

研究種目：基盤研究 (A)
研究期間：2006～2008
課題番号：18206085
研究課題名（和文） 超高密度格子による高解像流体計算法の検証と実用化研究
研究課題名（英文） High-Resolution Numerical Method of Flow Using High-Density Mesh
研究代表者
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

研究成果の概要：

数値流体力学の精度や工学的有用性を抜本的に改善するために、非構造格子に必要な箇所を細分化して高密度な格子にする方法と高密度な直交格子を用いる方法との二つについて開発と応用研究を行った。前者は精度改善を評価するとともに、最適化法との組み合わせで高速旅客機形状の提案等を行うとともに、現在開発中の旅客機 MRJ の空力設計に寄与した。後者では本研究で提案している Building-Cube Method を高度化し、従来の 10 倍以上の格子密度の計算を行ってその有用性を示した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	14,000,000	4,200,000	18,200,000
2007年度	10,400,000	3,120,000	13,520,000
2008年度	11,200,000	3,360,000	14,560,000
年度			
年度			
総計	35,600,000	10,680,000	46,280,000

研究分野：数値流体力学、航空宇宙工学

科研費の分科・細目：総合工学・航空宇宙工学

キーワード：数値流体力学、高精度解法、航空機設計

1. 研究開始当初の背景

代表者は、非構造格子を用いた圧縮性流体ソルバー (TAS-Code) を 90 年代から開発し、航空機の空力解析・最適設計に多用されるようになった。しかしながら、計算精度については、計算結果の格子密度への依存性や物理モデル依存性のために十分であるとは言え

ず信頼性が課題であった。また、格子生成の時間短縮や並列計算の効率化等も工学的な利用を促進するためには解決しなければならない問題であった。一方で、計算機の性能は 90 年代から 10 年の間に 1000 倍の向上を示しており、同様の発達が当分は続くことが

予想されていたが、そのような計算機での大規模計算には当時の計算法は様々な課題を持っていた。

2. 研究の目的

CFD の信頼性を抜本的に改善するために、格子密度を高めて高解像な解析を行うための計算アルゴリズム開発と精度検証、およびその応用範囲の拡大を目的とした。一つのアプローチは、既開発で既に工学問題に有効に使われている TAS-code について、必要な箇所だけ格子細分化をするアルゴリズムを開発して高度化・信頼性改善し、航空機設計に応用することである。もう一つのアプローチは、性能改善が目覚ましい高速計算機の利用を前提に、等間隔直交格子をベースとした計算法の構築を目指すものである。

3. 研究の方法

二つのアプローチの内の TAS-code の高度化については、局所的に格子を細分化するアルゴリズム開発、細分化する場所を特定するための随伴方程式を用いた方法の開発、あるいは抵抗算出精度を改善するための抵抗分解法の開発、精度検証を進めるとともにそして航空機の様々な問題に適用してその有効性を確認した。また、等間隔直交格子ベースのアプローチは、Building-Cube と名付けた計算ブロックを用いる方法を提案し、その格子生成や計算ソルバーを構築した。また、様々な計算高速化のためのアルゴリズム開発とその検証を進めた。

4. 研究成果

TAS-Code の高度化については、格子細分化アルゴリズムを開発し、高密度格子により航空機の翼端における詳細な流れ解析を可能とした。また、航空機等の抵抗算出の精度

を改善するために、随伴方程式による格子細分化領域の特定方法を開発し、その有効性を翼等の最適化で示した。抵抗分解による数値誤差の特定方法も有効であることを示した。また、これらの手法および解析精度の改善を進め、音速近傍で飛行する次世代旅客機の提案、ソニックブームと空力抵抗を大幅に低減する次世代超音速機の翼解析等を行った。特に、旅客機 MRJ の高揚力装置やウイングレット等の最適化等に適用し、その開発に大きく貢献したことは重要な成果である。

Building-Cube 法については、格子生成ソフトを開発し、従来の CFD では半日以上要した大規模な格子生成でもパソコン上で数分で行えることを示した。これは CFD の工学応用では重要な成果である。また、非圧縮流体用の 3次元ソルバーを開発して精度検証を進めるとともに、計算高速化のためのアルゴリズム導入やベクトル化・並列化等の手法の導入を進め、高いベクトル性能、並列化性能を出した。そして、従来の計算の 10 倍もの格子点を用いたレーシングカー周りの大規模計算を実行し、複雑形状に対する本アプローチの有効性を示した。この新しい計算アプローチは大規模な国際会議での基調講演を行うなど、世界的にも注目されている。計算機性能はまだ以前の性能改善ペースで向上しており、また国家プロジェクトとしてペタフロップス級計算機開発も進むなか、これら近未来の高性能計算機により本アプローチは既存の CFD アプローチに取って代わる可能性があることを示し得たと言えよう。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕 (計 17 件)

- ① D. Maruyama, K. Kusunose and K. Matushima, Aerodynamic Characteristics of a two-dimensional

- supersonic biplane, covering its take-off to cruise condition, Shock Waves, Vol. 18, pp434-450, 2009, 査読有
- ② K. Takenaka, K. Hatanaka, W. Yamazaki and K. Nakahashi, Multidisciplinary Design Exploration for a Winglet, Journal of Aircraft, Vol. 45, No. 5, pp.1601-1611 2008, 査読有
- ③ T. Ishida, S. Takahashi, and K. Nakahashi, Efficient and Robust Cartesian Mesh Generation for Building-Cube Method, Journal of Computational Science and Technology, Vol. 2, No. 4, pp.435-446, 2008, 査読有
- ④ T. Watanabe, K. Matsushima and K. Nakahashi, Aerodynamic shape optimization of a near-sonic passenger plane using computational fluid dynamics, Journal of Aerospace Engineering, Vol. 222 Part G, pp.1025-1035, 2008, 査読有
- ⑤ S. Takahashi, I. Monjugawa, K. Nakahashi, Unsteady Flow Computations around Moving Airfoils by Overset Unstructured Grid Method, Trans. Japan Soc. Aero. Space Sci., Vol. 51, No. 172, pp.78-85, 2008. 査読有
- ⑥ W. Yamazaki, K. Matsushima, K. Nakahashi, Aerodynamic Design Optimization Using the Drag-Decomposition Method, AIAA Journal, Vol.46, No.5, pp.1096-1106, 2008. 査読有
- ⑦ W. Yamazaki, K. Matsushima, and K. Nakahashi, Drag Prediction, Decomposition and Visualization in Unstructured Mesh CFD Solver of TAS-code, Int. J. Numer. Meth. Fluids, Vol. 57, 417-436, 2008, 査読有
- ⑧ K. Chiba, S. Obayashi, K. Nakahashi, Open-Type Separation on Delta Wings for Leading-Edge Bluntness, Trans. Japan Soc. Aero. Space Sci., 50(168), 81-87, Aug., 2007 査読有
- ⑨ M. Kuroda, K. Nakahashi, Y. Yokokawa, M. Murayama, Numerical Approach to the Flap-Tip Flow Field Using Adaptive Mesh Refinement and UMUSC, Computational Fluid Dynamics Journal, Vol.156, No. 2:17, pp.151-166, 2007, 査読有.
- ⑩ W. Yamazaki, K. Matsushima, and K. Nakahashi, Drag Decomposition-Based Adaptive Mesh Refinement, Journal of Aircraft, Vo.44, No.6, Nov-Dec., pp.1896-1905, 2007. 査読有.
- ⑪ H-J. Kim, K. Nakahashi, Surface Mesh Movement for Aerodynamic Design of Body-Installation Junction, AIAA J., Vol.45, No.5, 1138-1142, 2007. 査読有
- ⑫ K. Chiba, A. Oyama, S. Obayashi, K. Nakahashi, H. Morino, Multi-disciplinary Design Optimization and Data Mining for Transonic Regional-Jet Wing, J. Aircraft, Vol.44, No. 4, pp.1100-1112, 2007. 査読有
- ⑬ Ito, Y., Shih, A. M., Erukala, A. K., Soni, B. K., Chernikov, A. N., Chrisochoides, N. P. and Nakahashi, K., Parallel Mesh Generation Using an Advancing Front Method, Mathematics and Computers in Simulation, Vol. 75, Issues 5-6, September 2007, pp. 200-209. 査読有
- ⑭ Ito, Y., Shih, A. M., Soni, B. K. and Nakahashi, K., Multiple Marching Direction Approach to Generate High Quality Hybrid Meshes, AIAA Journal, 45 (1), 162-167, 2007. 査読有
- ⑮ Salim Koc, Hyoun-Jin Kim, Kazuhiro Nakahashi, Aerodynamic Design of Complex Configurations with Junctions, Journal of Aircraft, 43 (6), 1838-1844, Nov.-Dec., 2006. 査読有
- ⑯ H-J Kim, Y. Takano, K. Nakahashi, Error Estimation and Grid Adaptation Using Euler Adjoint Method, Journal of Aircraft, 43 (5), 1317-1324, Nov.-Dec., 2006, 査読有
- [学会発表] (計 56 件)
- ① T. Ishida, S. Takahashi and K. Nakahashi, Flow Computations around Moving and Deforming Bodies Using Cartesian Mesh, 47th AIAA Aerospace

Sciences Meeting, 8, January, 2009, Orlando, FL, USA

- ② S. Takahashi, T. Ishida, K. Nakahashi, H. Kobayashi, K. Okabe, Y. Shimomura, T. Soga and A. Musa, Study of High Resolution Incompressible Flow Simulation Based on Cartesian Mesh, 47th AIAA Aerospace Sciences Meeting, 5, January, 2009, Orlando, FL, USA
- ③ S. Takahashi, T. Ishida and K. Nakahashi, Building-Cube Method for Incompressible Flow Simulations of Complex Geometries, the Fifth International Conference on Computational Fluid Dynamics, 10, July, 2008, Seoul, Korea
- ④ K. Nakahashi, Building-Cube Method: A CFD Approach for Near-Future PetaFlops Computers, ECCOMAS Congress 2008, 1, July, 2008, Venice, Italy
- ⑤ T. Ishida, S. Takahashi and K. Nakahashi, Parallel Cartesian Mesh Generation for Moving Bodies, 20th International Conference on Parallel Computational Fluid Dynamics, 19, May, 2008, Lyon, France
- ⑥ R. Nakayama, K. Matsushima and K. Nakahashi, CFD Validation about High-Lift Configuration of Civil Transport Aircraft, AIAA-2008-410, 46th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, Nevada(USA), Jan. 7-10, 2008.
- ⑦ T. Yamahara, K. Nakahashi, H-J. Kim, Adaptive Mesh Refinement Using Viscous Adjoint Method for Multi-Element Airfoil Computations, AIAA-2008-416, 46th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, Nevada(USA), Jan. 7-10, 2008.
- ⑧ K. Nakahashi, Y. Sakurai, A. Kitoh, Numerical Study of Flows in the Vicinity of Airfoil Trailing Edge,

ICAS 2006-2.102, 25th Congress of the Int. Council of the Aeronautical Sciences, Hamburg, Germany, 3-8, Sept. 2006

〔図書〕 (計 1 件)

- ① 中橋和博、他, Tohoku University Press, Nano-Mega Scale Flow Dynamics for Advanced Aerospace Technology, 2008, 1-196 ページ

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

松島 紀佐 (MATSUSHIMA KISA)
東北大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 40332514

(3) 連携研究者