

### 3. 2. 2 火山表面現象遠隔観測技術の開発

#### (1) 業務の内容

- (a) 業務題目 先端的な火山観測技術の開発  
サブテーマ2 リモートセンシングを活用した火山観測技術の開発  
サブテーマ2-2 火山表面現象遠隔観測技術の開発」

#### (b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
国立研究開発法人防災科学技術研究所 火山研究推進センター	主任研究員	實渕 哲也	
	主任研究員	三輪 学央	
	契約研究員	長井 雅史	

#### (c) 業務の目的

火山の地熱温度分布、噴煙、火山ガス、火山灰、溶岩流、火砕流等の表面現象の面的観測情報は、火山の活動度や火山災害の状況把握に資する重要な情報となる。これらの観測を実現するために、航空機や地表からの遠隔観測技術（リモートセンシング）による機動的な観測が活用されている。本業務では、これらの観測の現状の技術的課題を克服した遠隔観測技術を開発し、火山の表面現象の定量化・噴火ポテンシャル（切迫性）の判定の高精度化、噴火事象系統樹の分岐判断等に資する新たな観測装置を開発することを目的とする。

本事業では、現状の航空機搭載型画像分光装置と赤外カメラの技術的課題を改善し、より実用的な装置の実現を目的とし、両装置の利点を合わせ持つ、地上での観測とヘリコプター等搭載による上空からの斜め観測に両用できる小型温度ガス可視化カメラ（SPIC）を開発する。開発する小型温度ガス可視化カメラ（SPIC）は、非冷却型赤外カメラ（SPIC-UC）、冷却型赤外カメラ（SPIC-C）、画像分光前置光学系（ISH）、スペクトル・構造推定カメラ（SPIC-SS）の一群の装置から構成されるシステムである。各装置は最終的に可搬型の装置の実現を目指し、手持ち、フィールド設置、車載、航空機搭載等の多様な設置、運用形態の実現、及び、直下、水平、斜め観測等の多様な観測方向の実現ができる装置とする。

#### (d) 10か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

##### 1) 平成28年度：

非冷却型赤外カメラの狭帯域特性評価の狭帯域波長感度特性を検証（改善項目の基礎データ取得）する。

カメラ開発用校正装置整備：既存のスキヤナ用校正装置と合わせて利用するカメラ型センサーの開発に必要な校正装置の導入を行う。

画像分光用前置光学系：フィルター分光方式の概念設計の実施を行う。

スペクトル・構造推定カメラ：ストラクチャ推定ソフトの導入を行う。汎用性のあるコントロールソフトを導入する。スペクトル推定手法の検討を行う。

スペクトル推定用データベース構築（データ取得装置整備）：スペクトルデータベースを取得するための分光装置と精密切断装置を導入する。

2) 平成29年度：

非冷却型赤外カメラセンサーヘッド部構築：VGA 非冷却型カメラ広帯域（波長 8-14 $\mu$ m）型を導入する。同期計測機構を構築する。

冷却型赤外カメラセンサーヘッド部構築：MWIR(波長 3~5 $\mu$ m)領域の VGA カメラセンサーヘッドを構築する。

画像分光用前置光学系：ブレードボードモデルの構築を行う。非冷却型赤外 FPA とフィルター分光方式の試験を行う。

スペクトル・構造推定カメラ（カメラセンサーヘッド整備）：CMOS 型 FPA を有するカメラセンサーヘッドと分光フィルターを導入する。スペクトル推定手法、ストラクチャ推定手法の検討を行う。

スペクトル推定用データベース構築（データ取得装置整備、スペクトル計測）：スペクトルデータベースを取得するための画像分光装置の導入と岩石スペクトル計測を行う。

3) 平成30年度：

非冷却型赤外カメラセンサーヘッド部構築：XGA 非冷却型カメラ広帯域（波長 8-14 $\mu$ m）型を導入する。同期計測機構を構築する。

冷却型赤外カメラセンサーヘッド部構築：LWIR(波長 7.5~9.5 $\mu$ m)領域の VGA カメラセンサーヘッドを構築する。

画像分光用前置光学系：ブレードボードモデルの構築を行う。非冷却型赤外 FPA と干渉分光方式の試験を行う。

スペクトル・構造推定カメラ（カメラセンサーヘッド整備）：CMOS 型 FPA を有するカメラセンサーヘッドと分光フィルターを導入する。スペクトル推定手法、ストラクチャ推定手法の検討を行う。

スペクトル推定用データベース構築（スペクトル計測）：スペクトルデータベースを構築するための岩石スペクトル計測を行う。

4) 平成31年度：

非冷却型赤外カメラ構築：スペクトル・構造推定カメラ（SPIC-SS）、VGA 非冷却型カメラ広帯域（波長 8-14 $\mu$ m）型、XGA 非冷却型カメラ広帯域（波長 8-14 $\mu$ m）型からなる非冷却型赤外カメラ（SPIC-UC）を構築し、それらを一体化したプロトタイプ・構造（SPIC-UC/SS）を完成させる。

冷却型赤外カメラ構築：スペクトル・構造推定カメラ（SPIC-SS）、MWIR(波長 3~5 $\mu$ m)領域の VGA カメラセンサーヘッドと LWIR(波長 7.5~9.5 $\mu$ m)領域の VGA カメラセンサーヘッドからなる冷却型赤外カメラ（SPIC-C）を構築し、それらを一体化したプロトタイプ（SPIC-C/SS）を完成させる。

画像分光用前置光学系：プロトタイプ構築を行う。非冷却型赤外 FPA と一体化した画像分光装置のプロトタイプ (ISH) を完成する。

スペクトル・構造推定カメラ（アルゴリズム開発）：スペクトル推定手法、ストラクチャ推定手法の検討を行う。

スペクトル推定用データベース構築（スペクトル計測）：スペクトルデータベースを構築するための岩石スペクトル計測とスペクトルデータベースフォーマットの検討を行う。

5) 平成32年度：

非冷却型赤外カメラ構築：VGA 非冷却型カメラ広帯域（波長 8-14  $\mu\text{m}$ ）型、XGA 非冷却型カメラ広帯域（波長 8-14  $\mu\text{m}$ ）型からなる非冷却型赤外カメラ (SPIC-UC) のプロトタイプをフィールドタイプに改造し小型化する。

冷却型赤外カメラ構築：MWIR (波長 3~5  $\mu\text{m}$ ) 領域の VGA カメラセンサーヘッドと LWIR (波長 7.5~9.5  $\mu\text{m}$ ) 領域の VGA カメラセンサーヘッドからなる冷却型赤外カメラ (SPIC-C) のプロトタイプを改造し小型化する。

画像分光用前置光学系：非冷却型赤外 FPA と一体化した画像分光装置のプロトタイプ (ISH) を改造し小型化する。

スペクトル・構造推定カメラ（ハード・アルゴリズム開発）：スペクトル・構造推定カメラ (SPIC-SS) のプロトタイプを改造し小型化する。スペクトル推定手法、ストラクチャ推定手法の検討を行う。

スペクトル推定用データベース構築（スペクトル計測）：スペクトルデータベースを構築するための岩石スペクトル計測とスペクトルデータベースフォーマットの検討を行う。

6) 平成33年度：

非冷却型赤外カメラ構築：VGA 非冷却型カメラ広帯域（波長 8-14  $\mu\text{m}$ ）型、XGA 非冷却型カメラ広帯域（波長 8-14  $\mu\text{m}$ ）型からなる非冷却型赤外カメラ (SPIC-UC) のフィールドタイプを完成する。

冷却型赤外カメラ構築：MWIR (波長 3~5  $\mu\text{m}$ ) 領域の VGA カメラセンサーヘッドと LWIR (波長 7.5~9.5  $\mu\text{m}$ ) 領域の VGA カメラセンサーヘッドからなる冷却型赤外カメラ (SPIC-C) のフィールドタイプを完成する。

画像分光用前置光学系：非冷却型赤外 FPA と一体化した画像分光装置 (ISH) のフィールドタイプを完成する。

スペクトル・構造推定カメラ（ハード・アルゴリズム開発）：スペクトル・構造推定カメラ (SPIC-SS) のフィールドタイプを完成する。SPIC-UC、SPIC-C との一体化手法を構築する。スペクトル推定手法、ストラクチャ推定手法の検討を行う。

スペクトル推定用データベース構築（スペクトル計測）：スペクトルデータベースを構築するための岩石スペクトル計測とスペクトルデータベースフォーマットの検討を行う。

7) 平成34年度：

非冷却型赤外カメラ構築：VGA 非冷却型カメラ広帯域（波長 8-14  $\mu\text{m}$ ）型、XGA 非冷却型カメラ広帯域（波長 8-14  $\mu\text{m}$ ）型からなる非冷却型赤外カメラ (SPIC-UC) のフィールドタイプを車載型とする。

冷却型赤外カメラ構築：MWIR(波長 3~5  $\mu\text{m}$ )領域の VGA カメラセンサーヘッドと LWIR(波長 7.5~9.5  $\mu\text{m}$ )領域の VGA カメラセンサーヘッドからなる冷却型赤外カメラ (SPIC-C) のフィールドタイプを車載型とする。

画像分光用前置光学系：非冷却型赤外 FPA と一体化した画像分光装置 (ISH) のフィールドタイプを車載型とする。

スペクトル・構造推定カメラ（ハード・アルゴリズム開発）：スペクトル・構造推定カメラ (SPIC-SS) のフィールドタイプを車載型とする。スペクトル推定手法、ストラクチャ推定手法の検討を行う。

開発した装置を用いた試験観測を箱根山（大涌谷）等で行う。

スペクトル推定用データベース構築（スペクトル計測）：スペクトルデータベースを構築するための岩石スペクトル計測とスペクトルデータベース試作版の開発を行う。

#### 8) 平成 35 年度：

非冷却型赤外カメラ構築：VGA 非冷却型カメラ広帯域（波長 8-14  $\mu\text{m}$ ）型、XGA 非冷却型カメラ広帯域（波長 8-14  $\mu\text{m}$ ）型からなる非冷却型赤外カメラ (SPIC-UC) の車載型を改造し航空機搭載仕様とする。

冷却型赤外カメラ構築：MWIR(波長 3~5  $\mu\text{m}$ )領域の VGA カメラセンサーヘッドと LWIR(波長 7.5~9.5  $\mu\text{m}$ )領域の VGA カメラセンサーヘッドからなる冷却型赤外カメラ (SPIC-C) の車載型を改造し航空機搭載仕様とする。

画像分光用前置光学系：非冷却型赤外 FPA と一体化した画像分光装置 (ISH) の車載型を改造し航空機搭載仕様とする。

スペクトル・構造推定カメラ（ハード・アルゴリズム開発）：スペクトル・構造推定カメラ (SPIC-SS) の車載型を改造し航空機搭載仕様とする。スペクトル推定手法、ストラクチャ推定手法の検討を行う。

スペクトル推定用データベース構築（スペクトル計測）：スペクトルデータベースを構築するための岩石スペクトル計測を行う。

#### 9) 平成 36 年度：

非冷却型赤外カメラ構築：VGA 非冷却型カメラ広帯域（波長 8-14  $\mu\text{m}$ ）型、XGA 非冷却型カメラ広帯域（波長 8-14  $\mu\text{m}$ ）型からなる非冷却型赤外カメラ (SPIC-UC) の航空機搭載型を完成する。

冷却型赤外カメラ構築：MWIR(波長 3~5  $\mu\text{m}$ )領域の VGA カメラセンサーヘッドと LWIR(波長 7.5~9.5  $\mu\text{m}$ )領域の VGA カメラセンサーヘッドからなる冷却型赤外カメラ (SPIC-C) の航空機搭載型を完成する。

画像分光用前置光学系：非冷却型赤外 FPA と一体化した画像分光装置 (ISH) の航空機搭載型

を完成する。

スペクトル・構造推定カメラ（ハード・アルゴリズム開発）：スペクトル・構造推定カメラ（SPIC-SS）の航空機搭載型を完成する。スペクトル推定手法、ストラクチャ推定手法の検討を行う。

スペクトル推定用データベース構築（スペクトル計測）：スペクトルデータベースを構築するための岩石スペクトル計測を行う。

#### 10) 平成37年度：

試験観測：VGA非冷却型カメラ広帯域（波長8-14 $\mu$ m）型、XGA非冷却型カメラ広帯域（波長8-14 $\mu$ m）型からなる非冷却型赤外カメラ（SPIC-UC）、MWIR（波長3~5 $\mu$ m）領域のVGAカメラセンサーヘッドとLWIR（波長7.5~9.5 $\mu$ m）領域のVGAカメラセンサーヘッドからなる冷却型赤外カメラ（SPIC-C）、非冷却型赤外FPAと一体化した画像分光装置（ISH）、スペクトル・構造推定カメラ（SPIC-SS）の各装置のフィールド型、車載型、航空機搭載型を用いた観測を実施する。他の現業機関への装置の試験的提供（量産型製作）の検討を行う。

スペクトル推定手法、ストラクチャ推定手法の検討を行う。・スペクトル推定用データベース構築（スペクトル計測）：岩石スペクトル計測を行う。スペクトルデータベース完成版を構築する。

#### (e) 平成28年度業務目的

平成28年度は、計画の初年度であり、今後の研究開発の基盤となる開発環境整備および開発する装置の概念設計を行う。具体的には、以下の検討を実施する。

##### 1) SPIC-UC、ISH、SPIC-SSの開発

現状の非冷却型カメラ広帯域（波長8-14 $\mu$ m）型の狭帯域波長感度特性を検証し、以降の改善項目の基礎データを得る。また画像分光用前置光学系の候補となる各種画像分光方式の概念設計を行う。またスペクトル・構造推定カメラでアルゴリズム開発に使用するソフト、カメラのコントロールソフトの導入を行う。またスペクトル推定手法の理論的検討を行う。

##### 2) 較正装置整備

研究開発の基盤となるカメラ開発用較正装置を整備する。主としてカメラ型センサーの開発に必要な較正装置を導入し、以降の開発環境を整える。

##### 3) スペクトル推定用データベース構築のためのデータ取得装置整備

SPIC-SSで使用するスペクトル推定用データベース構築のためのデータ取得装置の整備を行う。そのために、スペクトルデータベースを取得するための分光装置と試料調整用の精密切断装置、攪拌播潰機の導入を行う。

## (2) 平成28年度の成果

### (a) 業務の要約

今後の開発で必要な改善項目の基礎データ取得の為、非冷却型カメラ広帯域（波長 8-14 $\mu$ m）型の狭帯域波長感度特性を検証した。また開発する画像分光用前置光学系（ISH）の候補となる画像分光方式の概念設計（フィルター分光方式）およびスペクトル推定手法の理論的検討（重回帰分析手法）を行った。また、以降の研究開発の基盤となる開発環境整備として、スペクトル・構造推定カメラでアルゴリズム開発に使用するソフト、カメラのコントロールソフトの整備、カメラ開発用校正装置（平面黒体炉、キャビティ黒体炉）の整備、スペクトルデータベースを取得するための分光装置（積分球付紫外可視近赤外分光装置、顕微紫外可視近赤外分光装置）とそれらに供する試料調整用の精密切断装置、攪拌播潰機の整備を行い以降の開発環境を整えた。

### (b) 業務の成果

#### 1) SPIC-UC、ISH、SPIC-SS の開発

##### a) 非冷却型カメラ広帯域（7-14 $\mu$ m）型の狭帯域波長感度特性の検証

非冷却型カメラ狭帯域特性評価装置を試作しその評価を実施した。また画像分光用前置光学系の候補となる画像分光方式の概念設計として、干渉フィルターの透過光を想定した非冷却型カメラ広帯域（7-14 $\mu$ m）型の狭帯域波長感度特性をシミュレーションにより評価するとともに平面黒体、干渉フィルターにより実測して検証した。

非冷却型カメラ狭帯域特性評価装置として赤外光源、フィルターユニット、積分球、赤外カメラからなる積分球型非冷却型カメラ狭帯域特性評価装置を構成した。積分球は Hanssen (1998)<sup>1)</sup>を参考に設計して製作した。図1にその概要と装置の写真を示す。この図では赤外光源部はシリコンカーバイト光源であるが、光源は平面黒体、キャビティ黒体（校正装置の項参照）に置き換えることができる。フィルターユニットは複数枚のフィルターをホイールに搭載し、フィルターを透過したエネルギーを積分球に導入する。積分球は入射光を拡散し、上部の赤外カメラから積分球内部のエネルギー分布を計測できる。積分球は光源から導入された光のエネルギー分布が赤外カメラの評価視野内で、輝度ムラがなく均一になるよう設計した。構成した実機によりこの輝度ムラを計測し、赤外カメラの視野内の均一性（輝度温度ムラの標準偏差 0.1 $^{\circ}$ C以下）を確認した。導入された入射光スポットのエネルギー分布と赤外カメラの評価視野内の均一性の計測結果を図2に示す。

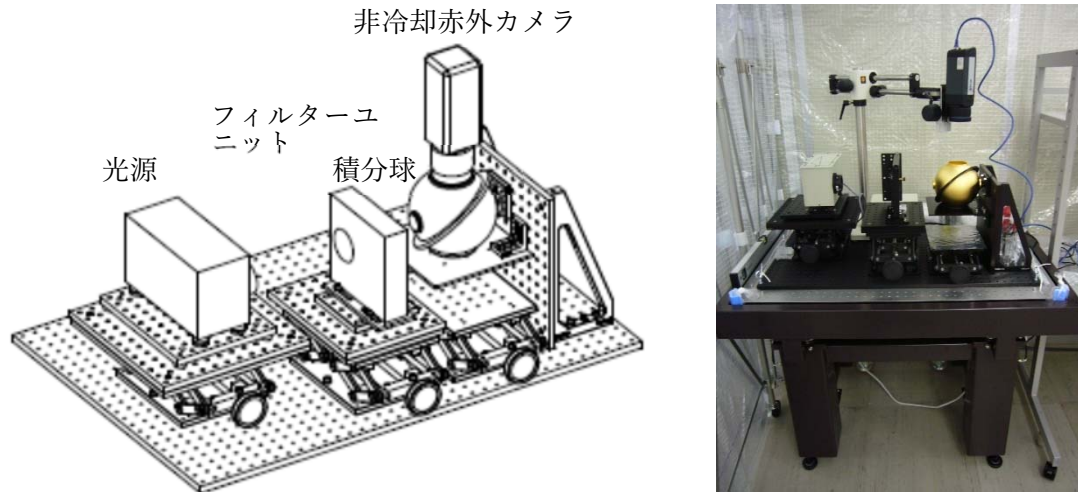


図1 積分球型非冷却型カメラ狭帯域特性評価装置 (左) 概要図、(右) 装置写真

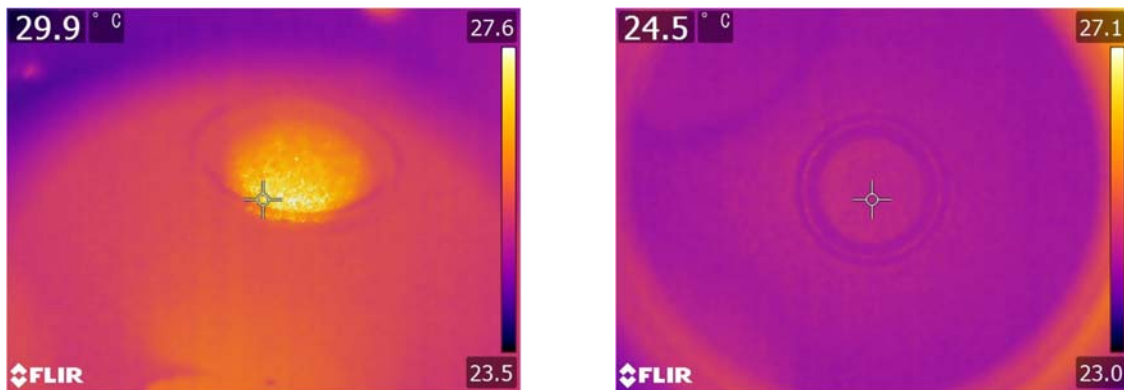


図2 積分球型非冷却型カメラ狭帯域特性評価装置の積分球内部の輝度ムラ (左) 入射光スポット、(右) 赤外カメラの評価視野

今後開発する画像分光用前置光学系 (ISH) の候補となる画像分光方式の装置の概念設計として、干渉フィルターの透過光を想定した非冷却型カメラ広帯域 (波長  $7\text{--}14\ \mu\text{m}$ ) 型の狭帯域波長感度特性のシミュレーションプログラムを作成した。本プログラムの検証をかね、校正装置として整備した平面黒体炉を  $49.2^\circ\text{C}$  に設定 (室温  $22.7^\circ\text{C}$ ) し、3種の干渉フィルター (LPF: 波長  $9000\text{nm}$  以上を透過するロングパスフィルター、BBPF: 波長  $8000\text{--}9200\text{nm}$  を透過するブロードバンドパスフィルター、BPF: 波長  $8370\text{--}8920\text{nm}$  を透過するバンドパスフィルター) を透過した平面黒体炉のエネルギーの実測 (輝度温度換算) により、非冷却型カメラ広帯域 ( $7\text{--}14\ \mu\text{m}$ ) 型の狭帯域波長感度特性を検証した。その結果、LPF のシミュレーション値は  $41^\circ\text{C}$ 、実測値は  $41.3^\circ\text{C}$ 、BBPF のシミュレーション値は  $30^\circ\text{C}$ 、実測値は  $29.8^\circ\text{C}$ 、BPF のシミュレーション値は  $27^\circ\text{C}$ 、実測値は  $26.5^\circ\text{C}$  であった。実測の結果を図3に示す。

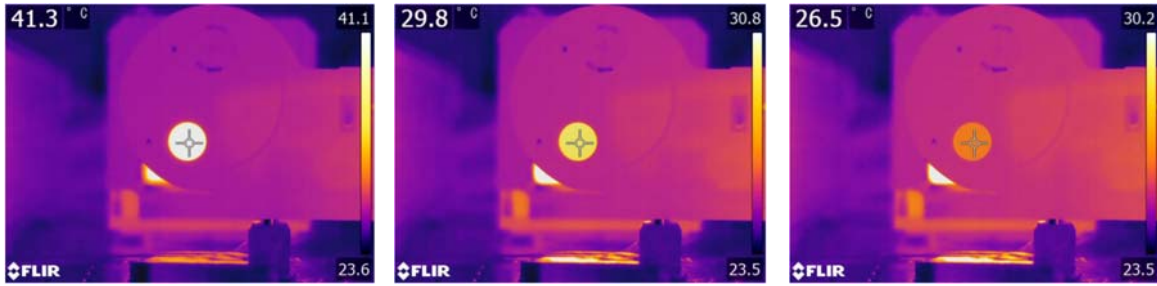


図3 3種の干渉フィルター（LPF:波長9000nm以上を透過するロングパスフィルター、BBPF:波長8000-9200nmを透過するブロードバンドパスフィルター、BPF:波長8370-8920nmを透過するバンドパスフィルター）を透過した平面黒体炉のエネルギーの実測結果（輝度温度表示）

b) スペクトル・構造推定カメラでアルゴリズム開発に使用するソフト、カメラのコントロールソフトの導入

SfM (Structure from Motion) ルーチンを有するソフト (Matlab)、汎用性のあるコントロールソフト (LabVIEW) を導入した。

c) スペクトル推定手法の理論的検討

スペクトル推定手法として多変量解析処理手法の重回帰分析手法を検証するプログラムを作成した。検証データとして、顕微赤外分光計で計測した、流紋岩、安山岩の反射率データ (378 サンプル、200 波長、リファレンススペクトル:  $r$ ) を使用した。理論は津村他 (1998)<sup>2)</sup>を参考にした。

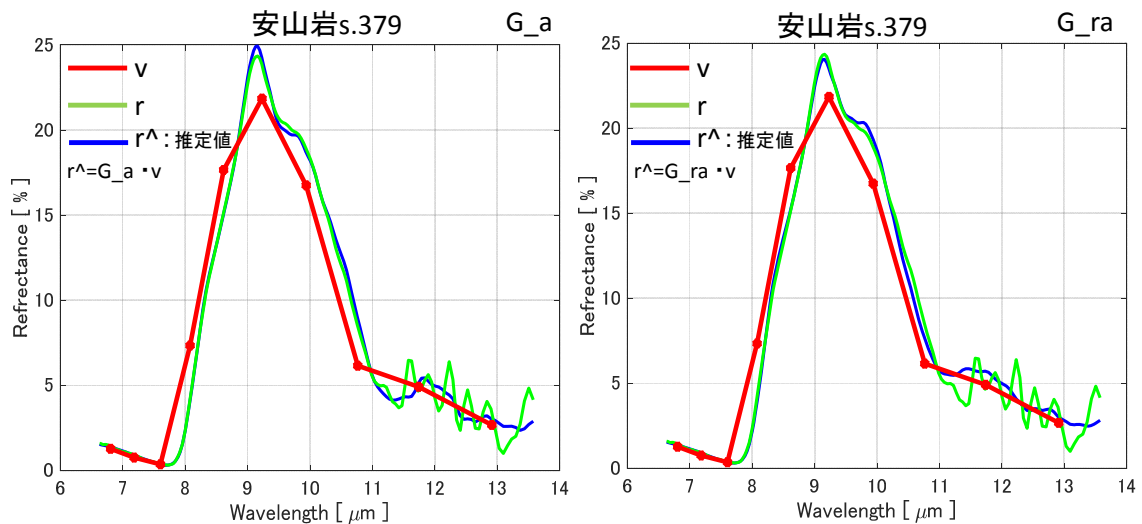


図4 安山岩の赤外反射率:重回帰分析を用いた安山岩の赤外反射率マルチスペクトルデータ (10 バンド) からリファレンスデータ (200 バンド) の推定。(左) 変換行列  $G_a$  による推定、(右) 変換行列  $G_{ra}$  による推定



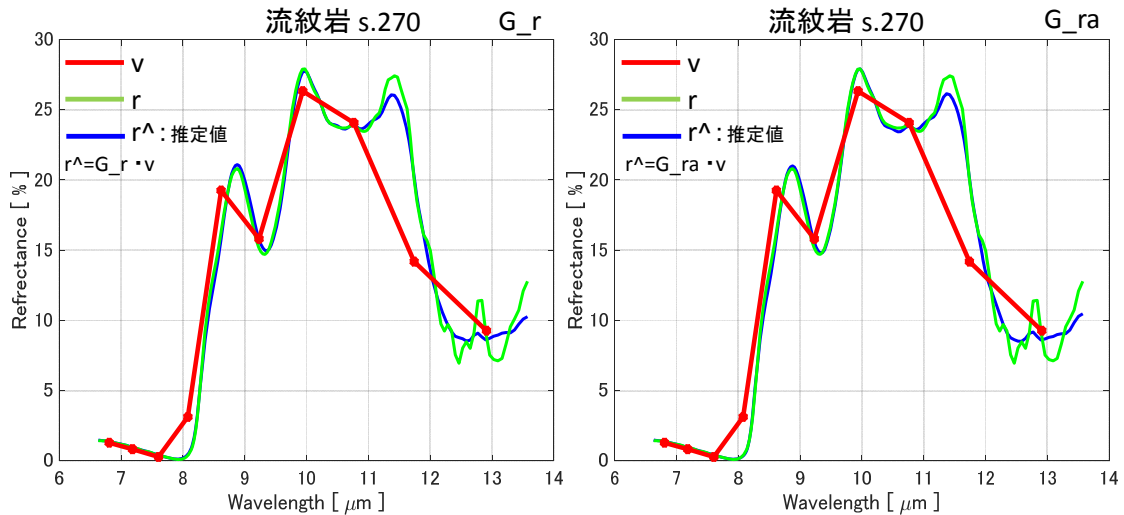


図5 流紋岩の赤外反射率:重回帰分析を用いた流紋岩の赤外反射率マルチスペクトルデータ(10バンド)からリファレンスデータ(200バンド)の推定。(左)変換行列 $G_r$ による推定、(右)変換行列 $G_{ra}$ による推定

この手法は、測定対象のマルチバンドスペクトル (SPIC で取得する予定のデータ)  $V$  ( $n$  個のマルチバンドスペクトル:  $v$  が張る 1 次元ベクトル空間  $[1 \times n]$ 、今回  $v$  は  $r$  からバンド間の積分で計算) から、その高次の純スペクトル (リファレンススペクトル)  $R$  ( $n$  個のリファレンススペクトル  $r$  が張る  $r$  次元ベクトル空間  $[r \times n]$ ) を、重回帰により求めた変換行列 (線形写像)  $G$  ( $[r \times 1]$ ) により、 $R=GV$  とし求める (ただし、 $r \gg 1$ 、 $n > r$ )。ここで  $G=RV^T(VV^T)^{-1}$  で特異値分解 (SVD) を援用し求めた。推定される  $\hat{r}_k$  は  $\hat{r}_k=Gv_k$  となる。今回  $v$  は 10 バンドとした。よって、10 バンドマルチスペクトルデータ ( $v$ ) から 200 波長のリファレンスデータ ( $r$ ) を推定することになる。

安山岩のデータから求めた  $G$  を  $G_a$ 、流紋岩のデータから求めた  $G$  を  $G_r$ 、両データから求めた  $G$  を  $G_{ra}$  とする。安山岩の 10 バンドデータから  $G_a$  を用い回復した安山岩の 200 バンドデータおよび、安山岩の 10 バンドデータから  $G_{ra}$  を用い回復した安山岩の 200 バンドデータを図 4 に示す。また流紋岩の 10 バンドデータから  $G_r$  を用い回復した流紋岩の 200 バンドデータおよび、流紋岩の 10 バンドデータから  $G_{ra}$  を用い回復した流紋岩の 200 バンドデータを図 5 に示す。

図 4、5 より、安山岩、流紋岩ともに  $r$  の推定値  $\hat{r}$  は、11000nm 以上の領域で  $r$  が比較的なめらかなでない領域を除き、 $r$  の値にして 1~2%以内の一致を示すことがわかる。この他、 $G_a$  を流紋岩の推定に、 $G_r$  を安山岩の推定に用いるような  $R$  にないデータを推定しようとすると、推定誤差が大きくなることもわかった。

## 2) 較正装置整備

### a) 研究開発の基盤となるカメラ開発用較正装置の整備:

カメラ型センサーの開発に必要な較正装置を導入し、以降の開発環境を整えた。具体的には、平面黒体、キャビティ黒体、除振台 (図 6)、クリーンブース (図 7)、を導入した。

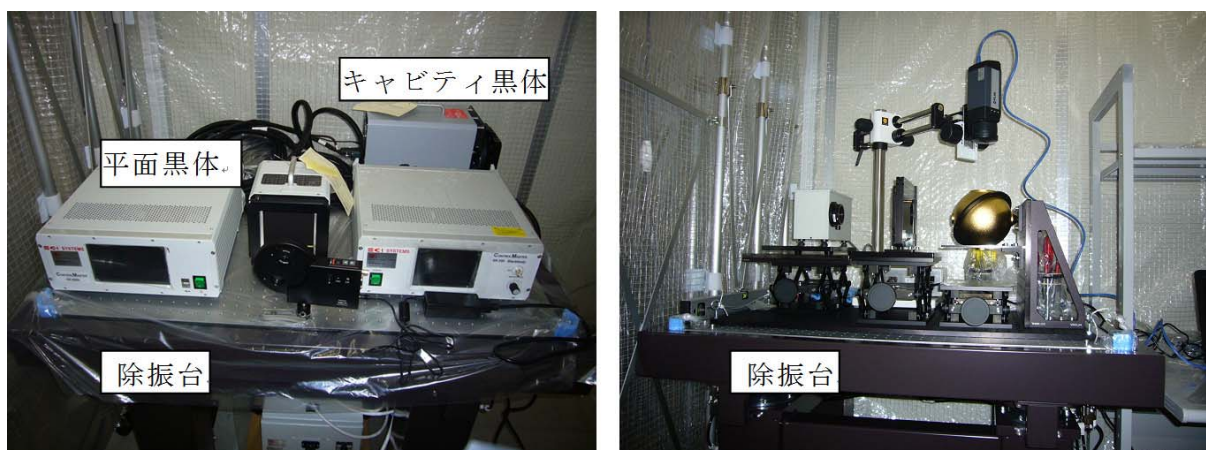


図6 較正装置（平面黒体、キャビティ黒体、除振台）



図7 クリーンブース（左）黒体炉用、（右）積分球型非冷却型カメラ狭帯域特性評価装置用

### 3) スペクトル推定用データベース構築のためのデータ取得装置整備

#### a) スペクトル推定用データベース（SPIC-SS で使用）構築のためのデータ取得装置の整備：

スペクトルデータベースを取得するための分光装置と試料調整用の精密切断装置、攪拌播潰機の導入を行った。具体的には、積分球付紫外可視近赤外分光装置（図8左）、顕微紫外可視近赤外分光装置（図8右）、精密切断機（アイソメット）（図9左）、石川式攪拌播潰機（図9右）を導入した。

#### (c) 結論ならびに今後の課題

##### 1) SPIC-UC、ISH、SPIC-SS の開発

非冷却型カメラ広帯域（8-14 $\mu$ m）型の狭帯域波長感度特性を検証のために、積分球型非冷却型カメラ狭帯域特性評価装置を開発した。設計した装置内部の輝度ムラ（拡散均一性）は0.1 $^{\circ}$ C以下であり、本装置を今後評価装置として使用できる目途がつき、H28年度計画を達成できた。今後は積分球内部の輝度を増加させる改良を実施し本装置の性能の改善を試みる。

また画像分光用前置光学系（ISH）の候補となる画像分光方式の概念設計として干渉フィルター分光方式の検討をシミュレーションと実測により実施した。その結果、シミュレーション値と実

測値は良い一致を示し、50°C以上の背景放射下では、8370~8920nmのエネルギー計測は十分可能であることが検証でき H28 年度計画を達成できた。これより、既存の観測<sup>3)</sup>で冷却型 MCT 素子により観測できた二酸化硫黄ガスの吸収ピーク 8650nm 付近の特性を、非冷却型カメラとバンドパスフィルターの構成により計測できる可能性が示唆された。今後は、非冷却型カメラとバンドパスフィルターを一体とした装置を試作し評価を試みる。

またスペクトル・構造推定カメラでアルゴリズム開発に使用するソフト、カメラのコントロールソフトの導入とスペクトル推定手法の理論的検討として多変量解析処理手法である重回帰分析手法のコーディングの実施により H28 年度計画を達成できた。本年度の流紋岩、安山岩の赤外反



図8 分光装置。(左) 積分球付紫外可視近赤外分光装置、(右) 顕微紫外可視近赤外分光装置



図9 試料調整用の精密切断機 (アイソメット) (左)、石川式攪拌播潰機 (右)

射率データを用いた検討より、本手法の有効性が確認できたとともに、本手法では十分なリファレンスデータが手法の推定精度を向上する重要な要素であることが示唆された。今後、スペクトル推定用データベース構築の充実をもって本手法の精度の向上を図る。

## 2) 校正装置整備

研究開発の基盤となるカメラ開発用校正装置を整備した。主としてカメラ型センサーの開発に必要な校正装置を導入し、以降の開発環境を整え H28 年度計画を達成できた。具体的には、平面黒体、キャビティ黒体、クリーンブース、除振台を導入した。今後は整備した本装置、環境を活用した装置開発を実施する。

## 3) スペクトル推定用データベース構築のためのデータ取得装置整備

SPIC-SS で使用するスペクトル推定用データベース構築のためのデータ取得装置の整備を行った。そのために、スペクトルデータベースを取得するための分光装置と試料調整用の精密切断装置、攪拌播潰機の導入を行い、H28 年度計画を達成できた。具体的には、紫外可視近赤外分光装置（積分球付）、顕微紫外可視近赤外分光装置、精密切断機（アイソメット）、石川式攪拌播潰機を導入した。今後は整備した本装置、環境を活用したスペクトル推定用データの計測と蓄積を行いスペクトル推定用データベースの構築を行う。

## (d) 引用文献

- 1) Leonard M. Hanssen, Simon Kaplan: Infrared diffuse reflectance instrumentation and standards at NIST, *Analytica Chimica Acta* 380, pp.289-302, 1999.
- 2) 津村徳道, 羽石秀昭, 三宅洋一: 重回帰分析によるマルチバンド画像からの分光反射率の推定, *光学*, Vol.27, No.7, pp.384-391, 1998.
- 3) 實渕哲也: 航空機搭載 MSS (VAM-90A) で計測した三宅島の SO<sub>2</sub> ガス濃度分布, *日本赤外線学会誌*, Vol.13, pp.12-13, 2003.

## (e) 成果の論文発表・口頭発表等

なし

## (f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

なし

### (3) 平成29年度業務計画案

#### 1) SPIC-UC、SPIC-C、ISH、SPIC-SS の開発

SPIC-UC の開発として、非冷却型赤外カメラセンサーヘッド部を構築する。SPIC-C の開発として冷却型赤外カメラセンサーヘッド部構築する。ISH の開発として、主にフィルター分光方式の試験を行う。SPIC-SS の開発として、スペクトル・構造推定カメラのカメラセンサーヘッドの導入、スペクトル推定手法、ストラクチャ推定手法の検討を行う。

具体的には、SPIC-UC と SPIC-C の開発では、非冷却型 LWIR (8-14 $\mu$ m) 領域の VGA カメラセンサーヘッド、冷却型 MWIR (3~5 $\mu$ m) 領域の VGA カメラセンサーヘッドを導入する。また、これらに他装置との同期計測機構を有する装置制御ユニット (ハードとソフト) を構築する。ISH の開発では、非冷却型赤外 FPA を検証し、フィルター分光方式のブレッドボードモデルを構築する。SPIC-SS の開発では、CMOS 型 FPA を有するカメラセンサーヘッドと分光フィルターを導入する。またスペクトル推定手法、ストラクチャ推定手法のアルゴリズムを作成する。

#### 2) スペクトル推定用データベース構築のためのデータ取得装置整備およびデータ取得

スペクトル推定用データベース構築の開発として、室内外用画像分光データ取得装置を整備する。また昨年度導入した分光装置による岩石スペクトル計測を開始する。

具体的には、室内用可視画像分光装置、室外用可視画像分光装置を導入する。また、平成 28 年度に導入した紫外可視近赤外分光装置、顕微紫外可視近赤外分光装置を用い、火成岩のスペクトル計測を開始し、スペクトル計測手法の検討及びデータ取得を行う。