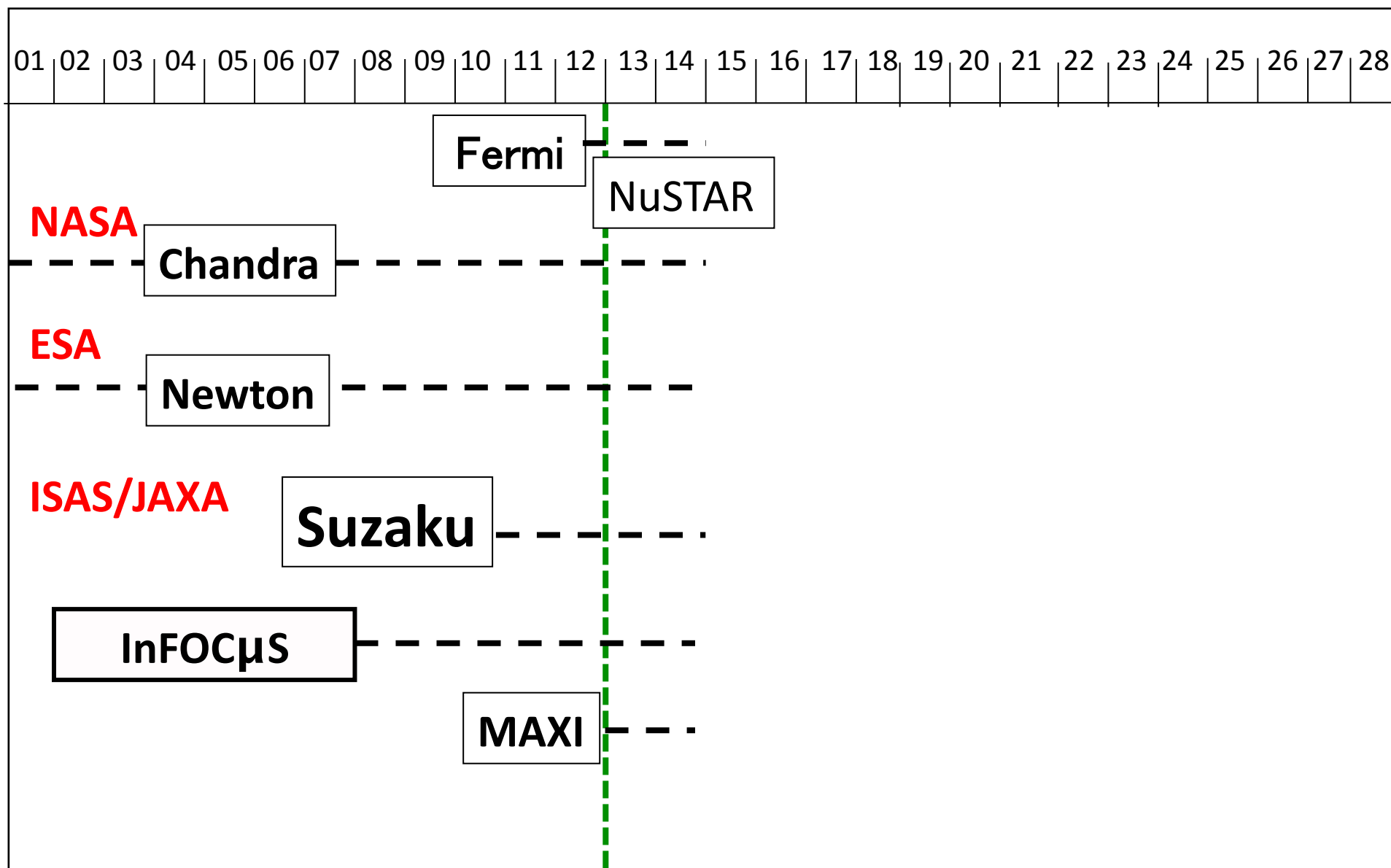


X線天文学分野の
国際情勢と日本の戦略

Post-ASTRO-H時代を切り拓く

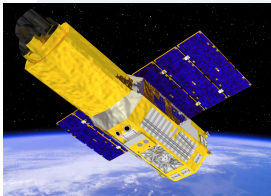
名古屋大学
國枝秀世

X線天文学：世界の現状 I



X線天文学：世界の現状 I

究極の
空間分解能

Mission	Detector	大面積 Band	A _{eff} cm ² @1keV	FOV	PSF(HPD) arcsec	Resolution ΔE
	ACIS	0.2-10 keV	550	17'x17'	0.5	150eV@6keV
	HRC	0.1-10 keV	227	30'x30'	0.4	1keV@1keV
	HETG	0.5-10 keV	40	N/A	N/A	Δλ~0.012Å
	LETG	0.2-9 keV	17	N/A	N/A	Δλ~0.05Å
	MOS	0.1-15keV	922	33x33'	17	150eV@6keV
	PN	0.1-15keV	1227	27.5x27.5'	17	140eV@6keV
	RGS	0.35-2.5keV	105	N/A	N/A	Δλ~0.06Å
	XIS	0.1-12keV	900	18x18'	120	140eV@6keV
	HXD/PIN	12-60keV	150	34x34'	N/A	4 keV
	HXD/GSO	40-600keV	260	4.5x4.5°	N/A	

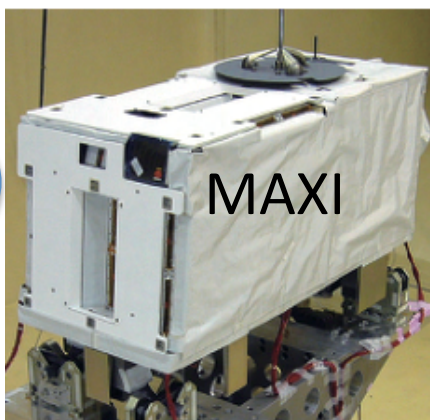
広帯域

X線天文学:世界の現状 II

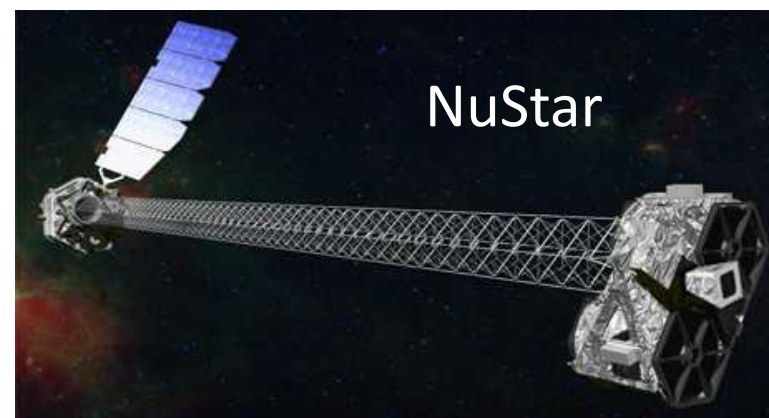
Mission	Detector	E band	Aeff cm ² @1keV	FOV	PSF(HPD) arcsec	Resolution ΔE
MAXI	GSC	2-30 keV	5350	160x1.5°	0.1°	1 keV
	SSC	0.5-12 keV	200	90x1.5°	0.1°	140 eV
Fermi	LAT	30M-300GeV		2 str	60	1keV
NuStar	HXT/C7T	6-79 keV	200@30keV	18'x18'	60	1keV

ガンマ線
観測

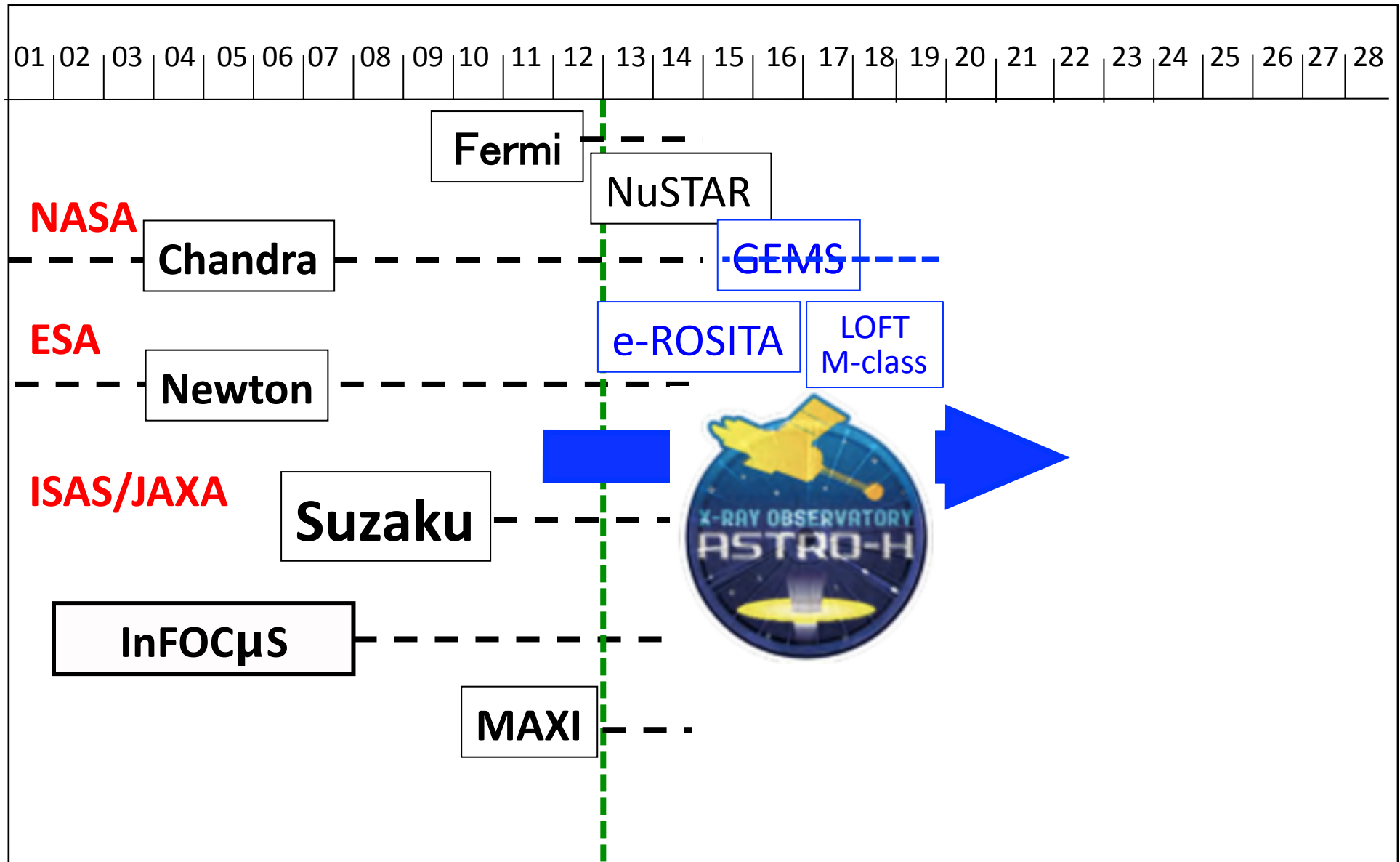
硬X線
撮像観測



広視野
モニター

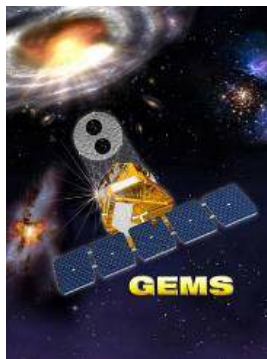


X線天文学:世界の現在計画



X線天文学：世界の現在計画

Mission	Detector	E band	X線サーベイ cm ⁻² s ⁻¹	FOV	PSF(HPD) arcsec	Resolution ΔE
e-ROSITA	硬X線 撮像	0.5-10 keV	1000@1keV 70@6 keV	33x33'	15-28	140eV@6keV
ASTRO-H	SXT-SX	0.4-12keV	360	38x38'	高分解能 分光	150eV@6keV
	SXT-XRS	0.3-12keV	225	3x3'		5 eV
	HXT-HXI	5-80keV	300@30keV	9x9'	100	2 keV
	SGD	10-600keV	150@30keV	33x33'	N/A	2 keV
LOFT	LAD	2-50keV	12m2@8keV	38'	N/A	260eV(<30keV)
GEMS	SXT/TPC	0.5-10 keV	510@6keV	12'	90	1 keV

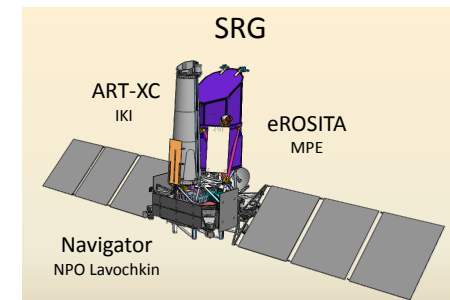
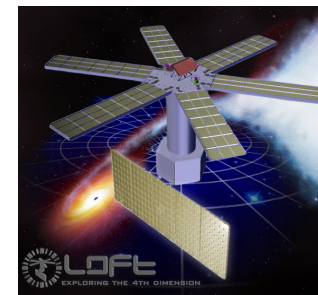


偏光
検出器

大面積
高時間分
解能



ASTRO-H



X線天文学：世界の現状計画

進行中の計画と目指すサイエンス

◎e-ROSITA(欧2014)

Newtonの望遠鏡7台で広い空域をサーベイする

◎ASTRO-H(日2015)

(1) 軟X線高分解能分光→運動学、プラズマ物理

(2) 硬X線撮像観測 →ブラックホール探査

◎LOFT(欧2017?)

高時間分解能

◎GEMS(米2014→中断)

軟X線偏光観測

X線天文学：世界の将来計画

提案中の計画と目指すサイエンス

- ・大面積高分解能分光 IXOからATHENAへ
- ・硬X線撮像観測 FFAST←e-ROSITA
- ・広視野高分解能分光 DIOS
- ・硬X線偏光観測 POLARIS
- ・高時間分解能 GRAVITAS(M2)
- ・広視野モニタリング SAHARA
- ・高効率・高分解能分光 ~~ATHENA~~
→ATHENA'ESA大型計画2(2028)

X線天文学：米国の将来計画検討

X-ray Mission Concepts Study

カロリメータ

Mission	Energy range	ΔE	Effective Area m^2 @ keV	Ang. Res.*	Field of view	Focal length
<i>N-CAL</i>	0.2–10 keV	< 3 eV (inner pixels)	0.5 @ 1 0.2 @ 6	10"	4"	9.5 m
<i>N-XGS</i>	0.2–1.3 keV	$\lambda/\Delta\lambda > 3000$	0.05 @ 0.2–1.3	10"	n/a	4 m
<i>AXSIO</i>	0.2–10 keV (XMS) 0.2–1.5 keV (XGS)	< 3 eV $\lambda/\Delta\lambda > 3000$	0.93 @ 1.25 0.2 @ 6 0.1 @ 0.3–1	10"	4'	10 m
<i>N-WFI</i>	0.2–10 keV	150 eV	0.7 @ 1 0.2 @ 6	7"	$> 24'$	6 m

軟X線大
面積撮像

カロリメータ
＋回折格子

X線天文学：世界の大型・中型計画

Mission	Bandpass keV	Effective Area m ² @keV	Field of View arcmin	Ang. Res.* arcsec	Instrument(s)
<i>AXSIO</i>	0.2–10	0.9@1, 0.2@6	4	10	Calorimeter, Grating Spectrometer
<i>SMART-X</i>	0.2–10	2.3@1, 0.2@6	22	0.5	Calorimeter, Grating Spectrometer, Wide Field Imager
<i>Xenia</i>	0.2–5.0	0.053@1	84	15	Cryogenic Imaging Spectrometer, High Angular Resolution Imager, Transient Event Detector
<i>AEGIS</i>	0.25–2.0	0.14@0.6	19	10	Grating Spectrometer
<i>EPE</i>	0.3–10	0.5@1, 0.2@6	8	60	Calorimeter
<i>EREXS</i>	5–300	0.7@100	70°	20	Hard X-ray Imager, Infrared Telescope
<i>SAHARA</i>	0.2–3.0	0.3@1	8	5	Calorimeter
<i>WFXIS</i>	0.1–2.5	0.04@1	15	10	Calorimeter
<i>WFXT</i>	0.2–4.0	0.7@1	60	5	Wide Field Imager

X線天文学：日本のこれまでの戦略

ASTRO-Hの科学的成果

硬X線撮像スペクトル観測

超高分解能分光観測

小型衛星による挑戦

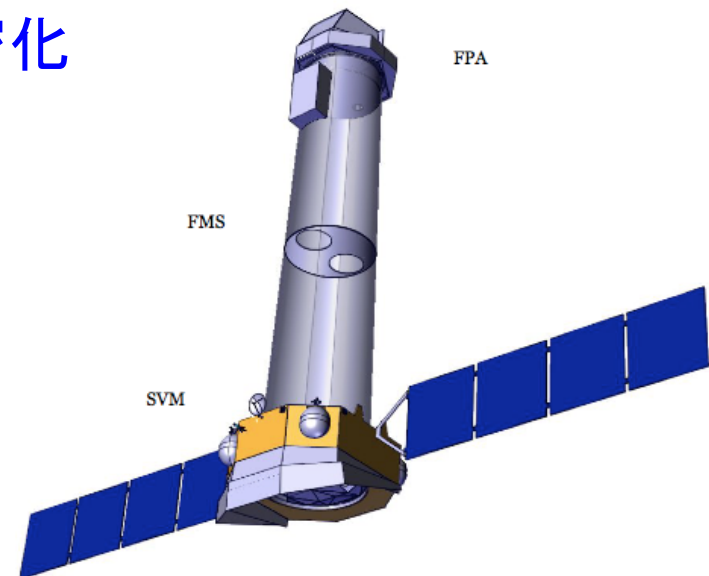
FFAST, Hiz-Gundam, DIOS, CAST, Polaris, WF-MAXI

国際大型X線天文台

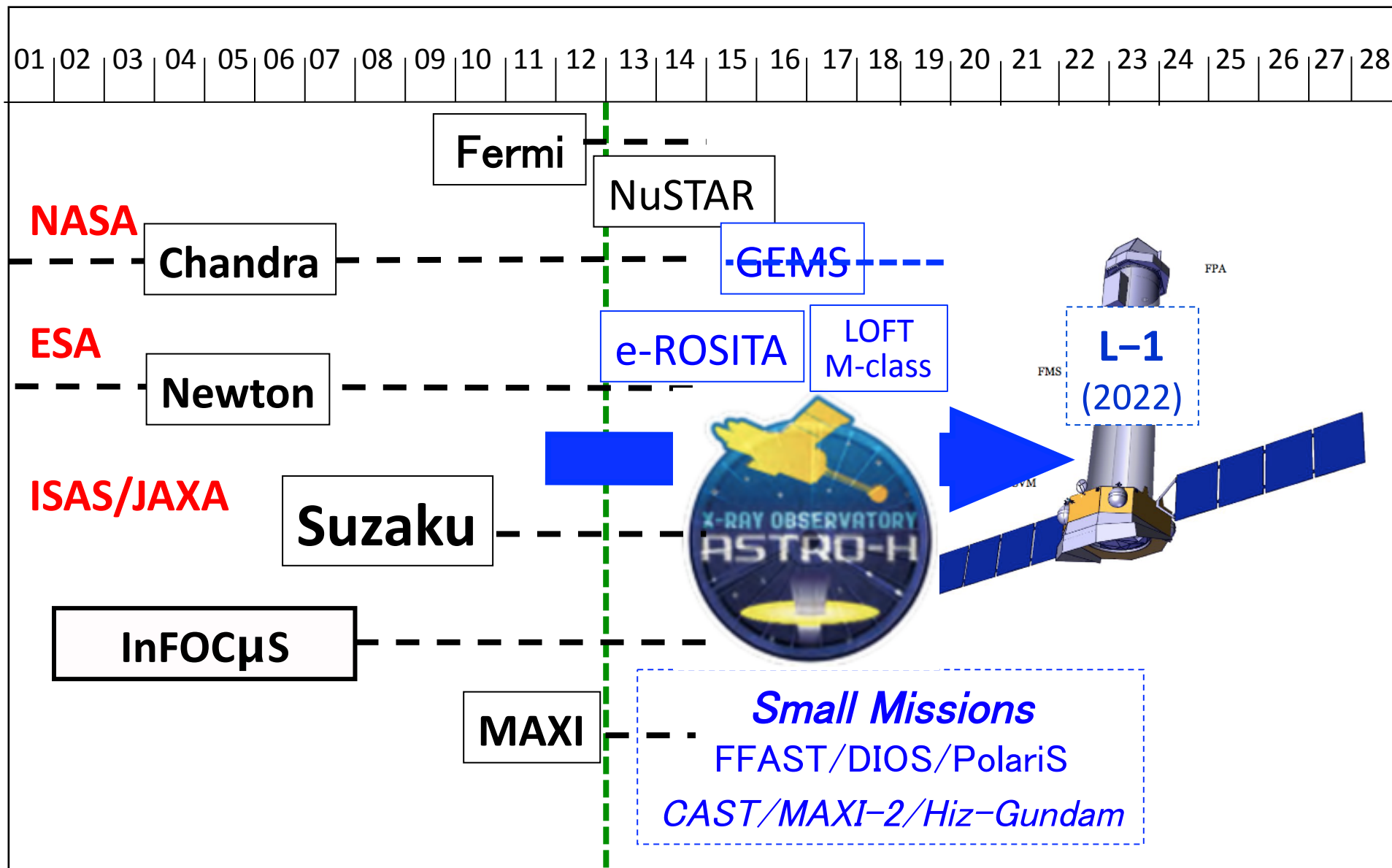
日米欧の国際協力

International X-ray Observatory

大型化
精密化



X線天文学：世界の将来計画



高宇連でリストしたサイエンス

(高密度)天体の形成と進化

WD、SN爆発、GRB
中性子星、恒星BH、AGN
宇宙X線背景放射 ...

極限状態の物理学

一般相対論 (BH, GW天体)
原子核のEOS
QEDレベルの超強磁場
降着現象の物理学
...

宇宙バリオンの全貌

高温プラズマの形成
ミッシングバリオン
元素合成のシナリオ
...

エネルギー非等分配と 形態形成

プラズマ加熱・非平衡
宇宙線粒子の加速
長距離相互作用
ジェット形成
...

高宇連で検討した小型計画

計画名	主要機関	代表者	総額(億)	開発開始 運用開始	計画の概要	手段
FFAST	阪大	常深博	打上含め 80	2013 2016	硬X線ミラーと編隊飛行で硬X線の広天 探査、CXBの起源	小型衛星
HiZ-GU NDAM	金沢大、 Jx, 東工	米特大輔 (金沢大)	打上含 80~90	2014 2019	High ZのGRBを検出 しX線で位置決め、 赤外線で自ら追跡	小型衛星
DIOS	首都大、 名大, Jx	大橋隆哉 (首都大)	打上含め 71	2014 2018	4回反射鏡とTESカ ロリメータで未検出 バリオンWHIM探査	小型衛星
CAST	東大、 Jx	中澤知洋 (東大)	30	2016 2020	半導体コンプトンカ メラでMeV領域初の 全天探査、粒子加速	ISS or 相乗
PolariS	阪大、 Jx, 山形	林田清 (阪大)	55+打上	2012 2016	硬X線ミラーとトム ソン散乱偏光検出器 で初のX線偏光観測	小型衛星 /相乗
WF- MAXI	東工大、 Jx, 理研	河合誠之 (東工大)	46	2012 2016	MAXIの改良。同時 に見える軟X線視野 を広げGRBを検出	ISS

X線天文学：日本のこれまでの戦略

国際大型X線天文台

日米欧の国際協力

XEUS（日欧）とConstellation-X（米）の統合(2007)

International X-ray Observatory(IXO)

NASA Decadal SurveyでIXOが上位2つに入らず

ESAの方針変更(2011.3)

ESAだけで実施可能なミッション提案募集

→Down scopeしてATHENAを提案

ESAの大型計画審議(2011-2012)→不採択

惑星ミッション採択(2022打上げ予定)

次は2013年募集→2017年以降打上げ

X線天文学：日本のこれまでの戦略

ASTRO-Hの科学的成果

硬X線撮像スペクトル観測
超高分解能分光観測

小型衛星による挑戦

FFAST, Hiz-Gundam, DIOS, CAST, Polaris, WF-MAXI

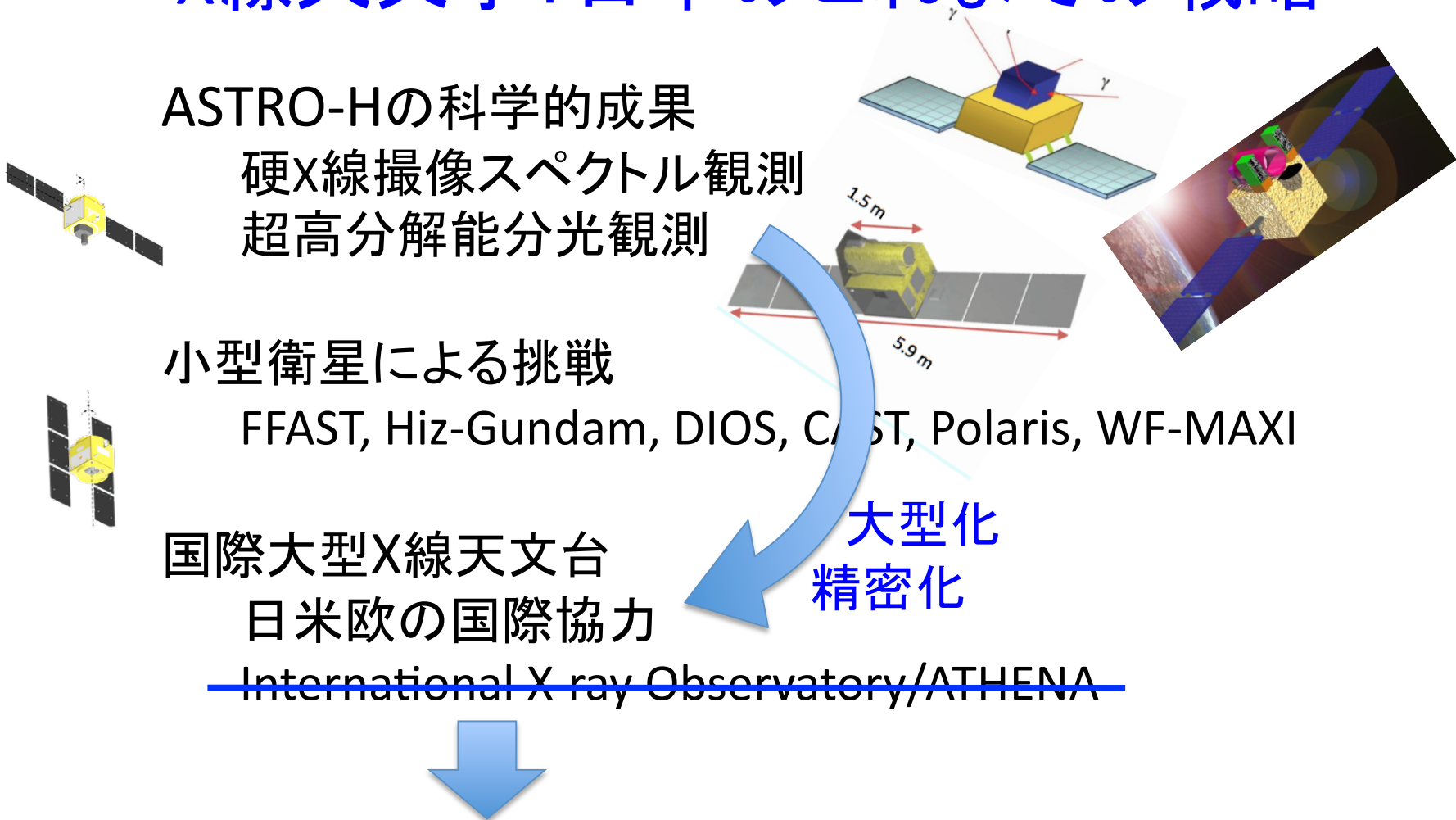
国際大型X線天文台

日米欧の国際協力

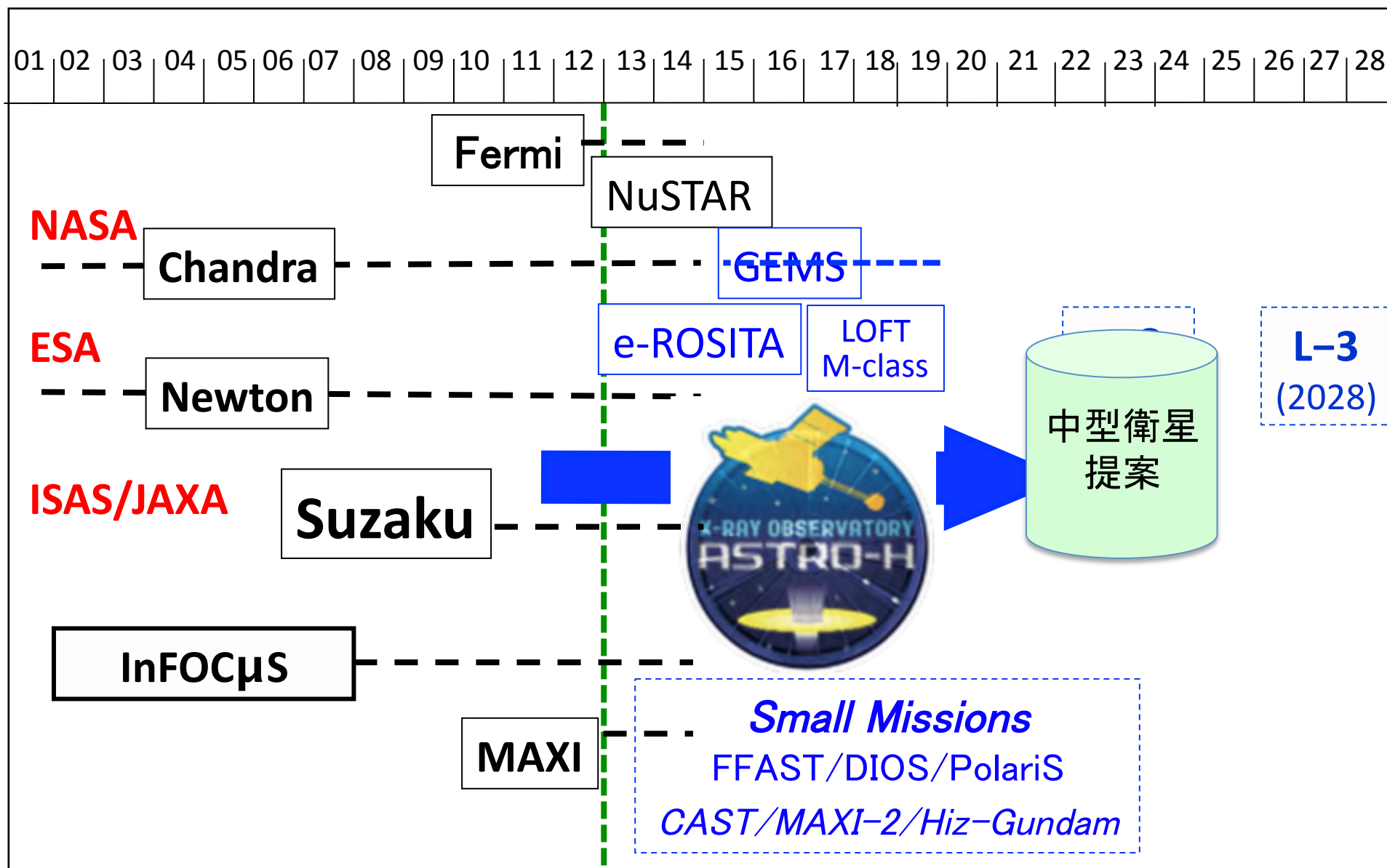
~~International X-ray Observatory/ATHENA~~

新中型衛星計画(~2020)

World Road Map



X線天文学：世界の将来計画

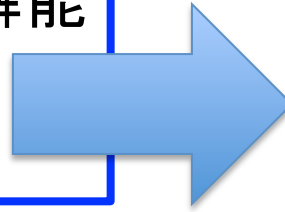


将来へ向けて

新しいサイエンス

高感度、波長、分解能

新しい技術



日本は何を目指すか
スペクトル

→物理解明

高分解能分光器

←冷凍機技術

X線結像光学

←多重薄板多層膜望遠鏡

中型衛星計画提案

カロリメータ

大面積集光鏡

国際協力

2020年以降

分光学の開く世界

ASTRO-H XRS

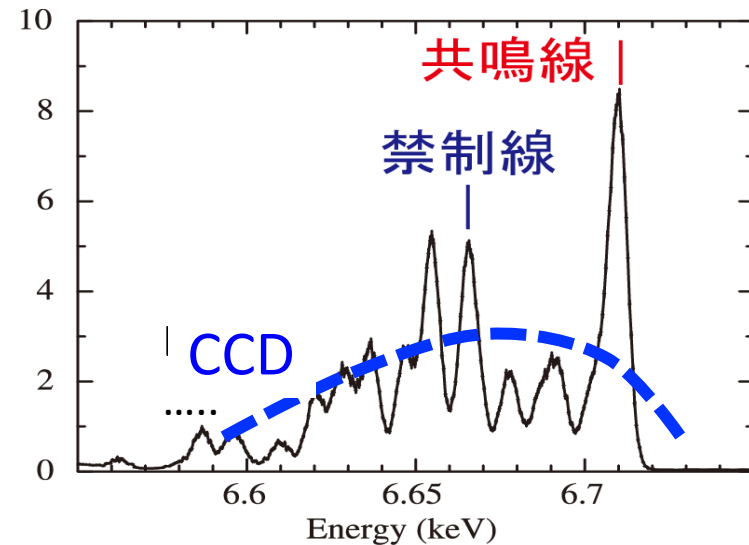
圧倒的な波長分解能

プラズマ物理

密度の決定 ← 禁制線強度
放射強度 → 領域サイズ

ダイナミクス

運動(速度)の決定
後退速度 → 距離の決定



高分解能分光の開く
豊かな世界の入り口に立つが
ASTRO-Hは有効面積が小さく
統計不足で極く明るい天体のみ

カロリメータ＋大面積@6-7keVで
豊かな世界に大展開を目指す

将来へ向けて

中型衛星計画提案
カロリメータ
大面積集光鏡
国際協力

2020年以降

＜比較的見通しのある技術＞
(→TRL $\geq$ 6?)

◎焦点面検出器

TESカロリメータ＋冷凍機
大フォーマット(30x30mm)

◎X線望遠鏡

焦点距離6-7m固定／伸展光学台
→鉄輝線 大面積集光結像

>>ASTRO-H XRS(225cm²@6keV)
多層膜で有効口径を広げる

焦点距離
口径
有効面積

6m～

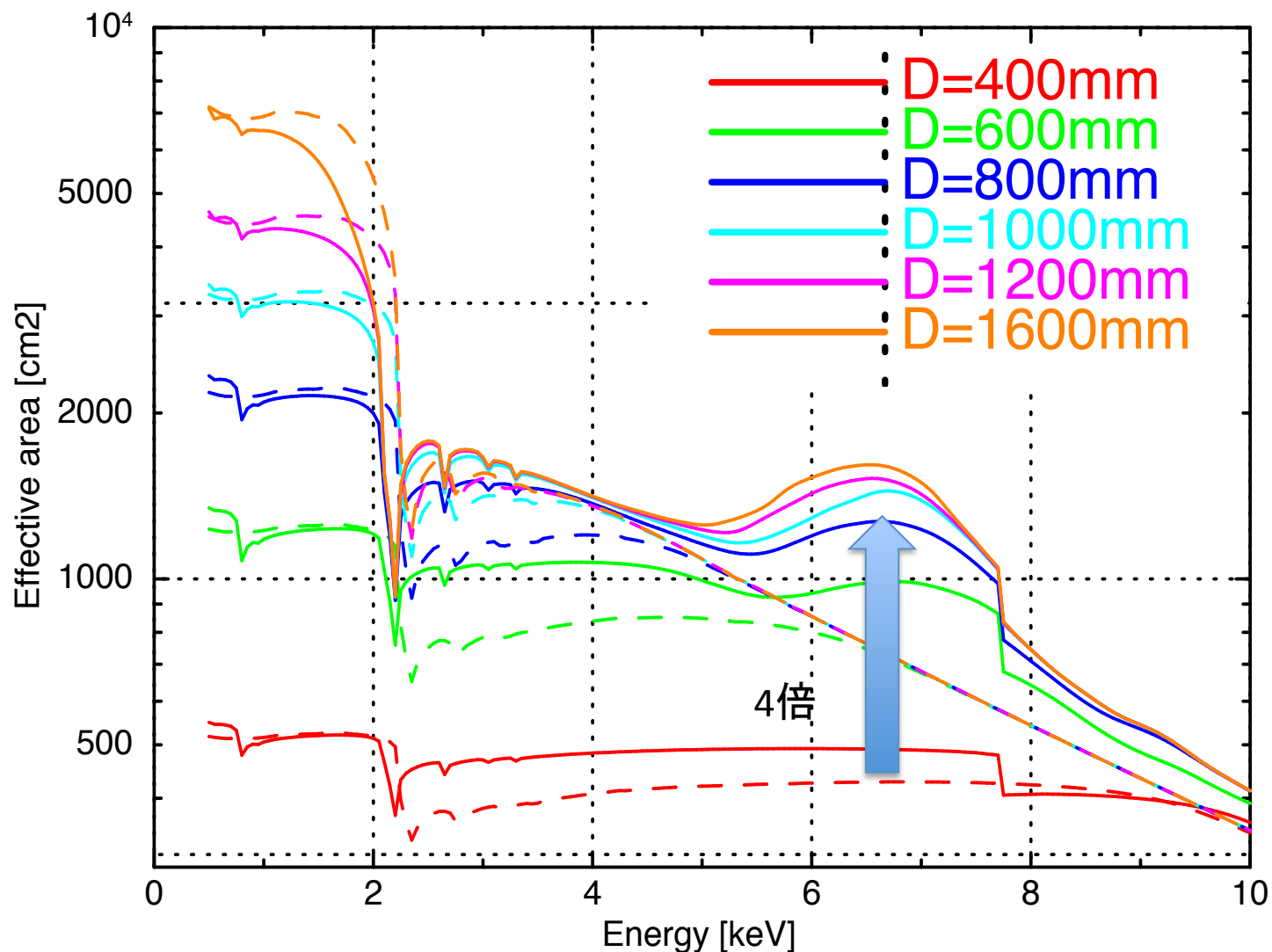
50→100cm Φ

1000~2000 cm² @6-8 keV

ポスター
P5-001
参照

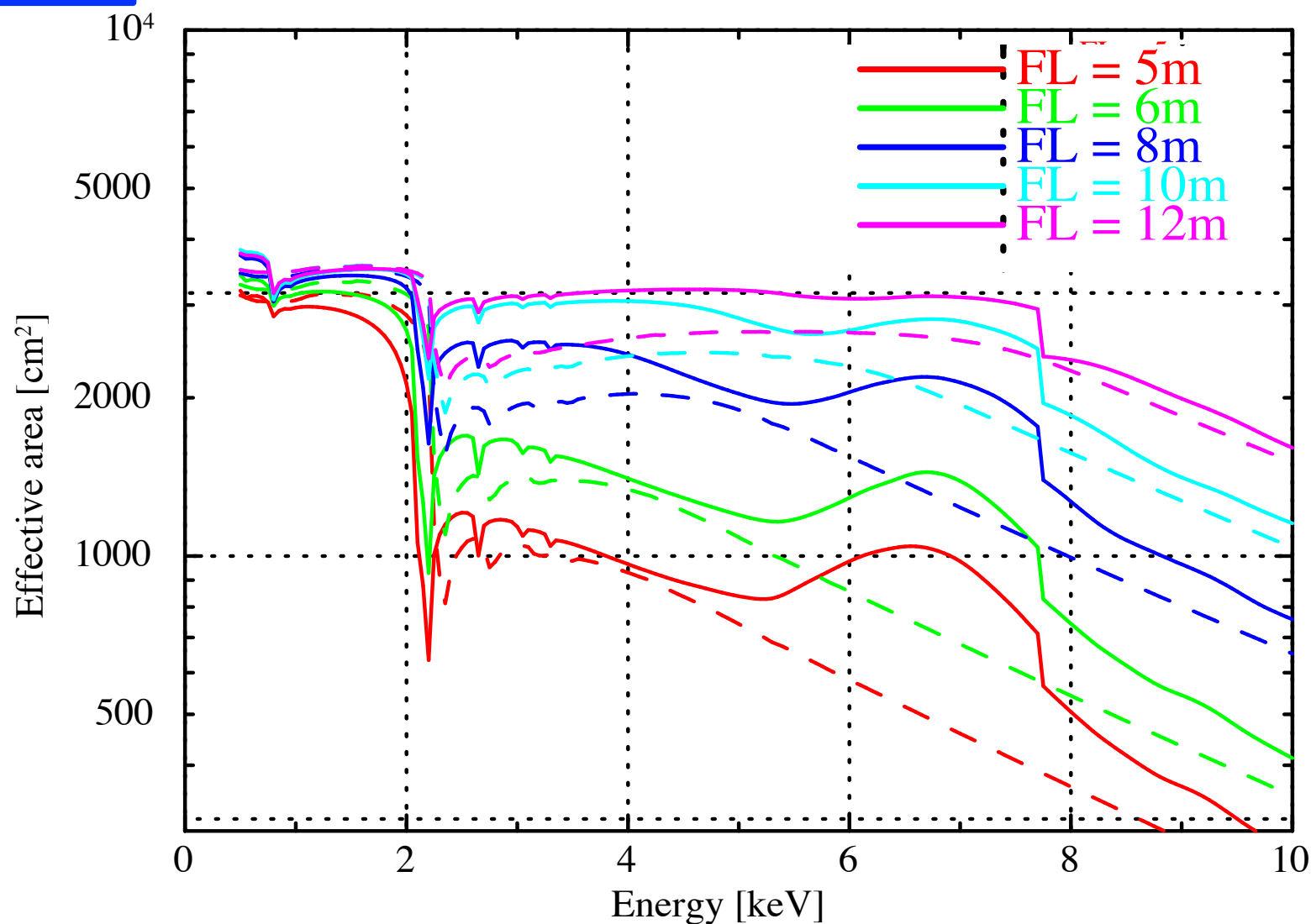
多層膜による S_{eff} @6-7keVの増強

焦点距離6mに固定



ポスター
P5-001
参照

多層膜による $S_{\text{eff}}@6-7\text{keV}$ の増強 口径1mに固定



将来へ向けて

中型衛星計画提案
カロリメータ
大面積集光鏡
国際協力

2020年以降

3機関で分担
機関内競争に国際協力で戦う

World Road Map

日米欧で協議開始
(2013.02)

<比較的見通しのある技術>
($\rightarrow \text{TRL} \geq 6$?)

◎焦点面検出器

TESカロリメータ＋冷凍機
大フォーマット(30x30mm)

◎X線望遠鏡

焦点距離6-7m固定／伸展光学台
 $\rightarrow$ 鉄輝線 大面積集光結像

>>ASTRO-H XRS($225\text{cm}^2@6\text{keV}$)

多層膜で有効口径を広げる

$\rightarrow$ 空間分解能 ≤ 30 秒角

基板強化。

回転二次曲面2段一体レプリカ

X線天文学：世界の将来計画

