

2024.09

HAMAMATSU
PHOTON IS OUR BUSINESS

プラスチック選別装置向け技術・製品

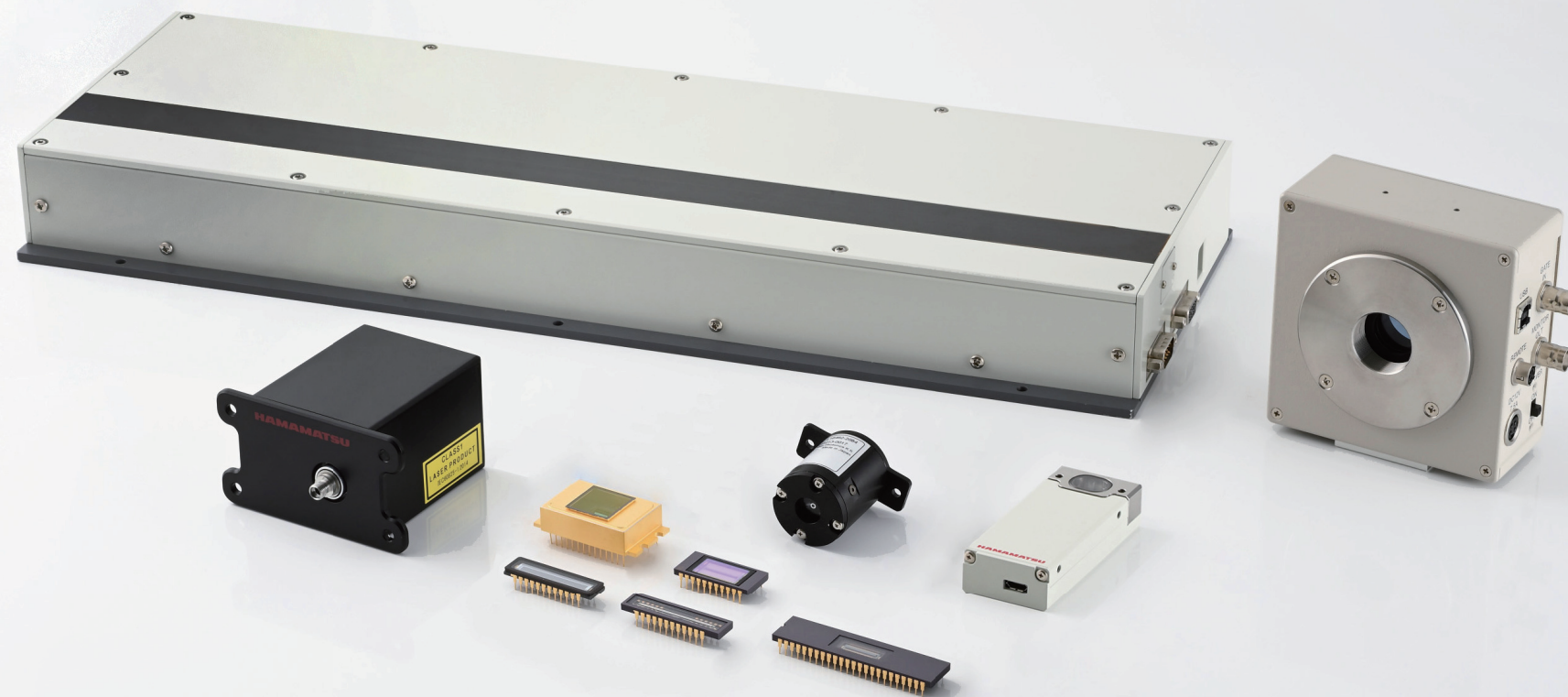
光で持続可能な社会の実現に貢献



プラスチック選別装置向け技術・製品

プラスチックは、私たちの生活のさまざまなシーンで使用されています。その一方で、近年プラスチックに起因する多くの環境問題が起こっています。たとえば、燃焼時に排出される温室効果ガスは、地球温暖化の要因になっています。また、大量のマイクロプラスチックが海に流れ込み、海洋汚染につながっています。それら環境問題を解決するためには、プラスチックの生産・消費量を減らし、リサイクルすることが重要です。

プラスチックのリサイクルは、異物の除去や種類の選別から始まります。浜松ホトニクスでは長年にわたり、プラスチックの選別装置向けの光センサや光源、カメラなどの光デバイスの開発・製造を行ってきました。プラスチックの選別用途に適したキーデバイスを装置に組み込んでいただくことで、高い選別精度を実現し、質の高いリサイクルを可能にします。



INDEX

プラスチックの光学識別 P04

製品ラインアップ P05

近赤外分光

InGaAsエリアイメージセンサ P06

InGaAsリニアイメージセンサ P08

InGaSb光起電力素子アレイ P09

MEMS-FPI分光モジュール P10

FTIRエンジン（FT-NIR分光器） P12

拡散反射光源 P14

ミニ分光器 P15

X線イメージング

デュアルエナジーX線ラインセンサカメラ P16

物質選別の関連情報

LIBS

LIBS用発光デバイス／受光デバイス …P18

プラスチックの光学識別

プラスチックは、単一素材のプラスチックから混合素材のプラスチックまで、非常に多くの種類があります。加えて、難燃剤などの添加物を含んだプラスチックも数多く存在しています。それらをリサイクルする場合、プラスチックの種類に応じた適切な識別方法を選択する必要があります。

当社の光デバイスが使用される光学識別では、プラスチックに光を照射し、反射あるいは透過した光のスペクトルをもとに、プラスチックの種類を選別します。本カタログでは、「近赤外分光」と「X線イメージング」によるプラスチック選別の方法と、それらに応用可能なデバイスを紹介します。

X線紫外可視近赤外中赤外遠赤外

X線異物検査色選別種類選別黒色プラスチック選別種類選別

[X線イメージング]

X線画像により材質分別を行う方法です。
2つのX線エネルギー(高/低)を用いて取得した画像を演算処理することで、異物として混入する可能性のある金属片、臭素、ガラスファイバーを含んだ複合プラスチックなどの高度な検知が可能になります。

[近赤外分光]

プラスチック選別において最も一般的な方法です。近赤外光の吸収率の違いにより、主に1.9 μm付近のスペクトルからプラスチックの種類を選別します。一方で、1.9 μm付近のスペクトルでは分析できないプラスチックの種類もあります。たとえば、難燃剤や強化剤などの添加物を含んだプラスチックは、2.4 μm付近のスペクトルに特徴をもちます。また、黒色プラスチックは近赤外光を吸収してしまうため、5 μmまでの中赤外光が使用されます。

製品ラインアップ

	(波長) 1 μm10 nm400 nm700 nm1 μm2.5 μm					
	X線	紫外	可視	近赤外	中赤外	
プラスチック選別				InGaAsエリアイメージセンサ (P6-7)		
				InGaAsリニアイメージセンサ (P8)		
				InAsSb光起電力素子アレイ (P9)		
				MEMS-FPI分光モジュール (P10-11)		
				FTIRエンジン (FT-NIR分光器) (P12-13)		
				拡散反射光源 (P14)		
物質選別				ミニ分光器 (P15)		
				デュアルエナジーX線ラインセンサカメラ (P16-17)		
				パルス固体レーザー (P18-19)		
				高速ゲートイメージインテンシファイアユニット (P18-19)		
				CCDリニアイメージセンサ (P18-19)		

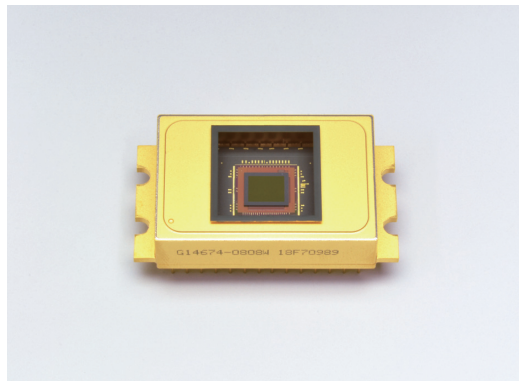
検出器

光源

InGaAsエリアイメージセンサ G14671～G14674-0808W

複数種類のプラスチック選別が可能な
近赤外イメージセンサ

0.95 μm ～2.55 μm の波長に対応したInGaAsエリアイメージセンサです。ハイパースペクトルカメラに搭載し近赤外画像を解析することにより、可視画像では難しいプラスチックの選別が可能です。

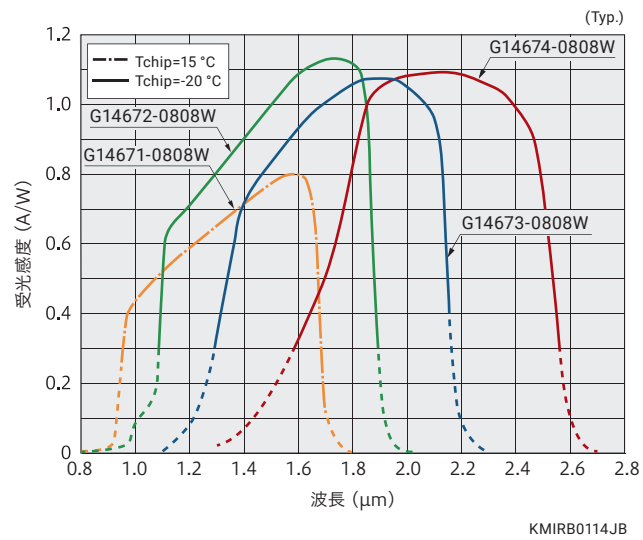


型名	G14671-0808W	G14672-0808W	G14673-0808W	G14674-0808W	単位
感度波長範囲	0.95 ～ 1.69	1.12 ～ 1.85	1.3 ～ 2.15	1.7 ～ 2.55	μm
画素ピッチ	20				μm
総画素数	320 × 256				画素
暗電流	0.03 typ.	0.3 typ.	3 typ.	30 typ.	pA
フレームレート	509 max.				fps

主な特長

● 広い感度波長範囲をラインアップ

1.69 / 1.85 / 2.15 / 2.55 μm のカットオフ波長をもつ製品をラインアップしています。



● 高速読み出し

従来品の2倍以上となるフレームレート 509 fps max. を実現しています。また、部分読み出し機能を使うことで、さらなる高速化が可能です。

従来品：G13393-0808W

G14674-0808W

228 fps max. ➡ 509 fps max.

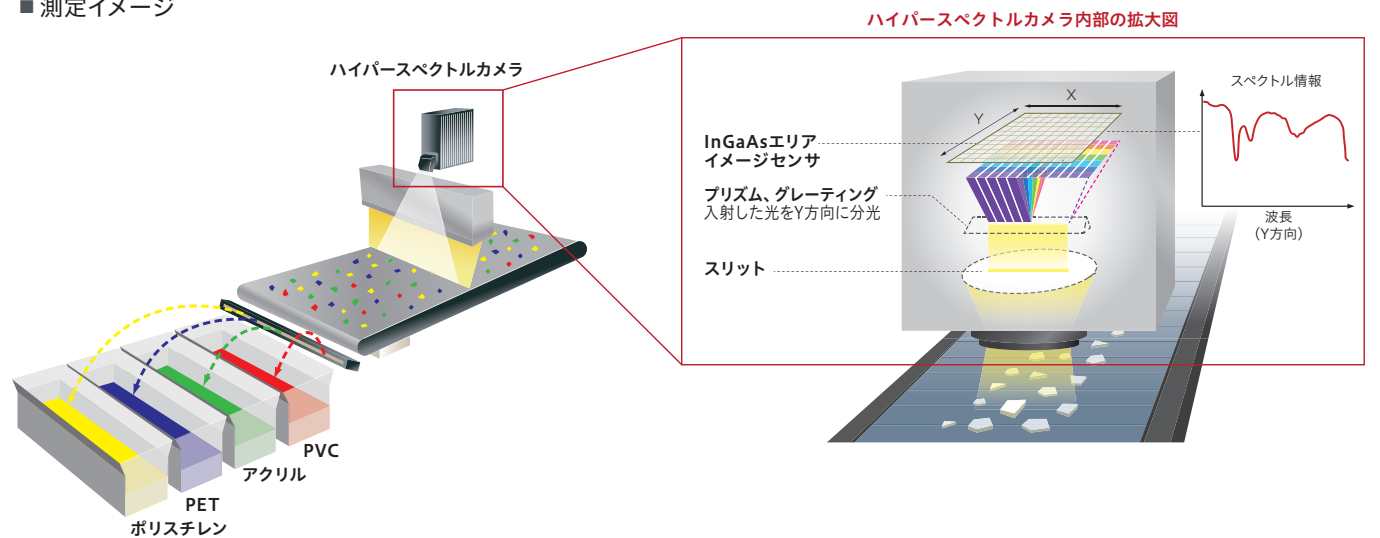
応用例

ハイパースペクトルイメージングを用いたプラスチック選別

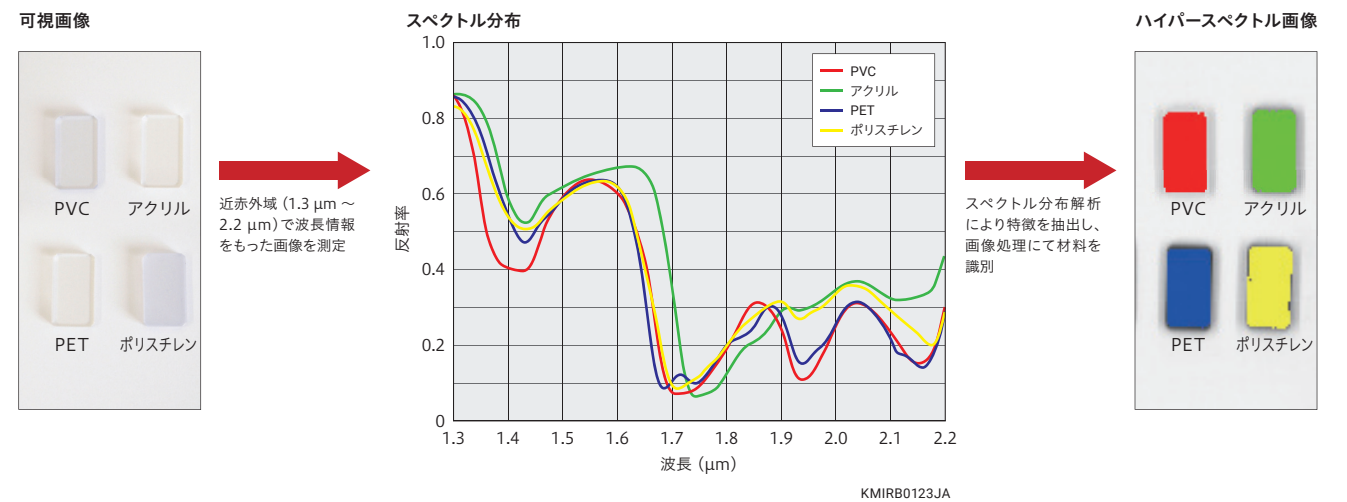
ハイパースペクトルイメージングとは、物体の撮影の際に、画素ごとのスペクトル情報も同時に取得するイメージング方法です。肉眼では見分けにくい物質の特定や分類に有効です。

通常のラインカメラと同様に、対象物（またはカメラ）を移動させてスキャン撮影します。入射した光はスリットを通り、プリズム、グレーティングでセンサのY軸方向に分光して測定を行うため、エリアイメージセンサが用いられます。プラスチックは、近赤外波長で特徴のあるスペクトルが得られるため、近赤外エリアイメージセンサを搭載したハイパースペクトルカメラを用いることで高精度な識別が可能となります。

■ 測定イメージ



■ 測定結果（4種類のプラスチックの測定比較）



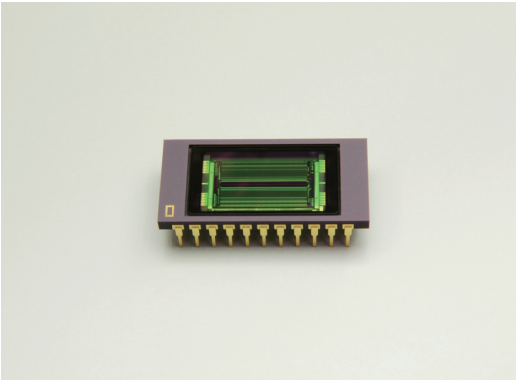
InGaAsエリアセンサモジュール C16090シリーズ

InGaAsエリアイメージセンサを搭載したモジュールです。駆動回路、温度制御部、高速通信制御部から構成され、InGaAsエリアイメージセンサのアナログビデオ信号をデジタル出力します。



近赤外分光

InGaAsリニアイメージセンサ G14006-512DE



単一のプラスチック選別が可能な
近赤外イメージセンサ

1.12 μm ～ 1.9 μmの近赤外域において高感度、高速読み出しを実現した近赤外イメージセンサです。複数種類が混在したプラスチックから特定のプラスチック以外(異種プラスチック)を除去することにより、単一プラスチックの選別が可能です。

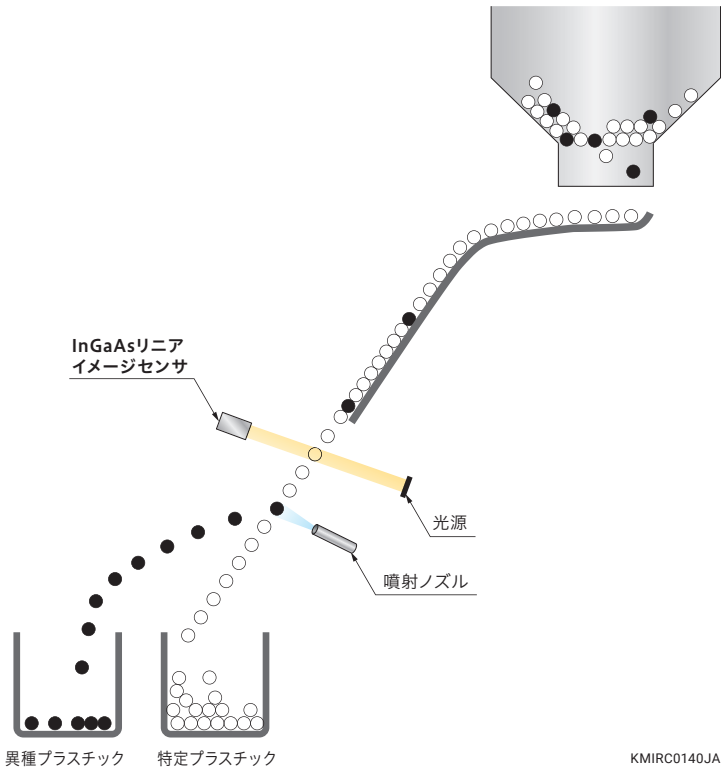
項目	仕様	単位
感度波長範囲	1.12 ～ 1.9	μm
画素ピッチ	25	μm
総画素数	512	画素
暗電流	10 max.	pA
ラインレート	8150 max.	lps

応用例

近赤外分光による異種プラスチックの選別

プラスチックに光を照射し、その透過光から異物を識別し、高圧空気の噴射によって除去します。

■測定イメージ



KMIRC0140.JA

関連製品

中赤外分光

InAsSb光起電力素子アレイ P15742-016DS, P15742-046DS



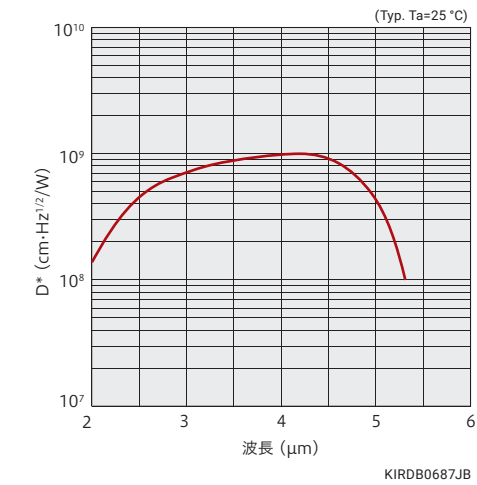
黒色プラスチックの選別が可能な
中赤外受光デバイス

黒色プラスチックに含まれる顔料カーボンブラックは近赤外光を吸収してしまうため、5 μmまでの中赤外域の光を利用することで黒色プラスチックの選別が可能です。

型名	P15742-016DS	P15742-046DS	単位
素子数	16	46	—
素子サイズ	0.45 × 0.7	0.2 × 0.7	mm
パッケージ	18ピンセラミックDIP	48ピンセラミックDIP	—
カットオフ波長	5.3 typ.		μm

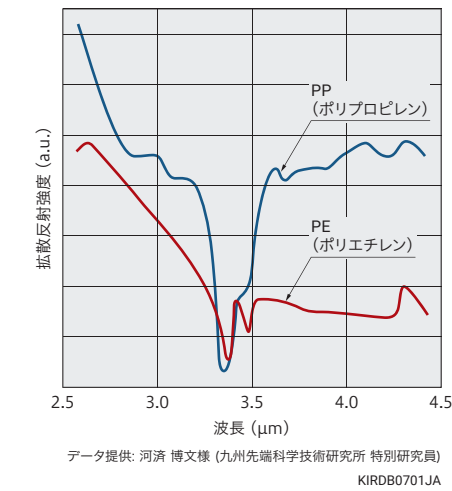
■分光感度特性

中赤外域で高感度



■測定例

黒色プラスチック (PP, PE) の吸収スペクトル



MEMS-FPI分光モジュール C15713

簡易なプラスチック選別が可能な
小型分光モジュール

小型分光モジュールは、MEMS-FPI*チューナブルフィルタとInGaAs PINフォトダイオードから成るMEMS-FPI分光センサと光源、制御回路を内蔵しています。回収ボックス内の食品トレイやペットボトルなどが、プラスチックの種類ごとに正しく回収されているかを、その場で確認できるポータブル機器への組み込みが期待されています。

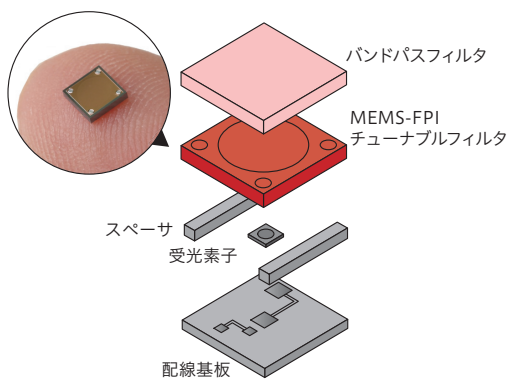
* Fabry-Perot Interferometer: ファブリペロー干渉計

項目	仕様	単位
内蔵センサ（MEMS-FPI分光センサ）	C13272-03	—
感度波長範囲	1.55 ～ 1.85	μm
波長分解能（FWHM）	20 max.	nm

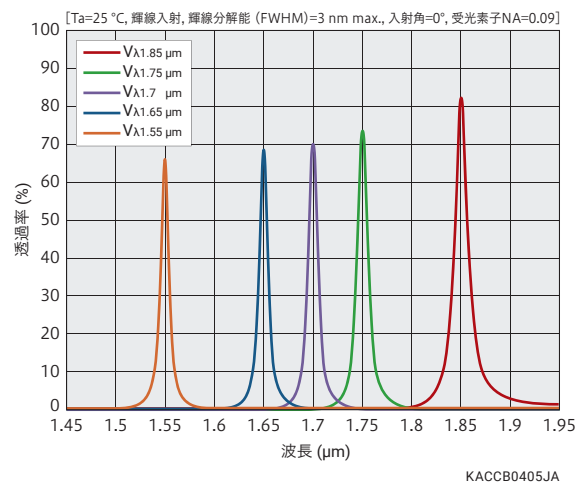
構造（MEMS-FPI分光センサ）

MEMS-FPI分光センサは、分光センサでありながら単素子の受光素子を使用しており、高価な多チャンネルの受光素子（フォトダイオードアレイ、イメージセンサ）を使用していません。光入射方向と同軸上にMEMS-FPIチューナブルフィルタと受光素子を配置するシンプルな構成でありながら、アパーチャサイズも広くできるため、光のスループットが高いというメリットもあります。

■ 内部構造



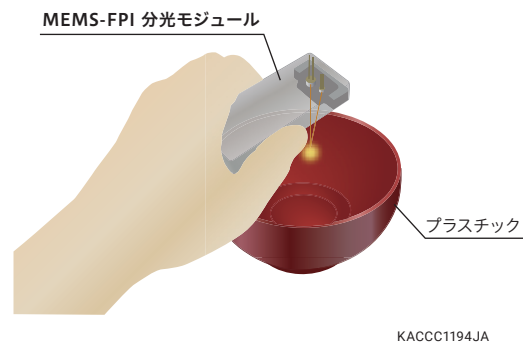
KIRDC0108JA

■ MEMS-FPIチューナブルフィルタの透過率 — 波長
(C13272-02 / -03)

応用例

タングステンランプをプラスチックに照射し、反射光をMEMS-FPI分光モジュール（C15713）で検出します。

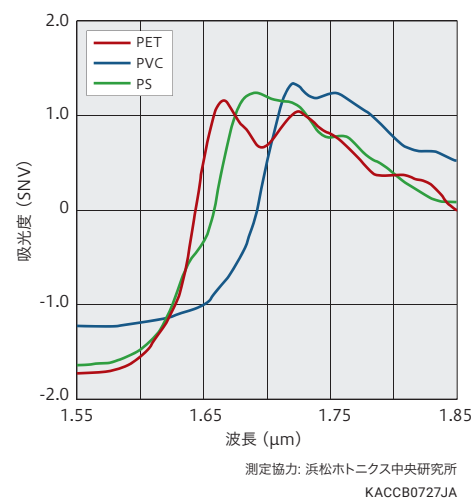
■ 測定イメージ



KACCC1194JA

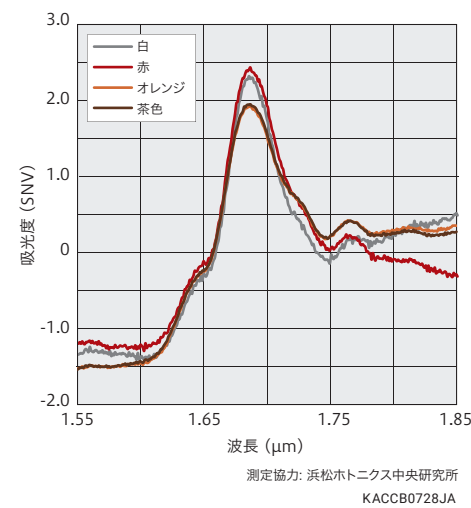
■ 白色プラスチック（PET, PVC, PS）の測定

種類の異なる白色プラスチック（PET: ポリエチレンテレフタラート, PVC: ポリ塩化ビニル, PS: ポリスチレン）の測定例です。



■ 食品用着色プラスチック（PS）の測定

着色の異なる（白、赤、オレンジ、茶色）同一プラスチック（PS）の測定例です。



白 赤 オレンジ 茶

FTIRエンジン（FT-NIR分光器） C15511-01

添加化合物を含んだプラスチックの選別が可能な
近赤外分光器

プラスチックには、着火を防いだり強度を上げるため、難燃剤や強化剤などを含んだものがあり、家電製品などで広く使われています。
FTIR*1エンジン C15511-01は、2.5 μm までの近赤外領域をカバーする手のひらサイズのフーリエ変換方式の分光器です。
難燃剤の有無でスペクトルに差が出る2.4 μm 付近まで検出できるため、難燃剤を含むプラスチックの選別が可能です。

*1: Fourier Transform Infrared Spectrometer

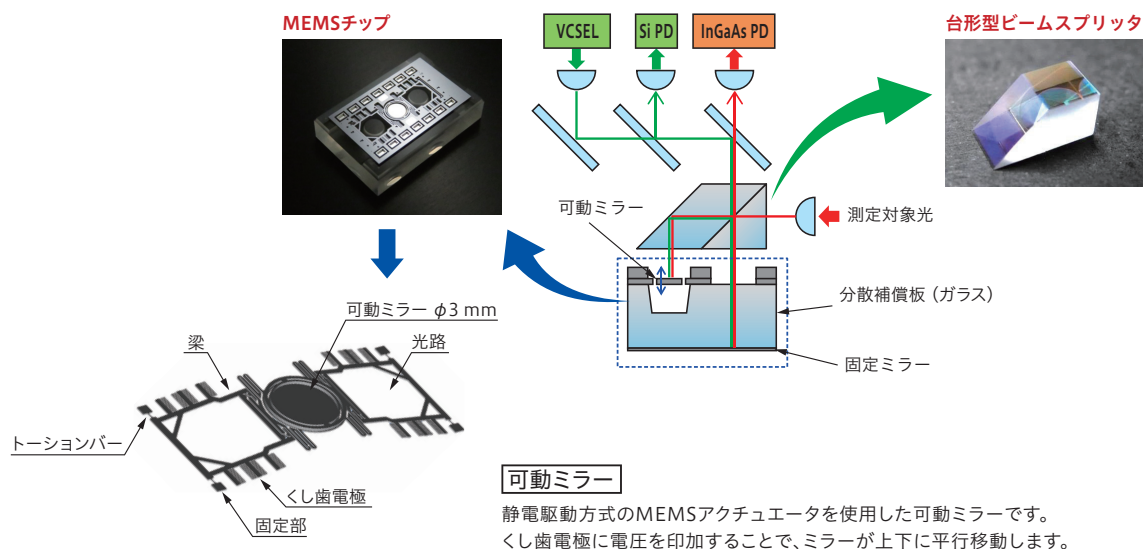
項目	仕様	単位
感度波長範囲	1.1 ～ 2.5	μm
光干渉計	マイケルソン干渉計（ $\phi 3\text{ mm}$ 可動ミラー内蔵）	—
光検出器	InGaAs PINフォトダイオード	—
光入射方式*2	光ファイバ入射型（SMAコネクタ付き）	—
インターフェース	USB 2.0	—
外形寸法図（W × H × D）	57 × 49 × 76（突起物を除く）	mm
波長分解能（FWHM）*3	5.7 typ.	nm
信号雑音比	10000:1	—
質量	約300	g

*2: 推奨光ファイバ コア径 600 μm , NA 0.22

*3: $\lambda=1.533\text{ }\mu\text{m}$

構造

測定対象光（入射光）をビームスプリッタで分割し、それぞれ可動ミラーと固定ミラーで反射して再び合成すると、干渉光が生じます。可動ミラーの位置によって変化する干渉光の強度を光検出器（InGaAs PINフォトダイオード）で検出し、その信号を演算処理（フーリエ変換）することで分光スペクトルを取得します。また、光検出器（Si PINフォトダイオード）と半導体レーザ（VCSEL）を用いて同一干渉計内で可動ミラーの位置を測定することで、波長再現性の高い分光スペクトルが得られます。

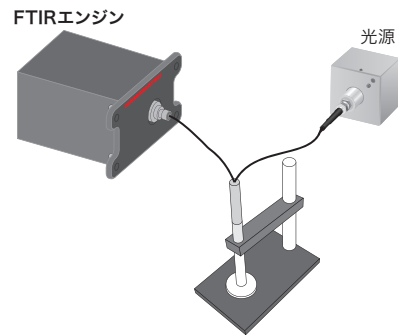


測定例

難燃剤を含んだプラスチックの選別

2～2.5 μm 帯のスペクトルの違いをみることで、プラスチックに含まれる難燃剤の選別が可能です。

■ 測定系



KACCC1133JA

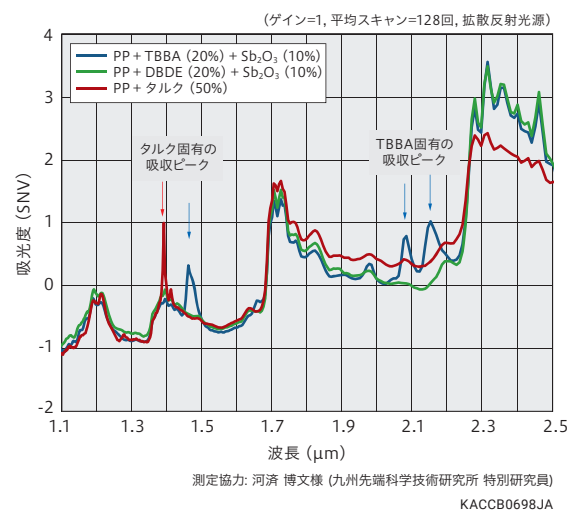
〔白色プラスチック（PP: ポリプロピレン）の選別〕

難燃剤のTBBA（テトラブロモビスフェノールA）、DBDE（デカプロモジフェニテル）、タルクの吸収スペクトルを示します。
1.4 μm 付近にピークがあるので、赤色のスペクトルはタルク固有の成分であると推測できます。また、TBBAとDBDEは近似したスペクトルですが、2.1 μm 付近のピークの違いにより、それぞれの成分を推測することが可能です。

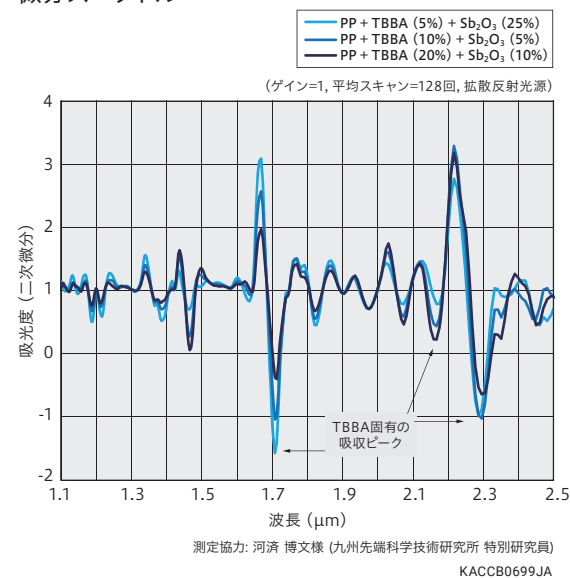
〔濃度レベルの推定〕

濃度の異なる添加化合物のTBBA（テトラブロモビスフェノールA）と Sb_2O_3 （三酸化アンチモン）を含む白色プラスチックの吸収スペクトルを示します。TBBAの濃度は、1.7 μm 、2.2 μm 、2.3 μm の吸光度の違いにより推定することが可能です。

■ 近赤外吸収スペクトル



■ 微分スペクトル



近赤外分光

拡散反射光源 L16462-01



バイオプラスチックの選別に使用可能な
近赤外分光分析用光源

拡散反射光源 L16462-01は、近赤外分光器とペアで使用する小型光源です。照射用のタングステンランプと導光用のファイバを一体化した構造により、試料から放出される光を効率よく検出できます。バイオプラスチックの選別に使用可能です。

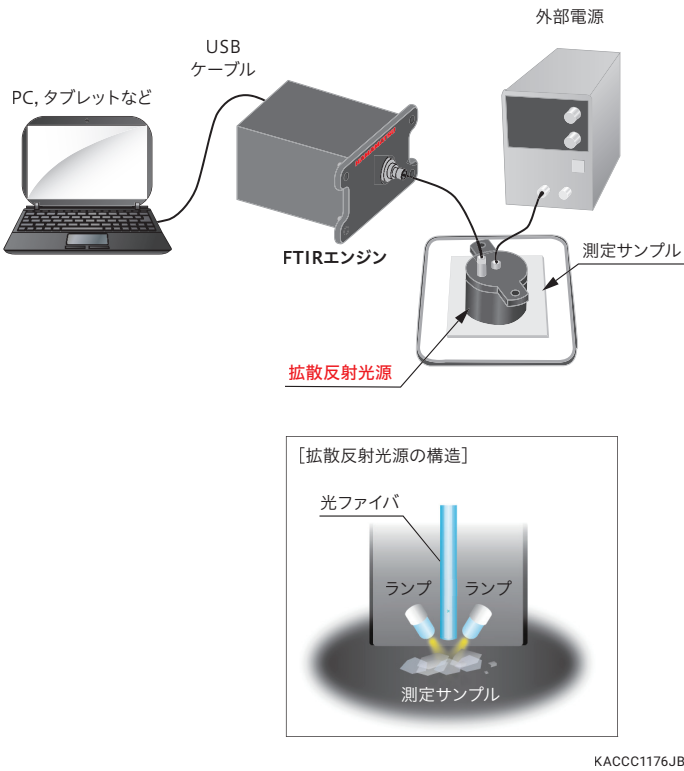
項目		仕様	単位
外形寸法（突起物を除く）		φ28×35.5	mm
内蔵ランプ (タングステンランプ)	数量	4	個
	推奨印加電圧	+5	V
	平均寿命	7000	hr

測定例

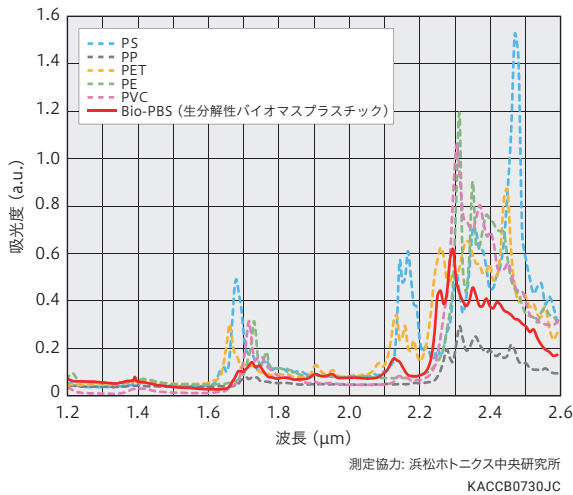
生分解性バイオプラスチックの選別

生分解性バイオプラスチックは、地球環境への負荷を著しく軽減できる素材として注目されています。非生分解性プラスチックと生分解性プラスチックの選別により効率的なりサイクルが可能となり、廃棄するプラスチックごみの削減が期待されています。

■ 測定系



■ 測定結果



近赤外分光

ミニ分光器 C14214MA



濃色プラスチックの選別が可能な
ラマン分光器

ラマン分光分析は、濃色プラスチックに含まれる顔料カーボンブラックの影響を近赤外光ほど大きく受けないため、濃色プラスチックの成分分析が可能です。吸収スペクトルのピークが鮮明に現れるため、高精度な選別が可能になり、レンズなどに使われる高機能樹脂の選別への活用が検討されています。

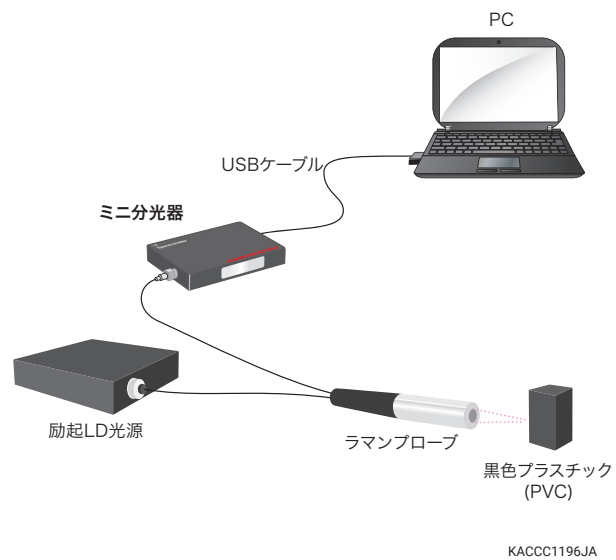
項目	仕様	単位
感度波長範囲	790 ～ 1050	nm
分解能 (FWHM)	0.4 typ.	nm
外形寸法 (W×H×D)	100×12×60	mm

測定例

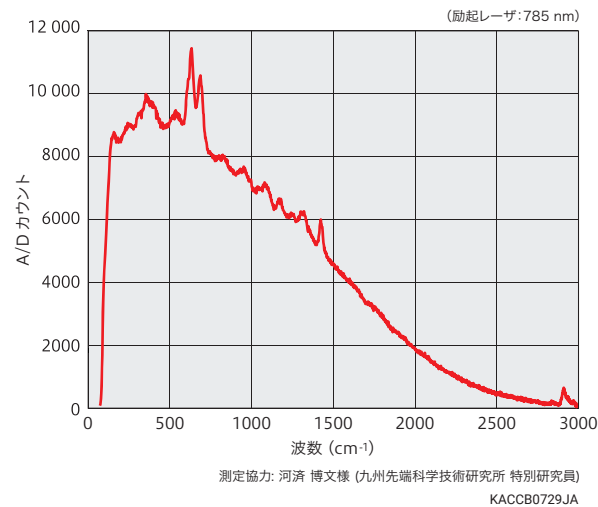
黒色プラスチック (PVC)の測定

ミニ分光器 C14214MAを使用して、黒色プラスチック (PVC: ポリ塩化ビニル)のラマン散乱光のスペクトルを測定した例です。レーザを黒色プラスチックのサンプルに照射し、ラマン散乱光をミニ分光器で検出します。

■ 構造



■ 測定結果



X線イメージング

デュアルエネルギーX線ラインセンサカメラ C11800-08U/-09U



プラスチックに含まれる異物除去に適した
X線ラインセンサカメラ

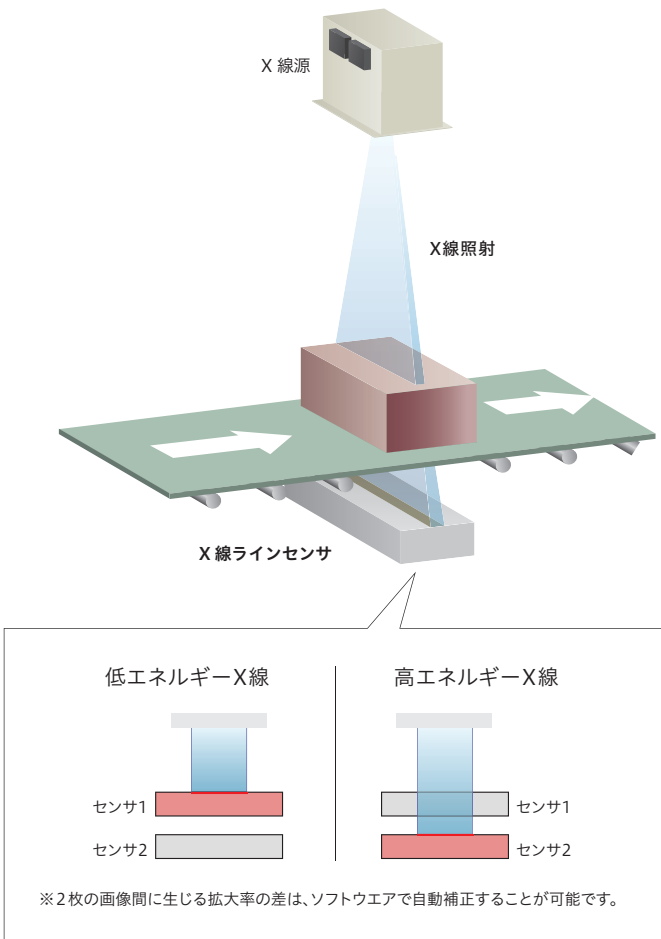
異なる材質の分別を可能にするデュアルエネルギーX線ラインセンサカメラは、高／低2つのエネルギーのX線吸収を測定し、対象物の違いによるコントラストを高めます。プラスチック選別において、異物として混入するメタル片、臭素、ガラスファイバーを含んだ複合プラスチックの検知に最適です。

型名	C11800-08U	C11800-09U	単位
カメラタイプ	デュアルエネルギー X線ラインセンサカメラ		—
推奨使用(X線感度)範囲	約25 ～ 160		kV
検出素子ピッチ	0.4		mm
検出幅	409.6	460.8	mm
対応ラインスピード	4 ～ 100		m/分
A/Dコンバータ	14		bit
制御インターフェース	USB 3.0		—
電源	DC +15 ～ +24		V

主な特長

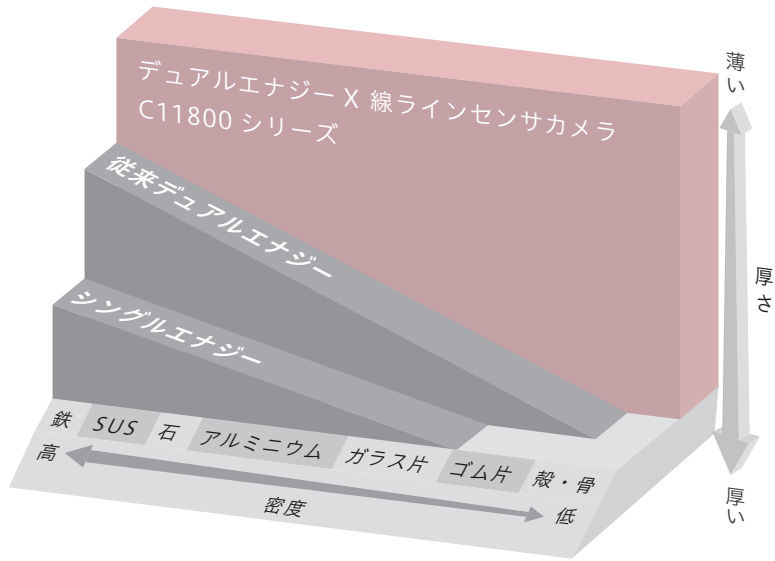
検出の”能力“を上げる技術
「DUAL[®] XTRAX[™]」を搭載した次世代X線検出器

通常のインラインX線非破壊検査では、X線透過像の濃淡の差により、材質・異物を検出しますが、実際の対象物の中には、複雑な形状やさまざまな物質の混在に起因してX線の透過度が不均一となり、濃淡だけでは材質・異物の判別が困難な場合があります。本製品は、高感度なX線検出器と次世代の演算技術を融合した技術である「DualXTRAX[®]」を搭載しています。高いハードウェア性能を活かした演算技術により、高／低2つのエネルギー画像による検出能力を大幅に向上させるとともに、背景などの不要な情報の除去が可能となり、判別能力が飛躍的に向上しました。これにより、これまで難しかった「低密度」や「薄い」対象物の高度な素材判別が可能になりました。



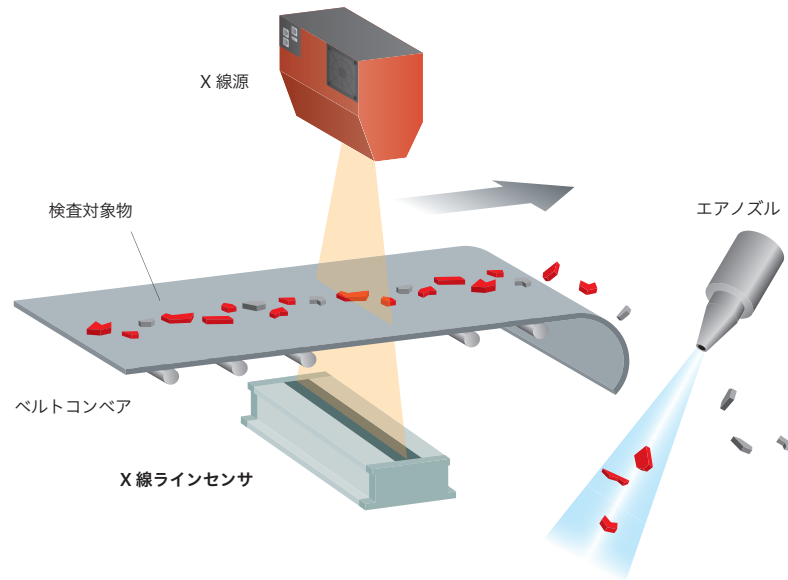
対応異物比較図

高密度から低密度まで、また薄いサンプルから厚みのあるサンプルまで、さまざまな状態の材料判別を可能にしました。

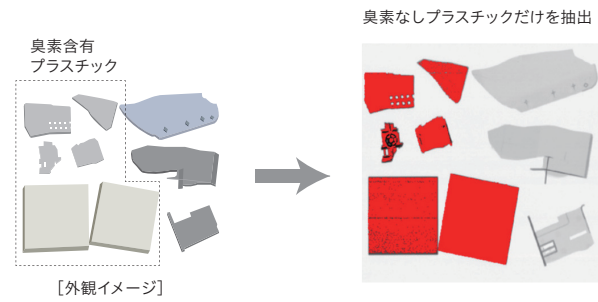


撮像例

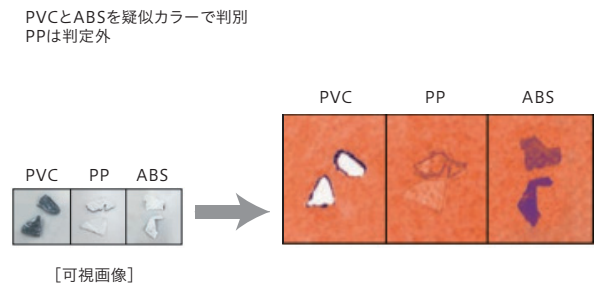
可視画像では区別できないプラスチックを、材質の含有量により選別して疑似カラー表示することが可能です。



取得画像: 難燃プラスチック

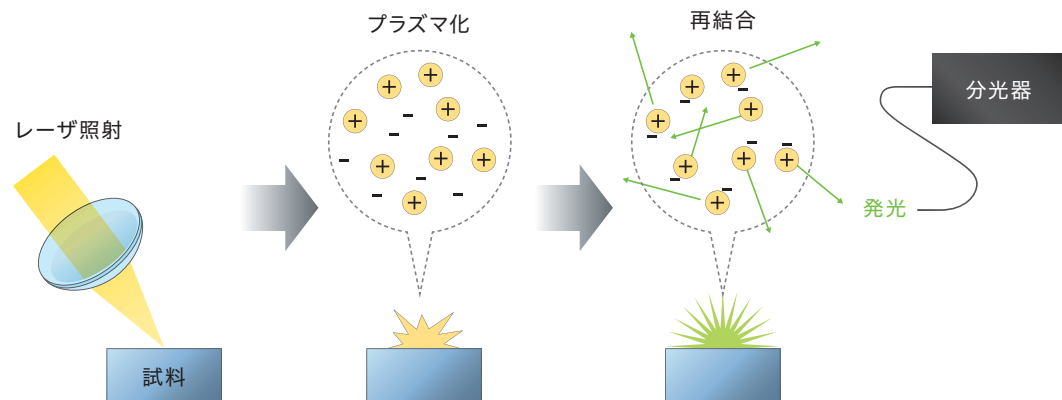


取得画像: PVC (ポリ塩化ビニル)



LIBSは試料中の元素を高速に分析する分光方式です。高いエネルギーのレーザ光を試料に照射して試料の一部をプラズマ化し、その後のプラズマの再結合時に生じる含有元素固有の発光スペクトルを測定します。試料形状（気体・液体・固体）を問わず、前処理も不要なため、プラスチック（黒色含む）や金属、ガラスなど幅広い物質の選別が可能です。

原理



製品ラインアップ

項目	発光デバイス	受光デバイス	
製品名	パルス固体レーザー	高速ゲート イメージンシファイアユニット	CCDリニア イメージセンサ
型名	L11038-11	C14245シリーズ	S15254-2048 S15351-2048
製品			
使用環境	インライン	インライン	インライン / ハンドヘルド
計測距離*1	～ 約1 m	約4 m ～ 8 m	～ 約1 m
特長	● レーザ共振器一体型 ● 小型・軽量 ● シングルショット可能 ● 空冷型	● ゲート動作で高速現象観察が可能 ● 微弱光イメージングが可能 ● 紫外域から近赤外域まで対応 ● CMOSカメラと組み合わせることでI-CMOSカメラとして使用可能	● 紫外域から高感度 ● 読み残し: 0.1% typ. ● 画素内の電荷のリセット時間: 1 μs min. ● 駆動回路 C15361シリーズ（別売）も用意

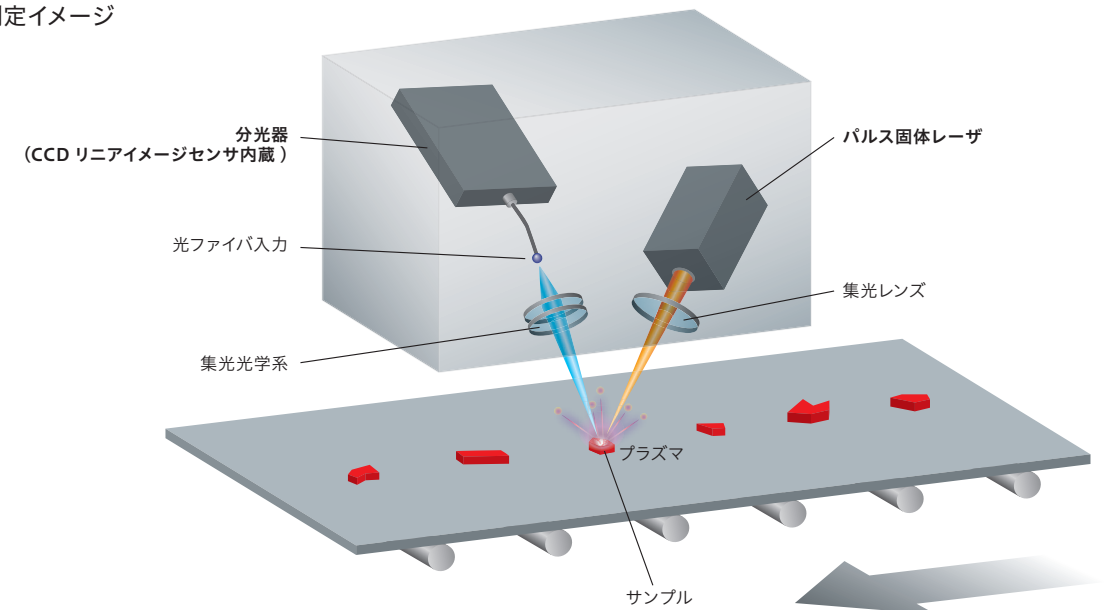
*1: 測定ユニットとサンプル間の距離

応用例

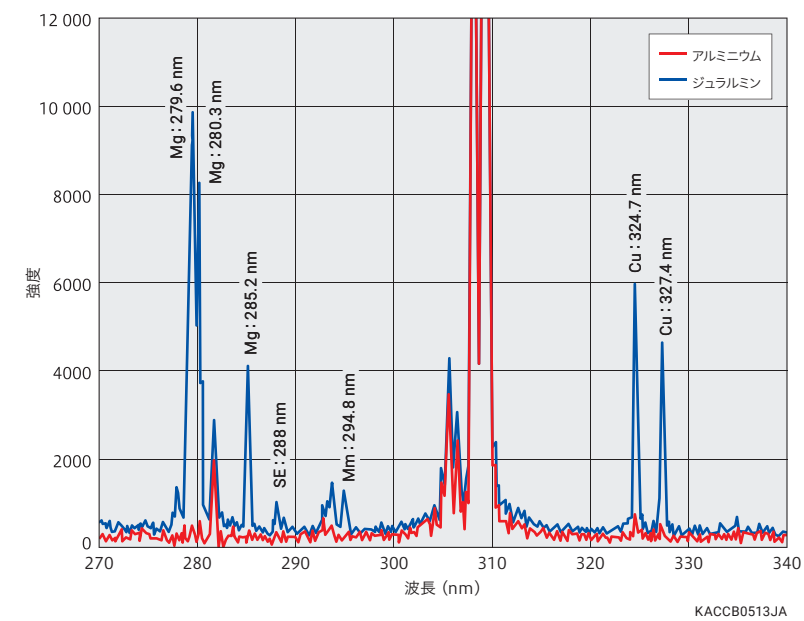
金属選別

LIBS技術を使用した選別装置によって、対象物を元素レベルで成分分析できます。含有成分の違いに着目することで、アルミニウム（純アルミニウム）やジュラルミン（アルミニウム合金）など、合金の選別も可能です。

■ 測定イメージ



■ 測定結果



営業品目

光半導体製品

- Siフォトダイオード
- APD
- MPPC®
- フォトIC
- イメージセンサ
- PSD (位置検出素子)
- 赤外線検出素子
- LED
- 光通信用デバイス
- 車載用デバイス
- X線フラットパネルセンサ
- MEMS デバイス
- ミニ分光器
- 光半導体モジュール

電子管製品

- 光電子増倍管
- 光電子増倍管モジュール
- マイクロチャンネルプレート
- イメージンテンスファイア
- キセノンランプ / キセノンフラッシュランプ
- 重水素ランプ
- 光源応用製品
- マイクロフォーカスX線源
- X線イメージングデバイス

システム応用製品

- 科学計測用カメラ
- 分光測光装置
- 超高速測光装置
- ライフサイエンス関連製品
- メディカル関連製品
- 非破壊検査関連製品
- 半導体関連製品
- 材料研究関連製品

レーザ製品

- 単素子レーザダイオード
- レーザダイオードバーモジュール
- 量子カスケードレーザ
- 半導体レーザ応用製品
- 固体レーザ
- レーザ関連製品



本カタログの詳しい情報は、
Webサイトでご覧いただけます。

- ・ DualXTRAX / MPPCは、浜松ホトニクス(株)の登録商標です。
- ・ この資料の内容は、2024年9月現在のものです。製品の仕様は、改良のため予告なく変更することがあります。
- ・ 本製品の設置、ご使用に関しましては取扱説明書などに記載されている注意事項や禁止事項をよくお読みの上、必ずお守りください。

浜松ホトニクス株式会社 www.hamamatsu.com

仙 台 営 業 所 〒980-0021 仙台市青葉区中央3-2-1 青葉通プラザ11F
東 京 営 業 所 〒100-0004 東京都千代田区大手町2-6-4 常盤橋タワー11F
中 部 営 業 所 〒430-8587 浜松市中央区砂山町325-6 日本生命浜松駅前ビル
大 阪 営 業 所 〒541-0052 大阪市中央区安土町2-3-13 大阪国際ビルディング10F
西 日 本 営 業 所 〒812-0013 福岡市博多区博多駅東1-13-6 いちご博多イーストビル5F

TEL 022-267-0121 FAX 022-267-0135
TEL 03-6757-4994 FAX 03-6757-4997
TEL 053-459-1112 FAX 053-459-1114
TEL 06-6271-0441 FAX 06-6271-0450
TEL 092-482-0390 FAX 092-482-0550