



## 高速走行軌道装置に関する基盤技術研究

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: 2016-04-26 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 中田, 大将, 矢島, 淳, 西根, 賢治, 森木, 嵩人, ムハマド, ファルクラー, 東野, 和幸, 棚次, 亘弘 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/00008773">http://hdl.handle.net/10258/00008773</a>

## 高速走行軌道装置に関する基盤技術研究

著者	中田 大将, 矢島 淳, 西根 賢治, 森木 嵩人, ムハマド ファルクラー, 東野 和幸, 棚次 亘弘
雑誌名	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
巻	2011
ページ	70-74
発行年	2012-07
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/00008773">http://hdl.handle.net/10258/00008773</a>

## 高速走行軌道装置に関する基盤技術研究

- 中田 大将(航空宇宙機システム研究センター 特任助教)
- 矢島 淳(航空宇宙システム工学専攻 M2)
- 西根 賢治(航空宇宙システム工学専攻 M1)
- 森木 嵩人(機械システム工学科 B4)
- ムハマド ファクルラー(機械システム工学科 B4)
- 東野 和幸(航空宇宙システム工学専攻 教授)
- 棚次 亘弘(航空宇宙機システム研究センター 特任教授)

### 1. 緒言

高速走行軌道実験設備は、高リスク・高コストである飛行試験に替わって高速環境下における飛翔体の性能を安全に、低コストで地上試験するための装置である[1,2]. この装置では走行スレッドと呼ばれる台車に供試体を搭載し、ロケットやジェットエンジン等の加速装置を用いて地上に敷設したレール上を



図1:300m 級フルサイズ軌道装置の概観(白老実験場)

加速する. 本装置のメリットは、摩擦抵抗や翼の弾性変形、地面効果といった実機スケールでの検証が必要な空力測定項目を安価に低リスクで行えることが挙げられる.

2011 年度は 300 m 級フルサイズ軌道(図 1)を用い、機体模型を搭載した状態での走行実験を実現した. また、100 m 級サブスケール装置においては水路の閉塞率などが水ブレーキ抗力係数に及ぼす影響などを追求した.

## 2. 加減速システム

### 2.1 加速装置

加速装置であるハイブリッドロケットについては、2010 年度に使用していた平均推力 625 N の HyperTEKL625 型から、平均推力 970 N の HyperTEK L970 型へと変更し、大推力化を図った. 夏季の運用ではボンベが外気温以上に直射日光で熱せられ、時にセ氏 30 度を超える温度となった. 酸化剤である亜酸化窒素は臨界点であるセ氏 36 度に近づくと、蒸発潜熱の大幅な低下が起り、機上タンクへのスムーズな圧送が不可能となる事態が発生した. 2011 年度には酸化剤ライン熱収支のモデル化を行い、来年度に向けた対策について考察を行なった.

表1 ハイブリッドロケット L970 諸元

型式名	HyperTEK L970
平均推力	970 N
総インパルス	5000Ns
重量(一本当り)	約3 kg [乾燥重量]
	約6 kg [総重量]

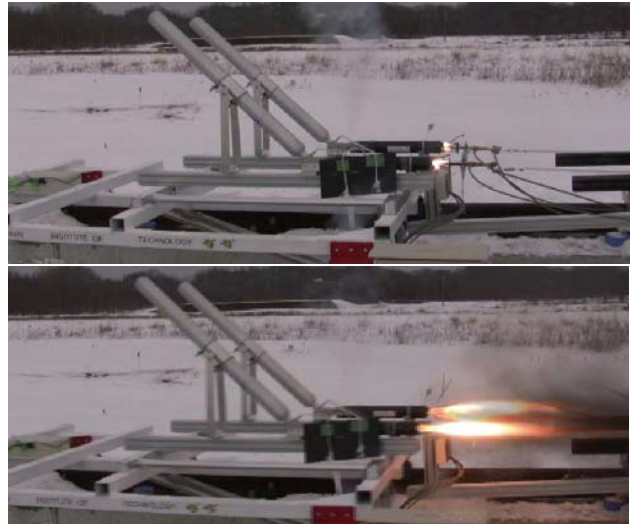


図2:ハイブリッドロケットの同時着火

## 2.2 減速装置

減速装置としては、サブスケール試験で基盤技術を確立した[3]水ブレーキを採用している。これまでの事例から、水の抵抗係数はバケットと呼ばれる制動板の形状のみで決まるものではなく、水路に対する閉塞率が影響する可能性が指摘されていた。そこで、2011 年度にはこの影響も含めた評価を行なうための取り組みを行なった。バケットが水から受ける抵抗力は式1のように表される。

$$F_D = C_D \rho A_b u^2 \quad (1)$$

ここで  $\rho$  は水の密度,  $A_b$  はバケット浸水面積,  $u$  はスレッド速度である。抵抗係数  $C_d$  の値は水路断面積に対してバケットが占める割合で変化し、いわゆる閉塞効果(blockage effect)が認められる。風洞のような閉塞断面と比べ、開水路におけるこの効果は小さいが、しかしながら無視できない値である。図3および表2は平板型制動板の違いによる抵抗係数の違いである。一見して分かる通り、水路に対する閉塞率が大きくなると抵抗係数も増大することが分かる。これらの実験結果については東京大学姫野研究室に流体数値解析を依頼し、定量的に説明がなされた[4]。

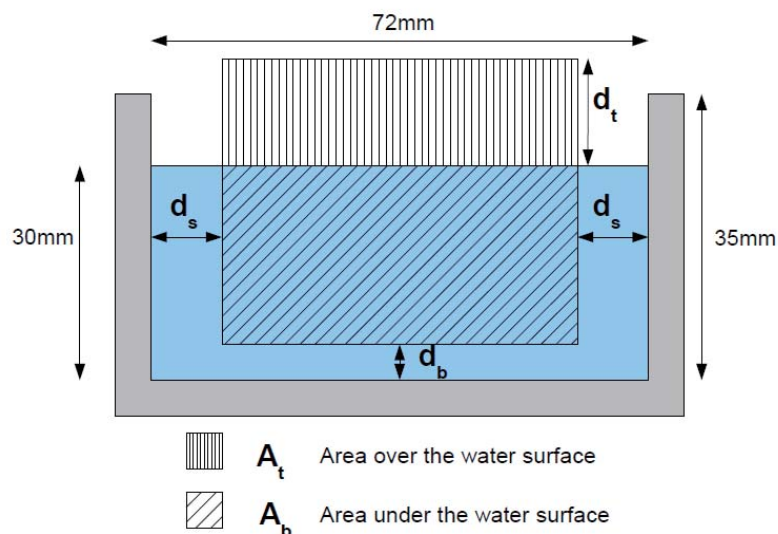


図3:水制動板(バケット)の規格

表2:様々なバケットの抵抗係数

Type	ds, mm	db, mm	dt, mm	Cd
S1	5	11	19	0.61
S3	5	2	19	0.72
S6	15	11	19	0.77
S8	5	11	75	0.86

### 2.3 摩擦に関する研究

ロケットスレッドでは高速走行時に脱輪及び遠心力による車輪の破壊などが懸念されるため、車輪ではなく、レールを滑走するスリッパと呼ばれる部材を足に用いている。反面、ロケット推進力(970N x 2)に占めるレール摩擦(400-600N)の寄与は大きく、何らかの形で摩擦低減する試みが運用コストの低減に有効である。そこで、図4に示すように流体潤滑を用いた摩擦低減に関する基礎実験を行なった。スリッパを回転円盤に接触させ、ノズルから一定量の水を噴射することにより、図5のように相対速度 60 m/s でほぼ摩擦をゼロに近い状態にすることができると分かっ

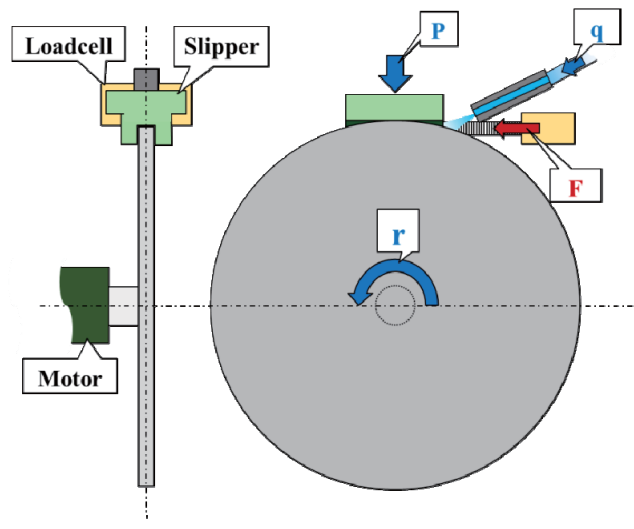


図4:回転円盤による流体潤滑実験

た。流体潤滑においては、ストライベックの理論[5]が有名であり、粘度・速度 / 面圧で決まるゾンマーフェルト数と呼ばれる値が支配パラメタである。実際のスレッドでは面圧によって円盤実験の結果とスケール則が成立すると考えられる。米国でも過去に同様の基礎研究がなされていたが、超音速域では水のレイノルズ応力による粘性摩擦が大きくなること、そもそもスレッド全体が浮き上がってしまうことなどから、採用が見送られた経緯がある。本学のスレッドにおいても、油やグリスなどの潤滑剤では粘度が大きすぎて、レイノルズ応力が支配的な領域となってしまう懸念がある。今後、有効な作動領域について検討を進め、フルサイズ軌道走行実験での実証を行なう予定である。

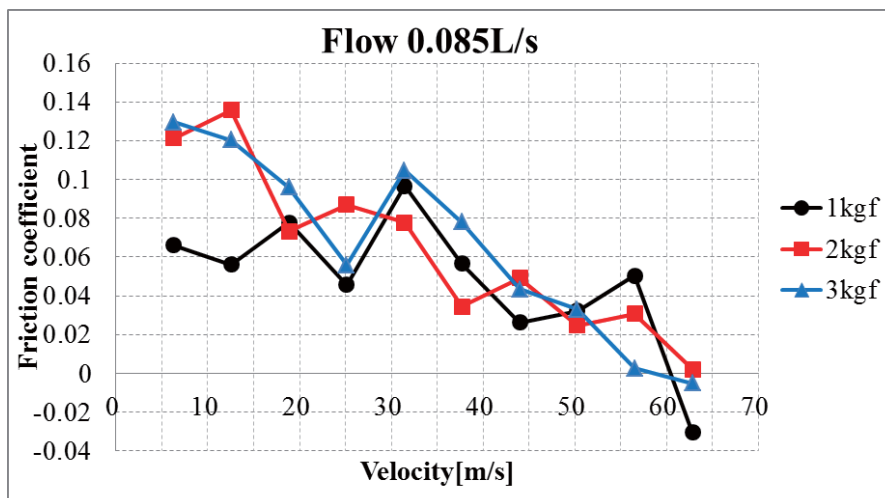


図5:水潤滑による摩擦低減

### 3. 機体模型搭載走行実験

#### 3.1 概略

高速走行軌道装置では、本学で開発されている無人超音速実験機[8]を始めとする、「全長数 m 程度の小型実験機」に焦点を当て、これらの実機検証が出来る能力を有することを目指している。とりわけ無人機においては自動制御の観点から失速角や安定なバンク角限界、横風に対する安定性などの把握が重要である。実レイノルズ数での抗力や揚力を検証する上で要求される精度については、搭載機体や測定レンジによって大きく異なるが、この種の装置として最低限の汎用性を有するためには取り付け角度誤差 1 度、計測誤差 1% を目標とする[9]。

#### 3.2 6分力天秤

6 軸天秤は市販の 6 軸力覚センサ (JR3 corporation, 90M40A) [10] とスティングからなり、先述の 1 軸天秤台座に取り付けられる。定格を表 3 に、外観図を図 6 に示す。模型は上面に M6 ネジ 4 本で取り付けられる。

表3 6 軸力覚センサ定格

型式名	ISF-90M40A100-I50-ANA
x-y-z軸秤量	400-400-800 N
Mx-My-Mz秤量	36 Nm
外形	直径90 mm
	高さ40 mm
公称精度	±1% FS



図6:6軸力覚センサ外観

スティングは先端に重量 20 kg のものを取り付けたとしてもそのたわみが 0.1 度以下となるように、直径 48 mm、肉厚 3 mm の SUS パイプを用いた。全長は約 2 m、重量は 7.7 kg である。

#### 3.3 AGARD-B 標準模型の制作

天秤の精度を実証するため、標準模型として胴体径 165 mm、全長約 1.4 m、重量 13 kg の AGARD-B 標準模型を作成した。AGARD-B は本来超音速用の標準模型であるが、有翼飛翔体として極めてシンプルな形状であることから、低速域においても標準模型として使用されるケースがある[11]。総樹脂製・NC加工とすることにより低コスト化を実現した。図 7 は実際に制作された模型をスレッド上の天秤に取り付けた様子である。



図7:天秤に取り付けられた AGARD-B 模型

### 3.4 走行試験

図8は6軸天秤とAGARD-B標準模型を搭載した走行実験の様子である。走行中の振動が天秤に及ぼす影響など、今後解決すべき問題点が明らかとなった。



図8:AGARD-B 模型を搭載して走行するスレッド

## 4. まとめ

高速走行軌道実験設備について、FY2011年度は以下のような研究活動を行なった。

- ・ 加速装置の大型化, 夏季における N2O 充填モデルの構築
- ・ 減速装置である水ブレーキ抵抗係数に水路閉塞率が及ぼす影響についての考察
- ・ 6軸空力測定天秤と標準機体模型を搭載した走行実証

## 参考文献

1. H. J. McSpadden: The History of Hurricane Mesa Test Facility, AIAA Paper 2004-3336
2. D. J. Krupovage: Wind-Tunnel and Full Scale Forces on Rocket Sleds, Journal of Spacecraft, 1967
3. <http://www.hypertekhybrids.com/>
4. <http://www.thrustcurve.org/>
5. 安田, 他: 高速走行軌道装置の加減速に関する研究, 平成 21 年度宇宙輸送シンポジウム, 2010
6. 友常雄太郎, 姫野武洋, 渡辺紀徳, 中田大將, 棚次亘弘, 東野和幸, ”高速走行軌道実験の水制動特性に関する数値解析,” 平成 23 年度宇宙輸送シンポジウム, 2012 年 1 月
7. Xiaobin Lu , M. M. Khonsari and E. R. M. Gelinck: The Stribeck Curve: Experimental Results and Theoretical Prediction (2006).
8. 溝端, 他: フライングテストベッドとしての小型超音速飛行実験機的设计、およびプロトタイプを試作と試験飛行, 平成22年度宇宙輸送シンポジウム, 2011
9. 西根賢治, 森木崇人, 中田大將, 東野和幸, 棚次亘弘, ロケットスレッド搭載用標準模型の設計と天秤装置の検証, 日本航空宇宙学会北部支部 2011 年講演会, 2012, 室蘭.
10. <http://www.jr3.com/>
11. 澤田秀夫: JAXA60cm 磁力支持天秤装置における有翼模型の空気力評価法, 日本航空宇宙学会論文集, 巻 57 号, p.p.668, 2009