

近赤外組成イメージングシステム Compovision®の開発

石川 弘樹*・高橋 俊明・水野 史章
鈴木 俊美・山田 英一郎・尾崎 幸洋
石川 大太郎

Development of Near-Infrared Composition Imaging System “Compovision®”—— by Hiroki Ishikawa, Toshiaki Takahashi, Fumiaki Mizuno, Toshimi Suzuki, Eiichiro Yamada, Yukihiro Ozaki and Daitaro Ishikawa —— We have developed the Compovision® imaging system with a near-infrared (NIR) spectrographic camera. This camera incorporates a sensitive sensor that can detect the distinctive absorption spectra reflected or absorbed by organic substances in the wide wavelength band of 1,000-2,350 nm. The camera can process hyper-spectral data of 320 x 256 pixels at the frame rate of 1-320 fps, and thus enables precise real-time imaging. The Compovision® imaging system is expected to be used for the non-destructive inspection of food and pharmaceuticals for quality control and evaluation. This paper outlines the NIR spectroscopic camera and presents actual examples of image processing.

Keywords: near infrared camera, hyper-spectral camera

1. 緒言

近年、製薬業界や食品業界においては、安全性管理や品質管理の重要性が増しており、非破壊・非侵襲で製品の組成の違いや濃度分布が検査可能なシステムへのニーズが高まを見せている。特に、製品の製造途中で良否判定を行い、インラインで不良品を排除できるリアルタイム組成イメージングは、品質管理と製造コストの低減を両立できるものとして、実用化が強く求められていた。

組成の違いや濃度分布を検査する手法としては、FT-IRなどの赤外分光法によるスペクトル分析が一般的だが、生体や食品などの有機物による吸収が大きい中赤外光を用いる赤外分光法では、ほとんどの場合、試料の薄片化が必要であり非破壊での測定が難しい。

非破壊で組成を分析できる手法としては、対象物が反射する赤外線のスpectrumを赤外分光カメラで測定し、その特徴を多変量解析する手法が実用化されているが、測定できる波長範囲が700～1,000nmのカメラが一般的であり、薬品や食品の組成の特徴が表れやすい～2,500nm付近までの波長で製品の検査に使用できるカメラは実用化されていなかった。

この状況を受けて、当社では1,000～2,350nmで、対象物の反射・透過光のスペクトルを測定することで組成分析と良品判定をリアルタイムに行える近赤外分光カメラと、それを利用したリアルタイム組成イメージングシステム、「Compovision®」を開発した⁽¹⁾。

本稿においては、このCompovision®システムの概要と、その応用例を紹介する。

2. 近赤外分光カメラによる組成イメージングの原理

近赤外分光カメラは、通常の可視画像の代わりに各画素が受光強度の波長依存性、すなわちスペクトルデータを持った「ハイパースペクトル」を出力する。このハイパースペクトルデータは、各画素がスペクトルデータを持っているために、スペクトル解析により画素単位での物質の同定や濃度分析などが可能である。

図1を用いて近赤外分光カメラによるハイパースペクトルの撮影方法を説明する。近赤外分光カメラには分光器が組み込まれており、受光素子のY方向には分光されたスペクトルデータが撮影される。1枚の画像撮影ではX方向の

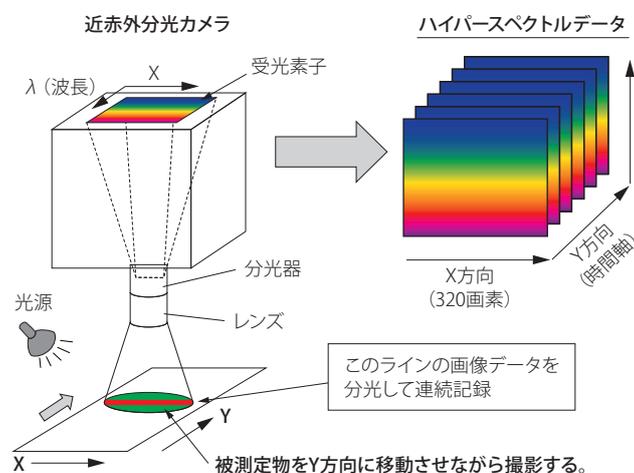


図1 近赤外分光カメラによるハイパースペクトル画像の撮影方法

ライン状の撮影領域を分光したデータが撮影されるので、ベルトコンベアなどで被測定物を移動させつつ連続撮影することで、時間軸方向に被測定物の移動方向に対応したデータが蓄積される。

赤外光は人間の目では見えないが、スペクトルの特定の波長に光の三原色、赤、緑、青を割り当てて可視画像として表示することが可能である。この画像を疑似RGB画像と称している。このとき、対象物の組成の違いが顕著に表れる波長を選択することで、組成イメージングが可能になる。

また、1,000～2,350nmの波長帯域には、水、脂質、タンパク質などの有機物に由来する振動吸収の倍音や結合音が存在するので、これらの組合せで多様な物質の組成の違いを判別できる。

スペクトルの特徴をより詳細に分析、比較する方法として、多変量解析がある。多変量解析を用いると、測定した波長域全体が持つ特徴をいくつかの指標に集約して定量的に表現することができる。このため、いくつかの物質を指定して、対象物中での分布を画像表示することや、特定物質の濃度の分布を表示することができる。

3. 近赤外分光カメラの諸元と特徴

Compovision®システムは、波長1,000～2,350nmの近赤外光を受光可能な二次元受光素子と分光器からなる近赤外分光カメラと、ハイパースペクトル分析・イメージングソフトからなる組成イメージングシステムである。

二次元受光素子としては、当社の光通信用半導体受光素子製造技術を活用し、InP基板上にInGaAs/GaAsSbを積層させたタイプII量子井戸構造を開発することで、2,350nmの長波長まで感度を有する素子の実用化に成功している⁽²⁾。

この受光素子を用いた当社の近赤外分光カメラは、空間方向に320画素で受光し、最大320fps (frame per second) でデータを出力することができるため、例えば19m/分でラインを流れている対象物について、1mm間隔でのイメージングが可能である。

写真1に近赤外分光カメラの外観を、表1に諸元をそれぞれ示す。



写真1 Compovision® 近赤外分光カメラ

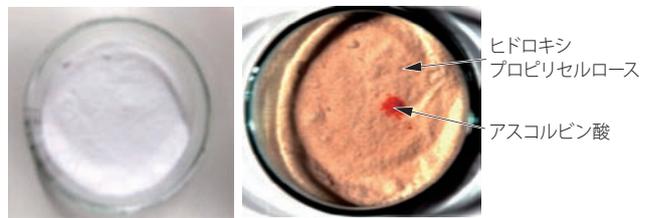
表1 近赤外分光カメラの諸元

項目	仕様値
感度波長域 [nm]	1,000～2,350
画素数 (空間方向)	320
画素数 (波長方向)	256
画素ピッチ [μm]	30
フレームレート [fps]	100～320
動作温度範囲 [°C]	5～40
サイズ [mm] (突起部除く)	W120×D410×H130
重量 [kg]	約7
露光時間 [ms]	1～9
出力階調 [bit]	16

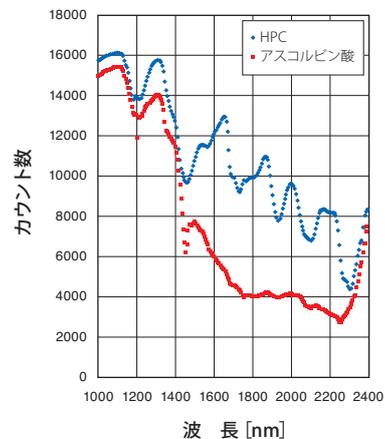
4. 近赤外組成イメージング事例

4-1 異種粉末の識別 白色粉末中に混入した、種類の異なる白色粉末の識別の例を図2に示す。

図2(a)は、共に白色微粉末であるアスコルビン酸とヒドロキシプロピルセルロースを混合したものである。可視写真画像では両者混在状態を区別することはできないが、図2(c)に示す通り両者の近赤外スペクトルデータ差異は



(a) 可視カメラ画像 (b) 近赤外組成イメージング画像



(c) ヒドロキシプロピルセルロースとアスコルビン酸のスペクトル比較

図2 異種粉末の識別

明瞭であり、近赤外組成イメージング図2 (b) では、その分布が明瞭に視覚化されている。

このように、近赤外分光カメラを用いることで、目視では判別できない異種粉末の混入を検知できる。

4-2 異種錠剤の検知 近赤外光はPTP包装を透過するため、PTP包装された状態の錠剤を検査することが可能であり、製造ライン中での異種錠剤混入検知装置としての応用が期待される。

図3では、頭痛薬、風邪薬、ビタミン剤の3種類の錠剤をPTP包装越しに撮影し、組成イメージングした例を示す。

図3 (a) の可視カメラ画像ではどの錠剤も白色で区別がつかないが、近赤外スペクトル解析した結果をイメージングした図3 (b) では、種類の違いが色で表示され、視覚的に識別できることがわかる。

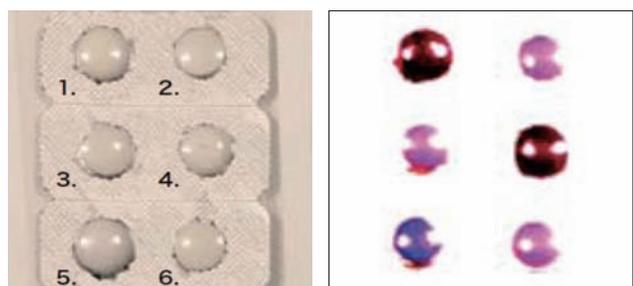
4-3 薬剤濃度の定量分析 図4は、一定量のヒドロキシプロピルセルロースに、アスコルビン酸とデキストリンの混合比率を変えて加え、打錠したものをイメージングした結果である。

デキストリンの反射スペクトルは波長1,900nm付近に特徴的な形状を持っており、その形状の変化の度合いと混合比率は明瞭な相関関係を持っている。この関係を利用して、1,900nm付近の反射スペクトルから混合比率を定量的に推定することができ、その結果を図4のようにイメージングして表示することも可能である。

4-4 錠剤の表面コーティングの分析 図5は、錠剤表面のコーティング状態を近赤外分光カメラで計測した事例である。全体をステアリン酸マグネシウムで覆った錠剤について、半分のみ同じステアリン酸マグネシウムで追加コートした錠剤を作成し、追加コートしない錠剤と比較計測した⁽³⁾。

近赤外光はコーティング層で反射されながら透過するため、内層の組成物とコーティング層からの反射光の混合スペクトルが計測されるため、実効的にコーティング層の厚みを反映した結果が得られる。

図5 (b) では、追加コートした部分が赤く表示され、コーティングの厚みムラを検知可能であることが示されている。



(a) 可視画像

- 1、4：風邪薬
- 2、3、6：頭痛薬
- 5：ビタミン剤

(b) 近赤外組成イメージング

図3 PTP包装越しの異種錠剤の近赤外イメージング

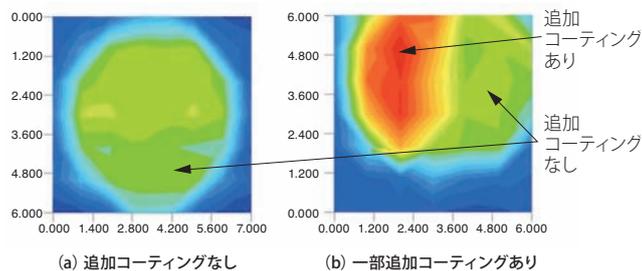


図5 ステアリン酸マグネシウムコーティングの厚みムラのイメージング (本図は関西学院大学 尾崎幸洋教授の研究グループとの共同研究成果です)

デキストリン	10%	30%	40%	55%	60%	80%
ビタミンC	80%	60%	50%	35%	30%	10%
可視画像						
疑似RGB画像						

図4 薬剤混合濃度のイメージング

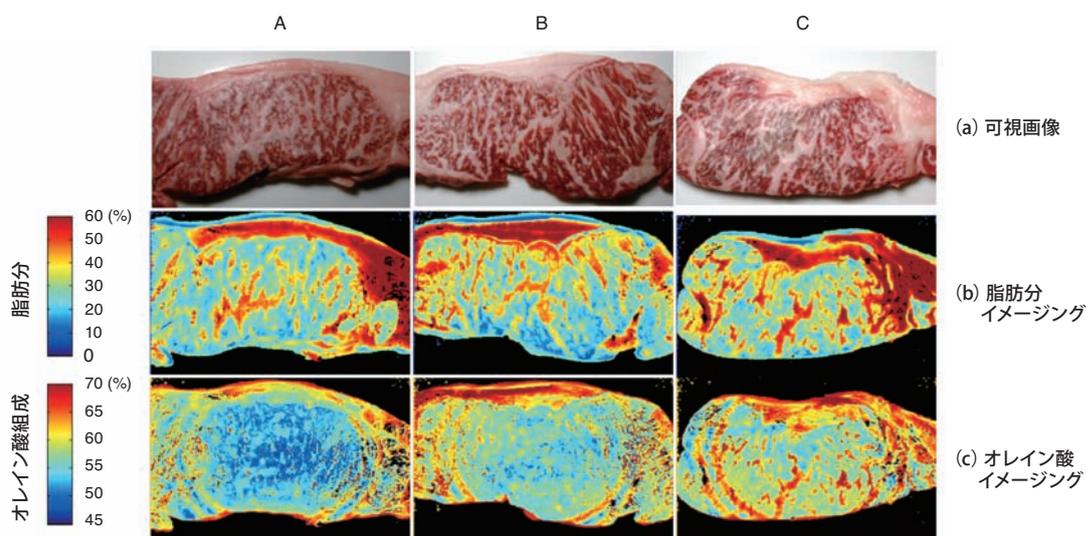


図6 牛肉のうまみ成分（オレイン酸）分布のイメージング（豊橋技術科学大学 中内茂樹教授ご提供）

4-5 牛肉のうまみ成分の分析 近赤外反射スペクトルを多変量解析することで、食肉中に含まれるアミノ酸の種類を同定し、特定のアミノ酸の分布をイメージングすることもできる。

図6は、うまみ成分のもとであるオレイン酸の、牛肉中の分布をイメージングしたものである。図6 (b) の脂肪分布では差が見えにくい、(c) のオレイン酸の分布では差が見えており、オレイン酸の分布の多いCがより食味が良いと推定できる。

5. 今後の用途展開

近赤外組成イメージングは、以上説明したように薬品、食品の品質管理、検査に極めて有用である。これらの用途以外にも、クリーム状製品の混合均一性の検査、発酵食品・飲料やバイオ燃料などの生成途中における状態変化の監視、生体組織の状態変化の観察等への適用が期待される。

当社では、Compovision®システムの開発だけでなく、これら新規用途への適用を目指した研究開発も行っている。

6. 結 言

錠剤、食品などの組成を、非破壊・非侵襲でリアルタイムに検査できる、近赤外組成イメージングシステム、「Compovision®」の概要と組成イメージング事例を紹介した。

Compovision®に使用している Type II 量子井戸型受光センサは、当社が光通信用半導体製造で培った生産技術、品質管理技術を活用し、これまでになかった2,350nmまでの広波長域での受光性能と低い暗電流の両立を、低コストで実現している。

また、受光センサを制御するカメラ本体についても、制御アルゴリズム、基板設計の最適化を行い、最大320Hzでの高速撮影を可能にしている。この特性は、製品製造ラインでの組成検査において、製造速度を落とすことなく、リアルタイムに検査、不良品排除を可能にするものであり、異種錠剤の検知、食品の品質管理への適用が期待される。

参 考 文 献

- (1) 稲田、OPTRONICS (2012) No.5、p98
- (2) 稲田 他、SEIテクニカルレビュー第177号、p129 (2010年7月号)
- (3) K. Awa et al. "Quality Evaluation of Pharmaceutical Tablets by using the New NIR Camera (Composition) Developed for High Speed Wide Area Measurement", FACSS (2012)

執 筆 者

石川 弘樹*: ライフサイエンス開発部 主席



高橋 俊明 : ライフサイエンス開発部 主席

水野 史章 : ライフサイエンス開発部 主席

鈴木 俊美 : ライフサイエンス開発部 主席

山田英一郎 : ライフサイエンス開発部 主席

尾崎 幸洋 : 関西学院大学工学部 教授 博士 (理学)

石川大太郎 : 関西学院大学工学部 研究員 博士 (農学)

*主執筆者