

2021年度光学赤外線天文連絡会シンポジウム
「国際大型計画との関わり方を考える」
セッション1: 国際計画での経験

「ひので」： 国際太陽天文台での経験から

清水 敏文

宇宙航空研究開発機構 (JAXA)
宇宙科学研究所 (ISAS)

内容

プロジェクトの立案段階、実現段階、運用段階で行なわれてきたこと、問題となったことと克服の仕方、そしてコミュニティーの役割と期待することをレビュー

- 「ひので」とは
- 立案段階 (1991年～)
- 開発段階 (1998年～)
- 運用段階 (2006年～)

参考:

宇宙科学研究所の歴史に関する調査報告 理学と工学の連携の系譜 (著: 加治木 紳哉)

JAXA-SP-19-004

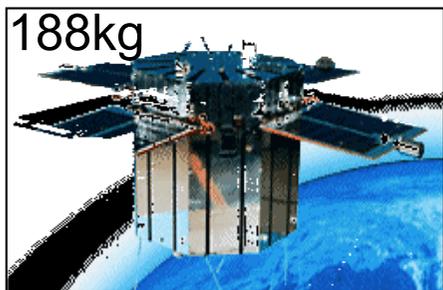
SOLAR-B提案書や設計会議資料他、手持ちの資料及び記憶

日本は飛翔体による太陽の磁気流体現象の研究で世界を先導



ロケット実験 XDT 1998

日本単独

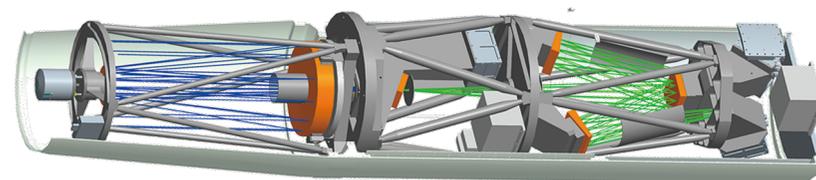


ひのとり (ASTRO-A)
1981-1982

日米英協力



ようこう (SOLAR-A)
1991-2001



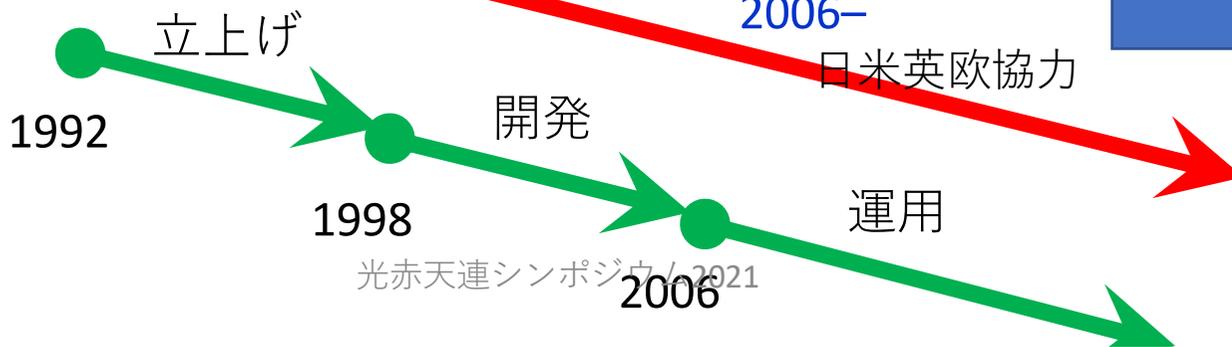
ロケット実験 CLASP 2015/9



ひので (SOLAR-B)
2006-

**Solar-C
(EUVST)**
2026/27~

大学院@1990



日米英欧協力

1. 第22号科学衛星「ひので」 (SOLAR-B)

- 「ひのとり」、「ようこう」に続く、わが国3機目の太陽観測衛星
- 科学目的：**太陽表面（光球面）とコロナの同時観測**を通じた、**光球面の磁氣的活動とそれに対応したコロナ活動の探究**により、以下の解明を目指す。
 - 太陽外層大気の成因
 - 太陽表面磁場とコロナのカップリング
 - 磁気リコネクション等電磁流体力学の現象

太陽観測衛星「ひので」 (SOLAR-B)



内之浦宇宙空間観測所
ロケット搭載直前クリーンルームにて

2021/9/6

光景写真 2021

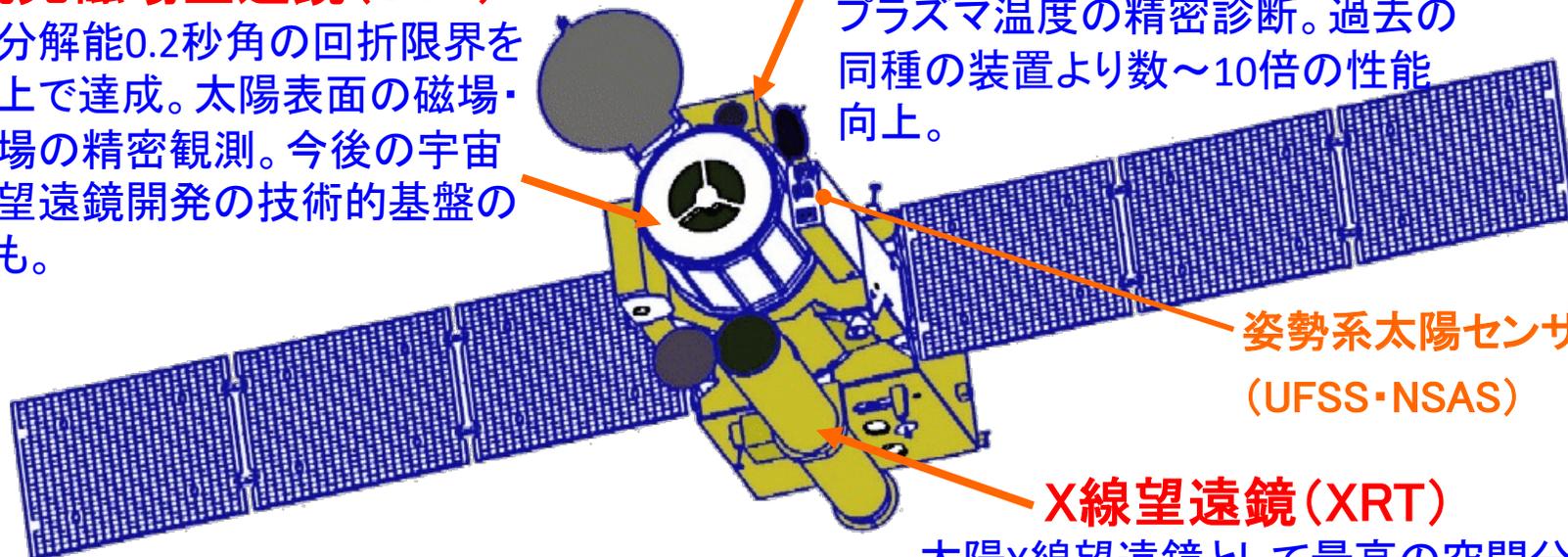
「ひので」搭載観測装置

可視光磁場望遠鏡 (SOT)

空間分解能0.2秒角の回折限界を軌道上で達成。太陽表面の磁場・速度場の精密観測。今後の宇宙光学望遠鏡開発の技術的基盤の意義も。

EUV撮像分光装置 (EIS)

コロナプラズマの速度の直接観測・プラズマ温度の精密診断。過去の同種の装置より数~10倍の性能向上。



姿勢系太陽センサ群 (UFSS・NSAS)

X線望遠鏡 (XRT)

太陽X線望遠鏡として最高の空間分解能 (1秒角/pixel; ようこの3倍) を達成。幅広い温度範囲でコロナ活動を観測。

■ 望遠鏡の開発・観測運用は、米・英および欧との大規模かつ緊密な国際協力のもとで推進。

■ 世界中の研究者に開かれた軌道上太陽天文台として観測を実施

「ひので」 実現に結集した世界の機関

SOKENDAI Journal No.16 2009

| 17



図2 「ひので (SOLAR-B)」衛星の開発に参加した世界の研究機関・大学。欧州宇宙機関 (ESA) とノルウェー宇宙センターは、科学データ受信を支援することでプロジェクトに参加している。

2021/9/6

清水記事 SOKENDAI Journal No. 16 2009より

日本における立案段階 (1/2)

- 1992/11 宇宙理学委員会 SOLAR-B WG設置了承
- 1992~ NAOJ/東大理を中心とした概念検討
 - 清水: 大学院生
 - SOT検討, XRT検討(1998 観測ロケットXDT実験につながる)等に参加。
 - 机上データ処理(画像圧縮)・観測制御(3観測装置協調動作)などの検討を主導
 - 3観測装置の概念検討
 - 米国の知見がある研究者らと、要求事項、技術的課題や実現方法に関して共同研究や情報交換
 - 参考: 清水: SOTのキー技術「偏光計測」の調査のため、一本さんに付いて米国ハンツビルに1ヶ月滞在
 - 参考: 清水: 1995.4から米国ボルダーに約1年学振滞在し、地上天文台で稼働中のSpectro-Polarimeterを学ぶ。

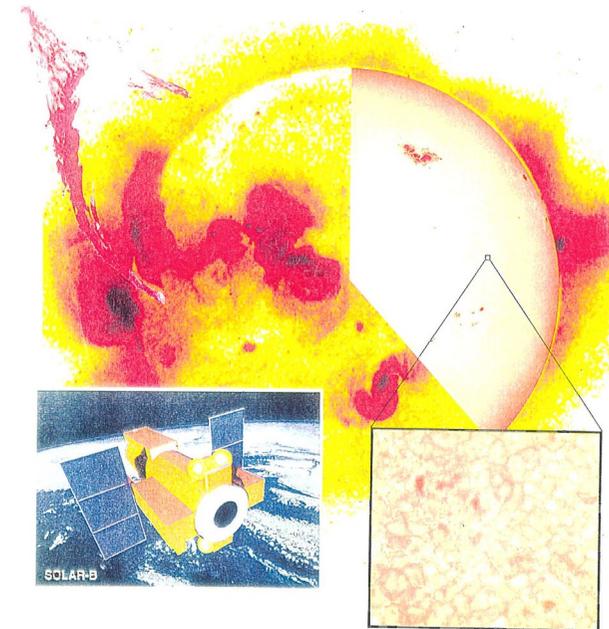
日本における立案段階 (2/2)

1996 (平成8) 年11月

- 1994/6 次期衛星計画具体案が科学衛星・宇宙観測シンポにて提示
- (1994-95 宇宙理学委員会 提案は不採択)
- 1996/10 宇宙理学委員会に SOLAR-B提案提出、評価小委員会で審議*1、1997/3 承認
- 1999/2 第1回SOLAR-B設計会議 (準備会議)

*1 地球大気圏観測衛星計画 ATMOSとの2案

SOLAR-B 衛星提案書



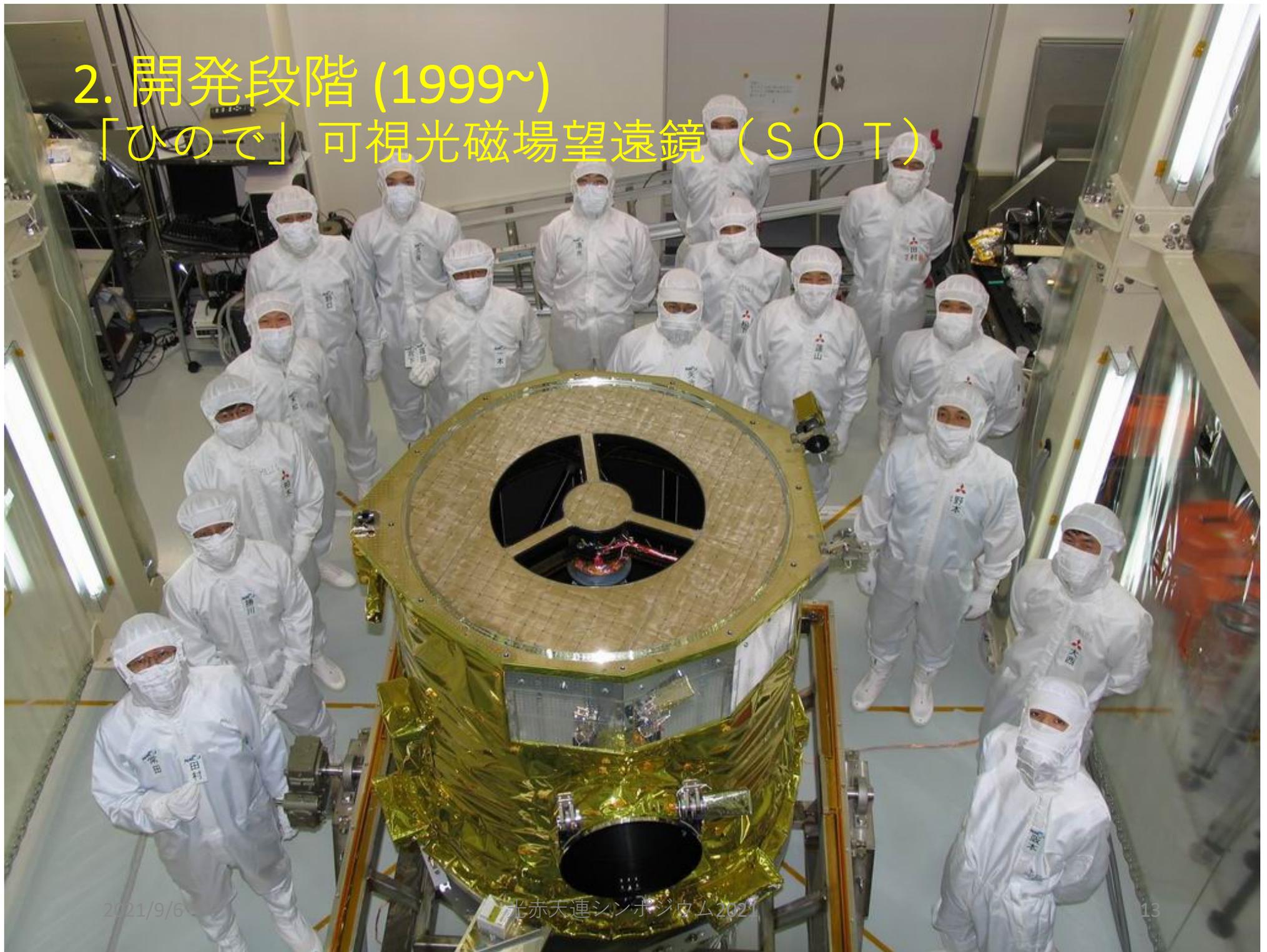
宇宙科学研究所
太陽観測衛星ワーキンググループ

(全 85頁)

海外での動向

- 日本での立案段階から、複数のグループからSOLAR-Bへの参加希望表明あり、日本も国際協力実現を切望
- NASA
 - Office of Space Science (OSS)の下に設置されたSun-Earth Connections Advisory Subcommittee (SECAS)において、太陽~惑星間空間物理学分野の将来計画を立案検討。
 - SECASが、1997夏を目指して、“Sun-Earth-Heliosphere Connections Roadmap”(案)の取りまとめ。その中で、SOLAR-BはNASAが参加すべき優先順位の高い国際協力ミッションに位置付けられていた。
- 1998年
 - NASA “SOLAR-B Announcement of Opportunity” (AO-98-OSS-05)発出
 - AOに対するコミュニティからの提案:日本側も提案評価に参加 (Strengths, weaknesses, E/VG/G/F/P評価) 1998.9
 - Scientific and technological merit
 - Hardware proposed
 - Programmatic relevancies
 - Fit to SOLAR-B constraints
 - Cost, management, and risk
 - Overall evaluation

2. 開発段階 (1999~) 「ひので」可視光磁場望遠鏡 (SOT)



「ひので」可視光・磁場望遠鏡

宇宙空間から太陽を観測する世界最大の高性能望遠鏡

太陽表面(光球、彩層)の磁場ベクトルや活動を高精度で計測します。

SOTは、望遠鏡部(OTA)と焦点面検出部(FPP)から構成されています。

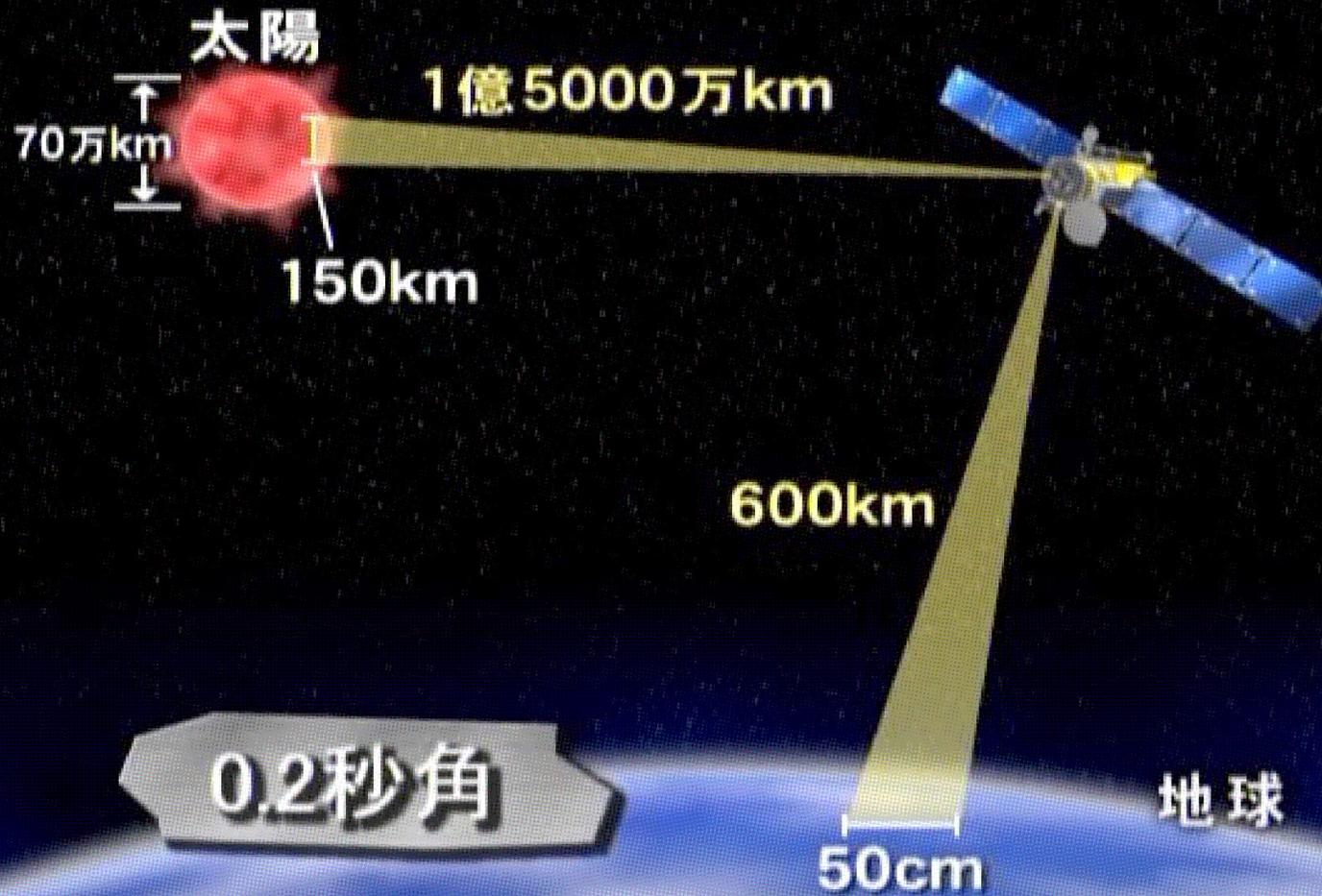
高解像度を確保するため、焦点面太陽像を安定化させる像安定化装置(コリレーショントラッカー及び可動鏡)システムを内蔵しています。

望遠鏡部主要特徴

- 有効口径 50 cmのグレゴリー式望遠鏡
- 回折限界分解能 0.2-0.3 秒角(太陽面上150-200 kmに相当)の画期的解像力
- 観測波長 380-670 nm (可視光域)

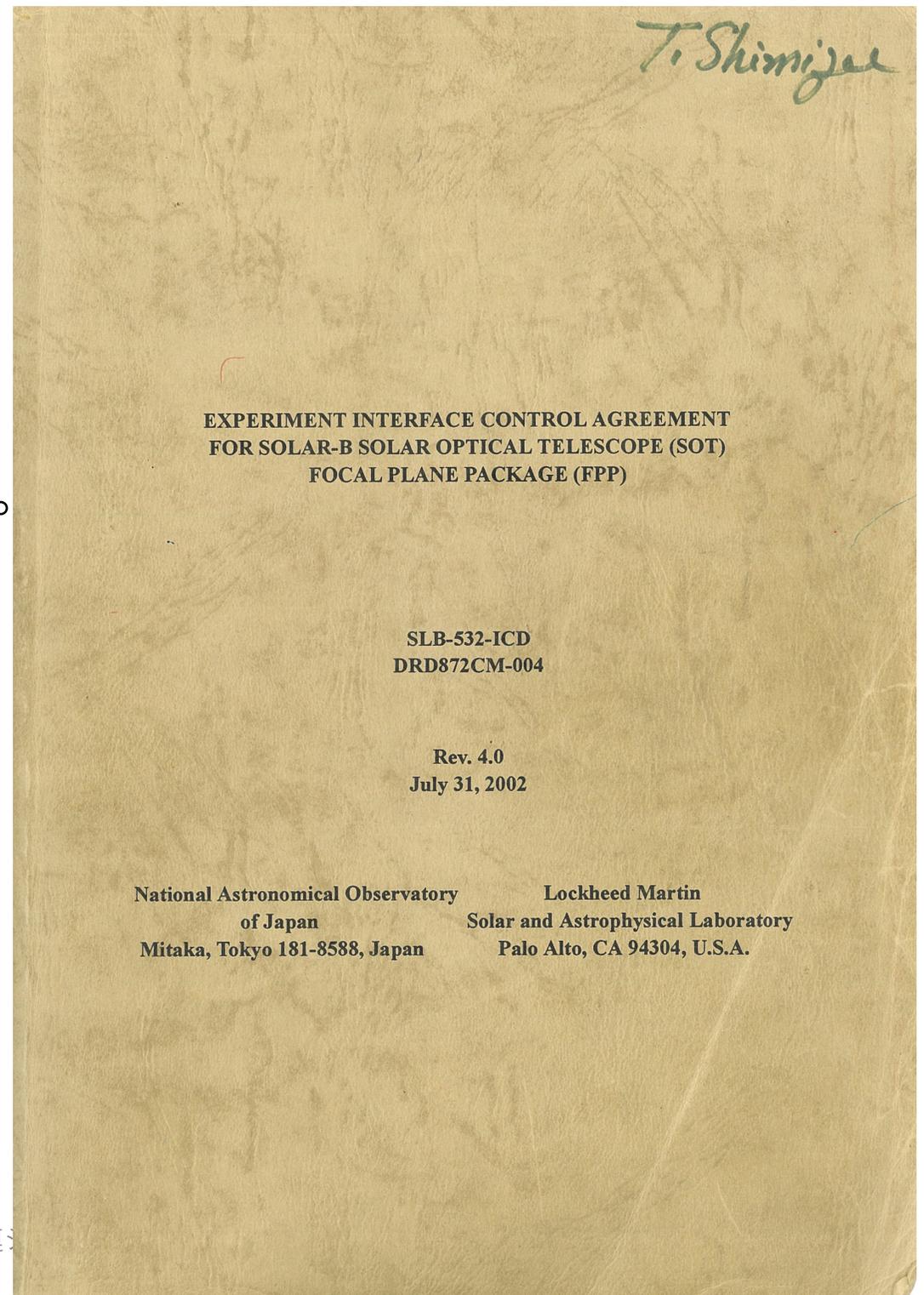


太陽面0.2秒角=
地上を見れたら50cmを分解する能力



技術調整

- 定期的な設計会議
 - 2-6ヶ月毎 (#1 1999.3 ~ #16 2004.10)
 - 双方担当部分をブラックボックスにはしない。
 - 相手の経験から適切なアドバイスを得る。
- ある会議で米国側情報が出ない。
 - 会社弁護士による警告
 - ITAR
- EICAの執筆
 - 日米I/Fに関わる設計要求/設計結果/活動手順など合意事項をまとめたもの



EICA

Table of Contents

Chapter 1 General

1.1. SCOPE	1-1
1.2. FPP CHARACTERISTICS	1-1
1.2.1. General Descriptions	1-1
1.2.2. Specifications	1-2
1.3. FPP FUNCTION BLOCK DIAGRAM	1-4
1.4. FPP EXPERIMENT INTERFACE DEFINITION	1-6
1.4.1. Electrical Interface Definition	1-6
1.4.2. Mechanical/Thermal/Optical Interface Definition	1-7
1.5. ABBREVIATIONS AND ACRONYMS	1-8

Chapter 2 Structural/Mechanical

2.1. COMPONENT IDENTIFICATION	2-1
2.2. COORDINATE SYSTEM	2-1
2.3. LAYOUT AND ENVELOPE	2-3
2.3.1. FPP Box	2-3
2.3.2. Critical Interfaces with Small Clearance	2-10
2.3.2.1. Reimaging lens and OBU	2-10
2.3.2.2. Clearance between FPP edge and SAP	2-12
2.3.3. Electrical Connectors	2-16
2.3.4. Purge Port	2-21
2.4. MASS PROPERTIES	2-22
2.4.1. Mass	2-22
2.4.2. Centers of Mass	2-23
2.4.3. Moments of Inertia	2-23
2.5. FPP MOUNTING INTERFACE	2-23
2.5.1. Mounting Configuration	2-23
2.5.2. Mounting Legs	2-25
2.5.3. Interface Point Detail	2-26
2.5.4. Dynamic Envelope at A0 Point	2-32
2.6. FPP ALIGNMENT	2-33

EICA Revision History

See Appendix A for a complete description of the procedure to make changes to the EICA.

Version	Date	Remarks	Contact
Rev. -1.0	19-Feb-00	A draft version for the 5 th J-US SOT design meeting.	T.Shimizu
Rev. 1.0	23-April-00	First version submitted to ISAS/MELCO spacecraft systems as <u>FPP interface control document and NASA for PDR document.</u>	Rosenberg K.Ichimoto T.Shimizu
Rev. 1.1	2-May-00	Version of EICA printed in Japan Revision from Rev. 1.0: · Appendix A: NASA "program office" is replaced with "project office". · Appendix C newly includes the structural math model summary. · Appendix E newly includes preliminary FPP Connector Pin Assignment list.	T.Shimizu
Rev. 2.0	10-July-00	Revisions according to the 6 th J-US SOT design meeting. This version will become controlled under the EICA maintenance procedure described in Appendix A. Chapter 1: Table 1.2-2: Spectral sampling: from 2.5 to 2.0 picometer Polarization sensitivity to Measurement mode Polarization crosstalk to polarization precision Sample rate to frame rate Scan step time: from <5msec to <100msec. Photometric signal to noise to polarization signal to noise Scattered light: .01 to <0.01	K.Ichimoto T.Shimizu

- 設計会議の他、長期滞在での調整 (1999後半~ 2000前半)

Solar-B
SOT



Solar-B
Solar Optical Telescope (SOT)
Optical Telescope Assembly (OTA/CTM)
Design Review

March 22-24, 2001
NASA/Marshall Space Flight Center

National Astronomical Observatory of Japan (NAOJ)
Mitsubishi Electric Corporation (MELCO)
Institute of Space and Astronautical Science (ISAS)

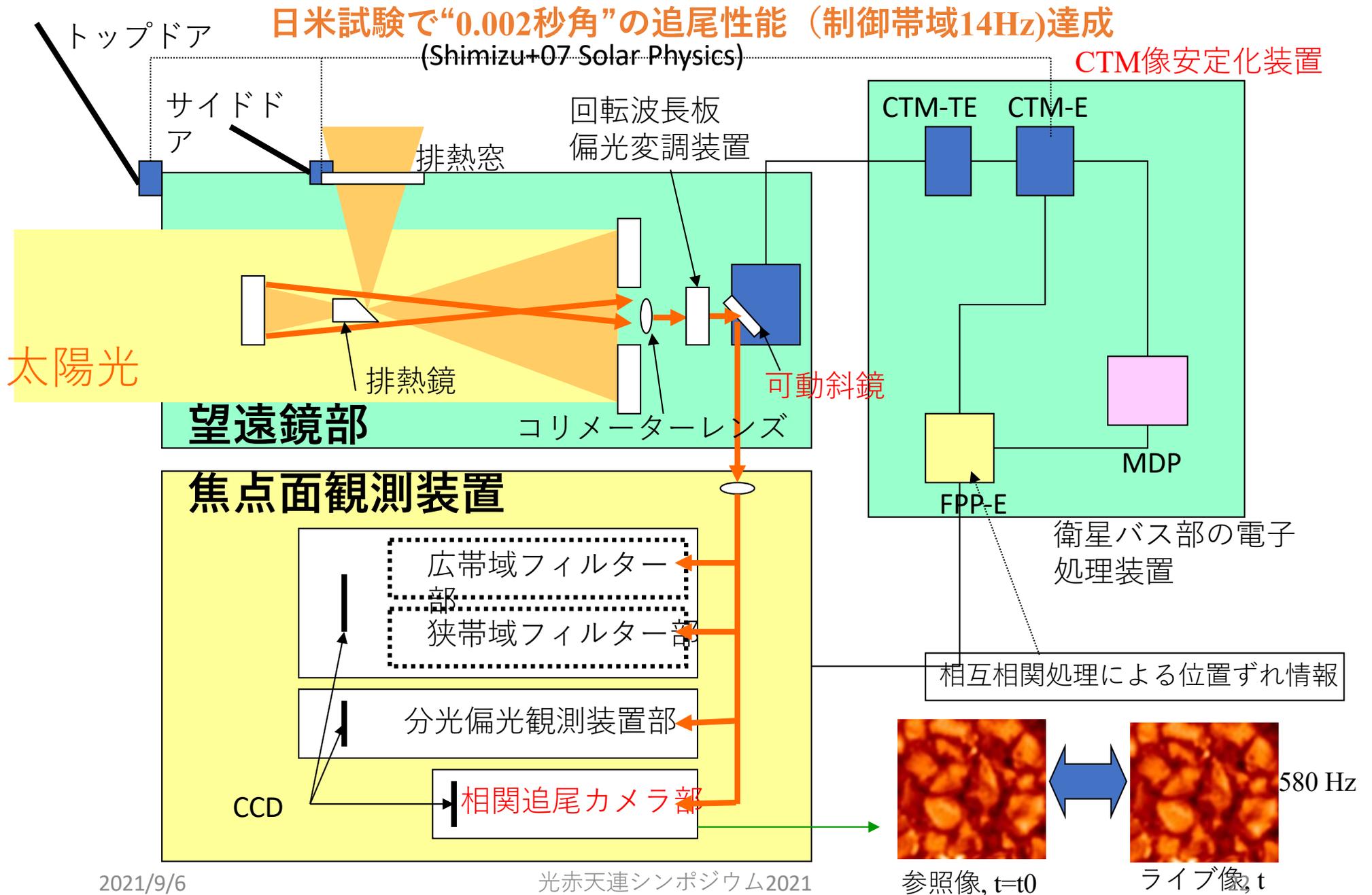
OTA/CTM Design Review
March 22-24, 2001

Not to be reproduced or disclosed without written permission of NAOJ/MELCO/ISAS

日本側H/Wの設計レビューを米国でも開催: NASAの経験からのアドバイスを
得る, 設計共有による安心を与える



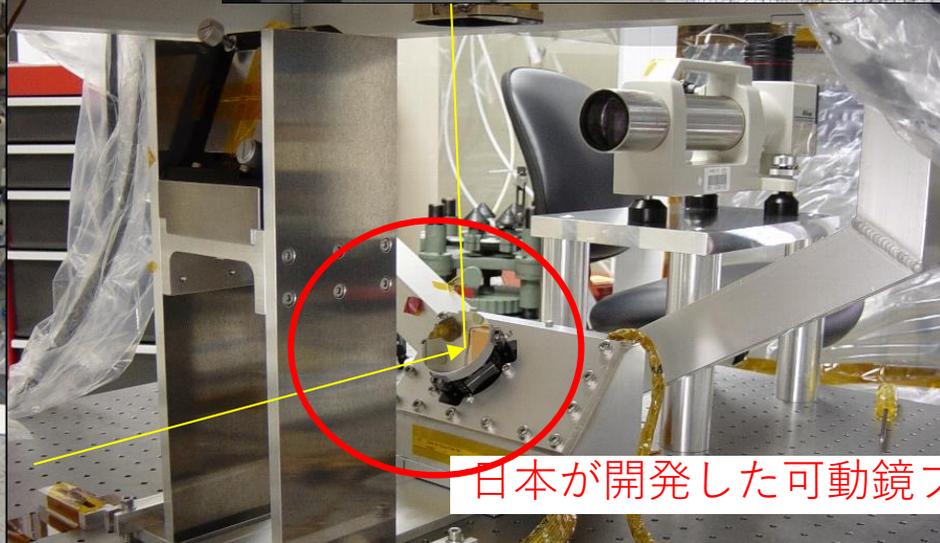
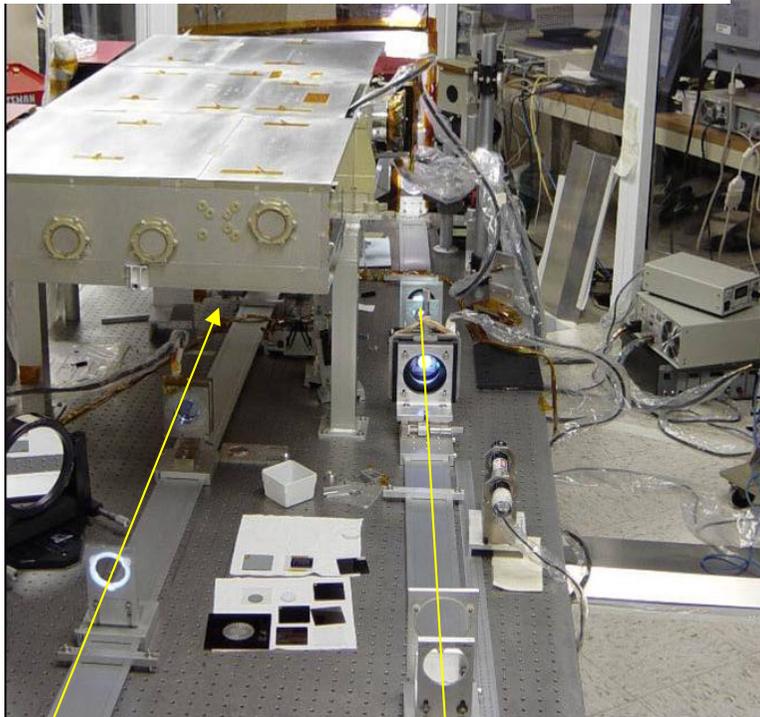
衛星姿勢ぶれ検出・補正の原理



装置開発: 共同での性能検証

像安定化装置フライト品結合性能試験
@ 米国ロッキードマーチン研究所

米国が開発した焦点観測装置



日本が開発した可動鏡フライト品

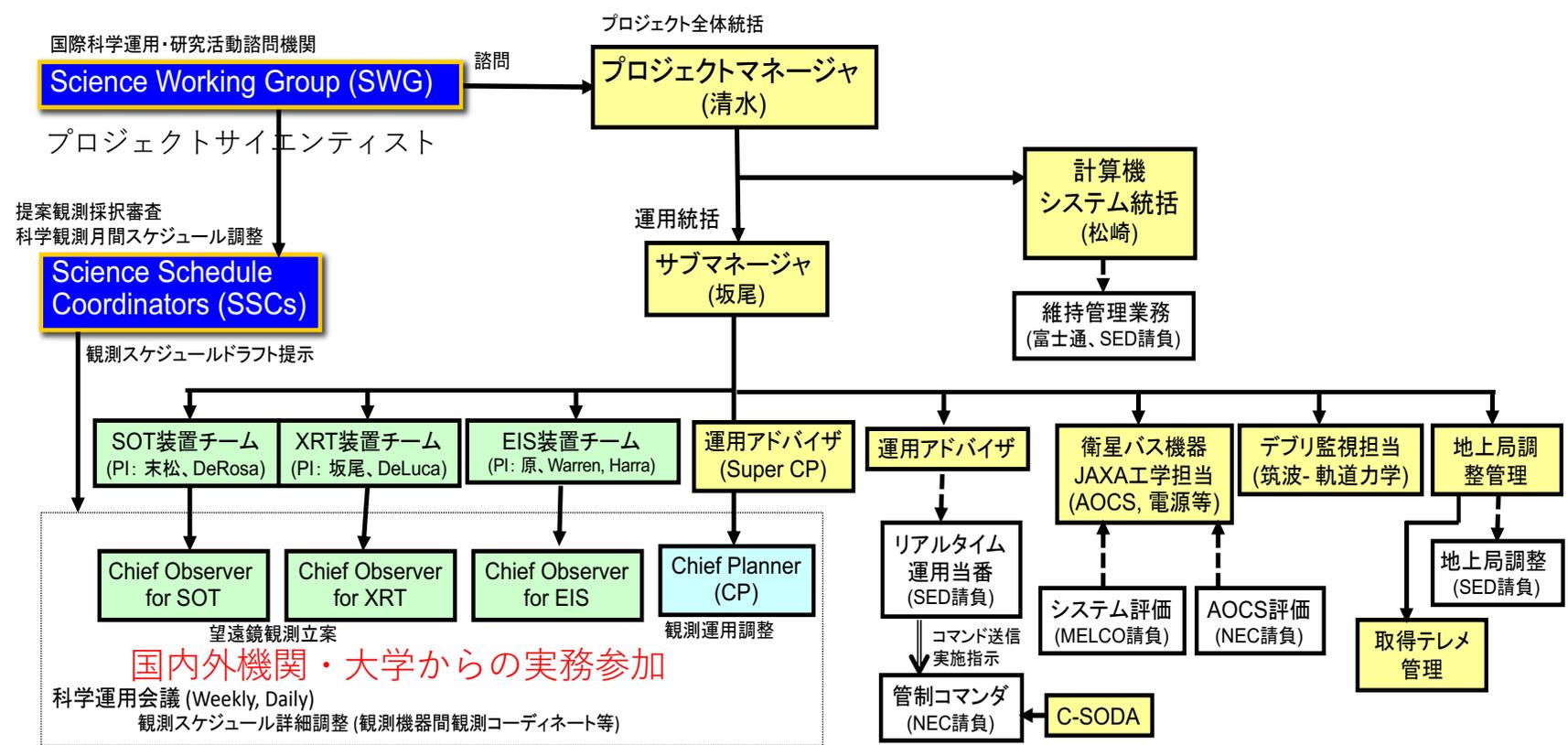
検証: FM品のS/W開発に関して日本と海外(米国)で意識の相違がある印象 23

3. 「ひので」の観測運用

- 世界中の太陽研究者からの観測提案を受け付けて観測を行なう、軌道上太陽天文台として機能
 - 科学運用の全体方針決定組織としてSWG (Science Working Group)
 - Science Scheduling Coordinatorsによる提案審査 (+ 提案者への助言) と HOP (Hinode Operation Plan) 採択
 - 世界の研究者からの提案により、世界各地の地上観測施設や世界各国の衛星との共同観測
 - 重点観測項目に対応した観測の実施
 - 科学成果の高いHOPの重点的实施と、太陽活動期のフレア観測の推進
 - 米国IRIS衛星(2013年打上)と常時観測連携を推進
- 国内ではISAS/JAXAと国立天文台の緊密な協力の下、全国の大学関係者(院生含む)が観測立案に参加して、観測運用を実施
- 米英も観測運用に参加 (米: Chief Observer & Chief Planner、英: EIS Chief Observer)、米欧がデータ受信に参加
- 取得したデータはISASでFITSファイルに変換され次第、DARTS Webより即時全面公開されている

運用推進体制

衛星運用体制



SWG：科学運用・研究諮問機関 – 18名
プロジェクトサイエンティスト
桜井隆、草野完也
S. Savage (NASA)
A. Hood (UK), B. Fleck (ESA)

サイエンス推進

NAOJ太陽観測科学プロジェクト
ひのでサイエンスセンター名古屋

科学運用・データ解析(MO&DA)の方針

- SWG下に、日米欧科学者から構成されたSolar-B MO/DA Working Groupを結成し、科学運用やデータ解析の具体的方法やMO&DAシステム構築を検討
 - コミュニティーからの貢献が容易で重要な領域
- その結果は、“The Outline of Solar-B Mission Operation & Data Analysis”に提案書としてまとめ(2001にdraft版)、その後のMO&DAシステム構築のベースとなる。
- 国際協力に関わる観点
 - システム構築の役割分担と協働
 - 科学運用：対等な貢献度の確保
 - 科学成果創出を第一に、潤沢なリソースを持つ米国
 - ISASでの運用現場を正しく理解してもらう(初期は来日で滞在)
 - Remote Chief Observer: リモート観測立案・データ評価

ミッション延長

- 宇宙機関(ISAS/JAXA, NASA, ESA, UKSA)独立に、2-3年周期でミッション延長審査(評価と計画)
- **SWG**でサイエンス計画・運用計画等を議論し方針を固め、相互に審査書類の準備等協力

国際会議の定期的な開催

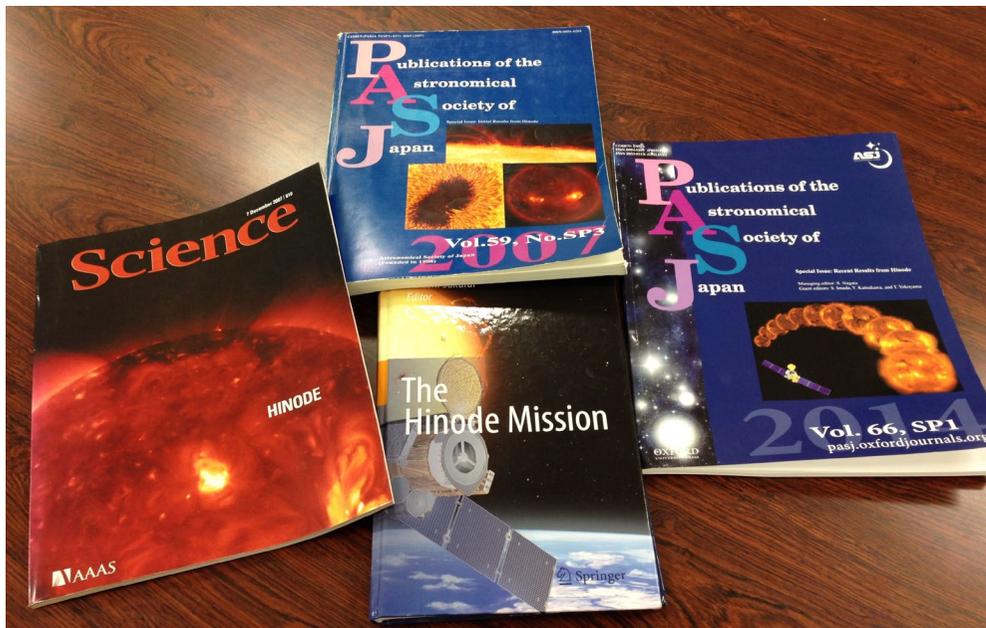
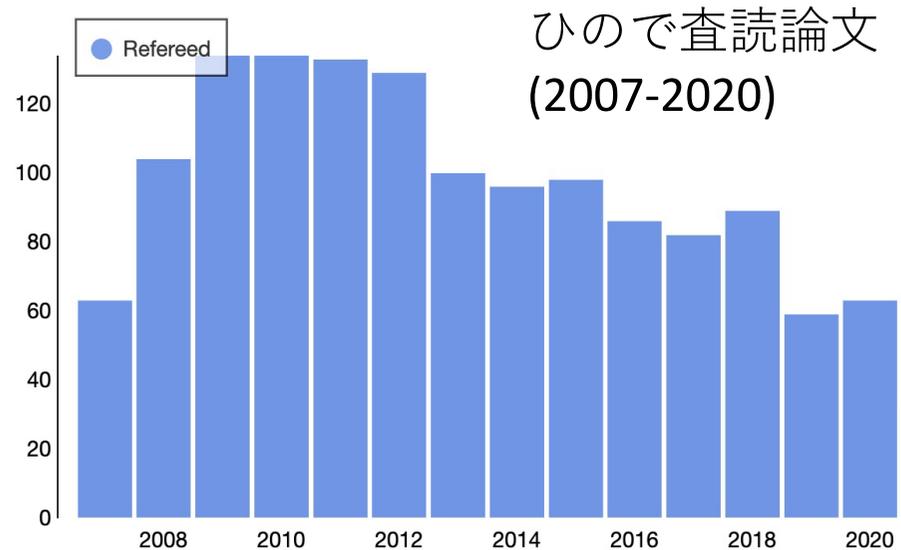
- ひので科学を討議、新たな研究展開や共同研究発展をコミュニティで探る「ひので国際会議」を日米欧持ち回りで開催
- 直近では、IPELS(プラズマ科学分野横断会議)と合同で、「Hinode-13/IPELS 2019」を東京大学で開催
 - 開催期間：2019年9月2日から6日
 - 開催地：東京大学 本郷キャンパス
 - 開催規模：参加者数 208名（うち日本から59名）、参加国数 20か国
 - 概要：
 - 合同開催ということで、「ひので」成果に加えて、太陽天体現象類似のプラズマ放出や波動などの実験の最新成果が発表された。隣接分野との情報交換により、互いに刺激を受けて、今後の共同研究に向けた端緒をつくれた国際会議であった
 - また、Parker Solar Probeなどの先端的研究が示されるとともに、Solar-C_EUVST・Solar Orbiter・DKISTなど2020年代に向けた将来像が活発に議論された。



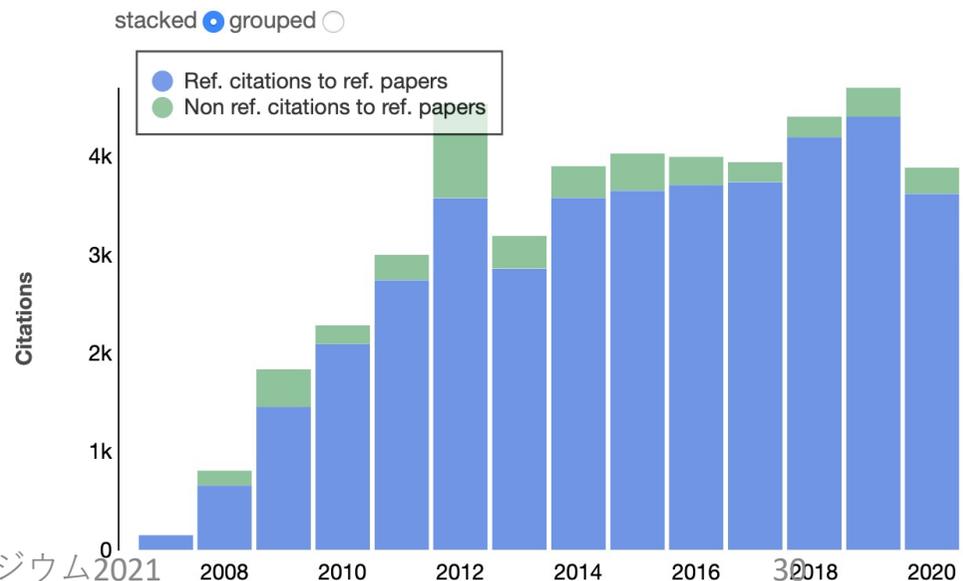
「Hinode-14/IRIS-11」(2021/10, virtual) 予定

世界的に利用される「ひので」

- 査読付き論文 1403編 (2021/8)
(NASA ADS統計調査)
- アジア(日本含む): 北米: 欧州
= 1: 1: 1



「ひので」査読論文のCitation数



2021/9/6

光赤天連シンポジウム2021

まとめ

- 国際協力なしでは成功に到達できなかった「ひので」
- 国際分担での開発は労力は多いが、国際協力で得られる利点が多い。それを最大限活用。