

主加速部超伝導空洞の開発

2010/4/22

ERL評価専門委員会

梅森健成、古屋貴章、阪井寛志 KEK

沢村勝 JAEA

篠江憲治 東大物性研

主加速部

主加速部空洞のパラメータ

- 周波数 1.3 GHz
- 加速勾配 15 ~ 20 MV/m
- 大電流CW運転 >100mA
- エネルギー回収すること

空洞:

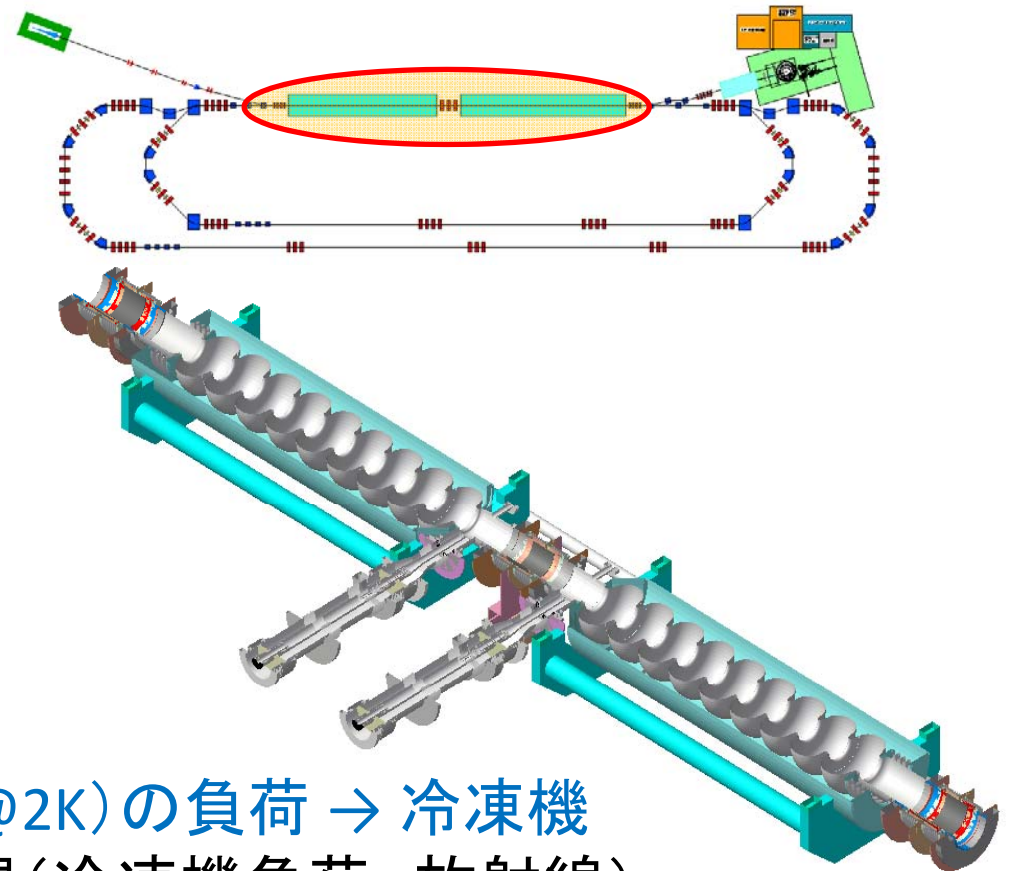
- HOM減衰が最大の課題
- 加速勾配は15MV/m程度。
- モジュールあたり数10W(@2K)の負荷 → 冷凍機
- emission freeの運転が理想(冷凍機負荷、放射線)

入力カプラー:

- エネルギー回収のためそれほどの大電力は必要ない。
- 最大で20kW全反射

HOMダンパー:

- 80Kの低温にて、十分な吸収が得られること
- 真空中にて150W程度の発熱に対応できること



HOMへの要求

- ERL main linacにおける最大の問題点はHOMの減衰
- HOM減衰(1) --- ビーム不安定性(Dipole mode, Quadrupole mode)
 - 100mA、超低エミッタンスのビームを実現するためにBBU (Beam breakup)不安定の原因となるHOMは十分抑えておく必要がある
 - BBU 100mAのための要求
$$\left(\frac{R}{Q}\right)\frac{Q}{f} < 2.8 \times 10^5 \left[\frac{\Omega}{\text{cm}^2 \text{GHz}} \right]$$
- HOM減衰(2) --- 熱負荷(Monopole mode)
 - また、クライオモジュール内に設置されるHOM吸収体での熱負荷を抑える。
 - Monopole modeの周波数は、ビーム繰り返し周波数の整数倍を避ける(2.6GHz, 5.2GHz...)
- HOM減衰を最大のターゲットとした空洞設計を行った。

KEK-ERL model-2空洞の特徴

ERLの運転に特化した独自の空洞設計

1) HOM減衰に最適化したセル形状

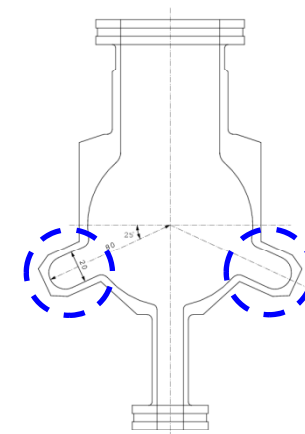
➤アイリス直径 80mm, 赤道部は楕円形状

2) 偏心フルート型ビームパイプ

➤Quadrupole HOMの抑制

3) 大口径ビームパイプとRF吸収体

➤ビームパイプ直径: 100mm と 120mm

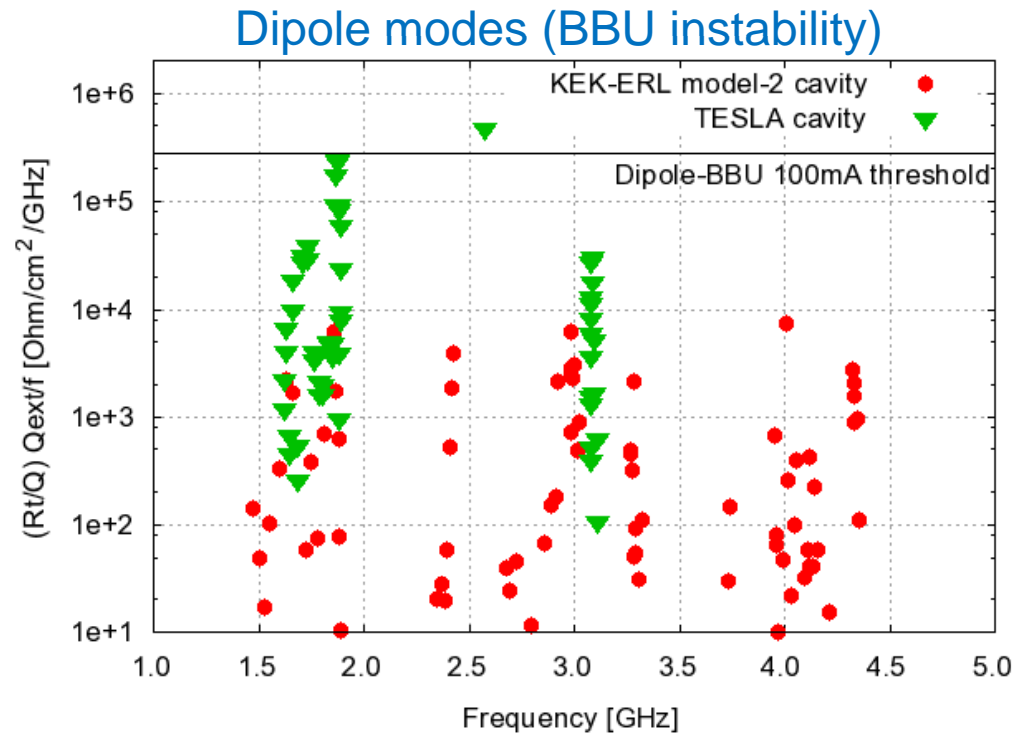


主なパラメーター

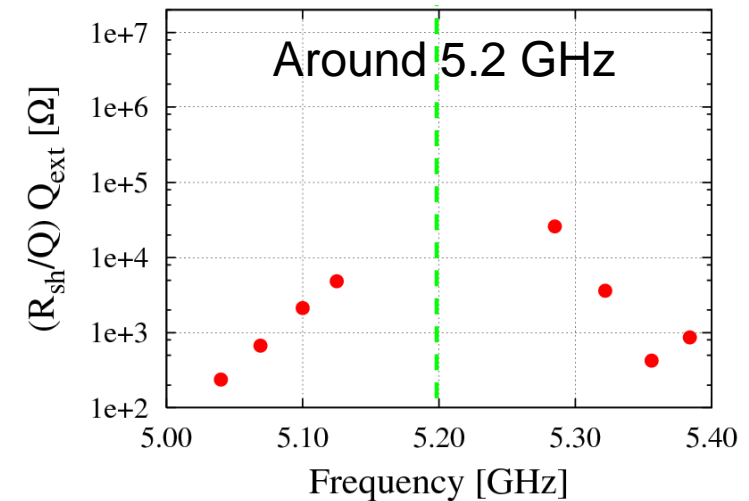
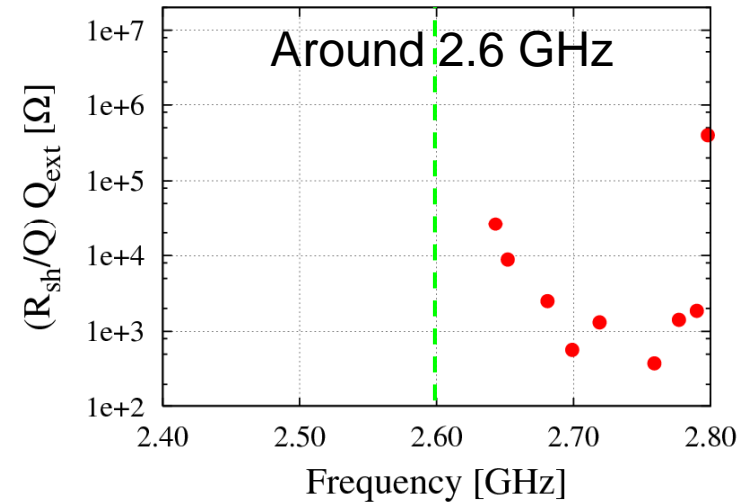
Frequency	1300 MHz	Coupling	3.8 %
Rsh/Q	897 Ω	Qo x Rs	289 Ω
Ep/Eacc	3.0	Hp/Eacc	42.5 Oe/(MV/m)

HOM特性

- Dipole HOMを大きく抑制できた
- 数百mAでのビーム運転が可能
 - 2-turnでの運転も可能
- HOM吸収体での熱負荷となるMonopole modes(は2.6 GHz(<=beam repetition)の整数倍の周辺にはいない)



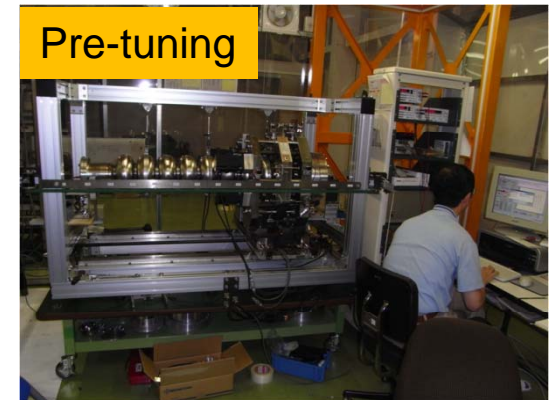
Monopole modes (Cryogenic loss)



空洞処理工程

- EP(電解研磨)~100um
- アニール(750度)
- プリチューニング
- EP (~20um)
- 超音波洗浄
- HPR(超純水高圧洗浄)
- 空洞アセンブリ
- ベーキング
- 縦測定
- 各種検査

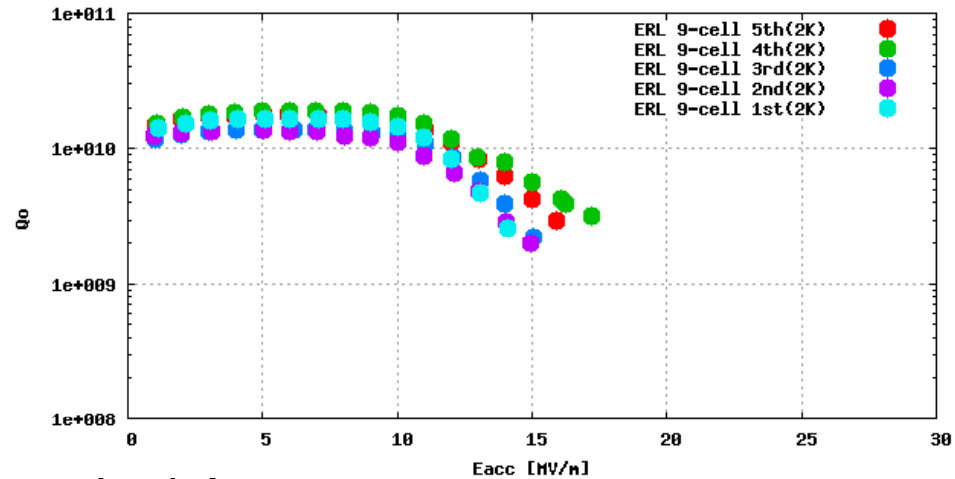
基本的には、STFでのレシピに従っている。



ERL 9-cell空洞の縦測定結果



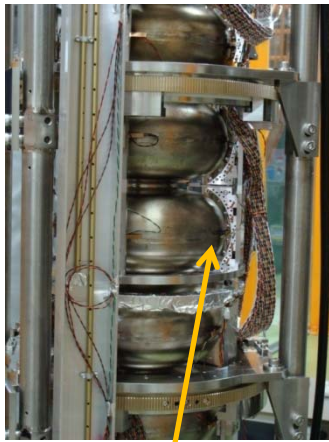
Qo-Eacc



- ・加速勾配 Eacc = 15 ~ 17 MV/m
- ・Field emissionにより制限
- ・大きなX線シグナルを観測

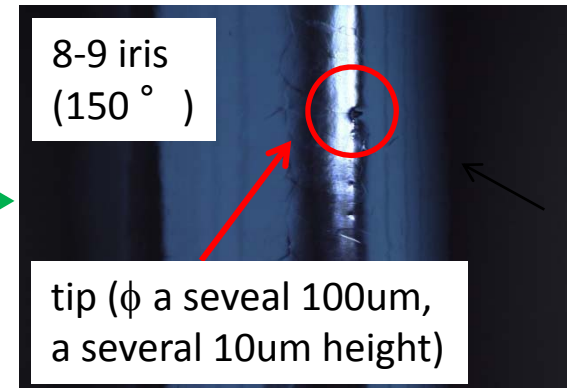
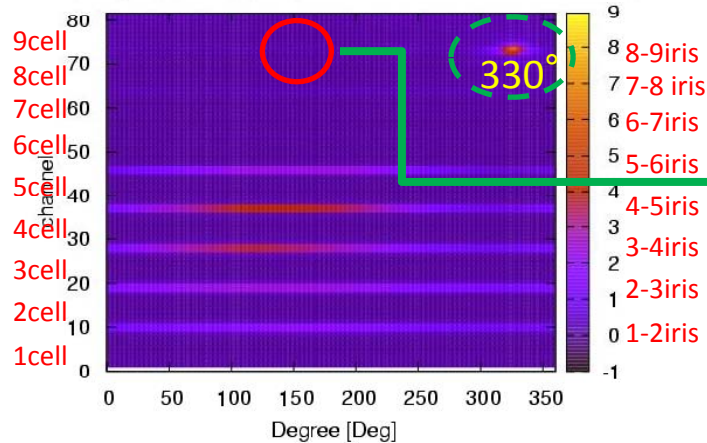
回転式マッピングシステム

X線マッピングの例



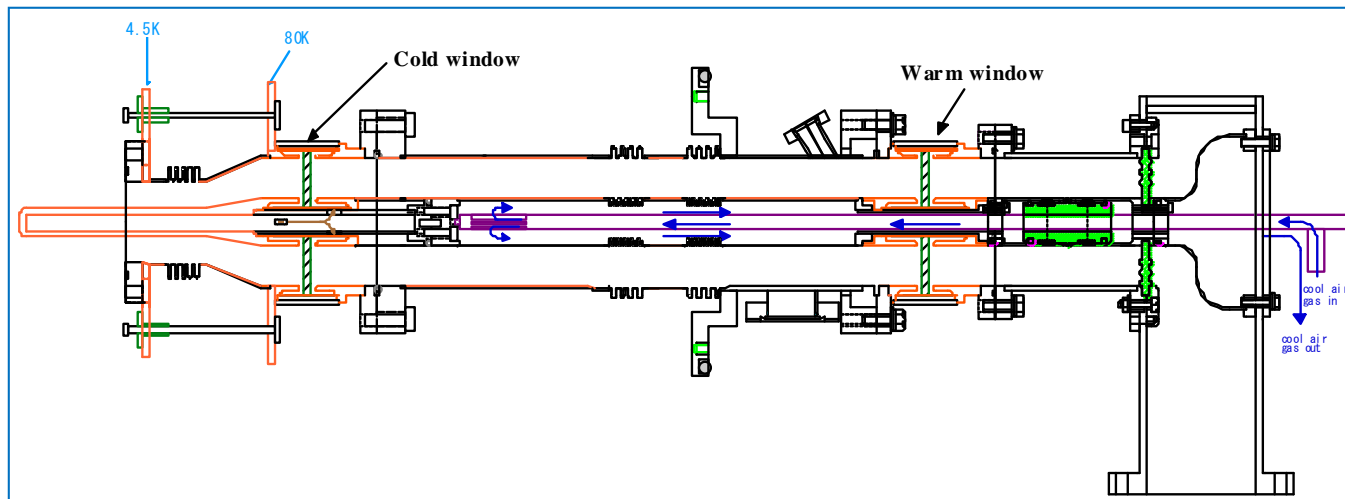
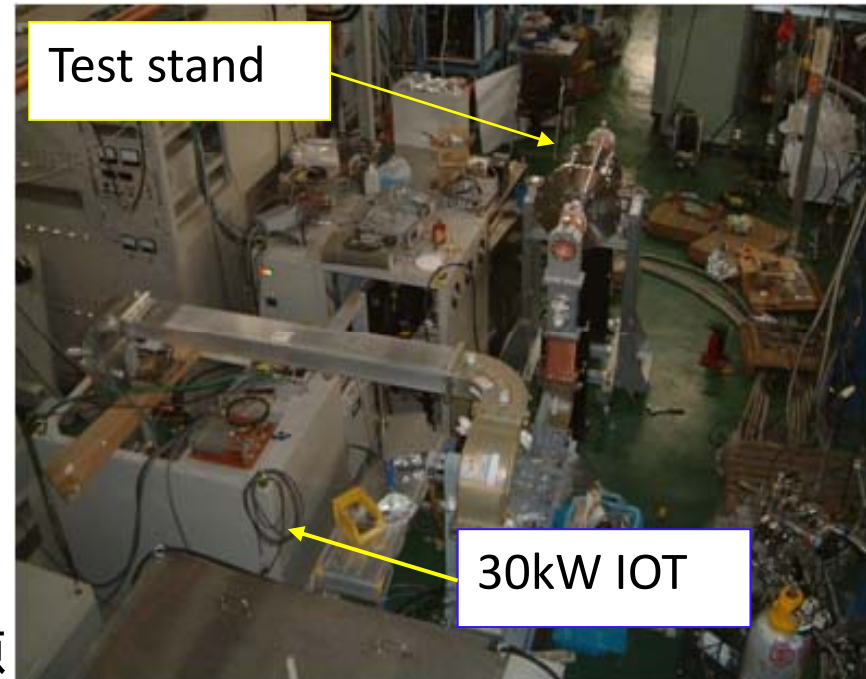
Si PIN diode array

X-ray mapping (No.10) (2nd pi-mode 13.9MV/m ccw 145sec/turn)



入力カプラーの開発

- 主なパラメーター
 - 最大入力パワー: 20kW全反射
 - 結合度 (Q_{ext}): $5 \times 10^6 - 2 \times 10^7$ (可変)
- HA997をセラミック窓に採用
- 内導体を空冷
- JAEAにHigh power test standを構築。RF源は30kW IOTを使用。



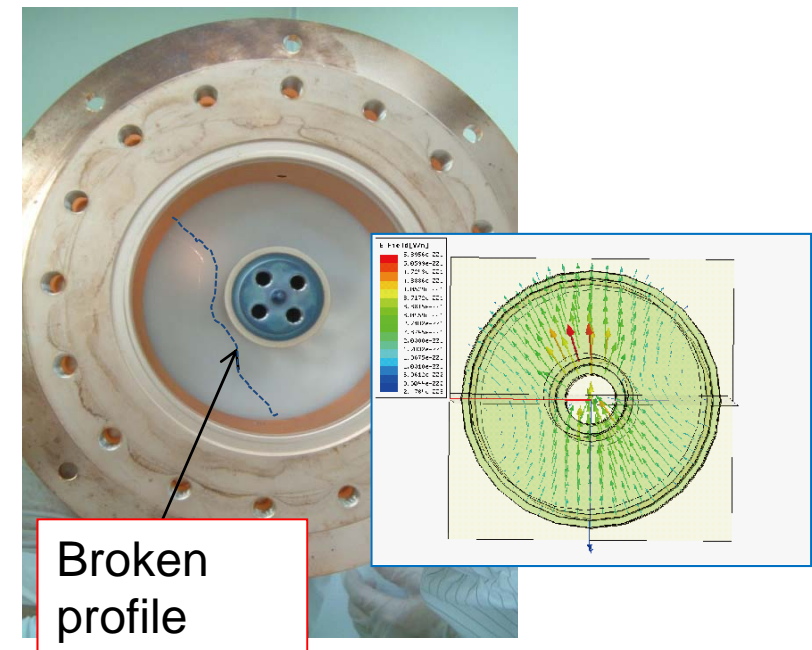
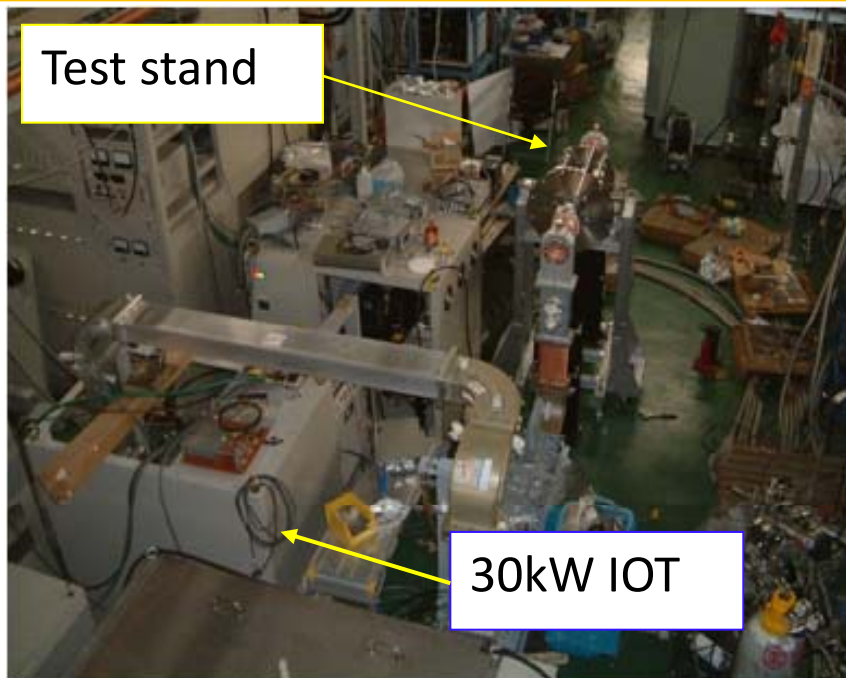
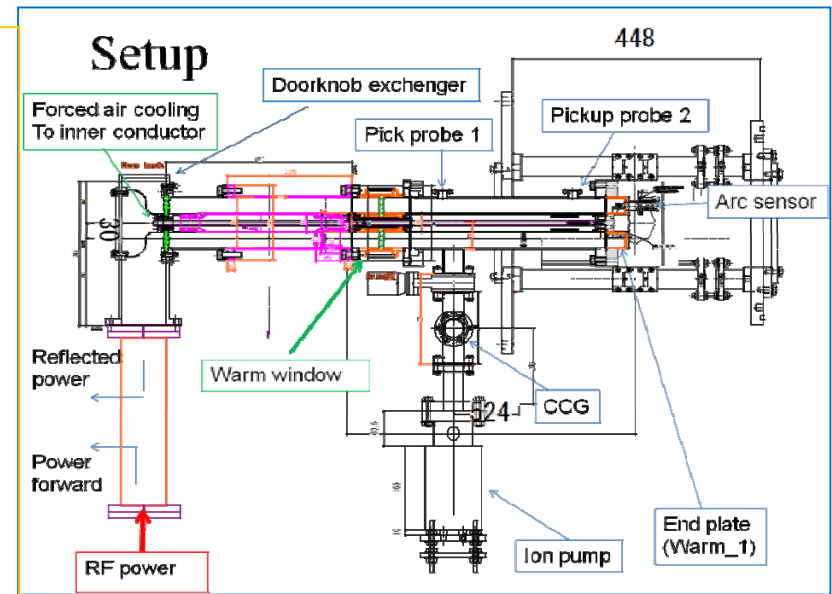
High power tests of window components

ベローズ:

・20 kW全反射での試験OK。92 liter/min の内
導体風冷で、6.2K/kWの温度上昇を観測。

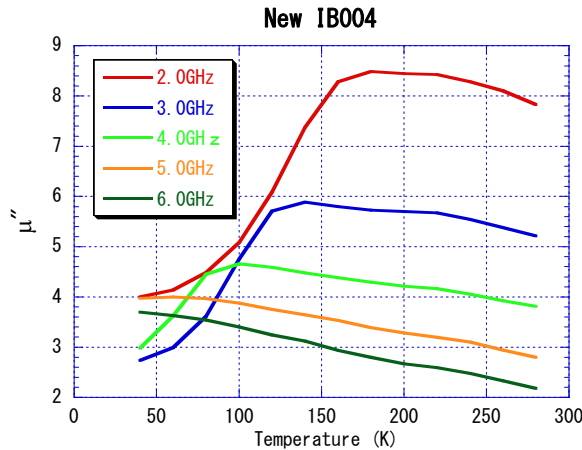
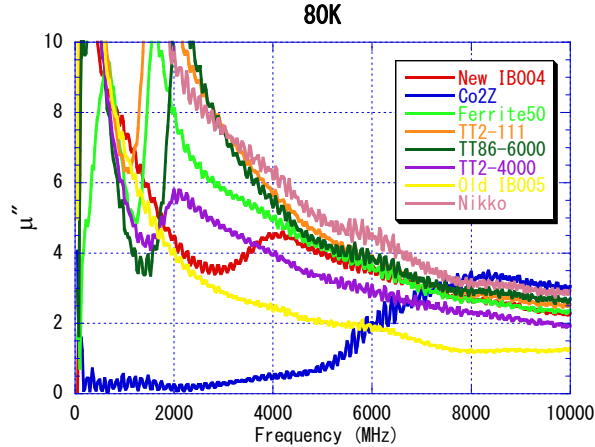
セラミック窓:

・予期しなかった共鳴(dipole, 1304MHz)にて、
何枚かのセラミックを破損。
・セラミックの厚みを変えて、共鳴をずらした新
セラミック窓にて20kW全反射OK(2010/4月)。
※ これで、component試験はOKか。



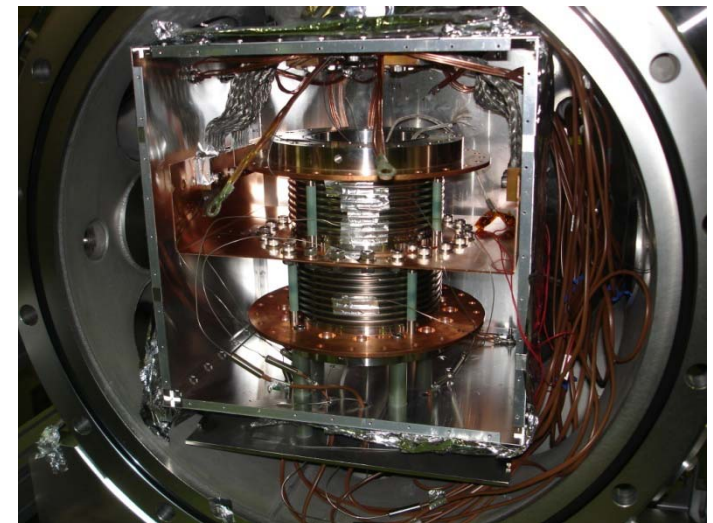
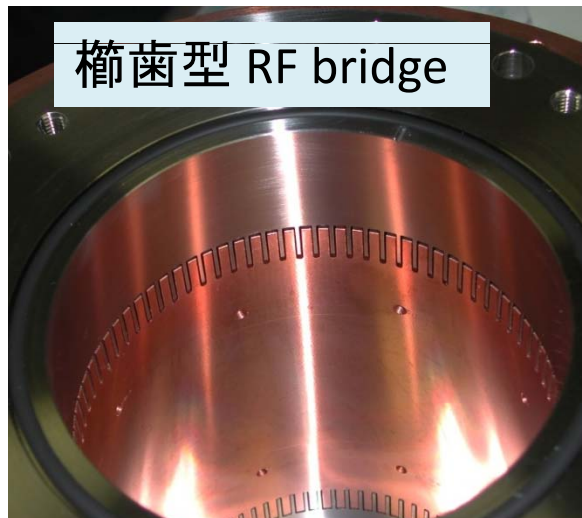
HOMダンパーの開発

RF吸収体の低温における特性の測定結果



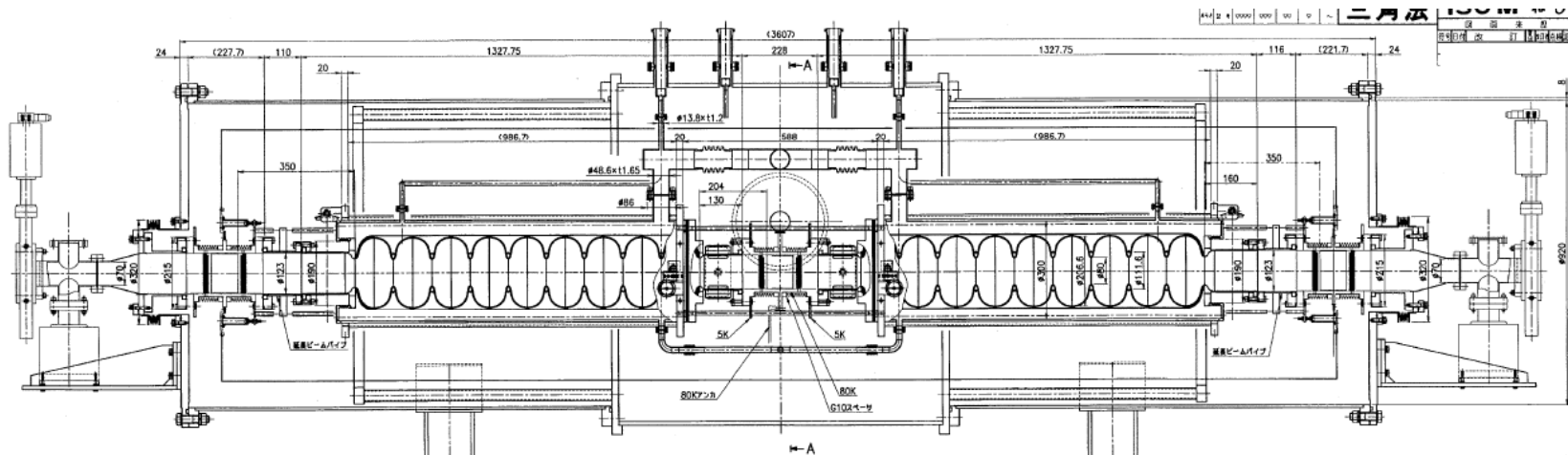
- ・ KEKB超伝導空洞に用いられているIB004フェライトが低温でも使用できる事を確認。このフェライトを用いる。
- ・ フェライト無しプロトタイプを製作した。機械特性のチェックと低温での発熱に対する冷却試験
- ・ フェライトありのプロトタイプは現在製作中

プロトタイプ(フェライト無し)の作成と、低温にての冷却試験



クライオモジュール開発

- 2空洞入りクライオモジュールのデザインを詰めているところ（高圧ガス対応含む）
- 東カウンターホールにクリーンルーム、超純水設備を整備



cERLにおける主加速部の試験

- BBU不安定性以外は、基本的にエネルギー(空洞台数)によらないので、モジュール性能の大半は評価可能である。

[HOM]

- BBU不安定性については、空洞台数が数100台並ばないと、直接的な試験にならない。(冷却時のHOM特性の測定で代用か)
- MonopoleモードによるHOMダンパー部での熱負荷は、直接的に試験ができる。最終的には100mAが必須。
- 予期せぬ熱負荷が無いこと、80Kで吸収体が動作すること、80Kの環境下での熱負荷を十分冷却可能であること、などが試験項目。

[CW運転]

- とにかく、システムとして動作すること。
- 1モジュールあたり数10W(@2K)の負荷を、冷凍機と連携してうまくハンドリングできること。
- HLRF、LLRFと一体のシステムとして、要求される電圧、位相制御の達成
- Microphonicsの抑制、ならびにピエゾ素子による周波数調整。
- その他、エネルギー回収、ビーム運転時の空洞性能劣化...等々

今後の開発予定

[空洞]

- 昨年度、#2号機空洞完成。モジュール仕様(ジャケット端板、強め輪、NbTiフランジ)。今年度、縦測定 & 治具製作。
- 今年度、モジュール用実機(#3, #4号機)を製作
- 来年度、#3, #4号機を縦測定→モジュールへ組み込み

[入力カップラー]

- #1号機を試作。今年度、high power testの予定。
- モジュール用に、2本の入力カップラー(#2, #3号機)を製作 & 大電力試験。
- セラミック窓でのサーマルサイクルによるリーク問題への対応

[HOMダンパー]

- 断熱真空槽を用いての冷却試験を継続。フェライト付き試作機を製作中
- モジュール用には、3台のHOMダンパーを製作

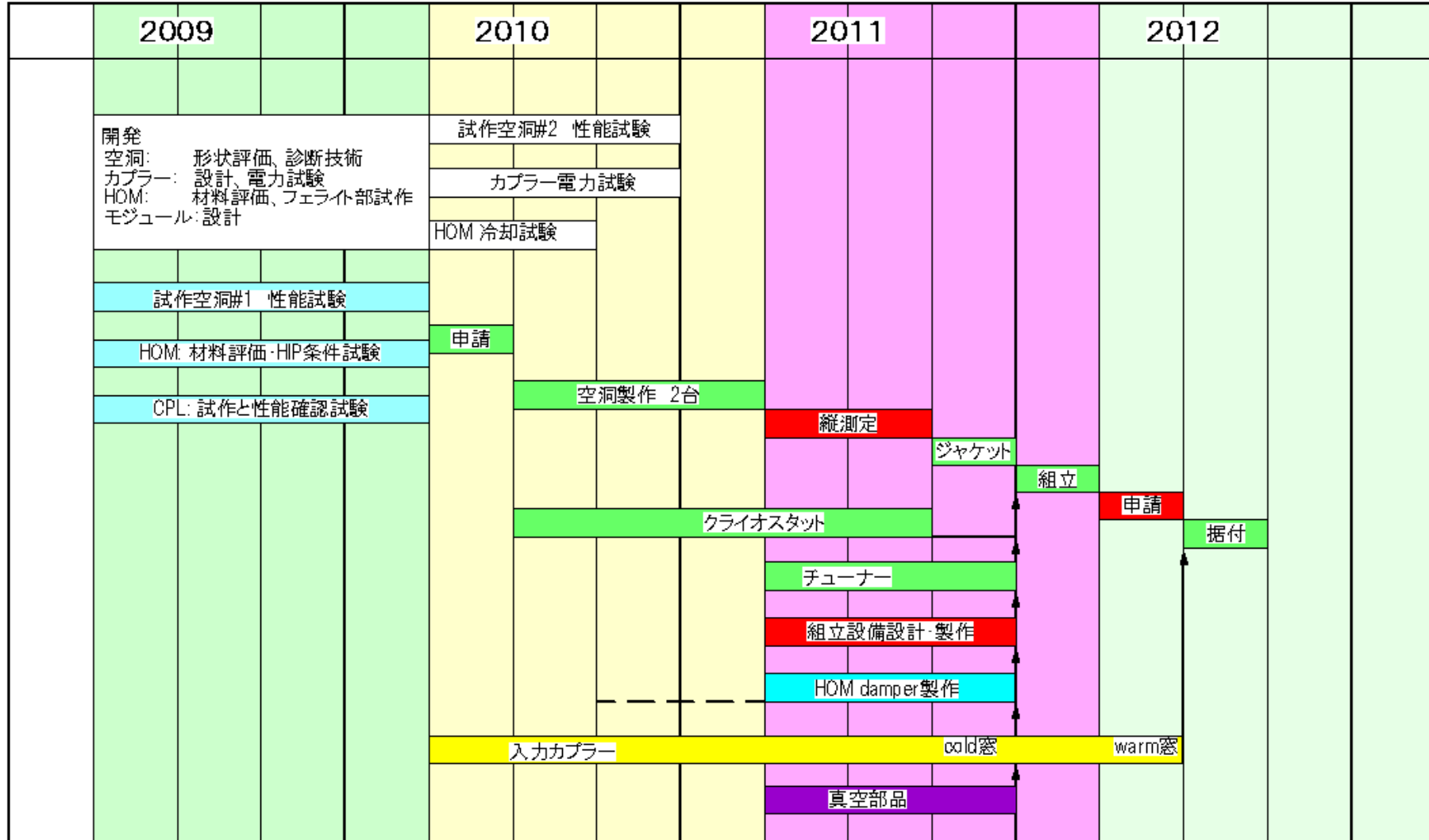
[その他]

- チューナーはプロトタイプを製作済。動作試験をして、モジュール用実機へ。
- 東カウンターホールでのモジュールアセンブリのための治具類の整備。
- クライオモジュールの設計を完成させる。高圧ガス申請にも対応。
- 2011年度にモジュール完成予定。2012年度に冷却試験 → ビーム運転

スケジュール

主ライナック製造 全体工程

2010/04/06 T. Furuya



まとめ

- ERLに向けて、空洞・入力カップラー・HOMダンパー・クライオモジュールのそれぞれについてデザインを行い、開発を進めている。
- 空洞はfield emissionで性能を制限。表面処理、アセンブリに工夫が必要か。
- 入力カップラーは、デザイン変更後、仕様である20kWを通せるようになった。近々、試作1号機が製作予定。
- HOMダンパーは冷却試験を進行中。フェライト付きの試作機がそろそろできあがる。
- それぞれのコンポーネントについて、ERLの仕様達成に向けて精力的に開発中。
- cERLでの2空洞入りクライオモジュール製作に向けて、モジュール設計を行っている。高圧ガス申請も開始。