

衛星を利用した高精度測位サービスの 国際標準の紹介

三菱電機株式会社 鎌倉製作所 ミッション技術部
古川 敏雄 (ISO18197プロジェクトリーダー)

東京海上日動火災保険株式会社 航空保険部 宇宙保険室
永島 敬一郎 (ISO/TC20/SC14/WG1 コンビナー)

1. はじめに

本標準は、ISO/TC20（航空機及び宇宙機）/SC14（宇宙システム及び運用）の活動の一環として2010年から開発を開始し、当原稿執筆時点で、International Standard under publicationの段階であり、まもなく発行される予定である。

ISO/TC20/SC14の活動は、宇宙産業界を主体にした国際標準化活動であり、従来、衛星やロケット等の設計・試験・運用・インタフェース・管理・工程等についての議論が中心となる傾向が強く、衛星利用サービスに係わる標準作り⁽¹⁾についてはほとんど議論されて来なかった。

一方、欧州では、欧州標準化委員会（CEN：Comité Européen de Normalisation）にTC5を設立して、衛星利用サービスの標準作りの活動を開始し、ナビゲーション（道路、空港及び測位と通信の統合サービス）や宇宙状況監視、地球観測等の標準化活動を実施している。その他、米国やOECD、国連においても、宇宙利用サービスを推進することが表明されている。また、国内では日本規格協会が、サービス産業の標準化のあり方に関するレポートを2011年に発表している。このような国内外の情勢の中、我が国が宇宙利用に関わる標準化活動を推進することは、宇宙開発・利用分野

の裾野を拓ける上で極めて意義深いものと考ええる。

本標準は、衛星利用サービス（Space based services）に関する標準としては、ISO/TC20/SC14で初めて発行されるアイテムである。

2. 本標準の活動経緯

本標準の活動は、2009年度の春期国際会議（SC14総会）において我が国から、衛星技術を利用した標準化活動を推進することを提案し、総会でこれが了承され、SC14のWG1（設計工学及び製品）の中で活動することとなったのが発端である。この活動が対象とするところは主として、宇宙側（衛星）と地上側（各種サービス）を結合する部分の標準化（Combination Standard）である。

本標準は、国内では「高精度測位システムに関わる衛星仕様及び送信データ特性に関する標準化」の表題で活動していたが、ISO/TC20/SC14/WG1内で審議し、宇宙利用を表題に入れるべきとの意見が出され協議の結果、本標準の表題の英文名は、“Space systems – Space based services requirements for centimetre class positioning”となった。

以下、本標準を新規提案してから発行が正式に承認されるまでの経緯を述べる。

2.1 NWIPからNP承認まで

本標準原案は、2012年3月に新規案件(NWIP: New Work Item Proposal)として提案した。同年5月のISO国際会議(ブラジルSao Paulo)において、提案の主旨を説明した。時期尚早との意見もあったが、同年6月に行われた新規プロジェクト(NP: New Project)承認の投票結果は、賛成7カ国、反対1カ国、棄権4カ国であった。また、同時に募集したエキスパート参加国は、フランス、イギリス、ウクライナ、日本の4カ国であった(後に中国も参加)。NP承認の要件は、投票国の過半数の賛成と4カ国以上のエキスパートの参加であるので、本原案はNPとして承認された。

2.2 NP承認からCD登録まで

2012年10月のISO国際会議(ドイツOttobrunn)では、本標準の要求事項である広域におけるセンチメートル級精度のリアルタイム測位性能のフィージビリティの検証と共に、当該技術を利用した産業分野が拡がりつつある現状について説明し、本標準の有用性を各国委員にアピールした。その結果、全てのメンバー国からの賛同を取り付けることができ、本件は2013年6月、委員会原案(CD: Committee Draft)に登録された。

2.3 CD登録からDIS登録まで

CD登録と同時にCDコメント(CD/C)が開始された。本原案に対し、ドイツから13件、米国から1件、ウクライナから1件、日本から7件のコメントがあったので、概ねコメントに沿って本原案を改訂した。2013年9月にCD投票(CD/V)が開始され、同年10月の国際会議(米国Washington)において各国と詳細な調整を行い、同年11月にCD投票が実施された。CD/Vの結果は、賛成9カ国、棄権4カ国、反対なしであった。投票国の2/3以上の賛成か

つ1/4以下の反対の要件を満たしCDはパスした。但し中国から8件のコメント付き賛成であったので、これに沿って原案を改訂した。本原案は2014年2月に国際標準案(DIS: Draft of International Standard)に登録された。

2.4 DIS登録からIS発行まで

DIS投票は2014年8月に締め切られ、投票の結果、賛成10カ国、反対なし、棄権2カ国、回答なし1カ国であり、本DISは承認された。若干のコメントはあったが、これらはいずれも軽微な内容であったので、本DISは最終国際標準案(FDIS: Final Draft of International Standard)を経ずに同年10月、国際標準(IS: International Standard)として正式に発行することが承認された(登録番号はISO 18197)。

本標準に関しては、今後は5年ごとの定期レビューに対応し、必要に応じて継続や改定等を行う予定である。

3. 本標準を取り巻く状況

カーナビゲーションや携帯電話等で利用されている測位システムは主にメートル級の精度であるが、自動農作業や交通管制、災害監視などの分野では、より精度の高いセンチメートル級の測位システムが必要となるなど、センチメートル級測位は我々の日常生活の各方面で深く関わるようになってきた。さらに、車両の自動運転、建設施工、地図作成、道路の除雪作業、空港の車両管理、河川・海上の水位計測等、センチメートル級の測位精度が要求される分野が広がってきている。

現在、地球的規模の衛星測位システム(GNSS: Global Navigation Satellite System)が、米国(GPS)、ロシア(GLONASS)、欧州(Galileo)、中国(BDS)、日本(QZSS)、インド(IRNSS)など世界の主要国で構築又は構築中であり、上空を飛び交う衛星数は数10機

という様相を呈しており、測位をするには十分な数に達している。しかし、現状の各国のどのGNSSも、それだけではメートル級の測位精度しか実現できず、センチメートル級の測位精度が必要な産業分野には対応できない。

センチメートル級精度の測位を実現させるには補強データが必要であり、広域に渡って補強データを配信するには衛星配信が適している。本標準は、センチメートル級の測位精度を実現させるために、補強データを衛星経由で配信して、広い範囲の移動体等に搭載された利用者端末に提供するセンチメートル級測位補強システムの要求事項を規定したものである。このシステムは、図1に示すように、測位衛星群、補強用衛星、補強用衛星管制局、電子基準点網、測位補強センター、利用者端末か

ら構成される。ここで、補強用衛星としては、静止衛星(GEO)、傾斜地球同期軌道(IGSO：Inclined GeoSynchronous Orbit)の衛星、低軌道や中軌道(MEO)の衛星等を想定している。

4. 本標準の要求事項

本標準は、広域に渡って展開する多数の移動体等に対して、リアルタイムでセンチメートル級精度の測位を可能とするために、補強データを衛星配信するサービスを対象としている。本標準では下記の3つの要求事項を設定している。

(1) センチメートル級の精度

センチメートル級の測位精度を実現するために、利用者端末と測位衛星との距離を計測する際に、擬似距離データと共に搬送波位相

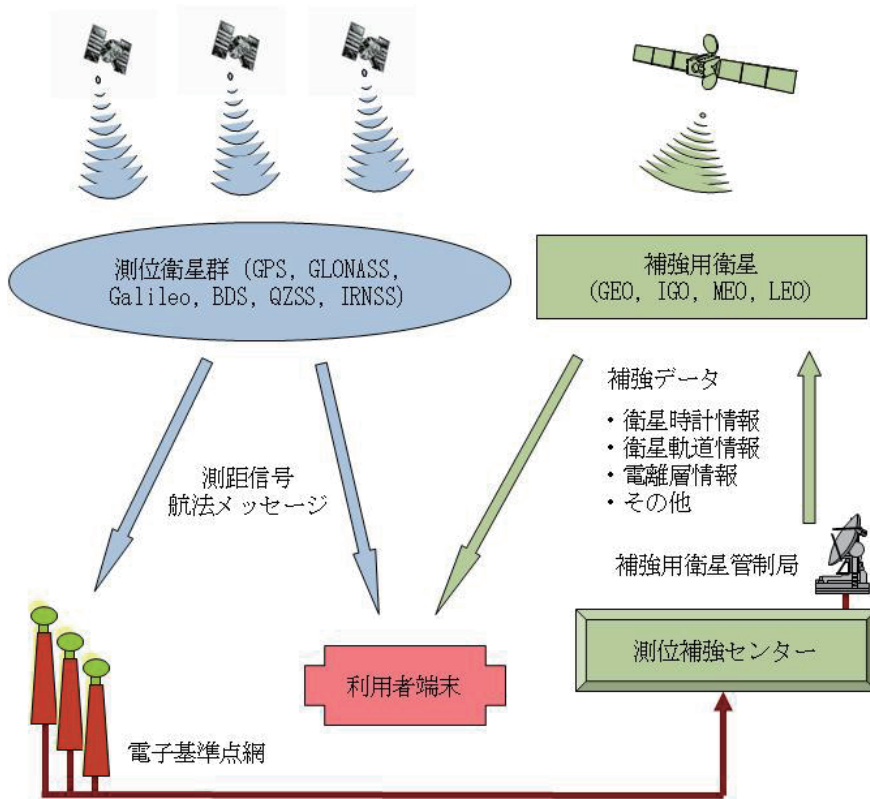


図1 センチメートル級測位補強システムの構成

データを用いる。但し、搬送波位相を用いて測距するためには、端末の測位計算において搬送波位相データの波数のアンビギュイティを決定（フィックス）する必要がある。

(2) 広域に渡る測位性能

センチメートル級の測位を実現するために、各種誤差要因の補正に必要な補強データとして、衛星時計誤差、衛星軌道誤差、電離層遅延量、対流圏遅延量、擬似距離信号バイアス、搬送波位相信号バイアス等がある。直線距離で概ね1,000km以上の広い範囲に亘って、いつでもどこでも同時に多数の移動体等に対して補強データを提供するための手段として、補強用衛星からの配信が適している。但し、衛星回線の伝送容量を考慮して、配信する補強データの伝送量の制約に配慮する必要がある。各利用者端末は、補強用衛星から配信される補強データを受信して測位計算を行う。この補強データは、測位補強センターにおいて、地上の電子基準点網で受信した測位衛星群からのデータを用いて作成し、補強用衛星へアップリンクする。

(3) リアルタイム性

移動体等に搭載された測位端末は、センチメートル級精度を実現するために、補強用衛星から配信された補強データを用いて、搬送波位相データの波数を決定しなければならない。リアルタイムで運用するためには、この波数決定に要する時間（TTFF：Time To First Fix）は、できるだけ短縮する必要がある。

また、リアルタイム性を有するセンチメートル級の測位性能が保証されるためには、補強用衛星から配信される補強データの信頼性が担保されること、併せて測位計算において搬送波位相データの波数が短時間で正確に決定できること、これらが同時に満足されなけ

ればならない。そこで本標準では、このような信頼性が高い測位性能を保証するために、静止点及び移動体に対する測位性能の検証方法を具体的に規定している。

5. 技術的実現性の検証

本標準の技術的実現性と記載内容の妥当性（本標準の要求を実現させることでセンチメートル級の測位が可能となること）を裏づけるために、広域測位補強網の中で移動体を走行して実データを取得し、測位精度の検証評価を行った。この広域測位補強網は図2に示すように、基準点間隔約70km、基準点総数165点で、北海道から沖縄まで日本全国（周辺の島嶼部を含む）をカバーする。各基準点は国土地理院の電子基準点網から選択した。

日本国内の北部地方（北海道）、中部地方（八ヶ岳）及び南部地方（南九州）の3地域において、各種測位環境（緯度、標高、湿度、山岳道路、海岸道路等）の下で、移動体を走行し実データを取得して測位精度を評価した。各地方での測位結果を総括すると、rms（root mean square）値で水平誤差2.2cm～3.9cm、垂直誤差5.0cm～7.7cmであった。また、観測点を測位する際のフィックスに要する時間（TTFF）を見積るために、フィックスに要するエポック数（測位レートが1秒間隔の場合は所要秒に相当）を算定した結果、平均で約2.4であり、概ね数エポック程度でフィックスが可能という結果が得られた。図3は静止点に対して補強データを用いて測位計算した結果の一例を示している。なお、この広域測位補強網に対する補強データの伝送量の見積り値は1,689 [bps] であった。

以上のように、広域に亘る移動体等に対するセンチメートル級精度の測位性能の技術的実現性は、実際のデータを用いて確かめられた。

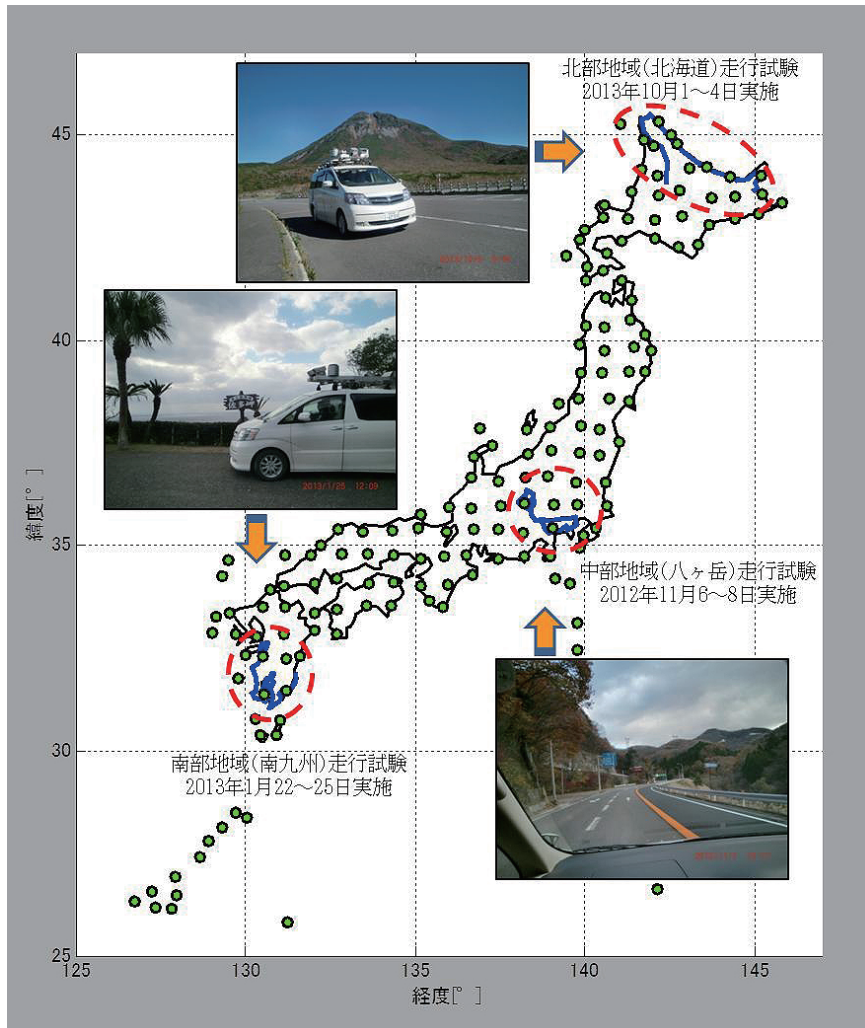


図2 日本全国の広域測位補強網と移動体の走行ルート

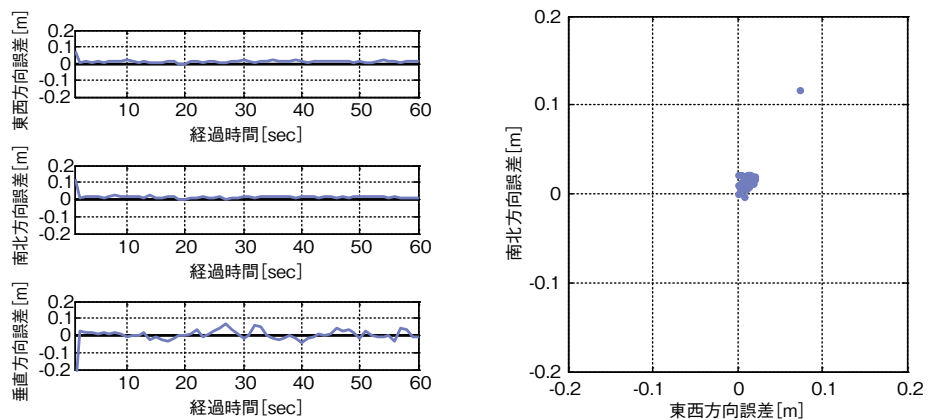


図3 測位結果の例（左は時系列、右は地表面）

6. アプリケーションの例

本標準が対象とするセンチメートル級の測位精度が要求される主な産業分野を表1に示す。この表に示すように、センチメートル級の測位精度が要求される分野は、我々の日常生活の質の向上や安全・安心に関わる分野などがあり多岐に渡っていることが分かる。

7. おわりに

本標準化活動は、経済産業省の国際標準開発事業として実施されたものである。本活動を進めるに当たり、日本航空宇宙工業会の中に当該技術及び利用分野の国内の専門家と有識者を集めて委員会を結成し、標準内容の審議や実データを用いた検証結果の評価等を実施した。本標準は、高精度測位サービスを提供する構成品の品質を保証するための検証評価に関する要求事項を規定しており、サービスに対する認証の可否判断としての役割も担っている。広域向けセンチメートル級の測位補強データのサービス事業の認証に関しては、本標準に基づいて日本が主導することを狙っている。

2015年1月、政府が策定した「宇宙基本計画」によれば、我が国の測位衛星群である準天頂衛星システムは、2023年度までに現在の1機

から7機体制に拡充する計画である。準天頂衛星を利用したサービスのひとつである広域型のセンチメートル級測位補強システムが国内外で注目されている。本標準が発行されれば、国内はもとよりアジア・太平洋地域をはじめ世界の各地域において、多種多様な高精度測位サービス提供への道が拓かれ、市場の拡大や関連産業の隆盛に貢献できるものと考ええる。

本標準は、上記で述べたように“Space based services”の標準としてはISO/TC20/SC14で初めてのアイテムであり、本標準が先駆けとなって、今後、衛星を利用したサービスがさまざまな分野で広がっていくことが期待される。宇宙を利用したサービスを国際標準化することで、日本が経済活動において世界の中で優位に立って関連産業の国際競争力を強化させることができると共に、さらに、災害や物流など社会のさまざまな問題の解決を促し、人類の日常生活の向上に資することができるものと考えている。

参考文献

- (1) 永島敬一郎、宇宙利用サービスに係わる標準化活動の動向、『航空と宇宙』（一社）日本航空宇宙工業会、711, 8-14, 2013

表1 センチメートル級の測位精度が要求される主な分野

NO	分 野	用途例
1	自動農作業	野菜の栽培、種蒔き・植え替え
2	建設・土木	情報化施工、橋梁建設
3	自然災害	地震・津波計測、水位計測
4	測地・測量	静止測量
5	モバイル・マッピング	移動測量、地図作成
6	除雪作業	作業車の精密位置決め
7	交通システム	自動運転、無人機の運行管理