

# 宇宙航空研究開発機構研究開発報告

JAXA Research and Development Report

---

## BepiColombo水星探査計画に向けた遠紫外光検出器の 位置分解能向上に関する研究

村上 豪, 江沢 福紘, 吉岡 和夫  
豊田 丈典, 吉川 一朗, 山崎 敦

2008年2月

宇宙航空研究開発機構

Japan Aerospace Exploration Agency



# BepiColombo 水星探査計画に向けた遠紫外光検出器の位置分解能向上に関する研究

村上 豪\*<sup>1</sup>, 江沢 福紘\*<sup>1</sup>, 吉岡 和夫\*<sup>1</sup>,  
豊田 丈典\*<sup>1</sup>, 吉川 一朗\*<sup>1</sup>, 山崎 敦\*\*<sup>2</sup>

## Development of the high-resolution FUV detector for the BepiColombo mission

By

Go MURAKAMI\*<sup>1</sup>, Fukuhiro EZAWA\*<sup>1</sup>, Kazuo YOSHIOKA\*<sup>1</sup>,  
Takenori TOYOTA\*<sup>1</sup>, Ichiro YOSHIKAWA\*<sup>1</sup> and Atsushi YAMAZAKI\*\*<sup>2</sup>

**Abstract:** Mariner-10 UV measurements and telescopic spectroscopy from the Earth identified six elements (Ca, Na, K, H, He, and O) in the Mercury's exosphere. Other species are expected, e.g. H<sub>2</sub>, OH, and some noble gasses (Ar, Ne, and Xe). All species representative of the surface composition, directly produced by impact vaporization driven by micrometeoroids, physical sputtering, photo-stimulated desorption, and thermal desorption from the regolith, should also be present. To determine the composition of the Mercury's exosphere, the PHEBUS (Probing of Hermean Exosphere By Ultraviolet Spectroscopy) instrument on Mercury Planetary Orbiter (MPO) will measure the emission lines of the exosphere. PHEBUS is a dual FUV-EUV spectrometer working in the wavelength range from 55 to 315 nm.

We are now developing the compact detector system sensitive to FUV airglow emissions of the Mercury. The FUV detector is required to have high spatial resolution (80 μm) so that the wavelength resolution of the PHEBUS instrument should be 1.5 nm at the FUV range. The FUV detector consists of a Cs<sub>2</sub>Te photocathode, microchannel plates (MCPs), and a resistive anode encoder. In a position-sensitive system with a resistive anode encoder, the spatial resolution is determined by the signal-to-noise ratios at the anode terminals. Therefore, a high and stable electron gain of MCPs allows the position determination of each photoelectron event with high spatial resolution.

We studied a method for achieving a high and stable electron gain. We fabricated a test model of the FUV detector incorporating a clamped pair of MCPs (V-MCPs) followed by a gap and a clamped triplet of MCPs (Z-MCPs) in cascade. We measured the performance of the test model under a variety of applied voltages. As a result, we achieved a high gain of  $2 \times 10^7$  and the required spatial resolution (80 μm). Furthermore, we found that the reverse voltage applied across the V-Z gap made the electron gain more stable. In this paper we report the specific performance of the test model of the FUV detector.

## 概 要

マリナー 10 号による紫外光観測や地上観測により、水星には6種類 (Ca, Na, K, H, He, O) の大気成分があることが判明している。これらの大気成分のうち H, He は太陽風を起源とし、その他は、太陽光による光脱離や、熱脱離、イオンスパッタリングによって地表から放出されたものと考えられている。さらに地質・地学的な研究や、地球、月の大気からの類推から H<sub>2</sub>, OH, Mg, Ar, Ne や、He<sup>+</sup>, O<sup>+</sup> などの大気成分の存在も示唆されている。これらの大気成分を検出し、さらに新たな元素を発見するために、2013 年打ち上げ予定の BepiColombo 水星探査計画において我々は紫外線分光観測装置 (PHEBUS) を水星表層探査衛星 (MPO) に搭載する。

\* 1 The University of Tokyo

\* 2 The Institute of Space and Astronautical Science (ISAS)/JAXA

現在我々は PHEBUS の遠紫外光検出部 (FUV) の開発を進めている。FUV の開発において最大の課題となるのが位置分解能の向上である。遠紫外光領域において PHEBUS に必要な波長分解能 1.5 nm を達成するためには FUV が 80  $\mu\text{m}$  の高い位置分解能をもたなければならない。FUV は光電面、電子増倍部 (マイクロチャンネルプレート : MCP), 2次元位置検出器 (レジスティブアノード) から構成される。MCP によって  $10^6 \sim 10^7$  倍に増幅した電子はレジスティブアノード上の四隅の電極に分割され、それらの電荷量の比から位置を算出できる。レジスティブアノードに入射する電子数が多いほど位置精度は高くなるため、FUV の位置分解能は一つの光子から MCP によって増幅される電子数 (利得) に依存する。すなわち高い位置分解能を得るには MCP の利得が高くかつ一定に近いことが理想的である。しかし、高利得を得るために一般的に用いられる MCP を 2枚ないし 3枚重ねる方法では FUV に必要な位置分解能 80  $\mu\text{m}$  を達成するには不十分である。

そこで今回我々は 5枚重ねの MCP を用いて FUV の試作機を製作し、その性能を評価した。MCP の各部位への印加電圧を変化させ、それぞれの場合の利得および位置分解能を調べた。その結果、5段 MCP を用いればおよそ  $2 \times 10^7$  の高い利得を達成でき、PHEBUS に必要な位置分解能を十分満たしていることを確認した。さらに、MCP の間に逆向き電圧を印加することで利得のばらつきを約 1/5 に抑えられ、位置分解能も 1.2 倍に向上させられることがわかった。今後は本試作機の試験結果に基づき FUV の仕様を決定し、2013 年の打ち上げに向けて開発を進めていく。

## 1. INTRODUCTION

水星には大気が存在する。1974 年と 1975 年に行われた探査衛星マリナー 10 号による極端紫外光観測から水素原子、ヘリウムおよび酸素が発見された[1]。また 1980 年代には地上の大型望遠鏡を用いた可視分光観測からナトリウムとカリウムが発見され[2,3]、2000 年にはカルシウムが発見された[4]。これらの大気成分は最も高密度な地表面付近でも高々 1000 個/cm<sup>3</sup>程度と非常に希薄である。水星の大気を構成する成分のうち水素原子やヘリウムおよび酸素原子は太陽風に含まれる成分に由来すると考えられる。一方ナトリウムなどの金属元素の主な生成源は地表面及び地殻である。したがって水星の大気の観測は地殻の組成を解明する手段ともなる。

これまでに行われた極端紫外領域における水星大気の観測はマリナー 10 号によるものが唯一である。この観測では極端紫外領域に強い共鳴散乱線をもつ元素やイオン (H<sup>+</sup>, H, He, C, O, Ar, Ne, Xe) の検出を目的としていたが[5,6]、観測装置の検出効率が十分でなかったためにほとんどの元素は分布も存在量も判明せず、検出器の感度から定められる上限値を与えるにとどまった。

2013 年の打ち上げを目指し日欧が共同で推し進めている BepiColombo 国際水星探査計画において水星表層探査機 (Mercury Planetary Orbiter: MPO) に紫外線分光観測装置 (PHEBUS) が搭載される。この装置はマリナー 10 号による観測では成し遂げられなかったような、水星大気の組成および構造の詳細な解明を目的としている[7]。

現在我々は PHEBUS の遠紫外光検出部 (FUV) の開発を進めている。FUV の開発において最大の課題となるのが位置分解能の向上である。PHEBUS の目的を達成できる波長分解能を得るためには検出器に高い位置分解能が必要なためである。そこで今回我々は BepiColombo 水星探査計画に向けて FUV 検出器の試作機を製作し、位置分解能を評価した。本論文では位置分解能試験の結果について報告する。

## 2. 紫外線分光観測装置 (PHEBUS)

我々は BepiColombo 水星探査計画において 2013 年打ち上げ予定の水星探査機 (MPO) に紫外線分光観測装置 (PHEBUS) を搭載する。PHEBUS は水星大気の紫外領域における共鳴散乱光を検出し、大気組成・分布を明らかにすることを目的としている。表 1 および図 1 に PHEBUS の主な仕様と概略図をそれぞれ示す。入射光は反射鏡によってスリットに集められ、

表 1 PHEBUS の仕様

観測波長	55-155nm (EUV), 145-315nm (FUV)
波長分解能	1nm (EUV), 1.5nm (FUV)
空間分解能	0.28deg (15km)
視野角	0.1deg $\times$ 2deg
分光素子	トロイダル回折格子

回折格子で分光される。本装置では 2つの回折格子を用い、極端紫外領域 (EUV : 55-155 nm) と遠紫外領域 (FUV : 145-315 nm) の 2系統に分離して検出する。それぞれの検出部には 2次元位置検出器としてレジスティブアノード付きマイクロチャンネルプレート (Microchannel Plate : MCP) を用いている。

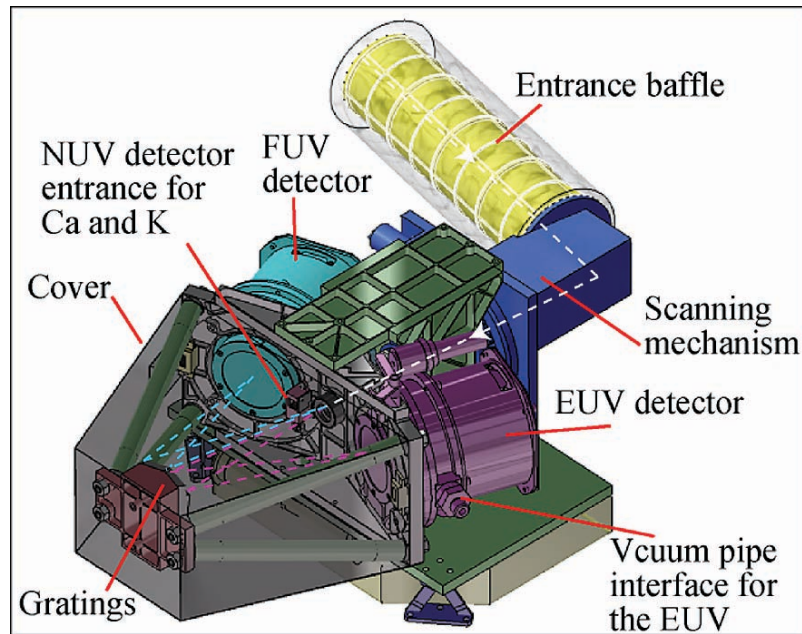


図1 紫外線分光観測装置 (PHEBUS) の概要図。2種類の回折格子により入射光を極端紫外領域 (EUV : 55-155 nm) と遠紫外領域 (FUV : 145-315 nm) に分離して検出する。

### 3. 遠紫外光 (FUV) 検出器

#### 3.1. 原理

遠紫外光 (FUV) 検出器は入射窓、光電面、電子増倍部、位置検出部から構成される。FUV 検出器の概略図を図2に示す。FUV 検出器の動作原理は以下の通りである。(1) 検出器に入射した光子は光電面において光電効果により電子に変換される。(2) 電子は外部から印加された電圧により加速され、電子増倍部であるMCPに入射する。MCPは直径10-20  $\mu\text{m}$ 程度の非常に細い管(チャンネル)を束ねた構造をもつ。MCPに入射した電子はチャンネル内で電場により加速しながら内壁への衝突と二次電子の放出を繰り返しおよそ $10^7$ 倍に増幅される。(3) 増幅された電子は位置検出部であるレジスティブアノード上で4隅の電極へ分割され、電気信号として検出される。レジスティブアノードは面状の一様な抵抗体であるため、分割された電荷の比から電子が入射した位置を算出することができる。

レジスティブアノードを用いた検出器では4つの電気信号の大きさから位置を演算するため、信号の大きさが電気的なノイズに比べて十分に大きい必要がある。高精度で位置演算を行うためにはレジスティブアノードに入射される電子数が十分多くなければならない。すなわちFUV検出器の位置分解能はMCPによる電子の増幅率(利得)に依存する。

#### 3.2. 利得と位置分解能

遠紫外領域(145-315 nm)においてPHEBUSに必要な波長分解能1.5 nmを達成するためにはFUV検出器が80  $\mu\text{m}$ の位置分解能をもつ必要がある。しかし高利得を得るために一般的に用いられるMCPを2枚ないし3枚重ねる方法では80  $\mu\text{m}$ の位置分解能を達成することはできない。例えば2007年9月打ち上げの月周回衛星「かぐや (SELENE)」に搭載されている極端紫外光望遠鏡の検出器では3段MCPを用いて250  $\mu\text{m}$ の位置分解能しか得られていない[8]。

3段MCPで高い位置分解能が得られない原因はMCPの利得がもつバラツキに起因すると考えられる。MCPの利得は一定ではなくある分布(波高分布)をもったバラツキを示す。このとき、分布のうち低利得のイベントは電気的ノイズの影

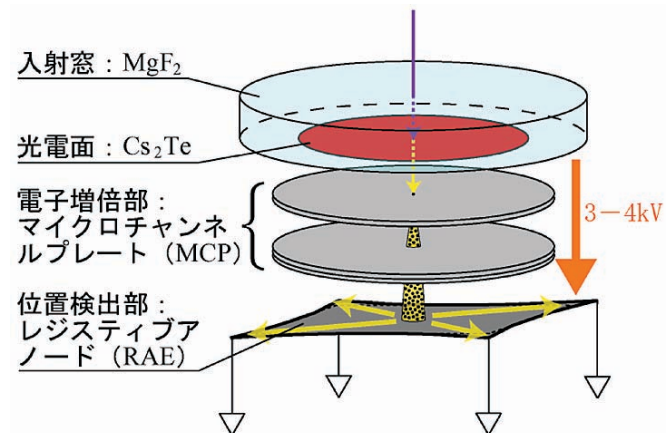


図2 遠紫外光 (FUV) 検出器の概略図。入射した光子は光電面で電子に変換され、電子増倍部 (MCP) でおよそ $10^7$ 倍に増幅される。増幅された電子は位置検出部 (レジスティブアノード) において四隅の電極に分割され、それらの電荷量の比から位置を算出できる。

響を受け位置分解能を低下させてしまう。図3に波高分布と位置分解能の関係を示す。図3上図の黒線は3段MCPの波高分布を模式的に表している。3段MCPの場合、位置演算を行う利得の下限値を低くすると（図3：上図の赤線①）ほとんどの入射光子について計算するので検出効率が高いが、低利得でも演算を行うため位置分解能は低下する（図3：下図①）。

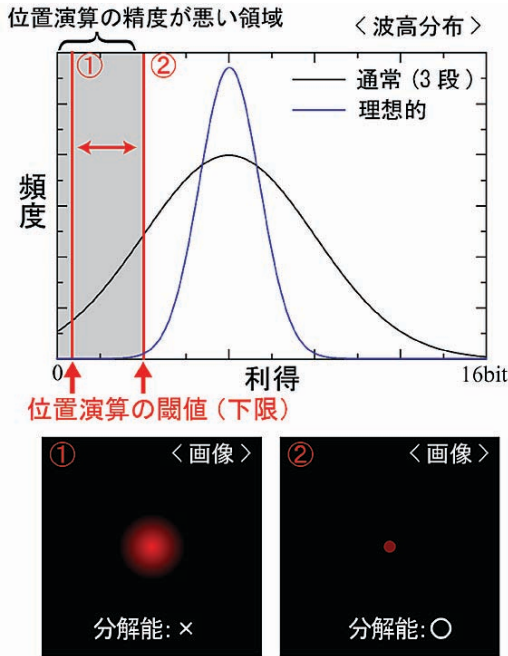


図3 MCPの波高分布と位置分解能の関係を表す概要図。(上)通常の3段MCPおよび理想的なMCPの波高分布の模式図。レジスティブアノードを用いた場合、低利得では位置演算の精度が低下する。(下)位置演算を行う利得の下限値を変えた場合にそれぞれ得られる画像の想像図。下限値を低くすると①演算を行うイベントが多く検出効率は高いが位置分解能は悪くなる。一方、下限値を高くすると②位置分解能は向上するが演算しないイベントが増えるので検出効率が低下する。

一方、下限値を高くすると（図3：上図の赤線②）位置分解能は向上させられる反面、検出効率は低下してしまう（図3：下図②）。すなわち3段MCPを用いる限り検出効率を犠牲にすることなく高い位置分解能を得ることはできない。この問題を解決するためにはMCPの波高分布自体を変化させる必要がある。図3上図の青線で示すような一定値に近い利得をもつ波高分布ならば検出効率を損なうことなく高い位置分解能を達成することができる。

### 3.3. 5段MCP

そこでPHEBUSのFUV検出器では位置分解能を向上させるために、通常の3枚ではなく5枚重ねのMCPを用いる。5段MCPは2枚組(V-MCP)と3枚組(Z-MCP)を組み合わせた構造をしており、それぞれに独立に電圧を印加できるという特徴をもつ。図4に5段MCPを用いたFUV検出器の模式図を示す。FUV検出器では、光電面-V-MCP間( $V_p$ )、V-MCP( $V_v$ )、V-Z間( $V_g$ )、Z-MCP( $V_z$ )、Z-MCP-レジスティブアノード間( $V_a$ )の5つの部位にそれぞれ電圧を印加する。このとき、V-Z間に逆向きに電圧を印加するとV-MCPから出射した電子のうちエネルギーの弱いものはZ-MCPまで到達することができずに排除される。そのため $V_v$ 、 $V_g$ 、 $V_z$ の大きさを変えれば利得や波高分布を調整することができる。

今回我々は5段MCPを用いてFUV検出器の試作機を製作し、その性能を評価した。各部位への印加電圧を調整し、波高分布および位置分解能の変化を調べた。以下で試験内容および結果について詳しく報告する。

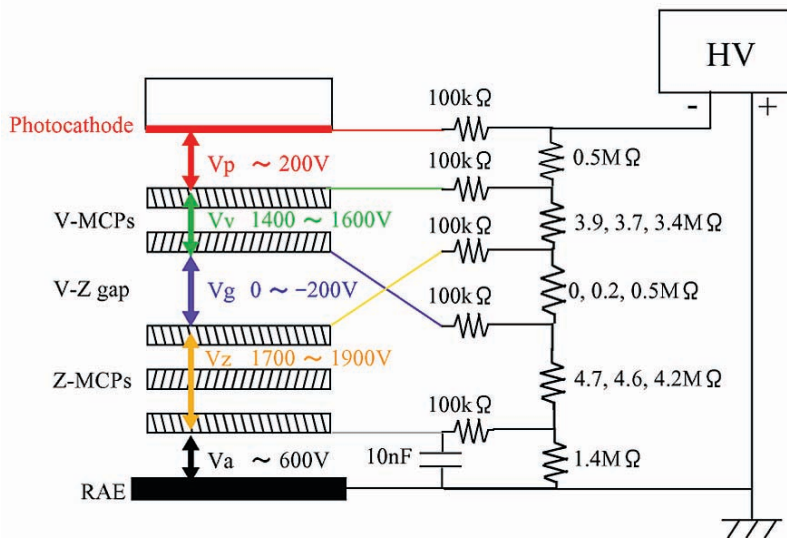


図4 FUV試作機の各部位への電圧印加方法。FUV試作機では光電面-V-MCP間( $V_p$ )、V-MCP( $V_v$ )、V-Z間( $V_g$ )、Z-MCP( $V_z$ )、Z-MCP-レジスティブアノード間( $V_a$ )の5つの部位にそれぞれ電圧を印加できる。

#### 4. 位置分解能試験

今回の試験に用いた試作機の仕様および写真を表2と図5にそれぞれ示す。FUV 試作機は合成石英の入射窓、Cs<sub>2</sub>Te 光電面、5段MCP (V-MCPとZ-MCP)、そしてレジスティブアノードから構成されている。光電面の有効径は25 mm、検出器の外径は60 mmである。MCPにはチャンネル径10 μm、バイアス角12 deg、有効径25 mmのものを用いた。レジスティブアノードは外径が43 mm、有効面積は23 mm×23 mmである。ただしMCPとレジスティブアノードの間には直径16 mmの開孔部をもつマスクが取り付けられており、今回の試験ではレジスティブアノードの中心部のみを使用した。

この試作機を用い、図6に示されるような構成で位置分解能試験を行った。Cs<sub>2</sub>Teが可視光にもわずかに感度をもつこと、また位置分解能は波長にほとんど依存しないことから、試験は可視光を用いて大気中で行った。光源には強度安定化レーザー（波長633 nm）を使用し、さらに拡散板を用いて一様光とした。図6中に示されるようなテストターゲットを背面から照らし、リレーレンズを用いて透過光をFUV 試作機の光電面に結像させた。FUV 試作機で取得したテストターゲットの画像を解析し、各ラインペアのコントラスト（= (Max-Min) / (Max+Min)）を算出することで位置分解能を調べることができる。このときPHEBUSにおいてFUV 検出器に必要な位置分解能（80 μm）は6.4本/mmのラインペアにおけるコントラストが33%以上であることに相当する。今回我々はFUV 試作機への印加電圧を調整しそれぞれの場合での位置分解能を測定した。また測定時には波高分布も同時に取得し、位置分解能との関係を調べた。ただし、今回の試験では衛星搭載用ではなく地上試験用の位置演算機を用いた。

#### 5. 試験結果

##### 5.1. テストターゲットの画像

図7 (a) はFUV 試作機により得られたテストターゲットの画像の一例である。図中の点線で囲まれた領域でピントが合うように調整されている。必要な位置分解能6.4本/mmに最も近いラインペアは図中の赤線で囲まれた6.3本/mmである。6.3本/mmにおける断面のカウントプロフィールを図7 (b) に示す。このラインペアでは明暗をはっきり区別できており、この場合のコントラストを計算すると0.53となる。

##### 5.2. 利得と位置分解能

MCPへの印加電圧に対する波高分布および位置分解能の変化を調べた。図8 (a) に各印加電圧に対する波高分布を示す。MCPへの印加電圧を上げるにつれて利得が高く

表2 FUV 試作機の仕様

入射窓	合成石英 φ50mm, 厚さ5.3mm
光電面	Cs <sub>2</sub> Te
電子増倍部	5段MCP (V-Zスタック) φ25mm (有効径φ16mm) V-Z間2.5mm
位置検出部	レジスティブアノード φ43mm

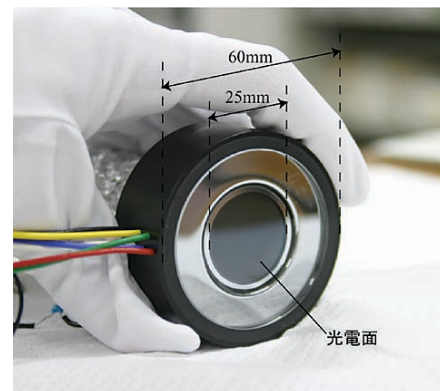


図5 FUV 試作機の写真。入射窓に光電面が蒸着されている。光電面の有効径は25 mm、外径は60 mmである。

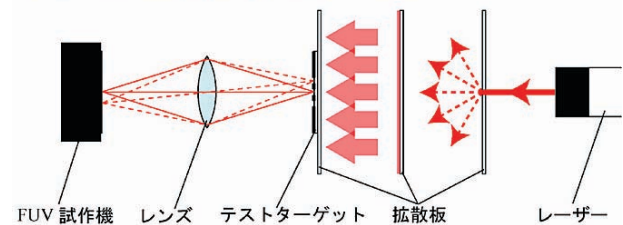
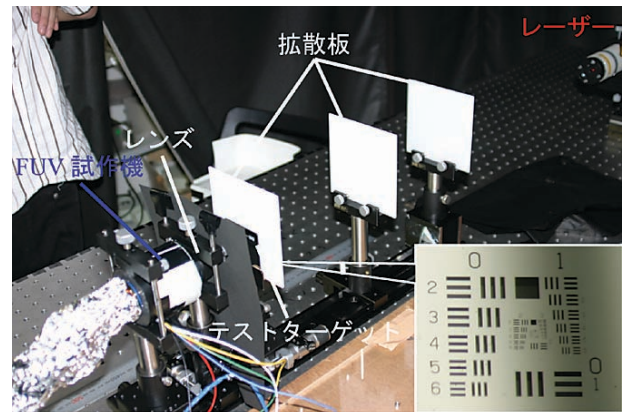


図6 位置分解能試験の写真 (上) および概要図 (下)。強度安定化レーザーおよび拡散板を用いて一様光をテストターゲットの背面から照射する。レンズを用いてテストターゲットからの光をFUV 試作機の光電面に結像させる。

なり波高分布の幅が広がっていくのがわかる。またそれぞれの波高分布における位置分解能を図7 (b) に同色で示す。グラフから明らかなように、 $1.6 \times 10^7$  以下の利得ではコントラストが利得に対して線形に増加した。しかし  $1.6 \times 10^7$  以上の利得ではコントラストと利得の間に明らかな相関は見られなかった。利得が  $1.6 \times 10^7$  以下の場合 (赤～黄緑) とそれ以上の場合 (茶～橙) の波高分布を比較すると、利得が約  $0.4 \times 10^7$  (図8 (a) 中の点線) 以下の領域におけるカウント数が前者では減少していくのに対し後者ではほとんど差が見られない。この結果から利得の低いイベントが位置分解能の低下に寄与していることを確認できた。

### 5.3. V-Z 間電圧と波高分布

V-Z 間の逆向き電圧 ( $V_g$ ) と波高分布の関係を調べた。図9に各  $V_g$  に対する波高分布を示す。このとき、それぞれの波高分布のピークとなる利得が約  $1.6 \times 10^7$  で一致するように V-MCP と Z-MCP への印加電圧を調整した。図9から明らかなように、 $V_g$  の値が大きいくほど波高分布の幅が狭くなり利得が一定値に近づくことがわかる。ピークの利得に対する半値幅の比 (Pulse Height Ratio : PHR) は 165% ( $V_g = 0$  V) から 38% ( $V_g = -205$  V) まで向上した。この結果は V-Z 間に逆向き電圧を印加することでより理想的な波高分布が得られることを示唆している。

### 5.4. V-Z 間電圧と位置分解能

$V_g$  の大きさと位置分解能の関係を調べた。図10に各  $V_g$  に対する位置分解能の変化を示す。横軸が空間周波数 [本/mm]、縦軸がコントラストを表す。V-Z 間に逆向き電圧を印加することで、6.3本/mmにおけるコントラストは0.53から0.64まで

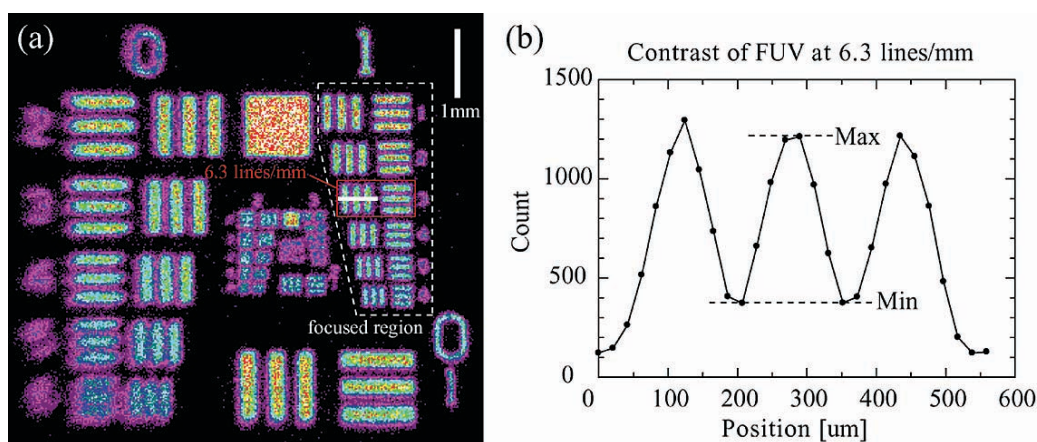


図7 (a) FUV 試作機で撮像したテストターゲットの画像。白点線で囲んだ領域内でレンズのピントを合わせてある。(b) 6.3本/mmにおけるカウントプロファイル。グラフから6.3本/mmにおけるコントラストを計算すると0.53となる。

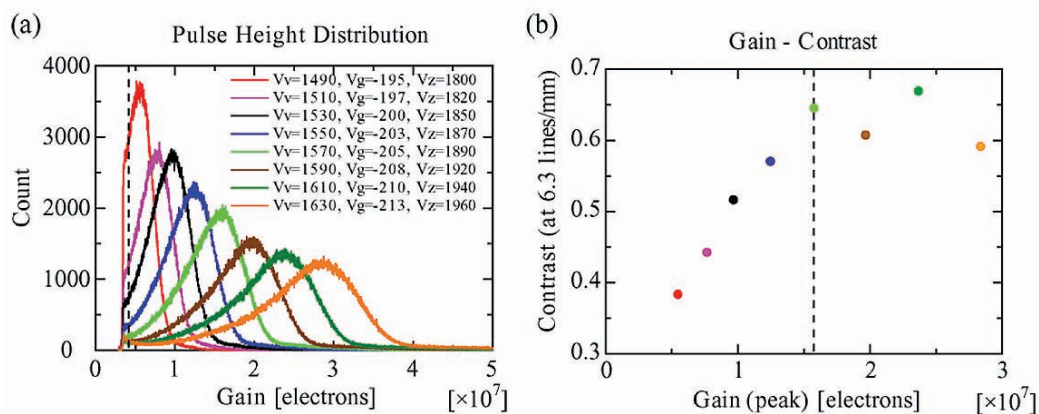


図8 (a) MCP への印加電圧を変化させた場合のそれぞれの波高分布。印加電圧を上げるにつれて利得が高くなり波高分布が広がっていく。(b) 利得 (ピーク値) に対する位置分解能の関係。それぞれの利得における波高分布は (a) に同色で示されている。  $1.6 \times 10^7$  までは利得に対してほぼ線形にコントラストが増加しているが、  $1.6 \times 10^7$  以上では利得とコントラストの間に相関は見られない。



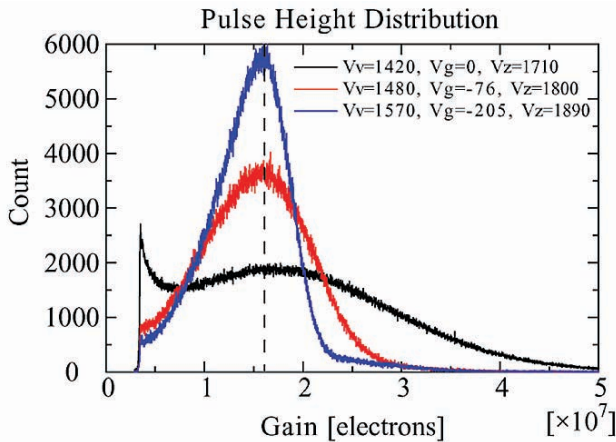


図9 V-Z間電圧に対する波高分布の変化。利得のピーク値が一致するようにMCPへの印加電圧を調整している。V-Z間電圧を上げるほど波高分布の幅が狭くなり利得が一定値に近づく。

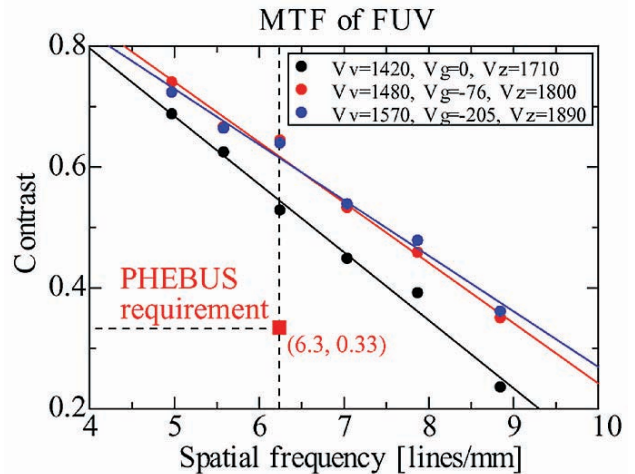


図10 V-Z間電圧に対する位置分解能の変化。V-Z間電圧を印加することで6.3本/mmにおけるコントラストは5.3から6.4へ約1.2倍向上する。一方、V-Z間電圧の大きさ(-76Vと-205V)による明らかな差は見られない。

およそ1.2倍に向上した。一方、 $V_g = -76\text{ V}$ と $V_g = -205\text{ V}$ ではほとんど差が見られなかった。それぞれの波高分布（図9）における低利得のカウント数を比較すると、 $V_g = 0\text{ V}$ と $V_g = -76\text{ V}$ 、 $-205\text{ V}$ では大きく異なるのに対し $V_g = -76\text{ V}$ と $V_g = -205\text{ V}$ の間にはほとんど差が見られない。すなわちこの結果は5.2の結果に一致している。さらに本試験の結果から、FUV試作機はPHEBUSにおいて必要な位置分解能（6.3本/mmにおいてコントラスト0.33以上）を達成できることを確認できた。

## 6. ま と め

我々はBepiColombo水星探査計画に向けて遠紫外光（FUV）検出器に必要なとされる $80\text{ }\mu\text{m}$ の位置分解能を達成するために、5段MCPを用いて試作機を製作した。FUV試作機を用いてMCPへの印加電圧に対する波高分布および位置分解能の変化を調べた。その結果、以下の3点を確認した。

1. 位置分解能はMCPの利得と波高分布に依存している
2. V-MCPとZ-MCPの間に逆向きに電圧を印加することで波高分布の幅を約1/4に狭め、位置分解能を1.2倍に向上させることができる
3. FUV試作機はPHEBUSにおいて必要な位置分解能 $80\text{ }\mu\text{m}$ を達成できる

しかし、本試験では地上試験用の位置演算機を使用しており、衛星搭載用のものを使用した場合と電気的ノイズの環境や計算精度が異なる。また今回の試作機と衛星搭載用の検出器とではレジスティブアノードの大きさが異なる。今後は2013年の打ち上げに向け、衛星搭載品と同等品を用いてさらにFUV検出器の位置分解能試験を進めていく。

## References

- [1] Broadfoot, A. L., S. Kumar, M. J. S. Belton, and M. B. McElroy, Mercury's atmosphere from Mariner 10: Preliminary results, *Science*, 185, 166, 1974.
- [2] Potter, A. E., and T. H. Morgan, Discovery of sodium in the atmosphere of Mercury, *Science*, 229, 651-653, 1985.
- [3] Potter, A. E., and T. H. Morgan, Potassium in the atmosphere of Mercury, *Icarus*, 67, 336-340, 1986.
- [4] Bida, T. A., R. M. Killen, and T. H. Morgan, Discovery of calcium in Mercury's atmosphere, *Nature*, 404, 159-161, 2000.
- [5] Broadfoot, A. L., S. S. Clapp, and F. E. Stuart, Mariner 10 ultraviolet spectrometer: Airglow experiment, *Space science instrumentation*, 3, 199-208, 1977.
- [6] Broadfoot, A. L., S. S. Clapp, and F. E. Stuart, Mariner 10 ultraviolet spectrometer: Occultation experiment, *Space science instrumentation*, 3, 209-218, 1977.

- [ 7 ] Yoshikawa, I., A. Yamazaki, T. Mukai, S. Kameda, H. Sagawa, S. Okano, T. Okada, and M. Nakamura, Development of an extreme ultraviolet imaging spectrometer for the BepiColombo mission, *Adv. Space Res.*, 33, 2195, 2004.
- [ 8 ] Yoshikawa, I., A. Yamazaki, G. Murakami, K. Yoshioka, S. Kameda, F. Ezawa, T. Toyota, W. Miyake, M. Taguchi, M. Kikuchi, T. Sakanoi, and S. Okano, Telescope of extreme ultraviolet (TEX) onboard SELENE: science from the Moon, *Earth Planets Space*, in press.

宇宙航空研究開発機構研究開発報告 JAXA-RR-07-017

---

発行 平成 20 年 2 月 29 日

編集・発行 宇宙航空研究開発機構

〒182-8522 東京都調布市深大寺東町 7-44-1

URL : <http://www.jaxa.jp/>

印刷・製本 (株) 東京プレス

---

本書及び内容についてのお問い合わせは、下記にお願いいたします。

宇宙航空研究開発機構 情報システム部 研究開発情報センター

〒305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1

TEL : 029-868-2079 FAX : 029-868-2956

---

© 2008 宇宙航空研究開発機構

※ 本書の一部または全部を無断複写・転載・電子媒体等に加工することを禁じます。



本書は再生紙を使用しております。