

P7 3.5m 大型冷却軌道望遠鏡SPICAの開発



尾中 敬¹, 金田 英宏², 塩谷 圭吾², 中川 貴雄², 常田 佐久³, 他SPICA ワーキンググループ
¹東京大学大学院理学系研究科, ²宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部, ³国立天文台

SPICAミッションと望遠鏡システム

SPICA (The Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics)は、3.5mの軌道冷却赤外線衛星で、Herschel Space Observatory (HSO) あるいはJames Webb Space Telescope (JWST) とほぼ同時期の2010年頃の打ち上げを目指している。SPICAはJWSTとHSOの間をつなぐ中間赤外から遠赤外の観測に最適化される。SPICAの概要・冷却系・観測装置及びこの波長帯でのサイエンスについては、片坐・杉田・上野・中川・松原のポスター(P8-12)を参照のこと。

SPICAは、3.5mの大口冷却径望遠鏡という、多くの開発要素を持った望遠鏡システムを目標にしている。SPICAは、展開型の望遠鏡デザインは採らず、1枚鏡で3.5m望遠鏡の実現を目指す。表1に、SPICA望遠鏡システムの基本仕様をまとめる。

表1. SPICA望遠鏡システムの基本仕様

項目	仕様
光学系	Ritchey-Chretien 系
主鏡口径	3.5m (1枚鏡)
使用温度	4.5K
合成焦点距離	~ 18m
視野径	~ 30'
主使用波長帯	5 - 200μm
結像性能	5μm 回折限界
総合波面誤差	<350nm (rms)
総重量(光学ベンチを含む)	< 700kg

鏡材の選定

SPICAは、上記のように大型・冷却・衛星搭載用の望遠鏡を目指しており、この目的に即した鏡材の選定を行うことが重要である。SPICAの鏡材には、(1)高剛性、(2)軽量、(3)冷却に対する安定性、(4)高い研磨性などの特質が要求される。また、コロナグラフを搭載する予定であるため、鏡面粗さがスムーズな面が達成されることも重要な条件である。図1に、いくつかの鏡材の候補材料の物性値を示す。横軸は、軽量化のしやすさを表す指標である、比剛性(ヤング率と密度の比)を、縦軸には温度変化に対する安定性の指標である、熱伝導率と熱収縮率の比をプロットした。右上が望ましい材料である。これまでIRAS, SST, あるいはJWSTで採用が決まったBeは、軽量化の点で有利であるが、温度安定性には欠ける。また3mを超えるブランクを現在製造することができない。一方、低膨張ガラス材は、熱安定性の点では有利であるが、軽量化は困難である。CFRPは熱膨張率を0近くにコントロールできるという点で、熱安定性の点では抜き出ているが、表面を直接研磨できないことなどから、今後まだ種々の開発が必要である。これらの点を考慮し、現在われわれは、炭化珪素(SiC)及び炭素繊維強化炭化珪素(C/SiC)複合材の2つに候補を絞り、検討を進めている。図2に、三菱電機グループが提案しているC/SiCによるSPICA望遠鏡案を、図3に住友重機・ニコン・Astriumグループが提案しているSiCによるSPICA望遠鏡の概要を示す。

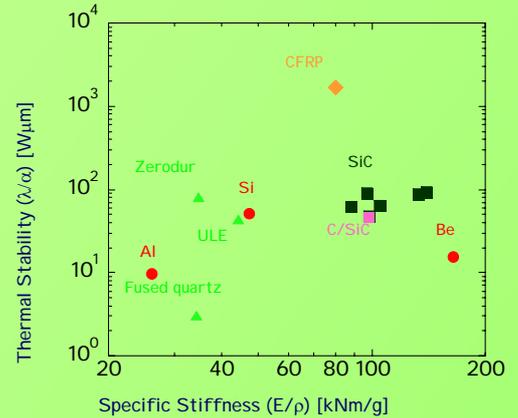


図1. 鏡材量の物性値 (Onaka et al. 2004, ESA SP-554, 297)

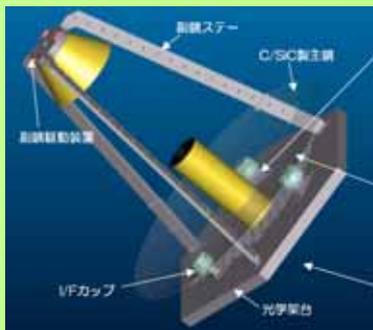


図2. 三菱電機グループ提案のC/SiC鏡によるSPICA望遠鏡

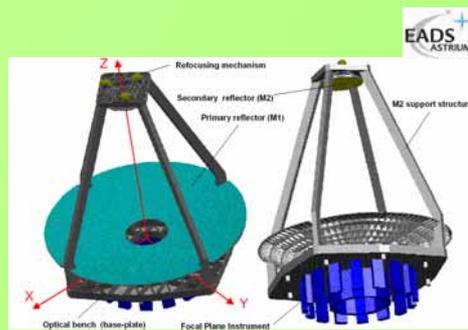


図3. 住友重機・ニコン・Astrium提案のSiC鏡によるSPICA望遠鏡

C/SiC

C/SiCは、SiCに炭素繊維を混合し、靱性を高めた複合材料である。機械切削も容易で、大幅な軽量化が可能であり、鏡面への熱変形を最小にする複雑な支持構造も取り入れることができる点で、冷却鏡として利点がある。またSi含浸の際にセグメントを接合することが可能で、大型化が容易である。しかし、C/SiCは非一様な複合材料であるため、冷却変形に対する影響の他、研磨のためにも工夫が必要で、表面にSi-SiCスラークコートを施すことを検討している。われわれはこれまで、鏡材料としてのC/SiCの開発を進めてきた。図6には、C/SiCの一様性改善の結果を示した。常温と極低温での散乱特性も測定し、表面状態が温度により変化しないことも確認している。160mmの試験鏡を複数枚試作し、C/C化、Si含浸、接合のプロセスをそれぞれ改善することに成功している。現在700mm鏡(図7)を製作中で、極低温での鏡面変形測定を行う予定である。

SiC

SiCは非常に高剛性の材料であり、現在打ち上げ準備中のASTRO-F望遠鏡にも採用されている(図4)。またHSOでは3.5mのSiC鏡が用意されており、これまでの開発の蓄積がある。ASTRO-FのSiCについては、低温での熱変形が非常に少ないことが示されている(図5)。但し、SPICAはASTRO-Fの5倍の径であり、HSOとは同じサイズではあるが、要求精度はHSOより20倍以上高い。



図4 ASTRO-F望遠鏡

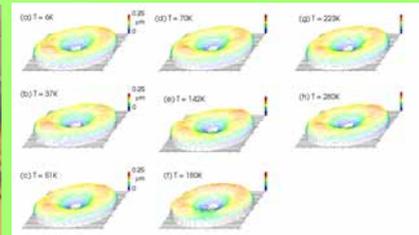


図5. 160mm SiC鏡の低温変形測定 (Kaneda et al. 2003, Appl. Opt. 42, 708)

まとめ

現在C/SiCとSiCの鏡を第一候補として、SPICA望遠鏡の開発を進めている。SiCについてはこれまでの開発経験を基にした設計を進める一方、C/SiC材料については、材料製作の各プロセスでの改善に成功している。鏡の支持方法・低温での試験方法など、今後さらに検討・開発が必要であるが、これまでの検討により3.5m冷却望遠鏡の実現は、十分可能な範囲にあると考えられる

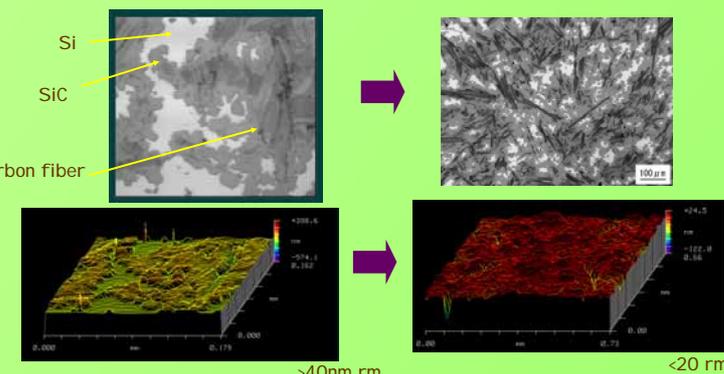


図6 C/SiC材料の改善。左図と比較し、右図の材料の一樣が大きく改善されていることがわかる



図7 6セグメントを結合した700mm C/SiC試験鏡(Si含浸後)

参考文献

- Enya, K. et al. 2004, SPIE, 5487, 1092
- Kaneda, K. et al. 2004, ESA SP-554, 699
- Kaneda, H. et al. 2004, SPIE, 5487, 991
- Onaka, T. et al. 2004, ESA SP-554, 297
- Ozaki, T. et al. 2004, SPIE, 5494, 366
- Toulemont, Y. et al. 2004, SPIE, 5487, 1001