J05112

航空機エンジン燃料噴射弁流れへの圧縮性埋め込み境界法の適用

Application of Compressible Immersed Boundary Method on a Flow of a Fuel-Injector of an Aircraft Engine

○学 CHO Younghwa^{*1}, BALE Rahul^{*2}, 小田 剛生^{*3}, 大島 伸行^{*1}
Younghwa CHO^{*1}, Rahul BALE^{*2}, Takeo ODA^{*3} and Nobuyuki OSHIMA^{*1}^{*1} 北海道大学 Hokkaido University^{*2} 理化学研究所 計算科学研究センター RIKEN Center for Computational Science^{*3} 川崎重工業株式会社 Kawasaki Heavy Industries, Ltd.**Key Words** : : Immersed Boundary Method (IBM), Building-Cube Method (BCM), Aircraft Fuel-Injector

産業界にて多く見られる実機の形状は非常に複雑であり、しばしばその CAD データは表面データの ‘オーバーラップ’ や ‘局所的な欠損’ 等に例えられる「欠陥 (Imperfection)」を有している。このような形状から格子を作成するには、形状の前処理 (Pre-Processing) の先行が求められており、「Surface Wrapping (1)」等の方法論が提案されてきた。しかし、このような従来の方法論を採用した実機の CAD データの表面処理には数日～数週間程度が求められており、数値シミュレーションにおけるボトルネックとなっている。これは、ハイパフォーマンスコンピューティング (High-Performance Computing, HPC) における究極的な目的である「リアルタイム・シミュレーション (Real-Time Simulation)」の実現のために解決されなければならない課題である。

一方、理化学研究所計算科学研究センターでは「ビルディング・キューブ法 (Building-Cube Method, BCM) (2)」に基づいた「Complex Unified Building cubE (CUBE) (3)」というソルバーを開発している。BCM の採用を通して、CAD データからの迅速な格子作成のみならず、ソルバーのアルゴリズムの簡潔化による計算性能と並列性能 (Strong Scalability) の向上を図っている。さらに、BCM 格子上で複雑かつ欠陥を有する実機の CAD 形状を正確に捕獲するために「埋め込み境界法 (Immersed Boundary Method, IBM)」を採用している。しかし、従来の CUBE の計算対象は主に非圧縮性の流れ場であり、圧縮性流れ場に対する計算例は比較的少ない。

そこで本研究では、「圧縮性埋め込み境界法 (Compressible IBM) (4)」を適用した CUBE を用いて、実機の航空機エンジン燃料噴射弁における圧縮性流れ場の数値シミュレーションを実施し、形状の捕獲性能及び格子依存性について検討・調査を行った。その結果、今回適用した圧縮性埋め込み境界法は、多数の欠陥の含まれている燃料噴射弁の形状をきちんと捕獲できていることが確認できた。また、このような圧縮性埋め込み境界法を用いる場合、メインノズルの領域に噴射弁直径の約 2 % の空間解像度を与える必要であるということが分かった。

文 献

- (1) J.A. Carlson, Surface wrapping: A deformable mesh approach to semi-automatic 3D volume segmentation, University of Colorado Boulder (2010).
- (2) K. Nakahashi, Building-cube method for flow problems with broadband characteristic length, *Computational Fluid Dynamics* 2002, Springer, Berlin, Heidelberg (2003): 77-81.
- (3) N. Jansson, R. Bale, K. Onishi, M. Tsubokura, CUBE: A scalable framework for large-scale industrial simulations, *International Journal of High Performance Computing Applications* Vol.33 (2018): 678-698.
- (4) C.G. Li, M. Tsubokura, R. Bale, Framework for simulation of natural convection in practical applications, *International Communications in Heat and Mass Transfer* Vol.75 (2016): 52-58.
- (5) Y. Cho, R. Bale, C.G. Li, T. Satoh, R. Matsuyama, T. Oda, M. Tsubokura, N. Oshima, Numerical simulation of flow in a fuel-injector of an aircraft engine, 33th Computational Fluid Dynamics Symposium, 27-29 Nov. 2019, Hokkaido, Japan.