

地上加速型レールガンにおける
加速・過渡弾道数値解析

2022 年度

笠原弘貴

報告番号	㊦ 乙 第 号	氏 名	笠原 弘貴
主 論 文 題 名 : 地上加速型レールガンにおける加速・過渡弾道数値解析			
<p>(内容の要旨)</p> <p>本論文では地上環境下で極超音速まで加速された飛翔体におけるサボ分離を三次元解析により調査した。数値解析において流体側に三次元圧縮性 Euler 方程式，異なる速度で移動・回転する飛翔体・サボの運動を再現するために六自由度剛体運動方程式を用いた。</p> <p>第一章では本研究における背景と動機，先行研究について示した。第二章では本研究で使用した流体・剛体運動の支配方程式を示し，サボ分離再現のために利用した重合格子法および用いた計算手法の高速化のために分散メモリ型並列機における並列化方法を示した。第三章では Erenkil(1999)によって行われた地上環境下における極超音速サボ分離実験を対象とし本研究で構築した計算手法を用いて実験を再現し，先行研究によって捉えられたサボ重心軌跡とピッチ角変化を対象に数値計算モデルの妥当性を検証した。飛翔体・サボから生じる離脱衝撃波は分離に従い異なる干渉形態を示し，3種類に分類された。分離初期において飛翔体・サボ間の流路が非定常的に閉塞することにより衝撃波がサボ前方で振動する干渉形態が生じた。分離中期において，サボ飛翔体を覆うように生じた離脱衝撃波はそれぞれの物体周りから生じる二種類の衝撃波に分離した。分離後期では飛翔体・サボ間で衝撃波が複数反射し，飛翔体表面を沿うように不連続な圧力が形成された。サボ表面を 5種類に分類し，各領域における流体力・モーメントへの寄与率を解析した結果，サボ前方部のスコープ領域が分離を支配していることが示唆された。</p> <p>第四章では共同研究によって行われた地上加速型レールガン実験における飛翔体加速，サボ分離を数値計算モデルにより再現した。加速過程において飛翔体前方に先行衝撃波が発生し，管端付近の圧力分布を変化させた。また先行衝撃波によって誘起された極超音速流によりマッハディスクが加速管前方に形成された。分離過程において先行衝撃波による極超音速流は飛翔体の分離を阻害し，流体现象のみによってサボ分離が遅延する可能性が示唆された。飛翔体・サボが先行衝撃波とマッハディスクを追い越す際に 2つの異なる追い越し過程が確認された。衝撃波追い越し過程は飛翔体周りでの衝撃波に影響を与え，先行衝撃波到達時点で飛翔体抗力が最大値を取り衝撃波貫通後に急激に減少する現象が発生した。第五章では主要な結論を示した。</p>			

Thesis Abstract

No. _____

Registration Number	<input checked="" type="checkbox"/> "KOU" <input type="checkbox"/> "OTSU" No. _____ *Office use only	Name	Hirotaka Kasahara
Thesis Title Three Dimensional CFD-RBD Analysis of Hypersonic Projectile Launched by Ground-based Railgun on Interior and Transitional Ballistics			
Thesis Summary <p style="margin: 0;">This thesis investigated the interior and transitional ballistics on hypersonic projectiles launched by a ground-based railgun. A seamless calculation of the acceleration phase in the tube and the full separation process using three-dimensional computational fluid dynamics coupled with rigid body dynamics (CFD-RBD) was presented in this thesis to investigate the shock wave interactions around a railgun-launched projectile. The parallelization methods for distributed memory machines were proposed to accelerate the CFD-RBD calculation in massively parallel supercomputers.</p> <p style="margin: 0;">The simulations based on the hypersonic launch experiment conducted by Erengil (1999) were conducted to validate the CFD-RBD method proposed in this thesis. Although the rigid body assumption in the CFD-RBD method overestimated the vertical sabot movement compared with the experimental result, the numerical sabot movement showed a good agreement with the experimental one. Three types of shock wave interaction were observed: shock wave oscillation; shock wave transition; and shock wave sweep on the projectile. The shock waves from the projectile and the sabot oscillated around the projectile tip. This oscillation induced a significant aerodynamic perturbation on the projectile and the sabot. The sabot petals also collide with the projectile surface by high aerodynamic moment in the initial separation stage.</p> <p style="margin: 0;">The interior and transitional ballistics were simulated to reveal shock wave interactions around a railgun-launched projectile. The railgun acceleration induced a normal shock wave propagating ahead of the projectile; when the projectile reached the tube end, a substantial expansion at the muzzle generated two shock waves, namely, a spherical precursor shock wave and a Mach disk, outside the tube. The high-pressure jet around the muzzle made the projectile/sabot suffer from the highest drag force just after discharge, which was about ten times larger than in steady flight.</p> <p style="margin: 0;">In transitional ballistics, sabot separation could be divided into three stages based on the shockwave interaction around the projectile, i.e., flight in a hypersonic jet, interaction with precursor shockwaves, and multiple shock wave reflection between the projectile and the sabot. The high railgun acceleration induced a hypersonic jet around the muzzle, causing the sabot's separation delay in the first stage. Due to the relative Mach number variation around the projectile, two types of shock wave overtaking process at precursor shock wave and Mach disk induced the unsteady projectile drag increase/decrease in the second stage. Multiple shock wave reflections between the projectile and the sabot generated a local high pressure of 10-15 MPa on the projectile surface, leading to projectile flight dispersion.</p>			