

# High Pressure Water Rinsing Effect of the Cavity Performance on the Contaminated Niobium Superconducting Surface

Kenji SAITO, Tamao HIGUCHI\*, Takafusa SUZUKI\*, Shuichi NOGUCHI,  
Masaaki Ono, Eiji KAKO and Toshio SHISHIDO

National Laboratory for High Energy Physics(KEK)

1-1,Oho,Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305, Japan

\* Nomura Plating Corporation Ltd.

5, Satsuki-chyo, Kanuma-shi, Tochigi-ken, 322, Japan

## ABSTRACT

We evaluated effects of the high pressure water rinsing (HPR) against dust contamination on niobium superconducting cavities. HPR has a great ability to remove surface contamination during annealing cavities or disassembling. Every contaminated cavity recovered the performance with  $Q_0=1 \times 10^{10}$  and the acceleration field  $> 25$  MV/m by the HPR for 1 hour. This method will offer a cure to eliminate the degradation of cavity performance met in the horizontal assembly of the TRISTAN superconducting cavities.

## 汚染されたニオブ超伝導空洞表面に対する高圧水洗の空洞性能効果

### 1. はじめに

高電界ニオブ超伝導空洞の開発では、フィールドエミッションや表面欠陥で起きる熱的不安定性の問題 (thermal breakdown) を克服するための研究が重要である。しかし、高エネ研での単セル空洞での最近の精力的研究により、超伝導リニアコライダー等で要求される加速電界  $E_{acc}=25\text{MV/m}$  への目星が得られた現在、ラボでの空洞性能が現実の加速の中で保証されるために、空洞組立中の性能劣下をどのようにして防ぐか等の研究が実用上重要となってくる。我々は、これまでも数回発表した高圧洗浄法<sup>[1,2]</sup>が、空洞の表面汚染除去に効果を発揮するかどうかを調べた。高圧洗浄は表面汚染除去に著しい効果をもたらすと同時に表面処理工程の簡素化にも役立つことが分かった。

### 2. 超純水か純水か

始めに高圧洗浄で純水が使えるかどうかを議論する。これまで超伝導空洞の表面処理では、空洞表面に残留するゴミを洗い流す意味で、最終洗浄に表1に示す水質の超純水を使用してきた。そして、この方法で少なくとも  $10\text{MV/m}$  の加速電界までフィールドエミッションの問題がなかった。こうした経緯や、我々の高圧水洗では  $85\text{kg/cm}^2$  程度の圧力でシャワー洗浄するので、ゴミが空洞表面に埋め込まれるのではないかと懸念があり、高圧洗浄装置を製作して以来、ずっと超純水を使用してきた。しかし、現状の超純水設備では水量が足りず今後、9連空洞のように面積の大きい空洞に対処できない。また、超純水はランニング・コストが高く、将来的にも超伝導空洞で使う水の品質を

Terms	Ultra pure water		Pure water	
	Sampling Date '87 7/21	Sampling Date '88 2/18	高圧洗浄入口	高圧洗浄出口 (フィルターの先)
Particles( $\geq 0.2 \mu\text{m}$ ) [piece/ml]	1 6	1 9	8 9 9	1 3 4
Bacteria [piece/ml]	2.7	0	1 - 7	4 - 2 9
SiO <sub>2</sub> [ppb]	1 2	2 5	-	-
TOC [ppb]	1 8 0	< 5 0	8 0	1 8 0
Resistivity [ $\text{M}\Omega \cdot \text{cm}$ ]	1 7.6	1 7.6	6.8 - 8	

表1. KEKの超伝導ニオブ空洞の表面処理で使用している超純水、純水の水質。

検討し直す必要がある。こうした事が動機となり、高圧洗浄に純水を使ってみた。表1に使用した純水の水質を示す。比抵抗は、6.8-8M $\Omega$ cmである。高圧洗浄装置入り口で、0.2 $\mu$ m以上の大きさのゴミの数は1cc当り約900個、バクテリアの数は1cc当り1-7個、有機体炭素 (TOC) は水1 $\mu$ l当り80 $\mu$ gであった。高圧洗浄装置の0.2 $\mu$ mメッシュ・フィルターの出口で、微粒子数は130個程に減少する一方、バクテリアの数は4-29に、TOCは180に増えている。これは、高圧洗浄装置は週に1-2度しか運転されないで、休止中にフィルターなどにバクテリアが繁殖するためと考えられる。純水高圧洗浄での最終水質は、TOCは超純水と同じレベル、微粒子数やバクテリア数は超純水より10倍悪い。

L-バンド単セル空洞を20 $\mu$ m化学研磨した後、純水高圧洗浄した空洞の性能結果を図1に示す(●印)。同様の処理で超純水高圧洗浄を行った結果を□の印で示す。純水高圧洗浄は、超純水高圧洗浄に比べ、Eacc=30MV/m辺りでややフィールドエミッションの種ができ、最終的に17MV/mからフィールドエミッションが顕著になるものの、大差ないことがわかる。高圧洗浄で超純水の代わりに純水を使っても問題ないことが分かった。

### 3. 真空熱処理のコンタミに対する 高圧洗浄効果

超伝導空洞は、電解研磨や化学研磨の後、優れた空洞性能を確保するために、その処理中にニオブが吸蔵した水素を脱ガスする必要があるが、アニールが要る。しかし、この処理工程中、空洞表面が汚染される。これまで、この汚染を除去するために処理後、再び軽い電解研磨や化学研磨を施してきた。ここでは、このコンタミを高圧洗浄で除去できるかどうかを調べた。結果を図2に示す。空洞を800℃で5時間真空熱処理(ベース圧力10<sup>-8</sup>Torr

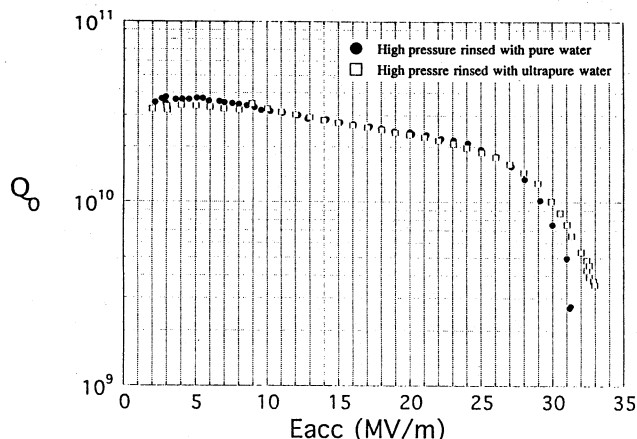


図1. 超純水、純水高圧洗浄の空洞性能上の差。

台、温度キープ時10<sup>-6</sup>Torr台) した後、0.2 $\mu$ mメッシュ・フィルターを通して窒素ガスを注意深くリークした後、クラス10のクリーンルームで組立て、空洞の性能試験を行った。●印が示すように、6MV/mの加速電界から激しいフィールドエミッションが発生し、アニール工程で空洞内表面が汚染されているのが確認された。次に、この性能測定後、空洞に窒素ガスをリークして高真空状態から大気圧に戻し、スタンドから取り外してクラス10のクリーンルーム内で超純水を使って超音波洗浄(950KHz, 600W, 30分)を施し、再度組み立て測定した。○印に示すように、最初12MV/mまで順調に測定されたが、そこで突如フィールドエMISSIONの種が発生し、最終的に8MV/mからひどいフィールドエMISSIONが起こった。この測定の後、空洞を分解し1時間の純水高圧洗浄を施し、性能測定した。X印で示すように、性能は著しく良くなったが、30MV/mで何度か測定している間にフィールドエMISSIONの種ができ、最終的に17MV/mからフィールドエMISSIONが起きた。このように、突如フィールドエMISSIONが発生する原因はよく分からないが、高圧洗浄のやり方あるいは純水の水質(この実験の後、純水装置にトラブルが起こった)に問題があったのではないかと疑っている。しかし、この結果は、高圧洗浄が真空熱処理で発生するコンタミを除去するのに大きな効果があることを示している。他の複数の空洞で真空熱処理後、純水高圧洗浄のみで良い空洞性能が得られることが確認され、真空熱処理後の電解研磨や化学研磨を簡単な高圧洗浄に置き換え得ることが

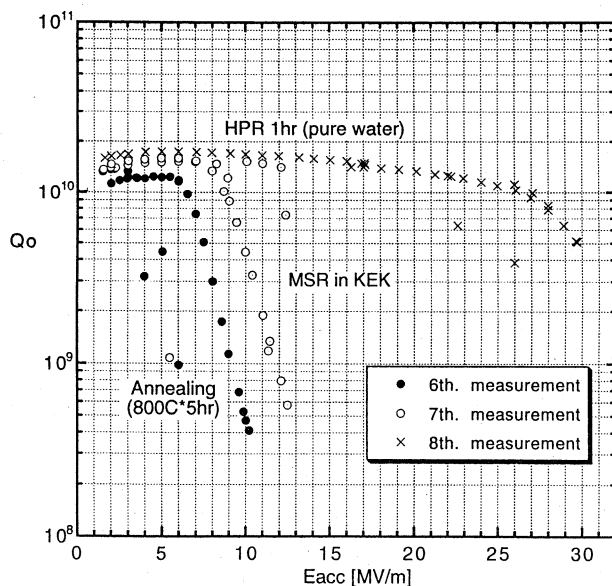


図2. 真空熱処理の表面汚染への高圧洗浄効果。

分かった。これは、空洞の表面処理コストの大きな低減につながる。

#### 4. 空洞分解時のコンタミに対する 高圧洗浄の効果

真空リーク等のトラブルで超伝導空洞を分解し、再組み立てする場合が生じる。空洞の真空を破る時にゴミが侵入したり、空洞の分解作業の際、真空シール用インジウム取りで空洞内表面がインジウムに汚染されたりする。こうした表面汚染に高圧洗浄がどのような効果を発揮するかを調べた。結果を図3に示す。まず、一度測定し分解した空洞を一カ月半クラス100のクリーンルームに保管した後、空洞に何も処理しないで組み立て測定した(●印)。全体にQ値が低く3MV/m辺りから激しいフィールドエミッションが発生した。この後、空洞を分解し、超純水高圧洗浄で空洞全体(cell + beam pipes)を30分、次にセル部を集中的に30分間洗浄し測定した(X印)。その結果、空洞性能は著しく回復した。図2の場合と異なり、28.3MV/mの最大電界で安定に運転できた。高圧洗浄は、空洞分解時の表面汚染の除去にも大きな力を発揮することが分かった。

#### 5. 高圧洗浄の将来的応用

図4にトリスタン超伝導空洞の空洞性能の変遷を示す。縦測定(Vertical Test)と呼ばれる空洞個々の性能試験では、高い確率で10MV/mの加速電界が得られた。縦測定の後、クリーンな窒素をリークして空洞の真空を破り、2台の5連空洞をクラス100のクリーンルーム内で結合し、インプットカップラーその他必要部品を取り付けクライオモジュール

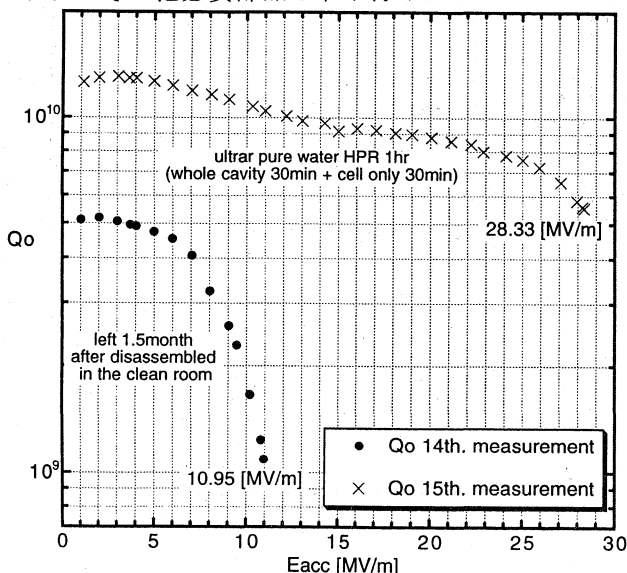


図3. 空洞分解時の表面汚染への高圧洗浄効果。

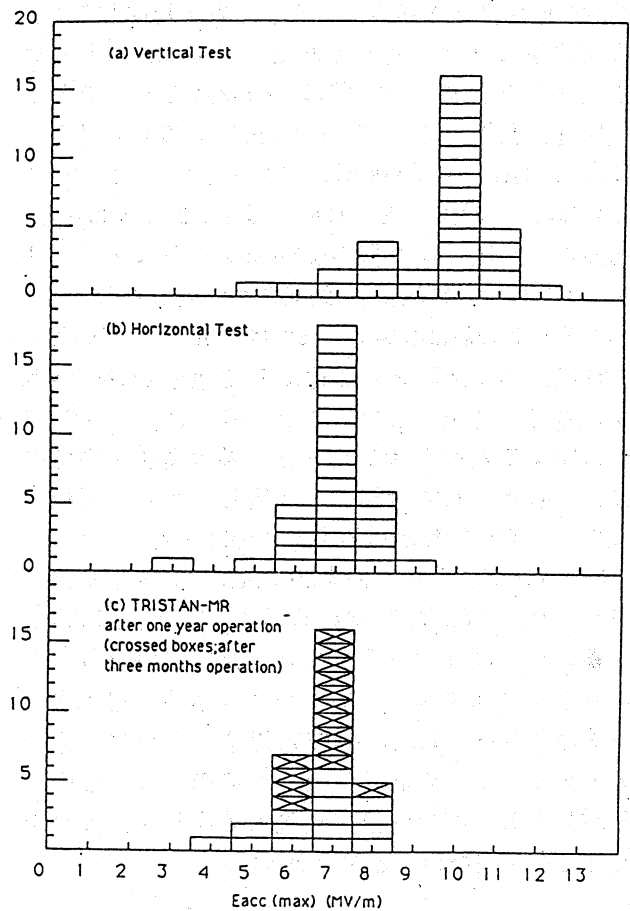


図4. トリスタン超伝導空洞の加速電界の変遷。

ルに組み込んだ後(この一連の作業を横組立と呼ぶ)、空洞の性能試験(Horizontal Test)を行うと加速電界が7MV/mに低下した。Horizontal Testでの性能は、トリスタンMRに設置された後も保存された(図中C)。この横組立での性能劣下を防げれば、ラボテストの空洞性能が加速器内でも発揮できる。

この横組立での性能劣下は、組立中のゴミの侵入が原因と考えられる。これまで調べたように、高圧洗浄は表面汚染除去に大きな威力を発揮する。空洞を連結し、必要な部品を付けた後、高圧洗浄を施せば横組立での性能劣下を防げると期待される。しかし、そのためには色々なパーツを付けた状態で空洞を倒立する必要がある、クライオモジュールの設計変更を余儀なくする。また、クリーン環境下で高圧洗浄可能な設備が空洞横組立エリアに必要となる。

#### 参考文献

- [1] H.Miwa et al. "ニオブ製超伝導空洞への高圧洗浄の適用", 第17回リニアック技術研究会(1992) P.82-84.
- [2] H.Miwa et al. "超清浄加速管表面の研究開発", 第18回リニアック技術研究会(1993) P.313-316.