

# 人工衛星による測位インフラ

Positioning Infrastructure by the Quasi-Zenith Satellite System

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

永倉 巨\*  
Wataru Nagakura  
今村 征寛\*  
Yukinobu Imamura

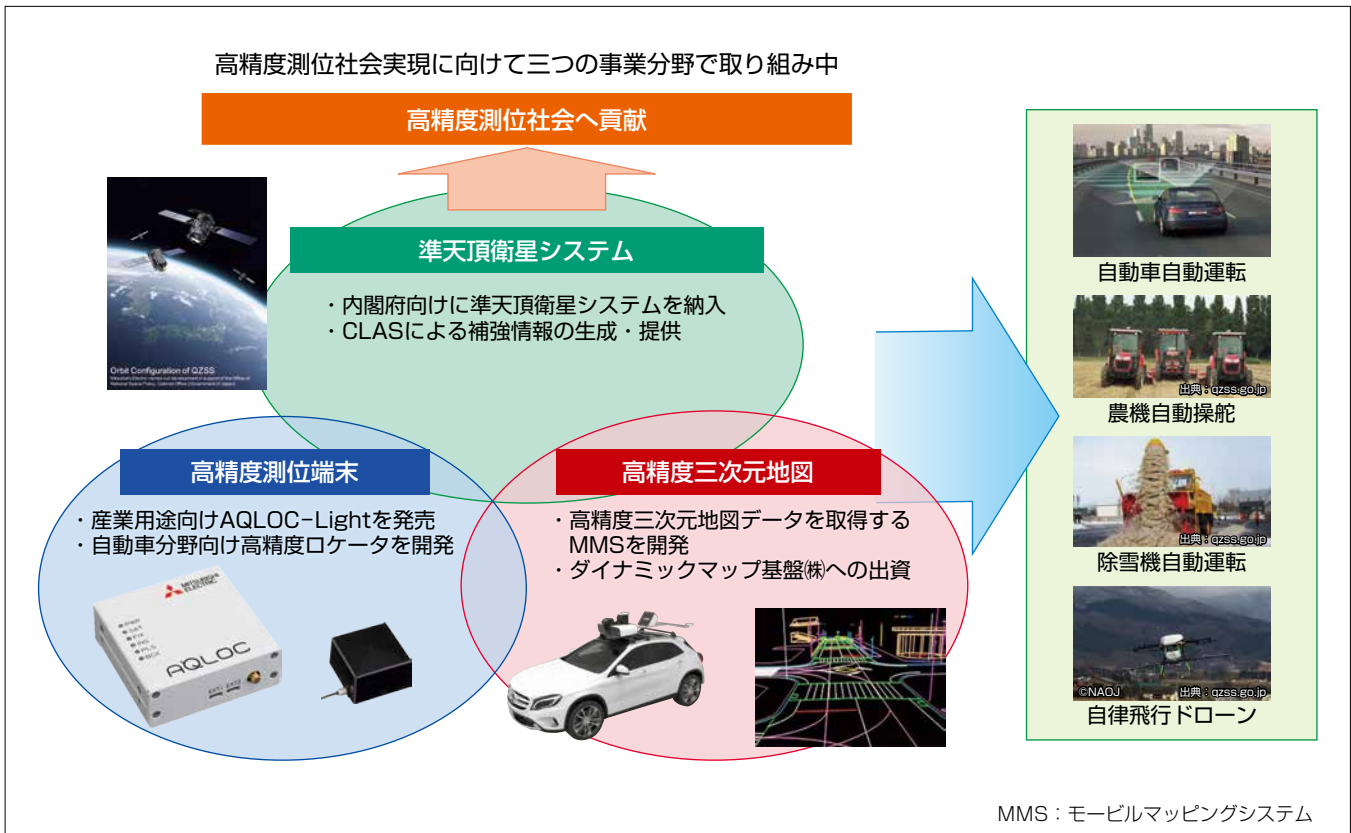
## 要 旨

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

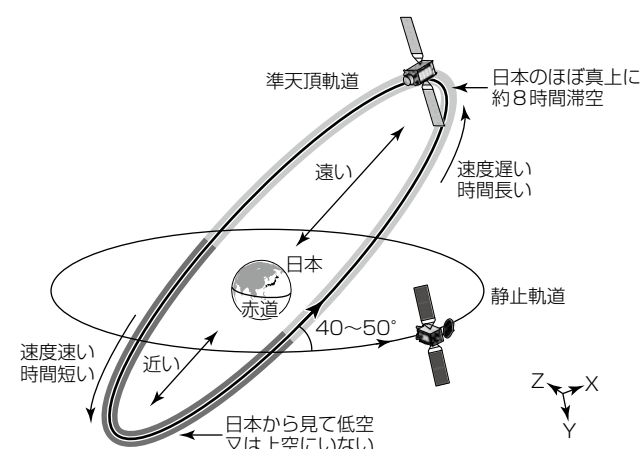


図1. 静止軌道と準天頂軌道

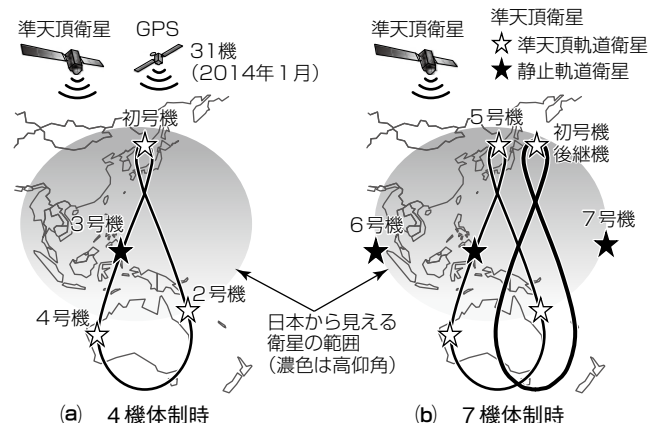


図2. 各衛星軌道の地表面上への投影

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<sup>(1)</sup>。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。

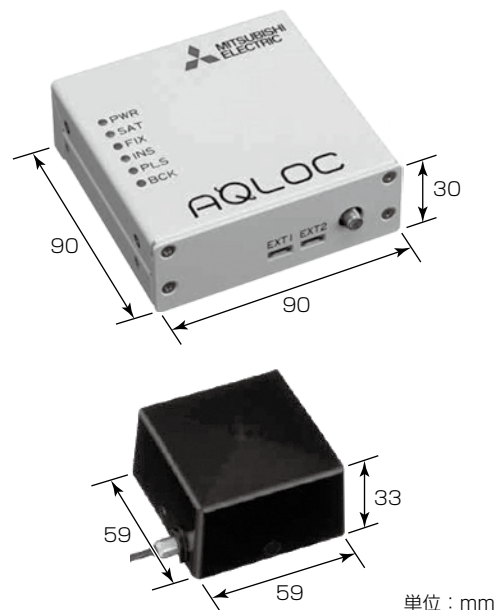


図3. 受信端末(AQLOC-Light)と付属アンテナ

単位: mm



### 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<sup>(2)</sup>及びユーザーインターフェース仕様書<sup>(3)</sup>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

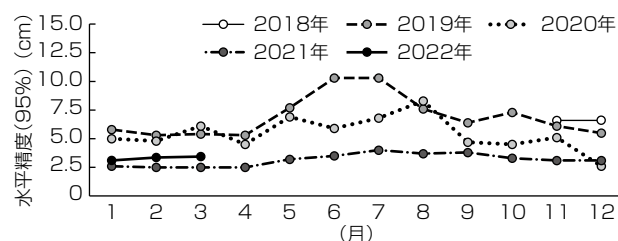


図4. 測位性能評価(水平精度)

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](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](https://qzss.go.jp/en/technical/ps-is-qzss/is_qzss_l6_004_agree.html)