Hiroki Ohsumi<sup>A)</sup>, Harue Sugiyama<sup>B)</sup>, Hitoshi Hayano<sup>B)</sup>, Ken Watanabe<sup>B)</sup>, Junji Urakawa<sup>B)</sup>, Toshikazu Takatomi<sup>B)</sup>, Masao Kuriki<sup>C)</sup>, Shigeru Kashiwagi<sup>D)</sup>

<sup>A)</sup> Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University, 8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047

<sup>B)</sup> High Energy Accelerator Research Organization, Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

<sup>C)</sup> ADSM/Hiroshima University, 1-3-1 Kagamiyama, Higashihiroshima, Hiroshima, 739-8530

<sup>D)</sup> Research Center for Electron Photon Science, Tohoku University,  
1-2-1 Mikamine, Taihaku, Sendai, Miyagi, 982-0826

### Abstract

We have been developing an L-band photocathode RF gun for Osaka University in collaboration with KEK and Hiroshima University since 2008. It is an 1.5 cell RF gun of the DESY type with a coaxial input coupler. The RF gun will be used not only at Osaka University but also at STF of KEK, so that it can be stably operated for STF experiments at the input RF power of 5 MW with 1 ms duration and a 5 Hz repetition rate, resulting in the average input power of 25 kW. Last year we reported design study of the water-cooling system and experimental test on brazing not to leak out to the inner surface of the RF cavity. Following the activities in the preceding years, we conducted the final brazing test and confirmed the working assumption. We made the detailed mechanical design and then start making it. Owing to a trouble in brazing, we need to tune the RF frequency and adjust the field balance mechanically. We report the recent progress in development of the RF gun.

## LバンドフォトカソードRF電子銃の開発 (IV)

### 1. はじめに

RF周波数が1.3 GHz又はその付近のLバンドRF電子銃は、Sバンドのそれと比べると一般的ではなく、リニアコライダーやX線自由電子レーザー用にDESYが開発し、利用しているものが主であり、我国ではKEKの超伝導RF試験施設(STF)での利用が始まったばかりである。

阪大産研では、Lバンド電子ライナックを用いて自由電子レーザー(FEL)やパルスラジオリシス実験などを行っている。これら電子ビーム利用研究の高度化を図るために、大強度かつ高品質な電子ビームを生成することが出来る周波数が1.3 GHzのLバンドRF電子銃の開発を、平成20年度よりKEK、広大先端研と共同で開始した。本研究開発では、阪大産研のLバンド電子ライナックへ導入するLバンドRF電子銃空洞の設計および製作と並行して、KEKの超伝導加速器試験施設(KEK-STF)でのビーム加速実験に用いるDESYタイプLバンドRF電子銃の開発も行っている。

平成20年には、当時FNALで製作中であった1.5セルのDESY型LバンドRF電子銃の共振周波数と電場比を調整するための準備として、SUPERFISHによる計算機シミュレーション、同軸型入力結合器用導波管-同軸変換器の検討、エミッタ補正用のコイルの基本設計を行うために計算機シミュレーションによるビーム特性を評価した<sup>[1]</sup>。平成21年度には、新たに製作するRF電子銃空洞の概念設計、特にKEK-STFでも使用できるように25 kWの平均

RFパワー入力に耐えられる冷却システムの検討を進めた。FNALで製作中のRF電子銃用空洞を一時的にKEKに持ち込み、共振周波数とセル間の電場強度比を調整した後、冷却水配管を組み込んで完成するためにFNALに返送した。このRF電子銃用エミッタ補正用のソレノイドコイルとビームラインの磁石などの設計と製作を進めると共に、STFビームラインのビーム特性を最適化するために計算機シミュレーションを行った<sup>[2]</sup>。平成21年には、RF空洞水冷システムの概念設計に基づき、冷却水路の断面形状とその分布などの基本設計を行なった。RF空洞は主要3部品を含む全ての殆どの部品をロウ付けにより組み立てる。空洞内面にロウが染み出さずに十分な接続強度が得られる条件の探索を始めた。

昨年度の報告以降のロウ付け条件の研究と、RF空洞の機械設計、製作の進捗状況について報告する。

### 2. RF空洞のロウ付け試験

昨年度、様々な条件でロウ付け試験研究を行い到達した以下の作業仮説に基づいた試験を行なった。

- 内側上段の接合面を、単結晶ダイヤモンドを使用して鏡面加工し、機械加工精度を0.2 mm (Ra0.2) とする。
- 接合面の段差を1 mmにしてRF空洞の中心軸を決めるためのはめ合いに使用する。
- 3次元測定器を用いてロウ付け面の寸法を正確に測定して必要なロウ材の量を精度良く見積もる。
- ロウ溝は左右均等にロウが流れ出る位置に設け

<sup>#</sup> isoyama@sanken.osaka-u.ac.jp

る。ロウ溝が1本では隙間を全て埋めるのに不足するので、約1 mmの間隔で上部に2本彫る。見積もりより少し増量したロウ線を適当な長さに切断して均等にロウ溝に置く。

試作品の断面図を図1に示す。パラジウムロウ (BPd-1) を用いて、ロウ材が必要量の120%の試作品2個と、100%と160%の試作品各1個のロウ付けをした。試料熱処理は840°C、10分である。

図2にロウ付け後の120%試料を示す。図2 (a) は4分割した試料の外観、(b) 接合面の拡大 (左: 内側、右: 外側)、(c) 接合断面と拡大図である。120%試料の場合、外側に少しロウが染み出しているのが見える。ここに示さないが100%試料も同様である一方、160%試料ではロウが下半分外側前面に広がっている。図2 (b) に示す接合面の拡大図では、内側へはロウの染み出しは見えないが、外側では約30 μmの面間を満たすロウの他に上下部品の表面がロウで濡れている。図2 (c) に示す断面では、ロウ溝にロウが全く見えない他は、下段と立上がり部分の接合面は十分にロウで満たされている。上段接合面のロウは殆ど見ることが出来ない。100%と160%試料は、外側への染み出しを除きほぼ同様な結果であるが、160%試料では、内側接合面の所々にロウによる銀色の点を見ることが出来る。これらの試験結果から作業仮説の有効性が確認できた。

次に、残った120%試料を使い真空漏れを試験した。試料の上部に栓をして下部から内部を排気し、接合面を通して外側から内側への漏れをヘリウムリーク試験で調べた。測定結果は検出限界以下でロウ付けが正常であることを確認した。次に、ロウを目視する事が出来ない内側接合面を調べるため、直径30 mmの段差より外側の直径31 mmまで試料を削りリーク試験をした。この部分は、下段の接合面を含むために予想どおり漏れは検出限界以下である。引続き上段のみを含む直径29 mmまで削って測定した。上下面が剥がれるようなことは無くロウは鏡面加工をした内側上段にしみこんでいる事が分かる。しかし、真空排気をした時のリーク量は $2.5 \times 10^{-10}$  Pa·m<sup>3</sup>/sであるがヘリウムをかけると $2.0 \times 10^{-6}$  Pa·m<sup>3</sup>/sまで上昇した。

結論として、ロウが外側には多少染み出すが、内側に染み出す事が無い120%のロウを使用することにした。

### 3. 設計と製作

新たに製作するLバンドRF電子銃は、KEK-STFで試験運転と性能評価を行うために、現在使用しているDESY型RF電子銃と置換え可能な外形を持たなければならない。主な制限は、ソレノイドコイルの内径と同軸型結合器である。RF空洞内側にDESY型1.5セル空洞を持ち、外形条件の下に冷却システムを実現する。機械設計と製作はコマヤマエレクトロン(株)が行った。

LバンドRF電子銃の設計図を図3に示す。下段に示す断面図の左側が陰極で右がビーム出口である。

陰極側半セルと出口側全セルからなる空洞本体はクラス1の無酸素銅で、冷却配管はSUS (ステンレス

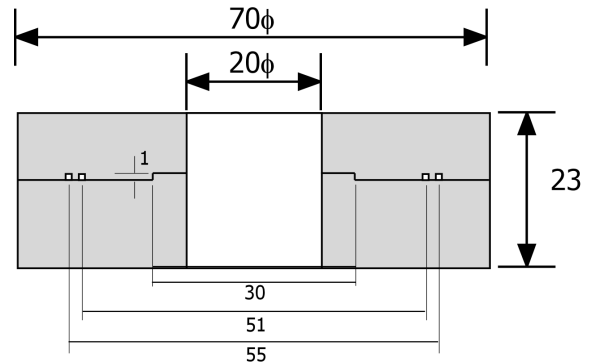
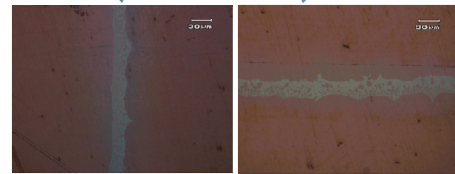
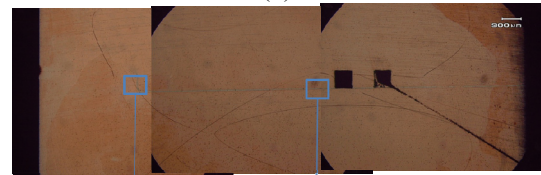
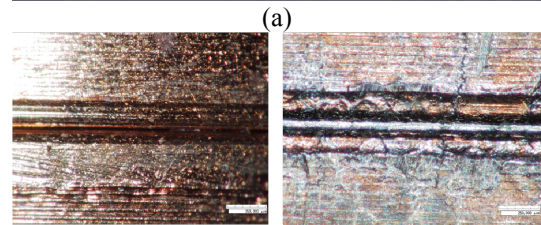


図1: ロウ付け試料の断面図



(c)

図2: ロウ付け試験試料の概観と断面図. パラジウムロウ1 (BPd-1) で必要量の100%と120%、160%で試験をしたが、この写真は120%の場合である。(a)ロウ付け後4分割した試料の外観、(b)接合面の拡大図 (左: 空洞内側、右: 外側)、(c)断面拡大図。

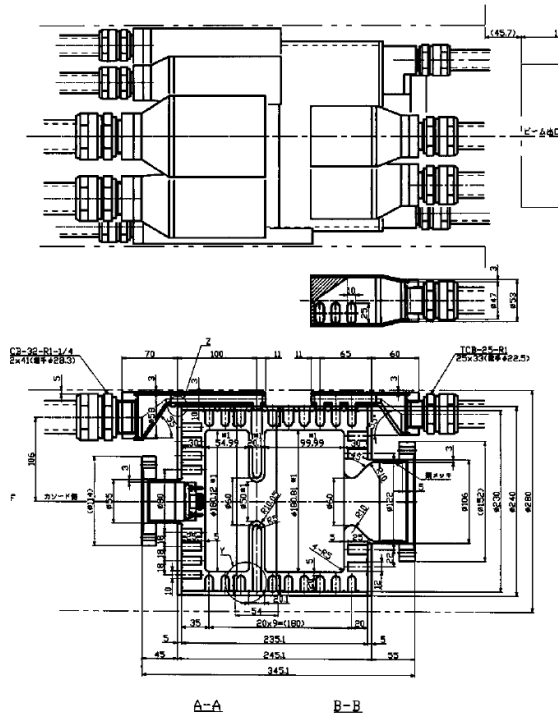


図3 : Lバンド RF 電子銃の設計図.

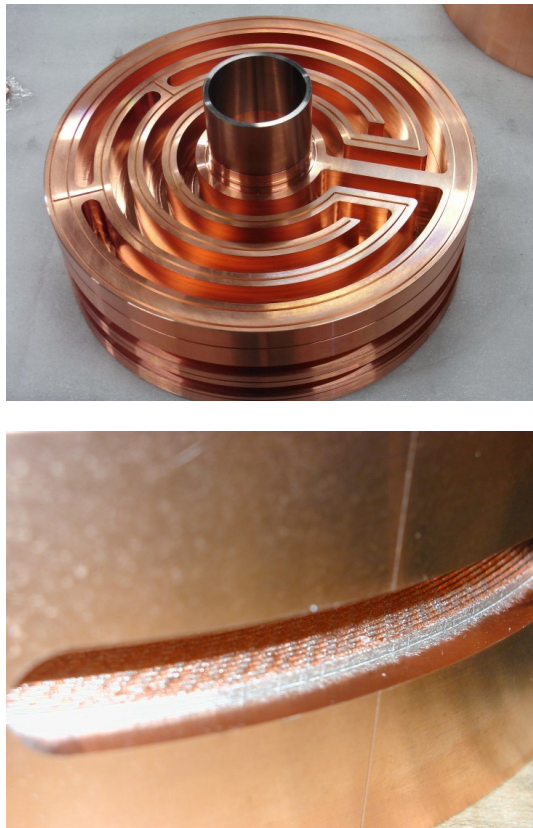


図4 : RF 空洞本体の加工済み部品. 上段は陰極側端板、下段はアイリス部の冷却水路とその内面.

鋼)を使用する。空洞本体は、左から陰極部、アイリス部、出口部の3つに分けて製作する。空洞の温度を一定に保ち、内面での発生する熱量を温度差 $5^{\circ}\text{C}$ で除去するように冷却水路を空洞本体外側に彫る。図4上段にその一例として加工済みの陰極側部外観の写真を示す。アイリス部は、その構造上1水路しか設けられないが両面で発熱するため発熱量は2倍ある。熱交換を増やすために図4下段に示すようにアイリス部水路内面に $1\text{mm}$ おきに溝を彫った。

次に、冷却水路に蓋をする厚さ $5\text{mm}$ の銅の円筒と円盤を3部品それぞれにロウ付けした。ロウ付けは、冷却水路の蓋と、3部品のロウ付、SUS製冷却水路の取り付けの3段階に分けて行う。当初、冷却水路の蓋を取り付ける第1段のロウ付けを金ロウで行う予定であったが、高温で銅の結晶粒塊が成長するのを抑えるために、比較的低温でロウ付けが出来るパラジウムロウを1回目と2回目のロウ付に用い、3回目は銀ロウでSUS部品を取り付ける。

水路の蓋をした主要3部品を組み立て、周波数を測定して、目標周波数である $45^{\circ}\text{C}$ で $1.3\text{GHz}$ に合わせるために空洞円筒部内面を削る。その際、自重だけではなく3部品を締め込むと周波数が少し下がり安定することが分かった。それ以前に多少削りすぎであったが、冷却水温度で補正できる範囲であったので、2回目のロウ付けしてRF電子銃を組み立てた。その際、周波数測定の経験からロウ付時にもスプリングワッシャを用いて適当な圧力が加わるようにした。

ロウ付後の測定で周波数が $880\text{kHz}$ 低下したことが分かった。更にKEKでビーズ法を用いて電場分布を測定したところ図4に示す電場分布が得られた。設計では半セルと全セルの電場強度比は1であるはずが、半セルの電場が弱く全セルとの強度比は $1.64$

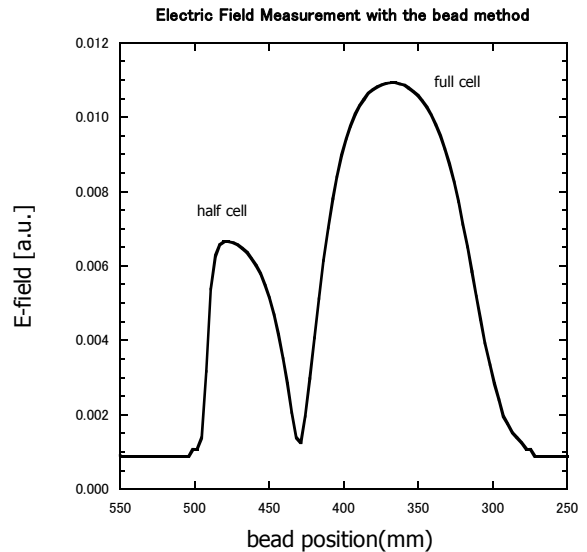


図5 : RF 空洞の軸方向電場分布. 左側が陰極面、右側がビーム出口. 電場分布はビーズ法で計測したが、横軸はRF空洞軸に沿って動かしたビーズ位置を示す.

と大きい。Superfish による計算で周波数の低下とこの電場強度比を再現するには陰極側の端板が内側に 1 mm 凹んでいることが分かった。現在、何がロウ付で起きたか調査中であるが、スプリングワッシャを用いて 3 部品を締めつけたこととロウ付時の高温により陰極部端板が変形した可能性が高い。

いずれにしても周波数と電場強度比を設計値に戻すために DESY/FNAL の RF 電子銃に対して行った調整をするための準備を進めている。

## 参考文献

- [1] S. Kashiwagi, et al., “Development of L-band RF photocathode gun”, Proceedings of the 5th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 33rd Linear Accelerator Meeting in Japan (August 6-8, 2008, Higashihiroshima, Japan), pp. 984
- [2] S. Kashiwagi, et al., “Development of L-band RF photocathode gun (II)”, Proceedings of the 6th Particle Accelerator Society Meeting 2009, (August 7-7, 2009, Tokai, Japan), pp. 885.
- [3] G. Isoyama, et al., “Development of L-band RF photocathode gun (III)”, Proceedings of the 7th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (August 4-6, 2010, Himeji, Japan) pp. 818.