

## 研究論文

## 3 km/s 以下における A6061-T6 板の PC および Al 球衝突貫通限界

柄澤秀親\*, 斎藤慎平\*\*, \*\*\*, 長命拓磨\*\*, \*\*\*\*, †新井和吉\*

**Ballistic Limit for A6061-T6 Plate at Polycarbonate and Aluminum Particle Impact Velocity of 3 km/s or Less**

by

**Hidechika KARASAWA\***, **Shinpei SAITO\*\***, **Takuma CHOMEI\*\***, **\*\*\*\***  
and **†Kazuyoshi ARAI\***

(Received Sep. 22, 2025; Accepted Nov. 5, 2025)

**Abstract**

Progress in space technology has increased the threat of collisions between spacecraft and space debris orbiting at very high speeds. Studies on ballistic limit equations (BLE) as a defense mechanism against space debris have usually focused on thick plates and have been limited to ultra-high speeds. Through impact experiments and numerical analysis, the present study investigated the impact of polycarbonate and aluminum particles at impact velocities of 3 km/s or lower on aluminum alloy plates. BLE at impact velocities of 3 km/s or lower were also conducted. The projectile and target damage both varied with impact velocity and damages below 3 km/s were not accurately assessed using conventional BLE. Differences between conventional BLE and BLE in this study was attributed to the large deformation caused by the melting point and destruction of the projectiles.

**Keywords:** Space debris, Ballistic limit equation, Polycarbonate, Aluminum alloy

**1. 緒言**

約半世紀以上前に人類初の人工衛星が打ち上げられてから、今日に至るまで、宇宙開発・利用が拡大し続けている。これに伴い、スペースデブリが年々増加し、それらは主に地球低軌道上を超高速で周回しており、運用中の宇宙機はスペースデブリやメテオロイド（隕石や流星物質）と衝突する危険に晒されている<sup>1)</sup>。そのため、国際宇宙ステーション

令和7年9月22日受付

\* 法政大学理工学部機械工学科：東京都小金井市梶野町3-7-2

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Science and Engineering, Hosei University: 3-7-2 Kajino-cho, Koganei-shi, Tokyo 184-8584, Japan

\*\* 法政大学大学院理工学研究科機械工学専攻

Graduate school of Engineering, Hosei University

\*\*\* 現在、株式会社小松製作所

Komatsu Ltd.

\*\*\*\* 現在、キヤノン株式会社

Canon Inc.

†:連絡先/Corresponding author

にはスペースデブリの衝突から防御するために、ホイップルシールドなどが設置されている<sup>2)</sup>。

人工衛星や国際宇宙ステーションのような宇宙機には、構造材料として、チタン合金やアルミニウム (Al) 合金といった比強度に優れる金属材料、ポリカーボネート (PC) やポリイミドのような軽量であるプラスチック材料が用いられており、近年では炭素繊維強化プラスチック (Carbon Fiber Reinforced Plastics, CFRP) のような複合材料も用いられるようになってきた。特に、燃料タンクなどの宇宙機用圧力容器にスペースデブリが衝突した場合、壊滅的な破壊が引き起こされるだけでなく、内容物の流失、飛散による周辺構造物への二次被害が予想される<sup>3)</sup>。また、圧力容器の多くは宇宙機内部にあるため、スペースデブリの衝突により宇宙機外壁が壊れ、その破片が圧力容器に衝突する場合もあると考えられる。そのため、圧力容器に衝突するスペースデブリは、地球周回速度（約 7~8 km/s）より低速で衝