

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

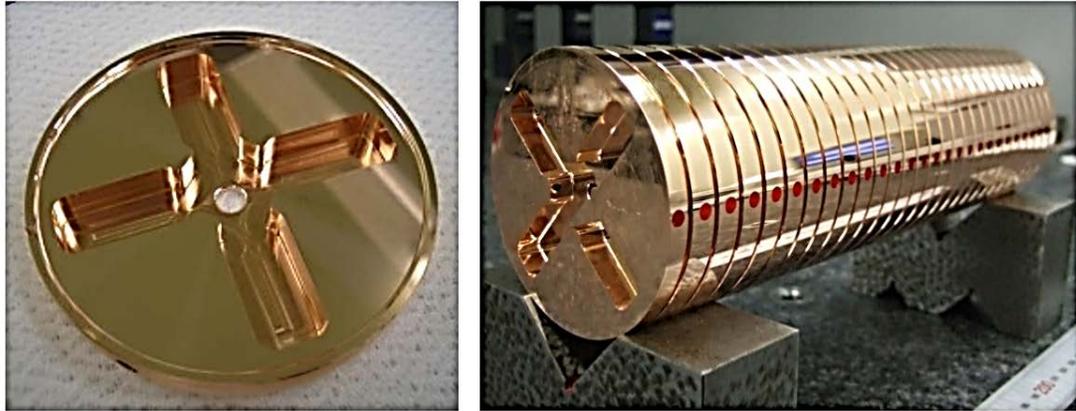
高エネルギー加速器研究機構(KEK)／加速器研究施設

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・スタック方式」



減衰型ディスク スタックした状態(拡散接合後)

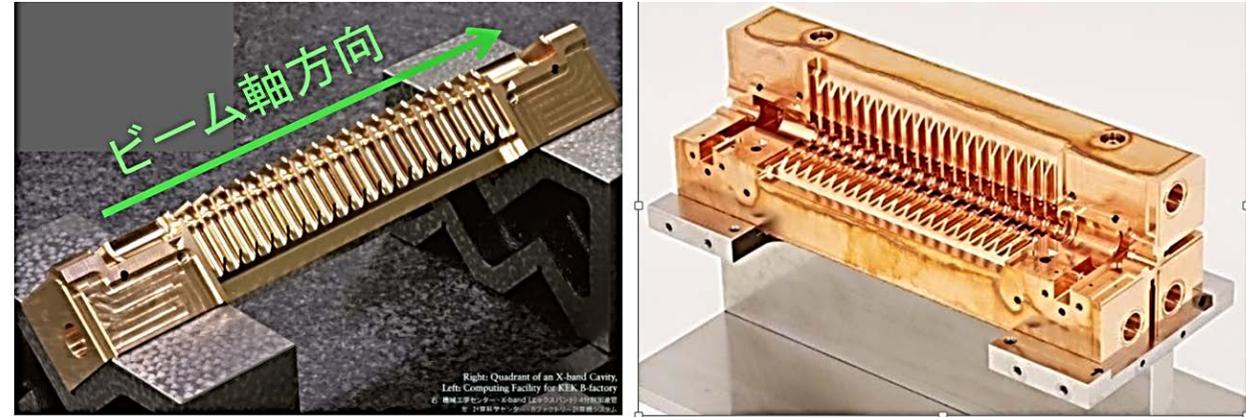
■ 利点

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

■ 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が見込める
 - 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

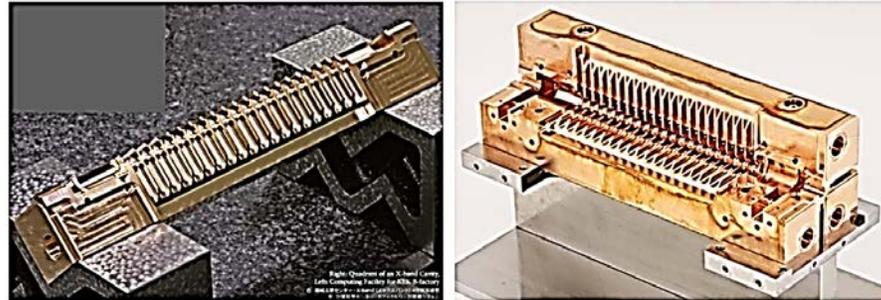
■ 欠点

- ✓ すべてミリング加工なので、表面粗さ大 ($R_a = \sim 50 \mu\text{m}$)
- ✓ 加工によるダメージが深い($10 \mu\text{m}$ 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

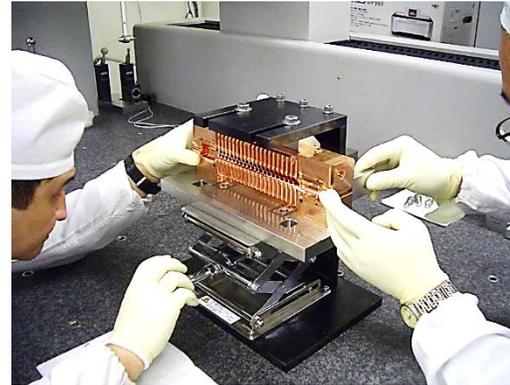
CLICプロトタイプ加速管 (TD18) を4分割方式で製作 (2008年、by KEK and SLAC)

TD18_Quad

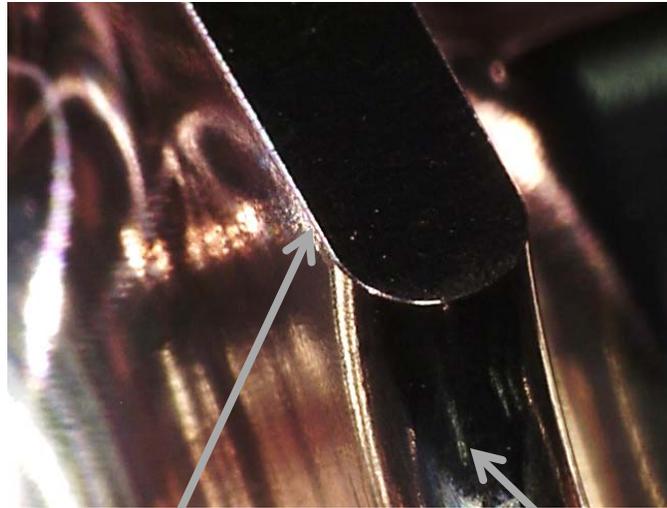
超精密ミリング加工 (輪郭度: $5\mu\text{m}$)



超精密アライメント (精度: $5\mu\text{m}$)

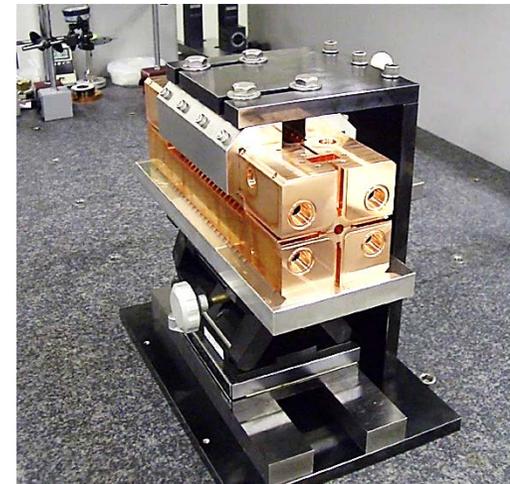


真空容器中へ

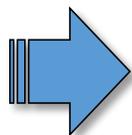
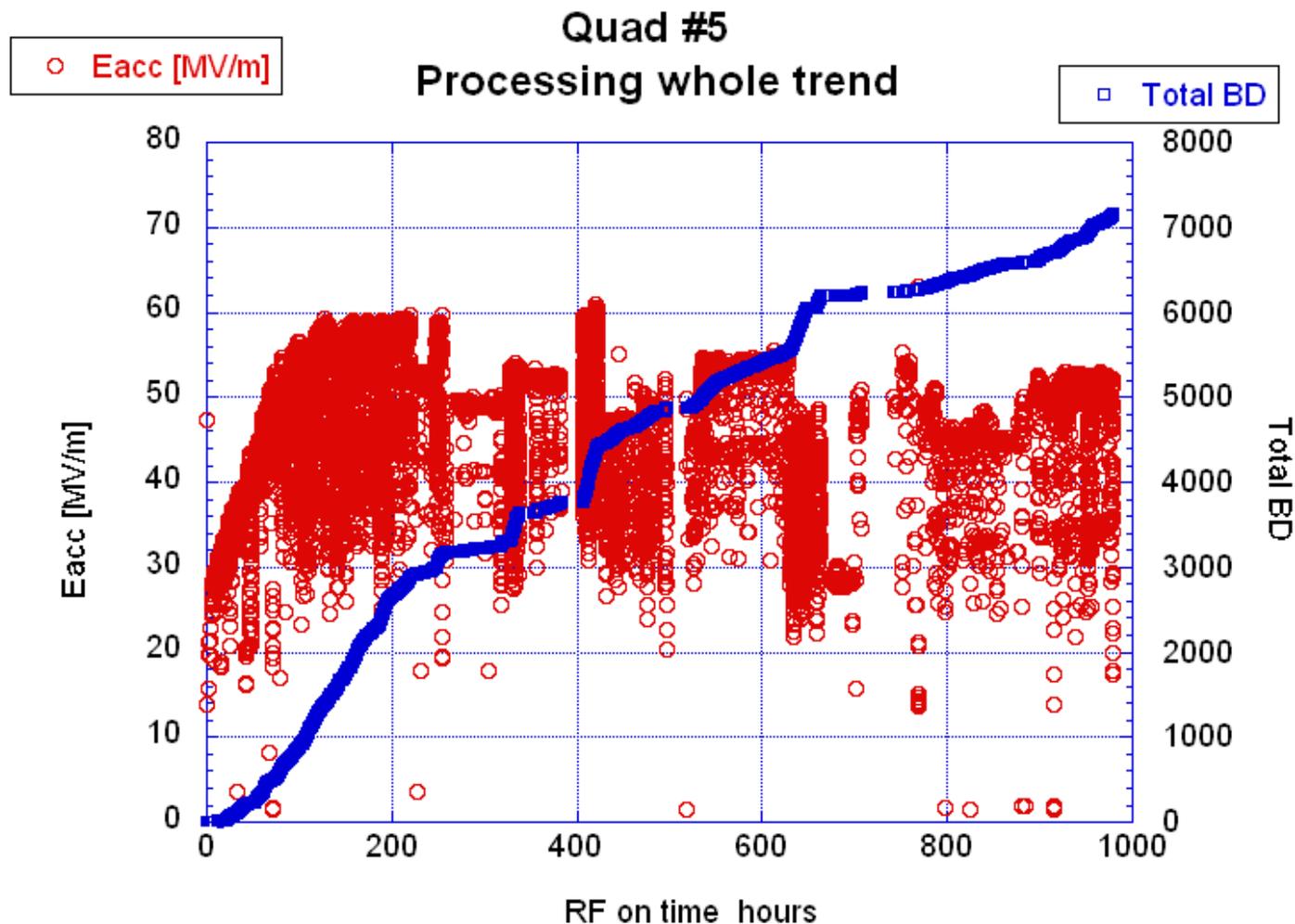


R面取り ($R50\mu\text{m}$)

アイリス



TD18_Quadの高電界試験の結果(2009年)

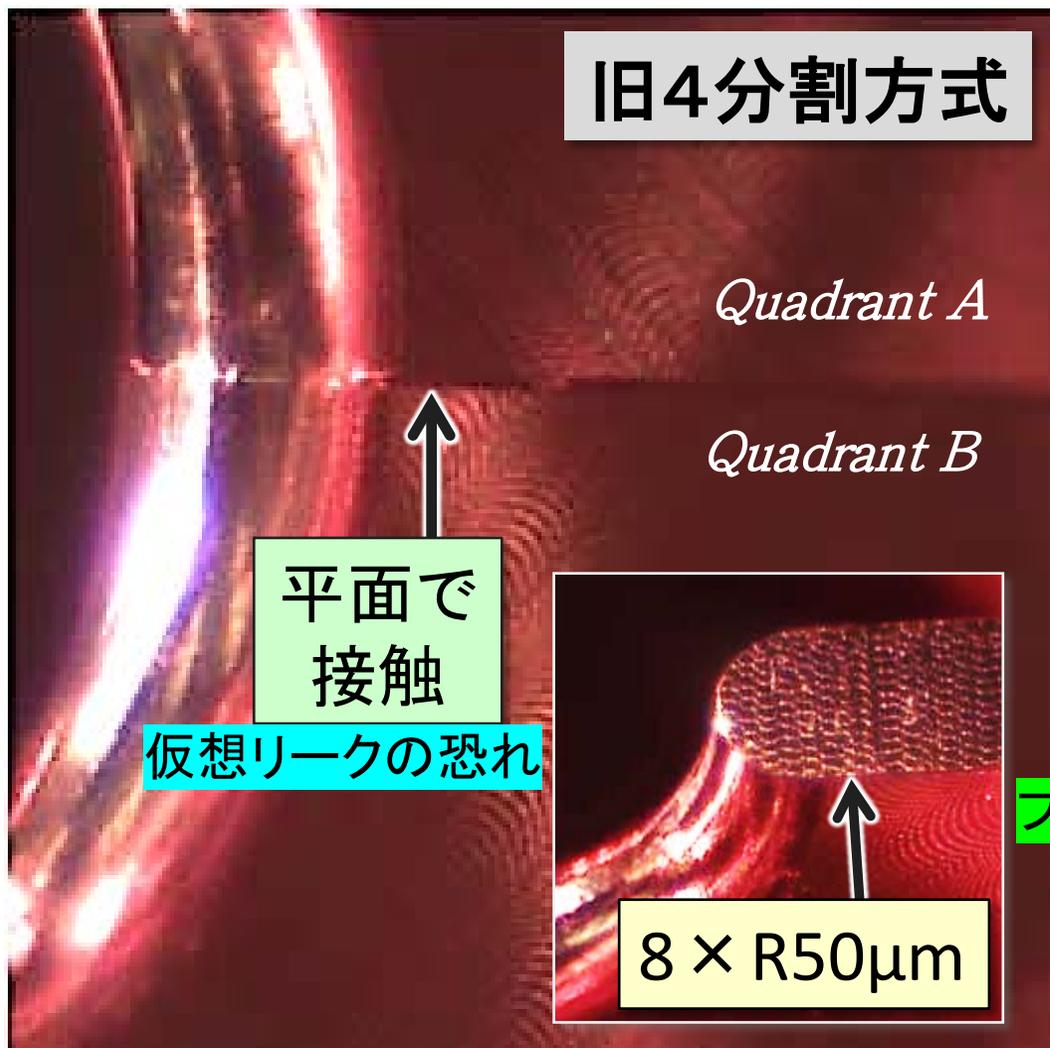


通常は、少なくとも、 $E_{acc} = 100 \text{ MV/m}$ には到達出来るが、この試験では、 $E_{acc} < 60 \text{ MV/m}$ であった。

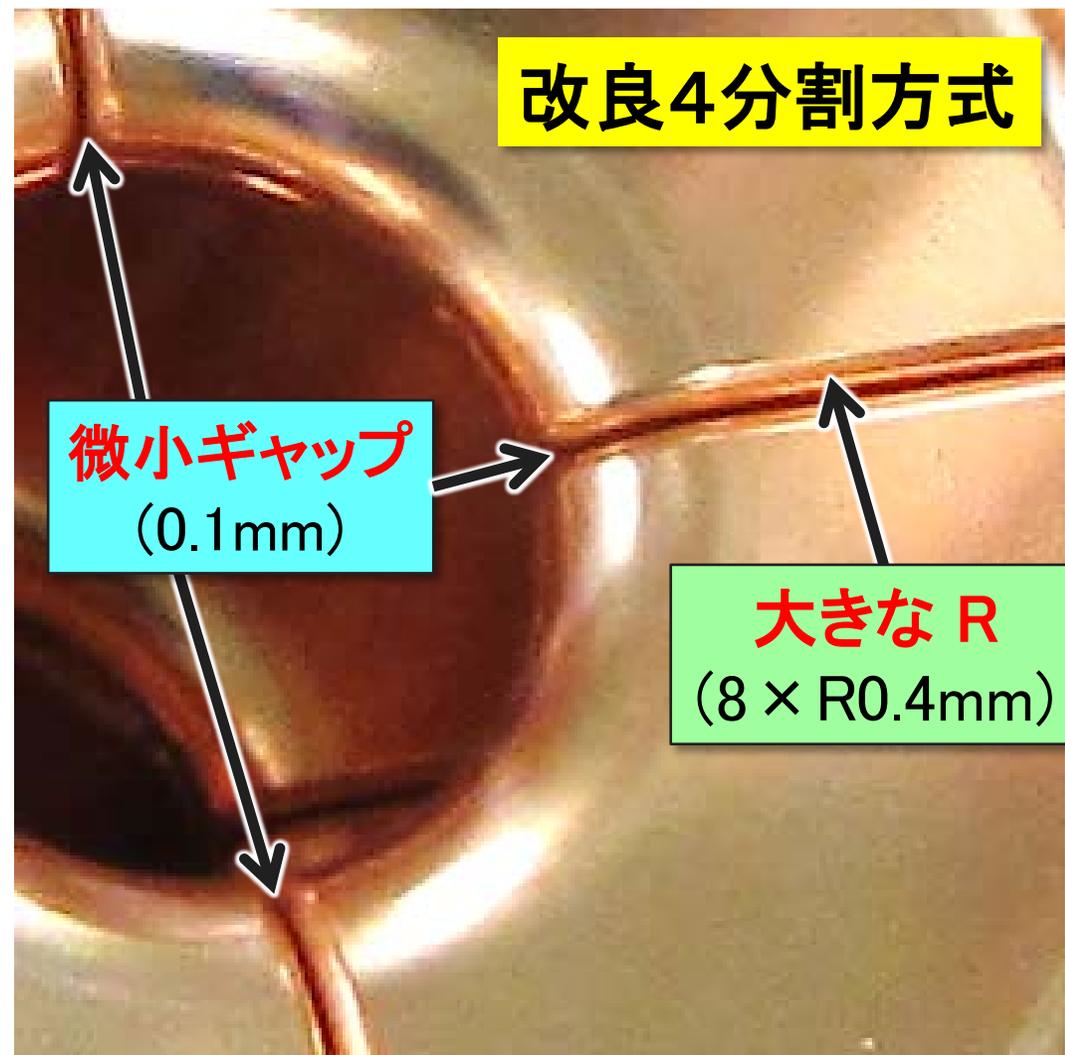
(SLACでは、電解研磨を施したが、結果は同様に悪かった)

「改良4分割方式」を考案

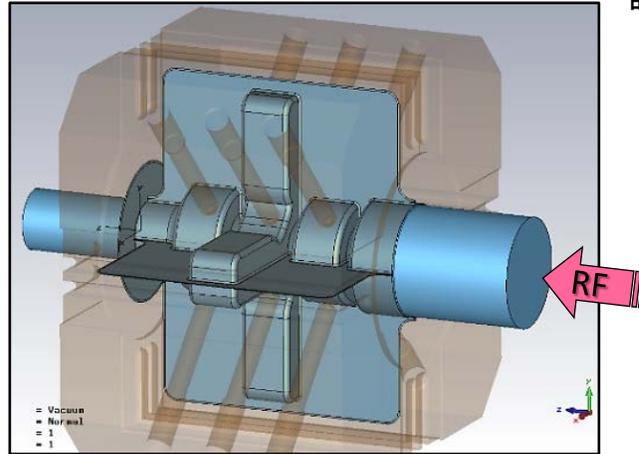
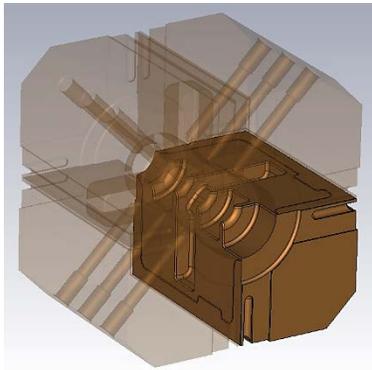
デザインの詳細については、下記参照:



フィールド増大



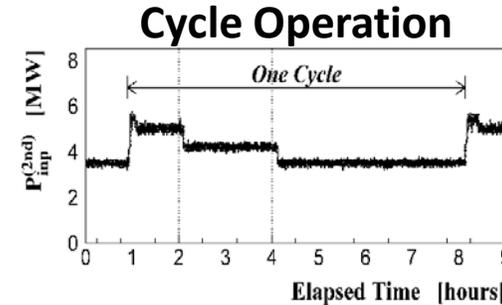
単セル型定在波空洞で改良4分割方式を実証



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

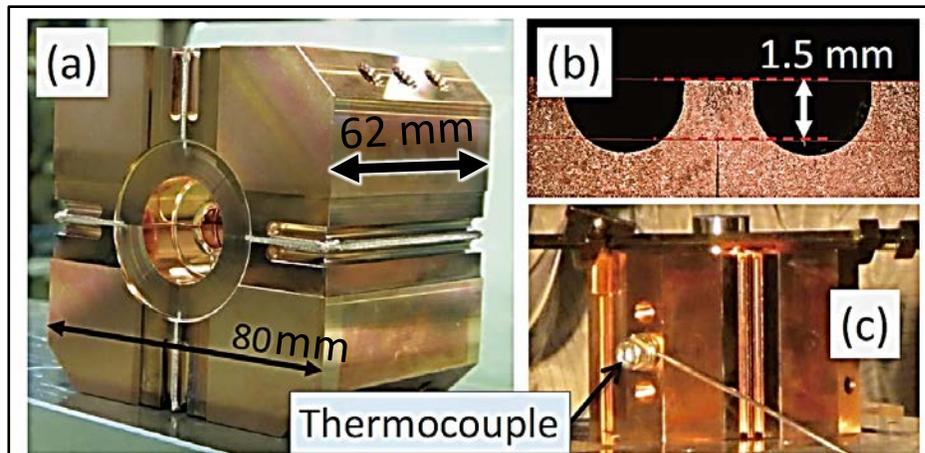
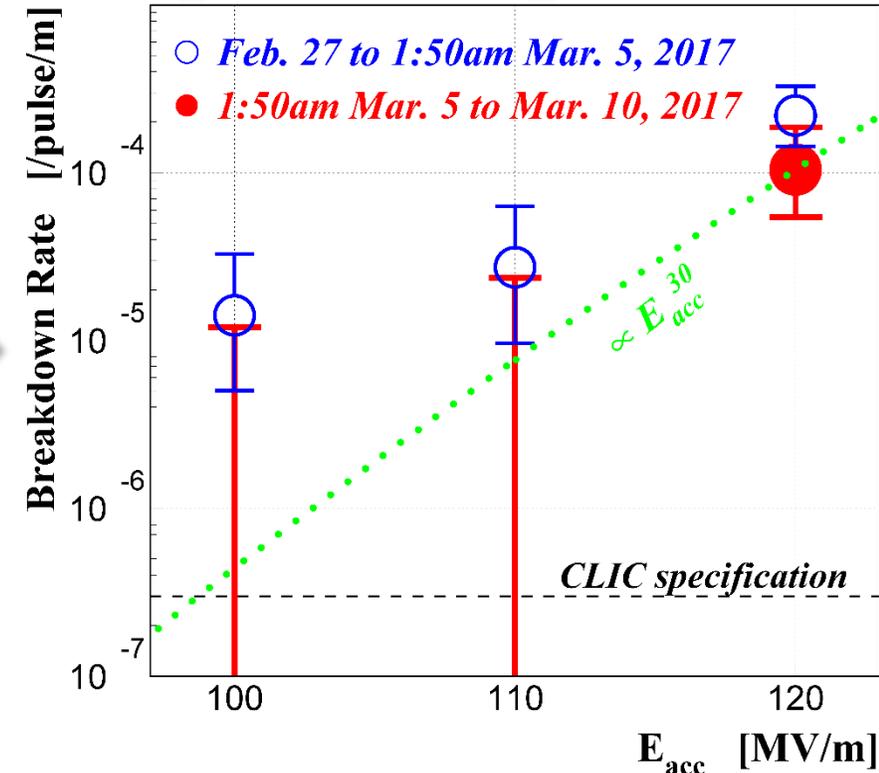
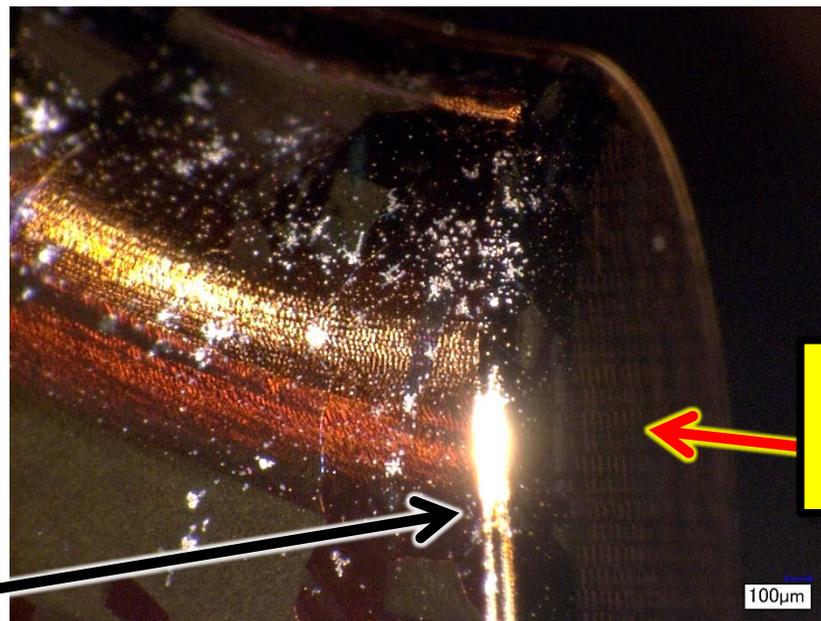
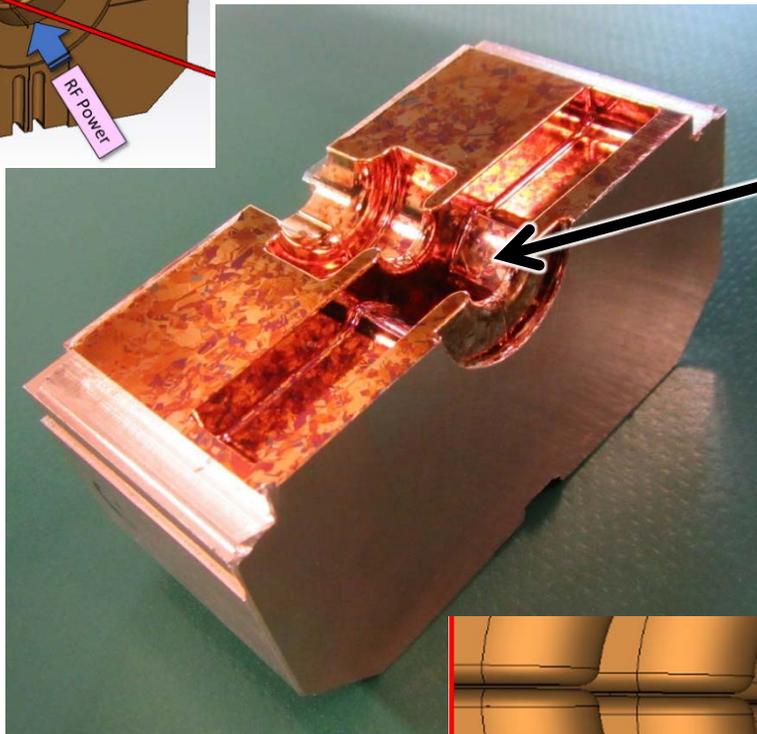
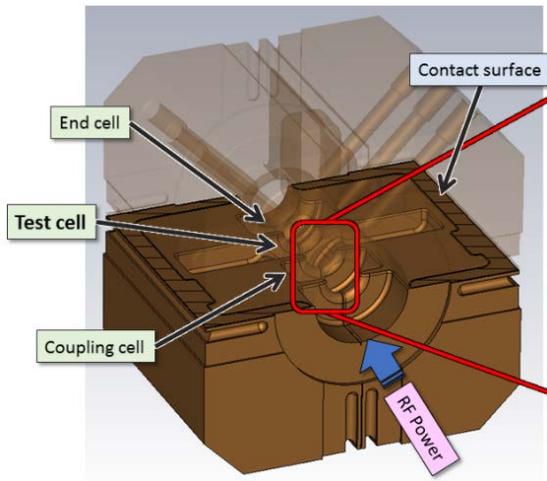


Figure 12: EBW of the quadrants. (a) After the EBW. (b) Welding penetration depth for the EBW conditions described in [13]. (c) A thermocouple is attached.

CLICの仕様 (3×10^{-7} breakdowns/pulse/m) を満たせる十分な性能を確認できた!

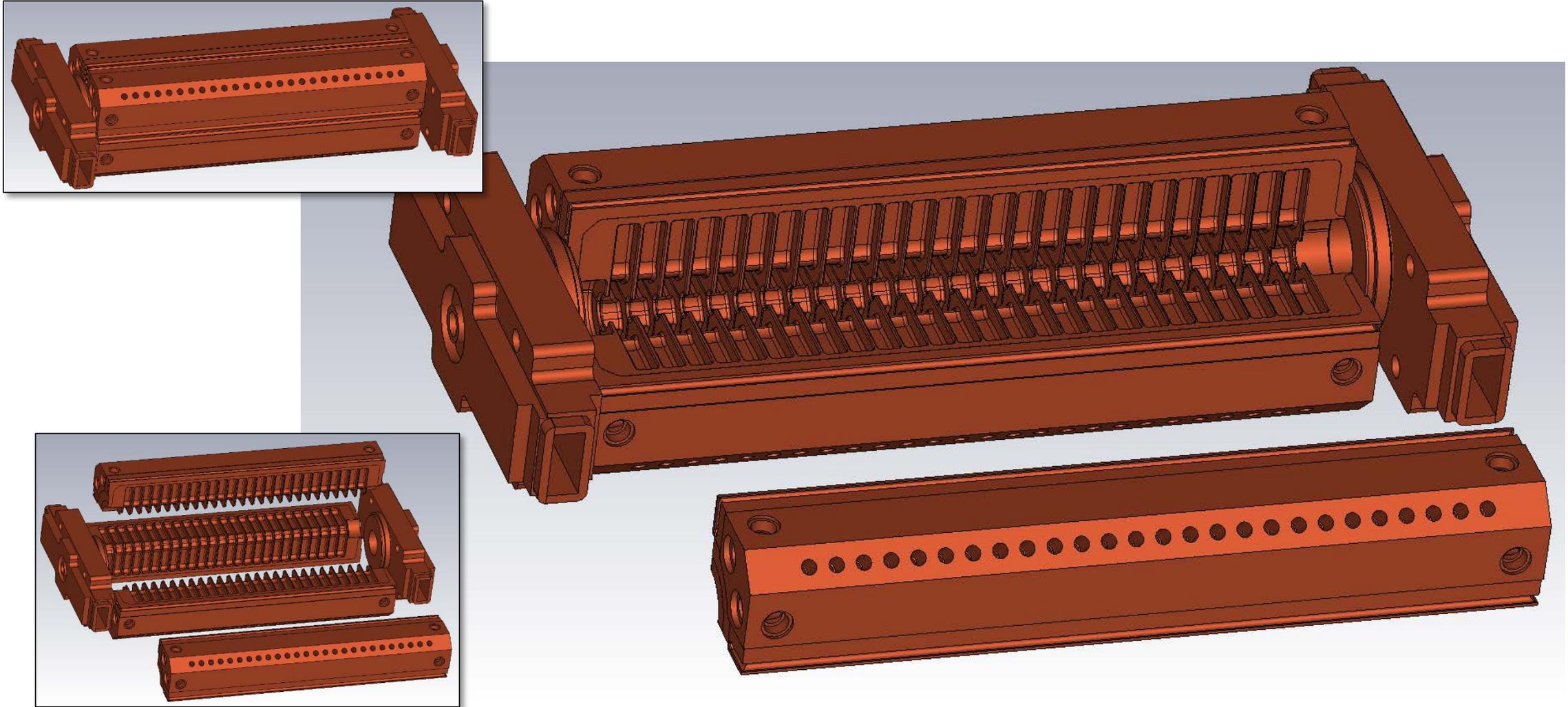
高電界試験後の検査



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

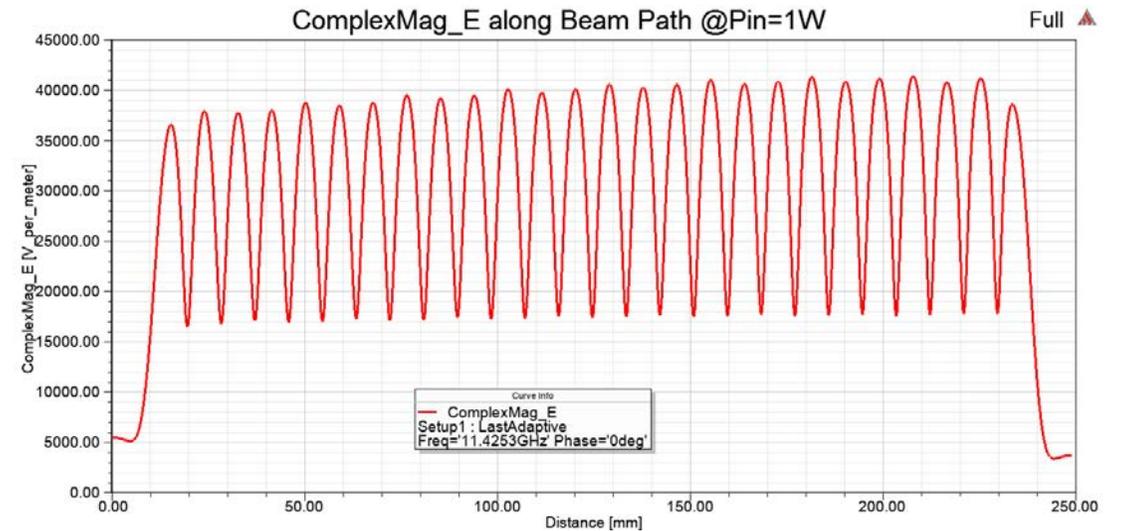
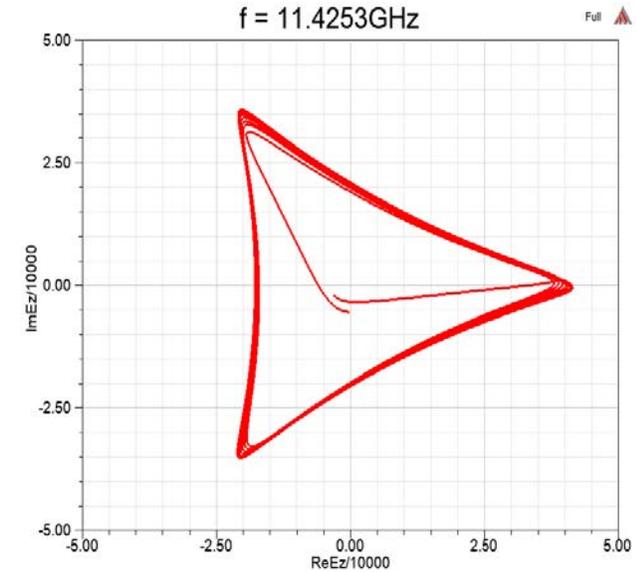
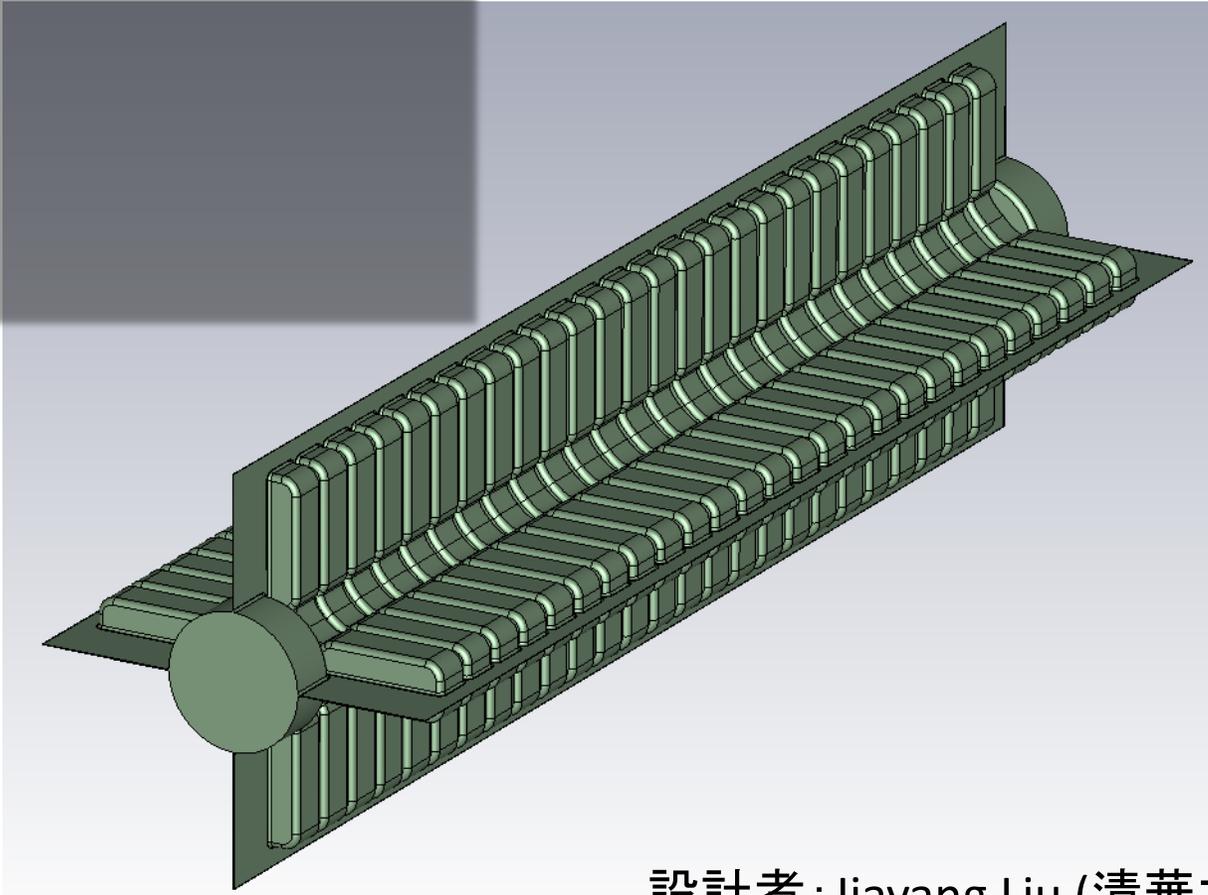
改良4分割方式の完全な原理実証のため、 24セルのCLICプロトタイプ加速管(進行波)を製作



「CLIC-G*」に基づく電気設計

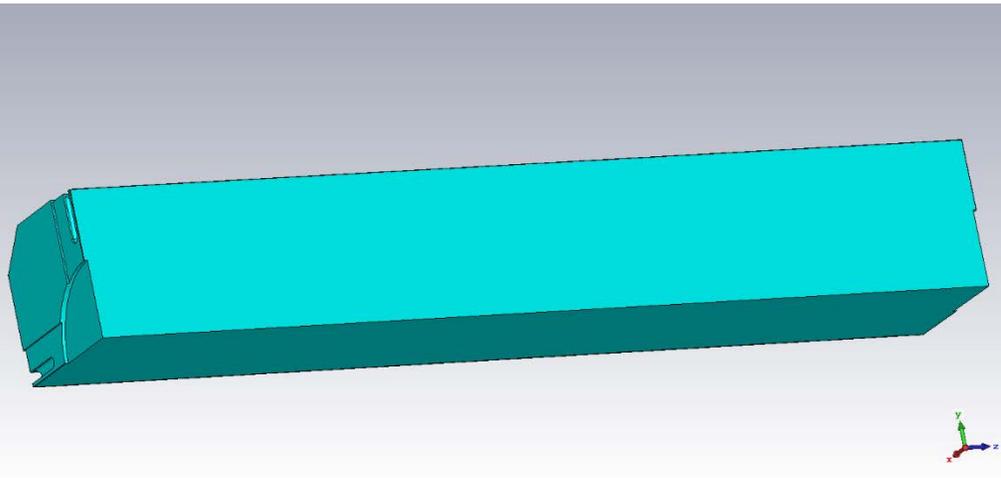
GLIC-G* の詳細は、下記参照:

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

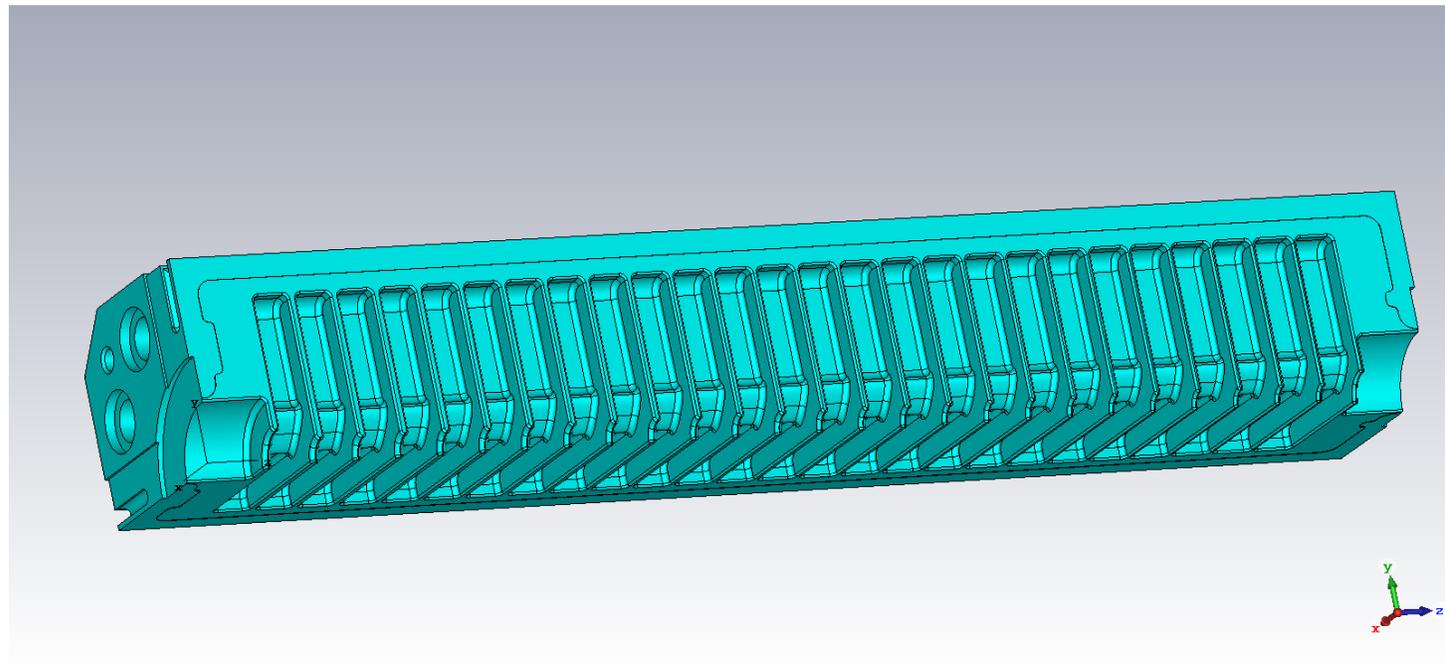
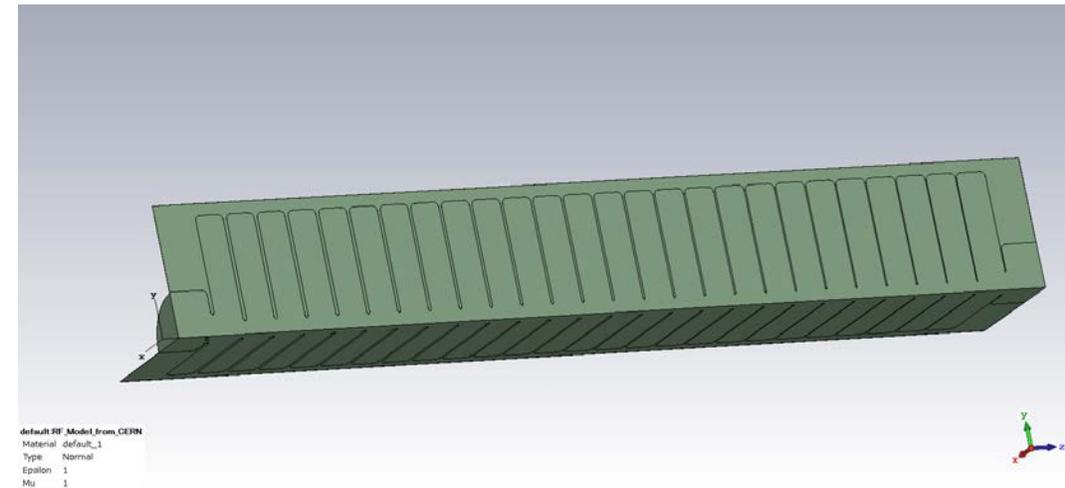


設計者: Jiayang Liu (清華大学)、Alexej Grudiev (CERN)

製作図面(3D)

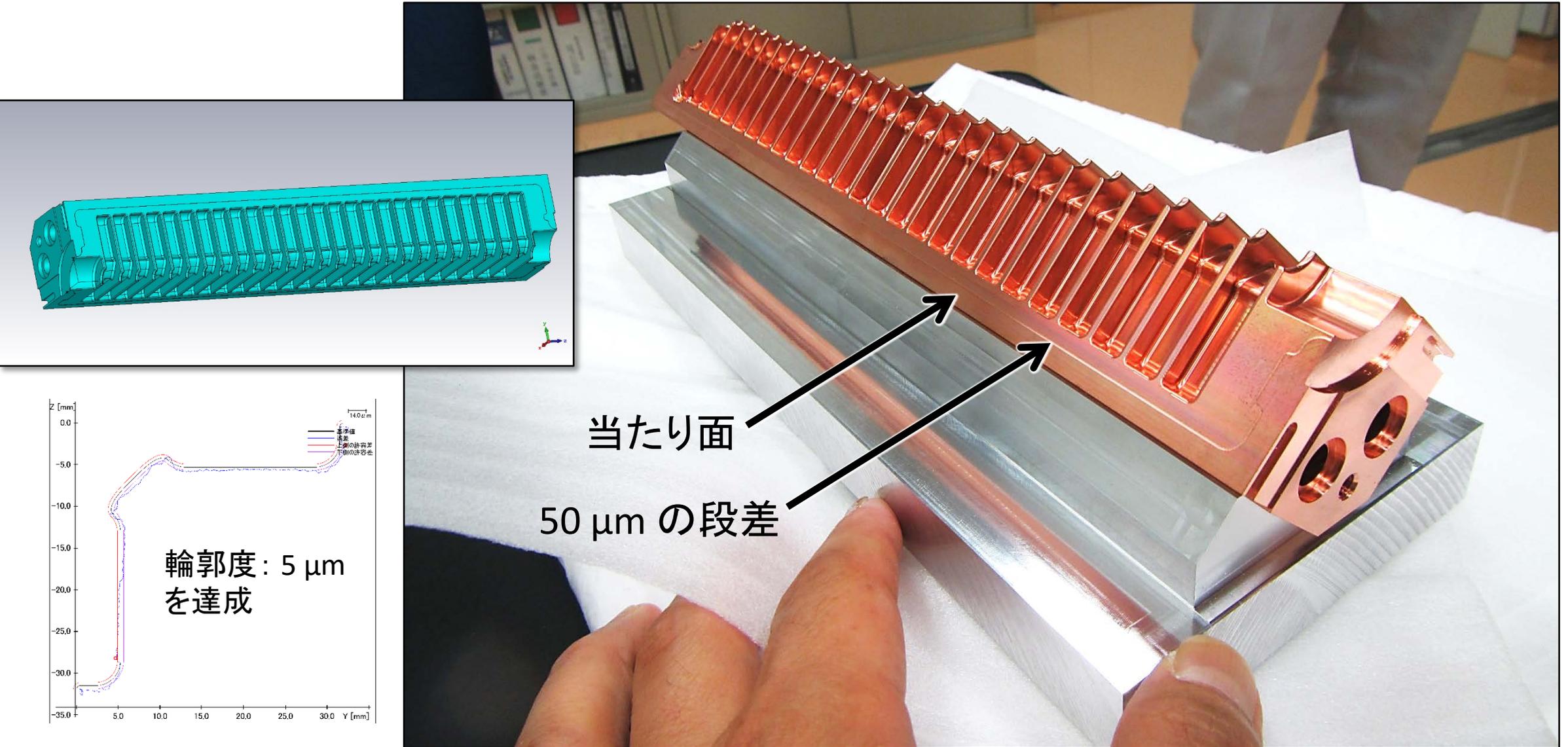


minus

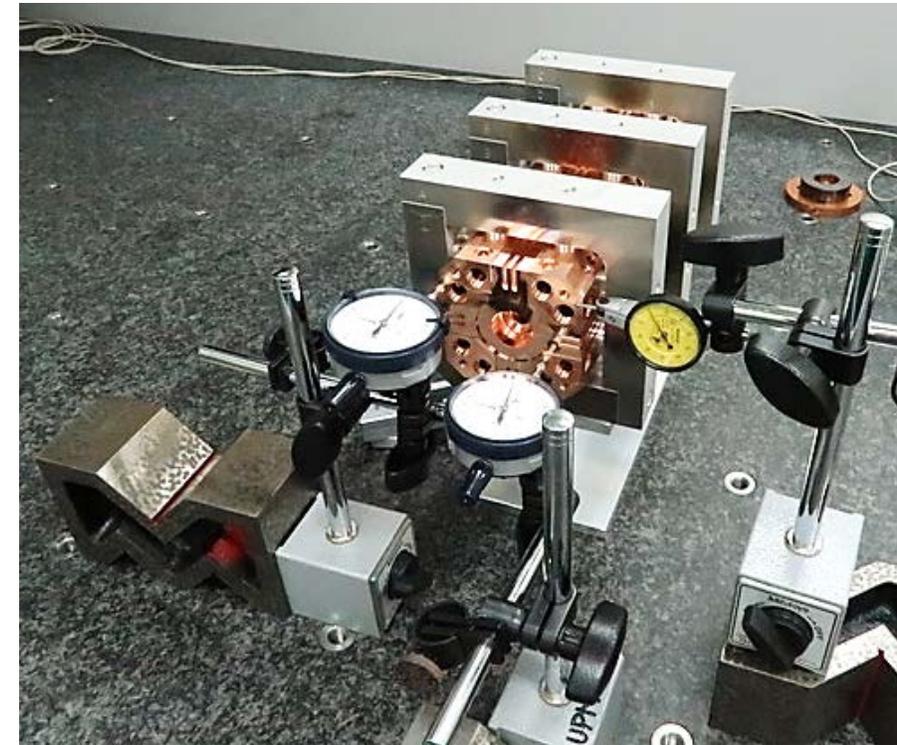
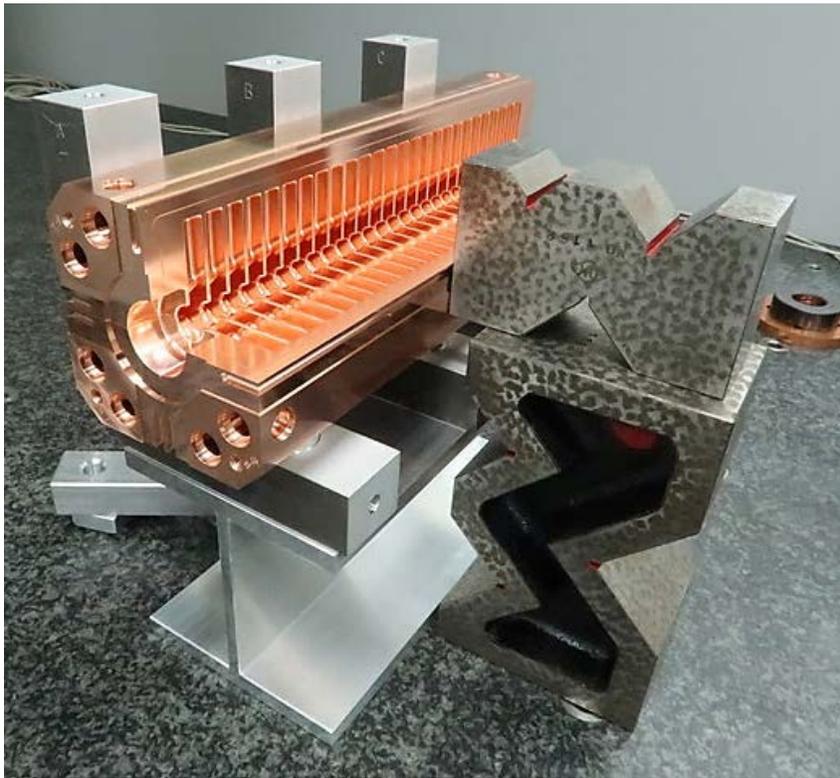


超精密ミリング加工

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

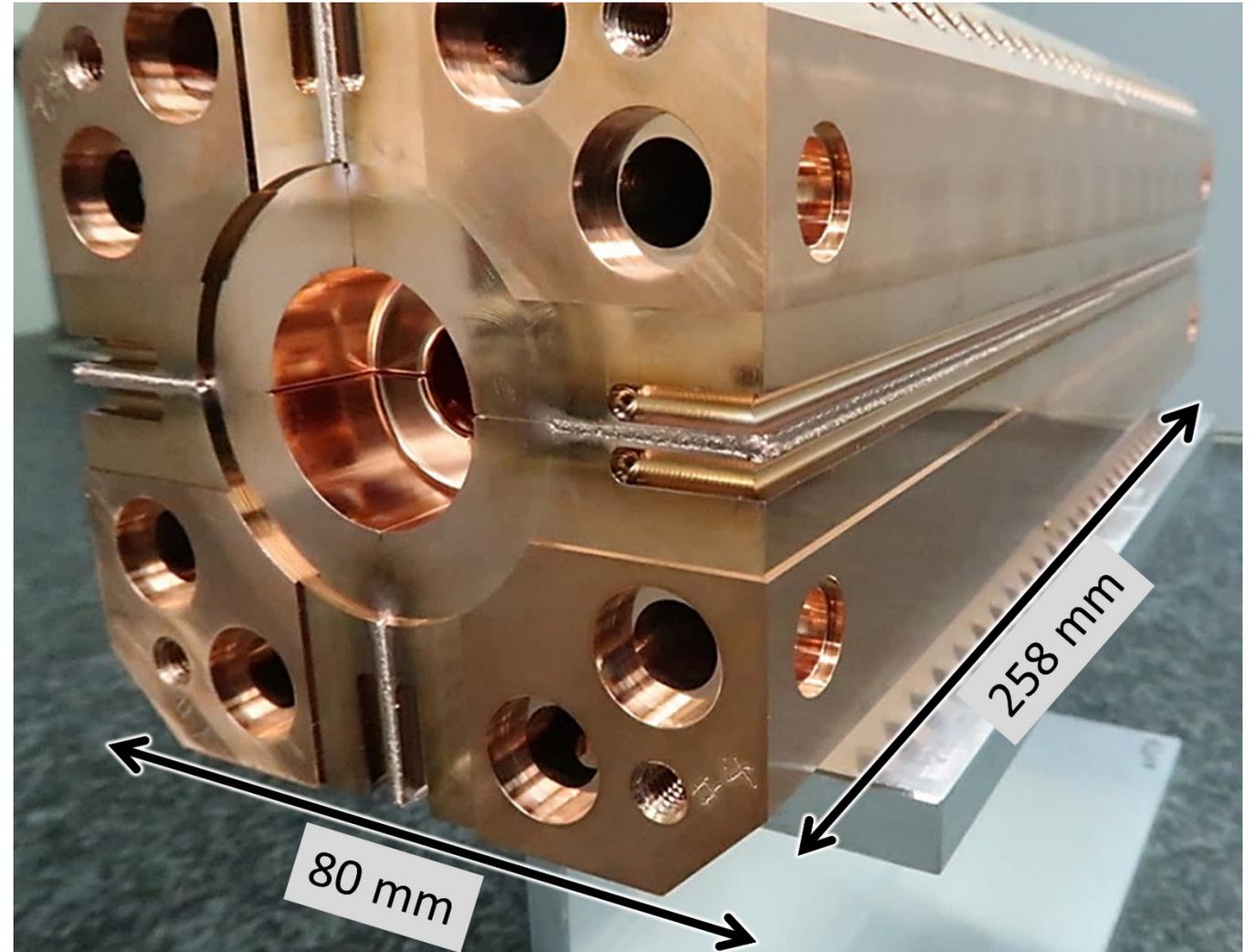
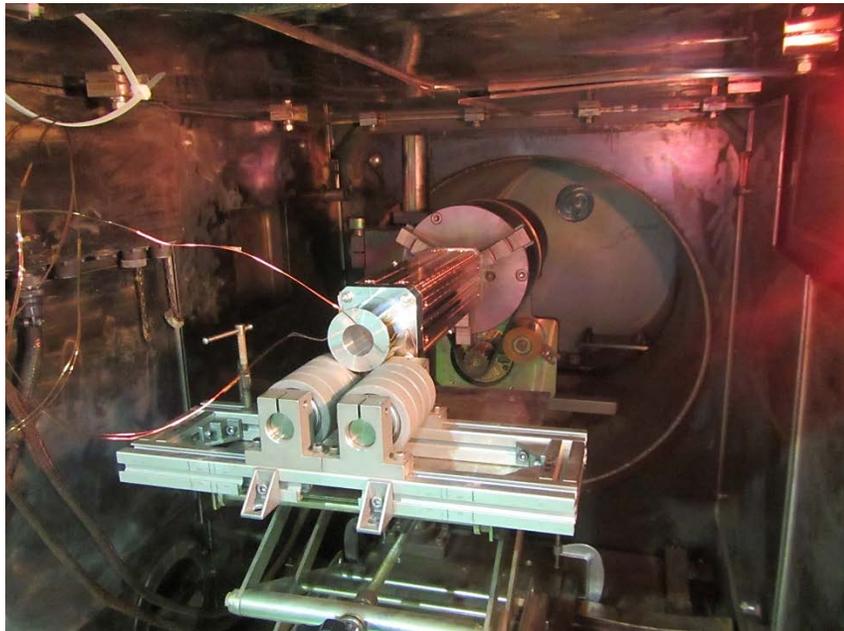
溶接者: [太陽イービーテック](#)

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

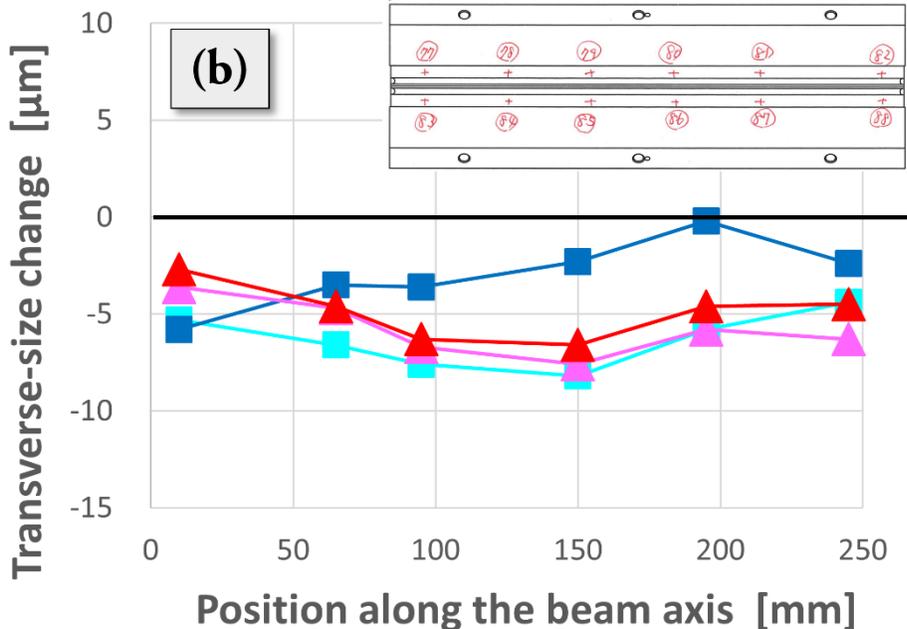
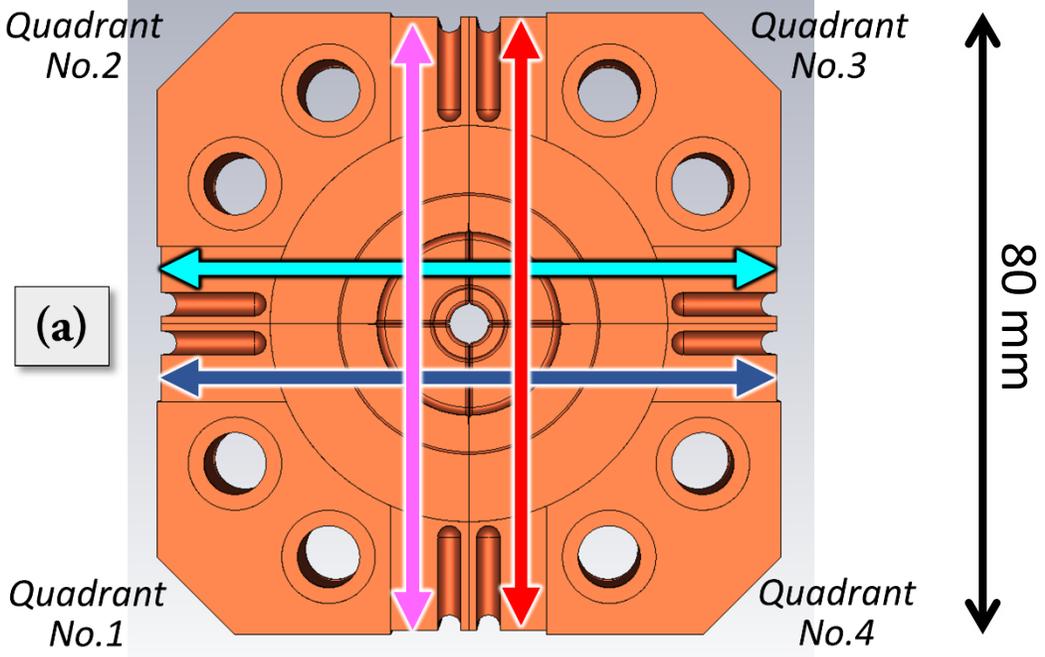


EBWによる直角方向サイズの変化を測定

測定器:カール ツァイスUPMC 850 CARAT

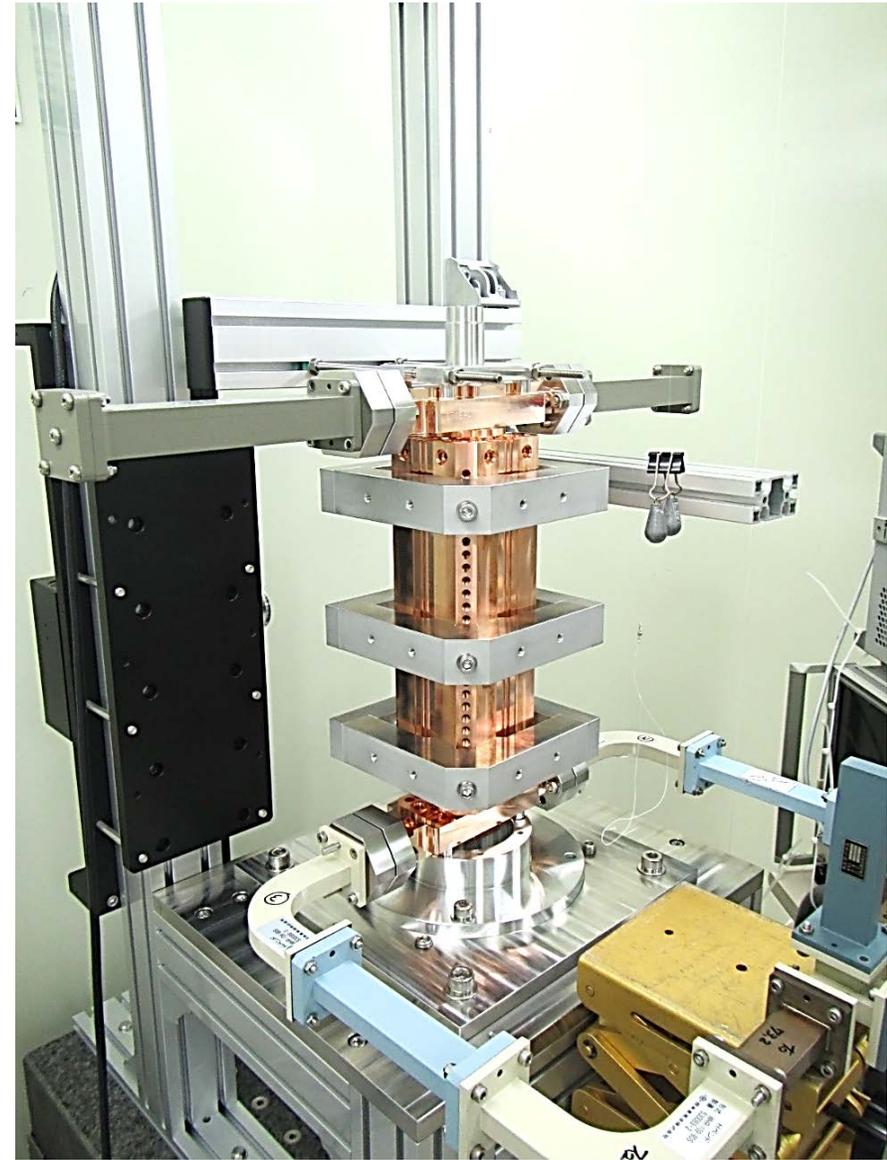


- ✓ 平均で 5 μm の縮み
- ✓ ばらつきは 2~3 μm
- ✓ 一箇所、他と傾向が違う(→ EBWの順番を再検討)



膨張
↑
↓
収縮

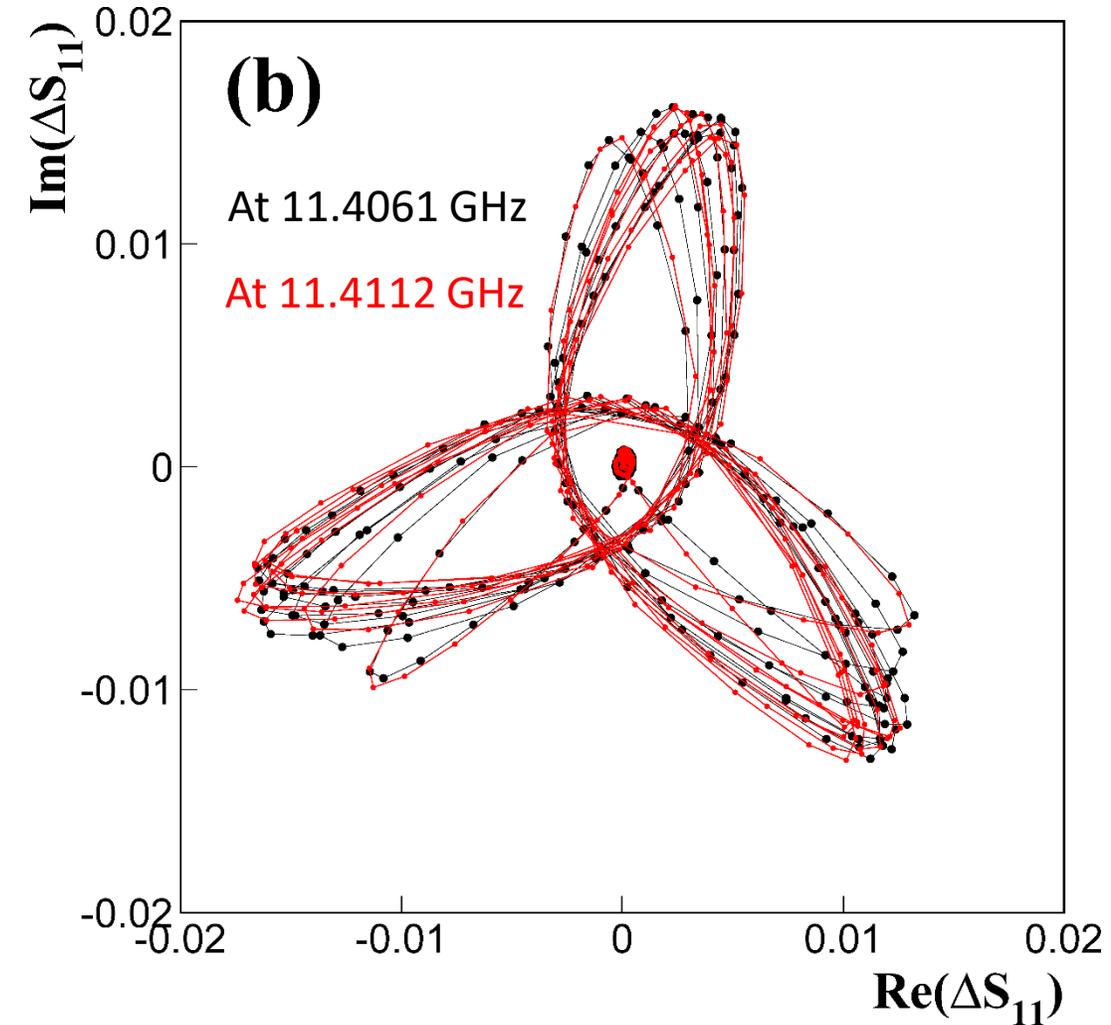
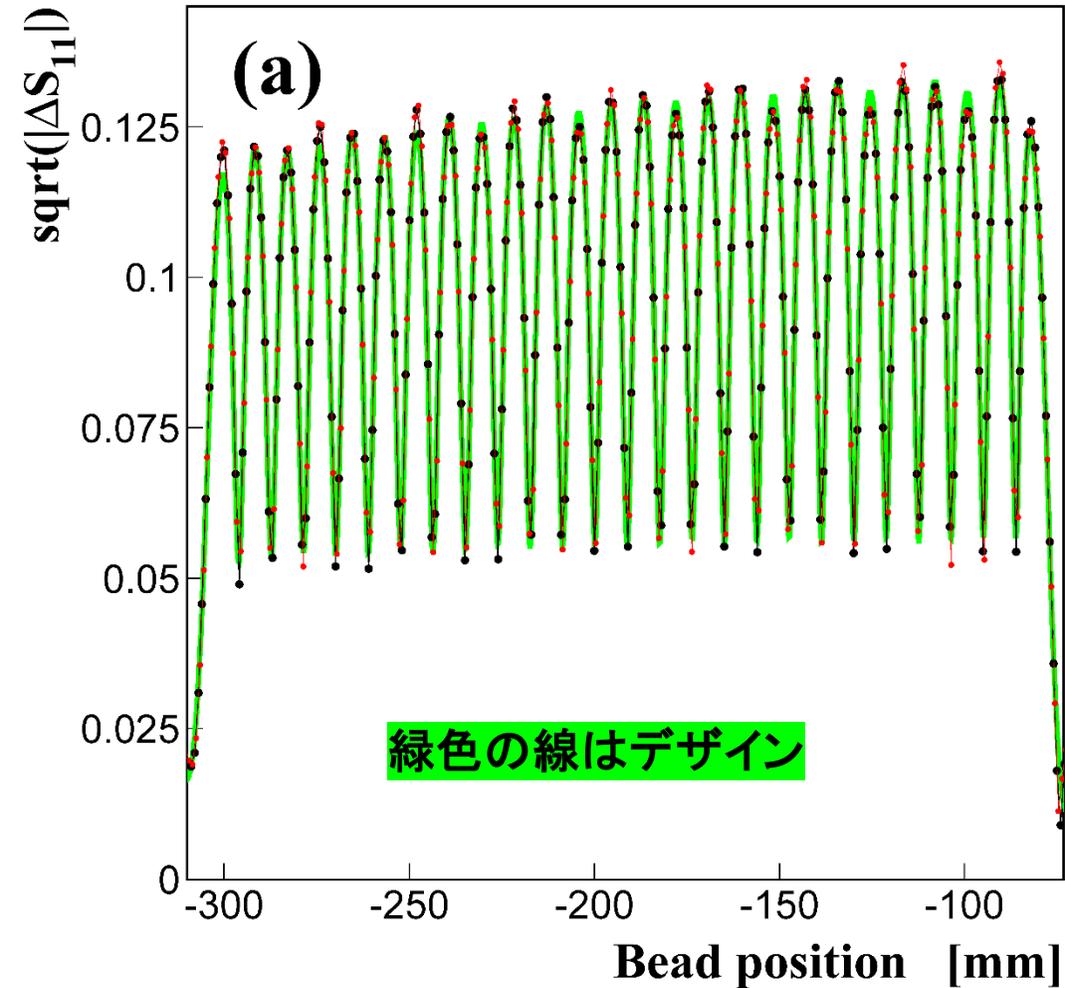
低電力RF測定の設定アップ



【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)

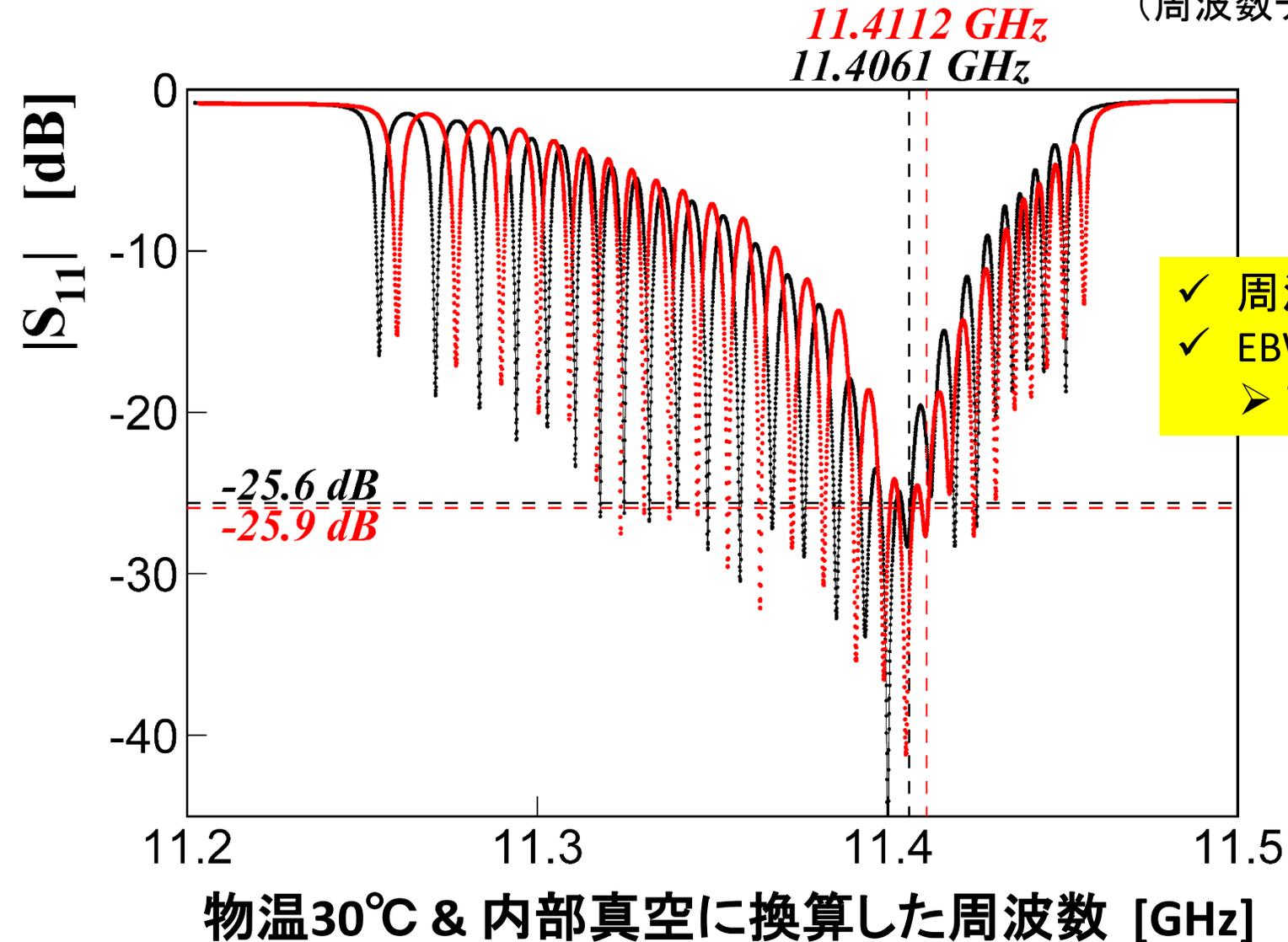
位相進み



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

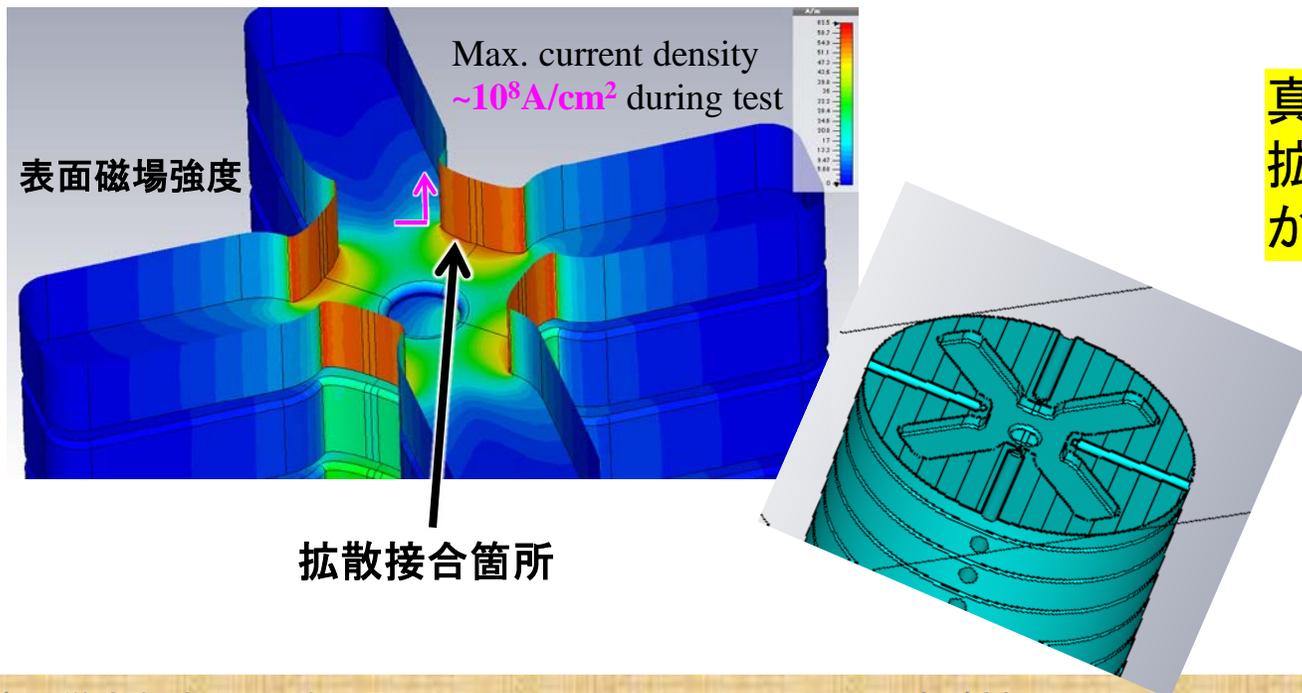
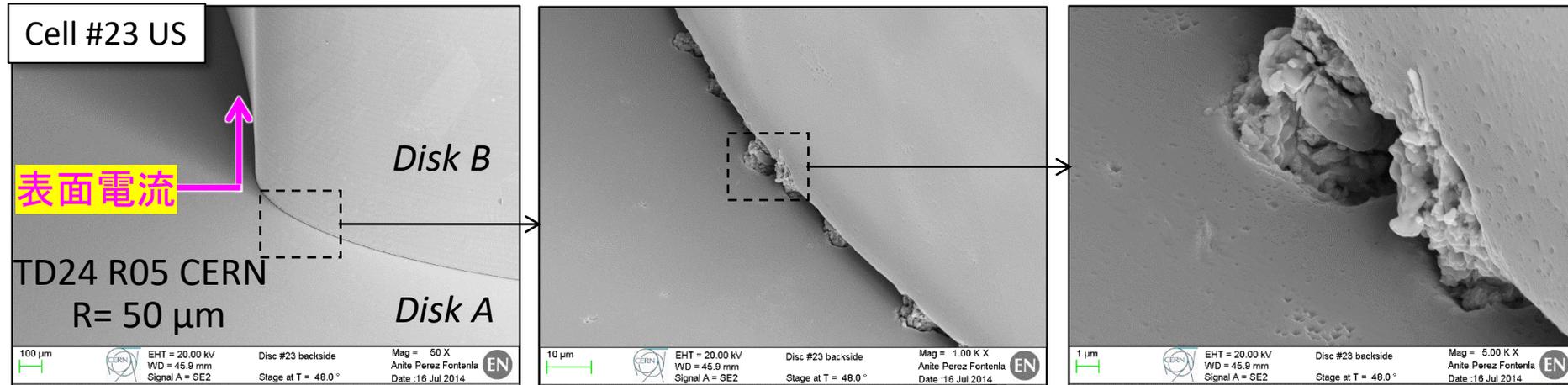
まとめ

- 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
 - 単セル型定在波空洞を使って、改良4分割方式を実証した
 - 24セルのCLICプロトタイプ加速管（進行波）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）
- 高電界試験を計画中

ご清聴、ありがとうございました

補足資料

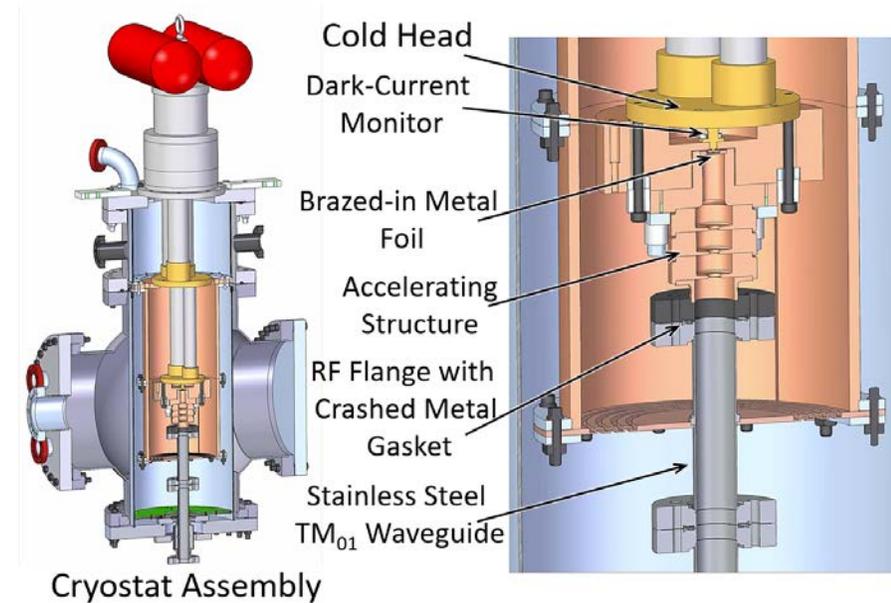
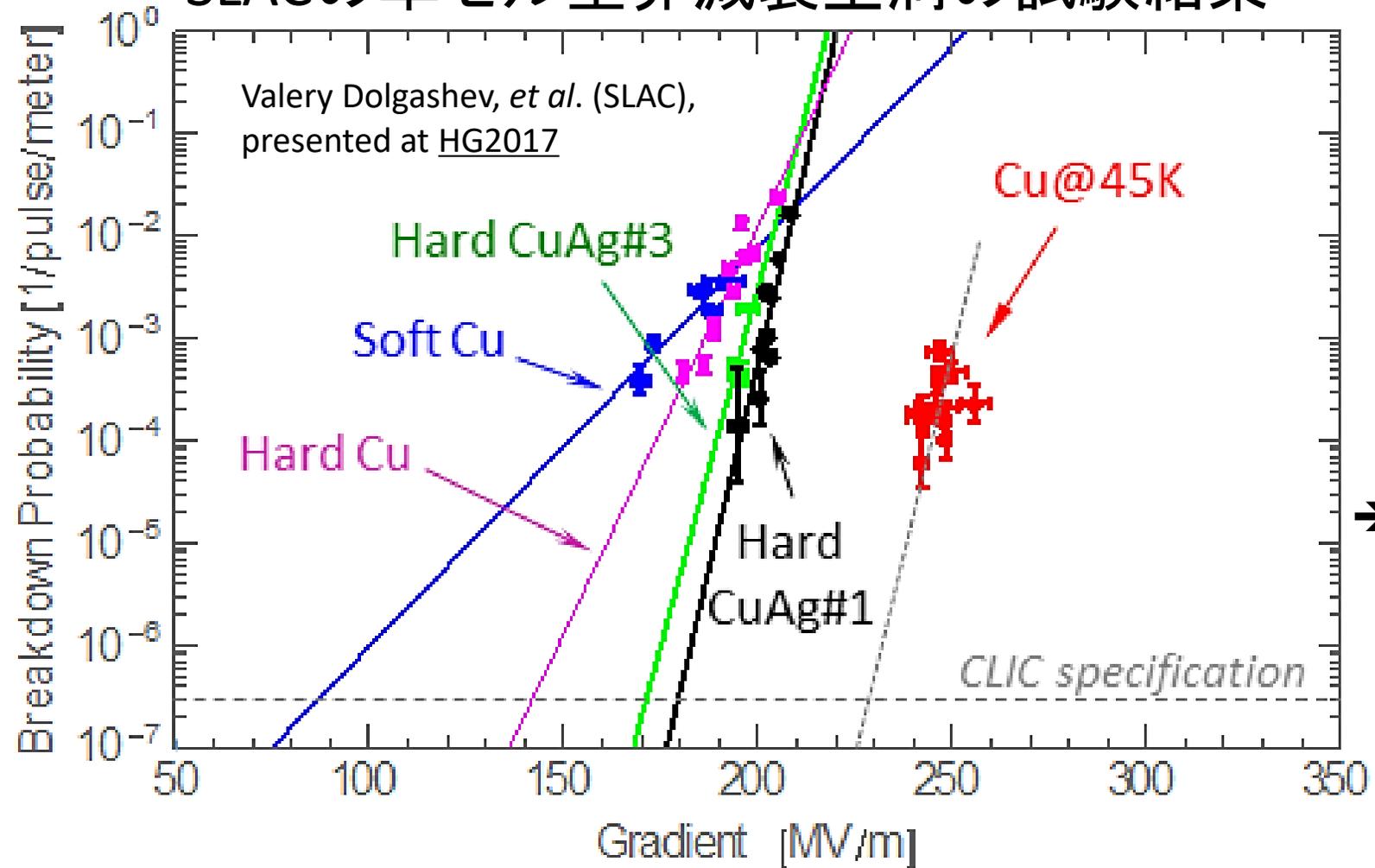
拡散接合の不具合？



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

Xバンドでも 100 MV/m の壁は超えられる！？

SLACの単セル型非減衰空洞の試験結果



→ $E_{acc} = 200 \text{ MV/m}$ with $\sim 10^{-7}$ /pulse/m の可能性

BDR determined by

- ✓ Material hardness?
- ✓ Thermal stress?

End of This File