

[P7-38]

DEVELOPMENT OF AN L-BAND SINGLE-CELL NIOBIUM CAVITY WITH PORTS

T.Ota, S.Sukenobu, Y.Tanabe, K.Ohara, K.Takaishi, T.Sakai, M.Yamada, Y.Onishi
E.Kako*, S.Noguchi*, M.Ono*, K.Saito*, T.Shishido*, Y.Yamazaki*

Toshiba Corporation

20-1, Kansei-cho, Tsurumi-ku, Yokohama, 230-0034 Japan

* High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1, Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0801 Japan

ABSTRACT

An L-band(1.3GHz) single-cell niobium cavity with four ports on the beam pipes was fabricated in our company and tested at KEK. The maximum field gradient($E_{acc,max}$) of 24.5MV/m was attained in the cold test. In the present paper, surface preparation on the cavity and the experimental results of the cavity are presented.

Lバンドポート付き超電導加速空洞の開発

1. はじめに

当社は1995年より高エネルギー加速器研究機構(KEK)と超電導加速空洞に関する共同研究を行っている。これまでに、2台のLバンド単セル超電導空洞と1台の3セル超電導空洞を社内で試作し、性能測定を行った。この結果、全ての空洞において最大加速電界30MV/m以上を達成した[1,2]。

98年度は、より実機に近い形状の超電導空洞を開発するため、高周波電力入力カップラーポート、ピックアップポート及び2本のHOM(Higher Order Mode)カップラーポートを取り付けたLバンド単セル超電導空洞を社内で試作し、KEKにて性能を測定した。ここでは、Lバンドポート付き超電導空洞の性能測定結果について報告する。

2. Lバンドポート付き超電導空洞の仕様

Lバンドポート付き超電導空洞は、TESLA(TeV Energy Superconducting Linear Accelerator)計画用加速空洞(9セル)をモデルにした単セル空洞である。一方のビームパイプに高周波電力入力カップラーポートとピックアップポートを取り付け、他方のビームパイプに2本のHOMカップラーポートを取り付け

る構造とし、入力カップラーは同軸型とした。

TESLA計画用超電導空洞の入力カップラーのQ値を求める。空洞に供給する高周波電力を P_{total} 、ビームを加速する電力を P_b 、空洞壁における損失を P_{cav} とすると、これらの間には(1)式に示す関係が成り立つ。

$$P_{total} = P_b + P_{cav} \quad \dots(1)$$

しかし、超電導空洞のQ値(Q_0)は非常に高いため、 P_b と比較すると P_{cav} は非常に小さくなる。つまり、空洞に供給する高周波電力のほとんどがビームの加速に使われる。よって、超電導空洞の入力カップラーのマッチング条件は(2)式で近似される。

$$P_{total} \cong P_b \quad \dots(2)$$

空洞の加速電圧を V_{acc} 、シャントインピーダンスを R_{sh} とすると、入力カップラーのQ値(Q_{in})は(3)式で表される。

$$Q_{in} = \frac{V_{acc}^2}{\left(\frac{R_{sh}}{Q_0}\right)P_b} \quad \dots(3)$$

ただし、 V_{acc} は空洞の有効長 l を用いて(4)式で表される。

$$V_{acc} = E_{acc} \cdot l \quad \dots(4)$$

ここで、有効長 l は波長 λ (1.3GHzの場合 $\lambda=0.23m$)

を用いて(5)式で表される。

$$\ell = \left(\frac{\lambda}{2}\right) \times (\text{セル数}) \quad \dots(5)$$

TESLA計画の仕様では、 $V_{acc} = 25.9\text{MV}$ ($25\text{MV/m} \times 1.036\text{m}$)、 $R_{sh}/Q = 1011\Omega$ 、 $P_b = 206\text{kW}$ である[3]。これらの値を(3)式に代入すると9セル空胴の入力カプラーのQ値は $Q_{in} = 3.2 \times 10^6$ が得られる。単セル空胴の場合はその1/9で $Q_{in} = 3.6 \times 10^5$ となる。実際に超電導空胴を運転する場合は、空胴のQ値が仕様($Q_0 = 5 \times 10^9$)よりも低下することが考えられる。このため、 $Q_{in} = 3 \times 10^5$ 以下を目標とし、Cu製Lバンド単セル空胴を用いて入力カプラーポートの取り付け位置を検討した。この結果に、製作上及びハンドリングの都合を考慮に入れて、セルの中心からポートの中心までの距離を120mmとした。本空胴について、材質をCuとした場合の高周波特性を解析コードSUPERFISHを用いて解析した結果を表1に示す。

表1 Lバンドポート付き超電導空胴の高周波特性

Frequency	1296.63[MHz]
R_{sh}/Q	110[Ω]
G	265[Ω]
E_{sp}/E_{acc}	1.85
H_{sp}/E_{acc}	42.8[Oe/MV/m]

3. Lバンドポート付き超電導空胴の製作

試作したLバンドポート付き単セル超電導空胴を図1に示す。本空胴は、フランジ及び液体ヘリウム容器接続用リング以外の材料は全て純Nb(東京電解製、残留抵抗比RRR=200)を使用している。フランジ及び液体ヘリウム容器接続用リングの材料はSUS316Lを使用しており、Nb製のビームパイプとはろうづけにより接合されている。なお、Nb材どうしは電子ビーム溶接により接合した。

4. Lバンドポート付き超電導空胴の性能測定

極低温(~2K)における性能測定を2回行った。測定では、入力カプラーポートを取り付けたビームパ

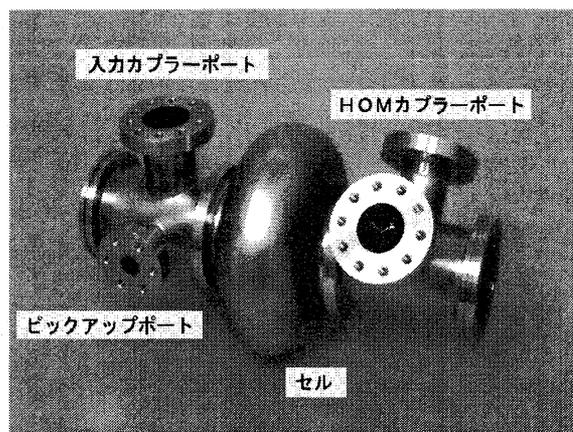


図1 Lバンドポート付き超電導空胴

イブを上側にして置き、下側のビームパイプから高周波電力を入力し、透過電力はピックアップポートに取り付けたアンテナからモニターした。空胴の表面処理内容と測定結果についてまとめたものを表2に示す。1回目の測定において、空胴を4.2Kから1.8Kまで冷却しながら空胴の表面抵抗 R_s を測定し、 R_s の温度特性を求めた。これより、空胴の残留表面抵抗 R_{res} は約11nΩであった。高電界発生試験の結果を図2の□に示す。図は空胴のQ値と加速電界 E_{acc} の関係を示したものである。測定温度は1.8~1.85Kであった。 $E_{acc} = 5\text{MV/m}$ 辺りから E_{acc} の増加と共にQ値が著しく低下した。空胴壁に貼り付けた温度センサーの測定データから、 $E_{acc} = 8\text{MV/m}$ 辺りから空胴壁全体の温度が上昇していた。 $E_{acc} = 16\text{MV/m}$ まではX線は検出されなかったが、 $E_{acc} = 17\text{MV/m}$ 直前でクエンチ(常電導転移)し、一時的にX線が検出された。この時、セルの赤道部において局所的な発熱が見られた。最大加速電界は17.2MV/mで制限された。

表2 ポート付き空胴の表面処理及び測定結果

Test	Preparation	Measurements	
		$E_{acc,max}$ [MV/m]	R_{res} [nΩ]
1st	BP(90μm at eq.), EP(100μm), HR(1hr.), HPR(1hr.), Anneal, HPR(1.5hr.)	17.2	11.0
2nd	EP(50μm), HR(0.5hr.), HPR(1hr.)	24.5	6.8

BP : Barrel Polishing, EP : Electropolishing,
HR : Hot Rinsing, HPR : High Pressure Rinsing

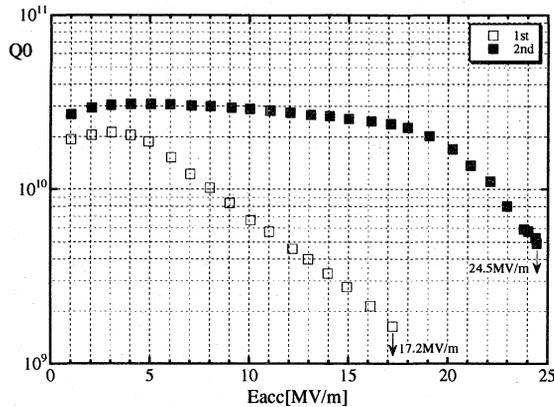


図2ポート付き超電導空胴の性能測定結果

測定後、CCDカメラ[4]を使用して空胴内面を観察した。この結果、セル赤道部には特に欠陥等は見られなかったが、アイリス部には接合面が残っていた。また、その近傍には直径0.2~0.5mm程度のピットが多数見られた。アイリス部の接合面が除去されるまでグラインダー処理を行ったが、その近傍にあった多数のピットはそのまま残った。アイリス部にRT(Radiation Test)を実施し、溶接部内部の状態を調査した結果、溶接部内部には多数のピットが存在することが分かった。これより、アイリス部表面のピットを除去しても内部のピットが表面に露出すると考え、グラインダー処理をせずにそのままの状態を再度表面処理、性能測定を行った。

2回目の測定では、空胴の R_{res} は約 $6.8n\Omega$ であり前回の測定結果より小さくなった。高電界発生試験の結果を図2の■に示す。測定温度は $1.65\sim 1.78K$ であった。図より、 $E_{acc}=17MV/m$ まではQ値の低下はなく、X線も検出されなかった。また、前回の測定で見られたような空胴壁全体の温度上昇は見られなかった。 $E_{acc}=17MV/m$ 直前でクエンチし、セル赤道部の数箇所において発熱が見られた。 $E_{acc}=17.6MV/m$ からはX線が検出され、 $E_{acc}=19MV/m$ で一度エージングされたが、その後Q値は著しく低下し、加速電界の増加と共にX線量が増加した。これより、空胴表面の汚染によるフィールドエミッションが発生したと考えられる。 $E_{acc}=24MV/m$ 以上でクエンチを繰返し、最大加速電界は $24.5MV/m$ で制限された。

2回目の測定では、空胴壁全体の温度上昇は見ら

れなかったことから、空胴内面を電解研磨したことにより発熱の原因となっていた目視できない程度の小さな欠陥等をかなり除去することができたと考えられる。しかし、局所的な発熱が前回の測定の時と同じ位置(セル赤道部の一部)で検出されたことから、赤道部の欠陥は完全には除去できなかったと思われる。また、フィールドエミッションが発生していることから、空胴表面の洗浄が未だ不十分であったと考えられる。本空胴の性能は $E_{acc,max}=24.5MV/m(@Q値5\times 10^9)$ であり、TESLA計画用超電導空胴の仕様($E_{acc,max}=25MV/m$)をほぼ満足した。

5. まとめ

社内で試作したLバンドポート付き単セル超電導加速空胴の性能を評価した。この結果、加速電界 $E_{acc}=19MV/m$ よりフィールドエミッションが発生し、最大加速電界は $24.5MV/m(@Q値5\times 10^9)$ で制限されたが、TESLA計画用超電導空胴の仕様をほぼ満足した。今後は本空胴用に開発したクライオモジュールに本空胴を組み込み、冷却試験及び高電界発生試験を行う予定である。

謝辞

超電導空胴の表面処理をしていただいた野村鍍金株式会社の皆様に深く感謝致します。

参考文献

- [1] T.Ota et al., "First Measurement of L-band Superconducting Cavity Fabricated in TOSHIBA", Proc. of the 21st Linear Accelerator Meeting in Japan(1996).
- [2] T.Ota et al., "Development of a High Field Three-cell Superconducting Cavity", Proc. of the 23rd Linear Accelerator Meeting in Japan(1998).
- [3] B.Aune, "TESLA Test Facility : Status", Proceedings of the 7th Workshop on RF Superconductivity(1995).
- [4] K.Saito et al., "Inspection System with a CCD Camera for L-band Superconducting RF Cavities", Proc. of the 21st Linear Accelerator Meeting in Japan(1996).