

# 平成24年度 MSBS 研究会活動報告書

## まえがき

地球温暖化問題、エネルギー環境問題、アジアの成長など、さまざまな観点から新たな環境技術へのニーズが高まっている。航空輸送の分野においても、欧米ともに10～15年後の航空システムのあり方について政策を定め、高いレベルの環境適合性を目指した研究を推進している。

現在我が国で開発が進められている三菱リージョナルジェット MRJ は70～90席クラスで、2013年の初飛行、2015年の運航開始を目指している。従来機に比べ高い環境性能を持つことがセールスポイントとなっている。東北大学流体科学研究所において実施されたMRJのための共同研究では、3次元複雑形状に対するCFD技術をもとに、構造・空力・空力弾性を連成した多目的最適化技術が構築された。その成果は、国際学会のみならずボーイング社からも講演依頼を受けたように、海外でも大いに注目されている。さらに、他の産業分野でも注目され、自動車・家電産業などへの技術移転も進められている。これらの産業でも環境適合性を高めるために、流体が関連した多目的最適化を行うことが必須となっている。

また、流体科学研究所とJAXAでは、EFD・CFD融合技術に着目し、ワークショップや国際会議の開催を行ってきた。例えば、レーザライダの計測結果をCFDに融合し仙台空港における航空機の後方乱気流を再現したり、風洞実験値から乱流粘性を推定し実験に良く合う計算結果を導いたりしている。

これらの世界最先端の多目的最適化設計技術・計測融合シミュレーション技術を、さらに安全で環境適合性に優れた革新的な航空機を設計するための技術として推し進めるために、風洞計測技術にも一層の高度化が求められている。特に、定常巡航状態での最適化技術が成熟してきたことから、離発着・旋回・突風を含めた非定常運動下での設計技術と、それに対応した風洞計測技術が求められているといえよう。

従来の風洞試験では、模型に作用する空気力を、模型を支える支柱に作用する力から計測してきた。しかし、計測された空気力から支柱の影響を完全に排除することが難しいために、力やモーメント計測の高精度化の障害となっていた。これは同時に、風洞内の模型は、静的に支持されていることが前提となっている。磁力支持天秤(MSBS)装置では、支柱の代わりに、風洞測定部の周りに配置した10個の電磁石と、模型内部に埋め込んだ永久磁石との磁気力で、模型を空中に固定する。模型に空気力が作用し位置(角度)が変化すると、位置(角度)を一定に保つためにフィードバック制御で電流量を変化させ、この変化量から、模型に作用する空気力を割り出すことができる。このように、MSBS装置は支

柱のない理想的な形態で、模型に作用する力を計測することができる。さらに、制御を変更すれば、模型を非定常に運動させることが可能であり、非定常計測技術への応用が期待される。

そこで、東北大学グローバル COE プログラム「流動ダイナミクス値の融合教育研究世界拠点」の活動の一環として、より高度な風洞実験を可能にする MSBS 技術とその利用法の情報交換のために、MSBS 研究会を設置し、3 回の開催を重ねて議論を深めてきた。本報告書は、その発表内容をまとめたものである。MSBS 技術がますます発展し、利用が広まり、さまざまな研究開発に応用されることを切に願うものである。

MSBS 研究会 委員長

大林 茂

2013 年 3 月

#### MSBS 研究会開催計画：

第 1 回 MSBS 研究会：JAXA にある MSBS 設備の見学と装置の概念について勉強する。  
また、研究会参加者らによる風洞試験技術の課題と現状に関する事例報告を受け、それらに対する MSBS 技術適用の可能性について検討する。

第 2 回 MSBS 研究会：流体科学研究所の風洞に於けるロボットを用いた非定常計測事例と開発中の超音速吸い込み式風洞用 MSBS の見学、及び、装置を利用した実験について提案を受け議論する。また、研究会参加者らによる風洞試験技術の課題と現状に関する事例報告を受け、それらに対する MSBS 技術適用の可能性について検討する。

第 3 回 MSBS 研究会：研究会参加者らによる風洞試験技術の課題と現状に関する事例報告を受け、それらに対する MSBS 技術適用の可能性について検討する。また、研究会での議論をまとめた資料を作成し、内容を確認する。

#### MSBS 研究会実施状況：

第 1 回 MSBS 研究会：平成 12 年 11 月 20 日午後 1 時～午後 3 時 30 分  
参加人数：23 名  
発表：5 件（中、資料のみが 1 件。添付資料 1 参照）

第 2 回 MSBS 研究会：平成 12 年 12 月 10 日午後 1 時～午後 3 時 30 分  
参加人数：17 名  
発表：4 件（添付資料 2 参照）

第 3 回 MSBS 研究会：平成 13 年 3 月 1 日午後 1 時～午後 3 時 00 分  
参加人数：25 名  
発表：6 件（添付資料 3 参照）

## 第1回 MSBS 研究会活動概要 :

先ず、MSBS 研究会幹事、東北大学流体科学研究所の大林茂教授から本研究会の趣旨と計画についての説明を受けた後、JAXA 調布航空宇宙センターにある 60cmMSBS の概要について、JAXA 流体グループ杉浦主任研究員から説明を受け、その後、装置自体の見学を実施した。見学では、装置を目の前にして具体的な説明を受け、実際に AGARD-B 模型を磁力支持した状態で、その支持状態の確認ができ、試験の具体的なイメージを掴むのに役立った。

その後、東北大学流体科学研究所低乱風洞実験施設共用リエゾン室澤田研究支援者から MSBS の基本原理とその歴史、及び JAXA の MSBS 開発経緯についての発表があった。

続いて、JAXA 流体グループ杉浦主任研究員から 60cmMSBS を用いた試験の今後の計画と将来展望について発表があった。特に、2次元エリアセンサーを用いた磁力支持の試みは世界初であり、その進展が待たれる。(後に、2次元エリアセンサーを用いた 500Hz での磁力支持が成功した。) また、非定常空気力計測、磁力支持が得意とするロール特性評価、動安定評価に向けた計画が提示され、JAXA での今後の MSBS 研究活動の進展が期待されるものであった。

続いて、秋田大学機械工学長谷川裕晃受教授からバトミントンシャトルの空力特性評価試験について紹介を受けた。身近なスポーツの道具の中にも、極めて複雑な非定常空力現象が観察されていることが判り、非定常空力現象の研究の重要性と MSBS 試験技術が貢献できる新たな分野として、スポーツ流体科学が一つの大きな候補となり得ることを改めて示したものであった。

また、山形大学地域教育文化学部瀬尾教授から「MSBS への期待」という題目で、「スポーツ流体科学の中で、円盤投げの回転円板に掛かる空気力、サッカーボールのマグヌス力、ラグビーボールに加わる非定常力に関する研究成果を踏まえ、現状の風洞試験技術の抱える課題が報告され、それらを解決する手段として MSBS が期待できるかもしれない」といた資料が提供され、提供された資料は第1回 MSBS 研究会の発表資料に含めた。

全体に内容が豊富で議論が活発であったため、予定時間を大幅にオーバーし、その後、高木通俊 JAXA 客員研究員から自動車の風洞試験に関する紹介が予定されていたが、主要部分は第2回 MSBS 研究会で発表することになった。

## 第2回 MSBS 研究会活動概要 :

2回目以降に初めて参加された研究者もいたので、先ず、MSBS 研究会幹事、東北大学流体科学研究所の大林茂教授から本研究会の趣旨と計画について改めて説明をして頂いた。

その後、同じキャンパスにある実験室へ移動して、東北大学流体科学研究所にある火星風洞の概要について、東北大学工学部浅井教授から説明を受け、その後、装置自体の見学を実施した。また、併せて、同研究所に有る超音速風洞とそれに装備されている小型 MSBS の見学を実施し、流体科学研究所大林研の学生、高木君により、実際に円柱模型を磁力支持した状態を見学し、MSBS を用いた試験の具体的なイメージを掴むのに役立った。更に、徒歩にて南キャンパスにある東北大学流体科学研究所低乱熱伝達風洞実験施設へ移動し、世界屈指の低乱性を誇る低乱風洞とそれを用いて動的試験をしている東北大学工学部浅井教授のロボット装置の見学を実施した。ロボット装置の見学では実際に模型運動の様子を見ることができ、最近の風洞試験の技術水準とその動向を知ることができた。

その後、会議室に戻り、高木通俊 JAXA 客員研究員から自動車用風洞概況とムービングベルトを用いた試験技術について、世界各国の実情について説明を受けた。今後の自動車用風洞では低騒音化、ムービングベルトの装着が重要との指摘を受け、MSBS 技術とムービングベルトとの両立をどの様に測るべきか、新たな課題が提起された発表であった。

続いて、福岡工業大学の河村先生から福岡工業大学で開発した MSBS の紹介とそれを用いて実施してきた試験例について説明して頂いた。最後に、MSBS の新しい進展として、福岡工業大学で開発した MSBS を基にした韓国における MSBS 開発例の紹介もして頂いた。福岡工業大学の MSBS は永久磁石を用いたバイアス磁場による重力に抗する浮揚力は、MSBS 制御用コイル電流を大幅に低く抑えることができることを特徴としている。研究室レベルでユニークな試験を試み、MSBS を用いた新たな研究分野の開拓を進めている。

ついで、東北大学工学部浅井教授から世界の動向を含めたロボットを用いた動的風洞試験例について紹介して頂いた。特に、実際に求められている科学的知見について、具体例を示して紹介し、ロボットを用いた試験の現状と課題についての説明では、MSBS 技術の現状と比較し、こうした要望に対して現状の MSBS 技術では未だ及ばない要求であり、今後どのような MSBS 技術開発が必要か整理検討する必要性が示された。

最後に、流体科学研究所大林研学生、高木君により、最初に見学した超音速風洞用 MSBS に関する研究開発現状と課題について報告があった。小型超音速風洞では、利用できる空間が狭いため、模型を機械的に把持し、風洞気流が超音速になり安定して

から模型を磁力支持して、機械的把持装置を対比させる方法が採用できない。このため、風洞始動時から模型を磁力支持し、起動荷重に耐えることが求められる。この非定常荷重に対し効果的な磁力支持制御について検討した結果が報告されたが、実現した暁には、小型超音速風洞用 MSBS にとって必須な技術となるものと期待される。2 か所の設備見学と 4 件の発表は共に内容が豊富で議論も活発であった。

### 第3回 MSBS 研究会活動概要：

初めに、2012 年度補正予算で「フライト計測融合低乱熱伝達風洞設備」計画が認められたことが東北大学流体科学研究所大林茂教授から報告された。

その後、高木通俊 JAXA 客員研究員から自動車の抗力係数低減の歴史についての発表があった。100 年以上にわたる抵抗低減に向けた乗用自動車の形状変化は今も続いていて、風洞試験の重要性は変わりが無く、自動車の抵抗計測に MSBS 技術を適用することの有用性が示されたものと考えられる。

続いて、電気通信大学の宮寄先生からアーチェリー矢の空力特性についてフィールド試験と MSBS 試験の両方の結果を比較した例について説明して頂いた。

続いて、ホンダ技術研究所の小川研究員から乗用車の非定常空力試験と CFD の比較結果の例を紹介して頂いた。スポーツ流体科学のもう一つの例として、アーチェリー矢の周りの流体现象について MSBS を用いることで様々な新しい知見が得られていることが報告され、矢の様に細くて長く、回転する物体周りの流れを研究するには MSBS が極めて有効であることが示された。しかし、実際の矢は回転の他に、撓み運動もしているので、この運動も将来は MSBS 技術で模擬できるようにすることが求められる。

ついで、東北大学流体科学研究所大林茂教授からフライト計測融合低乱熱伝達風洞設備整備計画について、その概略を紹介して頂き、来年度の工事の後に、外部ユーザーも利用でき、参加者の方々にも利用してもらいたいとの発言があった。

最後に、流体科学研究所共用リエゾン室澤田研究支援者から、設備の中の主要要素である風洞用磁場発生装置の目標、設計方針等について報告があった。磁場発生装置は基本的に JAXA60cmMSBS の設計製作経験を踏まえ、その 1.7 倍スケールのもので、先進非接触計測技術の PIV、PSP が利用し易く、外部からの模型運動命令を受けつけられる設計にし、利用時の安全を考えた磁石寸法制限を設ける予定であることが示された。

発表件数は 6 件と多かったが、内容も豊富で議論が活発であった。最後に、東北大学流体科学研究所大林茂教授から、本 MSBS 研究会活動を次年度も続ける予定であることが報告された。

発表の詳細は資料 4 にまとめて掲載した。

## 第 1 回 磁力支持天秤(MSBS)研究会

1. 日時 : 平成 24 年 11 月 20 日 (火) 13:00~15:00
2. 場所 : JAXA (調布)・広報室レクチャールーム
3. 参加者 : 別添参加者表参照
4. アジェンダ :

時間	所要時間		於
13:00~13:10	10分	開会のご挨拶・研究会の趣旨説明 (大林先生)	レクチャールーム
	5分	参加者紹介	レクチャールーム
13:15~13:25	10分	JAXA・MSBS 概要説明 (杉浦)	レクチャールーム
	5分	移動	
13:30~13:45	15分	JAXA・MSBS 見学 (杉浦)	磁力支持風洞室
	5分	移動	
13:50~14:20	30分	東北大学・MSBS 計画概要説明 (澤田研究支援者、東北大学流体科学研究所)	レクチャールーム
14:20~14:30	10分	JAXA・MSBS 今後の計画 (杉浦)	同上
14:30~14:40	10分	MSBS への期待 (長谷川先生、秋田大学)	同上
14:40~14:50	10分	自動車用風洞概況 (高木先生、JAXA)	同上
14:50~14:55	5分	今後の日程等 (大林先生)	同上
14:55~15:00	5分	閉会のご挨拶(JAXA)	同上
		解散	

以上

## 第 2 回 磁力支持天秤(MSBS)研究会

1. 日時 : 平成 24 年 12 月 10 日 (月) 13:00~15:20
2. 場所 : 東北大学流体科学研究所 1 号館会議室
3. 参加者 : 別添参加者表参照
4. アジェンダ :

時間	所要時間		於
13:00~13:10	10分	開会のご挨拶 (大林先生)	会議室
13:10~13:30	20分	MSBS/超音速風洞、火星風洞見学	実験室
	5分	移動	
13:35~13:55	20分	低乱風洞とロボット装置	環境実験棟
	5分	移動	
14:00~14:20	20分	自動車用風洞概況とムービングベルト (高木先生、JAXA)	会議室
14:20~14:40	20分	福岡工業大学における磁力支持天秤装置の研究開発とその後の展開 (河村先生、福岡工業大学)	同上
14:40~15:00	20分	東北大学における動的風試の試み (浅井先生、東北大学)	同上
15:00~15:20	20分	超音速磁力支持天秤装置の研究開発 (高木君、東北大学流体科学研究所)	同上
15:20	5分	閉会のご挨拶	同上
		解散	

以上

## 第 3 回 磁力支持天秤(MSBS)研究会

1. 日時 : 平成 25 年 3 月 1 日 (金) 13:00~15:00
2. 場所 : 東北大学流体科学研究所 1 号館 2 階会議室
3. 参加者 : 別添参加者表参照
4. アジェンダ :

時間	所要時間		於
13:00~13:05	5 分	開会のご挨拶 (大林先生)	
13:05~13:25	20 分	「CD 低減の歴史」(高木先生、JAXA)	会議室
13:25~13:45	20 分	「アーチェリー矢の空力特性 –MSBS 風洞実験と飛翔実験」(宮寄先生、電気通信大学)	会議室
13:45~14:05	20 分	「自動車の非定常空気が車両運動へ及ぼす影響」(小川氏、ホンダ技術研究所)	会議室
14:05~14:25	20 分	「水泳推進におけるダイナミックリフトの活用」(長谷川先生、秋田大学)	会議室
14:25~14:35	10 分	「フライト計測融合低乱熱伝達風洞設備について」(大林先生)	会議室
14:35~14:55	20 分	「流体研 MSBS の概容」(澤田研究支援者)	会議室
14:55	5 分	閉会のご挨拶 (大林先生)	
15:00		解散	

以上

第 1 回磁力支持天秤(MSBS)研究会発表資料集

- 1-01 「JAXA・MSBS 概要説明」  
「JAXA・MSBS 今後の計画」  
(杉浦裕樹、JAXA 研究開発本部)
- 1-02 「東北大学流体科学研究所低乱風洞用大型磁力支持天秤装置の計画」  
(澤田秀夫、東北大学流体科学研究所)
- 1-03 「飛翔体としてのバトミントンシャトルコック ー研究の紹介と MSBS への期待」  
(長谷川裕晃、秋田大学大学院工学資源学研究科)
- 1-04 「MSBS への期待」  
(瀬尾和哉、山形大学地域教育文化学部)  
(注意) 資料のみ提供

第 2 回磁力支持天秤(MSBS)研究会発表資料集

- 2-01 「自動車用風洞」  
(高木通俊、JAXA 研究開発本部)
- 2-02 「福岡工業大学における磁力支持天秤装置の開発とその後の展開」  
(河村良行、福岡工業大学)
- 2-03 「東北大学における動的風刺の試み」  
(浅井圭介、沼田大樹、姜 欣、我孫子聡子、東北大学)
- 2-04 「超音速磁力支持天秤装置の研究開発」  
(高木良規、東北大学流体科学研究所 修士課程 1 年)

## 第 3 回磁力支持天秤(MSBS)研究会発表資料集

- 3-01 「自動車の  $C_D$  低減の歴史」  
(高木通俊、JAXA 研究開発本部)
- 2-02 「アーチェリー矢の空力特性  
－MSBS 風洞実験と飛翔実験－」  
(宮寄 武、電気通信大学大学院)
- 2-03 「Quantative Representaions of Aerodynamic Effects on Flat Ride of Vehicles」  
(Ogawa, A, Mashio, S., Yano, S., Kawamura, T., 、  
Honda R&D Co., Ltd.)
- 2-04 「水泳推進におけるダイナミックリフトの活用」  
(長谷川裕晃、秋田大学大学院工学資源学研究科)
- 2-05 「フライト計測融合低乱熱伝達風洞設備について」  
(大林 茂、東北大学流体科学研究所)
- 2-06 「風洞用磁場発生装置  
－フライト計測融合低乱熱伝達風洞設備の一要素として－」  
(澤田秀夫、東北大学流体科学研究所)