

主加速器用カプラー開発の現状

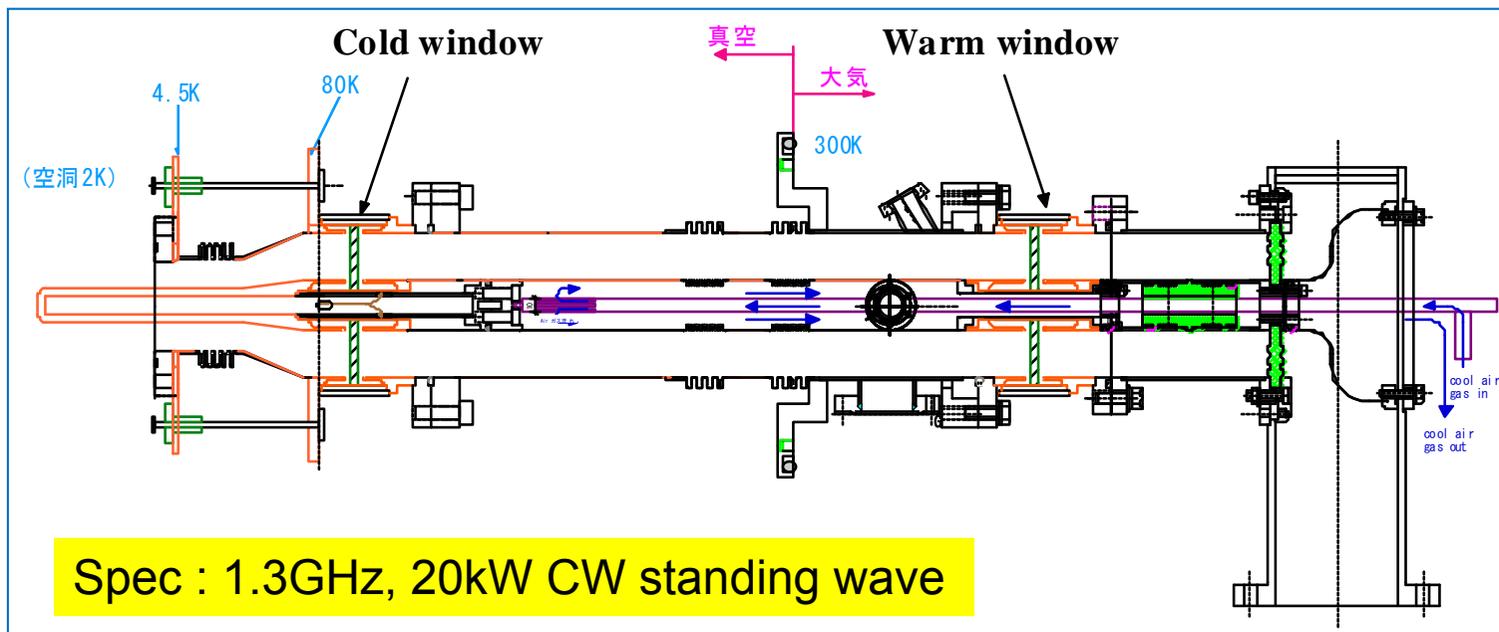
2010/6/1

阪井寛志、梅森健成、沢村勝、
篠江憲治、古屋貴章

今回の報告

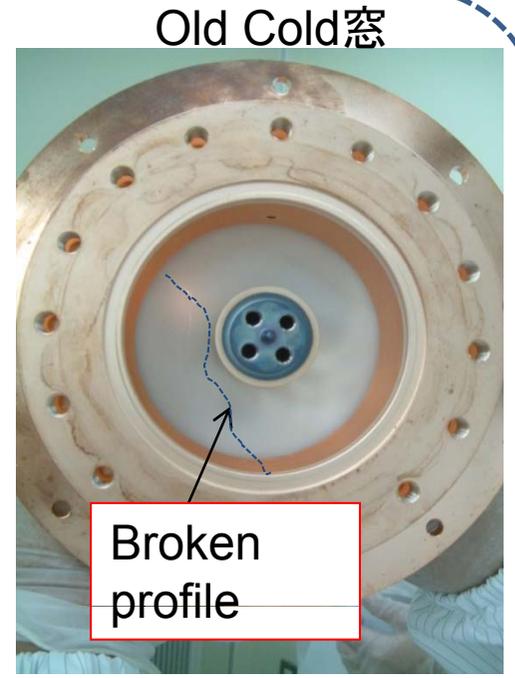
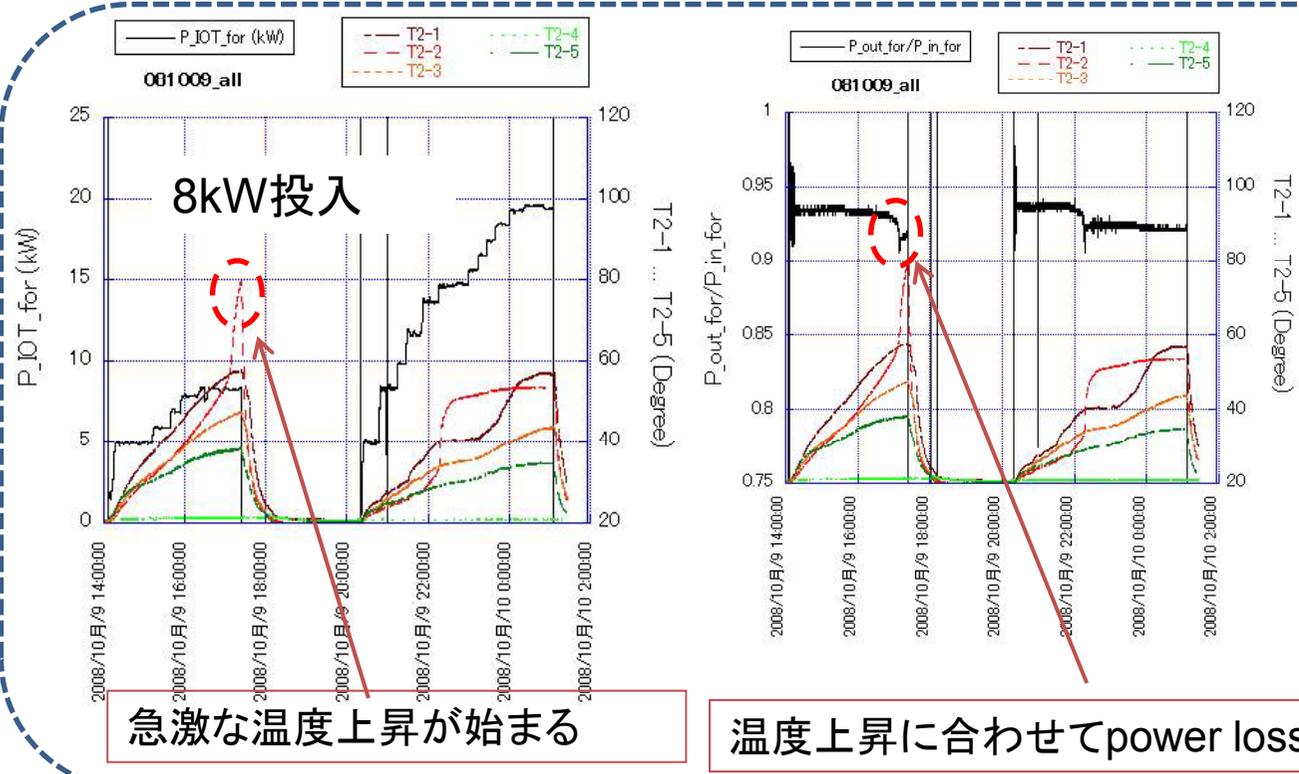
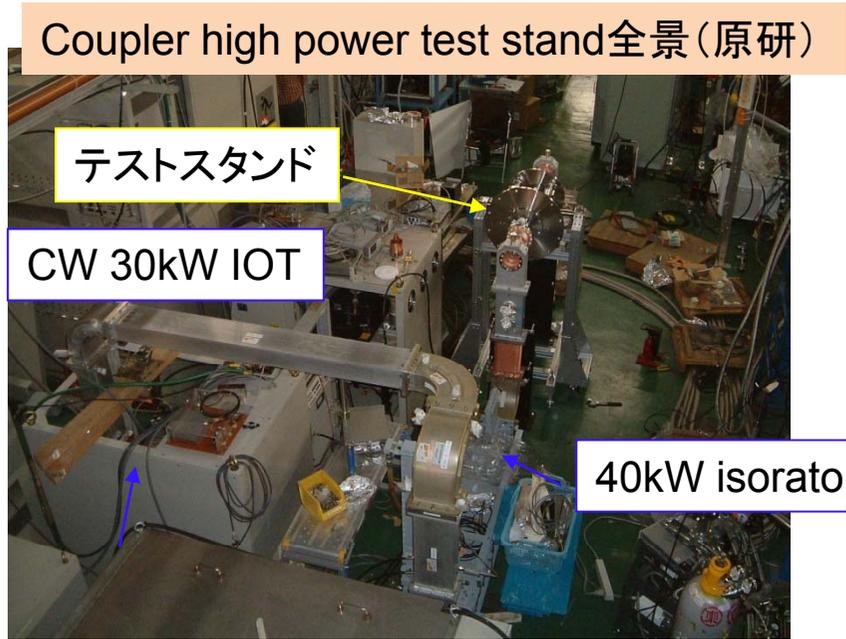
- 改良窓によるハイパワーテスト
- cold窓のthermal cycle test
- カプラー1号機のスケジュールについて

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。

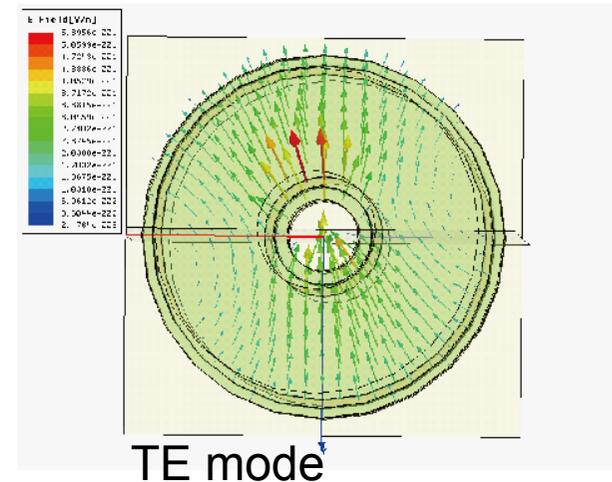
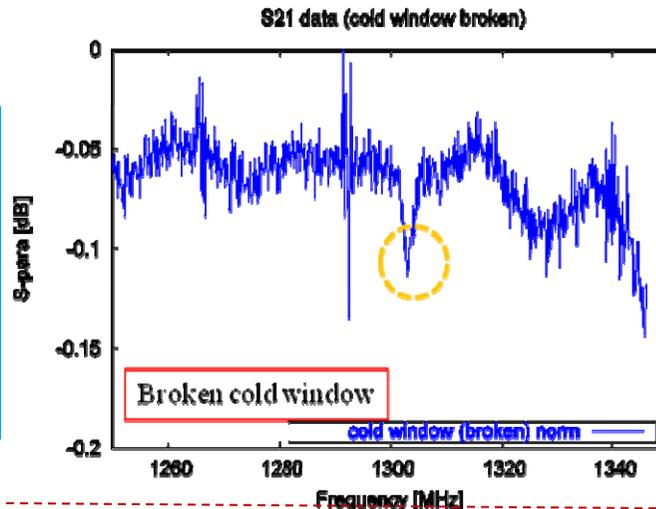


窓の詳細測定

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。

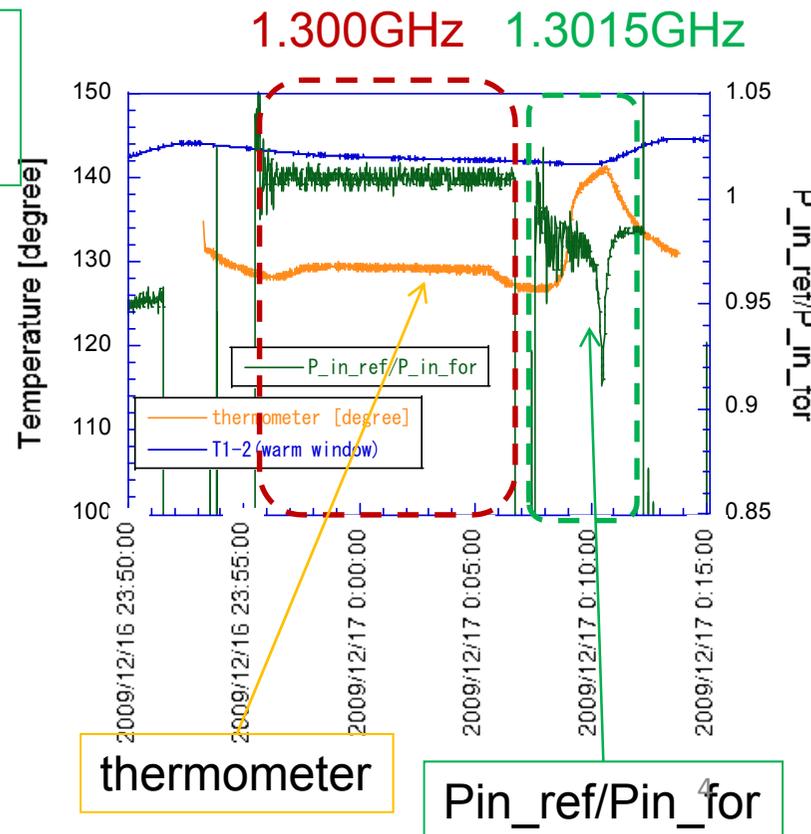


High power testによるpower lossと共鳴の関係。IOTのSG
 の周波数を共鳴近くに持っていくと**power lossが見られると**
ともにセラミックの温度のみが上昇しているのが見られた。

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。)

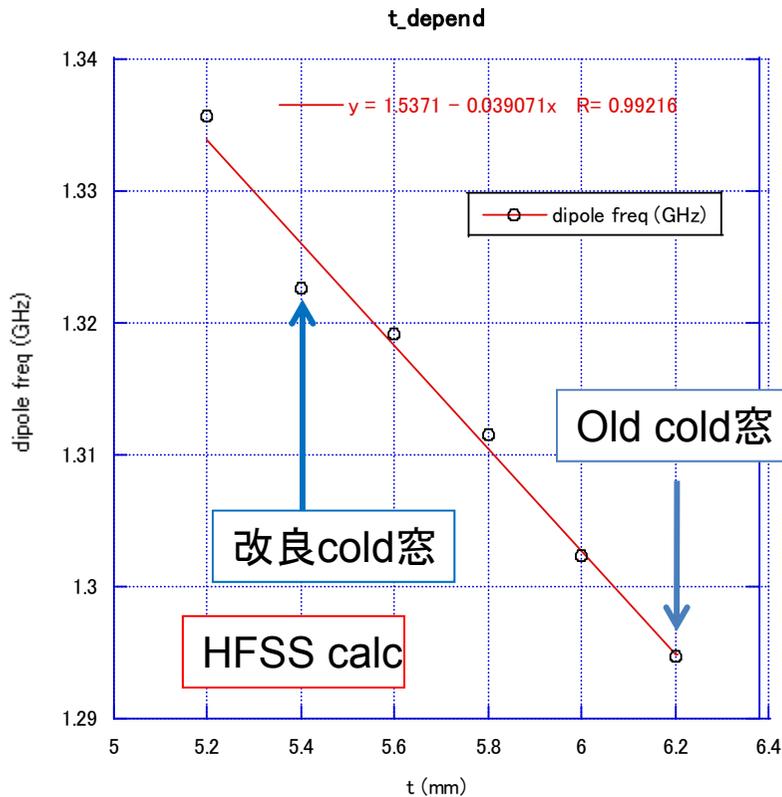
Thermometer
 (放射温度計)



共鳴peakを遠ざけるセラミック窓の作成が必要。

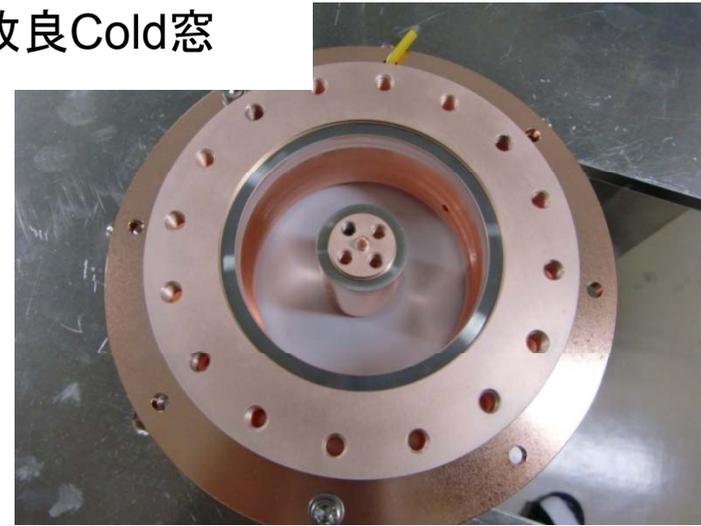
改良cold窓の製作

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。

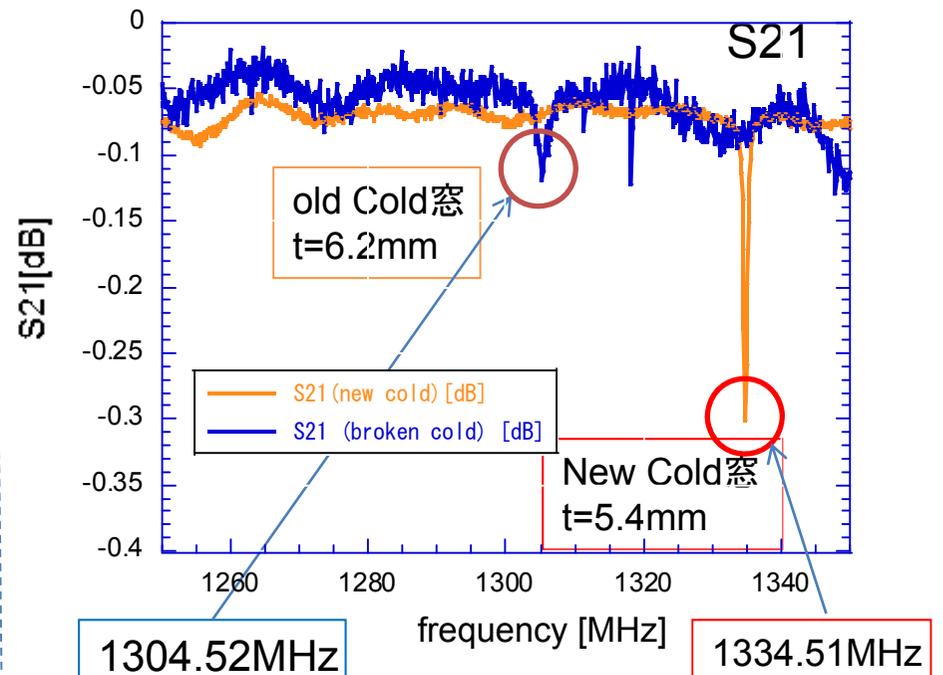


HFSSの計算では-39.0MHz/mmなので、
calc: 0.8mmの変化 $\Delta f = -31.2\text{MHz}$
Meas: 0.8mmの変化 $\Delta f = -30.0\text{MHz}$
なので、ほぼ設計値通りにシフトしているのがわかる。

改良Cold窓

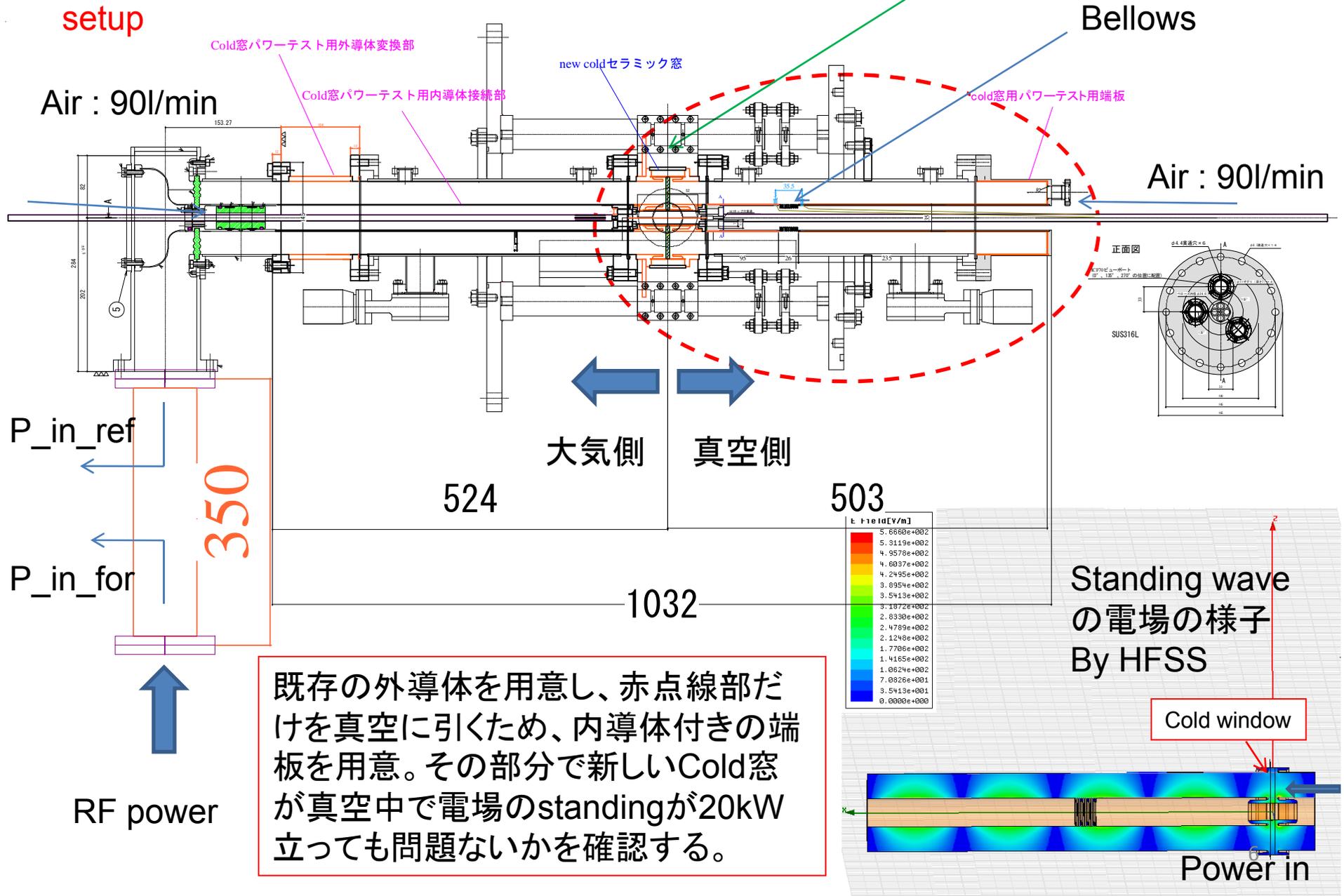


Old窓と改良窓の測定S-paraの比較



$\Delta t = 0.8\text{mm}$ 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



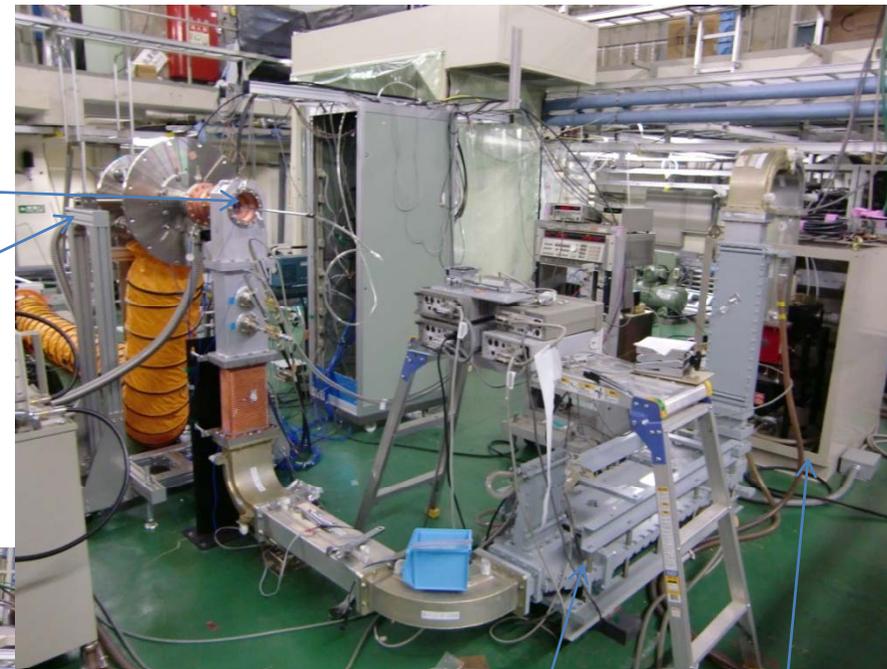
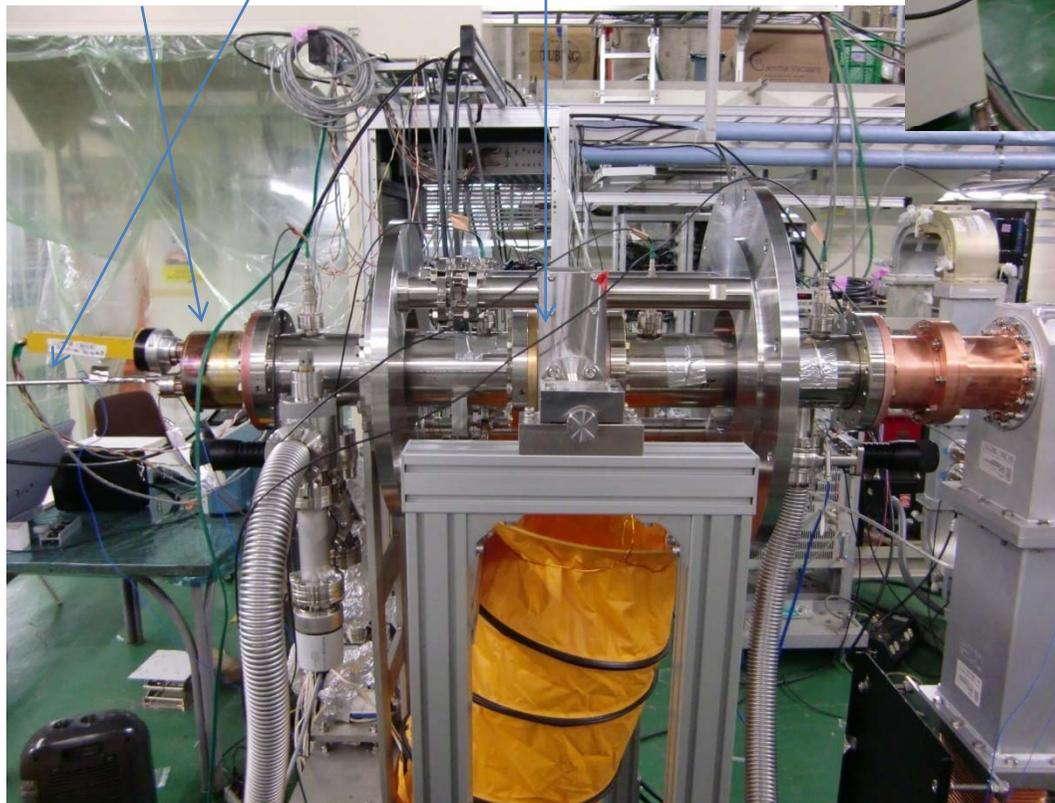
既存の外導体を用意し、赤点線部だけを真空に引くため、内導体付きの端板を用意。その部分で新しいCold窓が真空中で電場のstandingが20kW立っても問題ないかを確認する。

Setup (picture)

Air cooling to inner conductor

New Cold 窓

End plate

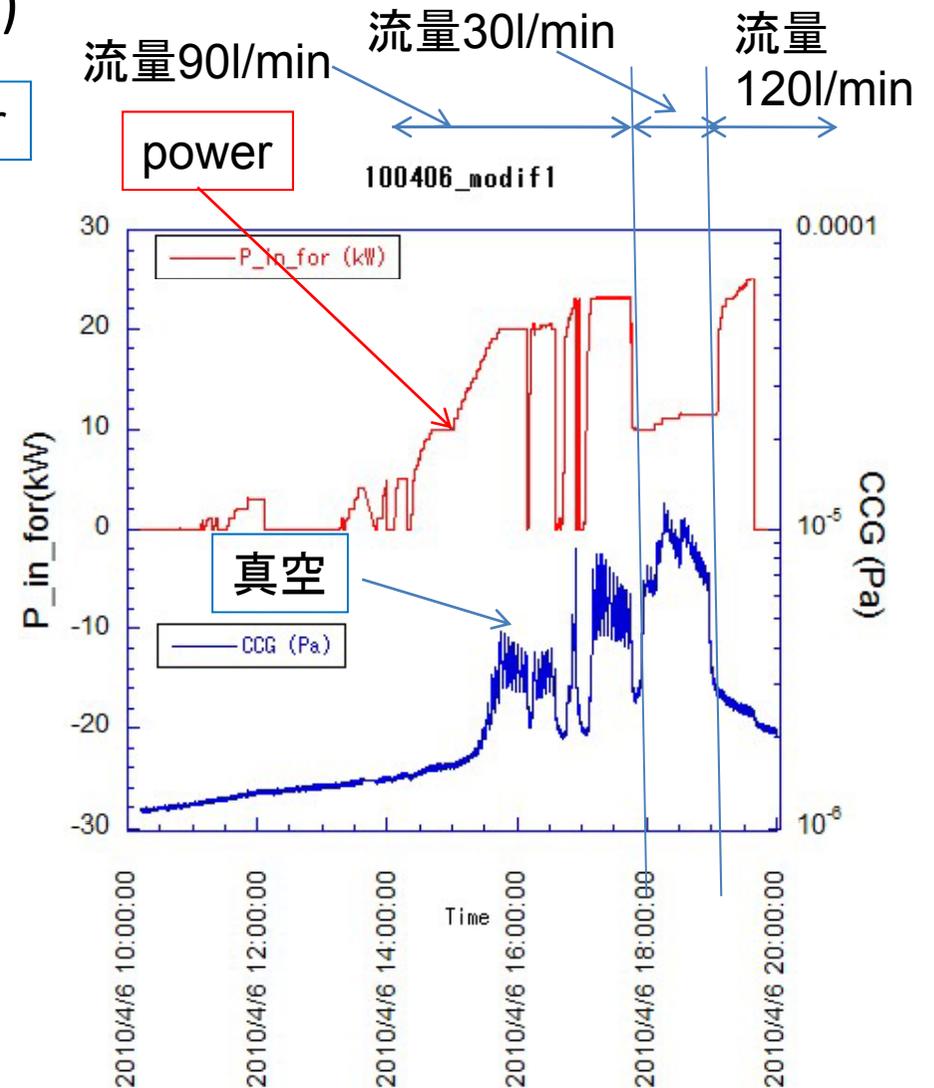
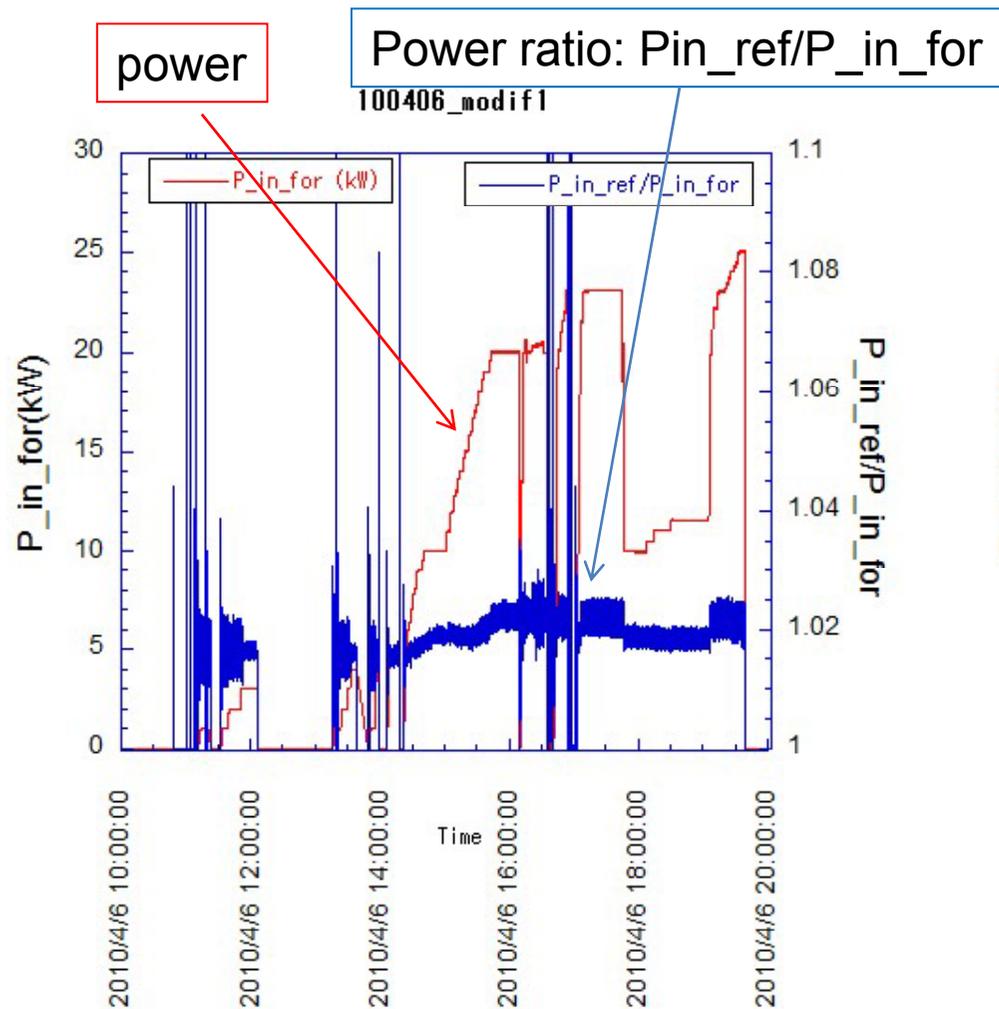


CW 30kW IOT

40kW isolator

doorknob

Results of power test (2010/4/6)

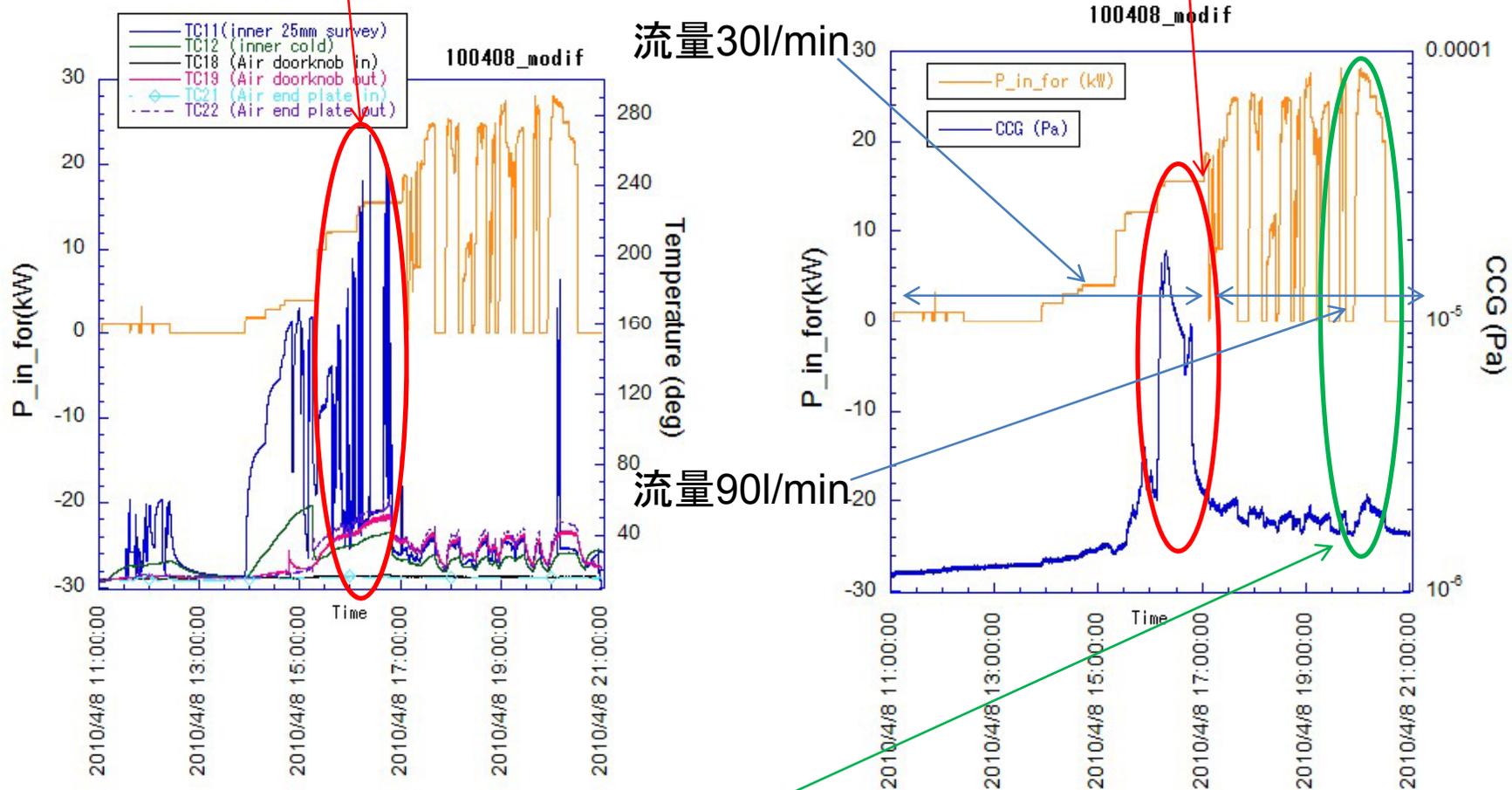


前回とは違い、Power lossは見られず、途中、真空の悪化が見られ。最後は内導体に流すairの流量を120l/minに上げたら、真空悪化はなくなり、まずは25kWの定在波で投入可能であった。Arc interlockなどはなし。

真空悪化とベローズの温度の関係 (2010/4/6)

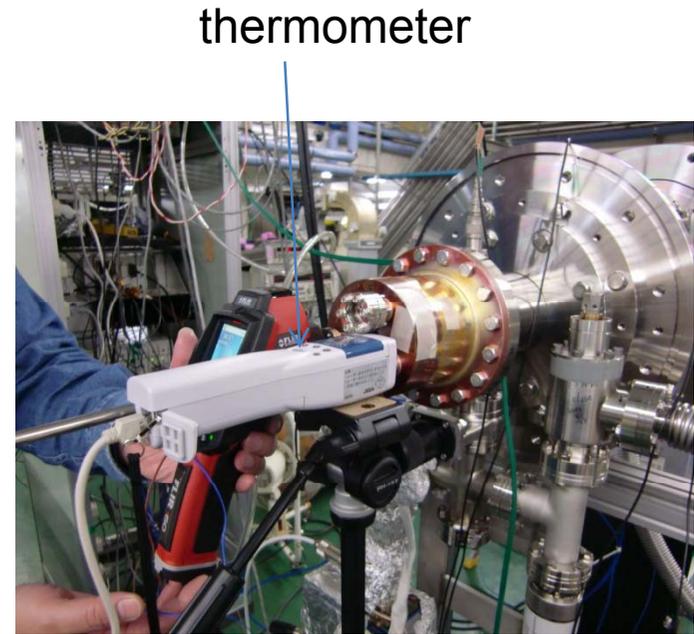
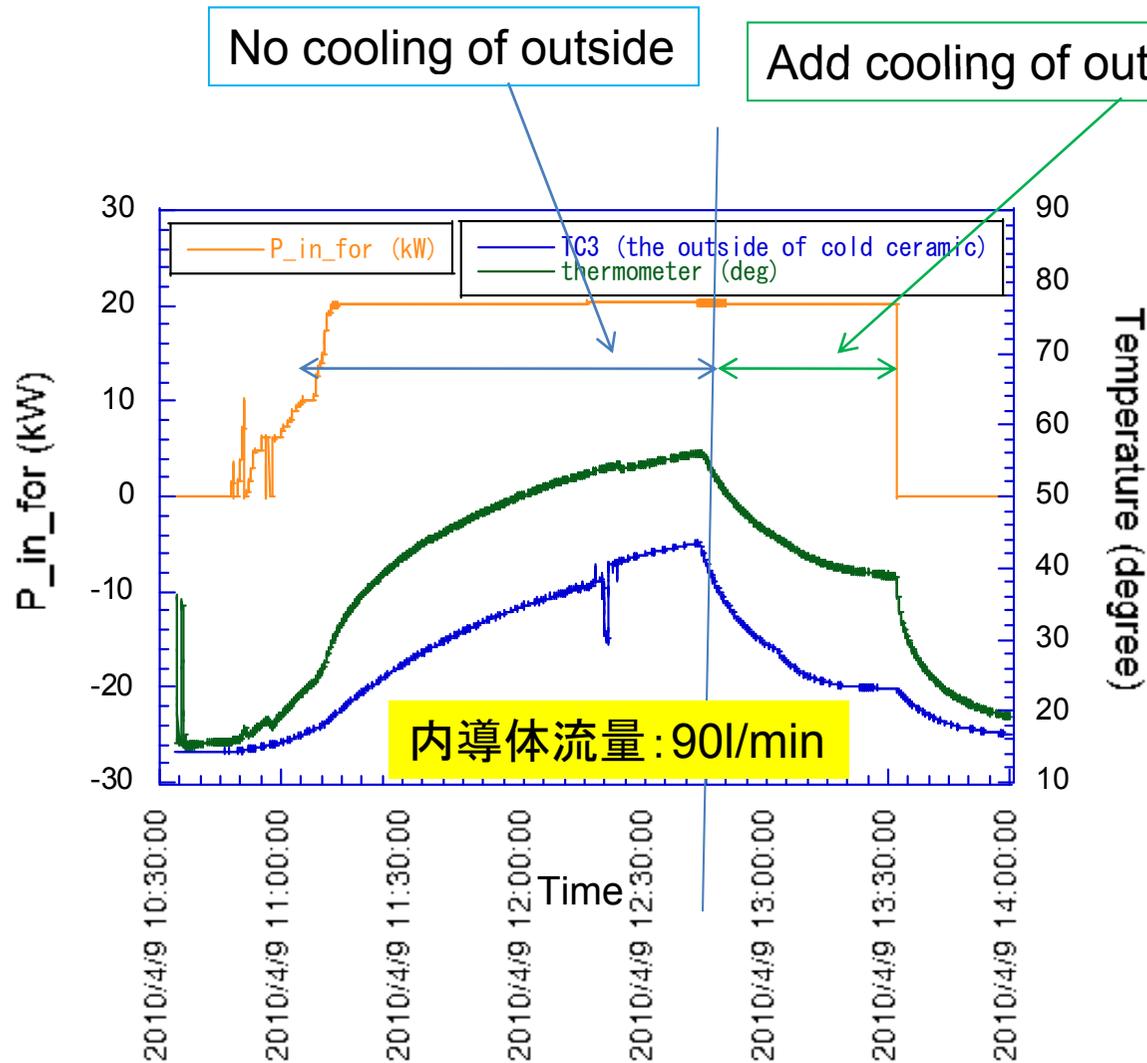
真空悪化の際、ベローズの中温の温度は200度以上になっていた。

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)



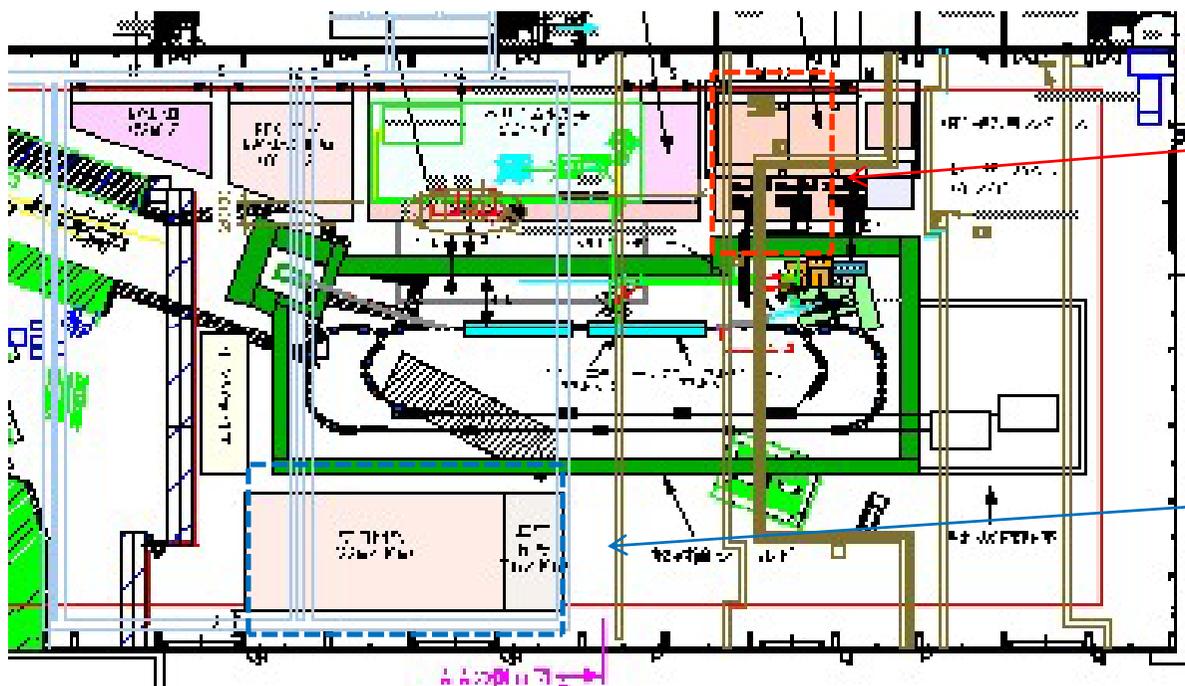
Thermometerでセラミック窓の温度上昇を直接観測

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

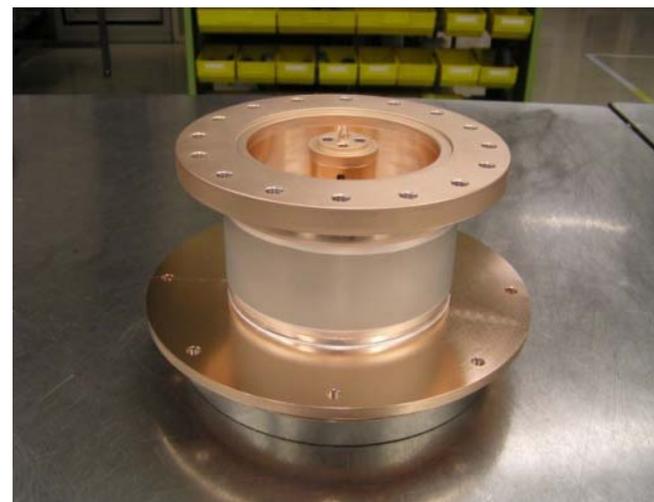
- Motivation
 - STF-BLGから、室温 \leftrightarrow 80Kを幾度かくり返すとCold窓から真空リークが発生すると報告。4台中3台も(2009年夏前)
 - 内導体ろう付け部からの漏れが原因。
 - ERL主加速器用カプラも例外ではないが、HA997や、内外導体の半径の違い、chokeの長さの違いなどもあり、こちらでも違いがあるかどうか作成したCold窓でサーマルサイクル試験を行う。
- 5回の(4回が80K、1回は180K)の冷却試験を行った。
 - 1回目: 断熱槽にてブレード線を使用し、80Kまで冷却
 - 2回目: 発泡スチロール容器にCold窓を入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

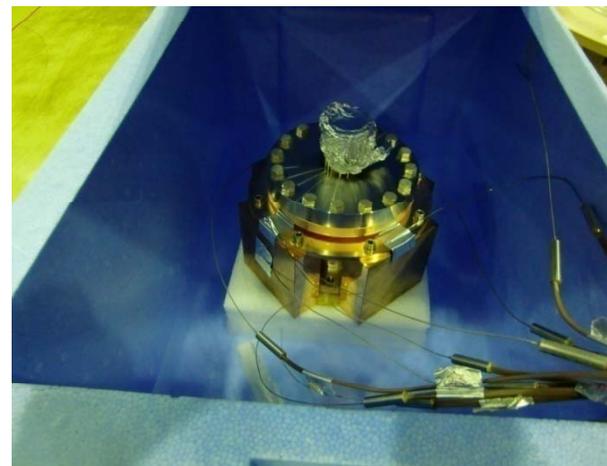
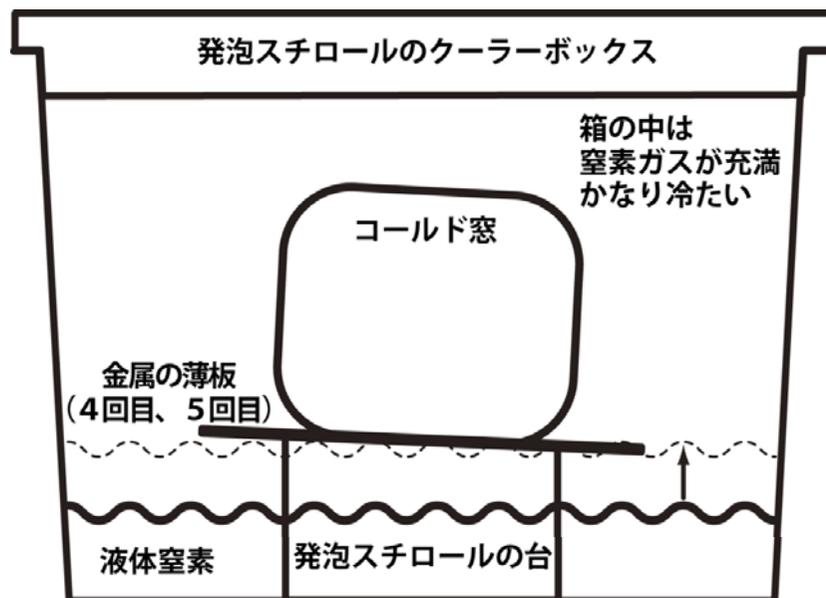
-セラミック(HA997)厚み	6.2mm
-内導体のCu厚み	1mm
-Moリング	0.25mm
-ろうづけ	金ロウ

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。

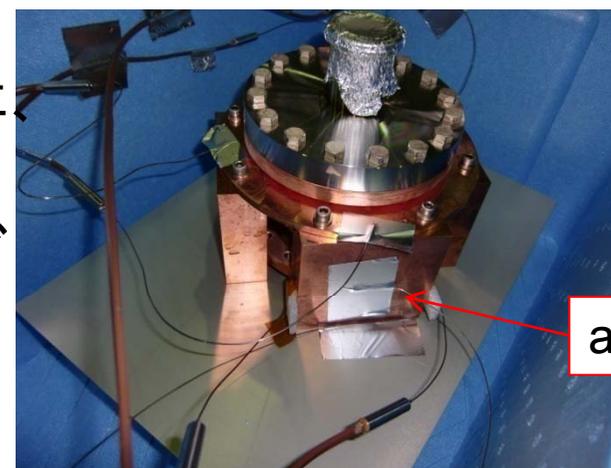
冷却の様子(2回目以降のクーラーボックスでの冷却)



2回目
3回目

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。



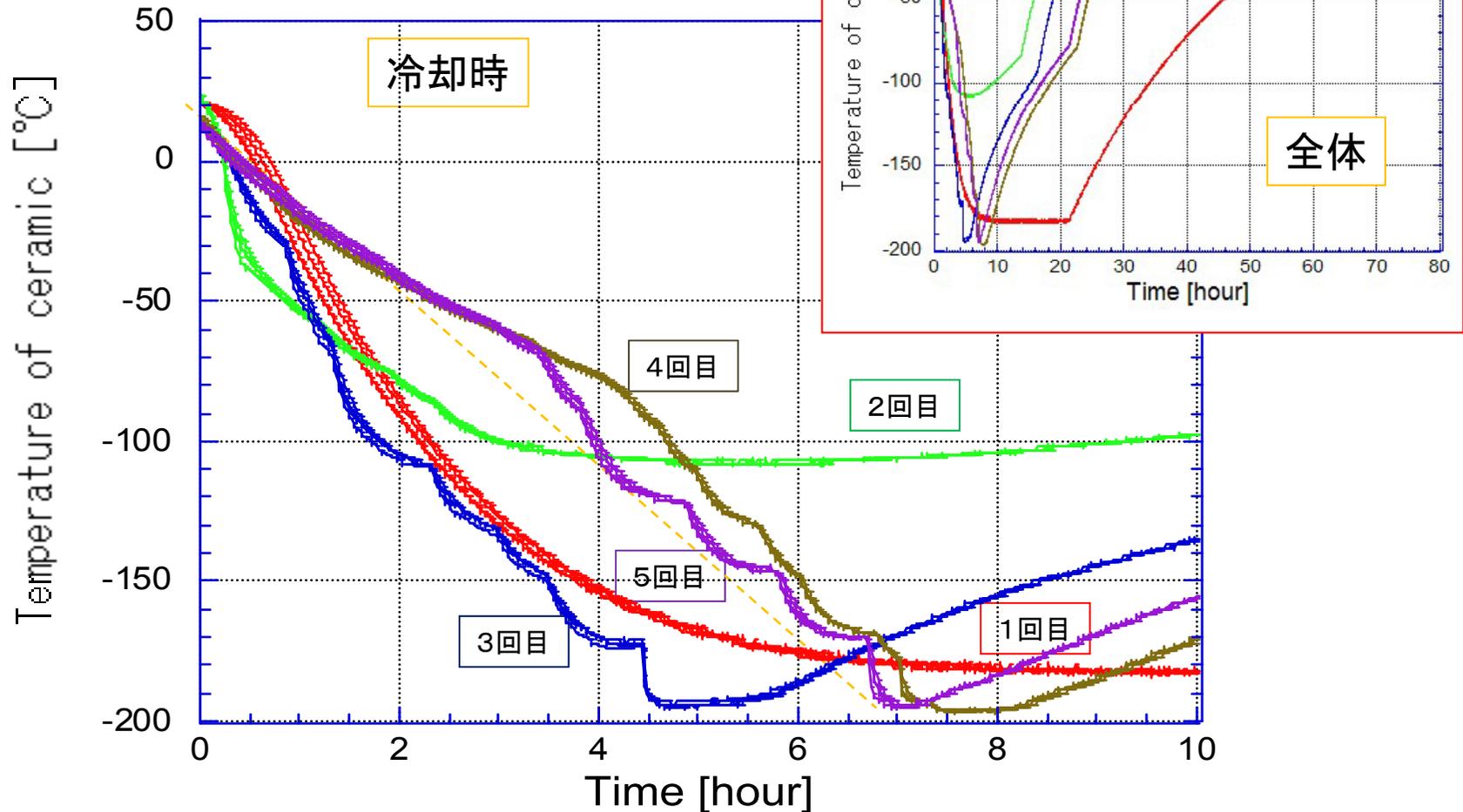
4回目
5回目

anchor

4回目以降は板にのせる

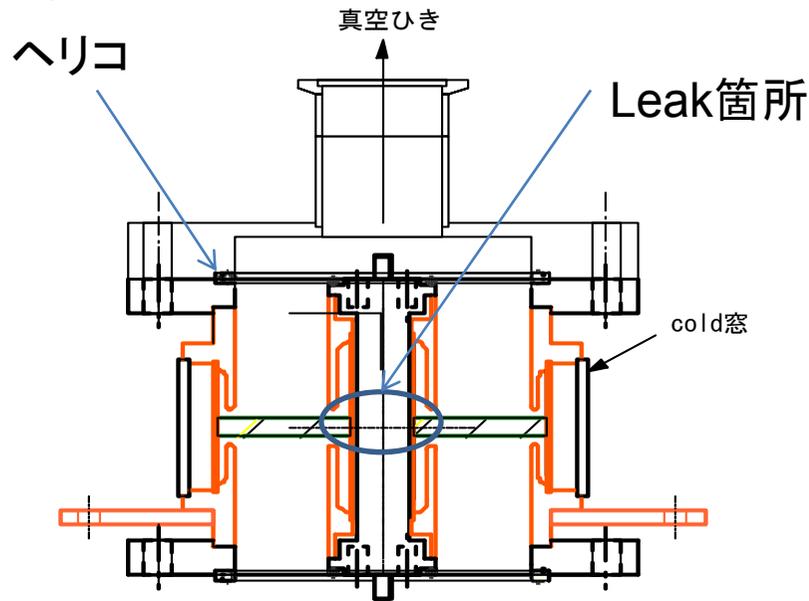
冷却時の温度変化

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。

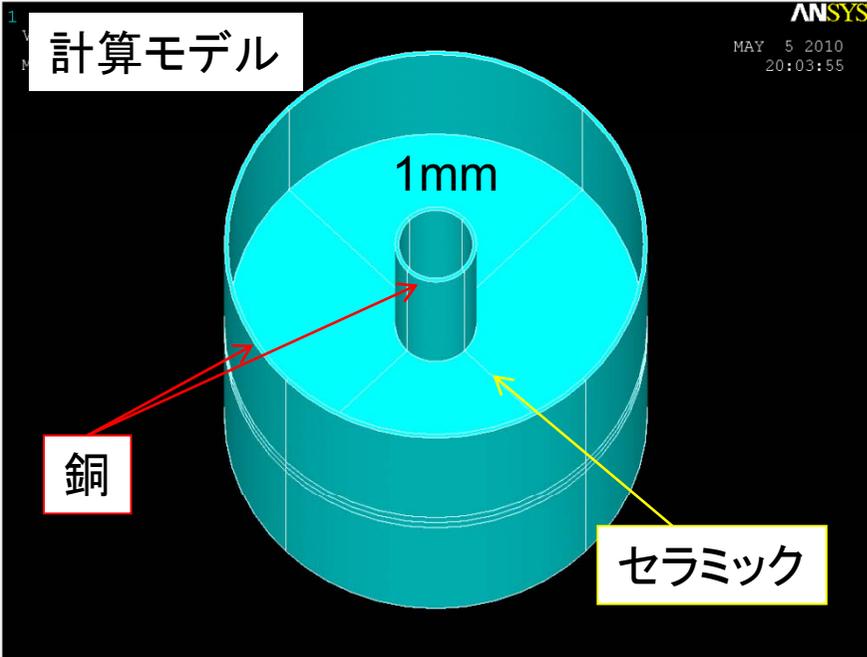
ANSYS 計算(preliminary)

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
--	---------------------------------------

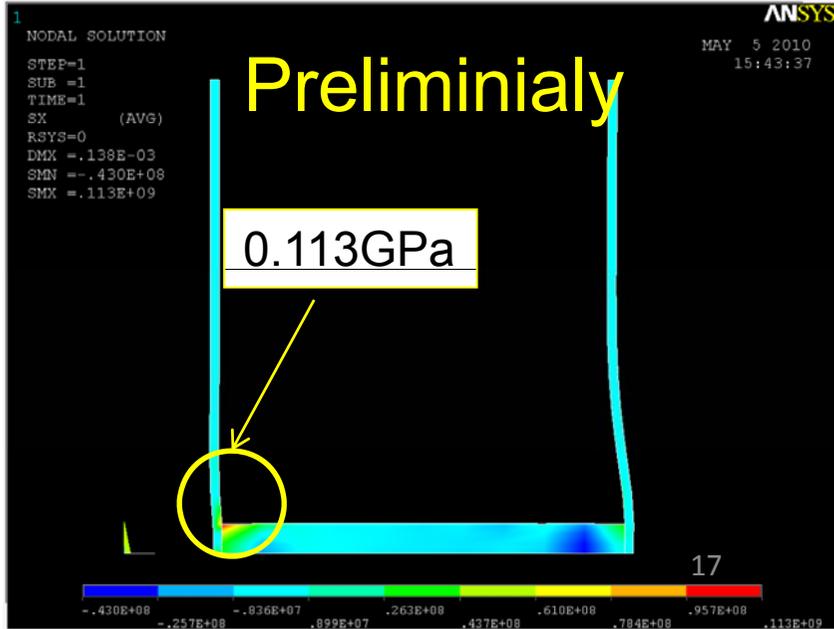


内導体のろうづけ部がストレスが高いのが判明。現在:他の形状も含めて計算中& おそらくろうづけ時の温度から計算する必要あり。最適解が見つかり次第、ろうづけ試験を行い、Thermal cycle testを行う。

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、リーク箇所の特定制、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。

Back up 資料

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

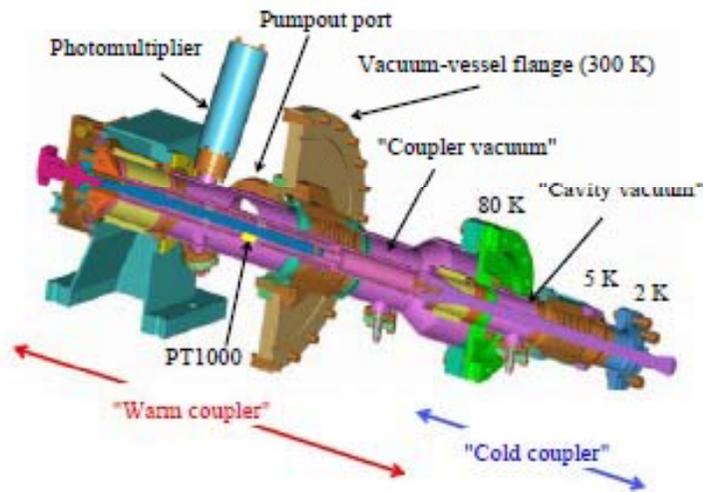
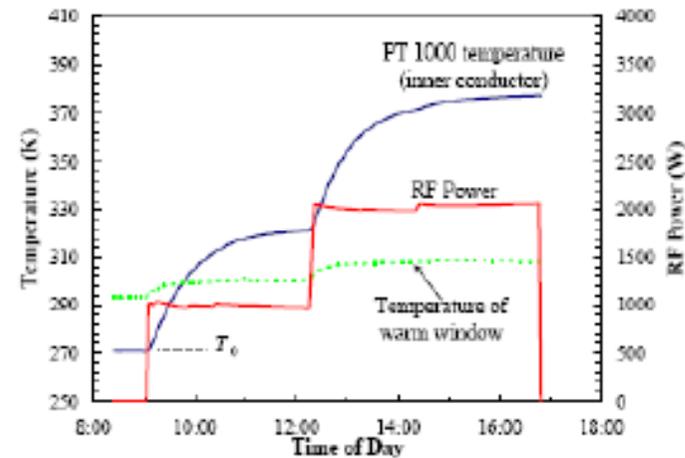
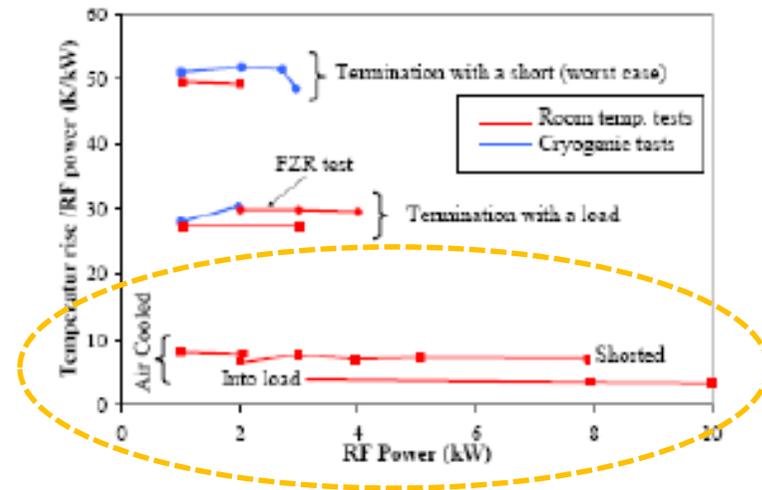


Figure 1: The TTF-III coupler

- 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.