

## SM/MPAC1 次評価 (初期分析) 報告

石川島播磨重工業(株) 北澤幸人, (株)エイ・イー・エス Michael J. Neish, 茨城大学 野口高明

宇宙航空研究開発機構 総合技術研究本部 山県一郎, 木本雄吾, 石澤淳一郎, 鈴木峰男

宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部 藤原顯

### 1. はじめに

「ダスト捕獲実験」(MPAC: Micro-Particle Capturer)は、ISS 軌道上の宇宙ダスト (メテオロイド&デブリ) の存在量や組成等の調査を目的とする。この実験により、宇宙環境モデルの最新化に貢献するとともに、ISS の安全な宇宙活動に支障をきたす恐れのある微小粒子環境の把握、搭載機器や機構・部品等へダスト衝突の影響、ISS から放出されるダスト (2次デブリを含む) 等の評価が可能と考えられる。ここでは1次評価 (初期分析) の中間結果として、全体目視観察及びダスト捕獲材として「シリカエアロジェル」を用いた実験を中心に報告する。

### 2. SM/MPAC1 次評価 (初期分析) の目的

1次評価 (初期分析) では、MPAC 試料並びに構体の衝突孔や衝突痕 (もしくはそれらの可能性がある痕跡) を詳細評価 (2次分析) に供するための基本データの取得、及び代表的な衝突孔や捕獲物の分析を行う。具体的には、次を主目的とする; 1) 構体を含む MPAC&SEED 全体 (SEED 試料を除く) の目視観察による、衝突孔 (痕) 候補の位置、形状、画像の記載、2) CCD スコープ等を用いた MPAC 試料の全面光学調査による衝突孔 (痕) 候補の位置、形状、画像の記載、3) シリカエアロジェルで検出された代表的な衝突孔・捕獲ダストの組成分析

### 3. MPAC&SEED 実験装置の全体構成及び MPAC 実験装置の構成

MPAC&SEED 実験装置の全体構成については、本中間報告会の鈴木ほかの講演を参照されたい。MPAC&SEED 構体の材質は 7075-T7352 アルミニウム合金、構体サンプル固定用のパネル (厚さ 1mm) は 6061-T6 アルミニウム合金である。MPAC 実験装置はパッシブ型のダストコレクタであり、ダスト捕獲材には、シリカエアロジェル、ポリイミドフォーム (厚さ 12.5  $\mu\text{m}$  のアルミ蒸着ポリイミドフィルム付)、及び 6061-T6 アルミニウム合金板の三種類を用いた。

### 4. 1次評価 (初期分析) の実施手順

#### 4. 1 MPAC&SEED 構体の全体観察

8倍のルーペを使用して、サンプルホルダの曝露面 (6面/1式) 全面の目視調査を行い、衝突孔・衝突痕の可能性のある痕跡の有無を確認した。確認した痕跡について、部品 ID、位置座標、CCD スコープによる拡大画像 (写真、スケッチ)、痕跡の概略寸法の記録を行った。

#### 4. 2 MPAC 試料 (ダスト捕獲材) の分析

##### (1) 6061-T6 アルミニウム合金板、及びポリイミドフォームの分析

CCD スコープ、レーザー顕微鏡を用いて全面サーベイを行い、衝突孔・衝突痕の位置座計測と画像取得を行った。

##### (2) シリカエアロジェルの分析

MPAC&SEED 全体の外観目視検査後、構体からエアロジェルを取外し、次の手順で分析を行った; 1) エアロジェル 1個 (曝露面: 3.7cm $\times$ 3.7cm) 毎に 150倍の CCD スコープ (FOV: 1mm $\times$ 1mm) で全面を目視検査、2) 衝突孔 (も

しくは類似の痕跡)の座標位置記録、及び写真撮影、スケッチの実施(なお、地上対照試験[超高速度衝突試験]での実績から、 $T/D_{\text{ent}}$ (孔の長さ/孔の入り口径) $>1$ を記録対象とした。)、3)衝突孔の形状パラメータ(長さ、深さ、孔径等)の計測及び捕獲物の調査、4)顕著な衝突孔や捕獲物について、周囲エアロジェルの切断及び捕獲物の抽出、5)衝突孔内壁や捕獲物に対し、SEM、EDS、ラマン分光分析等を用いた分析の実施。

## 5. 実施結果

### 5. 1 MPAC&SEED 構体の全体観察、アルミニウム合金板、及びポリイミドフォームの分析

詳細評価(2次分析)に供する位置・画像データを取得し、所期の作業目標を達成した。

### 5. 2 シリカエアロジェルの分析

シリカエアロジェルのWAKE面は黄色に変色し、無数の細かなひび割れが確認できた。また、黄色化の濃度・ひび割れの細かさは、第2回回収試料(以下、「SM#2」)は、第1回回収試料(以下、「SM#1」)より顕著になっている。RAM面は白濁化しており、SM#1では入り口径が $20\mu\text{m}$ 程度以下、長さ $300\mu\text{m}$ 程度以下の衝突孔がエアロジェル1個あたり最大数十個みられた。一方、SM#2では、「孔」に代わって乳白色状の楕円体状の異物(大きさ:平均 $100\mu\text{m}$ 程度)がエアロジェル1個あたり数千個みられた。エアロジェルの表面の変質関わらず、入り口径が $100\mu\text{m}$ 以上の衝突孔の形状は、地上対照試験と良く一致し、また、孔内からは捕獲物や残留物が回収できた。

## 6. 考察

- 1)シリカエアロジェルによるダストフラックス実測値は、MASTER-2001環境モデルの計算値より、大きな値を示す。この理由としては、MASTER-2001の不確実性、過去のミッション(LDEFやODC等)でみられたものと同様なdust swarms(ダスト雲)の衝突、ISSやソユーズ、シャトルから放出されるデブリ(コンタミ)や二次デブリの影響等が考えられる。
- 2)シリカエアロジェルWAKE面の変質は、シリカエアロジェル表面に金属蒸着を $\mu\text{m}$ オーダーの厚さで施した時に発生した変質と類似している。また、SM#2のRAM面の異物は、シリカエアロジェルにアルコール(IPA)を噴霧した際に発生する異物と酷似している。変質原因特定のためには、コンタミネーションに関する詳細な情報が必要である。
- 3)エアロジェル表面の変質に関わらず、主要な衝突孔の形状は、地上対照試験と良く一致し、衝突孔形状からダスト衝突パラメータを推定可能と判断できた。また、捕獲物や残留物も検出できた。
- 4)金属アルミニウムや、酸化銀と硫化銀の混合物等、主として「スペースデブリ」が捕獲された。また、二次デブリと推定される捕獲物(直径 $20\mu\text{m}$ の酸化銀と硫化銀の混合体に、直径 $1\mu\text{m}$ 程度の輝石粒子を含む)も存在した。捕獲物の組成分析の詳細は、本中間報告会の野口ほかの講演を参照されたい。

## 7. 研究発表リスト

- 1) T. Noguchi, Y. Kitazawa, M. J. Neish, I. Yamagata, Y. Kimoto, J. Ishizawa, M. Suzuki, A. Fujiwara, Y. Yamaura, S. Yamane ; Passive measurement of dust particles on the ISS (MPAC): Third report on aerogel dust collectors, European Geosciences Union, General Assembly 2006 Vienna, Austria, 02 - 07 April 2006 (Abstract) (in printing) , (2006).
- 2) 北澤幸人, Michael J. Neish, 野口高明, 山県一郎, 木本雄吾, 石澤淳一郎, 藤原顕, 鈴木峰男; 国際宇宙ステーションにおけるダスト捕獲実験 (MPAC), 日本金属学会 2006 年春期大会講演概要, 2006 年 3 月 21-23 日 (印刷中) , (2006).
- 3) 北澤幸人, Michael J. Neish, 野口高明, 山県一郎, 今川吉郎; 国際宇宙ステーションにおけるダスト捕獲実験 (MPAC), 第 2 回スペースデブリワークショップ講演資料集, 独立行政法人宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 2005 年 12 月 8 日-9 日, 78-90, 2005, (2005).
- 4) M. J. Neish, Y. Kitazawa, T. Noguchi, T. Inoue, K. Imagawa, T. Goka, Y. Ochi; PASSIVE MEASUREMENT OF DUST PARTICLES ON THE ISS USING MPAC: EXPERIMENT SUMMARY, PARTICLE FLUXES AND CHEMICAL ANALYSIS, Proceedings of the Fourth European Conference on Space Debris, Darmstadt, Germany, 18-20 April 2005 (ESA SP-587, August 2005), (2005).
- 5) 北澤幸人; 宇宙開発と宇宙の '塵', 港区ロータリークラブ講演集: 国際ロータリー第 2750 地区東京新南ロータリークラブ 2004~2005 年度卓話抄録集, 32-34, (2005).
- 6) Y. Kitazawa, T. Noguchi, M. J. Neish, T. Inoue, J. Ishizawa, A. Fujiwara, K. Imagawa, Y. Yamaura, Y. Watanabe, A. Murakami; First Year Mission Results of Passive Measurement Experiment of Dust Particles on ISS (MPAC), Preprints of 24th Int. Symp. on Space Technology and Science, Miyazaki, Japan, 30 May to 6 June 2004 (CD-ROM), (2004).
- 7) Y. Kitazawa, M. J. Neish, T. Inoue, K. Imagawa, A. Fujiwara; First Year Mission Results of Passive Measurement Experiment of Dust Particles on ISS (MPAC), the 35th COSPAR Assembly, Paris, France, 17-25 July 2004, (Abstract), (2004).
- 8) M. J. Neish, K. Imagawa, T. Inoue, J. Ishizawa, Y. Kitazawa, Y. Yamaura, A. Murakami and Y. Ochi, Microparticle capture on the International Space Station using aerogel and polyimide foam; Proceeding of 9th International Symposium on Materials in a Space Environment, Noordwijk, The Netherlands, 16-20 June 2003, ESA SP-540, 431-435, (2003).
- 9) 宇宙開発事業団; 宇宙開発事業団技術報告 MFD 材料曝露実験 成果報告書, NASDA-TMR-000011, ISSN1345-7888, 宇宙開発事業団, 2001 年 3 月, (2001).
- 10) Y. Kitazawa, K. Kawachi, K. Fukasawa, Y. Yamaura, T. Miyadera, R. Nakamura, K. Imagawa, C. Kamakura, Y. Nakayama, and Y. Tachi; MPAC: Passive Measurement Experiment of Dust Particles on ISS, Proceedings of the twenty-second international symposium on space technology and science, 2077-2082, (2000).
- 11) 北澤幸人; 宇宙ダスト研究の現状 - 宇宙実験の観点から -, 日本マイクログラフィティ応用学会誌, Vol. 17, No. 2, 104-113, (2000).
- 12) 北澤幸人; 宇宙を創る『塵』, 日産アーク Monthly, Vol. 9, No. 9, (2000).
- 13) 北澤幸人, 藤原顕, 門野敏彦, 今川吉郎, 鎌倉千秋, 岡田豊, 上松和夫; シリカエアロジェルへの宇宙ダストの超高速衝突に関する実験的研究, 日本惑星科学会秋季講演会 講演予稿集, 305, (1999).
- 14) 北澤幸人, 河内啓輔, 荻原和広, 宮寺 岳仁, 中村 龍太, 今川吉郎, 鎌倉千秋, 中山陽一, 館 義昭; 国際宇宙ステーション (ISS) に於けるダスト捕獲実験 (MPAC) の概要, 日本惑星科学会秋季講演会 講演予稿集, 306, (1999).
- 15) 鎌倉千秋, 今川吉郎, 中山陽一, 館義昭, 河内啓輔, 北澤幸人, 荻原和広, 宮寺岳人, 中村龍太; 国際宇宙ステーション (ISS) に於ける微小粒子捕獲実験/材料曝露実験の概要, 第 43 回 宇宙科学技術連合講演会 (日本航空宇宙学会主催) 講演論文, 神戸, 10 月 20 - 22 日, (1999).
- 16) Y. Kitazawa, A. Fujiwara, T. Kadono, K. Imagawa, Y. Okada and K. Uematsu; Hypervelocity Impact Experiments on Aerogel Dust-Collector, Journal of Geophysical Research, Vol. 104 E9, 22035-22052, (1999).
- 17) 北澤 幸人, 天方 雷太, 河内 啓輔, 伏木 克美, 今川吉郎, 岡田豊; JEM曝露部搭載用微小粒子捕獲装置の開発, 第 14 回宇宙ステーション講演会講演集, 105-106, (1998) .
- 18) 北澤幸人, 今川吉郎, 岡田豊, 藤原顕, 門野敏彦; エアロジェルを用いたダストコレクタの超高速衝突実験, 太陽系科学シンポジウム, 53-56, (1998) .
- 19) Y. Kitazawa, K. Imagawa, Y. Okada, A. Fujiwara, T. Kadono, and R. Amagata: Hypervelocity Impact Tests and Post-Flight Analysis on MFD Dust Collectors, Proceeding of the 21th International Symposium on Space Technology and Science, 1842-1847, (1998).
- 20) NASDA ESEM Final Report, Evaluation of Space Environment and Effects on Materials (ESEM) Archive System, NASA Langley Research Center , NASA Home Page, 1998, <http://setas-www.larc.nasa.gov/esem/AOE.html>, (1998).
- 21) 大橋英雄, 北澤幸人, 矢野創; 宇宙空間でのダストの直接計測/捕集, 日本惑星科学会誌, 1997 年 12 月号, 312-325 (1997).
- 22) 矢野創, 北澤幸人, 木部勢至朗, 野上謙一: JEM 曝露部を用いたメテオロイド及びスペースデブリの直接捕集・

- 連続計測の研究, 第 13 回宇宙ステーション講演会 講演集, (1997)
- 23) M. J. Neish, S. P. Deshpande, S. Kibe, H. Yano, Y. Kitazawa, and S. Yamamoto: Micrometeoroid and space debris impacts on the Space Flyer Unit and hypervelocity impact calibration of its materials, Proc. Second European Conf. on Space Debris, ESA-SP-393, 177-182, (1997).
- 24) M. J. Neish, H. Yano, S. Kibe, S. P. Deshpande, Y. Kitazawa, and S. Yamamoto: Hypervelocity impact damage to Space Flyer Unit multi-layer insulation, Proc. Int'l Symp. on Materials in Space Environment, Toulouse, France, (1997).
- 25) M. J. Neish, S. Kibe, H. Yano and Y. Kitazawa: Impact calibration of SFU surfaces, 第 17 回衝撃波シンポジウム講演論文集, 衝撃波研究会・文部省宇宙科学研究所・東北大学流体力学研究所, p233-236, (1997).
- 26) 北澤幸人, 今川吉郎, 藤原顯, 岡田豊; MFD 材料曝露実験用ダストコレクタの開発; 第 17 回衝撃波シンポジウム講演論文集, 衝撃波研究会・文部省宇宙科学研究所・東北大学流体力学研究所, (1997).
- 27) H. Yoshida, H. Hoshi, K. Uematsu and Y. Kitazawa; A single, small particle launch system by electrothermal gun and microsabat, Review of Scientific Instruments Vol. 68, No. 1, Part 1, 178-183, (1997).
- 28) Y. Kitazawa, K. Imagawa, A. Fujiwara, H. Yoshida, K. Fusegi; Preliminary Study on Development of Dust Collector Using Low Density Material, 20th International Symposium on Space Technology and Science (Abstract), (1996).
- 29) 北澤幸人, 上松和夫; 微小デブリの衝突試験技術と計測技術, 平成 6 年度衝撃波シンポジウム 講演集, 衝撃波研究会・文部省宇宙科学研究所・東北大学流体力学研究所, (1995).
- 30) 北澤幸人; 宇宙ステーション軌道上での微小デブリ計測の検討 第 11 回宇宙ステーション講演会講演集, p73-74, (1995).
- 31) Y. Kitazawa, A. Fujiwara, H. Yoshida, and K. Uematsu; Preliminary Study of Dust Impact onto Low Density Material International Astronomical Union (150th Colloquium) (Abstract), (1995).
- 32) 北澤幸人, 今川吉郎, 藤原顯, 岡田豊; 低密度物質を用いたダストコレクターの開発, 日本惑星科学会, 秋季講演会講演集, (1995)
- 33) 北澤幸人, 上松和夫; 微小デブリの衝突試験技術と計測技術, 石川島播磨技報 Vol. 35, No. 2, 143-149, (1995).
- 34) 北澤幸人; 微小デブリ観測/捕獲一体型計測器の検討, 第 38 回宇宙科学技術連合講演会講演集, (1994)
- 35) 北澤幸人, 上松和夫, 吉田博夫; MLI への微小デブリ衝突試験, 第 38 回宇宙科学技術連合講演会講演集, (1994)
- 36) 上松和夫, 吉田博夫, 北澤幸人, ; ET ガンを用いた微小デブリ衝突試験, 第 37 回宇宙科学技術連合講演会講演集, (1993).
- 37) 航空宇宙学会編: スペース・デブリ研究会報告書 (刊行物), 日本航空宇宙学会, (1993).
- 38) 木元健一, 森初男, 佐藤恵一, 北澤幸人, 三好孝一; デブリ観測/捕獲実験衛星の概念検討, 将来の宇宙活動ワークショップ/月面基地ワークショップ 92, (1992).