

J-PARC加速器の真空技術を応用した 省エネ・省スペースな超高真空ポンプ の開発

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

J-PARCセンター 加速器ディビジョン 加速器第三セクション サブリーダー

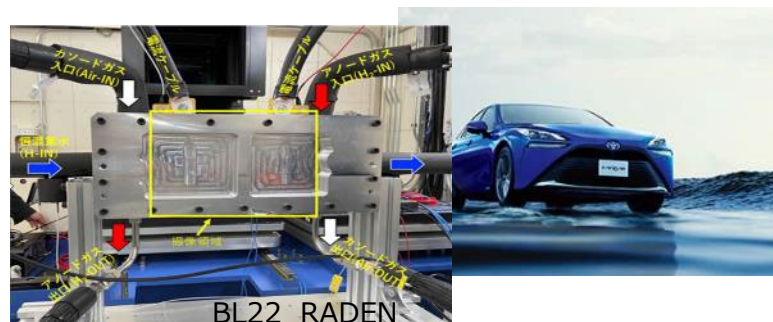
神谷潤一郎

大強度陽子加速器施設J-PARC



J-PARCでの近年の研究成果

物質・生命科学実験施設（中性子）



中性子イメージング実験配置

トヨタ自動車の新型MIRAIに搭載される燃料電池内の生成水の挙動を明らかにしました。**実機を用いた可視化は世界初の成果**となります。

物質・生命科学実験施設（ミュオン）



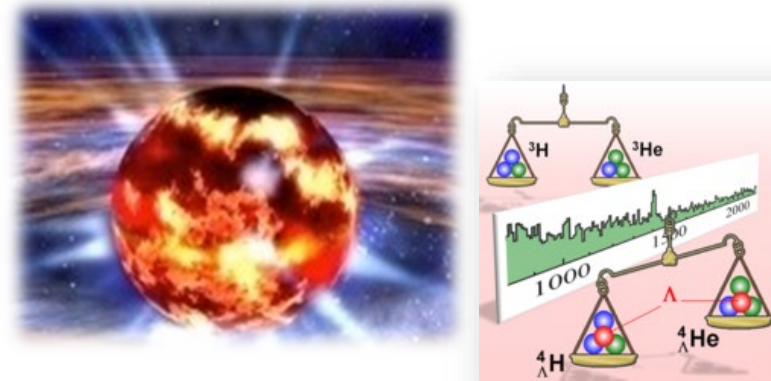
素粒子ミュオンにより非破壊で小惑星リュウグウの石の元素分析に成功、**地球の生命や海の起源に迫ります。**

ニュートリノ実験施設



ニュートリノと反ニュートリノの両方でニュートリノ振動を測定。
レプトンでの「CP対称性の破れ」の可能性を世界で最初に示唆

ハドロン実験施設

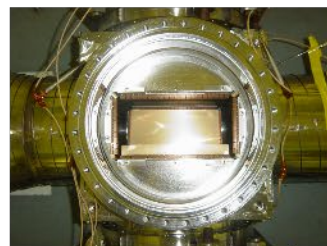


K中間子でストレンジ核物理の新しい局面を開く
原子核の成り立ちや**中性子星の構造の理解に新たな知見**

J-PARCの真空システム(3GeVシンクロトロン为例)

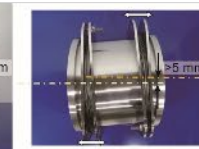


入射部四極電磁石用セラミック製ビームパイプ



コリメーター

ビームの端をコリメーターで止めて、理想の形のビームにするよ。



チタン製ベローズ

ビームパイプどうしをつなぐよ。低放射化材料のチタンセなんだ。



ビームを取り出す電磁石。高電圧がかかるので真空中にいれるよ。

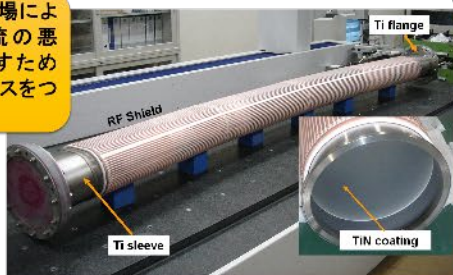


ビームモニターや荷電変換フォイルを挿入するポートがあって複雑な形だよ

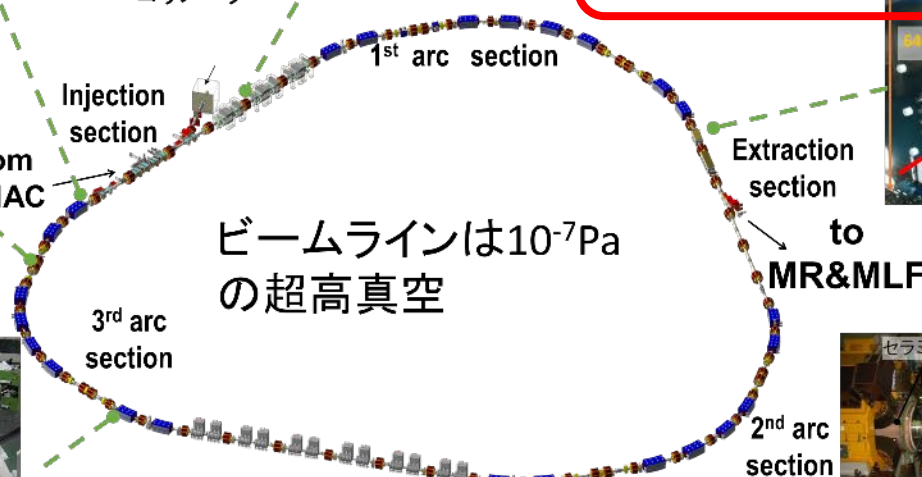


入射点のチタン製真空チェンバー

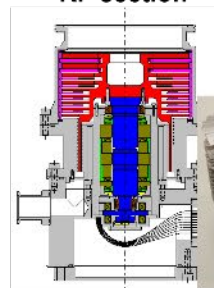
変動する磁場による誘導電流の悪影響をなくするためにセラミックスをつかうんだ。



偏向電磁石用セラミック製ビームパイプ



RF section



耐放射線性ターボ分子ポンプ

このポンプで超高真空をつくるんだ。放射線で劣化しにくい材料が使われているよ。



真空機器配置の一例

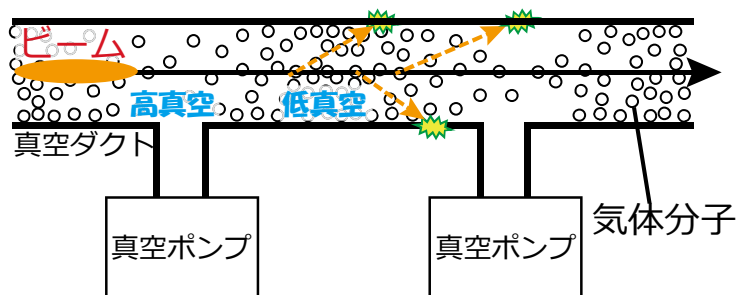
次世代高度化のキーテクノロジー「真空」

[分野・装置]	次世代高度化	ボトルネック
[加速器]	ビーム大強度化	低ビームロス
[分析装置]	高分解能化	長時間安定
[半導体プロセス]	ウェハ大型化	ウルトラクリーン真空(UCV)

J-PARC

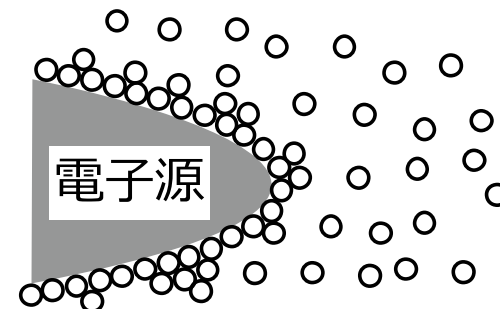
「超高真空」がキーテクノロジー

例) 加速器のビームライン



ビームと気体との衝突→ビームの損失

例) 電子顕微鏡の電子源



表面への気体吸着→分解能不安定



性能向上のためには非常に低い圧力(超高真空)にすることが重要

超高真空実現の課題

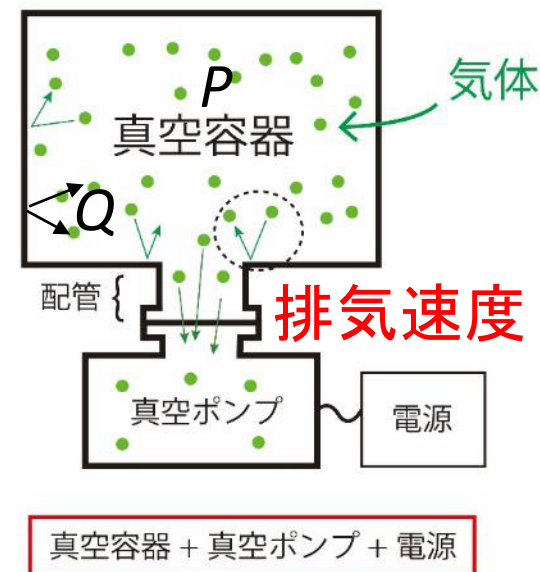
超高真空をつくるには、
圧力を低く⇒**排気速度**を大きく
⇒ポンプの大型化

□消費電力大
□スペース大



持続可能な性能向上が困難

従来の真空装置



チタンのゲッター性能へ着目

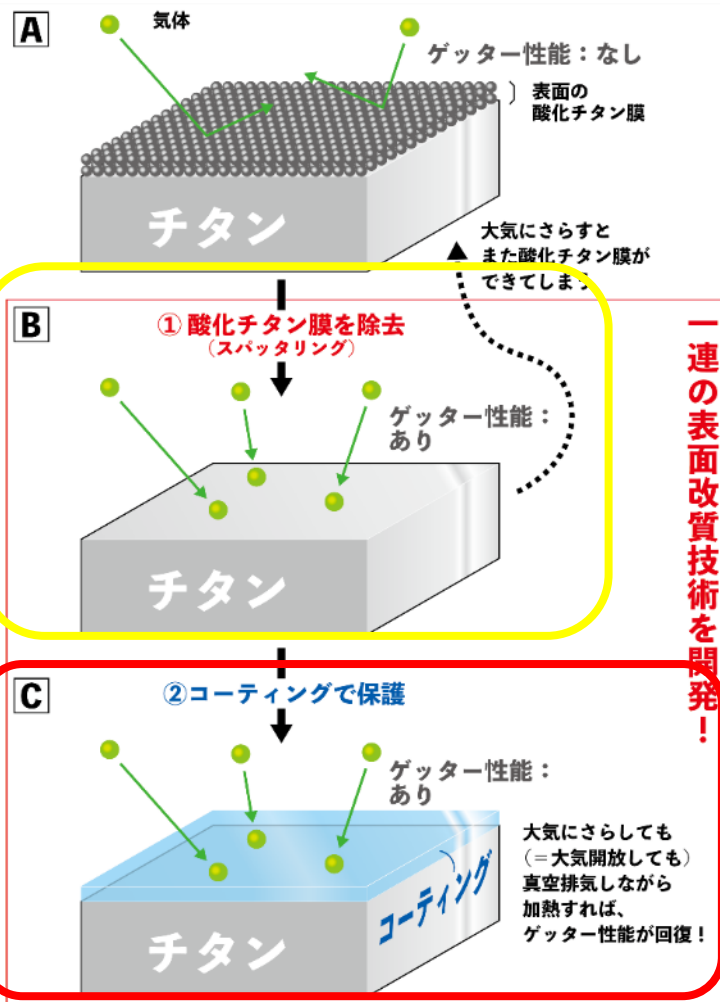
- J-PARC加速器では、低放射化材料であるチタンをビームラインとして用いており、これまでチタンからの真空中へ放出される気体を低減する処理などを研究してきた。
- チタンが持つ気体を吸着・吸収する性能(ゲッター性能)に着目した。
- しかし通常、チタンの表面は酸化膜に覆われているためゲッター性能はない。
- 今回、チタンの表面改質をして、チタン製真空容器自体を電源不要の超高真空ゲッターポンプとして機能させる開発を行った。



J-PARC加速器のビームライン (チタン製のビームパイプやベローズ)



表面チタン酸化膜除去とコーティング



①酸化チタン膜を除去してゲッター性能を持たせる(B図)

しかし、これでは大気にさらすとまた酸化チタン膜が表面を覆ってしまう(A図)。そこで、

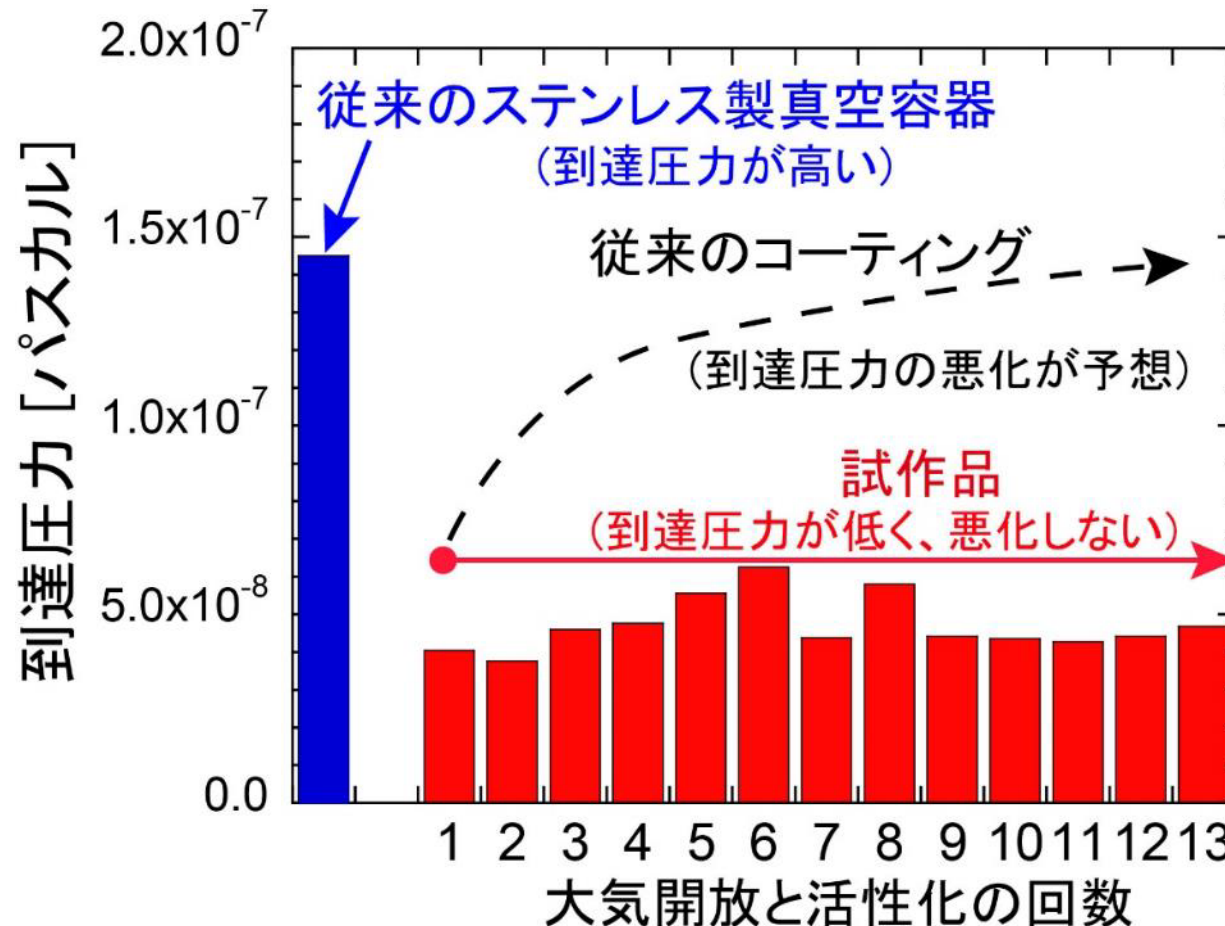
②チタンを保護するためのコーティングを実施した(C図)。

特許公開中(特開2022-027577)

試作品の真空性能

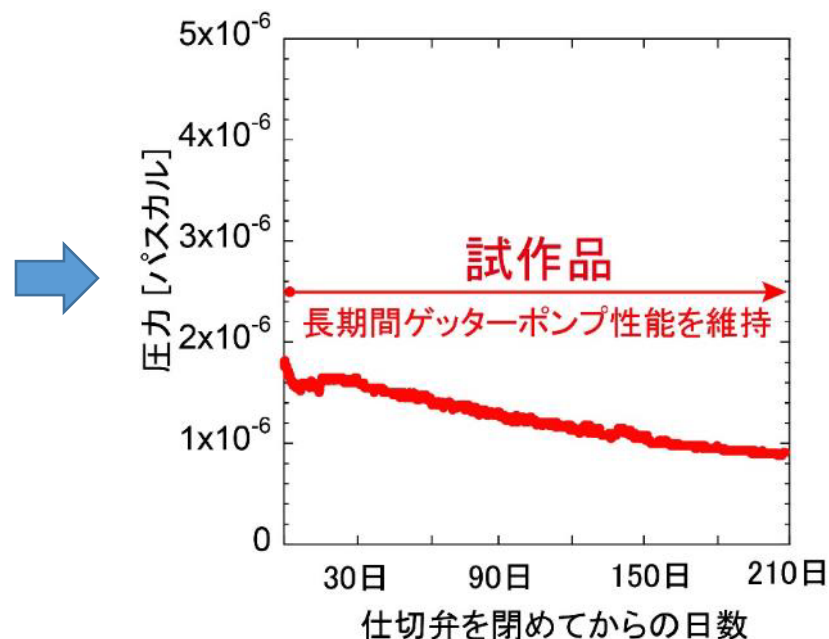
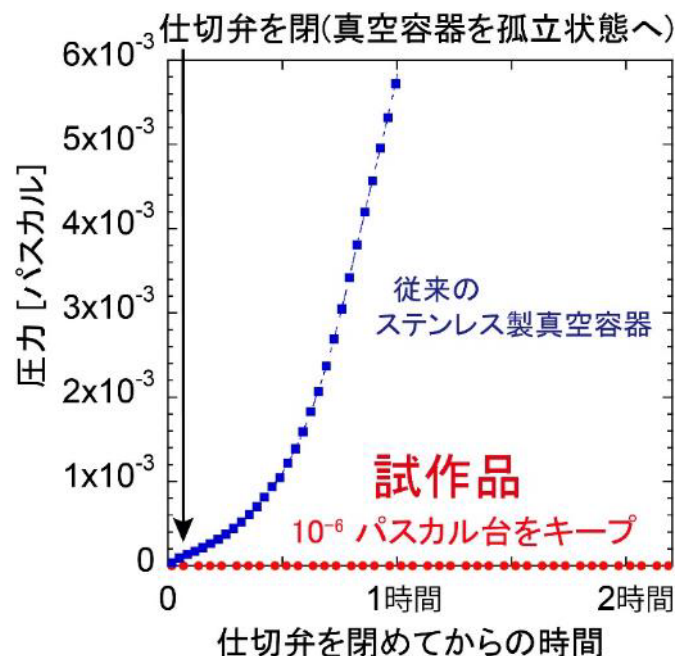
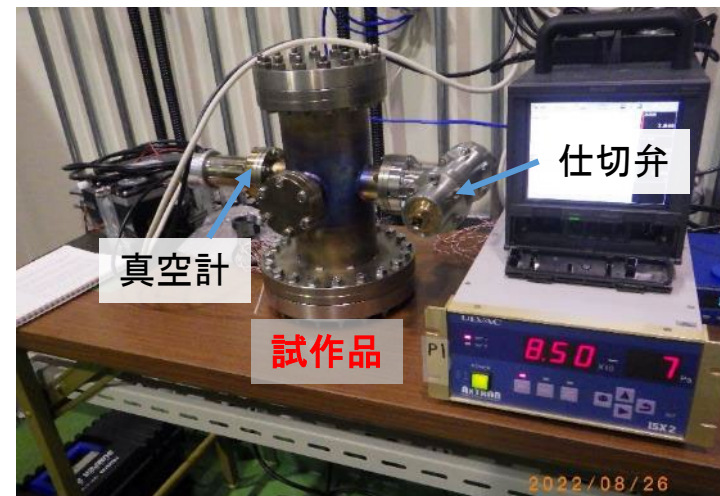
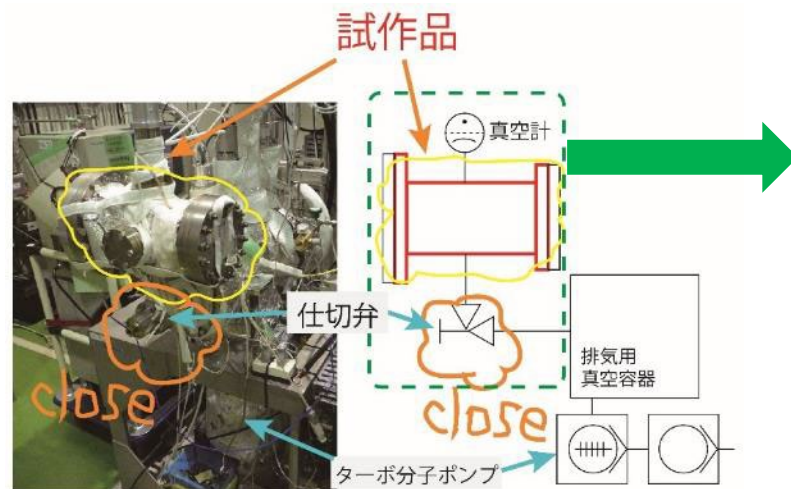


試作品

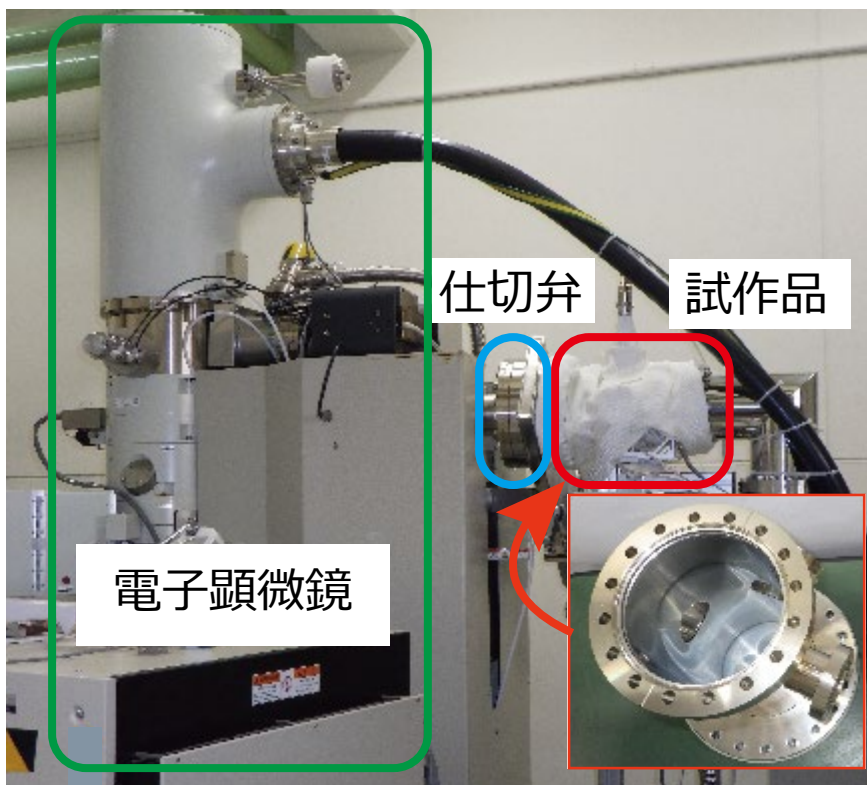


試作品では従来の真空容器よりも低い到達圧力(=良い真空)を得ることができた。また、大気開放と活性化を繰り返しても低い到達圧力を維持した。

容器を孤立状態にしても超高真空維持を実証

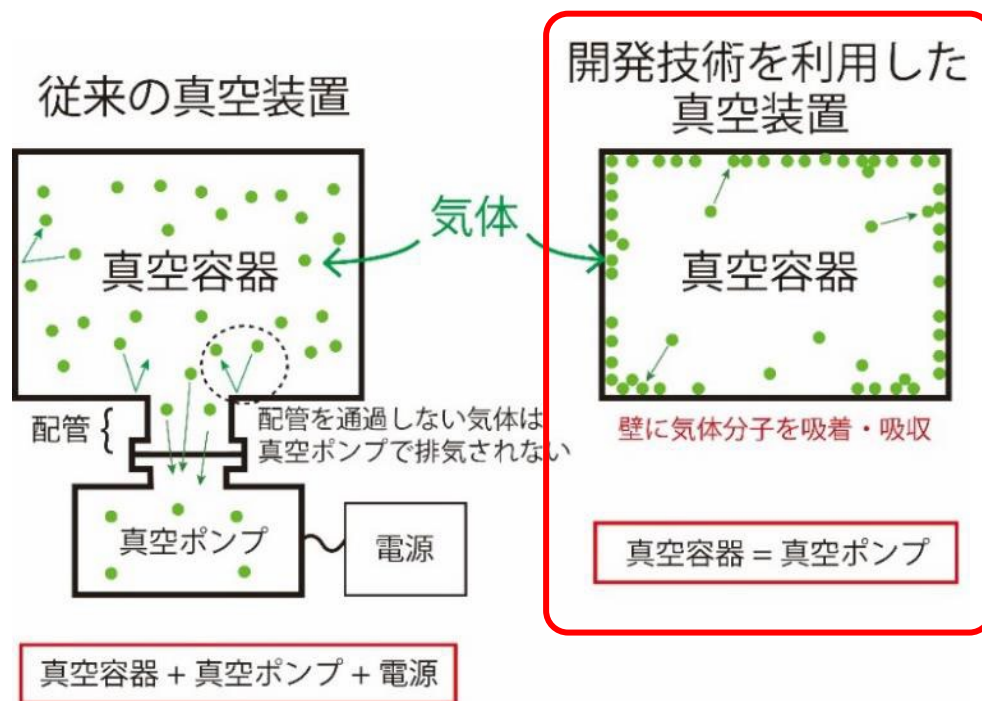


電子顕微鏡の圧力改善を実証



試料交換～測定的时间短縮
→多くの試料を分析する場合に利点

カーボンニュートラルな持続可能社会への貢献



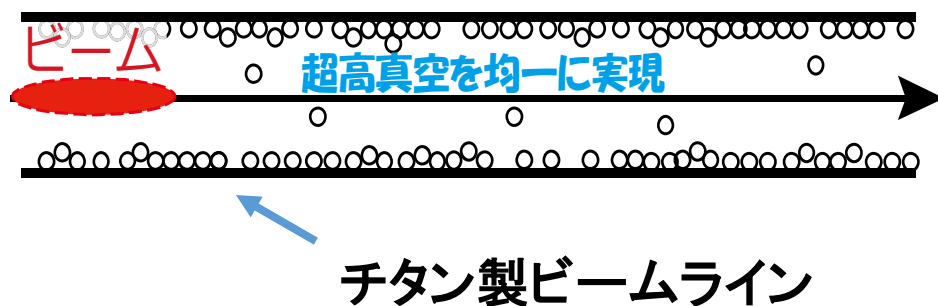
省電力、省スペースで
超高真空化が可能



例えば、J-PARCビームラインへ利用し、既存ポンプ台数の低減へ
→電力消費量減、保守頻度減

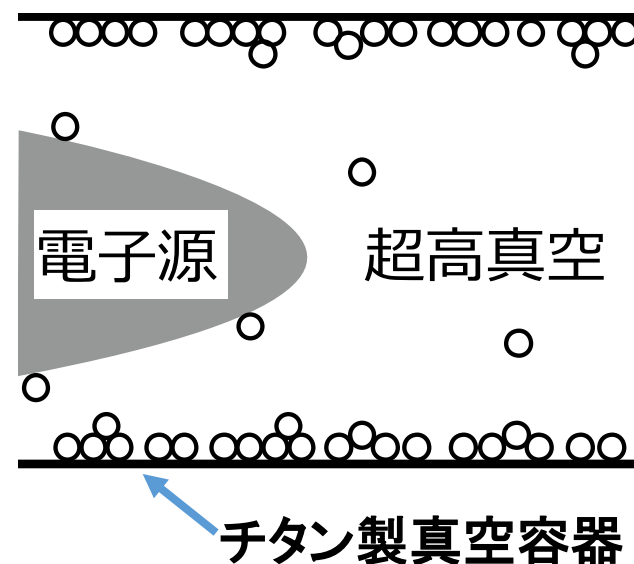
真空容器自体を超高真空ゲッターポンプに

例) 加速器のビームライン



均一な超高真空の実現
→ビーム大強度化の実現

例) 電子顕微鏡の電子源



電子源への気体吸着低減
→長期安定化の実現

持続可能な高度化に対するボトルネックの解消へ

将来展望

「超高真空トランスファーケース」の世界標準化

外部機関、企業との試料授受が可能

新分野、異業種、産業界との連携

→ JAEAが構築する物質材料開発のプラットフォーム

成長産業界の輸送課題を解決

電源、バッテリー不要で高真空を維持(空輸可能)

→コンタミフリーでの半導体チップ輸送、電子源輸送
のイノベーション

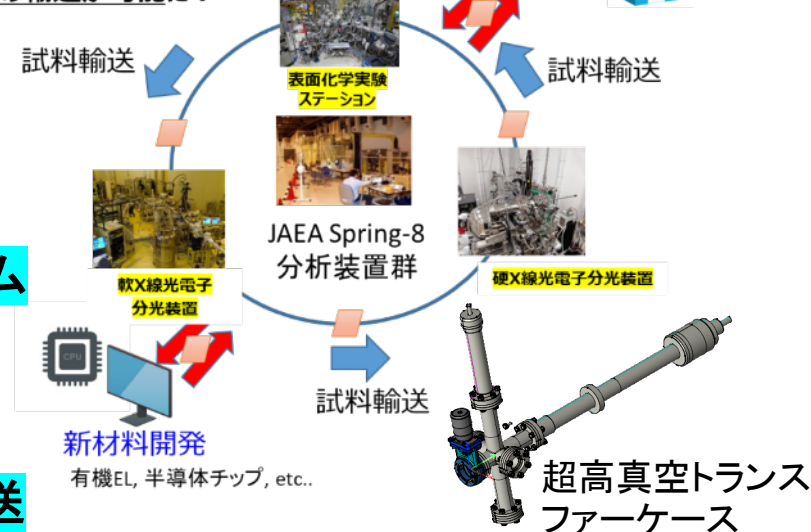
革新的産業システムへの展開

ミニマルファブ装置間のチップ輸送装置へ適用可能



日経ビジネス: 業界地図を塗り替える刺客 センサーは内製できる

1枚の試料で複数装置間+外部への
の輸送が可能に!



身近な製品への期待

複層ガラスや魔法瓶の真空断熱性能アップ

まとめ

- ◆ J-PARC加速器で利用しているチタンのゲッター性能に着目し、真空容器自体を真空ポンプとして活用する技術を開発。
- ◆ 試作チタン製真空容器で、200日以上^の超高真空維持や、電子顕微鏡の真空性能の向上を実証し、社会実装へ大きく前進。
- ◆ 発明した技術で、ポンプ設置スペースや駆動電力が大幅に低減可能。
- ◆ 半導体の製造装置等の成長産業用装置の省電力化にもつながり、カーボンニュートラルな持続可能社会に大きく貢献できる。

本成果は2022年9月6日プレス発表し、
日刊工業新聞(9/8)・科学新聞(9/30)に掲載されました。

ご清聴いただきありがとうございました