

# KEK 電子陽電子入射器用 S バンド加速管の開発

## NEW S-BAND ACCELERATING STRUCTURE FOR THE KEK ELECTRON AND POSITRON INJECTOR LINAC

惠郷博文 <sup>A, B)</sup>

榎本嘉範 <sup>A, B)</sup> 肥後壽泰 <sup>A)</sup> 東保男 <sup>A)</sup> 坂東佑星 <sup>B)</sup> 牛本信二 <sup>C)</sup>

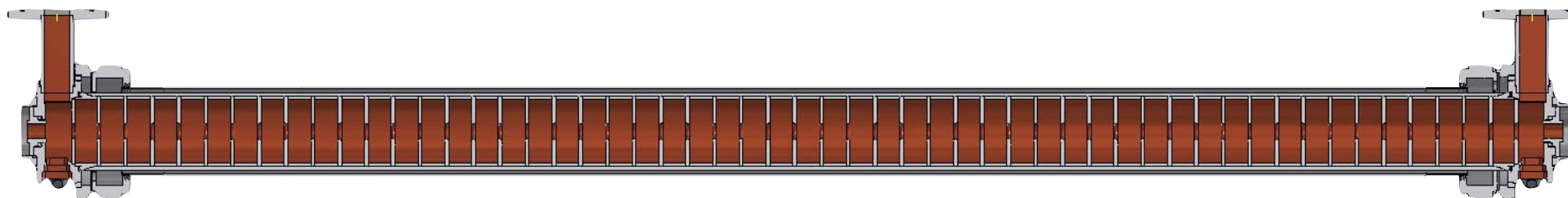
重岡伸之 <sup>D)</sup> 菅野東明 <sup>D)</sup> 比嘉究作 <sup>D)</sup>

KEK <sup>A)</sup> 総合研究大学院大学 <sup>B)</sup> 三菱電機システムサービス (株) <sup>C)</sup>

三菱重工機械システム (株) <sup>D)</sup>

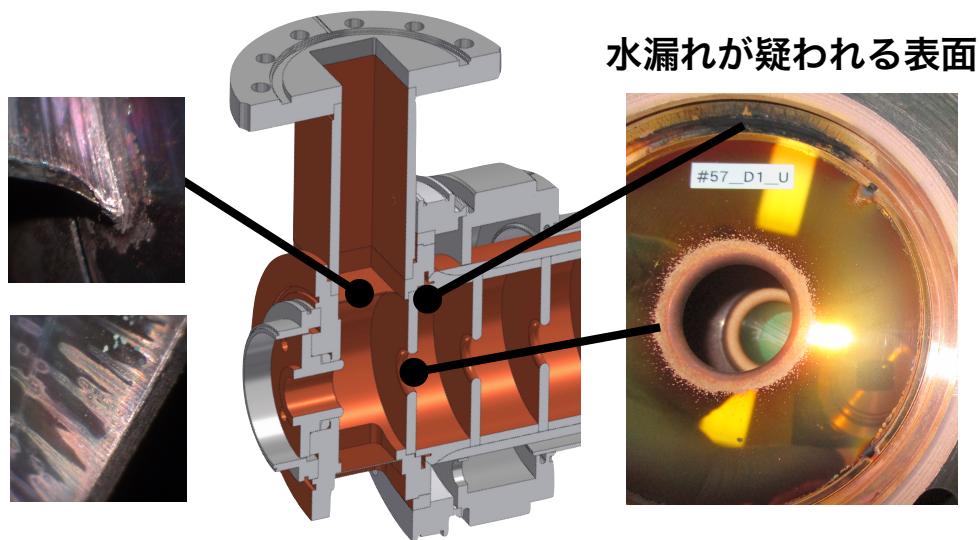
- 開発動機
- 加速管 高周波設計 & 製作
- 加速管 大電力試験 コンディショニング
- まとめ

## PFタイプ加速管：入射器用加速管として40年使用



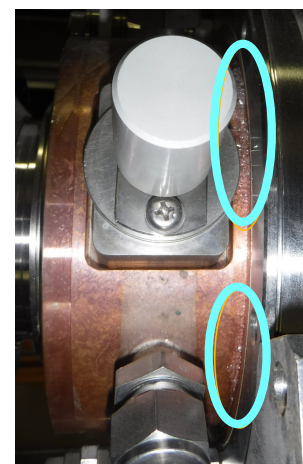
### 電界放出・反射異常 (19 ユニット)

### 水漏れ (6 ユニット)

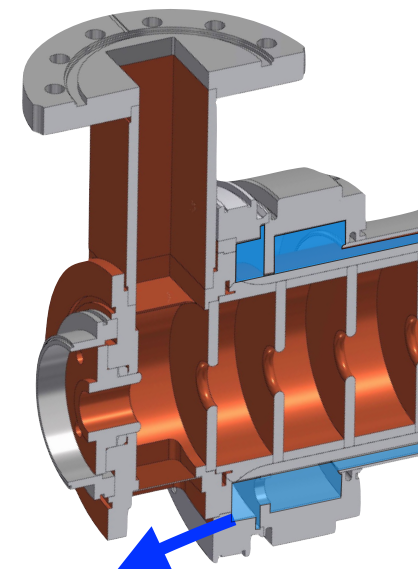


水漏れが疑われる表面

アイリス付近の表面劣化



水漏れ

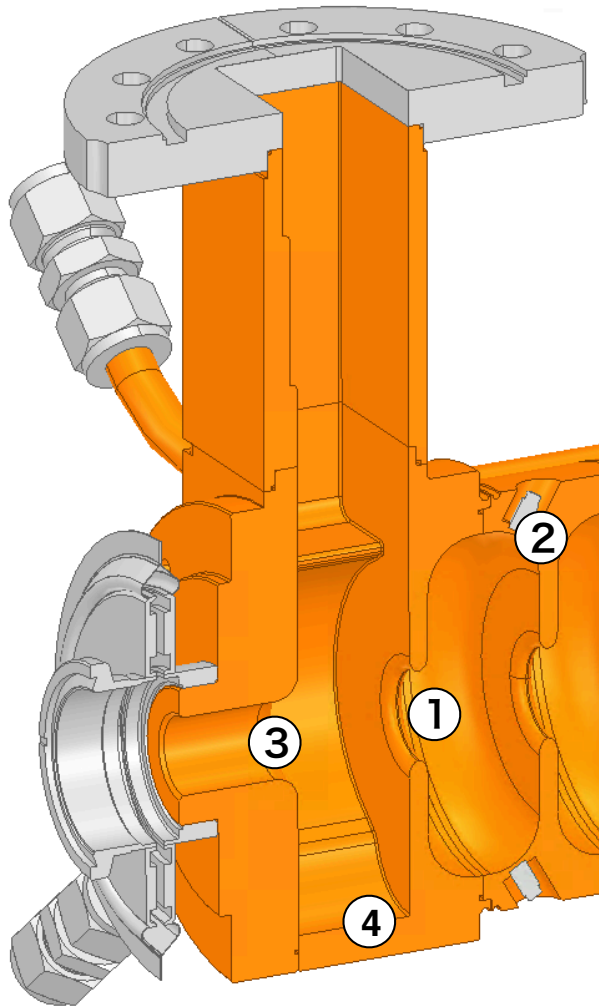


運転電圧制限

発生時、使用不可

健全な予備管の在庫なし → 根本対策：新加速管 2017年度よりR&D

2017 R&amp;D 加速管

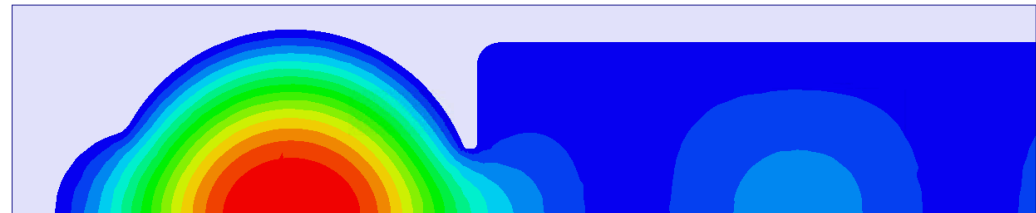
**① セル アイリスエッジ 楕円形状**

アイリスエッジ最大電界強度 約20%減少

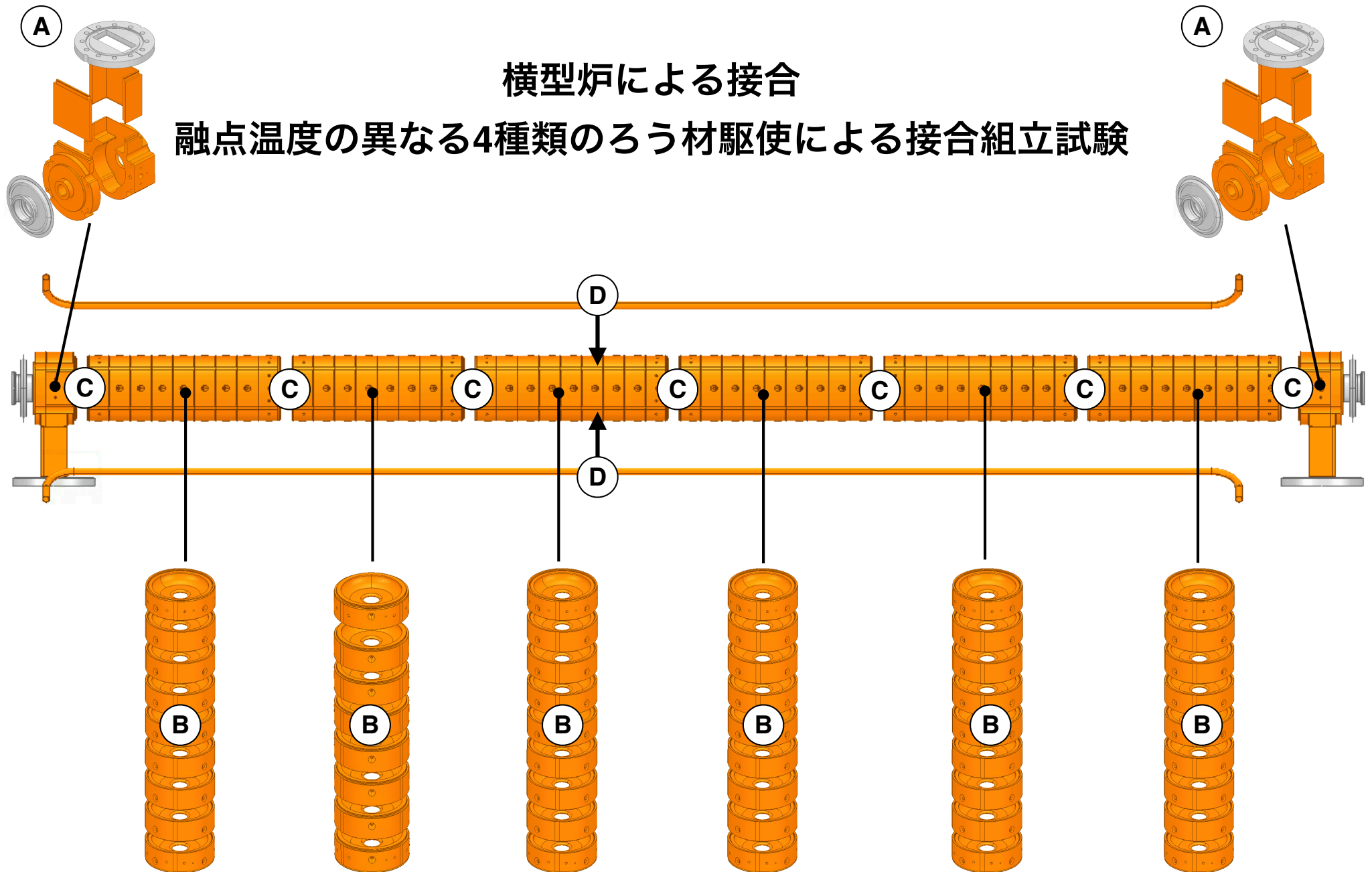
**② R付きセル****③ R付き導波管アイリスエッジ**

・ ビームポートエッジ

ビームポートエッジ最大電界強度 18%減少

**④ 対称性補正窪み：角形→R18円筒 + R5接続**

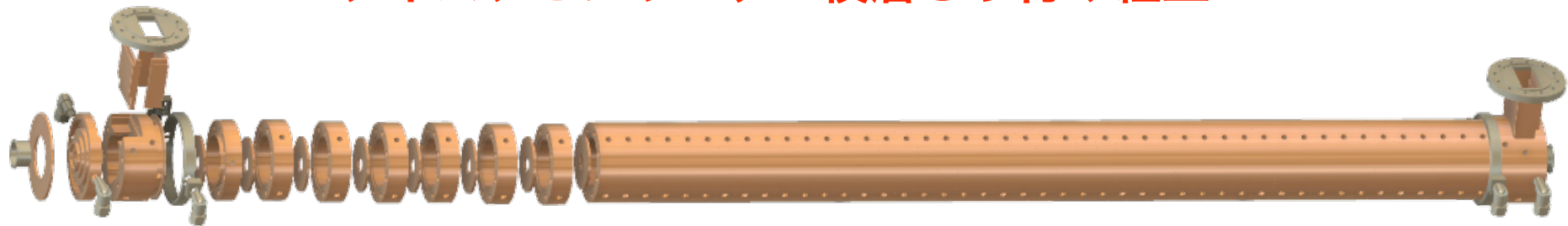
電界強度分布（偏心回復）



① 複合ろう付けしない接合

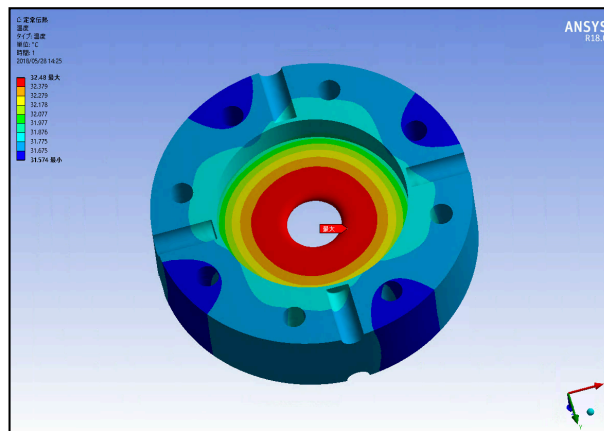
② 冷却効率の改善

実績のある構造  
ディスクとシリンダー積層ろう付け組立

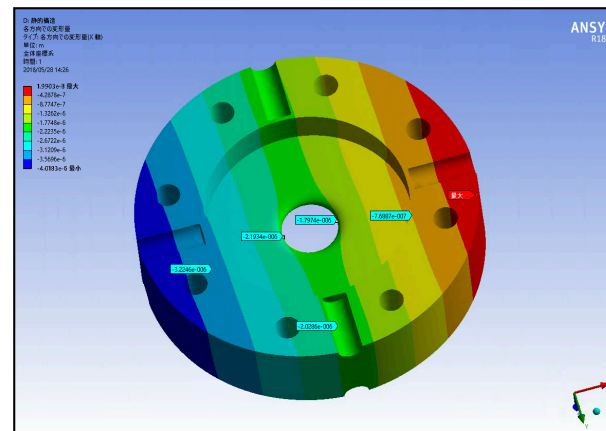


## ANSYS 水路設計 (シリンダー内蔵)

温度



変形



## 2017 R&amp;D加速管

- ① Sバンド（既設RFユニット活用）
- ② 現行2 m加速管と交換可能（全長・フランジ共通化）
- ③ 同等以上加速性能（40 MW入力 20 MV/m 以上）
- ④ 加速管内部への漏水防止

互換性

+

- ① 改良型カプラー
- ② 楕円アイリス

放電軽減・抑制（安定運転）

+

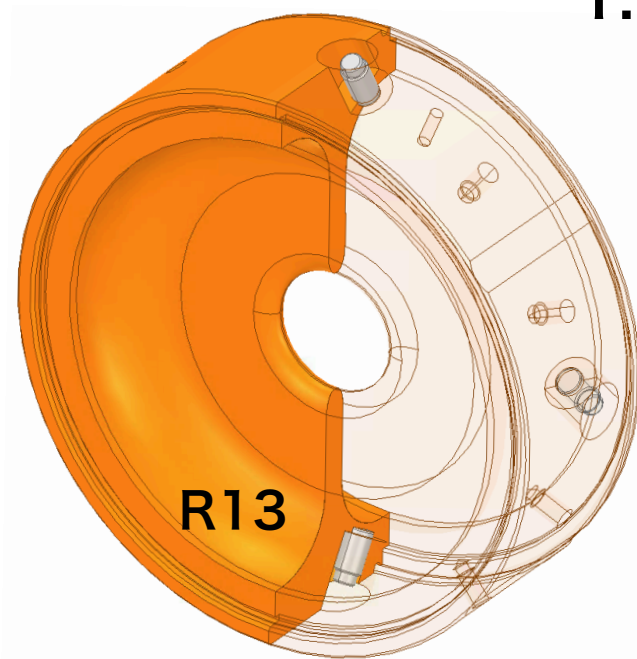
- ① ウェイク場低減
- ② 高電界加速（80 MW 36 MV/m）

高度化

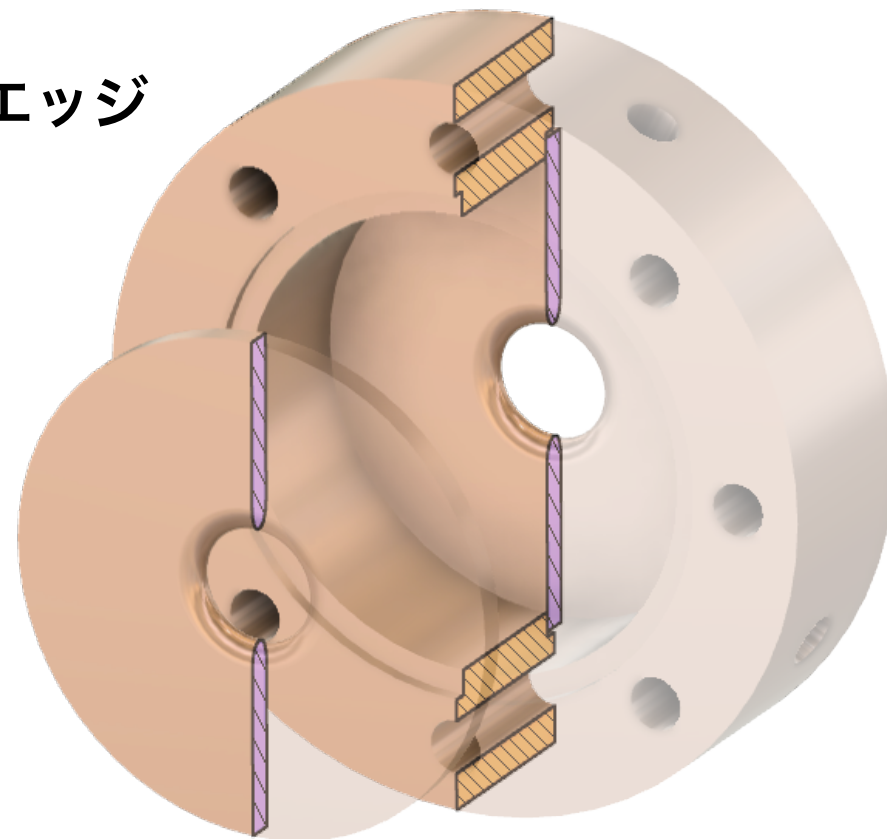
R付きセル → 定型のディスク・シリンダー

2017 R&D セル

実機 セル



1:2 楕円エッジ



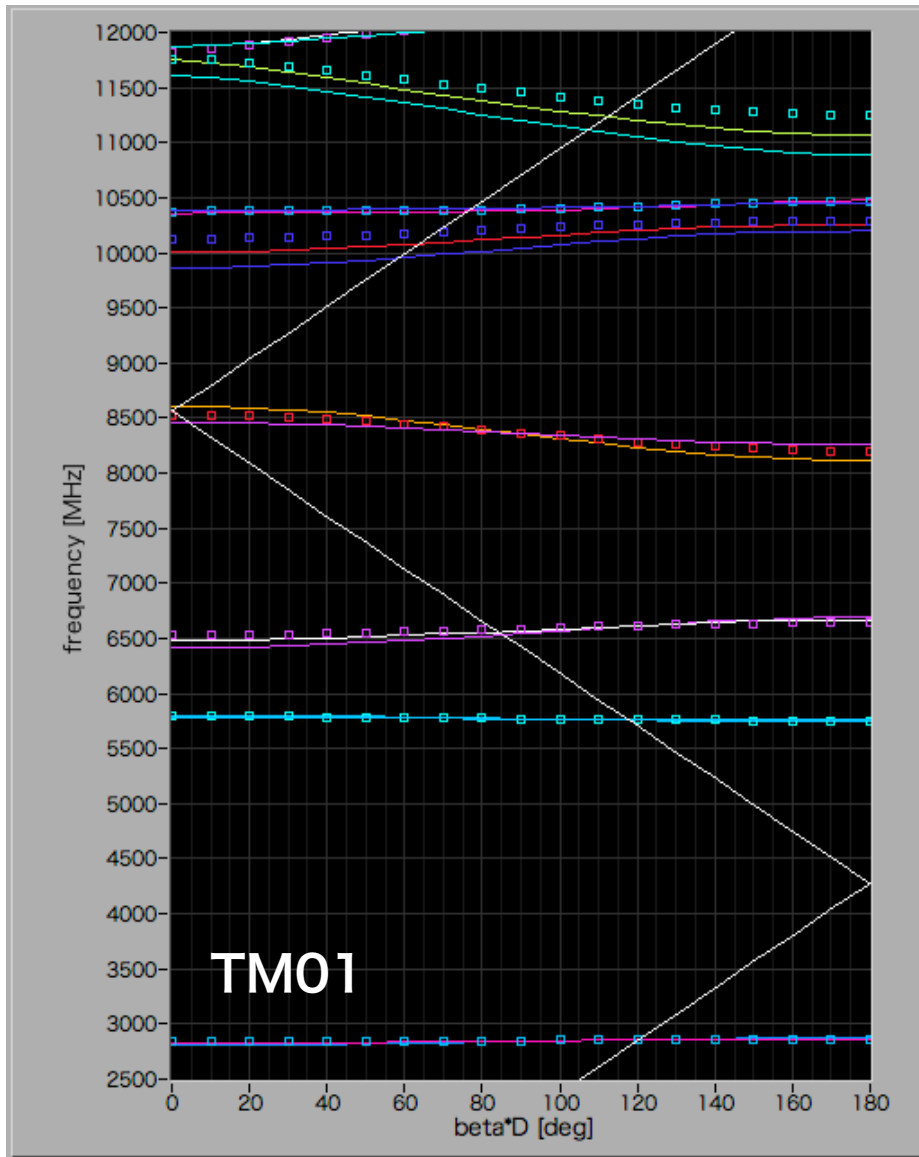
カプラー：R&D管とほぼ同じ構造



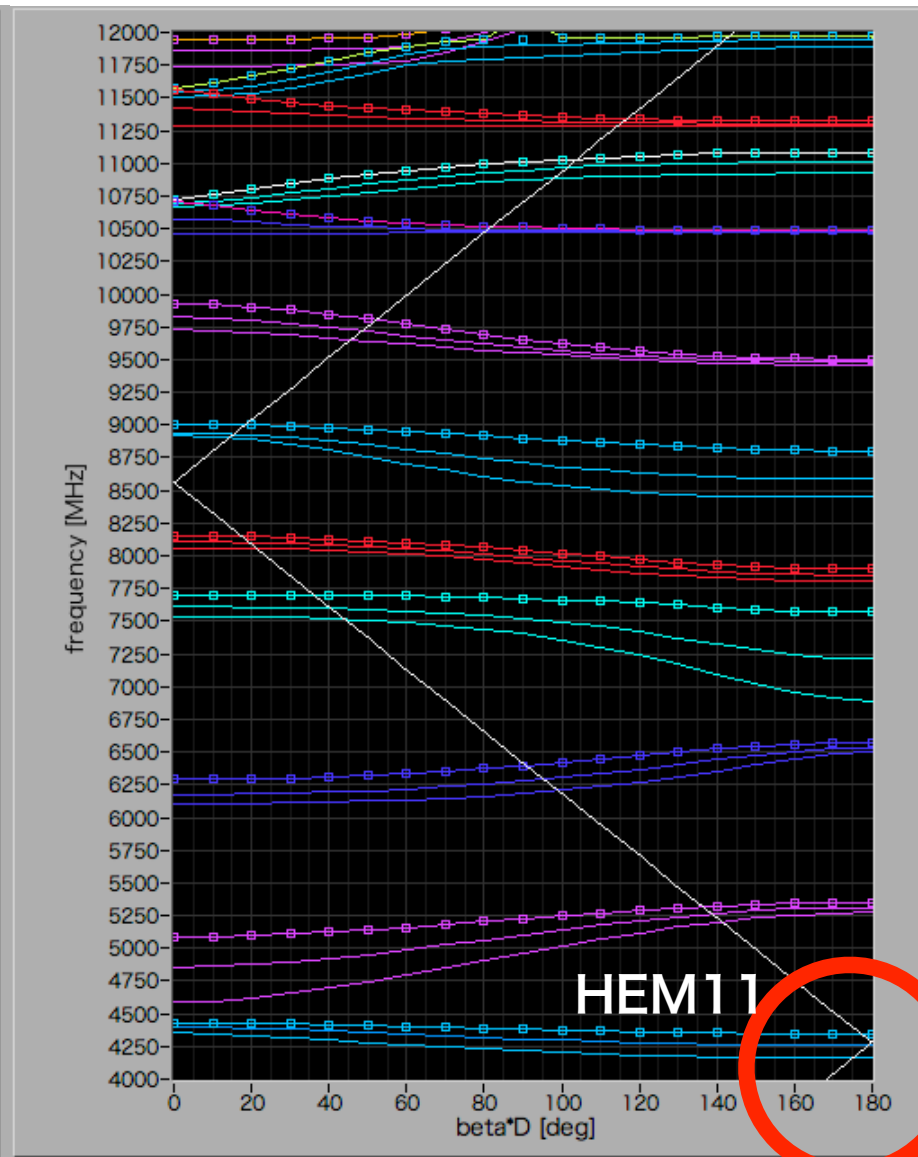
	PFタイプ (内部サイズの異なる5種)	R&D	実機
運転周波数 $f$ [MHz]	2856		
加速方式	TM01- $2\pi/3$ 準定勾配 進行波型		
加速セル数	54		
$2a$ [mm]	27.875 - 19.700	23.000 - 19.730	23.340 - 19.234
シャントインピーダンス $r_a$ [M $\Omega$ /m]	57.3 - 58.3	65.0	61.7
減衰係数 $\tau$ [neper]	0.302 - 0.368	0.34	0.36
$Q$	13,700	15,000	14,000
群速度 $v_g/c$	0.0137 - 0.0113	0.0115	0.0117
高周波充填時間 $T_f$ [us]	0.462 - 0.558	0.56	0.55
加速利得 $V_a/P^{1/2}$ [MV/MW $^{1/2}$ ]	7.00 - 7.58	7.9	7.8

40 MW → 25.9 MV/m  
(80 MW → 36.7 MV/m)

monopole



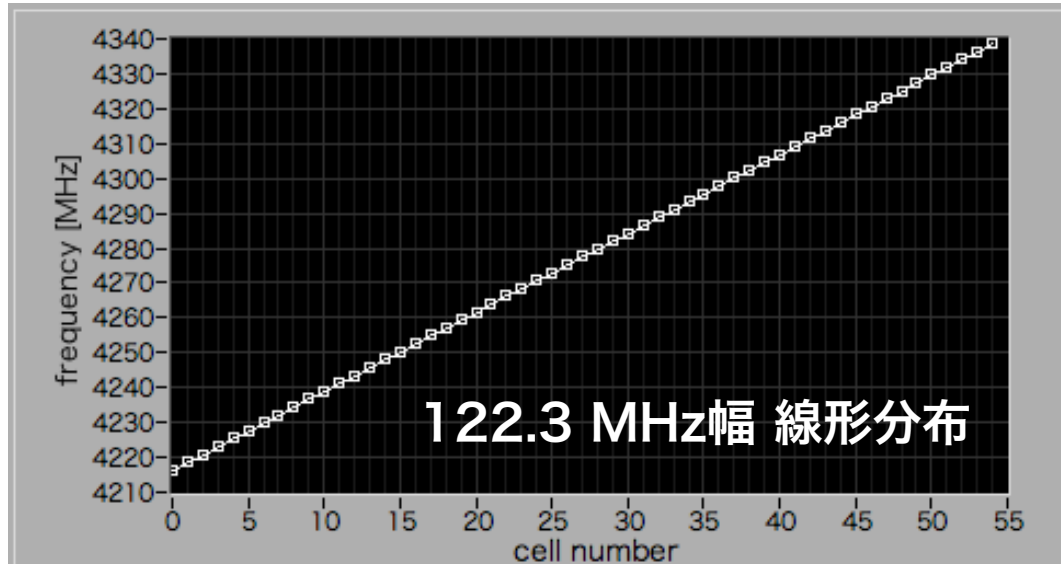
dipole



インピーダンスの高いHEM11- $\pi$ モード（定在波-like）がビームと同期して不安定性を生じる

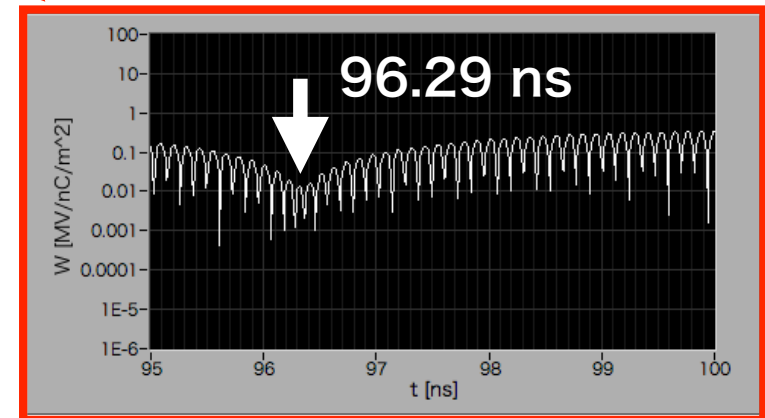
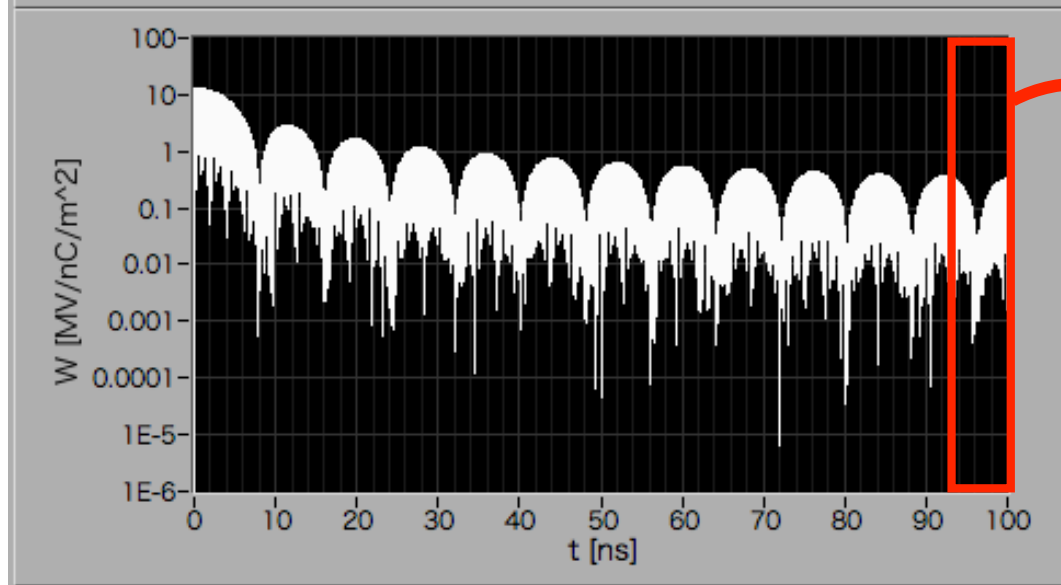
$\phi$ 20カットオフ周波数 TE mode : 8782 MHz TM mode : 11471MHz

4nC 2バンチビーム加速 96.29ns後、ウェイクが小さくなるように2a分布調整

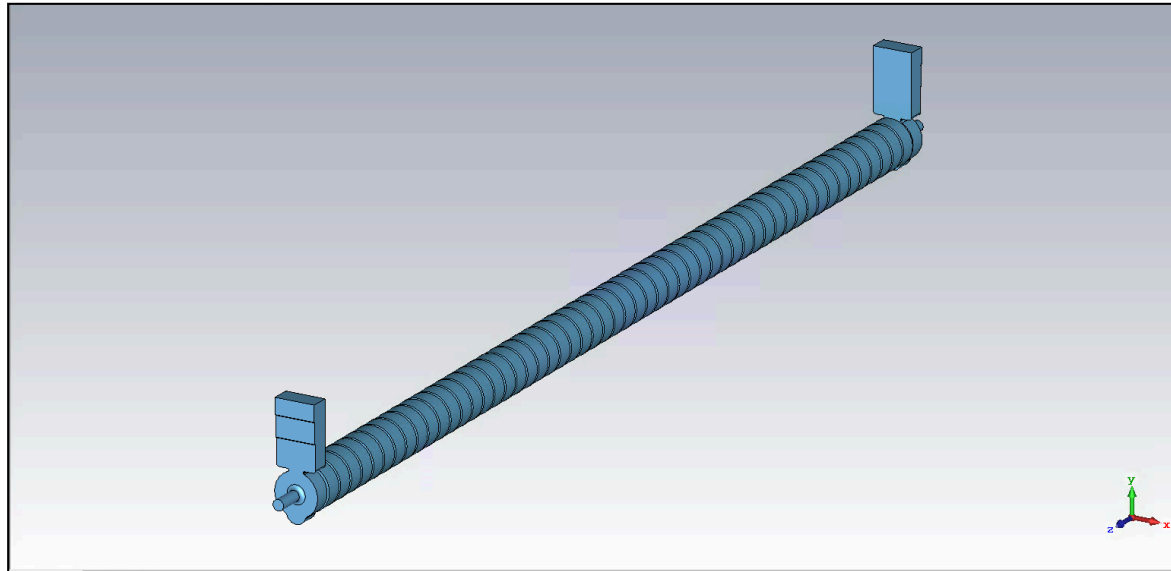


$$W(t) = \sum_{n=1}^N W_{0,n} \exp\left(-\frac{\omega_n t}{2Q_n}\right) \sin(\omega_n t)$$

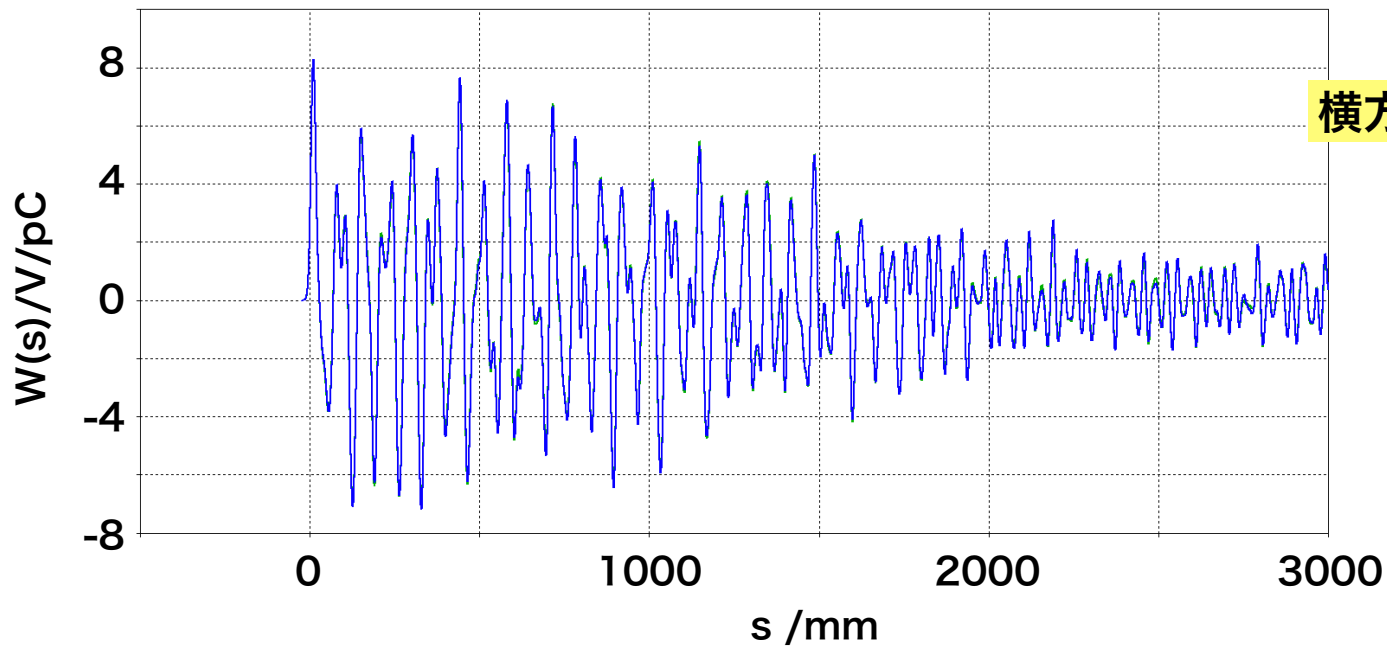
$$W_{0,n} \equiv \frac{2c}{a_n^2 \omega_n L} \frac{\left| \int E_z(r=a) e^{jkz} dz \right|^2}{4U_n} = \frac{\omega_n}{L} \left( \frac{R_T}{Q} \right)_n$$



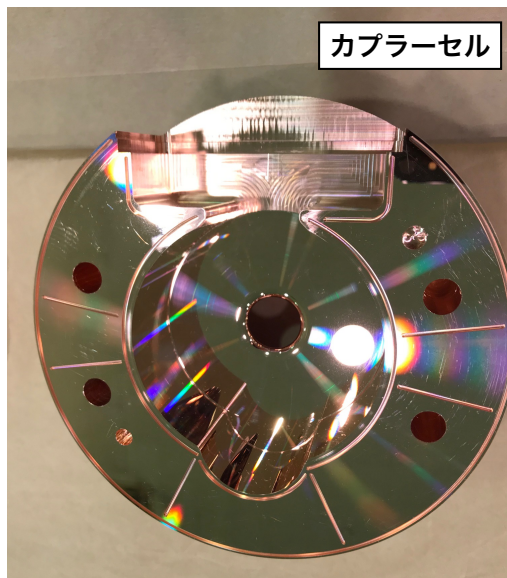
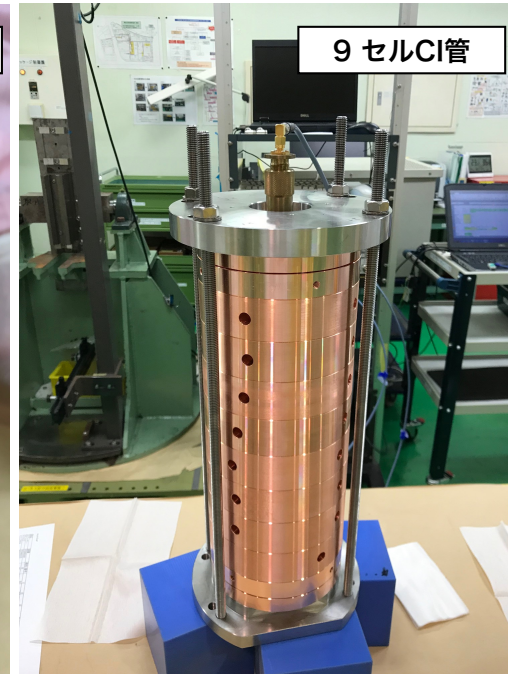
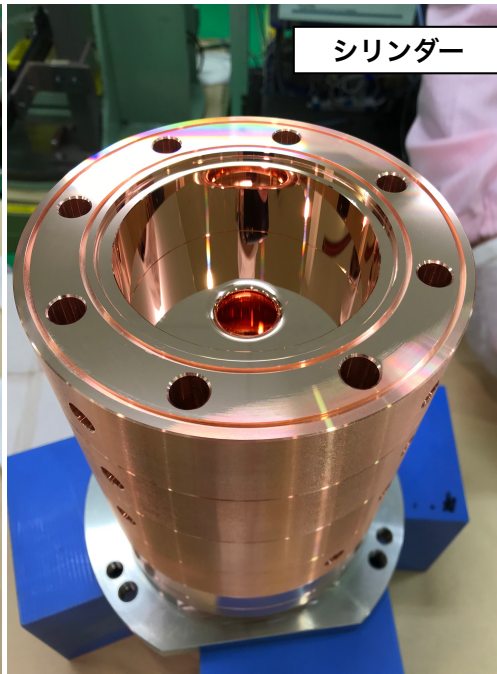
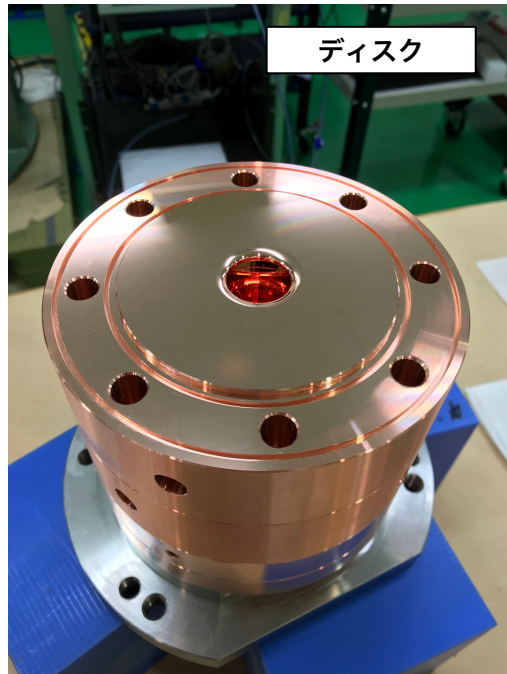
CST-Studioによるシミュレーション : x,y 1mmオフセットビーム 10nC



54 加速セル  
(実機テーパアイリス)  
+  
2 マッチング済カプラー



横方向ウェイクポテンシャル減衰



試験モデル データ

	2a@30°C	2b (MAFIA)	2b (測定) @20°C 2856MHz	2b (測定) @30°C 2856MHz	r <sub>a</sub> [MΩ/m] MAFIA	r <sub>a</sub> [MΩ/m]
上流セル (A)	23.340	82.738	82.741	82.755	58.9	59.1
中間セル (B)	21.287	82.254	82.258	82.272	61.8	62.1
下流セル (C)	19.234	81.836	81.835	81.849	64.7	65.8

試作カプラー データ

	2a@30°C	2c (CST)	2c (測定) @20°C 2856MHz	2c (測定) @30°C 2856MHz	W (CST)	W@20°C	W@30°C
上流カプラー	23.340	79.382	79.374	79.388	30.644	30.620	<b>30.625</b>
下流カプラー	19.234	79.474	79.466	79.480	27.070	27.180	<b>27.185</b>

## 試験モデル HEM11データ

	2a	TM01- $2\pi/3$ [MHz] (測定値)	HEM11- $\pi$ [MHz] (測定値)	HEM11- $\pi$ [MHz] (2b補正值)	周波数 [MHz] MAFIA	$\Delta f$ [MHz]	パスバンド (測定値)	パスバンド MAFIA
上流セル (A)	23.340	2855.671	4212.993	4213.478	4214.890	-1.412	162.051	161.413
中間セル (B)	21.287	2856.239	4277.785	4277.427	4278.941	-1.514	126.018	125.317
下流セル (C)	19.234	2855.904	4336.175	4336.321	4337.711	-1.390	93.037	92.449

相対分布：MAFIA計通り

## 試験モデル HEM11データ 内径加工 + ディンプリング後

	2a	HEM11- $\pi$ [MHz] (測定値)	周波数 [MHz] MAFIA	$\Delta f$ [MHz]
上流セル (A)	23.340	4213.148	4214.890	-1.742
中間セル (B)	21.287	4277.204	4278.941	-1.737
下流セル (C)	19.234	4336.011	4337.711	-1.700

相対分布：分布維持

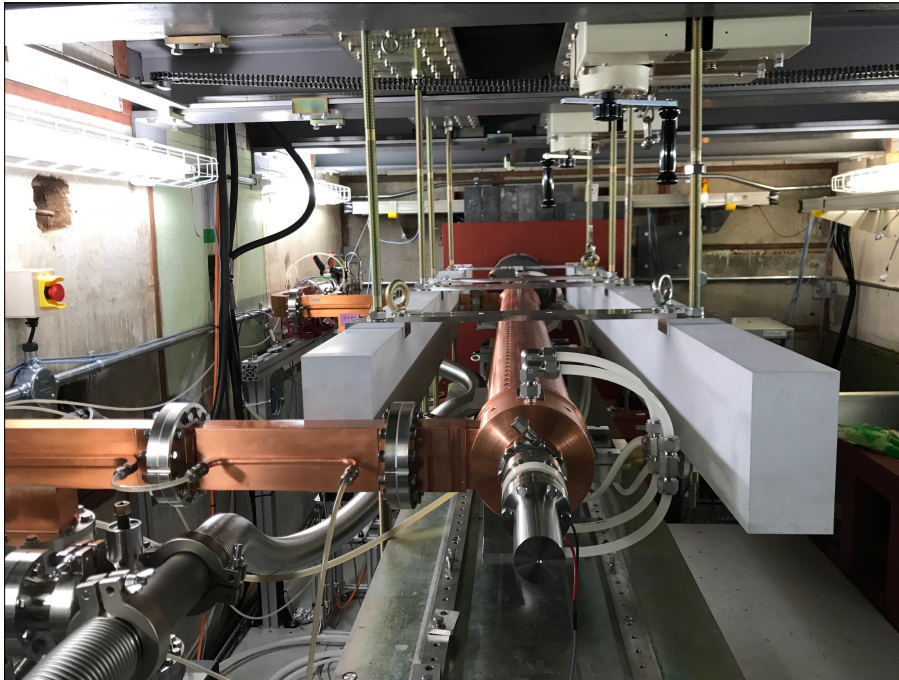
ディンプリングによる周波数調整 : ノーダルシフト → ビーズ測定 (微調整)

	#001	#002	#003	#004
測定周波数 [MHz] 30°C 真空換算	2856.000			
累積移相誤差 [°]	2.67	-2.86	-1.59	-1.89
入力VSWR	1.008	1.004	1.010	1.002
出力VSWR	1.021	1.021	1.026	1.019
平均シャントインピーダ ンス [MΩ/m]	62.3			
減衰係数 $\tau$ [neper]	0.38	0.38	0.38	0.38
$Q$	13,610	13,600	13,620	13,590
充填時間 $T_f$ [us]	0.57	0.57	0.57	0.57
群速度 $v_g/c$	0.012	0.012	0.012	0.012

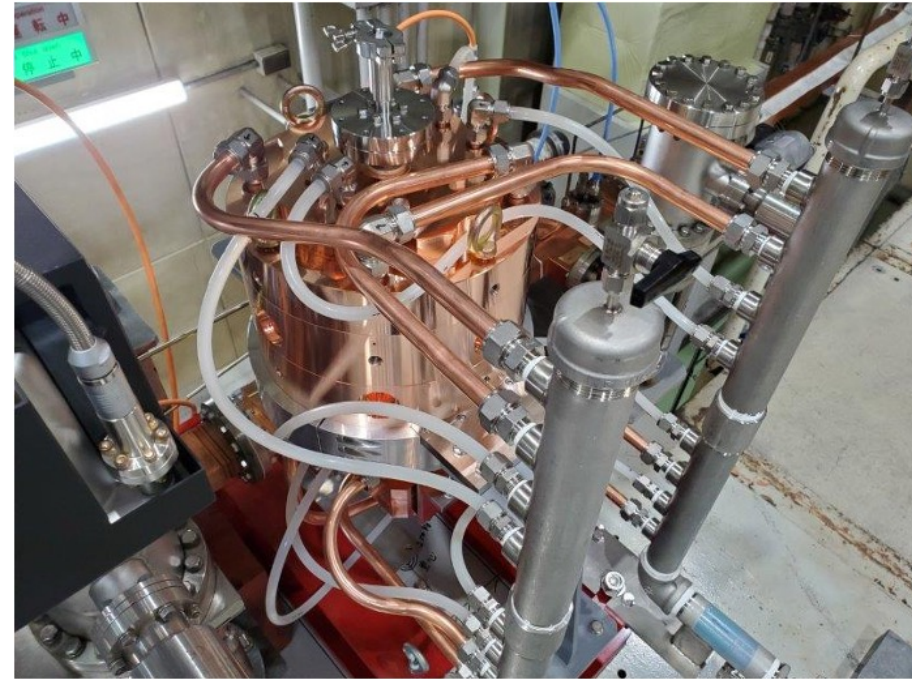


2つのSバンド機器テストスタンド (T3・T7) で試験  
2020年3月 4本完成、並列試験

40 MWクライストロン + モジュレータ + SLED システム



#002 加速管 大電力試験 @ T7



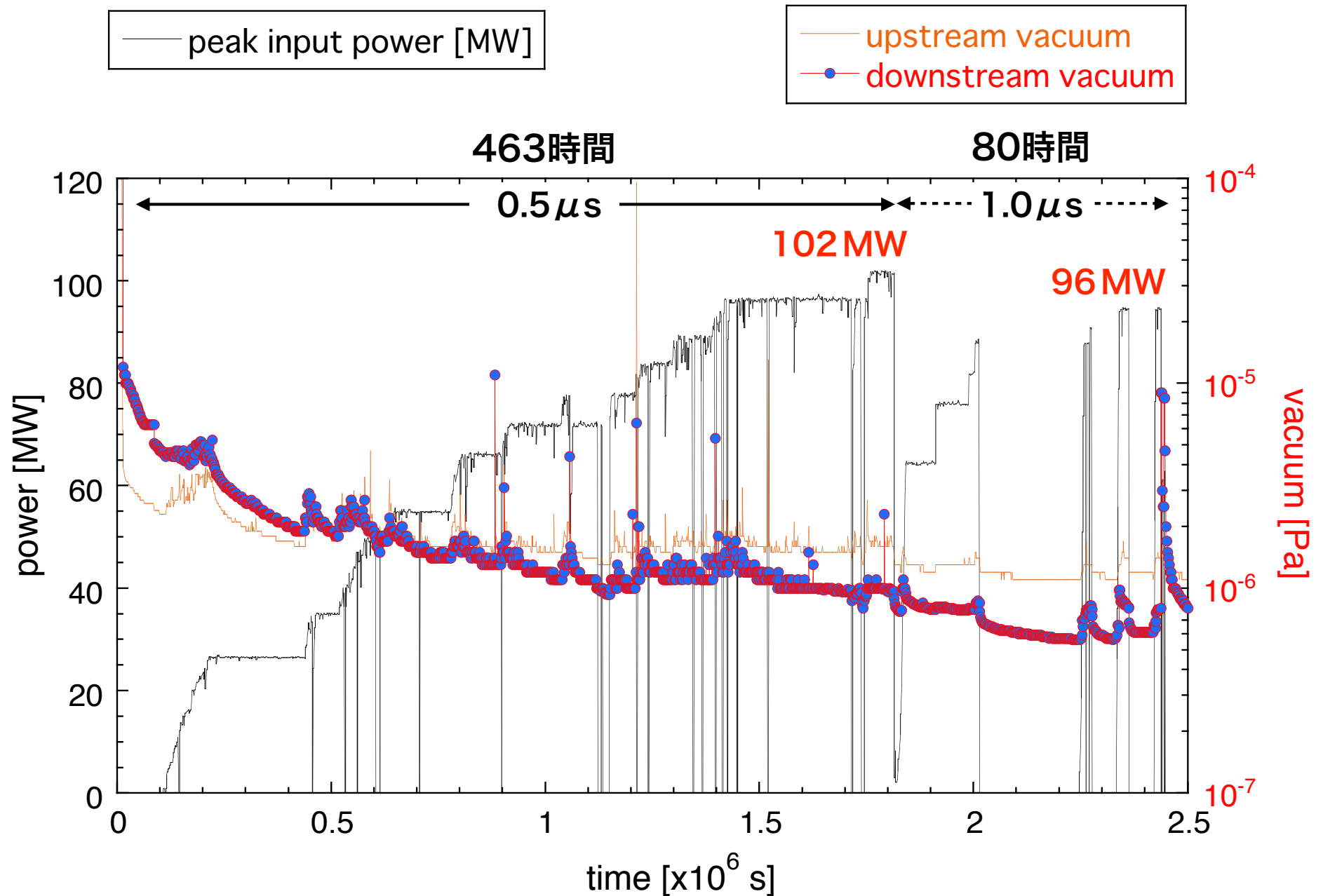
新型パルスコンプレッサー 大電力試験 @ T3

WEOB06 : 坂東 他 「Sバンド球形空洞型パルス圧縮器の高電力試験」

MOP045 : 佐治 他 「球形空洞型パルス圧縮器の製作」

TUP045 : 肥後 他 「高周波特性からみた球形空洞型パルス圧縮器の製作」

## #002 大電力試験結果



- **劣化加速管交換用 新型Sバンド加速管 良好完成**  
TM01- $2\pi/3$  モード 2856 MHz 準定勾配型  
25.9 MV/m @ 40 MW
- **100 MW運転 (SLED出力ピーク) 可能**  
126MW (平均 80MW) → ダミーロード改良必要
- **入射器ビーム加速運転中 (平均40MW入力)**
- **12本 量産中 (2022年 完成予定)**  
SuperKEKB 6s共鳴実験 ( $E_{CM} = 11.02$  GeV)  
エネルギー増強・安定運転