

# アドバンスソフト技術セミナー 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

2009  
5/20

## セミナー資料



### 開催案内

1. 日 時	2009年5月20日(水) 10:00~11:30
2. 会 場	トスラブ山王(山王健保会館 2F) A+B 会議室
3. テーマ	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
4. 定 員	80名
5. 参加費	無料

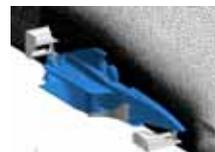


### プログラム

10:00~10:05	主催者あいさつ アドバンスソフト株式会社 代表取締役社長	小池 秀耀
10:05~10:35	自動車 CAE の進展 - 自動車空力 CFD の最近の動向 - アドバンスソフト株式会社 解析グループ 主管研究員	鬼頭 幸三
10:35~10:50	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
10:50~10:55	質疑応答	
10:55~11:05	自動車技術に関するデジタルエンジニアリングの紹介(1) 排気騒音 アドバンスソフト株式会社 技術第3部 主事研究員	桑原 匠史
11:05~11:15	自動車技術に関するデジタルエンジニアリングの紹介(2) ファン騒音 アドバンスソフト株式会社 技術第4部 主事研究員	西村 香純
11:15~11:25	自動車技術に関するデジタルエンジニアリングの紹介(3) 水素タンク急速充填 アドバンスソフト株式会社 技術第3部 研究員	吉尾 匡史
11:25~11:30	質疑応答	

### 相談会のお知らせ

当日午後、本セミナーに関連して、無料相談会を開催させていただきます。  
ご希望される場合、セミナー申込みと合わせてご予約ください。



お問い合わせ : Tel: 03-5570-1681 email: office@advancesoft.jp URL: <http://www.advancesoft.jp>





## 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CAEの進展 －自動車空力CFDの最近の動向－

アドバンスソフト株式会社  
解析グループ 主管研究員  
鬼頭 幸三

1.

## 自動車の性能に関するデジタルエンジニアリングの適用分野<sup>1</sup>

(主として流体技術関連 (Advance/Red, Blue, FOCUS, MP, FS, NET, Noise, STR, Phase))



(引用: 東大生研RSS21 (2006))

#### 車体系

- 車体空力特性\*
- 空力付加物の空力特性\*
- 車体に作用する非定常空気力\*  
(+ 自然風の影響)
- 床下流れ・ウエーク流れ\*

- ブレーキ回り流れ (+ 冷却)
- 泥はね (気固液3相流)
- 空力・車体構造連成\*

- 空力騒音・騒音源\*  
(車体, 空力付加物)

#### 車室内環境系

- 空調システム内部流れ\*
- 空調系騒音\*: ファン・管路系騒音

- 車室内流れ  
(+ 乗員生体系連成)
- 生体血流\*

#### 車両運動

- 横風突風遭遇時の非定常空力特性・車両運動との連成
- 燃料タンクのスロッシング\*
- ハイドロプレーニング\*

(アンダーライン付項目: ご紹介項目)  
(\*付項目: 受託可能項目)



## 自動車の性能に関するデジタルエンジニアリングの適用分野<sub>2</sub>

(主として流体技術関連 (Advance/Red, Blue, FOCUS, MP, FS, NET, Noise, STR, Phase))



(引用: 東大生研RSS21 (2006))

### エンジン・動力伝達系

- 筒内流れ\*
- 燃焼現象\*
- 噴霧現象\*
- エンジンシステム性能(管路系)
- 吸排気システム  
(+バルブ作動)

- 冷却系\*: ラジエータ、エンジン  
ブロック冷却水流れ(+騒音)、  
コンデンサー<sup>2</sup>相流
- エンジンルーム内流れ  
(+熱現象、外部流連成\*)

- 油圧回路: トルクコンバータ  
内部流れ\*、回路内非正常流れ、  
キャビテーション、バルブ・管路  
共振
- マフラー・触媒内流れ\*(+騒  
音)

### 新システム関係

- 燃料電池関連(セル詳細3次元  
解析、スタック・管路系\*、**水素タ  
ンク急速充填\***)

### 生産技術

- 焼入れ\*
- 鋳造・湯流れ
- メッキ(吹き付け)塗装・CVD\*
- 樹脂成型\*

### 部品系

- ランプ内熱・流れ(+凝縮)

### ナノテクノロジー関連

- FC\*・バッテリー\*
- 半導体\*

### 非流体関連

- 衝突安全: 車体クラッシュ特性
- インバクトバイオ関連
- 鍛造
- 路面外乱・車体構造連成

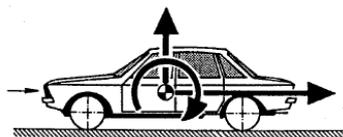
(アンダーライン付項目: ご紹介項目)  
(\*付項目: 受託可能項目)



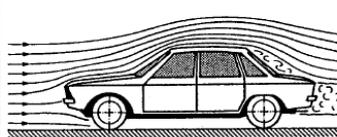
3

## 自動車の空気力学

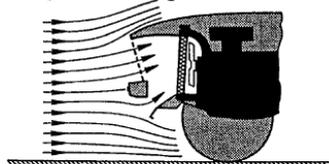
### Performance, Stability



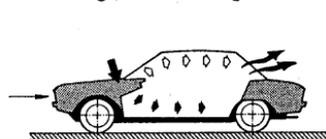
### Flow Field in Detail



### Engine Cooling



### Heating, Ventilating



(引用: W.-H. Hucho (ed.), "Aerodynamics of Road Vehicles", SAE (1998))



4

## Cd値低減の背景: 燃費規制

日本	2015	平均燃費16.8km/L	(平均23.5%改善)
欧州	2012	CO <sub>2</sub> 排出量130g/km(ほぼ日本並み)	(平均20%改善)
米国	2020	1ガロン35マイル(14.9km/L)	(平均40%改善)

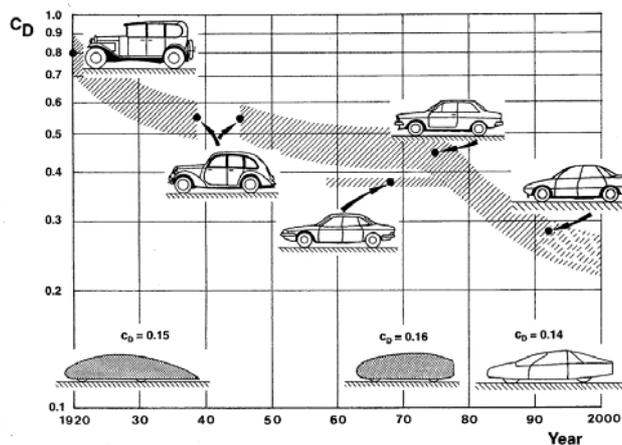
自動車の種別	2004年度実績値	2015年度推定値	燃費改善率 (クラス別基準平均)
乗用車	13.6 (km/L)	16.8 (km/L)	23.5%
小型バス	8.3 (km/L)	8.9 (km/L)	7.2%
小型貨物車	13.5 (km/L)	15.2 (km/L)	12.6%

(引用: 乗用車等の新燃費基準(平成19年);国土交通省ホームページ)



5

## Cd値の変遷

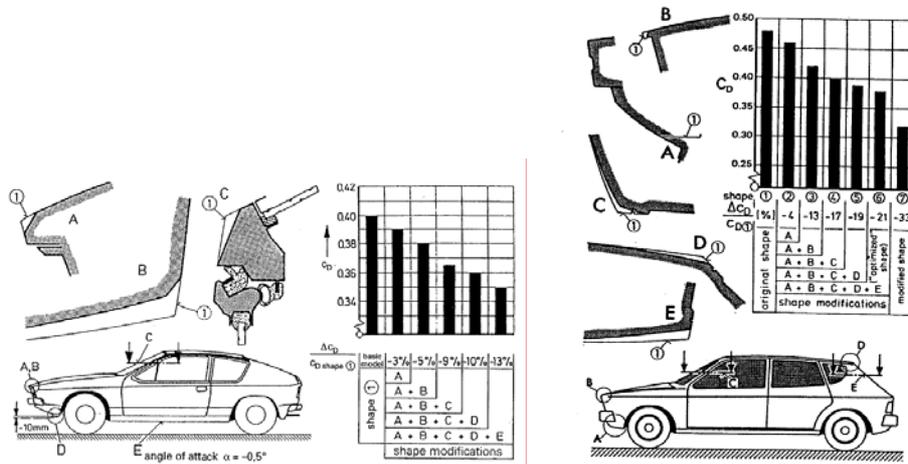


(引用: W.-H. Hucho (ed.), "Aerodynamics of Road Vehicles", SAE (1998))



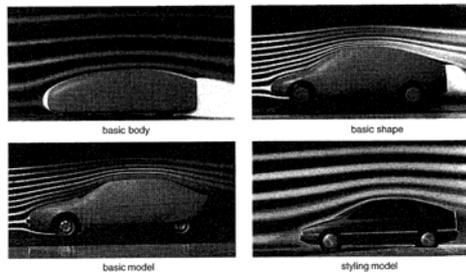
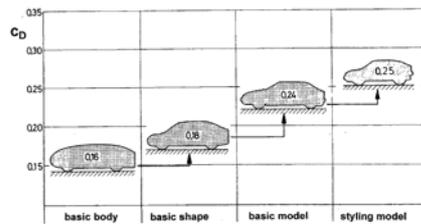
6

## 空力開発: 外部形状の細部最適化



(引用: W.-H. Hucho (ed.), "Aerodynamics of Road Vehicles", SAE (1998))

## 空力開発: 外部形状の形状最適化



(引用: W.-H. Hucho (ed.), "Aerodynamics of Road Vehicles", SAE (1998))

## 車両空気力学のCFDに関する課題

プリプロセス: 3次元CADデータからの格子生成

- 背景: CADデータには、構成要素間の微小な隙間や微細な凹凸等が存在
- 表面処理: 複雑形状の表面の簡素化(表面処理、ラッピング等)
- 課題: (複雑形状への対応)非構造格子形状、格子数の選択、**“良質な形状の生成”**等

ソルバー: CFDのコア部分

- 背景: 流体现象を支配する基礎方程式をいかに精度よく解くか  
工業的な応用に必要となる複雑形状に対しては、“直接解法”は不可能  
何らかのモデル化が必要
- 乱流の取り扱い: レイノルズ平均ナビエ・ストークス方程式による解法(RANS)
- 従来の取り扱い: ラージ・エディ・シミュレーション(LES)、格子ボルツマン法に基づく非定常解法
- 最近の動向: 乱流モデルの影響、数値スキームの影響、**“解の格子依存性”**等

ポストプロセス: 計算結果の表示、可視化

- 課題: 適確な物理量の把握と**“評価”**  
実験では中々分からない**“複雑現象の解明”**、製品の性能改善に結び付く手段の提案

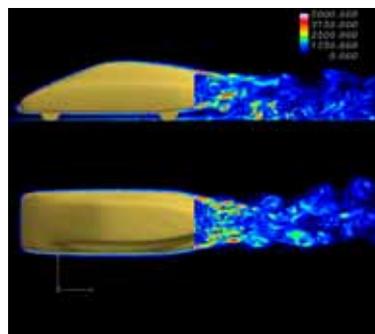


9

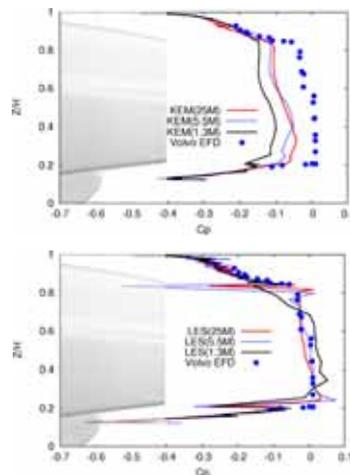
## 車両まわりの流れ場の特徴:非定常性

流れ場の非定常性の把握:LES vs. k-モデル

- 車体の空力特性開発: 風洞実験からCFDへ
- 非定常乱流モデルの適用: ウェ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る

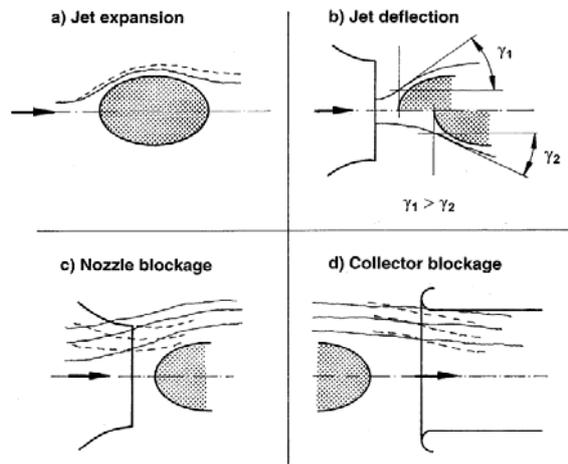


(引用:東大生研RSS21(2006))



10

## 風洞構造の影響を受ける計測値



(引用: W.-H. Hucho (ed.), "Aerodynamics of Road Vehicles", SAE (1998))

11

## 計算値の検証の精密化 SAE paper 2007-01-1045

(引用: O. Fischer et al. "CFD investigation of wind tunnel interference effects" (2007))

- 背景: 風洞実験による車両空力特性の計測値は風洞構造の影響を受けるほとんどの場合、CFD では風洞構造の影響を考慮して計算を行っていない
- 本論文: 風洞構造の影響をも考慮した車両空力特性の再現 CFD 結果の厳密な検証方法を提示
- 主要結果: スケールモデルの開放型風洞の流れ場の再現
  - 計算手法: 格子ボルツマン法
  - 格子数: 6700-7300万ボクセル(車両なしの場合)  
23500万ボクセル(車両ありの場合; 計算時間は21000CPU時間)
  - 標準風洞形状の場合(形状1): 形状1
 

実験Cd	0.250	実験Cl	-0.260
計算Cd	0.260	計算Cl	-0.245
  - スタグネーションボディを置いた風洞形状の場合(圧力勾配を再現したケース(形状2)):
 

実験Cd	0.218	実験Cl	-0.246
計算Cd	0.226	計算Cl	-0.230

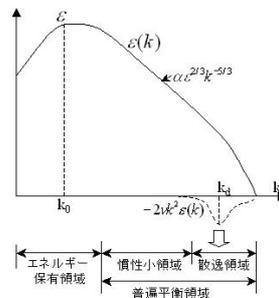


12

## LES解析解の評価方法

(引用:大島他:“複雑形状の流れ場に関するLES解析解の評価方法”(東大生研・生産研究(2009-1))

- ステージ1:  
粗格子と密格子を用いた複数の解析解の比較検討
- ステージ2:  
解析解に関するエネルギースペクトルの検討
- ステージ3:  
従来の経験、類似形状における解析解との比較検討
- ステージ4:  
解析解の物理的な解釈



13

## 格子生成時間の短縮: 直角座標系と埋め込み境界法

SAE paper 2007-01-0109

(引用:S. Jindal et al. :“The immersed boundary CFD approach for complex aerodynamics flow predictions”, (2007))

- 背景:  
非定常解析による車両空力性能の予測精度の向上  
格子生成の容易性・生成時間の短縮化  
特に、  
複雑形状のCADデータの表面処理・格子生成  
車体表面近傍流れの取り扱い
- 本論文:  
直角座標系を用いた「埋め込み境界法」を車両空力性能の予測に応用
- 主要結果:  
「埋め込み境界法」IB(immersed boundary)と「境界適合座標系」(BFS: body-fitted simulation)

使用コード: FLUENT V6.2, TOMMIE (格子生成ツール)  
基礎方程式: 定常非圧縮3次元RANS方程式,  
乱流モデル: realizable k-εモデル

セル数: IB: 1200-1700万セル  
BFS: 700 - 1000万セル

Cdの誤差(対実験値):

セダン	BFS	5-6%
	IB	0-1%
SUV	BFS	6%
	IB	3%



14

## 2009 SAE年次大会における発表動向(空力関係) SAE sp-2226

- 流れの非定常性
  - 乱流強度と表面圧力変動
  - 道路上の乱流
  - 乱れとAピラーまわりの流れ
  - トランクデッキ上の流れ構造と高速安定性(実験と計算)(J)
  - 非定常風と車両長手方向応答
  - 非定常空カミュレータの開発(J)
- 空力騒音
  - 空力騒音とスケール則
  - window buffetingの計測
  - PIVによるside window buffetingの研究
  - 音源としてのHelmholtz共鳴
  - ミラーまわりの風騒音計測
  - real world wind noise modeling
- 乱流モデル・計算手法
  - DESによるsurface-mounted tube流れ
  - DESの応用
  - 埋め込み境界法
  - rapid meshing
- タイヤ回転・床下流れ場
  - Formula 1 タイヤ
  - センタベルトroughnessの影響
  - タイヤ詳細形状の影響
  - タイヤ近傍まわりの流れ
  - SUVの床下流れ場
- トラック空力・二輪空力
  - 二輪車まわりの流れ(J)
  - ピックアップ空力
  - 大型車のタイヤハウス流れ
- CFDの利用
  - 複雑形状流れ場へのCFDアプローチ(J)
  - デザインにおけるCFD利用
  - functional design method

(注) J=Japan



15

## まとめ

- 自動車の性能に関するデジタルエンジニアリングの適用分野
- 自動車の空気力学
- 空力開発: 技術背景と風洞実験
- 車両空気力学のCFDに関する課題
- 車両まわりの流れ場の特徴: 非定常性
- 計算値の検証の精密化
- LES解析解の評価方法
- 最近の話題ほか



お問い合わせ: Tel: 03-5570-1680 email: [office@advancesoft.jp](mailto:office@advancesoft.jp) URL: <http://www.advancesoft.jp>

16



## 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-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 >

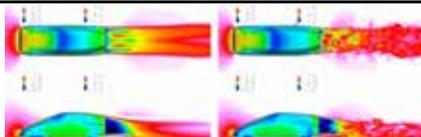
- ・ 資料提供: 北海道大学大学院工学研究科・大島伸行・坪倉誠研究室  
東京大学生産技術研究所「革新的シミュレーション研究センター」  
(株)マツダ、スズキ(株)、(株)チームルマン、Lola Cars International, Ltd.



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

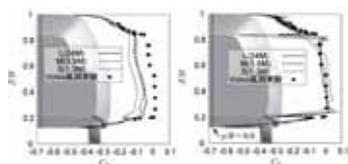
3

## 計算事例 (1)



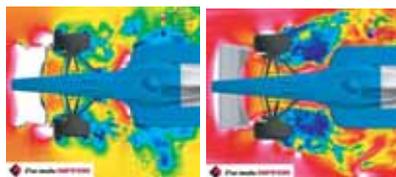
表面圧力分布と速度分布(左図:RANS、右図:LES)「文献1」

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-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-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-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」

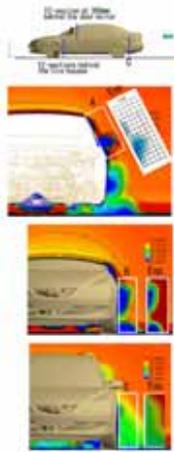
要素数約1億2千万、節点数2千万の計算要素数を用いた複雑形状をもつフォーミュラカー周りの計算例である。この計算には、地球シミュレータ上において800CPU、500GBメモリを利用、実時間約120時間を要した。抗力については風洞実験に対して10%程度、揚力については1%程度の誤差で予測している。



4

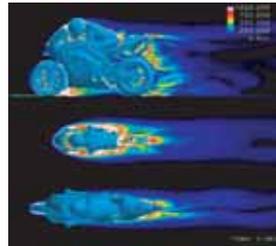
## 計算事例 (2)

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。

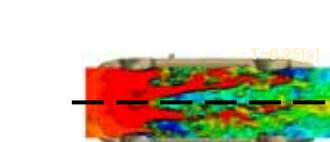
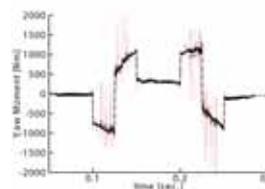
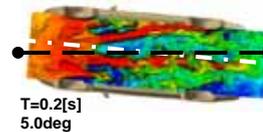
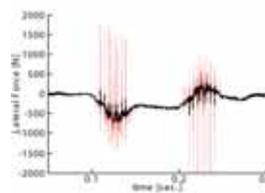
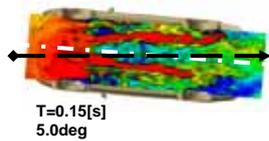


5

## 計算事例 (3)

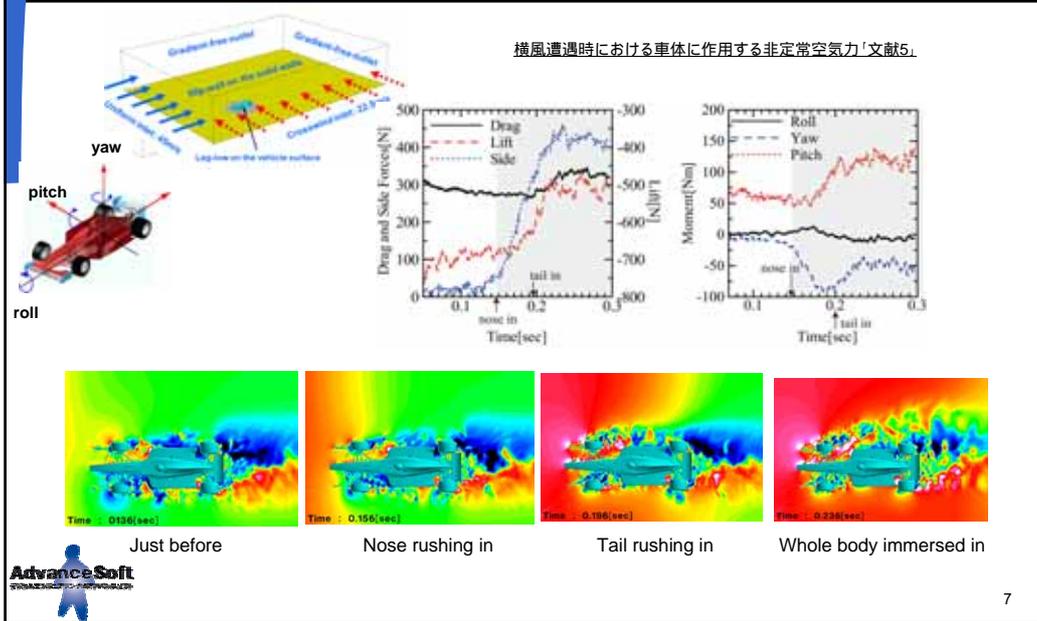
急ハンドル時に車体に作用する非定常空気力  
(左図:ヨーイングモーメント、右図:ピッチングモーメント)「文献4」

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



8

## 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)







## 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

自動車技術に関するデジタルエンジニアリングの紹介  
(1)排気騒音

アドバンスソフト株式会社  
技術第3部 主事研究員  
桑原 匠史

# 3.

## 騒音問題

- 1960年代に騒音が問題となり始める

音源は、工場、事業所、建設現場、自動車や航空機

- 多様な騒音発生源に対する規制

1967年 「公害対策基本法」  
1968年 「騒音規正法」  
1993年 「環境基本法」

- 日常生活における騒音の大別

1. 自動車 & オートバイによる騒音
2. 鉄道による騒音
3. 航空機による騒音

各々の分野で環境基準を  
満たす努力が日々行われ  
ている。

その他: 低周波音(1Hz ~ 100Hz)による騒音

送風機、風車、ボイラー、ポンプ等が音源で、睡眠不足やイライラといった  
心理的、生理的影響を及ぼす



## 騒音の有効利用？

### ■ 高周波音(モスキート音)の利用

- 高周波数の音は、年齢とともに次第に聞き取りにくくなる。  
(概ね30歳以上になると聞こえなくなる)
- 聞こえる若者にとっては、耳障り。



17kHz程度の高周波の不快音(モスキート音)を流して、深夜の公園で若者達が集まり、騒ぐのを防ぐ。(5月より東京・足立区が実験を開始)

別の使い方:携帯電話の着信音に利用して、教師には気づかれずに教室で受信。(アメリカ等で流行したらしい)



3

## 自動車業界における騒音問題

### ■ 自動車等のマフラー(消音器)に対する騒音対策の強化

平成20年12月26日公布

#### 概要

- 騒音低減機構を容易に除去することができる構造の禁止
- 使用過程車及び並行輸入車等のマフラーに対する加速走行騒音防止性能の義務付け
- 交換用マフラー事前認証制度の創設



- 騒音試験法の一部見直し等



規制は厳しくなる方向にある



4

## マフラーの開発

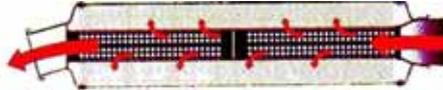
### ■ マフラーの構造

マフラーの内部構造は、その違いにより大きく二つに分けられる

- 多段膨張式



- ストレート排気式



特に、多段膨張式は複雑な内部構造をもち、各企業で長年蓄積されたノウハウを元に開発されているのが現状



シミュレーションによる最適化設計が可能となれば、開発が格段に効率化されるはず。



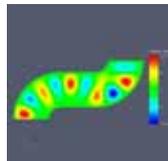
5

## アドバンスソフトの騒音問題への取り組み

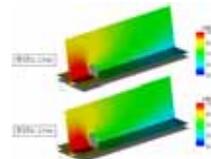
### ■ 大学との連携によるソフト(Advance/ FrontNoise)開発

鳥取大学 西村研究室

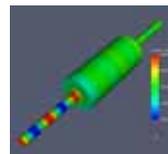
- ダクト内騒音調査



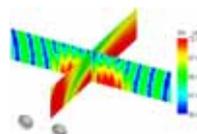
- 屋外の構造物形状が音の伝播に及ぼす影響調査



- 排気系音場予測



- 鉄道車輪騒音



日本機学会論文誌A, Vol.73, No.730, 2007.07



6

## 簡易排気系の数値シミュレーション

### ■ モデル1



図に示した簡易排気系モデルについて、Advance/FrontNoiseを用いて音響解析を行う。(6530節点)

#### 計算条件

- 単純形状、内部に構造は持たない
- 音は、左側から入り、右側へ抜ける
- 内部に空気の流れはない

#### 境界条件

入り口には音圧を与え、出口にはダクト開口端の放射インピーダンスを与える。

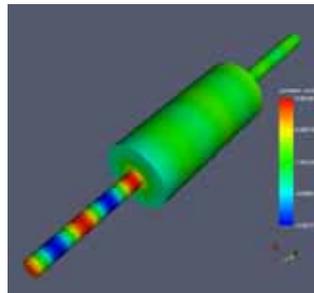
透過損失を用いて、性能評価を行う。



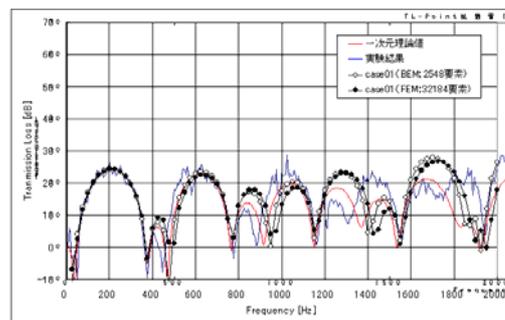
7

## 簡易排気系の数値シミュレーション

### ■ 計算結果



2000Hzでの音圧分布



透過損失

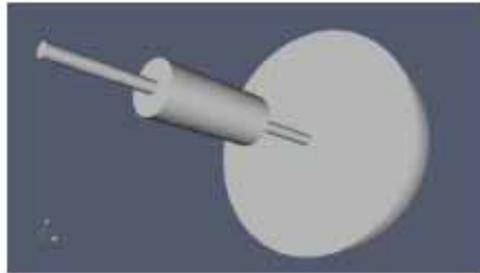
低周波数においては実験、理論、計算結果ともに良く合う結果が得られているが、高周波数において多少結果が異なる。(理論値との違いは一次元理論の限界からくると考えられる)



8

## 簡易排気系の数値シミュレーション

### ■ モデル2 (境界依存性の検証)



基本的には、モデル1と同じモデルを用いる。モデル1との違いは、図に示したような出口部分に半球の空間を加え、その表面上で無反射境界条件を適用する。(253880節点)

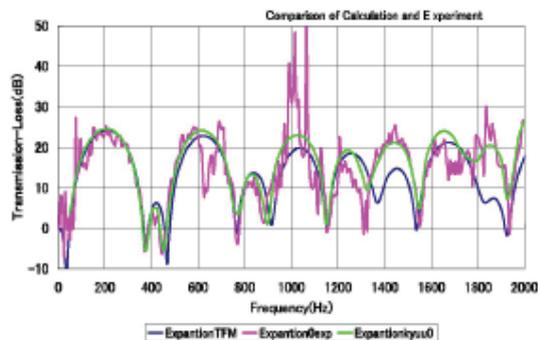
モデル2の作成と計算は鳥取大学西村研究室によるものです。



9

## 簡易排気系の数値シミュレーション

### ■ 計算結果



青線: 一次元理論値  
赤線: 実験値  
緑線: 計算結果

透過損失

実験結果と計算結果が非常によく一致する結果が得られた



10

## 簡易排気系の数値シミュレーション

### ■ モデル3 (空気の流れの影響調査)



モデル1と形状は同じだが、内部の空気の流れの影響を考慮した計算を行う。  
(音響計算格子: 6530節点、流体計算格子: 134855節点)

計算条件(モデル1との違い)

- 内部に空気の流れあり
- 空気の流れ場は、流体計算を別途行いその結果を取り込んで計算を行う  
(流体計算は鳥取大学 西村研究室にて行う)

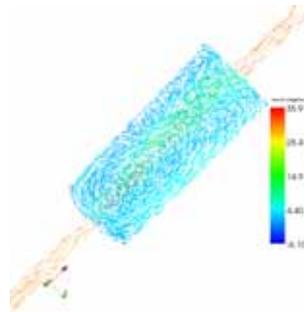
境界条件はモデル1と同じものを用いる。



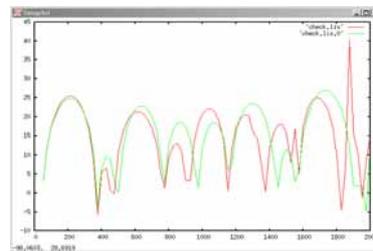
11

## 簡易排気系の数値シミュレーション

### ■ 計算結果



流体計算により得られた流れ場



透過損失(緑:流れなし、赤:流れあり)

空気の流れがある場合、流れが無い場合に比べて、透過損失のピークが高周波数領域で低周波数側へシフトする。

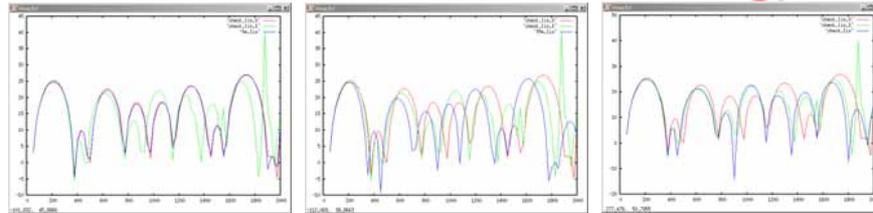


12

## 簡易排気系の数値シミュレーション

### ■ 簡易流れ場モデルによる透過損失比較

- モデル3-1: 一様速度場6[m/s]
- モデル3-2: 一様速度場35[m/s]
- モデル3-3: 非一様速度場(中心程速い)



モデル3-1

モデル3-2

モデル3-3

(緑: 流体計算の流れ場あり, 赤: 流れ場なし, 青: 簡易流れ場)

モデル3の結果が、流体の流れ場ありの場合の透過損失とよく合う。



内部に形成される渦よりも、中心程速い非一様速度場の影響が強い



13

## まとめ

- 簡単な排気系モデル用いて音響解析を行い、理論値や実験値とよく合う結果を得た。
- 本ソフトウェアを使うことにより、様々な排気系モデルをテストすることが可能となる。
- 流体ソフトとの連成計算により、より現実に近い状況における排気系の性能テストが可能である
- 今後、温度分布等も取り込み、より現実に近い計算を行い実験と比較していく



14





## 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

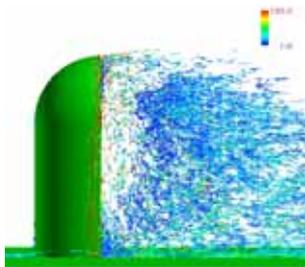
自動車技術に関するデジタルエンジニアリングの紹介  
(2) ファン騒音

アドバンスソフト株式会社  
技術第4部 主事研究員  
西村 香純

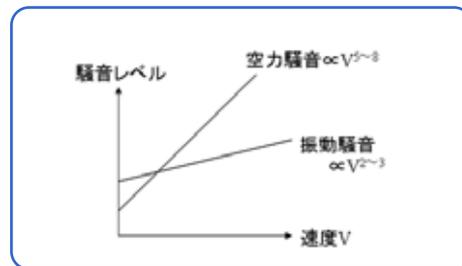
# 4.

## 空力騒音とは

空力騒音： 空気の流れから発生する音  
速度スケールの5乗から8乗に比例



東京大学生産技術研究所  
加藤千幸 研究室ご提供



流速が2倍になると、騒音レベルは  
約20dB増加する



## 身近な空力騒音

ファン	換気扇、クーラー室外機、パソコン内のCPU冷却ファン等、で利用されている。ファンの小型化、高回転化のため空力騒音が問題に。
車	車両形状(フロントピラー、ドアミラー、ルーフ)の最適化による空力騒音低減に関する研究が行われている。換気空調設備から発生する空力騒音も課題。
新幹線	高速化に対して空力騒音の低減が技術課題。主要音源は、パンタグラフ、台車部、車間部等があげられる。
精密機器	内部に高速回転する部品を有する場合があります。空力騒音の発生源となる。レーザープリンタや複写機の部品であるポリゴンモータ等。



3

## 空力騒音の計算方法(分離解法)

音場の計算方法	概要	特徴
Curleの式	表面の圧力変動から遠方場音を予測	・扱いが容易 ・自由音場のみに適用可能
FW-Hの式	表面の圧力変動から遠方場音を予測、回転の効果を考慮	・扱いが容易 ・自由音場のみに適用可能
Howeの式	空間中の渦を音源として音場を計算	・音源のデータ量が膨大 ・空間中の音源を可視化可能
BEM	境界要素法により音場を計算	・音響効果を考慮可能
キルヒホッフ法	遠方場音を解析的に予測	・遠方場音まで直接計算するより低コスト
線形オイラー方程式	音の伝播をオイラー方程式により計算	・遠方場音まで直接計算するより低コスト



4

## 空力騒音の計算手順

流体解析用のメッシュデータ

↓ ラージ・エディ・シミュレーション

流れ場データ(表面圧力)

↓ 音場計算(遠方場音を予測)

音圧時系列

↓ スペクトル解析

音圧レベル



5

## ファンの騒音解析例

セミナー当日スライドでご紹介します。



6

## 空力騒音解析の将来像

分離解法	現時点で、ほぼ実用レベルにある。 LESの格子解像度が重要である。
直接解法	低速の流れ場であっても 音から流れ場へのフィードバック がある場合に有効となる。 計算時間の長大化の問題。





## 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

自動車技術に関するデジタルエンジニアリングの紹介  
(3) 水素タンク急速充填

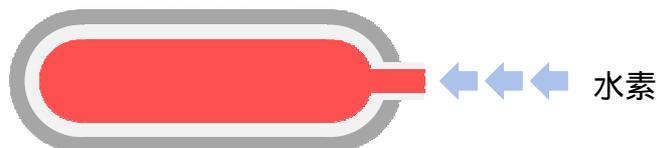
アドバンスソフト株式会社  
技術第3部 研究員  
吉尾 匡史

# 5.

## 背景と目的

- 燃料電池自動車の圧縮水素容器へ水素を急速充填すると、容器内の温度が上昇する。
- そのため、温度の上昇を抑え充填時間を短くする為の研究が進められている。
- 本解析の目的は、圧縮水素容器の数値解析を行い、圧縮水素容器内の詳細な現象を予測することと、実験結果との比較を行うことにより、数値解析の精度向上の為の知見を得ることである。

圧縮水素容器



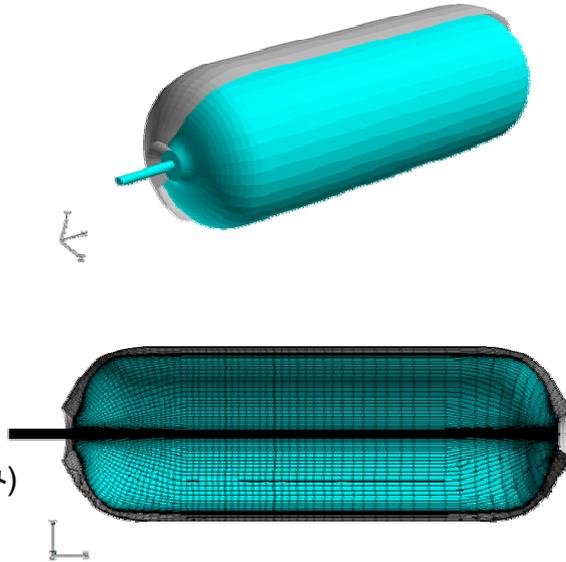
## 解析手法

乱流モデル:  
標準スマゴリンスキーモデル  
 $C_s=0.12$

流入境界: 一定の質量流量  
( $8.3 \times 10^{-3}$ [kg/s])

壁面: 壁境界、すべりなし条件  
断熱条件

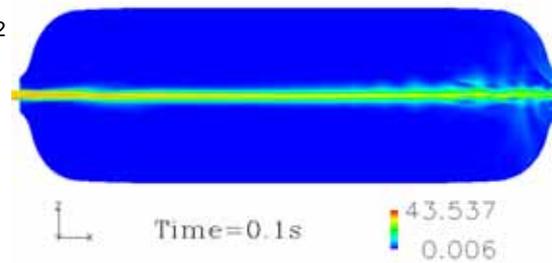
格子節点数: 103508(流体のみ)



3

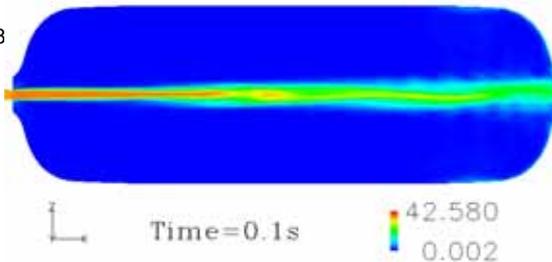
## 結果1 速度の絶対値[m/s]

$dt=1.0e^{-2}$

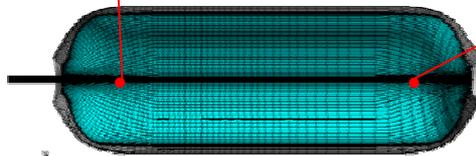
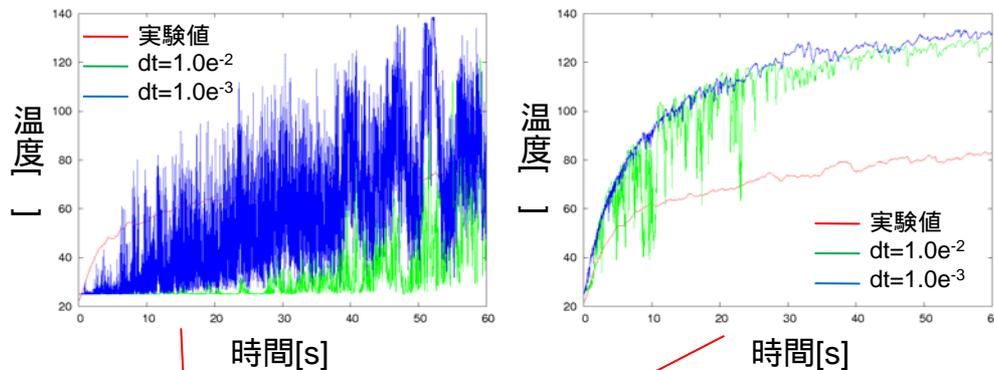


時間刻み $dt=1.0e^{-2}$ のケースよりも、 $dt=1.0e^{-3}$ の方が噴流の蛇行が早い段階で始まっている事が分かる。

$dt=1.0e^{-3}$



## 結果2 容器内温度の時間変化



今回の解析では、壁面での伝熱を考慮していない為、実験値よりも温度が上昇する結果となった



5

## 結論と今後の課題

- 今回の解析において、計算格子の改良と時間刻み $dt$ の変更を行うことによって、より実験結果に近い速度場の予測結果が得られた。
- 今後は、流体 - 容器間の熱伝達、熱伝導も考慮し、温度場についても実験結果との一致を目指す。また、充填する水素に対して、実在ガスモデルを用いた解析も行う。



6

## 謝辞

- 本件は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の、水素社会構築共通基盤整備事業の一環として、財団法人日本自動車研究所 (JARI) より受託解析を行った事例です。

