

2020.8

HAMAMATSU
PHOTON IS OUR BUSINESS

リサイクル選別装置向け技術・製品

光で持続可能な社会の実現に貢献



リサイクル選別装置向け技術・製品

限りある資源を「リサイクル」することの重要性は、近年ますます高まっています。プラスチックや金属などのリサイクル可能な物質を選別することは、リサイクルにおいて必要不可欠な工程です。その選別の工程では、光技術の応用が重要な鍵となります。

浜松ホトニクスでは長年にわたり、プラスチック選別をはじめとする、リサイクル可能な物質の選別向けの光センサや光源、カメラなどの光デバイスの提供を行ってきました。物質や用途に合った最適な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

リサイクル物質の光学識別 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

FTIRエンジン P08

MEMS-FPI分光センサ P10

ミニ分光器、分光モジュール P12

InAs光起電力素子 P13

LIBS

LIBS用 発光デバイス／受光デバイス P14

パルス固体レーザー P16

イメージインテンシファイアユニット P17

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 P18

リサイクル物質の光学識別

リサイクル可能な物質の選別には、光を応用した光学識別が用いられます。
波長や検出方式により、さまざまな物質の識別や判別が可能です。

近赤外分光

近赤外光の吸収率の違いにより、物質を識別する方式です。
近赤外光はエネルギーが小さいため、対象物の変質が抑制できます。

LIBS*1

物質の表面に短パルスレーザを照射することでプラズマを発生させ、そのプラズマの再結合時に生じる元素固有の発光スペクトルを分析することで、物質の判別を行う方式です。

*1: Laser Induced Breakdown Spectroscopy

X線イメージング(デュアルエナジーイメージング)

X線画像により材質分別を行う方式です。
高 / 低2つのX線エネルギーを用いた取得画像を演算処理することで、純金属と合金の分別をはじめ、含有の有無の可視化が可能です。

検出方式ごとで判別が可能な物質

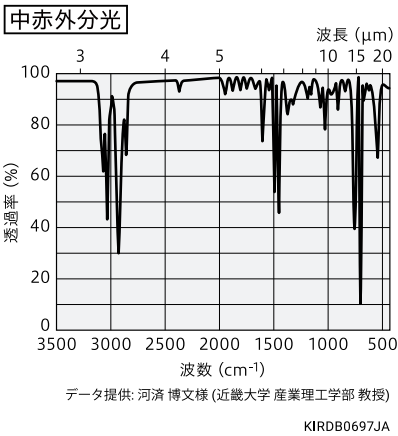
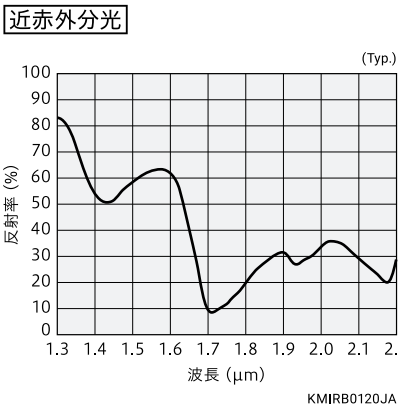
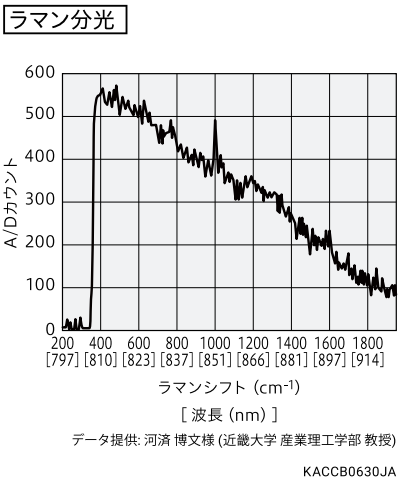
検出方式	含有有無の判別				含有物質の判別			
	プラスチック*2	アルミ	ガラス	重金属	プラスチック*2	アルミ	ガラス	重金属
近赤外分光	○	×	○	×	○	×	×	×
LIBS	△	○	△	○	△	○	△	○
X線イメージング	△	○	○	○	△	×	×	×

*2: 着色や汚れがあるものを含む

プラスチックの測定例（各種分光法とスペクトルの違い）

ポリスチレンの分光測定例です。

「ラマン分光」「近赤外分光」「中赤外分光」の3方式の違いにより、それぞれ特徴的なスペクトルが取得できます。



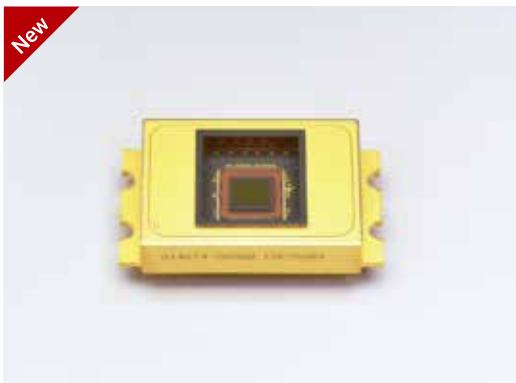
レーザ光の照射により発生するラマン散乱光を解析する方式です。ラマン散乱光はプラスチックの色に関係なく発生するため、黒色プラスチックの選別も可能です。
光源には主に半導体レーザが使用され、選別装置の小型化に貢献します。

検出デバイスの応答性の向上と解析方法の進歩により、プラスチック選別装置に、最も一般的に使用されている分光方式です。

中赤外域 (3 μm～4 μm)用の光源、検出デバイスを使用する方式です。黒色プラスチックの高速選別が可能です。

製品ラインアップ

		X線イメージングLIBS近赤外分光							
(波長)		1 pm	10 nm	400 nm	700 nm	1 μm	2.5 μm		
		X線	紫外	可視	近赤外		中赤外		
含有有無の判別	プラスチック								
	プラスチック (難燃剤含有)								
	アルミ								
	ガラス								
	重金属								
含有物質の判別	プラスチック								
	プラスチック (難燃剤含有)								
	アルミ								
	ガラス								
	重金属								
対応製品		デュアルエナジー X線ラインセンサ カメラ (P18-19)		イメージンシファイアユニット (P17)					
					パルス固体レーザ (P16)				
				CCDリニアイメージセンサ (P14-15)					
			ミニ分光器、分光モジュール (P12)						
			InGaAsエリアイメージセンサ (P6-7)						
			FTIRエンジン (P8-9)						
			MEMS-FPI分光センサ (P10-11)						
				InAs光起電力素子 (P13)					



ハイパースペクトルカメラ用近赤外イメージセンサ

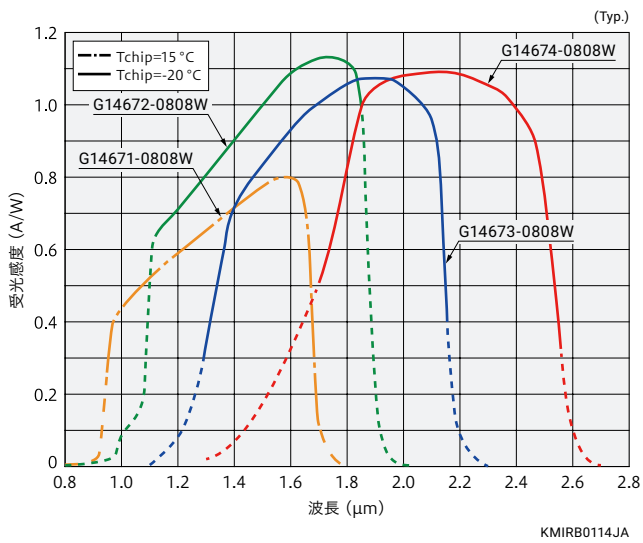
1.69 μm ～2.55 μm のカットオフ波長を実現したG14671～G14674-0808Wをプラスチック選別用のハイパースペクトルカメラに搭載し撮影することで、肉眼では見分けにくい物質の成分の違いを画像化することが可能です。
また、G14674-0808Wは、難燃剤の有無でスペクトルに差が出る2.4 μm 付近の波長まで検出できるため、家電製品で広く使われる難燃剤を含むプラスチックの選別も可能になります。

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（部分読み出し機能あり）max.				fps

主な特長

● カットオフ波長: 2.55 μm (G14674-0808W)

難燃剤を含むプラスチックの識別に対応可能です。
1.69 / 1.85 / 2.15 μm のカットオフ波長のタイプも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

New G14674-0808W

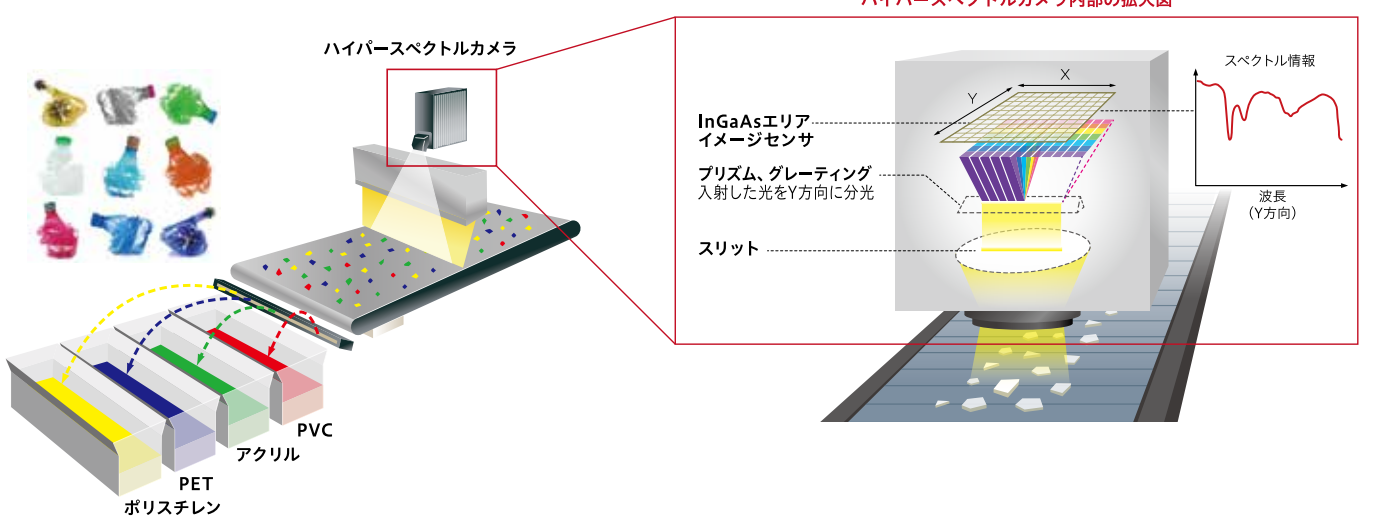
228 fps max. ➡ 509 fps max.

応用例

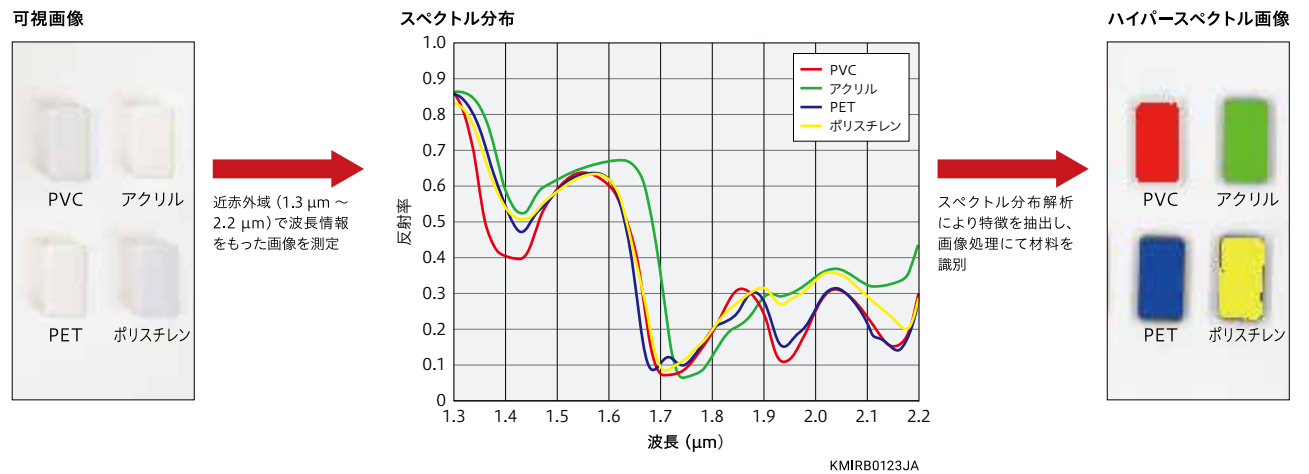
ハイパースペクトルイメージングを用いたプラスチック選別

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が、その際に、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。





ポータブル機器に組み込み可能な近赤外分光器

手のひらサイズのフーリエ変換型近赤外分光器（FTIR*1）です。
一般的にFTIRは据置型が主流で、高分解能、高速測定が可能です。本製品は、弊社独自のMEMS技術・実装技術を光干渉計部分に応用することで、FTIRの特長をそのままに小型化を実現しました。
小型化によりポータブル機器への組み込みが可能になり、測定対象のある場所におけるリアルタイムなプラスチック選別に貢献します。

*1: Fourier Transform Infrared Spectrometer

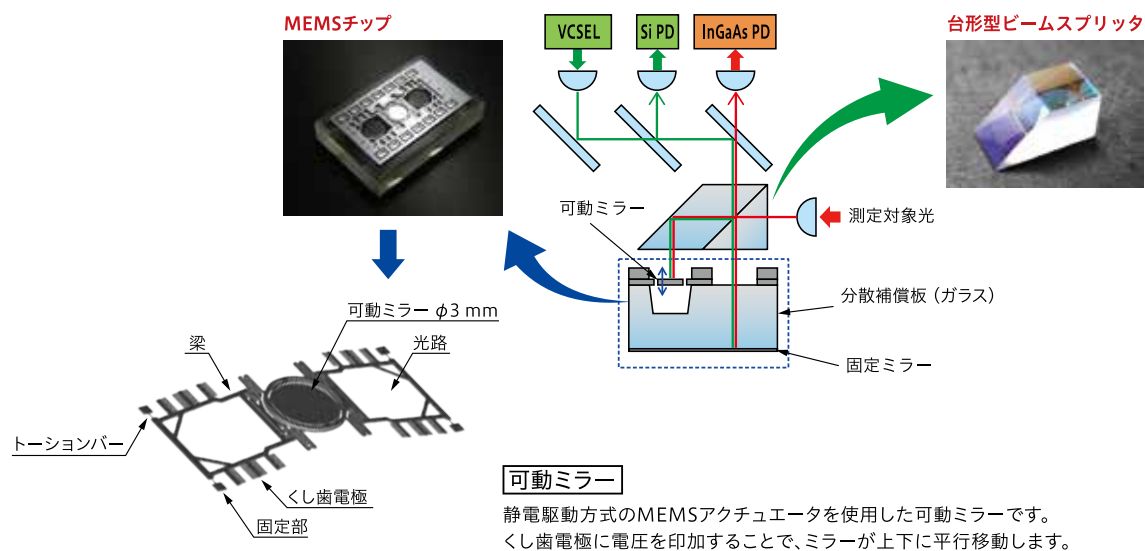
項目	仕様	単位
感度波長範囲	1.1 ～ 2.5	μm
光干渉計	マイケルソン干渉計（φ3 mm 可動ミラー内蔵）	—
光検出器	InGaAs PINフォトダイオード	—
光入射方式*2	光ファイバ入射型（SMAコネクタ付き）	—
インターフェース	USB 2.0	—
外形寸法図（W × H × D）	57 × 49 × 76（突起物を除く）	mm
波長分解能（FWHM）*3	5.7 typ.	nm
信号雑音比	10000:1	—
質量	約300	g

*2: 推奨光ファイバ コア径 600 μm, NA 0.22

*3: λ=1.533 μm

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）と半導体レーザー（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。

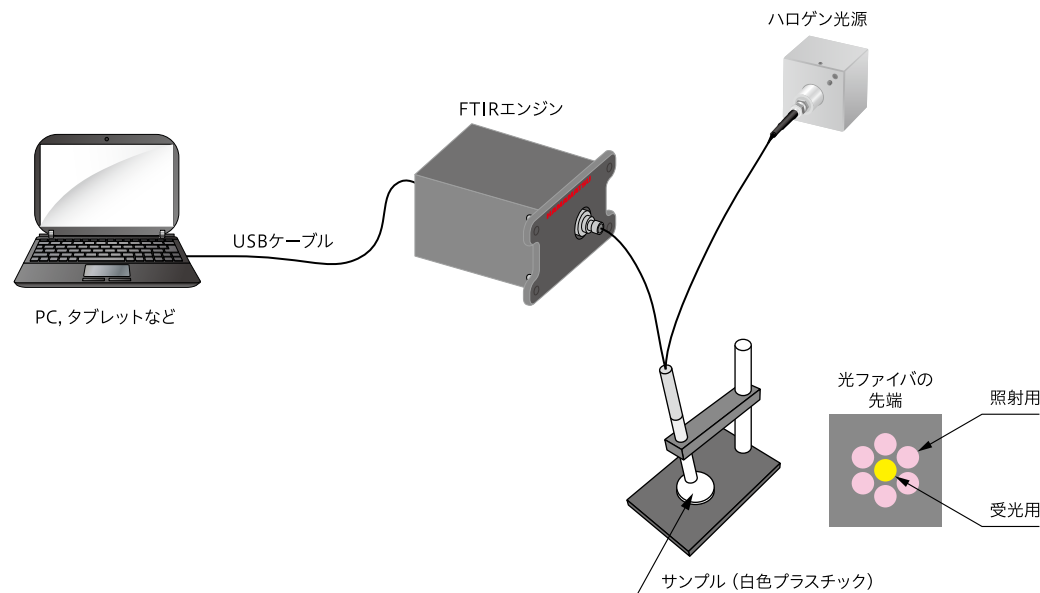


測定例

難燃剤を含む白色プラスチック（PP）の測定

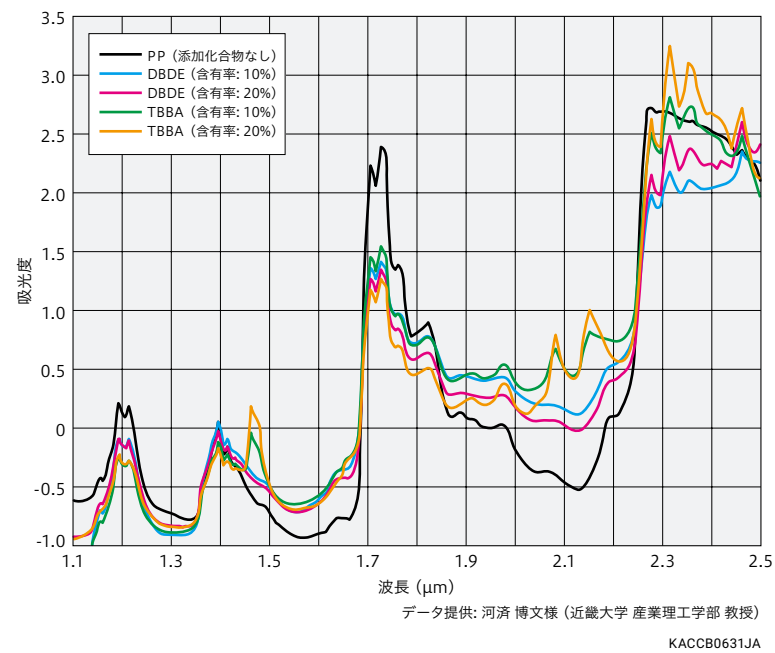
白色プラスチックに含まれる難燃剤の添加化合物（DBDE: デカブロモジフェニエーテル, TBBA: テトラブロモビスフェノールA）の含有率に応じた吸収スペクトルを測定した例です。ハロゲン光源からの光を白色プラスチック（PP: ポリプロピレン）に照射し、反射光をFTIRエンジンで検出します。

● 測定系



KACCC1024JA

● 測定結果



KACCB0631JA

MEMS-FPI分光センサ C14272, C13272-02/-03, C14273



簡易選別に適した超小型分光センサ

印加する電圧を変化させて透過波長を可変できるMEMS-FPI*1チューナブルフィルタとInGaAs PINフォトダイオードを1パッケージに収めた超小型センサです。近赤外分光による単一素材のプラスチック選別に応用が可能です。本製品を組み込むリサイクル選別機器の小型化に貢献します。

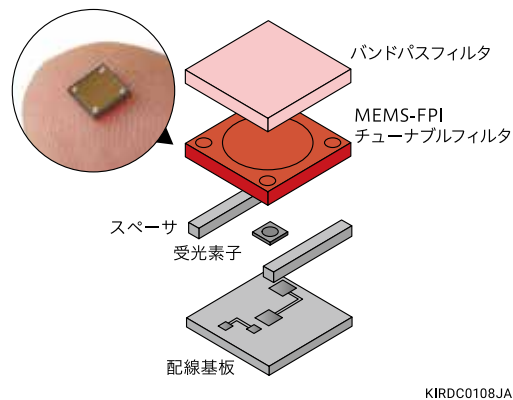
* 1: Fabry-Perot Interferometer: ファブリペロー干渉計

型名	C14272	C13272-02 / -03	C14273	単位
感度波長範囲	1.35 ~ 1.65	1.55 ~ 1.85	1.75 ~ 2.15	μm
波長分解能 (FWHM)	18 max.	20 max.	22 max.	nm

構造

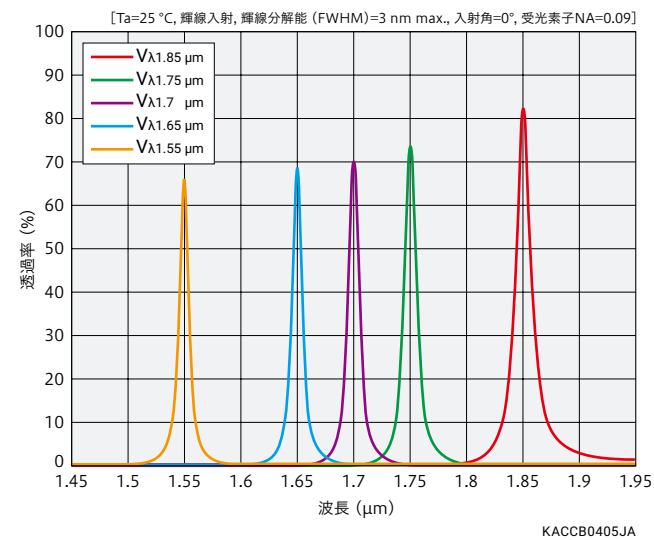
MEMS-FPI分光センサは、分光センサでありながら単素子の受光素子を使用しており、高価な多チャンネルの受光素子（フォトダイオードアレイ、イメージセンサ）を使用していません。光入射方向と同軸上にMEMS-FPIチューナブルフィルタと受光素子を配置するシンプルな構成でありながら、アパーチャサイズも広くできるため、光のスループットが高いというメリットもあります。

● 内部構造



KIRDC0108.JA

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



分光モジュール C15712, C15713, C15714



MEMS-FPI分光センサと光源を一体化した小型分光モジュールです。PCとUSB接続することにより、スペクトルの測定が可能です。

タングステンランプ

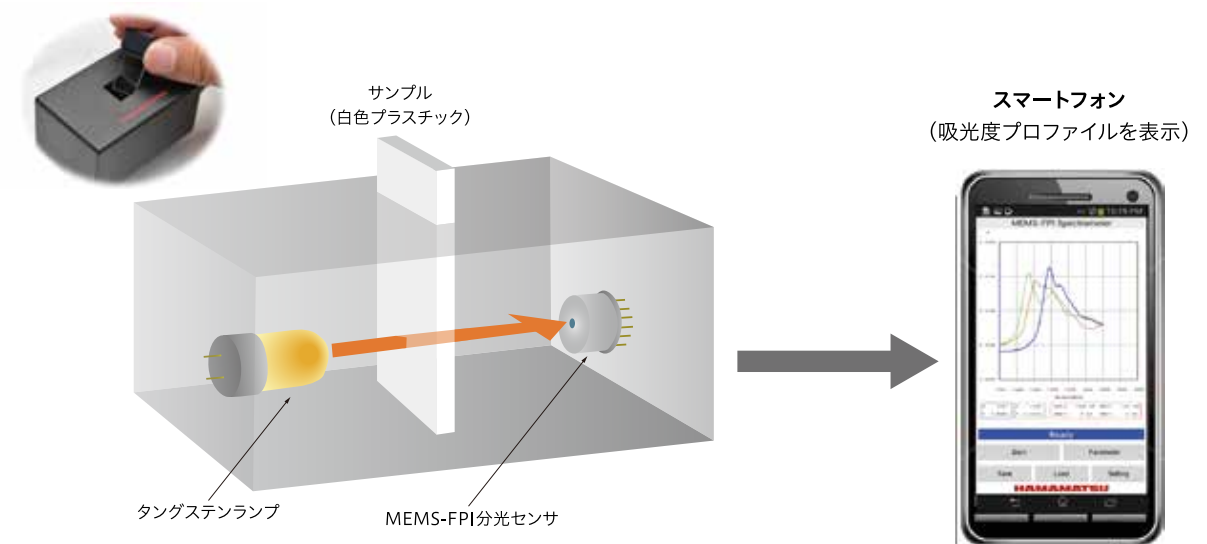
MEMS-FPI分光センサ

測定例

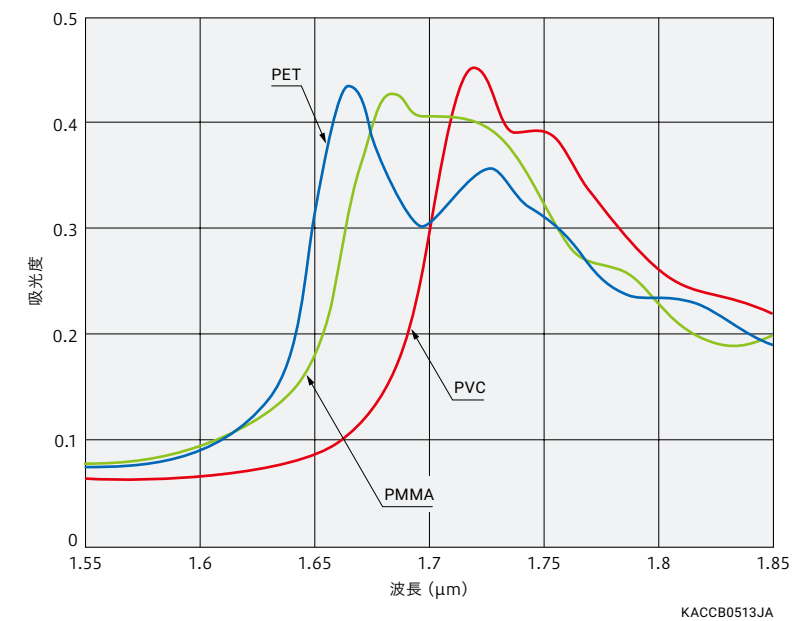
白色プラスチック (PET, PVC, PMMA) の測定

白色プラスチック (PET: ポリエチレンテレフタレート, PVC: ポリ塩化ビニル, PMMA: アクリル樹脂) を測定した例です。タングステンランプを白色プラスチックに照射し、透過光をMEMS-FPI分光センサ (C13272-02: 1.55 μm ~ 1.85 μm) で検出します。

● 測定系



● 測定結果



近赤外分光

ミニ分光器、分光モジュール C14214MA, C13054MA / C13560



組み込み型ラマン分光器

C14214MA・C13054MAは、785 nmレーザに適したラマン分光用のミニ分光器です。C13560は、ミニ分光器と785 nmレーザを内蔵した分光モジュールです。分光モジュールは、USBバスパワーのみで測定することが可能です。黒色プラスチックにおいてもラマン散乱光は発生するため、本製品を組み込んだリサイクル選別機器を使用することで、黒色プラスチックの選別が可能です。

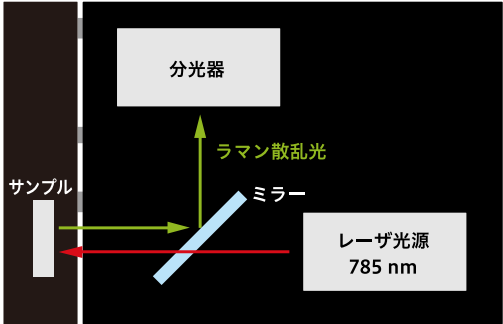
製品名	ミニ分光器 C14214MA	ミニ分光器 C13054MA	分光モジュール（レーザ内蔵） C13560	単位
製品				—
感度波長範囲	790 ～ 1050	790 ～ 920	790 ～ 920	nm
波長分解能 (FWHM)	0.4 typ.	0.4 typ.	—	nm
外形寸法 (W×H×D)	100×12×60	80×12×60	96×14.5×60	mm

測定例

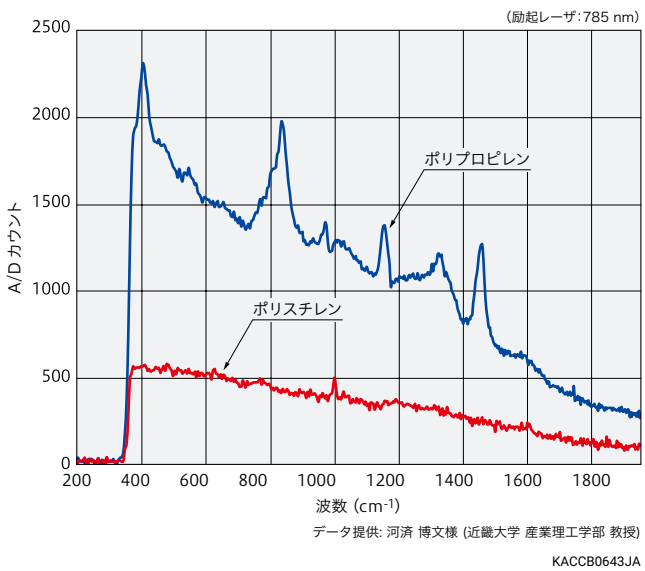
黒色プラスチック (PS, PP)の測定

分光モジュールのC13560を使用して黒色プラスチック (PS: ポリスチレン, PP: ポリプロピレン)のラマン散乱光スペクトルを測定した例です。785 nmレーザを黒色プラスチックのサンプルに照射し、ラマン散乱光を分光モジュールで検出します。

● 構成



● 測定結果



中赤外分光

InAs光起電力素子 P10090-01, P10090-11, P10090-21

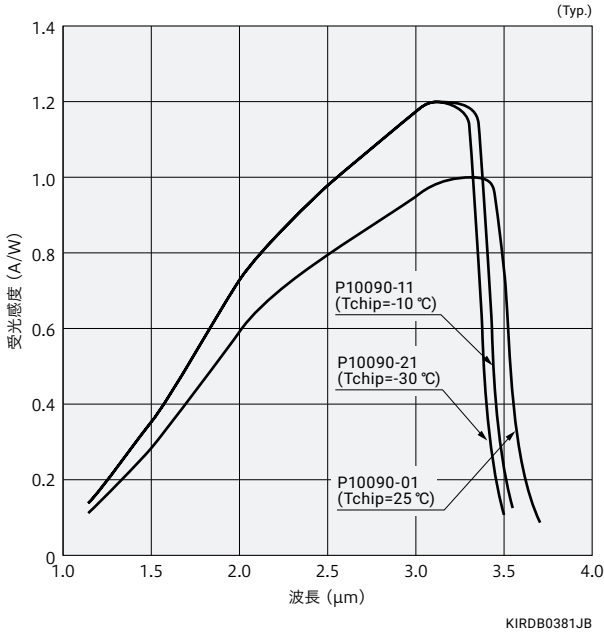


黒色プラスチックの選別に適した中赤外受光素子

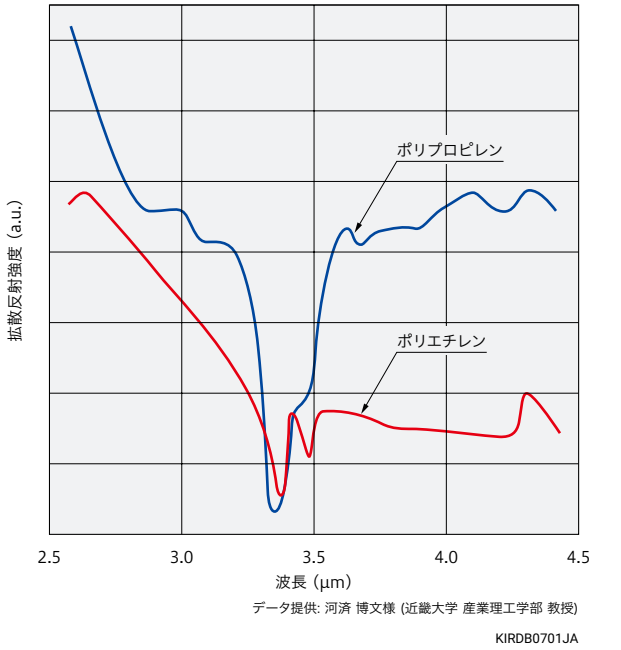
InAs光起電力素子は3 μm付近で高感度を実現しています。黒色プラスチック選別への応用が可能です。なお、本製品にはRoHS指令制限物質を含んでいません。

型名	P10090-01	P10090-11	P10090-21	単位
冷却	非冷却	1段電子冷却	2段電子冷却	—
受光面サイズ	φ1			mm
パッケージ	TO-5	TO-8		—
カットオフ波長	3.65	3.55	3.45	μm

● 分光感度特性



● 黒色プラスチック (PP, PE)の吸収スペクトル



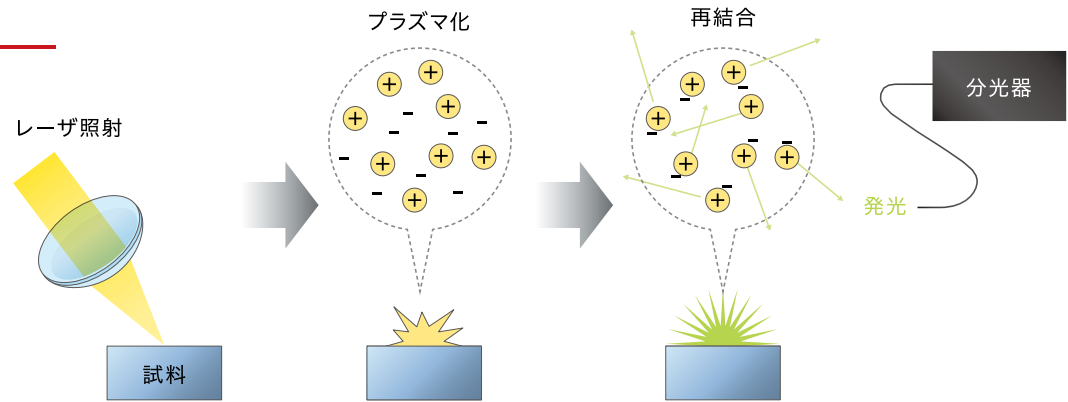
プリアンプ付赤外検出モジュール C12492-210

InAs光起電力素子を内蔵したアンプ一体型モジュールです。直流電源を接続するだけで赤外線を検出できるため、取り扱いが容易です。用途に応じた特注品にも対応が可能です。



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の固有スペクトルを測定します。試料形質（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 高エネルギータイプ	パルス固体レーザ	パルス固体レーザ	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	—	L15438-01	L11038-11	C14245シリーズ	S15254-2048 S15351-2048
製品					
用途	インライン	インライン / ハンドヘルド	顕微鏡	インライン	インライン / ハンドヘルド
計測距離*1	約4 m ～ 8 m	～ 約1 m	～ 約1 m	約4 m ～ 8 m	～ 約1 m

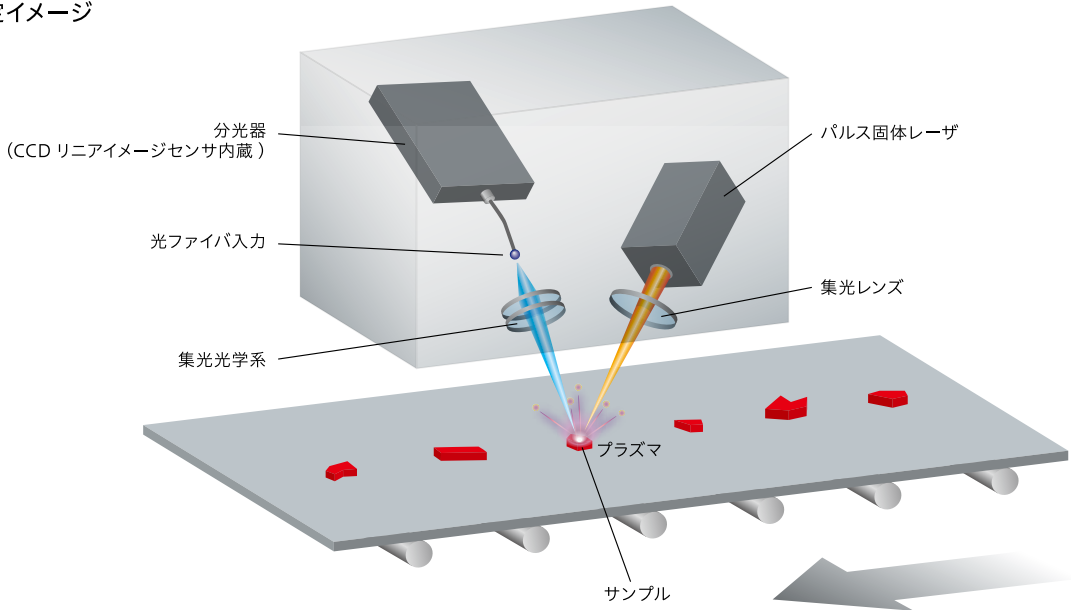
*1: 測定ユニットとサンプル間の距離

応用例

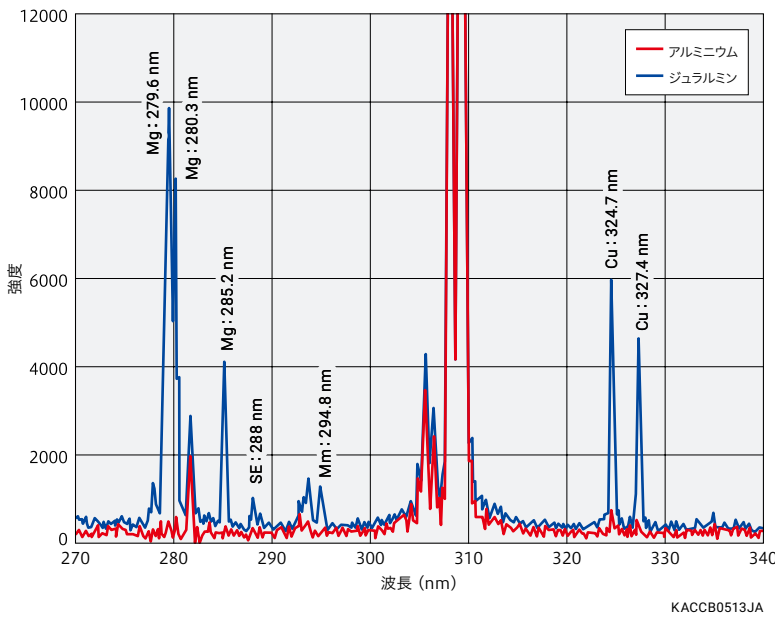
金属選別

LIBS技術を使用した選別機によって、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）などの金属を元素レベルで成分分析し、選別することが可能です。

● 測定イメージ



● 測定結果



LIBS

パルス固体レーザー L11038-11, L15438-01



小型軽量でシングルショット可能な短パルスレーザー

弊社独自の技術により、レーザー共振器を一体型にすることで、共振器のアライメント調整の必要がないメンテナンスフリー・コンパクトを実現した受動Qスイッチ型の短パルスレーザーです。LIBS用途で必要とされる、シングルショット、ハイパワーかつ小型軽量、空冷型の要素を有しています。

また、L15438-01は、インライン計測用の装置への搭載が容易な電源内蔵型光源となっています。

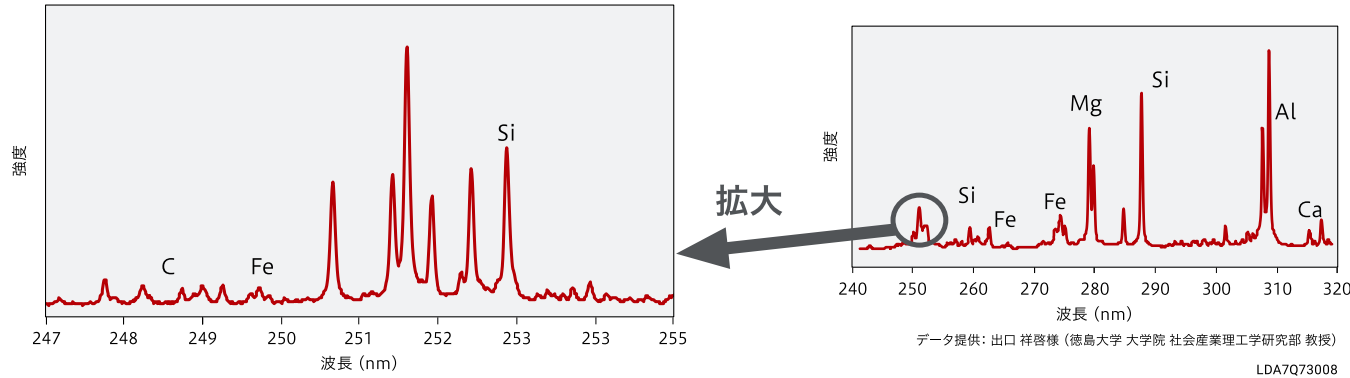
型名	L11038-11	New L15438-01	単位
波長	1064		nm
パルスエネルギー	2	8	mJ
パルス幅	0.5 ~ 2	<2	ns
繰り返し周波数	100*1	シングルショット~10*2	Hz
冷却方式	空冷		—
レーザークラス	3B		—
備考	電源別置 (AC100 V ~ 240 V)	電源一体型 (DC+24 V/Max.2 A)	—

*1: カスタムでシングルショット対応への調整可能

*2: 外部からTTLでトリガ信号を入力することで、シングルショット ~ 10 Hzのレーザー出力可能

● 石炭・石炭灰・鋼鉄スラグの元素組成

石炭、石炭灰、鋼鉄スラグなどの主成分であるFe、Si、Ca、Al、Cの元素組成計測に成功しました。

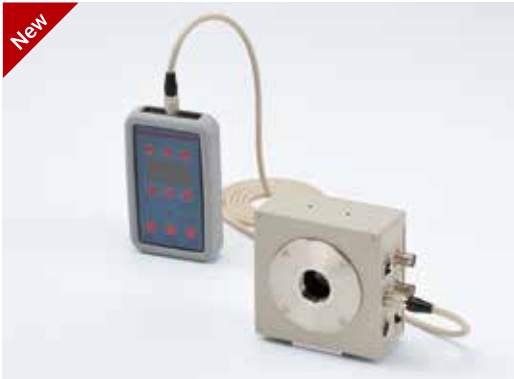


パルス固体レーザー 高エネルギータイプ

最大パルスエネルギー80 mJのシングルショットが可能なLD励起Qスイッチ固体レーザーです。強制空冷方式のため冷却水は不要となり、取り回しや設置などが容易となります。

LIBS

イメージンテンシファイアユニット C14245シリーズ



瞬間的な微弱光も高精度に捉える映像増強ユニット

カメラに接続することで高速現象の極めて短時間の瞬間像を捉えるができるゲート動作付映像増強ユニットです。ゲート動作はカメラのシャッターと同じ機能で、この動作を電氣的に行うことでナノ秒単位のゲート時間を実現します。また、入射光を数千倍から数百万倍に増強できるため、微弱な発光現象の観察も可能です。さらに光電面の感度特性により、紫外域～近赤外域でのイメージングが可能です。

項目		仕様	単位
光電面		マルチアルカリ	—
感度波長範囲		185 ~ 900	nm
入出力面サイズ*1		φ18*2	mm
映像増強度	1MCP	1.1 × 10 ⁴ typ.	(lm/m ²)/lx
	2MCP	4.0 × 10 ⁶ typ.	
限界解像度	1MCP	64 typ.	Lp/mm
	2MCP	57 typ.	
動作制御		コントローラ / PC(USB)	—
動作モード		連続動作あるいはゲート動作	—
ゲート動作*3		ゲート時間 3 ns ~ DC / 最大ゲート繰り返し周波数 30 kHz	—

*1: φ25 mmタイプも選択可能

*2: 有効エリアは12.8 mm × 9.6 mm

*3: ゲート機能付きタイプのみ

接続例

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です。



LIBS

CCDリニアイメージセンサ S15254-2048, S15351-2048

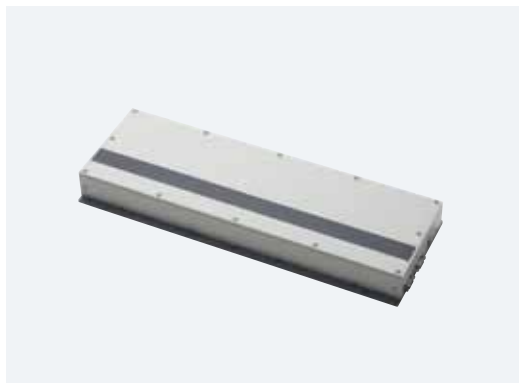
型名	New S15254-2048	New S15351-2048	単位
感度波長範囲	200 ~ 1100	200 ~ 1000	nm
画素サイズ	14 × 200		μm
有効画素数	2048		画素
ラインレート	4 max.	2.3 max.	kHz
変換効率	10 typ.	7.5 typ.	μV/e ⁻
暗電流	8000 typ.	700 typ.	e ⁻ /pixel/s
飽和電荷量	200 typ.	400 typ.	ke ⁻
読み出しノイズ	30 typ.*4	40 typ.*5	e ⁻ rms

* 4 : 読み出し周波数=5 MHz

* 5 : 読み出し周波数=2.5 MHz

CCDリニアイメージセンサを搭載した分光器も開発中

デュアルエネルギーX線ラインセンサカメラ C11800-08U/-09U

高 / 低2つのエネルギー画像を取得 / 演算することで
検出能力を高めたX線ラインセンサカメラ

1つのX線源で高 / 低2つのエネルギー画像の取得を同時に行い、2枚の画像を演算処理することで、シングルエネルギーでは検出できなかった材質・異物の判別を可能にします。

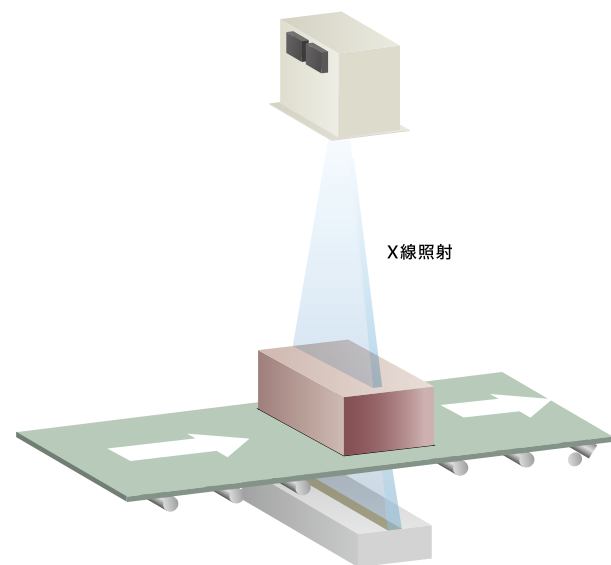
型名	C11800-08U	C11800-09U	単位
カメラタイプ	デュアルエネルギー X線ラインセンサカメラ		—
推奨使用(X線感度)範囲	約25 ~ 160		kV
検出素子ピッチ	0.4		mm
検出幅	409.6	460.8	mm
対応ラインスピード	4 ~ 100		m/分
A/Dコンバータ	14		bit
制御インターフェース	USB 3.0		—
電源	DC +15 ~ +24		V

主な特長

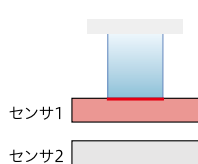
検出の”能力“を上げる技術

「DUAL^XTRAX」を搭載した次世代X線検出器

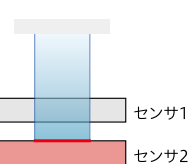
通常のインラインX線非破壊検査では、X線透過像の濃淡の差により、材質・異物を検出しますが、実際の対象物の中には、複雑な形状やさまざまな物質の混在に起因してX線の透過度が不均一となり、濃淡だけでは材質・異物の判別が困難な場合があります。本製品は、高感度なX線検出器と次世代の演算技術を融合した技術である「Dual^XTRAX」を搭載しています。高いハードウェア性能を活かした演算技術により、高 / 低2つのエネルギー画像による検出能力を大幅に向上させるとともに、背景などの不要な情報の除去が可能となり、判別能力が飛躍的に向上しました。これにより、これまで難しかった「低密度」や「薄い」対象物の高度な素材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



低エネルギーX線



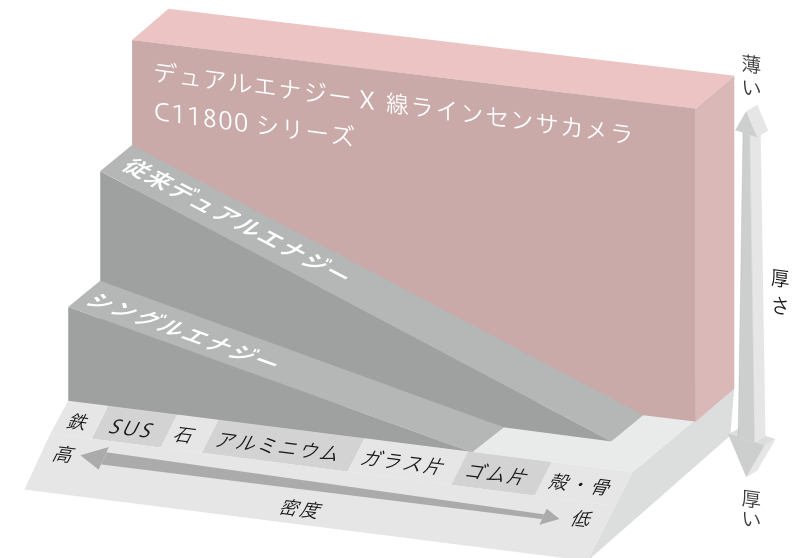
高エネルギーX線



※2枚の画像間に生じる拡大率の差は、ソフトウェアで自動補正することが可能です。

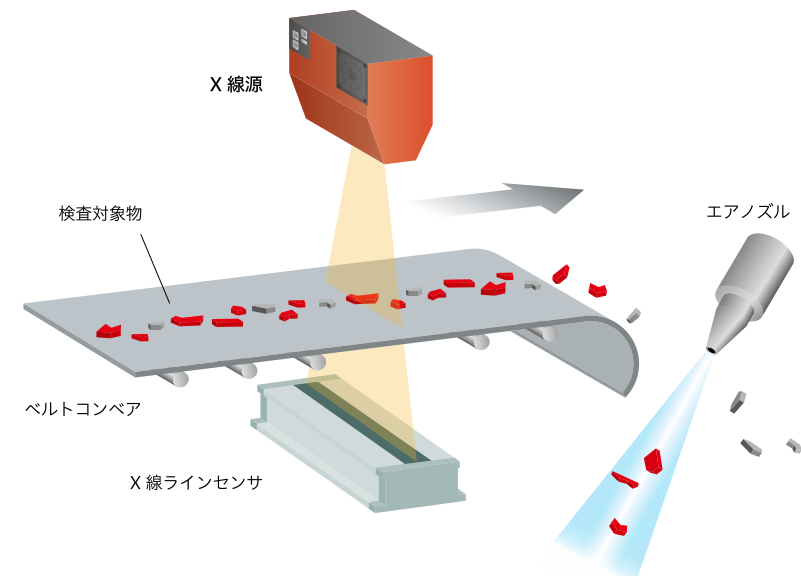
対応異物比較図

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。

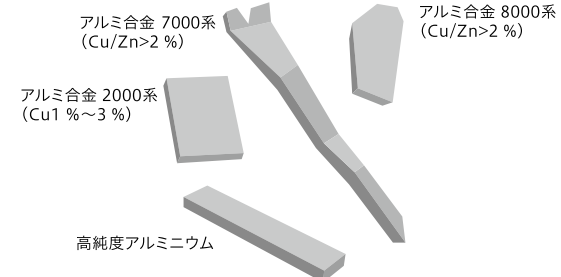


撮像例

可視画像では区別できないアルミニウム合金を、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。



● サンプル外観イメージ



● 取得画像

高純度アルミニウムだけを抽出



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
- 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
- イメージインテンシファイア
- 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
- レーザ応用製品
- 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

- 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

- 半導体レーザ及び応用製品
- 固体レーザ

・この資料の内容は、2020年8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	TEL 022-267-0121	FAX 022-267-0135
筑 波 営 業 所	〒305-0817 茨城県つくば市研究学園5-12-10 研究学園スクウェアビル7F	TEL 029-848-5080	FAX 029-855-1135
東 京 営 業 所	〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-8-21 虎ノ門33森ビル5F	TEL 03-3436-0491	FAX 03-3433-6997
中 部 営 業 所	〒430-8587 静岡県浜松市中区砂山町325-6 日本生命浜松駅前ビル	TEL 053-459-1112	FAX 053-459-1114
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	TEL 06-6271-0441	FAX 06-6271-0450
西日本営業所	〒812-0013 福岡県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 092-482-0390	FAX 092-482-0550