

NEWSLETTER OF IPNTJ

測位航法学会ニューズレター Vol.XV No.1 2024年4月2日

IPNTJ



測位航法学会
ニューズレター
第 XV 巻第1号

目次

P.2~3 日本の月測位衛星システム
村田真哉

P.4~6 QBIC終了について
松岡 繁

P.6~8 宇宙利用ユーザープラットフォーム(SBIC) 活動報告
浅里幸起

P.9~11 芝浦工業大学研究室紹介
中川雅史

P.11 イベント・カレンダー
編集後記

P.12 QBIC 第II期活動表 法人会員

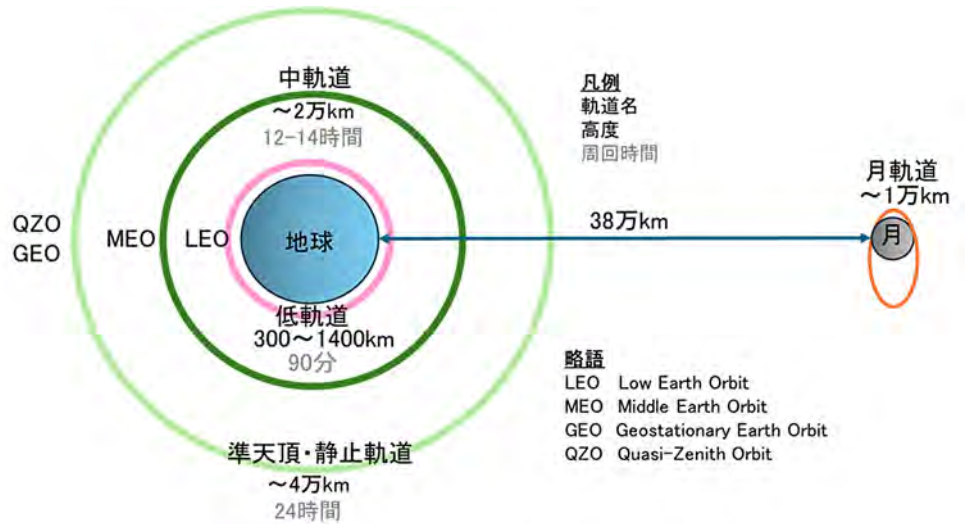


図1 2020年代以降の衛星測位システムの概念図(本文P.6)

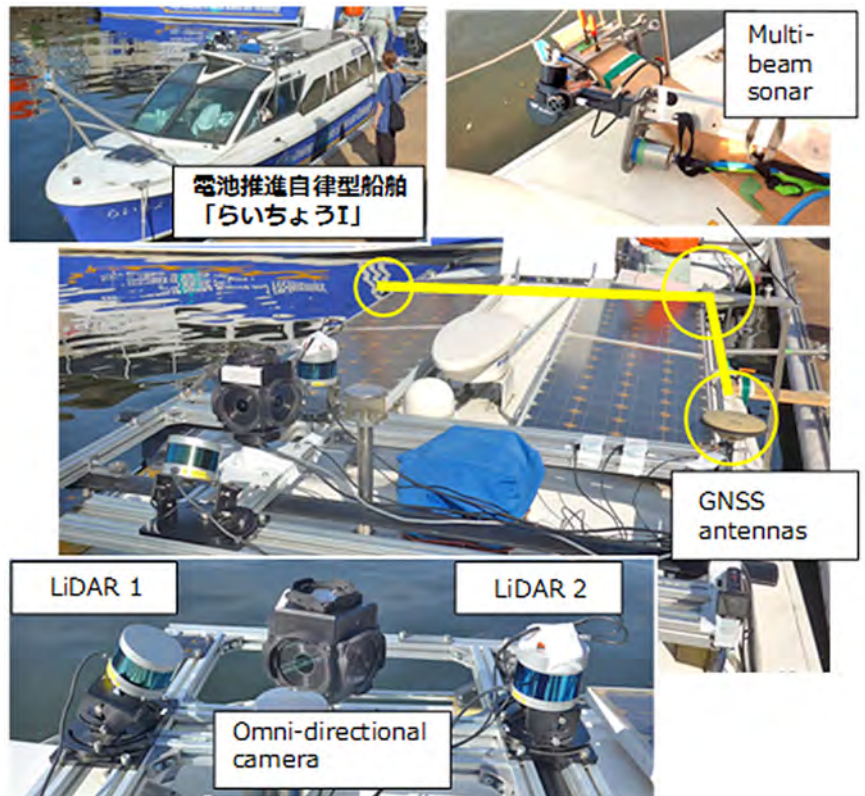
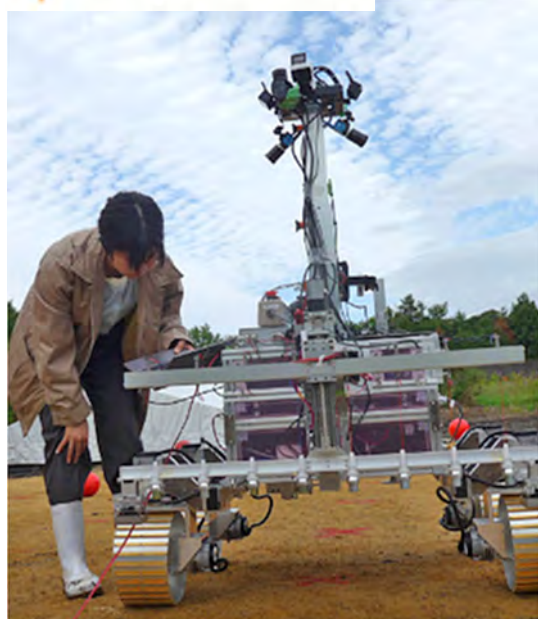


図4 月面ローバ2023年度版(本文P.9)
中川研究室紹介

図6 屋内外シームレス測位機能をもつ船舶搭載型3D計測システム P.10
中川研究室紹介

日本の月測位衛星システム（Lunar Navigation Satellite System）と 月版GNSS（Lunar Augmented Navigation Service）の構築に向けた欧米との国際連携

宇宙航空研究開発機構 村田真哉

1. 月通信測位衛星システムにおける 欧米の動向と国際フレームワーク LunaNet

米国のアルテミス計画やヨーロッパの月探査ミッションを支援するため、月に通信測位衛星システムを配備する計画を欧米が主導している。この枠組みはLunaNetと呼ばれ、通信測位サービスを提供するプロバイダー間の相互運用性を初期段階から確保するためにNASA・ESAが主導してきた国際フレームワークである。これに関して現在、LunaNet Interoperability Specification (LNIS) と呼ばれる標準サービス・技術文書がWebで公開されており、本稿執筆時ではLNIS Draft Version 5が公開されている。



LunaNetはNASA・ESAが推進してきた枠組みであるが、現在JAXAの参加も正式に許可されており、我々もNASA・ESAと共にLNISのWorking Groupで検討に参加している。LunaNetは欧米日に閉じたフレームワークではなく、他国の参加も推奨されているため、今後もプレイヤーが増えることが期待される。この様に月通信測位においては各システム間の相互運用性の確保が重要視されており、これにより、各国単独では困難であった月域への十分な機数の衛星コンステレーションの構築を国際協力により実現していく。そして、2020年代末から計画されている各国の月探査ミッションへタイムリーに通信測位サービスの提供を開始する。LunaNetのサービスはCommunications（通信）、Positioning, Navigation, and Timing（航法・測位）、Detection and Information（救出・警告信号）、Science（科学支援）の4つであり、各サービスの詳細については上記のLNISに記載されている。

欧米日がLunaNetの枠組みの中で構想しているものの一つに月版GNSSの共同構築がある。これはLANS（Lunar Augmented Navigation Service）と呼ばれる航法・測位サービスの一つで、欧米日の月測位衛星システムが連携することでアルテミスベースキャンプ（Artemis Base Camp）の設営や探査ローバの活動が予定されている月の南極域に、高精度な月測位サービスを提供していく方針である。NASAの月通信測位衛星システムはLunar Communications Relay and Navigation Systems (LCRNS)、ヨーロッパ宇宙機関（ESA）の月通信測位衛星システムはMoonlight Lunar Communications and Navigation Services (LCNS)と呼ばれ、それぞれ独自に開発が進められているが、各衛星から配信される測位信号は標準化されたAugmented Forward Signal (AFS)と呼ばれるものになる。これにより、月のユーザはそれぞれのシステムを区別することなくLANSを使用することが可能になり、月測位の初期の段階から高精度な測位が可能になる。次節で述べるJAXAの月測位衛星システムLunar Navigation Satellite System (LNSS)も同様にこの標準化された測位信号AFSを配信することで、NASA・ESAと共にLANSを構成する（図1）。AFSの

メッセージフォーマットや周波数等の情報はLNISの適用文書AD1に記載されている。

相互運用性においては測位信号の標準化だけではなく、測位で利用される月の座標系・時系（Lunar Reference System and Lunar Time System）の標準化も重要であり、これに関しても欧米が主導している。月の座標系・時系の定義はLNISの適用文書AD5として近い将来に公開される計画であるが、日本も欧米と歩調を合わせながらIAU（国際天文学連合）等の国際団体を通じて本議論に参加し、存在感を示していく必要がある。

Lunar Comm&Nav (CPNT) systems by US, Europe, Japan

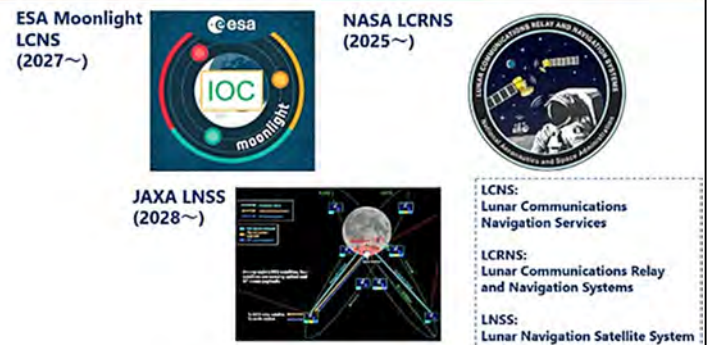


図1-1 欧米日の月通信測位衛星システム

Towards the establishment of 'Moon GNSS' called LANS

The concept of the Moon GNSS called the Lunar Augmented Navigation Service (LANS)

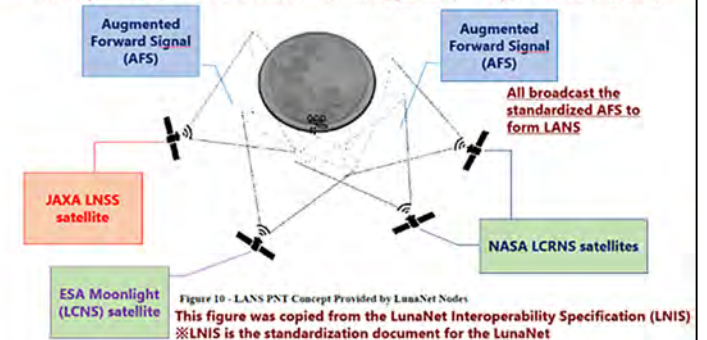


図1-2 欧米日のLANS（月版GNSS）の共同構築

2. 日本のLNSSとLANSの実証ミッション計画

我々のLNSSは以下の図2上図に示すようにElliptical Lunar Frozen Orbit (ELFO)と呼ばれる月周回の安定軌道を二つ使用する計8機の測位衛星のコンステレーションである。本ELFOは軌道が長期的に安定かつ月の南極域上空に通信測位衛星を長時間滞在させるため、本軌道の使用により、我々の目標である24時間常時の高精度な測位サービスの南極域への提供が可能になる。LANSの測位サービス、つまり1節で紹介したAFSを月面に配信するためには各LNSS衛星の軌道とその搭載時計の情報をできる限り正確に推定する必要がある。我々はこの軌道時刻推定を、地球のGNSS衛星の測位信号の内、地球の傘を通過して月域に届く信号に基づき自律的に衛星で推定するオンボード航法と呼ばれるアプローチを採用している（図2下図）。本方式により地上局運用

JAXA's plan

LNSS is GPS-like satellite constellation for the Moon designed by JAXA



の制約を受けない、自律性が高い月測位衛星システムの月域への構築が可能になる。

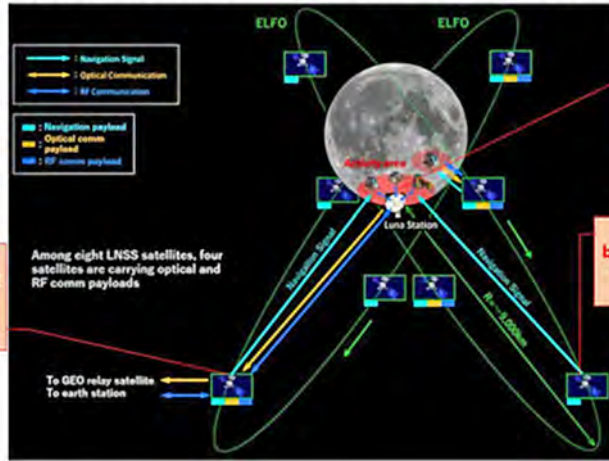
LNSSを使用した月南極域での測位精度はエポック毎の単独測位 (single point positioning) では水平の平均測位精度約15m、連続的なフィルタ処理に基づく月面航法 (navigation) ではフィルタの収束後に3次元の測位精度15m以下、水平の測位精度10m以下をそれぞれシミュレーションで確認している。ただし、2020年代末から2030年代初頭のLANSの初期フェーズでは使用できる衛星機数が少なくなることが予想されるため、欧米日が協力して高精度測位の検討を進める必要がある。その様な状況の中、JAXAは2028年にLANSの実証ミッションを計画しており、現在ESA・NASAとの共同実証にすべく国際調整を進めている (図3)。

欧米の線表によると、2028年にはNASAはLCRNS衛星を数機、ESAは少なくとも1機のLCNS衛星の配備を予定しているため、JAXAのLNSS初号機と合わせて、LANSの相互運用性と南極域での測位精度の実証を世界に先駆けて行う計画である。そして本実証ミッションを欧米と連携して成功させることで、2030年代以降にさらに活発になる月通信測位の分野において、日本の確固たる地位の確立につなげる。

3. まとめと今後の展望

本稿で述べたように月通信測位は国際連携を軸に各国の計画が進んでおり、欧米の各システムの月域への配備は非常に速いことが予想される。さらに中国は本稿の執筆中であった3月20日に月通信衛星1機と月測位の実験衛星2機を打ち上げている。この様な状況の中、我々日本もLunaNetへの参加国として、そして欧米からの期待に応えるためにも、タイムリーに計画を進めていく必要がある。JAXAはこれまでNASA・ESAとの国際調整、そしてICG (International Committee on Global Navigation Satellite System) やIOAG (Interagency Operations Advisory Group)、アメリカ航法学会 (ION)、Multi-GNSS Asia (MGA) 等の国際会議で積極的に活動を進めてきたが、今後はこれまで以上に世界の場でリーダーシップを示しながら月通信測位の国際調整に関わっていく必要がある。

LNSS satellite also functioning as a data relay satellite to the earth

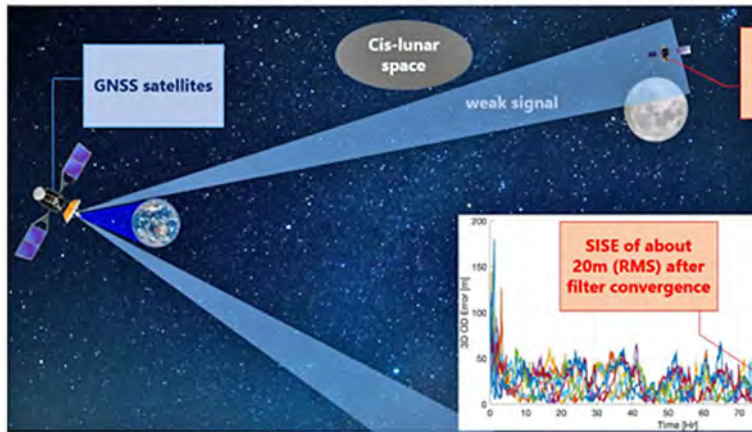


Target: South Pole region

LNSS satellite broadcasting one-way navigation signal

JAXA's plan

GNSS weak signal navigation for LNSS satellites, making the lunar PNT autonomous

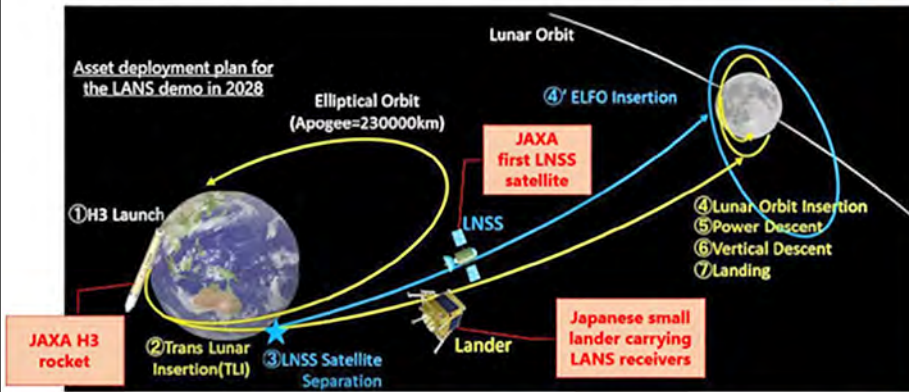


JAXA LNSS satellite

SISE of about 20m (RMS) after filter convergence

図2 (上)JAXA LNSSのコンステレーション概要 (下)LNSS衛星の軌道時刻決定

Launching and deploying our first LNSS satellite and LANS receivers to the moon



Proposing the first-ever ESA-NASA-JAXA LANS interoperability and PNT demonstration

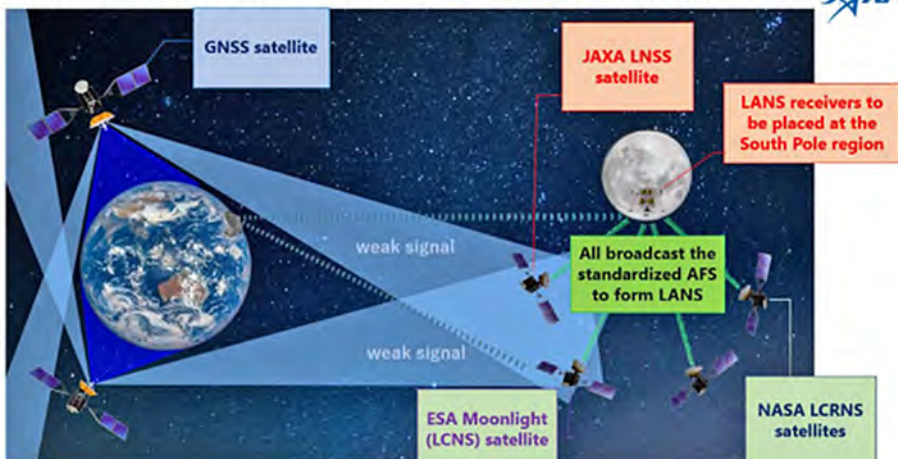


図3 : LANSの相互運用性・月測位精度の実証ミッション計画

高精度衛星測位サービス促進協議会QBIC終了について 経緯概要と総括背景の紹介 松岡 繁（本会理事）

準天頂衛星みちびきを基盤とした産業の高度化や国際競争力強化戦略等を検討する目的で経産省は「準天頂衛星を利用した新産業創出研究会」を2011年から2012年にかけて主宰、この結果を経て具体的な活動母体となる高精度衛星サービス促進協議会QBICが2013年7月に設立されました。設立の経緯と活動の総括を経て2023年9月、QBIC終了に至る概要について説明します。



1. 「準天頂衛星を利用した新産業創出研究会」（経産省）について

2011年度6月から経産省が「準天頂衛星を利用した新産業創出研究会」を開催し、以下の2点のミッションを実施しました。

- (1)準天頂衛星システムを基盤として主要産業分野における産業の高度化や国際競争力強化のための戦略の検討。
- (2)準天頂衛星システムを基盤としてわが国の産業力の強化につなげるための横断的な施策の検討。

この研究会には産業界から12名が参加しました。

次の3項がこの研究会の結論です。

- (1)4機体制が整備される2010年代後半までに利用側の体制や海外展開に向けての方策を着実に整備しておく必要がある。
- (2)地理情報システム（GIS）等との連携を図りつつ、G空間社会の実現に向け、準天頂衛星システムの利用に関する機運の高まりを醸成していくことが重要である。
- (3)最終目標は2010年代後半を目途に、わが国を含むアジア・オセアニア地域において、準天頂衛星システムによるサービスを安定的に享受できる環境を整備する。

この「準天頂衛星を利用した新産業創出研究会」の提言を受けて、高精度衛星測位サービス利用促進協議会QBICが2013年7月26日に設立（事務局は衛星測位利用推進センターSPAC）されました。

QBICの目的は、「G空間社会の到来に備え、準天頂衛星システム（QZSS）が4機体制と常時高精度測位サービスが可能となる2018年までに、同サービスを国内のみならずアジア・太平洋地域で広く利活用するための環境整備が必要。このため、QZSSのサービスの活用を想定する民間企業が、国内・アジア・太平洋地域で新規ビジネスを展開し、QZSSの利用による産業界の発展と国際貢献に寄与するために、必要となる業界横断的な課題を抽出して議論し、さらには解決策を見出すこと。」としました。

QBIC設立時は、QZSS 4機体制が整う2018年度までを第1期として活動を進め、会員数も着実に増加しました。さらに2020年度の東京オリンピック・パラリンピックを次期マイルストーンとした第2期の具体的な活動に着手し、第2期活動として、「みちびき」利活用の2020年度中間評価を経て、7機体制が整備される

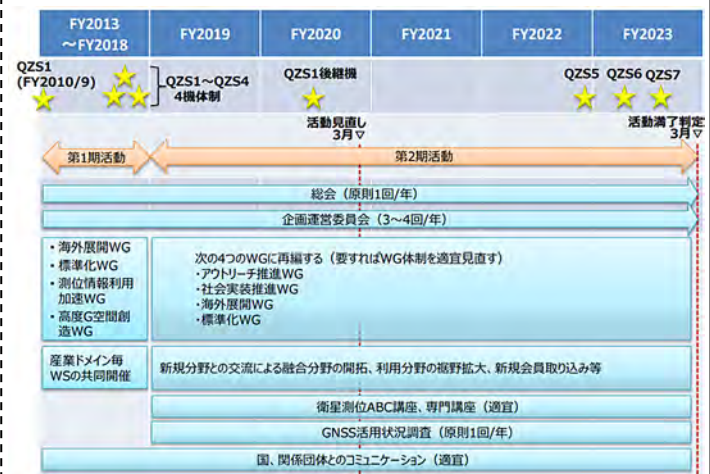
目途の2023年度まで実施することにし、活動を継続、2023年9月21日をもってQBIC活動を終了しました。

設立当初の企業数は191社、終了時点は320社と、QBIC活動の浸透が図れたと考えます。本報告ではQBIC活動の終了を判断するに至る経緯とQBIC当初から4つのWGを主軸に活動を進めた中でWGの総括として社会実装推進WGを中心に説明します。



◆QBICスケジュール

- (1)第1期QBIC：準天頂衛星4機体制が整う2018年度まで実施
- (2)第2期QBIC：2020年の東京オリンピック・パラリンピックを次期マイルストーンとした第2期の具体的な活動に着手。第2期活動として、「みちびき」利活用の2020年度中間評価を経て、7機体制が整備される目途の2023年度まで実施する。



尚、活動見直し／満了時期は2020年度の「みちびき」利活用状況を踏まえて中間評価を行い、要すれば活動内容に修正を施すことにしました。

- ①7機体制整備完了年度（2023年度を目途）活動満了の可否を判定。
- ②活動満了評価条件「みちびき」サービスの社会実装が十分普及したと自他共に判断。

◆QBIC体制は設立当初と大きく変わらず4つのWGを主軸に活動しました。（次ページ上部）

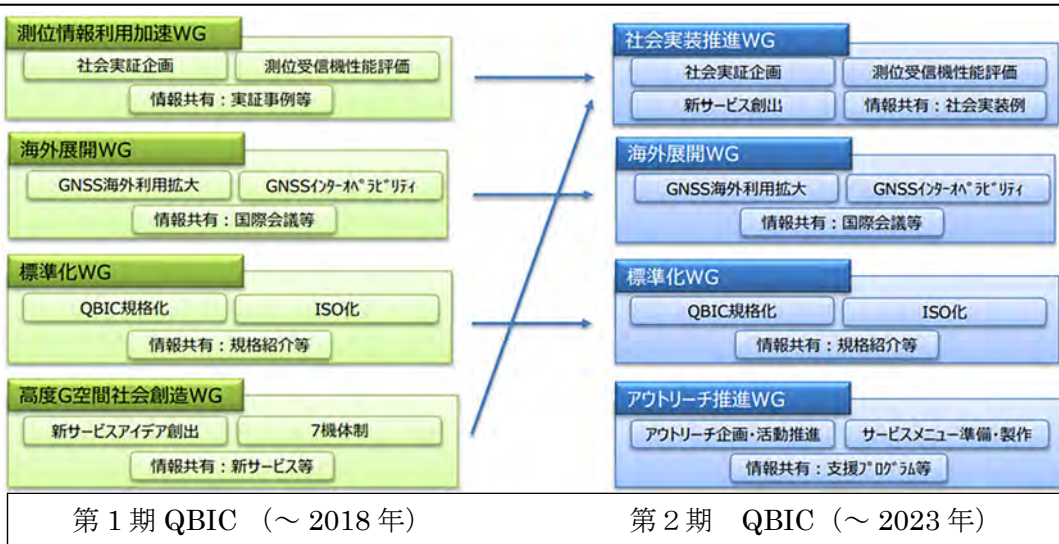
第1期QBIC（～2018年）第2期QBIC（～2023年）

◆規約では、QBIC第2期活動満了（継続可否）の判定条件を「みちびき」サービスの社会実装が十分普及したと自他共に判断されること、と定義。

2023年度QBIC第2期活動の総括に向け、関係者はもとより第三者からも理解できる。

判定指標を作り、以下のような活動を展開。

- 1.タスクフォース活動経緯
2. 2020年度中間見直し以降のQBIC活動に対応する評価



CLAS)」利用は普及している。
 ●大半が昨年に比べ、みちびきサービス (SLAS、CLAS) 利用製品が市場に増えたと感じている。
 ●大半がみちびきサービス (SLAS、CLAS) の製品利用などで普及して来たと感じている。
 ●大半が衛星測位サービス利用に際し、みちびきサービス (SLAS、CLAS) を比較対象として検討している。

3. QBIC第2期活動満了の判定方法検討
4. QBIC第2期活動満了に対するタスクフォースの判断
 - 4.1 次期活動の構想案策定
5. 許容性アンケートの実施

◆タスクフォースの説明

産業界の有識者6名とJSS 9名で構成したタスクフォースは道路交通、海洋、農業・林業、鉄道、測量・土木・建設、LBS、その他(ドローン)の各分野の有識者ヒアリングと10回の会合を経て下記の結論を導きました。

7分野中4分野は「みちびき」サービス利用の普及が確実であり、残る3分野でも、一部の応用分野を除いて事業者や業界団体の活動を通じて普及が見込めると判断しました。なお、すべての分野で「みちびき」サービス利用に対して、競争領域レベルに入ったと見られると判断しました。

- 大半が既に市場に投入されているみちびきサービス (SLAS、CLAS) を利用した製品を認知している。
- 課題(性能、価格、認知度)の部分もある。性能(精度、TTFF、FIX率など)、受信機・アンテナの価格、周囲の方の認知度(知名度)
- B)約半数が将来の「みちびきサービス (SLAS、SLAS、MADOCA)」利用普及は、市場の課題はあるものの時間が解決すると感じている。
- 市場の課題があるも、みちびきサービス開始以降の受信機価格低減や、みちびき知名度の上昇のような改善が今後期待できる
- 受信機やアンテナの価格の更なる低下が必要
- 一般へのみちびきサービスの認知度向上の加速のため、公的機関からの情報発信や補助金などの利用促進の投資の拡大、継続。
- 普及に対するインフラ関連を含む課題を指摘する方も少ないがいる。

分野	業界の評価の該当番号	客観的な評価の該当番号	普及の判断	備考	今後の普及への関わり	
					QBIC2.0	各業界
道路交通	1、2、4	A、B、C	確実		満了	事業者
農業・林業	機械自動化	D	見込める	受信機価格の低減が必要	満了	事業者
	それ以外	D	見込める	耕作位置確認等の分野	満了	事業者
鉄道	運航管理		難しい	安全性証明に膨大な投資が必要*1	満了	業界団体
	それ以外	1、2、4	見込める	保守業務利用等	満了	事業者
測量・土木・建設	公共測量	D	評価進行中		満了	業界団体
	建機制御		一部では難しい	高精度ICT施工では困難	満了	事業者
	それ以外	1、2	見込める	民間工事、センサ融合等	満了	事業者
LBS	1、2	A、B、C	確実		満了	事業者
海洋	1、2、4	A、B	確実	海洋土木は測量・土木・建設に含めた	満了	事業者
その他(ドローン)	1、2、3	A、B、D	確実		満了	事業者

*1: 鉄道運輸管理では、安全に関わる規格品の使用が必要であり、新規のシステムはその安全性を証明する必要がある。

各業界の評価基準 (オビニオンリーダの状況理解)	
1	現状で利用されている
2	利用に対する障害(規格への不適合)がない
3	業界内にみちびきサービス利用を啓蒙する組織が存在する
4	みちびきサービス以外の測位補強サービスが使われていない

各業界判断基準

客観的な評価基準 (市場からの抽出項目)	
A	対象業界で異なる用途に複数の社会実装例(製品例、自社事業例)がある
B	同じ用途の製品が複数メーカーから社会実装として提供される
C	1つの実装案件に対して、ユーザ数が非常に多い
D	他の測位サービスと同列で選定対象となっており、用途によって選定される場合がある

客観的な判断基準

◆アンケート結果 タスクフォースの判断と相似した内容が得られました。

A)大半の方が現状「みちびきサービス (SLAS、

性能(精度、TTFF、FIX率など)/公共測量利用等の規格化等。
 ●みちびきサービス (SLAS、CLAS、MADOCA) 利用製品が良く使われる分野は、道路・交通、測量・土木・建設、農業、海洋とされている

◆第2期QBICの総括 QBIC第2期活動は、「みちびき」サービスの社会実装が十分普及したと判断。

QBIC第2期活動満了後の活動については、事務局の方針の下、以下の項目につ

き、知恵袋会等にて(「標準化活動」と「官民連携」)推進具体策等の検討を進めることが提案されました。(第2期活動成果の表は裏表紙に)

◆第2期QBIC活動終了後の活動について
 タスクフォースの結論にもあったが、標準化WGのよ
 うにISO規格化作業等継続した
 活動や測位の利用浸透についてはJSSサイドあるいは
 関連団体での作業の継続の声も大きい。(特に
 前者の標準化WGはJSS内での委員会活動として
 継続中)

また講演会(地方開催含む)等の測位啓蒙活
 動は重要なテーマであり、JSSを中心に関連団
 体と協調した取組みが望ましい。

◆4WGを代表して筆者がリーダーで担当した社会
 実装推進WGの第2期QBIC総括を紹介します。
 利用実証、社会実装準備、社会実装推進とW
 G活動を推進してきましたが、コアとなるス
 キームは次の情報、機会、実装の3点としまし
 た。(裏表紙表参照)

(1)情報

衛星測位システム利用に関連する最新情報を
 適宜発信/共有し、衛星測位利用ビジネスの機
 運醸成を図る(対象をQBIC会員に限定しないた
 め、WG参加枠を(拡大)で推進(2021年14回WG以
 降)。

特に関連団体との情報共有化を推進するため、測位
 航法学会GPS/GNSSシンポジウムで受信機および応用
 事例を発表。また、屋内測位に係る講演会を測位航法
 学会共催で実施。

(2)機会

高精度衛星測位ビジネス事例纏・利用Know Howの紹
 介/起業ビジネス事例の紹介/関連企業・団体が保有す
 るニーズ・シーズの紹介/受信機総覧の発刊(今年で第7
 版)/ロボットカーコンテストを測位航法学会と共催。

(3)実装

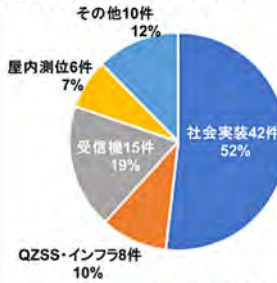
地方からの新規事業開拓支援を目的に、舞鶴高専を
 中心とした「未来の海Project」およびQBICアウトリー
 チ活動、QSSと連携した活動の推進。

四国地理空間フォーラム in 松山 2019/「みちび
 き」ビジネス活用体験会 in 大分2019、2020/「みち
 びき」アウトリーチ in 立命館大学2021/福島テスト
 フィールド「ロボテスExpo」講演(主催QSS/共催
 QBIC)2022/2023/みちびき講演会 in 札幌2023(主催
 QSS/共催QBIC)

き」ビジネス活用体験会 in 大分2019、2020/「みち
 びき」アウトリーチ in 立命館大学2021/福島テスト
 フィールド「ロボテスExpo」講演(主催QSS/共催
 QBIC)2022/2023/みちびき講演会 in 札幌2023(主催
 QSS/共催QBIC)

社会実装推進WG講演テーマ分類

講演テーマの分類



WGのテーマは左グラフの通り
 屋内測位は、2021年アンケート結果から、2022
 年度測位航法学会インドア部会、電気学会と共
 催で3回実施した。
 なお、多くの人に参加を促すために第14回WG
 から拡大WGとし、QBIC会員以外の聴講希望者
 を受け入れた。
 また、2021年度より内閣府公募受託企業の講演
 をQSSの協力を得て積極的に取り上げた。
 年度別参加人数の推移を下表に示す。

参加延べ人数推移

2019年	2020年	2021年	2022年	2023年
163名	178名	300名	299名	305名

2023年度25回WG 65名
 北海道講演会 240名

◆最期に

みちびき5, 6, 7号機の整備が打ち上げ用ロケットH3
 の遅延により令和6年まで延期されています。本来の第
 2期QBICとしてはこの7機体制での成果検証まで含む予
 定でしたので、4機体制での市場浸透の評価をもって終
 了することはまだやり残し感がないわけではありません。
 ただし、常に測位は進化することを念頭に、組織
 的なQBIC活動に幕を引くタイミングを予定していた
 2023年を区切りとしたのは致し方ない面もご理解願
 います。最後に有識者からGNSSとしてみた場合は、2周
 波対応SBAS、信号認証の普及、広域災危メッセージの
 課題も多い等の非常に重要な指摘を頂きました。

今回は第一段階終了(QZSS)であり、第2段階
 (GNSS)へ移行し、測位の更なる利用拡大について継
 続活動すべきではないか、との意見です。何らかの形
 で測位に関する情報発信の継続性を測位関連・団体・
 学会で引き継がれることを切に期待します。以上

宇宙利用ユーザープラットフォーム(SBIC)
 活動報告

(一財)宇宙システム開発利用推進機構

浅里 幸起 (正会員)

1. QBIC協議会の活動終了

2023年9月30日付にて「高精度衛星
 測位サービス利用促進協議会」(QBIC)
 は活動を終了し、閉会した。

QBICは、準天頂衛星みちびきの利用
 立ち上げをめざして設立された民間の
 協議会で、2013年7月に発足した。設
 立の当初から立ち上げが完了した時期
 に終了する計画であった。

QBICは、320社を数えた会員企業・団体に支えられて
 11年余の間、活動が継続され、昨年その任務を終えて
 閉会した^[1]。

2. 標準化及び諸研究会の継続—SBIC

QBICの事業のうち、標準化や各種の研究会活動等の



継続を要するものは、宇宙利用ユーザープラットフォーム(SBIC)において継承していくことになった。

SBICでは、衛星測位だけでなく、リモート観測や、低
 軌道衛星による衛星通信、宇宙天気等にも取り組むこと
 になった。これは、国際標準化機関(ISO)のTC 20/SC 14
 委員会において、2022年に新しく設立されたWG8「宇
 宙利用サービス」の守備範囲と整合を取ったものでは
 ある。(8頁・図4参照)

QBICのWGとして、長らく衛星測位の標準化を担って
 きた標準化WGは、新たなフェーズに入った国際標準化
 活動をサポートしている。

2020年代に入って、衛星測位システムは飛躍的に拡大
 している。それは、地球のGNSSのメインローブだけで
 なく、サイドローブを活用し、より広範なSSV(Space
 Service Volume)にサービス範囲を拡げ、月における衛星
 測位システムを整備し、また地球の低軌道において新た
 な数多くの航法衛星を配備しようとするものである^[2]。
 この状況を図1(表紙)にまとめた。

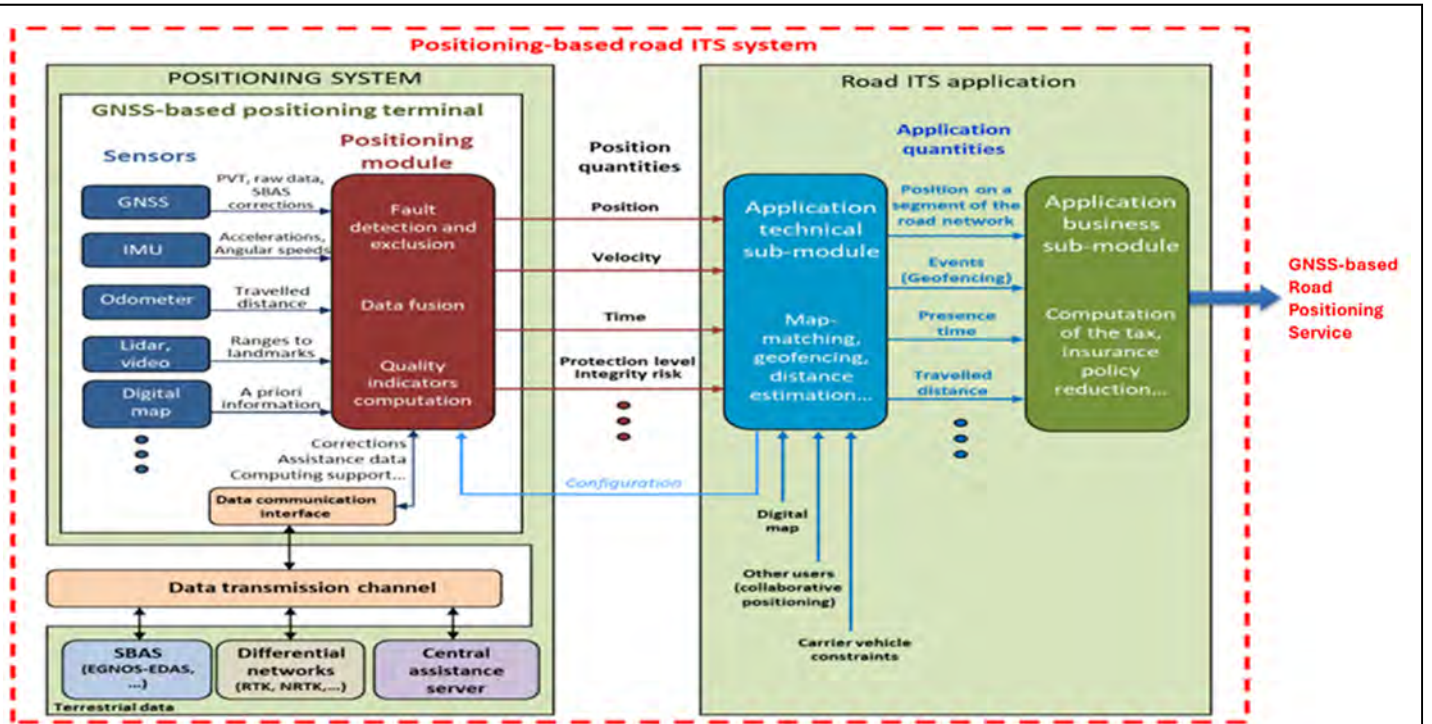


図2 ISO 25082 に係わるシステム構成図

3. 標準化WG—フランス提案ISO 25082

SBIC標準化WGでは、ISO/TC 20/SC 14/WG8に新規提案されたISO 25082 (NP: New Proposal) について、登録メンバーに対して意見募集を行っている。国内のエキスパートの意見を集約して、提案元に伝える予定である。

ISO 25082は、主に道路交通における衛星測位に関するもので、図2に掲げる構成のシステムに適用される。題目は、ISO 25082-1については、

宇宙利用—GNSS測位システムの評価—第1部：性能の評価と確率のための定義とシステムエンジニアリングの手順

Space systems – Assessment of GNSS-based positioning system – Part 1: Definitions and system engineering procedures for the establishment and assessment of performances

である。この規格の内容としては、競争部分となる内部の仕組み等はマスクしたうえで、協調部分であるアウトプットとなる測定値の定義と評価方法等が規定するも

のである。

これに加えて、第2～4部では、インタフェースの共通化、試験シナリオ等が規定される見通しである。

この規格は、既に欧州規格となっている EN 16803 シリーズをISOにしようとするものである。

今後、新規提案に対する国際投票が行われ、ISOで作業原案を作成するか否かが決定される予定である。今後ともSBIC標準化WGと通じて、日本としての方針を討議して対応していく予定である。

4. 海洋船舶分野のダイナミックマップ

SBICの活動のうち、QBIC時代の2021年に発足した水上モビリティ・デジタルツイン研究会（旧名：水路港湾デジタルツイン研究会）は、海洋船舶分野において、自動運行船を実現するためのダイナミックマップの研究を継続している。

特に議論になっているのは、自動運航船のための地図の精度である。ここで高い精度が要求されるのは、自動離着岸に利用される岸壁や棧橋の位置、あるいは航行時の物損につながる橋梁の底面高等である。討議の参加者のうち、業界団体からは 25cm、メーカーから 10cm、ユーザーから 2 cm 等の精度規定の要望が出て討議となった。

2cmまでいくと地図の精度を超えて、基準点への要求値となること、高い精度が要求される場合には、相対測位のほうが使いやすい、との意見が出て、議論となった。相対位置と絶対位置とを使い分ける場合は、この仕様は絶対と相対の測位利用の境界を決めていくこととなる。

また、この水準のような数値になると、地殻変動を無視

考え方	測位を地図に合わせる	地図を測位に合わせる
説明	<p>地図は定まった元期(2011.4年*)から動かさない。*北海道を除く東日本</p> <p>取得した測位データを補正して、元期まで時間を戻す。</p>	<p>測位データは WGS84 の現在値(今期の座標)。</p> <p>地図を地殻変動に合わせて、補正する。</p>
地図の座標	元期座標	今期座標
座標系	JGD2011	WGS84

図3 海洋船舶分野のダイナミックマップにて無視できない地殻変動の対策



図4 ISO/TC 20/SC 14/WG8 「宇宙利用サービス」の標準化範囲

することができないことが明らかとなっている。海洋船舶分野では、水路業務法に基づき世界測地系のWGS84が適用されるが、地殻変動に対応する仕組みは備えられていない。一方、その仕組みを備えているのは、国土地理院が管理しているJGD2011座標系である。水路業務法第2条には、「この法の規定は、都市の測量について測量法の適用を妨げるものと解釈してはならない」と規定されており、高い精度の測量を行うときは、JGD2011座標系を適用することが許容されている。

いずれにしても、地殻変動に対応するためには、図3に示すとおり、測位を地図に合わせるか、地図を測位に合わせるかする必要はある。

5. ISOによる「宇宙利用サービス」の推進^[3]

国際標準化機関ISOで宇宙システムを担当するTC 20/SC 14委員会では、2022年の国際合意によって、新たにWG8「宇宙利用サービス」を設立した。

WG8では設立提案当初から相談を受けていたこともあり、副部会長を日本が務めることで運営に参画することになった。この役職はSC 14の決議により特別に設置されたものである。部会長(Convenor)は、フランスのエッフェル大学の Miguel Ortiz 氏が務めることになった。同氏は、衛星測位や屋内測位の専門家であり、欧州の標準化機関で実績ある人物である。2017年に札幌でIPINが開催された際に来日している。

WG8は、図4に示されるビジョンを掲げている。同WGの活動は次の4つの柱をもっている。

- ① GNSS/PNT
- ② リモートセンシング/地球観測
- ③ 宇宙機を利用した通信
- ④ 宇宙天気の利用

それぞれについて、国際標準を創っていくための能力構築が進められているところである。日本からも積極的に参加していくことが望まれる。

フランスが標準化の枠組み作りを推進する理由には、西欧地域の競争が関連していると思われる。近年ドイツのインダストリー 4.0 戦略は、産業的な実態を伴って周辺諸国や国際社会に影響を与えてきた。一

方、フランスやイギリスがドイツの産業的発展に対抗して、影響力を高めるには比較優位を持つ航空宇宙分野を伸ばすことが有効な戦略である。そのため、航空宇宙分野から産業・社会全般に影響力を創るために、宇宙利用サービスを積極的に推進していると見られる。

6. まとめ

本稿では、2023年9月末にてQBIC協議会が修了した経緯と、標準化事業や各種の研究会を継承した「宇宙利用ユーザープラットフォーム(SBIC)」が発足し、活動していることを報告した。月測位、低軌道衛星による測位、自動運行船で利用する海洋船舶分野のダイナミックマップ、フランス提案に対応する標準化WGの活動等の推進状況を掲載した。

今後とも、国際機関の動向の調査を継続しつつ日本の業界のために役に立つ活動を進めていきたいと考えているので、関係者各位のご協力をお願いしたい。

略語

- CD: Committee Draft
- LNSS: Lunar Navigation Satellite System
- ISO: International Organization for Standardization
- QBIC: QZSS Business Innovation Council
- QZSS: Quasi-Zenith Satellite System
- TC: Technical Committee
- SC: Sub-Committee

参考文献

- [1] 高精度衛星測位サービス利用促進協議会(QBIC), 2023, 2024-03-15 閲覧
<https://qbic-gnss.org/>
- [2] 月測位研究会, 宇宙利用ユーザープラットフォーム, 2024-03-15 閲覧
<https://qbic-gnss.org/lunar/>
- [3] ISO/TC 20/SC 14, 2024-03-15 閲覧
<https://www.iso.org/committee/46614.html>

研究室紹介 芝浦工業大学中川研究室

中川 雅史 (本会理事)

1. はじめに

芝浦工大・中川研 (ジオインフォマティクス研究室) は、芝浦工業大学工学部土木工学科における測量の研究室として2009年度に開設しました。2023年度は、学部生7名と修士6名、短期留学生2名に研究指導しており (図1)、すでに卒業生は100名以上います。



究テーマを扱っていますが、大局的に、Mapping, Navigation, Positioning, Timingの4軸空間上で議論をしています (図2)。代表的な研究事例として、GNSSシンポジウム2023において受賞のあった3件の研究テーマを紹介します。

2. 月面調査のためのLiDAR-SfM/MVS点群取得

月面基地建設における起工測量に関する研究です。米国主導のアルテミス計画をはじめ、月面拠点開発に関する研究活動が近年において活発化しています。月面は地球上と違い、宇宙放射線や大きな温度差など、人体への負荷が極めて大きいため、月面拠点開発においてはロボット利用が望ましく、遠隔施工や無人建設の技術開発が推進されています。また、地球から月面へ1kgの物資を運搬するために1億円のコストがかかるため、月面での施工は手戻りをなくすことが必須であり、デジタルツインの適用による綿密な施工シミュレーションが必要です。

月面拠点開発に関する研究活動と並行して、国内ではi-Constructionの取り組みが進められています。無人建設技術の開発は、施工の省力化や人手不足の解消のために推進されており、この取り組みの中で、Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) や Structure from Motion and Multi-view stereo (SfM/MVS) などの画像計測による点群の取得と利活用に関する技術開発が進んでいます。しかしながら、現在の月面は、拠点開発における施工や地図作成に必要な測量用基準点は未整備であるとともに、3D計測で必要となるGNSSもありません。さらに、月の表面はレゴリスと呼ばれる堆積物で覆われており、画像特徴や形状特徴が乏しく、月面においては、従来型の画像計測手法やSLAMの適用は難しいです。

そこで本研究では、標識設置型LiDAR-SLAMの適用による測量手法の検討とStructure from Motion and Multi-view stereo (SfM/MVS) 点群に対してLiDAR-SLAMで

取得した標識位置を利用することでスケール情報を付与する手法 (LiDAR-SfM/MVS) を提案しました。月面環境を模擬したフィールド (JAXA 相模原キャンパス宇宙探査実験棟) での実証実験を実施し、提案手法を検証しました (図3)。複数の赤色球体標識をフィールド上の複数位置に散布し、開発した3D計測システムを搭載した自律クローラ型ロボットで走行計測し、LiDAR-SLAMや画像計測にとって劣悪な模擬月面環境においても、提案手法によって色付き高密度点群を取得できることを確認しました。



図1. 芝浦工大・中川研 (2023年度)

近年は、DX やデジタルツイン、AIなどのデジタルに関するワードが多いですが、共通して扱う必須データは空間データであることと、社会・技術課題解決には空間データ取得の上流プロセスから扱うことが有効であることに着目しています。写真測量、レーザースキャニング、測位、リモートセンシング、GISといった空間情報工学の諸技術を、測量学を基盤学問としてしっかり結びつけることに強みを持っており、構造物や砂防、都市計画などの土木工学全般の研究テーマを関連づけて扱っていることに強みがあります。主な計測対象は、都市や災害現場、文化財などで、多くの研

Geoinformatics Lab., Department of Civil Engineering, Shibaura Institute of Tech.

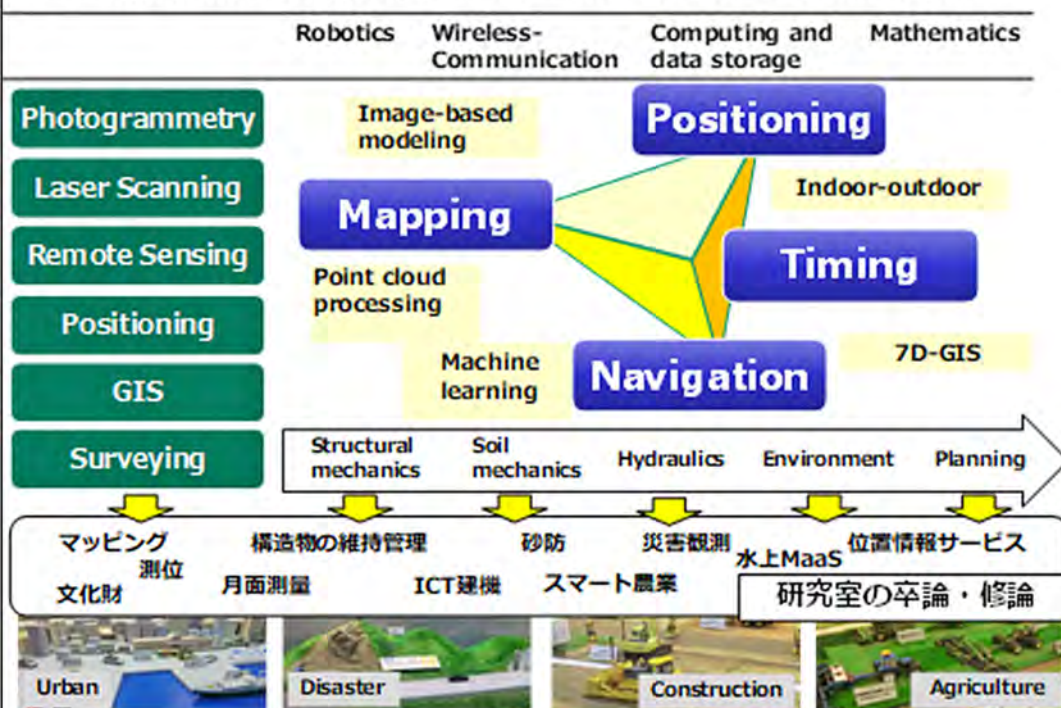


図2. 芝浦工大・中川研の研究軸

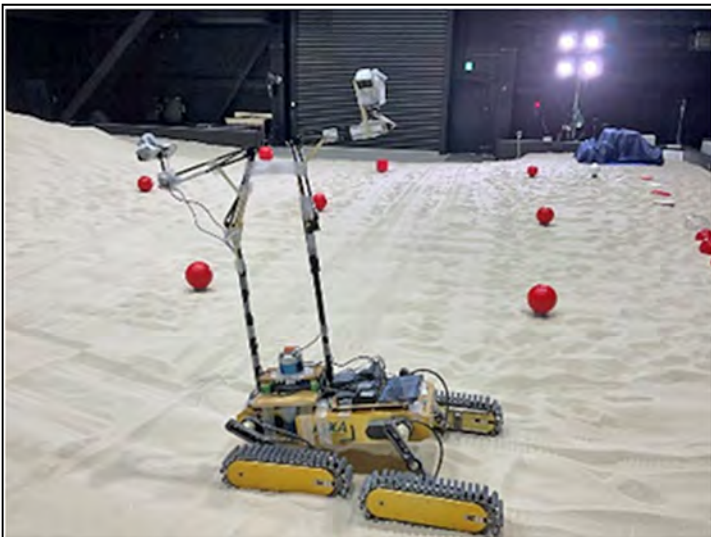


図3. 月面測量ローバ（2022年度）

現在は、月面測量ローバの開発を軸として、提案手法の改良とともに、土質・地盤調査ツールとの同時計測システムの開発と検証に取り組んでいます（図4・月面測量ローバ 2023年度版は表紙ページに）。

3. インフラ点検 UAV のための屋内外シームレス測位機能の性能評価

橋梁インフラ点検で利用するための屋内外シームレス測位機能を搭載したUAV（ドローン）開発の研究です（図5）。



図5. 屋内外シームレス測位機能を搭載した UAV（トライコプタ）

社会インフラにおける市民の安全と社会経済活動は、建設後の適切な管理と維持が非常に重要です。インフラの点検作業では、広範囲にわたって何度も点検を行うため、時間と労力がかかります。そこで、この問題を解決するため、橋梁やダムなどの点検でUAVの導入が進められています。UAVは、ジンバルカメラにより様々な角度から構造物の点検を行うことができるため、効率的な3D計測プラットフォームとして利用することができます。しかしながら、UAV飛行制御に用いるGNSS測位は、衛星信号が微弱、あるいは受信できない土木構造物の下空間などでは困難です。また、インフラ点検作業では、UAVの飛行中に各画像の撮影位置と向きとともに、高解像度の点検画像を撮影する必要があります。一連の点検画像を合成する場合、撮影位置や角度の測定に誤差があると、位置のずれが発生します。そのため、GNSS/非GNSS測位環境が混在する橋梁やダムなどの土木構造物におけるUAV飛行を支援する屋内外シームレス測位機能と、点検作業で撮影さ

れた画像間の位置ずれを補正するカメラ位置調整機能が求められます。

そこで本研究では、GNSS測位環境と非GNSS測位環境の両方でUAVをシームレスに飛行させるための基本機能として、RTK-GNSS測位とカメラによる位置姿勢推定（Visual Odometry：VO）を組み合わせた屋内外シームレス測位技術、および、VOによって生じる累積誤差問題の調整制御手法を提案しました。また、カメラ位置調整機能に関しては、画像特徴点の検出・対応づけ処理を利用する複数撮影画像の合成手法を提案しました。テスト用のコンクリート橋梁を対象としたUAV飛行実験では、屋内外シームレス測位で必須となる測位モードの高速切り替え処理について、RTK-GNSS測位のステータス（Fix解、Float解など）を利用するアイデアを検証しました。また、VOによって生じる累積誤差問題の調整制御手法が安定的なUAVの自律飛行に影響を与えないかを検証しました。さらに、コンクリート壁面を撮影対象として、SURF（Speeded Up Robust Features）を用いた特徴点検出および画像マッチングを行い、提案手法を評価検証しました。

4. 非衛星測位環境下における3D河川モデリング

船舶からの3D計測で得た点群からの3D河川モデリングの研究です。

近年、都市活動のプラットフォームとして、3D都市モデルのオープンデータ化が取り組まれており、建物や道路で構成される高精度3D地図を利用したデジタルトランスフォーメーションの推進が図られています。一方で、都内の都市河川については、橋梁や建物、首都高などの構造物が密集しているために上空や地上からの3D計測が難しく、高精度3D地図が未整備です。次世代の都市交通インフラとして、都市河川内における自律航行型船舶の活用が期待されていますが、これを実現するためには、都市河川の高精度3D地図が必要です。また、高精度3D地図や3D都市モデルを生成するにあたっては、観測で得られる点群データに対して、地物分類や3Dモデリング処理を適用しますが、データ取得および処理のコストが高い課題があります。そこで本研究では、道路からの3D計測で用いられるMobile mapping system (MMS)の計測手法、および、LiDARを用いたSimultaneous Localization and Mapping (SLAM)を基本技術として、GNSS/非GNSS測位環境が混在する空間でも連続的に点群データを取得できる船舶搭載型MMSを開発し（図6・表紙に掲載）、船舶から都市河川を

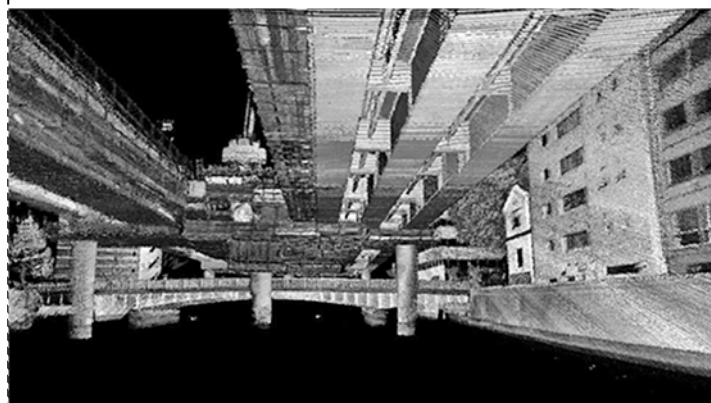


図7 船舶搭載型3D計測システムで取得した高密度点群（日本橋川）

3D計測できるようにしました(図7)。また、河川計測で得た点群データを地物分類するためのセマンティックセグメンテーション手法を開発しました。さらに、日本橋川を実験対象として、提案手法を検証しました。

5. まとめ

国内の社会インフラは、高度経済成長期に建設されたものが多く、老朽化が進んでいる土木構造物の割合が急速に増加しているという社会的な問題があります。また、国内は災害が頻発する特徴もあり、緊急災害観測技術の重要性がますます高まっています。さらに、アジア地域を含む海外では近年経済成長が著しく、将来的にはインフラの老朽化や高齢化人口が社会的な課題となる可能性があります。本研究に加えて、上記の社会的な課題に貢献するために、衛星観測や航空・UAV測量、地上レーザースキャニング、ウェアラブルデバイスの利用など、様々な測量技術を組み合わせる手法を提案します。これにより、多様な手法を活用して社会インフラの点検やモニタリングを行い、社会課題の解決に取り組みます。

GNSS サマースクール日程変更について

7月下旬から一週間予定していたGNSSサマースクールですが、JSTへの申請手続きの遅れで9月の第一週に変更になりました。これから申請の手続きに入ります。正式に決まりましたら、別途お知らせします。

期間：2024年9月2日(月)～7日(土)

会場：東京海洋大学越中島キャンパス

使用言語：英語

参加費：一般60,000円、学生20,000円昼食付き

プログラム；①GNSSの仕組みから信号構成、測位までの概説②測位プログラムの詳説と実習③高精度測位技術の紹介④信号受信技術と信号処理と位置の導出⑤測位結果の利用に関するワークショップ

測位航法学会役員

(2025年総会まで)

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 富士信 横浜国立大学

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)

浪江 宏宗 防衛大学校

福島 荘之介 電子航法研究所

松岡 繁

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

- ・2024.06.12-14 Interop Tokyo 2024 (幕張メッセ)
- ・**2024.05.22-24 測位航法学会全国大会 (東京海洋大学)**
- ・2024.05.30-31 日本航海学会春季講演会・研究会 (東京海洋大学)
- ・2024.06.12-14 Interop Tokyo 2024 (幕張メッセ)
- ・**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)**

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

- ・2024.04.15-18 Pacific PNT (Honolulu, Hawaii)
- ・2024.09.16-20 ION GNSS+ 2024 (Maryland, USA)
- ・2024.10.06-11 ICG-18 (Wellington, New Zealand)
- ・2024.10.28-31 IAIN World Congress 2024 (Beijing, China)

編集後記

2024年が始まり、早くももう3か月を過ぎようとしています。

本当に月日は速く過ぎて行きますね。

ところで、先日、日本初の民間ロケットの打上げがありましたが残念ながら、失敗に終わってしまいました。もともと非常に難しい宇宙開発ですから、何回かの失敗の中で技術が熟し出来上がって行くものと考えます。我々の測位航法技術も同じで、地球上での技術開発を熟し、更に発展させながら、地球外へとチャレンジして行くものと信じています。皆さんで波に乗って行きましょう。

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2期 社会実証推進WGの活動成果



	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年
情報 WG28回実施	社会実証推進WG 開催数 3	社会実証推進WG 開催数 6	社会実証推進WG (拡大) 開催数 7	社会実証推進WG (拡大) 開催数 7	社会実証推進WG (拡大) 開催数 5
機会 受信機総覧 7版発刊	2019 体高: A4/176P 収録企業: 35社	2020 体高: A4/248P 収録企業: 39社	2021 体高: A4/342P 収録企業: 41社	2022 体高: A4/272P 収録企業: 40社	2023.9.21 発刊予定
実装 アウトリーチ活動4回 社外講演3回	11月3日 松山街歩き 四国地理空間フォーラム in 松山	10月31日 リモート開催 NHKで放映 「みちびき」 ビジネス活用体験会 in 大分	10月16日 リモート開催 高さをmmレベルで計測実演 アウトリーチ in 立命館大学	9月12日 ロボテスEXPO2022 2022.9.15 参加:85名	10月20日予定 奉天頂衛星みちびき講演会 In 北海道 2023.7.20 参加:会場 70名 Web170名 ロボテスフェスタ2023 2023.9.1
未来の海Project 舞鶴高専内海先生			未来の海プロジェクト		

第2期社会実証推進WGの活動成果 (本文P.5)