

[A17a09]

In-house Production of Superconducting L-Band Niobium Single Cell Cavities

S.Nakamura, K.Saito*, S.Noguchi*, M.Ono*, E.Kako*, T.Shishido*

Hitachi,Ltd. Hitachi Works 3-1-1, Saiwaicho Hitachi-shi Ibaraki-ken,Japan

*High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

Abstract

Two superconducting L-Band niobium single cell cavities were produced. The parts of the cavity were welded by electron beam welding. The first cavity was polished mechanically and chemically* on its inside surface. (*“Chemically” means chemical polishing and electropolishing.) We measured its performance without annealing at first. Its Q value and maximum gradient were very low because of hydrogen absorption in Nb which was damaged by mechanical polishing. Next, the cavity was annealed for degassing H₂, and the Q value was improved remarkably. The second cavity was polished only chemically. It achieved the gradient E_{acc}=24.8 MV/m and its Q value was 1.97 × 10¹⁰. After keeping the second cavity temperature at 95K for 2.5 hours, Q-disease was not observed.

超伝導 L-バンド Nb 製単セル加速空洞の製作

1.はじめに

超伝導空洞は空洞表面の発熱が少なく、内部に蓄積することができるエネルギーが大きいので、高加速電界が得られる。その結果、リニアックをコンパクトに建設できるメリットがある。Nb 製超伝導加速空洞製作技術の確立のため、L-バンド単セルキャビティを 2 台試作した。溶接は EBW とし、赤道部溶接は空洞外側より行なった。この時、空洞赤道部内側にシームが出来るが、1 台はこのシームを機械的に研磨して削り取った後に化学研磨と電解研磨を実施し、残りの 1 台は機械研磨を省略して化学研磨と電解研磨を行なった。ここでは空洞製作と実験結果について報告する。

2.空洞の試作

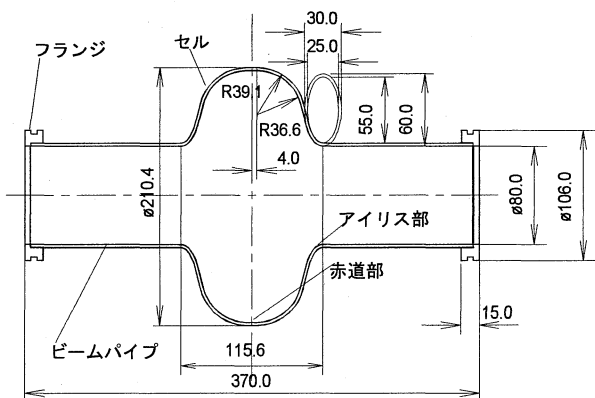


図 1 空洞寸法図

今回試作した空洞の形状寸法を図 1 に示す。空洞は RRR200 の Nb 板からハーフセル、ビームパイプを成形し、Nb 製フランジと溶接した構造である。本空洞の仕様と測定値を表 1 に示す。

表 1 空洞仕様と測定値

No	項目	仕様	H-1	H-2
1	共振周波数[GHz]	1.926	1.928	1.929
2	単セル部長さ[mm]	115.6	114.1	115.9
3	赤道部外直径[mm]	210.4	210.5	210.7

1)ハーフセル成形

ハーフセルは Nb 板を 7 × 10⁶Pa の圧力で深絞り成形した。Nb ブランク材は φ 280mm、厚さ 2.5mm の円板である。従来ブランク中心には位置合わせのため φ 7mm の穴をあけ成形していたが、本空洞では割れ及び減肉を防ぐため、中心穴径を φ 50mm として深絞り成形を行なった。[1]

2)溶接

溶接は酸化防止のため、電子ビーム溶接(EBW)を採用した。溶接装置の仕様を表 2 に示す。

表 2 溶接装置仕様

No.	項目	仕様
1	電圧[kV]	60
2	真空度[Torr]	1 × 10 ⁻⁵

溶接縮みはハーフセルあたり 0.2mm とトリム治具にて加工した。実際の溶接縮みは単セル当たり 0.4mm であり、想定した長さと同じだった。

3.表面処理

空洞は2個製作し内面処理を変えた。H-1はバレルによる機械研磨(BP)と、化学研磨(CP)、電解研磨(EP)を併用し、H-2はBPを省略しCPとEPを行なった。内表面処理の詳細を表3に示す。H-1に関してはEP後の測定ではQ値が低かったため、熱処理を行ない再測定を行なった。熱処理中の各ガス成分の分圧を四極質量分析計にて測定したが空洞温度が500°Cを超えたところでH₂の分圧は急激に増加し1×10⁻⁴[Pa]に達した。また765°Cで5時間アニールした後のH₂の分圧は2×10⁻⁵[Pa]であった。

表3 内表面処理仕様

No.	項目	H-1 (1st)	H-1 (2nd)	H-2
1	機械研磨(BP) 平均[μm]	100	無	無
2	化学研磨(CP) 平均[μm]	150	無	150
3	電解研磨(EP) 平均[μm]	50	無	50
4	熱処理	無	765°C ×5hr	無
5	洗浄(HPR)	9Mpa 1hr	9Mpa 1hr	9Mpa 1hr

図2 H-1空洞アニール時の分圧

CP研磨量は空洞の重量変化量により管理した。またEP研磨厚は電解研磨時の総電流量より管理した。内表面研磨後の研磨厚変化の分布測定位置を図2、実測値を図3、図4に示す。測定は超音波厚み計により行なった。BPは空洞赤道部が重点的に研磨されるため、赤道部研磨量は研磨質量から計算した平均研磨量の2倍以上となった。

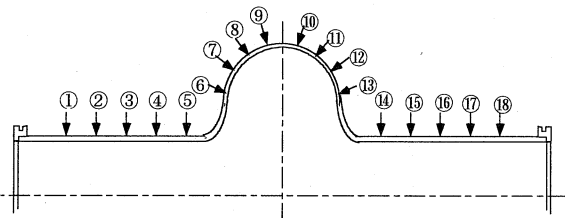


図2 空洞各部分の研磨量

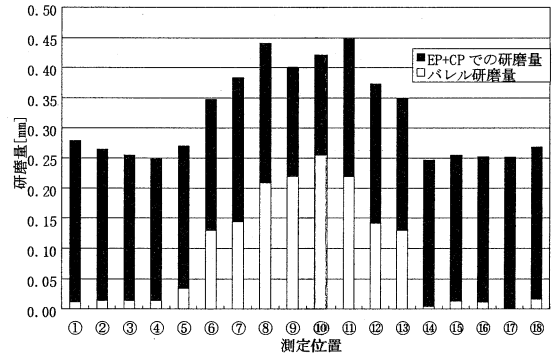


図3 H-1空洞研磨量

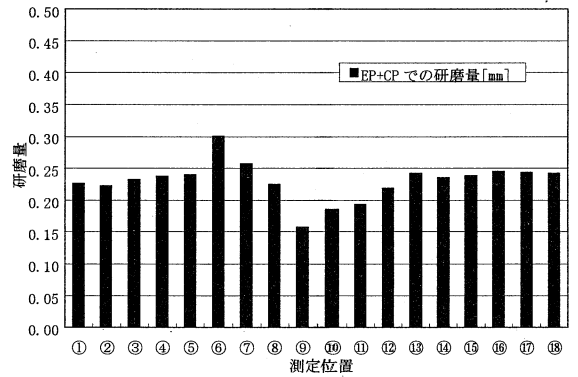


図4 H-2空洞研磨量

H-1空洞赤道部には4個所の大気中でのスポット溶接を行なっている。1個所だけ溶接跡がはっきりと残っている部分があった。この部分はBP後にも跡が残っていたが、CP+EPを行なった段階で肉眼では溶接跡を判別出来なかった。

4.実験結果

1)H-1空洞測定

H-1空洞の測定結果を図5に示す。

H-1空洞の1回目の測定ではQ値、Eaccの最大値ともかなり低い値であった(▲)。原因はBPによって生じたNb表面の欠陥にできた水素化合物の影響と考えられた。このためH₂脱ガスのためのアニールを765°Cで5時間行なった。アニール後の実験結果を図5の■に示す。測定は4.2Kにて行なった。スポット溶接跡での発熱の有無を確認するため赤道部にカーボン抵抗を張り付け測定をおこなった。溶接スポットは赤道部に対角に4個所行なった。この中でBP後に目視にて確認できた1個所が発熱し、クエンチした。

H-1空洞実験を通してX線は観測されなかった。

アニール後の Q 値は 1.6K と 4.2K 時の測定と比較にも関わらず 2 桁向上した。これにより BP 後の脱 H_2 のためのアニールは不可欠であることがわかった。

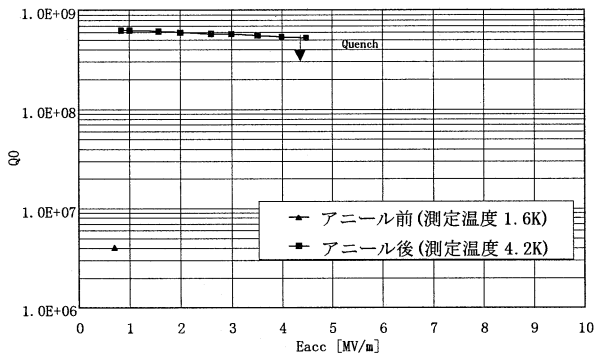


図5 H-1 空洞測定結果

2) H-2 空洞測定

図6に H-2 空洞の測定結果を示す。

測定は空洞温度を 1.8[K] に保ち行なった。1 回目測定(▲)で Eacc を上昇させていくと Eacc > 12MV/m で X 線が発生し Q_0 が急激に減少した。この減少は空洞内に存在する不純物によって RF パワーが奪われる現象(コンタミネーション)が起こったためと考えられる。しかし、Eacc が 19MV/m を超えた時点で急に Q_0 、Eacc 共に上昇した。これは内部不純物が RF パワーを吸収しない位置に移動(プロセスアウト)したものと考えられる。プロセスアウトの後 Eacc = 24.9MV/m にてクエンチし、これ以上 Eacc を上げることができなくなった。次に Eacc = 24.8MV/m から減少させ測定(◆)を行なった。特性はほとんど同じであった。

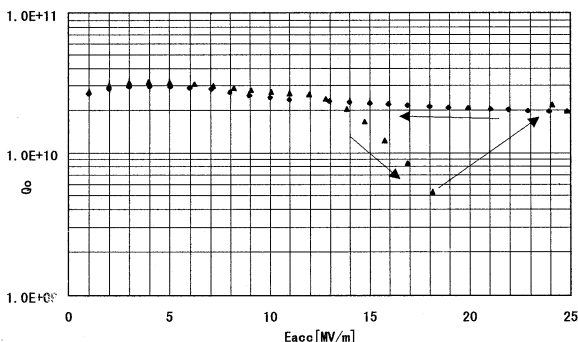


図6 H-2 空洞測定結果

3) Q-disease

高 RRR Nb 材を用いて製作した非アニール空洞

については 60[K] ~ 120[K] で数時間放置すると Q 値が大幅に減少する現象(Q-disease)が報告されている [2]。H-2 空洞を用い 95[K] で 2.5 時間保持後 Q 値を測定した。結果は図7に示すように Q 値は低下せず、Q-disease は観測されなかった(■)。

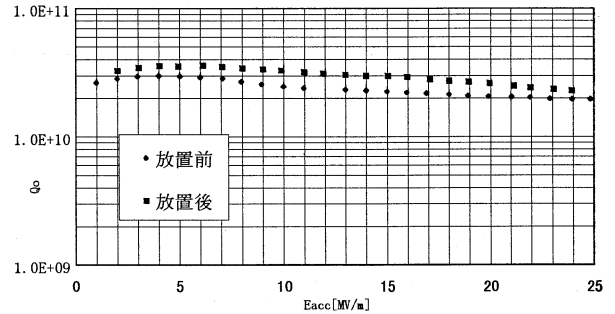


図7 95K, 2.5 時間放置後の空洞 Q 値の変化

5. まとめ

2 台の空洞を製作し、内面処理の方法を変えて特性を測定した。BP を行なうと CP, EP 後の H_2 の吸着により Q 値が低くなるので脱ガスのためのアニールが必要であることが分かった。また大気中でのスポット溶接は目視で確認できないほど削りも空洞性能に大きな悪影響を与えることがわかった。

空洞内部のシームに関しては赤道部 EBW を外から行なっても BP の必要はなく CP, EP のみで一定の性能が確保できた。2 個の空洞の BP による性能の違いはは今回不確定な要素が多く比較出来なかった。また Q-diseases に関しては今回の実験では確認されなかった。

文献

[1] 中村 真 他：「In-house Production of Superconducting L-Band Niobium Single Cell Cavities」 第一回超伝導リニアック研究会 (1998.5.28-29 開催) 予稿集(掲載予定)

[2] 齊藤 健治 他：「 Q_0 -DEGRADATION DUE TO HYDROGEN IN HIGH PURE NIOBIUM CAVITIES」, Proceedings of the 18th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tsukuba, 21-23 July 1993

[3] 齊藤 健治 他：「Importance of the electropolishing for the high gradient SC cavity fabrication」, Proceedings of the 22nd Linear Accelerator Meeting in Japan