

# 「宇宙への夢を現実へと紡ぐ地域連携型人材育成システムの構築と試行」の成果の概要について

|      |        |            |      |                           |      |                     |           |           |
|------|--------|------------|------|---------------------------|------|---------------------|-----------|-----------|
| 実施体制 | 主管実施機関 | 金沢大学       | 実施期間 | 平成31年度～<br>令和3年度<br>(3年間) | 実施規模 | 予算総額(契約額) 59.96 百万円 |           |           |
|      | 研究代表者名 | 教授 米徳大輔    |      |                           |      | 1年目                 | 2年目       | 3年目       |
|      | 共同参画機関 | 石川工業高等専門学校 |      |                           |      | 19.99 百万円           | 19.99 百万円 | 19.98 百万円 |

## 背景・全体目標

宇宙科学や宇宙開発に携わる者は、成長過程の中で「宇宙への夢」を抱いた時期がある者が多い。その時期は様々であったとしても、宇宙に関連する「本物」に触れる機会を数多く経験する中で、宇宙を学びたい気持ちが芽生え、そして宇宙事業に携わって生きたいという人生の方向性が導き出されていくだろう。

金沢大学大学院・宇宙理工学コースと地域の教育機関や科学館が連携することで、**小中学生から大学院生まで世代に適した教育環境と実践の場を提供**することで、以下に示す人材育成を行う。

- ・大学院生：金沢大学衛星の開発や環境試験に基づいた、宇宙事業を支える真のスキルを身につけた先端的職業人
- ・高専生・高校生：課題研究やインターンシップにより、宇宙を学び、宇宙事業に従事するビジョンを持った人材
- ・小中学生：科学館における講演会や模擬実験による、宇宙科学や宇宙開発に対して特に強い興味を持つ人材

## 全体概要・主な成果

大学院生：  
金沢大学衛星（X線突発天体監視速報衛星 KOYOH）のフライトモデルを開発した。開発を通じて、

- ・人工衛星の高精度なインテグレーション能力を備えた人材
- ・搭載機器の電氣的機能試験と評価を担える人材
- ・環境試験の理念を理解し、試験計画の立案と試験の実施を担える人材
- ・衛星システム全体を理解し、見渡せるマネジメント能力を備えた人材
- ・人工衛星を用いて最先端の宇宙科学を推進できる人材

など、宇宙科学や宇宙工学を支えるスキルを有する人材を育成した。



高専生：  
・衛星運用を理解し、地上アンテナシステムを開発できるスキルを持った人材  
・大学インターンシップにより人工衛星の開発現場を経験した人材

高校生：  
・衛星システムゼミにより人工衛星で使われる技術を理解した人材  
・衛星設計コンテストなどの課題研究を通じて自ら宇宙関連事業を考えられる人材

小中学生：  
・講演会や模擬実験を通じて、宇宙科学・工学に強い興味を持った人材

段階的に宇宙を学び、宇宙事業に携わって生きるビジョンを育成することができた。

これらの一連の事業を遂行する中で、KOYOH衛星のフライトモデルが完成し、運用システムを完備することができた。これらの開発の中で培われた経験や技術は、将来の宇宙科学・宇宙工学で大きく活かされると期待できる。また、当初の目標通りに**金沢大学大学院宇宙理工学コースを地域に開かれた宇宙教育拠点へと昇華させ、永続的に宇宙事業を担うスキルを有する人材を輩出できる地域環境を構築**することができた。

# ①「金沢大学での人材育成」

## 実施内容・成果

金沢大学衛星（X線突発天体監視速報衛星 KOYOH）のフライトモデルの開発を通じて、以下に示すような宇宙機開発スキルを身に着けた人材を育成した。大手宇宙機メーカーや衛星搭載機器も扱うメーカーへの就職が4名、博士後期課程への進学3名など、本事業に関連した学生の2割程度がこの分野で活躍していくと期待できる。

### 構造系

構造系に詳しい企業に指導をいただきながら、金沢大学衛星KOYOHのフライトモデルを開発した。令和元年度に定盤やスコヤを用いて高精度なインテグレーションを実現する方法を身に着け、令和2年度に電気計装の製造や衛星構体の仮組みを行い、令和3年度にフライトモデルを完成させた。フライトモデルの組み上げ後は、打ち上げロケットとのインターフェース調整で重要となる質量重心特性の測定や、振動試験・衝撃試験を実施した。

- ・ **高精度なインテグレーション**  
50  $\mu$  m以下の面精度での衛星組上げ技術の習得  
組み上げ手順書の作成と維持改訂
- ・ **電気計装系のインテグレーション**  
ハーネス設計・製造・評価、組み上げ、結束等の技術の習得
- ・ **金沢大学衛星フライトモデルの組み上げ**  
太陽電池パドル展開機構の評価
- ・ **質量重心特性の測定**  
質量特性測定装置を用いた計測
- ・ **振動試験、衝撃試験の実施および耐環境性能の検証**  
九州工業大学超小型衛星センターにて振動試験・衝撃試験を実施  
構造解析結果との照合により試験結果を評価

以上の構造系の開発により、以下のような人材を育成した。

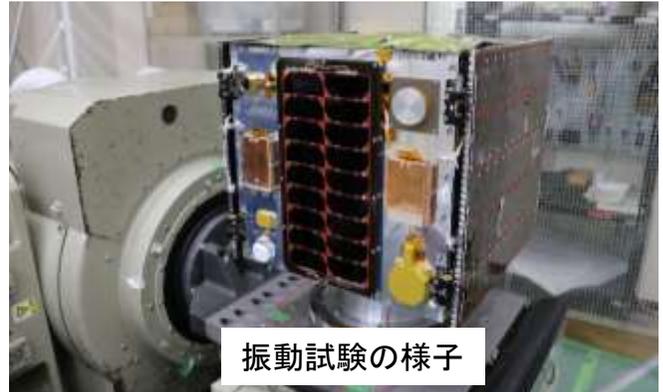
- ・ 人工衛星を高精度に組み上げる技術を持った人材
- ・ 衛星-ロケット間の機械的・電氣的インターフェース条件を理解した人材
- ・ 機械環境試験の意義を理解し、計画立案・試験実施・評価を担える人材
- ・ 構造系でリーダーシップを取れる人材



インテグレーションの様子



KOYOH衛星フライトモデル



振動試験の様子

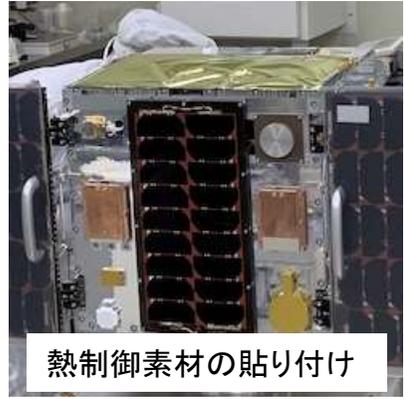
# ①「金沢大学での人材育成」

## 実施内容・成果

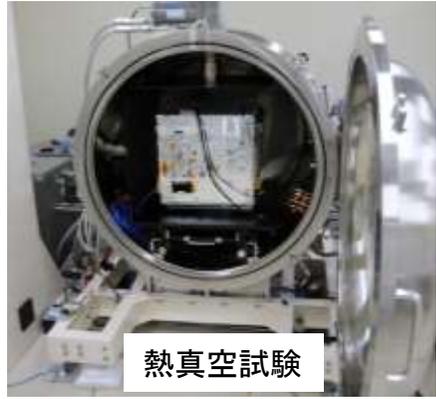
### 熱系

過去に開発してきたK0Y0Hの熱構造モデルの経験を元に、熱系の開発を行った。令和2年度に衛星構体内部の黒色塗装、温度センサとヒーターによる熱制御方法を確立し、令和3年度に組み上げたフライトモデルに対して熱制御素材を実装した。金沢大学の熱真空チャンバを用いて熱真空試験を行い、軌道上で想定される温度環境において各機器が所望の温度範囲で動作することを確認した。

- ・ 熱制御素材の貼り付け、黒色塗装による熱制御
- ・ 温度センサとヒーターによる熱制御
- ・ 熱制御ソフトウェアの開発および検証
- ・ 熱真空試験の実施および熱数学モデルとの比較検証  
軌道上で予想される温度環境を（HOT/COLDモード）  
熱数学モデルとの比較による熱的成立性の検証



熱制御素材の貼り付け



熱真空試験

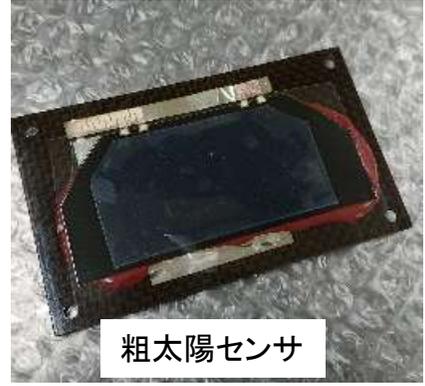
熱系の開発により、以下のような人材を育成した。

- ・ 熱制御素材の特性を知り、熱設計を担える人材
- ・ 人工衛星を適切な温度に保つ温度制御を実現できる人材
- ・ 熱試験の意義を理解し、計画立案・試験実施・評価を担える人材

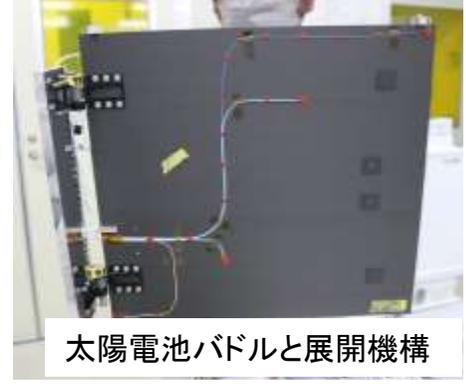
### 電源系

電源系で重要な「太陽電池」「バッテリー」「電力制御器」の開発や機能試験を行った。令和元年度に太陽電池セルに電極を溶接し、CFRP製の基板に接着することで太陽電池を実装する手法を習得した。製造したものはK0Y0H衛星の粗太陽センサとして搭載する。令和2年度にはバッテリーの特性評価、電力制御器の機能試験を行い、軌道上で衛星全体の電力収支をまかなえる事を確認した。

- ・ 太陽電池セルの貼り付け技術の習得  
太陽電池セルの接合、基板材料への接着技術の習得  
製造したセルを粗太陽センサーとして利用
- ・ 電力制御器の試験  
太陽電池模擬電源と可変負荷抵抗を用いた電源制御系の機能検証方法の習得
- ・ 太陽電池バドル展開機構の開発および検証



粗太陽センサ



太陽電池バドルと展開機構

電源系の開発により、以下のような人材を育成した。

- ・ 電源制御系の特性を知り、試験や評価を担える人材
- ・ 太陽電池セルを実装する技術を習得した人材

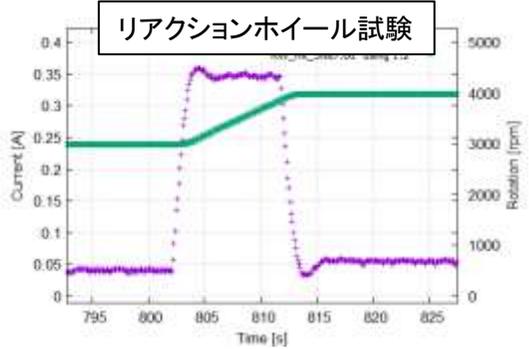
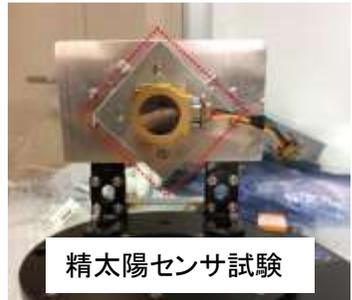
# ①「金沢大学での人材育成」

## 実施内容・成果

### 姿勢系

令和元年度に姿勢系センサの特性評価を行った。磁気トルカの磁気双極子モーメントの測定や、精太陽センサの視野および角度決定精度の測定、星センサによる測位などを実施した。令和元年度から独自の姿勢系シミュレータを開発し、衛星放出時の角運動量の最悪ケースにおいても、太陽補足と姿勢安定化までを所望の時間内に実現できることを確認した。シミュレータで用いたアルゴリズムを基に、KOYOHのオンボード姿勢系ソフトウェアを開発した。

- ・ 姿勢制御機器の特性評価
  - 姿勢系センサの特性評価 (精太陽センサ、星センサ、地磁気センサ、ジャイロ)
  - 姿勢系アクチュエータの特性評価 (磁気トルカ、リアクションホイール)
- ・ オンボードソフトウェアの開発
  - 姿勢系シミュレータの開発
  - 姿勢系アルゴリズムの開発とオンボードソフトへの実装



姿勢系の開発により、以下のような人材を育成した。

- ・ 姿勢制御理論を理解し、オンボードソフトを開発できる人材
- ・ 姿勢制御センサおよびアクチュエータの特性評価を行える人材
- ・ 初期運用などのクリティカルなフェーズを綿密に考察できる人材

### 通信系および運用系

KOYOH衛星にはSバンドとUHFバンドの2系統の通信機器を搭載し、金沢大学に設置しているアンテナで運用する。令和元年度と2年度に、送受信機の動作確認および電波暗室におけるアンテナ指向性・ゲイン評価を実施した。並行して、アンテナ駆動機構の開発や、データ蓄積系ソフトウェアを開発し、運用システムを構築した。また、ミッション機器の速報データを送信するために、商用通信衛星（イリジウム衛星）を利用した通信機器を開発した。令和3年度には、衛星搭載機器のソフトウェアを開発した。

- ・ 衛星搭載通信機器の特性評価
  - 通信機 (Sバンド、UHF、イリジウム衛星通信) の特性評価
  - アンテナ指向パターン測定技術の習得
- ・ パラボラアンテナ用の変調器の導入
- ・ アンテナの整備運用モニターの開発
- ・ 運用ソフトウェア、データ蓄積系の開発



通信系および運用系の開発により、以下のような人材を育成した。

- ・ 通信機器の性能や特性を評価できる人材
- ・ 運用システムやデータ蓄積系を構築できる人材
- ・ 運用計画を立案し、必要な環境を構築できる人材

# ①「金沢大学での人材育成」

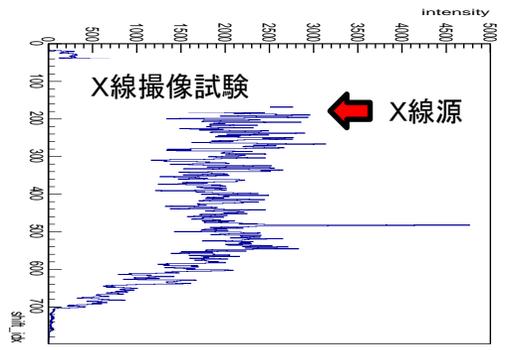
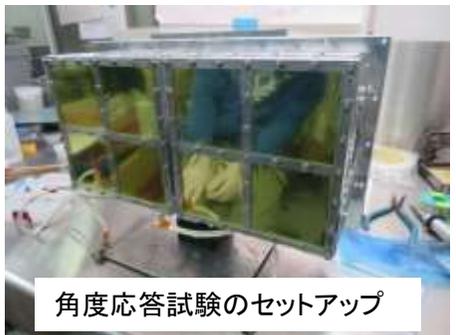
## 実施内容・成果

### ミッション系

KOYOHのミッションであるX線突発天体を監視するための観測装置のフライトモデルを完成させ、令和2年度にはX線撮像の性能評価、令和3年度にはX線スペクトルの応答関数の構築などを行い、観測データから科学成果を創出するために必要な較正を行った。また、オンボードソフトを開発し、衛星フライトモデルでの動作試験を行った。

並行して、KOYOH衛星で実現する科学観測を想定して、現在運用中の人工衛星のデータを用いて宇宙科学の研究を行った。

- ・ **ミッション機器の開発**  
広視野X線撮像検出器のハード／ソフトウェアの開発
- ・ **観測装置の較正**  
角度応答、エネルギー応答、時系列データ等の較正



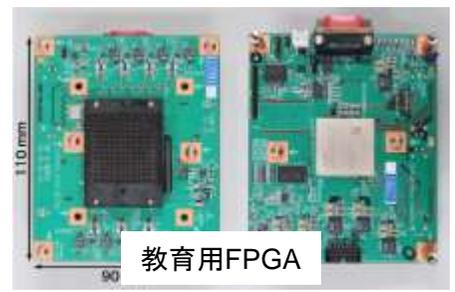
### 衛星開発を学べる環境の構築

KOYOHの打ち上げ以降も金沢大学大学院「宇宙理工学コース」で継続的に宇宙科学・宇宙工学を学び、人工衛星を開発できる環境を構築するために、教材としてキューブサット搭載機器の導入や、教育用FPGAの開発、KOYOHの開発に関連する教材の作成を行った。

教育用FPGAは、近年の人工衛星で頻りに利用されるCMOSイメージセンサを駆動できるような設計とし、汎用I/Oを多数設けることで応用範囲を広げるとともに、デバッグ機能を充実させ、開発を行いやすい設計とした。外部の8大学・研究機関でも導入され、研究・教育活動に用いられている。

#### 教育素材の例:

- 姿勢系: 姿勢運動、リアクションホイール制御則、磁気トルカ制御則、KOYOH姿勢制御則、軌道計算法、姿勢決定法、
- 通信系: 衛星通信、回線設計、KOYOH通信システム、地上局
- 回路系: 教育用FPGAチュートリアル
- キューブサット: CPU、バッテリー、Sバンド送信機



ミッション系の開発により、以下のような人材を育成した。

- ・最先端の科学を理解し、さらに発展させる観測装置を開発できる人材
- ・信頼できる科学データを取得するための検出器較正を担える人材
- ・データ解析により宇宙科学の成果を創出できる人材

- ・開発実績に基づいた衛星システムに関する資料
- ・衛星コンポーネントを用いた実習
- ・FPGAを用いた実習および研究活動への導入

などにより、継続的に宇宙科学・宇宙工学を学べる環境を構築

## ② 「高専での人材育成」

### 実施内容・成果

パラボラアレイ・アンテナの開発を課題研究として、人工衛星の運用を理解し、地上アンテナシステムを開発できるスキルを持った人材を育成した。また、金沢大学へのインターンシップを開催し、人工衛星システムを理解するとともに、熱真空試験・振動試験・電源系の開発などKOYOH衛星の開発に参加し、衛星開発の現場を体験できる試みを実施することで、宇宙事業に関連した進路を選択するきっかけを提供した。

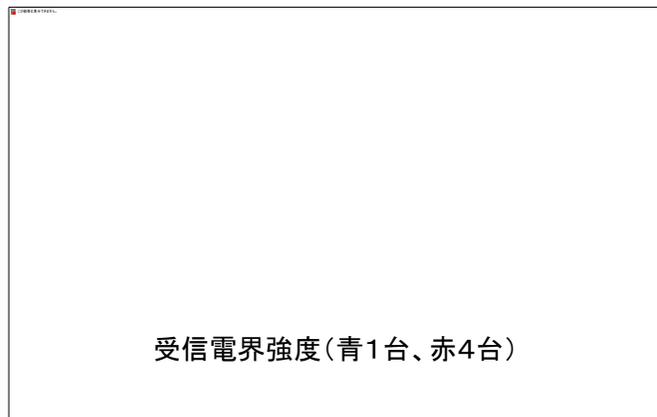
#### パラボラアレイ・アンテナの開発

BS放送用のパラボラアンテナを組み合わせたものを衛星追尾用のローテータに取り付け、そこにSバンド用受信機を搭載することで衛星運用で用いることが可能なパラボラアレイ・アンテナを開発した。ローテータの角度制御は、3軸加速度センサおよび3軸地磁気センサを用いてマイコンから制御する。仰角は3軸加速度センサの計測値から計算したオイラー角、方位角は3軸磁気センサの計測値から計算したオイラー角で表すことができ、これらの算出された角度からマイコンでスイッチング回路を通してローテータの制御を行う。

BS用アンテナの指向性半値幅が狭く、複数のアンテナのアライメント調整が困難であったが、受信電界強度は理想値の75%程度を達成することができた。KOYOH衛星が打ち上がった後は、本アンテナを利用したデータ受信を試みる予定である。



パラボラアレイ  
アンテナ

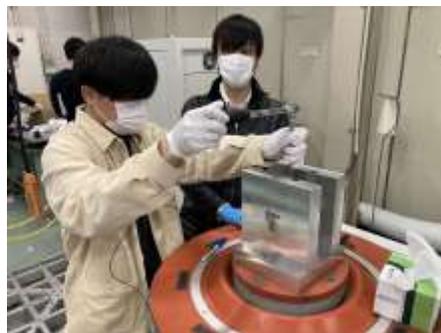


受信電界強度(青1台、赤4台)

#### 大学インターンシップ

以下の日程でインターンシップを実施した(全11名、下記は重複含む)。  
2019年12月27日(金) 超小型衛星の開発環境・運用設備の見学 (6名)  
2021年3月26日(金) 衛星搭載機器の振動試験 (1名)  
2021年3月30日(火) 衛星における電源系 (2名)  
2022年3月14日(月) 超小型衛星の熱真空試験 (3名)

KOYOH衛星の振動試験や熱真空試験に合わせてインターンシップを行い、現場作業も含めて共同で試験を行った。また、試験データと熱数学モデルを比較することで評価についても体験できるようにした。



インターンシッププログラムにも参加した高専生のうち2名が、金沢大学理工学域電子情報学系へ編入し、金沢大学衛星開発や宇宙科学研究を行っている研究室に配属されることとなった。本インターンシップがきっかけとなり、高専生に対して宇宙・衛星への興味を引き出すだけでなく、実際に宇宙事業に関連した将来の進路を選択するにあたり効果的に機能したと言える。

# ③ 「高校での人材育成」

## 実施内容・成果

金沢大学附属高等学校と石川県立泉丘高等学校の生徒を対象に以下の事業を行い、宇宙科学・工学に対するビジョンを持った人材を育成した。

**【1】衛星システムゼミ：衛星システムを学ぶ書籍を用いた勉強会を実施（令和元年 11回、令和2年 23回、令和3年 20回）**

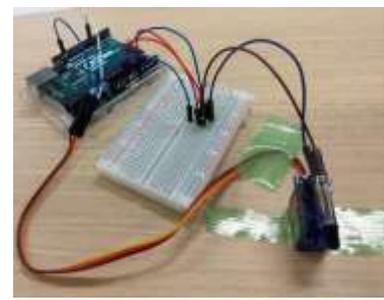
生徒が予習および調べ学習による発表資料を用意し、他の生徒に向けて説明を行うゼミ形式で実施。生徒間で活発な質問や意見交換を行った。教員は物理的内容の補足説明や、生徒間では解決できない質問・疑問に対してコメントし、衛星システムを深く理解できるようにした。3年目は前年度に学んだ生徒がゼミを牽引する方法を試行し、主体的に宇宙を学ぶ機会を作り出した。しかしながら、物理や数学の専門知識に乏しいこともあり、円滑なゼミを実施するためには大学教員（または大学院生）のサポートが必要であると認識した。

**【2】課題研究・衛星設計コンテスト：衛星ミッションの考案とそれを実現するシステム設計、および衛星設計コンテストへの提案**

生徒自らが衛星ミッション（アイデア）を考案し、衛星システムゼミで学んだ内容を基にミッションを実現する方法をできるだけ定量的に示し、衛星設計コンテストに提案した。本事業機関中に6課題を提出し、うち2課題が最終選考会で口頭発表を行った。令和2年度にジュニア部門奨励賞、令和3年に審査員長特別賞を受賞した。

**【3】マイコン実習：赤外線LEDの場所を探索し、向きを変える機能の実装（2回）**

マイコンの機能と衛星バスでののはたらきの復習、プログラミング開発の進め方を説明した後、パソコンとマイコンの間で衛星との通信を模擬したコマンドの送信、テレメトリデータの受信をプログラミング実践した。さらに、ブレッドボードと赤外線センサー、赤外線受信機、およびサーボモーターを用いて、太陽センサーを模擬した自作の赤外線探知機を電子工作課題およびプログラミング課題として実践した。プログラミングに長けた受講生徒に模範例を解説してもらい、相互に学ぶ機会を提供した。



|               | 金沢大学附属高等学校（全19名）  | 金沢泉丘高等学校（全21名）  |
|---------------|---|---|
| 衛星システムゼミ参加者数  | 令和元年度：13名（1年生：8名、2年生：5名）<br>令和2年度：13名（前年度より継続）<br>令和3年度：6名（1年生：3名、2年生：3名）                         | 令和元年度：—<br>令和2年度：15名（1年生：8名、2年生：7名）<br>令和3年度：12名（1年生：6名、2年生：6名） |
| 衛星設計コンテスト参加者数 | 令和元年度：—<br>令和2年度：8名（A班：3名、B班：3名、C班：2名）<br>A班は <b>ジュニア部門奨励賞</b><br>令和3年度：3名（1班のみ、 <b>審査員長特別賞</b> ） | 令和元年度：—<br>令和2年度：—<br>令和3年度：9名（A班：5名、B班：4名）                     |

左記の活動に参加した生徒の進学先  
 (1)宇宙物理や宇宙工学分野：7名  
 (2)宇宙分野も含む理工系：6名  
 (3)宇宙以外の分野：7名  
 ※ 浪人生の進路希望を含む  
 ※ 令和4年度の3年生は除く

※左記人数は重複参加者を含む

# ④ 「小中学生の人材育成」

## 実施内容・成果

人工衛星に搭載されている機器の基本原理や技術を身近に感じられるような教材を開発した。金沢大学の学園祭やサイエンスヒルズこまつの科学イベントの場などで実験ブースを開設し、多くの小中学生および一般に体験していただいた。

### (1) 熱伝導に関する実験

形状がほぼ同一のチタン製の棒、銅製の棒、銅製のヒートパイプを用意し、氷水につけることで冷たく感じるまでの時間を体験できるような教材を作成した。人工衛星内部の機器の温度を受動的に制御するために、熱伝導率の違いを積極的に利用している事が理解できる教材である。



### (2) 熱放射に関する実験

表面処理の異なる3種類のアルミ材（黒色アルマイト・白色アルマイト・アルミ無垢）を用意し、材料の表面特性（放射率特性）で熱放射が決まることを学べる教材を作成した。ホットプレートで熱伝導で温めたり、電熱ヒーターにより放射で温められたアルミ材の表面温度の違いを認識できる教材である。



### (3) 傘ラジオによる無線通信の実験

ビニール傘に螺旋状にケーブルを巻きつけてループアンテナ（インダクタンスL）を作成し、傘の柄に薄い絶縁体を挟んでアルミテープを巻きつけることでコンデンサ（静電容量C）とした傘ラジオを製作した。アルミテープと傘の柄の面積を変化させることで静電容量（共振周波数）を調整できる。

ここにゲルマニウムダイオードを介してイヤホンを取り付けることで、ラジオの周波数と共振周波数が一致した時に音が聞こえる教材である。（電源が無くともラジオ電波の誘導起電力で音声聞こえる）



### (4) 姿勢制御に関する実験

一辺が15cm程度の箱の内部に、モータで回転するリアクションホイールと、マイコンおよびバッテリーを搭載した模擬衛星を開発した。ノートPCから無線デバイスを通じて模擬衛星へコマンドを発行することでリアクションホイールのON/OFFや回転数の調整が可能なシステムを開発した。リアクションホイールを回転させることで、模擬衛星が回転する様子を観察し、人工衛星の姿勢を変更するしくみを理解できる教材となっている。



### (5) 角運動量保存則に関する実験

リアクションホイールを用いた姿勢制御では、「角運動量保存則」が利用されている。それを体感できるように、自転車のホイールに取っ手を付けた教材を作成した（図4.2.4）。回転椅子に座り、回転したホイールを傾けると身体（椅子）が回転するで、角運動量保存則を体験できる教材である。



# ④「小中学生の人材育成」

## 実施内容・成果

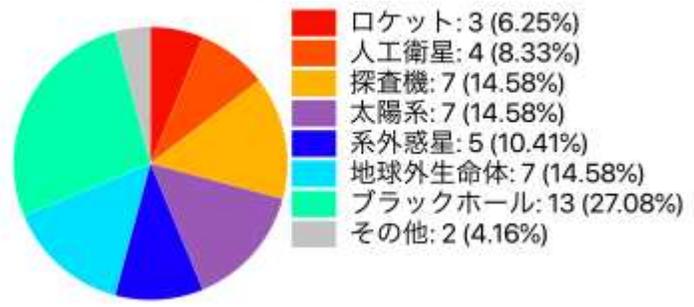
科学館（サイエンスヒルズこまつ）の会場を提供していただき、宇宙理学・宇宙工学に関連する講演会を開催した（全12講演会・参考資料参照）。COVID-19のまん延防止等重点措置の時期を避けて現地開催ができるよう最大限の調整を行い、8講演を現地開催、4講演をリモート開催として実施することができた。いずれも聴講者は石川県内在住者のみを受け付け、サイエンスヒルズこまつにて参加という形式を採用し、一部はオンライン配信も試みた。

講演テーマの選定と日程の調整においては、天文イベント（月と金星の接近や、水星の東方最大離角など）や、過去のはやぶさ初号機の帰還日に合わせるなどの配慮も行った。講演会後に星空観望会を実施するなど、夜空に親しむ場も提供した。

講演会後に以下のようなアンケートを実施した

- ・小学生、中学生、高校生、大学生・大学院生、一般 が識別できる欄
- ・一緒に来た人（一人、母、父、祖父、祖母、兄弟・姉妹、子供、友人など）
- ・講演会をどこで知ったか（ホームページ、掲示、友人からなど）
- ・講演内容は面白かったか（5段階）
- ・講演のレベル（難しい — 易しいまでの5段階）
- ・今回の講演に対して、特に勉強になったことや、もっと知りたい事など（今後の参考）
- ・今後、宇宙に関連するどのような講演を聞いてみたいか（いくつでも可）

聴講者が希望する講演内容の調査



令和2年度のアンケートでは、内容のレベルが「やや難しい」という意見が半数程度あったため、令和3年度は講師に対して小学校低学年も対象に含まれる事を十分に伝え、可能な限り平易な言葉・スライドで説明をしていただくように依頼した。また、小学校低学年・幼稚園生の保護者から「映像を多く交えることで興味や理解度を高まる」という声に応えられるよう講師に依頼した。その結果、「やや難しい」の回答は20%程度にまで減少させることができた。

**全ての講演会において小学生の割合は3割以上を占め、小学生から数多くの質問が出ていたことは特筆に値する。本事業で目指す人材育成効果が十分に現れていると言える。**一方で中学生の参加者が非常に少なく（科学館に足を運ぶ中学生が少なく）、事業期間内に改善ができなかったことは悔やまれる。

小中学生や一般の方々が集いやすいサイエンスヒルズこまつ場で、KOYOH衛星の紹介をはじめ、人工衛星や宇宙科学を題材とした人材育成、星空観望会のような宇宙と触れ合える機会を提供してきたことは、北陸地域の科学館コミュニティを通じて情報が共有された。

科学館「キゴ山ふれあい研修センター」から、中学生を対象の「金沢宇宙塾」と称した2日間にわたる合宿形式の学びの場でKOYOH衛星の紹介講演と模擬実験を依頼されるなど、事業範囲を拡大できている。



星空観望会の様子

# ⑤ 「合同成果報告会」

## 実施内容・成果

各年度末に、金沢大学・石川工業高等専門学校・高等学校・サイエンスヒルズこまつでの事業進捗や課題研究の成果などを書面や写真・映像等で共有し、機関毎の事業内容を相互に理解するための報告会を開催した。複数の機関での事業内容を紹介しあうことで、人工衛星や宇宙に関する研究・開発を幅広く理解できる取り組みとなった。

合同成果報告会で議論された主な改善点・要望と、本事業における対応状況について以下にまとめる。

| 改善点・要望など   | 次年度以降の対応状況   |
|--|--|
| <p>(1) 金沢大学衛星の見学会<br/>金沢大学衛星の開発の様子を見学できる機会を設けて欲しいとの要望があった。実物の人工衛星を目の当たりにできる機会を提供することで、より一層、人工衛星や宇宙科学に対する興味を持ってもらえる可能性が高いため、次年度の事業に積極的に取り入れていくよう検討する。</p> | <p>衛星開発のクリーンルームは閉鎖空間であり、敷地面積も十分でないため、COVID-19の感染拡大予防の観点から、大規模な見学会を行うことができなかった。しかしながら、衛星設計コンテストの相談などで金沢大学に来訪してきた一部の高校生に対しては、衛星開発環境を案内し、組み上げ中の人工衛星を見学してもらえた。</p>                                     |
| <p>(2) 科学イベントへの高校生の参加<br/>高校生にもサイエンスヒルズこまつ等で開催されるイベントで企画展示の機会を与えることも意義が高いとの議論があった。</p>   | <p>サイエンスヒルズこまつで開催されるイベントにおいて、金沢泉丘高校の物理部の生徒(本事業の衛星システムゼミの参加者を含む)が、紙飛行機を題材とした企画を実施した。</p>  |
| <p>(3) 金沢大学附属高校以外への事業の展開<br/>金沢市内の高校から、衛星システムゼミを開講して欲しいとの要望を受けている。本事業を段階的に発展させることは人材育成の場を広げる上で重要であるため、積極的に検討していく。</p>                                    | <p>令和2年度より、石川県立金沢泉丘高校においても衛星システムゼミを開講し、令和3年度には衛星設計コンテストに提案してもらうなど、本事業期間内に事業規模を拡大することができた。<br/>他校との交流や協働を実現できる可能性があったが、COVID-19の影響や各校のスケジュール調整の難しさなどから本事業内では実現できなかった。</p>                           |
| <p>(4) マイコン実習の開催<br/>衛星システムゼミを開講することで、人工衛星について系統的に学ぶことができた。ここに、開発を体験する要素を導入することができれば、高い人材育成の効果が得られると考えられる。</p>   | <p>令和2年度・3年度に高校生に対してマイコン実習を行い、座学だけではなく、実技面でも人工衛星を理解する機会を提供することができた。高校における「課題研究」や「総合的な学習」において、マイコン等を利用したいという希望があるものの、高校教諭側での指導・対応が困難な場合もあると聞いている。そのような中、本事業でのマイコン実習は高校生のニーズにも則した良い取り組みであったと言える。</p> |

# その他の成果

| これまで得られた成果<br>(特許出願や論文発表数等) | 特許出願         | 査読付き<br>投稿論文 | その他<br>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<br>国際：0 | 国内：2<br>国際：8 | 国内：20<br>国際：8   | 国内：0<br>国際：0 | 国内：3<br>国際：0 | 国内：5<br>国際：0 |
|                             | 受賞・表彰リスト     |              | <b>2019年度 電子情報通信学会 通信ソサイエティ論文賞受賞</b><br>(徳永祐也, 尾崎光紀, 八木谷 聡, 糺 宏樹, 小嶋浩嗣, 米徳大輔) |              |              |              |

## 成果展開の状況・期待される効果

金沢大学衛星KOYOHは、JAXAの革新的衛星技術実証プログラム3号機に選定されたが、対外的な事情により打ち上げに至っていない。2023年度半ばから後半に打ち上げ可能な国内外の機会をJAXAおよび関連企業が中心となって調査している最中である。KOYOH衛星の打ち上げ後は、独自性の高い観測データを取得できるため、数多くの科学成果を創出できると期待している。

本事業で開発した教育用FPGA回路は、外部の8大学・研究機関でも導入されている事を述べたが、そのうちの1機関では**一部の部品を宇宙用部品に入れ替えることで50kg級の衛星に搭載する予定**となっている。金沢大学以外の機関への波及効果も得られ始めている。

本事業で開発した人工衛星を理解するための実験を、他の科学館や小中学校の理科の授業など、積極的に利活用していく予定である。既に「金沢宇宙塾」という小中学生が集う場で実施しており、高評価が得られている。

本事業終了後ではあるが、金沢市の協力の下で「金沢市宇宙産業シンポジウム ～宇宙教育を通じた未来の人材育成～」を開催した。教育機関だけではなく、宇宙産業に興味のある企業に対する教育も視野に入れたシンポジウムであり、金沢市における企業・教育機関および金沢市教育委員会との連携体制を広めつつある。今後の北陸地域における宇宙事業の拡大が期待できる。

## 今後の研究開発計画

- 本事業では**高校生に対してマイコン実習を実施したものの、衛星や搭載機器を開発する経験を提供することが困難であった。**授業の課題研究や部活動（課外活動）などと連携し、飛翔体を用いた実験の場を提供することで、宇宙科学や宇宙工学への興味や技術を醸成できると考えられる。北陸地域は世界でも稀な「大規模な雷」が発生する地域であるため、**気球実験を通じて装置開発や科学研究を行える活動を計画している。**
- 金沢大学ではKOYOHに続く2号機の検討を初めており、継続して大学主導の人工衛星の開発を題材とした教育・研究・人材育成を行う。
- 本事業の主目的は教育による人材育成であったが、KOYOH衛星搭載のミッション機器の回路や教育用FPGA(他大学で衛星搭載品に改良)の開発は、これまでに宇宙事業に関連したことの無い企業と実施してきた。規模は限定的ではあるが、**民間事業者が新規に宇宙産業に参画することに貢献できた。**

# (参考) ③ 「高校での人材育成」について

## 実施内容・成果

### 衛星設計コンテストに提案した作品名および概要

#### 令和2年度成果報告書からの抜粋

表 3.1.1. 金沢大学附属高校から衛星設計コンテストに提案した 3 作品の概要

(A 班：3 名)

|     |   |
|-----|---|
| 作品名 | 宇宙線の音声表現：<br>様々な宇宙線・放射線事象を音声として表現し宇宙を聴く   |
| 概要  | 宇宙を紹介する本やサイトの多くは、天体写真や宇宙から見た地球の画像といった視覚的な情報を提供するが、不思議なほどに、宇宙を音声で特徴づける素材は一般的でない。寧ろ、音波を伝える媒質がない宇宙空間には音は存在しないという常識が浸透している。地球の自然を捉える感覚が視覚に限らないように、宇宙にも聴覚による認識を提供できないのか。ここで、宇宙空間に漂う宇宙線の音声表現という着想を得た。そこには宇宙線の粒子と波動の二重性という背景がある。 |

(B 班：3 名)

|     |  |
|-----|--|
| 作品名 | デブリ水切り衛星：<br>人工衛星から射出した 1 つの物体で複数のデブリを落下させる  |
| 概要  | 衛星から射出した鉄球を用いて、川の水切りの要領でデブリを弾き、1 つの鉄球でいくつものデブリを落下させる。また、この経路をあらかじめ計算しておき、実行日時を決める権利を販売することで、「人工流れ星」として収益を確保でき、これを事業の資金源として持続可能なデブリ除去を行うことができる。 |

(C 班：2 名)

|     |  |
|-----|--|
| 作品名 | 人工衛星を用いた宇宙蓄電池計画：<br>人工衛星からレーザー送電により他の衛星へ電力を供給  |
| 概要  | 発電、蓄電に特化した人工衛星を作り、現在、研究開発が進んでいるレーザーによる無線送電を行う。これによって他人工衛星のミッション支援を行う人工衛星を考えた。宇宙太陽光発電計画 (SSPS) や遠距離無線送電の計画を参考にしたシステムを考える。此の人工衛星に因って、今まで電力が足りない、スペースが足りない等の電力関係の理由で諦めざるを得なかった、実現不可能だったミッションを行う手助けが出来るのではないかと考える。 |

#### 令和3年度成果報告書からの抜粋

表 3.1.1. 金沢大学附属高校から衛星設計コンテストに提案した作品の概要

(3 名)

|     |  |
|-----|--|
| 作品名 | 宇宙で金沢のアイスを！<br>アイスによる宇宙飛行士のストレス解消と節電できる保存方法  |
| 概要  | 今日、技術の発展により宇宙では様々なものを食べられるようになってきている。しかし、そのほとんどは常温～温かく、冷たいものを食べることはほとんどないのだという。そこで、アイス消費量全国 1 位のアイス県である石川県民という視点から、代表的な冷製食品であるアイスに着目し、「溶けないアイス」の原理を宇宙空間に应用することができないかと考えた。それによって、宇宙食の多様化及び宇宙飛行士のストレスの軽減を図ることを最終目標とする。 |

表 3.1.2. 石川県立金沢泉丘高校から衛星設計コンテストに提案した 2 作品の概要

(A 班：5 名)

|     |   |
|-----|---|
| 作品名 | Growing Plants outside the Planet :<br>宇宙空間での効率的な植物育成   |
| 概要  | 本ミッションは、宇宙で効率的に植物を育成し、宇宙飛行士の生活の質の向上や宇宙旅行が実現された際に食の不自由をなくすことを目的としている。宇宙空間には放射線などの植物の成長を妨げる要因が多くあり、実験目的を越えた植物の育成は困難である。そのため、地上で行う低気圧下での実験や放射線の影響を踏まえ、宇宙で無重力、小重力での植物育成実験を行う。それらの実験を通して宇宙での効率的な植物育成条件を解明する。 |

(B 班：4 名)

|     |   |
|-----|---|
| 作品名 | 重力測定による火山噴火の予知  |
| 概要  | 運用期間約 3 年の間宇宙で世界の様々な火山の上空から重力を測定し続け、リアルタイムで重力異常を感知することで、世界の火山の噴火を予知する。同時に火山の活動をリモートセンシングで衛星から観測し、その火山についての情報を得、それを噴火予測に使ったり、その観測結果を元に次の噴火に備えたりする。 |

## (参考) ④ 「小中学生の人材育成」について

### 実施内容・成果

#### サイエンスヒルズこまつで開催した講演会

| 開催日                    | 講師(所属)             | 講演タイトル                           | 参加者数 |
|------------------------|--------------------|----------------------------------|------|
| 2019/12/22(日)          | 尾崎光紀 准教授(金沢大学)     | オーロラ研究の最前線                       | 58名  |
| 2020/4/5(日)            | 今村剛 教授(東京大学)       | 金星探査機あかつき 新たな惑星科学を切り拓く           | 60名  |
| 2020/6/14(日)<br>リモート開催 | 津田雄一 教授(ISAS/JAXA) | 小惑星探査機はやぶさ2 星のかけらとともに地球へ         | 81名  |
| 2020/6/14(日)<br>リモート開催 | 上坂浩光(ライブ社)         | HAYABUSAにかける思い                   | 49名  |
| 2021/3/21(日)<br>リモート開催 | 須藤靖 教授(東京大学)       | もうひとつの地球が見つかる日                   | 55名  |
| 2021/11/3(水)           | 大西卓哉 宇宙飛行士(JAXA)   | いつか、きっと、宇宙へ -これからの宇宙飛行士に求められるもの- | 363名 |
| 2021/11/7(日)           | 廣瀬史子(JAXA)         | 惑星探査の旅 あかつきを金星に連れてって             | 44名  |
| 2021/11/23(火)          | 高田昌広 教授(東京大学)      | 宇宙の謎、ダークマターって何?                  | 60名  |
| 2021/12/4(土)           | 渡邊誠一郎 教授(名古屋大学)    | 小惑星リュウグウは何を語る?                   | 45名  |
| 2022/1/8(土)            | 小久保英一郎 教授(国立天文台)   | 太陽系の作り方                          | 60名  |
| 2022/2/13(日)<br>リモート開催 | 大竹真紀子 教授(会津大学)     | 月は地球のタイムカプセル                     | 40名  |
| 2022/3/21(月)           | 本間希樹 教授(国立天文台)     | ブラックホールを見た日 ~人類100年の挑戦~          | 89名  |

宇宙航空人材育成プログラム

宇宙への夢を現実へと紡ぐ地域連携型人材育成システムの構築と試行

事後評価票における  
「アウトプット」および「アウトカム」の説明資料

代表：米徳 大輔（金沢大学 理工研究域・教授）

# 5. 成果に関する事後自己点検の方針

## 《アウトプットに関する事後自己点検の実施方針》

| 実施項目                             | ミニマムサクセス  | フルサクセス   | 達成状況                     |
|----------------------------------|---|--|--------------------------|
| <b>金沢大学大学院・宇宙理工学コースにおける人材育成</b>  |   |  |                          |
| 搭載機器の高精度なインテグレーションの方法の習得         | 手順書に基づき、適切な方法で金沢大学衛星のインテグレーションを実施できる人材を5名輩出する。                                  | リーダーとしてインテグレーションチームを統率できる人材を、各学年から1名輩出する。  | フルサクセス達成                 |
| 太陽電池セルの貼り付け技術の習得                 | 太陽電池セルを実装するための技術資料を宇宙理工学コースに対して公開し、講義・ゼミの履修者が利用できるようにする。                        | ミニマムサクセスに加え、自作の粗太陽電池を金沢大学衛星に搭載し、振動試験・熱真空試験に耐え、打ち上げ可能な状態として認定するまでを責任を持って担当できる人材を1名輩出する。   | フルサクセス達成<br>(ただし引き継ぎを含む) |
| 太陽電池模擬電源等を用いた電力制御器の試験による電源系技術の習得 | 太陽電池模擬電源を利用した電源系試験の技術資料を宇宙理工学コースに対して公開し、講義・ゼミ等の履修者が利用できるようにする。                  | ミニマムサクセスに加え、太陽電池パドルのフライト品を用いた電力制御器の試験を実施する。その技術資料を宇宙理工学コースに対して公開し、講義・ゼミ等の履修者が利用できるようにする。 | フルサクセス達成                 |
| オンボード姿勢系アルゴリズムの開発と姿勢制御技術の習得      | 金沢大学衛星の運用シーケンスを想定し、姿勢制御シミュレーションに基づき安定した姿勢制御則（アルゴリズム）および適切なパラメータを決定できる人材を1名輩出する。 | ミニマムサクセスに加え、金沢大学衛星のオンボードコンピュータに姿勢制御ソフトウェアを実装する。  | フルサクセス達成                 |
| 超小型衛星キットを利用した教育素材の開発             | コンポーネント毎の利用方法をまとめた技術資料を宇宙理工学コースに対して公開し、講義・ゼミの履修者が利用できるようにする。                    | ミニマムサクセスに加え、オンボードコンピュータで機器を制御するための技術資料を宇宙理工学コースに対して公開し、講義・ゼミの履修者が利用できるようにする。             | フルサクセス達成                 |

## 5. 成果に関する事後自己点検の方針

### 《アウトプットに関する事後自己点検の実施方針》

| 実施項目                            | ミニマムサクセス   | フルサクセス   | 達成状況                                   |
|---------------------------------|--|--|--|
| <b>金沢大学大学院・宇宙理工学コースにおける人材育成</b> |  |  |  |
| 衛星搭載に移行可能な教育用FPGA基板の開発          | 人工衛星で利用できる回路部品を用い、3Uサイズ程度の超小型衛星に搭載可能なサイズで、イメージセンサを駆動することのできるFPGA回路を開発する。設計の段階から大学院生が関与することで、宇宙機に搭載する機器の設計の考え方や開発・検証方法を理解した人材を育成する。 | 開発したFPGA基板を大学院教育の現場に導入する。基板の使用方法をまとめた技術資料を宇宙理工学コースに対して公開する。イメージセンサを駆動するためのロジックを開発する中で、FPGAの開発に精通した人材を育成する。           | フルサクセス達成<br>金沢大学以外の8機関でFPGA回路が活用されている。 |
| 超小型衛星の開発                        | 衛星搭載機器の動作原理を理解し、機器単体を扱うためのソフトウェアを開発し、それを用いて特性評価等を実施できる人材を5名以上輩出すること。   | 複数の衛星搭載機器を統合するソフトウェアを開発し、人工衛星としての適切な機能を実現できる人材を2名以上輩出すること。   | フルサクセス達成                               |
| 熱真空試験技術の習得                      | 熱真空試験の意義を理解した上で、準備、試験計画の立案、試験の実施、事後評価を担当できる人材を1名以上輩出すること。  | 熱真空試験の意義を理解した上で、熱エネルギーの輸送に関する物理計算や熱数学モデルによるシミュレーションに基づいて、準備、試験計画の立案、試験の実施、事後評価を提案でき、熱真空試験を担当・マネジメントできる人材を1名以上輩出すること。 | フルサクセス達成                               |
| 振動試験技術の習得                       | 振動試験の意義を理解した上で、準備、試験計画の立案、試験の実施、事後評価を担当できる人材を1名以上輩出すること。   | 振動試験の意義を理解した上で、材料力学・構造力学の物理計算や構造数学モデルによるシミュレーションに基づいて、準備、試験計画の立案、試験の実施、事後評価を提案でき、振動試験を担当・マネジメントできる人材を1名以上輩出すること。     | フルサクセス達成                               |

## 5. 成果に関する事後自己点検の方針

### 《アウトプットに関する事後自己点検の実施方針》

| 実施項目                            | ミニマムサクセス   | フルサクセス   | 達成状況   |
|---------------------------------|--|--|--|
| <b>金沢大学大学院・宇宙理工学コースにおける人材育成</b> |  |  |  |
| 安全審査資料等の作成                      | JAXAのシステム安全標準を理解した上で、安全審査に関わる資料の一部を担当できる人材を1名以上輩出すること。   | JAXAのシステム安全標準を理解した上で、安全設計、リスクの最小化、ハザード解析等のシステム安全工学に基づいた検討や資料作成を主体的に担当できる人材を1名以上輩出すること。                 | フルサクセス達成<br><br>JAXA革新的衛星技術実証プログラム3号機での資料作成              |
| 衛星運用                            | 衛星-地上間通信に関する知識を有し、衛星搭載アンテナや地上アンテナの特性評価を行うことができる人材を1名以上輩出すること。  | 人工衛星の実運用が可能な通信システムを構築できる人材を1名以上輩出すること。   | フルサクセス達  |
| <b>高専における人材育成</b>               |  |  |  |
| インターンシップによる宇宙事業へのビジョンの形成        | 高専生に対するインターンシップを実施し、アンケートにより8割以上の学生から有意義であったとの回答を得る。   | ミニマムサクセスに加え、5割以上の学生から、宇宙科学・宇宙工学を学ぶ大学への進学や宇宙事業に関わる職種に興味があるとの回答を得る。                                      | フルサクセス達成   |
| B S放送パラボラアンテナを用いた運用システムの開発      | B S放送パラボラアンテナを4台アレイ化し、信号を合成することで単体のアンテナと比較して2倍以上の電力利得を得られるシステムを開発する。また、衛星の軌道要素に基づいてアンテナを制御できる自動追尾システムを開発する。これらの課題研究を通じて、衛星運用系システムを理解した人材を1名以上輩出する。 | B S放送パラボラアンテナを4台アレイ化することで、実運用が可能な地上系システムを開発し、軌道上の人工衛星からの電波を受信すること。課題研究を通じて衛星運用系システムを理解した人材を4名以上輩出すること。 | ミニマムサクセス達成<br><br>KOYOH衛星の打ち上げが遅延したことにより、軌道上の衛星からの受信が未達成 |

## 5. 成果に関する事後自己点検の方針

### 《アウトプットに関する事後自己点検の実施方針》

| 実施項目                  | ミニマムサクセス  | フルサクセス   | 達成状況   |
|-----------------------|---|--|--|
| <b>高校における人材育成</b>     |   |  |  |
| 衛星システムゼミの実施による人工衛星の理解 | 人工衛星について学べる教本を用いたゼミにより、人工衛星システムの機器構成や役割を理解すること。その知識に基づいて、自らが主体的に衛星ミッションを立案し、衛星設計コンテストに提案できる人材を5名以上輩出すること。また、アンケート等により8割以上の学生から有意義であったとの回答を得ること。 | マイコンを用いて外部センサーからの情報を受け、それに応じてアクチュエータ等を駆動できる技能を習得する。座学ゼミの知識を実践する中で、宇宙科学や宇宙工学と向き合える人材を10名以上輩出すること。実践的な活動に対して、アンケート等により8割以上の学生から有意義であったとの回答を得ること。 | フルサクセス達成   |
| 高校教諭を対象とした研修会・勉強会の開催  | 高校生に対するゼミでは扱いきれない高度な宇宙科学や宇宙工学に関して、高校教諭へ向けた勉強会を開催し、有意義であったとの回答を得る。   | 高校教諭によりゼミの運営や衛星設計コンテストへの指導ができるようになり、本事業の終了後も継続して宇宙科学・宇宙工学の教育を展開できる環境を構築する。   | ミニマムサクセス達成<br>衛星開発の経験が無く、かつ本務が多忙な中でゼミの運営や補足説明を行う事は困難である。 |
| <b>小中学生に対する人材育成</b>   |   |  |  |
| 人工衛星を学べる常設展示の開始       | 常設展示ブースを解説し、金沢大学衛星プロジェクトを広く一般に向けて紹介することで、地域の小中学生および保護者（一般）が人工衛星を身近に感じる機会を提供すること。  | 金沢大学衛星のモックアップや人工衛星の中で使われる材料や機器について理解できる展示教材を準備し、常設展示ブースで公開する。展示内容をアップデートすることで、金沢大学衛星の開発における進捗情報を広く一般に向けて紹介すること。                                | フルサクセス達成   |
| 人工衛星を知るための模擬実験        | 姿勢系・電源系・通信系に関連する実験教材を開発し、人工衛星の中で使われる機器について動作の仕組みや考え方が理解できる説明資料を作成する。実験教材を利用して、年に3回の実験講座を実施すること。   | 実験教材を利用して、通算で10回の実験講座を実施すること。衛星開発側の研究者や大学院生と、小中学生・一般との間で十分な会話ができる環境を5回以上設け、宇宙科学や宇宙工学への興味を醸成すること。   | フルサクセス達成   |

## 5. 成果に関する事後自己点検の方針

### 《アウトプットに関する事後自己点検の実施方針》

| 実施項目                | ミニマムサクセス   | フルサクセス  | 達成状況     |
|---------------------|--|---|----------|
| <b>小中学生に対する人材育成</b> |  |   |          |
| 講演会の実施              | 宇宙科学や宇宙工学に関する講演会を令和2～3年度の間6回以上開催し、講演者と聴講者の間で対話ができる環境を提供することで、宇宙への興味を醸成する。<br>(※本事業以前は、宇宙に関する講演会は年間1～2回程度であることからそれよりも高い頻度で実施する) | 人工衛星プロジェクトや宇宙科学等を世界的に牽引している著名な研究者からの講演会を含め、令和2～3年度の間10回以上の講演会を開催し、講演者と聴講者の間で対話ができる環境を提供することで、宇宙への興味を醸成する。 | フルサクセス達成 |
| <b>合同成果報告会</b>      |  |   |          |
| 合同成果報告会の開催          | 本事業に関与する金沢大学、石川高専、高校、科学館における事業報告を行い、相互に理解し、意見交換を行う。次年度の活動に対する改善点を議論し、本事業にフィードバックをかける。  | 他機関との人材交流を通して相互の事業内容を深く理解し、宇宙科学・工学・教育に幅広い興味および知識を持った人材を育成する。  | フルサクセス達成 |

## 5. 成果に関する事後自己点検の方針

### 《アウトカムに関する事後自己点検の実施方針》

#### ■ 金沢大学大学院 宇宙理工学コースにおける人材育成

金沢大学衛星を完成させる（および、事業後に科学成果を獲得する）中で、宇宙理工学の研究・教育拠点として広くアピールし、宇宙科学・宇宙工学を志す学生が入学し、成長していく環境を構築していきたい。これにより、本事業終了後にも継続して人材育成を進めていく事が可能となる。

JAXAをはじめ、世界の宇宙機関が実施するプロジェクトへ中核として参画するなど、将来的には人材育成の場を北陸地域から世界へ発展させていくことを目指したい。

#### ■ 高専・高校における人材育成

本事業の高大連携で作りに上げてきた「宇宙を楽しんで学べる環境」が教育現場や課外活動にも影響を与え、本事業後にも持続していくことを希望している。

例えば、課外活動や課題研究として、衛星設計コンテストや缶サット甲子園などへの参加が継続されたり、2022年度から実施される高校におけるプログラミング教育において、本事業で実施予定のマイコンを用いた機器制御が教材として活用されるなどの波及効果が期待できる。本事業に直接的には参加していない教諭や、教育委員会関係者などへの事業紹介を積極的に行うなど、波及効果を促す努力も含め、本事業が教育現場に与えた影響を評価する。

#### ■ 小中学生に対する人材育成

最先端の科学成果と将来の展望を講演会で宇宙を学び、かつ、金沢大学という身近な環境で人工衛星を開発していることを認識してもらうことで、「宇宙への夢は手の届くところにある」と感じてもらえるといいだろう。そのような小中学生が、例えば、金沢こども衛星アイデア・宇宙絵画作品コンテストなどに対して積極的に提案したり、宇宙科学のイベントに参加したりできるよう促してあげられるといいだろう。

積極的に発信できる児童・生徒数の推移をモニターし、地域の宇宙教育に与える影響を評価する。

## 5. 成果に関する事後自己点検の方針

### 《実施項目ごとの目標値及び評価指標》

| 実施項目                     | 目標値   | 評価指標   | 達成状況   |
|--------------------------|---|--|--|
| 金沢大学大学院・宇宙理工学コースにおける人材育成 | 金沢大学衛星フライトモデルを題材とし、人工衛星を開発するスキルを持った人材を育成する。我が国の宇宙事業の基盤を支え、さらに発展させられる人材を輩出する。              | アンケートにより、<br>・人工衛星開発の一連の流れを経験したり、十分な知識を獲得できたか<br>・将来的に宇宙事業に関与していきたいと考えるかなどを調査し、本事業の効果を評価する。その中で課題を抽出し、今後の大学院教育へ反映させる。宇宙事業に関わる職業に就いた学生数や、博士後期課程に進学する学生数を調査し、従来からの変化を定量評価する。 | 週に1回の定例会で学生から進捗状況を報告してもらっており、その内容から十分な知識を獲得し、自身の担当に責任を持ってKOYOH衛星の開発を行っている判断できる。<br><br>本事業期間における<br>宇宙関連メーカへの就職4名<br>博士後期課程への進学者3名<br><br>本事業開始前は<br>宇宙関連メーカへの就職は3年に1名程度<br>博士後期過程への進学者数は20年で4名<br><br>本事業により比率が大きく向上したと言える。 |
| 高専における人材育成               | 宇宙事業への具体的なビジョンを持った人材が、さらに宇宙科学・宇宙工学を学ぶことや、実際に宇宙事業に関わる職業に就くことで、我が国の宇宙事業の継続性や発展性を支えることに貢献する。 | アンケートにより、将来的に宇宙事業に関与したいと考える学生の割合を調査する。宇宙科学・宇宙工学を学ぶために大学へ編入学する学生の割合や、宇宙事業に絡む企業へ就職する割合を調査し、従来からの変化を定量評価する。   | 大学インターンシップに参加した高専生へのアンケートでは、「非常に有意義だった」または「有意義だった」が100%であった。一方で、宇宙事業に関与したいと考える高専生は50%であり、実際に宇宙関連に進学/就職した学生は2割未満であった。<br>過去の宇宙関連企業への就職や、宇宙を学ぶ大学等への進学率は1割未満であったため効果があったと考えられるが、母数が11名と少ない中での統計データである。                          |

## 5. 成果に関する事後自己点検の方針

### 《実施項目ごとの目標値及び評価指標》

| 実施項目             | 目標値   | 評価指標   | 達成状況   |
|------------------|---|--|--|
| 高校における<br>人材育成   | 宇宙事業への具体的なビジョンを持った人材が、さらに宇宙科学・宇宙工学を学ぶ目的で大学へ進学することで、我が国の宇宙事業の継続性や発展性を支えることに貢献する。 | アンケートにより、大学への進学を希望する学生のうち、宇宙科学・宇宙工学を学ぶ意思を持つ生徒の割合を調査し、従来からの変化を定量評価する。                                   | 宇宙分野に関連する大学進路決定者：<br>13名/20名（65%）<br><br>本事業開始前は高校全体で数%<br><br>※ただし衛星システムゼミに参加する生徒はそもそもが宇宙に興味のあることから増減の直接的な比較は難しいが、参加者の進路決定に対する後押しとなったことは事実である。  |
| 小中学生に対する<br>人材育成 | 講演会や実験講座への参加者から、積極的に宇宙を学びたい・知りたいという   | 講演会や実験講座への参加者へアンケートを実施し、充実した時間を過ごせたか、新たに学んだ事やさらに学びたい事、宇宙に関する講演で聞いてみたい内容（潜在的な欲求）などを調査し、事業内に反映できたかを評価する。 | 令和2年度のアンケートでは、講演内容の難易度について「やや難しかった」の意見が約50%であったことから、令和3年度には講師に難易度の調整を依頼し改善した。積極的な動画の活用なども依頼することで「やや難しい」は20%程度まで減少させることができた。また、アンケートで抽出した講演会の内容に基づいて計画し、ニーズに応えた。<br><br>令和2年度の実験講座に対するアンケートでは、内容が「とても良い」または「良い」と回答した児童が75%、「普通」が25%であった。小学校低学年から高学年が混在する状況で、同一内容の実験をつたことが要因で、100%に達しなかったと考えられる。 |

# 事後評価票

令和4年3月末現在

|  |
|--|
| 1. プログラム名 宇宙航空人材育成プログラム  |
| 2. 課題名 宇宙への夢を現実へと紡ぐ地域連携型人材育成システムの構築と試行   |
| 3. 主管実施機関・研究代表者 国立大学法人金沢大学 教授 米徳大輔   |
| 4. 共同参画機関 石川工業高等専門学校   |
| 5. 事業期間 平成31年度～令和3年度   |
| 6. 総経費 59.96 百万円   |
| 7. 課題の実施結果   |
| (1) 課題の達成状況  |
| 「所期の目標に対する達成度」<br>◆ 所期の目標<br>金沢大学大学院・宇宙理工学コースと地域の教育機関や科学館が連携することで、 <u>小中学生から大学院生まで世代に適した教育環境と実践の場を提供</u> することで、以下に示す人材育成を行う。<br>・大学院生：<br>衛星の開発や環境試験に基づいた、宇宙事業を支える真のスキルを身につけた先端的職業人<br>・高専生・高校生：<br>課題研究やインターンシップにより、宇宙を学び、宇宙事業に従事するビジョンを持った人材<br>・小中学生：<br>科学館における講演会や模擬実験による、宇宙科学や宇宙開発に対して特に強い興味を持つ人材<br><br>当初の目標通りに、段階的に宇宙を学び、宇宙事業に携わって生きるビジョンを育成することができた。また、 <u>金沢大学大学院宇宙理工学コースを地域に開かれた宇宙教育拠点へと昇華させ、永続的に宇宙事業を担うスキルを有する人材を輩出できる地域環境を構築</u> することができた。<br><br>◆ 達成度<br>金沢大学では、金沢大学衛星 K0Y0H のフライトモデルや運用システムの開発を通じ、約 30 人の参加学生は衛星開発の十分なスキルを身に着けたと言える。一方で、K0Y0H 衛星は JAXA の革新的衛星技術実証プログラム 3 号機に選定されているが、対外的な理由により、衛星打ち上げと実運用は実現できなかった。そのため、衛星運用模擬装置（軌道要素を入力し、GPS 時刻による時刻管理 |

や通信ドブラーなど実際の衛星の挙動を模擬する装置)を導入することで、運用訓練を行うことで対応した。人材育成の観点では全ての目標を達成できたが、自らが開発した衛星が打ち上がり、運用していくという感動を与えられなかった事は残念である。

中間報告の際には COVID-19 感染拡大防止のため、金沢大学衛星 KOYOH に対する振動試験および熱真空試験の実施を控えざるを得なかったが、感染対策を徹底し、社会的情勢のタイミングや当番体制を調整することで、令和3年度の事業の中で実施することができた。

高専生については、のべ11名に対してインターンシップやパラボラアンテナアレイの開発を通じて運用システムを理解した人材を育成できたと言える。うち2名については、金沢大学へ編入し、宇宙工学グループへ所属しており、宇宙を視野に入れた進路選択に貢献できたと言える。

高校生への衛星システムゼミと衛星設計コンテストへの提案へは、当初の連携先であった金沢大学附属高校の他にも、金沢泉丘高校からの依頼も受け、事業規模を拡大している。事業期間に全54回の指導を行い物理や数学的なサポートを含めながら、衛星システムを理解できるように教育を行った。衛星設計コンテストへ6作品の提案を行い、うち2件が最終審査会へ進み、審査員長特別賞やジュニア部門奨励賞を受けるなど、自らが宇宙事業を考え、形にするという当初の目標を十分に達成できた。

小中学生に対しては、科学館である「サイエンスヒルズこまつ」の会場を提供していただき、事業期間内に12回の講演会を実施した。宇宙飛行士や、ブラックホール撮像を率いた研究者など、様々な分野における一流の講師陣に協力していただけた事は幸いである。小学生の割合は3割以上を占め、数多くの質問が出ていたことは特筆に値する。一方で中学生の参加者が非常に少なく(そもそも科学館に足を運ぶ中学生が少なく)、事業期間内に改善ができなかったことは悔やまれる。また、事業期間内に3回の大規模なイベントに参加し、KOYOH 衛星の紹介や、衛星で使われる技術の実験を行い、多くの参加者に体験していただいた。

以上のような一連の事業を通じて、本事業の当初の目的である世대에適した教育環境と実践の場を提供し、それぞれの段階に応じた専門性のレベルで人材育成に寄与できた。

## 「必要性」

### ■科学的・技術的意義

金沢大学衛星 KOYOH の正式名称は「X線突発天体監視速報衛星こよう」であり、近年の重力波観測と連携し、重力波源からのX線突発天体を発見し、世界中に観測情報を展開するものである。米国の科学アカデミーが10年毎に定める文書 Decadal Survey (Astro2020) の中でも、人工衛星による重力波源の電磁波観測は最重要課題の一つに位置付けられている。そのような学術的な王道路線に対して、50cm/50kg 級の超小型衛星で迅速に参画することは、学術的意義が極めて高いものである。また、KOYOH 衛星に搭載する観測装置は、現在運用されている世界の突発天体監視衛星とは観測エネルギー帯が異なるという特徴を持ち、独創的な科学データを取得できるだろう。そのような最先端の研究を行う人工衛星を「大学主導」で実現できれば、超小型衛星による科学観測に大きなインパクトがあると予想できる。特に科学衛星が大規模化・高コスト化する中で、超小型衛星の

位置付けを再認識するきっかけを与え、我が国および本学のプレゼンスを世界に示すことができるだろう。

#### ■国の関与の必要性・緊急性、および国費を用いた研究開発としての意義

超小型衛星の打ち上げ数やビジネス規模が飛躍的に増大する中で、我が国もそれを支える人的リソースを充実させていくことが喫緊の課題である。金沢大学大学院の宇宙理工学コースや研究母体である先端宇宙理工学研究センターは、理工学が蜜に融合することで、人工衛星を題材とした宇宙機・搭載機器の開発スキルおよび宇宙科学を重点的に学べる環境である。本事業で人材育成を促進し、そこで得られた技術や経験を教育素材として活用していくことで、継続的に人材育成を担える教育拠点とすることに意義がある。

#### 「有効性」

#### ■人材の養成

本事業による KOYOH 衛星の開発および金沢大学大学院の宇宙理工学コースの研究教育活動により、宇宙機エンジニアの育成に大きく貢献できたと言える。大手宇宙機メーカーや衛星搭載機器も扱うメーカーへの就職が4名、博士後期課程への進学3名など、本事業に関連した学生の2割程度がこの分野で活躍することが期待できる。

我が国の宇宙開発を長期にわたって継続していくためには、次世代を担う小中高校生の若い世代に対して宇宙科学・宇宙工学を目指すビジョンを育成しなければならない。本事業のスコープは幅広い年齢層にわたっており、小中学生へは宇宙への夢・希望を育むきっかけを与え、高校生には専門的な内容を含めたゼミと自らが考案した衛星ミッションの実現に向けた取り組み（衛星設計コンテストへの参加）、大学・大学院生には本格的な人工衛星の開発、のように段階的に宇宙事業へのビジョンを育成できたと言える。

本事業により高校で開催した衛星システムゼミには40名の生徒が参加した。令和3年度末までに進路（または希望進路）が決定している20名のうち、明確に宇宙科学・宇宙工学分野への進学が7名、宇宙分野も含む理工系への進学が6名となっている。ゼミに参加した生徒は、そもそも宇宙に対する興味が強いこともあるが、非常に高い割合で宇宙分野への進学に繋がったと言える。高専生11名のうち、2名が金沢大学へ編入し、宇宙工学分野の研究室（本事業に参画した教員の研究室）に配属されるなど、宇宙分野への進路決定に貢献できたと言える。

#### ■知的基盤の整備への貢献や寄与

本事業では、KOYOH衛星の開発の中で蓄積された技術や経験を文書資料として作成し、教育素材として活用している。また、キューブサットに搭載する機器も準備し、座学だけではなく実習も交えた教育が展開できる環境を構築してきた。これらの教材は、大学院宇宙理工学コースの教育現場で活用していけることから、持続的な宇宙人材育成の基盤を形成できたと言える。

また、小中学生向けの実験教材は、今後も科学館での企画展示や学園祭などの場で、広く一般に向けて活用していける。本事業を通じて、**金沢大学大学院宇宙理工学コースを地域に開かれた宇宙教育拠点へと昇華**することができたと言える。

## 「効率性」

### ■計画・実施体制の妥当性

本事業に参画した大学教員は、宇宙物理学・電波工学・制御工学・衛星システムなどの経験を持つメンバーで構成され、専門的な知識を持って KOYOH 衛星の開発や、大学院における研究・教育指導が行える体制であった。衛星の高精度なインテグレーション方法や太陽電池セルの実装などに不安があったが、本事業のサポートにより企業の有識者から支援いただけたことで、効率良く開発を進められるようになった。そのような充実した体制を構築できたことで、大学院生は衛星開発スキルを十分に身に付けることができたと言える。

### ■目標・達成管理の妥当性

「有効性」の項目でも示したように、本事業での取り組みに参加した大学院生の宇宙関連メーカへの就職 4 名、博士後期課程への進学者 3 名、高専生・高校生の宇宙分野に関連する大学進路決定者 15 名など、宇宙事業で生きるビジョンの育成に大きく貢献できた。

本事業により、大学主導の衛星開発に深く関与してきたことの実績や経験、高校生においては衛星設計コンテストへの参加など主体的に宇宙事業を考えるプロセスを経験したことが影響していると推察できる。将来の宇宙事業を担う多数の若手を育成できたことは、人材育成の観点で高い費用対効果があったと言える。

## (2) 成果

### 「アウトプット」

別紙参照願います

( 達成度に関する補足資料\_米徳 (金沢大学) . pdf )

「アウトカム」 (令和 4 年 10 月末時点)

別紙参照願います

( 達成度に関する補足資料\_米徳 (金沢大学) . pdf )

## (3) 今後の展望

KOYOH 衛星は、JAXA の革新的衛星技術実証プログラム 3 号機に選定されたが、対外的な事情により打ち上げに至っていない。2023 年度半ばから後半に打ち上げ可能な国内外の機会を JAXA および関連企業を中心となって調査している最中である。KOYOH 衛星の打ち上げ後は、独自性の高い観測データを取得できるため、数多くの科学成果を創出できると期待している。

本事業で開発した教育用 FPGA 回路は、外部の 8 大学・研究機関でも導入されており、そのうちの 1 機関では一部の部品を宇宙用部品に入れ替えることで 50kg 級の衛星に搭載する予定となっている。金

沢大学以外の機関への波及効果も得られ始めている。

本事業で開発した人工衛星を理解するための実験を、他の科学館や小中学校の理科の授業など、積極的に活用していく予定である。既に「金沢宇宙塾」という小中学生が集う場で実施しており、高評価が得られている。

本事業終了後ではあるが、金沢市の協力の下で「金沢市宇宙産業シンポジウム ～宇宙教育を通じた未来の人材育成～」を開催した。教育機関だけではなく、宇宙産業に興味のある企業に対する教育も視野に入れたシンポジウムであり、金沢市における企業・教育機関および金沢市教育委員会との連携体制を広めつつある。今後の北陸地域における宇宙事業の拡大が期待できる。

金沢大学の先端宇宙理工学研究センターは 11 名の教員（教授 3 名、准教授 6 名、助教 2 名）で構成されており、令和 5 年度を目処に 3 名の増員が検討されている。これらの教員は、大学院宇宙理工学コースの研究教育担当も兼ねるため、引き続き拡張した体制で宇宙人材育成を担うことができる。

先端宇宙理工学研究センターは理工研究域附属のセンターとしての位置づけであるが、金沢大学の中期計画の中で全学センター化を目指すことが示されている（対外的な公表はお控えください）。金沢大学衛星 2 号機や JAXA プロジェクトの推進などで競争的資金の獲得努力は必要であるが、センターの運営に関しては大学経費の充当が期待できる。

## 8. 評価点

A

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

本事業は、小型衛星の開発・作製とその周辺技術の構築を進め、これを地域における宇宙人材育成に活用し、小中学校から高専生、さらには大学院生までの幅広い人材を、世代に適した多様な教育環境と実践の場を提供することを通して育成するための組織を構築することが主題となっており、ステップバイステップで専門家の育成を図る教育プログラムの組み立てと充実した実践内容は、大変優れていると評価できる。

教育の内容もそれぞれの年齢にふさわしい技術レベルのシラバスを提供していると考えられ、衛星開発に直接参画していない中学・高校生などを宇宙開発にエンカレッジする活動にも注力し年少からの宇宙人材育成活動が実施されている。その結果として、受講者が高い割合で宇宙関連の進路を選択するといった影響を与えられた、技術成果を他大学へ提供することができた等、客観的にも評価できる成果が得られている。金沢市の協力のもと、市内の企業教育機関、および金沢市教育委員会との連携体制を広めつつある点をはじめ、当初の目標に掲げる金沢大学大学院宇宙理工学コース・先端宇宙

理工学研究センターを地域に開かれた宇宙教育拠点とする優れた成果が得られたと評価できる。

相応の成果は挙げているものの、一方で、人材育成の取組に対して、もう少し人材と予算が投入されることが望ましいと考えられる。人材育成には児童・生徒・学生の育成の観点と、それを育てる指導者育成があるが、枠組みが出来上がった段階で、実際の教育はこれからという印象を受ける。教育プログラムによる育成効果がどれだけ得られたのかに関する定量的評価情報についても不足しているため、育成の成果についてはフォローが必要である。

また、センターが主体となり本事業で得られた資産を活用し事業継続が行われる見込みであるが、資金や民間を含む体制に関する具体的な計画が策定されておらず、その実践可能性に懸念が残った。

結果が実態に出るまでもう少し時間がかかると思われるが、今後の研究の発展や工夫により宇宙航空利用の促進への一層の貢献が見込まれる。

以上より、本課題は、相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献していると認められる。

今後は、以下の点が期待される。

- 小学生・中学生・高校生・高専生・大学生・大学院生の各教育段階における「あるべき学生像」をもっと明確にして、それに対する教育の前後の効果を定量的な評価にできるような仕組み作りを目指すと同時に、参加した児童・生徒らの事業後のトラッキングも行い、成長過程の確認ができるようになることが望まれる。
- 小中学生への育成の成果についてはフォローが必要であるが、そのためには、地域の教育機関との長期にわたる連携の構築が必要であり、今後も引き続き連携構築に向けた取り組みが望まれる。
- 今後のプログラムの継続に関して、資金や民間を含む体制に関する具体的な計画を策定の上、确实かつ長期的な実践に繋げていくことが望まれる。