

[F17p28]

# Q<sub>0</sub>-deterioration at High Fields in the 1.3 GHz Nb SC Cavities

E. Kako, S. Noguchi, M. Ono, K. Saito and T. Shishido

KEK, High Energy Accelerator Research Organization

1-1, Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801, Japan

J.P. Charrier, M. Juillard, H. Safa, DSM/DAPNIA/SEA, CEA-Saclay, France

S. Bousson, M. Fouaidy, T. Junquera, J. Lesrel, IPN, Orsay, France

## Abstract

*Q<sub>0</sub> deterioration at high fields above 15~20 MV/m was observed with no detection of electron currents and x-rays due to field emitted electrons in some cavities at KEK and all cavities at Saclay. This phenomenon is reported in this paper.*

## 1.3GHzニオブ超伝導空洞での高電界におけるQ値の低下

### 1. はじめに

超伝導空洞において電界放出電子（フィールドエミッション）の出現は、電子が高周波蓄積エネルギーを吸収し加速して、空洞内表面への衝突の際にX線の発生や表面発熱を誘起し、高周波損失を極端に増大させて、著しいQ値の悪化を引き起こす原因となる。近年、クリーンルームなどによる清浄環境の改善や90バル程度の高圧水洗(HPR)の適用により電界放出電子の発生は、著しく抑制されるようになり、電界放出電子によるQ値の低下は改善されてきている。しかしながら、X線や電界放出電子が検出されなくても、高電界において著しくQ値が悪化するという現象が、最近 Saclay, KEK, DESY などで観測されている。15~20MV/mの加速電界 (Eacc) から始まる Q値の悪化現象は、Saclay で測定されたすべての空洞について例外なく同様に観測され [1]、KEK においても一部の空洞において同様な Q値の低下現象が観測されている。ここでは、KEK と Saclay 間の共同研究で交換された各空洞について、KEK および Saclay での測定結果と表面温度計測を報告し、このQ値の悪化現象について議論する。

### 2. Q値の低下現象

高周波空洞のQ値は、次式により定義される。

$$Q_0 = \omega U / P_0 = G / R_s$$

ここで、 $\omega$ は角周波数、 $U$ は空洞内の蓄積エネルギー、 $G$ は形状因子であり、Q値の低下は空洞内の高周波損失 ( $P_0$ ) の増加に起因し、高周波表面抵抗 ( $R_s$ ) を見かけ上大きくさせる。

KEK と Saclay における各空洞の測定結果を図1, 図2, 図3に示す。電界放出電子によるQ値の低下と非常に類似しており、 $\Delta Q_0$ のF-Nプロットから  $\beta$  (field enhancement factor) として約100程度の値を算出できるが、いずれの測定においてもX線や放出電子は検出されていない。また、図4, 図5, 図6に示されるように表面温度分布においても、電界放出電子の衝突による表面発熱の特徴である空洞の子午線上に尾根状に現れる発熱分布も見られない。ある一部分の局所的な発熱も観測されるが、概してかなり広い領域あるいはほぼ空洞全体での一様発熱が高周波損失を増大させていると思われる。

空洞表面での発熱をより詳細に調べるための実験が、Orsayとの協力で行われた

[2]。40個の固定式の温度センサーが空洞赤道部附近の表面磁界(Hs)がほぼ等しい領域に設置された。高周波表面における発熱(Q̇)と温度センサーの温度上昇(ΔT)との関係は、次式で与えられる。

$$\dot{Q} = \eta * \Delta T = 1/2 (Rs * Hs^2)$$

ここで、Hs[Oe] = 43. Eacc [MV/m]であり、ηは温度センサーの熱効率であり、主に空洞外表面での熱接触に依存する。高電界でのQ値の低下と温度上昇との関係を調べるために、図7に示すように、一様な外部磁束の印加により一様な残留表面抵抗(Rres)を付加した場合との比較を行った。ビー

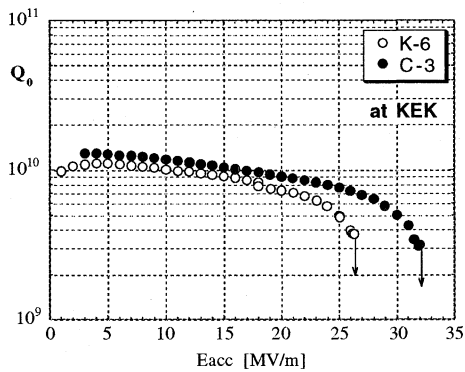


図1. KEKでの測定結果

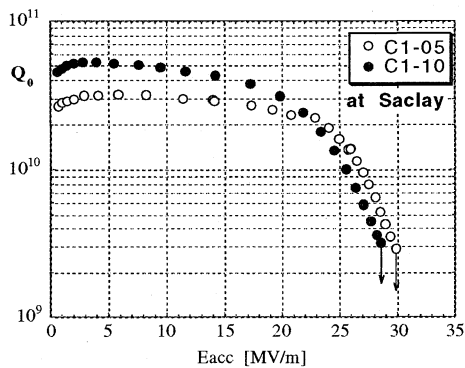


図2. Saclayでの測定結果

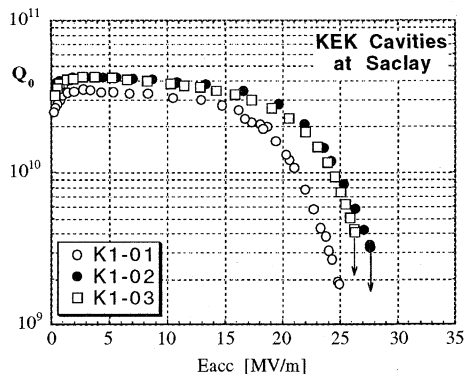


図3. KEK空洞のSaclayでの測定結果

ム軸方向に平行な160mGの印加磁束によりRresは約60nΩ増加した。磁束を印加した場合としない場合の表面温度上昇とEacc<sup>2</sup>との関係を図8と図9に示す。図9において、ΔTはEacc<sup>2</sup>に対して400までは直線的に増加し、それ以上では図8と同様に指数関数的に増加している。また、ηを考慮したそれぞれの位置での温度上昇は、同程度と見積もられる。これらのことは、個々の温度センサーの位置において広範囲で、Eacc=20MV/m以上では表面磁界の増加につれて高周波表面抵抗(Rs)が異常に増大していることを意味する。このRsの変化を空洞内表面の温度上昇によるRBCs(T)の増加のみで説明することは困難であり、空洞の最表面層の性質(超伝導特性)に関係していると考えられる。

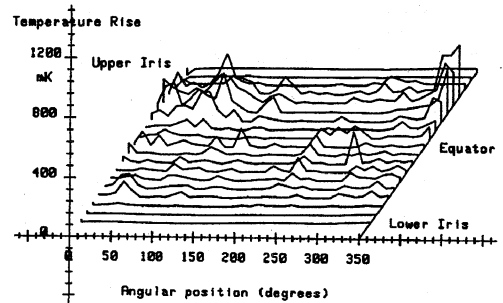


図4. C-3空洞の表面温度分布(Eacc=32MV/m)

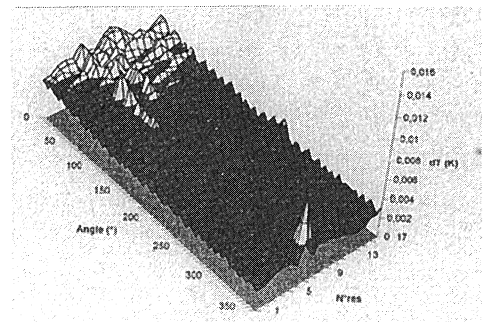


図5. C1-10空洞の表面温度分布(Eacc=29MV/m)

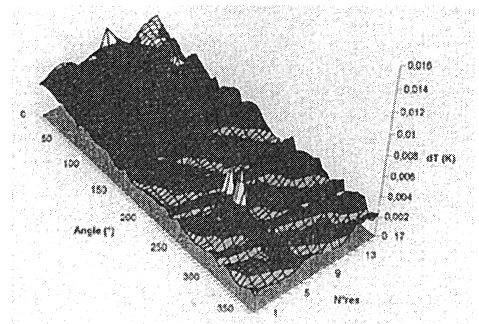


図6. K1-02空洞の表面温度分布(Eacc=28MV/m)

Saclayから送られた空洞のKEKでの測定結果を図10に示す。表面処理による空洞性能の比較を調べるために、最初にHPRによる水洗後に測定し、その後、化学研磨(CP)そして電解研磨(EP)による表面処理後に測定された。いずれの測定も1.5Kで行われ、X線は検出感度以下であり、最大加速電界は熱的超伝導破壊(クエンチ)により制限された。KEKでのHPR後の測定においても、Saclayでの測定結果と同様に15MV/mからの著しいQ値の低下が観測された。残留表面抵抗の増加( $\Delta R_{res}=5n\Omega$ )により、全体的にQ値は低くなっ

た。この原因として、SaclayからKEKへの輸送の間に空洞内表面が大気に曝されていたことによる表面汚染が考えられる。化学研磨後には、残留表面抵抗は $3n\Omega$ へと減少し、 $\sim 15MV/m$ からのQ値の低下はかなり軽減したが、最大加速電界には変化が見られなかった。一方、電解研磨後には、最大加速電界は $32MV/m$ に向上し、Q値には直線的な変化が見られるのみであった。この電解研磨による有効性は、これまでのKEKでの一連の測定結果[3]を再確認する結果であった。このように、高電界でのQ値の低下現象は空洞の表面処理に大きく依存している。

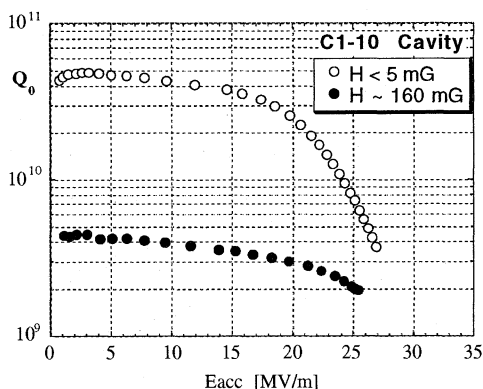


図7. 印加磁束によるQ値の低下

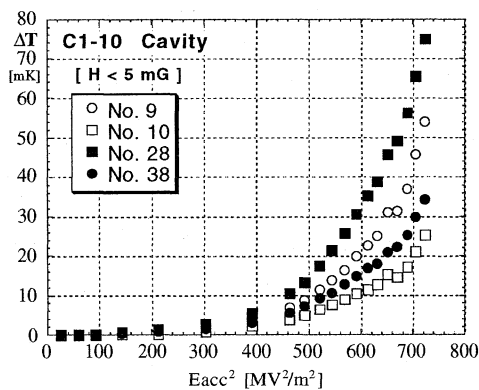


図8. 表面温度上昇とEacc<sup>2</sup>との関係(磁束なし)

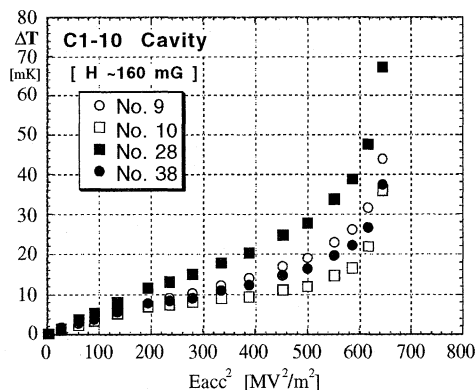


図9. 表面温度上昇とEacc<sup>2</sup>との関係(磁束あり)

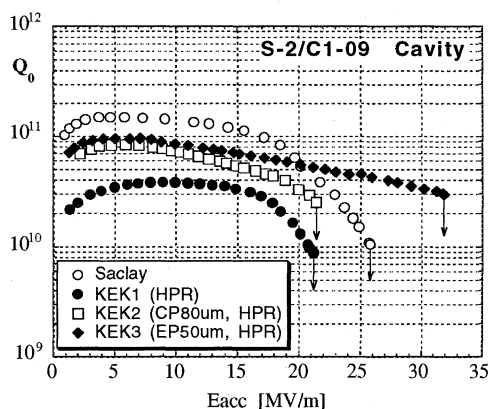


図10. 表面処理による空洞性能の比較

### 3. まとめ

空洞内での高周波損失の増大がこのQ値の低下を引き起こしており、表面温度計測により空洞内表面全体での一様発熱が観測され、表面磁界の増加につれて空洞内表面の高周波表面抵抗が異常に増大していくと考えられる。その原因については、化学研磨、高圧水洗、乾燥方法などの表面処理工程によって特徴づけられる空洞内表面の性質(e.g., damaged layer or weak superconducting layer)が関与していると思われる。

### 〔参考文献〕

- [1] E. Kako, et.al., "Cavity Performances in the 1.3 GHz Saclay/KEK Nb Cavities", CEA-Saclay Preprint, DAPNIA/SEA-97-21, (1997).
- [2] S. Bousson, et.al., "Thermal Behaviour of SRF Cavities at High Gradients", EPAC'98 Conference, Stockholm, Sweden, (1998).
- [3] K. Saito, et.al., "Superiority of Electro-polishing over Chemical Polishing on High Gradients", KEK Preprint 98-4, (1998).