

複雑な湿式化学操作を完全に自動化するための方法論

大澤 崇人

1 はじめに

何らかの機械装置が自動的に作動する装置は古代から存在していたようだが、自動化されたシステムが人類の文明に決定的な役割を果たすようになったのは20世紀に入ってからである。人間が行っていた労働の一部、またはすべてを機械によって自動的に行うことで工業製品を大量生産するファクトリーオートメーション (FA) の技術は、現代の文明社会を支える不可欠の技術体系となっている。FAの歴史はかなり古く、1950年代にまで遡るようだが、一方でFAの領域から少しでも離れると、驚くほど自動化は進んでいない。最先端の研究を行っている研究機関であっても、実験室内でロボットが稼働している姿を見ることはほぼない。ラボラトリーオートメーション (laboratory automation, 以下 LA) という言葉は確かに存在するのだが¹⁾²⁾、LAを本格的に導入している研究室を私はほとんど知らない。試しに“laboratory automation”で文献検索をしてみればよくわかるが、ヒットする論文の大部分は医学・バイオ分野であって、これはつまり、他のほとんどの研究分野でLAは全く浸透していないということを意味している。

分析化学の場合はどうであろう。分析機器に関してはかなり自動化が進んでいるように思える。大手メーカーから販売されている汎用の分析装置は、試料の自動供給はもちろん、解析までほぼ自動で行える製品もある。こうした技術的進化は間違いなく研究者の負担の軽減に繋がっているが、一方で分析試料を調製する操作はまるっきり進歩が見られないように思える。その原因は主に三つある。

一つ目の原因は、経済的理由である。LAを導入する場合、投資した金額に対して得られる経済的メリットが上回っていなければならない。しかしながら、LAのシステムの構築にはそれなりの投資が必要であるが、それによって得られる経済的利益を予測することは簡単ではない。その理由は、LAシステムを構築し、それを維持するための予算規模が事前に算出しにくいからである。筆者の経験から言えば、要求されるLAシステムの規模や内容はカスタマーごとにバラバラで、カタログ品を組み合わせるだけで済むようなシステムには一度も出会ったことがない。そのため、必要とされているLAシステ

ムに応じた研究開発要素が必ず生じてしまい、予算的にも時間的にも大きな安全マージンが必要となってしまう。LAによって得られる経済的利益を算出することは開発費の算出と比較すれば容易だが、システムの維持管理費の算出が難しいため、トータルの経済性の予測は簡単ではない。新たに開発した機器や手法が最初から完全に問題なく動作するという事は通常ありえず、プログラムにも必ずバグがあるため、少なくとも1年くらいはバグフィックスとシステムの問題修正を続けなければならないことになる。

大学においてはもっと深刻な経済的問題がある。安すぎる人件費の問題である。学生はタダで労働力を提供してくれる上、学費まで払ってくれる。さらにリサーチアシスタントという超低賃金の労働力を確保することもできる。ピペド (ピペット土方 (奴隷) の略) というスラングが示しているように、奴隷が働いてくれている状況で、どうしてわざわざ高いお金を払ってLAシステムを構築するだろうか。筆者の元には様々な企業からオートメーションに関する技術相談が寄せられているが、大学からの相談は一件もない。企業と大学の反応の差は極めて明瞭であり、統計的に有意であることは間違いない。筆者への相談件数のデータから推測するに、大学においてLAが進展する見込みは、今のところほぼゼロである。

二つ目の理由は、技術的問題である。端的に言えば、LAシステムを構築する技術的難易度が高すぎるのである。LAはFAと違って、専用の生産ラインを新たに建設するようなことは基本的にはできない。新規に大きな実験棟を建設できる場合もあるが、その場合であっても工場とは比較にならないほど空間的制約は大きい。しかも、たとえ十分な実験空間と予算が確保できた場合であっても、そもそもLAシステムを構築できる技量を持ったシステムインテグレーターが極端に少ないため、誰にシステムの構築を依頼していいのかわからないことになる。LAシステムの開発を生業とする会社もなくはないが、筆者の感覚から言えば、本当に現場で必要としているような高度なLAシステムを構築することは困難である。システム構築に必要な技術を持った技術者が分析や湿式化学の技量をも兼ね備えている可能性は限りなくゼロに近いため、システム技術者と現場の分析作業員の意味を統一するのは容易ではない。加えて、たとえ両

者の意思をうまく統一できた場合であっても、現場で使用しているメーカーも規格もバラバラな各種理化学機器を一つのオートメーションシステムとして統合制御することは容易ではない。

LAが進まない三つ目の理由は、実験を自動化しようという意思がそもそも欠如していることである。現場の分析作業員が、自らの作業を機械によって自動化してしまったら、極端な場合職を失いかねない。自動化とは、すなわち職場から人間を排除することに他ならず、現場の人間が積極的に自動化を推し進めようとするわけがない。経営者が自動化を推し進めようとした場合であっても、現場で何十年も変わらずに行われている実験操作に疑問を挟むことはなかなかできることではない。自動化できない理由は幾らでも現場に存在しているのであり、実験操作を変えられない合理的理由は枚挙に暇がない。例えば品質保証の場合、実験操作は完全に標準化されているので、その手法を変更することは絶対に許されない。

これら三つの障碍によってLAの開発は妨げられているのだが、逆にこれらの問題が全て解決されたときにLAは一気に推進される。一度LAシステムを構築したならば、その圧倒的な経済性と効率性に驚嘆することになるだろう。次章以降は筆者が実際に開発してきたLAシステムについて紹介していくことにしよう。

2 LAシステムの構築

2.1 自動即発 γ 線分析システム

筆者が最初に開発し、現在も進化し続けているLAシステムが自動即発 γ 線分析システムである(図1)³⁾⁴⁾。このシステムは湿式化学の操作を含むものではないが、筆者が持つ制御技術とシステム構築のフィロソフィーを色濃く体現したものであるため、触れておくことにする。

研究用原子炉JRR-3に即発 γ 線分析装置(prompt gamma-ray analysis system, PGA)が設置されたのは平成初期であり、筆者がこの装置を引き継いだ時には既に建設から20年以上が経過していた。当然ながら操作はすべて手動であり、ユーザーは徹夜で試料交換をし続けな

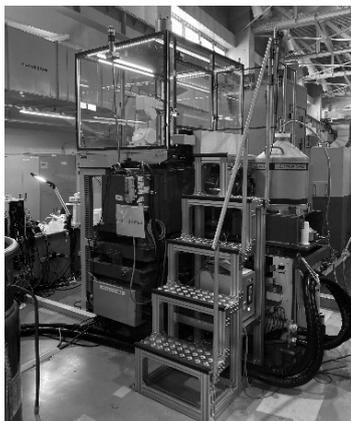


図1 全自動化された即発 γ 線分析装置(PGA)

ければならず、実験には多大な労力を必要としていた。

本システムの技術的な話をする前に、なぜ筆者が本装置を自動化しようと考えたかについて触れておかなければならない。なぜならば、LAの実現において最も重要なことは、その動機だからである。筆者がPGAを自動化した理由は、追い詰められていたからである。東日本大震災と原発事故の影響でJRR-3は長期停止に追い込まれたが、再稼働後には筆者が一人でPGAを運転しなければならない状況であった。人員が削減されたからである。研究炉は稼働し始めると24時間稼働のため、一人で運転し続けることはどうやっても不可能なのだ。PGAは供用施設であるため、様々な大学、企業、研究機関の研究者が利用しており、絶対に運転を止められない事情がある。そこで、自分を過労死から守るためにはロボットを導入し、装置を完全に自動化するしか道はなかった。

PGAを自動化するにあたって採用した基本方針について説明しよう。本装置はかなり古い装置ではあったが、分析装置としての性能は優れていたため、分析性能にかかわる装置内部には一切手を加えなかった。ハードウェア構成は、安定性よりも柔軟性と拡張性を重視する方針から、PCからすべてを制御する方式とした。制御プログラムはLabVIEWで開発し、ハードウェアインターフェースはNational Instruments(以下NI)社のCompactDAQを採用した。LabVIEWはNI社(2023年にエマソン・エレクトリックに買収)が開発したグラフィカルプログラミング環境で、計測制御用プログラムの開発でよく使われている。 γ 線の測定ソフトは、ユーザーへの配慮からそれまで使用していたSEIKO EG&Gのスペクトルナビゲータをそのまま利用することとし、PCは測定用と制御用の2台を使用し、両者の間をTCPで通信する構成とした。現在は γ 線測定プログラムも自ら開発したため、PCは1台のみになっている。三菱製の多関節ロボットとCompactDAQの間はデジタルI/Oで通信する。

このハードウェア構成は一般的とは言い難いが、LabVIEWを採用したことにより高い拡張性と柔軟性を獲得している。筆者が開発した制御プログラムであるAutoPGA(図2)には非常に多彩な機能が盛り込まれて



図2 制御プログラム AutoPGA

おり、単に自動的に分析を行うだけでなく、測定した最新の測定データをユーザーにメールで自動配信したり、簡易的なデータ解析まで行える。実装している機能があまりに多いためいちいち紹介はしないが、AutoPGAは機器の制御から解析までを一つのプログラム内で実行しており、月数回ものペースでアップデートされている。Programmable logic controller (PLC) を採用しなかった理由は、こうした無限の拡張性を持たせなかったからである。LabVIEWは比較的ハードウェアリソースを食いがちな開発環境ではあるが、最新のPCを導入し、メモリーを大量に積めば何の問題もない。LabVIEWのプログラムを長期間安定に動かすにはコツが必要であることは認めるが、プログラミングの技量があれば安定して動かせる。実際AutoPGAのバグが原因でシステムが停止したことはこれまで一度もない。安定性という観点ではPLCの方が上ではあろうが、実績の上から言えばPCベースのLabVIEWシステムでも何ら支障はない。

PGAを自動化した効果は、まさに絶大であった。最大14個の試料をセットして自動分析を開始すれば、あとはすべてが自動で、人間が行うことは何もない。自動化システムが導入されて以降、徹夜で実験するユーザーは一人もいなくなった。労働時間が大幅に圧縮されただけでなく、管理区域に入っている時間が短縮されたことで、被ばく量の低減にも繋がっている。本システムの構築に要した費用はわずか700万円ほどで、その経済効果は想像以上であった。ただし、ハードウェア設計からソフトウェア開発まですべて筆者が自分で行ったため、このような計算になっていることは留意していただきたい。外注ゼロでハードウェアの素の価格だけなら、この程度の予算規模で自動化システムは構築できるという話である。

2・2 Sr-90 半自動分析システム

自動即発 γ 線分析システムの開発で培った自動化のノウハウを最初に湿式分離に応用した自動化システムがSr-90半自動分析システムである⁵⁾。Sr-90は福島第一原子力発電所の事故によって分析のニーズが急激に高まった核種の一つである。その分析前処理に多大な労力が必要であったことから、少しでも省力化できないかという要望があり、自動化システムの開発に取り組んだ。Sr-90の分析前処理には複雑な湿式分離が必要であったため、その前処理工程を三つに区分し、それぞれを自動化することとした。すなわち、①有機物を酸化剤で煮込む湿式分解、②沈殿の生成と減圧ろ過による化学分離、③イオン交換による分離精製の三つである。それぞれの工程は独立したLAシステムであり、工程間での試料の受け渡し等は人間が行う必要があるため、半自動という言葉を使っている。ここで使用している制御技術と設計思想は自動即発 γ 線分析システムから継承されたものであ

るが、湿式化学の実験を自動化するために新たに開発した技術も多く存在する。以下、それぞれのシステムについて簡単に解説しよう。

2・2・1 有機物を酸化剤で煮込む湿式分解

分析の測定対象としていたのは海産物であったため、分析の最初の工程では酸化剤を使って試料中の有機物を完全に分解する必要がある。そこで、ビーカーに入れた海産物試料に酸化剤を適宜加え、ホットプレート上で煮込む作業を自動化した(図3)。

本システムでは直交ロボットを使用した。ロボットにはカメラが搭載されており、ホットプレート上に並べたビーカーの液面状態をマシンビジョン(画像認識)によって確認しつつ、適切なタイミングで硝酸と過酸化水素を加えていく。酸化剤の投入には定量送液ポンプを使用した。本システムで最も重要な点は、試料を酸化剤で反応させている間に突沸させないことである。自動化システムで試料を突沸させないためには、ホットプレートの温度を制御する必要があるが、市販のホットプレートは外部制御できないため、外部制御できるようにホットプレートを改造した。湿式分離のLAシステムの開発では、市販装置の改造はほぼ必須の技術である。

突沸を防ぐためには、ホットプレートの温度制御だけでは不十分で、突沸の前兆現象を事前に捉えて適切なタイミングで攪拌する必要がある。しかし、攪拌棒を用いてしまうとそれを洗浄する操作が必要となり、コンタミの原因にもなるため、できるだけ避けるべき操作である。そこで非接触でビーカー内の溶液を攪拌する方法を開発した。LAシステムの開発においては人間が行っている操作をそのまま自動化することが合理的でない場合が多いため、実験操作の一つ一つを丹念に検証し、可能ならばロボットに適合した方法に置き換えていくことが重要である。

突沸の前兆を捉える方法としてはマシンビジョンを活用した。液面を動画で撮影し、微弱な液面の変化を動画の微分値によって検知し、突沸を予知する手法を開発した。この手法の開発は簡単ではなかった。目視で突沸前の状態を観察したものの、突沸の前兆を捉えることはで



図3 ホットプレート上で海産物を煮込む操作

きなかった。試料の酸化が進むと溶液が濃縮されて粘度が上昇するため、突沸の直前であっても液面の揺らぎを人間の目では認識できないのである。一方、マシンビジョンでは人間の目では把握できない液面変化を検知することができた。さらに、加熱温度と突沸との相関関係のデータを収集した。このデータを先のマシンビジョンと組み合わせることで、突沸を100パーセント防ぎつつ酸化剤で試料を煮込む作業を自動化することに成功した。分解の進捗はビーカー内の試料の色（RGBの情報）で判定し、ある閾値よりも白くなったら終了と判断することにした。

2・2・2 沈殿の生成と減圧ろ過による化学分離

沈殿を生成し、減圧ろ過によってそれを分離する操作は湿式分離においてよく行われる操作の一つである。本システムでは2台の多関節ロボットを用いて人間が行っている作業をできるだけ忠実に再現する方針を採用した（図4）。ろ過鐘と陶器製のブフナー漏斗など、各種器具は人間が使用するものをそのまま利用している。本工程ではpH調整、沈殿生成、沈殿熟成、減圧ろ過、試薬の投入といった操作が自動で行われるが、後述するようにLAの実現という観点からはあまり合理的な手法ではなかった。とは言え、人間の動作をそのままロボットで模倣させるといふ力技でも自動化することは可能であった。



図4 沈殿生成と減圧濾過の自動化

2・2・3 イオン交換による分離精製

本工程では、イオン交換カラムを使って目的元素の精製を行う。イオン交換カラムと送液ポンプ等を組み合わせ、自動的に試薬をカラム上方から滴下する。この際、カラムの液面を検知して試薬の過不足を判定する。試薬が不足していれば送液ポンプで適宜試薬を供給することで、洗浄液と溶離液の投入量を自動で調整する。当初はマシンビジョンで液面を判定していたが、後にレーザー光とCdS検出器、および透明体検出センサーに変更した。

2・3 自動Se-79分析前処理システム

Sr-90半自動分析システムの開発後に、一連の湿式分離の工程のすべてを完全に自動化したシステムの開発に取り掛かった。それが自動Se-79分析前処理システムである（図5）。ドラフト前に走行軸を敷設し、その上に2台の多関節ロボットを載せることでロボットの稼働範囲を大幅に拡張している。このシステムは福島第一原子力発電所の廃止措置に伴って発生する膨大なコンクリート廃棄物の分析を行うために、放射性核種分析を自動化するためのフィージビリティスタディーとして開発したものである。Se-79の分析前処理は複雑であるため、処理工程ごとではなく、要素技術ごとに少し解説してみたい。

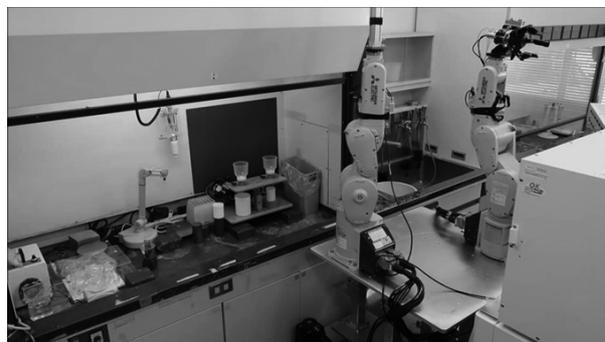


図5 自動Se-79分析前処理システム

2・3・1 LAシステム開発の方法論

まず、本システムを開発する上での方法論について解説したい。これまで紹介したシステムと同様、制御プログラムはLabVIEWで開発しているが、それぞれ使用しているハードウェアが異なる。PGAではCompactDAQ、Sr-90システムではPXI、そしてSe-79システムではCompactRIOを使用している。しかしこれは大きな違いではない。

筆者にはシステム設計上のフィロソフィーがあり、それが端的に表れているのが本システムである。ここで採用されているLAシステム開発の基本的理念は以下に集約される。

- ①機械同士の通信にヒューマンインターフェースを絶対に介在させない
- ②人間主体ではなく機械主体
- ③LabVIEWによる完全な統合制御

一つずつ説明しよう。まず、機械同士の通信にヒューマンインターフェースを介在させないことは一種の美学でもあるが、それ以上にロボットの誤動作をゼロにするためでもある。市販されている理化学機器が外部制御のためのインターフェースを持っていない場合、それを

LA システムに組み込むためには大まかに二通りの方法がある。一つ目の方法は、その機器が備えているヒューマンインターフェース（ボタンやツマミ等）をロボットで操作する方法であり、二つ目の方法は、外部制御できるように装置を改造する方法である。多くの LA システムでは前者を採用しているが、筆者は前者の方法を基本的に採用しないことにしている。オートメーションとは機械だけのシステムを構築し、そこから人間および人間的要素を排除することである。日本人同士で会話する際に、一度中国語に翻訳して、それを再度日本語に翻訳して会話するようなことはしないだろう。それは不合理だからである。

次に、本システムでは人間主体ではなく機械主体にシステムが設計されている点を解説したい。Sr-90 のシステムでは、人間の動作を実直にロボットで再現する方法論を採用したが、これはあまり合理的ではなかった。人間が使用する機器は人間工学に基づいて設計されているため、ロボットハンドで把持し、操作するためには様々な工夫が必要である。機器がロボットに最適化されていないので、誤動作の原因にもなりかねない。誤動作を防ぐためには、すべての機器の形状と操作方法をロボットの視点から再構築した方がよいのである。そこで、本システムでは Sr-90 のシステムで採用した方法論を見直して、減圧ろ過と分注の手法を根本的に再構築することにした。これらについては後程詳述する。

最後に、LabVIEW による完全な統合制御について説明しよう。LA システムを構築する際に、最初に考えなければならないことは基本的なハードウェア構成である。一度ハードウェア構成を決定してしまうと、後からそれを変更することは簡単ではない。ではどんなハードウェア構成を採用すべきなのだろうか。結論から言えば、それは開発者の好みでよい。LA システムの設計は開発者の趣味趣向が反映されてしかるべきであり、好みのハードウェアを選択すればよい。だから PLC を使ってもよいし、ロボットコントローラの機能だけでシステムを構築しても構わない。筆者が LabVIEW によってシステムを構築しているのは単なる好みの問題であり、本システムではその設計思想を極限まで突き詰める方針を採用した。当初は LabVIEW と PLC を組み合わせた構成で開発を進めていたのだが、途中から方針転換して LabVIEW だけですべてを統合制御するシステムとした。ロボットも LabVIEW から直接制御するかなり変則的な構成であったため、ロボットのティーチングプログラムから自分で開発することとなった。

2・3・2 ハードウェア構成とソフトウェアの構造

本システムのハードウェア構成を図 6 に示す。システムには 11 種類のハードウェアが含まれており、これらが連携動作することで自動的に分析前処理が行われ

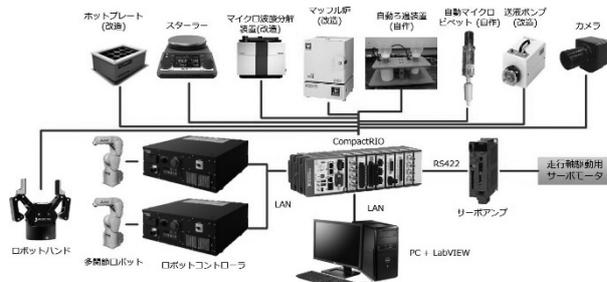


図 6 自動 Se-79 分析前処理システムの概略図

る。LA システムの開発にとって最も困難な障壁のひとつは、使用するすべての理化学機器が外部制御できなければならない点である。一つでも制御できない機器が存在した時点で自動化は不可能になるためである。しかし多くの理化学機器は外部制御機能を持っていないため、自動化のためにはこれらの機器を改造するか、新たに機器を開発する必要がある。図 6 に示されている機器においても多く機器が改造、または新規開発されている。LA を実現するためには、市販の機器を外部制御するための技術的オプションを数多く持っている必要がある。

本システムでは、理化学機器に最初から備わっていた既設のヒューマンインターフェースをそのまま使用したものは一つもなく、すべての機器は直接 LabVIEW から制御できるようになっている。以下、制御プログラムの構成に関して少しだけ解説したい。

まず、すべての機器の制御プログラムを開発しておく必要がある。本システムではロボットの基本制御とティーチングに関しても LabVIEW で開発している。その上で一連の湿式分離の操作を分析して、ある程度の動きのまとまりに分類していく。LabVIEW ではプログラムのことを VI (virtual instruments) と呼び、VI は階層化させることができる。そこで本システムにおいては、ロボットの動作を三つに階層化している (図 7)。まず、最も基本的な動きを基本動作レイヤーとしてまとめていき、それらを組み合わせることで共通動作レイヤーが組み立てられている。最後に共通動作レイヤーを組み合わせることで複合動作レイヤーに属する複雑な操作を実現



図 7 LabVIEW の制御 VI のレイヤー構成

する。一度基本動作レイヤーのプログラム群を完成させてしまえば、あとはそれらを順番に呼び出すだけで、ロボットの動きを簡単に組み立てられるようになる。このように、最初からプログラムの階層構造を設計しておくことで、どんな複雑な動作であっても簡単にプログラムを組み立てられるようになる。

2.3.3 「ろかすま」と「ぴぺすま」

本システムで特筆すべき点として、全く新しい減圧ろ過装置と、外部制御可能なマイクロピペットを自作してシステムに導入している点が挙げられる。それぞれについて少し解説しよう。

Sr-90 のシステムでは減圧ろ過にろ過鐘を使用していたが、この方法には幾つかの問題があった。まず、ろ過鐘が重く、組み立てと解体に時間と手間がかかる。ろ過鐘が大きく、狭いドラフト内での場所の確保が難しい。接続したホースの張力に起因する安定性の悪さなど、自動化するためにはかなりの苦勞を強いられた。そこでろ過鐘を使用した減圧ろ過の操作を根本的に見直し、ロボットに最適化した減圧ろ過装置を開発した(図8)。

アクチュエータによって上下に動く基台の上に専用のフィルターユニットが設置できるようになっており、基台が下がると基台がピーカーとゴムで密着できるようになっている。真空ポンプが作動するとピーカー内部が減圧されてろ過が開始され、圧力を監視してろ過の終了を判定する。この装置の開発によって、減圧ろ過の工程は劇的に効率化された。

次に、外部制御可能なマイクロピペットについて述べよう。湿式化学のLAを実現する上で多くの人間が躓く工程の一つが分注である。その理由は、外部制御可能なマイクロピペットの機種が著しく限定されていること、チップが自動で排出できないこと、ピペットの形状がロボットで直接把持しにくいことである。これらの問題を解決するために、独自にピペットを開発した。完全な外部制御式で、モーター駆動でチップの排出が可能であり、形状を円筒形としたためロボットハンドで容易に把持できる。

これら二つの機器は特許を取得しており⁶⁾⁷⁾、(株)藤原

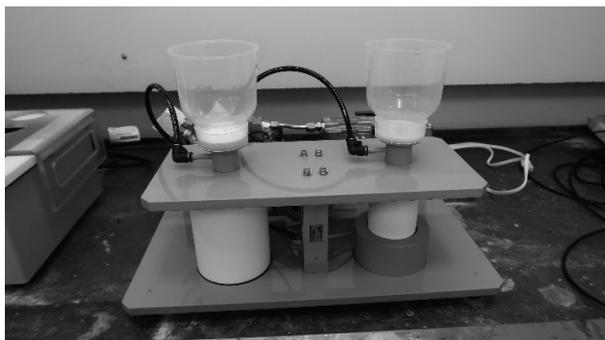


図8 ロボット専用の減圧ろ過装置

図9 「ろかすま」と「ぴぺすま」

製作所から製品された。それが「ろかすま」と「ぴぺすま」である(図9)。ろかすまは人間でも使用できるように仕様変更した減圧ろ過装置であり、ろ過鐘と比較して遥かに簡単に減圧ろ過が可能である。ぴぺすまもコントロールボックスから人間が操作でき、フットスイッチを使えば足でも操作できる。またUSBからのコマンド入力に対応しており、簡単に外部制御ができる。

3 おわりに

本稿では筆者が開発したLAシステムについて簡単に解説してみたが、システムの詳細については紙幅の制約からほとんど解説できなかった。しかしながら、湿式化学の複雑な操作であっても自動化することが不可能ではないことは理解していただけたのではないと思う。LAに興味を持ち、自分のラボでもLAシステムを導入してみたいという読者がおられることと思うが、多くの方は何をどうして良いのかわからないのではないかと推察する。LAを生業とする企業が提供しているモジュールがそのまま使えるケースであれば自動化は簡単であるが、おそらくそのようなケースの方が稀だろう。ラボごとに自動化したい実験操作は全く異なる上、規模も違う。大学の実験室であればごく少量の薬液しか使用しないだろうが、LAを必要としているような施設の多くは小規模のシステムでは満足できないだろう。よって多くの場合、新規にシステムを開発するしかない。

現状、実際に使用できるレベルのLAシステムの開発はかなり敷居が高い。筆者が開発したようなLAシステムを他の施設で見ることがほぼないのも、本稿で解説したような様々な要因があるためである。とは言え、深刻な人口減が続く我が国において、LAは絶対に必要な技術である。少なくとも筆者は自動化されていないPGAを運転する体力も気力も持ちあわせていない。LAなしでは本稿を書く時間すら確保できないということである。もしLAを導入してみたいと思われる読者がおられたら、一度筆者へ相談してみたいはいかがだろうか。

文 献

- 1) M. Sasaki, T. Kageoka, K. Ogura, H. Kataoka, T. Ueta, S. Sugihara: *Clinica Chimica Acta*, **278**, 217 (1998).
- 2) A. Shane Brown, Tony Badrick: *Clin. Chem. Lab. Med. (CCLM)*, **61**, 37 (2023).
- 3) T. Osawa: *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **303**, 1141 (2015).
- 4) T. Osawa: "Automation and Control Trends", Edited by Pedro Ponce, Arturo Molina Gutiérrez, Luis M. Ibarra, p. 149 (2016), (InTech, Croatia).
- 5) 野島健大, 藤田博喜, 永岡美佳, 大澤崇人, 横山裕也, 小野洋伸, *Proceedings of the 16th Workshop on Environmental Radioactivity*, **2016**, 111.
- 6) 日本原子力研究開発機構: 大澤崇人, 特許 7197867, "減圧ろ過装置" (2022. 12. 20).

- 7) 日本原子力研究開発機構: 大澤崇人, 特許 7162259, "ピペットシステム" (2022. 10. 20).



大澤 崇人 (OSAWA Takahito)

日本原子力研究開発機構 (〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方2番地4). 東京大学大学院理学系研究科博士課程修了. 博士 (理学). 《現在の研究テーマ》即発 γ 線分析法やミュオン捕獲特性X線分析法を用いた地球外物質の分析. 《主な著書》"Automation and Control Trends", (分担執筆), (InTech, Croatia), (2016). 《趣味》坐禅, 一宮巡り.

『ぶんせき』再録集 vol. 1 出版のお知らせ

ぶんせき誌の過去記事の有効利用の一環として、『ぶんせき』再録集 vol. 1 が出版されました。2011年から2020年まで、10年間分の〈ミニファイル〉の記事が詰まっています。

下記10章からなり、それぞれ12から14の話題が集められています。

1. 実験器具に用いられる素材の特徴, 2. 分析がかかわる資格, 3. 顕微鏡と画像データ処理, 4. 最新のweb文献検索データベース, 5. ポータブル型分析装置, 6. 分析化学と材料物性, 7. 分析化学者のための多変量解析入門, 8. 土壌分析, 9. サンプリング, 10. 前処理に必要な器具や装置の正しい使用法。

本書はアマゾンオンデマンド出版サービスを利用して出版した書籍ですので、書店には並びません。アマゾンサイトからのネット注文のみとなりますので、ご注意ください。詳しくは「ぶんせき」誌ホームページをご確認ください。