

ベーキング不要の高速超高真空排気と節電効果

Quick Pumping to UHV without Baking and its Electric Power Saving Effect

○山崎 孝¹、四家 淳一¹、山形 基¹、加藤 裕之¹、北野 雅裕¹、加藤 茂樹^{2,3}

北野精機(株)¹、高エネルギー加速器研究機構²、総合研究大学院大学³



Outline

◆ 研究背景

高速排気及びバーク不要のメリット

◆ 研究目的

高速排気を実現する為の狙い

◆ 装置構成

◆ 実験方法

導入ガス中の水分に着目した実験
実用的な高速排気

◆ 実験結果

ガス放出速度と残留ガス分析
排気時間の短縮と節電効果

◆ まとめ

研究背景

高速排気システム開発によるメリット

- ・ 高速排気による待機時間の削減
- ・ 真空システムの消費電力の削減
(二酸化炭素ガスの排出削減)

⇒人的コストの削減及び節電に貢献



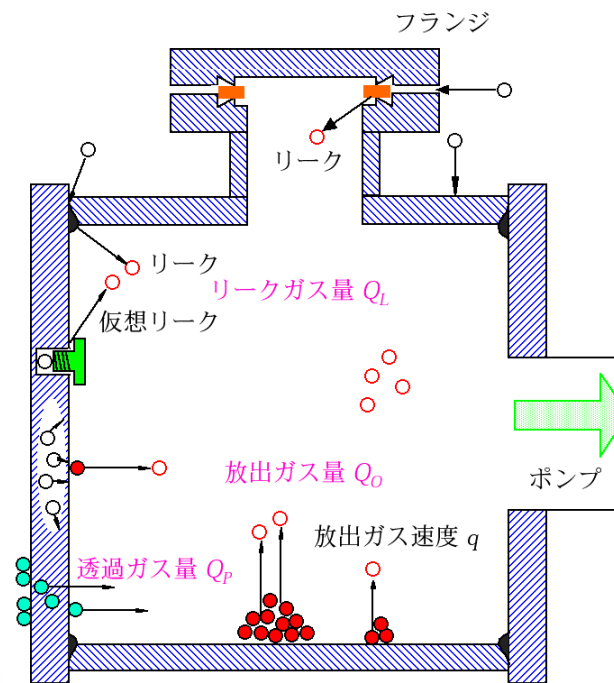
ベーキング不要のメリット

- ・ ベーキングの設備・準備・電力・待機時間が不要

⇒人的コストの削減及び節電に貢献

理想的な真空表面とは？

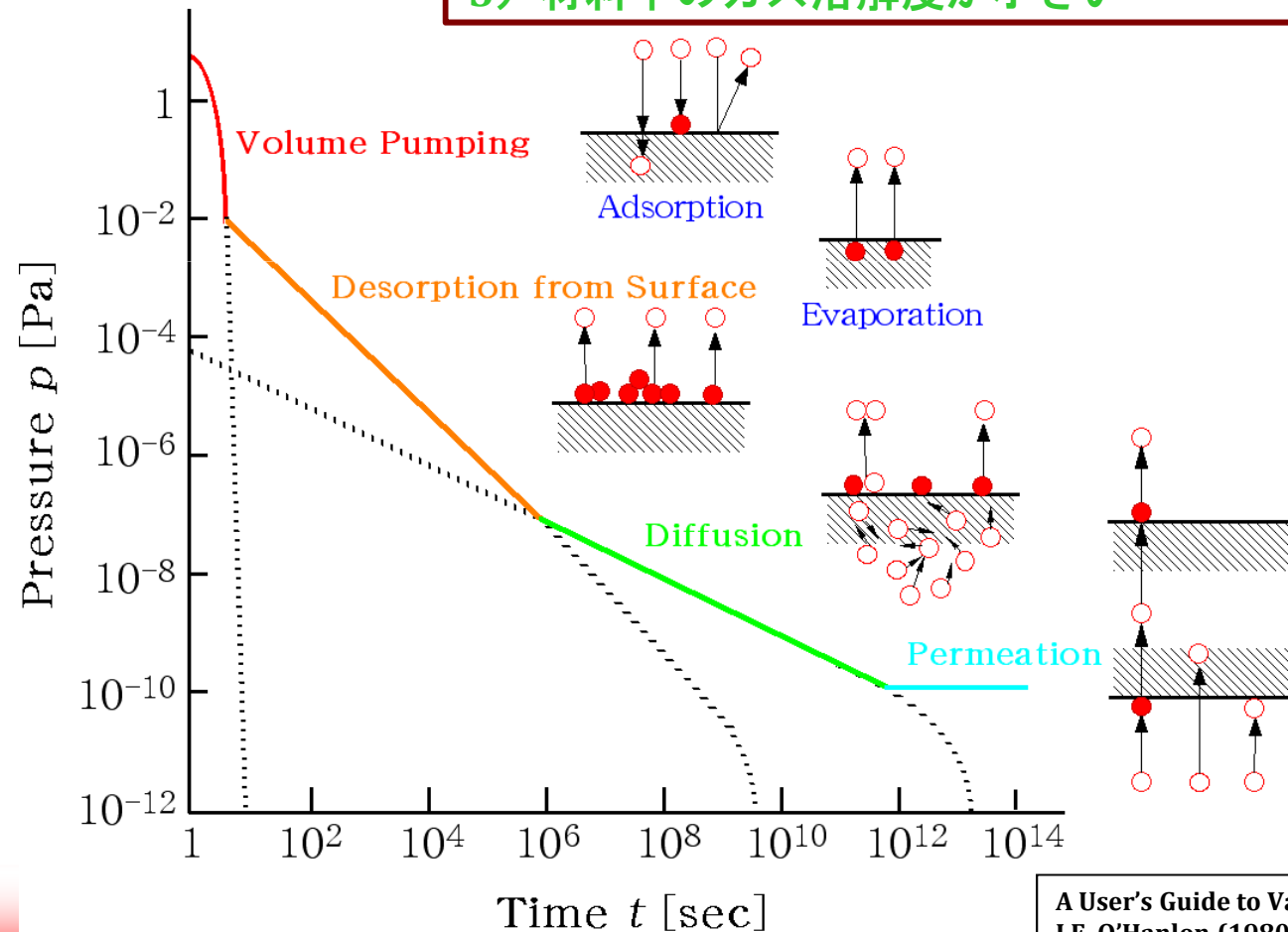
- 1) ガス付着確率が小さい
- 2) 表面粗さが小さい（吸着サイト数小）
- 3) ガスの脱離の活性化エネルギーが小さい
- 4) 材料中のガス拡散係数が小さい
- 5) 材料中のガス溶解度が小さい



圧力変化による各要素の影響

全金属製の装置において
UHVまでの排気では
1~3が重要！

- 1) ガス付着確率が小さい
- 2) 表面粗さが小さい（吸着サイト数小）
- 3) ガスの脱離の活性化エネルギーが小さい
- 4) 材料中のガス拡散係数が小さい
- 5) 材料中のガス溶解度が小さい

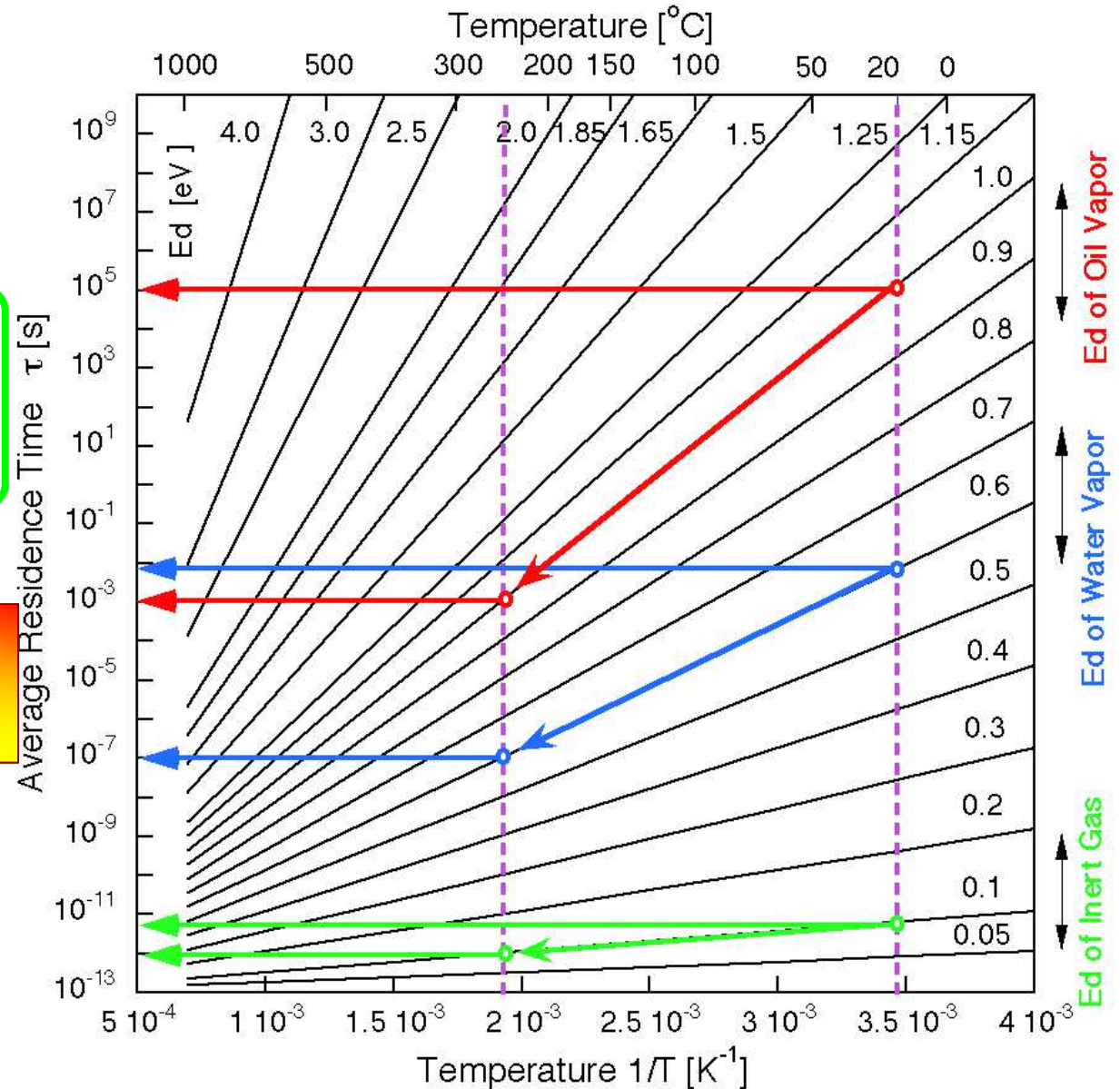


気体の滞在時間 τ と脱離速度 $-\sigma/\tau$

$$\frac{d\sigma}{dt} = -\frac{\sigma}{\tau}$$

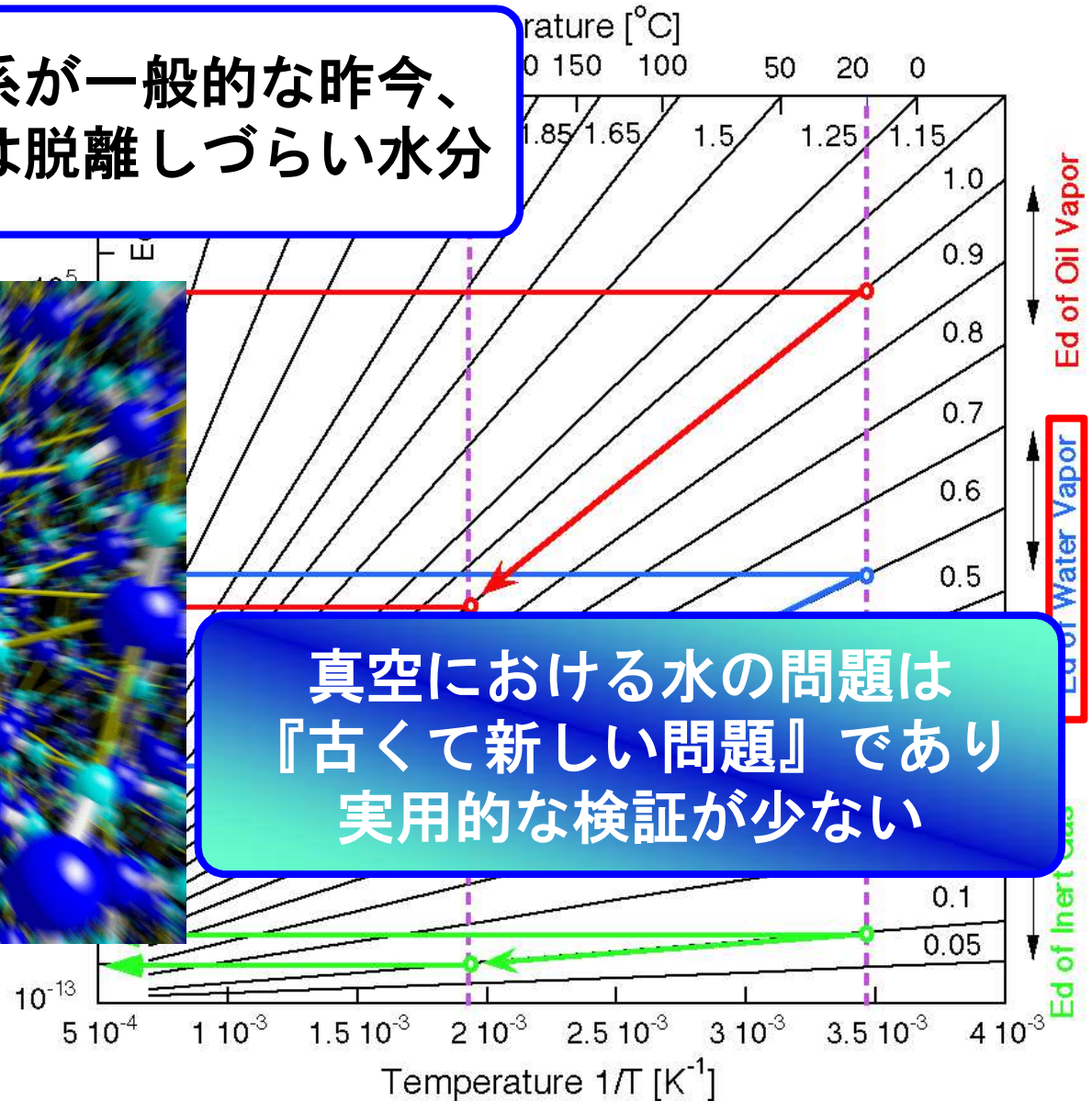
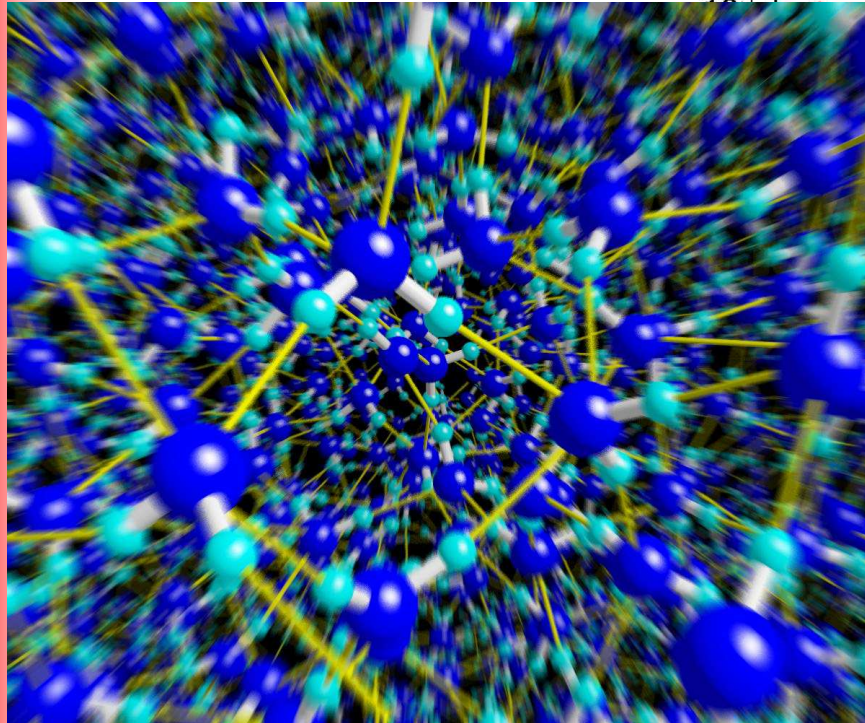
$$\tau = \tau_0 \exp\left(\frac{E_d}{kT}\right)$$

ベーク・プリベーク
の重要性！



気体の滞在時間 τ と脱離速度 $-\sigma/\tau$

オイルフリーの真空系が一般的な昨今、
高速排気を妨げるのは脱離しづらい水分



真空における水の問題は
『古くて新しい問題』であり
実用的な検証が少ない

研究目的①

- ① ガス付着確率が小さい
- ② 表面粗さが小さい（吸着サイト数小）
- ③ ガスの脱離の活性化エネルギーが小さい
- ④ 材料中のガス拡散係数が小さい
- ⑤ 材料中のガス溶解度が小さい

1) 大気圧開放時に付着確率の大きな水分の排除

⇒低コストを念頭に導入ガスに窒素を使用

導入ガス中にはガス導入系の配管・継ぎ手・バルブに
吸着している水分が脱離して混在している



ベーキングなどの工夫により水分含有量を低減し
チェンバーへ導入した

研究目的②

- 1) ガス付着確率が小さい
- 2) 表面粗さが小さい（吸着サイト数小）
- 3) ガスの脱離の活性化エネルギーが小さい
- 4) 材料中のガス拡散係数が小さい
- 5) 材料中のガス溶解度が小さい

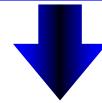
2) 3) チェンバー表面処理により . . .

- ⇒ 加工変質層の排除等により吸着サイトを削減
- ⇒ 金属酸化膜の形成による、表面の不活性化により脱離の活性化エネルギーを低減

チャンバーの表面処理状態

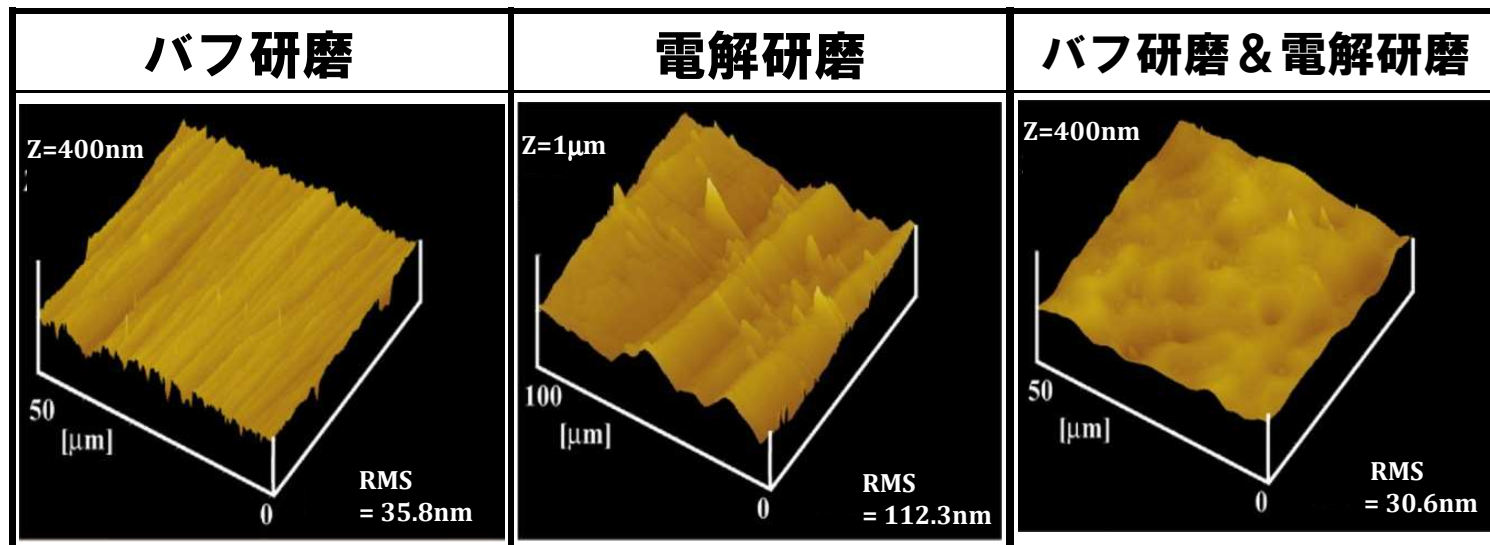
研磨していない状態の表面粗さ

$$\text{RMS} = 7.1\mu\text{m}$$



バフ研磨及び電解研磨処理後

$$\text{RMS} = 30\text{ nm}$$



ステンレス鋼 (SUS304) における各表面処理後のAFM像

All for Researchers.

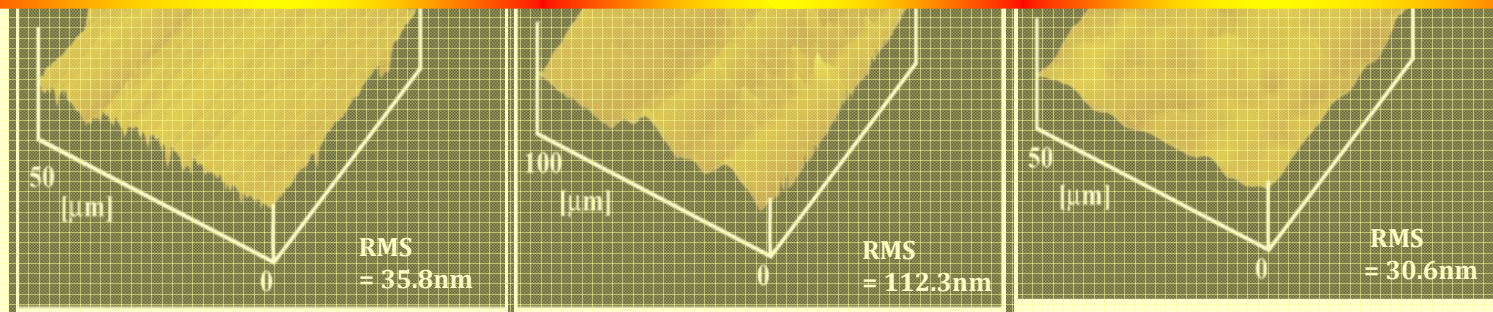
KITANO

チャンバーの表面処理状態

研磨していない状態の表面粗さ
RMS = 7.1 μm



室温排気のみで超高真空領域への高速排気
人的コスト削減および節電に貢献

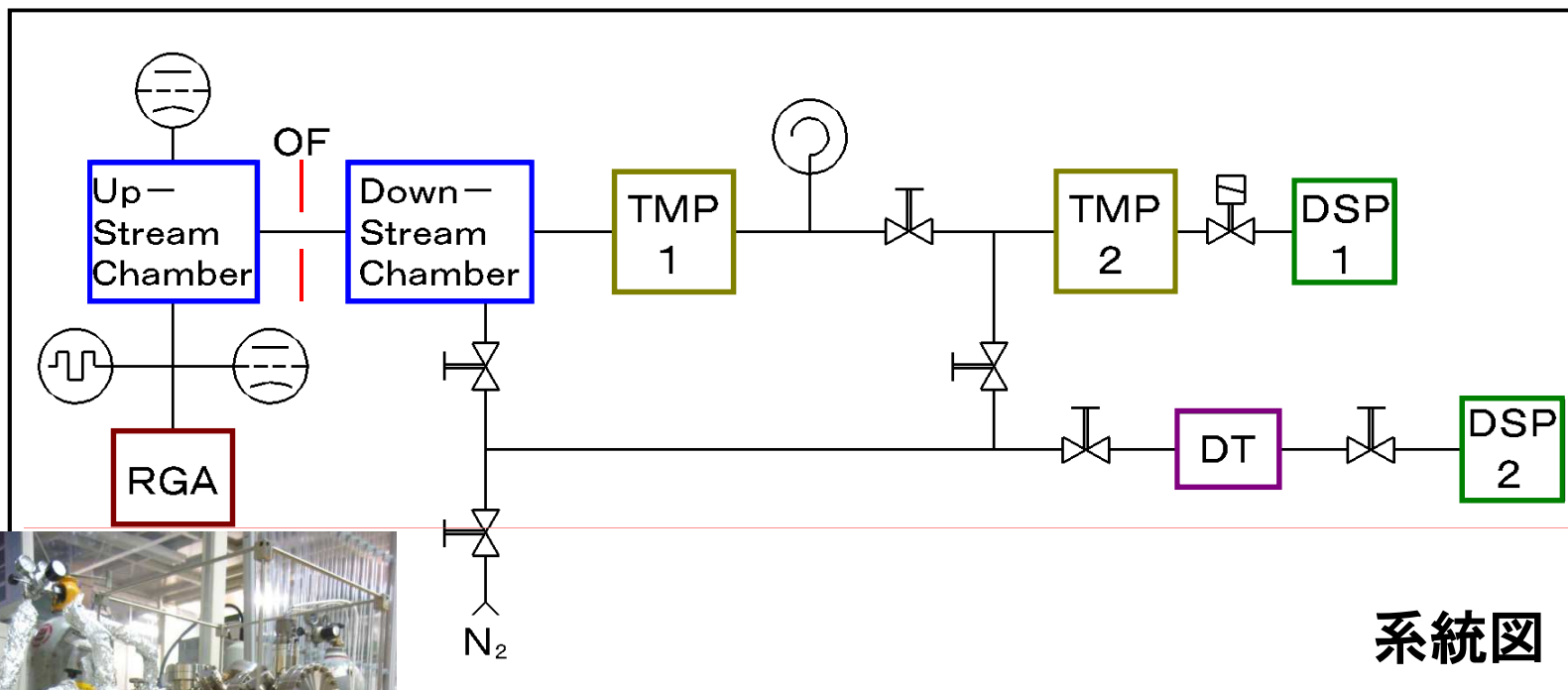


ステンレス鋼 (SUS304) における各表面処理後のAFM像

All for Researchers.

KITANO

装置構成



TMP : ターボ分子ポンプ

RGA : 残留ガス分析計 OF : オリフィス

DSP : スクロールポンプ DT : 露点計

実験方法：ガス放出速度・残留ガス分析

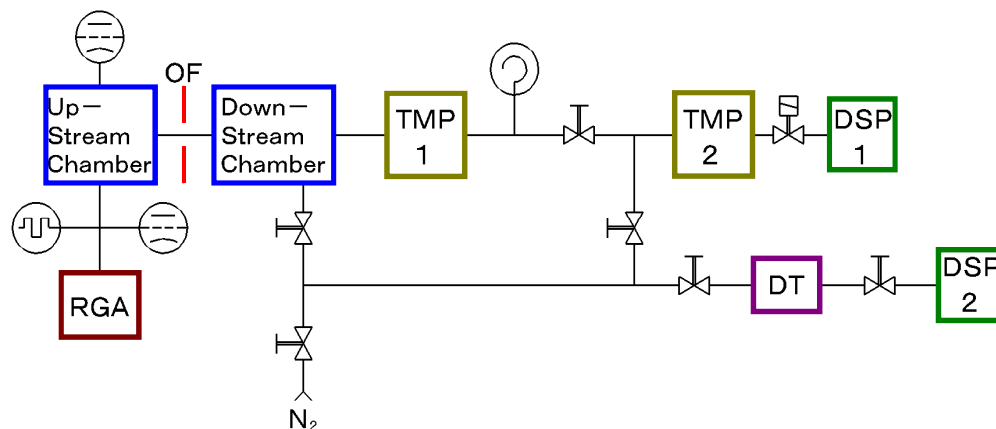
実験手順

- ① 窒素ガス（4N）をガス導入系へ導入し、水分含有量を測定
- ② 窒素ガスをチェンバーへ大気圧まで導入
- ③ 窒素を封入した状態で1時間待機
- ④ DSPの1及びTMPの1・2を起動し真空排気開始

ガス放出速度の測定

オリフィス法： $5.2 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 、297 K

導入ガス種類：窒素または大気（圧力測定：窒素換算）



導入ガス中の水分含有量

ガス種	導入ガス系配管の材質	水分含有量 (vol. ppm)
窒素	ステンレス配管	0.065 (ベーキング実施)
		2.6 (ベーキング実施)
		12
	ポリウレタンチューブ	160
大気	ステンレス配管	12000

配管の材質も導入ガス中の水分量に影響
ベーキングなどの工夫により、低水分化が可能！

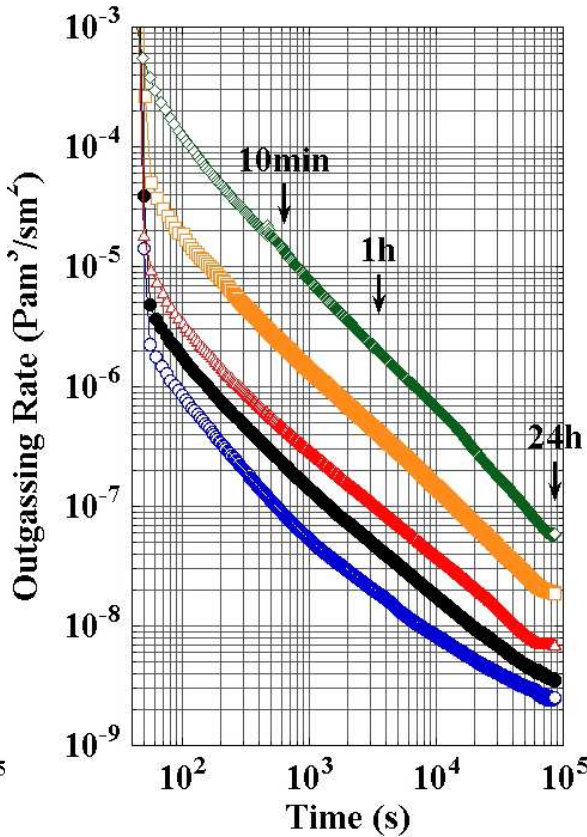
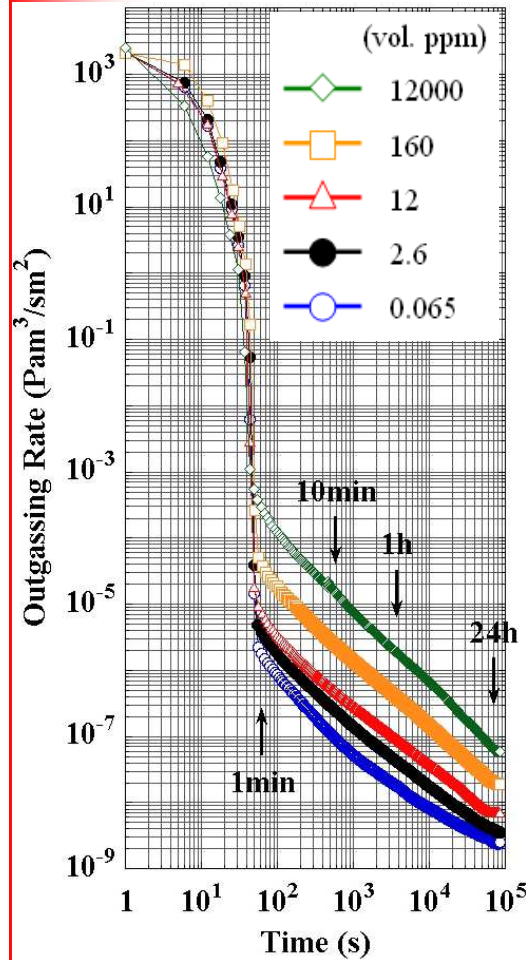
スクロールポンプのみの排気にてベーキング
を行っても、0.065vol.ppmの値が得られる

All for Researchers.

KITANO

ガス放出速度 & 高速排気

ガス放出速度

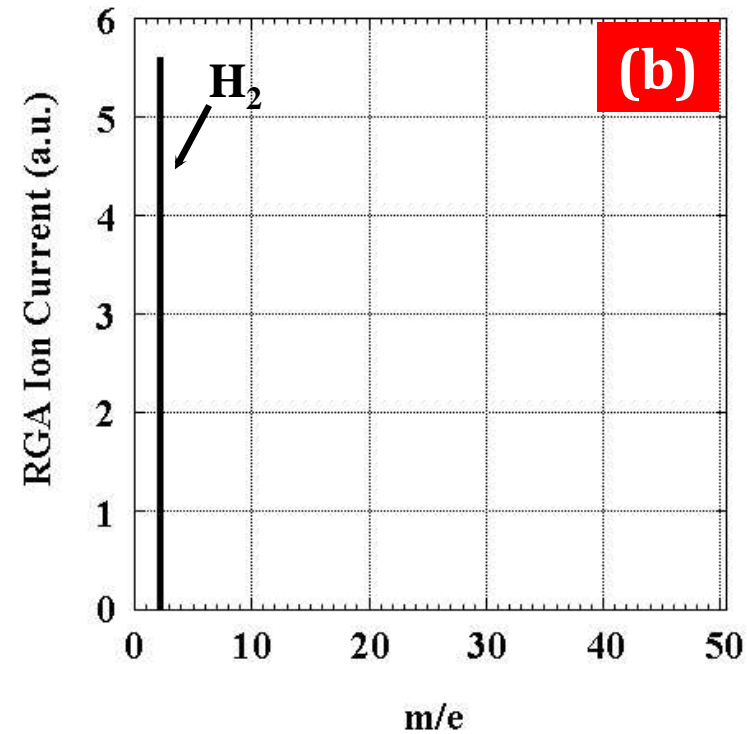
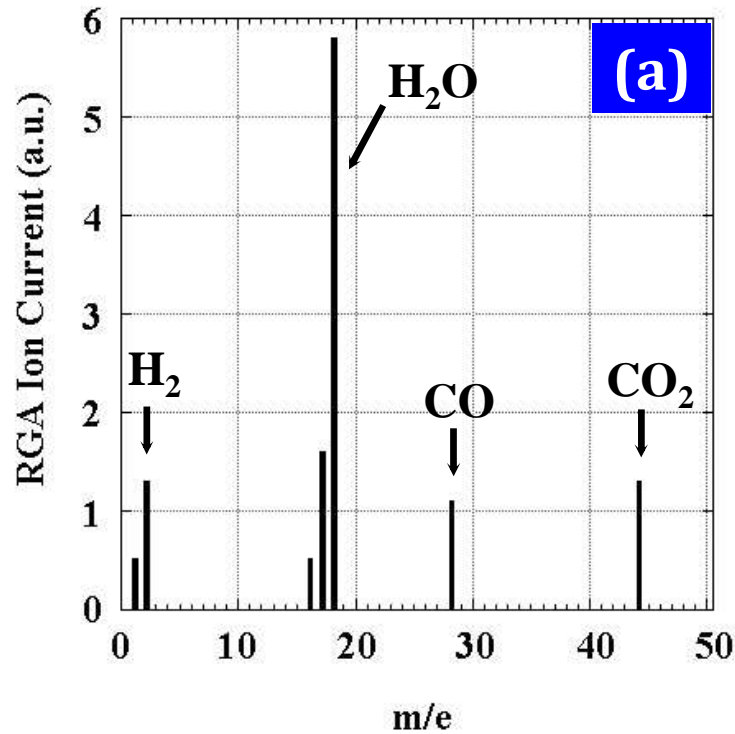


水分含有量が低下するに
従い顕著に低下

水分0.065 vol.ppmの窒素
 $3 \times 10^{-9} \text{Pam}^3\text{s}^{-1}\text{m}^{-2}$ を記録

導入ガス中の水分含有量の
抑制により排気時間を
大幅に削減！

残留ガス分析



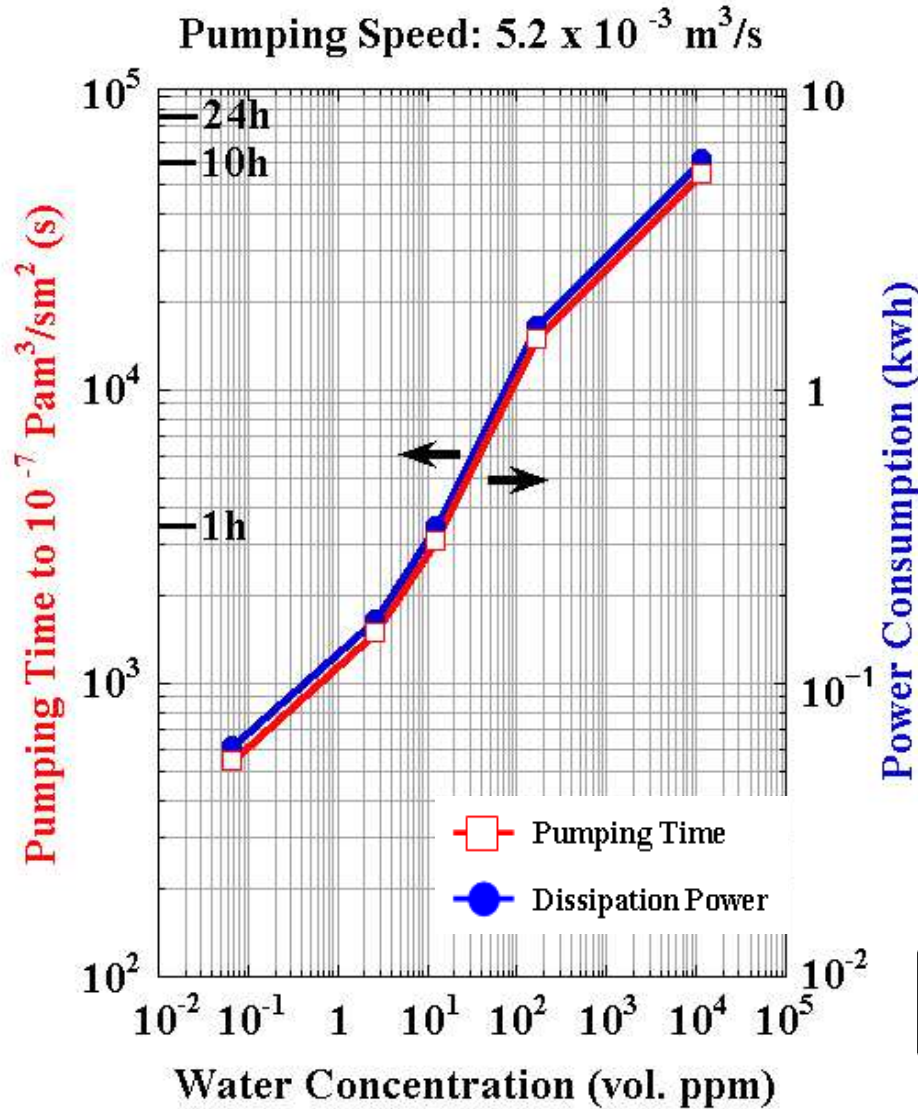
	(a)	(b)
水分含有量	12000ppm (大気)	0.065ppm (窒素ガス)
主な残留ガス種	H ₂ O	H ₂

ベーキングしたチャンバーと同等の真空環境

All for Researchers.

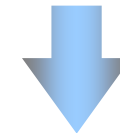
KITANO

排気時間の短縮と節電効果



水分含有量 (vol.ppm)	縮小率	
	排気時間	消費電力
0.065	1/100	1/100
12000	1	1

窒素ガスを導入する場合
水分含有量の削減



排気時間が15時間から
10分弱に大幅に短縮！

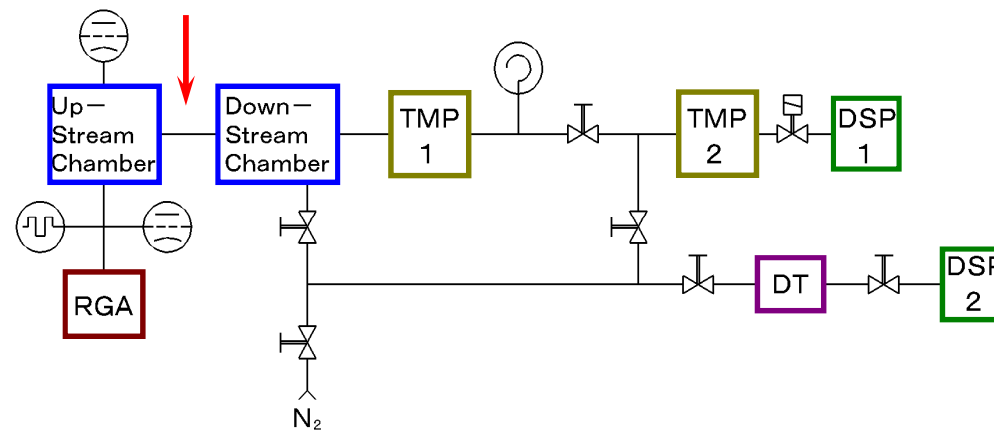
排気時間と消費電力は比例関係

実験方法(実用的な高速排気)

実験手順

- ① 窒素ガス (4N) をガス導入系へ導入し、水分含有量を測定
- ② 窒素ガスをチェンバーへ大気圧まで導入
- ③ チェンバーのICF203フランジを取り外し10分間大気開放
- ④ ③の最中に1) 大気開放のみ 2) 大気開放中に窒素フロー
3) 大気開放中に窒素シャワーの各条件を実施
- ⑤ DSPの1及びTMPの1・2を起動し真空排気開始

オリフィス非設置

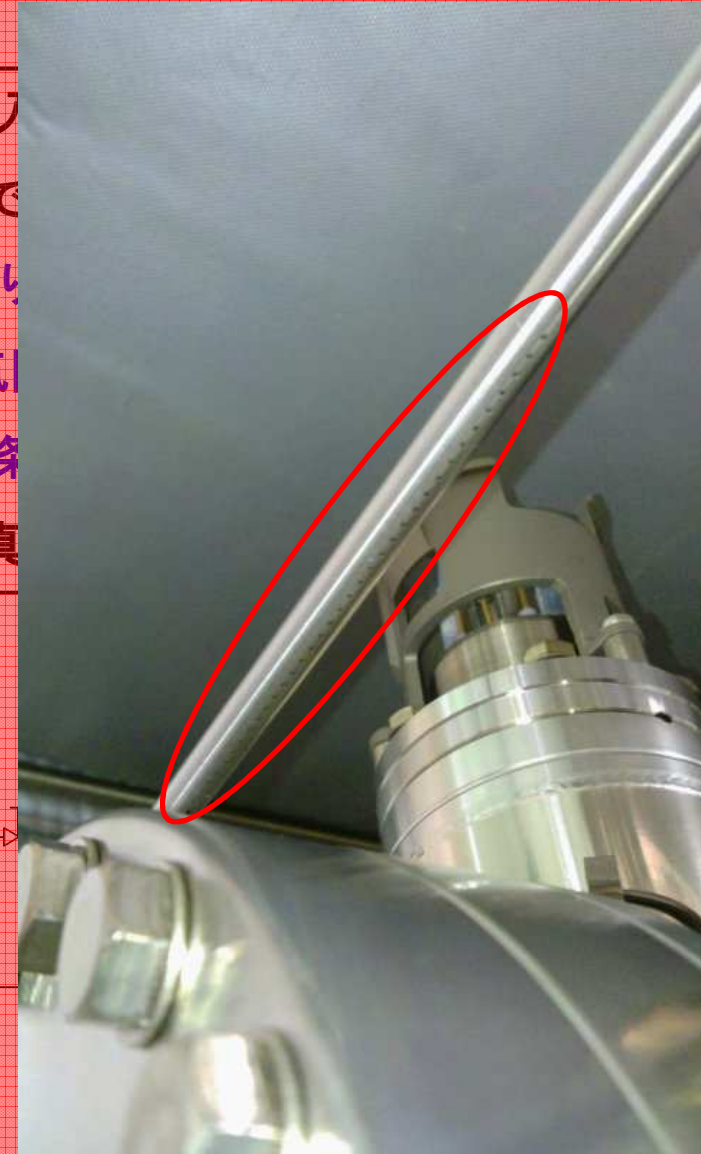
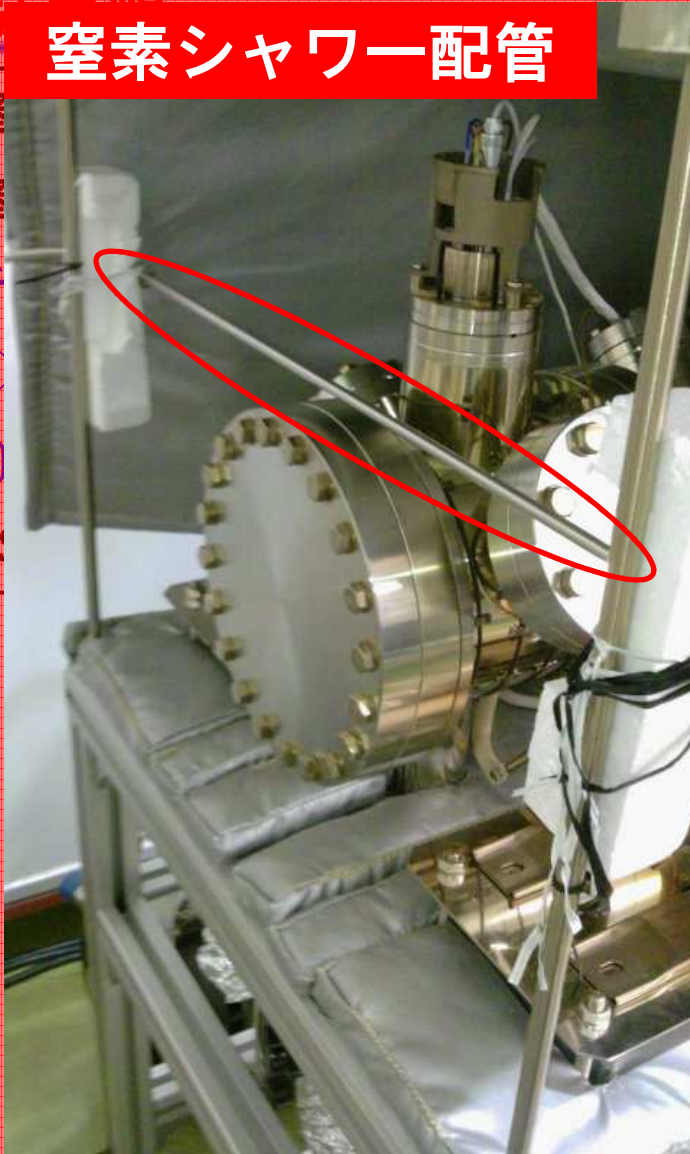


実験方法(実用的な高速排気)

実験手順

窒素シャワー配管

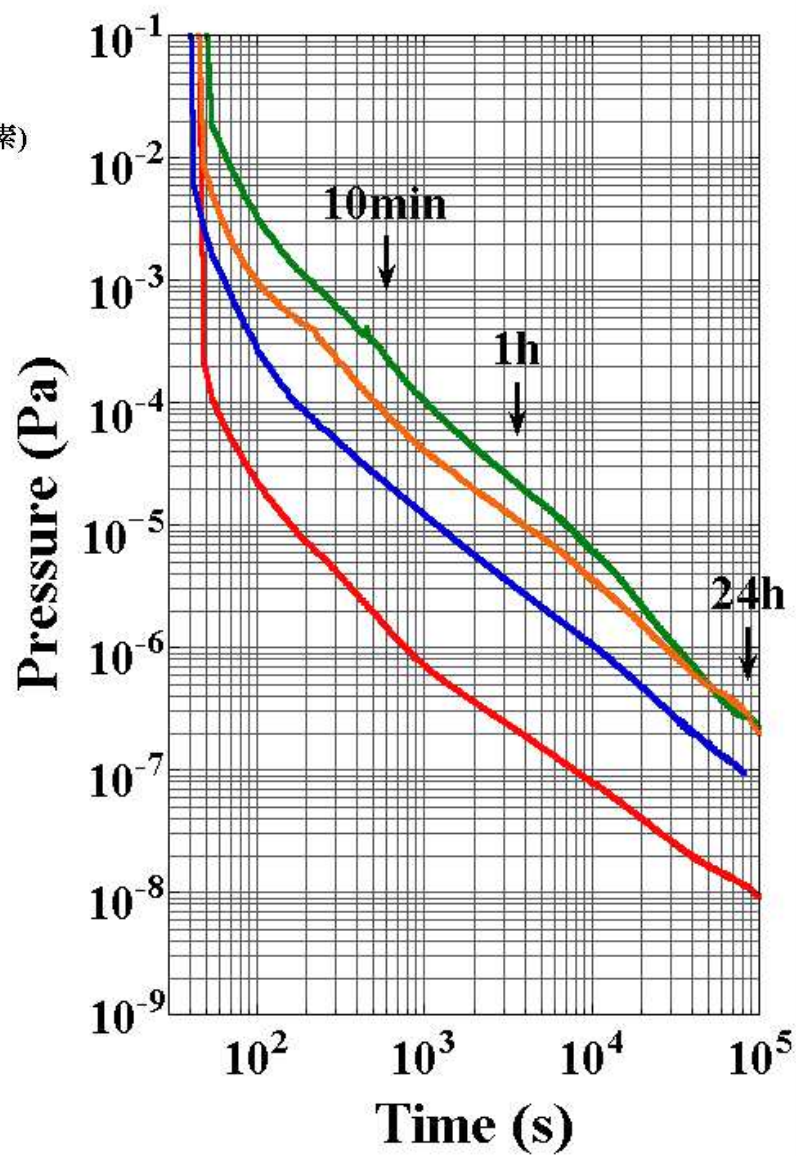
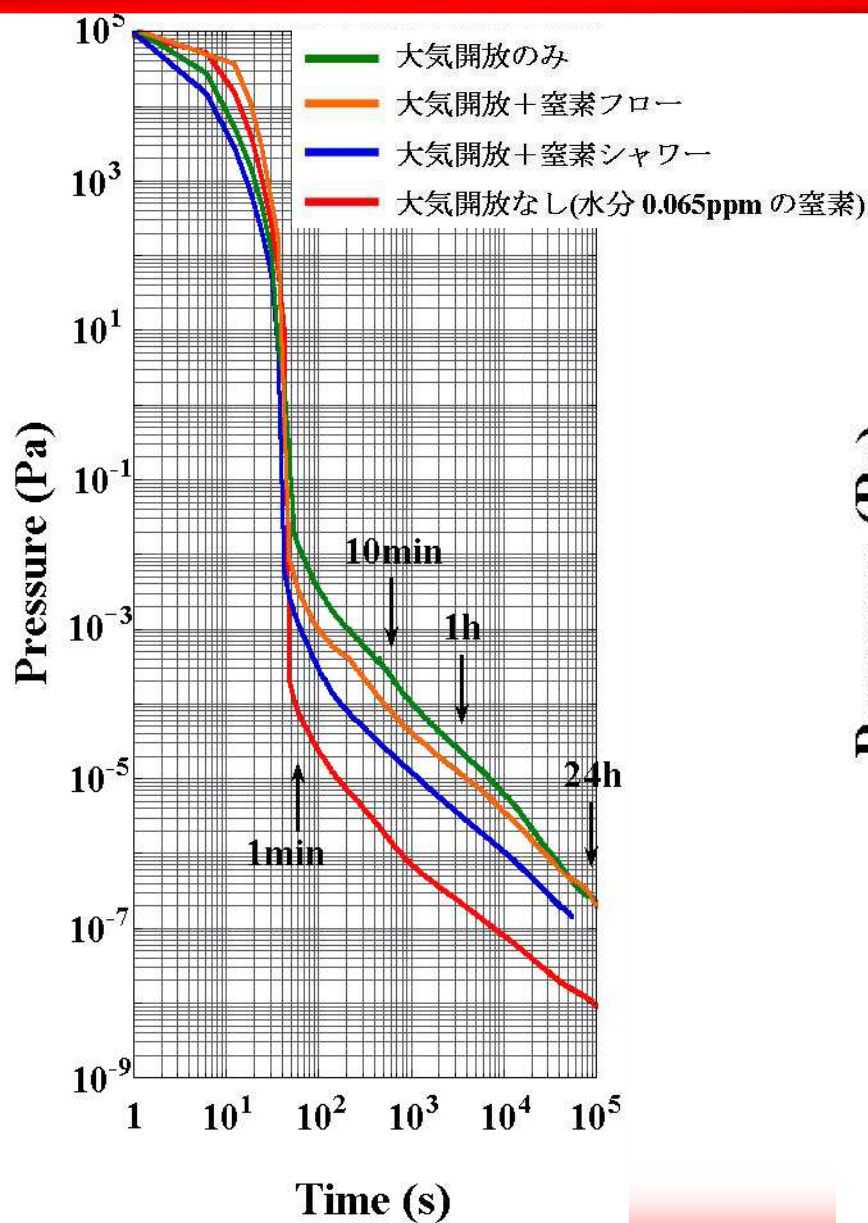
- ① 窒
- ② 窒
- ③ 予
- ④ ③
- ⑤ D



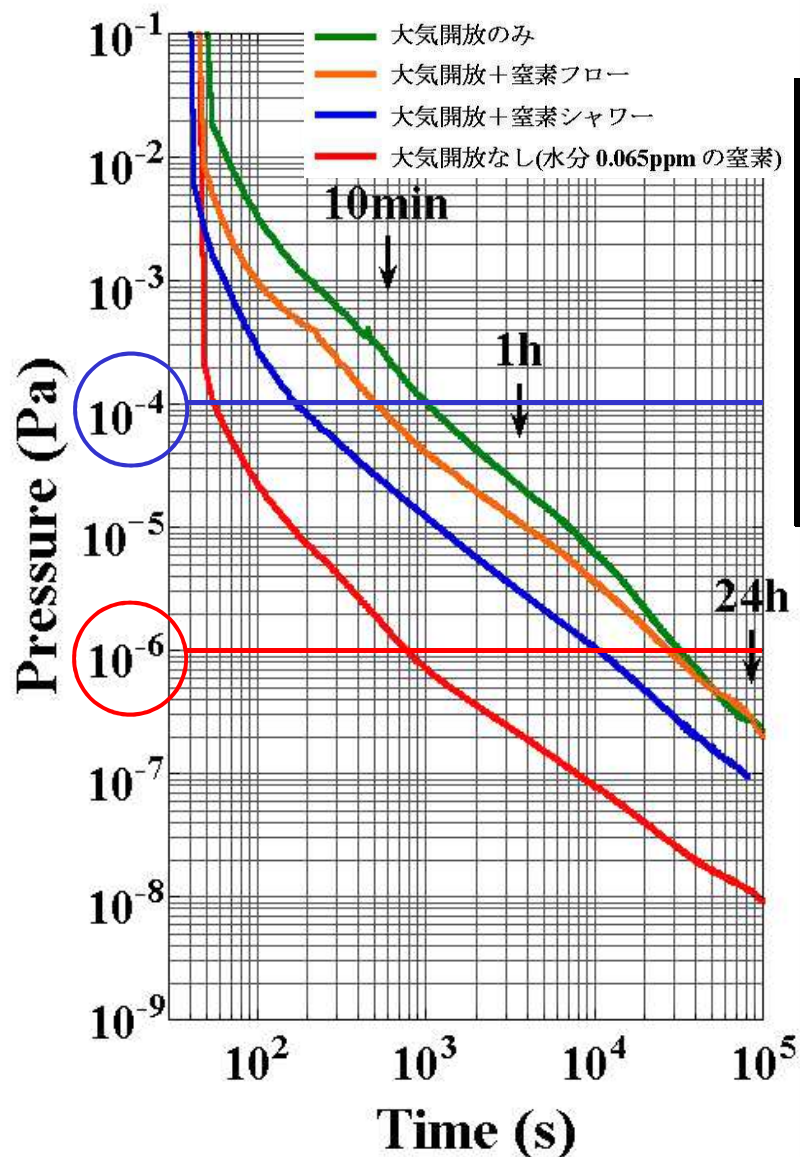
Researchers.

KITANO

実用的な高速排気



実用的な高速排気



実験条件	各圧力までの到達時間	
	1x10 ⁻⁴ Pa	1x10 ⁻⁶ Pa
大気開放のみ	16分	8時間40分
大気開放+窒素フロー	8分	7時間10分
大気開放+窒素シャワー	2分	2時間50分
窒素導入のみ	1分	13分

窒素フローの場合は1.5時間の短縮

窒素シャワーの場合は6時間近く短縮

大気開放する場合でも
ちょっとした工夫で
大幅な排気時間の短縮が可能である！

All for Researchers.

KITANO

水分抑制を可能にした窒素導入系



バルブ・配管・ヒーター・断熱材をパッケージ化！
ガスボンベなどにバンドで簡単固定

まとめ

- ◆ 中高真空への高速排気やベーキングを実施せずに超高真空への高速排気を実現するには**真空表面からのガス放出**に配慮した装置製作・運用が必要
- ◆ 導入ガス中の水分含有量は、体積排気以下の真空排気に掛かる時間に大きく影響を与える
その為、**窒素ガス導入系にもベーキングが必要である**
その際、**スクロールポンプによる排気だけでも十分効果が得られる**
※ ポリウレタンチューブの使用は極力避けるべき！
- ◆ チェンバーを大気開放する際、**低水分窒素の導入**とチェンバー内への**大気流入を極力押さえることが重要**
ちょっとした工夫で排気時間を大幅に短縮することが可能！

**UHVへの排気において排気時間及び電力消費量を大幅に削減！
ベーキングすることなくUHV領域への高速排気が可能に**

