

超高速衝突における発光及び電波発生に関する基礎実験

Basic Experiment on Light Emission and RF Radiation Caused by Hypervelocity Impact

田中 孝治(JAXA), 山岸 稜也(東理大), 中村 剛也(東理大), 山神 達也(総研大)
関谷 直樹(法大), 岸田 祐輔(法大), 阿久津 壮希(東理大), 太田 大智(東理大)
相馬 央令子(JAXA)

1. はじめに

超高速で衛星軌道上を飛翔する宇宙デブリの存在は、宇宙環境利用にとって問題となっており、削減のための取り組みも拡大している。従来、大きなデブリは、地上からの観測で軌道を確定し、衛星は運用により回避するような対策も取られている。しかし、太陽発電衛星 (SPS) のような超大型の宇宙構造物は、デブリの回避運用は非現実的である。

超高速で飛翔するデブリが宇宙機と衝突した際、甚大な物理的破壊が発生する。そのため、衝突による破壊を防ぐためのバンパの開発の取り組みが多く行われている。デブリバンパは、質量リソースの観点から、SPS のような超軽量が要求される超大型宇宙機には搭載は難しい。また、超高速デブリ衝突現象では、物理的破壊以外に、プラズマ発生や電磁波放射、衛星電位変動などの電氣的現象が発生する。

我々は、超高速衝突において発生するプラズマや電波放射など電氣的な現象に関して研究を行ってきた。衝突プラズマは、薄板構造物に衝突した際、10km/s 以上の速度で、表面に沿って伝搬する現象を見出している[1]。太陽電池面に衝突した際、宇宙空間に電位が露出しているインターコネクタとプラズマの相互作用により電力の損失や放電の発生が懸念される。電波放射に関しては、衝突により発生する電磁波計測により、衝突位置の特定や衝突規模の推定の可能性があり、SPS などのよう

な超大型宇宙機には、重要な技術となる。電波放射に関して、衝突発光と比較すると、時間的遅れが生じていることを観測している。また、電波の持続時間に関しても、数ミリ秒～10 ミリ秒以上の長時間にわたって電波放射があることも確認している。これら二つの現象は、電磁波発生と伝搬のメカニズムの推定に関して関連する重要な現象であり、今後の応用にとっても重要な知見である。本論文では、これら現象の観測のための手法に関して述べる。

2. 材料の硬度と破壊の規模に関して

超高速衝突が発生した際、ターゲットにはクレーターが生じる。厚板ターゲットに生じるクレーターの深さは(1)式で推定できる。[2]この式は経験則に基づくが、ターゲットの硬度がパラメータの一つである。

$$p_{\infty} = 5.24H^{-1/4} \left(\frac{\rho_p}{\rho_t} \right)^{\alpha} \left(\frac{v_n}{C} \right)^{2/3} d^{19/18} \quad (1)$$

この時、 d は飛翔体の直径(cm)、 H はブリネル硬さ、 ρ_p は飛翔体の密度(g/cm³)、 ρ_t はターゲットの密度(g/cm³)、 v_n は衝突速度(km/s)、 C (km/s)はターゲット材料内の音速である。クレーターの体積が大きくなれば、衝突で発生するイジェクター量も増え、発生するプラズマ量も増加する。クレーターの体積が増えれば、ターゲットの破壊の領域も

増え、電磁波発生に寄与する現象も大きくなると考える。我々は、この材料の硬度に注目して研究を行っている。

3. 実験装置

図1に示すように、デブリ衝突を模擬するため、JAXA 宇宙科学研究所の二段式軽ガス銃を使用し衝突実験を行った。飛翔体には、プラスチックの場合は、最大、直径7mmのナイロン球使用することができる。金属球の場合は、銃身の保護のためにサボを使用するため、直径3.2mmまでの金属球が使用可能である。アルミニウム、ステンレス、チタン球等を用いている。今年度は、直径7mmのナイロン球と直径3.2mmのアルミ球を使用した。速度は、最大約7km/sである。今年度は、標的には、数種類のアルミニウム合金を使用し、非貫通の条件で衝突実験を行なった。

我々の研究目的は、衝突による電磁波放射の研究であるため、その現象の観測として、高速度カメラ、フォトディテクタ、電波計測、プラズマ計測を同時に行うことを特徴としている。電波計測のために、アクリル製の衝突チャンバを用いて実験を行った。図2にアクリルチャンバや計測用アンテナ、フォトディテクタを示す。アクリルチャンバが超高速衝突により生じる二次デブリとの衝突による劣化を考慮して、チャンバー内に防護板を設置し、数ショット毎に取り替えることでチャンバーの堅牢化と透明度の確保を行なった。図3にターゲットとプラズマプローブを示す。プラズマプローブにはダブルプローブを採用し、直径6mm平板プローブを使用した。測定時、電極間に9.6Vの直流電圧を印加した。

フォトディテクタにより発光雲の計測を行い、発光の開始時間を衝突開始時間として定義し、各種計測装置の時間校正を実施した。また、発光雲の伝搬を二次元的に観測するため高速度カメラを用いた。

電波計測には、広帯域のログペリアンテナを使

用した。また、帯域8GHzのデジタルオシロスコープを使用し、その範囲において直接計測を行った。

4. 結果の概要

図4に、高速度カメラで撮影した発光雲の伝搬の様子を示す。フレーム間隔は1 μ 秒である。衝突点から半球状に発光雲が広がる様子がわかる。衝突から約5 μ 秒後にはプローブ1まで発光雲が到達している。図5にフォトディテクタで計測した発光雲の強度変化と電波の観測結果を示す。Aの領域に示すように、発光から数十 μ 秒後に電波が観測されている。また、Bの領域に示すように衝突から2ms以降後においても電波が観測された。図6にプラズマ計測の結果を示す。発光雲がプローブに到達した時刻に、プラズマプローブで観測が行われている。



図1 二段式軽ガス銃



図2 衝突実験用アクリルチャンバ

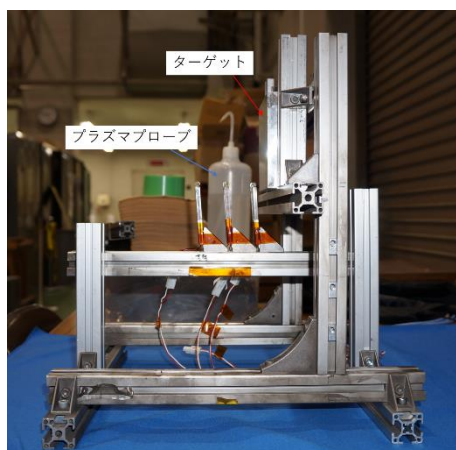


図3 ターゲットとプラズマプローブ

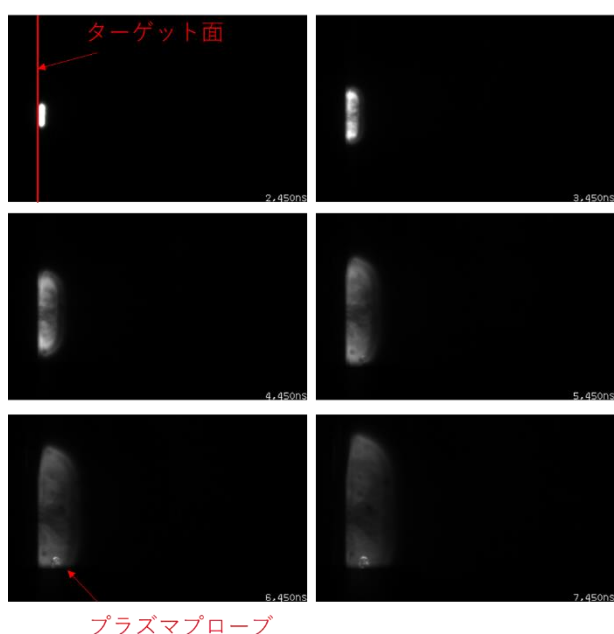


図4 発光雲の拡散の様子

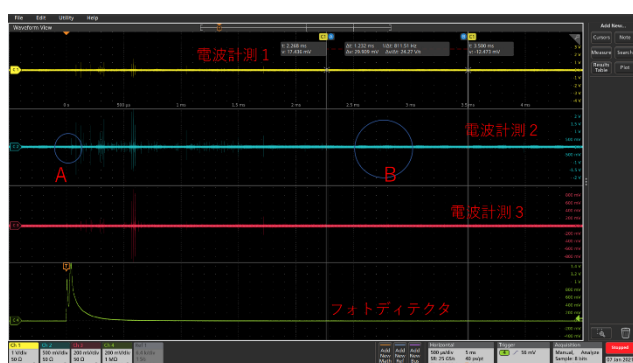


図5 電波計測とフォトディテクタ

5. まとめ

我々は、超高速衝突で発生する電磁波のメカニズム解明とその計測のための特性を明らかにするために、発光、プラズマ、電波の同時計測に取り組んでいる。電波の計測に関しては、衝突からのタイムラグがあり、また、プラズマ発生とその伝搬の時間に比べて、非常に長い時間にわたって、電波が観測されている。超高速衝突で発生する電波に関しては、大型宇宙機におけるデブリ衝突の検出、規模推定に将来有用であると考えている。その応用の実現には、現象の解明が重要であり、今後、定量的な検証も含む、基礎的研究が必要である。

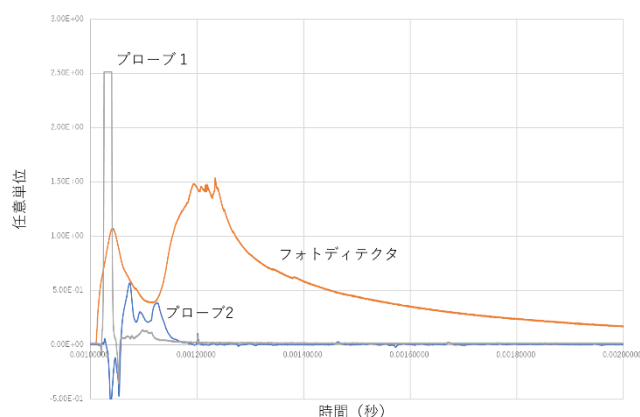


図6 プラズマ計測とフォトディテクタ

謝辞

本研究は、宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所超高速衝突実験共同利用施設の採択課題として実施しました。

6. 参考文献

- [1] 長岡洋一, 宇宙機の薄型パネル構造への超高速衝突における電氣的現象の研究, 総合研究大学院大学博士論文, 2012.
- [2] Cour-Palais, B.G. "Hypervelocity Impact Investigations and Meteoroid Shielding Experience Related to Apollo and Skylab. NASA Conference Publication 2360, Orbital Debris, pp.247-275, 1982. P. Glaser, Power from the Sun ; Its Future, Science, no.162, 1968.