

# 宇宙科学ミッションの 考え方について

上野 宗孝  
宇宙科学研究所

*Munetaka UENO*

*ueno@stp.isas.jaxa.jp*

*Institute of Space and Astronautical Science (ISAS)*

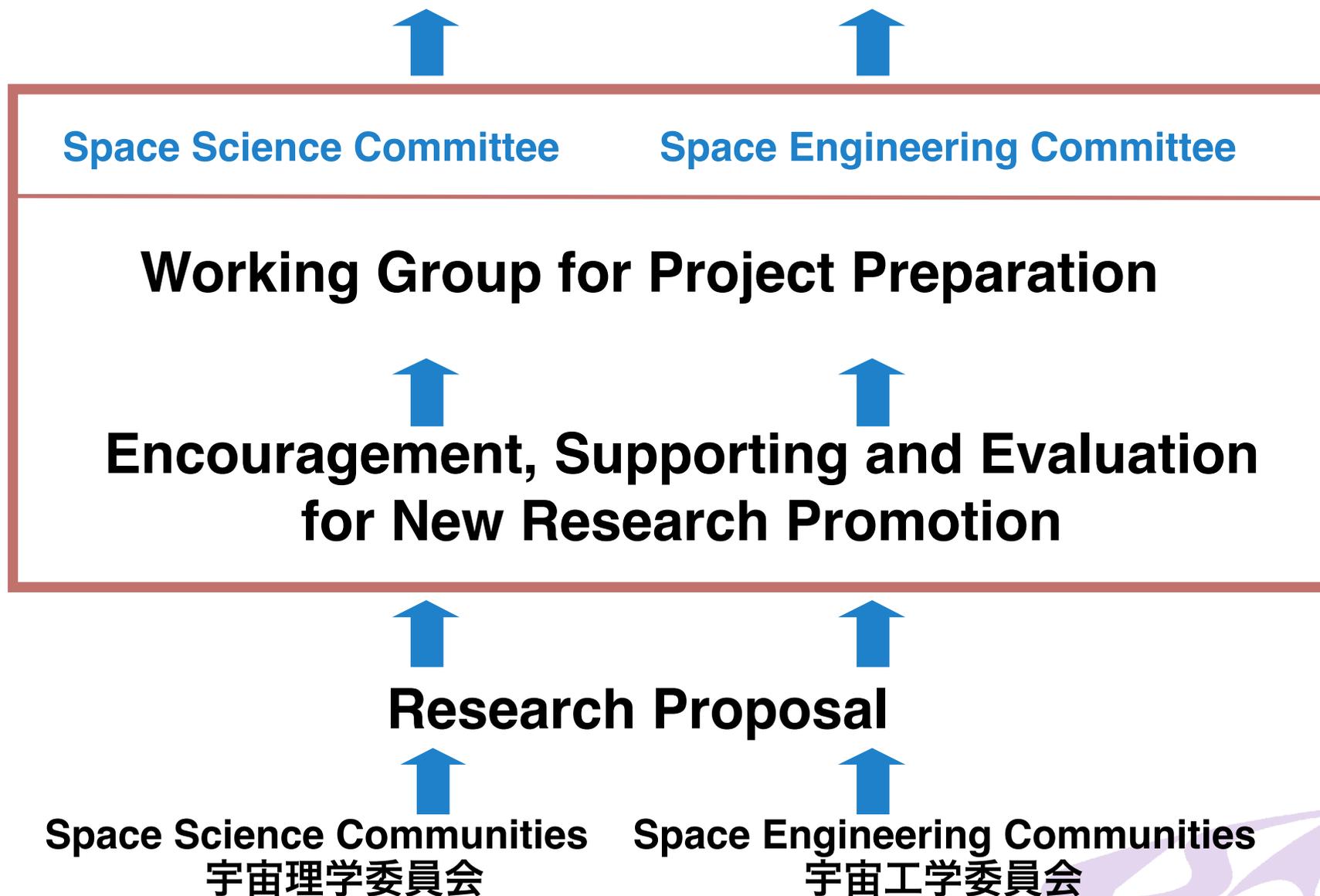
*Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)*



# Project Creation in ISAS as an inter-university institute



## ISAS Space Science Projects



## 宇宙理学委員会における WG, RG



	WG	RG
目的	具体的なミッション提案を行い、プロジェクト化を目指す	概念的なミッション検討を行い、WGを目指す
設置・設立	審査委員会(宇宙理学委員会内に常設)による設置審査。	宇宙理学委員会においてプレゼンの形で設置提案、審査。
終了(目標達成)	ミッション提案採択、プロジェクト化。	WG設立審査を経てWG化
終了(目標未達時)	規模に応じて宇宙理学委員会にて終了報告 または審査委員会による終了審査	宇宙理学委員会にて終了報告
期限	3年	3年
継続	審査委員会による継続審査	宇宙理学委員会においてプレゼン形式で延長提案、審査。
戦略的開発研究費	応募できる	応募できない
搭載機器基礎開発費	応募できない	応募できる
年次報告	必要	必要
活動旅費	戦略的開発研究費の中に含まれる	旅費のみ申請できる (年間50万円まで)

## Project selection process



ID	ロードマップの考え方	別称等	資金規模・			想定プラットフォーム	PMプロセス		開発期間	立上形態(公募選定者) 公募頻度
							プリプロ前審査	PM実施規模		
1	戦略的に実施する中型計画	・フラッグシップ ・大型衛星・探査機	300億程度			・H2A× (1 or 1/2)	MDR、SDR 分離(?)	カテゴリ1 (JAXAレベル)	5-10年程度	・公募 <理+工>*協*所 ・10年に3回
2	公募型小型計画	イプシロン搭載宇宙科学ミッション	100-150億程度			・イプシロン ・イプシロン×小型科学衛星バス	(MDR&SRR 合体)=>分離へ(?)	カテゴリ1	4-5年?	・公募<理+工>*協*所 ・2年毎
3	多様な小規模プロジェクト群	小規模プロジェクト	カテゴリA	10-100億	実施経費~10億/年	・海外衛星 ・JEM曝露部 ・ピギー衛星 ・(観測ロケット) ・(大気球)	(MDR&SRR 合体) =>分離へ(?)	カテゴリ2 (JAXAレベル) or 3	1-10年	・公募 ・<理+工+環>*協*所 ・1-2年毎?
			カテゴリB	1-10億			(MDR&SRR 合体)	カテゴリ3 (所内レベル)	1-5年(?)	
			カテゴリC	1億以下			(MDR&SRR & PRR 合体)	カテゴリ3	1-5年(?)	
4	研究の枠組み内		・~0.2億(科研費基盤研究Aクラス) ・未定義			・観測ロケット ・大気球 ・ISS与圧部実験		カテゴリ3		・<研究委員会, 環> ・毎年

大高長

多様な実現手段

小安早

# 参考2

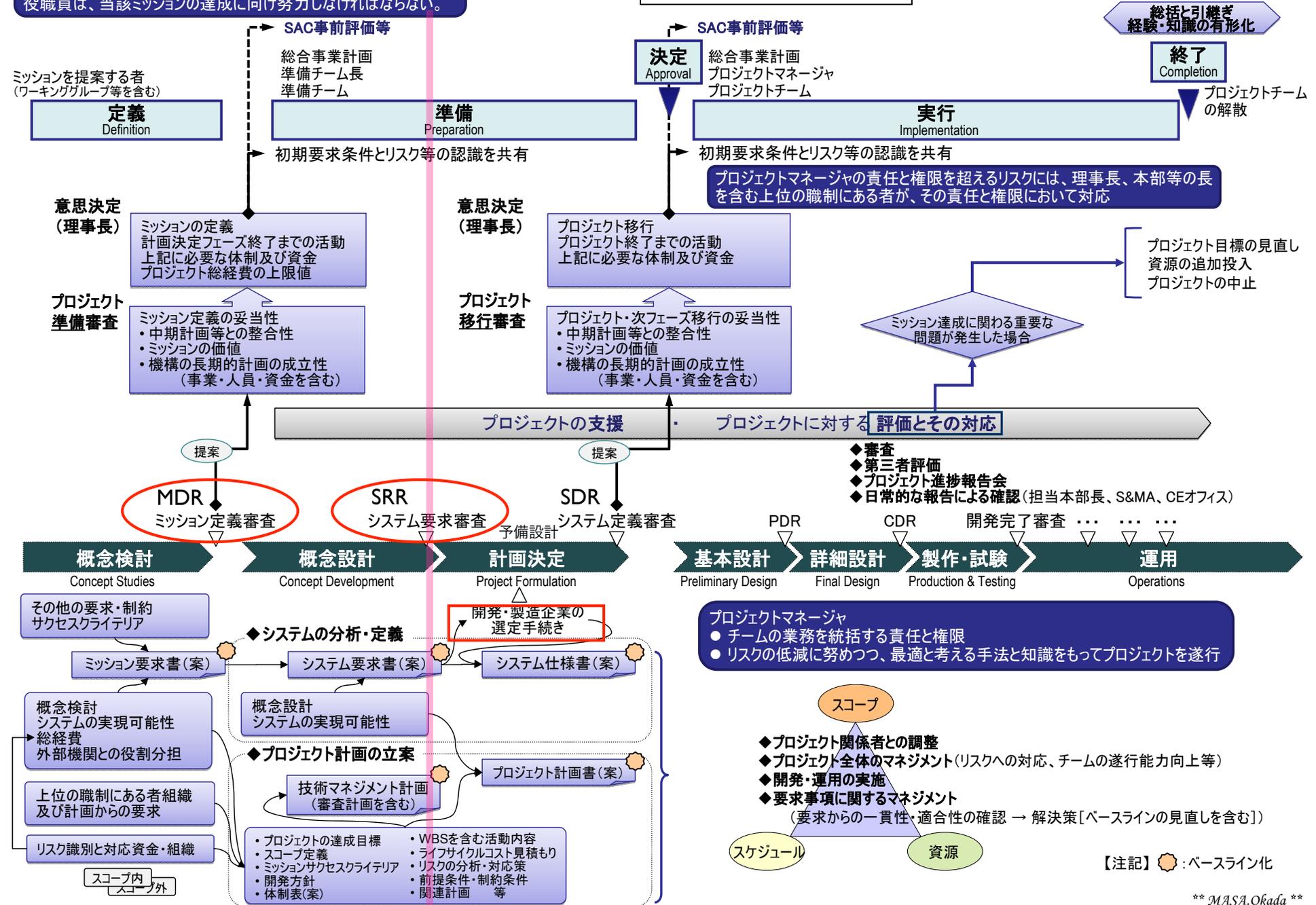
# JAXAプロジェクトマネジメントプロセス (ver. 1.5)

BDB-07005 NC

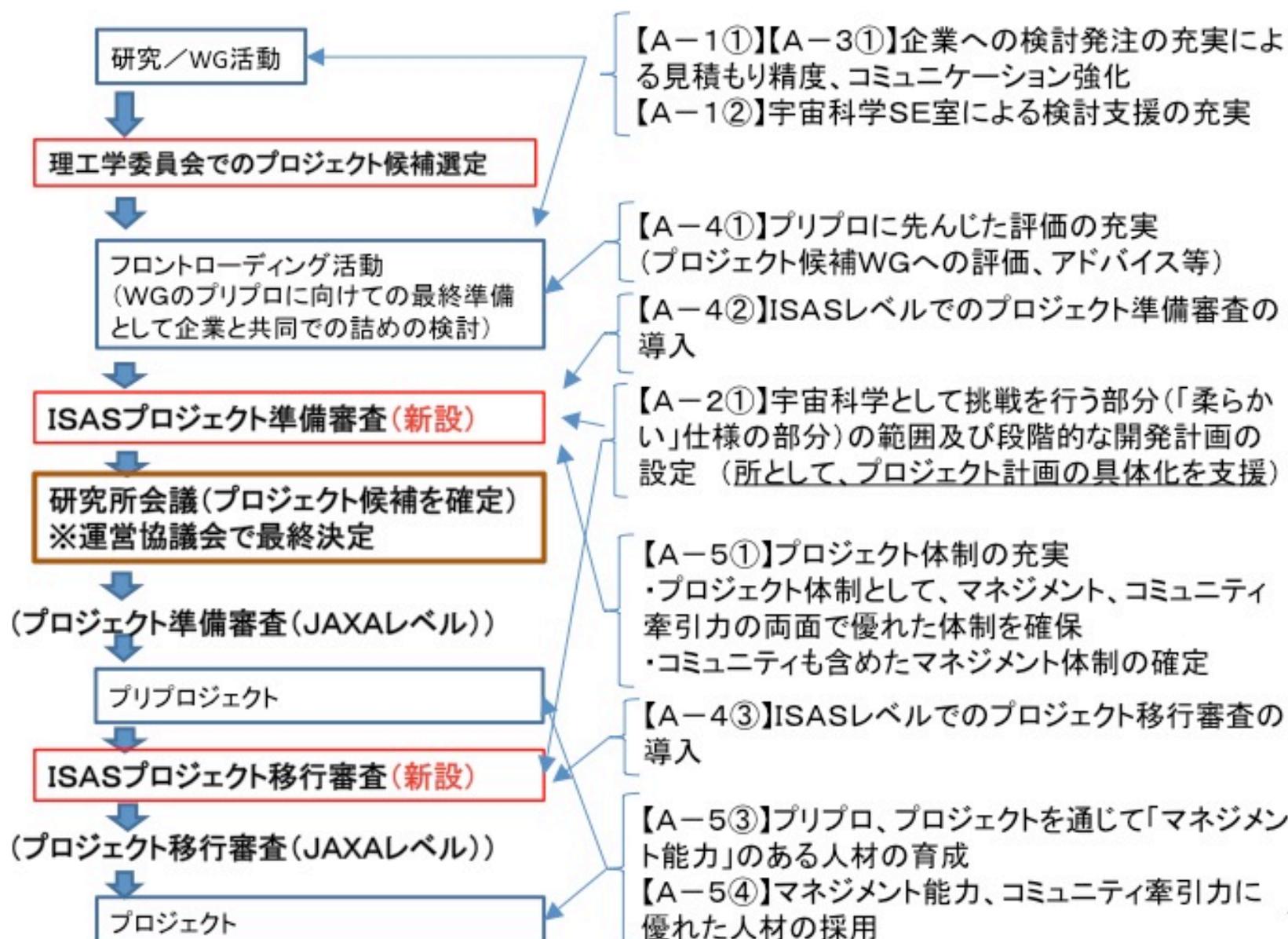
(SACは宇宙政策委員会に読み替え)

プロジェクトチームを含めた機構ミッションに関わるすべての組織及び役職員は、当該ミッションの達成に向け努力しなければならない。

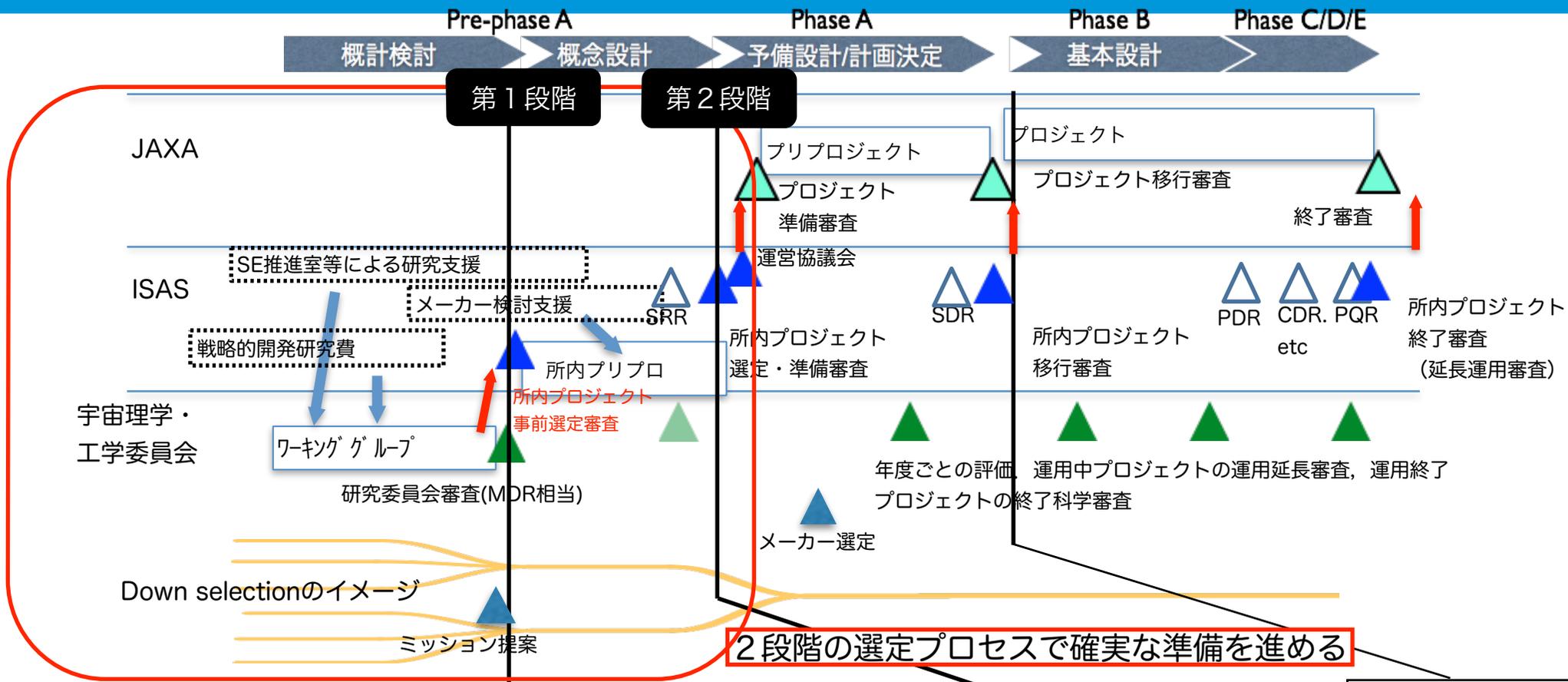
- ミッションを達成する手段として設定
- 特定の資源と時間のもと時限的組織により実施



# 宇宙科学プログラムの活動改善TFを受けた ミッション立ち上げプロセス

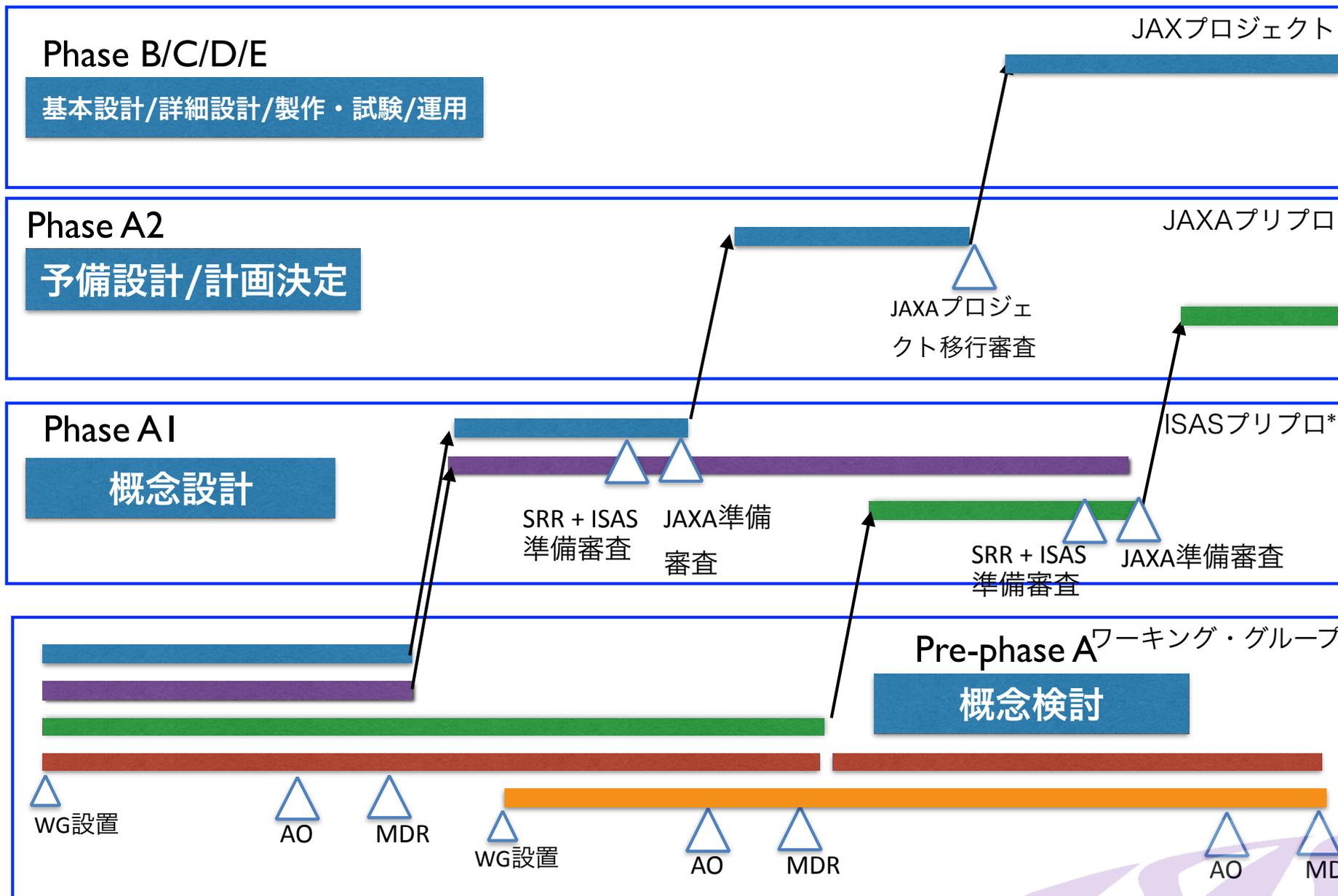


# 今後の公募型小型と戦略的中型における 2段階選定プロセスについて

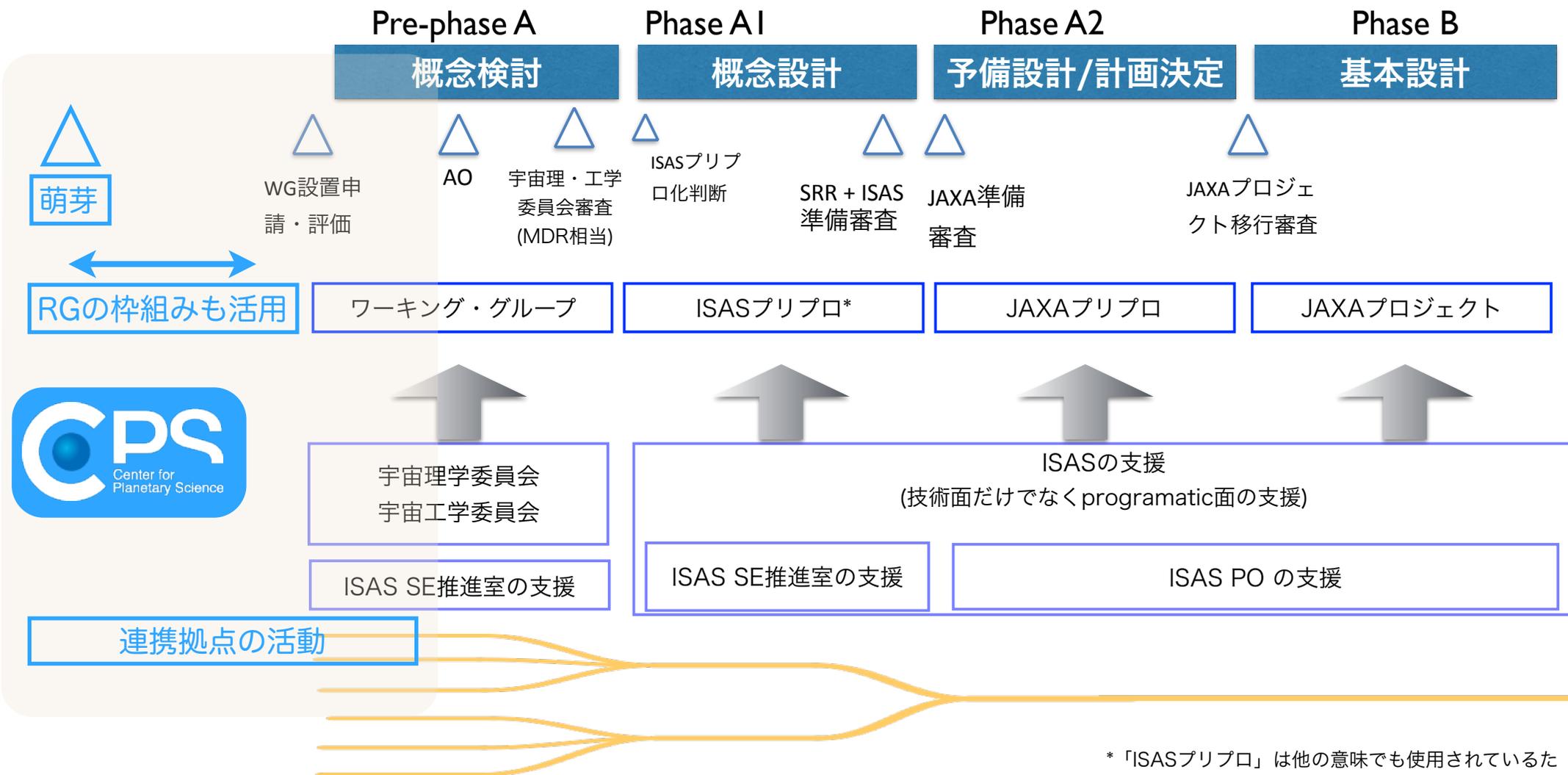


制定ベースライン文書	ミッション要求書	システム要求書 運用コンセプト, SEMP,	システム仕様書 プロジェクト計画書,
主要な審査事項	意義・価値, 上記文書の根拠 成立可能性 <ul style="list-style-type: none"> <li>検証計画を含む開発方針</li> <li>概念設計によるシステム概念</li> <li>リスク識別・キー技術開発計画</li> <li>WBS・体制・スケジュール案</li> <li>総資金 (上限)</li> </ul>	意義・価値, 上記文書の根拠 成立可能性 <ul style="list-style-type: none"> <li>検証計画を含む開発計画案</li> <li>概念設計によるシステム仕様(案)</li> <li>リスク識別・キー技術開発計画</li> <li>WBS・体制・スケジュール案</li> <li>総資金 (上限)</li> </ul>	システム仕様 <ul style="list-style-type: none"> <li>システム設計結果による仕様・検証計画</li> <li>トレードオフ等上記根拠</li> <li>リスク識別・成立可能性・開発計画</li> </ul> プロジェクト計画 <ul style="list-style-type: none"> <li>WBS, スケジュール, 体制, 総資金</li> </ul>

# プロジェクト化までの考え方



# プロジェクト化までの考え方



\* 「ISASプリプロ」は他の意味でも使用されているため、名称は今後変更される可能性あり



# ミッション提案で要求されるもの

- 学術的な意義
  - 当該学術分野での国際的な位置付け。
  - 学術コミュニティが示す戦略の中の位置付け、その妥当性。
  - 当該ミッションを達成する上で代替が効かないか。
- 学術的な目的、達成する(すべき)こと (要求)
  - 具体的な学術的目的と、達成しなければならない本質的な科学成果 (要求)。
  - 要求は先鋭化され、学術的目的が達成できるか。
  - 得られた科学成果が国際的な学術に多大なインパクトを与えるか。
    - 得られた科学的成果物(データ、サンプルなど)の恒久的活用方針を定めているか。
- 実現可能性
  - 技術的な成立性のみでなく、計画として成立することを示す必要がある。
    - 技術的成立性 (技術的なバックグラウンド、開発計画なども含む)
      - 現在の技術的な課題・リスクを正しく認識し、実現可能な開発計画を立てているか。
    - 計画成立性 (資金、スケジュール、体制、国際協力などの成立性)
  - プロジェクトの範囲 (scope、時間的+マネージメント範囲)
    - 時間的： 科学的成果が得られるまでをプロジェクトの範囲と考える。



# ミッション要求

- ミッション意義
  - ミッションが目指す当該学術分野での国際的な位置付けを含む。
  - [戦略的中型] 学術コミュニティの戦略での位置付けの妥当性。
- ミッション目的
  - ミッションが具体的にどのような科学ミッションを達成するのか。
- ミッション要求
  - ミッションが真に求める本質的な要求のみとする。 →先鋭化すること。
    - 本質的な要求のみとして、書きすぎない。ここで書かれる要求はプロジェクトが必ず実現しなければならない。
    - ミッションが求めるべき物理量、観測量などは定量的に。
      - 軌道上の観測期間などもミッション要求になり得る。
      - 必須の要求値と目標値 (Goal)があれば、明確に識別して両者書く。要求値はミッションが必ず実現する必要がある数値となる。
  - ミッションを実現する手段は含まない。
    - 例外: 工学試験衛星では検証される試験要素がミッション要求とはなり得る。
  - 複数の要求がある場合、優先順位を明確にしておくこと。
    - オプションに過ぎない要求まで詰め込まないこと。
  - 「ミッション要求根拠文書」にミッション要求が科学目的を達成するために必要な要求であることを示す。
- 科学的な意義だけでなく、その実現可能性は評価の対象になる。 →概念検討書

# 明確にすべき事項

- 制約条件 (constraints)
  - ミッション、プロジェクトで考慮すべき制限
  - 主な制約条件
    - プログラム的制約：コスト、スケジュール、打ち上げ手段や国際競合など
    - 開発環境:
    - 運用環境・要求:
    - 法 (国際的な宇宙法やJAXA社内規定も含む)
    - 協力先プロジェクト、機器とのI/F、スケジュールなど
- 前提条件 (assumptions)
  - プロジェクトを進める上で前提として考える条件で、プロジェクトで要識別。
  - 前提条件はリスクとして識別・管理される。
    - 例えば国際協力を前提とした場合、その実現はリスクとなる。
    - 未知の宇宙環境などの仮設定もリスクとなる。
- 既存技術開発のレベル
  - ミッション実現に必要な技術レベルと現状の差はリスク。
  - 既存技術の宇宙環境への不適合性や適合性未確認もリスク。
  - フロントローディング的な技術開発と獲得技術は明示する。



# 運用、データ活用コンセプト

- ミッション要求の実現を裏付ける前提となる運用、データ活用イメージ
  - システムライフサイクルの定義と定義された各フェーズの運用イメージ
  - 成功基準の達成に必要な運用、運用条件
    - ミッション期間
    - 連続性、リアルタイム性、コマンド運用頻度、coverageなど
    - 運用の手法 (定常観測、緊急観測など)
    - 故障・異常に対する許容性、対応 (ロバストネス)など
    - データレート・データ量、データに対する条件(データフローの時間など)
  - システムライフサイクル、成果を維持する基盤となる地上系、運用体制
  - user、end-user (科学コミュニティ)を明確化し、データ活用のデータフロー
    - プロジェクトのデータシステムの範囲 (boundary、I/Oの明確化)
    - 科学成果を最大化するのに必要なデータ活用の方針 (方法)
    - 科学成果を恒久的に活用できる活用方針 (方法)
- 地上系、データ活用まで「システム」と見なし、ミッション達成に必要な方針を示す



# システム要求



- ミッション要求を満たすに必要な本質的な「手段」に対する要求。
  - 「手段」の最上位要求と位置付ける。
  - 必ず、ミッション要求に根拠付けできる要求とすること。
  - できる限り技術を限定化しない。書き過ぎない、ただし必要な要求は網羅。
    - 過不足のない機能、性能要求。
    - 従来のシステム要求は書きすぎる傾向があった。
    - メーカー検討をする際に、メーカーの技術力を引き出す裁量設計が可能な範囲の技術要求にとどめるのがベター。
  - 性能要求の定量化。
    - 最低限満たすべき「要求値」と、期待される「目標値」は区別し、明確に識別する。
  - 制約条件、前提条件、運用、データ活用コンセプトとの根拠付けも明確に。
  - 技術レベルも考慮した、実現可能な要求とする。
- 最も注意すべきは、上位要求に対する traceability。



# 宇宙科学ミッションについて



- 創世記の宇宙科学においては、未開の地を歩んでいた。
  - この時期のミッションは、新たな観測手段は、科学における新たな地平線を拓いた。
  - しかし、現在“Zone of Avoidance”として残されたフェイズスペースは極めて狭く、十分な戦略と競争性を見極めてミッションを立案する必要がある。
  - 上記の事情から、“手段 oriented”の発想からの脱却は重要である。
- 
- システムの複雑化、規模の大型化から、ミッションを取りまとめる困難さは、前時代のミッションとは同じでは無い。このため、ミッションの要求をまとめる際には、取捨選択(選択と集中)、優先度付けを明確に行っておく必要がある。



# 宇宙科学ミッションについて



- 宇宙科学におけるミッションの評価は、極めて総合的な視点での評価が必要である。短期的視点でのサイエンスの重要性だけでは無く、長期的に、且つ分野の状況を見渡した評価が必要である。特に分野における位置づけは、開発体制に加えて、その成果を創出できる人的体制の担保にもつながり重要である。海外ミッション、同分野の他計画・他分野とのシナジーと競争も重要である(このため、極めて時間依存性が高い)。
- 上記と相反しない意味において、宇宙科学ミッションは新規分野の参入を encourage する必要がある。その場合体制が不十分であることは許容されるべきであるが、その場合でも、そのミッションに対して最低限のコアとなる体制が必要である。
- 新規ミッションの選定に当たっては、"はやぶさ"のような工学実証ミッションも排除されず、不幸に終わったミッション(Lunar-A, ASTRO-G)に対して厳しい評価を行う事のできるプロセスが必要となる(100%の歩留まりを期待すると失敗するだろう)。ミッション規模が大きくなりつつあり、その資金規模に見合った信頼性(成功確率)が要求されるようになる。そのことを考慮した提案が必要とされる。しかし一方で、挑戦を行う事も重要であり、このバランスを評価できる事が重要である。



# 宇宙科学ミッションについて



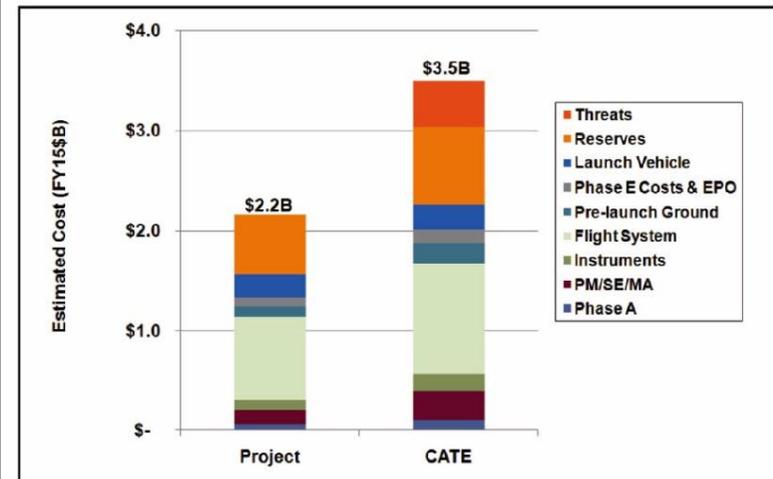
- 日本における科学衛星が海外の計画と比べて、資金規模が小さくても成果を上げる事ができているのは、日本における開発費用単価が安いのではなく、多くの場合
  - ミッションが小規模・シンプルであるが、目的に対して必要な機能が適切に絞り込まれている場合
  - 相対的に大きな(しかし適度なバランスを持つ)リスクを許容している場合
  - ミッションを支える体制が盤石であり、人的リソースで開発を支えることができる場合
- の何れか(または複数該当)であり、海外と同じようなミッションを同じやり方で行った場合は、決して海外ミッションよりも安くなる事は無い(むしろ日本の衛星メーカーは、海外メーカーと比較して、マーケットの小ささから、決して低コストとは言えない)。この点を誤解すると、非現実的な提案に向かう事となる。
- 提案者のグループが有していない、どこかの海外に存在する技術に関して、その技術を持つグループをミッションに取り込むことができる場合には、実績の有る技術として含めても良いが、そうで無い場合は提案グループの立場からは『物理原則には反していない技術である』程度の準備状況として評価すべきであり、どこかでできているから自分たちでもできるという発想は宇宙の開発ではありえない。

宇宙

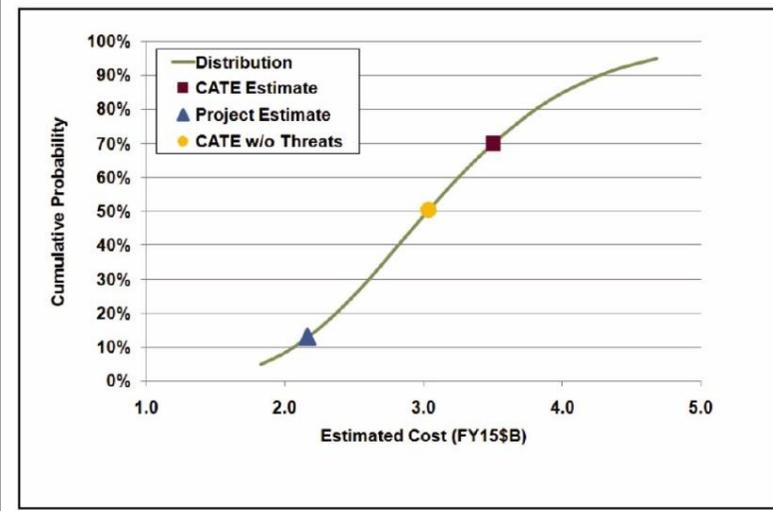
# Cost and Technical Evaluations

- ミッションを遂行するためにも同じ
  - 技術的な
  - 宇宙における達成可能性
  - Serendipitousな発見は無い
  - 可能性がある
  - だが、宇宙
- After studies were completed, high-priority mission candidates were subjected to a detailed Cost and Technical Evaluation (CATE) by Aerospace Corporation.
  - CATE estimates are based on multiple methodologies, including actual costs of analogous past missions, to avoid the optimism inherent in other cost estimation processes.
  - The result is some sticker shock! But realism is essential.
  - All costs are in \$FY'15.

Key Cost Element Comparison

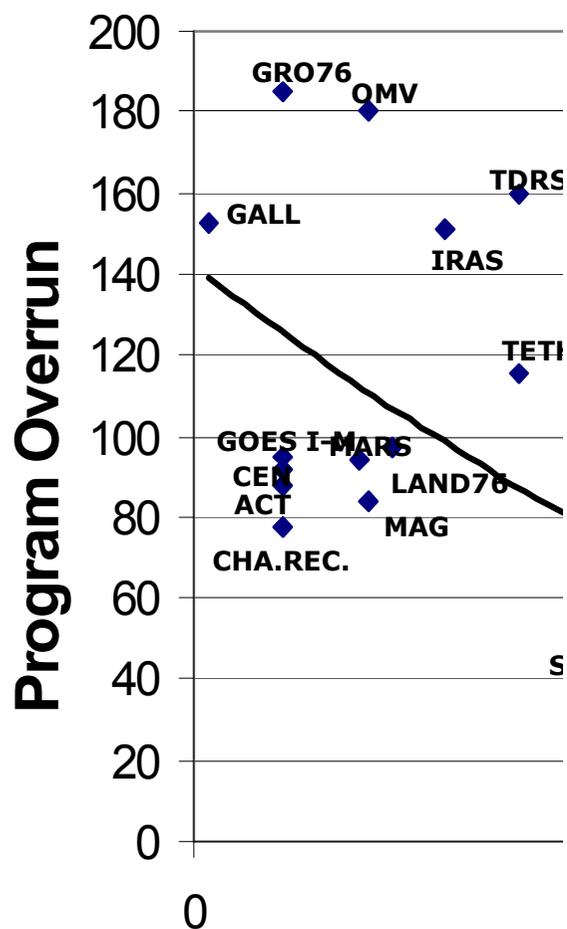


Cost Risk Analysis S-Curve



# Cost overrun

## Cost Performance of Space Projects



Mission type	Average Overrun	Missions Included
Flagship ( > \$800M)	31%	Spitzer, MER
Medium size ( < \$300M)	19%	Cloudsat, Deep Impact, Genesis, Grace, Stardust
Instruments ( < \$150M)	34%	TES, EMLS
System Technology Experiments ( < \$150M)	81%	DS-1, ST5, ST7
Small Technology Experiments ( < \$10M)	315%	In-STEP (11 experiments), Microgravity (26 experiments)

Overrun = Final cost – (cost estimate + requested reserve)

D

# 手段では無く、サイエンスドリブンで



1. 当たり前的事を書きます。
2. 太陽系科学において、理解すべきことをブレイクダウンし、世界のミッションの動向も踏まえて、最終目的へのアプローチを考える。
3. 上記の目的を実現する方法は、本来多様なはずであり、その場に行く事が全てでは無いだろう。
  - a. 例えばリモート観測の重要性も考える
    - 例) ひさきの観測、あかりの成果
  - b. 新たな観測手法
4. 海外協力の機会も最大限活かす
  - c. そのためには、戦略的な準備が必要である
    - 競争的な資金も活用する(少なくとも、X線分野は活用している)
  - d. ESA は科学機器の開発は行っていないが、この結果欧州の搭載機器上の競争力を、結果として高めている。



# Definition of the Mission



1. “The art and science of developing an operable system capable of meeting mission requirements within imposed constraints including (but not limited to) mass, cost and schedule.”
2. Satisfy in a (near-)optimal manner all the requirements
3. Requires trade-offs involving diverse systems and disciplines
  - a. Propulsion, power, communications, orbital dynamics, thermal, structure, mechanisms, navigation, control, soil mechanics, aerothermodynamics,...
4. You need to identify what the important parameters are and how they are related!
5. Define and compare a small number of different possible scenarios
6. Choose most promising option and perform more detailed design, including space & ground segments, operations, cost and risk



# Mission planning



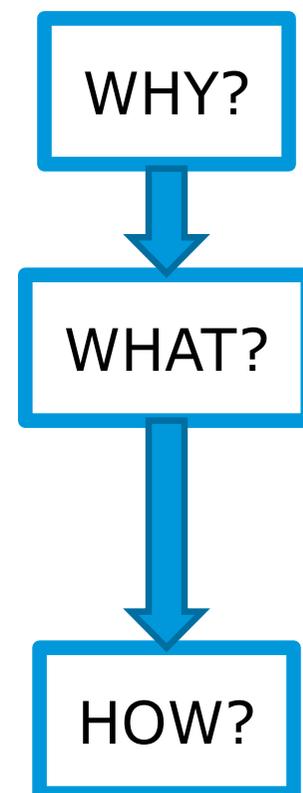
1. Purpose and objectives of the project
    - a. Key questions to be answered
    - b. Key technical performance parameters
    - c. Technical and programmatic constraints
  2. Technology availability and development needs
    - a. Potential cost and schedule drivers
  3. Potential cost class
  4. Ability and need to reuse existing equipment/products
  5. Availability and need for human resources, skills, technical facilities
  6. Risk assessment
    - a. Risk management and mitigation actions
- Development approach:
- a. Result from above considerations



# Objectives - Requirements



- ❑ Objective is the high level motivation
  - Which scientific question/application purpose shall the project address and what answer is sought
- ❑ Requirement is the translation of this objective into verifiable statements of what is needed to achieve the objective
  - have several levels of detail
  - are traceable, all the way back to the top level
  - Include quantities
- ❑ Solution is the response to the all requirements
  - There can be several solutions meeting requirements
  - Non-compliance needs to be negotiated



# Mission objectives



- Science objectives: Objectives should –
  - a. respond to important scientific questions
  - b. state why a space mission is needed
  - c. be appealing to
    - General public
    - Science community
  
- Application objective: Objectives should –
  - a. serve an important need of the general public – benefits!
  - b. state the unique contribution from space



# Why do we need “requirements”??



1. To provide motivation and focus to the project
  - a. Communicating to others what shall be achieved
2. Requirements shall answer the **WHY?** by specifying the **WHAT?** and not addressing the **How?**
3. To identify the trade-off for the best solution
4. Place priority on possible solutions/options
5. Priority helps resolving –
  - a. Conflicting requirements
  - b. Descope paths
6. Provide specifications to engineering and lower level subsystems



# Requirements



1. Mission statement: captures the objectives and measurements required in a single sentence
2. Requirements are formal statements expressing what is needed to fulfil the mission objectives
3. Requirements shall be product related, not process related
4. Clear requirements are key to good design
5. Requirements are hierarchical: lower level system requirements shall come from higher level mission requirements



# “Forbidden words” in Requirements



- and/or
- etc
- goal
- shall be included but not limited to
- relevant
- necessary
- appropriate
- as far as possible
- optimise
- minimise, maximise
- typical
- rapid
- should
- user friendly
- easy
- sufficient
- enough
- suitable
- satisfactory
- adequate
- quick
- first rate
- best possible
- great, small, large
- state of the art



# Examples of “requirements”



## 1. Good Examples:

- a. The mission shall provide a measurement of the x constant with an accuracy better than  $10^{-13}$
- b. The mission shall allow scanning of the sky with an angular rate of 60 arcsec/s around an axis of rotation which is  $50^{\circ} \pm 0.1^{\circ}$  away from the Sun direction
- c. The mission shall have a nominal in-orbit duration of 4 years

## 2. Bad Examples:

- a. The system design shall maximise the spectral resolution
- b. The mass shall be below 1000 kg



# What is “trade-off study”



1. Trade-off allows exploring alternative solutions to a baseline
2. The parameter space needs to be prepared, and an evaluation criterion shall be established using requirements
3. Most common criteria: **mass, cost**; several system properties can be translated into them –
  - a. Power consumption → generation of more power → solar array size → mass
  - b. Higher telemetry volume → larger HGA, more power for TM&C → mass
  - c. High performance → complex solutions → more effort for verification → longer integration time → cost



# in Phase-0/Phase-A studies



1. Phase 0 – Analysis/needs identification
  - a. Understanding of **functional and technical requirements** (correct requirements formulation and priorities), mission statement
  - b. Preliminary technical requirement specifications
  - c. Conduct trade-off studies to select preferred system concept
  - d. Definition of **mission concept** (design, profile, configuration)
  - e. Preliminary assessment of **programmatic aspects**
  - f. Preliminary **risk** assessment
2. Phase A – Feasibility
  - a. Elaborate possible **system** and **operations** concepts and propose technical solutions
  - b. Initiate pre-development of critical **technologies**
  - c. Conduct **trade-off** studies to select preferred system concept
  - d. Assess the technical and **programmatic feasibility** of the possible concepts by identifying constraints relating to implementation, costs, schedules, organization, operations, maintenance, production and disposal
  - e. Determine uncertainty levels update **risk** assessment

