

# UV-C LED、 水質モニタリングの新領域を開拓

ハリ・ヴェヌゴパラン

水殺菌そのものは、既にUV-LEDメーカーのターゲットとなっている。しかし、UV-C LEDは今、より大規模な水処理システムにおいて検出機能を果たすことができる状態にある。

新型コロナウイルス感染症(COVID-19)のパンデミックが続く今、きれいな水と水質は、何にも増して重要なものとなっている。ウイルス粒子を手から取り除くための最も有効な手段として、手洗いが推奨されており、4人家族の場合で、手洗いだけで1日あたり80リットルの水が必要である(<https://on.natgeo.com/2ENC8xN>)。その水量が当たり前のように使われている国も多くある一方で、水質汚染や頻発する干ばつで水が不足しているインドや中国など、そのように贅沢に水を使えない地域は世界に多い。水質汚染の主な理由は、80%もの下水が未処理のまま、飲み水の水源に放流されていることである。それによってバクテリア濃度が高まり、その水は、飲み水や手洗いや風呂水に適さない状態になってしまう。

先進国では水不足はさほど問題ではないが、農業における過剰施肥や、オンサイトの廃水処理システムの増加によって、地下水や地表水の硝酸塩濃度が高まり、人間の健康や環境に影響を与えている。これは主に米国において問題になっているが、欧州連合(EU)でもますます問題視されており、ドイツは地下水の硝酸塩汚染を抑制するための措置に乗り出している。

水質汚染に対処するには、手ごろな価格のセンサが入手できなければならない。それを広く設置することにより、規

制当局が湖や川の水質汚染源をリアルタイムで追跡して特定し、その影響を直ちに緩和して、将来の汚染を防ぐ手段を開発できるようになる必要がある。

## 水質モニタリングのための 高度センシング

手ごろな価格のセンサが、水質改善のカギを握ることは一般的に知られているが、まずは、高い光出力と長い寿命を備えた深紫外線(UV-C)LEDを開発しなければ、そのようなセンサは得られない。水中の紫外線透過率

(ultraviolet transmittance : UVT)、化学的酸素要求量(Chemical Oxygen Demand : COD)、生物化学的酸素要求量(Biological Oxygen Demand : BOD)、硝酸塩や多環芳香族炭化水素(polyaromatic hydrocarbon : PAH)といった化合物の濃度など、有機汚染の指標は、化学的方法と光学的方法の両方で測定できる。

化学的方法を採用するセンサは、高額であるか、もしくは、頻繁なキャリブレーション、試薬の補充、頻繁なメンテナンスが必要である。

表1 さまざまな水質汚染物質を検出するための分光法

化合物/パラメータ	LED波長[nm]	分光法
硝酸塩	235	吸収
PAH(多環芳香族炭化水素)	255	蛍光
UVT/UV 254/SAC(スペクトル吸収係数)	255	吸収
COD(化学的酸素要求量)	255	吸収
TOC(全有機炭素)	275	吸収
BOD(生物化学的酸素要求量)	280	蛍光
水中油	280	蛍光

これまでに、水銀ランプ、重水素ランプ、またはキセノンフラッシュランプを使用した光学センサが開発されている。これらのランプは複数のUV-C波長を放射することにより、水質の複数のパラメータを同時に測定することができる。しかし、光学センサは高額であるか、もしくは、光源の頻繁な交換が必要で、占有面積と消費電力が比較的大きい。そのため、分散型のリアルタイム監視センサネットワークには適していない。

## UV-C LEDのスペクトルがもたらすメリット

ランプと比べた場合のUV-C LEDの主なメリットは、単色に近いスペクトルである。これによって、光学設計が簡素化され、ミラー、フォトダイオードアレイ、シャッターが不要となり、安価なフォトダイオードが使用可能となる。加えて、電源コストが低下する。これにより、初期センサコストは最大80%削減される。

また、LEDは瞬時に最大強度に達することができるため、測定の数秒前に電源を入れて(例えば、重水素ランプや水銀ランプの場合はそうはいかない)、測定が完了すれば電源を切ることができる。

これに関連するメリットとして、LEDはオン/オフ操作を繰り返しても、水銀ランプとは異なり、寿命が損なわれない。従って、UV-C LEDを採用するセンサは、デューティサイクルモードで動作可能で、交換周期は5～10年となる。一方、ランプは6カ月ごとに交換が必要である。この寿命のメリットによって、LEDベースのセンサの所有コストはさらに引き下げられる。

有機化合物と、硝酸塩などの一部の無機物質は、水質を左右する主要な決

定因子で、UV-C波長を吸収する。これらのセンサにおける特定のUV-C LED波長は、規制基準に則って選択するか、対象化合物の吸収特性に合わせて、利用可能な最も近い波長を選択する。UVT/CODやBODなどのパラメータは、255nmと280nmでそれぞれ測定する。PAHなどの化合物は255nmで測定し、硝酸塩は新たに利用可能なLEDによって235nmで測定する(表1)。

ほとんどの測定で吸収分光法が用いられるが、PAHやBODなど、一部では蛍光分光法が用いられる。蛍光分光法では、高性能なUV-C LEDがLED以外のUVランプよりも狭い波長範囲で高い光出力を提供することから、検出下限も測定できるという、付加的なメリットがある。LEDスペクトルは単色に近いため、光学設計がよりシンプルで、吸収光の強度や蛍光発光の強度の測定に、安価なフォトダイオードが使用できる。シンプルな光学設計により、センサのコストは、UVランプのセンサよりも最大80%低くなる。

UV-C LEDを採用するセンサが、離散的な場所と時間での測定から連続的なネットワーク監視へと、水質モニタリングを移行するための基準を設定しているのは明らかである。水質センサネットワークの現行例や新規例としては、欧州における複数の都市部分散システムによる飲み水のUVTモニタリング、中国の農村部における処理済み廃水のCODモニタリング、世界各地における地表水の硝酸塩モニタリングなどがある。

## UV-C LEDの使用事例

LEDベースの水質センサは、新たな用途を生み出している。硝酸塩センサはこれまでも提供されており、廃水処

理に利用されていたが、コストが高く頻繁にメンテナンスが必要なことから、中央の廃水処理工場の外での導入は限られていた。手ごろな価格のUV-C-LEDベースの硝酸塩センサが登場したことで、廃水処理オペレーターは、離れた場所から流入硝酸塩濃度の変化を監視し、通気を最適化し、炭素添加量を最大50%削減し、汚泥処理費用を抑えながら、流出水の低硝酸塩濃度の要件を満たすことができる。別の新しい用途として、従来型の農業において、硝酸塩のリアルタイム監視によって、肥料コストを削減しつつ、流出水の規制準拠も実現するというものがある。垂直農業では、硝酸塩のモニタリングによって、排水時の硝酸塩の不均衡に対処し、収率損失を抑える作業をリアルタイムに行うことができる。これにより、数日を要する場合もある研究施設の分析結果を待ったり、頻繁なキャリブレーションを要する電気化学センサを使用したりすることなく、水質を改善し、肥料を効率的に使用することができる。

LEDベースのセンサを利用する大規模な遠隔リアルタイム監視によって得られたビッグデータの収益化も、新しいビジネスモデルの促進につながる。例えば、1500万を超える米国世帯が私有井戸で飲み水を得ているが(<https://bit.ly/3gqsAXo>)、農業や腐敗槽による硝酸塩汚染が根強い問題となっており、サンプルを送って研究施設で高額な検査を行ってもらう以外に、硝酸塩をモニタリングするための簡単な手段はない。1つの方法として、ホームモニタリングサービスを提供するサードパーティー業者が、サービス契約の下で硝酸塩センサを設置することが考えられる。これらの業者は、特定地域の匿名化された集約データを管轄の環境当局

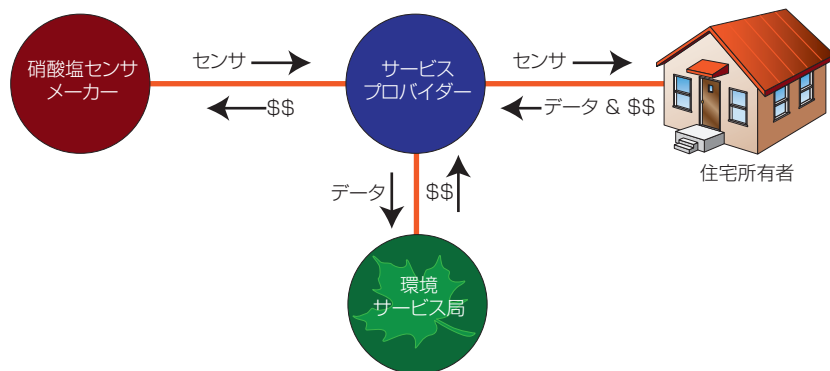


図1 UV-C LEDベースのセンサーを採用する分散型水質モニタリングシステムによって収集されたデータは、新たな収益源の促進につながる可能性がある。画像出典：本稿内のグラフィックスはすべてクリスタルIS社提供。

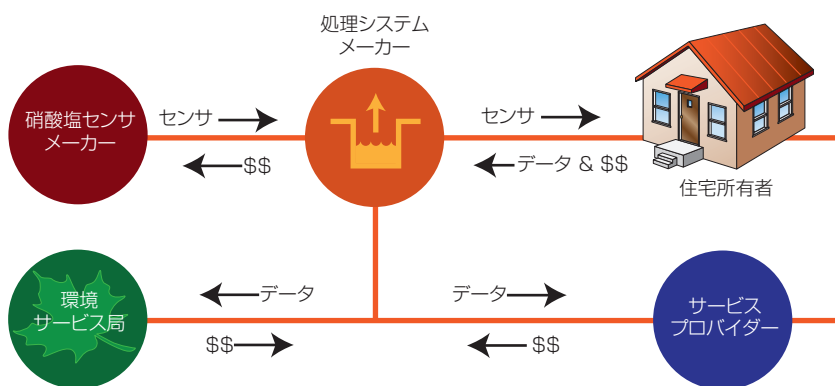


図2 新しいセンサーシステムは、サービスプロバイダーと環境サービス局との間で実績データを共有及び分析し、より効果的な水処理を最終消費者に提供することで、現行の水処理計画に足りないものを補うことができる。

(その州の環境保護局[Department of Environmental Protection : DEP] や、環境サービス局など)に提供することにより、新たな収益源を得ることができ、環境当局はそれを基に適切な措置をとることができる(図1)。地域の環境当局が個々の井戸からサンプルを採取するという標準的な方法では、このデータをコスト効率よく収集することは不可能である。

同様に、2000万を超える米国世帯がオンサイトの廃水処理システムを保有しているが(<https://bit.ly/2Dqa4jf>)、これらのシステムでは廃水から硝酸塩がほとんど除去されないため、それらはより高額な、納税者が負担するシステムによって置き換えられつつある。新しいシステムは、現場での性能がまちまちで、どれだけの漂白剤が排水に流されるかといった、各家庭の行

動に左右される。現時点では、システムが適切に機能して、地域の規制を満たしているかどうかを、住宅所有者、メーカー、規制当局がリアルタイムにモニタリングする手段はなく、定期的にサンプルを採取するしかない(サンプル検査は一回につき数百ドルかかる)。硝酸塩センサーを処理システムに導入すれば、メーカーは以下の複数の方法でそのデータを利用することができる(図2)。

- ・実績データを監視及び共有して、補助金を申請する
- ・保守を依頼するようにサービスパートナーにアラートを送信する
- ・高額なサンプル採取に代わって、地域当局にデータを販売する

こうしたビジネスモデルのカギを握るのが、保守がほとんど、またはまったく不要なほど堅牢で、遠隔管理が可

能な、手ごろな価格のセンサーである。そのすべてが、エンドユーザーの初期費用を引き下げつつ、プロバイダーによる合理的な期間での投資回収を可能にする。

UV-C LEDは、手ごろな価格での水質センシングを、近年可能だったレベルよりもはるかに大きな規模で実現する。これによって、企業は新しいサービスを提供し、政府機関は汚染を特定して対応し、ユーザーはリアルタイムに水質を監視することができ、世界中の人々の環境と健康をコスト効率よく向上させることができるようになる。

著者紹介

ハリ・ヴェスゴパラン (HARI VENU GOPA LAN)は、米クリスタルIS社 (Crystal IS)の新興市場担当グローバルディレクター。クリスタルIS社は、旭化成の子会社で、紫外線 (UV) LEDを専門としている。

URL: <http://www.cisuv.com>

LEDJ