

「はやぶさ」の成果を活かす宇宙探査体験学習教材の開発と実証」の成果について

研究 開発 体制	主管研究機関	宇宙技術開発株式会社	研究 開発 期間	平成25年度～ 平成27年度 (3年間)	研究 開発 規模	予算総額(契約額) 39.6百万円		
	共同研究機関	公益財団法人 かがしま教育文化振興財団*1 大阪ガスビジネスクリエイティブ株式会社(平成25年度)*2 株式会社コングレ(平成26年度、平成27年度)*2		1年目		2年目	3年目	
				19.2百万円		9.8百万円	10.6百万円	

研究開発の背景・全体目標

*1鹿児島市立科学館指定管理者 *2バンドー神戸青少年科学館指定管理者

気象衛星「ひまわり」に代表される衛星リモートセンシングや通信衛星・放送衛星の利用、「みちびき」やGPSによる衛星測位など、宇宙開発利用は現代生活に不可欠な活動である。そして宇宙開発利用を発展的に持続するには、それらを支える人材の育成が必要である。

人材育成の取組には様々なアプローチが考えられるが、本事業では宇宙開発利用を志す人を増やす、つまり、将来宇宙開発利用に携わる人材の裾野を広げることを目指し、青少年の学習の場に新しい学習内容と、新しい学習方法を持ち込むことを試みた。

研究開発の全体概要と期待される効果

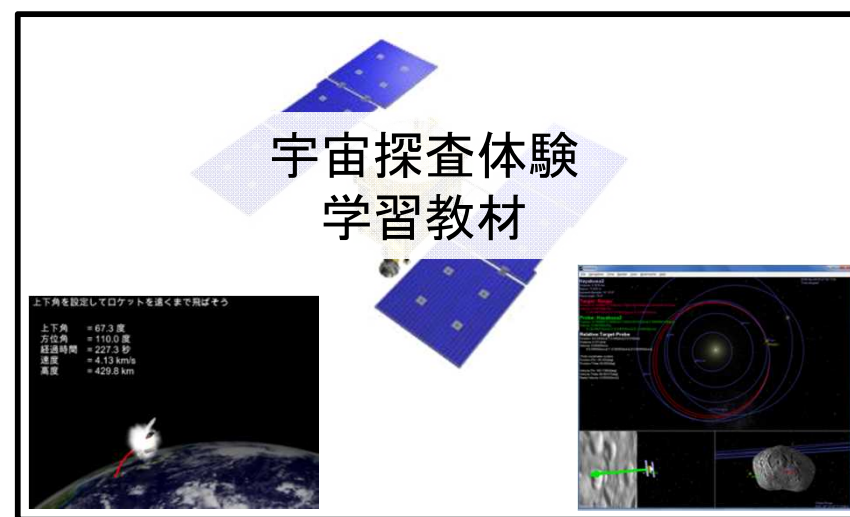
宇宙開発利用の裾野を広げる試みはすでに行われているが、多くの場合宇宙開発利用の目的や方法、成果を紹介するといった学習者が受動的に学ぶものである。本事業では、小惑星探査機「はやぶさ」の帰還でようやく注目を集めるようになった宇宙探査を学習内容とし、学習者が能動的に行動し自分で問題を解決することを通じて学習する「体験学習」を学習方法とする「宇宙探査体験学習教材」を開発し、利用実証を実施した。

本事業の結果、宇宙探査という学習内容と体験学習という学習方法が宇宙開発利用に携わる人材の裾野を広げるために有効であることが確認できた。本事業の成果はそのまま青少年の学習に利用でき、宇宙開発利用に携わる人材の裾野の拡大に直接貢献することが期待できる。また本事業で実証した学習内容と学習方法は、宇宙開発利用の教育・学習に広く応用可能であり、今後様々な教材等を生む大きなきっかけになると期待できる。



宇宙探査教材
(はやぶさ)

体験型教材
(能動的)



「国民との科学・技術対話」の推進に関する取組について

「国民との科学・技術対話」の推進の趣旨は、科学・技術関係施策の成果・普及について国民全体の理解を一層深めることである。本事業で開発・実証を行った教材は宇宙開発の方法と成果を広く知らしめることを目的としており、全体としてその趣旨に沿ったものである。

具体的な活動として、科学館およびJAXAの協力を得て小中学生向け教材を市民に告知し、平成26～平成28年に計4回の特別講義を実施した。高校生・大学生向け教材についても同期間に計3回のイベントを実施し、はやぶさ2を題材にして目標天体であるリュウグウまでの探査機軌道作成の特別講義を科学館、高校で実施した。

場所	実施日	講義題名
バンドー神戸青少年科学館 (兵庫県神戸市)	平成26年7月21日	はやぶさシミュレータ実証イベント
鹿児島市立科学館 (鹿児島県鹿児島市)	平成26年8月23日	小惑星探査機はやぶさ講演会
		はやぶさシミュレータで楽しく学ぼう！！
		コズミックカレッジ ～ファンダメンタルコース～
バンドー神戸青少年科学館 (兵庫県神戸市)	平成27年8月9日	「はやぶさ」プロジェクトの全貌と浪漫
		体験！君もはやぶさ管制官
鹿児島市立科学館 (鹿児島県鹿児島市)	平成27年8月22日	はやぶさからはやぶさ2への挑戦
		はやぶさシミュレータで楽しく学ぼう！
バンドー神戸青少年科学館 (兵庫県神戸市)	平成27年12月6日	はやぶさ2の軌道を作ろう
鹿児島市立科学館 (鹿児島県鹿児島市)	平成27年12月13日	はやぶさ2の軌道を作ろう
国民生活センター (神奈川県相模原市)	平成28年2月27、28日	宇宙教育シンポジウム
東京工業大学附属科学技術高等学校 (東京都港区)	平成27年12月25日	はやぶさ2の軌道をつくろう！



① 「宇宙探査体験学習教材の開発（小中学生向け教材の開発）」

実施内容及び主な研究開発成果

本事業では小中学生向けと高校生・大学生向けの2種類の宇宙探査体験学習教材を開発し、各々について利用実証を実施した。

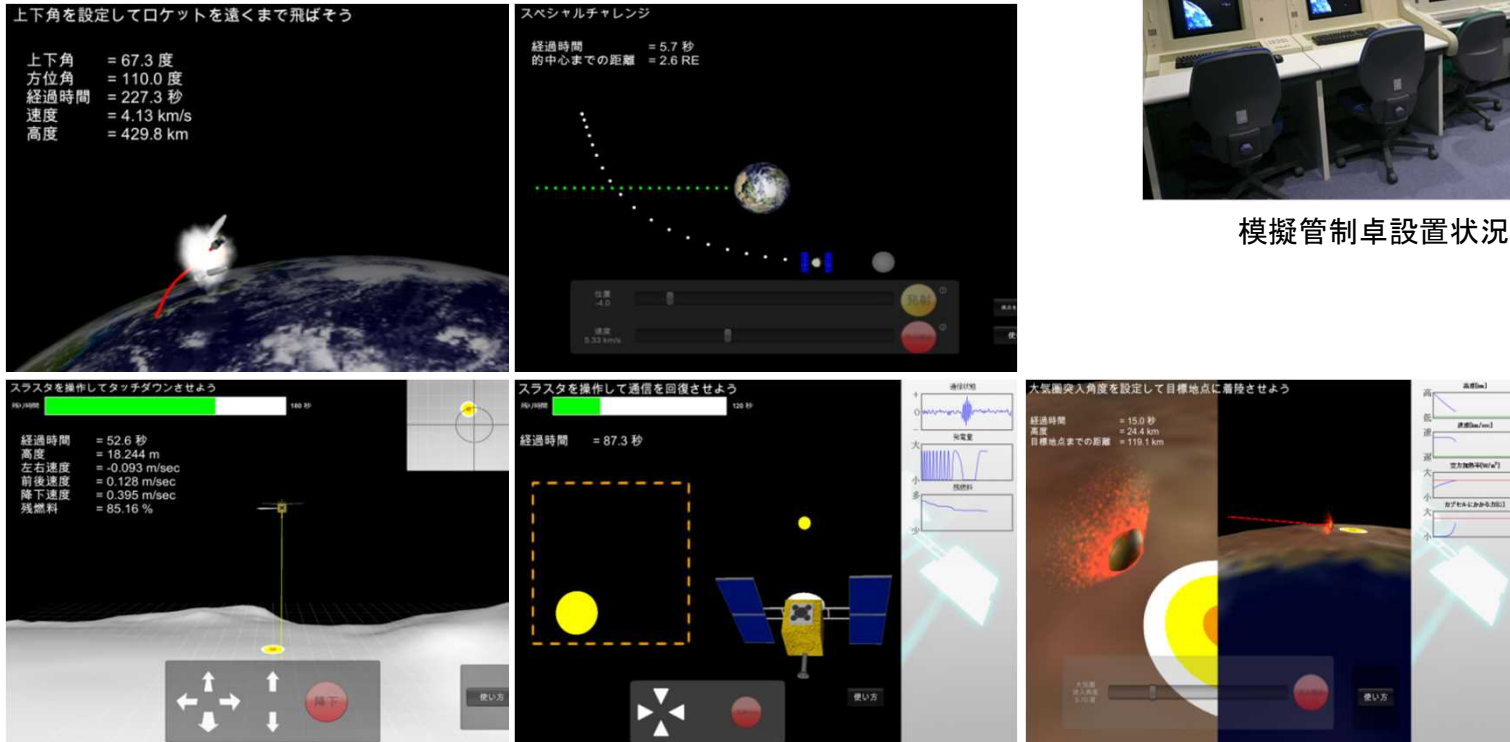
小中学生向け宇宙探査体験学習教材は、小惑星探査機「はやぶさ」の旅を題材にした五つのミッション（小惑星探査機の打上、地球スイングバイ、タッチダウン、通信途絶からの回復、大気圏再突入）と上級者向けチャレンジから構成される。宇宙探査で遭遇する課題を学習者が能動的に操作し、自分で工夫して乗り越えて行くことを通じて学習する。また臨場感を高めるために模擬管制卓に教材を組み込み、利用できるように設置した。

小中学生向け教材の基本コンセプトを以下に示す。

- 学校教育では機会の少ない、宇宙探査に特化した学習内容であること
- 宇宙探査の難しさを体験し、それを克服することのできる体験学習教材であること
- 学校教育では実施の難しい、体験に基づく学習方法であること
- 利用者が必ずミッションを成功できること



模擬管制卓設置状況 バンドー神戸青少年科学館（左）
鹿児島市立科学館（右）



小惑星探査機の打上（左上）地球スイングバイ（右上）タッチダウン（左下）通信途絶からの回復（中央下）大気圏再突入（右下）

② 「宇宙探査体験学習教材の利用実証（小中学生向け教材の利用実証）」

実施内容及び主な研究開発成果（つづき）

共同参画機関が管理・運営を担当する二つの科学館において、平成26年度から常設展示を行うとともに特別講義を開催し、開発した教材の利用実証を実施した。利用実証ではアンケートにより利用者の反応を収集して評価し、教材の改善を行った。

アンケートの回収総数は4525件であった。「楽しさ」「有益性」「理解度」「満足度」の評価項目について、5点満点で3.9～4.2という評価点であり、提案した学習内容と学習方法が有効であることが確認できた。

アンケート回収総数：4525件（平成28年3月31までの集計結果）

●バンドー神戸青少年科学館アンケート回収数：2947件

●鹿児島市立科学館アンケート回収数：1578件



常設展示の様子

[評価点（5点満点評価の平均点）]

楽しさ：4.2（質問：はやぶさの宇宙探査やイトカワなどの惑星の話は面白かったですか？）

有益性：4.2（質問：宇宙についてもっと知りたくなりましたか？）

理解度：3.9（質問：ミッションに関する理解度）

満足度：4.2（質問：はやぶさのミッションにまた挑戦したいですか？）

アンケート集計結果によると本教材に対する楽しさ・有益性・理解度・満足度は高く、本教材が利用者に受け入れられたことを示している。また、アンケートの中の「大人になったら宇宙の仕事をしてみたいですか？」の質問に対し、「ぜひしてみたい」「したい」の合計が、バンドー神戸青少年科学館が50%、鹿児島市立科学館が60%以上であり、共に半数以上であることから、将来宇宙開発に携わりたいとの感想を抱く利用者が多かったといえる。これらから、本教材の学習内容および学習方法の有効性を十分に証明できる結果となった。



特別講義の様子

③ 「宇宙探査体験学習教材の開発（高校生・大学生向け教材の開発）」

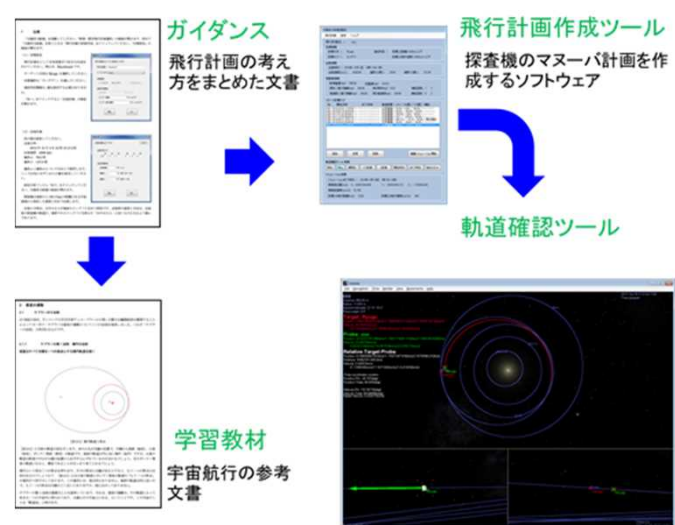
実施内容及び主な研究開発成果（つづき）

高校生・大学生向けの宇宙探査体験学習教材は、太陽系の天体と探査機の動きを力学的に再現する「疑似太陽系空間」の中で、利用者は自分の探査機を飛行させ、目的の天体に到達させることを通じて探査機の飛行計画の考え方を学習する。教材は2種類のソフトウェアツールと、2種類の文書で構成した。

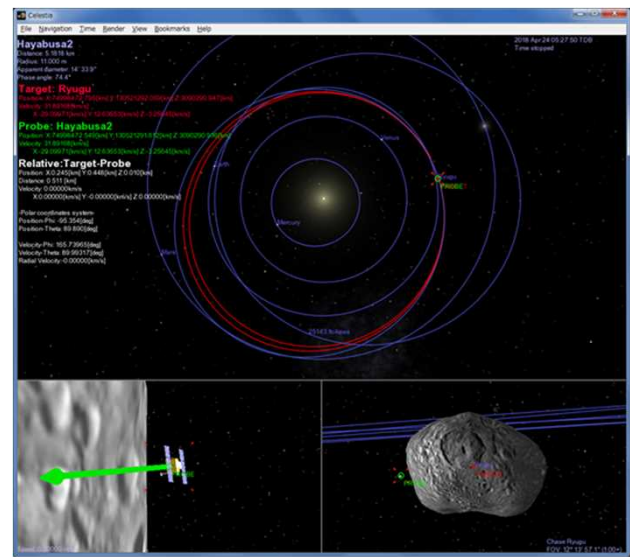
- 軌道確認ツール : 太陽系の天体と探査機の軌道を画面に表示するソフトウェア。「飛行計画作成ツール」と連携して動作する。
- 飛行計画作成ツール : 疑似太陽系の中で探査機の飛行のシミュレーションを行うソフトウェア。利用者は「飛行計画作成ツール」の画面で探査機の出発やその後の軌道変更の計画（飛行計画）を立案する。
- ガイダンス文書 : 利用者が目標を達成できるように案内する文書。
- 学習教材文書 : 天体や探査機の軌道について必要な情報を提供する文書。

高校生・大学生向け教材の基本コンセプトを以下に示す。

- 太陽系の天体と探査機の動きを力学的に再現する「疑似太陽系空間」の中で、利用者が自分の探査機を航行させ、目標の天体に到達させる疑似体験を通じて「飛行計画」を学習させる
- 「ガイダンス」（文書）により適切なアドバイスを利用者に提供し、目標天体への到達を支援する
- 軌道計算に関する知識や技術を持たないことを前提にし、「学習教材」（文書）により天体や探査機の軌道について必要な情報を提供する
- 目標の天体に到達するための飛行計画の考え方を身に付けさせることを目指す



教材の学習の流れ



軌道確認ツールでの目標天体到着の様子

④ 「宇宙探査体験学習教材の利用実証（高校生・大学生向け教材の利用実証）」

実施内容及び主な研究開発成果（つづき）

共同参画機関が運営を担当する二つの科学館でのイベント、宇宙航空研究開発機構（JAXA）主催のイベントおよび高等学校でのイベントなど、計4回の特別講義で利用実証を実施した。また、教材をインターネットで公開して一般参加者を募って利用実証を実施し、アンケートにより利用者の反応を収集して評価した。アンケートの回収総数は合計52件と少ないものの、「楽しさ」「有益性」「理解度」「満足度」「関心度」の評価項目について、5点満点で4.4~4.8という高い評価であり、提案した学習内容と学習方法の有効性を強く窺わせるものであった。

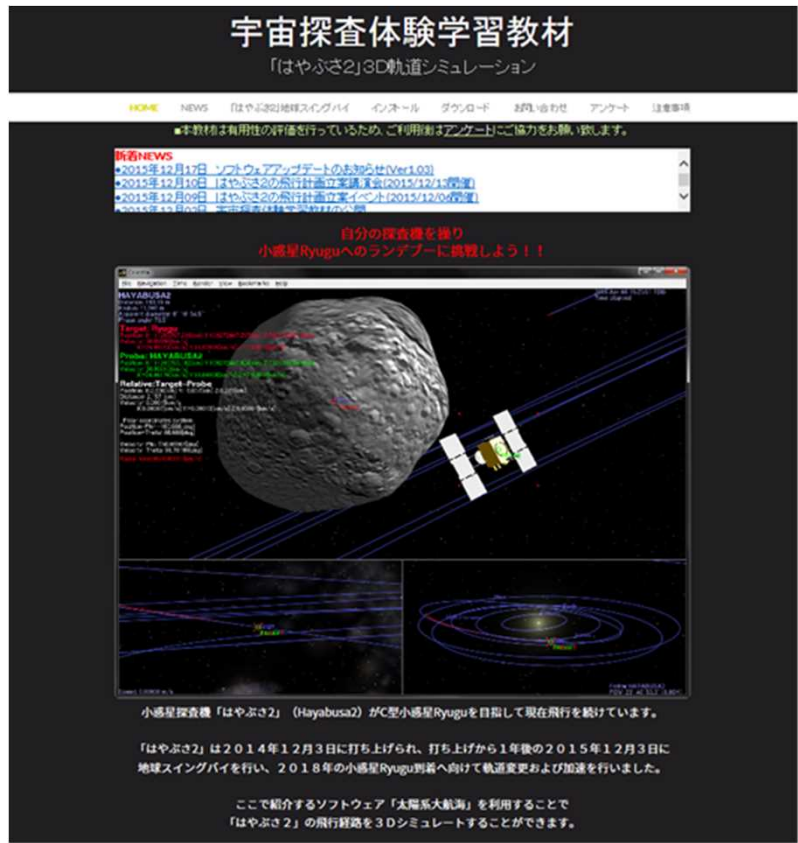
アンケート回収総数：52件（平成28年3月31までの集計結果）

[評価点（5点満点評価の平均点）]

- 楽しさ：4.7（質問：飛行計画の面白さ）
- 有益性：4.5（質問：学習教材の有効性）
- 理解度：4.4（質問：小惑星探査の理解度）
- 満足度：4.6（質問：他の惑星へのランデブー挑戦）
- 関心度：4.8（質問：小惑星探査に対する興味）

アンケートにおける自由記述の回答において得られた主な意見を以下に示す。

- ✓ こんな細かい数値を計算した人はすごいと思った。僕も将来JAXAで人工衛星の開発・運用をしたいのでもっと数学や物理の勉強をしてこんな軌道計算ができるようになりたい。
- ✓ 高校生だったため、いろいろと難しい言葉が出てきて、難しかった。しかし、小惑星への近づき方のシミュレーションはとっても楽しかった。
- ✓ また今回の様なシミュレーションをしてほしいと思っています。基本的な軌道を変更する方法が学べたのではやぶさ2だけでなく、他の探査機、ロケットが衛星を軌道に乗せることについて少しでも理解できました。今後も様々な宇宙機の軌道変更に注目していきたいと思います。今日は本当に良い体験をさせていただきありがとうございました。
- ✓ 色々な話が聞けてとても楽しかったです。次の機会があれば参加したいです。物理の授業でもこういうソフトを使いたいです。目で見て体感できるのが良かったです。
- ✓ 今日の体験はめったにできない機会ですごくおもしろかったです。シミュレーターの絵や、図はとてもわかりやすくこれから宇宙に対する興味がさらにわきました。ありがとうございました。
- ✓ はやぶさ2が小惑星に接近する、というだけでも複雑な加速や調整が必要なことが分かり、ミッション達成の難しさを深く実感できました。計算がちみつ、とよく聞きますが、イメージは沸かないままだったので実感できてうれしく、また、驚きました。



インターネット公開のウェブページトップ画面

その他の研究開発成果

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 : 0 国際 : 0	国内 : 2 国際 : 1	国内 : 5 国際 : 0	国内 : 0 国際 : 0	国内 : 1 国際 : 0
	受賞・表彰リスト		なし			

成果展開の状況について

本事業の成果は国際会議で1回（30th International Symposium on Space Technology and Science : ISTS）、国内で2回（第58回および第59回宇宙科学技術連合講演会）発表し、今後も成果を普及させる活動を継続する予定である。

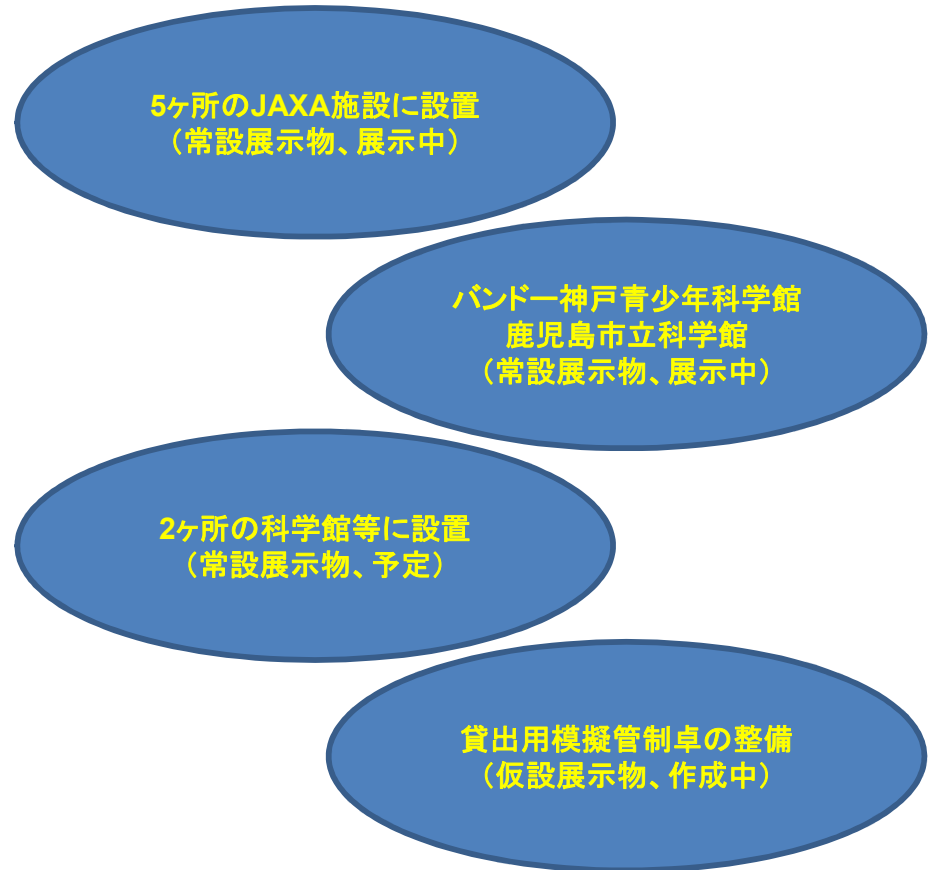
実用化事業としては、宇宙航空研究開発機構（JAXA）の五つの施設に小中学生向け宇宙探査体験学習教材を設置し、訪れる子供たちに公開されている。

[小中学生向け宇宙探査体験学習教材の設置を行った施設]

- JAXA地球観測センター（平成27年度設置）
- JAXA勝浦宇宙通信所（平成27年度設置）
- JAXA調布航空宇宙センター（平成27年度設置）
- JAXA種子島宇宙センター（平成26年度設置）
- JAXA角田宇宙センター（平成26年度設置）

実用化事業の今後としては、共同参画機関が運営を担当する二つの科学館（バンドー神戸青少年科学館および鹿児島市立科学館）で小中学生向け宇宙探査体験学習教材を引き続き常設展示して利用に供するほか、他の都市の科学館など新たな施設に普及させるよう活動していく。またその一環として教育ITソリューションEXPO等の展示会にも積極的に出品する予定である。また、短期間の貸出用として小中学生向け教材を組み入れた模擬管制卓を整備し、イベント等での利用を進める。

小中学生向け宇宙探査体験学習教材における普及活動



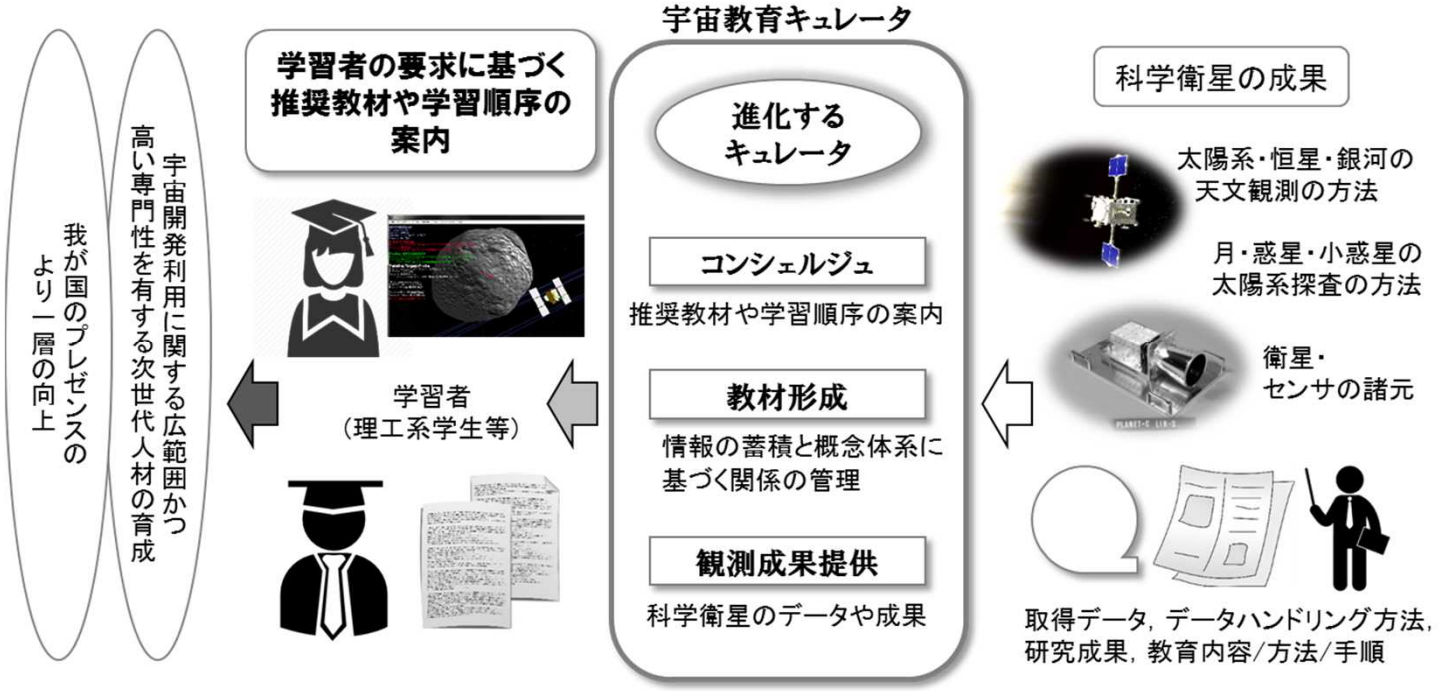
その他の研究開発成果

今後の研究開発計画

小中学生向け宇宙探査体験学習教材については、学習内容と学習方法の有効性が確認でき、実用化事業としての展開も始まっている。今後は模擬操作卓を含まない簡易的な形態への要求を分析するなど、一層広く普及させることを目標に活動を行う。Webベースの教材提供サービスなど、学校教育での活用および個人を対象にした普及についても検討する。また、短期間の貸出用としての模擬管制卓（小中学生向け教材を含む）を整備し、イベント等での展示および展示会での広報活動に広く役立て、普及活動を進める。

高校生・大学生向け宇宙探査体験学習教材については、利用実証により学習内容と学習方法の有効性を強く窺わせる結果が得られたものの、利用の実績は不十分である。今後も利用実証を継続し、教材としての評価および、より効果的な教材とするための改善点の検討を行う。また、今後は高等学校ならびに大学への普及も考え、学校教員の評価を受けることを検討する。

さらにインターネットとIT技術を活用して青少年を適切な学習教材に導くしくみの開発についても検討する。具体的には、本事業で開発した教材を組み入れた学習環境（「宇宙教育キュレータ」）の開発を進める。宇宙教育キュレータでは、宇宙に関する情報を収集・整理して学習者に提供し、利用者の学習をインテリジェントに支援する仕組み（学習環境）を構築することで、高度に専門的な情報を含む宇宙科学分野の人材育成に活用することを目的としている。宇宙教育キュレータは、次の世代を担う子供たちに宇宙科学を伝える指導者の育成も視野に入れており、最新の宇宙科学の手法と成果を実践的に学ぶことで、宇宙開発利用における人的基盤の強化に大きく貢献することを目指すものである。



宇宙教育キュレータのイメージ

事後評価票

平成28年3月末現在

1. 課題名 「はやぶさ」の成果を活かす宇宙探査体験学習教材の開発と実証
2. 主管実施機関 宇宙技術開発株式会社
3. 共同実施機関 公益財団法人 かがしま教育文化振興財団（鹿児島市立科学館指定管理者） 大阪ガスビジネスクリエイト株式会社（バンドー神戸青少年科学館平成25年度指定管理者） 株式会社コングレ（バンドー神戸青少年科学館平成26、27年度指定管理者）
4. 事業期間 平成25年度～平成27年度
5. 総事業費 40百万円
6. 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」 所期の目的・目標に沿って学習教材の開発と教育実践による実証を完了しており、基本的には目標事項の全てを達成できていると考える。 具体的な実施項目と達成状況については以下の通りである。 1) 小中学生向け宇宙探査体験学習教材 小惑星探査機「はやぶさ」の飛行等を題材にした五つのミッションに挑戦し、自分で工夫して乗り越えて行くことを通じて宇宙探査のさまざまな局面を学習する体験学習教材が作成された。教材は臨場感を高める模擬管制卓に組み込まれており、科学館に展示して来場者に実際に利用してもらえるレベルを達成している。 さらに、2か所の科学館において宇宙教育イベントならびに常設展示として利用実証を実施し、アンケートにより利用者の評価を受けた。収集したアンケートは合計4525件で、アンケート結果は「楽しさ」「有益性」「理解度」「満足度」として集計され、それぞれの平均評価点は5点満点評価で4.2、4.2、3.9、4.2であり、当初本課題で目標である「4以上」をほぼ達成している。 2) 高校生・大学生向け宇宙探査体験学習教材 太陽系の天体と探査機の動きを力学的に再現する疑似太陽系空間の中で自分の探査機を飛行させ、目標の天体に到達させることを通じて探査機の飛行計画の考え方を学習する体験学習教材が作成され

た。本教材にはガイダンス等の副教材（文書）が含まれており、宇宙教育イベントならびにインターネットによる利用実証を体験できるレベルを達成していると言える。

2か所の科学館、高等学校、およびJAXA主催の宇宙教育イベントでの利用実証に加えて、教材をインターネットに公開して利用実証を実施し、アンケートにより利用者の評価を受けた。収集したアンケートは合計52件であった。アンケート結果は「楽しさ」「有益性」「理解度」「満足度」「関心度」として集計され、それぞれの平均評価点は5点満点評価で4.7、4.5、4.4、4.6、4.8であった。当初目標とした「4以上」を超える評価を得た。

「必要性」

(a) 社会的・経済的意義

人材育成には様々なアプローチがあるが、学習者が宇宙に関連したテーマに対して能動的に行動し、問題を解決することを通じて学習する新しい形態の教材を開発し、教材の多様性を増す点に本教材の社会的・経済的意義がある。

(b) 科学的・技術的意義

特に高校生・大学生向け宇宙探査体験学習教材は、探査機の飛行計画という一部の専門家だけが扱う課題を、一般の学生・生徒にも容易に体験できるようになっており、高校の教科教育の発展教材としても意義深い。

「有効性」

(a) 直接の成果

本課題で開発した小中学生向け宇宙探査体験学習教材は小惑星探査機「はやぶさ」の旅を題材に宇宙探査について、社会教育施設での利用に耐えうるレベルの教材が開発されている。

(b) 波及効果

本課題で作成された高校生対象の学習コンテンツは、高校の教科教育に活用可能である。

「効率性」

(a) 計画・実施体制の妥当性

宇宙開発利用の実務を担当する主管実施機関と、宇宙教育の現場を持つ共同参画機関が密接に協調し、最先端の宇宙科学を支えるJAXAならびに関係企業等の支援を受けて本課題は実施され、妥当な実施体制であった。このように、妥当性の高い計画・実施体制のもとで事業を推進できていたと考える。

(b) 研究開発の手段やアプローチの妥当性

本課題では小中学生向けと高校生・大学生向けの2種類の宇宙探査体験学習教材が開発された。これらの教材は対象者も学習内容も異なるが、本来の目的は同じ「宇宙開発利用を志す人材の裾野拡大」であることから、開発の初期に共通の指針となる「共通シナリオ」を作成し、以後の開発は連携を取

りながら進めることができた。

(2) 成果

「アウトプット」

実利用可能な宇宙探査体験学習教材を2種類制作している。

「アウトカム」

(a) 効果・効用（アウトカム）

小中学生向け宇宙探査体験学習教材を社会教育施設で実利用可能なレベルで制作しており、来館者による継続的な直接利用を可能にした。

(b) 波及効果（インパクト）

高校生・大学生向け宇宙探査体験学習教材の開発と利用実証は、これまで専門的な内容とされていたものが、IT技術（シミュレーション技術）の活用により一般的な教育の題材や学習の対象になり得ることが示されている。

(3) 今後の展望

小中学生向け宇宙探査体験学習教材については、現在の教材は模擬管制卓に組み込まれた据え置き型のシステムであるが、イベント等に貸し出すような普及方法が進められている。高校生・大学生向け宇宙探査体験学習教材については、利用実証では講師による講義と組み合わせた利用が行われ、受講者から高い評価を受けていることから、講義と合わせた利用形態の普及の推進が予定されている。

評価点	
A	<p>評価を以下の5段階評価とする。</p> <p>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。</p> <p>A) 相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献した。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>D) 成果はほとんど得られていない。</p>
評価理由	
<p>小惑星探査機「はやぶさ」の偉業を題材とした小中学生向け、高校生・大学生向けの教材の開発と実践により、学生たちの宇宙に対する興味関心の継続、宇宙に関わる人材育成に貢献している。また、アクティブラーニングの教育材料として有効なものを開発しており、国内のいくつかの機関に設置できたのは成果である。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。</p> <p>なお、教材の適切さの評価においては、本課題で実施する前の状態との比較による評価や、自己評価だけではない客観的な評価も項目として付け加える方が望ましい。また、評価指標についても、「宇宙開発利用を志す人材の裾野拡大」としては、次の具体的な選択行動についても評価項目が設定されていた方が望ましい。</p> <p>今後、教材のバージョンアップの際には、取材を行うなどによりコンテンツの魅力度を上げ、指導者育成の視点の検討も期待する。</p>	