

高周波特性からみた球形空洞型パルス圧縮器の製作

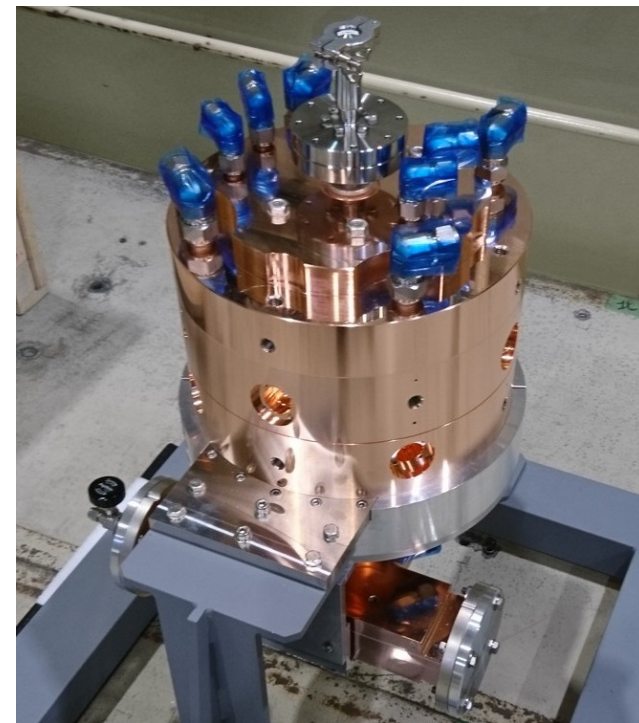
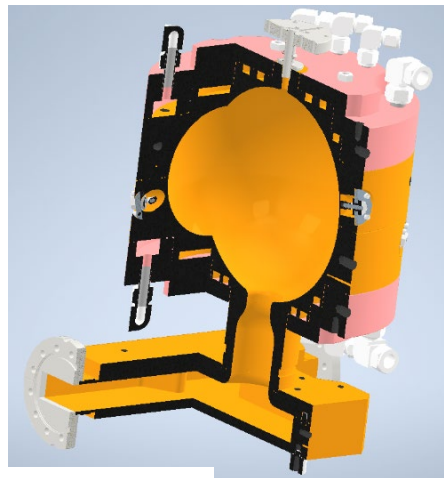
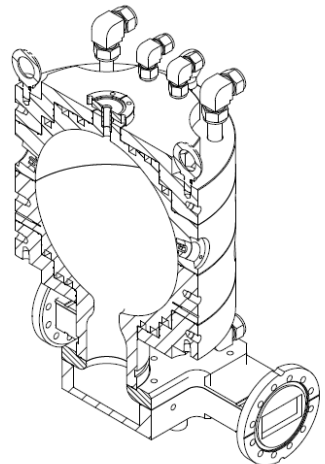
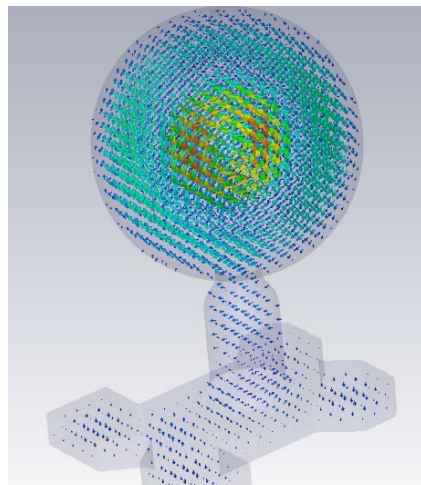
RF characteristics view of construction of spherical-cavity-type pulse compressor

肥後壽泰¹、坂東佑星²、恵郷博文^{1,2}、阿部哲郎^{1,2}、東 保男¹、佐治 晃弘³、井原 功介³、林 显彩⁴、施 嘉儒⁴

1) KEK、2) 総合研究大学院大学、3) 株式会社トヤマ、4) 清華大学

SCPC(Spherical-Cavity Pulse Compressor)の開発

- ・目的 SuperKEKB入射器で使用しているSLEDの更新
- ・特徴 高デューティでの安定運転、量産性、コンパクト
- ・背景 XバンドSCPC(SLAC) → Sバンド器(清華大) → SuperKEKB対応器(KEK)



MOP045 佐治 球形空洞型パルス圧縮器の製作

WEOB06 坂東 Sバンド球形空洞型パルス圧縮器の高電力試験

開発 #0号機



設計パラメータ、周波数感度 & 重要点

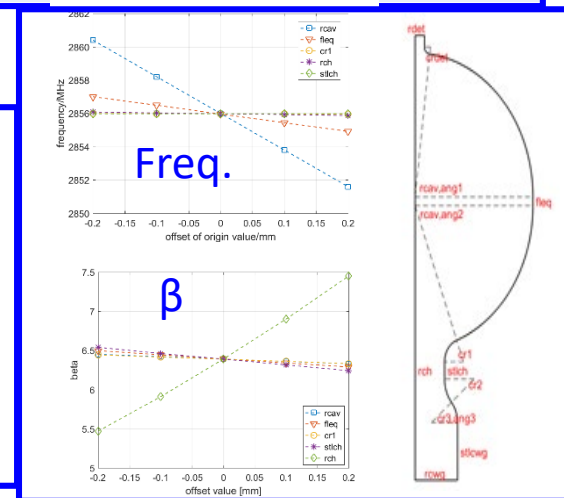
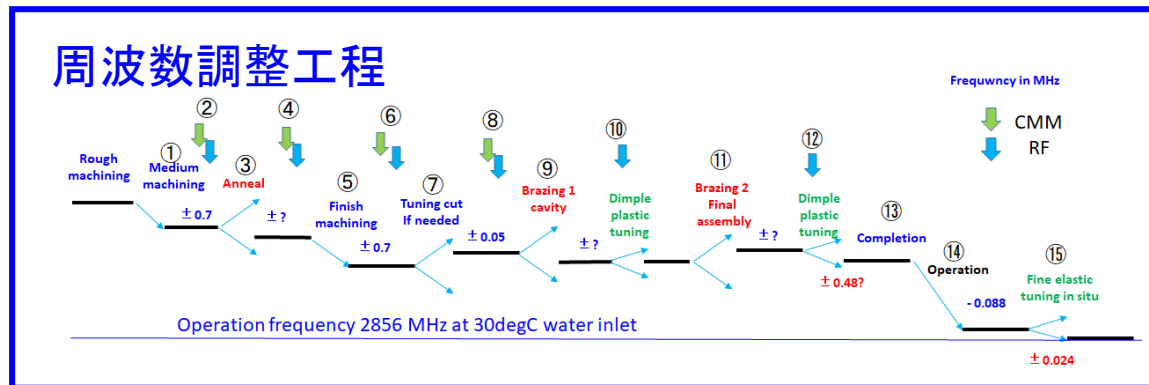
基本設計・SuperKEKB 現存SLED 互換パラメータ

	SuperKEKB	KEKB	Tsinghua	SLAC
Frequency [MHz]	2856	2856	2856	11424
Coupling	6.4	6.4	8	7~8
Input/compressed pulse width [μs]	4 / 1	4 / 1	3.6 / 0.3	1.5 /
Cavity shape and quantity	Spherical / 1	Cylinder / 2	Spherical / 1	Spherical / 1
Rep. rate [Hz]	50	50	2	120
Mode	TE ₁₁₂	TE ₀₁₅	TE ₁₁₂	TE ₁₁₄
Q ₀	1 x 10 ⁵	1 x 10 ⁵	1 x 10 ⁵	9.5 x 10 ⁴
Weight [kg]	153			
Size: W x D x H [m]	380 x 355 x 500*	380. x x		

加工精度と周波数調整代

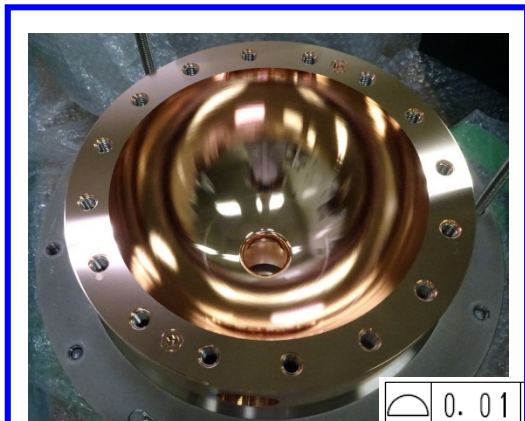
Frequency tuning	Parameter	Nominal	Sensitivity	Error	Error	Comment
				μm	kHz	
Machining	rcav	127.9	-22.3 kHz/μm	± 10	± 220	Finish machining
	fleq	3.92	-5.2 kHz/μm	± 10	± 50	
Additional cut	rcav	127.9	-1.7 kHz/μm	± 5	± 8	20mm band in one hemisphere
	fleq	3.92 / 2	-5.2 kHz/μm	± 5	± 26	
Tuning	Dimple		0.2 kHz/mm ³	± 1000	± 240 #	Plastic deformation
Operation	δrcav	+ 0.004	-22.3 kHz/μm	≪ 1	- 88*	Calculated
	Dimple		0.2 kHz/mm ³	± 100	± 6 &	

- 製作上の重要点**
1. 周波数調整
 2. 縮退モードの実現
 3. 空洞Q値の実現
 4. 結合の調整
 5. 円筒内2モードへの変換

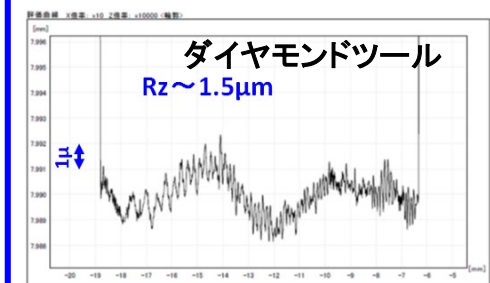


- ・第2種無酸素銅使用
- ・半球部整形: 500°C、1時間のアニール後
- ・最終旋盤加工(ダイヤモンドツール、精密旋盤)

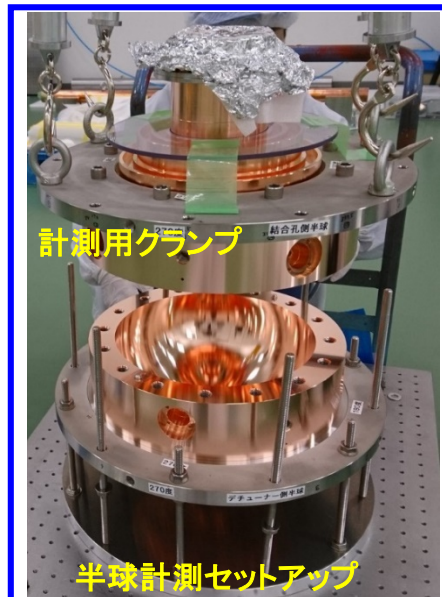
パーツの製作と評価



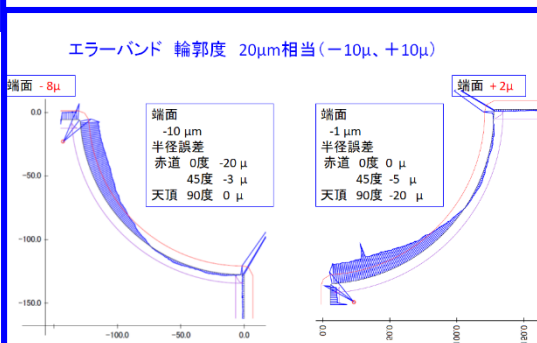
輪郭度 公差 10 μ m
加工: 結合孔側半球



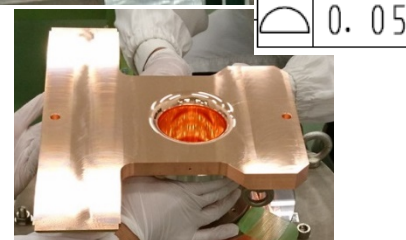
曲面部の面粗度



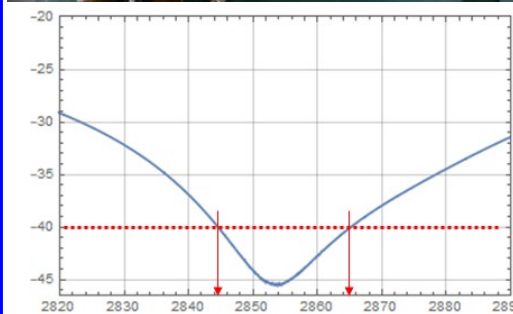
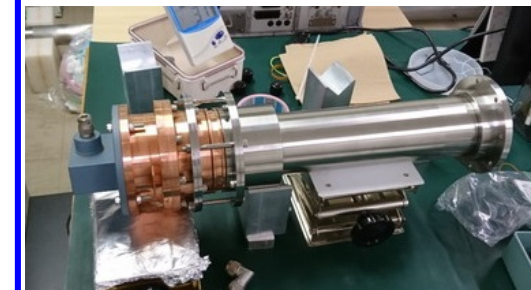
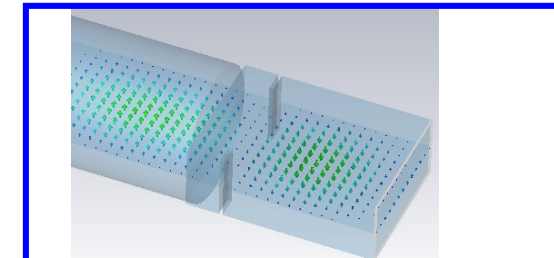
計測用の半球スタック



寸法精度 $\pm 10\mu$ m程度?
CMM基準取りの問題が残る



寸法輪郭度公差 50 μ m
導波管組立

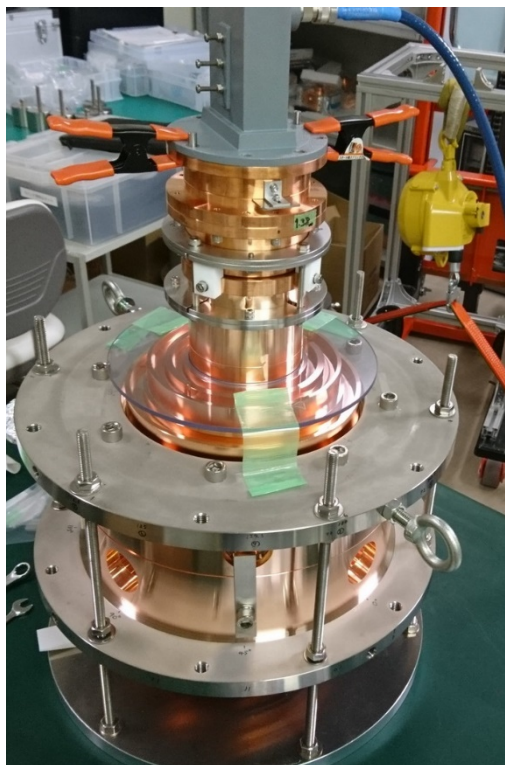


計測用のモード変換器



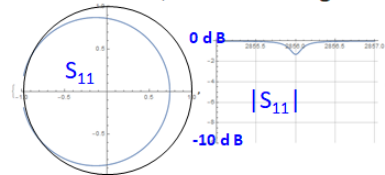
縮退が解け気味の球空洞の円筒導波管からみた計測

WR284～円形TE₁₁モード変換器越しの空洞モード計測

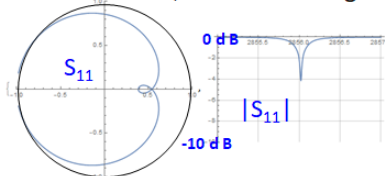


右式による計算例

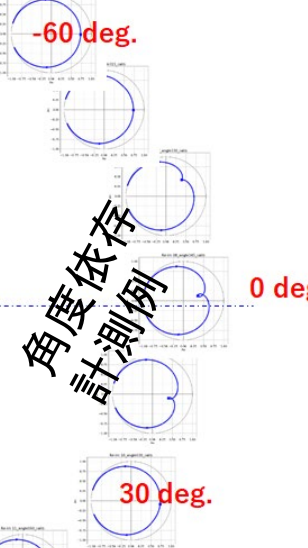
Detune 40 kHz, meas. at 0 degree



Detune 40 kHz, meas. at 45 degree



角度依存計測例



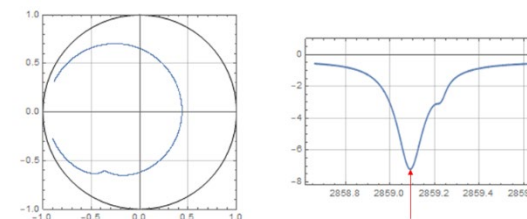
$$\hat{Z} = \frac{\cos^2 \theta / Q_{ex,1}}{j \left\{ \frac{\omega}{\omega_{0,1}} - \frac{\omega_{0,1}}{\omega} \right\} + 1 / Q_{0,1}} + \frac{\sin^2 \theta / Q_{ex,2}}{j \left\{ \frac{\omega}{\omega_{0,2}} - \frac{\omega_{0,2}}{\omega} \right\} + 1 / Q_{0,2}}$$

$$S_{11} = \Gamma = \frac{\hat{Z} - 1}{\hat{Z} + 1}$$

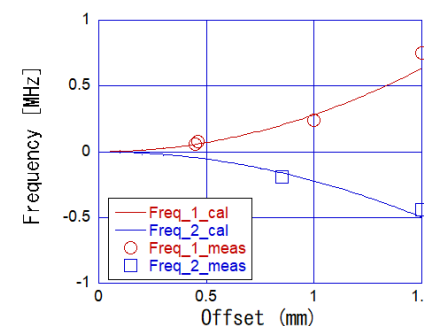
縮退が10kHz以上で解けている場合、モード変換器の偏極軸とモードの偏極軸が合っている時は、単一モードとして解析できる。(例: -60度、30度の場合)

Freq.	運転条件での周波数	2855.954	
	運転周波数からのずれ	-0.05	MHz
Q値	Q ₀	104,149	
	Q ₀ / Q _{0_cal}	104	%
結合	Beta	6.32	
	Q _{ex_meas} / Q _{ex_estim}	86.7	%

半球ずれと周波数



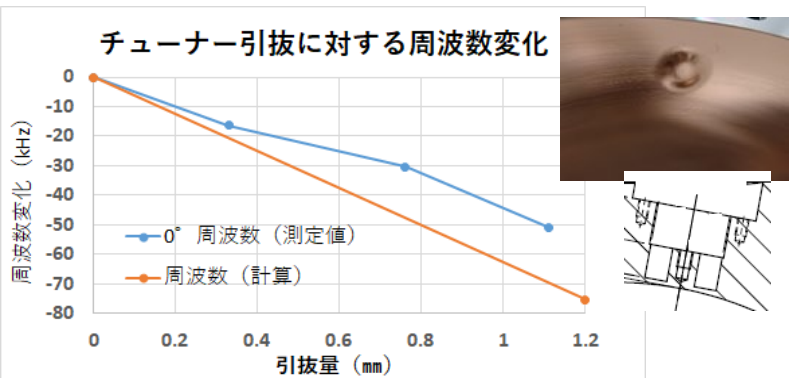
Resonant frequency vs offset



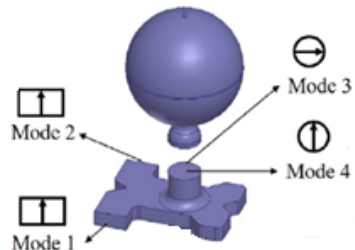
球空洞 チューン/デチューン

& 導波管計測

チューニング試験



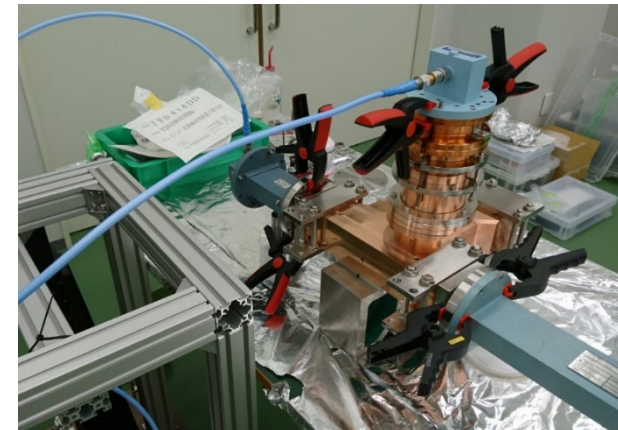
一個引抜に対する、その方向に感度(極性)のあるモードの周波数変化



$$S_{WG Pol} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & i \\ 0 & 0 & i & 1 \\ 1 & i & 0 & 0 \\ i & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

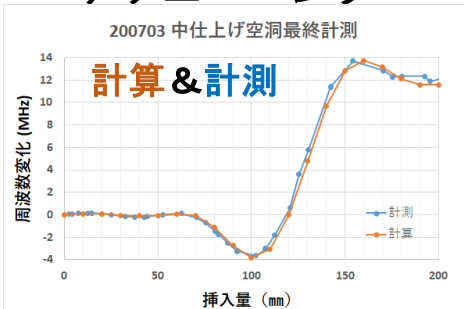
$$S_{2 \leftarrow 1}^{SCPC} = S_{WG Pol} \cdot \Gamma_{(3,4)}^{CAV} \cdot S_{WG Pol}$$

SCPC システム モード変換器 空洞 モード変換器

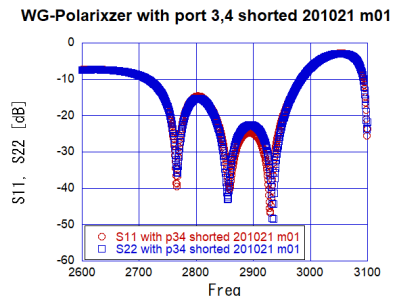


MC → Port 1,2 $S_{1 \leftarrow 3}$ & $S_{2 \leftarrow 3}$

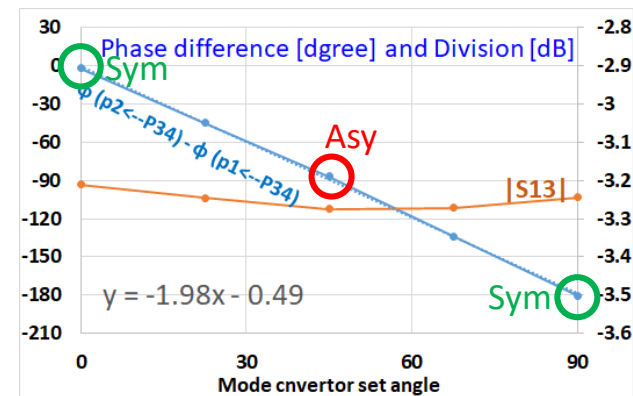
デチューニング



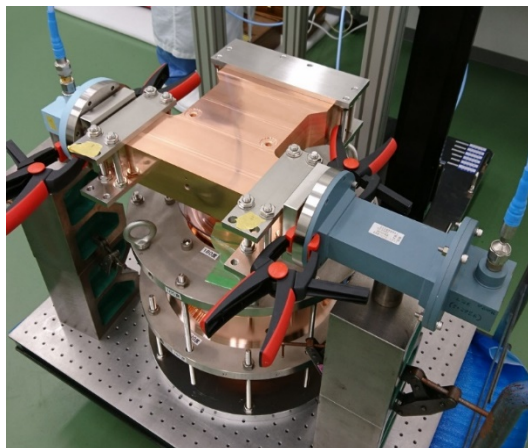
φ9のロッドを挿入したときの空洞周波数変化



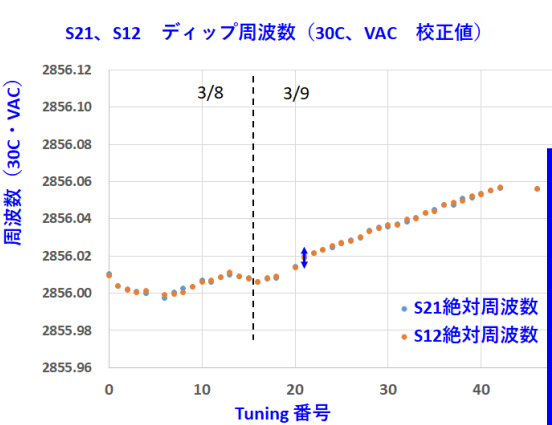
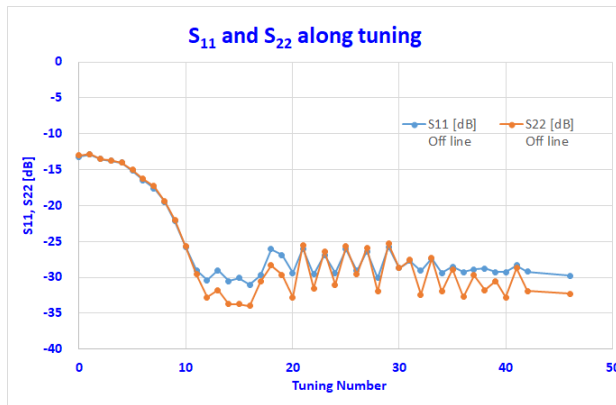
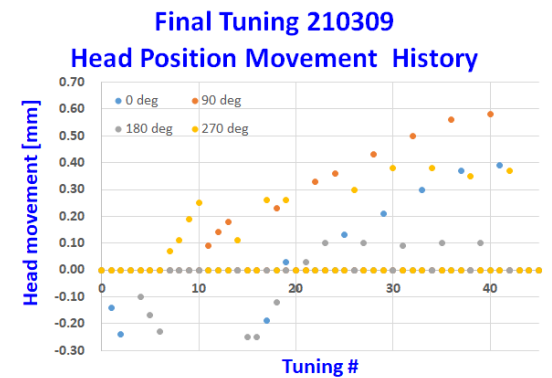
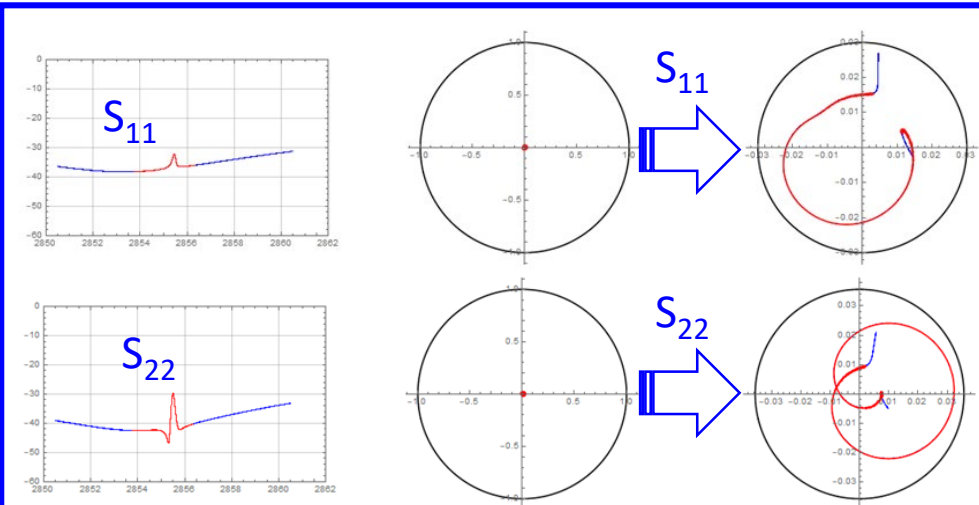
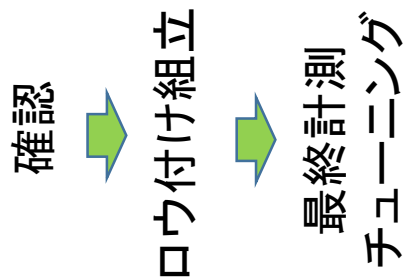
ショート板 $\Gamma_{(3,4)}^{CAV} = -1$



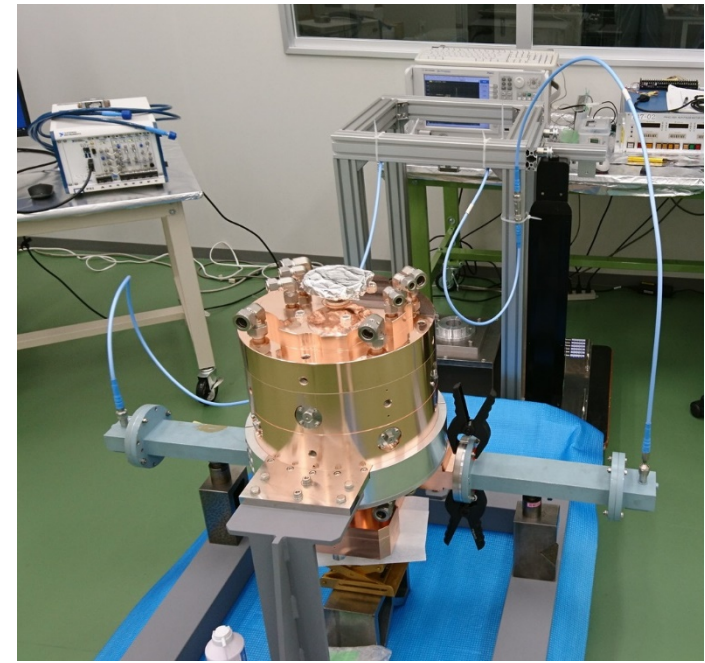
SCPC システム計測



システムクランプ計測



最終ロウ付け完成後
システム計測
最終チューニング



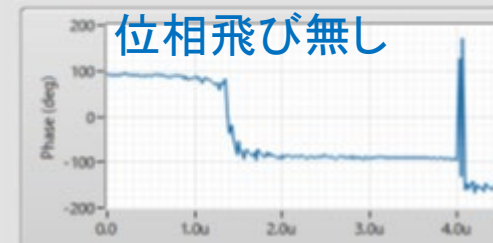
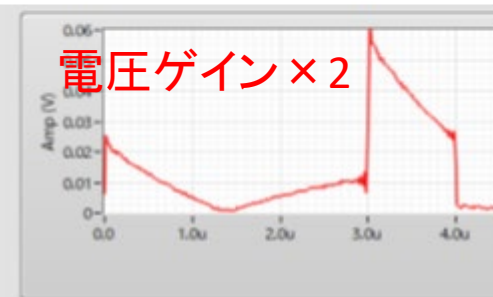
Freq.	運転条件での周波数	2856.054	MHz	
	運転周波数からのずれ	0.054	MHz	
Q値	Loaded Q の幅	0.201	MHz	
	Q ₀	97,809	98	%
結合	Q _L	14,203		
	Q _{ex}	16,616	106	%
	Beta	5.89	92	%

圧縮波形 サマリー & 今後の課題

共振時の圧縮波形

Frequency (Hz) @ 30 deg, vacuum

2855998389.2



1. 高電力試験

- 圧縮波形(点電力、高電力)確認、計算通り
- ピーク電力 定格の50%まで確認済
 - この上は試験設備の安定性向上が必要
- 平均パワー上昇による周波数変化の精密測定
- チューナーの使用是非と使用方法の確立
 - 周波数オフセット調整、縮退度合いの変化
- デチューナー 設計・製作・設置・高電力試験

2. 量産器への技術確立

- #1製作中
- 材料選択(Class 1、HIP等)
- 重い材料の加工方法 中ぐり
- 精度管理、表面処理、.....
- コストダウン検討 チューナー個数、加工、組立等.....改良

