

簡易型卓上旋盤による 石英ガラス封管の機械化

京都産業大学 理学部

瀬川 耕司

物性物理の実験研究における単結晶

- 単結晶とは
- 原子（イオン）が長いスケールで規則的に並ぶもの
- Al_2O_3 に Cr_2O_3 を1%添加(緑)
- 反応させるとルビーの多結晶
 - 結晶サイズは $\sim \mu\text{m}$
- 融かして固めると単結晶に



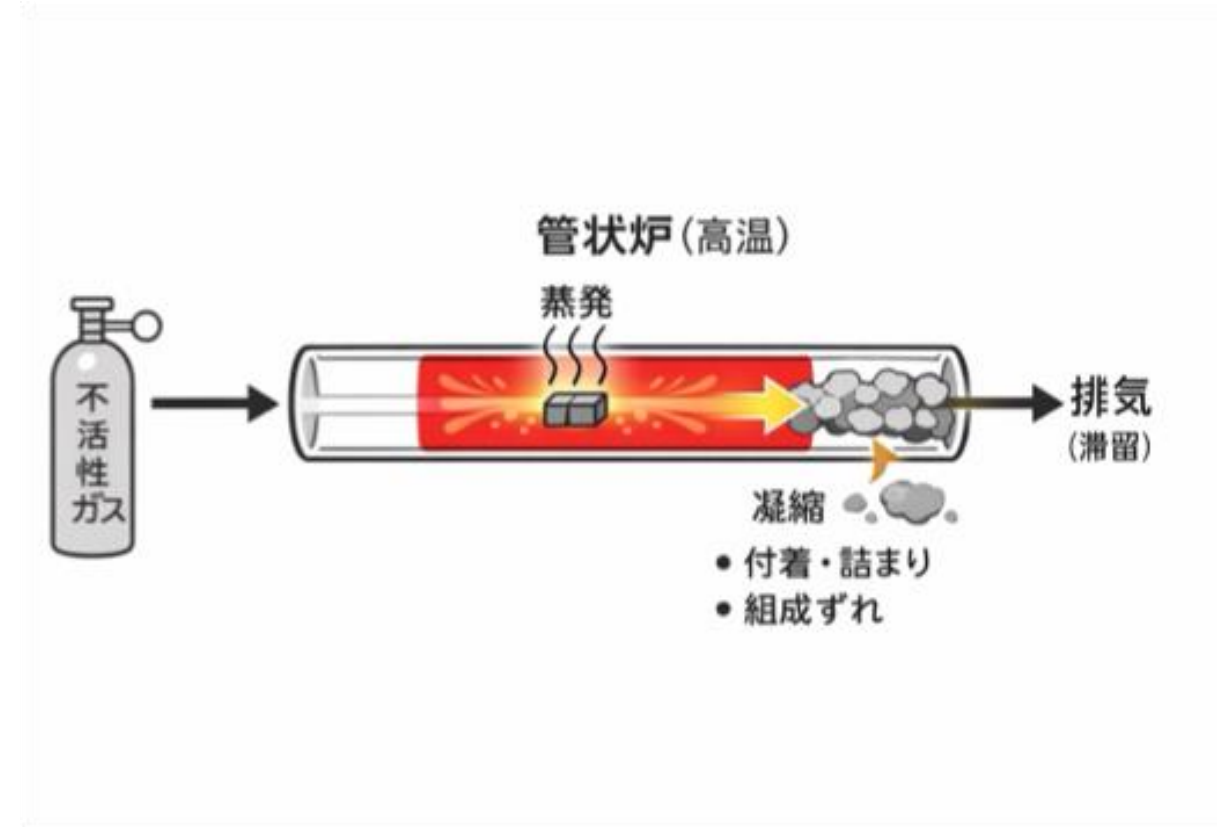
“面白い” とされる物質は…

- 空気中で高温でも安定なものは酸化物などごくわずか
- 例えばトポロジカル絶縁体はカルコゲナイドという意味では近いが、セレン化物やテルル化物が多い
 - Bi_2Se_3 , Bi_2Te_3 , TlBiSe_2 など
- 要は、空気中で融かすことのできない物質がほとんど

5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn

基本は、高温で閉じ込めること

- 不活性ガスを流す手もあるが、揮発性や毒性が問題になるため、閉じ込めることが望ましい
- 温度の低いところがあると、凝集する
 - 小さい容器に閉じ込めるのが望ましい



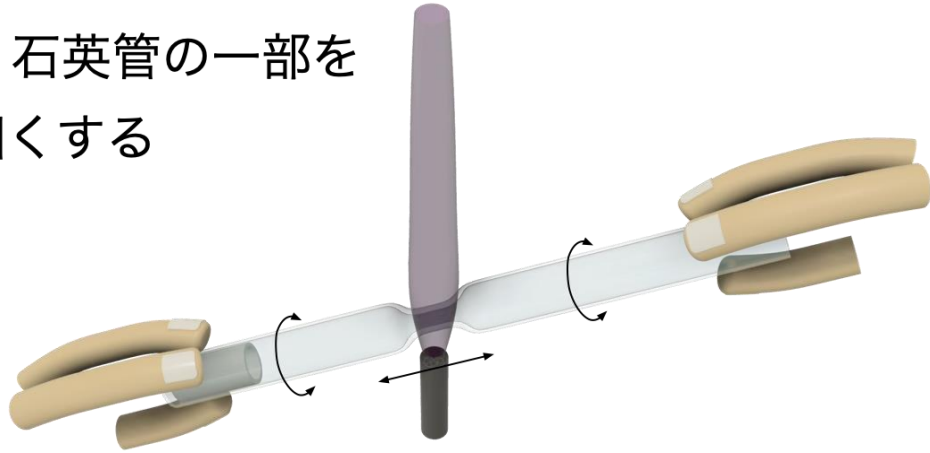
石英アンブル

- 最もよく使われ、比較的安価なのは石英ガラス封入
 - 通常使用温度の上限は 1200°C
 - 温度変化に強い
 - 機械的特性も良い
 - 10-20 気圧に耐える
- 私の知る限り、手作業で作るしかなかった



石英アンプルの作り方（手作業）

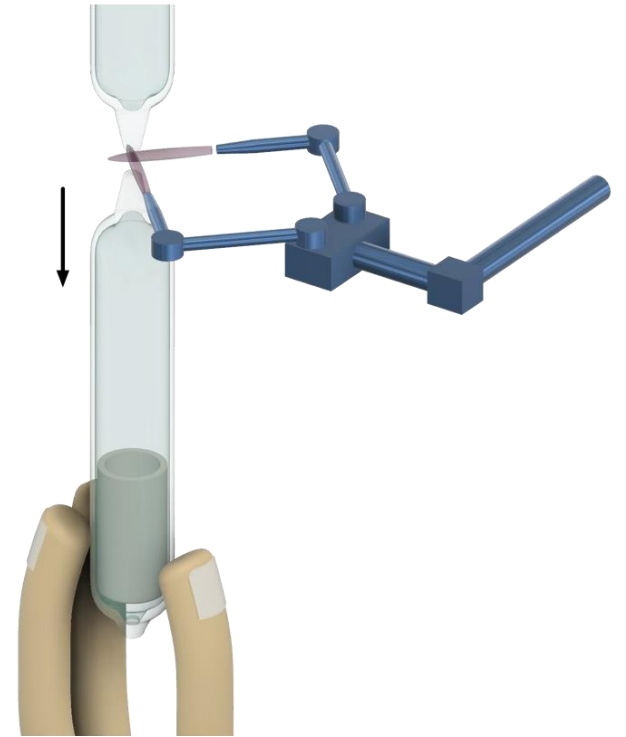
1. 石英管の一部を
細くする



2. 真空排気

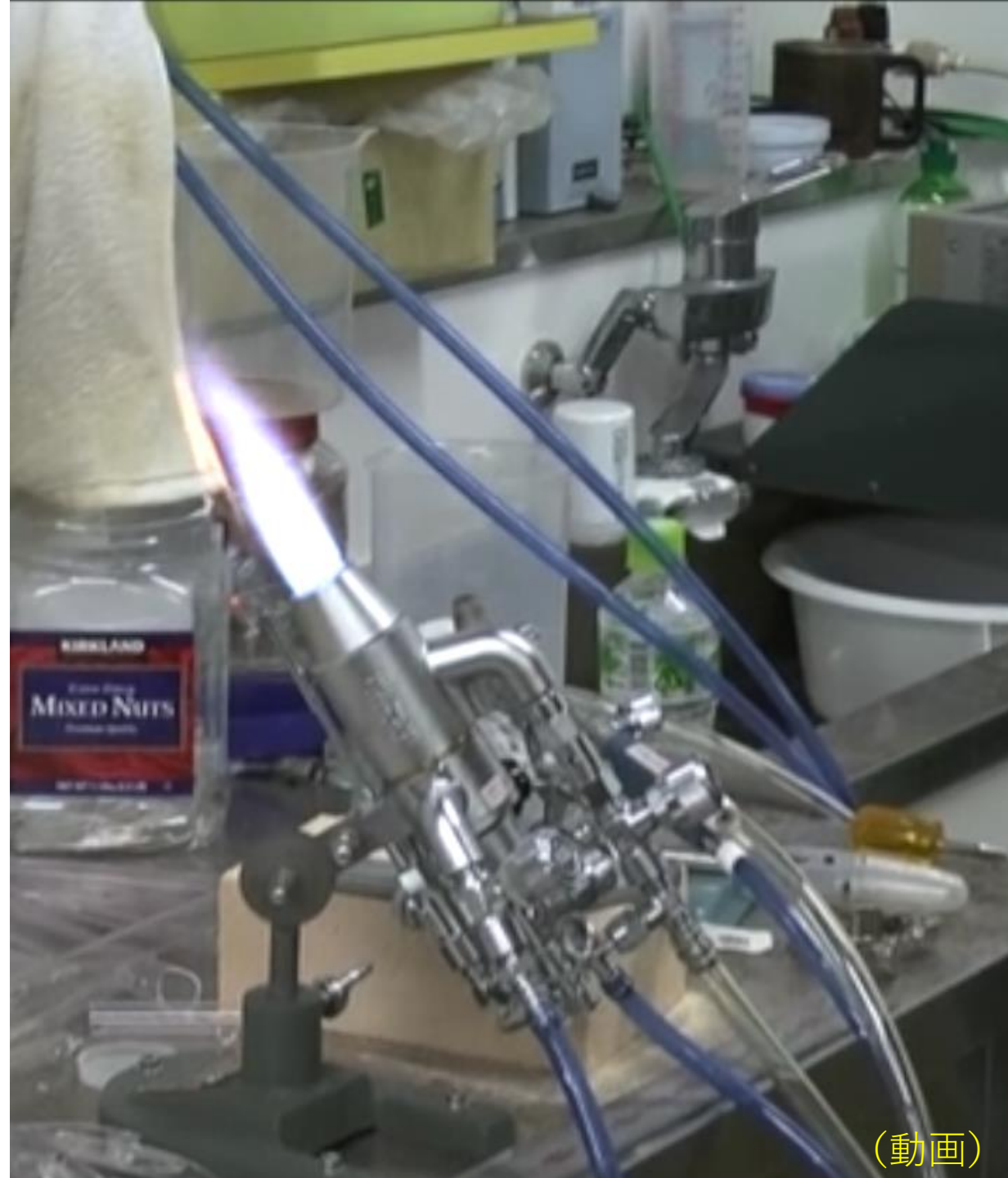


3. 封じ切り



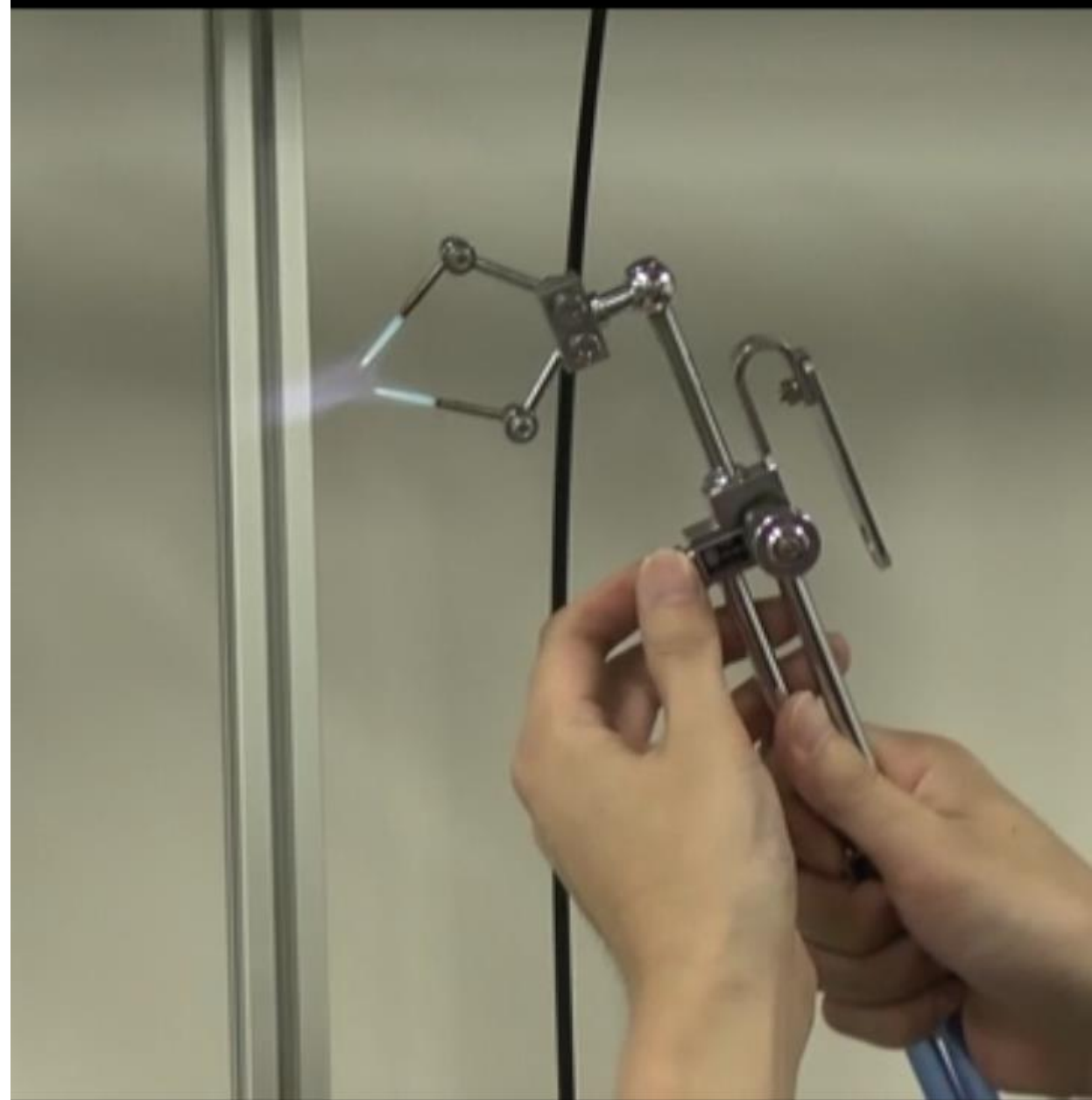
ガラスアンプルの 作り方（手作業 1）

- すぼめる作業
- 管内部も大気圧である必要
- ガラスの出し入れで温度調整



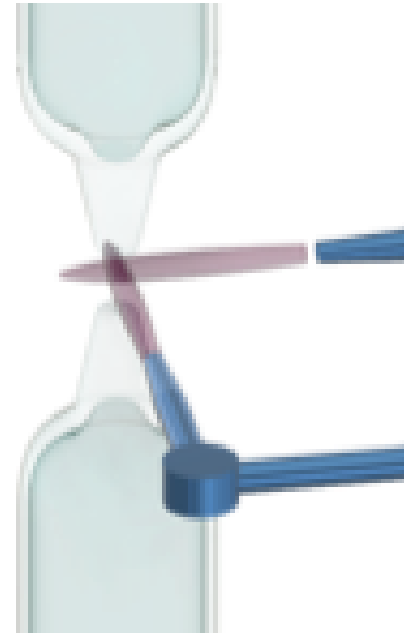
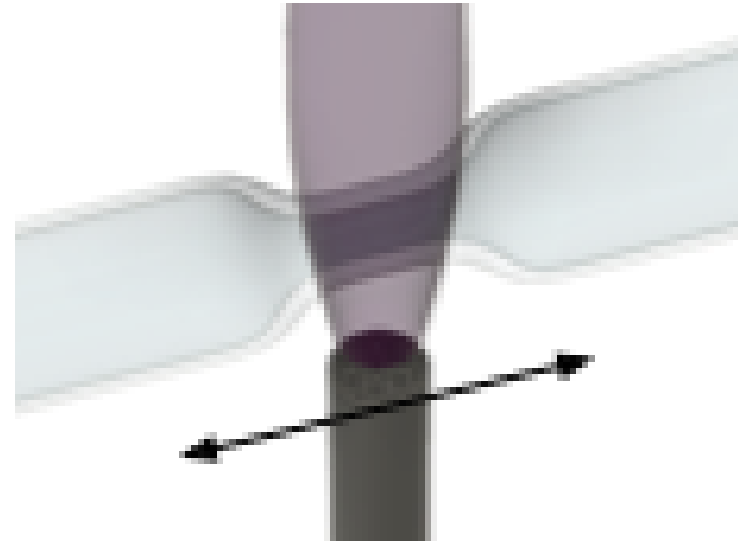
ガラスアンプルの 作り方（手作業 2）

- 管内を真空排気し、ハンドバーナーで溶断
- ここでもバーナーを当てる時間で温度を調整



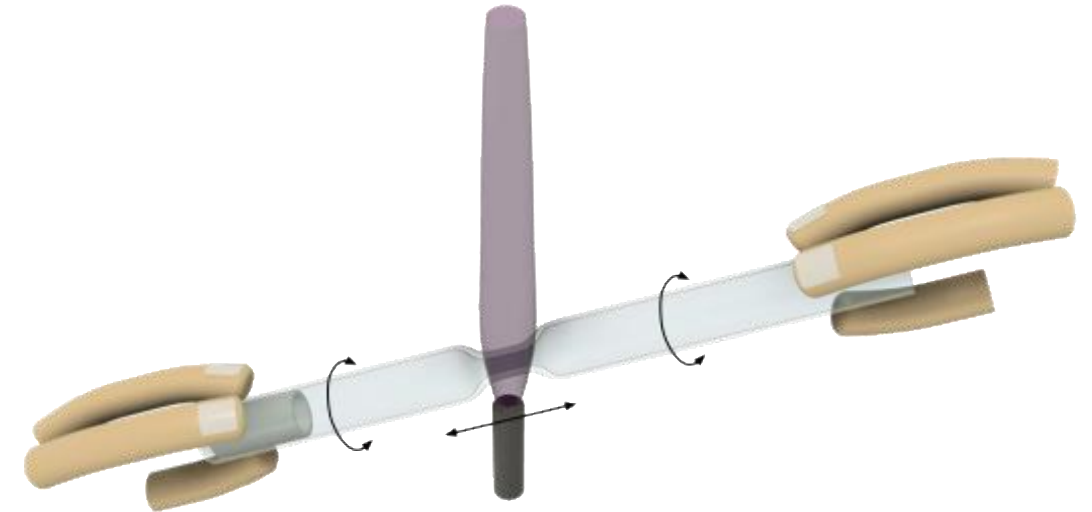
なぜこのような工程が必要か

- 最後に封じる作業が問題
- 内部は負圧
- 外径より広い範囲を一度に加熱する必要がある
- 細い部分をつくる必要がある



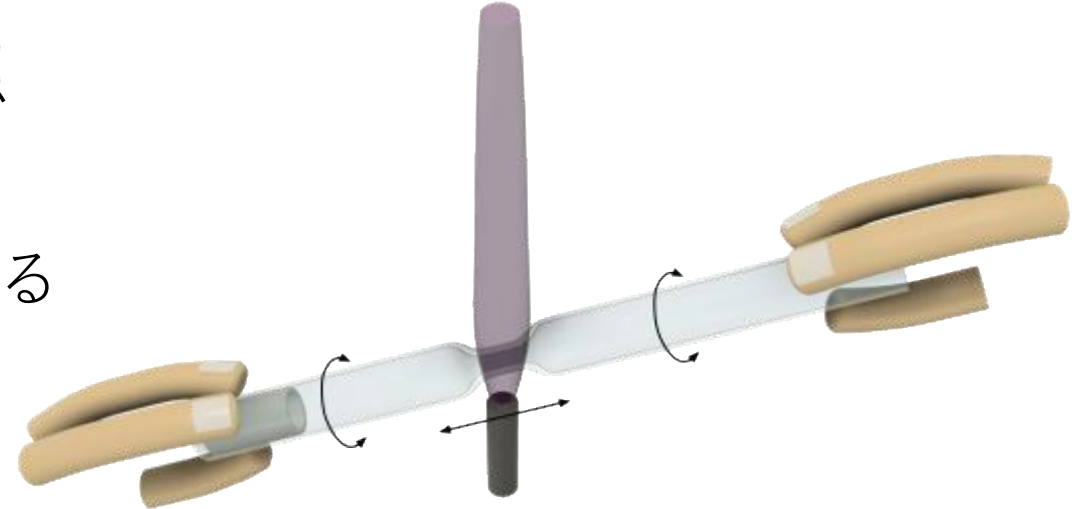
手作業での問題点

- ガラス加熱の制御の方法
 - 手持ちでは位置を精密に制御できない
 - 火を強めにして、火につける時間で調整するしかない
- 管内部が負圧になっていると、過剰な加熱で穴があいてしまう
 - → 内部も大気圧に維持するしかない



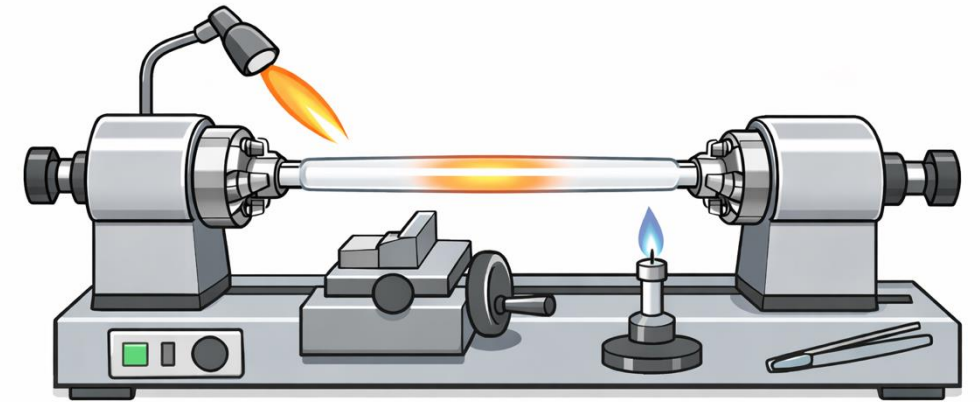
手作業では何をしているか

- ある部分を均等に細くするのが理想
 - 左右の手で同じように“回転”させる
 - このとき引っ張るとガラス管が薄くなるので引っ張らないのが重要
- 要は同期回転

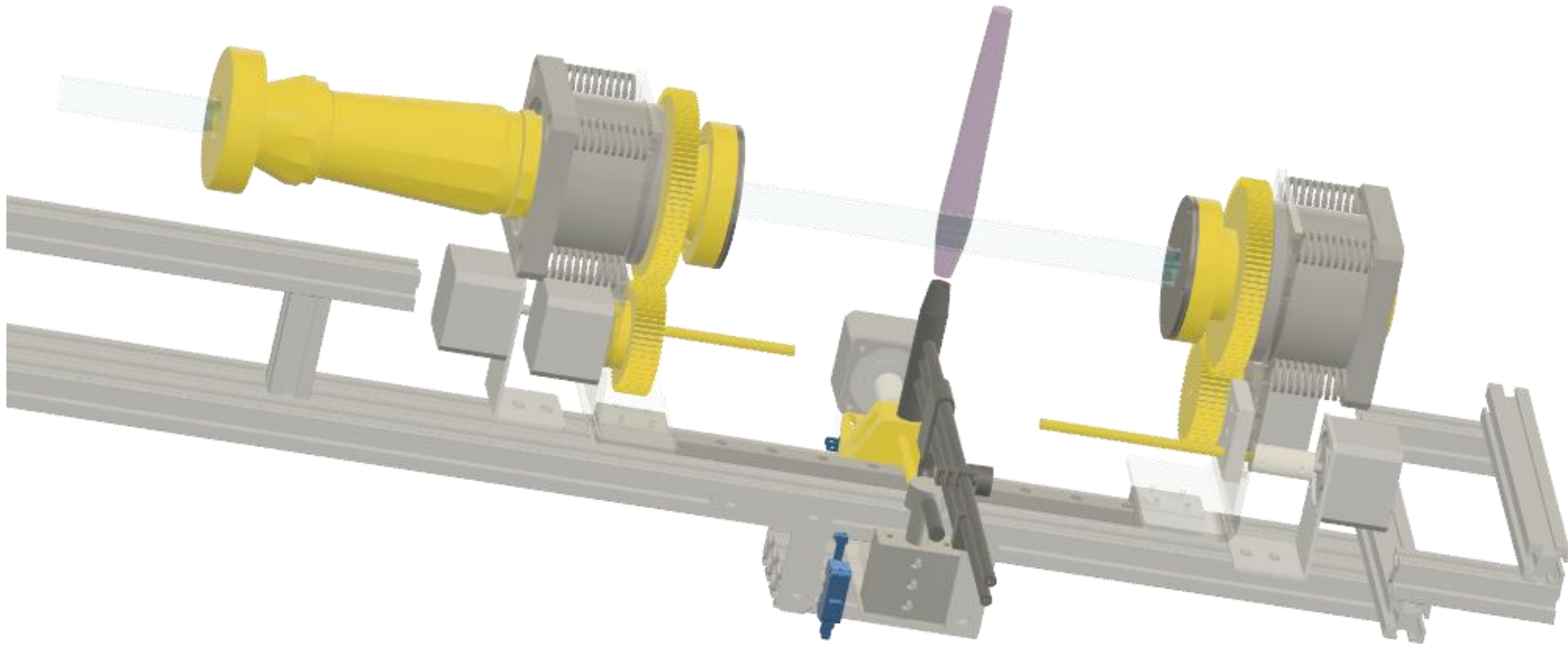


金属製ガラス旋盤はすでにあるが…

- 金属チャック2つが同期回転
- それらの軸精度が高い必要がある
 - 精度が足りないとガラスが割れるため
- 重くて大きく、高価
- 試料を保持するには傾ける必要もある

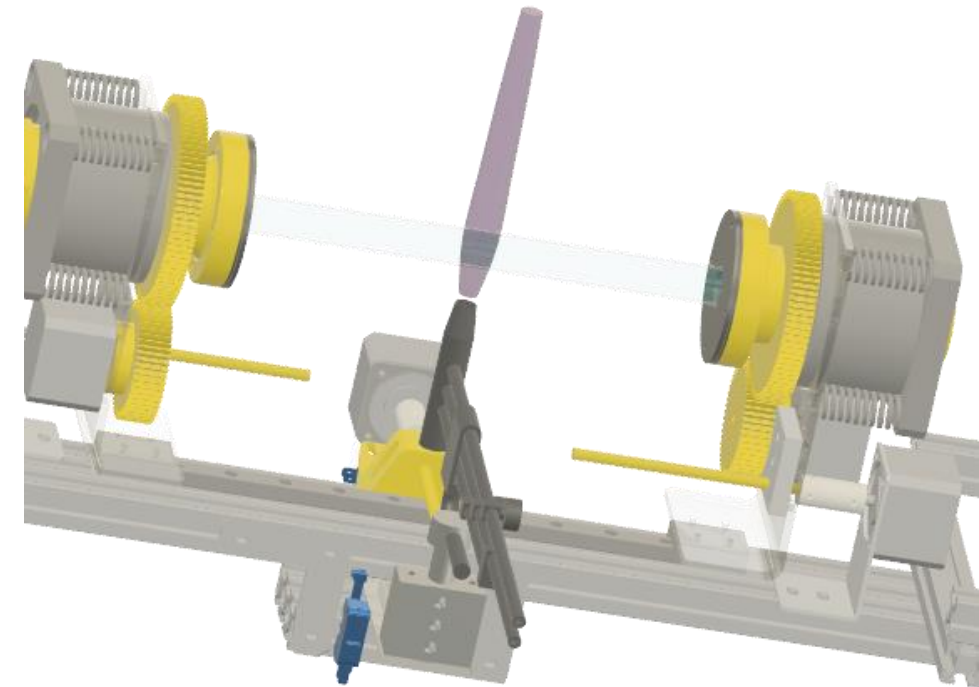


簡易型卓上ガラス旋盤を開発



簡易型卓上ガラス旋盤の特徴

- 基本はアルミフレーム等市販部品
- ガラス管の固定はウィルソンシール
- ガラス周りの部品は 3D プリンタによるプラスチック
- 容易に傾けることができ、低い側に試料を保持できる
- 回転したまま真空排気できる、ロータリージョイントを使用（市販品）



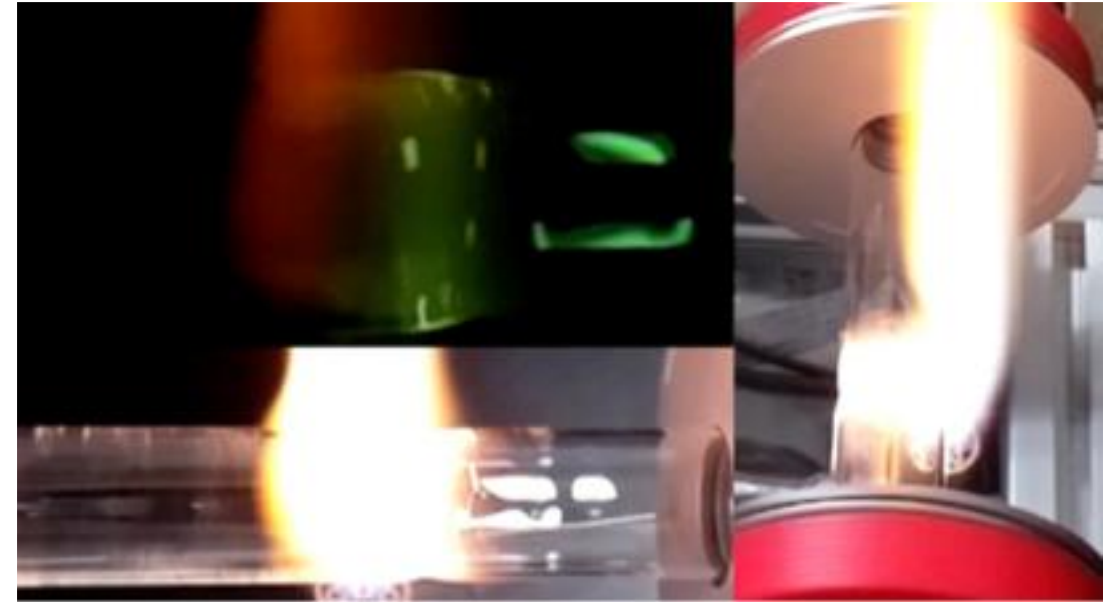
ウィルソンシールによるガラス管固定

- ボディをプラスチックで作製
- Oリング内径をガラス管外径より大きくする
 - こうしないとガラス管の抜き挿しが事実上不可能
 - 真空用では逆
- 炎に近い部分は金属部品で構成



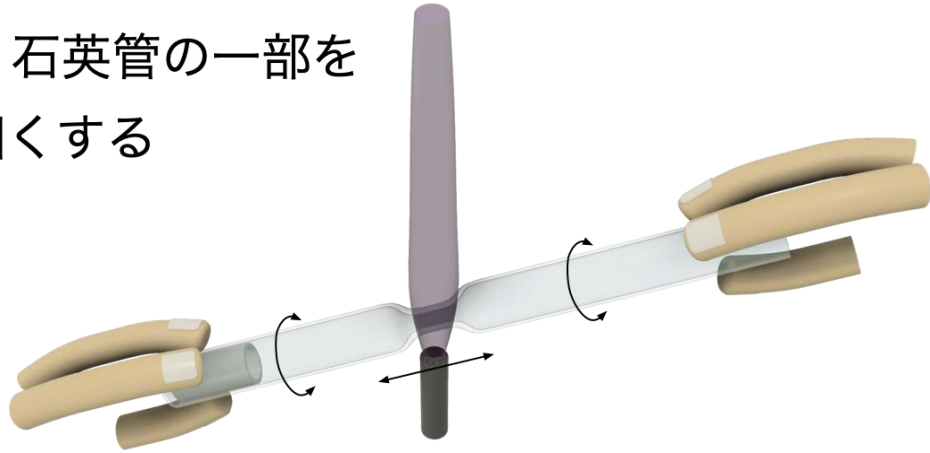
封入プロセス自体が進化

- バーナーとガラス管の位置関係を細かく制御できるため、ガラス管壁の均一な加熱が可能に
- 狭窄化→溶断が1プロセスですむようになった



石英アンプルの作り方（手作業）再掲

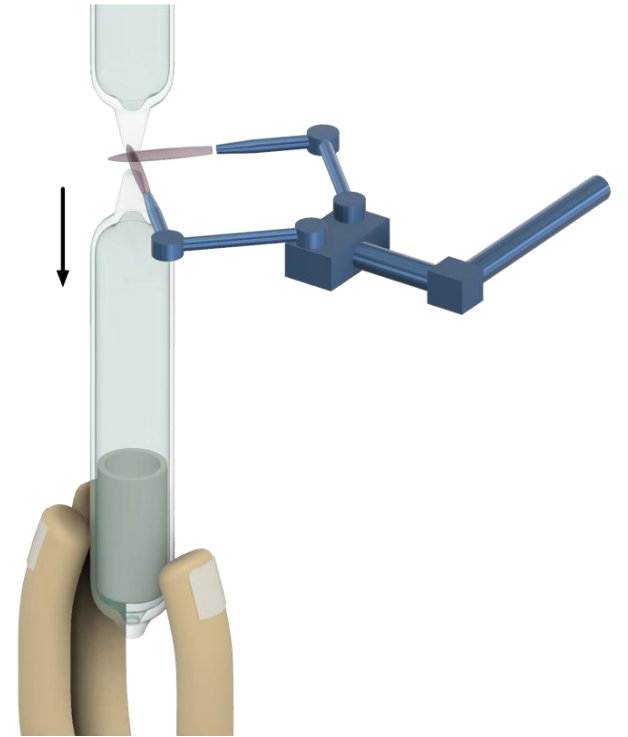
1. 石英管の一部を
細くする



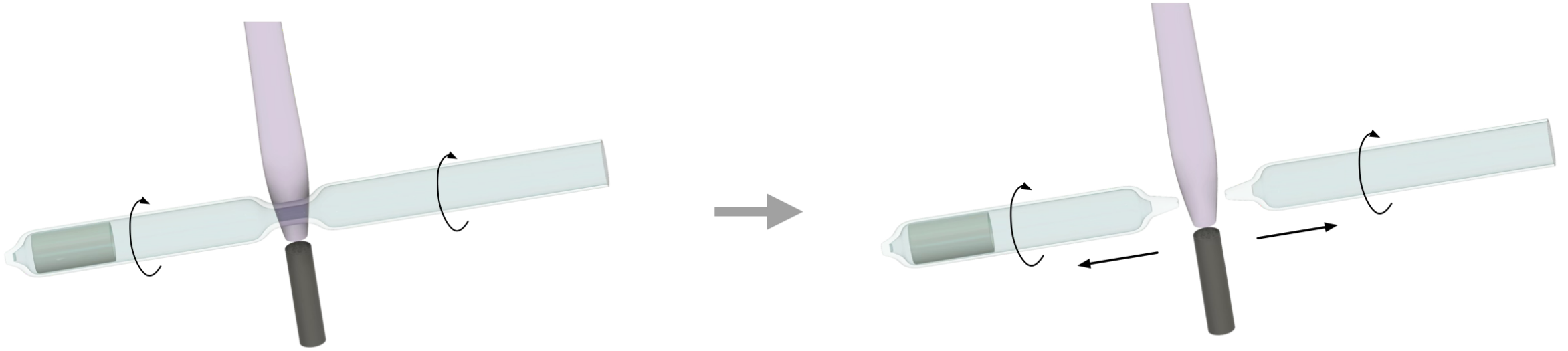
2. 真空排気



3. 封じ切り



機械化による 1 プロセスでの封管

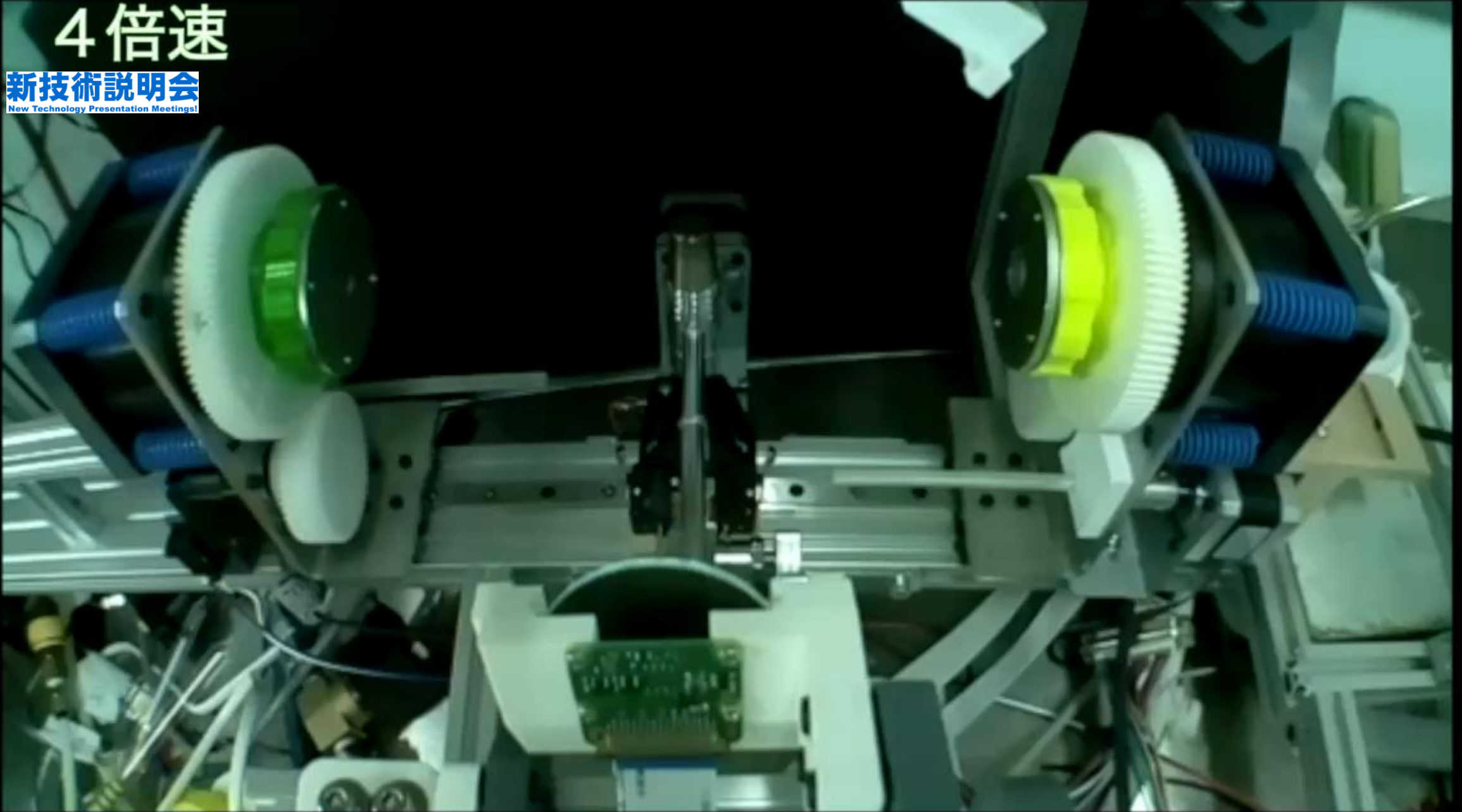


1. 真空排気して回転、加熱

2. そのまま封じ切り

4倍速

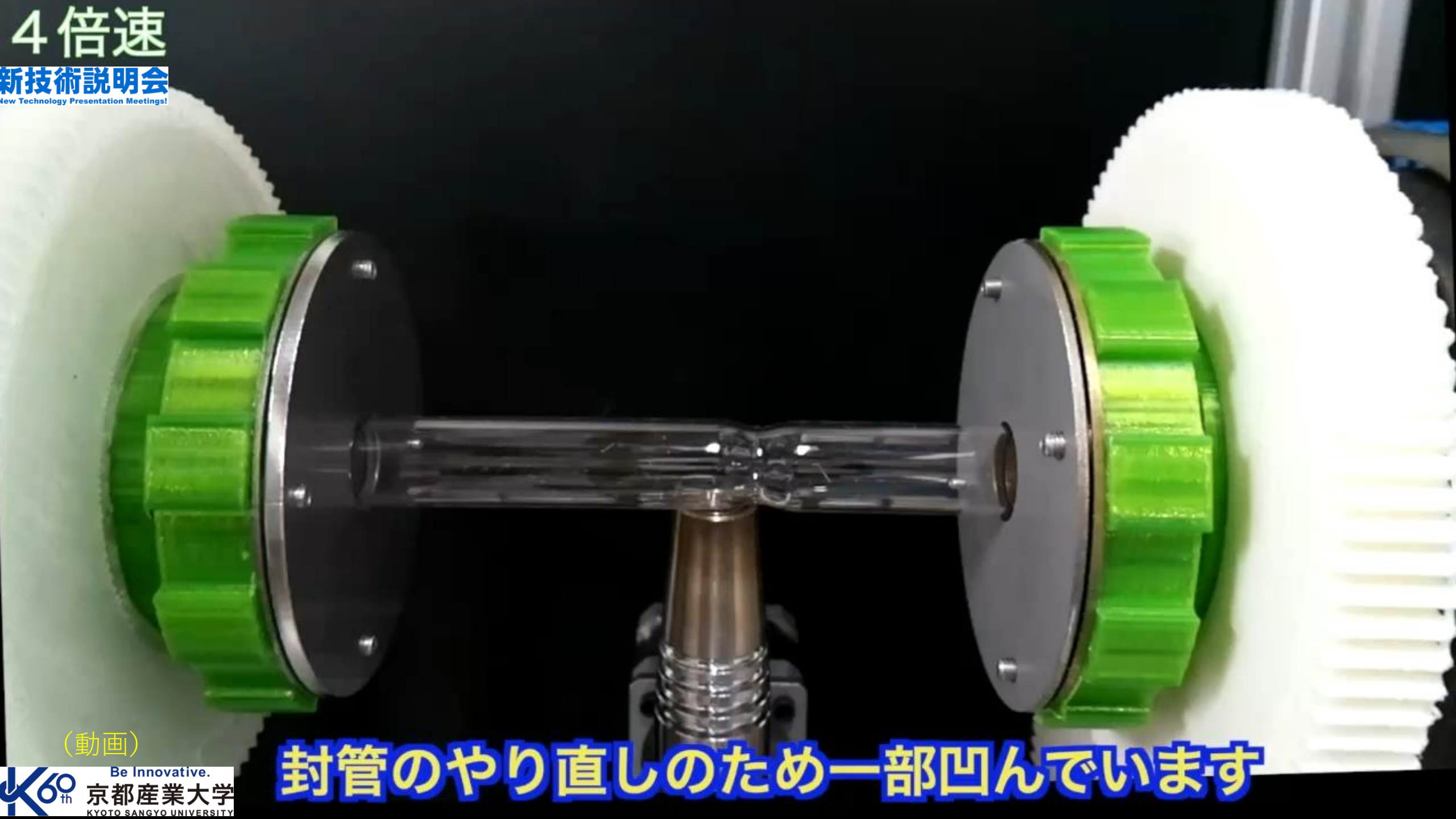
新技術説明会
New Technology Presentation Meetings



ウィルソンシールを 12 mm に入れ替えます

4倍速

新技術説明会
New Technology Presentation Meetings!



(動画)

封管のやり直しのため一部凹んでいます

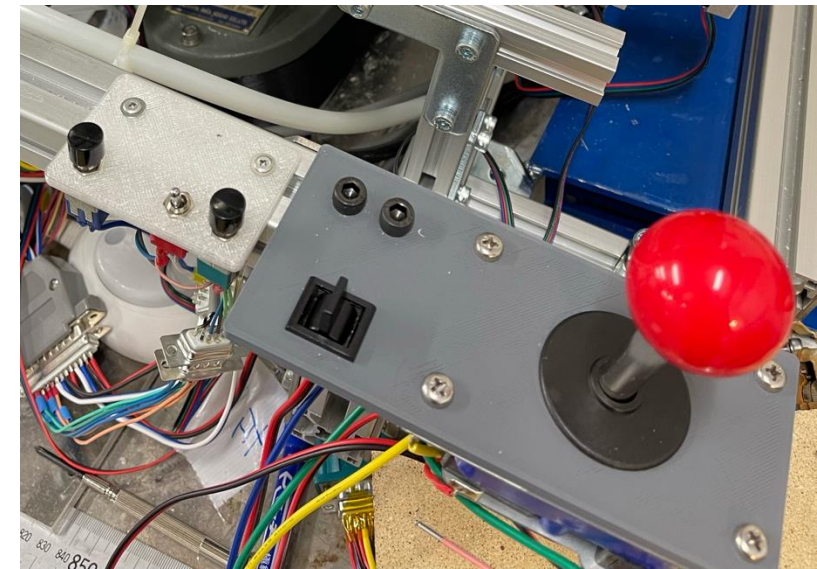
手動では難しい
外径 18 mm です
(肉厚は 1 mm)

18 mm



安全性が向上、教育もしやすく

- 従来は 1700°C にもなるガラスを手持ちで作業 → すべてモーター制御
- 作業を言語化できて教育がしやすくなった
 - 通常は 1 ヶ月以上かかり、かつ人を選ぶ作業



本装置の操作盤

原料が劣化しにくく

- 最初から加工作業を真空排気したままできるようになった
 - 手動では密封したままの作業は不可能
 - 原料の劣化を防げるようになった



これはテルル単体

石英アンプルの品質も向上

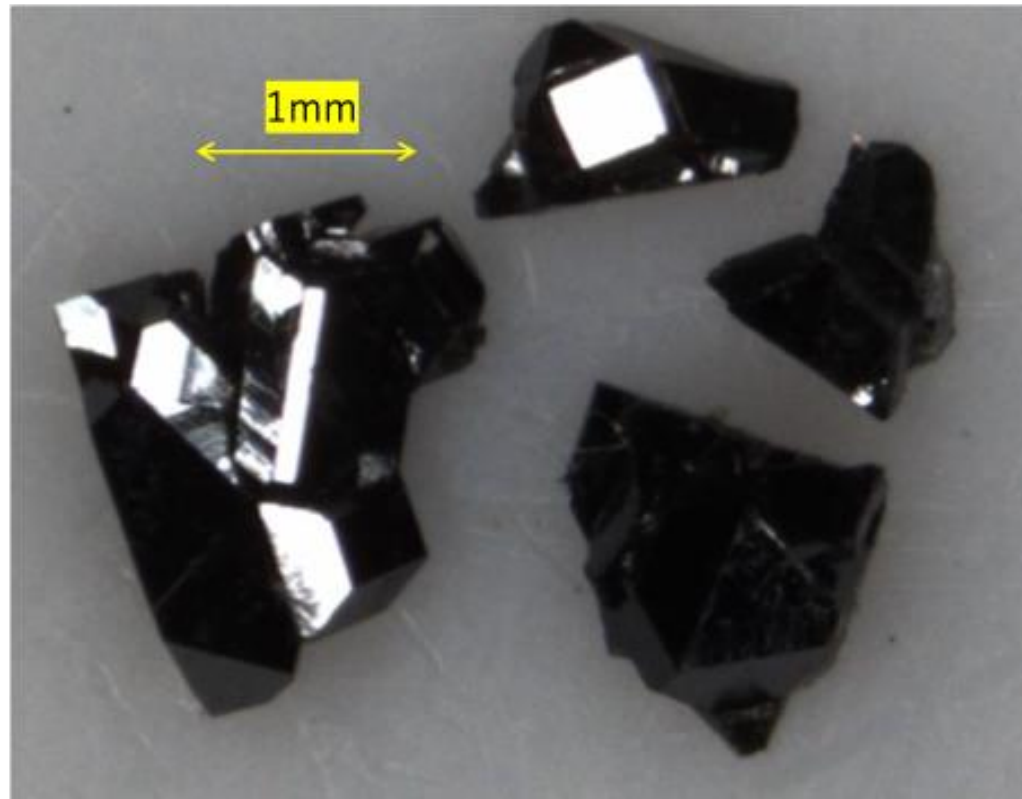
- 特に外径 18 mm の石英管は肉厚を保って封じるのが手動では難しい
- この装置ではしっかり厚くできる

↓ 手作業の例



この装置で可能になった実験 (1)：超高温成長

- 肉厚が保持できるので、高温限界に挑戦
- 1400°C での結晶成長に成功



この装置で可能になった実験 (2) : 遠心分離

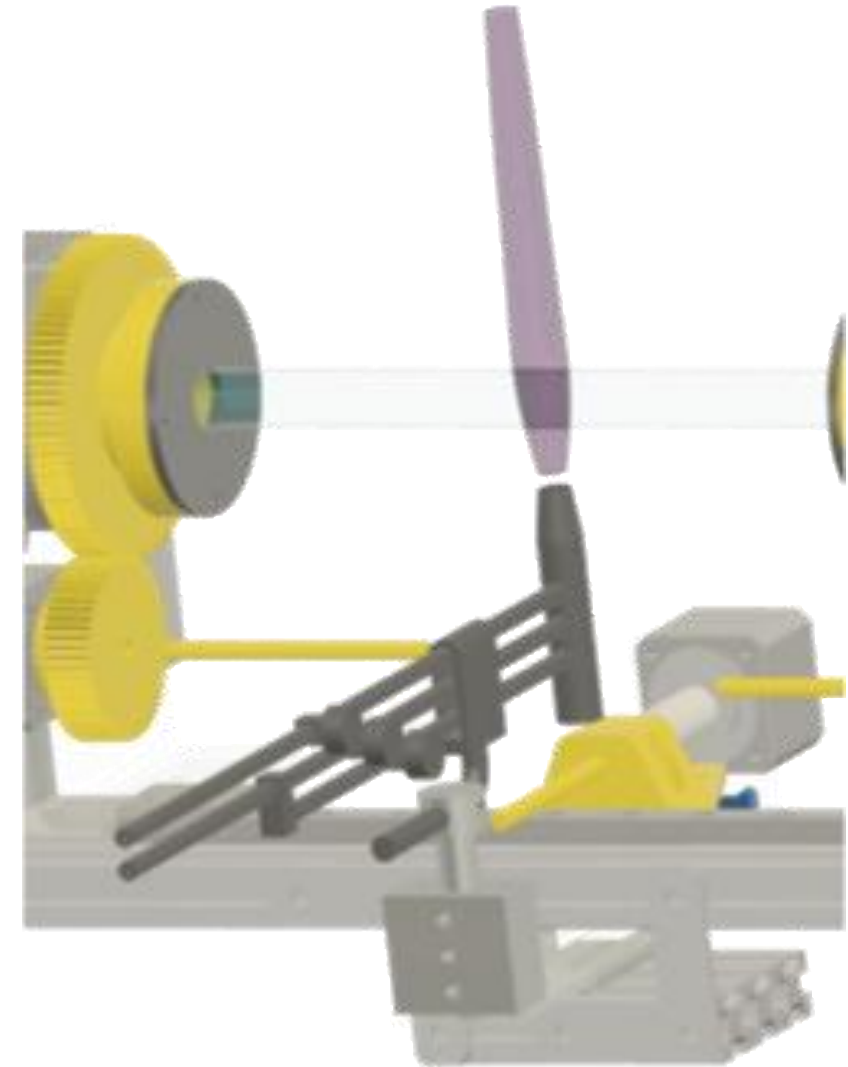
- 手作業では太い石英管で短い封管は困難だった
- 二重管で 外径 22mm、長さ 115 mmが可能に
- そのまま遠心分離機にかけられるようになった



外径 $\phi 22$, $\phi 18$ 二重管 115 mm の例

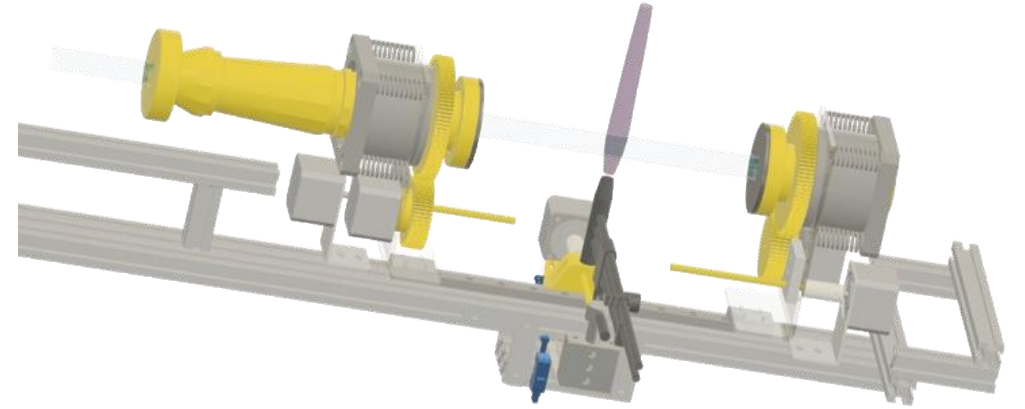
この装置で可能になった実験 (3) : バーナー

- 手動では外径 22 mm, 18 mm クラスの石英管には水素-酸素バーナーが必須
 - 炎に触れさせる時間で制御するため
- 本装置による実験では天然ガス-酸素バーナーでも多くの作業が可能に
 - 今は水素バーナーが新規に入手しづらいので、実験の継続が可能に



ニーズは？必要としている人はいる

- 現時点の想定ユーザー：大学の物性物理・物性化学の一部の研究室
- 物理の研究をしたい大学院生がまずガラス工作の修行をするべきか？
 - 個人的には「100万円出す」と言ってくれる先生はいる
 - が、数は今のところ多くない
- 3-5年スケールで製品化の検討している企業あり



実験自動化の助けとなる可能性

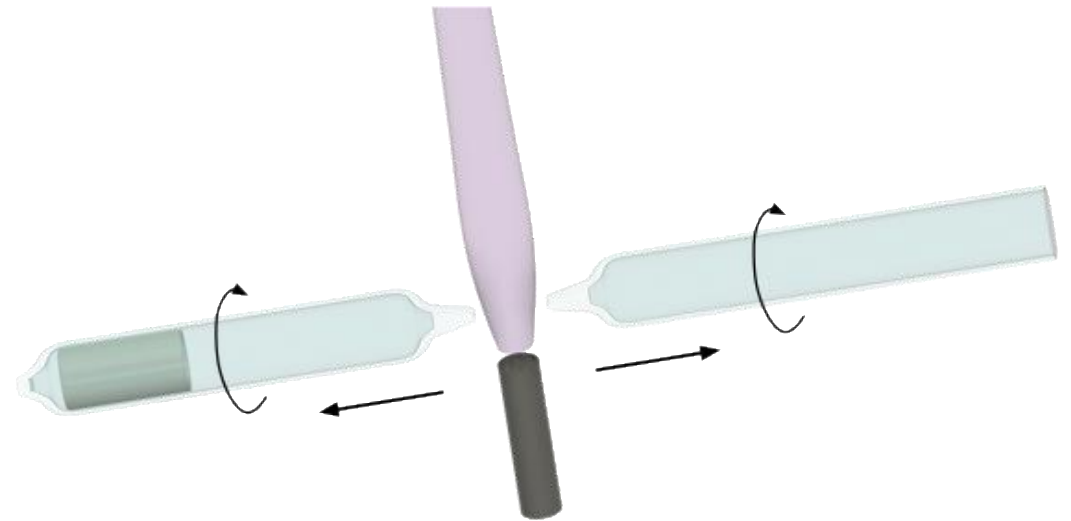
- 例えばデンスローウェーブによる自動化装置
- 今のところ高温密閉系は無理
- すぐには無理でも、本装置が将来適用できれば



実験自動化装置のイメージ (ChatGPT)

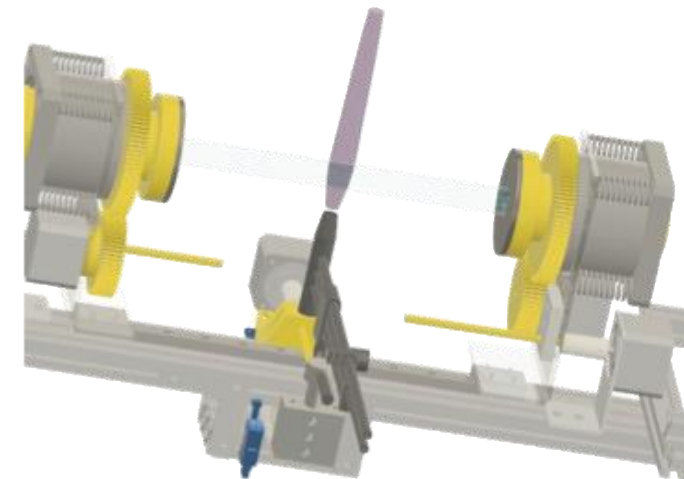
企業への期待

- 大学の実験室はもともと家内制手工業的側面（特に物理系）
- 本発明は内製装置なのでガラスの専門企業とは実は相性が良くない
- 思わぬ用途があればお寄せいただきたい



本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : ガラス管封止装置及びガラス管封止方法
- 出願番号 : 特願2024-176268
- 出願人 : 京都産業大学
- 発明者 : 瀬川耕司



お問い合わせ先

- 京都産業大学 研究機構 研究推進センター
- 電話 075-705-3255
- 電子メール ksu-kenkyusuishin@star.kyoto-su.ac.jp

