

21p-6

ACCELERATION TESTING OF JAERI TANDEM SUPERCONDUCTING BOOSTER

S. TAKEUCHI, T. ISHII, M. SHIBATA* and T. YOSHIDA

Japan Atomic Energy Research Institute

Tokai Research Establishment

Tokai, Naka, Ibaraki 319-11

ABSTRACT

The superconducting booster for the JAERI tandem accelerator at Tokai was completed in October, 1993. The booster is composed of 46 superconducting quarter wave resonators made of niobium and copper. Fourty of them are used in the linac part. An acceleration test has been done with the beam of $^{35}\text{Cl}^{10+}$. The status of the booster in the commissioning stage is reported.

原研タンDEM超電導ブースターの加速テスト状況

1.はじめに

原研東海では、タンDEM加速器からの中重核以上の重イオンビームのエネルギーをクーロン障壁以上に上げるためのブースターとして、超電導のリニアックを開発してきた。開発は、1984年から同軸1/4波長型の超電導空洞の開発を始め、続いてバンチャー、デバンチャーのユニットを製作した。1988年から本格的な建設段階に入り10ユニットからなるリニアックを製作し、1992年からリニアック本体、ヘリウム冷却設備、RF制御系、ビームライン、インターロック等の順に据え付け調整が進み、1993年10月に完成した。10月26日に加速器施設として検査合格し、翌日タンDEMからのビームを入射し無事貫通した。翌11月からビーム加速テスト段階に入った。空洞特性および冷却系の運転経験と初期のビーム加速テスト状況について述べる。

2.空洞特性

超電導空洞(図1)はメーカーで製作後空洞内面の最終表面処理を原研で行い冷却テストをクライオスタットに組み込んできた。オフラインでの

性能は4WのRF入力に対し平均7MV/mと高い¹⁾。しかし、予冷時の冷却速度が130K - 90Kの温度範囲で遅いとQ値が下がる現象がある²⁾。これはNb中の水素がこの温度で表面に析出し水素化物ができるためと考えられている。これをQ-diseaseと呼んでいる³⁾がここでは水素病と呼ぶことにする。冷

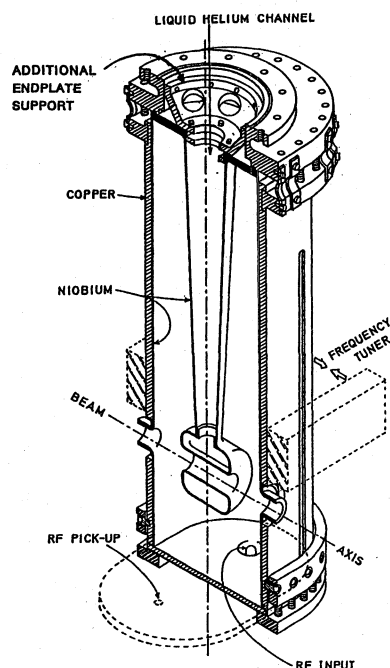


図1 1/4波長型超電導空洞の構造図

* Nagoya University

却系が完成し調整運転において空洞の特性を調べたが、冷凍機で冷却した場合冷却速度は-10K/hと遅く前段部16空洞が30 - 70%と大きなQ値の低下が起こっていた^{4,5)}。加速電界は3-5MV/mに下がる。後段部24空洞は表面処理の改善の効果があって大きなQ値の低下は免れている。水素病の治療法として陽極酸化被膜形成が有効であると言う報告³⁾があるが、われわれの空洞ではまだ効果が実証されていない。われわれにとって重要な研究テーマとなっている。

空洞についてもう一つの問題は熱サイクルを繰り返すうちに数多くの空洞の周波数が目標値より数kHz - 10 kHz下がってしまったことである。これは室温での調整において空洞(図1)下部のフランジのネジで数十kHzという過大な周波数調整をしたためと考えられる。

3. 冷却系調整運転

冷却系はA, Bの2系統あり²⁾、設置時に行った性能テストでは両方とも設計性能(液体ヘリウム系冷凍能力: 250K、80Kヘリウム系冷凍能力: 1.5 kW)の約110%の性能が得られた。低温配管は並列回路となっており7(または6)ユニットのクライオスタットに分岐して液を供給しているため安定に全ユニットに液が供給されるかどうか心配されたが、全ユニットに貯液でき、ヒーターによる規定の熱負荷に対し安定であった。

その後、習熟と調整のため運転を行った。問題としては、リニアック第五ユニット(A系に属する)については他のユニットへの分配弁と比べてかなり大きく開けないと貯液し液面保持できないことがわかった。その他には自動制御のためタービンの回転数がハンチングしたり供給圧が変動したり、ノイズが原因でタービンがトリップするなどいろいろな経験をした。改善の結果、全空洞に高周波電力を入れて位相制御し加速テストができる状態になった。

4. 加速テスト状況

これまでの初期の加速テストでは³⁵Cl¹⁰⁺, 164 MeV($\beta=0.1$)を入射してテストを進めてきた。初回のテストではヘリウム冷却系の不安定要因や貯液不調、空洞周波数の調整不足などの問題があったため、加速に用いることのできた空洞の数は25空

洞で、加速電界は平均3MV/mに抑えてビーム加速を行った。加速後のエネルギーは261MeVで、電流はタンデムからの直流ビームを80-90nA入射して20-30nA得られた。バンチングの効率60%を考慮すると正味のビーム透過率は約50%である。ヘリウム冷却系のA系は負荷時液面変動にともなって供給圧が最大で0.1kg/cm²近く変動することがあり、それによる空洞の周波数変動は最大で100Hzに達することもあった。位相制御のため消費される高周波電力は周波数のズレと蓄積エネルギーに比例するため限られた高周波増幅器の出力(120W)では加速電界として3MV/mが制御できる限界となった。

ここで一旦空洞の周波数再調整と対圧力変動強化策を行った。周波数調整はまず空洞の胴部を万力で変形させることにより調整を十分行い、空洞下部のフランジのネジによる調整は10kHz以内とした。ヘリウム圧変動に対しては1.2kHz/kg/cm²の周波数変動がある。主な変動は中心導体と胴部間の短絡板の変形し中心導体が上下に動くことによるものであるため、それを固定する金具を取り付けた。これによって0.27kHz/kg/cm²まで周波数変化を抑えることができた。

2回目の加速テストでは1空洞がわずかに周波数が低かっただけで残りはすべて129.800MHzに調整することができた。負荷が増え冷却系が変調を起こしても周波数の変動は20Hz以内であった。これで加速電界を上げられるはずであったが、水素病にかかっている16空洞については冷却系への負荷を抑えるため5MV/mまでは上げることはできなかった。したがってテストでは抑えぎみに電界を設定してビーム加速を試みた。空洞ごとの加速電界を

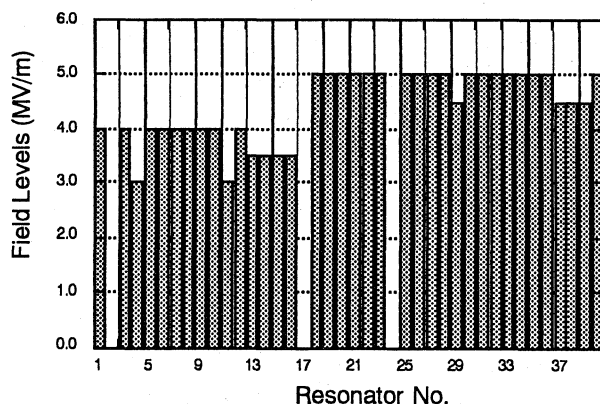


図2 ビーム加速テスト時の空洞の加速電界

図2に示す。3空洞は制御回路故障等のため使用していない。水素病の15空洞の平均は3.7MV/m、残りの22空洞の平均は4.9MV/mの加速電界であった。合計の加速電圧は24.6MVで設計値30MVの82%である。空洞の高周波位相はすべて -30° に設定して加速した結果、加速後のエネルギーは351MeVで、デバンチしエネルギーを揃え90度偏向・分析することにも成功した。空洞の位相は安定で $\pm 0.1^\circ$ 以内で、分析後のビームも安定していた。ビーム透過率は50%であり、加速ビームの半分がどこかにあたっていることになるが、このことについてはまだ追及をしていない。

5.まとめ

わが国はじめての超電導リニアックが完成し、初期のビーム加速テストに成功した。テストでの電圧達成度は82%で、その原因としてゆっくり冷却した場合起こるQ値の低下による影響がある。

ビーム加速テストは始まったばかりで今後性能を上げつついろいろなイオン種に対してテストを行う。

参考文献

- 1) M. Shibata, T. Ishii and S. Takeuchi; Proc. of the 18th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tsukuba, July 1993, p.296.
- 2) T. Ishii, M. Shibata and S. Takeuchi; Nucl. Instr. and Methods A328(1993)231.
- 3) K. Saito and P. Kneisel; Proc. of the 18th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tsukuba, July 1993, p.299.
- 4) M. Shibata; to be published on Proc. of the Sixth Workshop on RF Superconductivity, CEBAF, Oct. 1993.
- 5) S. Takeuchi, M. Shibata, T. Ishii and et al; Proc. of the 9th Symposium on Accelerator Science and Tchnology, Tsukuba, Aug. 1993, p437.