

X線観測衛星の開発と大学院教育

深沢泰司(広島大理)

1. 衛星開発の概要
2. ASTRO-H(ひとみ)の場合
3. 衛星開発と大学院教育



1. 衛星開発の概要

衛星プロジェクト

開始してから4~10年で打ち上げ
最近は長い傾向

段階的プロジェクト計画に従って進む。

プリフェーズA: ミッション定義のための検討

MDR(ミッション定義審査)

フェーズA: システム要求事項をまとめ、システム計画、
開発体制の立ち上げ

SDR(システム要求審査)

フェーズB: システム・サブシステム・コンポーネントの仕様策定

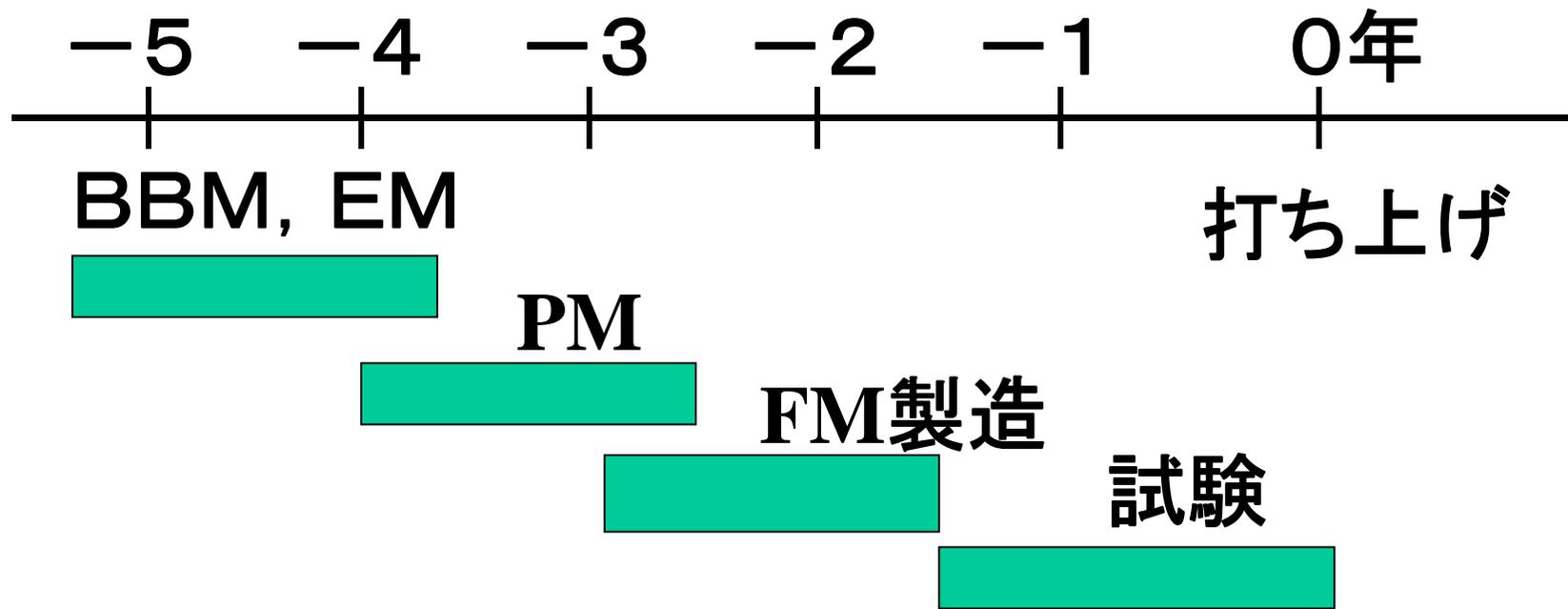
PDR(基本設計審査)、BBM製作・試験

フェーズC: 詳細設計 CDR(詳細設計審査)、EM製作・試験

フェーズD: フライトモデル製作、試験、衛星組み立て、試験
開発完了審査

フェーズE: 射場試験、打ち上げ、初期運用、定常運用

フェーズF: 運用停止、終了審査



BBM(ブレッドボードモデル)
 EM(エンジニアリングモデル)
 部分的に試作

PM(プロトモデル)

実際に近いものを試作、試験

FM(フライトモデル)

実際に打ち上げるもの

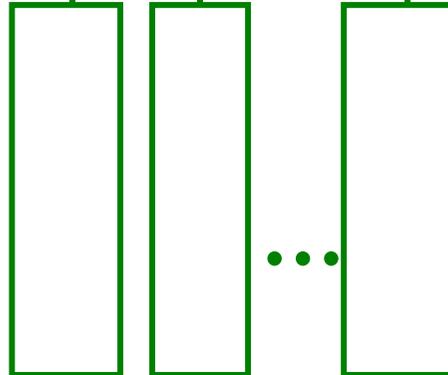
開発体制

プロジェクトマネージャー(最高責任者)
今まではサイエンティスト

衛星ハードウェア

システム
(開発総合管理)
宇宙研の場合は、特定のメーカー

各サブシステム
(各搭載機器)
メーカー
研究機関



解析ソフトの開発

ソフトウェアチーム

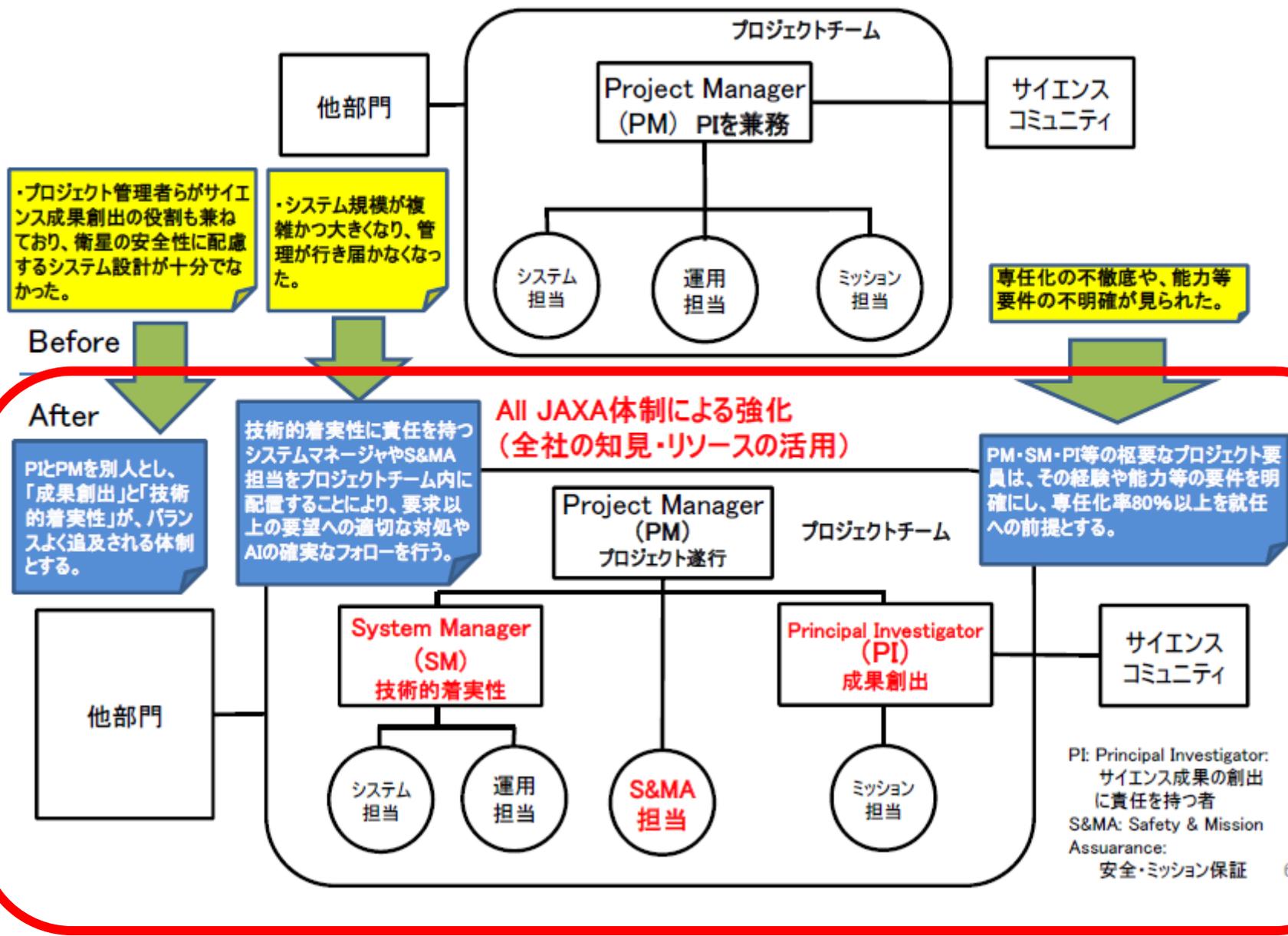
どういった観測を行うか

グループ

サイエンسワーキング

科学者

1.2(1) プロジェクトマネジメント体制の見直し



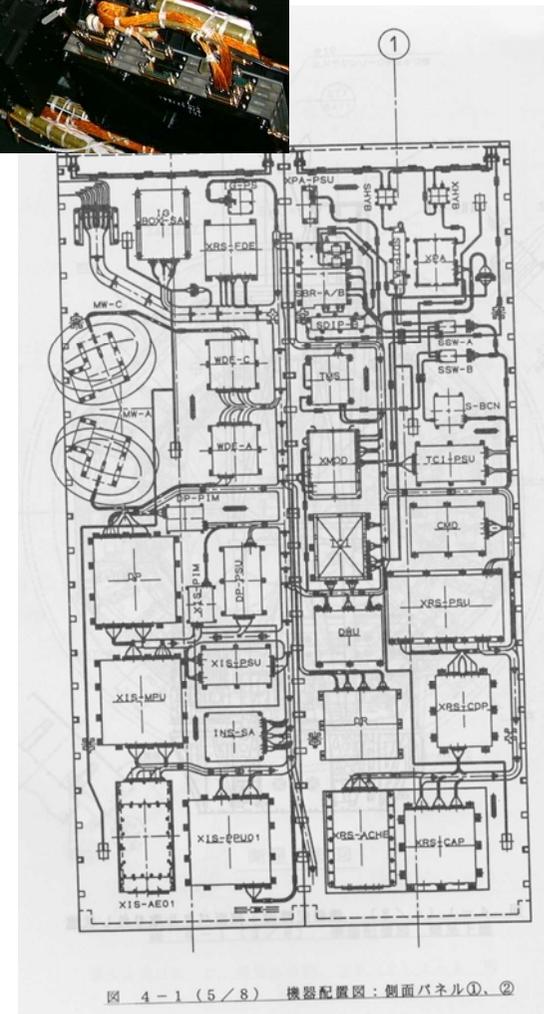
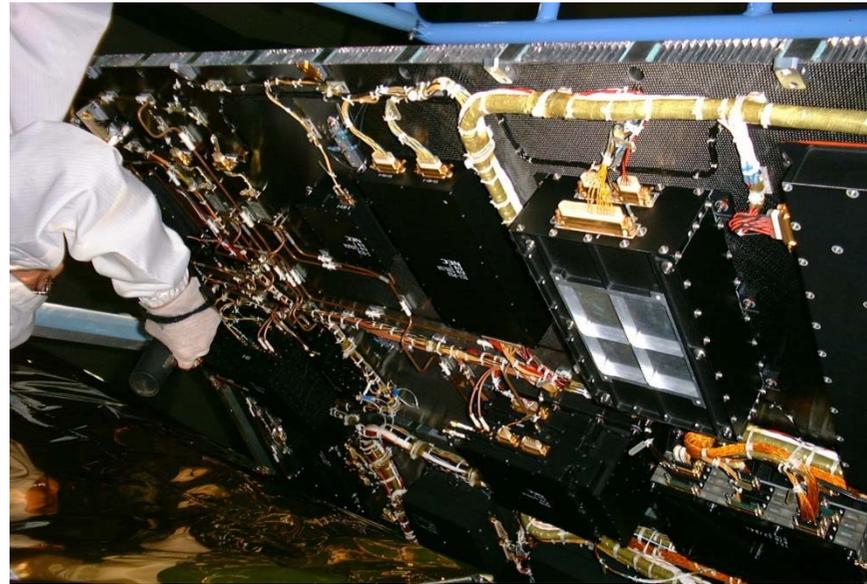
搭載機器

共通機器

- 電源系
- 通信系
- 姿勢制御系
- 熱制御系
- データ処理系
- 構造系

観測機器

- 望遠鏡
- 検出器



通信系、データ処理系

コマンド、データ通信(アンテナ)

コマンド処理、コマンドを各機器へ

受け取って、すぐ処理

プログラム(時刻つきコマンド)処理

各機器のデータ収集、整理

データレコーダ

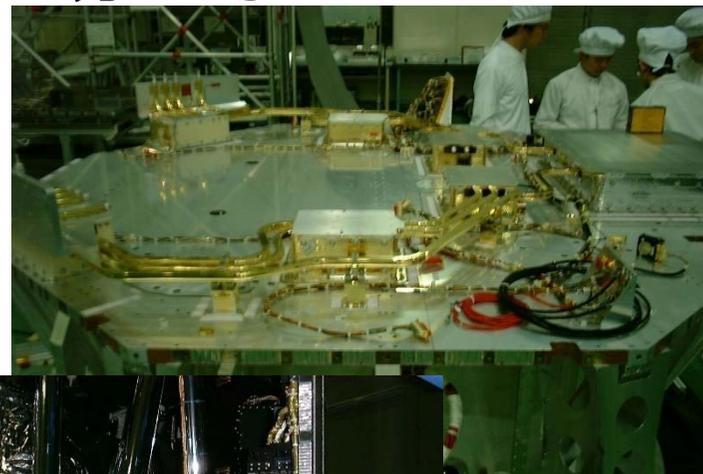
ひとみ データ容量 ~12Gbits

データ地上転送 Max9.2Mbits

熱制御系

宇宙では、放っておくと
太陽側は数百度に
日陰はマイナス数百度に
真空 ... 対流が効かない

↓
大放熱板、ヒートパイプ
断熱シールド(MLI)箔
ヒーター



設計開発

強い条件 ... 電力、重量

観測機器 ... 数10W

ハニカム構造やCFRP、Mg、Al
などの軽くて丈夫なものが使われる

熱設計、構造設計

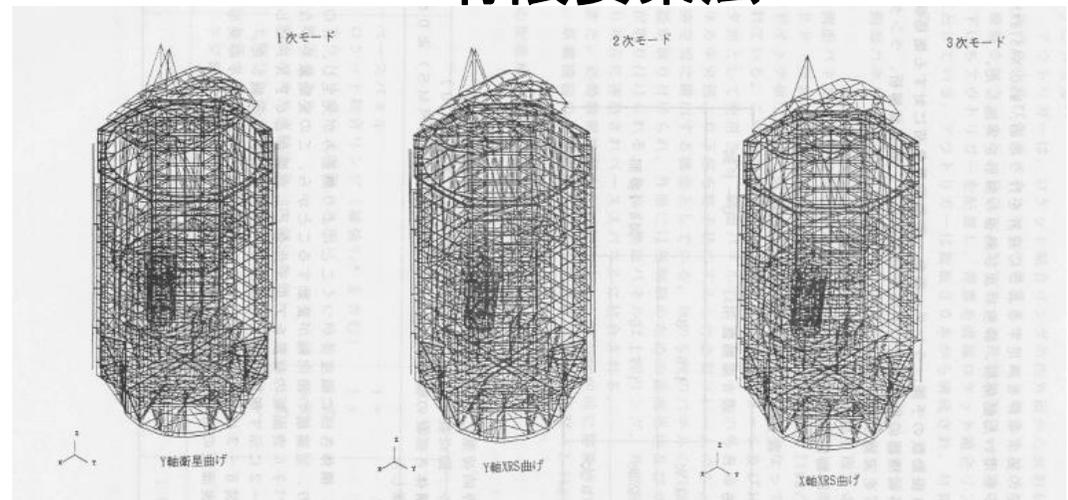
発熱、放熱、熱ひずみ、振動

↑
真空

↙
アウトガス対策

デブリ対策

有限要素法



部品選定

交換できない →

故障率は極めて低い必要がある

電子部品...ミルスペック(軍事規格)が主流
高価、古い、種類少ない

最近では最近では民生部品も良い

必要があれば、自分でスクリーニング
内部検査、温度ショック、温度サイクル

組み立て

ねじ ... トルク規定

4. 試験

電気的かみ合わせ

コネクタが接続できるか

ピン配置は合っているか

ケーブル導通、絶縁試験

1ラインずつ

全部調べる

信号が通るか、電圧・タイミングはOKか

干渉しないか、ノイズは？

機械的かみ合わせ

ねじ位置は？ ねじがはまるか？

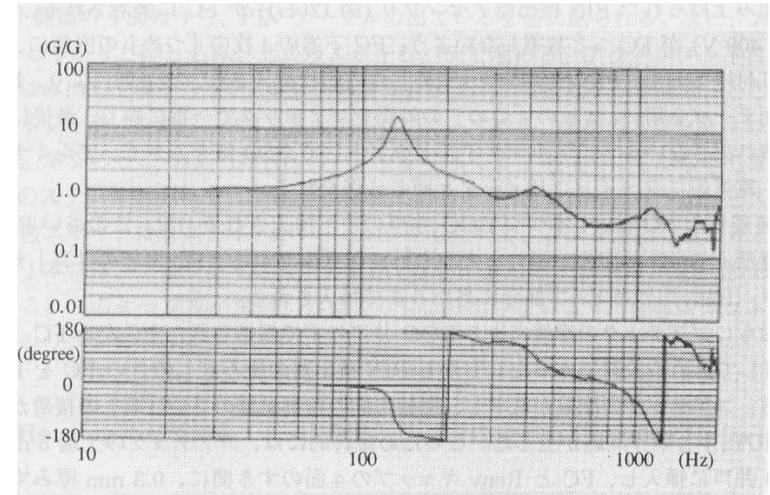
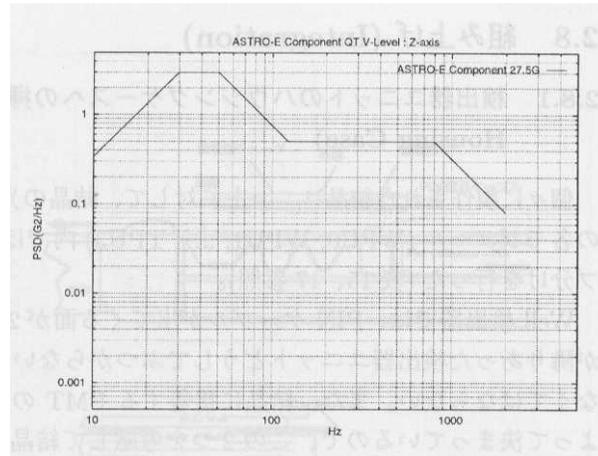
機器どうしてぶつからないか？

組み立てられるか？

静加重・振動・衝撃試験



Astro-E (固体燃料) ... 18G
各機器単体と衛星全体の両方行う



熱真空試験 (単体、衛星全体で行う)

重心慣性測定

動作試験

上空で実際の運用を模擬

2. ASTRO-H(ひとみ)の場合



ASTRO-Hに搭載される4種類の観測装置

非常に優れた分光能力

軟X線分光検出器 (SXS)

今までより100倍近い感度

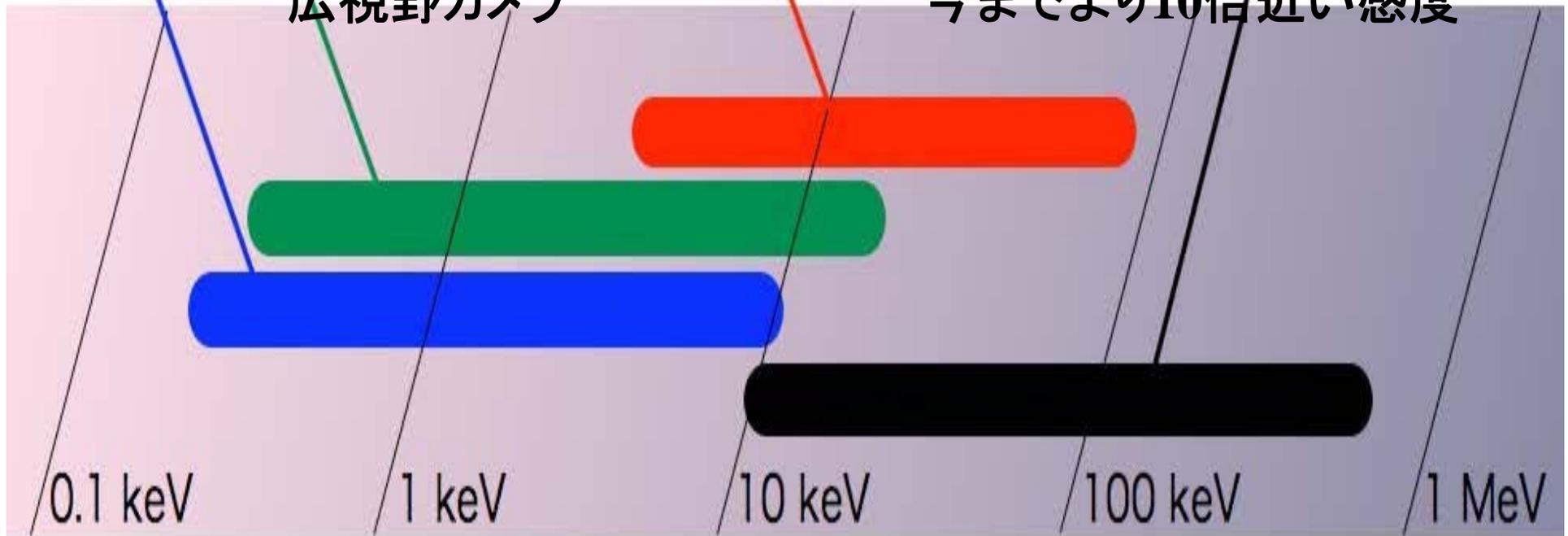
硬X線撮像検出器 (HXI)

軟X線撮像検出器 (SXI)

広視野カメラ

軟ガンマ線検出器 (SGD)

今までより10倍近い感度





ASTRO-H Mission

The ASTRO-H X-ray Astronomy Satellite (DRAFT)

Tadayuki Takahashi^a, Kazuhisa Mitsuda^a, Richard Kelley^b, Felix Aharonian^c, Hiroki Akamatsu^d, Fumie Akimoto^e, Steve Allen^f, Naohisa Anabuki^g, Lorella Angelini^b, Keith Arnaud^h, Makoto Asaiⁱ, Marc Audard^d, Hisamitsu Awaki^j, Philipp Azzarelloⁱ, Chris Baluta^a, Aya Bamba^k, Nobutaka Bando^a, Mark Bautz^l, Thomas Bialas^b, Roger Blandford^l, Kevin Boyce^b, Laura Brenneman^b, Greg Brown^m, Edward Cackettⁿ, Edgar Canavan^b, Maria Chernyakova^c, Meng Chiao^b, Paolo Coppi^o, Elisa Costantini^a, Jelle de Plaa^a, Jan-Willem den Herder^a, Michael DiPirro^b, Chris Done^p, Tadayasu Dotani^a, John Doty^q, Ken Ebisawa^a, Megan Eckart^b, Teruaki Enoto^r, Yuichiro Ezoe^s, Andrew Fabianⁿ, Carlo Ferrigno^t, Adam Foster^r, Ryuichi Fujimoto^u, Yasushi Fukazawa^v, Stefan Funk^f, Akihiro Furuzawa^e, Massimiliano Galeazzi^w, Luigi Gallo^x, Poshak Gandhi^y, Kirk Gilmore^f, Matteo Guainazzi^v, Daniel Haas^d, Yoshito Haba^z, Kenji Hamaguchi^h, Atsushi Harayama^a, Isamu Hatsukade^{aa}, Katsuhiro Hayashi^a, Takayuki Hayashi^a, Kiyoshi Hayashida^g, Junko Hiraga^{ab}, Kazuyuki Hirose^a, Ann Hornschemeier^b, Akio Hoshino^{ac}, John Hughes^{ad}, Una Hwang^{ae}, Ryo Iizuka^a, Yoshiyuki Inoue^a, Kazunori Ishibashi^e, Manabu Ishida^a, Kumi Ishikawa^r, Kosei Ishimura^a, Yoshitaka Ishisaki^a, Masayuki Ito^{af}, Naoko Iwata^a, Naoko Iyamoto^{ag}, Chris Jewell^v, Jelle Kaastra^d, Timothy Kallman^b, Tuneyoshi Kamae^f, Jun Kataoka^{ah}, Satoru Katsuda^a, Junichiro Katsuta^v, Madoka Kawaharada^a, Nobuyuki Kawai^{ai}, Taro Kawano^a, Shigeo Kawasaki^a, Dmitry Khangaluyan^a, Caroline Kilbourne^b, Mark Kimball^b, Masashi Kimura^{aj}, Shunji Kitamoto^{ac}, Tetsu Kitayama^{ak}, Takayoshi Kohmura^{al}, Motohide Kokubun^a, Saori Konami^a, Tatsuro Kosaka^{am}, Alexander Koujelev^{an}, Katsuji Koyama^{ao}, Hans Krimm^b, Aya Kubota^{ap}, Hideyo Kunieda^e, Stephanie LaMassa^o, Casey Lambert^x, Philippe Laurent^{aq}, François Lebrun^{aq}, Maurice Leutenegger^b, Olivier Limousin^{aq}, Michael Loewenstein^b, Knox Long^{ar}, David Lumb^v, Grzegorz Madejski^f, Yoshitomo Maeda^a, Kazuo Makishima^{ab}, Maxim Markevitch^b, Candace Masters^b, Hironori Matsumoto^e, Kyoko Matsushita^{al}, Dan McCammon^{as}, Daniel McGuinness^b, Brian McNamara^{at}, Joseph Miko^b, Jon Miller^{au}, Eric Miller^{av}, Shin Mineshige^{aw}, Kenji Minesugi^a, Ikuyuki Mitsui^{ae}, Takuya Miyazawa^e, Tsunefumi Mizuno^v, Koji Mori^{aa}, Hideyuki Mori^e, Franco Moroso^{am}, Theodore Muench^b, Koji Mukai^b, Hiroshi Murakami^{ax}, Toshio Murakami^u, Richard Mushotzky^{ay}, Houshi Nagano^c, Ryo Nagino^g, Takao Nakagawa^a, Hiroshi Nakajima^g, Takeshi Nakamori^{az}, Shinya Nakashima^a, Kazuhiro Nakazawa^{ba}, Yoshiharu Namba^{bb}, Chikara Natsukari^a, Yusuke Nishioka^{aa}, Masayoshi Nobukawa^{ao}, Hirofumi Noda^r, Masaharu Nomachi^{ba}, Steve O' Dell^{ba}, Hirokazu Odaka^a, Hiroyuki Ogawa^a, Mina Ogawa^a, Keiji Ogi^{aj}, Takaya Ohashi^a, Masanori Ohno^v, Masayuki Ohta^a, Takashi Okajima^b, Atsushi Okamoto^{aj}, Tsuyoshi Okazaki^a, Naomi Ota^{ba}, Masanobu Ozaki^a, Frits Paerels^{bf}, Stéphane Paltaniⁱ, Arvind Parmar^{bw}, Robert Petre^b, Ciro Pintoⁿ, Martin Pohl^t, James Pontius^b, F. Scott Porter^b, Katja Pottschmidt^b, Brian Ramsey^{bd}, Rubens Reis^{au}, Christopher Reynolds^{ay}, Claudio Ricci^{aw}, Helen Russellⁿ, Samar Safi-Harb^{bb}, Shinya Saito^a, Shin-ichiro Sakai^a, Hiroaki Sameshima^a, Kosuke Sato^{al}, Rie Sato^a, Goro Sato^{ah}, Yoichi Sato^{aj}, Makoto Sawada^k, Peter Serlemitsos^b, Hiromi Seta^{bi}, Yasuko Shibano^a, Maki Shida^a, Takanobu Shimada^a, Keisuke Shinozaki^{aj}, Peter Shirron^b, Aurora Simionescu^a, Cynthia Simmons^b, Randall Smith^t, Gary Sneiderman^b, Yang Soong^b,

Lukasz Stawarz^a, Yasuharu Sugawara^{bj}, Satoshi Sugita^j, Hiroyuki Sugita^{aj}, Andrew Szymkowiak^o, Hiroyasu Tajima^e, Hiroaki Takahashi^g, Hiromitsu Takahashi^v, Shin-ichiro Takeda^a, Yoh Takei^a, Toru Tamagawa^r, Keisuke Tamura^e, Takayuki Tamura^a, Takaaki Tanaka^{ao}, Yasuyuki Tanaka^v, Yasuo Tanaka^a, Makoto Tashiro^{bi}, Yuzuru Tawara^e, Yukikatsu Terada^{bi}, Yuichi Terashima^j, Francesco Tombesi^b, Hiroshi Tomida^{aj}, Yoko Tsuboi^{bj}, Masahiro Tsujimoto^a, Hiroshi Tsunemi^g, Takeshi Tsuru^{ao}, Hiroyuki Uchida^{ao}, Hideki Uchiyama^{bk}, Yasunobu Uchiyama^{ac}, Yoshihiro Ueda^{aw}, Shutaro Ueda^g, Shiro Ueno^{aj}, Shinichiro Uno^{bl}, Meg Urry^o, Eugenio Ursino^w, Cor de Vries^d, Atsushi Wada^a, Shin Watanabe^a, Tomomi Watanabe^b, Norbert Werner^f, Nicholas White^b, Dan Wilkins^x, Shinya Yamada^s, Takahiro Yamada^a, Hiroya Yamaguchi^b, Kazutaka Yamaoka^e, Noriko Yamasaki^a, Makoto Yamauchi^{aa}, Shigeo Yamauchi^{be}, Tahir Yaqoob^b, Yoichi Yatsu^{ai}, Daisuke Yonetoku^u, Atsumasa Yoshida^k, Takayuki Yuasa^r, Irina Zhuravleva^f, Abdu Zoghbi^{ay}, John ZuHone^b,

**SPiE paper
2014**

**参加研究者: 201
参加研究機関: 64**

**More than 200 scientists
from
Japan/US/Europe/Canada**

日本、アメリカ、オランダ、スイス、カナダ、フランス イギリス、アイルランド他

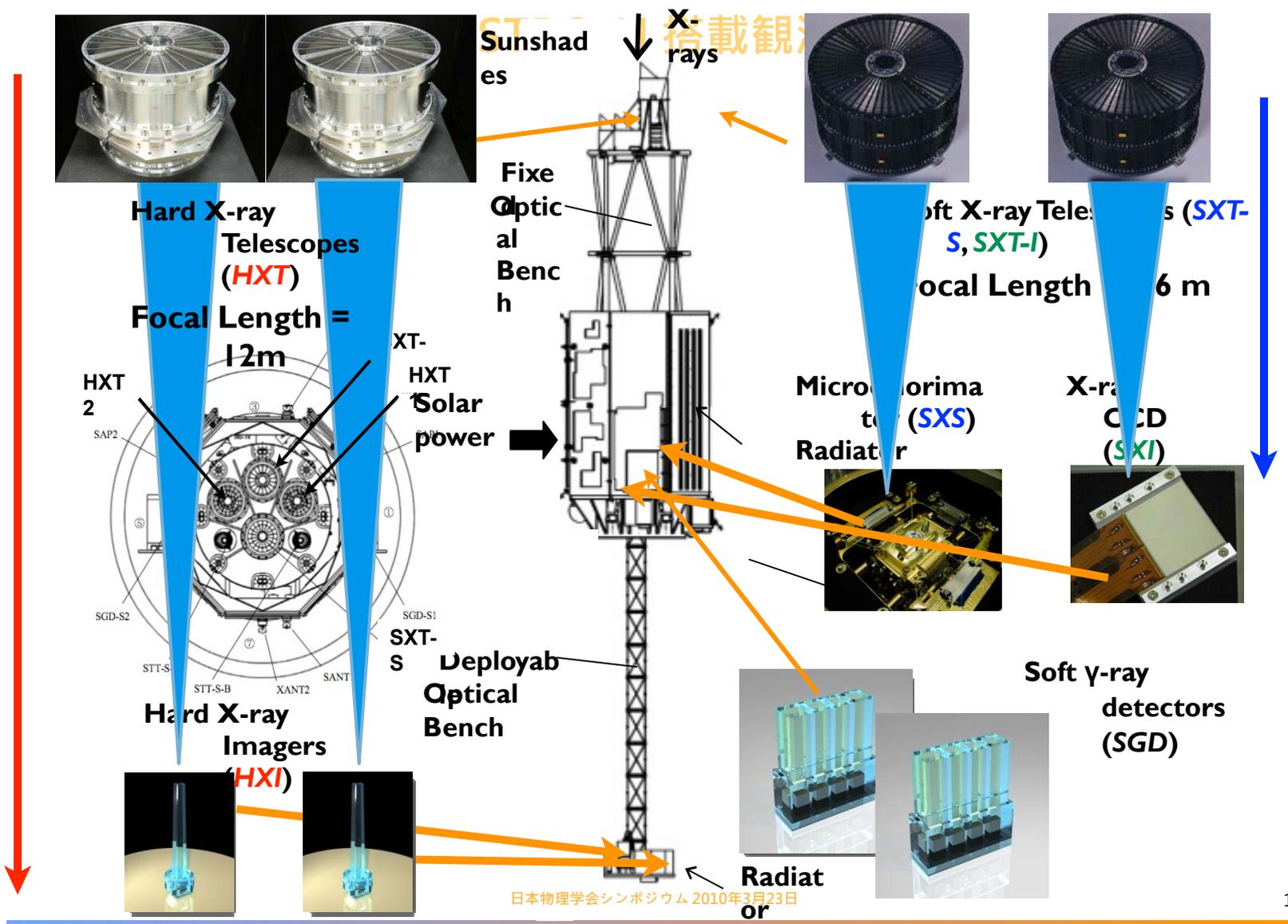


大型科学衛星開発

ASTRO-Hは、相模原では組み上げられないほど大きいので、筑波で組み上げ、試験を実施。

- 1) バス系は、ほぼフルの冗長系（科学衛星ではじめて）。
- 2) 近地球衛星で慣性空間指向、日陰日照で温度分布がかわり、軌道周回で地球アルベドや重力傾斜の方向も変わると言う厳しい条件下で、60秒角以内という高い指向精度を達成するための高度な、熱構造設計（宇宙研工学）
- 3) バス側/ミッション側とも SpaceWire I/Fを全面的に用いたデータ通信を行うネットワーク型衛星の先駆け（世界的に）（湯浅，国分，石崎，能町，高橋他）



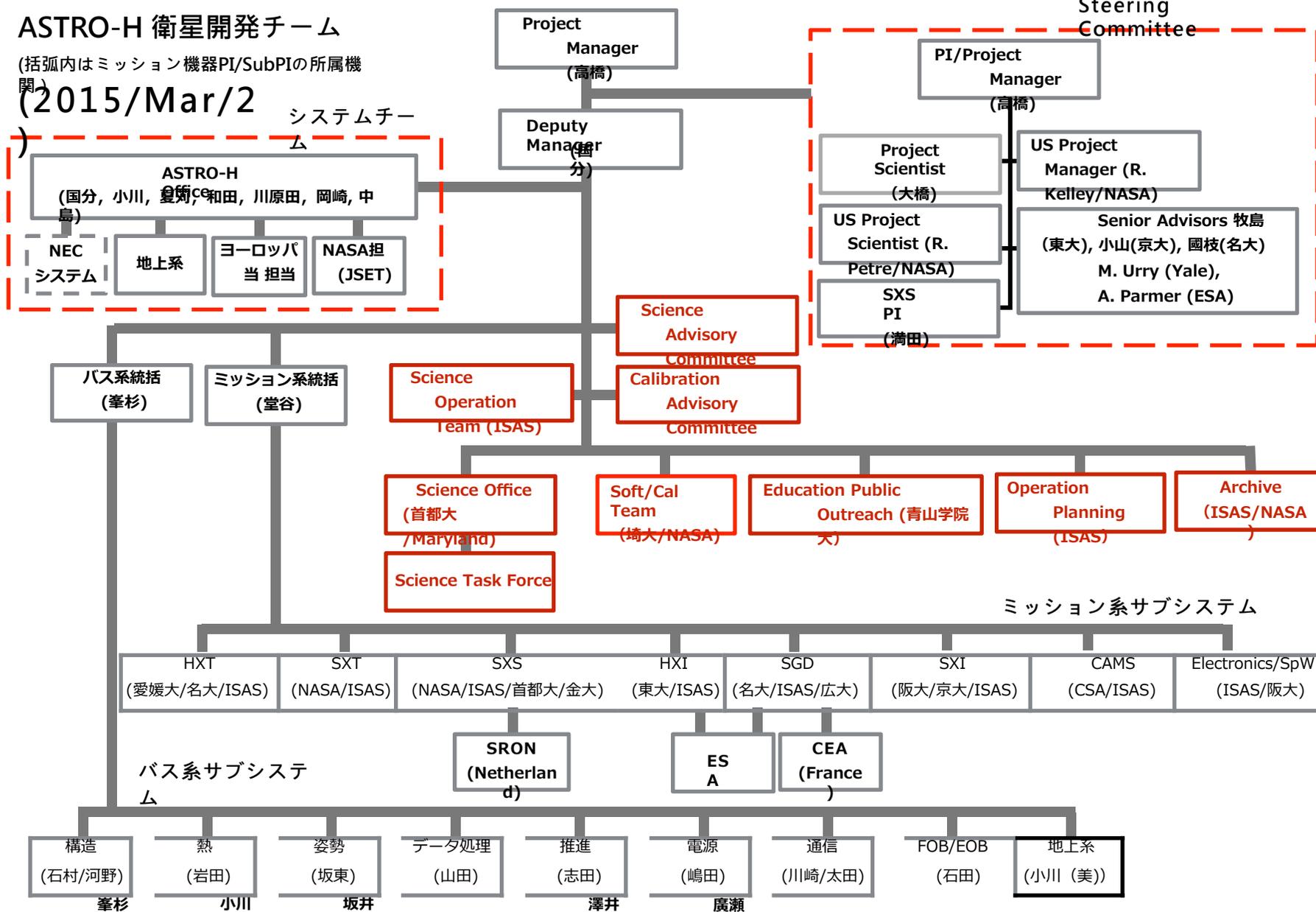


ASTRO-H 衛星開発チーム

(括弧内はミッション機器PI/SubPIの所属機関)

(2015/Mar/2)

システムチーム



全体開発取りまとめ	JAXA
システム、バス系 (光学ベンチを除く)、全体開発取りまとめ支援	NEC
バス系 (光学ベンチ)	NIPPI(日本飛行機)

ミッション機器センサー、望遠鏡設計、開発	JAXA, 大学、海外機関
ミッション機器センサー製造	MHI (三菱重工業名誘)
冷凍機、冷却系	SHI (住友重機)

All instruments has been fabricated, tested, and calibrated in 2013-2015.

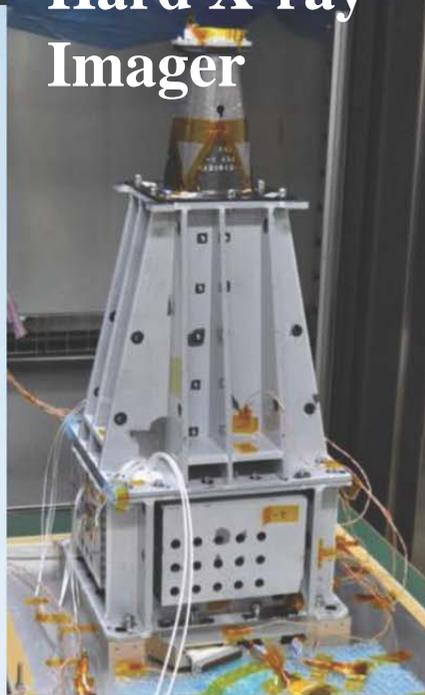
X-ray Telescopes



SXS (Calorimeter)



Hard X-ray Imager



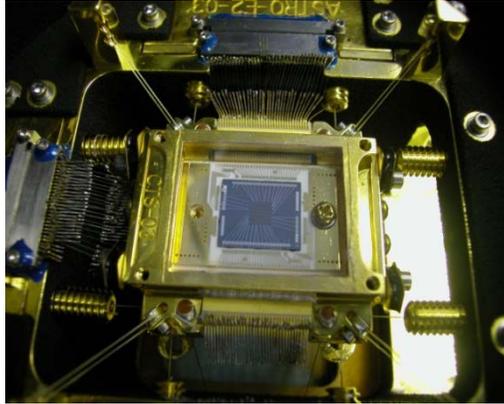
Soft X-ray Imager (CCD)



Soft Gamma-ray Detector



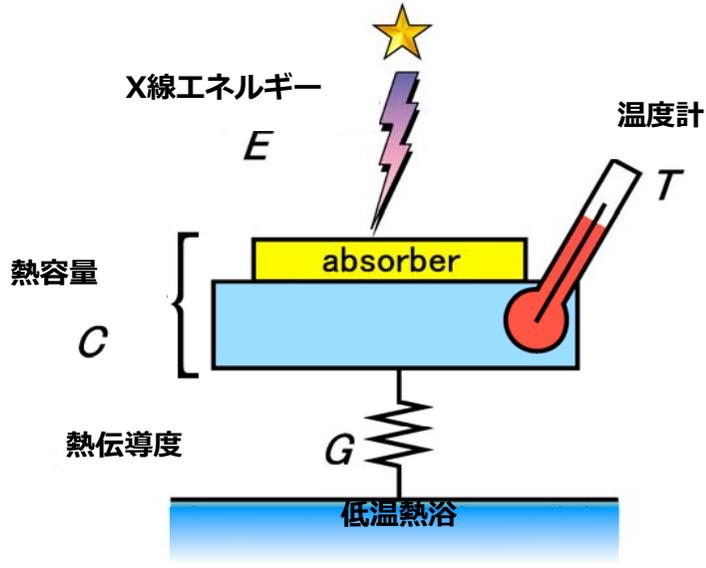
X. 軟X線分光検出器(SXS/XCS) : X線マイクロカロリメーター



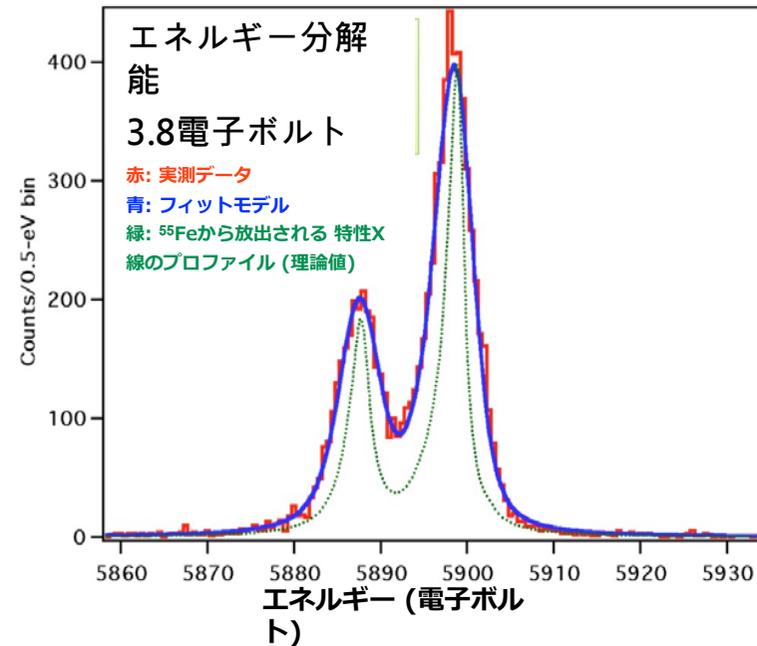
ISAS/金沢/首都大/理研/
GSFC/SRON/Geneva U

	Requirements (/Goal)
Energy resolution	7 eV (FWHM) (4 eV(FWHM) Goal)
Energy range	0.3 - 12 keV
Field of view	2.9 x 2.9 arcmin
Detector array	6 x 6
Absorber size	800 μm
Effective area	160 / 210 cm^2 (at 1 / 6 keV)

マイクロカロリメーターは、エネルギーを熱に変えて温度上昇を精密に測定する(下図)。そのために、センサー部を50ミリ度に冷却することが必要である。



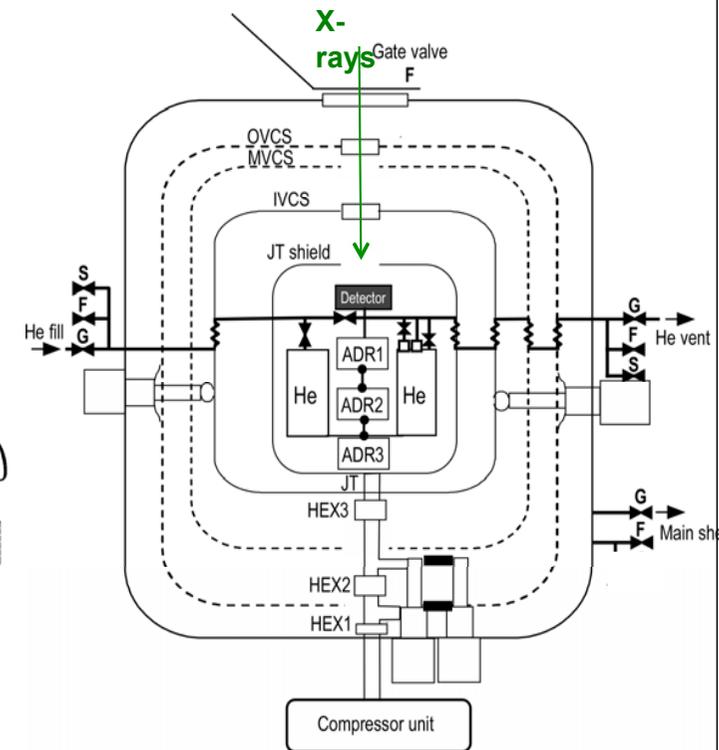
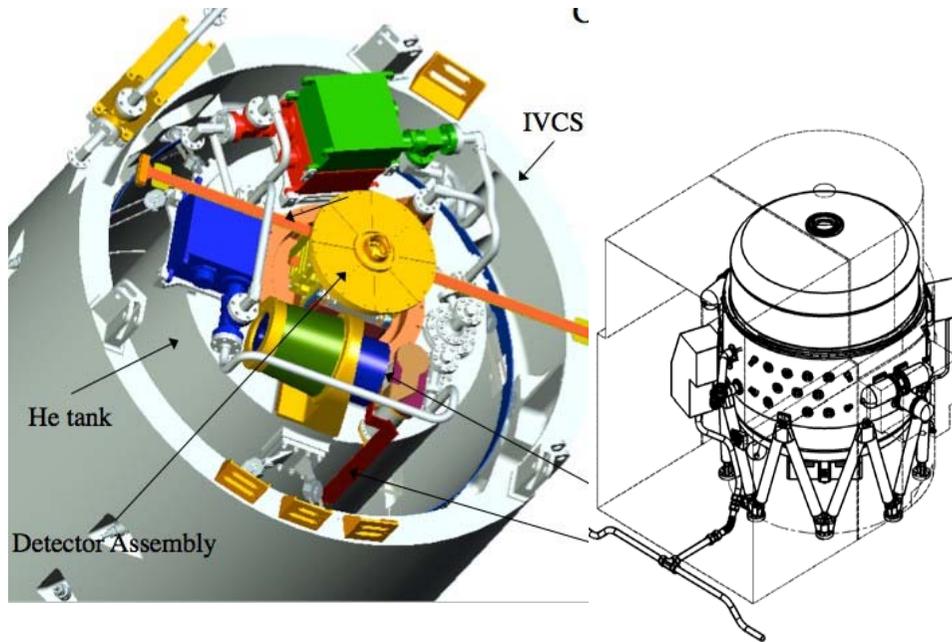
^{55}Fe 放射線源に対するエネルギースペクトル



X. 軟X線分光検出器(SXS/XCS) : 極低温デュワー

センサー部を50mKに保つ

打ち上げの機械環境に耐えつつ、30 リットルの液体ヘリウムを3年以上 持たせる (=ヘリウムタンクへの侵入熱を数10マイクロW以下に抑える) ということが要求される



液体He+2段ST Cooler + JT Cooler+ADR

SGD Concept

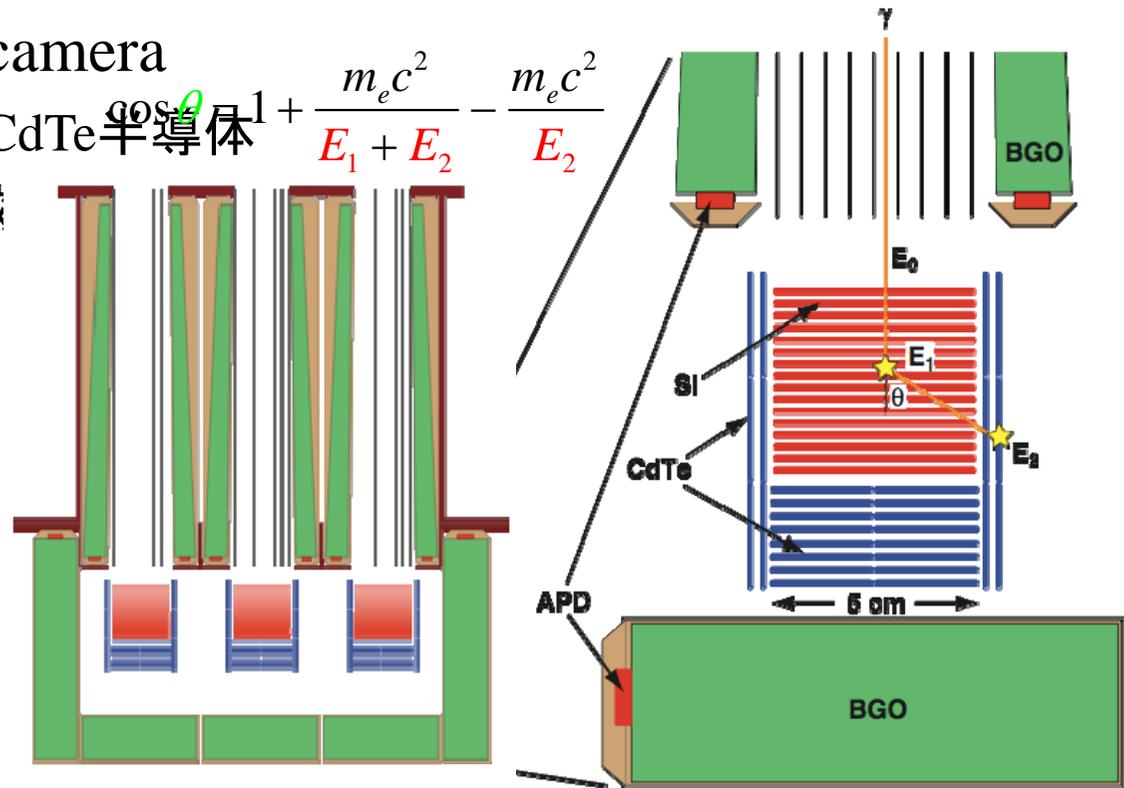
- 狭視野Compton Camera技術により、60-600keVでバックグラウンドを極限まで下げて感度を上げる

- 狭視野 Compton camera

- BGO Active shieldで囲んで、バックグラウンド低減(すざくHXDで実証)
- Compton 再構成によるイベント選別により、バックグラウンド低減

- 多層半導体 Compton camera

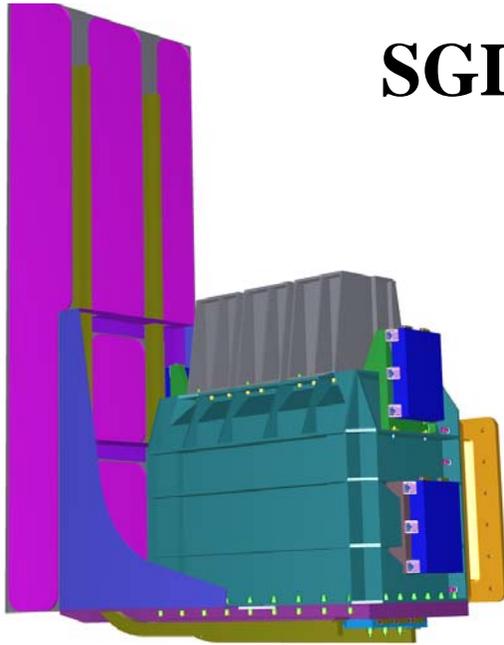
- 散乱体のSi、吸収体のCdTe半導体
- 多層化により高い検出効率
- 角度分解能向上



- Extra success

- 明るい天体のガンマ線偏光測定

SGDは衛星パネル外の機器なので、大変



CFRPハウジング

BGO約100kgやラジエータを支える、熱歪み対策、アライメント

冷却システム

ヒートパイプ、ラジエータ、
MLI（多層断熱材）、
断熱・遮光板（衛星サイドパネル、ソーラーパネル、地球アルベド、深宇宙など）

コールドプレートを -20°C ～ -25°C にヒータ制御

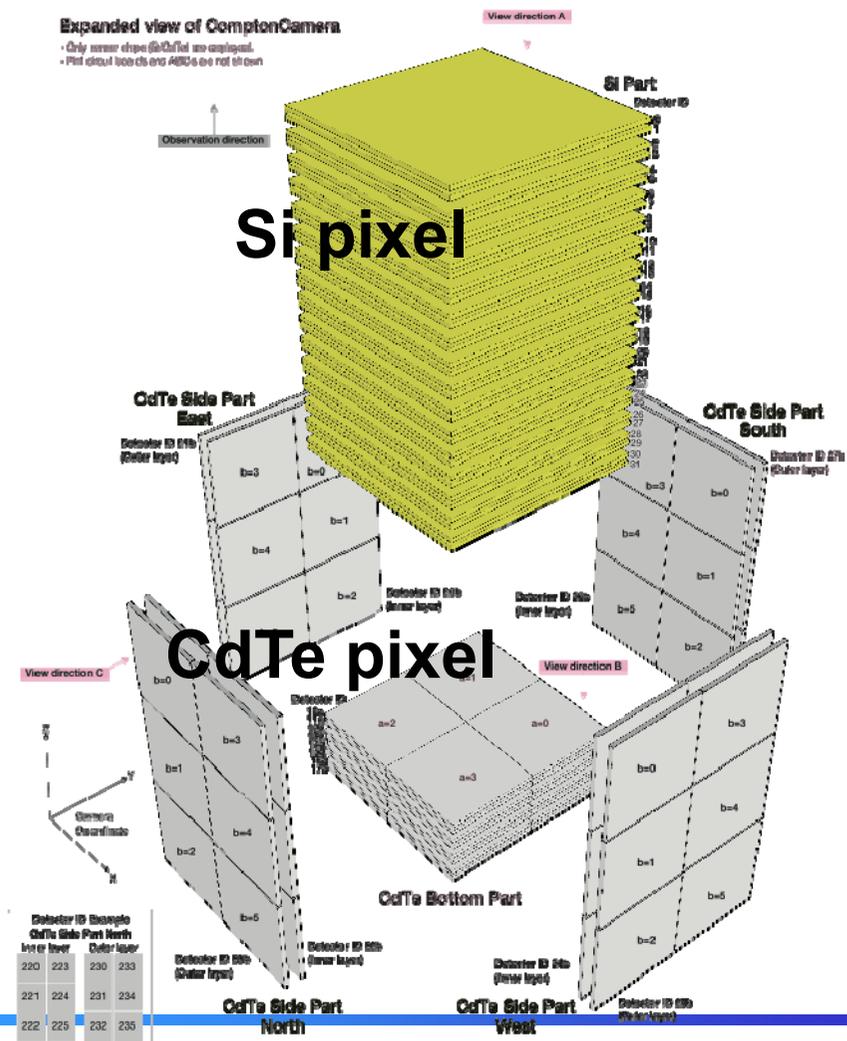
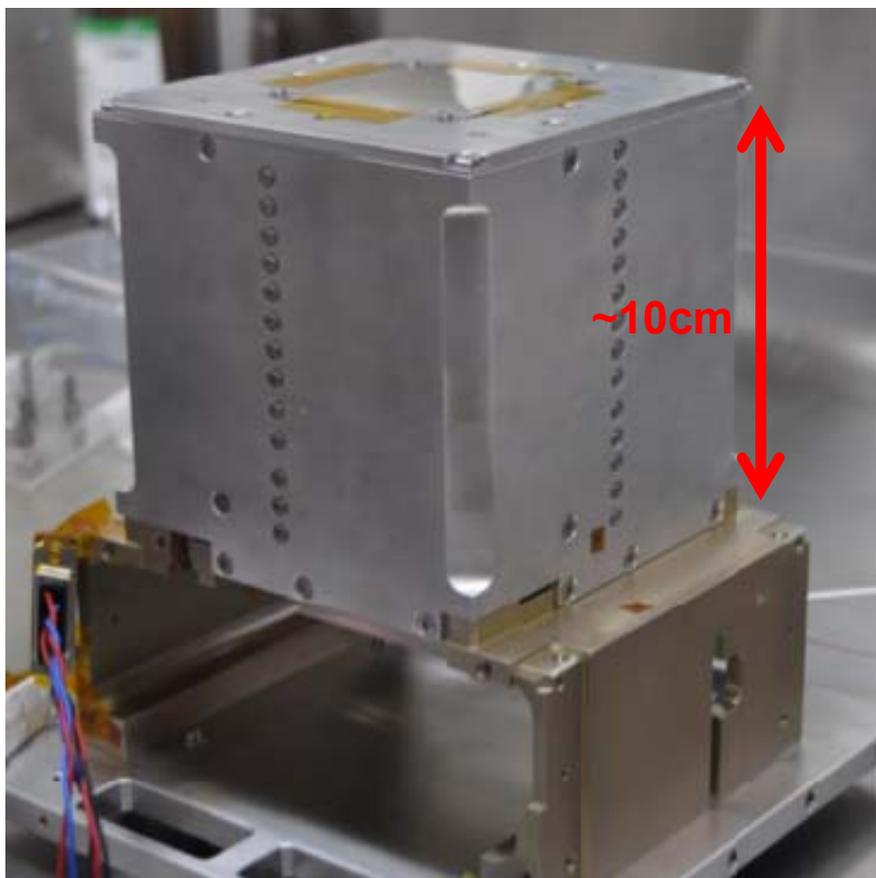
CC, APDを -15°C ～ -20°C に保つ





ガンマ線コンプトンカメラ

- Si pixel sensor $\times 32$ + CdTe pixel sensor $\times 80$
- Total readout channels: 13,312 ch



ASTRO-H衛星の開発

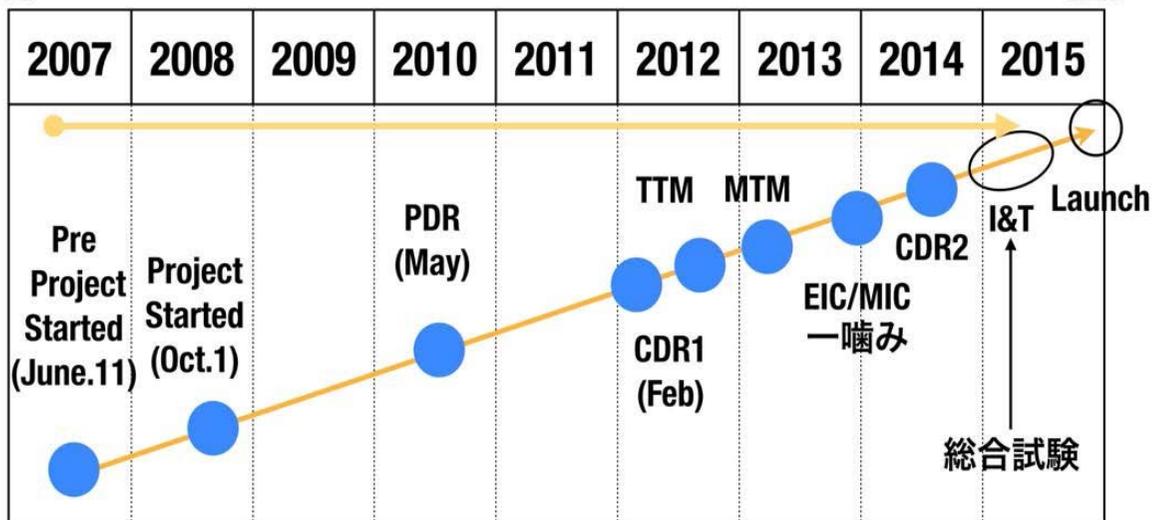
ASTRO-H - これまで辿った年月 -

H15

2003	2004	2005	2006
▲ 第一回		▲ 第二回	

2003年 第一回提案(NeXT衛星)
 2005年 第二回提案
 2008年 JAXA ASTRO-H プロジェクト発足
 2010年 基本設計終了
 2012年 詳細設計終了
 2014年 一次噛み合わせ試験終了
 2014年11月 総合試験開始

H19



H27

最初の提案から13年, プロジェクト開始から9年

2008-2015年 設計会議 20回

全体会、設計の最終確認、審査説明・報告、試験説明・報告、
システム・各サブシステム報告

2008年春 SDR(システム設計審査)

2009年秋冬 PDR(基本設計審査)

2012年春 CDR(詳細設計審査)

システム・サブシステムレベルごとに行なう

システム、

熱制御系、構造系、電源系、姿勢系、推進系、通信系、
データ処理系、EOB、

各観測装置(SXT,HXT,AMS,SXS,SXI,HXI,SGD)

2012年 TTM(熱モデル試験), MTM(構造モデル試験)
衛星構体はフライトモデル、
サブシステムは熱モデル、構造モデル
熱真空試験、熱歪試験、振動・衝撃・音響・擾乱試験を行なう

2011-2014年 フライトモデル製作、試験
各サブシステムで電気試験、熱真空試験、
振動衝撃音響試験、キャリブレーション(観測装置)

2014年 1次噛み合わせ試験
電気・機械噛み合わせ、組み立て、電気試験

2015年 総合試験
組み立て、
詳細電気試験、熱真空試験、振動・衝撃・音響試験
試験セットアップのため、一部を分解組
み立てしながら行なう。

2016年 射場試験、打ち上げ、初期運用

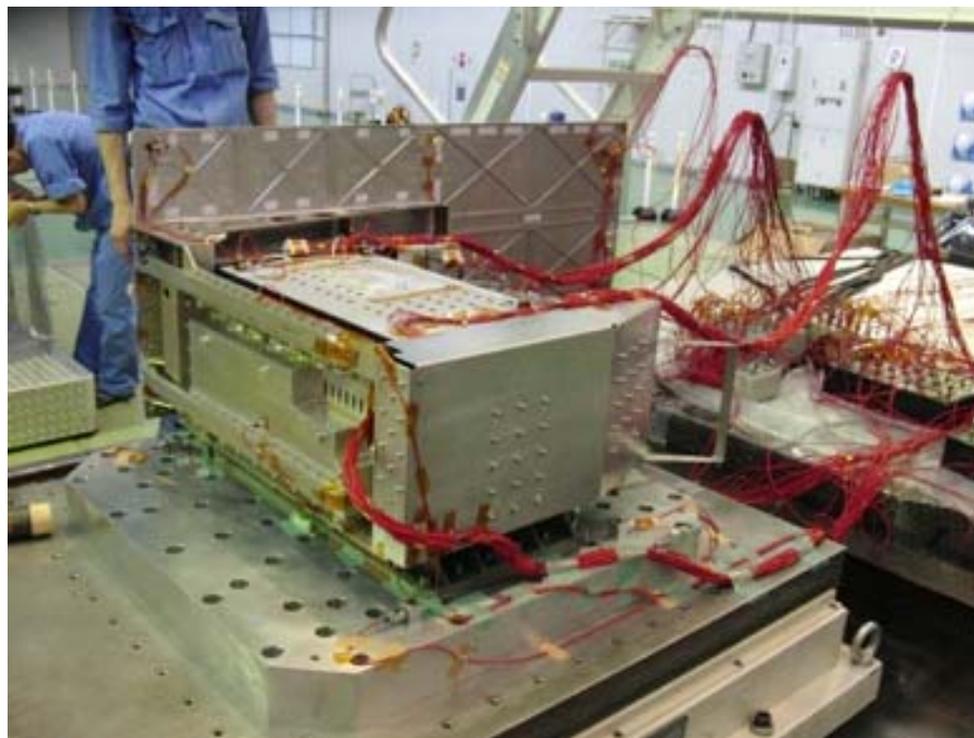


SGDの環境試験

X, Y, Z 3軸

振動・衝撃試験

音響試験



SGDの地上キャリブレーション(-20度)

1週間24時間体制。
放射線源を当てて、
装置の性能確認。
応答関数のための
データ取得。



SGDの熱真空試験



2週間24時間体制



2014.12.04.SXS冷凍機到着



2015.02.28. 朝会夕会の激論



**2015.04.17 最後の機器SGDが
衛星に引き渡し!**



**2014.12.31.覚王寺で除夜の
今年はずくばで年越しの人多し**



衛星全体の試験

一次噛み合わせ(2014/1～7月)



総合試験/衛星の最終組み上げ
(2015年1～11月)



衛星組み立てのためのやぐら



音響試験





振動衝撃試験



熱真空試験 2週間24時間体制



(補足) 気球実験について

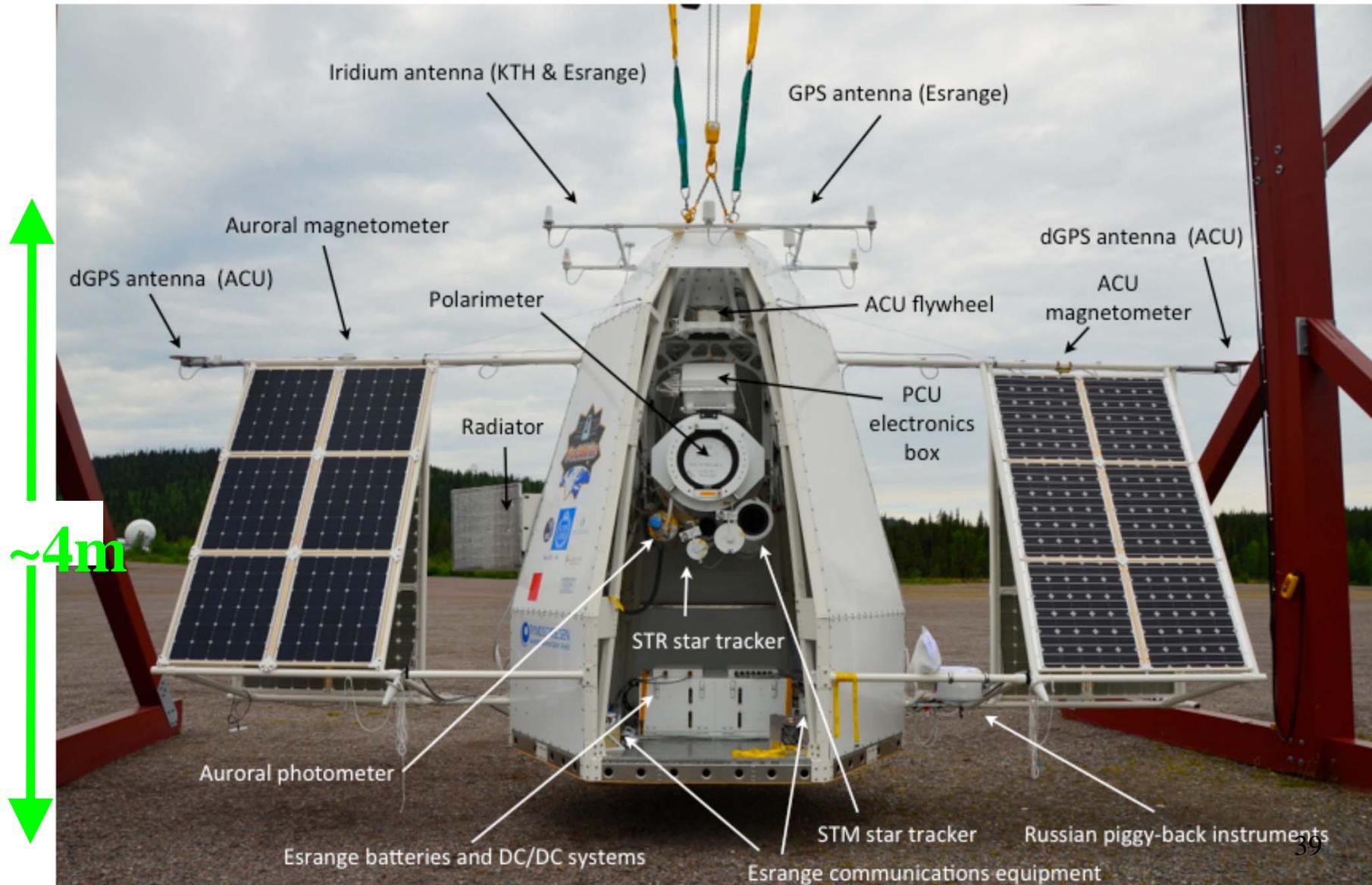
衛星に比べた安価

ただし、衛星と違って、システム全体を実験グループだけで責任をもって開発する必要。

装置を載せるゴンドラ(構体)、姿勢制御も自分たちで開発。



PoGOLite Overall View (2013)



3. 衛星開発と大学院教育

学生の参加

詳細設計を決めるための基礎実験

センサー部、回路、環境維持装置(熱、構造....)など
メーカーが試作した機器の試験

フライト機器の性能評価

データ解析ソフトウェアの開発(応答関数作成も含む)

地上キャリブレーション実験の参加、データ解析

環境試験の参加(当番シフト、データチェック)

軌道上キャリブレーション、解析ソフトウェアアップデート

可視光観測装置開発と違う点

地上キャリブレーション実験の参加、データ解析
初期の軌道上キャリブレーション

スケジュールが決まっているので、その期間中に行なうように計画を立てて実行しないといけない

データ解析ソフトウェアの開発(応答関数作成も含む)

X線ガンマ線衛星の場合は、NASAなどのソフトウェア開発部隊と仕様設計を決めた中で開発しないといけない

可視光観測装置開発と違う点

フライト機器の性能評価

絶対に壊してはいけない。スケジュールが決まっている。

メーカーの人の管理の下で試験を実施する。

限られた試験しかできない。

数の多いパーツの試験の場合、同じ作業が繰り返される。

基礎実験と違って、自由度が小さく、個人の自由な発想を磨く要素がほぼない(気球実験は、その点は緩い)

可視光観測装置開発と違う点

環境試験の参加(当番シフト、データチェック)

熱真空試験は、機器ごとにも行なわれる。

2週間くらい、単純チェック作業が徹夜で続く。

多くの学生に、当番シフトで入ってもらう。

ASTRO-H SXSの場合は、冷凍機の試験や維持のため、24時間体制が数ヶ月以上とられていた。

単なるシフト要員となってしまう可能性あり。

単にやらされていると思われてしまう。

いかに学生にモチベーションを与えるかが重要。

可視光観測装置開発と違う点 すべてが文書で管理される

JAXA規定の上位文書の下で システム確認書

ASTH-113	テレメトリ/コマンド/ネットワーク設計 確認書	Rev.5/2014.06.12
ASTH-200-05	FDIR設計確認書	Rev.1/2012.02.20
ASTH-200-07	時刻設計確認書	初版/2014.09.09
ASTH-107	マスタースケジュール	Rev.9/2014.11.14

個別機器

サブシステム設計書
インターフェース確認書
開発仕様書
全体、構成品ごと

試験手順書

衛星全体、個別機器ごとに、いろいろな試験ごとに

ASTRO-Hの場合

ASTH-007	ASTRO-H部品プログラム	Rev.3/2013.11.21
ASTH-101	ASTRO-H搭載機器の 電気設計基準書	Rev.7/2012.05.22
ASTH-102	ASTRO-H搭載機器の 熱設計基準書	Rev.2/2010.09.07
ASTH-103	ASTRO-H搭載機器の 機械設計基準書	Rev.5/2012.10.11
ASTH-110	ASTRO-H搭載機器の 耐環境性設計基準書	Rev.10/2015.11.25
ASTH-111	テレメトリ/コマンド設計 基準書	Rev.6/2015.11.03
ASTH-112	SpaceWire ネットワーク 設計基準書	Rev.1/2011.02.14
ASTH-114	コンタミネーション管理 計画書	Rev.2/2014.06.12
ASTH-115	MMOD損傷防護計画 書	Rev.2/2011.06.06

可視光観測装置開発と違う点

いろいろな審査が各段階で実施される

機器ごとに文書を作成して説明

設計、スケジュール、懸念事項、試験計画、
エラー解析など

設計を確認していくという意味で重要

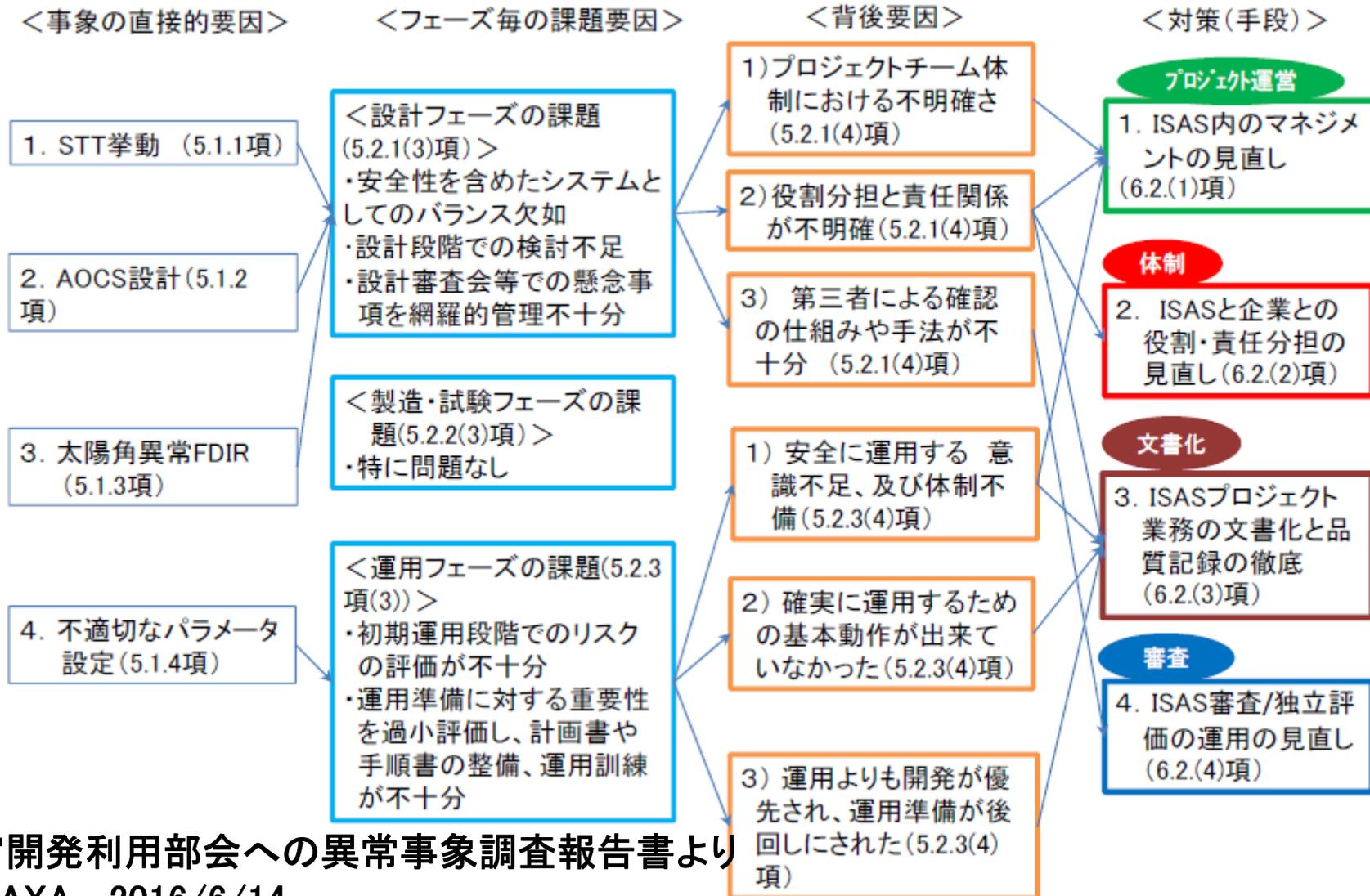
かなり膨大な文書量

アクションアイテムの管理も重要

ひとみ衛星事故の分析とJAXAの対策

【補足K】 要因と今後のISASプロジェクト運営の改革との関係

補足K



今後の科学衛星プロジェクトに参加していく高宇連会員に対する提言

「ひとみ喪失に対するX線コミュニティの総括」(高宇連HPに掲載)より抜粋

A) リスク識別方法の改善とプロジェクト

参加者に対する教育本異常事象の背後要因のひとつとして、「科学成果創出の観点から必ず達成すべき要求」と「さらに効率を高めるための要望」の分離や、要求の詳細化に不十分な点があった。プロジェクト参加者は、科学成果のための要求と、それに伴うリスクを明確にし、透明な環境でトレードオフを実施する必要がある。また、識別されたリスクは、運用を含むプロジェクトの全期間を通じて追跡する取り組みを、担当者の定義、プロジェクト全体として記録・文書化の徹底など必要な措置を講じることで、確実に実施する。これらを有効に機能させるために、体系的な学習の機会を設けるなどして、システムズエンジニアリングの考え方を理解し、過去の衛星の教訓を継承し、異常時も含めて現衛星のシステムとしての動作を正確に把握してリスクを正当に評価できる能力を高める努力をする。

B) 打ち上げ後の運用および科学成果創出に関する準備と着実な実行

本異常事象の背後要因のひとつとして、特に打ち上げ後の運用計画・準備の不足が指摘されている。プロジェクト参加者は、衛星の設計段階より、打ち上げ後の定常運用・科学観測を見据え、プロジェクトの進捗に沿った確認・移行のステップを適切に設定し、早くから準備することが必要である。また観測データを有効に利用し、科学成果を創出するために、あるべき姿を計画の初期にチーム全体で共有し、実現にむけ段階を踏んだ計画をたて、進捗の情報を共有しつつ、十分な当事者意識をもって着実に推進する。

C) コラボレーションの分担・責任の明確化と適切なリソースの配置

プロジェクト参加者はすべて、科学衛星プロジェクトを進め、科学成果を創出することに大きな責任を負う。そのため、観測機器や解析ソフト開発、衛星運用などのプロジェクトで定義される各サブチーム、および科学者の立場でのプロジェクト参加者に対して、それぞれの分担・責任および指示・報告の経路を明確にする。一方で、JAXAと参加する大学・機関の緊密な協力が実現できるように、適切な管理に基づく十分な情報開示、クロスアポイントメントなどそれに見合ったエフォートを割ける仕組みをJAXAとともに検討する。さらに、各サブチームが必要に応じて専門家の助力をえられるよう衛星プロジェクト全体として体制を整える。

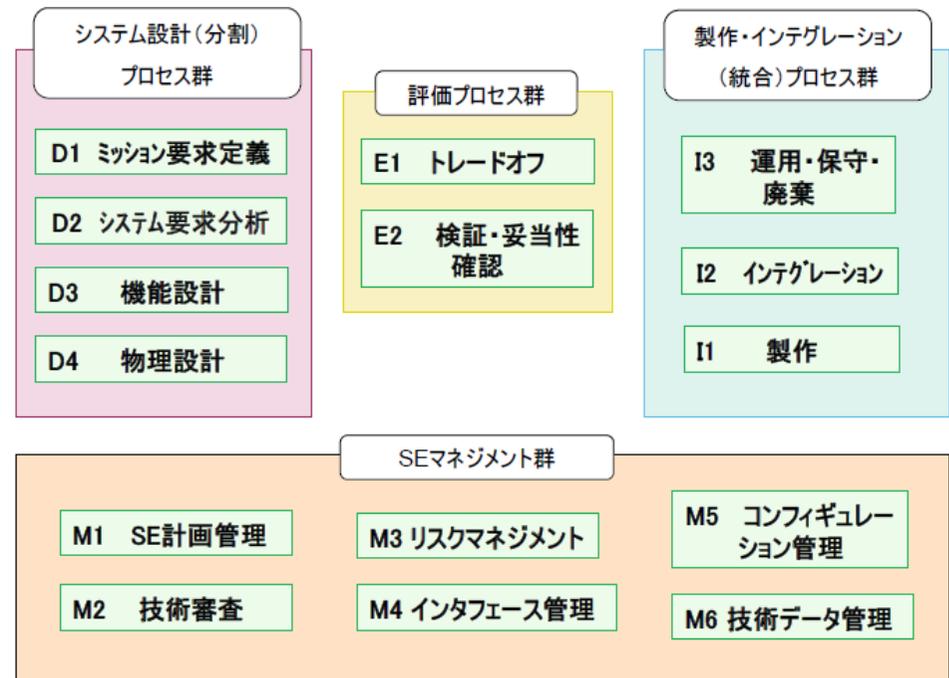
D) サブチーム間の連携のための情報共有

コラボレーション全体での情報共有とリソース配置を有機的・効率的に進めるために、従来の設計会議や各段階での審査会だけでなく、衛星の設計、製造、試験、運用の全期間を通して、情報を広く共有し、サブチーム間の連携を高める体制をJAXAと相談・協力しながら構築していく必要がある。たとえば、それぞれのサブチームから、意思決定のできるリーダーを集めた連絡会を定期的に関開くなどの方策をとり、その中で各サブチームの状況を網羅的に共有できる雰囲気を作る。これによって、各サブチームが自らの問題に早期に気づく可能性を高めるとともに、複数のサブチームに共通した問題点を浮き彫りにする仕組みを構築する。こうした取り組みは、結果的に、問題の早期発見と解決、リソースの有効活用につながる。また普段からコミュニティ内の意思疎通や情報の共有を図るために、ISAS/JAXAと大学間の人事交流を一層促進する。

提言中でのキーワード

システムエンジニアリング

つくばJAXAでは徹底されているようだが、大学の理学の人はなかなかそのような教育を受けていない。あるいは、そのようなことを理学の人が行う必要があるのか、との意見も。



クロスアポイントメントとエフォート管理

大学では研究教育・大学運営に従事しなければならない。そのような状況で、先の提言を全部実行することは、時間的に難しい。JAXAと大学の間でクロスアポイントメント制度などを利用して、きちんとエフォート管理していくことが必要だろう。

まとめ

衛星プロジェクトは、どんどん複雑化高度化しているため、大学が参加していくためには、何らかのしくみが必要。大学院生の教育としても参加も、よく考えないと、単なる労働力になってしまう。