



サブスケール高速走行軌道装置の試作と走行実験

メタデータ	<p>言語: jpn</p> <p>出版者: 室蘭工業大学</p> <p>公開日: 2009-03-12</p> <p>キーワード (Ja):</p> <p>キーワード (En): high-speed sled track, water braking, ground verification</p> <p>作成者: 安田, 有佑, 宮瀬, 宗彦, 丸, 祐介, 棚次, 亘弘, 溝端, 一秀</p> <p>メールアドレス:</p> <p>所属:</p>
URL	http://hdl.handle.net/10258/429



サブスケール高速走行軌道装置の試作と走行実験

その他（別言語等）のタイトル	Experimental Construction and Operation Tests of a Subscale High-Speed Sled Track Facility
著者	安田 有佑, 宮瀬 宗彦, 丸 祐介, 棚次 亘弘, 溝端 一秀
雑誌名	室蘭工業大学紀要
巻	58
ページ	45-49
発行年	2009-02-20
URL	http://hdl.handle.net/10258/429

サブスケール高速走行軌道装置の試作と走行実験

安田 有佑¹, 宮瀬 宗彦², 丸 祐介³, 棚次 亘弘³, 溝端 一秀⁴

Experimental Construction and Operation Tests of a Subscale High-Speed Sled Track Facility

Yusuke YASUDA, Munehiko MIYASE, Yusuke MARU, Nobuhiro TANATSUGU,
and
Kazuhide MIZOBATA

(原稿受付日 平成 20 年 6 月 20 日 論文受理日 平成 20 年 11 月 7 日)

Abstract

Various studies are being carried out for innovation on the technology both for future super/hypersonic airplanes and for reusable space transportation systems. Functions and performances of the technologies proposed should be verified in high speed conditions safely and repeatedly on the ground before flight experiments. For this purpose, so-called high-speed sled track facility is planned to be constructed. Its subscale prototype is experimentally constructed and run tests are carried out. Useful know-how is obtained about designing, fabrication, and operation of the sled track.

Keywords: High-Speed Sled Track, Water Braking, Ground Verification

1 はじめに

航空輸送ならびに宇宙輸送を革新するための基盤技術の創出を目的に、室蘭工業大学が核となって、国内の大学や JAXA との連携の下、種々の研究が進められている。研究された基盤技術を小型超音速飛行実験機（無人飛行機）に搭載して、実際の飛行環境で実証する計画である。

飛行実証の前段階として、基盤技術の高速飛行環境下における機能・性能を、地上において繰り返し安全かつ確実に実証する必要がある。それに

は、地上に敷設した鉄道軌道と同様の直線軌道上を超音速で走行できる「高速走行軌道装置」の開発が極めて効果的である。この軌道装置の規模としては、軌道長は 3km 程度、軌道幅は新幹線用広軌に準拠した 1.4m 程度、走行台車（スレッド）の全備重量は 500kg 程度、加速度は 10G 程度と想定される。従って加速用推進器としては 5ton 程度の推力が必要である。このような「高速走行軌道装置」を利用することによって、航空宇宙機に関連した基盤技術の機能・性能を実際の飛行状態に近い条件で実証することができることに加えて、小型飛行実験機等の離陸補助装置として利用することも可能である。

本研究では、フルスケールの軌道装置の開発・設置に先行して、軌道やスレッドの設計指針や計測方法など各種のノウハウの取得を目的として、

*1 大学院博士前期課程航空宇宙システム工学専攻

*2 大学院博士前期課程機械システム工学専攻、現三菱重工

*3 航空宇宙機システム研究センター

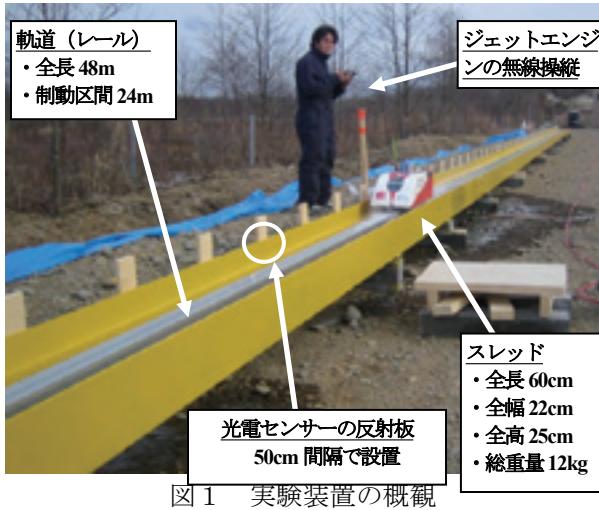
*4 機械システム工学科

1/10 の軌道幅のサブスケール軌道装置を試作し、無線操縦によってスレッドを走行させ、加減速特性を計測・評価する。スレッドの加速のためには、模型クラスのジェット推進器を搭載する。制動手法としては、軌道の間に設けられた水路の水を掬う際の反力をを利用する「水制動」を試みる。

2 実験装置

2. 1 全体構成

実験装置の全体構成および概観を図 1 に示す。



2. 2 軌道 (レール)

基礎として H 鋼を水平に設置し、そのウェブの上に鉄製の軌道を設置する。その様子を図 2 に示す。軌道幅は、フルスケール軌道の 1/10 の 14cm である。軌道長は 48m であり、うち半分の 24m には水制動のための貯水槽となる幅 72mm のアルミチャンネルを設置する。アルミチャンネルの端面はバルサで止水されており、走行してきたスレッドは、後述のバケットによってこのバルサを割って水制動区間に進入する。水制動によってスレッドを完全に停止できなかった場合に備えて、レールの終端にゴムロープを張り、その弾性力によってスレッドを緊急停止せることにする。

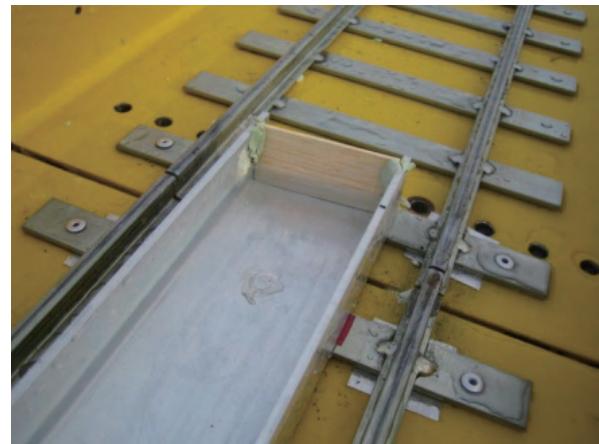
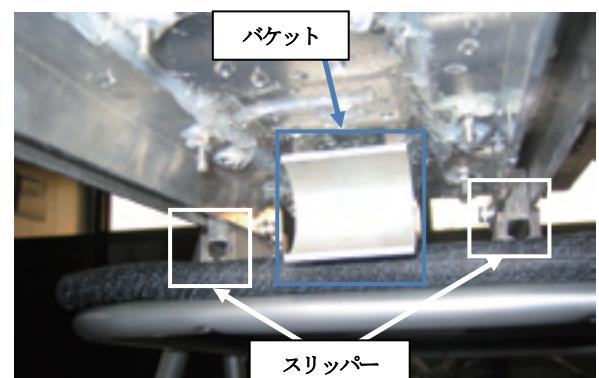
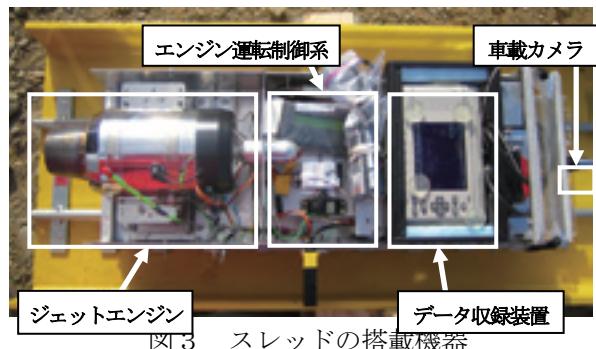


図 2 レール、貯水槽、および止水バルサ

2. 2 走行台車 (スレッド)

スレッドの骨組みは、厚さ 2 mm のアルミ板およびアルミアングル材を組み立てた構造である。図 3 のように、加速装置である模型飛行機用ジェットエンジン（公称推力 160 N）、エンジン運転制御装置（無線受信機・サーボ・燃料ポンプなど）、各種計測センサー、およびデータ集録装置が搭載される。図 4 のように、底部には、水制動用のバケット、およびレールと摺動するスリッパーを備える。スリッパーは超々ジュラルミンで作られている。



2. 3 計測系

スレッドの位置と加速度、エンジン推力、およびバケット制動力を計測する。

スレッドの位置計測については、レール脇に反射板を 50cm 間隔で設置し、スレッドに搭載された光電スイッチ（キーエンス・PZ-101）によって反射板を検出することによって、スレッドが各反射板位置を通過する時刻を計測する。

スレッドの加速度は、スレッドの前部に取り付けた三軸加速度センサー（Crossbow・CXL10GP3）で計測する。その計測レンジは±10G、応答性はDC~100Hz である。

エンジン推力とバケット制動力は相互に逆向きにはたらく。そこで、図5に示すような、一つのロードセルで両者を計測できる荷重計測架台を試作し搭載する。フレキシャー（板バネ）で吊り下げられた架台にジェットエンジンを搭載する。ピンでスレッド本体に留められたレバーの下端にバケットが取り付けられ、レバーの上端はエンジン架台に接する。

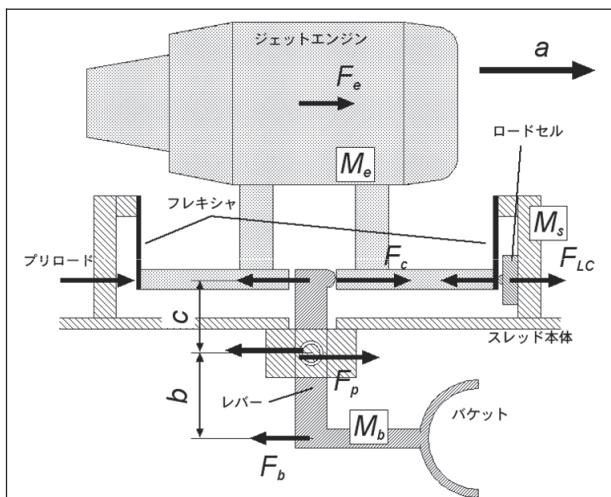


図5 荷重計測架台

スレッドが加速度 a で走行しているとき、荷重計測架台の各部には、同図に矢印で示された力がはたらく。 F_e はエンジン推力、 F_{LC} はロードセルで計測される力、 F_c はレバーがエンジン架台を押す力、 F_p はレバーがピン部で受ける力、 F_b はバケットで発生する制動力である。ピンからバケットまでの距離を b 、ピンからエンジン架台までの距離を c とする。エンジンとその架台の質量を M_e 、バケットとレバーの質量を M_b 、これらを除いたスレッドの残りの部分の質量を M_s とすると、各部分の運動方程式は以下のようになる。

$$M_e a = F_e + F_c - F_{LC} \quad (1)$$

$$M_b a = F_p - F_b - F_c \quad (2)$$

$$M_s a = F_{LC} - F_p \quad (3)$$

また、レバーに関して、ピン周りのモーメントの釣り合いより、

$$F_b b = F_c c \quad (4)$$

ジェットエンジンによる加速の際には $F_b = 0$ であるから、式(1)(4)より、

$$F_e = F_{LC} + M_e a \quad (5)$$

となる。また、水制動の際にはエンジン推力は発生していないものとすると $F_e = 0$ であるから同様に、

$$F_b = (c/b)(F_{LC} + M_e a) \quad (6)$$

となる。

本装置では、 $b=24\text{mm}$ 、 $c=17\text{mm}$ 、 $M_e=2.5\text{kg}$ 、 $M_b=0.2\text{kg}$ 、 $M_s=12-M_e-M_b=9.3\text{kg}$ である。また、加速度 a は、スレッドに搭載された加速度計で計測される値を用いる。

ロードセルとしては共和電業製LMA-A-1KNを用いる。データの集録は、スレッドに搭載したデータレコーダー（キーエンス・NR-2000）で行う。サンプリング周波数は、光電スイッチの検出速度を考慮して1kHzとする。

3 実験結果

3. 1 計測結果の整合性

実験データの評価に先立ち、今回準備した3つの計測センサーの計測値が相互に整合している事を確認する。図6は、バケットの側壁を取り付けず、制動区間入口の貯水槽の水深を 20mm とし、スロットル最大で加速した場合の位置および速度の計測値である。光電スイッチで計測された位置とそれを時間微分して求められた速度を丸のシンボルで記しており、また、加速度計で計測された加速度から時間積分して求められた速度・位置を曲線で描いている。光電スイッチと加速度計による計測値は良く一致している。なお、時刻 7 秒以降の差違は、スレッドが緊急停止用ゴムロープによって最終停止しているためである。到達最高速度は 20.8m/s であり、今後軌道を延伸すれば最高速度の向上が見込める。

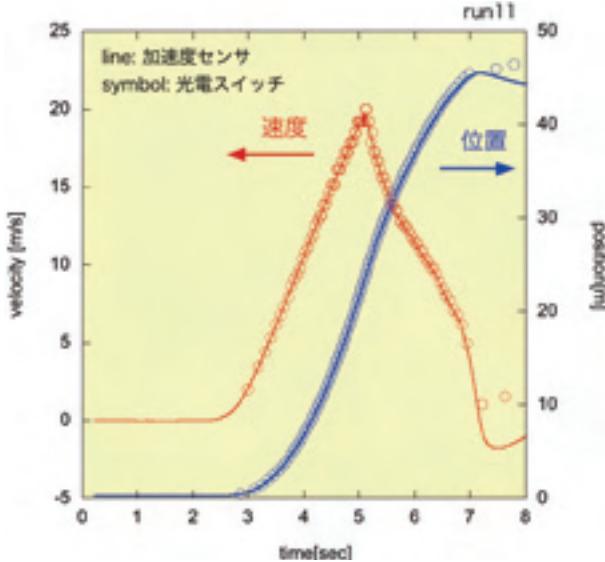


図6 位置・速度の計測結果の例

上述の式(5)および式(6)を用いてロードセル出力から求められるエンジン推力およびバケット制動力の値を図7に示す。理論制動力（速度の計測値と取水面積から推算される発生可能な最大の制動力）、および、計測された加速度にスレッド質量をかけた値も併記してある。

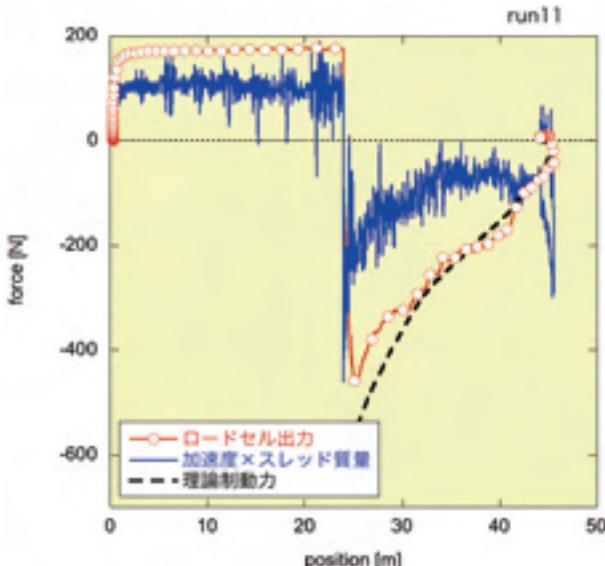


図7 荷重計測結果の例

ロードセル出力から推算されるエンジン推力は、加速時に最大で180N程度となっている。一方、スレッドにはたらく力の総和（合力の大きさ）は「加速度×スレッド質量」で評価され、110N程度であり、エンジン推力より約70Nだけ小さい。スレッドには、エンジン推力のほかに空気抵抗や摩擦抵抗が推力とは逆方向にはたらく。そこで、空気抵

抗係数として自動車の一般的な値である0.25を用いると、空気抵抗は最大速度においておよそ3N程度と見積もられる。また、レール（鉄）とスリッパー（超々ジュラルミン）の間は特に潤滑は施していないので、その動摩擦係数を0.5程度と仮定すると、摩擦抵抗は60N程度と見積もられる。従って、エンジン推力約180Nのうち、空気抵抗と摩擦抵抗によって約70Nが相殺されたものと推定される。

一方、制動時のロードセル出力からの荷重推算値と「加速度×スレッド質量」の値を比較すると、200N近い差がある。この要因としては、

- (1) エンジン推力が制動区間でも惰性で発生している（推力の変化が無線操縦指令に対して遅れている）
- (2) バケットで前方に噴射した水の一部がスレッドの下面に当たっている

等が考えられる。また、エンジン推力とバケット制動力を同一の圧縮型ロードセルで計測しようとしたために、荷重計測架台が複雑な構造となっており、工作精度等、製作上の不確定要素もある。これら荷重計測の詳細な評価のためには一層詳細な計測が必要であり、今後の課題である。本稿では、スレッドにはたらく力の総和である「加速度×スレッド質量」で制動力を定義することにする。

3. 2 制動効率

スレッドが受けた制動力を、理論制動力（速度の計測値と取水面積から推算される発生可能な最大の制動力）で割ったものを制動効率と定義する。

計測の結果、スロットル50%で加速した場合は制動効率は40–60%の間で推移し、スロットル100%の場合には20–40%の間で推移したことが分かった。このメカニズムについても、今後詳細な解析を要する。

4 まとめ

航空輸送ならびに宇宙輸送を革新するための基盤技術の創出をねらって種々の研究を進めている。研究された基盤技術を地上実証ならびに飛行実証する計画である。小型超音速飛行実験機（無人飛行機）を用いた飛行実証に先立って、高速飛行環境を地上で模擬して繰り返し安全かつ確実に実証するための試験装置として、「高速走行軌道装置」を構想している。軌道および走行台車（スレッド）

の設計指針や計測手法など各種のノウハウの獲得のために、サブスケールの軌道装置を試作し、無線操縦によってスレッドを走行させ、加減速特性を計測・評価した。スレッドの位置および速度について二通りの計測手法を試みたところ、その計測値は良く整合した。エンジン推力とバケット制動力を単一のロードセルで計測する手法を試みたところ、その測定値は他の理論値等との整合性に課題が残った。複数の不確定要素の存在が推定され、これを排除するには一層詳細な測定および解析を追加実施する必要がある。