

A RESEARCH ON THE DEPENDENCE BETWEEN THE AMOUNT OF DISSOLVED Nb AND THE DISTANCE OF ELECTRODES IN ELECTROPOLISHING FOR ILC SUPERCONDUCTING CAVITIES

Y. Morita^{A)}, H. Hano^{A)}, F. Furuta^{B)}, S. Yamashita^{C)}

^{A)} Department of Physics, Graduate School of Science, The University of Tokyo
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-0033

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-0801

^{C)} International Center for Elementary Particle Physics
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-0033

Abstract

It is needed to polish the surface of superconducting cavities for ILC to remove defects and prevent electric fields from being concentrated on them. Superconducting cavities are polished by electropolishing (EP) method for this purpose. The configuration of the EP system does not care for the distance between electrodes, which may have an influence on the speed of dissolution. We studied the distance dependence of the amount of dissolution and got an expected result. Furthermore, we simulated the strength of the electric field on the Nb electrode and studied the relationship between the field strength and the amount of dissolution.

ILC超伝導加速空洞のための電解研磨法における 研磨量の電極間距離依存に関する研究

1. はじめに

ヒッグス粒子、超対称性粒子のパラメータの精密測定を目的として国際リニアコライダー (ILC) 計画が進められている。ILCでは9セル型の加速空洞 (図1) を並べた線形加速器を用いて500GeVの衝突エネルギーを目指している。また、電力節減の観点から加速空洞はNb材を用いた超伝導型である。加速空洞に求められる加速勾配は31.5MV/mであり、超伝導型の空洞としては世界最高の加速能力である。



図1. ILC超伝導加速空洞

高電界の超伝導型空洞の製作には多くの困難が伴う。その中でも最も問題になっているのが空洞表面からの電子の放出 (Field Emission) である。放出電子が空洞表面に衝突すると熱が発生し、クエンチを引き起こしてしまうからである。特に空洞表面に突起があるとそこに電場が集中して電子の放出が起こりやすくなるため、空洞の高電界化には空洞表面を滑らかに加工することが必要である。そのために

電解研磨と呼ばれる研磨法が採用されている。電解研磨は化学溶液に陽極と陰極を浸して通電すると陽極が溶解するという電気化学反応を利用した研磨法である。この研磨法では凹凸が数 μm 程度の滑らかな表面が得られるので、仕上げの研磨法として採用されている。しかし、現在の研磨装置では電極間距離が様でないため、電場強度が場所により異なり、したがって研磨量も場所によって異なってくるのではないかと我々は懸念している。そこで、簡素化した電解研磨装置を用いて研磨量の電極間距離依存性を調べた。また、この装置における電場強度をシミュレーションし、研磨量の電場強度依存性を調べた。本報告では電解研磨法の研磨量 - 電場強度依存性を明らかにし、ILC加速空洞製作現場における現行の電解研磨法に改善が必要であることを示す。

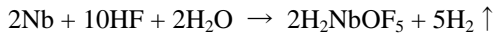
2. Field Emission

空洞の高電界化を妨げる主な現象にField Emissionがある。空洞内の電場を強くしていくと空洞表面のポテンシャル障壁が薄くなり、空洞内電子が表面から飛び出しやすくなる (Field Emission)。飛び出した電子が空洞表面を叩くと発熱が起こって空洞がクエンチしてしまうのである。ポテンシャル障壁は電場が大きいとより薄くなるので、Field Emissionを防ぐには空洞表面に電場が集中しないようにする必要がある。そのためには空洞表面を滑らかにして電場集中の原因となる突起を取り除くこと

が求められる。

3. 電解研磨(EP)

EPに用いられる溶液は硫酸(>93%)とフッ化水素酸(>46%)の混合液である。Nb材(陽極)とAl材(陰極)をEP液に浸して通電すると以下の反応によりNb材が溶解する。



KEKにて行われている電解研磨の模式図を図2(1セル空洞の場合)に示す。空洞を陽極、Alロッドを陰極として電解研磨を行っている。研磨液を空洞体積の半分よりやや多めに注ぎ、通電中は空洞を回転させている。この構造では陽極と陰極の距離が一樣ではないので、電極上の電場強度が場所によって異なり、したがって反応速度も場所によって異なってくることが予想される。しかし、現行の研磨法では反応速度は一樣であると考えて通電時間等のパラメータを決定している。

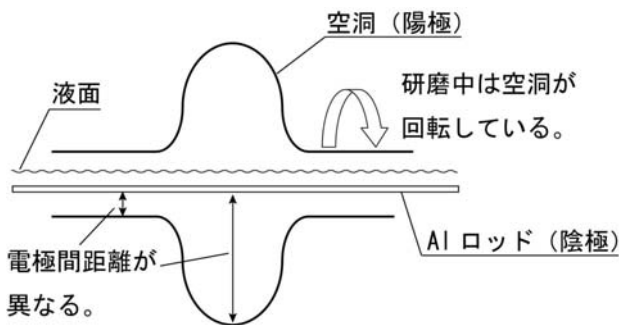


図2. 1セル空洞の電界研磨の模式図

4. 実験装置

研磨量の電極間距離依存性を調べるために図3に示す装置を用いた。



図3. EP試験装置

極板を斜めに設置することで、極板間距離に変化をもたせて研磨を行えることが設計思想である。

Nb板とAl板それぞれにPolyethylene terephthalate (PET)を図4のように取り付け、極板が研磨液に触

れる面積(研磨面積)を横147mm×縦30mmにしている。PETを固定しているのはポリエチレン製のネジとナットである。PETを取り付けたNb板とAl板を45度の角度をもたせて研磨液に浸し(図3)、平均電流密度が最適値50mA/cm²となるように通電した[1]。研磨液は硫酸(95%)とフッ化水素酸(46%)を体積比10:1で混合したものを用いた。容器内に螺旋状に巻いた純アルミパイプを入れ、水を流して液温が最適温度25度前後を保つように調節している。また、Nb板表面への粘糊層形成を避けるために極板を時々揺さぶってEP液を攪拌した。

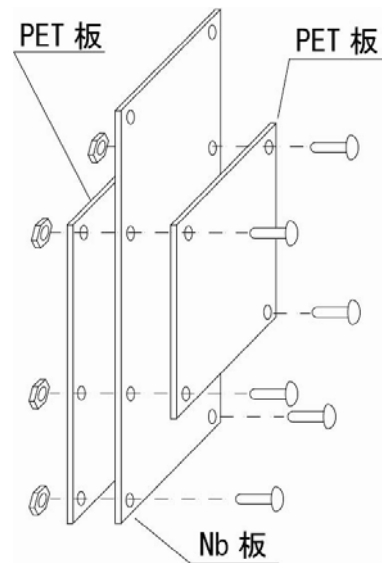


図4. Nb板(陽極)のマスキング。Al板(陰極)も同様。

5. 実験結果

EP前とEP後のNb板表面の様子をKEYENCE社のレーザー顕微鏡で観察した。図5に示した点での観察写真を図6(EP前)、図7(EP後)に示す。明らかに滑らかになっていることがわかる。

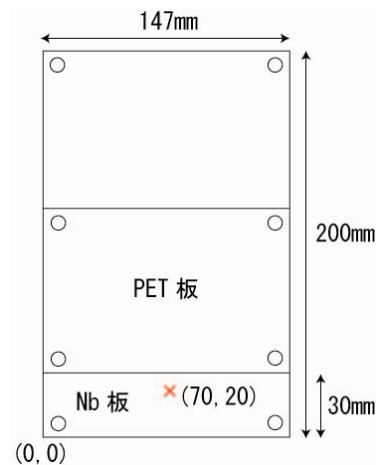


図5. レーザー顕微鏡の観察点。Nb板の左下隅を原点として(70mm, 20mm)の点を観察した。

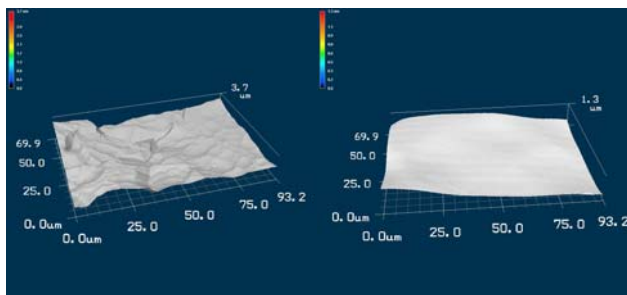


図 6. E P 前の Nb 板の表面 図 7. E P 後の Nb 板の表面

超音波厚み測定計を用いて Nb 板の厚みを電解研磨前後で測定した。研磨前後の Nb 板の厚みの差（研磨厚み）を図 8 に示す。図 5 と同様に Nb 板左下隅を原点として

- (0, 20), (147, 20)
- (0, 15), (147, 15)
- (0, 10), (147, 10)
- (0, 5), (147, 5)

をそれぞれ結ぶ 4 つのパス上で厚みを測定した。この結果から研磨量が場所によって異なることがわかる。

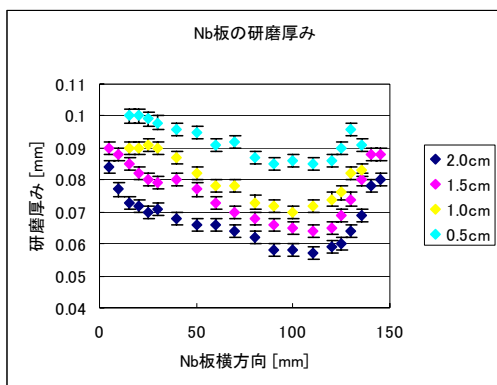


図 8. 電解研磨前後の Nb 板の厚みの差

6. 電場強度シミュレーション

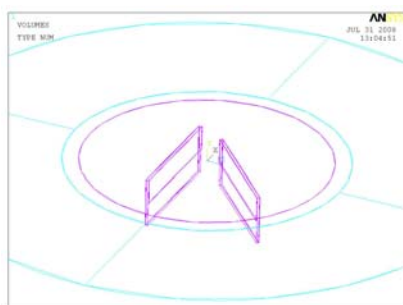


図 9. E P 試験装置のモデリング

上記の実験結果から研磨量が電極間距離に依存することが明らかになった。我々はこの理由を電場強度の違いによるものと予想しており、電場強度分布をシミュレーションして実験結果と照らし合わせる

ことにした。使用したシミュレーションソフトは ANSYS である。図 9 に示すモデリングを行い、Nb 板に 22V、Al 板に 0V 印加（実験で 50mA/cm² 流すのに必要だった電位）して計算を行った。EP 液、PET の比誘電率はそれぞれ 100、3 とした。

- (0, 20, 1), (147, 20, 1)
- (0, 15, 1), (147, 15, 1)
- (0, 10, 1), (147, 10, 1)
- (0, 5, 1), (147, 5, 1)

をそれぞれ結ぶ経路上の電場分布を図 10 に示す。座標の第 3 成分は図 5 において紙面手前方向を表す。

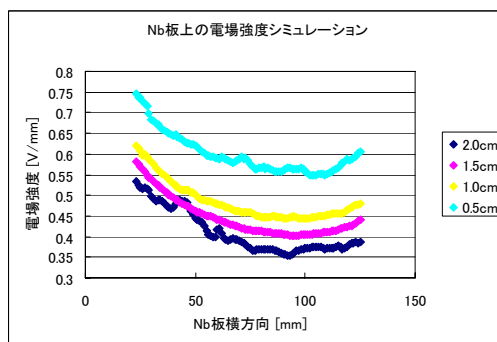


図 10. 電場強度シミュレーション。電場強度がポリエチレンレジの影響を受ける領域（研磨面左右両端から 22mm の部分）は省いて表示している。

7. まとめ

電場強度シミュレーションの結果と研磨厚みの測定結果を用いて電場強度と研磨厚みの関係をプロットしたところ相関が見られた（図 12）。この結果により研磨量を一樣にするためには極板上の電場強度を一樣にするような電解研磨装置の開発が必要であることが確かめられた。

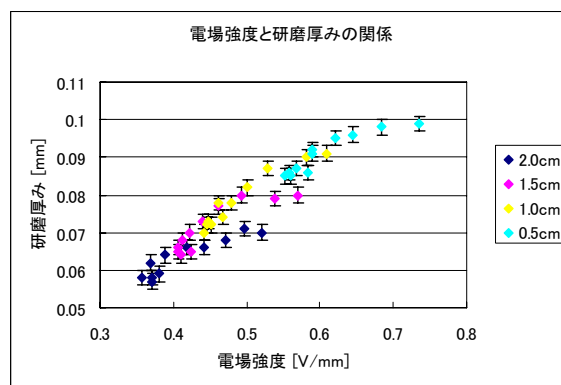


図 12. 電場強度と研磨厚みの関係。電場強度がポリエチレンレジの影響を受ける領域は省いて表示している。

参考文献

- [1] K.Saito, et al. "R & D of SUPERCONDUCTING CAVITIES at KEK", PROCEEDINGS OF THE 4TH WORKSHOP ON RF SUPERCONDUCTIVITY Vol.2 (Tsukuba, Japan, Aug. 14-18, 1989), p.635-694.