

MANUFACTURING OF THE L-BAND SINGLE-CELL SUPERCONDUCTING CAVITY WITH AN INPUT PORT

Masanori MATSUOKA, Koh-ichi OHKUBO, Toshiyuki YAMANAKA,
 Masaaki ONO, Eiji KAKO, Kenji SAITO, Toshio SHISHIDO, Shuichi NOGUCHI
 MHI, Mitsubishi Heavy Industries, LTD.
 Kobe Shipyard & Machinery Works
 1-1, Wadasaki-cho 1-chome, Hyogo-ku, Kobe, 652
 *KEK, National Laboratory for High Energy Physics
 1-1, Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305

ABSTRACT

Since 1990, L-band niobium superconducting cavities have been developed with collaboration between our company and National Laboratory for High Energy Physics (KEK). The manufacturing procedure and the performance of the single-cell cavity with an input port are presented. The Q value of the input port was 1.3×10^5 (design value is 1.0×10^5). The maximum accelerating gradient of 12MV/m was attained in a cold test.

インポートポート付Lバンドニオブ製単空洞の製作

1.はじめに

次世代の素粒子物理学用の加速器として電子-陽電子衝突型線形加速器が注目されている。この加速器としてXバンドの常伝導空洞、Lバンドの超伝導空洞が有力候補と考えられている。当社では、1990年より、高エネルギー物理学研究所との協力により、Lバンド超伝導空洞の開発を行っており、これまで、単空洞では目標性能である加速勾配25MV/mを達成⁽¹⁾、さらに1992年には、TESLA (TeV Energy Superconducting Linear Accelerator) 用のプロトタイプとして9セル空洞を試作した⁽²⁾。また、超伝導空洞の主要部品であるカプラ類の開発にも取り組み、インポートポート付単空洞の試作を行った。

ここでは、この空洞の製作概要および性能計測について報告する。

2.インポートポートのQ値設定

超伝導空洞のQ値は非常に大きく、空洞に入力される高周波電力のほとんどが加速する電子ビームに供給される。従って、インポートポートのマッチング条件は、高周波源の電力 P_g と、電子ビームが得る電力 P_b が一致することである。いま、空洞のシャントインピーダンスをR、Q値を Q_0 とすれば、インポートポートのQ値 Q_{in} は次式で与えられる⁽³⁾。

$$Q_{in} = \frac{1}{2} \frac{V_{acc}^2}{(R/Q_0)P_b} \quad (1)$$

いま、電子ビームの電流を I_b とすれば、電子ビームが得る電力 P_b は次式で表される。

$$P_b = I_b V_{acc} \quad (2)$$

TESLAの仕様(概数)として、 $(R/Q_0)=900 \Omega$ 、 $V_{acc}=30MV$ 、 $I_b=10mA$ を(1)、(2)式に代入すると Q_{in} は、 1.66×10^6 と計算される。

通常インポートポートのQは、ビームの安定性等を考慮して若干小さめに設定される。ここでは、9連空洞でのインポートポートの目標性能として、 $Q_{in}=1 \times 10^6$ と設定した(単空洞では、同じポート形状で約1/10の 1×10^5 となる)。

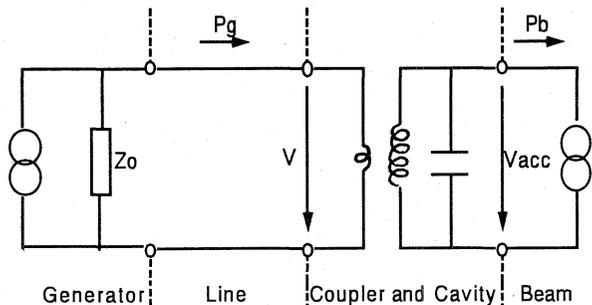


図1. インポートカプラの等価回路

3. インポートポートの形状設計

(1) 銅製空洞を用いた予備試験

超伝導加速空洞に用いられるインポートポートには、同軸導波管タイプ、方形導波管タイプの2種類のタイプがある。今回は、大電力投入に有利と考えられる方形導波管タイプのインポートポートを採用し、設計・製作を実施した。まず、アルミのモデルポートを用いて性能の形状依存性に対する基礎的なデータを取得した。図2にインポートポートQ値の計測システムを示す。この試験により、ビーム軸からポートショート位置までの距離 l が115mmのときインポートポートのQ値が最も安定することがわかった⁽²⁾。

これをもとにして適切な形状の設定を行い、さらに銅製インポートポートを実機と同じ工法(成形・溶接)で試作し、これを用いて空洞とインポートポートとの距離を最適化した。図3に、インポートポートと空洞との距離 d に対するインポートポートの結合特性を示す。これより、インポートポートと空洞との距離が51mmのときに目標仕様の Q_m を満足する事がわかる。

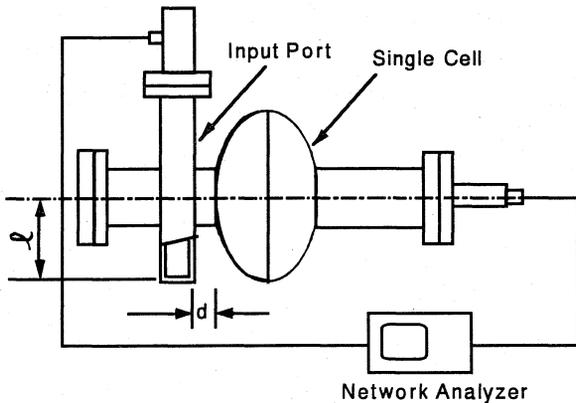


図2. インポートポート特性計測システム

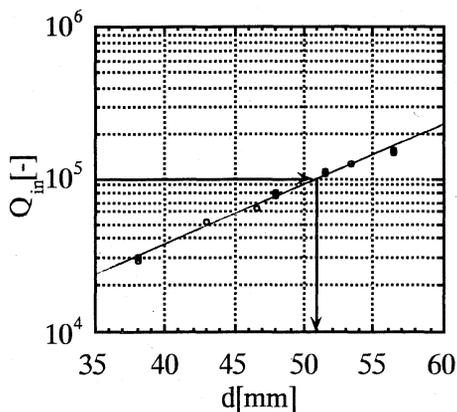


図3. インポートポートの結合特性

(2) インポートポート付単空洞の設計

(1)の予備試験結果をもとに、ニオブ製インポートポート付単空洞の設計を実施した。図4に設計した単空洞の形状を、表1に設計パラメータを示す。

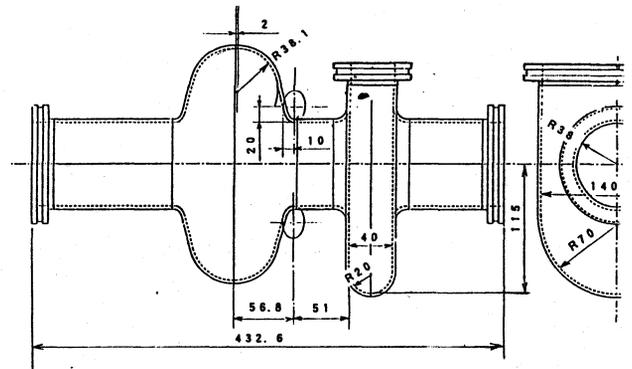


図4. インポートポート付単空洞内面形状

表1. インポートポート付単空洞設計パラメータ (Superfishによる計算)

項目	設計値
共振周波数 f_0	1 2 8 8.6 MHz
シャントインピーダンス R/Q_0	1 1 0 Ω
表面磁界 H_p/E_{acc}	4 2.1 Oe/MV/m
表面電界 E_p/E_{acc}	1.7 3
形状因子 G	2 6 9 Ω

4. インポートポート付単空洞の製作

(1) 成形

インポートポートの成形には、ハーフセルの成形と同様に工数の少ない深絞り成形を採用した。銅板による成形試験により、ボディしわや、端部の耳が発生しにくく、かつビームパイプ取合い部の突き出し高さが最適となる条件を見だし、ニオブでの実機成形に反映させた。

(2) 溶接

溶接中の不純物混入を防ぐため、真空雰囲気中で施工する電子ビーム溶接を採用した。セルの赤道部溶接に関しては、溶接ビードを滑らかにする目的で、内面からの溶接施工を行った。

図5にインポートポート付単空洞の製作フローチャートを示す。

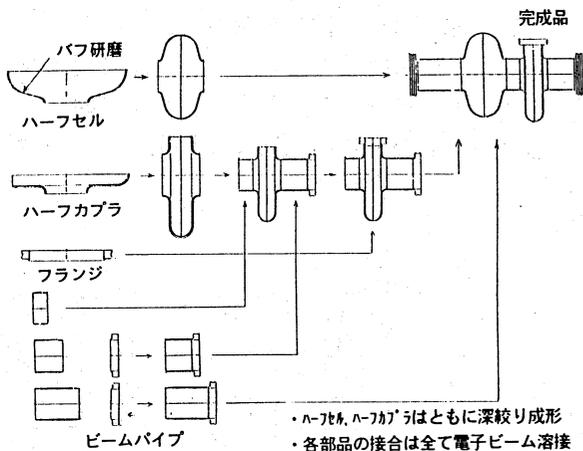


図5.インポートポート付単空洞製作フロー

5.性能計測

(1) 常温計測結果

図2の性能計測システムにて、インポートポートのQ値を計測した。設計値 1.0×10^5 に対して、実測値 1.3×10^5 を得、インポートポートの性能としては問題ないことが確認できた。

(2) 表面処理

空洞内面の平滑化及び高純度化を図るために実施する表面処理には、単空洞のR&Dで実績のある化学研磨を採用した。

まず、 $200 \mu\text{m}$ の化学研磨を行い、脱水素のための熱処理 ($760^\circ\text{C} \times 5$ 時間)、さらに仕上げの $20 \mu\text{m}$ の化学研磨のあと内面の残留物を除去するため超純水高圧水洗を実施した。

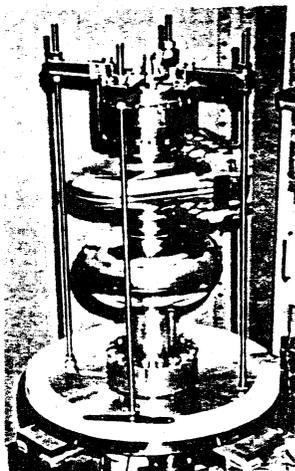


図6.組立後のインポートポート付単空洞

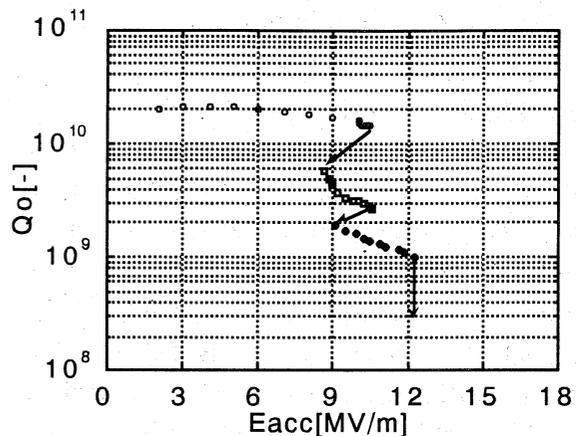


図7.インポートポート付単空洞低温性能計測結果

(3) 低温計測結果

表面処理を終えた空洞は、高エネルギー物理学研究所AR東実験棟内の高クリーンルームにて組立てられ、同棟内の縦型クライオスタットにて性能計測が行われた。

図7に加速電界と、 Q_0 値の計測結果を示す。最大加速電界は、クエンチにて 12 MV/m で制限されている。クエンチ発生の際、局所的な発熱やX線は観測されず、クエンチの原因となる欠陥等の特定はできなかった。また、従来の単空洞での計測に見られない Q_0 値低下の異常な振る舞いが観測された。これがインポートポートの影響によるものかは現在のところ明らかにされていない。

6.まとめ

超伝導加速空洞の主要部品の一つであるインポートポートの設計・製作・評価を実施した。その結果、ポートとしての性能 (Q_m) は得られたが、空洞そのものの性能は、目標である 25 MV/m に到達できなかった。今後は、単空洞での計測結果との比較やインポートポートによる空洞内電磁界の分布変化等を詳細に調べ、形状見直しを行い、加速勾配の上昇を図る必要がある。

(参考文献)

- (1) E.Kako, etc., in this meeting.
- (2) M.Matsuoka, etc., Proc. of the 18th Linear Accelerator meeting in Japan, 1993, pp323-327
- (3) E.Heabel, Proc. of the 5th Workshop on RF Superconductivity, 1992, pp334-353