

超小型探査機プログラムによる 惑星探査を支える人材の育成

東京大学 理学系研究科 杉田精司

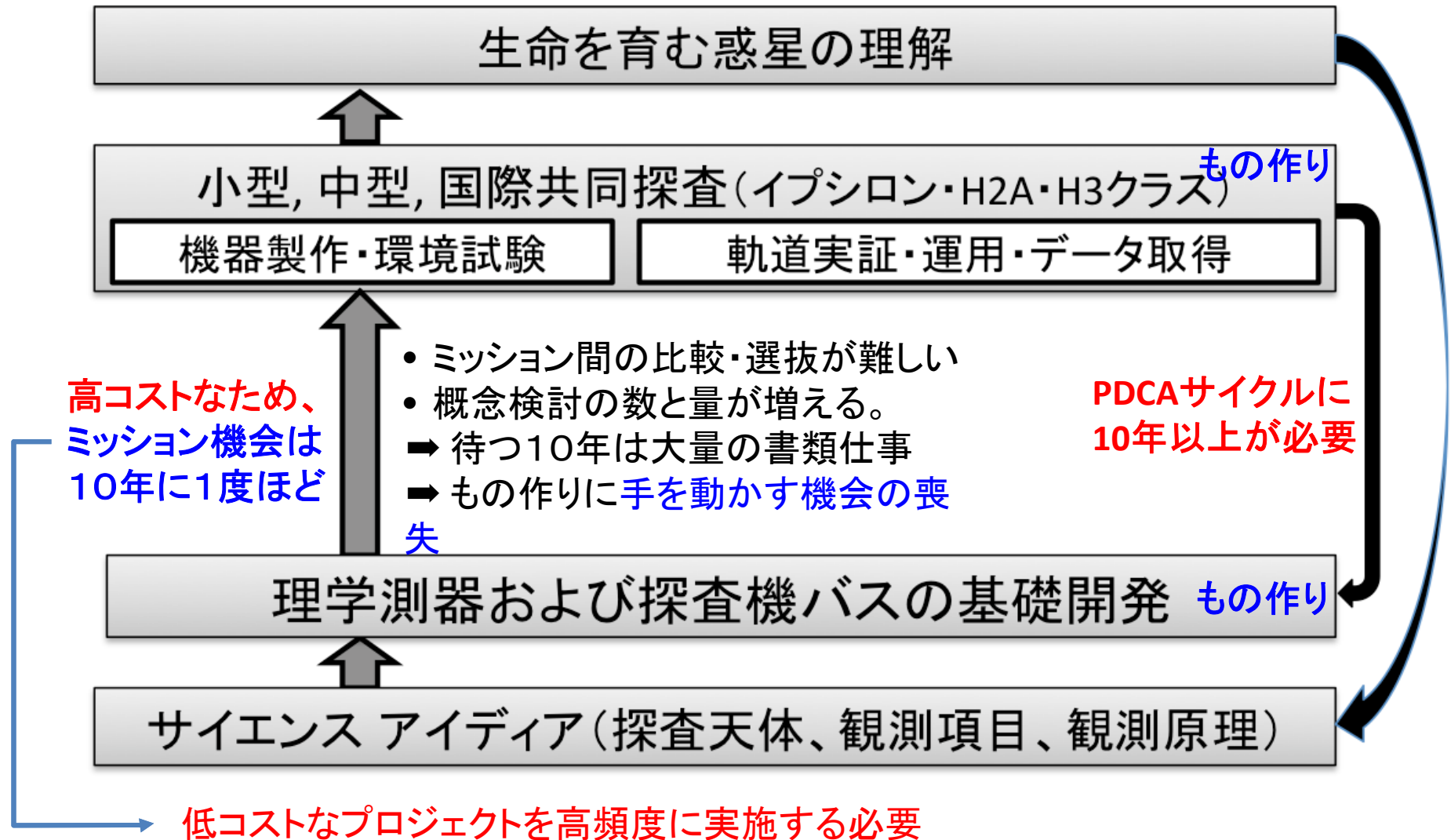
第5回宇宙科学・探査小委員会

H28年5月16日

惑星科学の現状

- 惑星理論、物質分析、室内実験などの分野は世界をリードしている。
- 発展途上なのは探査分野
 - マンパワーが絶対的に不足! (プロジェクト間での人材奪合い)
 - 搭載機器の開発能力を持った人材。
 - 大プロジェクトを俯瞰的かつ緻密に主導できるリーダー。
 - 原因:
 - 実績、実証が物を言う世界。
 - 惑星探査の技術実証やプロジェクト経験の機会が極めて少ない。
10年に1度程度の機会では、人材育成は困難。
 - ミッション機会獲得のために大量の概念検討(ペーパー)プロジェクト
➡ 優秀な人材を惹きつけにくいし、集まった優秀な人材にも経験を与えられない(二重苦の構造)。
 - 少機会の原因は、惑星探査機の1機あたり予算が巨額なこと。
例えば、最も近い天体(月)への着陸実証でも100億円規模。
 - 惑星探査の真髄は、接近/大気突入/着陸による「その場観測」にある。
データ取得にも技術実証にも惑星への到達が必須。

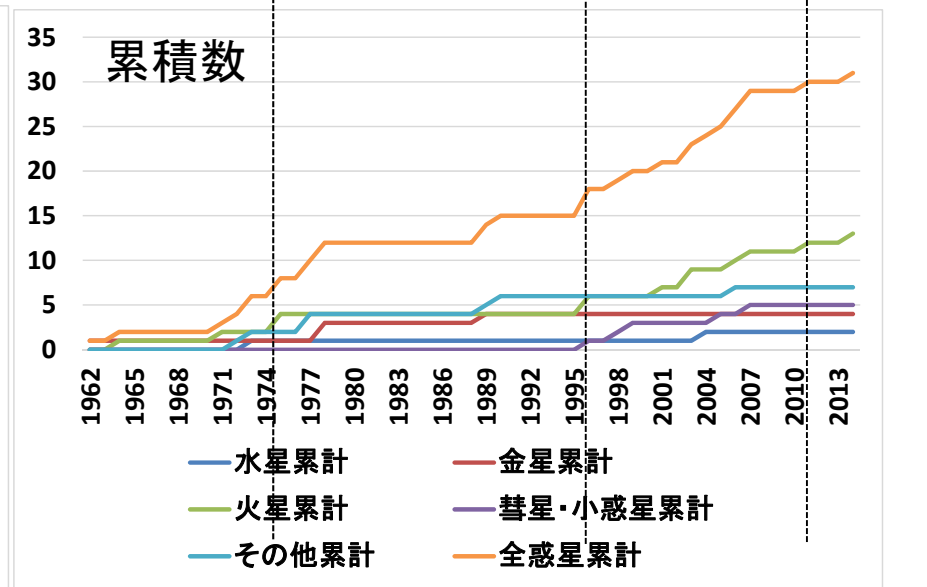
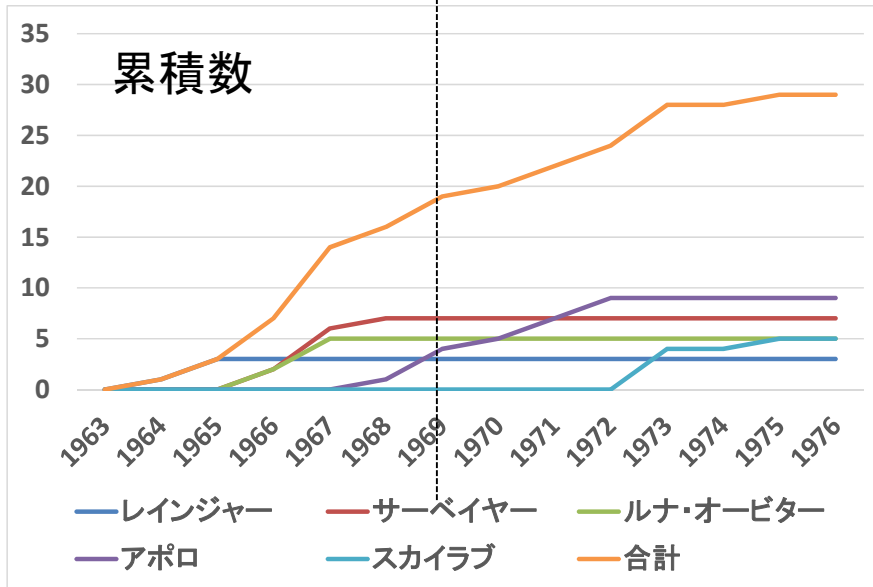
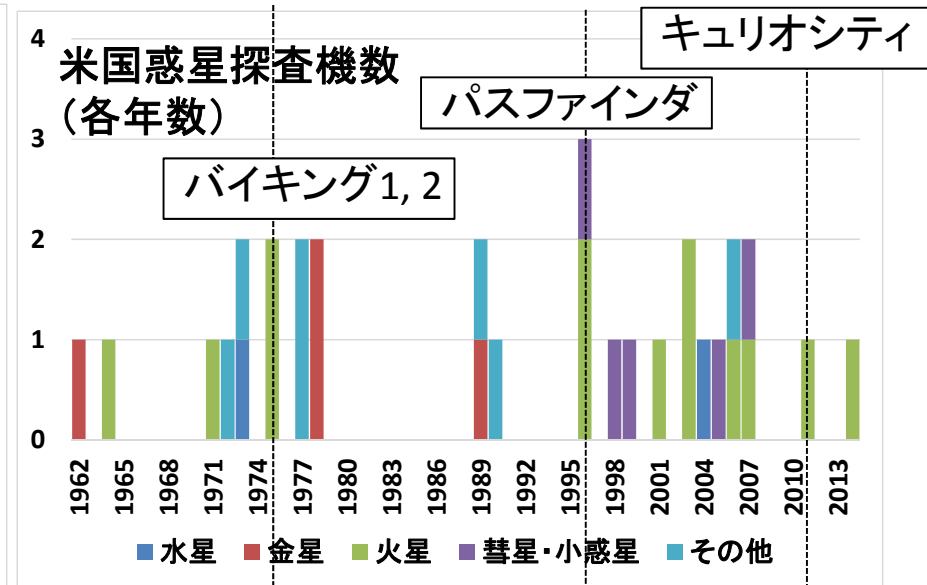
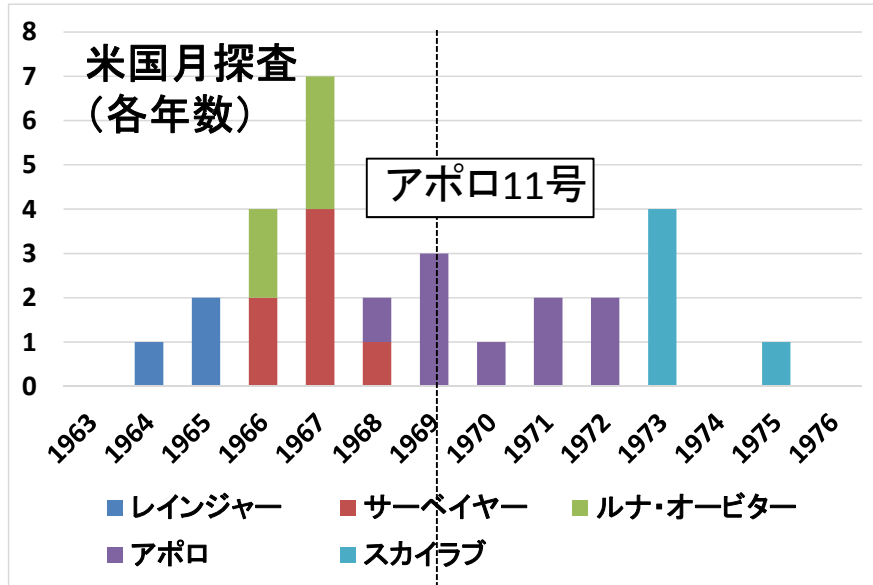
技術・人材の育成サイクル(現状)



低コスト化による機会創出と高い科学目標の両立

- 単なる低コスト化による機会増だけでは不十分。
 - 世界最先端を攻められず、単なる「練習」になってしまう。
 - 技術開発を担う人材もリーダーも育たない。
 - 分野の魅力が減退し、若い才能を惹きつけられない。
- 高い科学目標と高頻度の両立が必要
 - Best & Brightestの人材を惹付けるには、誰もやったことのない**未知の領域への挑戦**(高い科学目標)が必要。
- 過去の事例
 - 米国の宇宙開発ではコスト度外視で推進した。
 - アポロ計画では、巨額の探査機を多数打上げて、高い目標と高頻度の機会を両立させた(p.5)。
 - 日本の天文、STP分野は、**気球**や**観測ロケット**で経験を得た。
 - コンパクト/高頻度で且つ**世界最先端の科学成果**を狙う(p.6)。

米国の月惑星探査機打上げ数



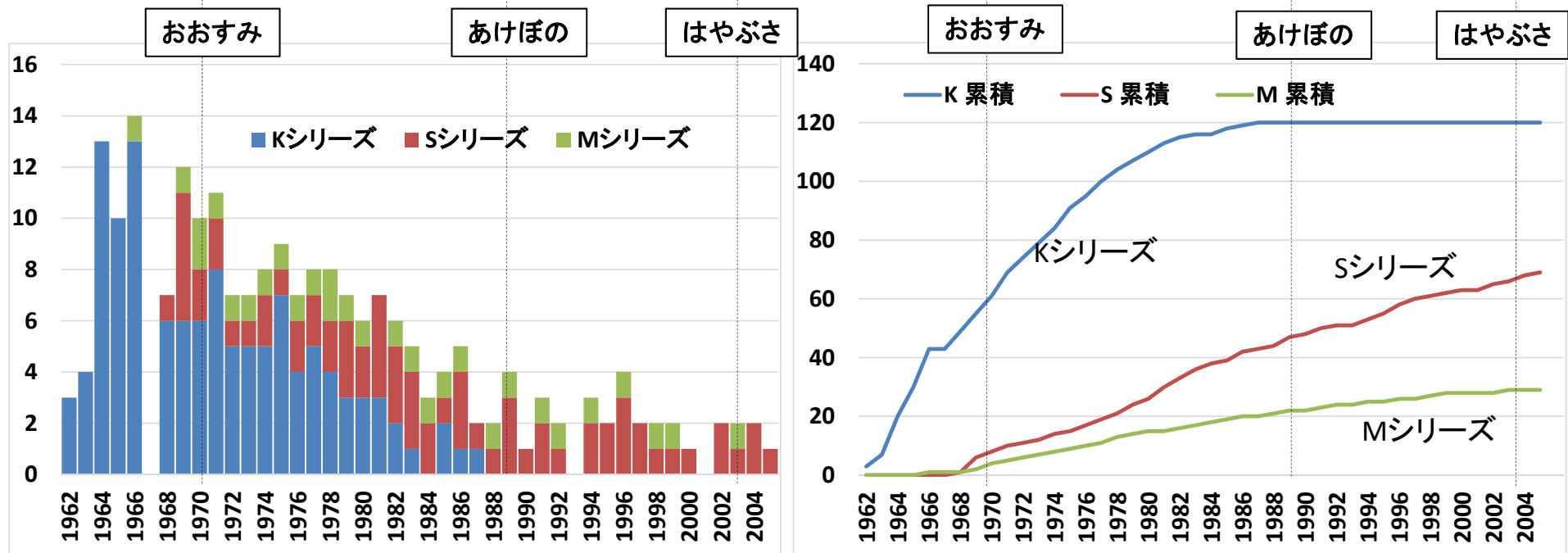
月と惑星のそれぞれで30機ほども打上げている。

宇宙研の観測ロケットプログラム

- 天文、STP分野は、**気球**や**観測ロケット**で技術・経験を得た。
- コンパクト/高頻度で且つ**世界最先端の科学成果**を狙う。

宇宙科学研究所の観測ロケット打上げ実績(内之浦)

各シリーズの説明: <http://www.isas.jaxa.jp/j/enterp/rockets/sounding/>

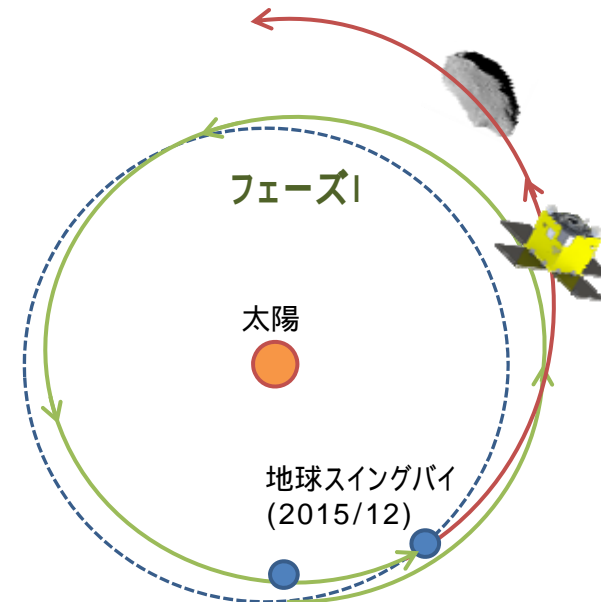
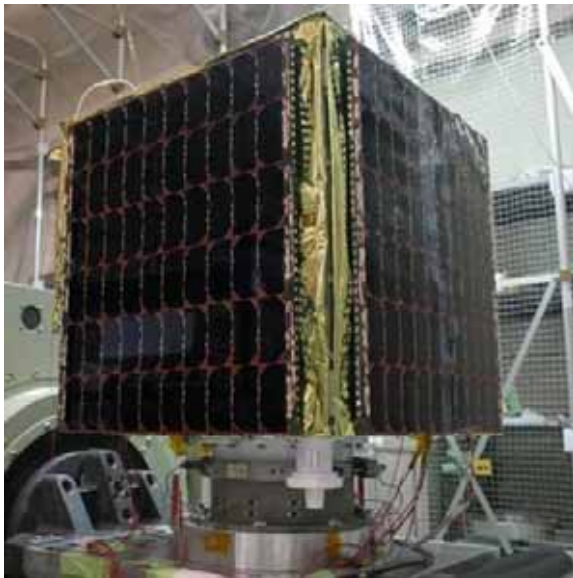


60~70年代の宇宙研ロケット打上げ数は、米国の月探査計画の打上げ数を凌駕。

- **惑星探査分野にも観測ロケット的な実証観測プログラムが必要!**

世界初の超小型惑星探査機 プロキオン(PROCYON)

- マイクロサットによる世界初の惑星間航行



打ち上げ(2014/11/30)

- 科学成果例: 地球の水素コロナの撮像に成功
 - 地球水素コロナの全体像撮像は世界初。
 - 地球イオン圏の構造理解に大きく貢献。

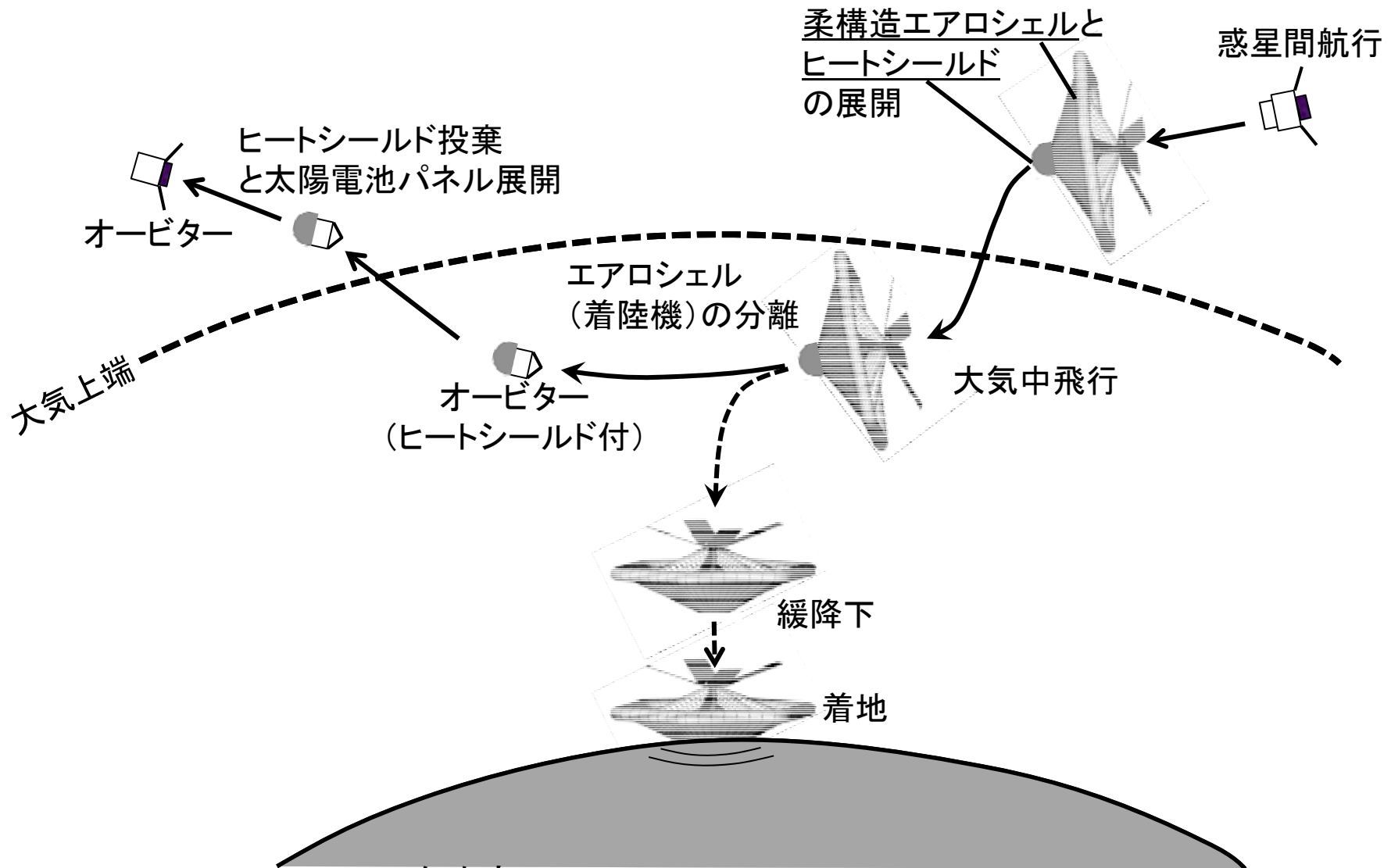
世界と日本の超小型衛星・探査機

- 急速に発展する世界の超小型衛星プログラム
 - 1999年にCanSat(弾道飛行)が、2003年にCubeSat(地球周回)が成功。
 - 2010年代には、民間の本格参入でCube Sat打上げ数が爆発的に増加(2014年は100機/年以上)。
- 日本の活躍
 - CanSatやCubeSatにおいて、東大をはじめとする日本の大学は世界を常に主導。
 - CanSatやCubeSatに参画した当時の学生たちは、現在の中型計画の工学中核メンバーとして活躍中。
- 超小型の新たな新時代
 - 2014年に惑星間航行が超小型探査機PROCYONで実証され、また新時代が始まった。

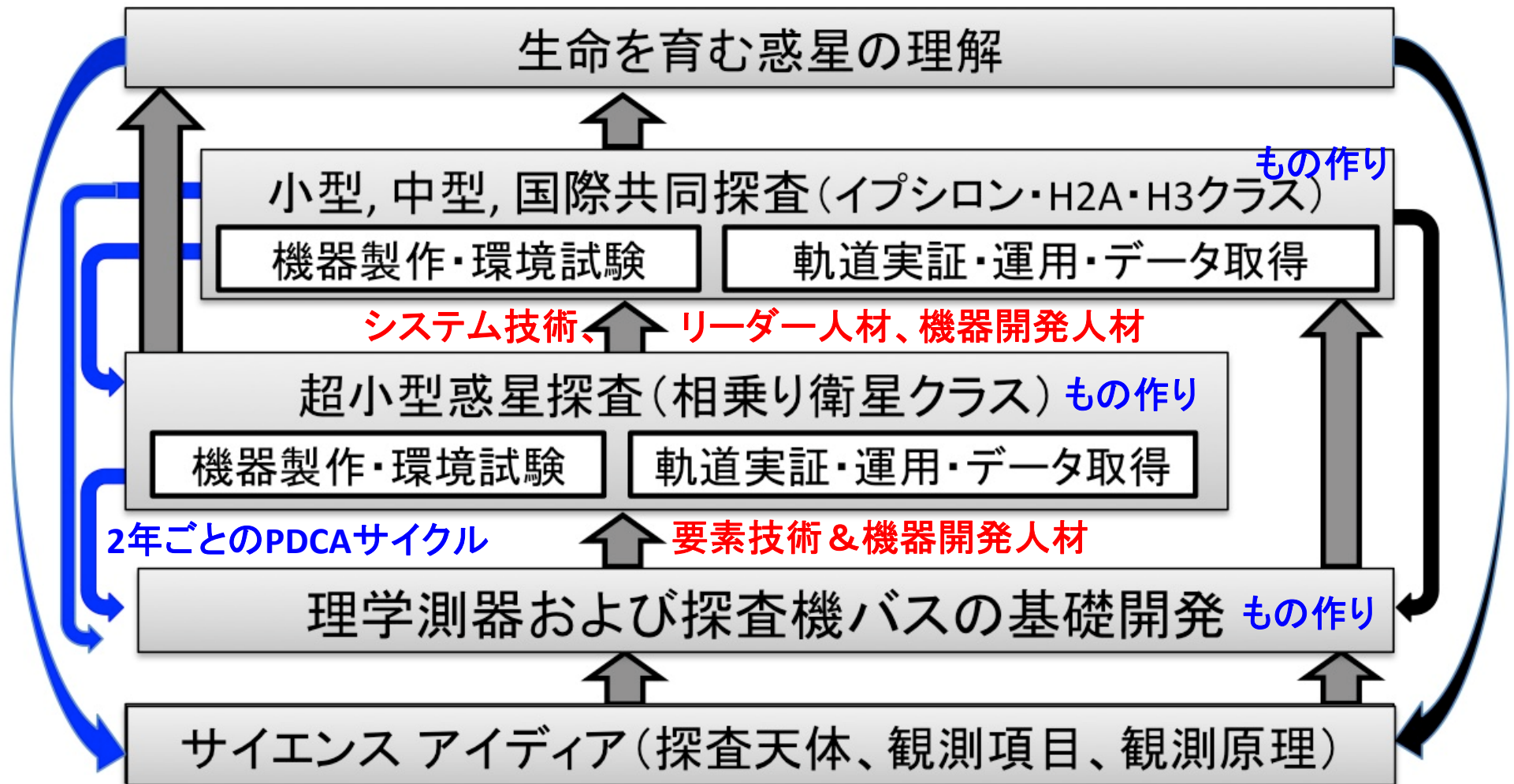
超小型機に期待される多様な探査

- 未踏破型探査 (例: 小天体フライバイ)
 - 小惑星、彗星
- 実証型探査 (例: 惑星大気突入・着陸)
 - 火星、金星
- 大型機との連携探査 (例: 太陽風モニター、子機着陸)
 - 木星氷衛星系、小天体探査
- 系外惑星観測 (例: 低質量星周りの若い惑星)
- 粒子計測器 (質量分析装置) と光計測器の搭載
 - 惑星のハビタビリティ検証
 - 液体の水、有機物、エネルギー源 (熱非平衡度) の調査
 - 惑星系形成過程の検証 (原始太陽系星雲の物質循環)
 - 同位体比不均一性の起源の解明 (e.g., $\Delta^{17}\text{O}$, $\Delta^{33}\text{S}$)
- 惑星科学分野、STP分野、系外惑星分野など、**広汎な分野の人材育成**に貢献できる可能性がある。

展開型柔構造エアロシエルによる惑星大気直接投入の概念図



技術・人材の育成サイクル(今後)

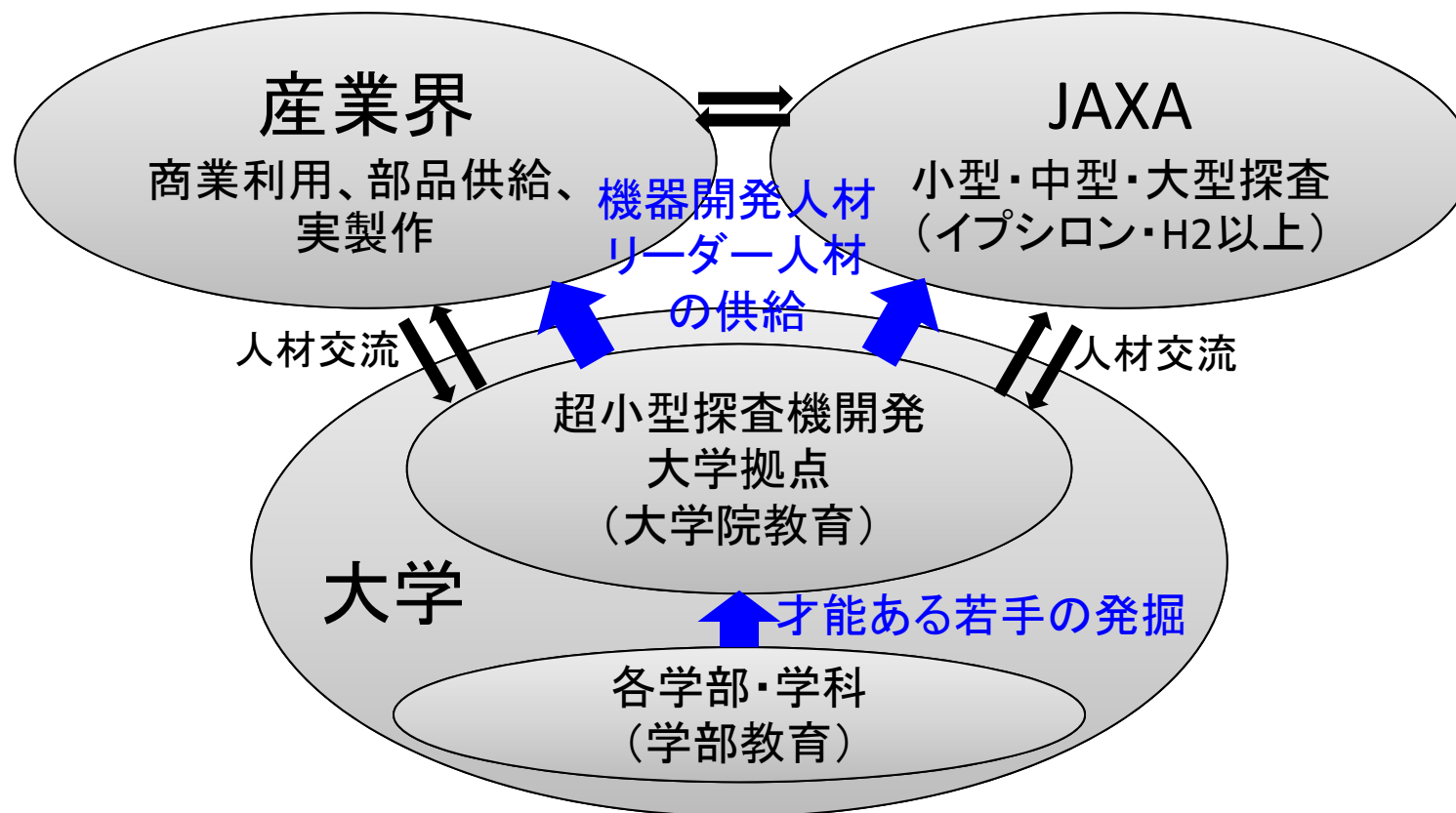


超小型探査の基本戦略

なぜ低コストで最先端成果を出し得るのか？

- PDCAサイクル高速化による探査プログラム全体の最適化が鍵!
 - 単機同士の比較: **スケールメリット**のため、大規模探査が費用対効果で勝る。
 - ∵ 一般に、ペイロード／バス重量比は大探査機が勝る。
 - ∵ 多機器の総合計測では、バラバラな個別計測より高価値データを得られる。
 - プログラム同士の比較: 小規模探査に勝機あり。
 - 探査成功率には、**各部品の信頼性**と**システム設計の信頼性**が掛算的に効く。
 - 大型探査: **極限まで信頼性を高めた部品・製作法**を使い、毎機の成功率を最大化。しかし、高コストのため探査機会が限られ、システム信頼性の向上速度は低い。
 - 超小型探査では、**打上げ頻度(=改良機会)**を増やして**信頼性を急速に向上**。
→ **プログラム全体の長期的なコストパフォーマンス**を上げる。
 - 超小型探査プログラムの成功には、**高頻度の継続実施が必要**。
- 新技術の黎明期には低コストで魅力ある挑戦が可能。
 - 超小型惑星探査の時代は始まったばかり。**日本は現時点で世界一!**
 - 世界に先んじて本格的な取組みを開始することが必要。
 - 今すぐ始めることが必要(追い抜かれてからでは遅い)。

学生教育フローの概念図



- 多様な学部・学科の卒業生が超小型探査機開発拠点に参画できる仕組みが望ましい。
- 超小型探査機開発拠点の活動は大学院教育に取り込み、JAXAと大学の連携で推進すべき。
- JAXAおよび産業界から若手研究者・技術者が参画しやすい仕組みを整備すべき。

整備すべき体制

- 高頻度の実施を継続的に
 - 2年に1機ほどの頻度で継続的に超小型探査機・衛星を打上げられる体制の整備
 - 急に生じる相乗り機会への**即応能力**整備：大学開発拠点の整備
 - **低コスト機会**の利用：国際宇宙ステーション(ISS)からの放出衛星
- 人材評価の観点
 - 機器開発・技術開発自体も積極的に評価対象にすべき。
- 人材還流の仕組み
 - JAXAや産業界と大学の間での柔軟な人材交流制度
 - 複数大学拠点間の人材交流

産業界への波及効果

- 優秀で経験豊富な人材の供給
 - 魅力ある科学目標で宇宙分野へ優秀な人材を惹きつけ、経験を積んだ後に産業界に送り出す。
 - 産業界との間での人材還流の場を提供。
- 技術開発機会の提供
 - 高い耐久性能・信頼性を要する惑星間航行や新規技術を要する着陸などを超小型探査機で実証する機会を提供
 - ➡国内宇宙産業の技術力向上 & コスト低減

注意点・検討課題

- 超小型探査機で全てできるわけではない！
 - 大型探査と超小型探査は相補的に使うべき。
 - 網羅的観測、超高精度観測、多機器総合観測には大型探査が必要。
 - 個別に測るより効率が良く、解析・解釈も自然にできる。
 - 新原理・新技術の実証やニッチ的観測には超小型探査が適する。
 - 大型プロジェクトには、小規模プロジェクトにない難しさが伴う。
 - 大型プロジェクトへの参画でしか培われないノウハウ・能力もある。
- 定常的な打上げ機会のどう確保すべきか？
 - 静止トランスファー軌道(GTO)打ち上げ機を利用できれば、打上げ頻度は飛躍的に増大。
GTOから火星・金星遷移軌道には、 $\Delta V=1\sim 2\text{km/s}$ の加速で十分。
- どうやって全国の大学に広く門戸を開くのか？
 - 地球周回衛星のコミュニティとの結びつきを利用？