

多層膜反射鏡を用いた鉄K α 線エネルギー帯における大有効面積X線望遠鏡の開発

立花 献, 吉川 駿, 田村 啓輔, 松本 浩典, 山下 広順, 森 英之, 田原 譲, 三石 郁之, 宮澤 拓也(名古屋大学Ux研)

Abstract

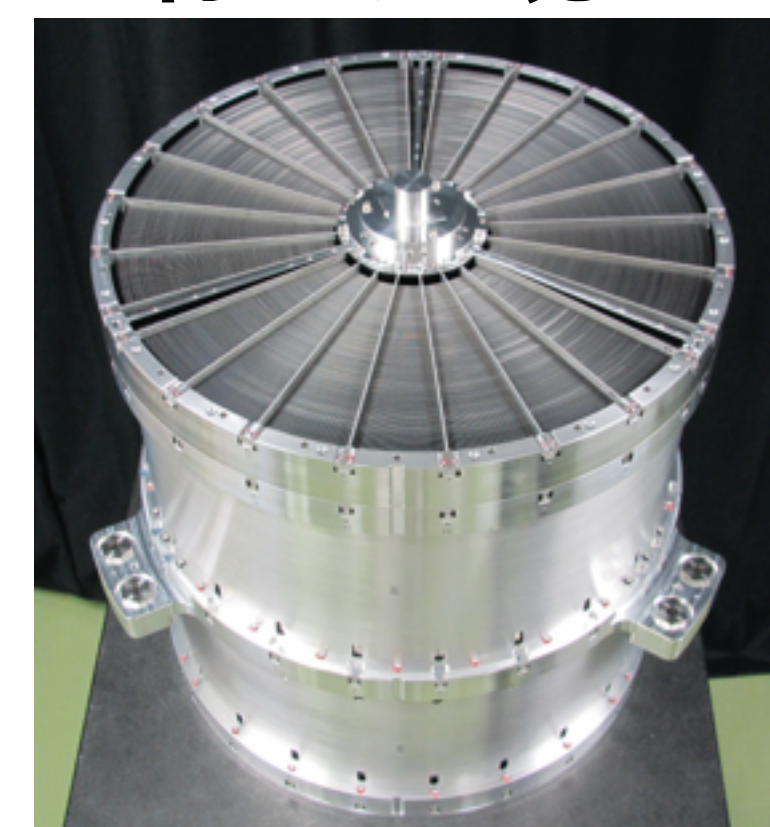
名古屋大学Ux研究室では、X線望遠鏡の開発と製作を行っている。我々はBragg反射を利用した多層膜スーパーミラーを開発し、次期国際X線天文衛星ASTRO-H搭載の硬X線望遠鏡(HXT)に用いることで、80 keV以下のX線の集光・結像を可能にした。カリメータなどを用いた将来の精密分光観測を見据えると、光子数の統計を上げることが必須であり、そのためにはX線望遠鏡の大有効面積化が強く要求される。本研究では、天体物理学で重要な鉄K α 線エネルギー帯で、大有効面積のX線望遠鏡を多層膜の技術を用いて実現するための方法を検討する。ASTRO-H軟X線望遠鏡(SXT)は焦点距離6 m、口径45 cmで、全反射を利用したAu単層膜反射鏡を用いているが、これを大口径化しても径の大きい反射鏡では入射角度が臨界角以上となるため、十分な反射率を得られず、大有効面積化ができない。一方、Bragg反射を利用した多層膜では、臨界角の2倍以上の角度でも十分な反射率を得ることができる。そこで入射角度が臨界角以上となる反射鏡に多層膜を用いることで大有効面積化を目指す。多層膜に用いる重元素としてはPt、Ir、Niなど、軽元素はCを候補とした。これらのそれぞれの組み合わせで最適となる多層膜の設計を行い、望遠鏡の有効面積と視野を見積もった。その結果、Pt/CやIr/C多層膜を利用することにより、焦点距離6 m、口径110 cmで、有効面積はSXTの7倍以上である3000 cm²(@6.7 keV)、視野は10 arcmin(@6.7 keV) 以上を見込めることがわかった。しかしながら、PtやIrは2 - 3 keVにM吸収端が存在し、このエネルギー帯で反射率が急激に低下する。また、5 keVまでの全反射領域において、多層膜は単層膜よりも反射率が低い。これらの反射率の低下を抑えるために、Niを表面に成膜し、その全反射を利用することを検討した。Niをトップコートした望遠鏡の有効面積はトップコートなしの望遠鏡に対して、2 - 6 keVでは約1.5 - 2倍ほどの増加を見込めることがわかった。本発表では、これらの多層膜の設計と共に、実際に製作した多層膜反射鏡の性能評価と結果を報告する。

1. Introduction

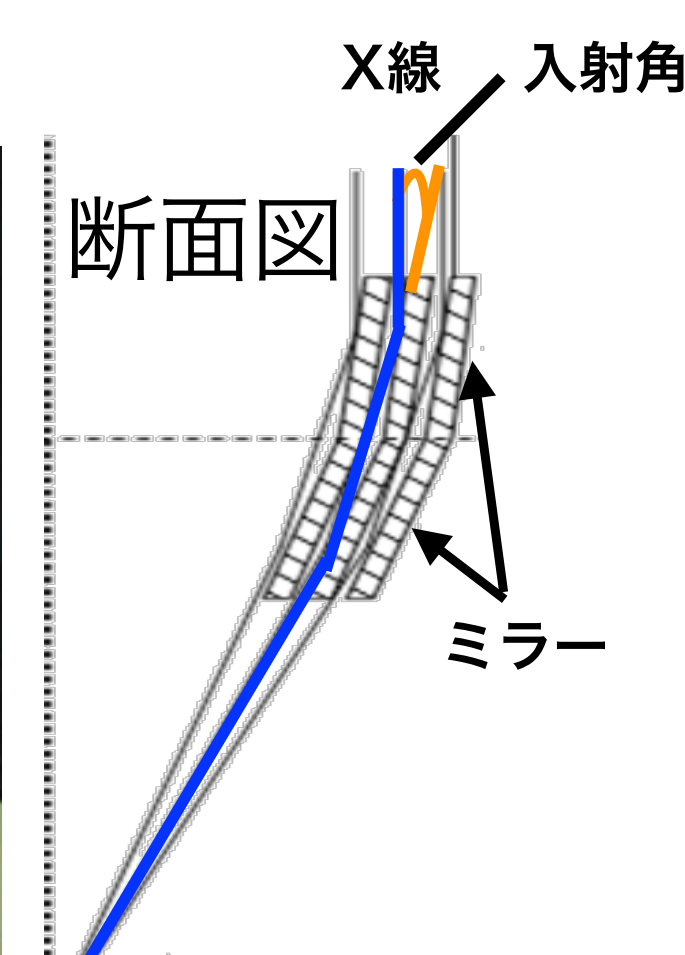
目的

高エネルギー分解能のカリメータはこれまでのCCDではできなかった微細構造までを分離することができる。これにより高温プラズマの温度や密度等の物理量を知ることができる。ところがエネルギー分解能が良いため光子の統計数が必要となる。例えば右図のシミュレーションのようにASTRO-H軟X線望遠鏡(SXT)の有効面積では1000 ksほどの長時間露光による観測が必要である。そのため効率的に精度の良い観測を行うためには大有効面積の望遠鏡が要求される。本研究では天文学で重要な鉄K α 線エネルギー帯を大有効面積化する。

X線望遠鏡

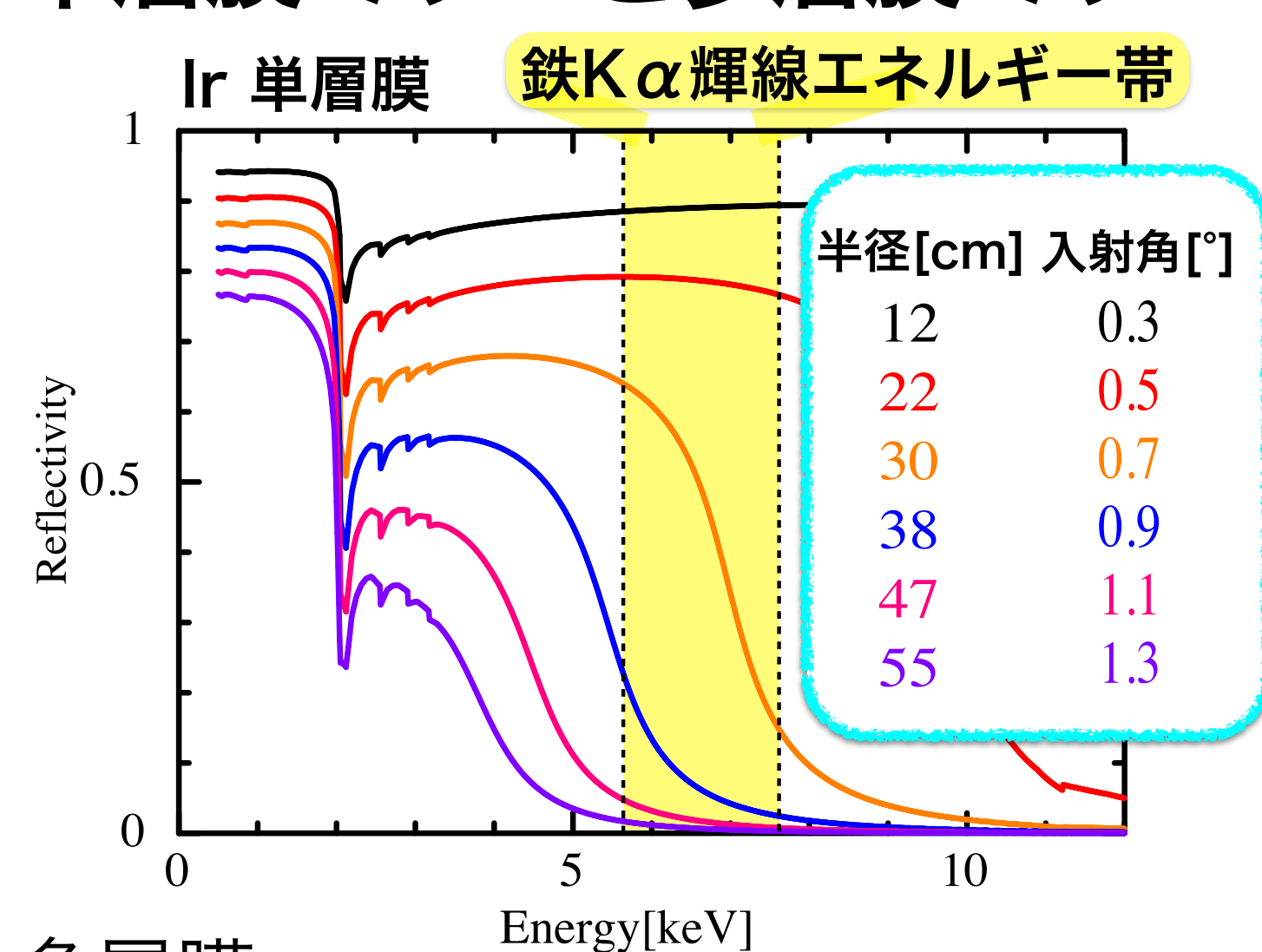


名古屋大学Ux研究室開発
ASTRO-H搭載硬X線望遠鏡

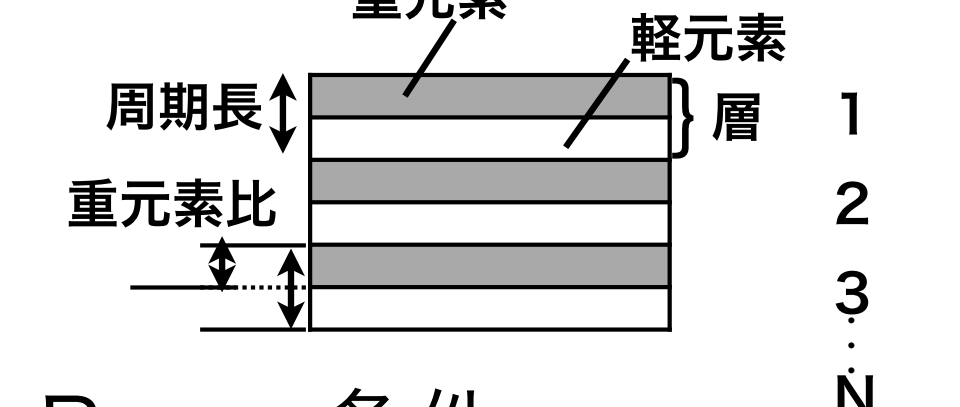


X線望遠鏡は、Wolter I型という2回反射の斜入射光学系を採用している。薄いミラーを同心円状に多数配置することで開口面積を大きくしている。外側のミラーほど入射角が大きく、X線を反射させることが難しくなる。そのため一定の径より大きな反射鏡は有効面積に寄与することができず、有効面積は焦点距離によって制限されることとなる。実質的な衛星サイズを考慮し、ASTRO-H/SXTと同じ焦点距離6 mを仮定して設計を行う。

単層膜ミラーと多層膜ミラー



多層膜



Bragg条件
 $2d \sin \theta = m\lambda$
 d : 周期長 θ : 入射角
 λ : 波長 m : 反射の次数

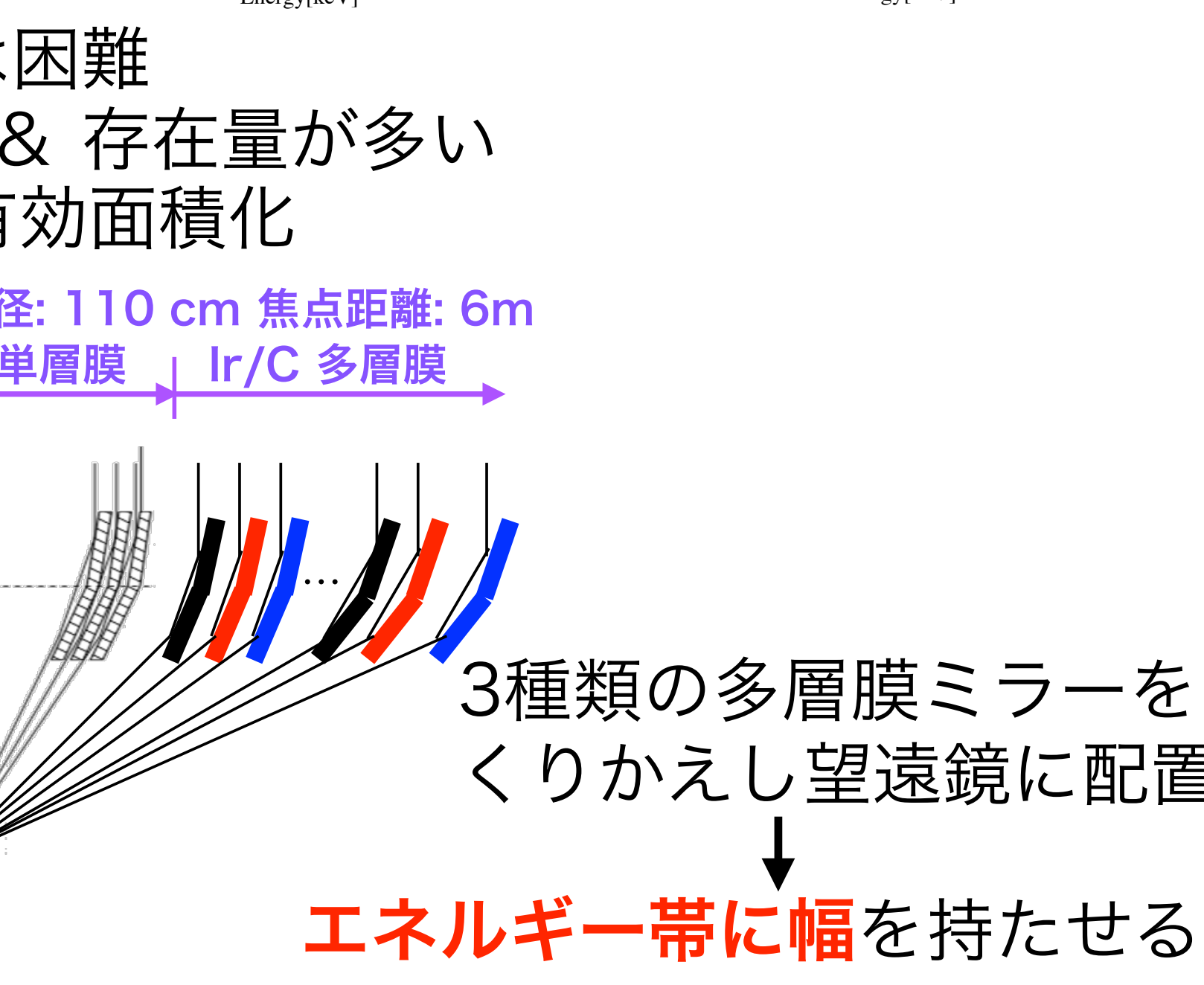
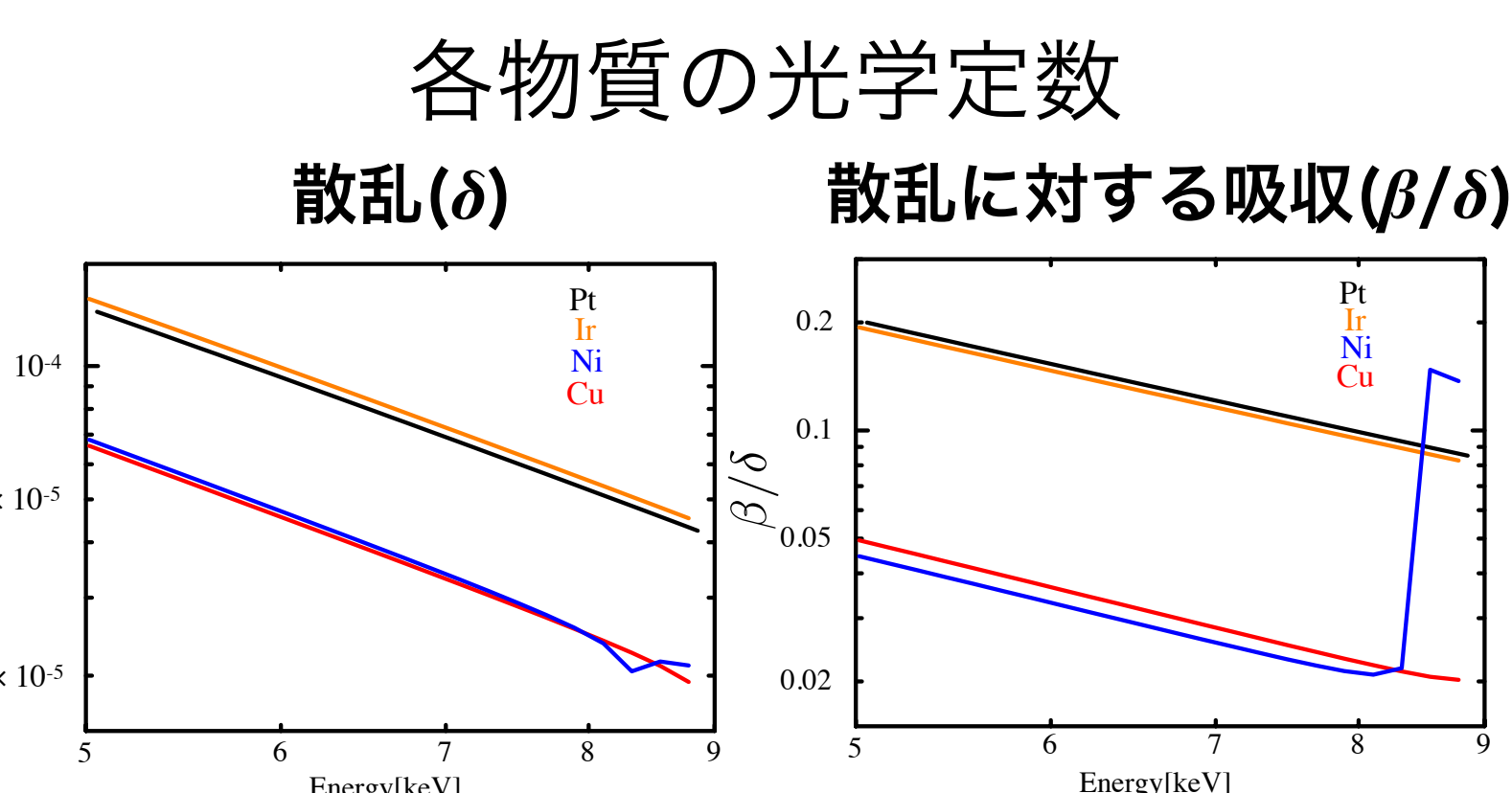
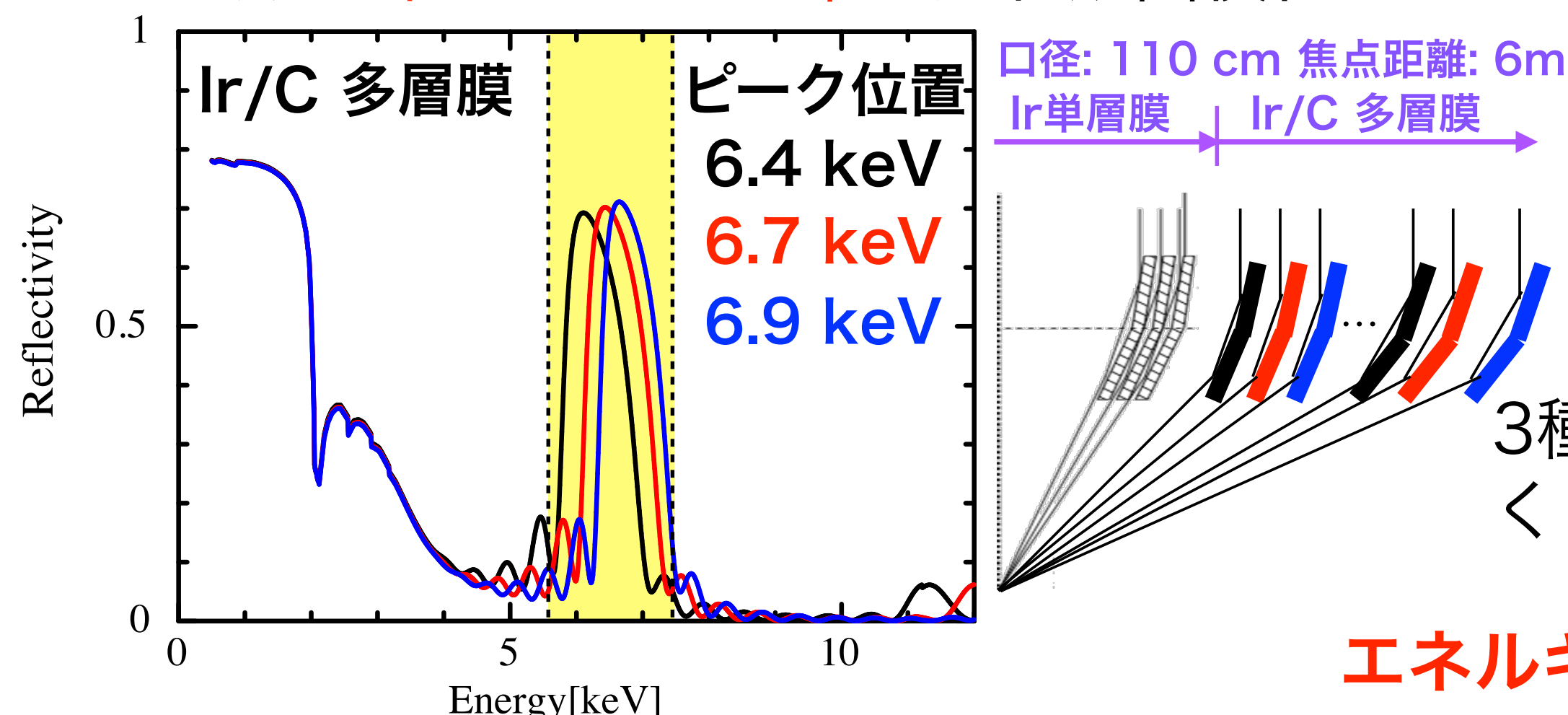
2. 設計

重元素の選定

屈折率 $n = 1 - \delta - i\beta$
散乱の大きいIrを採用

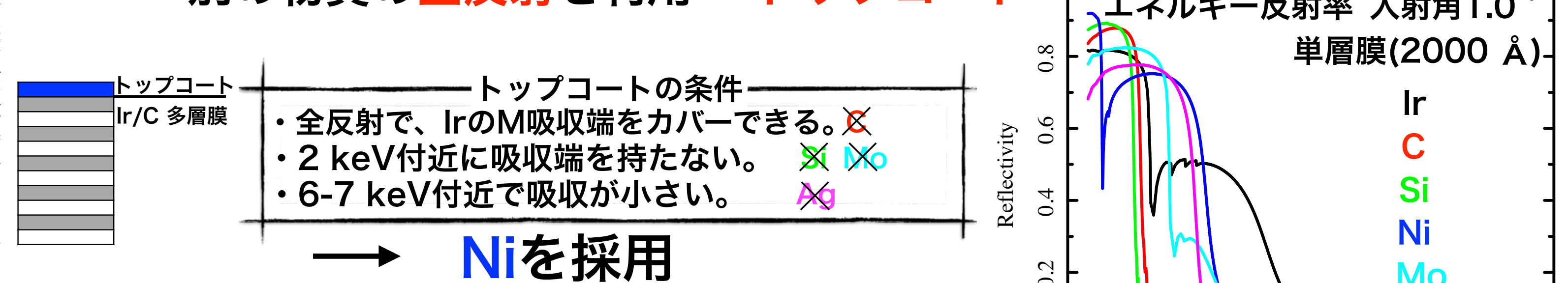
多層膜ミラーの設計

全エネルギー帯の大有効面積化は困難
→ カリメータの性能が高い & 存在量が多い
鉄K α 線エネルギー帯を大有効面積化



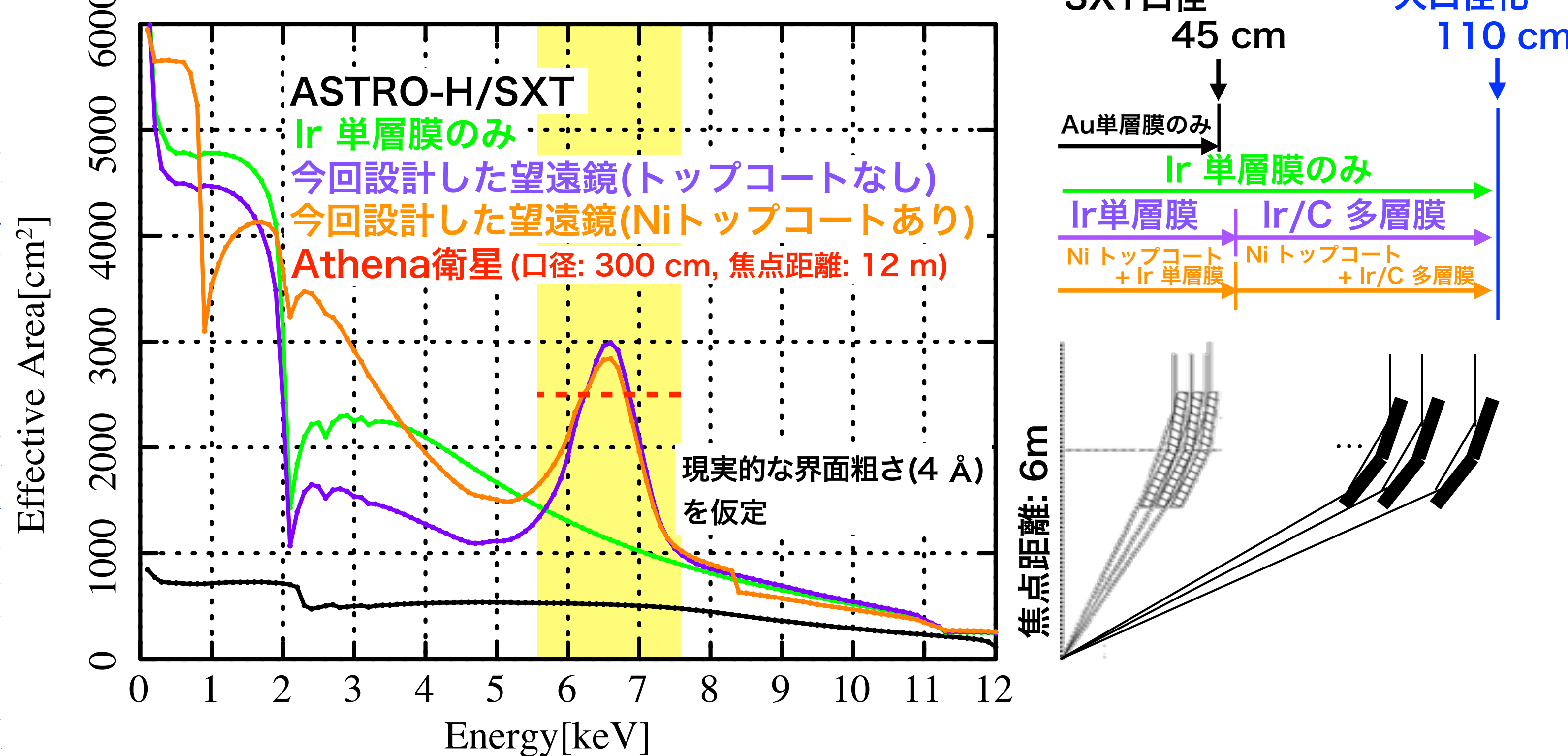
トップコート

Irを使う → M 吸収端(2keV)以上で反射率が急激に低下。
Ir/C多層膜を使う → 5 keVまででIr単層膜よりも反射率が低い。
→ 別の物質の全反射を利用 = トップコート



3. 有効面積

光線追跡シミュレーションにより計算



4. 多層膜ミラーの試作と性能評価の現状

DCマグネトロンスパッタ装置



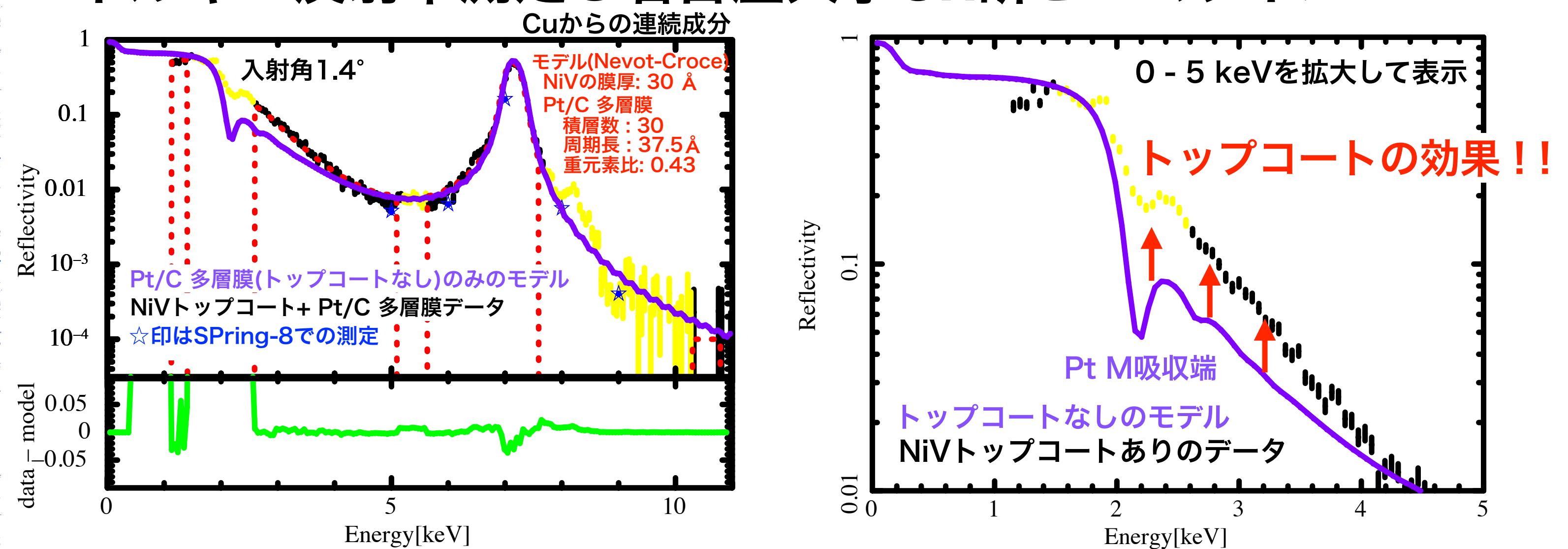
@名古屋大学Ux研究室

・成膜速度が速く、安定している。
・磁性体をスパッタできない。
Ni(強磁性体) → NiV合金(V10%含)(非磁性体)

NiVトップコート+Pt/C多層膜



エネルギー反射率測定@名古屋大学Ux研ビームライン



5. まとめと今後

まとめ

- ・Ir単層膜ミラーとIr/C多層膜ミラーを使用することで、有効面積3000 cm²(@6.7 keV)のX線望遠鏡を設計。(焦点距離: 6 m、口径: 110 cm)
- ・Ir/C多層膜ミラーにNiをトップコートすることで、IrのM吸収端による2 keV以上と多層膜化による5 keVまでの反射率の低下(= 有効面積の低下)を和らげることができる。
- ・Pt/C多層膜の上にNiVをトップコートした。→ トップコートの有用性を確認できた。

今後

- ・Ir/C多層膜ミラーやNiトップコートミラーの試作と評価。
- ・トップコートのNi L吸収端による1 keV付近の反射率低下を和らげるためにCをさらにトップコートした設計。そのサンプルの試作と評価。
- ・実際に製作可能なパラメータを用いて詳細設計。