

熱成形薄板ガラスを用いた薄板ガラス母型小型化への展望

岩瀬 敏博 (名古屋大学大学院 理学研究科)

Abstract

現在、名古屋大学では多重薄板型 X 線望遠鏡の開発を行なっている。これに使用されるミラーはレプリカ法という、ガラス母型に多層膜を成膜し基板を圧着・離型する方法で作られている。こうして得られたミラーの形状はガラス母型の形状を写し取ることがわかっている。しかし我々の要求する PV 値 $10 \mu\text{m}$ 未満の形状のガラス母型は数が限られており、補充に多大な時間及び人手がかかる。これに対しガラス母型の表面に厚さ 0.2 mm の薄板ガラスを巻き、それを新たなガラス母型 (GCM: Glass Coated Mandrel) とする方法が開発されている。これによって形状の悪いガラス母型でもよい形状のミラーが得ることが可能となった。しかし、GCM は小型の母型に対しては薄板ガラスが割れてしまうため GCM 化できないという欠点があった。本研究では薄板ガラスを熱をかけることで曲率半径 100 mm 程度に曲げ、その後ガラス母型に巻き付けるといった方法で GCM の小型化をはかった。その結果、現在製作中の次期 X 線天文衛星 ASTRO-H 用硬 X 線望遠鏡で用いられる最小の径とほぼ同等の曲率半径 65 mm のガラス母型において GCM を製作し、ミラーを得ることに成功した。

1 研究概要

1.1 レプリカ法

現在名古屋大学では 2015 年打ち上げ予定の次期 X 線天文衛星 ASTRO-H 搭載予定の硬 X 線望遠鏡の開発を行なっている。X 線望遠鏡には多重薄板法という、薄いミラーを同心円上に並べることで、高有効面積を得ることができるという特徴を持つ方法を用いている。図 1 にミラーの製作工程を示す。ガラス母型に多層膜を成膜し、アルミ基板を圧着し、離型するレプリカ法という製作行程を用いている。非接触 3 次元測定器 (NH-6, 三鷹光器製) を用いて測定したミラーの表面形状とガラス母型との形状を比較した結果を図 2 に示す。ミラーの表面形状はガラス母型の形状に沿うことがわかる。

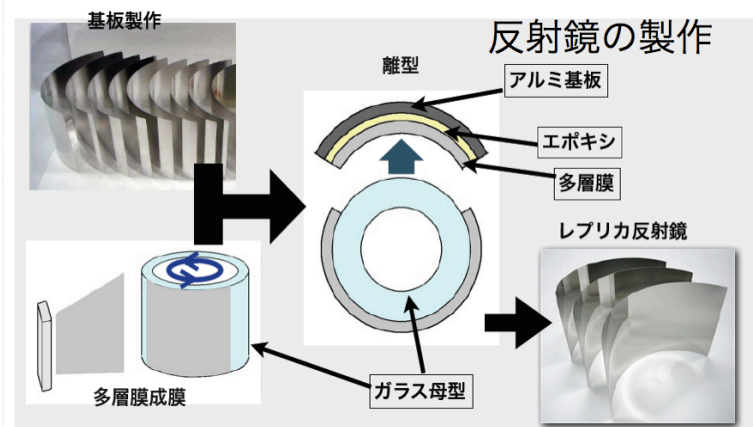


図 1: 反射鏡の製作行程

1.2 GCM について

より良い結像性能を持つミラー、つまりより良い表面形状を持つミラーを得るためには形状の良いガラス母型が必要となり、我々は PV (Peak to Valley) 値が $10 \mu\text{m}$ 未満を目安にしている。しかし、形状の良いガラス母型は数に制限がある。ガラス母型を手に入れるためには市販されたガラス母型を買い付けに行き、要求を満たすものを選別 (加藤大佳 修論 2012.) して購入を行なうが、これには多くの時間及

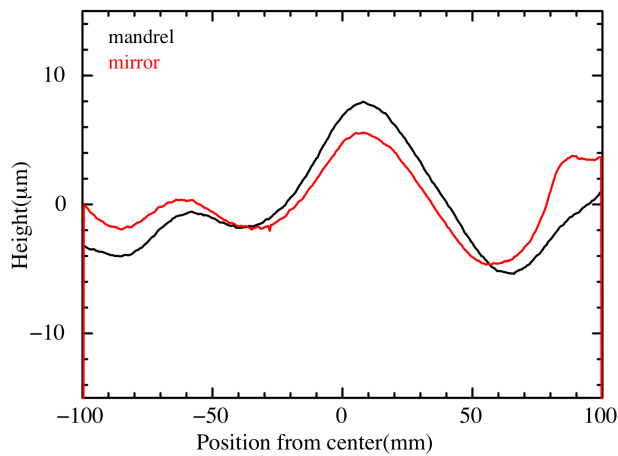


図 2: ガラス母型(黒)とそこから作られたミラー(赤)の比較

び人手が必要になり、しかも要求を満たすガラス母型が確実に手に入る保証は無い。これを解決する手段として、薄板ガラスをガラス母型に巻き付けてそれを新たな母型として使用するという方法が使われている。これによって作られるガラス母型を我々は Glass Coated Mandrel(以下 GCM)と呼んでいる。図 3 に GCM の概要図を示す。使用する薄板ガラスは SCHOTT 社の D263Teco で、厚さ 0.21 mm のものである。これによって得られたミラーと我々の要求 (PV10 μm) よりも形状の悪いガラス母型から得られた比較の図を図 4 に示す。このガラス母型は PV15 μm 程度のあまり形状の良くないガラス母型であったが、GCM 化によって PV が 2 μm 程度まで抑えることが可能となった。しかし、この方法には小型のガラス母型に対しては薄板ガラスが応力により割れてしまうため、適用が難しい。具体的には現在曲率半径 120 mm 以下のガラス母型には GCM が適用できていない。そこで薄板ガラスを曲率半径 100 mm 程度になるよう熱成形を行ない、それをさらに小さい径のガラス母型に巻き付けることで小さな径においても GCM の製作を目指した。

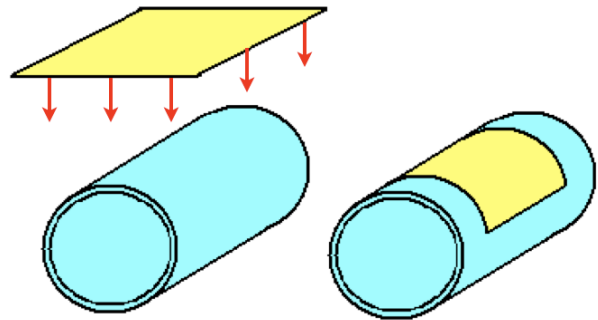


図 3: 図左:GCM の概要図

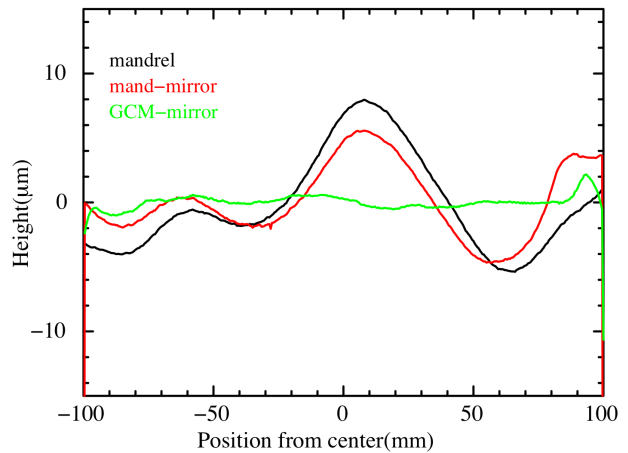


図 4: :ガラス母型(黒)、ガラス母型から得られたミラー(赤)、GCM 化したガラス母型から得られたミラー(緑)の母線形状

2 GCM の小型化

2.1 薄板ガラスの熱成形

熱成形には、ASTRO-H 用に用いている薄板ガラスよりも少し小さく、200 mm \times 130 mm、厚さ 0.21 mm の薄板ガラス (SCHOTT 社製,D263Teco) を用いた。また、熱成形には電気炉を用いた。様子を図 5 に示す。これは炉の両面にある電熱ヒーターを用いて炉の温度を上昇させるものである。熱成形の様子を図 6 に示す。熱成形は薄板ガラスを凹型と凸型の 2 つのカーボン型で挟み、カーボン型ごと電気炉で加熱して行なう。この電気炉で薄板ガラスを 480 $^{\circ}\text{C}$ 、

3 時間の加熱を行なうことで曲率半径 100 mm 程度に曲げることに成功した。

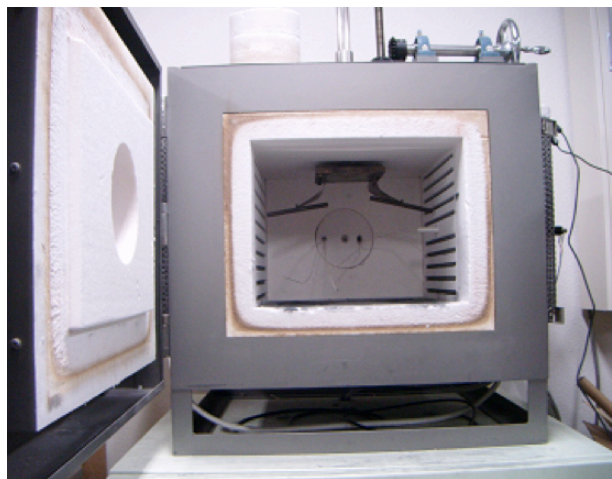


図 5: 電気炉

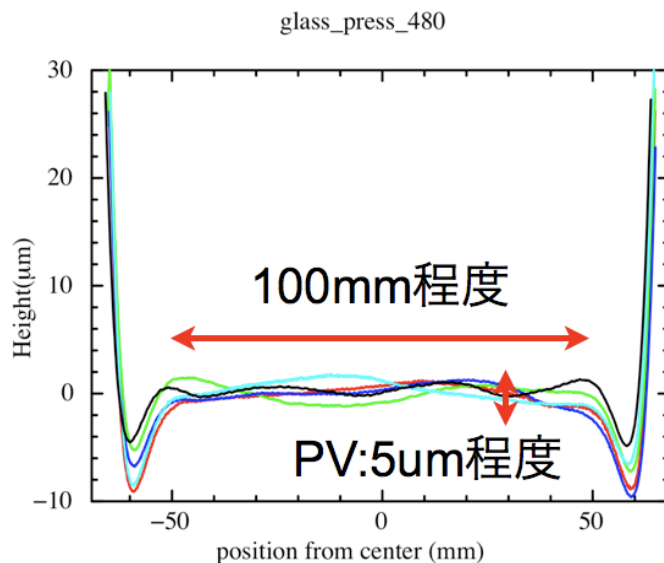


図 7: 熱成形を行なった薄板ガラスの母線形状の一例

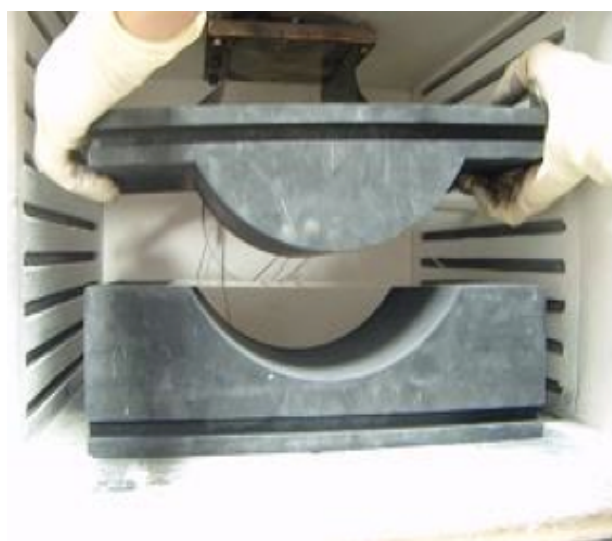


図 6: 熱成形の様子

成形した薄板ガラスの母線の形状を測定した一例として、5 枚の薄板ガラスの母線形状を図 7 に示す。すべて両端 15 mm が大きく歪んでいる特徴的な形をしている。中心 100 mm では PV5 μm 程度に収まっている。この部分を用いることで形状の良い GCM の製作を行なった。

2.2 GCM の製作

熱成形薄板ガラスを曲率半径 65 mm のガラス母型に巻き付けた。写真を図 8 に示す。この時、図 7 の両端 15 mm のへこみを埋めるため、ガラス母型と薄板ガラスの間に厚さ 60 μm 程度のカプトンテープをガラス母型に巻き、その上から薄板ガラスを巻き付けた。このとき、図 7 の ± 50 mm の部分とカプトンテープの端をそろえるようにテープを巻くことで、薄板ガラスとガラス母型が接触しないようにした。その後この GCM に対して Pt の単層膜をスパッタし、基板の圧着、離型を行なった。用いた基板は高さ 10 mm、厚さ 0.15 mm のアルミ基板である。これによって、従来の方法では困難であった曲率半径 65 mm の GCM を用いたミラーの製作に成功した。(図 9)

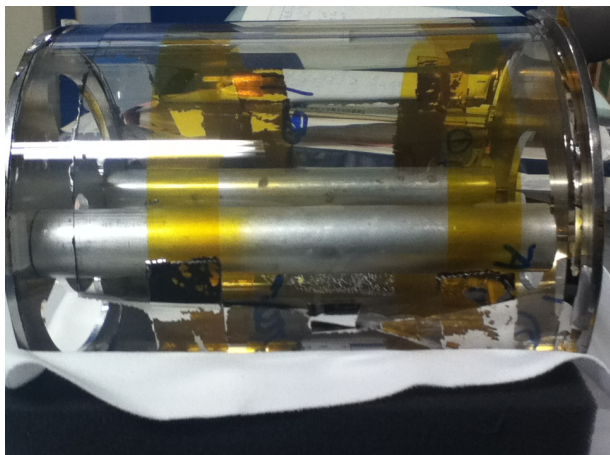


図 8: GCM の写真

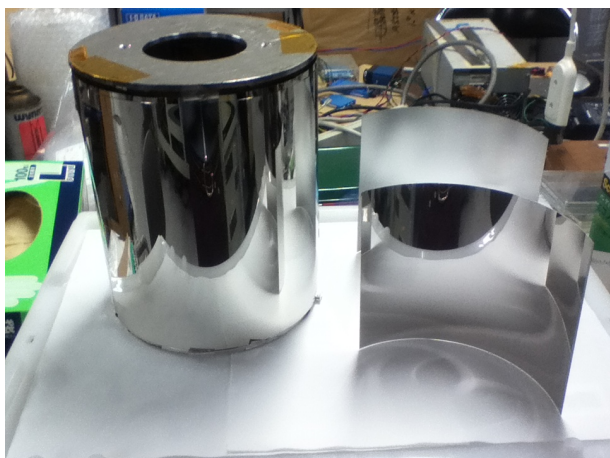


図 9: GCM(左)、圧着に用いたアルミ基板 (右奥)、
離型したミラー (右手前) の写真

3 まとめ

- 熱成形した薄板ガラスを曲率半径 65 mm のガラス母型に巻き付け GCM を製作し、ミラーを作ることに成功した。これによって、従来の方法では困難であった曲率半径 100 mm 以下のガラス母型にたいしても GCM 化できることが可能となった。
- 今後は制作したミラーの形状評価を行う予定である。それによって、GCM の形状とミラーの形状の相関について調べていきたいと考えている。

Reference

加藤大佳. 修士論文「ASTRO-H 搭載用硬 X 線望遠鏡に用いるレプリカ母型の高精度化」2012. 名古屋大学理学研究科