

令和 4 年度地球観測技術等調査研究委託事業
「高大連携宇宙 AI コンペティションを通じた
「インテリジェント宇宙機」開発人材の育成」
委託業務成果報告書

令和 5 年 5 月
金沢大学

本報告書は、文部科学省の地球観測技術等調査研究委託事業による委託業務として、金沢大学が実施した令和4年度「高大連携宇宙 AI コンペティションを通した「インテリジェント宇宙機」開発人材の育成」の成果を取りまとめたものです。

目次

1	はじめに.....	1
1.1	委託業務の目的.....	1
1.2	業務の方法.....	1
1.3	当該年度における委託業務の結果概要.....	2
2	実施内容.....	4
2.1	データ解析ワークショップの開催.....	4
2.1.1	解析環境構築.....	4
2.1.2	特別講義・WS 開講.....	9
2.2	オンボード AI を搭載する「AI 教育用衛星システム」の設計実習.....	25
2.2.1	衛星システム設計実習.....	25
2.2.2	オンボード AI-OBC 設計実習.....	28
2.3	自発的な研究活動等.....	29
3	まとめ.....	30
4	添付資料.....	31

1 はじめに

1.1 委託業務の目的

本業務の目的は、来る Society 5.0 時代における宇宙機運用の形として「オンボード AI による自律運用」をテーマに挙げ、それを実現するための技術を備えた人材を「高大連携宇宙 AI コンペティション」によって発掘・育成することである。大学や民間による超小型衛星開発や衛星コンステレーション実現の動向を踏まえると、マンパワーに頼った古来の衛星運用の形態にはいずれ限界が訪れる可能性がある。人工知能(AI)は、衛星運用が抱えるこれらの課題を解決する手段となり得るが、宇宙科学の難解さや専門性の高さに加え、衛星運用・観測データのオープン化が遅れていることから、AI 技術の応用先としては黎明期である。本業務では、金沢大学が所有する過去 30 年間分の衛星運用・観測データを活用したコンペティションを開催し、情報分野を得意とする高校生～大学院生から潜在的な宇宙 AI 人材を発掘する。また、大学院生による「AI 教育用衛星システム」の開発と連動することで、自身のモデルで宇宙機を制御する経験を通し、宇宙への興味と関心を引き出す。

1.2 業務の方法

令和4年度における実施内容は、以下の通りである。

①データ解析ワークショップの開催

a. 解析環境構築

金沢大学が保有する宇宙ビッグデータを遠隔利用するためのデータ公開・解析環境構築を行う。「あらせ衛星」や「あけぼの衛星」などの科学観測データをワークショップ参加者がインターネット経由で利用できるよう、データ公開の仕組みを構築する。一般に公開されている地球観測データについても利用できる体制を整備する。また、AI モデリングを行うための GPU ワークステーション環境を、業務参加者やワークショップ参加者が利用できるように整備する。

b. 特別講義・WS 開講

AI コンペティション参加の準備段階として、SSH 生や高専生を対象とした宇宙理工学と AI 研究に関する特別講義と、宇宙ビッグデータを用いた解析ワークショップを開催する。具体的には、宇宙理工学への興味を引き出す教育素材や、最新の機械学習応用について理解できる資料を作成するとともに、ワークショップでは各回 20 名程度の参加者を集め、金沢大学・福井大学・石川高専の教員によるレクチャーの下で、実際の衛星データを用いた実践的な AI 学習/推論を体験し、自由な発想に基づく課題設定を参加者自身がを行い、結果をレポートとしてまとめる。

②オンボード AI を搭載する「AI 教育用衛星システム」の設計実習

a. 衛星システム設計実習

オンボード AI を実現するオンボード AI-OBC の動作試験・評価を行うための、超小型衛星を模擬した「AI 教育用衛星システム」の設計を、金沢大学の大学院生を中心として行う。オンボード AI-OBC を中枢として、オンボード AI の入力データ源となり得る、科学観測装置やカメラ等の入力デバイス、バス部機能に関わるセンサ類等の構成を検討する。

b. オンボード AI-OBC 設計実習

金沢大学および福井大学の大学院生を中心として、オンボード AI を動作させるハードウェアとして「動的再構成プロセッサ(DRP)」を搭載したオンボードコンピュータ(AI-OBC)を、協力企業との共同研究を通じて設計する。AI-OBC 上に任意の AI モデルを実装し、バス部センサからの入力を用いて学習・推論を行うことができるシステムを目指す。設計にあたっては、研究代表者と宇宙機組込みシステムの共同開発経験がある宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所(JAXA/ISAS) 高島健教授との連携を図る。大学院生が主体的に協力企業・機関とのやり取りを行うことで、AI ハードウェア開発を通じた機器開発の機会を提供する。

③自発的な研究活動等

自発的な研究活動等に関する実施方針に基づき、所属機関が認めた範囲で自発的な研究活動等を推進する。

1.3 当該年度における委託業務の結果概要

令和4年度における業務の結果概要は、以下の通りである。

①データ解析ワークショップの開催

a. 解析環境構築

金沢大学が保有する宇宙ビッグデータを遠隔利用するためのデータ公開・解析環境構築を行った。「あらせ衛星」や「あけぼの衛星」などの科学観測データをワークショップ参加者がインターネット経由で利用できるよう、データ公開の仕組みを構築した。一般に公開されている地球観測データについても利用できる体制を整備した。また、AI モデリングを行うための GPU ワークステーション環境を、業務参加者やワークショップ参加者が利用できるように整備した。

b. 特別講義・WS 開講

AI コンペティション参加の準備段階として、SSH 生や高専生を対象とした宇宙理工学と AI 研究に関する特別講義と、宇宙ビッグデータを用いた解析ワークショップを開催した。具体的には、宇宙理工学への興味を引き出す教育素材や、最新の機械学習応用について理解できる資料を作成したとともに、ワークショップでは 61 名の参加者を集め、金沢大学・福井大学・石川高専の教員によるレクチャーの下で、実際の衛星データを用いた実践的な AI 学習/推論を体験し、自由な発想に基づく課題設定を参加者自身が行い、結果をレポートとしてまとめた。

②オンボード AI を搭載する「AI 教育用衛星システム」の設計実習

a. 衛星システム設計実習

オンボード AI を実現するオンボード AI-OBC の動作試験・評価を行うための、超小型衛星を模擬した「AI 教育用衛星システム」の設計を、金沢大学の大学院生を中心として行った。オンボード AI-OBC を中枢として、オンボード AI の入力データ源となり得る、科学観測装置やカメラ等の入力デバイス、バス部機能に関わるセンサ類等の構成を検討した。

b. オンボード AI-OBC 設計実習

金沢大学および福井大学の大学院生を中心として、オンボード AI を動作させるハードウェアとして「動的再構成プロセッサ(DRP)」を搭載したオンボードコンピュータ(AI-OBC)を、協力企業との共同研究を通じて設計した。AI-OBC 上に任意の AI モデルを実装し、バス部センサからの入力を用いて学習・推論を行うことができるシステムを目指した。設計にあたっては、研究代表者と宇宙機組込みシステムの共同開発経験がある宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所(JAXA/ISAS) 高島健教授との連携を図った。大学院生が主体的に協力企業・機関とのやり取りを行うことで、AI ハードウェア開発を通じた機器開発の機会を提供した。

③自発的な研究活動等

自発的な研究活動等に関する実施方針に基づき、所属機関が認めた範囲で自発的な研究活動等を推進した。

2 実施内容

本研究チームを構成するメンバは、科学衛星を用いた宇宙からの多種多様な観測や、地上に設置した光学装置等によるリモートセンシングなどを、30 年以上に渡って実施してきた。本研究課題では、これらの宇宙ビッグデータを活用したデータ解析ワークショップおよびコンペティションの開催を通じて宇宙ビッグデータを活用できる人材の育成を目指すとともに、オンボード AI 推論を実現するための次世代オンボードコンピュータ(AI-OBC)の開発を大学生・大学院生と共に行い、将来の超小型衛星ミッションのインテリジェント化に貢献する。本委託業務の実施スケジュール(実績)を表 1 に示し、個々の実施項目について 2.1 および 2.2 で述べる。

表 1 本委託業務の実施スケジュール(実績)

実施項目	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
令和 4 年度												
① データ解析ワークショップの開催 (2.1)												
a. 解析環境構築 (2.1.1)												
環境構築準備・実装作業												
解析環境保守作業												
AI-STEP Portal 運用開始												
Web ページ・パンフレット公開												
AI-STEP Portal 保守作業												
Web ページ保守作業												
b. 特別講義・WS 開講 (2.1.2)												
AI-STEP 特別講義教材準備												
AI-STEP 特別講義開講開始												
AI-STEP ワークショップ準備												
第 1 回 AI-STEP ワークショップ開催												
第 2 回 AI-STEP ワークショップ開催												
② オンボード AI を搭載する「AI 教育用衛星システム」の設計実習 (2.2)												
a. 衛星システム設計実習 (2.2.1)												
衛星システム概念設計												
シミュレーションツールの開発												
b. オンボード AI-OBC 設計実習 (2.2.2)												
要求仕様の検討												
機械設計・基板および回路設計												

2.1 データ解析ワークショップの開催

2.1.1 解析環境構築

ここではデータ解析ワークショップで用いる宇宙ビッグデータを公開するとともに、後述する特別講義をオンライン受講するための学習ポータルサイト「AI-STEP Portal」(図 1)を構築し、令和 4 年 12 月 20 日に一般公開した。AI-STEP は本事業の一般呼称として定めたものであり、「AI×Space Technology Education Program (AI×宇宙技術教育プログラム)」の頭文字を取ったものである。場所や時間を問わず学習リソースにアクセスできるよう、オープンソースの LMS(学習管理システム)をベースとした学習ポータルサイトを Web サーバ上に構築し、ここからワークショップで用いるデータセットへのアクセスを可能とするとともに、Python で記述された機械学習モデ

ルのひな型を展開することを可能とした。また、参加者の学習の進捗状況管理や理解度チェックなどを一元的に AI-STEP Portal 上で実施できるため、本研究課題で実施する特別講義・ワークショップ・コンペティションの中核としての機能を担うことができる。参加者からの技術的問合せやプログラミング技法に関する質疑応答をオンライン上で実現するためのフォーラムを AI-STEP Portal 内に実現し、プログラミングや AI 学習の初学者の躓きを防ぐことができる。AI-STEP Portal で配布する機械学習モデルのひな型は、Google が提供する Google Colaboratory でデータのダウンロードから実行までをシームレスに実施できるようにし、基礎的なコンピュータ操作のみで宇宙ビッグデータを分類する AI モデリングを体験することを可能とした。また、金沢大学が保有する GPU ワークステーションを Secure Shell による暗号化通信により遠隔地から利用できるよう整備し、業務参加者がデータ解析ワークショップに向けた AI モデル検討を行うことや、ワークショップ参加者がより高度な AI モデル学習や推論を行うことを可能とした。

本システムの公開に合わせ、参加者を募るための広報用パンフレットおよびポスター(図 2、図 3)を制作し、金沢大学・福井大学・石川工業高等専門学校の他に、北陸地域のスーパーサイエンスハイスクールおよびその認定校を中心に配布した。また、AI-STEP Portal へのアプローチとして本事業を紹介する Web ページ(図 4)を製作し、令和 4 年 12 月 20 日に一般公開した。AI-STEP Portal および Web ページの一般公開から本事業期間終了までの約 3 か月間で、13 の教育機関から計 130 名(スタッフ・引率教員等は除く)のユーザー登録があった。参加者の内訳は表 2 に示す。

表 2 AI-STEP Portal の登録者内訳(令和 4 年度)

学年	登録人数(名)
高校・高専本科 1 年	37
高校・高専本科 2 年	22
高校・高専本科 3 年	6
大学 1 年・高専本科 4 年	5
大学 2 年・高専本科 5 年	7
大学 3 年・高専専攻科 1 年	35
大学 4 年・高専専攻科 2 年	8
大学院 修士課程(博士前期課程) 1 年	5
大学院 修士課程(博士前期課程) 2 年	3
大学院 博士課程(博士後期課程) 1 年	1
大学院 博士課程(博士後期課程) 2 年	1
大学院 博士課程(博士後期課程) 3 年	0
計	130

構築した解析環境や AI-STEP Portal、Web ページの運用開始後は、定期的に発生するメンテナンス作業や障害対応等の保守を実施し、安定的なサービス提供に努めた。



図 1 AI-STEP Portal のトップページ

金沢大学・福井大学・石川高専主催

参加
無料

AI × 宇宙技術教育プログラム AI-STEP

AI × Space Technology Education Program

2023 年
1 月頃より

AI と宇宙を学ぶ AI-STEP 特別講義



「最近よく聞く AI って何だろう?」「宇宙と AI にはどんな関わりがあるの?」
みなさんの疑問を、宇宙と AI の専門家が解説します。

2023 年
1 ~ 3 月頃

AI を作ってみよう! AI-STEP ワークショップ



AI を作るなんて難しそう ...
そんなことはありません!
みなさんと一緒に、たった
1 日で AI を作ってみよう!

2023 年
3 月頃より

AI でトップを目指せ! AI-STEP コンペティション



宇宙のビッグデータから
大発見ができるかも! ?
みなさんが作った
AI の性能を競おう!

豪華副賞あります!

受講認定証

以下の要件を満たした方に受講認定証を発行

宇宙 AI エンジニア (基礎): 「AI-STEP 特別講義・ワークショップ・コンペティション」を全て修了
宇宙 AI エンジニア (応用): 「AI-STEP コンペティション」で優れた AI モデルを提案

参加資格

以下の要件をすべて満たす方

- 高校・高専・大学・大学院に在籍する生徒・学生
- インターネット接続可能なパソコンが利用可能
(高校・高専の団体参加についてもお問い合わせください)

詳しい情報や参加登録は Web サイトから!
<https://ai-step.ec.t.kanazawa-u.ac.jp>

AI-STEP 金沢

検索



AIX 宇宙技術教育プログラム「AI-STEP」事務局

メールでのお問い合わせ: info@ai-step.ec.t.kanazawa-u.ac.jp
電話でのお問い合わせ: 076-234-4874 (代表: 松田)



図 2 AI-STEP パンフレット(表)

2023 年
1 月頃より

宇宙と AI を学ぶ AI-STEP 特別講義

AI（人工知能）技術は、車の自動運転やお掃除ロボット、顔認証や音声認識など、日常の様々な場所で活用されています。最近では、火星や月に降り立つローバーや、宇宙で得られた大量の科学観測データ（宇宙ビッグデータ）の解析にも AI が応用されています。「AI-STEP 特別講義」では、宇宙や AI に初めて触れる方にオンデマンド講義を開講し、「AI とは何か？」から「AI 時代の最先端の宇宙探査」までを分かりやすく紹介します。

開催形式：オンデマンド配信（いつでも視聴可能）

2023 年
1～3 月頃

AI を作ってみよう！ AI-STEP ワークショップ

AI はプログラミングが得意な人しか作れないと思っていませんか？実はほんのわずかなことさえ覚えれば、あっという間に AI を作れてしまいます！「AI-STEP ワークショップ」では、金沢大学・福井大学・石川高専の AI・宇宙の専門家と一緒に、AI を作る体験ができます。宇宙の人工衛星が観測した宇宙ビッグデータを題材に、あっと驚くような AI を作ってみましょう！

開催形式：金沢大学・福井大学・石川高専での対面開催、またはオンライン参加（1 日間）

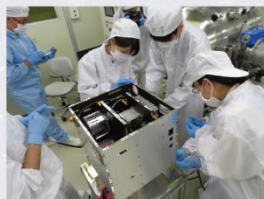
2023 年
3 月頃より

AI でトップを目指せ！ AI-STEP コンペティション

宇宙では、なんと約 8000 機もの人工衛星が活躍しています。お天気コーナーでお馴染みの「ひまわり」に代表される、地球の気候・地形を観測する実用衛星や、ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡のように遠い天体の姿を視る科学衛星など、用途やデータの種類は様々です。「AI-STEP コンペティション」では、人工衛星などが実際に観測した宇宙ビッグデータを用いて、データ分類や隠れた知識を発見する AI を開発し、その性能を競技形式で競います。競技はオンライン形式で、1～2 か月程度の期間に何度でも挑戦できます。

開催形式：自宅や学校からのオンライン参加（いつでも参加可能）

AI-STEP コンペティションに参加した方には、金沢大学先端宇宙理工学研究センターの衛星開発室見学ツアーや、AI を人工衛星に搭載する体験も！



金沢大学 理工研究域 先端宇宙理工学研究センター

特別協賛企業



シマフジ電機株式会社

図 3 AI-STEP パンフレット(裏)



図 4 AI-STEP ホームページ(抜粋)

2.1.2 特別講義・WS 開講

データ解析ワークショップの開催に先立ち、宇宙ビッグデータの性質や取り扱い方、AI モデリングの基礎を学ぶためのオンデマンド学習教材 4 編(AI-STEP 導入編:約 7 分、宇宙編:約 40 分、AI 編第 1 回:約 52 分、AI 編第 2 回:約 62 分)を製作し、2.1.1 で構築した AI-STEP Portal 上に公開した(図 5、図 6、図 7、図 8)。宇宙編では「宇宙利用」と「宇宙科学」の両側面から観測の仕組みや課題点などを紹介するとともに、一般には馴染みが少ない「宇宙ビッグデータ」の触れ方や活用方法について初学者向けに解説する内容とした。AI 編では機械学習初学者に向けて、機械で学習・推論する仕組みを分かりやすく紹介することに注力し、特に AI のアプリケーション(応用)を目指す人材の教育を目指した。

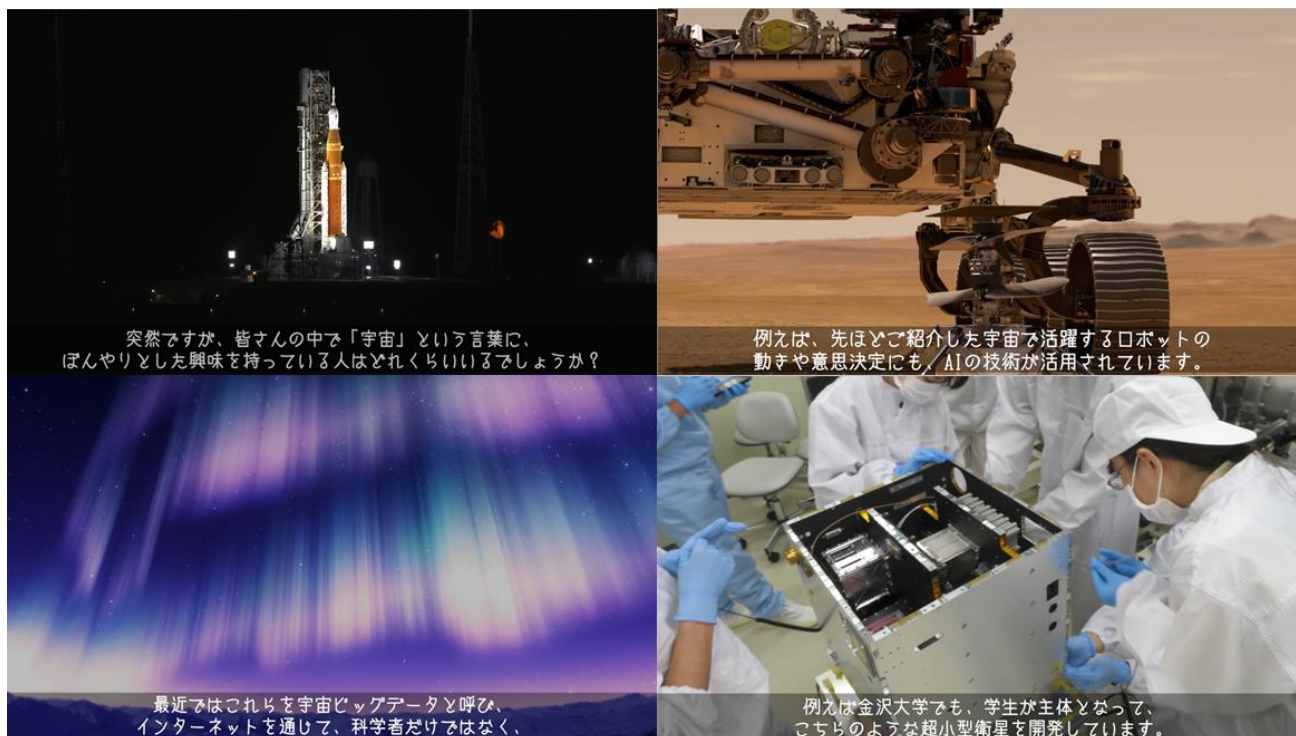


図 5 AI-STEP 導入編のシーン(抜粋)



図 6 AI-STEP 特別講義「宇宙編」のシーン(抜粋)

機械が学習するとは

What is machine learning

議論に決着がついていないが、**人間の行うような知的処理を機械が実現すること**と、一般には解釈されている。

→**話せる機械も将棋に特化した機械も全部AI**

ただし、アトムのような汎用的AIはまだ実現の目処が立たない

人工知能 (Artificial Intelligence; AI) という用語は、1956年のダートマス会議にて、ジョン・マッカーシーが初めて用いたとされている。

機械学習の大分類

Category of machine learning

教師あり学習

Supervised learning

各学習データに**正解 (教師データ)**を与え、その規則性を学習する手法

具体例

- 画像に写っている被写体の自動分類
- メールの内容からスパムメールか自動分類

現在のMLシステムの大部分は教師あり学習

教師あり学習の基礎

Foundation knowledge of supervised learning

ルールベースの場合

≠ 機械学習

特徴抽出: 機械学習の前処理であり、入力となる実世界の情報から分類に有益な特徴量を抽出する処理全般を指す。

教師あり学習の基礎

Foundation knowledge of supervised learning

データ準備: 顧客がAI開発に必要なデータを準備する。

データの準備は非常に重要

図 7 AI-STEP 特別講義「AI 編第 1 回」のシーン(抜粋)

機械学習から深層学習へ

From machine learning to deep learning

機械学習

- 特徴抽出を人間が簡単に実装できる場合、深層学習より容易に実現可能なことがある。
- 十分に訓練された深層学習よりも推定精度が劣る場合が多い (訓練データが大量ならば深層学習が勝利しがち)。

人間が有益な特徴を抽出

深層学習

- 特徴抽出が自動なので、プログラミングできない人でもデータさえ準備すればモデルを開発できる。
- 学習しなければならない知識が多いので、訓練に大量のデータが必要になる。

パーセプトロン

Perceptron

パーセプトロンの訓練

- 適当な乱数で w を初期化
- 訓練サンプルごとに重みを更新
 - 予測値 $\hat{y}$ を算出
 - 残差 $(y - \hat{y})$ に応じて重み w を更新
 $\Delta w = \eta (y - \hat{y}) x$ (η は学習率=どれだけ重みを更新するか)
2. の過程を何度か繰返し実施

予測結果 $\hat{y} = \phi(x \cdot w)$ が正解ラベル y とずれていたら w を少し更新すると最終的に良いところと止まる

パーセプトロン

Perceptron

線形分離可能

一本の直線で分離できる問題
一般化: n 次元空間上の2つの点集合を $n-1$ 次元の超平面で分離可能

線形分離不可能

一本の直線で分離できない問題
よくある例としては上記のようなXOR分類問題

ニューラルネットワーク

Neural Network

パーセプトロンをベースに、これを多段に拡張したものを**多層パーセプトロン (MLP: Multi Layer Perceptron)**や、**ニューラルネットワーク**と呼ぶ。

これで一つのPerceptron $z_1 = \phi(x \cdot w_{11})$

各ユニットで活性化関数 ϕ が使われるように!

図 8 AI-STEP 特別講義「AI 編第 2 回」のシーン(抜粋)

各講義の受講前後には、興味や理解度を測るアンケート調査を実施し、特別講義受講による教育効果を評価した。図 9 は、AI 編第 1 回の受講前後に実施した理解度に関するアンケート調査の結果(抜粋)であり、5 段階評価で下位から順に 1-5 点で数値化し平均値を求めた結果を表 3 に示す。ここから全項目の結果が有意に向上しており、特に AI の仕組みや応用に関する理解度(Q3、Q4、Q5)の大幅な向上が認められた。また図 10 は本事業で製作・公開した講義資料に関するアンケート結果である。94%以上の受講者から「やや良い(5 段階中の 4)」または「良い(5 段階中の 5)」の回答が得られ、また 57%以上の受講者から講義のレベル設定が「適切(5 段階中の 3)」であるとの回答が得られた。特に講義内容が「難しい(5 段階中の 1)」と回答した受講者は 0 名であり、初学者でも障壁無く宇宙ビッグデータを用いた AI モデリングに取り組めることを目指した本取り組みが期待通りの結果を示したことが分かる。

興味や理解度を測るアンケート調査の実施に合わせて自由記述形式で受講者の感想を収集した。以下はその抜粋であり、いずれの特別講義でも受講者の興味の引き出しやさらなる探求を後押しする効果が得られたと考えられる。

宇宙編

- 衛星には最先端のコンピュータが搭載されていると思っていたので、20 年前ほどの性能と知って驚いた。宇宙は遠い世界と思っていたけれどデータが広く公開されていて研究の門口が開かれていることを知って、少し宇宙が近く感じた。
- 宇宙のデータはオープンデータから得ることができると知り、いつか利活用してみたいと思った。
- オンボードインテリジェンスのところで、有用なデータを分類することがいかに重要かわかりました。
- 宇宙のデータは、現代の社会で欠かせないもので、あり宇宙科学を調べるための必要となっていることがわかりました。この機会が無ければあまり関わらなかったと思うので、受講できてよかったです。

AI 編(第 1 回)

- 教師あり学習、教師なし学習は講義を受ける前からある程度理解していたが強化学習はあまり知らなかったため強化学習についてもっと知りたいと思った。
- AI についての解説がされている本は難解なものが多いなかとても分かりやすかったです。
- 実際に扱われている AI の活用事例がとても勉強になりました。また、自分の得ていた知識が若干違うことにも気づけました。
- じゃんけんを例にした動画で、自分で簡単にものを判別するコンピュータを作ることができるのがすごかったです。

AI 編(第 2 回)

- 具体的なモデル構造を知ることができて、とても理解が深まりました。
- 実際にニューラルネットワークを可視化する点が理解を深められることができとても楽しかったです。
- ニューラルネットワークのシミュレーションで視覚的にわかるのがとても面白かった。
- 画像処理において、フィルタの数値を変えることでいろいろなバリエーションの画像を新たに生成することができ、畳み込み NN による重みを削減と、プーリング層によって画像の縮小をくりかえしていく仕組みについて知れて面白かったです。

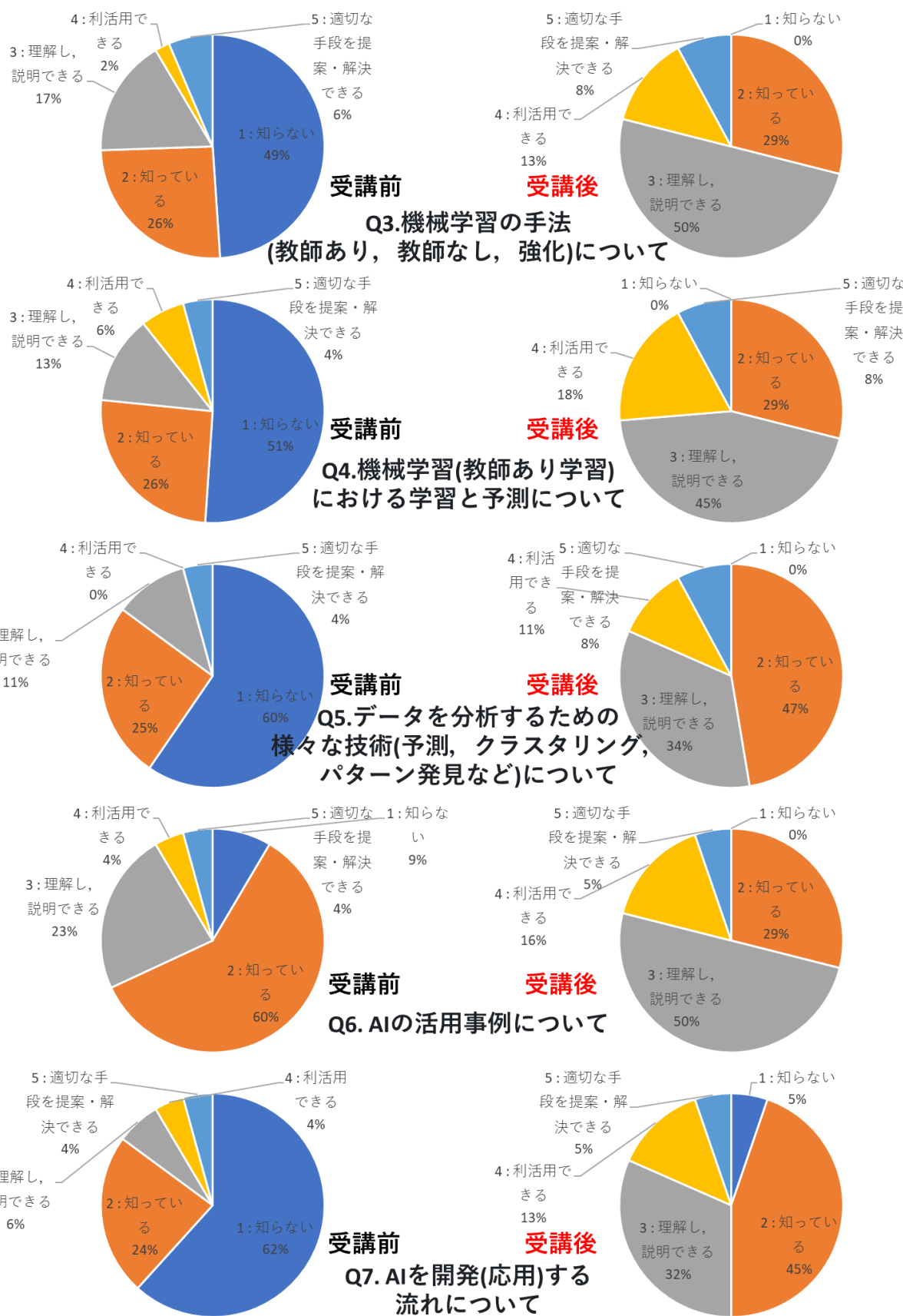
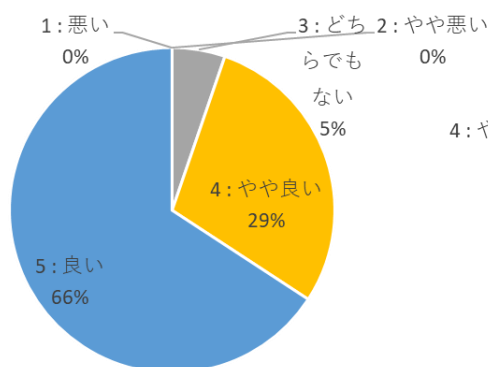


図 9 AI-STEP 特別講義(AI 編第 1 回) 理解度に関するアンケート結果(抜粋)

表 3 AI-STEP 特別講義(AI 編第 1 回) 理解度に関するアンケート結果の平均値

調査項目	受講前 平均値 (N = 47)	受講後 平均値 (N = 38)
Q3.機械学習の手法(教師あり、教師なし、強化)について	1.91	3.00
Q4.機械学習(教師あり学習)における学習と予測について	1.87	3.05
Q5.データを分析するための様々な技術(予測、クラスタリング、パターン発見など)について	1.64	2.78
Q6. AI の活用事例について	2.36	2.97
Q7. AI を開発(応用)する流れについて	1.66	2.68

Q8. 講義や演習の満足度を教えてください



Q9. 講義や演習の難易度はどうでしたか

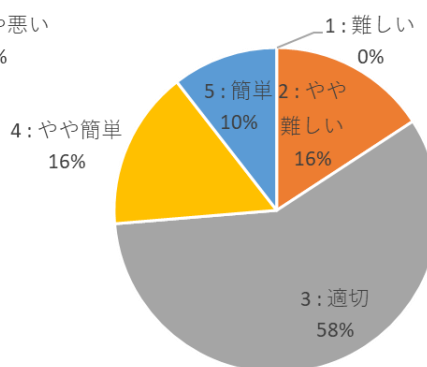


図 10 AI-STEP 特別講義(AI 編第 1 回) 教材に関するアンケート結果 (N = 38)

AI-STEP ワークショップの開催に向けた事前準備として、コンピュータを用いた演習を行うためのテキストブックを作成した。テキストブックは表 4 の構成とし、非情報系・非理数系生徒および学生にも障壁を感じさせないよう、AI モデリングの手順を 1 ステップずつ丁寧に述べることを心掛けた。

表 4 AI-STEP ワークショップのテキストブック

テキストブックの内容	ページ数	所要時間(分)
パート 0: ワークショップ概要	9	—
パート 1: AI に触れてみよう	24	90
パート 2: 画像分類をする AI の流れを理解しよう	58	60
パート 3: 画像分類をする AI を作ってみよう	13	60
パート 4: AI-STEP コンペティションを体験しよう	47	80
補足資料: Google Drive を活用しよう	22	—

令和 5 年 3 月 11 日に、金沢大学会場とオンライン会場のハイブリッド形式による「第 1 回 AI-STEP ワークショップ」を開催した(図 11)。県下 5 教育機関の高校生 25 名、高専生 11 名、大学生 9 名、大学院生 2 名の計 47 名が参加し、金沢大学会場の計算機実習室で実際にコンピュータに触れながら宇宙ビッグデータを用いた AI モデリングを体験した。当日は金沢大学・福井大学・石川工業高等専門学校からの講師 4 名に加え、金沢大学大学院で宇宙・AI を専門とする博士前期課程学生 2 名と学士課程学生 2 名が技術アドバイザーとして同席し、大学院生と高校生が熱心に協力して AI モデリングに取り組む様子も見られた。また金沢大学が保有する超小型衛星開発設備(実験設備・クリーンルーム)の見学会をプログラムに組み込み、金沢大学で宇宙理工学を専門とする講師による案内に、参加者らは熱心に耳を傾けていた。ワークショップの様子はオンライン会議ツールを用いてリアルタイム配信し、オンラインで参加した参加者も自宅や学校からワークショップの課題に取り組んだ。

令和 5 年 3 月 21 日に、スーパーサイエンスハイスクールの滋賀県立膳所高等学校にて「第 2 回 AI-STEP ワークショップ」を開催した(図 13)。金沢大学・福井大学・石川工業高等専門学校から 4 名が講師として参加し、同高校の 1 年生 14 名が、高校内の CAI 教室で実際にコンピュータに触れながら、宇宙ビッグデータを用いた AI モデリングを体験した。当日は、コンピュータを用いた実習だけではなく人工衛星による地球観測や宇宙科学に関するミニ講義を行った。第 1 回 AI-STEP ワークショップと比較して参加者の所属と人数を絞って実施し、個々の参加者とのコミュニケーションや技術アドバイスなどを重点的に行うよう心掛けた。ワークショップ後は参加者との個別ディスカッションを行い、ワークショップで取り扱った内容を応用した発展的な AI モデリングの手法などについて質問を受けるなどし、参加者の宇宙ビッグデータを分類する AI に対する興味や取り組みに対する積極性が目立った。

各回の AI-STEP ワークショップでは受講者一人一人がコンピュータを用いて演習に取り組み、試行錯誤の過程や結果を Jupyter Notebook 形式のノートブックファイルにまとめて学びの記録とした。特に、AI-STEP ワークショップで紹介した基礎的な AI モデリング手法と発展的技法を参加者各自の自由な発想で組み合わせ、実際の衛星・地上観測データを用いた実践的な AI 学習/推論に挑戦し、その結果をノートブックファイルにまとめた。また、自学習用のコンテンツとして自宅や学校に持ち帰り、発展課題への挑戦などを後押しすることに配慮した。

AI × 宇宙技術教育プログラム

AI-STEP

AI × Space Technology Education Program

第1回 AI-STEPワークショップ

2023年3月11日 (土) 10:00~16:30

金沢会場 (金沢大学) ・ 福井会場 (福井大学) ・ オンライン会場 (Zoom)

AI を作ってみよう！
AI-STEP
ワークショップ



AI を作るなんて難しそう ...
そんなことはありません！
みなさんと一緒に、たった
1日で AI を作ってみよう！

タイムスケジュール

09:00-09:30 集合 (金沢大学角間キャンパス自然科学本館エントランスホール・裏面参照)

10:00-11:30 ワークショップ パート1 (概要説明, AI-STEP特別講義の復習)

12:30-13:30 ワークショップ パート2 (AIモデルを理解する)

13:40-14:30 ワークショップ パート3 (AIモデルを改良する)

14:40-15:10 衛星開発設備 (運用室・クリーンルーム等) の見学 ※金沢会場のみ

15:10-16:30 ワークショップ パート4 (AI-STEPコンペティションの体験)

16:40 解散

申し込み方法

AI-STEP Portal の専用申込フォームからお申し込みください **【3月7日 (火) 締切 事前登録必須】**
AI-STEP Portal へのアクセスには、事前に本プログラムへの参加登録 (無料) が必要です。

締切を延長しました!!

詳しい情報や参加登録はWebサイトから！
<https://ai-step.ec.t.kanazawa-u.ac.jp>



AI×宇宙技術教育プログラム「AI-STEP」事務局
メールでのお問い合わせ: info@ai-step.ec.t.kanazawa-u.ac.jp
電話でのお問い合わせ: 076-234-4874 (代表: 松田)

図 11 第1回 AI-STEP ワークショップの案内リーフレット



図 12 第1回 AI-STEP ワークショップの様子

AI × 宇宙技術教育プログラム

AI-STEP

AI × Space Technology Education Program

第2回 AI-STEPワークショップ

2023年3月21日 (火・祝) 10:00~16:00

滋賀会場 (膳所高等学校)

AI を作ってみよう！
AI-STEP
ワークショップ



AI を作るなんて難しそう ...
そんなことはありません！
みなさんと一緒に、たった
1日で AI を作ってみよう！

タイムスケジュール

09:45-10:00	集合 (滋賀県立膳所高等学校 CAI教室)
10:00-11:30	ワークショップ パート1 (概要説明, AI-STEP特別講義の復習)
12:30-13:30	ワークショップ パート2 (AIモデルを理解する)
13:40-14:30	ワークショップ パート3 (AIモデルを改良する)
14:40-16:00	ワークショップ パート4 (AI-STEPコンペティションの体験) 解散

申し込み方法

AI-STEP Portalの登録とは別に
お申し込みが必要です

AI-STEP Portal の専用申込フォームからお申し込みください **【3月16日 (木) 締切 事前登録必須】**

AI-STEP Portal へのアクセスには、事前に本プログラムへの参加登録 (無料) が必要です。

詳しい情報や参加登録はWebサイトから！
<https://ai-step.ec.t.kanazawa-u.ac.jp>



AI×宇宙技術教育プログラム「AI-STEP」事務局
メールでのお問い合わせ: info@ai-step.ec.t.kanazawa-u.ac.jp
電話でのお問い合わせ : 076-234-4874 (代表: 松田)

図 13 第 2 回 AI-STEP ワークショップの案内リーフレット



図 14 第 2 回 AI-STEP ワークショップの様子

図 15 および表 5 は、第 1 回 AI-STEP ワークショップ開催前後での参加者の AI に対する興味の変化を調査した結果である。また、図 16 および表 6 は、第 2 回 AI-STEP ワークショップ開催前後での同様の調査結果である。AI-STEP ワークショップは、AI に対して興味があることや AI モデリングを積極的に体験したいと考えていることをきっかけとして参加を希望する層が多いと考えられ、第 1 回・第 2 回とも参加前の AI に対する興味や AI モデリングに対する積極性が高いことがわかる(5 段階中の 4 以上)。各回の AI-STEP ワークショップ参加後の調査では、全ての項目で結果が有意に向上しており、専門的かつ高度な体験を希望する層に対してさらに興味を深めることを後押しできたと考えられる。内容が専門的であるために、途中で挫折し興味を失ってしまう参加者へのフォローが重要であると考えられ、本ワークショップでは大学院生らによる技術アドバイザーが積極的に初学者向けへのフォローアップを行うことを重点化した。本調査結果の向上はそれらの配慮が有効に機能したことも示していると考えられる。

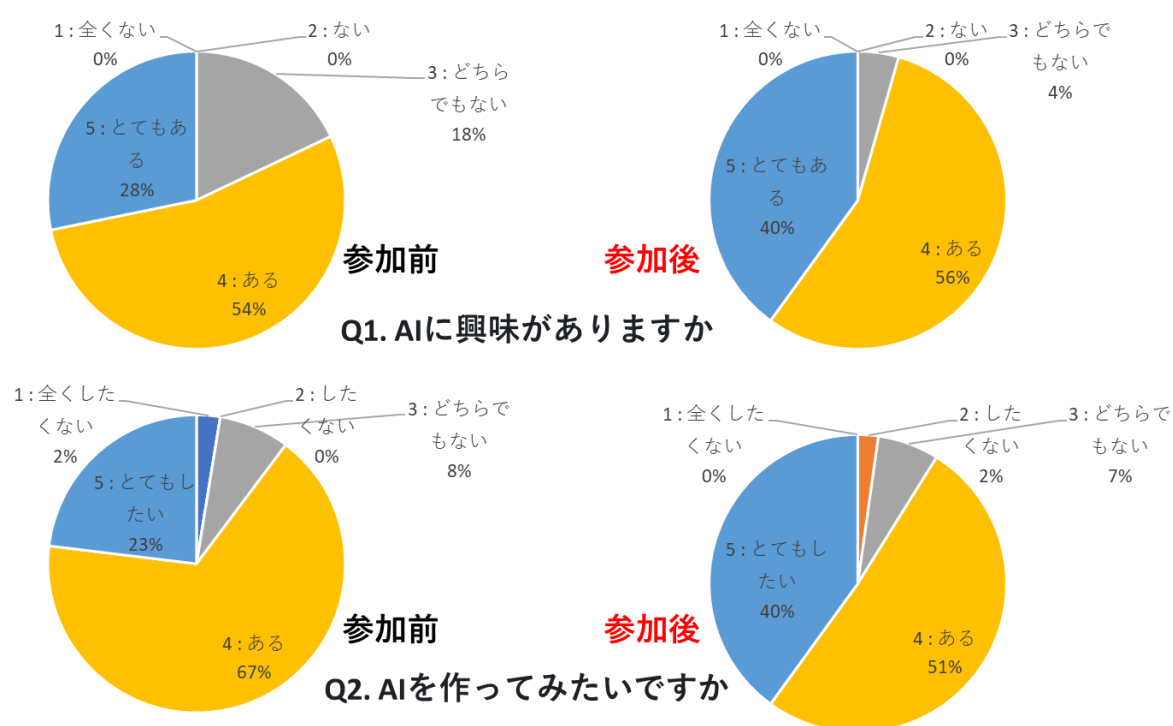


図 15 第 1 回 AI-STEP ワークショップ前後での AI に対する興味の変化 (N = 45)

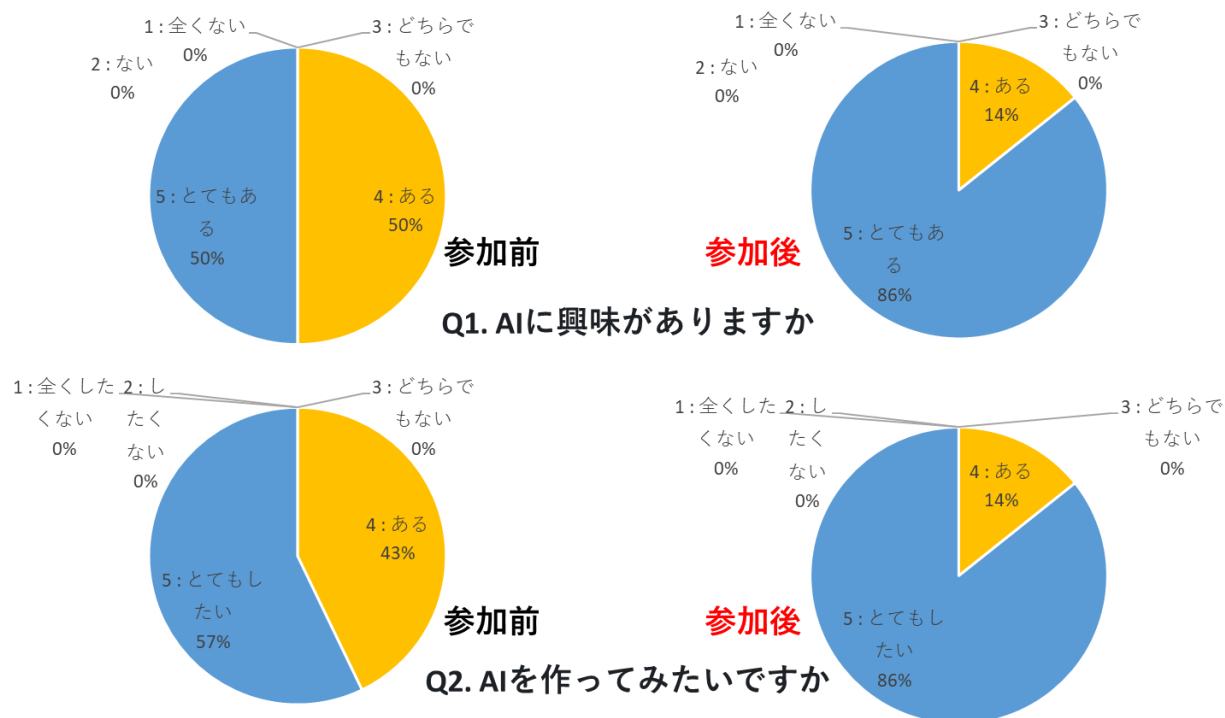


図 16 第 2 回 AI-STEP ワークショップ前後での AI に対する興味の変化 (N = 14)

表 5 AI に対する興味の変化に関するアンケート結果の平均値(第 1 回 AI-STEP ワークショップ参加前後)

調査項目	参加前 平均値 (N = 45)	参加後 平均値 (N = 45)
Q1.AI に興味がありますか	4.10	4.36
Q2.AI を作ってみたいですか	4.08	4.29

表 6 AI に対する興味の変化に関するアンケート結果の平均値(第 2 回 AI-STEP ワークショップ参加前後)

調査項目	参加前 平均値 (N = 14)	参加後 平均値 (N = 14)
Q1.AI に興味がありますか	4.50	4.86
Q2.AI を作ってみたいですか	4.57	4.86

図 17 および表 7 は、第 1 回 AI-STEP ワークショップ開催前後での参加者の AI に対する理解度の変化を調査した結果である。また、図 18 および表 8 は、第 2 回 AI-STEP ワークショップ開催前後での同様の調査結果である。先述の AI に対する興味に関する調査結果とは対照的に、AI-STEP ワークショップの参加前は AI やモデリング手法に対する理解度が低い参加者が大多数であることが分かる。ワークショップ参加前に AI モデルの作り方の流れについて「知っている(5 段階中の 2)」以上と答えた割合は、第 1 回 AI-STEP ワークショップでは 46%、第 2 回 AI-STEP ワークショップでは 21%であったのに対し、参加後は 91%と 100%に飛躍的に向上した。AI モデリ

ングの詳細な技法への理解度を問う設問(Q2、Q3)については、「知っている(5段階中の2)」以上と答えた割合は第1回ワークショップについては44%、31%から89%、91%に向上し、第2回 AI-STEP ワークショップでも共に21%から100%に向上した。Q6で調査した宇宙ビッグデータを用いたAIモデルの構築に関してはほぼ全員の参加者が「知らない(5段階中の1)」と回答していたが、第1回 AI-STEP ワークショップでは89%、第2回ワークショップでは100%の参加者が「知っている(5段階中の2)」以上と答えた。第1回 AI-STEP ワークショップに比べ、第2回 AI-STEP ワークショップでの調査結果の向上率が大きい理由は、第1回 AI-STEP ワークショップでの参加者からのアンケート結果や直接の声を講習資料に反映し、分かり難い箇所の改善を図ったことや、各回の AI-STEP ワークショップで参加者数に対する講師の人数の割合が異なり、第2回 AI-STEP ワークショップの方が参加者個人に対して個別のフォローアップが行き届いたことなどが挙げられる。具体的には第1回 AI-STEP ワークショップでは参加者47名に対し講師と大学院生による技術アドバイザが計8名であり、スタッフ1名が平均5.875名のフォローアップを行う体制であったのに対し、第2回 AI-STEP ワークショップでは参加者14名に対し講師が4名であり、スタッフ1名が平均3.5名のフォローアップを行う体制であった。この点については、今後のワークショップ開催の際にスタッフの増員を図ることや、1回あたりの開催で参加者数の上限を設けることで対策を講じていく必要がある。また、第1回 AI-STEP ワークショップでは5つの教育機関からの参加者を一堂に集めて実施したのに対し、第2回 AI-STEP ワークショップでは参加者を滋賀県立膳所高等学校のみに限定して実施した。参加者の所属を限定的とすることで、参加者同士の積極的なコミュニケーションが図れ、ワークショップ中の参加者同士のインタラクションやフォローが多く見られたことも、調査結果の向上に繋がっていると考えられる。

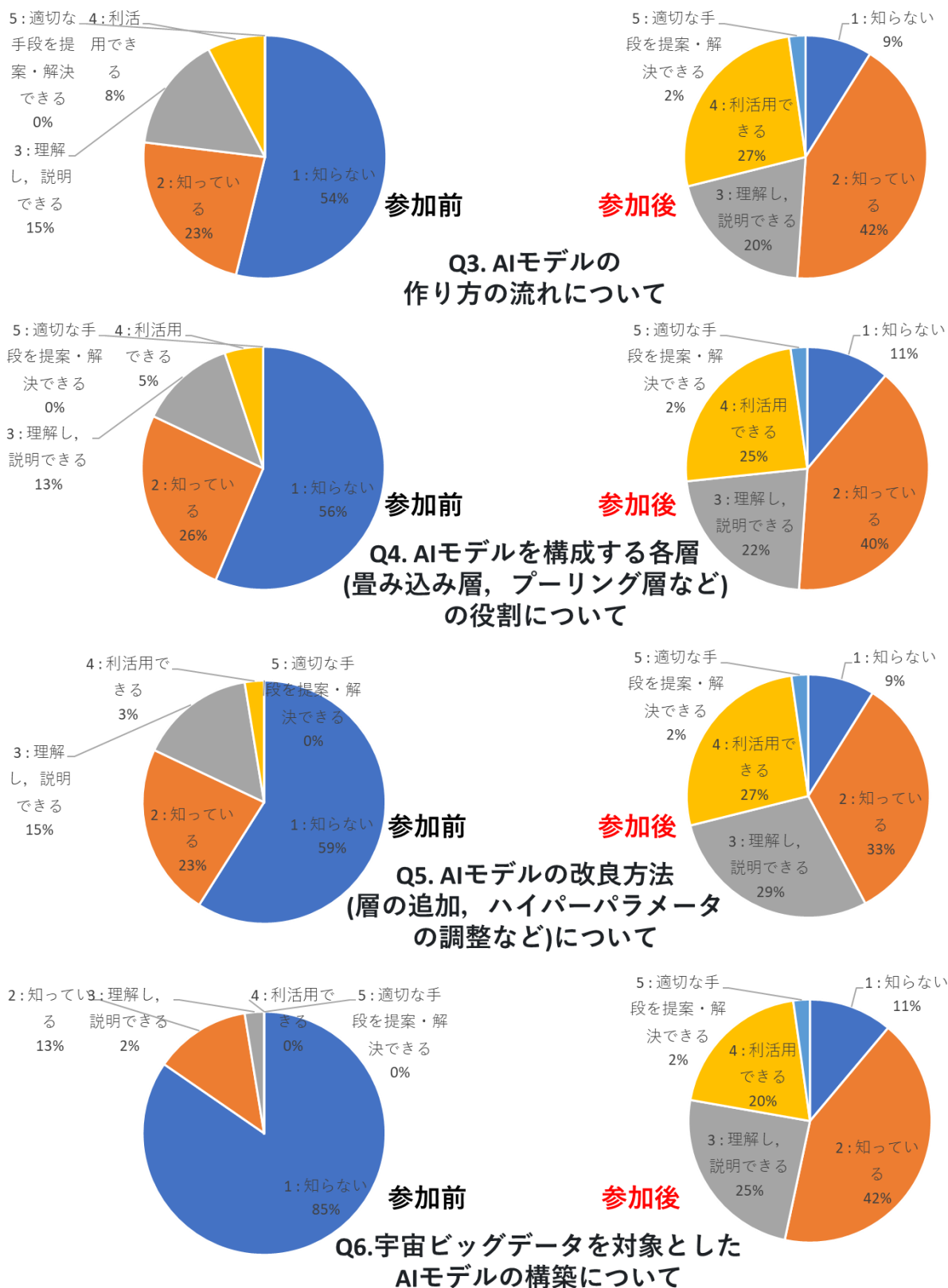
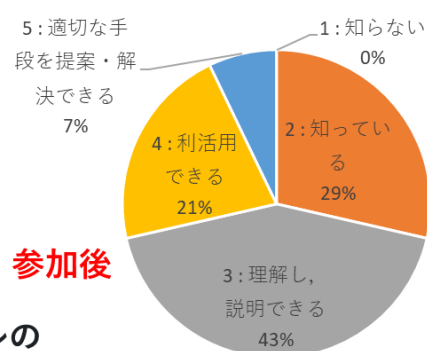
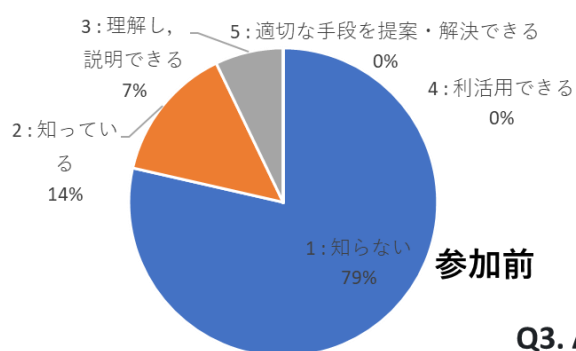
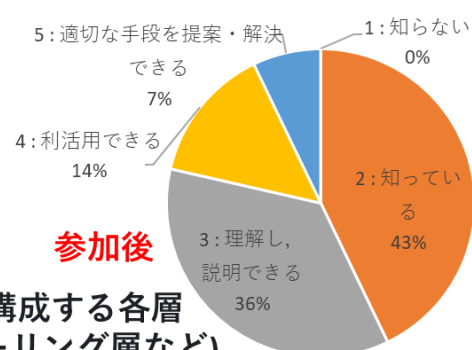
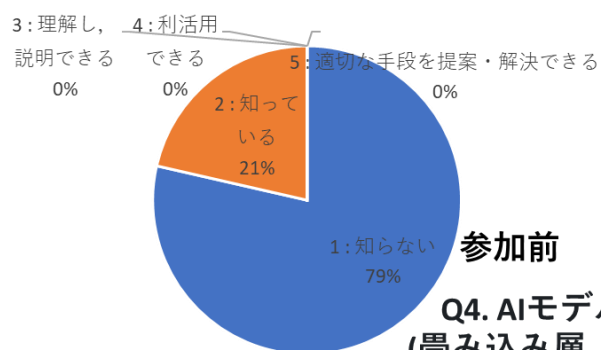


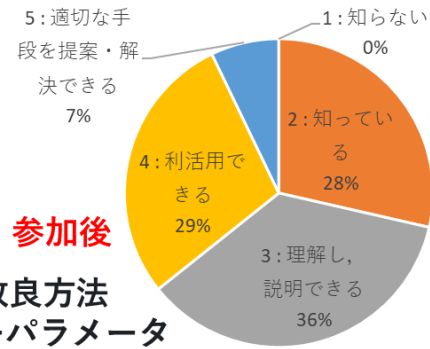
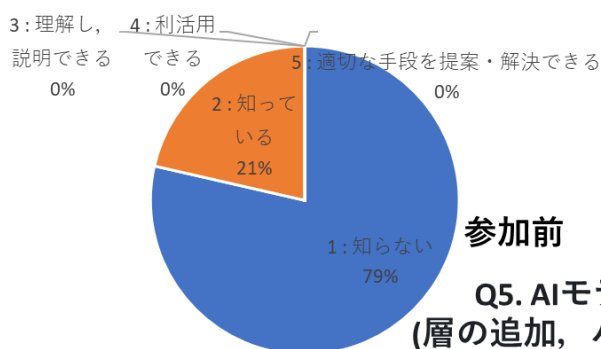
図 17 第 1 回 AI-STEP ワークショップ前後での理解度の変化 (N = 45)



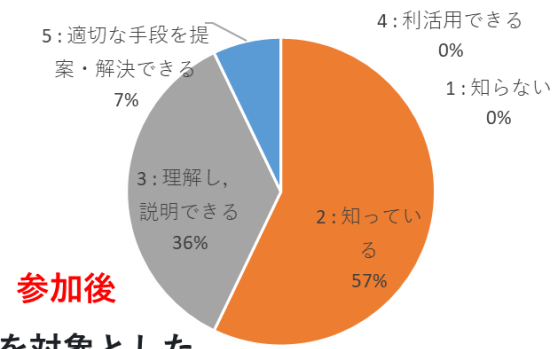
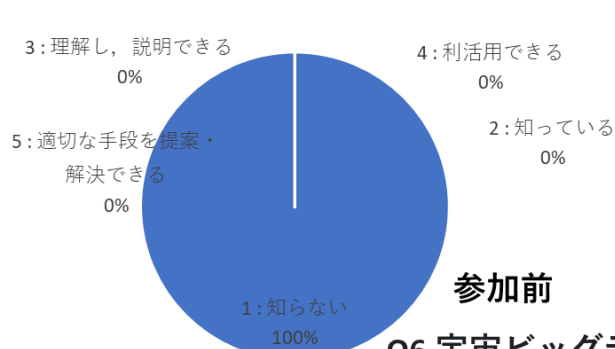
Q3. AIモデルの作り方の流れについて



Q4. AIモデルを構成する各層(畳み込み層, プーリング層など)の役割について



Q5. AIモデルの改良方法(層の追加, ハイパーパラメータの調整など)について



Q6. 宇宙ビッグデータを対象としたAIモデルの構築について

図 18 第 2 回 AI-STEP ワークショップ前後での理解度の変化 (N = 14)

表 7 AI に対する理解度の変化に関するアンケート結果の平均値(第 1 回 AI-STEP ワークショップ参加前後)

調査項目	参加前 平均値 (N = 45)	参加後 平均値 (N = 45)
Q3. AI モデルの作り方の流れについて	1.77	2.71
Q4. AI モデルを構成する各層(畳み込み層、プーリング層など)の役割について	1.67	2.67
Q5. AI モデルの改良方法 (層の追加、ハイパーパラメータの調整など)について	1.62	2.80
Q6.宇宙ビッグデータを対象とした AI モデルの構築について	1.18	2.60

表 8 AI に対する理解度の変化に関するアンケート結果の平均値(第 2 回 AI-STEP ワークショップ参加前後)

調査項目	参加前 平均値 (N = 14)	参加後 平均値 (N = 14)
Q3. AI モデルの作り方の流れについて	1.29	3.07
Q4. AI モデルを構成する各層(畳み込み層、プーリング層など)の役割について	1.21	2.86
Q5. AI モデルの改良方法 (層の追加、ハイパーパラメータの調整など)について	1.21	3.14
Q6.宇宙ビッグデータを対象とした AI モデルの構築について	1.00	2.57

図 19 および図 20 は、各回の AI-STEP ワークショップにおける満足度と難易度について調査した結果である。第 1 回 AI-STEP ワークショップでは 98%以上、第 2 回 AI-STEP ワークショップでは 100%の参加者から「やや良い(5 段階中の 4)」または「良い(5 段階中の 5)」の回答が得られ、また 65%(第 1 回 AI-STEP ワークショップ)と 72%(第 2 回 AI-STEP ワークショップ)の参加者から、講義のレベル設定が「適切(5 段階中の 3)」であるとの回答が得られた。ワークショップの内容が「難しい(5 段階中の 1)」と回答した受講者は第 1 回ワークショップで 2%(1 名)、第 2 回 AI-STEP ワークショップで 0%(0 名)であり、初学者でも障壁無く宇宙ビッグデータを用いた AI モデリングに取り組めることを目指した本取り組みが期待通りの結果を示したことが分かる。

上記のアンケート調査の実施に合わせて自由記述形式で参加者の感想を収集した。以下はその抜粋であり、多くの参加者から高い満足度が窺える感想が寄せられた。

- 非常にいい体験になりました。一日だけなのにとても濃い内容で、面白かったです。AI についてあまり知らなかったのですが、細かくかつ分かりやすく教えていただけて、AI にとても興味がわきました。またこういった企画があれば参加したいです。ありがとうございました。
- プログラミング知識のほとんどない自分でも自分で AI を作れたので、楽しかった。いろいろ試行錯誤してより良い AI モデルを作成する作業は大変だけど、うまくできた時の達成感も感じられた。
- 参加する前は難しいのを想像していましたが、今の自分にも十分についていける内容でした。たった一日で多くのことを学ぶことができてとてもよかったと思っています。今日学んだことを今後の課題研究にいかしていきたいと思います。
- 人工知能と宇宙開発の関連性について考えたことがなかったので、宇宙開発については興味があっても人工知能の開発についてはあまりピンときていなかった。しかし今回のワークショップを通して人工知能

の大まかな仕組みやそれが宇宙開発のキーになり得るということを知り人工知能の開発についても興味を持つようになった。

- 参加して良かったです。AI がどのように情報を処理して学習を進めていくかを分かりやすく知ることができました。大学でも機械学習の講義を受講したのですが、よい復習になりました。

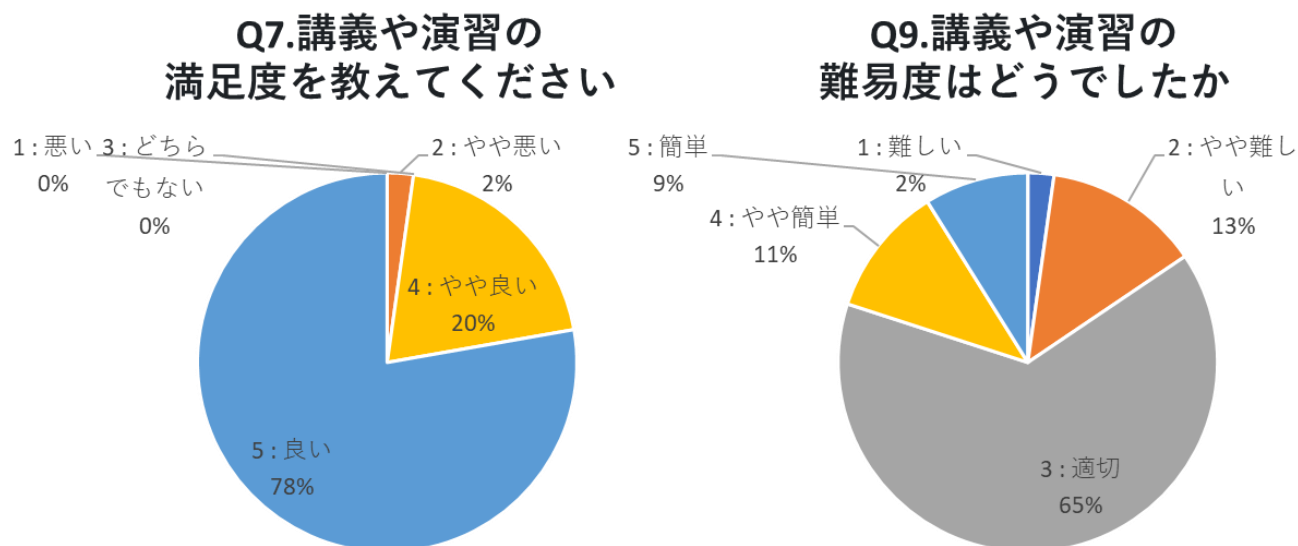


図 19 第 1 回 AI-STEP ワークショップの満足度と難易度に関する調査結果 (N = 45)

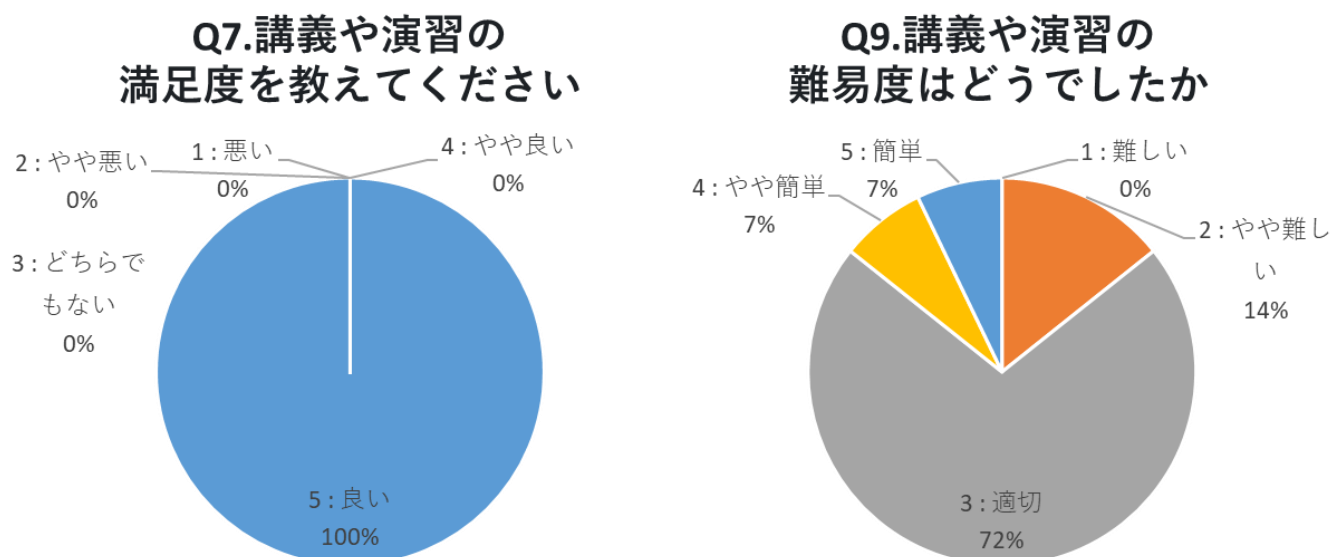


図 20 第 2 回 AI-STEP ワークショップの満足度と難易度に関する調査結果 (N = 14)

2.2 オンボード AI を搭載する「AI 教育用衛星システム」の設計実習

2.2.1 衛星システム設計実習

オンボード AI を搭載した「AI 教育用衛星システム」として、6U (0.2m × 0.3m × 0.1m) の超小型衛星の概念設計を行い、主要なコンポーネントの検討を行った。衛星は 1U を単位とするモジュラーデザインを採用し、モジュールの組み換えによって目的に応じた機能変更や性能改善が図れることを目指した。図 21 および図 22 に、設計した超小型衛星の外観図と機器間接続図を示す。姿勢安定方式は三軸安定方式を採用し、金沢大学で開発中の超小型衛星「こよう」に搭載する姿勢決定ソフトウェアをベースとしたオンボード姿勢決定ソフトウェアを、ADCS (Attitude Determination and Control System) 内に独自に備えた中央演算処理装置で動作させる。一方、ADCS と AI-OBC 間は SpaceWire プロトコルによる通信路を確保し、地上から送信するコマンドの受信や姿勢系テレメトリの出力等に加え、姿勢系コンポーネント (地磁気姿勢計、磁気トルカ、リアクションホイール) からのテレメトリを用いた知的処理等を実現する。オンボード姿勢決定ソフトウェアによる姿勢推移の時系列変化を模擬するシミュレーションツール (図 23、図 24) を開発し、任意の衛星軌道に投入された後に衛星の姿勢が安定するまでの推移を可視化する環境を整えた。

ミッション機器はモジュール化により用途に応じて載せ替えが可能であるが、本事業では宇宙空間を伝搬する自然電磁波を観測するプラズマ波動観測装置を想定して設計を行った。自然電磁波を受信するセンサは衛星本体に収納した状態で打ち上げ、衛星に搭載される他機器からの電磁干渉を避けるために打ち上げ後に伸展する機構を備えることとした。センサとして金沢大学で開発中の 3 軸磁界サーチコイルを伸展機構の先端に搭載する。センサで受信された信号はミッション機器内の受信器でアナログ-デジタル変換され、独自に備える FPGA と中央演算処理装置によって信号処理とテレメトリ生成を行う。ミッション機器と AI-OBC 間は、ADCS と同様に SpaceWire プロトコルによる通信路を確保し、地上に送信しきれない大量のミッションデータをオンボード AI によって知的に分類・選別する仕組みを実現する。以上の概念設計等を、金沢大学理工学域電子情報通信学類および金沢大学大学院自然科学研究科電子情報通信学専攻に所属する学生複数名と教員とで連携して実施した。

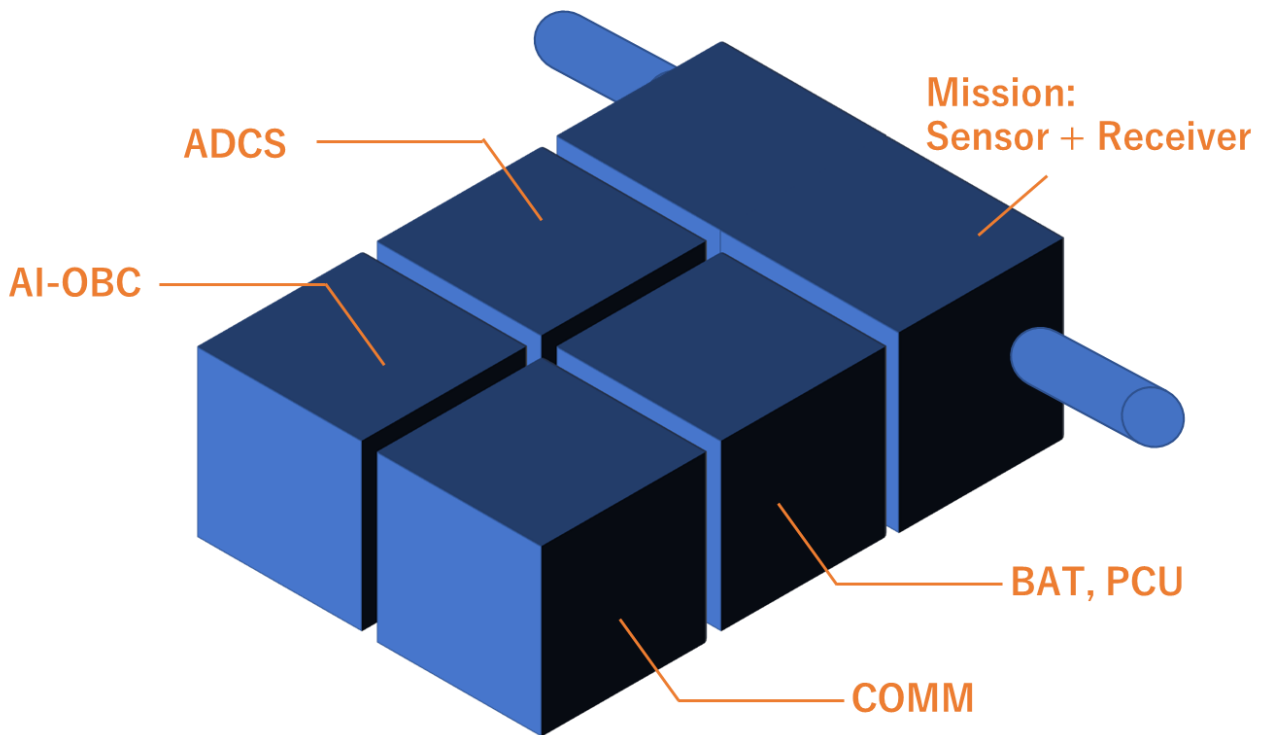


図 21 「AI 教育用衛星システム」の概念設計図(外観)

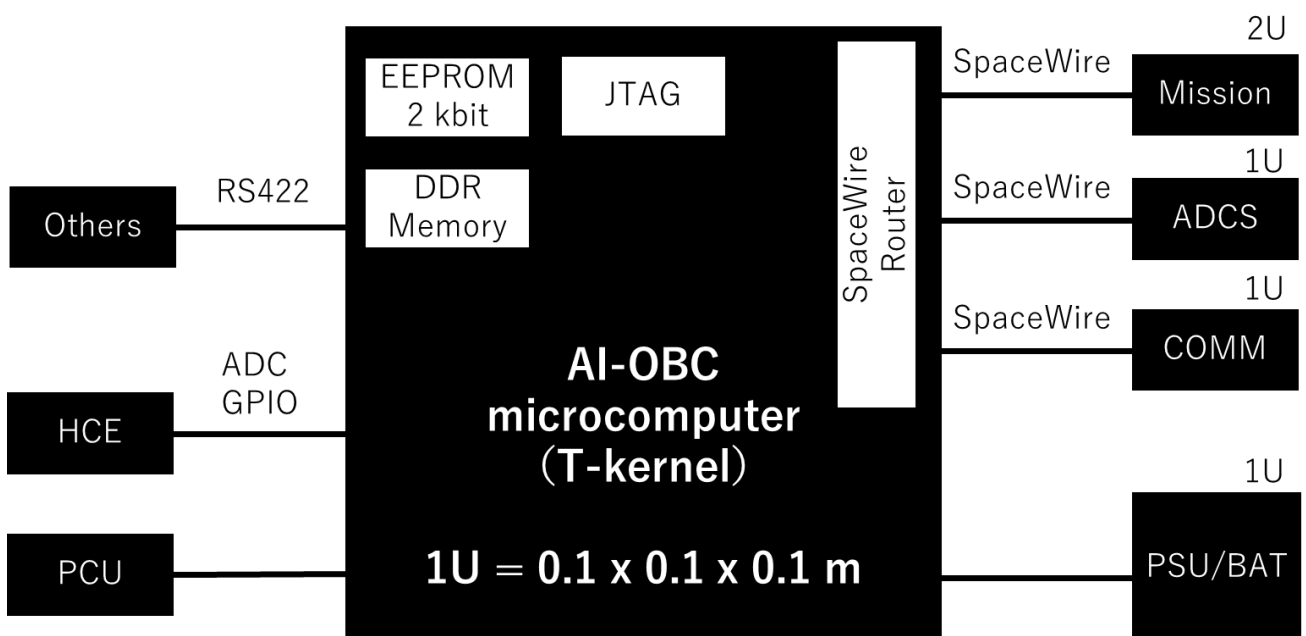


図 22 「AI 教育用衛星システム」の概念設計図(機器間接続図)

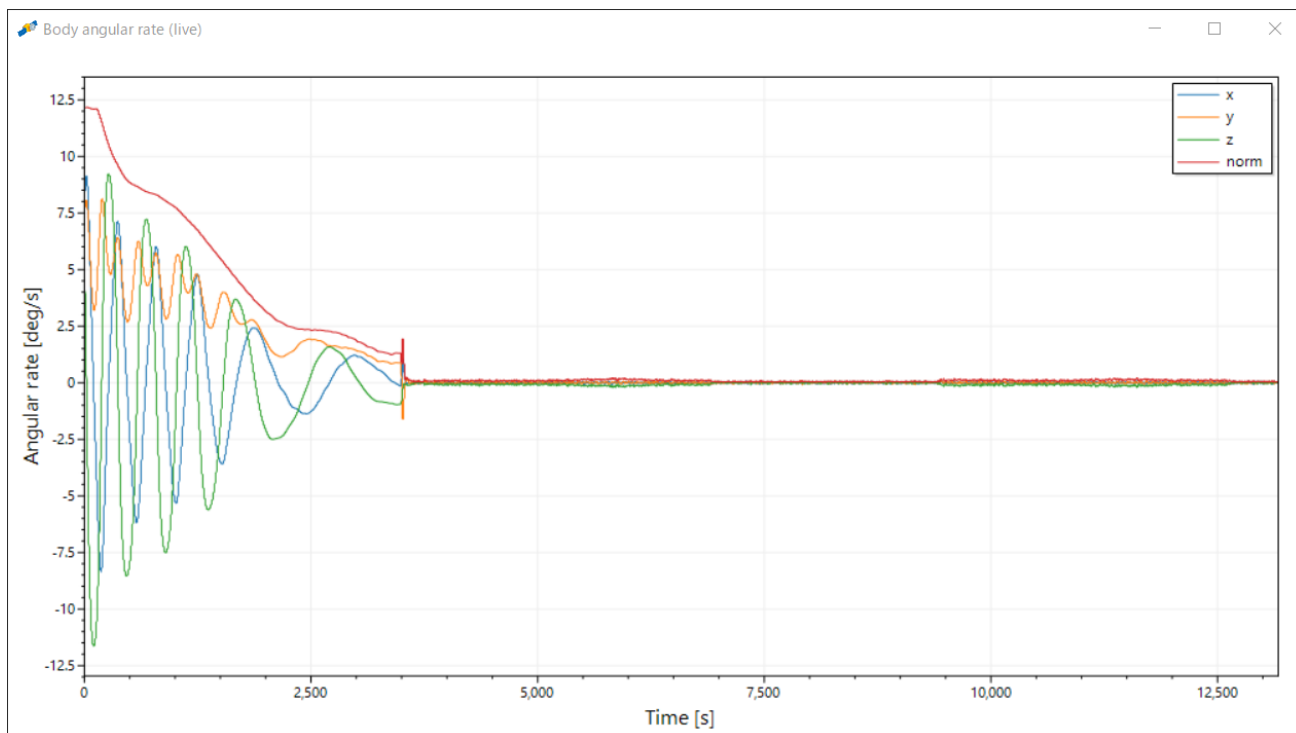


図 23 ADCS による姿勢決定の時間推移(衛星角速度のシミュレーション)

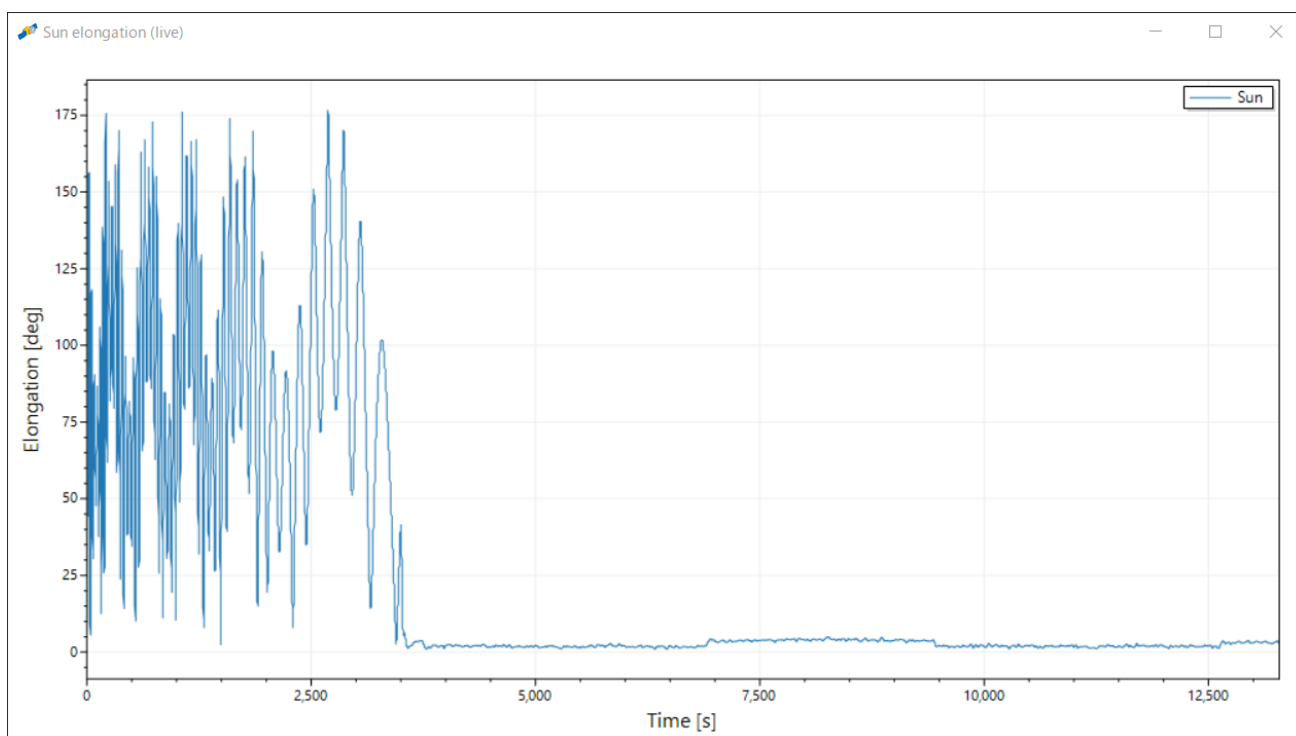


図 24 ADCS による姿勢決定の時間推移(太陽離角のシミュレーション)

2.2.2 オンボード AI-OBC 設計実習

オンボード AI を動作させるハードウェアとして「動的再構成プロセッサ(DRP)」を搭載したオンボードコンピュータ(AI-OBC)を製作することを目指し、その概念設計と機械設計を株式会社シマフジ電機との共同研究を通じて実施した。金沢大学先端宇宙理工学研究センターの教員と金沢大学理工学域電子情報通信学類に所属する学生が連携して、次のように要求仕様の概要をまとめた。

【機械設計】

- (ア) 基板を含む全部品が 1U (10 x 10 x 10 cm)以内に収まること。
- (イ) 次の環境条件を満たす設計であること。
 - ① 動作温度範囲 摂氏-20 度～+50 度
 - ② 保存温度範囲 摂氏-30 度～+60 度
 - ③ 振動条件 正弦波 25 G(40～100 Hz)、ランダム 23.1Grms
 - ④ 放射線耐性 TID: >10 krad

【基板及び回路設計】

- (ア) Renesas Electronics 製 RZ マイコンを搭載すること。
- (イ) T-kernel または ITRON をベースとしたリアルタイムオペレーティングシステムが動作すること。
- (ウ) 起動用のフラッシュ ROM 領域を有すること。
- (エ) エラー検出機能付きのメインメモリを 8 Mbytes 以上有すること
- (オ) 1 GBytes 程度の不揮発性フラッシュメモリもしくはそれに準ずる記憶領域を有すること。
- (カ) 外部機器インタフェースとして以下を有すること。
 - ① SpaceWire インタフェースを 3 系統以上有すること。
 - ② JTAG インタフェースを 1 系統以上有すること。
 - ③ UART に準ずるインタフェースを 1 系統程度有すること。
 - ④ RS-422 に準ずるインタフェースを 16 チャンネル以上有すること。
 - ⑤ GPIO 入出力インタフェースを 16 点以上有すること。
 - ⑥ 温度センサや電圧信号を接続可能な A/D 変換入力ポートを計 16 チャンネル以上有すること。
- (キ) 搭載する外部インタフェースを制御する API 関数が定義できること。
- (ク) EMC 対策として電流ループを極力削減した回路設計であること。
- (ケ) 待機状態における消費電力が 15 W 程度以下であること。

以上の要求を満たす機械設計および基板・回路設計を実施し、PC104 規格に準じた基板と基板補強・アルミシールドを備えたケーシングによる AI-OBC の設計資料をまとめた(設計資料は、知的財産や未公開の研究成果等にあたることから本書では省略する)。T-kernel または ITRON ベースの制御系リアルタイムオペレーティングシステムとデータ処理系 Linux が並列に動作可能なマイコンを搭載し、この中で衛星バス機器からのデータや観測データを用いたオンボード推論を実現する。設計にあたっては、研究代表者と宇宙機組込みシステムの共同開発経験がある宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所(JAXA/ISAS) 高島健教授との連携を図った。

2.3 自発的な研究活動等

自発的な研究活動等に関する実施方針に基づき、所属機関が認めた範囲で自発的な研究活動等を推進した。

3 まとめ

本委託業務では「高大連携宇宙 AI コンペティション」の開催を主軸として高校生、高専生、大学生、大学院生への宇宙 AI 教育を行うことを目指している。本年度は、コンペティションに接続する一連のプログラムを AI-STEP と命名し、以下の取り組みを行った。

1. 宇宙ビッグデータを共有し学習するための枠組みとして「AI-STEP Portal」を構築し、公開した。
2. 広報用の Web サイト、パンフレットを作成し公開した。
3. 初学者層に向けた宇宙と AI に関する AI-STEP 特別講義（紹介動画を含む計 4 本）を公開した
4. 実際に宇宙のデータに触れ、AI モデリングを体験する AI-STEP ワークショップを 2 回開催した。

これらの取り組みを通して約 3 か月間に 130 名のプログラム登録者を集め、うち 61 名がワークショップに参加した。AI-STEP 特別講義の受講前後および AI-STEP ワークショップの参加前後に、宇宙や AI に対する興味や理解度を測るためのアンケート調査を実施し、本取り組みの高い教育効果を窺える回答が多くの参加者から得られた。これらの取り組みは、次年度開催予定の「AI-STEP コンペティション」への導入として位置付けており、コンペティションをスムーズに実施するための足掛かりとして当初期待した以上の効果があった。また、金沢大学の超小型衛星開発設備見学や地球観測・宇宙科学に関するミニ講義などのイベントを併催することで、宇宙に対する興味を引き出すことにも貢献した。また、ワークショップ当日に引率を担当した高校教員から更なる高大連携の申し出や宇宙教育に関する相談等を受けるなどの波及的効果も見られた。

オンボード AI デバイスの実現に向けては、金沢大学先端宇宙理工学研究センターの教員と金沢大学理工学域電子情報通信学類に所属する学生が連携して、オンボード AI 推論を実現する「AI-OBC」を中心とした衛星システムの基礎設計と、AI-OBC に対する要求仕様の洗い出しを行い、株式会社シマフジ電機との連携のもとで機械設計・基板設計・回路設計を行った。当初計画していた実施項目は全て達成しており、次年度実施予定の AI-OBC の製作に向けた準備が整った。

4 添付資料

なし