
サイレント超音速飛行実現のための 実験・計算融合研究

Web 公開版

課題番号：15206091

平成 15 年（2003 年）度～平成 18 年（2006 年）度
科学研究費補助金（基盤研究（A））

研究成果報告書

平成 19 年 3 月

研究代表者 大 林 茂
(東北大学流体科学研究所・教授)

研究課題

サイレント超音速飛行実現のための実験・計算融合研究

課題番号

15206091

研究組織

研究代表者 大林 茂 (東北大学 流体科学研究所・教授)

研究分担者

早瀬 敏幸 (東北大学 流体科学研究所・教授)

中橋 和博 (東北大学大学院 工学研究科・教授)

佐宗 章弘 (名古屋大学大学院 工学研究科・教授)

齋藤 務 (室蘭工業大学 機械システム工学科・教授)

松島 紀佐 (東北大学大学院 工学研究科・助教授)

吉田 憲司 (独立行政法人宇宙航空研究開発機

総合技術開発本部・セクションリーダー)

牧野 好和 (独立行政法人宇宙航空研究開発機

総合技術開発本部・主任研究員)

高木 亮治 (独立行政法人宇宙航空研究開発機

宇宙科学研究本部・助教授)

研究の概要と本報告書の内容

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、エアリオン社やSAI社などが開発計画を打ち出し、2012～13年の市場投入を目指している。欧州では、仏国ダッソー社を中心にHISACと呼ばれるSSBJ開発計画が進められている。我が国でも、第3期科学技術基本計画¹⁾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²⁾、宇宙航空研究開発機構（JAXA）において2012年までにソニックブームを半減する機体設計技術の実証を行う「静粛超音速研究機の研究開発」が検討されている³⁾。2005年10月には、日本航空宇宙学会において研究代表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、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、2005年には、米国における SST 開発の歴史をまとめた、High-Speed Dreams: NASA and the Technopolitics of Supersonic Transportation, 1945—1999 (Erik M. Conway 著) という本⁴⁾が出版された。この本では、SST 実用化の最大の壁は、航続距離や燃費の悪さという技術問題ではなく、社会に受け入れられなかった騒音問題にあることを指摘している。また、1990年代における米国における SST 開発失敗の一因は、短期的な実用化を求めて、プロジェクトの初期で保守的な空力形状に固定してしまったことにあると論じている。現在の研究開発プロジェクトは、小型機やビジネスジェットで超音速飛行を行うという点で、まさに小型化により騒音問題を解決することが主眼となっており、この本の主張に沿っている。しかし、大型旅客機として SST が成立するための技術革新は十分ではない。革新的な空力形状の例として斜め翼が知られているが、米国では今年2006年春に DARPA で斜め翼の無人飛行実証計画が立ち上がり、2011年の飛行実証を目指している⁵⁾。こうした背景より、我が国でも JAXA の「静粛超音速研究機の研究開発」と並行して、より革新的な超音速飛行技術の実証が望まれる。

本報告書は上記のプロジェクトに先立ち2003～2006年度に科学研究費補助金基盤研究(A)(2)研究番号：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」で実施した研究成果をまとめたものである。特にサイレント(静粛)超音速という言葉は、その後の NASA や JAXA のプロジェクト名に利用されており、この研究の先駆性が裏付けられている。本研究の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



図1. エアリオン SSBJ
(http://www.aerioncorp.com/info_downloads.html)



図2. DARPA 斜め翼機概念図

を提案することができた⁶⁾。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、大型のSSTにも応用可能な**革新的空力形状**のコンセプトである。

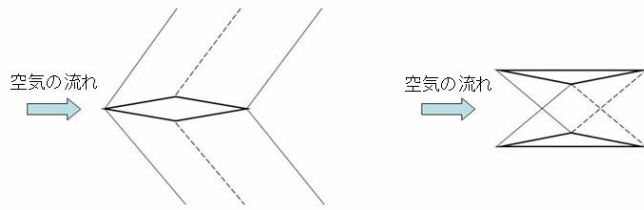


図3. 線形理論に基づくブーゼマン翼のコンセプト(左:通常の翼、右:複葉による衝撃波の干渉)

超音速複葉翼理論は、1930年代のブーゼマンに始まり、1950年代頃までは米国でも風洞試験が行われるなど、一定の興味もたれてきた。しかし、1960年代にはコンコルドの実用化の気運が高まる中、国家プロジェクトとしてSSTの空力コンセプトがデルタ翼に固定され、次第に顧みられなくなった。本報告書に示される超音速複葉翼理論は、温故知新と実験・数値流体力学による新しい設計技術の組み合わせで、新しい学術的可能性を探ったきわめて独創的な研究成果である。

参考資料

- 1) 科学技術基本計画、<http://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/index3.html>
- 2) 航空科学技術に関する研究開発の推進方策について、
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/shiryo/013/06062712/001.htm
- 3) 静粛超音速研究機の研究開発、<http://www.apg.jaxa.jp/res/stt/a01.html>
- 4) Erik M. Conway, High-Speed Dreams: NASA and the Technopolitics of Supersonic Transportation, 1945—1999, The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 2005.
- 5) Oblique Flying Wing, <http://www.darpa.mil/tto/programs/ofw.htm>
- 6) Kusunose, K., Matsushima, K., Goto, Y., Yamashita, H., Yonezawa, M., Maruyama, D. and Nakano, T., “A Fundamental Study for the Development of Boomless Supersonic Transport Aircraft,” AIAA Paper, AIAA- 2006-0654, January 2006.

研究発表

【学術誌】

1. Shigeru Obayashi and Daisuke Sasaki : Visualization and Data Mining of Pareto Solutions Using Self-Organizing Map, Evolutionary Multi-Criterion Optimization, Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, Vol.2632, (2003), 796-803.
2. Guowei Yang, Shigeru Obayashi and Jiro Nakamichi : Aileron Buzz Simulation Using an Implicit Multiblock Aeroelastic Solver, Journal of Aircraft, Vol.40, No.3, (2003), 580-589.
3. 大林茂 : 航空機空力設計における多目的最適化, システム／制御／情報, Vol.47, No.6, (2003), 253-258.
4. Y. Hamate, A. Sasoh and K. Takayama: High Ram-Acceleration Using Open-Base Projectile, Journal of Propulsion and Power, Vol.19, pp.190-195, 2003.
5. Daisuke Sasaki, Guowei Yang, Shigeru Obayashi: Automated Aerodynamic Optimization System for SST Wing-Body Configuration, Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol.46, No.154, (2004), 230-237.
6. Daisuke Sasaki and Shigeru Obayashi: Efficient Search for Trade-Offs by Adaptive Range Multi-Objective Genetic Algorithms, Journal of Aerospace Computing, Information, and Communication, vol. 2, no. 1, (2005), pp. 44-64.
7. G. Yang and S. Obayashi: Numerical Analyses of Discrete Gust Response for an Aircraft, Journal of Aircraft, Vol.41, No.6, NOVEMBER-DECEMBER (2004), pp1353-1359.
8. 佐々木大輔・大林茂: 統合的最適化のための多目的進化的計算法, 日本航空宇宙学会誌,
9. 52 (608), (2004), pp250-257
10. A. Oyama, M.-S.Liou, S.Obayashi: Transonic Axial-Flow Blade Optimization: Evolutionary Algorithms/Three-Dimensional,” JOURNAL OF PROPULSION AND POWER, Vol.20,No.4,July-August (2004) pp.612-619
11. 金崎雅博・藤原仁志・伊藤靖・藤田健・大林茂・中橋和博: “構造-非構造接続法による NAL ジェット実験機機体統合超音速インテーク性能解析,” 日本航空宇宙学会論文集, 第 52 巻, 607 号 (2004) , 8 月, pp.355-360
12. Shigeru OBAYASHI, Daisuke SASAKI and Akira OYAMA: Finding Tradeoffs by Using Multiobjective Optimization Algorithms, Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol.47,No.155, May, (2004) , pp.51-58
13. Guru P.Guruswamy and Shigeru Obayashi, “Study on the Use of High-Fidelity Methods in Aeroelastic Optimization,” Journal of Aircraft, Vol.41,No.3 ,May-June (2004), pp.616-619
14. Kisa Matsushima, Toshiyuki Iwamiya, Kazuhiro Nakahashi, “Wing design for supersonic transport using integral equation method,” Engineering Analysis with Boundary Elements, 28 (2004), 247-255.

15. Takeshi Fujita, Kisa Matsushima, Kazuhiro Nakahashi, "Aerodynamic Wing Design of NEXST-2 Using Unstructured-Mesh and Supersonic Inverse Problem," *Journal of Aircraft*, 41 (2004), 1146-1152.
16. Lucia PARUSSINI, Valentino PEDIRODA and Shigeru OBAYASHI, "Design under Uncertainties of Wings in Transonic Field," *JSME International Journal Series B, Special Issue on Advanced Fluid Information*, Vol. 48, No. 2, May 2005, pp.218-223.
17. S. Jeong, M. Murayama, K. Yamamoto, "Efficient Optimization Design Method Using Kriging Model," *Journal of Aircraft*, Vol.42,No.2, MARCH-APRIL 2005, pp. 413-420
18. Sinkyu JEONG, Shigeru OBAYASHI, Kazuomi YAMAMOTO, "Aerodynamic Optimization Design with Kriging Model," *Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol.48 ,No.161, November, 2005, pp.161-168
19. Toshiyuki Hayase, Keisuke Nisugi, and Atsushi Shirai : Numerical Realization for Analysis of Real Flows by Integrating Computation and Measurement, *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, Vol. 47, (2005), 543-559.
20. Shinkyu Jeong, Sasaki Daisuke and Shigeru Obayashi, "Knowledge Discovery in Aerodynamic Design Space using Data Mining," *The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol.34 ,No.1, January, 2006, pp.49-55.
21. Wataru YAMAZAKI, Kisa MATSUSHIMA and Kazuhiro NAKAHASHI: Drag Prediction and Decomposition Based on CFD Computations, *JSME International Journal, Series B*, 48 (2005), 235-240.
22. Mitsuhiro Murayama, Fumiya Togashi, Kazuhiro Nakahashi, Kisa Matsushima, and Takuma Kato: Simulation of Aircraft Response to Control Surface Deflection Using Unstructured Dynamic Grids, *Journal of Aircraft*, 42 (2005), 340-346.
23. Wataru Yamazaki, Kisa Matsushima, and Kazuhiro Nakahashi: Drag Reduction of a Near-Sonic Airplane by Using Computational Fluid Dynamics, *AIAA Journal*, 43 (2005), 1870-1877.
24. 山崎 渉 松島紀佐 中橋和博: CFD での抵抗要素分解手法の検証, *ながれ*, 24 (2005), 525-533.
25. Shinkyu Jeong, Sasaki Daisuke and Shigeru Obayashi, "Knowledge Discovery in Aerodynamic Design Space using Data Mining," *The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol.34 ,No.1, January, 2006, pp.49-55.
26. 千葉一永、大林 茂、中橋和博, "再使用宇宙輸送機フライバックブースタ翼空力形状の設計探査," *日本航空宇宙学会論文集*, 54 巻 627 号 144 -150 頁.
27. Shinkyu Jeong, Kazuomi Yamamoto and Shigeru Obayashi, "A Kriging Model-Based Probabilistic Optimization Method with an Adaptive Search Region," *Engineering Optimization*, Vol. 38, 2006, pp. 541-555.
28. Shinkyu Jeong and Shigeru Obayashi, "Multi-Objective Optimization Using Kriging

- Model and Data Mining,” *KSAS International Journal*, Vol.7, No. 1, 2006, May, pp.1-12.
29. 金崎雅博、鄭信圭、田中健太郎、山本一臣、“Kriging 法を用いた 3 要素翼配置の多目的設計探索、日本航空宇宙学会論文集、Vol.54, 2006, pp.419-426.
 30. K.Chiba, S. Obayashi, K. Nakahashi, “Design Exploration of Aerodynamic Wing Shape for Reusable Launch Vehicle Flyback Booster,” *Journal of Aircraft*, Vol.43, No. 3, May-June 2006, pp. 832-836.
 31. Masahiro Kanazaki, Shinkyu Jeong and Kazuomi Yamamoto, “High-Lift System Optimization Based on Kriging Model Using High Fidelity Flow Solver,” *Transactions of The Japan Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol.49, 2006, pp.169-174.
 32. Shinkyu Jeong, Youichi Minemura and Shigeru Obayashi, “Optimization of Combustion Chamber for Diesel Engine Using Kriging Model,” *Journal of Fluid Science and Technology*, Vol.1, 2006, pp.138-146.
 33. 山崎 渉・楠瀬一洋・松島紀佐・中橋和博：運動量理論を用いた超音速流れでの揚・抗力値予測、日本航空宇宙学会論文集，54 (2006), 82-88.
 34. 丸山大悟，松島紀佐，中橋和博：複葉型超音速輸送機の主翼断面形状の空力解析 (Aerodynamic Analyses of Airfoil Configuration of Biplane Type Supersonic Transport) 、日本機械学会論文集，Vol.71, No.721 B 編, pp.50-57, September, 2006
 35. 楠瀬一洋，松島紀佐，後藤悠一郎，丸山大悟，山下博，米澤誠仁：衝撃波の相殺効果を利用した複葉超音速翼型の研究、(A Study in the Supersonic Biplane utilizing its Shoch Wave Cancellation Effect)、日本航空宇宙学会論文誌，Vol.55. No.636, pp.1-7, January, 2007
 36. Akihiro Sasoh and Shin Oshiba: Impact-less, in-tube sabot separation useful for modest-sized supersonic ballistic ranges, *Review of Scientific Instruments*, Vol. 77, No. 10, 2006, article 105106
 37. Takeshi Furukawa, Takanobu Aochi and Akihiro Sasoh: Expansion Tube Operation with Thin Secondary Diaphragm, *AIAA J.*, Vol. 45, No. 1, 2007, pp. 214-217.
 38. Toshiyuki Hayase, Kenichi Funamoto, Takayuki Yamagata, Lei Liu, Atsushi, Makoto Ohta, Kosuke Inoue, Yoshifumi Saijo, and Tomoyuki Yambe : Numerical Realization of Blood Flow in Aneurysmal Aorta by Integrating Measurement and Simulation, *Future Medical Engineering Based on Bionanotechnology*, Eds. Esashi, M., Ishii, K., Ohuchi, N., Osumi, N., Sato, M., and Yamaguchi, T. (2007), 857-868.

【国際会議発表】

1. Shigeru Obayashi and Daisuke Sasaki: Visualization and Data Mining of Pareto Solutions Using Self-Organizing Map, 2nd International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization (EMO2003), (2003).
2. Guowei Yang and Shigeru Obayashi: Numerical Analyses of Discrete Gust Response for a

- Flexible Aircraft, 16th AIAA Computational Fluid Dynamic Conference, (2003).
3. Daisuke Sasaki and Shigeru Obayashi: Low-Boom Design Optimization for SST Canard-Wing-Fuselage Configuration, 16th AIAA Computational Fluid Dynamic Conference, (2003).
 4. Shigeru Obayashi: Visualizing and Data Mining of Design Tradeoffs for Supersonic Wings, The 5th International Congress on Industrial and Applied Mathematics (ICIAM 2003), (2003).
 5. Kazuhisa Chiba, Shigeru Obayashi, Kazuhiro Nakahashi, Alexios P. Giotis and Kyriakos C. Giannakoglou: Design Optimization of the Wing Shape for the RLV Booster Stage Using Evolutionary Algorithms and Navier-Stokes Computations on Unstructured Grids, EUROGEN 2003, (2003).
 6. Shigeru Obayashi and Daisuke Sasaki: Finding Tradeoffs by Using Multiobjective Optimization Algorithms, EUROGEN 2003, (2003).
 7. Daisuke Sasaki and Shigeru Obayashi: Aerodynamic Design of Supersonic Transport, EUROGEN 2003, (2003).
 8. Kazuhisa Chiba, Shigeru Obayashi, Kazuhiro Nakahashi, Alexios P. Giotis and Kyriakos C. Giannakoglou: Evolutionary Design Optimization of Wing Shape for RLV Booster Stage Using Unstructured Navier-Stokes Computation, 3rd International Symposium on Advanced Fluid Information (AFI-2003), Fluid-Informatics for Biomedical and Environmental Quality Applications, (2003).
 9. Kazuhisa Chiba, Shigeru Obayashi and Kazuhiro Nakahashi: CFD Visualization of Second Primary Vortex Structure on a 65-Degree Delta Wing, 42nd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, (2004).
 10. Yoshihiro Yamaguchi, Toshiyuki Arima, Kazuhiro Nakahashi and Shigeru Obayashi: Simulation of Aircraft Wake Vortex Using Pressure-Based Unified Numerical Approach for Incompressible and Compressible Flows, AIAA Paper 2004-0077, 42nd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, (2004).
 11. Kisa Matsushima, Masashi Shiokawa, Kazuhiro Nakahashi: AN EFFICIENT INVERSE AERODYNAMIC DESIGN METHOD FOR MULTI COMPONENT DEVICES, Proceedings 24th INTERNATIONAL CONGRESS OF AERONAUTICAL SCIENCES, ICAS 2004-2.7.1, (2004), 271.1-271.10.
 12. Chiba K, Obayashi, S., Nakahashi, K., and Morino, H.: High-Fidelity Multidisciplinary Design Optimization of Wing Shape for Regional Jet Aircraft, Third International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization, Guanajuato, Mexico, March, (2005).
 13. Chiba, K., Obayashi, S., Nakahashi, K. and Morino, H.: Multidisciplinary Design Optimization of Wing Shape for Regional Jet, 4th International Symposium on Advanced

- Fluid Information, Sendai, Japan, November, (2004).
14. M. Kanazaki, S. Jeong and M. Murayama: High-Lift System Optimization Based on Kriging Model Using High Fidelity Flow Solver, 4th International Symposium on Advanced Fluid Information, Sendai, Japan, November, 2004.
 15. S. Jeong and S. Obayashi: Airfoil Optimization with Kriging-Based Probabilistic Method, IWACOM, Tokyo, Japan, November 4-6th, 2004, (2004)
 16. S. Jeong and S. Obayashi: Adaptive Design Space Method using Kriging-based Probabilistic Method, CJK-OSM 3, Kanazawa, Japan, October-November, (2004)
 17. M. Kanazaki, S. Jeong and K. Yamamoto: Three-element wing optimization based on kriging model using high fidelity flow solver, CJK-OSM 3, Kanazawa, Japan, October-November, (2004)
 18. S. Jeong, S. Obayashi and K. Yamamoto: Kriging-based Probabilistic Method for Constrained Multi-Objective Optimization Problem, AIAA 1st ISTC, Chicago, September, (2004), AIAA Paper 2004-6437.
 19. Shimizu, E., Isogai, K., Obayashi, S.: MULTI-OBJECTIVE DESIGN STUDY OF A FLAPPING WING GENERATOR, ICAS, Yokohama, Japan, August, (2004)
 20. S. Obayashi: Multi-Objective Evolutionary Computation for Aerodynamic Design Problems, 5th International Symposium on Computational Technologies Application-CFD for Design and Optimization- II, San Diego, USA, July, (2004).
 21. S. Jeong: EFFICIENT AND ROBUST CONSTRAINT OPTIMIZATION OF AERODYNAMIC DESIGN WITH KRIGING MODEL, ICNPAA, Timisoara, Romania, June.2004
 22. Obayashi, Shigeru and Sasaki, Daisuke: Multi-Objective Optimization for Aerodynamic Designs by Using ARMOGAs, 7th International Conference on High Performance Computing and Grid in Asia Pacific Region, Omiya, Japan, July, (2004).
 23. Chiba, K., Obayashi, S. and Nakahashi, K.: Tradeoff Analysis of Aerodynamic Wing Design for RLV, Parallel Computational Fluid Dynamics, Gran Canaria, Spain, March, (2004).
 24. Yoshihiro Yamaguchi and Toshiyuki Arima, Kazuhiro Nakahashi and Shigeru Obayashi: Simulation of Aircraft Wake Vortex Using Pressure-Based Unified Numerical Approach for Incompressible and Compressible Flows, AIAA Paper 2004-0077, 42nd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, Nevada, January, (2004.)
 25. Chiba, K., Obayashi, S. and Nakahashi, K.: CFD Visualization of Second Primary Vortex Structure on a 65-Degree Delta Wing, 42nd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, Nevada, January. (2004)
 26. Shigeru Obayashi, Shinkyu Jeong and Kazuhisa Chiba, "Multi-Objective Design Exploration for Aerodynamic Configurations," AIAA Paper 2005-4666 (invited), 35th AIAA Fluid Dynamics Conference and Exhibit, 6-9 June 2005, Toronto Canada.

27. Y. Goto, S.Obayashi and Y. Kohama, "Drag Characteristics of a Low-Drag Low-Boom Supersonic Formation Flying Concept," AIAA Paper 2005-4604, 35th AIAA Fluid Dynamics Conference and Exhibit, 6-9 June 2005, Toronto Canada.
28. Jeong, S., Chiba, K., and Obayashi, S., "Data Mining for Aerodynamic Design Space," AIAA Paper 2005-5079, AIAA 23rd Applied Aerodynamics Conference, Toronto, Canada, June 2005.
29. Chiba, K., Obayashi, S., Nakahashi, K., and Morino, H., "High-Fidelity Multidisciplinary Design Optimization of Aerostructural Wing Shape for Regional Jet," AIAA Paper 2005-5080, AIAA 23rd Applied Aerodynamics Conference, Toronto, Canada, June 2005.
30. Shigeru Obayashi, "Evolutionary Multiobjective Optimization for Regional- JetWing by CFD-CSD Coupling," EUROGEN2005, September 2005, Munich, Germany.
31. Eriko Shimizu, Shinkyu Jeong, Koji Isogai, Shigeru Obayashi, "SHAPE OPTIMIZATION OF FISH TAIL PROPULSION WITH HYDRO-ELASTIC EFFECTS," EUROGEN 2005, Munich, Germany, September 2005.
32. Shinkyu Jeong and Shigeru Obayashi, "Efficient Global Optimization (EGO) for Multi-Objective Problem and Data Mining," Proceeding of Congress on Evolutionary Computation 2005, Vol. 3, pp. 2138-2145, IEEE Congress on Evolutionary Computation 2005, September, 2005, Edinburgh, UK.
33. Shigeru Obayashi, "Multi-Objective Design Exploration for Multidisciplinary Design Optimization Problems", 韩国 KCFE 学会, October 2005, Pusan, Korea.
34. Shigeru Obayashi, "Multi-Objective Design Exploration for Multidisciplinary Design Optimization Problems," IFS-JAXA Joint Symposium on Advanced Fluid Information (AFI-2005), Sendai Japan, Dec. 2005.
35. Masashi Shiokawa, Kisa Matsushima, Kazuhiro Nakahashi: Design and Aerodynamics of Lift Enhancement Control for a Single Element Airfoil, AIAA-2005-853, The 43rd AIAA Aerospace Sciences Meeting, (2005),
36. Wataru Yamazaki, Kisa Matsushima, Kazuhiro Nakahashi: Application of Drag Decomposition Method to CFD Computational Results, AIAA-2005-4723, The 23rd AIAA Applied Aerodynamics Conference, (2005)
37. KeizoTakenaka, Shigeru Obayashi, Kazuhiro Nakahashi, Kisa Matsushima: The Application of MDO Technology to the Design of High Performance Small Jet Aircraft –Lessons Learned and some Practical Concerns, AIAA-2005-5080, The 23rd Applied Aerodynamic Conference, (2005),
38. T. Kumano, S. Jeong , S. Obayashi, Y. Ito, K. Hatanaka and H. Morino, "Multidisciplinary Design Optimization of Wing Shape for a Small Jet Aircraft Using Kriging Model, " AIAA Paper 2006-932, 44th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, Nevada, Jan. 9-12, 2006.

39. T. Misaka and S. Obayashi, "Application of Local Correlation-Based Transition Model to Flows Around Wings," AIAA Paper 2006-918, 44th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, Nevada, Jan. 9-12, 2006.
40. K. Kusunose, K. Matsushima, Y. Goto, H. Yamashita, M. Yonezawa, D. Maruyama, and T. Nakano, "A Fundamental Study for the Development of Boomless Supersonic Transport Aircraft," AIAA-2006-654, 44th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, Nevada, Jan. 9-12, 2006.
41. Shinkyu JEONG, Youichi MINEMURA , Shigeru OBAYASHI, "Diesel Engine Piston Shape Design Using Multi-Objective Efficient Global Optimization," PARALLEL CFD 2006 , Busan South Korea, 2006 May.
42. Shnkyu Jeong, Takayasu Kumano, Shigeru Obayashi , "Multi-Objective Design Exploration for Multidisciplinary Design Optimization of Aircraft ," ICNPAA-2006, Budapest , 2006 Jun.
43. Shigeru Obayashi, "Multi-objective design exploration using efficient global optimization," European Conference on Computational Fluid Dynamics , Edmond aan Zee , The Netherlands, 2006 Sep.
44. Shinkyu Jeong, Youichi Minemura, Shigeru Obayashi , "OPTIMIZATION OF PISTON FOR DIESEL ENGINE USING KRIGING MODEL ," European Conference on Computational Fluid Dynamics, Edmond aan Zee, The Netherlands, 2006 Sep.
45. Naoshi Kuratani, Toshihiro Ogawa, Hiroshi Yamashita, Masahito Yonezawa, Shigeru Obayashi , "Experimental Study on Aerodynamics of Supersonic Biplane for Sonic-Boom Reduction ," Third International Conference on Flow Dynamics , Matsushima Japan, 2006 Nov.
46. S. Jeong, "Design Exploration into a Tire Noise Reduction Problem," International Workshop on Multidisciplinary Design Exploration in Okinawa 2006, Okinawa Japan, 2006 Dec.
47. T. Kumano, S. Jeong , S. Obayashi, Y. Ito, K. Hatanaka and H. Morino, "Multidisciplinary Design Optimization of Wing Shape for a Small Jet Aircraft Using Kriging Model, " AIAA Paper 2006-932, 44th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, Nevada, Jan. 9-12, 2006.
48. T. Misaka and S. Obayashi, "Application of Local Correlation-Based Transition Model to Flows Around Wings," AIAA Paper 2006-918, 44th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, Nevada, Jan. 9-12, 2006.
49. Takashi Misaka, Shigeru Obayashi, Eiichi Endou, "Measurement-Integrated Simulation of Clear Air Turbulence", Tohoku-SNU Joint Workshop on Next Generation Aero Vehicle, 2006-7, Sendai, Japan.
50. Jin Ne Lim, Shinkyu Jeong, Shigeru Obayashi, Toshiyuki Ikeda, Masataka Koishi ,

- “Optimization and Data Mining to a Tire Noise Reduction Problem,” The Third International Symposium on Transdisciplinary Fluid Integration , Matsushima Miyagi Japan, 2006 Jun.
51. Takashi Misaka, Shigeru Obayashi, Eiichi Endou, "Flight Data Integrated LES for Simulation of Clear Air Turbulence", European Conference on Computational Fluid Dynamics, Edmond aan Zee, The Netherlands, 2006 Sep.
 52. Hiroshi Yamashita, Masahito Yonezawa, Shigeru Obayashi, Kazuhiro Kusunose, “An Approach to Avoiding Choked Flow for Supersonic Biplane”, Third International Conference on Flow Dynamics , Matsushima Japan, 2006 Nov.
 53. Masahito Yonezawa, Hiroshi Yamashita, Shigeru Obayashi, Kazuhiro Kusunose, “Sweep Effect in Three-dimensional Busemann Biplane”, Third International Conference on Flow Dynamics , Matsushima Japan, 2006 Nov.
 54. Takayasu Kumano, Shinkyu Jeong, Shigeru Obayashi, Yasushi Ito, Keita Hatanaka, Hiroyuki Morino,”Multidisciplinary Optimization of Wing Shape with Engine Nacelle ”, Third International Conference on Flow Dynamics , Matsushima Japan, 2006 Nov.
 55. K. Sugimura, K. Shimoyama, S. Jeong and S. Obayashi, “Multi-Objective Design Optimization of Air Cleaner Fan Using Kriging Model,” International Workshop on Multidisciplinary Design Exploration in Okinawa 2006, Okinawa Japan, 2006 Dec.
 56. Shigeru Obayashi, “Future direction of Japanese aeronautical science and technology,” International Forum for Joint Anniversary Lyon-Tohoku, Teaming for the Future, Lyon France, 2007 Feb.
 57. Shigeru Obayashi, “Silent supersonic transport friendly to environment- A biplane concept,” International Forum for Joint Anniversary Lyon-Tohoku, Teaming for the Future, Lyon France, 2007 Feb.
 58. Haruka NAKAYAMA, Hyoung-Jin KIM, Kisa Matsushima , Kazuhiro NAKAHASHI and Keizo TAKENAKA: Aerodynamic Optimization of Multi-Element Airfoil, AIAA-2006-1051, The 44th AIAA Aerospace Sciences Meeting, (2006).
 59. Maruyama, D., Matsushima, K., Kusunose, K. and Nakahashi, K.: Aerodynamic Design of Biplane Airfoils for Low Wave Drag Supersonic Flight, AIAA-2006-3323, The 24th AIAA Applied Aerodynamics Conference, (2006).
 60. Wataru Yamazaki, Kisa Matsushima and Kazuhiro Nakahashi: Aerodynamic Shape Optimization Based on Drag Decomposition, AIAA-2006-3332, The 24th AIAA Applied Aerodynamics Conference, (2006).
 61. Wataru Yamazaki, Kisa Matsushima and Kazuhiro Nakahashi: Unstructured Mesh Drag Prediction Based on Drag Decomposition, ECCOMAS CFD 2006, Egmond aan Zee, Netherlands, September, (2006).
 62. Kisa Matsushima, Kazuhiro Kusunose, Daigo Maruyama, Takumi Matsuzawa: Numerical

Design and Assessment of a Biplane as Future Supersonic Transport — Revisiting to Busemann's Biplane, Proceedings 25th INTERNATIONAL CONGRESS OF AERONAUTICAL SCIENCES, ICAS 2006-3.7.1, (2006), 371.1-371.10.

63. Kusunose, K., Maruyama, D., Matsushima, K., Nakahashi, K., Yamashita, H., Yonezawa, M., and Obayashi S: Toward silent supersonic transport – A fundamental study of supersonic biplane (Invited), 4th Joint Meeting of the Acoustical Society of America and the Acoustical Society of Japan, (2006).
64. Kisa Matsushima: Aerodynamic Design and Analysis for Supersonic Biplane Airfoils (Invited), 6th International Symposium on Advanced Fluid Information (2006), pp. 13-16.
65. Maruyama, D., Matsuzawa T., Matsushima, K., Kusunose, K. and Nakahashi, K.: Consideration at Off-Design Conditions of Supersonic Flows around Biplane Airfoils, AIAA-2006-3323, The 24th AIAA Applied Aerodynamics Conference, (2006).
66. M. Umeda, K. Takenaka, K. Hatanaka, W. Yamazaki, K. Matsushima and K. Nakahashi: Validation of CFD Capability for Supersonic Transport Analysis Using NEXST-1 Flight Test Results, AIAA-2007-4437, The 25th AIAA Applied Aerodynamics Conference, Miami, Florida, 25-28 June (2007) (To be presented).

【国内会議発表】

1. 千葉一永, 大林茂, 中橋和博: レイノルズ数 6×10^6 域での前縁剥離渦の挙動に関する数値的研究, 日本航空宇宙学会第 34 期年会講演会, (2003).
2. Shigeru Obayashi : Evolutionary Multiobjective Optimization and Visualization, The Sixth International Nobeyama Workshop on the New Century of Computational Fluid Dynamics, (2003).
3. Daisuke Sasaki, Shahrokh Shahpar and Shigeru Obayashi : Multi-Objective Optimization of Low Pressure Compression System, 航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2003, (2003).
4. 千葉一永, 大林茂, 中橋和博: デルタ翼前縁剥離渦のレイノルズ数効果に関する数値的研究, 航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2003, (2003).
5. 金崎雅博, 藤原仁志, 伊藤靖, 藤田健, 大林茂, 中橋和博: 構造-非構造接続法による NAL ジェット実験機機体統合超音速インテーク性能解析, 航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2003, (2003).
6. Shigeru Obayashi : Searching for Tradeoffs, Tohno Seminar, (2003).
7. 千葉一永, 大林茂: 高レイノルズ数域における前縁剥離渦構造のビジュアルデータマイニング, 日本機械学会年次大会 2003, (2003).
8. 千葉一永, 大林茂, 中橋和博: 非構造 N-S 計算による RLV ブースター段翼形状の進化的最適設計, 日本機械学会第 13 回設計工学・システム部門講演会, No.03-27, (2003), 303-304.

9. 金崎 雅博, 大林 茂, 中橋 和博: 領域分割型 MOGA による自動車エンジン排気マニホールド設計システム, 第 9 回 MPS シンポジウム, (2003).
10. 千葉 一永: 航空宇宙機に於ける高次物理モデルを用いた多分野融合最適化, 日本機械学会 関西設計工学研究会セミナー, 京都, 2005 年 2 月, (2005)
11. 千葉 一永, 大林 茂, 中橋 和博: 再使用宇宙輸送機翼形状空力最適設計に於けるトレードオフ解析とデータマイニング, 日本機械学会 第 14 回 設計工学・システム部門講演会, 福岡, 2004 年 11 月, (2004).
12. 清水絵里子, 磯貝紘二, 大林茂: “弾性変形を考慮した尾鰭の形状最適設計,” MPS シンポジウム 複雑系の科学とその応用, 名古屋, 2004 年 10 月, (2004).
13. 金崎 雅博, 鄭 信圭: “UPACS 評価関数に基づく多要素翼の空力最適化,” 第 42 回飛行機シンポジウム, 横浜, 2004 年 10 月, (2004).
14. 清水絵里子, 磯貝紘二, 大林茂: “弾性変形を考慮した魚類型推進の形状最適設計,” 日本機械学会 2004 年度年次大会, 札幌, 2004 年 9 月, (2004).
15. 大林 茂: 物理シミュレーションから知的シミュレーションへ, 応用数理学会 2004 年度年会, 東京, 2004 年 9 月, (2004).
16. 大林 茂: 流れの最適化とソフトコンピューティング, 日本機械学会 2004 年度年次大会, 札幌, 2004 年 9 月, (2004).
17. 鄭 信圭, 大林茂: “近似モデルを用いた制約条件問題の多目的最適化,” 流体力学会, 名古屋, 2004 年 8 月, (2004).
18. 千葉 一永, 大林 茂, 中橋 和博: 再使用宇宙輸送機翼形状空力設計のトレードオフ解析, 航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 2004 年 6 月, (2004).
19. 鄭 信圭: “統計情報を利用した最適設計の効率化,” 日本機械学会計算力学部門流体と構造の複合問題研究会「Multidisciplinary Lecture Series 12」, 2004 年 6 月, (2004).
20. 大林 茂: “流体シミュレーションの現状と展望—最適設計を目指して”, 横断型基幹科学技術研究団体連合「シミュレーションと SQC」調査研究委員会、社団法人日本品質管理学会 拡大計画研究会「シミュレーションと SQC」, 科学研究費基盤研究(A) 「技術開発促進のための新たな統計科学体系とそれに基づく情報システム開発」共同主催による研究課題マップ作成のためのキックオフワークショップ, 2004 年 5 月, (2004).
21. 山下 博, 米澤 誠仁, 後藤 悠一郎, 楠瀬 一洋, 大林 茂, “超音速二枚翼型における衝撃波の CFD 解析,” 航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 東京, 2005 年 6 月
22. 大林 茂, “多目的最適化と高次元の可視化,” 第 33 回可視化情報シンポジウム, 2005 年 7 月, 東京
23. 峯村 洋一, 鄭 信圭, 大林 茂, “ディーゼルエンジン燃焼室形状の最適化,” 日本機械学会 第 15 回設計工学・システム部門講演会, 札幌, 2005 年 8 月
24. 米澤 誠仁, 山下 博, 後藤 悠一郎, 楠瀬 一洋, 大林 茂, “Busemann Biplane

- による超音速飛行の基礎研究、”日本機械学会 第 15 回設計工学・システム部門講演会、札幌、2005 年 8 月
25. 熊野 孝保、鄭 信圭、大林 茂、畑中 圭太、森野 裕行、“Kriging モデルを用いた小型ジェット旅客機主翼形状の多分野融合最適化、”日本機械学会 第 15 回設計工学・システム部門講演会、札幌、2005 年 8 月
 26. リム ジンネ、佐々木 大輔、鄭 信圭、大林 茂、“進化的計算法によるデータに対するファジィ決定木の適用、”日本機械学会 2005 年度年次大会、東京、2005 年 9 月
 27. 三坂 孝志、大林 茂、“実験的相関に基づいた遷移モデルの翼周り流れへの適用、”日本流体力学会 年会 2005、東京、2005 年 9 月
 28. 三坂 孝志、大林 茂、“非構造格子法への相関に基づく遷移モデルの適用、”第 37 回「境界層遷移の解明と制御」研究会、東京 JAXA、2005 年 9 月
 29. 畑野 圭太、大林 茂、鄭 信圭、熊野 孝保、“多分野統合最適化技術を用いた高性能小型民間機の設計、”第 43 回飛行機シンポジウム、名古屋、2005 年 10 月
 30. 三坂 孝志、大林 茂、“計測データを用いた数値シミュレーションによる流れ場の再現、”第 19 回数値流体力学会、東京、2005 年 12 月
 31. Sinkyu Jeong and Shigeru Obayashi, “Application of Kriging Model to Multi-Objective Problem” 日韓特別セッション、第 19 回数値流体力学会、東京、2005 年 12 月
 32. 米澤 誠仁、大林 茂、楠瀬 一洋、“複葉翼サイレント超音速旅客機の主翼設計、”日本航空宇宙学会空気力学部門第 2 回サイレント超音速旅客機研究会、東京、2006 年 2 月
 33. 山下 博、大林 茂、楠瀬 一洋、“サイレント超音速旅客機実現へ向けた二枚翼型の衝撃波干渉解析、”日本航空宇宙学会空気力学部門第 2 回サイレント超音速旅客機研究会、東京、2006 年 2 月
 34. 三坂 孝志、大林 茂、遠藤 栄一、“航空機飛行データを用いた晴天乱気流のシミュレーション、”第 21 回 TSFD シンポジウム「乱流数値シミュレーション-安全分野への応用」、東京、2006 年 3 月
 35. 米澤誠仁、大林茂、楠瀬一洋、“複葉翼サイレント超音速旅客機の主翼設計、”日本航空宇宙学会空気力学部門第 2 回サイレント超音速旅客機研究会、東京、2006 年 2 月
 36. 山下博、大林茂、楠瀬一洋、“サイレント超音速旅客機実現へ向けた二枚翼型の衝撃波干渉解析、”日本航空宇宙学会空気力学部門第 2 回サイレント超音速旅客機研究会、東京、2006 年 2 月
 37. 三坂孝志、大林茂、遠藤栄一、“航空機飛行データを用いた晴天乱気流のシミュレーション、”第 21 回 TSFD シンポジウム「乱流数値シミュレーション-安全分野への応用」、東京、2006 年 3 月
 38. 山下博、米澤誠仁、大林茂、楠瀬一洋、“形状変化を用いた二枚翼におけるチョーク

- 回避法の検討,” 日本航空宇宙学会 第 37 期年会, 東京, 2006 年 4 月
39. 米澤誠仁、山下博、大林茂、楠瀬一洋, “超音速複葉翼における後退角とテーパの
効果比較,” 日本航空宇宙学会 第 37 期年会, 東京, 2006 年 4 月
 40. 米澤誠仁、山下博、大林茂、楠瀬一洋, “複葉超音速翼空力設計の現状と課題,” 航
空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2006, 東京, 2006 年 6 月
 41. 三坂孝志, 大林茂, 遠藤栄一, “K-H 不安定流れのデータマイニング,” 日本機械学会
2006 年度年次大会, 熊本市, 2006 年 9 月
 42. 鈴木邦広、鄭信圭、大林茂、栗田充, “リフティングボディ型再突入機形状の最適化
による遷音速特性の改善,” 第 38 回流体力学講演会, 室蘭市, 2006 年 9 月
 43. 倉谷尚志, 古川剛, 小川俊広, 大林茂, “ソニックブーム低減のための超音速複葉翼
周りの空力特性実験,” 第 44 回飛行機シンポジウム, さいたま市, 2006 年 10 月
 44. 豊田篤、三坂孝志、大林茂, “JAXA 高揚力装置風洞模型への簡易遷移予測法の
適用,” 第 44 回飛行機シンポジウム, さいたま市, 2006 年 10 月
 45. 三坂孝志, 大林茂, 遠藤栄一, “フライトデータを用いた晴天乱気流の再現と流れ場
のデータマイニング,” 日本機械学会流体工学部門講演会, 川越市, 2006 年 10 月
 46. 柴崎剛志, 大林茂, “非定常流れ場解析結果に対するデータマイニング手法の構築,”
日本機械学会 第 19 回計算力学講演会, 名古屋市, 2006 年 11 月
 47. 大林茂, “ラフ集合による設計空間特徴抽出,” 平成 18 年度科研費空力班シンポジウ
ム、山梨県東八代郡、2007 年 1 月
 48. 鄭信圭、大林茂、熊野孝保、森野裕行、畑中圭太, “リージョナル旅客機のための多
分野融合設計探査,” 第 56 回理論応用力学講演会、東京、2007 年 3 月

解説等

1. 大林茂, 佐々木大輔: 流体問題最適化入門(1), 日本計算工学会「計算工学」, Vol.8,
No.2, (2003), 694-699.
2. 大林茂, 佐々木大輔: 流体問題最適化入門(2), 日本計算工学会「計算工学」, Vol.8,
No.3, (2003), 758-765.
3. 大林茂, “第 11 章 最適化と設計,” 「計算力学ハンドブック」, 278-289 頁,
日本機械学会, 2006 年 3 月
4. 大林茂, “多目的最適化とデータマイニング,” 日本機械学会誌, 109 巻
1050 号 383-385 頁, 2006 年 5 月
5. 大林茂, “産学研連携と技術チャレンジ,” 日本航空宇宙学会誌, 54 巻
633 号 283-286 頁, 2006 年 10 月
6. 松島紀佐, “超音速機旅客機開発における数値流体力学シミュレーション,” シミュ
レーション Vol. 25, No. 2, pp.32-37, June, 2006.

研究成果による工業所有権の出願・取得状況

なし

博士論文・修士論文

1. 加藤 将俊:「多目的遺伝的アルゴリズムによる粘性計算に基づいた自動車エンジン排気系形状最適化に関する研究」、東北大学大学院情報科学研究科修士論文、2004年3月
2. 金崎 雅博:「Numerical Simulation and Optimization of Engine/Airframe Integration Problems for Supersonic Aircraft (超音速航空機におけるエンジン・機体統合問題の数値計算と最適化)」、東北大学大学院情報科学研究科博士論文、2004年3月
3. 佐々木 大輔:「Adaptive Range Multi-Objective Genetic Algorithms for Aerodynamic Design Problem (空力設計問題における領域適応型多目的遺伝的アルゴリズム)」、東北大学大学院情報科学研究科博士論文、2004年3月
4. 村松 哲史:「遺伝的アルゴリズムによる自動車エンジン吸気系形状の最適化」、東北大学大学院情報科学研究科修士論文、2005年3月
5. 千葉 一永:「High-Fidelity Multidisciplinary Design Optimization for Aerospace Vehicle (航空宇宙機に於ける高次物理モデルを用いた多分野融合最適化)」、東北大学大学院工学研究科博士論文、2005年3月
6. 熊野 孝保:「クリギングモデルを用いた航空機主翼の多分野融合最適設計」、東北大学大学院情報科学研究科修士論文、2006年3月
7. 峯村 洋一:「低エミッション型ディーゼルエンジン燃焼室形状の多目的最適化」、東北大学大学院情報科学研究科修士論文、2006年3月
8. 米澤 誠仁:「複葉サイレント超音速旅客機の主翼設計」、東北大学大学院情報科学研究科修士論文、2006年3月
9. 山下 博:「サイレント超音速旅客機実現へ向けた二枚翼型の衝撃波干渉解析」、東北大学大学院情報科学研究科修士論文、2006年3月
10. 丸山 大悟:「複葉型超音速輸送機の整理油性の研究」、東北大学大学院工学研究科修士論文、2006年3月
11. 大芝 慎:「ソニックブーム軽減を目的とした超音速自由飛行実験」、東北大学大学院工学研究科修士論文、2006年3月
12. 清水 絵里子:「Research of evaluation system of an oscillation wing considering the fluid-structure interaction (流体構造練成を考慮した振動翼性能評価システムの研究)」、東北大学大学院情報科学研究科博士論文、2006年9月
13. リム ジンネ:「A Data Mining Approach to Practical Multi-Objective Optimization Problem」、東北大学大学院情報科学研究科修士論文、2007年3月
14. 柴崎 剛志:「非定常流れ場に対するデータマニング手法の構築」、東北大学大学院情報科学研究科修士論文、2007年3月

15. 鈴木 邦広 : 「リフティングボディ型再突入機形状の最適化による遷音速特性の改善」、東北大学大学院情報科学研究科修士論文、2007年3月
16. 後藤 悠一郎 : 「Low-Drag Low-Boom Characteristics of Supersonic Aircraft Flying in Formation (編隊飛行する超音速航空機の低抵抗および低ブーム特性)」、東北大学大学院工学研究科博士論文、2007年3月
17. 山崎 渉 : 「Study of Advanced Aerodynamic Analysis & Shape Optimization Using Drag Decomposition Method (抵抗分解法を用いた先進的空力解析と形状設計の研究)」、東北大学大学院工学研究科博士論文、2007年3月

研究会開催

1. 平成16年度「サイレント超音速飛行実現のための実験・計算融合研究」, 「レーザー駆動管内加速装置: 基礎物理の解明と実用展開」合同シンポジウム, ホテル佐勘, 平成17年1月21-22日
2. 第38回流体力学講演会、特別企画1「超/極超音速機の空力」、室蘭工業大学、平成18年9月28-29日
3. 第44回飛行機シンポジウム、SS1「超音速輸送機研究の新展開」、大宮ソニックシティ、平成18年10月18-20日
4. 日本航空宇宙学会空気力学部門「サイレント超音速旅客機研究会」
 - ① 第1回サイレント超音速旅客機研究会, 宇宙航空研究開発機構航空宇宙技術センター, 平成17年10月31日
 - ② 第2回サイレント超音速旅客機研究会, 防衛庁技術研究本部第3研究所, 平成18年2月23日
 - ③ 第3回サイレント超音速旅客機研究会, 宇宙航空研究開発機構航空宇宙技術センター, 平成18年6月22日
 - ④ 第4回サイレント超音速旅客機研究会, 名古屋大学工学部, 平成18年9月26日

目 次

第 1 章 序論	1
1-1 近年の航空機開発における動向	1
1-2 新たなニッチ	1
1-3 超音速旅客機開発の背景	2
1-4 技術的な課題	3
1-5 複葉翼というコンセプト	5
1-6 本研究の目的	6
1-7 本報告書の構成	6
参考文献	7
第 2 章 複葉翼理論	9
2-1 複葉翼を用いたソニックブーム低減のコンセプト	9
2-2 衝撃波の低減効果 (二枚平板)	9
2-3 衝撃波の干渉効果 (Busemann 複葉翼)	10
2-4 揚力を持つ複葉翼理想形状	11
2-5 解析手法	11
2-6 解析結果及び考察	13
2-7 複葉翼によるソニックブーム低減の検証	16
参考文献	17
第 3 章 二枚翼型の衝撃波干渉解析	18
3-1 迎角変化に対する Busemann 複葉翼の数値解析	18
3-1-1 解析手法	18
3-1-2 Busemann 複葉翼の空力特性	18
3-2 極曲線図	21
3-2-1 Licher 型複葉翼の数値解析	21
3-2-2 極曲線を用いた翼型性能の比較	22
3-3 非設計点における空力特性	24
3-3-1 亜音速から超音速までの数値解析	24
3-3-2 Busemann 複葉翼におけるチョーク現象	25
3-3-3 Busemann 複葉翼における衝撃波干渉効果の有効領域	33
3-4 チョーク回避コンセプト	37
3-4-1 回避法的设计指針	37
3-4-2 分割されたダイヤモンド翼の数値解析	37
参考文献	39

第4章 逆設計法を用いた二枚翼型設計	41
4-1 相互干渉が強い設計問題の適用検証	41
4-2 複葉翼型設計	43
参考文献	51
第5章 二枚翼の空力設計	52
5-1 はじめに	52
5-2 長方形翼の解析	52
5-3 テーパー翼形状の解析	56
5-4 ウイングレット翼形状の解析	62
参考文献	63
第6章 衝撃波を相殺する複葉型超音速翼の実験的研究	64
6-1 はじめに	64
6-2 設計マッハ数超音速風洞実験の概要	64
6-3 超音速・遷音速風洞実験の概要	65
6-4 低速風洞実験の概要	65
6-5 研究成果のまとめと今後の課題	66
参考文献	72
第7章 ソニックブーム軽減を目的とした超音速自由飛行実験	74
7-1 自由飛行実験	74
7-2 実験装置	74
7-3 飛行体可視化とN波計測	75
参考文献	76