

Status of Development of the cERL Superconducting Injector Linac

Ken Watanabe^{#,A)}, Eiji Kako^{A)}, Shuichi Noguchi^{A)}, Masato Sato^{A)}, Toshio Shishido^{A)}, Yasuchica Yamamoto^{A)}

^{A)} KEK

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

Abstract

Construction of the compact ERL (cERL) [1] is underway and fabrication of a SC Cavity Injector Cryomodule has been started last year at KEK. Status of R&D and design details are reported.

cERL 入射器用超伝導空洞システムの開発状況

1. はじめに

cERL入射器用の超伝導加速空洞システムは、電子銃で生成した100mAの大電流ビームを10MeV程度まで加速するために用いられる。主加速器とは異なりエネルギー回収が行われないので、ビーム加速に必要とされる約1MWの高周波電力は全て外部の高周波源から供給しなければならず、CW運転で1本あたり200kW程度の高周波電力を投入することができる大電力入力カップラーと100mAのCW大電流ビームによって空洞内に誘起された有害な高調波モードを効率よく外部へ取り出し、かつCWの加速モードの負荷に耐えうるHOMカップラー開発も重要な要素となる。cERL入射器用超伝導空洞システムとして、加速電界15MV/mで運転するHOMカップラー5機を装着した2セル空洞2号機の2回の縦測定を2010年4月までに行った。また、2008年度に製作した大電力入力カップラー2本の大電力試験を2010年4月から5月にかけて行った。2セル空洞2号機の縦測定の結果および大電力試験の途中経過について報告する。

2. 空洞システムの開発状況

表1にcERL入射器用超伝導空洞システムの基本パラメーターを示す[1]。運転周波数は1.3GHzであり、2Kで運転される。空洞形状はSTF Baseline 9セル空洞の基本設計を踏襲している。

表1：空洞システムのパラメーター

Frequency	1.3	GHz
Number of cell	2	
R/Q	205	Ω
Operating Gradient	10 (14.5)	MV/m
Beam Current	50 (100)	mA
Number of Input Coupler	2	
Coupler Power	58 (167)	kW
Coupler Coupling Q	4.5 (3.3) x 10 ⁵	
Number of HOM coupler	5	
Operating Temperature	2	K

入力およびHOMカップラーのカップリングを確保するために、ビームパイプ径を88mmと大口径化している。入力カップラーは空洞あたり2機装着され、1本あたりCWで167kWの高周波電力を供給する。また、高次モードのダンプのために、同軸型のHOMカップラーを5機装着する。図1はクライオモジュールの概念図および2008年度に製作したプロトタイプ2セル空洞2号機である。

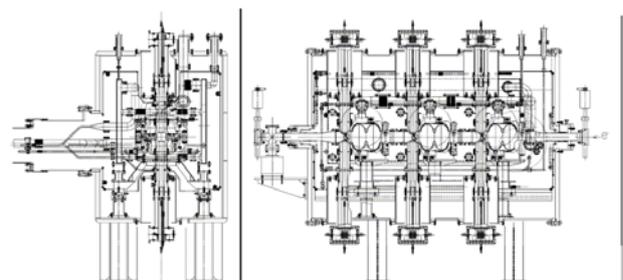
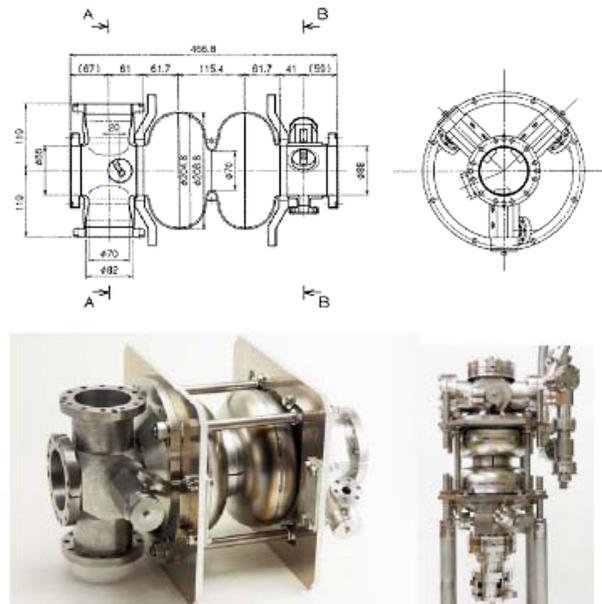


図1：クライオモジュールの概念図および2セル空洞

3.1 2セル空洞の縦測定

2007年度、2008年度に製作したプロトタイプ2セル空洞1号機および2号機の縦測定までの工程と結果を表2、図2にまとめる。空洞受け入れ後に、空洞内面および溶接シームの光学検査、低電力試験を行い、電界平坦度などを測定した。1号機の表面処理では、バルクEPの代わりに化学研磨を野村鍍金にて行った。その後はKEK-STFの電解研磨施設にてEPを行い、縦測定を実施した。2号機については、すべての表面処理をKEK内で行い、表面研磨はEPのみである。なお、2セル空洞の電界平坦度は各表面処理後において、>98%を保っていたため、プリチューニングは行わなかった。

HOM pick-up を装着した状態では、HOMカップラーの加速モードに対するチューニングが必要である。チューニングは空洞を縦測定スタンドに吊り下げた後に常温にて行った。表3に2セル空洞2号機二回目の縦測定(空洞温度: 1.4 K)の時に測定した各HOMカップラーの加速モードに対する Q_{ext} をまとめる。すべてのHOMカップラーで Q_{ext} が $>6 \times 10^{11}$ の値を示しており、十分なリジエクション性能を達成していることが分かる。

HOM pick-up なしの測定では、2空洞とも40 MV/m以上の加速電界強度を達成し、空洞製作に関して問題が無いことを確認した。一方、1号機のHOM pick-up ありの測定では、HOM pick-up 部分のエイジングに時間が掛かったものの、最終的には液体ヘリウムに完全に浸かった状態において16MV/mのロングラン運転を達成した[2]。

表2: 空洞受け入れ後の工程

項目	1号機	2号機
1	受け入れ後の内面検査および低電力試験	受け入れ後の内面検査および低電力試験
2	化学研磨 (20um) アニール、内面検査	バルク EP (105um) アニール、内面検査
3	EP: 100um 1次水洗 H2O2 リンス HPR、ベーキング	EP: 20um 1次水洗 FM-20 リンス、 温水超音波洗浄 HPR、ベーキング
4	1回目: 縦測定 HOM pick-up あり	1回目: 縦測定 HOM pick-up なし
5	内面検査 低電力試験	内面検査 低電力試験
6	EP: 20um FM-20 リンス 温水超音波洗浄 HPR、ベーキング	EP: 20um FM-20 リンス 温水超音波洗浄 HPR、ベーキング
7	2回目: 縦測定 HOM pick-up なし	2回目: 縦測定 HOM pick-up あり
8	内面検査 低電力試験	内面検査 低電力試験

しかし、HOM pick-up のフィードスルー部分が完全に液体ヘリウムから出ると、フィードスルー部分が発熱し、空洞からの伝熱による冷却では持たないことが分かった。2号機のHOM pick-up ありの測定では、エイジングされながら電界強度は上昇していたが、14MV/mの時点で超流動ヘリウムのリークが起こり、この時点で試験を終了した。このため、2010年8月末に2号機の3回目(HOM pick-up あり)の試験を予定している。

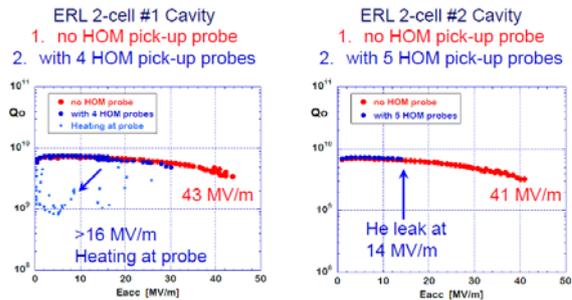


図2: プロトタイプ2セル空洞2号機の縦測定の結果

表3: 2セル空洞2号機の縦測定時におけるHOMカップラーの加速モードに対する Q_{ext}

At 1.4 K	Q_{ext} for TM010-pi
Monitor	2.6×10^{11}
HOM1	6.0×10^{11}
HOM2	7.1×10^{11}
HOM3	8.0×10^{11}
HOM4	1.4×10^{12}
HOM5	6.7×10^{11}

3.2 空洞長に対する加速モードの周波数と電界平坦度の変化

チューナーstroクロクの確認のため、1号機2セル空洞を用いて、ベースプレート間の長さ(空洞張)に対する加速モードの周波数と電界平坦度の変化量を測定した。結果を表4、図3にまとめる。

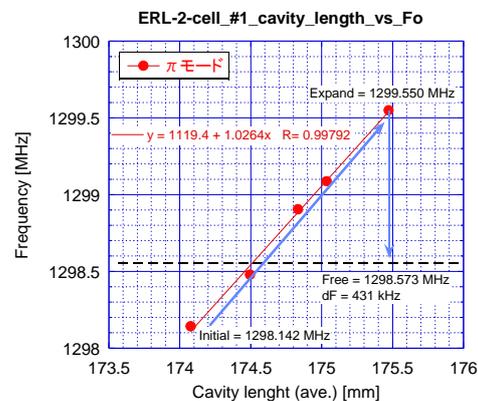


図3: 空洞長に対する加速モードの周波数変化

加速モードの周波数変化はベースプレート間の長さの変化量 1mm に対して、+1026 kHz であった。一旦、空洞を延ばした後、空洞をフリーにした際、永久変形が残り空洞周波数は初期状態より+431kHz 変化した。一方、電界平坦度は空洞変形に対して変化せず、>98%を保っていた。図 4 にスライドジャッキチューナーを示す。

表 4：電界平坦度の変化

条件	電界平坦度	周波数
Initial	98.5 %	1298.142 MHz
After Expand	99.7 %	1299.550 MHz
Free	99.1 %	1298.573 MHz

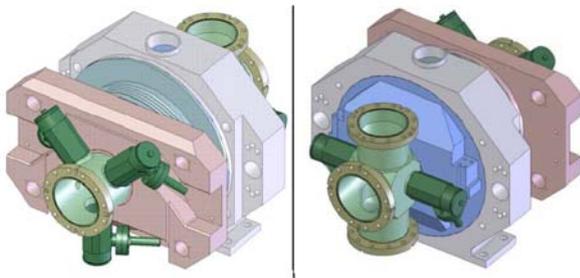


図 4：スライドジャッキチューナー



図 5：入力カップラーの電磁界分布

3.3 入力カップラーの大電力試験の状況

2008 年度に製作した 2 本の入力カップラーの大電力試験を 2010 年 4 月から 5 月に PF 電源棟にて実施した。図 5 に入力カップラー内の電磁界分布およびサーマルアンカーの位置を示す。また、図 6 に使用した 1.3GHz 300kW CW のクライストロンとセットアップを示す。内導体の冷却には水冷を採用し、その流量は 50 liter/hour である。プロセッシングは 10 msec、10 Hz から開始し、パルス幅と繰り返しを変えながら Duty を上げていった。今回のプロセッシングでは、1000 msec、0.2 Hz、110 kW までの透過を確認した。表 5 にプロセッシングの履歴をまとめる。2 3 時間のプロセッシングの後、500 ms、0.2 Hz、130 kW の連続運転を実施した。この際、空冷も行ったが、ドアノブ部分の温度が 50°C に達した (図 6)。今後は東カウンターホールに場所を移して、プロセ

ッシングを継続する予定である。この際、ドアノブ部分の冷却をさらに強化する必要がある。

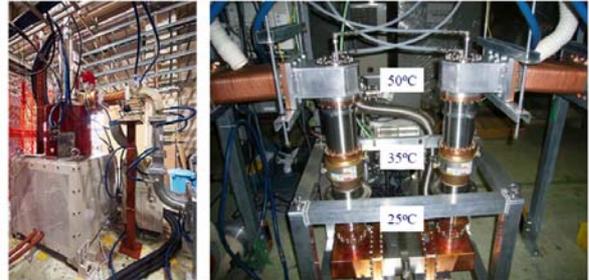


図 6：プロセッシングのセットアップ

表 5：プロセッシングの履歴

Date	Pulse with	Rep. Rate	Power	Duty
Apr.0 7	10 ms	10 Hz	110 kW	0.01 %
Apr.0 9	40 ms	5 Hz	130 kW	0.02 %
Apr.1 3	150 ms	1 Hz	132 kW	15 %
Apr.1 6	1000 ms	0.2 Hz	110 kW	20 %
Total time: 23 hour.				
プロセス後、500ms, 0.2 Hz, 130kW の連続運転で安定性を調査。				

4. まとめと今後の予定

これまで、プロトタイプ 2 セル空洞 2 台の縦測定および入力カップラー 2 基の大電力試験を行ってきた。HOM pick-up 無しの 2 セル空洞の縦測定では、加速電界で 40 MV/m を超える結果が得られ、空洞の製作技術に問題が無いことを確認した。HOM pick-up 有りでは、現状では縦測定による評価が不十分であるため、2010 年秋までに 2 回の縦測定を予定している。入力カップラーの大電力試験では、20%の Duty で 110kW まで到達した。以後のプロセッシングは東カウンターホールで行う予定である。

参考文献

- [1] コンパクト ERL の設計研究, KEK Report 2007-7, JAEA-Research 2008-032, February 2008 A
- [2] K. Watanabe, et al., "Development of the superconducting cavity system for ERL injector at KEK", Proc. of 6th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tokai, Japan 2009.