

主空洞入力カプラー開発の現状報告
(Coupler test standの現状 & low level measurement)

2012/2/24

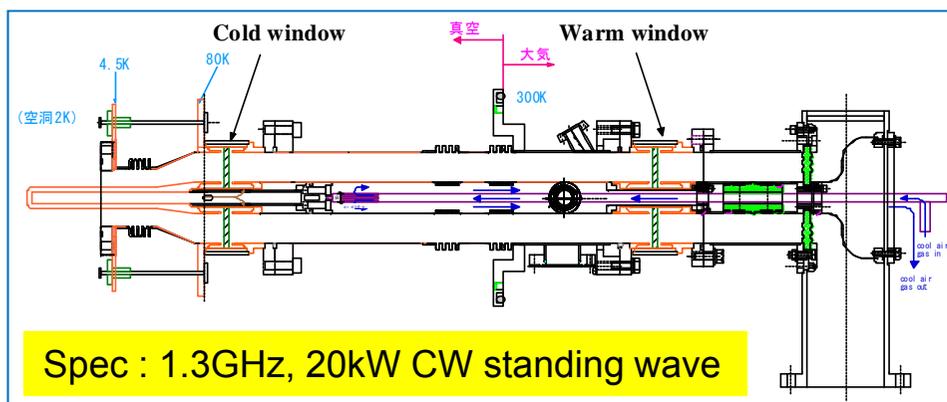
阪井寛志、梅森健成、篠江憲治、沢村勝、
佐藤昌史、古屋貴章、Enrico Cenni

前回までの発表内容(1号機の液体窒素冷却下のハイパワーテスト)

- カプラー1号機のhigh power 試験で**最大定在波で25kW**のパワー印加可能。
- プロセスの効果あり。
- セラミック窓の液体窒素温度と室温間の熱サイクル問題もろうづけ条件を変え、**10回の熱サイクルに耐える結果**となった。



・RF設計や熱設計の課題がほぼクリアされ、今年度は実機(2, 3号機)製作を行う。



1号機カプラーハイパワーテストの様子

今回の発表内容(震災以降の主なstudyについて)

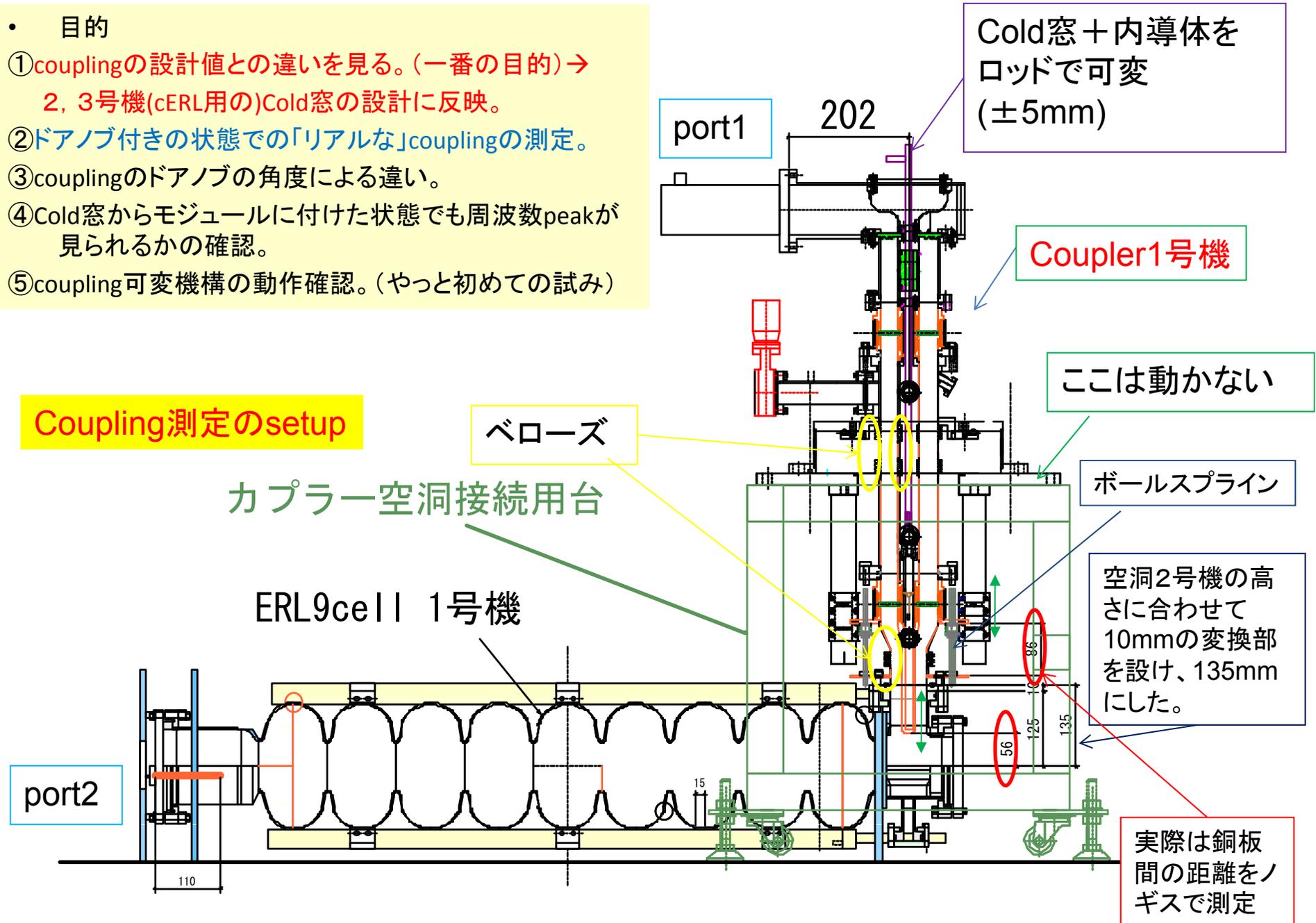
- ・① ERL 9cell cavityを用いたカプラー1号機のcoupling 測定(low level測定)
-- Cold窓のアンテナの長さをfinalで決める。2、3号機へのfeedback
- ・② cERL用カプラー2、3号機用のtest standの設計製作&現状
--80kW (1/4 duty) の進行波 by 300kW klystron@ERL開発棟

① ERL 9cell空洞(1号機)を用いたカップラー1号機のcoupling測定

目的

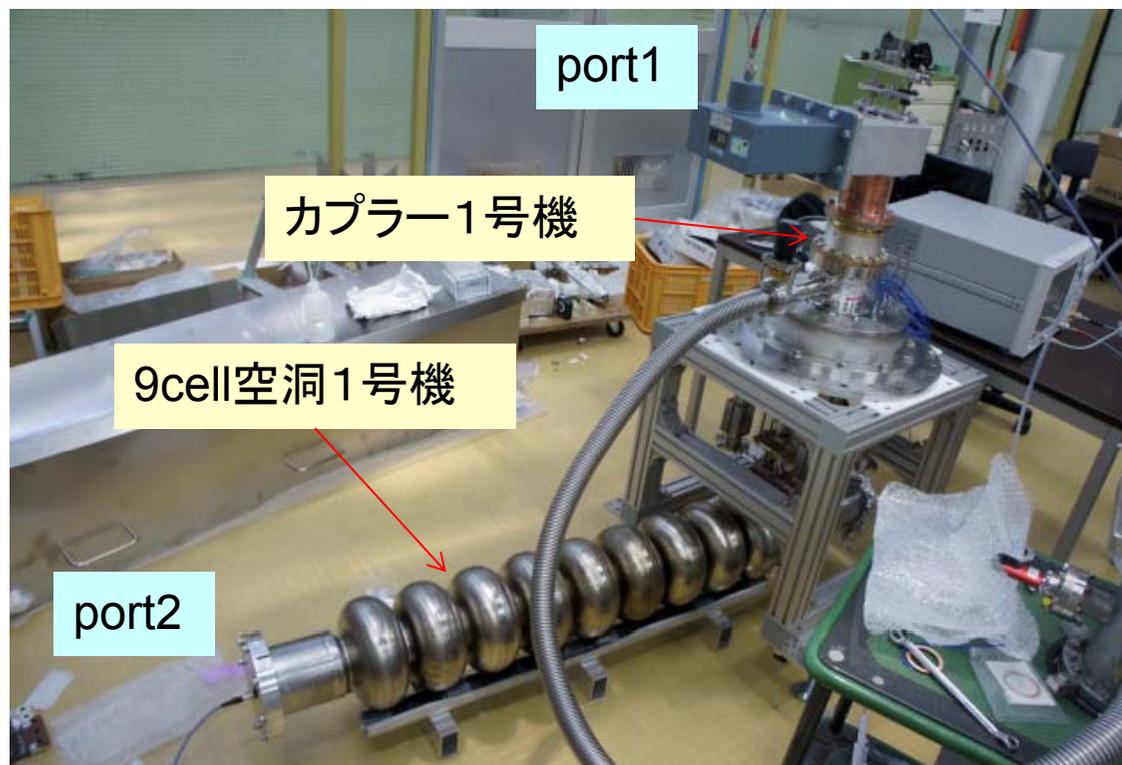
- ① couplingの設計値との違いを見る。(一番の目的) → 2, 3号機(cERL用の)Cold窓の設計に反映。
- ② ドアノブ付きの状態での「リアルな」couplingの測定。
- ③ couplingのドアノブの角度による違い。
- ④ Cold窓からモジュールに付けた状態でも周波数peakが見られるかの確認。
- ⑤ coupling可変機構の動作確認。(やっと初めての試み)

Coupling測定のsetup



Setup 写真

空洞の挿入長は銅板間を測定し空洞中心からの距離とする。駆動は内導体をロッドを通じドアノブに支えたサポートから駆動させ、変える。±5mm移動可能。駆動が垂直に動くように2本のボールスプラインでガイドしている。



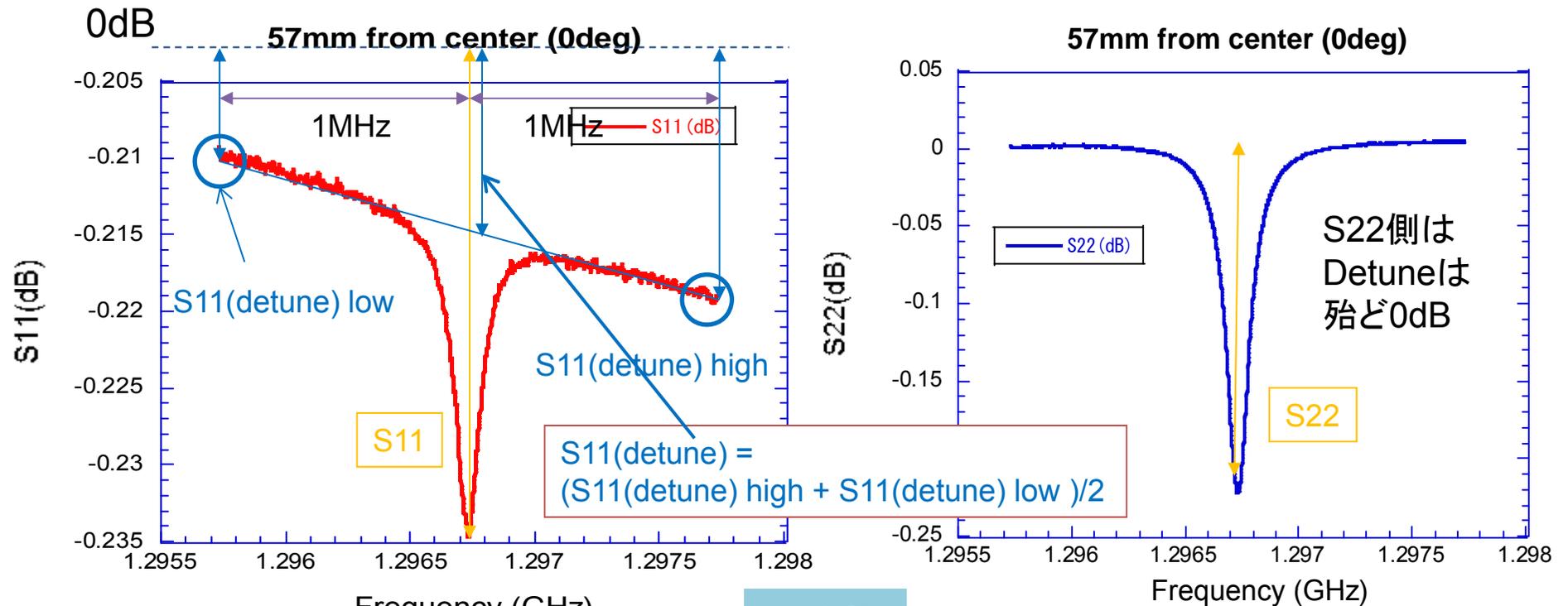
Cold窓 with ボールスプライン



カップリング可変はロッドを介して行う。

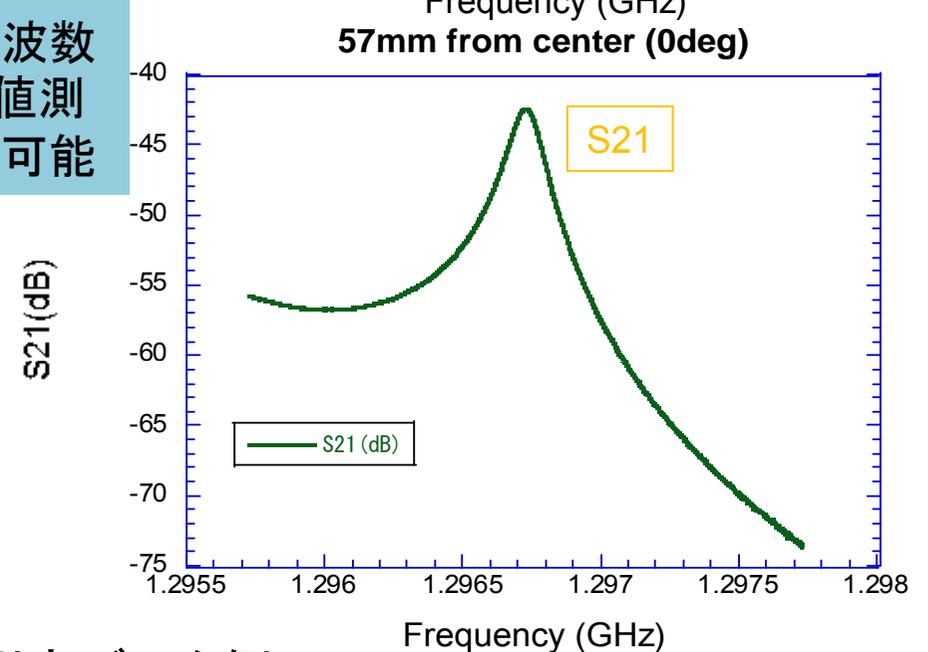


空洞とドアノブを並行に合わせる(0deg)



	Frequency (GHz)
f0 (GHz)	1.2967275
Δf (kHz)	125.024
S21	-42.422dB
S11	-0.235dB
S11(detune)	-0.21435dB
S22	-0.2225dB
Q0	10519
Qext_coup	9.10×10^6
Qext_pick	8.10×10^5

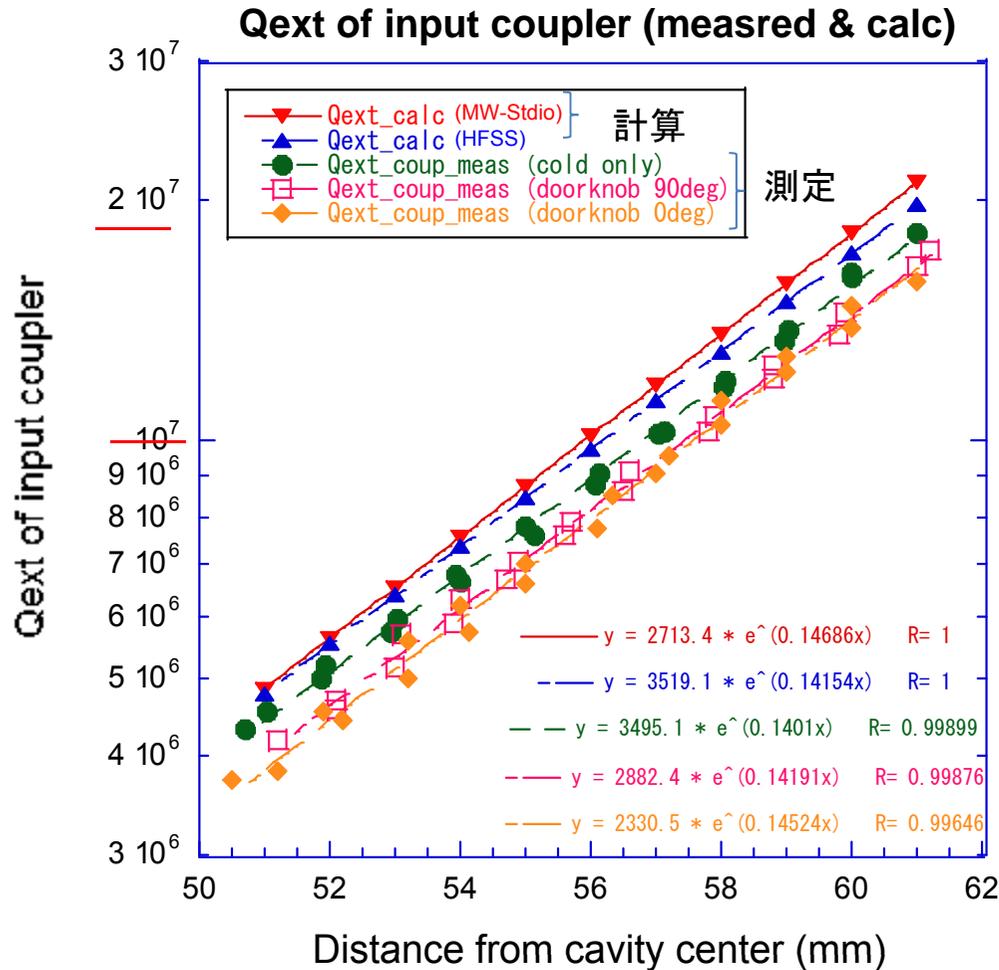
周波数
Q値測
定可能



測定データ例

測定方法はbackup資料参考

Coupling measurements results



カプラー1号機のデザインは
 $QL=5*10^6-2*10^7$ で設計

Qext coupler	$5.0*10^6$	$2.0*10^7$
Meas 0deg (doorknob)	52.83mm	62.38mm
Meas 90deg (doorknob)	52.56mm	62.33mm
Meas cold	51.86mm	61.76mm
Calc (MW-Stdio)	51.20mm	60.64mm
Calc (HFSS)	51.09mm	60.88mm

ドアノブの角度の0degと90degとの差はほぼなし。計算とは約1.5-1.7mmのずれ。
 Cold単体だと計算とは1mm程度のずれ。Cold単体とドアノブありの場合とも1mm程度の
 ずれがある。但し、slopeに関しては計算と実測はどれも良い一致を示している。
 $Qext=2*10^7$ にシビアに合わせるつもりなら、多い目に約2mm短くする必要あり。

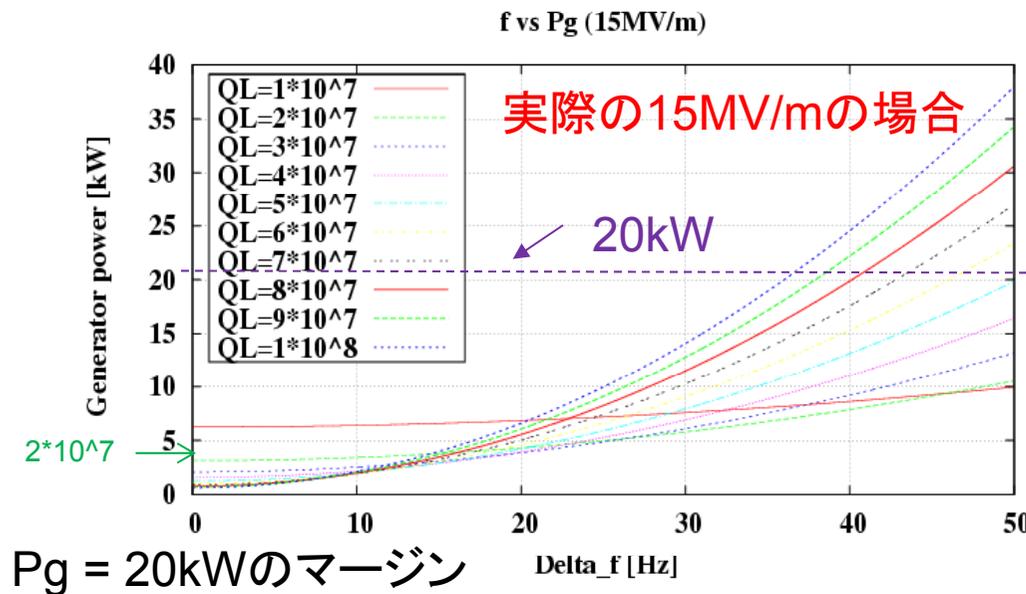
1号機の結果を反映した2、3号機(cERL用)の設計値

1号機の設計は $5 \times 10^6 - 2 \times 10^7$ となっているが、 5×10^6 の理由は本来はERLなしで1mAで20MV/mの運転を行うという(昔の議論)のに合わせて、そのcouplingに合わせて部分がある(pulse processの理由もあり。)。あとはmicrophonicsのマーヅンを見ているのだが、 2×10^7 で $\Delta f = 50\text{Hz}$ とかなり大きくマーヅンを見ているので、同じ $\pm 5\text{mm}$ の可動範囲で

① $Q_{\text{ext}} = 1 \times 10^7 - 4 \times 10^7$: 中心が 2×10^7
に現在の状況を見て設計方針を立てなおした。

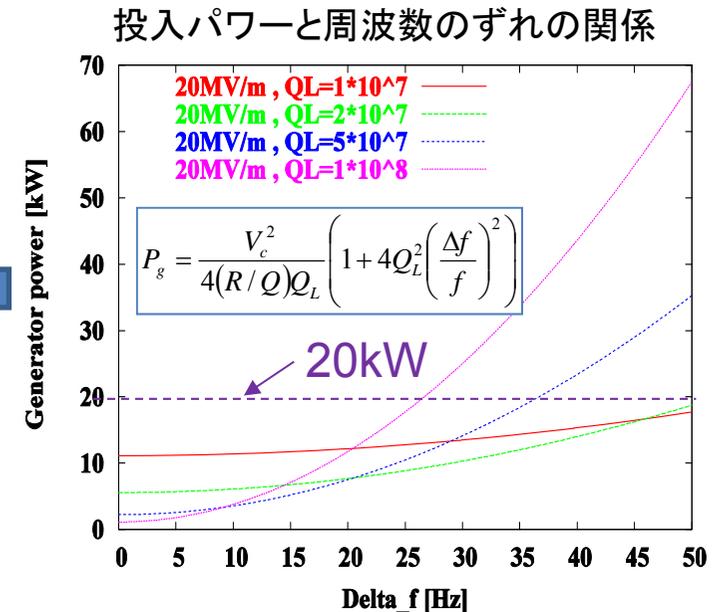


2、3号機の挿入長の決定:
1号機よりtotalで7mm短くした。



5×10^7 まで20kWは $\Delta f = 50\text{Hz}$ まで問題なし。

Eacc	$\Delta f = 30\text{Hz}$	$\Delta f = 40\text{Hz}$	$\Delta f = 50\text{Hz}$
15MV/m	$1 \times 10^8 <$	8×10^7	5×10^7
20MV/m	8×10^7	4×10^7	2×10^7



共振周波数からの周波数のずれ

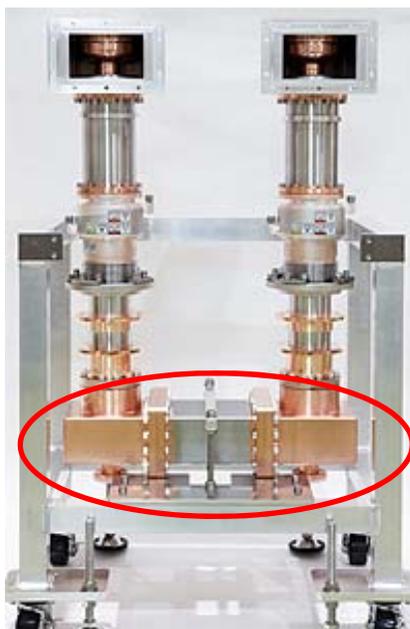
今までの20MV/mの場合
(量子ビーム的には必要)

②カプラーテストスタンドについて(概要)

- 1号機の試験ではモジュール組み込みに近い条件(定在波20kW)でカプラー試験を行い、窒素冷却下で主に入熱設計の可否を測定。
- 2, 3号機(モジュール組込み用)の試験ではプロセスがメイン、2つのカプラーを組み合わせ進行波(80kW, duty ¼ =20kW定在波相当)でカプラー全面のプロセスを行うことがメイン。テスト後はモジュール組み立てまでそのまま真空ひきで保管。

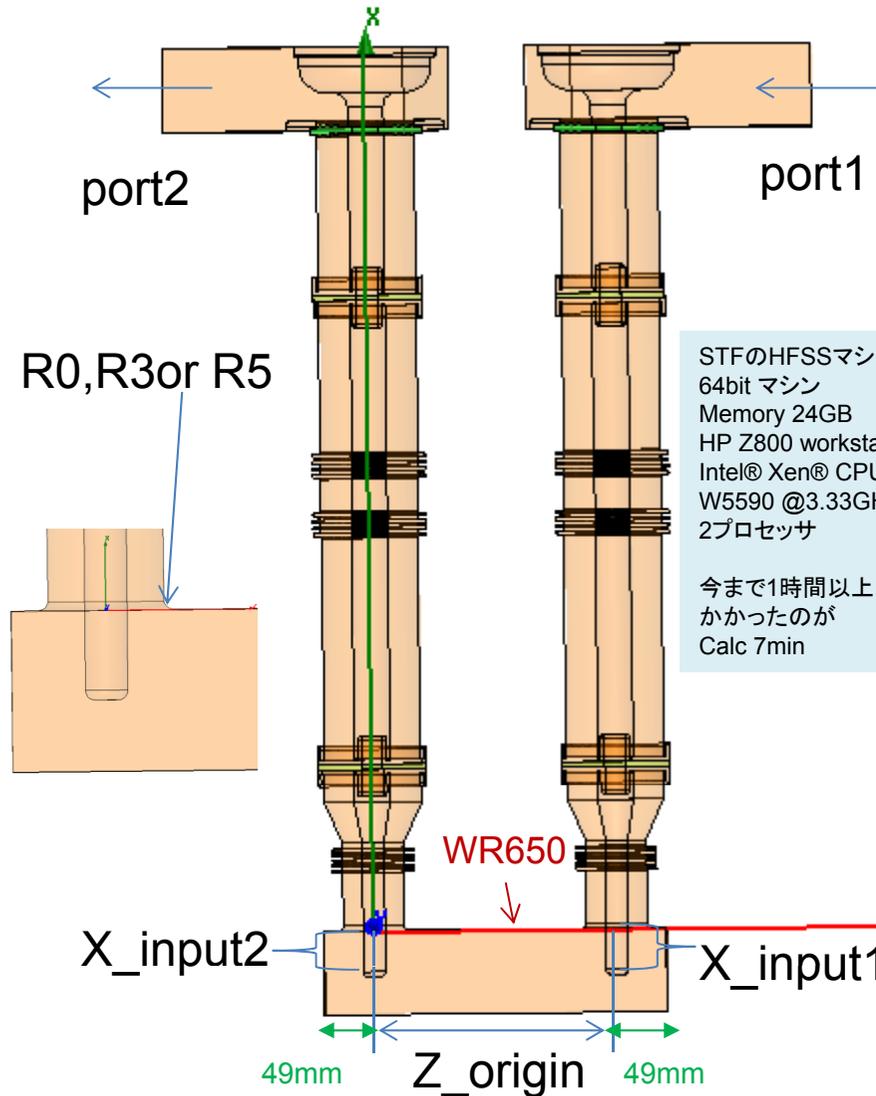
カプラーテストは cERL injector用の 300kW klystronを使用予定。カプラー2台を接続する導波管部分が今回設計が必要。まずは右図の赤部分の透過を見るためまずはRF設計・計算などが必要。(今年度作成部分)

目標: S11 < -20dB



ERL injector用カプラーテストの様子
@ERL開発棟
同じ場所に設置してテストを行う。

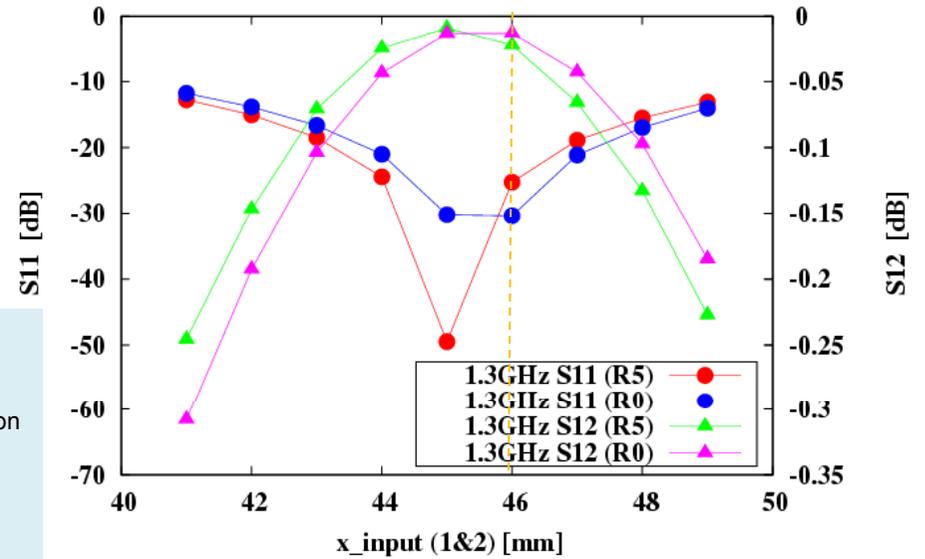
Calc HFSS of Spara @1.3GHz (Z_depend & xinput depend (R5,R3,R0))



STFのHFSSマシン
 64bit マシン
 Memory 24GB
 HP Z800 workstation
 Intel® Xen® CPU
 W5590 @3.33GHz
 2プロセッサ

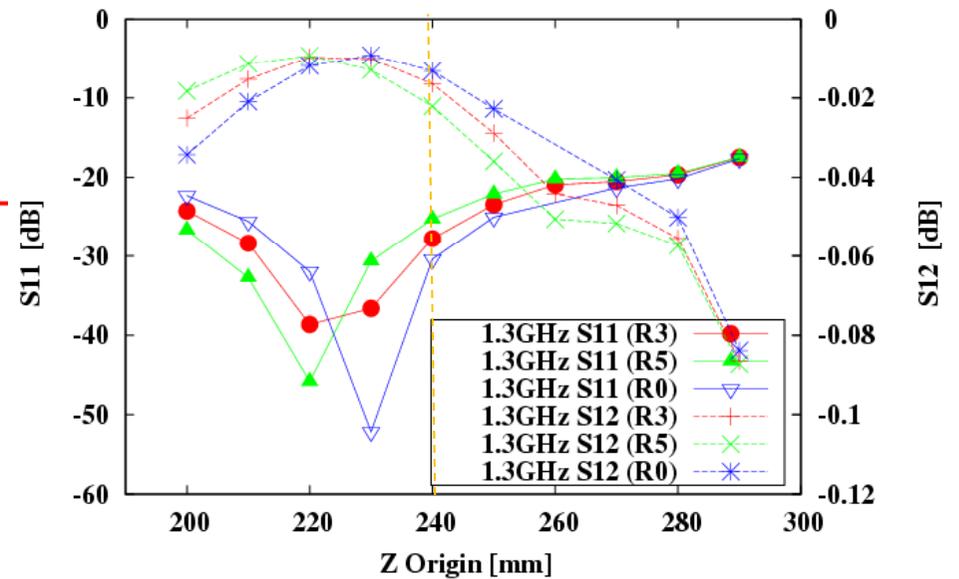
今まで1時間以上
 かったのが
 Calc 7min

HFSS calculation (teststand bellows -7mm) R5&corner 1.3GHz S11 S12



オレンジ点線が設計のdefault値

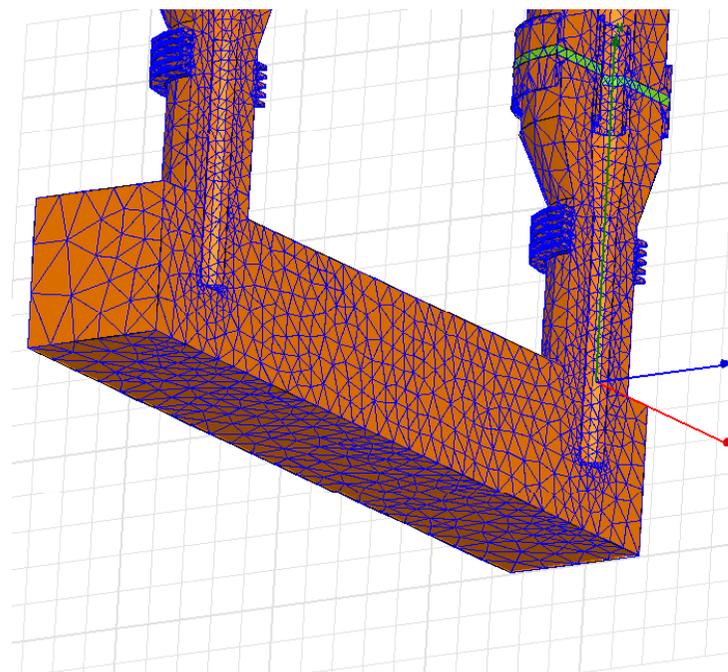
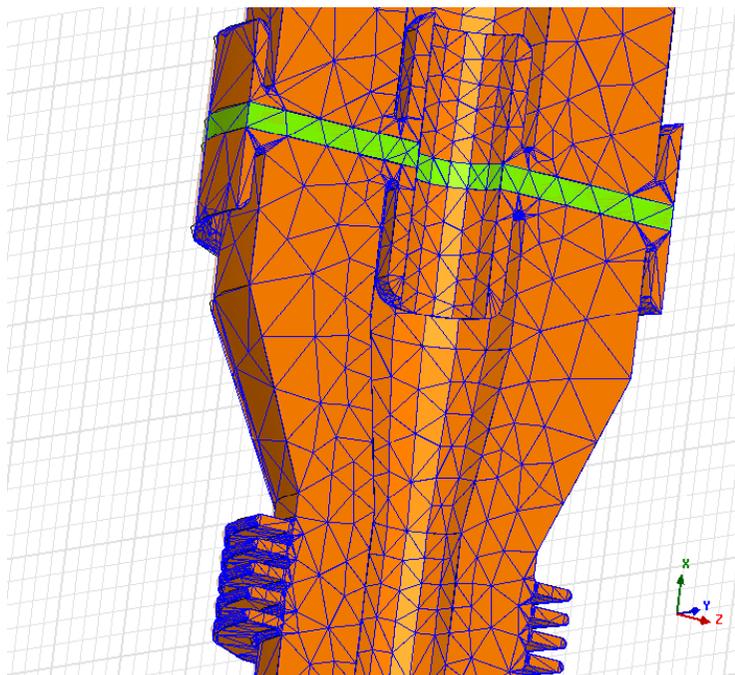
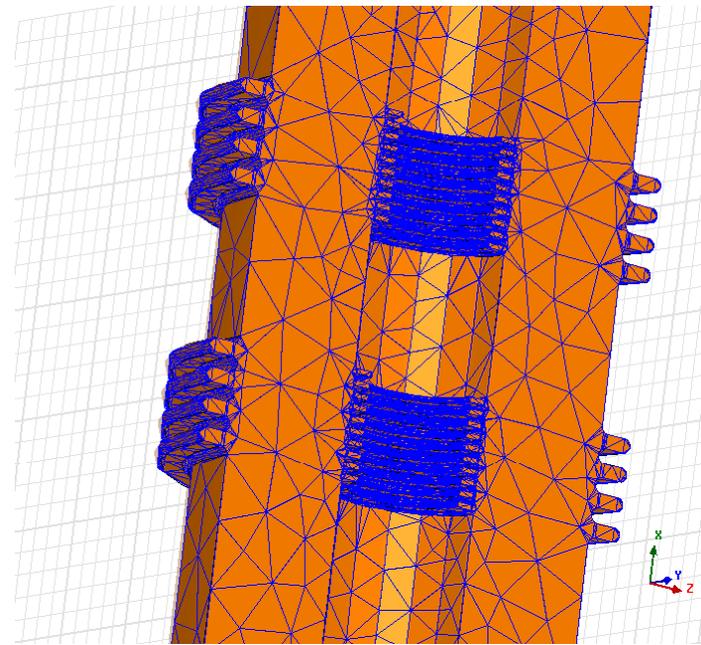
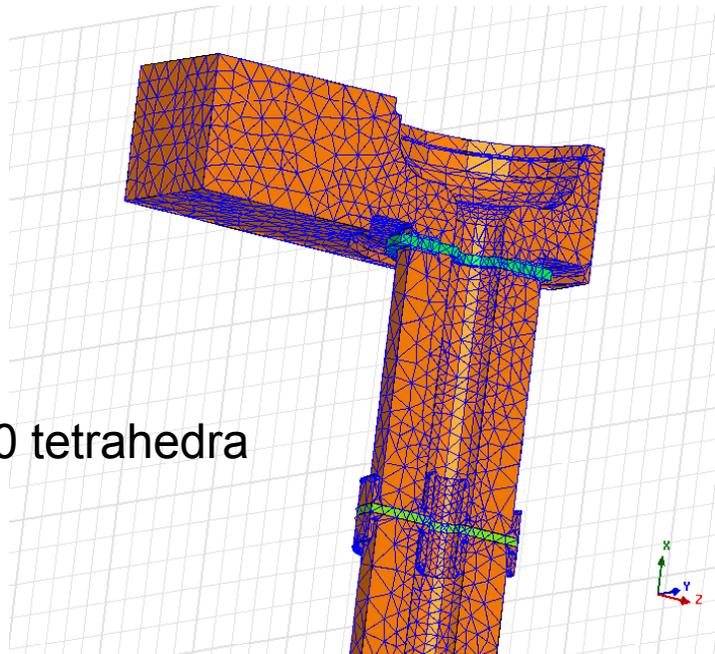
HFSS calculation (teststand bellows -7mm R5&R3&corner) 1.3GHz S11 S21



挿入長: x_input1,2とカップラー間隔z_originが主
 パラメータ。HFSSの計算はベローズの効果も
 含めて計算を行った。defaultで-25~-30dBの
 S11で収まるはず。→設計 fix

HFSS Mesh test stand

約370000 tetrahedra

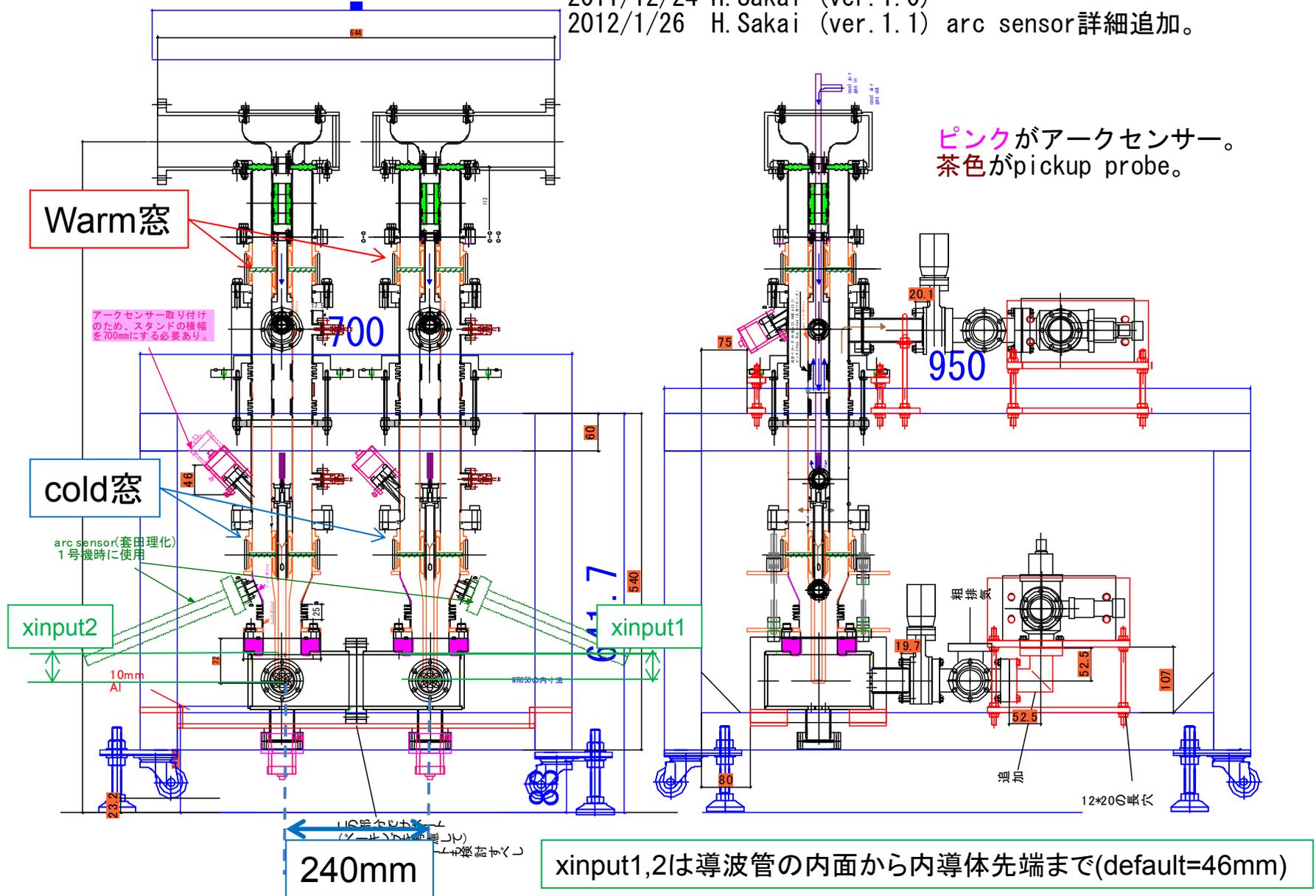


Main linac用coupler test stand(2,3号機用)のsetup

cERL用main linac coupler test stand

2011/12/24 H. Sakai (ver.1.0)

2012/1/26 H. Sakai (ver.1.1) arc sensor詳細追加。



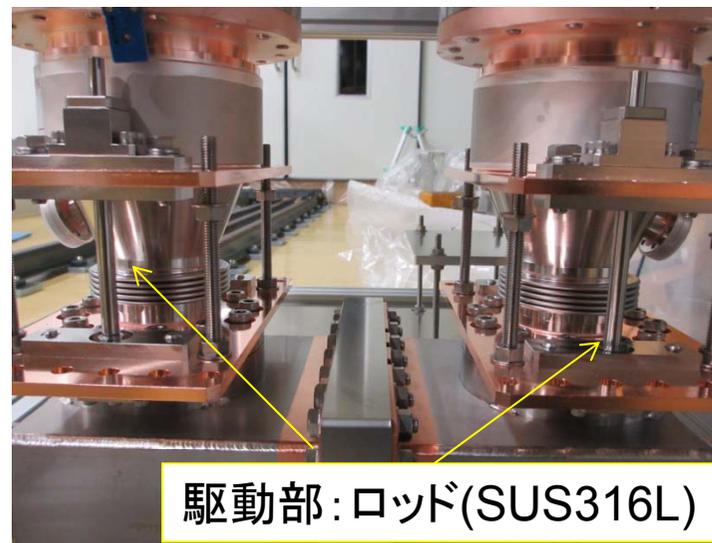
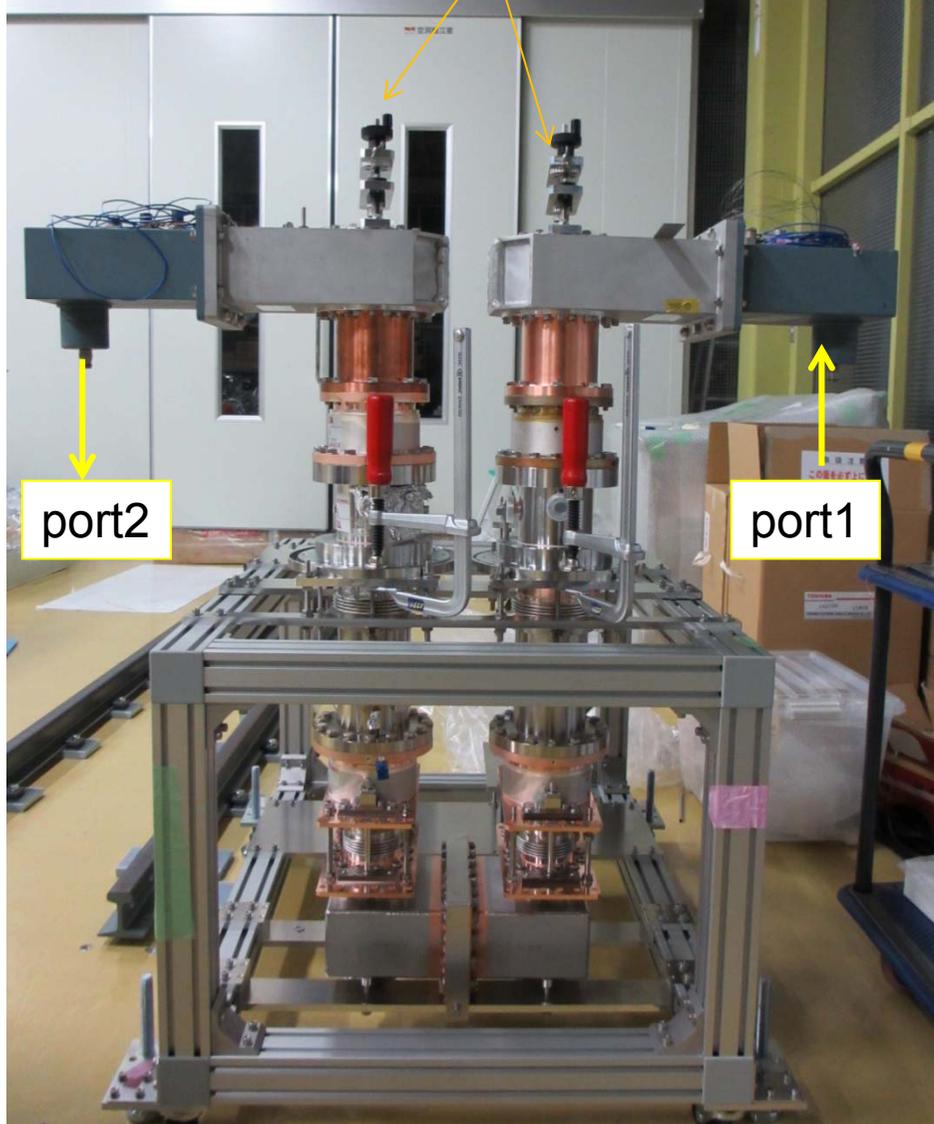
ピンクがアーケセンサー。
茶色がpickup probe。

まず真空部分を除いてテストスタンドを組立てlow level測定を行った。

Setup 写真

2, 3号機のCold窓、導波管結合管など年末から年明けに納品された。

カップラー駆動機構
この部分を動かしてcold窓のcouplingを変える。

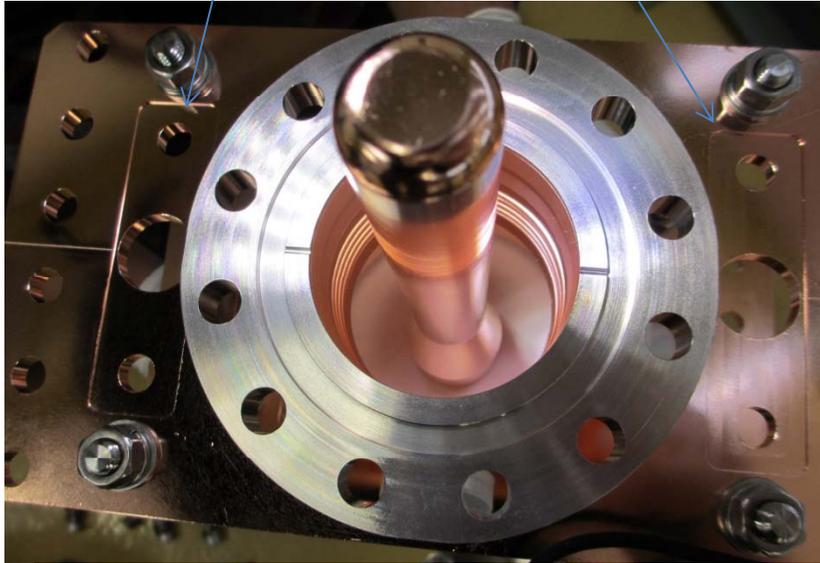


カップラーの挿入量は銅板アンカー間を測定することで算出。
面間=85mm
→ $x_{input1,2} = 46\text{mm}$ に対応。

実測では $x_{input1,2}$ を $\pm 4\text{mm}$ 変えて測定を行った。

組立はカップラー部はOK.ロッドなど駆動部分も問題なく動いた。

駆動部のサポートのはめ合いを設けた。



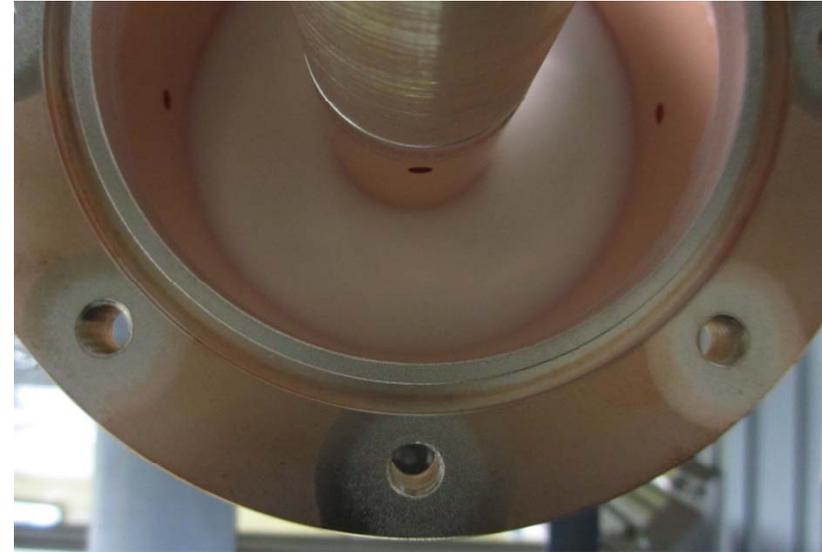
Cold窓：黒い点などは特にみられない。



ドアノブ2つとも内面はきれいになった

セラミック窓はHA997を使用。

Coupler 詳細写真



Warm窓：黒い点などは特にみられない。



Warm外導体ベローズ部

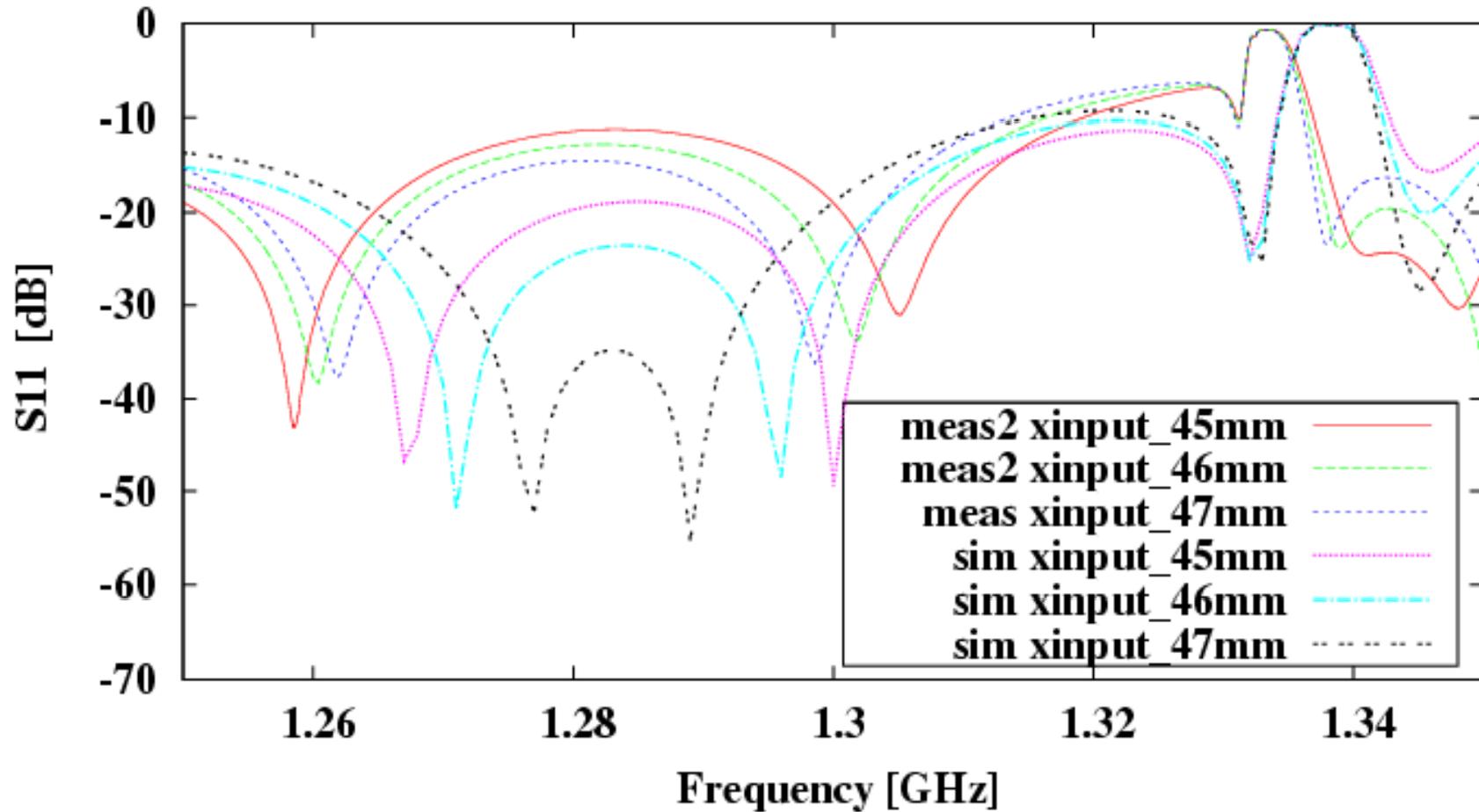
Measurement results (xinput1&2=46mm,z_origin =240mm)



Default値でS11&S22で-25~-30dB以下の反射になっている。→ほぼ設計通りか??

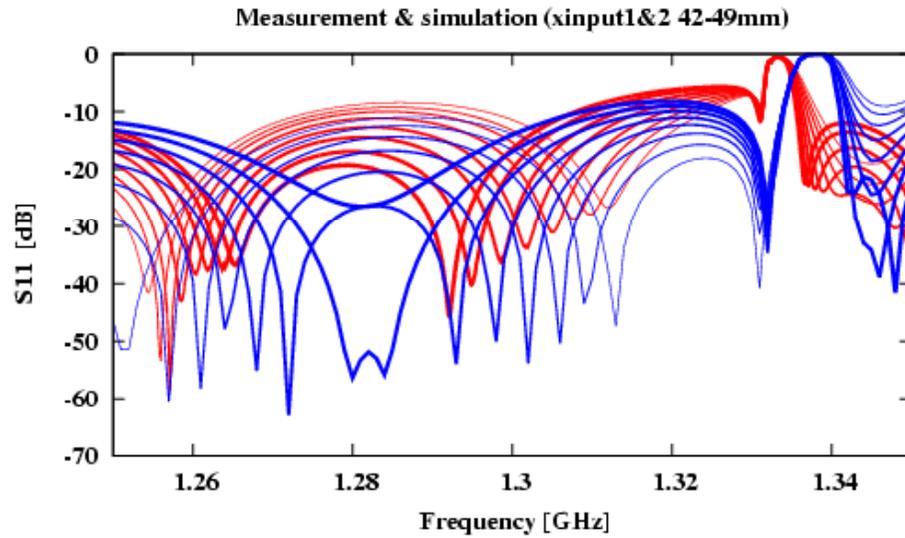
Simulationとの比較 (typical case)

Measurement & simulation (x_input 45 46 47mm)



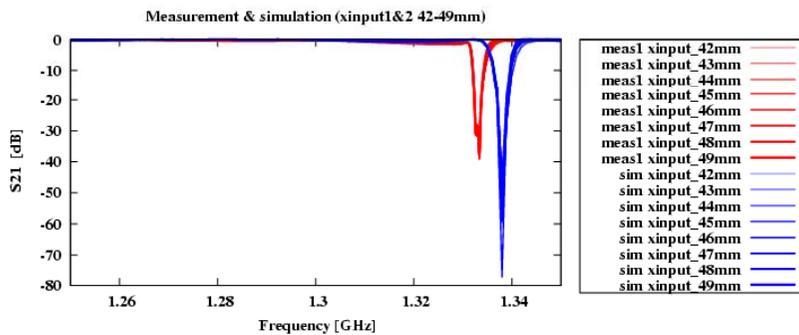
simulationで xinput (1&2)=45mmと measurementでxinput =46mmが似ているようだ。
1mmのずれくらいがsimulationと実験との違いか？ 振る舞いはまあまああっている。

HFSS Simulationとの比較(詳細) (xinput1&2)

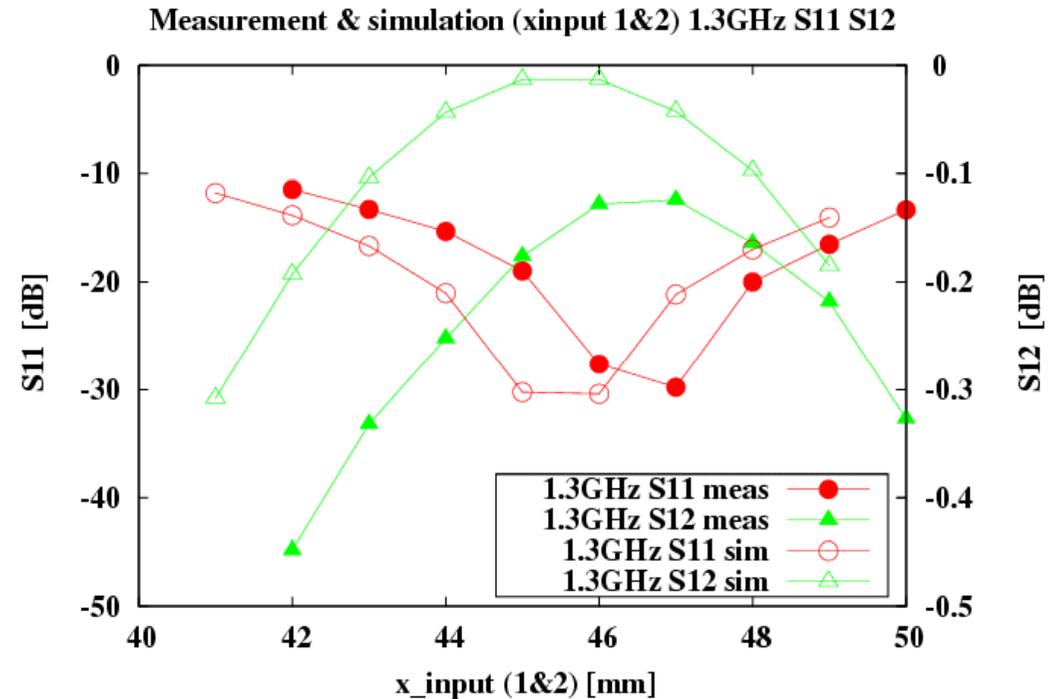


- meas1 xinput_42mm
- meas1 xinput_43mm
- meas1 xinput_44mm
- meas1 xinput_45mm
- meas1 xinput_46mm
- meas1 xinput_47mm
- meas1 xinput_48mm
- meas1 xinput_49mm
- sim xinput_42mm
- sim xinput_43mm
- sim xinput_44mm
- sim xinput_45mm
- sim xinput_46mm
- sim xinput_47mm
- sim xinput_48mm
- sim xinput_49mm

こちらもxinput1&2で
1mm程度のずれ
S11やS21の傾向は
非常に似ている。



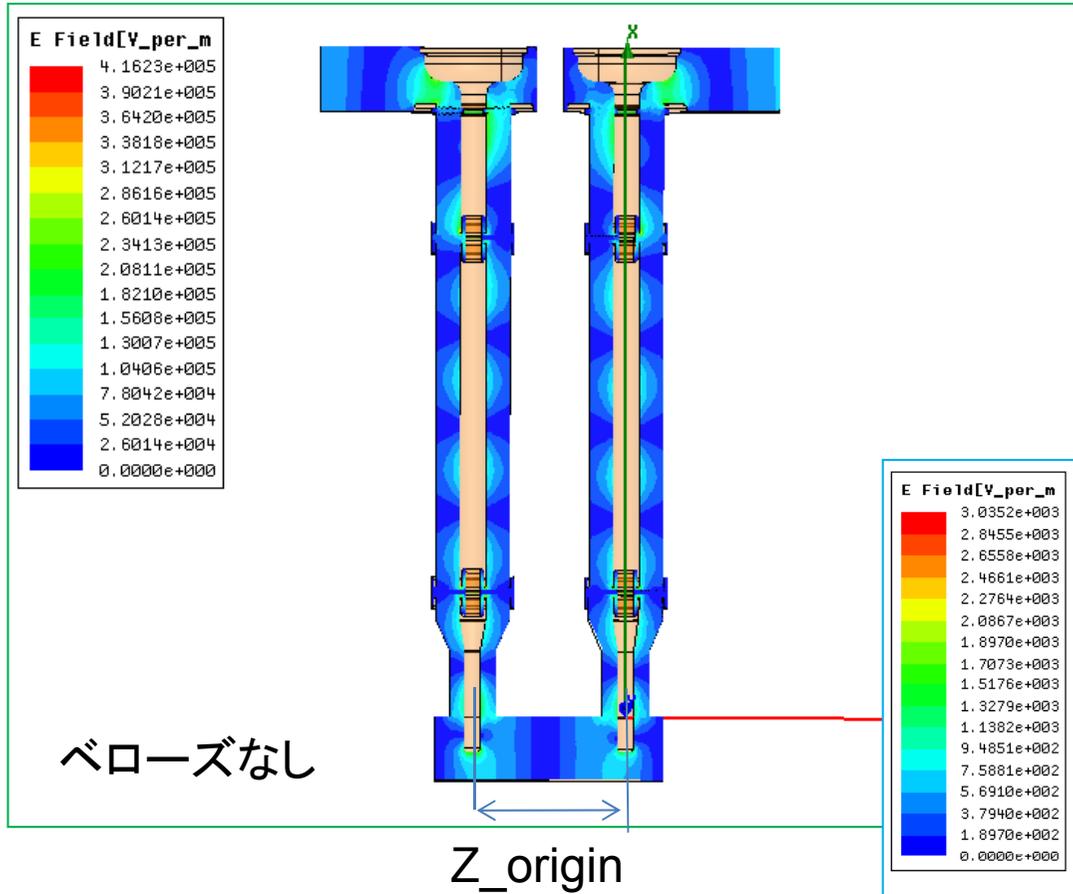
- meas1 xinput_42mm
- meas1 xinput_43mm
- meas1 xinput_44mm
- meas1 xinput_45mm
- meas1 xinput_46mm
- meas1 xinput_47mm
- meas1 xinput_48mm
- meas1 xinput_49mm
- sim xinput_42mm
- sim xinput_43mm
- sim xinput_44mm
- sim xinput_45mm
- sim xinput_46mm
- sim xinput_47mm
- sim xinput_48mm
- sim xinput_49mm



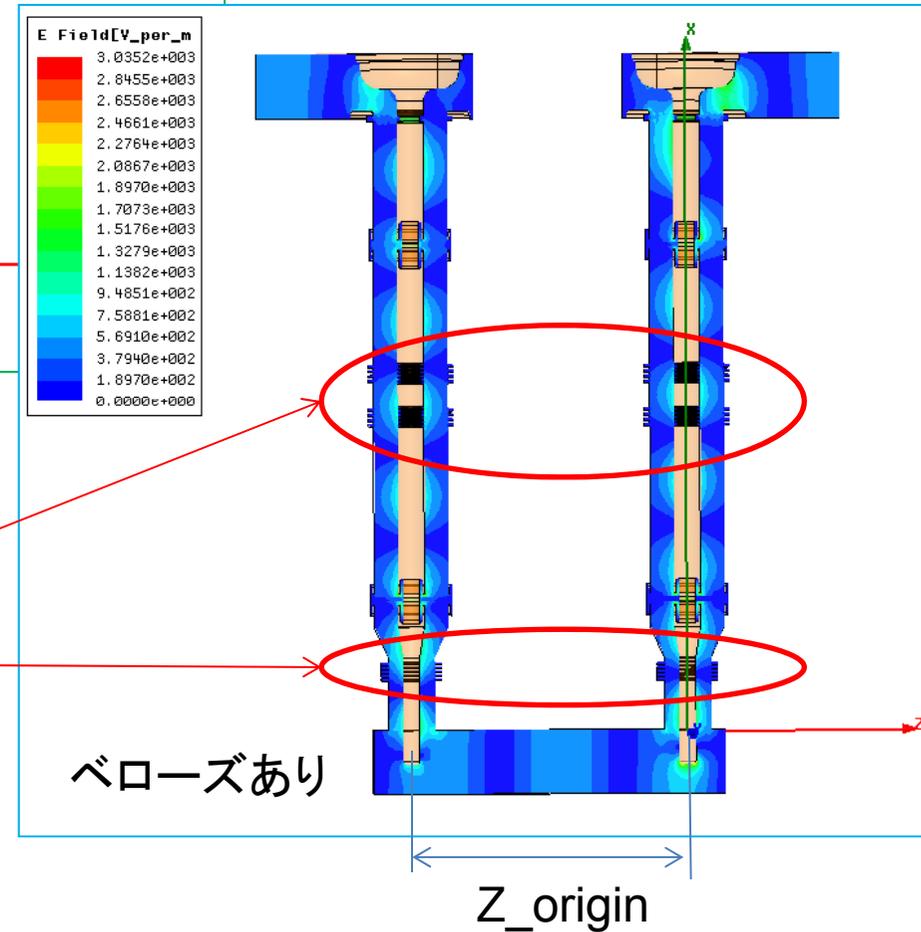
- 1.3GHz S11 meas
- 1.3GHz S12 meas
- 1.3GHz S11 sim
- 1.3GHz S12 sim

(余談)ベローズありなしのHFSSでの評価

ベローズありなしで
カプースタンドの透過の様子が
変わるのかをz_originを変化させて
計算の比較を行った。



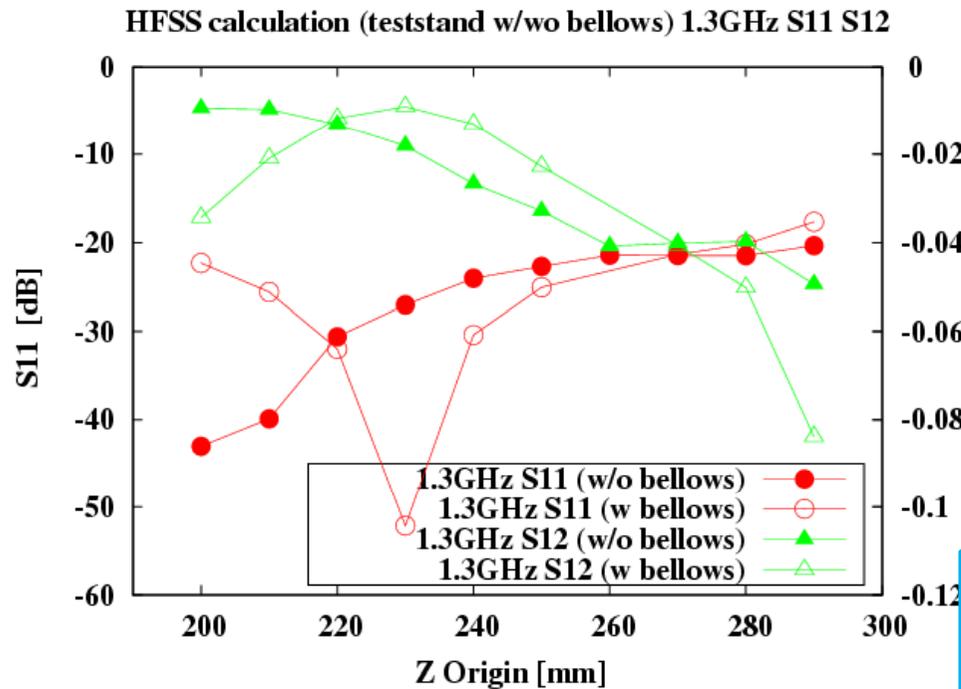
1つのカプラーに
Warm部の内導体にベローズ2つ
Warm部の外導体にベローズ2つ
Cold部にベローズ1つ



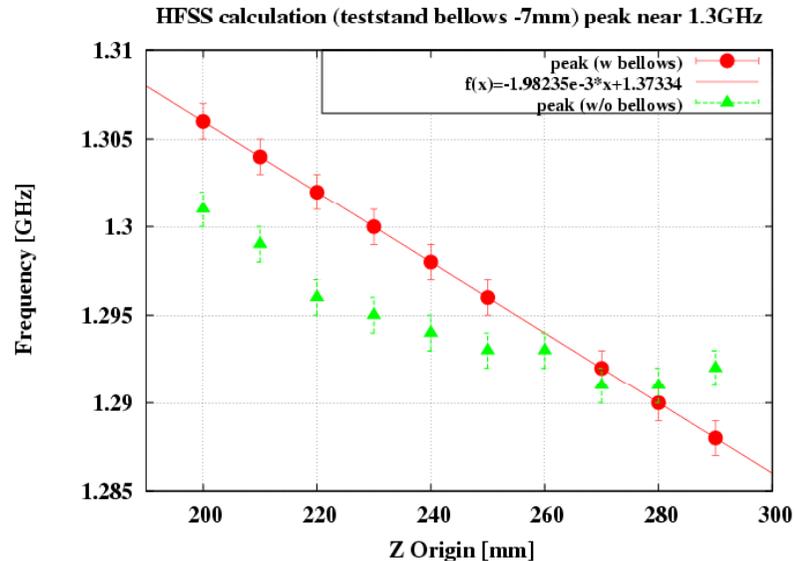
(余談) Bellowsとno bellowsの比較(S11,S12 & peakにて)

Sparaでbellows ありなしで微妙に違う。Bellows部のImpedanceの違いによるものと思われる。

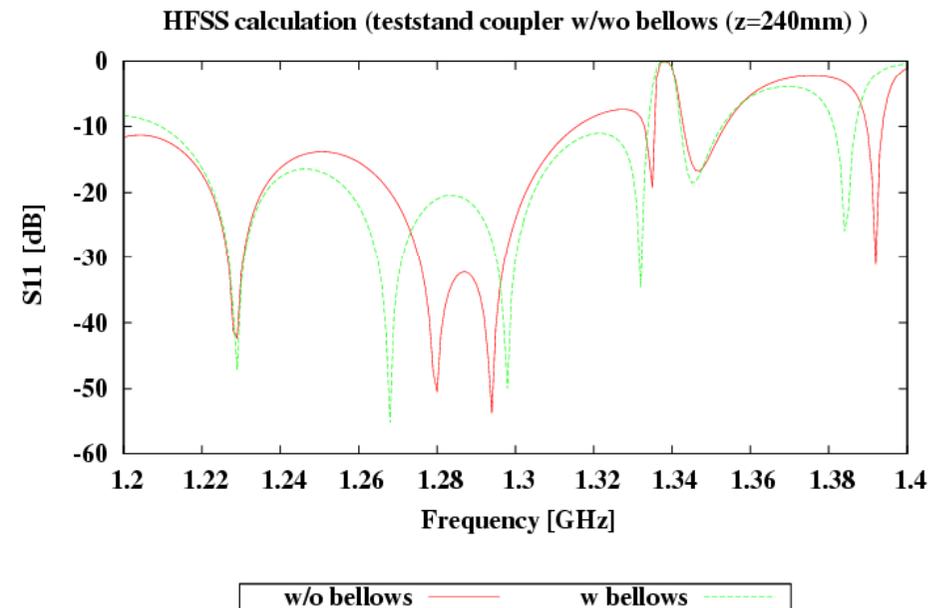
今回は一応、念のため、まじめにベローズありで計算し、実測と合うかの比較をした。



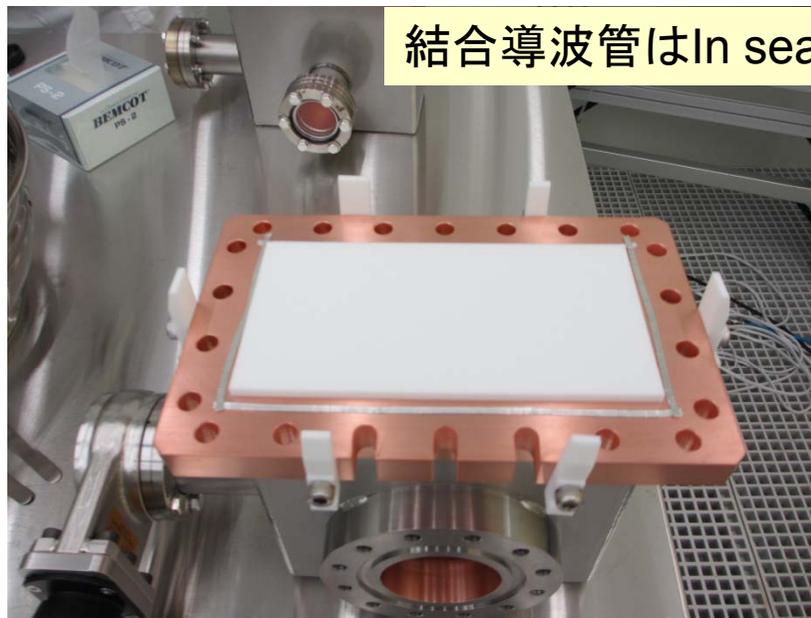
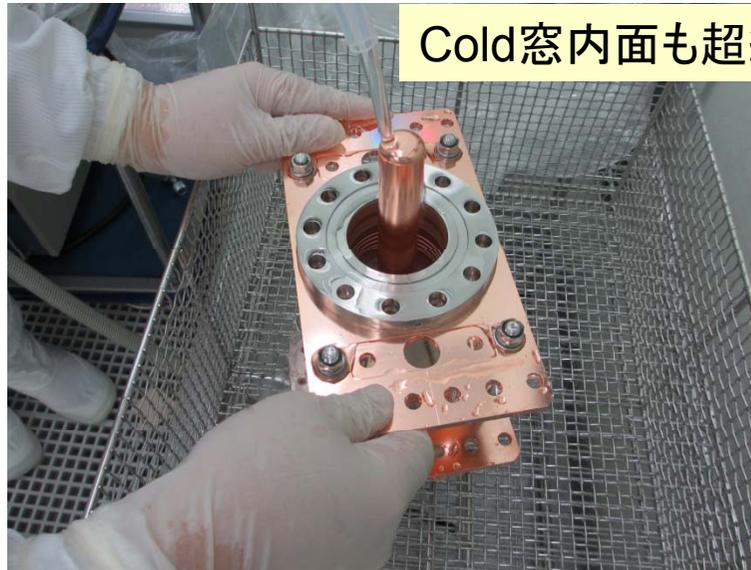
Peakの場所がz_originにて30mm程度ベローズありなしで違う。



Typical sparameter results (z_origin=240mm)



クリーンルーム内(class10)での
カプラー組立、洗浄(ERL開発棟)

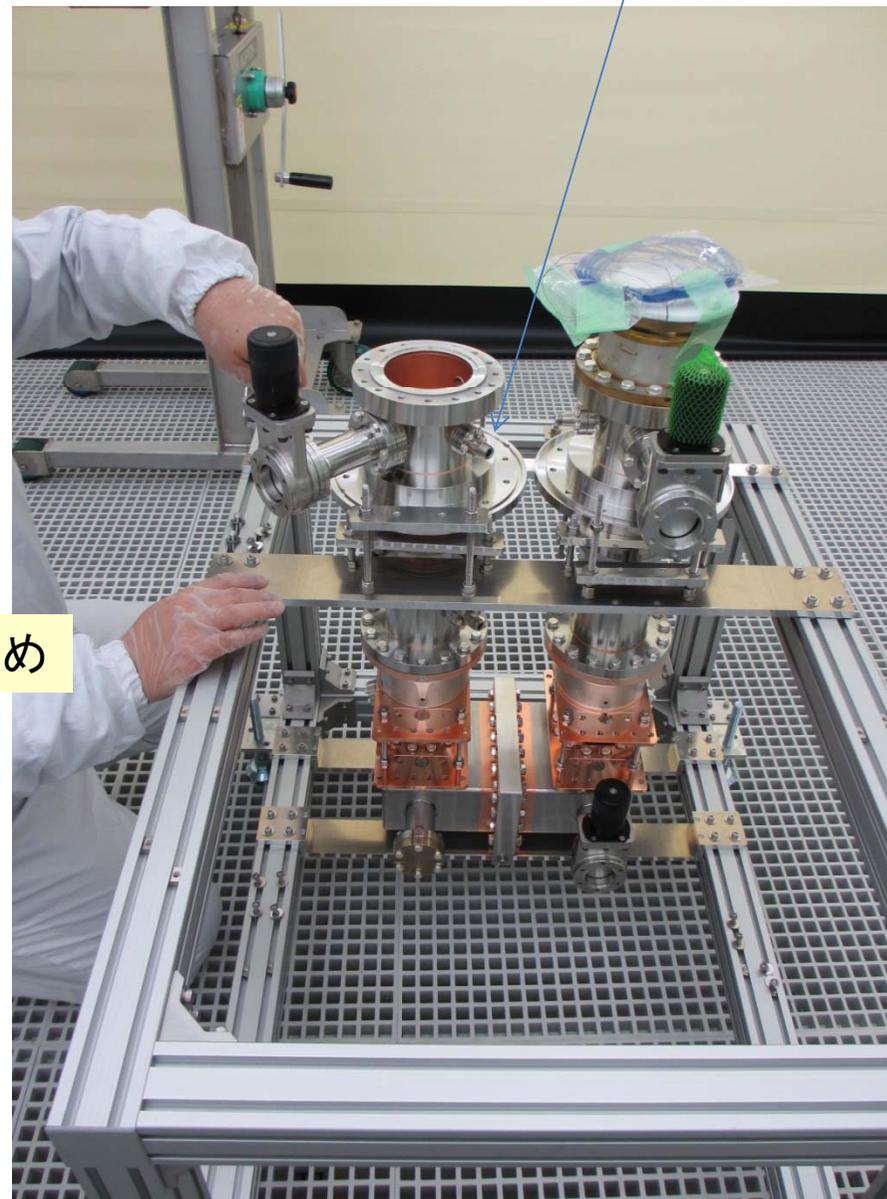
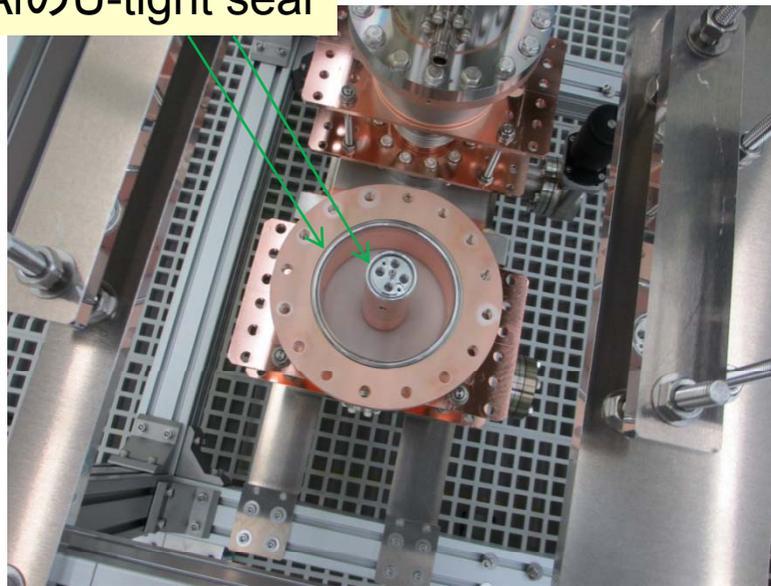


Low level測定後にcleanな環境を保持するため、超純水洗浄後に組立、洗浄後一晩乾燥。

カプラー組立@ERL開発棟

Pickupが干渉したため、向きを変える。

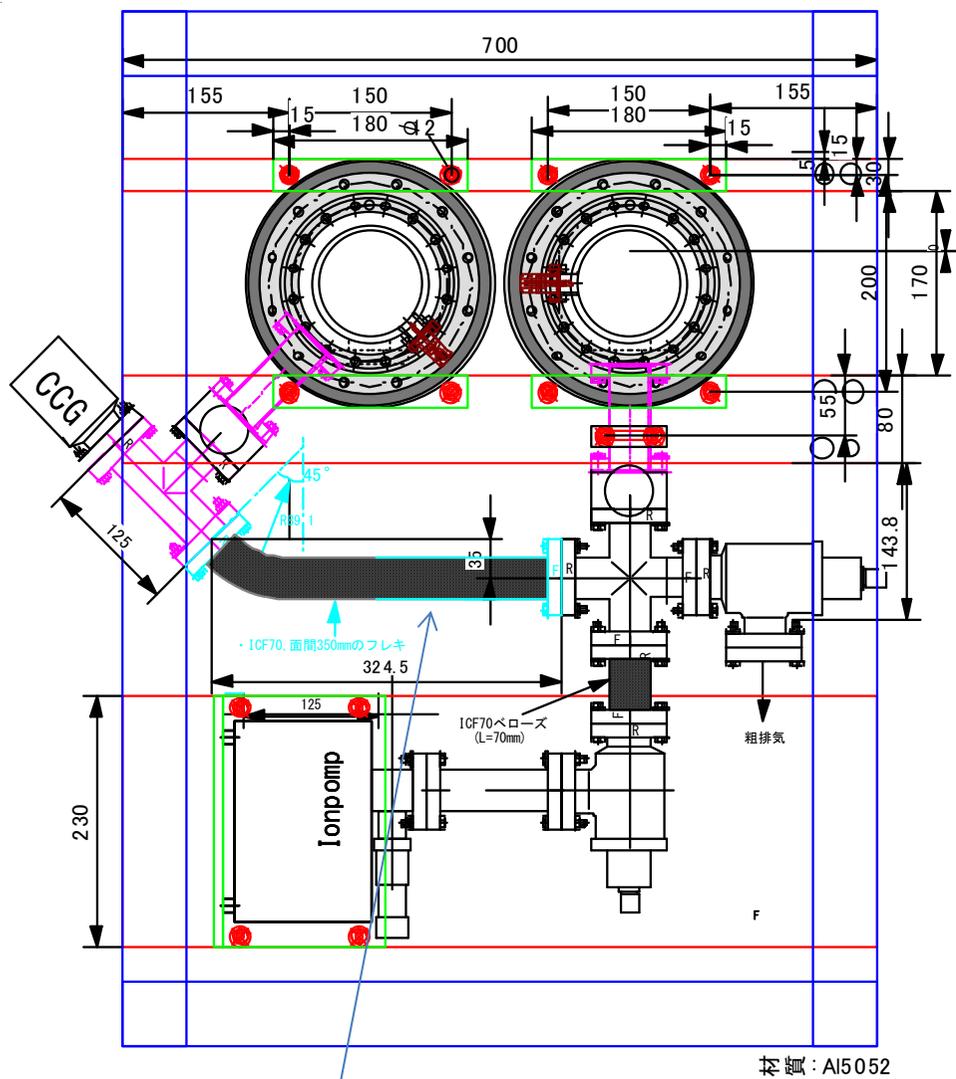
Sealは
AlのU-tight seal



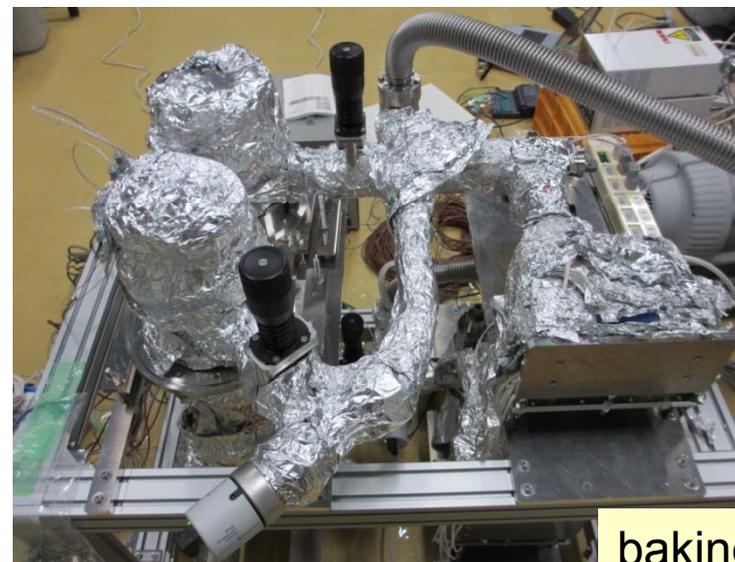
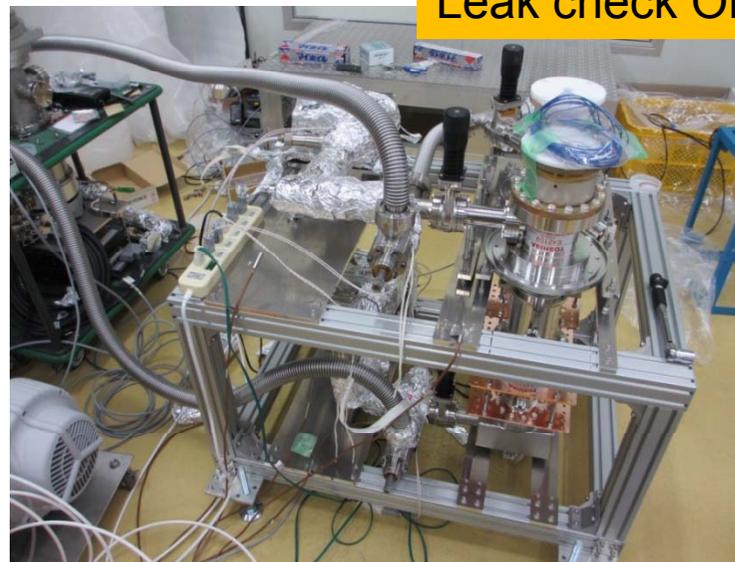
Warm内導体のネジ締め



Leak check & baking



向きのずれは結局フレキで対応。



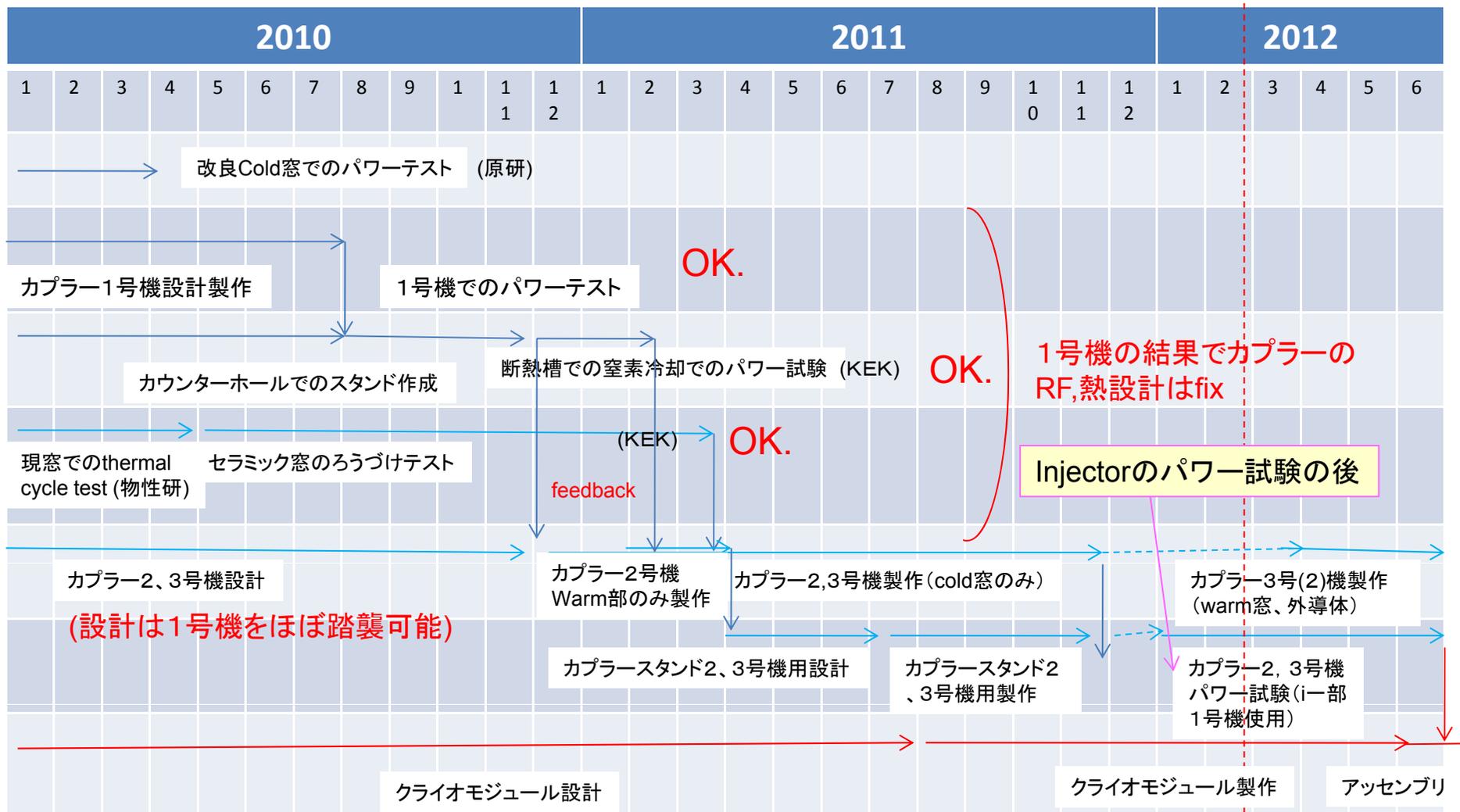
48時間bakingを行った。Cold窓から上は150度以上になるようにkeep。結合導波管同士はIn sealなので、その部分が80度以上にならないように調整。Baking後にwarm窓で $2 \cdot 10^{-7}$ Pa Cold窓で $5 \cdot 10^{-7}$ Paになった。(2012/2/24現在)

まとめ

- Cold窓の最終設計(ERL9cell空洞のcoupling測定)
 - ドアノブ側から測定を行ってもS11で1.3GHz近くのpi modeの共振が見られた。モジュールに組み込んでも周波数の測定は可能。
 - カップリング可変機構はロッドを使用してスムーズに動いた。
 - Qext測定は0deg、90degでほぼ違い無い結果が得られた。
 - 計算と実測では2mm程度の違いがある。Slopeはほぼ同じ。
 - 測定結果とERL operationの現状を再検討し、可動域は同じで可動範囲を $Q_{ext} = (1-4) \cdot 10^7$ に修正。これを2,3号機カプラーに反映するため、1号機より7mm短い設計とした。
- カプラーテストスタンドについて
 - RF関係の部分はTest standとしてうまく組上がった。動かす部分も今のところ問題なし。
 - Low levelは設計値にて-25~-30 dBのS11で収まった。
 - Simulationと測定値は1mm程度の誤差で合っている。ほぼ設計通りか？
 - またsimulationではbellowsの効果が多少あるようである。
 - 配管系を手直ししてclean roomで組み込みを行った。
 - Leakなしで、48時間の150度bakingを行い、真空は $2-5 \cdot 10^{-7}$ Paで落ち着いた。
- 今後
 - injectorのcoupler high power testのあとにhigh power testを行う予定(4月半ば2weeks?)
 - 3月のinjector coupler testでarc sensor(fiber type)のtestも行う予定。
 - パワーテスト後はclean roomでstandごと保管。夏を目途にモジュール組込予定。

今後の方針(最短スケジュール)

here



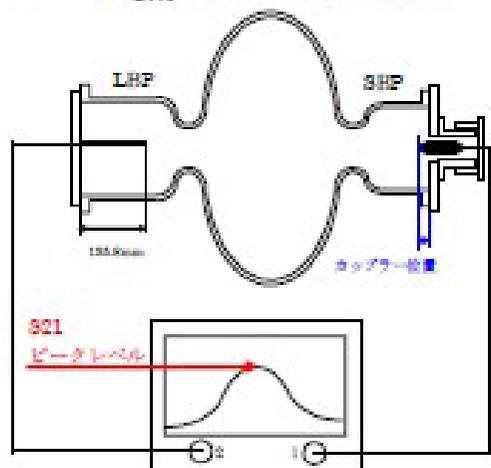
今年度(2011年度)の大きな方針

- ・モジュール設計がメイン。カプラーをモジュールにどう組み立てていくか？(詳細設計)
- ・2号機、3号機用カプラーテストスタンドの製作。(processがメイン。)

Backup

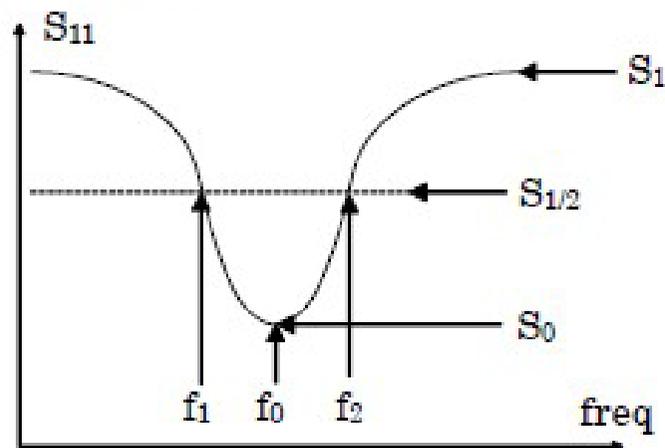
測定方法

I. Q_{ext} の相対値測定

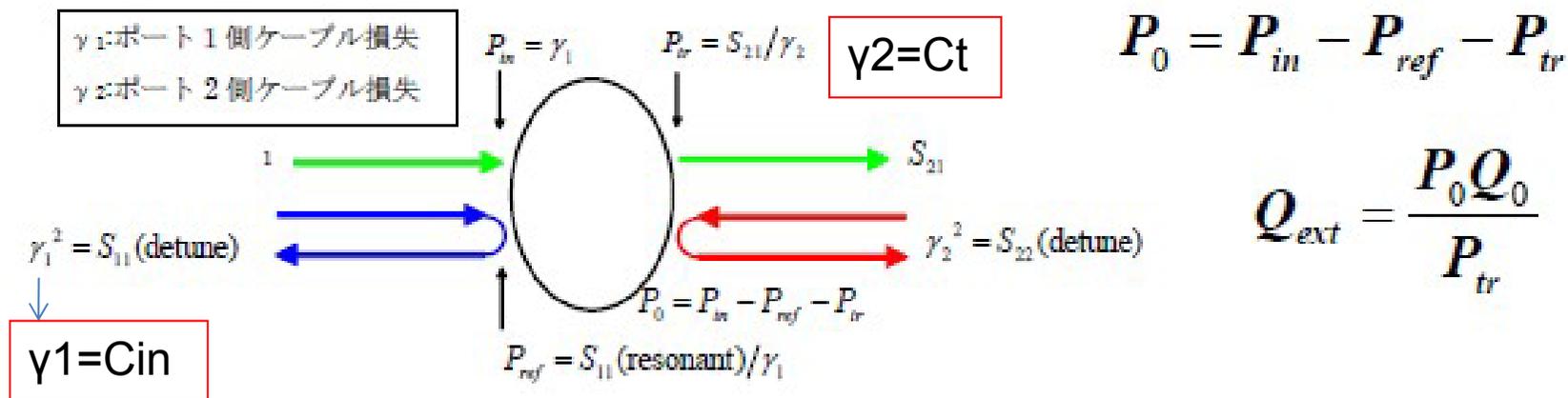


ケーブルまでは
Calib済み
カプラーのlossは
Detuneで測定

II. Q_0 測定



III. ケーブル損失を測定し、空洞損失を計算



coupling測定値の計算

$$P_0 = P_{in} - P_{ref} - P_t$$

$$\beta^* = \frac{1 + \sqrt{P_{ref}/P_{in}}}{1 - \sqrt{P_{ref}/P_{in}}} \text{ or } \frac{1 - \sqrt{P_{ref}/P_{in}}}{1 + \sqrt{P_{ref}/P_{in}}}$$

for over or under coupling, respectively

$$\beta_t = \frac{P_t}{P_0}$$

$$\beta_{in} = \beta^* \times (1 + \beta_t)$$

$$Q_L = \frac{f_0}{2\Delta f} \Leftarrow 2\Delta f = \text{半値幅}$$

$$Q_0 = Q_L(1 + \beta_{in} + \beta_t)$$

$$Q_{in} = \frac{Q_0}{\beta_{in}}$$

$$Q_t = \frac{Q_0}{\beta_t}$$

縦測定と同じ計算式
Over or underは
スミスチャートから判断
(基本的に全てunder)

取得データ

$$P_{in}(\text{raw}) \times C_{in} \Rightarrow P_{in}$$

$$P_{ref}(\text{raw}) \times C_{in} \Rightarrow P_{ref}$$

$$P_t(\text{raw}) \times C_t \Rightarrow P_t$$

$$\text{FWHM (S21) (-3.01dB)}(\Delta f)$$

$$\text{Frequency}(f_0)$$

データからの計算値

$$Q_0, Q_L, Q_{in}, Q_t$$

$$\beta^*, \beta_{in}, \beta_t$$

RF設計手順

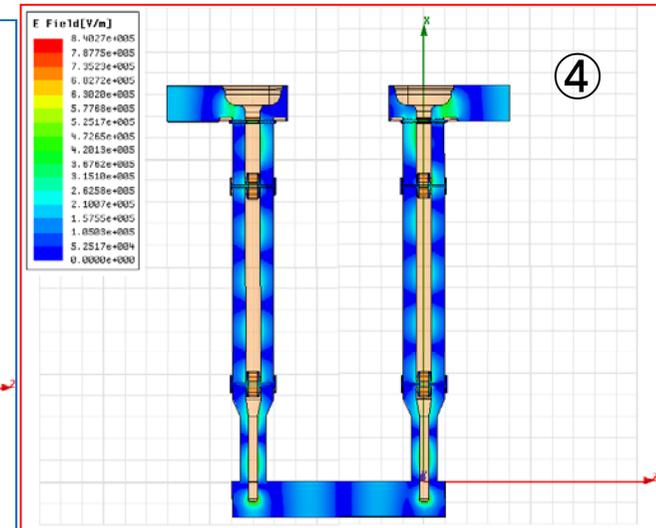
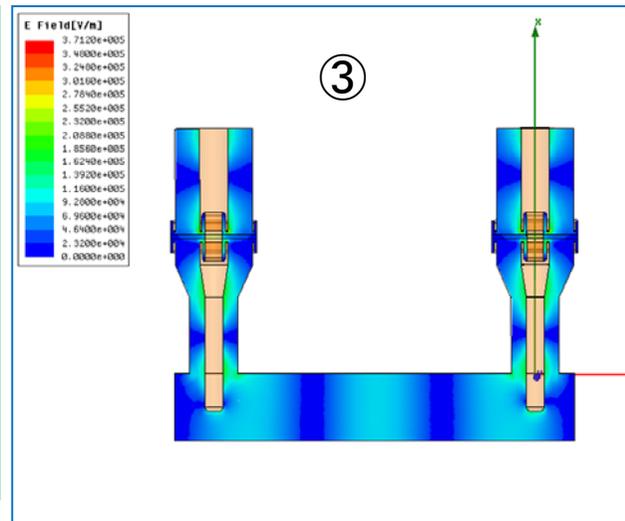
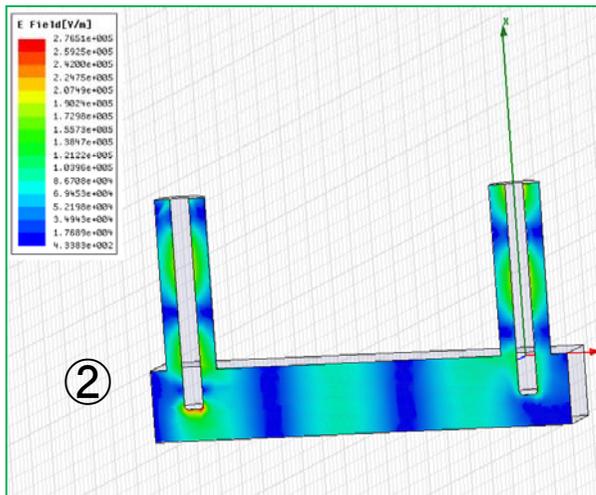
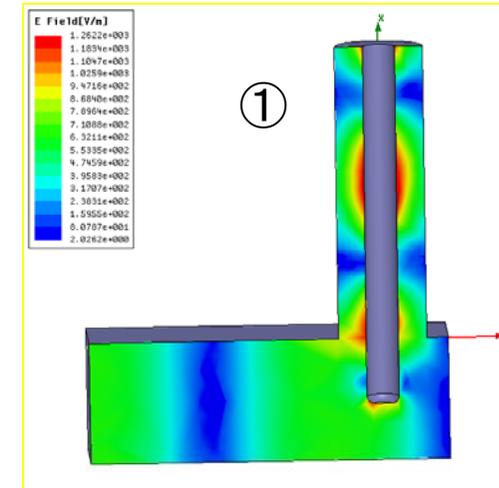
HFSSにてS11,S21を計算。

- ①内導体と導波管結合器単体。
- ②内導体2つと導波管結合器全て。
- ③Cold窓2体＋導波管結合器全て。
- ④ドアノブを付けた時のカップラー2台

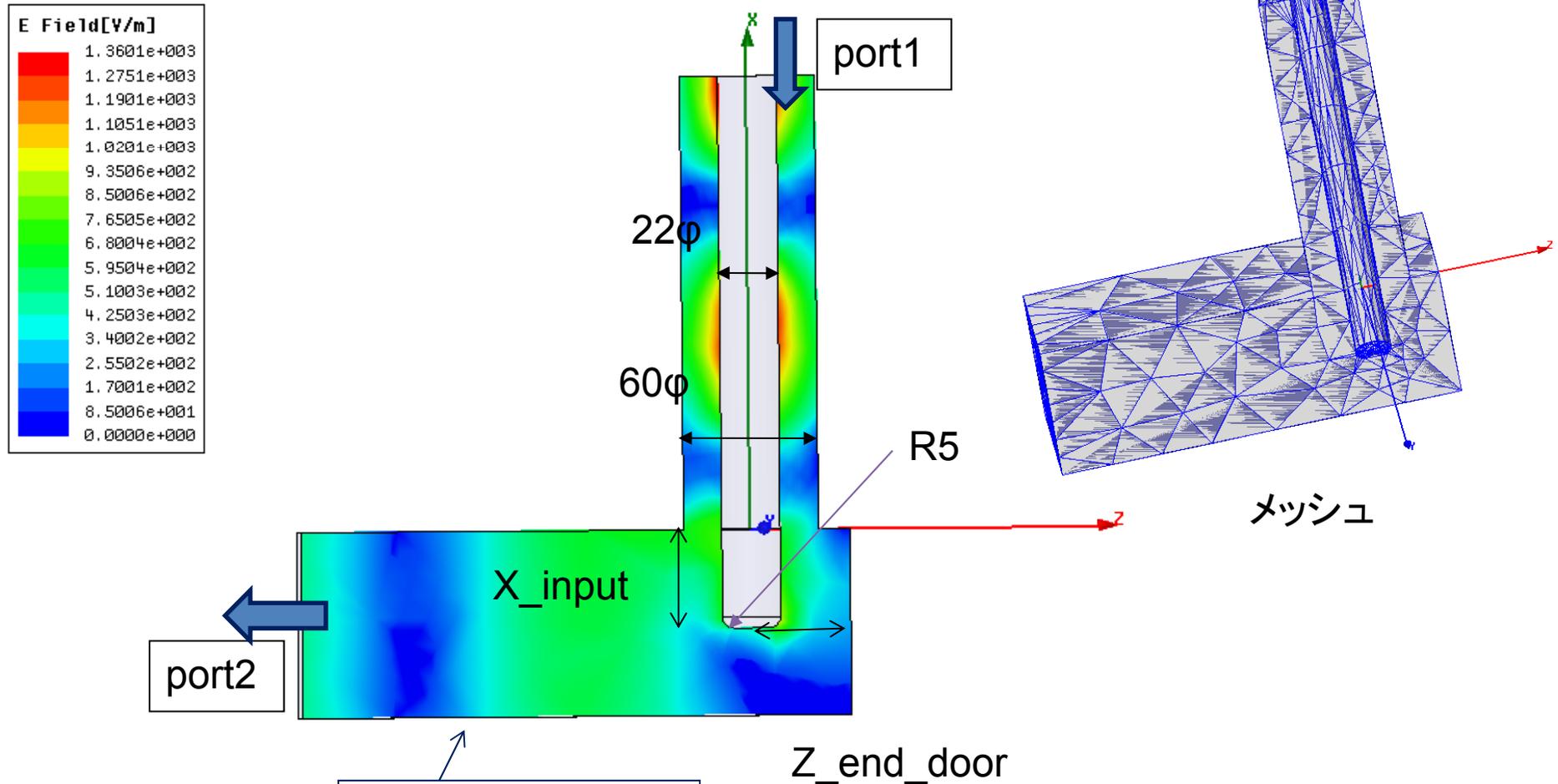
の順番でパラメータを変えて計算を行った。

ポイント:透過がよくなるように各段階で計算。

Final target : S11 < -20dB



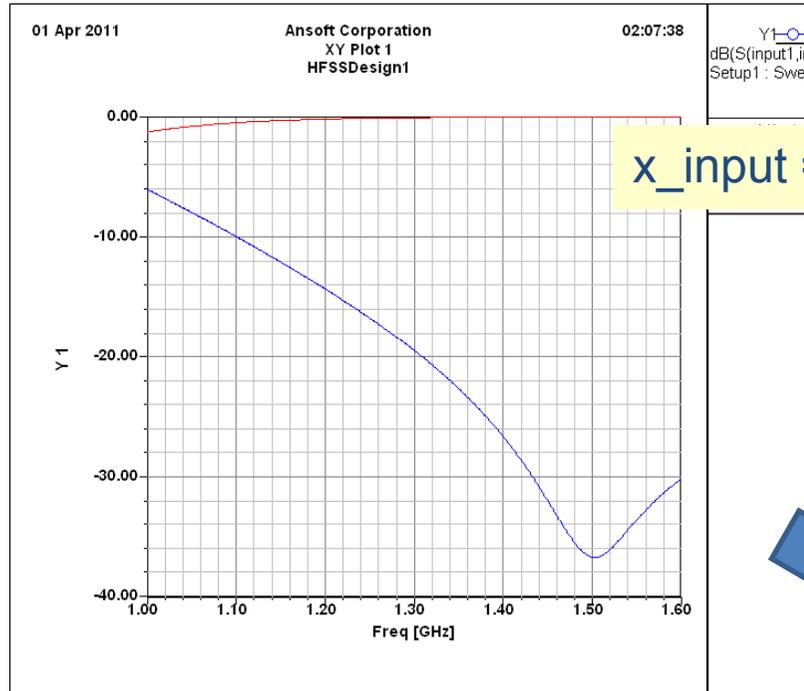
内導体と導波管結合器単体



WR650の導波管
W:165mm
H:82.5mm

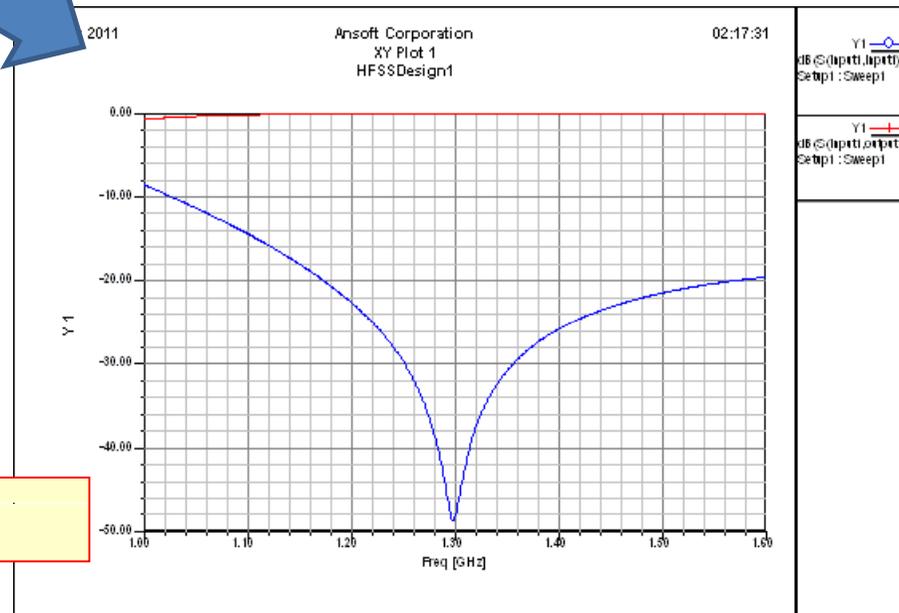
Parameter:
X_input : 45mm近くを振る。
Z_end_door : 45mm近くを振る。

Sparameter results (端部 半分 optimization)



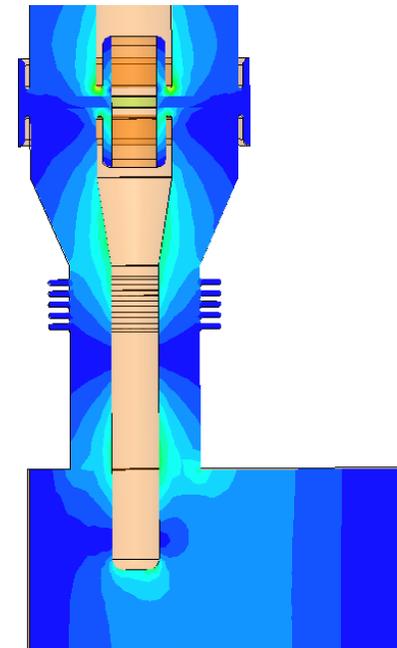
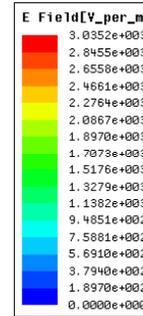
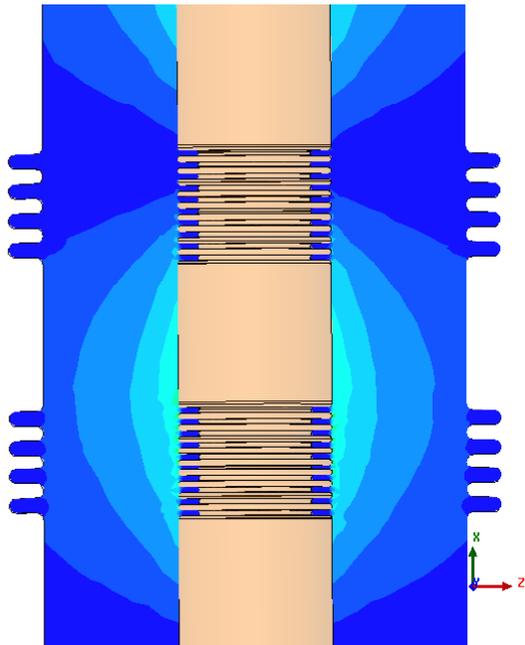
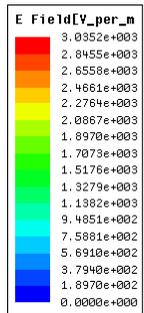
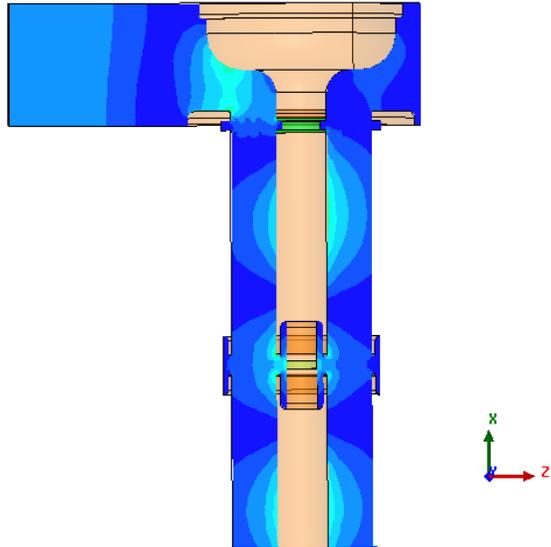
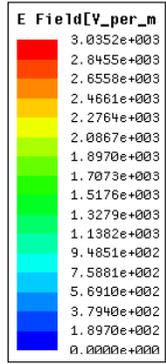
x_input = -44mm, z_end_door = -45mm

After optimisation



x_input = -46mm, z_end_door = -49mm

HFSS Field test stand



N変換導波管同士のspara

念のため、N変換導波管同士のsparaをcheck

S11 : -30.31dB
S21:-0.123dB

問題なし。

