

# NEWSLETTER OF IPNTJ

測位航法学会ニューズレター Vol.XV No.2 2024年7月10日

IPNTJ



測位航法学会  
ニューズレター  
第 XV 卷第 2 号

## 目次

- P.2-3 測位航法応用を革新する  
「ミュオン測位システム」の紹介  
浅里幸起
- P.4 セミナー I 実施報告 坂井文泰
- セミナー II 実施報告 久保信明
- P.5 小林海斗
- セミナー III 実施報告 鈴木太郎
- P.6 研究発表会セッション報告
- P.7 セッション1 入江博樹
- セッション2 入江博樹
- セッション3 木谷友哉
- P.8 セミナー参加報告 横関倅多
- P.9 ~10 法人会員紹介 竹中 誠
- P.11 新刊紹介・イベント・カレンダー  
編集後記
- P.12 研究発表会写真 法人会員



セミナーⅢ講義中  
鈴木太郎氏



夏花火パイ 懇親会へ長岡からの方からの差し入れです。



特別法人会員



全国大会懇親会、今年はちょっと淋しかったです。



# 測位航法応用を革新する「ミュオン測位システム」の紹介

(一財)宇宙システム開発利用推進機構 浅里 幸起 (正会員)

## 1. はじめに

素粒子のミュオンを用いた測位システムが、昨年世界で初めて、我が国から田中宏幸教授によって発表され、透過力の大きさによって屋内や地下環境でも利用でき、無線通信を実装したナビゲーション技術の実証論文が公開された<sup>[1,2]</sup>。

この研究は、世界の専門家から大きく注目されており、日本国内でも広く紹介されるべき成果といえる。本稿は、測位航法技術のエキスパートを対象に、広くミュオン測位システムを紹介し、国内における研究開発の拡大と深化を期するものである。

特に本稿では、情報の提供姿勢として、図1に掲げる「戦略の階層」を念頭におき、詳細技術情報というよりは、国内業界において第3-4層にあたる戦略・作戦を考えるための概要情報の提供を心掛けて記述するものである。

日本の関係業界においては、議論が第1層の内容に偏る傾向があるが、このような革新的技術の適用拡大のためには、より上位層における探求・討議が重要だと信ずる。



図1. 戦略の階層

## 2. ミュオンとは何か

ミュオンとは、素粒子の一つであり、図2に掲げる素粒子の標準モデルのうち、クォークと共に物質を形作るフェルミ粒子の仲間、レプトンに分類されるものである。ミュオンは、電子の系列にあつて、第II世代の粒子に位置付けられている<sup>[3]</sup>。

従来のGPS等の衛星測位や、レーザースキャナやカメラを用いた測位は、電磁波を利用するので、図2のモデルでいえば、相互作用を司るボーズ粒子のうちの光子の利用に該当する。

電磁波と比して、ミュオンは物体を透過する性質が大きいので、これを用いた測位は、これまでの技術の限界を超えて、遮蔽の多い市街地や屋内、地中、海中という従来の測位が不可能であった場所で、位置を計測する可能性を拓くことができるという大きなメリットを持っている。

ミュオンの強い透過力と、物質に依らない飛行速度の普遍性から、位置センサと基準局との間を隔てる物質によら



ず、センサの位置を高い精度で決定する方法を考案することができる。

## 3. ミュオンを利用した測位

ミュオンを用いる測位にはいくつかの方法を想定しているが、比較的難易度が低くて実現性のあるものに、宇宙線ミュオンを利用する方法がある。これは、宇宙線が大気に入って来た時に生成されて、地上に降りそそぐミュオンを用いるものである。前述したとおり、この宇宙線ミュオンを利用した測位システムの開発・実証については既に詳しい発表がある<sup>[1,2]</sup>。

宇宙線ミュオンは透過力が強く、あらゆる人工構造物をほぼ真空中の光速度で直線的に貫通することができる。そのため、位置の基準となる検出器と位置計測を行う受信検出器の間に物体があっても、ミュオンの飛行時間を測定することで、その間の距離を正確に決定できる。

実際に測位系を構成するには、図2に示すように、既知点にミュオンを検知する基準検出器をおき、検知時刻を計測し、更に測定点においた受信検出器にて、こちらも検知時刻を計測することで、その到達時間の差を用いて、2点間の距離を測定し、三辺測量の原理によって位置を算出する方法がある。

基準検出器と受信検出器に精度の高いクロックを用いることで、高精度の距離の計測を行い、位置を知ることができる。ここで、ミュオンの飛来量は、地表面の方位角には無関係であり、天頂角に依存することが知られている。

この方法によって、メートル級からセンチメートル級の測位精度を達成することができたことが報告されている<sup>[1,2]</sup>。

図3に描いたのは、測位原理の図解であるが、ここで、 $s^1 \sim s^4$ は、あらかじめ分かっている基準検出器の位置、 $u$ は受信検出器の位置である。上空から降りそそぐミュオンは、基準検出器及び受信検出器で検出し、通過時刻 $t^i$ 及び $t_u$ が観測される。

受信検出器  $u$  の概略位置の周りで、テイラー級数展開す

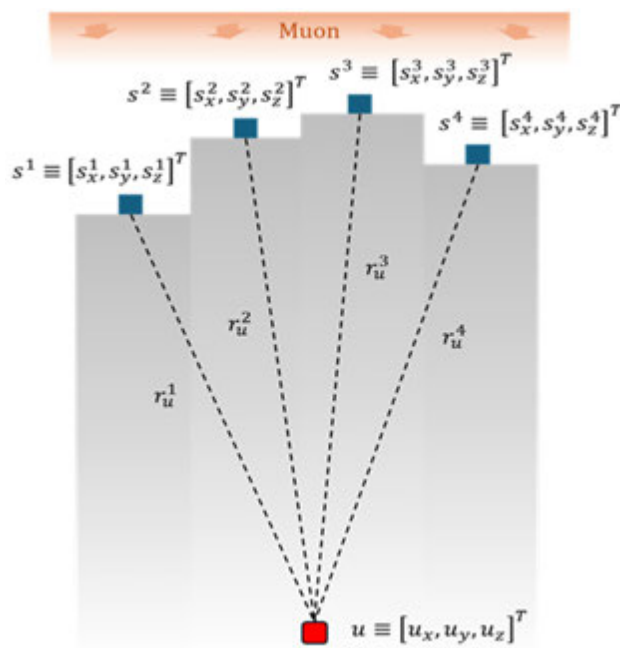


図3. 測位原理の説明図

	物質の三世代 (フェルミ粒子)			相互作用: 力の伝播 (ボーズ粒子)		
	I	II	III	g	H	スカラー粒子
クォーク	u アップ	c チャーム	t トップ	グルーオン	H ヒッグズ粒子	
	d ダウン	s ストレンジ	b ボトム	γ 光子		
レプトン	e 電子	μ ミュオン	τ タウオン	Z Zボソン		
	ν <sub>e</sub> 電子ニュートリノ	ν <sub>μ</sub> ミュオンニュートリノ	ν <sub>τ</sub> タウニュートリノ	W Wボソン		ゲージ粒子 ベクトル粒子

図2. 素粒子の標準モデル

ることにより、測距方程式を線形化して、方程式の最適解を得ることができる。図4にまとめたアルゴリズムにより、最小自乗法等によって位置を算出することができる。

このアルゴリズムは、ミュオン到来時間の差から距離を求めて位置を計算するという既存のTDOA(Time Difference of Arrival)の手法に他ならない。

ここで距離を計るためには、基準検出器と受信検出器で観測されるミュオンが同一性を検

知しなければならない。これは検出器の仕組みに依存するが、観測時間の相関や観測可能量(運動量やエネルギー等)を見て、識別機能を構成することが考えられ、今後の検出器メーカーの創意工夫が期待される。

#### 4. ミュオン検出器の事例

図5はYouTubeにて、ひだ宇宙科学館が紹介しているミュオンを検知できる宇宙線モニター機器である<sup>[4]</sup>。これは、透明なキューブの中にエレクトロニクスを組み込んだもので、理化学研究所から提供されたものである。

この検出器は、透明な結晶でできているシンチレータの中をミュオンが通ると、そこで発するわずかな光を検知・増幅してカウントするものである。物理学実験で使われる霧箱のようなものもあるが、基本的な検出原理は類似性がある。

また、図6は米国マサチューセッツ工科大学(MIT)の原子核物理学研究所が公開しているポケットサイズのミュオン検出器CosmicWatchである。この装置の製作費は、わずか100



図5 理化学研究所提供の検出器



図6 ミュオン検出器 CosmicWatch

ドル程で、市販されている部品を使って数時間で組み立てが可能であるという<sup>[5]</sup>。

国内メーカーでは、アルゴンと二酸化炭素の混合ガスを用いて、ミュオンを検知する装置が製品化されている<sup>[6]</sup>。

ここで紹介した機器はまだ、いずれも直接的に測位を目的としたものではないが、ミュオンを検知することができるので、その原理を応用して将来的に測位受信機を作るのに役立つ情報を提供すると考えられるものであ

測距方程式

$$r_u^p(t, t - \tau_u^p) = \|u(t) - s^p(t - \tau_u^p)\| = \sqrt{(x_u - x^p)^2 + (y_u - y^p)^2 + (z_u - z^p)^2}$$

概略位置  $\hat{u}$  周りの距離

$$\hat{r}_u^p \equiv \|\hat{u} - s^p\|$$

線形化した観測量

$$\hat{\rho}_u^p \equiv \rho_u^p - \hat{r}_u^p + \hat{g}_u^p \hat{u} + c\delta t^p = \hat{g}_u^p u + c\delta t_u + e_u^p$$

線形化係数行列

$$H_\rho(t) \equiv \begin{bmatrix} \hat{g}_u^1 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ \hat{g}_u^n & 1 \end{bmatrix}, \hat{g}_u^p \equiv \left[ \frac{\partial r_u^p}{\partial u} \right]_{u=\hat{u}}^T = \left[ \frac{\hat{x}_u - x^p}{\hat{r}_u^p}, \frac{\hat{y}_u - y^p}{\hat{r}_u^p}, \frac{\hat{z}_u - z^p}{\hat{r}_u^p} \right]$$

位置と時刻の最適算出

$$\begin{bmatrix} u(t) \\ c\delta t_u(t) \end{bmatrix} = [H_\rho^T(t) H_\rho(t)]^{-1} H_\rho^T(t) \begin{bmatrix} \hat{\rho}_u^1(t) \\ \vdots \\ \hat{\rho}_u^n(t) \end{bmatrix}$$

図4 測位アルゴリズム

#### 5. ミュオン測位システムの産業利用

ミュオン測位システムのユースケースとして考えられているものとしては、以下のものを挙げる事ができる。

- (1) 屋内における測位・測量
- (2) 地下鉄道・地下道路・地下街の測量及び建設
- (3) 地下に設置する発電所や変電所の建設
- (4) シールドマシンによる掘削の進行予見
- (5) 海中における測位と航法
- (6) 地下及び海中の探査
- (7) 陸・海・空の移動体航法における利用

また、研究開発者の創意工夫によって、従来思いつかなかった応用が今後出現すると思われる。更に通常の衛星測位とのハイブリッド利用によって、両者の長所を引き出しあうシステム構成も考えうるだろう。

#### 6. まとめ

本稿では、ミュオンを用いた測位システムについて、概要的な内容を紹介した。ミュオンは、物体を透過する性質があるので、一定の範囲では、屋内、地下、地中、海中などで、信号遮蔽の制約を受けにくい測位システムを構成できる可能性がある。ミュオン測位システムについては、理学的又は工学的な情報や、センサ製品等が既に公表されており、これらを活用することができる。今後の研究開発の進展が大いに期待される。

#### 参考文献

- [1] Hiroyuki K. M. Tanaka, et al., First Navigation with Wireless Muometric Navigation System (MuWNS) in Indoor and Underground Environments, iScience, May 2023.
- [2] 東京大学 生産技術研究所, 共同発表:世界初、ミュオン粒子による地下ナビゲーションに成功(発表主体:国際ミュオグラフィ連携研究機構), <https://www.iis.u-tokyo.ac.jp/ja/news/4237/>, 2024年6月24日閲覧。
- [3] Wikipedia, ミュオン粒子, 2024-06-24閲覧, <https://ja.wikipedia.org/wiki/ミュオン粒子>
- [4] <https://www.youtube.com/watch?v=--4Bml-kl4Y>, 2024年6月24日閲覧。
- [5] <http://cosmicwatch.lns.mit.edu/>, 2024年6月24日閲覧。
- [6] 日本電気, ミュオグラフィを活用した内部構造の観測, NECウェブサイト, <https://jpn.nec.com/techrep/journal/g21/n01/210114.html>, 2024年6月24日閲覧。

# 測位航法学会令和6年度全国大会開催報告

本年度の全国大会は2024年5月22日～24日の3日間、東京海洋大学越中島会館にて開催されました。

全国大会は昨年と同じく、2日間のセミナーと最終日に研究発表会をハイブリッド方式で開催しました。また例年どおり、2日目のセミナーの後に総会を開催し、引き続き懇親会を開催しました。

今年の総会は事務局の不出で、学会が「みなし解散」状態となってしまうため、臨時総会として、復活登記の決議が中心となりました。当日の参加者は23名に止まりましたが、総数の過半数の出席を要するため、メールでの賛意と委任状を加えて半数を超え、継続申請の決議を得て、6月13日付けで継続が認められました。

参加費は、正会員は半日コース、5,000円、一日コース10,000円、学生会員はそれぞれ1,000円、2,000円としました。

以下に全国大会のプログラムの概要を示します。

5月22日(水)9:30～12:40

セミナー I 「GNSSの基礎」 講師 坂井丈泰氏(電子航法研究所) 参加者40名

13:00～16:15

セミナー II 「RTKLIBの利用例の紹介と高精度測位チャレンジについて」 講師 久保信明氏、川口貴正氏、小林海斗氏 参加者 34名

5月23日(木)9:30～16:30

セミナー III 「GNSS信号処理の概要とソフトウェア受信機での実装の紹介」 講師 鈴木太郎氏(千葉工業大学) 参加者 25名

5月24日(金)9:30-14:30 研究発表会(ハイブリッド)

昼食を挟んで、14:30までオンラインを含めて11件の研究発表が行われました。

引き続き15:00-16:00は一時間にわたり、元旦に発生した能登半島地震の直前に発生した電離層異常から、大地震の予兆検知の可能性について、京都大学の梅野 健教授からリモートで以下の演題でご講演をいただきました。

「GNSS相関解析法(CRA: CoRelation Analysis)に基づくOHB(One Hour Before)システムの構築について -大地震発生前の電離層異常の理論的背景とそのリアルタイム前兆検出の課題について」

以下各セミナーの講師の方々、セッション・チェアの方々のご報告をご参照願います。

## セミナー I GNSSの基礎

電子航法研究所 坂井丈泰(正会員)

今年も、全国大会の初日に標記セミナーを行いました。内容としては、GPSの基本的な仕組みから測位誤差の要因、デフォレンシャル測位といったところで、新しくこの分野に取り組んでいただく方々を対象として想定したものです。

前回に引き続き、今回もセミナー室での開催となりました。時間的には3時間強をいただきましたが、前回にも増して時間が足りなくなり、参加



者の方々には失礼をいたしました。時間が押していたせいもあるかとは思いますが、質問は少なめになりました。

思えばこのセミナーの資料も最初はいつ作ったものでしょう。技術は日進月歩…なのですが、GNSSの分野では基本技術は変わらずに今に至ります。Galileoや準天頂衛星システムなどGNSSは増えてきていますし、応用もかなり広がってきておりますが、基礎というのは変わらないものですね。GPSの基本設計は50年前のことになります。古い技術と言うのか、あるいは息が長いと言えばいいのか、50年間変わらないならまだあと50年は使えることでしょう。みなさまのお役に立つことが出来たら幸いです。



セミナー I は今年も満席でした。

## セミナー II 「RTKLIB の利用例の紹介と高精度測位チャレンジについて」 東京海洋大学 久保信明(正会員)

最初に川口貴正氏(三菱電機)からCLASLIB の概要を紹介し、実際にどのように CLASLIB で解析を行うかのデモを行いました。

次に小林海斗氏(東京海洋大学)からMADCALIB の概要の紹介と、実観測データでの解析方法の説明を行いました。

CLASLIBとMADOCALIBはどちらもGithub上で公開されており、興味のある方は以下をご覧ください。

どちらも参加者の方々にも確認いただけるよう、事前にプログラムや観測データのダウンロードをお願いしました。

参加者の中には、その場で動作確認をされている方もおられました。<https://github.com/QZSS-Strategy-Office>

次に、CLAS や MADOCA の移動体での性能について、市販受信機と比較しながら紹介しました。

一部どのように精度を改善するか説明し、特に CLAS や MADOCA の測位結果と GNSS による速度情報の統合により、精度が改善することを示しました。

市販受信機の出力結果と比較しても、同等かやや良い結果となっております。

その後、秋のシンポジウムを見据えて若手の方々向けに高精度測位チャレンジを去年に続き開催予定であることをアナ



ウンスしました。

今回は2回目で、可能であればIMUのデータも統合する部分で競えればと考えています。

東京と名古屋のデータを今年も利用し、GNSS受信機はセプテントリオのX5とu-blox社のF9Pの予定です。

測位チャレンジの詳細は、7-8月中には以下のWEBサイトにて順次アナウンスする予定です。

しばらくお待ちください。

<https://www.denshi.e.kaiyodai.ac.jp/challenge/>

## セミナー II MADOCA-LIBについて 東京海洋大学 小林海斗

2024/05/22に開催された測位航法学会全国大会のセミナー2にてMADOCA-LIBについての説明を行いました。

まずMADOCA-PPPについての説明を行い、その後参加者にダウンロードしてもらったMADOCA-LIBとこちらで用意したサンプルデータを用いて実際にMADOCA-LIBでMADOCA-PPPの後処理計算を体験していただきました。

MADOCA-LIBとは今年4月にCLAS-LIBと同時に内閣府から公開されたMADOCA-PPPの後処理計算するソフトウェアです(<https://github.com/QZSS-Strategy-Office/madocalib>)。入力データは基本的にRINEXの観測データとエフェメリス、そしてCSSRフォーマットである補強情報です。この補強情報はI6ファイルと呼ばれ準天頂のサイトからダウンロード可能です。

(<https://i6msg.go.gnss.go.jp/>)

実演では補強情報は1時間おきに分割されているためその連結方法とコマンドライン入力であるMADOCA-LIBのコマンドの解説を行いました。そして実際に海洋大の屋上で取得したデータを使用してPPPとPPP-ARの2つを行いました。その他、u-bloxのD9Cを使用して実環境のI6ファイルを作成する方法も紹介しました。

MADOCA-LIBではRTKLIBのPPP機能と異なりCSSRフォーマットのデータを直接扱える便利な点が参加者に伝わっていれば幸いです。



セミナー II 会場風景

## セミナー III GNSS信号処理の概要と ソフトウェア受信機での実装の紹介 千葉工業大学 鈴木太郎(正会員)

2024年5月23日に、東京海洋大学越中島キャンパスにおいて開催されたセミナー「GNSS信号処理の概要とソフトウェア受信機での実装の紹介」を担当しました。

このセミナーでは、GNSSの信号処理の基礎を学び、SDR(Software Defined Radio, ソフトウェア無線)を用いて、どのようにしてフロントエンドから得られるRFデータから、GNSS信号の捕捉、追尾、ナビゲーションメッセージのデコード、そして擬似距離などの観測値を生成するかについて説明しました。

セミナーではまず、GNSSの信号の形式や構造について学んだあと、フロントエンドではGNSS信号をどのようにサンプリングしているのかを説明しました。そして、フロントエンドにおいてサンプリングされたRFデータから、信号の相関処理を行うことでGNSS信号の捕捉や追尾をどのようにして実行するかについて紹介しました。

本セミナーは昨年に引き続き2回目の開催で、基本的には昨年と同じ内容でした。セミナーの時間が昨年の半日から1日に変更されたため、GNSSの信号処理に関して丁寧に説明することを心掛けました。

セミナーの前半では、まずソフトウェア受信機における変調の基礎となる直交位相振幅変調について、三角関数の公式を用いて解説しました。直交位相振幅変調を利用することで、あらゆるデジタル変調が、2つの直交する搬送波の重み付けの和として表すことができます。これらの重みはそれぞれin-phaseとquadratureと呼ばれ、一般的にIとQで表されます。多くのGNSS信号の変調方式として利用されているBPSK変調では、このIとQのデータの中に二値の位相のデータが含まれることを示しました。

さらに、フロントエンドで利用されているダイレクトコンバージョン方式と呼ばれるサンプリング手法について説明しました。ダイレクトコンバージョン方式でRF信号をサンプリングすることにより、フロントエンドから出力されるI/Qデータには、PRNコード、ナビゲーションメッセージなどのベースバンド信号が直接含まれることとなります。しかしながら発生したドップラー周波数の位相情報がI/Qデータに残るため、GNSS信号処理ではこのドップラー周波数を推定し、衛星の運動によって変化していくドップ



### Simulink Implementation (1)



図1 Simulinkで作成した1チャンネルのGNSS信号処理モデル

## Simulink-based GNSS Receiver

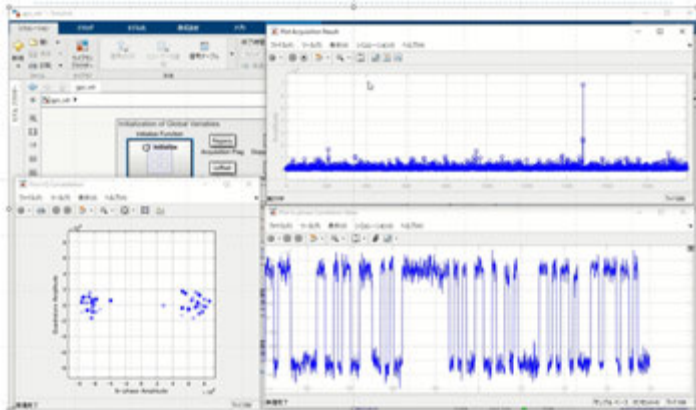


図2 Simulinkで作成した1チャンネルのGNSS信号処理モデルの動作

ラー周波数を追尾していく処理がメインとなります。信号の捕捉では、このドップラー周波数の初期値と、コードの位相を推定し、信号の追尾ではドップラー周波数の変化とコード位相の変化を追跡することになります。

信号処理の理解を深めるために、MATLAB/Simulinkで作成したGNSS信号の個別の処理ブロックを動作させることで、GNSS信号処理の動作の説明をしました。Simulinkで作成された信号処理のモデルは、信号処理を視覚的にわかりやすくブロックの組み合わせと信号のフローで表しており、これまでにC言語などのソースコードを用いて行ってきた信号処理の説明よりも、理解が容易になったのではないかと感じています。具体的には、図1に示すように1チャンネルのGNSS信号の捕捉を行うモデルや、1チャンネルのGNSS信号追尾モデルをSimulinkで作成し、信号処理の流れや処理した信号の詳細を処理の順番に沿って説明しました。

実際に東京海洋大学において事前にフロントエンドを用いて取得したRFデータを利用し、最終的には複数チャンネルのGNSS信号処理モデルを動作させることで、擬似距離やナビゲーションメッセージのデコード、GNSSの観測値の生成のデモンストレーションを行いました。図2にSimulinkで作成したGNSS信号処理モデルの動作状況を示します。そして生成したGNSSの観測値のフォーマットであるRINEXファイルから、RTKLIBを用いて測位を行うことで、位置の算出ができることを示しました。

セミナーの最後では、ソフトウェア受信機を用いたマルチパスの検出の研究事例を紹介しました。GNSS関連処理結果を直接ニューラルネットワークで学習することで、直接波が存在するLOS信号なのか、反射波のみであるNLOS信号なのかを判別するという手法です。GNSS受信機から出力される擬似距離や搬送波位相はGNSS信号処理の結果、算出されたデータですが、ソフトウェア受信機を利用してより上流の関連計算の出力を用いることで、マルチパスの判別が容易になるという研究です。このようにソフトウェアGNSS受信機を用いることで、ブラックボックスであるGNSS受信機の信号処理を可視化することができ、新たな研究や開発が可能となります。

今回のセミナーを通して、特にGNSS初学者にGNSS信号処理の概要を理解してもらったと考えています。説明に冗長な部分があり、わかりにくかった部分もあると思いますが、反省として次回のセミナーに生かしたいと思います。また、夏に行われる測位航法学会のサマースクールでも同様のソフトウェア

GNSS受信機によるセミナーを実施しますので、興味のある方はぜひ参加してみてください。



## 研究発表会セッション- I 報告

熊本高等専門学校 入江 博樹(正会員)

測位航法学会研究発表会の第一セッションでは、Zoomによるリモートでの発表が3件、会場での発表が1件あった。会場でのネットワークの調子が悪く、一部でオンラインと会場とのやり取りがうまくいかない場面もあったが、セッション全体を通して参加者らの活発な議論がなされた。



### 1.1 急旋回時Visual odometryエラー改善のための時系列ステレオ点群レジストレーション適用

江島佑亮\*(芝浦工業大学大学院)

非GNSS環境下で、カメラ画像を用いたSLAMによる位置推定において、Visual odometryの急旋回時における3Dマップマッチングの適用に着目し、Visual odometry位置姿勢エラーを解消する手法を提案し、Visual odometryと3Dマップマッチングでの自己位置姿勢推定、補正処理が可能であることを確認した。

### 1.2 ジンバルLiDARと非同期多方向カメラを用いた月面測量のための高密度点群生成

重藤季佳子\*(芝浦工業大学大学院)

非GNSS環境の月面での位置計測について、太陽光が一つの方向から当たり影ができる月面のような劣悪な計測環境であっても、AHRSを組み合わせたLiDAR、もしくは、3軸ジンバルに搭載したLiDARからの計測と多方向カメラからの撮影で、黒色や白色の地表面でも点群取得が可能であることを確認した。

### 1.3 LiDAR スキャンマッチングエラーを利用した周囲の航行船舶の検出

大平和輝\*(芝浦工業大学大学院)

非GNSS測位環境を含む都市河川においては、AISなどのGNSSに依存した衝突回避手法には課題がある。本研究では、自己位置推定手法の一つであるLiDARスキャンマッチングを動体認識に応用することで、航行船舶を検出する手法を提案した。

#### 1.4 遠距離音源に対するMUSIC法を用いた音源位置推定の精度評価

石川恵翔\* (芝浦工業大学大学院)

AIS(自動船舶識別装置)を持たない船舶の衝突回避手法として、汽笛を用いた音源位置推定の技術が期待される。本研究では、マイクロホンアレイ間距離に対して音源とマイクロホンアレイの中心との距離が10倍を超える場合について検討を行い、音源位置推定精度について、衛星測位で得られた位置との比較により評価を行った。

### 研究発表会セッション- II 報告

熊本高等専門学校 入江 博樹(正会員)

第二セッションでは、Zoomでの発表が1件、会場での発表が3件であった。

#### 2.1 指向性ヘリカルアンテナを用いた妨害低減効果の検証実験

奥富雄司(海技大学校)

船舶の安全運航においてGNSS受信機が果たす役割は大きく、多くの船舶に装備が義務付けられている。しかし、衛星信号は微弱であり他からの妨害を受ければ測位不能となる恐れやリスクが指摘されている。GPSの干渉や妨害、スプーフィングが世界的に報告されている。本研究では指向性を持つヘリカルアンテナを考案及び試作して、高仰角の衛星からの到来信号は高利得で受信し、地上からの妨害信号は低利得で抑制できる効果があることを報告した。

#### 2.2 両円偏波アンテナを用いた機械学習によるNLLOS検知モデルの構築と静止体測位への適用

谷村晴生\* (大阪公立大学大学院)

紛争地域でのSpoofingの現状について紹介があり、世界的にGNSS妨害が生じているという説明があった。船舶の重要な航海計器はGNSSから提供されるため、妨害対策が求められている。天空方向へ強い指向性を持つヘリカルアンテナを試作して、高仰角の衛星からの到来信号は高利得で受信し、地上からの妨害信号を低利得で抑制することを検証した結果報告があった。

#### 2.3 両円偏波アンテナを用いたGNSS反射法による地表面特性推定と改善手法の検討

北村章人\* (大阪公立大学大学院)

GNSS測位を用いたドローンの自律飛行では、都市部の高層ビルによる反射波での測位精度の低下が課題として挙げられる。本研究では、両円偏波アンテナの性質を用いて、機械学習による反射波検知モデルを作成し、低価格で一般的な受信機やアンテナにおいても反射波の影響を低減し、測位精度を向上させることを目的とした手法の検討結果の報告があった。

#### 2.4 GNSS搬送波位相を用いた複数アンテナでの姿勢角推定における使用衛星の選択に関する考察と選択指標の考案

木谷友哉(静岡大学)

モーターサイクルなどの車両において、バンク角を高精度に計測する際の課題について説明があった。発表者らの研究室では、複数の高精度RTK-GNSS受信機を車載して計測する手法を提案している。精度悪化が発生する可能性のある衛星配置について解析し、そのような衛星配置を検知および除去するための指標の改善策が示された。また、測位衛星からの

信号の搬送波位相を用いた姿勢角推定手法の安定性を高めるための改善手法とその効果についての報告があった。



### 研究発表会セッションIII

静岡大学 木谷友哉(正会員)

第3セッションでは3件の発表が行われた。GNSSによる測位結果利用の実証実験の報告、GNSSの測位基盤技術自身の横展開、GNSS観測網を別科学分野へ利用した結果の報告など、バリエーションに富んだ内容のセッションであり、質疑応答も活発に行われた。



#### 3.1 CLASを使った白線引きクローラ車の位置精度検証

入江博樹(熊本高専)

準天頂衛星のCLASを用いて野外競技用の白線を引くロボットカーについての測位精度の検証結果が報告された。従来の単独測位では絶対誤差が3m程度、分散が1m程度あったのに対して、CLASを利用した場合は絶対誤差・分散ともに10cm程度に収まっており、野球場の整備での実用性が示唆された。



#### 3.2 ミューオン測位システムの基礎的検討

浅里幸起(宇宙システム開発利用推進機構)

非常に強い物体貫通力をもつ素粒子を用いて、遮蔽された建物内や地中での測位システムの基礎検討内容が紹介された。比較的利用しやすい素粒子として、宇宙線が大気圏に入るときに発生する宇宙線ミューオンがあり、これは定常的に地上に降り注いでいる。

衛星測位システムの相対測位の原理を使い、ミュオンを地上の基準局と地中のユーザ局で観測することで、地中のユーザ局の位置を推定する。

質疑応答では、どのようにして基準局で観測したのと同じ素粒子であることを確認するのか、搬送波位相測位などの技術は応用できるのかなど今後の課題について中心に議論された。(本号、P.2~3参照)

### 3.3 電離圏トモグラフィを用いた中規模移動性電離圏擾乱の季節特性の比較

米山 慧\* (京都大学大学院)

電離層の擾乱はGNSSの測位に影響を与える。GEONETの観測データなどから逆算された電離層擾乱の季節変化を可視化し、日本上空の中規模移動性電離層擾乱の構造についての調査結果が報告された。

夏季夜間、冬季昼間、冬季夜間の3つの時間帯に起きた電離層擾乱の3次元構造を電離層トモグラフィを用いて復元し、特に夏季夜間では短期変動が大きいことや既に提唱されている振動電場モデルから得られる特徴と合致することなどが述べられた。

この後、梅野 健氏による特別講演がありました。



最終日、最後の会場の様子です。(ハイブリッドで開催)

注記:\*は学生会員、最優秀学生研究発表賞は大阪公立大学の北村章人氏、優秀学生研究発表賞は芝浦工業大学の重藤季佳子氏と京都大学の米山 慧氏が受賞しました。

### 全国大会セミナーすべてに参加して 静岡大学 横関倭多(学生会員)

2024年度の全国大会において開催された3つのセミナー全てに参加させていただきました。

GNSSに関連した研究に取り組むつもりでいた私が、学部4回生というタイミングで本セミナーに参加することができたのは非常に幸運であり、大変貴重な経験となりました。

セミナー①「GNSSの基礎」においては、GNSSの基礎理論について体系的に学ぶことができました。私はGNSSについて体系的に学んだ経験がなかったため、自分に不足している知識の範囲に気づくことができたり、今後さらに勉強してみようという領域を見つけたりすることができました。

セミナー②「RTKLIBの利用例の紹介と高精度測位チャレンジについて」においては、CLASLIBやMADOKALIBに関する概要を主に学ぶことができました。私自身、L6信号の活用法については知識が欠けていたため、非常に参考になるセミナーでした。実際にセミナーの後、研究室においてL6信号を扱う機会があったため、セミナーの知識を元に学習をスムーズに



行うことができました。

セミナー③「GNSS信号処理の概要とソフトウェアGNSS受信機での実装の紹介」においては、SDRを通じてGNSS信号の構造やその処理方法について学ぶことができました。これまでは単に受信機から出てくるものという認識に過ぎなかった各信号が、どのように衛星で生成され、フロントエンドからベースバンド処理部においてどのように解析されるのかという部分まで掘り下げて学ぶことで、全く違うものとして見えるようになりました。また、セミナーの最後の部分で鈴木先生にご説明いただいたNLOSの検出に関する研究の概要は、ソフトウェア受信機を利用して信号処理の内部処理を可視化することによって初めて可能となる手法であり、測位精度向上のための新たなアプローチを知ることができました。

セミナーの内容を隅々まで完全に理解するには至りませんでした。全国大会の後、セミナーで得た知識や疑問点を研究室で共有し、メンバーと議論を重ねたり、先生にご指導いただいたりする中で、疑問の解消や周辺知識の習得につなげることができました。

今回、このような貴重な機会を提供していただいた全ての関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

### セミナー受講者へのアンケート結果の紹介

昨年に続いて、今年もセミナーに参加された方にアンケートをお願いしました。ご回答をいただいたのは33名にとどまりましたが、概要をまとめてみました。いずれも満足度と参加費の値ごろ感を6段階でお答えいただき、さらにコメントを頂く形式のものです。

セミナー①のみ受講された方9名からの満足度は4.75、値ごろ感は3.25でした。ほとんどの方は分かりやすかったとの評価でした。一方で満足度の低い方は、提示されたデータが古いとか、動画を使うなどして初心者をも引き付けるような工夫が欲しかったなどのコメントがありました。

セミナー①②を受講した方9名については、ほぼ①のみの方と同じ評価でしたが、②に参加された方から後半は付いて行けなかったというコメントもありました。

セミナー③のみを受講された方の回答は6名のみでしたが、いずれも高い評価で、更に詳しく勉強したいとの意欲が寄せられました。満足度の平均点は5.7でした。複数参加でセミナー③を受講された方を含めても5.5と高い満足度を示しました。

参加費については、全体的に平均値は3ポイント台でしたので、妥当な金額だったかと思えます。

以下に、頂いたコメントの一部をランダムにご紹介します。「GNSSについて、勉強を始めたばかりで、多くの情報を得ることができた。とても良いセミナーであった。」

「非常に面白かった。MADOKALIBについて有意義な時間を過ごせた。」

以下はセミナー③受講者からです。「信号処理の詳細について今まで不明瞭だったが、今日のセミナーで良く分かるようになりました。先生の知識量がすごくて驚くとともに自分ももっと勉強しないとイケないと感じました。」「今までは疑問が多かったGNSS信号処理についての理解がかなり深まった。自分で1から理解するのは大変だと思っていたので、すごい良い機会だった。」「GNSSの信号処理について、今まで点だった知識がつながり、とても理解が深まりました。」「もう少し時間をかけて解説して欲しかった。」

以上



<法人会員紹介> LocationMind 株式会社  
Space Division Program Manager 竹中 誠

LocationMind 株式会社（以下 LocationMind）は、位置情報 AI・衛星インテリジェンスのスタートアップ企業です。東京大学・柴崎亮介（創業メンバー）研究室の位置情報解析技術を継承するデータサイエンティスト集団として、研究者の目線で社会の課題を解決することを目指して 2019 年に創業しました。



内閣官房の新型コロナウイルス感染症対策サイトをはじめ、東京都コロナ感染症モニタリング会議など高度な意思決定の場に対し、詳細かつ精度の高い分析データを提供しています。

主な事業内容は、ビッグデータと AI を用いた人流分析・予測サービス、準天頂衛星「みちびき」を利用した位置認証サービス、ならびに位置情報活用に関わるコンサルティングです。

**位置情報データ分析サービスについて**

LocationMind の位置情報データ分析サービスは、様々な分野で位置情報を活用する企業や公的機関で採用されています。社会基盤の向上についても注力しており、コロナ禍においては東京都や厚生労働省で当社のデータ分析が活用されました。さらに、適用事例の一部として下記のケースがあります。

1. 小売業: 顧客の動線や滞在時間を理解し、効果的なプロモーションや出展戦略のために LocationMind の人流分析サービスを利用しています。
2. 不動産業: 不動産開発者や不動産管理会社は、土地の価値を最大化するために、人々の動きや変化を把握するために LocationMind のデータを活用しています。
3. 交通機関: 鉄道、バス、空港などの交通機関は、運行計画の最適化や混雑緩和のために LocationMind の分析サービスを利用しています。
4. 観光業: 観光地や観光施設は、観光客の動線を理解し、サービスの改善や効果的な案内を行うために LocationMind のサービスを活用しています。
5. イベントサービス: 来場者の動線や滞在時間を分析するために LocationMind の分析サービスを利用しています。

LocationMind の高度な位置情報解析技術は、このような分野で効率的な意思決定やビジネス戦略の立案に貢献しています。

**信号認証サービスについて**

LocationMind では、準天頂衛星「みちびき」などの GNSS から受信した信号を利用して「信号認証」を行うことで、位置情報の高信頼性を可能にするサービスを開発中です。内閣府主催「2023 年度 みちびきを利用した実証事業\*」に採択され、NEXT Logistics Japan 株式会社（以下、NLJ）と共同して、「みちびき」の高精度位置情報（CLAS）と信号認証技術を利用した CO2 排出量モニタリング支援ソリューションの実証実験（図 1）を実施しました。（参考：内閣府みちびき実証事業のサイト：次ページ）

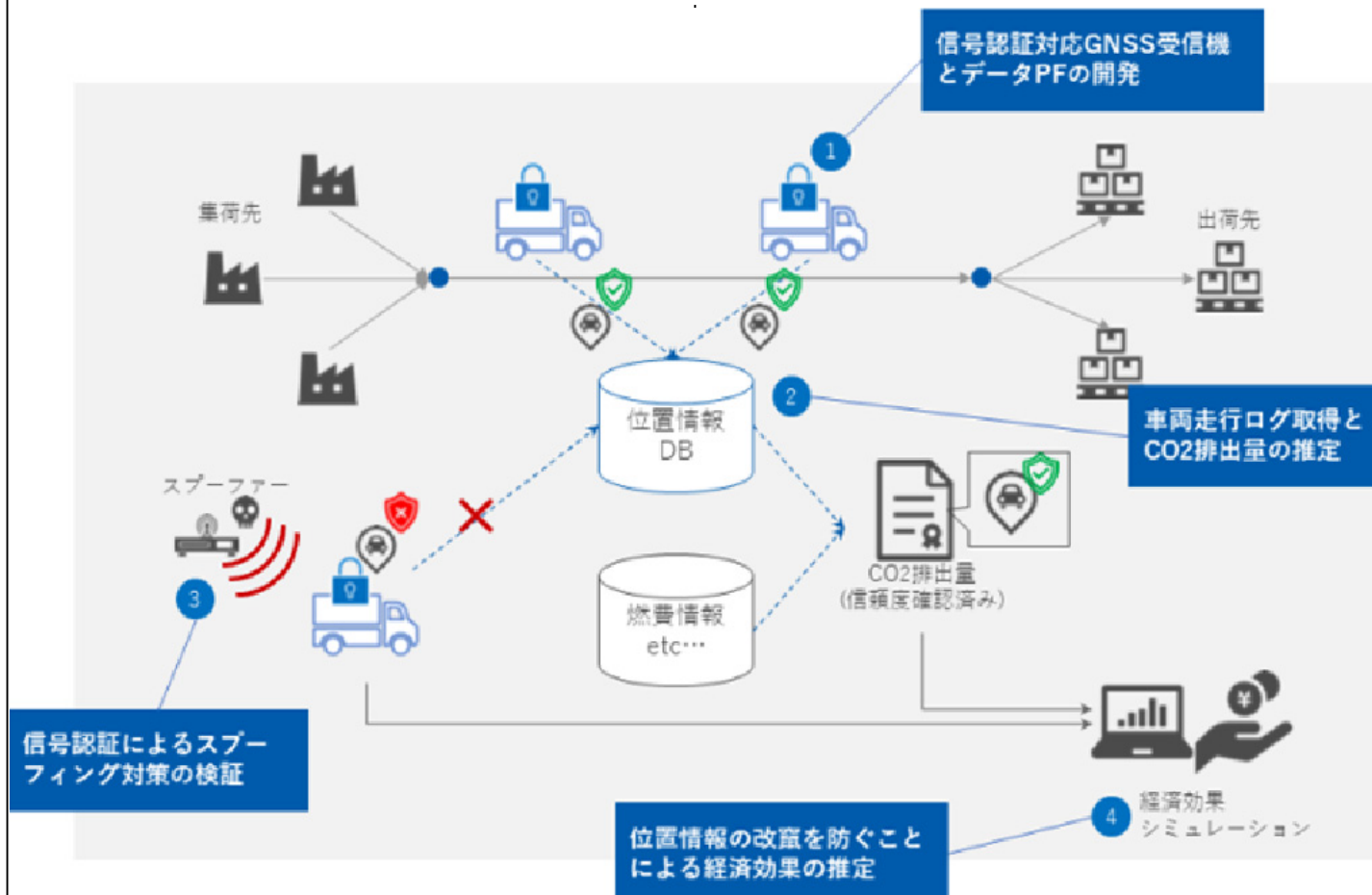


図 1. 2023 年度 みちびきを利用した実証事業・「みちびき」の高精度位置情報（CLAS）と信号認証技術を利用した CO2 排出量モニタリング支援ソリューション概念図

## 信号認証対応GNSS受信機

項目	内容	備考
信号認証対象GNSSシステム	QZSS, GPS, Galileo	
信号認証対象航法メッセージ	QZSS, GPS: LNAV Galileo: I/NAV	CNAVは、BS社のL5対応RWS.DC、F/NAV (E5a) は、RZSシリーズで認証可能
GNSS受信機	BS社製 CLAS対応受信機 RWS.DC (u-blox F9P)	既存プロダクトに信号認証機能を追加実装
アンテナ	3周波 L1/L2/L6, E1/E5b対応	GPSLX09U8Wなど



図2. 信号認証機能を具備した専用の高精度測位対応受信機

: <https://qzss.go.jp/ex-demo/index.html>)

この実証では、「みちびき」のセンチメートル級測位補強サービス (CLAS) と GNSS 測位信号の真正性を検証できる信号認証サービスに対応した LocationMind と IOT 機器開発・販売会社のビズステーションが共同開発した受信機を、NLJ のトラックに搭載し、実際の商用走行ルートにて位置情報データを収集しました。高精度と高信頼性の位置情報取得により精緻度の高い CO2 排出量モニタリングの実現が今回の実証実験の主眼となっています。

今回の実証の目的の一つとして、安心して高精度・高信頼の測位を可能とするため、信号認証機能を具備した専用の高精度測位対応受信機端末のプロトタイプ開発 (図2) がありました。みちびきから配信される GPS、Galileo、QZSS の電子署名を利用して、正しい測位信号を利用できているかを判別し、スプーフィングによる位置改ざんを予防する仕組みの実現を目指しました。

技術開発の観点では、GNSSによる位置情報を活用して走行距離を算出していくため、データの抜け漏れがないようにシステムの可用性と安定性を高いレベルで担保する必要がありました。今回の実証では、発生したデータ加工処理における問題などについても解決を図る必要があることが判明しました。

また、実証結果から、車両走行中の信号認証率は定点観測時の認証率から低下することが確認できており、信号認証できなかった区間における位置情報の信頼性を保証するた

めの仕組みやアルゴリズム開発を行っていくことも信頼性を担保していく上で重要な取り組みとなっていくでしょう。

実証の効果として、荷物毎のCO2排出量計算の可視化の道筋が見えたことで、物流業界における、カーボンクレジットの普及・早期対応への後押しが期待できます。

今後は、CO2排出量算出などのDXアプリケーション・プラットフォームとの接続を実現するAPI開発も予定しています。

今後の普及に向けた課題として、航法メッセージの標準化など安全かつ信頼性の高い位置情報を担保するための認証の仕組みづくりの推進が望まれます。

最後に、LocationMindでは、国内だけでなく、JICAやJETRO等の支援を得ながら、海外においても積極的に事業展開を図っています。

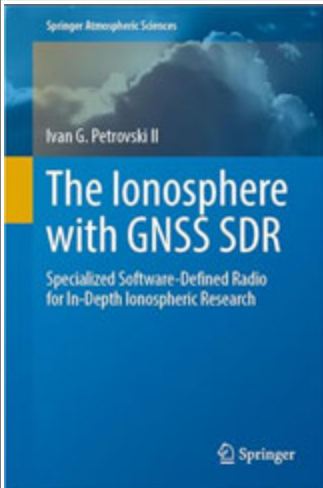
### 参考文献

・LocationMindプレスリリース「LocationMindとNEXT Logistics Japan株式会社が共同で 準天頂衛星システム「みちびき」の高精度位置情報と信号認証技術を利用したトラックCO2排出量把握のための実証実験を開始」[https://locationmind.com/news/space\\_michibiki\\_demo2/](https://locationmind.com/news/space_michibiki_demo2/)

お問い合わせ先: LocationMind株式会社

(<https://locationmind.com/#contact-us>)

# 新刊案内：The Ionosphere with GNSS SDR by Dr. Ivan G. Petrovski



章立ては以下の通りで、アマゾンで購入できます。紀伊国屋書店でも扱っています。

Chapter 1: Earth's Ionosphere and Electromagnetic Signal Propagation

Chapter 2: Instrument of Choice: GNSS

Chapter 3: GNSS Software-Defined Radio

Chapter 4: Manufacturing Front-End Hardware

Chapter 5: GNSS Receiver Application for Ionospheric Study

<https://www.amazon.co.jp/-en/Ivan-G-Petrovski-II-ebook/dp/B0C5VQTXZJ/>

本書は、地球の大気の微妙な構造とダイナミクスを詳述し、さまざまな電離層モデルの綿密な分析を含む信号伝搬に関して深く洞察します。GNSS ソフトウェア無線について詳しく解説し、同受信機を用いて電離層や対流圏の振る舞いを分析します。

IP-ソリューション人工衛星アプリケーション株式会社 イワン ペトロフスキー(正会員)

## イベントカレンダー

### 国内イベント

- ・ 2024.09.02-07 GNSS サマースクール (東京海洋大学)
- ・ 2024.10.9-11 N-Plus2024 (東京ビッグサイト)
- ・ 2024.10.20 GNSS ロボットカーコンテスト (東京海洋大学)
- ・ 2024.10.23-25 GPS/GNSS シンポジウム (東京海洋大学)
- ・ 2024.11.5-8 宇宙科学技術連合講演会 (姫路市文化コンベンションセンター)

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

- ・ 2024.09.16-20 ION GNSS+ 2024 (Maryland, USA)
- ・ 2024.10.06-11 ICG-18 (Wellington, New Zealand)
- ・ 2024.10.29-30 IAIN World Congress 2024 (Beijing, China)
- ・ 2025.01.27-30 ITM/PTTI 2025 (Long Beach, CA, USA)
- ・ 2025.03.04-07 15th MGA (Phuket, Thailand)

### 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 (一財)宇宙システム開発利用推進機構

#### 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

## 編集後記

梅雨入りしたかと思えば、猛暑が続く毎日です。この天気、天邪鬼なのか何かに怒って意見しているのかよくわかりませんが、生き物としての地球を肌で感じています。また、時々起こる集中豪雨なんかは、とんでもない強さで人間に襲い掛かって来ています。我々は、地球で生きている単なる一市民に過ぎないのに、我が物顔で地球を制覇しているような行動をしてしまっていないか…それを意見されているのではないかと思う毎日です。

測位航法学会に関係するものは、我々が住む or 生きるところの物がある側面から整理するのに都合の良い面白いツールだと思っています。SDGs の観点、地理空間情報の利用と言う観点、安心安全を司るためのツールとしての観点…いろいろご提案下さい。

ニュースレターに寄稿したり、シンポジウム等で発表したり…お待ちしております。

ニュースレター編集委員長 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：

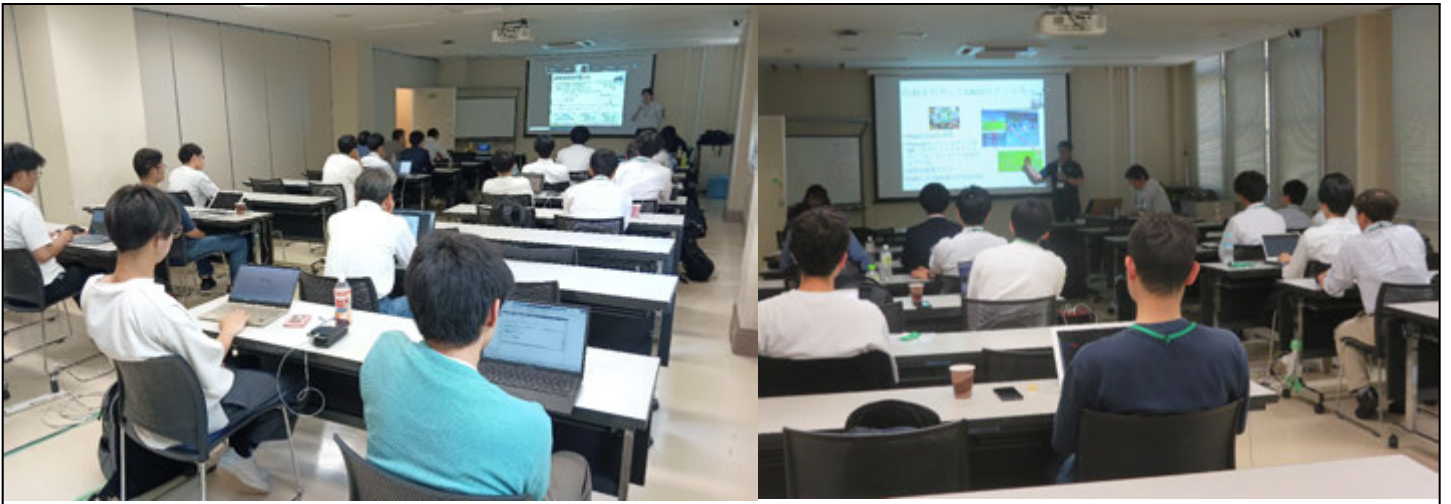
正会員 【¥7,000】

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：ニュースレターの送付(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。



全国大会研究発表会2024年5月24日  
ハイブリッドで開催されました。本文 P.6~8



 三菱電機ソフトウェア株式会社

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

NECソリューションイノベータ

日本電気株式会社



セイコーエプソン株式会社

ENABLER

 MARUWA



 国際航業 **OKI** Open up your dreams



ソフトバンク株式会社

**NISSEI**

ヤンマーホールディングス(株)

**FURUNO**



**HITACHI**  
Inspire the Next



**Hitz** 日立造船株式会社  
Hitachi Zosen



**GPSdata**  
GPSデータサービス株式会社



**Mar GPS** 特定非営利活動法人  
海上GPS利用推進機構

WING over the World  
AISAN TECHNOLOGY

 **MITSUBISHI ELECTRIC**  
Changes for the Better



**KOMATSU**

株式会社 ジェノバ

**ALPSALPINE**



**GEOSUR**

**KODEN** IPNTTJ  
Koden Electronics Co., Ltd.