

ソーラー電力セイル小型実証機搭載 PVDF ダストセンサにおける固体微粒子衝突の校正実験

Ground calibration impact experiments on arrayed large-area dust detector for interplanetary space onboard IKAROS

岡本 千里^{1*}, 矢野 創¹, 田中 真², 平井 隆之³, 長谷川 直¹, 田端 誠¹, 尾川 順子¹, 岩井 岳夫⁴, 奥平 恭子⁵

Chisato Okamoto^{1*}, YANO, Hajime¹, TANAKA, Makoto², HIRAI, Takayuki³, HASEGAWA, Sunao¹, TABATA, Makoto¹, OGAWA, Junko¹, IWAI, Takeo⁴, OKUDAIRA, Kyoko⁵

¹ 宇宙航空研究開発機構, ² 東海大学, ³ 総合研究大学院大学, ⁴ 東京大学, ⁵ 会津大学

¹Japan Aerospace Exploration Agency, ²Tokai University, ³The Graduate University for Advanced Studies, ⁴Tokyo University,

⁵The University of Aizu

半世紀にわたり太陽系探査が行われてきたが、太陽に近いために地上光学観測が困難であること、さらに探査機による直接観測・検出の機会が十分得られてこなかったために、今なお内惑星系太陽系ダストの分布モデルは不十分である。そこで、ソーラー電力セイル小型実証機「IKAROS」に搭載されたダストセンサである ALADDIN は、センサへの宇宙塵衝突の連続計測から、内惑星領域の太陽系ダストの分布を解明することを目的とし、ミッション期間の大部分を深宇宙空間のクルージングに費やす探査機に搭載された。2010年5月の打ち上げ以降、ALADDIN によって、地球公転軌道から金星近傍までのダスト連続計測が行われ、内惑星領域の太陽系ダストの分布の計測が行われている。ダストセンサは、PVDF(ポリフッ化ビニルデン)を使った軽量・薄型・大面積の計測器 (ALDN-S) であり、総面積 200 m² のセイル膜面上の一部 (0.3%) に搭載された。さらにそれらのセンサからの衝突信号をまとめて処理する電子回路部 (ALDN-E) をフレキシブルケーブルでつなぎ、その処理後信号を通信部に送るという構成である。ALADDIN の技術開発目的は、将来の外惑星探査ミッションに活用する予定の大面積ダスト検出器の深宇宙での実証および、1~0.7 AU におけるクルージング期間で、過去実績よりも同一観測期間内で一桁以上多いダスト衝突を検出し、大型ダストのフラックス精度、時間・空間分解能を向上させ、内惑星領域における、ダスト分布の日心距離依存性を評価することである。

ALADDIN が出す実宇宙計測データを評価するために、様々な質量と速度におけるダスト衝突について、IKAROS に搭載されたセンサの同等品 (フライトスペア) を用いた校正衝突実験が必要である。そこで、本研究では、様々な衝突条件における固体微粒子衝突をフライトモデルと同一品である PVDF センサに行い、衝突によるセンサ検出強度・感度を調べた。衝突実験では、ALDN-S の二種の PVDF センサ (500mm x 250mm x 20 ミクロン厚と 100mm x 80mm x 9 ミクロン厚) のフライトスペアを標的として、JAXA に設置された 2 段式軽ガス銃を用いて、直径 100~330 ミクロンのガラスビーズおよび金属球 (アルミ, SUS, タングステン) のショットガンないしシングルショットの超高速衝突実験を行った。PVDF センサは IKAROS の膜面上と同様に 8CH 搭載されている状態を模擬するため、衝突が起こる標的用センサの他にもダミーセンサ 7 枚を同条件で真空チャンバ内に配置した。衝突速度範囲は 3.6 - 6.6 km/s、衝突角度は正面衝突とし、真空度は 30Pa 以下とする。計測にはフライトモデルと同一ロットの回路部品から制作された ALDN-S フライトスペアを用いた。本スペアを使用することで、宇宙機に搭載されたセンサとの詳細な比較を行うことができる。実験コンフィギュレーションとして、PVDF センサの信号線を真空導入端子を介し、真空チャンバの外に出して、衝突で発生する微小電荷を内部アンプで増幅、電圧値へ変換したのち、衝突時刻、衝突信号強度ピーク値、信号減衰時間を記録した。衝突によるダスト信号のパルス幅は 10 μ s ~ 30 μ s、発生電位 V は数 V であった。実験ではダスト衝突の PVDF 上での衝突位置に対する依存性は見られなかった。さらに、これらの衝突実験後の PVDF の性能評価を行うため、センサ上のクレータ観察を行ったところ、衝突による PVDF センサの機能消失は起こっていないことが分かった。具体的には、センサ両面の導通によるセンサ機能の消失が起こるかを検証したところ、今回行った実験すべてで衝突前後ともに PVDF センサの静電容量はほぼ変化しないことを確認した。つまり、より小さなダストが卓越している宇宙空間でも、ダスト衝突によるセンサ機能の消失が起こる可能性が低いと考えられた。