

DEVELOPMENT ON SUPERCONDUCTING CAVITIES AT SHI

Y.Matsubara, H.Saito, M.Hirose

H.Inoue*, M.Ono*, S.Noguchi*, K.Saito*, T.Shishido*

Sumitomo Heavy Industries, Ltd. (SHI)

2-1-1, YATO-CHO, TANASHI-CITY, TOKYO 188 JAPAN

* High Energy accelerator research organization (KEK)

1-1, OHO, TSUKUBA-SHI, IBARAKI-KEN, 305 JAPAN

ABSTRACT

Developments on superconducting cavities have been started in 1997 under the collaboration with KEK, to learn many know-hows in this field. We fabricated a single cell L-band cavity. The KEK standard surface treatments were applied for the fabrication of the cavity. In this paper we will report the results of the measurement to this cavity and activities at Sumitomo heavy industries, Ltd.

Lバンド超電導キャビティの開発

1. はじめに

Nbを用いた超電導加速空洞の理論的な最大加速電界はおよそ50 MV/mに達する。KEKではすでに加速電界40 MV/mの達成経緯をもち高加速電界に対してはほぼ限界に到達しつつある。

一方で、30 MV/mの加速電界であればバレル研磨と呼ばれる機械研磨、800度の真空アニール、電解研磨 (EP: 30 μm以上) 及び高圧水洗 (HPR) との組合せ処理により高い再現性を得ている。

現時点では予備研磨 (仕上げ電解研磨前の機械研磨及び化学研磨) のいかに関わらず仕上げの研磨方法は電解研磨が有効だとする意見に向かいつつある。

大規模な超電導 LINAC の実現において大量生産性および低コスト化の問題は製作に携わるものに興味がある。

当社も'97年度よりKEKとの共同研究に着手した。現在では100 μm程度の予備研磨が必要とされている。約10日を要するバレル研磨を省きどこまで空洞の性能を引き出すことができるかを検討することにした。

われわれの目標は、Nb空洞の表面研磨方法として平均30 μmの電解研磨を重ねて行きながら最適な研磨量を調べることにある。

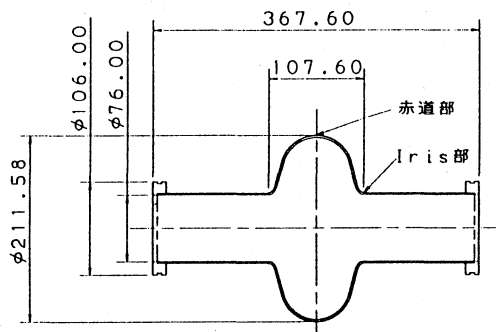
空洞の性能測定はKEKのテストスタンド (縦測

定) にて行われた。

現時点での実験結果をまとめてみたのでここに報告する。

2. 形状

製作したNb加速空洞の形状を Fig-1 に示す。



周波数: $f = 1295.01$ (MHz)

有効長: $L_{eff} = 0.1158$ (m)

シャントインピーダンス: $R_{sh}/Q = 115$ (Ω)

Fig. -1 単セルテスト空洞の外形と仕様

3. 空洞の製作方法

Nb加速空洞はハーフセル、ビームパイプ及びフランジより構成される。Nbハーフセルは深絞り成形法により成形された後、トリミング加工される。それぞれの部品はFig. 2に示すように電子ビーム溶接により一体化される。

製作に使用されたNbは東京電解(株)製であり残留抵抗比RRRは180以上(フランジ:RRR=80)である。

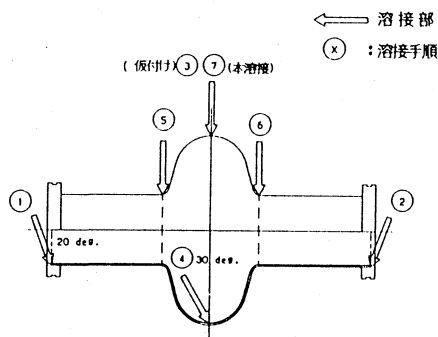


Fig. 2. テスト空洞の組立

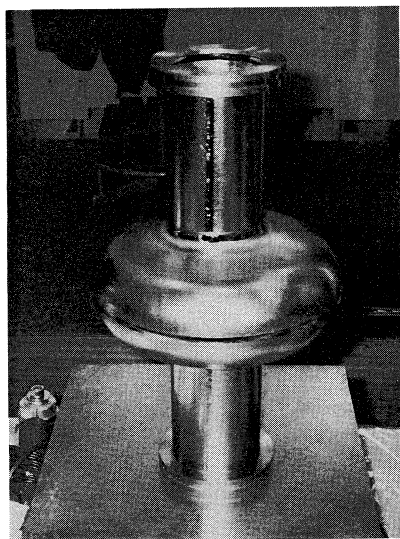


photo-1. 電子ビーム溶接終了後のNb空洞

4. 表面処理

Nb空洞は化学研磨により約 $20\mu\text{m}$ の研磨後、 800°C -5時間の真空アニールを実施した。

アニール後、電解研磨(photo-3)により約 $30\mu\text{m}$ 研磨された後、高圧水洗と呼ばれる洗浄を実施した。高圧水洗は加圧ポンプにて約 $80\text{kgf}/\text{cm}^2$ まで加圧した純水を特殊なノズルを通して空洞表面に吹き付けて洗浄する方法である。最後に、洗浄治具取り外しの際に混入するごみを除去する目的のため再度、空洞表面をかるく純水洗浄(シャワー洗浄)した。

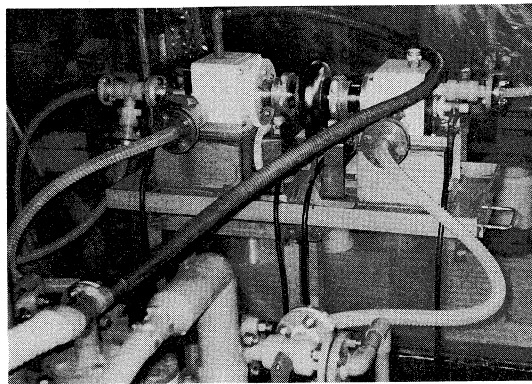


photo-2. 電解研磨の風景

5. 実験方法

表面処理を施したNb空洞はKEKに持ち込まれフランジの一端にインプットカップラーそして他端にトランスミット測定端子がIn(インジウム)シールを介して取り付けられる。組立はいずれもclass-10のクリーンルーム内にて実施された。

インプットカップラー部に取り付けられた真空排気ポートからターボ分子ポンプとイオンポンプにより $\sim 10^{-10}\text{torr}$ まで排気(途中約12時間 -80°C ベーキングが施される)された後、そのままの状態にて真空封じされ、テストスタンドに取り付けられる。

Nb空洞は4.2Kまで冷却される(侵漬冷却)。Nbの表面抵抗は1.5Kまで冷却すると4.2Kのときと比べると約3桁小さくなる(表面抵抗は材質の表面状態にも依存する)。したがって、より温度が低いほうが空洞表面での壁損失が小さくなるので空洞の性能としてより高いQ値が得られる。

一方で加速電界(E_{acc})は、表面状態、形状に依存するMultipactingやfield emissionによりほぼ決定されてしまう。いずれにせよ、より高い加速電界を得るためには必然的に超流動状態の液体Heを使用するシステム設計が要求される。

6. 実験結果

実験結果をFig. 3に示す。測定はいつでも1.8Kである。

I. 第1回測定(総表面研磨量: $50\mu\text{m}$)

$3\text{MV}/\text{m}$ あたりからX線が発生し、徐々に強くなったので途中で実験を中止した。

電解研磨実施前に空洞内を観察したところ赤道部とIris部の中間部に多数のピット(穴:くぼみ)が観察されていたため。実験終了後肉眼で観察できた一番大きなピットをCCDカメラにて内視した(photo-3)。

II. 第2回測定(総表面研磨量: $80\mu\text{m}$)

表面処理は $30\ \mu\text{m}$ の電解研磨と高圧水洗及びシャワー洗浄を実施した。洗浄後、空洞内部を観察したところ I でみられたピットは消えていなかった。

実験結果は QUENCH により $18.3\ \text{MV/m}$ の加速電界が制限となった。一方で、実験中 X 線は観測されなかった。

III. 第3回測定 (総表面研磨量: $110\ \mu\text{m}$)

表面処理は第2回と同様。また、ピットの存在もそのままであった (肉眼観察のみ)。 $16\ \text{MV/m}$ あたりから X 線がではじめたがエージングをすることで $22.3\ \text{MV/m}$ まで加速電界のばすことができた。

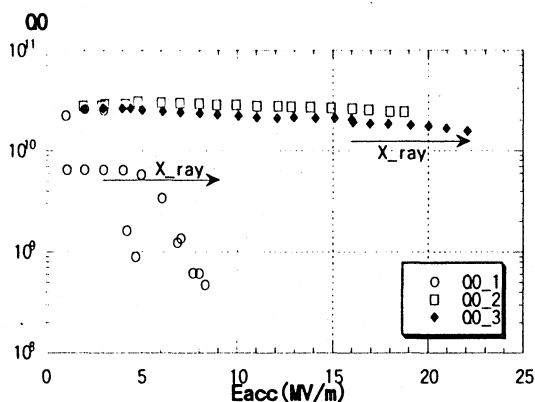


Fig-3. 実験により得られた Q 値と加速電界
 Q_{o_1} : CP20 $\mu\text{m} + 800^\circ\text{C}$ anneal 5Hr + EP30 $\mu\text{m} + \text{HPR}$
 Q_{o_2} : EP30 $\mu\text{m} + \text{HPR}$
 Q_{o_3} : EP30 $\mu\text{m} + \text{HPR}$

7. 考察

今回の試みではピットの存在が鍵となっていたように思う。これらのピットは材料内にもともと存在したものとみている。したがって、肉眼で観察できるようなピットを持つ空洞性能が、数回の少量電解研磨によりどのように変化していくかが興味の対象となった。多数存在したうちの1つのピット (球形と仮定する) に着目して以下のように考える。

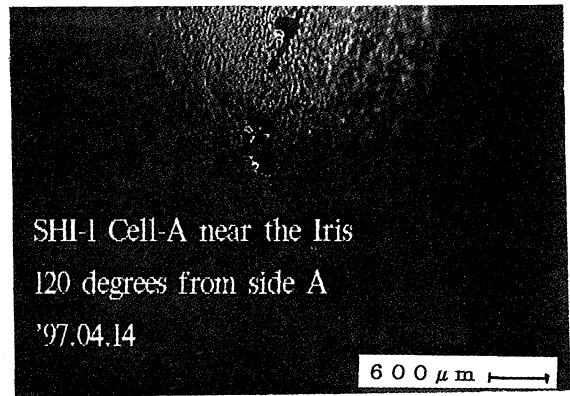
1.8K でのマイクロ波の侵入深さは数千 (Å) 程度と概算できる。われわれ着目するピットの大きさははるかに大きい (photo-3)。このような大きなピットはしばしば QUENCH の発生要因になっている。

第一回目の研磨にてピットの口が開いたとする Fig-4 (a)。この状態ではピットが深く洗浄性が悪かったため、表面処理時の化学的残留物やごみが溜まりやすくなっていた。その

ため、低い電界にて X 線量が多かったと考える。

同図 (b) では、ピットの径が大きくなったため、(a) より洗浄性が向上した。しかし、ピットの形状が QUENCH の発生しやすい状況となっていた。

(c) は、(a) と同径だがピットの深さが小さく、洗浄性がよかったため (a) に比べ高い加速電界が得られた。



photo_3 空洞内のピット

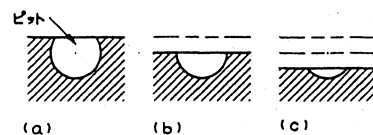


Fig-4. 研磨によるピットの深さの変位

8. まとめ

量産を考慮した場合、いままで述べてきたピットや欠陥の存在は無視できないが、現在の状況では無欠陥 (ピット径: $\sim 10^{-9}\text{m}$ 以内) の材料を得ることは極めて難しいと考える。ましてや、電子ビーム溶接による溶接欠陥を完全に避けることもできない。したがって、これら疑いのある欠陥を除去するにはやはりバレル研磨や化学研磨等による $100\ \mu\text{m}$ 程度の予備研磨を実施する必要があることがわかった。

謝辞

今回、Nb 空洞製作にあたり多大な指導を教授していただいた KEK 工作センター井上先生に感謝いたします。また、表面処理に関して、協力していただいた野村鍍金 (株) の皆様に感謝いたします。

参考文献

- 1). K. Saito et al. "R&D of Superconducting Cavities at KEK" Proc. of the 4th Workshop on RF Superconductivity, 1989
- 2). 高エネルギー物理学研究所: OHO'87, (1987)
- 3). 高エネルギー物理学研究所: OHO'92, (1992)