

分析機器の自動化の現状と今後の展望： プラグ＆プレイの実現にむけて

Current Status and Future Prospects of Analytical Instrument Automation:
Toward the Realization of Plug & Play

上野 楠夫

UENO Kusuo

石隈 徹

ISHIKUMA Toru

ラボラトリの自動化を進めるには、個々の分析機器単体の自動化だけではなく、前処理や試験条件等、日々変更となる作業への柔軟な対応と、機器間における試料やデータの人手によらない受け渡しが望ましい。その実現のためにまずは装置の通信の共通規格が重要であり、そこを業界全体で協調領域と定め、標準化を推進させる必要がある。JAIMA（日本分析機器工業会）も推進する規格のLADS OPC UAの紹介と、現状について述べる。

To promote laboratory automation, it is desirable not only to automate individual analyzers but also to respond flexibly to daily changing tasks such as pretreatment and test conditions, and to transfer samples and data between instruments without manual operation. This paper introduces LADS OPC UA, a standard promoted by JAIMA (Japan Analytical Instrument Manufacturers Association), and describes its current status.

はじめに

製造業の多くの工場では自動化が進んでいるのに対し、ラボラトリ内の分析機器は多くは単体で利用され、操作・データ処理が一貫したシステムで運用されておらず自動化が進んでいない。また人手による試料の前処理や搬送、種々の測定とデータ収集、解析に多く時間が取られており、研究者も創造的な活動に時間が使えていない。ラボラトリ内の機器の自動化が進まない大きな理由としては二つが考えられる。一つは日々の作業が同一でなく変更があること、もう一つは共通の通信規格が存在しておらず、分析機器の接続には多大な労力がかかることである。将来的にラボラトリ機器に求められるであろうプラグ＆プレイを説明し、現在の自動化の状況とJAIMA（日本分析機器工業会）として推進している通信規格のLADS (Laboratory and Analytical Device Standard)^{[1]-[4]}の内容と現在の取り組みについて説明し、業界として取り組むべきことについて述べる。

分析機器の自動化の現状と課題

工場の自動化とラボラトリの自動化の差異

自動化というときまず工場の自動化が想起され、省力化、省人化が進んでいる一方で、ラボラトリの自動化はあまり進んでいない。これは同じ自動化でも工場とラボラトリでは要求項目が変わるためである。まず工場の自動化の目的としては、生産効率の向上であり、スループットや生産コス

ト低減を目指しているため、制御・分析対象や処方・運転条件は生産技術で標準化されていることが多く、対象設備や操作機器も目的に沿って特化されている。そして得られる費用対効果も大きいいため投資額も大きい例が多い。一方でラボラトリの自動化では研究者の時間を作ることを目的とし、多様な実験を行えるために、手順や条件の変更のしやすさが特に要求される。そのため使用機器は汎用機器を用い、分析対象や条件が固定されないことが一般的である。

このようにラボラトリの自動化を検討する際に、対象が多種多様であると費用が高額で、しかも固定された処理しか行えない案となることが多く、費用対効果を考えると、これまで通り人手で行った方が柔軟に対応できるため自動化を断念する例が多い。

分析機器の自動化のためのプラグ＆プレイ

なぜ分析機器の自動化や自動化後の変更コストが高いのだろうか。大きな原因として考えられることが2つあり、一つが分析機器の試料の搬送やメンテナンスを人が行うことを前提として設計されていることが多く、ロボットによる扉の開閉や試料搬送で自動化されにくいこと、もう一つがこれまでのラボラトリの自動化では、各機器が独自の通信規格や結果フォーマットを持ち、自動化をするユーザーやシステムインテグレーターが各機器の仕様を理解したうえで接続しているため、この接続作業に多くのコストがかかっていることが挙げられる。

自動化機能をもつシステムの導入コストを下げ、またシステムの変更も容易にするための貢献策として、各機器を接続すると使用できるプラグ＆プレイの仕組みが考えられる。プラグ＆プレイは例えば最近ではUSBやネットワークでプリンタを接続したら使用できるように、機器をシステムに接続した際に、自動的に機器の検出と適切な設定を行う仕組みのことである。将来的にラボラトリ機器を接続するだけで、システム側はどのような機器が接続され、それがどのような機能をもつかまで把握できるとユーザーの自動化のコストは大幅に下がる。このように機器が共通の通信規格をもち、どのようなふるまいを行えるかの情報モデルを持つことにより、機器の導入／変更時の設定作業がほとんど不要になり、接続するだけである程度の操作が可能となる“分析機器のプラグ＆プレイ”を目指すことも今後の分析機器メーカーの課題と言える。

市場に出始めた自動化ソリューション

近年ラボラトリの自動化を支える技術が急速に進展し、従来人手に頼っていた作業の自動化が現実のものとなりつつある。ここでは、自律実験システム、情報管理ソリューション、ロボットによる繰り返し作業の自動化といった、実用化が始まった代表的な事例を紹介する。

自動自律実験

材料探索の分野では自動自律実験が進んでおり、人間が行っていた作業のほとんどを自動化しロボットに置き換える例もでていいる。またロボットが計量、分注、測定などを行い、それらのデータを集約、解析しベイズ最適化技術などを用いて、次の実験条件を選択し、製造機器や、分析機器の制御を行い、自律的に材料やプロセスの最適条件の探索を進める例などがでていいる。工程や作業の変更には課題が残るが、人間では数か月かかる作業を8日程度で成果を上げる例^[5]などもあり、材料探索の分野では大きな成果を上げている。

Informatics Management

多くの企業よりラボの情報マネジメントシステムとして、LIMS(Laboratory Information Management System)が提供されている。実験室の情報を効率的に管理するためのソフトウェアであり、サンプル管理、データ収集、分析結果の追跡、レポート作成などの機能を提供している。一般的にラボでは古い機器と新しい機器が混在していることが多く、LIMSに接続できない装置の存在や、印刷された保存結果の活用など課題も少なくないが、それらレガシーな機器も統合するためのInformatics Management技術も出始めており、後述の通信規格OPC UAなどの標準の応用などで加速化されると思われる。

ロボットを用いた繰り返し作業の自動化

ロボットによる繰り返し作業の自動化も進んでおり、特定作業においては熟練作業員より優れた実験精度と再現性を得ることができるという報告もある。しかしティーチングとよばれる移動座標の登録、調整が難しいという課題もある。近年では対象物の位置が多少ずれてもカメラでずれ量を検知することにより正しい位置へ搬送する技術もあり、また個々の機器においては基準点から操作点までの相対位置を示すことができれば、ロボットや自動機器は操作点の位置を認識しやすくなる。これらのアプローチで今後更に簡便に自動化が進むことが期待されている。

HORIBAでのロボットを用いた例として、赤外線吸収、熱伝導を用い硫黄、炭素や、水素、窒素、酸素を測定するEMIA/EMGAシリーズでは1980年代より試料をセットするつばの搬送や助燃剤の自動秤量を行う装置を提供している。またレーザーの回折、散乱を用いた粒子径分布測定装置のLA-960では、自動化の例として、サンプリングされた試料瓶をオペレータが設置したのち、自動で試料瓶のIDコードの読み取りや試料瓶の蓋の開閉、ピペットでの添加剤や試料の投入などを実現している。

分析機器の通信規格動向

通信規格の共通化の動向

一般的に市場の広がりに対し規格化が進むが、業界によって進むスピードや到達位置が異なる。たとえば半導体装置の通信規格であるGEM (Generic Equipment Model) 300などは国際統一規格となっており、装置メーカーにとっては、どのユーザーに納入する場合でも基本的に同じ仕様での通信が可能となっている。半導体業界の発展への寄与にこの通信規格の統一化による功績は大きいと感じる。

一方でラボの自動化の規格化という面で見ると、各社独自の段階から規格が乱立している段階にあるように思う。これはラボの自動化の中でも、特定の装置や、特定の部分など規格化が進んでいる例はあるが全体を効率化しようという規格は進んでいないのが現状である。その中で通信規格の有力候補としてOPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture)、そしてそのOPC UAをベースにラボラトリ用の規格として策定されたLADS (Laboratory and Analytical Devices Standard)を紹介する。

このLADS OPC UAは日本も含めた国際的な標準規格であり、流量計やポンプなど比較的シンプルな機器から、ロボットなど搬送機器、スターラーや分析装置などラボラトリ機器などに共通で使用できる規格となっている。この規格に対応した機器が増えるほどに、ユーザーとしては自動化が身近なものになっていくことが期待されている。

OPC UA

OPC UAは通信規格としての歴史は長く、仕様を策定、維持するOPC UA Foundationには、産業界／製造業やIT業界を中心に現在1000を超えるメンバー会社があり（'25/05時点）、近年IT系企業の加入の増加と、エンドユーザ企業が加入を始めており、そのため製造現場を持つエンドユーザの導入推進およびIT企業によるシステム実現により、OPC UAの普及が加速することを期待されている。またOPC UAはドイツではIndustrie 4.0を支える中核標準として用いられており、シンガポールと中国はOPC UAを国家規格化としている。（シンガポールはSS IEC62541:2019、中国はGB/T 33863）このように様々な業界で通信規格として使用されているOPC UAは前述の機器のプラグ＆プレイへの一つの解と考えている。

OPC UAの名前の由来にもなっているOPC (OLE for Process Control)は、当初Microsoft[®]*1のOLE技術に基づいてプロセス・オートメーションにおけるネットワーク技術として開発されたが、プラットフォームに依存しない形で進化し、OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture)となり現在も様々な業界で発展を続けている。OPC UAは異なるデバイスやシステム間でのデータ交換を容易にするための統一的なフレームワークを提供しており、特徴として以下の4つが挙げられる。

- ・プラットフォーム非依存：

OPC UAは、Windows[®]*1だけでなく、Linux[®]*2やその他のオペレーティングシステムでも動作可能

- ・セキュアな通信：

データの機密性、完全性、認証を確保するために、強力なセキュリティ機能が組み込まれている。

- ・情報モデル：

OPC UAは、複雑なデータ構造を扱うためにオブジェクト指向で構築できる柔軟な情報モデルをサポートし、標準化された方法で接続される機器やソフトウェアの機能や情報を表現できる。

- ・通信プロトコル：

TCP/IP, HTTP, WebSocketなどの複数の通信プロトコルをサポートしている。

近年では通信のセキュリティの高さからも注目されており、サイバーセキュリティへの対策として、OPC UAを採用する例も増えている。米国ではコンシューマ向けIoT製品のセキュリティ強化を目的としたU.S. Cyber Trust Markや、EUではデジタル要素を備えた製品のサイバーセキュリティ要件に対する規制であるEU Cyber Resilience Actが施行されようとしている。これらが参照しているサイバーセキュリティの規格のIEC62443-4-2 Componentの技術要件に対し、OPC UAの適合マッピング表があり、CyberResilienceの多くの要件に適合できる。またOPC

UAはドイツにある連邦情報セキュリティ局(BSI)によるセキュリティ評価により、安全性を客観的に高く評価されている。

OPC UAはFigure 1に示すように標準／中立なコミュニケーション・アーキテクチャとしてOPC Foundationが開発、保守を行うOPC UA基本サービスと、OPC UA情報モデルと、OPC UAパートナーによる産業分野特有のコンパニオン情報モデル、ベンダーによる固有の拡張モデルから構成される。このように基本的な通信は共通化し、業種や装置などに特化した部分は別途定義できる柔軟な構造となっている。

LADSとは

LADSは'20年よりドイツの光学／分析／医療機器工業会であるSpectarisを中心に、ユーザー、アプリケーション開発者、デバイスメーカーが集まり、ラボラトリにおけるデジタル変革を推進するために、統一され堅牢で安全な共通インターフェースの提供を目的として開発が開始され'23/12に第一版が発行された通信規格である。OPC UA規格の基本仕様に加え、デバイス管理仕様(10,000-100 Devices)および機械と結果転送仕様(40,001-1 Machinery)および識別や情報取得のための仕様(10,000-110 Asset Management Basic(AMB))を参照し構成されている。

LADS OPC UAのターゲットイメージをFigure 2に示す。このFigureに示されるように、機器を接続するだけでつながるプラグ＆プレイや、機器間の相互運用(Interoperability)をめざしている。

LADS OPC UAのユースケースとして、以下の3つが定義されている。

- ・Basic Automation：遠隔モニター、アラーム信号などの送受信と、遠隔操作
- ・Orchestration：複数機器を協調動作させるプログラムと、機器から出力されるデータの管理
- ・Service & Asset Management：予防、故障予測に基づく保守と、個別機器や機器群のリソース管理

*1 米国 Microsoft Corporation の米国およびその他の国における登録商標

*2 Linus Torvalds氏の日本およびその他の国における登録商標または商標

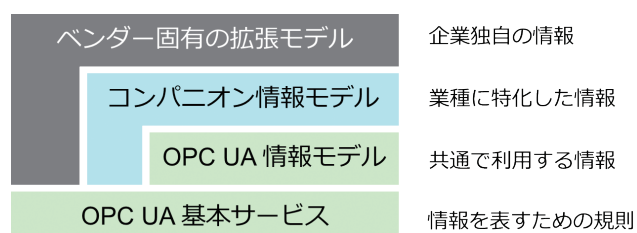


Figure 1 OPC UA base service and model structure.

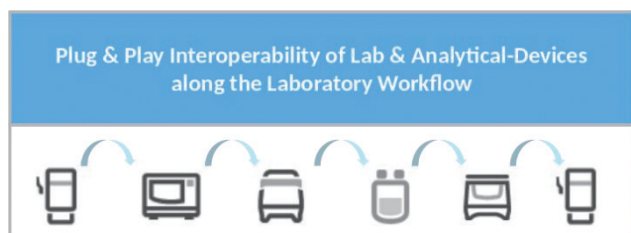


Figure 2 LADS target image

さまざまなラボラトリ機器があり、それらを接続し、機器からの情報取得や機器への指示にLADS OPC UAを使用し、得た結果などはLIMSなど上位アプリケーションで管理、参照されるシステムを想定されている。

各機器のプラグ＆プレイを実現するためにLADS OPC UAは、ラボラトリ機器の機能やできることを表すための標準化された機能ブロックとよばれるものを提供している。またこれらの機能ブロックを組み合わせるためのルールも策定されている。このように機器がそれら標準機能ブロックを決められたルールで組み合わせるため、機器との通信が容易になっている。例えば“Function”と呼ばれる機能ブロックでは、リモート監視と制御のユースケースで重要な役割を果たし、これらのブロックを使用するとリモートクライアントは、センサー、コントローラー、タイマーなど機器がもつ機能を簡単に検索して制御することができる。また、これら“Function”が集まって一つの大きな機能を果たす“Function Unit”も定義でき、それらの単位でのプログラム実行や状態遷移監視が行える。さらにこれらのデータは監査証跡可能なデータとしても保存が可能となる。

自動化のための協調領域と競争領域

現状では各社独自の通信規格で、共通の通信規格が普及していないことが自動化の阻害要因の大きな要因の一つと述べてきた。では通信規格の普及には分析機器メーカーとし

て、どのような取り組みが必要であろうか。

例えば前述のラボラトリの自動化に対し、例えば作業の流れを一般化すると、**Figure 3**に示すように「計画」→「実験／作業」→「記録」→「解析」→「計画」と循環する形で表すことができる。ここでこれらの工程間をつなぐための通信の規格が、それぞれの工程で共通化されておらず各社が独自に作成している状況にある。これに対し工程間の通信部分については協調領域として通信規格を推進する必要がある。一方で個社個社が競争力を維持するためには共通部分・標準部分(協調領域)以外の部分に独自の技術による製品差別化を図る必要がある。協調領域を明確に定めることにより、全てをゼロから開発する必要はなくなり、競争領域に開発リソースを集中しやすくなる。

このように協調領域と競争領域を適切に設けることが、業界全体の発展と自社の競争力維持の両立を図る鍵となる。メーカーは「標準化戦略」として連携と競争の見極めを積極的におこなっていくことが求められる^[6]。

その実現のため重要と考えるのが、OPC UAにおける情報モデルや、結果フォーマットを協調領域と捉え、業界全体で共通化・標準化に向けた取り組みを推進することである。情報の構造や意味を共通の形式で定義することで、異なるメーカーの機器間でもシームレスなデータ連携が可能となり、システム全体の統合が容易になる。特に分析機器においては、測定結果や状態情報のフォーマットを標準化することで、製造実行システム(MES)や生産管理システムとの親和性が高まり、自動化の進展に大きく寄与する。一方で、測定アルゴリズムや機器の制御手法など、製品差別化につながる要素については競争領域として維持することで、各社が独自の技術を発展させる余地を残すことができる。このように、共通化と差別化のバランスを適切に取ることが、業界全体の発展と自社の競争力維持の両立を図る鍵となる。



Figure 3 Laboratory works supported by communication standard

おわりに

以上、業界を通じた分析機器の通信規格の統一の現状、課題及び期待について述べた。

ラボラトリの自動化を阻害する要因として、一つは作業内容の変更に柔軟に対応が必要なこと、もう一つは機器間の共通の通信規格が存在しておらず、接続に多大な労力がかかる課題を挙げ、それらの解決には共通の通信規格の普及とプラグ&プレイの実現が必要となることを述べた。その実現のためには、業界全体として、協調領域と競争領域とを明確に区別し、協調可能な領域では標準化を推進しつつ、競争領域へのリソースの集中が求められる。そのため分析機器メーカーとしては、業界団体や標準化コンソーシアムと連携し、情報モデルの策定やオープンなフォーマットの整備に積極的に関与していくことが求められる。JAIMAとしても、このような協調領域の実現に向け、前述のLADS OPC UAの標準化開発に継続参画し、セミナーや展示会など普及、周知活動も展開していく予定である。

*編集局注：本内容は特段の記載がない限り、本誌発行年時点での自社調査に基づいて記載しています。

参考文献

- [1] 上野楠夫, 石隈 徹, Laboratory and Analytical Device Standard (LADS) OPC UAによる機器のプラグ&プレイに向けて, ぶんせき 2024年 第11号
- [2] OPC 30500-1 Laboratory and Analytical Device Standard
- [3] OPC UA規格 (OPC UA Foundation)
<https://reference.opcfoundation.org/#>
- [4] 石隈 徹: "Laboratory and Analytical Device Standard" LADS OPC UA最新情報と今後の情報, OPC Day Japan 2023
- [5] "A mobile robotic chemist" Benjamin Burger, Phillip M. Maffettone, Vladimir V. Gusev, Catherine M. Aitchison, Yang Bai, Xiaoyan Wang, Xiaobo Li, Ben M. Alston, Buyi Li, Rob Clowes, Nicola Rankin, Brandon Harris, Reiner Sebastian Sprick & Andrew I. Cooper Nature 583, 237 (2020)
- [6] 中川雅人: "欧州流技術開発" 効率的・合理的な開発アプローチ, 海外投融資 2018年3月号



上野 楠夫

UENO Kusuo

株式会社堀場製作所
先端材料・半導体センター
先端材料ソリューション部 副部長
／一般社団法人 日本分析機器工業会
技術委員会 調査小委員会 主査
Deputy Department Manager,
Material Solution Dept.,
Material & Semiconductor Center
HORIBA, Ltd.



石隈 徹

ISHIKUMA Toru

一般社団法人 日本分析機器工業会
技術委員会 調査小委員会 シニアアドバイザー
Senior Adviser,
Research Subcommittee,
Technical Affairs Committee,
Japan Analytical Instruments Manufacturers'
Association