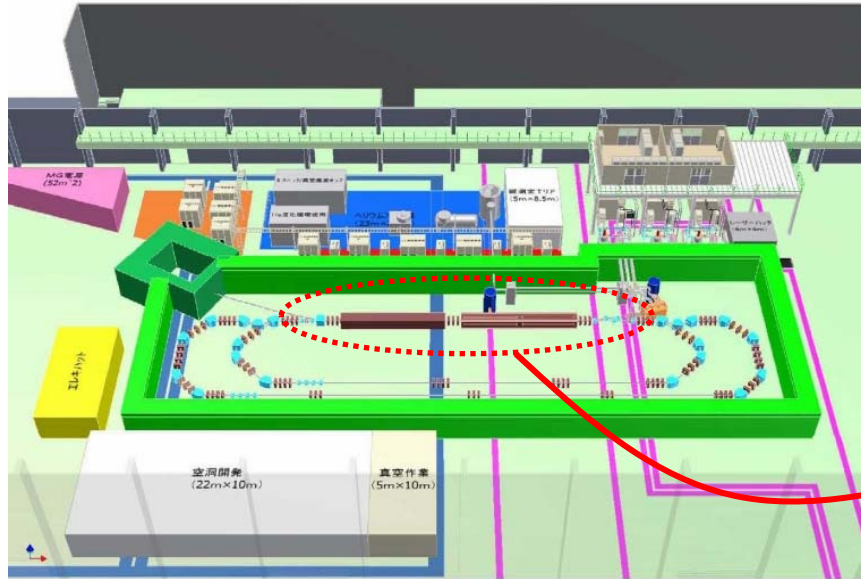


ERL主加速器空洞の現状と今後

Compact ERL (cERL)



ERL主加速器用超伝導空洞



2012/6/12

ERL推進委員会

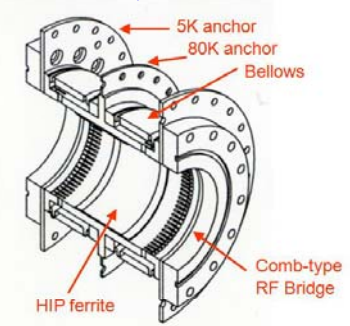
阪井寛志、梅森健成、江並和宏、佐藤昌史、篠江憲治、古屋貴章 (KEK),
沢村勝(JAEA), Enrico Cenni (総研大)

ERL主加速部クライオモジュール 2012年度末に組立完成予定

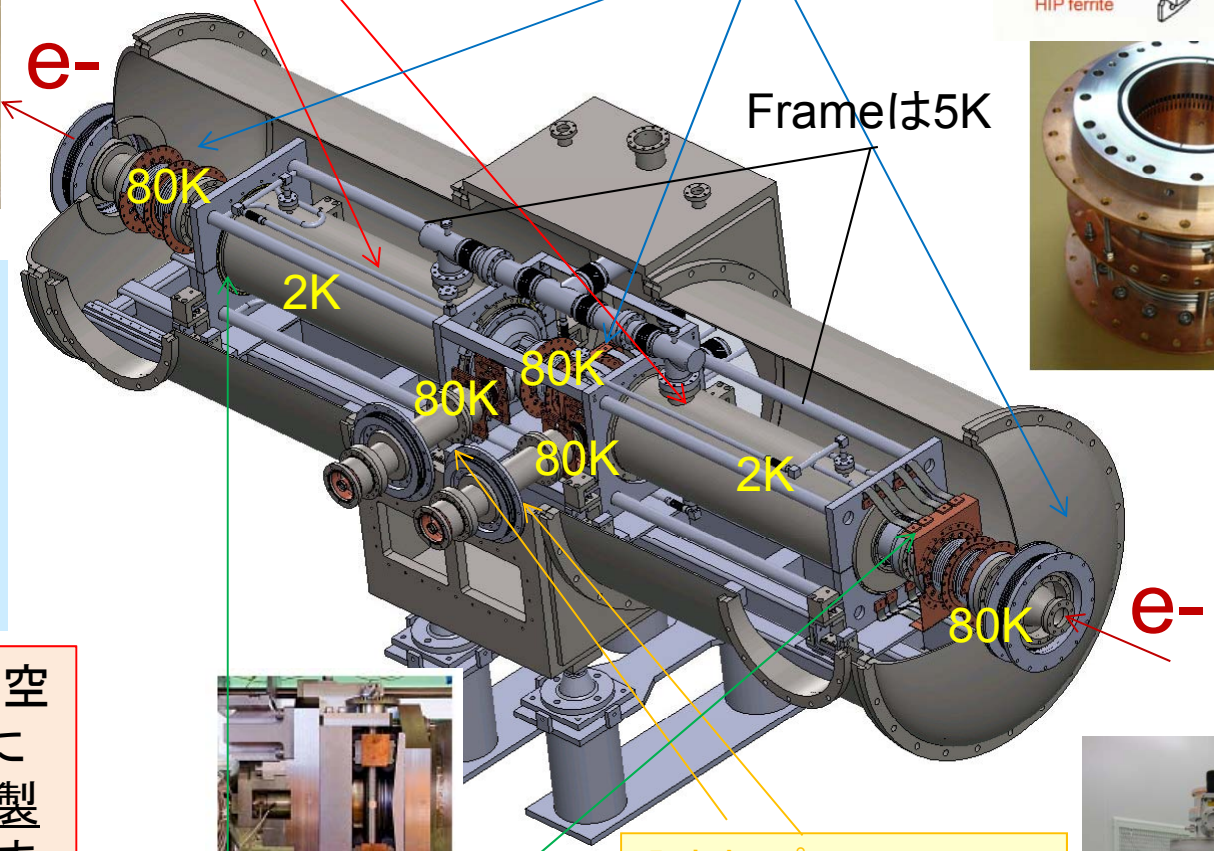


9セル超伝導空洞
Heジャケット付き
15-20MV/m
 $Q_0 > 1 \cdot 10^{10}$

HOMダンパー
・新IB004をHIP加工
・80Kにて使用
μ''は低温で保持
・楕円型RFブリッジ



ERL主空洞の要求値
 Frequency : 1.3 GHz
 Input power : 20kW CW (SW)
 Gradient: 15-20MV/m
 Q0: $> 1 \cdot 10^{10}$
 Beam current : 100mA (fight against HOM-BBU)



昨年度はcERL運転用の2空洞入りクライオモジュールに必要な各コンポーネントの製作、性能評価に集中した。またクライオモジュール設計、製作を行った。以下それぞれの状況を説明する。

Tuner
Slide jack tuner (粗調整)
piezo tuner(微調整)



入力カップラー
・20kW の定在波
・Cold 窓とWarm窓の採用
・HA997セラミックを使用
・ $QL=(1-4) \cdot 10^7$ (variable)



ERL主リニアック用超伝導空洞の概要

設計方針(HOMを徹底的に抑えた空洞)

- 1) 空洞セル形状をERL用に最適化
- 2) 大口径ビームパイプ+RF吸収体
- 3) 偏心フルート型ビームパイプ

設計のベースはTESLA空洞から

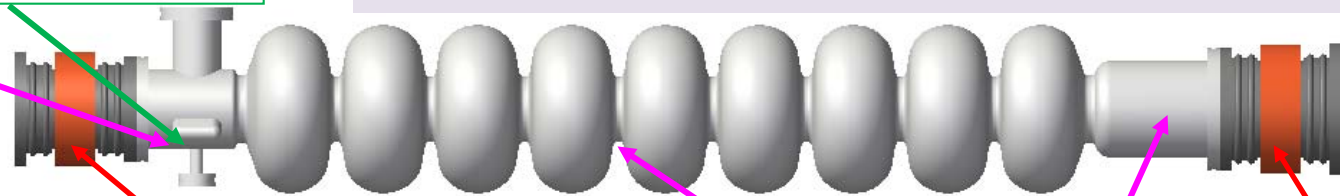
TESLA空洞



KEK-ERL Model-2空洞

偏心フルート型ビームパイプ

SBP dia.: $\phi 100$



RF吸収体

Iris dia.: $\phi 80$

LBP dia.: $\phi 120$

RF吸収体

これによりTESLA空洞では20mA以下のHOM-BBU閾値がKEK-ERL-model-2空洞では電流値が**> 600 mA**まで向上。
2-turn ERLでもHOM-BBU閾値が**100mA**以上が可能。

Frequency	1300 MHz	加速勾配	15-20MV/m
Q0	1e+10	Coupling	3.8 % [1.9%]
R_{sh}/Q	897 Ω [1007 Ω]	$Q_o \times R_s$	289 Ω
E_p/E_{acc}	3.0 [2.0]	H_p/E_{acc}	42.5 Oe/(MV/m)

[]はTESLA空洞

2K環境下

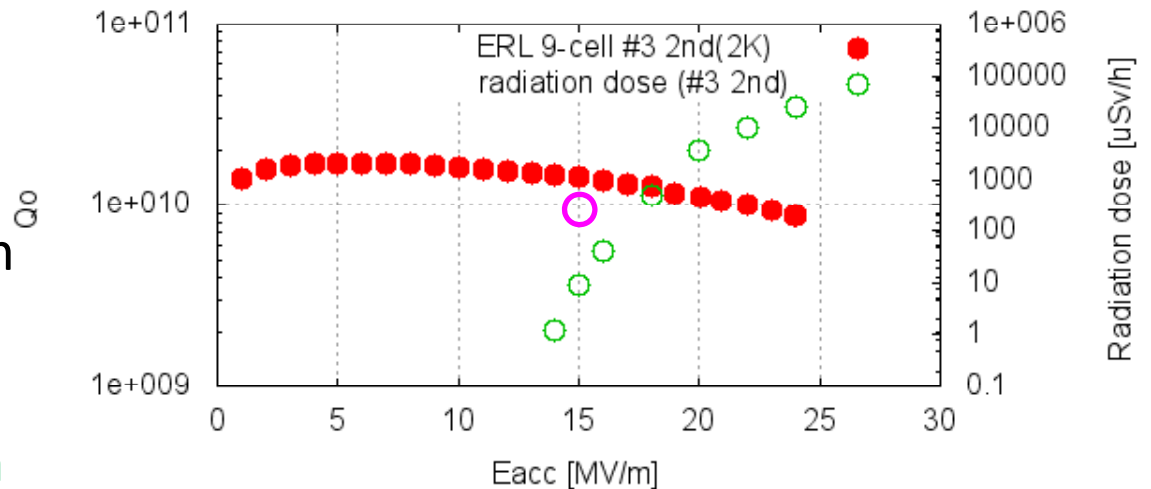
設計の結果:HOM-BBU閾値は向上したが、唯一 E_{pak}/E_{acc} の比率が**1.5倍**と上がったため、同勾配でTESLA空洞と比べ、**field emission**を起こしやすい空洞となっている。したがって、**要求加速勾配の15-20MV/m(max25MV/m)**が高いQ値で達成できるかが開発の鍵となる。³

Results of vertical tests

昨年度はcERL用に2台の空洞を作成し、縦測定で性能評価を行った。
 それぞれの空洞は2回の縦測定を行い、最終的に25MV/mの加速勾配の達成。
 また、cERLの要求である15MV/mで $Q_0 > 1 \cdot 10^{10}$ を達成した。

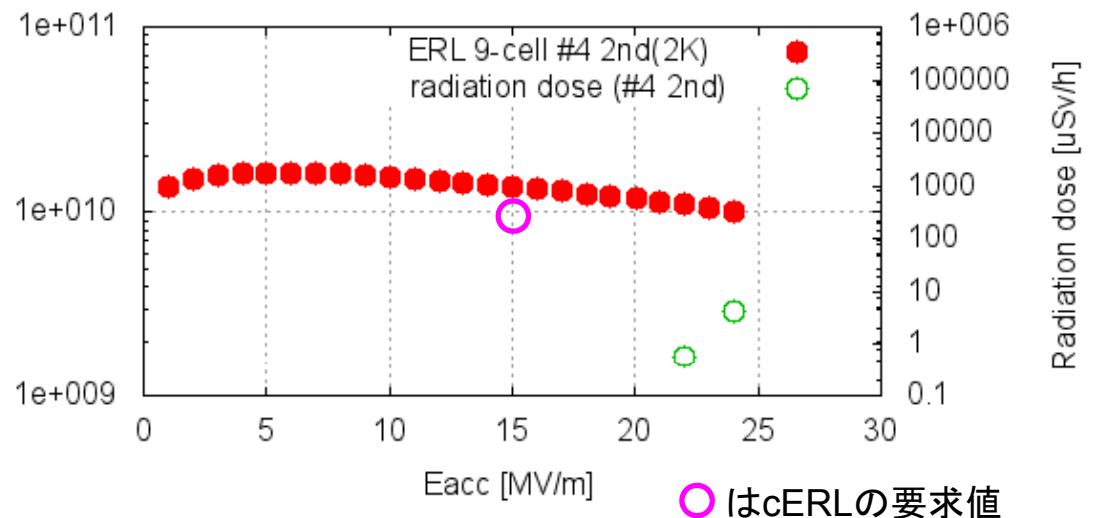
ERL 9-cell #3 cavity

- Field reached to 25 MV/m
- No limitation up to 25 MV/m
- $Q > 1e10@15MV/m$
- Satisfied cERL specification
- X-ray onset around 14 MV/m



ERL 9-cell #4 cavity

- Field reached to 25 MV/m
- No limitation up to 25 MV/m
- $Q > 1e10@15MV/m$
- Satisfied cERL specification
- X-ray onset around 22 MV/m



Field emissionに対する対策とアプローチ

① 縦測定前の表面処理の改善

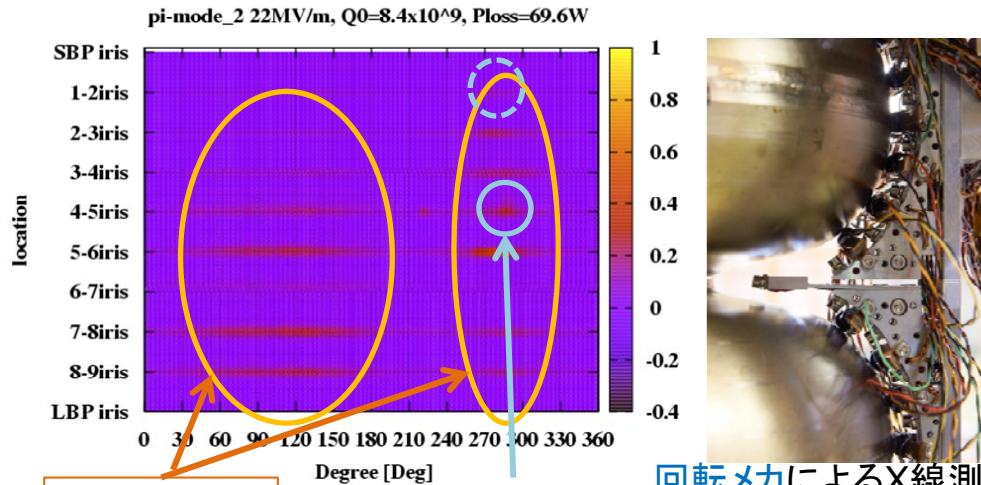
- ・低電流電解研磨(EP), $32\text{mA}/\text{cm}^2 \rightarrow$ 硫黄生成抑制、表面の荒れをなくす。
- ・リンス工程でDegreaser(FM20)、ブラッシングの実施 \rightarrow 付着物(硫黄)の除去
- ・組立時のイオンガンの導入。 \rightarrow particle 混入の回避。など。

STFでの表面処理技術の改善が大きい。

② Field emission発生を理解に向けて (実験と計算から)

a)実験(縦測定時の回転マッピングシステムでのX線測定)

Example of X-ray mapping(#3 cav., 2nd VT, Eacc=22MV/m)

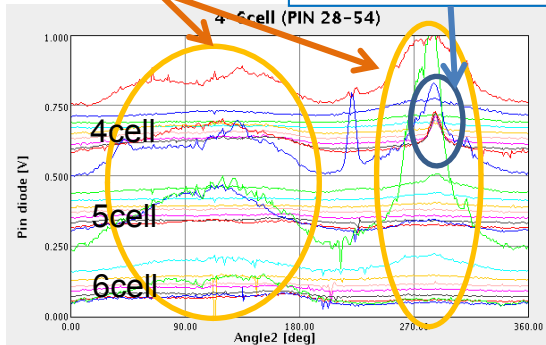


Broad signals

Sharp traces on cell

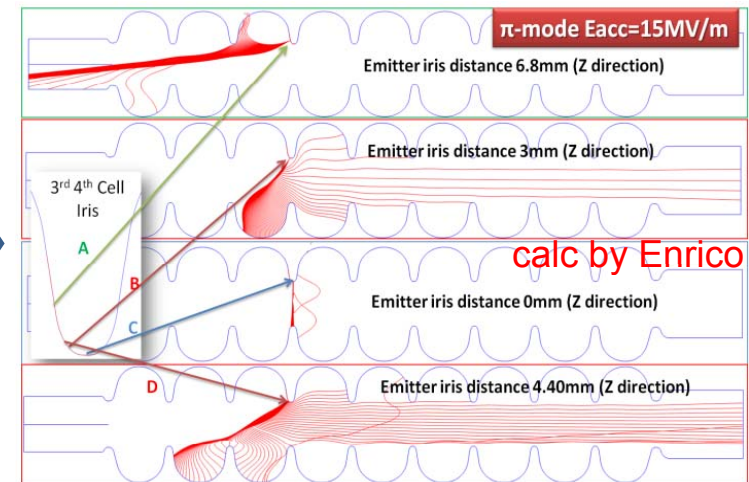
回転メカによるX線測定でfield emission時のradiationのtraceなどの詳細studyを行っている。

X線は必ず同回転角度(対面も含む)にtraceを作る。 \rightarrow 加速方向にまっすぐにelectronが走る。



b)計算(simulation)

Field emissionの理解を深めるためにRF simulation(Fishpact)にFowler-Nordhiem equationを入れて計算を行った。(まっすぐに走るため2次元で計算)



発生源からelectronが軸方向に走ることを確認するとともに、Iris近傍にある発生源のみが軸上にfield emissionを起こす起源であることが判明。

モジュール組込後の性能劣化時のfield emission源同定や抑制に向け理解を進める。

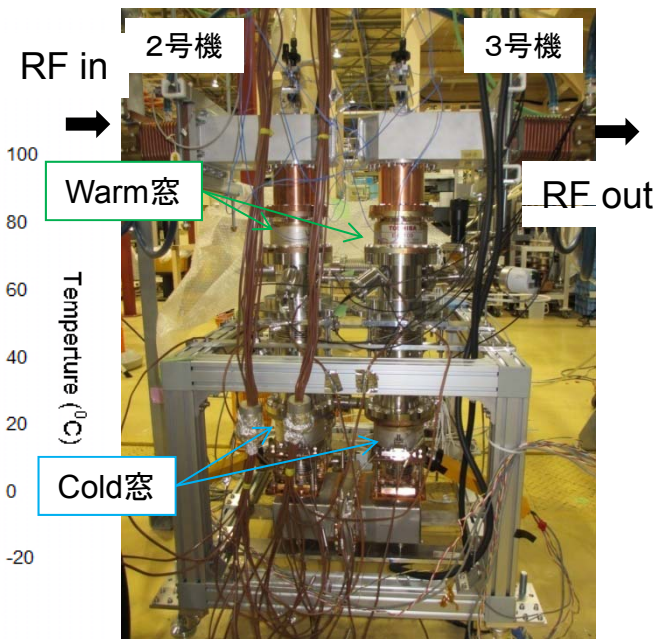
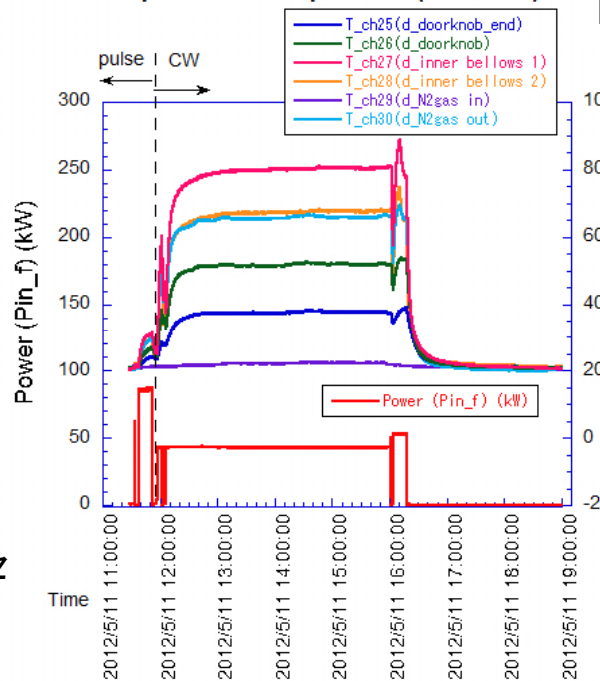
ERL主空洞用の入力カプラー(cERL用カプラーのハイパワーテスト)

ERL主空洞用入力カプラー

- Basic parameters
 - 加速勾配: Max 20MV/m (1.3GHz)
 - 入力パワー: max 20kW, 定在波 ($\Delta f < 50\text{Hz}$)
 - 負荷Q(Q_L): $(1-4) \times 10^7$ (variable coupling)
- Points (STF-BL coupler からの修正 >CW対応)
 - 内導体をN2 gasで強制空冷
 - Impedance を50 Ω から60 Ω に変更
 - 99.7%の純度のセラミック窓を使用.
 - cold窓にbellows追加。+-5mm可変。

cERL用カプラー(#2,3号機)ハイパワーテスト power vs Temperature (2012/5/11)

- 2つのcERL用カプラー作成
- 300kWのklystronでprocess
- 到達パワー 105kW (pulse)
43kW(CW)
- Keep 40kW CW, 4hours
- 一番温度が高い場所:
内導体のベローズ(80 $^{\circ}\text{C}$)
($\Delta T \sim 60\text{degree}$, OK)
- ➡ cERLモジュールへ組込OK



cERL用のカプラーテストスタンド

またアークセンサーなどモジュール用のセンサー配置を模擬したセンサーの動作確認テストを行った。→動作OK。

HOMダンパーの開発

• HOMダンパーへの要求

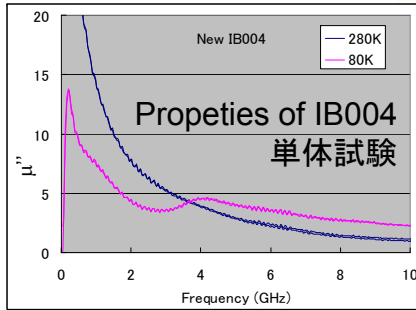
HOMの十分な減衰

80Kで使用される

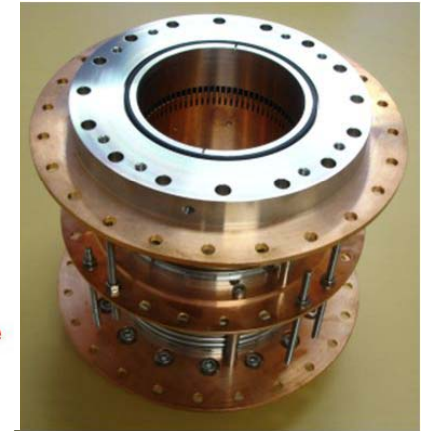
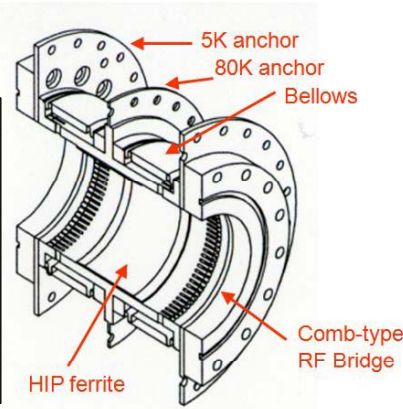
100Wの熱負荷に対応すること

• フェライトは銅にHIP加工される

• HOM特性測定、冷却試験を行っている



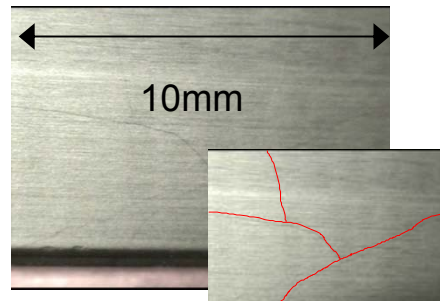
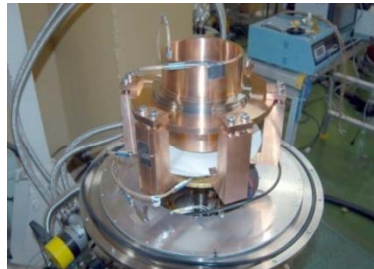
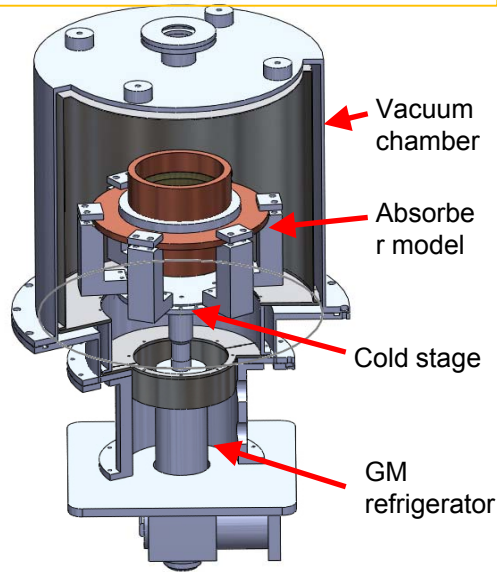
M.Sawamura et al., Proc. of SRF2011 (2011).



銅にHIP接合したHOMダンパー試作機を作成。新IB004フェライトをHOM吸収体として採用

試作HOMダンパー(フェライトあり)の冷却サイクル試験

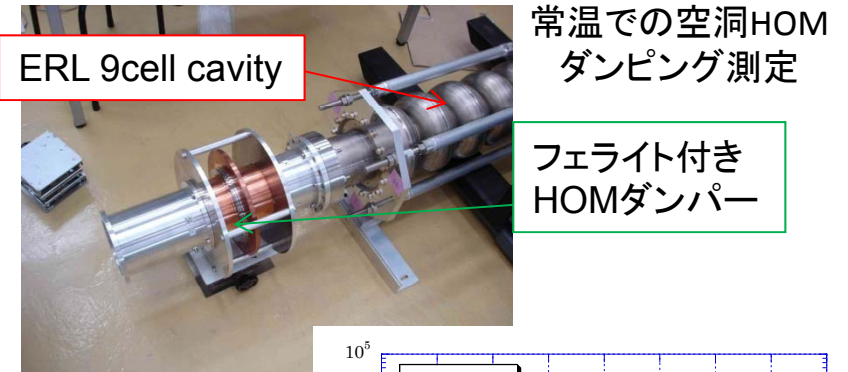
冷却サイクルテストsetup
:3日冷却->1日80K->3日昇温
1 cycle :1週間で数回テスト



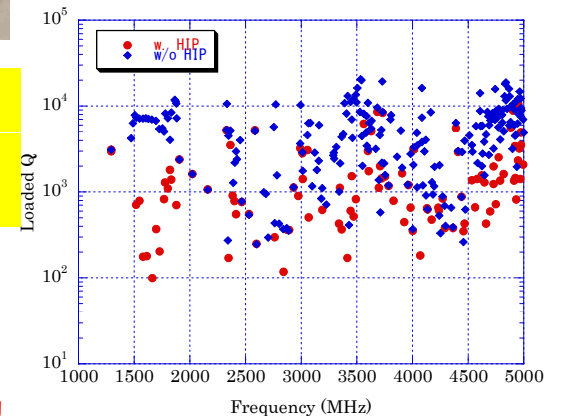
冷却後のフェライトの内面測定端部にクラックが見られる。

剥れ落ちはしないが、念のため、HIP条件(端部の厚みを厚くする)を変えてcERL用本機のHOM absorberの製作に反映した。

9セル空洞を用いたHOMdamping測定



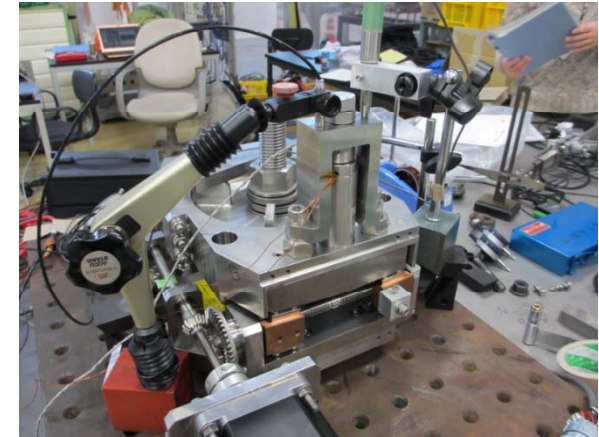
(フェライトなし)
HOM Q値: $10^4 \sim 10^3$
(フェライトあり)
HOM Q値: $10^3 \sim 10^2$



HIPされたIB004 ferriteの十分なdamp能力を確認。

周波数チューナー開発

チューナーはSTF使用の物をベース



チューナー試作機と測定の様子。測定には静電素子を用いた。

- Tuner への要求
 - ・ ストローク

粗調と微調を用い、常時周波数を1.3GHzにkeep可能か？(粗調のstep、バックラッシュがピエゾ4umの範囲より大きくなならないかが鍵。)

粗調整(スライドジャッキ): 3mm (800kHz相当の変化)

Load : 1tまで

微調整(ピエゾチューナー): 中心で4um(@2K)

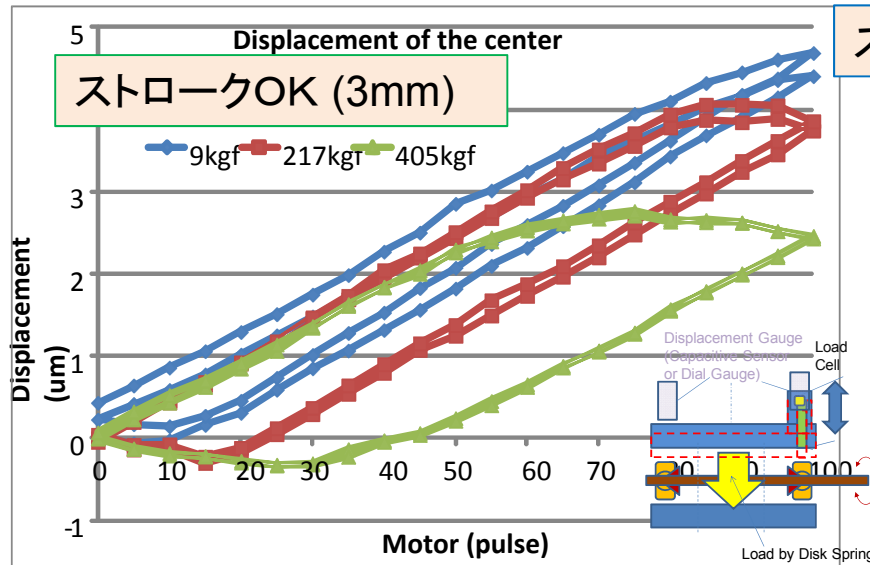
Piezo: 8um(@2K)→80um(@室温) (0-1000V)

- ・ 分解能

粗調整: 最大1μm以下。常時feedback時は50nm以下。

微調整: 10nm以下で微調整可能。QL = 2×10^7 ($\Delta f = 65$ Hz)

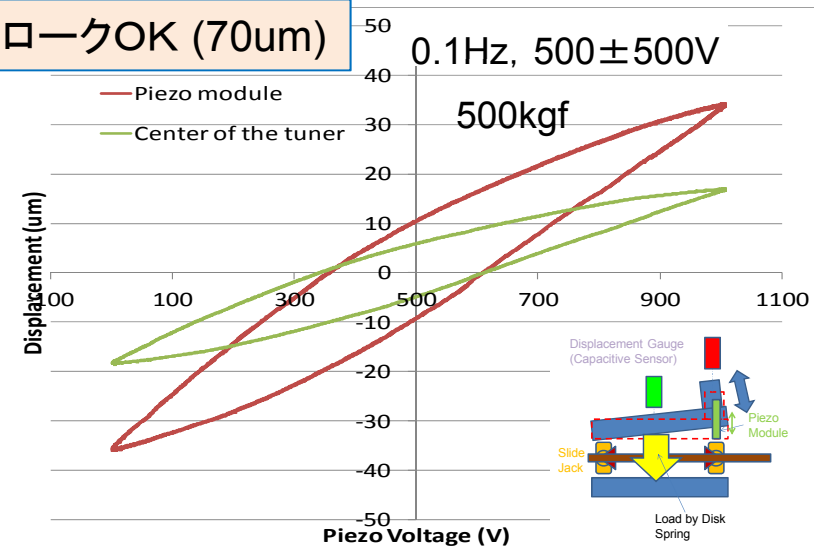
スライドジャッキチューナーの特性試験



スライドジャッキチューナーのモーターに対するチューナーの変位。バックラッシュは0.5μm以下。

ピエゾチューナーの特性試験

ストロークOK (70um)

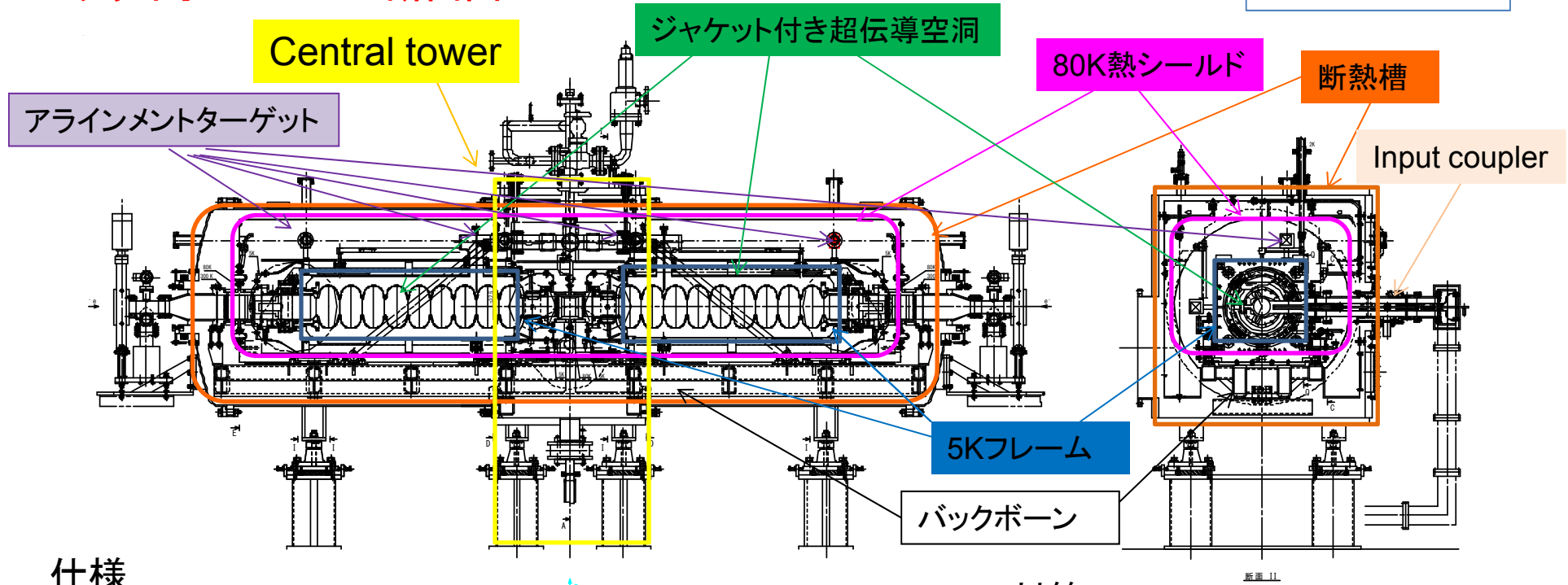


Piezoの動き測定、10nm以下で滑らかに動く。ヒステリシス・再現性も非常に良い。

ピエゾで常時周波数keep可能。また粗調のバックラッシュ、stepはピエゾのdynamic range以内を確認。

クライオモジュールの設計、製作

クライオモジュール断面図



仕様

Dynamic loss

Cavity : 25 W (for 2K) / cavity (@15MV/m)

Input coupler : 1.5 W (for 5K) / coupler

HOM absorber : 150W (for 80K) / cavity

Alignment

冷却込みで1mm以内でビーム軸に合わせる。

Support

Cavity(2K) – 5K フレーム – バックボーン(室温)
– Central tower(室温) (下からサポート)

対策

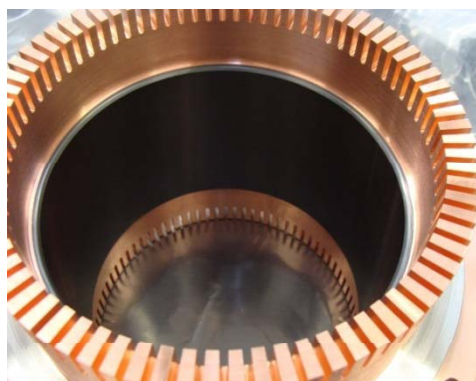
ジャケット径φ300mmでCW対応。
5Kフレームによる冷却で熱侵入回避

5Kフレームを空洞と機械的に一体化。フレーム上にアラインメントターゲットを設け、そこを基準にtowerに位置を移す。レーザー干渉モニターで冷却中の変化を常時モニター。バックボーンと5Kフレームは入熱&熱変形を抑える脚でサポート。

開発状況のまとめと今後



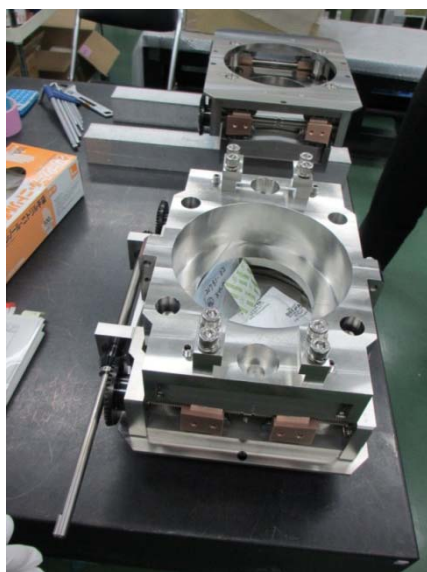
空洞ジャケット化完了



HOM damper作成
(HIP条件を変えたもの)



クライオモジュール製作終了



周波数チューナー完成



入力カップラー
(大電力試験終了)

- ・ほぼ全てのコンポーネントが揃った。
- ・7～9月にモジュールアセンブリ
- ・高圧ガス検査の後、10～12月頃に冷却試験および大電力試験
- ・来年度は、主加速部にもビームが通って、ERLの運転が始まる

今年度でまずはcERL用の2空洞のクライオモジュールを(何が何でも)完成させて、ビーム運転が可能な状況に持っていく。

backup

ERL Development Building

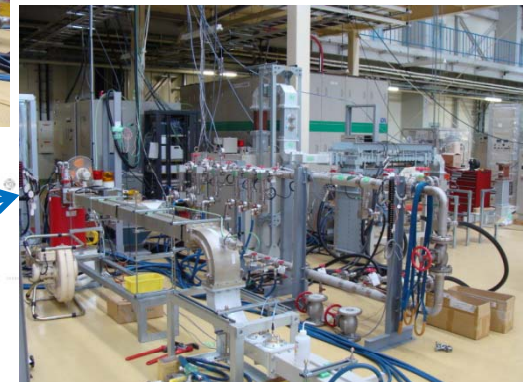


2K refrigerator system

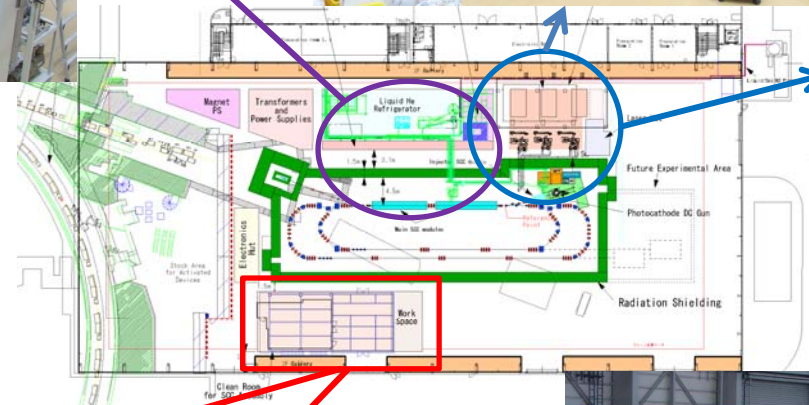


300 kW klystron

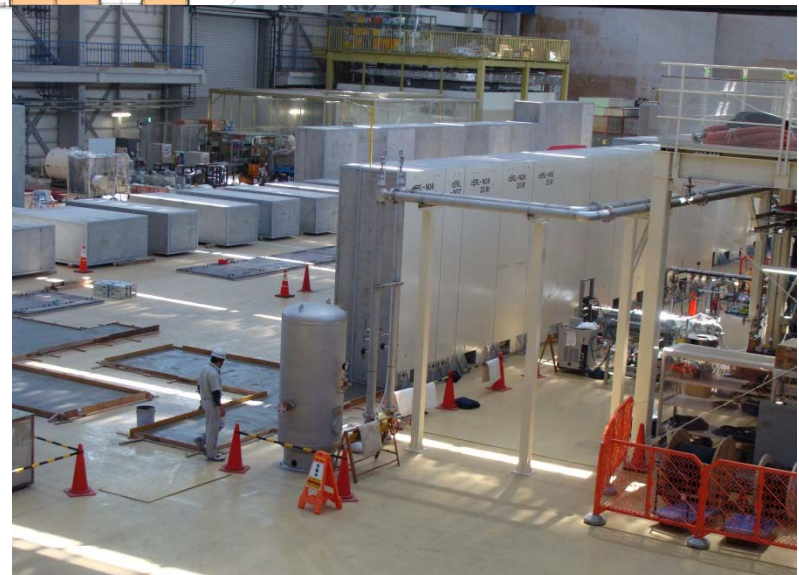
30 kW klystron and IOT



Concrete shield



Cleanroom for module assembly



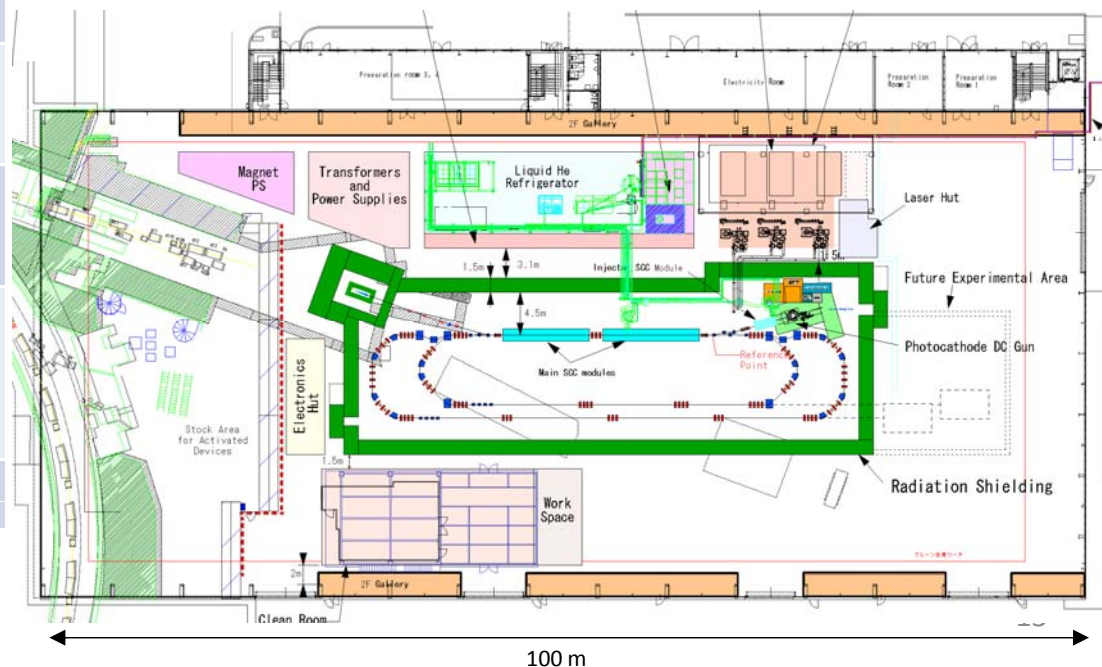
Compact ERL(cERL) project

Demonstrate the technologies needed for future multi-GeV class ERL, and show its beam performances

Parameters of the Compact ERL

	Parameters
Beam energy	35 - 200 MeV
Injection energy	5 MeV
Average current	10 - 100 mA
Acc. gradient (main linac)	15 MV/m
Normalized emittance	0.1 - 1 mm·mrad
Bunch length (rms)	1 - 3 ps (usual) ~ 100 fs (with B.C.)
RF frequency	1.3 GHz

✘ red numbers are parameters for initial stage



モジュール詳細

