

改良4分割方式 Xバンド高電界加速管の製作

阿部 哲郎、高富 俊和、東 保男、肥後 壽泰、松本 修二

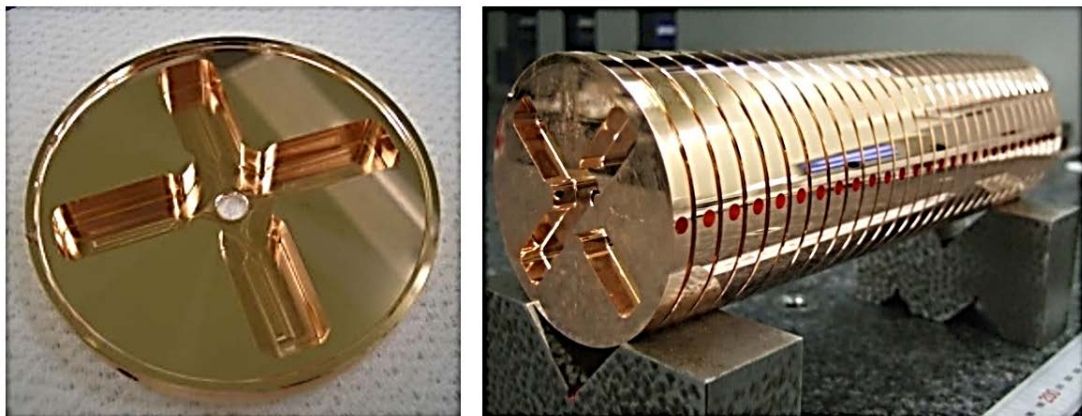
高エネルギー加速器研究機構(KEK)／加速器研究施設

第16回日本加速器学会年会@京都大学吉田キャンパス

2019年7月31日

2つの「直交」する製作方法

「ディスク方式」



減衰型ディスク スタックした状態(拡散接合後)

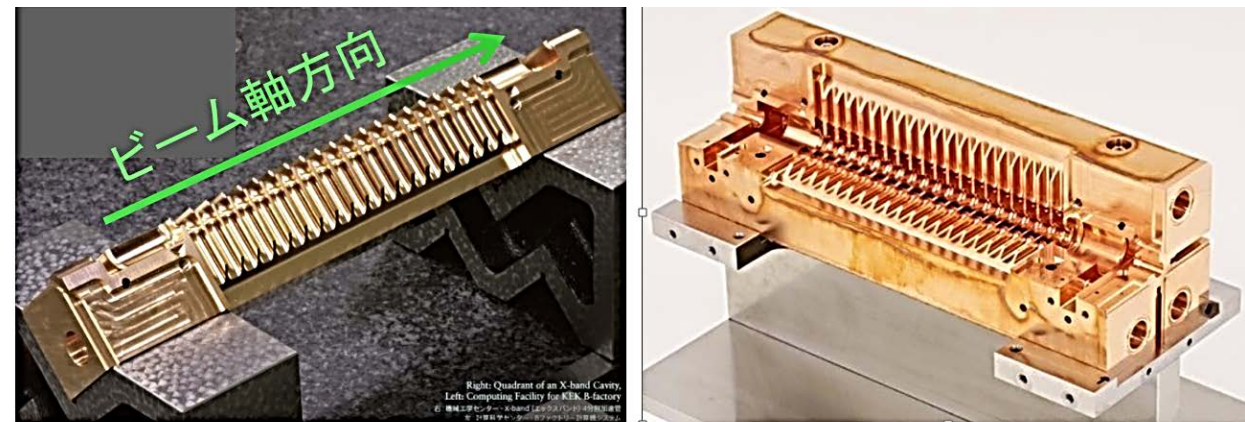
■ 利点

- ✓ 旋盤で主要部分を加工可能
- ✓ 表面が平滑 ($Ra = \sim 30 \text{ nm}$)
- ✓ 加工によるダメージが浅い(深さ $\ll 1 \mu\text{m}$)

■ 欠点

- ✓ セルを一枚一枚、超精密加工し、慎重に重ねる(数十枚)
- ✓ 手間がかかる
- ✓ 表面電流がディスク間接合箇所を渡る

「4分割方式」



1個のQuadrant

3個のQuadrants

■ 利点

- ✓ 表面電流は、いかなる接合箇所も渡らない
- ✓ 大幅なコストダウンの可能性あり
 - 5軸のミリング加工機を使えば、ひとつの加速構造(20~30セル分)をいっきに加工
 - (セル数に依らず)パーツの個数は4個で、組立が比較的容易

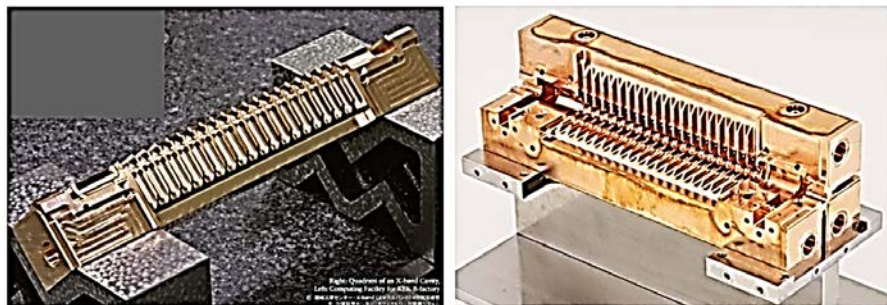
■ 欠点

- ✓ すべてミリング加工なので、表面粗さ大 ($Ra = \sim 0.3 \mu\text{m}$)
- ✓ 加工によるダメージが深い(数 μm 程度)
- ✓ Quadrants間からの仮想リークの恐れ
- ✓ QuadrantsのR角部におけるフィールド増大

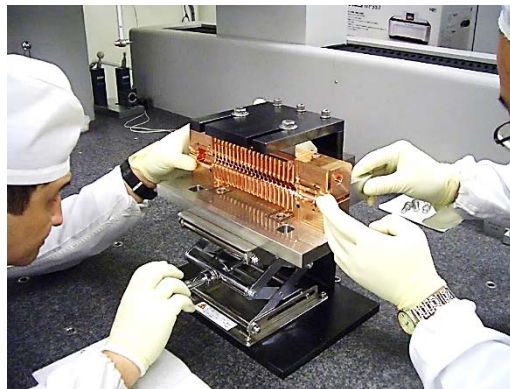
18セルのCLICプロトタイプ加速管(進行波)を4分割方式で製作 (2008年、by KEK and SLAC)

TD18_Quad

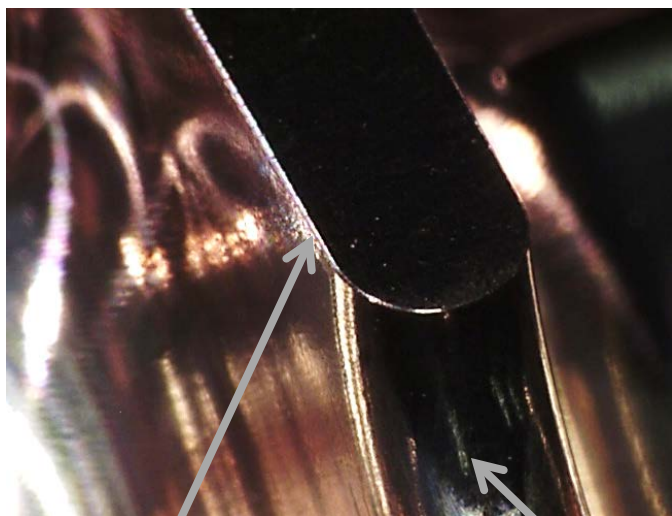
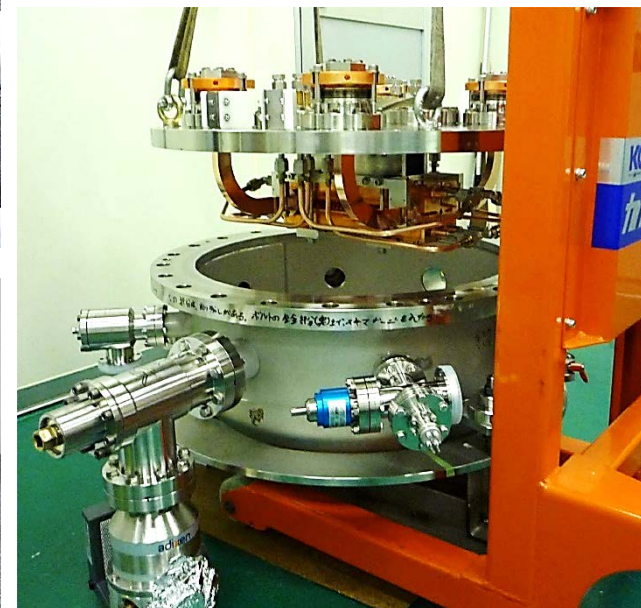
超精密ミリング加工(輪郭度: 5 μm) (加速モード周波数: 11.4 GHz)



超精密アライメント(精度: 5 μm)

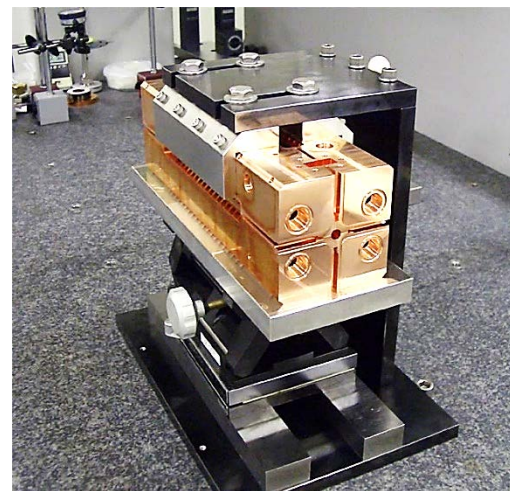


真空容器中へ

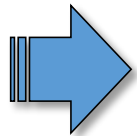
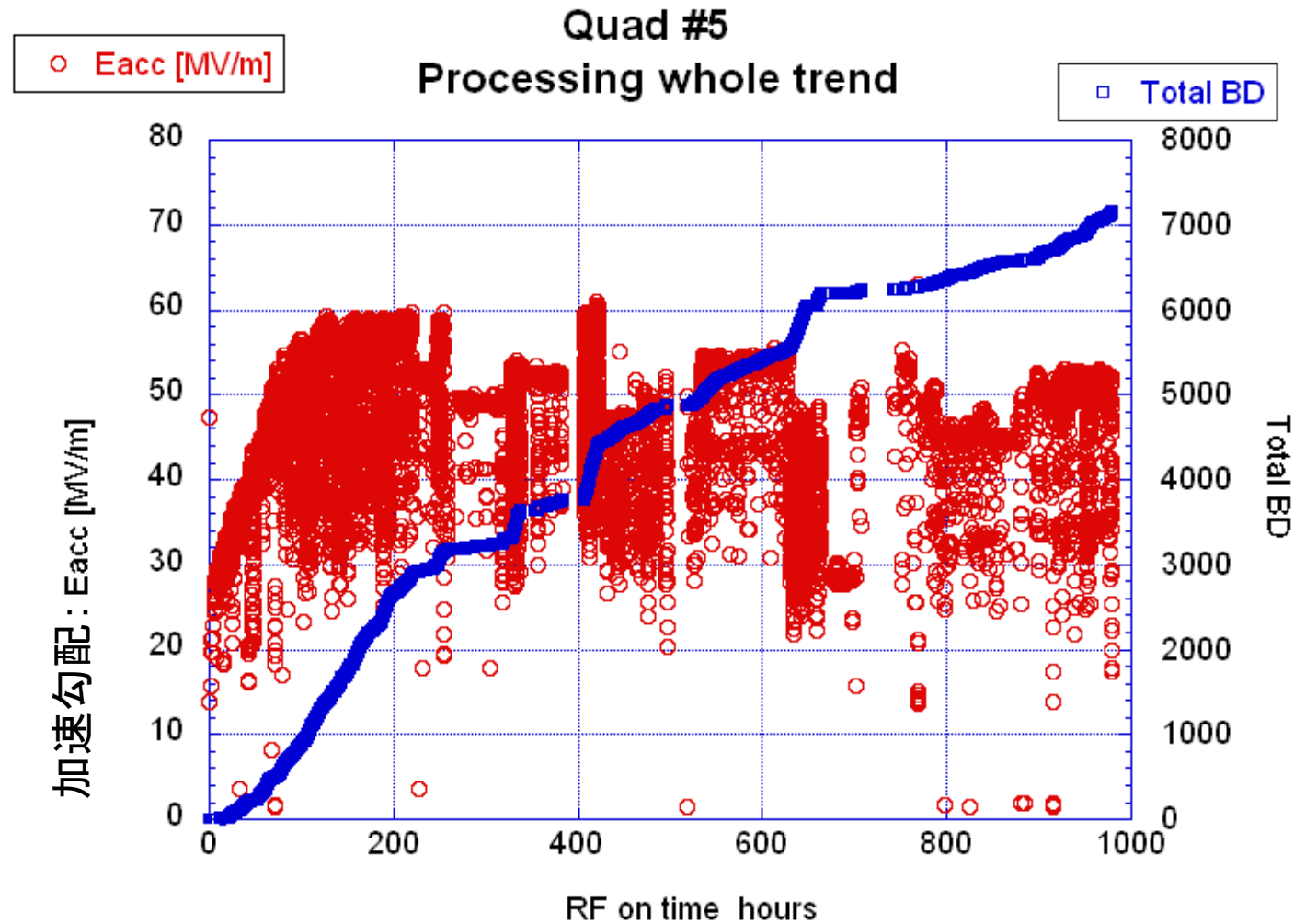


R面取り(R50 μm)

アイリス



TD18_Quadの高電界試験の結果(2009年)



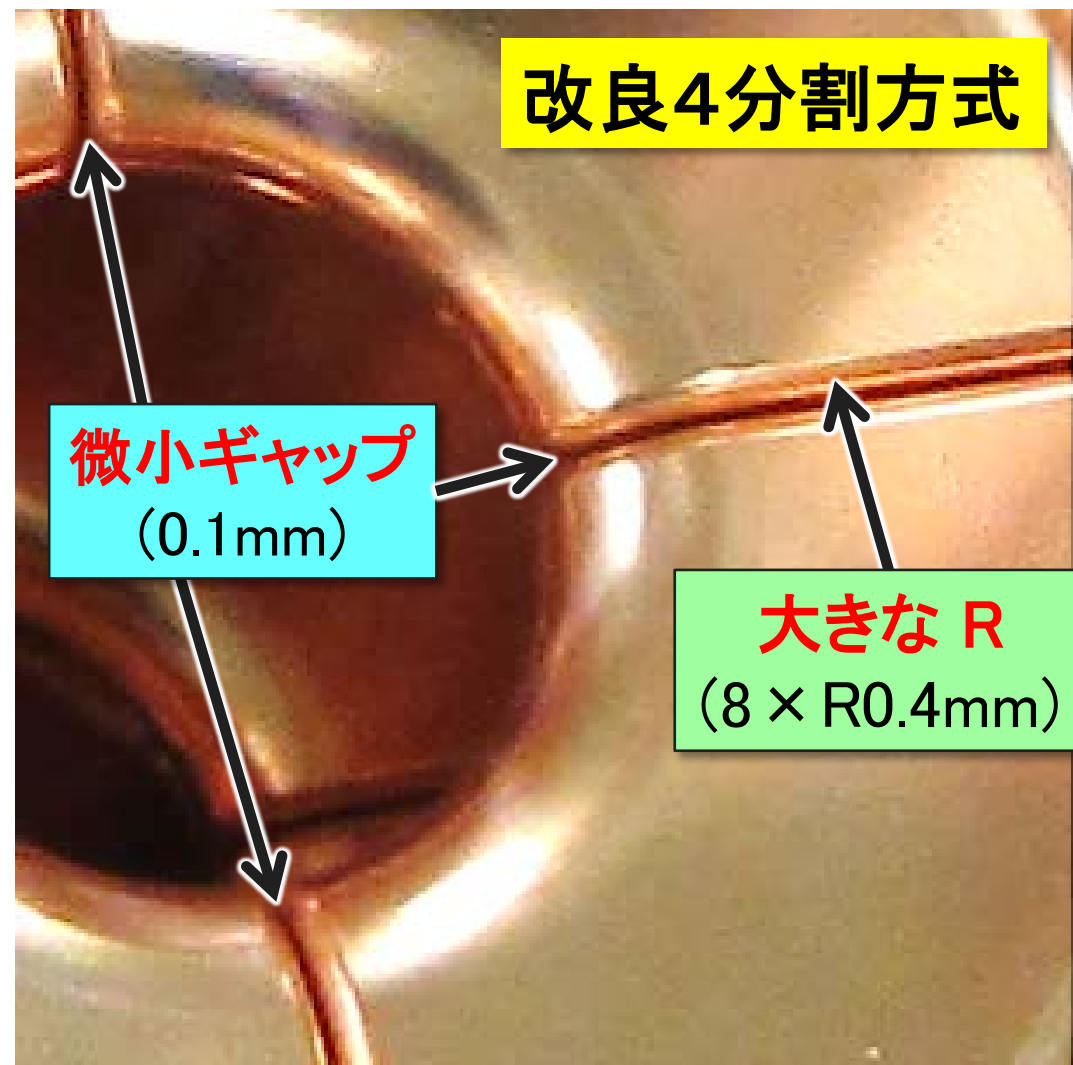
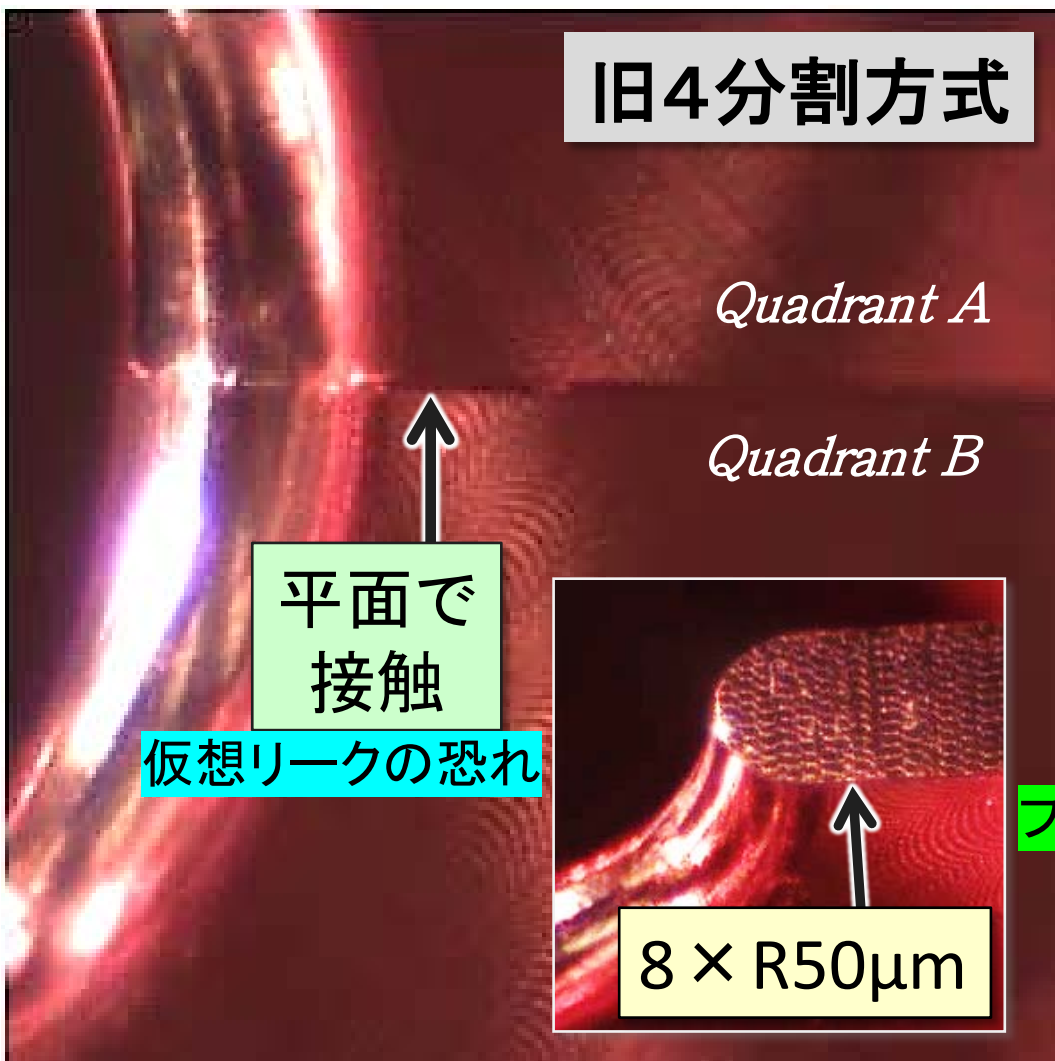
通常は、少なくとも、 $E_{acc} = 100$ MV/m には到達出来るが、
この試験では、 $E_{acc} < 60$ MV/m であり、不調

(SLACでは、電解研磨を施して同様の試験を行ったが、結果は同様に悪かった)

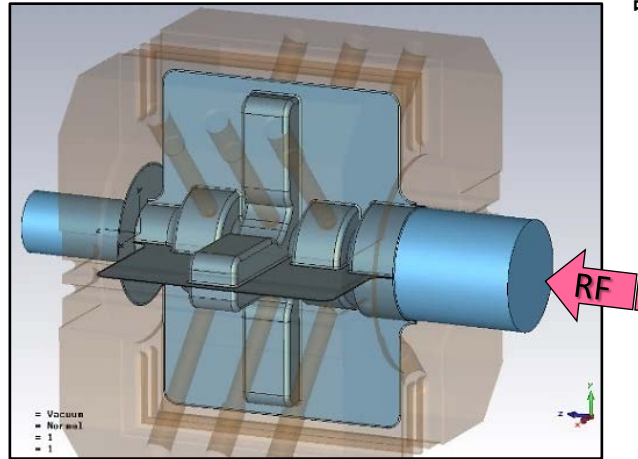
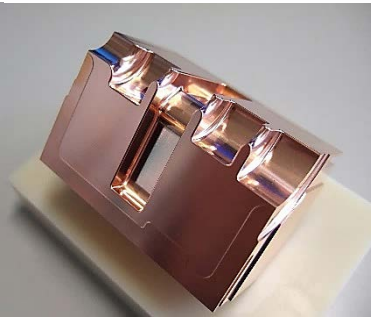
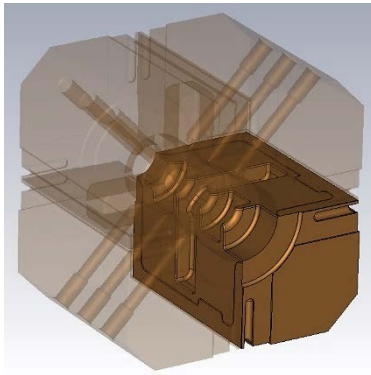
「改良4分割方式」を考案

デザインの詳細については、下記参照:

- ✓ [阿部 哲郎、東 保男、荒木田 是夫、設楽 哲夫、高富 俊和、肥後 寿泰、松本 修二](#)：
「高電界Xバンド単セル試験空洞の4分割方式による製作」、第9回日本加速器学会年会、2012年、THPS095
- ✓ [阿部 哲郎、安島 泰雄、荒木田 是夫、井上 均、工藤 昇、高富 俊和、肥後 寿泰、松本 修二、東 保男](#)：
「4分割方式による高電界試験用Xバンド単セル空洞の製作」、第11回日本加速器学会年会、2014年、SUP042



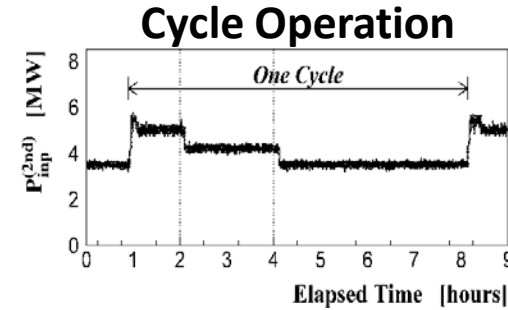
単セル型定在波空洞で改良4分割方式を実証



詳しくは、下記参照:

阿部 哲郎、高富 俊和、肥後 壽泰、松本 修二、荒木田 是夫:

「4分割方式Xバンド単セル型空洞の高電界試験の結果」、第14回日本加速器学会年会、2017年、WEP039



KEK/Nextef/Shield-B における
ブレークダウン率測定の結果

SD1_QUAD-R04G01_K1, 100+150 ns

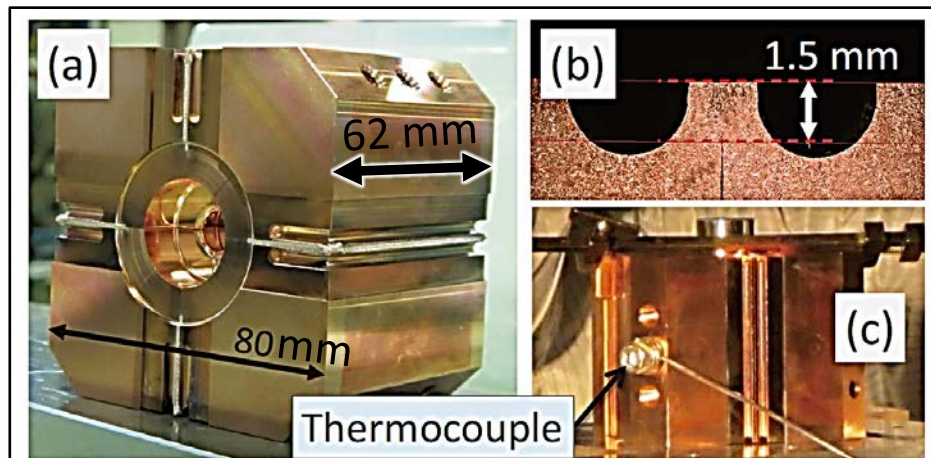
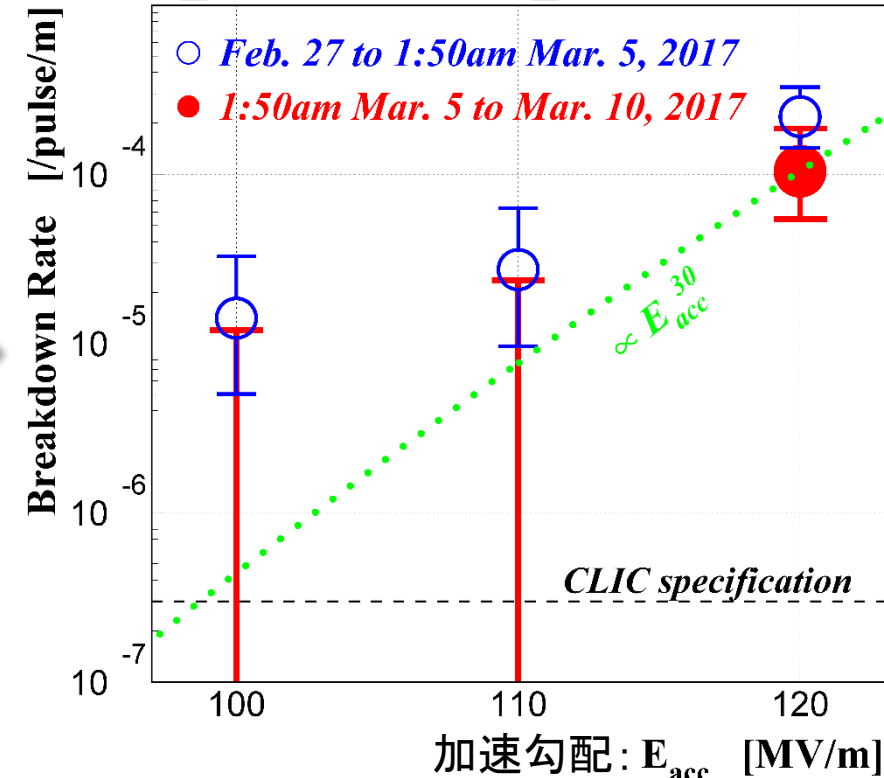
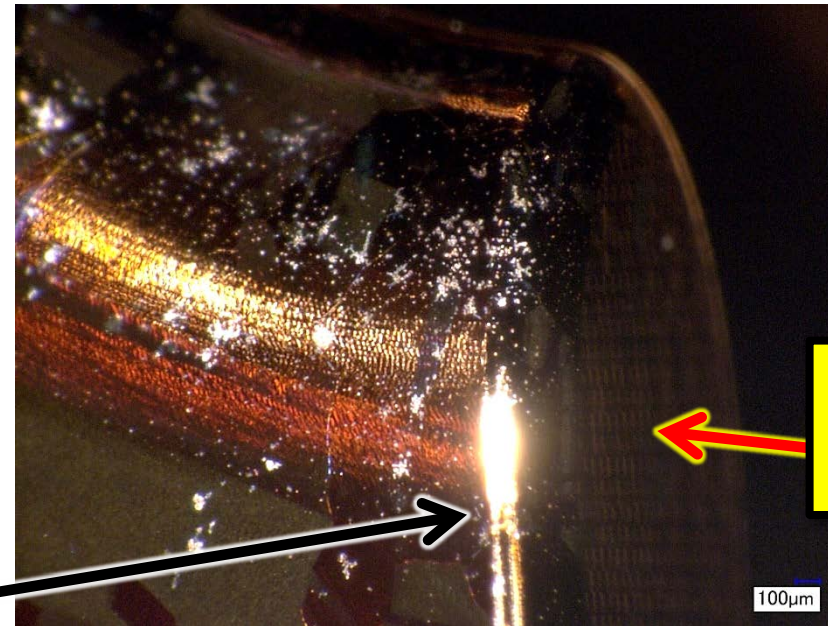
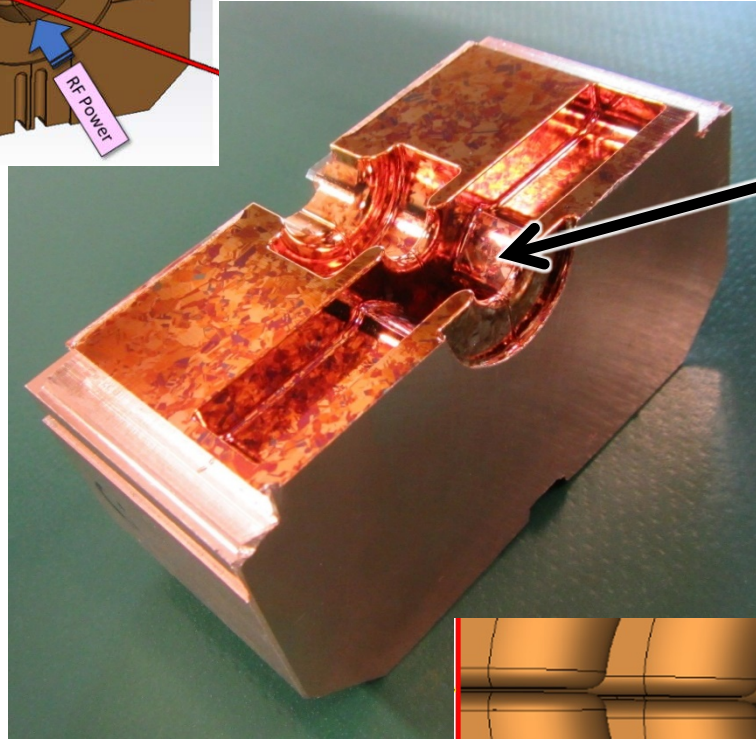
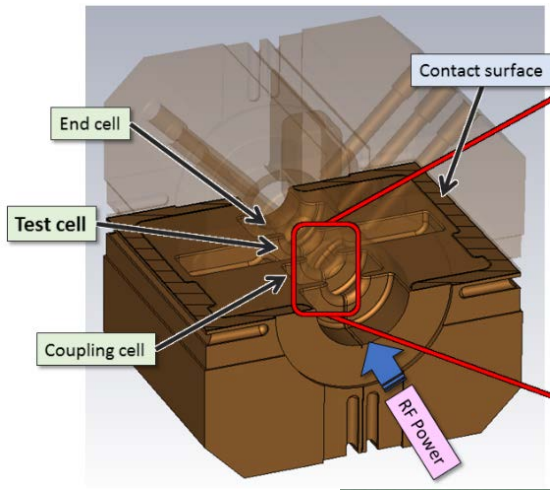


Figure 12: EBW of the quadrants. (a) After the EBW. (b) Welding penetration depth for the EBW conditions described in [13]. (c) A thermocouple is attached.

$E_{acc} = 100$ MV/m にて CLIC の仕様を満たせる可能性を確認できた!

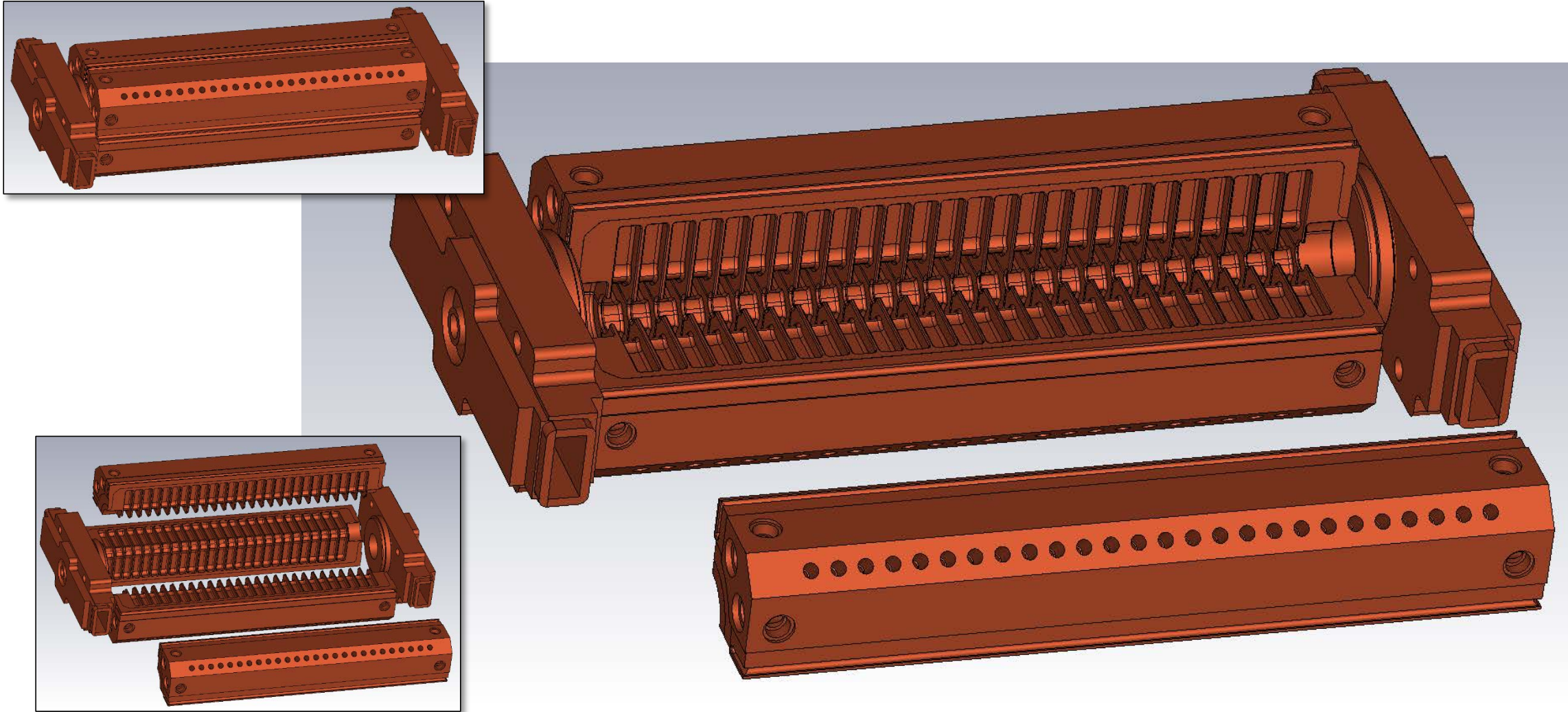
高電界試験後の検査



0.1 mm ギャップ内
は殆ど無傷

0.1 mm の微小ギャップは問題ない

改良4分割方式の完全な原理実証のため、 24セルのCLICプロトタイプ加速管(進行波)を製作

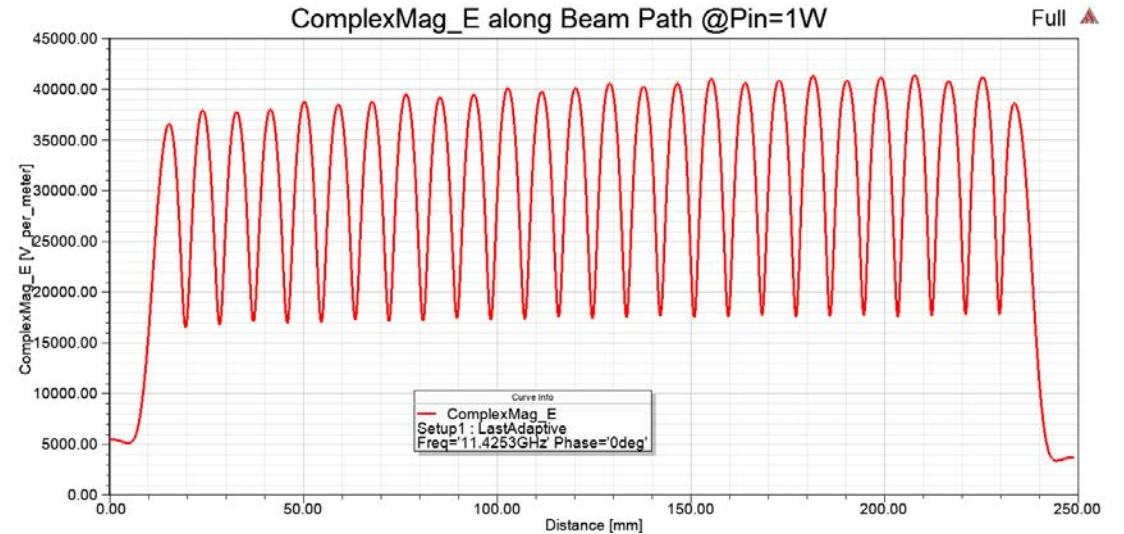
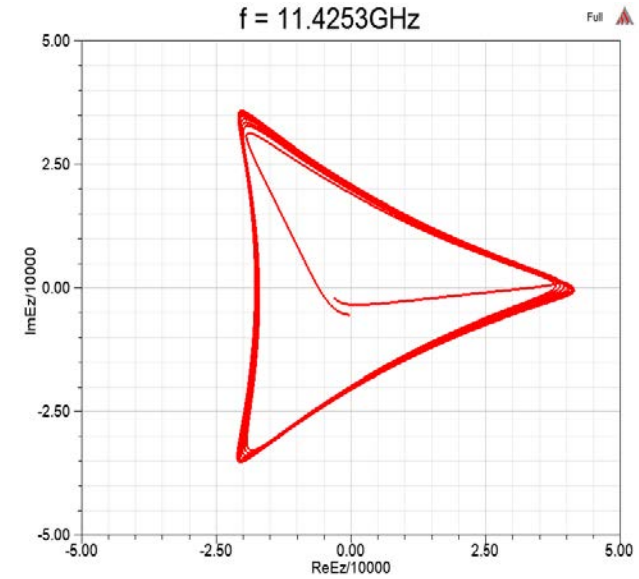
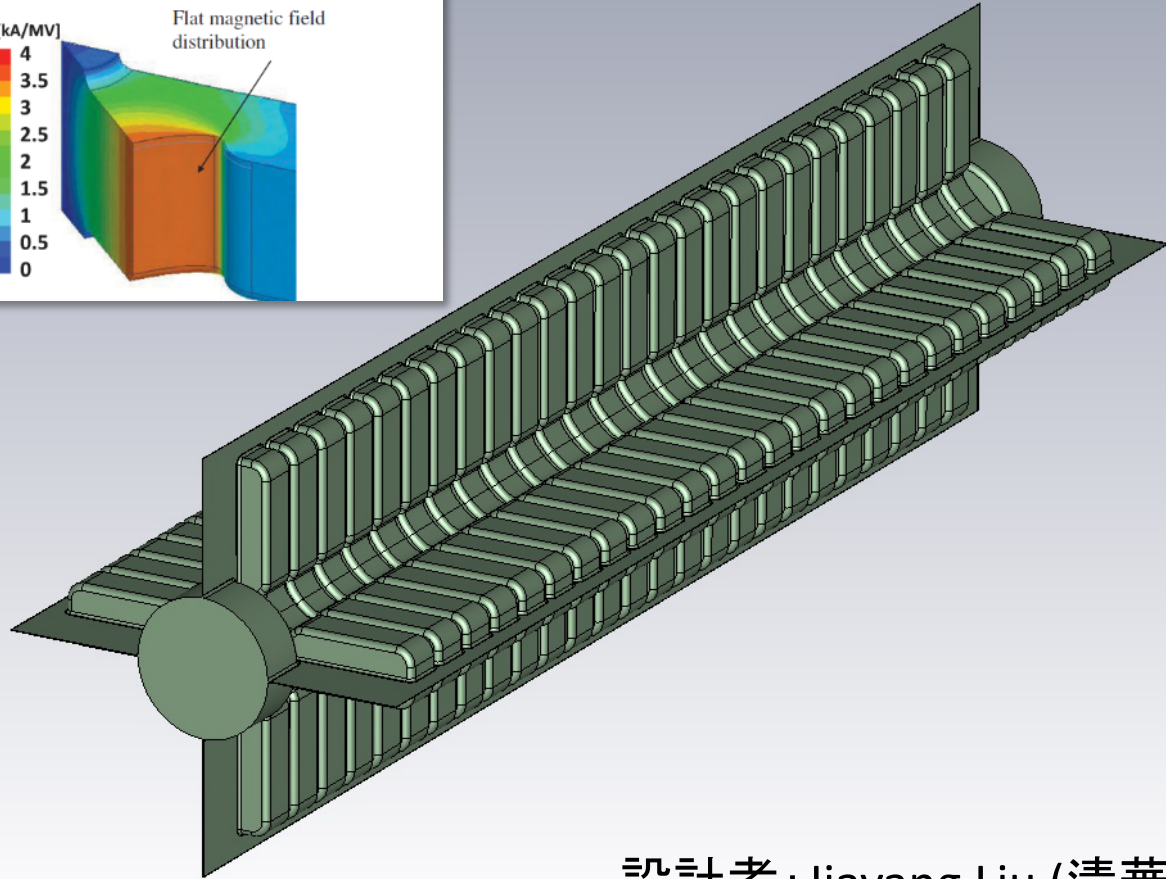
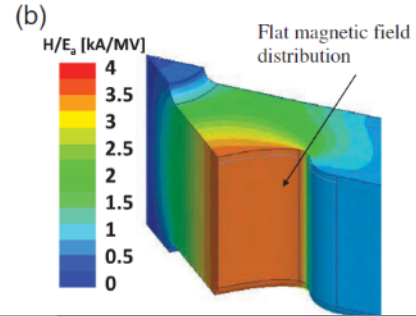
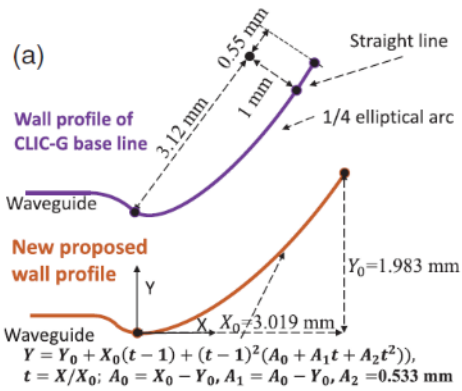


「CLIC-G*」に基づく電気設計

GLIC-G* の詳細は、下記参照：

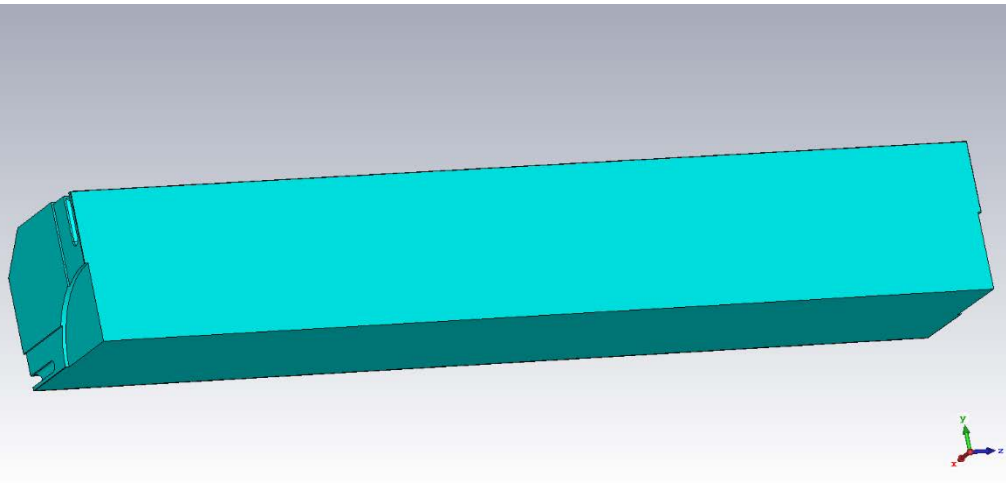
[Hao Zha and Alexej Grudiev, "Design and Optimization of Compact Linear Collider Main linac Accelerating Structure", Phys. Rev. Accel. Beams **19**, 111003 \(2016\).](#)

(加速モード周波数: 11.4 GHz)

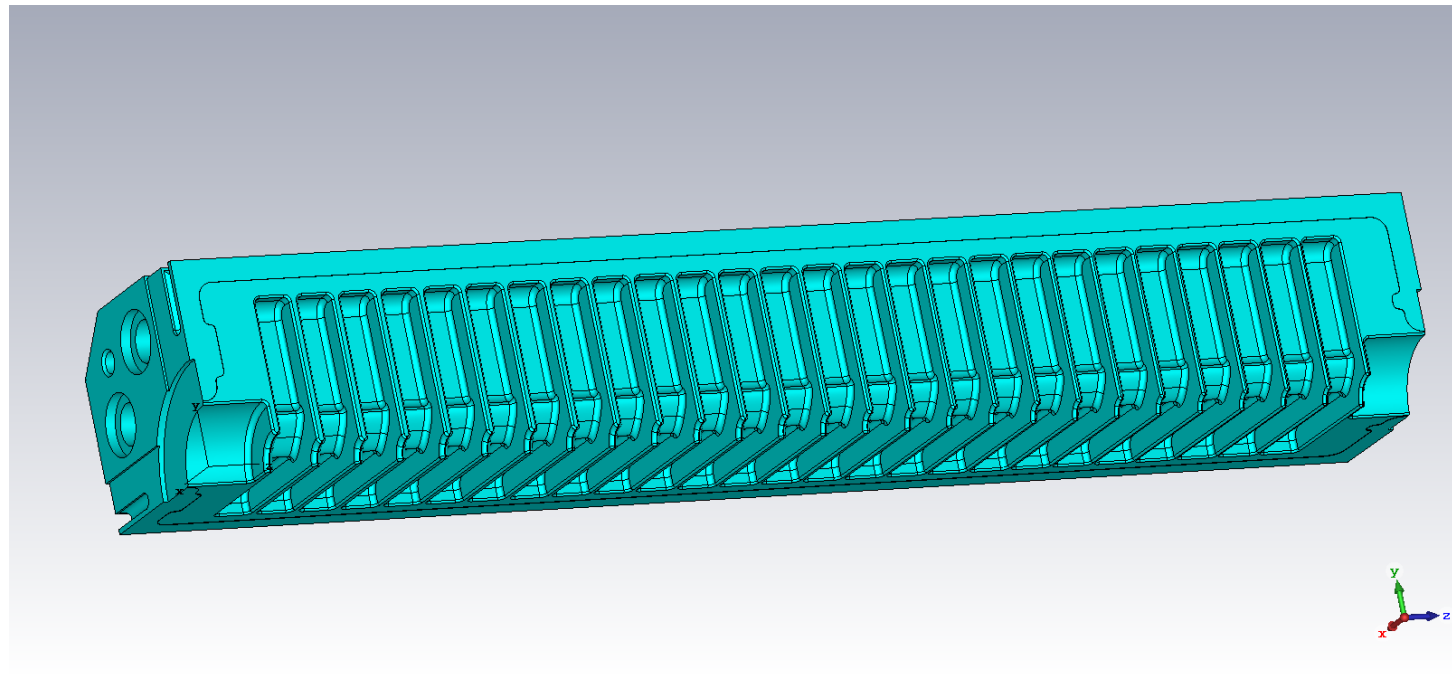
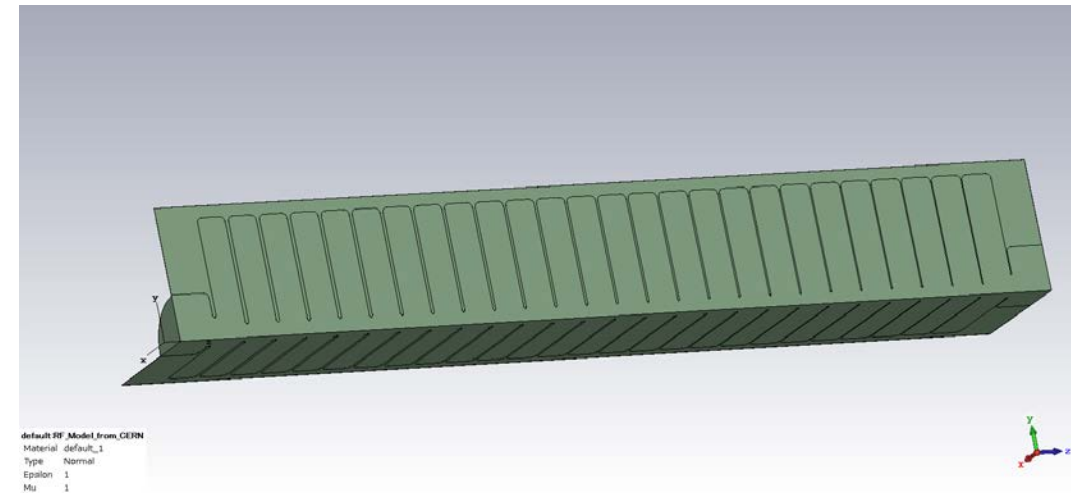


設計者: Jiayang Liu (清華大学)、Alexej Grudiev (CERN)

製作図面(3D)

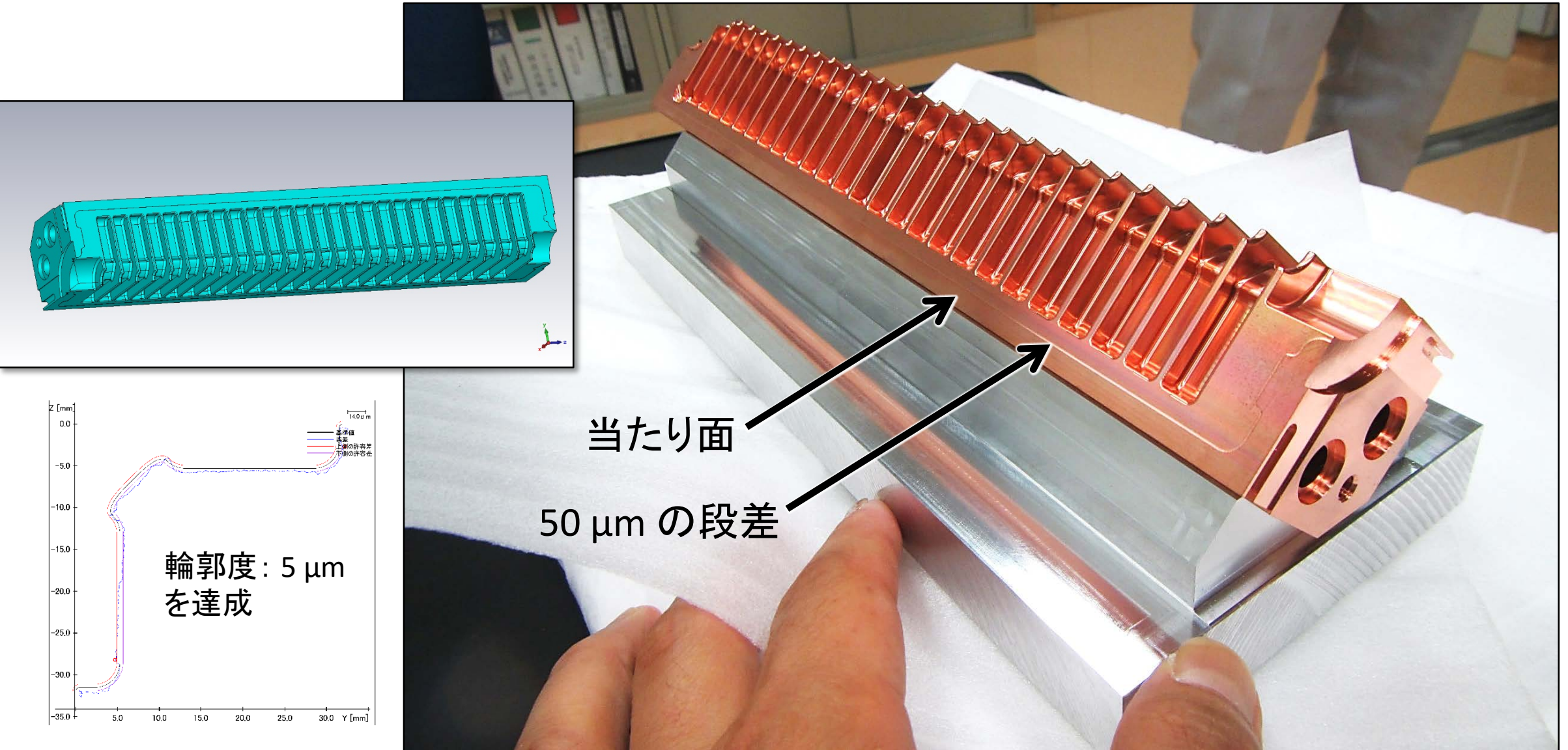


minus

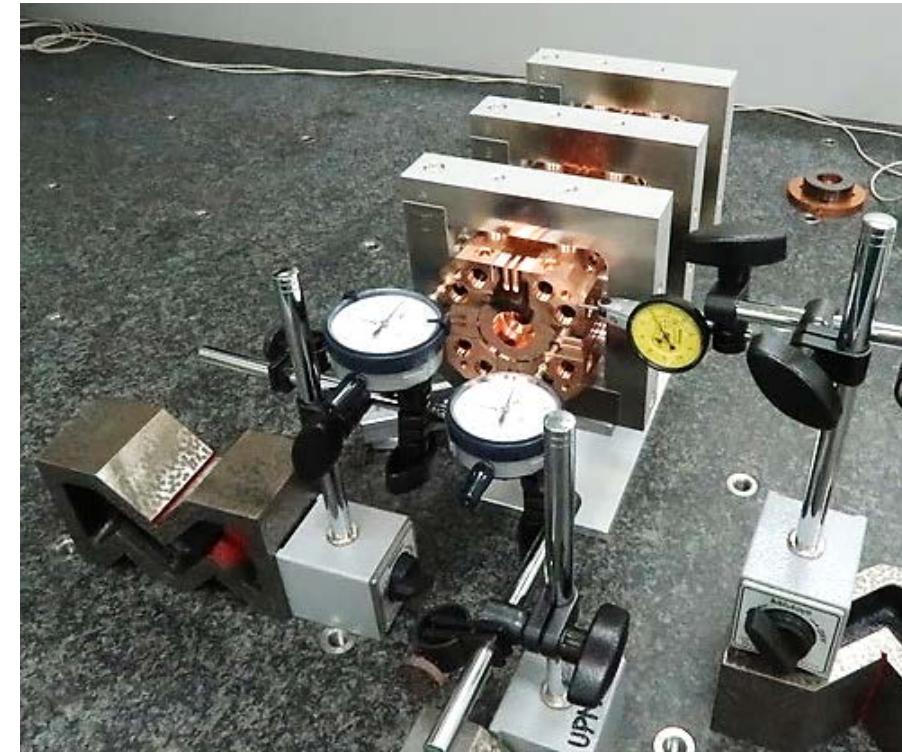
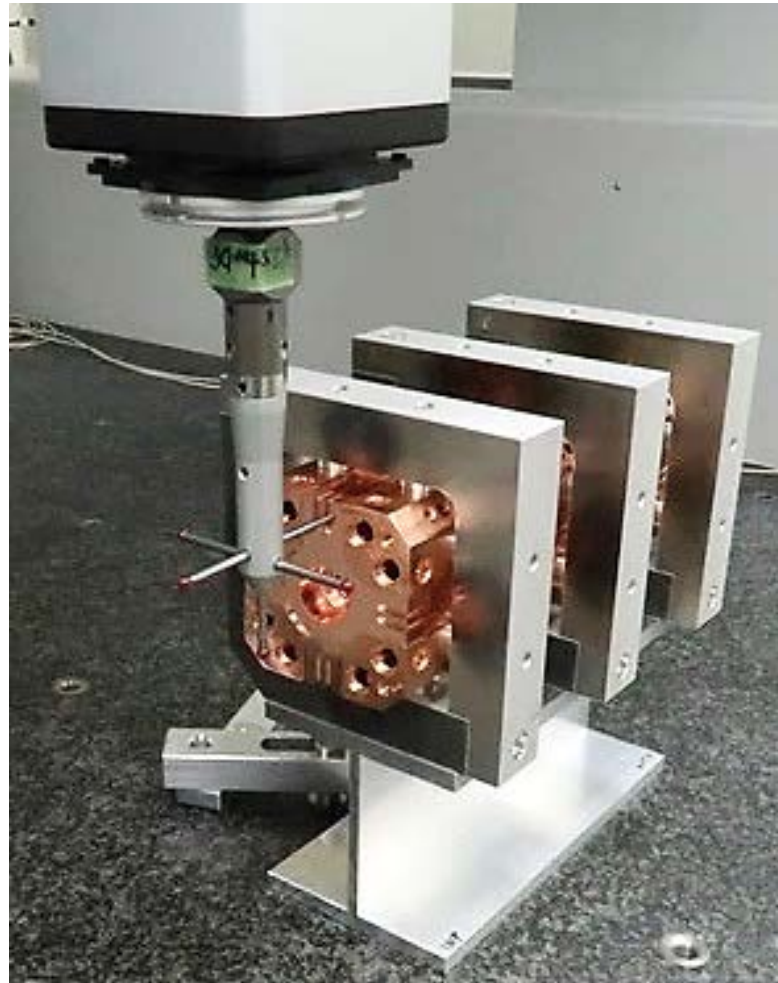
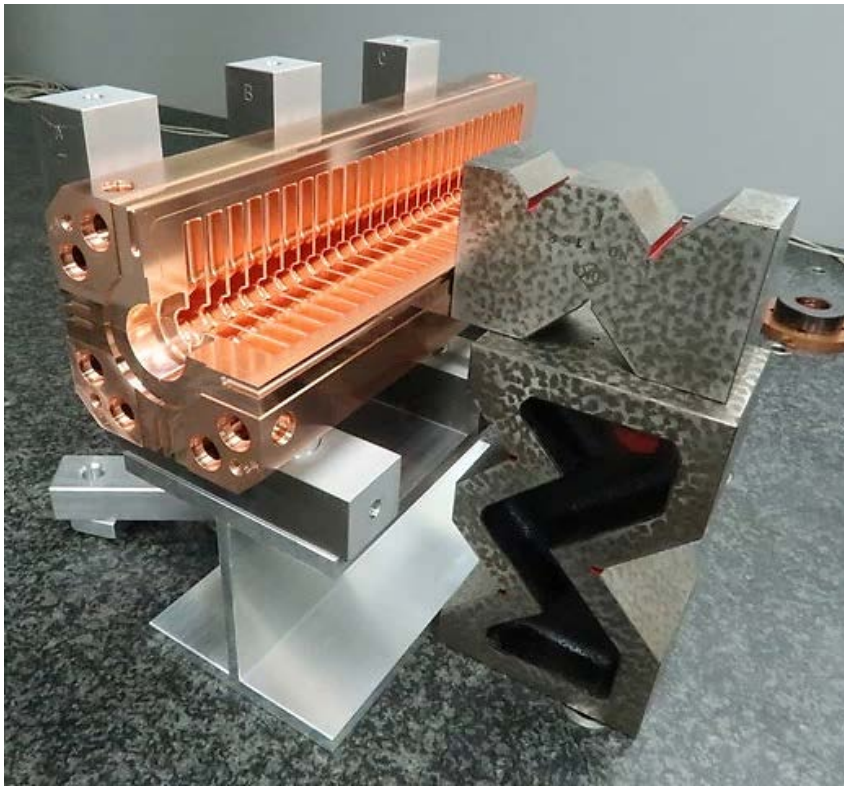


超精密ミリング加工

加工者: [ユー・コーポレーション](#)



5 μm の精度で組立



電子ビーム溶接 (EBW) による接合

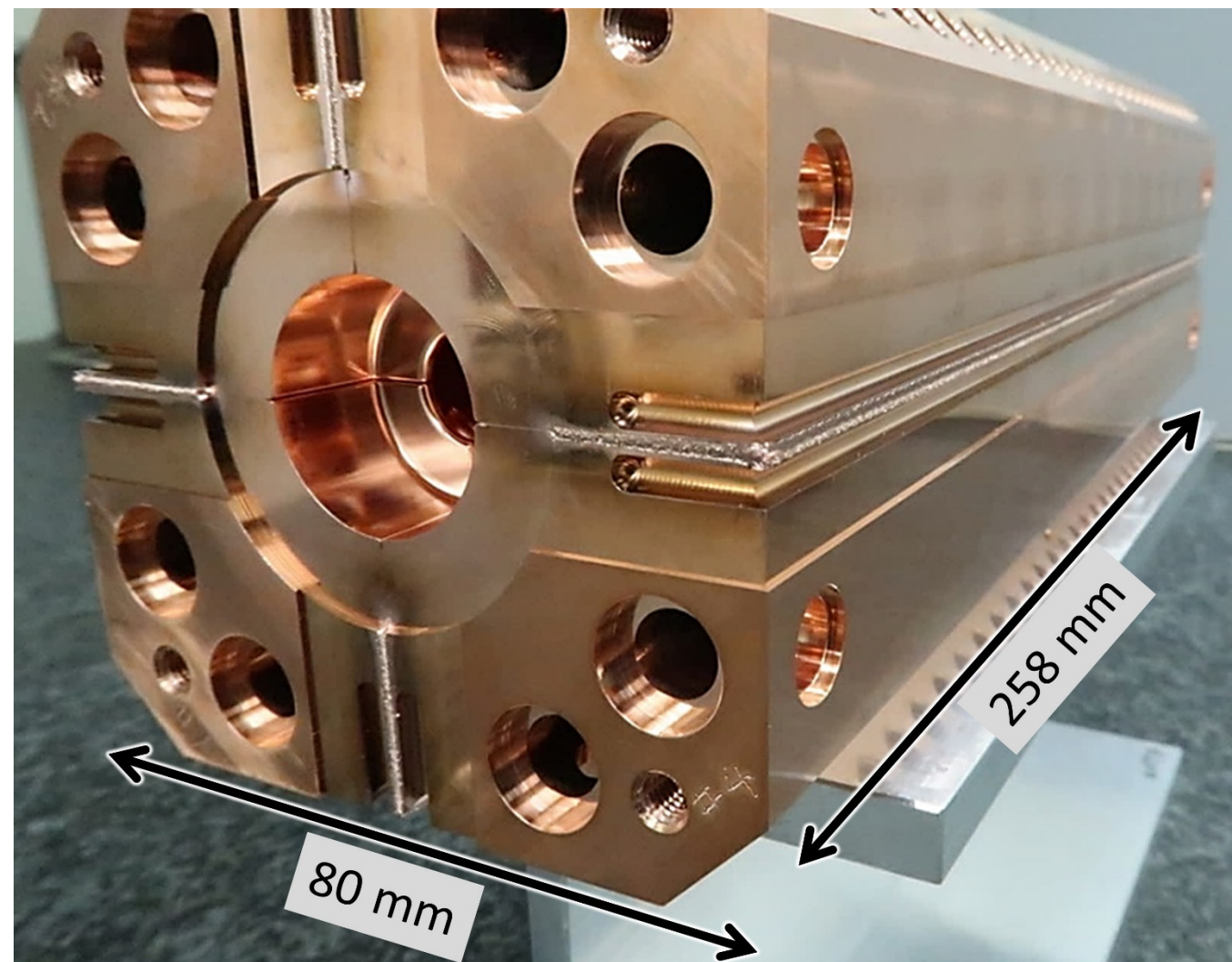
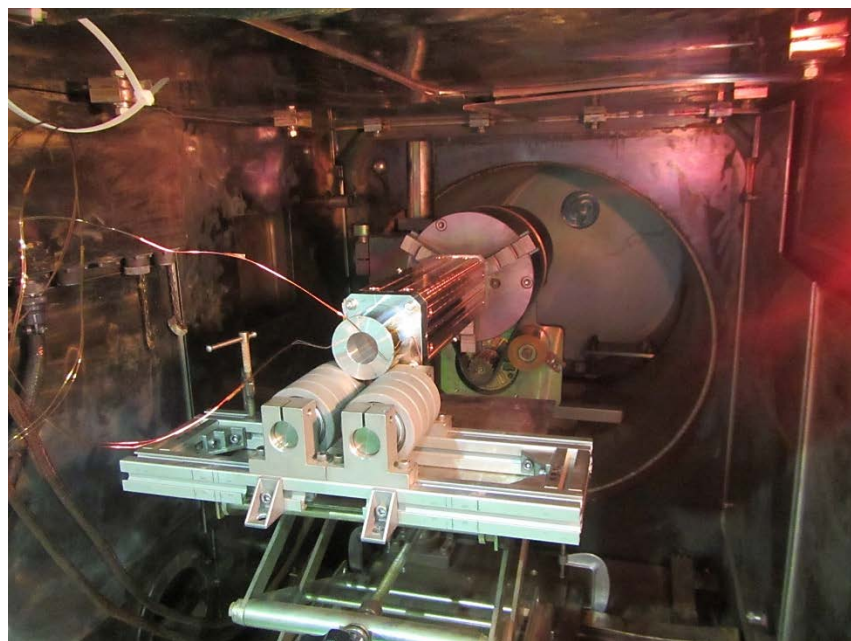
溶接者: [太陽イービーテック](#)

本溶接の条件

- ・加速電圧: 150 kV
- ・ビーム電流: 10 mA
- ・送りスピード: 750 mm/min
- ・フォーカス ポイント: 20 mm 上

- ➔ 溶け込み深さ: 約 1.5 mm
- ➔ 物温上昇: 最高 25°C

↓EBW完了後

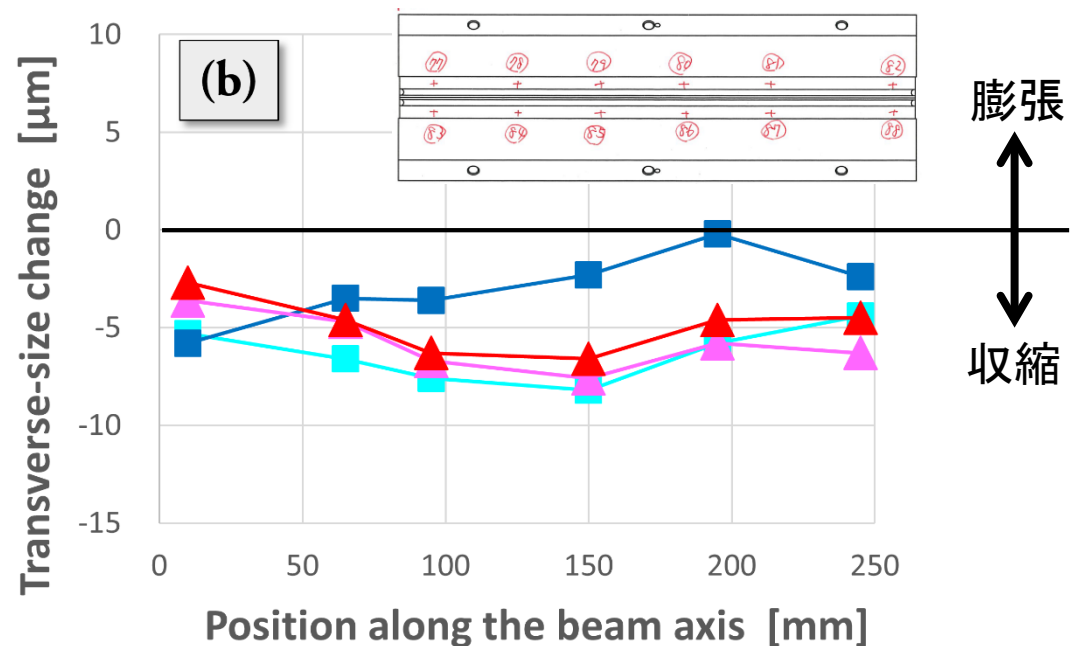
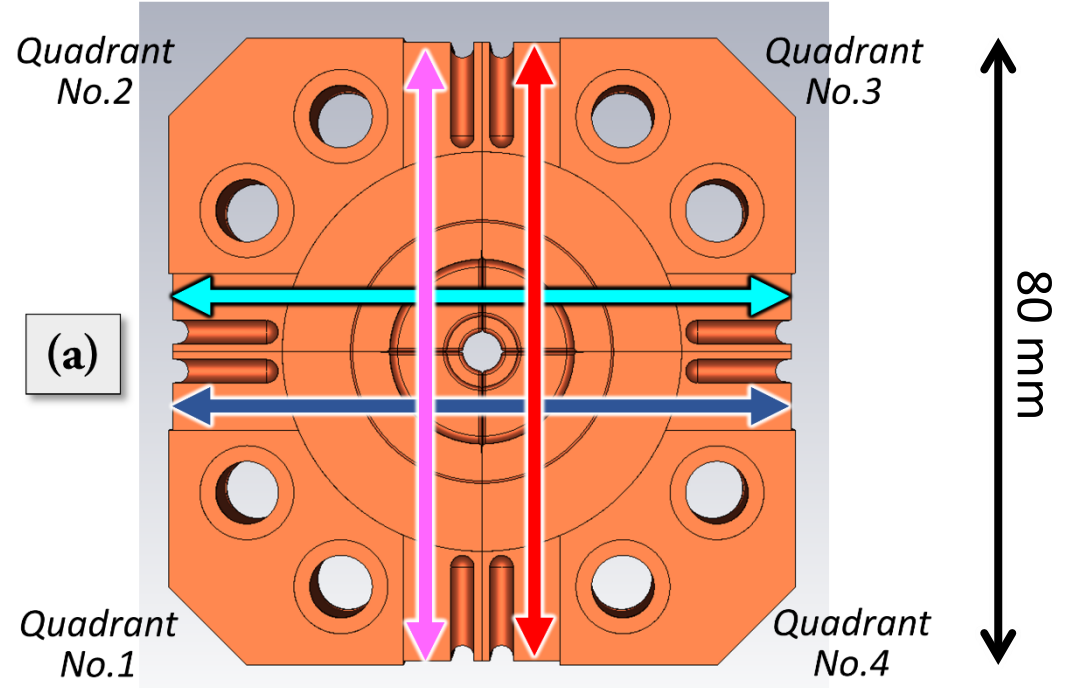


EBWによる直角方向サイズの変化を測定

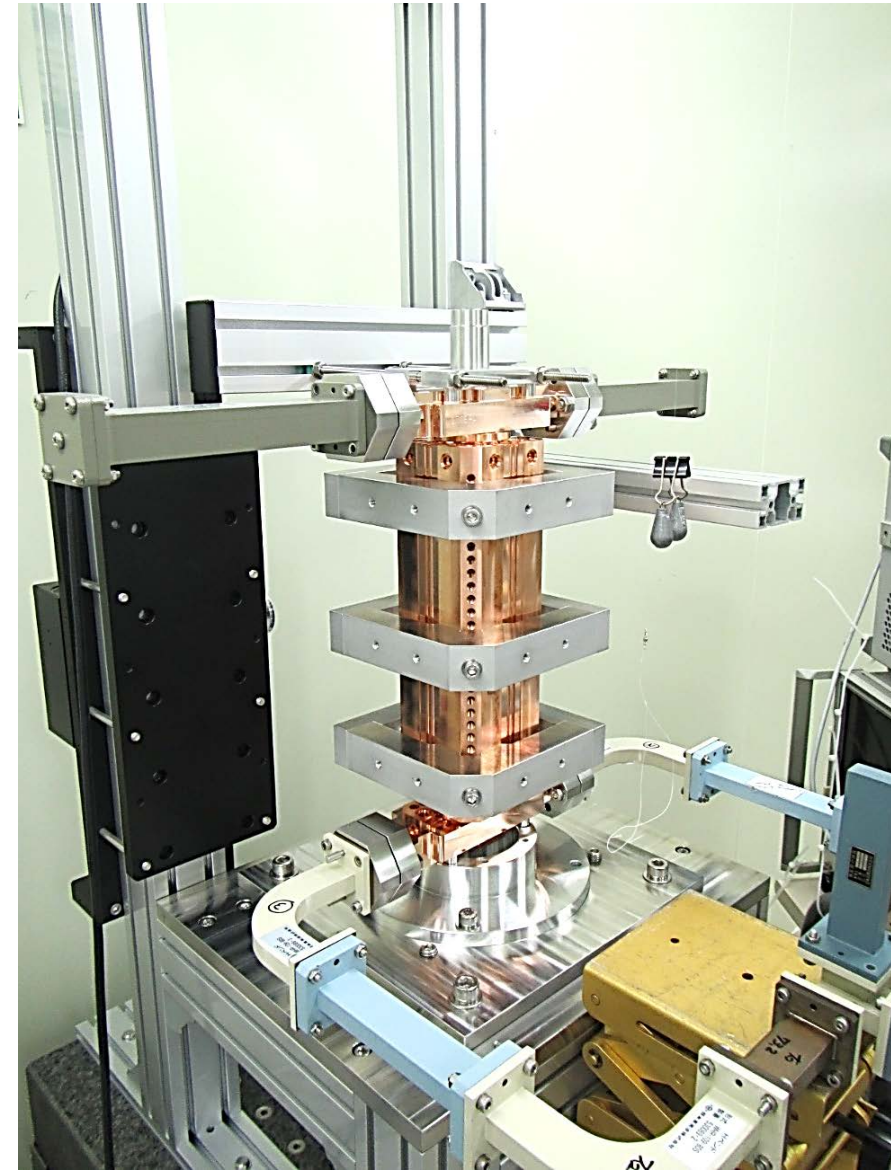
測定器: カール ツァイス UPMC 850 CARAT



- ✓ 平均で $5 \mu\text{m}$ の縮み
- ✓ ばらつきは $2 \sim 3 \mu\text{m}$
- ✓ 一箇所、他と傾向が違う (→ EBWの順番を再検討)



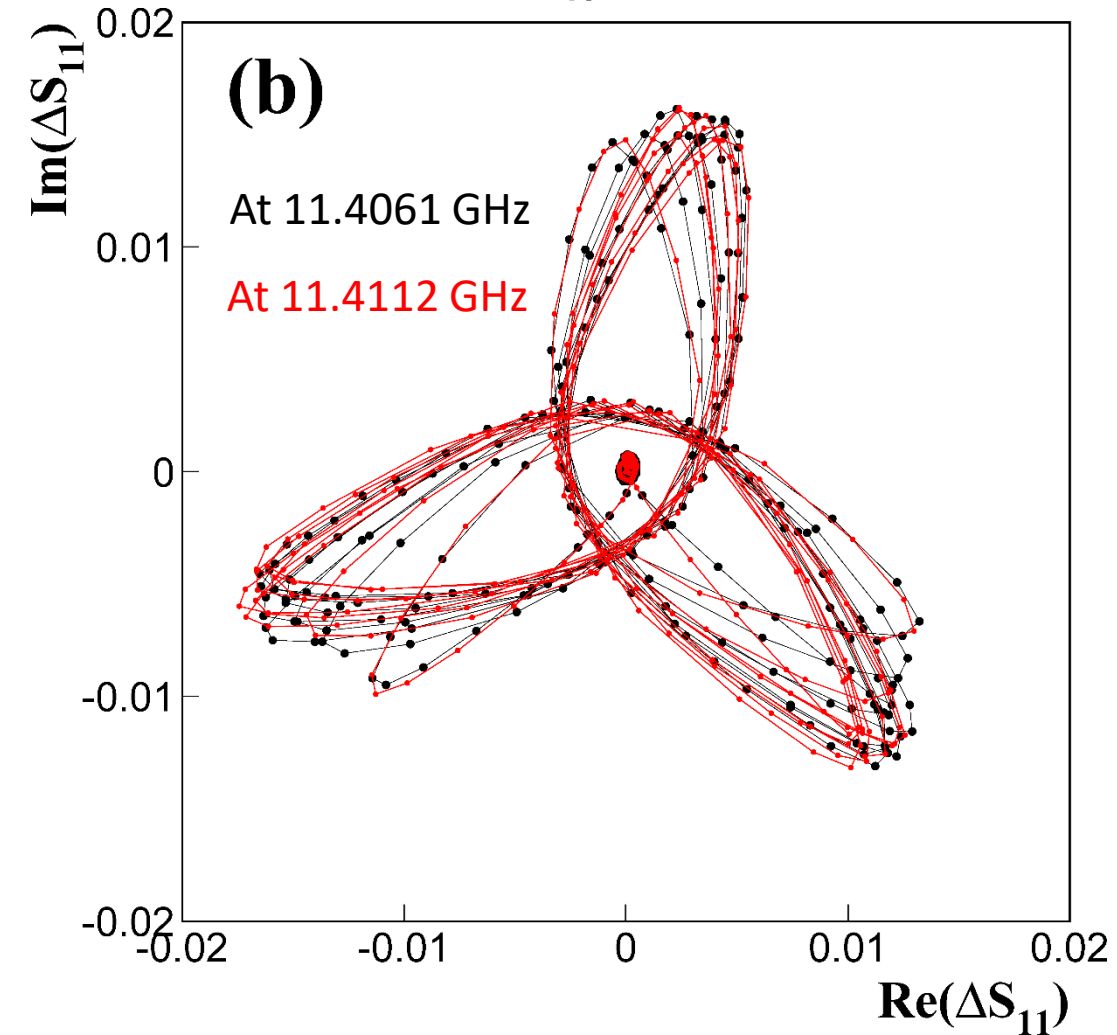
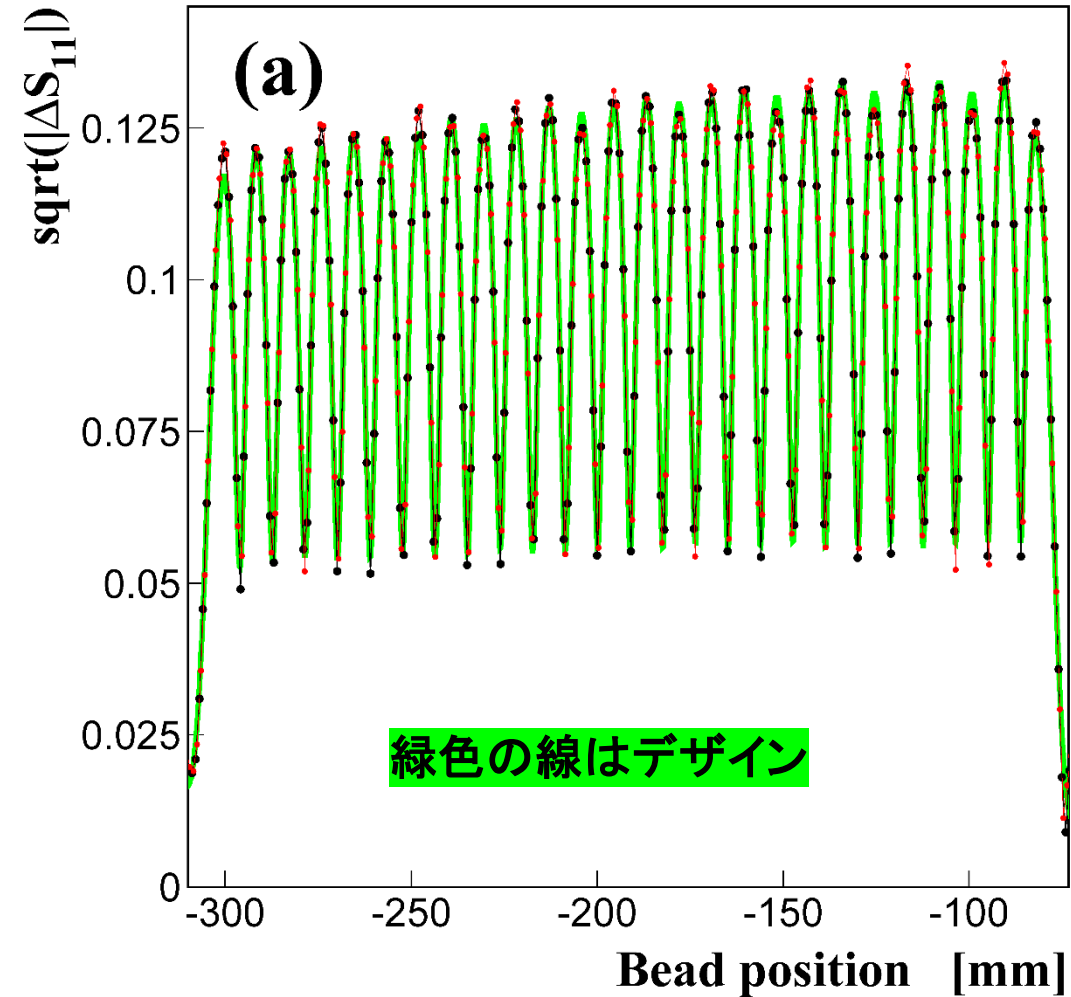
低電力RF測定の設定アップ



【RF測定結果1】EBWの前(黒)と後(赤)

フィールド分布 (周波数チューニングはまだ行っていない)

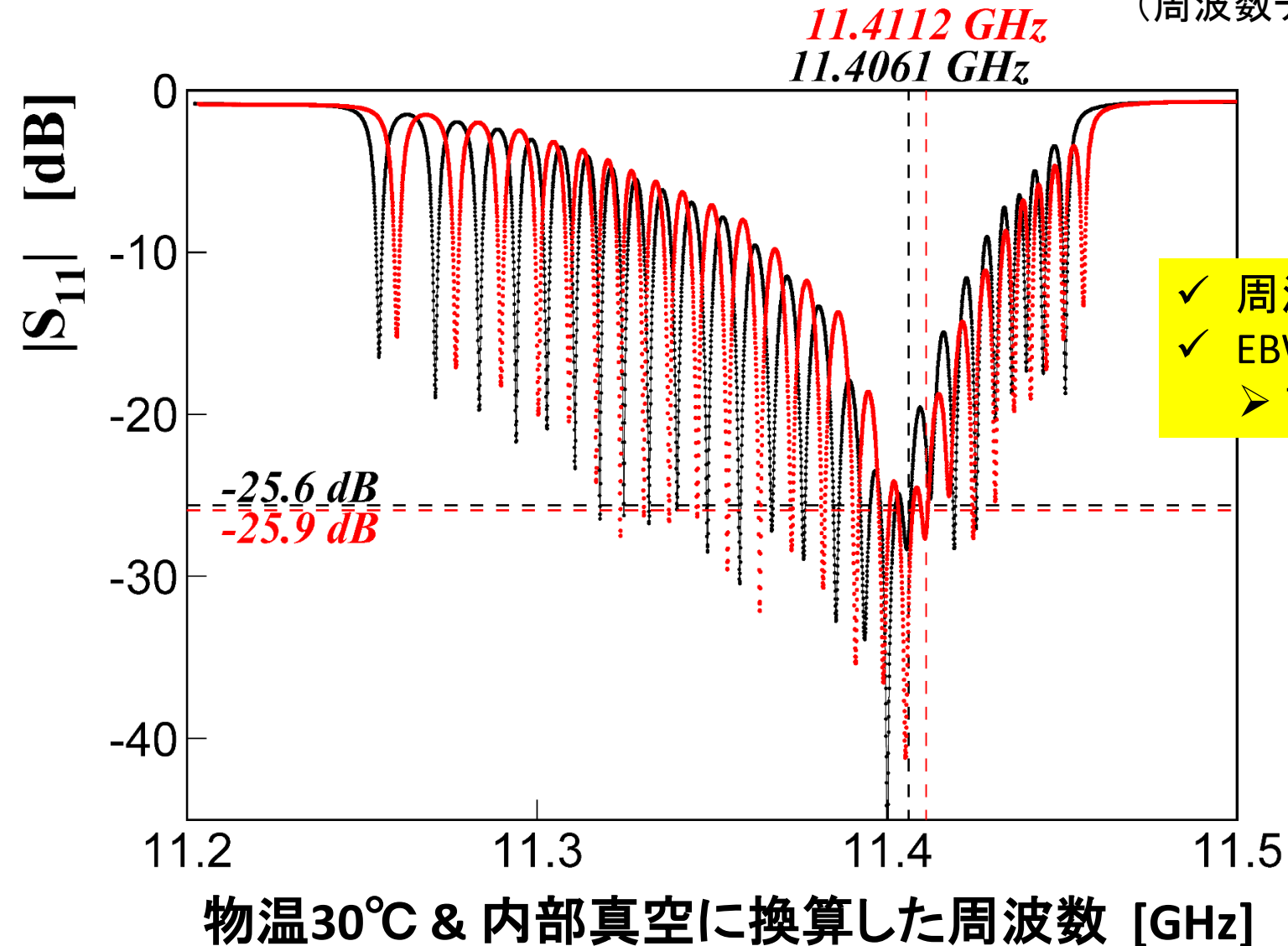
位相進み



EBW前後で大きな変化なし

【RF測定結果2】EBWの前(黒)と後(赤)

(周波数チューニングはまだ行っていない)



- ✓ 周波数チューニング前だが十分良い (< -25dB)
- ✓ EBWによる周波数変化: +5.1 MHz
 - 調整範囲: ±40 MHz より十分小さい

まとめ

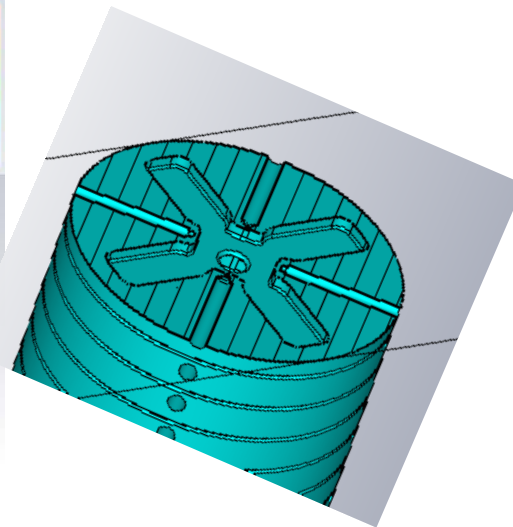
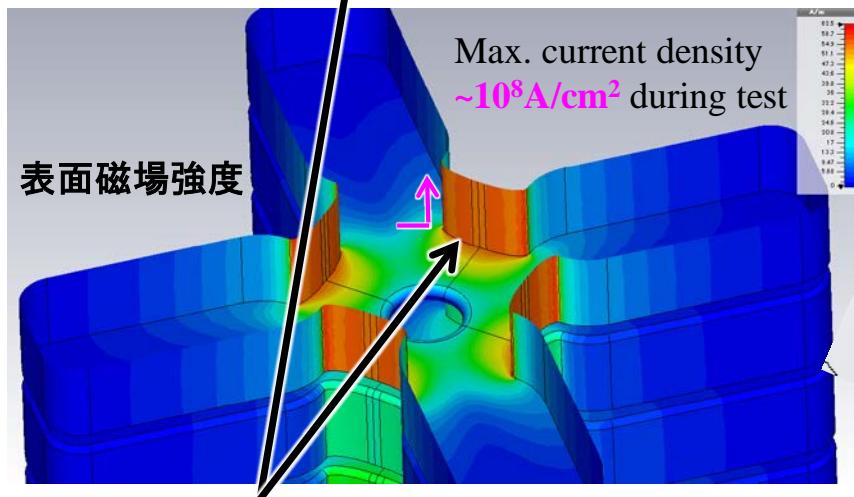
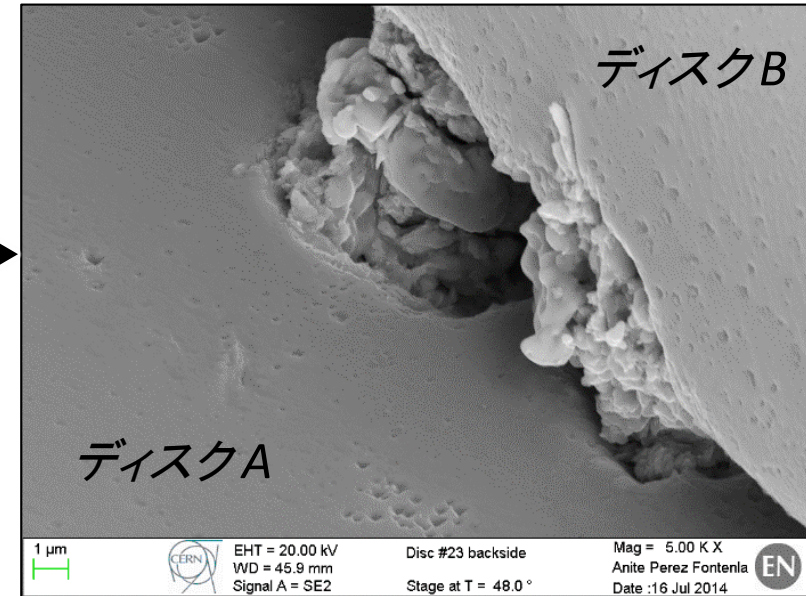
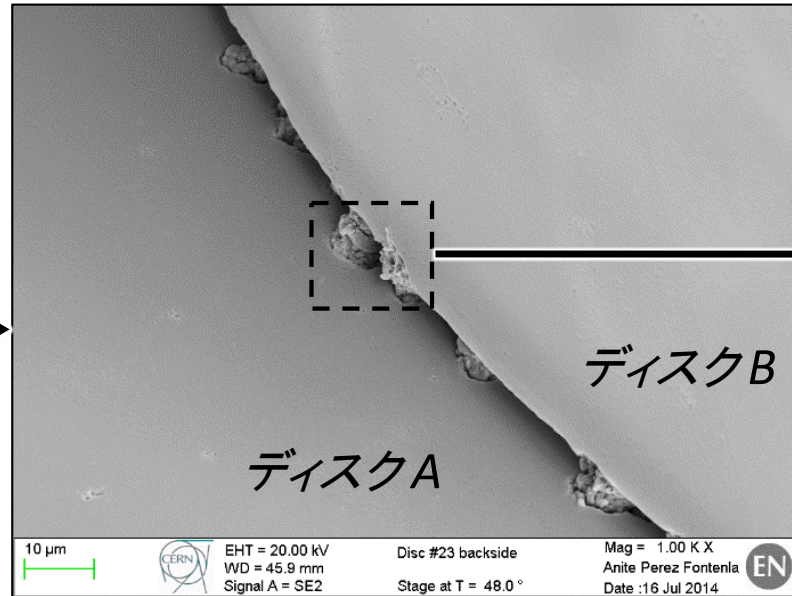
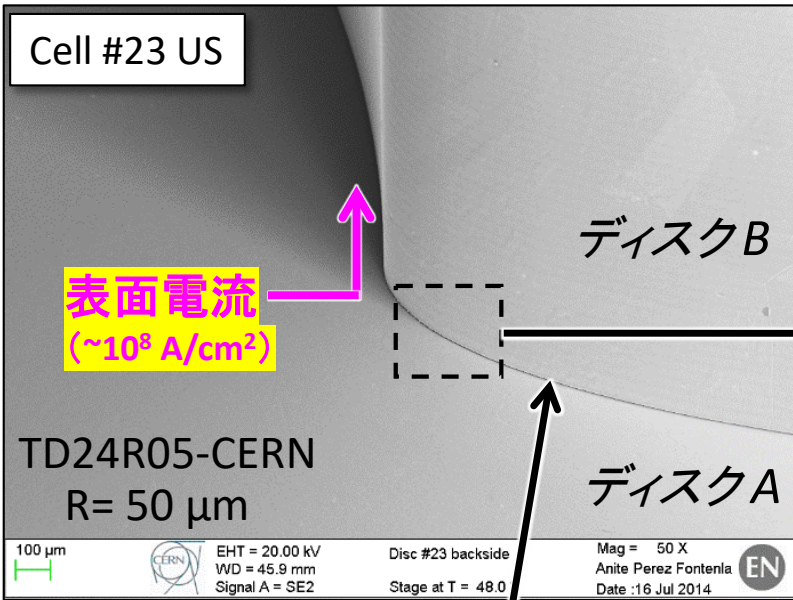
- 4分割方式の利点：
 - 加速モードによる表面電流が接合箇所を渡らない
 - 大幅な製作コスト削減の可能性
- 旧4分割方式では、高電界性能は出なかった(18セルの進行波管を使用)
- 改良4分割方式を考案し、単セル型定在波空洞を使って、その高電界性能を実証した
- 完全な原理実証のため、24セルの進行波管を改良4分割方式で製作
 - Quadrants の接合には、電子ビーム溶接(EBW)を使った
 - EBW前後で、RF特性に変化なし(RF特性自体も問題なし)
 - 製作方法は確立した

→ 高電界試験を計画中

補足資料

【ディスク方式Xバンド加速管】拡散接合の不具合？

高電界試験後のSEM検査



拡散接合箇所

真空封止には成功しても、
拡散接合箇所、「異物」や「隙間」
が見られることがある。

End of This File