

協働ロボットの校正実務への活用について ～ピペットの自動校正～

一般財団法人日本品質保証機構

計量計測センター 計量計測部 力学計測課

高尾 明寿

目次

JQAの校正

マイクロピペットとは

マイクロピペットの校正手順

Cobot (協働ロボット)

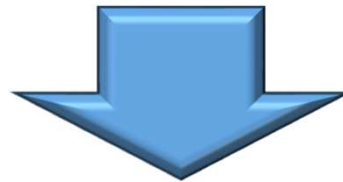
協働ロボットによるマイクロピペット校正の自動化

JQAの校正

量	主な品目	量	主な品目
長さ	レーザ波長、ブロックゲージ、標準尺、ゲージ類、精密測定器など	トルク	トルク測定器、トルクツール
放射線	X線測定器、γ線測定器	圧力	重錘形圧力天びん、圧力計、真空計など
電気 (直流・低周波)	標準電圧・電流発生器、デジタルマルチメータ、標準抵抗器、低周波発振器、絶縁抵抗計など	密度	密度浮ひょう、比重浮ひょう、酒精度浮ひょうなど
電気 (高周波)	電圧計、スペクトラムアナライザ、オシロスコープなど	体積	体積計、 マイクロピペット 、メスシリンダ、フラスコ、ビュレットなど
周波数・時間	周波数標準器、周波数カウンタ、ストップウォッチ	濃度	pH計、パーティクルカウンタ、CO ₂ 計、大気濃度計
EMC関連	EMCアンテナ、EMIテストレシーバ、LISN、AMN、CDNなど	音響・超音波	マイクロホン、サウンドレベルメータ、音響校正器、オーディオメータ
温度・湿度	温度計、湿度計、露点計、恒温・恒湿槽、温度発生装置、黒体炉など	加速度	振動加速度、振動ピックアップ、振動計、振動試験機
質量	分銅、おもり、はかり	流量	風速計、流量計
硬さ	硬さ試験機、デュロメータ	回転速度	回転計
力	力計、一軸試験機、力測定器など	標準物質	熱量標準安息香酸

JQAの校正

- ハンドツールの計測器では、手作業による操作および目視で目盛りを読む操作が多い。
- 使い慣れないと正しいデータが取れていない場合がある。



省力化だけでなく、**データの信頼性（再現性）向上**を目指した測定作業の自動化について検討を行った。

マイクロピペットとは

少量の液体を正確にはかりとる

基本形状は同じだが、それぞれ異なるサイズや使用感

規格：ISO 8655 , JIS K 0970



GILSON HPより



エッペンドルフ株式会社 HPより

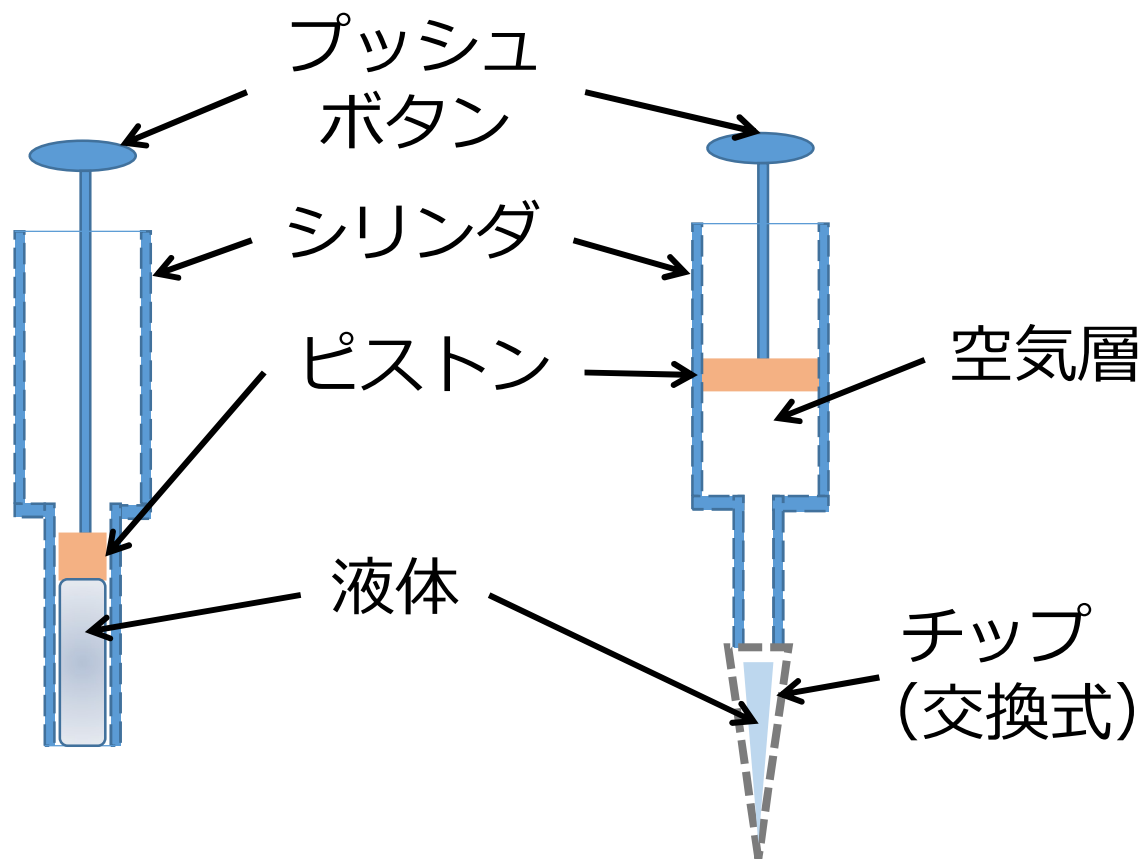


株式会社ニチリョー HPより

マイクロピペットの構造

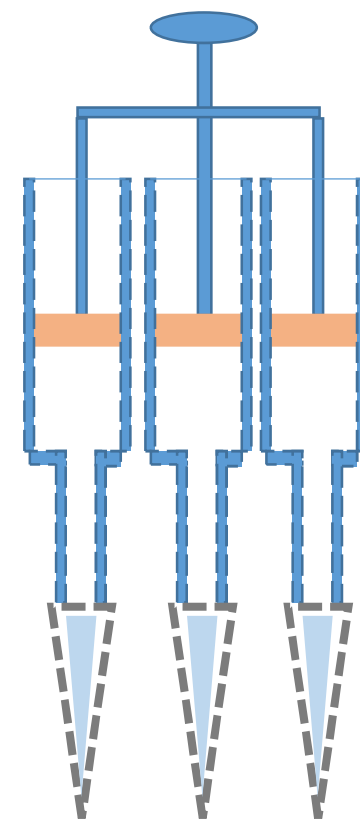
構造

直接置換式



シングルチャネル

空気置換式



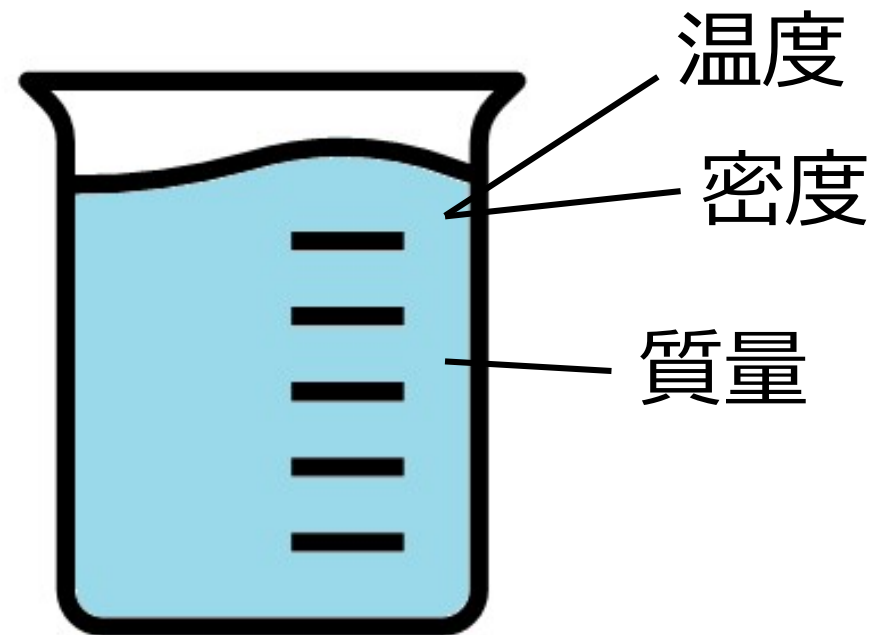
マルチチャネル

校正の概要

衡量法（重量法）

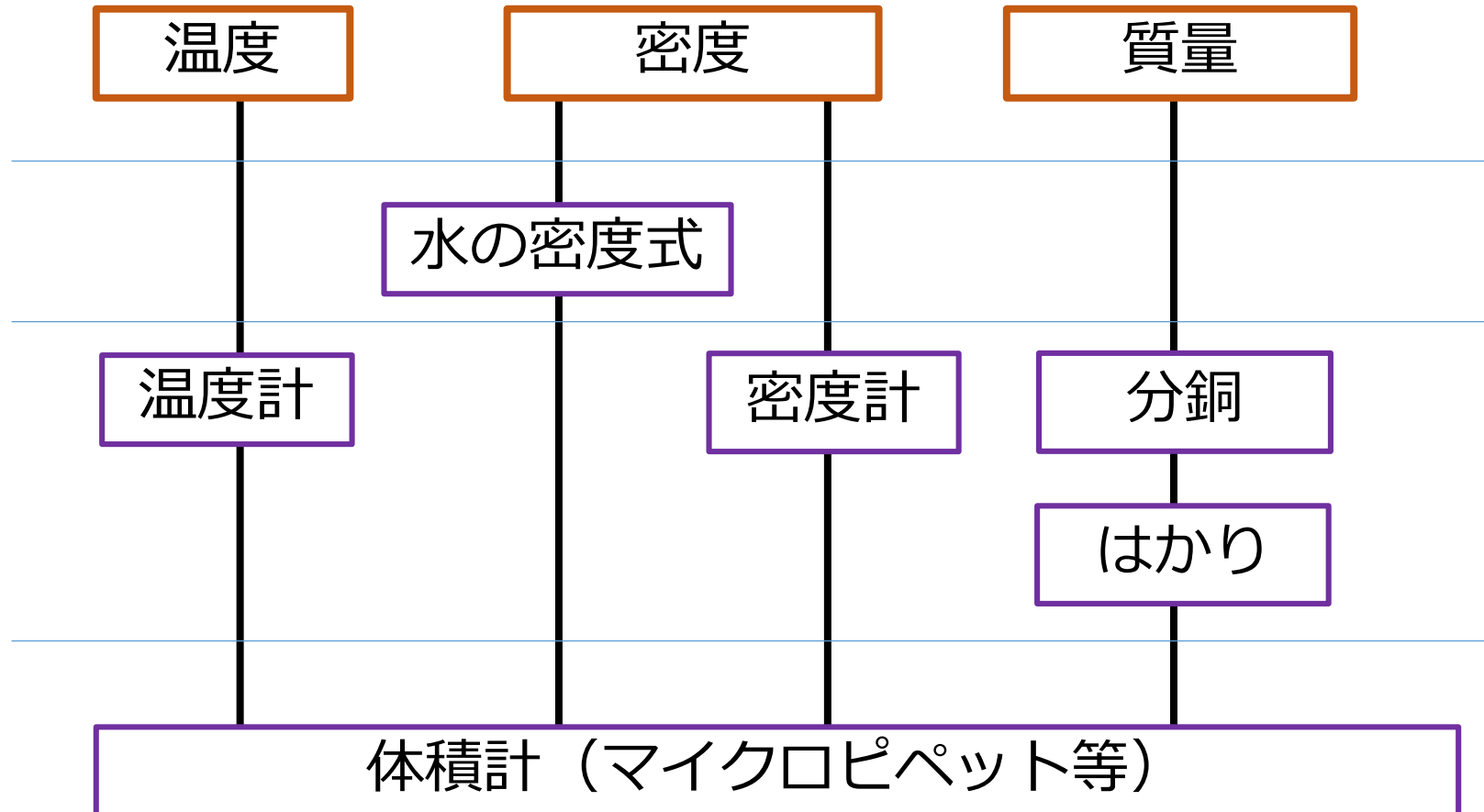
体積計に受け入れられた水の質量又は体積計から排出された水の質量、水の温度等から体積を計算で求める。

$$\text{体積} = \frac{\text{質量}}{\text{密度}}$$



校正の概要

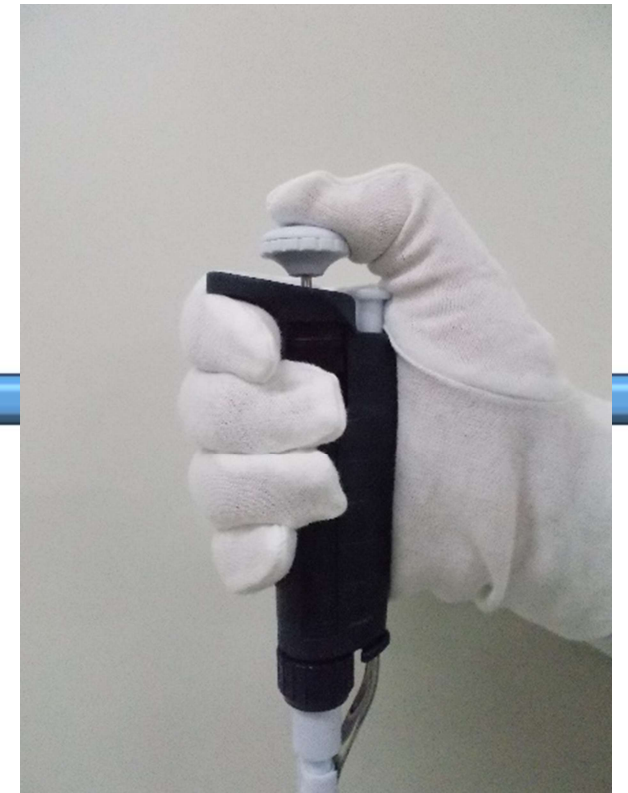
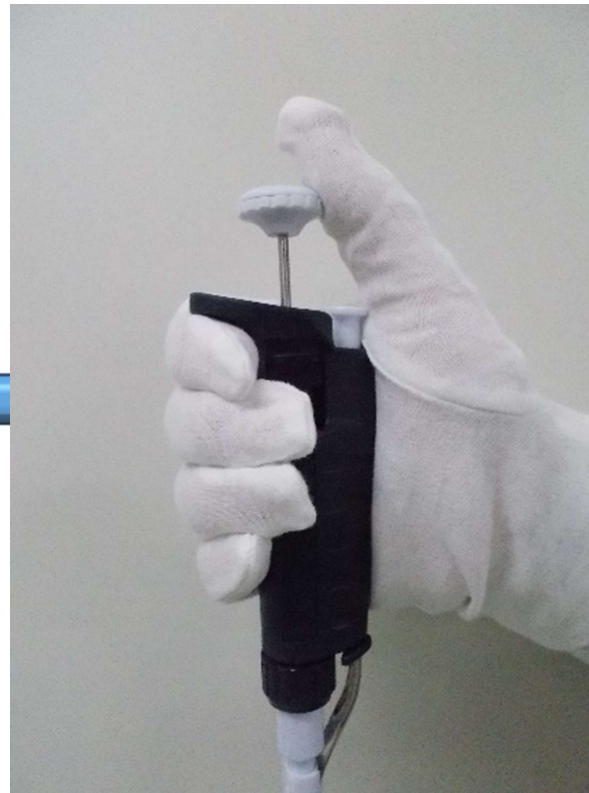
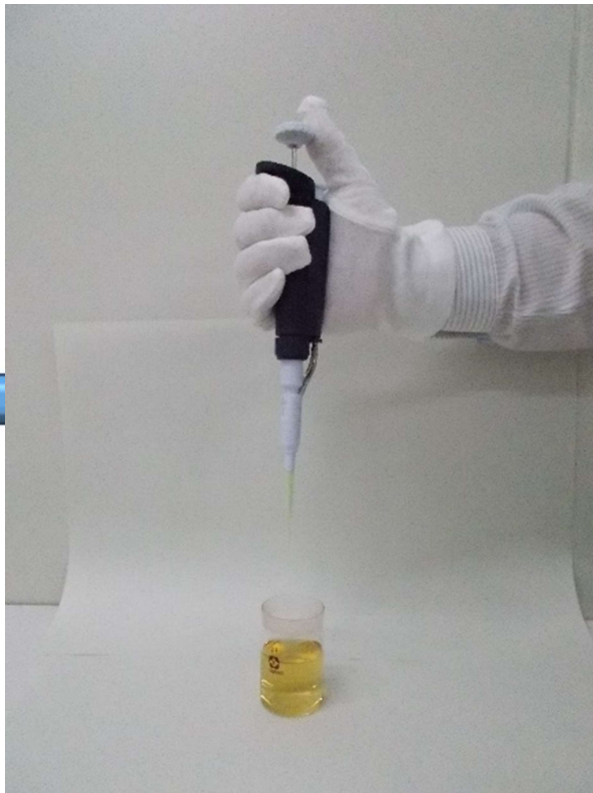
トレーサビリティ体系



操作方法

1. 垂直に保持する

2. プッシュボタンを
第1ストップまで押す



注：水は着色しています

操作方法

3. チップ先端
を水に入れる



4. ボタンを戻して
水を吸う



5. チップを水面から
引き上げる



操作方法

6. 天秤の
ゼロリセット



7. チップを
容器内に挿入する



8. ボタンを
第2ストップまで
押して水を排出する



操作方法

9. ボタンを
第2ストップまで
押して水を排出する



10. ピペットを
容器から抜く



11. 天秤のデータを
記録する



校正の不確かさバジェット

この数値はJCSS不確かさガイドの計算例だが、繰り返し性と同じ程度の大きさの要因として「試験所内の再現性の不確かさ」が計上されている。

校正結果

9.970 μL \pm 0.084 μL

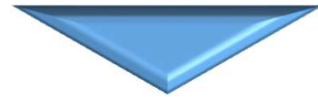
表1 ピペット校正の不確かさのバジェット表

不確かさ要因	記号	標準不確かさ	感度係数	標準不確かさ	有効自由度
質量測定における 繰り返し性の不確かさ	$u_{\text{Rep}}(\bar{m})$	0.028 mg	1 $\mu\text{L}/\text{mg}$	<u>0.028 μL</u>	9
電子天びんの不確かさ	$u_{\text{ba}}(\bar{m})$	0.0215 mg	1 $\mu\text{L}/\text{mg}$	0.0215 μL	∞
電子天びんの校正の不確かさ	$u_{\text{ba_std}}(\bar{m})$	0.011 mg			
指示値を校正結果(偏差)で 補正しない場合の不確かさ	$u_{\text{ba_b}}(\bar{m})$	0.0185 mg			
液体の密度の不確かさ	$u(\rho_w)$	6.70E-05 mg/ $\mu\text{L}(=\text{g}/\text{cm}^3)$	-9.90 ($\mu\text{L})^2/\text{mg}$	6.63E-04 μL	∞
空気密度の不確かさ	$u(\rho_a)$	1.49E-05 mg/ $\mu\text{L}(=\text{g}/\text{cm}^3)$	8.65 ($\mu\text{L})^2/\text{mg}$	1.29E-04 μL	∞
電子天びんの校正に 使用した分銅の密度の不確かさ	$u(\rho_b)$	0.03 mg/ $\mu\text{L}(=\text{g}/\text{cm}^3)$	1.85E-04 ($\mu\text{L})^2/\text{mg}$	5.55E-06 μL	∞
ピペットの体膨張係数 による不確かさ	$u(\alpha_c)$	5.77E-05 K^{-1}	-24.6 $\mu\text{L}\cdot\text{K}$	1.42E-03 μL	∞
ピペットの温度の不確かさ	$u(t_d)$	0.2897 K	-2.96E-03 $\mu\text{L}/\text{K}$	8.57E-04 μL	∞
温度計の校正の不確かさ	$u_{\text{temp_std}}(t_d)$	0.02 K			
使用した温度の実際の 平均温度からの偏りの不確かさ	$u_{\text{temp_bias}}(t_d)$	0.289 K			
液体蒸発による不確かさ	$u(\Delta V)$	0.01 μL	1	0.01 μL	∞
<u>試験所内の再現性の不確かさ</u>	$u(e_{\text{lab}})$	0.02 μL	1	0.02 μL	∞
合成標準不確かさ				0.0418 μL	14(>10)
拡張不確かさ				0.0837 μL	

JCSSでは「試験所内の再現性の不確かさ」要因があり、他の要因と比較して無視できない大きさとなっている。

ロボットの導入

JQAでは、2011年に
3軸ロボットによる分銅の自動測定器を導入



人が測定するよりも再現性が良いデータがとれる
測定時間（間隔）が一定
一定の力で操作が行える
疲れない



ピペット校正にも有効なメリットとなり得る

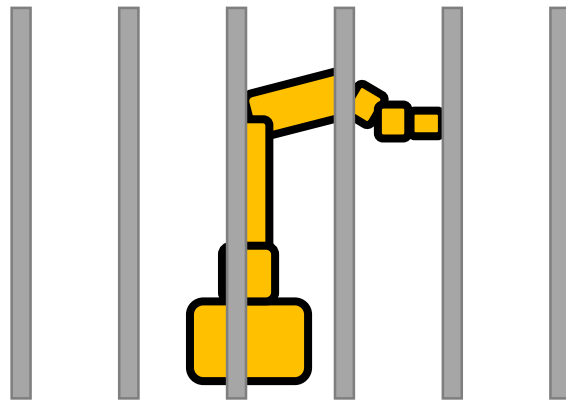
協働ロボット

従来のロボット...安全柵の中で使用（人との分離・スペースが必要）

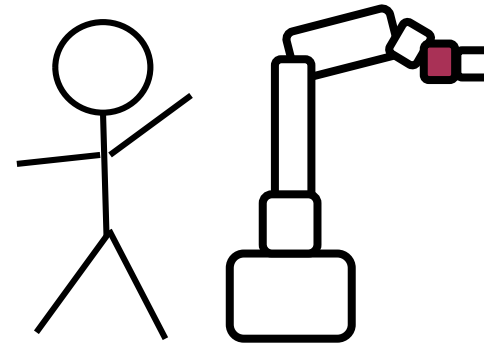
協働ロボット（collaborative robot）例. デンマークのUR（Universal Robot社）

▶ **人と共に作業・柵不要**（人の隣で使用可能・作業空間の共有）

多様な動きができる（ハンドやアプリケーションの組み合わせ）



従来のロボット



協働ロボット

動きに自由度がある協働ロボットを使用することを検討

多関節で人の腕より自由に動く。双腕型もある。

協働ロボットによるマイクロピペット測定自動化

採用したロボット（市販品を導入した）

- ▶ 工場用で稼働する垂直多関節ロボットの
外観だが協働できる仕様となっている
- ▶ 可搬重量は 5 kg
- ▶ ハンド自体が大きくても可搬質量に余裕



三菱電機株式会社 HPより

マイクロピペット校正のような
繰り返し作業を担わせることを検討

* ピペットは様々な型式があり、形状やボタン操作力等もまちまち...
如何に同一に扱えるようにするかが課題

ピペット校正自動化の問題点

- ▶ ピペットはお客様からお預かりした品物なので傷つけられない。
しかし、プッシュボタンを押すときに動いては困るので、
ハンド（つかみ）部分の形状と保護を考慮する。
- ▶ ピペット毎に異なる点
 - ・ プッシュボタンを押す力
 - ・ プッシュボタンからチップ先端までの長さ
 - ・ 持ち手部分の形状

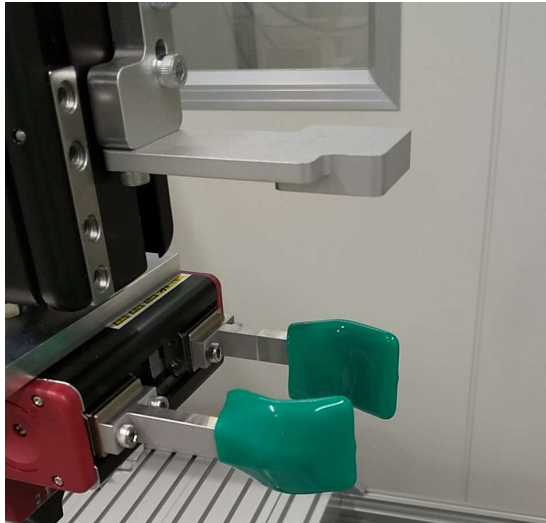
ピペット校正自動化の問題点

▶ ハンドについて

既製品が適用できる場合もあるが、特殊用途のハンドは基本的に設計からはじめて、その用途にあわせて作りこむ。

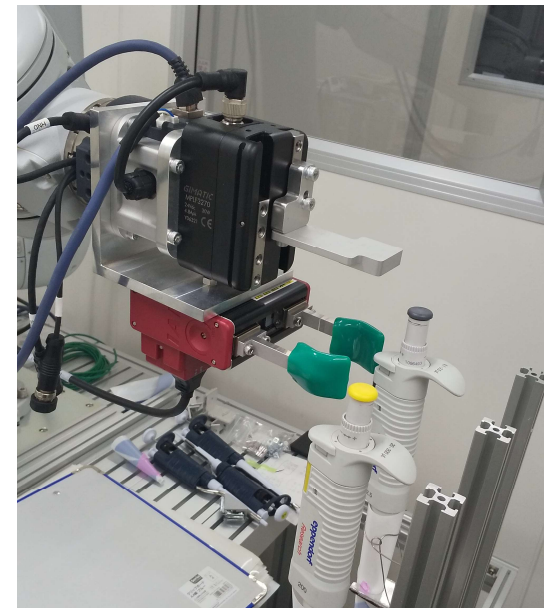
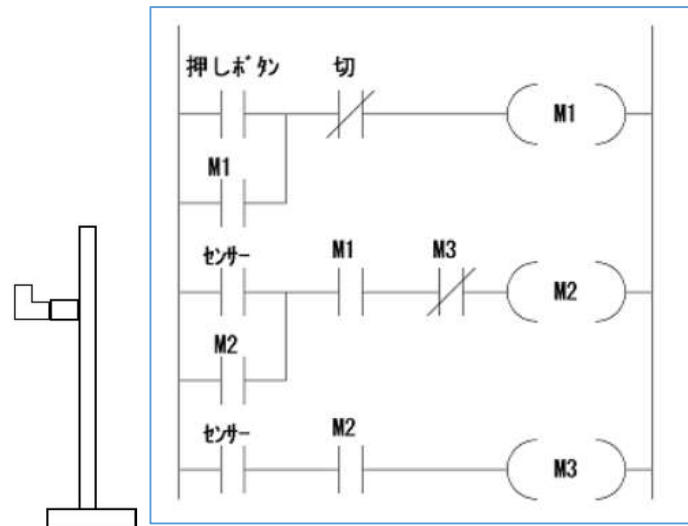
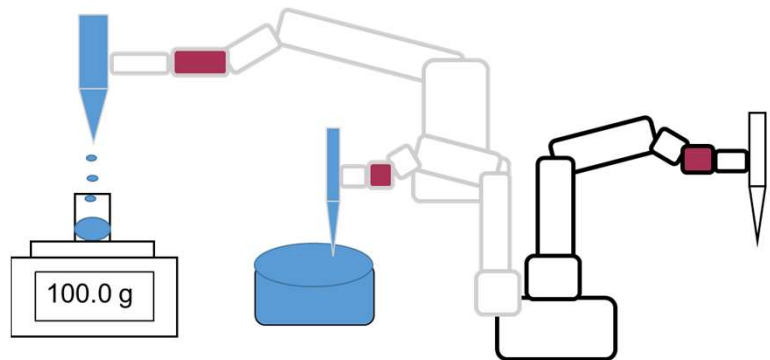
▶ ピペットの形状を考慮した最大公約数的な把持部分の構造を考えた

▶ 把持による損傷が生じないように保護具をとりつけた



協働ロボットによるマイクロピペット測定自動化

- ▶ Basic言語で詳細な動作プログラムができるが、協働ロボット用に開発されたプログラムで動作を記述した
- ▶ ハンドの制御は別途PLC (Programable Logic Controller) を使用、動作はラダー言語で記述した
- ▶ データは電子天秤からPCへ (デジタル入出力I/Oユニットを使ってロボットのI/Oと通信)



まとめ・今後の展望

▶ 協働ロボットの導入

マイクロピペットの作業効率の向上

マイクロピペット校正に関しての不確かさの考究

(試験所内の再現性の不確かさを検証できる可能性・・・ロボットの

再現性で人による測定より良い不確かさを実現できるか?)

ロボットの活用についての知見の蓄積

▶ 協働ロボットは動きの自由度があり、**他分野への活用**が期待できる

→**校正実績を増やし、更にノウハウを高めていきたい**

ご清聴ありがとうございました