



高速走行軌道実験設備（室蘭工業大学航空宇宙機システム研究センター年次報告書 2018）

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学航空宇宙機システム研究センター 公開日: 2020-01-30 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 渡部, 晃広, 中田, 大将, 内海, 政春 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/00010148

高速走行軌道実験設備

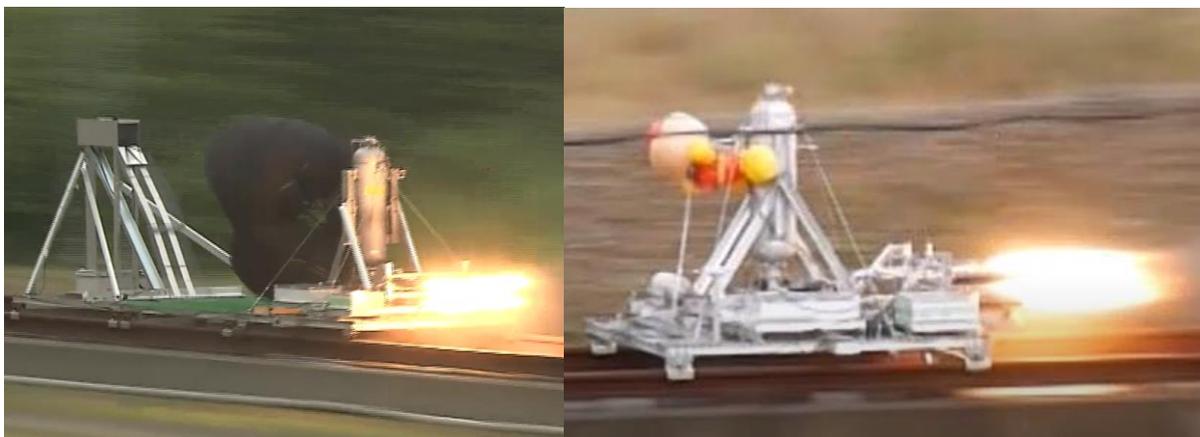
○渡部 晃広（航空宇宙総合工学コース 博士前期1年）

中田 大将（航空宇宙機システム研究センター 助教）

内海 政春（航空宇宙機システム研究センター 教授）

1. はじめに

室蘭工業大学航空宇宙機システム研究センターでは地上で高速度・高加速度環境を実現し、各種実証研究を実施出来る「高速走行軌道実験設備」の基盤研究を進めている[1-3]. 高速走行軌道実験設備（通称ロケットスレッド）とはレール上に置かれた台車（スレッド）に供試体を乗せ、ロケットによって推進力を得て地上滑走させる装置である. 今年度は昨年度に引き続きオオワシ用ドラッグシュートの開傘試験（図1左）を二度行い、一般公開としてスレッド1台での走行試験（図1右）も実施した.



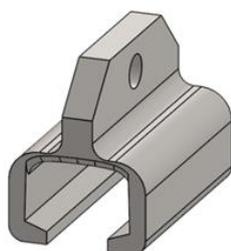
(a) ドラッグシュート開傘試験

(b) 小中学生向け一般公開走行試験

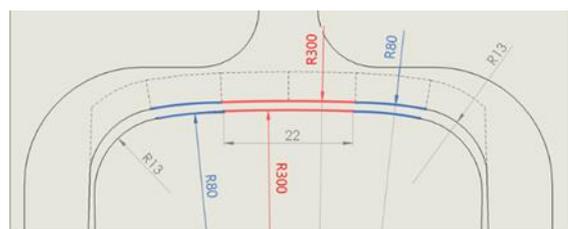
図1 走行試験

2. マルチボディダイナミクス (MBD) による摩擦挙動解析

ロケットスレッドは走行中に脱線や離陸をしないようにスリッパと呼ばれるしゅう動部材でレールに保持されている. 図2にスリッパの外観図及び図面を示す. しかし, レールとスリッパ間での摩擦力は走行状態によって時々刻々と変化し, その特性は未だ解明されていない.



(a) 外観図



(b) 正面図面および接触径

図2 スリッパ概要

そこで、マルチボディダイナミクス (MBD) による剛体の相互作用をモデル化しシミュレーションを行うことにより、接触部での摩擦挙動を解明することを目的とする。マルチボディダイナミクスとは、様々な拘束条件下における複数の剛体の動力学や運動学を解く力学である。

しゅう動部の動的挙動の解析ソルバーには、MSC ソフトウェア社の機構解析ソフトウェア Adams を使用する。図 3 に MBD によるシミュレーションで用いるアセンブリモデルを示す。

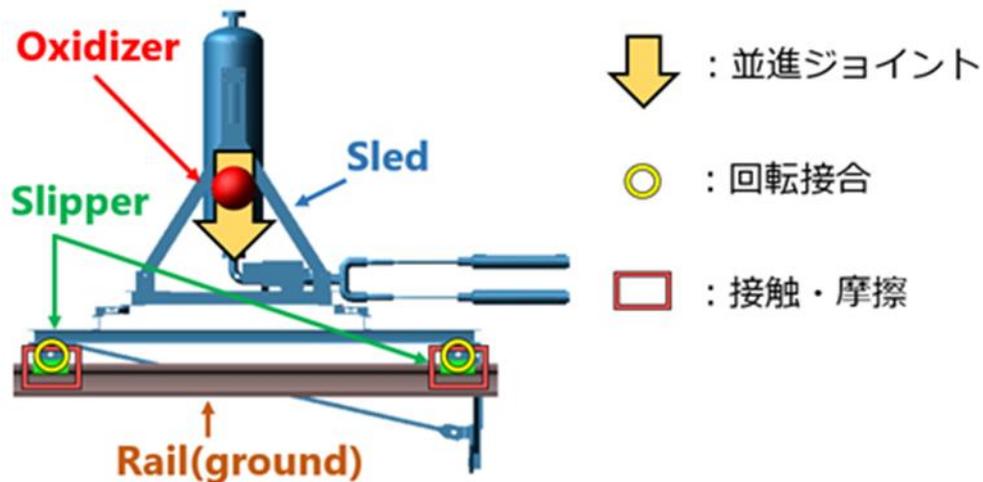


図 3 剛体モデル

ロケットスレッドは多数のパーツで構成されているが、完全拘束されているものに関しては一つのパーツとしてモデル化した。スレッド、酸化剤 (N_2O)、スリッパ (4 か所)、レールの 4 種類でモデリングを行った。スレッドとスリッパは回転接合、スリッパとレールでは法線力を定義する接触と接線力を定義する摩擦を定義した。式(1)に接触モデルの Impact 関数、式(2)に摩擦モデルを示す。

$$F_{Impact} = K\delta^e - C\dot{\delta} \quad \dots (1)$$

$$F_{Coulomb} = \mu F_{Impact} \quad \dots (2)$$

Where

K : 接触剛性 [N/mm ^{3/2}]	C : 減衰係数 [Ns/mm]
δ : 貫入量 [mm]	μ : 摩擦係数 [-]
e : 剛性指数 [-]	

これらの拘束条件のほかに外力モデルとして、推力・空気抵抗・水制動力をモデル化している。推力モデルは推力計測をおこなっている非走行時の燃焼試験結果を用いてモデル化する。本検討では燃焼器 6 本のクラスタリング時の推力をノズルスロート部に設定する。空気抵抗のモデルは、走行中の速度を変数とする関数を定義している。水制動とは、2 本のレール間に敷設した水路に水を溜め、制動板が水路に突入した際の抵抗反力を利用して減速するものであ

る。水路の液面高さは図4のように減速過渡中の速度を勘案して階段状に設定している。そのため、水制動力も空気抵抗と同様に、速度を変数とする関数を定義している。

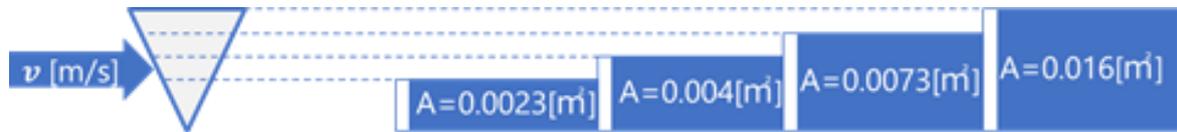


図4 水制動液面高さに対する制動板取水面積

また、ロケットスレッドは走行中に推進剤を消費するため、酸化剤である亜酸化窒素と燃焼器材料であるグレインの重量変化が生じる。グレインの消費重量は酸化剤の消費量に比べて僅少なため無視し、酸化剤の重量変化をモデリングする。重心位置は酸化剤のアセンブリモデルに並進ジョイントを設定し、強制変位で移動させる。重量変化については、実際にモデルの重量を変化させるのではなく、重力加速度方向とは逆方向に消費重量分の外力を設定している。

3. 解析結果・考察

図5, 6に走行試験結果とMBDシミュレーション結果の加速度・速度履歴を示す。これらの結果よりMBD解析に用いたモデルや設定パラメータの妥当性が確認され、スリッパの接触部に発生する接触力を推定することができた。

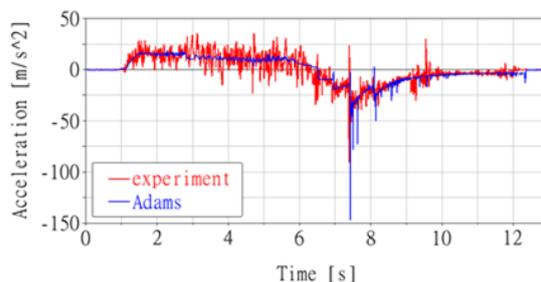


図5 走行中の加速度履歴

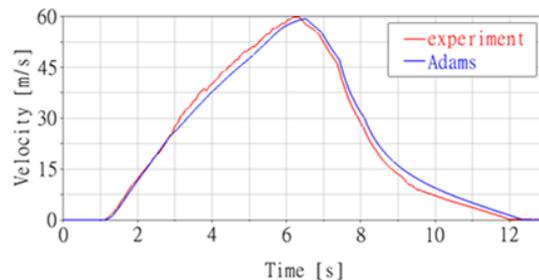


図6 走行中の速度履歴

次に、ロケットモーターを用いず、車による低速牽引試験で取得したスレッドのストライベック曲線を図7に示す。また、図8には左側スリッパの接触位置における軸受け特性数の時間履歴を示す。凡例は左側スリッパのそれぞれの接触位置を示している。

軸受け特性数は以下に示す式で示される。

$$G = \frac{\eta v}{w} \frac{1}{2b} \quad \dots (3)$$

η : 潤滑剤粘度

w : 接触荷重

v : 摺動速度

b : 接触半幅

図7に示す実験結果から、軸受け特性数 1×10^{-9} を潤滑状態の境目とする。そこで図8に潤滑状態の境界を描くことで、走行中の接触位置の潤滑状態を把握することができた。

また、現行スリッパでは降雨による湿潤状態のとき、潤滑面は加速中に一部混合潤滑にあることがわかった。また、水ブレーキの作動時は、前回りのモーメントが発生するため後側のスリッパの接触力が低下し、レールとスリッパがいったん離れる状態になることが示唆された。スレッドの速度が低下したあと、前側と後側の接触力が逆位相で変動する様子が観測されたが、接触力の平均値としてみれば乾燥状態と同様の境界潤滑状態であることがわかった。

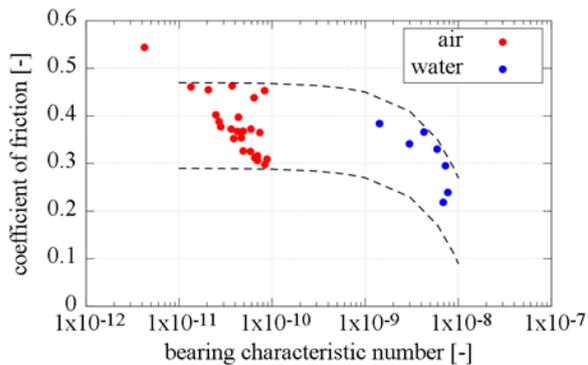


図7 ストライベック曲線

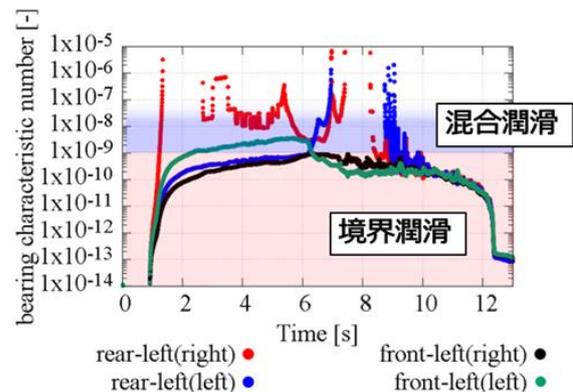


図8 走行中の軸受け特性数履歴

参考文献

- [1] D. Nakata, A. Kozu, S. Yajima, N. Nishine, K. Higashino and N. Tanatsugu, “Predicted and Experimented Acceleration Profile of the Rocket Sled,” Transactions of the Japan Society for Aeronautics and Space Sciences Aerospace Technology Japan, Vol. 10, No. ists28, 2012, pp. Ta_1-Ta_5.
- [2] D. Nakata, K. Nishine, K. Tateoke, K. Higashino, N. Tanatsugu, “Aerodynamic Measurement on the High Speed Test Track,” Transactions of the Japan Society for Aeronautics and Space Sciences Aerospace Technology Japan, Vol.12, No. ists29, 2014, pp. Tg 5-Tg 10.
- [3] D. Nakata, N. Tanatsugu, K. Higashino, K. Higuchi, T. Tsuchiya T. Himeno, “Rocket Sled Track Facility as a Test Platform and a Launch Assist of Space Planes” Ground Based Space Facility Symposium, Jun. 2013, Paris.