

手間のかかる化学実験を サポートする自動化システム

大澤 崇人

日本原子力研究開発機構

物質科学研究センター 研究主幹

2022年5月17日

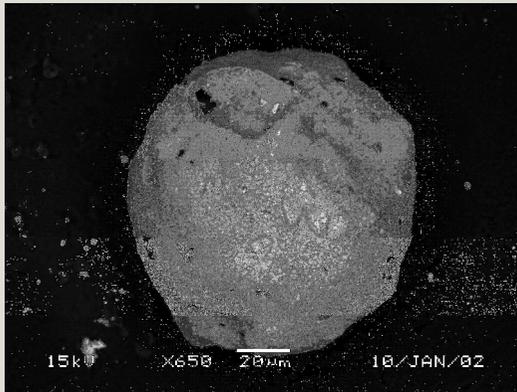
こんなことはありませんか？

- 作業を自動化して生産効率を高めたいが、どうすればいいかわからない
- 自動化しようとしたが、お金がかかりすぎる
- 作業プロセス間を自動でつなげる方法がわからない
- 自社製品を開発したいがアイデアがない

こうした要求に対する解決法的一端を紹介します

簡単な自己紹介

- 東京大学大学院理学系研究科博士課程修了 博士（理学）
- 専門 地球惑星科学 分析科学



南極で採取された宇宙塵1粒ずつに
含まれる希ガス同位体を分析し、
それらが地球外物質であることを
証明

小惑星探査機はやぶさが持ち帰った小惑星イトカワの砂
の希ガス同位体分析を行い、それらが間違いなく
地球外物質であることを証明

<https://www.science.org/toc/science/333/6046>



最近の研究

- はやぶさ2に搭載した近赤外分光計NIRS3で小惑星に水の存在を確認
- はやぶさ2が持ち帰った小惑星リュウグウ試料をJ-PARCミュオンビームラインで分析し、大成功



はやぶさ2試料専用
ミュオン特性X線分析チェンバー



水戸の機器メーカー「ヨシダ」（水戸市六反田町）と大強度陽子加速器施設「J-PARC」（東海村白方）が現在、「はやぶさ2」回収試料の分析法確立を目指し、研究を進めている。（水戸経済新聞）



JAXAから感謝状頂きました

自動化への執念



- 研究炉JRR-3に設置されている即発 γ 線分析装置PGAの装置担当者になるが、大震災により炉は停止。予算と人員は減る一方。ならどうするか。自動化しかない！



20年以上前に作られた装置に多関節ロボットを導入し、分析の完全自動化を実現

自動PGAシステム

- ハードウェア設計からソフトウェア開発まで一人で開発した
- プログラムはLabVIEWで開発
- 去年JRR-3が再稼働し、PGAは猛烈な勢いでデータを生産！自動化の効果は絶大！
- 去年は初運転だったにもかかわらず、システムの誤動作によるデータ損失はゼロ！高い信頼性！



制御プログラムAutoPGA



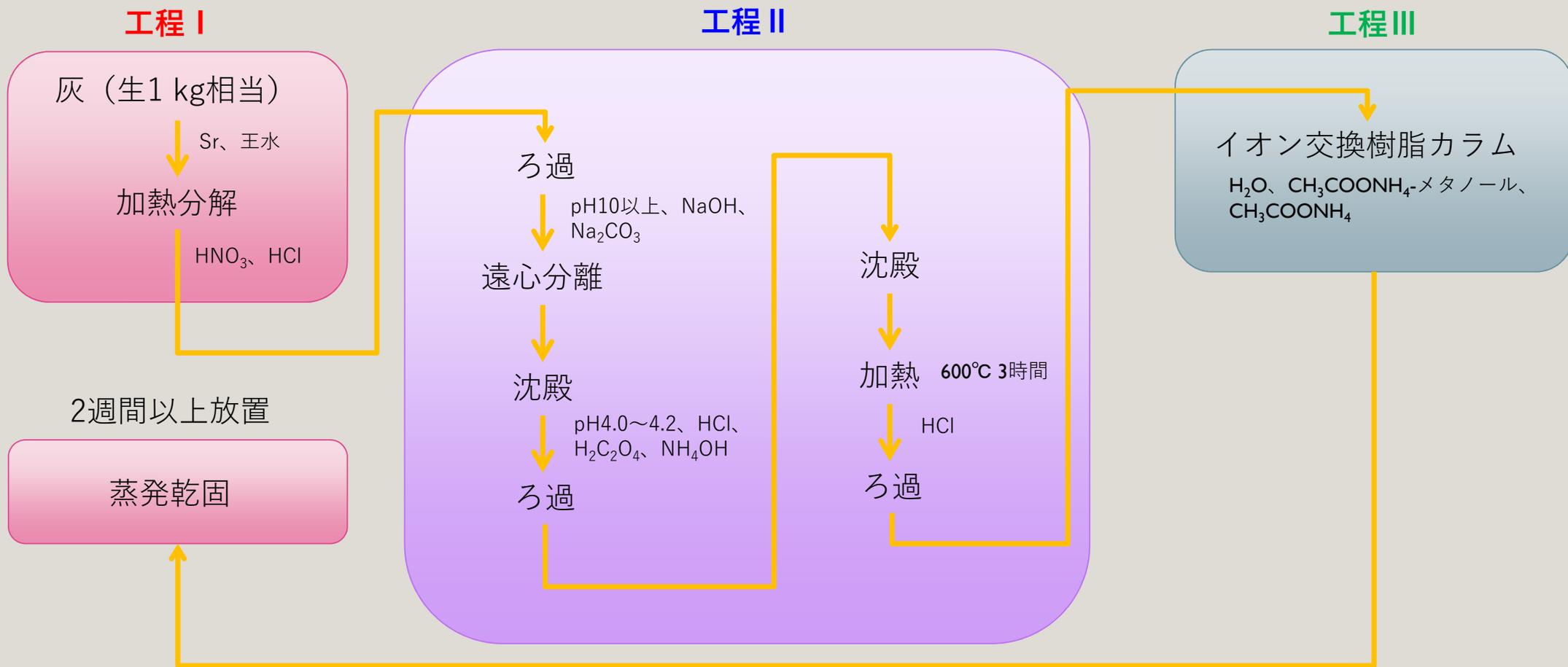
自動PGAシステムの開発でわかったこと

- 産業ロボットとLabVIEWを組み合わせることで、700万円程度の予算でも十分自動化システムは組める
- 既存の装置をそのまま自動化できる
- 24時間稼働で圧倒的な作業効率を発揮
- 人間より正確なのでデータのクオリティがむしろ上がった
- 自分でソフトウェア開発しているので、いつでも機能拡張できる

これって応用範囲は無量大なのでは？

さらに高難易度の課題、湿式分離に挑戦することにした

放射性ストロンチウム-90分析 イオン交換法



* 遠心分離、電気炉での加熱（沈殿溶解を含む）、ミルキング操作は作業者が実施

湿式分離への挑戦

環境試料中のストロンチウム-90分析前処理の半自動化システム



工程 I

ホットプレート上で環境試料（海産物）を酸化剤で煮込む操作を自動化。画像認識で液面を確認して突沸を防止し、酸化剤を適宜加えるシステム

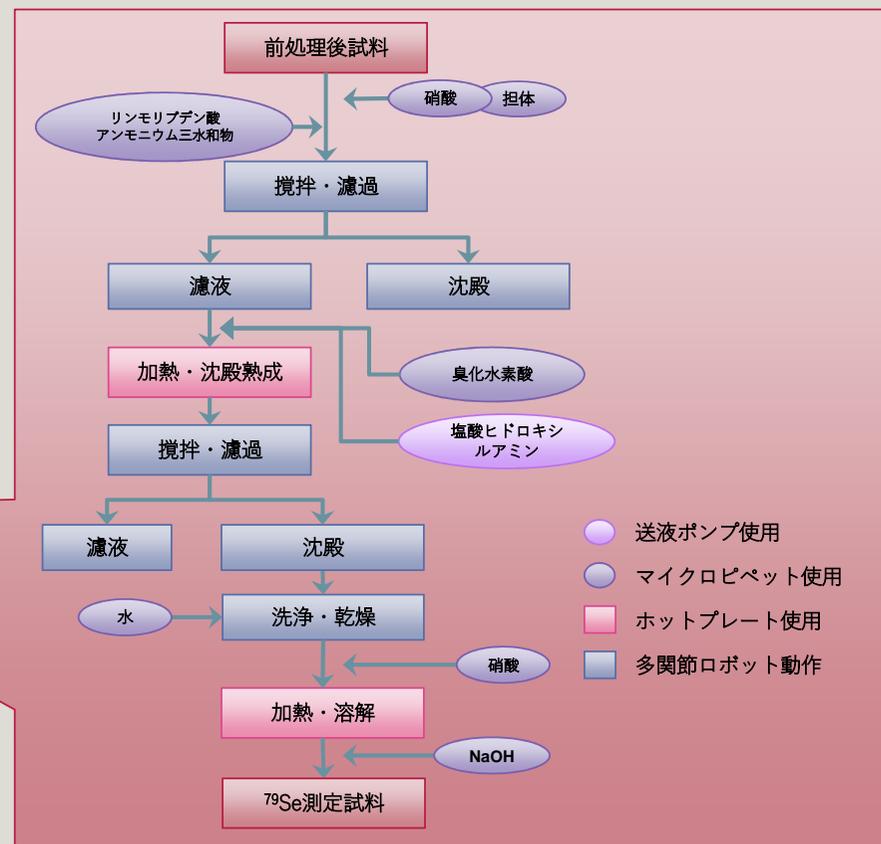
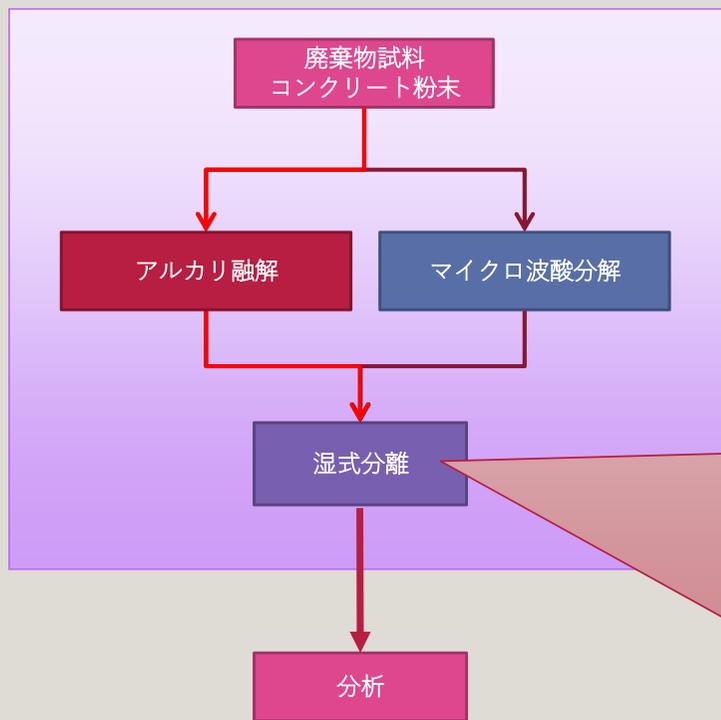


工程 II

沈殿の減圧濾過作業は2台のロボットを連動させて自動化。ビーカーも洗い流す

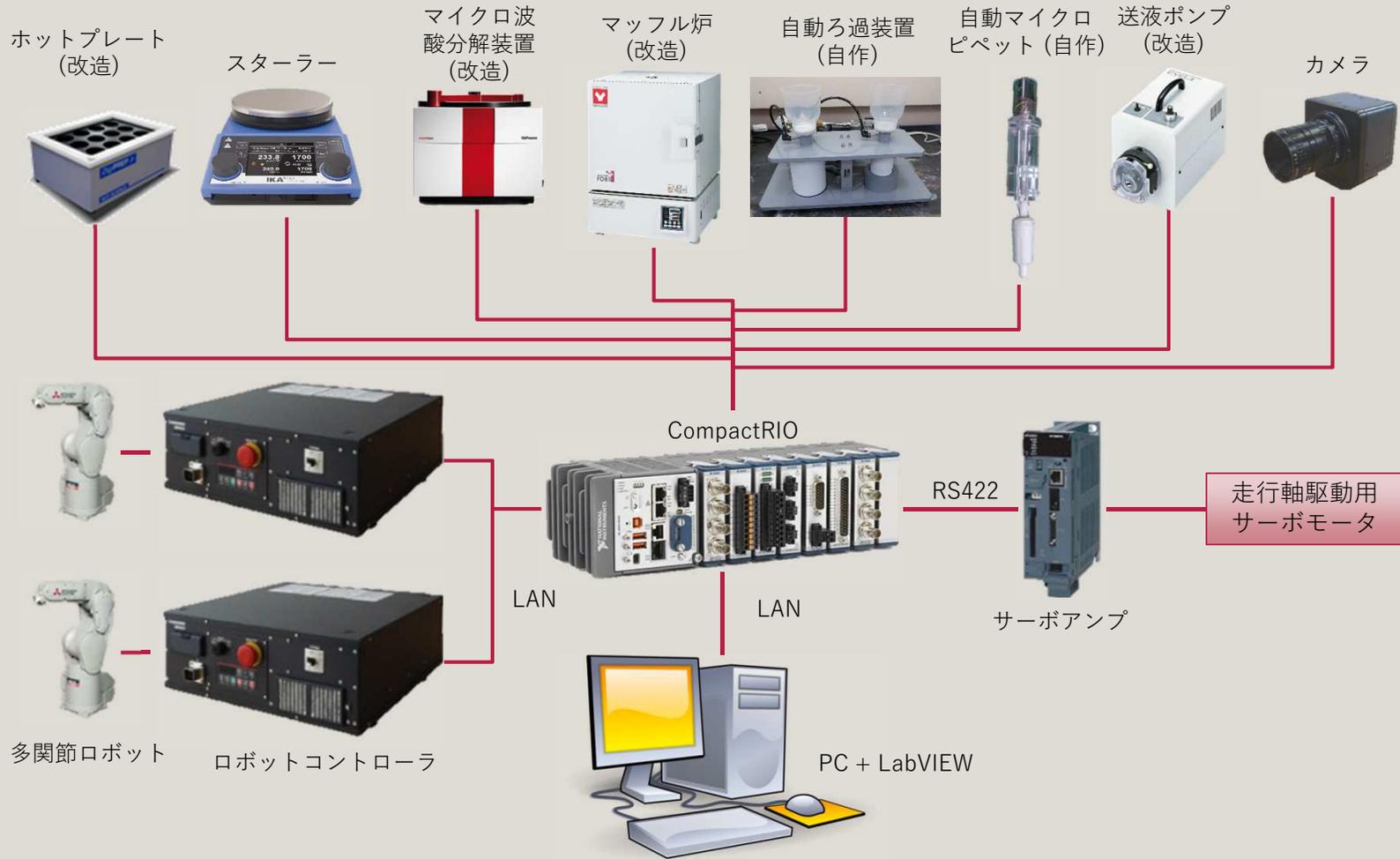
湿式分離過程も自動化することが可能であることを実証

さらなる高み 廃棄物中の放射性核種分析前処理の完全自動化システム



対象核種は ^{79}Se とし、前処理の全工程を自動化

システム構成の概略



ロボット2台、走行軸用モータ、各種機器の全てをNI CompactRIOとLabVIEWから統合制御できる

廃棄物中の放射性核種分析前処理の自動化システム



- 走行軸付きの2台のロボットが自在に移動し、複雑な動作を自動化
- LabVIEWを用いた完全統合システムを実現。極めて複雑な湿式分離の全工程を自動化して人間の操作をゼロにできることを実証した

自動化システム開発のまとめ

- 複雑な湿式分離の全工程を自動化することが可能
- 予算規模は人件費抜きで**3000**万円程度だが、これは使用する機器に依存する。ロボットなどの純粋な自動化用の装置だけなら**2000**万円未満で何とかなる。
- 人間の**3**倍働けるので、人件費分はすぐ回収できる
- システムの信頼性は運用初期の調整に大きく依存。年月が経つほど安定性が高まって運用コストは低下する。

既存装置を自動化する技術はほぼ確立された

自動化システム開発の副産物

- 人間 → ロボット が自動化の流れだが
- ロボット → 人間 が意外なものを生み出すことに気付く

人間は汎用性が高く器用なので、**不合理な機器を不合理と感じていない**

一方、ロボット用に開発した装置は**合理性を突き詰めている**ので、それを人間が使用できる装置に転用すると、既存の装置とは全く別物になる

実例を2つ紹介します

自動化システム開発の副産物① 自動ピペットの開発



マイクロピペット

- マイクロピペットは分注に必須の道具だが産業ロボットで使うには不合理だらけ！
- ピペットの形が人間の手しか想定していない！
- 電動ピペットはあるが、外部制御できない！
- 電動ピペットはあるが、チップを自動で排出できない！
- 自動分注システムはいろいろ発売されているが、他の機器との連携不可能で話にならない！

自分で作ることにした

自動化システム開発の副産物① 自動ピペット

ロボット用マイクロピペット開発

- 完全な外部制御
- チップが自動で排出可能
- ロボットが持ちやすい形状
- 優れたメンテナンス性

人間が使うことは全く想定していない

ピペット



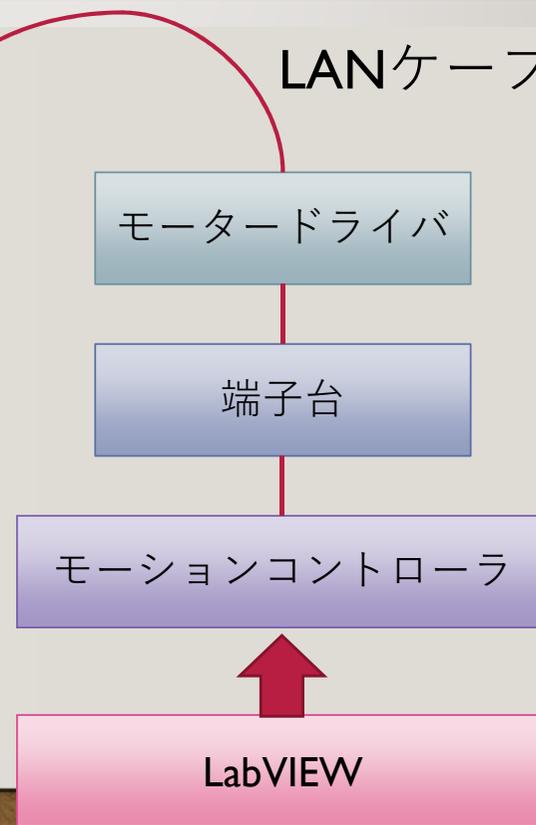
LANケーブル

モータードライバ

端子台

モーションコントローラ

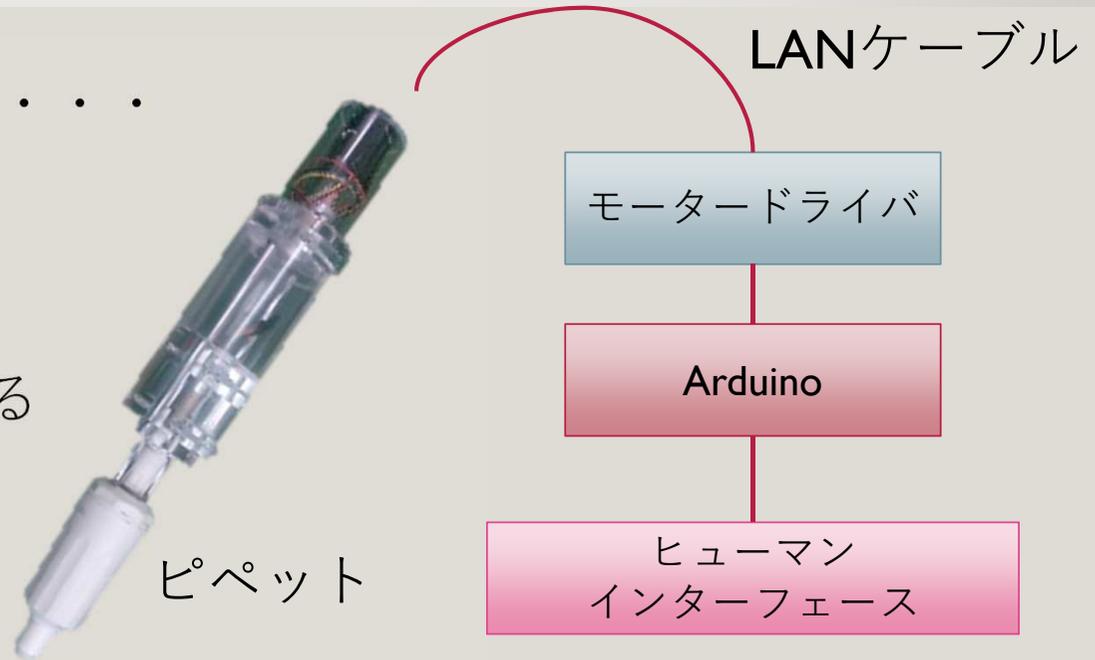
LabVIEW



自動化システム開発の副産物① 自動ピペット

人間が使えるようにしてみると・・・
これってすごく便利なのは

ロボット用のI/Oの価格で作れる



「人間用」ピペットシステム初号機

容量可変

ロータリーエンコーダの回転速度に応じて数値の変化速度が変わる



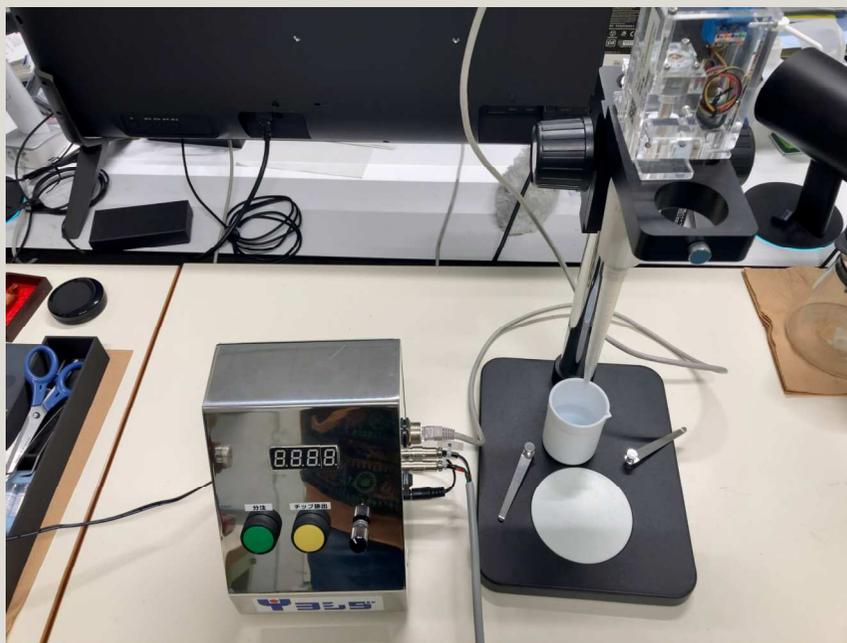
ピペットを固定してみた

手元ボタンでも操作できます



ピペットの操作を足にしてみた

「人間用」ピペットシステム



このピペットシステムは新しいマイクロピペットの使用方法を提案します。

モーター制御で容量は正確

ピペットは持ってもいいし、固定もできる。

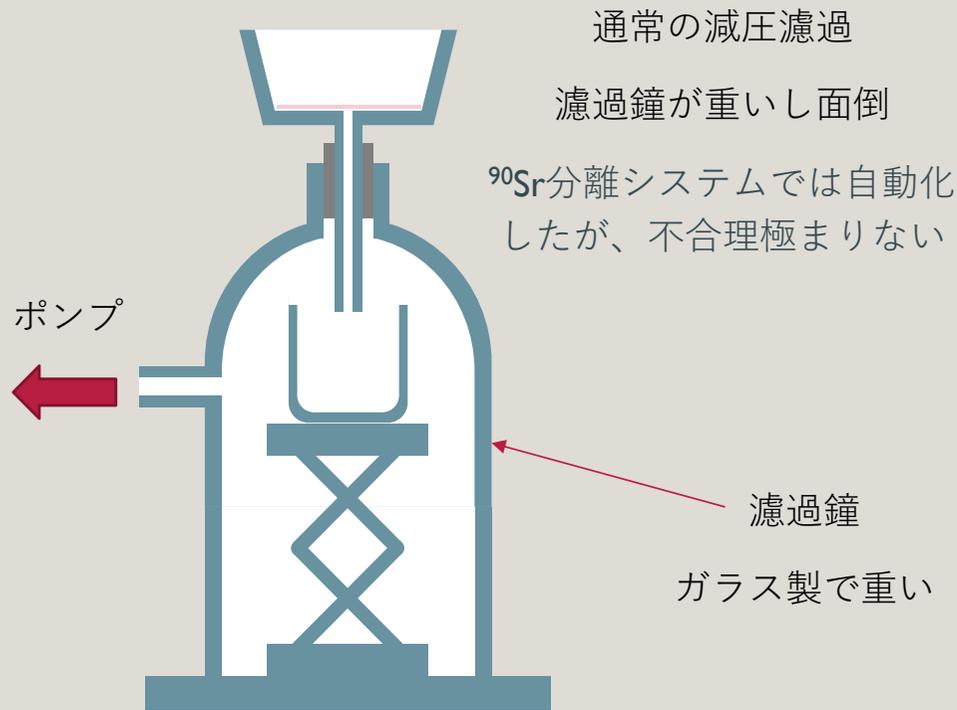
ピペットを固定すれば容器を持って操作できる

ピペットは手でも足でも操作できる。

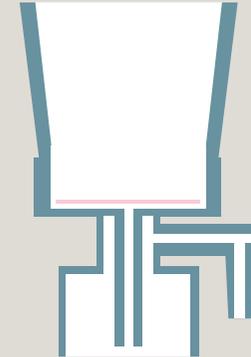


従来のピペット
使用法

自動化システム開発の副産物② 自動減圧濾過装置



ディスプレイザブル減圧用フィルターユニット



ポンプに毎回繋がなければならない、不安定、ろ紙が取り外せないなど、自動化では使い物にならない

自動減圧濾過装置



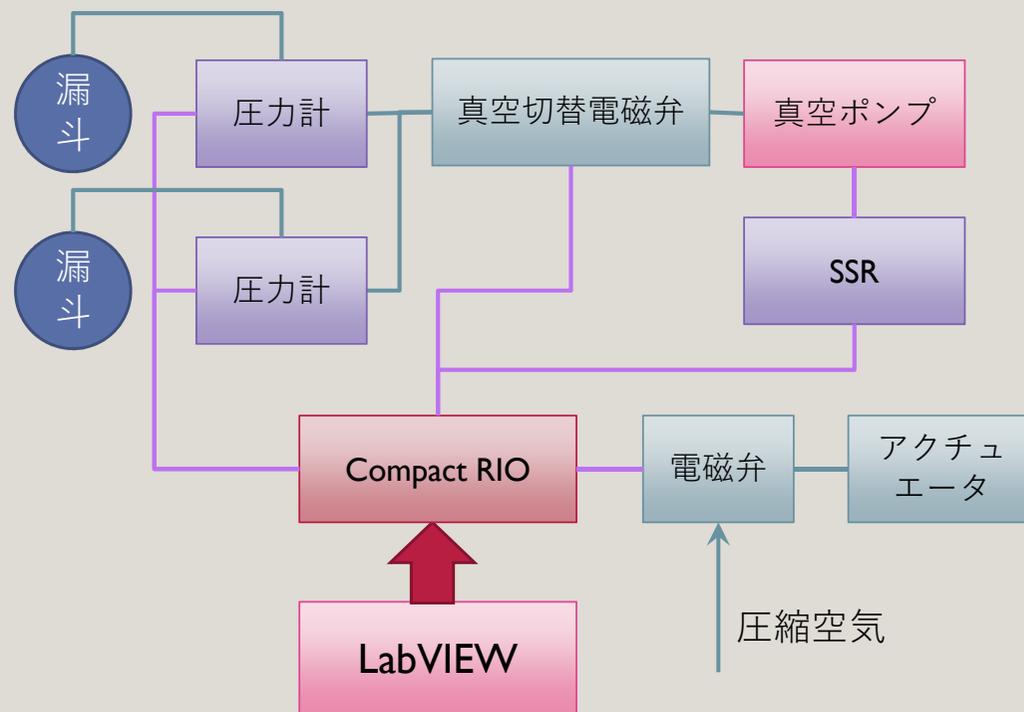
全てゼロベースで設計

- 専用のディスポーザブル漏斗を使用
- ろ紙を自由に取り外し
- ポンプとの接続不要
- 漏斗は載せるだけ
- 圧力を監視して全自動

自動減圧濾過装置

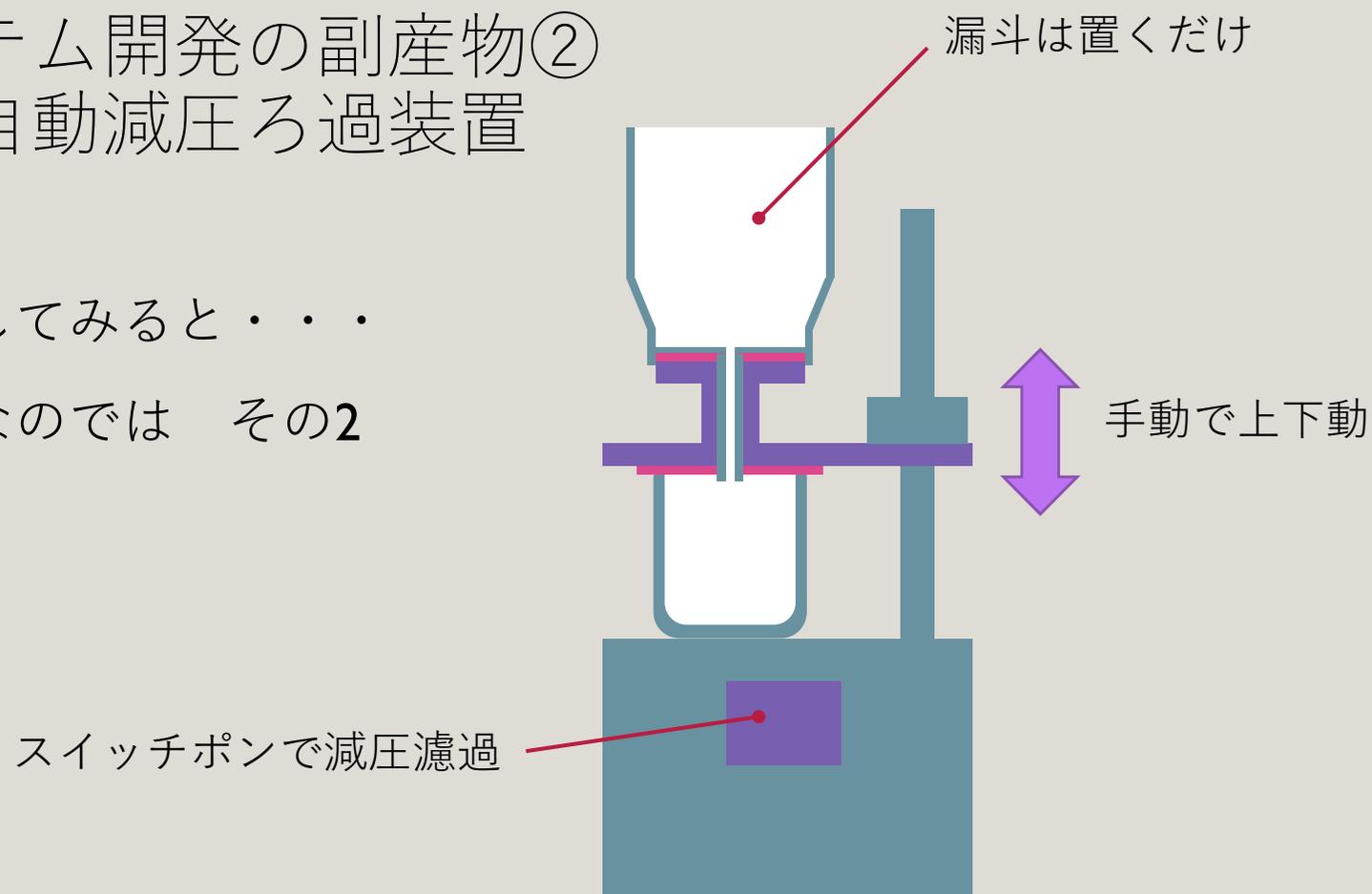


- LabVIEWで制御でき、ロボットが操作する



自動化システム開発の副産物② 「人間用」自動減圧ろ過装置

手動で使えるようにしてみると・・・
これってすごく便利なのは その2



こんなことができます

- 作業を自動化して生産効率を高めたいが、どうすればいいかわからない
- 自動化しようとしたが、お金がかかりすぎる
- 作業プロセス間を自動でつなげる方法がわからない

A: 産業ロボットは安いので、ノウハウがあれば非常に安価に自動化システムは組める

小規模なシステムなら**1000万未満で24時間稼働**します。人間の**3倍の効率**

- 自社製品を開発したいがアイデアがない

A: 自動ピペット、自動減圧濾過装置をご検討ください。湿式化学を利用する幅広い分野（バイオ、化学、分析、原子力など）で利用できます。

何でもお気軽にご相談ください

本技術に関する知的財産権

発明の名称	ピペットシステム
発明者	大澤 崇人
出願人	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
出願番号	2019-060067
公開番号	2020-159885

発明の名称	減圧ろ過装置
発明者	大澤 崇人
出願人	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
出願番号	2020-061755
公開番号	2021-159815

お問い合わせ先

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構

JAEAイノベーションハブ

T E L : 029 - 284 - 3420

e-mail : seika.riyou@jaea.go.jp