

Status of Superconducting Cavity Development for ERL Main Linac

Masaru Sawamura^{1,A)}, Kensei Umenori^{B)}, Takaaki Furuya^{B)}, Shogo Sakanaka^{B)},
Takeshi Takahashi^{B)}, Hiroshi Sakai^{C)}, Kenji Shinoe^{C)}

^{A)} Japan Atomic Energy Agency

2-4 Shirakata-Shirane, Tokai, Ibaraki 319-1195

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801

^{C)} The Institute for Solid State Physics, The University of Tokyo

5-1-5 Kashinoha, Kashiwa, Chiba 277-8581

Abstract

We have been developing 1.3GHz superconducting cavities for the main linac of the energy recovery linac. The cavities were designed to enhance the HOM properties. Three types of Nb cavities, two single-cell and a 9-cell, have been fabricated to verify the cavity design. The results of 2K vertical test for the single-cell cavities have satisfied the requirement for the ERL main linac.

ERL用超伝導主加速器開発の現状

1. はじめに

エネルギー回収型リニアック (ERL) は、リニアックと蓄積リングの長所を合わせ持ち、高輝度かつ大電流の電子ビームを生成できることから、次世代放射光源として期待されている。ERLの実現には、高輝度大電流を生成できる電子銃 (入射器) および大電流を安定に加速できる超伝導空洞の開発が重要な技術課題としてある。

ERLのような超伝導空洞を用いた大電流のCW加速器においては高調波 (HOM) の減衰が重要である。HOMのQ値を低くすることは、冷凍機システムの負荷を軽減するだけでなく、ビーム不安定性により制限されるしきい値電流の増加を可能にする。

ERL放射光源建設のために、原子力機構、高エネルギー加速器研究機構、東大物性研が共同で超伝導主加速器の開発を行っており、HOM対策に重点を置いた新たな空洞設計を行い、その性能を検証するために3種類のニオブ製空洞を製作し、性能試験を行ってきた。

本報告ではこれまでの試験結果を中心に超伝導主加速器開発の現状を報告する。

2. 超伝導主空洞の設計

HOM対策に重点を置いた新しい超伝導空洞設計の基本方針は

1. 加速モードのシャントインピーダンスは出来るだけ高くすること
2. 単極モードは2.6GHzの通倍から離すこと
3. 双極モードは出来るだけ抑制すること
4. 四重極モードも抑制すること

である。

新たな空洞設計は

1. 空洞形状を最適化する
 2. 大口径ビームパイプを用いる
 3. 偏心フルート型ビームパイプを用いる [1]
- とした。超伝導空洞の代表としてTESLA型空洞があるが、このTESLA型空洞の形状をそのまま用いてビームパイプを太くした空洞でも、TESLA型空洞に比べてHOMインピーダンスを1桁近く下げることができ、双極モードに対する基準は満たせるが、製作誤差等を考えた場合、余裕が十分とはいえない。そこでERLに最適な空洞形状設計を行った。TESLA型空洞からの主な変更部分は
- ① アイリス径を $\phi 70$ から $\phi 80$ に大きくしたこと
 - ② 赤道部分の形状を円形から楕円形にしたこと
 - ③ ビームパイプ径をインพุット・カップラー側で $\phi 100$ 、反対側で $\phi 120$ としたこと
- である。この形状により、双極モードのインピーダンスを更に1桁下げることができた [2]。ビーム不安定性のシミュレーションコードBBU-RおよびBIによる計算から、600mAの加速が可能との結果を得た [3]。この値は、HOM周波数がすべてそろっている場合の計算結果であり、空洞製作誤差等によりHOMの周波数はランダムに分散するので、実際はもっと大きなしきい値が期待できる。

3. Nb空洞の製作

新しい設計に基づく空洞形状の性能を検証するために、以下の3種類のニオブ製空洞を製作した。

- ① センターセル単空洞 (C-single空洞, Fig. 1左)

¹ E-mail: sawamura.masaru@jaea.go.jp



Fig.1 製作した3種類のNb空洞。(左)センターセル単空洞、(中)エンドセル単空洞、(右)9セル空洞

センターセル形状の単セルにアイリス径のビームパイプを取り付けたもので、空洞形状に起因するMultipactoringの有無などのセル形状を検証とともに、表面処理過程を確認する。

② エンドセル単空洞(E-single空洞、Fig.1中)

エンドセル形状の単空洞に大口径ビームパイプを取り付け、偏心フルート、Input CouplerポートやPickupポートの構造物を配置し、これらの構造物が発熱やfield emission等の要因になっていないかを検証する。

③ 9セル空洞 (Fig.1右)

ERL主加速器に想定している9セル空洞で、プリチューニングや空洞の取り扱いなどモジュール化するときの問題点を洗い出す。

4. 表面処理

C-singleおよびE-single空洞に行った表面処理工程は以下の通りである。

4.1 C-single空洞(1回目)

①バレル研磨

バレル研磨のメディアGCT12×12と水を空洞体積の半分ほど入れ、公転速度120rpmで10時間研磨をした。研磨量はセル部分で64 μ m、ビームパイプ部分で18 μ m程度であった。

②プレ電解研磨

バレル研磨後の空洞内部の汚れでEP液(濃硫酸:フッ酸=10:1)を汚染させないためにEP液を溜め込んだ状態で電解研磨を行う。空洞温度が上がり過ぎないように研磨、冷却を繰り返し、約10 μ m研磨した。

③電解研磨

空洞内面の粗さを削り、滑らかな内面にする。EP液を空洞からリザーバタンクに還流してEP液の温度制御を行う。約100 μ mの研磨を行った。

④アニール

電解研磨のとき発生する水素はニオブ材に吸蔵され、Q値の低下をもたらす水素病の原因となるため、水素脱ガスのためにアニールを行う。真空炉の中で空洞を750°C3時間加熱した。

⑤仕上げ電解研磨

前回の電解研磨後に空洞内表面にできた不純物を取り除く。水素吸蔵を起こさない程度の研磨量とする。今回は20 μ m研磨した。

⑥超音波洗浄

⑦超純水高圧洗浄

空洞内面に残ったマイクロな埃を取り除くために、

超純水(18M Ω)をノズルから高圧(8MPa)で噴出させ、空洞内面を隈なく洗い流す。

⑧組立て

KEKのSTF棟のClass4のクリーンルーム内でRFカップラーや真空排気ポートを取り付けたフランジを空洞に取り付ける。真空シールにはインジウムを用いた。

⑨ベーキング

空洞内面を脱ガスし、高真空にするためヒーターで空洞温度を上げる。真空シールであるインジウムが取り付けられているフランジ近辺の温度は80°C以下になるように調整する。セル部分で130°C12時間のベーキングを行った。

⑩縦測定

KEKのD10棟のクライスタットを用いて4K及び2Kでの空洞性能の測定を行った。

4.2 C-single空洞(2回目)

①縦測定

第1回目の縦測定から処理を行わず縦測定をもう1度行った。

4.3 E-single空洞(1回目)

①バレル研磨

C-single空洞と条件を変え、新東エコメディアDHT15×15を用いた乾式バレル研磨を試みた。80rpmの公転速度で12時間研磨を行った。研磨量は約10 μ mと、湿式に比べてかなり少ない結果となった。

②プレ電解研磨～縦測定はC-singleと同様の処理を行った。

4.4 E-single空洞(2回目)

①ベーキング

表面処理を行わずベーキングのみで空洞性能が改善するかを調べる。

②縦測定

Input Couplerプローブが一連の作業中に折れ曲がり不調となったため測定できず。

4.5 E-single空洞(3回目)

①Input Coupler取替え

不調のInput Couplerのプローブを新品と交換。

②ベーキング

③縦測定

4.6 E-single空洞(4回目)

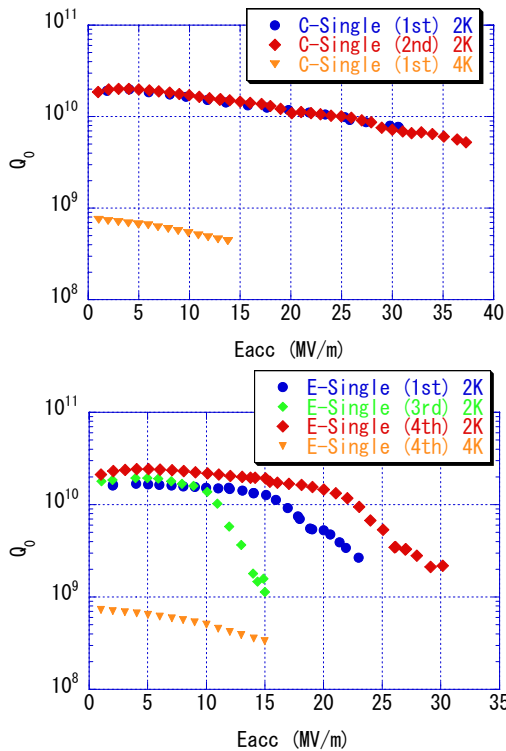


Fig.2 単空洞の縦測定結果。
(上)C-single空洞、(下)E-single空洞。

- ①仕上げ電解研磨
空洞性能が改善しないため追加の仕上げ電解研磨を $30 \mu\text{m}$ 行った。
- ②超音波洗浄～縦測定はこれまでと同様。

5. 単セル空洞の測定結果

一連の表面処理を終え、C-single空洞は2回、E-singleは4回の縦測定を行った。その結果をFig. 2に示す。

C-single空洞に関しては1回目と2回目の間で表面処理は行わなかった。1回目と2回目ではほぼ同じ結果となり最大加速電界は37MV/mである。ただしこの値は空洞性能に起因するものではなく、液体ヘリウムを2Kに冷却するための減圧ポンプの容量が小さく、空洞温度が上昇してしまうことによるリミットであった。また Q_0 が 10^{10} 以上の場合の最大加速電界は25MV/mであった。

E-single空洞に関しては1回目の測定において最大加速電界は23MV/mであり、field emissionによるクエンチが最大電界を制限していた。そこで、ベーキングのみを行い、空洞性能が改善するかを検証するため2回目の縦測定を行った。しかし、一連の作業中にInput Couplerを壊してしまい測定することができなかった。そこでinput Couplerを交換し、ベーキングを行って3回目の縦測定を行ったが、最大加速電界15MV/mと1回目の測定より大幅に性能が低下した。そこで仕上げ電界研磨から表面処理をやり直し、4回目の縦測定を行い、最大加速電界30MV/m、 Q_0 が 10^{10} 以上で23MV/mを得た。

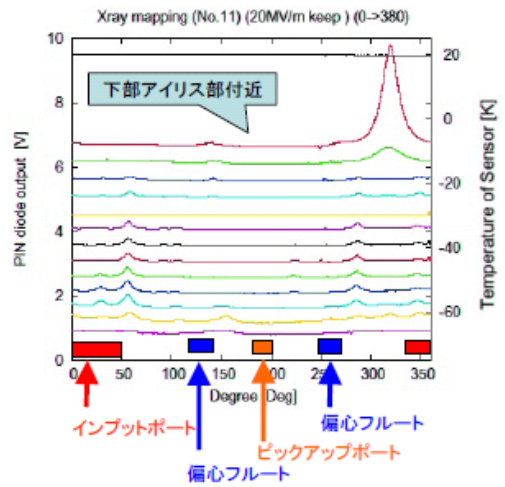


Fig.3 回転MappingによるX線出力例（加速電界20MV/m）。

E-single空洞の測定には空洞診断用に空洞温度やfield emissionで空洞に衝突した電子が発生させるX線を検出するセンサーが空洞外面の軸方向に沿って取り付けられている。これらのセンサーを空洞の円周方向に回転させることにより熱とX線の発生場所を調べる[4]。このシステムを用いた測定で加速電界20MV/mのときX線の発生を検知したが(Fig. 3)、発生場所はビームパイプの偏心フルートやInput Couplerポートなどの場所ではなく、ビームパイプ構造による由来するfield emissionは発生していないものと考えられる。

6. 9セル空洞の現状

昨年度9セル空洞も完成し、現在までに電界研磨、アニール、プリチューニング、仕上げ電界研磨、フランジ類の組立、ベーキングなど一連の表面処理が終了している。今後縦測定のための配線作業等を行う9月頃に最初の縦測定を行う予定である。

7. まとめ

Q_0 が 10^{10} 以上で加速電界が15~20MV/mというERL主加速器に要求される性能はC-single空洞、E-single空洞共に満たしており、ERL主加速器用に行った空洞設計には問題がないことが確認された。今後9セル空洞の縦測定を行うとともに、Input CouplerやHOM吸収体の設計、試作試験を行っていく予定である。

参考文献

- [1] M. Sawamura et al., Proc. of PAC07, Albuquerque, USA, June 2007, p.1022
- [2] K. Umemori et al., Proc. of APAC07, Indore, India, Jan. 2008, p.570
- [3] R. Hajima et al., Proc. of ERL07, Daresbury, UK, May 2007, to be published
- [4] H. Sakai et al., Proc. Of EPAC08, Genoa, Italy, June 2008, to be published