

No.11

航技研に於ける磁力支持装置の研究

澤田 秀夫、国益 徹也（航空宇宙技術研究所）

Status of MSBS Study at NAL

Hideo Sawada, Tetsuya Kunimasu
National Aerospace Laboratory

ABSTRACT

A low speed wind tunnel was well equipped with the 60cm MSBS. The MSBS has been improved at its power amplifier to get roll motion control. Drag coefficients of three models were measured with the MSBS. Ellipsoid model drag coefficients are agreed well with the data sets of other sources. The measured drag with the 60cm MSBS is accurate as well as measured ones with normal wind tunnel balance systems. The support interference was evaluated easily and accurately with the MSBS as expected. Wake structure of a 6 to 1 cone model was also investigated in detail. The MSBS could provide aerodynamic scientists with a new method to investigate the three dimensional wake.

Key words: Wind Tunnel Testing, Magnetic Suspension, Sting Interference, Drag, Wake

1. はじめに

磁力支持天秤装置とは、図1に示したようなコイル配置により制御された磁場により、磁気ので風洞模型を支持し、模型に加わる空気力を計測するもので、支持干渉が無い理想的な模型支持装置である。

航空宇宙技術研究所では1985年以来、10cm級の磁力支持天秤装置を開発し、1993年からは60cm磁力支持天秤装置（60cmMSBS）を開発してきた。60cmMSBSは現在世界最大の測定部を持っている。航技研に於ける1999年以前の磁力支持天秤装置に関する研究活動は参考文献1)～5)を参照されたい。

図2に示すように、60cm磁力支持天秤装置は60cm低速風洞に装備されている。この60cm磁力支持天秤と風洞は来年度には航技研外部研究者が利用できるようになる。また、磁力支持天秤装置の普及を計る目的で、類似の磁力支持天秤装置は日本の企業によって2002年中には商品化される予定でもある。航技研では、細長比6と4の回転楕円体模型と、同じく最長比6の円錐模型の抵抗計測を通して、磁力支持天秤装置を用いた風洞試験技術について評価を行った。

60cm磁力支持天秤装置の改良点、風洞試験結果を含めて、2000年以降の航技研に於ける磁力支持天秤装置の研究について以下に述べることにする。

2. 60cm 磁力支持天秤装置

60cm磁力支持天秤装置は磁極間隔が64cm有り、風速50m/sまで試験できるように設計された。風洞測定部の壁の厚さを考慮すると、本磁力支持天秤装置は60cm角測定部を持つ低速風洞に適したものである。詳細は参考文献5)を参照されたい。

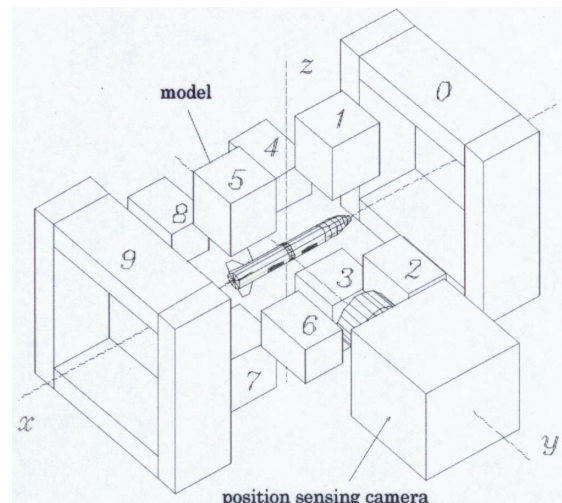


図1. 航技研 60cmMSBS のコイル配置

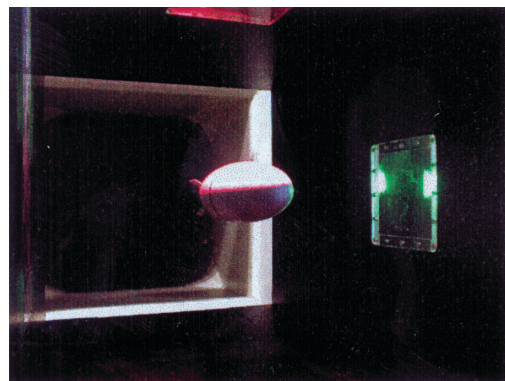


図2. 磁力支持中の飛行船模型

coil #	turn number	size	purposes
0,9	50	620 x 620	drag
1,3,5,7	97 + 97	200 x 200	lift, pitch moment
2,4,6,8	100	200 x 200	side force , yawing moment, rolling moment
coil drive units	130V, 120A in continuous mode ... 3 units 130V, 60A in continuous mode ... 4 units		
control	5 DOF for models with a main magnet only 6 DOF for special models with pair magnets		

表 1 航技研 60cm MSBS 仕様

コイル駆動用電源が 1999 年度末から順次、PWM 方式のものに交換され、現在は表 1 の様にコイルと連結されている。横力用コイル 4 つはそれぞれに最大 60A まで連続して電流を流せるパワーアップが取り付けられ、参考文献 6) の横揺れ制御法を用いた 6 軸制御能力が加わった。図 3 は π 試験用の特別な磁石を前後に取り付けた模型である。この模型はこの秋には実際に試験する予定である。

3. 60cm 磁力支持風洞

60cm 磁力支持天秤装置は 1999 年に 60cm 角測定部を有する低速風洞に装備された。風洞線図を図 4 に示す。測定部の下流部分を磁力支持天秤装置の測定部で置き換え、新たにそれにあったコルカタを取り付けた。図 5 は航技研 60cm MSBS を取付けた測定部の様子を示している。

測定部気流検定は今までに 2 度実行した。磁力支持天秤測定部は断面が 60cm 角の一定面積のため内部の気流は加速されている。風速は上流の基準ピト静圧管により計測された結果から、測定部中心位置の風速に変換されている。利用可能な風速域は現在 10m/s ~ 35m/s である。気流角度は 0.05° 下向き、0.15° 東向きの気流である。I 型熱線で計測した乱れは強度 0.05% 以下であった。測定部中心軸上の静圧勾配は -0.03/m であった。乱れと、静圧勾配は 2 度の試験とも同じであったが、気流角は約 0.15° 程異なっており、気流角度誤差はその程度有るとはなくてはならない。気流検定結果は表 2 にまとめてある。詳細は参考文献 7) を参照されたい。

4. 60cm 磁力支持天秤装置を用いた試験例
6:1 回転楕円体

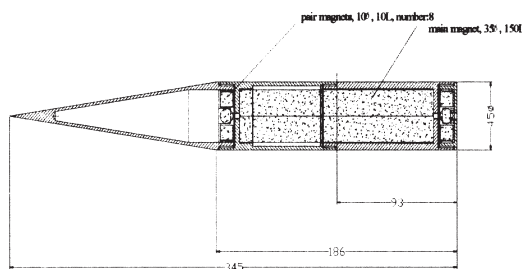


図 3. 航技研 60cm MSBS 用 π 模型

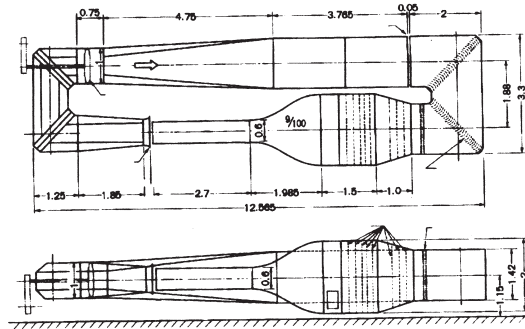


図 4. 60cm 磁力支持天秤装置を装備した低速風洞線図 (単位: m)

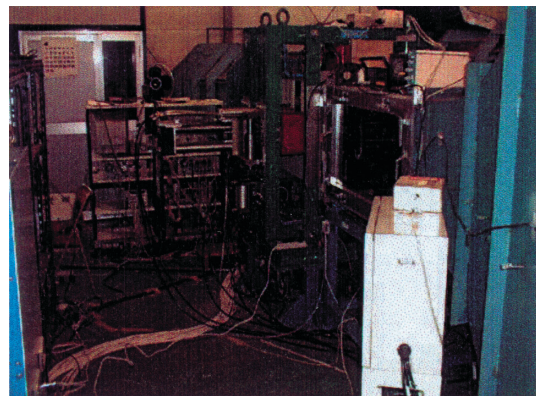


図 5. 航技研 60cm MSBS を取付けた測定部

超電導コイルをはじめとして既に幾つかの模型を用いて磁力支持特性が調べられている。2000 年以来、磁力支持天秤装置を利用して軸対称模型の空力特性を測定している。最初に測定で用いた模型が 6:1 回転楕円体模型である。この形状の抵抗は 1970 年に MIT で磁力支持天秤装置を用いて測定しており⁸⁾、また、1988 年には NASA でも磁力支持天秤装置を用いた測定をしている⁹⁾。このため、最初に抗力計測精度の是非を判断するにはこの形状が適していると判断した。航技研で用いた 6:1 回転楕円体模型は長さが 480mm で質量は 6.5kg ある。図 6 に示す様に表面は白く塗装し、位置姿勢を評価するために中心に 6mm 幅の黒色の帯を描き、表面全体を滑らかにするように磨いてある。磁石は模型内部で後縁から小型埋め込みネジで内部に押しつけられ、模型と相対的な磁石の位置姿勢が変化しないようにした。磁石の磁気モーメントは約 6.7

test section	0.6m wide, 0.6m high, 1.2m long
fan drive unit	11 kW
contraction ratio	11.1
flow speed	10 ~ 35 m/s
pressure gradient	-0.03 / m in pressure coefficient
flow angles	0.05 deg. downwash 0.15 deg. rotate about z-axis
turbulence intensity	less than 0.05%

表 2. 航技研 60cm 磁力支持風洞

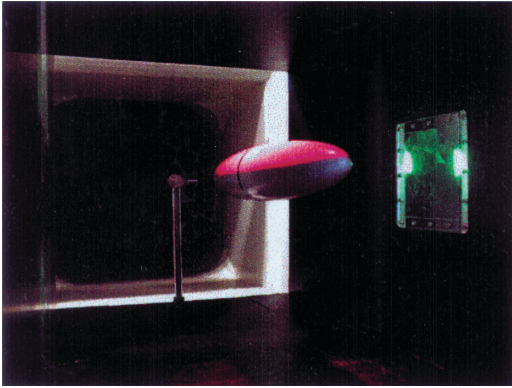


図 6. 後流計測中の 6:1 回転楕円体模型

$\times 10^4 \text{ Wb}\cdot\text{m}$ である。抗力校正試験は最大電流値までは行わずに、風洞試験で受ける抗力付近に限って校正試験を行った。抗力測定精度を上げるには、模型が受ける最大力までの範囲に限定して抗力校正試験を実行することが重要である。図 7 にその時の抗力校正試験結果を示す。模型抗力は後流計測からも評価された。後流計測法では、運動量の出入りから評価されるのであって、磁力

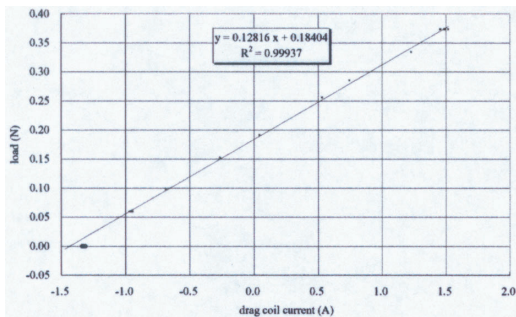


図 7. 抗力校正試験結果

支持天秤装置による力計測とは全く関係ない。これら二つの異なった方法により得られた抗力係数が同じ様な値を取れば、磁力支持天秤装置による計測結果は信頼の置けるものと言える。図 8 はこれら 2 つの方法で得られた抗力係数を模型全長を基準長とするレイノルズ数に関してプロットしたものである。レイノルズ数が 5×10^6 より大きいところでは、互いに近い値を示していることが判る。

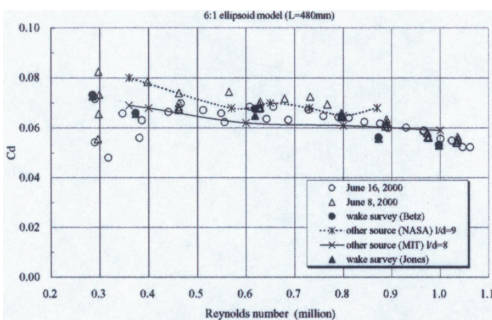


図 8. 抗力係数のレイノルズ数依存性

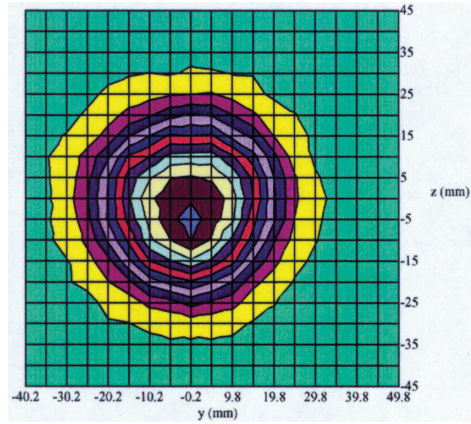


図 9. 風速 30m/s の時の速度比の等高線 (線間隔: 2.5% 毎の変化)

模型後流の速度比を図 9 に示した。等速度比線図は期待したとおり、ほぼ円形をしており、全く支柱干渉がないことを伺わせる。詳細は参考文献 10) を参照されたい。

4:1 回転楕円体

航技研に於ける成層圏プラットフォーム計画の中で、支柱干渉を正しく評価するために 60cm 磁力支持天秤装置は低速風洞に装備された。飛行船の抵抗は特に抵抗が小さく、支柱干渉量が風洞試験の計測結果の大きな部分を占め、既存の支柱干渉評価法が適用できるかどうかという判断が求められていた。模型は 4:1 回転楕円体で、長さは 360mm、重さは 5.4kg、磁気モーメントは約 $6.8 \times 10^4 \text{ Wb}\cdot\text{m}$ である。模型抵抗計測は 6:1 回転楕円体の時と全く同じ方法で実行された。測定された抵抗係数は MIT の測定結果にも近い値であった。支柱と模型の間隔の計測では磁力支持天秤装置に装備されている模型位置姿勢測定装置を用いた。模型を降下させていくと支柱の先端に当たり、それ以上、下がりなくなるので、(図 10 参照) そこが支柱との間隔が 0mm となる位置と言える。図 11 は支柱干渉評価試験の写真で、支柱は模型と接触しておらず、その間隔は 0.25mm である。支柱干渉評価結果は参考文献 11) を参照されたい。

6:1 円錐模型

図 12 に示す様に風速 33m/s まで、気流迎角 0 度で、

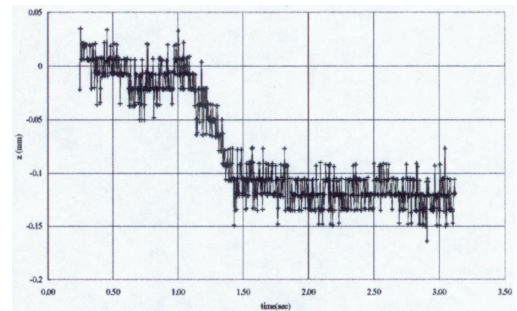


図 10. 模型降下時の z 変化

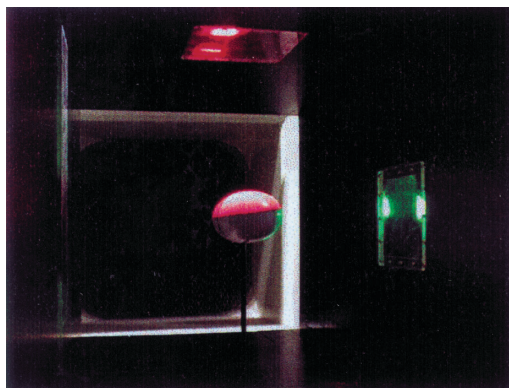


図 11. 4:1 回転楕円体模型を用いた
支柱干渉評価試験

6:1 円錐模型の抗力と後流を計測した。模型重量は 1.36kg、全長は 480mm である。磁気モーメントは約 1.5×10^{-4} Wb・m である。この模型では、境界層は後縁で剥離し、大きな後流バブルを形成する。円錐模型の後流域の計測は既に幾つか測定されているが、磁力支持天秤装置を用いた例は初めてのようである。模型は目視でも若干運動をしているのが観測でき、これは模型後縁から渦が非定常に放出されるのに関連しているものと考えられる。詳細は参考文献 12) を参照されたい。このように、磁力支持天秤装置は流体力学の基礎的研究でも有用な手段を与えるものと期待される。

5. むすび

航空宇宙技術研究所に於ける磁力支持天秤装置の研究は主に 60cm 磁力支持天秤措置を用いて行われている。その目標は、磁力支持天秤装置を普及させることと、磁力支持天秤装置を用いた新たな風洞試験技術を開発することである。この磁力支持天秤装置を低速風洞に装備し、装置自体もコイル駆動アンプを増強し、横揺れ制御能力を有するようにした。既に幾つかの試験をこの風洞で実行した。3種類の模型の抗力係数がこの風洞で測定され、回転楕円体の模型抵抗は他の文献のものと一致しており、適切な抗力較正試験を実行することにより、既存の風洞で使

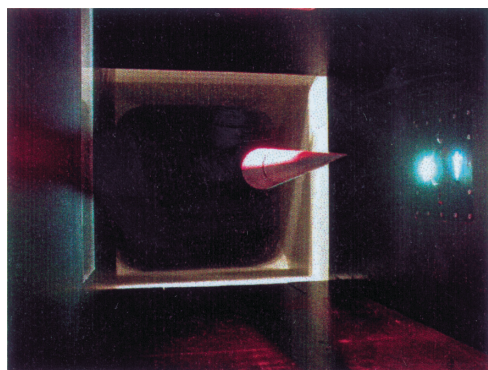


図 12. 6:1 円錐模型

用している天秤精度程度で模型抗力を計測できることを示した。支柱干渉も容易に評価でき、磁力支持天秤装置がこうした風洞試験に特有の問題解決に貢献することを示した。また、6:1 円錐模型の後流計測を実施し、磁力支持天秤装置が 3 次元後流の研究にとって極めて有効な測定手段であり得ることを示した。

参考文献

1. H. Sawada, et al.: AIAA 91-0397, 1991
2. H.Sawada, et al.: NASA CP3247, 1994, pp.275-289
3. H.Sawada, et al.: NASA CP336, 1996, pp.505-519
4. H.Sawada, et al.: NASA/CP-1998-207654, 1998
5. H.Sawada, et al.: NASA/CP-2000-210291 2000, July, pp. 659-673
6. 澤田 秀夫, 他4名: NAL TR-1164, 1992
7. H.Sawada et al.: Proceedings of The 38th Aircraft Symposium, Oct., 2000
8. M. Judd; J. Fluid Mech. (1971), Vol.48, pp.353-364
9. A. Newcomb: NASA CP 181611, Feb., 1988
10. H.Sawada, et al.: Proceedings of The 32nd Fluid Dynamics Conference, Oct., 2000
11. K. Harada, et al.: Proceedings of The 32nd JSASS Annual Meeting, March, 2001
12. H.Sawada, et al.; Proceedings of The 33rd Fluid Dynamics Conference, Sept., 2001, to be published.