

P2-90 SOLAR-C X線/EUV望遠鏡の検討状況

坂尾太郎¹、渡邊恭子¹、成影典之²、末松芳法²、下条圭美²、石川真之介²、今田晋亮³、E. E. DeLuca⁴、J. W. Cirtain⁵

ほかSOLAR-C X線望遠鏡検討グループ

1: JAXA宇宙研、2: 国立天文台、3: 名大STE研、4: Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics、5: NASA/MSFC

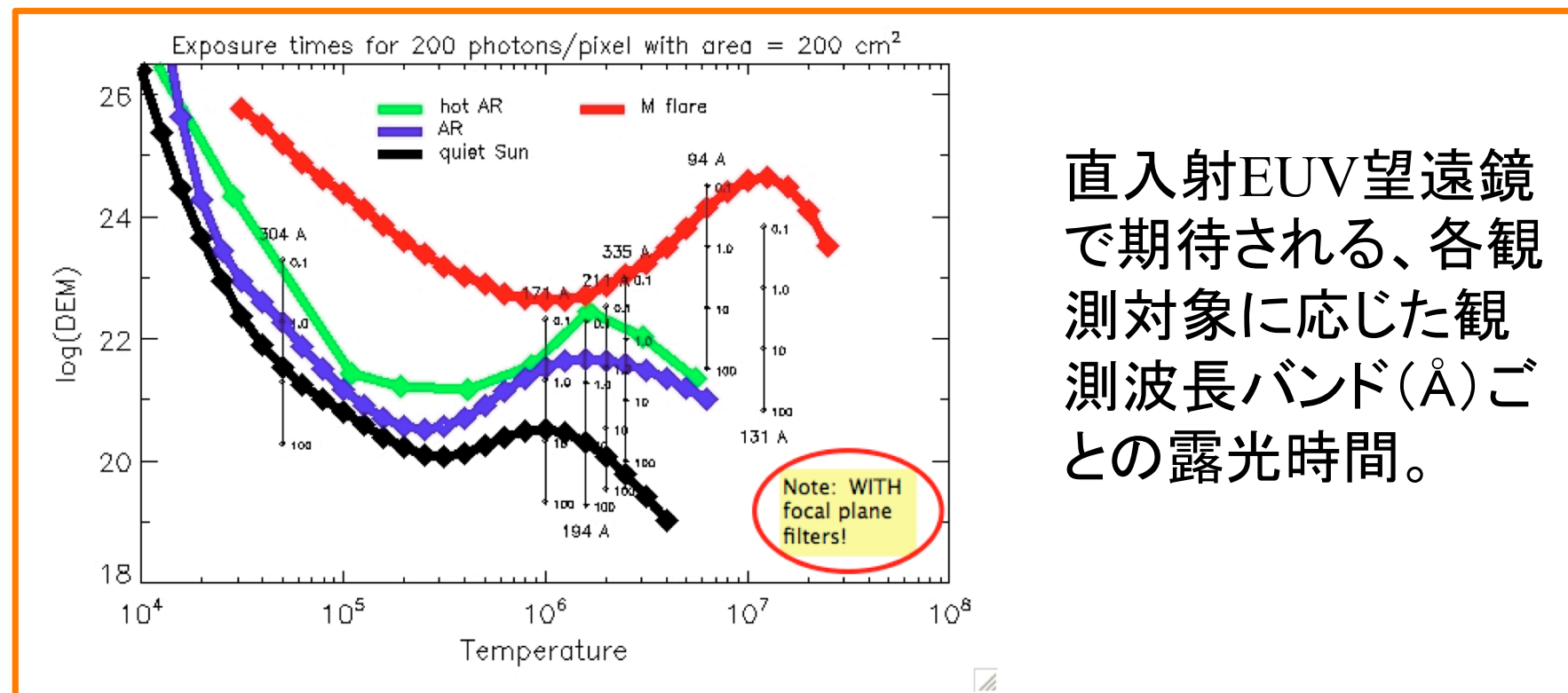
I. はじめに

- 「ひので」衛星に続いて、わが国のスペース太陽コミュニティーが2019年頃の打ち上げをめざしている次期太陽観測衛星計画SOLAR-Cに搭載するX線/EUV望遠鏡の検討を進めている。
- 検討はISAS/JAXA SOLAR-C WGのもとに組織された日米サブWGにより開始され、斜入射型・直入射型双方の光学系でのサイエンス・装置概要の検討を行ってきた。
- 本講演では、X線/EUV望遠鏡のサイエンス・装置の検討状況と、特に斜入射光子計測型X線望遠鏡の実現に向けて国内で進めている開発活動を報告する。

II. 概要

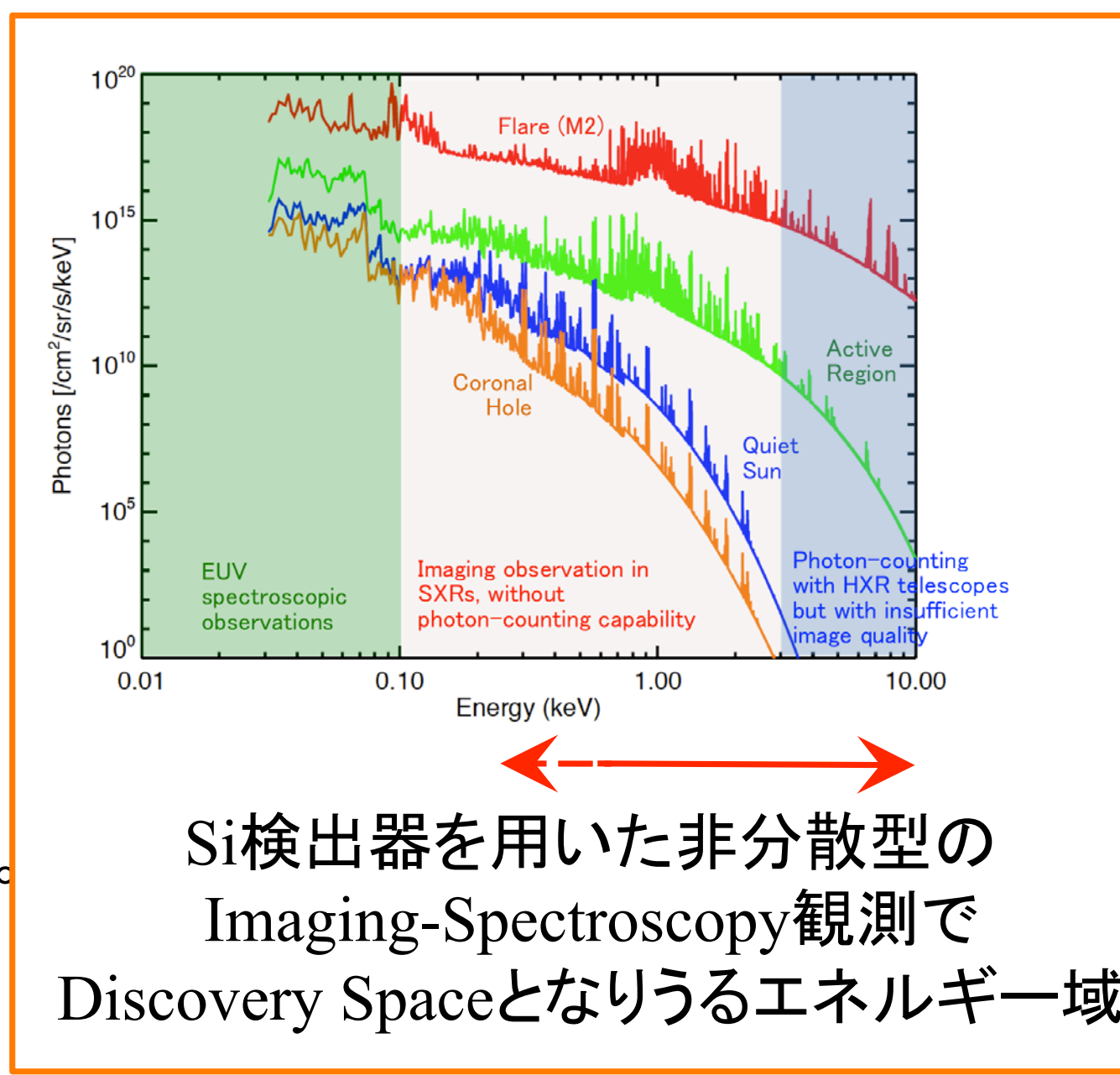
- SOLAR-C搭載のX線/EUV撮像望遠鏡として、
 - (1) 下層大気とのエネルギー輸送の観測に重点を置き、高空間分解能を実現しやすいEUV直入射光学系を用いて、約0.2"という過去最高の空間分解能で主にコロナ下部の低温プラズマ(1-2 MK)の撮像観測を行なう案と、
 - (2) コロナを温度の抜けなく観測するために、広い温度感度を確保できる斜入射光学系を採用し、これまで行なわれたことのないX線光子計測により0.5-10 keVコロナを撮像分光観測することで、磁気リコネクションにともなう衝撃波構造や活動領域コア部の加熱などの解明をめざす案(散逸過程の観測を重視)、の双方をこれまで評価してきたが、現在は、(1)の高空間分解能EUV望遠鏡を主案、(2)の光子計測型X線望遠鏡をオプションとする構成を検討している。

- 暫定諸元:
直入射望遠鏡
 - 空間分解能: $\sim 0.2''\text{--}0.3''$ ($\sim 0.1''/\text{pixel}$)
 - 観測視野: $\sim 400''\times 400''$
 - 波長バンド: 304Å, 171Å, 94Å
 - 露光時間: 活動領域 1 s、フレア 0.1 s
 - 撮像頻度: < 10 s; バースト観測時: 1 s
 - 主鏡直径: ~ 32 cm; 3セクターで3波長を観測。焦点面フィルターの切替による波長選択を検討中。



直入射EUV望遠鏡で期待される、各観測対象に応じた観測波長バンド(Å)ごとの露光時間。

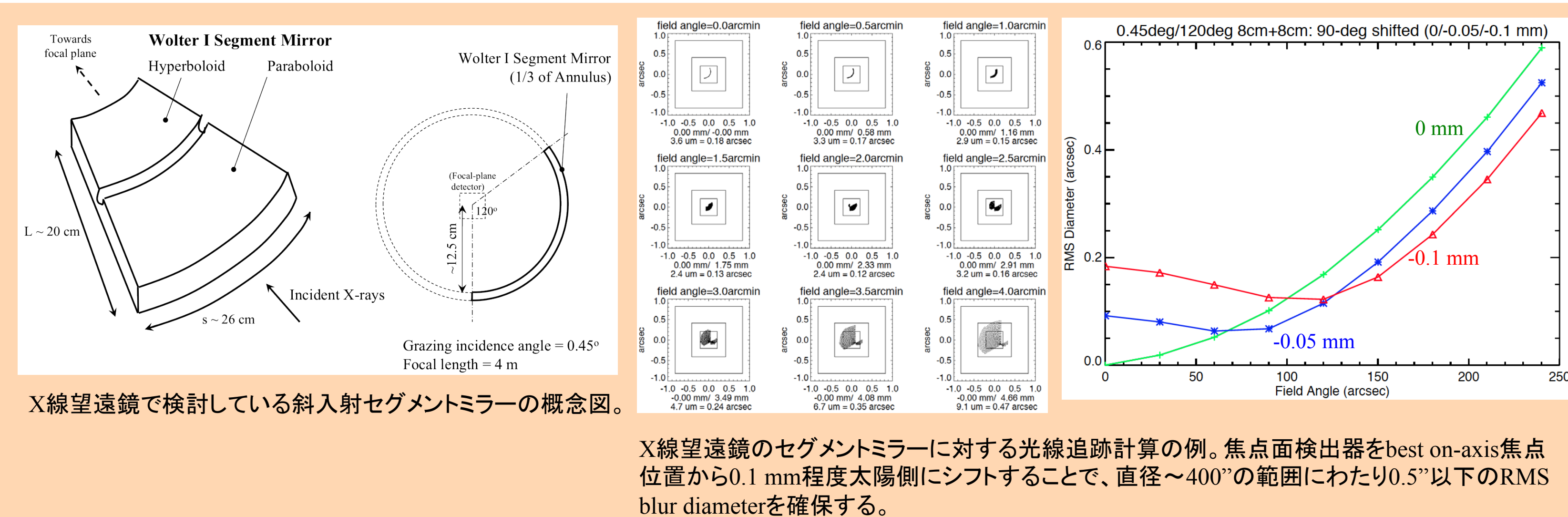
- 斜入射望遠鏡
 - 焦点距離: ~ 4 m
 - プレートスケール: $\sim 0.4''/(8\text{--}10)\mu\text{m}$ ピクセル
 - X線ミラー: 空間分解能 $1''$ ($0.5''/\text{pixel}$)
Wolter-I斜入射セグメントミラー(円周の1/3セグメントを使用)。Ptコーティング。
 - 斜入射角: 0.45°
 - エネルギー範囲: $\sim 0.5 - 10$ keV
 - 撮像頻度(スペクトル作成): $< 10\text{--}20$ s
 - 撮像モード: 光子計測撮像モードと光子積算撮像モード。光子計測は、受光面中の $>100''\times 100''$ 程度の領域で実施。
 - 焦点面検出器: 英国e2v社製裏面照射型CMOSイメージセンサをベースラインとする。1k×1k(TBD)。8-10μmピクセル。
 - フレーム読み出しレート: 光子計測撮像時500-1000 fps。A/D変換10ビット以上。



Si検出器を用いた非分散型のImaging-Spectroscopy観測でDiscovery Spaceとなりうるエネルギー域

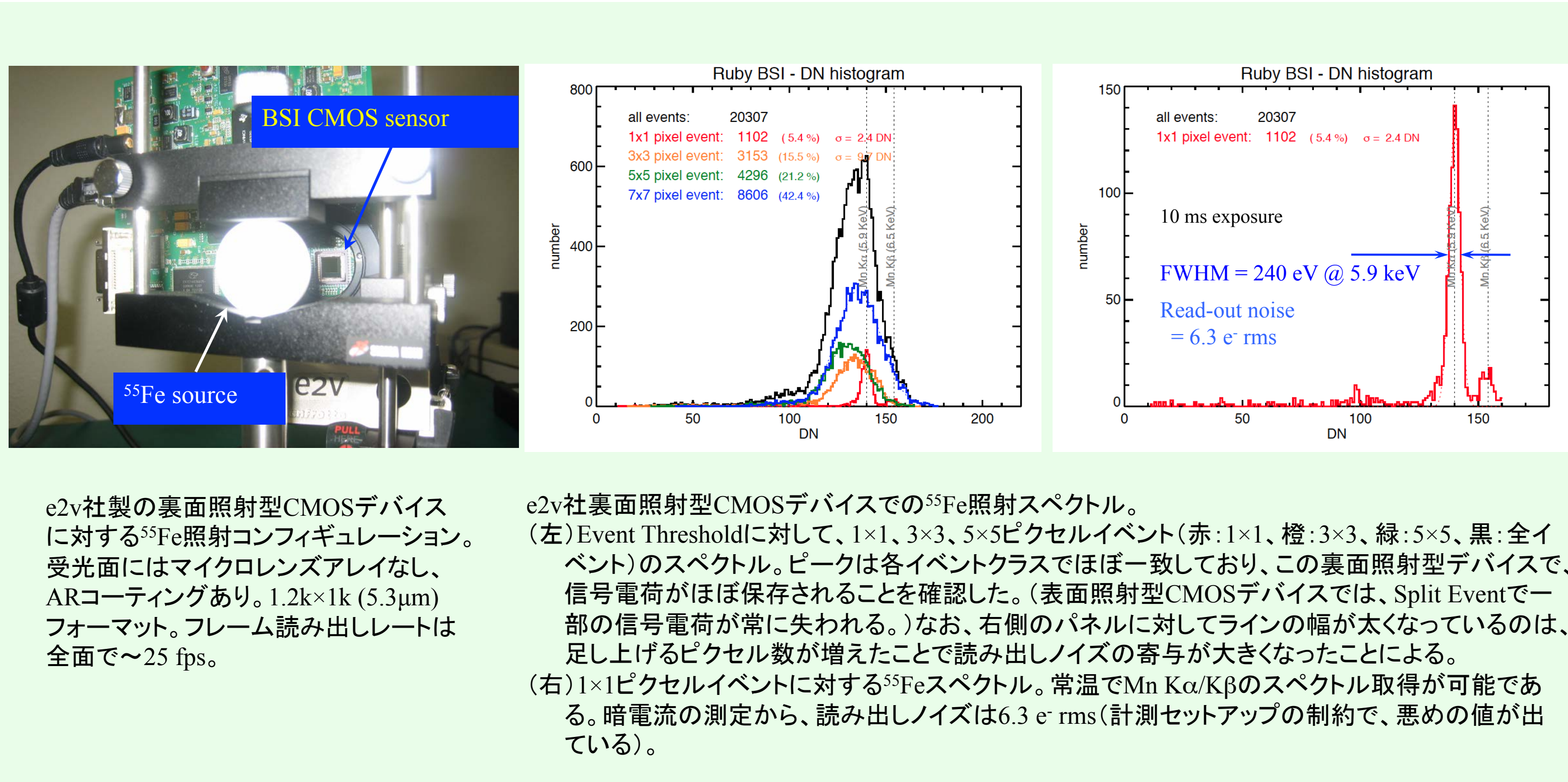
III. 光子計測型斜入射X線望遠鏡に向けたコンポーネント開発検討

- 高速・低ノイズのX線スペクトロスコピーCMOSセンサー
... 英e2v社をはじめとするCMOSメーカーと技術調査・予備実験を進めている。
- サブ秒角斜入射ミラー ... 国内メーカーおよび大阪大学との協力のもと、検討を進めている。



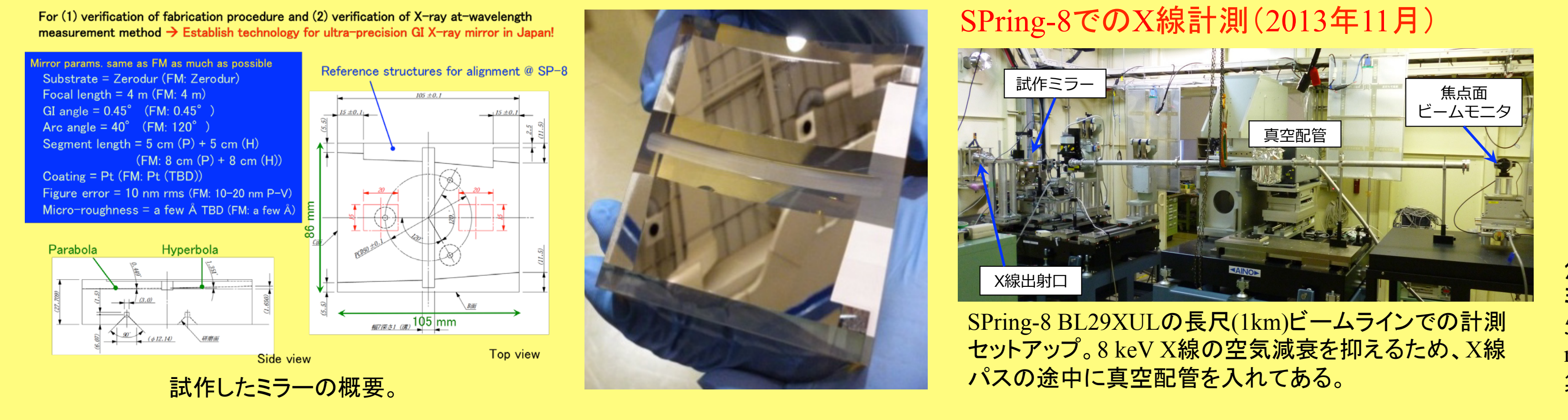
X線望遠鏡で検討している斜入射セグメントミラーの概念図。

X線望遠鏡のセグメントミラーに対する光線追跡計算の例。焦点面検出器をbest on-axis焦点位置から0.1 mm程度太陽側にシフトすることで、直径 $\sim 400''$ の範囲にわたり0.5"以下のRMS blur diameterを確保する。



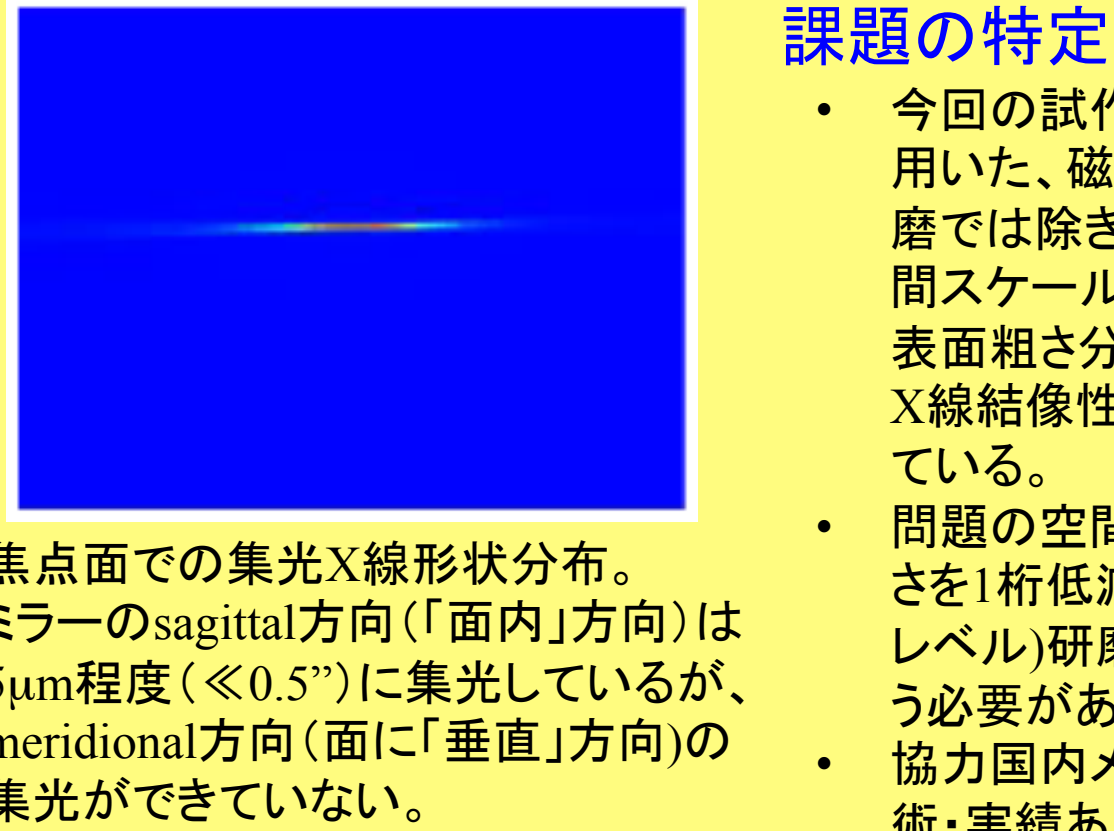
e2v社製の裏面照射型CMOSデバイスに対する⁵⁵Fe照射コンフィギュレーション。受光面にはマイクロレンズアレイなし、ARコーティングあり。1.2k×1k(5.3μm)フォーマット。フレーム読み出しレートは全面で ~ 25 fps。

e2v社裏面照射型CMOSデバイスでの⁵⁵Fe照射スペクトル。
(左) Event Thresholdに対して、1×1、3×3、5×5ピクセルイベント(赤: 1×1、橙: 3×3、緑: 5×5、黒: 全イベント)のスペクトル。ピークは各イベントクラスでほぼ一致しており、この裏面照射型デバイスで、信号電荷がほぼ保存されることを確認した。(表面照射型CMOSデバイスでは、Split Eventで一部の信号電荷が常に失われる。)なお、右側のパネルに対してラインの幅が太くなっているのは、足し上げるピクセル数が増えたことで読み出しノイズの寄与が大きくなったことによる。
(右) 1×1ピクセルイベントに対する⁵⁵Feスペクトル。常温でMn Kα/Kβのスペクトル取得が可能である。暗電流の測定から、読み出しノイズは6.3 e rms(計測セットアップの制約で、悪めの値が出ている)。



SPRing-8でのX線計測(2013年11月)

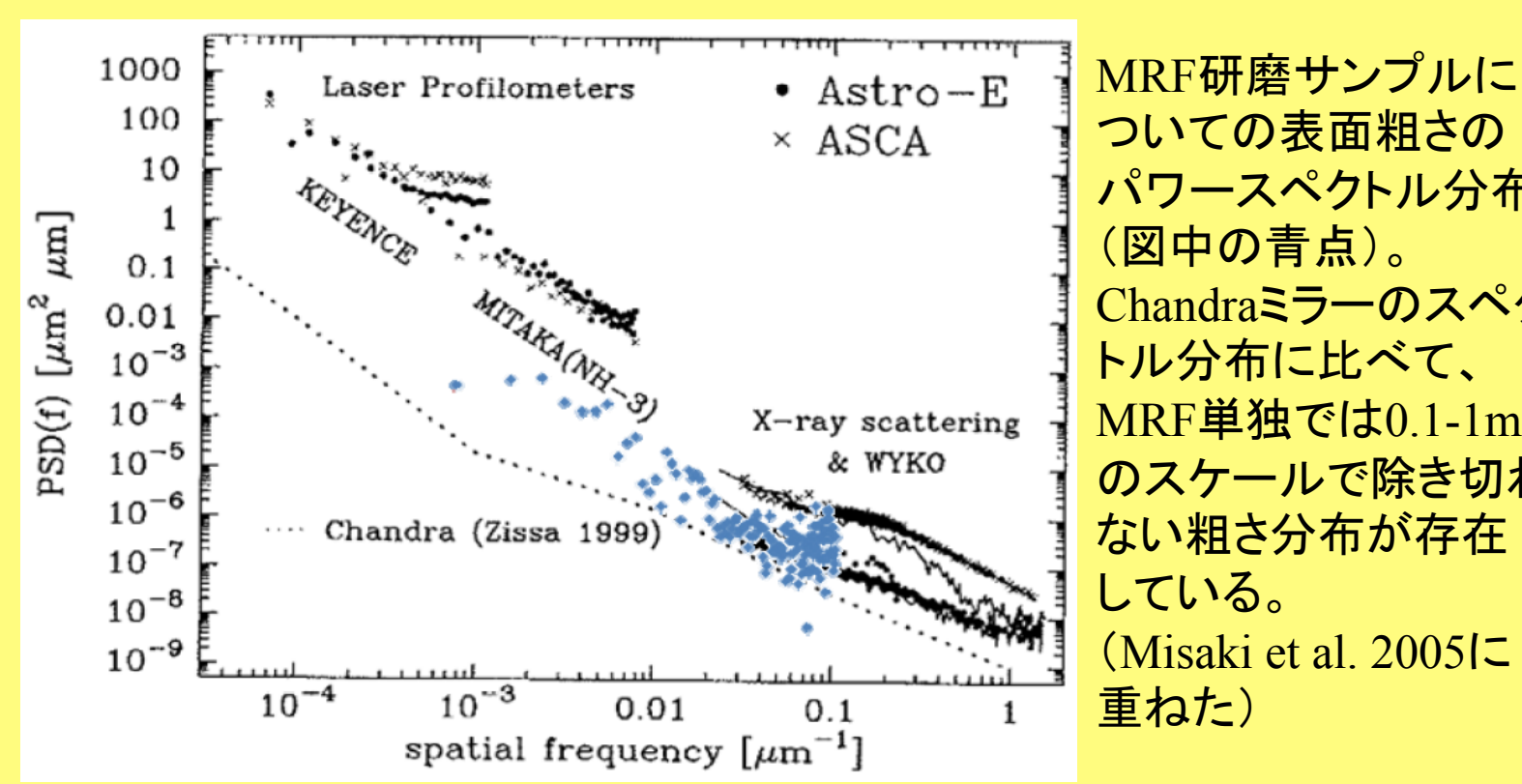
SPRing-8 BL29XULの長尺(1km)ビームラインでの計測セットアップ。8 keV X線の空気減衰を抑えるため、X線パスの途中に真空配管を入れている。



焦点面での集光X線形状分布。ミラーのsagittal方向(「面内」方向)は5μm程度($< 0.5''$)に集光しているが、meridional方向(面に「垂直」方向)の集光ができていない。

課題の特定

- 今回の試作ミラーの研磨に用いた、磁性流体(MRF)研磨では除き切れない空間スケール(0.1-1 mm)での表面粗さ分布の存在により、X線結像性能の劣化を招いている。
- 問題の空間スケールでの粗さを1桁低減する(~ 1 nm P-Vレベル)研磨をあわせて行なう必要がある。
- 協力国内メーカーに研磨技術・実績あり。



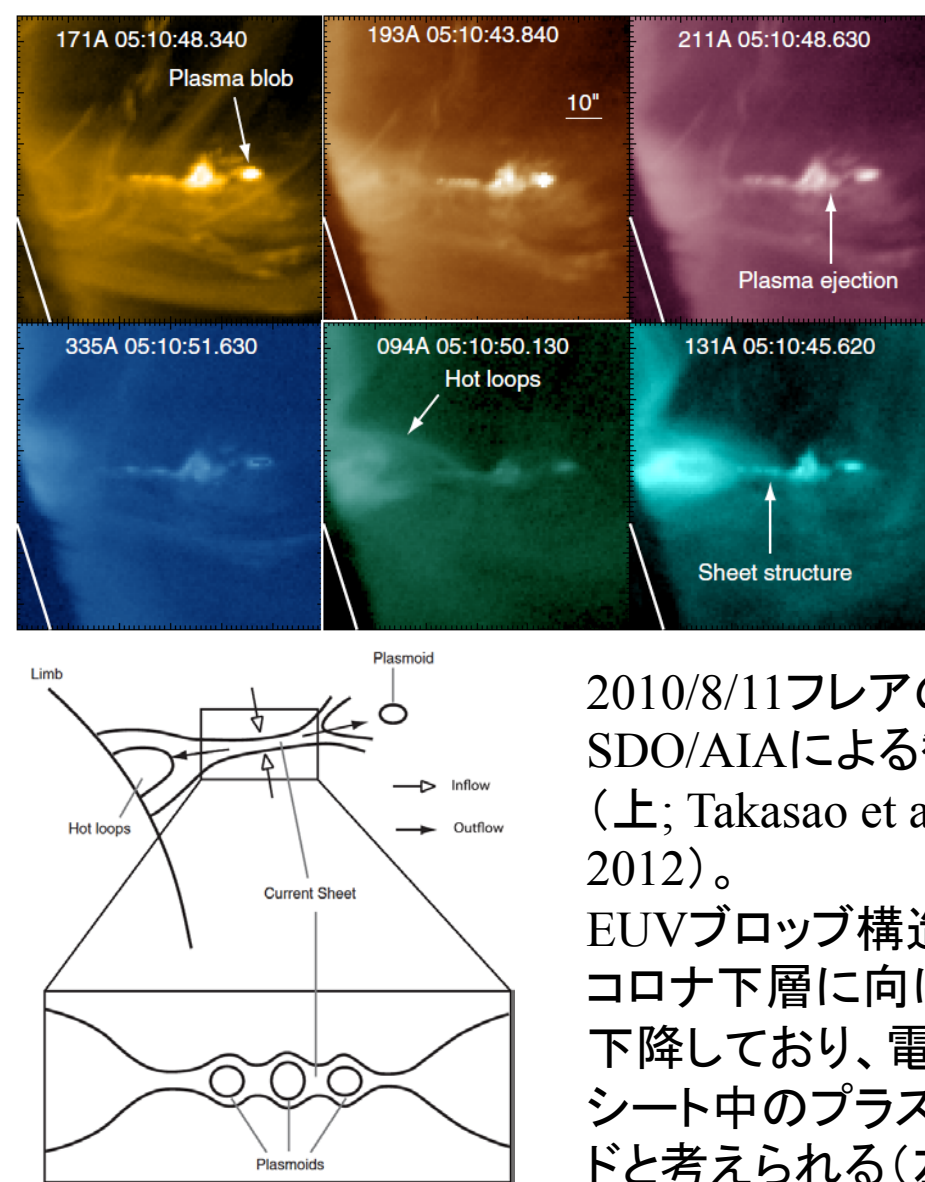
MRF研磨サンプルについての表面粗さのバーススペクトル分布(図中の青点)。Chandraミラーのスペクトル分布に比べて、MRF単独では0.1-1mmのスケールで除き切れない粗さ分布が存在している。(Misaki et al. 2005に重ねた)

IV. 期待される性能例

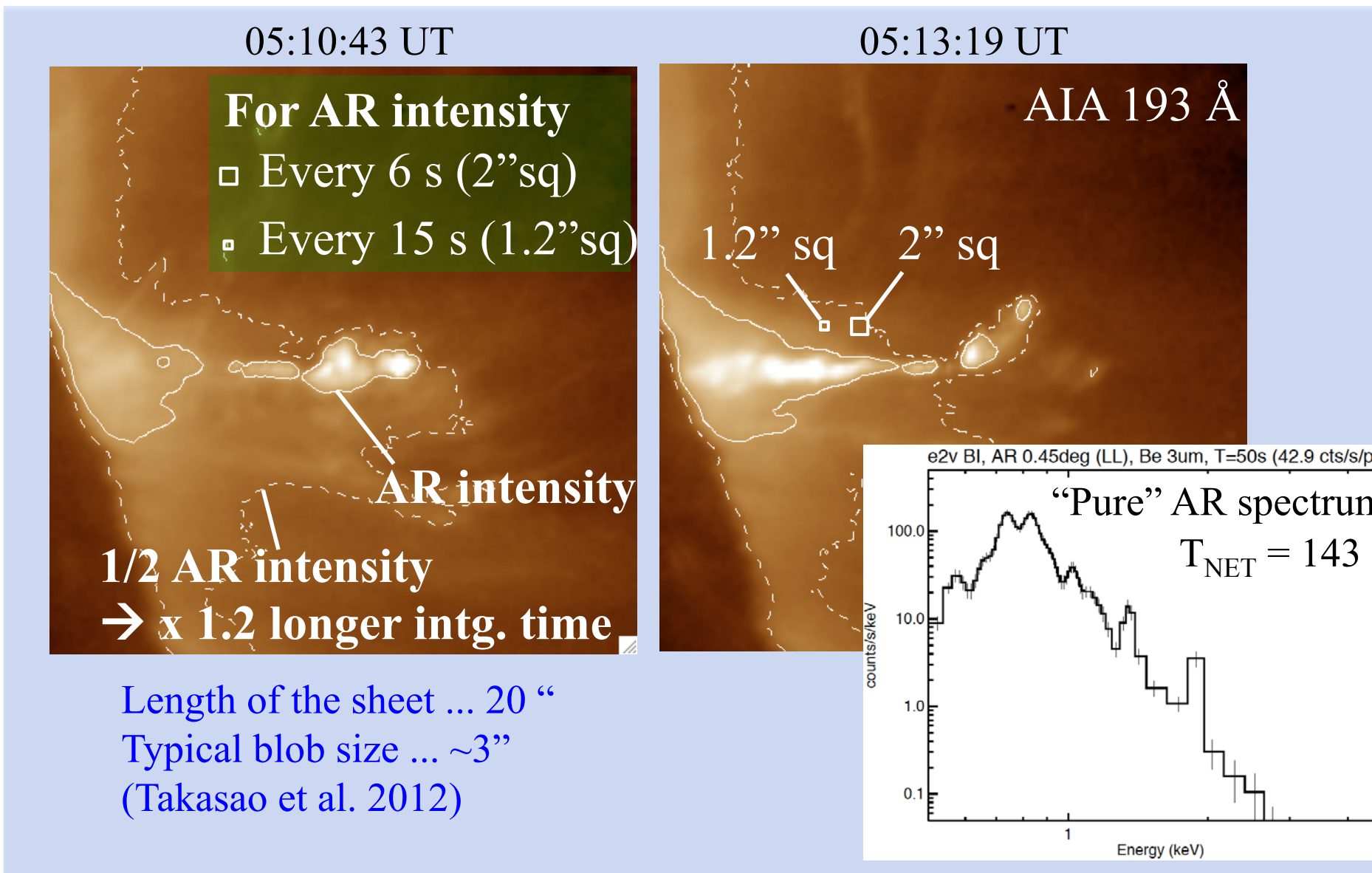
- ベースラインCMOSと斜入射角 0.45° のセグメントミラーの組み合わせで光子計測する場合の、フレア時の磁気リコネクションによって形成された電流シート中のプラズモイド構造に対する撮像分光能力の一例を右図に示す。この例では、個々のプラズモイドについて周辺構造を十分な空間・時間分解能(それぞれ $\sim 1''$ ・ ~ 15 秒)でスペクトル観測でき、電流シート内でのMHD衝撃波の検出や、非熱的電子の生成場所の特定および発達過程のトレース等が期待される。

V. 謝辞

- 本検討は、ISAS/JAXA宇宙理学委員会が所掌する戦略的開発研究経費、および科研費(挑戦的萌芽研究24654053)の支援を受けて進めている。



2010/8/11フレアのSDO/AIAによる観測(上: Takasao et al. 2012)。EUVプロップ構造がコロナ下層に向けて下降しており、電流シート中のプラズモイドと考えられる(左)。



Length of the sheet ... 20 " Typical blob size ... 3" (Takasao et al. 2012)