マテリアル先端リサーチインフラ利用報告書
ARIM User's Report

【Release：2025.06.10】　【Update：2025.05.07】

課題データ / Project Data

課題番号 Project Issue Number	24AT5034
利用課題名 Title	地球外有機物模擬物質の低温領域における固着力測定（複数の有機物測定）
利用した実施機関 Support Institute	産業技術総合研究所 / AIST
機関外・機関内の利用 External or Internal Use	外部利用/External Use
ARIM半導体基盤PF 関連課題 Related to ARIM-SETI	指定なし / No Designation
横断技術領域 Cross-Technology Area	計測・分析/Advanced Characterization
重要技術領域 Important Technology Area	次世代ナノスケールマテリアル/Next-generation nanoscale materials 次世代バイオマテリアル/Next-generation biomaterials
キーワード Keywords	ナノ粒子/ Nanoparticles,電子顕微鏡/ Electronic microscope,ナノシート/ Nanosheet,バイオアダプティブ材料/ Bioadaptive materials,原子層薄膜/ Atomic layer thin film,走査プローブ顕微鏡/ Scanning probe microscope

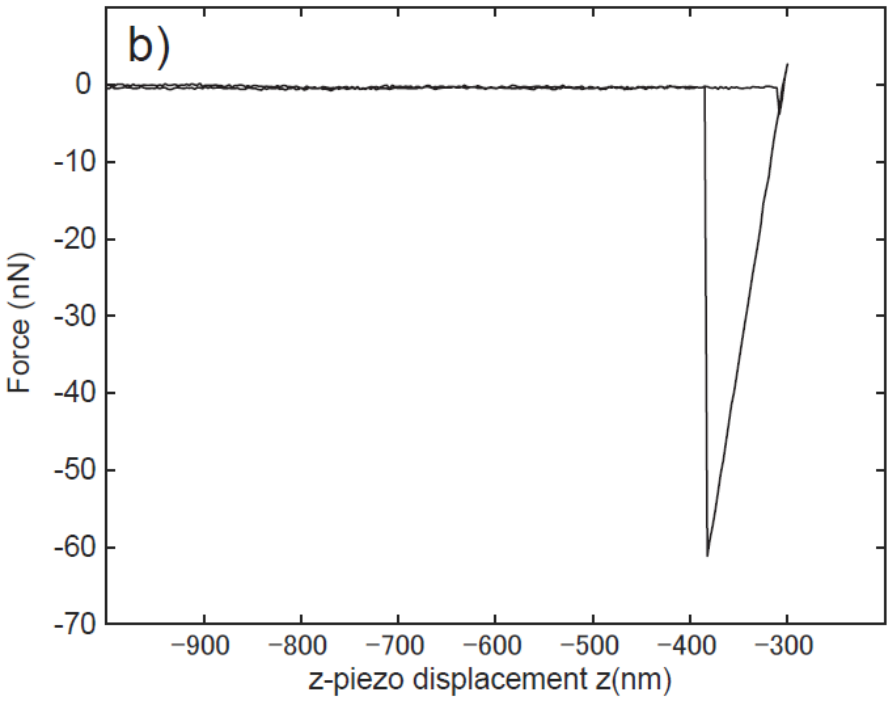
利用者と利用形態 / User and Support Type

利用者名（課題申請者） User Name (Project Applicant)	平井 英人
所属名 Affiliation	東京科学大学 地球生命研究所 関根研究室
共同利用者氏名 Names of Collaborators Excluding Supporters in the Hub and Spoke Institutes	
ARIM実施機関支援担当者 Names of Supporters in the Hub and Spoke Institutes	井藤浩志,斎藤武範
利用形態 Support Type	技術補助/Technical Assistance

利用した主な設備 / Equipment Used in This Project

利用した主な設備 Equipment ID & Name	AT-504：リアル表面プローブ顕微鏡(RSPM)

報告書データ / Report

概要（目的・用途・実施内容） Abstract (Aim, Use Applications and Contents)	地球外有機物の固着特性を明らかにすることは、惑星科学にとって重要な課題である。この知見によって、還元的な大気を持つ天体の大気–表層における有機物進化や、原始惑星系円盤における惑星材料物質の合体成長過程といった謎の解明に繋がることが期待される。本研究では、環境制御型原子間力顕微鏡を用いて、原始惑星系円盤中の異なる化学プロセスで形成されうる有機物について、それぞれの模擬物質の固着特性を明らかにする。得られた物性値を元に、原始惑星系円盤中のダストの合体成長が、それらを覆う有機物によってどの程度促進されうるかを評価することを目的とする。
実験 Experimental	原始惑星系円盤の表面領域における光化学反応によって生成されうる有機物の模擬物質（円盤有機物）を、先行研究（e.g., Hirai et al. 2023）と同様の手法を用いて、水素、一酸化炭素、窒素、メタンの混合ガスに低温プラズマ照射を行うことで作成した。また、氷微惑星内部の熱水反応で形成されうる有機物（熱水有機物）を、ホルムアルデヒド、グリコールアルデヒド、アンモニアの混合溶液を加熱することで作成した。 固着力測定実験は、（１）300–117 Kの温度範囲における円盤有機物間のフォースカーブ測定、及び（２）300–117 Kの温度範囲における熱水有機物間のフォースカーブ測定を行った。各実験条件で、2–5点の測定点に対し、3–10回の測定を行った。また、フォースカーブ測定の前後で、カンチレバーの減衰率Qと共振周波数f_rを測定し、ばね定数を決定した(Sader et al. 1999)。測定後のカンチレバーの先端を、電解放出型電子顕微鏡を用いて観察し、有機物同士の接触径を推定した。得られた固着力と接触径に対し、DMTモデル(Derjaguin et al., 1975)を適用することで、各温度における表面エネルギーを推定した。
結果と考察 Results and Discussion	課題番号24AT5019で計測を行ったタイタンの大気で生成されうる有機物の模擬物質（タイタンソリン）と同様に、低温プラズマ照射で作成した円盤有機物は、温度の低下に伴い、固着力および表面エネルギーがアレニウスの式に従って低下することが示された。一方で、熱水反応で作成された熱水有機物は、温度の低下に伴い、固着力および表面エネルギーが増加することが示された。これらの違いは、有機物の固着力の温度依存性は、有機物が生成した化学プロセスに依存する可能性があることを示す。得られた固着力及び表面エネルギーの温度依存性を考慮すると、原始惑星系円盤中のダストが光化学反応で生成された有機物で覆われていた場合、従来考えられてきたように、高温の円盤内側領域ほど合体成長が促進される可能性を示唆する。一方で、ダストが熱水反応で生成された有機物で覆われていた場合、高温の円盤内側領域ほど合体成長が抑制される可能性を示唆する。
図・表・数式 1 Figures, Tables and Equations 1	 熱水有機物間の固着力測定で計測された典型的なフォースカーブ

その他・特記事項（参考文献・謝辞等） Remarks(References and Acknowledgements)	本研究は、産業技術総合研究所 分析計測標準研究部門の井藤浩志氏と斎藤武範氏のご支援の下行った。 【参考文献】Hirai, E., Sekine, Y., Zhang, N., Noda, N., Tan, S., Takahashi, Y., Kagi, H., 2023. Rapid Aggregation and Dissolution of Organic Aerosols in Liquid Methane on Titan. *Geophysical Research Letters 50*, e2023GL103015. https://doi.org/10.1029/2023GL103015Sader, J., Chon, J., Mulvaney, P., 1999. Calibration of rectangular atomic force microscope cantilevers. *Review of Scientific Instruments 70*, 3967–3969. https://doi.org/10.1063/1.1150021 Derjaguin, B.V., Muller, V.M., Toporov, Y.P., 1975. Effect of contact deformations on the adhesion of particles. *J. Colloid Interface Sci. 53*, 314–326. https://doi.org/10.1016/0021-9797(75)90018-1

成果発表・成果利用 / Publication and Patents

DOI（論文・プロシーディング） DOI (Publication and Proceedings)	
口頭発表、ポスター発表および、その他の論文[1] Oral Presentations etc.	平井英人、関根康人、筒井智嗣、肥後祐司、井藤浩志、定金裕朔、安井勇気、伊藤万喜子、中嶋健、杉本宜昭、粕谷素洋、奥住聡、丹秀也、落合葉子、Yamei Li、鍵裕之 "原始惑星系円盤における有機物の固着特性の化学構造・温度依存性", 第７１回日本地球化学会年会、2024年09月19日、石川
口頭発表、ポスター発表および、その他の論文[2] Oral Presentations etc.	平井英人, 関根康人, 筒井智嗣, 肥後祐司, 井藤浩志, 中嶋 健, 奥住聡, 安井勇気, 伊藤万喜子, 杉本宜昭, 辻健, 川村 太一, 小野寺圭祐, 田中智, 粕谷素洋, 斎藤武範、"タイタン上の有機物の表面エネルギーと弾性に関する実験的研究", 惑星圏シン ポジウム２０２５ (招待講演)、 2025年3月3日、 宮城（仙台）
特許出願件数 Number of Patent Applications	0件
特許登録件数 Number of Registered Patents	0件