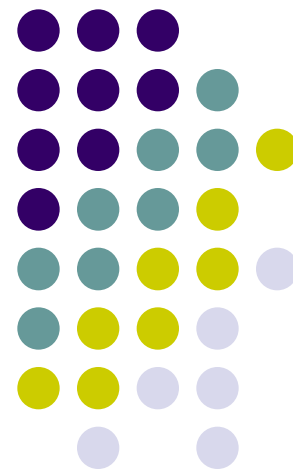


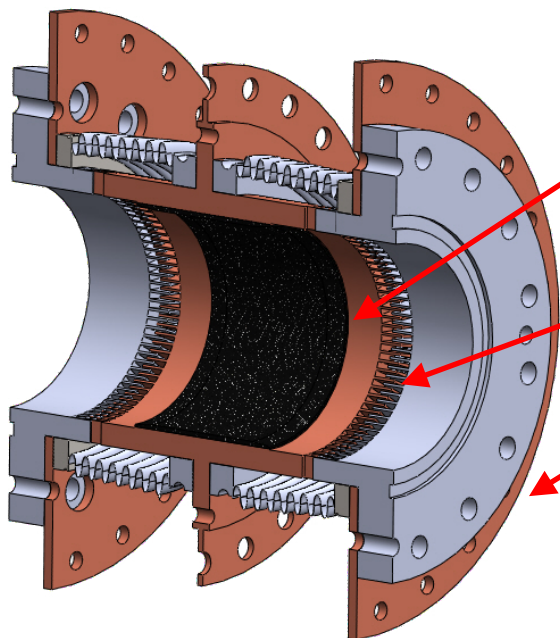
主空洞HOMダンパー開発 現状と今後

沢村 (JAEA)

梅森、阪井、篠江、古屋、佐藤、江並(KEK)



cERL HOMダンパー



- HIPフェライト
 - IB004(新)
- 楕歯型RFブリッジ
- 5K、80Kアンカー

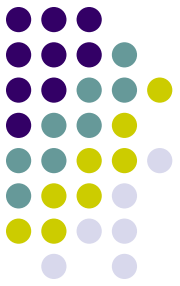
φ123(LBP) 2個

φ100(SBP) 1個

● 試験項目

- 材料測定 → 低温での ϵ 、 μ 測定
- 伝熱試験 → 2Kヘリウムへの入熱を減らす
- 発熱試験 → フェライト発熱時の除熱
- 冷却サイクル試験 → 冷却に対する耐性

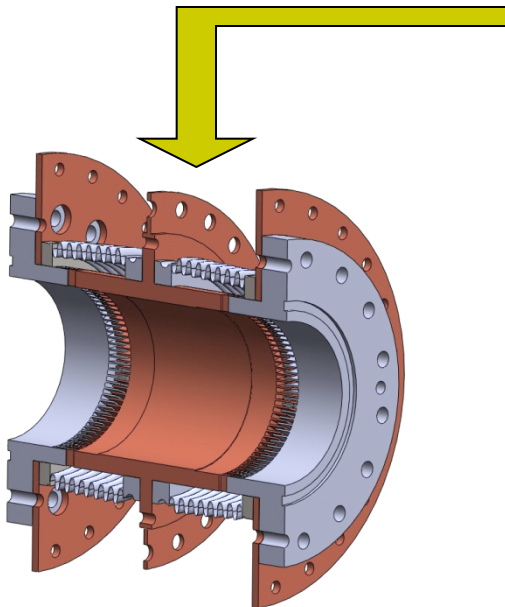
cERL HOMダンパー開発



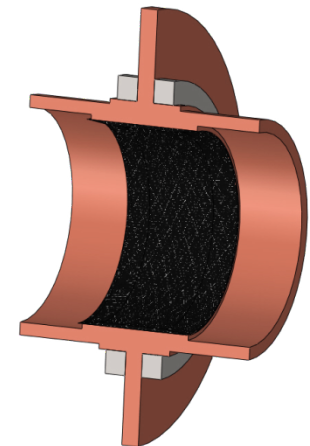
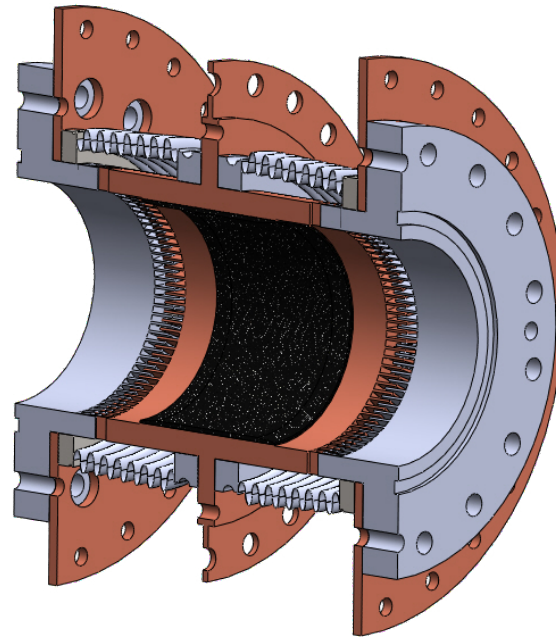
- 試験項目

- 材料測定 → 低温での ϵ 、 μ 測定
- 伝熱試験 → 2Kヘリウムへの入熱を減らす
- 発熱試験 → フェライト発熱時の除熱
- 冷却サイクル試験 → 冷却に対する耐性

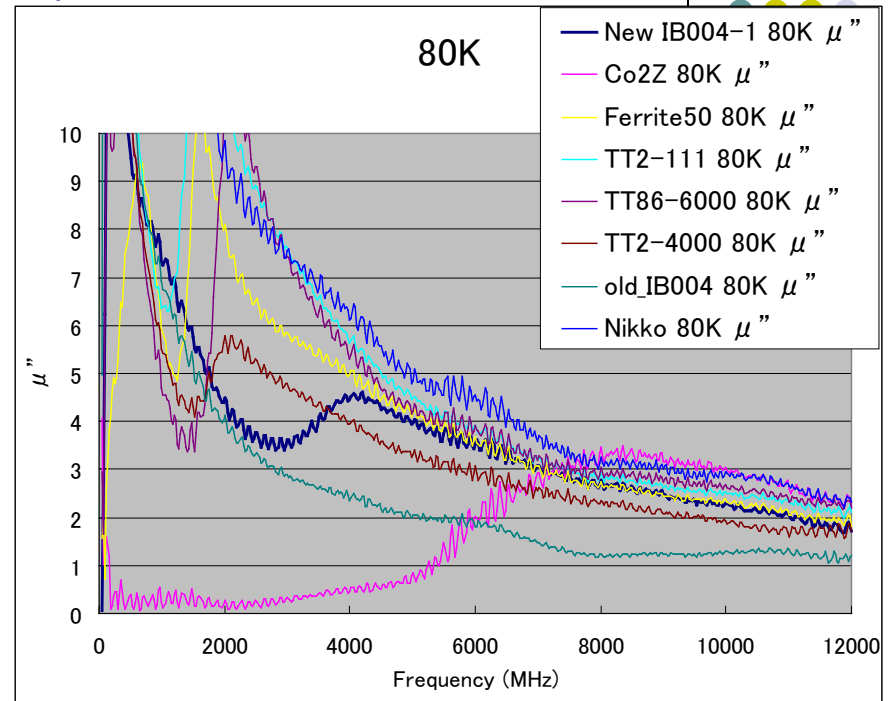
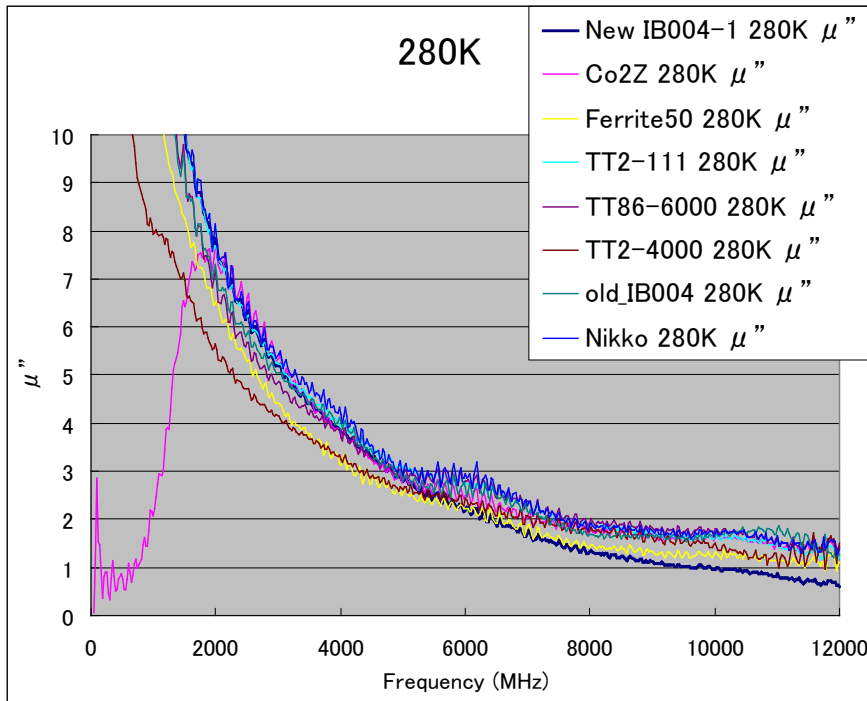
伝熱・発熱試験用



冷却サイクル試験用

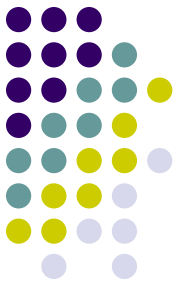


材料測定 フェライト μ''

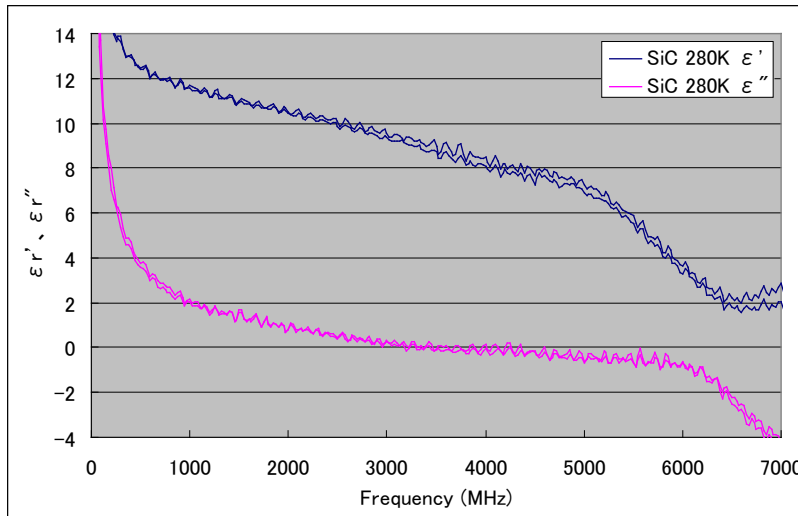


- 室温ではほぼ同じ ↔ 低温では大きく異なる
- μ'' が室温より低温の方が大きなものもある
- New IB004を選択

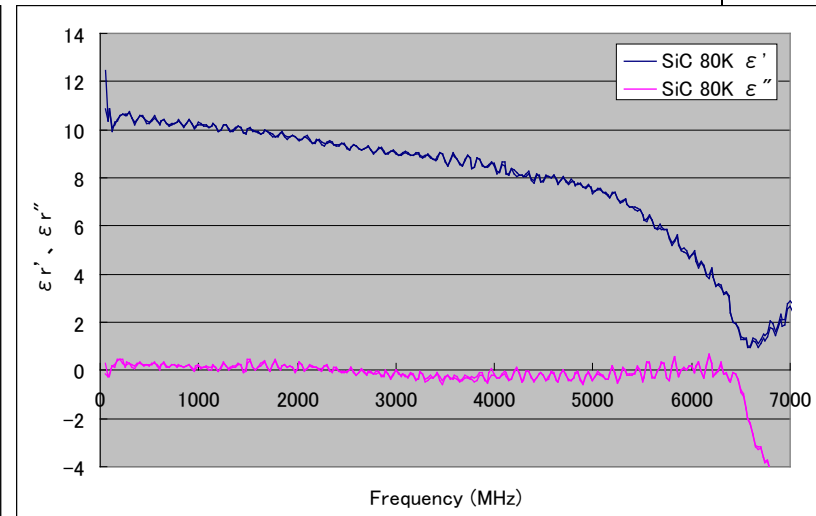
材料測定 セラミック SiC



280K



80K

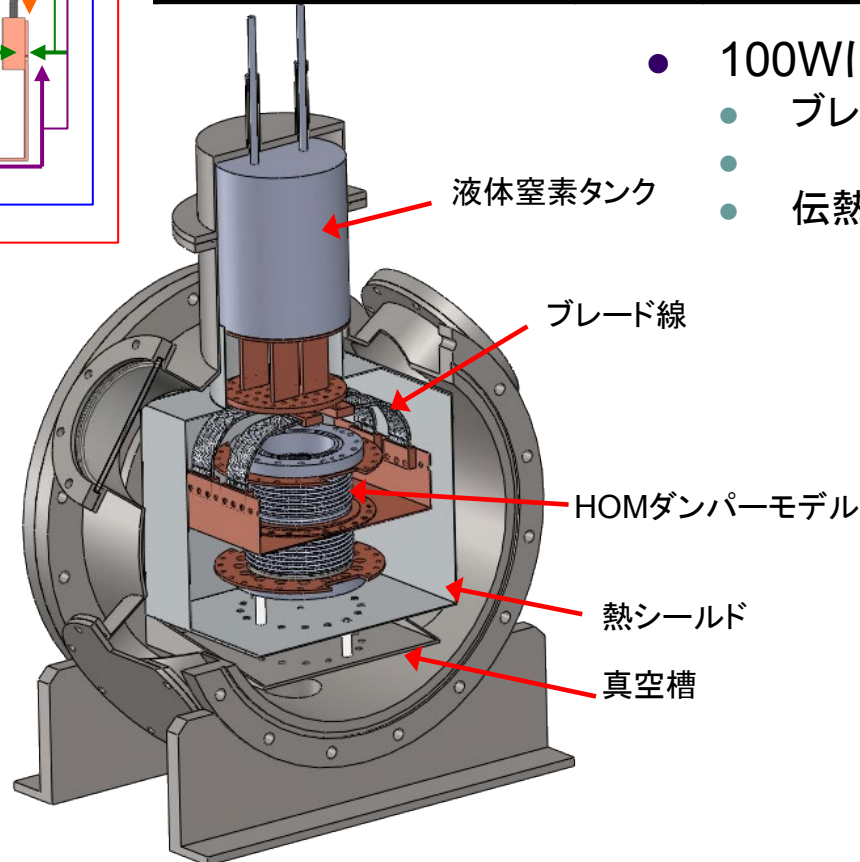
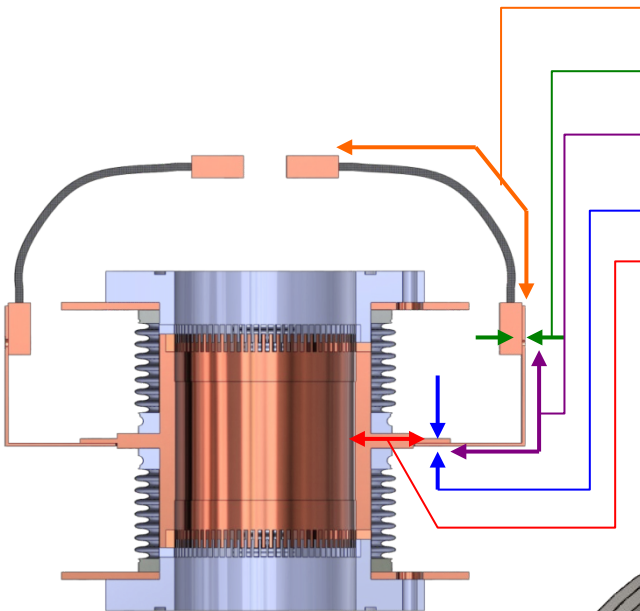


- 高い周波数で ϵ'' が減少
 - 低温で $\epsilon'' \sim 0$
- ↓
- 低温では使えない

断熱真空槽での冷却試験

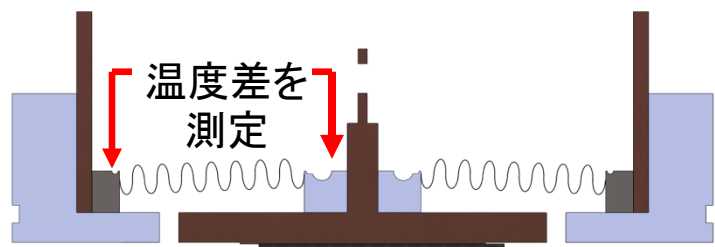
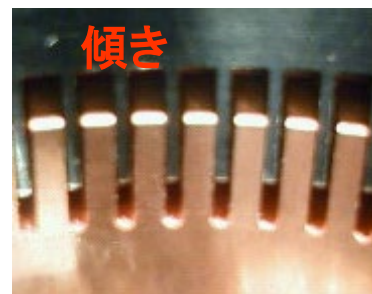
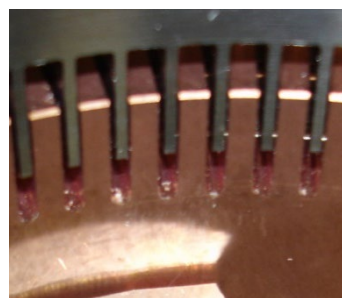
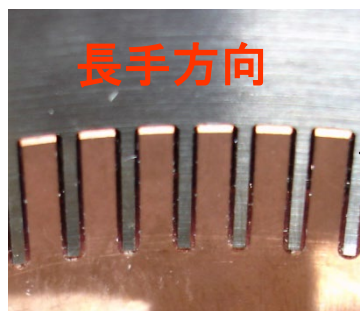
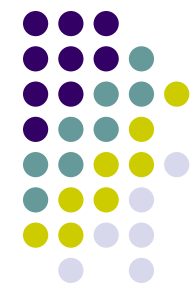


	0 W	38.5 W
ブレード線両端	2.4	40.8
ブレード線と伝熱板	0.0	4.1
伝熱板両端	0.1	8.1
伝熱板と80Kアンカー	0.0	2.9
80Kアンカーとフェライト面	0.6	0.9



- 100Wにするためには
 - ブレード線 4本→8本
長さ200mm→100mm
 - 伝熱板 厚さ 2mm→4mm

楯歯接触の影響比較

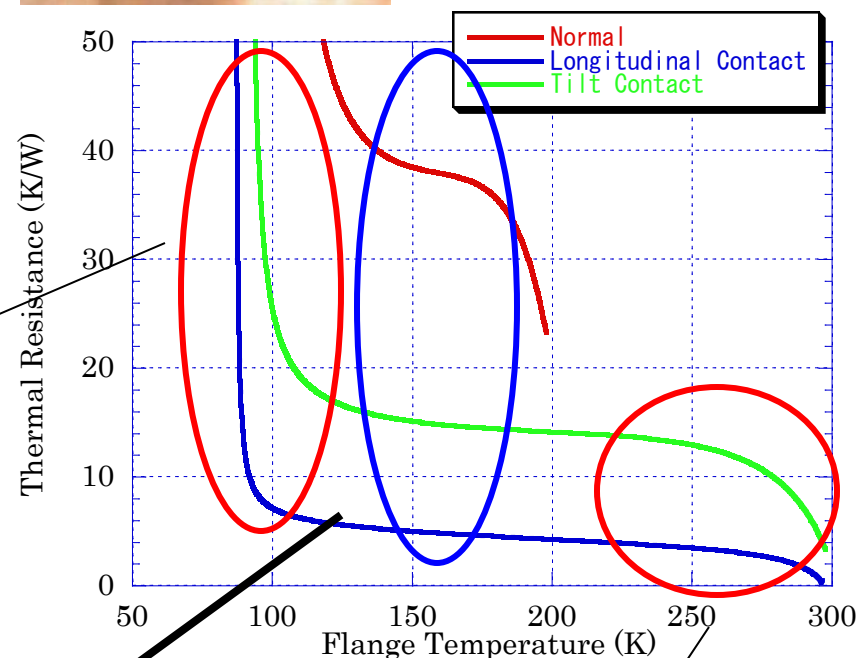


温度が変化しなくてもフランジと80Kアンカーの温度に差がある

熱の移動がなくて温度差があると高い熱抵抗になる

→たぶん測定誤差

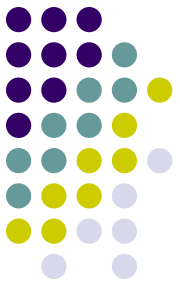
- たぶんこのあたりが正確か
- サポート棒からの伝熱を含む



たぶん輻射冷却の影響

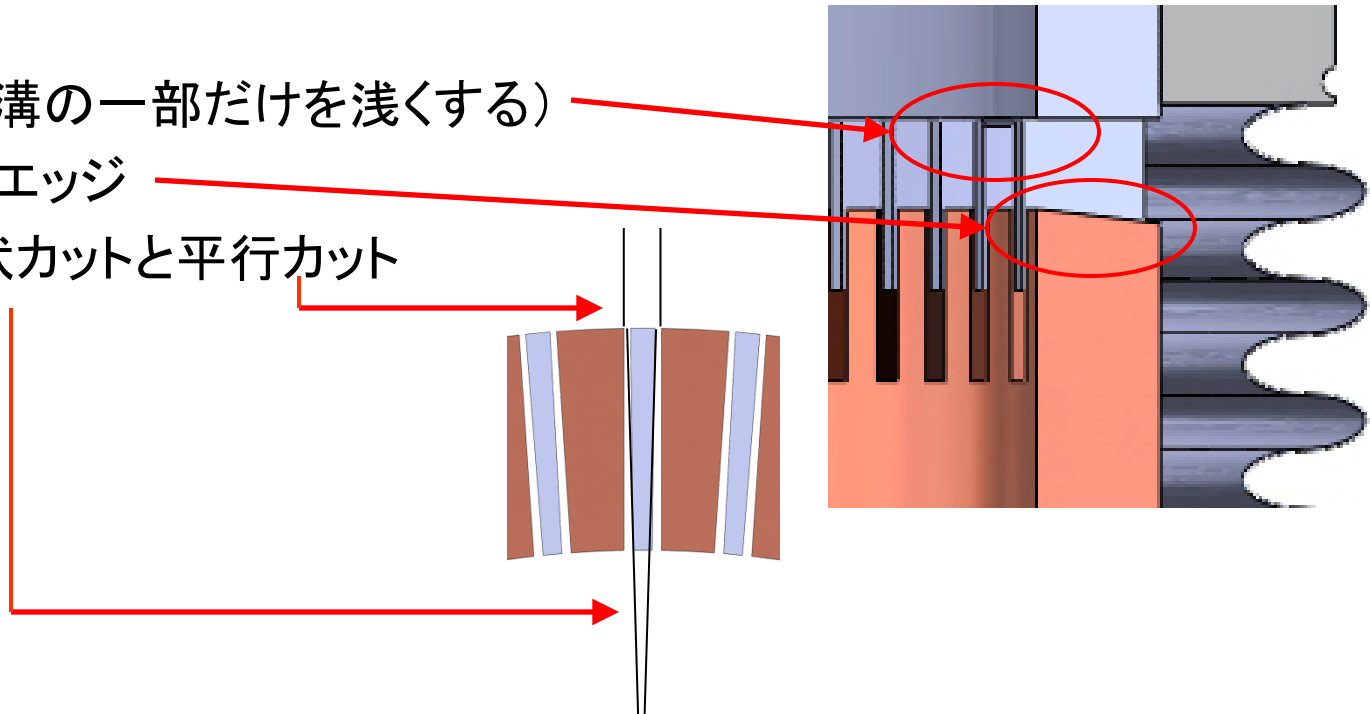
ベローズ以外を通しての冷却があると熱抵抗は小さく見える

楕歯形状の変更

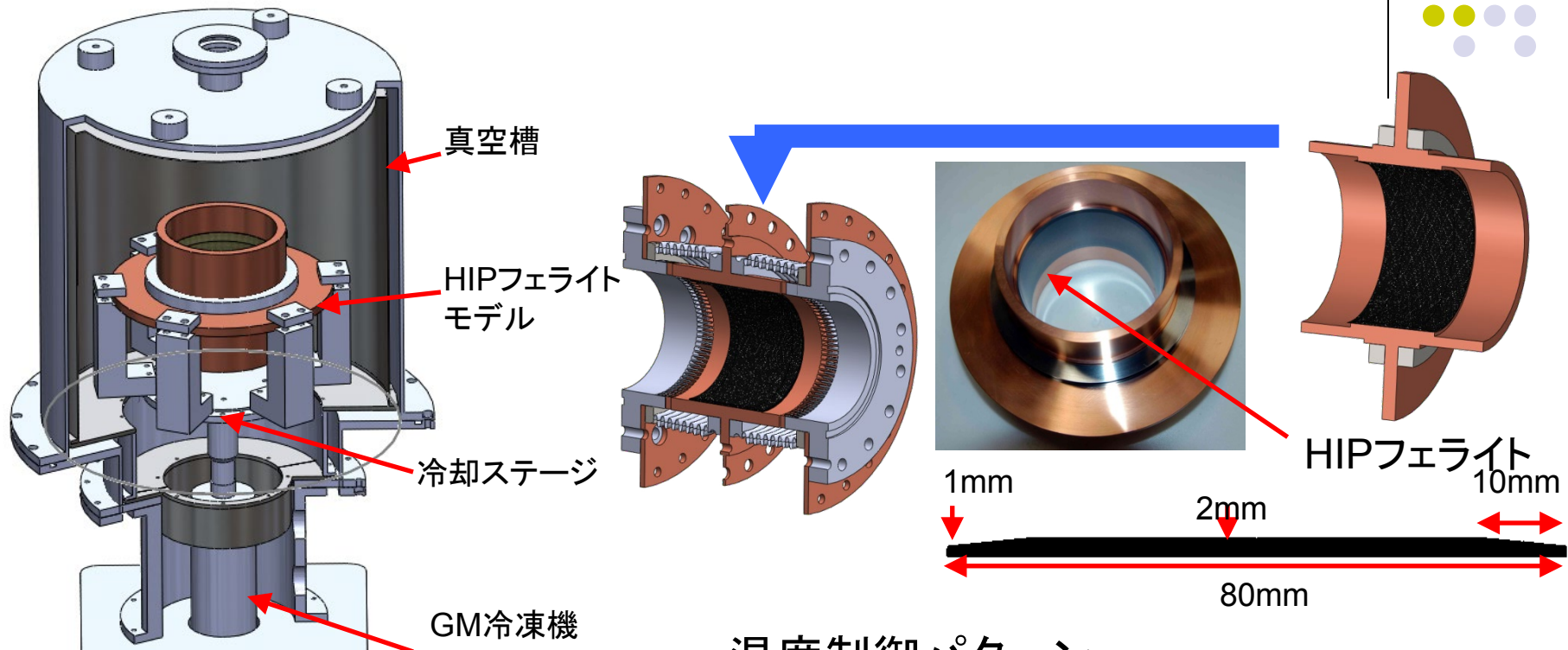


- 楕歯型RFブリッジでの入熱
 - 通常位置 $(80\text{K}-5\text{K})/37(\text{K/W}) = 2\text{W}$
 - 長手方向の接触 $(80\text{K}-5\text{K})/5(\text{K/W}) = 15\text{W}$
- 入熱対策
 - 対向する楕歯が接触しても点接触になるようにする

- 浅溝(溝の一部だけを浅くする)
- ナイフエッジ
- 放射状カットと平行カット

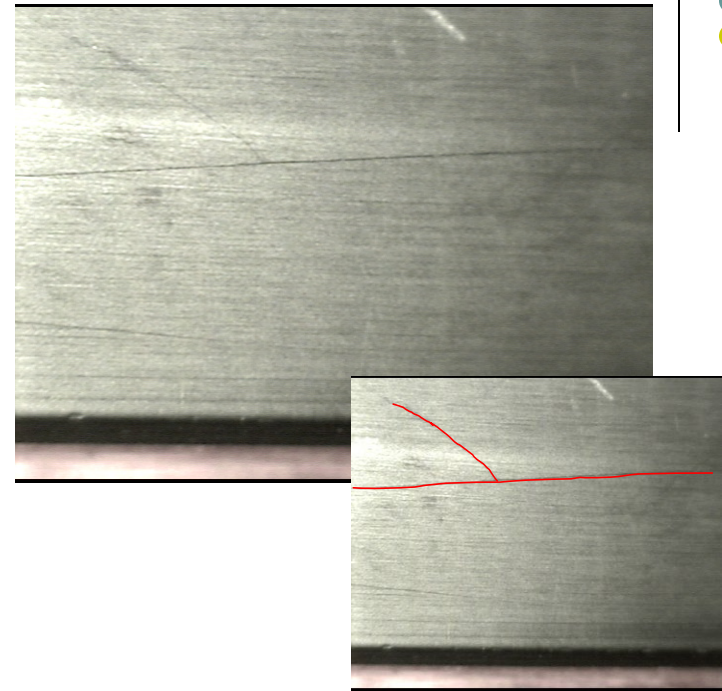
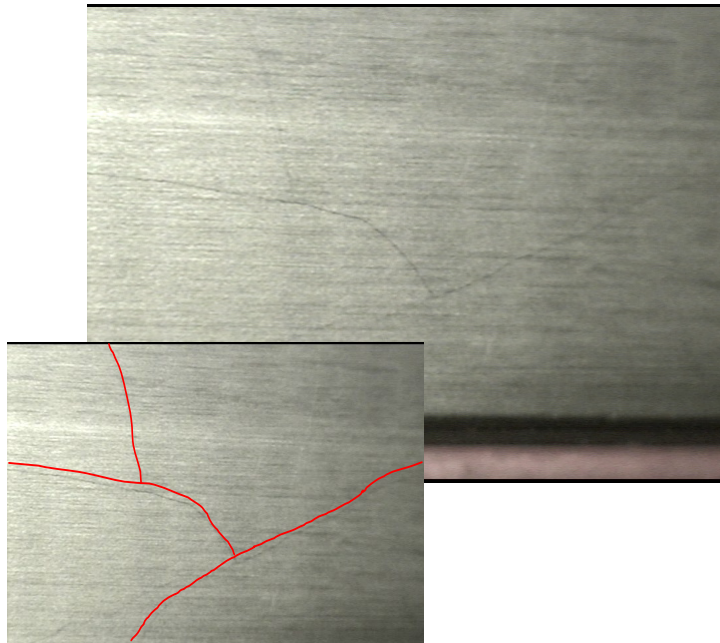
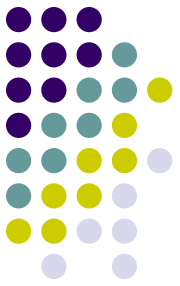


冷却サイクル試験

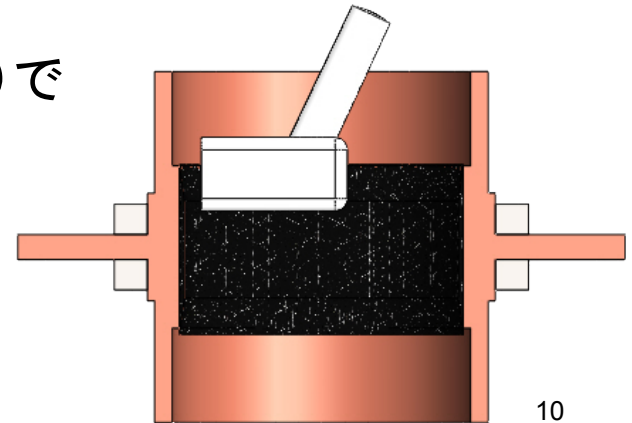


- 温度制御パターン
 - RT → 80K 3日間 (2.8K/hr)
 - 80K 保持 1日
 - 80K → RT 3日間
- フェライト表面の観察

表面観察の結果



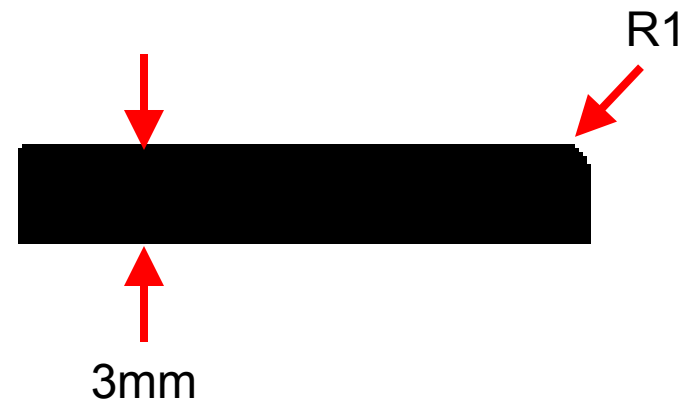
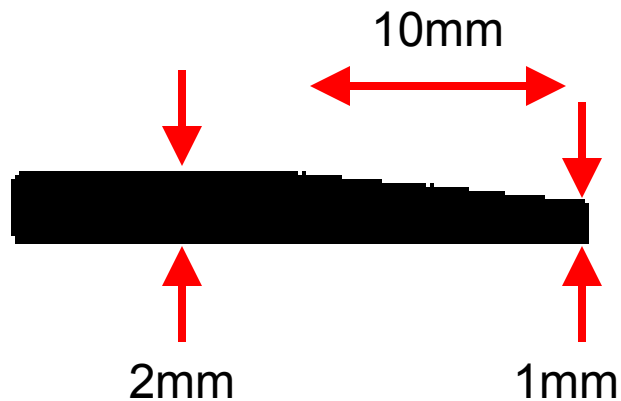
- 特にテーパ部分(厚さ1mmから2mmに変化)でクラックが起きた



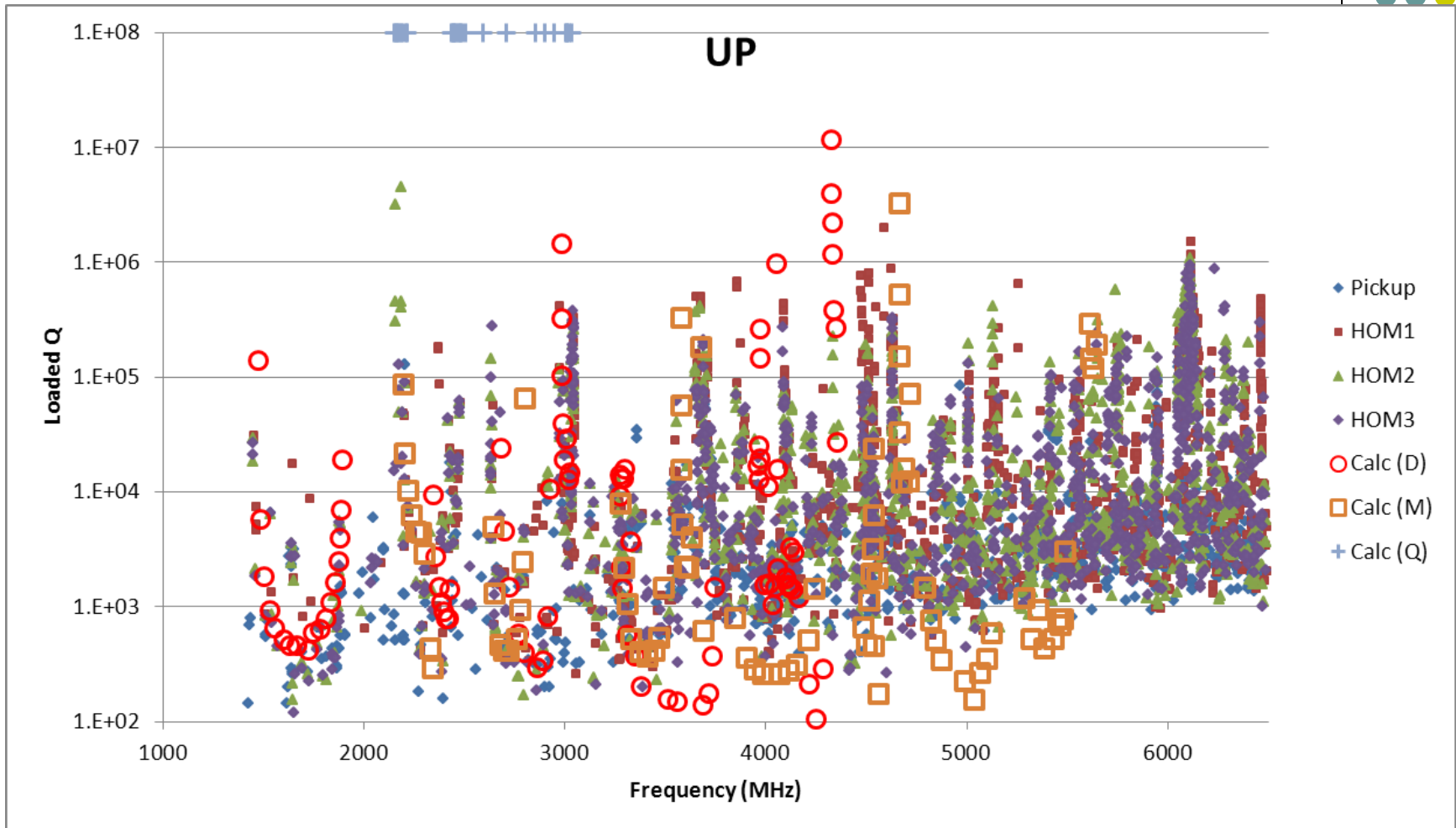


対策

- フェライトの厚さ
 - 2mm → 3mm
- フェライト両端処理
 - テーパ → 角の丸め

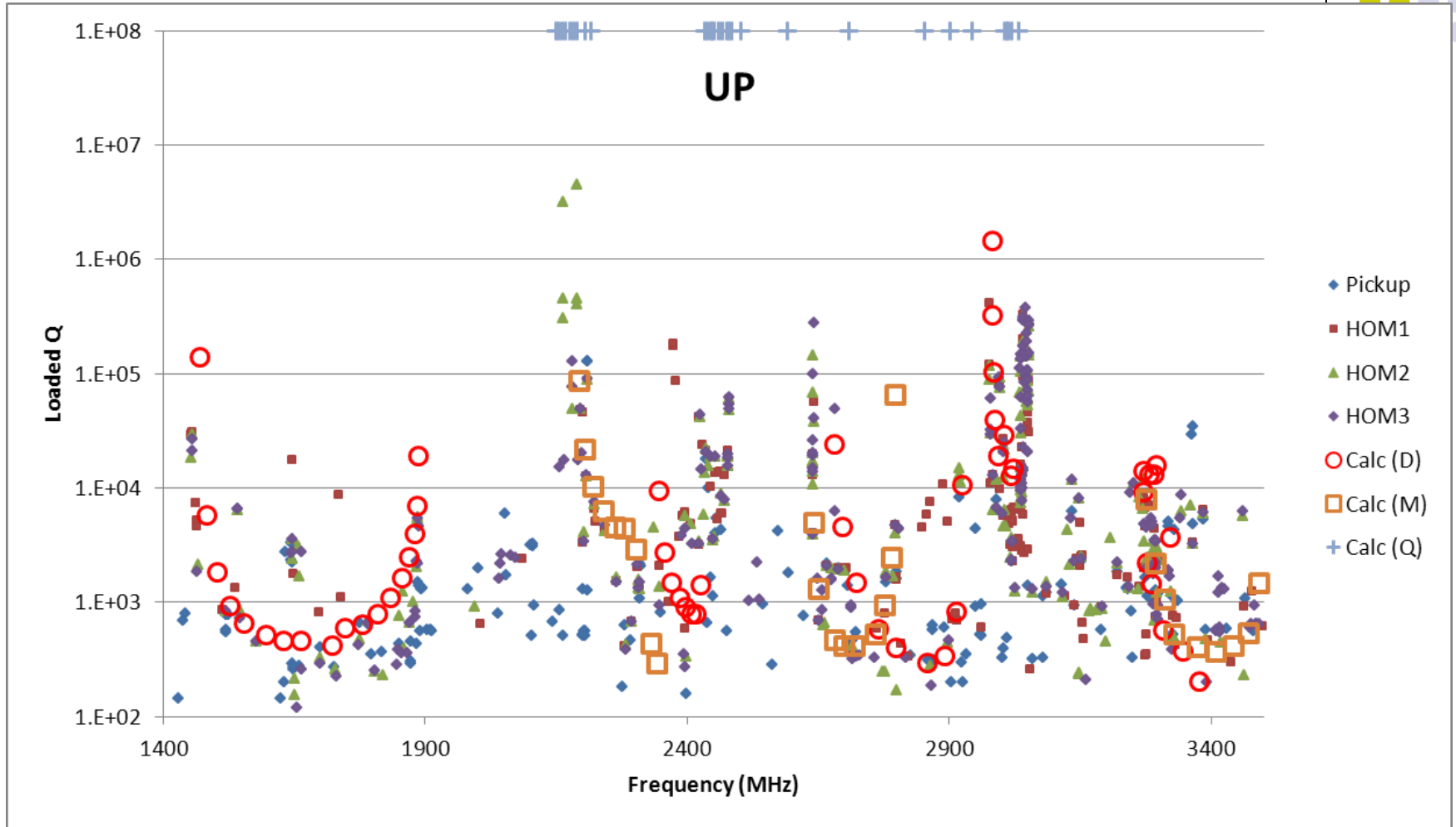
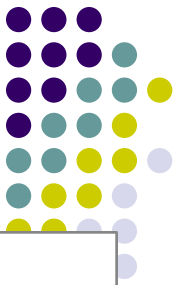


冷却時のHOM-Q値測定 上流空洞

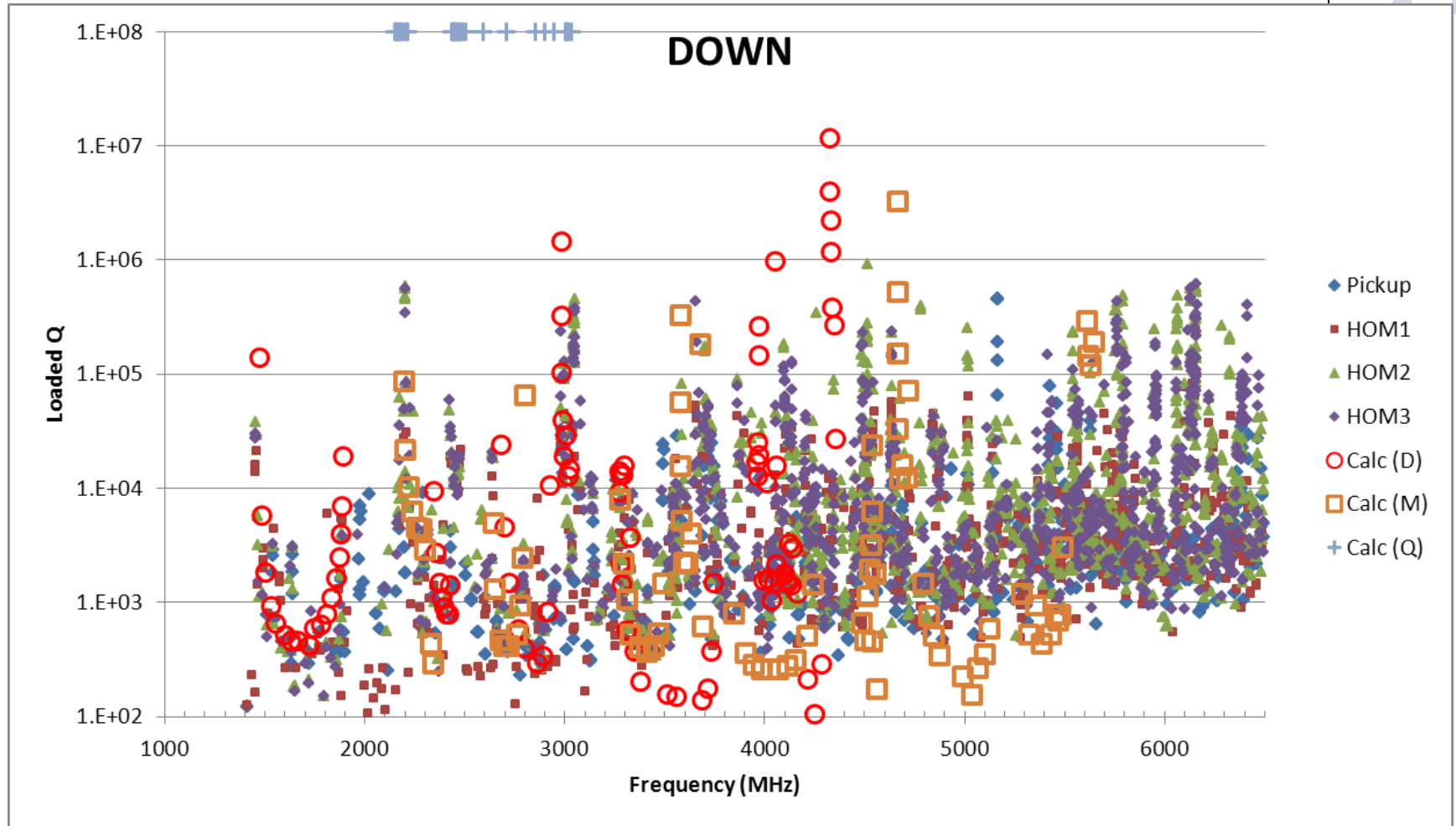
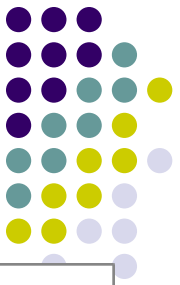


- 主カップラーと(ピックアップ,HOM1,HOM2, or HOM3)カップラーとの組み合わせ

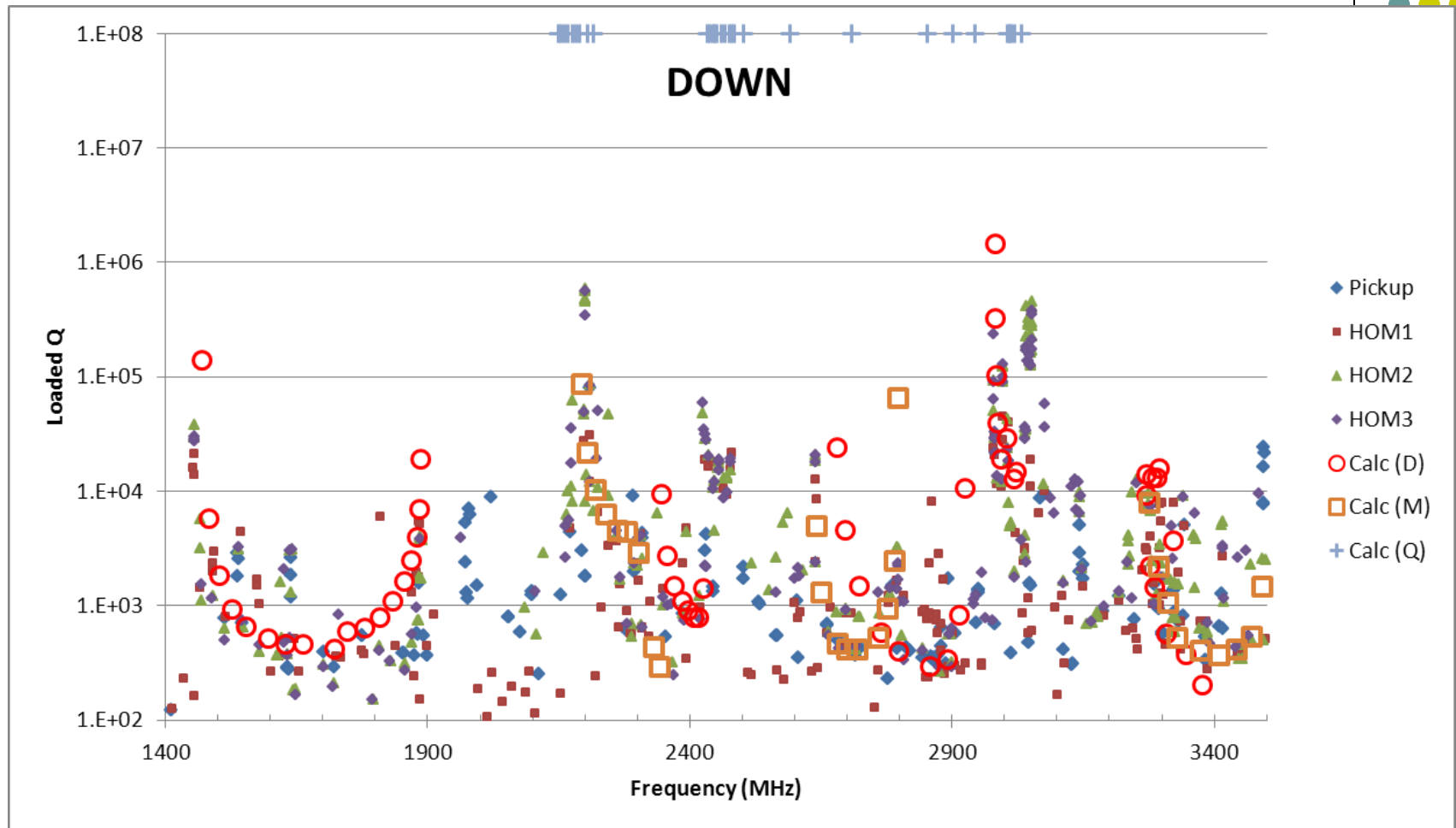
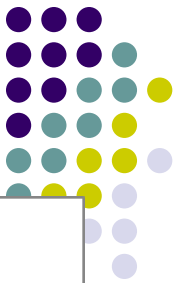
冷却時のHOM-Q値測定 上流空洞



冷却時のHOM-Q値測定 下流空洞

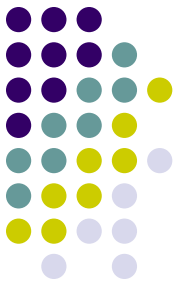


冷却時のHOM-Q値測定 下流空洞



- 上流、下流空洞とも負荷Q値が特に大きなモードはなさそう
 - HOM減衰に関しては性能を満たしている
 - ただし、ビームパイプに出てこないモードは分からない

現状の問題点



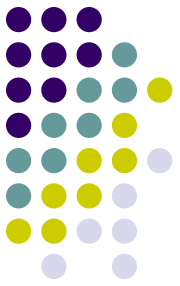
- 割れる(実機では未確認)
 - 冷却速度で解決できるのか?.....3K/hrで冷却
 - トータルのひずみ量は変わらない
- ベーキングができない
 - アウトガス
- 洗浄できない(櫛歯構造)
 - ごみの混入
- チャージアップによる放電の可能性(低温で伝導率低下)
 - ビーム運転中に放射線が急に増える
 - HOMによるアウトガスが原因?
- どれも空洞劣化の原因になる

現状



- 単体として
 - 減衰量
 - 材料試験で10GHzまで○(それ以上は未測定 ?)
モジュール冷却で6.5GHzまで○
 - (30Wヒータで確認)
 - 吸収パワー
- 超伝導空洞と組み合わせて
 - 超伝導空洞に悪影響を及ぼさない
 - 伝熱、輻射(入熱) →伝熱は○、輻射は？
 - ゴミソース(emission、quench) →試作機では割れているので、リスク大▲
 - アウトガス(真空) →ベーキングができないので、脱ガス×
 - ビームへの影響
 - キック力 →軸対象なので○、着磁なし
 - チャージアップ →低温で×
 - 組立作業
 - 空洞劣化 →重い、取付作業に時間がかかる△
- 3GeV ERLに向けて
 - 長さ(パッキングファクター) →ビームパイプを含めて現状0.5▲
 - 量産可能&コスト(製作歩留り) →HIPでは歩留り×

cERLで分かったこと、分からないこと

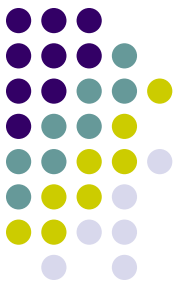


- ビーム加速
 - とりあえず使える
 - 今後とも使えるかどうかは不明
 - 冷却サイクルの繰り返しでどうなるか？
- 加工
 - 大変(HIP条件、ケース変形)、コスト高
 - 超伝導加速器に対しては不利
 - アウトガス、ゴミ
- 大電流対応
 - 不明

Beam Line damper or HOM coupler



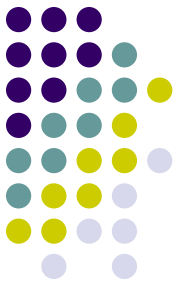
比較項目	Beam Line damper	HOM coupler	Waveguide
周波数	素材による いくつかの素材が必要?	禁止帯ある	HPF
基本波	離れて設置	フィルター ずれると大電力のリスク	Cut-off
減衰量			
吸収パワー	冷却方法による	コネクタの発熱で制限	制限なし
伝熱	ベローで接続		
輻射	空洞から直接見える		空洞から見えない
ゴミソース	割れによるリスク大	なし	なし
アウトガス	ベーキング不可? 構造による?	ベーキング可	ベーキング可
キックカ	軸対称	非対称	非対称
チャージアップ	素材による	導体	セラミックが見えないようにドッグレッグ
組立作業	最終段階で組立	組立後表面処理	
長さ	長(基本波の減衰距離が必要)	短	短
パッキングファクター	低い		
量産	HIPでは歩留り悪い		
コスト	現状では高価		



今後の方針(1)

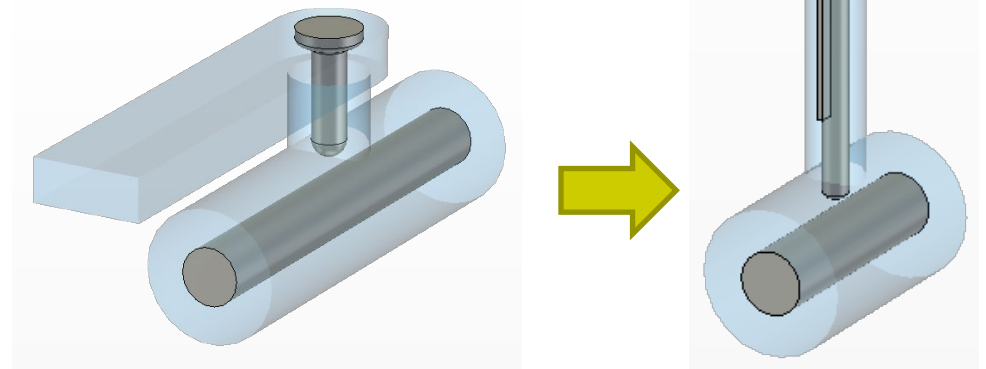
- ビームラインHOMダンパーを改良する
 - 素材
 - 低温での損失
 - 低温での伝導性
 - 現状、これはという素材はまだない(graphite loaded SiC?、AlN?)
 - 構造
 - HIP、櫛歯の見直し
 - HIPのような一体構造では冷却時の応力による歪が大きい
 - ベーキングできないと櫛歯の水洗いができない

今後の方針(2)

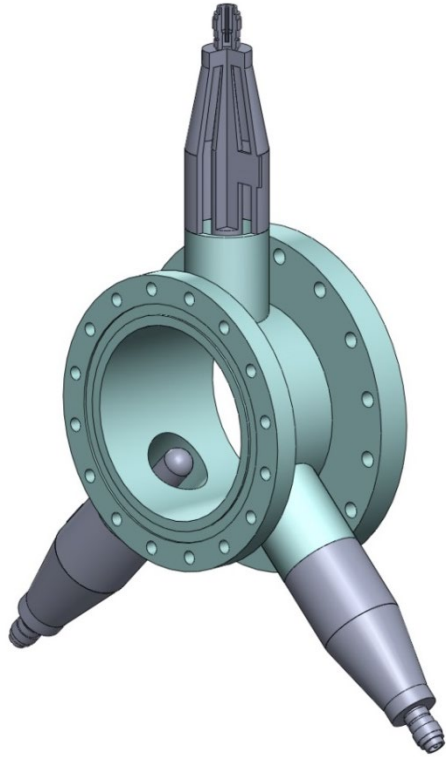


- カップラータイプの検討
 - 問題点
 - 基本波のフィルター構造
 - コネクタでの発熱
 - 高い周波数での禁止帯

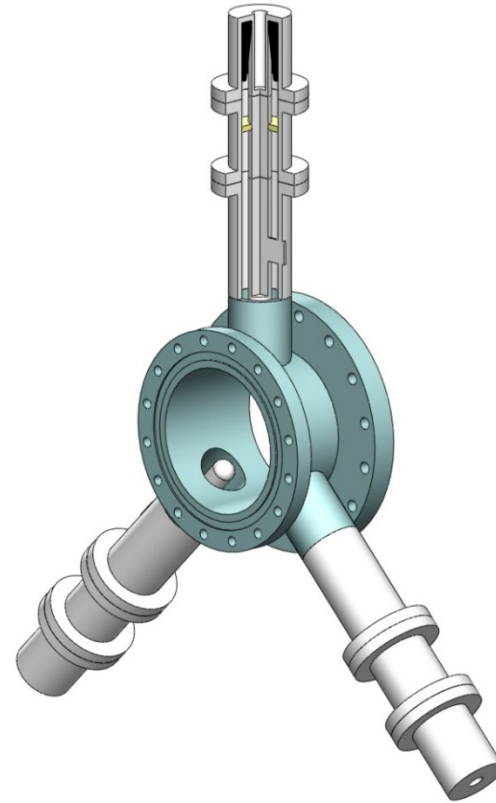
⇒空洞から離す
⇒C字型導波管
⇒コネクタ、または
同軸の終端



実機イメージ

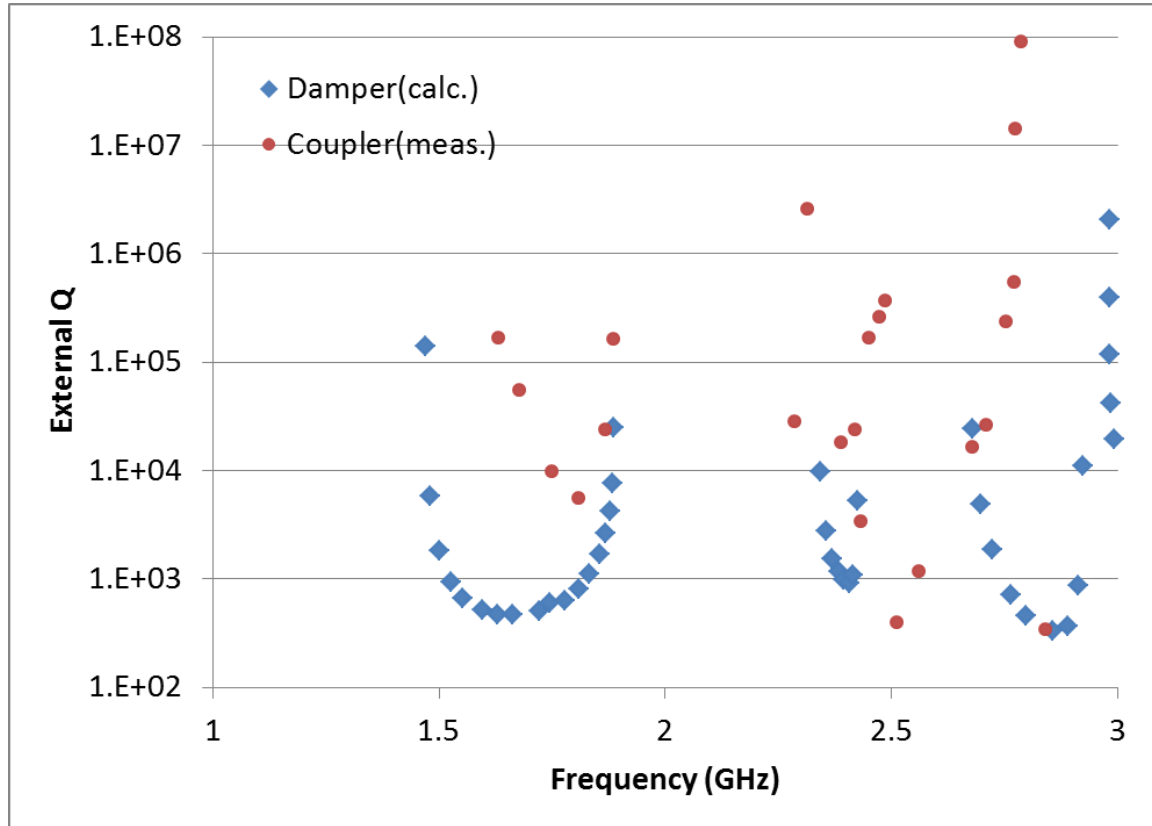
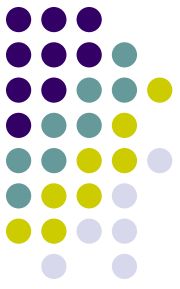


- ケーブルで外に取り出す
- 開発
 - コネクター
 - 周波数帯域
 - 真空中で数10W取り出せるか

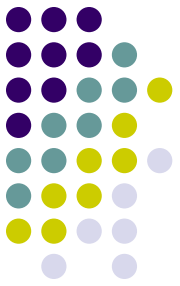


- 真空槽内で終端
- 開発
 - 同軸窓
 - ターミネータ

Q_{ext} 比較



- Damper・・・ERL空洞(計算)
- Coupler・・・TESLA 3セル空洞モデル(測定)



まとめ

- cERL HOMダンパー
 - 多くの問題点がありそう
 - 本当のところはよく分からない
 - 空洞の再組立て
 - 大電流ビーム加速
- 今後
 - ダンパー方式とカップラー方式を並行して開発