

主加速部超伝導空洞開発の現状

2010/1/20 ERL検討会

ERL-SCグループ 梅森健成、阪井寛志、
沢村勝、篠江憲治、古屋貴章

今回の報告

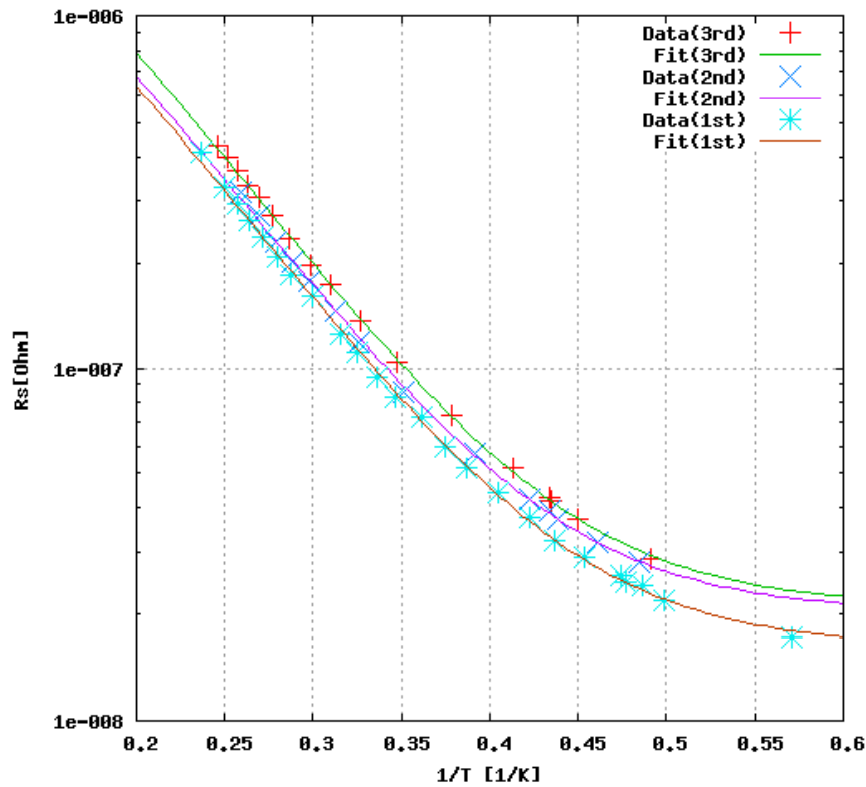
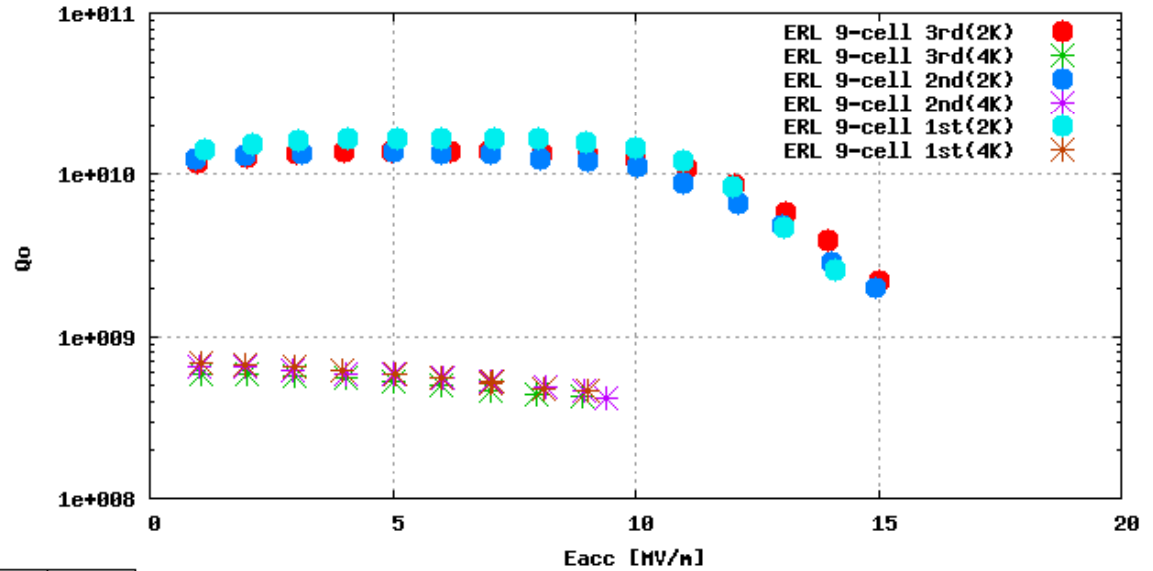
- 縦測定結果(4～6回)
- モジュール組み込み用空洞の製作
- 入力カップラーの開発
- HOMダンパーの開発
- クライオモジュールの開発
- 東カウンターホールの整備状況

縦測定の結果

処理および縦測定履歴

縦測定	表面処理	コメント
固定式温度・X線測定装置にて空洞診断(1~3回目縦測定)		
1回目(08. Sep)	EP1(130um), EP2(20um), HPR, baking	STF縦測定システムの立ち上げが主目的 15MV/m, Field emissionで制限
2回目(08. Oct)	Add baking	本格的な最初の測定 15MV/m, Field emissionで制限
3回目(08. Nov)	Add HPR, baking	15MV/m, Field emissionで制限
回転式温度・X線マッピング装置にて空洞診断(4回目以降)		
4回目(09. Mar)	Add EP2(50um), HPR, baking	EPを行い測定
5回目(09. Apr)	--- (not applied)	回転マッピング装置での空洞診断が主目的
6回目(09. Dec)	Local grinding, Add EP2(50um)	突起部をLocal grinding。STFにて初めてのEPをして測定

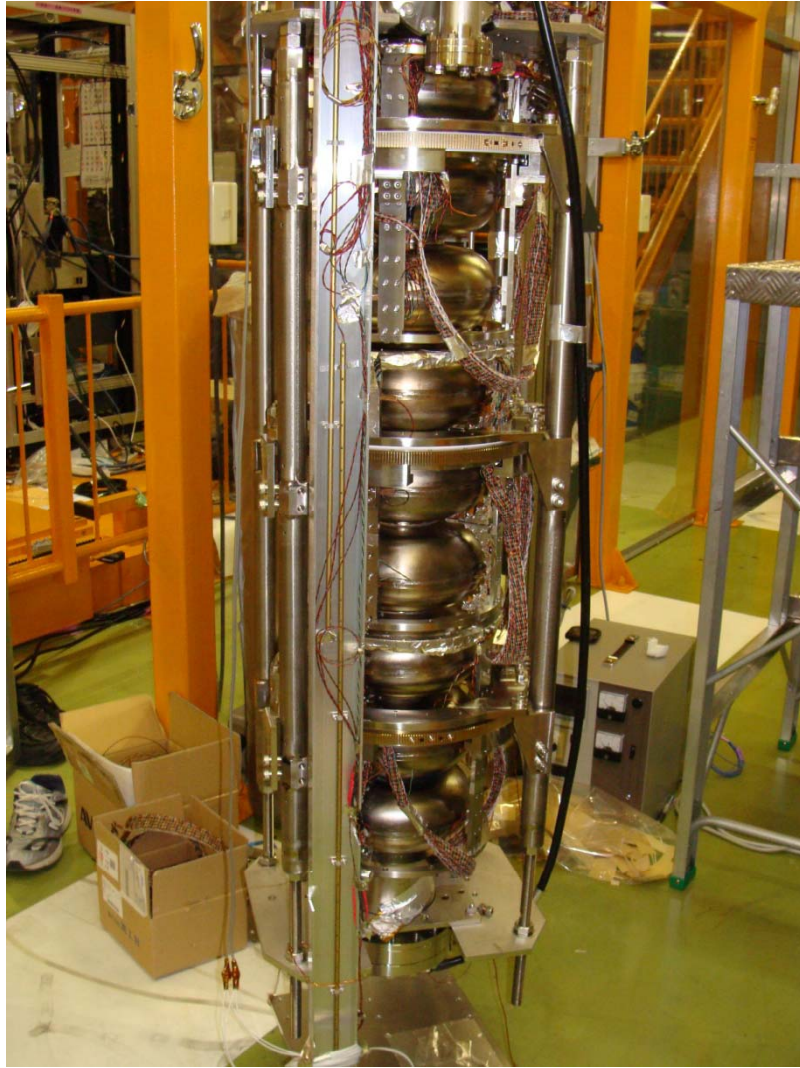
1~3回の 測定結果



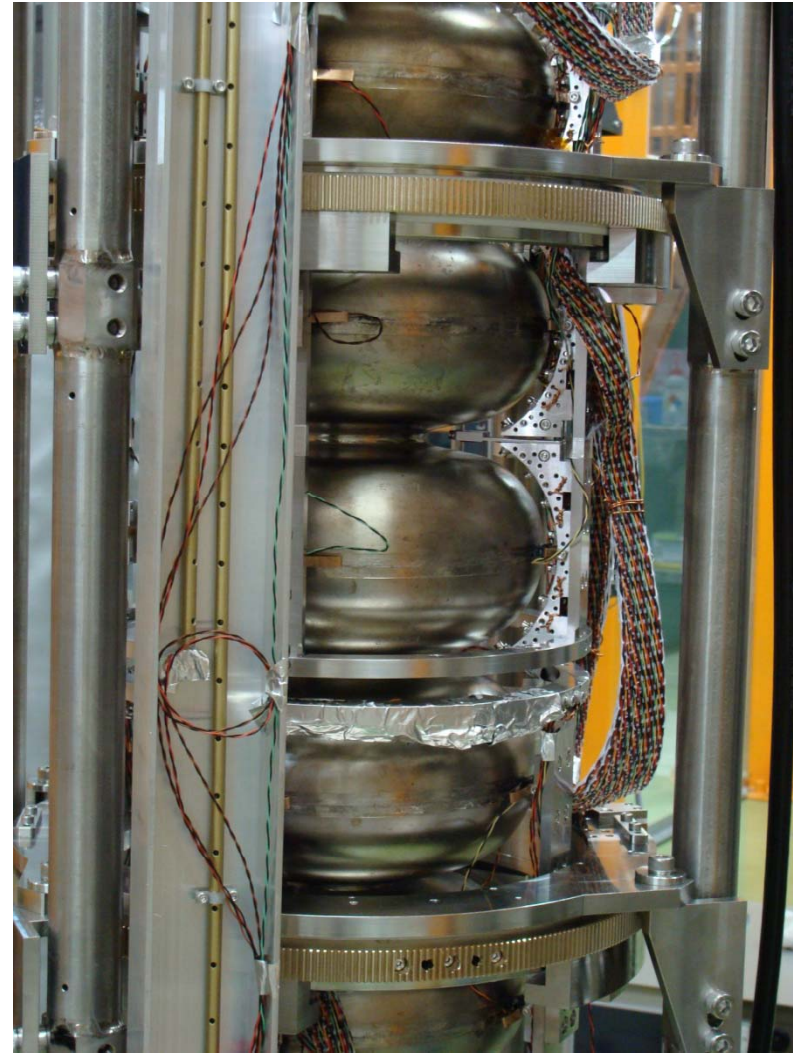
1~3回目ともに
Eacc(max)=15MV/m

3回目測定	Rres=21nΩ
2回目測定	Rres=20nΩ
1回目測定	Rres=16nΩ

回転mapping装置



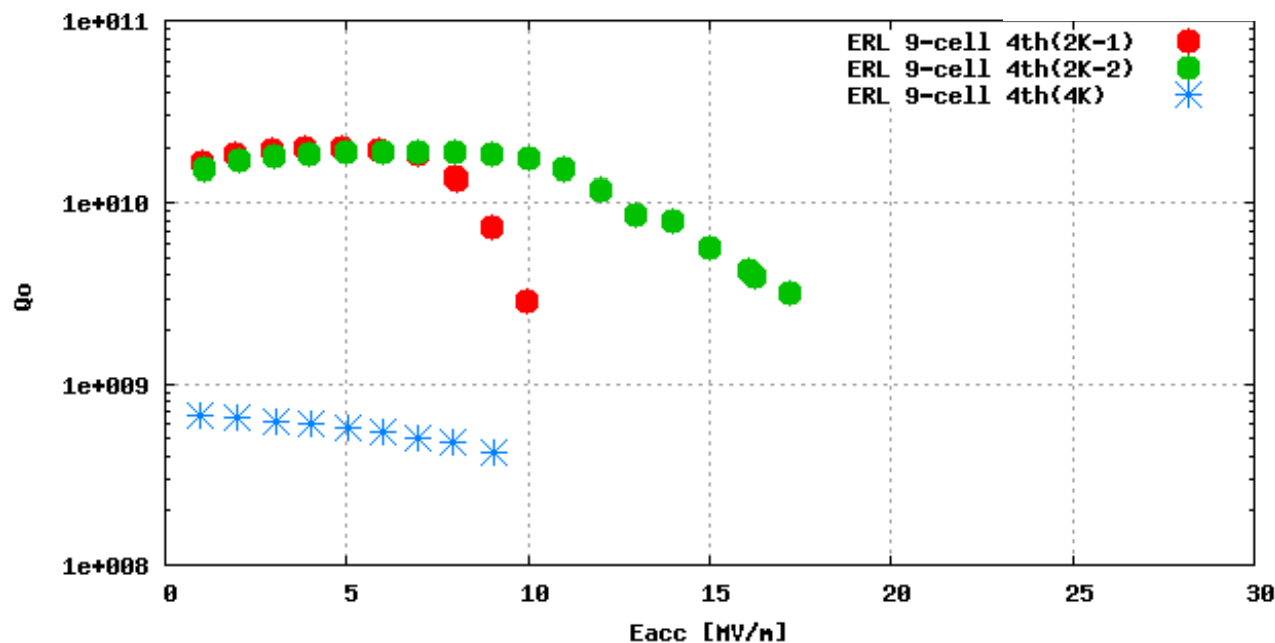
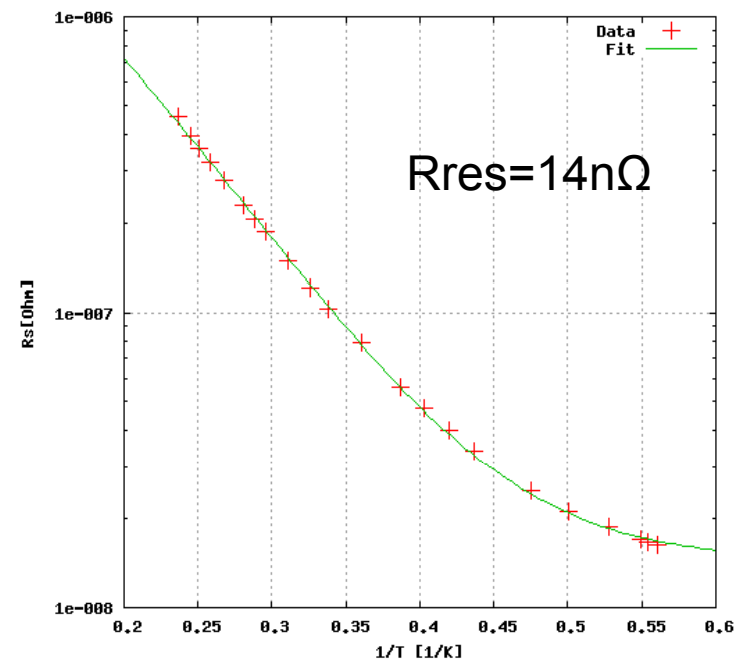
全体



センサー取り付け様子

4回目縦測定結果

Eacc=17.7MV/mでリミット
9セル付近のradiationが原因か？



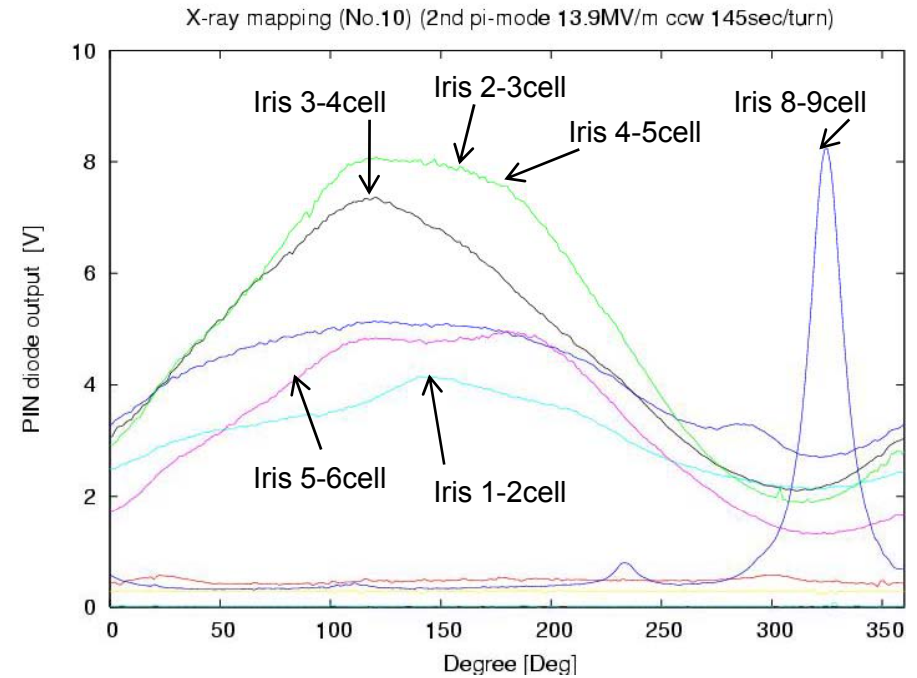
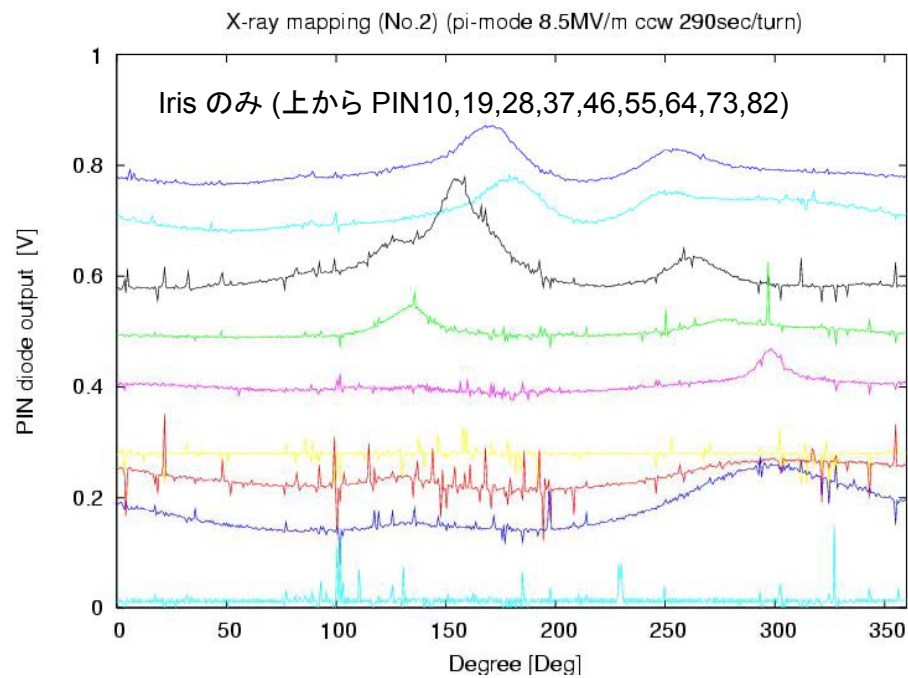
1回目は多くのセルでradiationを観測。10MV/mで制限された。
Pass-band測定中にプロセス

X-ray mappingのデータ例(1)

π -mode(1回目) $E_{acc}=8.5\text{MV/m}$, $Q_0=9e9$ (左図)

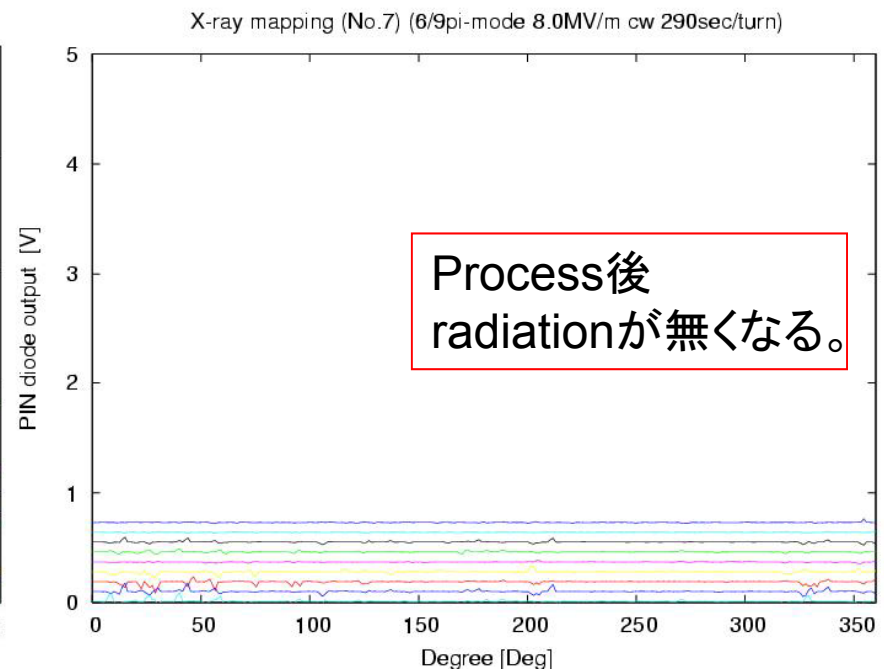
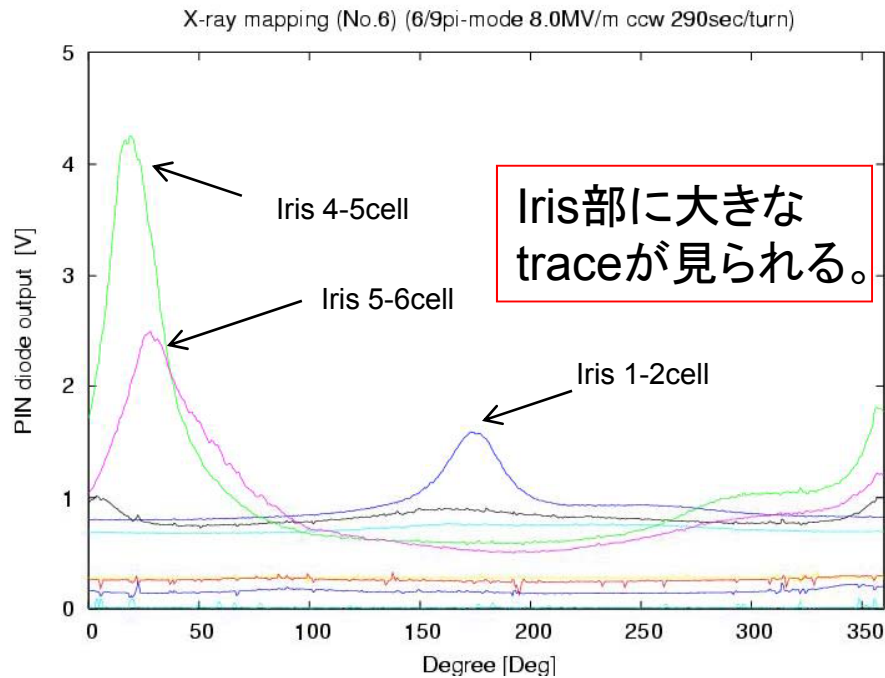
π -mode(2回目) $E_{acc}=13.9\text{MV/m}$, $Q_0=5.5e9$ (右図)

アイリス部分のX線



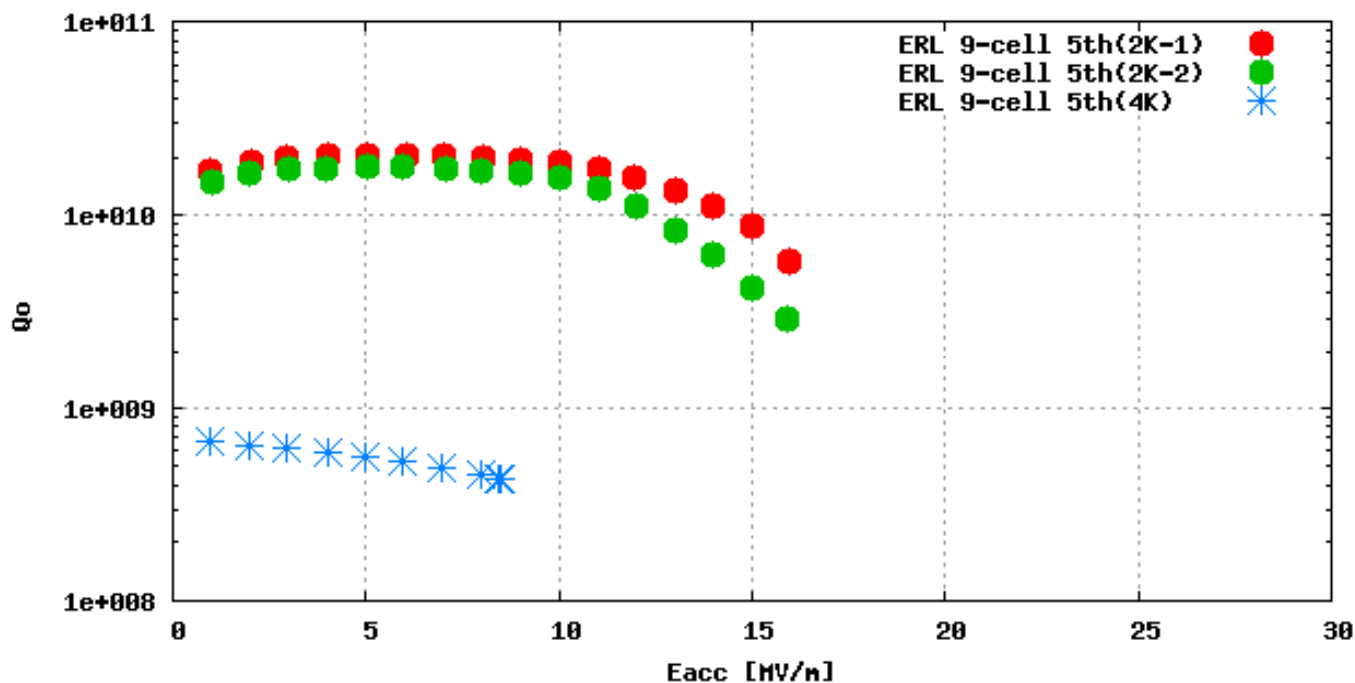
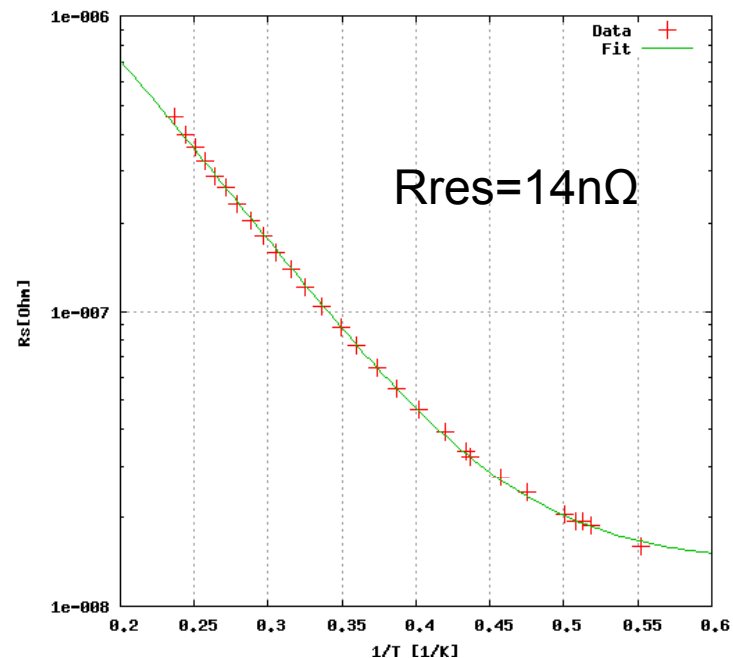
X-ray mappingのデータ例(2)

6 π /9-mode $E_{acc}=8.0\text{MV/m}$, $Q_0=3.0\text{e}9$ プロセス前(左図)
6 π /9-mode $E_{acc}=8.0\text{MV/m}$, $Q_0=1.7\text{e}10$ プロセス後(右図)
のアイリス部分のX線



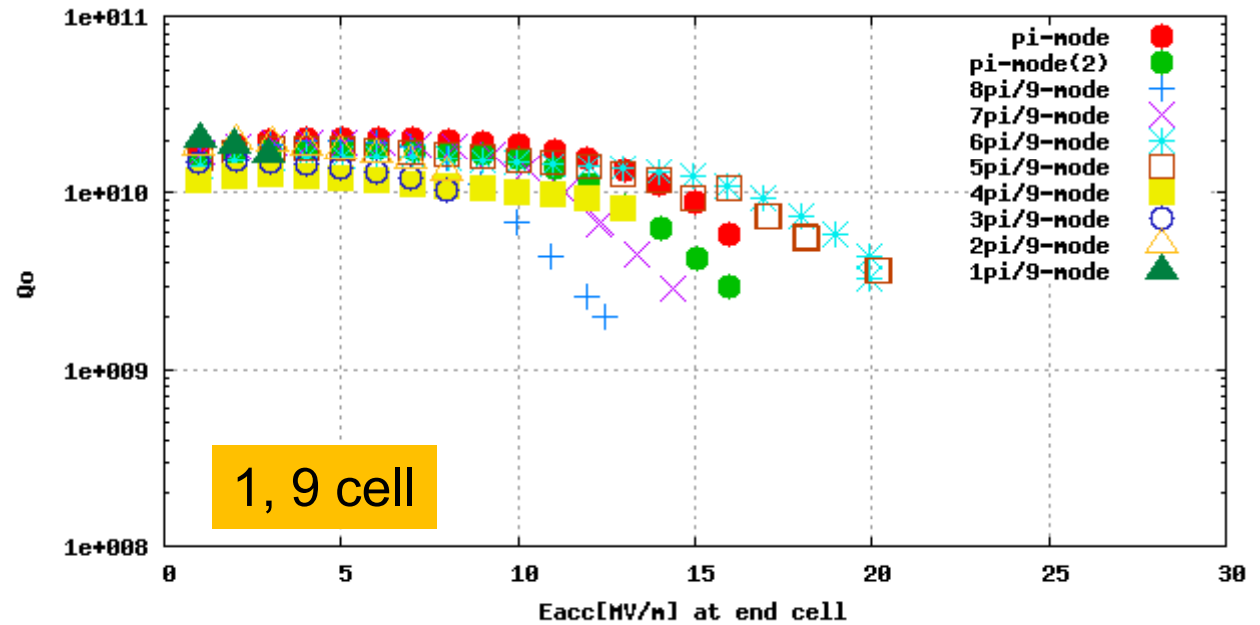
5回目縦測定結果

Eacc=16.3MV/mでリミット
8-9 iris付近のradiationが原因と思
われる



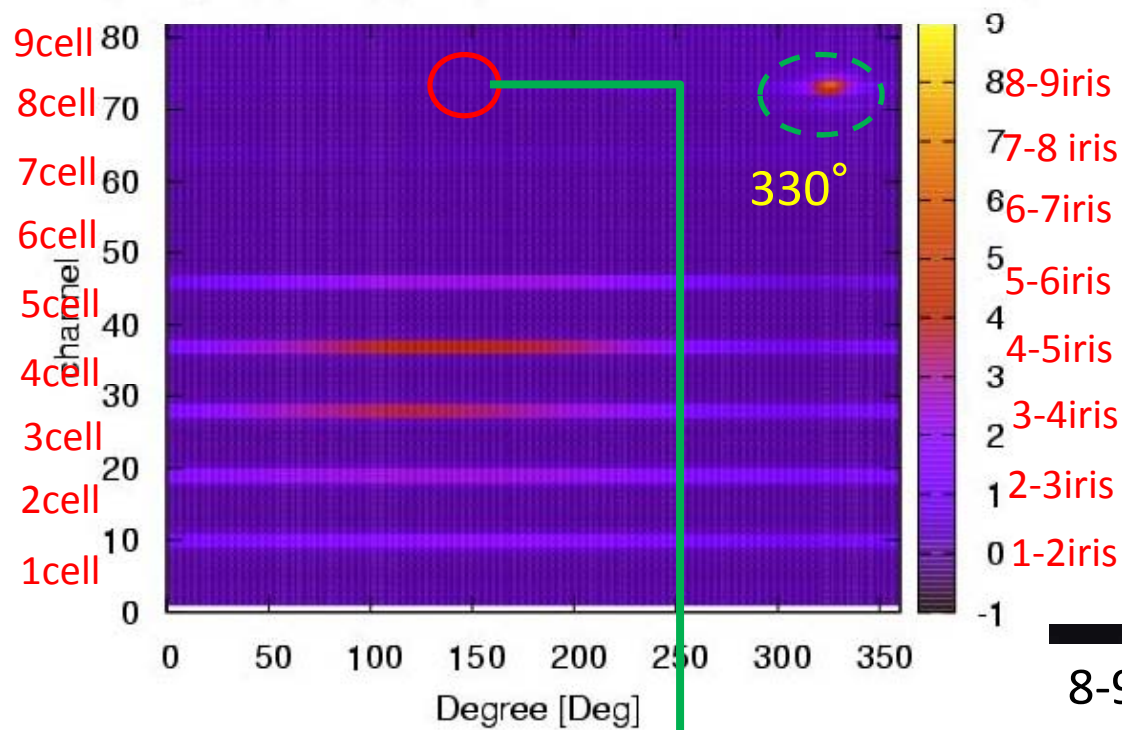
1回目の π -mode
測定中に悪化した
か？

パスバンド 測定



	Eacc	X-ray	コメント
Pi	16.3	8-9iris付近	Field emissionによりクエンチ
8pi/9	12.6	8-9iris付近	Field emissionによりクエンチ
7pi/9	14.3	8-9iris付近	Field emissionによりクエンチ
6pi/9	20.2	8-9iris付近	Field emissionによりクエンチ
5pi/9	21.2		プロセス中だが、最終は中間状態
4pi/9	13.4		2-cell発熱によるクエンチ
3pi/9	8.3		2-cell発熱によるクエンチ
2pi/9	8.8		2-cell発熱によるクエンチ
1pi/9	3.9		4-cell発熱によるクエンチ

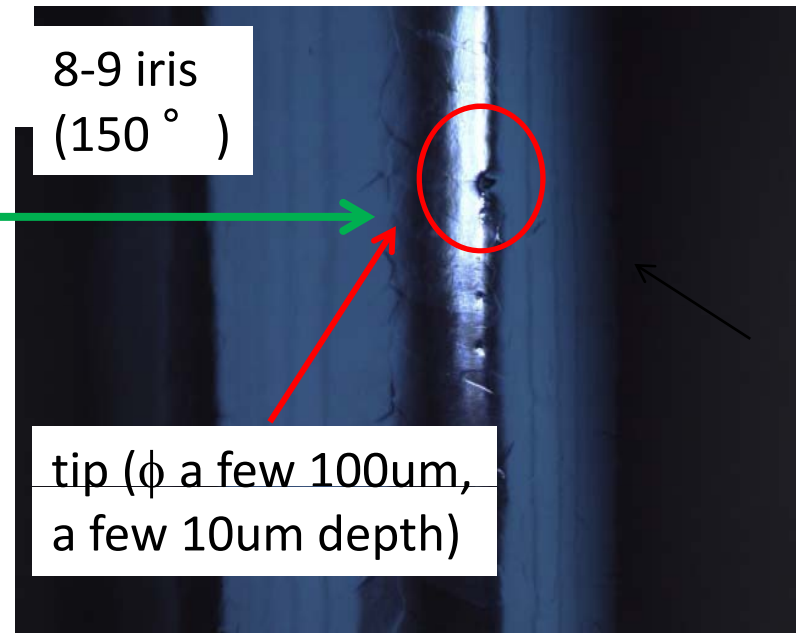
X-ray mapping (No.10) (2nd pi-mode 13.9MV/m ccw 145sec/turn)



空洞内面観察にて、
8-9 iris 150度のと
ころに突起を発見

8-9 iris
(150°)

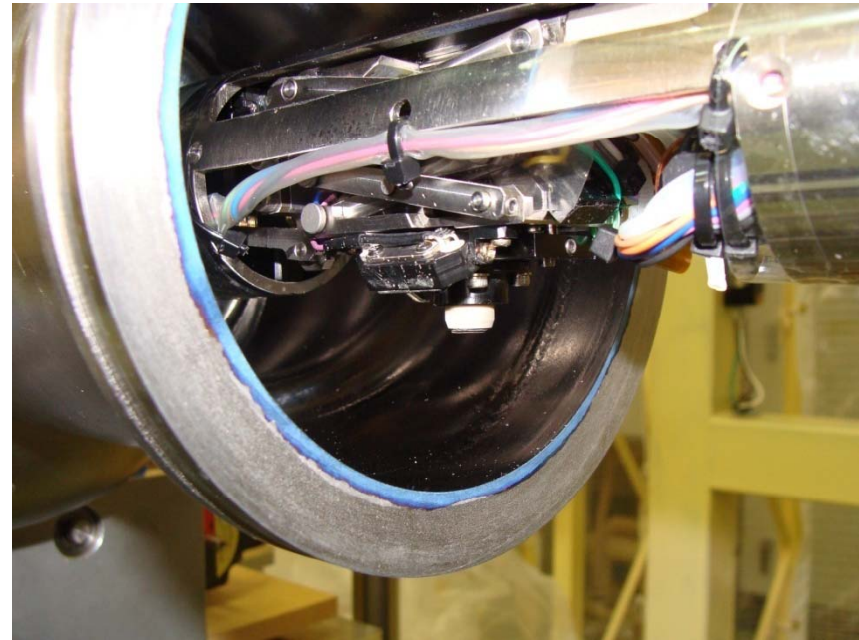
tip (ϕ a few 100um,
a few 10um depth)



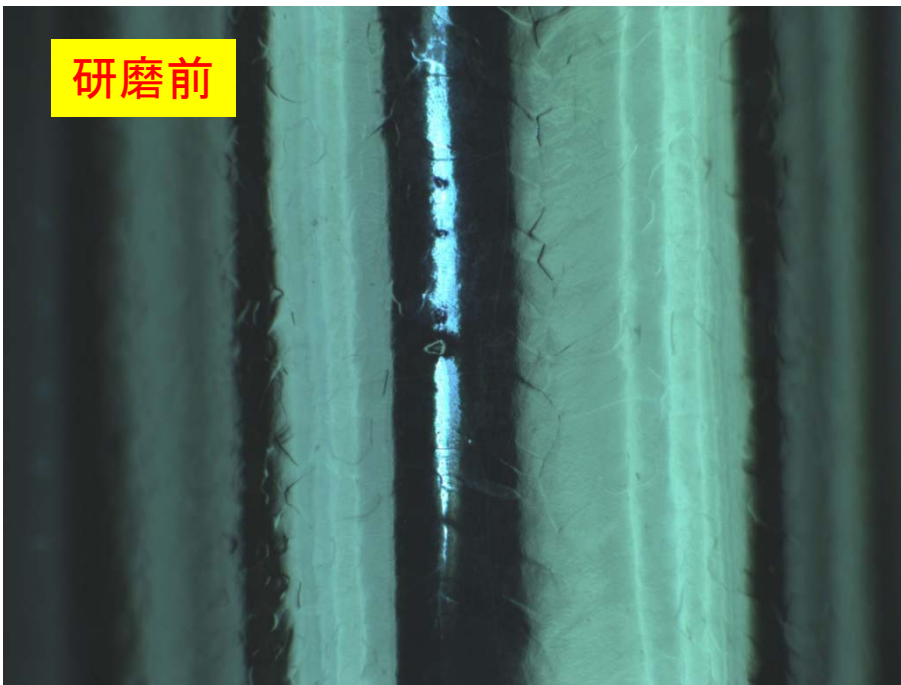
空洞内面研磨

研磨パラメータ

- ・#1000のダイヤモンドシート
- ・モータースピード 18V
- ・1~2分で研磨完了



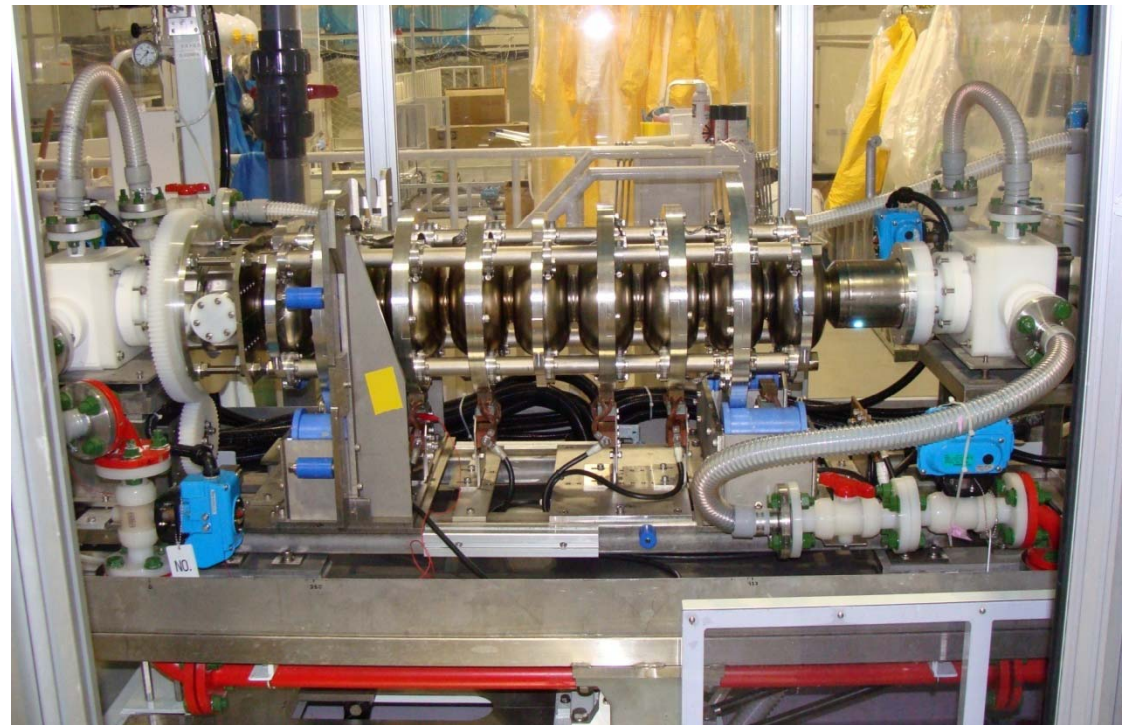
研磨前



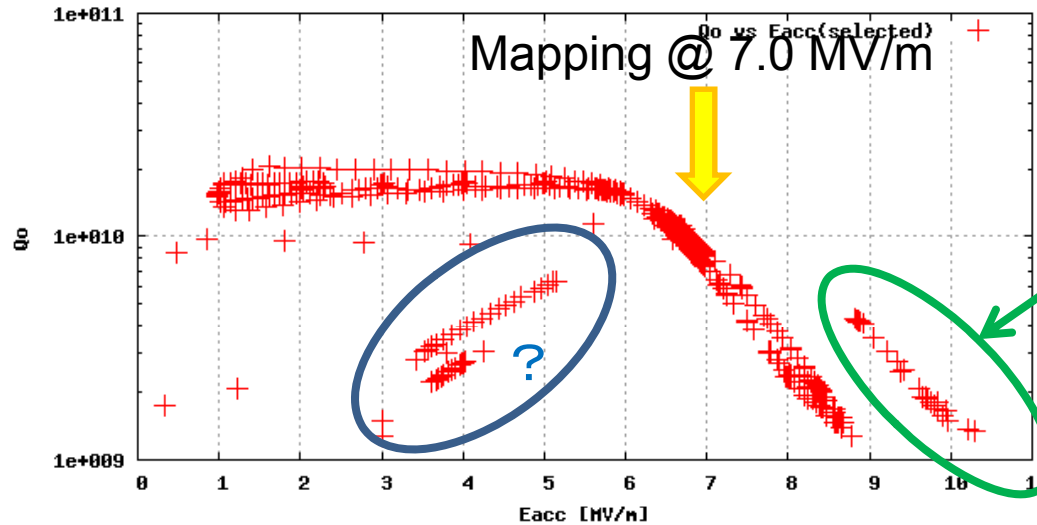
研磨後



STFにてのEPの様子

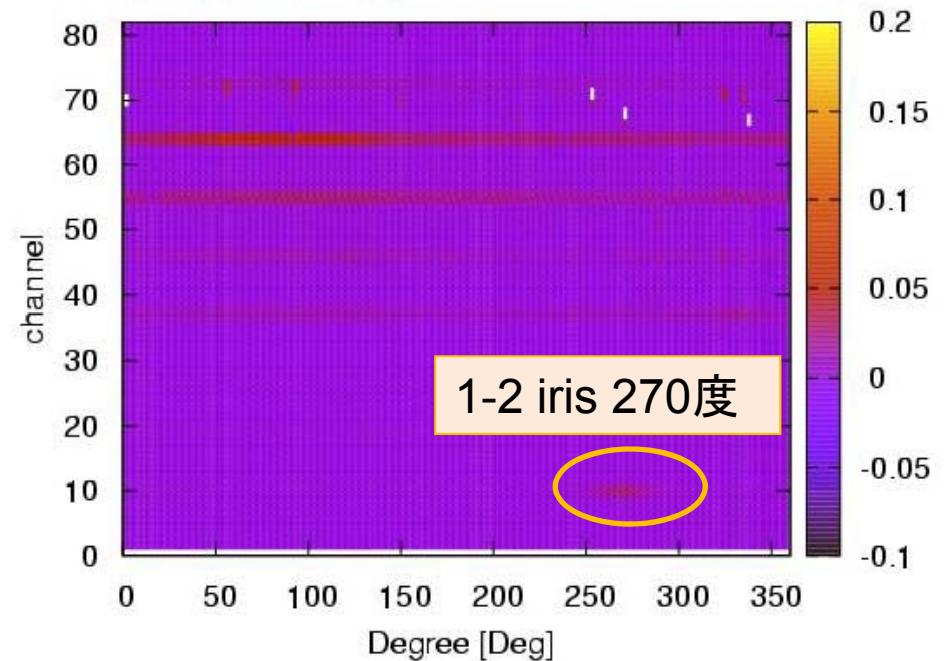
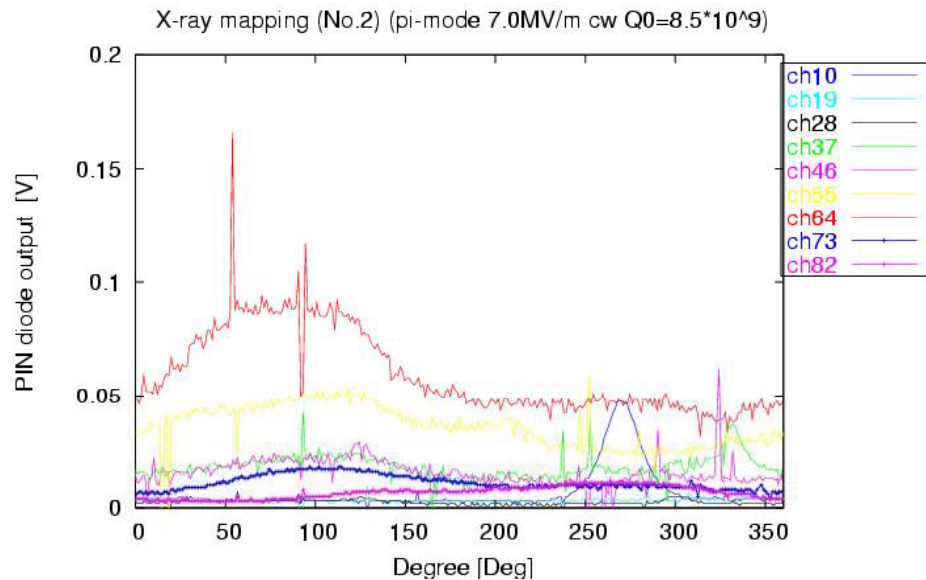


6回目縦測定 π モード(連続データ)

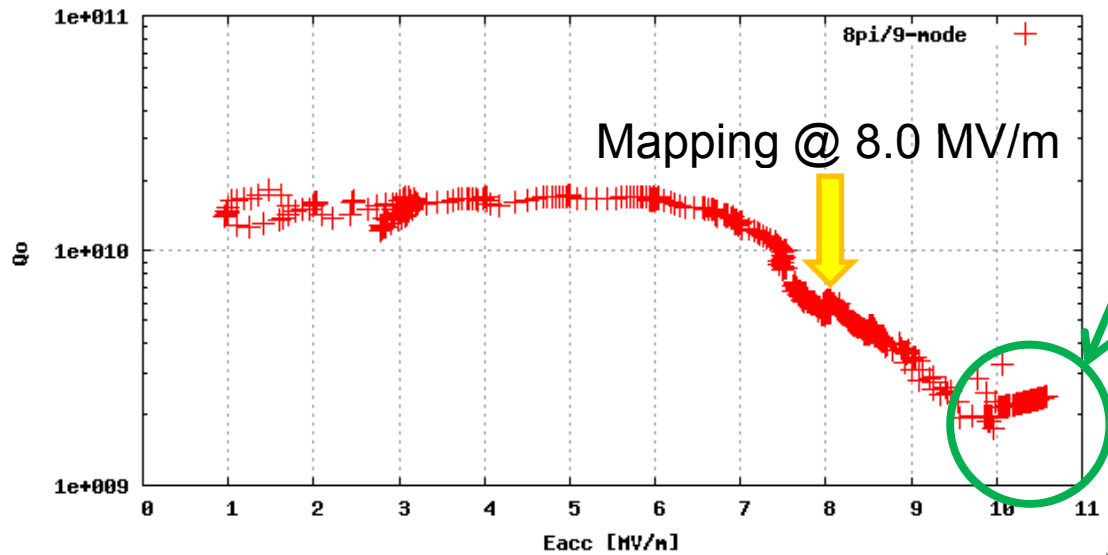


プロセスの途中ではあったが、他のモードでのエイジングに期待して、パスバンド測定に移ることにした。

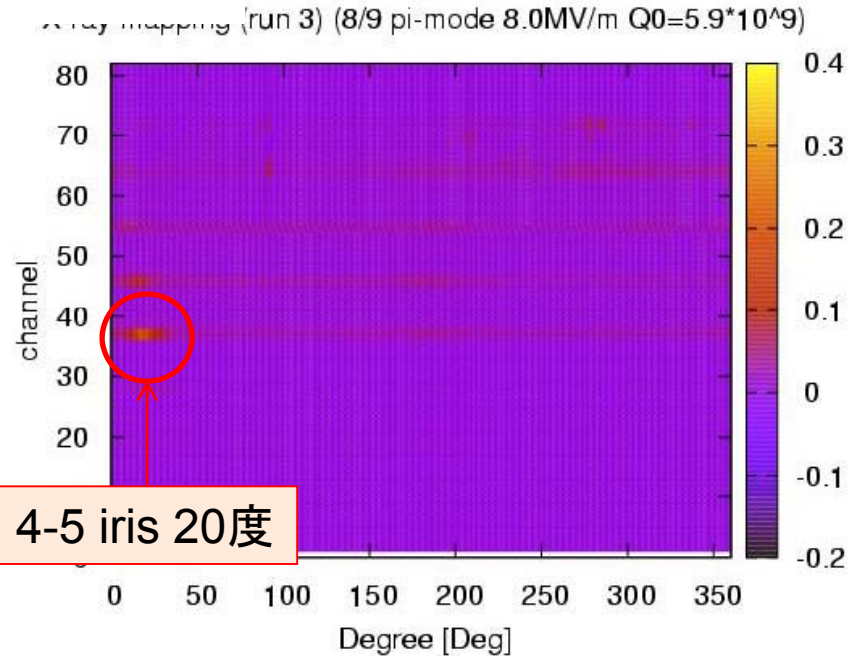
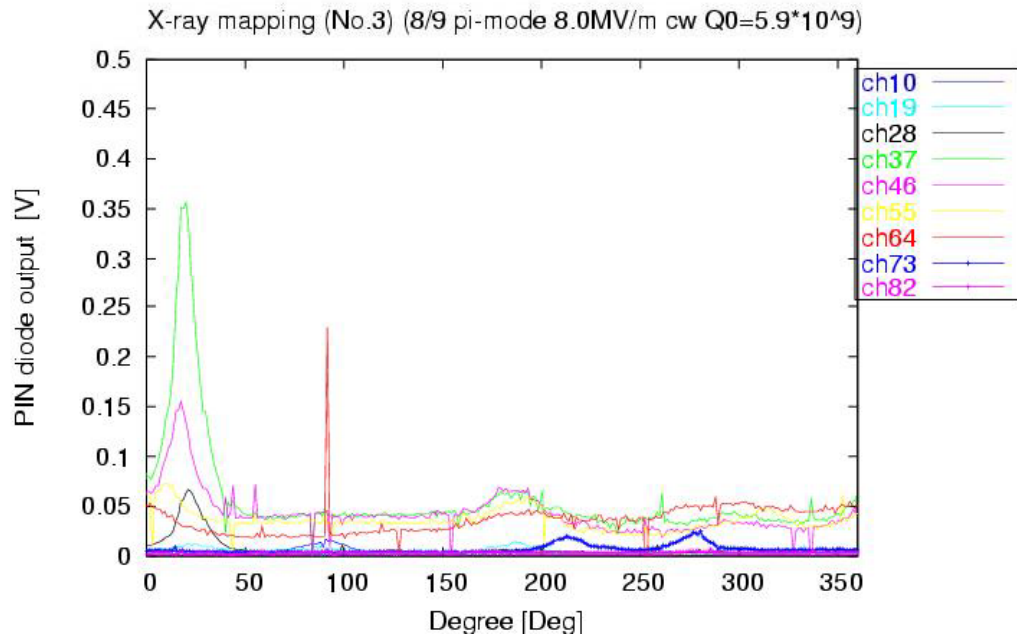
mapping (run 2) (pi-mode 7.0MV/m Q0=8.5*10⁹)



8 π /9モード(連続データ)

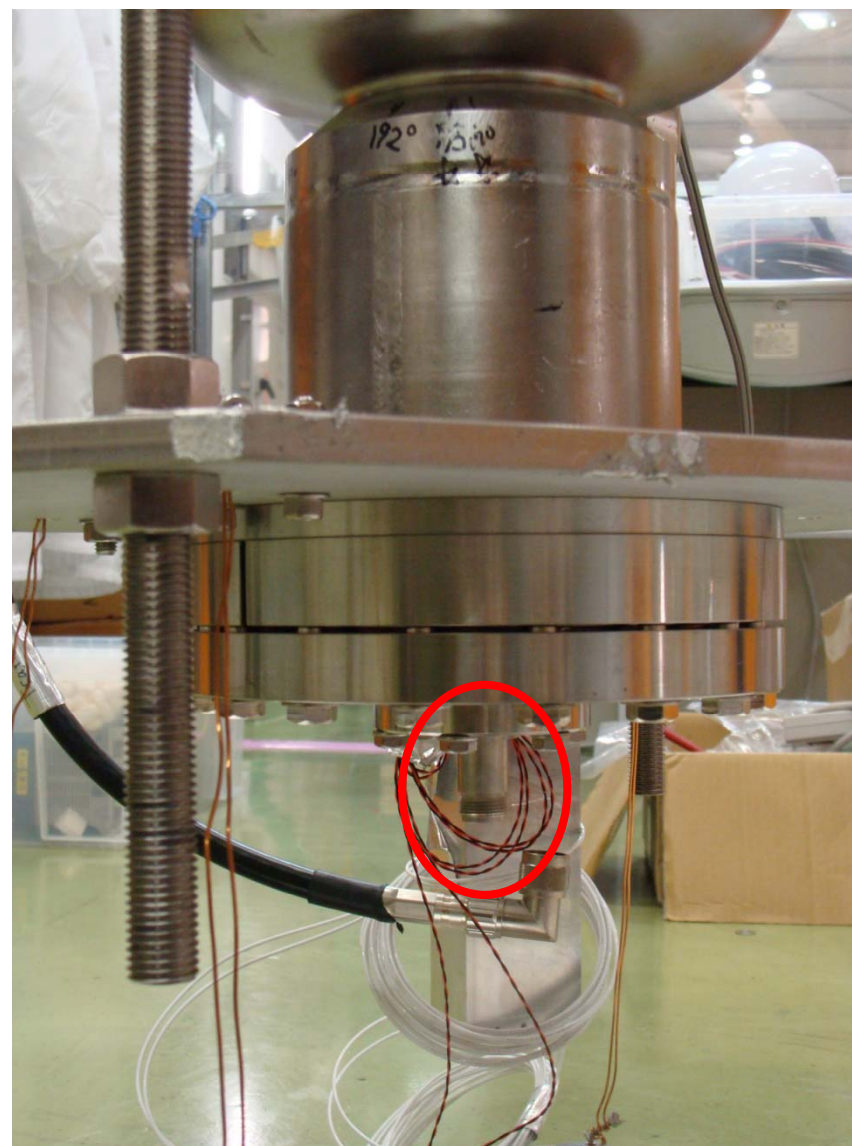


プロセスしかけて
いる様子だったが、
真空リークのため
測定中止となって
しまった



リーク箇所

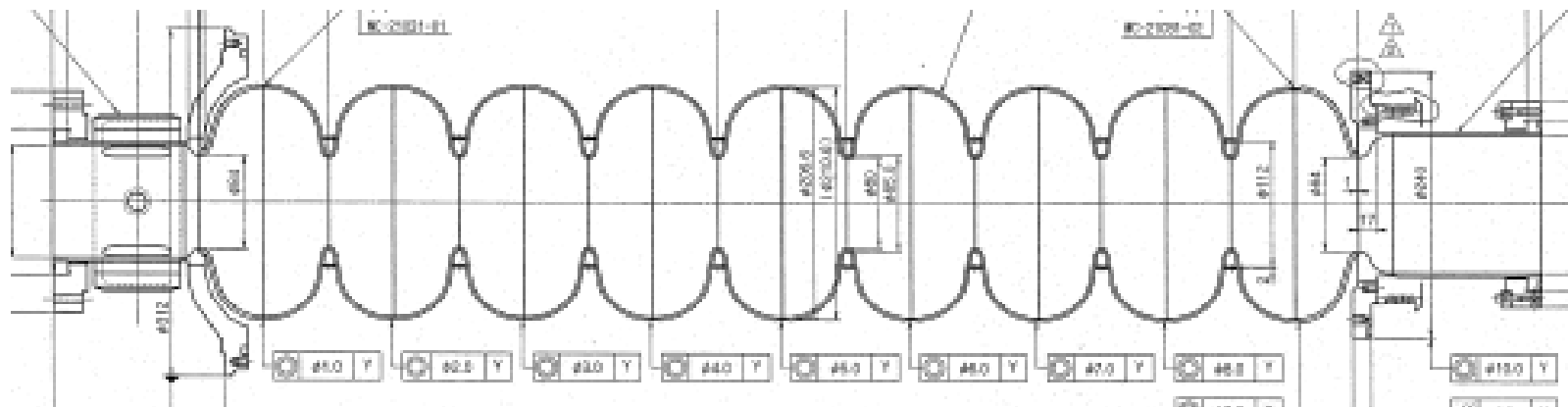
- 空洞引き上げ後、リークチェックを実施
- LBP側(下側)コネクタで、フード法にて 1×10^{-8} Pa m³/sのリークが見つかった



cERLモジュール組み込み用空洞 の製作

cERLモジュール組み込み用空洞

- 高圧ガス仕様の設計
- Heジャケット用ベースプレートを設置
- アイリス部分に強め輪を設置
- ダンベルから作成
- LBP直径を $\Phi 120 \rightarrow 123$ に変更(TE111減衰のため)
- フランジをNbTiフランジに
- 両エンドセルを肉厚に(3.5mm厚)
- セル形状はこれまでの設計通り
- 2010年3月に納品予定





ハーフセル



ベースプレート(加工前)



ダンベルの目視検査

ダンベルまでできあがり、
多セル化およびエンドグ
ループの加工を待っている

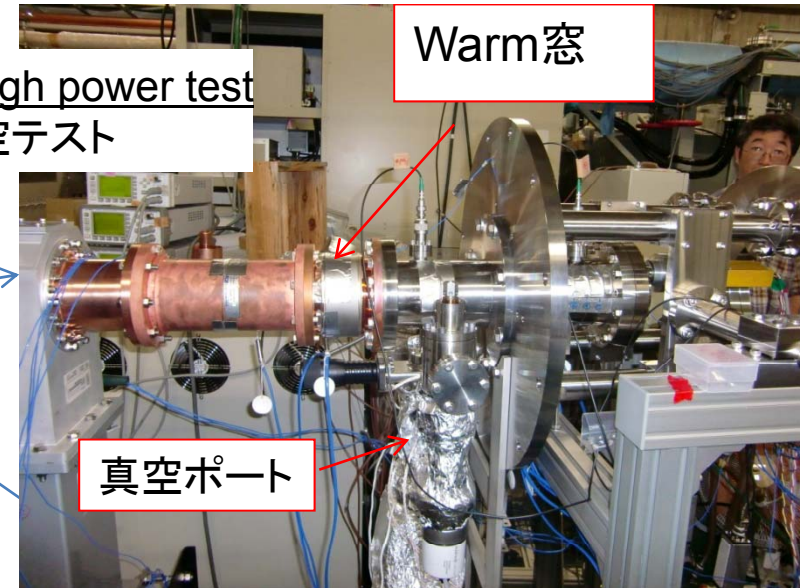
入力カプラーの開発

Input couplerの現状

今年度の目標

- ・真空条件下での20kW high power test
- ・割れたCold窓の問題点解決と改良
- ・セラミック窓の冷却テスト
- ・coupler 1号機の設計製作

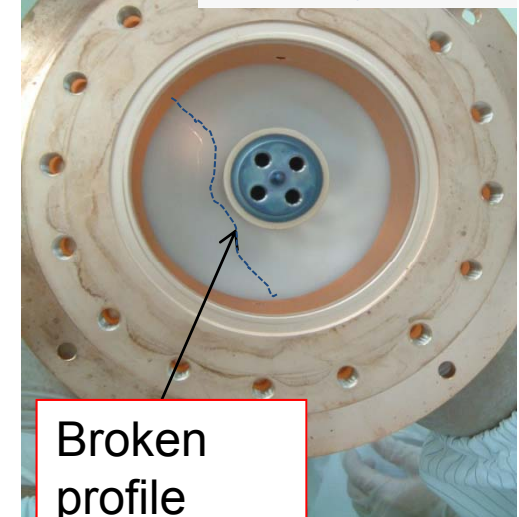
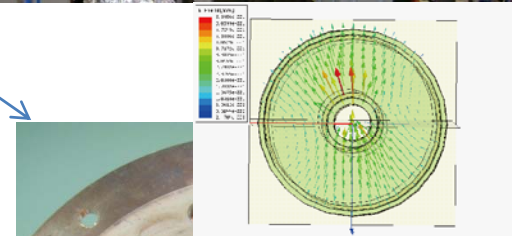
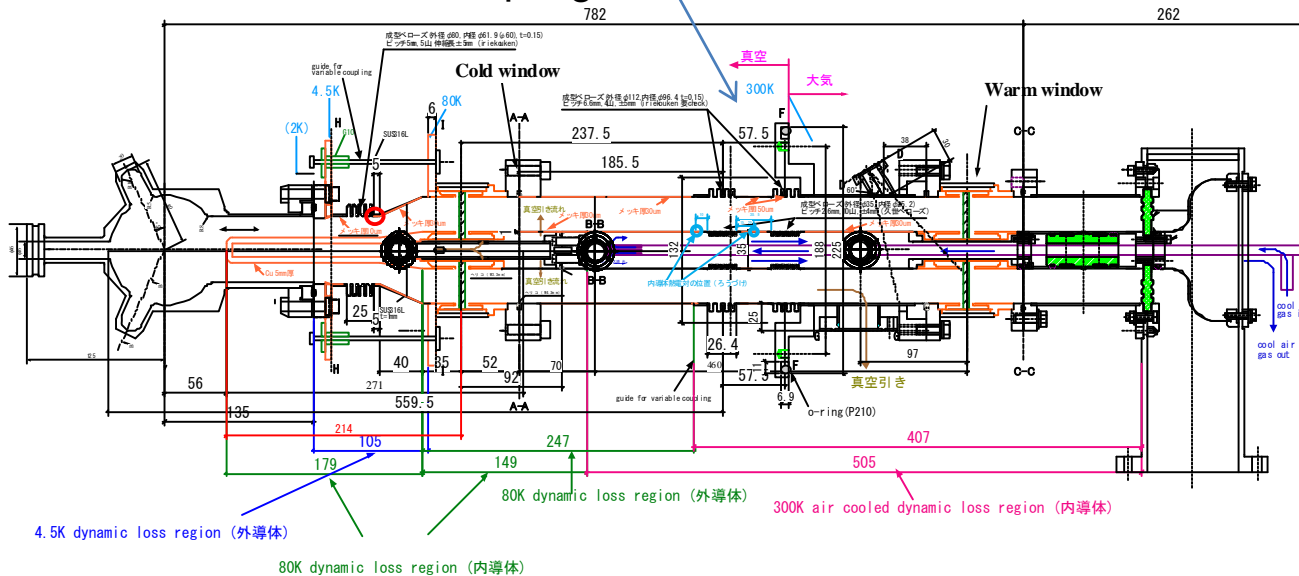
原研でのhigh power test
今年度は真空テスト



Coupler 1号機

High power testで割れたCold窓:
急峻な1.3GHz近傍に立つdipole modeのpeakが原因と思われる。

現在のmoduleと対応、coupling可変、今年度製作。(一部次年度)



Broken profile

Warm窓high power test

Warm窓だけ割れずに残る。これを用いhigh power test 定在波を立て、電場、磁場peakをセラミック窓にたてる。窓と端板の間は真空に引く。

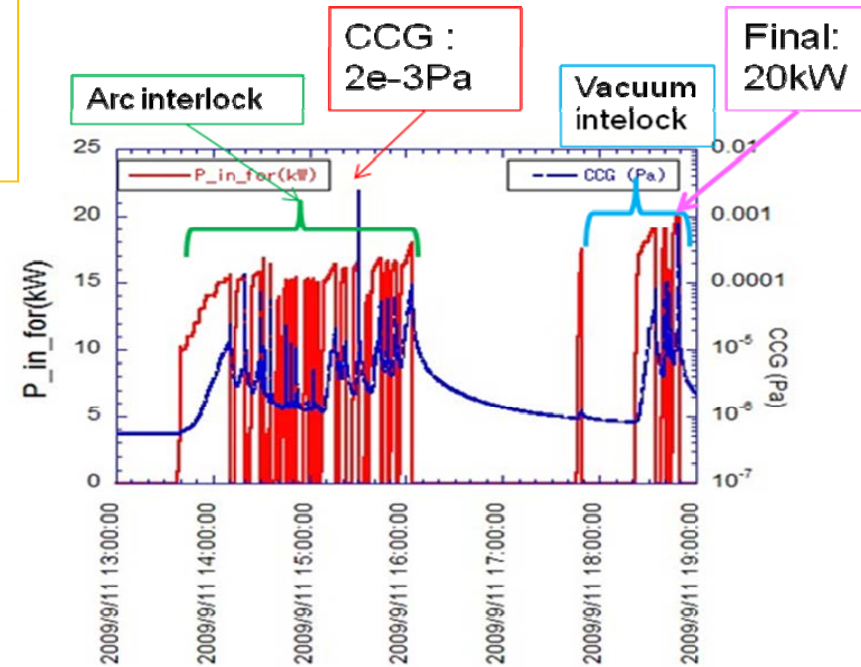
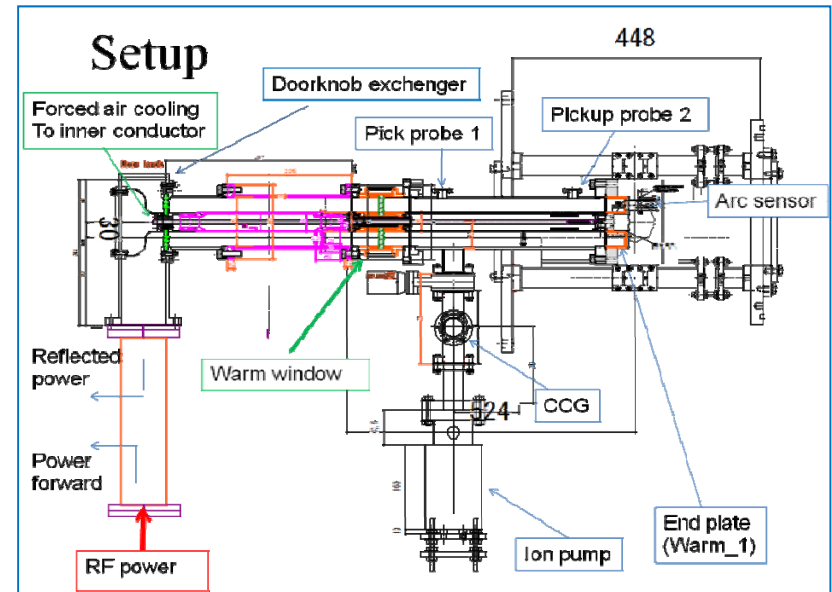
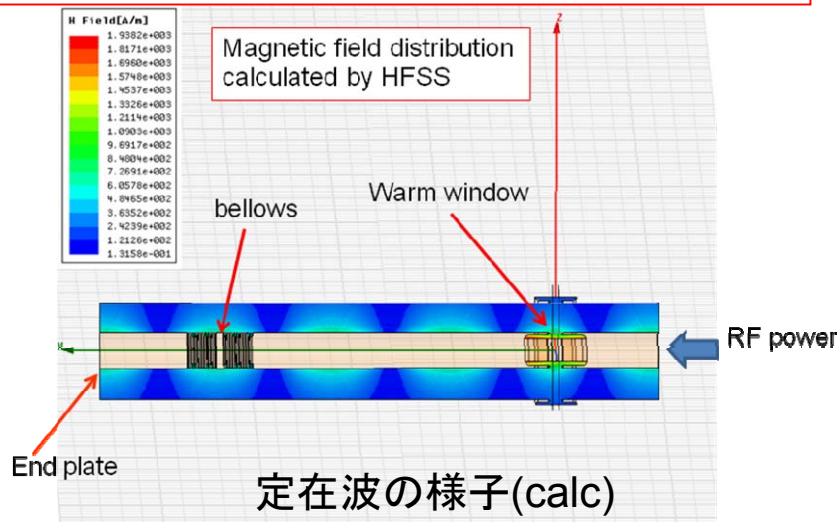
磁場peak 結果:

- ①20kWまでpower投入完了。9-12,15-17kWでarcが働く。
- ②内導体の空冷なしではベローズの温度上昇が激しい。92l/minの内導体の強制空冷で温度上昇を6.2K/kWに抑えた。ベローズはパワーテスト後も剥れなど無し。

電場peak結果:

- ①4kWでセラミック窓が割れる。前回同様割れる前にもう一つのwarm窓でも強制空冷をさらにかけるが7kWで割れた。原因はpower lossに伴うセラミック窓の急激な温度上昇。Peakの相関が明らかになった。

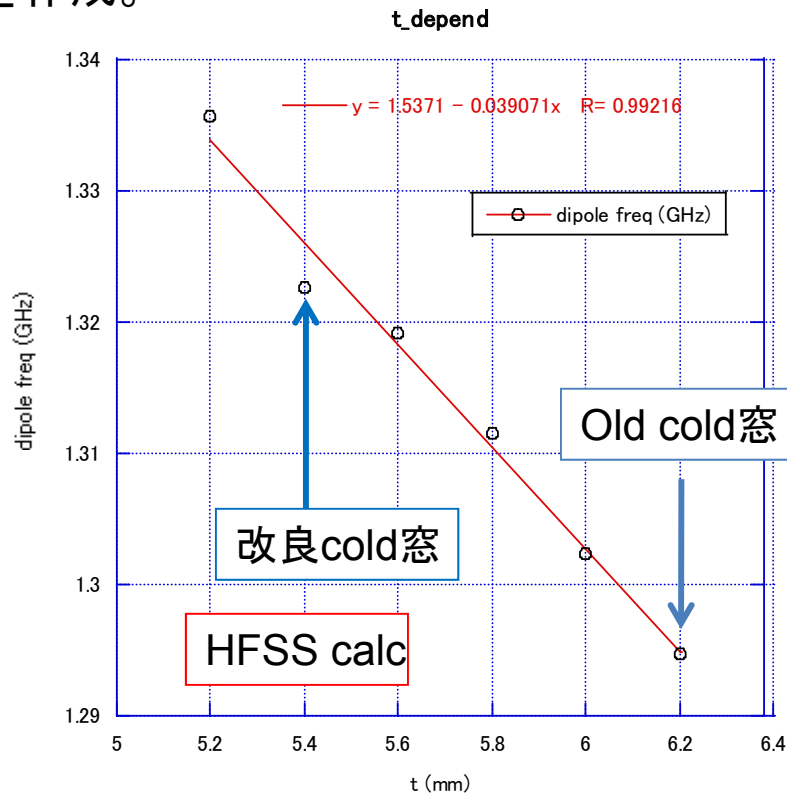
改良セラミック窓でのpower testが必要。



Power test history

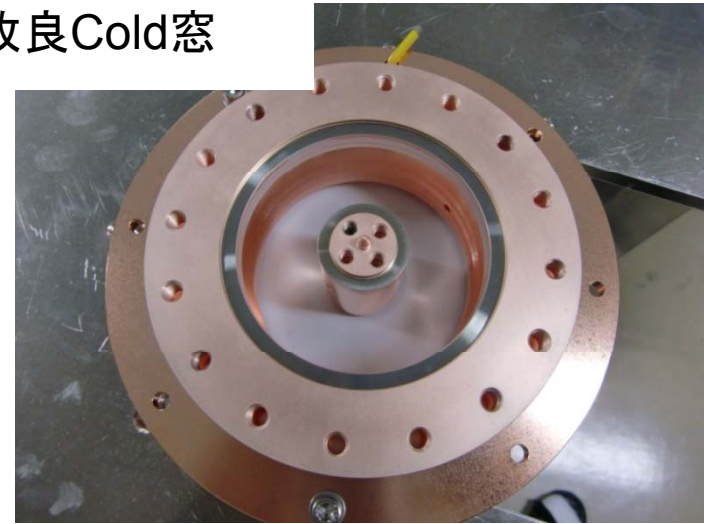
改良cold窓の製作

Dipole modeはセラミック厚みに依存。
厚みを6.2mmから5.4mmに変更し、
30MHz程度peakを上にもshiftさせるCold窓
を作成。

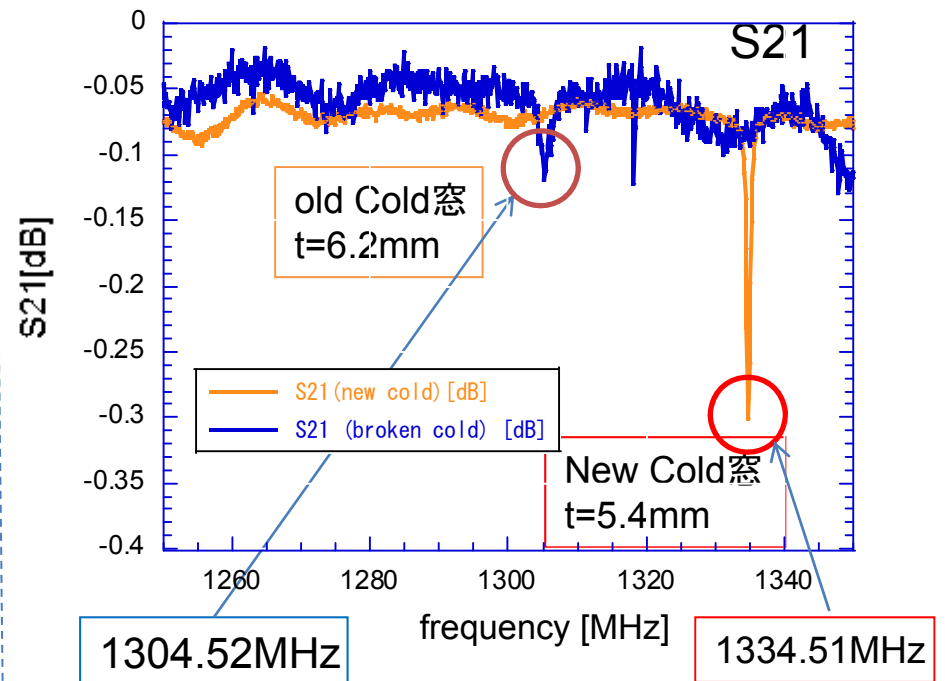


HFSSの計算では-39.0MHz/mmなので、
calc: 0.8mmの変化 $\Delta f = -31.2$ MHz
Meas: 0.8mmの変化 $\Delta f = -30.0$ MHz
なので、ほぼ設計値通りにシフトしているの
がわかる。3月末にパワーテストを行う予定。

改良Cold窓

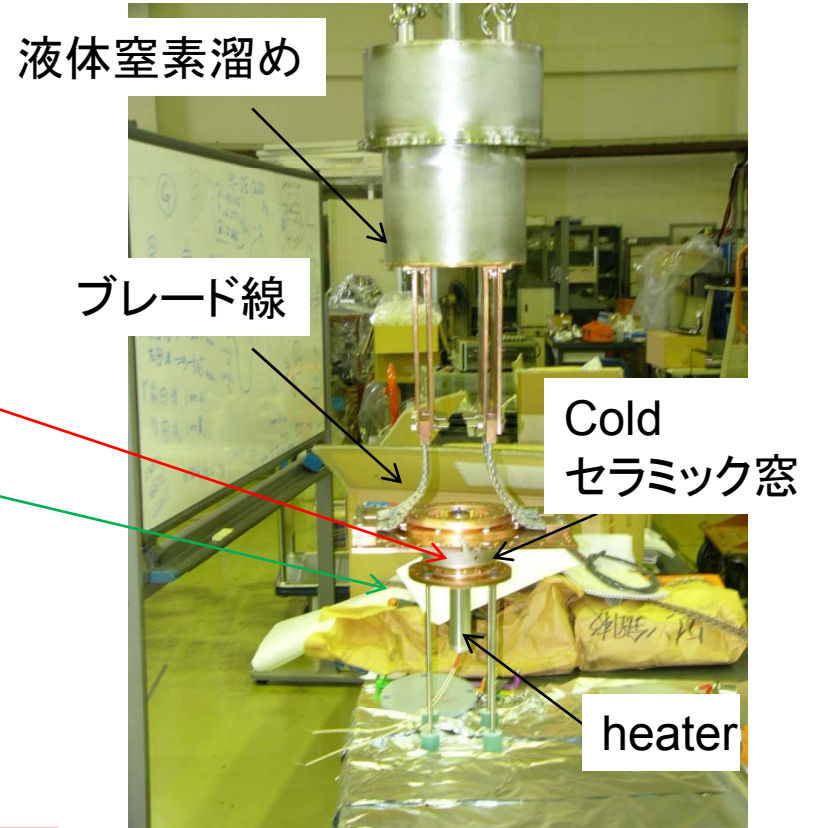
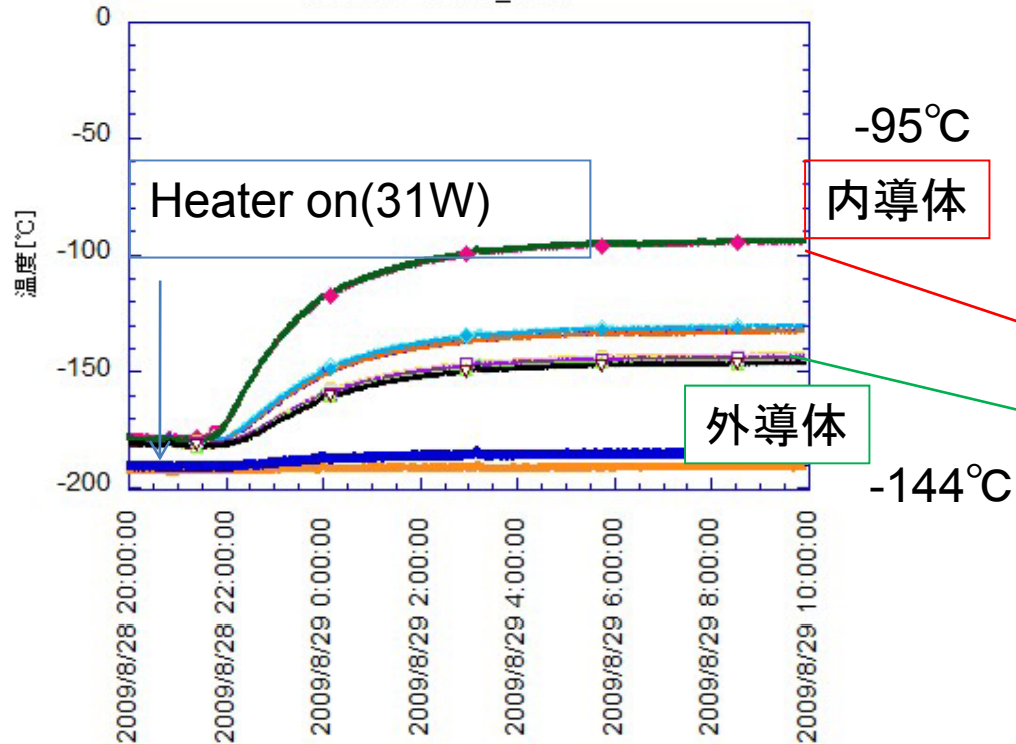


Old窓と改良窓の測定S-paraの比較



$\Delta t = 0.8$ mmによる周波数変化の測定値:
 $\Delta f = 1334.51$ MHz - 1304.52 MHz = 29.99 MHz

断熱槽でのセラミック窓冷却テスト



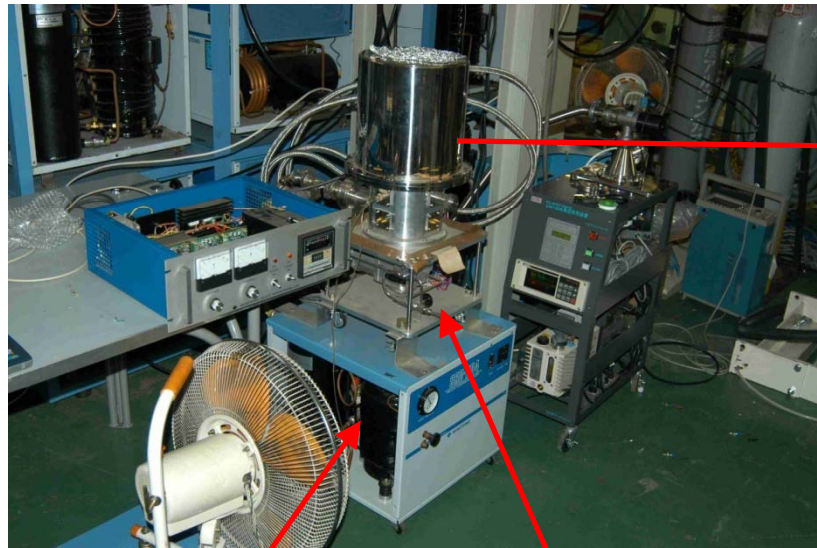
セラミック窓をブレード線の伝熱で冷却。ブレードでの冷却の可否と設計値との比較を行う。
 液体窒素温度になった後、内導体につけたheaterを入れ発熱時にセラミック窓の温度上昇をみる。
 内導体: -95°C 、外導体 -144°C 。
 温度差、 49°C 、計算では 10W で温度差が 13.5°C なので 31W では 42°C 多少温度上昇が大きい概ね設計通りといえよう。1回のthermal cycleでは今のところセラミックのleakはない。→何回かさらにを行う予定。
 ブレード線、断熱槽はダンパーの冷却試験に使用。



HOMダンパーの開発

フェライトの低温特性測定

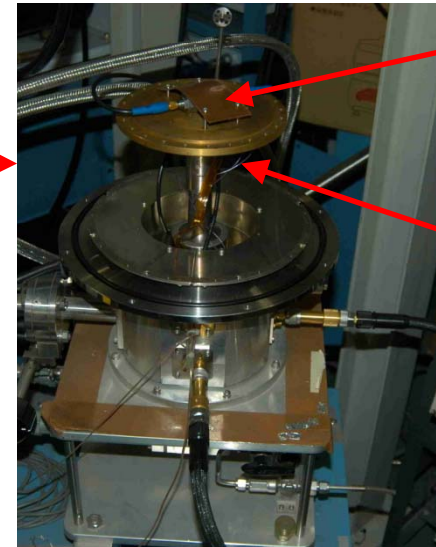
- GM冷凍機を用いて ϵ 、 μ の周波数特性の温度依存(280K~40K)を測定



コンプレッサー

GM冷凍機

真空槽



サンプル

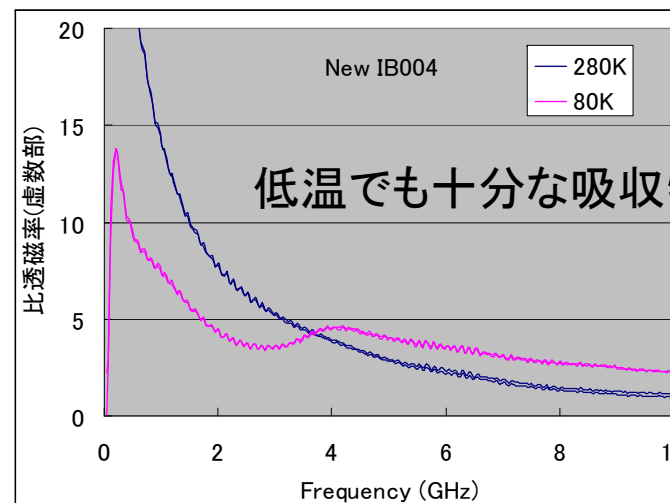
ヒータによる
温度制御

測定試料

フェライト(8種類)とセラミック(1種類)

TDK New_IB004、Old_IB004
Transtech Co. Co2Z、Ferrite50、
TT2-111
TT2-4000、TT86-6000

ニッコー電子セラミック



HOMダンパー試作機(フェライトなし)



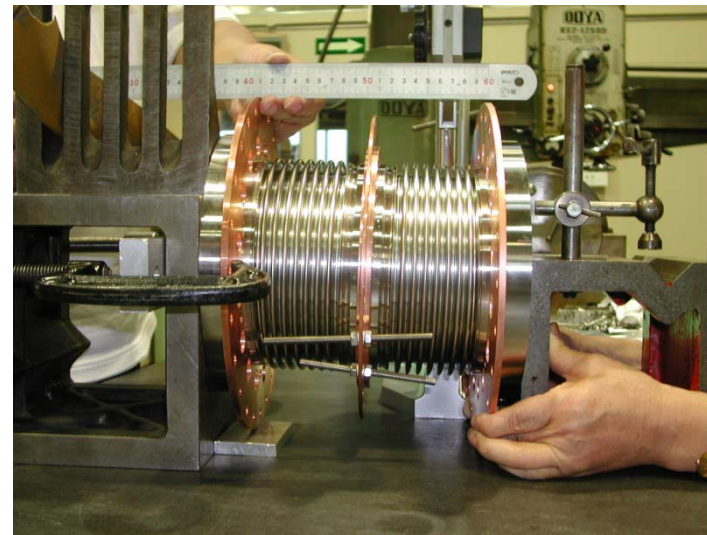
- 機械特性

- 軸方向の伸縮

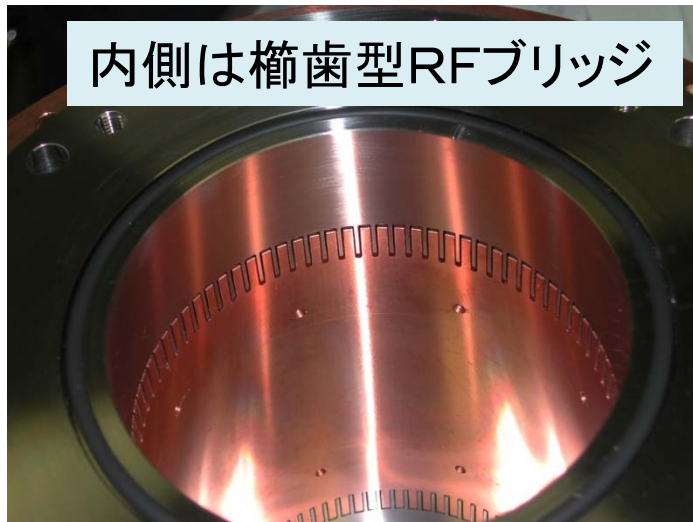
- 設計値に対して-10mm~+15mm

- 径方向のオフセット

- 5mm~10mm
 - 全長を伸ばした方がオフセット大きい



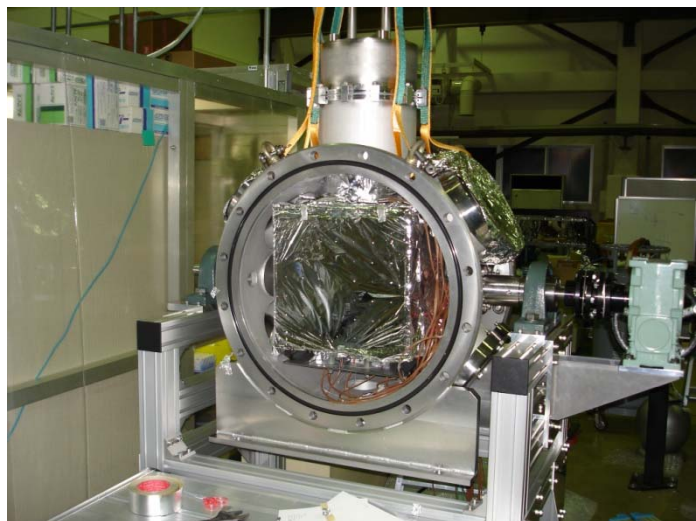
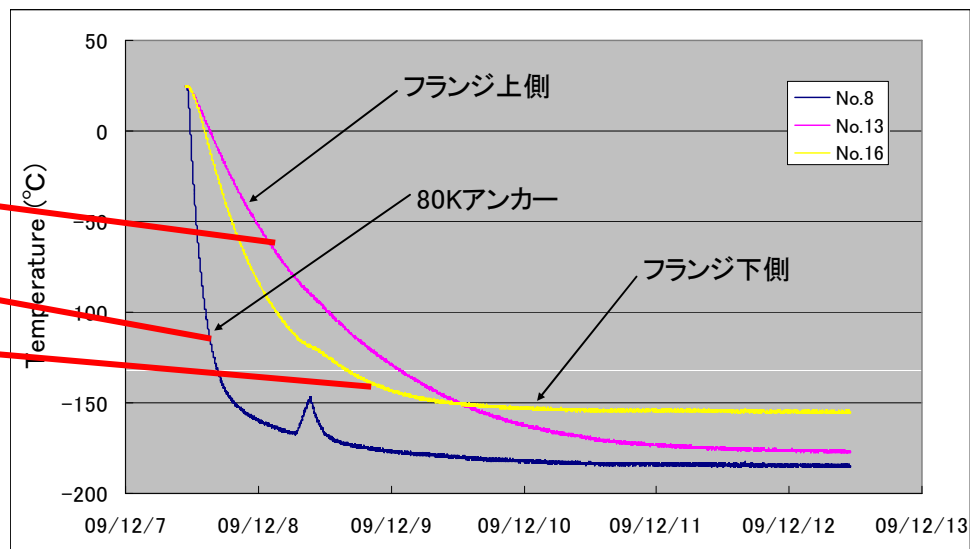
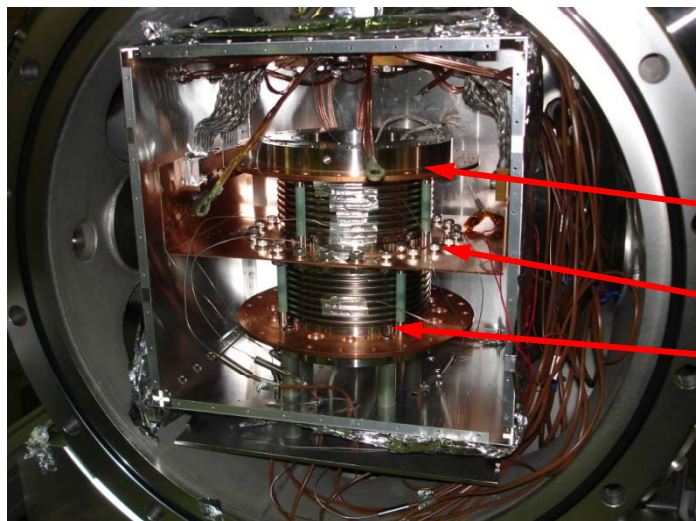
内側は楕歯型RFブリッジ



※ フェライト有りの試作機は現在、製作中

冷却試験

- カップラー用真空断熱槽を利用

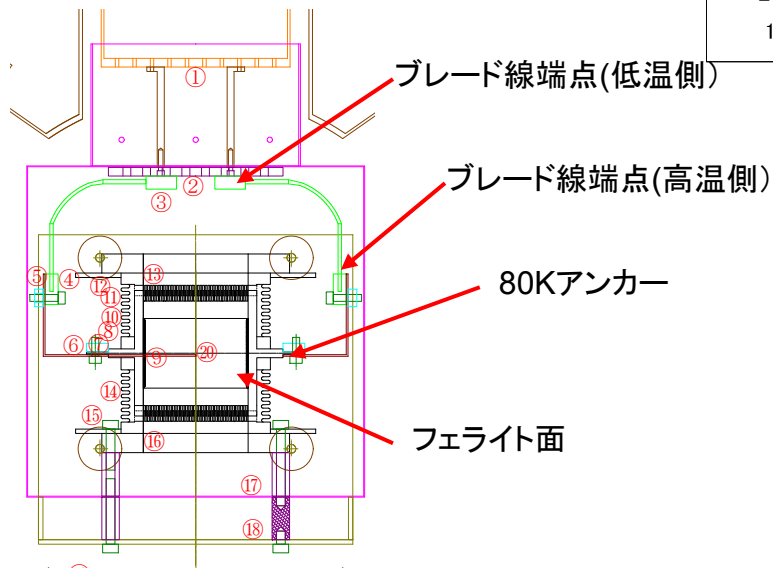
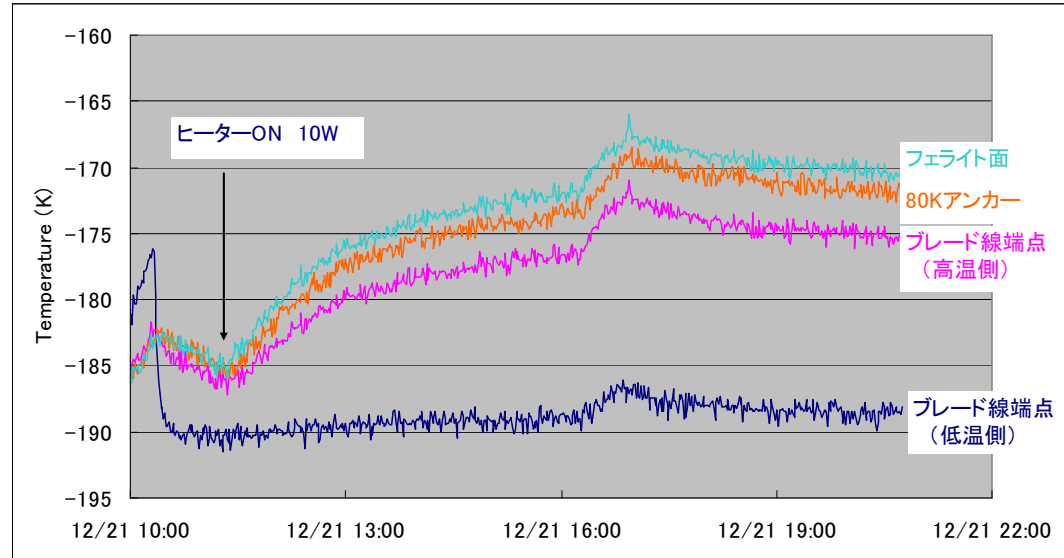
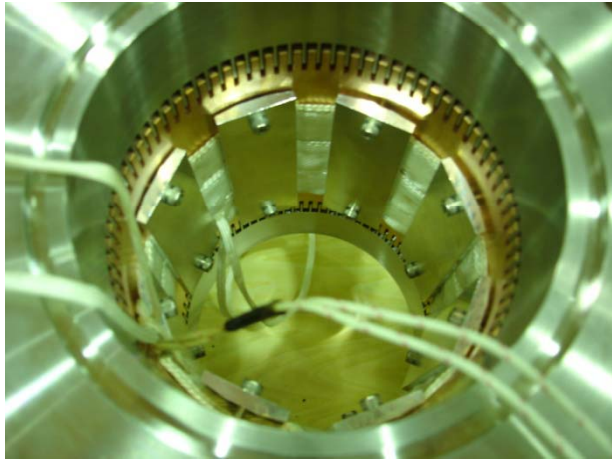


外からの入熱が多く、冷え切らない

⇒断熱を強化の予定

ヒータ試験

- リボンヒーターを内面に押し付ける



- 10W発熱での温度上昇

- ブレード線両端温度差 11.9°C
 - 断面積 400mm²
- ブレード線と80Kアンカー間の温度差 2.6°C
- 80Kアンカーとフェライト面間の温度差 1.5°C

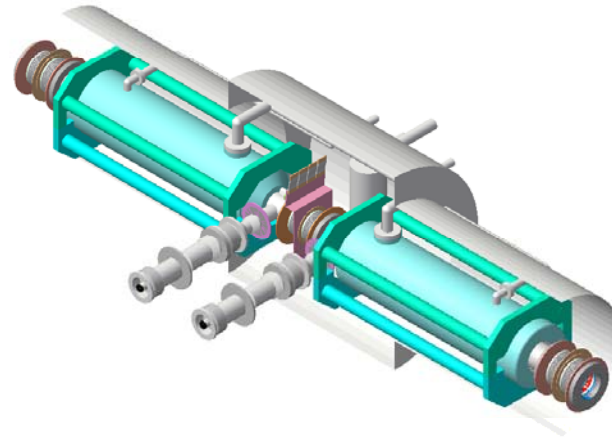
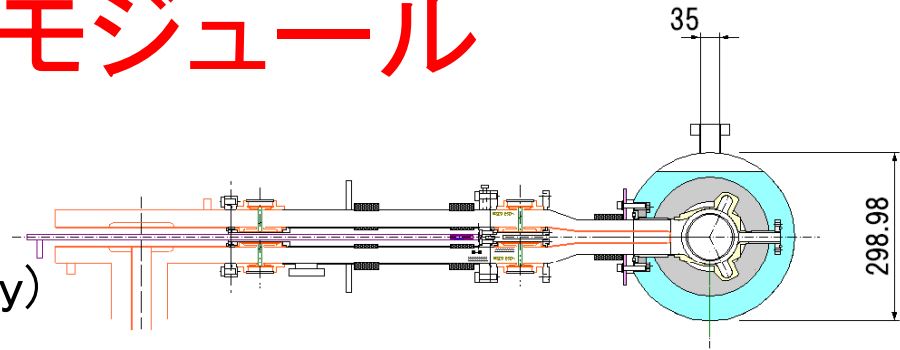
外部との入熱・伝熱の改善後、再測定予定

クライオモジュールの開発

クライオモジュール

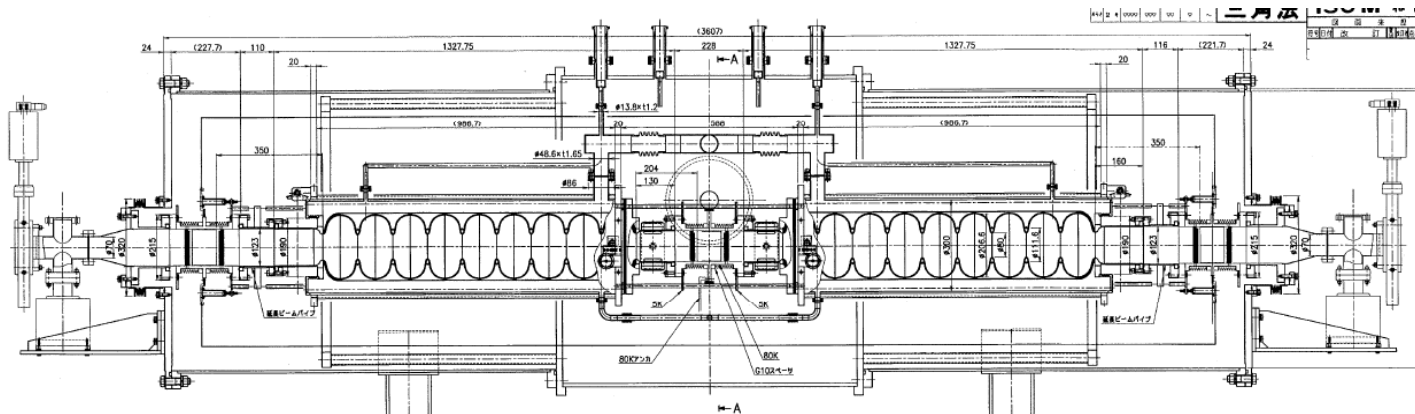
ERL主ライナックモジュール

- 15 - 20 MV x 2台
- 40W x 2空洞 at 2K (ILCは 1W/cavity)
- 減圧排気空間を残す
- 2重窓型入力カプラー (20kW peak全反射)
- 3個のHOM減衰器
(100dia x 1, 123dia x 2)



高圧ガス対策

- 空洞は1台ずつ特定設備となる
- クライオスタットは一般則
- 1月26日にヒアリング

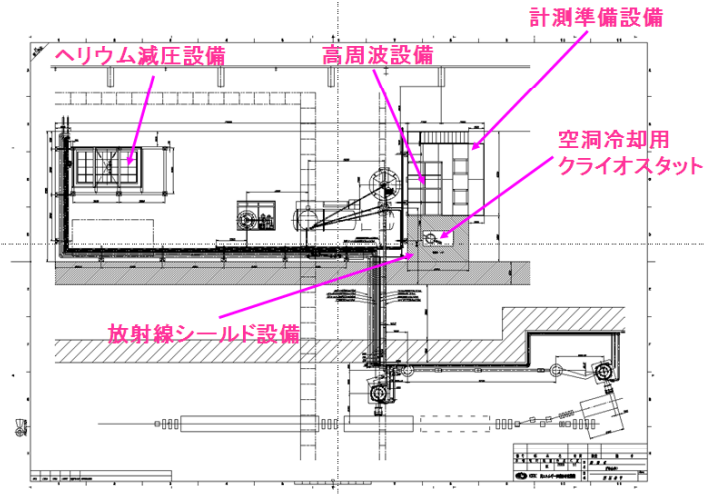
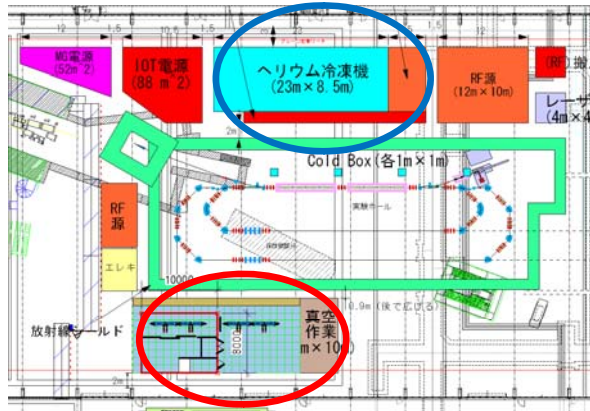


東カウンターホールの整備

東カウンターホール

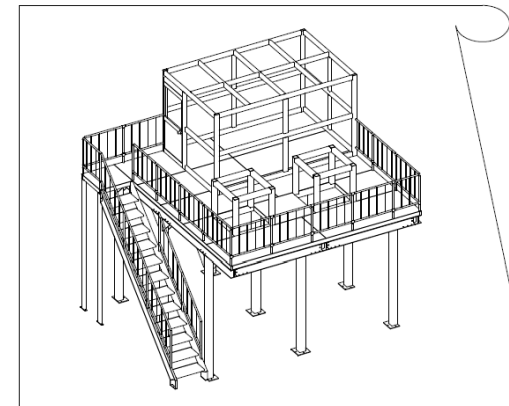
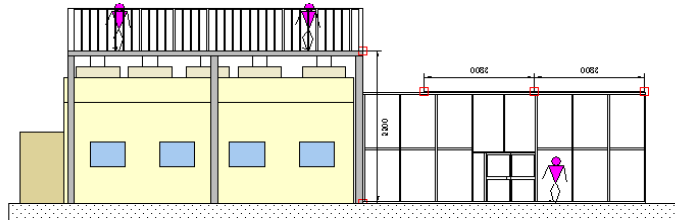
冷凍機に直結した縦測定設備

内径550mm、深さ3680mmの縦型クライオ 1基
 本年度はクライオスタットと架台まで完成
 来年度は放射線シールドなどを整備



中2階の下にERL用クリーンルーム

規模: 10m x 9mのクラス10
 用途: 空洞組立、真空部品組立など
 完成: 2010年3月20日予定
 組立治具などの内部設備が必要



まとめ(1)

- 空洞関係

- 合計6回の縦測定を行ったが、Field emissionにより15MV/m程度に制限されている。
- 回転マッピング装置を開発し、空洞診断は進展した。
- X-ray trajectory と内面検査カメラ(京都カメラ)により、4,5回目の縦測定については、emission源の突起を特定できた。
- STFにおけるEP処理が可能となった。

- cERLモジュール用空洞

- 今年度試作機を1台製作。
- Heジャケット、強め輪、フランジ、LBP等々の変更
- 高圧ガス申請やモジュール組み立てに則した設計
- 現在、ダンベルまでできている。今後、多セル化。

まとめ(2)

- 入力カップラー

- コンポーネントのhigh power 試験を実施。ベローズは空冷によりOK。窓はdipole modeの励振による発熱が問題。
- セラミック厚さを変えた改良型窓を製作。3月末にhigh power試験の予定
- 並行して、断熱真空槽での冷却試験を実施中

- HOMダンパー

- フェライト無しの試作機を製作。楕歯型RFブリッジの機械特性を調べるとともに、冷却試験を行っている。
- 断熱の強化など、改良しながら試験を継続している。
- ヒーター試験での温度上昇と計算値とはだいたい合いそう。
- フェライト有りの試作機は、現在製作中。

まとめ(3)

- クライオモジュール

- 9セル空洞2台入りのクライオモジュールを設計中
- 空洞は1台ずつ特定設備として高圧ガス申請
- クライオスタットは一般則で申請
- 1/26に高圧ガス申請の概要説明

- 東カウンターホール

- クリーンルームを建設中。3/20完成予定。
- 縦測定設備は、今年度、クライオスタット1台と、架台(測定室、スタンド)が完成予定。