

# IN-HOUSE FABRICATION AND PERFORMANCE OF L-BAND SC CAVITIES

T. Suzuki, T. Ikeda, S. Ogushi, T. Higuchi, K. Komine, M. Nishigaki, S. Fukuda,  
K. Saito\*, S. Noguchi\*, M. Ono\*, T. Shishido\*

Nomura Plating, Co., Ltd.

5, Satsuki-cho, Kanuma-shi, Tochigi-ken, 322 JAPAN

\*; High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1, Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305 JAPAN

## Abstract

Surface treatment is the most important process to make high performance superconducting cavities. In order to develop our long experience on surface treatment and make our technology more reliable, it is desirable to have experiences from cavity fabrication to cold measurement. So we made two L-band cavities, applied a standard surface treatment of the KEK L-band group, tried new method and made cold tests.

## L-バンド超伝導単セル空洞の社内製作とその空洞性能

### 1. はじめに

当社ではTRISTAN-I計画以来ニオブ空洞の表面処理に関してKEKと共同研究を行っている。空洞性能としての要求は高加速電界、高いQ値、および高い安定性である。また、表面処理の簡略化を行いながらも高性能を信頼性よく実現することが要求されている。

KEKにおけるLバンド空洞の開発は1992年に始まり現在に至っており、その間、電解研磨や化学研磨などの表面処理および高圧純水洗浄などの洗浄処理方法の最適化の研究をKEKと共同で行ってきた。これらの経験をふまえ、昨年、社内でLバンド単セルニオブ空洞を2台製作した。その目的は、実際に空洞製作の全プロセスを経験することによって製作上の問題点や表面処理の役割、重要性を再認識することであり、また、これらの空洞を新しい表面処理法の開発に使うことである。ここでは、空洞の製作および表面処理後の性能測定結果について報告する。

### 2. 空洞の製作

今回製作した空洞の形状を図1に示す。空洞の製作方法は、最近のKEK Lバンドグループで採用されている方法[1]に従った。製作フローを図2に示す。空洞材料は東京電解(株)のニオブ材を使用した。材質はRRR=182, 純度99.8%以上、伸び31.5%以上、硬さ51.6Hvである。ハーフセルの成型はKEKにて実績のある深絞り成型を使った。KEKから金型を借りて成型し、両端部をトリミングした。ビームパイプはニオブ板をロールした後、電子ビ-

ム溶接 (EBW) で接合し、円筒形状を作りその後通し具を使って真円出しし、両端部をカットした。加工された

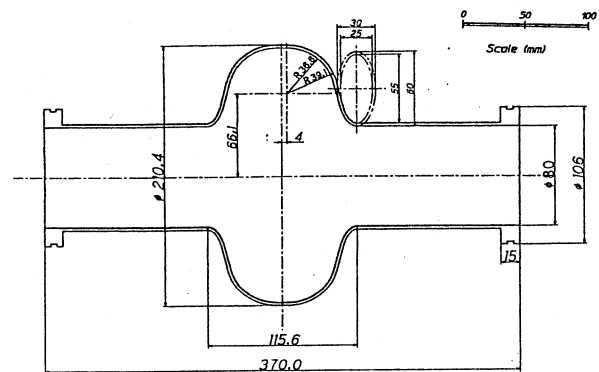


図1. 空洞形状

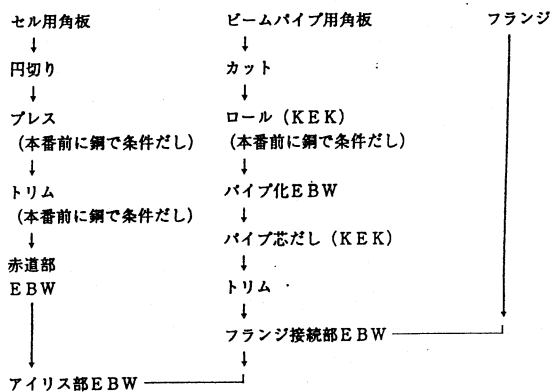


図2. 空洞製作フロー

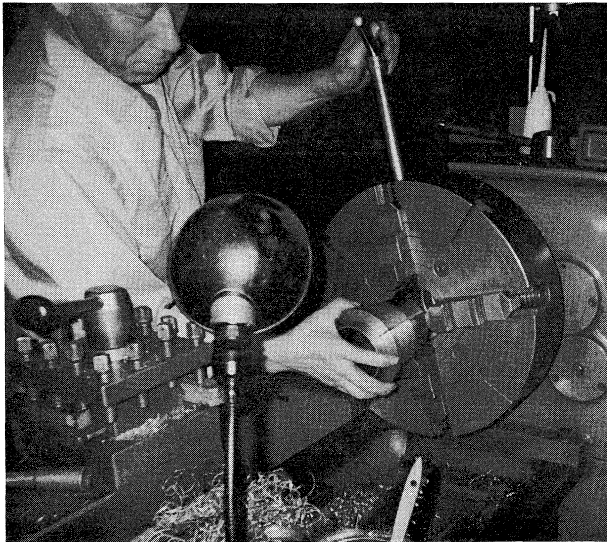


図3. ビームパイプの加工の状況

これらの部品を脱脂、化学研磨によるクリーニング（10 $\mu$ m 除去）を施した後EBWにより空洞形状に一体化した。図3に製作の様子を示す。EBWは表1に示す条件のもとで行われた。特にセル赤道部の溶接は、この後の機械研磨（バレル研磨）を容易にするためにシーム部をなめらかにすることを心掛けた。そのために鉛直ビームに対してセルを60度傾け、ビームパイプ開口部から内面斜め打ち溶接をした。ビームパイプとセルの溶接は外打ち溶接をした。しかし、表1に示したビーム条件のもとで、どちらの空洞も片側のセル+ビームパイプがうまく溶接できなかった。つまり、十分な溶接溶け出しが得られなかった。その原因の一つはセル端部の厚み（2.2 mm）とビームパイプ端部の厚みのミスマッチによると考えられるが、その他に熱のこもりなどの要因も考えられる。この溶接部を改善するために電流値を上げて再溶接したがスパッターボールが発生し、一部に溶けだし不十分な箇所が残っていた。そこで、それ以上外面からの溶接では不十分と考え、ビームパイプ開口部から内面再溶接した。図4にこうした溶接後のシーム部を示す。シーム周辺に外打ち溶接時に発生したスパッター痕（0.5mm程度の大きさ）が多数観察される。図5に電子ビーム溶接が完了した空洞を示す。

### 3. 空洞性能測定結果

この2つの空洞に表2に示す処理を行い、性能との相関  
表1. EBWの溶接条件

名称	電圧 (kV)	電流 (mA)	焦点	速度 (ipm)	ワークD (mm)	プログラム (sec)	ビーム角度 ( $^{\circ}$ )
単管	115	25/24.5	670	15	314	1-22-1	90
フランジ	115	27/25	670	15	314	1-44-2	60
赤道部	115	27.5/24	670	15	314	1-108-4	60
アイリス	115	22/22.5	670	15	314	2-45-4	90

注：電流値は前が適正值、後ろが実施値であり、ワークDは200+天井からの距離である。

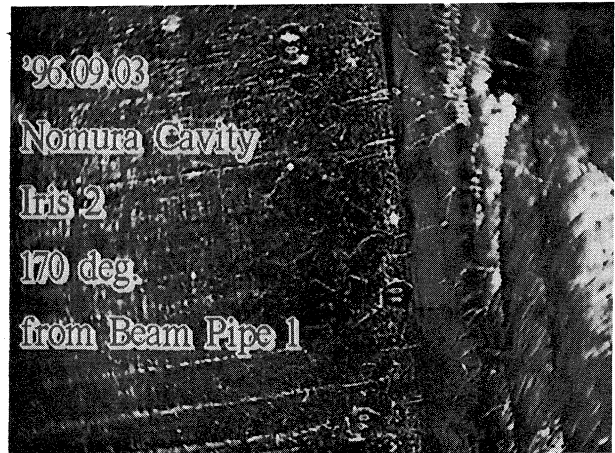


図4. セル+ビームパイプ EBW 溶接シームの状況  
(失敗側)

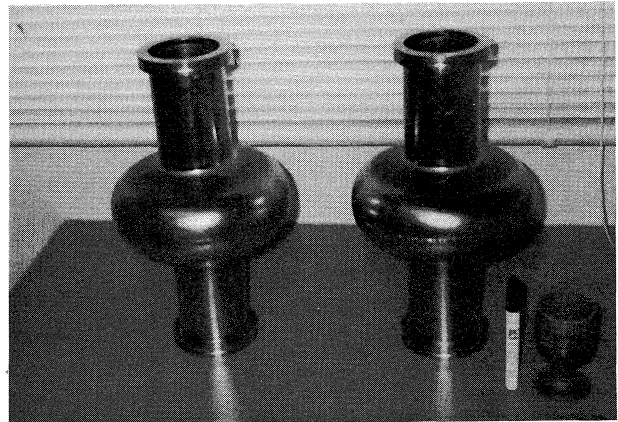


図5. 完成したニオブ製 L-バンド超伝導空洞

性を調べた。その結果を図6にまとめて示す。ここでは主に以下の3つのことについて報告する。なお、性能測定はKEKにて行った。

#### バレル+少量EP+真空アニール+水洗洗浄

図4に示したスパッターボールを効率よくかつ信頼性高く除去するためにバレル研磨を行った。従来のバレル研磨では赤道部が集中的に研磨され、アイリス部はほとんど研磨されない。今回製作した空洞では、スパッターボールがアイリス周辺に集中していて従来の方法では除去しづらい。この問題を解決するために揺動バレルを開発し、一つの空洞（N-2）に適用した[3]。そして、バレル研磨により埋め込まれた砥粒を除去するために8.2 $\mu$ m電解研磨（EP）

を施し、その時ニオブが水素を吸蔵して性能劣下をおこす問題（水素病） [4] を避けるために真空アニール（770℃,5時間）を施し、水洗洗浄（メガソニック洗浄+高圧洗浄）を行い性能測定した。結果を図6（●印）に示す。KEKでこれまで報告されている結果 [5] と同程度の性能を得た。このことからKEK in-houseの製作技術と同レベルの製作技術が習得できたと確信する。

#### バレル少量化学研磨+水洗洗浄

機械研磨後の化学研磨（CP）の効果をみるためにバレル研磨のあと少量CP(15μm)を行い水洗洗浄を行い、性能測定を行った。この測定では常温から低温への冷却をfast coolで行った。結果を図6（□印）に示す。他の結果に比べて加速電界4 MV/m辺りからQ値の急激な低下が顕著である。この領域ではX線の発生がないので発熱による低下と考えられる。その原因はCPにおける水素病と推測される。これまで、水素病はfast coolで避けられると考えられていたが、fast coolでも避けられない水素病があることが示唆される。

上記のことが水素病であるかどうかを確かめるために水素脱ガスアニールを施し水洗洗浄を行い性能を測定した（表2-3）。結果を図6（△印）に示す。脱ガスの結果、Q値が18MV/mまで回復し、従って水素病であると判断される。ただし、それ以上の高電界部で急激なQの低下が観測される。KEKの報告[5]では、これはCP特有の現象である。EPではそのような現象は顕著ではない（図6●印）。我々の結果でも25MV/m以上の高電界部におけるEPの優位性が示唆される。

#### CPによる高電界部におけるQ値の劣下

この問題の再現性を確認するために、再度バレル研磨、化学研磨および水洗洗浄を行い性能測定を行ったが、性能はフィールドエミッションにより制限された。原因は現在も不明であるが高圧水洗を行うことで性能は回復した。ただし、高電界部でのQ値の低下は再現される。化学研磨では高電界におけるQ値の劣下は不可否である。高電界における電解研磨の優位性を確認できた。

表2. 表面処理条件

	表面処理	Eacc
1	振動バレル研磨 + 電解研磨 + 真空アニール + MSR + 純水HPR 8.2 μm      770℃×5hr      64 min 1.25 hr	26.5 MV/m
2	バレル研磨 + 化学研磨 + MSR + 純水HPR 15 μm      64 min      1.25 hr	14.5
3	真空アニール + MSR + 純水HPR 750℃×5hr      64 min      1.25 hr	23.97
4	バレル研磨 + 化学研磨 + 真空アニール + MSR + 純水HPR 10 μm      750℃×5hr      64 min 1.25 hr	5.06
5	純水HPR 1.25 hr	22.93

#### 4. まとめ

- 1) 自社製作においてKEKと同等の性能をもつ空洞を製作することができた。
- 2) バレル研磨を使うと化学研磨でfast coolで逃げ切れない水素病が発生する。
- 3) 従来、化学研磨と電解研磨では10MV/m程度の加速電界では顕著な差異は認められなかった。しかし、25MV/m程度の高電界においてEPの優位性が確認された。
- 4) 現在の処理でも大きな性能劣下をひきおこす原因不明の現象ある。表面処理プロセスの管理強化の必要性を痛感する。

#### 謝辞

今回、空洞を製作するあたりKEK工作センターの井上氏に技術的援助を、また舟橋氏には電子ビーム溶接の御指導をいただきました。深く感謝いたします。野村鍍金本社の野村社長には物心両面の援助をいただきました。お礼申し上げます。

#### 参考文献

- [1] H. Inoue et. al., "In-house L-band Niobium Single Cell Cavities at KEK", Proc. of the 18th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tsukuba, 1993, p.304-308
- [2] T. Higuchi et. al., "Finished Niobium Surface with Barrel Polishing", Proc. of the 21th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tokyo, 1996, p.228-230
- [3] T. Higuchi et. al., "Studies of Swing and Chemical Barrel Polishing for SC Cavities", in this meeting
- [4] K. Saito et. al., "Qo-degradation due to Hydrogen in High Pure Niobium Cavities", Proc. of the 18th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tsukuba, 1993, p.229-303
- [5] K.Saito et. al., "Importance of the electropolishing for the high gradient SC cavity fabrication", in this meeting.

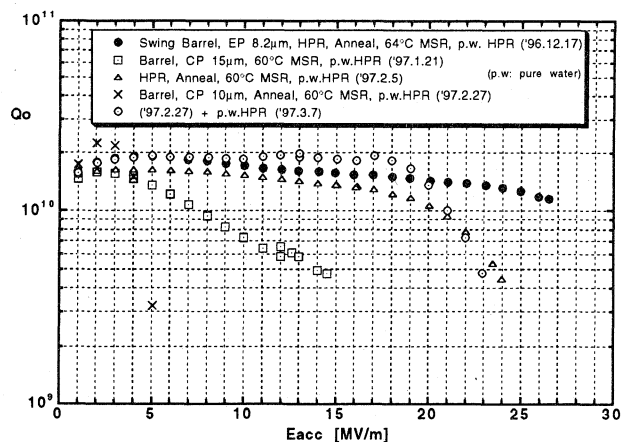


図6. 表面処理と性能測定結果