

外部汚染管理技術 WG 活動報告 FY2008

NIMS 木村秀夫、土佐正弘、小澤清、島村清史、JAXA 佐々木進、長崎大 古川睦久、小椎尾謙
SED 浦山文隆、武田直道、小泉勉、島袋翼

Activity Report of External Contamination Management Technology WG FY2008

Hideo Kimura^{*1}, Masahiro Tosa^{*1}, Kiyoshi Ozawa^{*1}, Kiyoshi Shimamura^{*1}, Susumu Sasaki^{*2},
Mutsuhisa Furukawa^{*3}, Ken Kojio^{*3}, Fumitaka Urayama^{*4}, Naomichi Takeda^{*4}, Tsutomu Koizumi^{*4}
and Tasku Shimabukuro^{*4}

^{*1} National Institute for Materials Science, Sengen, Tsukuba, Ibaraki 305-0047

^{*2} Japan Aerospace Exploration Agency, Yoshinodai, Sagami-hara, Kanagawa 229-8510

^{*3} Nagasaki University, Bunkyo-machi, Nagasaki, Nagasaki 852-8521

^{*4} Space Engineering Development, Nakano, Nakano, Tokyo 164-0001

E-Mail: kimura.hideo@nims.go.jp

Abstract: Organic molecular contaminants, induced by spacecraft material outgassing and thruster firing, accumulate onto the critical surfaces such as the thermal control systems and the optics, and can degrade their thermo-optical performances. We focus on photocatalyst of semiconductor crystal which has a potential to decontaminate the organics under ultraviolet irradiation condition in space.

Key words; External contamination, Particle contaminants, Molecular contaminants, Photocatalyst

平成 16 年度から、物質・材料研究機構（NIMS）宇宙技術開発（SED）、長崎大学、宇宙航空研究開発機構（JAXA）との間で「外部汚染」をキーワードに勉強会を開催してきた。この勉強会を発展させ、平成 18 年度に研究班 WG としての活動を開始した。本年度は 3 年目である。前年度と比べ、メンバー 1 名の追加、1 名の交代があった。

WG 名：外部汚染管理技術 WG

実施期間：平成 18 年度～

メンバー：木村秀夫、小澤清、土佐正弘、島村清史（NIMS）、佐々木進（JAXA）、古川睦久、小椎尾謙（長崎大学）、浦山文隆、武田直道、小泉勉、島袋翼（SED）

【WG の目的】

近年の観測機器等の高度化に伴い、宇宙機起源のアウトガス、スラスタプルーム等による宇宙機周辺またはこれら機器表面の汚染が重要な技術課題として認識されつつある。しかしながら、米国では NASA/MSFC による SEE (Space Environments and Effects) 計画の中で WG (Neutral External Contamination Working Group) が設置され解析ツールやデータベースの整備が推進されているが、日本国内ではミッション毎に個別に関連研究が進められてはいるものの、体系的に取り組む枠組みは未整備な状況にある。本 WG は、このような日本国内の状況に鑑み、宇宙機外部の汚染管理に係る知見・成果の共有と技術の体系化を図り、将来の関連研究の核として発展させることを目的に設置された。

当面のターゲットは、地球低軌道にある国際宇宙ステーション・人工衛星の外部汚染評価技術および外部汚染防止技術の開発であり、会合を重ねながら実験研究を推進している。

【WG の活動内容】

宇宙機外部の汚染管理に関しては、宇宙機から放出される汚染粒子の発生・輸送プロセスの理解、宇宙環境下における汚染分子の宇宙機外部表面への付着と宇宙機周辺の浮遊に関する定量的評価、外部汚染の熱光学的影響に関する定量的評価と緩和・防止、汚染管理に必要な材料データの取得とデータベース化等、様々な観点からの技術課題がある。例えば、JAXA/SED による真空・無重量環境下での汚染分子放出・輸送・付着に関する数学モデルの開発・検証と汚染分子付着に関する解析評価技術の開発、JAXA/JAMSS によるアウトガスデータ取得、NAOJ/Swales による SOLAR-B/OTA に関する汚染付着の定量的評価、更に WG 活動と関連して NIMS/長崎大学/JAXA による汚染防止技術研究の取り組みがなされており（JSF 公募研究；池谷科学技術振興財団助成研究）、これらを通して貴重な知見が蓄積されつつある。しかしながら、近年になって関連研究者・技術者間の交流が局所的には行われているが、知見を共有し相互に意見交換を行う共通の枠組みがないため、その活動は限定的であり、体系的・網羅的に関連研究を進める状況には未だ至っていない。本 WG では国内・国際ワークショップの開催により現在技術のスタ

一ト地点を見つめ直すとともに、世界中から広くこの分野に関連する研究者・技術者を結集し、交流を深めている。平成 20 年度には、宇宙ステーション・小型人工衛星での外部汚染管理技術実証実験を目指し、以下の活動を進めている。

- ① 汚染管理技術体系化と技術課題の整理を行い、宇宙環境用光触媒を開発するとともに、宇宙実証実験を目指して地上予備実験を実施する。
- ② 国際ワークショップを開催して関連研究者・技術者との交流を図り、WG の拡充と今後の WG 活動計画の策定を進め、地上技術へのスピノフ・地上汚染技術の活用を目指す。

【平成 20 年度の WG 活動成果概要】

(1) 真空用光触媒開発のための添加効果

地上での光触媒としてはアナターゼ型 TiO_2 が一般的である。我々もこれを出発点とし、アナターゼ型 TiO_2 が宇宙環境を模擬した真空環境においても、シロキサン、オレアミド等の宇宙機で汚染源となる有機物の分解に有効であることを明らかにしてきた。しかし、 TiO_2 には酸素欠損が発生しやすく、真空環境での UV 照射により着色する傾向がある。そこで宇宙用光触媒としては、酸素欠損の発生を抑制する必要がある、我々は酸素の移動を抑制するため、Ti と異なるイオン半径を持つ元素 (Nb) の添加を考えた。

図 1 には、薄膜成膜法として一般的な PLD (Pulsed Laser Ablation) 法により石英ガラス (SiO_2) 基板に成膜した Nb 添加 TiO_2 の X 線回折パターンを示す。成膜は、酸素欠損を発生しやすくするため、窒素雰囲気、室温で行った。成膜後はアモルファスであるが、 500°C での熱処理により容易にアナターゼ型 TiO_2 結晶に変化する。

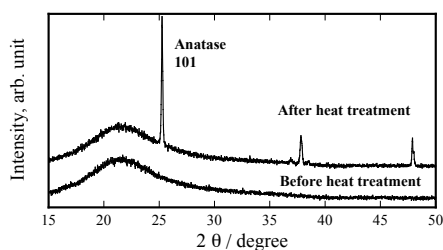


図 1 熱処理前後の X 線回折パターン

図 2 には、Nb 添加量を変えた試料の透過率を示すが、Nb 量が増えるにつれ、透過率が改善し、酸素欠損発生が抑制されることがわかる。酸素欠損発生を抑制したアナターゼ型 TiO_2 結晶にお

いても、光触媒効果の発現を確認している。

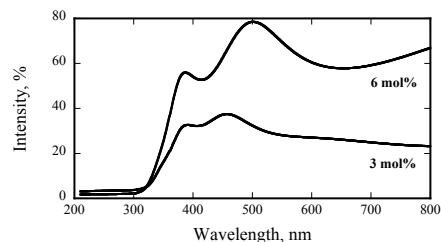


図 2 透過率の Nb 量依存性。

(2) 光触媒候補酸化物による重量減少

複数の光触媒候補粒子を用いて、真空中で光触媒粒子と炭化水素の混合物に UV を照射し、実験前後のサンプルの重量変化を求めた。光触媒には日本アエロジル製の酸化チタン TiO_2 超微粒子 P25 (平均一次粒径 21 nm)、市販の TiO_2 、 ZnO 、 SnO_2 、 MoO_3 、 V_2O_5 粒子を用いた。 SrTiO_3 粒子については、 TiO_2 粒子と SrCO_3 粒子を混合し、 500°C で熱処理を行った。炭化水素には脂肪族飽和炭化水素のスクアラン $\text{C}_{30}\text{H}_{62}$ (MW 422、標準状態で液体) を用いた。真空中 ($10^{-4} \sim 10^{-2}$ Pa) で UV を供試体に照射し、その前後の供試体の重量測定を行った。

図 3 には、各光触媒候補粒子とスクアラン混合物の重量減少率を示すが、いずれも光触媒効果を発現することがわかる。

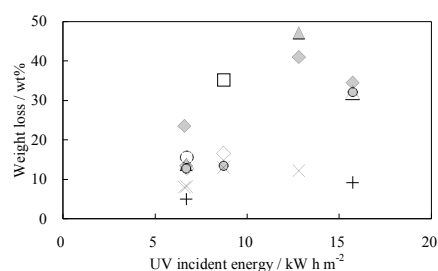


図 3 スクアラン混合物の重量減少率。◆P25
◇ TiO_2 ▲ SrTiO_3 △ SnO_2 ● ZnO ○ MoO_3
□ V_2O_5 × SiO_2 +None。

図 4 には、光触媒粒子の単位重量当たりのスクアラン混合物の重量減少を示す。P25、 ZnO 混合物の重量減少は UV 照射時間に対し線形的に大きくなった。この現象は、以前に実験対象とした不飽和炭化水素のスクアレン $\text{C}_{30}\text{H}_{50}$ (MW 411、標準状態で液体) の場合と同様であり、少なくとも 9 日間程度では、光触媒による重量減少効果が 10^{-4} Pa の真空中でも持続していると言える。一方、陽イオン半径の比較的小さい V_2O_5 、 MoO_3 は真空中 UV 照射後に変色した。

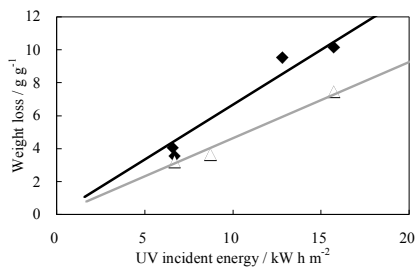


図4 光触媒の単位重量当たりのスクアラン混合物の重量減少。◆P25 △ZnO。

【平成20年度WG会合】

(1) 平成20年度第1回会合

日時：平成20年7月17日(木) 10:30~16:50

場所：つくば国際会議場エポカル小会議室 405A

内容：第2回コンタミネーション管理技術国際WS

- (1) Opening: H. Kimura (NIMS)
- (2) Importance of contamination control for the International Space Station
C. Soares (Boeing)
- (3) Contamination monitoring activity for the GOSAT flight model and the close environment T. Urabe (JAXA)
- (4) A study on numerical analysis and prevention for polymer outgassed contaminant deposition in space F. Urayama (SED, NIMS)
- (5) Cleaning technology on ground
T. Tsunoda (Bunka Women's Univ.)
- (6) Molecular contamination technology on ground T. Yoshiike (SCAS)
- (7) Particle reduction in semiconductor manufacturing equipment T. Moriya (TEL)
- (8) External contamination management working group activity in Japan H. Kimura (NIMS)

(2) 平成20年度第2回会合

日時：平成21年2月開催予定

場所：物質・材料研究機構

内容：平成20年度活動報告と平成21年度計画

- (1) 宇宙用光触媒の開発 (木村)
- (2) 宇宙環境光触媒性能実証試験の準備 (浦山)
- (3) 平成21年度の活動計画 (木村)

【関連する外部資金による活動】

(1) 池谷科学技術振興財団研究助成金

課題名：宇宙環境で使用可能な欠陥形成抑制型光触媒の開発

実施期間：平成20年4月~平成21年3月

【平成20年度の外部資金への応募】

- (1) 科学研究費新学術領域研究(研究課題提案型)：地球周辺宇宙環境保全のためのコンタミネーション管理技術の開発：不採択
- (2) 科学技術振興機構シーズ発掘試験：真空環境用光触媒の耐宇宙環境性能試験：不採択
- (3) 次期宇宙科学プロジェクト提案：発展的な宇宙大型インフラストラクチャへの適用を目指したコンタミネーション管理技術の宇宙実証：応募中

【関連する平成20年度の発表】

- (1) 木村秀夫、浦山文隆：宇宙用観測機器のコンタミネーション管理技術-地上対策と軌道上対策-、クリーンテクノロジー 18(2008) p. 61.
- (2) H. Kimura, R. Tanahashi, M. Tosa, K. Ozawa, F. Urayama: Synthesis of TiO₂ Photo Catalysis Films on A2024 Alloy for Astronautics Applications by Sol-Gel Method, J. Jpn. Soc. Microgravity Appl. 25 (2008) p. 453.
- (3) F. Urayama, M. Furukawa, K. Ozawa, M. Tosa, H. Kimura: Photochemical Effects on Optical Properties of Molecular Contaminants, J. Jpn. Soc. Microgravity Appl. 25(2008) p. 473.
- (4) 浦山文隆、矢野敬一、山中理代、宮崎英治、木本雄吾：「ひので」可視光磁場望遠鏡におけるコンタミネーション評価、日本航空宇宙学会論文集 56(2008) p. 543.
- (5) 浦山文隆、坂東貴政、鹿野良平、原弘久、成影典之、坂尾太郎：「ひので」X線望遠鏡のコンタミネーション評価、日本航空宇宙学会論文集 56(2008) p. 536.
- (6) 浦山文隆、坂東貴政、鹿野良平、原弘久、成影典之、坂尾太郎：「ひので」X線望遠鏡のコンタミネーション状況、第52回宇宙科学技術連合講演会講演集、No. 3H08 (2008) p. 2195.
- (7) 浦山文隆、土佐正弘、小澤清、木村秀夫、古川睦久：真空中紫外線照射下での光触媒の防汚効果に関する実験、第52回宇宙科学技術連合講演会講演集、No. 3H13 (2008) p. 2222.
- (8) 浦山文隆、土佐正弘、小澤清、木村秀夫、古川睦久：真空環境下での紫外線照射による光触媒粒子と炭化水素混合物の重量変化、日本電子材料技術協会第45回秋期講演大会 No. A7 (11月、2008)。