

## [1] 研究目的

宇宙空間では、ロケット打ち上げの際などに発生する大量の部品や役目を終えた人工衛星などが、大気圏に突入せずに超高速で地球を周回している(図1)。これらは宇宙ゴミ(デブリ)と呼ばれている。このデブリと人工衛星が衝突する時の平均速度は秒速10 kmであり、衝突により深刻な被害が生じる。2006年3月には、ロシアの通信衛星EXPRESS-AM11がデブリと衝突し、再起不能となった事故も報告されている。



図1. 地球を取り巻く宇宙ゴミ

現在、レーダなどで10 cm以上のサイズのデブリは検出・データベース化され、デブリの軌道を割り出すことで衝突を回避することが可能である。しかし、宇宙機構造材料が、深刻な被害を無しに受け止められるサイズのデブリは1 cmまでである。つまり、1 cm以上10 cm未満のデブリは、宇宙機に致命的な損傷を与える可能性があるにもかかわらず、衝突するまでその存在を検出することができない。しかも、デブリは宇宙開発の発展に伴い年々増加している。現在、この範囲のサイズのデブリは推定60万個に達しており、宇宙機に致命傷を与えるデブリ衝突が増加することは避けられない。そのため、今後の有人飛行において、デブリが宇宙機に衝突したことを早急に検出するシステムの開発が必要となる。

このデブリ衝突などの超高速衝突に伴い、衝突箇所における光放射やプラズマ発生などが報告されている。近年、我々は加速器を用いた地上実験で、超高速衝突においてマイクロ波が発生することを世界で初めて確認しており、この現象を用いてデブリ衝突の検出システムを提案した。

デブリの衝突検出において、最も重要なことは衝突したことを確認できることであり、加えて、衝突の早期発見が可能であること、常時検出が可能であること、位置特定が可能であること、破壊規模の特定が可能であることが挙げられる。本研究で提案するマイクロ波を用いたデブリ衝突検出手法は、前半の3つの項目をすでにクリアしている。まず、デブリ衝突したことは、衝突により放射されるマイクロ波を検出することで確認できる。次に、検出にかかる時間は、衝突後数十 $\mu\text{sec}$ でマイクロ波が放射されそれを検出するため、 $\mu\text{sec}$ オーダーで衝突を検出可能である。また、太陽光の影響を受けないため24時間デブリ衝突を検出可能である。そこで本研究では、デブリ衝突検出システムに必要な機能である、破壊規模とマイクロ波放射の関係を実験的に明らかにする。

## [2] 研究の内容・方法

超高速衝突時に発生するマイクロ波放射を用いた、宇宙機へのデブリ衝突検出システムの構築を行うためには、まず超高速衝突に伴うマイクロ波放射の特性を明らかにする必要がある。そこで、直径約1cmの飛翔体を1cmのデブリとみなし衝突実験を行い、その後で破壊規模とマイクロ波放射の関係について検討する。

図2に、超高速衝突により発生するマイクロ波を検出する地上実験系を示す。実験系を図2に示す。実験系は、加速装置(Accelerator)、真空チェンバ(Vacuum chamber)、トリガ装置(Triggering device)、マイクロ波受信アンテナ(Antennas)、受信機(Receiver)および記録装置で構成される。加速器から発射された飛翔体(projectile)は、真空チェンバ内を通り、チェンバ内に設置された標的(Target)に衝突する。標的の横にある1つのチェンバの窓の近傍に、マイクロ波受信アンテナを設置する。受信信号は受信機へ入力され、増幅・周波数変換された信号が記録装置へ入力される。

受信系は22GHz、2GHzの周波数帯を用いる。ヘテロダイン方式を採用し、受信感度を高めるために低雑音増幅器(LNA)を使用する。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。

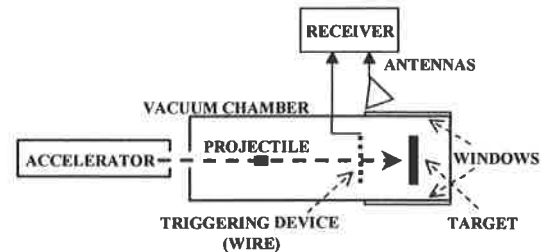


図2. 実験系

### [3] 結論・考察

#### 1. 実験環境および受信系の改善

観測に適した実験環境の整備とマイクロ波受信系の改善を行った。受信系の観測周波数 (RF) 帯域、中間周波数 (IF) 帯域、利得を表 1 に示す。較正実験を行うことにより、各受信機の入出力特性、周波数特性を明らかにした。

表 1. 受信系特性

周波数帯 [GHz]	RF 帯域 [GHz]	IF 帯域 [MHz]	利得 [dB]
22	22 - 23	0 - 500	83
2	1.85-2.25	0 - 120	54.15

#### 2. 超高速衝突実験結果

秒数 km まで飛行体を加速し、衝突に伴うマイクロ波放射の観測を行った。衝突後の標的写真および、マイクロ波観測波形の 1 例を図 3、4 に示す。図 3 は、衝突速度 6.9km/sec で厚さ 27mm のアルミ板に衝突させた際の標的で、完全に貫通している。図 4 はその時のマイクロ波観測波形である。全周波数帯で断続した強い信号が確認された。

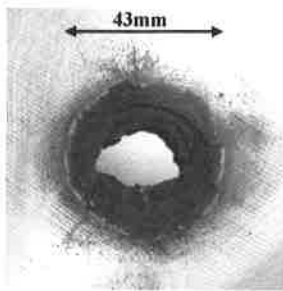


図 3. 衝突後の標的写真(Al,厚さ 27mm)

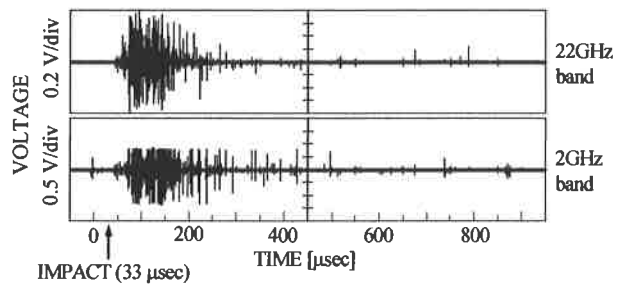


図 4. 衝突速度 6.9km/sec 時の観測波形(Al, 厚さ 27mm)

マイクロ波観測波形は各周波数帯で、断続的な極短パルスとして現われ、広帯域にわたり観測された。

#### 3. 宇宙デブリ衝突検出システムの検討(破壊規模とマイクロ波放射の関係)

複数の超高速衝突実験を行った結果、マイクロ波の放射電力は標的の破壊の規模に依存することを確認した。これより、国際宇宙ステーションのような宇宙機にデブリが衝突した際も、図4のような信号が検出され、その信号の大きさで破壊の大きさを推定することが可能である。

#### 4. 結論

本研究で提案する、超高速衝突時に発生するマイクロ波を用いたデブリ衝突検出システムについてまとめる。本研究では、マイクロ波によるデブリ衝突検出に必要な項目として、未検討であった「破壊規模とマイクロ波放射の関係」を明らかにすることを目標とした。衝突実験結果から、破壊規模が大きくなるとマイクロ波放射も大きくなることを明らかにした。以下に、超高速衝突時に発生するマイクロ波を用いたデブリ衝突検出システムの利点についてまとめる。

- (1) 昼夜問わず観測が可能
- (2) 大きさ 1cm 以上のデブリの衝突検出が可能
- (3) 観測範囲が広い
- (4) デブリ衝突位置特定が可能
- (5) 大型宇宙機においては小型・軽量のシステム

今後、有人による宇宙飛行が多く行われると予想される将来において、超高速衝突に伴うマイクロ波放射現象を用いたデブリ衝突検出システムは、人員を安全に軌道上で活動させることに大いに貢献できる。