

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 22 日現在

機関番号：82645

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2013

課題番号：22244016

研究課題名(和文) 太陽系外惑星の大気分光精査に向けた極低温デフォーミブルミラーの開発

研究課題名(英文) Cryogenic DM for characterization of exoplanet

研究代表者

塩谷 圭吾 (Enya, Keigo)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・助教

研究者番号：40392815

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,800,000円、(間接経費) 9,840,000円

研究成果の概要(和文)：本応募研究の目的は、系外惑星の直接観測による大気分光という重要課題にのぞむため、赤外線宇宙望遠鏡に搭載する極低温デフォーミブルミラーを開発実証することである。デフォーミブルミラーの駆動方式には、Micro-Electronic Mechanics System (MEMS)方式を採用した。そして冷却時の最大の問題である熱応力を考慮した設計を行い、極低温(5K)で動作する多素子(1000素子)のDMを制作、試験することができた。

研究成果の概要(英文)：In order to expect the purpose of this application research to an important problem called the air spectrum by the direct detection of an extrasolar planet, it is carrying out the development actual proof of the cryogenic temperature deformable mirror carried in an infrared space telescope. In the drive system of a deformable mirror, it is Micro-Electronic Mechanics System. (MEMS) the system was adopted. And the design in consideration of the heat stress which is the biggest problem at the time of cooling was able to be performed, and DM of the many elements (1000 elements) which operate by cryogenic temperature (5K) was able to be made and examined.

研究分野：天文学

科研費の分科・細目：光学赤外線天文学

キーワード：デフォーミブルミラー 系外惑星 波面補償 極低温 赤外線

### 1. 研究開始当初の背景

系外惑星は「間接的手法」によってなら、すでに 300 個以上の存在が確認されている。例えば、Mayor & Queloz(1995) は恒星のスペクトルを高精度でモニター観測する

ことで、主星の周囲を公転する惑星が主星をわずかに揺さぶっていることから、惑星の存在を突き止めた。ただしこのような主星への影響を調べる間接的手法では、惑星の表面による反射スペクトル、大気による吸収スペクトルといった決定的に重要な情報は得られない。そのため惑星と主星を空間分解した「直接観測による分光」によって、生命兆候にも関連し得る吸収線を含めた惑星そのものの特徴、および惑星系の形成・進化の歴史を直接観測することができれば、その意義は非常に大きい。

しかし系外惑星を直接観測しようとする、惑星に比べて極めて明るい主星が惑星のすぐそばに存在することが深刻な障害となる。主星と惑星の光度比（コントラスト）は、可視光波長域では実に～10 桁にもなる。赤外線波長域では、惑星からの熱輻射成分の寄与によりコントラストは緩和されるが、それでも～6 桁もある。この「コントラストの壁」を超えるには、コロナグラフという特殊な光学系を効かせるために不可欠な波面補償のため、極低温デフォーマブルミラーを開発する。

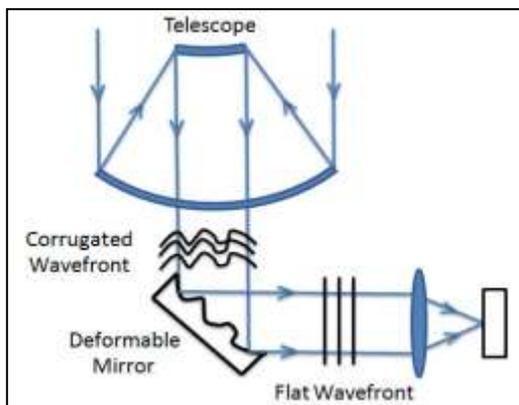


図 1. 波面補償の原理

### 2. 研究の目的

本応募研究の目的は、系外惑星の直接観測による大気分光という重要課題にのぞむため、赤外線宇宙望遠鏡に搭載して波面補償を行う極低温デフォーマブルミラーを開発実証することである。極低温(5K)にて運用できる 1000 素子のデフォーマブルミラーを目標とする。

### 3. 研究の方法

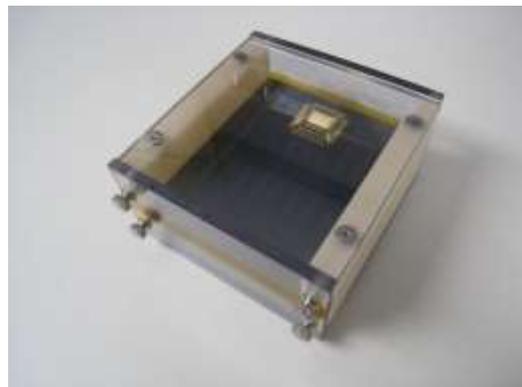
本応募研究のゴールは SPICA に搭載できる極低温 DMを開発実証することである。そのため 4 年間にわたる研究期間に、極低温(5K)で動作する多素子(1000 素子)の DMを開発し、

熱的条件、打ち上げに対する耐性の条件をクリアする。そのために必要な試験装置もあわせて開発する。極低温で動作させるため、DMの駆動にはMEMS方式を採用する。本応募研究の準備のために行った予備実験で得た裏付けを最大限に利用することで、挑戦的課題を堅実に完了する。

### 4. 研究成果

主な成果を以下に示す。単にデフォーマブルミラー自体の開発だけでなく、特殊な実験環境、打ち上げを想定した実証とあわせた総合的な開発を行うことができた。

4.1: 5 K 環境用 1000 素子のデフォーマブルミラーを開発した(下図参照)。狭義の素子開発だけではなく、検証実験を想定して周辺機材の開発も行っている。具体的には、低温実験において用いる低熱流入のケーブルの設計、制作、常温用の通常のデフォーマブルミラーと互換性のある制御システムおよび配線コンフィギュレーションなどである。



4.2: 極低温実験用大型チャンバーを開発した。1m×1m のワークスペースがあり、電力供給のみで 5 K に到達する(下図参照)。真空排気試験、冷却試験に成功している。また、このチャンバー内に構築する軸外し金属鏡光学系の開発も行った。この光学系は、鏡および構造体をすべてアルミニウム材で制作している。その結果、通常は常温から極低温に冷却する際に生じる、異種材料の熱収縮率の違いによる光学系の歪みを大幅に低減する。



4.3 : 鏡面変形試験・振動試験・急速減圧試験および音響耐性のための装置、手法を開発した(下図参照)。これらを追求するのは、極低温デフォーマブルミラーの衛星搭載鏡を実現するため、ロケットによる打ち上げに耐える必要があるからである。鏡面変形は宇宙開発機構(JAXA)宇宙科学研究所にて、光学干渉計を用いて行う。振動試験は同研究所の加振機を用いた。急速減圧試験のため、専用のチャンバーを開発した。総合試験の結果、H II-A ロケットを想定した打ち上げ振動、音響、急速減圧の負荷に耐えることができた。



#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 16 件)

[1] Enya, Keigo et al. (2014) *Advanced Materials Research*, in press (巻、項未定)

[2] Enya, Keigo (2014) *Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium, Volume 299*, pp. 283-284

[3] Enya, Keigo; Haze, Kanae; Kotani, Takayuki; Abe, Lyu (2012) *PASJ*, 64, 10 (査読あり)

[4] Enya et al. (2012) *Cryogenics*, 52, 86 (査読あり)

[5] Enya et al. (2012) *SPIE 8442*, article 84425C, 7

[6] K. Enya (2012) *SPIE 8442*, article id. 84423Y, 13

[7] Kotani, T.; Enya, K.; Nakagawa, et al. (2012) *SPIE 8442*, article id. 84420F, 11

[8] Haze, Kanae; Enya, Keigo; Abe, Lyu; Kotani, Takayuki; Nakagawa, Takao; et al. (2011) *PASJ*, 63, No.4, pp.873 (査読あり)

[9] Enya, K.; Kotani, T.; Haze, K.; Aono, K.; Nakagawa, T. et al. (2011) *Advances in Space Research*, Volume 48, 323 (査読あり)

[10] Enya, K. et al. (2011) *ASP Conference Series*, Vol. 450. Edited by J.P. Beaulieu, S. Dieteres, and G. Tinetti. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, p.181

[11] Enya, K.; Abe, L.; Takeuchi, S.; Kotani, T.; Yamamuro, T. (2011) *SPIE*, Volume 8146, article id. 81460Q, 15

[12] Matsuo, Taro; Fukagawa, Misato; Kotani, Takayuki; Itoh, Yoichi; Tamura, Motohide; Nakagawa, Takao; Enya, Keigo (2011) *Advances in Space Research*, 47, 1455 (査読あり)

[13] Enya, Keigo; Abe, Lyu (2010) *PASJ*, 62, 1407 (査読あり)

[14] Takami, Michihiro; Tamura, Motohide; Enya, Keigo; et al. (2010) *Advances in Space Research*, 45, 1000 (査読あり)

[15] Enya, Keigo et al. (2010) *Advances in Space Research*, 45, 979 (査読あり)

[16] Enya, K.; Kotani, T.; Nakagawa, T.; et al. (2010) *Pathways Towards Habitable Planets*, proceedings of a workshop held 14 to 18 September 2009 in Barcelona, Spain. Edited by Vincent Coudé du Foresto, Dawn M. Gelino, and Ignasi Ribas. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, p.284

[学会発表] (計 3 件)

[1] Enya, Keigo (2014) *Exploring the Formation and Evolution of Planetary Systems: IAU symposium 299*, June 2–July 7, 2013, Victoria, Canada

[2] Enya, K. (2013) *International Astrobiology Workshop 2013*, Proceedings of the conference held 28-30 November, 2013 in Sagami-hara, Kanagawa, Japan. LPI Contribution No. 1766, p.1047

[3] Enya, Keigo; Kotani, T.; Nakagawa, T  
et al. (2010) 38th COSPAR Scientific  
Assembly. Held 18-15 July 2010, in  
Bremen, Germany, p.2

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

塩谷 圭吾 (Enya, Keigo)  
宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・助  
教. 研究者番号 : 40392815

### (2) 研究分担者

中川 貴雄 (Nakagawa, Takao)  
宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・教  
授. 研究者番号 : 20202210

### (3) 小谷 隆行 (Kotani, Takayuki)

国立天文台・太陽系外惑星探査プロジェクト  
室・研究員. 研究者番号 : 40554291