

極軌道気象衛星受信装置の機能追加 Adding Functions to Receivers for Polar-Orbiting Meteorological Satellite

大杉 雅仁*
OSUGI Masahito

内田 成明**
UCHIDA Nariaki

田中 省吾***
TANAKA Shougo

Abstract

The Meteorological Satellite Center (MSC) of Japan Meteorological Agency (JMA) is currently receiving the Earth observation data to utilize them for the initial value for numerical weather prediction using global spectral model, directly from the NOAA and MetOp satellites. The Suomi National Polar-orbiting Partnership (Suomi NPP) satellite is NASA's new polar-orbiting meteorological satellite launched on October 28 2011 as part of the NPOSS (JPSS) project. This satellite is equipped with the following high-performance Earth observation sensors; VIIRS, CrIS, CERES, ATMS, and OMPS. The collected observation data are delivered to users via X-band frequency. Receiving data from the Suomi NPP is expected to enhance the quality of our meteorological products. We therefore added new function to our existing receiving system to receive the data directly from the Suomi NPP.

要 旨

気象衛星センターでは、NOAA 衛星及び MetOp 衛星から Lバンドで配信される観測データを直接受信し、数値予報における全球モデルの初期値等に活用している。Suomi NPP 衛星は 2011 年 10 月 28 日に打ち上げられた新たな極軌道気象衛星である。Suomi NPP 衛星は、VIIRS、CrIS、ATMS、OMPS、CERES といった高性能の観測器を搭載し、観測データは X バンドで配信されている。Suomi NPP 衛星の観測データを新たに受信することで、プロダクトの品質向上が期待される。既存の極軌道気象衛星受信装置に対し Suomi NPP 衛星の観測データを直接受信するために必要な機能追加を行った。

1. はじめに

1963 年に WMO(World Meteorological Organization) が立案した WWW(World Weather Watch) 計画の基本構想の中で気象衛星観測システムは、静止気象衛星 5 機を赤道上空に等間隔に配置し、極軌道気象衛星 2 機を 6 時間間隔で飛翔させることで、全球にわたる広域の連続した気象観測を実現することを示した。本計画に基づき、世界各国から気象衛星が打ち上げられ、多くの衛星が運用されている。

気象衛星センターは、1968 年に前身である気象庁気象通信所において、極軌道気象衛星 ESSA-6 号の受信を開始して以来、極軌道気象衛星から観測データを受信し気象庁の業務に活用している。2012 年 8 月現在、気象衛星センターでは表 1 に示す極軌道気象衛星を直接受信しているが、新たに Suomi NPP(Suomi National Polar-Orbiting Partnership)衛星が打ち上げられたため、Suomi NPP 衛星を受信し観測データの活用を行うために、気象衛星センターで運用中の極軌道気象衛星受信装置の機能追加を行った。

表 1 気象衛星センターで受信している
極軌道気象衛星

衛星名	打ち上げ年月日	軌道
NOAA-16	2000 年 9 月 21 日	午後軌道
NOAA-18	2005 年 5 月 20 日	午後軌道
NOAA-19	2009 年 2 月 6 日	午後軌道
MetOp-A	2006 年 10 月 19 日	午前軌道

2. Suomi NPP 衛星

2.1 概要

Suomi NPP 衛星は、NPOESS(National Polar-orbiting Operational Environmental Satellite System)計画による次世代の極軌道気象衛星の準備計画として打ち上げられる予定であった。しかし、NPOESS 計画は技術面及び管理面で問題が生じ 2009 年に見直しがなされた。これにより、Suomi NPP 衛星は当初の目的であった次世代の極軌道気象衛星の試験用衛星という位置付けから実用衛星へと変更され、2011 年 10 月 28 日にバンデンバーグ空軍基地(アメリカ)から Delta

* ** *** 気象衛星センター情報伝送部施設管理課
(2012 年 8 月 21 日受領、2013 年 1 月 10 日受理)

II-7920-10 ロケットによって打ち上げられた。なお、Suomi NPP 衛星は以下の三点を目的としている。

- (1) EOS(the Earth Observing System)の Terra、Aqua 及び Aura のミッションを継続させる。
- (2) JPSS(Joint Polar Satellite System)で使用される観測器やアルゴリズム、地上設備の動作の検証を行う。
- (3) JPSS が運用に投入されるまでの間、観測データを提供し続ける。

また、Suomi NPP 衛星は図1に示すように824km、太陽同期、午後軌道で周回し、約16日かけて回帰する。Suomi NPP 衛星は、直接受信ユーザ局に向けてHRD (High Rate data) を配信している。また、SMD(Stored Mission Data)をスヴァールバル局に配信している。ミッション管理センターは、直接受信ユーザ局に対し、NPP 運用状況を提供している。

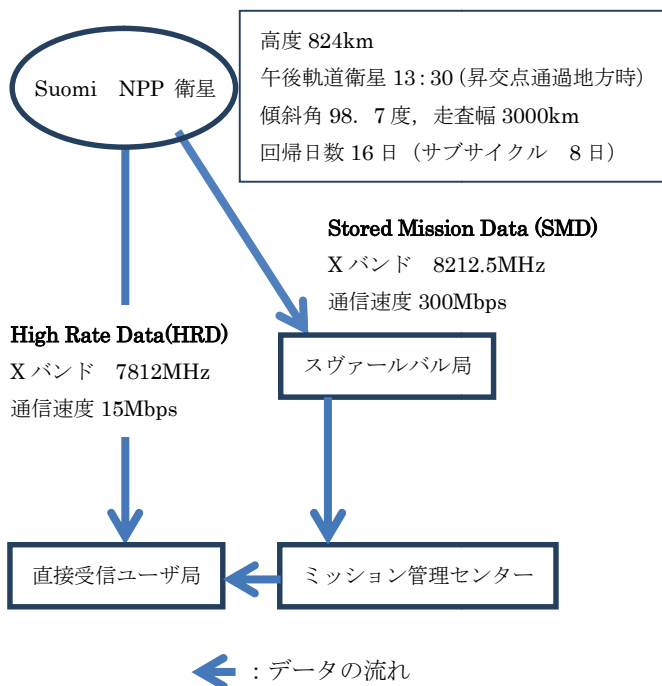


図1 Suomi NPP 衛星 概要図

2.2 Suomi NPP 衛星に搭載された観測器

Suomi NPP 衛星は、図2に示すように VIIRS(Visible Infrared Imaging Radiometer Suite)、CrIS(Cross-track Infrared Sounder)、ATMS(Advanced Technology Microwave Sounder)、OMPS(Ozone Mapper Profiler Suite)、CERES(Clouds and the Earth's Radiant Energy System)の5器の観測器を搭載している。以下に各観

測器について詳細を示す。

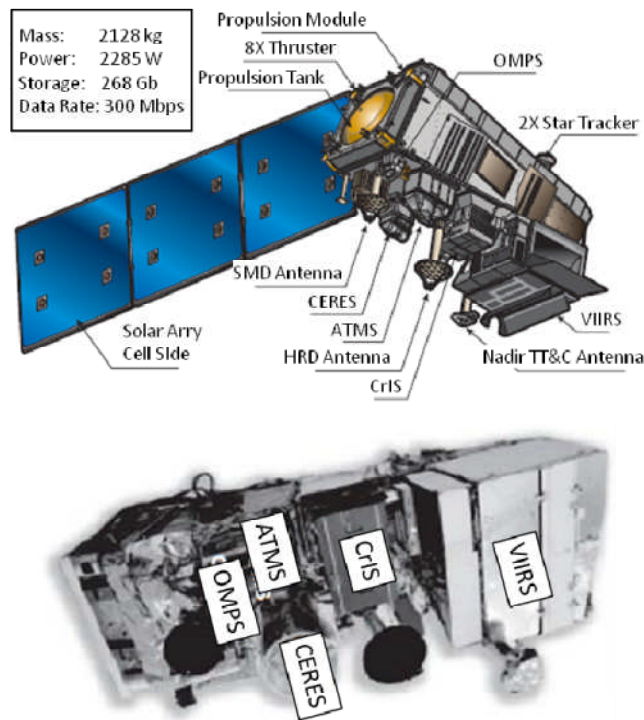


図2 Suomi NPP 衛星の観測器

2.2.1 VIIRS

可視と赤外の放射計であり、観測データは、雲、エアロゾル、海面温度、地表温度、氷河移動、火災、地球のアルベドなどの解析に利用される。

2.2.2 CrIS

多チャンネル赤外サウンダであり、観測データは、大気プロファイルの解析に利用される。

2.2.3 ATMS

マイクロ波サウンダであり、観測データは、大気の大気温度、湿度の観測に利用される。

2.2.4 OMPS

オゾンの分布の観測装置であり、観測データは、成層圏のオゾン層の健康状態の評価に利用される。

2.2.5 CERES

雲及び地球放射エネルギー観測装置であり、雲の量、高さ、厚さの観測を行う。これらの観測結果は、地球温暖化のモデルに利用される。

2.3 HRD

Suomi NPP 衛星は、観測を行いつつ、HRD(High

Rate Data)をアースカバレッジアンテナ (HRD アンテナ)から 15Mbps の通信速度で常に送信している。HRD に関わる仕様を表 2 に示す。

Committee for Space Data Systems : 宇宙データシステム諮問委員会)により宇宙データシステムの標準として勧告している規格である。

表 2 HRD に関わる仕様

項目	値
中心周波数	7812 ± 0.03 MHz
通信速度	15,000,000 ± 6 kbps
帯域幅	30.8 MHz
変調方式	QPSK(四相位相偏移変調)
データ伝送方式	NRZ-M 方式(畳み込み符号化前) NRZ-L 方式(ビタビ復号で復号後)
偏波	右旋円偏波
誤り訂正	Reed Solomon 符号化(255, 223) インターリーブ(I=4) 畳み込み符号(G1 fast,G2 inverter)
ドップラーシフト トレンジング	±171.6 kHz/秒(上昇角 5 度) ~1.55 kHz/秒(上昇角 90 度) レンジングなし

2.3.1 ミッションデータのフォーマットについて

ミッションデータのフォーマットは以下に示す項目を満たしている。

- (1) CCSDS フォーマット*(CVCDU(Coded Virtual Channel Data Unit), Reed Solomon(R-S) (255, 223), I=4)
- (2) ランダムイザされた CVCDU
- (3) CCSDS フォーマット内の CADU(Channel Access Data Unit)にシンクマーカを付加
- (4) 差動符号化
- (5) 畳み込み符号化(G1 の出力は、QPSK 変調器の I チャンネルに送信され、G2(反転)の出力は、Q チャンネルに送信される。)

※ CCSDS フォーマットは、宇宙データシステム標準として勧告している CCSDS(Consultative

2.3.2 ミッションデータの通信について

ミッションデータの通信は、図 3 に示すような体系をとっている。

- (1) 衛星で観測されたデータは、CDP(Command and Data Processor)から HRD 送信機へミッションデータ (CADU) が送られる。この CDP から送られる信号は、LVDS(Low Voltage Differential Signal)であり、NRZ-L(Non-return to Zero Level)フォーマットとなっている。
- (2) CDP から送られた信号は、NRZ-M(Non-return to Zero Mark)フォーマットに変換される。その後、データは畳み込み符号化される。
- (3) 畳み込み符号化されたデータは、G1、G2(反転)に分離され出力される。出力された G1、G2 の信号は、それぞれ接続先である。QPSK(Quadrature Phase Shift Keying)変調器の I チャンネル、Q チャンネルに入力される。QPSK 変調器では、X バンドの搬送波によって、QPSK 変調を行っている。この時、I チャンネルと Q チャンネルの出力比は 1 : 1 となっている。
- (4) QPSK 変調器から出力されるデータは、衛星のアースカバレッジアンテナから、直接受信ユーザ局へ送信される。

2.3.3 直接受信における地上局の機能について

地上局のアンテナで直接受信した信号は、ダウンコンバータによって周波数変換される。その後、QPSK 復調器にデータが入力され、I チャンネル(同相成分)と Q チャンネル(直交成分)のデータが出力される。出力されたデータは、ビット同期され、ビタビ復号器に入力される。そして、NRZ-M フォーマットから NRZ-L フォーマットに変換し、デランダムイザを行う。

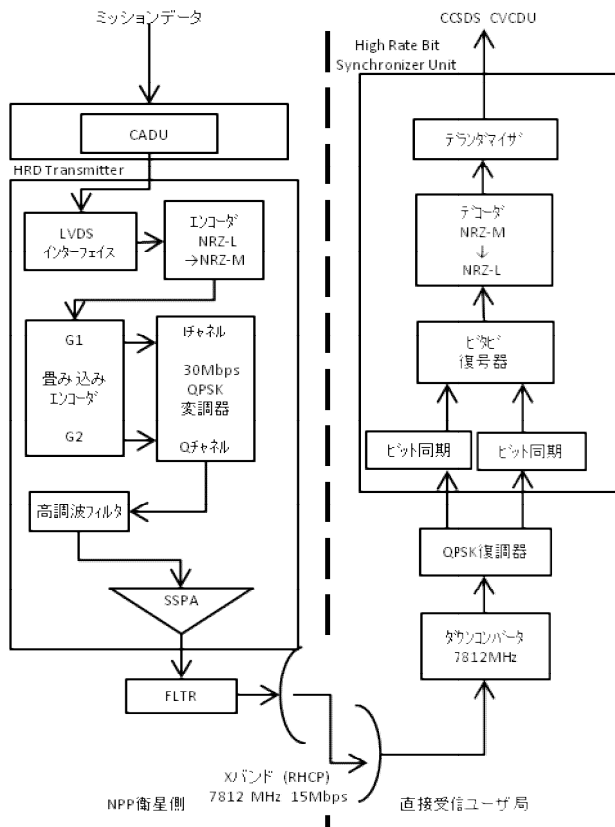


図3 ミッションデータの通信体系



(受信処理部)

図4 極軌道気象衛星受信装置の全体像

3. 極軌道気象衛星受信装置の機能追加について

3.1 概要

極軌道気象衛星受信装置は、NOAA 衛星、MetOp 衛星から L バンドで配信されてくる HRPT/AHRPT 信号を直接受信し受信信号の復調、受信生データの記録及び転送処理を行う装置である。今回の機能追加では、Suomi NPP 衛星から X バンドで配信される HRD 信号の受信処理を可能とする機能追加を行った。図4に、機能追加後の極軌道気象衛星受信装置の外観を示す。



パラボラアンテナ

フィード

(空中線部)

3.2 機器構成

機能追加した極軌道気象衛星受信装置の機器は、表3に示すように、空中線部、受信処理部、受信処理監視制御装置追加モジュール、ネットワーク機器によって構成される。

表3 極軌道気象衛星受信装置の機能追加 機器構成

機器構成	追加した機能
空中線部	Suomi NPP 用 Feed/LNA
	ダウンコンバータ
受信処理部	受信復調器
	Bit/Frame Sync
ネットワーク機器	光送信機
	光受信機
受信処理監視制御装置追加モジュール	GI-STracker/NPP

3.2.1 空中線部

空中線部では、Suomi NPP 衛星からの X バンドの HRD 信号を受信するために、X バンド用のフィードを追加した。図5に示すように、X バンドのフィードを既存の L バンドのフィードの位置に取り付け、L バンドのフィードをその横に設置している。これは、X バンドのフィードは空中線指向性の指標である半値角が既存の L バンドのフィードに比べ小さく、受信感度を考慮した結果である。空中線部の主要な機能を表4に示す。

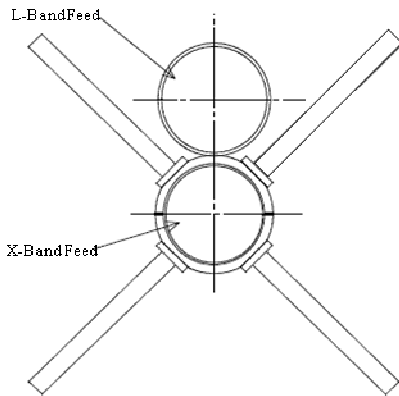


図 5 空中線部のフィード構成

表 4 空中線部 主要機能

項目	値
受信中心周波数	7812 MHz
N/F	0.7 dB Max
利得	67 dB(±3dB)
出力周波数	412 MHz

3.2.2 受信処理部

受信処理部では、Suomi NPP 衛星から X バンドで配信される HRD 信号を復調するために受信復調器及び Bit/Frame Sync を追加した。

3.2.2.1 受信復調器

受信復調器は、空中線部より伝送されてくる HRD 信号を QPSK 復調し、アナログ I/Q 信号を Bit/Frame Sync. に出力する機能を持つ。また、受信状況(受信レベル、受信周波数偏移及び RF Lock 情報)のモニタを可能とする。受信復調器の主要機能を表 5 に示す。

表 5 受信復調器 主要機能

項目	値
受信周波数	412 MHz
受信入力レベル	-60~0 dBm
受信周波数選択	ソフトウェアにより自動設定
復調形式	4 相位相偏移変調(QPSK)アナログ I/Q
ビットレート	15Mbps (QPSK)
その他	太陽ノイズ測定モジュール内蔵

3.2.2.2 Bit/Frame Sync.

Bit/Frame Sync. は受信復調器より出力されるアナログ I/Q 信号を Vitabi 畳み込み、Reed-Solomon デコード、フレーム同期を行い、CCSDS パケットデータに変換する。Bit/Frame Sync.の主要機能について表 6 に示す。

表 6 Bit/Frame Sync. 主要機能

項目	値
入力信号	アナログ I/Q 0.8Vp-p
同期信号	NRZ-M
誤り訂正	Vitabi 及び Reed-Solomon デコーダ内蔵 (Convolutional encode(G1 fast, G2 inverter)+RS(255, 223), I=4)

3.2.3 受信処理監視制御装置追加モジュール

受信監視処理制御装置追加モジュールは、既存の HRPT 及び AHRPT 受信処理を行っていた処理装置に、新たに HRD の受信処理を行う機能を追加したモジュールである。本モジュールでは、既存の空中線制御、受信処理器、受信立案計画処理の性能向上が図られたうえ、HRD 信号の受信処理が可能となった。本モジュールの機能及び構成を以下の表 7、表 8 に示す。

表 7 Suomi NPP HRD データ受信処理モジュール主要機能

項目	機能
Suomi NPP HRD 処理機能	<ul style="list-style-type: none"> ・既存の処理を継承 ・受信計画の自動及び手動立案 ・Suomi NPP 衛星の軌道情報取得 ・受信可能範囲、軌道図、空中線指向角度の表示 ・受信中のリアルタイムクイックルック画像表示(ノースアップ) ・空中線駆動装置の衛星追尾自動制御 ・受信動作中の状態報知(既存のアラームユニットによる) ・復調信号からの HRD データファイル (CCSDS フォーマット)の自動作成(保存期間は 24 時間以上) ・HRD データは衛星データ処理システムへ FTP により自動及び手動転送

表 8 Suomi NPP HRD データ受信処理モジュール主要構成

項目	機能
Stracker/NPP	<ul style="list-style-type: none"> 既存の Stracker+に Suomi NPP HRD データ受信制御機能を追加 空中線部 Feed 取り付け位置変更による空中線制御位置自動オフセット変更 NOAA、MetOp 受信復調器及び Suomi NPP 受信復調器の制御及びビステータス表示
ingest_npp	受信復調器、Bit/Frame Sync から CCSDS フォーマットデータの取得、及び保存
10_gen	Suomi NPP Level0 作成処理、保存及び計算機への転送処理
xprogress	<ul style="list-style-type: none"> リアルタイムクイックルック画像表示 表示画像は、アセンド軌道時画面下部から上部へ、ディセンド軌道時は画面上から下へ(常に北を上に表示)表示
xscan	X バンド太陽方位位置調整試験

3.2.4 ネットワーク機器

極軌道気象衛星受信装置におけるネットワーク機器は、空中線部と受信処理部間のデータ通信を行うための装置である。

本装置は、雷の影響を考慮して既存のインターフェースと同様の光伝送装置を追加した。

3.2.5 全体構成図

以上に解説した機器について、構成図を以下に示す。図 6 に示すように、空中線部と受信処理部は、ネットワーク機器によってデータ通信を行い、受信処理部においては、冗長構成となっている。

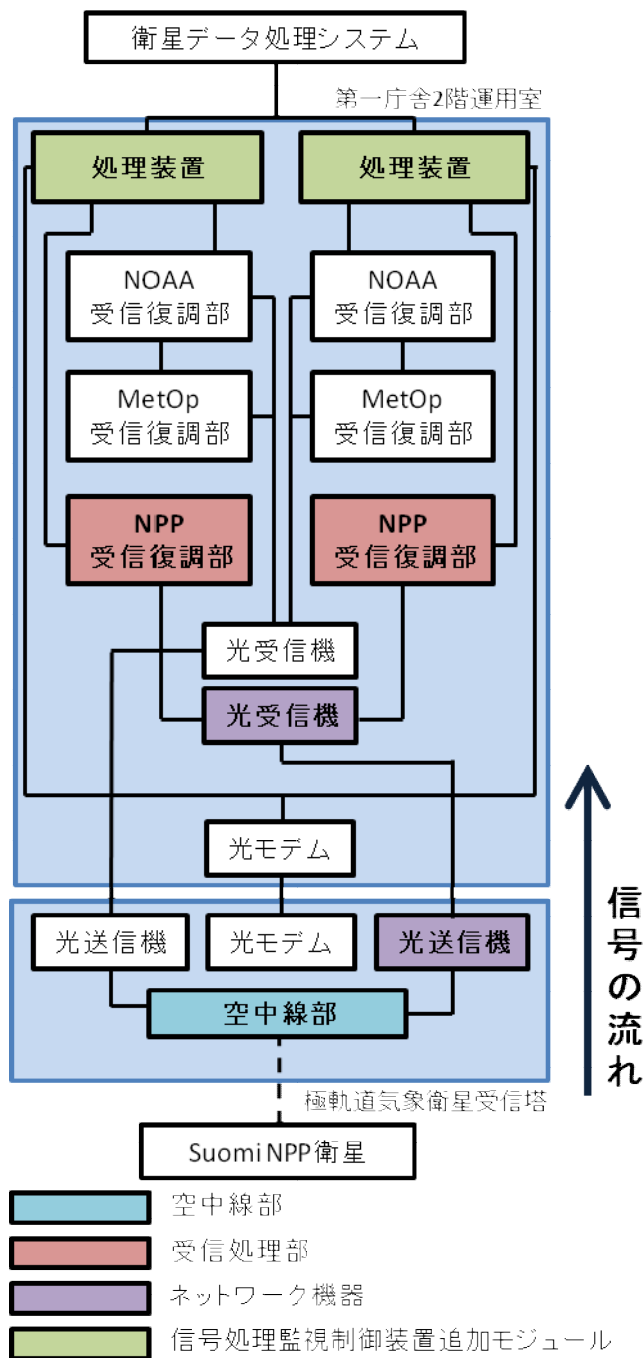


図 6 極軌道気象衛星受信装置の構成図

3.3 受信データについて

現在、Suomi NPP 衛星は試験運用中であり、気象衛星センターにおいても、試験的に受信を行っている。受信したデータについて図 7 に示す。

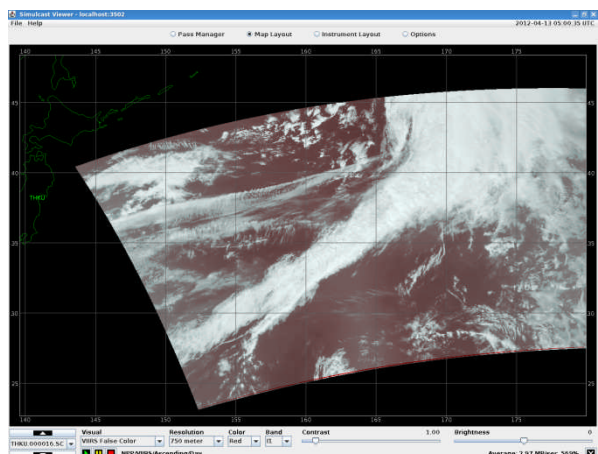


図 7 復調データ(VIIRS)

CCSDS Recommendations for Advanced for Telemetry Channel Coding, (CCSDS 101.0-B).

CCSDS Recommendations for Lossless Data Compression, (CCSDS 121.0-B-1).

Manual of Regulations and Procedures for Federal Radio Frequency Management (Redbook)

日本船用エレクトロニクス株式会社／極軌道気象衛星受信装置の機能追加 取扱い説明書

3.3.1 リアルタイム表示機能

Suomi NPP 衛星は、HRD データを送信する際に、Rice アルゴリズムを用いた Lossless 圧縮を行っている。そのため、地上機器において、VIIRS データを表示する際には、データの解凍処理を行いつつ、観測データの表示を行っている。

4. 終わりに

今回、新たに打ち上げられた Suomi NPP 衛星から配信される HRD を受信するために既存の極軌道気象衛星受信装置に対し必要な機能の追加を行った。

既存の極軌道気象衛星と比較し高分解能化、他チャンネル化した Suomi NPP 衛星の観測データを新たに受信・利用することで、プロダクトの品質向上が期待される。

5. 謝辞

Suomi NPP 衛星データ受信機能追加の仕様検討の段階における、NOAA/NESDIS の Gary K.Davis、Marlin O.Perkins 両氏による助言、技術的支援が、本整備の成功に結び付いた。この場を借りて謝辞を述べたい。

参考文献

INTERFACE REQUIRMENTS DOCUMENT (IRD)-FOR NATIONAL ENVIRONMENTAL SATELLITE SYSTEM (NPOESS) PREPARTORY PROJECT-(NPP) MISSION SYSTEM TO DIRECT BROADCAST USERS INTERFACE, (GSFC 429-01-02-19).

CCSDS Recommendations for Advanced Orbiting Systems – Networks and Data Links: Architectural Specification, (CCSDS 701.0-B).