

付録3

ISS計画への参加から得られた成果

ISS計画への参加から得られた成果について

1. 有人・無人宇宙技術の習得

有人技術を持っていなかった日本が、20年余を経て、自国の実験棟「きぼう」を建設し、補給機「こうのとり」を開発するなかで、有人輸送を除き、自律的に有人宇宙活動を行うための重要な技術を習得。軌道上飛行士および米国(NASA)との統合運用の経験を蓄積。

2. 産業の振興

「きぼう」及び「こうのとり」の開発・運用により、企業における高度かつ裾野の広い有人宇宙技術の習得に繋がり、宇宙産業基盤の向上・維持・成熟に貢献。(「きぼう」に650社、「こうのとり」に400社の企業が参加)

参画企業は、世界レベルの技術力をアピールして企業ブランドを向上させると共に、習得した技術やノウハウ等を関連事業や海外への輸出などに展開し、新たなビジネスを拡大。(「こうのとり」の接近技術が米国民間輸送機に採用など)

3. 宇宙実験からの成果の蓄積

実験環境を充実化することで、各研究分野に新たな視点やアプローチ等を提供。科学誌NatureやScienceへの掲載をはじめ、約900件に上る査読付き論文として発表されるなど、我が国の科学や技術の発展に貢献。その結果、民間企業の参入が始まりつつある。

4. 国際協力による外交上のプレゼンス向上への貢献

「きぼう」、「こうのとり」の着実な開発・運用で存在感を発揮し、国際パートナーからの信頼を得てきており、宇宙先進国としての地位を確立。

アジアのISS非参加国の多く(マレーシア・ベトナム等)は、「きぼう」利用を通じた日本との協力関係の発展を強く希望しており、この分野の日本の国際的プレゼンスが向上。

5. 青少年の育成

日本人宇宙飛行士が活躍するISS計画、すなわち最先端の有人宇宙活動への参画により、青少年の科学技術への興味や関心を高め、科学技術教育、ひいては将来の我が国を支える科学技術人材の育成に貢献。

1. 有人・無人宇宙技術の習得(1/9)

【成果】

- 当時有人技術を持っていなかった日本は、スペースシャトルを用いた微小重力実験で有人活動を開始。20年余を経て、自国の実験棟「きぼう」を建設し、補給機「こうのとりのり」を開発するなかで、有人輸送を除き、自律的に有人宇宙活動を行うための重要な技術を習得。軌道上飛行士および米国(NASA)との統合運用の経験を蓄積。
 - 2008年3月から2009年7月までに3回に分けて打上げた要素を軌道上で組立て、日本初の恒久的有人宇宙施設「きぼう」を完成。不具合は米国実験棟の半分以下。
 - 日本人飛行士の宇宙滞在累積日数は、米・露に続き世界第3位。
 - これまでに11人の宇宙飛行士を養成し、8人が計16回の宇宙飛行を行い、うち4回は長期滞在を経験するなど、実績とノウハウを蓄積。また、若田飛行士は、NASA宇宙飛行士グループの管理職を務めた実績を有すると共に日本人初のISS船長にも就任し、着実に有人宇宙活動の中核的部分の経験も蓄積。
 - 有人宇宙活動に携わる地上管制員の経験を蓄積。
- 「きぼう」は、ロケット・衛星のみならず、船舶・鉄道・原子力等の民生分野の技術力を結集して開発され、高度な安全技術・大型システムの統合技術を習得した。「こうのとりのり」のISSへの接近・ドッキングでは、世界で5極(米、露、欧、日、中)のみが保有する機微な技術である人工衛星等の自動接近技術の中でも最も高いレベルの安全性を実現した。
- 国際協力の枠組みに加わることで、独力で実施する場合に比べ、大幅に効率的に有人宇宙施設を獲得。ISS運用開始までに日本が有人宇宙開発に投じた資金は、米国の約1/100。また、ISS計画への投資額は米国の約1/10であり効率的にその便益を獲得。
- 開発・運用を通じて、安全性評価の能力を向上。搭載実験装置の安全審査権限をNASAから委譲。

打上げから48カ月後の不具合件数比較

	不具合件数
きぼう 2008年3月打上げ	75件 2011年3月まで
米国実験棟 2001年2月打上げ	175件 2005年2月まで

【今後の課題】

- これまで様々な有人宇宙技術の機能的な実現は達成してきたものの、将来の低軌道以遠の国際宇宙探査を見据えると、これまでに習得できていない居住に不可欠な空気・水再生技術や衛生技術の実証・高度化はもとより、有人宇宙施設の継続的・安定的運用に関わる技術やノウハウ等を、ISSの今後の運用・利用により習得していく必要がある。

1. 有人・無人宇宙技術の習得(2/9)

■ 習得・実証しつつある有人技術・ノウハウ

有人輸送技術を除き、自律的に有人宇宙活動を行うための技術・ノウハウの多くを習得。無人補給技術は米国にも採用されるなど、世界をリード。将来の国際宇宙探査を見据えると、継続的・安定的な運用や今後の技術実証で引き続き技術蓄積が必要。

宇宙滞在・活動技術

○システム維持機能技術
有人システム構築に必要な基盤的技術
・構造、電力、通信、熱制御など

○生命維持技術
搭乗員の生命を維持するための技術
・船内の温湿度制御、空気循環技術、気水分離技術(「きぼう」に設置済み)
・宇宙放射線計測技術(積算型)

・空気再生技術
・水再生技術
・宇宙放射線リアルタイム計測、予測、防護技術

○衛生技術
・トイレ、シャワー、廃棄物処理、汚物処理、臭気・菌・細菌除去技術、衛生管理など

○活動支援技術
宇宙空間で搭乗員の活動を支援する技術
・ロボット技術(「きぼう」ロボットアーム)
・宇宙服技術
・他天体での活動技術(作業ロボット、移動車等)

有人運用関連技術

○実時間運用管制技術
有人システムを、長期間安全に運用・利用する技術
・地上と搭乗員の連携
・異常事態対応のノウハウ

・宇宙探査での通信遅れと狭通信帯域への対応

○運用支援技術
長期間にわたって有人宇宙施設の機能を維持する技術
・点検、交換、予防保全の技術
・予備品や実験機器等の補給・回収を行う技術

・機器性能・環境の長期トレンドデータ取得
・機器換装による最新地上技術の導入

○管制員の訓練・認定技術
運用管制員の運用技量を高めるための技術

搭乗員関連技術

○搭乗員の選抜・訓練技術
・搭乗員の選抜ノウハウ
・搭乗員の活動能力を高める技術

○搭乗員の宇宙活動技術
・宇宙船搭乗、船外活動、危機回避等のノウハウ
・搭乗員管理・指揮(船長)のノウハウ

○健康管理技術・宇宙医学
搭乗員の健康を維持する技術
・トレーニングで骨・筋肉を維持する技術
・宇宙放射線被ばく量管理技術
・フライト中の「遠隔」健康診断技術
(1年を超える長期滞在向け)
・「自律」健康診断
・骨・筋肉減少、免疫低下の効果的な抑制

輸送技術

○有人ロケット技術
有人宇宙船を宇宙に輸送する技術。
(無人より高い信頼性が必要)

○有人宇宙船技術
軌道上で搭乗員が活動、地上に帰還させる技術

○有人施設への無人補給技術
・自立飛行、ランデブー、制御された再突入等の技術
・有人施設に結合できる高い安全性と信頼性

○有人宇宙施設からの無人回収技術
・有人施設からの分離、自立飛行、再突入・回収技術

○他天体への離着陸技術
月・惑星等の他天体への着陸及び離陸技術

○ISS計画への参加を通じ、習得・実証した技術
(青字は、運用中に新たに習得、またはノウハウ蓄積が進んだもの)

○引き続き、ISSで習得・実証していく技術

○将来習得していくべき技術

基盤技術

●開発管理技術
大規模・複雑なシステムを開発するためのマネジメント技術

●大型システム統合技術
大規模・複雑なシステムを開発するための統合技術

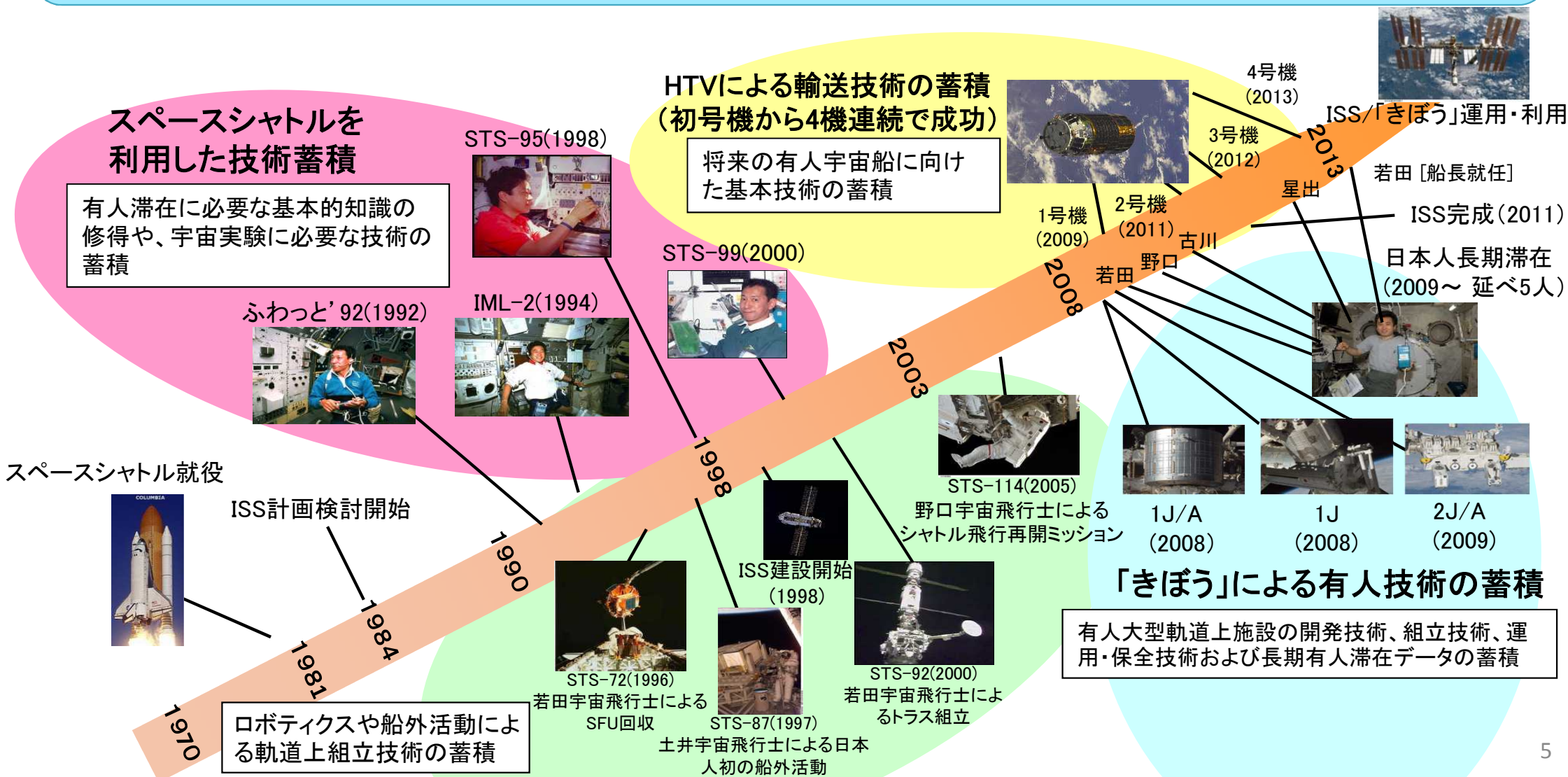
●安全評価・管理技術
設計から運用まで、安全性をより厳密に管理・評価する技術

●信頼性管理技術
宇宙機の信頼性をより厳密に管理する技術(部品・工程管理、検証方法など)

1. 有人・無人宇宙技術の習得(3/9)

■ 我が国の有人宇宙開発への取組

- ISS計画参加当初の日本の宇宙開発は、米国からの技術導入によるロケット・衛星の開発から、自主開発への移行を始めたところ。有人技術は持っておらず、有人宇宙活動のキーとなる部分は、米国に頼らざるを得ない状況であった。
- スペースシャトルに客として乗せてもらい、シャトルミッションに参加するところからスタート。「きぼう」「こうのとり」の開発・運用、ISS長期滞在等の実績を蓄積し、NASAと対等なパートナーとして自ら有人施設を運用するまでに至っている。



1. 有人・無人宇宙技術の習得(4/9)

■ 日本の補給船“こうのとりのり(HTV)”がもたらす成果(1/2) ～技術面

- 「こうのとりのり」によるISSへの物資の輸送・補給により国際宇宙基地協力協定における我が国の責務を果たすとともに、ISSへのランデブーからドッキング、貨物移送、再突入に至る全フェーズに対し、将来の国際宇宙探査にもつながる軌道間輸送や有人システムに関する中核的な技術を習得した。
- これらの開発、運用実績により、「こうのとりのり」はISS参加国から高い評価・信頼を得て、ISS補給計画に必須の存在となるとともに、「こうのとりのり」で確立したISSへの安全な接近方式が米国民間ISS補給機に対する模範となるなど日本の技術力を世界に示した。

① 自動ランデブー技術の価値

- ・ 人工衛星等の自動ランデブー技術は、機微技術であり、保有するのは世界で5ヶ国のみ(米、露、欧州宇宙機関、日本、中国)
- ・ HTVの自動ランデブー・ドッキング方式は米国民間宇宙船で採用、HTVの搭載装置(接近装置、小型エンジン、電源等)を輸出
- ・ HTVのランデブー・ドッキング技術は、ISSの標準方式のガイドラインとして貢献

② HTVの安全設計技術の価値

- ・ 有人宇宙船の安全設計と同じレベルの厳しさ(2故障が生じても安全確保できることが必須)(無人の人工衛星とは異なり、人の命を守る高いレベルの安全標準を満足している。)

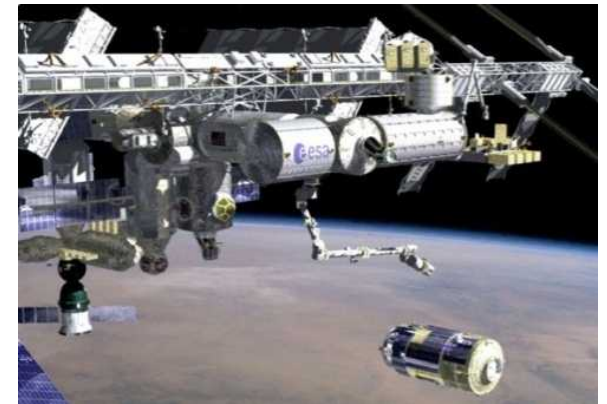
③ HTV打上げの正確さは、日本ブランドの証し

- ・ 定時打上げ、定刻のISS到着を連続達成。高い信頼性の日本ブランドをアピール。

1. 有人・無人宇宙技術の習得(5/9)

■ 日本の補給船“こうのとり(HTV)”がもたらす成果(2/2) ～国際面

- 開発当初、有人システムへのランデブー・ドッキングは米国とロシアしか実績がなく、HTVの実現に関してNASAから強い懸念が示されていたが、ETS-VIIIによるランデブー・ドッキングの軌道上実験の成功や、無人機とは比較にならないほどの高い信頼性の確保やフェイルセーフ・多重冗長構成による耐故障設計等、厳しい有人安全要求に対する膨大な設計・運用への対応により、NASAの信頼を獲得するとともに開発を成功に導いた。初号機から4機連続の成功により、信頼しうる輸送システムとして我が国の宇宙開発技術の高さを示した。
- 初号機から4機連続で定時発射・定時到着を実現し、高い安定性を実証した。米国スペースシャトルが退役後、HTVが大型船外・船内機器をISSに輸送できる唯一の補給機となり、ISSへの物資補給計画、不可欠な補給システムとの位置づけを獲得している。ISS運用期間延長(2016年～2020年)に伴う物資補給計画の検討・交渉においても、NASAからHTVによる補給追加を強く要望されるなど、宇宙開発活動全体における日本の国際的なプレゼンスを向上させた。
- HTVの開発・運用を通して、有人安全を考慮した自律飛行技術、ランデブー・キャプチャ技術、大型物資輸送技術など、今後の宇宙開発活動の更なる発展・拡大に有益な各種基盤技術を習得した。特に、ISSに並進しながら徐々に接近し、距離10mの真下からゆっくりと上昇し、ISSのロボットアームにより捕獲される接近・結合方法は日本が発案し、実現した独自性の高い技術である。他国の従来方式と比べて安全性が高く、その方式が実証された現在では米国の民間ISS補給機“シグナス”や“ドラゴン”にも採用される等、ドッキング方式として新たな国際的なスタンダードとなる可能性を秘めた技術に成長した。この結果として、米国へのHTV国産機器の輸出や米国民間ISS補給機のISS近傍運用の支援受託などに貢献している。



1. 有人・無人宇宙技術の習得(6/9)

■ 今後獲得すべき有望な技術の例 ～高効率・省リソースの水再生システム

- 現行水再生システム(米国製)では、将来の火星探査など低軌道以遠のより長期の有人ミッションには技術的課題がある。
- 本分野は**日本が世界をリード**。宇宙分野において国際標準化できる可能性があり、「強み」となり得る。

(1) 概要・意義

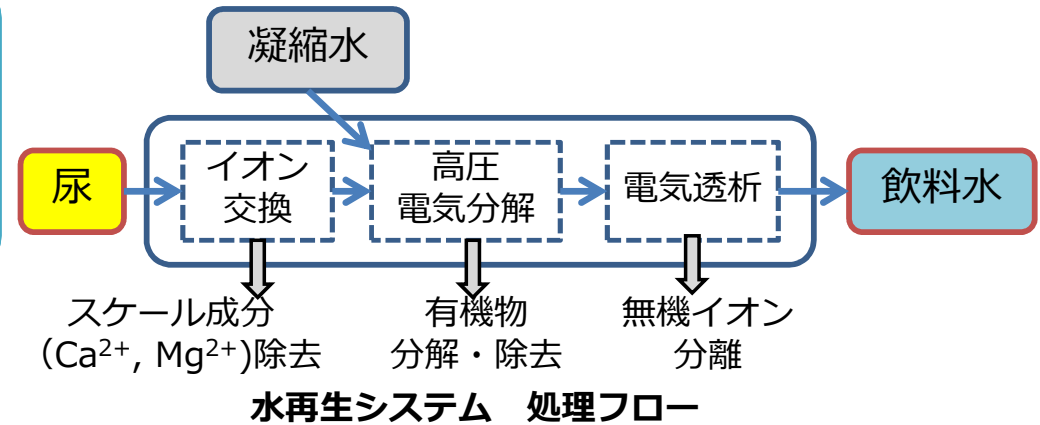
- 水再生は、十分な物資輸送が困難な有人宇宙探査での生命維持に不可欠。その高効率化は、低軌道以遠のより長期の有人ミッションの実現に必須。
- 日本の最先端の水処理民生技術を活用し、船内の空気から回収する凝縮水や飛行士の尿を飲料水レベルの水質に再生する将来型水再生システムを開発。

(2) 課題・目標

- 現行ISSシステムの蒸留・触媒酸化方式(実績75%)と異なる電気分解方式を採用することで、**高い再生率(目標85%)**、**低消費電力**、**消耗品なし**を実現する。
- 特に、高い再生率、消耗品なしは、国際的にも高い優位性を有する。(NASA見解)

(3) 研究・開発計画

- 地上での要素試験により、再生率の数値目標が達成可能な見込みを得ている。
- 2016年には、小型の技術実証用装置で実証実験を行う計画。



	目標	現行ISS
再生率(尿)	85%	75%
電力	370W以下	約1000W
消耗品	なし(*)	イオン交換樹脂等

(*) イオン交換樹脂は、電気透析の生成水による洗浄で機能回復(再生)する。



地上要素実証モデル

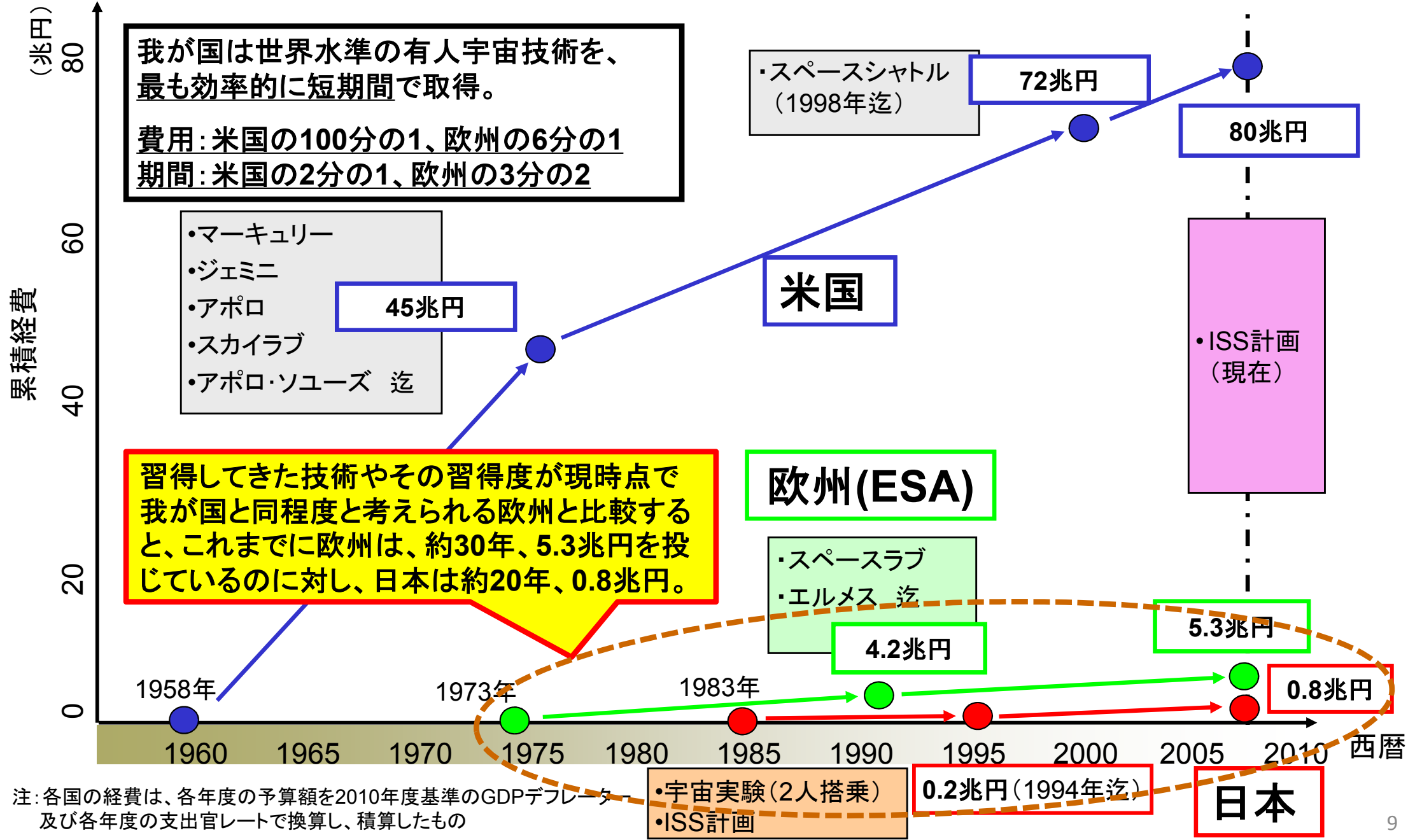
研究・開発スケジュール

FY2012	FY2013	FY2014	FY2015	FY2016	FY2017
要素研究				↑ 打上げ	
地上要素実証モデル製作・試験	軌道上実証モデル製作・試験			ISS実証	

1. 有人・無人宇宙技術の習得(7/9)

(出典:「宇宙探査の今後の展望に関する私見」、堀川康発表資料、H24.10.11 文部科学省 宇宙開発利用部会(第4回))

■ 有人宇宙技術を習得するまでの経費と時間



注:各国の経費は、各年度の予算額を2010年度基準のGDPデフレーター及び各年度の支出官レートで換算し、積算したもの

1. 有人・無人宇宙技術の習得(8/9)

■ 日米のISS計画への投資額

我が国のISS計画への投資額は、米国の約10分の1。
ISS計画への参加得られる便益を効率的に獲得。

国名(実施機関)	これまで(2013年まで)の経費
日本(JAXA)	<p>約8,260億円</p> <ul style="list-style-type: none"> ①JEM開発 : 約2,500億円 ②HTV開発 : 約 680億円 ③実験装置の開発 : 約 450億円 ④地上施設・設備の開発、 宇宙飛行士の養成・訓練、JEM打上げ等 : 約2,360億円 ⑤運用利用に係る経費 : 約2,270億円
米国(NASA) 1ドル=105円 (過去20年間の平均支出官レート)	<p>約7兆6,800億円(総額731億ドル)</p> <p>総額には次の項目を含む</p> <ul style="list-style-type: none"> ①フリーダム計画 ②ISS開発(1994～) ③ISS運用 ④スペースシャトル運用 ⑤他の有人/貨物輸送 ⑥利用 ⑦その他NASAコスト

※ 米国の経費は、コンサルタント会社の調査結果及び各極の予算報告書による

1. 有人・無人宇宙技術の習得(9/9)

■ 世界第3位の宇宙滞在実績と、世界レベルの有人運用技術

- ISS計画への参加により、宇宙飛行士の搭乗実績、船外活動実績等の国別の順位は、米露に続く世界第3位まで上昇。我が国が有人宇宙活動における人材育成やノウハウの蓄積が進んでいることの表れ。
- 若田飛行士のISS船長への就任により、有人宇宙基地や搭乗員の管理、緊急時の対応のノウハウ等を蓄積すると共に、我が国が、国際協力で有人宇宙活動を行う上で中核的な役割を担うレベルに達していることを示した。
- ISSや「こうのとり」の運用に係る地上管制を各極と連携しながら我が国自らが実施した結果として、非常事態の対応も含めた有人宇宙システムの統合的な運用に関するノウハウの蓄積、将来の国際宇宙探査等で必要となる管制員や運用支援員等の育成につながっている。

➡ 将来の国際宇宙探査において日本が重要な役割を担う上で、ISSで習得する技術やノウハウが生かせる。

- 宇宙先進国として、世界有数の長期宇宙滞在実績と技術を着実に蓄積。
- これまでに11人の宇宙飛行士を養成し、8人が計16回の宇宙飛行を行い、うち4回は長期滞在を経験。実績とノウハウを蓄積している。
- 若田飛行士は、アジア人初のISS船長にも就任。日本が有人宇宙技術において対等なパートナーと認識されている証。第2、第3のISS船長を輩出することによって、宇宙分野での国際的な日本の位置付けがより強固なものになる。
- 「きぼう」の運用管制員を日本で育成・認定。英語が母国語ではない日本においても国際的な交渉スキルと技術を有する人材を多数輩出。ISSのような大規模施設を安全・安心に運用するマネジメント技術は、将来の国際宇宙探査にも生かせる。
- 搭載実験装置の安全審査権限をNASAから委譲され、日本単独で「きぼう」の安全管理責任を担っており、米国や欧州と対等な立場まで高めた。

	国名	日数
1	ロシア	約23,600日
2	アメリカ	約16,700日
3	日本	約929日
4	カナダ	約506日
5	ドイツ	約493日

各国の宇宙滞在累積日数(H26/5/14時点)
(ISS以前のミール、シャトル等の実績含む)



「きぼう」の運用管制@筑波宇宙センター

2. 産業の振興(1/6)

【成果】

- 「きぼう」の開発・運用には約650社、「こうのとり」の開発・運用には約400社の日本企業が参画。ISS計画への参画がもたらす産業振興効果は“ものづくり”大国ニッポンを支える中小企業にまで浸透。その結果、高い安全性と信頼性を要求される大規模システムの設計・解析・統合技術など、企業における高度かつ裾野の広い有人宇宙技術の習得に繋がり、宇宙産業基盤の向上・維持・成熟に貢献。
- 特に、「こうのとり」は、打上げ手段であるH-IIBロケットとともに、年間約1回の打上げにより日本の宇宙産業のアンカーテナンシーとなっている。
- 参画企業は、世界レベルの技術力をアピールして企業ブランドを向上させると共に、習得した技術やノウハウ等をベースに、関連事業への展開、同技術の海外への輸出など新たなビジネスを拡大。
 - 「こうのとり」で開発したISSへの接近技術は、米国の民間輸送機にも採用され、「こうのとり」の近傍通信システムの製作を請け負った日本企業は、米国輸送機「シグナス」の開発企業から約60億円で受注するとともに、JAXAはシグナス運用の訓練やオペレーション支援を受託。
 - 米国の民間ISS補給機「シグナス」や「ドラゴン」のドッキング方式として、「こうのとり」のランデブー・キャプチャー技術が採用され、JAXAはシグナス運用の訓練やオペレーション支援を受託。また、安全評価の支援作業を行っている。
 - その他、アポジエンジンやISS用リチウムイオン電池などで日本企業の海外受注につながっている。
 - ソフトウェアの安全評価手法は、自動車業界、航空機業界等の非宇宙産業へも適用されている。

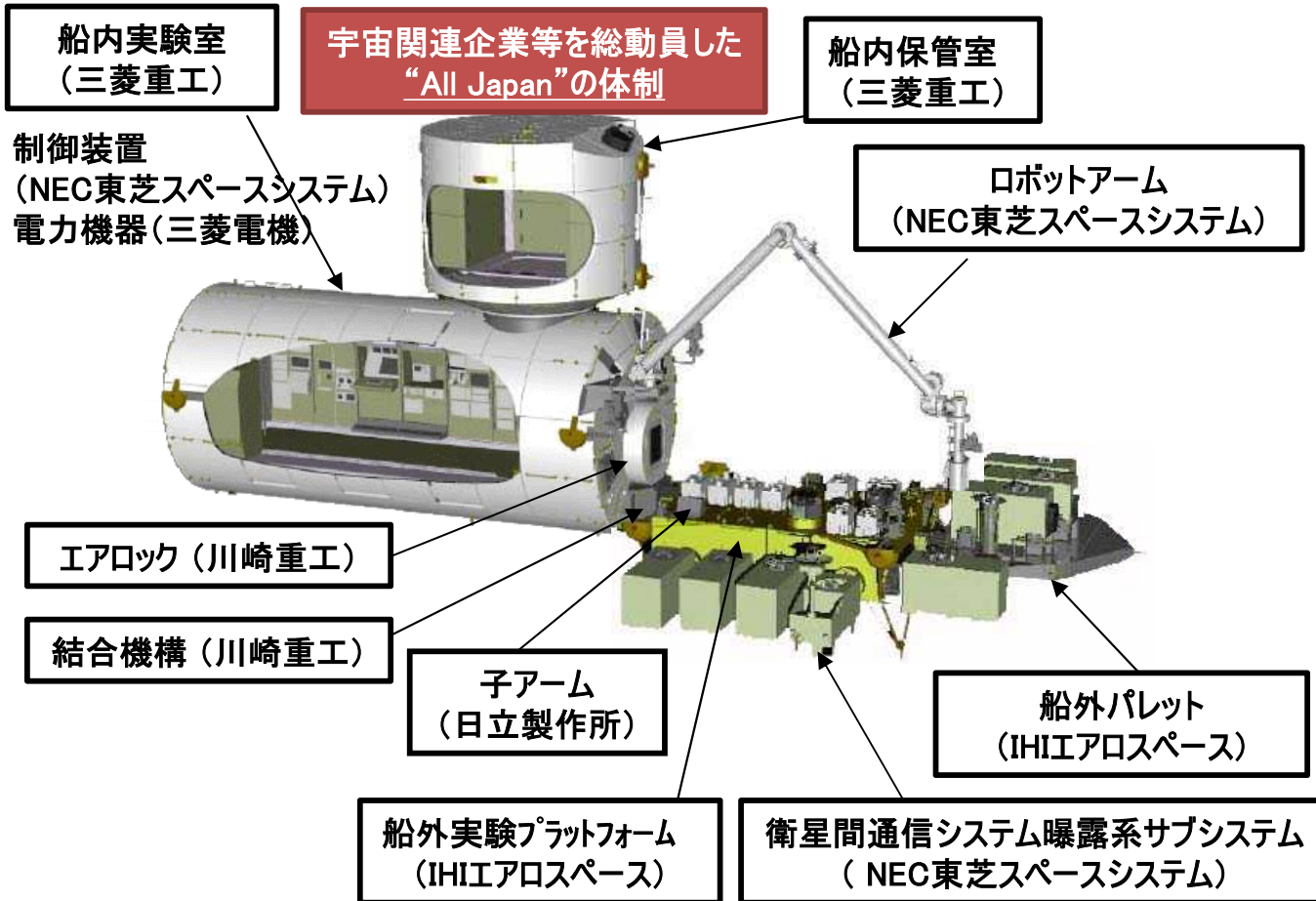
【今後の課題】

- 将来においても我が国宇宙産業が有人宇宙分野における国際的な競争力を持ち続けるためには、2020年以降のISSやそれに続くプログラム等により、日本の有人宇宙技術基盤の維持・向上、技術の継承、人材の継続的な育成が必要。
- 今後多くの国の参画が予想される国際宇宙探査において我が国宇宙産業が中核的な位置付けを獲得するためには、唯一の軌道上実験施設である「きぼう」をテストベッドとして活用し、宇宙探査に向けた新たな技術を産業界とともに実証・習得していく必要がある。

2. 産業の振興(2/6)

■ 多くの日本企業が関わる「きぼう」日本実験棟の開発・運用

- 日本実験棟「きぼう」の開発及び運用に関わった企業数は、国内約650社(※)。
- 「きぼう」の開発・運用への参画は、企業における高度かつ裾野の広い有人宇宙技術の習得に繋がり、結果、産業基盤の維持と成熟に大きく貢献。
- 参加企業は、技術力を国内外にアピールでき、海外企業との新たなビジネスチャンスの獲得や将来の国際共同プロジェクトにおけるポジション担保にも繋がる。



支える中小企業の技術例

←プラズマ浸炭処理技術を活かし、軽く強く、耐食性が優れるボルト。200回以上の繰り返し締め付け・緩めにも焼き付きを起こさない。
ISS-きぼう結合チタンボルト(榊田中・大阪市)

←アルミニウムやステンレスを0.01ミリ単位で加工。送風口に取り付ける羽の角度を1枚ずつ微調整し適音に。
船内実験室の空調設備
(川西航空機器工業(株)・兵庫県)

←国際宇宙ステーション関連部品などのマーキングや超精密溶接
(東成エレクトロビーム(株)・東京都)

↑タンパク質結晶生成装置・溶液結晶化観察装置内 CCDカメラ(竹中システム機器(株)・京都府)

アルミ合金180kgから4.8kgまでの、
→ 高品質かつ高精度な切削加工
ステーション骨組(榊瑞木製作所・愛知県)

※該当企業ホームページ情報及び報道内容による

2. 産業の振興(3/6)

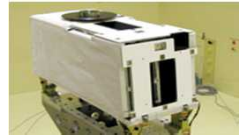
■ 「こうのとりのり」開発・運用で我が国の宇宙技術は世界トップレベルへ到達

- これまで蓄積されてきた国内宇宙企業の先端技術を結集し、国家基幹技術として開発。国内約400社が開発・製造・運用に参画。
- 2009年～2016年に合計7機を打上げ予定。定期的な製造・運用は、アンカーテナンシーとして参加企業の技術基盤維持にも寄与。
- 2011年のスペースシャトル退役後は、大型船外機器、船内実験ラックを輸送できる唯一の手段であり、ISS全体の運用を支える重要な役割を担う。
- 将来、軌道間輸送の技術として、国際宇宙探査や低軌道輸送サービス等に生かせる。

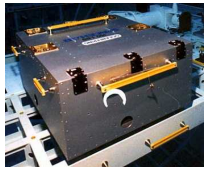
「こうのとりのり」のみが輸送可能な物資



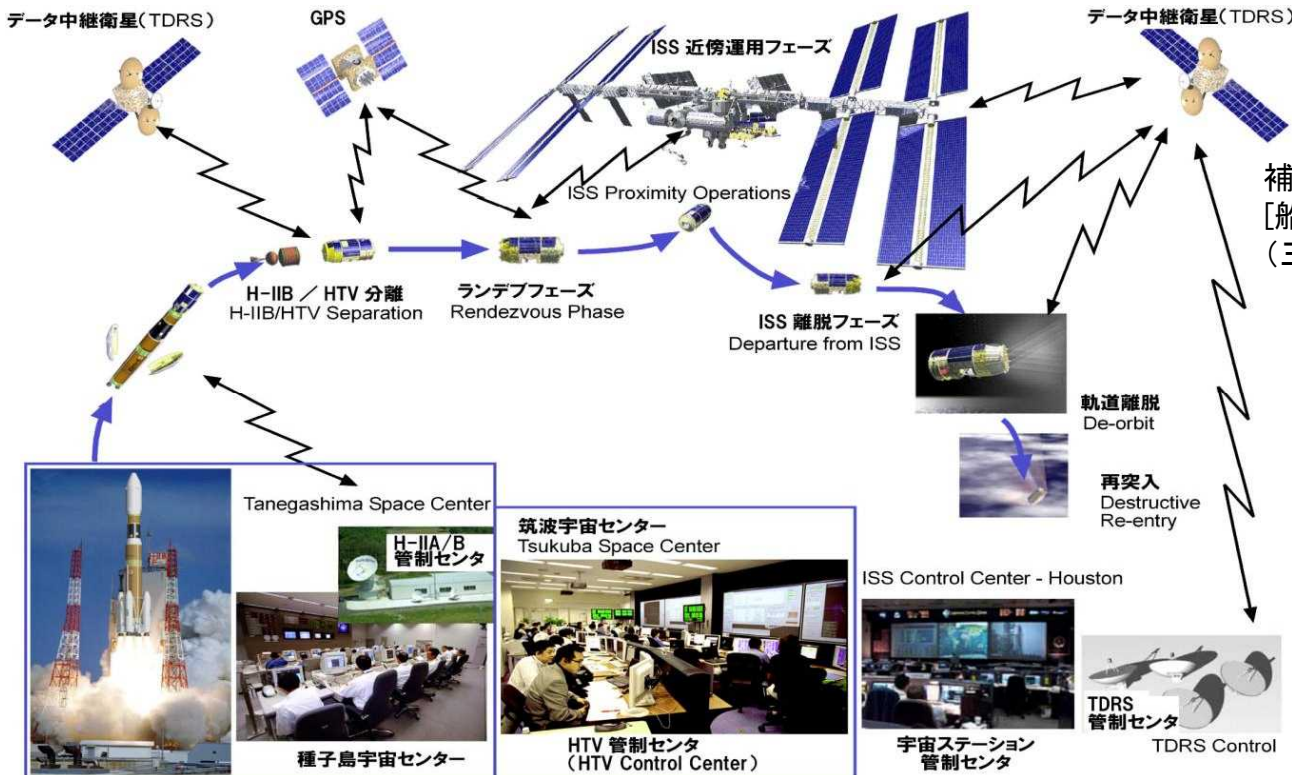
船内実験ラック



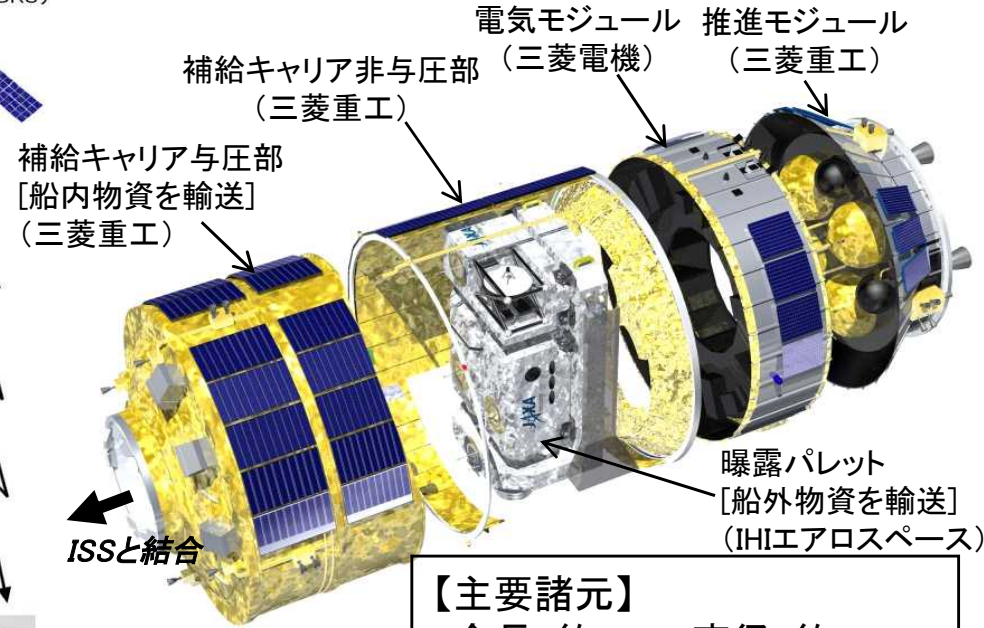
大型船外実験装置



大型船外機器 (ISSシステム補用品)



(運用概念図)



- 【主要諸元】
- ・全長:約10m, 直径:約4.4m
 - ・質量:約10.5トン(補給品除く)
 - ・補給品搭載能力:最大6トン

(機体概要)

2. 産業の振興(4/6)

■ ISS計画で習得した技術が海外受注につながった例

● 「このとり」の近傍接近システム（通信装置）

- 三菱電機が「このとり」用に開発した安全にISSにドッキングさせるための近傍通信システムが、米オービタルサイエンス社の宇宙貨物輸送機「シグナス」(右図)に採用されている。
(<http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2009/1022-a.html>)
- 受注総額は約60億円(6,600万米国ドル)で、2010年から2014年にかけて9機分を順次納入する予定。

● 米国民間輸送機（シグナス）のランデブー運用支援

- HTVで開発したランデブー・キャプチャー技術は、ISSに併進しながら徐々に接近し、距離10mの真下からゆっくりと上昇し、ISSのロボットアームによって捕獲する技術。従来の方式と比べてISSへの衝突の危険性が低く、安全性が高い。
- 「このとり」技術実証機(1号機)の成果を受け、米国の民間ISS補給機「シグナス」や「ドラゴン」のドッキング方式として採用された。
- 「シグナス」は、HTVで開発した近傍接近システムを使用するため、JAXAはシグナス運用の訓練やオペレーション支援を受託した。また、安全評価の支援作業を行っている。(右図)
(<http://www.orbital.com/Antares-Cygnus/2009-2011/>)



米国民間補給機がISSへ接近するイメージ



トランスポンダ



ダイプレクサ



安全評価管理



オペレーション

2. 産業の振興(5/6)

■ ISS計画で習得した技術が海外受注につながった例

● 「このとり」のアポジエンジン

- IHIエアロスペースは、HTV3号機以降に搭載する500Nスラスタ(HBT-5)と120N RCSスラスタ(HBT-1)を開発。世界初のモノメチルヒドラジンを燃料とするスラスタで、従来の輸入スラスタと比較して幅広い作動範囲で熱安定性を達成するなど、運用性を向上させた。
- JAXAとのスラスタ開発をもとに開発した静止軌道投入用の500Nの推力を有するアポジエンジンは、世界最高性能の燃費を誇り、54台の輸出実績と33台の打上げ実績を持つ。海外顧客からも高い評価を得ている。
(<http://www.ihico.jp/ia/product/satellite.html>)



アポジエンジン(左)と元になった500Nスラスタ(右)

● 国際宇宙ステーション用リチウムイオン電池

- 株式会社GSユアサの100%出資会社GSユアサリチウムパワー社は、国際宇宙ステーション用のリチウムイオン電池を受注した。2016年以降、順次軌道上の現行品と換装される予定。
- 同電池は、H-IIBロケットや人工衛星・HTV等で開発された宇宙用リチウムイオン電池の同等品で、現在ISSに使用されているニッケル水素電池と比べ質量・体積ともに約3倍の高エネルギー密度を実現している。
- 高い信頼性とISSの厳しい安全要求を満たした大容量(200Ah)リチウムイオン電池の「このとり」での実証実績は、本電池を受注することにつながった。(http://www.gs-yuasa.com/jp/nr_pdf/20121130.pdf)



宇宙用リチウムイオン電池

2. 産業の振興(6/6)

■ 地上の他産業分野への展開例 ～ソフトウェアの安全評価技術

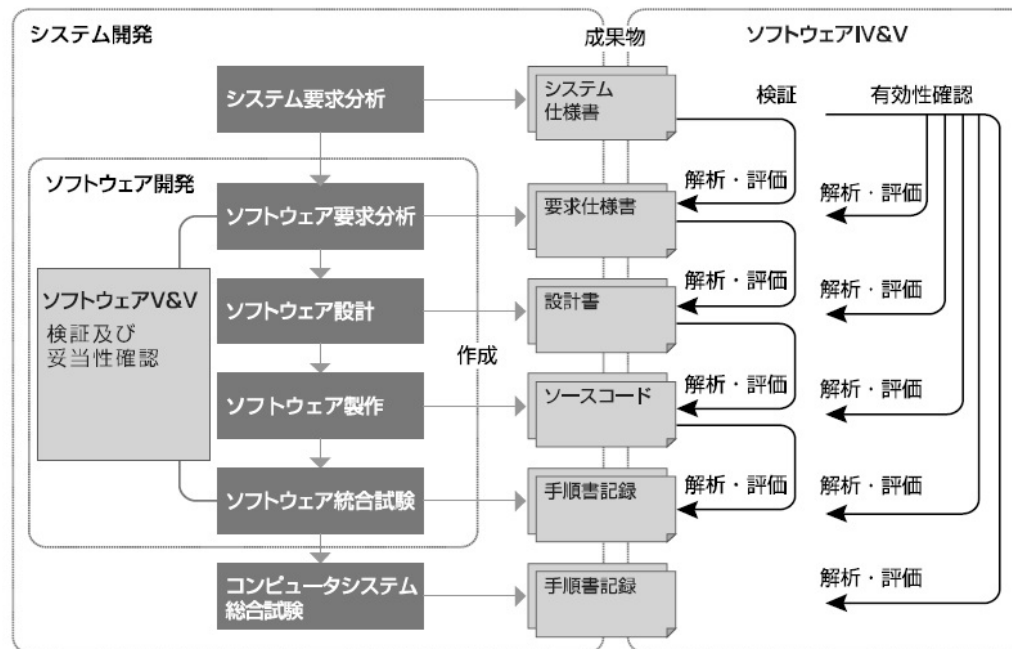
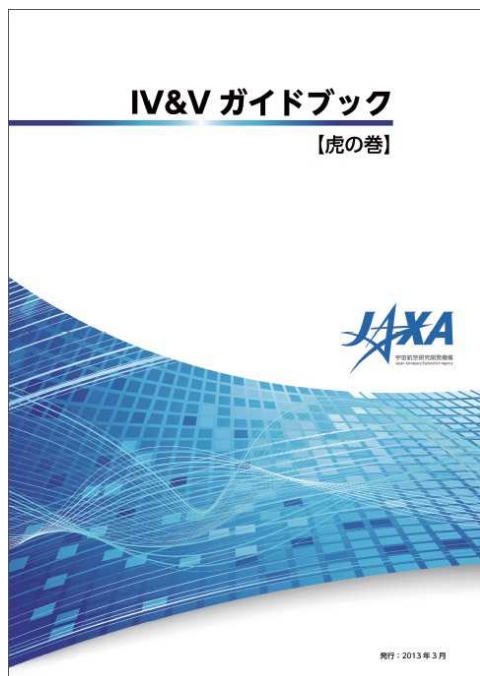
● ソフトウェアの安全評価技術が航空機や自動車開発に活用 ～安心・信頼性向上への貢献～

➤ 宇宙産業:

JAXAは、独立検証評価技術(IV&V技術)をH-IIA/H-IIIB/イプシロンのロケット及び衛星のソフトウェアにも適用し、開発手戻りの低減、運用段階での高い信頼性・安全性の確保を実現した。

➤ 地上産業:

宇宙分野で培ったIV&V技術が、航空機業界や自動車業界に展開され活用されている。また、JAXAのIV&V技術解説書は、ガイドブック及びハンドブックとして産業界に配付され、多くの業界で使用されている。更に、経済産業省の「製品・システムにおけるソフトウェアの信頼性・安全性等に関する品質説明力強化のための制度構築ガイドライン」に繋がり、産業界における高信頼ソフトウェアの検証・評価のルール作りに貢献。



IV&Vとは、ソフトウェアの開発組織とは独立した組織が、独立した技術及び開発組織に影響を受けずに、ソフトウェアの課題や問題を洗い出し、潜在するリスクを軽減する活動

ソフトウェア独立検証と有効性確認(IV&V)のイメージ

(参考) 有人宇宙技術のスピノフ事例



- 消臭機能を有する新素材「ムッシュオン」東レ(株)
- 「ムッシュオン」を使った高機能ビジネスシャツ「ハイブリットセンサー」フレックスジャパン(株)



ゴールドウィンHPより

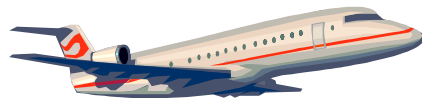
- 加齢臭と汗の匂いを大幅に減らす宇宙下着の技術が応用された消臭下着、枕カバー (株)ゴールドウィン



- 宇宙服の研究開発を基にした暑熱環境下での作業に役立つ冷却ベスト (公財)日本ユニフォームセンター/日本帝国繊維(株)



- 日本人宇宙飛行士用に開発された宇宙食カレーハウス食品(株)



- 宇宙分野で培った独立検証評価技術 (IV&V技術) が、航空機業界や自動車業界に展開され活用



コンフォーカルサイエンスHPより

- タンパク質の立体構造解析向けの実験キット「C-Tube」 (株)コンフォーカルサイエンス

- 微小重力環境を模擬する理化学実験装置「3Dクリノスタット」 (株)エイ・イー・エス



千代田アドバンスト・ソリューションズHPより

- 細胞医療の効率性と安全性を高める「自動細胞加工培養システム」 (株)メディネット、千代田アドバンスト・ソリューションズ(株)、(株)アステック、(株)細胞科学研究所、ニプロ(株)



エイ・イー・エスHPより

- 水棲生物飼育用の水質浄化バイオフィルター (株)エイ・イー・エス



エイ・イー・エスHPより

- 宇宙飛行士模擬訓練・体験サービス (株)エイ・イー・エス



エイ・イー・エスHPより

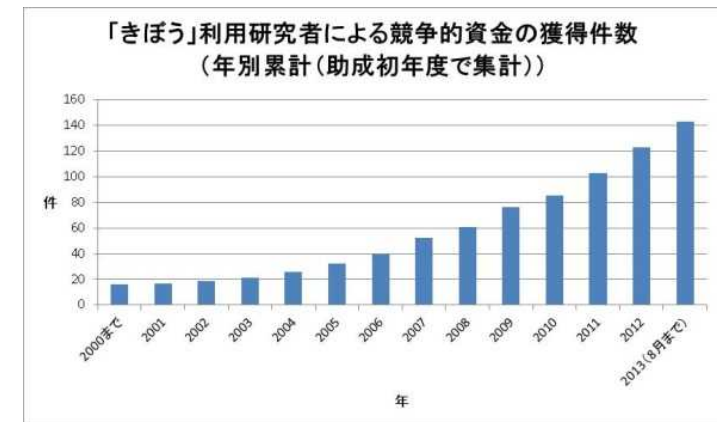
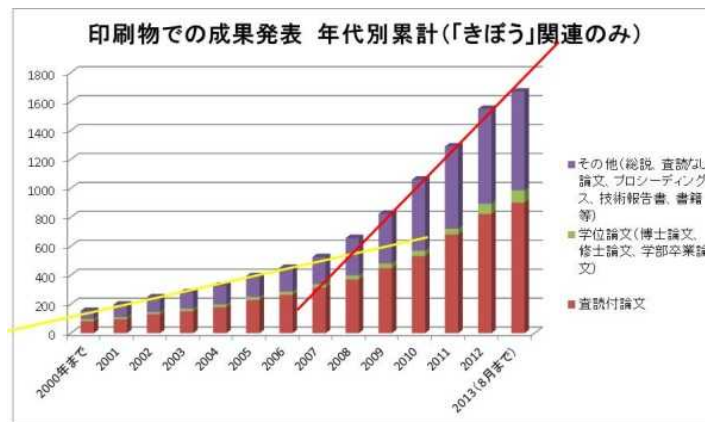
3. 宇宙実験からの成果の蓄積(1/14)

【成果】

- 長時間の微小重力など、宇宙環境を利用することにより、各研究分野に新たな視点やアプローチ等を提供。我が国の科学や技術の発展に貢献。
 - 2008年より船内の実験装置や船外の観測装置を順次打ち上げ、実験環境を充実化。

細胞培養、植物培養、水棲生物飼育、金属・半導体結晶成長、タンパク質結晶成長、流体物理計測、X線天文観測、大気観測、地球観測 などが可能な他、無菌環境のクリーンベンチ、位相差顕微鏡、蛍光顕微鏡などの実験機器を搭載
 - これまでに「きぼう」船内を利用した生命科学実験や物質・物理科学実験、船外を利用した天文観測、地球観測など、2013年までの約5年間で約80件の「きぼう」利用ミッションを実施。

1件の実験機会に複数の実験試料の搭載を行うなどの場合もあり、実験目的毎の集計では、「きぼう」打上前も含め、ISSでこれまでに実施した日本の実験は約450件に上る。そのうち、高品質タンパク質結晶生成実験は331件
- ISS計画の学術的成果は、船外のX線天文観測における科学誌NatureやScienceへの掲載をはじめ、約900件に上る査読付き論文として発表されている。特に「きぼう」の利用が開始された2008年以降、急増。また、関連する外部資金獲得件数も伸びている。



(次ページへ続く)

3. 宇宙実験からの成果の蓄積(2/14)

【成果】(つづき)

- 様々な分野において、多様な利用成果を挙げている。
 - 対流のない微小重力下で、地上よりも高品質なタンパク質の結晶ができることを利用し、宇宙で作った結晶を地上に持ち帰って解析し、得られる結晶構造から薬剤や産業用酵素などの開発に貢献(タンパク実験にはロシアも参画)
 - 重力がかからないために骨や筋肉が地上よりも顕著に減少することを利用した生命科学実験で、新たな骨粗しょう症治療薬候補の効果確認や、筋萎縮原因酵素の一つの特定など、健康長寿社会の実現に向けた貢献
 - 対流のない環境で理想的な流体现象や結晶成長現象が実現できることを利用し、地上で観測できない物理現象の原理の解明や、地上で実用化を目指す次世代半導体の作製に関わる知見の蓄積によりナノテク・材料産業に貢献
 - 船外からのX線天文観測により、X線新星の発見等で最新X線天文学へ貢献
 - 船外からの地球観測により、オゾン層破壊などの地球環境問題への貢献や、大規模災害時の状況把握などに貢献
- 特に近年、学術的成果の積み重ねにより、民間企業の参入が始まりつつある。
 - タンパク質結晶生成実験に大手製薬企業が参入。
 - 免疫研究に関して大手食品メーカーとJAXAで共同研究を開始。

【今後の課題】

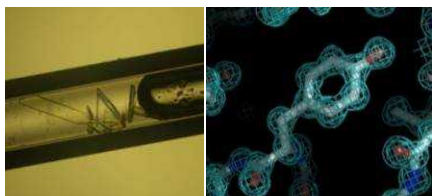
- 物理学や生命科学の分野で宇宙環境利用が有用な研究領域が見えてきた中で、今後は、体系的な成果創出や出口を見据えた成果創出が見込めるインパクトのある研究課題に重点化し、戦略的に進めていく必要がある。
- 地上の厳しい研究競争に対し、宇宙環境がブレイクスルーとなる付加価値を与えうるような研究を中心に据え、それに合致する国の科学技術政策や外部資金制度等と連携してイノベーション創出を目指していくことが必要。
- タンパク質実験では、これまでの実績の積み重ねにより、ようやく大手製薬企業等が本格的な利用に乗り出したところ。その他、材料実験や小型衛星放出等、民間利用が有望なサービスを増やしていくこととしており、民間企業の投資価値や需要にかなう十分な実験機会を継続的に提供していく必要がある。

3. 宇宙実験からの成果の蓄積(3/14)

① 創薬プロセスの加速に繋がる成果 <タンパク質結晶生成実験> (1/2)

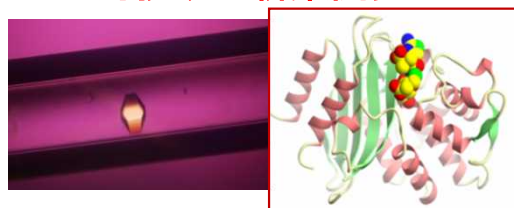
- 対流のない宇宙でタンパク質の高品質結晶を生成し、地上に回収してSPring-8等の施設を用いてその立体構造情報を取得
⇒ 製薬企業等では、宇宙実験で得られた構造情報に基づき、薬剤候補の設計・製造、動物実験、臨床試験と展開。
- ISS建設中から10年以上の技術蓄積の結果、現在は条件が整えば約7割以上の確率で地上よりも高品質結晶が生成可能
- 地上では解明できなかった、癌関連タンパク質の構造や、筋ジストロフィー治療薬候補化合物と病原タンパク質との結合状態が、詳細に分かる精密構造データを取得
- ロシア等との間で本実験に係る相互協力を実施(日本:「きぼう」での実験機会提供。ロシア:実験試料の打上/回収)
- 大学などの利用が中心だったが、平成26年から大手製薬企業などが製品化を目指して利用を開始したところ

成人病の治療薬開発 (生体内の糖分解酵素の開発)



構造データ分解能: 1.0 Å
(地上生成結晶: 1.6 Å)

抗生物質を分解する酵素に 対抗する新薬開発



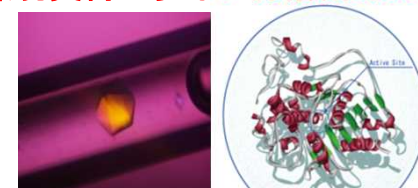
構造データ分解能: 0.89 Å
(地上生成結晶: 0.94 Å)

インフルエンザ特効薬開発 (どんな型のウィルスでも増殖を 抑える治療薬の開発)



【きぼう実験中、製薬企業との連携を進めている】

ナイロン副産物(廃棄物)の 再生利用 (環境負荷の少ない分解酵素の開発)



構造データ分解能: 1.15 Å
(地上生成結晶: 1.8 Å)

筋ジストロフィー治療薬開発



構造データ分解能: 1.14 Å
(地上生成結晶: 1.8 Å)

【動物実験による有効性と安全性の検証実験実施中】

微小重力環境の有効性

○ 対流・擾乱の少ない「きぼう」の微小重力環境と、**日本独自の結晶生成技術**を用いて、地上では得られない高品質なタンパク質結晶を生成。タンパク質の活性部位と化合物との結合状態が判別可能な1Å以下の分解能を実現。

○ Spring-8などの地上施設を用いて結晶の立体構造を解析し、効率的な薬剤設計・触媒設計

【産業化に向けて検討中】

非食糧系由来
バイオエネルギー生産
(高活性な分解酵素の開発)



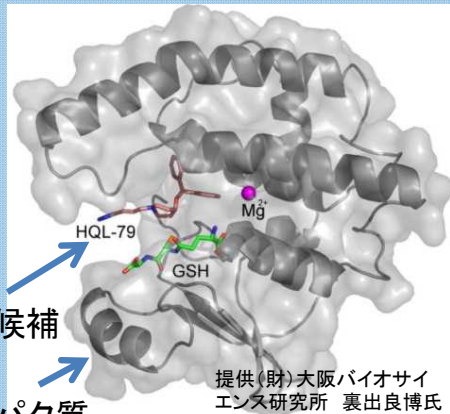
構造データ分解能: 0.96 Å
(地上生成結晶: 1.2 Å)

3. 宇宙実験からの成果の蓄積(4/14)

① 創薬プロセスの加速に繋がる成果 <タンパク質結晶生成実験> (2/2)

筋ジストロフィーの進行に関与するタンパク質 (H-PGDS)

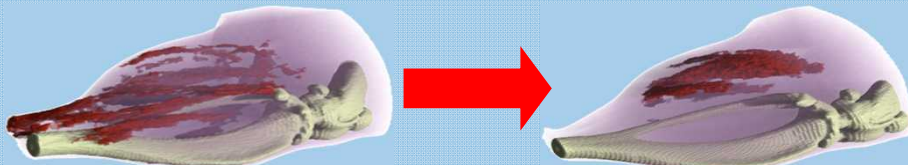
—大阪バイオサイエンス研究所の例—



提供(財)大阪バイオサイエンス研究所 裏出良博氏



ビーグル犬による動物実験



H-PGDS阻害化合物により筋萎縮を軽減

○これまでの宇宙実験で複数の化合物において、タンパク質との複合体の結晶生成を行い、**最高レベルの詳細な構造データを取得**

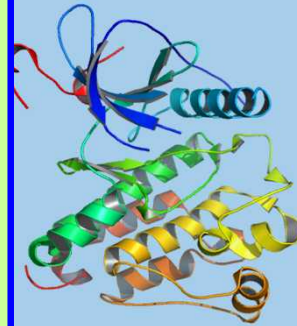
○筋ジストロフィーの進行を遅らせる複数の**薬物候補化合物の開発に有用な情報を取得**

抗がん剤耐性型の上皮増殖因子受容体(EGFR: がん細胞が増殖するためのスイッチ)の働き

—理化学研究所—

○結晶の品質が悪く構造決定が困難であった**抗がん剤耐性型上皮増殖因子受容体**(ゲフィチニブ耐性型EGFR)の一部(kinase domain)の構造解析(2.7 Å)に成功し、**抗がん剤耐性メカニズムを初めて解明**

○本構造を用いたコンピュータスクリーニングによって、これまで見出されていなかった**耐性型EGFRの阻害剤を新たに同定**



Oncogene (2013) 32, 27–38
© 2013 Macmillan Publishers Limited All rights reserved 0950-9232/13
www.nature.com/onc

ORIGINAL ARTICLE

Structural basis for the altered drug sensitivities of non-small cell lung cancer-associated mutants of human epidermal growth factor receptor

S Yoshikawa¹, M Kukimoto-Niino¹, L Parker¹, N Handa¹, T Terada¹, T Fujimoto¹, Y Terazawa¹, M Wakiyama¹, M Sato², S Sano², T Kobayashi², T Tanaka², L Chen³, Z-J Liu^{3,8}, B-C Wang³, M Shirouzu¹, S Kawa^{4,9}, K Semba⁵, T Yamamoto^{4,6} and S Yokoyama^{1,7}

¹RIKEN Systems and Structural Biology Center, Yokohama Institute, Yokohama, Japan; ²Japan Aerospace Exploration Agency, Ibaraki, Japan; ³Department of Biochemistry and Molecular Biology, University of Georgia, Athens, GA, USA; ⁴Division of Oncology, The Institute of Medical Science, The University of Tokyo, Tokyo, Japan; ⁵Department of Life Science & Medical Bioscience, School of Advanced Science and Engineering, Waseda University, Tokyo, Japan; ⁶Cell Signal Unit, Okinawa Institute of Science and Technology, Okinawa, Japan and ⁷Department of Biophysics and Biochemistry, Graduate School of Science, The University of Tokyo, Tokyo, Japan

Oncogene. 2013 Jan 3;32(1):27–38.

3. 宇宙実験からの成果の蓄積(5/14)

② 筋肉や骨の衰え、老化等の対応策に繋がる生命科学に関する学術的成果(1/3)

＜キングョのウロコを使った骨の研究（金沢大学 鈴木信雄教授）＞ (2010年5月実施)

微小重力を、老化の加速環境として利用し、骨代謝の解析と薬候補の効果を検証

- 地上よりも約10倍の速さで骨量が減少する「きぼう」の微小重力の特徴を使い、地上では実験が難しい、骨量減少メカニズムの解明研究と、対策研究を実施。
- 薬の候補化合物が、骨密度低下防止・骨粗しょう症治療薬として有効であることが確認され、研究者と民間企業により実用化を目指した取り組みが進められている。



○「きぼう」での実験結果

- ◆ 宇宙で、破骨細胞の活性が上昇し、形態学的な変化(細胞の多核化)が生じた。微小重力により、ウロコの骨吸収を引き起こしたことが示された。
- ◆ また、宇宙実験で、研究者が見出した骨粗しょう症治療薬候補(新規プロモメラトニン)の効果を確認した。



キングョ再生ウロコ

○「きぼう」実験成果の活用

- ◆ 平成24年度に、科学技術振興機構(JST)の技術移転支援プログラム(研究成果最適展開支援プログラム:A-STEP)シーズ顕在化タイプに採択され、地上でラットを用いた実験を実施。骨質改善効果が認められた。
- ◆ 平成25年度にも、シーズ顕在化タイプに採択され、JSTからの支援を受けて、研究者と企業(金沢大学 鈴木信雄准教授 / 株式会社ハムリー)が実用化を目指した取り組みを進めている。
- ◆ 今後、JST等の研究費を利用して、段階を踏んで研究継続していく。



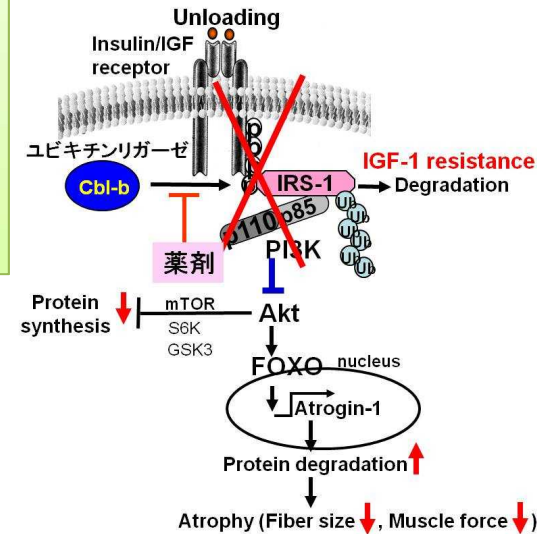
ウロコ封入容器

3. 宇宙実験からの成果の蓄積(6/14)

② 筋肉や骨の衰え、老化等の対応策に繋がる生命科学に関する学術的成果(2/3) ＜筋細胞を使った筋肉の衰えの研究（徳島大学 二川 健教授）＞（2010年4月実施）

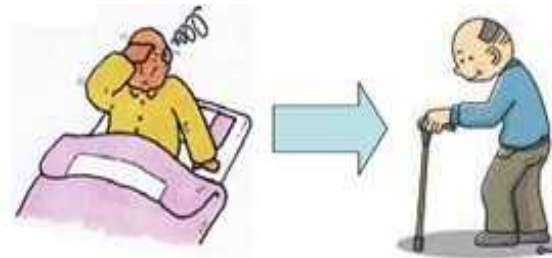
筋肉に関する疾病の予防・回復、老化抑制などの「機能性食品」の開発へ

- 微小重力では地上の約2倍の速さで筋量が減るが、細胞内で筋萎縮の原因となる酵素(Cbl-b)が地上の約10倍に増加していることが原因と判明(1998年のスペースシャトル実験)。
- この筋萎縮の原因酵素(Cbl-b)が増加するISSの微小重力状態で、同酵素の働きを抑える薬の効果を確認。現在、研究者と民間企業が筋萎縮予防食の研究開発を進行中。



○「きぼう」での実験結果

- ◆ 宇宙の微小重力環境や「寝たきり」の環境でのみ発現が増大する酵素ユビキチンリガーゼ(Cbl-b)に関し、以下を明らかにした。
 - Cbl-bが微小重力による筋萎縮の原因酵素の一つであること
 - 臨床応用として、Cbl-bの阻害物質が筋萎縮に対して治療効果があること
 - 無重力の感知機構には、ミトコンドリアから漏れ出る酸化ストレスが関与していること



筋萎縮原因酵素であるユビキチンリガーゼの阻害剤・食材を開発する。
寝たきりの患者を歩けるようにする。

○「きぼう」実験成果の活用

- ◆ 平成25年度の文部科学省 宇宙科学技術推進調整委託費にも採択され、研究者が民間企業との連携で筋萎縮予防食の研究開発に取り組んでいる。

3. 宇宙実験からの成果の蓄積(7/14)

② 筋肉や骨の衰え、老化等の対応策に繋がる生命科学に関する学術的成果(3/3) ＜モデル生物「線虫」を使った筋肉の衰えの研究（東北大学 東谷篤志教授他）＞

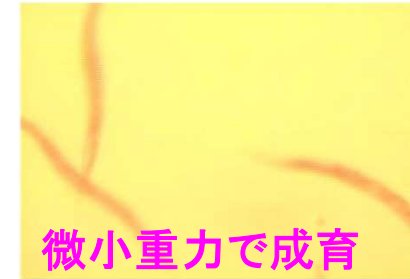
(2009年11月実施)

宇宙では神経や内分泌の信号伝達に関わる遺伝子の働きが低下、老化が遅くなることを発見

遺伝子の働きを抑える方法(RNA干渉)と生体内の様々な反応でスイッチとしての役割を果たすタンパク質のリン酸化の2つの方法を用い、宇宙で筋肉の衰えが加速するメカニズムを研究

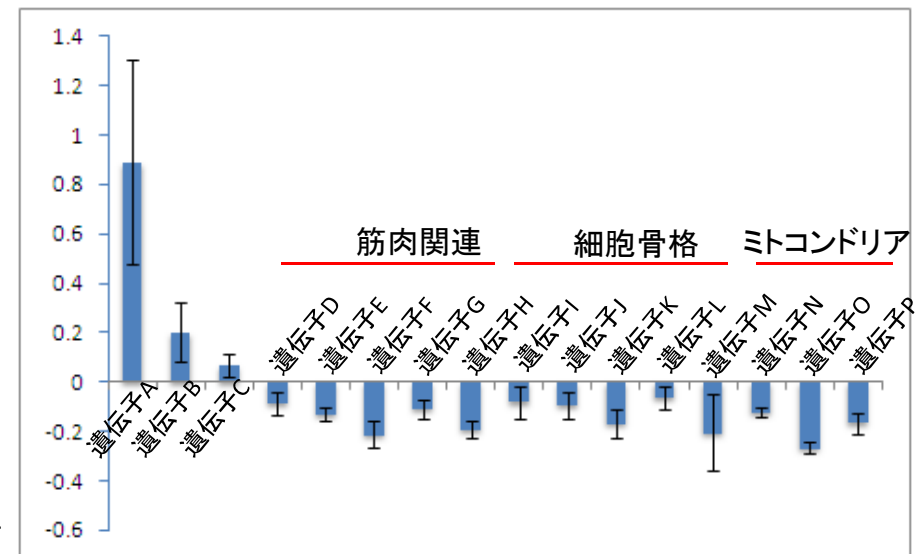


1,000個の体細胞、0.01 mg程度



○「きぼう」での実験結果

- ◆ 「きぼう」で育った線虫について、以下が明らかになった。
 - 運動速度、振幅数がともに低下(運動能力の低下)。
 - 筋肉、細胞骨格、ミトコンドリアのエネルギー生産等のタンパク質群の発現が低下。
 - カロリー制限に応答する遺伝子が活性化し、代謝活性が低下。→“省エネモード”への移行
- ◆ 宇宙でRNA干渉法が有効に作用することを検証。
 - 遺伝子の活性を調節することで、筋肉構成タンパク質の分解を抑えることができることが新たに示唆された。



宇宙微小重力の影響により発現が変動したタンパク質

3. 宇宙実験からの成果の蓄積(8/14)

③ 高齢者医療・福祉につながる成果 <宇宙医学研究>

無重力環境で骨や筋量減少が加速される。宇宙飛行士の健康管理の知見を地上へ

骨や筋肉低下対策、リハビリ技術など宇宙飛行での**予防医学**を通じて高齢者医療、国民の健康に貢献
超高齢化社会や介護問題解決への糸口

課題

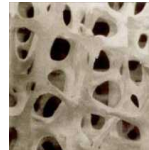
「きぼう」での取組

地上への応用

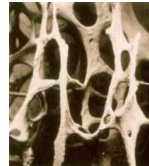
微小重力

骨は10倍、筋は2倍の速さで減少
ストレスによる免疫機能の低下

- 骨折や尿路結石リスクの増大
- 感染症リスクの増加



正常な骨



骨粗鬆症の骨

- 骨量・筋量減少メカニズムの研究とリハビリ手法の開発
 - 免疫機能低下メカニズムの研究と対策法 (腸内細菌変化、免疫機能向上食品)
- <理化学研究所や大手食品企業等と共同研究>



宇宙放射線

半年分の自然放射線を宇宙の1日で被ばく

- 発がんリスク
- 次世代影響

- 宇宙放射線被曝の影響評価
 - 宇宙放射線環境予測
 - 放射線防護 (遮蔽)
- <ロシア等と共同研究>

低線量率・長期被曝の人体影響のデータを地上と共有

閉鎖・異文化

- 少人数・異文化の共同生活 → 作業能力低下、疲労蓄積
- 医療過疎環境 → 心身変化進行の危険性

- ヘルスマニタリング技術、自律型の診断システムの開発 (宇宙の信頼性を適用)
- テレビ会議を用いた医師による問診 (掛かりつけ医)

在宅医療や医療過疎地・無医村での遠隔診療との技術・情報共有

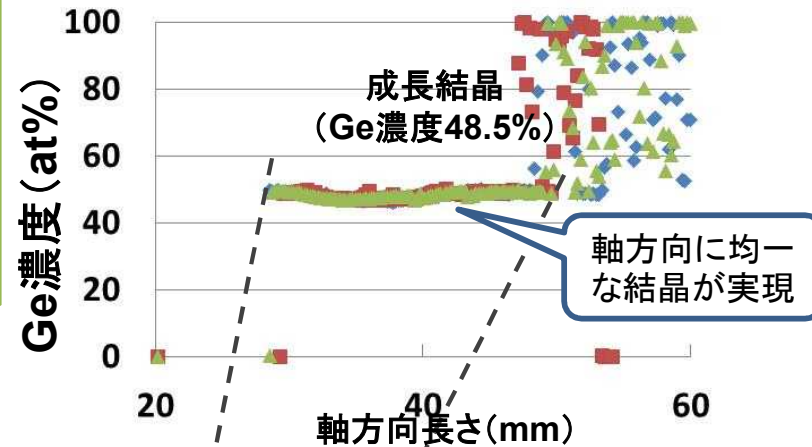
骨折や筋萎縮予防プログラムへの活用
 免疫機能維持の手法への活用
 (高齢者が健やかに老いる健康長寿社会へ)

3. 宇宙実験からの成果の蓄積(9/14)

④ 電子デバイスの高性能化等に繋がる物質・材料科学に関する学術的成果(1/2)

＜均一組成の次世代半導体結晶成長の研究（JAXA 木下恭一教授）＞（2013年3月～実施中）

- 新しい結晶成長方法(TLZ法:JAXA特許)を宇宙実験に用い、地上でも宇宙でも実現できなかった次世代の高性能半導体結晶である $Si_{0.5}Ge_{0.5}$ の大型結晶の製造に世界で初めて成功
- 地上での応用に向け、次世代高性能半導体の実用化の基礎となるデータを、対流による擾乱のない理想的な実験環境で取得



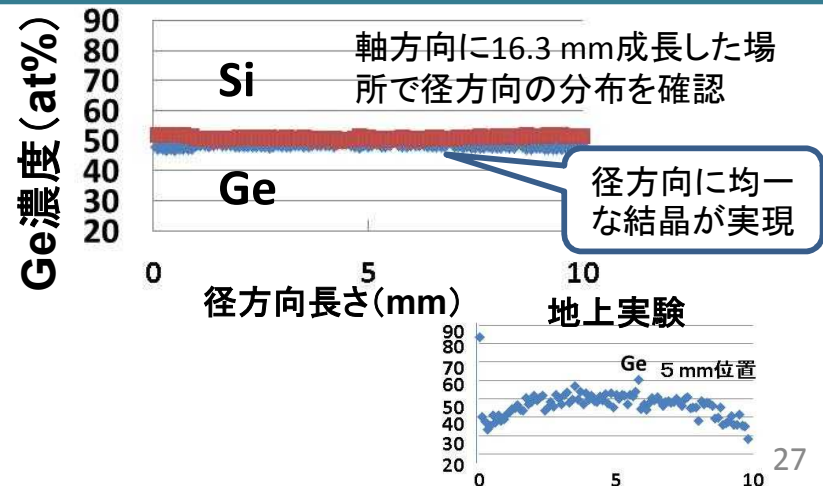
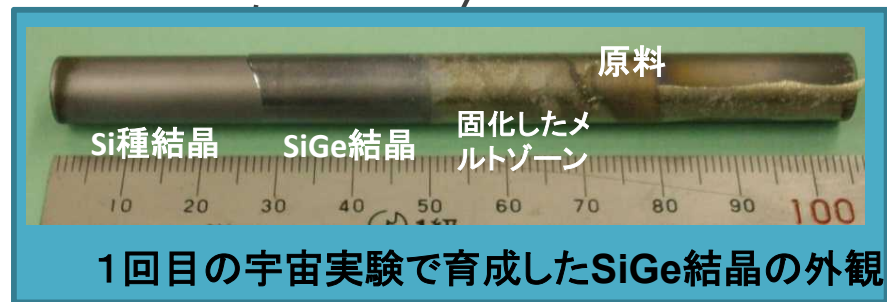
○「きぼう」での実験結果

- ◆ 直径10 mm、長さ17 mmの均一組成 $Si_{0.5}Ge_{0.5}$ 結晶の製造に世界で初めて成功。長尺化・大口径化に役立つデータを取得。
 - 地上では直径2mmが限界。「きぼう」では密度差対流がなくなったことで、均一組成の大きな結晶が実現。
 - TLZ法が均一組成バルク混晶の生成技術として有効であることを確認。(J. Crystal Growthで発表)



- ◆ この方法を地上で応用していけば、均一組成の混晶の製造の道が開ける。

- TLZ法の地上応用でコンピュータの低消費電力化、高性能化、小型化、高機能化が実現できると期待されている。
- NEDOの競争的資金を獲得し(H15～17年、H18～20年、H21～23年)、実用化を図り社会に普及させていくための取り組みを実施。

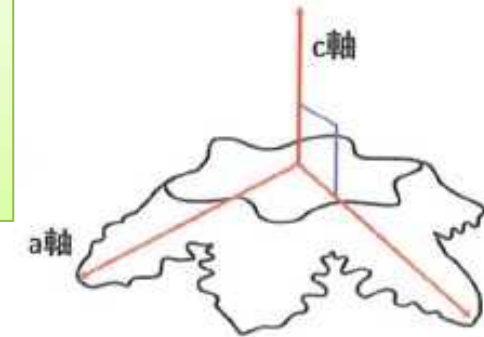


3. 宇宙実験からの成果の蓄積(10/14)

④ 電子デバイスの高性能化等に繋がる物質・材料科学に関する学術的成果(2/2) ＜氷を用いて結晶成長の仕組みを明らかにする研究（北大 古川義純教授）＞

(2009年4月～2010年10月実施)

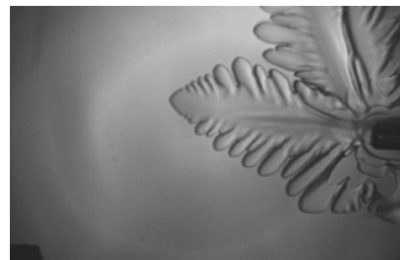
- 「水」は最も身近な物質。冷凍技術など生活に密接な現象にも関わらず、その結晶成長メカニズムは分かっていない。
- 対流のない宇宙での精密な結晶成長データから、新しい結晶成長理論を構築。査読付論文(J. Physical Chemistry B)で発表。
Nature Chemistryでも紹介された。



氷結晶の成長軸

○「きぼう」での実験成果

- 2つの成長軸(右図a軸とc軸)の成長速度の同時計測(「きぼう」で初めて実現)により、a軸方向の成長速度の変化が、c軸の成長の仕方と関連があるという新しい結晶成長理論を構築した。(J. Physical Chemistry Bに掲載、Nature Chemistryでも紹介)
- 対流の影響のない環境で精密なデータが得られていなかった、円盤状の成長について、円盤半径や厚みなどの経時変化を詳しく調べ、コンピュータシミュレーションも活用して新しい円盤成長のメカニズムを解明した。(Physical Review Eに掲載)



円盤状の氷結晶

「きぼう」で観察された形の対照的な氷結晶(左)と地上の氷結晶(右)

3. 宇宙実験からの成果の蓄積(11/14)

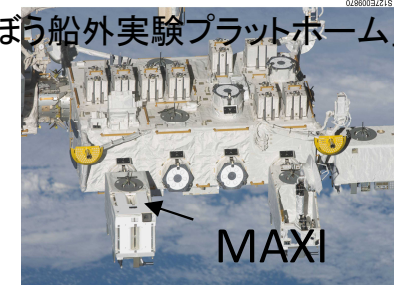
⑤ X線天文学の最先端の学術的成果 <船外の搭載装置による観測> (1/2) (2009年8月～観測中)

- 巨大ブラックホールが星を吸い込む現場を世界で初めて観測 (Nature誌、2011年)
- ガンマ線バースト(宇宙最大規模の爆発)の観測に成功 (Science誌、2014年)
- 極超新星爆発の痕跡発見(PASJ誌、2013年)、新星爆発初めのX閃光発見(Astrophysical Journal誌、2013年)
- ブラックホール発見競争で首位
- MAXI全天X線画像が教科書で採用(日米それぞれ1件)。国内複数のプラネタリウムでも上映
- NASA副長官が米国議会でMAXIの科学成果を1番目に報告(2012年3月28日)

1. MAXI とは

- 国際宇宙ステーション初の天体観測ミッション。
- 宇宙ステーションの自転(90分で1回転)を利用して宇宙のあらゆる方向から飛来するX線の強度と色を監視。発生時期を予測できない高エネルギー現象(ブラックホール天体の出現等)を検知し、世界中の研究者へ速報。地上や宇宙望遠鏡での追観測を促進。

「きぼう船外実験プラットフォーム」



2. 国際共同観測の成果

- **巨大ブラックホールが星を吸い込む現場を世界で初めて観測 (Nature誌、第476巻、421-424頁、2011年)**

米国のガンマ線バースト観測衛星(Swift:スウィフト)と連携して、地球から39億光年離れた銀河の中心部にある巨大ブラックホールが星を吸い込む瞬間を世界で初めて観測。X線の強さと変動の様子から、X線を放射しているのは光速に近いジェットであることが初めて確認された。この突発現象の発見は、全天常時監視ならでの成果。

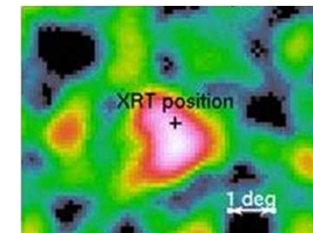


- **異例なほど近傍でガンマ線バースト(宇宙最大規模の爆発)の観測に成功 (Science誌、第342巻、48-51頁、2014年)**

ガンマ線バーストとしては地球の“近傍”で発生したため、強いX線とガンマ線が地球まで届いた。このガンマ線バーストからのX線残光をMAXIは捉えた。MAXIはこの観測的研究に他の天文衛星や地上望遠鏡と共に貢献した。



ガンマ線バースト想像図



MAXIで取得した画像

3. 宇宙実験からの成果の蓄積(12/14)

⑤ X線天文学の最先端の学術的成果 <船外の搭載装置による観測> (2/2)

3. 最近のMAXIの成果(一部)

➤ 極超新星爆発の痕跡を発見 (PASJ誌、第65巻、14-1から14-8頁、2013年)

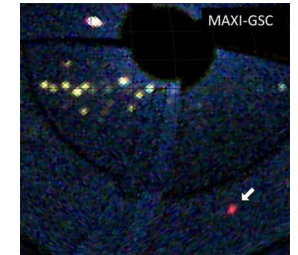
白鳥座方向に”極(きょく)”超新星爆発の痕跡を発見した。この爆発は、通常の超新星爆発の100倍も大きなもので、我々の住む天の川銀河では、極超新星もその痕跡もこれまでみつかっておらず、天の川銀河内での世界初の発見。



MAXI搭載X線CCDカメラによる全天画像

➤ 新星爆発初めの火の玉から放たれたX閃光を発見 (Astrophysical Journal誌、2013年)

新星爆発が開始した直後に生じた火の玉のX線観測に世界で初めて成功した。通常の新星爆発の約100倍の明るさであったため、新星の理論に大きな影響を与えており、MAXIの観測結果を理論的に解明する取り組みが複数進行中。



新星爆発の瞬間を捉えたMAXIによる撮像画像。

4. MAXIの新天体、突発天体現象の検出実績数

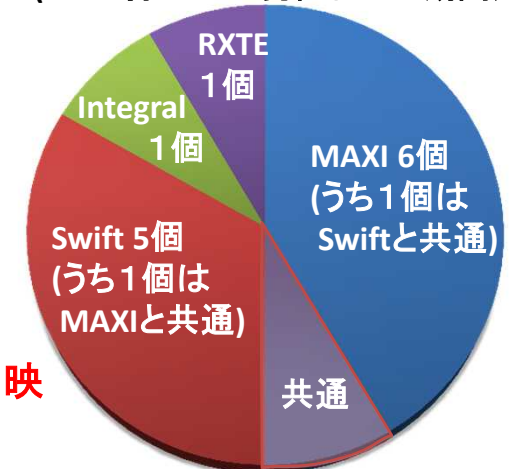
➤ ブラックホール発見競争で首位

MAXIが稼動開始した2009年8月から2014年3月までの間に、MAXIと他のX線天文衛星(Swift, Integral, RXTE)が発見したブラックホールの個数を比較した(右図)。MAXI稼動開始後に発見されたブラックホールの半数をMAXIが発見している。

➤ MAXIの新天体、突発天体現象の報告件数 (2014年4月13日現在)

Astronomers' Telegram (<http://www.astronomerstelegam.org/>)に全147件。
The Gamma-ray Coordinates Network (<http://gcn.gsfc.nasa.gov/>)に全50件。
これらの速報は学術的に正式な報告として扱われ、査読論文等で引用される。また、世界規模の追観測実施の起点となる。

ブラックホール発見数12個の内訳 (MAXI打上から現在までの期間)



5. その他、教育への波及等

➤ MAXI全天X線画像が教科書で採用(日米それぞれ1件)。国内複数のプラネタリウムでも上映

➤ NASA副長官が米国議会でMAXIの科学成果を1番目に報告(2012年3月28日)

米国議会で行われた宇宙ステーション利用に関する証言の中で、NASAゲストインマイヤー局長(有人探査担当)は、宇宙ステーションで実施されている多数の科学研究、技術実証、教育支援プログラムのハイライトとして10件を選び報告した。10件のうち最初に報告されたのがMAXI。2番目は、1000億円規模の宇宙線粒子物理の実験。

3. 宇宙実験からの成果の蓄積(13/14)

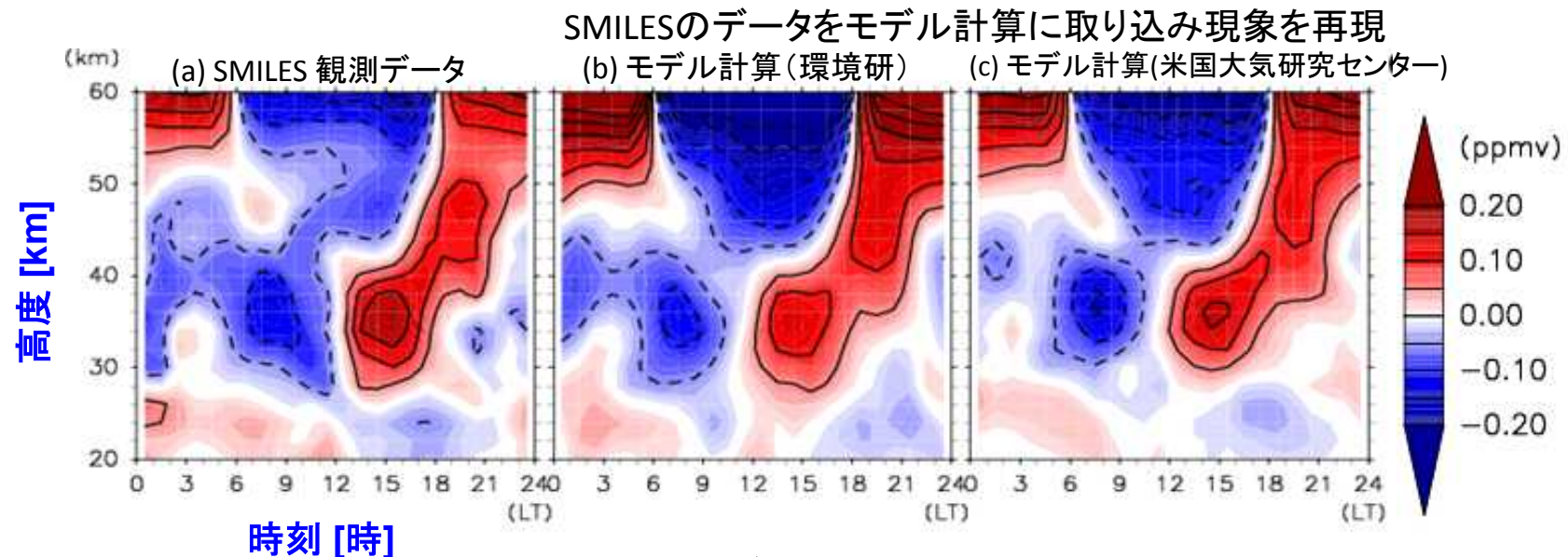
⑥ 災害等の規模・状況把握に繋がる情報の提供

● オゾン層と、オゾン層を破壊する化学物質の観測(SMILES) (2009年10月~2010年4月)

- 成層圏でのオゾンの日周変動(一日の時間帯による変化)の観測(世界初)を初めとして、これまでの衛星観測では検出が困難な大気成分の定量的な把握に成功するなど、大気化学研究の進展に貢献(査読付き論文の発表約50件。うち25件は世界的な学術雑誌に収録)。

(J. Geophysical Research (Atmosphere)誌、Atmospheric Chemistry And Physics誌、Atmospheric Measurement Techniques誌等)

- 成層圏においては、観測時間帯による変動はほとんど無いと従来は見なされていたところ、日周変動を明らかにしたことで、衛星観測データを利用して長期変動を論議する際には、観測データの観測時間帯を考慮すべきことが判明した。



成層圏でのオゾンの日周変動

3. 宇宙実験からの成果の蓄積(14/14)

⑥ 災害等の規模・状況把握に繋がる情報の提供

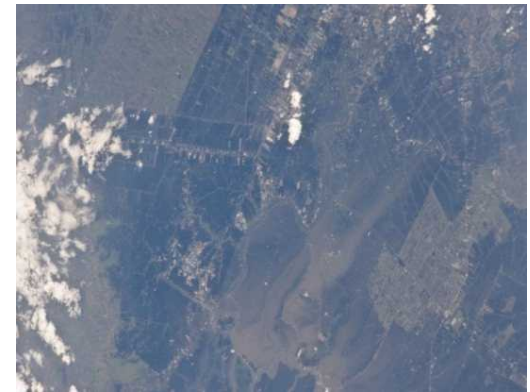
- 宇宙飛行士が、ISSから「観る」運用の柔軟性を活かして、宇宙飛行士がISSから災害状況等を観測
- 「きぼう」船外実験プラットフォーム設置のハイビジョンカメラは、センチネルアジア・国際災害チャータを通じて災害時の被災地観測に貢献
 - センチネルアジアへの被災地撮影映像の提供開始(2013年6月)
 - 国際災害チャータへの正式登録(2013年11月国際災害チャータボード会合)。



古川飛行士がタイ洪水をISSから撮影
(2011年10月24日撮影)

船外ハイビジョンカメラによる被災地撮影映像の提供実績

観測日	観測対象	観測要求元
2013年6月	インドネシア、スマトラ島 森林火災(①)	National Institute of Aeronautics and Space of Indonesia (LAPAN)/Sentinel Asia Initiative
2013年8月	台風12号による フィリピン洪水災害	マニラ観測所/Sentinel Asia Initiative
2013年8月	島根県地域の洪水災害	広島工業大学/Sentinel Asia Initiative
2013年11月	台風30号によるフィリピン 洪水災害(②)	ASEAN防災人道支援調整センター(AHA Centre) 及び関係機関(フィリピン気象庁他)/ Sentinel Asia Initiative



←①インドネシア・スマトラ島森林火災画面

左端に観測要求地域リング諸島周辺を含む海域(日本時間 2013/6月)



②台風30号によるフィリピン洪水→

4. 国際協力による外交上のプレゼンス向上への貢献(1/2)

【成果】

- 「きぼう」、「こうのとり」の着実な開発・運用で存在感を発揮し、国際パートナーからの信頼を得ており、宇宙先進国としての地位を確立。
 - 国際協働による宇宙探査計画の技術検討を進める国際宇宙探査協働グループ(ISECG)(14宇宙機関が参加)において議長国を務めた(～2013年4月)。
 - 宇宙探査の政策的議論を行う国際宇宙探査フォーラム(ISEF)を、初回米国に続き、日本で開催することが決定。
 - NASAから米国民間輸送機「シグナス」の運用訓練や運用支援を受託。
 - ロシアとタンパク質実験、メダカ実験、放射線計測の協力を実施。
 - NASAは、「きぼう」の特徴を活かした衛星放出機構を積極的に活用。
- アジアのISS非参加国の多く(マレーシア・ベトナム等)は、「きぼう」利用を通じた日本との協力関係の発展を強く希望しており、日本の国際的プレゼンスが向上。
 - マレーシアとのタンパク質結晶生成実験をこれまでに6回実施。
 - 「きぼう」の特徴を活かした衛星放出機構を用いて、ベトナム宇宙機関／東大連携の超小型衛星の利用機会を提供。
- アジア・太平洋地域宇宙機関会議(APRSAF)を通じて、植物種子の成長観察実験や航空機による微小重力教育実験などの共同イベントを実施。
 - 植物種子の成長観察実験:2013年は7カ国で1,300名以上参加し、うちマレーシア宇宙局は独自のコンテストを開催(39,500名参加)。

【今後の課題】

- 今後の継続的な運用や技術実証により、国際宇宙探査等で日本の地位を確固たるものにしていく必要。

4. 国際協力による外交上のプレゼンス向上への貢献(2/2)

● アジア諸国への「きぼう」利用の推進

○APRSAFを通じたキャパシティビルディングを中心とした協力推進

- 植物種子の成長観察実験や航空機による微小重力教育実験などの共同イベントを実施。これらを通じて、アジア地域の人材育成・教育目的、参加宇宙機関の人材育成を支援*。当初4カ国の参加が2年半で7カ国に拡大するとともに、マレーシアやベトナムはバイの協力でシフトするなど確実に浸透。

*アジアのISS非参加国にとっては、自国で者に宇宙関連の教育機会を提供することは容易でないため、関係国から国連等で日本に対する謝意が繰り返し述べられている。

- ✓ 2013年に実施した植物種子実験では、7カ国で約1,300名以上の学生・教員が参加したほか、マレーシアにおいては、JAXAの支援により宇宙局(ANGKASA)が「きぼう」での植物実験関連の実験コンテストを開催。39,500名の若者が参加し、宇宙分野における日本のプレゼンス向上に寄与。
- ✓ 航空機による微小重力教育実験では、これまでに3か国15実験を実施。
- 各国での宇宙環境利用に関するセミナーの開催を行うとともに、日本で研修生を受け入れるなど、人材育成を支援。

○宇宙環境利用の実績および技術基盤を有する宇宙機関の2国間協力

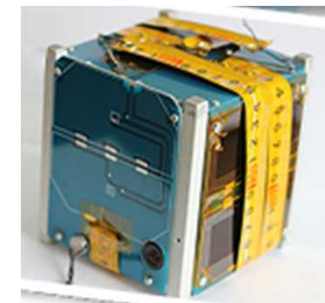
- 実費負担による、マレーシアとのタンパク質結晶生成実験をこれまでに6回実施(2009年～2012年)。国際会議(APRSAF)にて、マレーシア国内での産業振興・人材育成(博士号取得者8名、修士号取得者7名)への貢献成果として、マレーシアから報告されている。現在、継続実験の計画調整がマレーシア国内で進行中。
- 「きぼう」の特徴を活かした超小型衛星放出システムを用いて、ベトナム宇宙機関/東大連携の超小型衛星に利用機会を提供。なお、ベトナムは2回衛星放出しているが、1回目はNASAを通じて実施(2012年10月)、2回目は日本の機会利用に切り替え(2013年11月)。



植物種子の成長観察実験



航空機による微小重力教育実験



PicoDragon
(東京大学/ベトナム国家衛星センター/(株)IHIエアロスペース)

5. 青少年の育成(1/2)

【成果】

- 子供の理科離れが指摘される中、日本人宇宙飛行士が活躍するISS計画、すなわち最先端の有人宇宙活動への参画により、青少年の科学技術への興味や関心を高め、科学技術教育、ひいては将来の我が国を支える科学技術人材の育成に貢献。
 - 日本人宇宙飛行士のISS長期滞在機会を捉え、子供達との交信イベントの実施、微小重力を使った教育実験の実施、地球帰還後の帰国報告会や講演活動などを実施。
 - JAXAが保有する有人宇宙関連の写真・映像等は、教科書・図鑑・テレビ情報番組・プラネタリウム等、多方面で利用されている。
 - 写真・映像： 4,171件(JAXAへの全申請件数の約40%)(そのうち、宇宙飛行士関連が1,862件)(平成25年度実績)
 - 教科書への掲載： 小中学校理科の教科書の他、平成23年度には小学6年生国語の教科書にも掲載
 - 報道等： JAXA関連報道(TV:約1,000件、新聞:約2,700件)のうち、約50%は有人宇宙関連。中でも宇宙飛行士関連の報道は、有人宇宙関連の約8割を占める。(平成25年度実績)

【今後の課題】

- 我が国が将来にわたって科学技術立国、宇宙先進国であり続けるためには、国際的な有人宇宙活動で中核的な役割を果たすなど、青少年が科学技術に夢や誇りを持てるような活動を継続していくことが必要。

5. 青少年の育成(2/2)

① 日本人宇宙飛行士との交流

● ISSとの交信イベントや講演活動

日本の小中学生とISSに長期滞在中の日本人宇宙飛行士とのライブ中継交信イベント(計約20回)や、ISSとのアマチュア無線による交信イベント(約30回、NASA教育プログラム)の他、地球帰還後の帰国報告会、筑波宇宙センターの特別公開、東日本大震災の被災地訪問などを含め、数多くの講演活動などで子供たちと交流を行い、科学技術への興味を喚起。



② 宇宙での教育実験や映像提供を通じた理科教育への貢献

● ハイビジョン・アースビューへの映像提供

広報・教育を目的として、「きぼう」船外に取り付けた民生HDTVビデオカメラを用いて、地球観測映像(動画)を、インターネットを通じてリクエストした学校等へ無償配信する試行サービスを2014年1月から開始(配信実績11件)



● 教育実験

- 小中高生等を対象とした植物種子実験:
アサガオ／ミヤコグサ212団体、ヒマワリ30団体参加
- 宇宙飛行士がISS滞在中に、無重力を使った理科実験を実施し映像を公開

● 教材としての採用

小中学校の理科教科書その他、「宇宙連詩」の国語教科書掲載(平成23年度小学6年生)

