焦　点

オプトエレクトロニクスの新たな展開

株式会社 リコー　研究開発本部 リコーICT 研究所
執行役員 リコーICT 研究所 所長
（当協会　理事）
坂上好功　SAKAUE, Yoshinori

株式会社リコーは 1936 年に創立され，昨年，創業 80 周年を迎えた。その起源は 1927 年の理化学研究所・櫻井博士の陽画感光紙技術を，創業者・市村清が事業化したベンチャー企業である。1938 年にはカメラを，1955 年には複写機を販売開始するなど事業を拡大し，1977 年には業界で初めてオフィスオートメーション（OA）を提唱し，複合機など現在の事務機器の発展に貢献してきた。この OA 機器のさきがけとなったのが, 国内初の露光・現像一体の卓上型ジアゾ湿式複写機「リコピー101」である。独創的な機構をもち，無水・無臭の露光・現像を実現した画期的事務用機械であるリコピー 101 は，2012 年に一般社団法人日本機械学会が認定する機械遺産第 54 号として認定された。現在の事業分野は, 複合機など企業の会議室, 執務室で使うオフィス用の製品とサービスを主流としており，リコーの DNA は紙であり，カメラであり，複写機であって，オプトエレクトロニクス技術は，その重要なコア技術である。コア技術の新たな応用分野として 2010 年にはプロジェクター事業に，2011 年にはユニファイド コミュニケーション システム（テレビ会議・Web 会議）事業と 3D プリント関連事業に新たに参入し，新しい価値の提供に努めている。たとえば 2011 年に発売した超短焦点プロジェクター「IPSiO PJ WX4130」シリーズもオプトエレクトロニクス技術が生み出した製品であり，「自由曲面ミラー」を搭載し，独自の精密成形技術，加工技術による高精度なプラスチック製ミラーと画像処理技術により，スクリーンからわずか 11.7cm 離すだけで，歪みのない 48 型の大画面を投写できる。

近年のグローバリゼーションをはじめとした大きな社会変化と，AI，IoT，ネットワークといったコンピュータ技術の飛躍的な革新は，私達の機器を利用いただいているお客様の働く環境に大きな変化を引き起こしている。こうした変化における重要な技術のひとつに, IoT などで得られた大量のデータをネットワークを通じて収集し機械学習による AI で処理する技術がある。そうしたシステムの能力向上にはアルゴリズムだけでなく，学習に必要な質の良い様々な種類のデータを大量に集めることが重要であり，特に情報量の多い画像を獲得/処理するためのオプトエレクトロニクス技術の重要性は今後ますます増大すると考えている。

このように変化する社会に対し，リコーは，より多くのお客様の「はたらく」をスマートにする価値の提供を目指して，これまでの「一般オフィス」から，工場や店舗，学校，病院など，様々な業種の「現場」，さらには「社会」へと，価値提供の領域を拡大しようとしている。そのためには，それぞれの場で質の良いデータを取得出来ることが重要であり，これまで培ってきたオプトエレクトロニクス技術を活用することで，それまで得られていなかった，使うことが出来なかったデータを使って新たな価値を提供したいと考えている。

オプトエレクトロニクス技術の可能性を示す，新たな製品やサービスの例を紹介する。

最初はワンショットで撮影者を囲む全天球のイメージを撮影可能な，シンプルかつ必要十分な機能を搭載したデバイス，THETA である。魚眼レンズを二個組み合わせて，全天球を撮影する技術は従来から存在していたが，二眼間の距離が離れていると，それぞれが撮影した画像を違和感なくつなぎ合わせることが困難だった。THETA では二眼間の距離を極限まで縮める光学設計と，それでも残ってしまう僅かなズレを目立たないようにつなぎ合わせる画像処理技術を開発した。光学技術としては，前後に配置された魚眼レンズから入射した光を，中央に配置したプリズムを使って 90 度曲げる屈曲光学系を採用し，二つの画像センサーをカメラ両側面に配置している。この屈曲光学系によって通常のストレート光学系では60mm程度になってしまうレンズ間距離を 20mm 以下に縮めることを実現し，また特殊なコーティングによって，レンズへの反射光やゴースト，フレアなどのデメリットを押さえている。

図　全天球カメラ THETA V

画像処理技術としては，二つの画像をつないだときに明るさや色味が一致するように，多段階の処理を行っている。まず，それぞれの魚眼画像に基本的な画像処理を行った後，エリアごとに特徴点を探し出し，レンズの収差や視差の影響を考慮しながら魚眼画像を Equirectangular に変換，つなぎ目が自然になるようブレンド処理を行いながら，全天球イメージを生成する。シャッターボタンを押した瞬間，カメラ内部でこうした複雑なつなぎ処理が行われている。

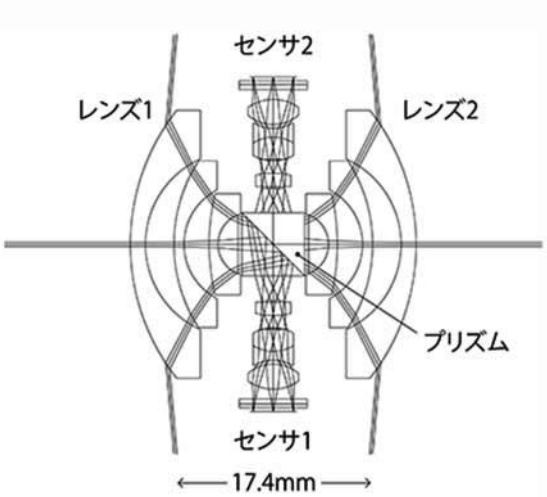

図　THETA の光学系

また，THETA はコンシューマ向けカメラとして開発されたが，全天球を撮影することができる小型カメラとして，観光地の PR や，不動産物件の Web 上での紹介などへのビジネス利用が始まっており，「お客様が見たいところを，お見せすることができる」と好評をいただいている。リコーでは撮影した 360°画像をお客様の Web サイトへ表示する法人向けクラウドサービスや全天球画像の撮影・ツアーサイト制作の受託サービスを提供しており，観光，ホテル，教育・介護施設，中古車販売，展示会出展ブース，結婚式場などの業界で活用いただけると期待している。

もう一つの例として，ステレオカメラを紹介する。ステレオカメラでは，二つのカメラの光学的な歪や機械的な組付けなどで発生するズレを補正し，かつ二つのカメラを平行等位状態にして，精度を高める必要がある。リコーでは，今まで蓄積してきた光学特性を高精度に評価する光学技術，その光学特性を正確に補正する画像処理技術，そして高精度に組み付けを行う実装技術，独自のキャリブレーションシステムによって，およそ 1m の距離で±1mm の測距精度を実現している。画像処理と視差演算処理は

図　産業用ステレオカメラ　SV-M-S1

ステレオカメラ内部の FPGA で処理しており，高精度三次元データをリアルタイムに算出する。すでに産業用カメラや自動車の運転支援向け世界最小カメラとして商品化している。

また，このユニークなカメラを用いることで，新しいサービスの提供も試みている。日本を始めとする国々において道路などのインフラの老朽化が進んでおり，その膨大な作業の効率化が求められている。道路の維持管理においては，「わだち掘れ量」，「平たん性」，「ひび割れ率」のデータから算出される道路状態の指標，MCI（Maintenance Control Index）値から，修繕の要否を判断し管理作業を効率化している。しかし，これらの計測は，人手で計測するにはコストや手間がかかってしまう，専用計測車両では道幅の狭い生活道路に入れないなどの課題があり，解決が望まれている。

リコーでは一般車両にステレオカメラを複数台搭載した撮影システムで，効率的に MCI 値を算出することに取り組んでいる。まず，複数のステレオカメラから得られる走行中の画像と三次元情報とを，幅員方向に結合した結果に基づいて「わだち掘れ量」を計測し，同様に走行進行方向に結合して「平たん性」を計測する。「ひび割れ率」の算出には，道路表面の模様が「ひび」であるかどうかを判断する必要があり，従来は熟練者が目視で判断してきた。リコーは熟練者の目視判読工程を機械学習によってモデル化し自動判読システムを構築した。開発したシステムは，国土交通省，秋田県，仙北市とともに行った実証実験において，従来よりも工数を削減し，目視の判読結果相当以上の精度を得られることを確認した。今回開発した技術は，道路舗装だけでなく，トンネルや橋梁など様々な社会インフラの維持管理に応用可能であると考えている。

ユニークなカメラを用いて得られた画像データに，画像処理や機械学習，さらにはクラウドなどの技術を組み合わせた製品やサービスを紹介した。これらの例に限らず，オプトエレクトロニクス技術と他の ICT 技術を組み合わせて，これまで得られなかったデータを取得，解析し，新しい価値を生み出すシステムの実用化が様々な業種業務で始められている。システムの性能を左右する質の良い多様なデータの取得を可能にするオプトエレクトロニクス技術が，ますます重要になると考えている。