

ポスト「京」重点課題解説

# 自動車の開発とスパコン

日本のものづくりの代表ともいえる自動車産業。自動車には走行性能だけでなく、安全性、快適性、デザイン性など、さまざまな性能が求められるため、開発には数多くの性能評価のステップが必要です。スパコンの発達に伴い、その性能評価が少しずつ実験からシミュレーションへと置き換えられてきました。

## 関連する課題：

### 重点課題(8) 近未来型ものづくりを先導する革新的設計・製造プロセスの開発

#### 空力シミュレーションとは？

走行する自動車は空気から力を受け、それが性能に大きく影響します。空力とは空気力学のことで、あるデザインの自動車をつくったとき、その自動車がどのような空気力を受けるかを解析するのが空力解析です。

空気が自動車の進行を妨げる「抵抗力」が小さければ燃費はよくなり、車体を持ち上げようとする「揚力」が小さければ走行安定性がよくなりますが、燃費をよくするために抵抗力を抑えようすると、揚力が増加して走行安定性が悪くなることしばしば起こります。このように、空気力が自動車の走行性能に与える影響は複雑なため、デザインを少しずつ変えながら空力解析を行って、デザイン性を損なわずに空力性能をよくする必要があります。

空気力の測定には風洞が使われます。巨大な送風機で自動車のクレイモデル(粘土でつくった模型)やプロトタイプ車(試作

車)に風をあて、自動車の表面の圧力や空気の流れ方を測ります。さまざまな条件下で精密な測定を行えますが、建設費も運転費も高額で、実験は実際の走行状態とは異なるという問題もあります。プロトタイプ車をテストコースで走らせる実走テストも行われますが、測定には大きな誤差が伴う上に、開発の最終段階でしか実施できないので、得られたデータをもとにデザインを大きく手直すことは困難です。

そこで、コンピュータの中に自動車のモデルを置き、周囲の空気の運動方程式を解くことで、空気の流れのようすを知る「空力シミュレーション」が研究されるようになりました。空力シミュレーションなら、大がかりな設備も、クレイモデルやプロトタイプ車の作製も必要なく、安い費用で何回もテストすることができると期待されるからです。

空力シミュレーションでは、車体の周囲の空間を細かい格子で区切り、一つひとつのセル(要素格子)を出入りする空気の質

量、運動量、エネルギーに関する式を立てて解きます。格子を細かくしようとするれば、計算性能の高いコンピュータが必要になるため、空力シミュレーションは、スパコンの発達に伴って進歩してきました。

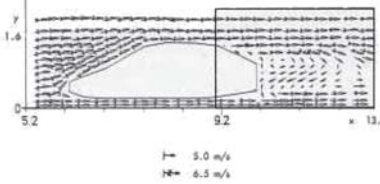
#### これまでの自動車空力シミュレーション

試みが始まったのは、1980年代初頭です。しかし、このころのセルの数は数千から数万、解像度は30cm程度で、自動車の複雑な形状は再現できず、シミュレーションの結果と実測値もあまり一致しませんでした。

1980年代後半になると、ベクトル型スパコンが日米で次々に上市されました。ベクトル型スパコンは、複数組のデータを1つの命令で処理できるベクトルプロセッサを擁するもので、高価でしたが、当時としては計算性能が非常に高く(数百メガフロップス)、しかも流体計算に適していました。このため、90年代に入ると、日本の自動車



年代	1980年代	1990年代	2000年代	2010年代
フラッグシップ機の性能 (カッコ内は代表的な機種)	メガフロップス級 (Cray X-MP)	ギガフロップス級 (数値風洞)	テラフロップス級 (地球シミュレータ)	ペタフロップス級 (「京」)
自動車メーカーのスパコンの性能		メガフロップス級	ギガフロップス級	テラフロップス級
空間解像度	10cm	数cm	1cm	1cm以下
位置づけ	テスト計算の時代	実用化に向けての試みの時代	実用化の時代	高精度解析の時代

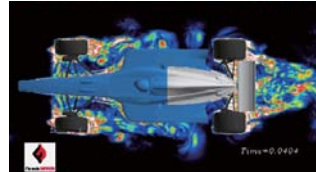
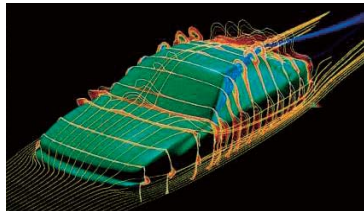


(a)1982年のシミュレーション

ドイツの大学で、車体周りの空間を2次元で約3000のセルに分け、当時の市販スパコンを用いて行われた。この図は速度ベクトルの計算結果。(A. O. Demuren, et al.: Vehicle Aerodynamics, International Symposium organized by Volkswagenwerk AG (1982) より)

(b)1990年のシミュレーション

日本の自動車メーカーで、メガフロップス級のスパコンを用いて行われたもの。約50万のセルを使い、車体周りの圧力や空気の流れを求めた。(R. Himeno, et al.: Numerical Analysis of the Airflow around Automobiles Using Multi-block Structured Grids, SAE Technical Paper Series, 90319 (1990)より。Reprinted with permission Copyright © 1990 SAE International. Further distribution of this material is not permitted without prior permission from SAE)



(c)2005年のシミュレーション

地球シミュレーターを用い、フォーミュラカーの周りの空間を約1億2000万の四面体セルに分けて行われたもの。高精度で時間変動を計算した。(M. Tsubokura, et al.: Large Eddy Simulation of Unsteady Flow Around a Formula Car on Earth Simulator, SAE Technical Paper Series, 2007-01-0106より。神戸大学坪倉誠教授許諾)

(d)2013年のシミュレーション

「京」を用い、車体の周りの空間を約23億の四面体セルに分けて行われたもの。細かい渦がよく再現されている。(神戸大学坪倉誠教授提供)



スパコンの進歩と空カシミュレーションの歴史

ものづくりの現場に、フラッグシップ機並みの性能をもつスパコンが導入されるのは、フラッグシップ機の登場から10年ぐらい後になるといわれる。並列型スパコンの計算性能は10年で

1000倍という驚異的なペースで向上しており、2020年代には、自動車メーカー各社が「京」並みのスパコンをもつようになると予想されている。

メーカーはこぞって導入し、ソフトウェアも独自に開発しました。当時のセルの数は数十万、シミュレーションの解像度は数cm程度で、つるつとした形状のモデルの計算しかできませんでしたが、試行錯誤の中で、どういったシミュレーションをすれば設計に使えるのかという方向性を見いだすことができました。

2000年代に入ると、並列型スパコンが登場し、スパコンの計算性能はあっというまに高くなりました。メモリーも飛躍的に増えて、より多くのセルを使えるようになった上に、空間を不規則な四面体に分ける「非構造格子」が採用されるようになり、実車の複雑な形状を詳細に再現することが可能となりました。ソフトウェアの専門メーカーも台頭し、自動車メーカーは風洞実験の一部を代替するものとして、空カシミュレーションを自動車の開発ステップに組み込み始めました。

一方、2005年には、地球シミュレータを用いた空カシミュレーションも行われました。このシミュレーションでは、風洞実験との誤差が数%という高い精度で空気が

得られ、また、空気の流れが時間で変動する場合の高精度なシミュレーションもはじめて実現されました。

自動車空カシミュレーションの現在と未来

地球シミュレータは、日本が国家プロジェクトとして開発した、この時代の最先端のスパコン(フラッグシップ機)でしたが、2010年代になると、自動車メーカーも10テラフロップス級のスパコンを導入し、数百万から数千万セルの非構造格子(解像度1mm程度)での空カシミュレーションを行うようになりました。日本の自動車メーカーは、4年程度で新車を開発していますが、短期間で開発できる背景には、このようなシミュレーションで風洞実験を代替していることがあります。

2011年に運用が開始された「京」でも、フラッグシップ機ならではの空カシミュレーションが行われました。1つは、セル数を増やすことによる高精度化であり(図参照)、もう1つは、自動車が実際に走行する環境を再現したリアルワールドのシミュレーションで

す。高速蛇行運転や、横風に反応してドライバーがハンドルを切ったときのシミュレーションを行い、走行安定性や安全性を評価できることを確かめました。

しかし、1つのシミュレーションを行うのに計算だけで1週間程度かかるため、ポスト「京」では、もっと計算スピードを上げ、実験に匹敵する速度で解析が可能なりアルタイムシミュレーション技術の確立をめざしています。そのための切り札は、CUBEという新たなソフトウェアの開発です。CUBEは階層直交格子を用いるため、計算の前の格子の作成にかかる時間を短縮でき、計算自体もやりやすくなります。さらに、CUBEなら、空カシミュレーションと剛性強度、騒音、振動などのシミュレーションを同時に行うことも可能になります。

スパコンが進歩しても、それに合わせたソフトウェアを使わなければ、スパコンの性能を十分に引き出すことができません。ポスト「京」の運用に向けて、自動車づくりのためのシミュレーションソフトは着々と進歩しています。