

[F16p03]

STATUS OF THE JAERI TANDEM SUPERCONDUCTING BOOSTER

S. Takeuchi, M. Matsuda, N. Ishizaki, H. Tayama, I. Ohuchi and T. Yoshida

Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai Research Establishment

Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195

原研タンDEM超伝導ブースターの現状

Abstract

The superconducting booster for the tandem accelerator at JAERI, Tokai has been running well since its completion in 1994. The resonator performances have been maintained at high levels. Many resonators in the first four cryomodules had low Q values because of the hydrogen pollution in the chemical surface treatment. The Q-degradation was relieved greatly by precooling the resonators fast over the precipitation temperature zone by sequentially switching the cold helium gas flow over two or three groups of cryomodules. Although a big leak into a few cryomodules happened, the resonator performances were fortunately recovered well after warming up to the room temperature.

1.はじめに

原研東海研究所のタンDEM加速器の後段加速器（ブースター）としての位相独立可変型超伝導重イオンリニアックは1994年の完成以来、超伝導加速空洞の故障はなく、つまりクライオスタットの開放修理はなく、順調に稼働している。利用においては、Ni、Se、Ge、Zr、I、Auなどのイオンが核物理あるいは固体物理の研究のため加速されている。

リニアック部は40個のニオブ製1/4波長型超伝導加速空洞（Fig.1）からなる。加速空洞の発生する加速電界はオフラインの測定では4Wの高周波入力に対し平均で約6.5MV/mであったが、完成後の測定では前段部4クライオスタット内の空洞のQ値が下がり運転時の平均の加速電界は全体平均で7約4.5MV/mとなり設計の合格ラインの5MV/mを割る結果となった¹⁾。このQ値の低下は空洞の電解研磨による表面処理中にニオブ中に侵入した水素が冷却途中で120K付近でニオブ表面に析出し、高周波超伝導特性を低下させているためであると考えられている（以下「水素Q病」と

呼ぶことにする）。Q値の低下を防ぐ方法としては、加熱して脱ガスすれば解決できるが、これらの空洞は外側の胴部がニオブと銅のクラッド板で作られているため高い温度（例えば400℃以上）に加熱すると変形したり破壊に至るため空洞全体の加熱による脱ガスはできない。そのため、いろいろ性能

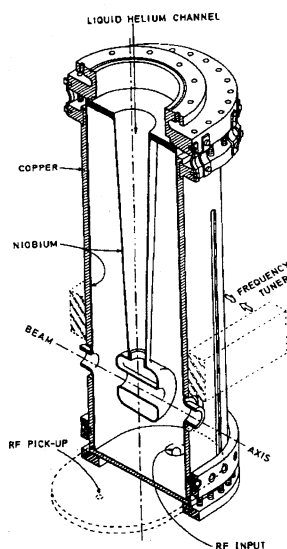


Fig.1 原研タンDEM超伝導ブースターの1/4波長型超伝導加速空洞

回復方法を模索している。これまでに得られた成果としては、第2節で述べる分割冷却による析出温度における冷却速度の増速は実用上大きな性能回復効果があった。また、予備の空洞を利用してニオブ単体でできた中心導体部分のみを部分的ではあるが加熱による脱ガスを試み性能の改善効果が確認されている(割愛)。

最近大きなリークが発生し、空洞性能の回復が心配された。この報告では、リークトラブルの結果を含め、超伝導空洞の性能の現状を中心に述べる。

2. 分割冷却による Q 値回復

ブースターの冷却は前段部と後段部に別れ、水素 Q 病の空洞は前段部の 4 台の加速ユニット(クライオスタット)に入っている。予冷時のヘリウムガスは主配管から並列に分配弁を通してクライオスタットに入り 4 個の超伝導空洞を順番に冷却し冷凍機に戻る。したがって、分配弁を操作することによって一時的に少数のクライオスタットに全量のヘリウムガスを流すことができる。水素化物が析出する温度は 130K から 90K の間で顕著であるので²⁾、この温度区間を前述の方法で急速冷却すれば析出を抑制することができるはずである。そこで、7 台あるクライオスタットを 2 ないしは 3 グループに分け分割冷却を行った。

分割しない通常の冷却速度は 10-12K/h であるが、2 分割冷却では 17-27K/h、3 分割冷却では 21-48K/h の冷却速度が得られた(クライオスタット内では 4 個の空洞を直列式で冷却するため冷却速度の差が出る)。前段部 20 空洞の Q 値の測定結果を Fig.2 に示す。1 番から 16 番の空洞が前段部第 1 ユニットから第 4 ユニットに入っている空洞である。3 分割冷却によってオフラインでの測定結果の 65-80%まで Q 値が回復している。後段部の空洞については Q 値が大体 $0.6-1.2 \times 10^9$ に入っているので分割冷却は行っていない。Fig.3 に 95 年に測定した通常冷却後と 3 分割冷却後の 97 年 7 月に 4W 入力時の加速電界の度数分布を示す。この

Q 値回復によって平均の加速電界は 4.1 MV/m から 5.0MV/m に改善された。

Fig.4 には、また 97 年 7 月の全空洞の加速電界の度数分布を示す。分割冷却後の平均は 5.4MV/m まで上がり設計性能の 5MV/m を満足している。

3. リークトラブル

98 年 5 月 31 日(日)、実験者が操作中ビーム ($^{32}\text{S}^{11+}$, 180MeV, $1e \mu\text{A}$) が大きく逸れ第 1、第 2 加速ユニットの間のベローズに当たりピンホールが開き

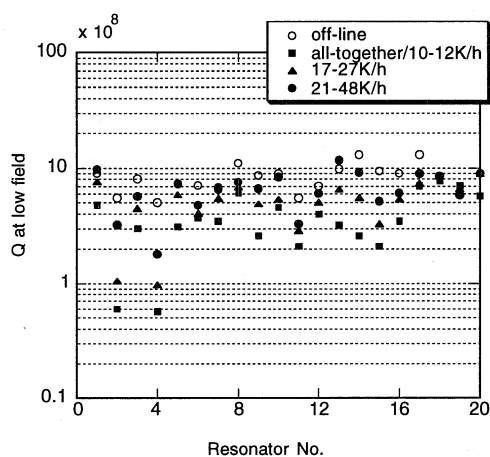


Fig.2 130K-90K 間を異なる冷却速度で予冷した場合の Q 値

○ : オフラインの急速冷却 40K/h、■ : 通常の冷却、▲ : 2 分割冷却、● : 3 分割冷却

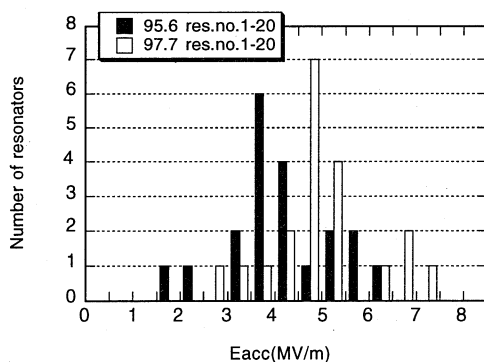


Fig.3 95 年 6 月と 3 分割冷却後の 97 年 7 月に測定した前段部空洞の加速電界、RF 入力 4W

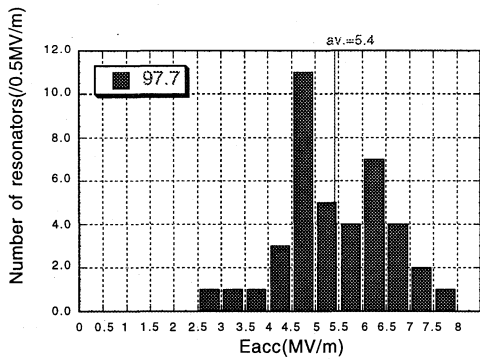


Fig.4 3分割冷却後の97年7月に測定した全空洞の加速電界、RF入力4W

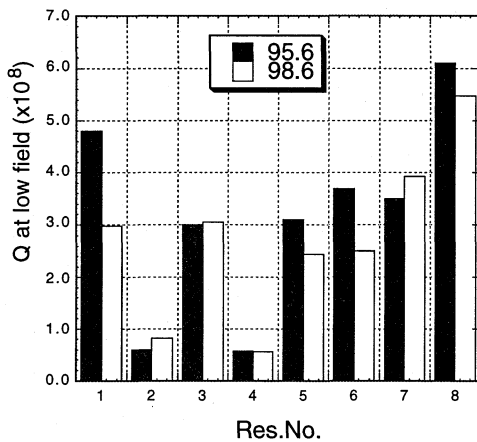


Fig.5 リークトラブル前後のQ値
(分割冷却は実施していない)

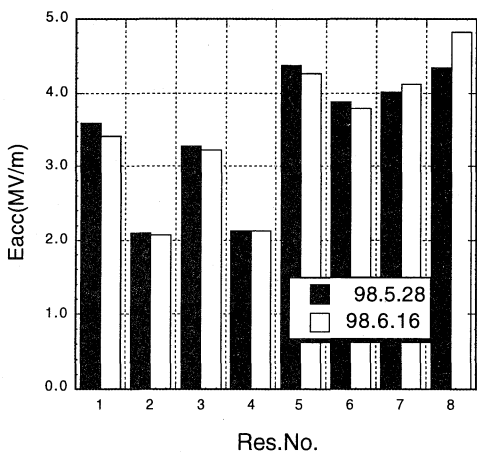


Fig.6 リークトラブル前後の加速電界、RF入力4W
(分割冷却は実施していない)

大リークが発生した。空洞は冷却されている状態で、リークしてから冷凍機を停止し80Kまで昇温するまで約12時間かかった。これらの加速ユニットの真空度は 10^{-1} Pa台であったが、液体ヘリウムの液面は安定しており急激な沸騰によるガス圧の異常な上昇はなかった。大量のガスが付着したため室温まで昇温した。冷凍機の記録からリークによる熱負荷は約23Wで、これは1台のクライオスタットの冷凍容量28W以下である。後で測定したリーク流量は17ml/sであった。途中でリーク流量が増加した形跡があるので正確なことは言えないが0.1-1kgのガスが8台の空洞の外表面などに付着したものと推定される。

リークトラブル後に測定したQ値と加速電界を、以前あるいは直前に測定したデータと比較してFig.5とFig.6にそれぞれ示す。性能の低下はほとんど問題のない程度であった。コンデショニングの必要もほとんどなく回復した。空洞内面に対する開口部は口径25mmの2個のビームの通る穴しかないため空洞内面のニオブ表面にはあまり影響がなかったようである。

4.まとめ

原研タンデムブースターの位相独立可変型リアックの1/4波長型ニオブ/銅製超伝導空洞は完成後4年間故障がなく高い性能に維持されている。分割冷却によって十分性能を回復できること、リークによる空気汚染に強いことがわかった。

参考文献

- 1) S. Takeuchi, T. Ishii, M. Shibata and T. Yoshida, Proc. of the 19th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tokai, Japan(1994)pp78-80.
- 2) S. Takeuchi, M. Shibata, T. Ishii et al, The Proc. of the 9th Symp. on Accelerator Science and Technology, Tsukuba Japan(1993)pp437-439.