

# Sバンド球形空洞型 パルス圧縮器の高電力試験

High Power Test of S-band Spherical-Cavity Type Pulse Compressor

#坂東 佑星<sup>1</sup>, 肥後 壽泰<sup>2</sup>, 惠郷 博文<sup>1,2</sup>, 阿部 哲郎<sup>1,2</sup>, 東 保男<sup>1</sup>, 牛本 信二<sup>3</sup>

1)総合研究大学院大学, 2)KEK, 3) 三菱電機SC

# 目次

1. イントロダクション
2. 動作原理
3. 製作・低電力測定
4. 高電力試験
5. まとめ

アップロード版には一部のスライドを掲載して  
おりません。ご了承くださいませよう、お願い  
いたします。

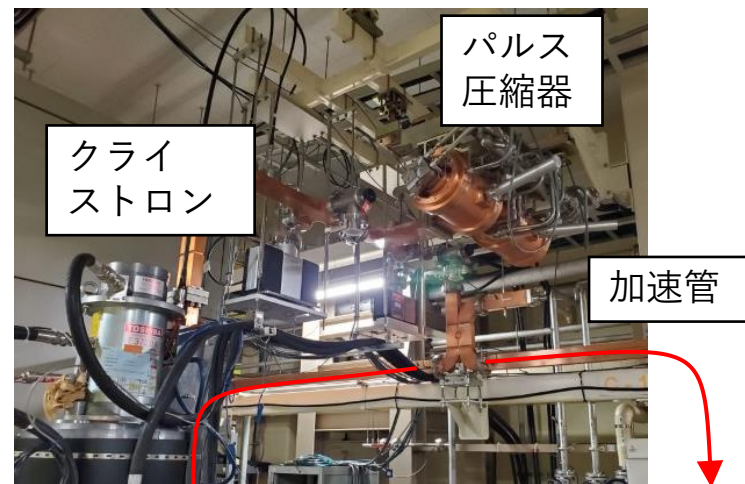
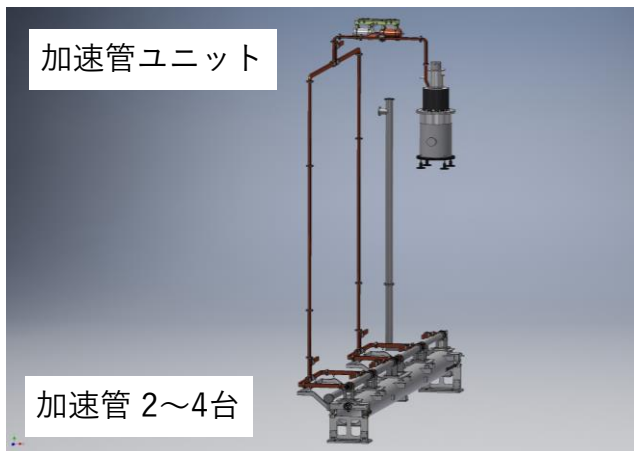
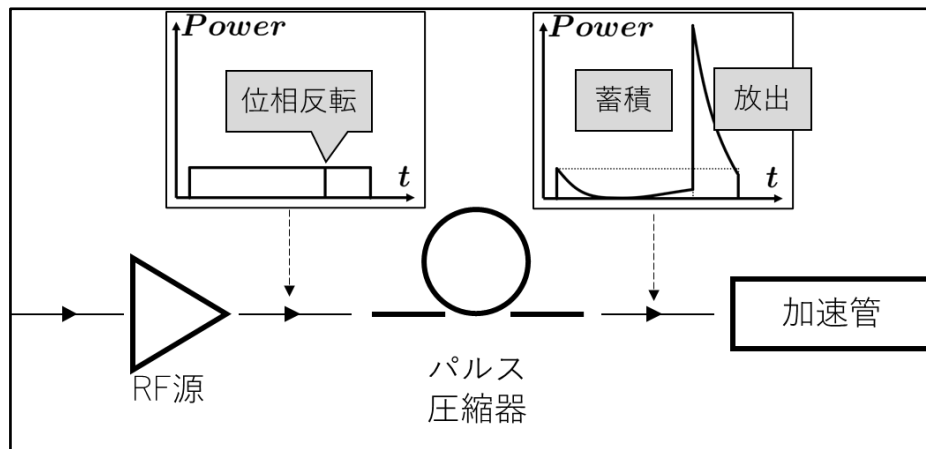
# イントロダクション

## 「パルス圧縮技術(PC: Pulse Compression)」

高いビームエネルギーの要求  
⇒ 高い加速勾配を立てる

RFパワーを高Q値共振空洞に蓄積し  
時間的に圧縮して放出

圧縮後パルス幅：～1 $\mu$ s  
加速管フィリングタイム  
+  
2-バンチ運転



# イントロダクション

## └球形空洞型：SCPC

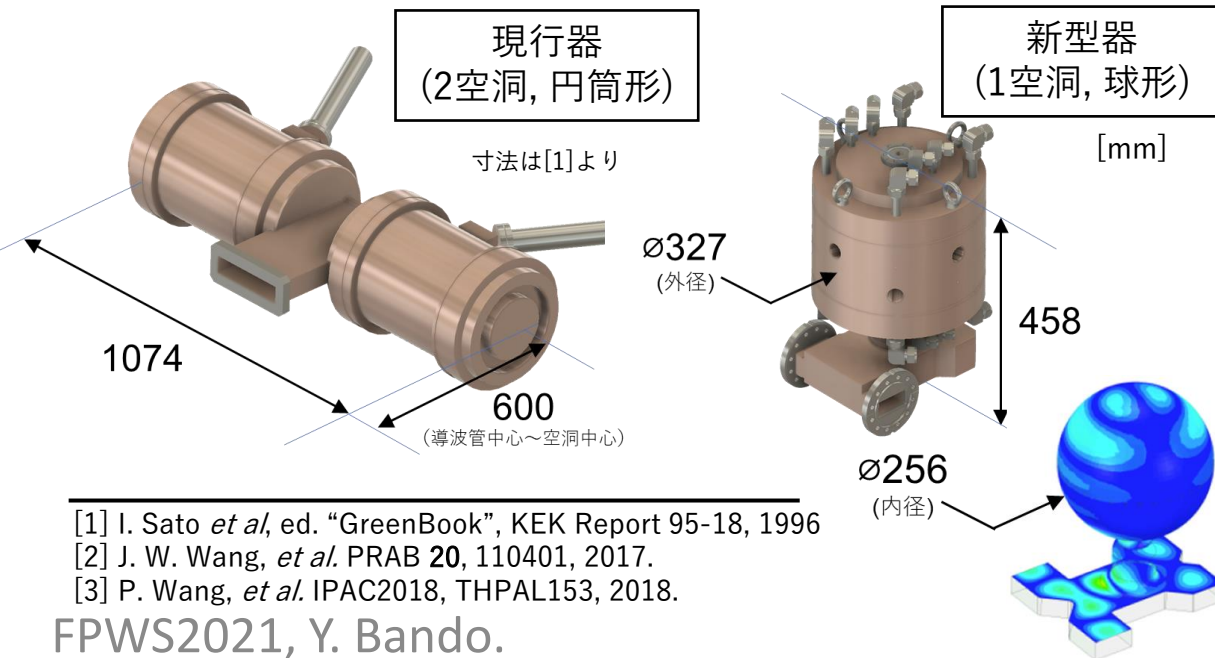
### ▶球形空洞型パルス圧縮器 (Spherical-Cavity type Pulse Compressor)

現行器と置換可能：同じ電気パラメタ  
コンパクトな装置  
高電力安定運転・冷却効率の向上  
量産に適応・少部品数・コストダウン

Xバンド SLAC-LCLS<sup>[2]</sup>



Sバンド 清華大学<sup>[3]</sup>



[1] I. Sato *et al*, ed. "GreenBook", KEK Report 95-18, 1996

[2] J. W. Wang, *et al*. PRAB 20, 110401, 2017.

[3] P. Wang, *et al*. IPAC2018, THPAL153, 2018.

# 動作原理

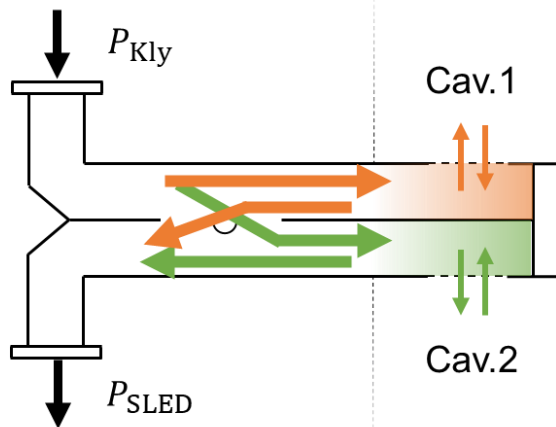
## └モード変換器

同振幅・90度位相が異なる 2モードの重ね合わせ

**SLED** : 円筒 2 空洞

3-dB ハイブリッド

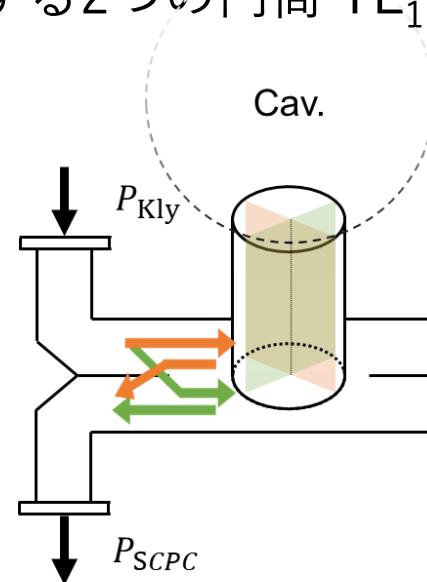
2個の独立な矩形導波管に結合  
矩形  $TE_{10}$  モード



**SCPC** : 球形 1 空洞

導波管モード変換器

単一の円筒導波管に結合  
直交する2つの円筒  $TE_{11}$  モード

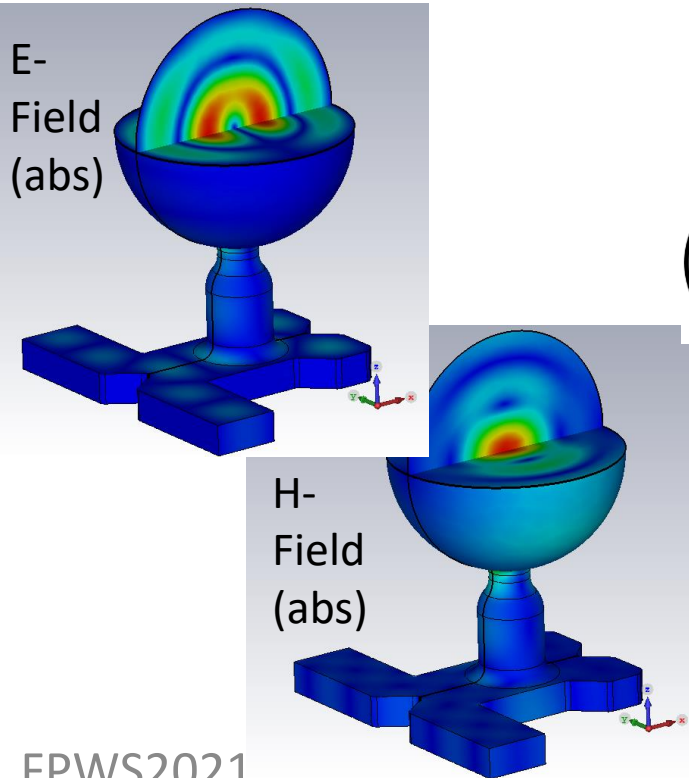


# 動作原理

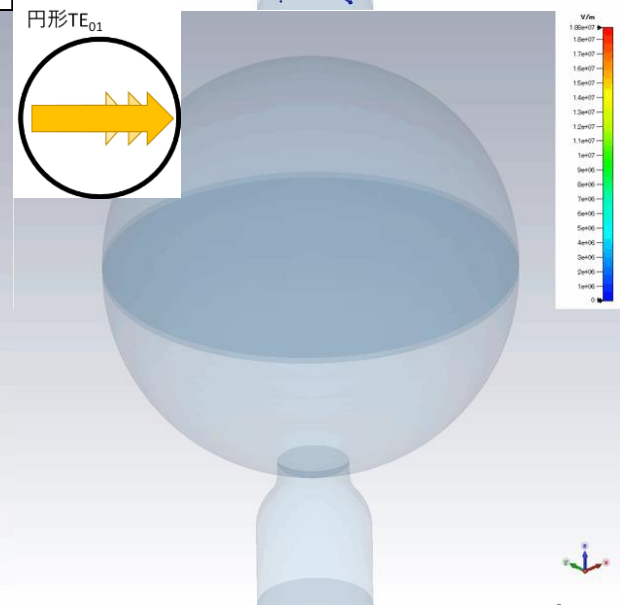
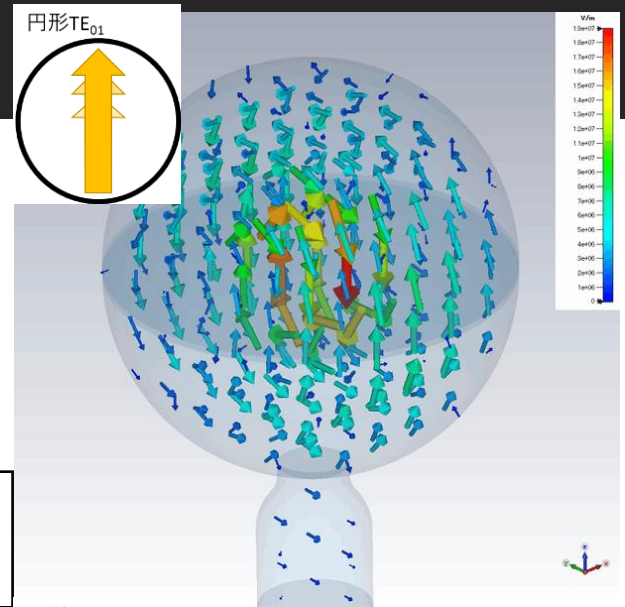
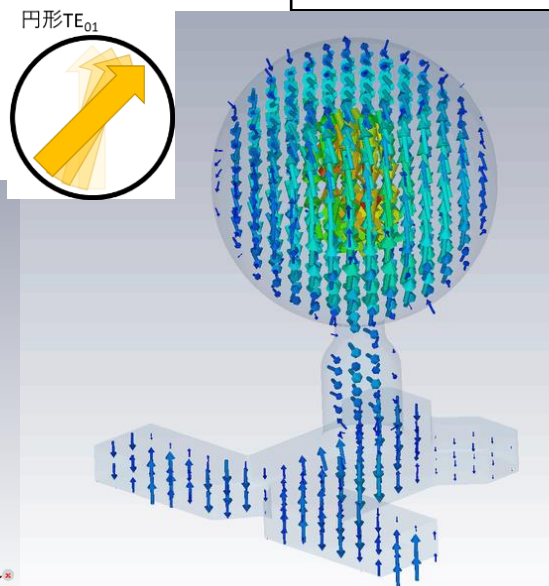
## └ 電磁場モード

一つの球形空洞に縮退した二つのモードが存在  
(球形TE<sub>112</sub>モード)

位相が90度ずれて重ね合わされることにより、  
回転モードが現れる

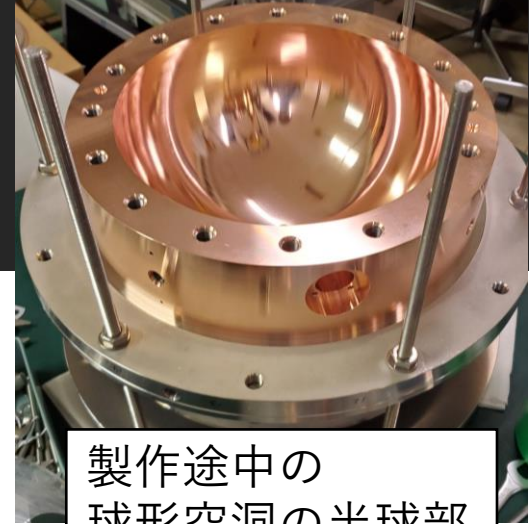


電場分布  
CST-Studio

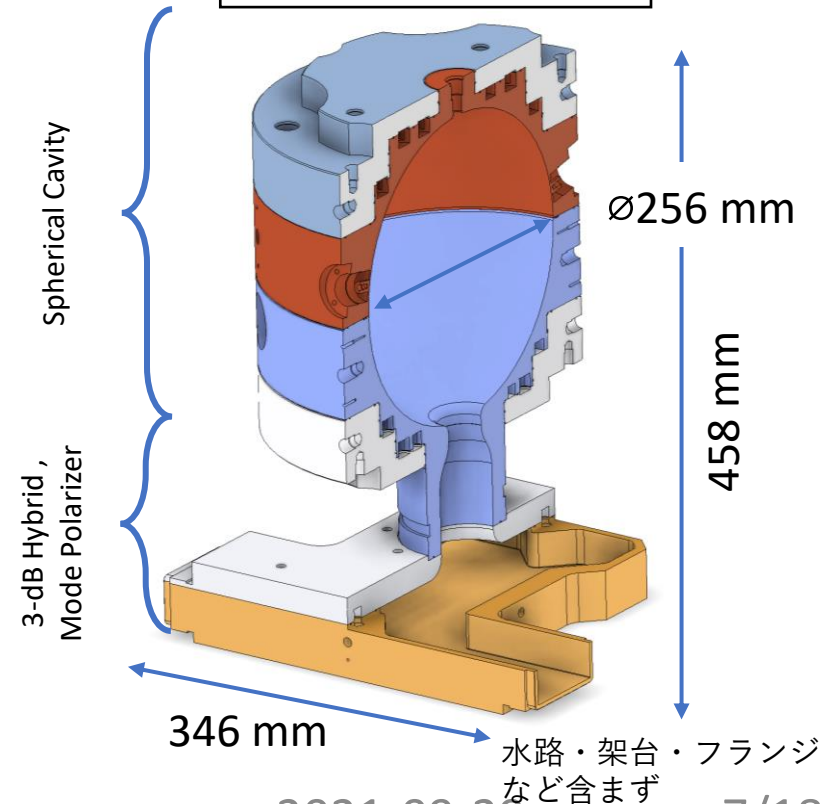


# 製作 「概要図」

大別して6パーツで構成される  
赤道面で二分：旋盤でくり抜き  
球側面に8つのチューナー  
薄い部分を押し引き（送りねじ）  
2モード縮退のチューニング



製作途中の  
球形空洞の半球部



# 製作

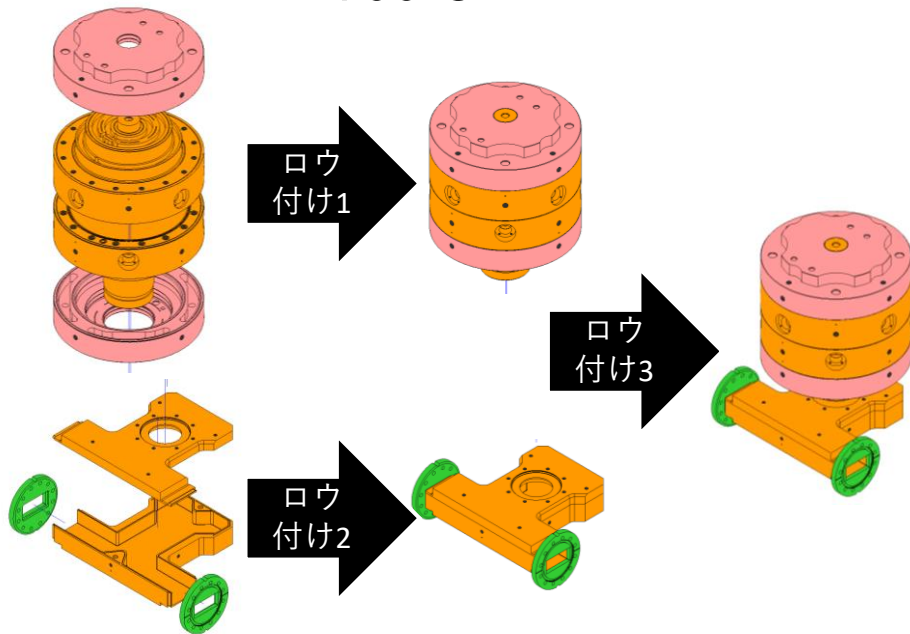
## └ ロウ付け・冷却水路

母材：第二種無酸素銅

ロウ材：

BAg-8 (銀ロウ)  
～800°C

TK-671 (銀+インジウム)  
～700°C



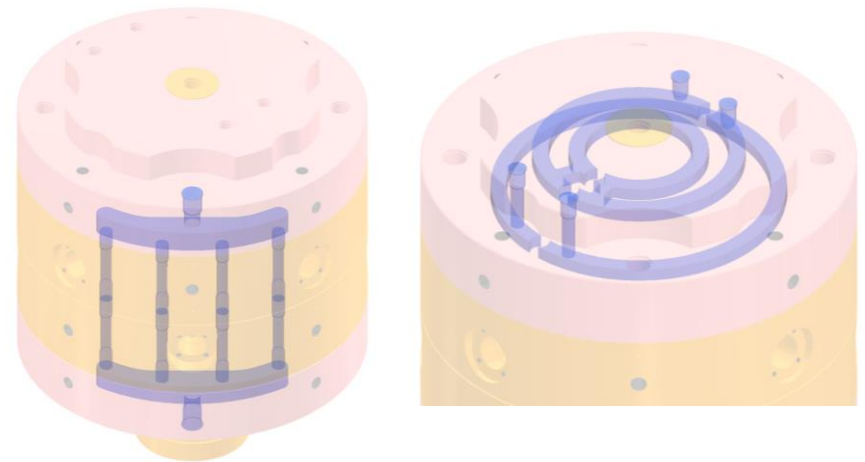
冷却効率を高めるため、  
空洞に溝を彫りこみ、  
フタをして水路を形作る

全8系統

上下方向：x4

極周り・内側：x2

極周り・外側：x2





# 製作 └低電力測定

高電力試験実施前に、  
確認のための低電力測定

ネットワークアナライザ  
▷周波数特性

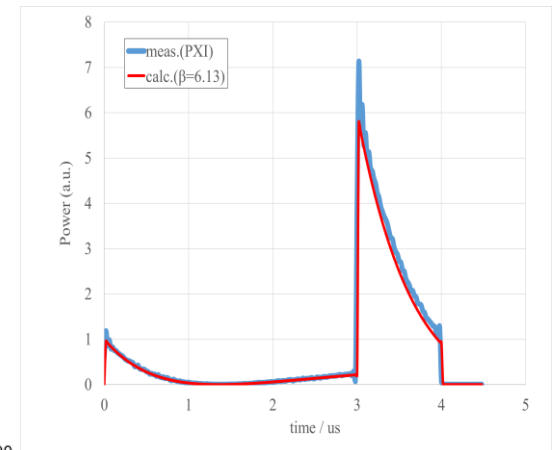
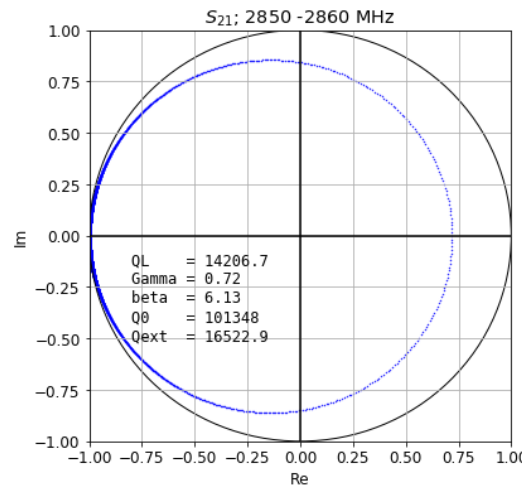
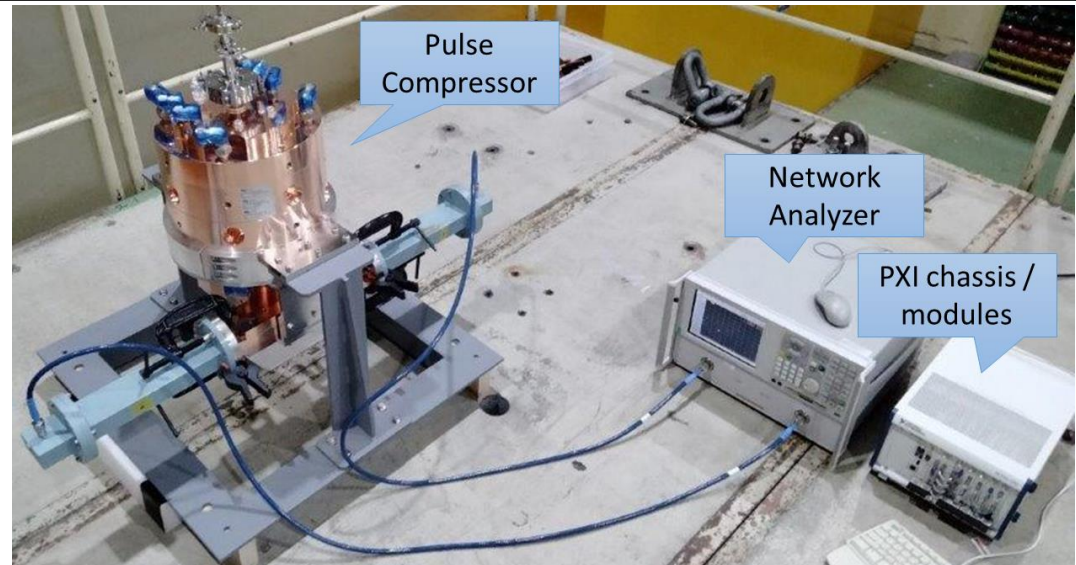
PXI モジュール  
▷運転波形に対する応答

設計値・以前の測定値と  
比較して問題なし。

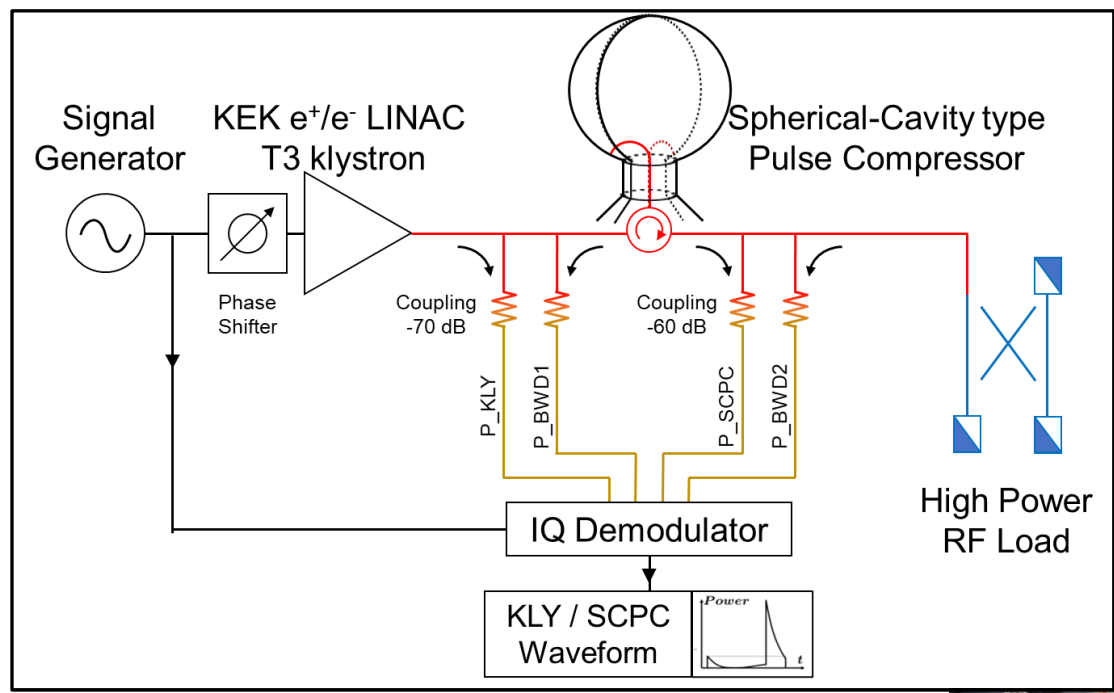
$Q_0$ : 101,000

$\beta$ : 6.13

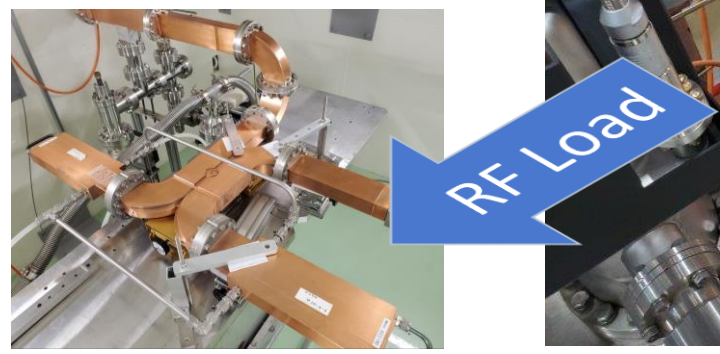
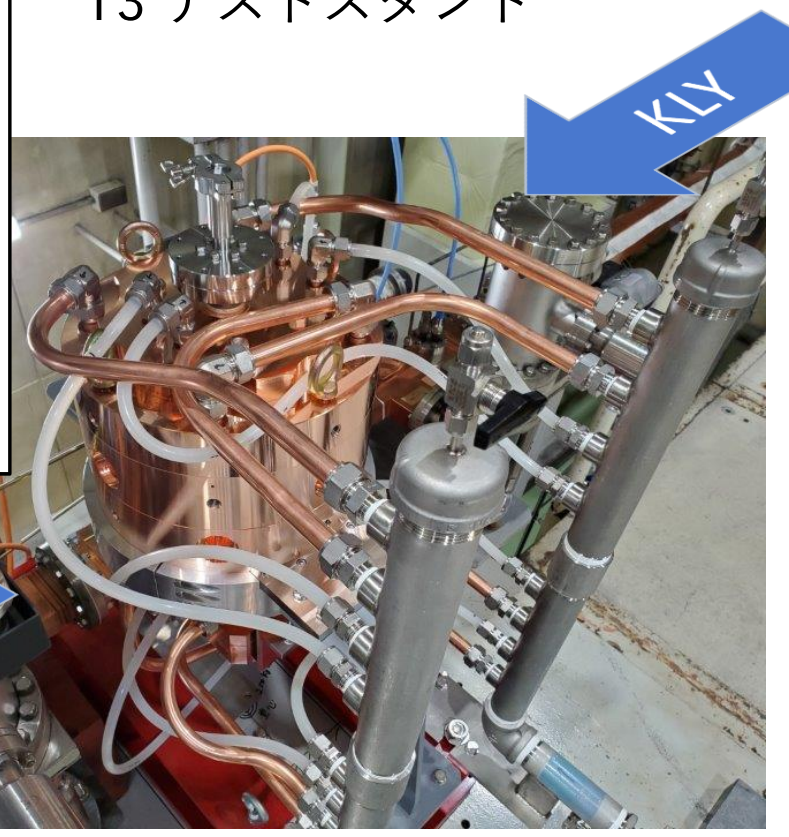
パワーゲイン: 6.0



# 高電力試験 └測定セットアップ



KEK 電子陽電子入射器  
T3 テストスタンド



# 等価回路モデル

電力蓄積・放出過程：RLC等価回路

$$\left(1 + \frac{\omega_C^2}{\omega_K^2}\right) \frac{dV_C}{dt} + \left\{ \frac{\omega_C}{Q_L} + j\omega_K \left(1 - \frac{\omega_C^2}{\omega_K^2}\right) \right\} V_C = \frac{2\omega_K\beta}{Q_0} V_i$$

$\omega_C$ ：空洞共振周波数、

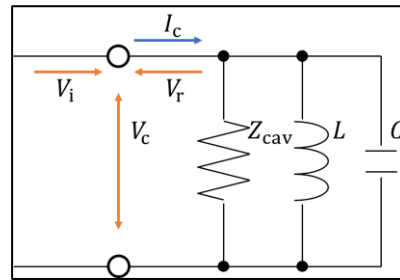
$\omega_K$ ：クライストロン周波数

$V_C = V_i + V_r$ ：空洞出力マイクロ波の電圧

空洞の性質：

- $Q_0$ ：電力蓄積時、
- $Q_{ext}$ ：電力放出時に、  
関連するパラメタ

$$\beta = \frac{Q_0}{Q_{ext}} \quad \frac{1}{Q_L} = \frac{1}{Q_0} + \frac{1}{Q_{ext}}$$

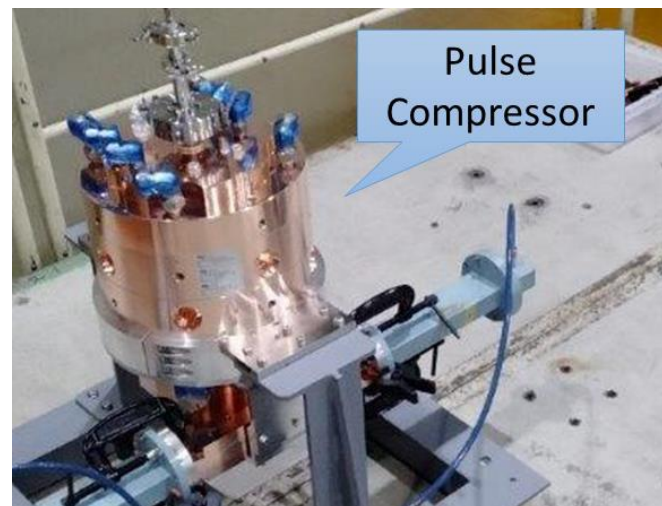


矩形の入力信号（青）を入力として数値解析的に解いた（黒）

低電力測定（橙）をよく再現

# まとめ

- 球形空洞型パルス圧縮器 (SCPC) プロトタイプの製造を完了した。
- 高電力試験を実施した。
  - SuperKEKB 定格運転電力の約半分 ( $P_{in(Peak)} \sim 20\text{MW}$ )まで円滑にコンディショニングを進めることが出来た。
  - 妥当な空洞パラメタによる数値計算で出力波形を再現することが出来た。



## 今後の課題

- 1) フルパワー試験 (40MW入力)
- 2) 空洞温度と実測の周波数の差異の原因究明
- 3) チューニング方法の確立

