産業現場での分光センサの使用による品質と効率の向上

スティーブ・バックリー、レナ・ガンデビア

高度な製造と産業処理では、入力材料、プロセスパラメータ、製品品質をモニタリングするために、無数のプロセスセンサが利用されている。これらの分光センサは、研究施設で利用されるものに近いが、産業現場に導入されるものには、いくつかの明らかな違いがある。

センサは長い間、製造プロセスの重要な側面を担ってきた。人間の感覚を拡張する働きを持つセンサによって、製造担当者はワークフローの監視と制御を行うことができ、それは、より品質の高い結果を生成しつつ、コスト、エネルギー、材料の削減につながっている。初期のプロセスセンサは、シンプルなレベルゲージ、サイトグラス、熱電対、圧力センサだった。それらの機器によって閉じた導管の中を確認したり、化学反応や生体反応の圧力、体積、温度を測定したりすることができた。色の主要パラメータは、標準カラーシートとの比較によって測定され、化学物質や生体物質の直接測定は、サンプルを研究室に送り返すことによって行われていた。

状況が変化したのは、より小型でポータブルな光源、レーザ、分光器が登場した1990年代である。例えば、米オーシャン・インサイト社（Ocean Insight）が、小型の交差ツェルニーターナー型（crossed Czerny-Turner）分光器を開発したのは、30年近く前のことである。この技術のメリットは、ポータブルであることと、アットラインとインラインの計測が可能なことにある。このような技術は、バイオテクノロジー、エネルギー、環境、製薬、化学などの分野で利用されている。

研究室以外の場所でのサンプル計測の課題

分光器はもともと、研究施設で使われていた。しかし、搭載方法と実装方法の開発が進むにつれて、自然な流れとして、さらに要件が厳しく過酷な環境で、分光センサが使われるようになっていった。すなわち、製造フロアや現場である。その移行に伴い、24時間年中無休の稼働に耐える信頼性、高ス

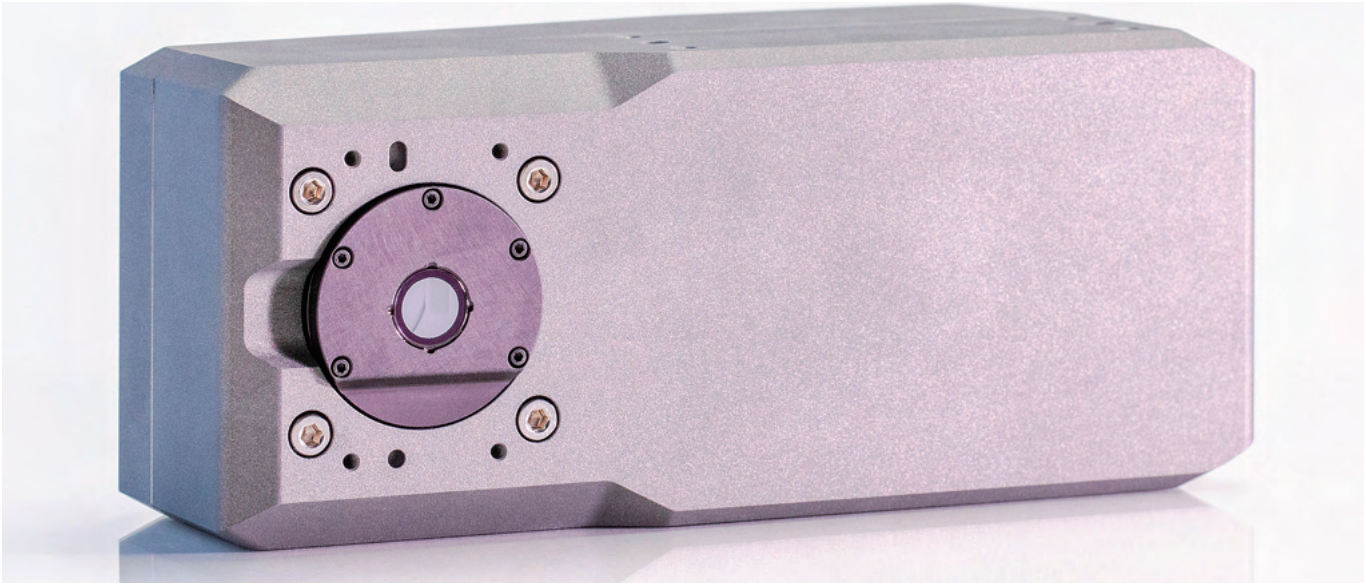
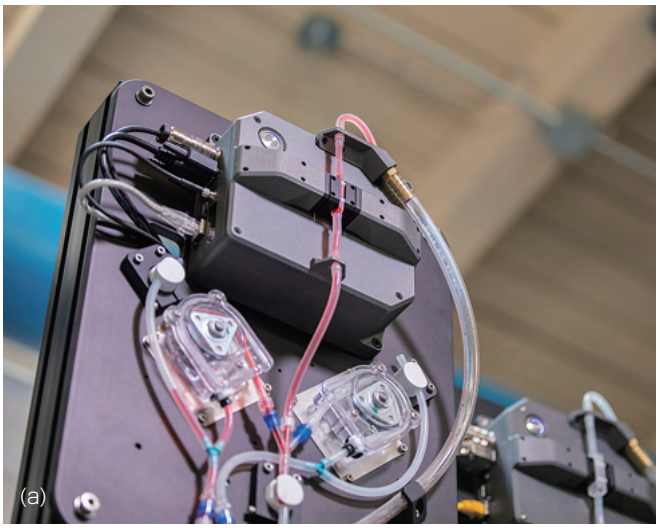


図1　オーシャン・インサイト社が開発した分光センサシステム「SpectraNova D8-M3」は、分光器を使用して、家電製品の製造ラインにおけるパーツの迅速な色管理を行う。製造ラインに組み込んで、インライン色検査を高速に実行することができる。



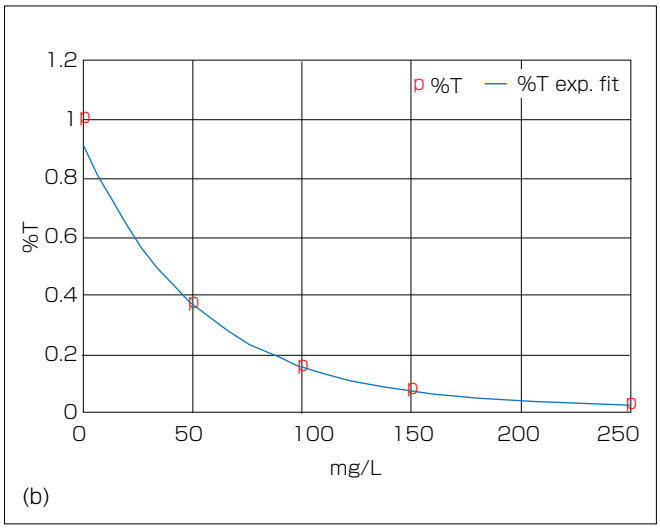


図2　液体の色と濃度を分析するための「Liquid Transmission Measurement System」は、ポータブルなフレームの中に収容された液体処理部と分光器システムで構成されている(a)。(b)は、LTMSによって現場でUVで測定された、(独占的な)産業用化学物質の標準的な透過曲線を示している。

ループットの計測、マルチモードの接続性に加えて、温度、湿度、粉塵、水分、さらには放射線などの環境変化に対する耐性も求められるようになる。

そうした課題のほんの1つにしかすぎないが、例えば、産業環境における通信は、Modbus、Profibus、イーサネット、EtherCATなどのシステムを通して、行われる可能性がある。データの形式や表現はシステムによってまちまちで、クラウドベースの機械学習とデータストレージのサポートに対するニーズが高まっている。これに加えて、個々のセンサは同じ種類の他のセンサに同一の結果を伝送することが期待される。これだけをとっても、現場に分光ソリューションを提供することの複雑さが、はっきりと見てとれる。

産業アプリケーションの開発プロセス

ソリューションを開発する際には、特定の応用環境の具体的なニーズを理解することが重要である。オーシャン・インサイト社のシステムや、もともとは米フラックスデータ社(FluxData)によって開発されたシステムは、(one-size-fits-all[あらゆる目的に対応]ではなく)one-size-fits-many(多くの目的に対応)を掲げており、高性能な分光器に、高度な機械設計を組み合わせることにより、さまざまな産業問題に適用できる具体的なソリューションとなっている。

オーシャン・インサイト社が開発した分光センサシステム「SpectraNova D8」は、そのようなシステムの1つである(**図1**)。このシステムは分光器を使用することにより、家電製品の製造ラインにおいて、パーツの色管理を迅速に行うことができる。

これまでの色検査システムでは、パーツに触れることによって、正確な表面色測定が行われていたが、この装置には、製造ライン機構に簡単に搭載して、150ms以内に各パーツの色測定を実行できる、コンパクトな非接触の検査システムが含まれている。これによって、1日あたり50万件を超えるサンプル測定が可能で、現代的な製造フロアに高速な自動化ワークフローを実現することができる。また、CIE76の色差で0.01 Δ E*ab(標準偏差)の再現性を維持する。家電製品などの業界では、高い顧客の期待を満たす製品を量産することが必要で、精度と正確度を維持しながら、高スループットの品質管理を行う能力が不可欠である。

液体の色と透過率の測定

別の例として、「Liquid Transmission Measurement System」(LTMS、**図2**)の開発がある。これは、アルミニウム陽極酸化槽から積極的に色を分析するものである。もともとは色測定用に設計された技術だが、吸収または透過によって液体濃度を測定することも可能である。重要なのは、ポータブルな分光器システムを製造ワークフローに密接に統合することができ、サンプルを研究室や作業台に送る必要がなくなることである。

LTMSには、サンプルをバッチ槽から直接抽出して、分析のために分光センサシステムに送るという、シンプルな液体処理を可能とする技術が採用されている。光源補正された透過／吸収データは、選択されたプロトコルに基

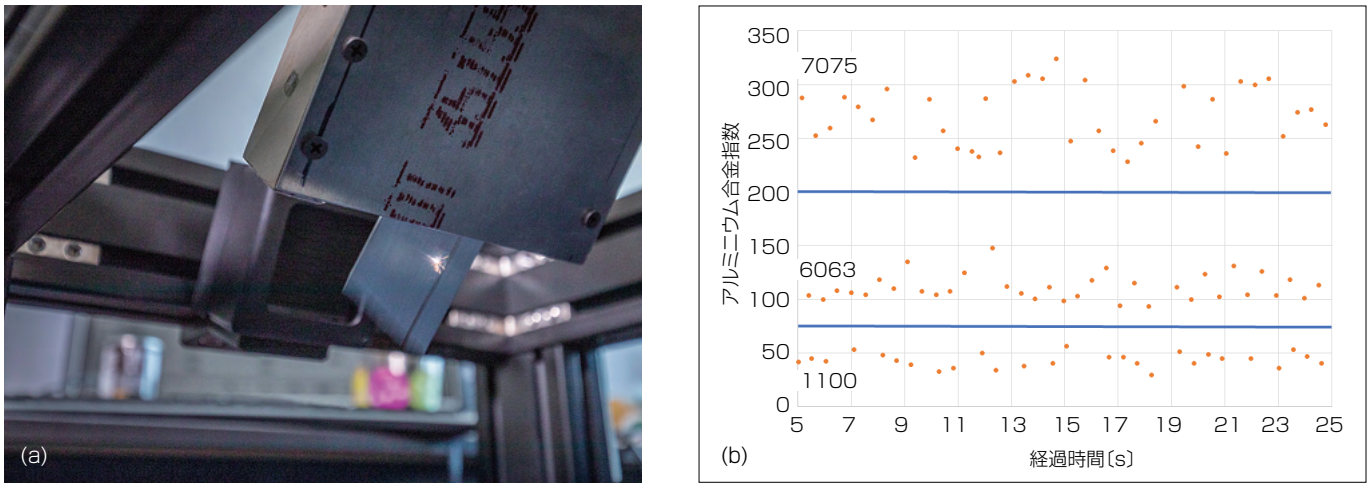


図3　レーザ誘起ブレークダウン分光法（LIBS）技術を採用する、オーシャン・インサイト社の「SpeedSorter」は、傾斜台を滑り落ちてくる金属廃棄物の分別を行うシステムである(a)。(b)は、SpeedSorter によって分別された３種類のアルミニウム合金の分類を示している。各点が、分別されたアルミニウム廃棄物の一片に対応する。

づいて伝送される。サンプル抽出からデータ表現までのプロセス全体は、数秒で完了する。これらのシステムは、工場内で生じ得る広い温度範囲で正確に動作する必要がある。製品製造は24時間年中無休体制で行われることが多いため、高い可用性が絶対不可欠である。

材料組成の測定

レーザ誘起ブレークダウン分光法（Laser Induced Breakdown Spectroscopy：LIBS、レーザ生成プラズマによって、離れた場所からの元素放出測定が可能）とラマン分光法でも、分光測定技術が利用されている。現在開発中のシステムは、オーシャン・インサイト社のものを含めて、ラマン分光法と近赤外分光法を使用した分子及び生体計測と、LIBSを使用した元素及びバルク組成計測を対象としている。

例えば、オーシャン・インサイト社の「SpeedSorter」は、軽金属廃棄物の分別を主な目的として設計されたモジュール式システムで（**図3**）、LIBSを利用する。アルミニウム、マグネシウム、シリコンなどの元素を含む合金は、従来の方法では簡単に分別することができない。軽金属はLIBSに対する反応性が特に高いため、このシステムによって、高い精度でこれらの合金を区別することができる。

マグネシウム合金やチタンなど、他の卑金属の分別も可能である。廃棄物分別施設は通常、世界中のさまざまな地域において周辺温度近くで稼働し、廃棄物は塗料、油分、汚れで覆われている場合もあるため、これらのシステムは、広い範囲にわたる動作条件に耐える必要がある。

LIBSのもう1つの新しい応用分野が、地質サンプルの鉱物と組成の作業現場での識別である。以前は、誘導結合プラズマ（Inductively Coupled Plasma：ICP）、レーザアブレーション、蛍光X線（X-Ray Fluorescence：XRF）など、研究施設で利用される手法によって、この分析が行われていた。LIBSは、この分析作業の場を研究施設から現場へと移すもので、インラインで迅速な研究室グレードの分析が可能である。採鉱や石油・ガス関連の用途など、高スループットのスタンドオフ計測が必要な分野に対し、LIBSはほぼ完ぺきな手段である。

高い品質と効率を実現する分光センサ

それぞれの使用事例において、分光センサは、工場フロア、産業アプリケーション、資源探査に品質と効率の向上をもたらしている。これらのセンサは、産業アプリケーションに非常に適した、高い精度、正確度、速度、柔軟性を備え、高スループットで研究室グレードの品質管理を、現行のプロセスワークフローに組み込むことを可能にする。過酷な産業環境で動作するセンサの設計には課題が伴うが、それによって得られる見返りは非常に大きい可能性がある。今後10年間で、産業アプリケーションにおけるコネクテッドセンサの導入は、大幅に増加すると予想されている。

著者紹介
スティーブ・バックリー（Steve Buckley）は、米オーシャン・インサイト社（Ocean Insight）の応用システム担当ゼネラルマネージャー。レナ・ガンデビア（Lena Gandevia）は、同社の応用システム担当戦略市場スペシャリスト。e-mail: steve.buckley@oceaninsight.com
lena.gandevia@oceaninsight.com URL: oceaninsight.com

LFWJ