自動車技術会シンポジウムにおける市販 CFD コードの評価

―“CFD ソフト・ハードの性能比較”を振り返って―

Comparison of CFD Commercial Codes and Computers Benchmark CFD Study of Aerodynamics, Engine Cold Flow, and Air-Conditioning

池田　和外
ダイハツ工業㈱　技術開発部

Kazuto Ikeda
Daihatsu Motor Co.,Ltd.

E-mail:Kazuto_1_Ikeda@mail.daihatsu.co.jp

1　はじめに

本稿では、市販 CFD コードの評価について、昨年 12 月に工学院大学で開催した自動車技術会シンポジウム“CFD ソフト・ハードの性能比較”を通して、市販 CFD コードベンチマークの総評（課題設定・実施方法、シンポジウムに対するユーザ・ベンダの反応）を報告する。

2　シンポジウムについて

2.1　シンポジウム概要

最初に、シンポジウムの概要について説明する。

1997 年に今回企画を実施した CFD 専門委員会の前身である自動車技術会の流体専門技術委員会 CFD ワーキンググループが市販 CFD ソフトの性能比較－空力解析とエンジン筒内流動解析－[1]を実施し、解析の信頼性、応用性などが活発に議論された。その後、工学設計における CFD の発展は目覚しく、特に自動車分野では空力のみならず、エンジン、空調など様々な設計に必須のツールとなっている。また、そこに用いられる市販 CFD ソフトウェアにおいても、高度な計算技術、解析モデルが次々と導入されおり、それらの機能・信頼性を十分把握して最適活用を図ることが、今後ますます重要な課題と考えられる。

そこで、CFD ベンダ各社のご協力をいただき、今回自動車技術会シンポジウム－市販 CFD ソフト・ハードの性能比較－[2]を改めて企画し、市販 CFD ソフトウェア性能を現在の視点で再評価し、今後の技術動向を測ることを狙って、新たに自動車設計への応用を想定した 4 件のベンチマーク課題を実施した。ベンチマーク課題の一部に対しては、自動格子生成、可視化処理についても検証を実施した。

本シンポジウムは、市販 CFD ソフトの性能比較について、1997 年（第 1 回）、2001 年（第 2 回）に開催した。今後も(社)自動車技術会 CFD 専門技術委員会の活動の一環として、4 年後に同様のシンポジウムの開催を継続予定である。

©日本数値流体力学会

2.2　開催概要

シンポジウム開催時の概要を以下に簡単に示す。詳細に関しては，シンポジウムテキストが自動車技術会（http://www.jsae.or.jp/）において、購入可能であるのでそちらを参照願いたい。

・会期：2001年12月10日(月)～11日(火)
・会場：工学院大学（新宿校舎）新宿区西新宿1-24-2
・主催：(社)自動車技術会
　　(企画)CFD技術専門委員会・流体技術専門委員会・車室内環境技術専門委員会・
　　伝熱技術専門委員会
・協賛：(社)可視化情報学会・(社)日本機械学会・日本計算工学会・
　　日本シミュレーション学会・日本数値流体力学会・日本風工学会
・参加費（消費税・テキスト一冊込）：定価　31,500円　正・準会員　15,750 円
　　テキストのみの販売も実施：定価　3,675円(送料別)　会員価格　2,940円

2.3　シンポジウム結果

シンポジウム参加者は、167名であり、ほとんどの人が2日間通しての参加であった。

シンポジウムの形式は、各検証毎に参加ベンダによる結果報告、オーガナイザーによる総合評価、会場とのディスカッションで行った。表１,2に結果を示す。

Table.１　List of inspection

検証	オーガナイザー	評価項目
空力検証	東京大学　小野謙二	計算精度，計算時間
ｴﾝｼﾞﾝ検証	トヨタ自動車㈱　山田敏生	バルブ下方の流速分布，入口，出口の全圧差（圧損），全圧差の傾向
空調基礎検証	富士重工業㈱　小森谷徹	基準面温度，吹出口と吸込口の温度差，壁面温度，計算時間
空調ﾃﾞﾌﾛｽﾀ検証	ダイハツ工業㈱　池田和外	ﾌﾛﾝﾄｳｨﾝﾄﾞ・ｻｲﾄﾞｳｨﾝﾄﾞ表面流速分布，表面流速分布の傾向

Table.2　Overall ranking of solver code

Code name	Aero	Engine	Vent.	Defrost.
SCRYU/Tetra	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆
FLUENT	☆☆☆	☆☆	☆☆☆	☆☆☆
CFD design	☆	☆	NE	☆
FIRE,SWIFT,FAME	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆
FIDAP,ICEMCFD	☆☆☆	☆	☆☆	NE
RADIOSS	☆☆	☆	NE	NE
CFD++	☆☆☆	☆☆	NE	NE
Esperanza	NE	☆☆	☆☆	NE
STAR-CD, pro☆am	NE	☆☆	NE	NE
VECTIS	NE	☆☆☆	NE	NE
PAM-FLOW	☆	NE	NE	NE

注：今回の結果による相対評価：☆　←　☆☆　→　☆☆☆　　NE：Not entry（不参加）
　　悪い　　良い

©日本数値流体力学会

3　課題設定および実施方法について

3.1　課題内容

第 1 回の検証では、空力解析とエンジン筒内流動解析に対して実施した。第 2 回においては、市販 CFD ソフトの利用範囲の拡大に伴い空力、エンジン、空調基礎、空調デフロスタに対して実施する事とした。また、自動格子、可視化に関しては、操作性，性能比較をシンポジウムの会場での実演も実施する様にした。

詳細な課題内容は、シンポジウムで既に報告しているため、ここでは、各課題の設定についてと簡単なシンポジウム実施後のコメントを各検証毎に示す。

(1).空力検証（Fig.1）

本検証においては、空力外部流れに伴う剥離現象に着目した。第 1 回では、実車形状での実施であったが、今回は単純な台形形状とした。

理由としては

・実車での実験データが提供できなかった

・非定常解析を実施し、表面圧力振動よりの音を解析したいため、簡単な形状とした

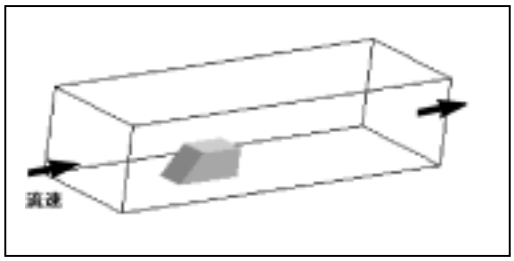

Fig.1　Configuration of Aerodynamic problem

の 2 点であった。しかし、シンポジウム参加ユーザよりは実車形状での希望が多く、また、非定常解析からの音に関しては、ベンダより負荷が大きく実施できないと言うことであり、検討理由に対しては反省点となった。

(2).エンジン検証（Fig.2）

本検証においては、第 1 回と同一で曲率が異なる吸気ポートからシリンダーへ流入する流れを対象とした。第 1 回の結果は、実験結果を殆ど再現できておらず、その後のソフトの進歩とベンダの解析力の向上を評価した。

しかし、ベンダ内に 4 年前の結果が蓄積されていなかったり、ベンダが変わっていたため、ソフトの進歩、ベンダ解析力の向上を完全に把握することは出来なかった。

Fig.2 Configuration of Engin problem

(3).空調基礎検証（Fig.3）

本検証においては、流れ場と熱・放射場を連成させた解析に着目した。熱流れに関しては、自動車の車室内のみならず建物内部、装置内等の様々な部分で必要な解析技術である。今回は、その基礎的なモデルとして単純な矩形の居室内モデルとし、壁面温度を確認した。

流れ場と熱・放射場の連成問題であり、市販ソフトでは困難な問題であると判断し、実験データの豊富な基礎形状での実施としたが、各ソフトとも予想以上の計算精度であり、もう少し複雑形状を課題とした方が良かった。

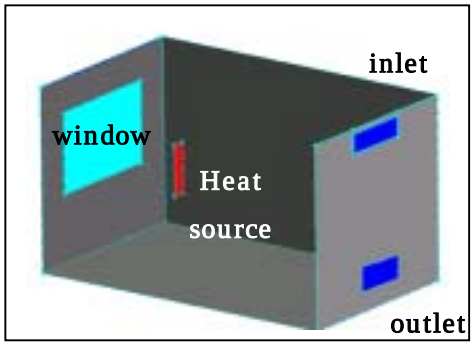

Fig.3 Configuration of Air-conditioning problem

©日本数値流体力学会

(4).空調デフロスタ検証（Fig.4）

本検証においては、実機の形状をそのまま再現した複雑な形状を対象とし、複雑形状の影響を市販 CFD ソフトウェアで捉える事ができるのかに注目した。実機の形状をそのまま解析する事が可能で、その影響を検討可能になれば、全ての設計者にとって CFD が有効なツールとなると考え、空調デフロスタを対象として実施した。

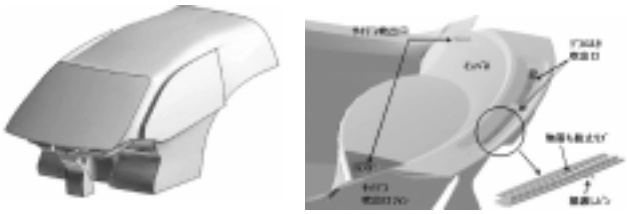

Fig.4 Configuration of defrosting flow problem

しかし、実機形状へのエントリーは 4 ベンダと少なく、必ずしも総合的な評価とはならなかった。以下の自動格子とも関連するがベンダへの柔軟な対応を期待したい。

(5).自動格子検証

エンジン検証、空調デフロスタ検証で用いたモデル形状に対する、自動格子生成を検証とした。各ベンダの実施した操作時間、修正時間と作成されたメッシュの形状での評価を検討した。

しかし、プリのみ（メッシュ作成まで）で評価する良い方法が無く、抽象的な結果となった。実際にはユーザがプリのみで使用することはなく、プリ＋ソルバーで使用しているため、今後はプリ＋ソルバーの連合軍での参加を期待したい。

(6).可視化処理検証

空調デフロスタ検証の結果に対し可視化処理を実施した。各ベンダの実施した操作時間、修正時間と作成された可視化結果図やアニメーションを提出とした。

可視化に対しては、各ベンダともそれぞれ趣向をこらしており、客観的な評価の難しい結果となった。今後、客観的な評価指標を検討したい。

3.2　タイムスケジュール

実施に当たっては、ほぼ 1 年間を要した。参加ベンダの選定に当たっては、自動車企業で現在多数利用しているソフトベンダには必ず参加いただけるよう事前に要請をしご協力をいただいた。また、実施に当たっては広く情報を提供し、参加を希望するベンダは全て参加いただいた。

以下に、シンポジウム開催までの実際のタイムスケジュールを示す。

‘01/01　開催案内の配布（主要ソフト・ハードベンダより参加メンバー募集）

‘01/02　第 5 回 CFD 委員会：ソフト・ハードベンダに説明。
　　（開催主旨、目的、解析対象、内容について説明会実施。）

‘01/04　検証データ発送。

‘01/05　第 7 回 CFD 委員会：進捗状況報告。12/10,11 に工学院大学で開催を決定。

‘01/09　ベンダ論文を収集。委員長、幹事にて添削。

‘01/10　各ベンダ論文を基本とし、オーガナイザが論文作成。

‘01/12　12/10,11 工学院大学にて開催。10 夜、懇親会開催。

©日本数値流体力学会

４　シンポジウム結果について

シンポジウム会場でのアンケート結果および実施後のベンダ意見、委員会での各委員の意見に基づき、個人的見解であるがシンポジウムを通してのユーザ、ベンダ意見を以下に列挙する。

4.1　検証内容

今回、６テーマを掲げたが基礎的な問題しかできなかった。実際の形状での実施が必要であったと思われる。アンケートでもこの点は要望が高く、ユーザは実機でのベンチマークを望んでいる。

テーマ設定については、妥当であったと考える。ただし、当初風切り音もターゲットとしていたが、これは時期早々であった様で参加ベンダ無しであった。

評価方法に関しては、問題定義時に決定しオーガナイザおよびベンダが納得した項目としておくべきである。最終的にソフト（ベンダ）に対し、優劣を付けるため、この点は重要である。また、シンポジウム時にオーガナイザが評価を付ける事を納得し、評価方法の統一を行うべきである。今回は、評価方法の統一ができずユーザ側としては判断が難しかったとの意見があった。また、課題としてはオープン、ブラインドの 2 パターンを行ったが、ブラインドの方が良いと考える。

4.2　スケジュール

2 月に案内を出し、5～10 月が実際の実施であった。しかし、半年以上前に事前の案内は必要であるが、ベンダの作業時期は短くするべきであると考える。12 月開催のため、6 月頃だとほとんど実施されていない。技術者のスケジュールを確保しておき、実施期間を明確にするべきである。ベンダ側よりも、ベンチマーク期間の明確化は、開催後の意見として多かった。

ただし、スケジュールに関してはベンダ側にも顧客の作業を優先と言う実状と、シンポジウム時に良い評価を得たいため、他社の状況を判断しながら実施されるので、主催者側の強いリーダーシップが必要と考える。

4.3　参加ベンダ

今回、CD アダプコを除き、ほぼ予定通りのテーマ参加が得られた。しかし、多数ユーザを要する CD アダプコの全テーマへの参加が得られなかったのは反省点である。メジャーベンダ（今回では、CD アダプコ、ソフトウェアクレイドル、フルーエント）には、必ず全テーマに参加をいただけるようお願いしたい。

また、今回は、自社ソフトのみでのエントリーとなっていたが、実際の使用状況（例：ICEM＋FLUENT）にマッチしたエントリーを是非実施するべきである。今回は、実現できなかったが、次回時には是非実現したいと考える。

4.4　テキストおよび開催運営

テキストに CD-ROM を付けたことは好評であった。しかし、CD-ROM 内容が当日見られないため、この点が問題となった。テキスト内容に関しては、ユーザからの不満点が多かったが、ほぼ全て CD-ROM 内容が見られない点であった。CD-ROM 内容を誌面に盛り込む点に関しては、今後検討が必要であると思われる。

©日本数値流体力学会

また、当日プレゼン資料をテキストにとの意見が多数あったが、ベンダよりの論文に基づきオーガナイザが評価を実施するが、オーガナイザの評価が出揃った後、ベンダ側がデータの間違いや精度アップを行い修正要請を行う点をどうするかが課題である。

テキストの修正が多いとの意見もあったが、ベンダ側が論文提出後に修正等を行う点も要注意である。運営側の強いリーダーシップも必要であるが、シンポジウムの開催趣旨であるソフトの性能評価と言った観点からするとベストな結果の反映は、実施したい点であり、シンポジウム終了後のデータ修正、精度アップ結果のユーザへの公開等を検討する必要があると考える。

5　さいごに

個人的見解であるが次回 4 年後のシンポジウム実現へ向けての提言を以下に示す。

・テーマ：実車（エンジン含む）形状。
（基礎形状では、ダメ。ユーザーニーズは、実車、実ユニット。）
課題内容は、今回と同様でも、空力騒音等の最新課題のどちらでも可。

・評価方法：各テーマ毎に、実施前に評価方法を決定。ベンダにも事前に説明必要。
ただし、必ずブラインドテストとする事。

・検証：実験等については、要検討。ユーザ側は、そのデータについても気にしている。
（相対的でなく、絶対値評価のニーズが高い。）

・開催日：1 日とする事。2 日間は、長すぎる。

・ベンダ：メジャーベンダについては、必ず全問に参加を依頼、実行。
メジャー以外については、得意分野のみで可。
また、実際の使用と同様の連合形式（例：ICEM+FLUENT）での実現。

・テキスト：CD-ROM は、好評。AVI でのアニメやカラー表示が実現化。
ただし、発表当日 CD-ROM 内容の部分をどうするのかは、要検討。

・発表形式：オーガナイザが検証に関して、発表する事。

以上、自動車業界としてのニーズに沿ったシンポジウム意見であるが、他の業界でも参考にしていただければ幸いである。また、シンポジウムが権威ある物となれば、積極的に参加できるとの意見をベンダより頂いたが、ベンダの積極的な協力によりシンポジウムが権威ある物となるよう盛り上げていただけることを期待する。

最後に、今回のシンポジウムに協力いただいたベンダ各社および委員の皆様に、心からのお礼を申し上げたいと思います。

参考文献

[1] (社)自動車技術会, No.9709 JSAE SYMPOSIUM “ CFD ソフトの性能比較 ”
[2] (社)自動車技術会, No.14-01 JSAE SYMPOSIUM “ CFD ソフト・ハードの性能比較 ”

©日本数値流体力学会