

共同研究成果報告書

平成27年4月30日

研究代表者：

氏名 左近 樹  
 所属・職 東京大学大学院理学系研究科・助教

研究題目：MICHI (Mid-Infrared Camera, High-disperser, and IFU)の要素技術開発

1. 研究の実績

(1) 研究の実施日程

研究項目	実 施 日 程											
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
赤外線ボロメータカメラを用いた非冷却赤外線疑似スリット像評価システムの構築/調整(前年度末より継続)												
上記強化システムを用いた赤外線疑似スリット像の実測評価												
TMT/MICHIの仕様に基づく大型フォーマットイメージスライサーの光学設計確認および各素子の構造設計												
TMT/MICHI用大型フォーマットスライスミラーの試作												

(2) 研究の成果の説明

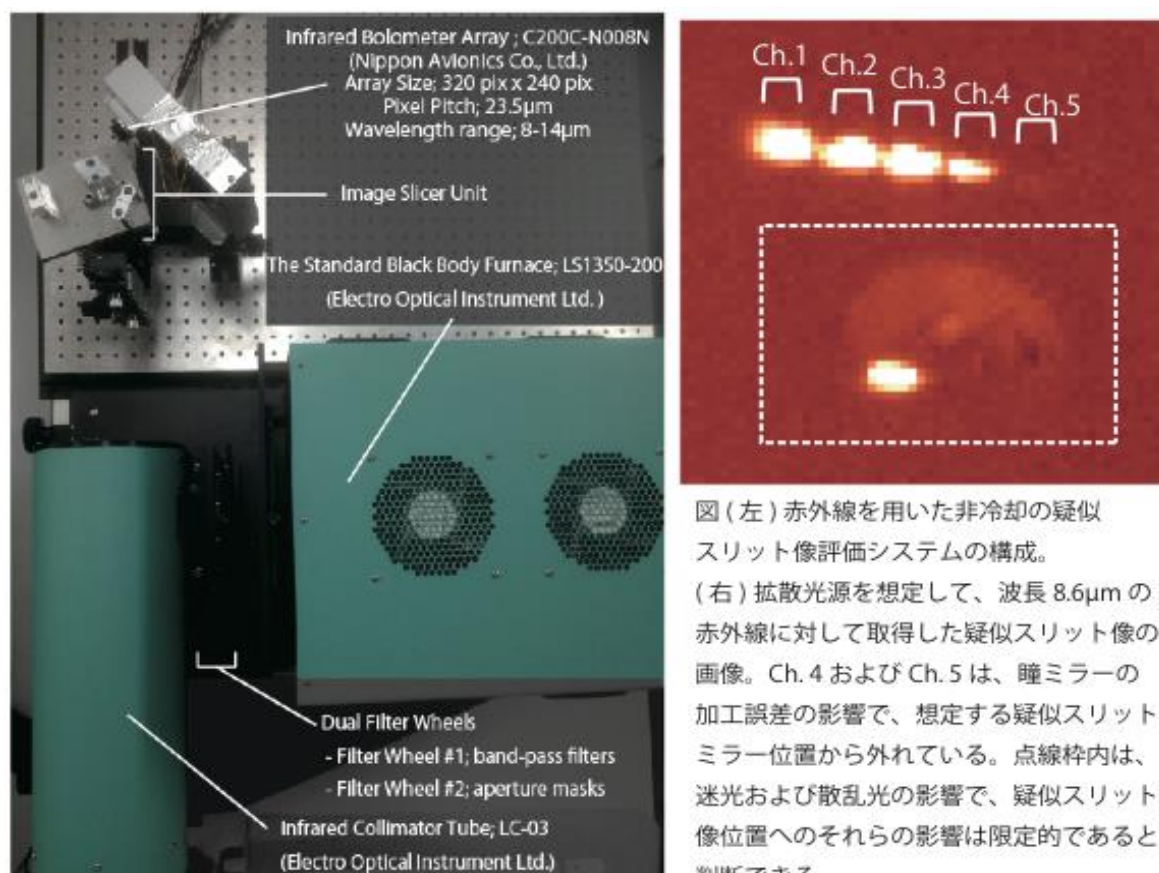
【IFUの開発】

TMT/MICHIにおいて、赤外線面分光機能は、質量放出を伴う大質量星周囲でのダスト形成過程、晩期型巨星周囲での複雑な星周構造、原始惑星円盤の形成や惑星形成の影響等を、分光学的な観点から理解する上で、極めて重要な役割を担う。本研究は、Integral Field Unit (IFU)として TMT / MICHI

に搭載可能で、より高効率で安定した疑似スリット結像性能を実現するイメージスライサーを開発することを目標とする。赤外のイメージスライサー開発において、疑似スリット像に見られる散乱光の低減が解決課題の一つである事が報告されている。H26年度は、当初の予定通り、前年度までに試作した小型フォーマット(スライス数5枚)のイメージスライサーの試作ユニットに対して、赤外線での疑似スリット像の結像性能評価を行うための非冷却測定システムを完成させ、疑似スリット像および散乱光の測定を行った。さらに、最新のTMT/MICHIの光学設計結果に沿って、本格的にMICHIに搭載可能なイメージスライサーユニットの試作に着手し、まずはスライスミラー(スライス数11枚)の試作を完了した。

#### (1) 非冷却疑似スリット像評価システムの構築と疑似スリット像の実測

赤外線を用いた疑似スリット像の評価の目的で、光源には既存の黒体炉(米国 Electro Optical Industries 社製赤外線基準黒体炉/LS125; 東京大学天文教室所有)およびフィルター交換機構(日本インダストリアル社製 回転式光学フィルター/NIC-120; 東京大学天文教室所有)を利用した。さらに、この黒体炉に装着可能なコリメータ(米国 Electro Optical Industries 社製赤外線コリメータ LC-03)を平成25年度の本研究費を用いて導入し、赤外線平行光源が実験で用いられるように整備が完了した。その平行光を平成25年度中に組み上げた小型フォーマットイメージスライサーユニット(Sakon et al. 2013)に導入し、得られる疑似スリット像を、既存の非冷却ボロメータアレイ(日本アビオニクス社製 C200C-N008N; 東京大学天文教室所有)を用いて、 $320 \times 240$  素子のアレイ(素子ピッチ  $23.5\mu\text{m}$ )上に結像させ、散乱光の程度と併せて画像分析を行った(図1参照)。



図(左) 赤外線を用いた非冷却の疑似スリット像評価システムの構成。  
 (右) 拡散光源を想定して、波長  $8.6\mu\text{m}$  の赤外線に対して取得した疑似スリット像の画像。Ch.4およびCh.5は、瞳ミラーの加工誤差の影響で、想定する疑似スリットミラー位置から外れている。点線枠内は、迷光および散乱光の影響で、疑似スリット像位置へのそれらの影響は限定的であると判断できる。

この疑似スリット像評価システムでは、光源となる黒体炉の光は、フィルターホイールにインストールした三種類のバンドパスフィルター(N8.6, N11.7, N14.1)を介して、 $8.64\mu\text{m}$ ,  $11.66\mu\text{m}$ ,  $14.14\mu\text{m}$  の

赤外光を選択できるようにして、疑似スリット像や散乱光の波長依存性を調査できるような設定とした。その結果、主として瞳ミラーの加工精度誤差の影響から、疑似スリットを構成する5つのスリットレットのうち、Ch. 4およびCh. 5に対応する部分の疑似スリットミラー上での結像位置が想定する場所から外れている事が明らかになった(図1右図参照)。調査の結果、加工機のスピンドルの回転と工具位置の同期のわずかなずれによる可能性が疑われ、その修正ソフトを導入した上での瞳ミラーの再加工・調整を行い、良好な疑似スリット像を実現するための対策を進めている。一方、懸念された散乱光は、小型フォーマットの現試作品においては、疑似スリット像への影響は限定的で、問題ないレベルである事が確認された。(本成果は、TMT Science Forum 2014において口頭発表。詳細は、Sakon et al. 2014, Proc. of SPIE 9143, 91434Uを参照)。この測定システムは、MICHIの光学設計に併せて試作する大型フォーマットイメージスライユニットの疑似スリット像評価システムにも利用する。

## (2) TMT/MICHIの仕様に基づく大型フォーマットスライスミラーの試作

実際に、MICHIに搭載するイメージスライサーでは、フォーマットの大型化に伴い、超精密加工の工作精度に対する要求が厳しくなり、第二期装置募集までに十分な技術成熟度を達成するためには、実際にMICHIに搭載する大型フォーマットのイメージスライサーの試作が鍵となる。このため、平成26年度に、まずは、小型フォーマットのイメージスライサー試作の際に用いた超精密切削機Nanocenterを用いて、単結晶ダイヤモンドによるシェーパー加工によって、MICHIに搭載する仕様と併せて設計した大型フォーマット(スライス数11枚)のスライスミラーの試作を行った(図2参照)。今回は、大型化に伴い、瞳ミラーへの設計への負担を軽減する為には、ミラー間の角度精度が特に重要になり、現在シェーパー加工とエンドミル加工で、仕上がり状況の比較を行っている。

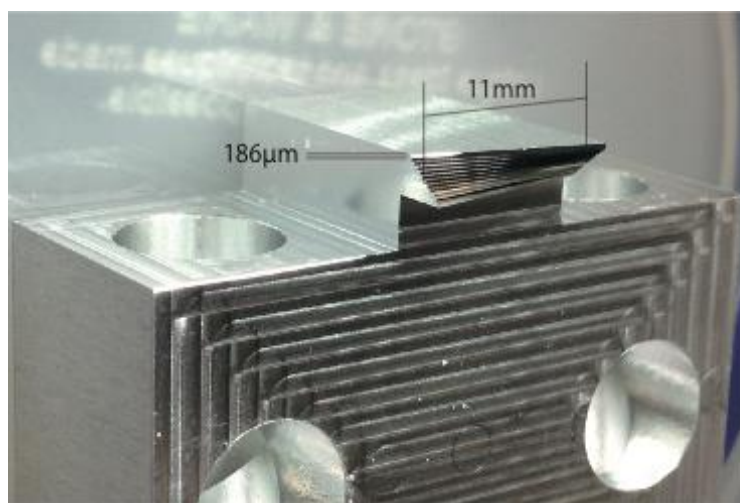


図2 TMT/MICHIのイメージスライサーの光学設計結果に基づいて、試作した大型フォーマット(スライス数  $n=11$ )のスライスミラーの試作結果。加工には、超精密切削機Nanocenterを用いた。スライスミラーの幅は $186\mu\text{m}$ で、加工には同じ幅の単結晶ダイヤモンドを用いた。上下に隣り合うミラーの角度は $2.4^\circ$ 、中央のミラー長は $11\text{mm}$ である。各ミラーの鏡面に対して得られた鏡面の表面粗さRaは、 $20\text{nm}$ 程度以下で、赤外の波長域での利用に対しては、十分な鏡面精度が得られている。

### [関連文献]

Sakon, I., et al. 2013, "A design and trial production of the image slicer unit for the mid-infrared spectrograph", Proc. of SPIE, 8860, 88600Z

Sakon, I., et al. 2014, "A trial production of the image slicer unit for next generation infrared instruments and the assembly of the evaluation system of the pseudo slit image quality", Proc. of SPIE, 9143, 91434U

Sakon, I., et al. 2014, "Science Application of MICHI's IFU", TMT in the Astronomical Landscape of the 2020s, Thirty Meter Telescope Science Forum, held 16-19 July, 2014 in Tucson Arizona. Online at <http://conference.ipac.caltech.edu/tmtsf2014/>, id. 22

使用実績報告書

1. 総括表

区分	費目	予算額 (円)	決算額 (円)	研究費の 充当額 (円)	備考
支出	設備備品費	0	972,000	972,000	
	消耗品費	2,160,000	915,965	915,680	
	その他の経費	0	272,320	272,320	
	合計	2,160,000	2,160,285	2,160,000	
収入	研究費の額	2,160,000	2,160,000		
	自己調達額	0	285		
	その他	0	0		
	合計	2,160,000	2,160,285		

2. 決算費目別内訳

(A) 支出

a 設備備品費

種別	仕様	数量	単価 (円)	金額 (円)	発注年月日	引取年月日	支払年月日	備考
イメージスライダ イメージミラー	(株)クリスタル光学 社製	1	972,000	972,000	2015/2/23	2015/3/30	2015/4/24	
計				972,000				

b 消耗品費

種別	仕様	数量	単価 (円)	金額 (円)	支払年月日	備考
SURオプトロニクススペースA50F		1	2,862	2,862	2014/7/25	
SURオプトロニクススペースA50A		1	1,901	1,901	2014/7/25	
SURオプトロニクススペースA49B		1	2,862	2,862	2014/7/25	
SUR手動ステータス回転台B43		1	28,728	28,728	2014/7/25	

SURオプトロニクスホルダーF501-40N		1	2,862	2,862	2014/7/25	
SURオプトロニクスホルダーF510H		1	4,763	4,763	2014/7/25	
ゴニオ標準GFSG		1	36,882	36,882	2014/7/25	
アルミ製ホルダー		1	97,200	97,200	2014/8/25	
アルミ製ホルダー台		1	97,200	97,200	2014/8/25	
SURオプトロニクスレーザ関連VAOS		1	34,401	34,401	2014/8/25	
評価試験用ジグ蓋		1	97,200	97,200	2014/11/25	
評価試験用定盤		1	97,200	97,200	2014/11/25	
ドリル付沈めフライス(六角穴付ボルト用)		1	3,445	3,445	2014/12/25	
クリーンノールニトリル手袋ショート		1	1,933	1,933	2014/12/25	
クリーンノールニトリル手袋ショート		1	5,800	5,800	2014/12/25	
クリーンノールニトリル手袋ショート		1	3,866	3,866	2014/12/25	
シンガーサージカルマスク ループ		1	1,445	1,445	2014/12/25	
M2、M2.5ねじ		1	648	648	2015/2/25	
トルクドライバーRID-120CN		1	15,550	15,550	2015/2/25	
ドライバービット+1×65		1	450	450	2015/2/25	
SUS +なべ小ねじ M2.5L6		1	540	540	2015/3/25	
SUS +なべ小ねじ M2.5L8		1	540	540	2015/3/25	
ノジロックネジ100点		1	5,400	5,400	2015/4/24	
ノジロックネジ ノジロック1.68ナベ+ 2×5		1	10,800	10,800	2015/4/24	

外径1.95							
ノジロックネジ ノジロック1.68 -1.72 ナベ+ 2×5 外径1.97		1	10,800	10,800	2015/4/24		
ノジロックネジ ノジロック1.75 ナベ+ 2×5 外径2.02		1	10,800	10,800	2015/4/24		
エンドミル加工用 工具		1	194,400	194,400	2015/4/24		
シェーパー加工用 工具		2	64,800	129,600	2015/4/24		
hitボックス 30		1	907	907	2015/4/24		
hitボックス 20		1	691	691	2015/4/24		
hitボックス 10		1	475	475	2015/4/24		
使いきり手袋 極 薄手		1	388	388	2015/4/24		
ニッパクホイール 厚手箱		2	1,338	2,676	2015/4/24		
実験ノート		2	972	1,944	2015/4/24		
ユニケアグローブ		5	997	4,985	2015/4/24		
ミニチュアラジオ ペンチ		1	2,180	2,180	2015/4/24		
ステンレス直定規		1	1,641	1,641	2015/4/24		
計				915,965			

c その他の経費

種別	摘要	数量	単価 (円)	金額 (円)	発注年月日	引取年月日	支払年月日	備考
光学パラ メータ解 析料		1	199,800	199,800	2015/1/22	2015/2/25	2015/3/31	
国内旅費	東京- 大津	1	43,300	43,300	2015/3/16	2016/3/17	2015/03/31	
国内旅費	東京- 米子	1	29,220	29,220	2015/3/30	2015/3/30	2015/3/31	

計				272,320				
---	--	--	--	---------	--	--	--	--

(B)収入

種 別	摘 要	金 額 (円)	備 考
研 究 費 の 額	国立天文台からの振込	2,160,000	
自 己 調 達 額	運営費交付金	285	
そ の 他			
計		2,160,285	

(注) 共同研究の実施に際し、収入を得た場合や取引相手先からの納入遅延金が発生した場合には、収入の欄におけるその他に計上すること。