

| | |
|-------------|-----------------------------------|
| 氏 名 | よしおか ひとし |
| 学位(専攻分野) | 吉 岡 一 志 |
| 学 位 記 番 号 | 博 士 (工 学) |
| 学位授与の日付 | 博 甲 第 5 0 3 号 |
| 学位授与の要件 | 平成 20 年 3 月 25 日 |
| 研 究 科 ・ 専 攻 | 学位規則第 3 条第 3 項該当 |
| 学 位 論 文 題 目 | 工芸科学研究科 情報・生産科学専攻 |
| | 全音速統一解法による擬似非圧縮性流れ解析に関する研究 |
| | (主査) |
| 審 査 委 員 | 教授 松野謙一 |
| | 教授 岡本達幸 |
| | 教授 村田 滋 |
| | 准教授 西田秀利 |

論文内容の要旨

本論文は、音速以上の高速流から低速の非圧縮性流れに至るすべての速度域に対して単一の手法で取り扱うための数値解析法に関し、改良を加えるとともにその有効性および低速乱流への適用性を検証している。

通常、圧縮性方程式と非圧縮性方程式は別々の数値解法で解かれる。これは圧縮性方程式は全ての物理量を時間発展的に解くことが出来るのに対し、非圧縮性流れでは圧力の伝播速度が無限大である為、圧力について時間発展的に解くことが出来ないからである。したがって、非圧縮性流れと圧縮性流れを同一の解法で解くことの出来る統一解法を構築することが出来れば統一的かつ効率的にシミュレーションをすることが可能となる。近年、この種の統一解法として一様マッハ数圧力補正法が提案された。本論文は、この解法に着目し、先ず改良として、汎用性を高めるためコロケーション格子上で手法を再構築した。例題として円柱周り流れを取り上げ、超音速、遷音速、亜音速、極小マッハ数及びマッハ数ゼロの非圧縮性流れに対して検証を実施し、超音速流れから非圧縮性流れまで全速度域で同一の方法を用いて統一的に解くことができることを示した。更に、従来の方法をオイラー方程式に適用した場合、通常はマッハ数が 0.01 付近から安定条件の制約が厳しくなるのに対し、本手法はマッハ数をそれ以下に下げても安定条件が悪化しないという結果が得られ、したがって、硬直性による時間ステップ幅の制限を回避できることを示した。

次に、非圧縮性流れは圧縮性方程式をマッハ数をゼロとした極限で表現される。そこで本手法を用いて圧縮性乱流について直接数値シミュレーション(DNS)およびラージエディシミュレーション(LES)を低マッハ数(0.01)の条件下で実施し、非圧縮性方程式に基づく計算結果と比較した。DNS、LES とともに低マッハ数圧縮性流体の計算結果と非圧縮性計算結果と一致することを示した。これは、非圧縮性乱流を低マッハ数圧縮性乱流として解いてもよいことを意味する。また、LES において通常遭遇する硬直性問題を本手法は回避することが可能であり、結果として、計算負荷の高いテストフィルターの計算回数を減らすことに成功した。

以上のことを踏まえ、本論文において新たに構築したコロケーション格子上での一様マッハ数圧力補正法は、全速度領域に対して、また乱流解析に対しても、有効な手法であると結論している。

論文審査の結果の要旨

流体解析は、流れの速度に対応して圧縮性流体方程式を用いる場合と音速に比べて流速が小さいため密度変化が無視できるとした非圧縮性流体方程式を用いる場合とに大別される。圧縮性方程式は非圧縮性方程式を含むものであり、すべての流れをひとつの圧縮性方程式を用いてで統一的に解析することがパラメータの連続性から好ましいが、方程式の硬直性等から一般に困難である。本論文は、このような観点から最近提案された全速度域を統一的に計算する解法に着目し、その拡張・一般化を行うと共に様々な検証を通してその有効性を示したものである。本論文では先ず汎用性を高めるためコロケーション格子上で手法を再構築し、円柱周りのオイラー流を対象に検証を行い、超音速からマッハ数ゼロの非圧縮性流れまで硬直性を起こすことなく計算できることを示した。また、直接シミュレーションおよびラージエディシミュレーションと呼ばれる乱流解析に本手法を適用し、低マッハ数圧縮性流体方程式を用いた解析結果が非圧縮性流体方程式に基づく結果と同等であることを示した。また、本手法の特性を利用し、乱流解析において計算負荷の高いテストフィルターの計算回数を減らすことに成功し、効率化を図った。

以上のように申請者の研究は、すべての速度域に対し適用可能な統一解法について、応用が広く発展性のある格子系へ拡張するとともに、従来の方法との比較検討を通してその有効性を示し、また乱流解析への適用性を示すなど、工学的に寄与する成果を上げている点は高く評価できる。

なお、本論文の主要部分は、以下の2編の査読付き学会論文誌および1編の国際会議プロシーディングとして公表され、そのうち2編は申請者が筆頭著者である。

1. Hidetoshi Nishida, Hitoshi Yoshioka and Motoyoshi Hatta, Higher Order Parallel DNS of Incompressible Turbulence Using Compressible Navier-Stokes Equations, *Parallel Computational Fluid Dynamics*, Elsevier, (2005), pp.121-128.
2. Hitoshi Yoshioka, Hidetoshi Nishida, Kenichi Matsuno, Higher Order LES Solutions of Incompressible Turbulence Using Compressible Navier-Stokes Equations, *Computational Fluid Dynamics Journal*, Vol.15, (2006), pp.288-298.
3. 吉岡一志、西田秀利、松野謙一、オイラー方程式における圧力補正法を用いた全音速統一解法に関する研究、*計算工学会誌*、Vol.2007, No.20070026 (2007)