

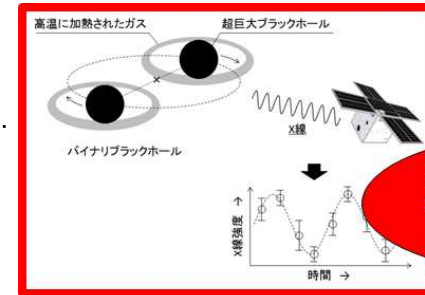
# 「継続的な理学的挑戦を担う超小型衛星の開発とその供給による宇宙科学ミッションの支援と実行のための拠点形成」の成果について

実施体制	主管実施機関	首都大学東京	実施期間	平成27年度～平成29年度 (3年間)	実施規模	予算総額(契約額) 85.5百万円		
	代表者名	教授 佐原 宏典				1年目	2年目	3年目
	共同実施機関	(株)ALE				29.2百万円	26.9百万円	29.4百万円

## 背景・全体目標

本事業は、課題名に記載の事項を達成するために以下の全体達成目標を掲げた。

- I. 従来埋没していた潜在的な宇宙科学ミッションについて、これを自立的且つ継続的に実行していくための体制と拠点を形成すること。
  - II. 上記Iの実現のために継続的な理学的挑戦を担う超小型衛星を開発すること。
  - III. 及び上記Iの活動を自立させる仕組みを構築すること。
- 上記の全体達成目標を達成するために、以下の実施項目を設定した。
- ① 汎用的な超小型衛星の開発
  - ② 継続的な理学的挑戦を自立させる仕組みとしてのビジネス展開
  - ③ 代表的な潜在的宇宙科学ミッションのミッション系開発



自立的且つ継続的な宇宙科学ミッションの実行

潜在的需要の顕在化

汎用型超小型衛星

自立する仕組み



## 全体概要と期待される効果

- ・ 本提案で形成する拠点は開発チーム，工学アドバイザーボード，理学アドバイザーボード，ビジネスチームから成り，超小型衛星やビジネスモデルの供給と利用支援の拠点となる。
- ・ 本拠点にはオープンスペースを設け，幅広い利用者との間のインタフェースとして機能させる。オープンスペースはやがて，新しい宇宙科学利用を開拓するひとつの市場となることを期待する。

## 「国民との科学・技術対話」の推進に関する取組について

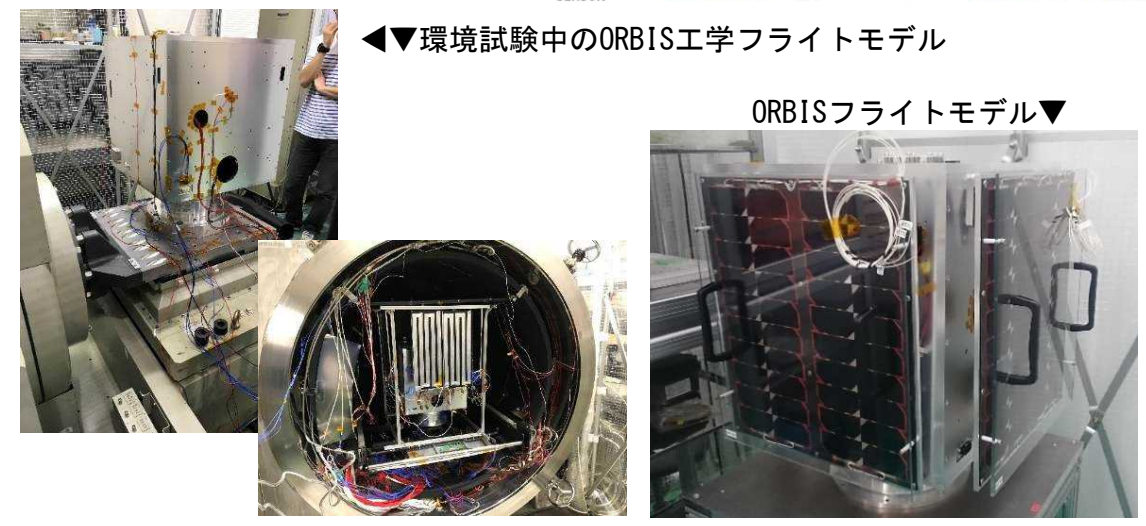
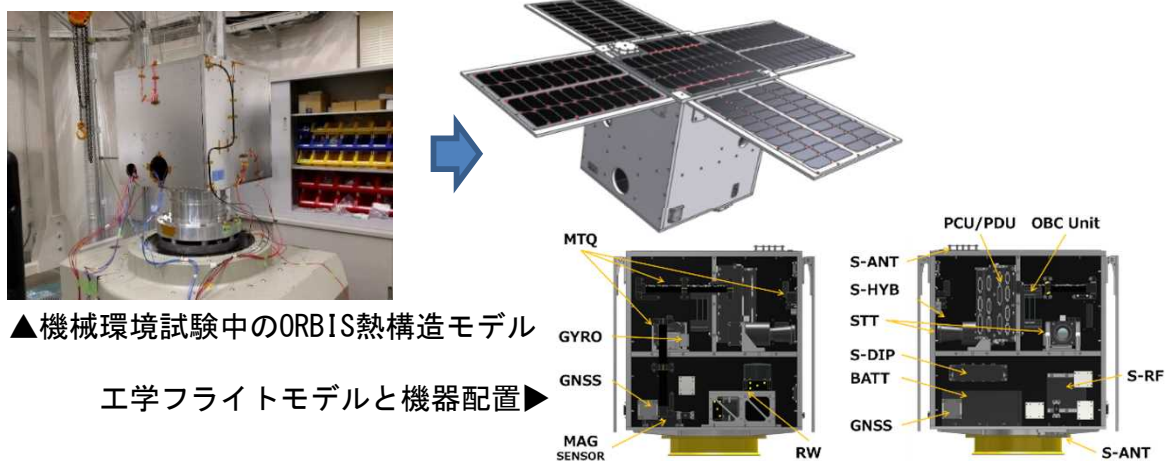
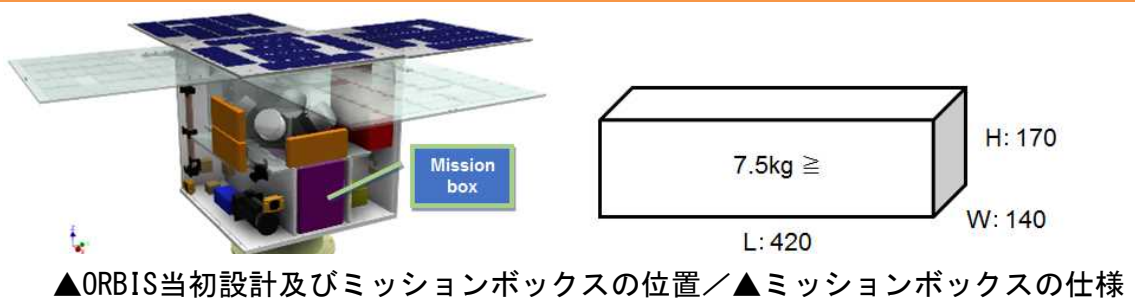
- ・ 山梨県立韮崎高等学校での模擬授業「宇宙研究と衛星開発」において本事業で開発する超小型衛星ORBISに関する説明と模型展示を行った（平成28年1月22日，平成29年1月20日，平成30年1月19日）。
- ・ 多摩大学目黒高等学校での模擬授業「宇宙研究と衛星開発」において本事業で開発する超小型衛星ORBISと宇宙ビジネスに関する開設を行った（平成29年10月20日）。
- ・ 首都大学東京システムデザインフォーラムにおいて本事業で開発する超小型衛星ORBISに関する講演とポスター発表及び熱構造モデルの展示を行った（平成28年10月5日，平成29年10月4日）。
- ・ Facebookにて本事業に関する情報発信を平成29年3月28日より行っている。  
<https://www.facebook.com/継続的な理学的挑戦を担う超小型衛星の開発とその供給による宇宙科学ミッションの支援と実行のための拠点-1855280814726751/>



# ①汎用的な超小型衛星の開発

## 実施内容及び主な成果

- 平成27年度
  - ORBISの設計内容を確認し、またPreliminary Design Review(PDR)で受けた指摘を反映させてこれを確定した。
  - ORBISの熱構造モデル(STM)を設計、製作し、組立を行った。
  - ORBISの搭載機器の選定を確認、確定し、姿勢決定系の内、恒星センサ、ジャイロセンサ、磁気センサ、GPSアンテナ・受信機を整備し、それぞれの機能確認を行い、また、姿勢決定系の特性を示すパラメータとして重要なジャイロセンサの特性取得を行い、ORBISが達成可能な姿勢制御精度を見積もった。
  
- 平成28年度
  - STMを用いた環境試験を九州工業大学超小型衛星試験センターにおいて実施した(平成28年8月29日~9月1日)。
  - このときの試験条件は工学フライトモデル(EFM)において累積疲労強度の評価を可能とするべく、品質保証試験(QT)レベルに基くものとした。その結果、STMはQTレベルに耐え得ることが確認された。
  - ORBISのEFMを設計、製作を完了し、東京都立産業技術試験研究センターにおいて環境試験を実施した(平成29年3月23日)。このときの試験条件は領収試験(AT)レベルに基くものとした。その結果、EFMはATレベルに耐え得ることが確認された。
  - 姿勢制御系である磁気トルカとリアクションホイール、及び姿勢決定系である太陽センサを整備し、単体での動作確認と、姿勢制御系の制御アルゴリズムのパラメータ調整に必要な特性の取得を行った。
  
- 平成29年度
  - 電源系と通信系の搭載機器及び搭載機器を接続する計装類を整備してEFMのフライトモデル(FM)化を完了した
  - ORBISのFMに実施項目③によるミッション部のFMを組み込み、統合した。領収試験としての環境試験はシステムレベルとしての熱環境試験と機械環境試験を九州工業大学超小型衛星試験センターにて実施した(平成29年9月13日~9月29日)。搭載機器等で単体レベルでの環境試験が必要なものについては別途個別に東京大学にてその環境試験を実施した。



# ②継続的な理学的挑戦を自立させるための仕組みとしてのビジネス展開

## 実施内容及び主な成果

- 平成27年度にはオープンスペース会合(OS)を3回(平成27年12月6日, 平成28年2月17日, 平成28年3月7日)開催し, 超小型衛星及び宇宙科学ミッションのビジネスモデル創出に向けた意見聴取や意見交換を行い, 今後のタスクを決定した。
  - 第1回OSは「ORBISのPreliminary Design Reviewの実施」に相当させ, 超小型衛星開発や宇宙利用に関する識者8名を招き, また非営利活動法人大学宇宙工学コンソーシアム(UNISEC)の学生会員10名程度及び衛星関連企業の技術者数名の参加の下, ORBISのPDRとして実施し, ここで受けた指摘は実施項目①でのORBISの設計確認に反映した。
  - 第2回OSではアンケート形式にて実施した。
  - 第3回OSではワークショップ形式にて実施し, のべ50名程度の参加者よりビジネスモデルのアイデアに関する回答や課題抽出を行った。
- 平成28年度には「オープンスペース会合の実施」としてOSを5回(平成28年7月31日, 平成28年10月5日, 平成28年12月10日, 平成29年3月24日, 平成29年3月30日)開催した。
  - 第1回～第4回ではORBISの開発状況を提示するとともに, 超小型衛星及び宇宙科学ミッションのビジネスモデル創出に向けた課題を抽出するための意見聴取や意見交換を行った。ビジネス展開については第1回～第3回にかけてアンケート形式にて意見を収集し, 回答数67を得た。第4回にて幅広い分野からの参加者12名と共にグループディスカッションを実施することでその検討を行った。
  - 第5回はORBISのCritical Design Review(CDR)として開催し, 超小型衛星の識者らを招いてORBISの開発に関する現状を展開し, 来年度にフライトモデル(FM)フェーズへ移行することの確認を行った。また「情報発信の検討」では, OSにおいてどのような形態での情報発信が期待されているかについての意見を収集し, それに基づき検討を行い, ある程度の速報性と情報量を兼ね備えることのできるFacebookが適当であると判断して, ORBISの開発状況やOSでの検討状況を展開することを開始した。
- 平成29年度にはOSを5回(平成29年7月30日, 平成29年9月7日, 平成30年1月19日, 平成30年2月16日, 平成30年2月24日)開催した。
  - 第1回はアンケート形式にて実施して回答数39を得, 前年度の活動で出たビジネスモデルを提示し, これを強化する意見を聴取した。
  - 第2回は第1回の結果を踏まえつつ, 新たなビジネスモデルの創出を含めて参加者10名によるグループディスカッションを行った。ここで創出されたビジネスモデルの一つについて以降のOSにて成立性検証を実施した。
  - 第3回はそのビジネスモデルの対象者である高校生に対してアンケート形式にて意見を聴取して回答数34を得, 成立性検証を行った。
  - 第4回は第3回の結果を提示し, そのビジネスモデルを実現するための具体的な手法について参加者12名によるグループディスカッションを行い, またそれぞれのグループの意見に対する成立可能性や継続性について投票による審査を行った。
  - 第5回ではさらに設問を検討した上で, そのビジネスモデルの対象者である幅広い年代に対してアンケート形式にて意見を聴取して回答数46を得, 成立性検証を行った。

1) まずご回答いただきます方についてお伺い致します。以下のいずれに該当されますか、いずれか一つをお選びください。

保護者の方は 20代以下・30代・40代・50代・60代以上  
 それ以外の方は 小学生以下・中学生・高校生/高専生・大学生以上  
 上記のいずれにも該当しない方は概要のみお答えください ( )

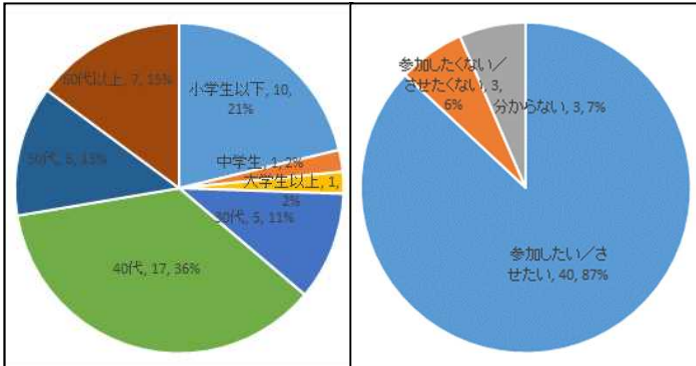
2) もし実際の人工衛星の開発について、年齢に応じた内容の充実した短期間(例えば1日、または数日間～数ヶ月間(週末のみ))の体験参加があるとすると、これに参加したい/参加させたいと思われますか?

・参加したい/させたい (→設問3へ)  
 ・参加したくない/させたくない (→設問5へ)  
 ・分からない (→設問5へ)

3) 設問2で「参加したい/させたい」と回答された方にお伺いします。ある学習塾などでは、高校生が大学の講義や研究に短期間(1週間程度)参加して、大学の教育や研究を体験することが行われており、その参加費は30万円程度のももあります。もし実際の人工衛星の開発について、年齢に応じた内容の充実した短期間の体験参加があると、その参加費がいくらまでなら支払っても良いと思われますか。

無料なら・1万円以下なら・5万円までなら・10万円までなら・10万円以上でも (→設問4へ)

### ▲アンケートの例/集計結果の例▼

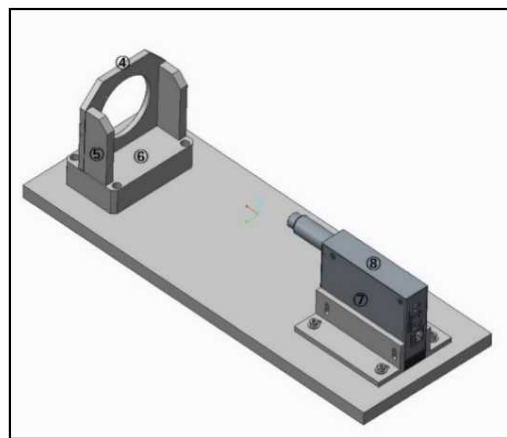


▲OS会合でのグループディスカッション風景

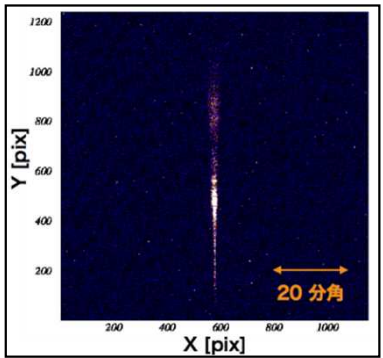
# ③代表的な潜在的宇宙科学ミッションのミッション系開発

## 実施内容及び主な成果

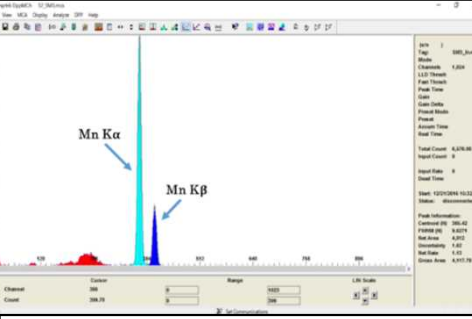
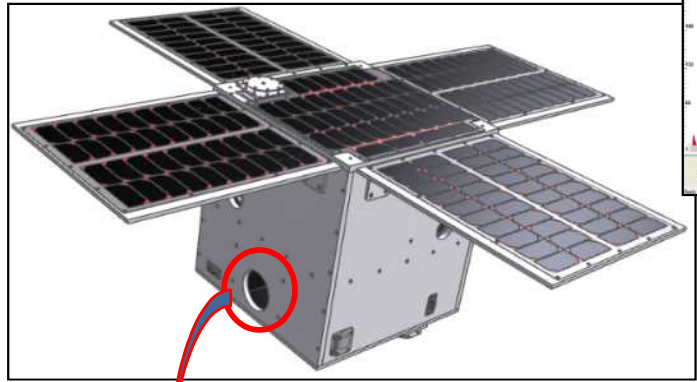
- 平成27年度
  - 代表的な潜在的宇宙科学ミッションとしてバイナリブラックホール探査を設定し、X線観測ミッションの内容について検討を行い、成立性の確認を行った。前提条件として有意度5、満たすべき感度5mCrab、観測周期3日、検出器バックグラウンド $1.56 \times 10^{-3}$ ct/s、再現性0.05を設定し、観測限界として光子限界、NSB(統計誤差)限界、NXB(系統誤差)限界を考慮した上で、X線集光系としてMEMSミラー集光系を採用することとし、これによって2~10keVのX線観測について要求を満たす感度を有していることを確認した。これを受けてMEMSミラーの支持方法を検討し、MEMSミラー集光系の設計を行った。
  - MEMSミラーの成形型を製作し、MEMSミラー集光系を試作して振動試験を行った。その前後でX線集光性能取得試験を行い、反射角、反射率、全半値幅について振動試験の影響は無いことを確認した。
- 平成28年度
  - ORBISのミッションボックス(W140mm×H170mm×L420mm、7.5kg以下)に適合するインターフェースを有するミッション系として、MEMSミラー集光系、X線検出器、及びこれらを支持、固定する構造部材から成るものを試作した。
  - 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所の30mビームラインにてMEMSミラー集光系にX線照射(AI K $\alpha$ , 1.49keV)を行うことでX線集光性能評価試験を行い(平成28年11月11日~28日)、その角度分解能は要求を十分に満たす10分角であると得られた。また、X線検出器にX線源( $^{55}\text{Fe}$ )からのX線(Mn K $\alpha$ (5.90KeV), Mn K $\beta$ (6.49keV))を照射してそのスペクトルを取得してエネルギー強度及び全半値幅共に適正に計測されていることを確認した。さらにミッション系の振動試験を東京大学においてQTレベルにて実施し(平成29年3月24日)、問題の無いことを確認した。
- 平成29年度
  - ミッション系をORBISのFMへ搭載するためのインターフェース調整と計装の取り回しを行い、ORBISのFMへ統合した。



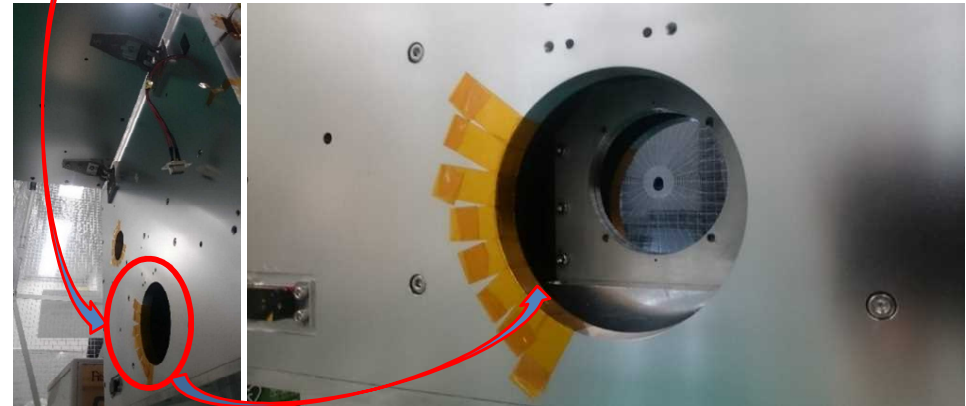
▲ミッション系/集光系と検出器の配置



▲X線集光性能評価/X線検出器の評価▼



◀ORBIS外観  
▼ミッション系観測窓  
(奥にMEMSミラー集光系)



# 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	展示会展展
	国内：0 国際：0	国内：0 国際：2	国内：8 国際：1	国内：0 国際：0	国内：1 国際：0	国内：2 国際：0
	受賞・表彰リスト					

## 成果展開の状況について

- 本事業に基くORBISやバイナリブラックホール探査ミッション、或いは小型のX線観測装置に関連して、内外の学会において9件の口頭及びポスターによる成果発表を行った。さらにメディア掲載として1件の新聞による記事化があった。また、学術雑誌について2件の掲載可を受け、平成30年度中に公開予定である。
- 本事業の成果物の一つである超小型衛星ORBISについて学会等での成果発表や、大学・企業等の研究者・技術者との面談を行うことで積極的にアピールした結果、宇宙科学ミッションを想定した超小型衛星を用いた事業化や協力の申し出を幾つか受けている。これは本事業が主張した、潜在的需要に留まっている宇宙科学ミッションの顕在化による超小型衛星の需要増加について認知、理解された効果であると考えている。
- 波及効果として、理学に関連する研究者が多く所属し、これまでに大型衛星を主とした宇宙科学ミッションに参画して来た機関から、超小型衛星ORBISによる観測をその機関における一つの主要テーマとして含めることの提案を受けたことは、超小型衛星への理学側の期待が高まりつつあることを如実に反映している。現在既に、本事業におけるミッション系よりもさらに高性能なX線観測を行える装置の開発については具体的な計画が進行中である。

◀日刊工業新聞に掲載  
(平成29年3月27日)

科学的・技術的・大学の  
二つのブラックホール探査  
超小型衛星が拓く  
バイナリブラックホール探査  
独立した観測装置  
バイナリブラックホール探査  
潜在的な宇宙科学ミッションの実行  
潜在的な需要の顕在化  
汎用型超小型衛星  
ORBIS  
自立する仕組み

## 今後の研究開発計画

- 今後とも、理学と工学が連携することによる潜在的な宇宙科学ミッションを実現していく主体として、本事業の拠点は存続する。なお本事業の成果物である超小型衛星ORBISは、そのミッション系のさらなる性能向上が別途進行中であるとともに、理学機関とも共同して新たな潜在的な需要に留まっている宇宙科学ミッションを発掘し、新たな超小型衛星プロジェクトとして立ち上げ、予算を獲得し、本事業の経験を活用していくことを目指す。また、ORBISの開発における気付事項から、幾つかの研究テーマが創出された。例えばシステム統合の労力を低減させるための新しいシステムアーキテクチャや、ミッション時間効率を改善するための自己適応化に関する研究開発は既に開始しており、当拠点の工学テーマとして位置付けたい。ビジネスモデルの実践については共同実施機関と協同し、直近の別の超小型衛星で利用することを試みたいと考えている。
- 単に工学分野に留まらず、理工連携及びビジネス化も踏まえた統括的な超小型衛星やそこでの利用を想定した研究開発が行える人材を輩出していく。
- 引き続き潜在的な需要に留まっている宇宙科学ミッションを発掘し、超小型衛星分野において理工連携を強化して、宇宙科学分野での超小型衛星の利用増大に貢献する。

◀アーキテクチャに関する研究開発  
▼自己適応化によるミッション時間効率の改善に関する研究

	Cooperative game ( $\lambda = 0.5$ )	Dynamic algorithm	Constant threshold algorithm
STANDBY MODE [s]	405,702	404,518	552,464
DOWNLINK MODE [s]	16,064	16,080	18,940
MISSION MODE [s]	442,234	443,493	592,506
DOWNLINK DATASUM [kbit]	160,640		
MISSION DATASUM [kbit]	110,554	110,854	173,149
MISSION time efficiency	0.9585	0.9610	0.6341

改善

# 事後評価票

平成30年3月末時点

1. 課題名	継続的な理学的挑戦を担う超小型衛星の開発とその供給による 宇宙科学ミッションの支援と実行のための拠点形成
2. 主管実施機関・研究代表者	公立大学法人首都大学東京・佐原宏典 教授
3. 共同実施機関	株式会社 ALE
4. 実施期間	平成27年度～平成29年度
5. 総経費	85.5百万円
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」	
◆ 所期の目標	
本事業は、課題名に記載の事項を達成するために以下の全体達成目標を掲げた。	
I. 従来埋没していた潜在的な宇宙科学ミッションについて、これを自立的且つ継続的に実行していくための体制と拠点を形成すること。	
II. 上記 I の実現のために、継続的な理学的挑戦を担う超小型衛星を開発すること。	
III. 及び上記 I の活動を自立させる仕組みを構築すること。	
上記の全体達成目標を達成するために、以下の実施項目を設定した。	
① 汎用的な超小型衛星の開発（全体達成目標 I 及び II より設定）	
② 継続的な理学的挑戦を自立させる仕組みとしてのビジネス展開（全体達成目標 III より設定）	
③ 代表的な潜在的宇宙科学ミッションのミッション系開発（全体達成目標 I 及び II より設定）	
尚、実施項目②については、共同実施機関である株式会社 ALE において実施した。	
◆ 達成度	
■ 実施項目①については、汎用的な超小型衛星として、オープン・モジュラー性を有する設計を行っている ORBIS を採用し、以下のように進めた。	
平成27年度	
• ORBIS の設計内容を確認し、Preliminary Design Review (PDR) で受けた指摘を反映させて、設計を確定した。	
• ORBIS の熱構造モデル (STM) を設計、製作し、組立を行った。	

- ORBIS の搭載機器の選定を確認、確定し、姿勢決定系の内、恒星センサ、ジャイロセンサ、磁気センサ、GPS アンテナ・受信機を整備し、それぞれの機能確認を行い、また、姿勢決定系の特性を示すパラメータとして重要なジャイロセンサの特性取得を行い、ORBIS が達成可能な姿勢制御精度を見積もった。

#### 平成 28 年度

- STM を用いた環境試験を平成 28 年 8 月 29 日～9 月 1 日にかけて九州工業大学超小型衛星試験センターにおいて実施した。このときの試験条件は工学フライトモデル (EFM) において累積疲労強度の評価を可能とするべく、品質保証試験 (QT) レベルに基づくものとした。その結果、STM は QT レベルに耐え得ることが確認された。
- ORBIS の EFM を設計し、平成 29 年 3 月 13 日に製作を完了し、平成 29 年 3 月 23 日に東京都立産業技術試験研究センターにおいて環境試験を実施した。このときの試験条件は領収試験 (AT) レベルに基づくものとした。その結果、EFM は AT レベルに耐え得ることが確認された。
- 姿勢制御系である磁気トルカとリアクションホイール、及び姿勢決定系である太陽センサを整備し、単体での動作確認と、姿勢制御系の制御アルゴリズムのパラメータ調整に必要な特性の取得を行った。

#### 平成 29 年度

- 電源系と通信系の搭載機器及び搭載機器を接続する計装類を整備して EFM のフライトモデル (FM) 化を完了した。
- ORBIS の FM に実施項目③によるミッション部の FM を組み込み、統合した。
- 領収試験としての環境試験はシステムレベルとしての熱環境試験と機械環境試験を平成 29 年 9 月 13 日～9 月 29 日に九州工業大学超小型衛星試験センターにて実施した。搭載機器等で単体レベルでの環境試験が必要なものについては別途個別に東京大学にてその環境試験を実施した。

以上を以って汎用的な超小型衛星の開発を完了したことから、実施項目①は達成された。

#### ■ 実施項目②については、以下のように進めた。

#### 平成 27 年度

オープンスペース会合 (OS) を 3 回 (平成 27 年 12 月 6 日、平成 28 年 2 月 17 日、平成 28 年 3 月 7 日) 開催し、超小型衛星及び宇宙科学ミッションのビジネスモデル創出に向けた意見聴取や意見交換を行い、今後のタスクを決定した。

第 1 回 OS ; 「ORBIS の Preliminary Design Review の実施」に相当させ、超小型衛星開発や宇宙利用に関する識者 8 名を招き、また非営利活動法人大学宇宙工学コンソーシアム (UNISEC) の学生会員 10 名程度及び衛星関連企業の技術者数名の参加の下、ORBIS の PDR として実施し、ここで受けた指摘は実施項目①での ORBIS の設計確認に反映した。

第 2 回 OS ; アンケート形式にて実施した。

第 3 回 OS ; ワークショップ形式にて実施し、のべ 50 名程度の参加者よりビジネスモデル

のアイデアに関する回答や課題抽出を行った。

#### 平成 28 年度

OS を 5 回（平成 28 年 7 月 31 日、平成 28 年 10 月 5 日、平成 28 年 12 月 10 日、平成 29 年 3 月 24 日、平成 29 年 3 月 30 日）開催した。

第 1 回～第 4 回 OS；ORBIS の開発状況を提示するとともに、超小型衛星及び宇宙科学ミッションのビジネスモデル創出に向けた課題を抽出するための意見聴取や意見交換を行った。ビジネス展開については第 1 回～第 3 回にかけてアンケート形式にて意見を収集し、回答数 67 を得た。第 4 回にて幅広い分野からの参加者 12 名と共にグループディスカッションを実施することでその検討を行った。

第 5 回 OS；ORBIS の Critical Design Review (CDR) として開催し、超小型衛星の識者らを招いて ORIBS の開発に関する現状を展開し、来年度にフライトモデル (FM) フェーズへ移行することの確認を行った。また「情報発信の検討」では、OS においてどのような形態での情報発信が期待されているかについての意見を収集し、それに基づき検討を行い、ある程度の速報性と情報量を兼ね備えることのできる Facebook が適当であると判断して、ORBIS の開発状況や OS での検討状況を展開することを開始した。

#### 平成 29 年度

OS を 5 回（平成 29 年 7 月 30 日、平成 29 年 9 月 7 日、平成 30 年 1 月 19 日、平成 30 年 2 月 16 日、平成 30 年 2 月 24 日）開催した。

第 1 回 OS；アンケート形式にて実施して回答数 39 を得、前年度の活動で出たビジネスモデルを提示し、これを強化する意見を聴取した。

第 2 回 OS；第 1 回の結果を踏まえつつ、新たなビジネスモデルの創出を含めて参加者 10 名によるグループディスカッションを行った。ここで創出されたビジネスモデルの一つについて以降の OS にて成立性検証を実施した。

第 3 回 OS；そのビジネスモデルの対象者である高校生に対してアンケート形式にて意見を聴取して回答数 34 を得、成立性検証を行った。

第 4 回 OS；第 3 回の結果を提示し、そのビジネスモデルを実現するための具体的な手法について参加者 12 名によるグループディスカッションを行い、またそれぞれのグループの意見に対する成立可能性や継続性について投票による審査を行った。

第 5 回 OS；さらに設問を検討した上で、そのビジネスモデルの対象者である幅広い年代に対してアンケート形式にて意見を聴取して回答数 46 を得、成立性検証を行った。

以上の OS 会合を経て、例えその観測データの直接利用が一部の専門家しか携わらない宇宙科学ミッションであっても、「宇宙に携わる経験のある価格帯で提供し、将来の継続的なコンテンツ拡充・プレイヤーの増加に繋げるための関わり方を狭めるボトルネックを解消する効果も踏まえたビジネスモデル」という一つの方向性を得た。また、その成立性を検証した結果、実現の蓋然性が高いものであると判断できたことから、実施項目②は達成された。



■ 実施項目③については以下のように進めた。

平成 27 年度

- 代表的な潜在的宇宙科学ミッションとしてバイナリブラックホール探査を設定し、X 線観測ミッションの内容について検討を行い、成立性の確認を行った。前提条件として有意度 5、満たすべき感度 5mCrab、観測周期 3 日、検出器バックグラウンド  $1.56 \times 10^{-3}$  ct/s、再現性 0.05 を設定し、観測限界として光子限界、NSB（統計誤差）限界、NXB（系統誤差）限界を考慮した上で、X 線集光系として MEMS ミラー集光系を採用することとし、これによって 2~10keV の X 線観測について要求を満たす感度を有していることを確認した。これを受けて MEMS ミラーの支持方法を検討し、MEMS ミラー集光系の設計を行った。
- MEMS ミラーの成形型を製作し、MEMS ミラー集光系を試作して振動試験を行った。その前後で X 線集光性能取得試験を行い、反射角、反射率、全半値幅について振動試験の影響は無いことを確認した。

平成 28 年度

- ORBIS のミッションボックス（W140mm×H170mm×L420mm、7.5kg 以下）に適合するインターフェースを有するミッション系として、MEMS ミラー集光系、X 線検出器、及びこれらを支持、固定する構造部材から成るものを試作した。
- 平成 28 年 11 月 11 日~28 日にかけて宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所の 30m ビームラインにて MEMS ミラー集光系に X 線照射（Al  $K\alpha$ 、1.49keV）を行うことで X 線集光性能評価試験を行い、その角度分解能は要求を十分に満たす 10 分角であると得られた。また、X 線検出器に X 線源（ $^{55}\text{Fe}$ ）からの X 線（Mn  $K\alpha$ （5.90KeV）、Mn  $K\beta$ （6.49keV））を照射してそのスペクトルを取得してエネルギー強度及び全半値幅共に適正に計測されていることを確認した。さらにミッション系の振動試験を平成 29 年 3 月 24 日に東京大学において QT レベルにて実施し、問題の無いことを確認した。

平成 29 年度

- ミッション系を ORBIS の FM へ搭載するためのインターフェース調整と計装の取り回しを行い、ORBIS の FM へ統合した。

以上を以って、ミッション系の開発を完了したことから、実施項目③は達成された。

「必要性」

本課題は以下の観点から、一定程度の必要性が認められる。

◆ 科学的・技術的意義

従来、宇宙科学ミッションは大型衛星を主としており、高感度の観測機器を多数搭載した衛星を共同利用することから、占有性は極めて低く、特定の天体を継続的に観測するような宇宙科学ミッションはほぼ実施不可能であった。これに対して超小型衛星では少人数が衛星を占有し、特定の宇宙科学ミッションに専従することができる。ところが超小型衛星は従来、観測機器の性能の点で大型衛星には到底及ばないことから、それほど大きな期待を理学分野から集めていた訳ではない。その結果として理学側には依然、多くの潜在的需要が滞留していた。

一方、工学側では、超小型衛星は世界的に急速に盛り上がっており、その実利用を提示していくことが求められていた。しかしながら実際には工学側のみが声高に超小型衛星の必要性や有用性を唱えることが多く、そこで提案される利用法としては大型衛星の方が性能的にも効率的にも適しているものが散見されていた。そのため、これを補うためには多数の超小型衛星が必要である場合もあって、その実現は困難を伴う。従って、超小型衛星の実利用においては、単機または少数の超小型衛星によって大きな成果が得られる事例を提示することが必要であった。

このような理学側と工学側の独立した事情に対して、本事業では理工双方の需要を組み合わせることとなる超小型衛星の実利用の一つとして、これまで実施手段・機会が皆無或いは乏しかったことから潜在的需要に留まっていた宇宙科学ミッションに特化した大型衛星の性能に匹敵する衛星を開発してその実施機会を提供できることの実例を示した。具体的には、本事業で X 線観測のために MEMS ミラーを採用し、従来の大型衛星や国際宇宙ステーションに搭載の X 線観測装置に匹敵する性能を持ち、これを超小型衛星にも収納可能なインタフェース条件 (W140mm×H170mm×L420mm、7.5kg 以下、消費電力 20W 程度) に収めている。これにより、単に特定の宇宙科学ミッションでの超小型衛星の利用を実現したばかりではなく、今後、理学側が本格的な宇宙科学ミッションを当初より超小型衛星を選択肢の一つとして考えることのできる実例となった。

#### ◆ 挑戦的な研究や学際・融合領域・領域間連携研究の促進

従来の宇宙科学ミッションは、既に存在が明らかな天体であってその観測によって確実な成果が得られる蓋然性の極めて高いものが優先的に実行されてきた。そのため、銀河中心核に存在可能性が理論的に示唆されているに過ぎないバイナリブラックホールのような、その天体の発見自体が成果となる探査ミッションなどの挑戦的な宇宙科学ミッションは潜在的需要に留まったままであって、その実現手段や実行機会を得ることを理学側は模索していた。これに対して本事業における超小型衛星を用いた宇宙科学ミッションの実行は、大型衛星に観測機器を搭載する場合と比べて積極的な民生品利用が可能であることに加えて、そのシステム統合等も大幅に簡素化できることから、開発のための費用低減や期間短縮が可能である。このことから、挑戦的な宇宙科学ミッションを実行に移すことの障壁は大幅に取り除かれた。

また、本事業において理学側は衛星システムについて、工学側は X 線によるバイナリブラックホール探査についてある程度理解を深めつつ衛星開発を行うことができたが、これは大型衛星と比べて超小型衛星は小規模なシステムであるため、双方の業務範囲を理解しながら衛星の開発が可能となり、そのために理工が綿密に連携できたことによるものであり、理工の領域間の連携を促進した。

また、本事業で得られた知見の一つである「宇宙に携わる経験のある価格帯で提供し、将来の継続的なコンテンツ拡充・プレイヤーの増加に繋げるための関わり方を狭めるボトルネックを解消する効果も踏まえたビジネスモデル」に基づいて宇宙科学ミッションをコンテンツとして展開して収益を上げることを目指す場合には、理学や工学に留まらない幅広い領域を融合させることを促進する。

#### ◆ 若手研究者の育成

継続的な理学的挑戦を実現するためには、理学や工学の若手研究者や次世代人材を育成し続ける必要がある。しかしながら、宇宙には多くの人に興味を持つ一方で、宇宙とは難しいもの、高度な専門知識を有する者が行うものであるという固定概念や、従来の宇宙業界の受け皿の小ささのために受験や成績、研究業績における競争、或いはごく少数の大型衛星を用いた宇宙プロジェクトしか存在しないことがあるため、宇宙に関わることができるのはごく一部の者のみという現実問題があり、次世代人材の確保や、実際の宇宙プロジェクトに関わることで経験を積ませて人材を育成することのボトルネックとなっていた。このボトルネックの撤廃が、持続可能な若手研究者の育成には必要である。

そこで本事業において、先述のように、超小型衛星の利点を活かすことで、早い時間スケールで理工双方の経験を培うことができたことから、多数の若手研究者の育成に貢献し、3年間で超小型衛星やミッション系の開発を行うという経験をえた。

また、本事業ではビジネス側の人材も加わり、宇宙でのビジネスモデルの創出に取り組んだ。その結果、高校生などに対して宇宙へ携わる経験のある価格帯で提供するというビジネスモデルの一つの方向性をえた。これは単に収益を得ることに留まらず、上述の固定概念や現実問題を解決し、宇宙利用の促進に携わることを希望する人がますます宇宙に関わることができるようになるという好循環を生むと期待される。

#### 「有効性」

本課題は以下の観点から、一定程度の有効性が認められる。

#### ◆ 研究開発の質の向上

本事業では、理工連携の上で宇宙科学ミッションの検討や超小型衛星の開発を行ったため、具体的且つ明確なミッション検討や衛星開発を実施したことや、期間も定められていることから、いわゆる大学における研究開発よりも進捗が早く、且つ検討の度合いも明確でありつつより深いものであった。当初基本設計の完了していた状態から開始されたとはいえ、本事業の実施期間において熱構造モデルから工学フライトモデル、そしてフライトモデルへと超小型衛星の開発が進み、且つ、適切適時にPDRやCDRを実施できた。

また、具体的な超小型衛星を想定したことから、宇宙でのビジネスモデルを創出する際には制約も明確であった。これらのことにより、研究開発の質やスキル、及び理工やビジネスの連携が向上し、本拠点として大きな実績が蓄積された。

#### ◆ 人材の養成

本事業では若手研究者が多く関わったことに加えて、総勢40名程度の大学院生もミッション検討や衛星開発、ビジネスモデルの創出に従事した。ここでは通常の大学での研究では得られない、実プロジェクトでのみ得られる事項や実際の開発段階で求められる試験等の多くの工程を経験させることができた。本事業に関わった学生はそのことが評価され、JAXAを始めとする国立研究開発法人や衛星メーカー、宇宙関連企業へ就職し、現在、宇宙分野の第一線に関わっている。

◆ 直接・間接の成果・効果やその他の波及効果

本事業では、理工双方が互いの領域を見通しながら自身の業務範囲に従事したことによって、業務範囲の縦割りによる他方への無理解や情報共有不足から生じる身動きの膠着に陥ることなく、理工連携によるミッション検討や衛星開発を進めた。これは超小型衛星が小規模なシステムであるということに加えて、比較的簡素な観測装置を用いる単一ミッションを採用したことにより、担当者や責任範囲が明確であって、適時の判断や決断が可能であったことに起因していると考えられる。今後の超小型衛星開発ではシステムや従事者の規模は大きくなる可能性も考えられるが、開発に当たっては互いの領域を見通して情報共有することが肝要であることを得たことは、本事業で当方拠点が得た大きな成果の一つである。

「効率性」

本課題は以下の観点から、一定程度の効率性が認められる。

◆ 計画・実施体制の妥当性

本事業開始時点では、超小型衛星 ORBIS の基本設計を完了していたため、事業期間内には設計の確定を行い、熱構造モデル、工学フライトモデルとその改修によるフライトモデル化を計画していた。これらの各段階を完了し、フライトモデルを完成させたことから、計画は妥当であったと判断できる。また、ビジネスモデルの創出については、幅広い多数からの意見聴取を行い、その課題抽出に始まり、一つの方向性の策定とその成立性検証を段階的に行ったことは良好な知見の獲得に繋がったと言える。

実施体制については、理学、工学、ビジネスの各チームを少人数で構成し、適切な意識や情報の共有を常に図ることで全体達成目標を共有することができ、相互の不理解や対立を招くことなく適切に本事業を進めることができた。

◆ 目標・達成管理の妥当性

本事業では3年間の事業期間を単年度毎に分けて目標を設定していた。超小型衛星の開発においては初年度の設計確定の完了、次年度の工学フライトモデルでの段階の完了、最終年度のフライトモデルの段階の完了を設定していたことから、明確な単年度目標に向かって年度内の進捗を管理することができ、実際に次年度に持ち越すことなく各段階を完了することを以って、事業期間内での全体達成目標を得ることに貢献した。ビジネスモデルの創出についても各年度毎に課題抽出、方向性策定、成立性検証という単年度目標を設定したことで、事業期間内に一つの方向性に基くビジネスモデルの創出とその成立性検証までを完了することができた。

(2) 成果

「アウトプット」

本事業によって、理工連携による超小型衛星を用いた本格的な宇宙科学ミッションの実現性を超小型衛星 ORBIS の完成を以って示すことができた。また、ビジネスモデルの創出についても一つの方向性を得、それに基づく具体的なビジネスモデルに対する成立性検証を行うことができた。これらのことは所期の目標に合致するものである。また、本事業に基づく ORBIS やバイナリ

ブラックホール探査ミッション、或いは小型の X 線観測装置に関連して、内外の学会において 9 件の口頭及びポスターによる成果発表を行った。さらにメディア掲載として 1 件の新聞による記事化があった。また、学術雑誌について 2 件の掲載可を受け、平成 30 年度中に公開予定である。

以上の活動を通して理学、工学、ビジネスのそれぞれの人員が共同して宇宙科学ミッションを進めることを示し、また今後も活動していくことができる体制を整えたことから、本事業において拠点形成に成功している。

#### 「アウトカム」 (平成 30 年 10 月末時点)

本事業の成果物の一つである超小型衛星 ORBIS について学会等での成果発表や、大学・企業等の研究者・技術者との面談を行うことで積極的にアピールした結果、宇宙科学ミッションを想定した超小型衛星を用いたいくつかの事業化や協力の申し出がなされている。これは本事業が主張した、潜在的需要に留まっている宇宙科学ミッションの顕在化による超小型衛星の需要増加について認知、理解された効果であると考えている。

また波及効果として、理学に関連する研究者が多く所属し、これまでに大型衛星を主とした宇宙科学ミッションに参画してきた機関から、超小型衛星 ORBIS による観測をその機関における一つの主要テーマとして含めることの提案を受けたことは、超小型衛星への理学側の期待が高まりつつあることを如実に反映している。現在既に、本事業におけるミッション系よりもさらに高性能な X 線観測を行える装置の開発については具体的な計画が進行中である。

### (3) 今後の展望

#### ■ 研究結果を踏まえた今後の展望

今後とも、理学と工学が連携することによる潜在的な宇宙科学ミッションを実現する主体として、本事業の拠点は存続する。なお本事業の成果物である超小型衛星 ORBIS は、そのミッション系のさらなる性能向上が別途進行中であるとともに、理学機関とも共同して新たな潜在的需要に留まっている宇宙科学ミッションを発掘し、新たな超小型衛星プロジェクトとして立ち上げ、予算を獲得し、本事業の経験を活用していくことを目指す。また、ORBIS の開発における気付事項から、幾つかの研究テーマが創出された。例えばシステム統合の労力を低減させるための新しいシステムアーキテクチャや、ミッション時間効率を改善するための自己適応化に関する研究開発は既に開始している。ビジネスモデルの実践については共同実施機関と協同し、直近の別の超小型衛星で本格的な利用の発展を期待したい。

#### ■ 予想される効果・効用

- ✓ 単に工学分野に留まらず、理工連携及びビジネス化も踏まえた統括的な超小型衛星やそこでの利用を想定した研究開発が行える人材を輩出する。
- ✓ 引き続き潜在的需要に留まっている宇宙科学ミッションを発掘し、超小型衛星分野において理工連携を強化して、宇宙科学分野での超小型衛星の利用増大に貢献する。

7. 評価点	
<b>B</b>	<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>
8. 評価理由	
<p>本課題では、大学院生を含む若手研究者を主体として理学と工学が連携し、これまで潜在的需要に留まっていた宇宙科学ミッションの一つであるバイナリブラックホール探査を、近年実利用が模索されている超小型衛星により実施することで、工学的なシーズと理学的なニーズを結びつけるという理工の連携強化を達成した。また、宇宙科学ミッションのための衛星開発から運用までを通して一つのコンテンツとし、宇宙に携わる経験を提供しつつ、次世代の人材育成にも貢献するという、ビジネスモデルの一つの方向性を得た。</p> <p>以上より、本事業は相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献したと評価する。</p> <p>一方で、本宇宙科学ミッションの拠点は、国内または海外のコミュニティ全体の戦略における位置づけや、理学的な挑戦を継続させるためのビジネスモデルの確立に向けた具体的な戦略についての検討が不十分であり、拠点としての成果が十分には得られていない。今後の持続的な活動に向けて更なる工夫が望まれる。</p>	