

主加速器用カプラー開発の現状

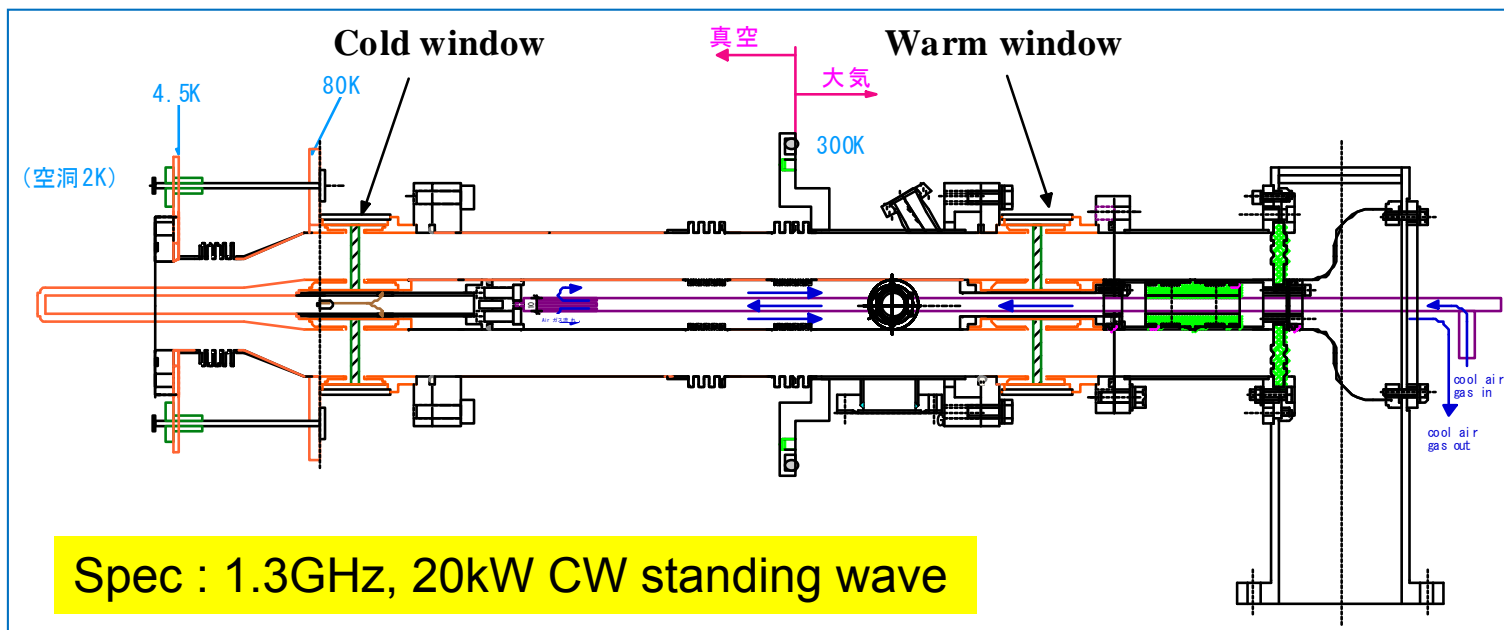
2010/6/1

阪井寛志、梅森健成、沢村勝、
篠江憲治、古屋貴章

今回の報告

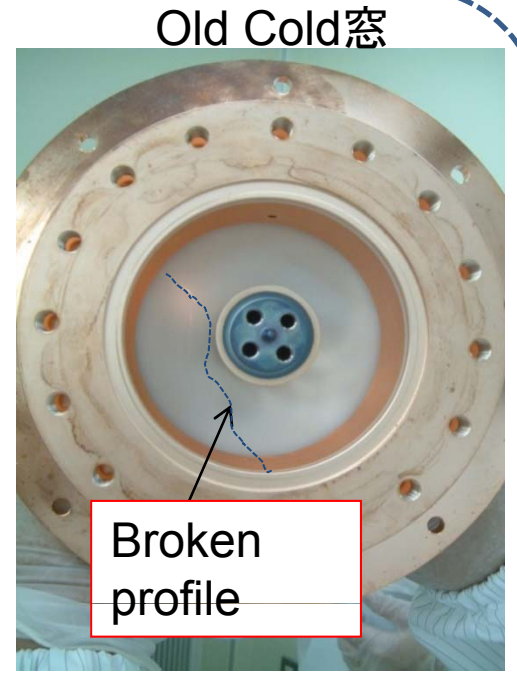
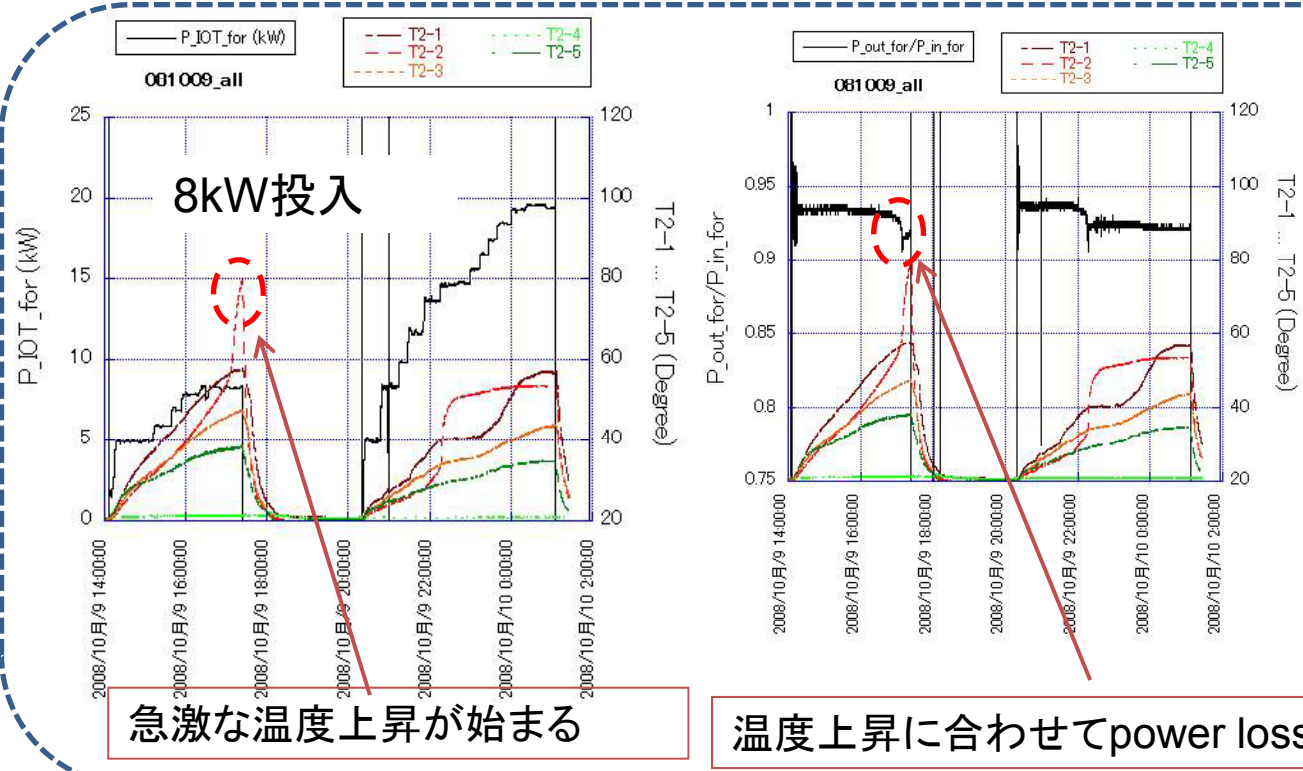
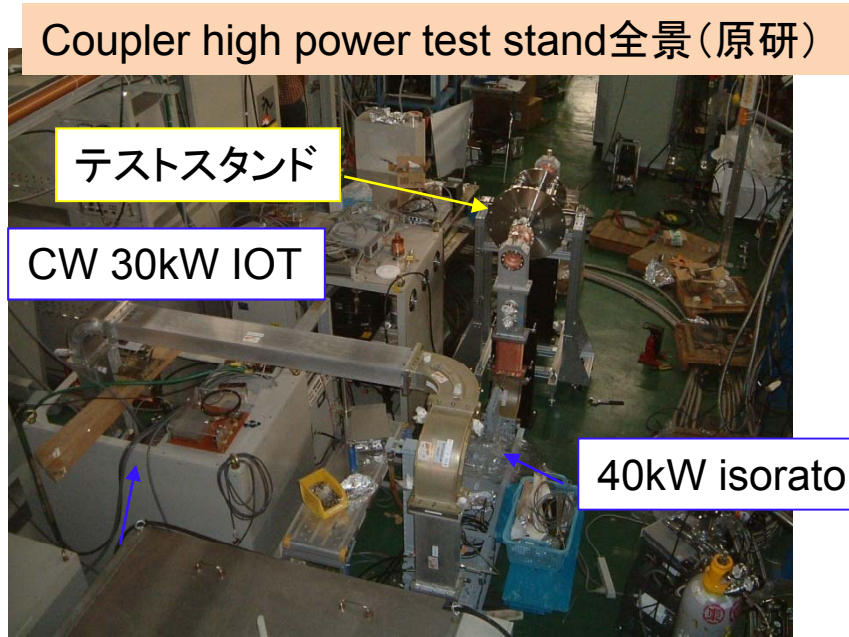
- 改良窓によるハイパワーテスト
- cold窓のthermal cycle test
- カプラー1号機のスケジュールについて

カプラー1号機のデザイン



①改良前の窓の問題点(復習)

- 30kW CW IOTを用いたテストスタンドを原研に構築。
またwarm窓、cold窓のcomponentを作成した。
- High power testで8kWのパワー投入で急激な温度上昇がCold窓に見られた。この際にパワーロスもみられていた。
- その後、中を開けた所、セラミック窓が割れているのが確認された。

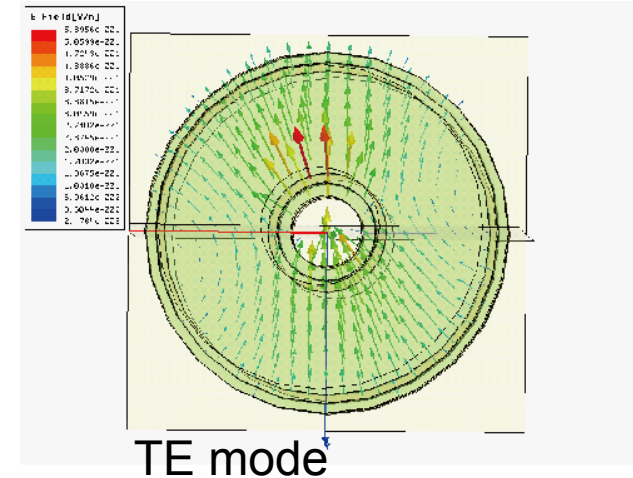
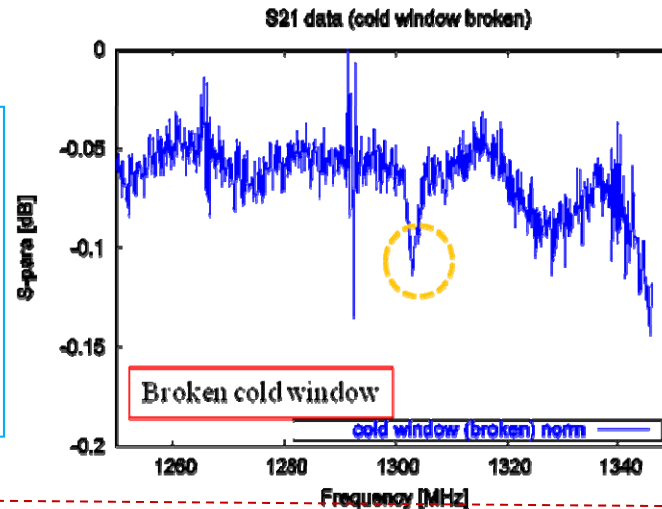


窓の詳細測定

Low level 測定結果

HFSSによる共鳴peak

割れたLow level測定で1.305GHzに共鳴peakが見られた。セラミック窓のsimulationにより、1.3GHz近くにdipole modeが立つことがわかった。

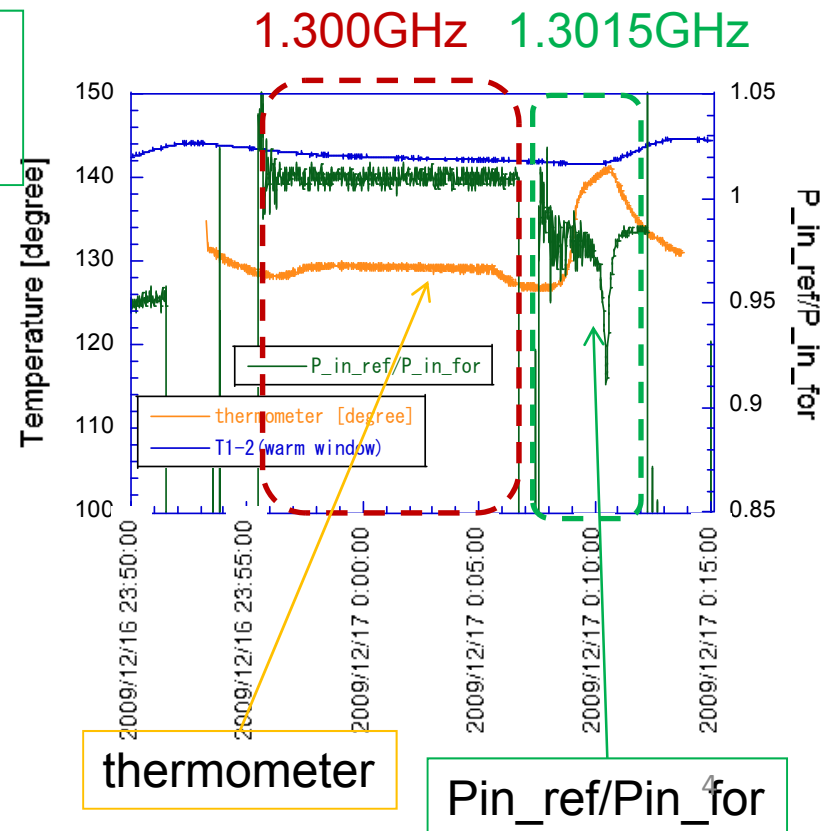


High power testによるpower lossと共鳴の関係。IOTのSGの周波数を共鳴近くに持っていくとpower lossが見られるとともにセラミックの温度のみが上昇しているのが見られた。

Warm窓の定在波でのHigh power再測定(電場peakがセラミック窓)

(磁場peakは問題ない。)

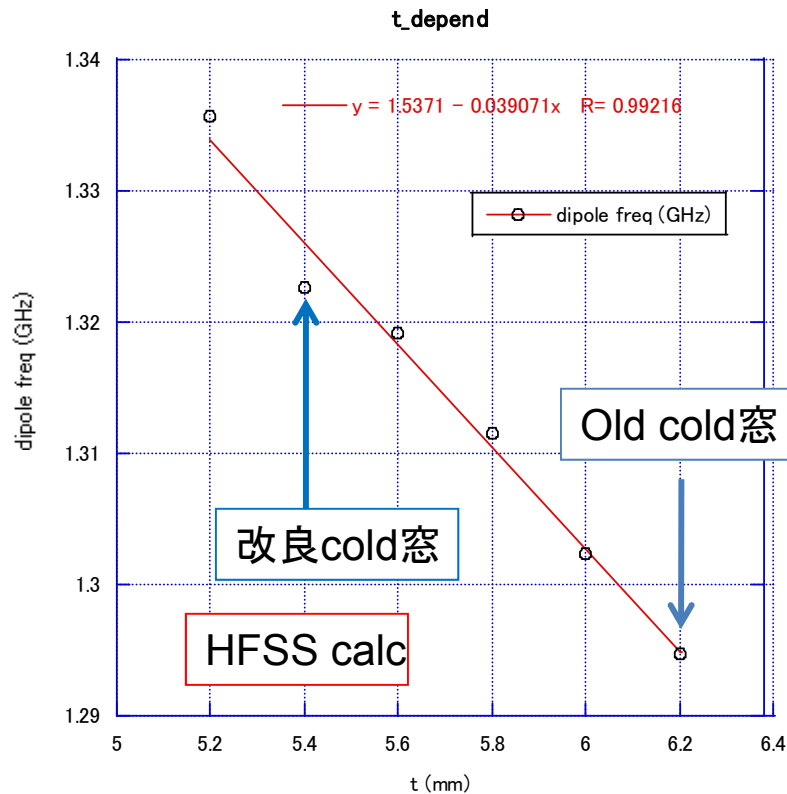
Thermometer (放射温度計)



共鳴peakを遠ざけるセラミック窓の作成が必要。

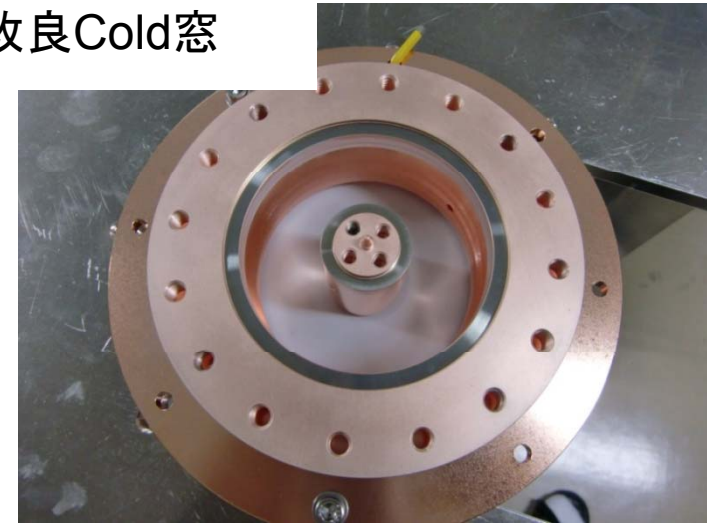
改良cold窓の製作

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を上にしftさせるCold窓を作成。

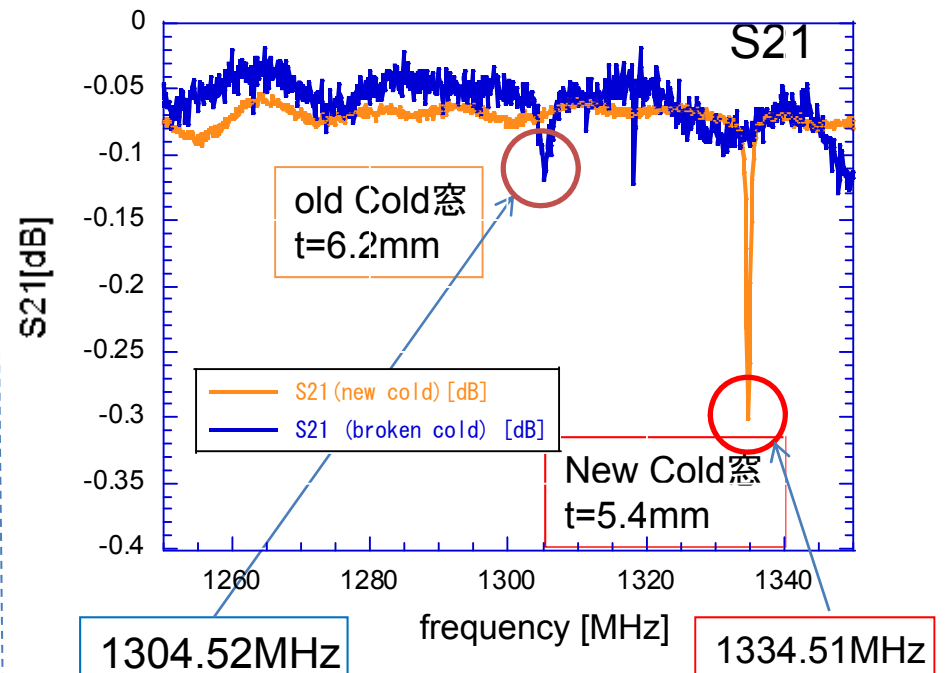


HFSSの計算では-39.0MHz/mmなので、
calc: 0.8mmの変化 $\Delta f = -31.2\text{MHz}$
Meas: 0.8mmの変化 $\Delta f = -30.0\text{MHz}$
なので、ほぼ設計値通りにシフトしているのがわかる。

改良Cold窓

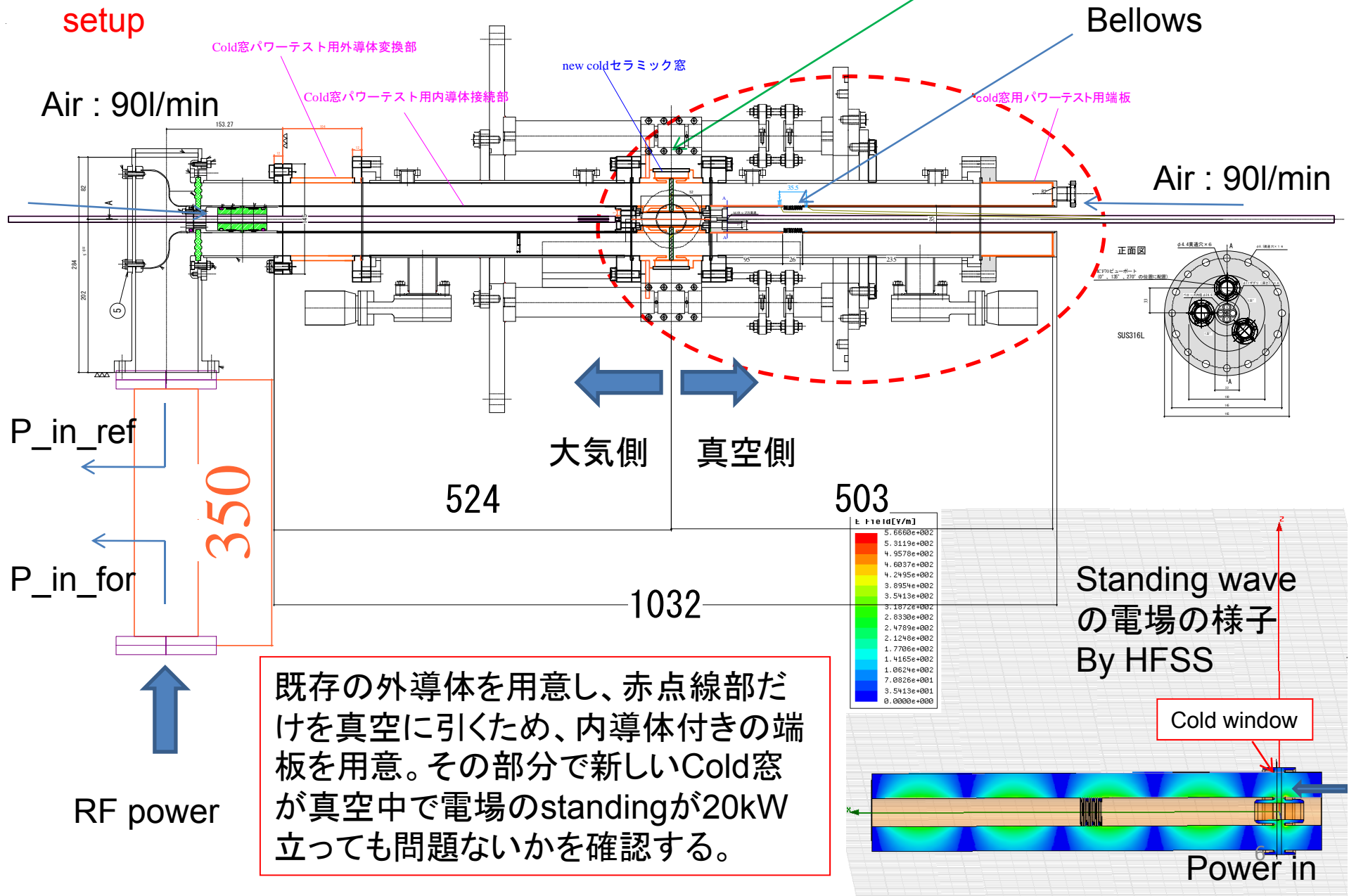


Old窓と改良窓の測定S-paraの比較



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

High power test of new ceramic window

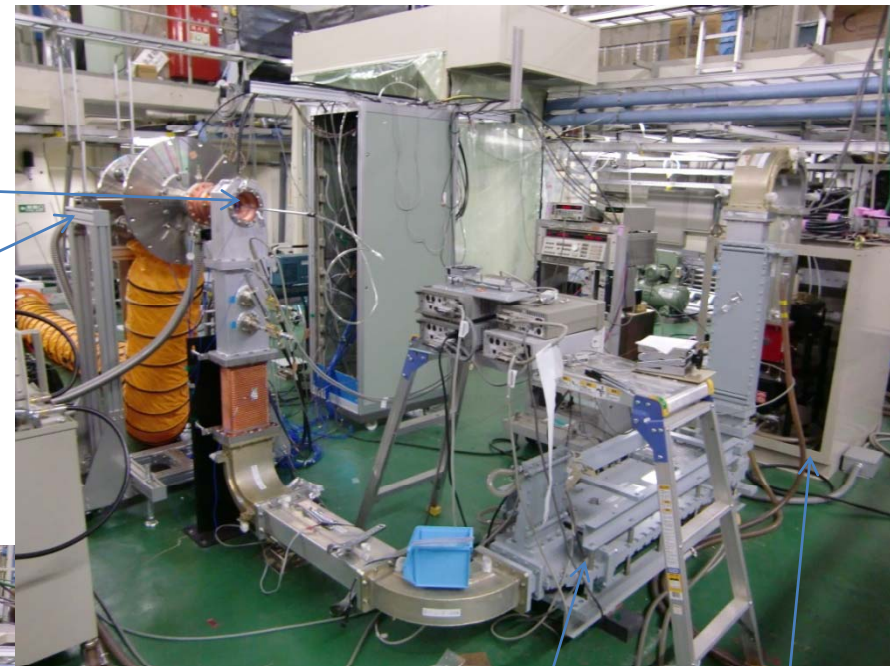
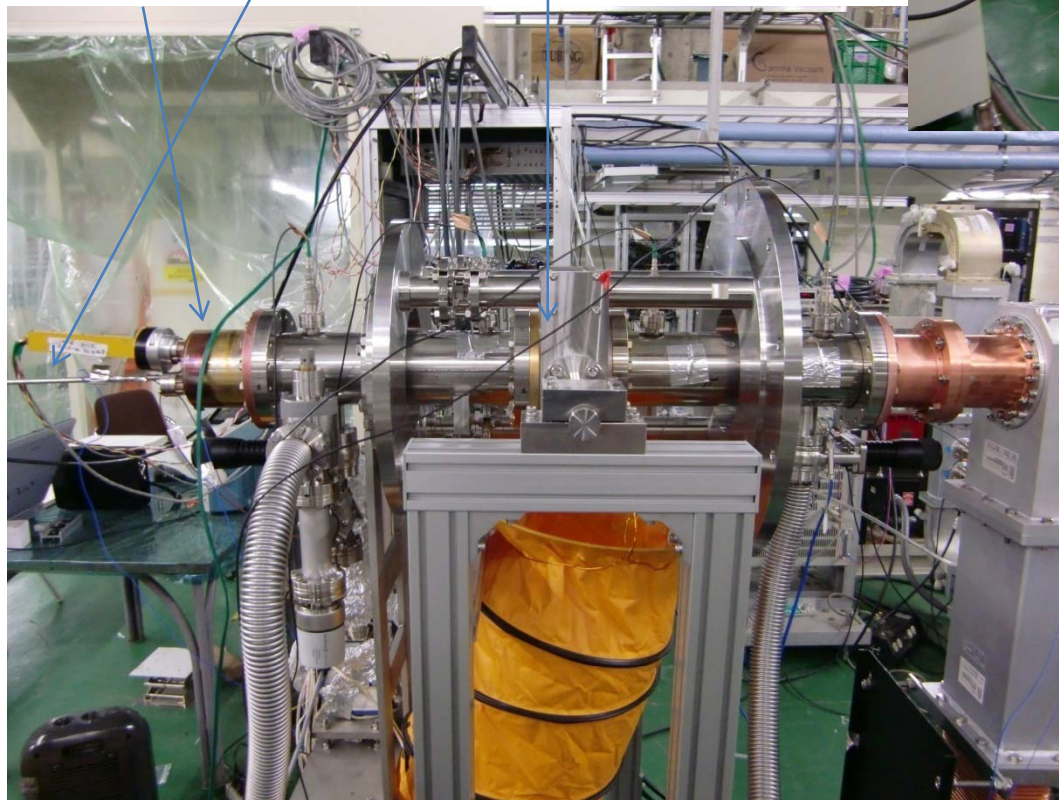


Setup (picture)

Air cooling to inner conductor

New Cold 窓

End plate

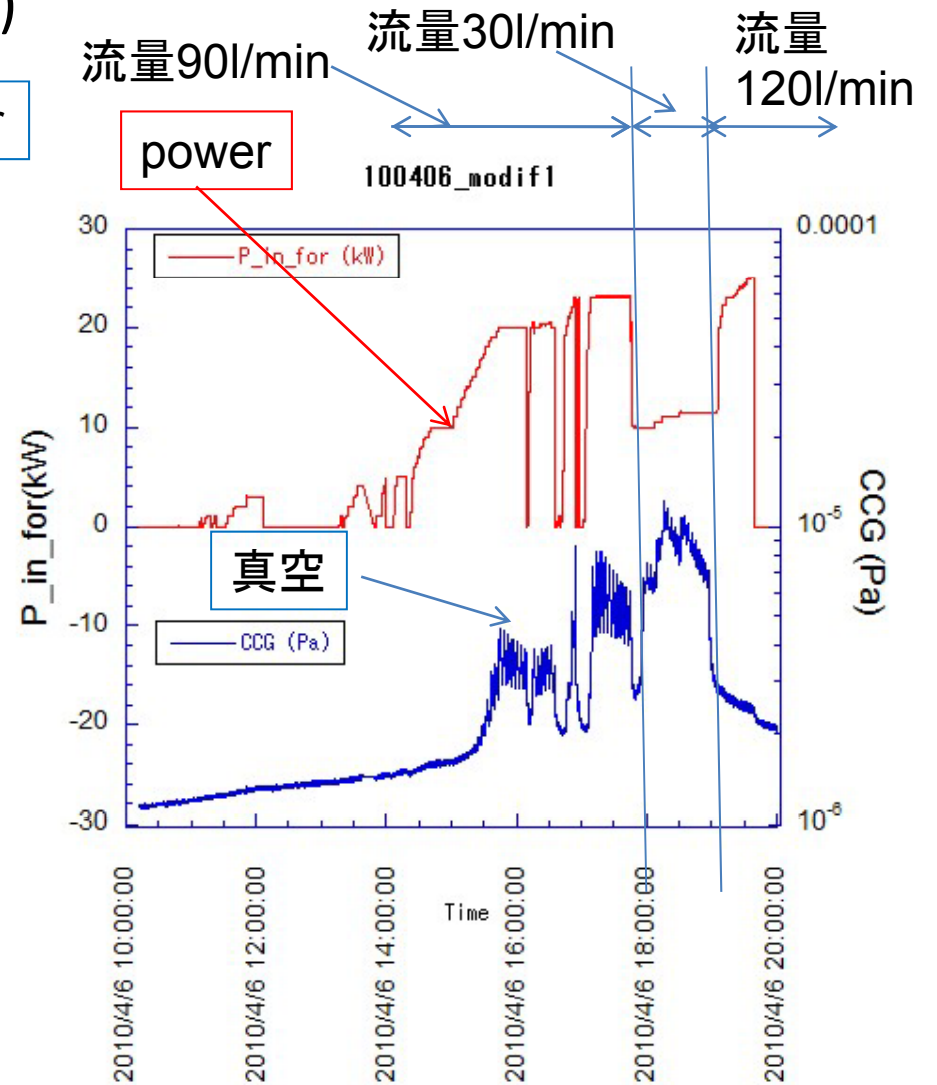
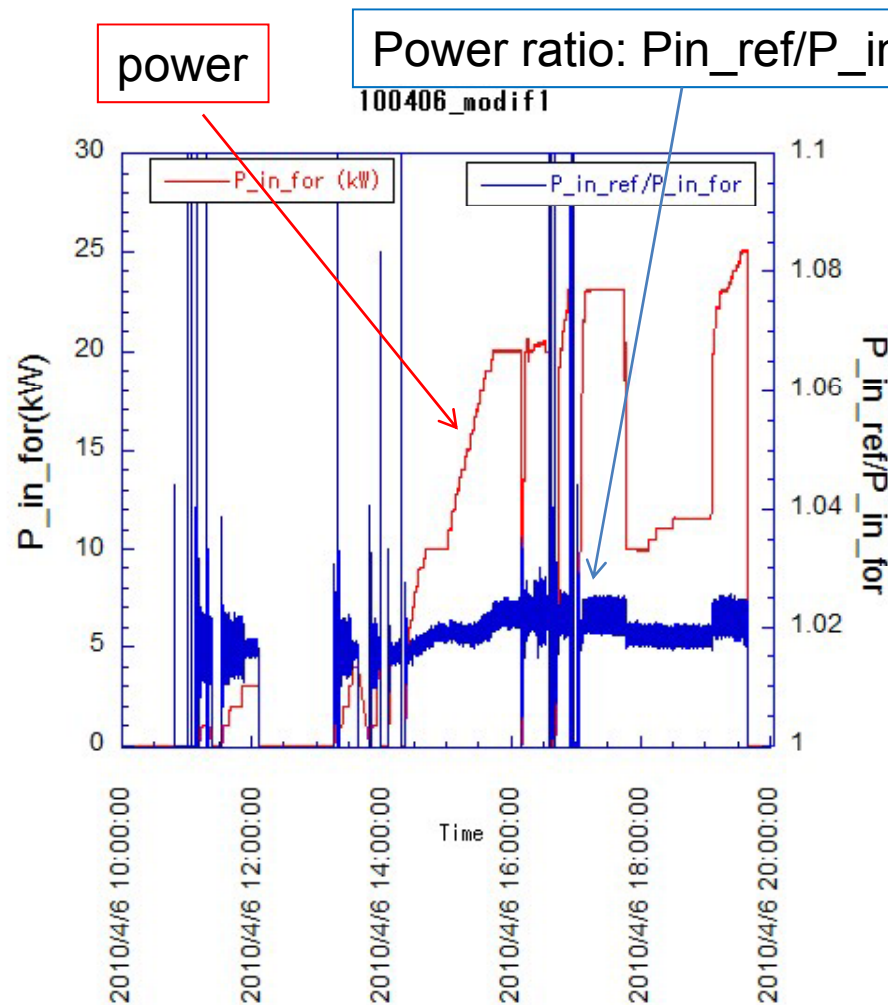


CW 30kW IOT

40kW isolator

doorknob

Results of power test (2010/4/6)

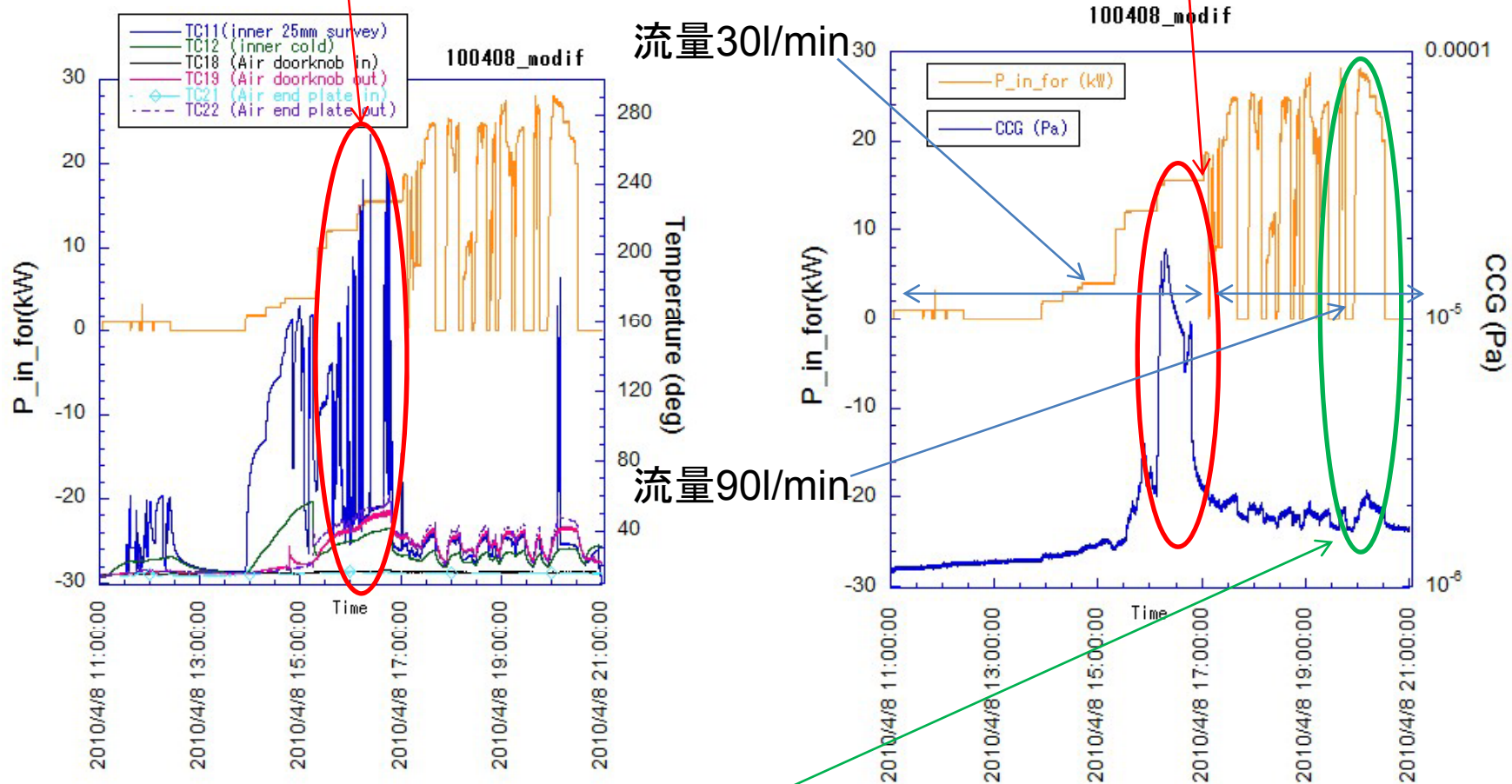


前回とは違い、Power lossは見られず、途中、真空の悪化が見られ。最後は内導体に流すairの流量を120l/minに上げたら、真空悪化はなくなり、まずは25kWの定在波で投入可能であった。Arc interlockなどはなし。

真空悪化とベローズの温度の関係 (2010/4/6)

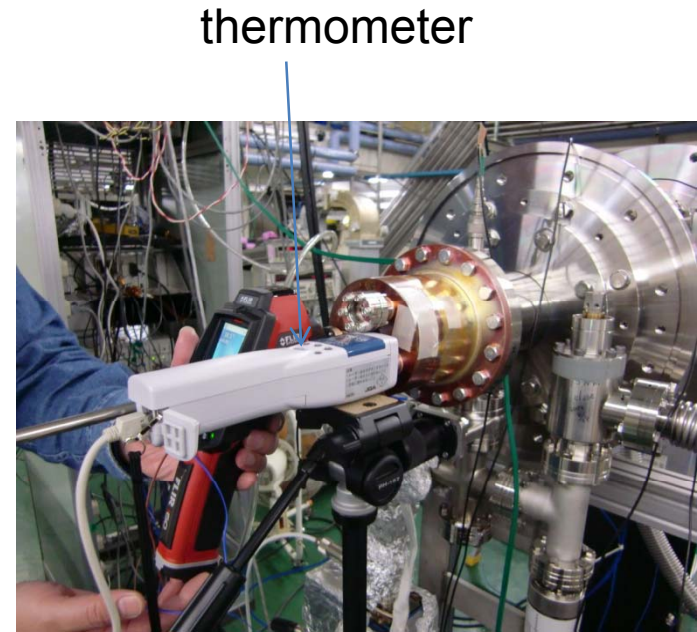
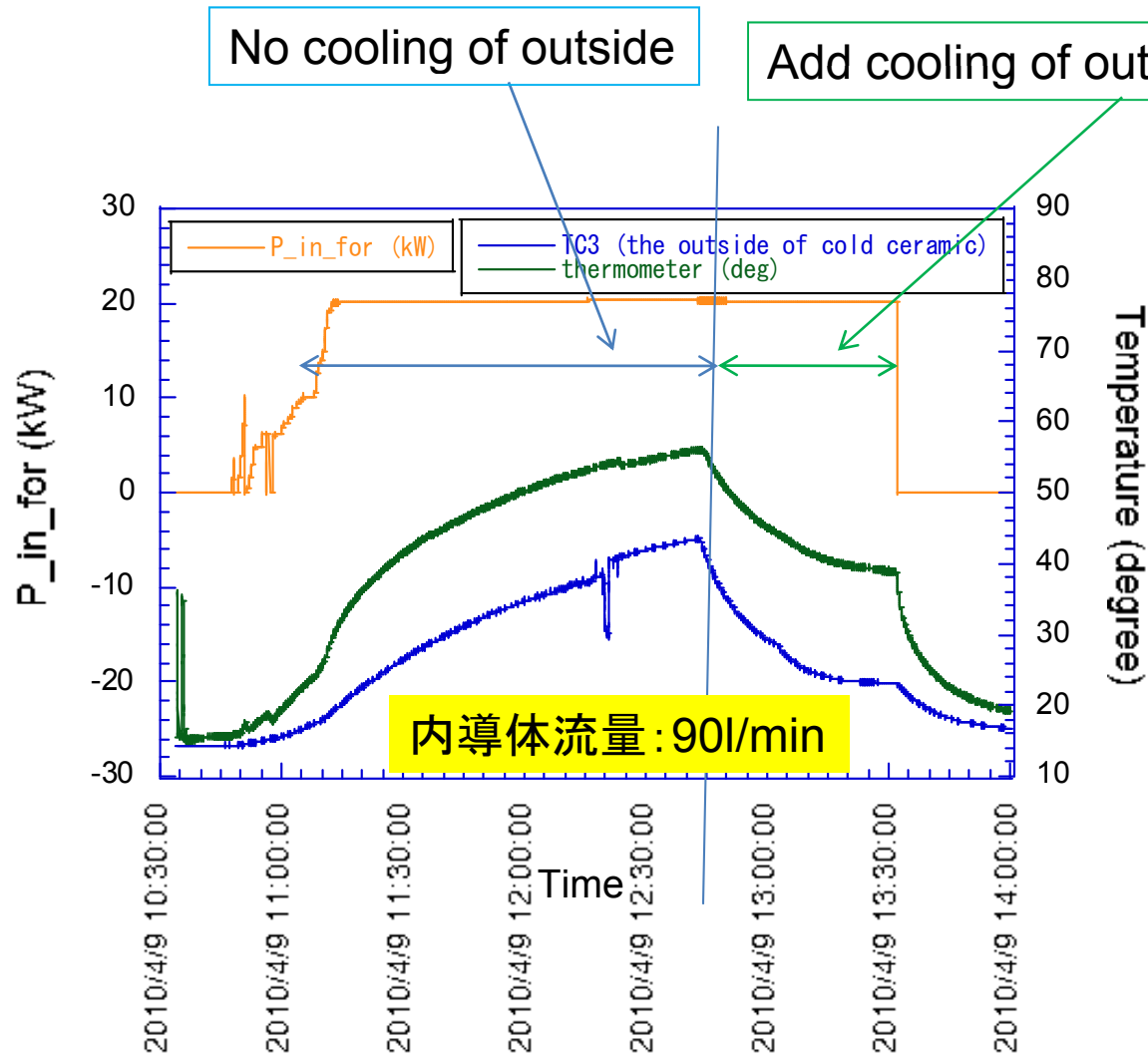
真空悪化の際、ベローズの中温の温度は200度以上になっていた。

低いパワーで流量を下げて内導体の温度を上げる。これで真空が大きくなった。但し、じわじわ真空が下がっている。



Baking効果があり、**最大CWで27kWの定在波**を入力可能になった。真空も問題ないことはわかった。

セラミック窓の温度上昇(2010/4/9)



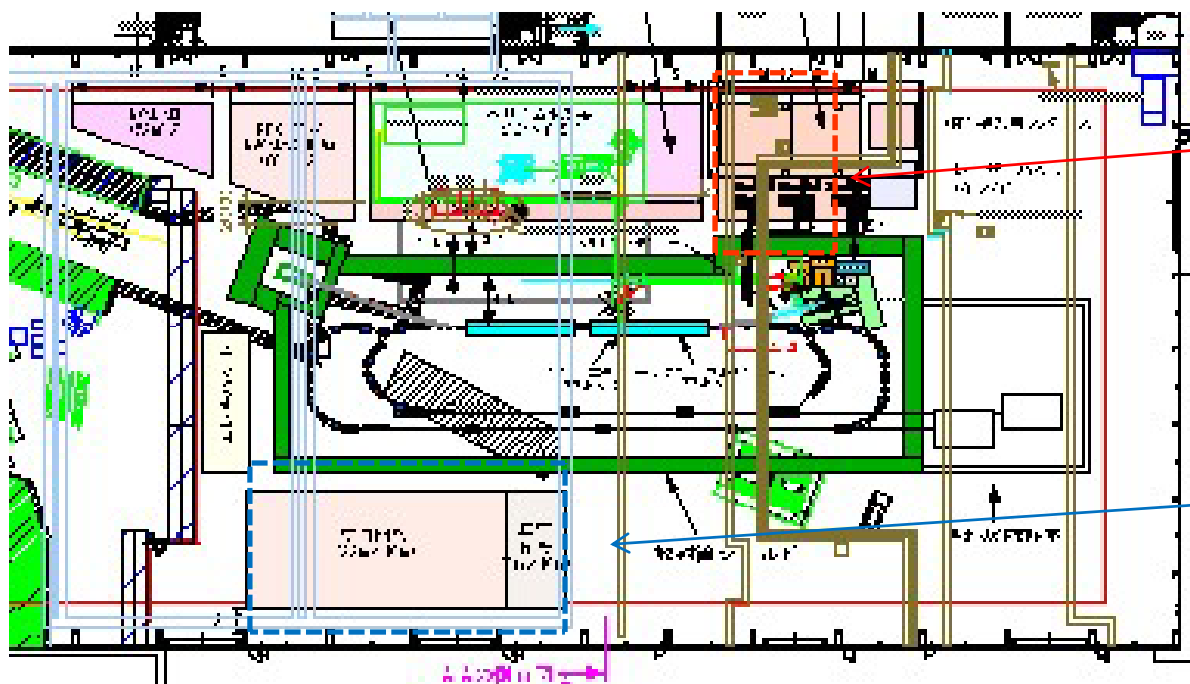
Thermometerでセラミック窓の温度上昇を直接観測

内導体に流すairの流量を90l/minにkeepし、specの20kWにkeepして、セラミック窓の温度上昇をみた。セラミック窓の温度上昇が一番大きく、外部空冷無しで $\Delta T=40^{\circ}\text{C}$ 程度。これは問題ない程度。

前回の磁場peakの結果を含んで、改良セラミック窓のパワーテストはOK。

新しいセラミック窓のhigh power testのSummary

- セラミック窓の厚みを6.2mmから5.4mmに変更した新しいセラミック窓を作成した。その結果、共鳴peakを計算通りに30MHz上にescape可能であった。
- セラミック窓に電場peakがくるような定在波のhigh power testを新しい窓を用いて行った。前回と違い全くpower lossがなくsmoothに27kWまでのCW standing waveのパワーが投入可能であった。
- 温度上昇はセラミック窓で $\Delta T=40$ 度であり、問題ない。
- 現在カプラー1号機の作成を行っており、夏以降に1号機のハイパワーテストを東カウンターホールにある30kW IOTで行う予定である。(原研から移設予定。)



Test standの場所。

カプラーの組み立て
+ 保管はクリーン
ルーム内

②セラミック窓のサーマルサイクル試験

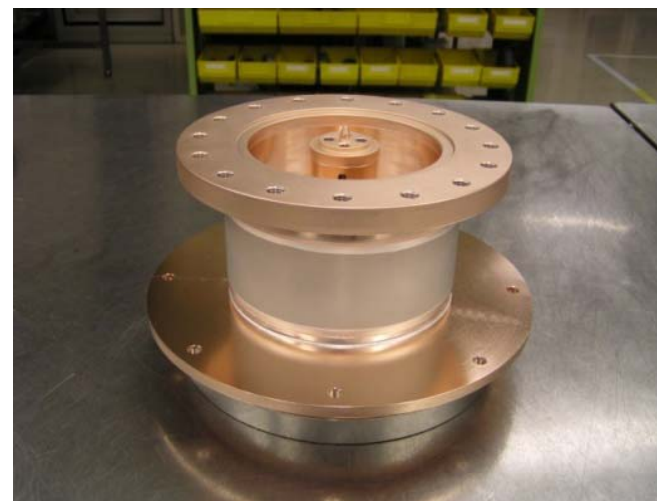
- Motivation
 - STF-BLGから、室温 \leftrightarrow 80Kを幾度かくり返すとCold窓から真空リークが発生すると報告。4台中3台も(2009年夏前)
 - 内導体ろう付け部からの漏れが原因。
 - ERL主加速器用カプラも例外ではないが、HA997や、内外導体の半径の違い、chokeの長さの違いなどもあり、こちらでも違いがあるかどうか作成したCold窓でサーマルサイクル試験を行う。
- 5回の(4回が80K、1回は180K)の冷却試験を行った。
 - 1回目: 断熱槽にてブレード線を使用し、80Kまで冷却
 - 2回目: 発泡スチロール容器にCold窓を入れ、180Kまで冷却。
 - 3-5回目: 発泡スチロールにて、80Kまで冷却。

Coldセラミック窓詳細図(外部配布禁止)

・パラメータ

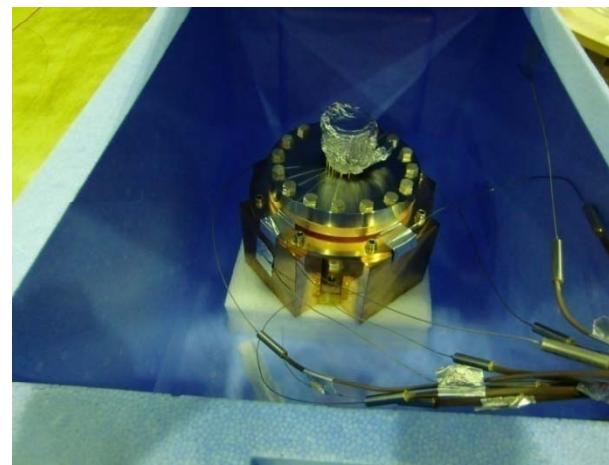
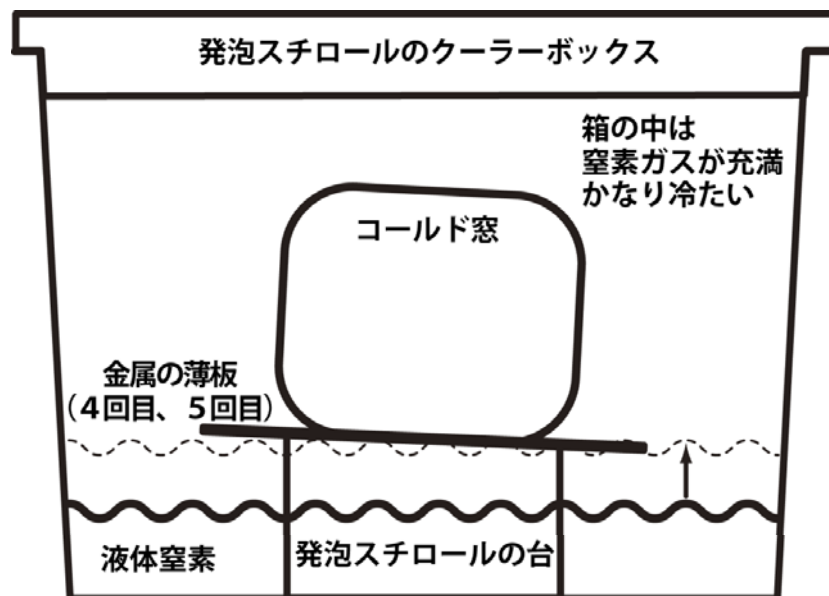
-セラミック(HA997)厚み	6.2mm
-内導体のCu厚み	1mm
-Moリング	0.25mm
-ろうづけ	金ロウ

STF-BLとの違い: セラミック窓 HA997
内導体choke長さの違い: $\Delta l=10\text{mm}$
内外の半径。



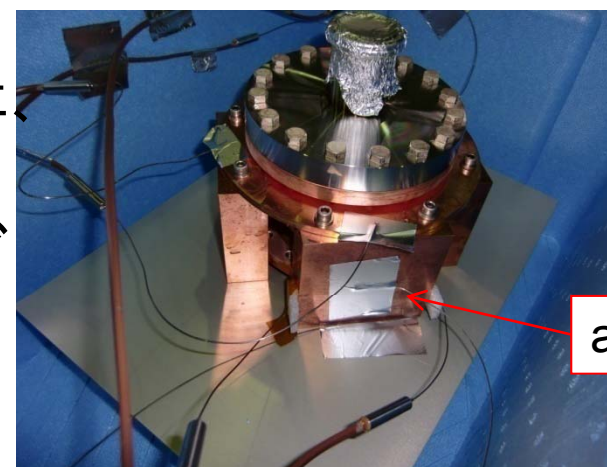
窓はN社、全体の製作ろうづけはT社にて
行った。

冷却の様子(2回目以降のクーラーボックスでの冷却)



発泡スチロールの台にCold窓をのせる。

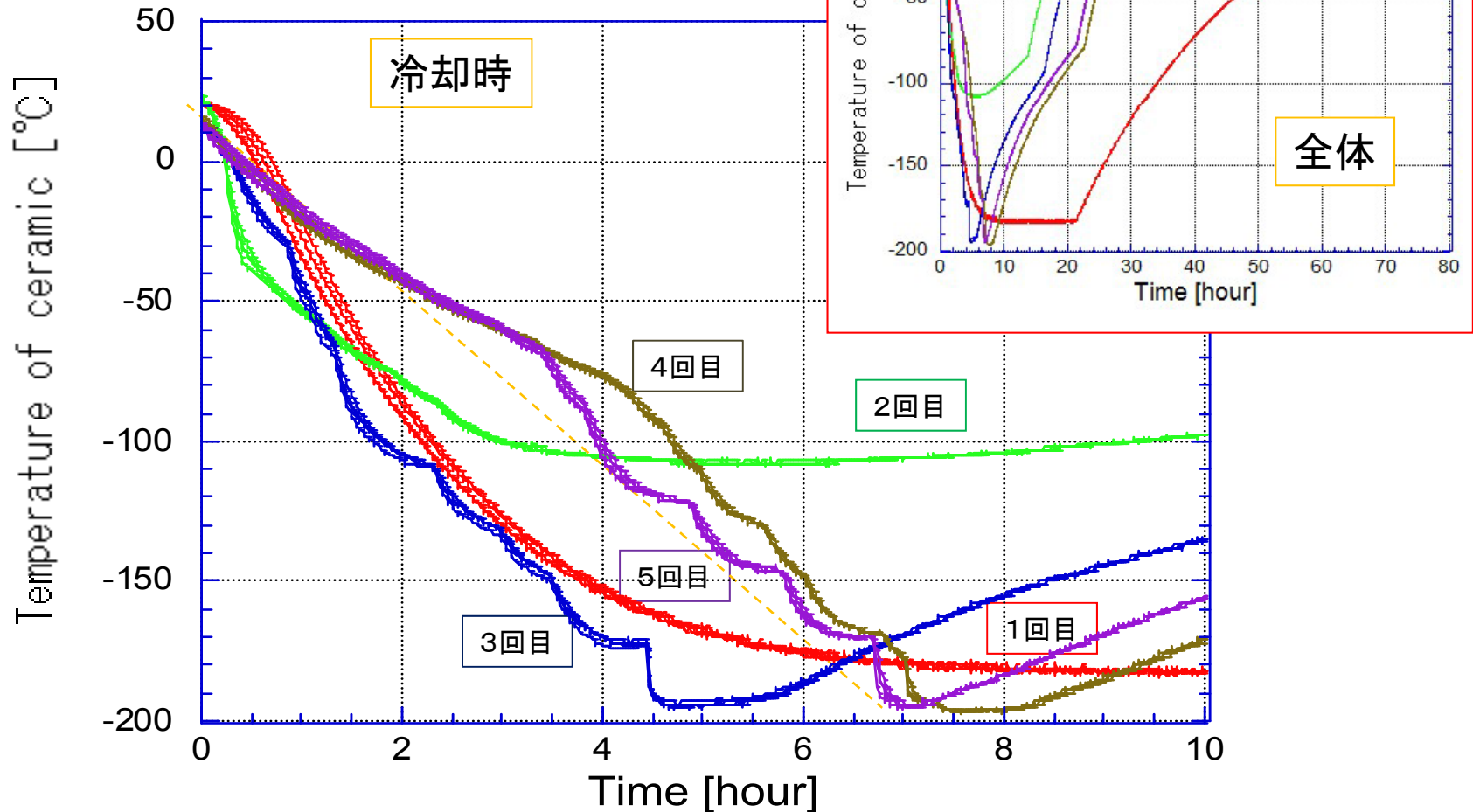
- 試験を簡略化するため、断熱真空槽を用いずに発泡スチロール製ボックスでテストを行う。
- 液体窒素の冷気で冷却、その後アンカー部に少しずつ液体窒素を触れさせ冷やしていく。
- 液体窒素は約30分に一回のペースで入れた。
- この2回目のみ180K (-100°C)、3回目以降80K (-200°C)到達後しばらく放置。室温に戻った後、リークチェック。



4回目以降は板にのせる

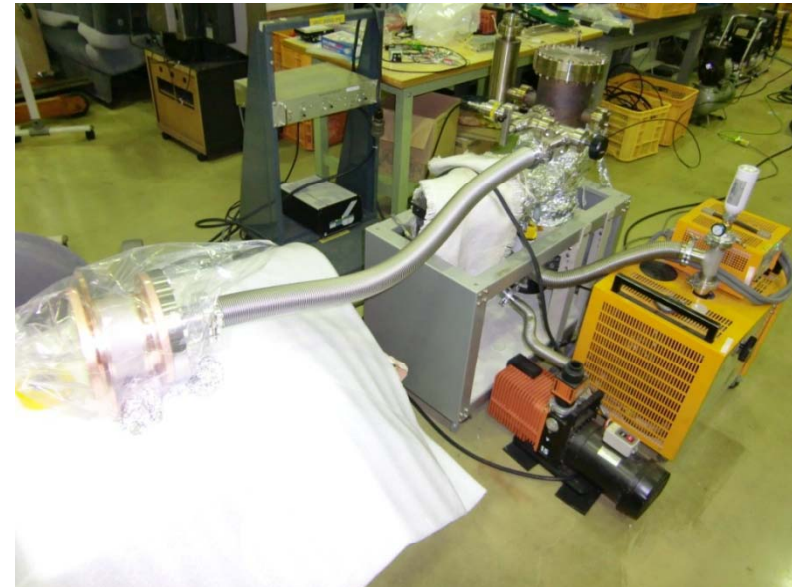
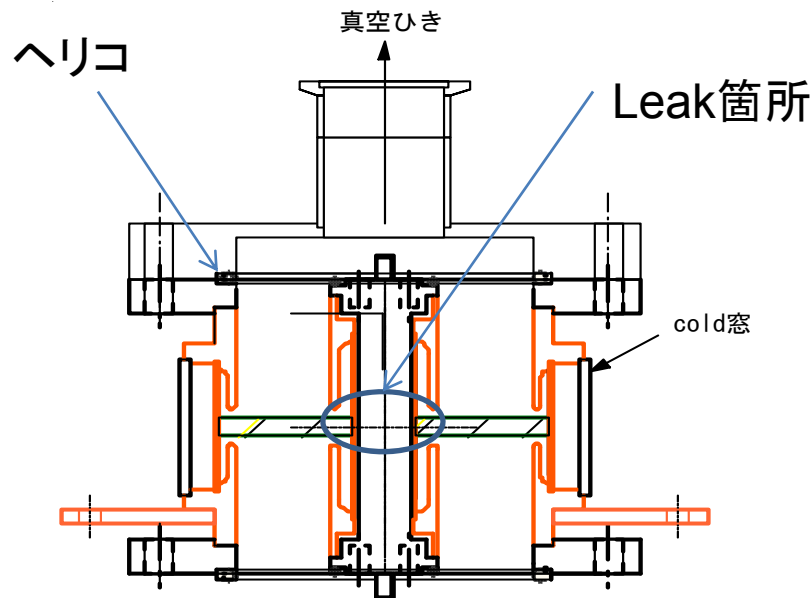
冷却時の温度変化

測定温度は内導体、セラミック、外導体の温度を表示。
各測定、ほぼ同じように温度がさがっているのがわかる。



1回目は断熱槽中で自然な熱伝導で約6時間程度で-180度。
2回目は3時間で-100度、3回目は5時間で-200度
4, 5回目は少しslopeを緩めて7時間で-200度の冷却速度で冷やす。
冷却後3回目以降では20時間で室温に戻している。

Leak check results



測定	冷却前 (Pa*m ³ /sec)	冷却後 (Pa*m ³ /sec)
1回目	< 1 × 10 ⁻¹⁰	< 1 × 10 ⁻¹⁰
2回目	< 1 × 10 ⁻¹⁰	< 1 × 10 ⁻¹⁰
3回目	< 1 × 10 ⁻¹⁰	< 1 × 10 ⁻¹⁰
4回目	< 1 × 10 ⁻¹⁰	< 1 × 10 ⁻¹⁰
5回目	< 1 × 10 ⁻¹⁰	> 1 × 10 ⁻⁴

- ULVAC社HELIOTで測定を行った。5回目の冷却の後、室温にまで戻し、セラミック部にHeをかける。10⁻⁴[Pa.m³/sec] 台のリークあり。かなり大きい。
- Leak発見後、内導体からか外導体からかの区別を見た所、内導体からのleakだと判明した。

Leak → STF-BLのcaseとほぼ同じ。対策が必要。

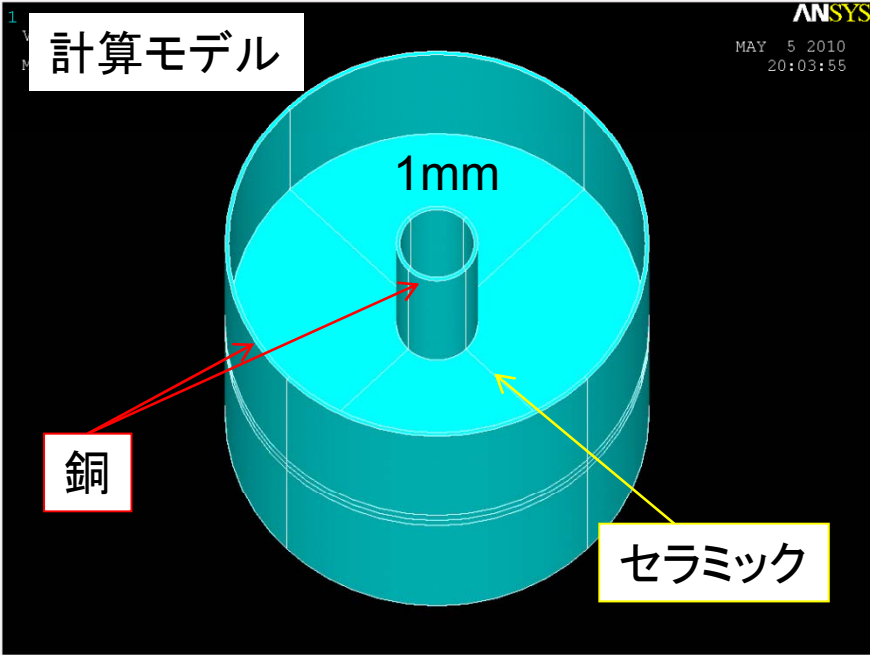
ANSYS 計算(preliminary)

ANSYSを用いた熱応力解析の結果。物性値は下表。

300K→80Kの応力解析

拘束条件:セラミック部y方向(垂直方向):x方向内導体1点

曲げ強度 HA95 : 0.35GPa HA997: 0.3 GPa	圧縮強度 HA95 : >2GPa HA997: >2 GPa
--	---------------------------------------

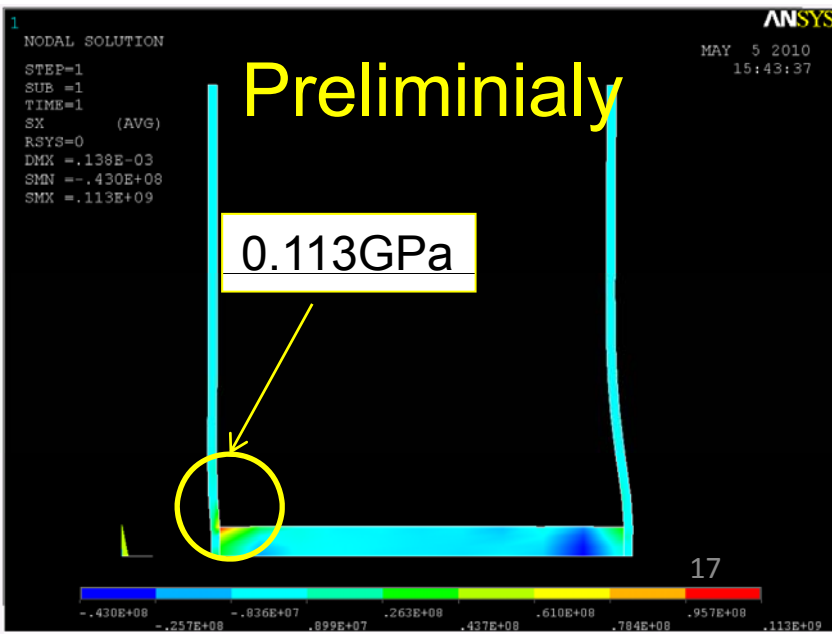


内導体のろうづけ部がストレスが高いのが判明。
 現在:他の形状も含めて計算中&
 おそらくろうづけ時の温度から計算する必要あり。
 最適解が見つかり次第、ろうづけ試験を行い、
 Thermal cycle testを行う。

平均膨張係数

	1300-80	1300-300	300-80
Cu	19.315×10^{-6}	21.097×10^{-6}	14.214×10^{-6}
アルミナ	7.224×10^{-6}	8.252×10^{-6}	2.720×10^{-6}
Mo	5.820×10^{-6}	6.366×10^{-6}	4.524×10^{-6}

Calc of stress under cooling



Thermal cycleのまとめと今後

まとめ

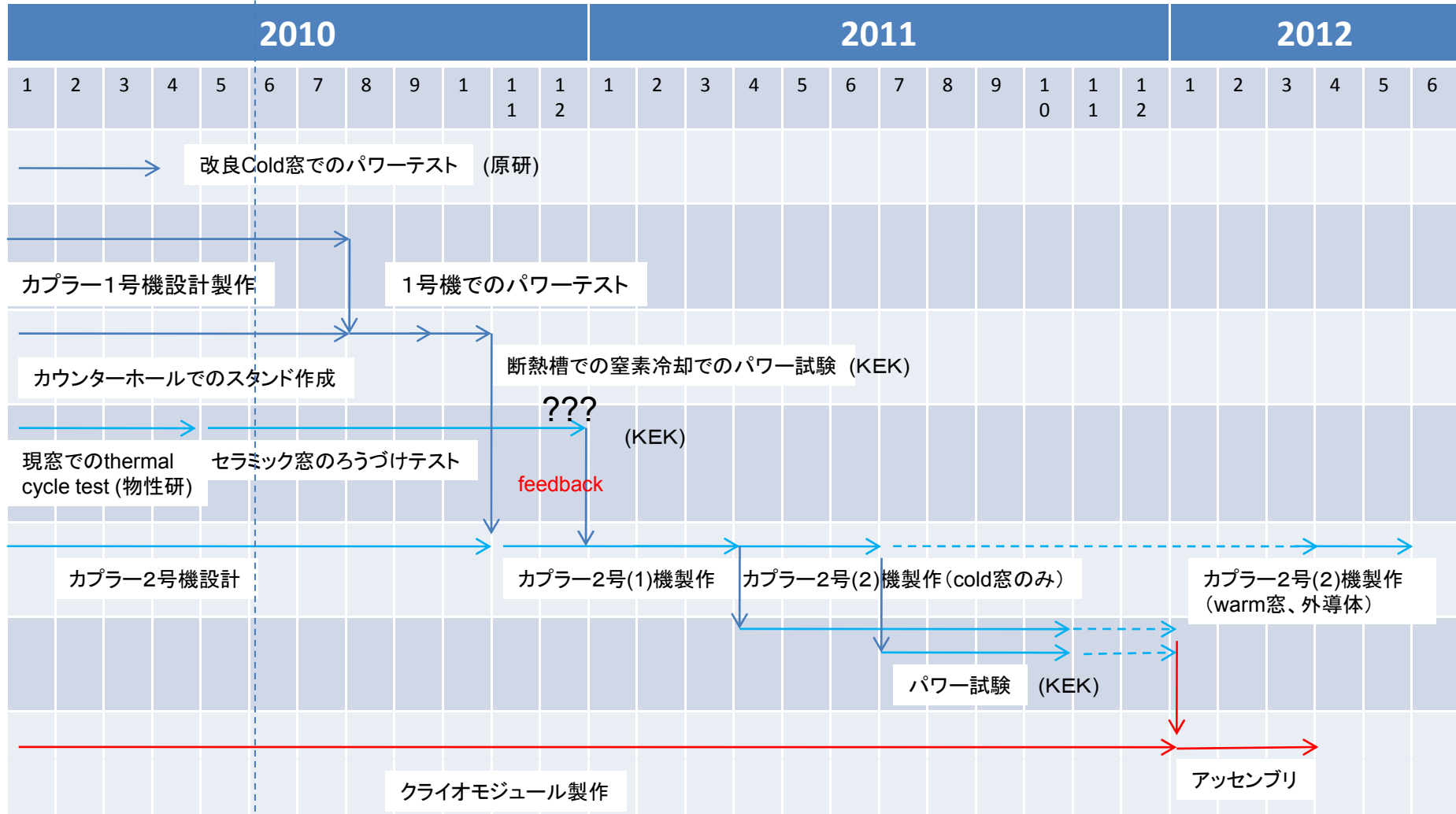
- セラミック窓のthermal cycle testをおこなった。5回目の冷却→室温の後、大きなリークが発生していた。リークレートは 10^{-4} [Pa.m³/sec] 台
- リークは内導体から起きていることがわかった。
- STF-BIとの違いはHA95,HA997の素材の違い、寸法の違いがあったが、1個目の測定結果はSTF-BLとほぼ同じ結果であった。

今後

- 今後、choke部分を除き、セラミック窓を切って、リーク箇所の特特定、カラーチェックなどを行いたい。(割れた部分の確認。)
- この熱膨張率の値を入れて計算(ANSYS)も行い、応力分布の比較も行う予定。これによりMo ring、銅板の最適化を行い、次のテストセラミック窓(熱テスト用)を作成。
- また、熱膨張の影響をさけるためにMo ringのサポートを変えたセラミックサポートでのろうづけテストを行い、thermal cycle testも行っていく予定である。

here

③ 今後の方針 (最短スケジュール)



- ・カプラー1号機の製作、クリーンルームでの組み立て+E-hallでのパワースタンドの構築
- ・その後、high power 試験+液体窒素冷却化での1号機の入熱試験@E-hall
- ・窓のろうづけ条件だしとセラミック窓のthermal cycle testwの続き。

Back up 資料

(考察)CW coupler test of TTF-III coupler @BESSYとの比較

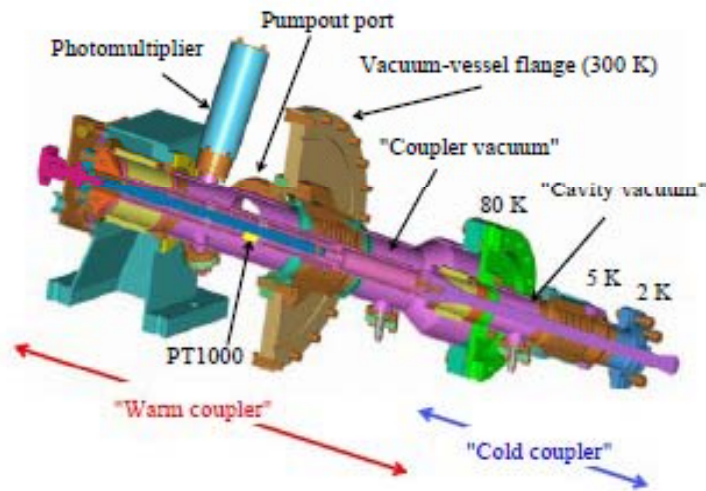
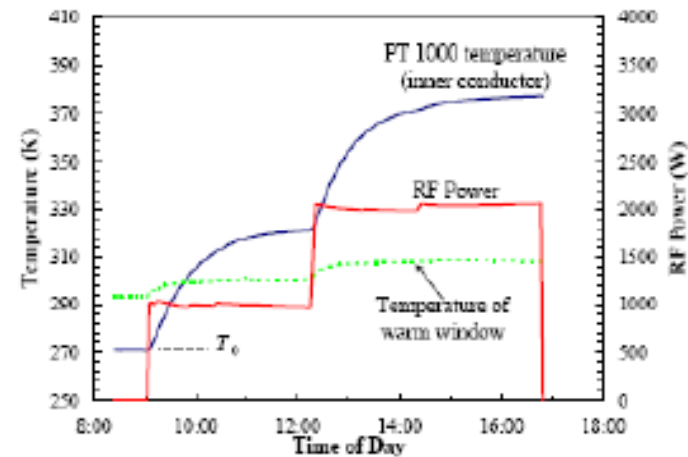
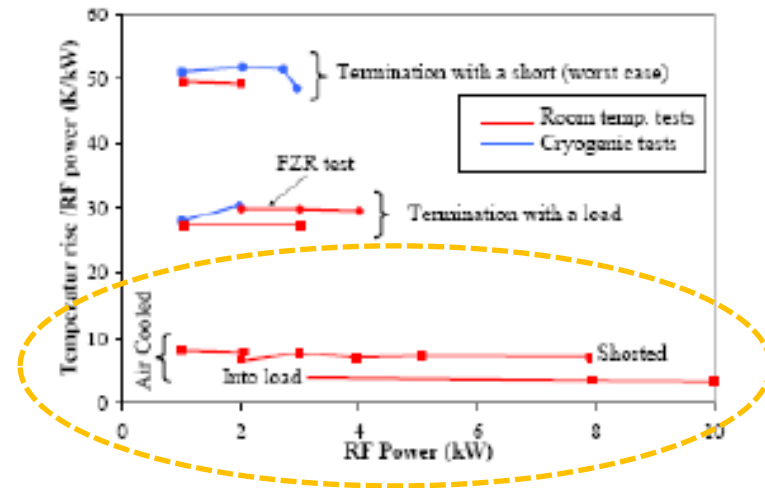


Figure 1: The TTF-III coupler

- 空冷の流量は20l/min。
- Standingで10K/kWの温度上昇。
- 我々の場合は20kW standingで90l/minで温度上昇が40度程度。したがって、大体2K/kW。流量が温度上昇にlinear(ほんまはsquare rootだったか?)だとほぼ同じ結果。そんなに温度上昇は遜色ない結果となっている。



(a)



(b)

Figure 7: CW measurements at the TTF-III type coupler. (a) Example of PT1000's temperature versus time. Measurements were made with HoBiCaT cold and the waveguide shortened. (b) Summary of all tests.