

FABRICATION AND TEST OF A SUPERCONDUCTING SINGLE CELL CAVITY FOR THE HIGH INTENSITY PROTON LINAC

N. Ouchi, J. Kusano, S. Noguchi*, K. Saito*, H. Inoue*, N. Akaoka**,
M. Ono*, T. Shishido*, M. Mizumoto, B. Fechner, K. Mukugi***

Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-11, Japan

* KEK: High Energy Accelerator Research Organization

** Nippon Advanced Technology Co. Ltd.

*** Mitsubishi Electric Corp.

ABSTRACT

Development of a superconducting(SC) linac has been continued for the high intensity proton accelerator. As the first step of the SC cavity development, single cell cavities of $\beta \sim 0.5$ have been fabricated and their RF characteristics have been examined in the vertical test at both JAERI and KEK. The results have satisfied our specification that indicates the feasibility of the SC proton linac. We present the fabrication process and results of the vertical tests.

大強度陽子加速器用超伝導単セル空洞の試作と試験

1. はじめに

原研では、基礎研究や消滅処理研究を行うための中性子科学研究計画(NSP: Neutron Science Project)を提案しており、その中心を担う大強度陽子加速器は最大ビームパワー8MWを計画している[1]。加速器の主要部分である高エネルギー部(100~1500MeV)は、超伝導リニアックの採用を第1のオプションとしており、その設計・開発を原研-KEK 共同で進めている。

陽子加速器用の超伝導空洞は、電子加速器の場合と同様に楕円形状となる。しかし、粒子の速度と光速との比(β)が電子の場合には $\beta=1$ であるのに対して、陽子の場合には上記エネルギー領域では $0.43 < \beta < 0.92$ となるため、空洞形状は扁平となる。これに伴う種々の問題を解決するために、中間 β 部($\beta \sim 0.5$)の超伝導空洞の開発を進めている。

NSP 用超伝導空洞は、加速周波数を 600MHz として検討を進めている。原研では、空洞セル形状の最適化により形状原案を作成するとともに、空洞試験用のテストスタンドの整備を進めてきた[2]。今回、空洞形状原案に従って $\beta=0.5$ の 600MHz 単セル空洞の試作を行い、原研テストスタンドにおいて試験を行った。

KEK では、Lバンド(1.3GHz)での中間 β 空洞の開発を行っている[3]。ここでは、 $\beta=0.45$ の単セル空洞を試作し、KEK テストスタンドにおい

て試験を行った。

本報告では、原研及びKEK における超伝導空洞の試作工程、性能試験結果についてまとめる。

2. 600MHz 超伝導空洞の試作、試験

今回製作した 600MHz、 $\beta=0.5$ 単セル空洞の断面図を図1に示す。SUPERFISH による解析より、最大表面電場強度と加速電場強度の比(E_p/E_{acc})は 4.8、最大表面磁場強度と加速電場強度との比(H_p/E_{acc})は 86.5Oe/(MV/m)である[2]。

2-1 製作

空洞製作に使用したニオブ板材は東京電解KK製で、RRR=250、板厚 3mm である。製作工程は、

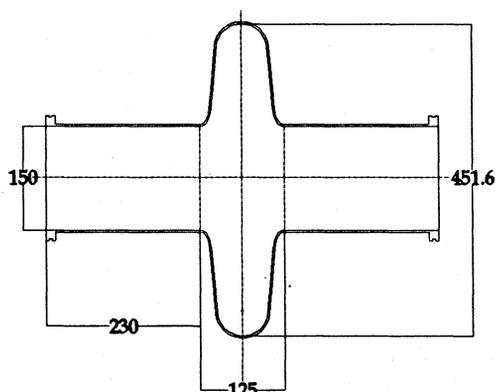


図1 600MHz、 $\beta=0.5$ 単セル空洞断面図

(1)プレス成形、(2)ビームチューブロール成形、(3)成形品トリム、(4)電子ビーム溶接で構成され、主に KEK 工作センターにおいて行った。

プレス加工工程では、150t プレス機を使用して直径 540mm の円盤状板材からハーフセルを成形加工した。加工後に 3次元測定器によりセル内面形状を測定した結果、赤道部付近において最大 1mm 程度の誤差が生じていた。これは、プレス機の荷重不足が原因と考えられる。

電子ビーム溶接においては、セル部(赤道部)は内側から、ビームチューブ(アイリス部)は外側から溶接した。溶接パラメータは電圧 120kV、電流 25mA、溶接速度 6~7mm/sec である。

2-2 表面処理

空胴製作後の表面処理工程として、揺動バレル研磨[4]及び電解研磨[5]を採用した。約 11 日間のバレル研磨により、平均研磨厚 $51 \mu\text{m}$ の研磨を行った。電解研磨においては、TRISTAN 用超伝導空胴製作の際に開発された横型電解研磨装置[5]を使用し、電流密度 $50\text{mA}/\text{cm}^2$ の条件で平均研磨厚 $23 \mu\text{m}$ の研磨を行った。図 2 に、バレル研磨及び電解研磨における研磨厚分布を示す。バレル研磨では、赤道部での研磨厚が最も大きくなり約 $110 \mu\text{m}$ であったが、アイリス部では約 $20 \mu\text{m}$ の研磨厚であった。一方、電解研磨では、アイリス部及びビームチューブにおける研磨厚が大きく、 $40 \mu\text{m}$ 程度であったが、赤道部では約 $10 \mu\text{m}$ であった。

表面処理後は、電解研磨によりニオブ板内部に吸蔵された水素を脱ガスするために、 750°C 、3 時間の真空熱処理を行った。その後、最終洗浄として原研内の高圧水洗浄装置[2]において 1.5 時間の洗浄を行うとともに、約 2 日間の空胴真空排気を行った。

2-3 RF 性能試験

試験は、初日に空胴のセット及び液体窒素による予冷を行い、2 日目に液体ヘリウムの注入及び 4.2K での測定、3 日目にヘリウム槽を真空排気することにより 4.2K から 2.1K まで冷却し、測定を行った。図 3 に、空胴をクライオスタットにセットする際の写真を示す。空胴の上下フランジにはそれぞれピックアップ及び入力カプラが取り付けられている。

試験結果として、図 4 に空胴の Q 値を最大表面電場強度(E_p)の関数として示す。 E_p に対応する加速電場勾配(E_{acc})を上軸に、Q 値に対応する表

面抵抗(R_s)を右軸にそれぞれ示す。 E_p については、4.2K において $20\text{MV}/\text{m}$ 、2.1K において $26.6\text{MV}/\text{m}$ を達成しており、これらは何れも NSP 超伝導空胴の仕様 $E_p=16\text{MV}/\text{m}$ [6]を十分に満足している。試験中に X 線がほとんど観測されなかったことから、電界の上限は空胴のクエンチで制限されたと考えられる。空胴の Q 値は、低電界領域において、4.2K では $\sim 7 \times 10^8$ 、2.1K では $\sim 1 \times 10^{10}$ であり、実験前の予測値とほぼ一致した。

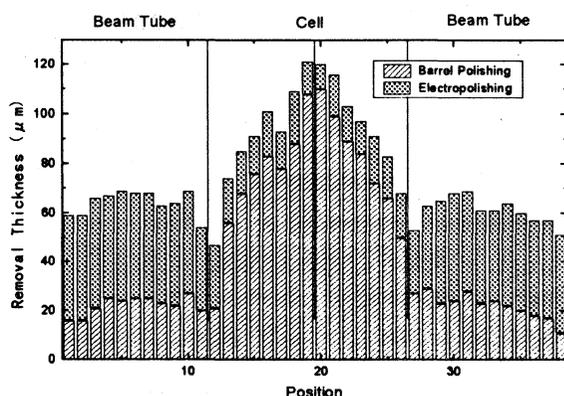


図 2 600MHz、 $\beta=0.5$ 単セル空胴研磨厚分布

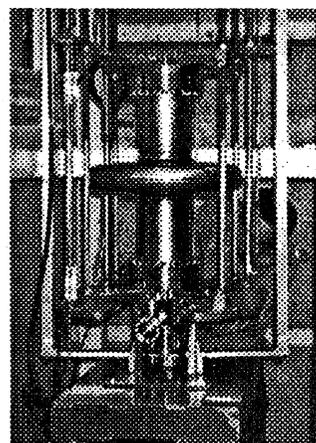


図 3 600MHz、 $\beta=0.5$ 単セル空胴セットアップ

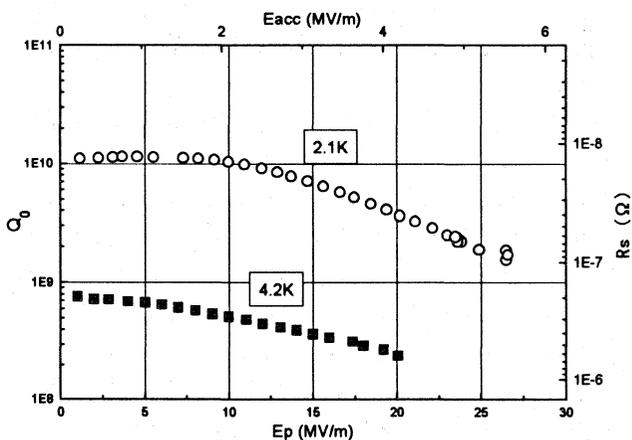


図 4 600MHz、 $\beta=0.5$ 単セル空胴試験結果

しかしながら、2.1K の測定においては $E_p > 10\text{MV/m}$ の領域でQ値が急激に低下しており、この問題に関して今後の検討が必要である。また、4.2K から2.1K への冷却途中での表面抵抗測定値をフィッティングすることにより得られた残留抵抗は約 $10\text{n}\Omega$ であり、良好な値を得ている。

クエンチの原因や高電界領域でのQ値の低下の原因は表面欠陥であると考えられるので、電解研磨により空胴内面を再研磨し、再測定することを現在計画している。

3. Lバンド超伝導空胴の試作、試験

Lバンド超伝導空胴については、参考文献3に示される空胴設計例をもとに、 $\beta=0.45$ 単セル空胴の試作、試験を行った。

3-1 空胴の製作、表面処理

空胴の製作法は、600MHz 空胴の場合とほぼ同様であるが、ニオブ板厚は 2.5mm である。また、プレス成形の際には 80t プレス機を使用した。

表面処理として、バレル研磨約 $10\mu\text{m}$ 、化学研磨 $25\mu\text{m}$ 、真空熱処理、電解研磨 $30\mu\text{m}$ 及び高圧水洗浄を施した後に第1回目の測定を行った。その後、化学研磨 $50\mu\text{m}$ 、電解研磨 $30\mu\text{m}$ 、高圧水洗浄を施し、第2回目の測定を行った。Lバンド空胴は空胴が扁平であるうえに小さいので、バレル研磨ではチップがセル部に入らず、十分な研磨することができなかった。

3-2 RF 性能試験

測定は、KEK Lバンドテストスタンドにおいて 1.9K で行った。また、600MHz 空胴試験の場合と同様に、 4.2K から 1.8K までの冷却時の表面抵抗から残留抵抗を算出した。

図5に、第1回及び第2回の測定によって得ら

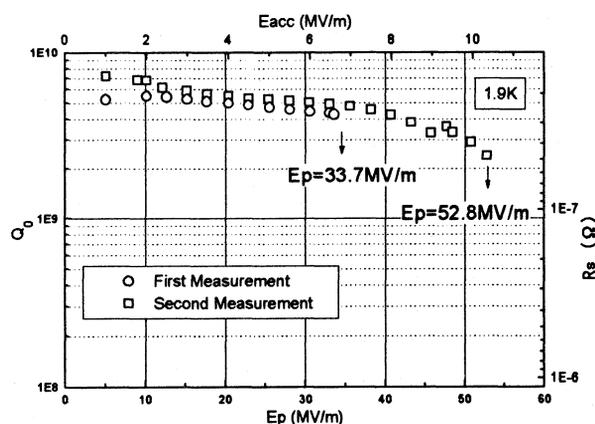


図5 Lバンド、 $\beta=0.45$ 単セル空胴試験結果

れたQ値を、 E_p の関数として示す。 E_p については、第1回目の試験では 33.7MV/m で制限されていたものの、その後の再表面処理により、第2回目の測定では 52.8MV/m を達成した。これは600MHz 空胴と比較すると2倍程度高い値である。また、加速器の空胴仕様 16MV/m と比較すると3倍以上もの性能を発揮している。

残留抵抗値については、第2回目の測定において $8.6\text{n}\Omega$ と非常に良好な値を得ている。

4. まとめ

600MHz及びLバンドでの中間 β (~ 0.5)の単セル空胴を試作し、性能試験を行った。電子用空胴と比較すると扁平な形状ではあるが、両空胴ともNSP 加速器空胴の仕様を十分に満足する良好な結果を得た。本結果より、中間 β の超伝導空胴の実現性が立証されたといえる。さらに、600MHz空胴に関しては、表面処理を施して再測定を行う予定である。また、本実験によって得られた表面抵抗値を加速器システム検討にフィードバックし、設計精度を向上させている[6]。

今後の空胴開発に関しては、 $\beta=0.7\sim 0.8$ 領域の単セル空胴の試作、試験を予定している。また、 $\beta=0.5$ のマルチセル空胴の試作も現在検討中である。さらに、これらの空胴開発と平行して、今年度より空胴を含めたクライオモジュール全体の設計を開始した。

参考文献

- [1] M. Mizumoto et al., "A High Intensity Proton Linac Development for Neutron Science Research Program", Proc. of the 1996 International Linac Conference, Geneva, Switzerland, (1996) 662
- [2] N. Ito et al., "Present Status of the Development for the Superconducting Proton Linac in JAERI", Proc. of the 21st Linear Accelerator Meeting in Japan, Tokyo (1996) 328
- [3] S. Noguchi et al., "Study on Medium- β Superconducting Accelerating Cavities", ibid, 44
- [4] T. Higuchi et al., "Studies of Swing and Chemical Barrel Polishing for SC Cavities", this proceeding
- [5] K. Saito et al., "R&D of Superconducting Cavities at KEK", Proc. of the 4th Workshop on RF Superconductivity, Tsukuba, Japan (1989) 635
- [6] Y. Honda et al., "A Conceptual Design Study on Superconducting Proton Linac for Neutron Science Project", this proceeding