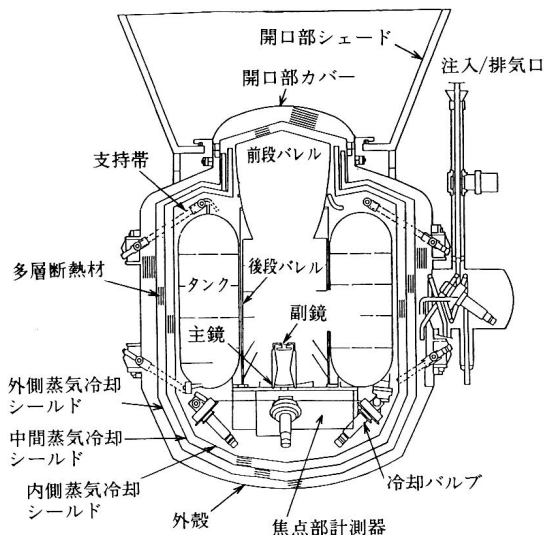


宇宙低温工学システムの設計論

- 赤外線望遠鏡を例として -

筑波大学大学院システム情報工学研究科

村上正秀



超流動ヘリウム冷却システム技術調査研究会
1月29日(金) 東京大学 山上会館

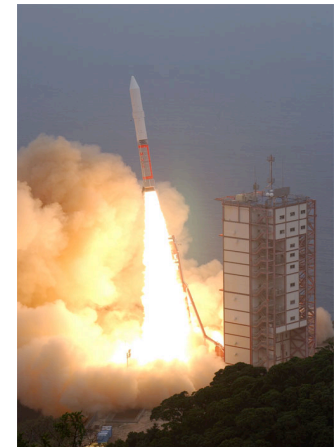
宇宙ミッションの特徴

- **単品製作** **開発コスト高**(数十億～数千億円)、
↳ 高度にオリジナルなテーマを要求
開発の前例無し
- **修理不可能** **高信頼性**
- **ロケット、地上局** **スケジュールの制約、整合性必要**
- **開発期間** **標準で10年またはそれ以上**
- **大規模開発** **多くのマンパワー、国家 / 国際プロジェクト**

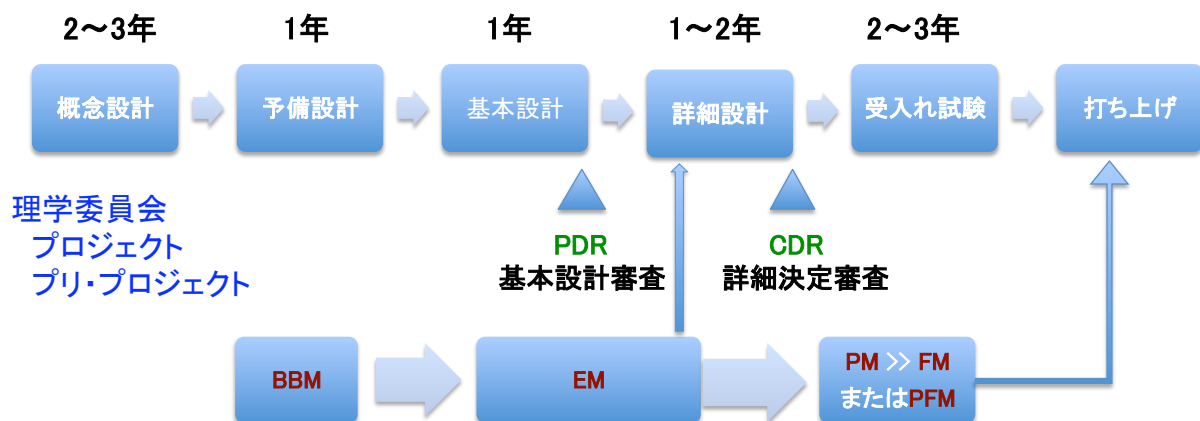
- **有人と無人** **有人プロジェクト = 究極の安全性**
無人プロジェクト
= 破断段階では破棄があり得る
↳ **航空宇宙学的特徴の加味**
低い安全マージン(係数) and 徹底した基礎研究

宇宙ミッションの開発

- Phased Project Planning (PPP)
 - NASA方式(契約の概念を含む): JAXAが踏襲
 - ISAS: 膠着言語方式(修飾自在、述語は最後)
 - PERT (Program Evaluation and Review Technique)
 - PDCA (Plan>>Do>>Check>>Action) 等
- スケジュール管理(プロマネ)
 - いつ何があるか = 何をしておくべきかのコントロール
 - リスク管理
- 組織、マンパワー
 - 寄せ集めの宿命
 - 企業/ロケット(バス)側人材の参画: 時期、予算
- 工学側からの参画と意味
 - ミッションあつてのプロジェクト: 工学は縁の下の力持ち
 - それでも我慢できるか?
 - お手伝いよりも積極的参画
 - (論文にできる程の内容を !!)



開発の流れ (PPP=Phased Project Planning)



流れと締め(包括的完結性)

締め毎のReview

誤謬/不確実性の発見、'慣れ'の打破(思わぬ指摘) = リスク管理

PERT (Program Evaluation and Review Technique)

モデルの製作実験(BBM, EM, PM) ⇨ 次段階に生かす

Heritage(宇宙スペック)の重視: 最新ではないかもしれない

概念設計の意義・内容 -1

1. 研究目標の明確化

目標の設定 ⇨ サイエンス、哲学

実際には、学問の流れや社会の動向にによる裏付けも必要

2. 目標達成のための方法の検討(装置)

全系のシステム設計

⇨ インターフェースの単純なところで切る

サブシステム

* これ以前、余り早いサブシステムへの分解

⇨ 自分の持ち分だけを可愛がるという悪弊が現れがち

設計資料作成、

不確定要素の抽出 ⇨ R&D、オプション付き

案ずるよりは産むが易し: **モデルによる実験の実施**



概念設計の意義・内容 -2

3. 実行可能性の検討: **懸念**を出しつくす

* 以下も**エンジニアリング**

スケジューリング、製作工程、運転費用、マンパワー(質も重要)

材料/サブシステム/部品の入手可能性

サブシステム/部品のテスト方法

国際協力 = 協調と競合(スケジュール合わせ)

予算/機器の分担(**草の根**、**天からの贈り物**)

4. 実現方法の明確化

妥当性(時には最適性)、整合性



1. 概念設計

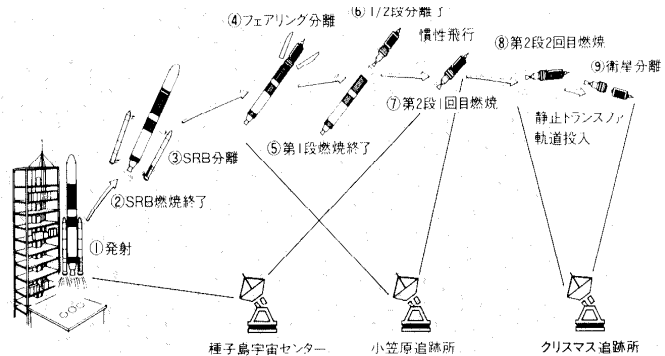
- ・概念の設定: 2、3年
: In-House-Study と 手弁当でも可能 (できれば**企業人の参加**)
- ・実現可能性の検討 (どうやったら**可能になるか?**)
 - R&D** が必要な部分あり
 - 既存技術/新技術 (開発) ?
 - 新規課題の抽出 ⇒ **基礎実験** (工学的にも有意)
 - ‘仮’ 決定もあり
 - + **マンパワー** (誘い込み、分担割り当て)
 - + **予算** (**開発**・製作費用、打ち上げ費用、運用費用)
この時期に **総額の数%以上** の経費を支出すべき
 - + **開発期間** 見積もり (打ち上げ日程に条件がある場合あり)
- ⇒ 概念図 (イメージ) の作成
- ⇒ 主要システム仕様書 (できるだけ定量化)



2. 予備設計

- 約1年
- ・ **主要システム仕様書** (サイエンス側作成) を基に
 - ⇒ 企業からの **設計提案**
 - ⇒ **選定** (主契約、副契約など)
 - * 実績、技術力、アイデア、経費
マンパワー、部品入手 (購入/製作)
 - ⇒ 工程表
 - ・ 新規技術 ⇒ **BBM** の製作
無理があれば ⇒ 中止
 - ・ **開発仕様書** の作成

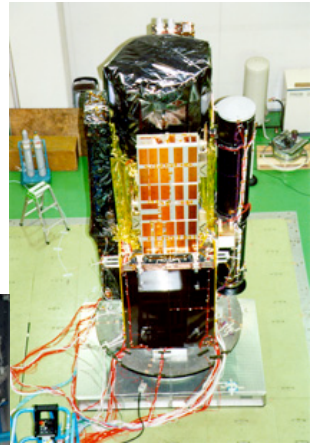
ロケット (衛星の軌道要素・姿勢、
打上げ能力、スケジュール)
射場 (設備、制約) についても考慮



基本設計

約1年

- ・ 衛星 = 方式、形、姿勢、軌道
↳ 衛星全体システムの構築
 - ・ BBMの製作の継続
 - ・ BBM試験結果を受けて
設計提案(企業より) ↳ 製造図面
 - ・ ロケット、射場、軌道、地上局、
データリンク、IFを考慮に入れる
 - ・ EMの製作(全体システム、構造、熱、
電気)
システム、性能、製作法
- ↳ PDR (Preliminary Design Review)



SOLAR-BJ構造モデル

SOLAR-B熱構造モデル



詳細設計

- ・ EMを受けて 1~2年
- ・ 必要とあれば、
開発モデル(構造、熱、電気)の試験・評価を行う
↳
- ・ 設計を詳細化し、認証・確定する
設計仕様書、IF仕様書、図面、計画書、手順書、等の文書

↳ CDR (Critical Design Review)



実機の製作～打ち上げ

2～3年

- ・PM(Proto Model)、
この間に
認定試験 = 実際よりも過酷な条件
- ・FM(Flight Model)
または PFM + 若干の機器交換 ⇨ FMの製作
- ・受け入れ試験
- ・打ち上げ



バスシステム

衛星 = 衛星システム + バスシステム (Bus System)
(バスの上にお客(ペイロード=衛星)が載る)

バスシステム (企業/JAXA/ISAS)

電源系 (EPS=Electric Power System)

: 太陽電池、電池 (蝕時)

姿勢・制御系 (AOCS=Attitude and Orbital Control System)

: 観測モード、対太陽/地球 (太陽電池、熱入力)

二次推進系 (RCS=Reaction Control System)

: 軌道の維持や変更、姿勢の変更

アポジモータ (AKM=Apogee Kick Motor)

: 静止軌道への投入のための推進系

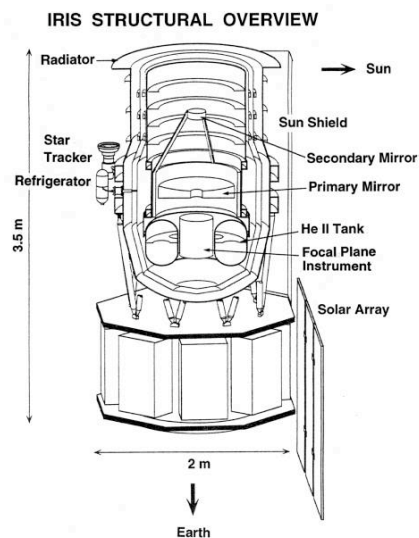
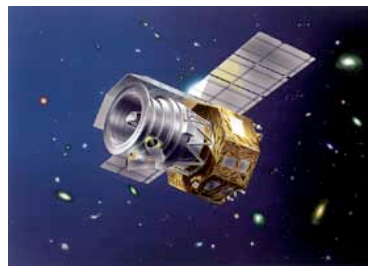
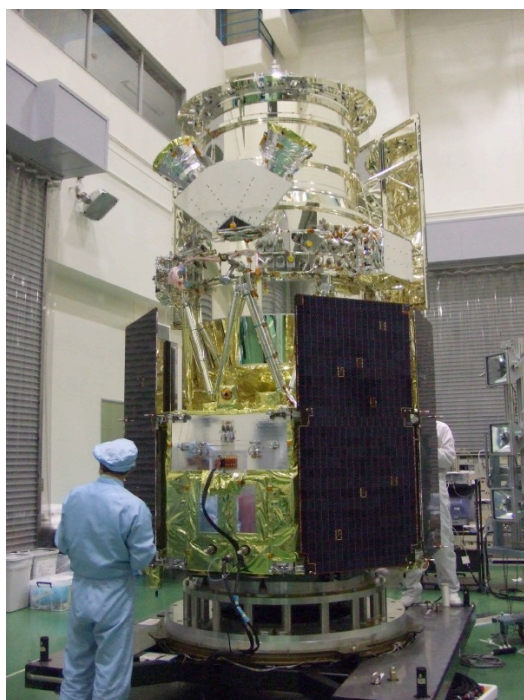
テレメトリ・トラッキング・コマンド系 (TT&C = Telemetry, Tracking and Command System)

構体系 (STR=Structural System)

熱制御系 (TCS=Thermal Control System)

バスシステム

ASTRO-F あかり



宇宙赤外線望遠鏡開発における工学の寄与

1978-1985年 :基礎開発/研究~IRTS概念設計 段階

1. PP実験 (Porous Plug Vapor-Liquid (He II) Phase Separator)

可愛がりすぎかも? :工学的研究として意義あるところまでできた

Nakai & Murakami ⇨ データベース

2. 低温技術のSHIへの技術移転

低温工学技術一般

物性値資料

PP実験

3. 冷媒Topping法と装置 (注液・蒸気排気装置)

液ヘリ (@標準状態、4.3 K) → He II (@2.17 K) : 40% 消費(蒸発ロス)

⇨ サブクール状態 (@ < 2.2 K)での注液

BBM作成、テスト

4. 打ち上げ直前~軌道投入まで :タンク密閉 = 無排気

事例調査 ⇨ 対策

5. 緊急時の逆行スケジュール/再開法

すべて概念設計ないしはそれ以前の段階

