

スポーク空洞における HOM 減衰の研究

STUDY OF HOM ATTENUATION IN SPOKE CAVITIES

沢村 勝[#]

Masaru Sawamura[#]

National Institutes for Quantum Science and Technology (QST)

Abstract

Considering the use of energy-recovery linacs (ERLs) and LCS- γ /X-ray sources using laser Compton scattering (LCS) for industrial and academic applications, it is important to make ERLs smaller. Spoke cavities have advantages over elliptical cavities in that they can be made more compact if the frequency is the same, and the good packing factor due to installing couplers and other components on the sides of the tank can make the effective acceleration field high. These advantages are expected to reduce the size of superconducting accelerators using spoke cavities.

For energy recovery with high current and high power, the higher order mode (HOM) attenuation is important to suppress beam instability due to beam breakup in superconducting accelerators. Since the size of the HOM attenuator remains almost the same if the frequency is the same, the HOM attenuator is relatively large with respect to the spoke cavity.

A C-shaped waveguide HOM coupler (CSWG-HOMC) was considered as a more compact HOM attenuator.

1. はじめに

スポーク空洞は加速周波数が同じなら楕円空洞と比べてコンパクトであることや、カップラーなどをタンク側面に設置できるためパッキングファクターに優れていることなどの長所がある。スポーク空洞のこれらの利点を生かせば、エネルギー回収型リニアック (ERL) を小型化することができ、レーザーコンプトン散乱 (LCS) を組み合わせた LCS- γ /X 線源を開発すれば産業・学術分野への利用拡大が期待できる[1]。

加速器全体を考えた場合、スポーク空洞を用いれば加速周波数に対して空洞サイズは小さくなるが、そのほかのコンポーネントの大きさはあまり変わらないと考えられる。特に大電流、大出力の超伝導加速器において問題となるビーム不安定性を抑えるための高調波 (HOM) 減衰器として従来型のものを用いると、HOM 減衰器がスポーク空洞サイズに比べて相対的に大きなものになってしまう。さらにスポーク空洞は楕円空洞に比べてボア径が小さく、ビームライン型 HOM 減衰器を用いることができない。また導波管型 HOM 減衰器も遮断周波数で導波管サイズが決まるため、スポーク空洞サイズに対して大きな導波管を取り付けることになり、コンパクトなスポーク空洞の長所を損なってしまう。カップラー型 HOM 減衰器は大電力 HOM に対する熱的な問題が懸念される。[2-4]

そこで C 形導波管[5]を用いた HOM カップラー (C-Shaped Wave Guide HOM Coupler: CSWG-HOMC) をスポーク空洞に用いたときの HOM 特性について検討したので、その結果について報告をする。

2. C 形導波管型 HOM カップラー

C 形導波管は同軸管の内軸と外軸の一部を板で連結した形をしており、同軸管と違って遮断周波数を持ち、内軸を効率よく冷却することができる。

CSWG-HOMC を Fig. 1 のように3セルのスポーク空洞に取り付けたモデルを考える。同じ遮断周波数なら CSWG の断面積は矩形導波管のおおよそ 1/5 になる。タンク側面と CSWG-HOMC とは同軸での接続にできるため、太さを自由に選ぶことができ、導波管型 HOM 減衰器に比べて小さな接続面積にすることができる。

既存のアルミニウム製スポーク空洞モデルに CSWG-HOMC モデルを取り付けた。この測定および計算での空洞と CSWG-HOMC のパラメータを Table 1 に示す。CSWG-HOMC は2本のスポークの間、タンク中央に取り付けた。CSWG-HOMC 取付方向として CSWG-HOMC とスポークの間の角度 (45度より小さい方) を取付角度と定義する。CSWG-HOMC がスポークに対して平行/垂直方向に取り付けた場合は 0 度となる。

CSWG 長は違う長さの CSWG を組合せることにより、180 mm から 900 mm に変えることができる。

Table 1: Parameters of Spoke Cavity and CSWG-HOMC

Spoke Cavity	
Tank Diameter	274 mm
Tank Length	691.8 mm
Accelerating Frequency	660 MHz
CSWG-HOMC	
Outer Diameter	100 mm
Inner Diameter	35 mm
Connecting Plate Thickness	4 mm
Insertion Length of Inner Conductor	26.5 mm
Cutoff Frequency	765 MHz

[#] sawamura.masaru@qst.go.jp

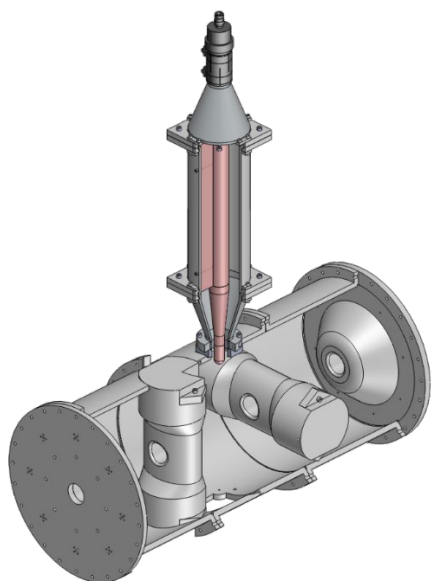


Figure 1: Spoke cavity model with CSWG-HOMC.

3. CSWG-HOMC の外部 Q 値

CSWG の長さを変えたときの加速モード (660 MHz)、TE11-like モード (795 MHz)、TM11-like モード (906 MHz) の外部 Q 値の変化の測定結果を Fig. 2 に示す。

加速モードは遮断周波数以下なので、CSWG長に対して指数関数的に外部Q値が大きくなる。一方 HOM は遮断周波数以上なので、長さに関係なく、ほぼ一定の外部Q値になっている。

CSWG-HOMC の取付角度を 0 度と 45 度にした時の各モードの外部Q値の測定値と計算値を Fig. 3 に示す。遮断周波数以上のモードに関しては、どちらも外部Q値は 10^6 程度以下になっており、角度による大きな違いは見られない。一方加速モードに関しては取付角度 45 度

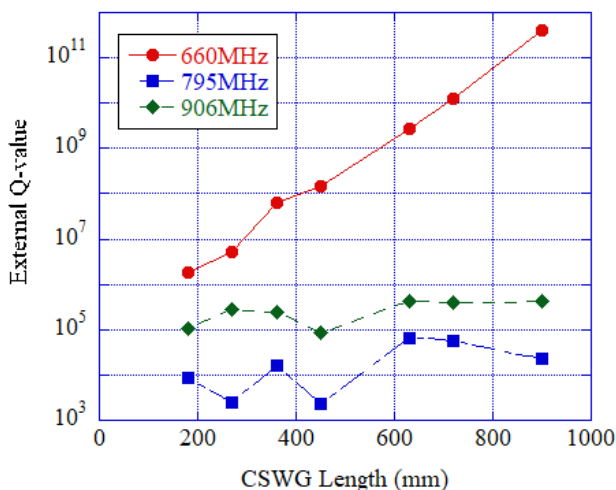


Figure 2: External Q-values of the spoke cavity with CSWG-HOMC as a function of CSWG length.

で高い外部Q値になっている。これは空洞表面の電界強度分布によるものである。Figure 4 に空洞表面の電界強度分布を、Fig. 5 にタンク中央での円周まわりでの電界強度を示す。タンク中央の 45 度方向では電界強度が最小に、0 度方向で最大になっていることが分かる。45 度方向では電界強度が最小になるため、この位置にカップラーを取り付けると、カップリングが小さくなり、外部Q値が大きくなるものと考えられる。

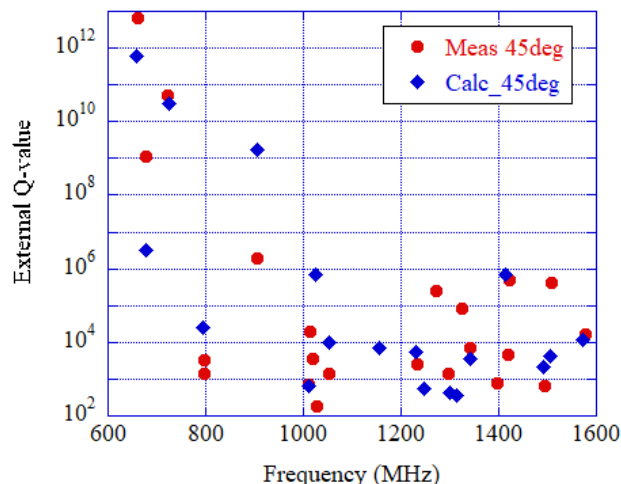
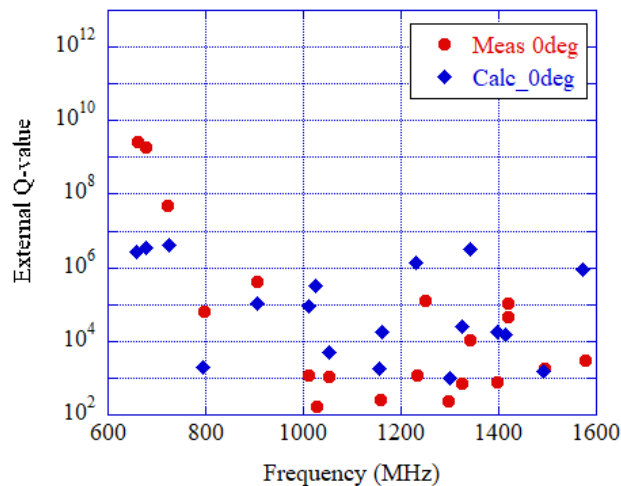


Figure 3: External Q-values of the spoke cavity with CSWG-HOMC mounted at 0 deg (upper) and 45 deg (lower).

これを利用すると、45 度方向に CSWG-HOMC を取り付けると、短い長さで高い外部 Q 値が得られるが、この 45 度近辺は外部 Q 値が急激に変化する部分でもある。Figure 6 に取付角度による外部 Q 値の変化を示す。取付角度が 45 度から 44 度に変わっただけで外部 Q 値が約 2 桁減少してしまう。それでも 0 度方向の取付位置に比べれば高い外部 Q 値が得られるので、CSWG-HOMC をコンパクトにするには有利になる。

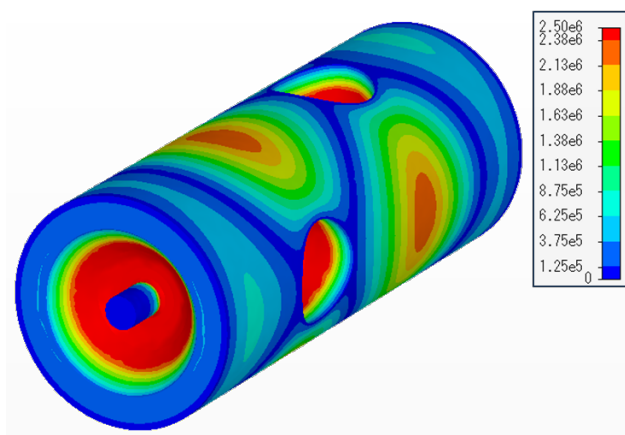


Figure 4: Electric field distribution on the spoke cavity surface.

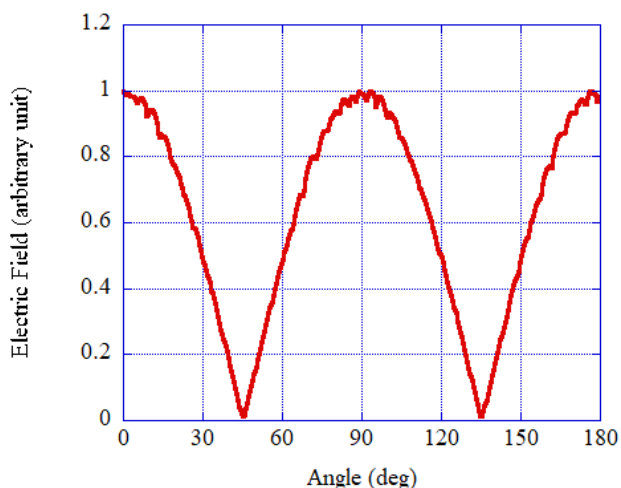


Figure 5: Electric field distribution in a path along the circumference in the center of the spoke cavity.

遮断周波数が 765 MHz、加速周波数が 660 MHz のとき減衰定数は 8.1 m^{-1} となる。このとき加速モードの外部 Q 値を 1 桁変えるのに必要な長さは 14.2 cm である。取付角度誤差を ± 0.9 度以内であれば取付角度 0 度に比べて 3 桁外部 Q 値を大きくできるので 42 cm 短く、また ± 2.9 度以内であれば、2 桁大きくすることができるので 28 cm 短くすることができる。

CSWG-HOMC の長さを短くすることで、コンパクトなスポーク空洞にすることができるが、それでもまだ空洞の外側に大きく張り出している。

4. まとめ

C 形導波管を用いることでコンパクトな HOM 減衰器にできる。取り付け位置をスポークに対して 45 度にするので、CSWG を短くしても、加速モードに対して高い外部 Q 値が得られる。

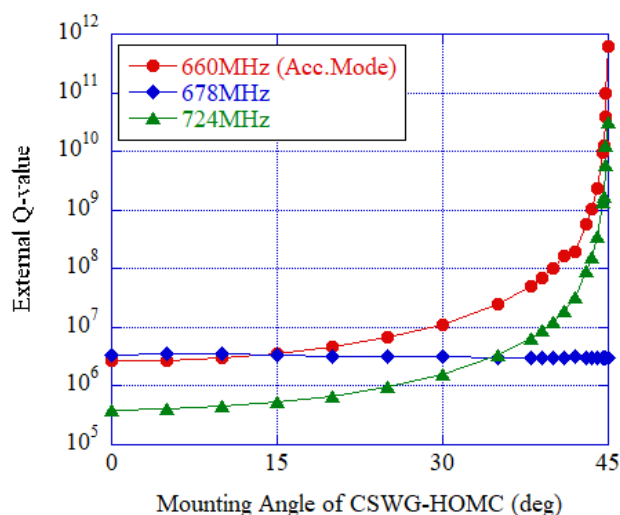


Figure 6: External Q-values of the accelerating mode and HOMs as a function of a mounting angle of CSWG-HOMC.

スポーク空洞に対しては、まだ相対的に大きな HOM 減衰器なので、さらにコンパクトにする必要がある。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 23K11715 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] R. Hajima *et al.*, "Linac-Based Laser Compton Scattering X-Ray and Gamma-Ray Sources", Proc. of LINAC2012, Tel Aviv, Israel, Sept. 9–14, 2012, pp.734-737.
- [2] G. Wu *et al.*, Electromagnetic Simulations of Coaxial Type HOM Coupler, in Proceedings of 12th International Workshop of RF Superconductivity, SRF2005, Ithaca, New York, (2005) p.600.
- [3] J. Sekutowicz, Improved Heat Conduction Feedthroughs for HOM Couplers at DESY, in Proceedings of ERL2011, Tsukuba, Japan, (2011) p. 102.
- [4] P. Kneisel *et al.*, Testing of HOM Coupler Designs on a Single Cell Niobium Cavity, in Proceedings of 2005 Particle Accelerator Conference, PAC05, Knoxville, Tennessee, (2005) p. 4012.
- [5] M. Sawamura *et al.*, "Properties of the RF transmission line of a C-shaped waveguide", Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 882 (2018) 30–40