

平成 22 年 5 月 18 日現在

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2007～2009

課題番号：19206086

研究課題名（和文） 超音速複葉翼理論に基づくサイレント超音速機の基盤研究

研究課題名（英文） Fundamental Research for Silent Supersonic Transport Based on Supersonic Biplane Theory

研究代表者

大林 茂 (OBAYASHI SHIGERU)

東北大学・流体科学研究所・教授

研究者番号：80183028

研究成果の概要（和文）：超音速複葉翼理論とは、2枚の翼を向かい合わせに配置し、衝撃波を干渉させることで、造波抵抗をなくし、ソニックブームの低減を図る理論である。本研究では、本理論の根幹となる3次元翼形状の定義とパラメトリックスタディによる最適形状の決定、数値計算と低速風洞試験をあわせた超音速複葉翼の低速性能推定、超音速複葉翼に固有の始動過程に関する超音速風洞試験、バリスティックレンジを利用した超音速複葉翼による世界で初めての超音速飛翔実験、ラジコン機による低速飛行試験等を実施し、理論の構築と検証を行った。

研究成果の概要（英文）：Supersonic Biplane Theory is a concept of eliminating wave drag and sonic boom by using shock wave interaction between two airfoils facing each other. The following research topics are investigated in this research to construct and validate the theory: Definition of three-dimensional wing configuration and its optimization, Investigation of low speed characteristics of supersonic biplane by using CFD and EFD, Supersonic wind tunnel test of starting process of three-dimensional supersonic biplane, Free flight experiment of supersonic biplane using ballistic range.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	17,100,000	5,130,000	22,230,000
2008年度	11,200,000	3,360,000	14,560,000
2009年度	9,200,000	2,760,000	11,960,000
年度			
年度			
総計	37,500,000	11,250,000	48,750,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・航空宇宙工学

キーワード：超音速流れ，数値流体力学，風洞実験，ソニックブーム

1. 研究開始当初の背景

近年、民間の超音速輸送機（SST）の分野では、小型超音速旅客機や超音速ビジネスジェット（SSBJ）の開発計画が世界的に注目されている。米国では、エアリオン社[1]や

SAI社[2]などが開発計画を打ち出し、数年後の市場投入を目指している。NASAでも2020年以降の市場投入を目指したSSTの研究が進められている[3]。欧州では、仏ダッソー社を中心にHISACと呼ばれるSSBJ開発が進

められている[4]。国際民間航空機関 (ICAO) では、これらの動きに対応して 2013 年に民間超音速飛行に関するソニックブーム基準策定を計画している。

我が国でも、第 3 期科学技術基本計画の分野別推進戦略においてソニックブームの低減が掲げられおり、これに対応して文部科学省では「次世代超音速機技術の研究開発」が重点的に進めるべき研究開発として取り上げられ、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) において「静粛超音速研究機の研究開発」が検討され、2012 年に気球投下による低ブーム技術実証試験の計画がある[5]。また 2005 年 10 月には、日本航空宇宙学会において申請者を主査とするサイレント超音速旅客機研究会が発足しており、JAXA・学会を中心に組織を横断してオール日本で超音速機の研究開発に取り組む体制が整いつつある。

一方、本研究グループは、2003~2006 年度に基盤研究 (A) (2) 課題番号: 15206091 「サイレント超音速飛行実現のための実験・計算融合研究」を実施、この研究の 2 年目には、東北大学 21 世紀 COE プログラム「流動ダイナミクス国際研究教育拠点」で招聘した楠瀬博士の協力も得て、超音速複葉翼理論を提案した。この理論は、古典的なブーゼマン翼の概念を応用して 2 枚の翼を用いて衝撃波を干渉させることで、造波抵抗を低減しつつソニックブームを根本的に削減することを目指しており、JAXA の低ブームコンセプトとも異なる革新的空力形状である。

参考文献

- [1] エアリオン社：
<http://www.aerioncorp.com/home>
- [2] SAI 社：<http://www.saiqsst.com/>
- [3] NASA 先進概念研究：
http://www.aeronautics.nasa.gov/nra_awardees_10_06_08.htm
- [4] HISAC：<http://www.hisacproject.com/>
- [5] 航空科学技術委員会：
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/004/index.html

2. 研究の目的

本研究では、超音速複葉翼理論の構築と検証を目指して、3 次元翼形状の定義とパラメトリックスタディによる最適形状の決定、数値計算と低速風洞試験をあわせた超音速複葉翼の低速性能推定、超音速複葉翼に固有の始動過程に関する超音速風洞試験、バリステイックレンジを利用した超音速複葉翼による超音速飛行実験、ラジコン機による低速飛行試験等を実施し、超音速複葉実証機設計のための要素技術の研究開発を行う。

3. 研究の方法

本研究では研究グループを 3 つのグループ

にわけ、緊密な連携のもとに研究を実施する。
①実験グループ：各大学及び JAXA 宇宙科学研究所の風洞設備を利用して、低速・遷音速・超音速の地上試験を実施する。特色として、名古屋大学のガス銃を利用した自由飛行試験があげられる。模型を打ち出すことで、支持干渉のない実験が可能である。また、東北大の持つ計測技術として感圧・感温塗料による測定では、非接触で、面の圧力・加熱率分布を計測することができる。

②計算グループ：主に東北大学流体科学研究所のスーパーコンピュータを利用し、CFD により 3 次元形状の設計・低抵抗と低ブームの両立・可変形状の検討・低速特性の予測を行う。特徴ある計算技術としては、非構造格子法・多目的最適化法と逆問題設計法があげられる。また、JAXA 静粛超音速機と共通して、ソニックブームの高次精度予測技術・低ブーム設計への応用は重要な研究項目であり、JAXA との協力のもとに進める。

③設計グループ：設計グループでは、具体的な飛行実証機の設計を検討する。学術創成研究費「高高度気球を用いた微小重力実験装置の開発」での経験を生かし、機体設計案と実証計画を練る。

4. 研究成果

本報告では代表的成果を 3 件記載し、より詳細の成果はインターネット上で公開する。
(1) 3 次元超音速複葉翼理論：本理論の根幹となる 3 次元翼形状の定義とパラメトリックスタディによる最適形状の決定を行った。3 次元翼では翼端の存在により衝撃波が相殺できなくなる。しかしテーパ翼を採用すればこの影響を軽減することができる。その際の翼の上下反角、前縁後退角、前縁降下角等の最適な組み合わせが得られた。

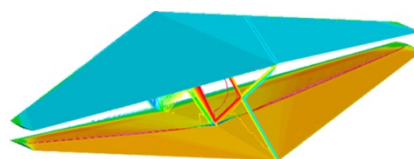


図 1 テーパを持つ 3 次元翼形状

(2) バリステイックレンジによる自由飛行試験：超音速複葉翼による世界で初めての超音速飛行実験に成功した。模型支持干渉のない状態で、超音速飛行物体の出す圧力波を計測し、計算結果の検証を行った。

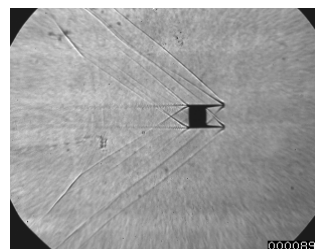


図 2 超音速飛行実験写真

(3) ラジコン機による低速飛行試験：無尾翼形態の低速飛行模型を開発した。まず、エレボン形状のブーゼマン複葉翼を用い、フリーフライト機による滑空試験を行った。次に、動力付低速飛行模型の試験飛行を実施して、安定性及び操縦性の検証を行った。



図3 ラジコン機飛行試験写真

超音速複葉翼理論は、1935年のブーゼマンの提案に基づくものではあるが、これを3次元翼理論として展開し低ブーム性を理論的に予測したのは本研究独自の成果である。今後は、超音速複葉翼が作るソニックブームを、飛行実証を通して計測し、予測精度の検証と予測手法の高度化を図る必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計18件)

1. 滝田雄一, 宮路幸二, “CFD を用いた高亜音速域におけるウイングロック現象の解析,” 日本航空宇宙学会論文集 第57巻 第664号, pp. 183-189, 2009. 査読有
2. Daigo Maruyama, Kazuhiro Kusunose, Kisa Matushima, “Aerodynamic Characteristics of a two-dimensional supersonic biplane covering its take-off to cruise condition,” Shock Waves (2009) Vol. 18, pp434-450. 査読有
3. D. Maruyama, K. Matsushima, K. Kusunose, and K. Nakahashi, “Three-Dimensional Aerodynamic Design of Low-Wave-Drag Supersonic Biplane Using Inverse Problem Method,” Journal of Aircraft (2009), Vol. 46, No.6, pp1906-1918. 査読有
4. 尾崎修一, 小川俊広, 大林茂, 松野隆, 川添博光, “低速における超音速複葉翼の3次元空力性能評価,” 日本航空宇宙学会論文集, 2009年12月Vol.57, No.671, pp.461-467. 査読有
5. Masahito Yonezawa and Shigeru Obayashi, “Reducing Drag Penalty in the Three-Dimensional Supersonic Biplane,” Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering, 2009年11月, 223巻7号, 891頁～899頁. 査読有
6. 小川正倫, 佐藤哲也, 小林弘明, 田口秀之, “巡航マッハ数に応じた超音速ジェットエンジンの多目的最適化Multiobjective Design Optimization of Super Sonic Jet Engine in Different Cruise Mach Number,” 日本航空宇宙学会論文集, 57巻670号, 2009年11月, 453頁～460頁. 査読有
7. Naoshi Kuratani, Shuichi Ozaki, Shigeru Obayashi, Toshihiro Ogawa, Takashi Matsuno and Hirimitsu Kawazoe, “Experimental and Computational Studies of Low-Speed Aerodynamic Performance and Flow Characteristics around a Supersonic Biplane,” Transaction of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, 52巻176号, 2009年8月, 89頁～97頁. 査読有
8. 米澤誠仁, 大林茂, “超音速複葉翼における超音速流れの履歴現象の2次元CFD解析,” 日本航空宇宙学会論文集, 57巻662号, 2009年3月, 131頁～133頁. 査読有
9. 米澤誠仁, 大林茂, “CFD解析による有限幅の超音速複葉翼の空力特性評価,” 日本航空宇宙学会論文集, 57巻660号, 2009年1月, 32頁～38頁. 査読有
10. Kohei Anju, Keisuke Sawada, Akihiro Sasoh, Koichi Mori, Eugene Zaretsky, “Time-Resolved Measurements of Impulse Generation in Pulsed Laser-Ablative Propulsion,” Journal of Propulsion and Power, Vol. 24, No. 2, 2008, pp. 322-329. 査読有
11. Choi, J.-Y., Sasoh, A., Jeung, I.-S., Urabe, N. and Kleine, H., “Impulse Generation Mechanisms in Laser-Driven In-Tube Accelerator,” Transactions of The Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 51, No. 172, Aug. 2008, pp. 71-77. 査読有
12. T. Sakai, Y. Sekiya, K. Mori, and A. Sasoh, “Interaction between laser-induced plasma and Shock wave over a blunt body in a supersonic flow,” Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Vol. 222, Part G: Journal of Aerospace Engineering, 2008, pp.605-617. 査読有
13. Koji Suzuki, Keisuke Sawada, Ryota Takaya, Akihiro Sasoh, “Ablative Impulse Characteristics of Polyacetal with Repetitive CO2 Laser Pulses,” Journal of Propulsion and Power, Vol.24, No.4, 2008, pp. 834-841. 査読有
14. Wataru YAMAZAKI, Kisa

- MATSUSHIMA and Kazuhiro NAKAHASHI, “Drag Decomposition-Based Adaptive Mesh Refinement,” *Journal of Aircraft* (2007), Vol. 44, No.6, pp1896-1905. 査読有
15. Takeshi Furukawa, Takanobu Aochi and Akihiro Sasoh, “Expansion Tube Operation with Thin Secondary Diaphragm,” *AIAA J.*, Vol. 45, No. 1, 2007, pp. 214-217. 査読有
16. 森浩一, 大谷俊朗, 佐宗章弘, “レーザパルスにより誘起されるプラズマ-衝撃波干渉場,” *日本機械学会論文集B*, 73 巻 727 号, pp. 670-675, 2007. 査読有
17. A Sasoh, K Kikuchi, and T Sakai, “Spatio-temporal filament behavior in a dielectric barrier discharge plasma actuator,” *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol. 40, 2007, pp. 181-4184. 査読有
18. Shigeru OBAYASHI, Shinkyu JEONG, Kazuhisa CHIBA, and Hiroyuki MORINO, “Multi-Objective Design Exploration and its Application to Regional-Jet Wing Design,” *TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES*, Vol.50, No.167, May 2007, pp.1-8. 査読有
- [学会発表] (計 22 件)
1. Hiroshi Yamashita, and Shigeru Obayashi, “Global Variation of Sonic Boom Intensity Due to Seasonal Atmospheric Gradients,” 48th AIAA Aerospace Sciences Meeting Including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, Orlando World Center Marriott, Orlando, FL, JAN 7, 2010.
2. A. Toyoda, M. Okubo, S. Obayashi, K. Shimizu, A. Matsuda and A. Sasoh, “Ballistic Range Experiment on the Low Sonic Boom Characteristics of Supersonic Biplane,” 48th AIAA Aerospace Sciences Meeting Including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, Orlando World Center Marriott, Orlando, FL, JAN 7, 2010.
3. Tanabe, A., Matsuo, A., Kojima, T., and Taguch, T., “Numerical Evaluation of Aerodynamic Interference between Wing and Fuselage for Hypersonic Experimental Aircraft”, AIAA-2010-1046, 48th AIAA Aerospace Sciences Meeting Including The New Horizons Forum and Aerospace Exposition, Orlando World Center Marriott, USA, Jan. 6, 2010.
4. Sugai, N., Yorita, D., Numata, D., Nagai, H., Asai, K., “Optical Fiber Sensor Capable of Measuring Pressure and Temperature from Luminescent Lifetime,” 6th International Conference on Flow Dynamics, 9-63, Hotel Metropolitan Sendai, Japan, November 6, 2009.
5. HAGIWARA, M., NAGAI, H., NUMATA, D., ASAI, K., “Analysis of Shock-wave Structures in a Supersonic Busemann Biplane by Sharp Focusing Schlieren System”, 6th International Conference on Flow Dynamics, 9-24, Hotel Metropolitan Sendai, Japan, November 5, 2009.
6. Ryota Noguchi, Kisa Matsushima, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, “Construction of Low Boom Design Technique for Supersonic Transport by Using an Inverse Problem,” Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology, Nagaragawa Convention Center, Japan, November 5, 2009.
7. D. Maruyama, K. Nakahashi, K. Kusunose, K. Matsushima, “Aerodynamic Design of Supersonic Biplane—Toward Efficient Supersonic Transport—,” European Air and Space Conference, Manchester Central international convention Complex, England, October 29, 2009.
8. Tetsuya Sato, Hideyuki Taguchi, Hiroaiki Kobayashi, Takayuki Kojima, Kenya Harada, Motoyuki Hongoh, Daisaku Masaki, Keiichi Okai, Kazuhisa Fujita and Shujiro Sawai, “Development status of a hypersonic precooled turbojet engine,” 60th International Astronautical Congress, Daejeon Conference Centre, Daejeon, Korea, 12-16 Oct. 2009.
9. Akihiro Sasoh, Kosuke Kikuchi, Katsuya Simizu and Atsushi Matsuda, “Square-bore ballistic range for launching three-dimensional projectiles,” 27th International Symposium on Shock Waves, St. Petersburg University, St. Petersburg, Russia, July 19, 2009, ISSW27-38414.
10. NAGAI, H., OYAMA, S., ASAI, K., FUJISONO, T., OBAYASHI, S., “Three dimensional effect of a supersonic

- busemann biplane on start process,” 27th International Symposium on Space Technology and Science, 2009-e-21, Tsukuba International symposium, Japan, July 10, 2009.
11. Tetsuya Sato, Hideyuki Taguchi, Hiroaiki Kobayashi, Takayuki Kojima, Motoyuki Hongoh, Kenya Harada, Daisaku Masaki, Keiichi Okai, Kazuhisa Fujita and Shujiro Sawai, “Development Status of A Precooled Turbojet Engine,” 27th International Symposium on Space Technology and Science, Tsukuba International Congress Center, Tsukuba, Japan, July 8, 2009.
 12. D. Maruyama, M. Yonezawa, K. Kusunose, K. Matsushima, and K. Nakahashi, “Numerical Analysis and Design of Wing-Body Configuration Based on Busemann Biplane,” 3rd EUROPEAN CONFERENCE FOR AEROSPACE SCIENCES(EUCASS) Palais des congres-Versailles, France, July 1-7, 2009.
 13. Shigeru Obayashi, “Multi-Objective Design Exploration (MODE) - Visualization and Mapping of Design Space,” Machine Learning for Aerospace International Workshop, Holiday inn Marseille, France, July 3, 2009.
 14. Akihiro Sasoh, Yohei Sekiya, Takeharu Sakai, Jae-Hyung Kim and Atsushi Matsuda, “Drag Reduction of Blunt Bodies in a Supersonic Flow with Laser Energy Depositions,” AIAA-2009-1533, 47th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Orlando World Center Marriott, Orlando, Florida, January 8, 2009.
 15. Kisa MATSUSHIMA, Daigo MARUYAMA, Ryota NOGUCHI, “Inverse Design and Analysis of Supersonic Biplane,” KSAS-JSASS Joint International Symposium on Aerospace Engineering, NOV. 22, Ramada Plaza Jeju Hotel, Jeju, Korea, 2008.
 16. Matsuno, T., Arahori, H., Kawazoe, H., “Active Control of Separation Shock Wave on a Compression Ramp Using Plasma Actuators,” Proceedings of the 5th International Conference on Fluid Dynamics, No. OS5-7, Excel Hotel Tokyu Sendai, Japan, November 18, 2008.
 17. NAGAI, H., OYAMA, S., OGAWA, T., KURATANI, N., ASAI, K., “Experimental Study on Interference Flow of a Supersonic Busemann Biplane using Pressure-Sensitive Paint Technique”, Proceedings of the International Council of the Aeronautical Sciences, ICAS2008-3.7.5, William A. Egan Civic & Convention Centre, Anchorage, Alaska, USA, September 17, 2008.
 18. Matsuno, T., Kawazoe, H., Nelson, R. C., Corke, T. C., “Forebody Vortex Control on High Performance Aircraft Using PWM-Controlled Plasma Actuators,” Proceedings of the 26th International Congress of the Aeronautical Sciences, No. ICAS 2008-3.3.4:CDROM, William A. Egan Civic & Convention Centre, Anchorage, Alaska, USA, September 15, 2008.
 19. Kisa MATSUSHIMA, Takumi MATSUZAWA and Kazuhiro NAKAHASHI, “APPLICATION OF PARSEC GEOMETRY REPRESENTATION TO HIGH-FIDELITY AIRCRAFT DESIGN BY CFD, (ECCOMAS 2008)”, July 4, 2008, Casino Palace, Venice, Italy.
 20. KURATANI, N., NAGAI, H., ASAI, K., OGAWA, T., OBAYASHI, S., “Visualization of Interacting Flow Field between Busemann's Biplane in Supersonic Flow”, Proceedings of the 13th International Symposium on Flow Visualization, ISFV13 (301), Acropolis Convention Center, Nice, France, July 1, 2008.
 21. SAITO, K., OGAWA, T., NAGAI, H., ASAI, K., “Development of Pressure-Sensitive Paint Technique in a Supersonic Blowdown Wind Tunnel and its Application to a Busemann Biplane, ” 22nd International Congress on Instrumentation in Aerospace Simulation Facilities, Asilomar Conference Center, CA, USA, 10-14 June 2007.
 22. K. Matsushima, D. Maruyama and T. Matsuzawa, “Numerical Modeling for Supersonic Flow Analysis and Inverse Design,” Lectures and Workshop International - Recent Advances in Multidisciplinary Technology and Modeling-, SS05-2.1, May 22, 2007, The University of Tokyo, Tokyo.

[その他]

成果報告書 web 掲載版：

<http://www.ifs.tohoku.ac.jp/edge/publications/2009kakenhoukoku.pdf>

6. 研究組織

(1)研究代表者

大林 茂 (OBAYASHI SHIGERU)

東北大学・流体科学研究所・教授

研究者番号：80183028

(2)研究分担者

浅井 圭介 (ASAI KEISUKE)

東北大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：40358669

永井 大樹 (NAGAI HIROKI)

東北大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：70360724

佐宗 章弘 (SASOU AKIHIRO)

名古屋大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：40215752

川添 博光 (KAWAZOE HIROMITSU)

鳥取大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：40260591

松野 隆 (MATSUNO TAKASHI)

鳥取大学・大学院工学研究科・講師

研究者番号：90432608

中橋 和博 (NAKASHI KAZUHIRO)

東北大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：00207854

松島 紀佐 (MATSUSHIMA KISA)

富山大学・大学院理工学研究部・教授

研究者番号：40332514

鄭 信圭 (JEONG SHINKYU)

東北大学・流体科学研究所・准教授

研究者番号：20358469

坪井 伸幸 (TSUBOI NOBUYUKI)

九州工業大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：40342620

(3)連携研究者

中村 佳朗 (NAKAMURA YOSHIAKI)

名古屋大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：80115609

宮路 幸二 (MIYAJI KOUJI)

横浜国立大学・工学研究院・准教授

研究者番号：60313467

佐藤 哲也 (SATO TETSUYA)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：80249937

松尾 亜紀子 (MATSUO AKIKO)

慶応義塾大学・理工学部・教授

研究者番号：70276418

澤井 秀次郎 (SAWAI SYUJIRO)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・

宇宙科学研究本部・准教授

研究者番号：30270440

藤田 和央 (FUJITA KAZUHISA)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・

総合技術研究本部・空気力学研究グループ・准教授

研究者番号：90281584

小林 弘明 (KOBAYASHI HIROAKI)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・

総合技術研究本部・航空エンジン技術開発センター・航空エンジン技術開発センター・准教授

研究者番号：50353420

田口 秀之 (TAGUCHI HIDEYUKI)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・

航空プログラムグループ・超音速機チーム・宇宙科学研究本部・主任研究員

研究者番号：90358515