

## きぼう利用実験成果概要、総括

- 実験課題名：微小重力環境を利用した2次元ナノテンプレートの作製
- 研究代表者名、所属(当時)：木下隆利教授、名古屋工業大学 ながれ領域
- 実験概要
  - 実験方法(計画)と何を狙ったか：

基板表面における自己組織化によって簡便にペプチド規則配列化が進行することを宇宙実験準備段階で見出した。ペプチドをアルカリ水溶液に可溶化し、基板浸漬することで自発的にナノレベルの繊維状構造体が配列化することが判明した。しかしながら、地上実験ではペプチド会合体の付着やナノパターンの乱れが認められた。これは地上に存在する重力による沈降や対流の影響によると思われる。対流の影響のないISSの微小重力環境でペプチドの自己組織化を行うことで、基板表面における繊維化の均一な進行や溶液中に生じた会合体の付着抑制を可能にし、良質なマスクパターンを調製する。
  - 実験結果(仮説の証明他)：

実験試料として使用していたペプチド分子の挙動は地上での挙動と大差は認められず、微小重力効果は見出せなかった。一方、会合により見かけの分子量が大きくなったペプチド会合体に対して、対流や重力沈降の抑制効果が認められ、基板作製の上で欠陥となる会合体（表面構造の乱れに影響）の付着抑制という微小重力効果の発現を確認した。さらに微小重力実験での予期せぬ結果として、地上実験では得られたことのない線幅の大きい伸長化した構造が得られた。その発生メカニズムについては今後の詳細な検討が必要であるが、微小重力場での静穏な自己組織化環境が保たれたことが要因であることが考えられる。
- 事後評価の総括
  - 微小重力環境で得られた知見は応用利用の観点で評価できる。
  - 限られた共同研究期間に結果を出し、新しいセンターを設立し複数の企業が参画する状況を生んでいる。この点から製品開発体制は整ったと評価する。

○ 実験課題名

「ファセット的セル状結晶成長機構の研究」(略称: FACET)

○ 研究代表者名、所属(当時)

宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 稲富 裕光

○ 実験概要

● 実験方法(計画)と何を狙ったか

非線形光学材料、音響光学材料、高性能二次電池の電極、半導体等の幅広い用途が期待されている酸化物結晶は、食塩の結晶のように平坦な結晶面(ファセット)で構成された結晶になりやすい物質である。ところがファセット結晶は一般に品質が良くないことが多いため、ファセットを制御する必要がある。本研究では、ファセット成長モデル構築のための基礎データを得ること、および形態不安定の駆動力解明を目指すことを目的とした。

● 実験結果(仮説の証明他)

ISSに搭載されているSCOF(溶液結晶化観察装置)を用いて2009年4～6月および同年9～10月に実施した。実験の結果、全ての実験条件において、予定通り干渉計計測が成功した。中でも、界面から100 μm以内の界面のごく近傍においても高精度にデータを取得できたことは画期的な成果と言える。これにより、成長速度の過冷却度に対する依存性を初めて得ることができた。加えて、データ解析の結果、形態不安定の開始位置の特定に成功し、形態不安定は過冷却度が最大となる位置で始まることが明確となった。

● 課題(あれば)

今後形態不安定発生の原因究明を行い、学術誌への公表し、成長速度の過冷却度依存性を説明できるモデルの構築を図ること。

○ 事後評価の総括

● 微小重力下で溶液中の温度・濃度分布の高精度計測に成功したことは、今後も当該分野において世界をリードし続けることを可能とすることから意義は高い。また、界面過冷却度と成長速度の関係を初めて明らかにできた点も重要な成果である。形態不安定が、過冷却度が最大の場所から始まることを明らかにした点も意義が高い。

● 研究成果を、特に微小重力関連以外の分野の国際会議や学術論文として発表していくことが今後の重要な課題である。中でも、過冷却度のファセット面上での不均一分布の発生原因究明、形態不安定の発生プロセスの解明、成長モデルの構築等を今後行いたい。また、画像のデータ解析

が遅れており、新しい解析手法が必要である。

- ファセット結晶成長メカニズムをより深く理解することにより、ファセット性が強い酸化物結晶等の結晶成長条件の改善を行い、高品質単結晶成長が行えるようになることが期待される。

- 実験課題名  
「マランゴニ対流におけるカオス・乱流とその遷移過程 (MEIS-1&MEIS-2)」
- 研究代表者名、所属  
河村 洋 (諏訪東京理科大学)、西野 耕一 (横浜国立大学)
- 実験概要
  - 実験方法(計画)と何を狙ったか  
表面張力に駆動されるマランゴニ対流は、自由表面が存在する様々な製造プロセス等において多く見られる現象である。本実験では、温度差を印加した液柱に発生するマランゴニ対流を、浮力対流が抑制される「きぼう」を利用して精緻に観測し、振動流遷移条件のデータ取得、カオス・乱流遷移過程の取得、粒子集合構造の形成条件の取得を目的とした。
  - 実験結果(仮説の証明他)
    1. 地上では実現できない液柱サイズと幅広い条件で振動流遷移の条件が理論と一致している (つまり液柱直径に大きく依存しない) ことを実験的に初めて明らかにした。長い液柱において、これまで知られていなかった振動流の渦構造を発見した。
    2. 表面温度分布を可視化し、温度波が液柱表面を高温側から低温側に向かって伝播することを明らかにした。これについては、従来、理論と実験からの結果が正反対であり、パラドックスとなっていたが、理論が正しいことを示し、これによって、振動流遷移の原因が、理論の立脚するHydro thermal 現象によることを示した。
    3. PAS (Particle Accumulation Structure) については、ごく狭い条件で観測に成功したが、地上実験で見られるような明瞭なPAS は観察されなかった。PAS 発生メカニズムにおける液柱寸法あるいは粒子径の影響が存在することを強く示唆した。
  - 課題  
本評価は、全部で第5シリーズまで予定されている実験のうち、第1、第2シリーズの成果について評価を実施したものである。第3～第5シリーズでは、液柱のサイズ、試料流体の粘性を変えた実験を実施する。これにより、カオス・乱流特性をより詳細に観測することと、粘性を変えたことによる振動流特性の違いを明らかにする。
- 中間評価の総括
  - MEIS-1、2 で対象とした定常流から振動流への遷移の条件、臨界マランゴニ数の液柱寸法依存性の有無については、本実験で明確にすること

ができ、成果を高く評価できる。無限長液柱に対する理論値との比較は残されたが、総合的には本実験はほぼ成功であったと評価する。特に、臨界マランゴニ数の液柱径依存性に代表される過去の不十分な実験の結果を正した意義は大きい。流体実験は微小重力の効果が期待できる典型的なものであり、MEIS シリーズにより系統的な研究成果が得られるよう期待する。

- PAS の発生が十分に観測されなかった理由、及びカオスに至る過程を考察し、今後の計画の戦略を練ることが望ましい。重力が無い場合の理論解析や数値シミュレーションなどがすでになされていると思われるが、それらとの比較を進めてほしい。
- 波及性への期待(例)研究成果の具体的応用先として、材料製造、半導体結晶育成、マイクロ流体技術、気泡/液滴ハンドリング技術、高効率ヒートパイプ、有人宇宙活動関連技術（とくに高エネルギー輸送における気泡ハンドリング）等がある。

- 実験課題名：微小重力環境でのナノスケルトン作製
- 研究代表者名、所属(当時)：阿部正彦教授、東京理科大学 理工学部
- 実験概要
  - 実験方法(計画)と何を狙ったか：

地上におけるナノスケルトン材料の合成条件を最適化するため、①チタニア光触媒の結晶性に及ぼす重力の影響、②チタニア微粒子の凝集に対する重力の影響。③水・油・界面活性剤混合系の自己組織化(ミセル形成)における重力の影響、について評価するため宇宙実験を実施した。
  - 実験結果(仮説の証明他)：①軌道上と地上で作製した試料を比較した結果、チタニア光触媒の結晶性への重力影響は認められなかった。ナノスケルトンの場合、タンパク質実験とは結晶化のプロセスの違いのためであることが示唆された。②軌道上と地上で作製した試料を比較した結果チタニア微粒子の凝集に対する重力の影響は認められなかった。粒子の凝集効果には、粒子間に働く凝集力が重力より支配的であることが推察される。③軌道上と地上で作製した試料を比較した結果、一部の試料で、 $\mu G$  環境下で細孔径が拡大するとともに、細孔の配向性が向上するという結果が得られた。これはこれまでに予想されなかった結果であり  $\mu G$  の影響を定量的に説明する仮説を検討中である。
- 事後評価の総括
  - 予想しなかった実験結果であったが、工業的な性能向上に寄与するパラメータを特定したことは評価できる。
  - 当該拠点は限られた共同研究期間に結果を出し、複数の企業が参画する状況を生んでいる。この点から製品開発体制は整ったと評価する。

○ 実験課題名 ほ乳動物培養細胞における宇宙環境曝露後の p53 調節遺伝子群の遺伝子発現 (RadGene)

○ 研究代表者名、所属(当時) 大西武雄 (奈良県立医科大学)

○ 実験概要

宇宙放射線と微小重力によって特徴付けられる宇宙環境において、がん抑制遺伝子の一つである p53 の調節遺伝子群の発現を解析することにより、ヒトが長期間、安全に宇宙に滞在することを可能とする方法の確立を目指した。

1. 重粒子線がヒト細胞核内に二本鎖切断の DNA 損傷を生じさせる頻度から、世界で初めて生物的線量測定を確立した。ISS きぼうのフリーザーにヒト培養凍結細胞を保存させることにより、重粒子線を含む宇宙放射線の線量を測定した。
2. 宇宙空間で p53 正常型/p53 変異型ヒトリンパ細胞を 8 日間培養し、形質発現を DNA アレーで分析した。宇宙放射線/微小重力それぞれに誘導される遺伝子を同定した。微小重力が宇宙放射線による遺伝子発現を促進するという歴年の課題に大きな答えを出せた。また、宇宙放射線で誘導される新規の p53 依存的発現遺伝子も発見した。
3. 宇宙飛行後の地上での高線量放射線急照射による生物影響(細胞増殖阻害/アポトーシス誘発/染色体異常誘発)はいずれも宇宙飛行経験によって抑制された。しかも、この現象は正常型 p53 細胞のみ観察され、変異型 p53 細胞では見られなかったため、まさに放射線適応応答である。今回の宇宙フライトで window にあたる放射線量,すなわち 20-100 mSv 範囲の放射線を被ばくしてきたといえる。

○ 事後評価の総括

実験目的は良く吟味されていると判断する。また、本研究は目的に対し、実績ある技術を用いて着実に実施されており、研究計画通りに進捗したと判断する。成果に関しても、放射線生物学における重粒子線応用やゲノム応答メカニズム解明が詳細に行われつつあり、特に以下の点で意義が高いと判断する。

- ・ 宇宙放射線による二本鎖切断の可視化や適応応答現象の発見は、放射線生物学及び宇宙生物科学分野として先駆的な成果である。
- ・ 本研究成果及び予期せず発見された p53 非依存性のアポトーシスは、癌治療への応用が今後期待される。

シャトルの遅延や実験装置のトラブル等があったものの、特にシャトルの遅延に関しては予期せぬ成果をもたらした側面があり、一概に悪いとは言えない。なお、得られた膨大なデータを活用し、今後成果をさらに公表していくことを期待する。DNA の二本鎖が切断されたという情報が p53 遺伝子の制御と結びつく仕組みの解明が今後の課題である。

○ 実験課題名 ヒト培養細胞における TK 変異体の LOH パターン変化の検出 (LOH)

○ 研究代表者名、所属(当時) 谷田貝文夫(理化学研究所)

○ 実験概要

宇宙放射線による染色体 DNA 損傷のもたらす効果については、被ばくが低線量かつ低線量率であることから直接効果だけでなく、間接効果についても明らかにする必要がある。これらの DNA 損傷の修復や突然変異誘発が微小重力環境でどのような影響を受けるのかといった問題も解明しなければならない。このような目的の研究が宇宙飛行士の健康影響を考える上で欠かせないことは言うまでもないが、人類が将来、宇宙環境を積極的に利用するためにも、きわめて重要な問題といえる。

本実験では、ヒトリンパ芽球細胞 TK6 を凍結した状態(-80°C)で、スペースシャトルで打ち上げ、きぼう棟内に 135 日間凍結保存した。なお、一部の細胞は、約 100 日間凍結保存後に解凍し、1 G あるいは  $\mu$ G 下で 8 日間培養して再凍結した。細胞は輸送時と同じ凍結状態で地上に持ち帰り、凍結維持細胞を用いて宇宙放射線被ばくの直接効果及び間接効果を、8 日間培養細胞を用いて微小重落力下培養による上記直接効果への影響について検討した。宇宙放射線被ばくの直接効果については、地上回収後に凍結維持細胞を解凍後に培養して突然変異の誘発を提案者らが確立した鋭敏検出法である Loss of Heterozygosity (LOH:染色体接合性喪失)解析法で調べた。間接効果について、地上回収後に凍結維持細胞を解凍後に培養してからストレス処理を施し、ストレスに対する適応応答の誘導について、突然変異誘発の抑制、DNA 2 重鎖切断の修復効率の上昇、関連遺伝子の発現変化などを指標にして検討した。さらに、きぼう内で培養した細胞を利用して、宇宙放射線被ばくによる DNA 損傷の修復と突然変異誘発における微小重力環境の及ぼす影響についても推測を試みた。

○ 事後評価の総括

計画された目的はほぼ達成したと判断する。特筆すべき成果は、宇宙放射線が突然変異を誘発するが、宇宙放射線に対する適応応答もみられる点、及び宇宙放射線で生じた軽度の損傷が宇宙では回復(修復)しにくい可能性を示した点である。これらの科学的意義は大きく、今後の更なる発展が期待される。また、RadGene 実験チームとの連携は、成果をより確実にしたという点から高く評価する。

しかし、一部に定性的な部分が残されており、宇宙放射線、微小重力それぞれ単独の影響、およびそれらの複合影響を定量的に明確に区別するための更なる実験が期待される。今後より一層の成果の公表、あるいは特許の取得を期待する。



○ 実験課題名 両生類培養細胞による細胞分化と形態形成の調節 (Dome Gene)

○ 研究代表者名、所属(当時) 浅島誠 (東京大学)

○ 実験概要

「微小重力」、「宇宙放射線」、「閉鎖空間」は宇宙環境を特徴付ける3大要因である。これまで様々な宇宙実験によって、それら要因の生物に対する影響が解析されてきたが、細胞の形態及びその遺伝子発現に対する影響はあまり解析されていなかった。本実験ではツメガエル腎臓・肝臓由来の培養細胞をISS内で培養し、それらの形態変化及び遺伝子発現を解析することによって、微小重力と宇宙放射線の影響を解析した。その結果、以下が明らかとなった。

1. 微小重力による細胞の形態変化(ドーム形成)がみられた。遺伝子発現に与える影響もみられた。
2. 宇宙放射線等による影響は微小重力と比べて大きく、特に代謝関連・ストレス応答関連・発生関連・ガン化等に影響する。
3. 微小重力と宇宙放射線等は細胞に対して相乗効果を示す。
4. 打ち上げ時の影響により、発生関連、免疫反応系の遺伝子発現が上昇した。
5. 臓器毎の宇宙環境に対する応答性には大きな違いがある。(腎臓の方が肝臓よりも影響を受けやすい)
6. 3Dクリノスタットによる模擬微小重力実験は軌道上実験の一部のみ模擬しており、宇宙での軌道上実験は必要である。等

○ 事後評価の総括

本プロジェクトは、日本における初期宇宙実験として、良く練られた計画に基づいて慎重に実施され、今後宇宙における組織や器官の形成を研究する上の礎ともいえる研究成果を示した。また、今後のISS利用実験を行っていくうえで、必要となるインキュベータ等の開発、実験計画の立案手法、確実に成果を得るための実験準備や綿密な地上対照実験の重要性を示すなど、本分野の研究において「きぼう」を有効に利用するための、非常に貴重な第一歩を切り開いたことで、きぼう第1期利用テーマとしての成果は十分得られたと評価する。

一方、本プロジェクトの成果をどのような研究領域に引き継いでいけるかについては、なかなか難しい問題点が多くあるように思う。すなわち、ドームの形成がどのような分子生物学的、生化学的仕組みの上に成立しているのかが地上でまず明らかにならないと、この先の前進は難しいであろう。

従って、今後の研究を考える上で、本テーマを宇宙実験として継続的に実施する前に、ドーム形成の仕組みの解明を行うとともに、今回の実験で得られた固定サンプルやアレイデータなどを積極的に公開し、宇宙放射線や打上時のストレスの影響など、様々な研究者の視点からの解析が行われることを期待する。

○ 実験課題名 カイコ生体反応による長期宇宙放射線曝露の総合的影響評価 (RadSilk)

○ 研究代表者名、所属(当時) 古澤壽治 (京都工芸繊維大学)

○ 実験概要

1997年のSTS-84に9日間カイコ卵を搭載し、微小重力および宇宙放射線の影響を検討したところ、突然変異発生は確認されなかったが、体節融合個体が検出され、微小重力の影響と考えられた (Furusawa et al., 1998)。今回のISSでの実験は長期に渡る微小重力および放射線影響を調べるのが目的である。

地上で発育させた卵では、胚のほとんどは正常に発育した。ISS内の地球と同じ人工重力条件下(1G)では約50%が正常に発育したが、無重力下では発生の段階の一つ(反転)で異常がみられ、ほとんど正常に発育しなかった。このことから、無重力が胚運動に影響を与え、孵化率を低下させることが分かった。これは、重力が無いと胚が順調に発育することができないことを示し、さらに地球上での重力が生物にとって重要な意味を持っていることを示した。

黒い縞模様の品種(PS/p)と白い品種(+p/+p)のヘテロ接合体を91日間、ISSに搭載した(被ばくした放射線量は約20mGy)。この卵に放射線が当たると黒い色素を形成する遺伝子(PS)の断片化が生じ、幼虫期の皮膚に白斑(突然変異)を生じる。第1世代の幼虫には突然変異は検出されなかったが、第1世代の子孫である第2世代、第3世代では突然変異が検出された。これは、ISSに打ち上げた卵(第1世代)の胚には既に生殖細胞が存在し、この生殖細胞に宇宙放射線が当たり、子孫のカイコにこの突然変異が生じたためと推察した。

卵1粒からのRNA抽出法を確立し、胚発生期の遺伝子の働きについて調べたところ、上記の放射線量はがん抑制遺伝子である「p53遺伝子」の働きには影響を与えなかったが、ある種の熱ショックタンパク質遺伝子(熱などのストレスによって働きが増えて細胞を保護するタンパク質)の働きを大きく抑制した。

○ 事後評価の総括

カイコの胚を用いて、微小重力・宇宙放射線の影響を胚発生・体表紋様形成・遺伝子発現などを指標に調べたものである。カイコという日本ならではの材料を用い、他にみられない独自の実験システムを用いて新規性の高い成果を得たことは国際的にも評価できる。宇宙放射線によって染色体切断が感度良く確認できたことや、特定遺伝子の発現のみが放射線の影響を受ける可能性を示したことなどは高く評価できる。設定した目標はおおよそ達成できたと思われる。特に、一般的な昆虫に見られる現象、胚発育途中における卵内での胚の移動運動(反転期、blastokinesis)を指標として、微小重力の影響を解析し、微小重力が反転異常を生じさせることを発見した。微小重力の作用機構解明の糸口を見出した。

- 実験課題名 微小重力環境における高等植物の生活環 (Space Seed)
- 研究代表者名、所属(当時) 神阪盛一郎 (富山大学)
- 実験概要

1G 環境に適応・進化してきた現在の陸上植物が重力のない宇宙で正常な生活環ができるかについて「きぼう」の長期微小重力環境で初めて明らかにした。

1. 乾燥状態で打ち上げられた種子は給水開始から 3 日後に発芽し、葉が開き、茎が伸びて開花し、実が形成された。宇宙での受粉も確認された。人工重力 (1G) 下で育てたものに比べると、無重力下では茎の成長速度が早く、葉の老化が遅いことが初めて明らかになった。機械的ストレスが小さい無重力環境ではエチレンの合成が抑制され、葉の老化が抑制されたと考えられた。
2. 無重力下と人工重力下でシロイヌナズナを 32 日間栽培した結果、茎を支えるために重要な細胞壁に関わる遺伝子としてこれまで注目されていた 16 の遺伝子の内、1 つの遺伝子の働きが無重力下で減少し、4 つの遺伝子の働きが高まることが分かった。
3. 地上あるいは軌道上の人工重力の環境と比べて、無重力環境下では、微小管変異体の茎が現われる時期が早く、それ以降の成長速度や成長量も大きいことが分かった。

これらの結果より、重力に抵抗する際に微小管が細胞壁と協調して重要な役割を果たしていることが初めて明らかになった。

#### ○ 事後評価の総括

これまでシロイヌナズナを含むいくつかの植物種で、Seed to Seed 宇宙実験が行われているが、本研究の特徴は、各発育段階における詳細な形態学的、生理学的解析に加えて、植物の抗重力反応と細胞壁・微小管の関連を分子生物学的に解析し、新たな知見を見出しているところに意義が認められる。

本実験は世界に先駆けて、宇宙での 1G と  $\mu\text{G}$  で植物の生活環を完結させることに成功し、比較解析している点でも注目される。そのために、当該分野の複数の専門家グループからなる共同体制で、それぞれが役割分担によって準備・実験・解析を着実に実施しているところは高く評価される。さらに、本実験は長期宇宙環境利用によって可能になったもので、その結果、茎葉の成長、老化、種子形成などの特性に顕著な重力影響を見出すことができた。

植物の発芽、栄養成長、生殖成長、種子生産までの過程を宇宙で確認できたことから、宇宙における食料生産のための植物栽培システム構築の第一歩としての意義は大きい。一方で、当初計画に、先行して実施された二つの宇宙実験が追加される形で行われたためにサンプル数が十分に確保できていない、実験スペースの問題など、植物の正常な成長やサンプル数の確保にとって問題であったと考えられ、全体的な計画に改善すべきところがあったことは否めない。

○ 実験課題名 タンパク質ユビキチンリガーゼ Cbl-b を介した筋萎縮の新規メカニズム(MyoLab)

○ 研究代表者名、所属 二川健 (徳島大学)

○ 実験概要

本実験は、骨格筋への負荷がない状態 (unloading) での筋萎縮のメカニズムを明らかにすることを目的としている。特にユビキチンリガーゼが分解のみではなく合成経路にも影響していることを明らかにする。宇宙実験では、ラットの細胞を打ち上げ、宇宙で微小重力区と約 1 G の重力区で 37°C で培養し、10 日後に筋肉を成長させる物質 (成長因子) を加える。その後、保存液を入れ、冷凍して回収する。

宇宙実験の結果、1G の環境では、成長因子を加えた細胞と加えない細胞では筋肉の萎縮の程度に違いがみられ、成長因子を加えた細胞では萎縮が抑えられた。一方、無重力環境では成長因子の有無にかかわらず萎縮が進行しており、Cbl-b の量が多くなった。つまり、無重力環境では Cbl-b が増えることで、成長因子によって萎縮を抑える経路に関係するタンパク質がユビキチン化され分解されることにより、筋肉の萎縮が進むことがわかった。また、無重力環境では細胞内部の酸化ストレス (活性酸素が細胞の機能低下や老化を引き起こす作用) が増大することがわかってきており、その影響で Cbl-b の量が調節されている可能性が示された。

地上での模擬無重力実験でも細胞内部のエネルギーを生産する器官 (ミトコンドリア) の挙動が変化することがわかってきており、無重力が酸化ストレスを発生させる可能性が示された。筋肉の萎縮ではユビキチンリガーゼ (分解するタンパク質に「ユビキチン」を付ける酵素) のひとつである Cbl-b が重要な働きをしており、その働く量の調節には無重力環境での筋細胞内部に発生する酸化ストレスが大きく関与する可能性があることがわかった。

○ 事後評価の総括

科学的成果としては、ユビキチンリガーゼの機能や新しいメカニズム、微小重力が酸化ストレスを増大させるという新しい知見を見出しており、ほぼ目標とするレベルに達している。また、培養容器の開発や実施体制は適切と判断できる。これまでに得られた成果や知見を基に、医薬品や機能性食品の研究開発も進んでおり、社会的波及効果の面からも優れていると思われる。しかしながら、ISS での宇宙実験実施以前の論文実績が多く、今後は 2010 年から 2011 年の研究成果の発表が求められる。スペースシャトルを使用した実験からの長年の研究にわたる知見に基づく成果であるため、国際誌への発表を多く行い、測定結果の報告だけでなく、宇宙環境を利用した筋肉分野での成果を強くアピールして打ち出す必要がある。

○ 実験課題名 線虫 *C.elegans* を用いた宇宙環境における RNAi とタンパク質リン酸化(CERISE)

○ 研究代表者名、所属 東谷篤志 (東北大学)

○ 実験概要

本実験は、遺伝子の働きを抑える RNA 干渉 (RNAi) が宇宙でも地上と同じように有効性を示すかどうかを、線虫を用いて実際に調べて明らかにすることを目的とする。

宇宙から持ち帰ったサンプルを解析した結果、3つの全く異なる遺伝子 (線虫に遺伝子組換えした緑色蛍光タンパク質 GFP、細胞増殖に必須のタンパク質、筋肉を構成する  $\alpha$ -アクチンを分解する分解酵素) のそれぞれに対して、宇宙の無重力下においても地上と同様に RNAi が有効に使えることが確認できた。

将来的には、この RNAi 技術を、宇宙飛行士の無重力下における筋肉の萎縮 (萎縮) を抑える対策のひとつとして利用する応用展開が期待される。

また、GFP が導入された遺伝子組換え線虫を用いて、GFP 遺伝子ならびに細胞増殖に必須のタンパク質を構成する *rbx-1* 遺伝子に対する RNAi をそれぞれ行ったところ、GFP RNAi では線虫内の GFP 蛍光シグナルが抑制され、*rbx-1* の RNAi では初期胚の細胞核の異常な断片化が生じた。さらに野生型線虫に対して、筋肉を構成する  $\alpha$ -アクチンの分解酵素である遺伝子 *asp-4* と *asp-6* の RNAi を行ったところ、 $\alpha$ -アクチンの分解が抑えられることを明らかにした。

○ 事後評価の総括

本実験の目標は、宇宙における微小重力下で、遺伝子発現の抑制機構である RNA 干渉が有効に機能するかを検証することである。これは国際的にも高いレベルの目標設定であり、目標の意義は高いと言える。また、宇宙環境下でのタンパク質のリン酸化反応の分子レベルでの解析も研究の意義が認められる。

実験の結果、宇宙における微小重力環境下において RNA 干渉は有効に働くことが明らかとなり、大きな目標は達成されたと言える。また、タンパク質のリン酸化についても不十分ではあるが、結果が得られたことの意義は大きい。ただし、筋萎縮メカニズムおよびシグナル伝達応答の目的については、マイクロアレイ実験の結果の解釈に終始しており、仮説を提唱した段階と思われる。

報告書に記載されている個々の細胞が微小重力に反応しているという結論に至るには、多細胞生物の実験結果のみでは厳しいと思われることから、今後は、地上研究の範囲を拡げ、仮説の更なる検証を進めることが望まれる。

なお、本実験での線虫の飼育環境を考えると、水中での動きには粘性抵抗があり、重力以外の筋にかかる力も考慮する必要がある。

○ 実験課題名 宇宙空間における骨代謝制御：キンギョの培養ウロコを骨のモデルとした解析 (Fish Scales)

○ 研究代表者名、所属 鈴木信雄 (金沢大学)

○ 実験概要

魚類 (キンギョ) のウロコは破骨細胞と骨芽細胞が共存する優れた骨のモデルあり、扱いも簡単で、一匹のキンギョから約 100 枚も採れるため、一度に様々な条件で実験できるなどの多数の利点がある。さらに、低温で 1 週間程度であれば活性を保ったまま保存も可能なため、輸送条件が厳しい宇宙実験にも適していると考えられる。キンギョのウロコの培養系を用いて宇宙における骨量減少に関する実験を実施した。

宇宙実験の結果、無重力下では、ウロコの骨芽細胞と破骨細胞の活性に変化が生じ、重力があるところと比較してバランスが崩れることが確認された。また、骨粗しょう症の治療薬として開発した新規インドール化合物 (ベンジルトリブプロモメラトニン) の作用をウロコの実験で解析した結果、宇宙でも破骨細胞の活動量を下げ、骨芽細胞の活動量を上げることを見出した。これは骨芽細胞と破骨細胞のバランスが崩れた状態を正常に戻す可能性を示している。

○ 事後評価の総括

現在までに宇宙空間における骨形成と骨吸収の動態を同一骨組織内で解析した研究は少ない。本研究ではキンギョのウロコの特性を活かした器官培養系を構築し、宇宙空間における骨形成と骨吸収の動態の解析に成功したので、この成果は宇宙空間における骨代謝の研究で世界をリードするものといえる。

キンギョの培養ウロコが哺乳類の骨モデルになることを示した点は、キンギョの培養ウロコが、宇宙実験において非常に有力な研究資材となるという観点から非常に重要である。今後、より多くの研究者がキンギョの培養ウロコの特性を理解して骨代謝研究に利用することにより、優れた研究成果を創成できる可能性があり、本研究はその第一歩でとるのであろう。

キンギョのウロコを用いた実験系では骨吸収と骨形成によるカップリングがないと考えられるので、本実験系はカップリングの作用を除外した骨形成、骨吸収のアッセイ系として有効であろう。この点は、骨疾患治療薬の開発で多数のサンプルを解析する時の 1 次スクリーニングとして、**high throughput** なスクリーニングとしては無理だが、ある程度有効であろう。

研究代表者が提案している骨芽細胞を活性化させ、破骨細胞を抑制する新規インドール化合物やメラトニンの作用などは、新規性がある。ただし、限定付。新規インドール化合物であるベンジルトリブプロモメラトニンがキンギョのウロコの破骨細胞の活性を低下させ、骨芽細胞の活性を増加させるとの結果は極めて興味深い。骨粗鬆症治療薬となる可能性もあり今後の研究が期待される。

- 実験課題名 宇宙放射線と微小重力の哺乳類細胞への影響 (Neuro Rad)
- 研究代表者名、所属 馬嶋秀行 (鹿児島大学)
- 実験概要

神経細胞に対する宇宙放射線の影響、及び生物の健康維持に必要な仕組みであるアポトーシス (プログラム細胞死) に深く関わるミトコンドリアに着目し、宇宙でのアポトーシスの機能を検証する。

ISS から戻ってきた (宇宙放射線にさらされた) 細胞では、ミトコンドリアから生じた活性酸素の発生が地上よりも多いことがわかった。宇宙環境、なかでも宇宙放射線はミトコンドリアを活性化させ、酸化ストレスにより細胞に影響を与えることが明らかになった。

#### ○ 事後評価の総括

積年のミトコンドリア研究を土台として宇宙放射線影響解明のための精緻な実験計画と目標設定を可能とした意義は高く、実験計画は完遂したと思われる。培養細胞で宇宙放射線が酸化ストレスを増大させるとのデータを得た意義は大きい。宇宙飛行が HSP を誘導する報告はこれまでもあるが、活性酸素・MnSOD・GPx・Catalase など酸化ストレスが増大することが見いだされたことは新しい知見である。

放射線影響研究の基本になるのは線量評価であるが、共同研究者が担当したとの記載があるのみで、計測法 (測定器を含む) の記載がない。吸収線量と放射線の種類による生物学的効果比を明示すべきではないか。

宇宙飛行サンプルで酸化ストレスが増大することが見いだされたが、 $\mu\text{G}$  と 1G との間で差が見られなかったのは、宇宙放射線による影響と判断すべきではないか。

地上実験で、今回の宇宙飛行で受けた放射線の低線量(6.7 および 13.4 mSv) / 低線量率(約 0.5 mSv/日)での positive control 実験があればなおよい。DNA アレイでの形質発現影響を受けた遺伝子群の解析が進んでいない点も課題である。酸化ストレスをみるのにも、ミトコンドリア機能異常をみるのにも、もっと斬新な方法を地上で試み、それを実証すれば研究の価値は上がったと思われる。方法論が既知のものであり、培養細胞でのミトコンドリアの動きなど、きめ細かい解析が望まれる。

○ 実験課題名 重力によるイネ芽生え細胞壁のフェルラ酸形成の制御機構 (Ferulate)

○ 研究代表者名、所属 若林和幸 (大阪市立大学)

○ 実験概要

本実験は、ISSの「きぼう」実験棟でイネを育て、イネ科植物に特徴的な「フェルラ酸」による細胞壁内の架橋構造の形成に対する微小重力の影響を明らかにすることを目的とした。

実験の結果、生育開始後4日目から5日目にかけて芽生えは急速に成長してほぼ2倍の長さになったが、人工重力条件と無重力条件では成長に差は見られなかった。細胞壁の力学的性質を調べた結果、無重力条件で育てたイネの細胞壁は、人工重力条件のものに比べて強度が下がり「緩んだ」状態であることが示された。酵素の活性を調べた結果、細胞壁中においてフェルラ酸の結合に関わる酵素(細胞壁ペルオキシダーゼ)の活性が、無重力条件で低下していることが示された。以上の結果から、無重力条件では、細胞壁ペルオキシダーゼの活性が低下してフェルラ酸の結合が減ることでジフェルラ酸を介した細胞壁内橋渡し構造の形成が抑制され、これが細胞壁を「緩んだ状態」として強度を低下させた一因になっていると考えられた。植物の生存に必須の構造体である細胞壁の形成に、重力がどのように影響(作用)するのかを解明するための重要な知見が得られた。

○ 事後評価の総括

世界に先駆けて、植物細胞壁の架橋構造の形成のメカニズムや細胞壁形成に関連する遺伝子の発現レベルと重力との関連を明らかにした意義は大きく、細胞壁形成に関連する学問分野への貢献は大きい。植物細胞壁の構築は、従来地上の1G環境下でのみ研究されてきたが、本研究で得られた結果により、重力がどのような効果をもたらしているかについての知見が加わったことの科学的意義は大きい。細胞壁の構築に関する宇宙実験は一応の完結を見たと考えられる。しかし、微小重力環境下でも基本的な細胞壁の構築の仕組みは変わっておらず、わずかな酵素活性の違いが、見かけ上の構造変化をもたらしたと考えられるため、その理由の検討も必要と考えられる。

微量で代謝過程がシンプルなフェノール成分の植物細胞壁形成への寄与を解明した本研究の知見は、今後、低いコストで効率的に細胞壁の改変を行う研究に進展し、倒伏しにくいイネ品種を作出するなどの品種改良研究などに役立つことが期待される。

宇宙の微小重力下では、植物細胞壁構築に要するエネルギー量が1G下に比べて少なく、植物が自身で固定したエネルギーを他の部位の成長により多く使え、宇宙微小重力下での植物の成長促進につながる可能性がある。



○ 実験課題名 微小重力下における根の水分屈性とオーキシン制御遺伝子の発現 (Hydro Tropi)

○ 研究代表者名、所属 高橋秀幸 (東北大学)

○ 実験概要

本宇宙実験は、無重力下で、①根が水分のある方向に曲がっていくかどうか、②水分屈性が起こっている時にオーキシンの分布に偏りが生じるか、③無重力下で水分屈性により根の伸びる方向をコントロールできるかを検証する。

実験は、キュウリの乾燥種子をスポンジに取り付けて、温度記録計とともに容器にセットし、水・食塩水を封入した注射器、化学固定キットとともに ISS に運搬した。「きぼう」日本実験棟で、キュウリの種子に給水して容器を細胞培養装置に取り付けることで実験を開始した。1G で真っ暗な環境で培養して発芽させた後、水の勾配を作るために食塩水を注入し、さらに模擬重力下および無重力下で生育させ、芽生えを化学固定して冷蔵保管した。実験中に芽生えの写真撮影するとともに、化学固定した試料を地上に回収して、根の伸び方と曲がり方、そしてオーキシン誘導性遺伝子 (CsIAA1) の働く量を解析した。

実験の結果、水分屈性の様子を模擬重力区と無重力区で比較することに成功した。また、回収されたサンプルを用いて、オーキシン誘導性遺伝子 (CsIAA1) の働きを解析できた。

○ 事後評価の総括

本研究は、宇宙実験としても、地上における植物生理学実験としても科学的意義の非常に高い研究である。世界に先駆けて水分屈性の存在を明らかにすることは、植物の持つ屈性という性質の理解に大きな貢献を成すと思われる。科学的なインパクトの大きい研究である。将来の宇宙での生活を考える時、植物を宇宙環境下で正常に育てる技術の開発は必須である。本研究は、それらの技術を発展させるために欠かせない基礎的知見を与えるものとして、強くアピールすることができる。

植物が水分屈性能力を有することが実験的に証明されたのは事実であるが、それをどのように活用するかは、今後の課題であろう。地球上の乾燥地農業に向けての品種改良や灌漑手法などの研究の発展が期待される。

本研究の成果を利用して、将来の宇宙ミッションでの食糧生産のための植物栽培に向け、応用研究の展開が期待される。

実験装置内の供試体の設置位置などに、より注意深い配慮が必要のようであり、今後実験を進める時は慎重な検討が望まれる。本テーマのように軌道上での可視化データの取得が重要になる場合、CBEF 内等でのカメラによる可視化システムの現状は、画像からの詳細なデータ解析には不十分であり、植物実験装置の大型化も含めて、今後の改善が望まれる。

- 実験課題名：第1期高品質タンパク質結晶生成実験
  - 研究代表者、所属：JAXA
  - 成果（主なもの）
    - プログラム的な成果
      - ロシア側が自らの打上げ/回収リソースを提供した上で、JAXA PCG の協力協定を進めてきたことや、第2期シリーズも継続実施するに至ったことは、JAXA PCG の枠組みの確かさや利用成果のメリットを認めたからに他ならず画期的である。この波及効果として、JAXA PCG の協定がひな形となって水棲生物実験など他の協力協定に結び付いたことも大きな成果と言え、ロシア/JAXA 間の深い信頼関係を構築できた点も注目に値する。
      - NASA はタンパク質結晶生成実験を中断していたが、JAXA PCG の成果が 2012 ISS Research & Development Conference で発表された後、2013 年になり、約 10 年ぶりに実験を再開したところ。JAXA PCG が国際的に注目されてきている証左と思われる。
    - 技術的成果
      - 実験環境整備として、適切な温度管理の実現や試料の高密度化を実現した。また、実験技術として、宇宙実験効果の事前予測を実現や宇宙実験に最適な試料調製法を確立した。
      - これらの結果、地上実験技術と宇宙実験技術のトータルパッケージを JAXA PCG の売りとし、第2期実験シリーズ以降の民間利用促進につなげた。
    - 科学的な成果
      - 化学反応、機能を理解する上で大変重要である水素原子が観測できる世界最高レベルでの分解能取得事例や不安定で決定が難しい糖鎖の構造データを世界最高分解能で取得した事例を取得するとともに、薬物候補化合物の探索（筋ジストロフィーに関連するタンパク質等）に有効であることが証明され、地上では達成できなかった精密なデータを取得することで、地上研究の加速につながった。
  - 事後評価の総括
- 設定したミニマムサクセス、フルサクセスを達成したと評価され、後期運用段階に移行し、本実験を継続することが承認された。

- 実験課題名：全天にわたる X 線天体の長期・短期変動の研究 (MAXI)
- 研究代表者、所属：JAXA/理化学研究所
- 実験概要

MAXI は、広角 X 線カメラで ISS 一周回 (90 分) でほぼ全天 (X 線望遠鏡約 20 万台の当の視野) をカバーし、激しく活動する宇宙の姿を全天にわたって絶えず監視、激動する全天の X 線天体のカタログづくりや MAXI からの速報をもとにした変動天体の X 線、光、赤外線等による多波長同時観測、超新星の残骸の高温領域、地球を取り囲むコロナで太陽からの 高速粒子の振る舞いを捕捉することを目的としている。

1. 新天体 6 件を発見した (内 3 個はブラックホール候補天体)。また、71 件(審査会時点)の天文速報を発行し、全天監視と突発現象速報に十分な成果を得た。MAXI の観測データを使用した論文が *Nature* に掲載されるなどの成果を上げ、多くの査読論文が提出されている。
2. X 線パルサーの長期観測によるアウトバースト (突発的な発光現象) メカニズムの研究や星のフレアーの研究など、長期にわたるモニタ観測を生かした特筆すべき科学成果が得られた。
3. 搭載した X 線 CCD カメラ素子に対する太陽からの赤外線の影響が予想以上に大きく、昼間の観測が行えず観測効率は 30%にとどまっている。この知見は、Astro-H の X 線 CCD カメラの遮光設計に反映された。
4. その他にも、米国下院議会科学委員会公聴会にて NASA は ISS 利用成果として、MAXI をトップに挙げて紹介している等、海外でも高い評価を受けている。

- 事後評価の総括

設定したミニマムサクセス、フルサクセスを達成したと評価され、後期運用段階に移行し、観測を継続することが承認された。

○ 実験課題名：宇宙環境の計測とその部品・材料に及ぼす影響に関する研究 (SEDA-AP)

○ 研究代表者、所属：JAXA

○ 実験概要

SEDA-AP は、以下の各種センサ／計測装置を搭載し、ISS 周回軌道における宇宙環境（中性子、重イオン、プラズマ、高エネルギー軽粒子、原子状酸素、ダスト）の定量的計測や材料曝露実験、電子部品評価実験を行い、宇宙環境が部品材料に与える影響を調べる。

取得される宇宙環境データは、宇宙機器設計の基礎データとして利用されるほか、関連する科学研究や ISS の運用、宇宙天気予報（太陽活動の変化の予報）などへの活用も想定している。

- 中性子モニタ (NEM: Neutron Monitor)
- 重イオン計測装置 (HIT: Heavy Ion Telescope)
- プラズマ計測装置 (PLAM: Plasma Monitor)
- 高エネルギー軽粒子モニタ (SDOM: Standard Dose Monitor)
- 原子状酸素モニタ (AOM: Atomic Oxygen Monitor)
- 電子部品評価装置 (EDEE: Electronic Device Evaluation Equipment)
- 微小粒子捕獲実験装置 (MPAC: Micro-Particles Capturer)
- 材料曝露実験装置 (SEED: Space Environment Exposure Device)

○ 成果

- 放射線帯の計測による国際モデル (ISO) への貢献

通常の地球観測衛星などよりも低い高度 400km の貴重な宇宙環境データを、3 年間にわたって取得・蓄積した。これまで標準放射線帯モデルとして使われてきた AE8 モデルが作成されたのは、約 30 年前であり、SAA (South Atlantic Anomaly) と呼ばれる放射線が多い領域が地球磁場の変動で西に移動しており、また、ISS が周回している高度 400km のデータはその時代には無く、データが抜けている。

今回、SEDA-AP のデータを活用して作成した放射線モデルは、衛星を設計する際の放射線環境や太陽フレア発生時の放射線量の予測に役立てられており、モデルを ISO (国際標準化機構) の規格として提案した。

- 太陽フレアの発生メカニズム解明への貢献

ISS 内で、中性子のエネルギースペクトルをリアルタイムで計測しているのは日本だけであり、この日本独自の計測で、太陽フレアから生じる中性子に関し、中性子の増加を引き起こしたと考えられる現象の候補を 5 例発見した。これらのデータは太陽フレア発生メカニズムに新たな

考え方を提起するもので、メカニズム解明につながると期待される。、銀河宇宙線が地球大気と衝突して生じる中性子等についても新たな知見を得た。

➤ 米国との宇宙環境データ交換

巨大構造物である ISS が磁場中を飛行すると、誘導起電力やプラズマの影響で電位差が生じている。異なる位置で計測を行っている米国のデータと SEDA-AP のデータの両方を用いてこれらの電位差を評価するため、ボーイングおよび NASA とのデータ交換の協定を締結した。

また、米国の曝露部で帯電実験（プラズマが影響する）を実施中の実験機器へ、プラズマデータ提供も行った。米国のプラズマ・電位計測装置は宇宙機が接近した時などの特定のタイミングのみの計測ですが、SEDA-AP は常時計測しているという利点があり、電位差や帯電は宇宙機の故障に大きく関わる原因であり、日本だけが持つデータを提供することで国際的に貢献した。

○ 総括

複数の観測機器が搭載された SEDA-AP システム全体として設定したミニマムサクセス、フルサクセスを達成したと評価された。

また、各観測機器についても、設定したミニマムサクセス、フルサクセスを達成したと評価された。

- 実験課題名 超伝導技術を用いたサブミリ波リム放射サウンダの軌道上実証ならびに地球大気環境の実験的観測
- 研究代表者名、所属(当時) JAXA
- 実験概要
  - SMILES は、大気中に含まれる微量分子の濃度とその高度分布を算出し、成層圏オゾンの動向を解明することを目的としたミッションである。2009年10月から観測を開始し、2010年4月に装置内部のサブミリ波発振器が故障するまでの約6ヶ月間の大気観測データを取得し、オゾンや塩素化合物・臭素化合物などのグローバルな分布を求めた。
  - SMILES のデータは、これまで長年にわたって行われてきた地上観測や人工衛星からの観測データと比べても精度の高いものとなり、また、地球大気微量成分分布を計算する複数の数値シミュレーションの計算結果ともほぼ一致した。
  - これまで明らかでなかった成層圏オゾンの日周変動（一日の中での、時間帯による変化）について、一日周期でオゾンの量が増減する様子を初めて明確に観測し、なおかつ数値シミュレーションでも同様の変動が再現した。
- 総括
  - 定常運用については、発信機故障不具合の発生に起因して、観測期間1年としたところ、半年間の観測となったため、当初のミッション達成には至らなかった。
  - ただし、以下の目的を達成し、SMILES としてのミッションは達成した。
    - ・機械式冷凍機を用いた超伝導ミクサの世界初の宇宙実証
    - ・サブミリ波受信技術の宇宙実証
    - ・オゾン層の将来予測に重要な塩素化学の検証。オゾン層破壊の仕組みの解明の進展。
  - さらに、オゾン層将来予測の一層の精緻化と気候変動予測向上への貢献を果たした。

○ 課題名：地球超高層大気撮像観測（IMAP）

○ 研究代表者：京都大学大学院 齊藤昭則他

○ ミッション概要

地球超高層（高度 80km 以上）における、大気光とプラズマ共鳴散乱光の 2 つの光学現象を可視、近赤外、極端紫外の 3 つの波長域で観測し、地球大気と宇宙空間の境界領域において発生する擾乱の物理機構を解明する。

○ 成果

1. 物質輸送過程

・ 中間圏・下部熱圏と電離圏における水平スケール 10km-100km の構造を測定を達成した。

・ 1 年間の観測データより、中間圏・下部熱圏と電離圏における水平スケール 10km-100km 構造の出現特性の経度、緯度、地方時、季節依存性の解明を図った。

2. 電離大気輸送過程

・ プラズマ圏・電離圏におけるイオン共鳴散乱光の高度分布測定を達成した。

・ 1 年間の観測データより、プラズマ圏・電離圏における He<sup>+</sup>密度、O<sup>+</sup>密度の高度分布を測定し、その経度、緯度、地方時、季節依存性の解明を達成した。

3. 超高層大気変動

・ 1 年間の観測データより、超高層大気 of 急激な変動の衛星航法システムなどの宇宙利用システムへ与える影響の観測的解明を達成した。

○ 総括

設定したミニマムサクセス、フルサクセス、エクストラクライテリアを達成したと評価された。

○ 課題名：スプライト及び雷放電の高速測光撮像センサ (GLISM)

○ 研究代表者：大阪大学大学院 牛尾知雄 他

○ ミッション概要

CMOS カメラ，フォトメータ，VHF 干渉計，VLF 受信機を用いて、雷放電及びスプライト現象を観測し、高高度放電発光現象・雷放電の全球分布とその変動，スプライト水平構造の観測と対応する雷放電進展の時間・空間分布の差，高高度放電発光現象の電子エネルギーの特定，雷放電・スプライトとガンマ線放射生起時間の差と放電過程の特定を行う。

※スプライト：落雷に伴い高度 40~90km の上空で発光する現象

○ 成果

1. 全球分布

・ CMOS カメラもしくは VHF 干渉計により、1 年以上の観測を実施し、発生頻度分布の季節変化を確定した。また、1 km の位置検出精度、50  $\mu$ s 絶対時刻精度で  $\pm 51 \mu$  緯度帯の 80 % 以上を 2 年以上の期間観測を実施し、雷放電の気象モデルへの同化と高高度放電発光による大気組成変化の推定に資するデータを取得した。

2. 水平構造

・ CMOS カメラ及び VHF 干渉計により、1 例以上のスプライト天底観測データを取得し、雷放電水平進展とスプライト水平構造の時間的・空間的差を確定した。

・ 高高度放電発光を 1 km の空間分解能、50  $\mu$ s 時間分解能で検出、雷放電の放電過程を 10 km の分解能、50  $\mu$ s 時間分解能で検出し、高高度放電発光の発生条件を明らかにした。

3. 分光観測

・ フォトメータによる近紫外光分光観測によって、スプライトを 1 イベント以上検出し、N<sub>2</sub> イオンの発光の有無と電子温度を特定した。

○ 総括

設定したミニマムサクセス、フルサクセス、エクストラクライテリアを達成したと評価された。



- 課題名：宇宙インフレータブル構造の宇宙実証 (SIMPLE)
- 研究代表者：東京大学大学院 青木隆平
- ミッション概要  
インフレータブル構造（袋状の膜材を気体による内圧によって膨らませて利用する超軽量構造）を実際の宇宙環境のもとで長期間運用し、その実用性を実証するとともに今後の宇宙構造物への適用のための基礎データを集める。
- 成果
  - 宇宙空間でインフレータブルチューブや形状記憶ポリマの伸展に成功した。
  - 世界で初めて剛性（曲げやねじりなどの力に対し変形しにくい性質）の高い直線状のインフレータブル構造物である伸展マスト(IEM) の伸展に成功、固有振動数（質量や構造的な剛性で決まる固有の 数値）など軌道上データを継続取得した。
  - SIMPLE が測定した IEM の固有振動数は地上での予測値を維持しており、SIMPLE の剛性は変化しておらず、この構造の軌道上劣化は伸展後 7 ヶ月以上が経過しても認められなかった。
  - 空気で 1 気圧に保たれたテラリウムの展開に成功した。
  - 宇宙にさらされた環境で、世界で初めて形状記憶ポリマの伸展（形状回復）に成功。また、紫外線硬化樹脂の硬化も確認できた。
- 総括  
設定したミニマムサクセス、フルサクセス、エクストラクライテリアを達成したと評価された。ただし、インフレータブル与圧構造を用いた植物発芽実験 (IST : Inflatable Space Terrarium) においてリークにより内圧が維持できず、ミニマムサクセスのみの達成と評価された。

- 課題名：EVA 支援ロボットの実証実験（REX-J）
- 研究代表者：JAXA
- ミッション概要  
宇宙飛行士の船外活動（EVA）を支援するロボットに不可欠な空間移動機能、作業機能を伸展式の腕とテザーを内蔵するロボットにより実証する。
- 成果
  - 軽量で伸び縮み可能なロボットアームを開発し、宇宙での動作を世界で初めて実証しました。この実証により、宇宙における伸縮自在のロボットアームに必要な以下の技術を獲得した。
    - ・軽量で高い伸縮比を持つロボットアーム技術
    - ・伸展式ロボットアーム先端部の位置決め制御技術
  - 取付け／取外し可能なテザーを用いて移動する方式のロボットを開発し、宇宙での動作を世界で初めて実証しました。この実証により、以下のテザーを用いたロボットの空間移動に必要な技術を獲得した。
    - ・テザーの付け外しによる移動領域設定技術（図 2）
    - ・ロボット本体の安定した移動制御技術（図 3）
- 総括  
設定したミニマムサクセス、フルサクセス、エクストラクライテリアを達成したと評価された。

- 課題名：船外実験プラットフォーム用民生品ハイビジョンビデオカメラシステム (COTS HDTV-EF)
- 提案機関；宇宙航空研究開発機構
- ミッション概要  
民生品のハイビジョンビデオカメラを使用して、高度 400km から国際宇宙ステーション直下の地球表面（画面内範囲 200km×350km）を動画撮影し、民生品ハイビジョンカメラの曝露環境での宇宙実証を行う。
- 成果
  - 宇宙空間（真空環境）で民生品カメラが使用可能なことを実証し、この船外カメラを用いた宇宙空間からの直接撮影により、明瞭な地球の撮影を可能とした。これにより、短期間開発での民生品活用技術を獲得した。
  - 宇宙放射線による CMOS 撮像素子の損傷頻度と程度のデータを取得し、民生用 CMOS ハイビジョンカメラの曝露環境使用での実証した。
- 総括  
設定したミニマムサクセス、フルサクセス、エクストラクライテリアを達成したと評価された。