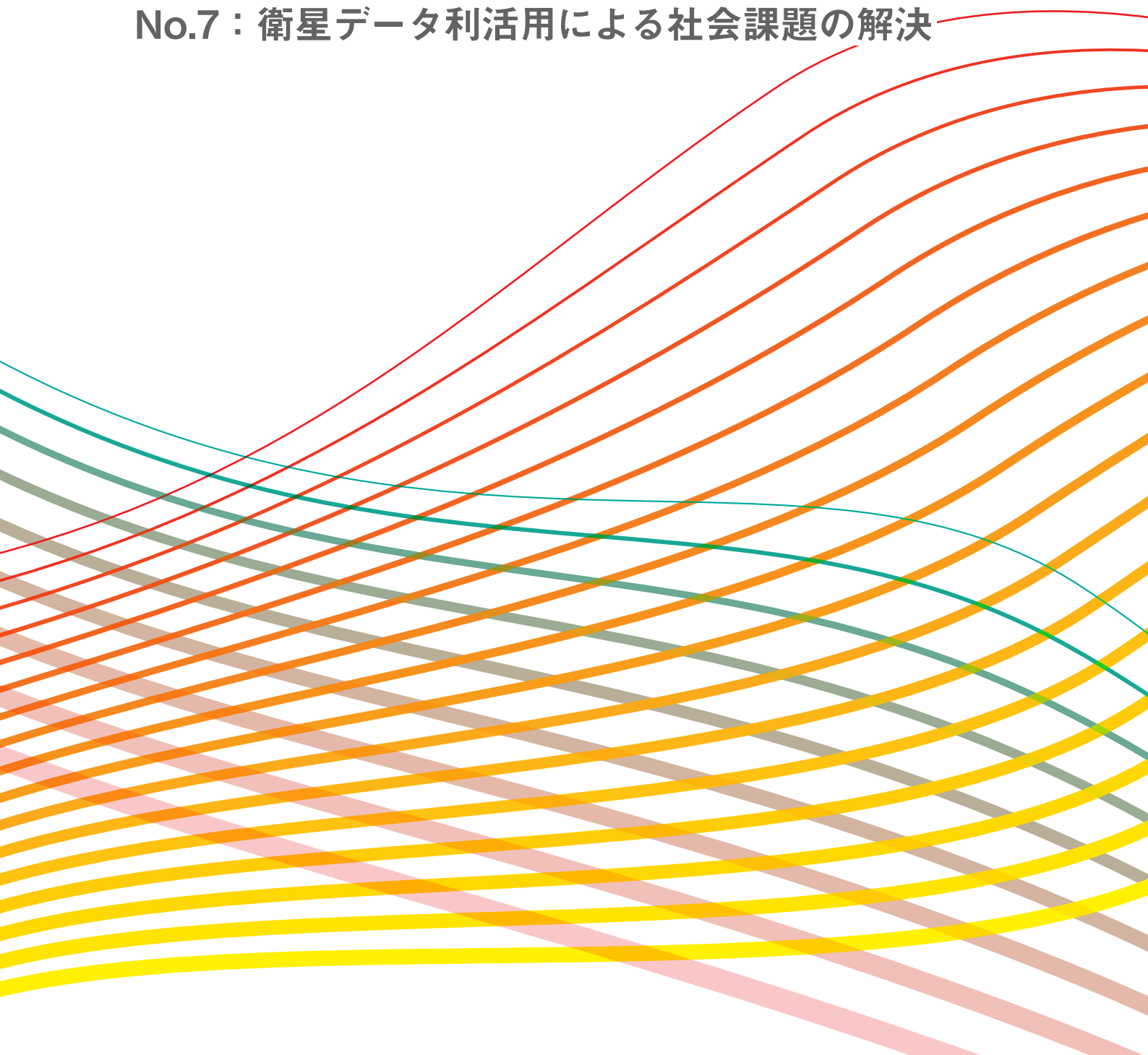


三菱電機技報

| 6-7 | 2022
Vol.96 No.6-7

No.6 : デジタルエナジー

No.7 : 衛星データ利活用による社会課題の解決



三菱電機では、暮らしを表す“ライフ”，生活に必要なものを生み出す“インダストリー”，社会を支える“インフラ”，これらをつなぐ“モビリティ”という4つの領域において，社会課題の解決に向けた価値創出へ取り組んでいます。

2022年からの三菱電機技報では，これら4つの領域とそれらを支える基盤技術をテーマとして取り上げていきます。

今回の特集ではインフラ領域の“デジタルエネルギー”（6月号），“衛星データ利活用による社会課題の解決”（7月号）をご紹介します。

No.6

特 集	デジタルエネルギー	Digital Energy
巻 頭 言		
デジタルエネルギー技術の展望…………… 4	加藤晴信	Prospects for Digital Energy Technology Harunobu Kato
巻頭論文		
カーボンニュートラル社会を支える技術の展望…………… 5	前田英昭	Technology Outlook Supporting Carbon Neutral Society Hideaki Maeda
配電線路電圧管理システムの導入…………… 11	寺脇 充・遠藤駿介	Introduce of Grid Control System for Power Distribution System Mitsuru Terawaki, Shunsuke Endo
監視・制御の高度化を図るエッジデバイス “MELPRO-i”シリーズ …………… 15	匹田猛雄・高口雄介	Edge Device “MELPRO-i” Series for Highly Sophisticated Monitoring and Control Takeo Hikita, Yusuke Takaguchi
自励式HVDCシステムの検証 …………… 19	貞國仁志・石黒純也・久世裕子・山中大輔・菊地 健	Verification of VSC Based HVDC System Hitoshi Sadakuni, Junya Ishiguro, Hiroko Kuse, Daisuke Yamanaka, Takeshi Kikuchi
電力系統網の安定稼働に貢献する異常兆候検知…………… 23	野村明裕・佐子朋生	Detection of Abnormality Signs that Contribute to Stable Operation of Power Grids Akihiro Nomura, Tomo Sako
カーボンニュートラルを目指したマルチリージョンEMS… 27	千貫智幸・杉山瑛美	Energy Management System for Multi-region Digital Power Supply targeting to Carbon Neutrality Tomoyuki Chinuki, Emi Sugiyama
風力系統への適用を想定したC-GIS用Cable Switch …… 31	松永敏宏・香川耕一・大西健司・吉岡純生	Cable Switching Breaker for C-GIS Dedicated to Wind Power System Application Toshihiro Matsunaga, Koichi Kagawa, Kenji Onishi, Yoshiki Yoshioka

No.7

特 集	衛星データ利活用による社会課題の解決	Provide Solutions to Social Challenges by Utilizing Satellite Data
巻 頭 言		
衛星データ利活用による社会課題の解決 の特集号に寄せて…………… 35	松英稔久	A Preface for the Special Issue of "Provide Solutions to Social Challenges by Utilizing Satellite Data" Toshihisa Matsue
人工衛星による測位インフラ…………… 36	井上禎一郎・山口雅哉・高山拓也・永倉 亘・今村征寛	Positioning Infrastructure by the Quasi-Zenith Satellite System Teiichiro Inoue, Masaya Yamaguchi, Takuya Takayama, Wataru Nagakura, Yukinobu Imamura
温室効果ガス・水循環観測技術衛星 GOSAT-GW及びTANSO-3 …………… 40	藤井康隆・鴨沢 誠	GOSAT-GW and TANSO-3 Yasutaka Fujii, Makoto Kamozaawa
気象衛星ひまわりによる自然災害への備え…………… 44	西山 宏・赤木茂樹	Preparation for Natural Disaster by Meteorological Satellite Himawari Hiroshi Nishiyama, Shigeki Akagi
宇宙からの地球観測ソリューション…………… 48	栗原康平・三五大輔・糸野和孝・齋藤 進	Earth Observation Solutions Kohei Kurihara, Daisuke Sango, Kazutaka Kumeno, Susumu Saito
一般論文		
東京国際空港向け広域マルチラテレーション装置…………… 52	伴野友彦・佐藤 亮	Wide Area Multilateration Equipment for Tokyo International Airport Tomohiko Banno, Ryo Sato
オンライン資格確認向け 三菱通信ゲートウェイ“smartstar” …………… 56	横里純一・松坂孝一郎・佐藤浩司・名取英男・泉 裕作	Mitsubishi Communication Gateway “smartstar” for Health Insurance Online Confirmation Junichi Yokosato, Koichiro Matsuzaka, Koji Sato, Hideo Natori, Yusaku Izumi

巻頭言

衛星データ利活用による社会課題の解決の特集号に寄せて

A Preface for the Special Issue of "Provide Solutions to Social Challenges by Utilizing Satellite Data"

松英稔久 Toshihisa Matsue

電子システム事業本部 宇宙システム事業部 副事業部長
Deputy General Manager, Space Systems Division, Electronic Systems Group



2008年の宇宙基本法成立と2009年の宇宙基本計画制定を受けて、当時3,000億円規模であった日本の政府宇宙関係予算は、2022年度には5,200億円規模へと大幅に拡充されました。2020年6月に改訂された宇宙基本計画(第4次)では、宇宙安全保障の確保、災害対策・国土強靱(きょうじん)化や地球規模課題の解決への貢献、宇宙を推進力とする経済成長とイノベーションの実現、宇宙科学・探査による新たな知の創造、産業・科学技術基盤を始めとする日本の宇宙活動を支える総合的基盤の強化が宇宙政策の目標として掲げられています。安全保障での宇宙空間の重要性や経済社会の宇宙システムへの期待の高まり、諸外国や民間の宇宙活動の活発化、科学技術の急速な進化など、昨今の宇宙を巡る環境は急速に変化しています。これらを踏まえて、多様な国益に貢献するため、戦略的に同盟国等とも連携しつつ、宇宙活動の自立性を支える産業・科学技術基盤を強化し、宇宙利用を拡大することで、基盤強化と利用拡大の好循環を実現、自立した宇宙利用大国になることが日本の目標と理解できます。

このように宇宙政策は、従来の研究開発に加えて、利用の拡大や、産業基盤の強化に軸足を移しつつあります。

人工衛星の効用や便益は既に私たちの生活の中に浸透しており、通信衛星、測位衛星、地球観測衛星は分野が異なるものの、私たちのビジネスや日常生活に欠かせない役割を果たすものになっています。通信分野は衛星放送などを中心に最も身近な利用が進展してきた分野であり、現在では航空機等の移動体への通信サービスや、地上通信網の未発達地域を中心とした携帯電話通信のバックホール等への利用が進んでいます。

一方、人工衛星からもたらされる様々なデータも既に日常生活で身近なものになっています。米国のGPS(Global Positioning System)や日本のQZSS(Quasi-Zenith Satellite System)に代表される測位衛星からの測位データが、カーナビゲーションやスマートフォンの地図アプリケーション等で活用されていることは常識になりつつありますが、衛星から配信される測位補強データ(CLAS(Centimeter

Level Augmentation Service)等)に基づく高精度測位の自動運転等への活用も着実に進んでいます。さらに、国民に広く親しまれ、既におなじみとなった気象衛星“ひまわり”の画像も天気予報には必要不可欠です。また、観測衛星(干渉計、光学、レーダ)から送られてくる観測データを利用した温室効果ガス測定や浸水予測、防災／減災、地殻変動などの自然災害に備える取組みも進みつつあり、地球観測ソリューションとしての活用が期待されています。これらの衛星データは、今まさに進んでいるデジタル技術革新との相乗効果によって、今まで以上に私たちの暮らしに大きな影響をもたらしています。

今号では、こうした衛星データ利用に関する昨今の技術的な進展が、今後の私たちの暮らしにどのように役立ち、利用が広がることで社会課題の解決にどのようにつながっているのかを論じています。

2015年に国連が“17の持続可能な開発のための目標(SDGs)”を発表してから早6年以上経過しましたが、いまだ目標達成途上の段階であり、国を越えたグローバルな取組みの加速が必要になっています。その中で、“宇宙は、国境がないとともに、グローバルなシステムを構築できる”ことから活用の期待が高まっている分野の一つです。先に述べた、2020年6月の宇宙基本計画(第4次)で挙げた目標に対して、政府を挙げて、“宇宙システムを強化し、深刻化する世界のエネルギー、気候変動、大規模自然災害等の地球規模課題の解決に貢献しSDGsの達成につなげる”ことが明示されています。衛星データ利用はブレークスルー、イノベーションを促進し、これまで想像もしなかった革新的な社会・インフラを実現させ、私たちの暮らしの利便性を飛躍的に向上させる可能性を秘めています。宇宙は、遠いところ、普段の生活には関係ない、ではなく、既に私たちの生活と密接に関わり、安心・安全な暮らしの確保には不可欠のものになっています。様々な可能性を持っている宇宙を貴重な公共財として有効に活用し、より豊かな社会づくりに結び付けていけるよう、これからも宇宙事業を推進していきます。

井上 禎一郎*
Teiichiro Inoue
山口雅哉†
Masaya Yamaguchi
高山拓也*
Takuya Takayama

永倉 亘*
Wataru Nagakura
今村征寛*
Yukinobu Imamura

人工衛星による測位インフラ

Positioning Infrastructure by the Quasi-Zenith Satellite System

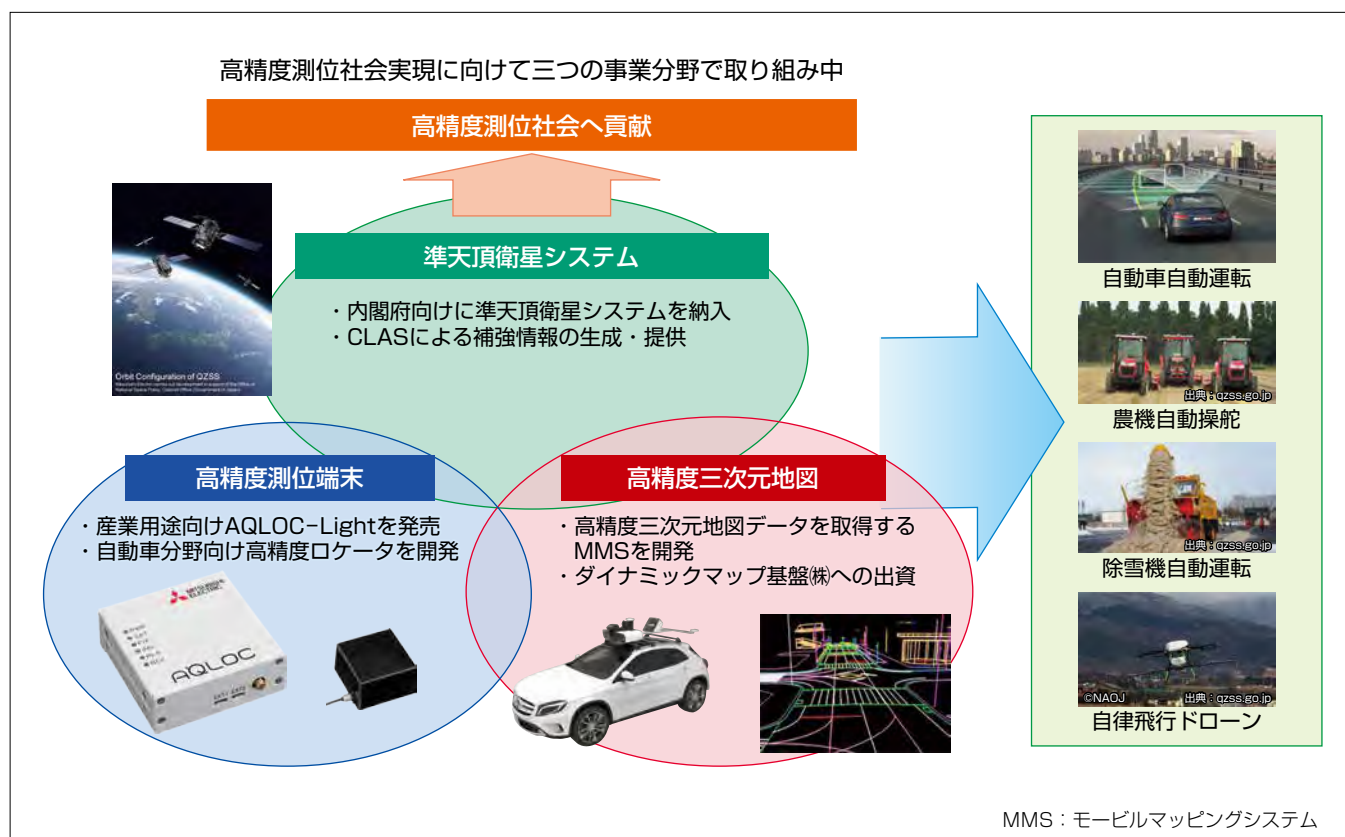
要 旨

2018年11月から4機体制でのサービスを開始している準天頂衛星システム(QZSS: Quasi-Zenith Satellite System)は、2021年10月に初号機後継機が打ち上げられ、2022年3月末からサービスインし、現在2, 3, 4号機及び初号機後継機の4機体制でサービスを提供している。さらに持続測位が可能になる7機体制の確立のため、追加3機(5, 6, 7号機)の開発を2019年から進めている。三菱電機は、衛星3機のシステム、バスサブシステム及び7号機搭載メッセージ通信ペイロード(MCP: Message Communication Payload)を内閣府から受注し、測位ペイロードの一部をJAXAから受注して、開発を進めている。5号機は2021年4月、6, 7号機は2021年12月にシステムの詳細設計審査会を完了し、現在、維持設計フェーズへ移行している。試験を

完了した機器からインテグレーション組立てを開始している。

準天頂衛星システムのサービスとしても進展しており、センチメートル級測位補強サービス(CLAS: Centimeter Level Augmentation Service)は、2020年11月末から補強対象衛星数を17機に拡張し、可用性を飛躍的に向上させている。また、CLASに対応した受信機は、サービスイン時に発売したAQLOC-VCXから、小型・低コスト化開発に取り組んで、2019年11月に後継製品として、高精度測位端末AQLOC-Lightを発売している。

これら準天頂衛星システム及び高精度測位端末に、更に高精度三次元地図を合わせて、三つの事業分野に取り組んでおり、これらを一体化して進めることで、高精度測位社会の実現に貢献している。



高精度測位社会実現に向けた取り組み

当社は、高精度測位の社会実現に向けて、準天頂衛星システム分野、高精度測位端末分野、高精度三次元地図分野の三つの分野に取り組んでいる。高精度測位は、自動車の自動運転、農機の自動操舵(そうだ)、除雪機自動運転、自律飛行ドローンなど、様々な利用シーンが考えられる。これらは、人々の生活を豊かにし、各種事業を発展させるキーテクノロジーである。

1. ま え が き

2011年9月30日に政府は、“準天頂衛星システム事業の推進の基本的な考え方”を閣議決定し、2012年度から内閣府が、準天頂衛星システムの開発・整備に着手している。当社は、国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構(JAXA: Japan Aerospace Exploration Agency)の下で開発した2010年の“みちびき初号機”の打ち上げに続いて、2013年から2, 3, 4号機を内閣府の下で開発し、2017年に順次打ち上げを実施している。並行して準天頂衛星システムサービス(株)(QSS: Quasi-Zenith Satellite System Services Inc.)とともに地上システムのうち、管制サブシステム、CLAS、公共専用サービス等の開発を行い、2018年11月から準天頂衛星システム4機体制でのサービスを開始している。

続く2016年4月に閣議決定された宇宙基本計画で、持続測位が可能になる7機体制の確立のために必要な追加3機の開発が明記され、2019年に内閣府から衛星3機のシステム、バスサブシステム及び7号機搭載MCPを受注した。さらに2021年10月には、初号機後継機が打ち上げられ、2022年3月末からサービスインした。現在2, 3, 4号機、初号機後継機の4機体制でサービスを提供している。

当社は、国家インフラとしての準天頂衛星システムによる高精度測位社会の実現に向けて、三つの事業分野に取り組んでいる。一つ目は先に述べた準天頂衛星システム(衛星システム、地上システム等)、二つ目は高精度測位端末、さらに三つ目は高精度三次元地図分野である。これらを一体化して進めることで、高精度測位社会に貢献する活動を進めている。

高精度測位端末分野では、既に産業用途向けのCLAS対応端末であるAQLOC-Lightを販売しており、自動運転分野では高精度ロケータを開発し、利用が開始されている。また、高精度三次元地図分野では、高精度三次元地図の作成・販売を手掛けるダイナミックマップ基盤(株)に出資し、その利用普及を支援するとともに、高精度三次元地図データを取得するためのMMSを開発して提供している。

本稿では、準天頂衛星システム、衛星管制地上システム、高精度測位端末及びそれらのサービスに関する状況について述べる。

2. 準天頂衛星システムによる測位インフラ

2.1 4機体制から7機体制へ

2017年6月に準天頂衛星2号機、同年8月に3号機、

同年10月に4号機が打ち上げられ、サービス中である。また、2021年10月に準天頂衛星初号機後継機が打ち上げられ、2022年3月24日からサービスが開始された。この4機体制の準天頂衛星システムは、準天頂軌道衛星3機(初号機後継機、2号機、4号機)と静止軌道衛星1機(3号機)から構成される。準天頂軌道は、地表面に対してほぼ静止して周回する静止軌道に対して、40~50度傾斜し遠地点が日本上空近傍になる楕円(だえん)軌道(離心率0.075)であり、日本のほぼ真上に滞在する時間を長く取れる特長がある。図1に軌道概要を、図2(a)に各衛星軌道の地表面上への投影図を示す。

日本からは静止軌道衛星1機と、60度以上の高仰角にいる準天頂軌道衛星1機が常に見えることから、高精度かつ安定した位置情報等のサービス提供が終日可能になる。

7機体制で追加される3機は、5号機が準天頂軌道衛星、6号機が静止衛星、7号機が準静止衛星で、図2(b)のとおり計画されている。日本からは静止軌道衛星3機と、60度以上の高仰角にいる準天頂軌道衛星1機の計4機が常に見えることから、米国GPS(Global Positioning System, Global Positioning Satellite)に依存しなくても持続測位が可能に

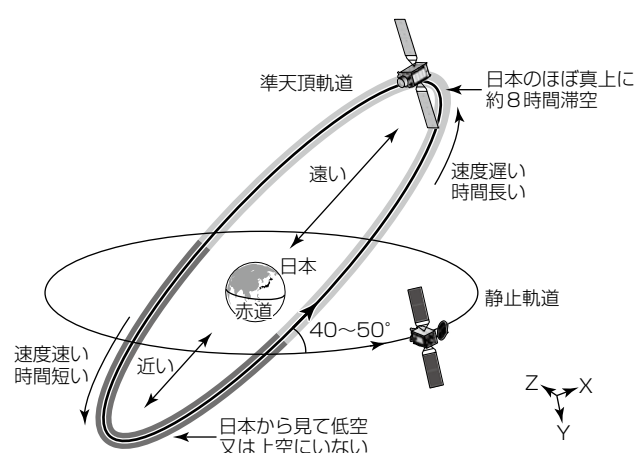


図1. 静止軌道と準天頂軌道

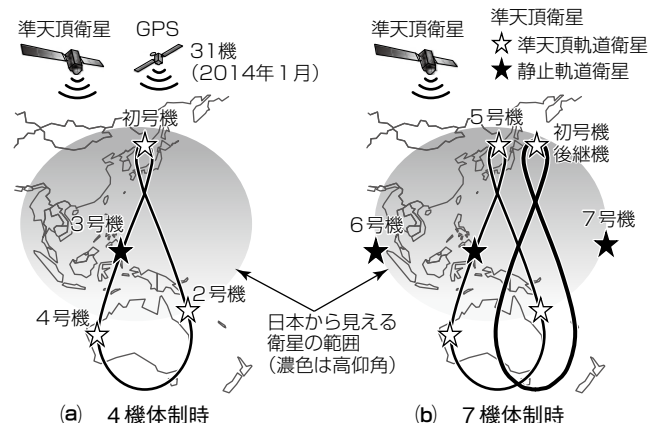


図2. 各衛星軌道の地表面上への投影

なり、安全保障能力の維持・強化に貢献する。

5～7号機には、精度・信頼性の向上や抗たん性の強化等の測位技術の高度化を継続的に進める観点から、測位ペイロード(NP：Navigation Payload)の機能向上と、高精度測距システムペイロード(PRP：Precise Ranging Payload)の追加が実施される。また7号機には、災害対策・国土強靱(きょうじん)化に関わる衛星安否確認サービスを送受信するMCPを搭載し、現行3号機に問題が生じた場合はバックアップとして使用する。

2.2 衛星開発状況

準天頂衛星5, 6, 7号機は、当社標準衛星バスDS2000をベースに開発した初号機、2, 3, 4号機、初号機後継機の技術を利用して開発している⁽¹⁾。5号機と6, 7号機でミッション構成が一部異なるが、バスサブシステムは、ほぼ同一仕様になるよう設計開発を進めて、2020年10月に3機共通のサブシステムの詳細設計審査が完了している。

5号機は、2019年11月にシステムの基本設計審査会(PDR：Preliminary Design Review)、2021年4月にシステムの詳細設計審査会(CDR：Critical Design Review)が完了した。現在、維持設計フェーズで、バスサブシステムの製造、試験が完了した機器等から衛星のインテグレーション組立てを開始している。その後、システム試験への移行を計画している。一方の6, 7号機は、2020年1月にPDR、2021年12月にCDRが完了し、維持設計フェーズへ移行している。今後、3機同時のシステム製造・試験を実施するに当たっては、2～4号機の同時開発で培ったノウハウを最大限に生かして、品質・信頼度を更に高め、開発効率や工程にも考慮してシステム開発を進めていく。

2.3 衛星管制地上システム

衛星管制としては、7機体制に対応して、当社開発の衛星管制地上システムBirdstarを用いた7衛星同時並行運用を実現する。4機体制での4衛星同時並行運用で、衛星の位置や姿勢保持制御、状態監視のルーチン運用の自動化を実現し、省人化に寄与しているが、限られた運用者によって7衛星同時並行運用を実現するため、運用の自動化に加えて、緊急対応時のサポート機能の充実を必要とする。衛星と地上の連携を強化して異常検知から復旧運用のための支援機能を開発し、更なる省人化と運用効率化に寄与していく。

2.4 受信機開発状況

3.1節に述べるとおり準天頂衛星システムからは、米国のGPSと互換性を持つ測位信号及びCLASが配信されている。当社ではCLASに対応した受信機の開発に取り組んで、

2018年11月に準天頂衛星システムからCLASがサービスインされたと同時にCLAS対応測位受信機AQLOC-VCXを発売した。その後、小型・低コスト化開発に取り組んで、2019年11月に後継製品としてAQLOC-Light(図3)を発売した。

AQLOC-Lightが出力する測位結果の精度は、CLASが公証している数値に準拠しており、電離層・対流圏の著しい変化の影響を受けないオープンスカイ環境で受信した場合、移動体では、水平位置精度：12cm以下(95%)、垂直位置精度：24cm以下(95%)である。また、静止体では、水平位置精度：6cm以下(95%)、垂直位置精度：12cm以下(95%)を実現している。AQLOC-Lightは、CLASに対応した衛星測位アルゴリズムに加えて、GNSS(Global Navigation Satellite System)/INS(Inertial Navigation System)複合タイトカップリング方式測位アルゴリズムを採用しており、衛星信号の品質が劣化して測位精度が悪くなるマルチパス環境下でも安定した測位が可能である。マルチパスが多発する環境である都市環境下(当社では、評価環境として、JR藤沢駅の南口ロータリー付近等を測定)でも走行車線が識別可能なレベルでの測位が実現できている。

CLASに対応した受信機のニーズは、ドローンや自律走行搬送ロボット(AMR：Autonomous Mobile Robot)等の小型・軽量の様々な移動体に及ぶ。そのため、更なる小型化・システム組み込みへの汎用化が求められている。このような市場ニーズに対応するため、現在、当社の三田製作所と連携し、組み込みボード型AQLOCの開発に取り組んでいる。組み込みボード型AQLOCは、2022年度末からの市場導入開始を目指している。

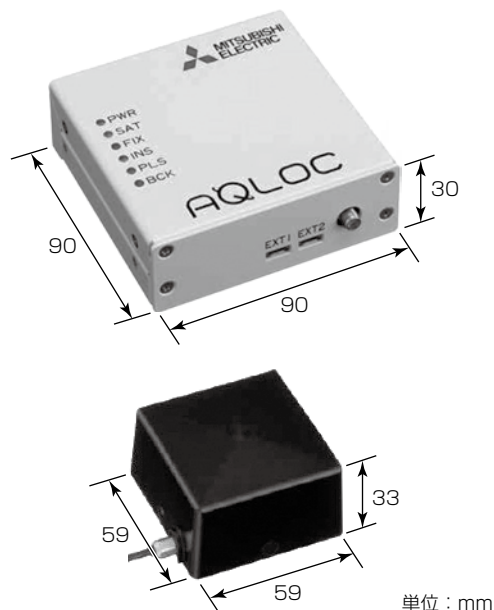


図3. 受信端末(AQLOC-Light)と付属アンテナ

3. 準天頂衛星システムが提供するサービス

3.1 CLAS

準天頂衛星システムが提供するサービスとして様々な技術が存在するが、中でも2018年11月1日からサービスインしているCLASは、センチメートル級の測位を可能にする補強情報を送信するサービスである。

CLASは、準天頂衛星から送信されるL6信号を使用して、日本の測地系と整合可能なセンチメートル級の位置精度が得られる測位補強情報を日本全国及びその近海に送信する。衛星からの補強情報の送信は、携帯電話等の地上インフラでの送信とは異なり、衛星の可視性が保持できる環境で一律にサービス提供が可能であり、山間部でも利用できる。また、ユーザー規模が爆発的に拡大した場合であっても、放送型のサービスであることから、ユーザー数は無制限に対応可能であることもメリットとして挙げられる。精度などのCLASサービス性能⁽²⁾及びユーザーインターフェース仕様書⁽³⁾については、みちびきのホームページで公開されている。

特定の地上通信インフラを必要としない日本国内をサービスエリアとした無償の放送型の測位補強サービスの開始は、IT農業や全国の高速自動車専用道路での自動走行・次世代安全運転支援システムなど、本格的な高精度位置情報利用時代への利活用が期待される。今後、他のGNSSでも、センチメートル級の測位を可能にする補強情報の送信が予定されており、世界的にも高精度測位の普及に向けた環境が整いつつある。

3.2 利便性向上に向けて

CLASの補強信号は、日本のほぼ天頂にある準天頂衛星から配信されるため、高層建造物があるような周囲環境でも電波が遮蔽されにくい。一方、測位に使用するGPSやGalileo等の衛星は、準天頂衛星に対して低い仰角を通るため、非オープンスカイ環境(仰角15度以上に遮蔽物があり、衛星からの電波が遮蔽される都市部や森林等の環境)では、ユーザーの可視性に制約を受けることがある。

このため、都市部等の環境で、サービス開始時点での配信フォーマットでは、補強対象の測位衛星数の最大11機であり、測位に必要な衛星数を確保できず、測位結果に影響を与えることがあった。そこで、マルチGNSS対応として、圧縮率の良いフォーマットに再定義し、補強対象衛星数を2020年11月末から17機として拡張した。結果、非オープンスカイ環境の利用シーンを含めて、CLASの可用

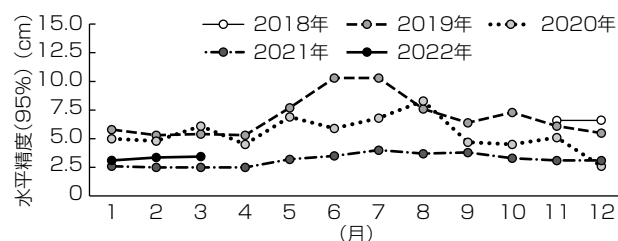


図4. 測位性能評価(水平精度)

性を飛躍的に向上させることが可能になった。結果を図4に示す。図4は、サービスインした2018年から水平測位精度の経過を示しており、2020年12月以降、17機対応したことから、精度が格段に向上していることが分かる。このようにCLASは、補強対象衛星数を増加させることによって、ユーザーの可用性を向上させることができ、継続して衛星数を増やす取組みを検討している。

このサービスは、2032年度までの運用が決定しており、インフラの更なる価値向上等によって、自動運転、鉄道利用、社会インフラ維持管理、無人化・ロボットサービスといった様々な分野への社会実装が期待されている。今後も継続した安定的なサービスの提供に向けて、サービス品質の維持に取り組んで、ユーザー利便性向上に向けた施策を進めていく。

4. む す び

準天頂衛星システム7機体制は、日本の安全保障の維持・強化に向けた持続測位能力の向上が図られるとともに、各種サービスによる災害対策での活用や、自動運転、農業、交通・物流、建築等の様々な分野・利活用シーンへの社会実装が期待されている。

当社は、今後準天頂衛星システムの利用ユーザーのニーズを踏まえて、準天頂衛星システムが国の政策に基づいて、より盤石な安定した持続インフラになるように内閣府の下で取り組んでいく。また、準天頂衛星システムのインフラの利活用促進に向けて、より良いソリューションを提供し、関係機関・団体・関係事業者・ユーザーとも連携し、高精度測位社会に貢献していく。

参考文献

- (1) 二木康徳, ほか: 高精度測位社会実現に向けた準天頂衛星システム7機体制の確立, 三菱電機技報, 95, No.2, 117~120 (2021)
- (2) Cabinet Office: Quasi-Zenith Satellite System Performance Standard, PS-QZSS-003 (2022)
https://qzss.go.jp/en/technical/ps-is-qzss/ps_qzss_003_agree.html
- (3) Cabinet Office: Quasi-Zenith Satellite System Interface Specification Centimeter Level Augmentation Service, IS-QZSS-L6-004 (2021)
https://qzss.go.jp/en/technical/ps-is-qzss/is_qzss_l6_004_agree.html

温室効果ガス・水循環観測技術衛星 GOSAT-GW及びTANSO-3

藤井康隆*
Yasutaka Fujii
鴨沢 誠*
Makoto Kamoizawa

GOSAT-GW and TANSO-3

要 旨

温室効果ガス観測技術衛星GOSAT (Greenhouse gases Observing SATellite, 愛称：いぶき) シリーズは、気候変動に関する科学の発展への貢献と気候変動政策への貢献(脱炭素社会開発の推進)をミッションとした衛星シリーズであり、現在GOSAT(2009年打ち上げ)及びGOSAT-2(2018年打ち上げ)の2機が運用中である。三菱電機は衛星プライムメーカーとして、契約元であるJAXA(国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構)に加えて、プロダクトのデータ処理を実施するユーザーである環境省、NIES(国立研究開発法人 国立環境研究所)の指導の下、開発・製造・運用に貢献している。

温室効果ガス・水循環観測技術衛星GOSAT-GW(Global

Observing SATellite for Greenhouse gases and Water cycle)はGOSAT-2の後継機であり、2023年度打ち上げを目指して、当社がプライムメーカーとして開発中である。

GOSAT-GWは従来の温室効果ガス観測ミッション用の温室効果ガス観測センサ3型(TANSO-3)に加えて、水循環変動観測衛星(GCOM-W(Global Change Observation Mission-Water), 愛称：しずく)に搭載されたAMSR2の後継である高性能マイクロ波放射計3(AMSR3)を搭載し、大気中に含まれる水蒸気のデータを気象庁や世界の気象機関に提供し、台風や集中豪雨などの予測精度向上に貢献する。GOSAT-GWは気候変動、気象観測で、重要な役割を担う人工衛星になっている。

衛星システム外観



- ・環境省の温室効果ガス観測センサ3型(TANSO-3)ミッションに関する開発を受託し、JAXAミッションであるAMSR3と相乗りする。
- ・ミッションが両立可能な軌道を選択。
- ・衛星バスは実績のあるGOSAT-2バスを最大限活用。両ミッションに対するバスへの搭載性に関しては機械、電気、熱インタフェース等の観点から、新規開発技術要素はない。

衛星システム主要諸元

運用軌道	種類	太陽同期準回帰軌道
	高度	666km, 回帰3日(GOSATと同様)
	昇交点通過地方太陽時	13:30±15分(GCOM-Wと同様)
衛星質量		約2.6t(推葉190kg含)
発生電力		約5.3kW(1アレイ故障時:EOL)
設計寿命		7年以上
打上げ		H-IIAロケット
観測運用		TANSO-3 : 地表日照域観測 AMSR3 : 常時観測
ミッションデータ伝送		直接伝送(X): 400Mbps 直接伝送(S): 1 Mbps(AMSR3のみ)
搭載ミッション機器		TANSO-3 AMSR3

TANSO-3: Total Anthropogenic and Natural emissions mapping Spectrometer-3, EOL: End Of Life

出典: 科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会宇宙開発利用部会(第52回R1.12.10)資料52-1
温室効果ガス・水循環観測技術衛星(GOSAT-GW)プロジェクト移行審査の結果について
<https://www.mext.go.jp/kaigisiryō/content/000020148.pdf>

GOSAT-GW衛星の主要諸元

GOSATシリーズの後継機として開発中であるGOSAT-GWの主要諸元を示す。TANSO-3(温室効果ガス観測センサ3型)はGOSAT-2に搭載されたTANSO-FTS-2の後継センサである。TANSO-FTS-2で採用されたフーリエ干渉型分光方式から回折格子型分光方式に変更し、二酸化炭素やメタン等の温室効果ガスの空間的に詳細化した観測が行われる。JAXA開発のAMSR3(高性能マイクロ波放射計3)は、地表や海面、大気などから放射されるマイクロ波を観測するセンサである。

1. ま え が き

2015年のCOP21(国連気候変動枠組条約第21回締約国会議)で採択された“パリ協定”では“世界の平均気温を工業化以前(1850～1900年)に対して2℃より十分低く保つとともに、1.5℃以下に抑える努力を追求する”ことが示された。また、パリ協定の要請によってIPCC(気候変動に関する政府間パネル)が作成した“1.5℃特別報告書”で、①温度上昇に対する甚大な被害のリスク、②地球温暖化を1.5℃以下に抑えるために必要なCO₂の残余カーボンバジェットの余地が少ない、③今すぐに削減活動を始めて、2055年にはCO₂排出量ゼロを達成する必要がある、ことが報告されている。CO₂排出量と温暖化シミュレーションを図1に示す。

温室効果ガス削減に向けて、各国の温室効果ガスイベントリを把握すること及び正確なシミュレーションのため大気の温室効果ガス濃度の把握をすることは非常に重要になっている。この目的のため、日本では環境省、NIES、JAXAの3者共同ミッションによってGOSAT及びGOSAT-2を開発、運用している。

2009年に打ち上げられたGOSATは主にCO₂とメタンの濃度を宇宙から観測することを専門とした世界初の人工衛星である。2018年に打ち上げられたGOSAT-2はGOSATの観測機能を強化したセンサを搭載しており、両衛星は現在も観測データを提供している。

GOSAT-2による成果の一例を図2に示す。

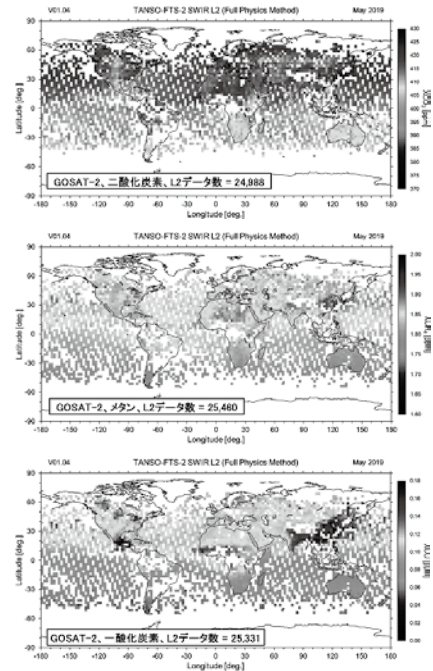
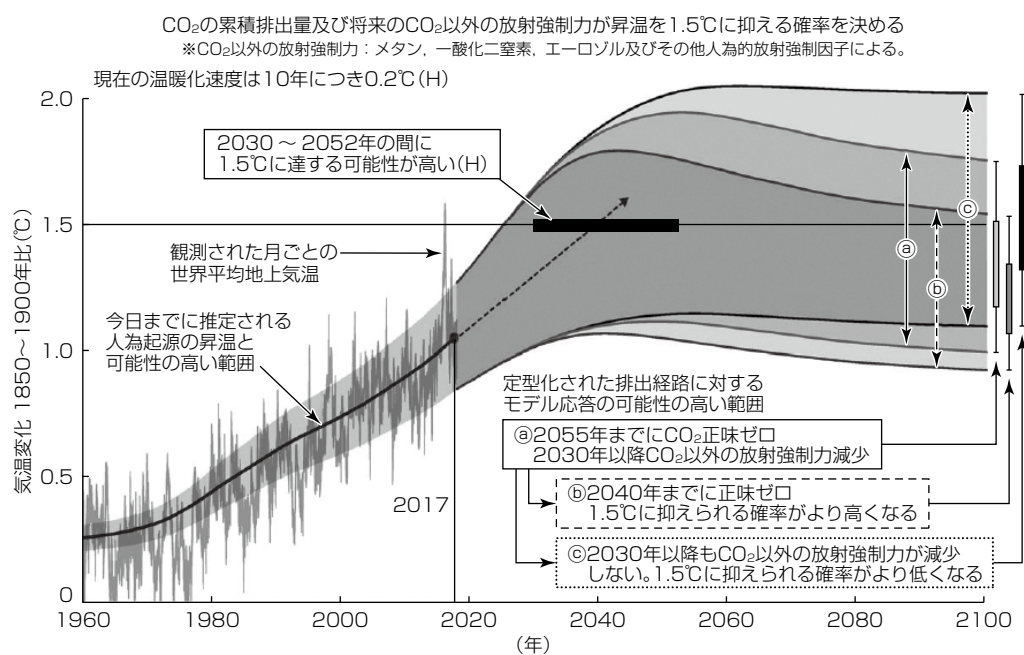


図2. GOSAT-2観測例⁽²⁾

2. 温室効果ガス・水循環観測技術衛星 (GOSAT-GW)

2.1 衛星システム

GOSAT-GWはGOSAT-2搭載センサのTANSO-2の後継であるTANSO-3とGCOM-W搭載センサのAMSR2の後継であるAMSR3を搭載する衛星として、2023年度打ち上げを目指して、当社で開発中である。GOSAT-GW



今すぐ排出削減を始め、2055年までにCO₂排出量をゼロにすれば、③の範囲に温暖化を抑えられる可能性が高い。

図1. CO₂排出量と温暖化シミュレーション⁽¹⁾

関連衛星の主要諸元を表1に示す。

GOSAT-2からの主な変更点は次のとおりである。

(1) AMSR3との相乗り

地表面や海面，大気中の水に関する物理量を雲を透過して観測し，気候変動に伴う水循環変動データを取得するミッションと相乗りのため，AMSR3を搭載している。AMSR3の概要を図3に示す。

(2) TANSOの面観測化

従来のフーリエ分光方式から回折格子と二次元センサに変更することで全球の面観測を実現する。GOSAT-2とGOSAT-GWの観測イメージを図4に示す。

2.2 TANSO-3

2.2.1 概要

TANSO-3は，GOSAT-GWの温室効果ガス観測ミッ

ションを担う観測センサである。TANSO-3の形状を図5に示す。

大気中に存在するガスは，その種類に応じた特定の波長の光を吸収する。太陽光が地球に入射し，宇宙空間まで反射する過程では，大気を往復で通過する。このため，宇宙空間で観測される地球で反射した太陽光のスペクトルは，大気中に存在するガスによる吸収を受けたものとなる。TANSO-3は，地球で反射した太陽光のスペクトルを分光観測するセンサであり，観測したスペクトルを分析することで，大気中に存在するガスの濃度を導出することが可能である。

TANSO-3には，主要な温室効果ガスである二酸化炭素(CO₂)，メタン(CH₄)を観測対象とするバンドに加えて，温室効果ガスではないが代表的な大気汚染物質である二酸化窒素(NO₂)を観測対象とするバンドを設けている。NO₂を対象とした観測は，GOSAT搭載TANSO-FTS，

表1. GOSAT-GW関連衛星の主要諸元⁽³⁾

項目	GOSAT-GW	GOSAT-2(いぶき2号)	GCOM-W(しずく)
ミッション機器	高性能マイクロ波放射計3(AMSR3) 温室効果ガス観測センサ3型(TANSO-3)	温室効果ガス観測センサ2型(TANSO-FTS-2) 雲・エアロソルセンサ2型(TANSO-CAI-2)	高性能マイクロ波放射計2(AMSR2)
衛星質量	約2.9t(暫定)	1.8t	約2t
発生電力(EOL)	約5,200W(暫定)	5,000W	3,880W以上
設計寿命	7年以上	5年	5年
軌道種別	太陽同期準回帰軌道	太陽同期準回帰軌道	太陽同期準回帰軌道
軌道高度	666km(GOSAT(いぶき)と同様)	613km	699.6km
回帰日数	3日	6日	16日
通過地方太陽時	昇交点通過地方太陽時：13:30±15分 (GCOM-W(しずく)と同様)	降交点通過地方太陽時：13:00±15分	昇交点通過地方太陽時：13:30±15分
打ち上げ年月日	2023年度(予定)	2018年10月29日	2012年5月18日

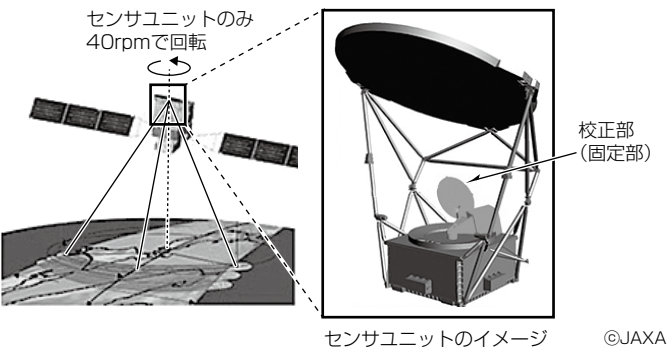
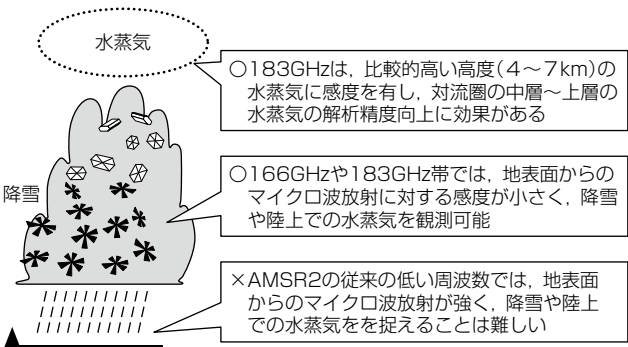


図3. AMSR3の概要⁽³⁾

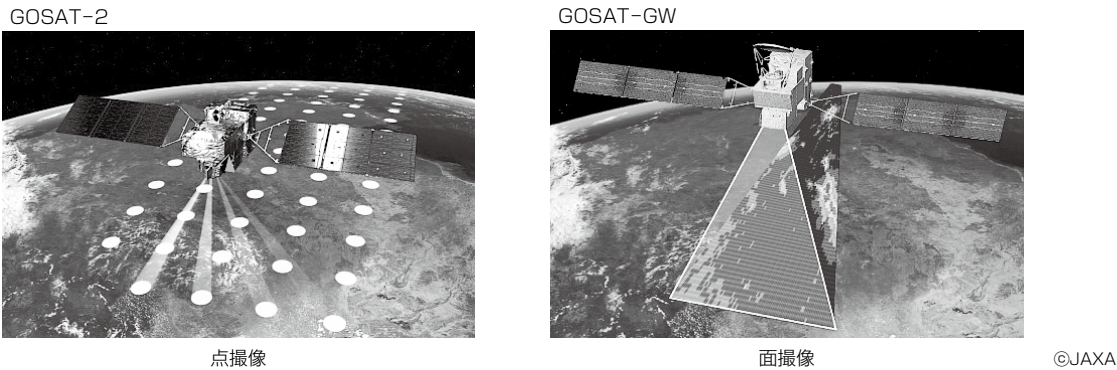


図4. GOSAT-2とGOSAT-GWの観測イメージ⁽³⁾

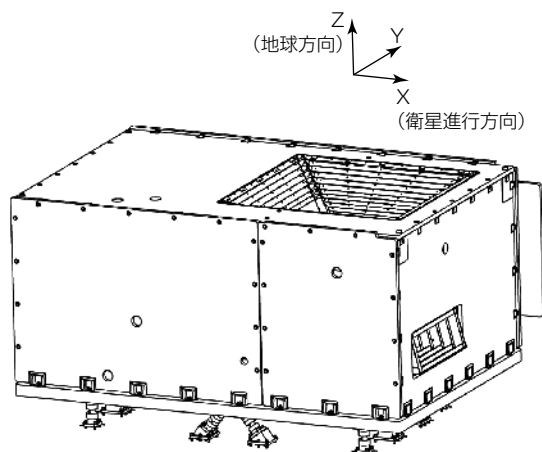


図5. TANSO-3の形状

GOSAT-2搭載TANSO-FTS-2では実施されておらず、TANSO-3で新たに追加された観測機能である。CO₂とNO₂のガス濃度を同時に導出することで、化石燃料燃焼起源のCO₂排出源の特定などに活用されることが期待される⁽⁴⁾。

2.2.2 分光方式

GOSAT搭載TANSO-FTS、GOSAT-2搭載TANSO-FTS-2では、太陽光のスペクトルを分光観測する方式(分光方式)としてフーリエ分光方式が採用されている。フーリエ分光方式には、広い波長範囲のスペクトルを高い波長分解能で観測できる特長があるが、多地点を同時に観測することが難しく、TANSO-FTS、TANSO-FTS-2共に一度に観測できる地点は1地点になっている。

これに対して、TANSO-3では、分光方式として回折格子方式を採用し、二次元検出器の一次元を分光、一次元を観測地点に割り当てることで、衛星進行の直交方向(Y方向)に対して多地点を同時に観測することを可能にしている。衛星進行に合わせて順次観測を行うことで、観測データを面的に取得できることから、GOSAT搭載TANSO-FTS、GOSAT-2搭載TANSO-FTS-2に対して空間的な観測能力が飛躍的に向上することになる。

2.2.3 TANSO-3の特長

(1) 観測モード切替え

TANSO-3には、精密観測／広域観測の二つの観測モードがあり、観測目的に応じて観測幅／空間分解能を切り替えることが可能である。この機能は、他の衛星の温室効果ガス観測センサには見られないTANSO-3の大きな特長である。

精密観測モードはC40(世界大都市気候先導グループ)などの都市での温室効果ガスの排出分布を詳細に観測するためのモードであり、その空間分解能は3 km以下である。

精密観測モードでは、ポインティングミラーを用いて指向方向を変更し、衛星直下以外を観測することが可能である。この機能を用いることで、必要な都市の観測を効率的に行うことができる。

広域観測モードは、全球での温室効果ガスの分布をグローバルに観測するためのモードであり、その観測幅は911km以上である。この観測幅は、3日で全球が観測できることに相当しており、高頻度な全球観測を実現し得るものになっている。

(2) 共通視野絞りによるバンド間レジストレーション確保

回折格子方式の分光観測センサには、回折格子による波長分散方向に対して観測視野を制限するための視野絞りが存在する。TANSO-3では、この視野絞りを各観測バンドで共通とする構成を採用している。この構成は、JAXAの先行研究⁽⁵⁾でも採用されており、各観測バンドの観測地点が衛星進行方向に対して一致する(衛星進行方向に対するバンド間レジストレーションが確保される)利点がある。衛星進行の直行方向に対しては、検出器のデータ処理条件(ビニング処理条件)による調整を行うことで、良好なバンド間レジストレーションの下での観測を実現する。

3. む す び

GOSATシリーズ衛星の目的と現在開発中のGOSAT-GW及び搭載センサであるTANSO-3の概要を述べた。

温室効果ガスのモニタリングは、国際協調の枠組みの中で、複数の衛星を順次打ち上げて運用することで、高精度な観測を継続する計画である。この中で、GOSATシリーズは中心的な役割を担っている。TANSO-3に対する国際的な期待に対応するため、当社鎌倉製作所では社内関連製作所やベンダーと共に精力的に開発を進めている。

参 考 文 献

- (1) 環境省：IPCC 1.5℃特別報告書(SR1.5)、IPCC AR6特別報告書、3～8 (2021)
http://www.env.go.jp/earth/ipcc_ar6_sr_pamphlet.pdf
- (2) 国立研究開発法人 国立環境研究所：温室効果ガス観測技術衛星2号「いぶき2号」(GOSAT-2)による観測データの解析結果(二酸化炭素、メタン、一酸化炭素)と一般提供開始について(2020)
<https://www.nies.go.jp/whatsnew/20201112/20201112.html>
- (3) JAXA：サテナビ GOSAT-GW
<https://www.satnavi.jaxa.jp/ja/project/gosat-gw/index.html>
- (4) 環境省地球環境局総務課 脱炭素化イノベーション研究調査室：環境省における気候変動分野での今後10年の取組方針、宇宙政策委員会 基本政策部会 第3回会合 配布資料 資料12 (2019)
- (5) Kuze, A., et al.: Imaging Spectrometer with an Agile Pointing System to Quantify Global and Regional Greenhouse Gas Fluxes and Monitor Localized Emission Sources, Trans. JSASS Aerospace Tech. Japan, **16**, No.2, 147～151 (2018)

気象衛星ひまわりによる 自然災害への備え

西山 宏*
Hiroshi Nishiyama
赤木茂樹*
Shigeki Akagi

Preparation for Natural Disaster by Meteorological Satellite Himawari

要 旨

気象衛星“ひまわり 8号”は、2014年10月、種子島宇宙センターから打ち上げられた。東経140.7度の静止軌道上で約半年間の点検及び画像調整を経て2015年7月から気象庁による画像提供サービスが開始された。また、同型機の“ひまわり 9号”は、2016年11月に打ち上げられ、点検及び画像調整を経て2017年3月から待機衛星としての運用が開始された。以降2機体制で約5年間にわたって、気象観測だけでなく、災害予測及び災害規模・詳細監視等の幅広い用途で使用されてきた。前号機“ひまわり 7号”(運輸多目的衛星新2号: MTSAT-2)に比べて、性能が飛躍

的に向上したため、海外からも撮像の依頼が多く、アジア・太平洋地域でも画像を提供することで貢献している。

ひまわり 8・9号は、2009年に気象庁による国際公開入札が実施され、欧米を含めて数社が応札する中、三菱電機が受注し、衛星本体及び地上の画像データ処理ソフトウェアを開発した。

ひまわり 8・9号は、台風の進路予想の精度向上、積乱雲など局所気象変動の予測、火山噴火、黄砂の監視など、自然災害への対応で大きく貢献している。



ひまわり 8・9号の軌道上想定図とひまわり 8号の工場出荷前写真

当社標準衛星バスDS2000に可視赤外放射計を搭載した三軸姿勢制御方式のひまわり 8・9号は、それぞれ2014年10月及び2016年11月に打ち上げられて、東経140.7度の静止軌道上で運用されている。2015年7月からひまわり 8号による気象衛星画像が配信されており、2022年からはひまわり 9号からの配信に切り替わる予定である。

1. ま え が き

ひまわり 8・9号は、ひまわり 7号の実績と経験を踏まえて、静止気象衛星搭載用の新型光学センサ“可視赤外放射計”（以下“放射計”という。）の運用に最適な設計を行ったものである。ひまわり 7号に搭載されたイメージャと比べて画像の解像度は約 2 倍の高精細になり、また、衛星から見える地球全体（フルディスク）の観測にかかる時間が約 1/3 に短縮され、日本域などの小領域を高頻度に観測することが可能である。

一方、放射計の観測精度実現のためには、放射計を搭載する衛星バスシステムも、従来に比べて高い性能を要求された。そのため、低熱歪（ひずみ）の光学ベンチの採用、高精度姿勢制御システム、低擾乱（じょうらん）アクチュエータの採用による擾乱低減を図るとともに、地上処理での画像補正のために、高精度・広帯域に光学ベンチの姿勢を計測・決定する機能を持つ。

打ち上げ時に折り畳んでいたソーラーパネルと Ka バンドアンテナは、軌道上で展開して図 1 に示すような外観になる。三軸姿勢制御方式の衛星であり、東経 140.7 度の赤道上空の高度約 35,800 km に静止している。

衛星バスは、DS2000 という、当社が開発し、ひまわり 7号や各種通信衛星に採用してきた実績ある基本バスシステムを採用している。エネルギー源は、片翼 2 枚のソーラーパネルである。ソーラーパネルには GaAs（ガリウムヒ素）系化合物半導体を材料にした太陽電池が貼り付けてあり、打ち上げ直後は約 2.6 kW（15 年後には放射線劣化によって約 2.2 kW）の電力を衛星に供給する能力がある。また、食期間中でも電力を安定供給するため、国産の大型リチウムイオンバッテリーセルを当社で組んで電池にして、衛星バッテリーパネルに搭載している。

DS2000 は、静止軌道上で 15 年間以上安定動作し、放射計はこの 15 年間のうち任意の 8 年間動作するよう設計されている。

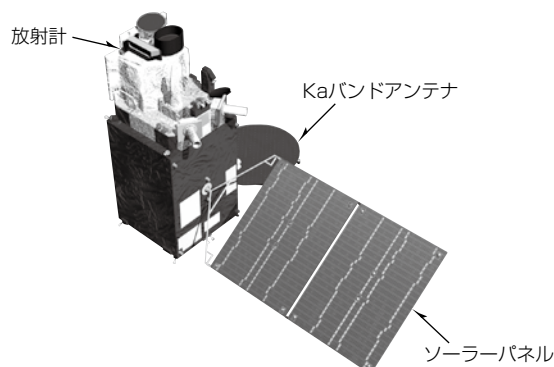


図 1. ひまわり 8 号の軌道上外観図

撮像画像の伝送では、画像データを圧縮し、Ka バンドのマイクロ波で伝送する。データ伝送レートは衛星の各種技術情報（テレメトリ）を含めて、60 Mbps 程度である。CFRP（Carbon Fiber Reinforced Plastics）製の直径約 2.2 m のアンテナを具備し、日本国内の 2 か所の地上局（埼玉県鳩山町と北海道江別市）に効率的に電波放射できるような設計にしている。

放射計を含む衛星全体の質量は、約 1,300 kg であり、打ち上げ時はこれにヒドラジン系の推進剤と酸化剤を充填して、約 3,500 kg になる。

本稿では当社が製造したひまわり 8・9 号の衛星の性能について解説しながら、自然災害へ活用されているひまわり 8・9 号の画像についても述べる。

2. 放 射 計⁽²⁾

地球を撮像する放射計は、米国 NASA（National Aeronautics and Space Administration）などが中心になって開発されたものである。気象衛星観測の新世代を担う最先端の性能を持ち、ひまわり 8・9 号ではこれをいち早く導入するとともに日本独自の仕様を追加したものである。開発当時米国では打ち上げた実績がなく、日本が世界で初めて運用を開始した。次に放射計の性能進化について述べる。

2.1 観測バンド（波長帯）数の増加

放射計の観測帯域（バンド）をひまわり 7 号のイメージャと比較して表 1 に示す。

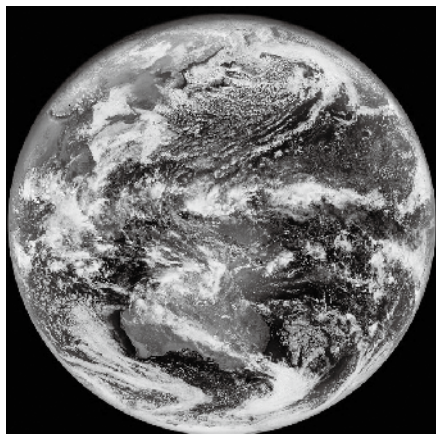
可視帯域のバンドを光の三原色としており、気象庁の二次処理ソフトウェアによって、地上で重ね合わせて処理することで、カラー合成画像を得ることができる。これによって、黄砂、火山噴煙を観測でき、また増加した赤外バンドも組み合わせることで、流水・雪氷を識別したり、海面温度を計測したりするなど様々な情報が得られるようになった。図 2 にフルディスク観測の画像例を示す。

2.2 分解能の向上

放射計の受光素子密度が高くなり、デジタル処理技術の進歩と相まって、表 2 に示すように分解能が向上した。これによって高解像度な画像が取得できるようになった。

表 1. ひまわり 7 号から 8・9 号への放射計の進化

	ひまわり 7 号	ひまわり 8・9 号
可視観測	1 バンド（白黒）	青、緑、赤の 3 バンド （地上で合成処理してカラー画像になる）
近赤外観測	なし	3 バンド
赤外観測	4 バンド	10 バンド
合計	5 バンド	16 バンド



出典：気象庁ホームページ
(https://www.data.jma.go.jp/sat_info/himawari/first_image_h9.html)

図2. フルディスク観測の画像(ひまわり9号による初画像)

表2. ひまわり7号から8・9号への分解能向上

	ひまわり7号	ひまわり8・9号
可視観測	1	0.5~1
近赤外・赤外観測	4	1~2

単位：km

表3. ひまわり7号から8・9号への撮像間隔短縮

	ひまわり7号	ひまわり8・9号
フルディスク観測	30分	10分
日本領域観測	—	2.5分
局所領域観測	—	30秒

2.3 撮像時間・間隔の短縮

走査幅を広くするとともに、放射計が小刻みに動けるよう、8号から2枚の反射鏡(走査ミラー)を導入し、南北・東西にそれぞれ個別に動くことで複雑で高速度な観測が可能になった。これによって表3に示すように観測に要する時間が短縮したことで、フルディスクの観測を行いながら、日本領域や台風周辺を2.5分間隔で、積乱雲などの局所的な領域を30秒間隔で観測できる機動観測が可能になった。

3. 放射計の性能を最大限引き出すための衛星システム設計⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾

2章で述べたとおり、放射計にはこれまでにない高い機能が盛り込まれている。この機能を最大限に活用するために、衛星・地上全体システム設計の最適化を行った結果、高精細な画像を配信するシステムを構築できた。具体的には、衛星の地球を向くパネル面に低熱歪のもう一枚のパネルを載せて、このパネル上に放射計を搭載した。さらにこのパネル上に、放射計の視線を高精度・広帯域に決定するために、スタートラッカー(STT)、慣性基準装置(IRU)等を搭載する構成にした。主要点を次に示す。

(1) 放射計の熱歪を最小化

衛星構体は軌道上の周期的な温度変動で歪を生じる。特

に表面には+100~-170℃の温度変化に晒(さら)される部分がある。このため、放射計を衛星から極力熱的に分離し、衛星の熱歪が放射計の光学系を歪(ゆが)める悪影響を最小化した。

(2) 機械的な擾乱の最小化

衛星に搭載するリアクションホイールなどから出る微小振動が、衛星構体を伝わり、放射計を揺らすという擾乱現象がある。これを最小限にするために、衛星構造を強化して剛性を最適化した搭載方法を採用した。

(3) 高精度の姿勢制御方式

STTによって姿勢を高精度に同定するとともに、IRUによって姿勢の変化を検知し、衛星搭載コンピュータのソフトウェアで姿勢を制御するという、DS2000として蓄積してきた技術を用いて、定常観測時には1/100°の精度での姿勢制御を実現した。

(4) 高精度の画像位置ずれ補正技術

ひまわり8・9号では、放射計の視線方向を東西方向に高速走査することによって、フルディスクを10分ごと、日本領域を2.5分ごとに観測するが、この走査によって発生する微小振動を衛星に搭載した各種センサで計測し、視線方向の振動を高周波微小成分も含めて高精度に推定する技術を地上ソフトウェアで実現した。地上局では受信した視線方向推定用データ(姿勢角、角速度、加速度)を演算処理することによって、視線方向の振動成分を高精度に推定し、観測画像の位置ずれを補正する仕組み(手振れ防止機能)を具備した。この高精度姿勢決定機能と、気象庁が独自に開発した画像位置合わせ機能を融合させることで、高分解能で視線方向のぶれが極めて少ない画像の配信を実現している。

(5) 地上処理

ひまわり8・9号の画像データを地上局で一次処理するための放射計データ処理システム(RDACS)を衛星とともに開発した。このシステムは、地上で受信したデータを復調した後のデータ処理を担い、次の機能を持つ。

- ①放射計データファイル作成
- ②位置精度・校正処理
- ③領域観測選定処理
- ④画像診断・監視

このRDACSで出力されたデータは、衛星運用事業者(HOPE)の地上局を経由して気象庁の気象衛星センターに送られ、画像化・二次加工処理され、その画像がユーザーに配信される。RDACSは災害防止に必要な情報を途切れさせないという観点で、サービスの継続性・連続性を重視した設計になっており、さらに地上局の構成機器として高い機動性のある観測運用を可能にするため、衛星運用との連動性も重視した設計になっている。

4. 自然災害への活用

このように放射計の観測機能の向上と関連システムの整備によって、短い時間間隔で高分解能な画像を多くのバンドで取得できるようになった。そのため、積乱雲や台風の動きをより早期に緻密に追跡することが可能になって森林火災や火山噴火などの現象も把握しやすくなることで気象災害の防止・軽減に大きく寄与する画像が配信されている。

一例として、図3に台風の領域観測画像を示す。解像度や観測頻度が向上したことで、台風の日や細かな雲の動きが広範囲にわたって精細に観測できるようになり、台風の発生、移動、強さ、強風域などの監視に貢献している。

図4にトンガ周辺の海底火山噴火の模様を示す。噴煙が急激に広がっていく様子が克明に確認できる。ひまわり8・9号は広く東アジア・太平洋域の火山を観測しており、これらの火山観測では、火山灰の検知だけでなく、地表面温度の監視や噴煙高度の情報なども取得し、航空船舶の運航などにも役立っている。

図5は沖縄地方で発生した記録的な大雨での線状降水帯の発達の模様を示したものである。画像中、雲頂高度が高い積乱雲が強調表示されている。多バンド化された赤外バンドを活用することで雲頂高度が推定できるようになった。

図6はオーストラリア東部で発生した森林火災を観測した画像である。オーストラリア気象局からの要請に応じて、画像データがリアルタイムで提供された。高頻度な精細画像提供によって、噴煙の動きが詳細に把握できるようになり、火災の発生域の特定などに活用されている。

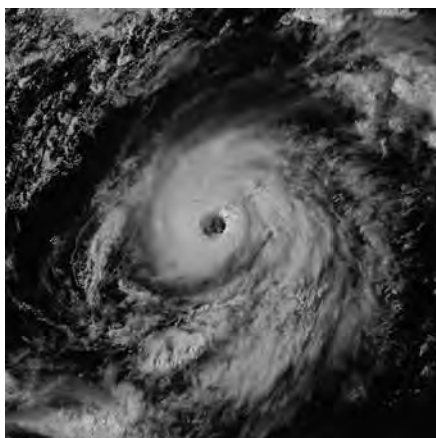
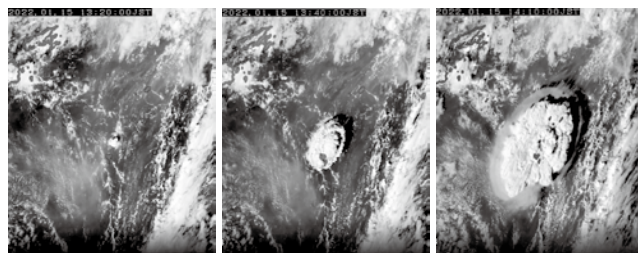
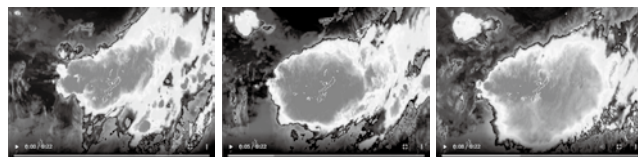


図3. 台風の画像例(2015年3月31日試験撮像, 気象庁提供)



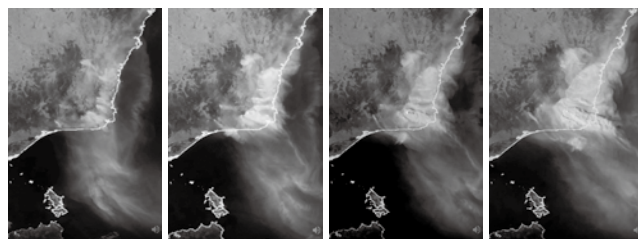
出典：気象庁ホームページ
(https://www.data.jma.go.jp/sat_info/himawari/image.html)

図4. トンガ周辺の海底火山噴火の模様の記録



出典：気象庁ホームページ
(https://www.data.jma.go.jp/sat_info/himawari/image.html)

図5. 線状降水帯の発達模様の記録



出典：気象庁ホームページ
(https://www.data.jma.go.jp/sat_info/himawari/image.html)

図6. オーストラリア森林火災の記録

5. む す び

ひまわり8号による画像配信が2015年7月から開始されており、気象庁で取得したデータの数値予報などに活用されている。さらに、気象予報会社や大学、研究機関でも、画像の活用、解析方法等の開発が進められている。その中でも、自然災害への備えとしての衛星画像の活用は大きく注目されてきており、今後に期待するとともに、その活用現場の生の声を聞いて次のひまわり衛星の開発に反映していくことが衛星システムメーカーとしての当社の責務と考えている。

参 考 文 献

- (1) 横田寛伸, ほか: 静止地球環境観測衛星「ひまわり8号及び9号」の紹介, 気象衛星センター技術報告, No.58, 121~138 (2013)
- (2) 西山 宏, ほか: ひまわり8号打ち上げ成功と定常運用開始, 三菱電機技報, 90, No.2, 107~110 (2016)
- (3) 赤石一英: 次期ひまわりの地上システムについて, 気象衛星センター技術報告, No.58, 111~119 (2013)
- (4) 腕野一磨, ほか: 静止気象衛星ひまわり8号・9号の地上システム, 三菱電機技報, 89, No.3, 157~161 (2015)

宇宙からの地球観測ソリューション

Earth Observation Solutions

栗原康平*
Kohei Kurihara
三五大輔*
Daisuke Sango
糸野和孝†
Kazutaka Kumeno

齋藤 進†
Susumu Saito

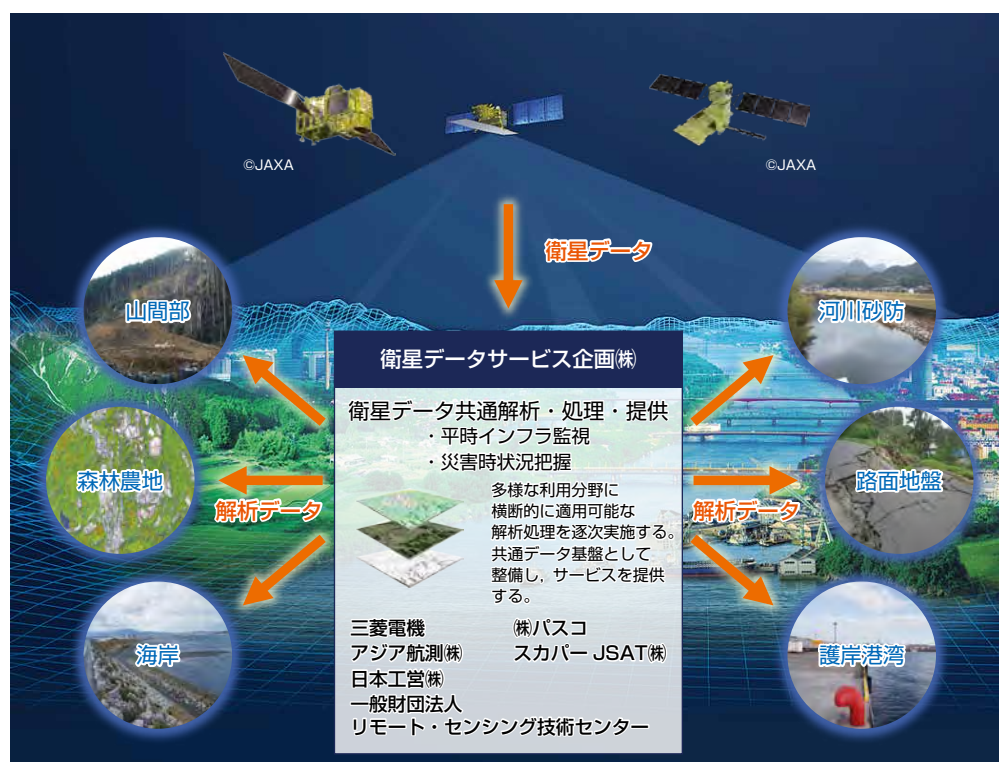
要 旨

日本政府の宇宙基本計画工程表には、衛星データ利用拡大に向けたソリューション(観測ソリューション)の開発・実証の推進が明記されており、官公庁で観測ソリューションの利用が進むと期待される。民間でも今まで宇宙と無関係であった企業が、衛星データ利用を活発化しており、今後は官民で観測ソリューションの利用拡大が期待される。

三菱電機では光学衛星及び合成開口レーダ(SAR(Synthetic Aperture Radar))衛星で取得したデータから、ユーザーが望む情報に変換して提供する、衛星観測ソリューションサービスを展開している。先に述べた高まる需要に対応するため、当社を含めた6社で衛星データ解析情報提供サービスの事業化を進める新会社“衛星データサービス企画㈱”を設立した。

新会社では、災害時サービスに加えて平時から日本全国の広範囲かつ継続的に取得した衛星データの解析処理を逐次実施し、共通データ基盤として整備・アーカイブ化することで、インフラ管理など多様な分野に適用可能なサービス提供の検討を行っている。当社はこのサービスを実現するコア技術として、インフラ管理などの国土監視に向けた全国SARデータ時系列自動解析ツールの開発に取り組んでいる。

また、当社では損保会社やインフラ事業者からのニーズが高い、台風・豪雨災害時の浸水域・浸水深情報の提供サービスの高度化に取り組んでいる。衛星データに加えて地上の情報(SNS(Social Networking Service)・報道情報、IoT(Internet of Things)機器など)を組み合わせることで付加価値の高いソリューション開発に取り組んでいる。



JAXA：国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構

衛星データサービス企画㈱の設立

当社、(株)パスコ、アジア航測㈱、スカパーJSAT㈱、日本工営㈱、一般財団法人 リモート・センシング技術センターの6社が出資し、災害時の迅速な状況把握や平時の継続的な国土・インフラ監視などに共通的に幅広く適用可能な衛星データ解析情報提供サービスの事業化を進めるため、“衛星データサービス企画㈱”を2021年6月に設立した。衛星データ利用の普及と市場拡大を図る。

1. ま え が き

政府の宇宙基本計画工程表への観測ソリューションの開発・実証の明記によって、官公庁での衛星データ利用が進むとともに、民間企業での衛星データ利用も併せて進んで、多様な分野での事業創出が期待されている。

一方で、衛星データはデータ量が多く、またデータ自体からの情報抽出は高度な技術が必要とされ、衛星データになじみのないユーザーへ利用を拡大するためには、ユーザーが求める情報又はユーザーが理解できる情報を提供する必要がある。しかし衛星データからユーザーの理解が容易なデータへの変換には、膨大な計算や経験・ノウハウを持つ技術者による調整が必要になる。

例えば、継続して観測したSAR衛星データセットを用いて、地表変位を計測する技術(干渉SARデータ時系列解析技術)がある。この技術は、観測データ同士の組合せ処理を行い、地表変位を計測するが、精度向上のためには組合せ数を増やす必要があるため、計算量が膨大になる問題がある。そこで、日本全国の干渉SARデータ時系列解析を行う“全国SARデータ時系列自動解析ツール”を開発した。このツールの詳細は2章で述べる。

また、近年増加する豪雨、洪水及び台風による水害時に、現地に立ち入らずに広域を観測できる衛星データの利用が期待されているが、衛星データそのままではユーザーが利用しにくく、ユーザーが求める情報への変換が必要である。そこで、衛星データ単独及び衛星では補えない地上情報を組み合わせて、ユーザーが求める情報に変換する技術開発を行っている。この技術開発の詳細は3章で述べる。

2. 全国SARデータ時系列自動解析ツール

2.1 概 要

全国SARデータ時系列自動解析ツール(図1)は、衛星データを用いて日本全国の地表変位を自動で算出するため

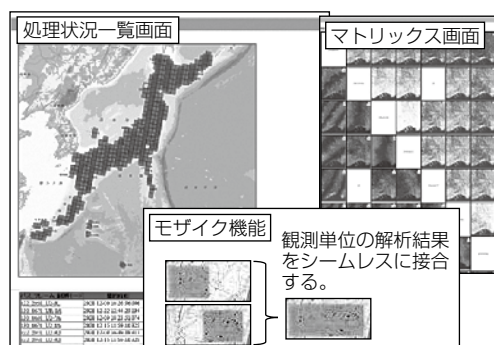


図1. 全国SARデータ時系列自動解析ツール

のツールである。全国の地表変位を自動算出するに当たって、①観測ごとの計算量が膨大である、②手動調整項目の作業量が多い、③1観測単位から日本全国につなげる機能が必要、④センサ特有のノイズが大きいといった課題があった。そこで、これら①～④の課題解決のための開発を行った。

2.2 開発内容

2.2.1 観測ごとの計算量の縮減技術

干渉SARデータ時系列解析では、観測ごとに手動で再計算を実施していたため、計算量が膨大になる問題があった(図2(a))。

そこで、ある時点までに観測されたSARデータによる演算と、次回帰の観測データを加えたときの演算の共通部分に着目して、共通部分の演算結果は再利用し、新たに必要な演算の増分だけを自動で処理する技術を開発した(図2(b))。

これによって、大幅な計算量縮減を達成した。図2は6回帰分のデータのため、80%の計算量低減(25通り→5通り)であるが、先進レーダ衛星(ALOS-4)の1年間の計算量(276通り)では、92%の計算量低減(276通り→24通り)になる。その結果、現実的な規模の計算機システムで日本全国の干渉SAR時系列解析を実現した。

2.2.2 手動調整項目の作業量低減

干渉SARデータ時系列解析では、観測ごとに自動的に地表変位を算出するが、全国均一の観測状況(天候や電離層の状態)ではないため、観測データの品質に起因した精度低下が発生する。一般的に、先に述べた低品質データは手動削除を行うが、日本全国について毎回帰手動で低品質データを削除することは困難である。

そこで、解析状況を一覧表示して視覚化する画面を開発し、その画面から低品質データを削除可能にした(しきい値による一斉削除も可能である)。また、この削除した低

	X	X+1回帰	X+2回帰	X+3回帰	X+4回帰	X+5回帰
時系列結果1の解析期間						
X		1	1	1	1	1
X+1回帰						
X+2回帰						
X+3回帰						
X+4回帰						
X+5回帰						

X回帰からX+4回帰までの地表変位算出時の計算量
→10通りの計算が必要

	X	X+1回帰	X+2回帰	X+3回帰	X+4回帰	X+5回帰
時系列結果2の解析期間						
X		2	2	2	2	2
X+1回帰						
X+2回帰						
X+3回帰						
X+4回帰						
X+5回帰						

X+5回帰が観測されたときの地表変位算出時の計算量
→15通りの計算が必要

合計25通りの計算が必要

(a) 従来の手法

	X	X+1回帰	X+2回帰	X+3回帰	X+4回帰	X+5回帰
計算量削減後の解析期間						
X		1	1	1	1	2
X+1回帰						2
X+2回帰						2
X+3回帰						2
X+4回帰						2
X+5回帰						2

計算済みのペアを再利用することで、新たに観測されても灰色の箇所の計算だけでよくなり、5通りの計算量に縮減

(b) 開発手法

図2. 計算量縮減の原理

品質データをデータベースによって管理し、以降の回帰の処理では使用しないようにして、毎回帰の手動調整項目の作業量低減を実現した。(図1のマトリックス画面)。

2.2.3 1観測単位から日本全国につなげる

観測衛星は、地球を周回しながら一定幅の領域を観測するが、一度の周回では日本全域を観測できないため、複数の周回に分けて観測する必要がある。また、一般に衛星データは1観測単位(ALOS-2、ALOS-4では55×70km)の細切れで提供されるため、細切れになった画像をパッチワークのように貼り合わせる必要がある(モザイク処理)。

しかし、周回が異なる衛星データは観測日時が異なるため、地表変位の算出期間が異なり、隣接するデータ間で変動量にギャップが生じる。

そこで、撮影日時と場所が異なるデータによる変動量解析結果を、時間的・空間的にシームレスに接合する技術を開発し、つなぎ目のない日本全域の変動マップを実現した(図1のモザイク機能)。

2.2.4 センサ特有ノイズの低減

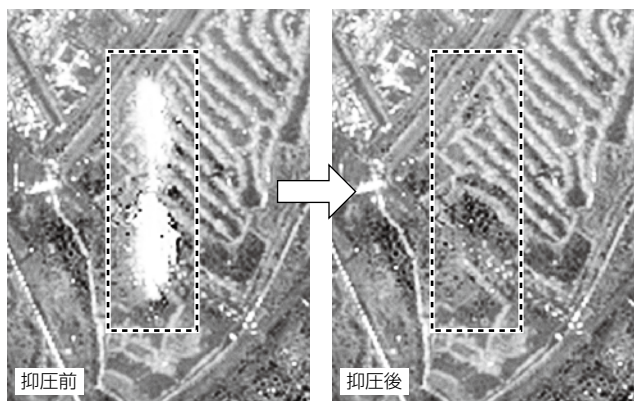
一般に、SAR衛星データには観測原理上センサ特有ノイズが重畳される。その一つとしてアンビギュイティノイズがあるが、アンビギュイティノイズは矩形(くけい)として画像に重畳するため(図3左)、本来地表変位がない箇所に地表変位が現れるなどの地表変位算出の誤差になる問題がある。

そこで、衛星データに重畳するアンビギュイティノイズを抑圧する技術を開発した。

これによって、センサ特有ノイズに起因する誤差の影響を低減し、地表変位の精度向上を達成した(図3右)。

2.3 その他の開発(クラウド対応)

衛星データサービス企画(株)が事業化をする上で、ニーズ

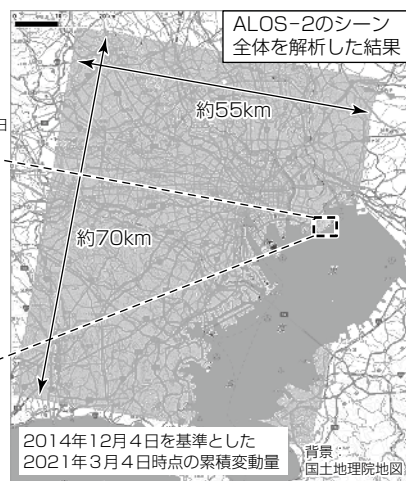
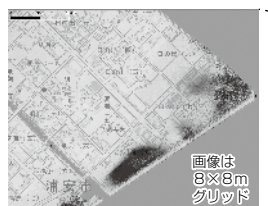


画像の輝度は干渉画像の色相と輝度の和を示す。

図3. センサ特有ノイズの低減の効果

ツールによるSBAS解析結果をGISアプリケーションで表示した例

利用データ：
JAXA ALOS-2 高分解能3mモード
2014年12月4日から2021年3月4日
までの南行軌道の30シーン



SBAS：Small-Baseline Subset, GIS：Geographic Information System

図4. 解析事例

とのバランスを考慮しながら解析対象地域や解析頻度を見直すことが考えられる。例えば、事業開始当初は大都市周辺域でスモールスタートし、市場調査を踏まえて解析範囲を拡大していくことが考えられる。

そこで、このツールをクラウド対応にして、事業計画に沿ってシステム規模を柔軟に変更することを可能にした。

2.4 解析事例

全国SARデータ時系列自動解析ツールによって、日本全域の地表面や建造物等の変動を広域にわたって把握することが可能になった。

自動解析ツールによる解析事例を図4に示す。

3. 浸水被害把握ソリューション

3.1 概要

豪雨や洪水、台風による水害時の観測ビジネスとして浸水被害把握ソリューションを開発している。2020年度から、東京海上日動火災保険(株)(以下“東京海上日動”)と保険金支払迅速化を目的とした協業の中で、水害発生前後の衛星画像を解析し、観測領域中の浸水域と、浸水深を提供する取組みを実施している。2021年度は佐賀豪雨に対してリアルタイム解析を実施した。浸水深推定は一部改善すべき課題が抽出されたが、浸水域推定は一定の成果を確認できた。

2022年度は浸水深推定の更なる高度化のため、衛星では補えない地上情報(当社家電等IoT機器やSNS・報道情報)を組み合わせた当社独自の付加価値向上策に取り組む(図5左)。



図5. サービスイメージと処理フロー

3.2 事業化に向けた取組み

事業化に向けたステップとして2020年度から東京海上日動とPoC(Proof of Concept)を実施している。PoCではALOS-2の水害発生前後画像を高精度差分抽出手法⁽¹⁾によって比較して浸水域を推定している(図5右)。この手法はSARの後方散乱の反射特性を2回散乱まで考慮した反射モデルに基づいて浸水域を抽出することで、従来の一般的な手法では難しかった都市部の浸水域を抽出できる特長を持つ。抽出した浸水域マップはDEM(Digital Elevation Model)などの標高情報と組み合わせて浸水深を推定する。

2020年度は過去災害事例への適用・評価を実施して浸水域・浸水深推定ツールの開発、高度化を実施した。複数の過去災害の解析から、衛星の観測角度など撮像条件によって浸水の検出に不適な条件がある課題⁽²⁾を抽出した。

2021年度には浸水深推定高度化のため、衛星データ精度を補償する情報活用を検討した。国土交通省が公開するハザードマップを用いた改善⁽³⁾及びSNS画像や報道画像などの地上情報から得られる浸水深情報を活用した改善を実施してPoC適用を行った。またこれら改善策を適用した浸水深推定ツールを用いて、佐賀豪雨に対してリアルタイム解析を実施した。浸水域推定では一定の成果を確認できたが、浸水深推定結果では一部改善すべき課題が見られた。解析対象の佐賀県武雄市・嬉野市では収集可能なSNS情報に限りがあるため、地上情報を活用した精度改善効果が限定的であった。この解決策として、地上情報を安定的に収集するインフラ作りにも注力し、都市及び郊外、両者に対する浸水被害把握を実現する。

3.3 浸水被害把握例

令和2年7月豪雨時の熊本県人吉市に対して浸水被害把握の自主解析を実施した。解析条件を表1に、結果を図6

表1. 解析条件

災害前	2016年4月16日13時13分
災害後	2020年7月4日13時13分
オフナディア角	50.5°

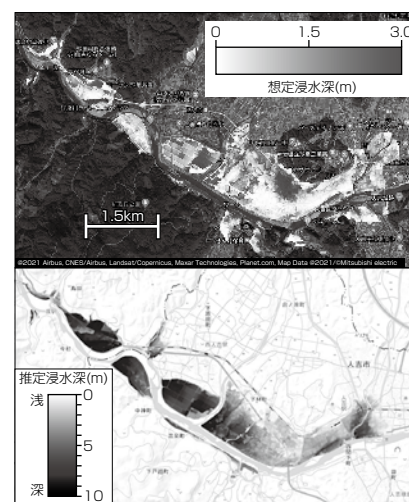


図6. 浸水深推定結果と国土地理院の推定浸水深分布

上に示す。また比較のため、国土地理院が2020年7月4日までに収集したSNS画像、航空写真とDEMを用いて作成した段彩図を図6下に示す。データ取得時間に差があるものの、この開発で求めた浸水域は国土地理院の推定浸水範囲を概ねカバーしていることが確認できた。

3.4 今後の計画

浸水深推定の更なる高度化のため、その他のGIS情報や当社家電等のIoT機器から抽出できる地上情報を浸水把握に活用する検討を行い、より幅広いユーザー層への訴求とサービス提供を目指す。

4. む す び

当社が取り組む観測ソリューション技術について述べた。また今回述べた技術以外の解析事例も含めて当社サイトに掲載している⁽⁴⁾。今後は衛星データを顧客が活用しやすい価値あるソリューションサービスとして提供することで、利用拡大を推進する。

参考文献

- (1) ARII, M.: Sensitivity study of ALOS-2 data to floodwaters in Joso City in 2015 and its application, Journal of The Remote Sensing Society of Japan, **38**, No.4, 325~336 (2018)
- (2) 宇宙航空研究開発機構衛星利用運用センター, ほか: 災害時の人工衛星活用ガイドブック 水害版・浸水編 (2018) <http://www.mlit.go.jp/common/001227723.pdf>
- (3) Kurihara, K.: Flood depth estimation via SAR satellite analysis using prior knowledge of flood hazard mapping, IGARSS (2022)
- (4) 三菱電機㈱: 衛星観測ソリューション <http://www.MitsubishiElectric.co.jp/society/space/solution/>

東京国際空港向け 広域マルチラテレーション装置

伴野友彦*
Tomohiko Banno
佐藤 亮*
Ryo Sato

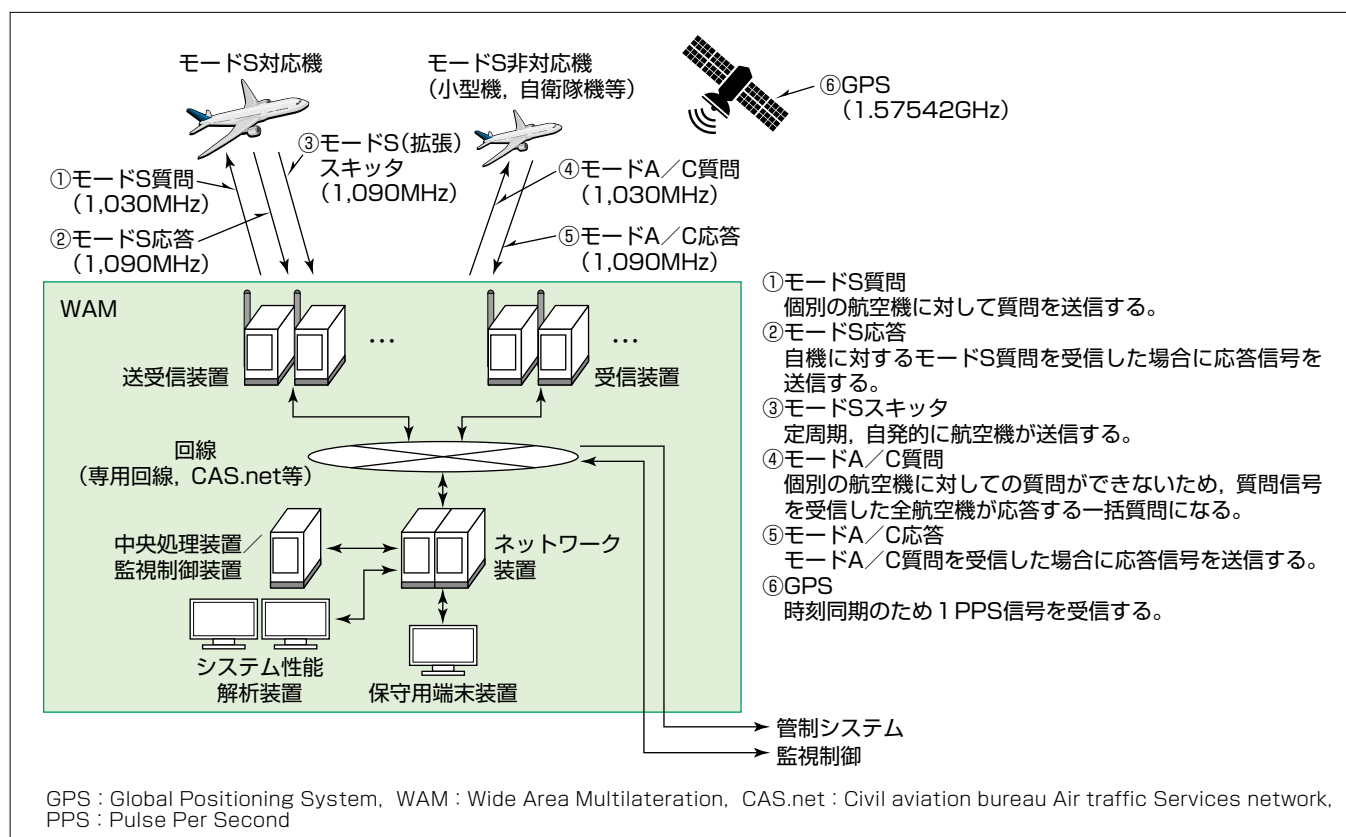
Wide Area Multilateration Equipment for Tokyo International Airport

要 旨

航空は経済発展と国際交流を支える重要な役割を担い、日本でもその交通量はますます増大している。特に首都圏空港の一層の活性化は、諸外国との交流を活発にして、更なる首都圏の国際競争力向上、経済効果の波及が期待される。中でも東京国際空港(羽田空港)は東京2020オリンピック・パラリンピック開催に万全を期すため、滑走路処理能力向上(発着便数の増加)が進められ、その方策として都心上空を飛行する新経路が開設された。大都市上空を安全に飛行するため、従来以上に高精度な監視を行う必要がある。これに対応する高度な航空保安システムとして、従来の一次・二次監視レーダに加えて、航空機が発信するトランスポンダ信号を利用するマルチラテレーション装置がある。

特長は、①高いデータ更新頻度が期待できる、②高い位置精度が期待できる、③ブラインドエリアの解消が期待できる、④監視エリアの自由度が高いということが挙げられる。

三菱電機は、羽田空港機能拡大に対応する航空保安システムとして、羽田空港近傍の空域を監視する広域マルチラテレーション装置を開発・製造し、国土交通省航空局への納入でより高精度な航空機の監視に貢献している。当社はこれまでに、羽田空港を始めとする国内の主要6空港に空港面監視用マルチラテレーション装置を、2016年度には岡山空港向け広域マルチラテレーション装置を航空局へ納入しており、これらの開発で得たノウハウから装置の純国産化に成功している。



広域マルチラテレーション装置のシステム構成

広域マルチラテレーション装置は、複数の受信装置又は送受信装置を各地に設置し、その受信装置又は送受信装置で受信した、航空機に搭載されているトランスポンダからの信号を、中央処理装置で収集し、それらの受信時刻の差(TDOA : Time Difference Of Arrival)に基づいて航空機を測位する。この測位結果によって空港及び空港近傍の空域を飛行する航空機の位置の監視が可能になり、管制システムに提供される。

1. ま え が き

当社は、昭和30年代に空港面探知レーダを運輸省(当時)に初めて納入して以来航空管制に関わるレーダ及びその関連装置を納入してきた。また近年は、航空交通の安全確保をしながら、増大する交通量に対応するため、次世代航空保安システムの整備が国土交通省航空局によって推進されている。特に首都圏空港については、東京2020オリンピック・パラリンピック開催に万全を期すためその機能強化が進められた。この機能強化のため都心上空を飛行する新経路が開設され、従来以上に高精度な監視を行うことが必要になった。そこで、従来の一次・二次監視レーダの弱点を克服した、より高度な航空保安システムとして、マルチラテレーション装置が注目された。これは航空機が発信するトランスポンダ信号を利用し、①高いデータ更新頻度が期待できる、②高い位置精度が期待できる、③ブラインドエリアの解消が期待できる、④監視エリアの自由度が高いといった特長を持つ装置である。

当社は、空港面探知レーダを納入してきた技術に加えて、このマルチラテレーション技術に応用したマルチラテレーション装置を開発した。これを空港面監視装置として2009年度から羽田空港を始めとする国内の主要6空港に納入し、2016年度には岡山空港向け広域マルチラテレーション装置の開発・製造を行った。さらに2017年度には羽田空港向けを開発・製造を行い航空局へ納入した。

ここでは、マルチラテレーション技術と羽田空港向け広域マルチラテレーション装置の概要を述べる。

2. マルチラテレーション技術⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

2.1 マルチラテレーションの原理

マルチラテレーションとは、航空機が発信するトランスポンダ応答信号を利用して、複数の受信局(4局以上)への応答信号を中央処理装置で双曲線測位処理を行い、航空機的位置を算出するものである。

2.2 マルチラテレーションによる測位

マルチラテレーションの測位原理の概念図を図1に示す。複数の受信装置・送受信装置を設置し、それらの装置で受信した、航空機搭載トランスポンダからの信号のTDOAから航空機的位置を測位する。

2局のTDOAが一定になる位置の集合は双曲面になることから、4局以上で受信した場合は、三つの双曲面の交点として航空機的位置を算出できる。測位精度は受信装置

で囲まれた閉領域内で双曲面同士が直交しやすく測位の精度が高くなる一方で、その閉領域の外側では双曲面が接しやすく測位の精度は低下する。

次に、マルチラテレーションでの測位の位置精度は、TDOAの測定精度に依存するため、TDOAを高精度で取得することが必要である。TDOAを高精度で取得するには、受信・送受信装置のTOA(Time Of Arrival)の計測での時間軸が一致している必要がある。この装置では、受信・送受信装置で受信するGPSの1 PPS情報(GPS計測で得られる時刻の毎正秒のタイミングで発生する信号)を基準として受信・送受信装置の時間軸を同期する。

2.3 レンジング

送受信装置から航空機に質問して応答を取得する場合、質問送信から応答受信までの時間を測定し、その時間から求めた距離を利用して測位計算を補間できる。質問から応答までの時間によって得られる式は幾何学的には楕円(だえん)(質問と受信が同じ装置の場合は真円になる)を回転させてできる面を表す。航空機的位置はマルチラテレーション測位の双曲面と楕円の交点として求められる。

送受信装置で質問送信と応答受信の両方を行って測距する場合をレンジング、応答受信を複数の受信装置で受信し

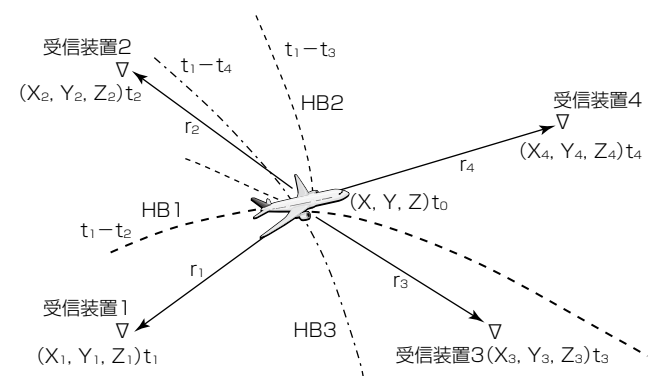


図1. マルチラテレーションの測位原理の概念図

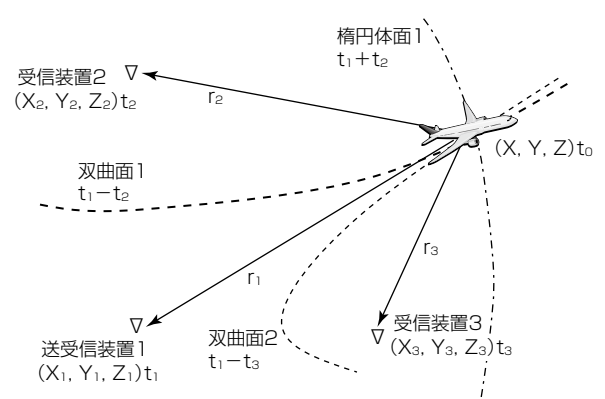


図2. マルチレンジングの概念図

て測距する場合をマルチレンジングと呼ぶ。航空機の位置が受信装置配置の外側の場合、レンジング・マルチレンジング測位によって測位精度の改善効果がある。マルチレンジングの概念図を図2に示す。

3. 羽田空港向け
広域マルチラテレーション装置の概要

当社が開発した羽田空港向け広域マルチラテレーション装置の主な仕様を表1に示す。

広域マルチラテレーション装置は空港へ発着する低空を飛行する航空機も監視するため、受信・送受信装置は見通しの良い場所へ設置することが重要である。しかし、羽田空港周辺の首都圏は、数多く建ち並ぶ高層ビルによって低空を飛行する航空機から発せられるトランスポンダ信号が遮られやすい環境である。当社はこれまでの開発・製造で培ったシミュレーション技術を活用し、全13局の受信・送受信装置を設置することで所要の測位精度を満足できることを確認した。

3.1 受信・送受信装置

受信装置の系統図を図3に示す。受信装置は通信ユニット、受信部(2台)、マイクロ波切替ユニット等と筐体(きょうたい)から構成され、筐体は前面及び背面に扉、側面に熱交換器、筐体内下部にヒーター、筐体内背面上部にサーモスイッチ等を持つ。

受信部は、受信装置1台について冗長構成のため2台で構成されている。GPS空中線が受信した時刻同期信号(1PPS)に基づいて受信部のシステム時刻を補正する。また空中線が受信したMode-S及びMode-A/C信号をデコードするとともに受信時刻等の必要な情報を付与する。マイクロ波切替ユニットは、中央処理装置からの制御信号によって内蔵されている同軸スイッチを選択された系に切り替えることが可能である。また同軸スイッチの系選択状態及び空中線の接続状態を監視し中央処理装置に伝達する。この結果、必要なメッセージ、監視情報をネットワーク経由で中央処理装置に送出する。

送受信装置の系統図を図4に示す。送受信装置は通信ユニット、送受信部(2台)、マイクロ波切替ユニット等と筐体から構成され、筐体は前面及び背面に扉、側面に熱交換

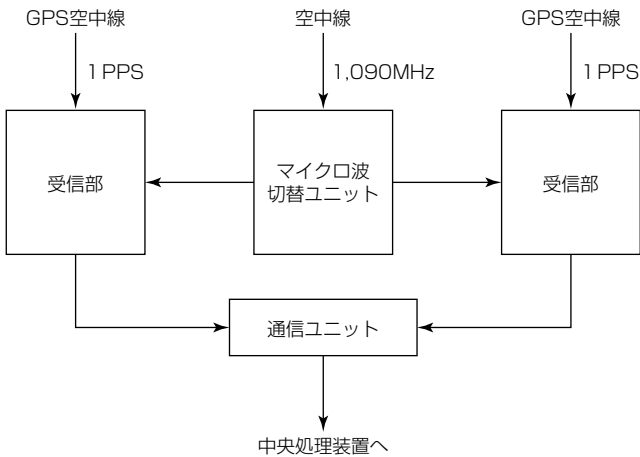


図3. 受信装置系統図

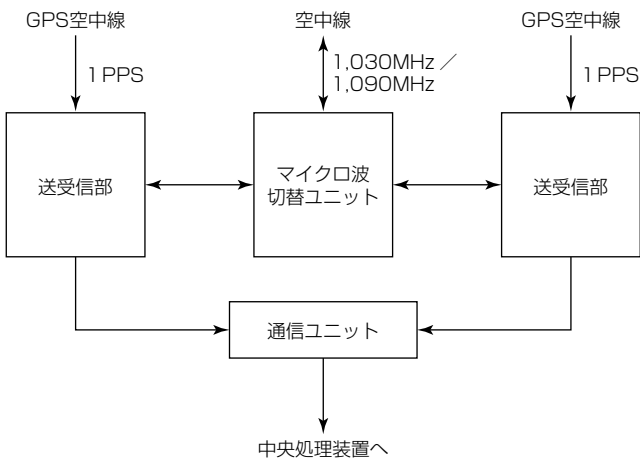


図4. 送受信装置系統図

器、筐体内下部にヒーター、筐体内背面上部にサーモスイッチ等を持つ。

送受信部は、送受信装置1台について冗長構成のため2台で構成されている。また、受信部と同様の機能に加えて、質問信号を増幅し空中線へ伝送するのと空中線で受信した航空機の応答信号を増幅するための増幅ユニットを内蔵している。

図5に受信装置及び空中線装置の外観を示す。

3.2 中央処理装置

中央処理装置はローカルスイッチ、計算ユニット、ディスプレイ、キーボード、マウス及びUPS(Uninterruptible Power Supply)ユニット等から構成される。中央処理装置内の計算ユニットは冗長化構成によって2台内蔵されており、互いを監視することによって異常発生時に自動的に系切替えを実行することが可能である。

次に処理の内容について示す。

- (1) 受信装置又は送受信装置から航空機応答信号データを受信する。
- (2) 入力したデータに基づいて測位計算を実行する。

表1. 広域マルチラテレーション装置主要性能

性能	仕様
送信周波数	1.030MHz
受信周波数	1.090MHz
送信出力	350W
質問モード	モードA/C, S
受信モード	モードA/C, S
データ更新レート	1回/秒



(a) 受信装置

(b) 空中線装置

図5. 装置

- (3) 測位計算では、応答信号の受信時刻データの組合せに基づいて、ターゲットの位置を計算する。
- (4) 測位計算で求めたターゲットの測位位置に基づいて航空機航跡を維持・管理し、航跡情報を決められたタイミングで出力する。
- (5) 質問送信は、送信スケジューリングを航跡情報に基づいて作成し、質問送信を出力する。

このようにして得られた航空機の航跡情報が管制システムに出力され、管制官の航空機管制業務に利用される。

3.3 管制システムとの連携

羽田空港向け広域マルチラテレーション装置は、“統合管制情報処理システム”の一つである“空港管制処理システム(TAPS)”に対して得られた航跡情報を提供する。このTAPSは飛行場面及び空港近傍(ターミナル)空域の管制を行う。特にこの航跡情報は羽田空港の同時並行進入運用での監視精度向上に貢献している。

4. む す び

当社は、日本の経済発展と国際交流を支える首都圏空港の機能強化の実現に向けて、羽田空港向け広域マルチラテレーションを開発・製造した。

これまでに開発した空港面監視用マルチラテレーション装置及び広域マルチラテレーション装置の技術を基本として、さらに現在は福岡空港の機能強化への対応として、福岡空港向け広域マルチラテレーション装置の開発・製造を行っている。今後も、積み上げてきた当社技術を活用することで、航空管制の発展、ひいては豊かな社会の実現に貢献する。

参 考 文 献

- (1) Aeronautical Surveillance Manual, Doc9924, ICAO (2020)
- (2) Technical Specification for Wide Area Multilateration (WAM) Systems, ED-142, EUROCAE (2010)
- (3) International Standards And Recommended Practices, Aeronautical Telecommunications, Annex 10, Volume IV (Surveillance Radar And Collision Avoidance Systems), ICAO (2014)

オンライン資格確認向け 三菱通信ゲートウェイ“smartstar”

横里純一*

Junichi Yokosato

松坂孝一郎*

Koichiro Matsuzaka

佐藤浩司*

Koji Sato

名取英男*

Hideo Natori

泉 裕作*

Yusaku Izumi

Mitsubishi Communication Gateway "smartstar" for Health Insurance
Online Confirmation

要 旨

厚生労働省が主導するオンライン資格確認に対して、安全なネットワーク接続環境を提供するオンライン資格確認向け三菱通信ゲートウェイ“smartstar”を開発した。オンライン資格確認は、マイナンバー^(注1)カード等を利用し、医療機関・保険薬局が患者の健康保険資格情報をオンラインで確認できるサービスで、2021年10月から本格運用を開始している。この装置は、2017年に開発したIoT (Internet of Things)システム対応三菱通信ゲートウェイ smartstarをベースに、オンライン資格確認向け機能を追加することで、厚生労働省の定める各種ガイドラインのセキュリティ要件を満足した上で、既存ネットワークとの共存を実現させた。この装置の主要な機能を次に示す。

(1) VPN(Virtual Private Network)機能

(2) IPv(Internet Protocol version)4/IPv6デュアルスタック機能

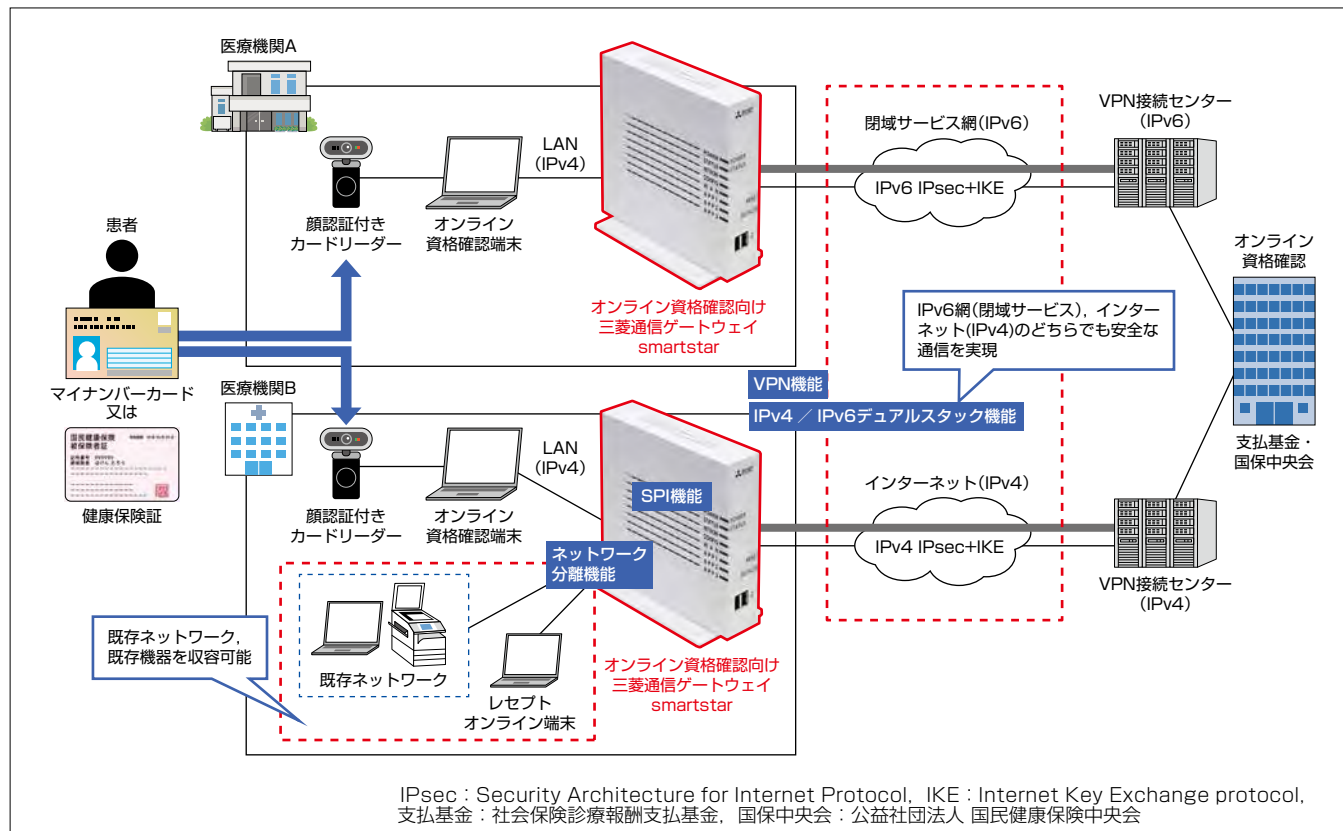
(3) SPI(Stateful Packet Inspection)機能

(4) ネットワーク分離機能

(1)と(2)で、閉域サービス網(IPv6)、インターネット(IPv4)のどちらのネットワーク経由でも医療機関・保険薬局を安全にオンライン資格確認に接続する。(3)で、LAN-WAN(Wide Area Network)間、LAN-LAN間の不正アクセスを防止する。(4)で、LAN側はポートごとに独立したサブネットを割り当てて、既存ネットワークを一つのサブネットに収容可能にする。

三菱電機は、今後も通信機器に対するセキュリティ高度化を推進し、介護向けサービス等に事業を拡大していく。

(注1) マイナンバーは、デジタル庁会計担当参事官の登録商標である。



オンライン資格確認向け三菱通信ゲートウェイ smartstar を用いたシステムイメージ

オンライン資格確認向け三菱通信ゲートウェイ smartstar は、VPN 接続センターとの間に閉域サービス網 (IPv6) 経由又はインターネット (IPv4) 経由の IPsec 接続を行い、医療機関と支払基金・国保中央会間での安全なオンライン資格確認を実現する。

1. ま え が き

2021年10月から本格運用が開始されたオンライン資格確認によって、マイナンバーカードを利用し、医療機関・保険薬局(以下“医療機関等”という。)が患者の健康保険資格情報をオンラインで確認できるようになった。

オンライン資格確認では、厚生労働省の定める“医療情報システムの安全管理に関するガイドライン”⁽¹⁾、“オンライン資格確認等システムの導入・運用に係るセキュリティアセスメントに基づいたセキュリティ対策例”⁽²⁾に準拠した通信制御が必要である。

当社は、2017年に開発を完了したIoTシステム対応三菱通信ゲートウェイsmartstar⁽³⁾(以下“IoT向けsmartstar”という。)をベースに、オンライン資格確認向け機能を追加開発することで、先に述べたガイドラインに準拠した通信制御が可能なオンライン資格確認向け三菱通信ゲートウェイsmartstar(以下“この装置”という。)を開発した。

三菱電機インフォメーションネットワーク(株)は、この装置を採用したVPNサービス“MINDセキュアネットワークサービスSecureMinderオンライン資格確認”⁽⁴⁾をプレ運用として2021年1月から医療機関等向けに提供開始している。このサービスによって、必要とされる高度なセキュリティを確保の上、オンライン資格確認への接続が可能である。

本稿では、2章でオンライン資格確認向けのシステム要件を述べて、3章ではこの装置の主要諸元、4章ではオンライン資格確認向け主要機能について述べる。

2. オンライン資格確認向けのシステム要件

オンライン資格確認向けのシステムに求められるガイドラインに記載の主要なセキュリティ要件を表1の要件1～3に示す。

医療機関等の多くは、診療報酬(レセプト)のオンライン請求を利用しているため、既にインターネット回線や閉域サービス網(IPv6)回線を契約中であり、施設内にIPv4の

表1. この装置の要件

要件No.	内容
要件1	IPsec + IKEの利用や閉域網の利用等、ネットワーク経路でのメッセージ挿入、ウイルス混入等の改ざんを防止する対策を行うこと。
要件2	ファイアウォールやルータのSPI機能を用いて、外部ネットワークからのアクセスを制限すること。
要件3	セキュリティ要件の異なるシステム間や安全管理上の重要部分との境界にはファイアウォール等を設置し、ネットワークを物理的又は論理的に分割すること。
要件4	医療機関等が既契約中のインターネット(IPv4)や閉域サービス網(IPv6)を継続利用可能なこと。
要件5	医療機関等内の既存IPv4ネットワークを収容し、レセプトオンライン請求を利用可能なこと。

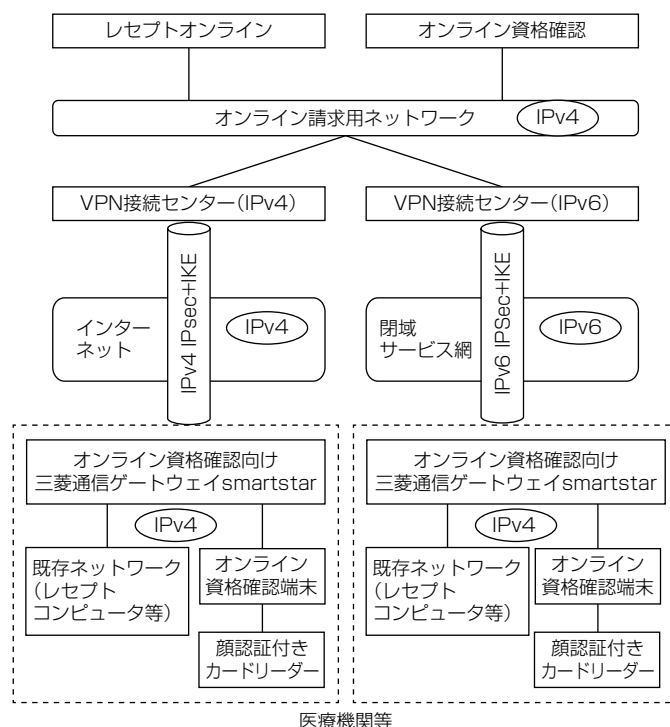


図1. システム構成例

既存ネットワークを敷設済みであることが多い。これらの施設でも既存設備を変更することなく、オンライン資格確認に接続可能にするため、セキュリティ要件に加えて、表1の要件4～5をシステム要件として追加した。

この装置を適用したオンライン資格確認への接続サービスのシステム構成例を図1に示す。

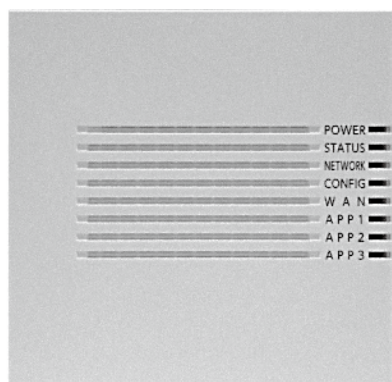
3. この装置の主要諸元

2章で述べたシステム要件1を満たすため、IPsecの高速転送機能を持つ必要がある。このため、パケット転送処理と暗号化処理をCPUからオフロードするネットワークプロセッサを搭載した当社IoT向けsmartstarをベースにこの装置を開発した。これによってこの装置のIPsec転送能力は1 Gbpsを実現する。

この装置の主要諸元を表2に、外観を図2(a)(b)(c)に示す。

表2. この装置の主要諸元

項目	内容
WAN端子	1000BASE-T/100BASE-TX 1ポート
LAN端子	1000BASE-T/100BASE-TX 4ポート
LED(装置状態表示用)	LED 8個(うち1個がVPN状態表示用)
電源(付属のAC-DC変換アダプタ)	入力電圧/周波数: AC100V ± 10V, 50Hz/60Hz ± 1Hz 出力電圧 DC12V ± 5% 定格電流 1.5A
消費電力	15W以下
外形寸法(mm)	40(W) × 168(H) × 172.9(D)
質量	0.5kg以下
IPsec同時接続数	最大16対地



(a) 側面



(b) 前面



(c) 背面

図2. この装置の外観

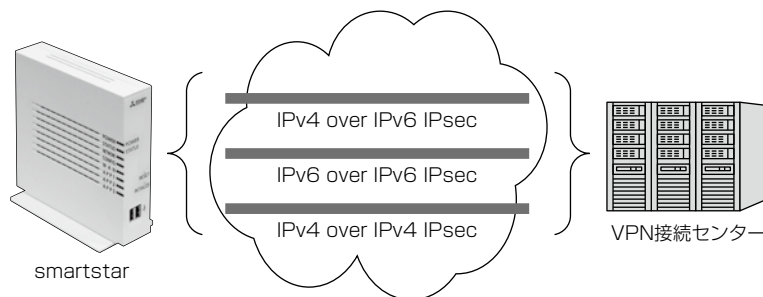


図3. この装置が対応可能なIPsecのパターン

- (3) DH(Diffie-Hellman)グループ14による安全な鍵交換
- (4) クライアント証明書とCA(Certificate Authorities)証明書のSHA-256(Secure Hash Algorithm 256bit)対応によるセキュリティ強化
- (5) 通信発生時だけVPN接続を行うオンデマンド接続によるセキュリティ強化

4.2 IPv4/IPv6デュアルスタック機能

この装置はIPv4/IPv6デュアルスタックによって、接続回線のIPプロトコルのバージョンに合致したIPsec + IKE通信路を構築し、end-to-endの通信を実現している。

図3にデュアルスタック機能によってこの装置が対応可能な3種類のIPsecのパターンを示す。この機能によって2章の要件4, 5を実現している。

4.3 SPI機能

この装置は、LAN-WAN間だけでなく、LAN-LAN間のパケット転送に対してもSPI機能を提供し、各ポート間の不正アクセスを防止する。これによってLAN-WAN間及びLAN-LAN間で、通信が禁止されている方向からの通信の場合でも、通信が許可されている方向へのリクエストに対するレスポンスは、送信可能になる。通信可否のフィルタ設定は、リクエスト方向の通信条件(通信方向、プロトコル、ポート番号)だけを設定すればよい。この機能によって2章で述べた要件2, 3を実現している。

4.4 ネットワーク分離機能

この装置は、LAN側4ポート、WAN側1ポートを持っている。LAN側はポートごとに独立したサブネットを割当て可能であり、これによって医療機関等の既存ネットワークを一つのサブネットに収容可能にする。

表4にLAN側に四つのサブネットを設定した例を示す。ここで、LAN1~LAN4/WANはポートV(Virtual)LANで分離し、トラフィックに対するフィルタ設定によって、ポート間のアクセス制限を実現している。

4. オンライン資格確認向け主要機能

IoT向けsmartstarをベースに、2章で述べた五つの要件を実現した。表3に2章で述べたシステム要件と実現機能との相関を示す。各機能は○印の要件を実現している。

4.1 VPN機能

この装置は高いセキュリティ性を確保するためにVPN機能として次の機能を持っており、2章で述べた要件1, 4, 5を実現している。

- (1) IPsec + IKEによる暗号通信
- (2) PFS(Perfect Forward Secrecy)による安全性の高い暗号鍵生成

表3. システム要件と実現機能との相関

要件	1	2	3	4	5
①VPN機能	○			○	○
②IPv4/IPv6デュアルスタック機能				○	○
③SPI機能		○	○		
④ネットワーク分離機能			○		○

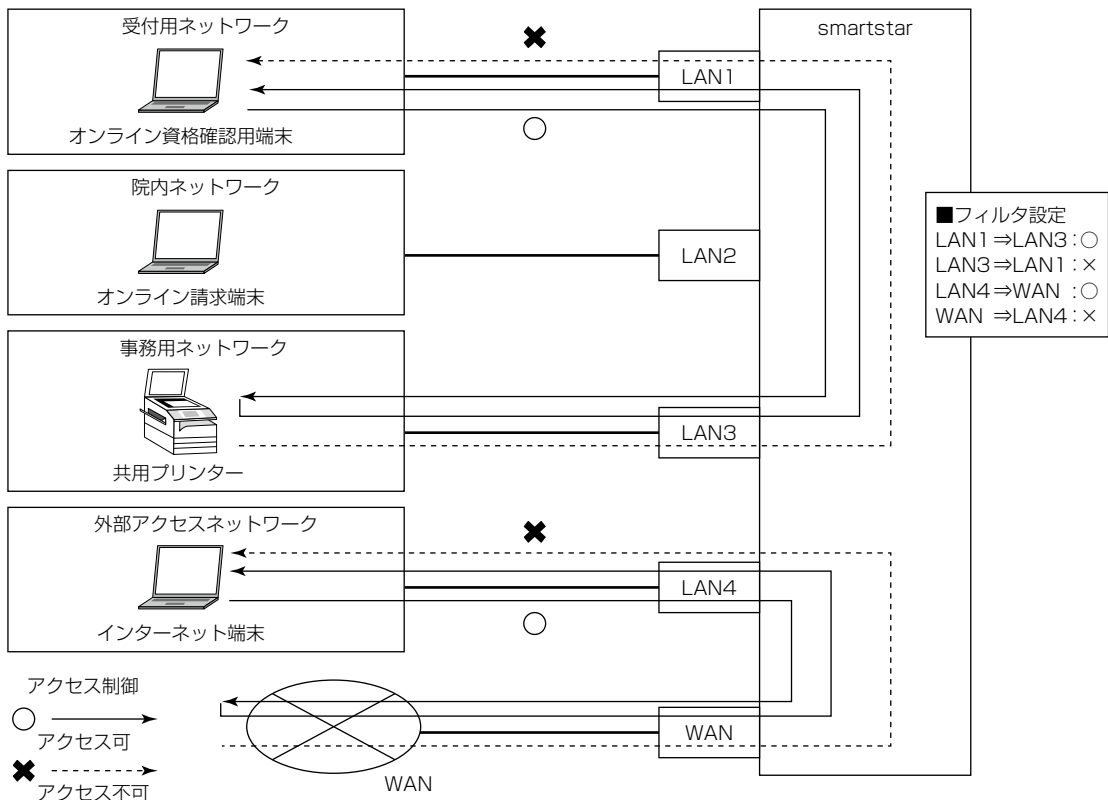


図 4. SPI機能によるアクセス制御及びネットワーク分離

表 4. サブネット構成例

サブネット	接続ネットワーク
LAN 1	受付用ネットワーク (オンライン資格確認端末を含む)
LAN 2	院内ネットワーク (オンライン請求端末を含む)
LAN 3	事務用ネットワーク (共用プリンター等のOA機器を含む)
LAN 4	外部アクセスネットワーク (インターネット端末を含む)

図 4 に、表 4 のサブネット構成での、SPI機能によるアクセス制御の例を示す。図 4 では、LAN 1 から LAN 3 方向はアクセス可、LAN 3 から LAN 1 方向はアクセス不可に設定している。そのため、オンライン資格確認端末から共用プリンターへの印刷処理通信を行った場合、共用プリンターからオンライン資格確認端末への応答通信は可能である。一方、直接、共用プリンターからオンライン資格端末への通信は抑止される。なお、プロトコル(TCP (Transmission Control Protocol)／UDP(User Datagram Protocol))とport番号を指定することによって、共用プリンターでスキャンしたドキュメントを直接オンライン資格確認端末に送信することを、限定的に許可することが可能である。

このように、WAN側、LAN側のネットワーク設備、端

末に対するアクセス制御を柔軟に設定可能になり、2 章で述べた要件 3, 5 を実現している。

5. む す び

厚生労働省は、オンライン資格確認に加えて、処方箋の電子化についても2023年の運用開始に向けて準備を進めており、医療データのオンライン化は加速していく。さらに、健康、介護の各分野のデータとの連携も検討されている。

当社は、今後も通信機器に対するセキュリティ高度化を推進し、事業を拡大することでデータヘルス改革に貢献していく。

参 考 文 献

- (1) 厚生労働省：医療情報システムの安全管理に関するガイドライン第5.1版 (2021)
<https://www.mhlw.go.jp/content/10808000/000730541.pdf>
- (2) 厚生労働省保険局：オンライン資格確認等システムの導入・運用に係るセキュリティアセスメントに基づいたセキュリティ対策例 (2021)
<https://www.mhlw.go.jp/content/10200000/000738078.pdf>
- (3) 大野聖信, ほか：IoTシステム対応三菱通信ゲートウェイ, 三菱電機技報, 91, No.6, 325～328 (2017)
- (4) 武田 哲, ほか：医療保険のオンライン資格確認に対応したMINDセキュアネットワークサービス“SecureMinder”, 三菱電機技報, 95, No.8, 518～521 (2021)