

令和元年6月12日現在

機関番号：82645

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26247031

研究課題名(和文) 太陽コロナダイナミクスを解明するナノ加工・計測技術による超高精度X線イメージング

研究課題名(英文) Ultra-Precise X-ray Imaging based on Nano Manufacturing and Measurement Technology for Revealing Dynamics of the Solar Corona

研究代表者

坂尾 太郎 (Sakao, Taro)

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・准教授

研究者番号：00225781

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 29,300,000円

研究成果の概要(和文)：太陽コロナ中のプラズマダイナミクスを解明する上で鍵を握る、1秒角を上回る空間分解能でのX線イメージングを将来、宇宙からの太陽観測で実現することを目指し、これに必要な高精度の斜入射X線ミラーの開発研究を進めた。空間スケールに応じたミラー形状誤差の改善目標と、目標を実現するための研磨・計測アプローチを策定し、それに基づいたミラーの試作とSPring-8放射光施設でのX線結像性能評価を繰り返し、8 keVのX線に対し回折限界に到達する空間分解能(約0.1秒角)を持つX線ミラー試作に成功した。これにより高精度X線ミラーの国産開発のための技術的基盤を獲得した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

天体のX線撮像観測に用いられる斜入射ミラーは、波長の短いX線を精密に結像させるため、製作にナノレベルの加工精度と計測精度が必要である。米国のメーカーが撤退して以降、世界中で作れなくなっていた高精度斜入射ミラーを国産で開発することをめざして研究を進め、空間分解能が回折限界に到達する極めて高精度のミラーを実現することに成功した。研究を通じてミラーの加工と計測の方法論および技術基盤を国内に蓄積した。

研究成果の概要(英文)：X-ray imagery of the Sun's corona with sub-arcsecond spatial resolution is a key to understand dynamics of coronal plasmas. This research was conducted to realize high-precision grazing-incidence X-ray mirrors (Wolter mirrors). The research was designed to repeat the following steps: (1) Determine target improvement (amount of reduction) of figure error amplitudes of the mirror for each spatial scale; (2) Identify and devise approaches for mirror polishing and measurement; (3) Fabricate an engineering mirror; and (4) Evaluate its X-ray imaging performance utilizing highly-parallel X-ray beam of SPring-8 synchrotron facility. We succeeded in fabricating a precision Wolter mirror whose spatial resolution reaching down to the diffraction limit (~0.1 arcsec) with 8 keV X-rays. This implies that we have established methodology as well as technology necessary to realize Wolter mirrors with sub-arcsecond resolution.

研究分野：X線太陽物理学

キーワード：太陽物理学 X線結像光学 ナノ加工 ナノ計測 スペースオプティクス 宇宙科学 量子ビーム

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 「ようこう」と「ひので」衛星による X 線撮像観測が明らかにしたように、太陽コロナは、磁場の大規模な構造形成やプラズマ粒子の加速・加熱など、高温プラズマが示すダイナミックな活動現象に満ちあふれている。しかし、これら活動現象のエンジンである磁気リコネクションの素過程や粒子加速のメカニズム、さらにコロナの加熱機構は、いまだ未解決の問題である。これらに決着をつけるには、コロナの撮像観測に今まで以上の空間分解能があることが「ひので」や NASA の観測ロケット Hi-C など近年の観測を通じて明らかになってきた。例えば「ひので」によるコロナ磁気ループの足元部の観測から、コロナにおいても空間スケールで数 100 km の、「サブ秒角」の構造を分解することが、コロナプラズマの加熱や活動現象を理解するための鍵を握ることが認識されてきた。波長 1-10 Å の軟 X 線波長域は、活動領域の中心部やフレアで生成される、500 万 K をこえる高温のコロナプラズマを温度の抜けなく観測することのできる唯一の波長窓であるが、この波長域で太陽のように広がった対象を結像できる光学系は、Wolter 型斜入射光学系に限られる。

(2) サブ秒角の空間分解能をもつスペース用 Wolter ミラーは、これまで Chandra 衛星(プレートスケール 0.5 秒角/CCD ピクセル)でしか実現していないが、高い空間分解能と、X 線散乱を抑えるための低いマイクロラフネスをあわせもつ Wolter ミラーは製作が難しく、数年以上にわたる長期の製作時間、従って膨大なコスト、を必要としていた。しかも、「ようこう」・「ひので」や Chandra 衛星など、1 秒角前後の空間分解能を持つスペース用 Wolter ミラーを製作可能であった唯一の米国メーカーはミラー製作から撤退し、高精度の斜入射ミラーは世界的に製造できない状態となっていた。

### 2. 研究の目的

(1) 太陽コロナのプラズマダイナミクスを解明する上で鍵を握る、サブ秒角の空間分解能での軟 X 線イメージングを実現する、超高精度 Wolter 型斜入射 X 線ミラーを国内で製作可能とするための研究を行なう。

(2) 本研究では、わが国の大学界・産業界に蓄積しているナノテクノロジーに立脚した表面加工技術・計測技術を結合し、X 線による検証計測とセットにした新しいアプローチにより、従来米国でしか製作できなかった高精度 Wolter ミラーをはるかに短期、安価に提供するための技術を確立する。これにより、将来、衛星や観測ロケットに搭載して太陽コロナのサブ秒角 X 線イメージングを行なえる国産の技術基盤を築くことを目的とした。

### 3. 研究の方法

(1) サブ秒角の空間分解能を実現する、形状誤差を 10 nm 程度にまで抑え込んだ Wolter 表面を創成するには、この非球面の表面形状を nm オーダーの精度で正しく計測できるか否かが鍵を握る。この精度はヌルレンズや計算機合成ホログラム (CGH) による干渉計測、あるいは機械式計測で保証できる限度を超えており、集光波長である X 線による形状計測・結像性能の検証が不可欠である。

(2) そのため、研究を進めるにあたって、ナノメートルレベルでの表面創成・計測による X 線 KB 集光ミラーや楕円表面ミラー等、シンクロトロン集光ミラーの開発に圧倒的な実績を持つ大阪大学大学院工学研究科・精密科学グループおよび、高精度 EUV 光学素子のナノ加工に実績を持つ、精密光学機器の国内トップメーカーとの協力関係を構築し、精密研磨の実施、研磨後の X 線集光性能の確認、および X 線測定によるミラー形状の計測、を可能とする体制を構築した。

(3) この体制をふまえて、回転放物面と回転双曲面からなる精密 Wolter I 型ミラーの試作と評価を進めた。ミラーは、「ようこう」・「ひので」等の X 線ミラーで採用された円環型ではなく、ナノレベルの加工を行なう精密研磨機や測定器のアクセスを容易にする、円環の一部分からなる「部分円環型」としている(図 1)。本研究は 2012-2013 年度に科研費・挑戦的萌芽研究の支援を受けて試作した Wolter ミラー(焦点距離 4m)を出発点とし、

- 試作したミラーに対し、Spring-8 シンクロトロン放射光施設の平行度およびコヒーレンシーの高い X 線ビームを用いた X 線結像性能の評価、
- X 線評価結果に基づく、空間スケールに対する形状誤差 PSD スペクトルの改善方針の策定、
- 改善 PSD スペクトルを実現するための研磨(形状修正と平滑化)手法の設定と、それによるミラーの試作、

というサイクルを回すことで、高精度 Wolter ミラーを実現する研磨・計測技術を着実に獲得した。

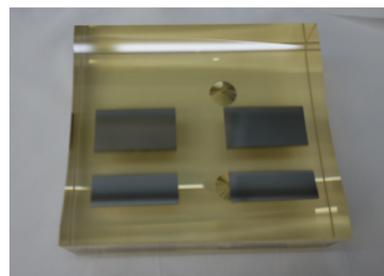


図 1 試作 Wolter ミラーの一例。  
(灰色に見える金属コーティング部分がミラーの有効領域。)

## 4. 研究成果

### (1) サブ秒角分解能を持つ超高精度 Wolter ミラーの研究

#### (A) 目標とする形状誤差 PSD プロファイルの設定

本研究の出発点として、2012-2013 年度に科研費・挑戦的萌芽研究の支援を受けて試作したミラー(以後、EM#1)の結像性能を SPring-8 BL29XUL ビームラインの平行 X 線 (8 keV) を用いて評価した。このミラーは Sagittal 方向(面内方向)へは X 線を 0.3 秒角程度に集光できているのに対して、Meridional 方向(面外方向)へは X 線が 30 秒角程度にかえって広がってしまっていることが判明した。

この測定結果に基づき、ミラーの改良に先立って、ミラー表面に求められる形状誤差 PSD (Power Spectral Density) の目標プロファイルを設定することとした。試作ミラー EM#1 の形状誤差 PSD プロファイル(図 2)をふまえて、ミラー形状誤差の空間スケールのうち、a. 解像度(集光コアプロファイルの拡がり)に効くスケール、b. 光軸の比較的近傍での散乱に効くスケール、および c. 反射率(大角度散乱)に効くスケール、のそれぞれについて、形状誤差振幅に必要な低減度を評価し、各空間スケールでの要請を満たすように初期の目標プロファイルを設定した。図 3 に示すように、目標プロファイルは、結果として米国 Chandra X 線天文衛星が搭載したミラーの形状誤差 PSD とほぼ同等となった。

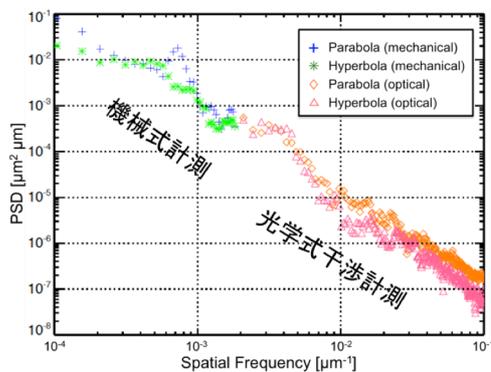


図 2 当初試作ミラー(EM#1)の形状誤差 PSD。

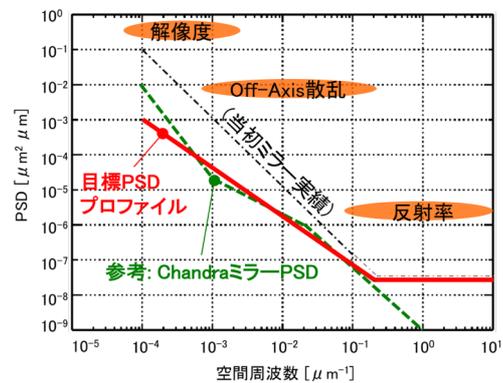


図 3 目標形状誤差 PSD プロファイルの初期設定。

#### (B) 研磨・計測アプローチの策定

図 3 の目標 PSD プロファイルを実現する研磨手法として、a. 決定論的研磨による形状修正(磁性流体研磨を使用)と、b. 平滑化研磨を組み合わせることとした。1mm 程度の空間スケールを境界として、形状修正は長い空間スケール側を担当し、平滑化は短い空間スケール側を担当している。また、形状計測については機械式計測と光学式干渉計測を実施し、空間スケールに対する重み付けバンドパスフィルターを介して両者の計測値を統合した。

#### (C) ミラーの試作と X 線結像性能評価

策定した研磨・計測アプローチを採用して次の Wolter ミラーを試作した (EM#2)。ミラーは図 1 に示したのと同様、回転放物面と回転双曲面を一体のガラスセラミック(クリアセラム)基板上に成形し、研磨後は X 線の反射率を確保するためにクロム 10 nm を Binding Layer として白金 100 nm をコーティングしている。焦点距離は 4 m。斜入射角は 0.45° である。研磨した有効領域は比較的小規模で、放物面・双曲面とも、ほぼ水平面に近い、32.5 mm(光軸方向)×10 mm(円環方向)のサイズを持つ。

この試作ミラー EM#2 は、SPring-8/BL29XUL での X 線結像性能評価 (8 keV) で、FWHM で 0.2 秒角程度の集光コアサイズを達成したが、HPD (Half Power Diameter) は 3 秒角程度にとどまり、サブ秒角分解能の実現には今一步届いていない。さらに、Sagittal 集光がほぼ設計値通りの焦点距離を示したのに対して、Meridional 集光の焦点距離は 10 % 程度長く、本部分円環ミラーには非点収差のあることが判明した。集光コアの HPD が約 3 秒角にとどまったのは、ミラーの空間スケール 1 mm 前後での形状誤差振幅が依然大きい(この空間スケール帯では最初の試作ミラー EM#1 から大幅には改善していない)ためであった。同空間スケールでの形状誤差抑制は難しい。(形状修正と平滑化のどちらからも制御しにくい空間スケール。)試作ミラー EM#2 の計測形状に対し、0.3-3 mm 程度の空間スケールでの形状誤差振幅をさらに半減できれば、HPD サイズは 0.1 秒角程度に大幅に改善することが波動光学シミュレーションから判明したことを受け、加工・計測の実力も勘案して、次のミラー試作 (EM#3) では、図 3 に示したものより若干緩い形状誤差 PSD プロファイルを目標に設定した。

試作ミラー EM#3 の加工にあたっては、形状修正を行なう磁性流体研磨の研磨ヘッドの改良および、平滑化加工の改善を図り、0.3-3 mm 帯の形状誤差抑制を図った。また、試作ミラー EM#2 で見られた非点収差(ミラーの Meridional 方向で 6.5 nm 程度のサグ量ずれに対応)は、加工時

の計測機の系統誤差によることを特定し、誤差を取り除いた計測にて加工を進めた。EM#3 ミラーの有効領域の基板上的位置・サイズは EM#2 ミラーと同一である。EM#3 ミラーの SPring-8/BL29XUL で計測した X 線結像性能 (8 keV) を図 4 に示す。

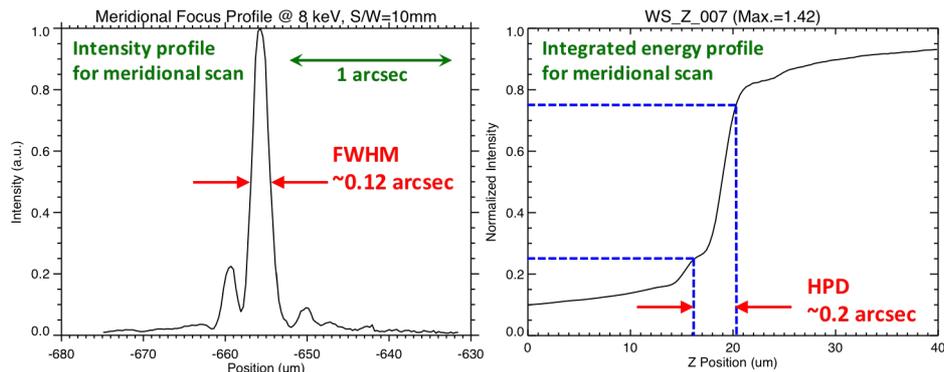


図 4 試作ミラーEM#3 の Meridional(面外)集光性能:(左) 集光コアプロフィール。(右) 集光コアの積分エネルギープロフィール。

図 4 はこれまで特に集光に困難をきたした Meridional 集光のプロファイルである。集光コアの FWHM サイズは回折限界にほぼ到達する約 0.1 秒角を達成し、また、HPD サイズも 0.2 秒角を実現した。集光プロファイルの散乱光ウイングについても計測した結果(図 5)、光軸から 10 秒角の離角位置で集光ピーク強度の  $3 \times 10^{-4}$ 、20 秒角で  $5 \times 10^{-5}$ 、60 秒角で  $10^{-5}$  未満、という良好な低散乱特性を実現した。図 6 は同ミラーの形状誤差 PSD プロファイルである。ほぼ全ての空間スケールにわたって、目標 PSD プロファイルを満たす形状精度を達成したことがわかる。

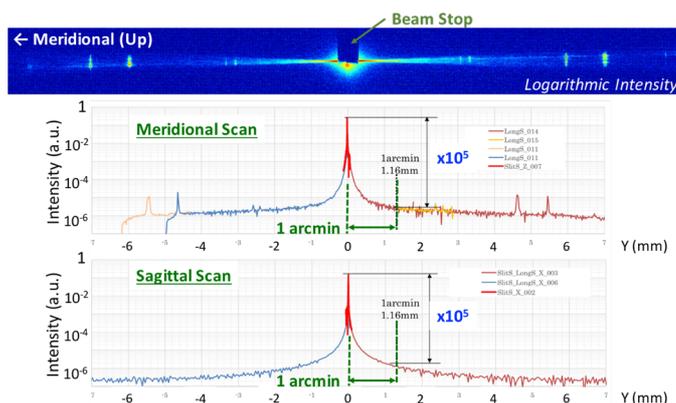


図 5 試作ミラーEM#3 の広角散乱計測。(上段) 散乱光の 2 次元強度分布。(中段) Meridional 方向の散乱プロフィール。(下段) Sagittal 方向の散乱プロフィール。いずれも 8 keV X 線での計測。

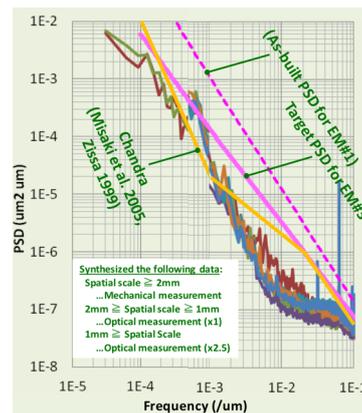


図 6 試作ミラーEM#3 の形状誤差 PSD。EM#3 に対して設定した目標 PSD プロファイルをあわせて示す。

## (2) 超高精度 Wolter ミラーの有効領域の拡大

上述の試作ミラーEM#3 で X 線結像性能の非常に優れた Wolter 表面の創成に成功した。一方、この Wolter 表面は研磨加工機・計測機が正対でき精度を比較的に出しやすい、ほぼ水平面に近い領域にとどまっている。今後のミラーの大型化を見据え、Wolter ミラーの円環方向に沿った傾斜面の研磨加工性・計測性を評価するために、次の試作ミラー(EM#4)では、図 1 に示す約  $10^\circ$  の傾斜面に Wolter 表面を試作した。(図の手前側の 2 つの灰色の領域が、EM#4 として試作した、円環方向の傾斜面に位置する放物面部と双曲面部。)EM#4 の加工では、EM#3 とほぼ同等(平滑化工程は一部改良)の研磨・計測アプローチを用いた。

SPring-8/BL29XUL での X 線評価計測で、この傾斜した Wolter 表面 EM#4 は、集光コアの FWHM 幅では約 0.2 秒角と EM#3 に多少劣るものの HPD は同様の値(0.24 秒角)を示した。また、光軸から離角 10-20 秒角での散乱光レベルは EM#3 のほぼ 3 倍に大きくなっている(60 秒角での値は同程度)が、引き続き低い散乱光レベルを保っている。また、EM#4 では Meridional 集光で若干の非点収差(設計焦点距離の 1%強)が認められたが、結像性能に大きな影響はない。

このことから、円環方向へのミラー有効領域の拡大にも一定のめどが立ったと判断している。

### (3) まとめ

ここまでの研究を通じて、必要とするミラー形状精度の設定、それを実現するための研磨・計測アプローチの策定とミラーの試作、そしてX線を用いたミラーの結像性能評価手法、という、高精度 Wolter ミラーを国産開発する上で必要となる技術的基盤を獲得でき、本研究の目的を達することができた。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計4件)

- ① Sakao, T., Matsuyama, S., Goto, T., Yamada, J., Yasuda, S., Yamauchi, K., Kohmura, K., Kime, A., Miyake, A., Maezawa, T., Hashizume, H., Suematsu, Y., Narukage, N., Ishikawa, S., "Development of precision Wolter mirrors for solar x-ray observations", Proc. SPIE, 査読無, 10386, 103860E (11pp), 2017.  
DOI: 10.1117/12.2273507
- ② Sakao, T., Matsuyama, S., Kime, A., Goto, T., Nishihara, A., Nakamori, H., Yamauchi, K., Kohmura, Y., Miyake, A., Hashizume, H., Maezawa, T., Suematsu, Y., Narukage, N., "Development of precision Wolter mirrors for future solar x-ray observations", Proc. SPIE, 査読無, 9603, 96030U (9pp), 2015.  
DOI: 10.1117/12.2188905
- ③ Sakao, T., Narukage, N., Suematsu, Y., Watanabe, K., Shimojo, M., Imada, S., Ishikawa, S., and DeLuca, E. E., "The soft x-ray photon-counting telescope for solar observations", Proc. SPIE, 査読無, 9144, 91443D (8pp), 2014.  
DOI: 10.1117/12.2055925

[学会発表] (計29件)

- ① 坂尾太郎, 松山智至, 山田純平, 井上陽登, 萩原拓, 山内和人, 香村芳樹, 末松芳法, 成影典之, 石川真之介, 「太陽X線観測に向けた高精度斜入射ミラー開発研究の状況(2)」, 日本天文学会 2019年春季年会, V329a, (2019年3月17日; 法政大学).
- ② 坂尾太郎, 松山智至, 山田純平, 井上陽登, 萩原拓, 山内和人, 香村芳樹, 末松芳法, 成影典之, 石川真之介, 「将来太陽観測に向けた高精度 Wolter ミラーの研究」, 第19回宇宙科学シンポジウム P-053, (2019年1月9-10日; JAXA宇宙科学研究所).
- ③ 坂尾太郎, 松山智至, 山田純平, 井上陽登, 波多健太郎, 山口浩之, 山内和人, 香村芳樹, 末松芳法, 成影典之, 石川真之介, 「太陽X線観測に向けた高精度斜入射ミラー開発研究の状況」, 日本天文学会 2018年秋季年会, V329a, (2018年9月21日; 兵庫県立大学).
- ④ Sakao, T., Matsuyama, S., Goto, T., Yamada, J., Inoue, T., Hata, K., Yamaguchi, H., Yamauchi, K., Kohmura, Y., Kime, A., Miyake, A., Miyazawa, T., Hashizume, H., Suematsu, Y., Narukage, N., Ishikawa, S., "Precision Wolter mirrors for future x-ray observations of the Sun", in SPIE Optics + Photonics, Conference 10760, (2018年8月20日; San Diego, U.S.A.).  
<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/10760/107600B/Precision-Wolter-mirrors-for-future-x-ray-observations-of-the/10.1117/12.2320861.full>
- ⑤ 坂尾太郎, 松山智至, 後藤拓実, 山田純平, 安田周平, 山内和人, 香村芳樹, 木目歩美, 末松芳法, 成影典之, 石川真之介, 「将来太陽観測に向けた高精度斜入射X線ミラーの開発研究」, 第18回宇宙科学シンポジウム P-169, (2018年1月9-10日; JAXA宇宙科学研究所).  
<https://repository.exst.jaxa.jp/dspace/handle/a-is/876368>
- ⑥ Sakao, T., Matsuyama, S., Goto, T., Yamada, J., Yasuda, S., Yamauchi, K., Kohmura, Y., Kime, A., Suematsu, Y., Miyake, A., Maezawa, T., Hashizume, H., "Precision Sub-Arcsecond-Resolution Wolter Mirrors for Future X-ray Observations of the Sun", in International Conference on X-ray Optics and Applications 2017 (XOPT'17), (2017年4月20日; Yokohama, Japan).
- ⑦ 坂尾太郎, 松山智至, 後藤拓実, 山田純平, 安田周平, 山内和人, 香村芳樹, 末松芳法, 成影典之, 「太陽X線観測用超高精度 Wolter ミラーの研究進捗」, 日本天文学会 2017年春季年会, V311a, (2017年3月15日; 九州大学).
- ⑧ 坂尾太郎, 松山智至, 後藤拓実, 山田純平, 安田周平, 山内和人, 香村芳樹, 木目歩美, 末松芳法, 成影典之, 「太陽観測に向けたサブ秒角 Wolter ミラーの開発研究」, 第17回宇宙科学シンポジウム P-171, (2017年1月5-6日; JAXA宇宙科学研究所).  
<https://repository.exst.jaxa.jp/dspace/handle/a-is/609852>
- ⑨ Sakao, T., Matsuyama, S., Goto, T., Yamauchi, K., Kohmura, Y., Miyake, A., Maezawa, T., Hashizume, H., Suematsu, Y., Narukage, N., Ishikawa, S., "Progress in Precision Wolter Mirrors for Soft X-ray Observations of the Sun", in SPIE Optics + Photonics, Conference 9963, (2016年9月1日; San Diego, U.S.A.).

<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/9963/99630L/Progress-in-precision-Wolter-mirrors-for-soft-x-ray-observations/10.1117/12.2237459.full>

- ⑩ Matsuyama, S., Kime, A., Sakao, T., Suematsu, Y., Kohmura, Y., Yabashi, M., Ishikawa, T., Yamauchi, K., "Novel shape measurement method for imaging mirrors using an x-ray grating interferometer", in SPIE Optics + Photonics, Conference 9962, 2016年8月29日; San Diego, U.S.A.).
- ⑪ Sakao, T., Narukage, N., Ishikawa, S., "Low Energy X-ray Optics as a Possible Payload for FOXSI", in FOXSI-3 Kick-off Meeting, (2016年3月29日; Univ. of Minnesota, U.S.A.).
- ⑫ 坂尾太郎, 松山智至, 後藤拓実, 西原明彦, 中森紘基, 山内和人, 木目歩美, 香村芳樹, 末松芳法, 成影典之, 「太陽 X 線観測用超高精度 Wolter ミラーの研究開発」, 日本天文学会 2016 年春季年会 V336a, (2016 年 3 月 16 日; 首都大学東京).
- ⑬ 坂尾太郎, 松山智至, 後藤拓実, 西原明彦, 中森紘基, 山内和人, 木目歩美, 香村芳樹, 三宅明, 橋爪寛和, 前沢忠和, 末松芳法, 成影典之, 「太陽観測に向けた高精度サブ秒角 Wolter ミラーの開発研究」, 第 16 回宇宙科学シンポジウム P-185, (2016 年 1 月 6-7 日; JAXA 宇宙科学研究所).  
<https://repository.exst.jaxa.jp/dspace/handle/a-is/560354>
- ⑭ Sakao, T., "Development of Precision Wolter Mirrors for Future Observations of the X-ray Sun", in 8th International Workshop on Astronomical X-ray Optics, (2015 年 12 月 10 日; Prague, Czech Republic).
- ⑮ Sakao, T., "Soft X-ray Photon-Counting Spectroscopic Imager", in 14th RHESSI Workshop (RHESSI 14), (2015 年 8 月 14 日; New Jersey Institute of Technology, U.S.A.).
- ⑯ 松山智至, 木目歩美, 後藤拓実, 西原明彦, 香村芳樹, 石川哲也, 坂尾太郎, 山内和人, 「2 回反射型 X 線ミラーのための X 線スローププロファイラの開発」, 精密工学会 2015 年度春季大会 R36, (2015 年 3 月 17-19 日; 東洋大学).
- ⑰ 坂尾太郎, 松山智至, 木目歩美, 後藤拓実, 西原明彦, 山内和人, 末松芳法, 成影典之, 「太陽観測に向けた高精度サブ秒角 Wolter ミラーの開発検討」, 第 15 回宇宙科学シンポジウム P-147, (2015 年 1 月 6-7 日; JAXA 宇宙科学研究所).  
<https://repository.exst.jaxa.jp/dspace/handle/a-is/548650>
- ⑱ 坂尾太郎, 松山智至, 木目歩美, 山内和人, 末松芳法, 成影典之, 「将来スペース太陽観測に向けた超高精度 Wolter ミラーの開発」, 日本天文学会 2014 年秋季年会 W130a, (2014 年 9 月 12 日; 山形大学).

[その他]

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

なし

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：末松 芳法

ローマ字氏名：(SUEMATU, Yoshinori)

研究協力者氏名：山内 和人

ローマ字氏名：(YAMAUCHI, Kazuto)

研究協力者氏名：松山 智至

ローマ字氏名：(MATSUYAMA, Satoshi)

研究協力者氏名：成影 典之

ローマ字氏名：(NARUKAGE, Noriyuki)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。