

## OFF-LINE TESTS OF SUPERCONDUCTING RESONATORS OF THE JAERI TANDEM BOOSTER

Michihiro SHIBATA, Tetsuro ISHII and Suehiro TAKEUCHI  
 Accelerators Division, Japan Atomic Energy Research Institute  
 Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-11, Japan

### ABSTRACT

The JAERI tandem booster linac, which consists of 46 superconducting quarter wave resonators, is under construction. Off-line tests for resonators were performed. Accelerating field levels of 7 MV/m were obtained at an rf input of 4 W with most resonators. A maximum field level of 12.7 MV/m was obtained. The Q-value was degraded when resonators were cooled down slowly around a temperature of 120 K. We investigated this phenomenon by changing the cooling rate.

### 原研タンデムブースターの超伝導空洞のオフライン試験

#### 1. はじめに

日本原子力研究所のタンデム加速器ではエネルギー増強のために後段ブースターとして超伝導リニアックを建設中である。<sup>1-5)</sup>リニアックは共鳴周波数130MHzの1/4波長型の空洞40個と、それと同型のバンチャー、デバンチャーそれぞれ2個ずつ、及び共鳴周波数260MHzの1/4波長型のサブバンチャー2個の計46個の空洞から構成される。空洞の胴部はNb-Cuのクラッド板で、中心導体はNbでそれぞれ作られている。リニアックの40個の空洞は、4個ずつ1台のクライオスタットに収められて1ユニットを構成する。リニアックは2機のヘリウム冷凍機によって前段部と後段部別々に約4.5Kまで冷却され超伝導状態で運転される。

現在我々は、46個すべての空洞の電解研磨による表面処理を終了し、その内30個の空洞について4.2KでのQ値を測定した。Nbを用いた超伝導空洞では、それを冷却して超伝導状態にする際、120K付近の温度領域の滞在時間が長いとQ値が1桁程度低下するQ劣化の問題がある。我々は、冷却の速さ及び保持温度、保持時間を変えてQ劣化について調べた。

#### 2. 表面処理

空洞は(株)三菱電機で製造され、原研において最終的な表面処理を行なった。表面処理には、HF+H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>O研磨液を用いて液をよく攪拌しながら電流のオン-オフを30秒-90秒間隔で十数回繰り返し10 $\mu$ m程度電解研磨を行なった。また、No.

17からNo.40の空洞については、研磨中に発生する液中の水素濃度を減らしNbの水素吸収を抑えるために窒素ガスでバブリングを行なった。研磨後、Nb表面を15% HF水溶液でスプレー洗浄し、10%のH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>水溶液で30分、超純水(18M $\Omega$ ·cm)で60分程度超音波洗浄を行なった。その後、クリーンルームにおいて超純水、及びメタノールでスプレー洗浄した後、35-40 $^{\circ}$ Cで自然乾燥させた。クライオスタットに取付けるまでは、内部を窒素ガスで置換して外気を遮断し、ほこり等の侵入を防いだ。

#### 3. オフライン試験

空洞に高周波カップラー、測温素子を取付けテスト用クライオスタットでおよそ70 $^{\circ}$ Cまで暖めながら数日間真空に引いた。真空度は10<sup>-6</sup>Torr程度であった。テスト用クライオスタットは80Kの熱シールド部分と4.2Kの液体ヘリウム部分に分れており、始め液体窒素で予冷した後、熱シールド部分は液体窒素で、空洞は液体ヘリウムで冷却する。常温から4.2Kまで冷却するのに約5時間要した。高周波入力後、低い加速電位勾配(~0.1MV/m)で起こるマルチパクターリングを除去するのに1時間程度要した。

#### 4. 結果

えられたQ-E<sub>acc</sub>曲線の代表的なものをFig.1に示す。ここで、横軸のE<sub>acc</sub>は加速電位勾配を示す。Fig.2(a),(b)には、オフラインテストを行なった30個の空洞の最高電位勾配(E<sub>acc-max</sub>)の分布と4Wの

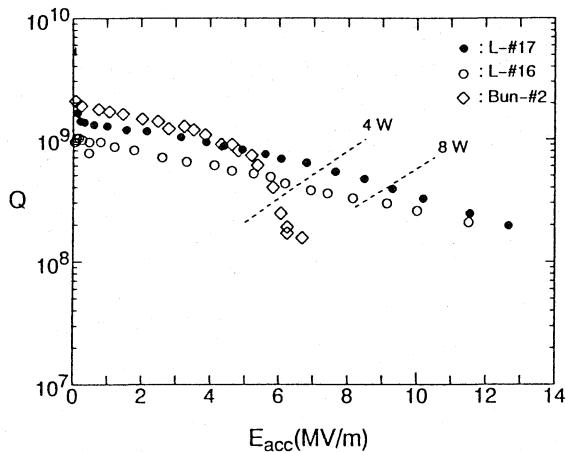


Fig.1 Typical  $Q$ - $E_{acc}$  curves for quarter wave resonators.

高周波入力に対する $E_{acc}$ の分布を示す。No.17の空洞の $E_{acc-max}$ は12.7MV/mまで到達した。 $E_{acc}$ は平均しておよそ7MV/mがえられた。この値は設計値の5MV/mを大きく上回る性能である。いくつかの空洞では5MV/mを越えるあたりから電界放出が起こり $Q$ 値が急速に低下したので、 $E_{acc-max}$ を発生させるには数十分の高入力のパルスコンディショニングやヘリウムコンディショニングを必要とした。オフラインテストを行っていない残りの10個の空洞についても性能はほとんど同じと考えられるので40個では計算の上ではおよそ40MVの加速電圧をもつリニアックとなる。

## 5. Q劣化

Nb空洞におけるQ劣化の問題は、すでにいくつかの研究所で報告されている。<sup>6-8)</sup>Q劣化の原因はNb中に固溶した水素が120K付近で、超伝導にならない水素化物を表面で形成することによると考えられている。

空洞単体のオフライン試験では十分速く冷却できるので問題とならないが、リニアック全体を冷凍機で冷却する場合は冷凍機的能力とも関係し重要な問題となる。我々は、いくつかの空洞について冷却の速さ、及び冷却時の120K付近の保持温度、保持時間を変えて、Q劣化の様子を調べた。その結果次のようなことがわかった。

- (1) 保持温度を130K以上、または90K以下にするとQ劣化は起こらない。
- (2) 保持温度を90Kから130Kの間にすると、Q劣化

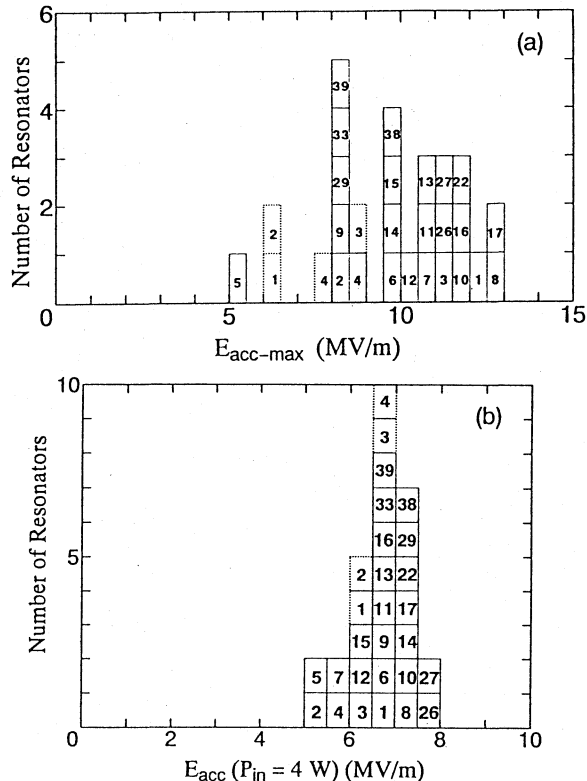


Fig.2 Resonator performances at 4.2 K. (a) Maximum electric field levels. (b) Accelerating Field levels at an rf input of 4 W. Numbers in the counts are resonator identification numbers. Resonators enclosed with dotted lines are those for the number of the buncher and de-buncher.

が起こる。保持時間との関係はFig.3に示すように横軸に保持時間、縦軸にその時の低い加速電位勾配での $Q$ 値をとると保持時間が長いほどQ劣化は著しくなり、15時間を越えるとそれは1桁以上にも及ぶ。また、空洞4個を取付けた状態で1ユニットについての冷却試験の結果、130Kから90Kの間の冷却速度が20K/hour以上であればQ劣化はほとんど無視できるが、10K/hour以下では1桁程度のQ劣化が起こることもわかった。

冷凍機の試運転の結果ではリニアック全体を冷却した場合、130K~90Kの通過に3~4時間程度を要した。この場合、Q劣化は30%程度と見積られる。この値は冷凍機からのヘリウムの流量を調節すればまだ短くすることが可能である。

## 6. まとめ

原研タンデム加速器の後段ブースターリニアックでは、その超伝導空洞のオフライン試験の結果、4Wの高周波入力に対して平均7MV/mの加速電位勾配を発生させることができた。これは設計値の5MV/mを大きく上回る性能であり、全体として40MVを越える加速電圧を持つリニアックになる。また、最高電位勾配は12.7MV/mを得た。実際の運転時は、冷却の際120K付近を出来るだけ速く冷却して大きなQ劣化をさける必要がある。

Conf. 1991, San-Fransisco  
8. D.Moffat, P.Barnes, J.Grabner, J.Kirchgessner, H.Padamsee, J.Potts, D.Rubin, Q.Shu and D.Proch, CLNS 90/1035, Cornell University.

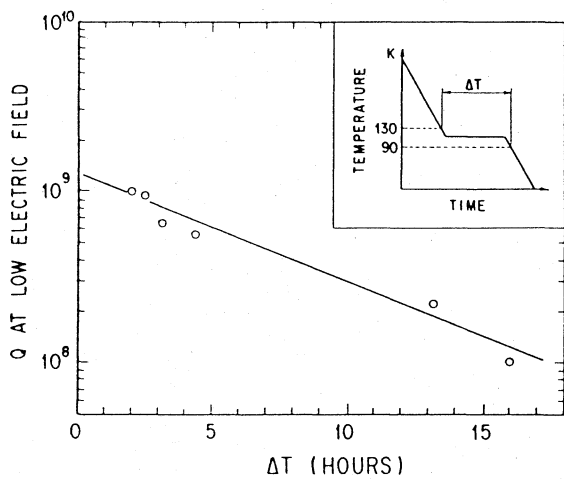


Fig.3 Q-degradation on cooling between 130 and 90 K. Q-values at low electric field are plotted against the holding times between 130 and 90 K. These data were obtained with resonator no.3 for the linac. The cooling scheme is shown in the inset.

#### 参考文献

1. S.Takeuchi, T.Ishii and H.Ikezoe, Nucl. Instr.and Meth. **A281**(1989)426.
2. S.Takeuchi, T.Ishii, H.Ikezoe and Y.Tomita, Nucl.Instr.and Meth. **A287**(1990)257
3. Y.Tomita, T.Ishii, S.Takeuchi, S.Kikuchi and E.Minehara, JAERI-M 88-155.
4. S.Takeuchi, T.Ishii, B.J.Min and M.Shibata, Proc. 5th WorkShop on RF Superconductivity 1991, Hamburg, DESY M-92-01, p.395.
5. T.Ishii, M.Shibata and S.Takeuchi, Nucl. Instr.and Meth. **A328**(1993)231
6. B.Aune, B.Bonin, J.M.Cavedon, M.Juillard, A.Godin, C.Henriot, Ph.Leconte, H.Safa, A.Veyssiere and C.Zylberajch, Proc. 1990 Linear Accelerator Conf., Albuquerque, LA-12004-C, p.253
7. G.Enderlein, W.Körber, A.Matheisen, D.Proch and F.Schölz, Proc. Particle Accelerator