

Study on Medium- β Superconducting Accelerating Cavities

S. Noguchi, H. Inoue, E. Kako, M. Ono, K. Saito, T. Shishido, K. Takata and Y. Yamazaki

KEK: National Laboratory for High Energy Physics
1-1, Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305, Japan

N. Ito, J. Kusano, K. Hasegawa and M. Mizumoto

JAERI: Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-11, Japan

Abstract

Superconducting cavities are widely used for low β heavy ion and $\beta = 1$ electron acceleration, but there were no needs and no studies in medium β region. In superconducting proton LINACs of GeV energy range, medium β cavities are major components and so R/D is very important in this application. A simple $\beta = 1$ shape is expected to work down to $\beta \sim 0.5$ by shortening the length of the accelerating gap. In this study, several cavities with different β values will be studied at 1.3 GHz and the lowest β value and its performance will be cleared.

中間 β 超伝導空洞の開発

1. はじめに

超伝導加速空洞の優れた加速性能は重イオンライナック、電子ストレージリングにおいて既に広く生かされており、最近の性能向上も著しい。こうした背景から原子力研究所、ロスアラモスにおいてGeVグラスの大電流陽子ライナックへの応用計画が具体化し始めており、 β の広い領域にわたって高電界、かつ大電力供給可能な超伝導加速空洞の開発が求められている。エネルギー100MeV ($\beta = 0.43$) 以下の領域では $\lambda/4$ 同軸共振器型、スポーク型等が実用あるいは試験されているが、大電力供給の実績がなく、高周波入力カップラー及びカップリングの方法に改良が必要である。しかし1GeVを超えるようなライナックではこの部分を取りあえず常伝導のままにしておいても致命的ではない。一方ライナックの大部分を占める100MeVを超えるような中間 β 領域では超伝導化は必要条件である。幸いこの領域では実績のある電子加速用の構造を軸方向に縮めた空洞が適用できると予測されるが、同時に加速電界の低下も予測され、 β と実用加速電界の関係、実用のメリットがある最小 β を明らかにすることが全体設計の上で急がれる。この為KEK/原研では昨年秋に中間 β の空洞の共同研究をスタートさせ、

1) KEKで稼動中の1.3GHzの測定システムによ

り β と加速性能の関係を把握する。

2) 計画周波数である600MHzのシステムを原研に整備し空洞の製作測定を行う。
の2点を柱に開発を進めている。この報告は1)の部分に関するもので2)については伊藤(原研)の報告がある[1]。

2. 空洞設計、製作、表面処理

$\beta = 1$ の空洞の加速電界はほとんどの場合、局所的な高周波損失か電界放出電子の衝突エネルギーによる発熱により制限される。前者は表面磁界の強い場所の汚染、後者は表面電界の強い場所の汚染が主な原因であり、高周波特性上は有効加速電界(Eacc)に対する最大表面磁界(Hsp)、最大表面電界(Esp)の値が小さい、すなわちアイリス径の小さい形状が有利である。しかし実際の空洞性能は内表面の清浄さに最も強く依存し、表面処理がやり易いことが重要でアイリス径は大きい方が良い。さらにアイリス径が大きければ高周波入力カップラー、高調波出力カップラーがビームパイプ上に配置でき、空洞本体につけた場合の局所的な電磁界のゆがみや増大が避けられる。こうしたことを考慮して空洞の設計を行うと形状、高周波パラメーターはほぼユニークに決まってしまう。

表1に $\beta = 0.45, 0.52, 0.59, 1$ の場合のSUPER

FISHによる1.3GHz単セル空洞の設計例をまとめた。
アイリス径が一定である為、 β が小さくなるほど中心軸上の電界エネルギーの割合が少なくなりR/Qは減少、Esp/Eacc、Hsp/Eaccは増大する。

図1は $\beta = 0.45$ の空洞形状で平板からハーフセルへの加工度は $\beta = 1$ の場合よりかなり小さく、従来の金型によるプレス成形が600MHzでも適用できそうである。現在最初の空洞 ($\beta = 0.45$) がK E

Kの工作センターで製作中である。

表面処理については、バレル研磨 [2] と、仕上げ研磨としての電解研磨あるいは化学研磨との組合せがK E Kの標準工程となっているが、電解研磨では中心軸上の電極と赤道部との距離が他の空洞部分より相対的に遠くなる為、赤道部の研磨速度が遅く、化学研磨が中心となろう。

表1 1.3GHz 単セル空洞の設計例

β	アイリス半径(mm)	アイリス部楕円半径(mm)	赤道部楕円半径(mm)	対向面傾斜角	R/Q (Ω)	Esp/Eacc	Hsp/Eacc (Oe·m/MV)
0.45	38	10×20	10×20	85°	7.4	5.1	133
0.52	38	10×20	15×30	85°	14.7	3.9	96
0.59	38	10×20	20×40	85°	24.7	3.2	75
1.0	40	15×30	37×37	75°	102	1.7	44

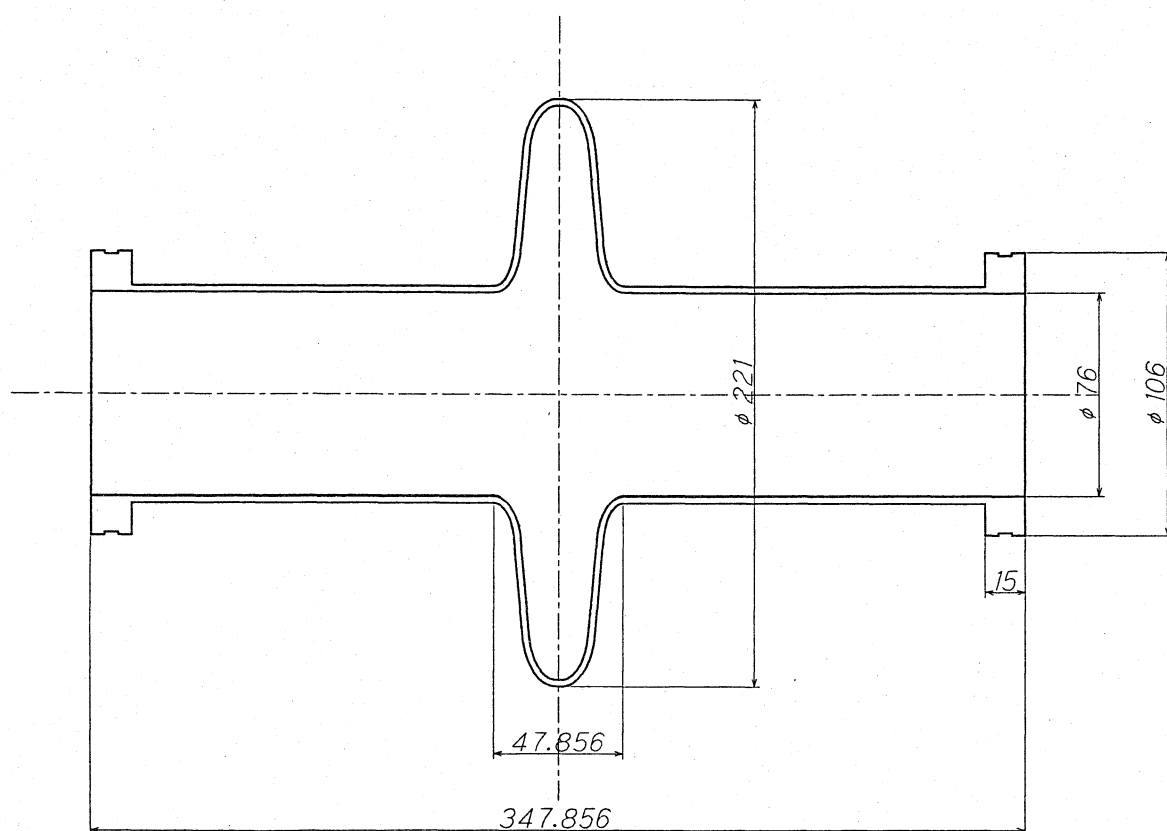


図1 $\beta = 0.45$ 、1.3GHz空洞 (単位mm)

3. 予測される問題点と性能

扁平形状から考えられる問題点の第1は機械的強度で対向面にかかる大気圧による挫屈を避ける為に補強が必要となる[1]。第2はマルチパッキング(MP)で、対向面間の距離が短くなる為 $\beta=1$ の空洞の場合より低い次数のMPが可能となる。又 $\beta=1$ の空洞の場合にも観測される赤道部のMPがどうなるかは予測が難しく、二次電子放出係数を増大させる表面の汚染を表面処理、組み立て管理等でどれだけ減らせるかがキーポイントになる。トリスタンで使用されたニオブ製高調波出力カプラーの同軸部でもしばしば観測されたが、エージングが簡単であること、又最近の高圧水洗の適用等の表面処理の進歩を考えるとそれほど問題にはならないであろう。

高周波パラメーターからは、 $\beta=1$ の場合に比べて明らかな加速電界の低下が予測される。超伝導空洞の性能は表面処理、管理技術の進歩と共に向上し、現在もその途上にある。例えばCEBAFの400台近い $\beta=1$ の1.5GHzセル空洞の平均最大加速電界は9MV/mで約90%が ± 4 MV/m以内に分布するが、最後の約100台では 13 ± 5 MV/mに向上している[3]。さらにKEKの1.3GHzシングルセル空洞では、最近製作した11台のうち9台が最初の測定で20MV/mを超え、その内バレル研磨を施した8台のうち7台は25MV/mを最初の測定で超えた。しかし最大加速電界はHspあるいはEspの最大値で制限されるので $\beta < 1$ ではかなり低くなる。Lバンドで β

$=1$ のシングルセル、マルチセルの最大加速電界をそれぞれ25、20MV/mとすると $\beta=0.45$ では表1のデータから、それぞれ8.3、6.7MV/mとなる。これが現在の技術での予測値となり、周波数が600MHzになったとしても十分応用のメリットのある加速電界が期待できる。

4. まとめ

中間 β の超伝導空洞の開発がKEK/原研の共同研究として始まり、1.3GHz、600MHzの空洞の製作が進行中である。エネルギーが100MeV以上の陽子($\beta > 0.43$)については電子加速用の空洞を扁平にした構造で特別な問題は予測されず、現在の表面処理技術でも充分メリットのある加速性能が期待される。1.3GHzの最初のシングルセル空洞の測定はこの秋から開始予定で、その後マルチセル空洞の製作、異なった β の空洞製作に進み来年中には適用限界、設計性能を明らかにしたい。

参考文献

1. N. Ito et al., Present Status of the Development for the Superconducting Proton LINAC in JAERI, in this meeting
2. T. Higuchi et al., Finished Niobium Cavity Surface with Barrel Polishing, in this meeting
3. J. Mammosser, SRF Activities at CEBAF, Proc. of 6th SRF Workshop, CEBAF, 1993, p.33