

J-PARC 3GeVシンクロトロンRCSの真空システムの現状： 真空ポンプ編

共著者：

神谷 潤一郎 (原子力機構, J-PARCセンター)

仲野谷 孝光 (原子力機構, J-PARCセンター)

黒澤 俊太 (マイスティアヒューマンリレーションズ株式会社)

柳橋 亨 (株式会社NAT)

志賀 隆史 (東京電子株式会社)

和田 薫 (東京電子株式会社)

割貝 敬一 (アルバックテクノ株式会社)

日本原子力研究開発機構 J-PARCセンター

山田 逸平

■ 3GeVシンクロトロン (Rapid Cycling Synchrotron : RCS)

1 MW出力の大強度加速器 = 大電流ビーム x 速い繰り返し

真空に関わるRCSの特徴

- ビーム損失を局所化して線量分布をコントロール
- 磁場の速い繰り返し (取り出し)
 - 真空中に設置した出射キッカーシステム
 - 渦電流抑制のためのセラミックダクト

→ 大口径ビームダクト = 大容積
ガス放出速度が非常に高いエリア

→ ガス放出速度が非常に高いエリア

→ 大口径・長尺セラミックダクト
(開口 200~400 mm, 長さ < 3.5m)



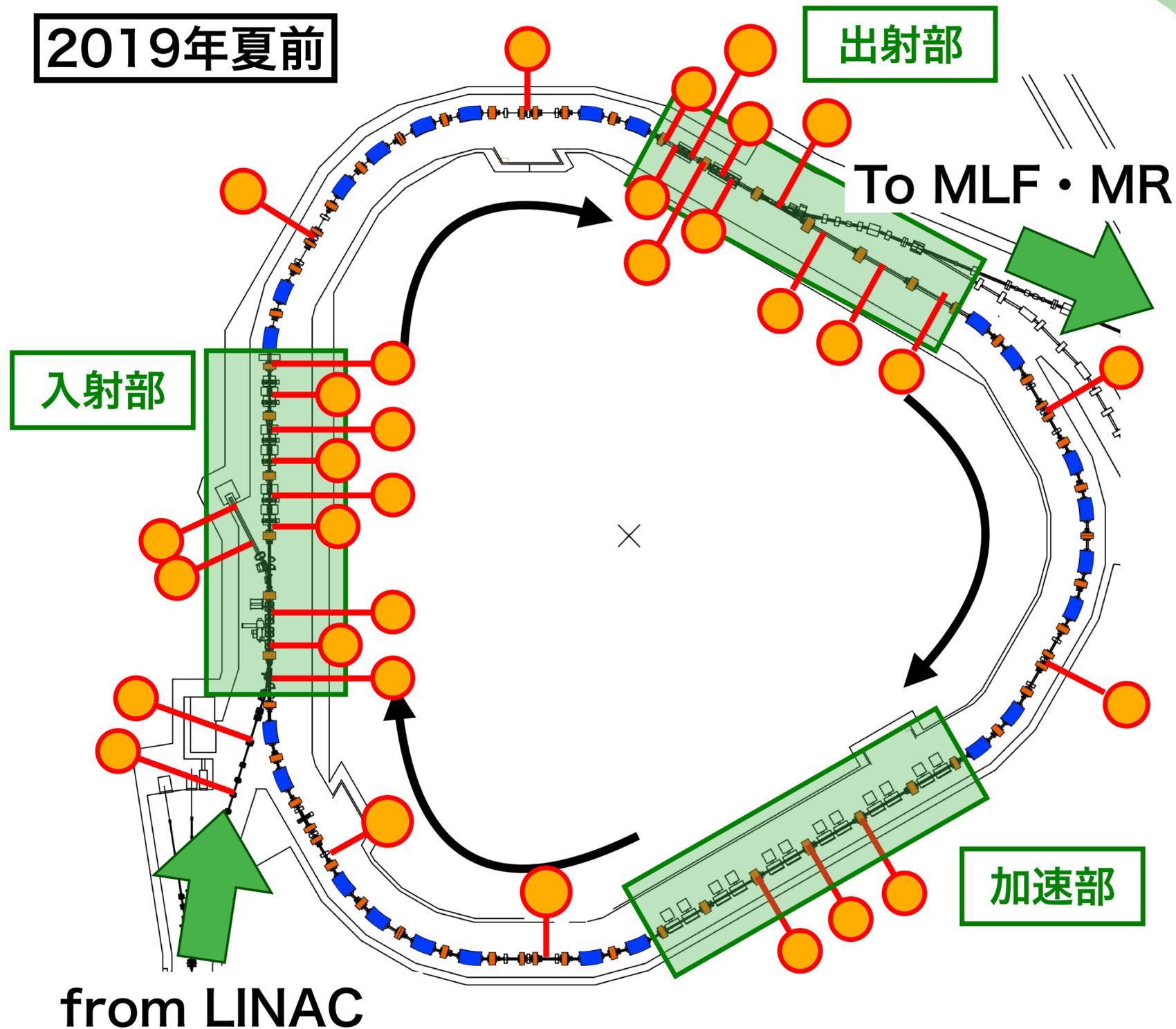
■ 真空排気システム

- 大口径セラミックダクトが周長の半分を占める
- 組み上げてからの**ベーキング困難**
- **大容積・高いガス放出速度**でも**超高真空を維持**できるような真空システムが必要



輸送式ポンプを用いた超高真空の維持

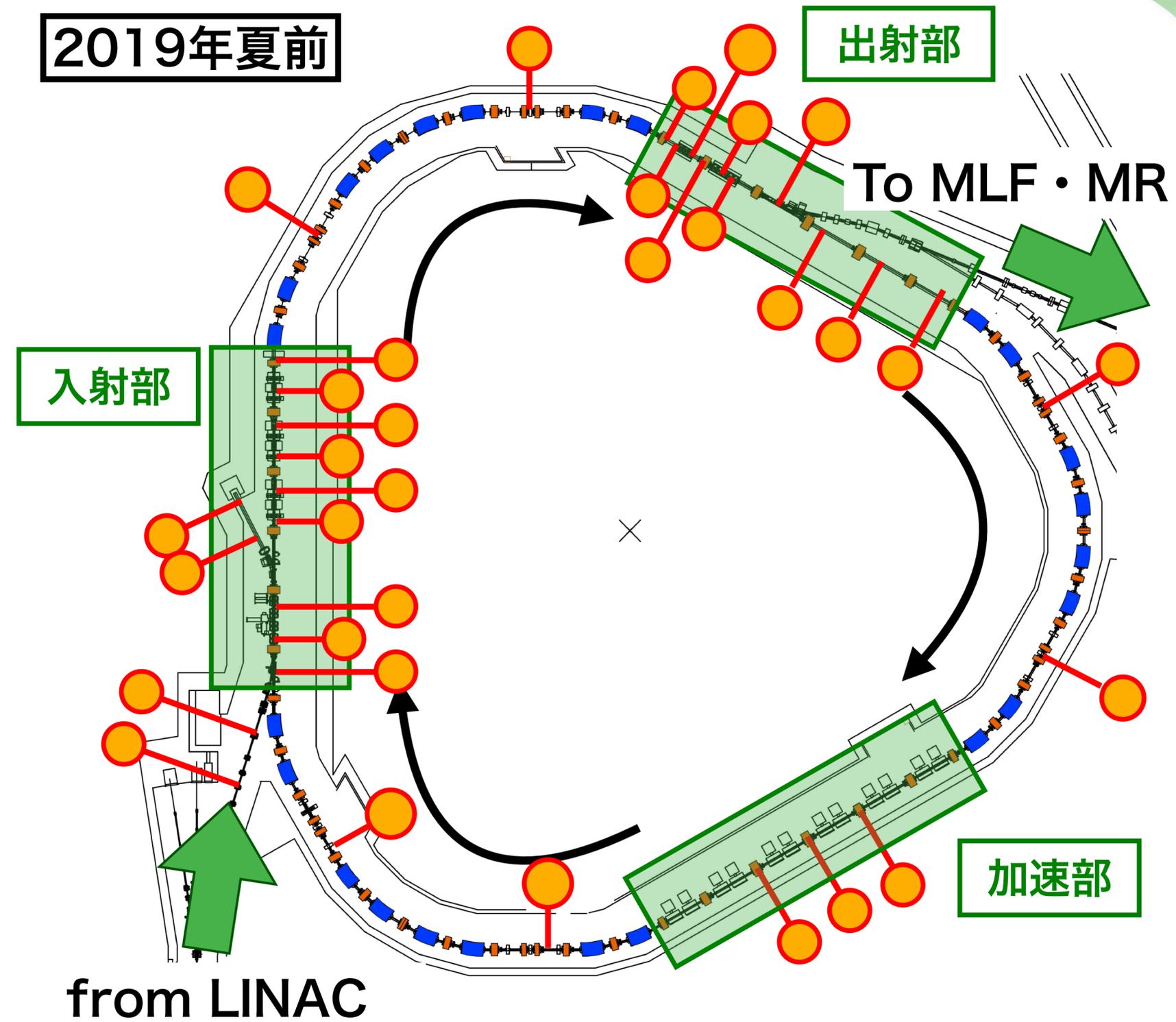
ターボ分子ポンプ (TMP N₂: 1,200 L/s) **32台**
 + ドライスクロールポンプ (DSP)



■ 真空システム全体の課題

本日の内容

1. DSPのメンテナンス頻度が高い
2. ビーム増強を見据えて到達圧力を下げたい
3. 入射部に渦電流による熱膨張が原因のリークがある
4. 世代交代によりセラミックダクトの製作が困難
- 5.



より高度・安定・安全な真空システムの実現に向けた排気系の改良

1. 真空排気系の改善

TMPフォアラインをDSPからルーツポンプへ

2. 真空排気系の増強

極高真空に向けたNEGポンプの増設

より高度・安定・安全な真空システムの実現に向けた排気系の改良

1. 真空排気系の改善

TMPフォアラインをDSPからルーツポンプへ

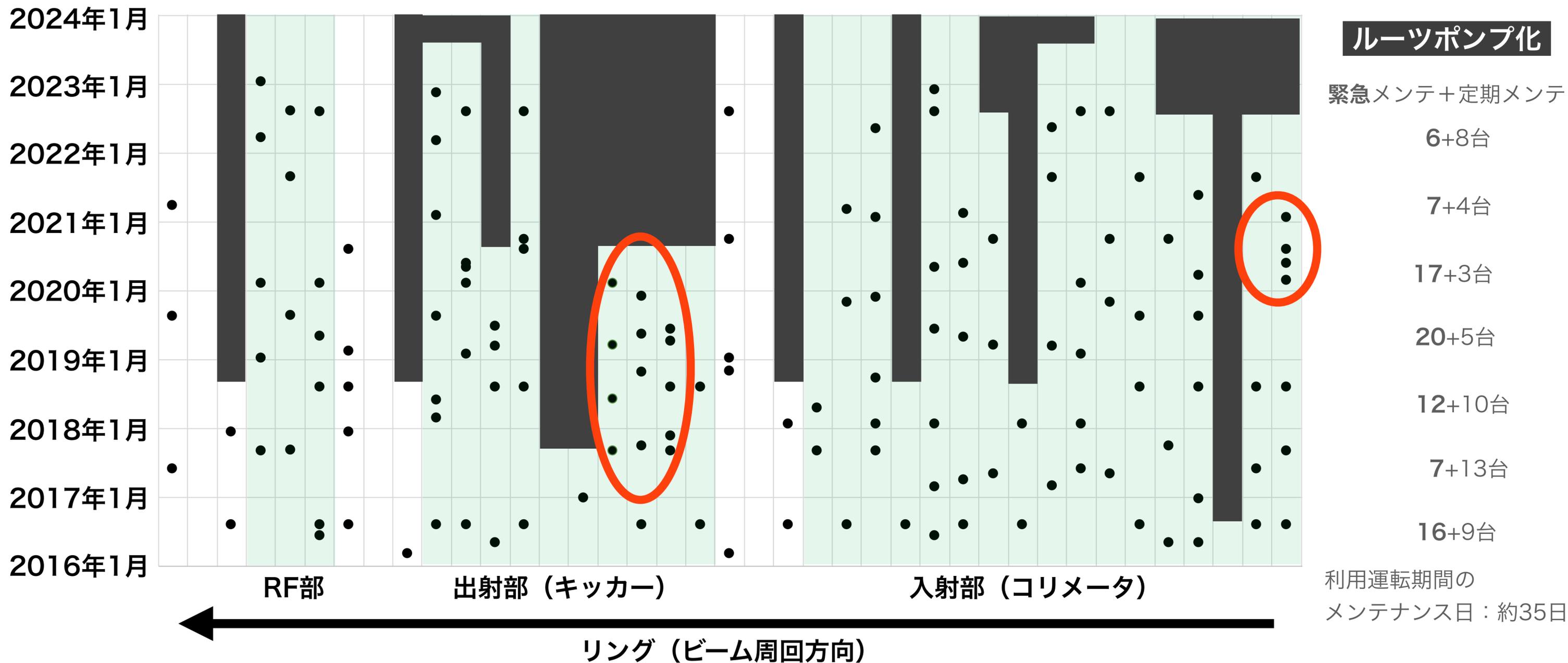
2. 真空排気系の増強

極高真空に向けたNEGポンプの増設

■ TMPフォアライン排気としてのルーツポンプの導入

ポンプ運転時間：6,000時間/年

長らくDSPをフォアライン排気系として使用 → メンテナンス頻度が高い（場所によっては年3回）



■ TMPフォアライン排気としてのルーツポンプの導入

交換理由：圧力悪化（基準：2.0 Pa以上 \leftrightarrow 典型値：0.5 Pa以下）

摺動部のシールの劣化，グリス切れによる回転軸の振れ， . . .

→ 摺動部，グリス切れのない**ルーツポンプ**へ置き換え

ルーツポンプ導入の注意点と導入時の対策

- （基本的に漏れないが）グリスの代わりにオイルを使用している

→ 万が一に備えたオイルミストトラップの使用

- DSPに比べて排気速度（圧縮比）が低圧側で小さい

→ ダイヤフラムポンプとの併用

*導入後に耐久性向上のためのセラミック系コーティングを実施

- **DSPと違いコントローラがある**

→ ビームラインから隔離することで放射線の影響を低減



今年：温度異常トラブル

■ トラブル事象：温度異常

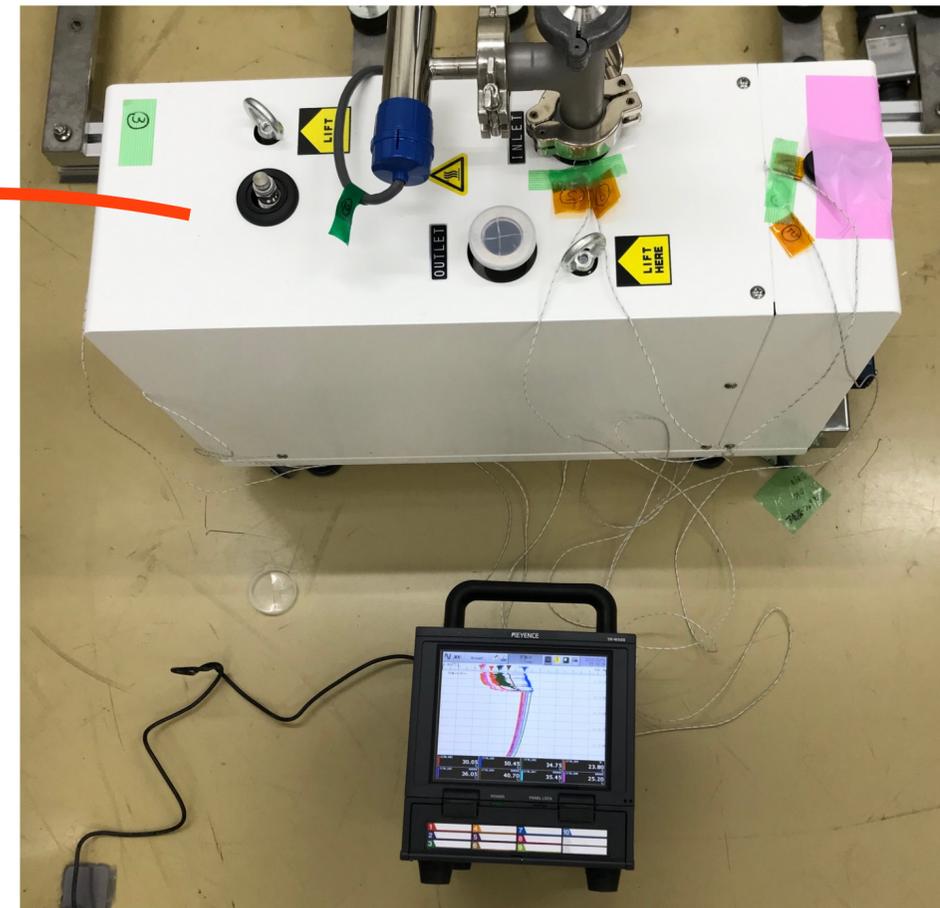
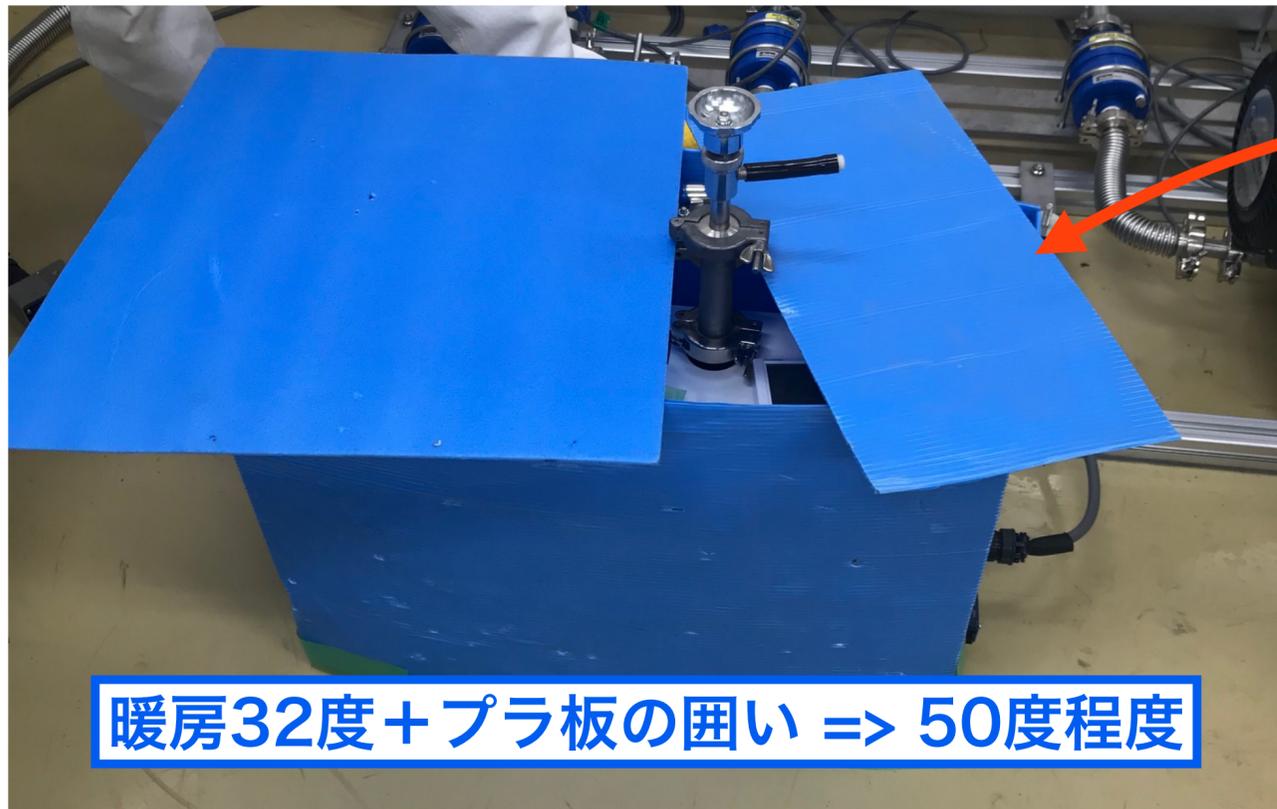
ルーツポンプの温度仕様：周囲 40度以下 (DSPと同じ)

RCSの粗引きポンプエリア：電磁石のケーブル等が密集しており高温 (壁 35度 → DSPは問題なく稼働)

→ ビーム利用運転中に温度異常でダウン (冷却ファン吸入口 41度)

→ 温度センサの系統誤差の仕様内最大値 (± 6度) のものであり、別個体であれば運転可能

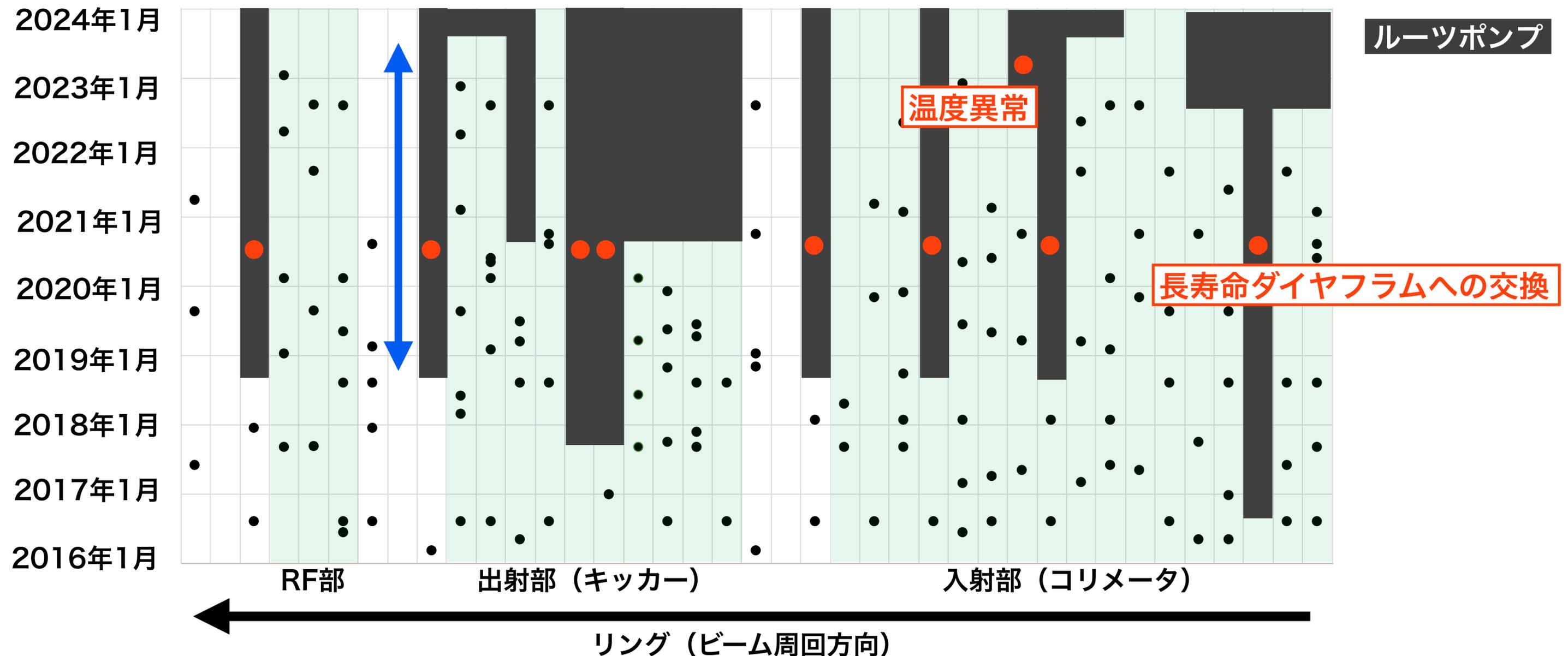
オフラインでの温度測定の様子



■ ルーツポンプの実績

到達圧力 : DSPと同等

長期安定性 : 紹介事象以外ノートラブル・ノーメンテで**5年以上**連続運転中 (2023年夏前: 18台, 4台追加予定)



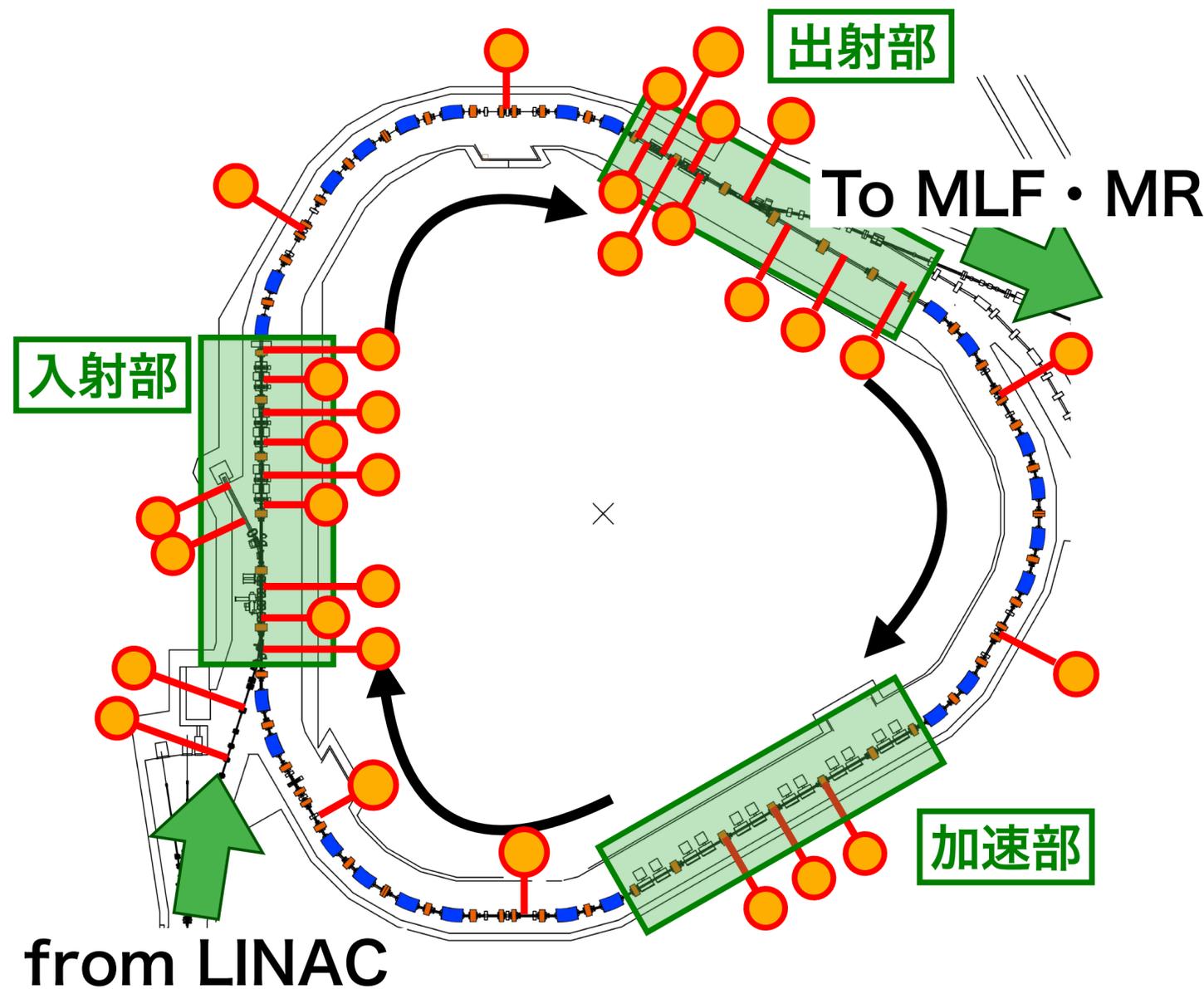
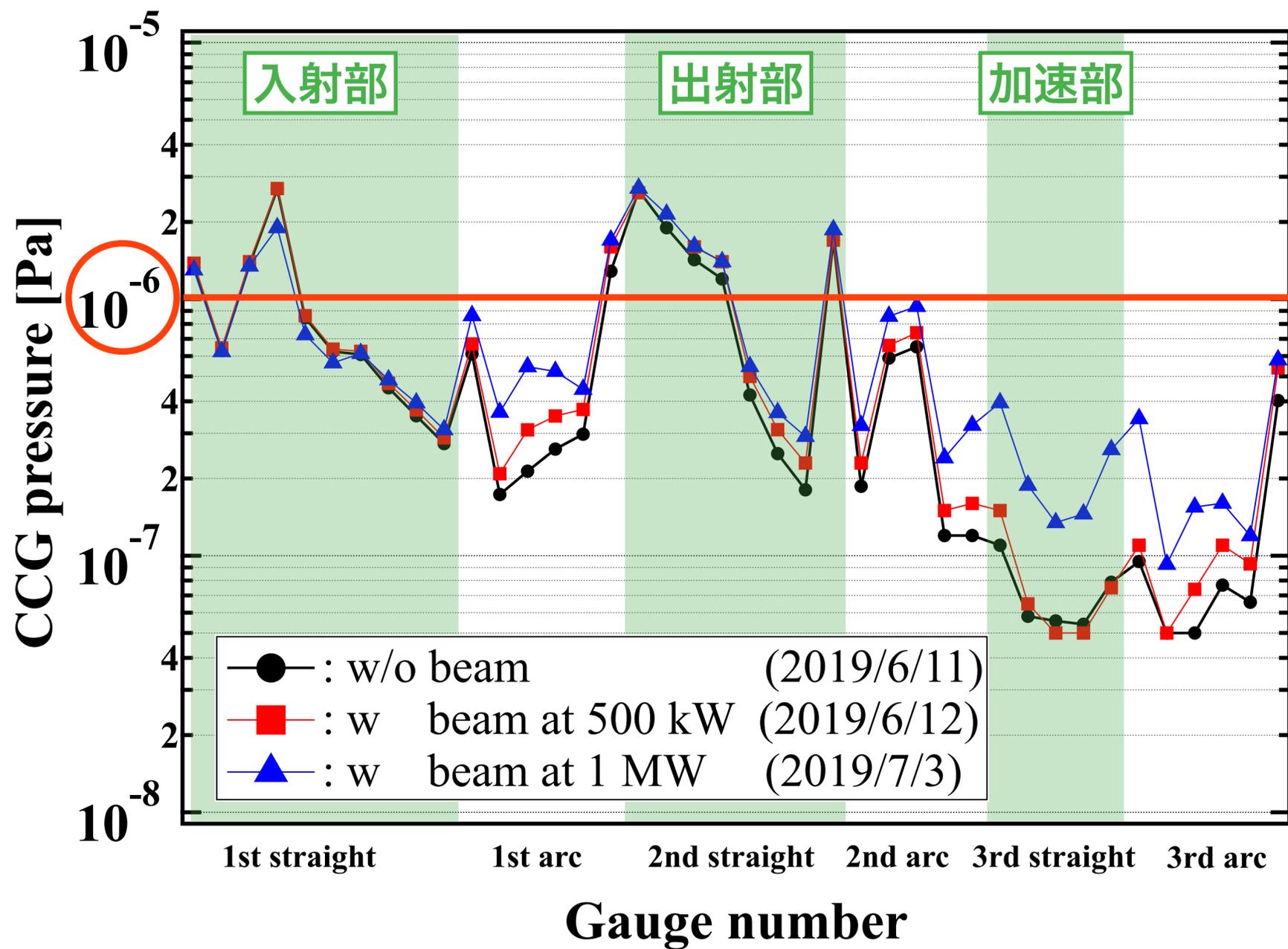
より高度・安定・安全な真空システムの実現に向けた排気系の改良

1. 真空排気系の改善

TMPフォアラインをDSPからルーツポンプへ

2. 真空排気系の増強

極高真空に向けたNEGポンプの増設



TMP 32台

現状：全周にわたり10⁻⁶ Pa程度以下を達成しており1MW運転も可能

■ 極高真空実現のためのNEGポンプ導入

現状：「**TMP+DSP**」にて 10^{-6} Paのビームライン圧力・安定なビーム供給を達成

目的：更なる大強度化・重イオン加速の計画に対応すべく、より高い真空度のビームラインを目指す

重イオン加速：ガスとの相互作用による電子剥離/捕獲を防ぐために 平均 10^{-7} Pa以下

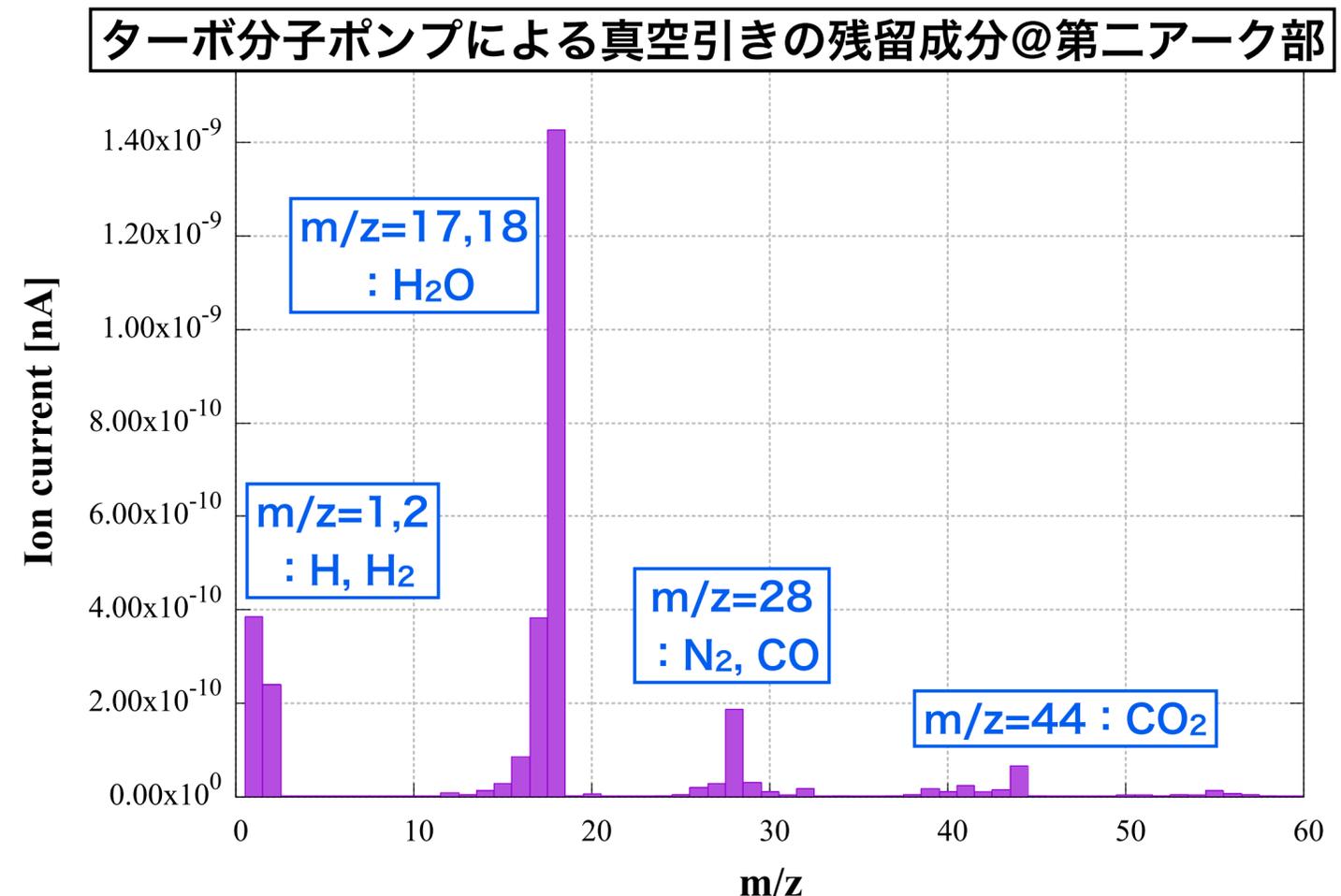
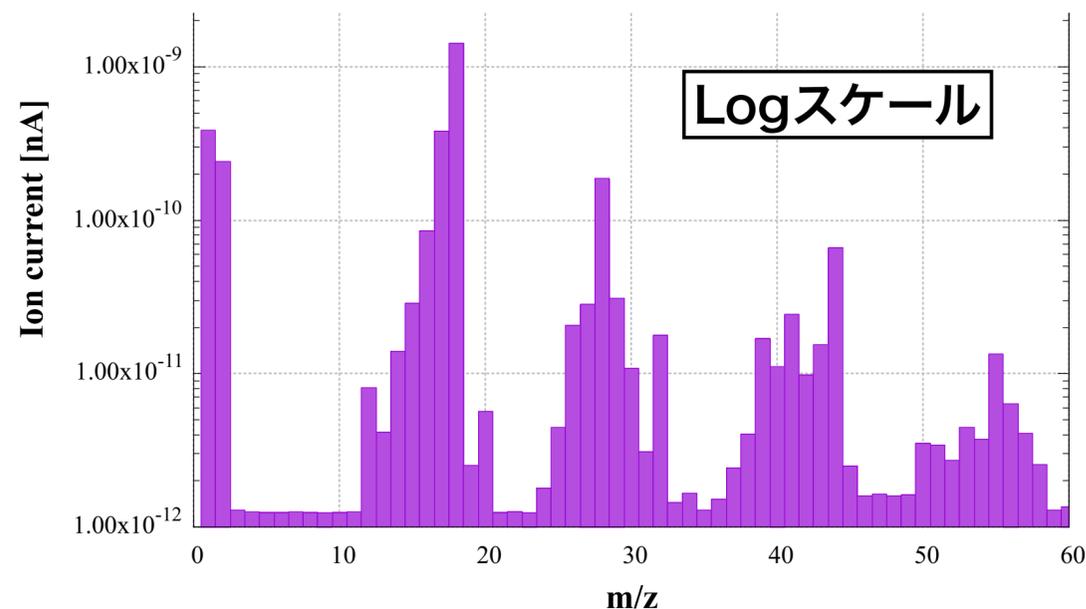
課題：TMPは**水素**の圧縮比が小さい

ビームラインベーキングが不可なため**水**が多く残留

その他、**CO**らしきものも多く残留

解決策：残留ガスの主成分 H₂, H₂O, CO の排気速度が高い

非蒸発型ゲッター (NEG) ポンプを増設



■ NEGポンプの増設

2019年以来、夏メンテナンスの度に**NEGポンプ**を増設

(H₂ : 3,500 L/s ↔ TMP: 1,200 L/s

H₂O : 2,600 L/s

CO : 1,600 L/s

N₂ : 900 L/s ↔ TMP: 1,300 L/s)

→ 使用していないイオンポンプと置き換え

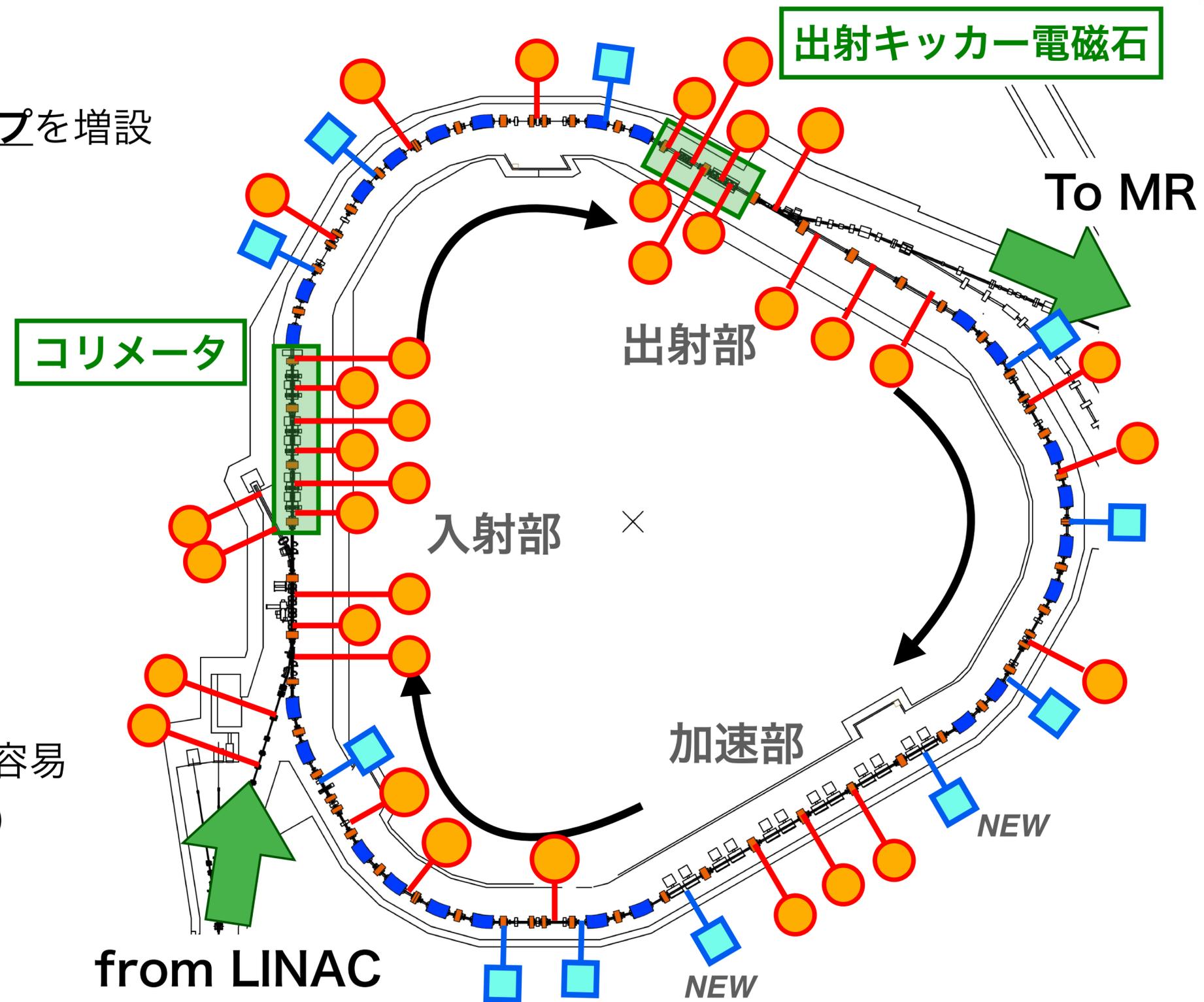
2023年夏前：9台

2023年夏：2台追加

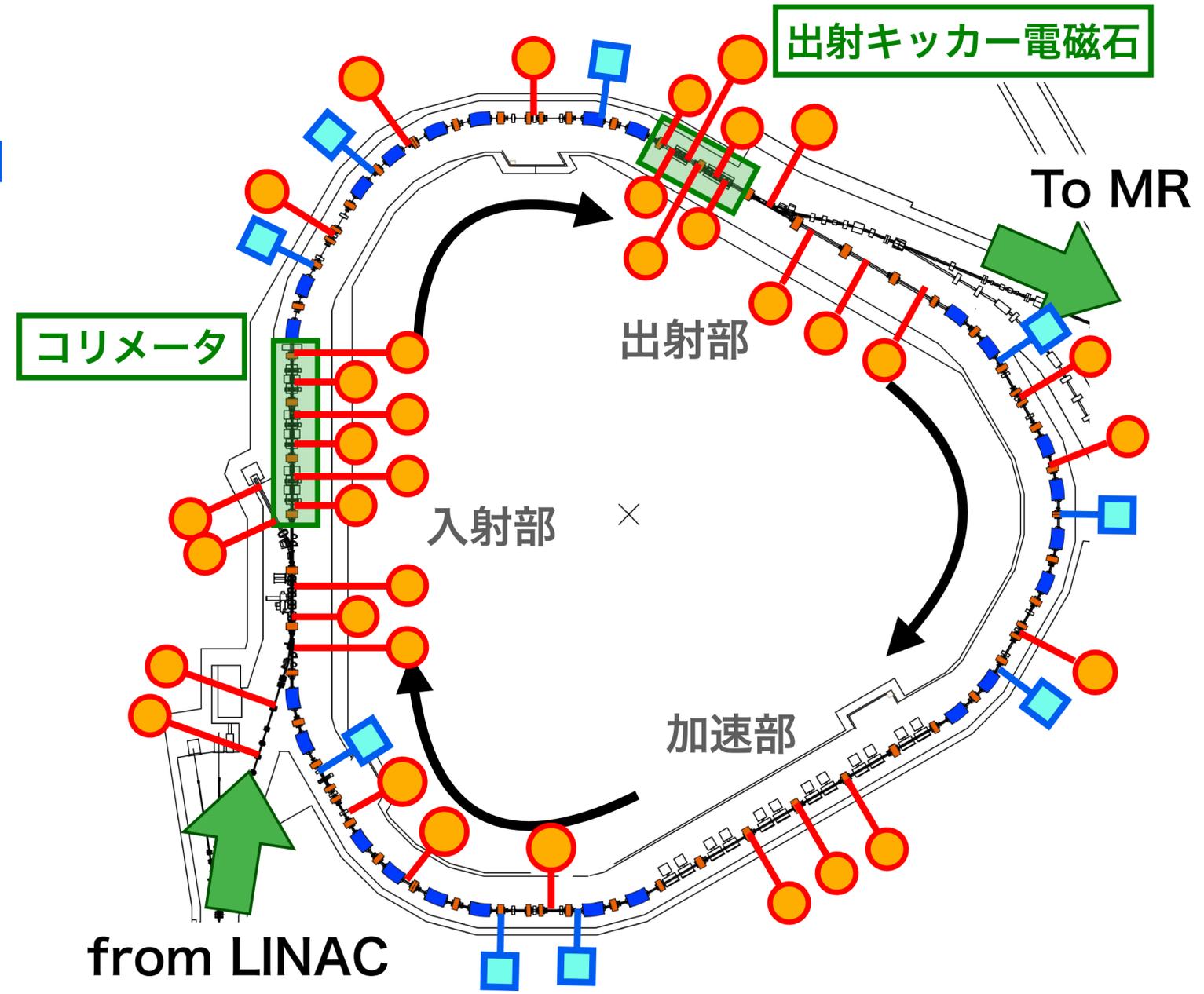
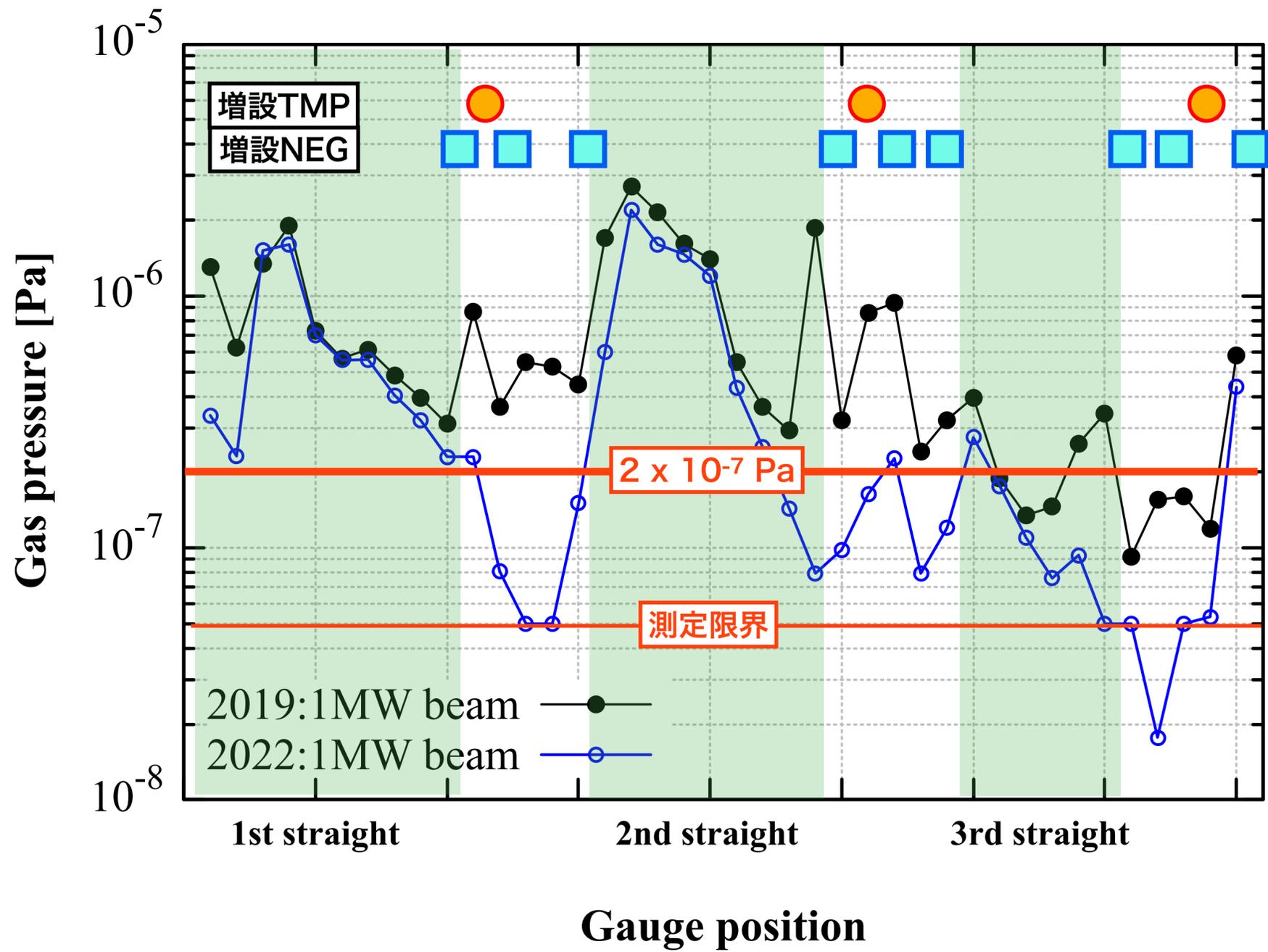
活性化用の電源以外の配線が不要なため増設が容易

→ RCSでは活性化系の遠隔化（地上から操作）

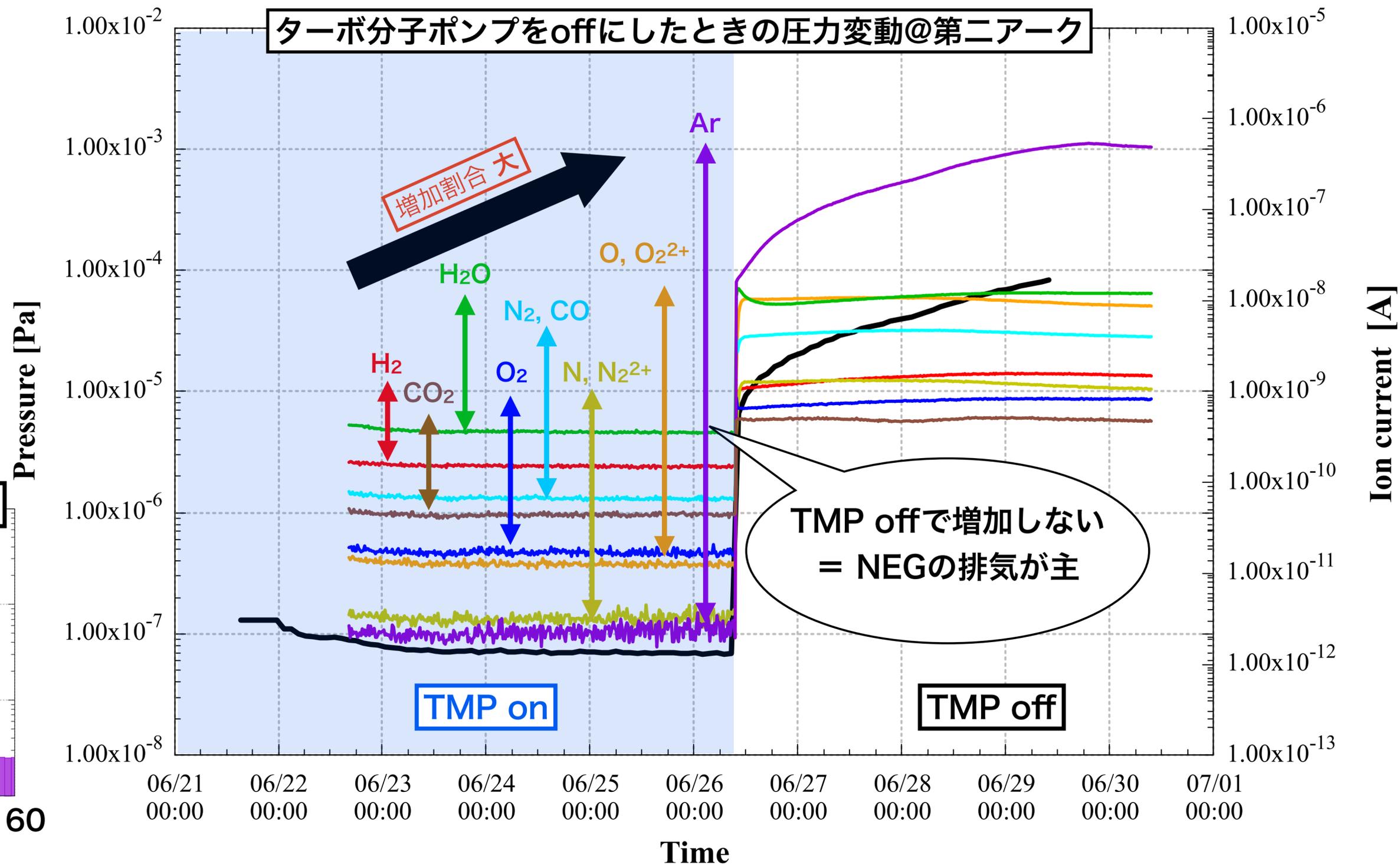
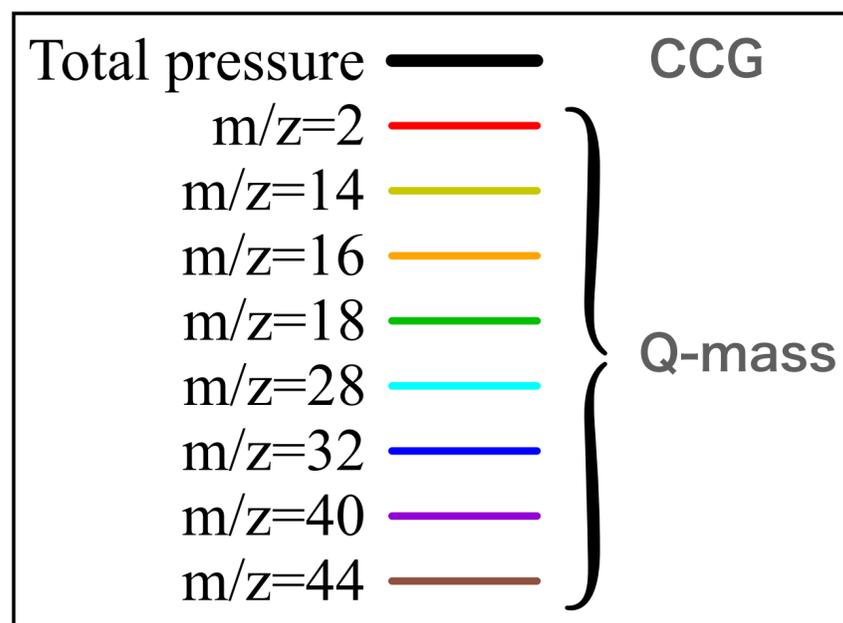
も進めている



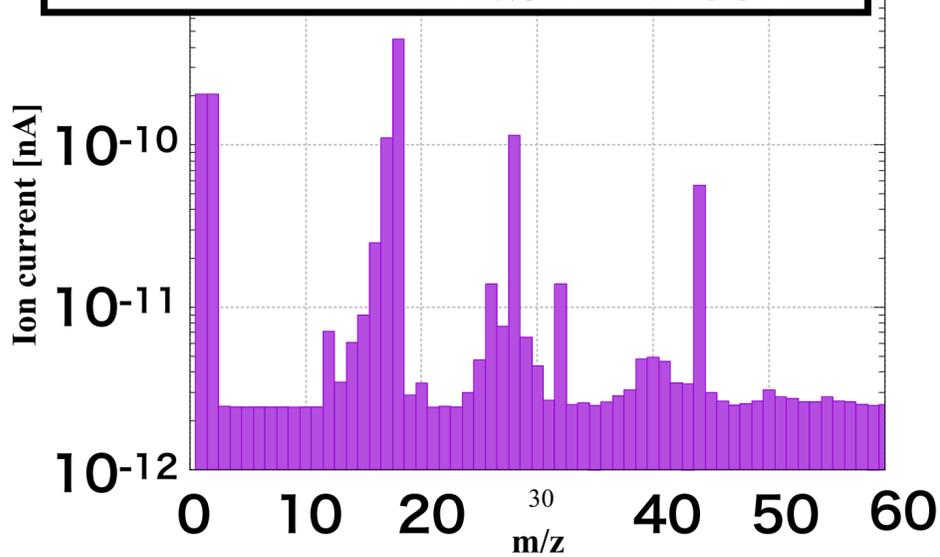
真空排気系の増強：NEGポンプの効果 ～圧力分布～



成果：アーク部は概ね $2 \times 10^{-7} \text{ Pa}$ 以下を達成 (CCGの測定下限値 $5 \times 10^{-8} \text{ Pa}$ に到達するもの多数)



TMP+NEGによる排気の残留成分

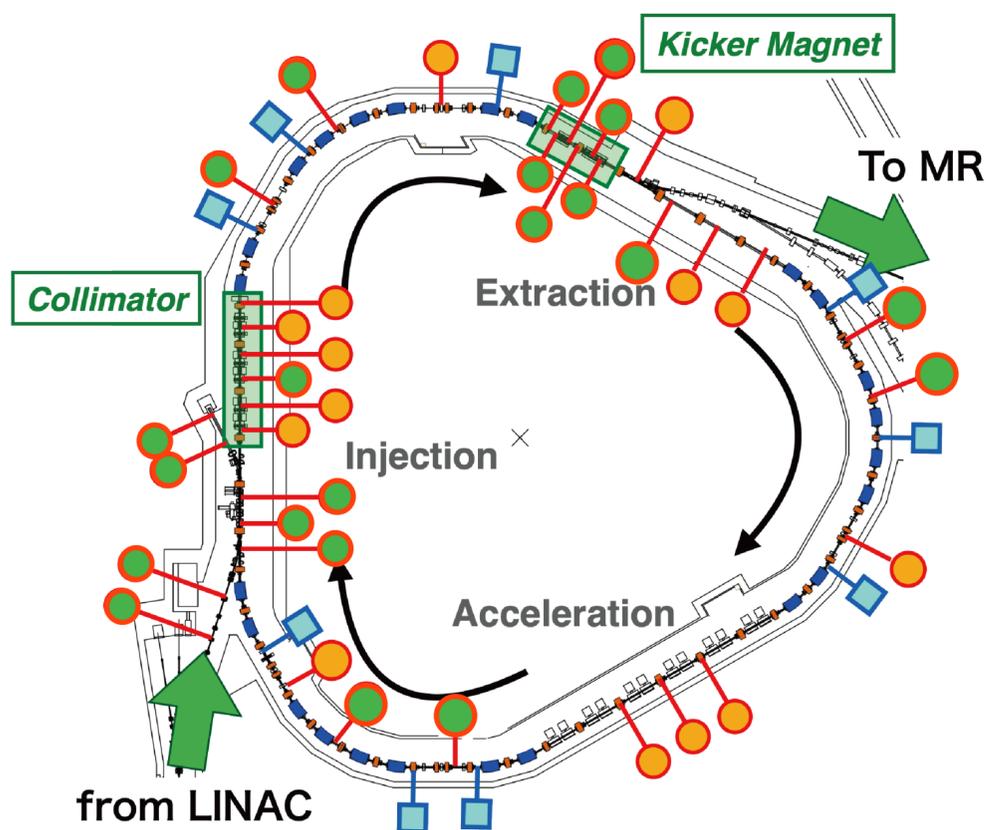


成果：トラブル無く，期待通りのガス種を排気 (H₂, CO₂, H₂O, O₂, CO)

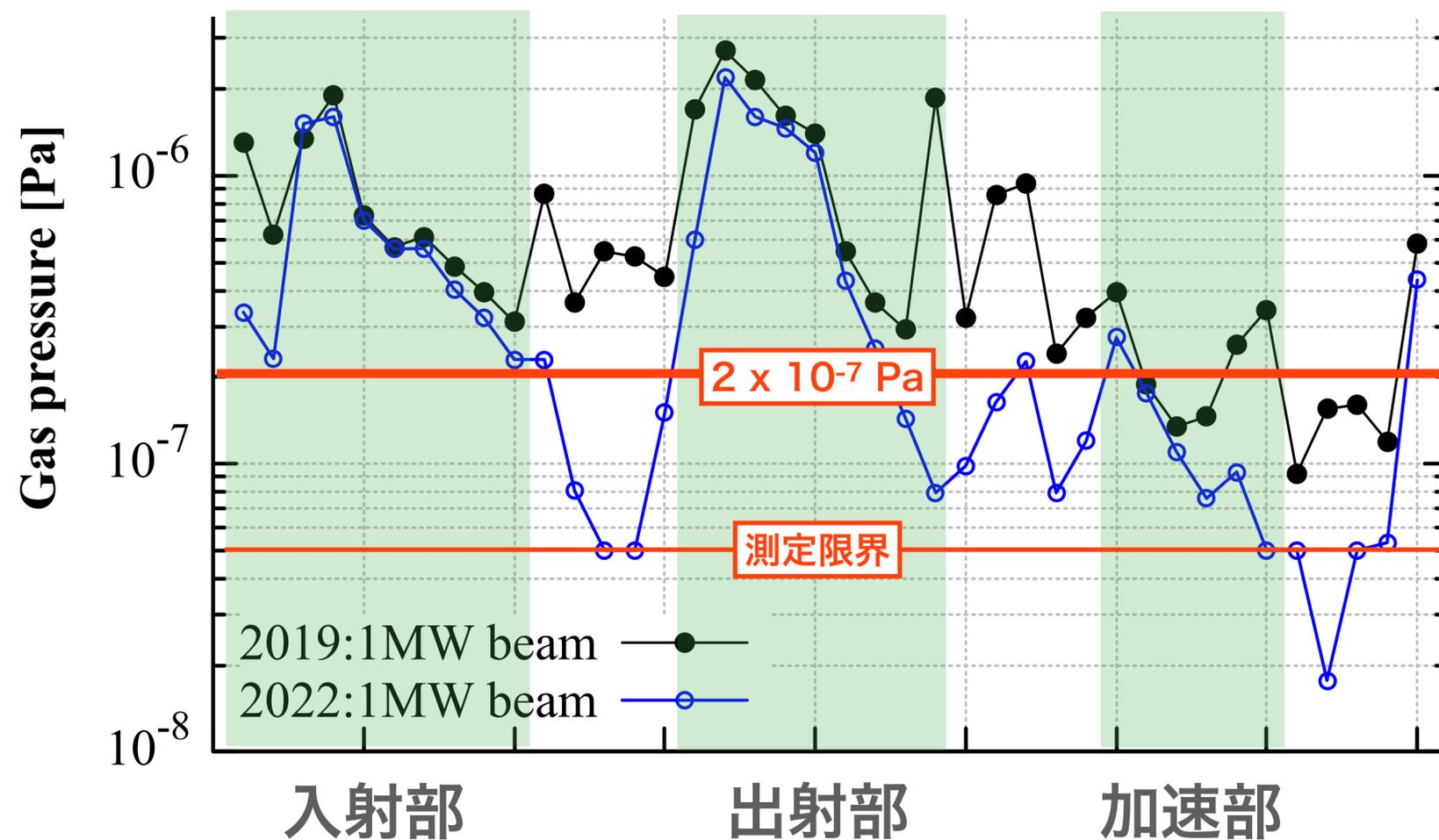
<これまでの実績>

目的：J-PARC加速器のさらなる安定化・高度化に向けたRCS真空システムの改良

DSPからルーツポンプへの置き換え
 → 到達圧力は同じまま5年以上連続運転可能



NEGポンプの増設
 → 到達圧力が1桁向上 = 重イオン加速への対応可能性



<今後> 直線部の真空度の向上
 入射部：リーク → 解決に向けた開発が必要
 出射部：キッカーからの放出ガス（主に水）

Appendices

■ 建設時に確立したセラミックダクトの製作工程

J-PARC RCS用セラミックダクト製作の最大の難点：**メートル級のサイズ**

→ 製作用の機器のサイズが足りないため専用品が多い

1. セラミックダクトの成形・焼成・加工

大量生産前提の手法 → **手法の見直し**

2. 金属フランジ溶接用・RFシールド電鑄用の端面メタライズ

現在も継続

3. ダクト内面のTiNコーティング

建設時の大きな炉が無い → **ロスト**

4. ダクトロウ付・フランジ溶接

建設時の大きな炉が無い → **ロスト**

専用の炉が不要で少数製作でも精度の良い手法が必要

5. RFシールド電鑄

建設時の大きな浴が無い → **ロスト**

■ セラミックダクトの成形・焼成・加工

J-PARC RCS用セラミックダクトの成形～加工における難点：

サイズがメートル級なため、成形後に内面を均一に加工・研磨できない（研磨器の限界）

→ 成形の段階で最終的な内寸法及び表面荒さを予測しなければならない

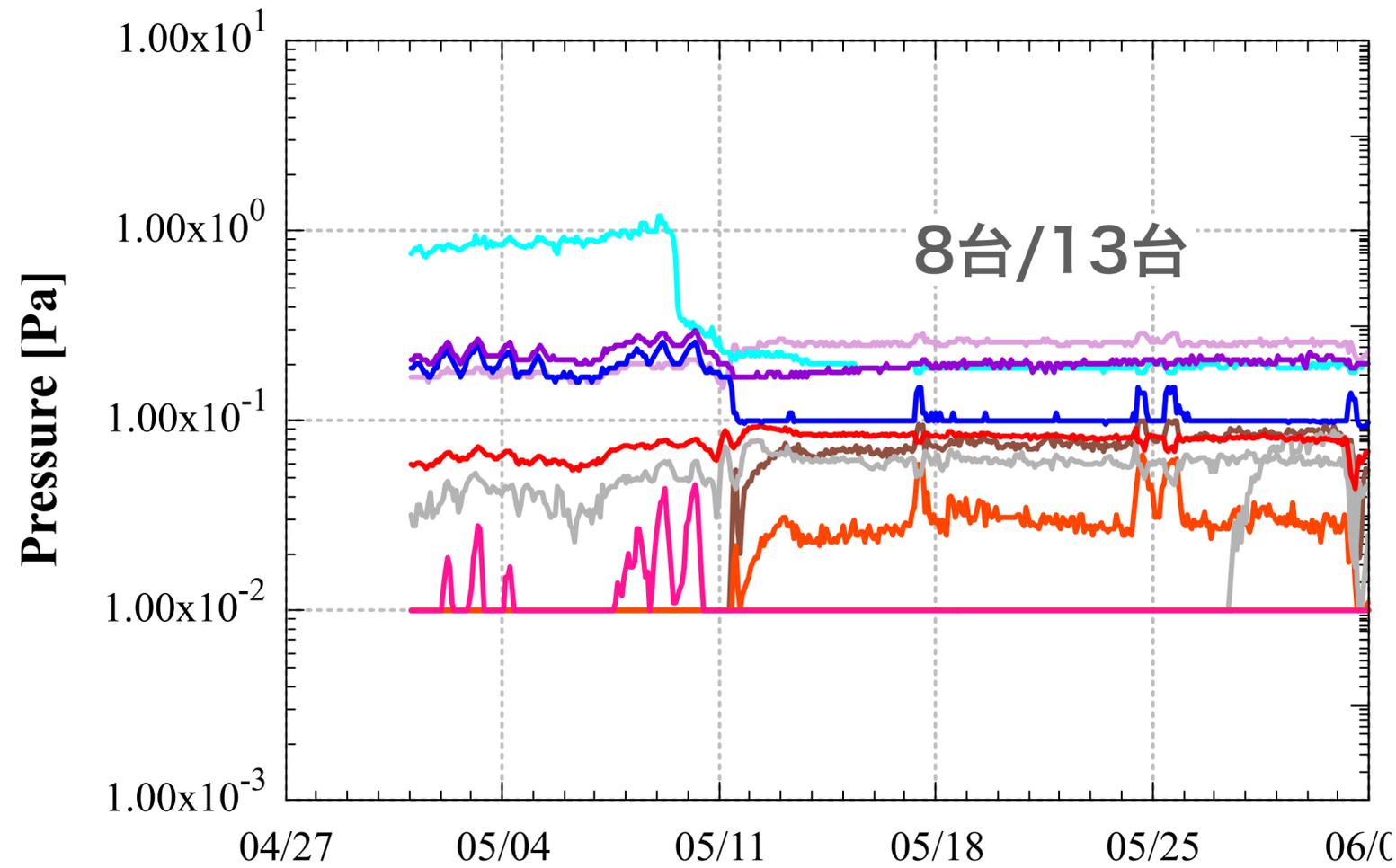
ex) 焼成時に収縮・自重による変形があるが、ダクト内寸法を後で調整できない

建設時はマスプロダクションの利点を活かして内寸歩の近いものを組み合わせた

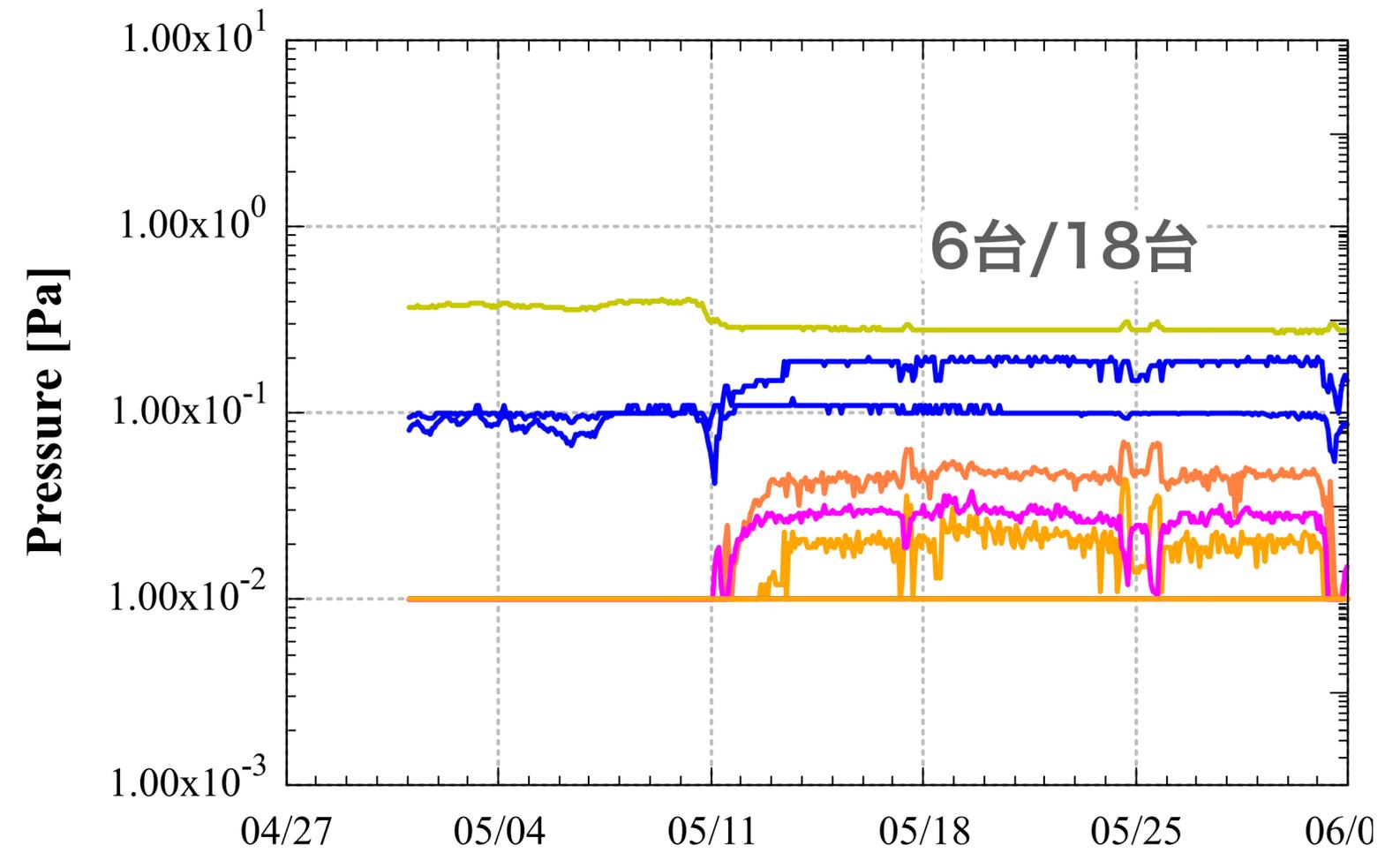
■ TMPフォアライン圧力比較

到達圧力：DSPと同等の0.01 Pa以下

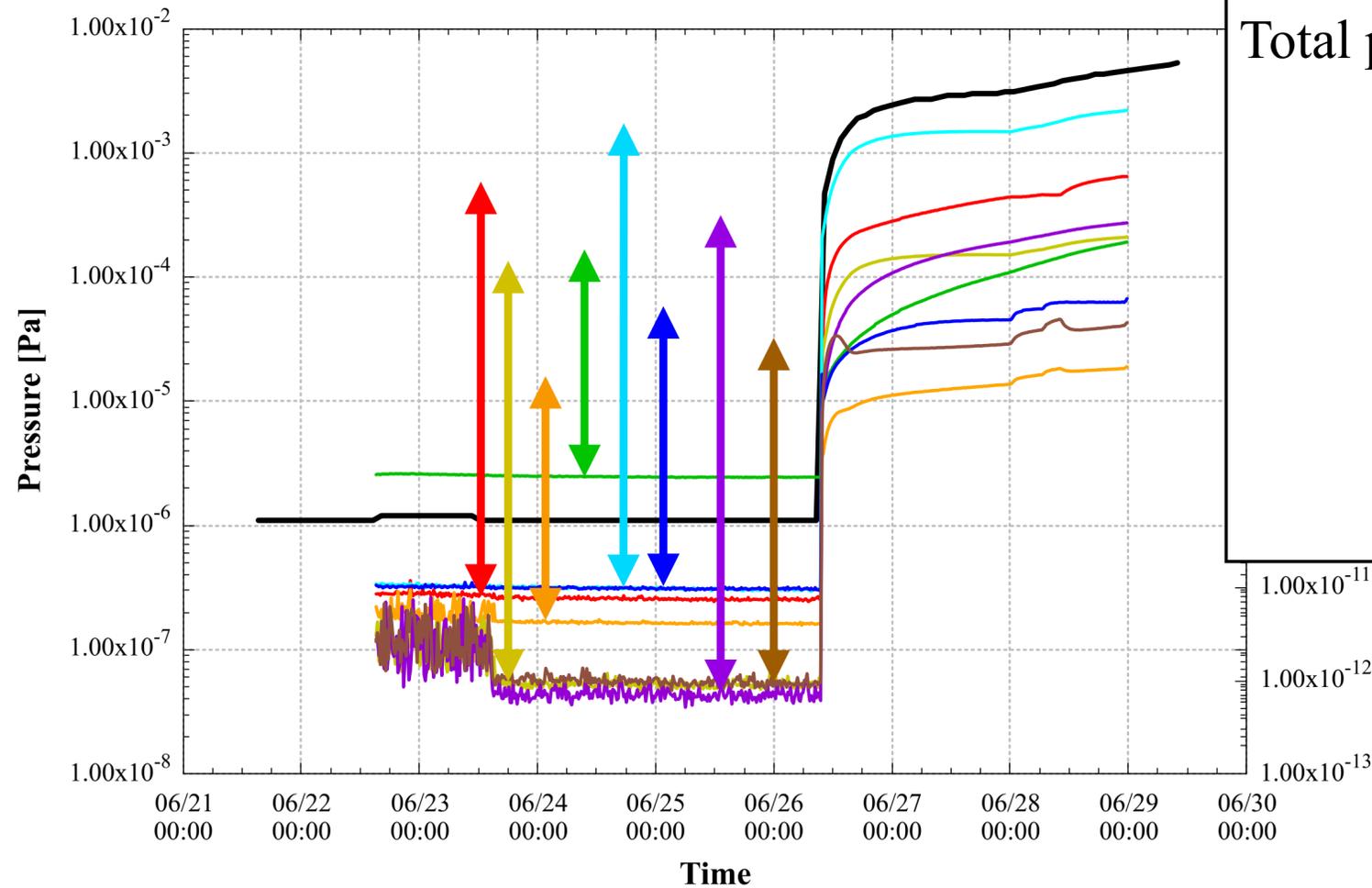
安定性：DSPよりも圧力増加しているものが少ない



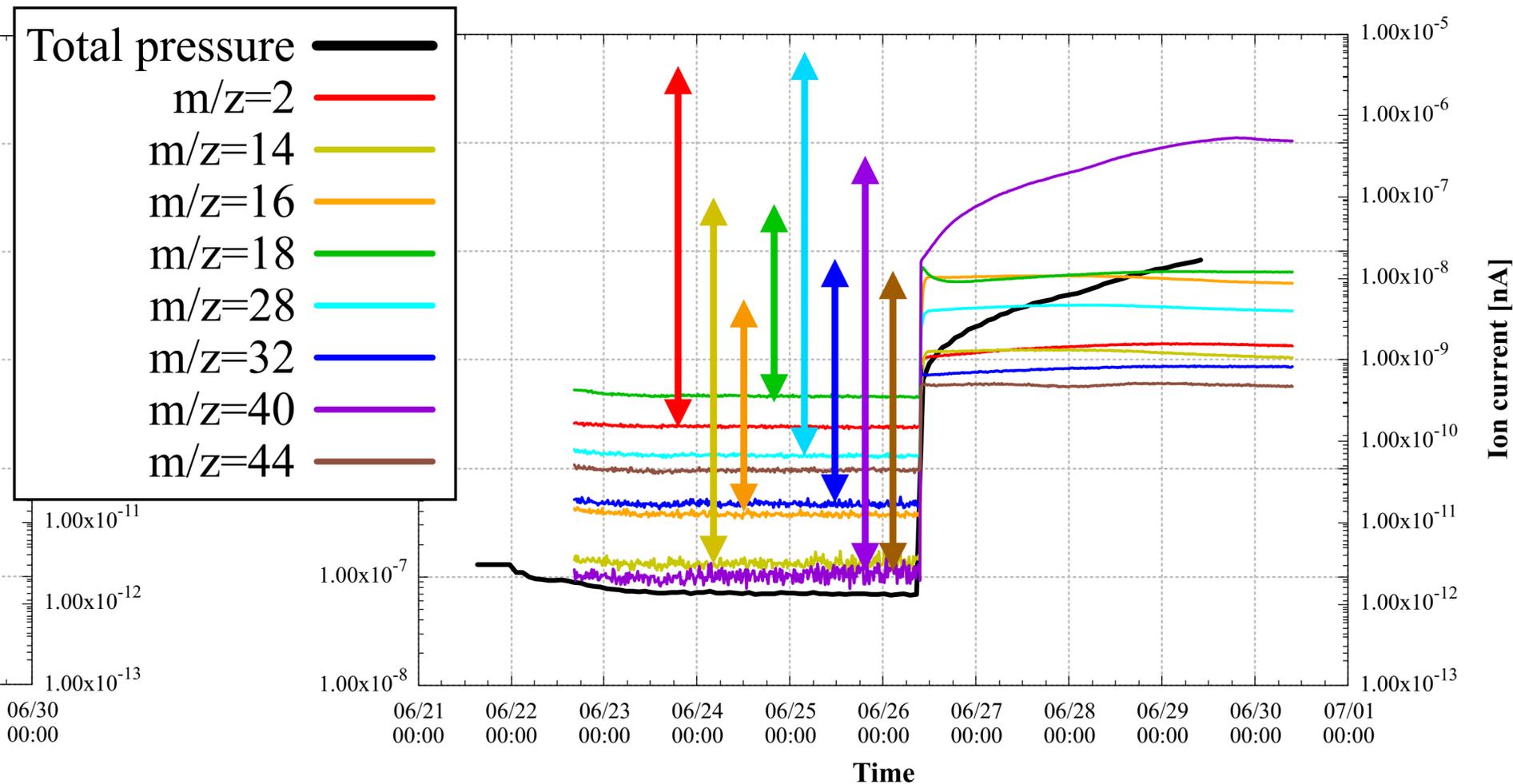
DSP



ルーツポンプ



NEG無しのビームライン：出射部



NEG有りのビームライン：アーク部

成果：予想通り

- 水素はほとんどNEGポンプが排気
- アルゴンはNEGポンプで排気できない