

「新しいフェーズに入った衛星測位技術を加速させる人材育成」の成果概要

実施体制

主管実施機関
研究代表者名

東京海洋大学
教授 久保信明

共同参画機関

中部大学、千葉工業大学

実施期間

令和3年度～
令和5年度
(3年間)

実施規模

予算総額(契約額) 54.305百万円

1年目

19.445百万円

2年目

17.430百万円

3年目

17.430百万円

背景・全体目標

衛星測位の受信機技術は多様な要素技術の集合であり、課題が発生したとき、受信機の信号処理部まで見通せる能力が必須である。自動運転等の高信頼・高安全のシステムへの測位技術の利用で、根幹部分は国内人材が把握すべきである。本提案では、受信機の中身を開発する工程を学ぶことで、能動的な課題発見・課題解決能力のある人材を育成する。

- ① 持続的な衛星測位人材育成サイクルの確立(教材作成)
- ② 新しい衛星に対応した受信機開発・発展的課題への挑戦

全体概要・主な成果

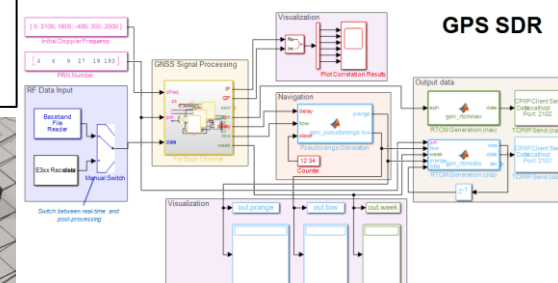
全体として申請時にたてた年毎の目標は達成できた。それら成果を順に記載した。
1年目: プラットフォーム(ソフトウェアGNSS受信機)、関連機材(PocketSDR)準備と教材の作成(90分15コマ)。HP上に公開済み(今後も継続)
2年目: 1年目成果を利用したセミナー開催(50名以上の応募があり30名選抜)、アンテナ測定実習(電子研電波暗室)、それぞれ2回に分けて対面開催
3年目: 発展的課題の取り組み(重要5分野で各大学、企業で実施)、シミュレータ実習(39名参加)、コンテスト開催(8名参加)

主な成果

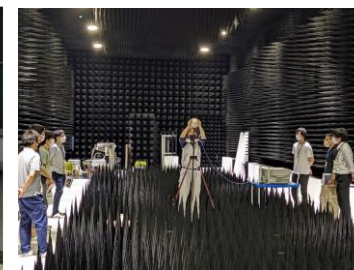
- ① 衛星測位分野で、中身のわかる人材を30名以上輩出することができた。その中には企業の若手も含まれており、その流れで複数の企業と共同研究へ発展した。
- ② 少数ではあるが、本セミナーに参加した学生らが、衛星測位関連の中核企業(実際にその研究開発部署)に就職した。
- ③ 本課題で準備した機材のうち、PocketSDRについて業務終了後も開発改善をしており、持続的に人材育成・開発するための環境を整備している。
- ④ 発展的課題に多くの学生や企業の若手の方が参加できた。特にジャミング対策やLEO測位に関連するテーマを現在も継続しており、発展が期待される。

受信機プラットフォームと教材の作成

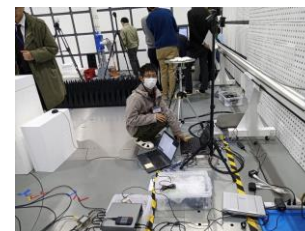
Pocket SDR



学生・企業エンジニアの受け入れ。セミナー、実習を開催



発展的テーマの取り組み、シミュレータ実習、コンテスト開催



①「令和3年度（教材・プラットフォームの開発）」

実施内容・成果

1.1 研究統括、教材・HPの開発

東京海洋大学で全体の研究統括を実施。セミナーで利用する機器の選定・購入、教材作成のとりまとめ、HPの作成を実施。講義やスプーフィング試験に有用な再放射キットを準備。進め方について有識者へヒアリング。

終了後の持続性を維持

- 複数のフロントエンドについて終了後も貸し出し体制を整えた
- 教材やソフトウェアについて、終了後もHPでダウンロード可能

1.2 ソフトウェア受信機の開発

教育用途に開発したGNSSソフトウェア受信機を通して、GNSSの信号処理を自分の手で実際に体験しながら学ぶことで、GNSS信号処理を容易かつ効率的に学ぶプログラムを構築した。

初学者でも使いやすいモデルベース開発ソフトウェア

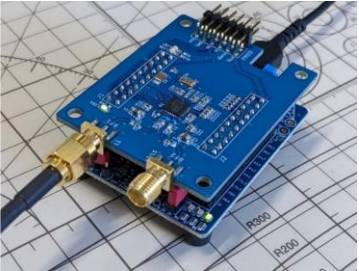
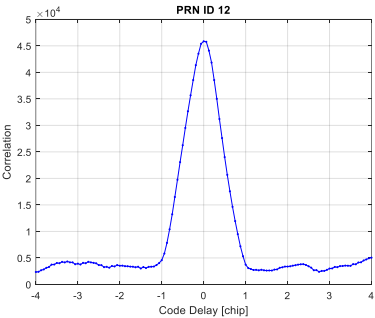
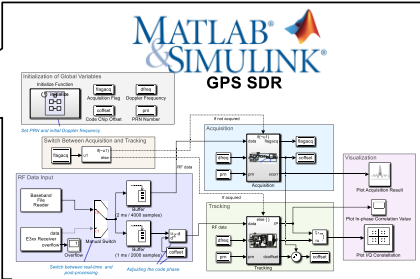
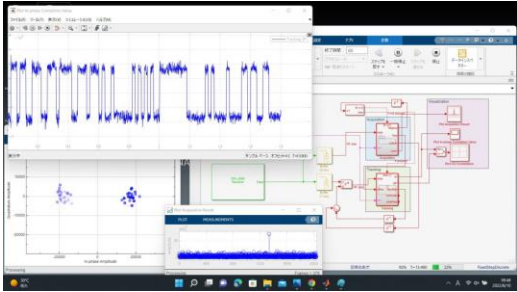
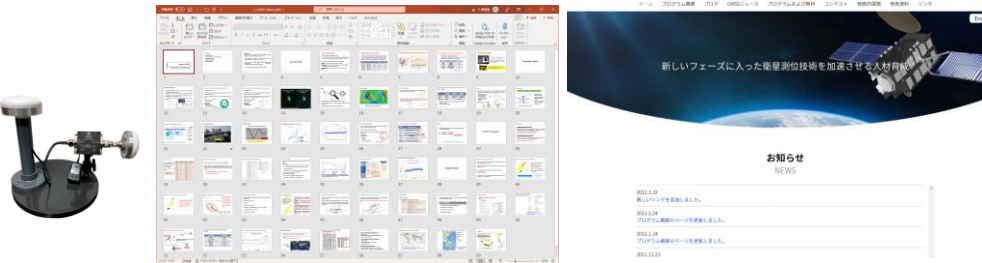
- MATLABのツールを使い開発効率・可視化と汎用性を向上
- Github上で公開予定：測位演算部も含めて終了後も開発継続

1.3 受信機プラットフォームの開発

上述のモデルベース開発のソフトウェアGNSS受信機に加えて、将来的なリアルタイム化やFPGA化に向けた新しい教育用の受信機プラットフォームの開発を実施した。

自前受信機開発の可能性追求

- 汎用利用可能GNSS用フロントエンド+FPGAの実用化
- 自前GNSS受信機開発への展開（JAXA、メーカーと協業）



②「令和4年度（参加者の募集、セミナーと実習の開催）」

実施内容・成果

2.1 参加学生の募集

衛星測位分野に関連する大学高専・企業へ連絡し、説明会を開催。約50名の応募者の中から30名を選定。1回のセミナーで15名ずつとし、教員の目の行き届く範囲とした。
学生だけでなく企業の若手エンジニアも対象とした
→最終的に学生4割、企業の方6割の割合となった。

2.2 セミナーの実施

測位航法学会と連携して、ソフトウェア受信機に関するチュートリアルと利用方法に関するセミナーを3大学の教員が中心となり開催した。事前にGNSS基礎のオンライン試験とMATLABの入門講座を修了頂いた。3日間を夏と冬開催。教室内でリアルタイムで測位できるところまで実施。企業の参加者と面談し、発展的課題へとつなげた。

本セミナーの参加前後での成長をアンケートだけでなく有識者にも確認頂いた。
→指導教員＋有識者による、参加者の客観的評価を実施

2.3 コンテストの紹介

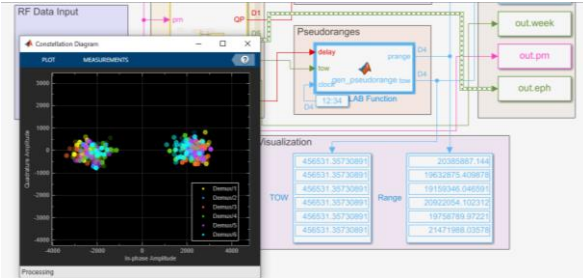
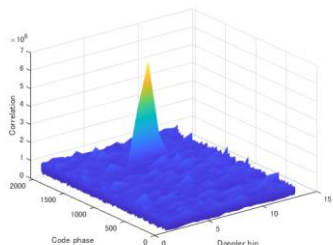
セミナーへの参加者に対して、ソフトウェア受信機を利用したコンテストの内容を事前に紹介した。

2.4 高周波アンテナ測定試験の実習

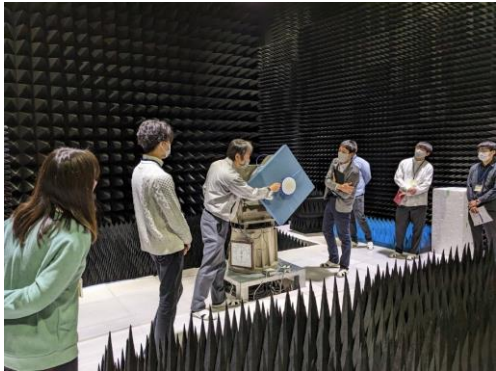
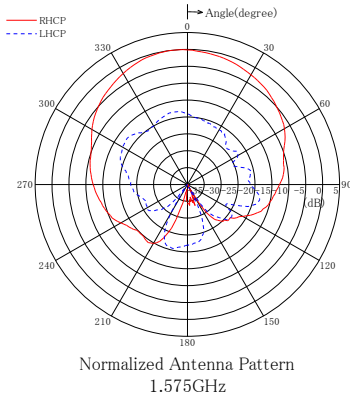
高周波の試験の仕方を学習するために、国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所などが所有する電波暗室を利用した実習を行った。電波暗室でそれらアンテナの利得や偏波特性を計測する方法と結果の見方について学んだ。参加者に測定試験に関する理解を問う課題を与え、提出頂いた。

様々な市販GNSSアンテナを評価
→実習だけでなく市販アンテナの性能を・特性を自ら把握できる能力を獲得

セミナー名	開催日	時間	開催場所
第1回目「ソフトウェアGNSS受信機プログラム」	2022年8月8日	13:00～17:00	東京海洋大学越中島キャンパス 第4実験棟5階 大教室
	2022年8月9日	9:30～17:00	
	2022年8月10日	9:30～17:00	
第2回目「ソフトウェアGNSS受信機プログラム」	2023年2月8日	13:00～17:00	東京海洋大学越中島会館2階 セミナー室3
	2023年2月9日	9:30～17:00	
	2023年2月10日	9:30～17:00	



セミナー終了後の面談評価点は30名の平均で**4.2**(5段階)となった。



③「令和5年度（発展的課題への取り組み、シミュレータ実習、コンテスト開催）」

実施内容・成果

3.1 発展的課題への挑戦（以下に実施例）

- マルチパス誤差低減技術のための信号処理方法
- 干渉・欺瞞信号に対する対策手法
- 他センサとの統合を行うための手法
- 低軌道衛星用の信号処理方法

終了後の持続性を維持

- 参加者の学会発表(3年で15件程度)が可能なレベルへ
- 企業との共同研究(5件程度)へ発展し、課題を継続

3.2 GNSSシミュレータの実習

GNSSシミュレータの使用方法を習得し、所定の信号を出力したときの受信機の振る舞いを確認することで、信号のテスト方法を学ぶ。期間中に2回実施した。本講義では、数千万するシミュレータではなく教員が自ら開発しGithub上に公開しているソフトウェアとキットで実習を行った。

GNSSシミュレータは開発に欠かせない

- 複数の企業の方が自分らでも開発できないか検討開始
- 昨今のジャミング・スプーフィング試験に必須

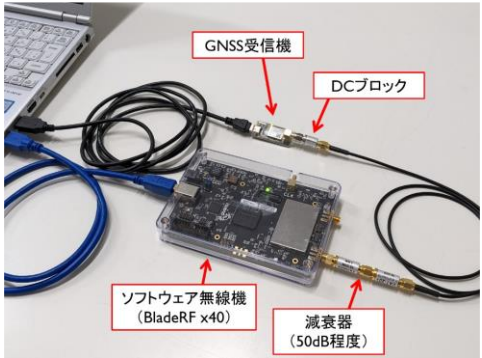
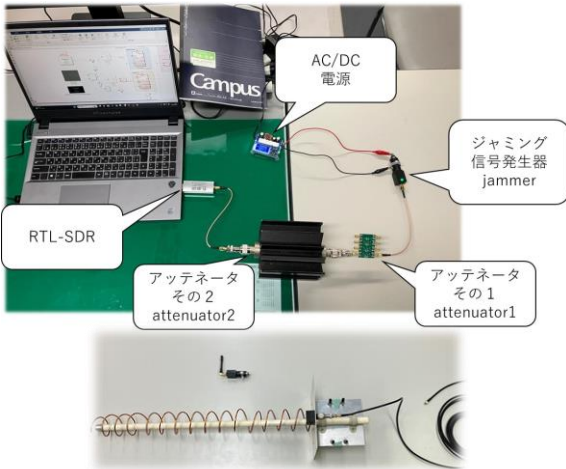
3.3 コンテストを開催

今年度参加者を募り、夏の2か月間を設定した。測位航法学会と連携して、測位航法学会シンポジウム内でコンテストの結果を発表するとともに、参加した学生の発表会を開催した。発表会を学会のシンポジウムの1つのセッションとすることで、学生らは学会発表の経験も合わせて体得することができた。同時にシンポジウムに参加した多くの大学・企業の関係者よりコメントを頂いた。

終了後の持続性を維持

- 2024年度も教員らで受信機の測位演算部分のコンテストを開催

Snapshots of Spider SDR



GPS	Galileo	QZSS	SBAS	BeiDou			
信号 衛星	信号 衛星	信号 衛星	信号 衛星	信号 衛星	信号 衛星	信号 衛星	信号 衛星
G05	E03	J02	S22	C23	C01	C25	C25
G13	E05	J03	S28	C24	C02	C27	C27
G14	E08	L1CA J04	S30	C25	C03	C28	C28
G15	E13	J07	S32	C27	C04	C32	C32
G18	E15	J02	S34	C28	C06	C33	C33
G20	E24	J03	S37	C30*	C08	C38	C38
G23	E25	J04	S43	C32	C09*	C39	C39
G24	E34	J07	S44	C33	C13	C41	C41
G29*		J02		C38	C14*	C58	C58
G30		J03		C39	C16	C59	C59
G14		J04		C41	C23	C60	C60
G18		J07		C42*	C24	C62	C62
L1C							

1位の学生は66/77信号捕捉に成功

その他の成果

これまで得られた成果 (特許出願や論文発表数等)	特許出願	査読付き 投稿論文	その他 研究発表	実用化事業	プレスリリース・取材対応	展示会出展
	国内：0 国際：0	国内：4 国際：0	国内：24 国際：6	国内：0 国際：0	国内：2 国際：0	国内：0 国際：0
	受賞・表彰リスト		応用測量論文奨励賞「低コストGNSSアンテナの性能評価に関する研究」尾関友啓、久保信明。他2件（日本航海学会フレッシュマン奨励賞）			

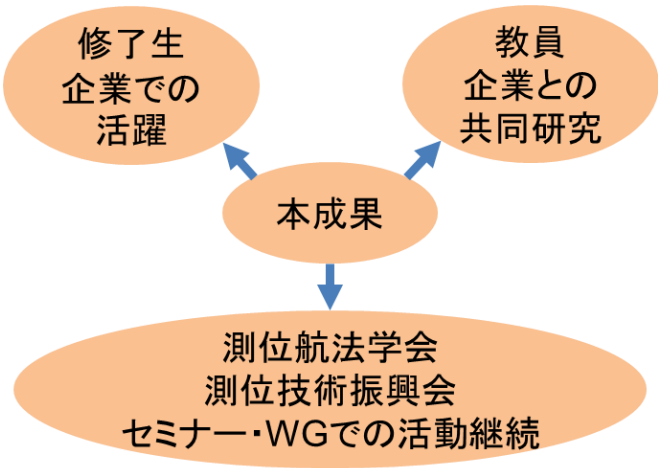
成果展開の状況・期待される効果

衛星測位を取り巻く状況が大きく変化しており、特にジャミングやスプーフィングに対する対処方法が問われている。また、移動体プラットフォームの自動化への社会変革に伴い、衛星測位による高精度位置決定への期待は高まっている。このような背景のもと、本成果とりわけ人材の輩出は極めて重要であり、一定数の参加を達成したことで、その期待には応えることができた。

本成果の一部である15コマ分の教材について、海洋大で大学院向けの衛星航法工学という授業を2023年度に開講し、継続して講義の機会を持つ。

海洋大、大阪公立大、立命館大学からの複数の参加者は、衛星測位の中核となる企業へ就職した。また企業の若手エンジニアに対して、受信機のコア技術を知って頂くことで、様々な分野でその知見を活かして頂ける。本成果で得たソフトウェアGNSS受信機のプラットフォームは、大学の研究機関だけでなく、少なくとも5社程度の衛星測位中核企業で利活用頂いている。

今後は、測位航法学会や測位技術振興会のワーキンググループにおいて、本成果を転用しつつ、継続的な研究開発が実施される。さらに、各教員らがそれぞれの分野の企業と共同研究を継続することで、本成果を利用できる。



今後の研究開発計画

- 判明した課題と今後の計画
1. 課題に取り組む中で、屋外の測位だけでなく屋内外含めた測位の必要性に改めて気づいた。我々のグループだけでは対処できない領域（研究分野）もあり、次の50年（GPSが50年）を見据えた測位拠点の構築を考える必要がある。そこにはLEO測位や地上系測位も含まれる。
 2. ジャミング・スプーフィング対策はまったなしの状況である。本成果が確実に活かせる分野であり、ノルウエーのジャミングテストへの参加も含めて、研究開発だけでなく、市販受信機の耐性評価やハンドブックの作成など、貢献する必要がある。
 3. 本課題への参画者の協力もあり、ソフトウェアGNSS受信機のプラットフォームの改良が継続している。市販受信機と同じレベルの評価ができる体制が整いつつあるので、新たな学生と市販受信機と同等のプラットフォームを開発し、日本の衛星測位人材の基礎力を確実に向上させる。

事後評価票

令和6年3月末時点

1. プログラム名	宇宙航空人材育成プログラム
2. 課題名	新しいフェーズに入った衛星測位技術を加速させる人材育成
3. 主管実施機関・研究代表者	国立大学法人東京海洋大学 教授 久保 信明
4. 共同参画機関	中部大学、千葉工業大学
5. 事業期間	令和3年度～令和5年度
6. 総経費	54 百万円
7. 自己点検結果	
(1) 課題の達成状況	
「所期の目標に対する達成度」 ◆ 所期の目標 センチメートル級が可能な測位エンジンを持つ低コスト受信機の登場で、高精度測位アプリケーションが広く社会に浸透しつつあり、限られたユーザにしか利用できなかった測位技術がコンシューマレベルの商品に加わり新しいフェーズに入ったと考えられる。今後、位置の精度だけでなく、位置の信頼性を担保することや欺瞞信号及び干渉波への対策、cm 級測位ができない要因等を自分の力で解くことのできる人材が強く求められる。例えば車の自動運転支援となると、カーナビのように精度・利便性だけでなく信頼性の担保が必須となる。本提案では、上記課題に対応すべく、衛星測位技術の中でもコアとなる受信機の仕組みや測位アルゴリズムを、自分の手で自由に改良できる人材を輩出する。 ◆ 達成度	

実施内容の各達成実施項目は下記のとおりである。提案時の計画は以下の各年度の河川部の項目である。これらの計画どおりに実施しそれぞれの目標を達成した。また中間報告で指摘を受けた部分を踏まえて以下に記載した。

令和3年度

1.1 研究統括、教材・HPの開発

セミナー及び研究開発用の衛星測位及びソフトウェア GNSS 受信機の教材を教員らで開発した。併せて教材やニュース等を掲載するための HP を開発した。本課題の3年間だけでなく、教材や資料を今後も利用できるよう HP を維持する体制を整えた（エクストラ）。海洋大が主体となり研究を統括できた。本教材を利用した講義を、新たに東京海洋大学の大学院の講義で新規に立ち上げ、衛星航法工学とし継続している。（達成度 100%）

1.2 ソフトウェア GNSS 受信機の開発

初学者でも使いやすいモデルベースのソフトウェア GNSS 受信機を準備することができた。MATLAB を利用し、信号捕捉や信号追尾といったブロックごとの機能を容易につなぎ合わせることができ、可視性や汎用性を考慮した開発ができた。翌年のセミナー参加者は全員最後まで講義についてくることができた。参加者のうち複数名はこのソフトウェア受信機を利用した修士論文を完成させた（エクストラ）。（達成度 100%）

1.3 受信機プラットフォームの開発

上述のソフトウェア GNSS 受信機とセットで重要である、GNSS で利用可能なフロントエンド（アンテナとデジタル処理部を結ぶ高周波及びアナログデジタル変換部）を準備した。当初の予定通り、複数のフロントエンドを準備し、セミナーで配布できる廉価なものから、研究開発に特化したものまで教員らで熟慮の上選定し準備できた。さらに教員と研究協力者で新しいフロントエンドを開発し、現在も改良を継続している（エクストラ）。本課題終了後も、海洋大を中心に他の大学や企業へ貸し出せる体制を整えた。（達成度 100%）

令和4年度

2.1 参加学生の募集

衛星測位分野に関連する大学高専・企業へ連絡し、説明会を開催。約 50 名の応募者の中から 30 名（大学 4 割、企業 6 割）を選定。1 回のセミナーで 15 名ずつとし、教員の目の行き届く範囲とした。提案時は 10 名以上の参加者を目標にしていたが、中間報告でフルサクセスを 30 名と目標を再設定した。（達成度 100%）

2.2 セミナーの実施

測位航法学会と連携して、ソフトウェア受信機に関するチュートリアルと利用方法に関するセミナーを 3 大学の教員が中心となり開催した。事前に GNSS 基礎のオンライン試験と MATLAB の入門講座を修了してもらい合格点に達するまで繰り返し受講いただいた。対面セミナーのレベルはやや高いため参加するだけにならないよう配慮した。3 日間のセミナーを夏と冬に開催した。教室内で、各参加者のノート PC でリアルタイム測位できるところまで実施した。アンテナとフロントエンド、そしてソフトウェア GNSS 受信機は令和 3 年度に準備したものを利用した。参加者の中から希望者と面談し発展的課題へと確実につなげた。約 10 名の参加者が発展的課題へ進んだ。（達成度 100%）

2.3 コンテストの紹介

セミナーへの参加者に対して、ソフトウェア受信機を利用したコンテストの内容を事前に紹介した。その内容を HP に掲載した。(達成度 100%)

2.4 高周波アンテナ測定試験の実習

高周波の試験の仕方を学習するために、国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所などが所有する電波暗室を利用した実習を行った。電波暗室でそれらアンテナの利得や偏波特性を計測する方法と結果の見方について学んだ。参加者に測定試験に関する理解を問う課題を与え、締め切り日までに提出してもらい、内容を教員で確認し採点し参加者へ解答を提示した。本アンテナ測定試験は夏と冬に 15 名ずつ（計 30 名）2 回実施した。(達成度 100%)

令和 5 年度

3.1 発展的課題への挑戦（以下に実施例）

セミナーへの参加者及び新たに企業から要望のあった方々に対して、発展的課題への取り組みを実施した。本課題の教員だけでなく、専門家の協力を得て実施した。具体的には以下のような項目に取り組んだ。特に干渉・欺瞞信号に対する参加者からの要望が多かった。また本セミナーで準備したソフトウェア GNSS 受信機やフロントエンド等のプラットフォームの貸し出しを希望者へ随時行った。この発展的課題の中で、複数の学生が学会発表を行うことができ、企業との共同研究へ発展するケースもあった。干渉・欺瞞信号に関する研究開発は、本課題終了後も、測位航法学会の高精度測位部会において JAXA をはじめとする複数の大学・企業で継続して実証実験等を継続し行っている（エクストラ）。(達成度 100%)

- ・マルチパス誤差低減技術のための信号処理方法
- ・干渉・欺瞞信号に対する対策手法
- ・他センサとの統合を行うための手法
- ・低軌道衛星用の信号処理方法

3.2 GNSS シミュレータの実習

GNSS シミュレータの使用方法を習得し、所定の信号を出力したときの受信機の振る舞いを確認することで、信号のテスト方法を学んだ。期間中に 2 回実施した（計 30 名以上）。本講義では、数千万するシミュレータではなく教員が自ら開発し Github 上に公開しているソフトウェアとキットで実習を行った。本実習後に、複数の企業の方が自分らでも開発できないか検討を開始したと聞いている。(達成度 100%)

3.3 コンテストを開催

2023 年度に春より参加者を募り、夏の 2 か月間をコンテストの期間として設定した。測位航法学会と連携して、測位航法学会シンポジウム内でコンテストの結果を発表するとともに、参加した学生の発表会を開催した（約 10 名の参加）。発表会を学会のシンポジウムの 1 つのセッションとすることで、学生らは学会発表の経験も合わせて体得することができた。同時にシンポジウムに参加した多くの大学・企業の関係者よりコメントを頂き、このような受信機の中身のわかる人材育成を行うことが大事であることを確認した。2024 年度も教員らで受信機の測位演算部分のコンテストを継続して開催しており、現在開催中である（エクストラ）。中間報告で、コンテストの内容につ

いて昨今の干渉・欺瞞信号についても課題としてあげたほうがよいのではという意見があったため、上述の測位航法学会の高精度測位部会において、その課題を現在実施している。また HP 上に、海外で実施されている干渉・欺瞞信号のテストデータをどのように利用できるかについてまとめ公開した（達成度 100%）

「必要性」

〔社会的・経済的意義〕の点について、本業務の成果の必要性を示す。

衛星測位が社会的なインフラになっており、陸海空の様々な移動体プラットフォームに対して GNSS の位置の信頼度が求められる時代に確実に入っている。GNSS と他センサの統合が必須であり、新たな脅威も出現（欺瞞、干渉）している。スプーフィング対策の緊急性に関しては、スイス連邦運輸省民間航空局の報告によると、2023 年の GPS の誤動作が 2100 件を超え、昨年からも 55%増と急増している。このように社会的インフラのコア技術となっている衛星測位分野において、受信機の中身の理解が必須である。受信機の中身の動作がわからないソフトウェアを高安全・高信頼のアプリケーションに利用することは避けるべきであり、国内に基盤技術を確認することが急務である。高安全・高信頼のアプリケーションにおいて、何か問題があったときに、ソフトウェアの中身がブラックボックスであることはあってはならない。また、宇宙開発へ民間企業の参入が本格化しており、低軌道測位衛星（米国、中国）が注目されている。日本でも JAXA とアークエッジ・スペース社が Feasibility Study を開始しており、LEO 衛星用の受信機は本業務で開発したソフトウェアをベースに開発することができる。実際に、発展的課題において、学生が既存の LEO 通信衛星のソフトウェア受信機を開発した。以上より、本業務の成果は社会的・経済的意義があるといえる。

〔若手研究者の育成〕の点について、本業務の成果の必要性を示す。

中間報告でのコメントにあったように、本業務では若手研究者を学生だけでなく、企業の若手エンジニアを対象とした。また昨今のソフトウェアにやや偏った人材育成ではなく、ハードウェアまで含めた教材づくり、セミナー等を実施した。ソフトとハードの両方のわかる、また扱える人材が衛星測位分野では求められており、本業務の成果として、そのような人材を輩出することを教員らは一番の目標としていた。衛星測位を本業とする国内の企業において、本分野の人材が少ないことは周知の事実であった。その意味において、大学からは衛星測位の研究開発を行っている企業へ、少なくとも、大阪公立大、立命館大、東京海洋大学、千葉大学より就職した。さらに企業の若手エンジニアの再教育を実施することで、参加者のソフトとハード両面でのレベルを確実に向上させることができた。1つの例として、本業務で開発及びセミナーを実施した、廉価なフロントエンドは複数の企業の関心が高く、それら企業内において、研究開発業務で利用頂いている。さらには、企業で販売するところまでしている。最後に国際的にみて、衛星測位分野は、欧米だけでなく、特に中国と比較すると日本の競争力が低下している分野であった。例として衛星測位で最大の国際学会である米国航法学会での発表論文数は、2024 年度で、325 件中、日本は 18 件であり、2023、2024 年度は本課題に参加していた学生が論文発表を行うことができた。以上より、本業務の成果は、若手

研究者の育成の必要性があったといえる。

「有効性」

〔研究開発の質の向上〕の観点で、有効性が十分であったことを示す。

これまでの衛星測位分野での研究開発は、JAXA でスペースセグメント側、企業でコントロールセグメント側を担当しており、ユーザセグメント側の研究開発は企業の競争にゆだねられており、上述の通り、日本の競争力が低下していた。特に高精度測位用の廉価な GNSS 受信機は明らかに海外製品が多くを占めるようになった。また、国内大学での本分野の教育に目を向けると、受信機後半部である測位演算部について議論されることが多く、受信機の信号処理部について学会等で議論される場面が非常に少なかった。この信号処理部分は、近未来の干渉・欺瞞信号対策や、高安全・高信頼受信機の研究開発において、必ず必要な知識であり、後半部の測位演算だけでは、研究開発の幅が非常に狭くなる。例として、干渉・欺瞞信号の実験において、本業務で実施した GNSS シミュレータの理解と信号処理部での理解は必須である。また、低軌道衛星の新しい信号を測位に利用する際にも、信号処理分の理解が必須である。中間報告でのコメントに、本業務は衛星測位だけでなく、衛星通信にも利用できる内容も含んでいるとあり、ソフトウェア受信機から見ると、測位衛星も通信衛星も共通の部分はたしかに多い。その意味において、本業務での取り組みは、研究開発の質を向上させるものであり、教員が最初に本公募に申請しようとした際の目的であった。本業務で準備した GNSS シミュレータのソフトは Github で公開中のもので、月平均で 1500 ビジター、100 クローンのアクセスがある。本業務で準備したツールが、どれだけ有効なツールとして利用されているのか、定量的な指標になる。以上より、〔研究開発の質の向上〕の観点で、本業務が有効であったといえる。

〔人材の養成〕の観点で、有効性が十分であったことを示す。

本業務は、宇宙航空人材育成プログラムであり、衛星測位分野の中身のわかる若手人材の養成を目的としていた。本業務において実施した、複数回のセミナーや実習すべてにおいて、必ず参加者からのアンケートと、参加者の指導教員または上司のコメントを得ていた。その中で本人材育成プログラムに対する評価に問題があると回答した方は 0 であり、30 名のうち 25 名程度は大いに役にたったという趣旨であった。中間報告でのコメントに、本業務は学生だけでなく企業の方からの関心も高いとあった。まさにご指摘の通りであり、実際にセミナーに参加した 30 名のうち、6 割は企業からの若手エンジニアであった。以上より、〔人材の養成〕の観点で、本業務が有効であったといえる。

「効率性」

〔計画・実施体制の妥当性〕の観点で、本業務の効率性の高さを説明できる。

中間報告において、本業務の効率性の明確化等のコメントはなかった。本業務での実施体制において、セミナーで利用するソフトウェア GNSS 受信機や GNSS シミュレータの実習について、すでにその分野で、Github 等でオープンソース化を経験している教員らが参加しており、その開発者が本業務の実施機関であるため外注などの新規開発が不要であった。これは極めて重要であり、講義を受ける側にとって、講義や実習を担当する側が、その分野でレベルが高いかどうかは確実に求められる。また、数十万円から 100 万円オーダーであるプラットフォーム（特にフロントエンド）を、本プロジェクトではオープンソースのフロントエンドを自前で製造することで、1 台数万円程度に費用を抑え、参加者や希望する研究機関に貸し出せるよう 20 台準備できた。GNSS シミュレータに関しても同様で、市販品では 1 千万円以上していますが、本業務ではソフトウェア無線技術を用いることで、数万円程度のソフトウェア無線デバイスで実現している点も費用対効果が高い点である。

実施計画において、3 年間で教材の準備、教材を利用した講義・実習、発展的課題への移行とコンテストを実施することとしていた。初年度は正味 4 か月で準備をする必要があり、本講義を担当するための経験のある講師陣を選定していたため短期間で新たに準備できた。2 年目にソフトウェア GNSS 受信機を理解するためのセミナーとアンテナの計測を実施しており、最終年度の発展的課題を同じタイミングで実施することは、受講者にとって不可能であるので、妥当な計画であったと考える。

（２）成果

「アウトプット」

本業務で得た成果と意義について、育成した人材像・育成を行った人数・開発した教育教材、教育プログラム数、アンケート結果等の観点を踏まえて以下に説明した。

衛星測位分野で、中身のわかる人材を 30 名以上輩出することができた。その中には企業の若手も含まれており、その流れで複数の企業と共同研究へ発展できたことは意義がある。本業務で共同研究先の企業の若手人材の能力が高められたことで、従来の共同研究では、大学側が主に任されていた内容を、企業側でも担当できるようになり、お互いの相乗効果を生む素地ができた。これは本業務で目指した人材像そのものであり、中身のわかる人材がいることで、共同研究の成果として、より高い目標を設定できるようになった。

少数ではあるが、本セミナーに参加した学生らが、衛星測位関連の中核企業（実際にその研究開発部署）に就職した。今年度の共同研究で、就職した学生と打ち合わせを行う機会があり、低軌道衛星の測位への応用についての課題で、ソフトウェア GNSS 受信機の利用が必須となった。なお本セミナーに参加した学生のうち、衛星測位関連の中核企業に就職し、実際にその業務に携わっている方の数は、5 名以上いることを確認済みである。

本課題で準備した教材は、15 コマ 90 分の講義資料とソフトウェア GNSS 受信機のソースプログラム及び実行プログラム（MATLAB ベース）である。またプラットフォームとして、複数のフロントエンドを準備し、FPGA 用の入門教材を準備した。本セミナーの機材は、2024 年度に東京海洋大学で開講した大学院生向けの衛星航法工学の授業で利用している。汎用性が高く企業の方にも好評で

あったフロントエンドの1つである PocketSDR については、関係者が業務終了後も開発改善をしており、以前課題であった事象を改良したバージョンを Github 上にソフトウェアとともに公開している。

発展的課題に多くの学生や企業の若手の方が参加できた。特に干渉・欺瞞対策や LE0 測位及び高精度測位に関連するテーマを現在も継続しており、今後の発展が期待される。本業務で実施したセミナーや実習、コンテストにおいて、必ず参加者全員よりアンケートを収集した。9 割以上の参加者より参加して大変良かったという Positive な回答を頂いた。アンケートだけでなく、参加者のフォローもかねて、指導教員または企業の上司に相当する方より実施前後での面談を頂いた。例として、12 名の学生の面談評価について、2022 年度のセミナーでの平均値は 4.2 (5 が大変よい、4 が良好、3 が標準的に達成) であった。18 名の企業の方の面談評価について、2022 年度のセミナーでの平均値は 4.3 (5 が大変よい、4 が良好、3 が標準的に達成) であった。全ての参加者の面談結果は 3 以上であった。

「アウトカム」 (令和 6 年 10 月末時点)

アウトカムズとして、本業務の紹介や本業務で得た成果をもとに学会発表等を行った。本業務に関連する査読付き投稿論文は国内で 4 件、研究発表は国内で 24 件、国際学会で 6 件となった。また、Unisec や測位航法学会及び内閣府の準天頂衛星の広報の方向けの取材対応を実施した。提案時は、セミナーの実施やコンテストで手一杯で、発展的課題に取り組める方は少ないと考えていたが、予想していたよりも多くの方が学会発表を実施することができた。これは、参加した学生や企業の若手エンジニアだけでなく、本課題で開発したプラットフォームを利用して、他大学の先生らも研究開発を進めて頂き、その成果を発表してくれた部分が大きい。これまで国内の衛星測位関連の大学に所属する研究者は、おおよそ把握できていたが、本課題のおかげで、より密に連携することでお互いの成果を知る機会を増やすことができた。また、本プログラムで作成した教材の一部 (ソフトウェア GNSS 受信機と GNSS シミュレータ) が、測位航法学会がこの夏に開催した Summer School on GNSS で利用された。国際的なサマースクールであり、海外からの参加人数は今年度オンラインであったこともあり 100 名程度であった。このような国際的な発展を想定して、講義資料は英語で作成することにした。

(3) 今後の展望

衛星測位を取り巻く状況が大きく変化しており、特にジャミングやスプーフィングに対する対処方法が問われている。また、移動体プラットフォームの自動化への社会変革に伴い、衛星測位による高精度位置決定への期待は高まっている。このような背景のもと、本成果とりわけ人材の輩出は極めて重要であり、一定数の参加を達成したことで、その期待には応えることができた。

本成果の一部である 15 コマ分の教材について、海洋大で大学院向けの衛星航法工学という授業を 2023 年度に開講し、継続して講義の機会を設けている。今回参加した教員が海洋大で講義のできる体制を整える (非常勤講師の申請)。海洋大、大阪公立大、立命館大学からの複数の参加者は、衛星測位の中核となる企業へ就職した。また企業の若手エンジニアに対して、受信機のコア技術を知って頂くことで、様々な分野でその知見を活かして頂ける。本成果で得たソフトウェア GNSS 受

信機のプラットフォームは、大学の研究機関だけでなく、少なくとも5社程度の衛星測位中核企業で利活用頂いている。今後は、測位航法学会や測位技術振興会のワーキンググループにおいて、本成果を転用しつつ、継続的な研究開発が実施される（高精度測位部会を立ち上げ、現在は干渉・欺瞞信号分野で活動）。さらに、各教員らがそれぞれの分野の企業と共同研究を継続することで、本成果を利用する。

判明した課題と今後の計画

課題に取り組む中で、屋外の測位だけでなく屋内外含めた測位の必要性に改めて気づいた。我々のグループだけでは対処できない領域（研究分野）もあり、次の50年（GPSが50年の歴史を経た現在）を見据えた測位拠点の構築を考える必要があり、屋内測位を含めた新しい大学の研究室と連携し、JAXA 基金（SX 拠点）へ応募した。その中で中核となる教員を東京海洋大学へ招聘する形態とした。そこにはLEO 測位や地上系測位も含まれる。上述の基金は競争率が非常に高く、採択可能性は低い。そのため、別途 SSIL（宇宙サーブिसイノベーションラボ事業協同組合）に参画している大学や企業の方々と国内の測位拠点として発展させるべく、別の競争的資金への申請について準備を進めている。

ジャミング・スプーフィング対策はまったなしの状況である。本成果が確実に活かせる分野であり、ノルウエーのジャミングテストへの参加も含めて、研究開発だけでなく、市販受信機の耐性評価やハンドブックの作成など、貢献する必要がある。ノルウエーのジャミングテストを実施している国立大学へ2024年度に研究室の学生1名を2か月間派遣中で、ジャミングテストでの貴重なデータを頂くことができた。

本課題への参画者の協力もあり、ソフトウェア GNSS 受信機のプラットフォームの改良が継続している。市販受信機と同じレベルの評価ができる体制が整いつつあるので、新たな学生と市販受信機と同等のプラットフォームを開発し、日本の衛星測位人材の基礎力を確実に向上させたい。

8. 評価点

S

評価を以下の5段階評価とする。

S) 優れた成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に著しく貢献した。

A) 相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献した。

B) 相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献しているが、一部の成果は得られておらず、その合理的な理由が説明されていない。

C) 一部の成果を挙げているが、宇宙航空利用の明確な促進につながっていない。

D) 成果はほとんど得られていない。

9. 評価理由

経済安全保障、宇宙探査ミッション、低軌道商業化等の宇宙がかかわる社会活動が大きく拡大し、社会基盤としてさらに重要度が増す衛星測位に関して、日々革新されている衛星測位技術は重要である。特に技術者が少ない測位前段部分の受信機の信号処理に焦点をあて、その利用に係る先進的な人材を育成しようとする価値のある取り組みである。

教材として講義資料、ソフトウェア受信機、受信機プラットフォーム（リアルタイム化とFPGA化

に向けた将来の教育用)が作成され、一部の受講者は教材を利用したセミナーやコンテストにも参加し、発展的な学習を行うなど、実習も交えながら衛星測位はもちろん、宇宙通信も含めた送受信機の設計とその利用(アプリ開発等)など関連する根幹技術を深く理解し、その課題解決能力を備えさせるという、新たな視点の教育プログラムの開発を成し遂げた。

また、数名の学生が衛星測位関連の中核企業も含めた企業への就職していることや、プログラムで学んだ受講生がすでに活躍するなど、学生の育成に対して具体的な成果があがっており、達成状況は極めて良好である。また、今後の基盤が作られた点や、企業のメンバーを半数以上交えて社会にダイレクトに届く教育を行った点なども高く評価される。

以上により、本課題は、優れた成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に著しく貢献したと認められる。

今後は、以下の点が期待される。

- 現在も継続しているジャミング対策や低軌道測位に関連するテーマを引き続き取り組むことにより、海外も含めてさらなる人材育成が発展することを期待する。
- 育成した人材に関して、就活/就職や進学、その後の活躍状況を具体的な項目に分けて定量的にモニタリングし、社会にとって真に有効な人材が育成されたかを報告することを期待する。
- コンテスト参加者数を増加させるための改善、費用対効果の検討、継続資金と体制の確保を行い、さらなる普及、裾野拡大等、社会に効果を生むプログラムとしていくことを期待する。
- 教育を維持・継続・発展し、日本の衛星測位の利用向上をリードしていくことを期待する。
- 海外でも注目されているようなので、この機会を活用して受講生特に学生に海外文化を経験する場を提供することを期待する。