

# 観測衛星「いぶき」を支えた光学センサ技術と展望

濱田一男・神田成治  
平松優・石田十郎

## 要旨

人工衛星からの地球観測は、地球温暖化などの気候変動に対応した地球環境監視や、地震・津波・火山活動・集中豪雨など自然災害の被害状況監視、安全保障にかかる情報収集など、近年その重要性が増してきています。NECは、日本で最初の衛星搭載用光学観測センサを開発して以来、数多くの衛星搭載用光学センサの開発実績を有しています。本稿では2009年に打ち上げられた温室効果ガス観測衛星「いぶき」に搭載されたTANSO及びNECが現在開発中の先進的宇宙システム(ASNARO)搭載の高分解能光学センサ(OPS)、ハイパースペクトルセンサ(HISUI)、地球環境変動観測ミッションに搭載される多波長光学放射計(SGLI)の各光学センサの概要を紹介します。

## キーワード

- 地球観測
- 光学センサ
- 先進的宇宙システム
- ハイパースペクトルセンサ
- 多波長光学放射計
- 温室効果ガス観測センサ

## 1.はじめに

NECは、1987年2月に打ち上げられた日本初の地球観測衛星「もも1号」に搭載された日本初の衛星搭載用光学センサ「可視近赤外放射計(MESSR)」を開発して以来、地球観測衛星や科学衛星など、多くの衛星に光学センサを提供してきました。NECは1m以下の高分解能センサから高い精度を有する分光観測機器まで、多種多様なセンサの開発を行っています。波長に関しても紫外線の波長から可視光、赤外波長まで、広い波長範囲を観測する光学センサの開発実績を有しています。本稿では、NECが近年開発を行っている光学センサの技術的背景、センサシステムの概要を紹介します。

## 2.先進的宇宙システム(ASNARO)搭載の光学センサ「ASNARO-OPS」

NECは、新しい開発・製造・運用の手法・仕組みにより、低コスト・短工期かつ高機能の小型標準衛星バス「NEXTAR」シリーズを提案しており、現在この最初のアプリケーションとして2012年度打ち上げ予定の先進的宇宙システム「ASNARO」(図1)を開発中です。「ASNARO」は、経済産業省(METI)殿の主導により、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)殿及び無人宇宙実験システム研究

開発機構(USEF)殿より委託を受け、NECが開発を進めているセンサです。ここでは、このASNAROに搭載される光学センサ「ASNARO-OPS」について説明します。

「ASNARO-OPS」は、高度504kmの地球周回軌道から任意の地表面10km四方のシーン撮像が可能な光学センサです。ASNARO-OPSは白黒のイメージとなるパンクロマチックバンド、及びカラーイメージとなるマルチスペクトルバンドの2バンドを有しており、パンクロマチックバンドは50cm以下の分



図1 ASNAROフライトコンフィギュレーションイメージ

## ロードマップの実現を支える技術と製品（観測センサと応用技術）

### 観測衛星「いぶき」を支えた光学センサ技術と展望

解能で、マルチスペクトルバンドは2m以下の分解能で、同一地点の画像を同時に取得できます。

「ASNARO-OPS」（図2）は、TMA（非球面3枚鏡：Three Mirror Anastigmatic）方式の光学系であり、一次鏡（PM）、二次鏡（SM）、三次鏡（TM）及び2枚の折り返し平面鏡で構成されています。一次鏡（写真）には比剛性（ヤング率/密度）及び形状安定性（熱伝導率/線膨張係数）に優れ、鏡の材質として理想的な先進材料であるNTSIC（New Technology Silicon Carbide）を使用しています。

またASNARO-OPSでは、取得画像の画質を向上させるため、CCD（Charge Coupled Device）駆動にTDI（Time Delay and Integration）方式を採用しており、撮像地点や季節変動、地表高度などによる地表面放射率の変動に対し、適切なSNR（Signal to Noise Ratio：信号雑音比）を確保する技術を採用しています。

これら先進技術を用いて、次世代の小型・軽量・低コストの地球観測光学センサの先駆けとなるべく、ASNARO-OPSライトモデルは現在製造フェーズの終盤にさしかかっています。

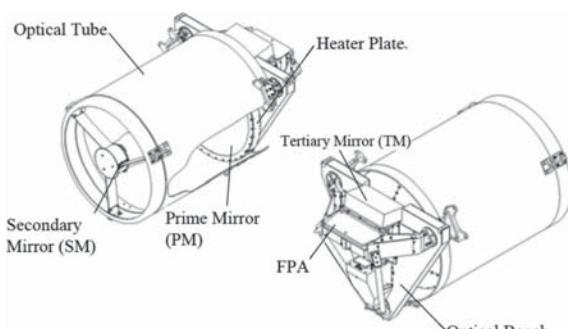


図2 ASNARO-OPS外観

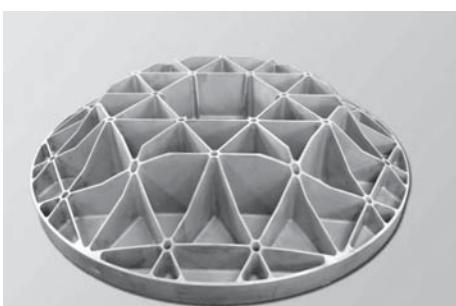


写真 NTSIC製一次鏡外観



図3 ASNARO-OPS取得画像イメージ（シミュレーション）

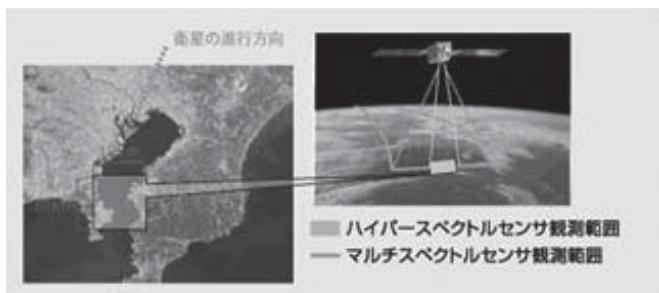


図4 HISUIデータ取得イメージ

す。図3は、ASNARO-OPSから送られてくる画像のイメージです。

### 3. ハイパースペクトルセンサシステム (HISUI : Hyper-spectral Imager SUlte)

ハイパースペクトルセンサシステム「HISUI」（図4）は、METI殿の主導により、NEDO殿から、資源探査用観測システム・宇宙環境利用研究開発機構（JAROS）殿とNECが受託して開発を進めているセンサです。NECは、石油資源探査などを目的として、1999年に打ち上げられた地球観測センサ「ASTER」の開発を担当しましたが、HISUIは更なる資源探査能力の向上、地球環境保全としての観測精度向上を目的とし、空間分解能・観測幅に秀でたマルチスペクトルセンサと、より高い波長分解能による識別能力の向上を目的としたハイパースペクトルセンサの両センサから構成されます（図5）。

<b>ASTER(VNIR)</b>	<b>マルチスペクトルセンサ(VNIR)</b>
空間分解能 :15m 観測幅 :60km バンド数 :3バンド 波長(μm) :0.53~0.86	空間分解能 :5m 観測幅 :90km バンド数 :4バンド(青バンド追加) 波長(μm) :0.45~0.9
<b>ASTER(VNIR/SWIR)</b>	<b>ハイパースペクトルセンサ(VNIR/SWIR)</b>
空間分解能 :VNIR/15m、 SWIR/30m 観測幅 :60km バンド数 :VNIR/3、SWIR/6 波長(μm) :VNIR/0.53~0.86 SWIR/1.6~2.43	空間分解能 :30m 観測幅 :30km バンド数 :185バンド 波長(μm) :0.4~2.5

図5 HISUIとASTERの性能比較

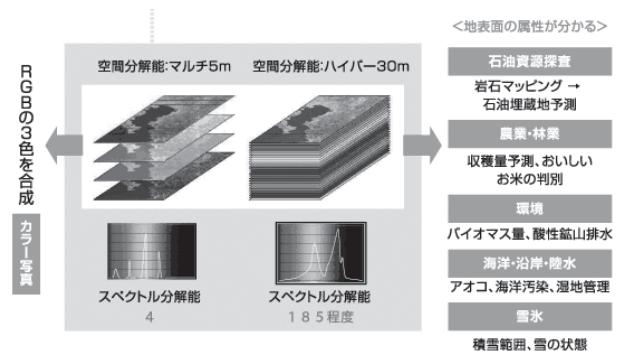


図7 ハイパーセンサ分光イメージ

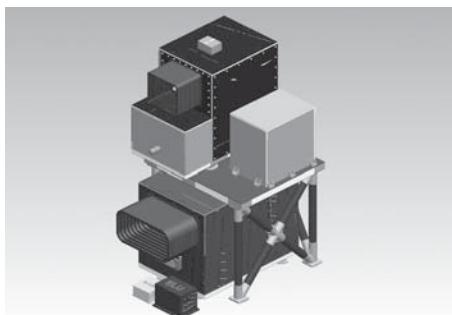


図6 ハイパーセンサ（上段）/マルチセンサ（下段）外観イメージ

ハイパースペクトルセンサの最大の特徴は、従来のイメージング機能に加え、波長を185バンドに細分化する分光機能を有していることであり、これにより鉱物、植生、環境などの識別機能を向上させ、利用価値の高い画像情報を高頻度・広範囲に測定することができます。一方、マルチスペクトルセンサは、可視近赤外域に4つのバンドを有しており、自然色に近いカラー画像の作成が可能です（図6、図7）。

特に、本ハイパースペクトルセンサは、海外の競合プロジェクトと比較し、高いSNR、高い波長決定精度を有しており、世界最高品質の観測データの提供を目指しています（図8）。そのため、ハイパースペクトルセンサの開発においても、より多くの観測光を得るための明るい望遠鏡、極めて高い効率を実現する分光器、低雑音の検出器・信号処理系の開発に力を置いています。また、過去の光学センサで培った軌道上における校正技術に更に磨きをかけて、データ利用側に立った使いやすい観測データとするために、観測対象の散乱輝度・波長などの物理情報を、安定して保証する点にも注

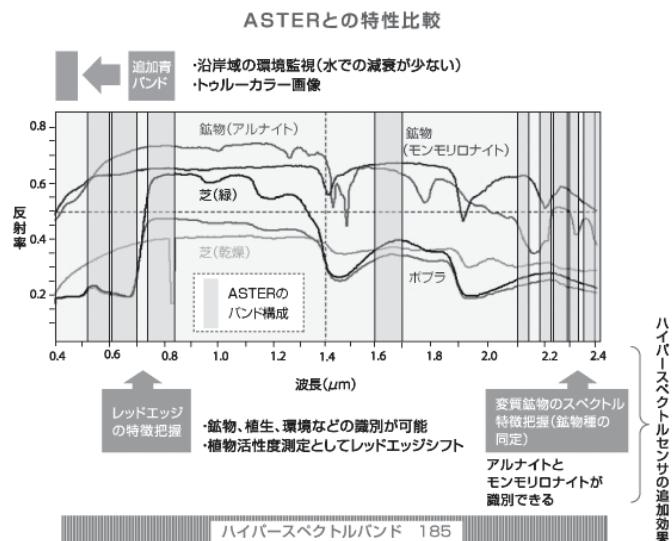


図8 HISUI/ASTER取得波長比較

力しています。

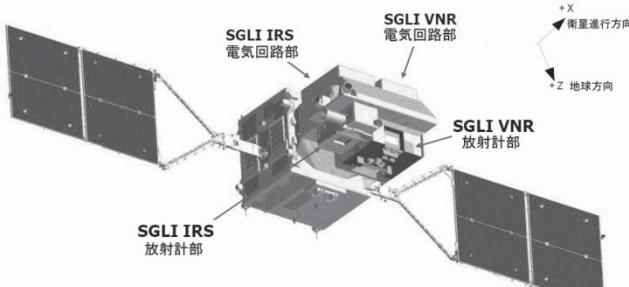
HISUIは現在評価モデルの製造/試験を実施しています。2014年度ごろの打ち上げを目指し、来年度からフライトイモデルの製造に入る予定です。

#### 4. 地球環境変動観測ミッション搭載の多波長光学放射計(SGLI)

NECが現在主契約者として開発中の地球環境変動観測ミッション(GCOM)の第一期気候変動観測衛星(GCOM-C1、図9)に搭載する多波長光学放射計(SGLI)は、ADEOS「みどり」搭載OCTS、ADEOS-II「みどり2号」搭載GLIの後継となり

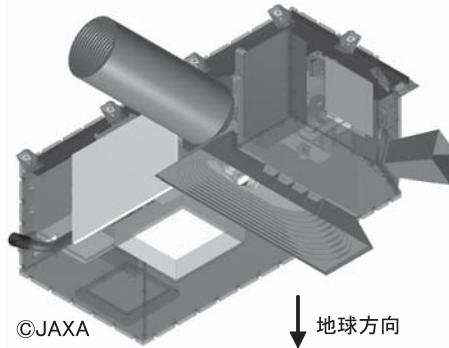
## ロードマップの実現を支える技術と製品（観測センサと応用技術）

### 観測衛星「いぶき」を支えた光学センサ技術と展望



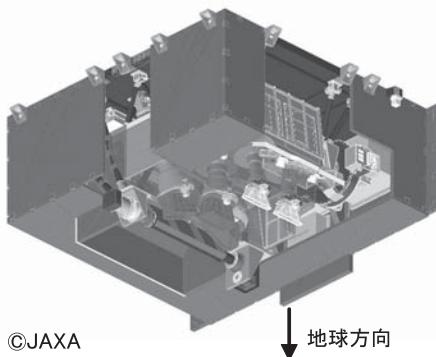
©JAXA

図9 GCOM-C1の全景イメージ



©JAXA

図11 IRS外観図



©JAXA

図10 VNR外観図

表1 SGLI VNR主要性能

VNR主要性能	
非偏光観測系	380nm～868nm(紫外～近赤外)の11バンド、分解能250m、走査幅1,150km
偏光観測系	673.5nm、868.5nmの2バンド、偏光3方向、分解能1km、走査幅1,150km

る3世代目の広域多チャンネル光学放射計です。SGLIは紫外から熱赤外までの広い波長域で、地球の表面を一度に1,000km以上の広範囲を日々観測することで、全球規模での気候変動にかかる地表と大気、海洋、雪氷と広い範囲での長期継続観測、人間活動の影響の観測を主な目的とするセンサです。現在2014年度打ち上げを目指して開発中です。

SGLIは波長範囲が広いので、VNR（可視・近赤外放射計、図10）とIRS（赤外走査放射計）の2台で構成しています。

VNRでは多バンドを小型にまとめるため多素子CCD検出器を使用し、1,150kmの幅を一度に撮影する方式を採用しました。このため11個（バンド）の一次元CCDを1チップにまとめた検出器を新たに開発して採用しています。また11バンドの画像

表2 SGLI IRS主要性能

IRS主要性能	
短波長赤外系 (SWI)	1.05 μm～2.21 μmの4バンド、分解能1km(SW3バンドの陸域/沿岸では250m)、走査幅1,400km
熱赤外系 (TIR)	10.8 μm、12.0 μmの2バンド、分解能500m、走査幅1,400km

センサに加え、3方向の偏光を観測するバンドも持っています（表1）。

IRSは高感度な大型の検出器を採用し、平面鏡を回転させて走査する方式で画像を撮影しています（図11）。赤外線で観測するため、地表の昼夜を問わず観測が可能で、打ち上げてから連続で5年間観測を続ける計画です。使用する検出器は雑音低減のため冷却して使用します。特に熱赤外域の検出器は、機械式冷凍機で55K（マイナス218°C）という非常に低い温度に維持する設計です（表2）。

### 5. 「いぶき」搭載の温室効果ガス観測センサ「TANSO」

TANSO（図12）は、温室効果ガスの全球濃度分布を測定し、地球上の温室効果ガスの吸収排出量を明確にすることを目的として、温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」に搭載されて2009年1月23日に打ち上げられました。TANSOは、短波長赤外域（1.6 μm及び2.0 μm）及び熱赤外域（14.3 μm）に存在する二酸化炭素などの温室効果ガスの吸収スペクトルを、フーリエ干渉計と呼ばれる分光器の一種で測定してガス濃度を決定します。

TANSOは、光源として地球散乱光及び地球熱放射光を用い

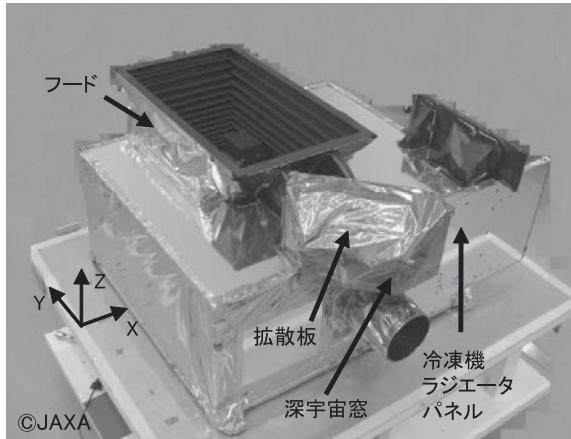


図12 TANSOの外観

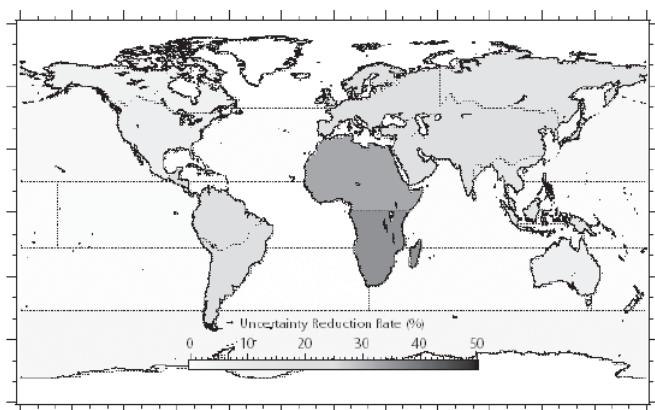


図13 二酸化炭素吸収排出量の誤差低減率

るため、全球観測が可能であり、従来の約286点（2009年5月現在）の地上観測に頼っていた観測が、3日で全球56,000点の観測点をカバーするといった、観測域・頻度の飛躍的な向上が可能となりました。また観測精度についても、高い波長分解能・高いSNRを達成したフーリエ干渉計、観測点に対し高い精度で指向するポインティングミラーなどの最先端技術を駆使し、2010年10月現在で1回の測定相対精度は1%以下を十分達成しており、1,000kmメッシュ、3ヶ月平均相対精度1%で、二酸化炭素気柱量の陸域測定ができます。

また、これまで地上観測データのみを用いて求められてい

た二酸化炭素吸収排出量の推定誤差が、TANSOデータを用いることで低減できる見込みです。特に地上観測データが乏しい南米、アフリカ、アジアの各領域では、他の領域に比べ推定誤差が大きく低減できています（図13<sup>1</sup>）。

TANSOは初期運用を終え、現在更なる精度向上を図るために地上処理アルゴリズム検討を実施しています。校正済みの観測データに対し、この高次地上処理を実施することで、より精度の高い二酸化炭素とメタンの平均濃度を定常的に配信する予定です。

## 6. おわりに

以上、NECが開発中の光学センサを中心にその技術的背景、センサシステム概要を紹介しました。これらの光学センサの開発に当たって経済産業省殿、宇宙航空研究開発機構（JAXA）殿を始めとする関係機関に指導していただきました。ここに深謝の意を表します。

NECは衛星搭載用光学センサのフロントランナーとして、常に先進的技術を採用した光学センサを開発してきました。今後も更に先進的な光学センサの開発を通して、豊かで安全・安心な社会の実現に貢献していきます。

## 執筆者プロフィール

**濱田一男**  
NEC東芝スペースシステム  
技術本部  
光学センサグループ  
マネージャー

**平松 優**  
NEC東芝スペースシステム  
技術本部  
光学センサグループ  
シニアエキスパート

**神田 成治**  
NEC東芝スペースシステム  
技術本部  
光学センサグループ  
エキスパートエンジニア

**石田 十郎**  
NEC東芝スペースシステム  
技術本部  
光学センサグループ  
シニアエキスパート

<sup>1</sup> 国立環境研究所（NIES）発表。2010年10月暫定結果

# NEC 技報のご案内

NEC技報の論文をご覧いただきありがとうございます。  
ご興味がありましたら、関連する他の論文もご一読ください。

NEC技報WEBサイトはこちら

NEC技報(日本語)

NEC Technical Journal(英語)

## Vol.64 No.1 宇宙特集

特別寄稿：宇宙ソリューションで社会に貢献する時代へ  
宇宙特集によせて  
宇宙事業ビジョンとロードマップ  
NECのグローバルな宇宙ソリューション事業への取り組み

### ◇ 特集論文

#### ロードマップ実現に向けた取り組み

宇宙技術とIT・ネットワーク技術の融合  
宇宙分野におけるグローバル市場への参入戦略  
「宇宙利用」のためのサービス事業の推進  
先進的宇宙システム「ASNARO」の開発

#### ロードマップの実現を支える技術と製品（人工衛星／宇宙ステーション）

国際宇宙ステーション日本実験棟「きぼう（JEM）」の開発  
金星探査機「あかつき」の開発  
小型ソーラー電力セイル「IKAROS」の開発  
月周回衛星「かぐや」の開発  
地球観測衛星（陸域観測技術衛星）「だいち」の開発  
超高速インターネット衛星「きずな」の開発  
総合宇宙利用システムの普及を促進する小型SAR衛星技術

#### ロードマップの実現を支える技術と製品（衛星地上システム）

衛星運用を支える地上システム  
衛星データの利用を促進する画像処理システム

#### ロードマップの実現を支える技術と製品（衛星バス）

リモートセンシング事業を迅速に立ち上げる標準プラットフォーム「NEXTAR」  
衛星機器を構成する標準コンポーネント

#### ロードマップの実現を支える技術と製品（通信）

衛星通信を支える通信技術  
世界で活躍する衛星搭載用中継機器

#### ロードマップの実現を支える技術と製品（観測センサと応用技術）

観測衛星「いぶき」を支えた光学センサ技術と展望  
全地球上の雨と雲を観測する電波センサ技術  
リモートセンシングデータの向上を実現するSAR画像処理技術  
衛星画像を活用した産業廃棄物監視システム

#### ロードマップの実現を支える技術と製品（基盤技術）

宇宙技術を支える基盤技術や開発プロセス  
月惑星探査を支える軌道計画と要素技術  
宇宙用耐放射線性POL DC/DCコンバータの開発  
宇宙開発向けプリント配線板の認定状況と今後の展開

#### ロードマップの実現を支える技術と製品（誘導制御計算機）

ロケット用誘導制御計算機の変遷と展望

#### 小惑星探査機「はやぶさ」

小惑星探査機「はやぶさ」の開発と成果

### ◇ NEC Information

#### NEWS

NEC C&C財団25周年記念賞表彰式開催



Vol.64 No.1  
(2011年3月)

特集TOP