

# 技術者精神から生まれたCAE

## ～自動車塗装シミュレーションVirtualPaintShop®～

CADFEM GmbH 近藤晶子

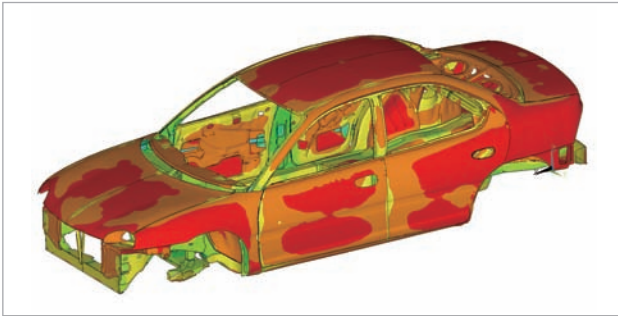


図1 VPS/DRYで解析した車体構造上の温度分布結果

デジタルツールの導入はしばしば悪者呼ばわりされることがあります。それは、真に重要な人やその人が持つ長年のノウハウや日本独特の組織力を無視して、強引にデジタル化に踏み切ってしまうことがあるからでしょう。しかしCAEが広く利用されるようになるほど現場の課題として浮き彫りになる技術共有・継承や教育・啓蒙は、CAEを工夫して使うことで解決の糸口が見つかるものです。そもそもCAEは確かな技術力をデータとして恒常的に維持し、その基盤の上に人の手による洗練された技術を構築する手助けとなる道具だからです。それは現在の危機的状況下で徹底的なコスト圧縮を強いられていようとも変わりはありません。CAEがコストとなってしまうのか、あるいはコスト圧縮策となるのかは運用次第です。今まさに苦境の真只中ではありますが、視点を変えればCAEのあり方をじっくり論ずる好機が訪れているようです。

今回、ANSYSをダイナミックに応用した例として、これまであまりCAEの記事で採り上げられなかった自動車塗装への適用製品をご紹介させていただくことになりました。これはもともとドイツの自動車メーカーへのANSYS導入から端を発した大きな開発プロジェクトであり、開発当初から10年経った現在も機能を拡張し、欧州をはじめとする多くの自動車メーカーに採用されているものです。ここで紹介するツールは塗装という特殊な分野であるため、多くの読者の皆様が直接利用されるようなツールではありませんが、躊躇せずCAEを技術革新の道具として採り込んだ興味深い例としてご覧いただけるのではないかと思います。

### 1 塗装工程へのシミュレーションの適用 ～VirtualPaintShop®の誕生～

自動車開発において衝突やNVHあるいは疲労問題といった分野へのシミュレーション活用はよく知られていることでしょう。近年では設計段階への積極的なシミュレーションの導入によって、1万点を越えると言われる自動車のあらゆる部品の挙動や構造問題は、それに関わる様々な物理現象とあわせてCAEで事前確認されています。また生産加工の現場でも板成形や鋳造、鍛造などCAEでその現象予測を行うことはずいぶん前から行われています。即ち自動車開発はもはや

シミュレーション技術抜きには語れず、CAEが自動車産業の鍵を握っていることは言うまでもありません。そのなかであって、製造段階での車体塗装はCAEの適用が比較的遅れている分野でした。車体塗装は複雑な製造プロセスのひとつです。脱脂、水洗い、表面調整とリン酸処理などを行う前処理と、電着塗装から水洗い、焼き付けまでを行う下塗り塗装、水漏れ防止のシーリング、その後主に静電塗装を用い焼き付けまで行う中塗り塗装や上塗り塗装があります。つまり、個々の部品の構造設計の確認とは違い、塗装工程に含まれる現象が非常に複雑でシミュレーションで可視化すること自体が難しいばかりか、計算結果が実現象の評価に使えるようになるための事前すり合わせにも時間と経験を要すること、さらに工程や設備そのものを頻繁に変更することがないためシミュレーション導入の機会やタイミングがなかったことなどがCAEの活用を阻んでいたわけでした。しかしながら、長期的な自動車のパフォーマンスを考えると、自動車メーカーにとって腐食に影響を与える塗装品質の向上は重要な課題です。また前述のように塗装工程全体は非常に複雑であり、その工程自体を改良することは大幅なコスト削減や様々な資材の節約ひいては今後より一層重要視される環境問題にも大きく寄与します。そして年々激化する国際的な販売競争の中にあって、他から秀でた技術を蓄積し、先手を打って優れた製品を市場に投入することはどの分野の製造業にとっても忘れてはならない使命です。そこで、この塗装品質の向上や塗装工程の改良をコンピュータシミュレーションで実現するというこれまでにない大きな課題に挑むため、CADFEM GmbHは1997年に、ANSYSソルバーをベースにした塗装シミュレーションツールの開発に着手しました。その際ANSYSが選ばれたのは、その幅広い連成解析機能が塗装工程のシミュレーションニーズに適していたからです。当時BMWグループ向けのカスタマイズからスタートしたこのツールは、製品名VirtualPaintShop®として、2002年より国際的に広く販売を開始し、現在では塗装工程の様々な現象をシミュレーションする包括的なソリューションとなりました。

このVirtualPaintShop®は、自動車開発工程において車体設計の初期段階に塗装品質、塗装工程および塗装による車体への影響を評価するシミュレーションツールです。電着塗装や静電塗装、焼き付け乾燥、浸漬、硬化など先に挙げたような塗装の各工程を可視化し事前評価するだけでなく、塗装による構造への影響まで評価できることが特徴です。つまり乾燥炉での車体の熱変形や応力、あるいは電着槽への浸漬の際に加わる車体への力の影響なども検証項目に入っています。たとえばマグネシウム、アルミニウム、ポリマーなど異なる材料で構成される近年の車体構造や局所的に剛性や質量濃度が大きく違う構造（スペースフレーム技術を採用した車や、オープンカーなど）は、硬化プロセスによって高い応力が出る傾向にあります。そのような構造上の影響にまで配慮することは安全面で高品質を保つために無視することではなく、その意味で車体構造の設計と製造工程を互いに関連付けて事前評価することはとても重要なことです。VirtualPaintShop®は、段階的に発生する問題を統合的に解決することで車体設計全体の改善に貢献するものです。

## 2 VirtualPaintShop®ユーザー様の声 BMWグループ Stefan Kern氏

「現在VirtualPaintShop®(=VPS)はBMWグループの設計工程に完全に統合されています。新規ホワイトボデーの開発の際には衝突および疲労のシミュレーションを実施しますが、それと同時にこれらホワイトボデーの90%はVPSによっても検証されます。この残り10%は、既に検証が行われマイナーチェンジが施されているものです。シミュレーションの費用はプロジェクトの独立予算内で十分カバーできています。VPSによるシミュレーションを行えば代替の設計コンセプトも検証でき、望ましい硬化と腐食・錆防止のための最適な温度分布を得ることが可能です。わたしたちの電着炉のパラメータセットのほとんどは較正作業を行った後VPSのデータベースに追加されており、その後の調整は社内で行っています。またBMWではVPSを使用することによって設備面でも大きな節減を達成しました。」

(“CADFEM Infoplaner, 1/2005” =2005年発行のCADFEMニューズレターで紹介されたStatementをそのまま引用しています。)

## 3 塗装シミュレーションツール VirtualPaintShop®各モジュールの紹介

それではここでVirtualPaintShop®を構成する各モジュールについてご紹介していきましょう。

### VPS/DIP (Dipping into liquids = 浸漬)

→VPS/DIPは、電着塗装や前処理あるいは洗浄のために液体で満たされた槽へ入出するホワイトボデーの浸漬を解析し、発生する気泡を減少させ残留流れを除去するための最適な経路を発見するものです。実際の車体の構造は200から300のキャビティが互いに結合して構成される非常に複雑なものです。このモジュールによって目視では困難な気泡の含有を正確に見つけられます。

#### <主な機能>

- 構造中の気泡や残留流れがある致命的な個所の発見
- 気体や流れの残留を低減するための構造修正
- 槽の汚染を低減するための浸漬後の残留流れの解析およびその最小化

- VPS/EDCシミュレーションのためのホワイトボデーの最適化
- 浸漬曲線の作成または最適化

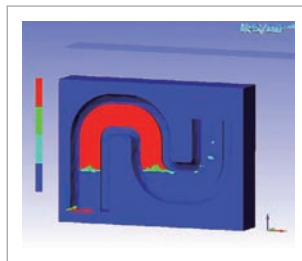


図2 浸漬されたサイフォン内部の流体部(青)と気体部(赤)の表示



図3 ホワイトボデー上の浸漬シミュレーション結果

### VPS/EDC (Electrodeposition coating = 電着塗装)

→VPS/EDCを利用することにより、電着槽内部の静電場によって塗布される完成車上的下塗り塗膜を計算することができます。電着塗装は車体にとって主要な腐食防止システムです。車体が塗料槽に浸漬され、陽極と陰極(車体)に電流が流れると車体の内外表面に塗料が塗布されます。十分な腐食防止のためには通常10μm以上の厚みが要求されますが、この塗膜の厚み分布を把握するためにVPS/EDCが利用されます。この解析にはANSYSソルバーが採用されています。

#### <主な機能>

- 塗膜厚が不十分となる致命的な個所の発見
- キャビティ内への電流の侵入を改善するための構造修正
- 電界プログラムやタンク内の陽極の適合とその最適化
- 塗料の変更による効果の解析
- 電力や塗料などの資源の消費の解析
- フェイルセーフ設計による生産損失の低減
- 工程中の品質検査の費用削減

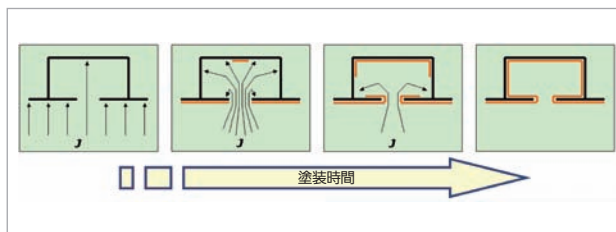


図4 取り囲み効果の特性

## サイバネットシステムの 長年のパートナー CADFEM GmbH

1985年にドイツ・ミュンヘン近郊のGrafing(グラフィン)で2名の技術者によって設立されたCADFEM GmbH(キャドフェム ゲーエムペーハー)は、現在では100名以上のエキスパートを抱えるCAEのトータルサプライヤーへと成長しました。CADFEMは同社が持つ高度な専門知識と技術によりCAE業界において高い評価を得ており、ドイツ国内だけでなくヨーロッパさらにはその他の諸外国に至るまでグローバルなCAEものづくり支援活動を行っています。設立当初より基幹ソフトウェアとも言えるANSYSの技術サービスを継続していますが、今日ではANSYSソフトウェアの販売、技術サポート、

トレーニング、コンサルティング、カスタマイゼーションなど総合的なサービスを行い、日本のサイバネットシステムと並んで、ANSYSの世界最大の代理店としてもその名を知られています。ドイツではマイスター、日本では匠という言葉があるように、ドイツと日本はものづくり=製造業が国力の重要な要素となっていますが、そのものづくり現場でのCAE活用も両国は非常に盛んであり多くの成功事例が見られることでも共通しています。そのような背景からサイバネットシステムとCADFEMは長年親交が深く、良きパートナーとして互いの経験や技術情報の交換を行い、それぞれの国内のものづくり支援に還元してきました。また最近ではグローバルに拠点を置くお客様を連携しながら支援しており、たとえばドイツや日本の製造業の進出がめざましい中国においては共同出資会社CCA

Engineering Simulation Software(Shanghai) Co., Ltd.を立ち上げ、両社のノウハウを生かした技術支援を行っています。今回ご紹介した塗装シミュレーションは古くから自動車産業界が根付いているドイツならではの取り組みとも言えますが(日本も世界をリードする自動車産業界ですが)、このように日本とは違うあるいはまだ日本では実現できていない技術やノウハウをサイバネットシステム&CADFEMの強力なパートナーシップによって国内の製造業の皆様にご紹介することで、日本のものづくりの発展の助けになれば幸いです。

CADFEM GmbHに関する詳細はこちら  
<http://www.cadfem.de/>

日本でのお問い合わせはこちら  
CADFEM GmbH, Japan Marketing 近藤晶子  
akondoh@cadfem.de

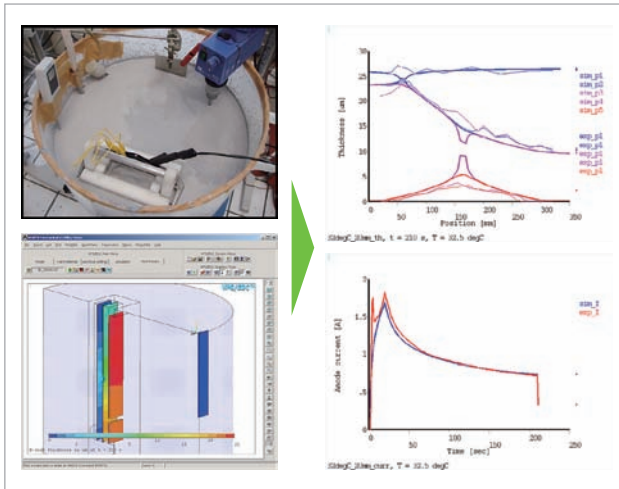


図5 実験のセットアップと電着速度のシミュレーションデータとのすり合わせ

### VPS/ESC

(Electrostatic or pneumatic coating = 静電塗装)

→VPS/ESCは、StuttgartにあるFraunhofer IPAとの共同開発製品です。VPS/ESCにより車体塗装の静電塗装加工をシミュレーションすることができます。流体と静電場の解析を実行しており、ここではソルバーにFluentを採用しています。

#### 〈主な機能〉

- 噴霧中の粒子移動の解析
- 膜厚分布の検証
- 静電的に運ばれる被覆物の運搬効率性の解析

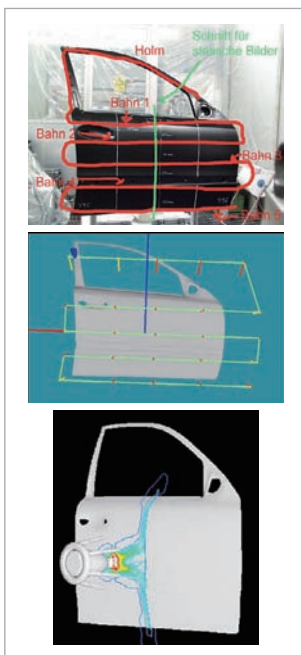


図6 ESCプロセスプランニングとシミュレーションのための経路入力および静的なスプレーパターン

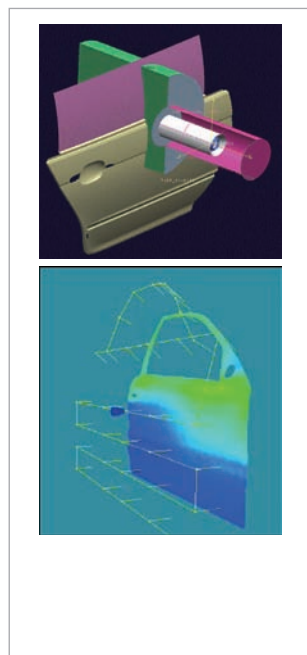


図7 ESCシミュレーションモデルと結果

### VPS/DRY

(Thermal drying = 熱乾燥)

→VPS/DRYは、乾燥炉の設計検討を目的とするだけでなく、乾燥工程中のホワイトボデーへの影響も同時に評価し、車体の任意の場所における時間依存の詳細な温度変化や、特定の温度以上の滞留時間などを計算するものです。乾燥炉は100mにもおよぶとても長く異なる熱作用が働くセクションを含んでいます。VPS/DRYによってこれ

ら炉の熱源から車体へのエネルギー移動を解析することが可能となります。なお、ここでは車体内部の接合ジョイントや下塗りの複数の塗膜も含め様々な材質が使われているホワイトボデーが考慮されています。そして設計の初期段階において温度勾配の観点からコールドスポットや致命的な場所を特定することができます。この熱伝導、熱伝達、輻射、応力解析にはANSYSソルバーが用いられています。

#### 〈主な機能〉

- 選択した温度幅の範囲内での滞留時間の確認
- 塗料と接着剤の硬化の確認
- 焼き入れの状態確認
- 熱変形および応力解析

### VPS/UV

(Ultraviolet curing = 紫外線硬化)

→VPS/UVはFraunhofer IPAとFusion UV Systems, Inc.そして自動車メーカーが共同開発した車体全体を含む複雑な構造の紫外線硬化プロセスを可視化する強力なシミュレーションツールです。照射と照射量はランプの位置と動き、ランプの数、出力、搬送スピードなどによって計算されます。VPS/UVは以下の機能を提供することで解析専門家や塗装技術者の双方が硬化プロセスを評価できるようにしています。

#### 〈主な機能〉

- 塗装膜表面や他の反射面における紫外線の吸収や反射の評価
- 紫外線ランプとワークピースとの間の相対的な動きの修正や表示
- プロセスフローの時刻歴解析
- 照射条件と硬化品質との間の相互関係化

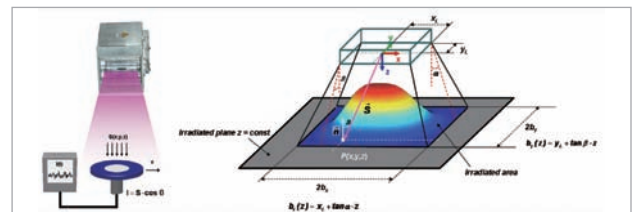


図8 ランプモデル

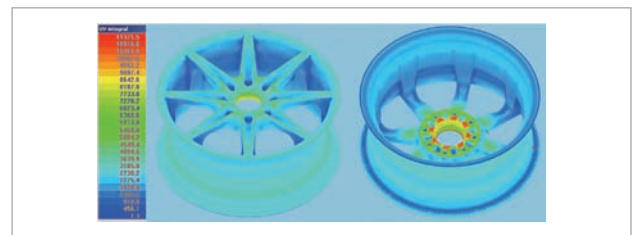


図9 ホイールリム上の紫外線量率

以上にあげたモジュールのほか、VPS/DIPとVPS/EDCのシミュレーションで使用するCAEマスター形状作成とメッシュ生成のためのVPS/CATIA Toolkitや、CATIA Toolkitのプロジェクトの発展から開発が進んだ追加ソリューションVPS/APA (Acoustic Path Analyzer = ホワイトボデーの空気伝播音の音響経路を解析するためのモジュール)、またVPS/DRYの乾燥工程のための追加ソリューションとしてVPS/KIN (Chemical Reaction Kinetics = 乾燥工程における塗料と接着剤の化学的硬化の状態と材料特性をチェックするためのモジュール) などが製品ラインとして用意されています。VirtualPaintShop®の日本国内での販売は、サイバネットシステム株式会社様に代理店として行っていただいています。

#### お問い合わせ

サイバネットシステム株式会社 メカニカルCAE事業部 営業部  
TEL : 03-5297-3081 E-mail : anssales@cybernet.co.jp