

[13P-21]

## Performance Evaluation on the Niobium Seamless SC Cavities by Italian Spinning Technology

T.Fujino, V.Palmieri\*, K.Saito, H.Inoue, E.Kako, S.Shishido, K.Abe, T.Higuchi, M.Ono, S.Noguchi, N.Hitomi and Y.Yamazaki

High Energy Accelerator Research Organization (KEK)  
1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0801 Japan

\* Istituto Nazionali di Fisica Nucleare, Laboratori Nazionali di Legnaro ( INFN-LNL)  
Via Romea, 4-35020 Legnaro (Padova), Italy

### Abstract

For the future superconducting RF cavity application like TESLA, development of the cost effective fabrication is an important issue. Seamless cavity eliminated electron beam weldings is an attractive way. INFN-LNL in Italy has successfully developed the spinning technology to form the whole cavity cells. They had fabricated three L-band single cell cavities by this technology and sent them to KEK. We have evaluated the cavity performance treating them by electropolishing.

### イタリアン・スピニング技術によるシームレス・ニオブバルク空洞の性能評価

#### 1. はじめに

高電界超伝導ニオブ高周波空洞は、次世代のリニアコライダーやX線-FEL、超伝導陽子リアックなどへの応用として近年、精力的に研究開発が進んでいる。高電界性については、KEKの精力的な研究により、L-バンド単セル空洞では理論的限界と考えられる40MV/mの加速電界が、多数の空洞で確認されている<sup>[1]</sup>。これは電解研磨の高電界性に対する優位性<sup>[2]</sup>によるものであり、化学研磨を採用している他の研究所では、JLabでの一例<sup>[3]</sup>を除けば、いまだに達成されていない。

一方また、将来の大規模応用では空洞製作コストの低減の問題が重要な課題である。その対処としてイタリアのINFN-LNLでは、図1に示すようにスピニング法でニオブ板から空洞全体を成型する方法を開発している<sup>[4]</sup>。また、DESYでは、液圧成型法でニオブのシームレスパイプから空洞を成型する方法を開発している<sup>[5]</sup>。KEKでは、成型方法はDESYと同じであるが、ニオブ・銅クラッドパイプから空洞を成型する方法を開発している<sup>[6,7]</sup>。今回、INFN-LNLとKEKの共同研究で、イタリアでそのスピニング成型法でLバンドニオブバルク単セル空洞を製作し、KEKでそれらに電解研磨を施し、性能評価を行っている。ここでは、いくつかの空洞で結果が出始めたので中間報告を行う。

からINFN-LNLでスピニング法でLバンド単セル空洞3個(KENZO-4, KENZO-5, KENZO-6)を製作し、KEKに送り、電解研磨を300 $\mu$ mまで施し、低温測定を行い、その性能評価を行った。現在、INFN-LNLで開発したスピニング空洞では改善すべき二つの問題がある。1) 成型後に空洞内表面に多数のクラックが発生すること、2) 空洞の肉厚が不均一であることである。KENZO-4は、空洞内表面のクラックを除去するためにINFN-LNLでラッピングによる機械研磨が施された。KENZO-5は機械研磨を省いてみた。KENZO-6は、INFN-LNLでタンプリングによる機械研磨が施された。

また、KENZO-4は通常のスピニング法(固定ローラ)

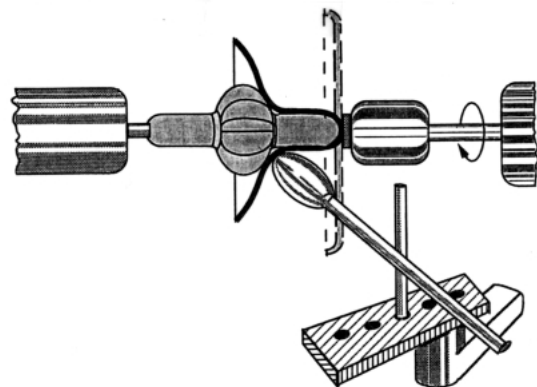


図1. INFN-LNLで開発されたスピニング法による空洞の一体成型

#### 2. 実験方法

RRR=250 (ヘラウス材)、3mm厚の高純度ニオブ板材

で、KENZO-5、KENZO-6ではフローティング・ローラ方式で製作された。この方法により、スピニング時のニオブ材のしごきに自由度を与え、材料の流れをよくすることを目論んだ。図2に電解研磨の前にKEKで超音波厚み計を使って測定した空洞の肉厚分布を示す。

KEKで空洞の両ビームパイプの端にフランジを電子ビーム溶接した。KENZO-4はニオブフランジを、KENZO-5ではニオブパイプの外側にSUS316LパイプをHIP接合したパイプ<sup>[8]</sup>をその溶接部でSUSの一部を剥ぎ取り、ニオブ・ニオブの突き合わせ電子ビーム溶接をした。KENZO-6はこれからフランジの溶接に入るところである。

空洞はKEKの電解研磨標準工程で最大300 $\mu\text{m}$ まで研磨された。電解研磨の後の水洗洗浄では、超純水を使った高压洗浄 (85kg/cm<sup>2</sup>) を約1時間施した。空洞の真空排気では、110 $^{\circ}\text{C}$ で2日間のベーキングを行った。各空洞の製作履歴を表1にまとめる。

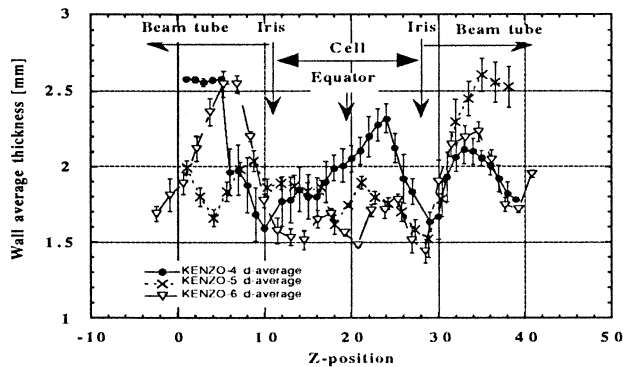


図2. スピニング空洞の肉厚の測定結果 (KEK)

表1. 空洞の製作履歴

項目	KENZO-4	KENZO-5	KENZO-6
ニオブ材RRR (ハロス材)	250 板	250 板	250 板
成型 (NFN-LNL)	スピニング 固定ローラー	スピニング フローティングローラー	スピニング フローティングローラー
表面機械研磨 (NFN-LNL)	ラッピング	no grinding	タンプリング
ビームパイプ フランジ	ニオブ	ニオブ/SUS HIP材	Not yet joined

### 3. 空洞性能評価

3個の空洞の内、KENZO-4, 5を低温測定し、性能評価を行った。

#### 3-1 KENZO-4の性能

図3にKENZO-4の表面抵抗のすべての測定結果を、図4にすべてのQ<sub>0</sub>-Eaccカーブの測定結果を示す。また、表2に性能結果を数値にまとめた。

電解研磨量と空洞性能の関係を見るために電解研磨量 100 $\mu\text{m}$ , totally 200 $\mu\text{m}$ , totally 250 $\mu\text{m}$ の各処理ごとに空洞の性能測定を行った。KEKで行っているバレル研磨による機械研磨と電解研磨の併用では必ず水素病が発生することが分かっている<sup>[9]</sup>。この空洞はINFN-LNLでラッピングによる機械研磨が施されているので、水素病の発生が予想された。常温から4.2Kまで速く冷却して空洞性能を行った後、空洞をウォームアップして水素病が発生し易い100Kに15時間曝して再度冷却して性能測定し、表面残留抵抗の変化を調べ、水素病の発生の有無を確かめた。その結果、図3から分かるようにラッピングと電解研磨の併用では水素病が発生しないことが分かった。これは機械研磨と電解研磨の併用では、機械研磨のやり方によっては水素病が起きない方法があることを示している。

一方、加速電界に関しては、図4より分かるように250 $\mu\text{m}$ まで電解研磨しても17MV/m辺りの加速電界からQ値が急激に低下する現象が見られ、30MV/m以上の高電界性が得られなかった。ハーフセルを成型した後、電子ビーム溶接で空洞の赤道部を溶接する従来の方法では、250 $\mu\text{m}$ 電解研磨すればEacc > 30MV/m の高電界が得られ

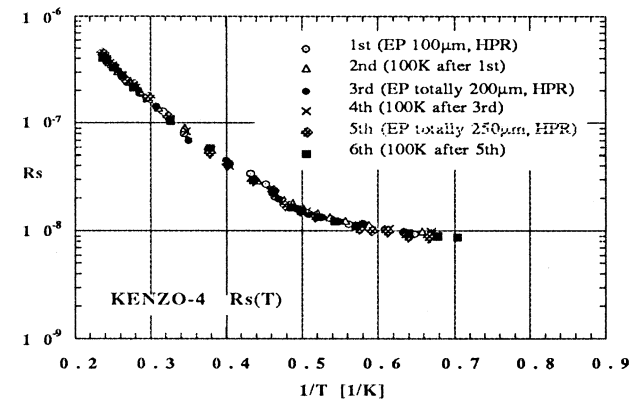


図3. KENZO-4の表面抵抗の温度依存性

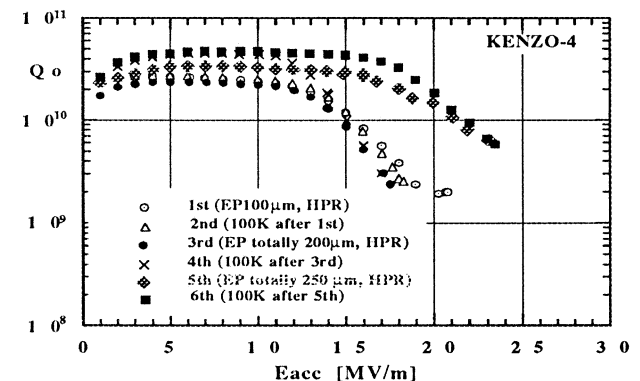


図4. KENZO-4のQ<sub>0</sub>-Eacc カーブ

ることが統計的に確かである<sup>[1]</sup>。それに比べ、KENZO-4では、 $E_{acc} = 24 \text{ MV/m}$ の加速電界しか得られないのは、表面のクラックの問題、あるいはラッピングによる機械研磨に原因があると思われる。JLabでも同様の空洞を化学研磨して性能評価を行っており、ラッピングした空洞では、化学研磨の場合でも十分な性能が得られていない。

### 3-2 KENZO-5の性能評価

図5にKENZO-5の表面抵抗のすべての測定結果を、図6にすべての $Q_0$ - $E_{acc}$ カーブを示す。表2に数値をまとめた。この空洞では電解研磨 $200\mu\text{m}$ 、totally  $300\mu\text{m}$ の2回の処理が施された。また、電解研磨 $300\mu\text{m}$ では水素病の有無が調べられた。図6より分かるように加速電界 $17\text{MV/m}$ 以上での $Q$ の落ちが殆どなく、 $28\text{MV/m}$ が達成された。しかし、さらに追加した電解研磨 $100\mu\text{m}$  (totally  $300\mu\text{m}$ )では、殆ど高電界性の向上が見られなかった。

一方、この空洞では電解研磨の前に一切機械研磨を施していないのにも関わらず、水素病が発生した。水素病の

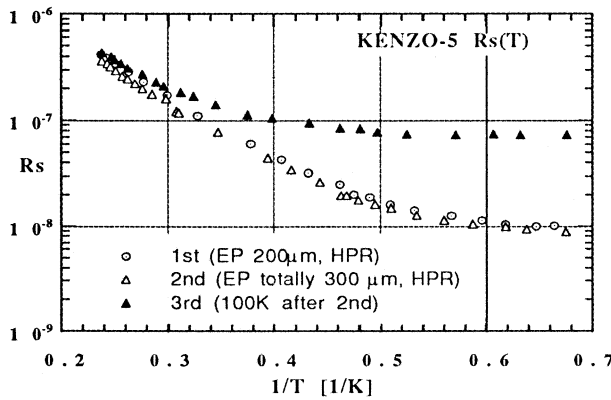


図5. KENZO-5の表面抵抗の温度依存性

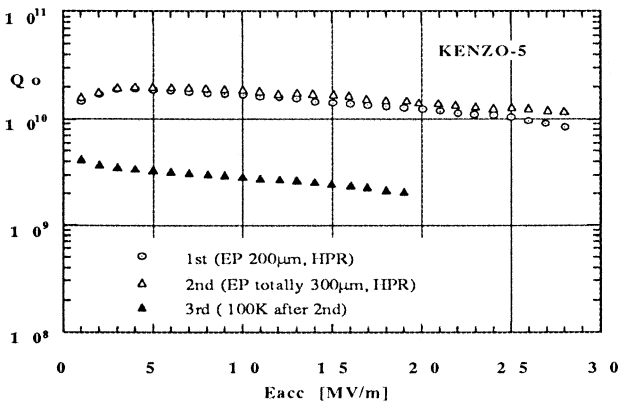


図6. KENZO-5の $Q_0$ - $E_{acc}$ カーブ

背後には機械研磨ばかりでなく材料の問題が含まれていることが示唆される。

表2. 空洞の性能測定結果のまとめ

KENZO - 4	KENZO - 5
Test 1 処理：EP( $100\mu\text{m}$ )+HPR $\Lambda = 1.3101\text{E-}4$ $\Delta/k_B = 18.423$ $R_{res} = 9.01 \text{ n}\Omega$ $E_{acc,max} = 21 \text{ MV/m}$ Limitation: field emission or Q-slope No hydrogen Q-disease	Test 1 処理：EP( $200\mu\text{m}$ )+HPR $\Lambda = 1.1159\text{E-}4$ $\Delta/k_B = 17.739$ $R_{res} = 9.40 \text{ n}\Omega$ $E_{acc,max} = 28 \text{ MV/m}$ Limitation: quench Not measured Q-disease
Test 2 処理： EP(totally $200\mu\text{m}$ )+HPR $\Lambda = 1.4189\text{E-}4$ $\Delta/k_B = 18.695$ $R_{res} = 9.52 \text{ n}\Omega$ $E_{acc,max} = 18 \text{ MV/m}$ Limitation: field emission or Q-slope No hydrogen Q-disease	Test 2 処理： EP(totally $300\mu\text{m}$ )+HPR $\Lambda = 9.885\text{E-}5$ $\Delta/k_B = 17.866$ $R_{res} = 8.84 \text{ n}\Omega$ $E_{acc,max} = 28 \text{ MV/m}$ Limitation: quench Hydrogen Q-disease ( $R_{res} = 73.8 \text{ n}\Omega$ )
Test 3 処理： EP(totally $250\mu\text{m}$ )+HPR $\Lambda = 1.1765\text{E-}4$ $\Delta/k_B = 17.972$ $R_{res} = 8.16 \text{ n}\Omega$ $E_{acc,max} = 24 \text{ MV/m}$ Limitation: Q-slope No hydrogen Q-disease	$R_s = A/T_{exp}(-\Delta/k_B T) + R_{res}$

### 参考文献

- [1] K.Saito et.al, KEK Preprint 99-193 March 2000 A
- [2] K.Saito et. al, Particle Accelerator, Vol. 60, pp. 193 - 217.
- [3] P.Kneisel and B.Lewis, Proc. of the 7th SRF Workshop, Vol.1, Oct. 17 - 20, 1995, Saclay, pp. 311 - 327.
- [4] V.Palmieri et. al, Proc. of the 7th SRF Workshop, Vol.II, Oct. 17 - 20, 1995, Saclay, pp. 571 - 579.
- [5] Kaiser et. al, Proc. of the 9th SRP Workshop, to be published.
- [6] T.Fujino et. al, in this meeting.
- [7] T.Fujino et. al, in this meeting.
- [8] H.Inoue et. al, in this meeting.
- [9] K.Saito et. al, Proc. of the 2nd Superconducting Linear Accelerator Meeting in Japan, May 27 - 28, 1999, KEK, Tsukuba, pp.54 - 61.