

NEW HOM COUPLER DESIGN FOR ERL INJECTOR AT KEK

Ken Watanabe^{1,A)}, Shuichi Noguchi^{A)}, Hitoshi Hayano^{A)}, Eiji Kako^{A)}, Toshio Shishido^{A)},
^{A)} KEK

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

Abstract

The development of superconducting cavities and cavity package for ILC and ERL project is under way at STF (Superconducting RF Test Facility) in KEK. The cell shape and the geometry of the coaxial HOM couplers for ERL injector 2-cell cavity were decided by following the basic engineering of the STF Baseline cavity. The STF Baseline HOM couplers have a problem at CW operation, which it is pick-up probe heating due to the RF load of the accelerating mode. To control the probe heating for ERL injector, the STF Baseline HOM coupler made improvement to reduce the RF load of accelerating mode. It is shown as following, (1) A high pass filter between the pickup and the notch filter, (2) The boss on the probe location of inner conductor.

The designed HOM couplers are two types (Antenna-type and Loop-type). The copper models were made to measure the RF performance. The fabrication of niobium 2-cell cavity with four HOM couplers was carried out and started the RF measurement in June 2008.

KEKにおけるERL入射器用HOMカプラの開発

1. はじめに

KEKでは現在ERL (Energy-Recovery Linac) のR&Dが進められている^[1]。ERL入射器はCWで運転され、超伝導加速空洞 (運転周波数1300 MHz、2セル空洞、目標加速勾配15 MV/m) が使用される^{[2],[3]}。HOMカプラは電子バンチによって空洞に励起される高次モード (Higher Order Mode) を空洞外に取り出すための装置である。ERL入射器は100 mAの電子ビームを連続加速するため、励起されるHOMパワーも当然大きくなるので、これを効率的に取り出すためのHOMカプラは重要な開発要素である。空洞からHOMを取り出す手段の一つとして、空洞のビームパイプに同軸型のカプラを取り付け、HOMを空洞外部へ取り出す方法があり、ERLの入射器では同軸型のカプラを採用して開発をスタートすることとした。この方式は、すでにSTF-Baseline空洞^{[4],[5]} (以下、STF BL空洞) で研究開発の蓄積があり、これをベースにHOMカプラの設計、製作を行った。STF空洞のHOMカプラは構造上CW運転の際、加速モードの負荷により、取り出しプローブ先端に大きな表面電流が流れ発熱する問題があった。ERL入射器用HOMカプラではこの発熱が小さくなるような設計として、ノッチフィルターの手前にハイパスフィルターの追加、プローブ部の内導体に突起を設けるなどの対策を施し、アンテナ型、ループ型の2種類のHOMカプラを設計した^[6]。設計後、銅モデルを製作し、RF性能の評価を行った。また、2008年6月にHOMカプラ4機を装着したニオブ製2セル空洞が完成し、2セル空洞実機における高次モードの評価を行っている。

2. ERL入射器のためのHOMカプラの設計

2.1 CW運転におけるSTF BL HOMカプラのプローブ発熱発生電界の評価

2006年2月から9月の間に行われたSTF BL空洞の縦測定でプローブの発熱が観測された^[5]。この発熱は加速モード負荷時 (ノッチフィルターの構造上、プローブ周辺では磁場が最大になる) にプローブ表面に流れる誘導電流によるものと考えられる (図1)。縦測定では、プローブと内導体間のギャップを変えて測定した結果、ギャップ長と発熱発生電界との間に関係があることが分かった。図1に使用したプローブ、図2に縦測定の結果を示す。その測定結果を元にSTF BL単セル空洞モデルにて、電界強度に対するプローブの表面電流値をHFSSで計算した。このときのプローブの材質はニオブ材であり、フィードスルーは京セラ製を使用し、螺子締めでプローブを固定している。計算から、2Kでは約4000A/mの表面電流がプローブ表面に流れると、発熱が起こることが見積もられた^{[5],[6]}。

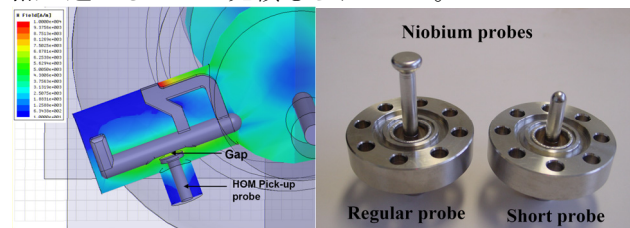


図1 : STF BL HOM couplerと使用したプローブ

¹ E-mail: kenw@post.kek.jp

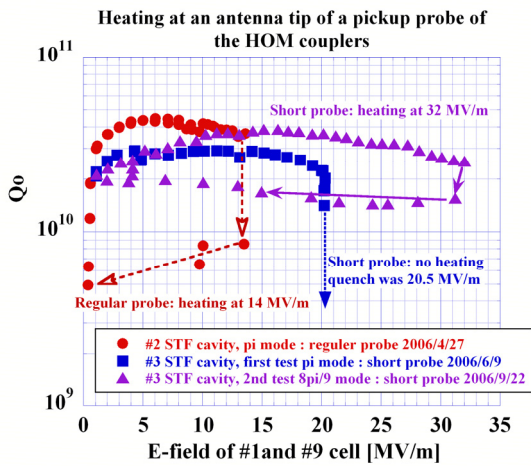


図2：STF BL空洞における縦測定の結果

2.2 HOMカプラの設計

CW運転下でプローブの発熱を抑制するためには、フィードスルーの熱伝導率を上昇させ、冷却能力を向上させる方法^[7]、HOMダンピング能力を損なうことなく、プローブへ掛かる加速モードの負荷を低減させる方法が考えられる。後者の方法を選択した場合、STF BL空洞の試験結果から、15MV/mのときプローブ表面電流値を4000A/m以下になるように設計すればよいことが分かっている。ERL入射器用に設計した同軸型HOMカプラを図3に示す。HOMカプラは空洞内に電子ビーム通過時に励起されるHOMを空洞の外へ取り出すためのPickup部と加速モードの負荷を低減させるためのHigh pass filterとプローブ部の内導体に設けた突起およびノッチフィルターで構成される^[6]。

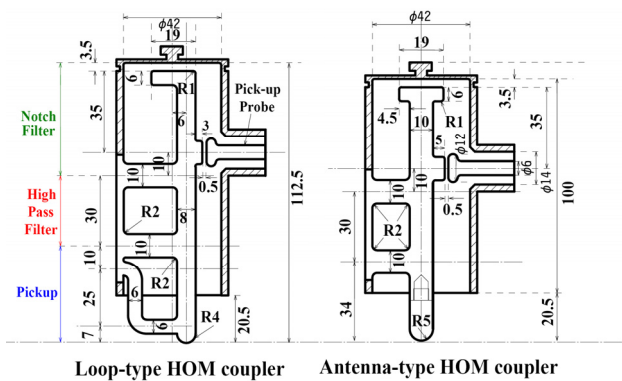


図3：HOMカプラの形状

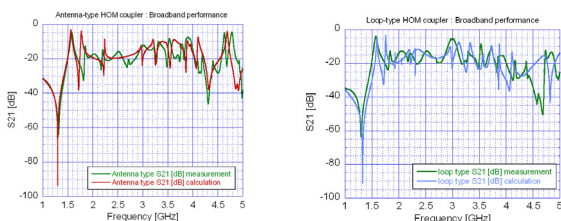


図4：ERL入射器用HOMカプラの周波数特性

今回、ERL入射器用としてAntenna-type、Loop-Typeの2種類の設計を行った。銅製HOMカプラの周波数特性の測定および計算結果を図4に示す。ノッチフィルターのバンド幅（加速モードの Q_{ext} が $>2 \times 10^{11}$ になる幅）の測定も行った。バンド幅はAntenna-typeで4.6MHz、Loop-typeで5.2MHzであった。

2.3 プローブ表面電流値の評価

Antenna-typeおよびLoop-typeの表面電流値をHFSSで計算した。計算時にはHOMカプラの回転角（プローブの向き）に対する表面電流値の変化を見た。計算結果を表1にまとめる。計算モデルを図5に示す。HOMのダンピングをより強くするために、プローブと内導体間のギャップをSTF BL HOMカプラの2mmから0.5mmと狭くした場合には評価を行った。Antenna-typeでは、15MV/mで1000A/mを達成した。Loop-typeでは回転角によって加速モードとの結合が変わるため、15MV/mで2050~680A/mの値であった。両モデルとも4000A/mを下回っており、High pass filterと突起の効果が見える。

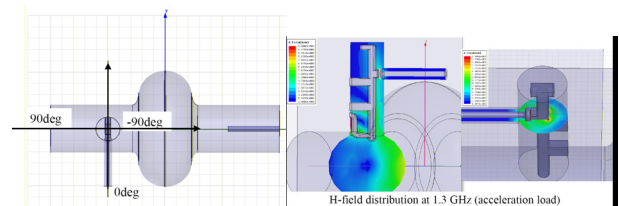


図5：計算モデル・STF Baseline単セル空洞

表1 Antenna-typeとLoop-typeの電界強度に対する表面電流値（単位[A/m]、(カプラ角度[deg])）

Model	15MV/m	20MV/m	25MV/m
Antenna	1000 (90)	1350 (90)	1650 (90)
	1340 (0)	1800 (0)	2250 (0)
Loop	2050 (-30)	2720 (-30)	3360 (-30)
	2000 (0)	2770 (0)	3360 (0)
	1360 (30)	1810 (30)	2230 (30)
	960 (60)	1280 (60)	1580 (60)
	680 (90)	910 (90)	1120 (90)
	Target: < 4000 A/m at 15 MV/m		
STF BL	4250 (0)	5600 (0)	7200 (0)

プローブ条件：ギャップ0.5mm
先端直径φ12mm
空洞モデル：STF BL単セル空洞

3. ニオブ製2セル空洞の測定

2008年6月にHOMカプラ4機（Antenna-type×2機、Loop-type×2機）を装着したニオブ製2セル空洞^[3]が完成した。以下にLow powerの測定結果をまとめる。

3.1. 加速モードの電界平坦度とモードの同定

ビーズ摂動法を用いて、加速モードの電界平坦度と高次モードのモード同定を行った。加速モードの電界平坦度を図6に示す。加速モードの電界平坦度

は加工直後で99.8%であった。したがって、プリチューニングを行わずに、HOM測定に進んだ。表2にモード周波数をまとめる。

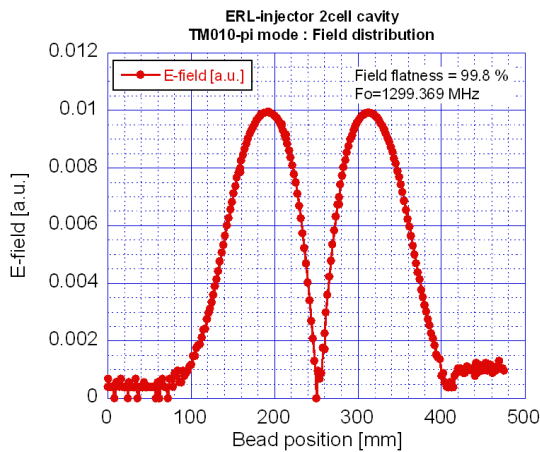
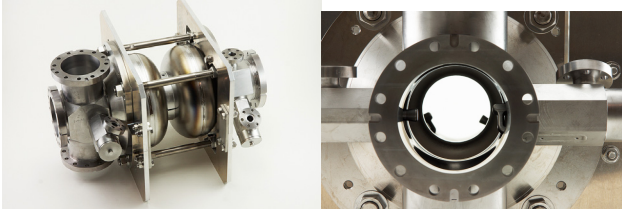


図6：ニオブ製2セル空洞とTM₀₁₀- π の電界平坦度

3.2. HOM Qextの測定

各HOMカプラにおけるHOMのQextの測定を行った。HOMカプラ4機の合計の結果を表3に、各HOMカプラのQextの値を図7にまとめる。TE_{111-1,2}およびTM₁₁₀₋₁はQextが<1000であった。TM₁₁₀₋₂のみ3560であった。TM_{011-1,2}では、Antenna-typeが>10⁵と効果が小さく、4機の合計でもQextは6150、7740と不十分であった。測定した全てのモードに対してLoop-typeの方が、強いダンピングを持っていた。TM₀₁₁に関しては、Loop-typeが単体でQextが1×10⁴程度あるので、Loop-typeを4機ないし5機装着することで、Qextを1000~2000程度にすることは可能である。

4. まとめ

今回、ERL入射器用HOMカプラの設計からニオブ製2セル空洞の測定まで行った。ERL入射器用HOMカプラでは、High pass filterと内導体に設けた突起の効果により、加速電界15MV/mにおいてプローブ表面電流値を2050A/m以下にすることが出来た。ニオブ製2セル空洞のHOM QextはTE_{111-1,2}、TM₁₁₀₋₁で1000以下、TM₁₁₀₋₂で3560であった。TM_{011-1,2}ではQextが6150,7740とダンピングは不十分であるが、Loop-typeを4機ないし5機装着することで、ダイポールモードと共に改善することが可能である。ニオブ製2セル空洞の縦測定は2008年度に予定している。

表2：モード周波数とHOMカプラ4機のQext

Mode	Frequency [MHz]	Qext (four couplers)
TM010-1	1286.658	—
TM010-2	1299.369	—
TE111-1	1557.318	562
TE111-2	1566.676	409
TE111-2	1581.873	148
TE111-2	1588.488	347
TM110-1	1629.101	1010
TM110-1	1638.528	663
TM110-2	1784.929	976
TM110-2	1801.461	3560
TM011-1	2280.790	6150
TM011-2	2308.947	7740

プローブ条件：ギャップ0.5mm、先端直径φ12mm
温度：室温

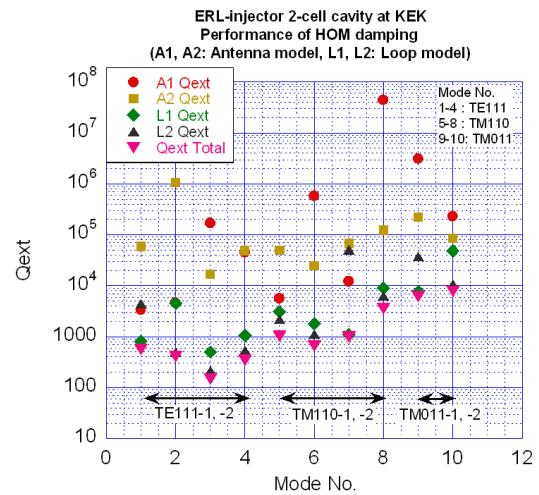


図7：ニオブ製2セル空洞のHOM Qextの測定結果

参考文献

- [1] H. Kawata, "Present status on ERL project", Proc. of 4th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Wako Japan 2007.
- [2] S. Noguchi et al., "Development of 2-cell SC cavity system for cERL-Injector at KEK", in this meeting.
- [3] コンパクトERLの設計研究, KEK Report 2007-7, 2.3 入射器用超伝導加速器, p. 35
- [4] E. Kako et al., "Construction of the baseline SC cavity system for STF at KEK", Proc. Of the 2007 Particle Accel. Conf. (PAC-2007), June. 25-29, 2007, Albuquerque, NM, USA, pp. 2107-2109
- [5] K. Watanabe et al., "New HOM coupler design for ILC superconducting cavity", Nuclear Inst. And Methods in Physics Research, A, NIMA48580.
- [6] K. Watanabe, "New HOM coupler design for ERL injector at KEK", SRF2007
- [7] C. E. Reece et. al., "High Thermal Conductivity Cryogenic RF Feedthroughs for Higher Order Mode Couplers," PAC'05, Knoxville, May 2005, p. 4108.