

IDA J news vol. 68

商品紹介1	1次元リチウムイオン電池性能シミュレータ 「1D AutoLion」のご紹介	2
商品紹介2	電子機器熱設計の最新ソリューション 「FloTHERM® V9.3」および「FloTHERM® PCB V6.3」のご紹介	6
商品紹介3	Adams Carモデルと modeFRONTIER®の連成をより手軽に！ 「modeFRONTIER Toolbox for Adams Car」のご紹介	10
テクニカル講座1	汎用熱流体解析プログラム「STAR-CCM+」 オーバーセットメッシュ機能のご紹介	15
テクニカル講座2	多目的ロバスト設計最適化支援ツール「modeFRONTIER®」 v4.4.1に搭載された新機能のご紹介	19
お客様紹介コーナー	株式会社 デンソー 熱性能開発部 バーチャル性能開発室 様 第52回 HVACをはじめとした自動車空調に関わる性能設計に 「STAR-CCM+/STAR-CD」・「modeFRONTIER®」をご活用	24
TOPICS	社名変更のご挨拶	28
海外の事例紹介	CD-adapco発行「dynamics」から、海外の事例をご紹介します。	29
FAQ	このコーナーでは、弊社 FAQデータベースに登録されている情報の中から、 ソフトウェア別に少しずつ紹介します。	32



発行 株式会社 IDAJ

本社 〒220-8137
横浜市西区みなとみらい2-2-1-1
横浜ランドマークタワー37F
TEL: 045-683-1900 FAX: 045-683-1999

中部支社 〒450-0002
愛知県名古屋市中村区名駅4-24-8
EME名古屋ビル5F
TEL: 052-569-2581 FAX: 052-569-2582

関西支社 〒651-0088
神戸市中央区小野柄通7-1-1
日本生命三宮駅前ビル3F
TEL: 078-384-5325 FAX: 078-384-5336

E-mail info@idaj.co.jp
URL http://www.idaj.co.jp/

発行日 2012年6月

発行人 徐錦宵

編集担当 営業部 31グループ

※本誌掲載の写真、および記事の無断転載を禁じます。
本資料には機密情報が含まれています。弊社の許諾なく
本誌もしくは、本電子データを使用、頒布、複製することは
固く禁止させていただきます。

Copyright © 2012 IDAJ Co., LTD. All Rights Reserved.

1次元リチウムイオン電池性能シミュレータ 「1D AutoLion」のご紹介

■ はじめに

1990年代の初めに実用化されたリチウムイオン電池は、携帯電話やノートパソコンなどモバイル機器の電源として利用されてきました。一方で、近年の環境・エネルギー分野における低燃費自動車へのニーズの高まりとともに、リチウムイオン電池は、ハイブリッド車や電気自動車などのエコカー向け中型・大型電源としても、その用途を急速に拡大しつつあります。

このような背景のもと、リチウムイオン電池の電気化学反応を伴う熱解析・性能予測解析に対するニーズも急激な高まりを見せており、こういったお客様のご要望にお応えするため、昨年の9月に弊社は、米国EC POWER社が開発した3次元リチウムイオン電池性能解析モデル 3D AutoLionの販売を開始しました(詳細は、CDAJ news vol.64をご高覧ください)。

3D AutoLionの登場により、リチウムイオン電池内部の電気化学反応や電荷(リチウムイオンや電子)の輸送を伴う、複雑な物理化学現象を考慮した電池性能解析をおこなうことができるようになりました。また、電池内部の温度、電流密度、SOC(State-Of-Charge:放電容量)などの3次元分布を詳細に検討することにより、より放熱性能がよく、かつ、より高い充放電性能を持つ電池設計に非常に有効な情報を提供することが期待されています。

一方で、3D AutoLionには3次元の詳細な情報を把握できるというメリットがあるものの、自動車用の大型リチウムイオン電池などは解析規模が大きいために計算時間がかかるという課題もありました。

EC POWER社は、この3次元解析のメリットと課題を補完するポジションのツールとして、1次元リチウムイオン電池性能シミュレータ1D AutoLionを開発しました。1D AutoLionは、電池内部の3次元分布を評価しないかわりに、3D AutoLionで1条件の計算に1時間程度かかっていた計算時間が、通常のパソコンで数秒～1分程度にまで劇的に短縮されたため、多くのパラメータによる検討をより効率的におこなうことができるようになりました。

ここでは、新たに開発された1D AutoLionの特徴、機能をご紹介します。

■ 3D AutoLionの概要

1D AutoLionのご紹介の前に、3D AutoLionの概要を簡単にご説明させていただきます。

3D AutoLionは、汎用熱流体解析プログラムSTAR-CD V4.14をベースに開発されたプログラムで、STAR-CDのユーザーサブルーチンにより実装されています。

正極や負極、および電解質内部のリチウムイオンやカレントコレクター内部の電子の輸送を忠実に3次元で計算するため、解析メッシュは図1に示すように、正極～セパレータ～負極の積層構造を忠実にモデル化しています。

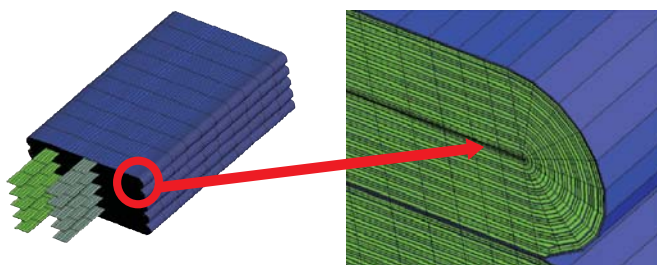


図1 3D AutoLionの解析メッシュ例

図2は角型電池(容量3Ah、放電率6C)の100秒後、200秒後における温度分布、電流密度分布、およびSOC分布図です。

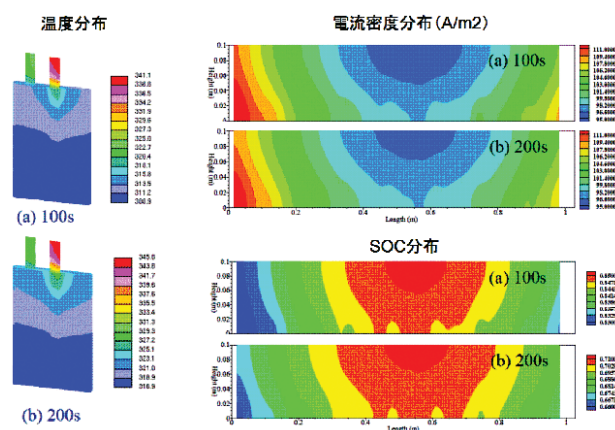


図2 角型電池解析結果例

放電率が大きいため、タブ部分の電流によるジュール熱で、この部分の温度が相対的に高いことがわかります。電流密度分布、SOC分布は、ともにロール状にまかれた電極を平面に展開した表示です。両端の白い部分が正極、負極側のタブに相当する部分です。

電流密度分布を見ると、電極の中央部の電流密度が両端部分(タブに近い部分)に比べると相対的に小さな値となっています。一方、SOC分布からは放電量の逆の分布となっており、中央部分にまだ十分な放電力が残されていることが判ります。この結果では、電流密度分布、SOC分布ともに電極にわたって分布が不均一なため、あまり良い設計であるとは言えません。

この分布をよりフラットに改善するために、例えば、タブを増やすこと等を検討できます。

■ 1D AutoLionの特徴

3D AutoLionは、リチウムイオン電池の3次元形状をモデル化し、電極における諸量の3次元分布を予測することができます。1D AutoLionは、電極の平面方向の分布は均一であると仮定し、カレントコレクター～正極～セパレータ～負極～カレントコレクターに連なる1次元方向の支配方程式のみをモデル化したプログラムです。改めて図2を見ると電極の平面方向に対して、電流密度分布、SOC分布ともにフラットではないため、本来1次元計算は厳密には成り立ちませんが、計算負荷が3D AutoLionに比べて劇的に短縮されるため、詳細な3次元計算に先立つ企画段階における電池性能評価に使用する場合には、十分に有効なツールとなりうると考えます。

1D AutoLionは、3D AutoLionと同じく米国ペンシルベニア州立大学で15年以上にわたってリチウムイオン電池の研究を続けてきたChao-Yang Wang教授の研究成果をもとに、同教授が率いるEC POWER社により開発されたWindows PC上で動作するアプリケーションプログラムです。その主な特徴を以下にご紹介します。

1. 電気化学反応・熱プロセスの連成モデルを実装

リチウムイオン電池内部でおこる電気化学反応は、温度の影響を強く受けます。また、電池温度は充電・放電に伴う電気化学反応による発熱量に応じて変化します。このため、リチウムイオン電池性能を予測するモデルは、この電気化学反応プロセスと熱プロセスを同時に考慮した支配方程式を連成させて解く必要があります。

Wang教授は、この連成プロセスによる電池性能解析モデルを初めて開発した、この分野の第一人者で、彼のグループが発表した文献は8,000以上の論文に引用されています。

2. 使いやすいGUIを装備

電池の設計パラメータの入力、運転条件や解析条件の設定から表示まで、全ての操作を使いやすいユーザーパネル(GUI: Graphical User Interface)を使っておこなうことができます。

1D AutoLionのユーザーパネルを図3に示します。

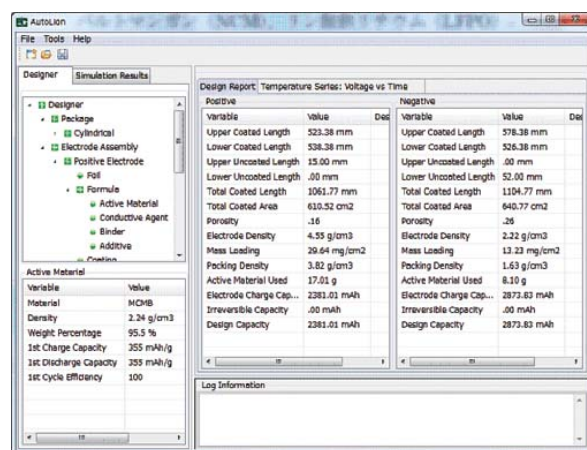


図3 1D AutoLionのユーザーパネル

3. 代表的な材料物性データベース内蔵

ペンシルベニア州立大学のバッテリー製造研究所(BML: Battery Manufacturing Laboratory)の最新の設備を使って計測された、リチウムイオン電池で使用されている代表的な材料物性のデータベースを内蔵しているため、ユーザーは使用する材料を選択するだけでよく、一般的に入手が困難な物性値を入力する必要はありません。

このデータベースに登録された物性は、広い温度範囲やSOC範囲に対応しているため、例えば氷点下における電池性能予測にも対応することが可能です。

選択可能な材料を以下に示します。

正極材料: コバルト酸リチウム(LCO), マンガン酸リチウム(LMO), ニッケルコバルトマンガン(NCM), リン酸鉄リチウム(LFPO)
負極材料: グラファイト(MCMB), チタン酸リチウム(LTO)
電解質: LiPF₆, LiBF₄, LiClO₄

図4に電解質濃度におけるLiPF₆の熱伝導率を、-20℃～60℃までの広範囲で測定した結果を示します。

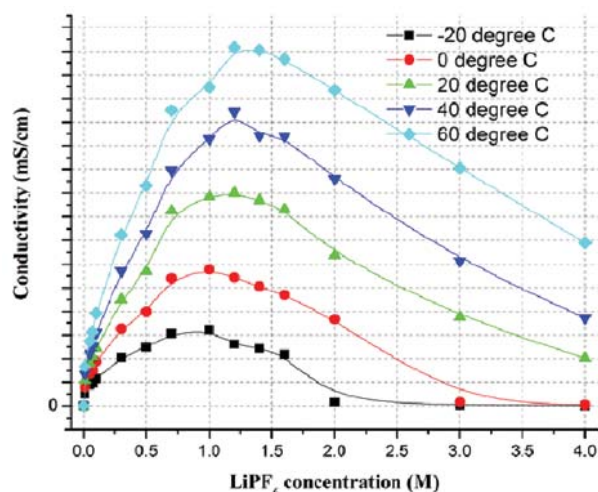


図4 LiPF₆の熱伝導率

また、図5には正極側、負極側のリチウムの拡散係数のSOC依存性測定データを示します。

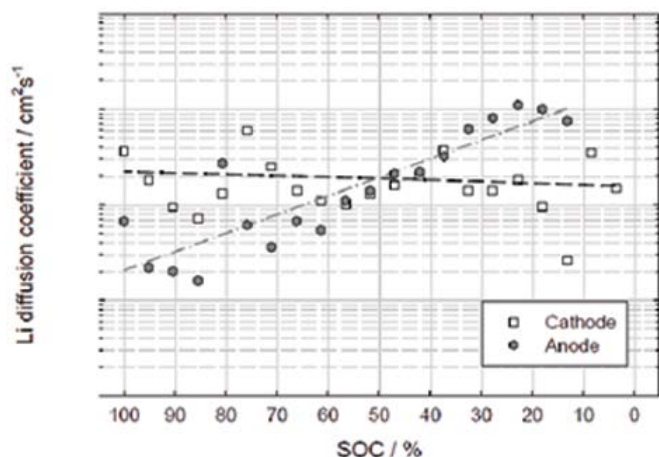


図5 リチウム拡散係数のSOC依存性

4.精度検証による高い予測精度

電気化学反応と熱を連成させ、より実際の物理現象を忠実にモデル化した支配方程式モデルと、ペンシルベニア州立大学における広範囲な温度やSOCにおける高精度な材料物性データベースによって、1D AutoLionは従来の1次元リチウムイオン電池性能予測ツールと比較してより高い精度が期待できます。この精度を検証するために、EC POWER社はペンシルベニア州立大学と共同して実測結果との精度検証をおこなっています。

図6は、放電レート1Cにおいて電池の初期温度を変えた場合に、放電温度特性が実測と比較してどの程度の精度で予測できるかを検証した結果です。点線が実測結果で、実線が1D AutoLionによる計算結果を示します。初期温度の範囲は -20°C ～ 45°C と非常に広範で、氷点下から真夏の環境における起動を想定した評価が可能ながわかります。

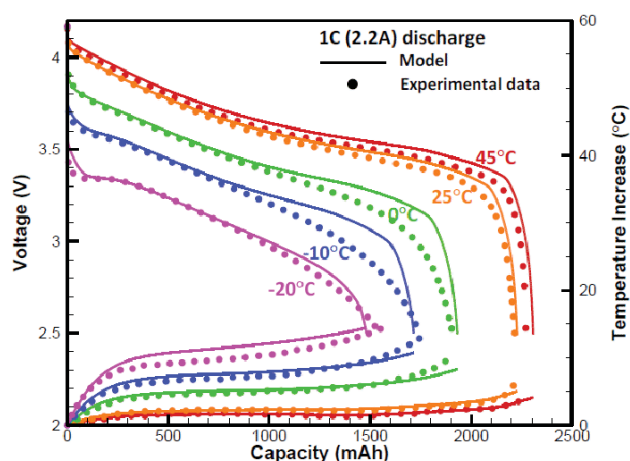


図6 1Cにおける放電温度特性

図7は、初期温度を -10°C 一定とし、放電レートを変えた場合の放電レート特性を測定値と計算結果で比較したものです。

実測結果と計算結果の相関は比較的良好ですが、放電レートの高い3Cの条件での測定結果と計算結果の乖離が比較的大きくなっています。これは、放電レートが大きくなると電極面における電流密度、SOC、温度の分布の不均一性が大きくなり、これらの分布は、完全に均一であるという1D AutoLionの前提条件からはずれることが原因のひとつとして考えられます。

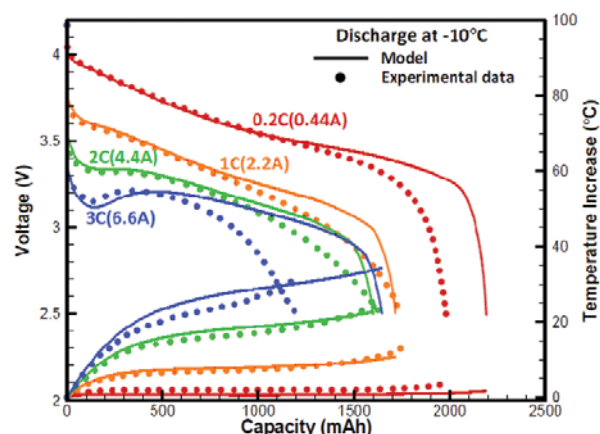


図7 -10°C における放電レート特性

5.代表的な電池のテンプレートを内蔵

円筒型(18650型, 26650型), および角型(スタック型, ロール型)の標準的な電池設計諸元を内蔵しているので、ユーザーは計算対象となる電池テンプレートを選ぶだけでよく、電池諸元すべてを入力する必要はありません。

テンプレートを選択した後、例えば正極材料をLCOからLFPOに変えたり、電極サイズを大きくするといった電池諸元を変更すれば、速やかに電池性能評価を実施できます。

図8は円筒型電池のテンプレート選択画面です。

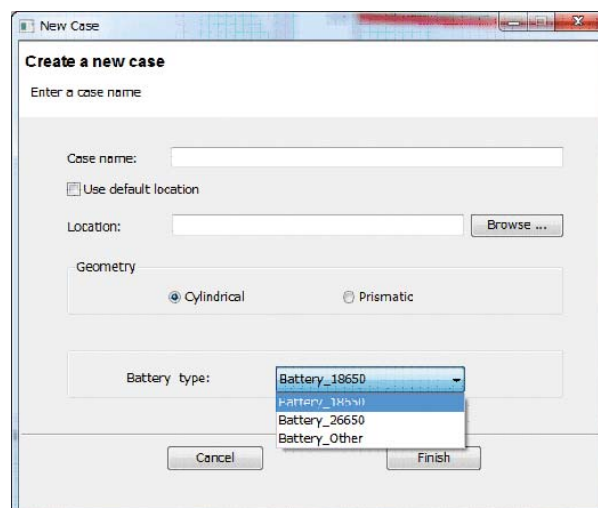


図8 電池テンプレート選択画面

■ 1D / 3D AutoLionによる効率的な電池開発

1D AutoLionの登場によって、リチウムイオン電池解析モデルのラインアップとして1次元性能解析、3次元性能解析の特性の異なる2つのツールを揃えることができました。電池性能を評価するにあたって、1D AutoLionと3D AutoLionを次のように使い分けて用いることにより、より効率的な電池開発に必ずお役立ていただけることと思います。

1. 1D AutoLionによる企画設計

要求される電池性能(容量やサイズなど)に対して、さまざまな条件(初期SOCや環境温度など)における膨大な量の解析を1D AutoLionを用いておこなうことにより、電池の型や材料、電極サイズなどの電池諸元の大まかなあたりをつけます。計算量は膨大ですが、計算速度が速いために効率的に電池諸元の絞込みをおこなうことができます。また、この時、多目的ロバスト設計最適化支援ツール「modeFRONTIER®」を用いることによって、さらに効率的に基本設計をおこなうことも可能です。

2. 3D AutoLionによる詳細設計

1D AutoLionはリチウムイオン電池の電流密度やSOCなどの3次元分布を考慮していないため、特に大型のリチウムイオン電池や、放電レートなどの大きな条件において計算誤差が大きくなることが考えられます。また、3次元分布を評価することにより、例えば電極タブの配置や個数を、より適切な条件に再配置することもできます。

このため、1D AutoLionにより電池諸元が決定された後に、3D AutoLionによって詳細な3次元計算をおこなうことにより、予測精度を高め、電流密度や温度、SOCの3次元分布を詳細に検討し、さらなる高性能電池開発の新たなヒントを得ることが期待できます。

■ おわりに

EC POWER社は、現在米国エネルギー省(DOE: Department of Energy)の再生可能エネルギー研究所(NREL: National Renewable Energy Laboratory)が支援する、次世代電気自動車の電池開発に有用なコンピュータシミュレーションツール開発のプロジェクト(CAEBAT: CAE Batteryプロジェクト)に参加しています。

(<http://www.nrel.gov/news/press/2011/1472.html>)

このプロジェクトでは、リチウムイオン電池性能シミュレータ開発を支援するため、物性データベース構築や数値モデルの開発、検証計算などをおこなっており、これらの成果はAutoLionの開発にあたって大きな役割を果たしてきました。

このプロジェクトは2014年の4月まで継続される予定で、今回ご紹介したリチウムイオン電池の性能予測に加え、安全性や寿命評価についてもシミュレーションで予測できる環境を構築していく予定です。

図9にCAEBATの成果の一部をご紹介します。これは、電池中央にピンがさることにより、正極と負極が短絡して局所的に大電流が流れる状況を模擬したものです。ピンが刺さった0.5秒後には局所的に180℃まで温度があがり、その後、セル全体の温度があがっていく様子が見てとれます。

(※注 この計算結果はCAEBATプロジェクトのリサーチコードによって得られたものであり、現在リリースしている3D AutoLionでは、この計算はできません)

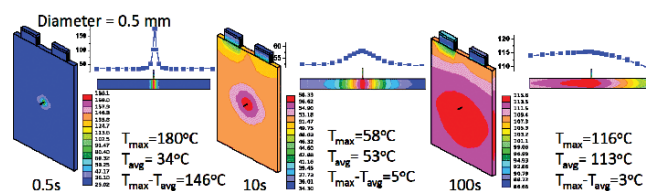


図9 ピン刺し試験を模擬した計算結果

今後、このプロジェクトで得られた成果は順次AutoLionの機能拡張に活用される予定です。近い将来、安全性や寿命予測などを加え、さらにパワーアップしたAutoLionを皆様にご紹介できることを楽しみにしています。

(文責: 解析技術事業部 CAE技術部 石川 正俊)

株式会社IDAJの事前の承諾なしに、本記事の全部または一部を、私的使用など法律によって認められる範囲を超えて、これらの情報を使用(複製・改ざん・頒布・公衆送信・上映等)することを禁止します。また、ダウンロード・プリントアウトされた複製物を、不特定または多数の人へ送信・配布することはできません。

株式会社 IDAJ | 〒220-8137 横浜市西区みなとみらい2-2-1-1 横浜ランドマークタワー37階
TEL: 045-683-1990 E-mail: info@idaj.co.jp <http://www.idaj.co.jp/>

Adams CarモデルとmodeFRONTIER®の連成をより手軽に！

「modeFRONTIER Toolbox for Adams Car」のご紹介

■ はじめに

modeFRONTIERは、CAEアプリケーションとの連成を行うことで、多種多様な分野の様々な最適化問題に対して、「多目的ロバスト設計最適化支援ツール」として大いにご活用いただいています。弊社はこれからもお客様のニーズにお応えするべく、modeFRONTIERの導入・教育をはじめ、コンサルティング、システム開発といったサービスをトータルにご提供します。

このたび、その一環として、車両に特化した機構解析ツールとして有名なAdams CarとmodeFRONTIERの連成をより簡単に実現するためのツール「modeFRONTIER Toolbox for Adams Car」を開発しましたので、ここでご紹介します。

■ 開発の動機と背景

modeFRONTIERの導入を検討されているお客様にとって、考慮すべき重要なポイントの1つに、お客様の社内における最適化問題の定義、目的関数の選別などがあげられます。

次に、業務プロセスの中で利用中のCAEアプリケーションとmodeFRONTIERを連成させるために、両ツール間でデータのやり取りが行われるという観点から、入・出力ファイルの構成など、対象アプリケーションのモデル定義を明確にしておく必要があります。その後、連成準備にかかる作業負担はどの程度か、modeFRONTIERの設計者展開を図る際に予想される障害はないか、などを確認しておく必要があります。また、中長期的な視点からは、導入後に製品設計の仕様変更による設計変数の変更・増減が生じた際に、社内で柔軟な対応ができるかどうかを慎重に見極める必要もあります。

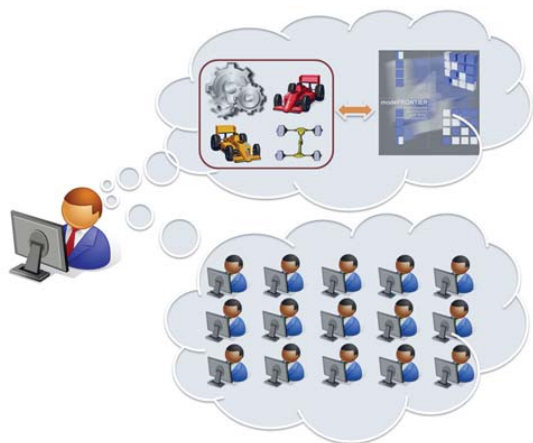


図1 導入・連成時の考慮事項(イメージ)

1. modeFRONTIERの連成方法

(1) 通常の連成方法

通常、対象アプリケーションとmodeFRONTIERを連成させる場合には、入力ファイルの割り付け、アプリケーションのバッチ実行コマンドの記述、出力ファイルの割り付けなど、いくつかの操作を組み合わせるだけの非常にシンプルな手順です(図2)。

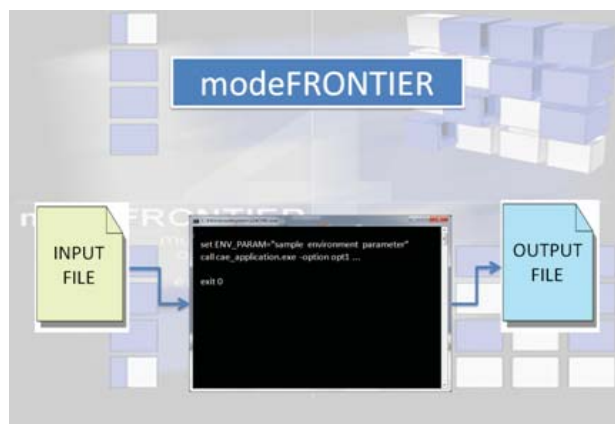


図2 modeFRONTIERの連成方法(簡易図)

(2) ダイレクトインターフェースによる連成

さらに、modeFRONTIERのダイレクトインタフェース機能に対応したアプリケーションの場合は、modeFRONTIERがCOMインターフェースを通じて対象アプリケーションに直接アクセスし、入力変数値の適用、解析実行、出力変数の取得など一連の処理を実行するため、より簡単に連成を行うことができます。最新バージョン(v4.4.1)で対応している外部アプリケーションは図3のとおりで、バージョンアップを重ねるたびにその対応範囲を拡大し続けています。

外部アプリケーション		
アプリケーション		
Excel	LabVIEW	Mathcad
MATLAB	Octave	OpenOffice.org
Scilab	カーブフィッティング	SoC
GT-SUITE	SimulationX	
スクリプト		
Cywin	DOS/バッチ	Jython
PYTHON	EASYDRIVER	
CAD		
CATIA V5	Creo Elements	SolidWorks
UGS NX	SpaceClaim	
CAE		
ABAQUS	MSC ADAMS/View	ANSA
AVL AST	CST STUDIO SUITE	Flowmaster
JMAG	ETA Post	MADYMO
Autodesk Moldflow Insight	SFE CONCEPT	LMS VirtualLab
ANSYS Workbenchプロジェクト	ANSYS Workbench 11プロジェクト	ANSYS Workbenchシミュレーション
ネットワーク		
Webサービス		

図3 modeFRONTIER v4.4.1で対応中の外部アプリケーション

2. 課題とアプローチ

前述のように、modeFRONTIERの基本機能を使用するだけで、多くのアプリケーションとの連成を簡単に行うことができます。

しかし、一方で、対象アプリケーションのモデル定義が複雑になるにつれ、連成準備に時間がかかる場合があり、解析専任者など担当者の作業負荷の増加に直結するという問題があります。この問題は、設計者展開する上でもハードルとなり、この理由から当初の計画通りに導入が進まないことも考えられます。

また、導入からしばらく時間が経つと、設計仕様の変更による入・出力変数の変更、増減などのニーズが生じることは、昨今の製品ライフサイクルを考えると珍しいことではありません。その都度、また一からモデル定義を確認し、連成関係を組み直しては連成準備に時間がかかります。

「modeFRONTIER Toolbox for Adams Car」は、普段の設計業務の中でAdams Carを使用されているお客様に向けて、この課題に対応するために開発されました。お客様の使い勝手に合わせたシステムを構築することで、modeFRONTIERとの連成を簡単に行える仕組みです。

■ Adams Carのモデル定義について

機構解析ツールとして有名なAdamsのオプションプロダクトであるAdams Carパッケージは、自動車の車両全体のシミュレーションモジュールであり、現在では業界標準のバーチャル・プロトタイピングツールとして世界中で200を超える自動車・部品メーカーで使用されています。

この章では、modeFRONTIERと連成するための前準備の意味合いで、Adams Carのモデル定義におけるアーキテクチャー面の特徴に触れてみたいと思います。

1. Adams Carのモデルアーキテクチャー

Adams Carのモデルを定義する主要概念としては、大きく分けて「Template」、「Subsystem」、「Assembly」の3つがあり、図4に示すような階層構造となっています。

Adams Carには、あらかじめ、車両のサブ部品ごとの位相情報（モデル上で部品間の接続関係や情報の受け渡し方法）が定義されたものとしてTemplateが提供され、ユーザーは各Templateにユーザー定義情報（hardpoint positions, property files）を加えてSubsystemにまとめることで、よりメカニカルモデルに近い形を表現していきます。最終的に、SubsystemのコレクションをAssemblyとして組み立てることで、バーチャル空間上に車両全体を表現します。

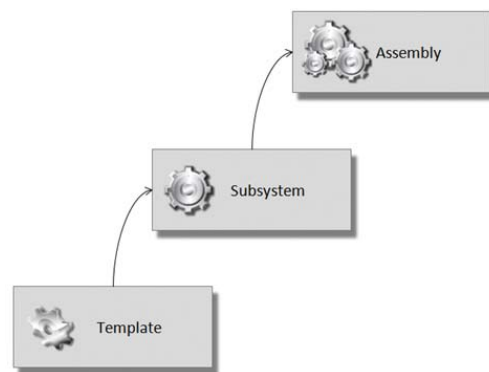


図4 モデル定義の主要概念

これらの実体は、定義する部品ごとにファイルとして保存され、図5の左に示すような下位概念へのリンク情報を受け持つ形でファイルアーキテクチャーを構成しています。通常、1つのプロジェクトに対し、1つのデータベースで管理され、図5の右に示すようなハードディスクドライブ上のディレクトリ階層で構成されたデータベースには、各部品ファイルが種類ごとに分別保管されます。

さらには、部品単位またはファイル単位で別のプロジェクトのデータベースにある部品をリンクして、モデルを定義することもできます。

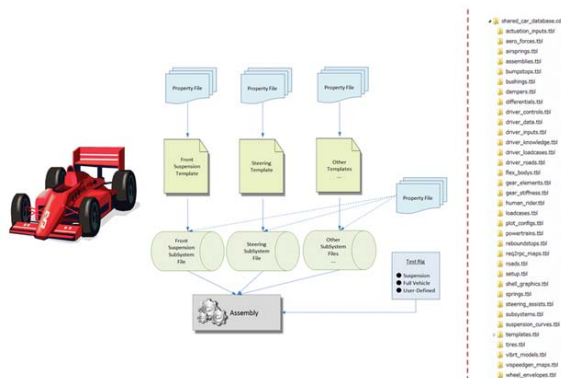


図5 ファイルアーキテクチャーおよびデータベースのディレクトリ階層

2. モデルのパラメータ化

Adams Carのモデル定義の特徴について触れましたが、バーチャル空間上に車両全体を表現するため、複雑なファイル構造になっていることがわかります。多数のフォルダに分かれた多数のファイルからなるモデル構造のため、連成準備を行う上で、入力変数をこの複雑なファイル構造内でコントロールすることはかなり神経を使う作業になりそうです。さらに、パラメータスタディやDOE作成など、多数のデザインモデルが必要な最適化計算の場面では、その準備を妨げる要因になりかねません。

あらかじめ、連成させるパラメータの種類と数を絞らない限り、modeFRONTIERと連成を行う際に、Adams Carのモデルをそのまま用いることは、あまり良い方法ではないと考えられます。

■ XMLベースアプリケーション開発

modeFRONTIERに限った話ではありませんが、ツール間におけるデータの受け渡しは、製品開発にコンピューティング技術を活用する上で、以前からホットな話題の一つでした。それに沿える形で多くのアプリケーションが自身のモデル(入・出力など、またはその一部)を定義するファイルフォーマットとして、XML形式を採用するケースが増えています。この傾向はXMLを取り巻く環境の変化とともに、今後ますます加速していくものと思われます。

今回の「modeFRONTIER Toolbox for Adams Car」には、XMLが持つ汎用性に着目し、連成する際の中間ファイル形式としてXMLを採用することで、より柔軟性や拡張性に富んだツールの開発をコンセプトに取り入れています。

1. XMLを用いたAdams Carモデルの再定義

(1) 計算モデルの再定義

Adams Carの複雑なモデル構造がもたらす連成作業における煩雑さを克服するため、図6で示すように計算モデルから一度XMLへ変換を行い、モデルを再定義したXMLに対していくつかの修正を加えてから、モデルを再構成するアプローチを採りました。

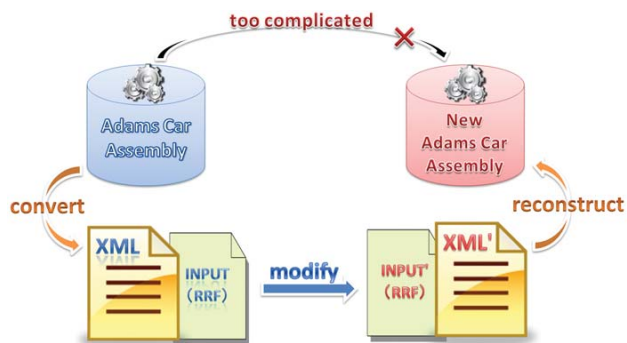


図6 Adams Carモデル ⇄ XML with RRF変換

Adams Carのモデルが上位概念から下位概念(Assembly → Subsystem → Template)への単方向参照であることに対して、変換されたXMLはXPath(W3Cにより規定されたXML文書の特定の部分を指し示す構文のこと)を用いることで直接参照が可能となり、外部から必要なデータが保存されている箇所を簡単に参照・変更できるメリットがあります。かつ、XML内部には変換処理時の付加情報を自由に持たせることができるため、2次加工による情報の有効活用が期待できます。

あらかじめ、外部参照が必要なパラメータを洗い出し、XML変換の際にそれらを指し示すXPathを参照ルールファイル(Reference Rule File, 以下RRF)としてまとめておくことで、

ユーザー様がXMLの内部情報を参照するためにXPathの知識を習得する必要もありません。

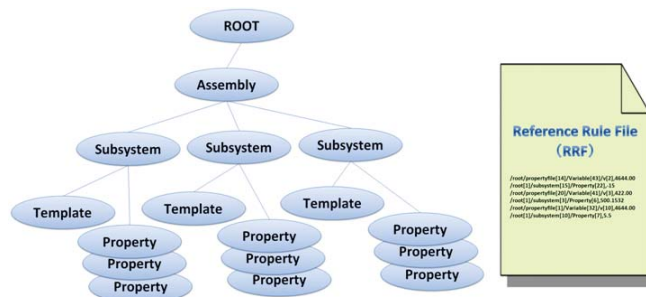


図7 XMLモデルと RRFファイル

(2) 結果の再定義

Adams Carの計算結果は、結果成分のセットとして「Request」という概念でユーザー定義され、計算時間StepごとにRequestファイル(*.req)に出力されます。

出力された結果を評価する際には、単一スカラー値の項目を除き、通常は2次加工による算出値を用いる方法が考えられます。例えば、時系列の結果について、任意点、任意区間、全区間の区間タイプごと、または最大、最小、平均の値タイプごとに算出値を求めてから評価します。これらをいかに簡単に評価するかはもちろんのこと、今後の設計仕様の変更に応じて、評価対象項目や評価方法を柔軟に対応させるためには、システム構築による手段をとるほかありません。

そこで、計算結果から一度XMLへ変換を行い、変換処理により再定義されたXMLに対して評価成分の抽出および2次加工を行うことで、XMLが持つ柔軟性、拡張性を存分に活かしました。

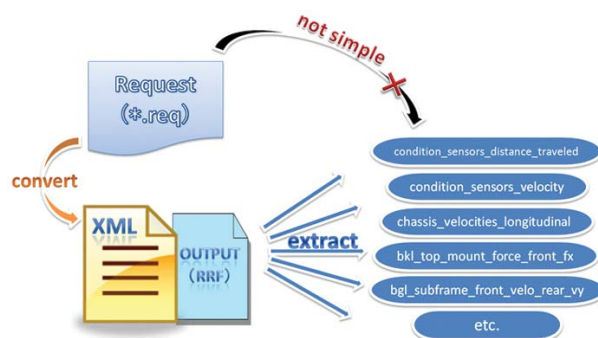


図8 Adams Car 結果 (*.req) ⇒ XML with RRF変換及び成分抽出

2. 再定義モデルを用いたmodeFRONTIERとの連成

Adasm CarのモデルからXMLとRRFファイルに変換された後は、入力変数群のRRFファイルと出力変数群のRRFファイルを、modeFRONTIERの入・出力ファイルノードへ繋げるだけの簡単な作業で連成を行うことになります。後は、Adams CarのモデルとXML間で変換・再構成処理を行うバッチコマンドを

作成して配布すれば、modeFRONTIER側の実行ノードにそのまま流用することができるため、以降の処理はすべてmodeFRONTIERで自動化されたループ処理に委ねられることになります。設計仕様の変更があっても、作業者が意識すべき作業範囲は、前述の入・出力ファイルノードを繋げるところだけに絞られます。

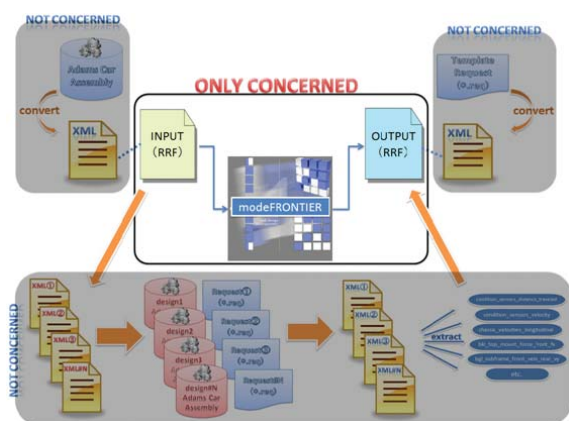


図9 連成作業範囲の極小化

1. Adams Carのモデル準備

まず、車両を表すAssembly(*.asy)ファイルを読み込み、そこに紐付されているSubsystem, Property fileを一覧表示で確認します。この一覧から連成用の入力パラメータが属しているファイルのみに選択しておくことで、後行程の操作がより楽になります。

ユニークな機能としては、ファイル差し替え設定によりProperty file単位でのパラメータ化があげられ、こういった機能もシステム開発ならではの長特であるといえます。

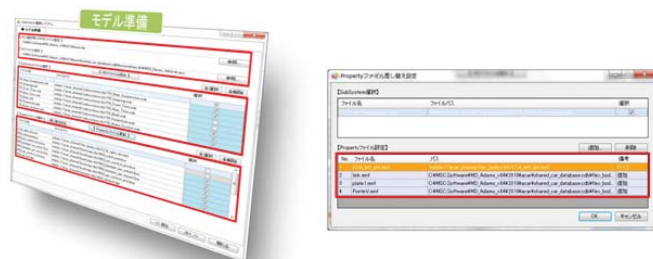


図11 Adams Carのモデル準備

modeFRONTIER Toolbox for Adams Car

これまでの説明で、modeFRONTIERとの連成をより簡単に行うため、Adams CarモデルからXMLへの変換を用いることのメリットおよびその内部仕組みなどについてご説明しました。

次に、連成用のパラメータ、つまり外部参照させたいパラメータをどのように選択し、まとめて出力できるかを検討する必要があります。

続いて、各画面でのメイン機能を中心にツールの特徴をご紹介します。「modeFRONTIER Toolbox for Adams Car」のユーザーライクなGUI画面を見ながら、連成用のパラメータをピックアップするといった簡単な操作で目的の結果を得ることができます。

2. 入力データの選択

入力データの選択画面では、前項のモデル準備で選択したファイルに対して、Adams Carモデル構造をツールビュー上から確認しながら、連成用の入力パラメータを一つずつ選択します。単一値を持つパラメータのみならず、カーブ成分などのベクトル成分をまるごと変数化する機能にも対応しています。

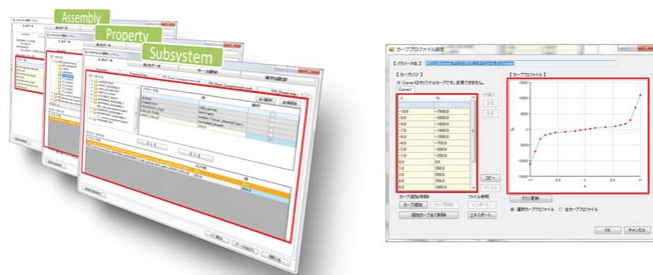


図12 入力データの選択

3. 出力データの選択

あらかじめ、用意されたRequestファイル(*.req)を雛型として読み込み、ツリービューや一覧表を探索しながら、どの結果成分を連成用の出力パラメータとするかを選択します。同時に、取得するタイプを選択するように実装されており、取得結果として、すでに2次加工されたものになっているため、別途加工処理を組み込む手間を省いています。



図10 ユーザーライクな GUI

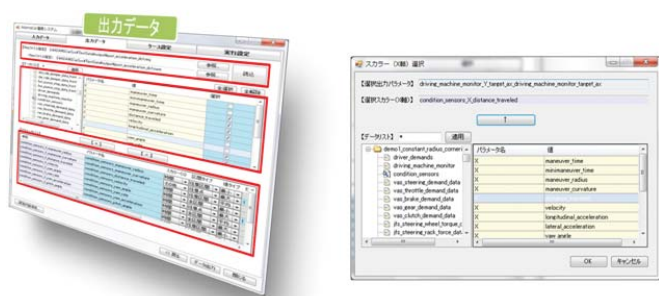


図13 出力データの選択

4. 計算ケースの設定

車両の走行モードは、ドライバーコントロール、道路状態、装着タイヤによって指定します。

ケース設定の画面では、上記の項目ごとに候補ファイルを一覧登録するだけで、システムが組み合わせによる走行モードを自動生成します。後は、実験計画に応じてどの走行モードで流すかを選択するのみです。また、選択した走行モードで予定した結果成分が正しく取得できるかを前もって検証するため、モード選定の信頼性を高めることができます。

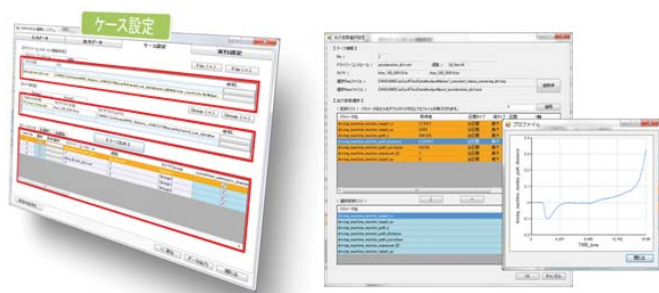


図14 計算ケースの設定

5. 計算実行の設定

実行設定の画面では、計算デザインごとに生成される車両モデルに対し、車高、重量、慣性といった調整処理の実施の有無を選択できます。さらに、制御系システムMATLAB/Simulinkとの連成オプションに対応しています。

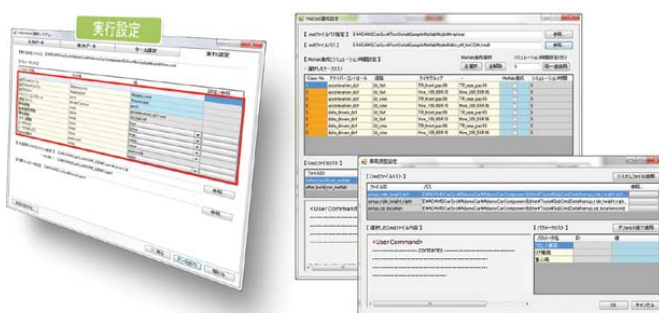


図15 計算実行の設定

■ おわりに

ここでは、複雑なモデル定義を持つAdams Carとの連成を例に、modeFRONTIER導入の際に生じる運用上のハードルを下げるための手段として、システム構築を行うことの有意性についてご紹介させていただきました。

他にもIDAJでは、ものづくりにおけるあらゆるシーンでのシステム開発をサポートします。ご興味をお持ちの方がいらっしゃいましたら、お気軽に営業担当までお問い合わせいただけますようお願いいたします。

(文責:解析技術事業部 CAE技術部 崔 原己)

株式会社IDAJの事前の承諾なしに、本記事の全部または一部を、私的使用など法律によって認められる範囲を超えて、これらの情報を使用(複製・改ざん・頒布・公衆送信・上映等)することを禁止します。また、ダウンロード・プリントアウトされた複製物を、不特定または多数の人へ送信・配布することはできません。

株式会社 IDAJ | 〒220-8137 横浜西区みなとみらい2-2-1-1 横浜ランドマークタワー37階
TEL: 045-683-1990 E-mail: info@idaj.co.jp http://www.idaj.co.jp/

汎用熱流体解析プログラム「STAR-CCM+」

オーバーセットメッシュ機能のご紹介

■はじめに

STAR-CCM+ v7.02では、新しい機能としてオーバーセットメッシュ機能、解析履歴機能、マッピング接触インターフェースなどが搭載されました。特にオーバーセットメッシュ機能によって、物体の大きな動きをより簡単に実現することが可能になりました。そこで今回は、STAR-CCM+のオーバーセットメッシュ機能についてご紹介します。

■STAR-CCM+のオーバーセットメッシュ機能

オーバーセットメッシュ機能は静止メッシュと移動メッシュの両方を解析する革新的な技術です。

これまでもSTAR-CCM+では、物体が移動する解析を移動境界機能により実現してきました。STAR-CCM+では、モーフィング機能を使用して境界の移動を設定します。モーフィングでは、メッシュの移動が大きくなると、メッシュが極端に歪むことがあります。このままでは、計算が破綻するため、回避策として、STAR-CCM+のリメッシュ機能をモーフィングに組み合わせ、セルの品質を保ったまま計算をおこなうという方法を選択することが可能でした。しかし、この方法では、解析中に何度もリメッシュを行う必要があるため、次のようなデメリットがあります。

- ・物体周りのメッシュが変化する
- ・リメッシュに計算コストがかかる
- ・リメッシュを制御するJAVAマクロが必要

オーバーセットメッシュでは、物体が大きく移動する解析を実施した場合でも、リメッシュを実施する必要はありません。

1. オーバーセットメッシュの概要

オーバーセットメッシュを使用する場合には、解析ドメイン全体を囲むバックグラウンド領域(Background region)と、1つまたは複数の物体を含む小さいオーバーセット領域(Overset region)を解析ドメイン内に配置する必要があります。バックグラウンド領域とオーバーセット領域は、別々にメッシュ作成され、異なったメッシュが重ね合わされます。重ね合わされたメッシュ間では、補間処理がなされ計算データの受け渡しが行なわれます。

オーバーセット領域は、バックグラウンド領域内で並進または回転移動したり、DFBI機能により移動させることができます。

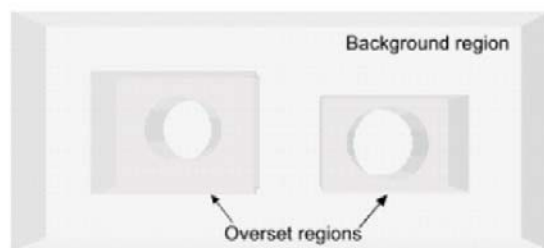


図1 オーバーセットメッシュを使用する場合の領域

バックグラウンド領域内で移動するオーバーセット領域は、複数箇所に設定することができます。例えば、図2のモデルのように、赤い領域と緑の領域の2つのオーバーセット領域の車が、静止したバックグラウンド領域の車を追い抜く解析を実施することができます。

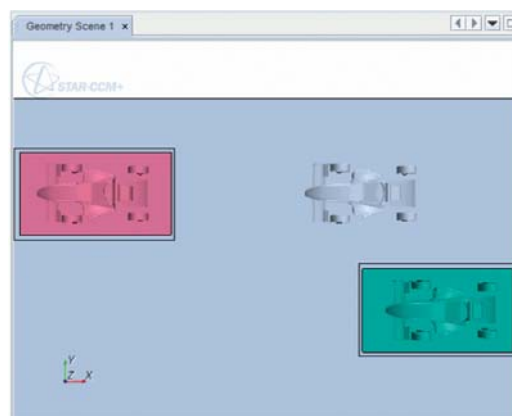


図2 自動車の追い抜き計算

オーバーセットメッシュでは下記の機能を使用することができます。

- ・分離型流れ、連成型流れ
- ・DFBI
- ・モーションモデル(剛体運動など)とリファレンスフレーム
- ・単相
- ・VOF混相流

また、現状ではオーバーセットメッシュの機能には、次のような制限があります。

- ・オーバーセット領域は完全にバックグラウンド領域の内部に位置する必要がある
- ・オーバーセット領域同士がお互いに重なることはできない
- ・オーバーセット領域が複数のバックグラウンド領域にまたがることはできない

- ・質量保存の誤差が0.1%程度のオーダーで生じる
- ・オーバーセットメッシュを使用する解析ドメインでは、領域に全て同じ物理連続体を適用する必要がある
- ・インターフェースはオーバーセットインターフェースのみが使用でき、熱交換器インターフェースなどは使用できない
- ・次のモデルではオーバーセットメッシュは使えない
 - ラグランジュ、オイラー混相流
 - 液膜
 - 燃焼
 - デフォグ
 - ハーモニックバランス
 - グリッドシークエンス
 - 輻射
 - バッテリー

■ オーバーセットメッシュ機能の定常計算の例：翼まわりの遷音速流れ2D定常計算

オーバーセットメッシュを使うことで、形状変更によるパラメトリックスタディを簡単に行うことができます。翼周りの遷音速流れ2D定常計算を、翼の配置角度を変更した2形状（翼の迎角 2.54° 、迎角 12.54° ）に対して実施します。

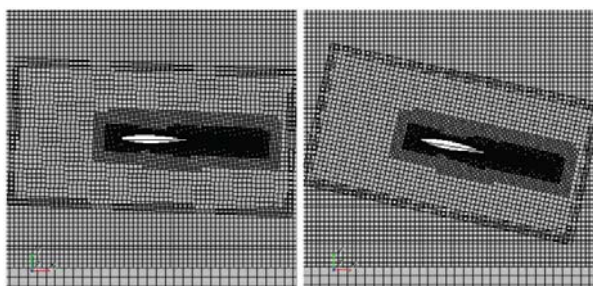


図3 解析メッシュ(左: 翼の迎角 2.54° 右: 翼の迎角 12.54°)

計算を実施したモデルの概要について説明します。解析ドメイン全体を囲むバックグラウンド領域と1つのオーバーセット領域が存在します。

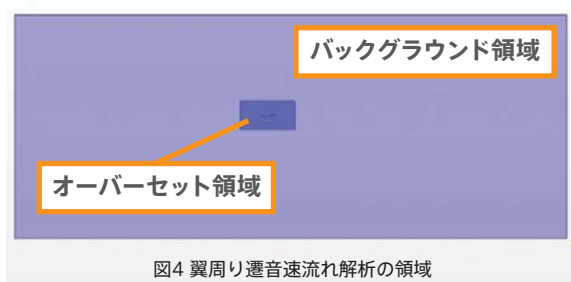


図4 翼周り遷音速流れ解析の領域

(1) 計算設定

オーバーセットメッシュを使用するためには、境界条件として、オーバーセット境界を設定する必要があります。このオーバー

セット境界は、オーバーセット領域とバックグラウンド領域を組み合わせるために使用されます。流れには影響を与えません。

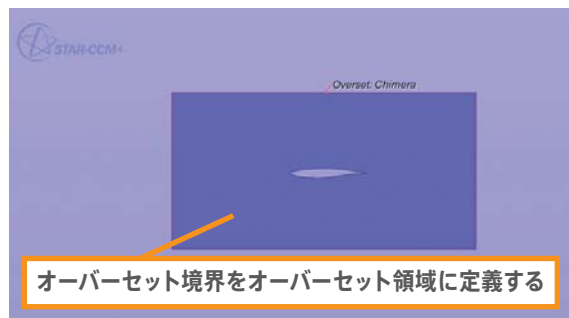


図5 境界条件(オーバーセット境界)

オーバーセット境界(図では境界名Chimera)には、境界タイプとしてオーバーセットメッシュを指定します。

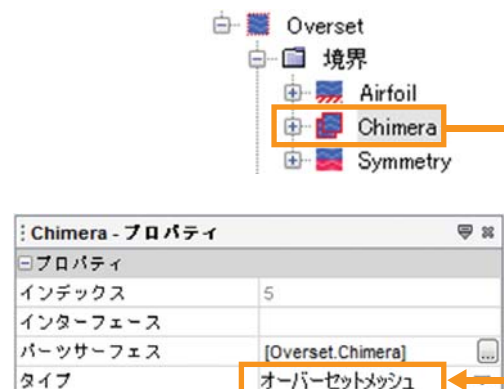


図6 オーバーセット境界の設定

オーバーセット境界を含むオーバーセット領域と、バックグラウンド領域にオーバーセットメッシュインターフェースを定義します。バックグラウンド領域(Background 2D)およびオーバーセット領域(Overset 2D)を選択し、右クリック>インターフェースを作成>オーバーセットメッシュからオーバーセットメッシュインターフェースを作成します。

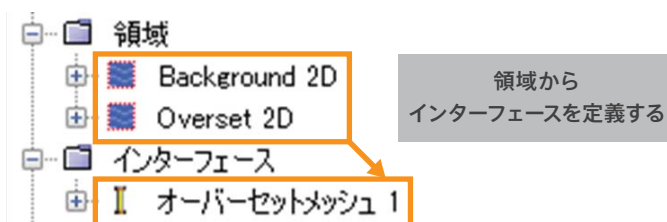


図7 オーバーセットインターフェースの定義

解析を実施する前に、定義したオーバーセットメッシュに対して初期化します。初期化はインターフェースを選択し、右クリック>初期化を選択します。これによりオーバーセットメッシュと重なっているバックグラウンド領域のメッシュは、解析に用いられないため非アクティブとなり取り除かれます。

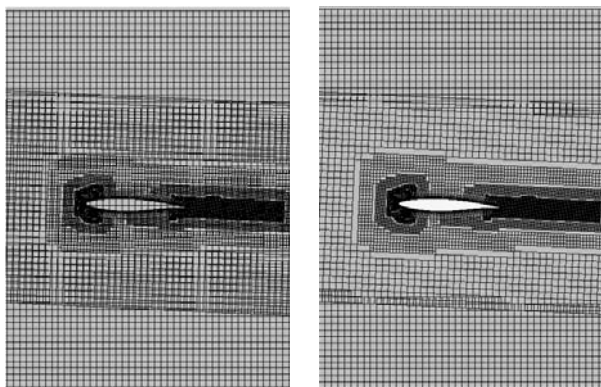


図8 オーバーセットインターフェースの初期化

オーバーセット領域内部の物体の壁面境界とオーバーセット境界の間には、少なくとも4～5層以上のメッシュが必要です。オーバーセット領域だけでなく、重なっているバックグラウンド領域にも十分なセルを持たせる必要があります。

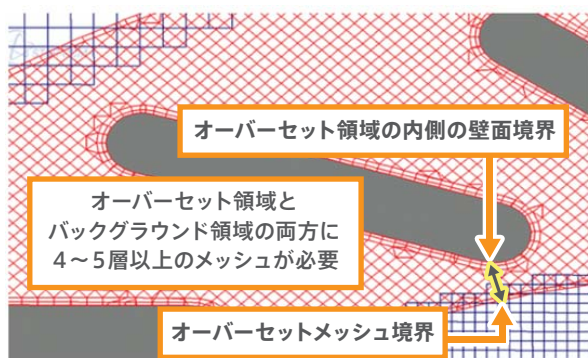


図9 オーバーセット領域のメッシュ

オーバーセット領域とバックグラウンド領域のカップリングが失敗すると、インターフェースの初期化を実施した際にエラーが出ます。その場合はモデルがオーバーセットメッシュの制限に反していないか確認する必要があります。

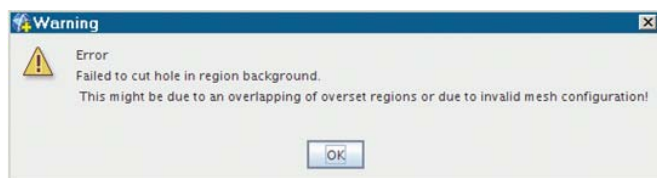


図10 オーバーセットメッシュの初期化でのエラーの例

(2)計算結果

翼の迎角を水平方向から2.54°傾けた形状で、定常計算を実施します。初期条件として、流速247.967 m/sの流れを与えます。自由流れ境界をバックグラウンド領域の周りに設定します。

図12は、計算後のマッハ数コンター図です。

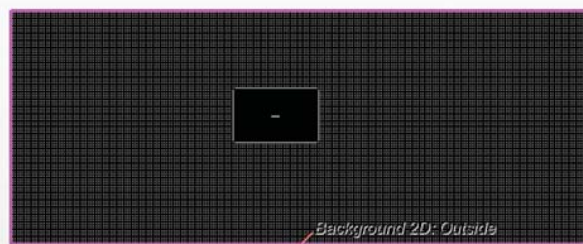


図11 境界条件 (自由流れ境界)

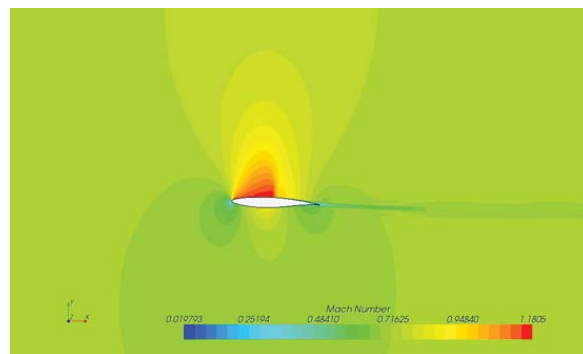


図12 マッハ数コンター図(迎角2.54°)

続いて迎角を12.54°へ変更した形状で計算を実施します。リメッシュする必要がないことがオーバーセットメッシュの長所です。領域>Overset 2D>変換>回転を選択し、オーバーセット領域(Overset 2D)を10°回転します。

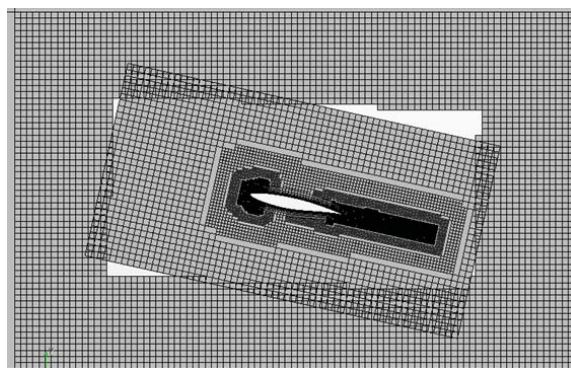


図13 オーバーセット領域の回転直後のメッシュ

すると、先ほどの解析でバックグラウンド領域の非アクティブだったセルが白く抜けて見えますが、これらの非アクティブのメッシュは、再計算すると、アクティブなセルと認識され、計算対象セルとなります。

メニュー>ツール>解析の消去から先ほどの解析結果を消去します。計算実行ボタンをクリックするだけで、形状違いの計算を実行することができます。図14に、迎角12.54°のマッハ数コンター図を示します。

以上のように最初にメッシュを作成した後は、リメッシュすることなく条件比較を簡単に行うことができます。

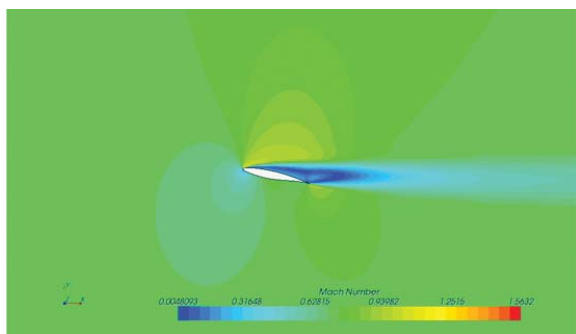


図14 マッハ数コンター図(迎角12.54°)

■ オーバーセットメッシュ機能の非定常計算の例： ライフボートの自由表面非定常計算

ボートが水面へ落下する計算にオーバーセットメッシュを適用した例を示します。自由表面とDFBIを使用します。

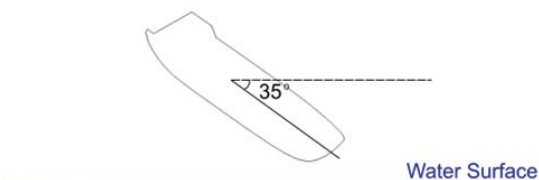


図15 ボートが水面におちる計算の初期状態

ボートの動きは、垂直方向の並進、水平方向の並進、縦揺れによる回転、3自由度のみでモデル化します。モデルの条件は以下の通りです。

- ・ボートの質量: 10,000 kg
- ・ボートの重心を通る慣性モーメント: 16,000.0 kg m²
- ・初期落下速度: 22 m/s
- ・初期回転速度: 0 rad/s
- ・初期傾き角度: 35°

次に、解析領域および境界条件を示します。



図16 解析領域

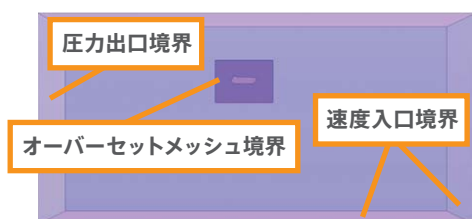


図17 境界条件

解析条件は、非定常計算(時間刻み0.025sec, 計算時間0.5sec)です。

図18に、計算初期の状態でのVOFコンター図を示します。水面の上部にボートが斜めに位置する状態が計算初期です。

図19は、計算終了時刻までにはボートが水面に落下し、水面でほぼ静止した状態です。

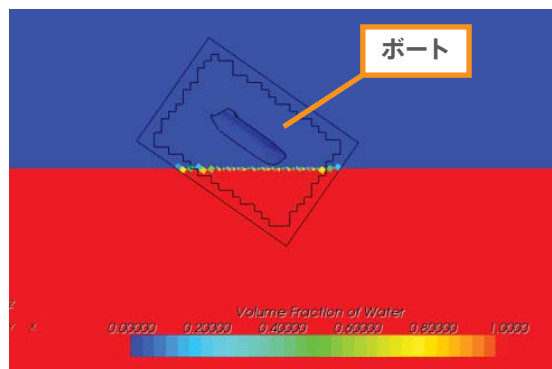


図18 VOF (Water) コンター図(時間0 sec)

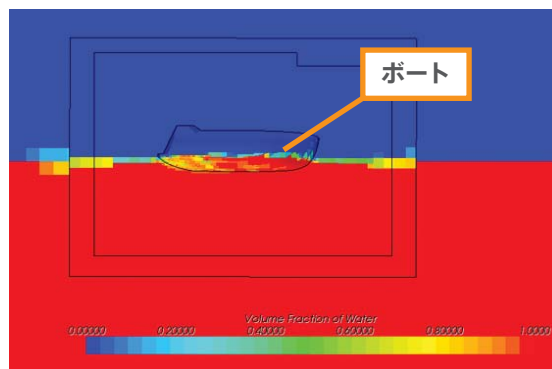


図19 VOF (Water) コンター図(時間0.5 sec)

■ おわりに

今回ご紹介させていただいたデータはチュートリアルにございますので、そちらもご参照ください。この機能がお客様のご業務のお役にたてば幸いに存じます。ご不明な点がございましたら、お気軽にサポート窓口(ccmp@idaj.co.jp, ccmp.kobe@idaj.co.jp)までお問い合わせください。

(文責: 解析技術事業部 CAE技術部 堀田 剛史)

株式会社IDAJの事前の承諾なしに、本記事の全部または一部を、私的使用など法律によって認められる範囲を超えて、これらの情報を使用(複製・改ざん・頒布・公衆送信・上映等)することを禁止します。また、ダウンロード・プリントアウトされた複製物を、不特定または多数の人へ送信・配布することはできません。

株式会社 IDAJ | 〒220-8137 横浜市西区みなとみらい2-2-1-1 横浜ランドマークタワー37階
TEL: 045-683-1990 E-mail: info@idaj.co.jp http://www.idaj.co.jp/

多目的ロバスト設計最適化支援ツール「modeFRONTIER®」 v4.4.1に搭載された新機能のご紹介

■はじめに

本年2月にリリースいたしましたmodeFRONTIER v4.4.1は、前バージョンv4.3.1と比較してさまざまな機能が強化されています。ここではそのうち特に下記の内容における、ベンチマーク結果や具体的な設定手順などをご紹介します。

- ・階層化クラスタリングのパフォーマンス改善
- ・応答曲面生成における変数のスクリーニング機能
- ・多次元解析チャートの表示機能強化

■階層化クラスタリングのパフォーマンス改善

v4.3.1までは、デザインが多い(500~1,000デザインを超える)場合、問題によっては階層化クラスタリングの実施完了までに時間がかかっていました。したがって、現実的な時間で分析結果を得たい場合、実装されたもう1つのクラスタリング機能である、分割最適化クラスタリングを推奨していました。

v4.4.1では階層化クラスタリングの処理性能が大幅に改善し、多くのデザインを持つテーブルに対しても、実用的な時間内で実施できるようになりました。以下にv4.3.1との性能比較を主眼とした、簡単な例題によるベンチマーク実施結果をご紹介します。

1. データの準備と階層化クラスタリングの実施

下限値-1, 上限値+1である40個の入力変数に対して、一様乱数法を用いて3,000個のデザインを生成し、2個の出力変数に関してDOEシーケンスにより計算を行いました。つまりデザインテーブルには42列×3,000行のデータが格納されています。

■ワークフロー

- ベクトル入力変数(サイズ40) + 出力変数2個 = 変数合計42個
 - 入力変数はすべて下限値-1, 上限値+1, 分割数0
- #### ■計算条件
- DOEデザイン：一様乱数法で3000個生成
 - DOEシーケンス、乱数を含めた簡単な計算で出力 out1, out2 を得る

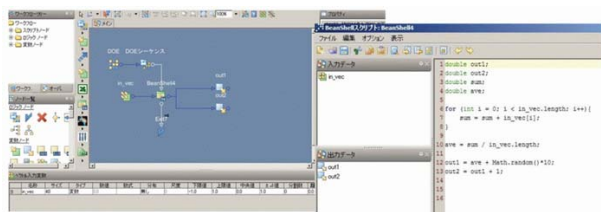


図1 例題: 3,000デザインを計算したワークフロー

実施時の設定は、分析対象としてすべての変数を選択し、アルゴリズムにはワード法を用いました。その他の設定は図2の通り、通常推奨しているデフォルトのものを用いました。

- 原則として以下のデフォルト設定で固定
 - [分析対象とする変数の選択] = すべての変数
 - スクリーニングは[レンジ], 距離タイプは[ユークリッド]
 - アルゴリズムは[ワード法]
- [デンドログラムの深さ削減] = 無効
 - 階層的クラスタリングの設定
 - 有効にしても行う処理は同じ

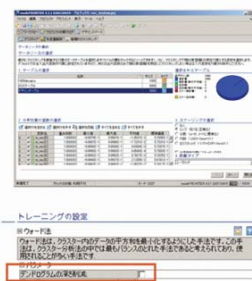


図2 階層化クラスタリング実施時の設定

2. 階層化クラスタリング実施結果の比較

前述の設定を共通とし、デザイン数を変更した場合に、階層化クラスタリングの実施完了に要する時間をv4.3.1とv4.4.1で比較した結果を図3に示します。

変数を合計12個(入力変数10出力変数2)で固定し、デザイン数を1,000から4,000まで増やした場合です。左側のチャートの通り、v4.4.1ではv4.3.1に比較して、縦軸に対数表示した所要時間[秒]が1オーダー以上小さくなっています。変数の数が同じでも、所要時間が1/10以下に収まり、性能が大幅に改善していることがわかります。

■v4.4.1で性能改善

- 変数12個は固定、横軸：デザイン数が増えた場合
- 変数の数などにもよるが、この場合処理時間は約1/30に
- 2次の相関(デザインN個 → 処理時間 $\propto O(N^2)$)は双方で現れている

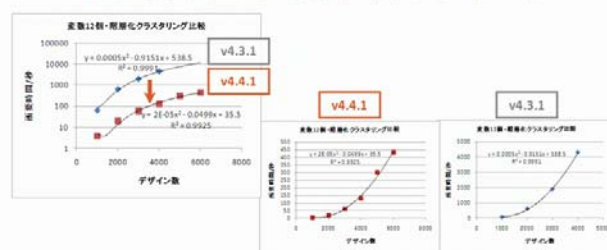


図3 所要時間の比較結果: デザイン数を増やした場合

v4.4.1においては、さらにデザインを増やし、6,000デザインとした場合も約700秒(11分強)で済んでいます。この時間そのものは使用PCのスペック、特に使用メモリ容量に依存しますが、v4.3.1とは比較にならないほど実行時間が短くなっています。

ただし図3右の2枚のチャートのように、いずれのバージョンであっても、階層化クラスタリングの理論上明らかとなっている「デザインn個の場合、処理時間が $O(n^2)$ に比例する」という結果が得られています。たとえばデザイン数が5倍になれば、処理時間は概算で $5^2=25$ 倍になることにご注意ください。

図4に、変数の数が所要時間に及ぼす影響を示します。

両バージョンともに、変数の数に比例して所要時間が増えていますが、v4.4.1の場合はその比例関係を示す直線の傾きが非常に小さくなっています。変数を10個→100個と増やしても、約60秒→約90秒という増加で済んでいます。このように、文字通り多変量であるデータセットに対して、階層化クラスタリングを現実的に選択、使用できるようになりました。

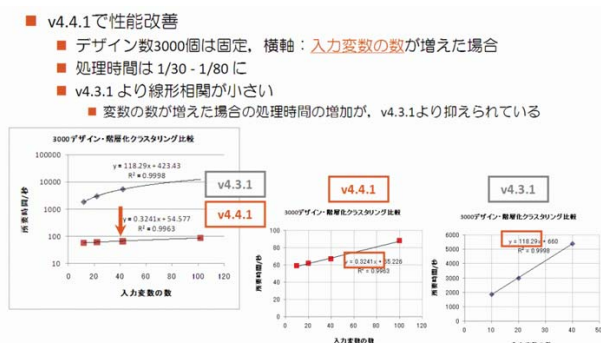


図4 所要時間の比較結果: 変数の数を増やした場合

v4.4.1では、階層化クラスタリング実施時の設定において[マルチスレッディング]設定が追加されました。[最大有効CPU数を使用]にすると、そのシステムのCPU数またはコア数に応じた、クラスタリング処理の並列化が可能です。具体例として、変数502個、3,000デザインの問題において、[スレッド数]を変更して比較した所要時間を図5に示します。左側のチャートのように、特に変数の数が多い場合に所要時間の低減が見込めます。

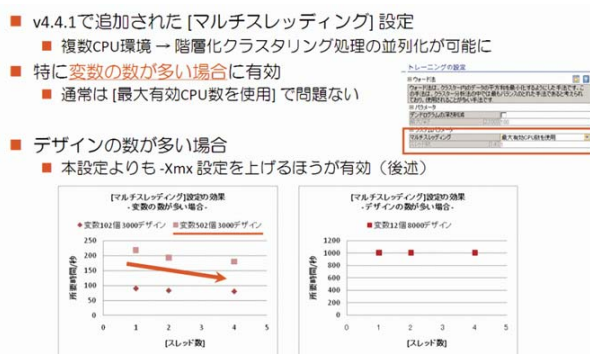


図5 [マルチスレッディング] 設定の効果

3. 使用可能なメモリ容量の設定

階層化クラスタリング機能を多くのデザイン(目安として1,000デザイン以上)を持つテーブルに対して使用する際は、modeFRONTIERが使用可能なメモリ容量上限を決める -Xmx 設定をあらかじめご確認ください。お使いのPCにおいて可能な限り多くのメモリ容量を指定することをお勧めします。-Xmx 設定の変更方法については、弊社Webサイト内、ユーザーサポートセンターに掲載した以下のFAQをご参照ください。

FAQ番号: 2009-07-14-002

タイトル: modeFRONTIERが使用するメモリの最大サイズを変更したい

図6は、変数の数やデザイン数が同じテーブルに対し、-Xmx 設定を512mと1,024mとした場合の、ヒープメモリ使用状況をモニタした結果です。modeFRONTIERの実行中は原則として、何らかの処理中にメモリ使用容量が増加すると、Javaのgarbage collection(GC)機能が自動ではたき、なるべく空き容量を確保するように動作します。この問題の場合は、-Xmx設定にかかわらず全体の処理は約31分で終了しました。ただし、左側のチャート -Xmx=512mの場合をみると、処理後半では設定上限に近いメモリ容量を使用した履歴が見て取れます。

- クラスタリング実施中のヒープメモリ使用状況をモニタ
 - 対象プロセス frontier.jar (バッチ実行時も同名のプロセス)
- ある同じ処理を -Xmx=512m or -Xmx=1024m で比較
 - 「使用量増加 → Garbage Collection (GC) で確保」を自動で繰り返す
 - この例での比較では所要時間は変わらなかった (約31分)
 - しかし変数やデザインがさらに増えると使用メモリ容量が頭打ちする可能性 (次ページを参考)
 - → 可能な範囲で -Xmx は上げておくほうがよい

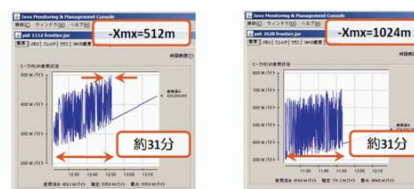


図6 ある階層化クラスタリング処理でのヒープメモリ使用状況

図7は、デザインスペースにあらかじめ多くのチャートを生成しておき、使用可能メモリ容量が少ない状態で階層化クラスタリングを実施した場合のメモリ使用履歴です。この問題のもとと約10分で階層化クラスタリングが終了しますが、左側 (-Xmx=512m) の場合、空きメモリが少ない“GCの恩恵を受けられない状態”であるためになかなか終了せず、最終的には約100分後にエラーを出力し、クラスタリング処理が完了しませんでした。一方、-Xmx=2,048mとした状態で階層化クラスタリングを実施すると、右側のようなメモリ使用履歴とともに約10分で終了します。

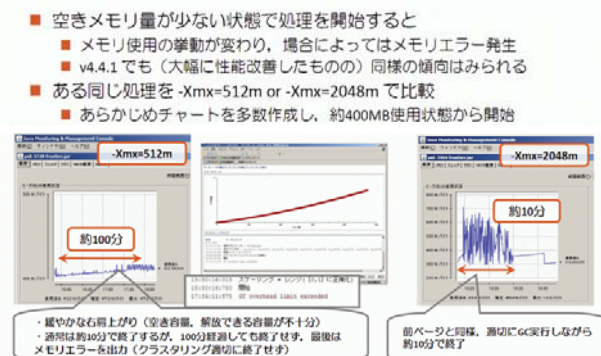


図7 空きメモリ容量が少ない状態で開始した場合の結果

もちろん、問題規模そのものの大小や、どの程度メモリを使用した状態でこのクラスタリング機能を使用されるかなどは、ご使用の状況において異なるかと思いますが、上記の結果を

ご参考に、可能な限り-Xmx設定を大きくとおかれることをお勧めします。

■ 応答曲面生成における変数のスクリーニング機能

応答曲面を生成する際、生成対象の出力変数に対する「入力変数の寄与の大小」を分析し、寄与の小さい変数のスクリーニング（ふるい落とし）を実施することが可能になりました。これにより、問題によっては

- ・ 応答曲面を使用した最適化における設計空間の縮小
- ・ 近似精度のよくない（低品質の）応答曲面の精度改善

というメリットにつながります。

1. どのような分析を行うのか

SS-ANOVA (Smoothing Spline ANalysis Of VAriance) と呼ばれるアルゴリズムを内部で用いています。与えられたデータに対して分散分析 (ANOVA) に基づいた統計モデルを構築します。1変数の主効果 (または2変数の交互作用) が、データ全体への分散にどれくらい寄与しているのかを明らかにすることで、「データに対してどの変数が重要であるか」を分析します。

2. スクリーニング分析の実手順

図8のように、応答曲面の生成ウィザードにおいて [複数RSM] を選択し、左上にある① [スクリーニング分析実行] にチェックを入れてウィザードを進めると、この機能を使用できます。この場合、変数や近似手法を選択する図11の画面において、寄与が大きいと判断された入力変数が太字で表示され、寄与が小さい入力変数からは自動的にチェックが外れますので、そのまま従来通り応答曲面を生成してください。

なお、この機能を使用せず、従来通りご自身で入力変数を選択して応答曲面を生成することもできます。この場合は、図8において① [スクリーニング分析実行] にチェックせず、図11において使用する入力変数を選択してください (通常はすべて選択することが多いと思われます)。

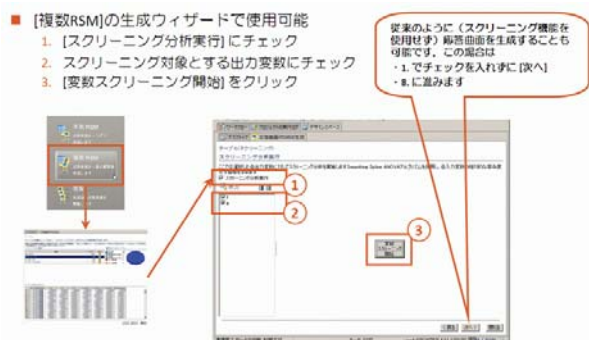


図8 変数のスクリーニング機能の実手順

図9の④ [変数スクリーニング] により、各入力変数の主効果だけを考慮したスクリーニング分析の結果が示されます。簡単には「棒グラフが長い入力変数 → その出力変数に対する主効果が大きい」と判断できます。[変数の数] により、寄与の大きい順にいくつまで考慮するかをスクリーニングでき、グラフの表示もその場で変わります。図9右の⑤は、もともと5つだった入力変数を3つに絞り込んだ例です。

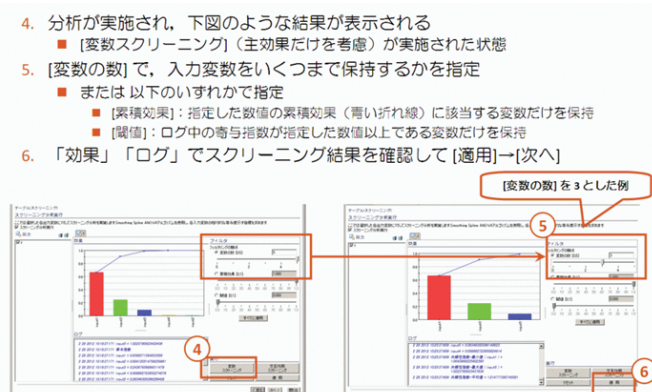


図9 変数のスクリーニング機能の実手順

図9の段階で、図10の④のように [交互作用スクリーニング] を実施すると、各2変数間の交互作用を考慮できます。この場合も棒グラフの長さでその寄与の大きさを判別します。⑤のように [変数の数] を2とすると、交互作用を含めて寄与の大きい2変数がスクリーニングされます。

- 前ページ 4. で [交互作用スクリーニング] を実施した場合
 - 各2変数間の交互作用を含めて考慮
 - 下図では、入力変数5個の主効果 + $C_2 = 10$ 個の交互作用 = 計15個が横軸に表示
- 5. 例えば [変数の数] を2とすると、寄与の大きい2変数だけの分析結果が表示
- 6. 同様に「効果」「ログ」でスクリーニング結果を確認して [適用] → [次へ]



図10 変数のスクリーニング機能の実手順

[変数スクリーニング]、[交互作用スクリーニング] のいずれを実施した場合も、右下の [次へ] をクリックすると図11の画面に移ります。左上の出力変数にチェックを入れると、スクリーニングの結果、寄与が大きいと判断された入力変数が太字で表示され、チェックが入ります (このタイミングであえて入力変数のチェックをご自身で変更することもできます)。

この後は従来の生成手順と同様、近似手法を選択して [新規関数追加]、複数生成を行いたい場合はこれを複数回行い、[次へ] で移った画面でモデルごとの設定を行います。

- 出力変数を選択すると、入力変数の選択欄でスクリーニング結果が自動的に適用される(太字で表示され、自動的にチェックが入る)
 - ここで、チェックを外したり、未選択の変数にチェックを入れることも可能
- 以降の手順は、通常の応答曲面生成の場合と同様
 - 近似手法を選択し[新規関数追加]→[次へ]

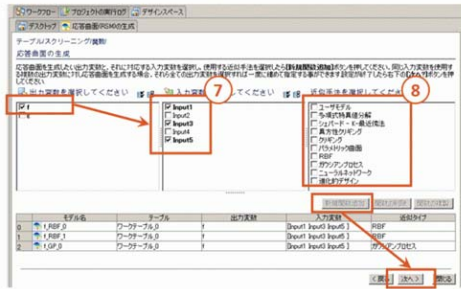


図11 変数のスクリーニング機能の実行手順

3. スクリーニングの実施例

図12のような、6つの入力変数 $x_1, \dots, x_6$ を用いて1つの出力変数 y を求める問題において、 y について生成した応答曲面の相対誤差の平均値を比較したところ、

- 6つの入力変数すべてを用いた場合: 8.41
- スクリーニング分析を実施し、寄与の大きかった3変数だけを用いた場合: 0.075

と大きく誤差が低下し精度が改善したことがわかります。

- ある出力 y の応答曲面を[クリギング]を用いて生成した例
 - 6つの入力変数 $x_1, \dots, x_6$ をすべて用いて生成した場合
 - 相対誤差の平均値: 8.41
 - スクリーニング分析により、寄与の大きかった3変数 x_1, x_2, x_3 だけを用いて生成した場合
 - 相対誤差の平均値: 0.075 → 大幅に改善

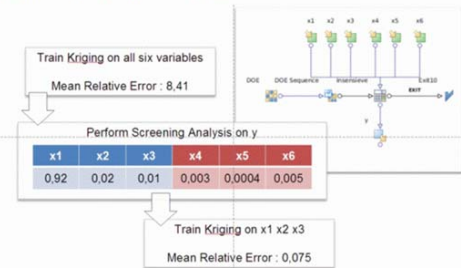


図12 スクリーニングの実施例

もちろん、このように応答曲面の精度が改善するかどうかは問題によりますし、スクリーニング分析の結果「この出力変数に対しては、どの入力変数もふり落としきれない(どの変数も寄与している)」となる場合もあります。分析そのものは前述のようなウィザード形式で簡単に実施できますので、状況に応じてご活用いただければと思います。

■ 多次元解析チャートの表示機能強化

すでに多方面で活用されている本チャートに、さらに機能拡張を実施し、多変量、多デザインであるデータの可視化に役立つようになりました。

1. 従来までの機能

多次元解析チャートでは、図13のように、縦軸1本が1変数を、折れ線1本が1デザインを表します。デザインや変数が多い場合も、各変数値の分布などを一目で確認できる便利なチャートです。

各変数の軸にはその上下限值に対応したフィルタが存在し、例えば「変数Dispが0.5以上1以下のデザイン群にはどのような特徴があるか」という検討を、マウスドラッグによる表示の絞り込みで簡単に実施できます。

- 縦軸1本: 1変数、折れ線1本: 1デザインを表す
 - 複数デザインの各変数値の傾向を、横に並べて見やすく表示
- フィルタ(▲▼)によるデザインの絞り込み表示が可能
 - [フィルタ後表示デザインにマークする] → 別チャートへマークを引継ぐ

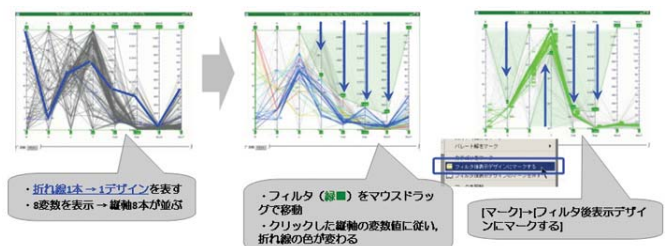


図13 多次元解析チャート、従来までの機能

2. 範囲外デザインの灰色表示と[同期]機能の追加

フィルタで設定された上下限値の範囲外のデザインは、従来は表示されませんでしたが、v4.4.1からは灰色で表示されるように変更されました。

また、チャート左下に[同期]チェック欄が追加されました。図14や図15のように、このチェックを入れた多次元解析チャートで任意の絞り込み表示を行うと、同じテーブルをもとに作成された他のチャートにも、絞り込まれた状態が反映されます。したがって、フィルタによって灰色表示されたデザインは、他の多次元解析チャートを含め、2D散布図やバブルチャートなど、他のチャートにおいても灰色表示されます。

- [同期] チェックを入れた複数の多次元解析チャート
 - 1つのチャートで設定したフィルタが、他のチャートにも自動適用される
 - 多変数 or 異なる変数の組み合わせで表示したチャート間で同時評価が可能

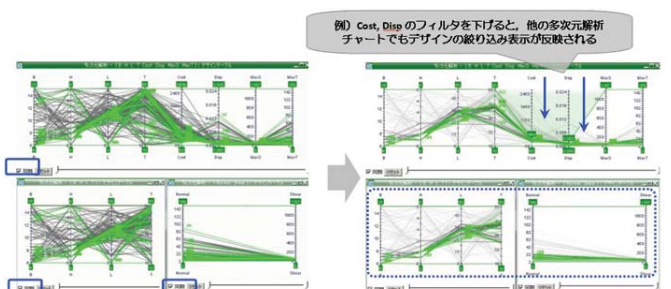


図14 [同期]機能による他チャートでのデザイン絞り込み

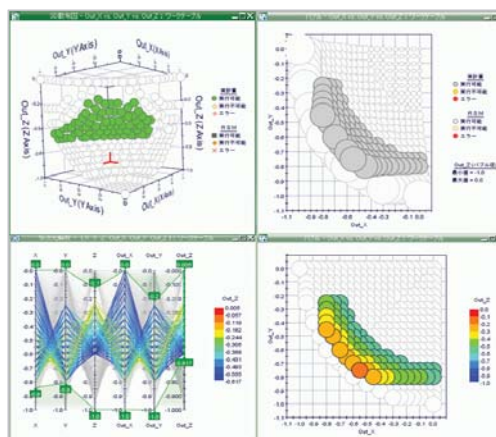


図15 表示の絞り込みは他のチャートにも反映

(文責:インテグレーション技術事業部 インテグレーション技術部
山口 政隆)

株式会社IDAJの事前の承諾なしに、本記事の全部または一部を、私的使用など法律によって認められる範囲を超えて、これらの情報を使用(複製・改ざん・頒布・公衆送信・上映等)することを禁止します。また、ダウンロード・プリントアウトされた複製物を、不特定または多数の人へ送信・配布することはできません。

株式会社 IDAJ 〒220-8137 横浜市西区みなとみらい2-2-1-1 横浜ランドマークタワー37階
TEL: 045-683-1990 E-mail: info@idaj.co.jp http://www.idaj.co.jp/

3. ご注意点

多次元解析チャートのフィルタと[同期]機能を併用したデザイン
の絞り込みを行うと、図16のように、表示対象としたテーブルの
デザインも絞り込み表示されます。この表示状態から別途
ワークテーブルを作成することができますので、大変便利です。
ただし、このテーブルを多変数解析など他の分析に使用される
場合は、その前に必ず[同期]チェックをオフにし、テーブル上での
デザインの絞り込み表示を解除することをお忘れにならない
ようにお願いします。

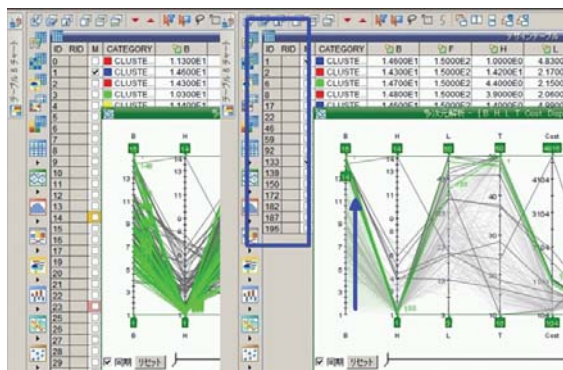


図16 テーブルのデザインも絞り込み表示

■ おわりに

ここでは、modeFRONTIER v4.4.1で強化された機能の中から、
3つをピックアップしてご紹介しました。これ以外にも、さまざまな
新機能の搭載、既存機能の強化を行っております。

その詳細については、CDAJ news vol.66をご参照いただくか、
弊社Webサイト内、ユーザーサポートセンターのモジュール
ダウンロードページにございます「新機能ハイライト」の資料を
ご参考ください。何かご不明点がございましたら、弊社営業
担当(info@idaj.co.jp)または、modeFRONTIER技術サポート
(frontier@idaj.co.jp)までお気軽にお問い合わせください。

株式会社 デンソー 熱性能開発部 バーチャル性能開発室 様

HVACをはじめとした自動車空調に関わる性能設計に「STAR-CCM+/STAR-CD」・「modeFRONTIER®」をご活用

今回は、株式会社 デンソー 熱性能開発部 バーチャル性能開発室 北田 基博様、久戸 辰朗様にお話をうかがいました。

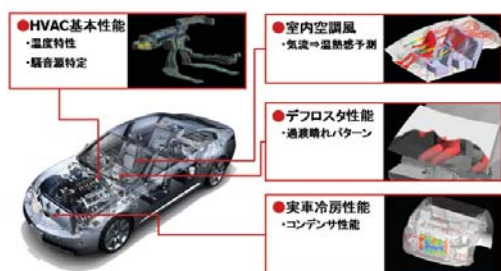
同社は、先進的な自動車技術、システム、製品を世界の主要な自動車製造会社すべてに提供しているトップレベルの自動車部品サプライヤーです。

バーチャル性能開発室の皆様(最前列中央: 北田様, 右: 久戸様)



— 本日はお忙しいところ貴重なお時間をいただき、誠にありがとうございます。はじめに、バーチャル性能開発室様の役割や皆様の担当業務について簡単にご紹介ください。

北田様 ● バーチャル性能開発室は、その名の通りバーチャル性能を設計する、つまり“モノ”を作る前に性能を予測する部門です。その中で我々は、熱に関連するグループ全体のCAEを担当し、車室内、エンジンルームなど自動車の中で空調に関連する製品すべてを対象として、CAE技術の開発、活用、教育、インフラ構築を推進しています。



デンソーエアコンが、環境・安全・快適・利便の4分野に、貢献できる製品となるように、CAE技術を構築中

図1 エアコン開発の全体概要

— 自動車の空調製品全体となると、解析対象はかなり幅広いですね。他の部署やグループとの協働が多く、いわゆる“組織の壁”というものに苦心されることはございませんか。

北田様 ● バーチャル性能開発室は、我々CAE開発チームと実験評価チームが一体となった組織です。汎用CAEソフトウェアで培った知見に、長年の実験から得られたノウハウをプラスし「現場で使えるCAE」の実現を目指しています。組織的にも、足並みがそろった状態で開発・設計を推進できる環境にあります。

熱機器事業部

熱性能開発部

バーチャル性能開発室

CAE課

・CAE技術開発 ・CAE教育
・CAE活用 ・CAEインフラ構築

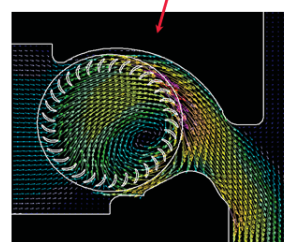
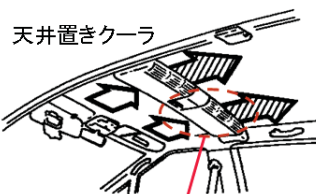
図2 組織図

— 非常に特徴のある組織ですね。こういった組織形態を作り上げられるまで、また、「現場で使えるCAE」の実現に向けての歩みを簡単にご紹介ください。

■「移動境界問題の実現」と「技術サポート」が導入の決め手

北田様 ● 1990年代半ば頃に開発していた天井置きクーラには、クロスフローファンを採用していました。このファンの性能解析のためにCFDツールを探していたところ、当時、唯一“移動境界問題”が扱えた「STAR-CD」を導入しました。2000年代に入ってから入社した久戸には信じられないかもしれませんが、ファンの羽根が回ること自体が画期的で本当に驚きました。しかし、移動境界問題は新しい技術であったため、解析結果を得るまでに非常に苦労しました。当時の御社の技術担当の方には何度も弊社に来ていただき、サポートしていただきました。この経験を通して、CAEツールの活用には技術サポートが欠かせないということを痛感しました。

解析結果は、学会で発表し、またCAEに対して社内での評価も獲得できたため、デンソー社内でのCAE浸透の第一歩となりました。



クロスフローファンの解析

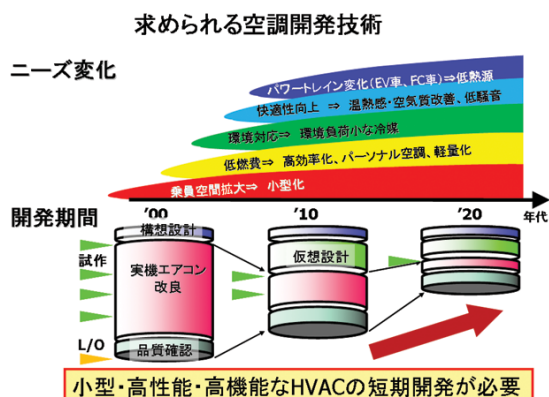
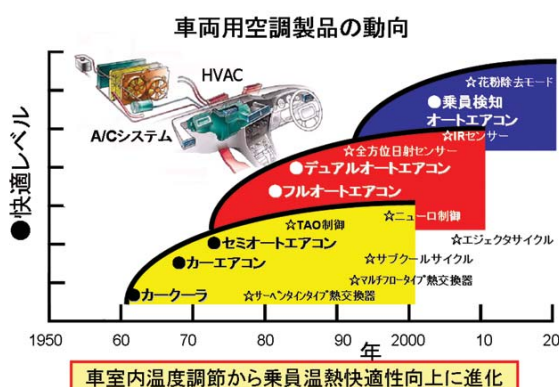
図3 STAR-CD活用の原点

■ CAE活用により約50%の効率化を狙える

一 弊社の技術サポートをご評価いただき非常に光栄に思います。技術サポートの良さは弊社の特長の1つですので今後もご期待に沿えるように努力したいと思います。

さて、クロスフローファン以外にはどのような製品にCAEを適用されていますか。

北田様 ● その後、HVAC(Heating, Ventilation, and Air Conditioning)に対して適用をはじめました。CAE業務を立ち上げた当初から計算精度には徹底的にこだわってきました。実験結果と計算結果がなぜあわないのかを分析・検証し、それを積み重ねることによって技術ノウハウの蓄積を図りました。



HVACユニット設計への活用-HVAC基本性能

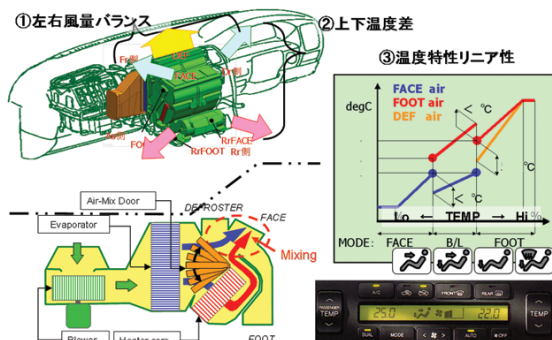
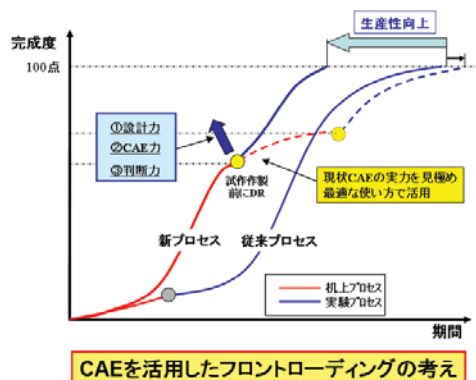


図4 製品の動向と技術

北田様 ● 実際の設計でCAEが使えるようになるには、「設計力」「CAE力」「判断力」の3つが必要だと考えています。HVACの開発においては、これら3点を念頭において、教育やソフトウェアの操作トレーニング、結果評価研修などを継続した結果、現在のような活用方法が可能となりました。現在は初回の試作レベルの向上、試作以降のステップにかかる開発時間の短縮など、CAE導入前に比べて約50%の効率化が狙えるレベルにまでなっています。早期に製品を開発し市場に出すためには、少しでも早い段階で製品の完成度を上げる必要がありますが、その点においてCAEが大きく貢献していると言えます。

開発効率向上への取組み



HVAC計算工数・精度の推移

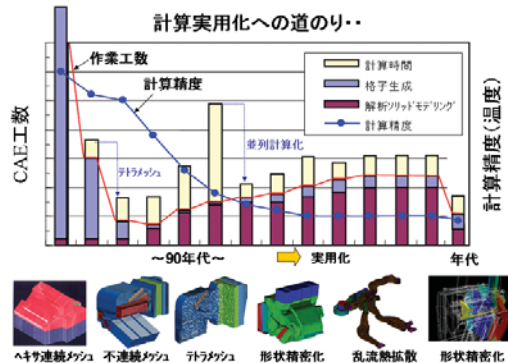


図5 計算精度向上への取組み(1)

一 CAEツールの導入だけではなく、ユーザー様のスキルアップも同時に必要だということですね。弊社の「数値解析アカデミー」では、ソフトウェアの使用方法だけでなく、数値解析や物理現象における理論的な部分までご理解いただくことを目的としておりますので、解析専任者だけでなく、新人の方や設計者の方にもお役にたつものと思います。今後も、是非ご活用ください。CAEの立ち上げから社内での技術浸透まで、様々なご苦労がありだったと思いますが、一番ご苦労されたことは何でしょうか。

北田様 ● “時間をかけて計算するより実験した方が早いんじゃないか”、“経験や勘で設計ができる”といった考えを持つ人に対して、

CAEの有用性を理解してもらうことに苦心しました。わかってもらうには、一にも二にも、実績を積んでいくしかありません。

STAR-CDも使い始めた頃はメッシュの作成に時間がかかりましたし、ハードウェアの制限からメッシュ数も少なく、精度もあまり良くありませんでした。図5を見ていただくとわかるように、90年代ははじめから中頃までは、メッシュ生成に多くの時間を費やしていました。その後、メッシュ生成機能が大幅に向上し、それとともに、ハードウェアの性能も飛躍的に向上、数多くの解析実績を経てようやくCAEが実際の設計で使えることを理解してもらえるレベルにまで到達しました。基本的なことかもしれませんが、メッシュ作成工数の短縮と適切なメッシュ作成は、CAEの浸透のために非常に重要なことだと思います。

計算精度向上に向けては、STAR-CDがユーザーサブルーチンで自由に使えることが大きかったです。実験等で得た知見や理論式をユーザーサブルーチンとしてモデルに組み込むことができるので、HVACの計算等全てのテーマで精度向上を実現することができました。この機能はSTAR-CD導入初期から多用していますが、サブルーチン組み込み時には御社エンジニアに非常に良くサポートしていただきました。ソフトウェアのソースレベルまで理解されているエンジニアが多くいらっしゃったので非常に心強かったです。

ー 現在は、弊社内にプログラム開発の専門部署がございますので、物理モデル開発等のニーズがございましたら、お気軽にご相談ください。

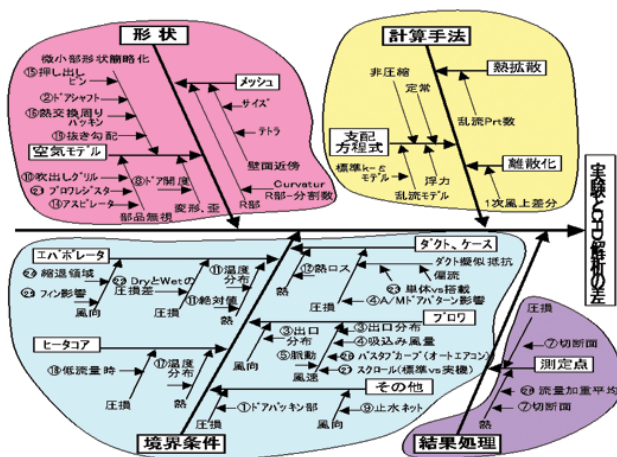
■ 計算精度の向上には、「実験+計算→分析」の繰り返しは不可欠

ー さて、近年でのCAEの取り組みはどういった内容になるのでしょうか。

北田様 ● 地道なトレーニングなどを通して利用者を拡大する一方で、確立した技術の汎用化にも取り組んでいます。

久戸様 ● 設計者の中にも、解析ができる技術者が増えてきていますので、STAR-CCM+のJavaマクロを利用した専用パネルを作成して、彼らのミスを低減するような仕組みを作りました。また、私の部署に所属するメンバーは全員、解析結果評価についての研修を受講するようにしています。実験を担当するエンジニアが計算結果を見ることは、非常に有意義なことです。改良すべきポイントが一目でわかりますからね。例えば、実験では入口や出口付近の風量等を計測することはできても、内部でどのような流れが発生しているかまでは計測しづらい。そこで、CAEによって実験では確認できない、もしくは確認しづらい箇所を可視化しています。

HVACの計算誤差分析



計算精度向上へのこだわり

エアミックス基礎モデルによる乱流熱拡散の分析と計算精度向上

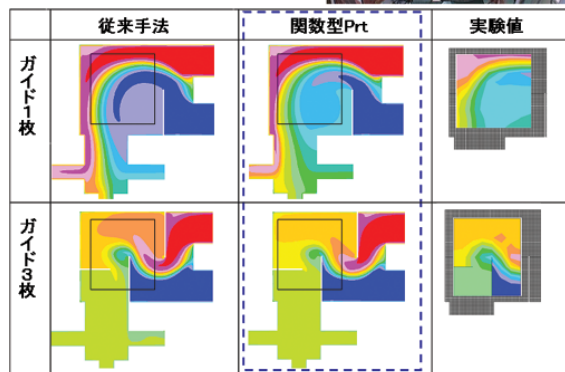


図6 計算精度向上への取り組み(2)

ー STAR-CCM+のJavaマクロ機能は非常に有効だと思います。発展的なご利用方法としては、STAR-CCM+とExcelとを連携し、Excelに数値を入力すると自動的にSTAR-CCM+が実行されるというシステム構築も可能ですので是非ご検討ください。

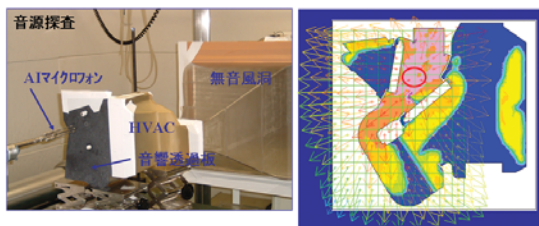
■ modeFRONTIERや1次元シミュレーションツールの活用

ー 今後のCAEの適用範囲拡大についてお聞かせください。

北田様 ● 今後は、HVACで確立した技術をもとに、他の製品開発や領域にも適用範囲を拡大していきたいと考えています。具体的にはHVAC内の騒音評価、エアコン冷媒の二相流解析、デフロスタやエアコン性能の評価、1次元シミュレーションと3次元シミュレーションの連成などです。まだまだ取り組むべき課題は山積みですね。車両統合システム解析の1次元シミュレーションではGT-SUITEも活用し始めています。

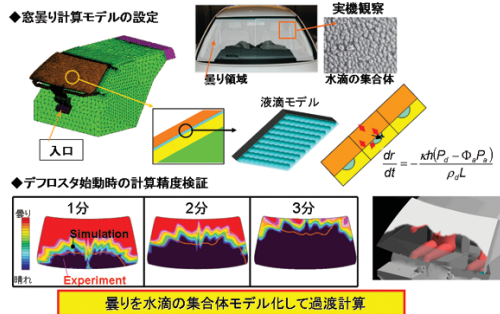
計算精度向上へのこだわり

騒音源の分析と計算検証



計算精度向上へのこだわり

デフロスタ解凍性能の予測



曇りを水滴の集合体モデル化して過渡計算

計算精度向上へのこだわり

実車A/C性能の予測



図7 計算精度向上への取り組み (3)

久戸様 ● modeFRONTIERを使ったダクト形状の最適化にも取り組んでいます。従来は経験と勘に頼り、最適形状を導き出すのに1～2週間必要だったものがmodeFRONTIERを活用すると2～3日で最適形状を見つけることができました。

modeFRONTIERは使いやすいソフトウェアなので、今後利用者を増やし、適用範囲を拡大していきたいと思います。

— STAR-CCM+やSTAR-CDだけでなく弊社からご提供させていただいている様々なソフトウェアをご活用いただき、嬉しく思います。1次元ソリューション (GT-SUITE) や最適化 (modeFRONTIER) においてもSTAR同様技術協力させていただきます。

製品ならびに弊社への忌憚のないご意見やご要望をお聞かせください。

久戸様 ● 流体騒音問題に対するソリューションを強化して欲しいですね。弊社では、今後流体騒音の問題にも取り組んでいきたいと考えていますが、現状のLESモデルを使うと計算時間が

かかりすぎて実用的ではありません。計算時間が膨大にならず、かつ高周波域まで解析できるモデルの登場を期待しています。

ユーザーサポートには満足しています。質問への回答が迅速で、FAQや教育資料などユーザーサポートサイトが他社と比較して充実していると思います。数値解析アカデミーも有効に活用させていただいています。また、STARだけでなく、modeFRONTIERを中心とした各ソフトウェアの連携や、システム構築の技術サポートにも期待しています。今後ともよろしくお願いします。

北田様 ● 解析結果処理ツールの改善を希望します。弊社では解析結果の評価・分析を大変重要視しています。STAR-Viewを使ってみましたが、我々が望むレベルの機能が搭載されていませんでした。誰もが手軽に結果評価できるツールを提供していただけると助かります。

冒頭に申し上げましたクロスフローファンの解析を出発として、御社とお付き合いが始まった頃から文字通り一緒になって、技術を構築していただいた歴史があります。今後是非良きパートナーとしてご協力よろしくお願いします。

— 貴重なお話とご意見をいただき、本当にありがとうございました。今後も御社のご研究や設計にお役立ていただけるよう精進いたしますので、引き続きどうぞよろしくお願いいたします。最後に御社のPRをお願いします！

北田様 ● 実現象との相関性を追及しCAEにこだわり、実験にこだわって開発を行っています (現地・現物 + 理屈)。それらを活かした製品を作っていますので、今後もデンソーエアコンをよろしくお願いいたします！



※本文中の所属名称等は、インタビュー当時のものです。

●インタビュー後記

インタビュー中にクロスフローファンの解析に取り組まれていた頃のお話が出ましたが、弊社においても、CAEツールを販売する会社として、技術サポート力をつけることの重要性を痛感し、会社の根幹に大きく影響した案件の一つとなりました。今回のインタビューでは特に、デンソー様でのCAE活用のご状況をお聞きするとともに、僥倖ながら弊社のこれまでを振り返る良い機会となりました。

(文責：営業部 増田 健一郎・中井 公子)

株式会社 デンソー

本社所在地：〒448-8661 愛知県刈谷市昭和町1-1

資本金：1,874億円 (2011年3月31日現在)

株式会社IDAJの事前の承諾なしに、本記事の全部または一部を、私的使用など法律によって認められる範囲を超えて、これらの情報を使用 (複製・改ざん・頒布・公衆送信・上映等) することを禁止します。また、ダウンロード・プリントアウトされた複製物を、不特定または多数の人へ送信・配布することはできません。

株式会社 IDAJ | 〒220-8137 横浜西区みなとみらい2-2-1-1 横浜ランドマークタワー37階
TEL: 045-683-1990 E-mail: info@idaj.co.jp http://www.idaj.co.jp/

社名変更のご挨拶

■ 2012年4月、CDAJはIDAJへ

すでにご案内申し上げましたが、弊社は2012年4月1日をもって「株式会社 シーディー・アダプコ・ジャパン」から「株式会社 IDAJ」へ、社名変更いたしました。

ロゴマークに付した「integrated digital advanced solution」は、統合環境において先進的なデジタル・ソリューションのご提供を目指すことを意味しており、頭文字の一部を社名の中にも取り入れています。

新社名

- ・和文表記: 株式会社 IDAJ (称呼 アイディーエージェー)
- ・英文表記: IDAJ Co., LTD.
- ・新URL: <http://www.idaj.co.jp/>

※代表者・本社・支社所在地、連絡先(電話番号・FAX番号)の変更はございません。

新ロゴマーク



■ 変わらぬ取り組み姿勢と、新技術へのチャレンジ

IDAJはこれまで、お客様との多種多様なお仕事の中で、貴重な経験を重ね、多くのことを学ばせていただきました。それが、現在のIDAJを作り上げたとしり上げて過言ではありません。これまでと変わらず、お客様の課題解決にお役立ていただけるようなご提案やコンサルティングがご提供できるよう努めて参ります。

重ねて、昨今のCAEを取り巻く環境の変化に対応するため、新しい技術の採用や、その利用技術構築にもこれまで以上に積極的に取り組んでいく所存です。

「IDAJだからこそ」

「IDAJしかできないこと」

「IDAJになら任せられること」

を一つ一つ増やしながら、お客様のご期待に沿うべく研鑽努力いたします。

■ 社名変更にあたって

以下の製品名称やサービス名称等を変更いたしました。

製品名称

(旧) CDAJ-Modeler → (新) IDAJ-Modeler

(旧) CDAJ-FIELDVIEW → (新) IDAJ-FieldView

サービス名称

(旧) CDAJ数値解析アカデミー → (新) IDAJ数値解析アカデミー

(旧) CDAJ news → (新) IDAJ news

※名称変更にあわせて、本号よりオンライン化いたしました。

お取引銀行口座

	変更前(2012年3月31日まで)	変更後(2012年4月1日から)
口座名義	株式会社 シーディー・アダプコ・ジャパン カ) シーディー・アダプコ・ジャパン	株式会社 IDAJ カ) アイディーエージェー

お問い合わせ窓口・技術サポート窓口メールアドレス

以下のWebページをご高覧ください。

TOP > ニュースリリース >

2012年4月1日から株式会社 シーディー・アダプコ・ジャパン(CDAJ)は株式会社 IDAJへ

http://www.idaj.co.jp/newsrelease/popup/2012_IDAJ_greeting.html

その他

旧CDAJ Webサイト内ユーザーサポートセンター閲覧のための「ユーザーID」と「パスワード」は、新IDAJ Webサイト内ユーザーサポートセンターでも引き続きご利用いただけます。



今後も、何卒倍旧のご指導ご鞭撻のほどよろしくお願い申し上げます。

(文責: 営業部 中井 公子)

株式会社IDAJの事前の承諾なしに、本記事の全部または一部を、私的使用など法律によって認められる範囲を超えて、これらの情報を使用(複製・改ざん・頒布・公衆送信・上映等)することを禁止します。また、ダウンロード・プリントアウトされた複製物を、不特定または多数の人へ送信・配布することはできません。

株式会社 IDAJ | 〒220-8137 横浜市西区みなとみらい2-2-1 横浜ランドマークタワー37階
TEL: 045-683-1990 E-mail: info@idaj.co.jp <http://www.idaj.co.jp/>

CD-adapco発行“dynamics”から、海外の事例をご紹介します。

■ 自動車関連事例： より大規模に、より高精度に、モータースポーツCFD

Alex Read (CD-adapco)

より大規模な方がよい。モータースポーツにおけるCFDの世界ほどこの言葉が当てはまることはないでしょう。チームメンバーは限界に挑み続け、億単位のセルを使ってシミュレーションをおこなっています。モータースポーツにおけるCFDはF1を支える大黒柱であり、NASCAR (National Association for Stock Car Auto Racing) でも空力、アンダーフードの熱管理、エンジンのシミュレーションなどCFDの利用が急増しています。ここでは、F1ならびにNASCARに参戦するチームによる、CD-adapcoの新しい技術ソリューションであるSTAR-CCM+を使った、より大規模かつ高精度の流れおよび熱のシミュレーションモデルの作成、設定、実行、結果処理の方法をご紹介します。

1. なぜ大規模なのか？

レースチームがCFDを利用する目的は、物理実験を補助し、拡張することです。CFDを使うことによって、最適なデザインを特定し、それらのデザインだけを実験対象とするための、高額な風洞実験の回数を減らすことができます。さらに、実験では入手困難な情報を手に入れることも可能です。また、CFDを使って、NASCARのアンダーフードの熱管理、エンジンルームの流れ場と温度場を詳細に可視化することができます。外部空気力学に関しては、設計図作成段階で車の正面と背面のダウンフォースを平衡させることも可能です。

それ以外のレースチームの要求事項は、他のすべてのシミュレーションエンジニアと共通で、正確な結果を導き、短時間で堅固なモデリングを実現することですが、これは、コンポーネント間に強い相互依存関係がみられる外部空気力学のような分野では特に難しい問題です。例えば、F1車のリヤウィングの性能は、車のフロントのコンポーネントの設定によって変わります。また、その逆も言えます。そこで、F1チームは、車全体の詳細モデルを作成して、車の全パーツについて正確な空力解析をおこないます。NASCARでも同様に、車、空気力学、そして物理的接触の相互作用がレースの鍵となります。車にはバンパーやドアレバーもあるため、他の車に接近したときのフロントとリヤのダウンフォースに対する影響と、エンジンルームへの空気の流れを理解することが、成功と失敗の分かれ目となります。

「(現在使っている)このコンピュータで、何億ものセルをひとつひとつ保存し、解析できるだろうか？」という疑問は昔から指摘されています。コンピュータの性能が十分であれば、今度は「このCFDツールで、何百ものプロセッサを並列稼働させながら、膨大な計算資源を十分に効率的に使って、妥当な時間内にケースを作成、実行し、結果を処理できるだろうか？」という問題が浮上します。

CD-adapcoには、レースチームが抱えるこうした問題を解決してきた輝かしい歴史があります。2年連続のF1ワールドチャンピオンを獲得したINGルノーチームは、数あるCFDツールの中でも2001年からCD-adapco提供のツールを採用しています。最新のSTAR-CCM+は、複数のトップレベルのモータースポーツチームが開発段階から定期的に評価や仕様の決定に使っています。

CD-adapcoの自動車産業ディレクターRichard Johns氏は次のように述べています。「約5年前、白紙の状態からSTAR-CCM+の開発を開始しました。そこには、最新のコンピュータ技術だけでなく、過去20年間に及ぶツールの開発とCFDの利用技術から学んだすべてのことを取り入れました。また、CD-adapcoではユーザーをクライアントではなく、パートナーと考えているため、当社のノウハウだけでなく、モータースポーツ界のパートナーの方々が、STAR-CCM+の仕様決定や開発進行の見直しに重要な役割を果たしてくださいました。」その結果、モータースポーツCFDに革命をもたらし、STAR-CCM+を使って、それぞれのチームはこれまで以上に多数の計算セルを含む詳細モデルを実行できるようになっただけでなく、解析時間を短縮することができました。

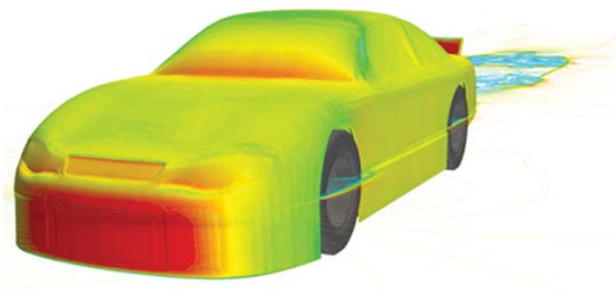


図1 車の表面の圧力係数と速度の大きさの等値線

2. テクノロジー

CFDコードで主に重視されるのは、多数の計算セルに対してナビエ・ストークス方程式を解く時間です。同様に、数日あるいは数週間かかることもあるモデルの作成、設定、結果処理に要する

時間も重要です。STAR-CCM+の鍵となる技術は、極めて大規模なケースを処理するプロセスです。

第一に、シミュレーションプロセスのすべてのステップ、つまりCAD形状から結果処理までの全ステップが1つのツールに統合されている点です。この統合により、時間を大幅に節約することができます。複数のツール間で大きなデータセットをやり取り（エクスポート、インポート）する必要がなく、また他のツールでパラメータを再指定する必要もありません。このため、設計研究を繰り返す場合でも時間を節約することができます。第二に、STAR-CCM+では最先端技術であるクライアント/サーバー・アーキテクチャを採用している点です。サーバーは並列クラスタ上で稼働して数億ものセルの動きを分散し、一方で軽量のJavaクライアントは必要な情報の受け渡しだけをおこないます。つまり、クライアントがケースの設定、実行、結果処理を担い、サーバーが並列ハードウェアをコントロールすることで、モデル実行の所要時間を大幅に削減することができます。

3. 限界を超える

CD-adapcoではこれまでに、ポリヘドラルセル10億個(数10億個のテトラセルに相当)を含むメッシュを使って、40台も連なった車のシミュレーションを実施しました。シミュレーションの目的は2つです。1つはごく狭い範囲にある複数のNASCAR車の間の複雑な相互作用をシミュレーションすること、もう1つは既存のハードウェアでSTAR-CCM+をどの程度駆使できるかを確認することでした。

計算の始めに1台の車のメッシュを作成し、基本の抵抗、揚力、ヨーイング力の値を得ました。次に2台目の車を加えて一列に並べて解析を実行し、あたかも追い越しを始めるかのように間隔(オフセット)を設定しました。ドライバーは、ドラフティング・フォーメーションにおいて、双方の車の抵抗を減らし、揃って速度を上げることを目標とします。2台目が正しい位置にあれば、先頭車の後ろには圧力増加効果があるため、全体として抵抗が小さくなりますが、この効果は車の位置に大きく左右されます。時には、先頭の車が車上の空気を偏向させるため、2台目の抵抗が小さくなることもあります。後続車は埃の中、つまり強い乱流後流の中にいるため、後ろの車の抵抗力は先頭車よりも大きくなるという場合もあります。また、それぞれの前後の揚力が車の位置によって変化し、後ろの車がオフセットにあるとき強くヨーイングが起こるために、両車ともハンドリングに影響が出ます。空気力学のエンジニアたちは、こうしたシミュレーションから、車周りの複雑な流れパターンを詳細に可視化することに成功しました。

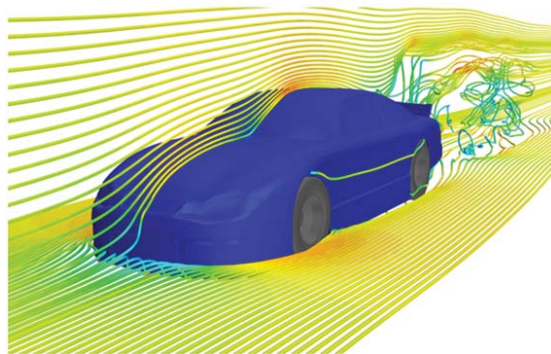


図2 1台の車のシミュレーション

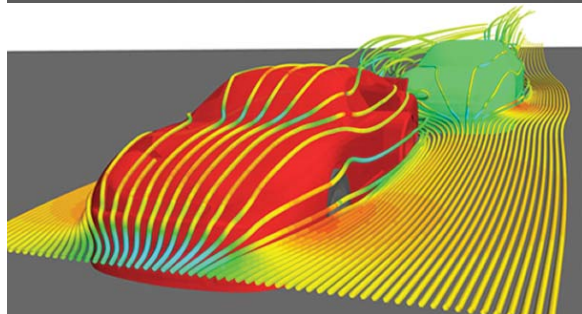
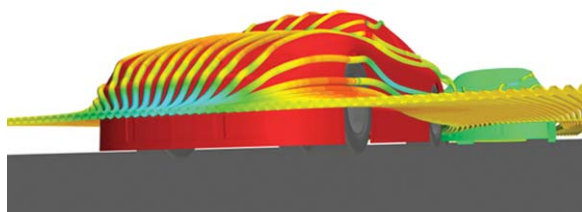


図3 ドラフティング-2台の車のシミュレーション

次にモデルを拡張し、多くの車が不規則な間隔にある極めて複雑なレース環境で何が起こるかを予測しました。モデルの作成には「ビルディングブロック」法を採用し、1台の車とその車の近傍のメッシュを作成しました。次に、作成した2台の車を一列に並べました。つまり、数珠繋ぎになった車にオフセットを設定し、作成したメッシュをコピー/ペーストしました。車の間隔を変化させるために、スパーサーメッシュの断面を使用しました。この方法で、不規則に配置された40台の車のモデルを、総メッシュ数10億個で生成しました。この数は今日の標準からすると感動的ですが、Richard Johns氏は、近い将来、数10億個のセルの計算が一般的になるであろうと述べています。「ハードウェアベンダーは、より大きく、より速いマシンを次々と送り出しています。そして、それぞれのレースチームが計算したいモデルのサイズも大きくなっています。STAR-CCM+を使って、確実にこうした膨大な計算を効率的に処理することが私たちのゴールです。CD-adapcoは10億個までの処理を可能にしましたが、将来には、確実にこの数をはるかに超えるでしょう。

4. 流れだけでなくその先へ

もちろん、空気力学はモータースポーツ向けCFDの用途のひとつに過ぎません。NASCARの各チームは、流れ場と温度場を詳細に理解するために、アンダーフードの熱管理シミュレーションにCFDを使用する機会が増えています。この場合、CFDツールは非常に複雑な形状に自動的にメッシュを作成し、ファンや熱交換器、そして対流や輻射による熱伝達を効率的にモデル化するために必要な物理現象を処理できなければなりません。CD-adapcoには10年以上に渡るアンダーフードのシミュレーションの実績があります。Richard Johns氏によれば、「CD-adapcoのコードは、世界中のパワートレインチームに試され、信頼されてきたソリューションです。パワートレインはSTAR-CCM+を開発する際に目標とした用途のひとつでした。CD-adapcoの最先端のサーフェスラッパーとアンダーフード専用モデルを組み合わせるといことは、単なる流れのコードをはるかに超えるものを意味します。」

STAR-CCM+の心臓部は、強力なサーフェスラッパーをCD-adapco独自のメッシング技術に連携させた自動プロセスです。サーフェスラッパーはサーフェスのクリーンアップに要する工数を大幅に減らします。また、複雑な形状パーツのアセンブリに関わる問題について、メッシングプロセスの総所要期間を、日単位ではなく時間単位にまで短縮します。サーフェスラッパーは、高品質な三角形要素化されたサーフェスメッシュを任意の形状モデルの上に「シュリンク・ラッピング」し、形状の穴を閉じ、不連続に重なり合うサーフェスを結合します。これで、ユーザー操作の不要な計算メッシュを自動生成するための単一の多様体サーフェスが作られます。STAR-CCM+は、ファンや熱交換器を効率的に表現するための専用モデルも持っています。

5. 一歩先を行く

F1からNASCARまで、モータースポーツCFDはさらに拡張し、向上を続けています。それぞれのチームは一段と高いCFDの限界に挑んでいるため、使用するツールには各チームが求める能力が不可欠です。「最先端の技術を取り入れ、CD-adapcoとのパートナーシップで積み上げたノウハウを組み合わせ、そして、STAR-CCM+を利用すれば、レースチームはより大規模なモデルを実行し、より速く、最終的にスターティンググリッドの先頭にとどまることができるでしょう。」(Richard Johns氏)



図4 大規模なシミュレーション

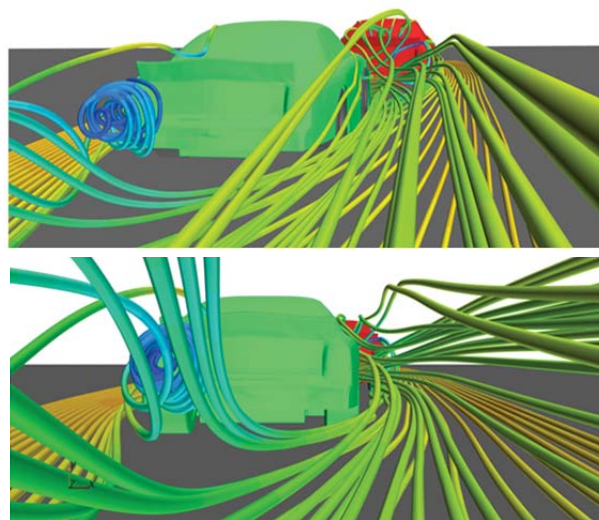


図5 速度の大きさで色分けされた流線

(翻訳: 営業部 太田 喜世子)

株式会社IDAJの事前の承諾なしに、本記事の全部または一部を、私的使用など法律によって認められる範囲を超えて、これらの情報を使用(複製・改ざん・頒布・公衆送信・上映等)することを禁止します。また、ダウンロード・プリントアウトされた複製物を、不特定または多数の人へ送信・配布することはできません。

株式会社 IDAJ 〒220-8137 横浜市西区みなとみらい2-2-1-1 横浜ランドマークタワー37階
TEL: 045-683-1990 E-mail: info@idaj.co.jp http://www.idaj.co.jp/