

C形導波管型 HOM カップラー製作の現状

PRESENT STATUS OF HOM COUPLER WITH C-SHAPED WAVEGUIDE FABRICATION

沢村 勝^{#A)}, 羽島良一^{A)}, 阪井寛志^{B)}, 梅森健成^{B)}, 許斐太郎^{B)}, 古屋貴章^{B)}

Masaru Sawamura^{#A)}, Ryoichi Hajima^{A)}, Hiroshi Sakai^{B)}, Kensei Umemori^{B)}, Taro Konomi^{B)}, Takaaki Furuya^{B)}

^{A)}National Institute for Quantum and Radiological Science and Technology

^{B)}High Energy Accelerator Research Organization/SOKENDAI

Abstract

We have been developing a new type of HOM coupler with C-shaped waveguide (CSWG) to damp the higher order modes of the superconducting accelerator. The CSWG-HOM coupler uses the cutoff frequency property of the CSWG to prevent from damping the accelerating mode and enables efficient cooling by connecting the inner connector through the connection plate. Mounting this new type of HOM coupler requires bent structure to reduce the cryostat size. Fabrication procedures for assembly sequence and electron beam welding test are now under investigation and the results will be presented.

1. はじめに

超伝導加速器には高調波モード (Higher Order Mode:HOM)を減衰させる HOM カップラーが必要である。エネルギー回収型リニアック (ERL) のような大電流で CW 運転する超伝導加速器において、冷凍機システムへの負荷を減らしたり、ビーム不安定性による加速電流のしきい値を大きくしたりするために、HOM の減衰は重要である。

アンテナ/ループ型 HOM カップラーは空洞近くのビームパイプに取り付けるため、余分な長さのビームパイプを必要としないので、実効加速電界の減少を抑えることができる。しかし、空洞近くに取り付けるためには加速モードを排除するフィルター構造が持っているが、冷却後にフィルターの調整をすることができない。さらに HOM 電力はコネクタを通して HOM カップラーの外側に取り出されるが、高周波取り出し用のコネクタの内軸と外軸との間の熱伝導が悪く、コネクタ発熱の問題が起こる[1-3]。コネクタ内軸と外軸との間にサファイヤなどを用いて熱伝導を良くすることができるが、大電流 ERL で要求される大電力 HOM を取り出せるかは不確定である。

加速電界に影響を与えないようなフィルター構造を持ち、発熱の問題が起きにくい HOM 減衰器が望まれる。C形導波管 (C-shaped waveguide: CSWG) [4]は、同軸管のような構造をしているが、接続板により内軸と外軸が接続されているため、内軸を効率よく冷却できる。さらに矩形導波管のように遮断周波数を持っている。そこでアンテナ/ループ型 HOM カップラーの代わりに CSWG 型 HOM カップラーを用いると、内軸を容易に冷却することができるためコネクタ内軸の発熱の問題を解決することができ、大電力の HOM を取り出すことも可能である。さらに構造的な寸法で遮断周波数が決まるので冷却後の調整も不要である。CSWG 型 HOM カップラーの高周波特性は計算およびモデル空洞による測定により、

HOM 減衰器として十分な性能を有していることが確認された[5]。

CSWG 型 HOM カップラーを空洞に取り付けるとき、真っ直ぐなまま取り付けると半径方向に大きく広がった形状になってしまうので、90 度曲げる必要があるが、2 回以上で曲げる構造にすると直線状の時と大きな差はなくなる。このような形状の CSWG 型 HOM カップラーを製作する手順等について検討を行っているので、その状況を報告する。

2. 製作手順

45 度ずつ 2 回曲げる構造の CSWG 型 HOM カップラーを製作する手順について検討を行った。検討した形状は直線部の接続、曲げ部分の接続を含むものとし、Figure 1 のように 45 度曲げを 1 ヶ所および 2 ヶ所含む部分、直線部分の 4 区画で構成されており、90 度曲げ部分、直線の延長部分を模擬できる。

CSWG の各区画は、内軸、外軸、接続板の 3 つの部品に分けられる。各部品を溶接する場合、内軸と接続板、外軸と接続板の順に溶接することになるが、隣の区画との接続を考慮すると、内軸と内軸、接続板と接続板との溶接が容易であることも重要である。そのため、内軸と接続板を溶接する際に、同時またはその直後に隣の内軸と接続板を溶接し、そのあとで一方の外軸と接続板を溶接する。

2 回曲げの CSWG 型 HOM カップラーを製作する手順を Figure 2 に示す。

- (A) 曲げ部分の隣り合う 2 つの区画の内軸と接続板を溶接する。
- (B) 曲げ部分の中央に外軸を差し込んだ状態で、もう一方の曲げ部分の内軸と接続板を溶接する。このとき溶接個所の邪魔にならないように外軸はずらしておく。
- (C) 曲げ中央部の外軸を溶接する。
- (D) 曲げ端部分の外軸を溶接する。
- (E) 直線部の内軸と接続板を溶接する。
- (F) 残りの外軸を溶接する。

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

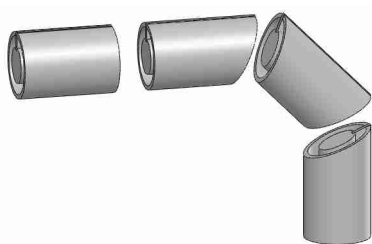


Figure 1: Fabrication model of CSWG-HOM coupler divided into four partitions.

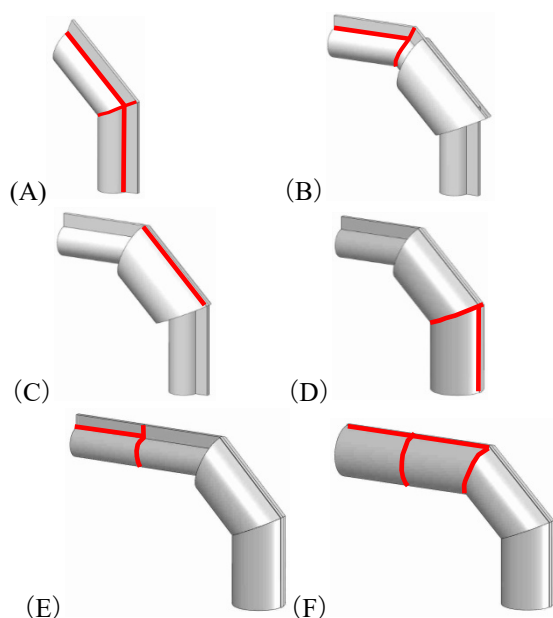


Figure 2: Assembly sequences of CSWG for straight and bending parts.

3. EBW 溶接治具

CSWG 型 HOM カップラーの各部分の溶接は電子ビーム溶接 (EBW) で行うため、必要な治具の設計・製作を行った。治具の構造は Fig. 3 のように溶接する 2 つの部分を一側から押え、接続部分の形状を別の治具で固

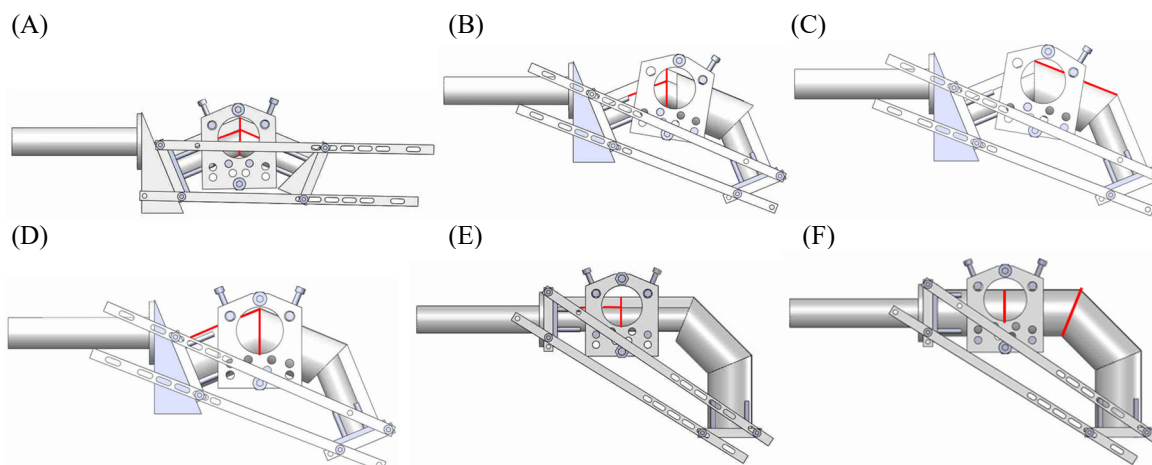


Figure 4: EBW jigs to fix the assembled parts of CSWG.

定するものである。各部分の組み合わせを変えることにより、直線および曲げ部分の溶接に対応できる。

治具組み換えと溶接する場所を Figure 4 に示す。Figure 4 の (A) から (F) は、溶接箇所を示した Figure 2 の (A) から (F) に対応している。溶接箇所がすべて電子ビームから見えるようにはならないため、各部分をスポット溶接した後、接続部分の治具を取り外すことになる。

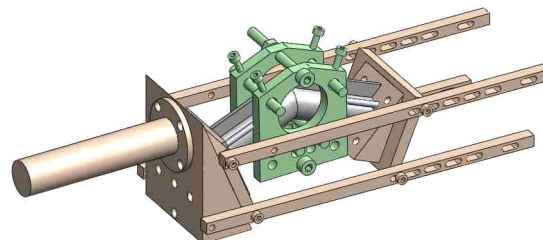


Figure 3: EBW jig to fabricate CSWG-HOM coupler.

4. EBW 予備試験

CSWG 型 HOM カップラーの EBW では、内軸と接続板、外軸と接続板、内軸と内軸、外軸と外軸、接続板と接続板を順次溶接していく必要があり、それぞれに溶接部分の重なりができる。この重なり部分の溶接状態を確認するため、重なり部分をそれぞれ始点、終点にした時の溶接状態を調べた。

試料として厚さ 2.5 mm、幅 150 mm のニオブ板を用いた。EBW 装置の設定を Table 1 に示す。

Table 1: Condition of EBW Machine

Accelerating Voltage	60 kV
Beam Current	62 mA
Start Acceleration	10 mm/2.6 s
Move Velocity	7.5 mm/s
Beam Up Slope	0.1 s
Beam Down Slope	0.27 s

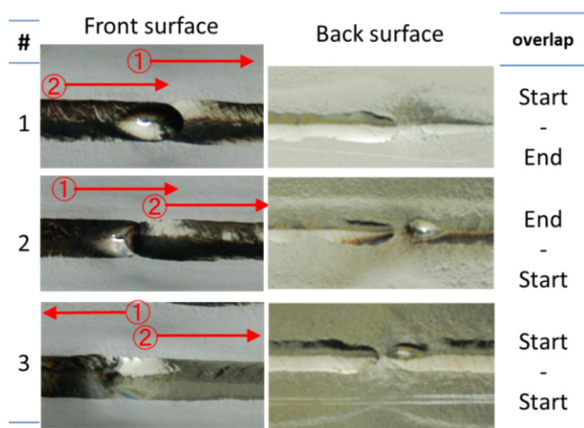


Figure 5: EBW beads around the overlap area. Right column means that the first (upper row) and the second (lower row) welding started or ended at the center. The numbers enclosed within a circle and the arrows indicate the EBW sequence and the direction.

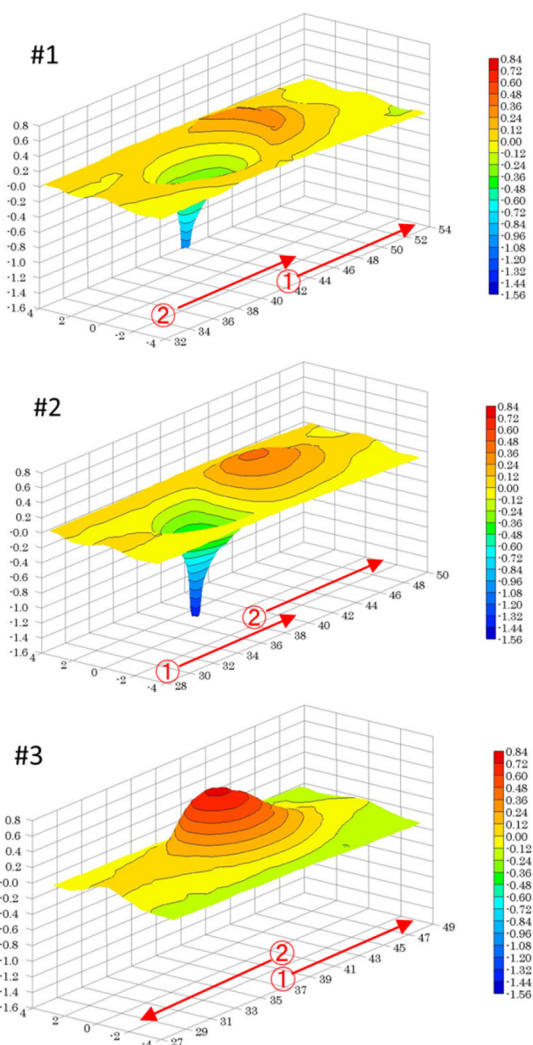


Figure 6: 3D plots around overlap area. The numbers enclosed within a circle and the arrows indicate the EBW sequence and the direction.

1 回目に試料幅の半分を中央又は端から溶接し、2 回目にもう半分を中央又は端から溶接し、中央部分に溶接の重なりができる。1 回目、2 回目を溶接#1 では始点、終点に、溶接#2 では終点、始点に、溶接#3 では始点、始点とした。このときそれぞれの溶接の重なりは#1,#2,#3 でそれぞれ 4 mm、3 mm、5 mm である。溶接の結果を Figure 5 に示す。

溶接重なり部分の起伏の状況をダイヤルゲージで測定し、その結果を Figure 6 に示す。いずれも始点部分が隆起し、終端部分が陥没している。

重なり部分は直線の折れ曲がり部分であったり、直線から曲線に変わったりする部分なので、電子ビームの制御が複雑になると考えられるが、今後の更なる試験で最適な条件を探していく予定である。

5. まとめ

CSWG 型 HOM カップラーを製作するための検討を進めている。90 度曲げモデルのための製作手順を決め、治具製作及びアルミ製とニオブ製の各 CSWG 部品の製作を行った。EBW の条件出し試験も合わせて行っているが、溶接部分は直線と曲線の組合せになるので、さらなる条件出し試験を行い、最適条件を探っていく予定である。

参考文献

- [1] P. Kneisel *et al.*, “Testing of HOM Coupler Designs on a Single Cell Niobium Cavity”, Proc. of PAC2005, Knoxville, USA, May 16-20, 2005, pp. 4012-4014.
- [2] G. Wu *et al.*, “Electromagnetic Simulations of Coaxial Type HOM Coupler”, Proc. of 12th SRF (SRF2005), Ithaca, USA, July 10-15, 2005, pp. 600-603.
- [3] J. Sekutowicz, “Improved Heat Conduction Feedthroughs for HOM Couplers at DESY”, Proc. of ERL2011, Tsukuba, Japan, Oct. 16-21, 2011, pp.102-104.
- [4] 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.
- [5] M. Sawamura *et al.*, “Development of HOM Coupler with C-Shaped Waveguide”, Proceedings of the 15th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Nagaoka, Japan, August 7-10, 2018, pp. 934-937.