

FFASTの硬X線用 望遠鏡の開発



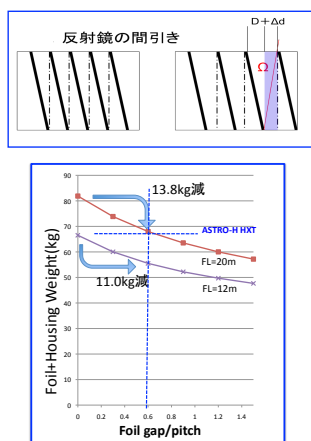
國枝 秀世, 松本 浩典, 古澤 彰浩, 宮沢 拓也, 宮田 祐介(名古屋大学)
常深 博(大阪大学), 伊藤 真之(神戸大学), 河野 功, 尾崎 正伸,
池永 敏憲(宇宙航空研究開発機構), 森 浩二(宮崎大学), 上田 佳宏(京都大学) 他 FFAST WG

§1. 望遠鏡検討事項と背景

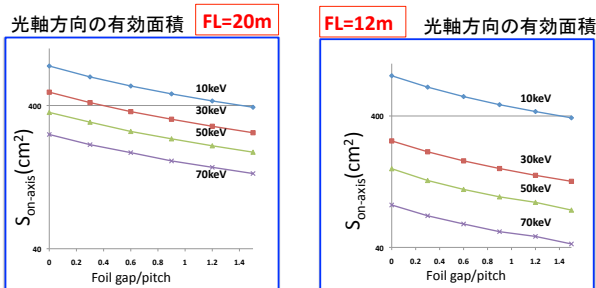
FFASTでは、硬X線撮像による全天走査観測である。1台の望遠鏡と編隊飛行による20mの焦点距離が一つの境界条件でミッション検討が始まった。検討の第一は、この条件の中で、最大のGrasp(=面積×視野)を最小の重量の光学設計を目指すことである。第二は最適な多層膜設計を行うことである。昨年は反射鏡の配置に隙間を設けることで、立体角を広げる検討を行った。光軸方向の有効面積は小さくなるが、基板相互によるコリメーション効果が和らぎ、大幅な重量削減をしながら、SQを維持することができた。今年度の検討事項は、多層膜成膜時間短縮のため、内周の反射鏡の単層膜化と、焦点距離の最適化の2点である。

§2. 反射鏡間隔の検討

通常の望遠鏡では、隣り合う反射鏡を隙間無く並べて、光軸方向の有効面積を最大にする。ここでは反射鏡の間隔を開けることで、隣の反射鏡でOff-axis光が隠されるのを緩和する。これによる、光軸方向の面積の減少と視野の拡大の二つの効果を次の節以降で検討する。本節では、反射鏡基板重量の削減効果を示す。右図の上の曲線が焦点距離20mの場合の重量変化を示しており、基板ピッチの60%の隙間を入れると、基板重量が13.8kg削減できることが分かる。これによりASTRO-H HXTとほぼ同じ望遠鏡重量になる。焦点距離12mの場合では更に、11kg減が実現できる。



§3. 有効面積の変化(間隔、焦点距離)

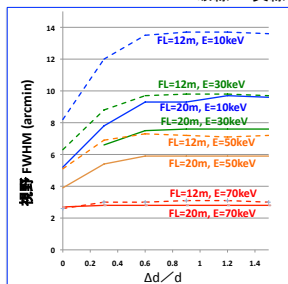


光軸方向の有効面積は20mの場合、単純に隙間の増加と共に、減少する。隙間を $\Delta d/d$ で与えているため、X線エネルギーが高くなっても、同じ割合で減少する。焦点距離を12mに縮めると、入射角が大きくなるため、元々の面積が高エネルギー側で小さいが、隙間の割合に対しては同じ減少傾向を示す。10keVでは、12mになっても臨界角を越えないため、20mと同じである。

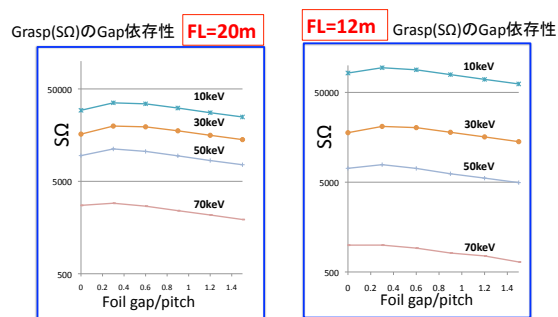
§4. 視野の変化(間隔、焦点距離) 視野の比較(FL=12m vs 20m)

右の図に、視野(FWHM)を示す。焦点距離20mのケースを実線、12mを破線で示す。 $\Delta d/d$ が0.6に至るまでは全ケースでCollimation効果が次第に緩和され、視野が広がって行く。一方、高いエネルギーでは、視野がCollimation効果だけでなく、臨界角で決まるため、隙間を入れても視野は広がらない。

12mの焦点距離では、入射角がどの半径でも、大きくなったため、隙間無しでも、視野が10keVで50%, 30keVで40%, 50keVで30%程度大きくなっている。



§5. SQの変化(間隔、焦点距離)



§3, §4の結果を掛け合わせることで、Grasp(SQ)を計算できる。焦点距離20mのグラフ(左)を見ると、 $\Delta d/d=0.5$ あたりで、SQが最大になる。そのpeakはエネルギーが高くなるにつれ0.3に近づく。なるべく重量を減らすためには、 $\Delta d/d=0.6$ までは許されることが明らかになった。

焦点距離12mの場合には、§4で示した様にそもそも視野が広く、§3で示した有効面積の減少との競争がエネルギーと共に、大きく異なる。10keVではSQが数倍になり、30keVでは20mとほぼ同じになる。50keV以上では、有効面積の減少が大きく、20mよりかなり損失となる。

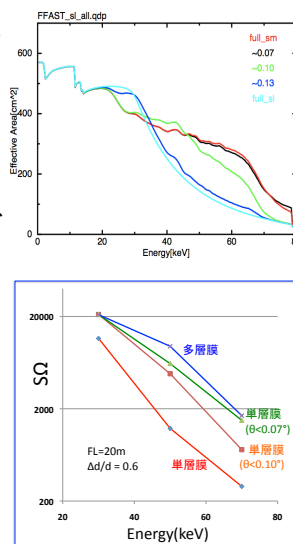
検出器としては61x61mm²を仮定しており、12mで17分角、20mで10分角に相当する。このため、どちらの焦点距離でも検出器のサイズは視野を決める要因にはならない。

サイエンスの面から30keVまでのエネルギー範囲に的を絞るなら、12mは有力な解になる。もし、50keVまでであるなら、12mより少し長い小手距離の方が掃天観測に適していると言える。

§6. 内周反射鏡の単層膜化

上限のエネルギーを60keVにするとその臨界角が 0.1° 弱となるため、入射角が小さな内周の反射鏡については、多層膜を単層膜にすることを検討する。右図では、 0.07° 以下、 0.1° 以下を単層膜化した場合の光軸方向の有効面積を示す。少なくとも、 0.07° 、わずかに損失を許せば 0.10° より内側の反射鏡を単層膜することが詳細な検討に値することが分かった。

但し、単層膜を用いた場合は、Off-axisで容易に反射率が低下し、視野が狭くなる可能性が予想される。右図では、上と同じく、入射角が 0.07° 、 0.10° 以下を単層膜化した時の視野を示している。これによれば、 0.1° 近くまで単層膜化が許される可能性がある。これにより多層膜成膜にかかる製作時間の大幅削減を目指したい。



§7. 今後の検討課題

- (1) 目指すサイエンスの整理: 硬X線掃天観測を行う時、遠方銀河の最も感度の良いエネルギー帯を求め、反射鏡設計の境界条件を確定する。
- (2) 焦点距離のトレードオフ: 目標のエネルギー帯域の中で、目的とするGrasp(SQ)最大のため、口径45cmを固定して、焦点距離をパラメータの最適化をする。この時、反射鏡望遠鏡の重量も考慮する。
- (3) 多層膜最適設計: 上記境界条件の下で最適な多層膜を設計する。それと共に、成膜時間を最短にする観点も重視する。
- (4) 打上用反射鏡の量産: 12mの焦点距離なら、ASTRO-HのHXTの資産がかなり応用ができる。2013年に12m以外の焦点距離を想定して量産を開始するなら、治具なども作りなおすことになる。