

[F16p04]

PRESENT STATUS OF SUPERCONDUCTING CAVITY DEVELOPMENT FOR HIGH INTENSITY PROTON LINAC

J. Kusano, N. Ouchi, N. Akaoka, T. Tomisawa, S. Takeuchi, M. Mizumoto, S. Noguchi*, K. Saito*, H. Inoue*, M. Ono*, E. Kako*, H. Shishido*, K. Mukugi**, O. Takeda***

Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195, Japan

ABSTRACT

A development of superconducting(SC) linac has been continued for the high intensity proton accelerator at JAERI. The development is in progress with fabrication of single cell cavities and measurements of RF characteristics for single cell cavities. This paper describes the fabrication and the measurements of the cavities, a fabrication of the pre-tuning apparatus for 5-cell cavity and the performance of the clean vacuum furnace for the heat treatment of the cavities.

原研・大強度陽子加速器用超伝導加速空腔開発の現状

1. はじめに

原研の中性子科学研究計画 (NSP) に用いるビーム出力 8MW の大強度陽子加速器^[1]ではリニアック高エネルギー加速部 (0.1 ~ 1.5GeV) に 600MHz の超伝導加速空腔の使用を予定しており、そのための開発を 3 年前から KEK と共同で進めてきた。

加速粒子エネルギーの増加と共に粒子速度 (光速との比: β で表す) は NSP 陽子加速器の超伝導加速空腔部で $\beta=0.43$ から $\beta=0.92$ まで変化する。計画では超伝導空腔形状を β の変化に伴い 8 群の幾何学形状グループ (β_g) に分け、エネルギーの低い方からそれぞれ $\beta_g=0.453, 0.499, 0.549, 0.604, 0.665, 0.732, 0.805$ および $\beta_g=0.886$ と定めた^[2]。

空腔開発の目標として(1). 安定加速電界性能の確保、(2). 機械的荷重に耐える構造、(3). 製作手法の確立を掲げ、更に運転コストの検討の中で、空腔の運転温度を 2K とすることを決めた。空腔のセル数は加速効率および単位空腔当たりの必要 RF 電力とカプラー給電能力のバランスから 5 連セルと定めた。空腔開発の手順として、まず、単セル空腔の試作と性能評価を行い、その後実機に近い 5 連セル空腔の試作・試験を行い、順次、カプラー付きの空腔試験に移行し、最終的にはクライオモジュールに組み込んだ加速空腔により、必要な各性能、制御手法の確認と量産化する時のための組立・調整手法の確立を目指している。

これまでに KEK トリスタンの経験を基に空腔形状の検討、空腔構造強度の検討^[3]、ビームダイナミクスの検討等を行うと共に単セル空腔の製作と性能評価試験を行って来た^[4]。本報告はこれらの現状報告として空腔試験で得られた性能と 5 連セル空腔試験のための機器整備状況について述べる。

* KEK:High Energy Accelerator Research Organization

** Mitsubishi Electric Corporation

*** Toshiba Corporation

2. 単セル空腔の製作と試験

空腔開発の第 1 ステップとして単セル空腔の試作と性能評価試験を行っている。低 β 側の空腔 ($\beta=0.5$) は、その楕円形状 (図 1 参照) が扁平なため電子マ

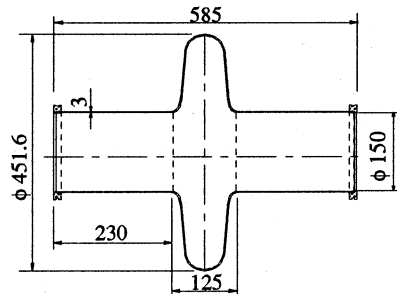


図 1 600MHz, $\beta=0.5$ 単セル空腔の断面形状

ルチパッキングが懸念されており、空腔内電界放出電子による電界制限レベルの確認と併せて設計仕様である最大表面電界 (E_{peak}): 16MV/m の安定

達成が目標である。新たに製作した高 β 側の空腔 ($\beta=0.89$) は NSP 加速器の中で最多数となる β_g グループの空腔であり、加速空腔性能と製作工程の確認を主目的として空腔試験を実施した。

空腔は高純度ニオブ板の成形加工により製作した。二種類の空腔とも製作工程の大部分は KEK の工作センターで実施した。3mm 厚のニオブ板を 500 ton プレス機の深絞り加工でハーフセルに成形し、電子ビーム溶接でセル赤道部、ビームパイプ、フランジを溶接して、所定の形状に仕上げた。その後の粗研磨、電解研磨を野村鍍金(株)で行い、その際に空腔ニオブ材へ吸蔵される水素を真空炉で熱処理・脱ガスした後、高圧水洗浄を施して直ちに真空・RF 系を組み立て、縦測定クライオスタットにて RF 特性測定を行った。

2-1. $\beta=0.5$ 単セル空腔の再試験

低 β 側の性能確認のため $\beta=0.5$ 単セル空腔は 2 個製作し、1 号機を J5001、2 号機を J5002 と名付け RF 特性測定を行った。 $\beta=0.5$ 単セル空腔の断面形状を図 1 に示す。 $\beta=0.5$ 単セル空腔の RF 特性測定結果を

図2に空洞のQ値と E_{peak} の関係として示す。J5001空洞では粗研磨(パレル研磨[5])を約51 μm 削り、初回の電解研磨(研磨厚:23 μm)後に得られた $E_{peakMAX}$ はLHe温度2Kに於いて25MV/m程度であったが、その後の再度の電解研磨(追加研磨厚:33 μm)により30MV/mを達成し、 $E_{peak} \sim 16\text{MV/m}$ の実用加速電界領域におけるQ値は 2.2×10^{10} であった。この時の電界上限を決めたのは電界放出であった。

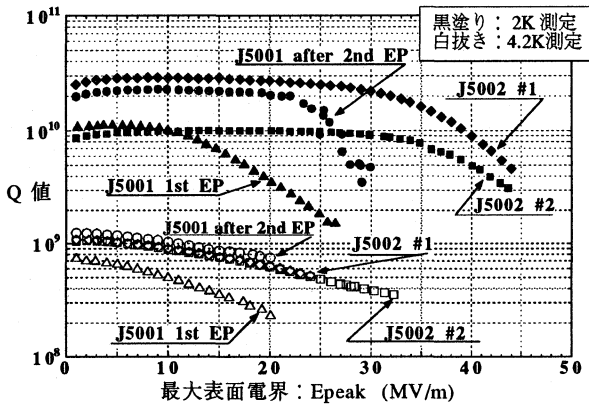


図2 600MHz, $\beta=0.5$ 単セル空洞のRF特性測定結果

J5002空洞は粗研磨厚を約96 μm と厚く削り、電解研磨厚を33 μm とした後の第1回目の測定で $E_{peakMAX}=44\text{MV/m}$ を達成した。この時の実用加速電界領域におけるQ値は 2.9×10^{10} であった。この空洞を大気中(クリーンルーム内)で半年間保管した後、高圧水洗浄のみの表面処理で実施した第2回目の測定でQ値は 1×10^{10} に低下した。観測されたQ値低下の原因は空洞表面の酸化等による劣化と考えられるが、この表面劣化は図3に示す表面抵抗温度依存性の測定結果から求められた残留抵抗値の変化に現れている。しかしながら、Q値の低下に関わらず $E_{peakMAX}$ は44MV/mを再現し、設計仕様である16MV/mに対する十分な余裕度を示した。

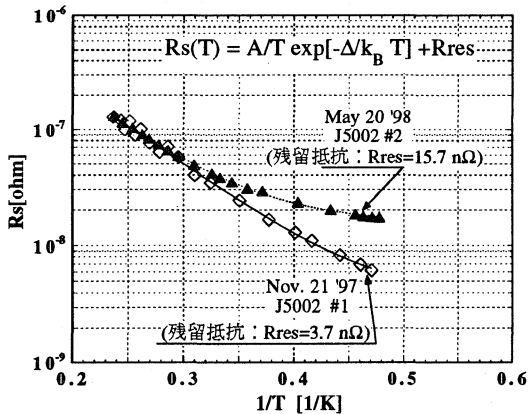


図3 J5002 空洞表面抵抗温度依存性の測定結果

2-2. $\beta=0.886$ の単セル空洞の製作と試験

8つの β_g で最もエネルギーが高いグループの空洞について、低 β 側J5002空洞と同様の製作・表面処理手法にて単セル空洞を試作しRF特性測定を行った。製作した $\beta=0.886$ 単セル空洞の断面形状を図4に示す。球形に近くなる形状効果により $\beta=0.5$ 空洞よりも高いQ値が得られ、 $E_{peakMAX}$ はLHe温度4.2Kに於いて26MV/mを得た。この値はRF測定系の通過出力上限で制限されたものであり、空洞そのもののクエンチではない。2K環境での測定は実験系の不調により通常測定は中断したため、再測定の予定である。但し、実験途中で打切ったが、LHe減圧中の中間的な温度:3Kに於いてのRF特性測定結果から

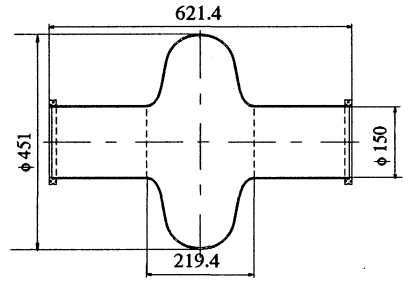


図4 600MHz, $\beta=0.886$ 単セル空洞の断面形状

からは、 $E_{peak}=36\text{MV/m}$ まで電界放出無しで安定に到達しており、空洞本体性能は良好である。

以上のJ5001, J5002, J8901三空洞の実験結果からは低 β 側および高 β 側それぞれの単セル空洞の製作、表面処理に至る一連の手法の妥当性が実証されたと云える。

3. 5連セル空洞試験の準備

開発の第2ステップとして5連セル空洞を試作し、単セル空洞試験で得られた性能との比較および5連セル空洞取扱の問題点の摘出を図る。このために5連セル空洞の設計検討・製作と試験用設備の対応について整備を進めている。

3-1. $\beta=0.5$ の5連セル空洞の製作

扁平形状で構造的に弱い低 β 側空洞の試験のために $\beta=0.5$ の5連セル空洞の試作を開始した。設計した空洞の断面形状を図5に示す。5セル中の両端の

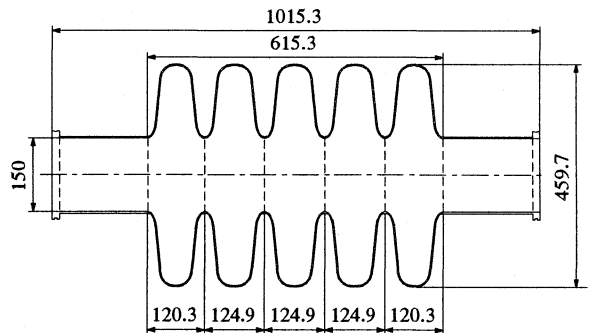


図5 600MHz, $\beta=0.5$, 5連セル空洞の断面形状

セルのみセル長を短くし、各セル間の電場分布の平均化を図っている。これまでに3mm厚の銅板を用いたモデル空胴を製作し、加工技術上のシミュレーションと後述のプリチューニング装置を用いた5連セル空胴のチューニング手法確立を目指している。ニオブ製空胴は現在製作中であり、1998年内の表面処理とプリチューニングを予定している。

3-2. 5連セル空胴用プリチューニング装置の製作

多セル空胴の製作誤差による共振周波数のズレや、電場分布の不均一性を補正するためにプリチューニング装置が必要である。NSP加速器・超伝導加速部の8 β gグループの全ての5連セル空胴についてプリチューニングが施せるよう、空胴全長および各セル長サイズに適合するプリチューニング装置を製作した。図6に $\beta=0.5$ 銅製5連セルモデル空胴を装荷したプリチューニング装置の写真を示す。装置は空胴水平据え置き型で、2枚の「固定アーム」とパルスモータ駆動の1枚の「可動アーム」によりセル1段毎の伸縮を行うようにしている。「アーム」は空胴の立体形状にフィットするよう加工してあるため、異なる β gグループの多セル空胴をチューニングする際は「アーム」を交換して対応する。チューニングは本体に付設したビーズ走行装置との組合せによりRF情報をフィードバックし、作業の効率化を図るようにした。

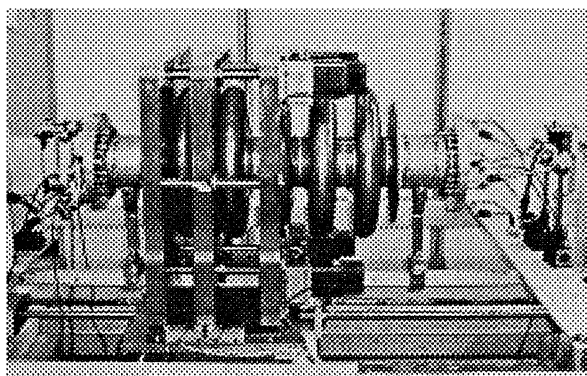


図6 プリチューニング装置とテスト用銅製5連セルモデル空胴

4. 熱処理用高真空炉・高圧水洗浄装置の整備

空胴表面処理の電解研磨工程の際に空胴ニオブ材へ吸蔵される水素を熱処理脱ガスするために高真空炉を整備した。本装置は8 β gグループの全ての5連セル空胴の熱処理を可能とするためにワークエリアは850W x 850H x 1800Lと大きめに設定し、真空排気系には全オイルフリー排気システムを用いた。実際のJ5002、J8901空胴の熱処理を行った時の条件は室温の時の到達真空度が 1×10^{-7} Torr、室温から750°Cまでの昇温に2時間かけ、750°Cで3時間連続の脱ガスの後ヒーターを切り、約24時間の冷却時間を置

き、空胴周辺温度が70°C以下となってから乾燥窒素ガスを導入し、大気圧に戻してから空胴を取り出している。残留ガス分析装置の主要ガス時間分析結果からは室温から昇温途中の炉内圧力は水(Mass=18)に支配されているが、炉内温度が600°Cを超える段階からはニオブからの放出水素ガス(Mass=2)により支配され、約30分から40分間ほど水素ガス放出が継続し(圧力： $\sim 3 \times 10^{-5}$ Torr)、その後、炉内圧力は $\sim 2 \times 10^{-6}$ Torrへ低下する。炉内の温度分布はワークエリア中心軸上の中央と端部間で ± 3 °C程度であり、5連セルの等温加熱が可能である。

上記熱処理後の空胴表面最終清浄化処理に用いる超純水高圧洗浄装置についてはいくつかのトラブルを経た後、所要の性能を得、単セル空胴試験の推進に寄与している[6]。しかし、現状の超純水高圧洗浄装置は単セル用のストローク(610mm)であり、これを8 β gグループの全ての5連セル空胴の洗浄に対応できるストローク(1,700mm)とするために、装置を収納しているクリーンルームの改造と併せて1998年内の高圧水洗浄装置の全面改造を予定している。

5. まとめ

陽子加速器用超伝導加速器開発の第1ステップとして低 β 側、高 β 側それぞれの単セル空胴を試作し、性能評価試験を行った結果、設計仕様を十分上回る最大表面電界が得られ、製作と表面処理のプロセスの妥当性を実証した。この実績を踏まえ第2ステップとして5連セル空胴の試作と関連機器整備を始めており、5連セル空胴実験への準備が進捗している。

参考文献

- [1] M. Mizumoto et al., Proc. of the LINAC96, Geneva, pp662-664(1996).
- [2] Y. Honda et al., "A Conceptual Design Study of Superconducting Proton Linear Accelerator for Neutron Science Project", Proc. of the 1st Asian Particle Accelerator Conference, Tsukuba, Japan, (1998) to be published.
- [3] K. Mukugi et al., "Structural Analysis and Simulation of Superconducting Cavities for High Intensity Proton Linac", these proceedings.
- [4] N. Ouchi et al., "Design and Development Work for A Superconducting Proton Linac at JAERI", Proc. of the 8th Workshop on RF Superconductivity, Italy, (1997), to be published.
- [5] T. Higuchi et al., Proc. of the 7th Workshop on RF Superconductivity, Gif-sur-Yvette, France, p.723 (1995).
- [6] N. Akaoka et al., "Performance of A High Pressure Water Rinsing System in JAERI for Superconducting Cavities", these proceedings.