



自動車技術を取り巻く デジタルエンジニアリングの進展

自動車空力CFDの技術課題と解析例

アドバンスソフト株式会社
解析グループ 主事 研究員
佐々木 良浩

2.

ビークル・エアロダイナミックスのイノベーション < 非定常車両空気力学(空力)のすすめ >

車両設計における非定常空力特性の把握の重要性と必要性

- 車体まわりの流れ場特性の高精度予測(車両抗力係数 C_D 値、揚力係数 C_L 値の高精度予測)
- 車両空力設計の主分野である定常空力特性については、風洞実験からCFDへの転換が加速しつつある。乱流モデルについては、定常乱流モデル(RANSモデル(標準 $k-\epsilon$ モデル等))では格子数を増加させても、車体表面の圧力分布、特に車体背面(ベース面)の圧力分布は再現できないことが明らかにされている。一方、非定常乱流モデル(LES)はこれを良好に再現する。即ち、高精度予測にはウエークにおける大規模非定常渦を捉えることが本質的であり(RANSモデルではできない)、非定常乱流モデルの適用が必須となっている。
- < FFRの特徴、FFRによる実現可能項目 >
 - ✓ 車両空力特性の評価における有用なCFD手法「高精度非定常乱流モデルLES」を実装
 - ✓ 車体背後のウエークの非定常現象等の把握による車体まわりの流れ場の高精度再現
- 横風通過時、追い越し時等に作用する車体に作用する非定常空力の予測
- 従来、この種の解析に対しては「非定常空力の準定常の取り扱い」がなされてきた。模型を用いて非定常空力を直接測定する試みもなされているが、主として車両運動の評価を通してこの取り扱いの妥当性が確認されてきた。近年、車両運動性能、特に高速時における運動性能の予測精度の一層の向上が要求されている。このためには、車両に作用する非定常空力を直接求めることが必要になっている。しかし、これら非定常空力を現状の風洞施設で求めることはほぼ不可能であるため、非定常乱流モデル(LES)による高精度のCFDシミュレーション技術の提供が要望されている。
- < FFRの特徴、FFRによる実現可能項目 >
 - ✓ 現状の風洞施設ではほぼ不可能な非定常車両空力現象の再現
 - ✓ 高速走行時における車両運動の高精度予測、走行安定性・走行快適性の改善に寄与する非定常空力の把握
 - ✓ F1等レース車両、200km/hレベル高速走行・高性能乗用車、超軽量車両等の空力対策



FrontFlow/red (空力版)

< 非定常車両空気力学解析用FFrの特徴 >

- 非定常乱流モデルLarge Eddy Simulation (LES)
- 車両のヨー変動時、ピッチ変動時に対応するスライディング格子、Arbitrary Lagrangian Eulerian (ALE) システムの構築
- FFr機能の特徴:
 - 「乱流モデル」標準Smagorinskyモデル、Dynamic SGSモデル、標準k- ϵ モデル
 - 「対応格子」6面体、4面体、3角柱、4角錐及びこれらの混合格子
 - 「離散化手法」有限体積法・節点中心法
 - 「移流項離散化スキーム、時間積分法」各種スキーム、手法を実装

< 計算事例 (すべて四面体格子を適用) >

- 基礎検討事例: 格子依存性検討: LES vs. RANS
- 複雑形状対応事例: フォーミュラカー
- 複雑形状対応事例: セダン型市販乗用車
- 複雑形状対応事例: 二輪車
- 非定常空気力: ヨー変動計算事例

< 資料提供 >

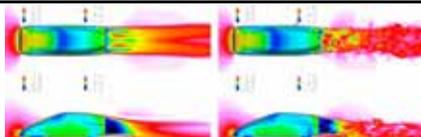
- 資料提供: 北海道大学大学院工学研究科・大島伸行・坪倉誠研究室
東京大学生産技術研究所「革新的シミュレーション研究センター」
(株)マツダ、スズキ(株)、(株)チームルマン、Lola Cars International, Ltd.



CFD: computational fluid dynamics, LES: large eddy simulation, RANS: Reynolds averaged Navier-Stokes

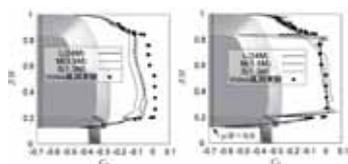
3

計算事例 (1)



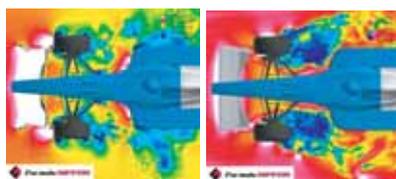
表面圧力分布と速度分布(左図:RANS、右図:LES)「文献1」

LESでは、一見ランダムにみえる車体背後の(ウエーク)乱流が、標準k- ϵ モデルでは再現が難しい組織的な渦構造により構成されていることがわかる。この非定常渦を捉えることが本質的である。



車体ベース面(背面)圧力分布(左図:RANS、右図:LES)格子依存性の検討例(ASMO車体)「文献1」

LESは比較的少ない格子数でも、実験値を再現する。RANS(ここではk- ϵ モデル)では格子数を増加させても、実験値は再現されない。k- ϵ モデル等、定常乱流モデルでは車体背後の非定常渦を捉えられない。定常空力特性といえども、非定常流れを把握して時間平均値を求めることが重要である。



圧力分布と速度分布(左図:圧力、右図:速度)「フォーミュラカーLOLA」「文献1」

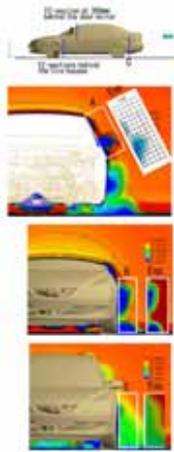
要素数約1億2千万、節点数2千万の計算要素数を用いた複雑形状をもつフォーミュラカー周りの計算例である。この計算には、地球シミュレータ上において800CPU、500GBメモリを利用、実時間約120時間を要した。抗力については風洞実験に対して10%程度、揚力については1%程度の誤差で予測している。



4

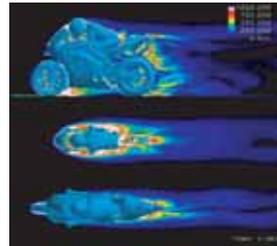
計算事例 (2)

非定常流れ構造の解析例「文献2」
市販セダン車の側面に発達する流れ構造をLESと実験値とを比較している。約3800万要素の計算である。ドアミラー(A)、前輪タイヤハウス(B)、後輪タイヤハウス(C)後方の流れ場がLESによって良好の再現されている。また、これらの流れ構造が車体のウエークと強く干渉し、車体の空力性能に影響を与えていることが分析される。



二輪車の事例「文献3」

約2800万要素による二輪車まわりの流れ場の再現例。

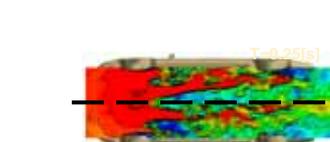
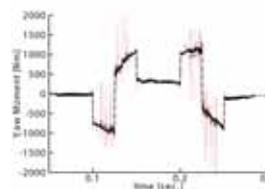
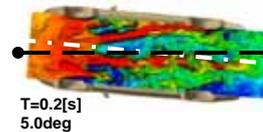
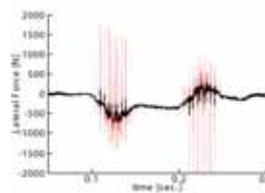
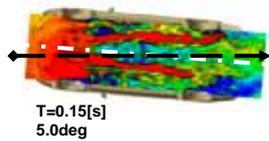


5

計算事例 (3)

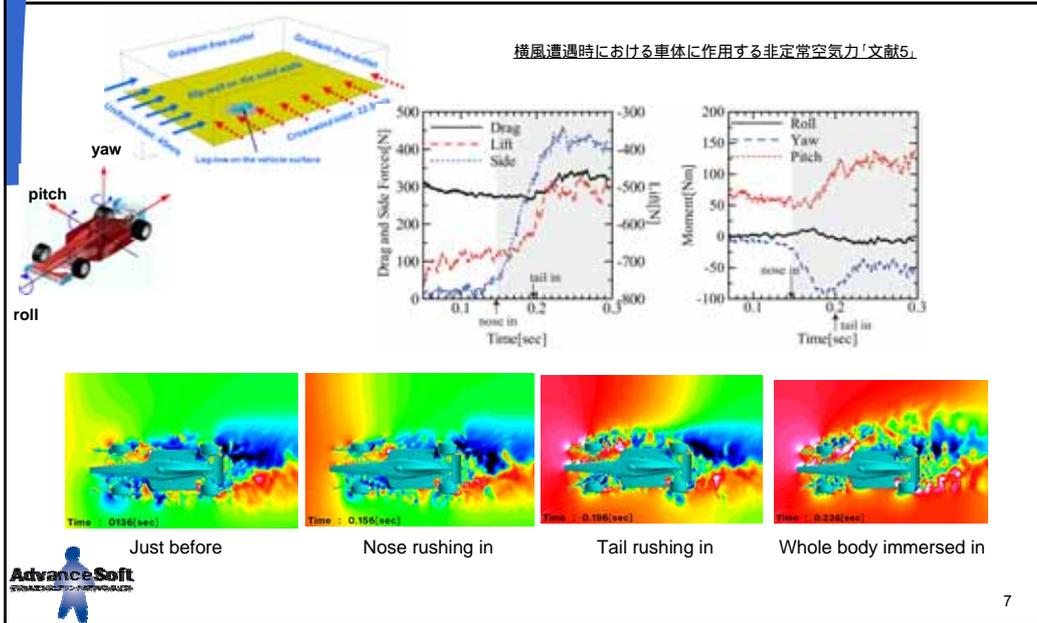
急ハンドル時に車体に作用する非定常空気力
(左図:ヨーイングモーメント、右図:ピッチングモーメント)「文献4」

車体の偏置角を動的に変化させた場合の車体に働く非定常空気力をスライディングメッシュ法によって計算した例である。過渡時における空気力は定常時における空気力とは明確に異なっていることがわかる。この空気力の差異が車両の運動特性の予測に大きな影響を与える。



6

計算事例 (4)



Advance/FrontFlow/red利用環境

Materialise社
3-matic



3-matic, ICEM CFDを組み合わせてサスペンション、エンジンルームを含むプリズム格子を50時間で生成

2009年8月リリース予定

- ・CADデータの読み込み (IGES ファイル)
- ・メッシュ生成 (四面体自動生成)
- ・境界条件、解析条件設定
- ・ポスト機能

プリプロセッサ

PointWise社
Gridgen



Ansys社
ICEM CFD



汎用プリポストプロセッサ
Advance/RevocapPrePost



カラーコンタ・変形・等値面・切断面など

汎用流体解析ソフトウェア
Advance/FrontFlow/red
V2.070



ポストプロセッサ

Advanced Visual Systems社
AVS/Express

IntelligentLight社
FIELDVIEW



Kitware社
Paraview



参考文献一覧

文献番号1:

Makoto Tsubokura, Kozo Kitoh, Nobuyuki Oshima, Takuji Nakashima, Huilai Zhang, Keiji Onishi, Toshio Kobayashi: Large Eddy Simulation of Unsteady Flow around a Formula Car on Earth Simulator, SAE 2007 Transactions Journal of Passenger Cars : Mechanical Systems Section 6, pp. 40-49, 2007-01-0106(2007)

文献番号2:

Makoto Tsubokura, Toshio Kobayashi, Takuji Nakashima, Takahide Nouzawa, Takaki Nakamura, Huilai Zhang, Keiji Onishi, Nobuyuki Oshima, "Computational visualization of unsteady flow around vehicles using high performance computing", Computers & Fluids, vol.38 (2009), pp.981-990

文献番号3:

Makoto Tsubokura, Takuji Nakashima, Nobuyuki Oshima, Kozo Kitoh, Huilai Zhang, Keiji Onishi, Toshio Kobayashi, "Current status on high performance computing for vehicle aerodynamics using large eddy simulation", Proc. of FEDSM07 5th joint ASME/JSME fluids engineering conference, FEDSM2007-37456 (2007)

文献番号4:

坪倉誠, 中島卓司, 農沢隆秀, 中村貴樹, 張会来, 大島伸行, "LESによる車両非定常空力メカニズムの可視化解析", 可視化情報学会誌 (第36回可視化情報シンポジウム講演論文集), vol.28, No.1 (2008), pp.217-222

文献番号5:

Makoto Tsubokura, Takuji Nakashima, Takeshi Ikenaga, Keiji Onishi, Kozo Kitoh, Nobuyuki Oshima, Toshio Kobayashi, "HPC-LES for the prediction of unsteady aerodynamic forces on a vehicle in a gusty cross-flow condition", SAE Motorsports Engineering Conference, 2008-01-3001 (2008)

