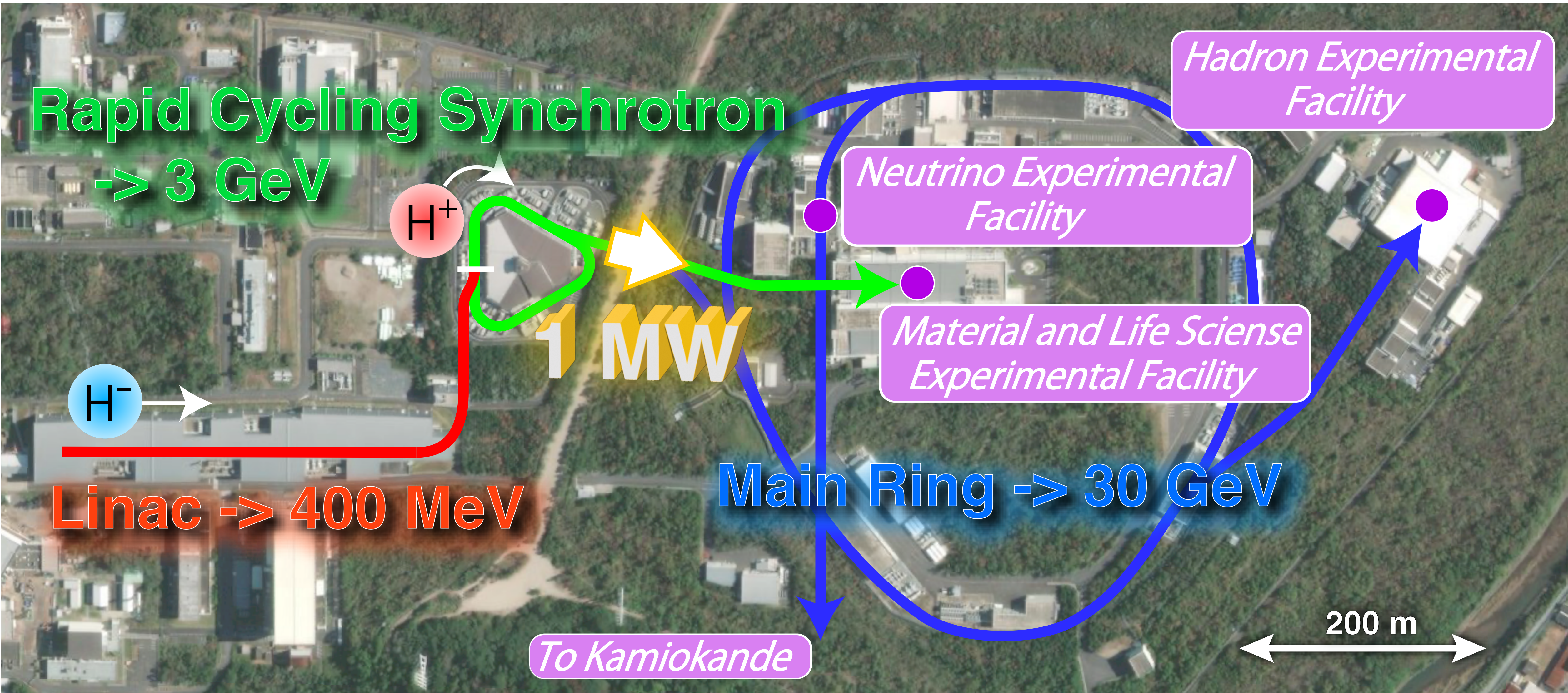


J-PARC 3GeVシンクロトロン 真空システムの維持管理

日本原子力研究開発機構 J-PARCセンター

山田 逸平*, 神谷潤一郎

J-PARC



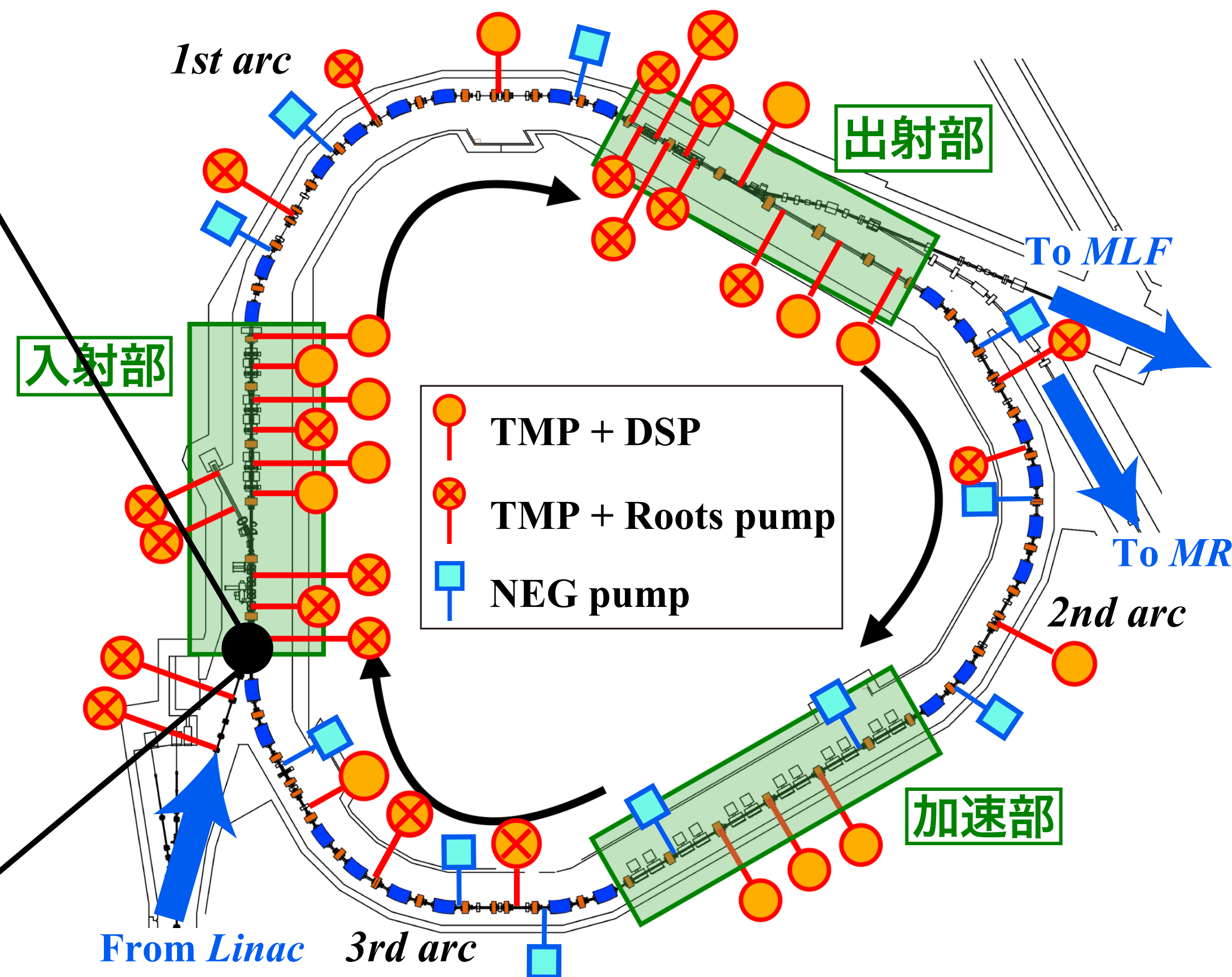
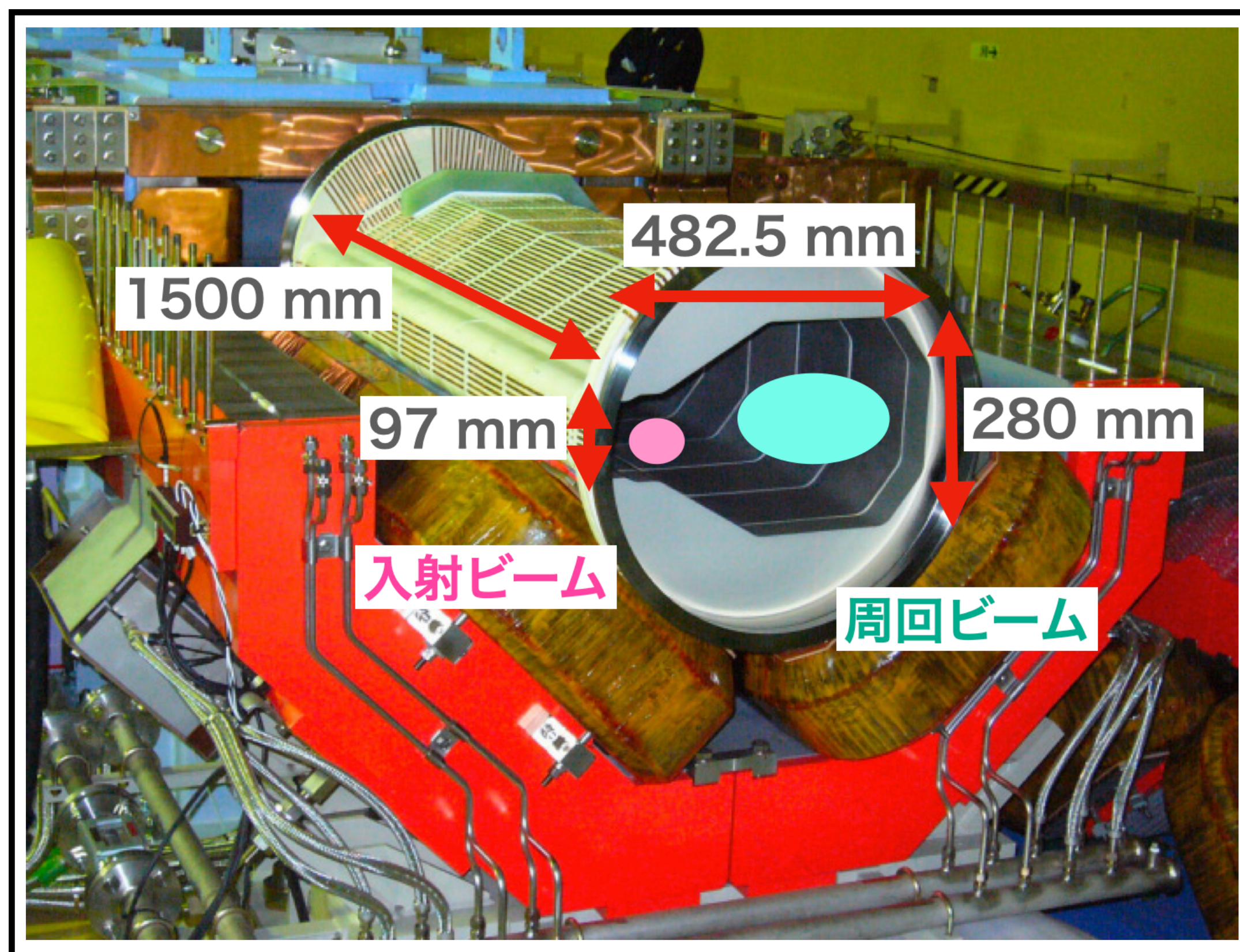
■ 3 GeVシンクロトロンの真空システムの主な特徴

1. 大口径・長尺のアルミナセラミックダクト

高周波磁場による渦電流を防ぐ

2. 主排気装置としてのターボ分子ポンプの利用

ガス放出速度の高い大容積・ベーキングなしの系の排気



■ RCS真空システムの主な構成要素と課題

<ビームパイプ：予備品調達困難>

- アルミナセラミックダクト
- チタンベローズ+RFコンタクト

<真空ポンプ：安定化，高度化>

- ターボ分子ポンプ PASJ2023
- フォアラインポンプ WEOB7
- NEGポンプ

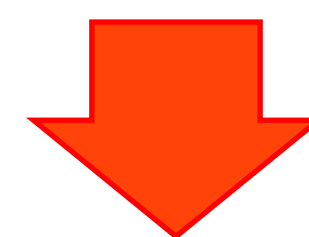
<真空計：生産終了，測定限界，放射線対策>

- コールドカソードゲージ
- ホットカソードゲージ
- ピラニゲージ
- 残留ガス分析器 (Q-mass) : FRP078 和田 薫



<制御系>

- 機器コントロール用NIMモジュール



急務な課題：建設から15年以上経過し，世代交代等により**予備品の調達が困難**に

目 的：加速器の安定運転を維持するための真空システムの再開発

真空システムの再開発：

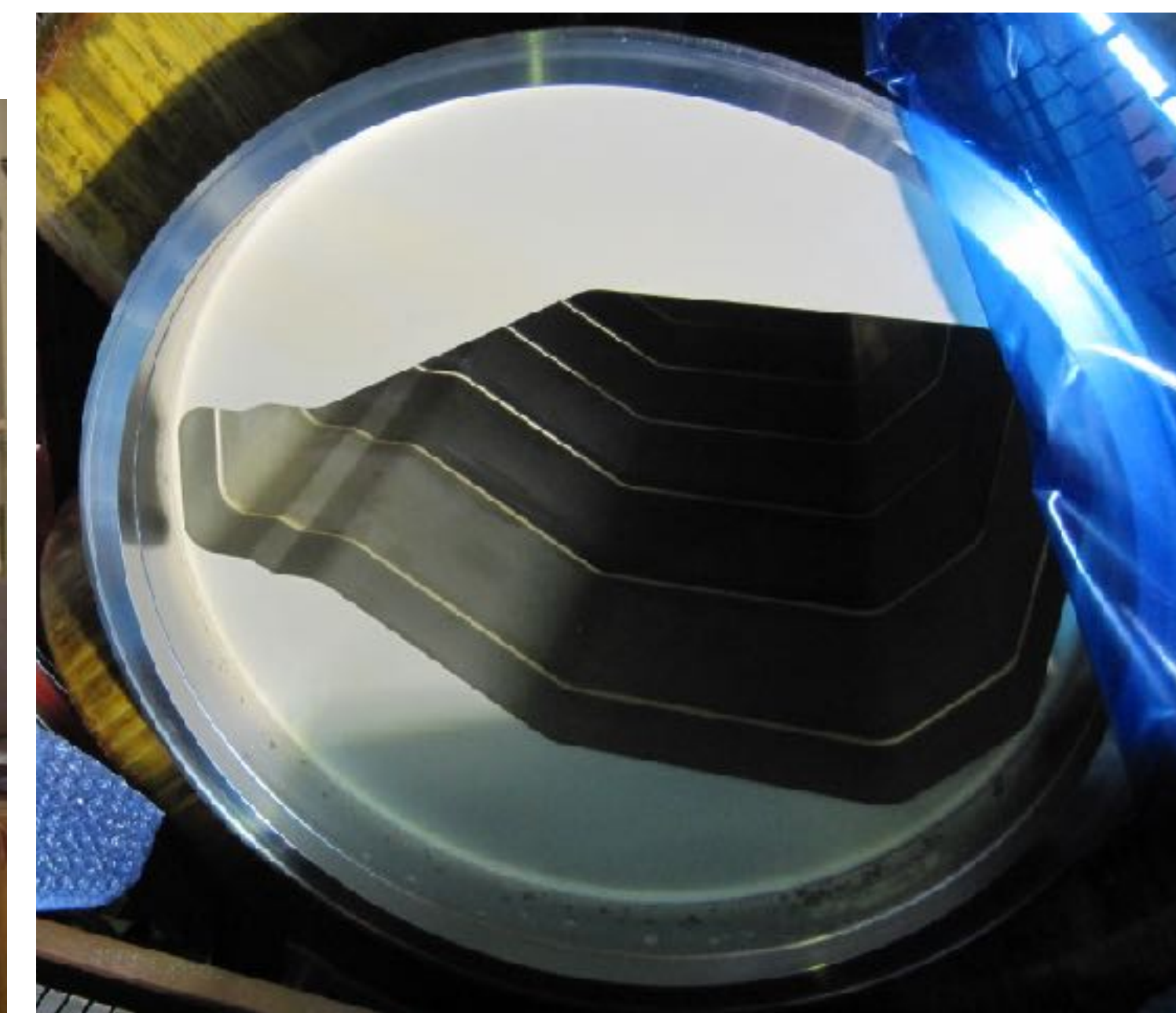
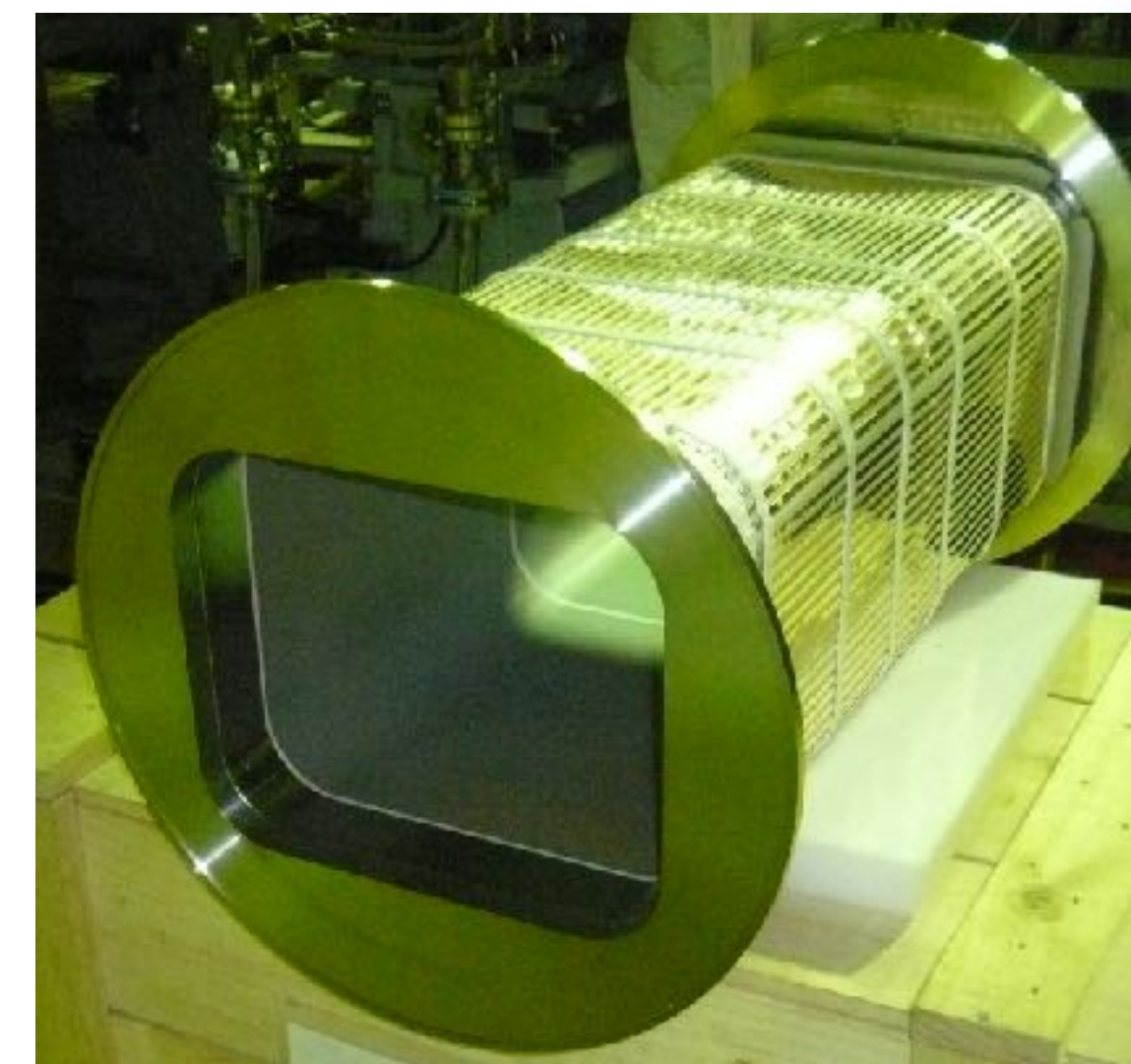
1. アルミナセラミックダクト
2. チタンベローズ

■ 主なダクト仕様

<サイズ>

- 形状：円形，矩形，レーストラック型，ラケット型
- 口径：200 mm ～ 500 mm
- 長さ：1 ～ 3.5 m

=> 製作が困難なため「ユニットダクト」に分割して ろう付け で一体化



■ 主なダクト仕様

<内表面>

二次電子放出の抑制 --> TiN コーティング

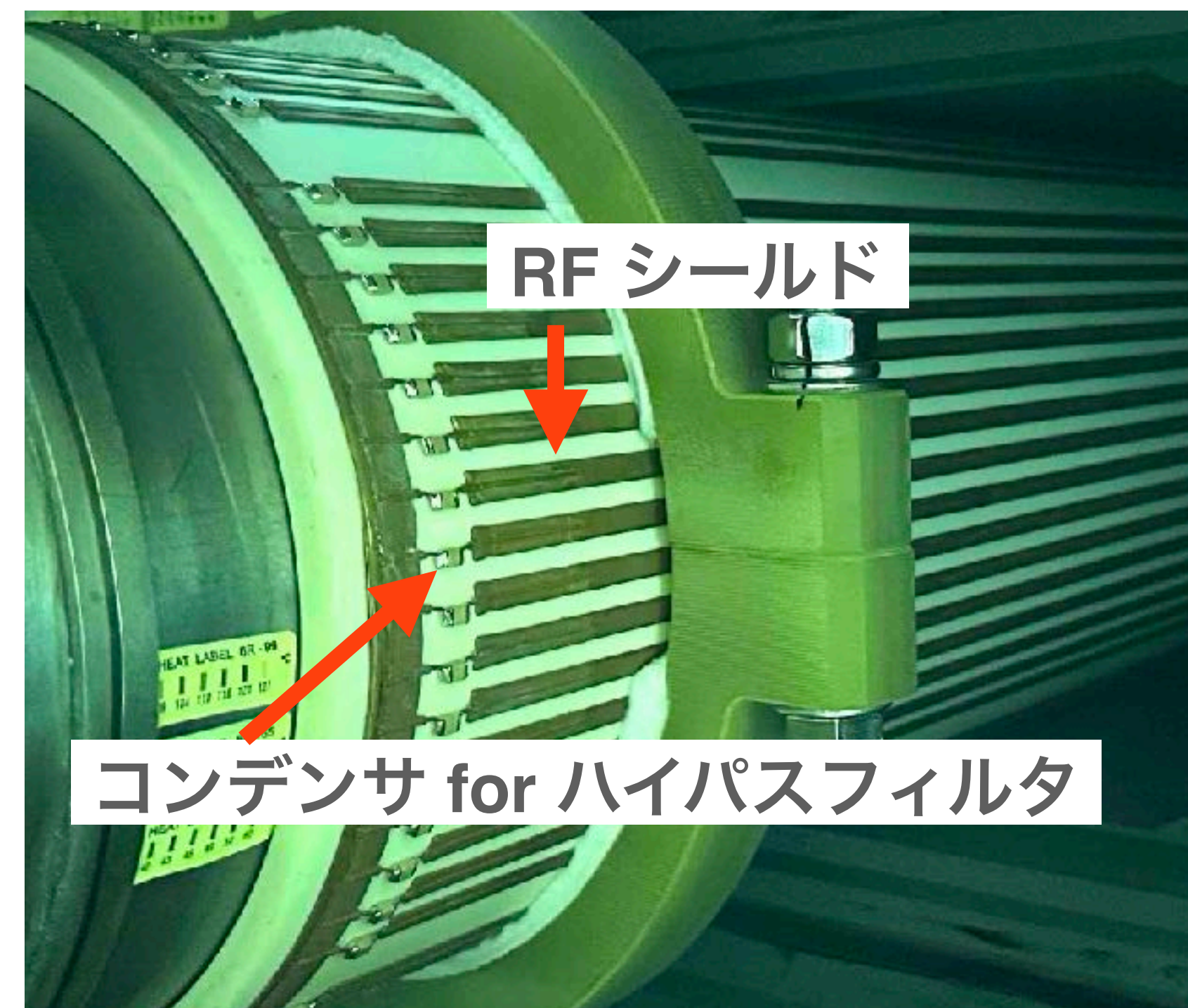
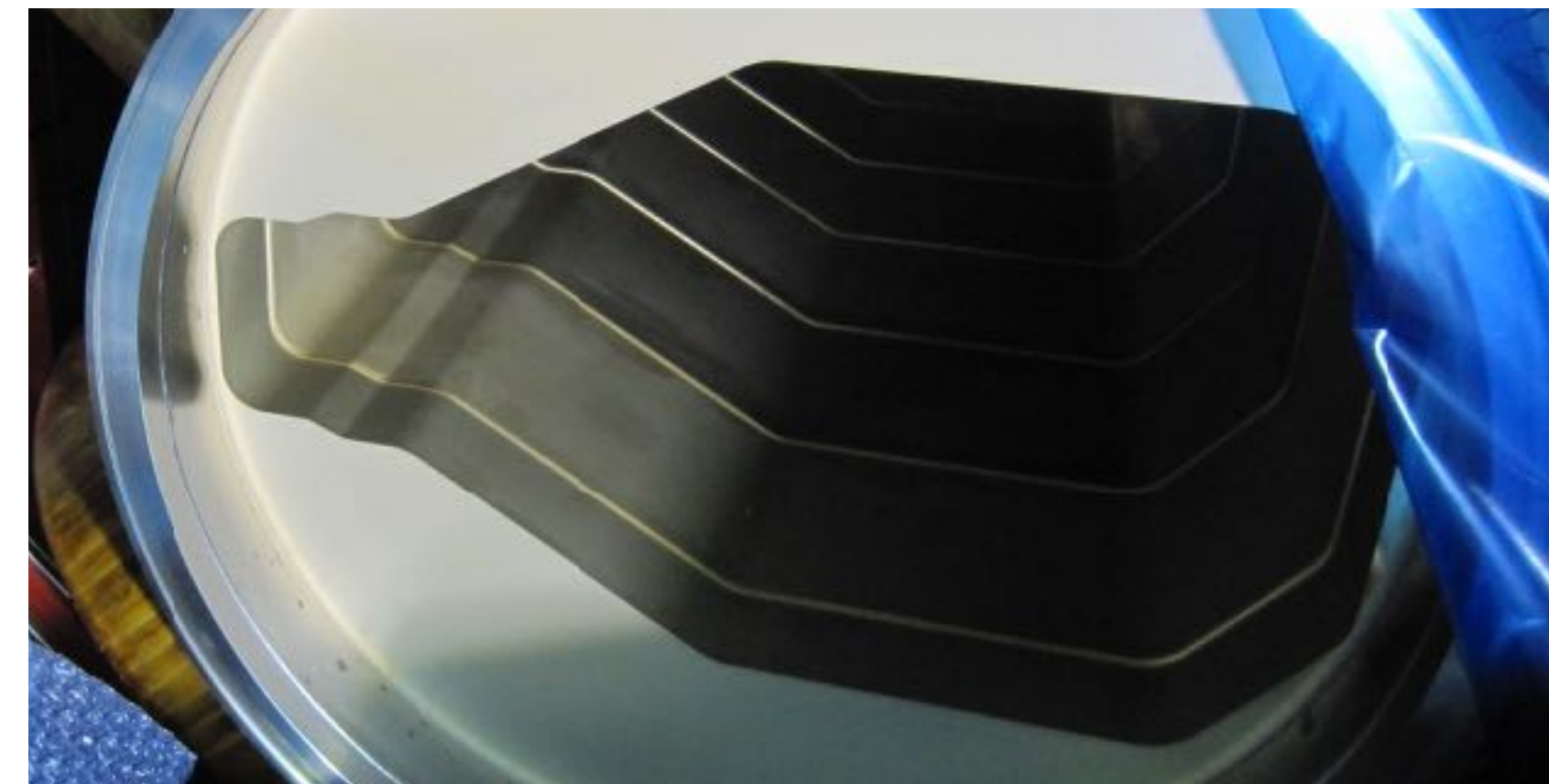
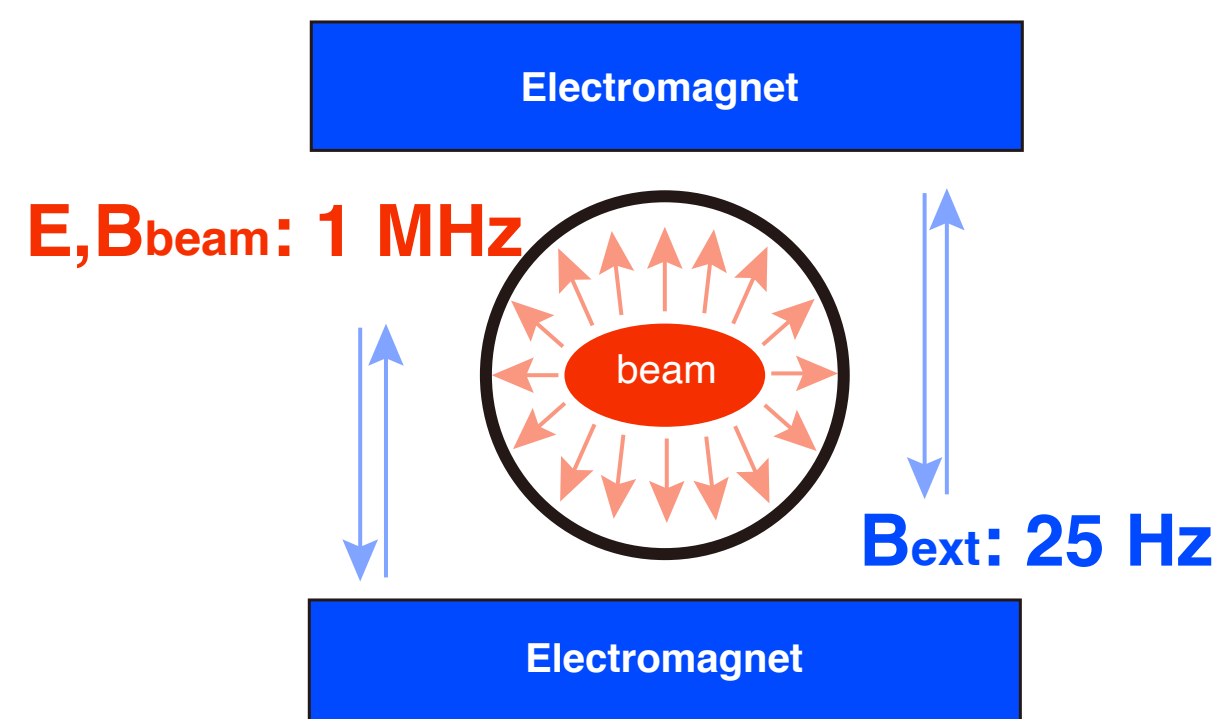
- 厚み：インピーダンスの観点から10~20 nm
(壁電流をTiNに流さない)

<外表面>

絶縁体のみではビームから見たインピーダンスが大きい

--> 銅のRFシールド

- ハイパスフィルタ：外部磁場 (25Hz) は遮蔽しない,
ビーム誘起場 (~MHz) は遮蔽



■ 主な製作工程

1. セラミック成形, 焼成, 加工

>> 再開発

2. 端面メタライズ (ユニットダクトろう付け用)

3. 内面TiNコーティング

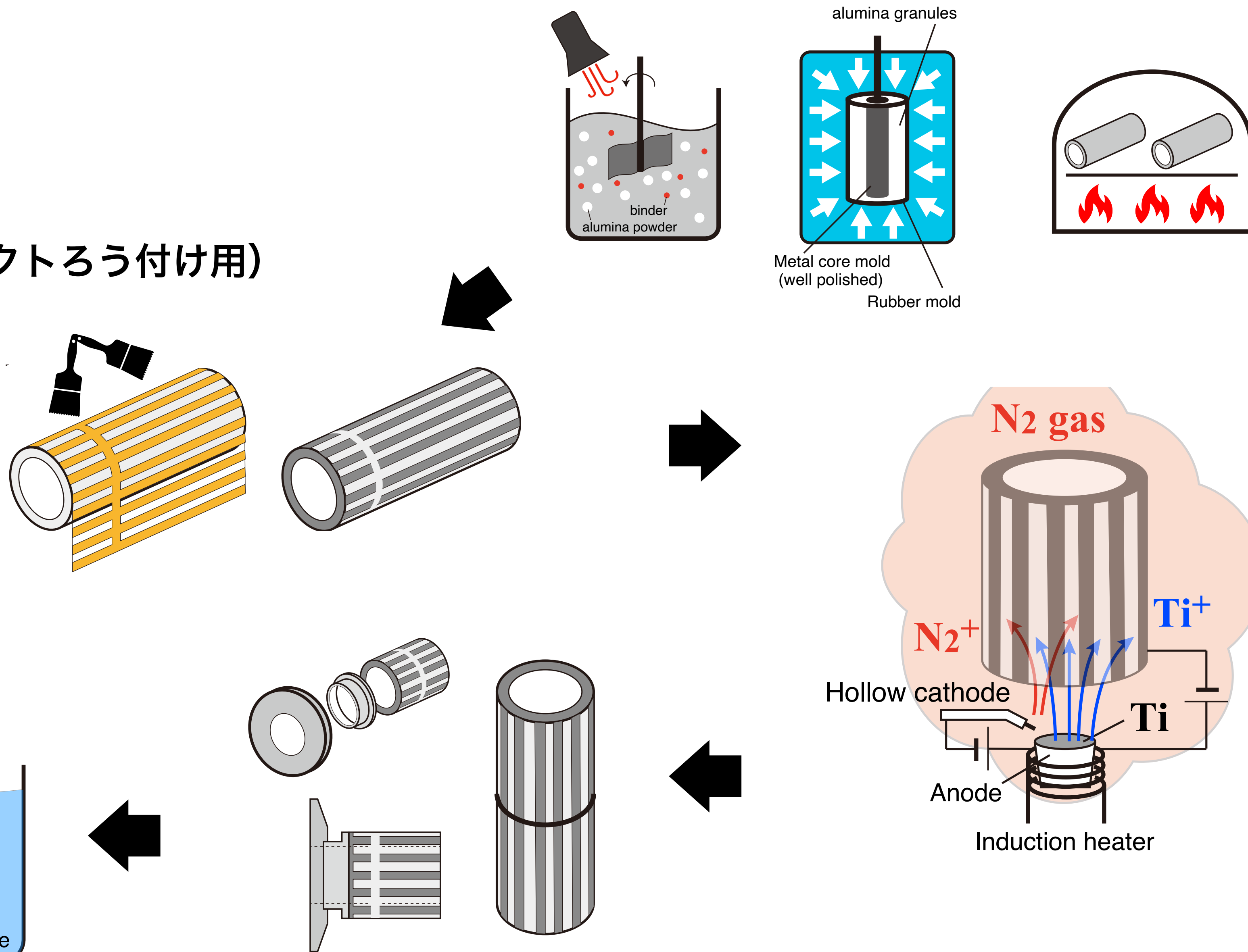
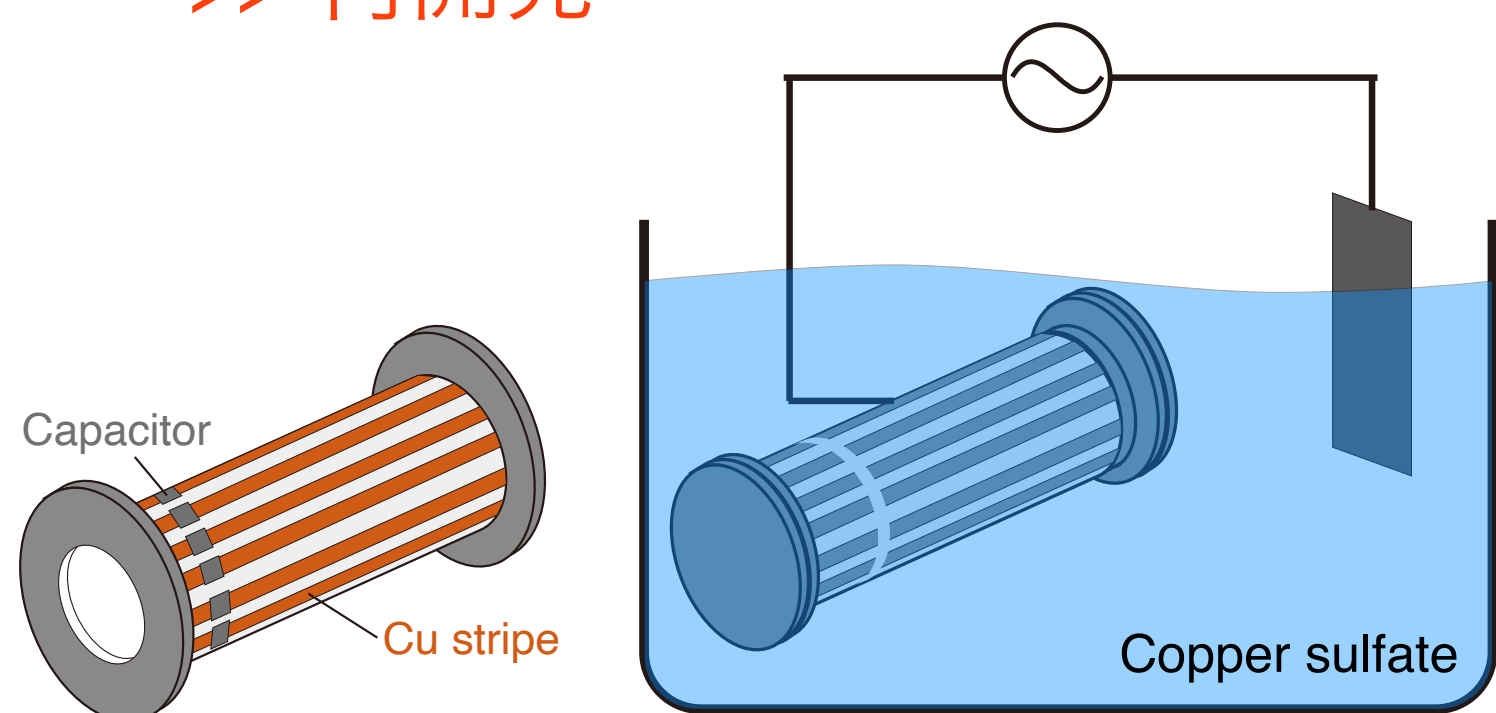
>> 再開発

4. ろう付け

>> 再開発

5. 外面RFシールドの設置

>> 再開発



■ 検討事項：製作精度/コスト パフォーマンス (株式会社フェローテックマテリアルテクノロジーズ, 株式会社MARUWA)

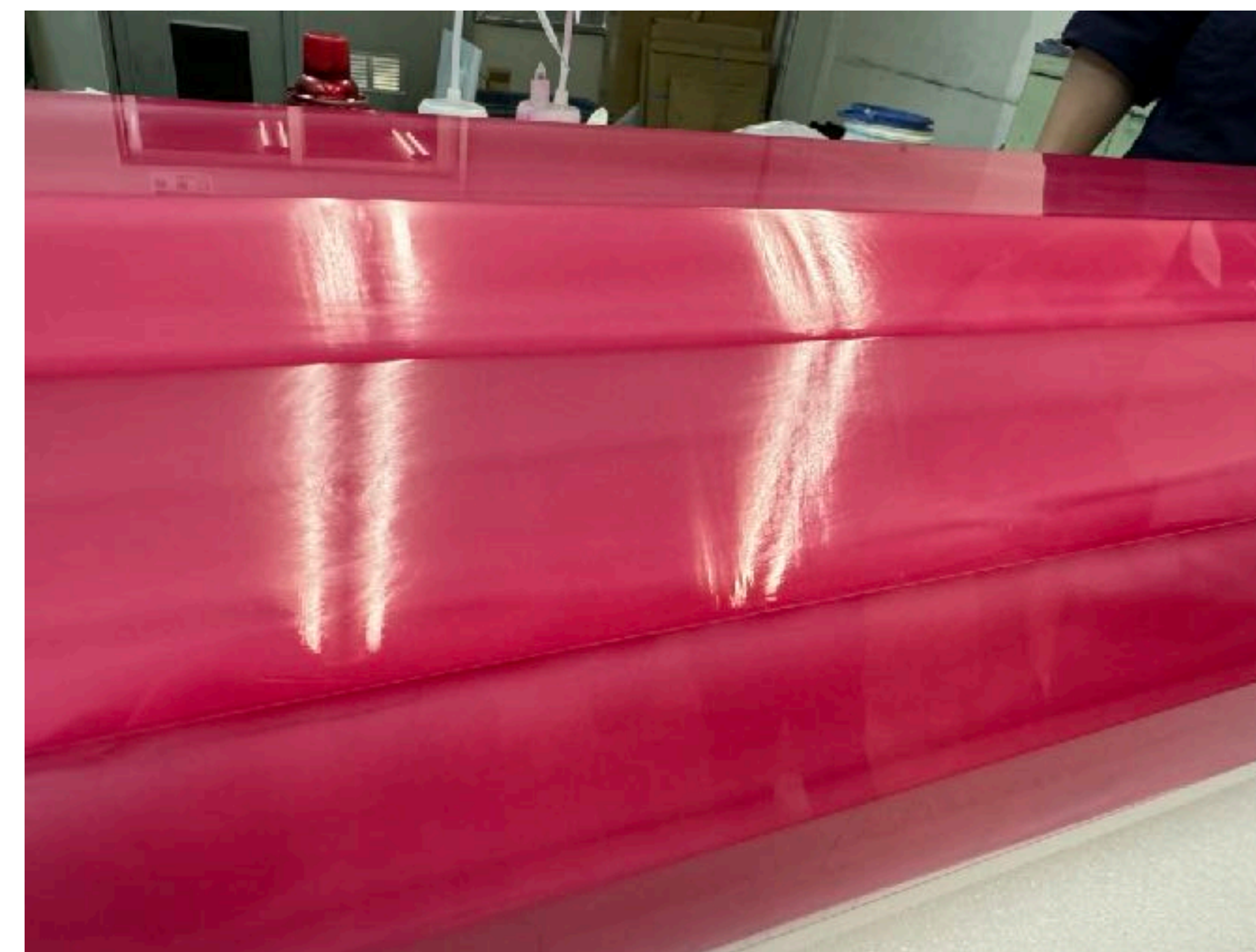
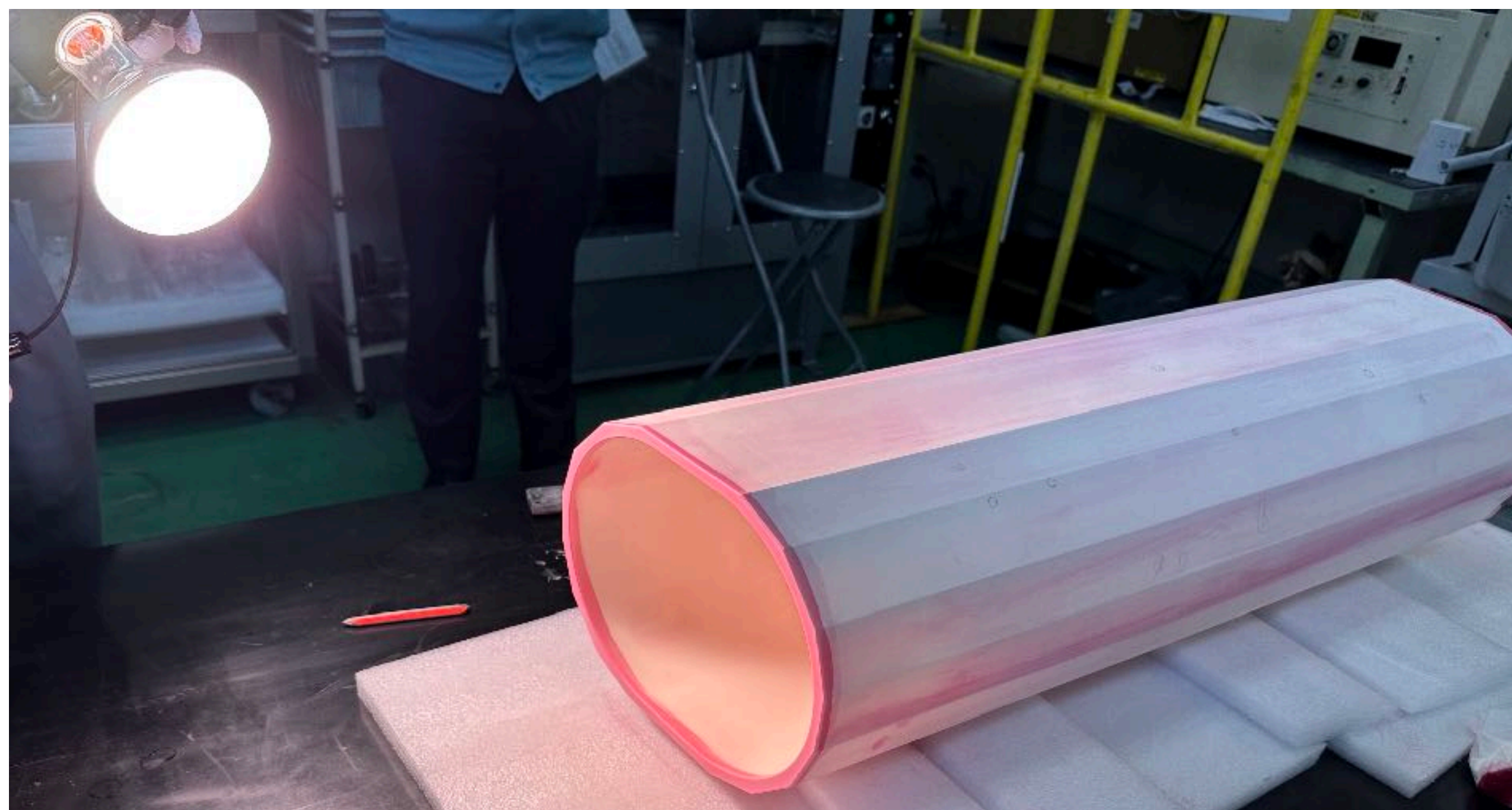
建設時：大量生産によりペアリングで誤差を吸収

現在：予備品としての単品製作なので、より高精度な製作が必要

焼成時の姿勢, 治具, 加工方法・タイミング, ダクト形状等を検証・試験中

↓ 油性インクによるカラーチェック・透光チェックの様子：

視認可能な全てのコンタミ (メタライズ不良の原因), 割れ・カケ・ヒビ (リークの原因) を徹底して検査



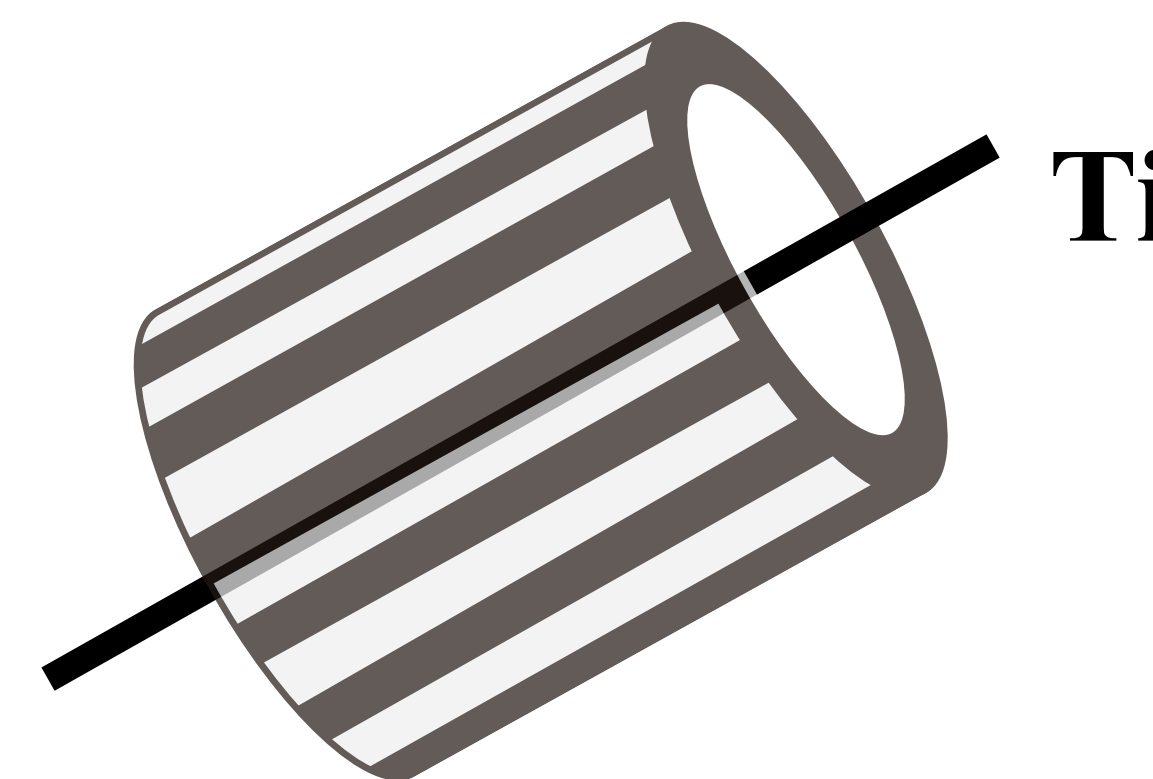
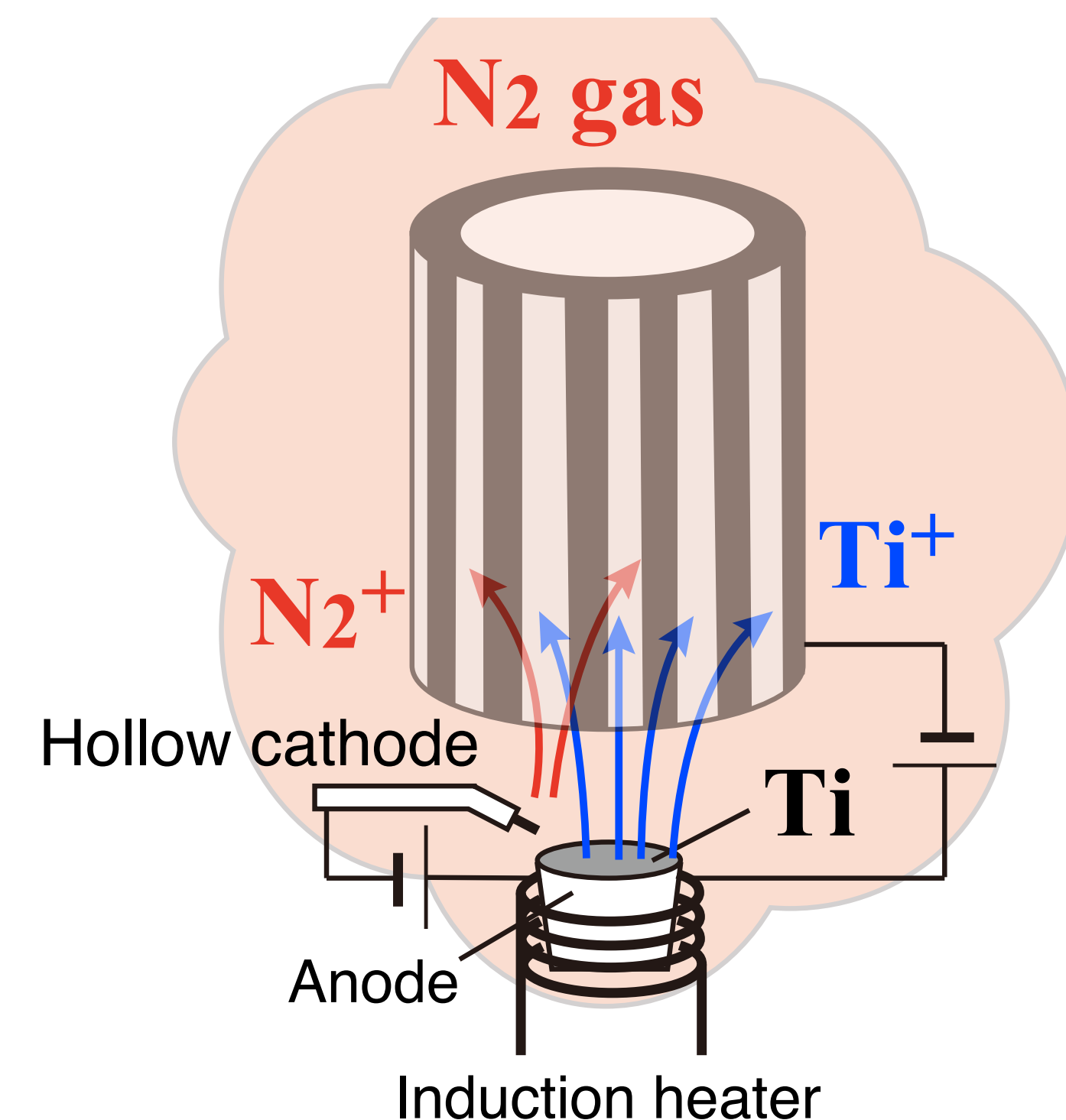
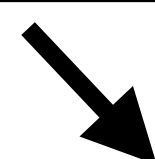
■ 検討事項：TiNコーティング（タイゴールド株式会社）

建設時：ホローカソードディスチャージ（HCD）法

＜課題＞ RCS用ダクトが入るサイズの炉が経年劣化により使用不可
 均一性を担保するための炉内ハンドリング → ダクトに傷

新手法：抵抗加熱法

＜課題＞ 二次電子放出係数の確認, 均一性の確認



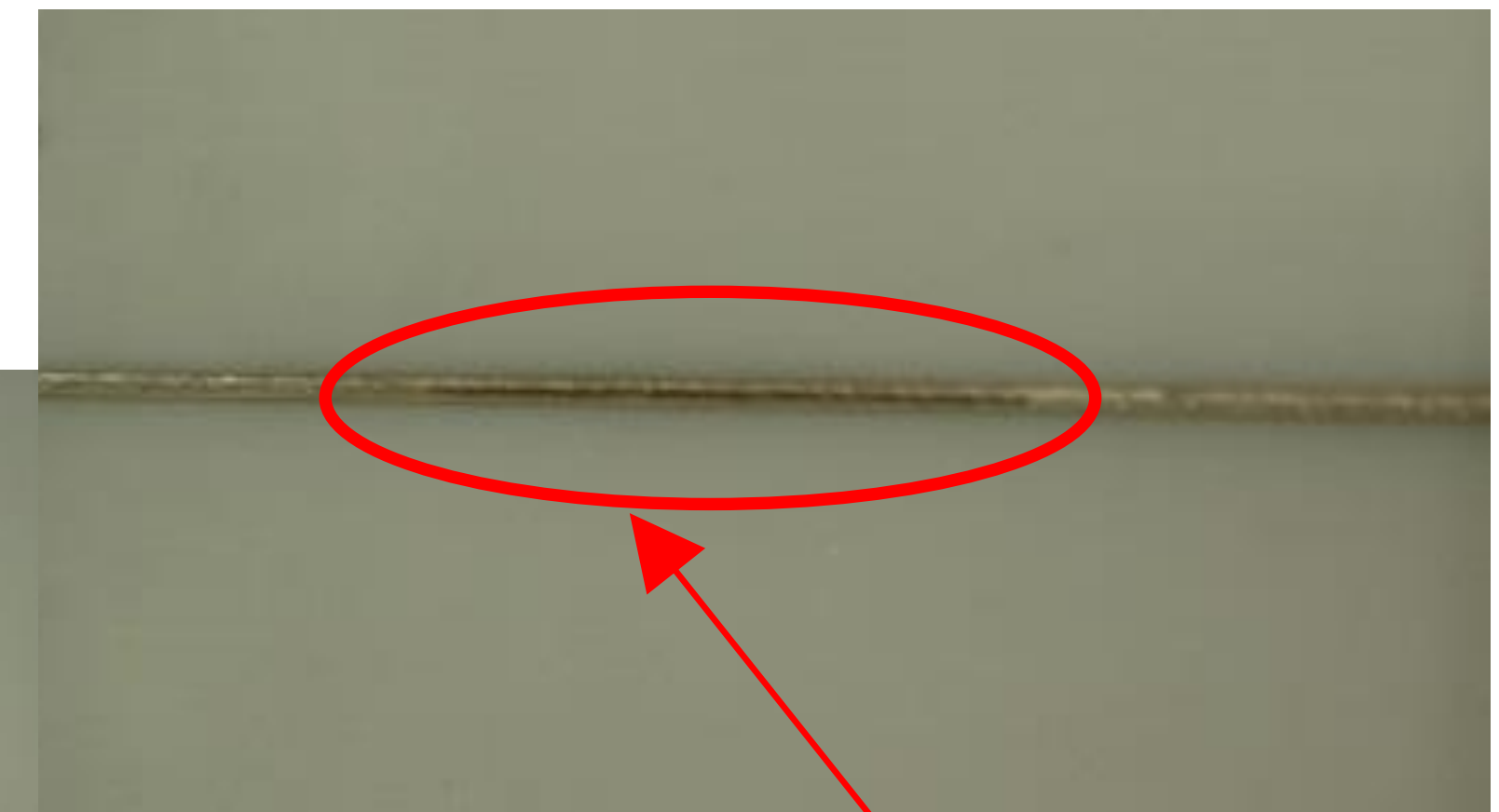
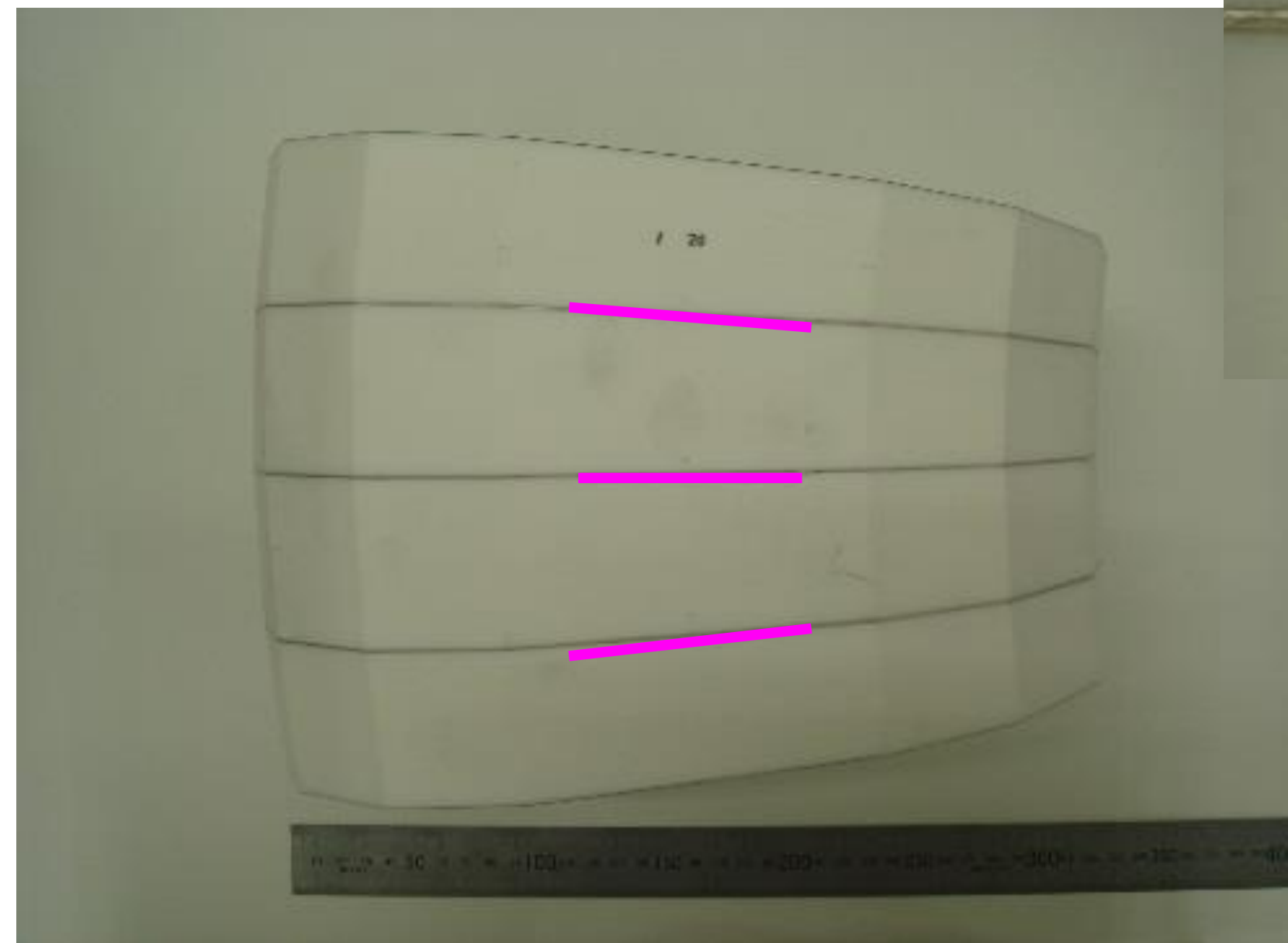
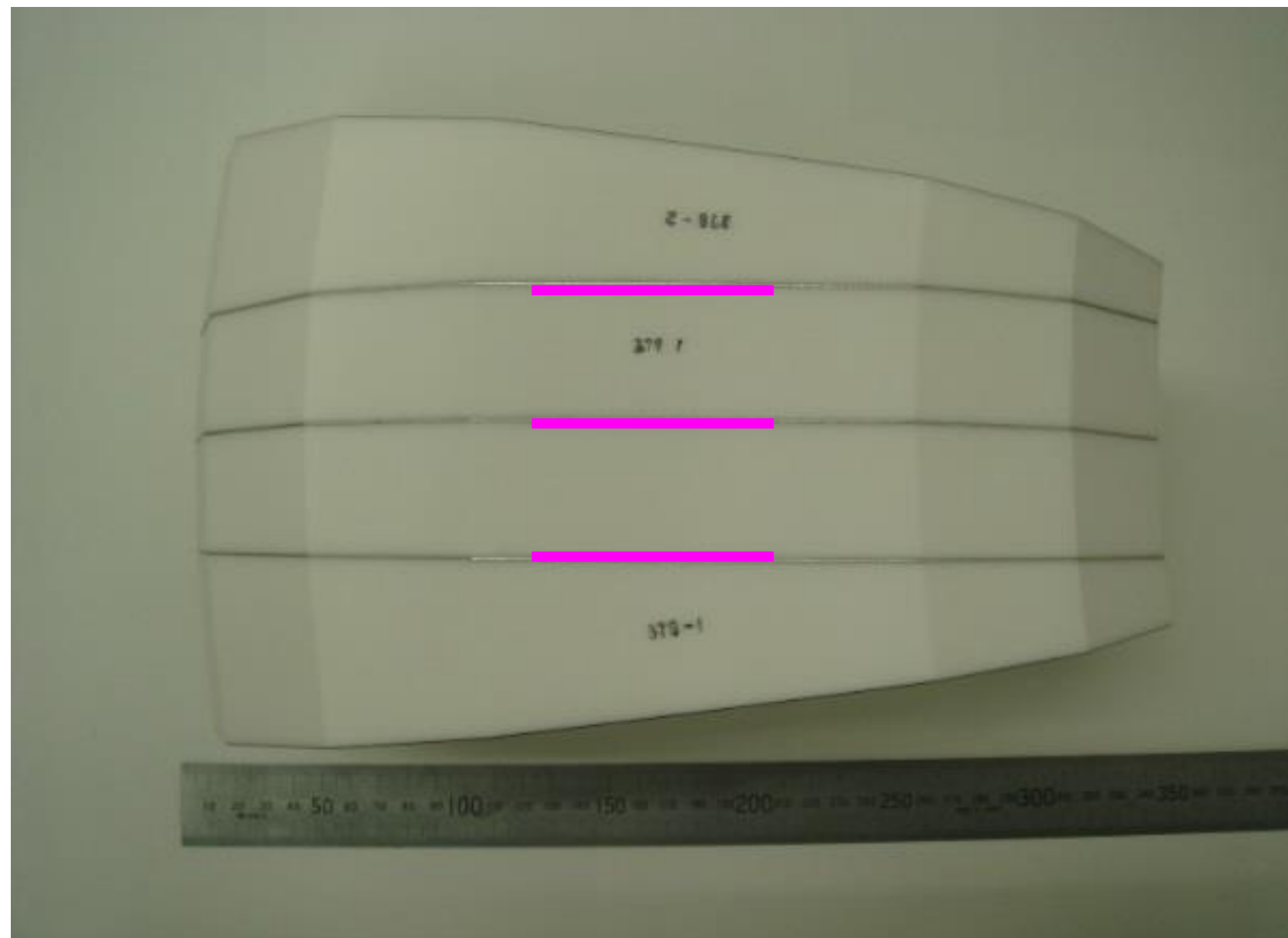
■ 検討事項：ろう付け方法（金属技研株式会社，株式会社MARUWA）

建設時：大量生産に向けた同形状

＜課題＞ 偏向電磁石用ダクトではスローリークが生じた → ろう付け面の角度が問題？

新手法：ろう付け面が全て水平になるように工夫

→ 簡単なろう付け試験：ろう付け不良の解消傾向が見られた



リークレート： 1×10^{-10} Pa m³/s未満
だが、フィレット生成不足 x 2箇所

■ 検討事項：RFシールド製作・設置（金属技研株式会社，株式会社MARUWA）

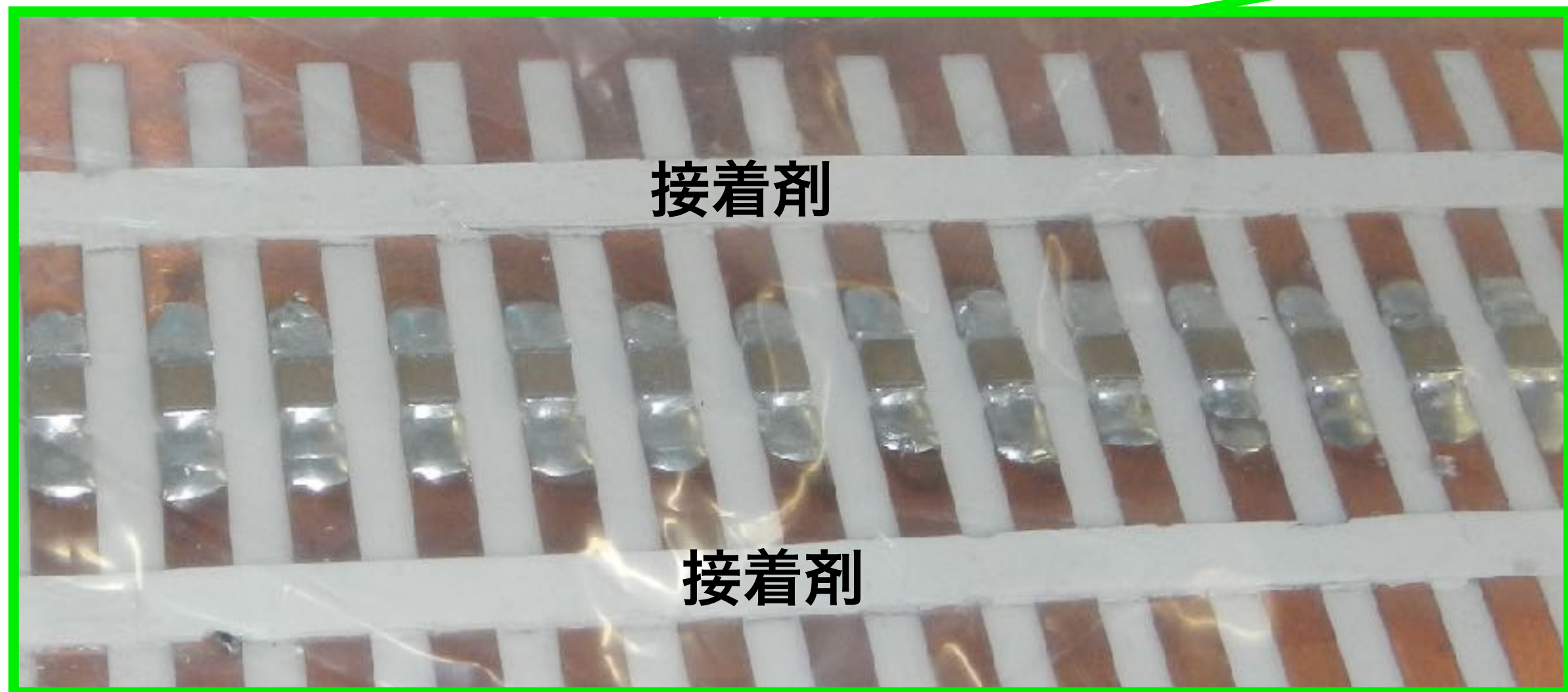
建設時：RFシールド状のメタライズを施しておき，最終工程で銅電鍍

＜課題＞ 電鍍槽が経年劣化で使用不可

新手法：銅板をストライプ状に切り，接着剤で貼り付け

コンデンサは一つずつハンダ付け（1箇所つけるごとに静電容量測定：合計10 uF）

→ 銅の熱膨張，コンデンサのパンク，接着剤の最適化等，試験・対策を繰り返して試作品完成



真空システムの再開発：

1. アルミナセラミックダクト
2. チタンベローズ

■ 建設時：低反力成形ベロース + 編み込みメッシュ型RFコンタクト

成形ベロース：リークの心配は少ないものの、反力が強い（=扱いづらい、セラミック保護の観点で不利）

溶接ベロース：反力が小さいものの、割れやリークの心配がある

=> 成形ベロースの山をプレスした、低反力な成形ベロースを開発

ベロース内側：インピーダンス低減用RFフィンガー

→ 編み込みメッシュ型RFコンタクトを合わせて開発

<メリット> 折れない、導通がなくなることがない、連続的に形状が変化する

=> いすれも調達困難に



■ 目標

ISO 250~500 フランジに接続可能な低反力ベローズの製作

■ 試作（協力：南国フレキ工業株式会社）

段階的な製作手法・評価手法の確認

まずはプレスしていないがピッチが狭く**山数の多い**ベローズを製作
バネ特性, 真空特性, インピーダンス等の評価手法の確立

<主な仕様>

- 材 質：純チタン
- 板 厚：0.3 mm
- ピッチ：6 mm
- 山 数：10
- 口 径：内径300 mm, 外径330 mm

Kelloggの式

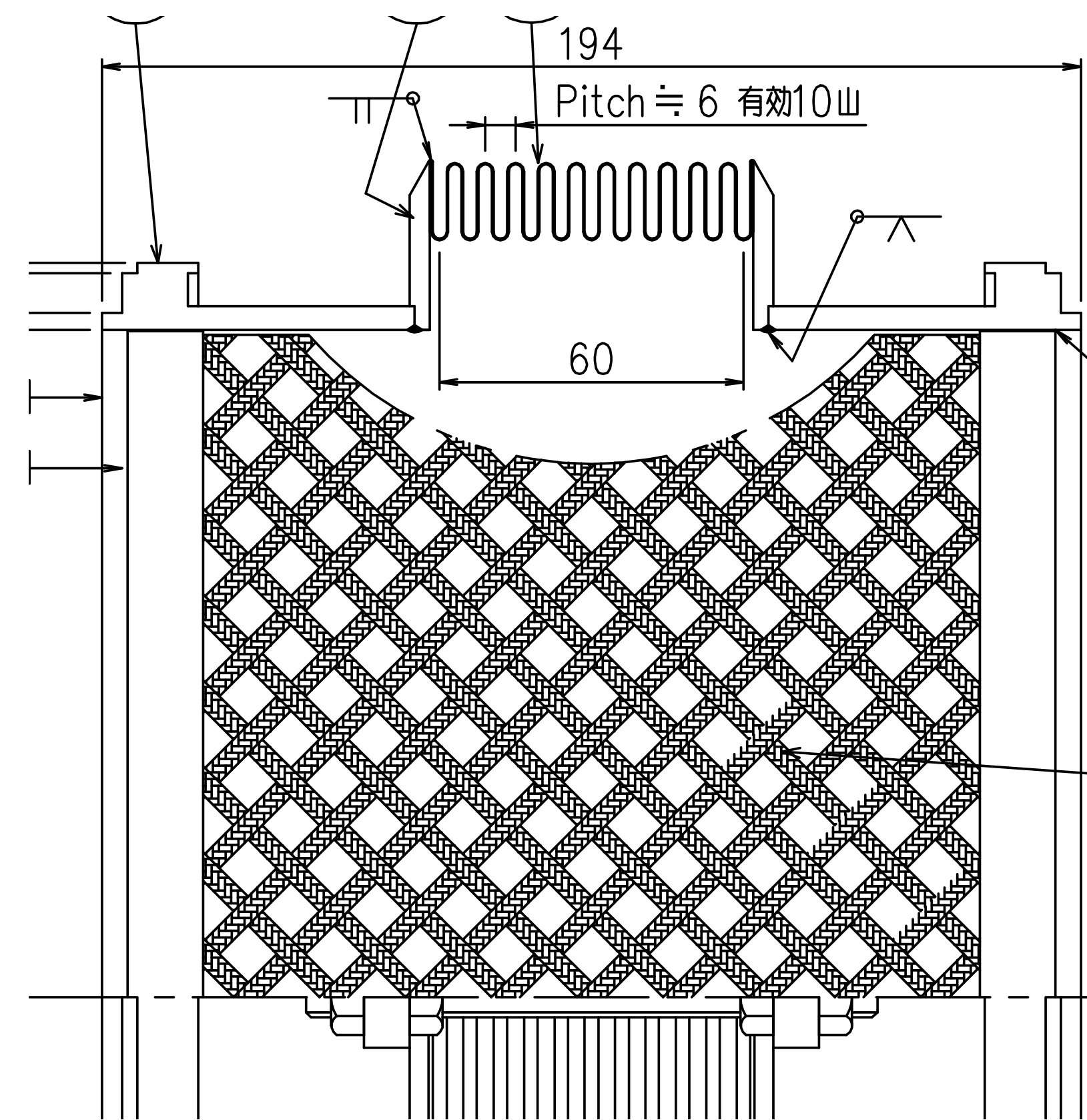
$$k \propto \frac{1}{N\sqrt{p}} = \frac{1}{\sqrt{LN}}$$

k ：バネ定数

N ：山数

p ：ピッチ

L ：ベローズ長



ISO250 フランジ

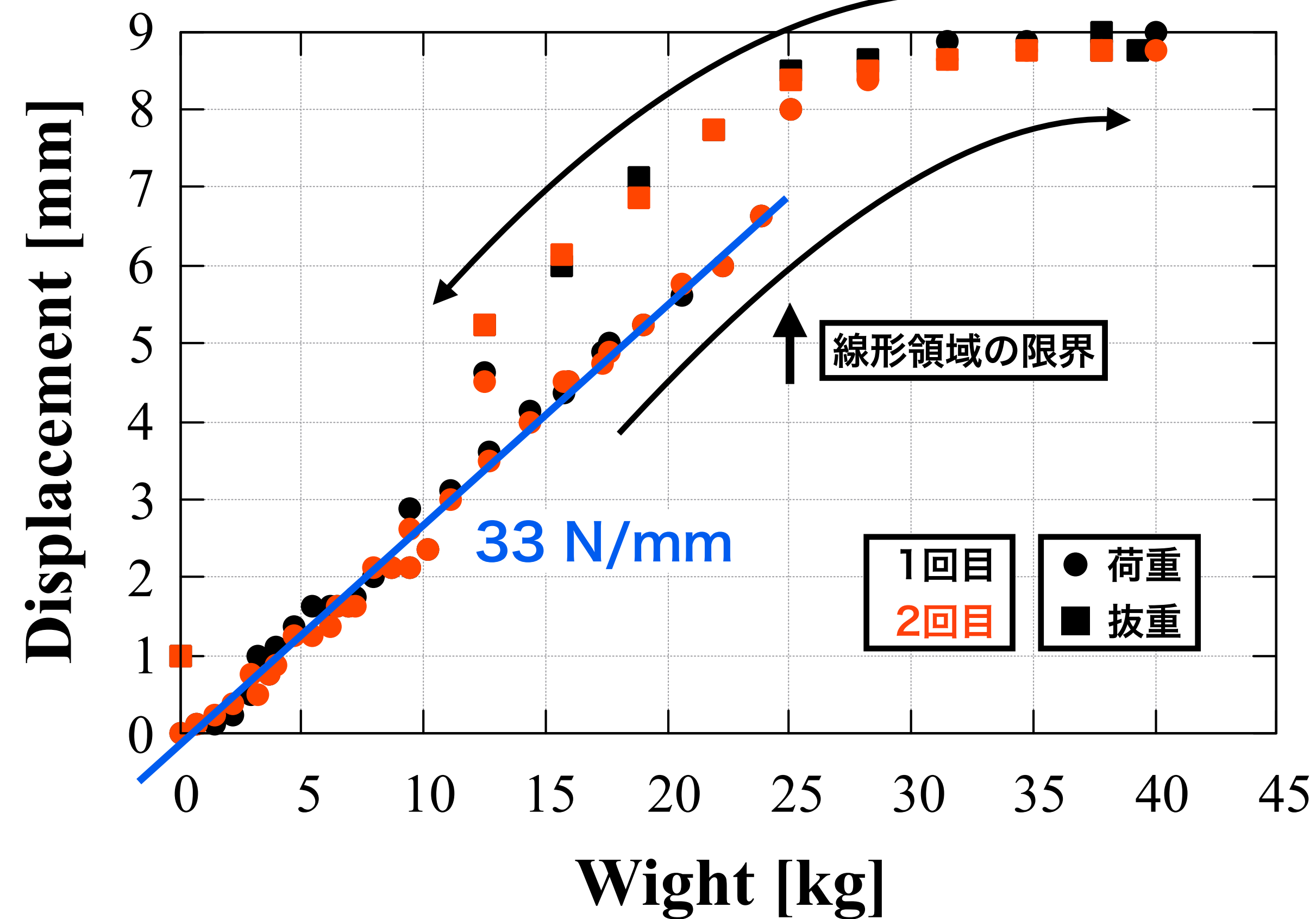
ISO250 フランジ

■ バネ特性評価（協力：南国フレキ工業株式会社）

＜手法＞ ベローズに重りを乗せていき，縮み量を簡易的に測定

＜結果＞ バネ定数：33 N/mm ←→ 設計値 40 N/mm（軸方向）

線形領域：25 kg未満，変位 7 mm未満



■ **まとめ**

<課題>

設備老朽化・世代交代等により真空システムの再開発が必要

<現状>

- **セラミックダクトの高精度な製作**

ダクト素管製作 : 種々の検討・試作

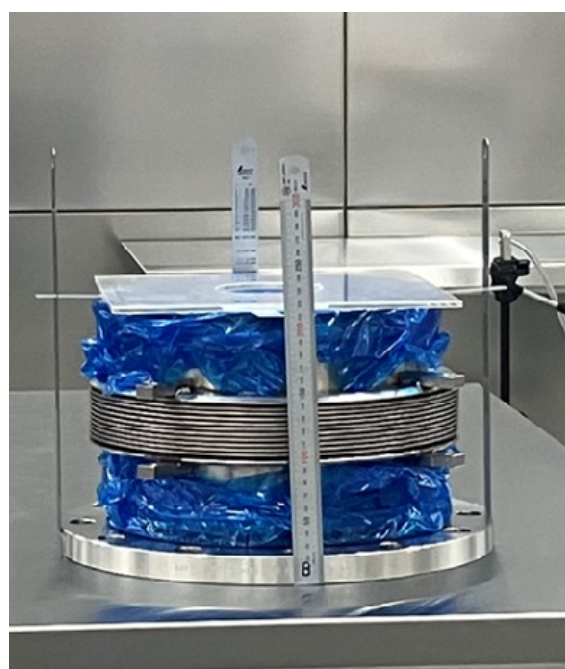
TiNコーティング : サンプルコーティング

ろう付け : 試作

RFシールド : 

- **低反力チタンベローズ**

ピッチ狭めの試作, バネ特性評価



<今後>

総合的な製作過程の確立

→ 試験の継続

→ SEY計測, 均一性評価, 試作

→ 長尺ダクトの実践

→ 作業性を考慮した改良

プレス型の試作

→ 真空特性, 寿命評価,

インピーダンス特性の評価

