

超高速衝突に伴う電氣的現象の研究

小林正和(東海大)、田中真(東海大)、

田中孝治(ISAS/JAXA)、牧謙一郎(ISAS/JAXA)、相馬央子(ISAS/JAXA)、佐々木進(ISAS/JAXA)

1. まえがき

微小隕石やスペースデブリは、宇宙機に超高速で衝突(相対速度で数 km/sec~数十 km/sec)する。デブリ衝突検出に関しては、レーダや光学望遠鏡を用いたものが知られている。レーダで確認できるスペースデブリの大きさは 10cm が限界であり、1cm 以上 10cm 未満のデブリへの対策が必要である。

我々は約 1cm の飛翔体を加速器で加速させ、超高速衝突において発生するマイクロ波の検出に成功した^[1]。この現象を応用し、すでにデブリ衝突を検出するシステムを提案している^[2]。これまで、ターゲットの材質や厚さの違いによりマイクロ波放射の程度が異なることを確認した。

本論文では、種々の素材の飛翔体やターゲットを用いて、衝突実験を行い3次的に配置したアンテナによって電波の広がり方を空間的に捉えた。飛翔体の運動エネルギーを同等として放射される電波の比較を行い、メカニズムの解明を目的とした。

2. 実験の構成

図 1 に、実験系全体の構成を示す。また、図 2 にアンテナの配置を示す。飛翔体の加速器には二段式軽ガス銃を用いる。ターゲットを設置するチャンバ内は真空に保たれている。ターゲットの素材はアルミ・銅・ガラスを使用し、飛翔体の素材にはナイロン・アルミ・ステンレス・チタンを用いた。アクリル製のチャンバを用いて、図 2 のように

アンテナを 3 次的に配置した。

アンテナの周波数は 5.8GHz を使い、計 8 つの受信系をターゲットの周りに配置した。図 3 に受信系の構成を示す。受信系はヘテロダイン方式を用いた受信システムを構成しており、受信感度を高めるために低雑音増幅器(LNA)を使用している。記録装置はサンプリング周波数 4GHz のデジタルオシロスコープを用いる。観測時間は 1msec である。

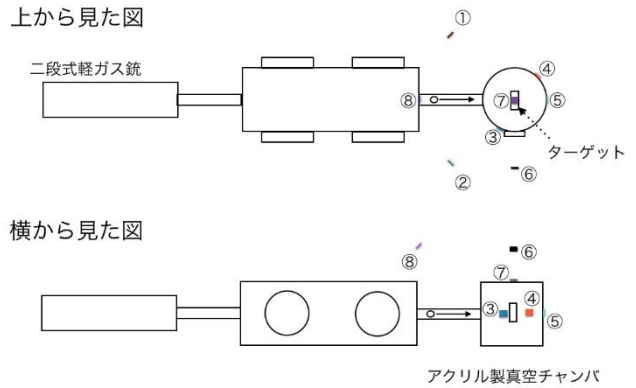
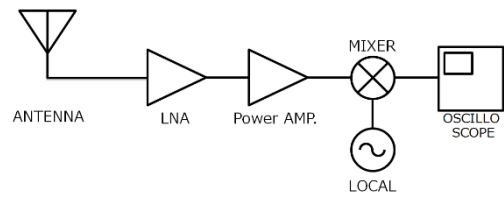


図 2 実験系全体の構成



(a) 5.8GHz band

図 3 受信系の構成

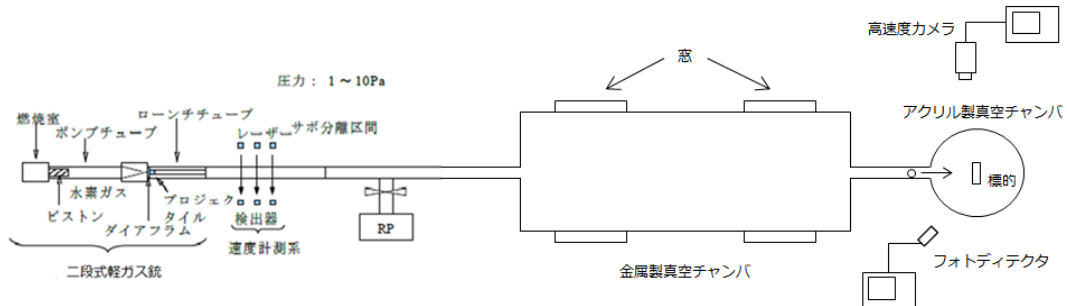


図 1 アクリル製チャンバを用いた受信系全体の構成

3. 実験結果

図4に自由空間損失・ケーブル損失・アンプゲインを校正した各アンテナ位置の受信波形を示す。図4に点線で示す、326.2 μ secに飛翔体が衝突したと推定される。衝突時刻の推定には、衝突時の発光をフォトディテクタで捉えたデータを使用している。ターゲットにはアルミニウムの厚み30mmの物を用い、飛翔体はナイロン ϕ 7mmで速度は6.83km/sである。図5にターゲットと飛翔体の材質の違いにおける最大電圧値の違いを示す。各ショットで運動エネルギーを同じとして計算している。

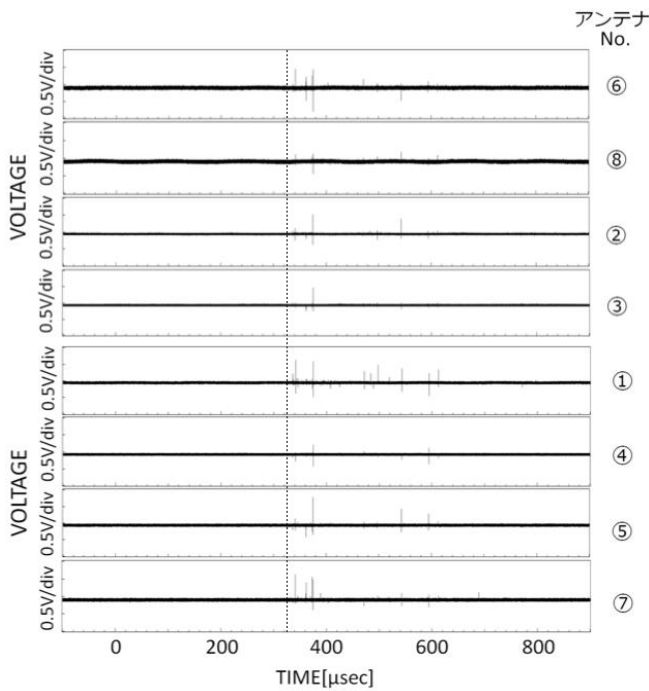


図4 飛翔体速度 6.83km/s における衝突時の波形

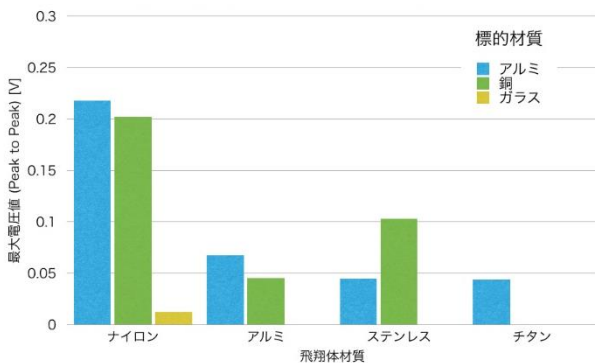


図5 標的と飛翔体の材質の違いにおける最大電圧値の差

4. 考察

今回、新たにアクリル製の真空チャンバで実験を行い、衝突時に放射される電波の空間的な広がりを解明した。図5より、プロジェクタイルの素材が金属よりもナイロンの場合の方が放射される電波が大きいことがわかった。ターゲットがガラスの場合においては、アルミニウムや銅といった金属材料に比べ、放射される電波が小さかった。

プロジェクタイルがナイロン球の場合、どのアンテナ位置においても同時刻に同程度の電波を受信した。プロジェクタイルが金属球の場合、アンテナ位置によって信号強度が異なる場合が多かった。これは、衝突後の飛翔体の飛散状況によって信号強度が変化している可能性がある。

5. 結論

本論文では、超高速衝突による電磁波放射のメカニズム解明を目的として、以下の結論を得た。

過去の研究では、金属製の真空チャンバを用いて放射される電波の計測を行っていた。また、22GHz・2GHz・300MHzと複数の周波数帯で計測を行っていたが、受信系は1セットずつで直線偏波のみで計測を行っていた。本研究では、真空チャンバを非金属であるアクリル製に変更し計測を行った。また受信系を最大8セット用い衝突点周りにアンテナを配置して超高速衝突によって放射される電波の空間的な広がりや電波の偏波に着目した。ターゲットがアルミニウム、プロジェクタイルがナイロンの場合において、どのアンテナ位置においても同時刻に同程度の電波を受信した。

また、以前は数 msec オーダーでしか判別できなかった衝突推定時刻を、フォトディテクタを用いることによって数百 nsec オーダーで衝突時刻を推定することが可能になった。必ず、衝突推定時刻よりも10 μ sec 以降に電波を受信し始めることが明らかになった。

今後は、非金属製のチャンバで実験を行い、偏波計測を行うことによって、破壊と電波の関係性を明らかにすることが期待できる。また、プラズマプローブによるプラズマ計測やターゲットの電位変動、シミュレーションや高速度

カメラによる内部破壊の様子を複合的に行いメカニズムの解明を目指す。

謝辞

研究は、宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所のスペースプラズマ共同利用設備の二段式軽ガス銃を用いて行われました。二段式軽ガス銃の運用において長谷川直氏、鈴木絢子氏、平井隆之氏に多大な助力を頂いて感謝しています。

参考文献

- [1] T. Takano, Y. Murotani, K. Maki, T. Toda, A. Fujiwara, S. Hasegawa, A. Yamori and H. Yano, Microwave emission due to hypervelocity impacts and its correlation with mechanical destruction, J. Appl. Phys., vol.92, no.9, pp.5550-5554, Nov. 2002.
- [2] 相馬央令子,石井健太郎,牧謙一郎,高野忠,矢守章,マイクロ波によるデブリ衝突検出系の検討,第47回宇宙科学技術連合講演会, 1E7, 2003.
- [3] K. Maki, E. Soma, M. Toshinai, T. Takano, A. Fujiwara, and A. Yamori, "Microwave Emission due to Hypervelocity Impacts and Its Dependence on Target Materials", Asia-Pacific Microwave Conference, vol. 2, Seoul, Korea, pp.587-590, Nov. 2003.