

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 12 月 5 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2015

課題番号：15K13464

研究課題名(和文)新素材と新レプリカ法による軽量高角度分解能反射鏡の開発

研究課題名(英文)Development of a light-weight and high-angular resolution mirror with a new material and a new replication method

研究代表者

松本 浩典(Matsumoto, Hironori)

名古屋大学・現象解析研究センター・准教授

研究者番号：90311365

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：宇宙観測用X線望遠鏡は通常Wolter-I型のX線光学系であり、大面積、高角度分解能、かつ軽量のX線望遠鏡を実現するためには、軽量かつ形状精度の高い反射鏡基板が鍵となる。そのために、軽量かつ剛性が高く、任意の形状に成型できるCFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic)を反射鏡基板として使用することを試みた。しかしそのためには、CFRPの繊維起源のプリントスルーによる凹凸を抑制しなければならない。我々はポリイミドシートに反射膜を成膜し、これをWolter-I型のCFRP反射鏡基板にはりつけることで、プリントスルーを抑制しつつX線反射鏡を作ることに成功した。

研究成果の概要(英文)：X-ray telescopes for cosmic X-ray observations usually utilize the Wolter-I optics. In this case, light-weight X-ray reflectors with high accuracy of the form is essential to realize light-weight X-ray telescopes having large area and high-angular resolution. Since CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic) has large stiffness, low density, and is able to be formed to any shape, we have tried to obtain X-ray reflectors of CFRP. However, the print through due to the fibers in CFRP must be suppressed. To do so, we put an X-ray reflection layer on the surface of polyimide sheets, and put the sheet to the surface of the CFRP Wolter-I reflectors. Then we have succeeded in producing X-ray reflectors whose print through is suppressed.

研究分野：X線天文学

キーワード：X線光学系

1. 研究開始当初の背景

宇宙からやってくる X 線は強度が弱いので、宇宙観測用 X 線望遠鏡は、大面積が必要になる。そこで通常は、反射鏡基板をバウムクーヘン状に並べた Wolter-I 型の斜入射光学系となる (図 1)。限られた口径・重量で有効面積を増やすためには、軽い基材で薄い反射鏡基板を作り、開口効率を上げなければならない。通常基材にはアルミが用いられる。しかし、薄いアルミ板は歪みやすく、そのために角度分解能の劣化が避けられない。また、本来の Wolter-I 型は 2 次曲面を利用するが、薄板で精度の良い二次曲面を実現することはむづかしく、円錐近似が利用されてきた。これらの要因から、これまでの軽量・大面積の X 線望遠鏡は、角度分解能が分角のオーダーに制限されていた。

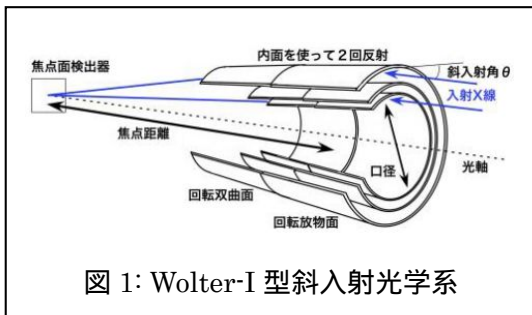


図 1: Wolter-I 型斜入射光学系

2. 研究の目的

角度分解能 10 秒角程度の大量 X 線望遠鏡を実現することが目的である。そのために、アルミに代わり、軽くて剛性の高い素材である炭素強化繊維プラスチック (Carbon Fiber Reinforced Plastic; CFRP) に目をつけた。また、CFRP ならば任意の形状の基板が作成可能になり、Wolter-I 型の二次曲面をも再現できる。しかし、CFRP は繊維束に起因するプリントスルーがあり、そのまま反射膜を形成しても、X 線反射鏡にならない。プリントスルーが表面に出てこないような X 線反射膜形成方法を考案しなければならない。本研究の目的は、X 線反射用金属膜を成膜したポリイミドシートを CFRP 反射鏡基板につけることによって、X 線反射鏡を実現することである。

3. 研究の方法

ポリイミドフィルムを利用した CFRP 反射鏡基板へのレプリカ法の概要を図 2 に示す。表面の滑らかなガラスマンドレル (粗さ数、形状精度 PV 10 μm 以下) に、反射膜をスパッタ法で形成しておく。次に、CFRP 基板内面と、ガラスマンドレル表面の反射膜の外側にエポキシを塗布する。そして、CFRP 基板、ポリイミドフィルム、ガラスマンドレルを圧着する。エポキシが硬化後、ガラス母型と反射膜の間を剥がすと、

CFRP 基板の内面に、反射膜が転写 (レプリカ) される。表面滑らかさはガラスマンドレル表面を写し取り、反射面形状は CFRP 基板に沿う。CFRP 基板のプリントスルーは、エポキシとプリントスルーで抑えられる。

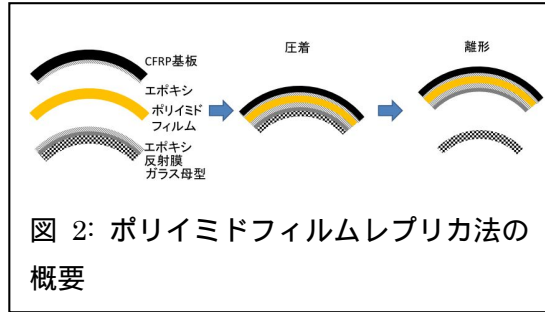


図 2: ポリイミドフィルムレプリカ法の概要

このようにして製作した CFRP 反射鏡に X 線を当てて、いかに X 線が反射されるのかを測定する。

4. 研究成果

まずフロートガラスの平板を用いた、ポリイミドミラー製作法に取り組んだ。スパッタによりプラチナと炭素の多層膜を成膜したフロートガラスを準備する。このフロートガラスの多層膜面にエポキシを塗布し、ポリイミドシートを密着させる。さらにポリイミドシートの反対側にエポキシを塗布し、フロートガラスを密着させる。全体をバッグに入れて真空引きし、大気圧で圧着しながらエポキシを硬化させる。最後に、多層膜面とフロートガラス面を離形することで、フロートガラスにミラー付ポリイミドシートのついたサンプルが出来上がる。これをサンプル A とする (図 3)。同様の工程をたどるが、多層膜のついたフロートガラスにポリイミドシートをはりつけたあと、圧着の後に一度剥がして多層膜付ポリイミドシートを作り、これをあら

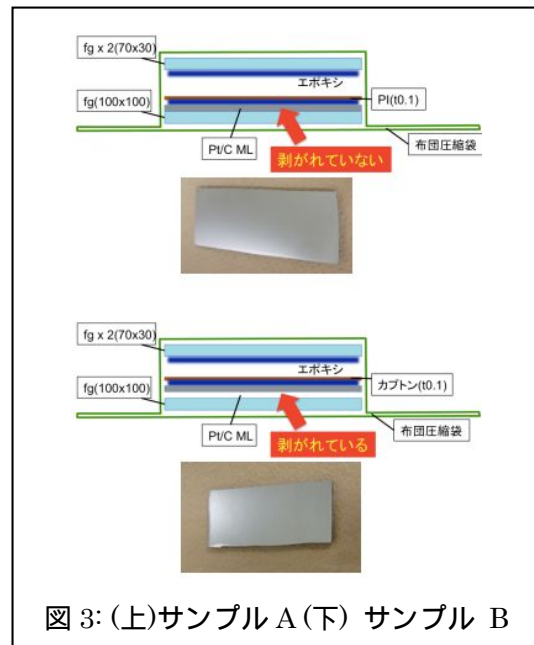


図 3: (上) サンプル A (下) サンプル B

ためてフロートガラスにはりつけてサンプルを作った。これをサンプルBとする (図3)。

サンプルAもサンプルBでも、どちらも目的通りプリントスルーの発生を抑えられていることを確認した。さらに、X線を反射する反射鏡として機能することを、X線照射によって確認した。このように、ポリイミドシートを使用したX線反射面の作成に成功した。次にそれぞれのサンプルの表面形状を測定したところ、サンプルBはサンプルAに比べて、波長 2-50mm 程度のうねりが卓越する事が明らかになった。圧着時の荷重を色々変えることにより、このうねりは圧着時の圧力に依存することを明らかにしたが、完全に除去するまでには至らなかった。

次に、CFRPによる Wolter-I型基板を使った、ポリイミドシートを使った反射面製作に取り組んだ。図2に示した方法と、ポリイミドシートに多層膜ミラー面を形成し、これをCFRPにはりつける方法 (これはフロートガラスのサンプルBと同じ方法である)の両方を行った。図4には、後者の方法で実際に製作したX線反射鏡の写真と、3次元非接触形状測定装置NH6で測定した母線方向の形状を示す。

形状測定の結果、5mm 程度以上の波長のうね



図4: (上) Wolter-I型CFRP基板にポリイミドシートを使って反射鏡面を製作したX線反射鏡 (下) 母線方向の形状。黒がデザイン値、赤が測定値。下は測定値とデザイン値の差。

りが表面に発生していることがわかった。平板時と同様に、このうねりは圧着時の圧力に依存していることもわかった。

最後に、上記のCFRP Wolter-I型の反射鏡基板にX線照射実験を行い、X線反射像がとれることも確認した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 5 件)

Saji, S., Mori, H., Matsumoto, H., Dotani, T., Iwai, M., Maeda, Y., Mitsuishi, I., Ozaki, M., Tawara, Y., "Peculiar lapse of periodic eclipsing event at low-mass X-ray binary GRS 1747-312 during Suzaku observation in 2009", Publications of the Astronomical Society of Japan, 2016, 68 (SP1), S15, p.1-17, DOI: 10.1093/pasj/psw011, 査読有

Matsumoto, H., Iwase, T., Maejima, M., Awaki, H., Kunieda, H., Ishida, N., Sugita, S., Miyazawa, T., Shima, N., Mitsuishi, I., Tawara, Y., "Development of an x-ray telescope using the carbon fiber reinforced plastic (CFRP)", Proceedings of the SPIE, 2015, 9603, p. 1-7, DOI: 10.1117/12.2190762, 査読無

Matsumoto, H., Tachibana, S., Yoshikawa, S., Tamura, K., Mori, H., Yamashita, K., Mitsuishi, I., Tawara, Y., Kunieda, H., "Development of an x-ray telescope with a large effective area for the iron K line band", Proceedings of the SPIE, 9603, p. 1-8, DOI: 10.1117/12.2190591, 査読無

Sugita, S., Awaki, H., Kurihara, D., Yoshioka, K., Nomura, M., Ogi, K., Tomita, Y., Mita, T., Kunieda, H., Matsumoto, H., Miyazawa, T., Mitsuishi, I., Iwase, T., Maejima, M., Shima, N., Ishikawa, T., Hamada, T., Ishida, N., Akiyama, H., Kishimoto, K., Utsunomiya, S., Kamiya, T., "Studies of the moisture absorption of thin carbon fiber reinforced plastic substrates for x-ray mirrors", Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems, 2015, 1, p.1-7, DOI: 10.1117/1.JATIS.1.3.034003, 査読有

Maeda, Y., Ichihara, K., Kan, H., Shionome, Y., Sato, T., Sato, T., Hayashi, T., Ishida, M., Namba, Y., Takahashi, H., Miyazawa, T., Ishibashi, K., Sakai, M., Sugita, S., Haba, Y., Matsumoto, H., Mori,

H., "Thermal stress test of the depth-graded platinum/carbon reflectors", Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems, 2015, 1, p.1-4, DOI: 10.1117/1.JATIS.1.3.034001, 査読有

〔学会発表〕(計 5 件)

Matsumoto, H., "Development of an x-ray telescope using the carbon fiber reinforced plastic (CFRP)", SPIE, Optics for EUV, X-Ray, and Gamma-Ray Astronomy VII, 2015 年 08 月 09 日, San Diego, California, United States

Matsumoto, H., "Development of an x-ray telescope with a large effective area for the iron K line band", SPIE, Optics for EUV, X-Ray, and Gamma-Ray Astronomy VII, 2015 年 08 月 09 日, San Diego, California, United States

Matsumoto, H., "Development of an X-ray Telescope with a Large Effective Area for the Iron K Line Band", IAU General Assembly, 2015 年 08 月 05 日 ~ 2015 年 08 月 08 日, Honolulu, Hawaii, United States

Matsumoto, H., "Athena and Future plans of X-ray astronomy in Japan", Exploring the Hot and Energetic Universe: The first Scientific Conference dedicated to the Athena X-ray Observatory, 招待講演, 2015 年 09 月 08 日 ~ 2015 年 09 月 08 日, ESAC/ESTEC, Spain

Matsumoto, H., "Future of High-Energy Astrophysics in Japan", HEAD meeting, American Astronomical Society, 招待講演, 2015 年 06 月 30 日, Chicago, United States

島 直究, 前島 将人, 松本 浩典, 三石 郁之, 宮澤 拓也, 栗木 久光, 杉田 聡司, 吉岡 賢哉, "炭素繊維強化プラスチックを用いた次世代 X 線望遠鏡の開発", 日本天文学会 2016 年春季年会, 2016 年 03 月 14 日 ~ 2016 年 03 月 17 日, 首都大学東京

前島 将人, 島 直究, 松本 浩典, 三石 郁之, 宮澤 拓也, 栗木 久光, 杉田 聡司, 吉岡 賢哉, "炭素繊維強化プラスチック製 X 線反射鏡の鏡面形成法の開発", 応用物理学会秋季学術講演会, 2015 年 09 月 13 日 ~ 2015 年 09 月 16 日, 名古屋国際会議場

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 2 件)

名称: FRP 製ミラー構造体、FRP 製ミラー構造体の製造方法、および、望遠鏡

発明者: 松本浩典、三石郁之、前島将人、島直究、石田直樹、栗木久光、秋山浩庸、岸本和昭

権利者: 名古屋大学、愛媛大学、三菱重工業株式会社

種類: 特許

番号: 2016-116368

出願年月日: 平成 28 年 6 月 10 日

国内外の別: 国内

名称: FRP 製ミラー構造体、FRP 製ミラー構造体の製造方法、および、望遠鏡

発明者: 松本浩典、三石郁之、石田直樹、栗木久光、秋山浩庸、岸本和昭

権利者: 名古屋大学、愛媛大学、三菱重工業株式会社

種類: 特許

番号: 2016-116376

出願年月日: 平成 28 年 6 月 10 日

国内外の別: 国内

取得状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松本 浩典 (MATSUMOTO, Hironori)

名古屋大学・現象解析研究センター・准教授

研究者番号: 90311365

(2) 研究分担者

栗木 久光 (AWAKI, Hisamitsu)

愛媛大学・理工学研究科・教授

研究者番号: 30252414

(3) 連携研究者

()

研究者番号: