

NEWSLETTER OF IPNTJ

測位航法学会ニューズレター Vol. XVI No.1 2025年4月4日

IPNTJ



測位航法学会
ニューズレター
第 XVI 卷第 1 号

目次

- P.1~4 日本標準時の紹介 後藤忠広
- P.4~5 SBICにおける標準化活動の紹介
林 正明・浅里幸起
- P.5 MGA15 参加報告1/3 廣川 類
- P.6 MGA15 参加報告2/3 山本享弘
- P.7 MGA15 参加報告3/3 小林海斗
- P.7 測位航法学会全国大会案内
- P.8~11 法人会員紹介
日立産機株式会社 初本慎太郎
- P.11 イベント・カレンダー 編集後記
- P.12 イベント写真 法人会員



特別法人会員



MGA15は3月4日から6日までの三日間、タイ王国の保養地プーケットのホテルで開催されました。歓迎レセプションは会場ホテルのプールサイドで。(本文 P.5)



NGA15、三日目に QZSS の災危通報サービス(EWSS)および高精度補強サービス(MADOCA-PPP)に関するデモが行われました。(本文 P.5)



測位衛星(GNSS)を用いた精密位置決定は、衛星が送信した信号が地上のアンテナに届くまでの伝搬時間を正確に測定することで成立する。GNSSによる測位では、複数の衛星からの信号を受信する必要があることから、それぞれの衛星が送信する信号は同期している必要がある。実際には、GNSSに搭載されている時計を高精度に同期することは困難なため、基準時系(GNSS時系)を決めて、その時系に対する搭載時計の時刻差を衛星の位置と同時に利用者に伝えることで測位が行われる。このため、衛星の位置と同様にGNSS時系と搭載時計の時刻差に誤差が生じるとアンテナの位置が正確に求まらないことから、GNSSの搭載時計には高安定な原子時計が使われている。情報通信研究機構(NICT)では、GNSS技術に大変重要な役割を果たしている原子時計やそれを基にした標準時系の研究を行っており、本稿ではこれらに関する研究について簡単に紹介する。

1. 日本標準時

時間の単位である秒は、長さのメートルや、重さのキログラムと同様に物理の基本単位の一つである。一秒の長さはセシウム原子に共鳴する電磁波が9,192,631,770回振動するのにかかる時間として定義されているが、実際の生活で利用するためには、なんらかのハードウェアによりこの定義を実現する必要がある。秒の定義を忠実に実現する一次周波数標準器と呼ばれる高性能なセシウム原子時計は、小数点以下15桁以上の不確かさで定義を実現することが可能で、秒は基本単位の中で最も正確な単位である。

原子時計は極めて正確な周波数を生成できる発振器であるが、周りの環境などに応じてその周波数は僅かに変動する。NICTでは、複数のセシウム原子時計や水素メーザーの時刻差を基に加重平均することで、単体の原子時計に比べて安定な時系(合成原子時)を計算している。計算により求めた合成原子時を基に、実際に信号を発生する水素メーザーの周波数を調整することでUTC(NICT)を生成している(図1)。

UTC(NICT)は国際標準時系である協定世界時(UTC)にトレサブルな標準時系であり、これを9時間進めた時刻が日本標準時である。短期的に安定な水素メーザーの信号と長期的に安定なセシウム原子時計の加重平均の双方を使うこ

とで、短期から長期まで高安定な時系信号を得ることが可能となっている。NICTでは、実信号を生成している水素メーザーの保守や故障などにより日本標準時が止まることがないように、冗長性を持たせて、3系統の時系を常時運用している。また、合成原子時の生成に使われているアルゴリズムは、合成原子時に寄与しているセシウム原子時計や水素メーザーの故障などで原子時計の寄与台数が減ってもその影響を最小限に抑えるよう工夫されている。そのため、高安定かつ途切れることがないUTC(NICT)の運用が実現している。

NICTは国内の利用者に向けて様々な方法で日本標準時またはUTC(NICT)を提供している(図2)。一般生活にもっとも身近な供給方法としては標準電波があげられる。時計メーカーが販売している電波時計は、標準電波が送信する時刻情報を受信することで、人による時刻合わせを不要としている。標準電波は、福島県にあるおたかどや山標準電波送信所から40kHzで送信されており、主に東日本の地域をカバーしている。40kHzが受かりにくい地域には、はがね山標準電波送信所(福岡県と佐賀県の県境)から60kHzの電波が送信されており、北海道から沖縄まで日本全国で標準電波を利用することができる。NICTは、パソコンなどの時刻合わせのために、インターネット経由でのNTPによる時刻配信も行っている。近年の時刻同期へのパケット数急増に対応するにはサーバーを使ったアプリケーションレベルでの時刻配信では不十分であり、NICTでは専用のハードウェアNTPサーバーを開発し、サービスを提供している。

2. ストロンチウム光格子時計の開発

近年はセシウムのマイクロ波遷移に比べて4桁から5桁周波数の高い、原子の光学遷移を利用した光時計(光周波数標準)の研究開発が精力的に進められている。2000年頃までは、マイクロ波と光の周波数を直接比較することは非常に困難であったが、周波数軸のものさしに相当する光周波数コム(光の発明により、現在の秒の定義であるセシウムのマイクロ波遷移を基準にした光時計の周波数(絶対周波数)を測定できるようになった。これにより、光時計の開発スピードが加速し、近年では光時計の性能はセシウム一次周波数標準のそれを凌駕している。近年、光時計の内、二次周波数標準に認められ

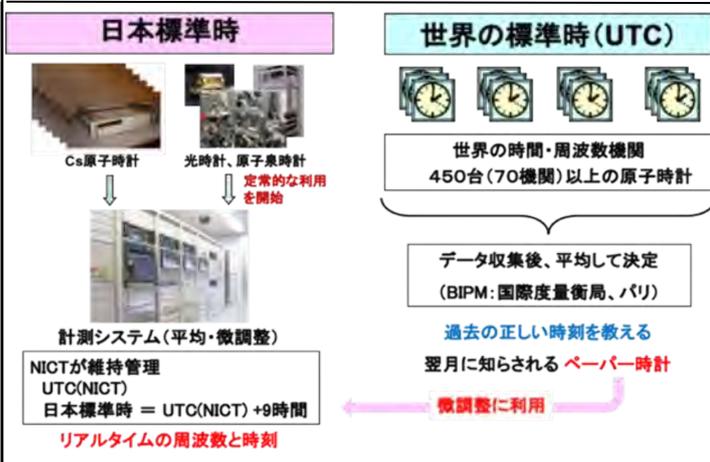


図1 日本標準時の発生システム

市販のセシウム原子時計と水素メーザーを複数台使用して安定な時系(合成原子時)を生成し、その値を基に水素メーザーの周波数を調整することで日本標準時を発生している。

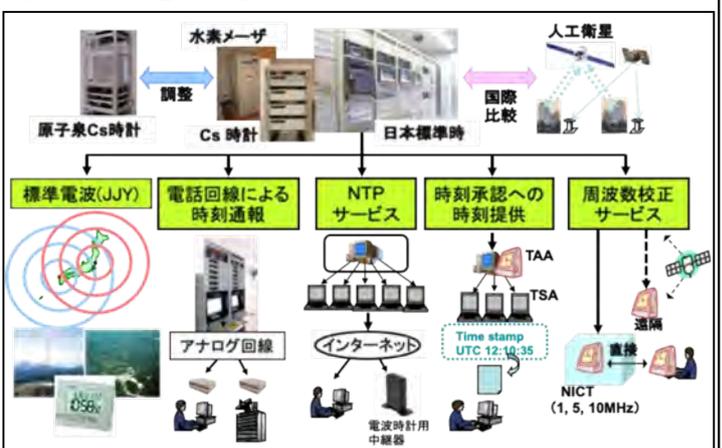


図2 日本標準時の供給サービス

電波時計の自動調整に使用される標準電波以外にも、インターネット経由など様々な方法で日本標準時を国内の利用者に提供している。

た時計はUTCの歩度校正に寄与するようになった。NICTでは、ストロンチウム(Sr)原子を利用した光格子時計(光時計の方式の一つ)の開発を行なっている(図3)。2018年には、NICTのSr光格子時計は二次周波数標準に認められており、国際度量衡局(BIPM)が計算するUTCの歩度校正に寄与している。2021年からは、NICTは世界に先駆けてSr光格子時計を利用した標準時系信号を継続して生成しており、これを参照することでUTC(NICT)の高精度化を実現している。これ

までUTCに対して±20 ns程度で変動していたUTC(NICT)の時刻差は、光格子時計を時系生成に導入してからは典型的には±4 nsの変動に収まっている(図4)。

現在のGNSSにはルビジウム原子時計を搭載している衛星

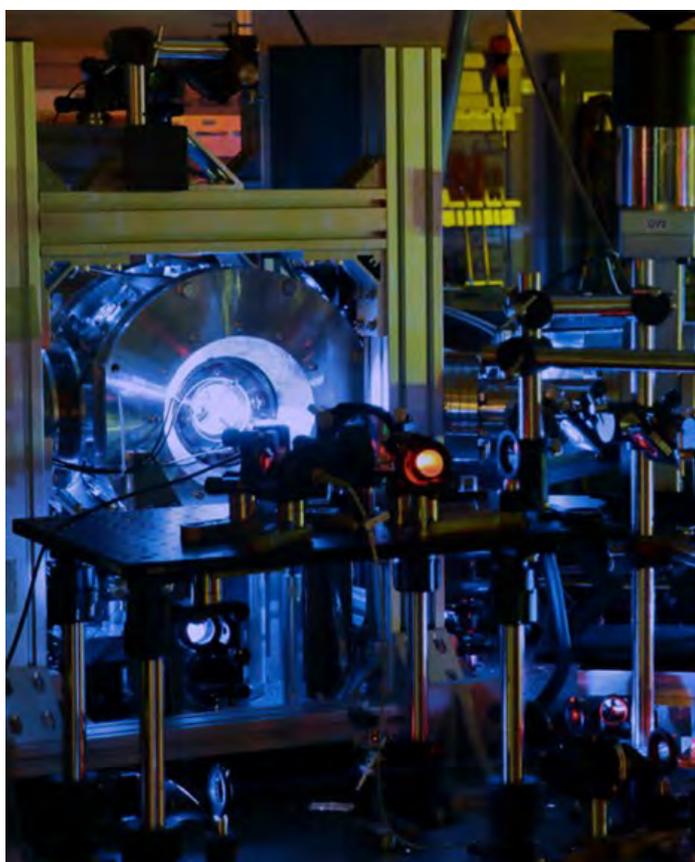


図3 NICTのSr光格子時計

レーザー冷却法により冷却した原子集団を光の定在波(光格子)に捕獲し、これをサンプルに高精度に周波数安定化したレーザーを使って分光する。この分光レーザーの周波数が常に原子に共鳴するように周波数調整することで、原子に周波数安定化されたレーザーを生成する。

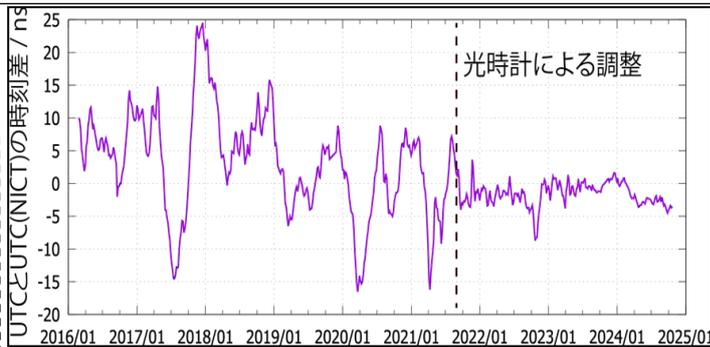


図4 Sr光格子時計導入前後のUTCとUTC(NICT)の時刻差

Sr光時計で日本標準時を制御することで、UTCに対して極めてよく同期している。



図5 日本標準時の分散化

自然災害などで日本標準時が止まることがないように、小金井と同等の機能を神戸副局にも備えて、日本標準時の分散運用を行なっている。なお、おたかどや山標準電波送信所、及びはがね山標準電波送信所に設置されているセシウム原子時計も合成原子時に寄与するためGNSS時刻比較の測定に含めている。

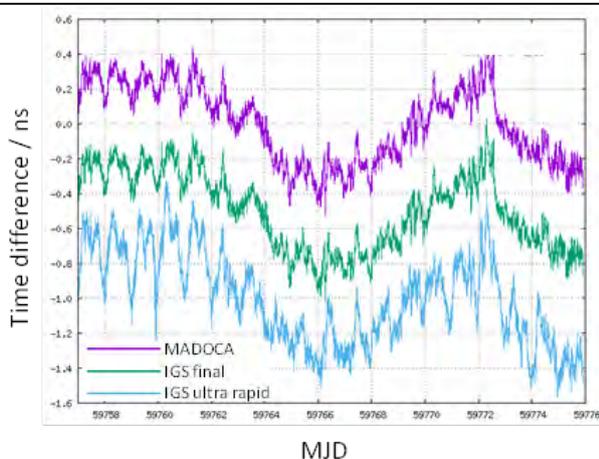
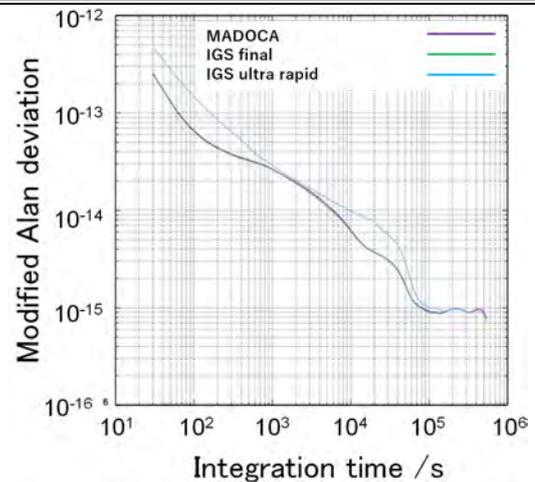


図6 MADOCA-PPPを用いた本部と神戸副局間の時刻比較結果

分散化では高精度な時刻比較を準実時間で行う必要があることから、MADOCA-PPPが利用できるかの検討を始めた。左図は小金井と神戸副局間の時刻差を表し、縦軸は時刻差を、横軸は修正ユリウス日(MJD)を表す。右図は安定度を表し、縦軸は修正アラン偏差を、横軸は平均化時間を表す。安定度の結果では、MADOCAを用いた手法とIGS精密暦を用いた手法において、ほぼ同程度の比較精度が得られていることがわかる。



が多い。将来、光時計の商用化と小型化が進み、衛星の時計が光時計に置き換わった場合には、GNSS時系に対する衛星の時刻誤差の影響は大きく改善されることが期待される。結果として、衛星の軌道決定精度の改善だけでなく、放送暦に含まれる衛星時刻誤差の影響が大幅に改善されることから、実時間測位による位置決定精度の改善も期待される。

3. 時間周波数におけるGNSSの役割と日本標準時の分散化

時間周波数の研究においては、GNSSは遠隔地で生成している時系の時刻差を測定する手段として活用されている。GNSS時刻比較では、測地解析における衛星に対する一重位相差に相当する観測量を用いて、2局間の時刻差を求める供視法(common-view)が使われてきた。その後、外部基準信号に同期した観測が可能な市販の測地用受信機が入手可能となったことから、精密単独測位(PPP)解析により得られた受信機時刻誤差の差分を取ることで時刻比較を行う方式が主流となっている。BIPMがUTCの計算のために構築している国際時刻比較リンクの計算にもPPPが用いられており、1日平均で 10^{-15} での時刻比較を可能としている。先の東日本大震災を教訓に、NICTでは自然災害などにより日本標準時の永続性が

途切れるのを防ぐために複数の拠点で日本標準時を運用する案が検討され、2018年より神戸副局の運用が開始された(図5)。副局には水素メーザーと複数のセシウム原子時計が移設され、本部機能が失われても日本標準時を維持できるようになった。その一方、原子時計を分散配置したことによる、合成原子時に寄与する原子時計数の減少を克服する必要があった。そこで、本部と神戸副局間で高精度な時刻比較を確立することでこの問題を解決している。本部と副局間の時刻比較には準実時間性も要求されることから、放送暦を用いた搬送波位相観測によるGNSS供視法により時刻比較を行っている。近年では、みちびきL6信号に実時間単独精密測位を可能とするMADCOA-PPPサービスが始まったことから、NICTでも分散化の比較にMADCOA-PPPサービスが利用できるかの検討を始めた。RTKLIB/PPPとMADCOA-PPP補正情報を用いた本部と副局間の時刻比較では、IGS最終暦を用いた場合と比べてほぼ同程度の比較精度が得られた(図6)。分散化の時刻比較精度向上におけるMADCOA-PPPの有用性を確認したので、現在はみちびきL6受信機の整備を行い、実運用に取り込むための準備を進めている。

SBICにおける標準化活動の紹介

SBIC標準化WG リーダー セイコーエプソン(株) 林 正明(正会員)
 サブリーダー J-spacesystems 浅里幸起(正会員)

1. 標準化ワーキンググループの活動

宇宙利用ユーザープラットフォーム(SBIC)は、「みちびき」をはじめとする衛星測位、衛星を利用したリモート観測、通信とエネルギー、宇宙天気など、人工衛星や宇宙機を用いた「宇宙利用サービス」の活用推進について協議するための民間のプラットフォームです。その中で標準化Working Group(以下WG)は、我が国のGNSS利用の促進や世界におけるPositioningの確立を目指してISOによるGNSS関連規格の標準化を推進しているワーキングであり、高精度測位サービス利用推進協議会(QBIC)で行われていた標準化事業を継承・推進しています。

WGでは様々な標準化の検討が行われておりますが、今回最も注目している欧州における時刻デバイスの標準化の動きを紹介します。

2. ガリレオ時刻デバイスの標準化

ご存じのとおりGNSSは位置情報の取得だけではなく、正確なクロックによる時刻の同期をとるためにも利用されており、携帯電話等の時刻同期、金融取引、送配電システムでの時刻同期、腕時計への搭載等様々な可能性を秘めております。

欧州において時刻同期に利用するGNSSデバイス(受信機)について、その精度毎に3つのレベルに分類する規格が数年前から検討され、2024年12月にEN16605:2024として規格書が発行されました。

内容は時刻同期に利用する端末の精度について、GST(Galileo 標準タイム)、UTCそれぞれについて以下の3つのレベルにその分類をする規定となっています。

Service Level	GST(ns)	UTC(ns)
1	1000	1000
2	100	100
3	15	20

対象はGalileo信号が受信できる受信機であることを必須としており、GPS信号の受信はオプションの扱いになっております。

要求仕様としては上記の精度レベルと共に、スプーフィング対策等が盛り込まれております。

2023年に開催されたION GNSS+(@Colorado州Denver)でその内容が紹介されましたがその段階ではService Level3等について一部がPreliminaryでしたが、昨年のION GNSS+(@Maryland州Baltimore)でLevel3までの精度が確定し、欧州規格として発行することが発表されました。

同時に上記の各精度レベルを定義するための誤差測定の方法、障害物下の受信性能、ロバスト性能の測定など13種類のTESTを行うことも規定され、TEST結果を提出することで端末に対する認証(Certification)がされる仕組みになっております。

またTEST環境については13種類が規定されており2種類はGNSS シミュレーターによる実施となっておりますが、11種類については実環境においてGNSS信号の受信状況を記録し、そのデータをリプレイできるようにする「Record & Replay」(通称:R&R)という方式が求められております。このR&R方式について欧州が位置情報測位デバイスの統一的なTEST方式としてISO TC20としての標準化を提案しております。

時刻端末の標準化については、現在は欧州規格ですが今後ISO標準として提案される可能性もあることから、WGとしては、今後の影響や「みちびき」の受信機における時刻精度の



標準化の可能性や欧州規格との連携も含めて積極的に議論を行っていく予定です。また上記「R&R」によるTEST方法のISO提案についても、対処方法の検討を実施していきます。

3. R&R試験規格の標準化

前項にて言及したR&R試験の標準化について、現在の状況を詳しく報告します。ISO 25082シリーズは、フランスが2024年にISOに提案した衛星測位端末向けのR&R試験の国際規格です。2025年3月現在、Part 1となるISO 25082-1 について委員会原案(CD)の検討が開始され、ISO/TC 20/SC 14委員会にて議論が続けられています。

ISO 25082-1(CD)は、2020年に発行されたITS機器の試験のための欧州規格EN 16803-1 を元に作られており、主に性能の確立と評価のための諸定義とシステムエンジニアリングの手順が規定されています。同シリーズの Part 2ではGNSS端末の基本性能の評価、Part 3では GNSS端末のセキュリティ・パフォーマンスの評価が規定され、共に2020年に発行されました。一方、2024年に発行されたPart 4では試験シナリオの設計と評価のための諸定義とシステムエンジニアリング手順が規定されています。よって、今後ISOにおいても Part 2~Part 4の提案もなされる見通しです。

SBIC標準化WGでは、この規格案に早くから着目し、国内からのコメントを募ってきました。フランスの提案者は、EN 16803がITS用途を念頭において作られているのに対して、ISOにおいてGNSS端末全般に適用できるように提案を広げました。しかし、日本の専門家からは、ITSに広げるには記述が不十分であるとの指摘が上がっていました。国際的な議論では、米国とドイツからも多くのコメントがあり、合計で64もの指摘が集まりました。この結果、この規格原案の検討期間は、1年間延長されることになりました。日本グループ(SBIC)としては、今後ともより良い提案となるようコメントを提出していく予定です。

ISO原案は著作権のある文書ですが、SBICに登録頂ければ、この議論に参加することができます。事務局宛(office@space-union.com)に連絡頂ければ、希望者はどなたでも登録できます。会費は無料です。皆様よろしくお祈いします。

4. おわりに

WGへの参加は原則自由になっておりますので関係する皆様の積極的な参加をお待ちしております。詳細はSBICの下記HPをご参照ください

<https://upsa-space.com/sbic>

略語

CD:Committee Draft

EN:European Normalization

GST:Galileo System Time

ION:Institute Of Navigation

ISO:International Organization for Standardization

ITS:Intelligence Transport System

R&R: Record and Replay

QBIC:QZSS Business Innovation Council

SBIC:Space-based Business Innovation Council and platform

UTC:Universal Time Coordinated



2024年のION GNSS+が開催されたボルチモア

第15回MGAカンファレンス参加レポート 1/3

三菱電機株式会社 廣川 類(正会員)

2025年3月4日~6日にプーケット(タイ)で開催されました第15回MGAカンファレンスに参加しましたので、その内容を報告いたします。

同国際会議は、アジア地区におけるマルチGNSSの普及を目的に毎年開催されており、ここ数年はGISTDAの協力を得てタイで開催されています。今年は、リゾートとして有名なプーケットのDuangjitt Resort & Spaにて開催されました。3日と4日には、国連下部組織であるICG関連のワークショップが併催されており、筆者は、高精度測位の相互運用性に関する議論を行うPPP Interoperability Workshopに共同チェアとして参加しました。

初日(4日)は、小暮氏(JAXA, MGA 共同チェア)や三上氏(内閣府準天頂利用推進室長)らによるオープニングスピーチにより、会議の幕が開けました。初日の夜は、会場にあるプールの脇でレセプションが行われ、各国から参加した参加者間の交流が図られました。筆者は、イタリア、オーストラリア及びインドの参加者と同じテーブルで、夜遅くまで会話が盛り上がりしました。(写真・表紙)



サービスプロバイダーセッション

二日目(5日)午前には、各GNSSプロバイダがステータスを紹介するセッションが開催されました。GNSSの性能は測距精度(SISE)で表され、Galileoが約20cm(95%)と性能面でリードしているが、GPSについても2023年に行われたシステム更新後、37.6cmと従来の約80cmから大幅に改善している。午後は、Emerging system sessionとして、最近話題のLEO-PNTとLunar PNTに関するセッションが行われ、両セッション共に村田氏(JAXA)がチェアを務めました。低軌道に200機以上の衛星を展開するLEO-PNTは、ION GNSS+等の他の著名な国際会議でも人気で、今回は7件の発表が行われました。

2030年代にかけて複数の有人・無人ミッションが計画される月の周辺を対象とするLuna-PNTはNASA・ESA・JAXAにより作成されたICDが公開されるなど、2028年頃の初期展開に向けて開発が進んでいます。



コーヒーブレイクの様子・展示会場にて

最終日である三日目(6日)午前は、防災および高精度測位に関するセッションおよびデモセッションが行われました。

デモセッションでは、プレゼンの後、屋外でQZSSの災危通報サービス(EWSS)および高精度補強サービス(MADOCAPPP)に関するデモが行われ、参加者から多くの関心が寄せられていました。(表紙・写真)

午後は、ICGの活動紹介、GNSSの信頼性に関するセッションが行われました。昨今の国際情勢から、GNSSに関する欺瞞攻撃などの脅威が現実のものとなっており、航法メッセージ認証機能などの対抗先への関心が高まっています。最後にクロージングセッションが行われ、三日間にわたる会議が閉幕しました。



パトンビーチの夕暮れ

国際会議は様々な発表が行われると共に、ネットワーク構築の機会でもあります。会議の合間のコーヒープレークでは、コーヒー・紅茶や地元のお菓子を楽しみつつ、会話に花が咲いていました。

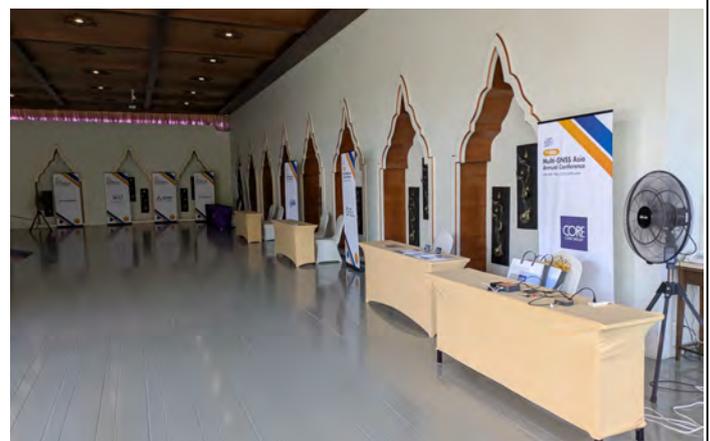
会場は世界的に有名なパトンビーチの横にあり、会議の合間に素敵なビーチでゆったりとした時間を過ごしたり、地元のタイ料理を楽しむことができました。日本が整備する準天頂衛星システムは、アジア地区の人々からも期待されており、こうした機会を通じて、更なる普及を促進する必要があります。来年は、日本での開催が検討されているということですので、読者の皆様も参加してみたいはいかがでしょうか。

第15回MGAカンファレンス参加レポート 2/3 株式会社コア 山本享弘(正会員)

第15回 Multi GNSS Asia Annual Conference (MGA)が2025年3月4日から6日にかけてタイのプーケットで開催された。それに先立って3月3日から4日の間でIGMA(International GNSS Monitoring and Assessment)やICG(International Committee on Global Navigation Satellite Systems)の会合が開かれている。大学での開催ではなかったこともあってか参加者はこれまでよりも少ない印象を受けたが、成果の発表や情報収集など目的をもって参加した人が多かったのか発表の質は高く感じた。



会議場エントランス



開場前の展示会場

第15回MGAカンファレンス参加レポート 3/3

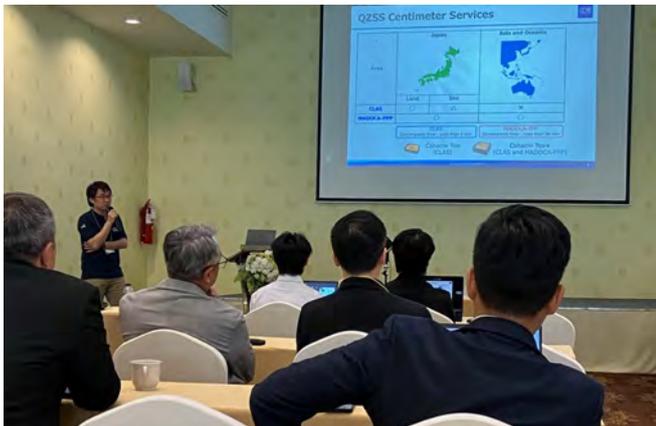
東京海洋大学 小林海斗(正会員)

System Provider Sessionでは、各国の衛星の開発状況について説明があった。GPS、GLONASS、Galileo、BeiDou、QZSSに加えて、オーストラリアのSouthPANや韓国のKPSの発表があった。GLONASSのHigh Accuracy Service (PPP)やDFMC SBAS、SouthPANのDFMC SBAS、KPSのPPP-RTKなど各国測位補強サービスを強化するとともに、Galileoが信号認証サービスとしてOSNMA(Open Service Navigation Message Authentication)に加えてSAS(Signal Authentication Service)を開始するなど、互換性と同時に差別化を図っている様子が強く感じられた。

Emerging System Session LEO-PNTでは、今後導入が見込まれる低軌道測位衛星システムに関わる発表がなされた。Xona Spaceが2025年の3Q/4Qに配信を開始する予定とするなどこれからの技術ではあるが、空間ダイバーシティが改善することによる測位精度の向上やPPPの収束時間短縮が期待される。各社が独自に開発している状況にあり、相互運用性(Interoperability)が今後の課題となっている。

Application SessionやResearch Sessionでは、みちびきのMADCOA-PPPや災危情報のサービスを利用した発表が数多く見られた。ネットワークインフラが整っていないまたは安定していない場所が多く、衛星によって精密測位や災害情報の取得ができることは、日本以上に有効であった。一方で、ローコスト受信機を使用した実証が多く、盗難のリスクもあるという発表もあり、民間の利用が普及するにはもう少し時間がかかりそうである。

今回の参加を通じて、受信機の小型化やMADCOA-PPPの正式サービス開始により、徐々にではあるが準天頂衛星みちびきの認知度およびその利用が浸透している様子が見て取れた。今後に向けては、すぐにみちびきのサービスを大きく普及させることはアジア各国の事情もあり簡単ではないが、少なくともMGAのような認知度を高める活動が継続的に行われる必要があると感じた。



最終セッションで講演中の筆者

Title : QZSS Solution "Cohac ∞ and ChronoSky"

測位航法学会全国大会開催案内

日程: 2025年5月21日(水)~23日(金)

於: 東京海洋大学越中島会館

プログラム

5月21日セミナー①、セミナー③ 平行1日2コース

セミナー① 入門者向け

「GNSSの基礎」 講師 坂井丈泰(電子航法研究所)

セミナー③

「GNSSの基礎と信号処理の概要」 鈴木太郎(千葉工大)

2025年3月4日から6日にかけて3日間タイ王国、プーケットで行われた第15回Multi GNSS Asia Annual Conference (MGA)に参加した。会場はDuangjitt Resort & Spaというホテルの会議場が使用された。会議はZoomも使用したハイブリッド形式で行われた。



1日目はオープニングセレモニーを行った。2日目から本格的な発表があり、まず各国の衛星運営側から測位衛星の整備状況や将来の展望が発表された。新しいものとしてはオーストラリア・ニュージーランドをカバーするSBAS兼測位補強衛星のSouthPANと韓国のKPSがあった。KPSはL6信号でのPPP-RTKを予定しており、PNTの信号もQZSSとほぼ同じであるため相互利用に期待が持てそうである。また今年MGAで初となるLEO-PNTとLunar-PNTの衛星運用側のパネルディスカッションが実施された。LEO-PNTでは各LEO衛星間の信号の互換性と既存のGNSS受信機からの改造が可能かどうか大きな焦点が当たっていた。

3日目にはデモンストレーションと研究発表が行われた。デモンストレーションは3機関が行い、タイのTAFチームがQZSSのEWSを使用した森林火災早期発見システム、Ocean Solution Technology社がLPWAを使用したプレジャーボートでの遭難通知システム、JAXAがローカル補正情報ありのMADCOA-PPPを使用したロボカーをそれぞれ披露した。研究発表ではGNSSの脆弱性についてのセッションがあり、世界的にJammingやSpoofing研究への注目が高いことが伺えた。ICGなど国際的なフレームワークの作成活動についての発表もあり、特にPPPやPPP-RTKに関するフレームワーク作りが急務であることを知ることができた。

筆者は高精度測位のセッションで東京海洋大学が2020年から行っていた海外におけるMADCOA-PPPの精度評価のまとめについて発表した。MADCOA-PPPは2024年の4月に正式サービスを開始したが、この海外基準局のモニタリングプロジェクトはMADCOA-PPPの正式サービスまでの精度監視だけでなく各国への広報活動としても役に立てたと思う。

プロジェクトに協力していただいた各国の大学・機関ではプロジェクト終了後もMADCOA-PPPを研究対象やフィールドアプリケーションとして検討していただければ幸いです。

(関連写真・裏表紙)

5月22日セミナー②、セミナー④ 平行1日2コース
セミナー②

「高精度測位、準天頂衛星、測位ソフトの紹介」

久保信明、小林海斗(東京海洋大学)

尾関友啓(電子航法研究所)

セミナー④

「GNSS SDRの設計、実装と応用 - Pocket SDRを例題にして」 高須知二(元東京海洋大学)

5月23日(金) 研究発表会

いずれもハイブリッド形式の予定: 詳細は近日中にご案内。

<法人会員紹介>株式会社日立産機システム デジタルイノベーション事業部 初本慎太郎(本会監事)

株式会社日立産機システム(以下、日立産機システム)では、信頼性の高い産業用設備機器をはじめ、工場のIoT化・自動化を実現するために必要なコネクテッドプロダクトや、サービス、ソリューションを提供している企業です。この中で、最初は新事業としてスタートした位置と通信をキーワードとした事業が、近年のIoT&DX技術の適用拡大に伴う需要の高まりもあり、重要な役割を担っています。



当社の位置・通信事業は、プロダクト・サービス・ソリューションの4つの商品群で構成されています。具体的には、GNSS/IMU/レーザ測位等の位置センサプロダクトとLTE/無線LANを実装した産業用無線ルータ等の通信機器プロダクト、通信を行うための回線サービス、それら商品とサービスを活用したシステムソリューションです。

カタログ製品としてラインアップはありますが、特定の顧客向けの専用開発製品の比重も高く、産業機器への組み込み、様々な移動車両への車載、設備監視等の幅広い用途で活用されています。

1. 測位分野との関り

当社は、測位航法学会の設立当初から法人会員として今日に至るのですが、これもその当時に位置・通信事業を新事業として取組んでいたことが背景にあります。その新事業の始まりは、今から約30年前に遡りますが、当時新製品開発のプロジェクトが発足し、そこで採択されたテーマは屋外での自律走行ロボットの研究開発試作でした。その開発で位置検出センサとして採用したRTK-GPS受信機とジャイロセンサとの出会いが、その後の位置・通信事業を始めるきっかけとなっています。

私事ですが、東京商船大学(1986年卒)の卒業でもあり、学生時代のクラブ活動では、エンジンも無い端艇(ピンネース)で、帆走と橈漕による三浦半島～伊豆半島～伊豆大島～房総半島を巡る航海をしておりました。この航海中の自己位置推定は、当時は衛星測位システムが無い時代でしたので、クロスベアリングや推測航法で根気のいる作業をした思い出がありました。それが、RTK-GPS受信機と出会った時に高精度な絶対座標位置がリアルタイムで測れたことへの驚きは今でも忘れられない経験となっています。

自律走行ロボットの開発以降に使い始めたGPSですが、GPSを利用したアプリケーションを考えるとその位置情報を使いたい場所にリアルタイムで確実に伝送する必要性を強く感じていました。丁度その時期に、携帯電話網を利用したデータ伝送無線ルータの製品化の機会を得まして、位置と通信というキーワードでの事業を始めることになりました。事業とは書きましたが、恥ずかしながら当時は上司を含めても数人規模で始めた弱小集団でして、社内での予算にもカウントされない事業の体をなさないチームでのスタートでした。

これまでの事業黎明期での対応を思い返しますと、疑似衛星(Pseudolite)での社会実証試験、IMES(Indoor Messaging System)送信機の製品化、ASC(Audio Subcarrier Channel)を用いた仮想基準点方式の実験、VRS補正情報配信方式の技術検証、リアルタイムGIS関連の開発、準天頂衛星を活用した利用技術検証などを通じて、当社が多くの産官学の

方々と連携させていただきながら相互の協力と支援をして頂いたことが、現在に繋がっていると確信しており有難く思っております。

今後も位置・通信端末のプロダクトとソリューションの提供を通じて、新たな価値の提供ができるよう続けて参ります。

2. 位置・通信分野のプロダクト

近年、設備の稼働情報や車両の位置情報などをクラウドやサーバに伝送する使い方が当たり前になるなかで、過酷な環境下でも稼働する無線ルータの需要は日々高まっています。

当社の位置・通信プロダクトは、水分・塵埃・振動衝撃・温度などの影響を受ける過酷な環境で使用される建設機械や農業機械などの産業用車両、鉄道車両への適用が多く、耐環境仕様はそれらの車両搭載を考慮した規格に準拠していることが特長となっております。

また、当社通信機端末の管理サーバやクラウド連携により、通信端末のファームウェアや設定の更新がOTA(Over the air)による遠隔操作で可能なため、設備のIoT化と安定した運用を実現できる仕組みがあることも特長となっています。

以下に、当社の位置・通信プロダクトの紹介をします。

2.1 GNSS内蔵 産業用無線ルータ「CPTransシリーズ」

1) グローバル対応/国内通信モデル(CPTrans-MGW/MJW)

産業機器をキャリア無線網(LTE回線)に接続して使用することを想定した商品です。外形寸法は、手のひらに収まる(80mm×80mm)小形サイズのため、既存の装置・機械の狭小なスペースにも容易に設置可能です。

また、グローバルモデル(CPTrans-MGW)は、世界中どこでもお使いいただけるように、グローバル対応の通信モジュール(LTE Cat.4)を搭載するとともに、米国をはじめ世界各国の75カ国の電波法認証を取得しており、海外に設置されている装置や輸出向けの産業装置などのIoT化に貢献しています。

無線機を接続する相手機器は、LANインタフェースを装備しているとは限りません。レガシーなGPS受信機では勿論のこと、RS232Cのインタフェースしかない機器は多くあります。これらの機器にも容易に接続できるよう、無線端末側に多様なインタフェースを実装しています。

<特長>

- ①マルチキャリア対応(NTT、KDDI、Softbank)
- ②単独測位GNSS内蔵(GPS/GLONASS/BeiDou/Galileo)
- ③NTP機能(サーバ/クライアント)
- ④高い耐環境性能
 - ・振動(JIS C 60068 2 6:2010 準拠)
 - ・衝撃(JIS C 60068 2 27:2011 準拠)
 - ・振動衝撃(JIS E 4031 2013 区分1 等級 B準拠)
- ⑤インタフェース(無線/有線LAN、RS-232C/485)
- ⑥専用化対応(アプリケーションフレームワークを活用した専用インタフェースや機能の追加)
- ⑦グローバル対応(電波法認証75カ国取得/CPTrans-MGW)
- ⑧接点監視アプリケーション(オプション)
 - ※接点の状態をダッシュボードに表示する機能

2) 高精度RTK測位モデル(CPTrans-GLW)

RTK受信機とLTE無線ルータ機能を一体化した商品です。車載用ネットワークのCAN(Controller Area Network)通信にも対応し、農機の自動運転や建設機械の作業情報を位置と



項目	CPTrans-MGW	CPTrans-MJW
通信方式 (WAN側)	LTE FDD : B1/B2/B3/B4/B5/B7/B8/B12/B13/B18/B19/B20/B25/B26/B28 LTE TDD : B38/B39/B40/B41 WCDMA : B1/B2/B4/B5/B6/B8/B19 GSM : 850/900/1800/1900MHz	LTE FDD : B1/3/8/18/19/26 LTE TDD : B41 WCDMA : B1/6/8/19
認証取得国	フランス、ドイツ、英国、イタリア、スペイン、ポルトガル、ギリシャ、オランダ、オーストリア、デンマーク、フィンランド、スウェーデン、アイルランド、ベルギー、スロバキア、チェコ、ポーランド、スロベニア、エストニア、マルタ、ラトビア、リトアニア、キプロス、ハンガリー、ルーマニア、ルクセンブルク、クロアチア、ブルガリア、アイスランド、ルウエイ、光テンジュタイ、トルコ、北米、カナダ、日本、タイ、カンボジア、インド、オーストラリア、ニュージーランド、他	日本
キャリア認定取得	AT&T	Fコモ/KDDI
通信方式 (LAN側)	無線LAN (2.4GHz) IEEE 802.11b/g/n	無線LAN (2.4/5 GHz) IEEE 802.11a/b/g/n/ac
対応衛星	GPS/GLONASS/BeiDou/Galileo	
インターフェース	Ethernet 10 / 100BASE : 2 Port RS232C/RS485 : 1 Port	
アンテナ	LTE (外付けアンテナ / 2 個) 、 GPS (外付けアンテナ) 、 無線LAN (外付けアンテナ)	
動作電圧	DC 5 ~ 24V	
動作温度 (湿度)	-20 ~ +60°C (20 ~ 90%RH)	
サイズ	80.0 x 80.0 x 28.8mm (突起部含まず)	

図1 CPTrans-MJW/MGW仕様一覧

併せて監視するなど新たなニーズへの貢献ができます。また、Ntripクライアントプロトコルを実装しており、位置補正情報サービス(Ntrip)に対応したことで、cmレベルでの高精度測位が可能です。今後は、SSR(State Space Representation)方式位置補正情報サービスへの対応や、方位検出機能の搭載、慣性計測装置の搭載など、ラインアップを拡充していく予定です。

<特長>

- ①マルチキャリア対応(NTT, KDDI)
- ②2周波RTK内蔵(GPS/GLONASS/BeiDou/Galileo/QZSS)
- ③高い耐環境性能
 - ・振動(JIS D 1601 準拠)
 - ・落下/転倒(JIS C 60068 2 31 準拠)
 - ・防塵・防水(IP67相当)
 - ・使用温度-20°C ~ +60°C
 - ・電源電圧(DC7 ~ 32V)
- ④インタフェース(無線/有線LAN、RS-232C、CAN)
- ⑤プロトコル(Ntrip, MQTT)
- ⑥専用化対応(アプリケーションフレームワークを活用した専用インタフェースや機能の追加)

2.2 レーザ測位システム「ICHIDAS Laser」

「ICHIDAS」は、「位置を出す」という語呂から命名したSLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 技術を用いた精密な位置・姿勢検出センサです。位置検出をしたい場所の環境地図作成は、これも「地図を出す」という語呂から命名した専用ツール「CHIZUDAS」によって行います。

位置検出方式は、レーザ測域センサを用いて、使う場所の環境地図作成を行い、これをもとに高精度な位置姿勢検出

GNSS測位対応モデル「CPTrans-GLW/TLW」		
通信方式、機器接続方式	WAN 側	LTE TM (FDD/TDD) 、 WCDMA
	LAN 側	無線 LAN (2.4GHz/5GHz) IEEE 802.11a/b/g/n/ac Ethernet(1 Port) 、 RS232C(1 Port) 、 RS485(オプション) 、 CAN(オプション)
認証取得国		日本
キャリア認定取得		NTTドコモ/KDDI
GNSS 測位方式		NTRIP クライアント GLW: 2 周波 RTK 方式(数 cm 精度※測位環境による) TLW: 単独測位方式(数 m 精度※測位環境による)
アンテナ		LTE(内部アンテナ/外部アンテナ、切り替え対応) GNSS(外部アンテナ)、無線 LAN(内部アンテナ)
動作電圧		DC 7 ~ 32V
動作環境		動作温度:-20 ~ +60°C、保存温度:-30 ~ +70°C、動作湿度(20 ~ 90%RH)
防塵防水		IP67(JIS C0920)相当
振動		JIS D1601
サイズ		135.0 x 142.5 x 39.2mm(突起部含まず)



図2 CPTrans-GLW仕様一覧

を行います。レーザ測域センサは、周囲にレーザ光を照射(スキャン)し、光が当たった点までの距離を測ることができるセンサです。ICHIDASは、この計測結果を重ね合わせることで環境地図を作り、さらにその環境地図を用いて位置姿勢を検出することができます。マーカやガイドラインの設置は必要なく、無軌道走行が可能となります。

周囲に壁や構造物があるような、環境地図を作成し易い屋内環境では使い易いですが、屋外でも周囲に構造物があるような環境であれば使用できます。標準機能として、前方後方に2台のレーザ測域センサを配置して使用することも可能としており、360度レーザを照射することで安定的に位置検出を行えることも特長となっています。

主な用途は、無人部品搬送目的のAGV(Automated Guided Vehicle)への適用例が多数ですが、移動体が自己位置と周辺環境を把握し、自律的に障害物などを回避して目的地まで自走する生活支援ロボット等のAMR(Autonomous Mobile Robot)への適用も可能です。

また、実際の現場での要望を元に作成した、使い勝手向上のオプション機能も各種取り揃えています。

①準SLAM機能:環境地図上において頻繁に物品の配置が

レーザ測位システム
ICHIDAS Laser
レーザスキャナを使い、高精度な位置、姿勢の情報を提供します。

高精度の位置、姿勢検出が可能

人の変化に影響されにくい安定した地図の一部更新も可能

PCなしでの地図作成、作成した地図の一部更新も可能

地図作成、位置検出にレーザ以外のセンサ不要

地図の自動作成、位置・姿勢を高速に検出(25msで位置検出)

※AGVによるレーザ測位イメージ

図3 ICHIDAS-Laser 特徴と利用イメージ

変わる領域を地図更新領域として指定し、リアルタイムに更新することで位置検出の安定性を向上させるための機能。

- ②PCレス地図作成機能: 地図作成ソフトウェアCHIZUDASを用いずにICHIDAS本体で地図作成を行う機能。
- ③地図部分更新機能: 設備の移設や間仕切りの追加など、固定物のレイアウト変化時に環境地図データを更新するための機能。
- ④仮想ガイド機能: ICHIDASの地図データ上に経路データを作成し、経路データに追従するための偏差情報を出力する。
- ⑤ガイドレスキット: 車両(AGV)のガイドレス化改造を容易にするための支援キット。



図4 ICHIDAS-Laser 構成

3. 回線サービス「CPNet」

主要通信キャリアに対応したMVNO(Mobile Virtual Network Operator)回線サービス「CPNET」を提供しています。このサービスの長所は、次の5点です。

- ・ワイドエリアで信頼の高い通信(LTE回線使用)
- ・低コストでスタートが容易
- ・閉域網をユーザ毎に構築可能
- ・機器と通信回線を一括提供可能
- ・伝送速度や容量など、3つのプランを用意

CPTransとCPNetをワンストップで提供できますので、導入時の手続きなどが簡単にできます。



図5 回線サービスCPNetイメージ

4. 位置・通信システムソリューション

ソリューションに関しては、パッケージのアプリ商品は特に持たず、顧客が所望する専用装置(ハード・ソフト)の開発やアプリケーション開発、システム構築(エンジニアリング、工事)、保守サービスをワンストップで行うことを特長としています。ハードウェアに関しては、当社の製品を活用するケースは多いですが、要件に応じて他社品の適用や専用品としてカスタム開発する事例も多数実績があります。

1)ハードウェア

専用品でのカスタム開発の際は、ご要望の要件に合わせた製品をご提供します。過大過小な仕様ではない最適な仕様での製品提供により、無駄のないソリューション構築に貢献します。

これまでの事例の一部を以下にご紹介します。

- ①鉄道車載無線伝送装置(LTE、LAN、RS485)
- ②鉄道車載装置(LTE、無線LAN、エンコーダ、RS232C)
- ③時刻同期装置(GNSS、SMPT(Society of Motion Picture and Television Engineers)時刻同期信号生成)
- ④測位装置(GNSS、IMU、920MHz無線、CAN、防水)
- ⑤可搬端末(GNSS、LTE、LoRa無線、防水)
- ⑥監視盤・制御盤(LTE、PLC、気象センサ)

上記のハードに対して、必要な組込みファームウェアも専用で作成します。

2)アプリケーション開発

システムに必要なアプリケーションソフトを専用開発します。サーバクライアント構成でのサーバ側のアプリケーション開発、クライアント側ではGUI含めたアプリケーション開発も行います。汎用地図や専用地図を用いたものや、冗長化構成のシステム等、要件に応じた開発を行います。

また、スマホのアプリ開発も、事例は少ないですが実績があります。

3)システム構築(エンジニアリング、工事)

GNSSアンテナ設置、機器設置、各種配線等の工事(電気工事、電気通信工事)やシステム調整等のエンジニアリングを行います。

4)保守サービス

システムに対する稼働維持支援、定期点検、センドバック保



CPTransシリーズの豊富な販売実績から、お客様の新たな製品提供、サービス構築をご支援します

専用ハードウェアの提供	回線提供~運用サービス	GNSS 補正情報配信サービス	端末管理サービス
<ul style="list-style-type: none"> ※LTE通信を利用した機器の設計、開発、製造の一貫サポート ※センシング機能を組み合わせた製品の提供 	<ul style="list-style-type: none"> ※各種回線プランご提供 ※回線網の構築 ※機器と回線をワンストップで提供可能 	<ul style="list-style-type: none"> ※補正情報配信サービスとGNSS機器を組み合わせて顧客ニーズに合わせた位置情報サービスを提供 	<ul style="list-style-type: none"> ※端末管理機能をサポート ※端末の遠隔アップデート ※キックオフ対応可能

図6 位置・通信システムソリューション概要

守に対応します。センドバック保守は専用の受付窓口での対応を行います。

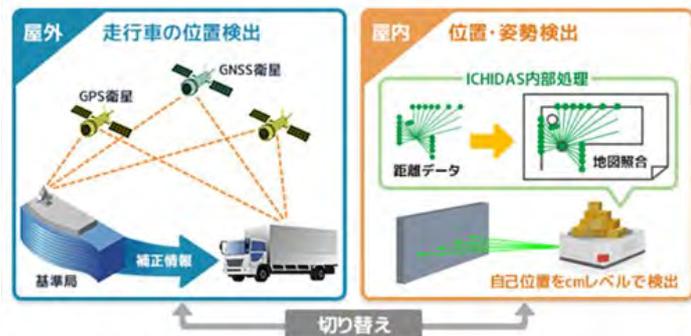


図7 屋外・屋内シームレス測位イメージ

5. まとめ

当社の位置・通信事業のこれまでの経緯や、関連する商品の紹介をさせていただきました。

今後は、新しい技術とのコラボレーションと多様なセンサとのフュージョンを高めるという意味でも、AIやカメラ等の活用、屋外と屋内のシームレスな測位を実現するソリューション実用化事例などを作り、皆様の価値向上に貢献できるよう取り組んで参ります。

また、お問い合わせ事項などございましたら下記の問い合わせ先にお知らせください。

◆参考文献:

- ・日立産機システム ニュースリリース2023年4月24日
- ・日立産機システム ニュースリリース2022年1月18日

◆お客様お問い合わせ先

株式会社日立産機システム ホームページ

<https://www.hitachi-ies.co.jp/products/ubiquitous/index.html>

測位航法学会役員

会長

安田 明生 東京海洋大学

副会長

加藤 照之 大正大学地域構想研究所
峰 正弥

理事

久保 信明 東京海洋大学
神武 直彦 慶應義塾大学
澤田 修治 東京海洋大学
曾我 広志 アクシス(株)
高橋 靖宏 情報通信研究機構
瀧口 純一 三菱電機(株)
中川 雅史 芝浦工業大学
細井 幹広 アイサンテクノロジー(株)
福島 荘之介 電子航法研究所
松岡 繁 次世代測位技術株式会社

監事

初本 慎太郎 (株)日立産機システム
北條 晴正 センサコムコンサルティング

イベントカレンダー

国内イベント

- ・ 2025.05.21-23 測位航法学会全国大会 (東京海洋大学)
- ・ 2025.05.28-30 Wireless Japan (東京ビッグサイト)
- ・ 2025.06.05-06 日本航海学会春季講演会・研究会 (航海技術安全研究所・三鷹市)
- ・ 2025.06.11-13 Interop Tokyo 2025 (幕張メッセ)
- ・ 2025.09.01-06 GNSS サマースクール (東京海洋大学)
- ・ 2025.10.29-31 GPS/GNSS シンポジウム (東京海洋大学)

注：太字は本会主催イベントで、いずれもTBCです。

国外イベント

- ・ 2025.04.28-05.01 PLANS (Salt Lake City, Utah, USA)
- ・ 2025.05.21-23 European Navigation Conference (Wroclaw, Poland)
- ・ 2025.09.08-12 ION GNSS+ (Baltimore, Maryland, USA)
- ・ 2025.09.15-18 IPIN 2025 (Tempere, Finland)
- ・ 2026.02.04-06 PNT2026 (Sydney, Australia)

編集後記

2025年度がスタートし、新しい顔が、皆さんの周りで見受けられるのではないかと思います。希望に満ちながら、一方では不安を感じ、一生懸命気持ちを落ち着かせようとしている自分が居るようです。そんな時、ふと横を見ると、測位航法学会のニューズレターが。写真に目をやったり、記事の斜め読みをしたりして「測位航法」って何だろう?」と思ってくれる方も居られるかも知れない。新しい出会いには、そんなこともありそうです。

「どうしてこの分野に興味を持ったのだろうか」と振返ってみても、直ぐに、答えが出て来ない方も居られそうです。このニューズレターに掲載する記事が、少しでも、皆さんの道標となれるように心掛けていきたいと思っています。

ニューズレター編集委員長 峰 正弥

入会のご案内

測位航法学会は測位・航法・調時に関する研究開発・教育に携わる方、これから勉強して研究を始めようとする方、ビジネスに役立てようとする方、測位・航法・調時に関心のある方々の入会を歓迎いたします。皆様の積極的なご加入とご支援をお願い申し上げます。

お申し込み：測位航法学会入会のページからお願いいたします。(http://www.gnss-pnt.org/entry/)

会員の種類と年会費：

正会員 【¥7,000】

学生会員 【¥1,000】 賛助会員 【¥50,000】

法人会員 【¥80,000】 特別法人会員 【¥300,000】

特典：ニューズレターの送付(年4回)、全国大会・シンポジウム等における参加費等の減免、MLによる関連行事等のご通知・ご案内のお問い合わせは：info@gnss-pnt.org にお願ひします。



第15回MGAカンファレンスはタイ王国の保養地プーケットのホテルで開催されました。詳細はP.5~7

MGA-15の講演会場



会場ホテルのプールを囲む中庭で歓迎レセプションが行われました。



ヤンマーホールディングス(株)

セイコーエプソン株式会社

 三菱電機ソフトウェア株式会社
NECソリューションイノベータ

 ArkEdgeSpace
 小峰無線電機株式会社
KOMINE MUSEN DENKI CO.,LTD.

ENABLER 日本電気株式会社



OKI Open up your dreams



LOCATIONMind



 国際航業 ソフトバンク株式会社

QUECTEL FURUNO



HITACHI Inspire the Next NISSEI Kanadevia
Technology for people and planet



GPSdata
GPSデータサービス株式会社



MarGPS 特定非営利活動法人
海上GPS利用推進機構



 MITSUBISHI ELECTRIC
Changes for the Better



株式会社 ジェノバ

KOMATSU

ALPSALPINE

JRANSA
一般財団法人 航空保安無線システム協会

GEOSUR

KODEN
Koden Electronics Co., Ltd. IPNTJ