



新たな構造・工法・素材に見る自動車の進化②

自動車技術会 構造強度部門委員会 シンポジウム

「未来のモビリティ社会に貢献するバーチャル開発」取材

宮田 湧希（東京都市大学大学院 総合理工学研究科 機械専攻）

更新日：2020年3月18日

1. はじめに

2020年1月17日、日本大学 CST ホールにてシンポジウム「未来のモビリティ社会に貢献するバーチャル開発」（企画：自動車技術会 構造強度部門委員会）が開催されました。構造強度部門委員会ではシンポジウムを隔年で企画・開催しています。今年は、自動車の衝突安全性開発を含む構造設計とそれに対する CAE 技術の適用という観点で、自動車メーカーで車両開発に携わる方々にご講演を行いました。本シンポジウムには自動車業界の方を中心に約 70 名の方が参加し、3 件の基調講演、7 件の一般講演が行われました。

私は大学院で自動車の構造に関する研究を行っており、車両開発の中でも構造の設計やそれを形にする加工の方法、さらに構造に用いる材料等に関心があります。そのため 5 月に開催された「人とくるまのテクノロジー展 2019」では自動車の構造に関わる内容を取材し、「新たな構造・工法・素材に見る自動車の進化」として報告させて頂きました (https://www.jsae.or.jp/student/docu/report_20190522_1.pdf)。

今回は引き続き車体構造の技術および CAE を用いた設計方法に関して知識を深めるため、「新たな構造・工法・素材に見る自動車の進化②」として取材を行いました。本レポートでは各講演の内容のほか、構造強度部門委員会の委員長である大宮 正毅氏にもインタビューをさせて頂きましたので、記事後半ではそちらの内容についてもまとめます。



図 1 会場の様子

2. 講演内容

2-1. 基調講演 1 「自動運転の実現に向けた国土交通省の取り組み」

講演：平澤 崇裕氏（国土交通省）

国内における死亡事故のほとんどが運転者の違反に起因することから、自動運転により交通事故による死者数を大幅に減らせることが期待されます。また最近ではドライバー不足により、バスやトラックの自動運転や隊列走行の実用化が求められています。

本講演では自動運転の実現に向けた日本としての取り組みについてご講演されました。ここでは特に以下 2 つのテーマについて取り上げます。

①自動運転に関わる安全基準の策定

自動運転の実現には関連技術の開発が必要であることはもちろん安全基準の策定も必要です。国連の自動車基準調和世界フォーラムにおいて、日本は専門家会議の議長・副議長を務めるなど、安全基準の策定に関して議論を主導してきたとのことです。

自動車は日本の主力製品です。国際的に自動運転化が進む中、国外でも自動車の商品性を維持するためには、こうした国際的なルール整備に国として積極的に参加することが非常に重要だと感じました。

②自動運転車の安全技術ガイドライン

国交省は 2018 年、自動運転車の安全目標として世界初となる「自動運転システムが引き起こす人身事故がゼロとなる社会の実現を目指す」という目標を設定しました。また自動運転車が満たすべき車両安全の定義を「自動運転車の運行設計領域において、自動運転システムが引き起こす人身事故であって合理的に予見される防止可能な事故が生じないこと」と決めました。

安全基準の明確化が社会からの自動運転車に対する信頼を高め、自動運転の普及につながるのだろうと思います。また近い将来、私たちが自動運転車による事故の加害者や被害者になる可能性も出てくるでしょう。自動運転技術の発達に応じ、道路交通法を含めて法整備がどのように進められていくのか、今後の動向を注視する必要があるといえます。

2-2. 基調講演 2「バーチャル化する自動車産業」

講演：野辺 継男氏（インテル(株)／名古屋大学）

近年、自動車産業においては CASE^{*}と呼ばれる新しい領域で技術革新が進んでいます。そして CASE と同様、MaaS^{*}と呼ばれる新たな移動の概念も大きなキーワードとなっています。

本講演では CASE がもたらす自動車産業における 3 つのバーチャル化についてご講演されました。

①システムのバーチャル化

これは CASE の加速を意味します。最も重要なのがコネクティッドであり、シェアリングはもちろん、3D マップや交通情報等を用いて走行する自動運転にも大きく影響します。電動化は販売後の車に対して機能・性能をアップデートできこうしたバーチャル化と相性が良いため、CASE の他の 3 つの要素と合わせて加速していくだろうとのことでした。

②ビジネスモデルのバーチャル化

CASE により、自動車は個人が所有するオーナーカーと公共性の高いサービスカーに二極化し、ビジネスとしてもドライバーに自動車を買ってもらう従来の形と、人や物に移動手段を提供する形とに二極化すると予想されています。そしてサービスカーはサービスプロバイダー（ICT 企業）が運営し、他の交通機関と組み合わせて全ての移動を最適化するようになります。これが MaaS（自動車ビジネスのバーチャル化）であるとのことでした。

③産業構造のバーチャル化

MaaS が進むと、製造能力を強みとする既存の自動車メーカーに代わり、人・物の流れを把握できるサービスプロバイダーが産業ピラミッドの頂点に立つと野辺氏は指摘します。そしてサービスを作るテックカンパニーはその下層、既存の自動車メーカーは、自動車を作るだけのビジネスを続けければその下の第 3 階層に移るとのことでした。

興味深かったのは、自動車市場の将来性です。私は当初、自動車ビジネスの中心がサービスになることで自動車が減ってしまうのではないかと考えていました。しかし野辺氏のご講演の中で、現在個人が所有するオーナーカーの稼働率が 4% であるのに対し、サービスカーでは稼働率がその 10 倍以上になり、代替サイクルが短縮されるという予測をされていました。加えてサービスの充実により移動需要が増えれば自動車の生産量は増える可能性があるとのこと、これは私にとって新たな視点でした。

また自動車メーカーがオーナーカーを作り続ける

ためには、ラグジュアリーブランドとして存在感を高め、自動車の所有満足度をこれまで以上に向上させることが求められるのではないかと思います。

※CASE：Connected（コネクティッド）、Autonomous（自動運転）、Sharing（シェアリング）、Electric（電動化）の頭文字をとった造語

※MaaS：Mobility as a Service：自家用車を除く全てのモビリティを 1 つのサービスとして捉え、IT 技術によりシームレスにつなぐ移動の概念

2-3. 基調講演 3「自動車部品の試作・製造における 3D プリンターの活用」

講演：岡根 利光氏（産業技術総合研究所）

積層造形とは材料を一層ずつ積み上げて立体形状を作成する手法であり、それを行う機器が 3D プリンターです。本講演では積層造形の種類と自動車部品への適用例についてご講演されました。

積層造形が実用化された 90 年代は、光硬化性樹脂といった強度が低い材料を使用するという制限から実用部材の製造はあまり用いられず、主に試作ツールとして用いていました。しかし近年は金属の使用が可能になったほか、樹脂についても高密度で積層する技術が発達し、生産技術として実際の製品製造に活用される動きが進んでいるとのことでした。

特に私が興味を持ったのは、積層造形と構造最適化^{*}との組み合わせです。最適化によって導かれる形状は複雑で、そのまま形とするには難しい場合があります。しかし加工の自由度が高い積層造形であれば相性が良く、既に自動車部品ではブレーキキャリパーやソフトトップ開閉用部品などに適用例があるそうです。積層造形が持つ従来の加工プロセスの制約にとらわれないという特徴は、設計段階での形状の自由度、使用する材料の自由度が上がるということでもあり、ものづくりにおいて積層造形が持つ可能性には非常に大きなものがあると感じます。

※構造最適化：力学的な根拠に基づく数値解析により、製品の最適な形状を導出する手法

2-4. 講演 1「新型 RAV4 の開発」

講演：太田 晃生氏（トヨタ自動車(株)）

RAV4 はトヨタ自動車が生産・販売する SUV であり、2019 年 4 月にフルモデルチェンジが行われました。本講演ではモデルチェンジにおいて検討された、①衝突時に乗員がケガをしないためのインストゥルメントパネルの形状、②良好な視界確保のための A ピラーの構造、③乗降性向上のためのサイドシルの構造、④居住性向上のためのフロア構造についてご講演されました。

特にサイドシルの構造については、衝突時にホイールがロッカーに衝突することを踏まえ、衝突の位置やホイールの材料を変えながら繰り返し解析を行ったそうです。その結果、構造のロバスト性を高めることができたほか、従来よりも小さい断面サイズで同等の強度を確保できたといえます。実車での衝突実験は一回に数千万円のコストがかかると言われていますが、部分的にパラメータを変化させてバーチャルで繰り返し実験を行える点が CAE の強みであると改めて感じました。

2-5. 講演 2 「CAE 技術を用いた MAZDA3 の車体開発」

講演：川本 篤史氏（マツダ㈱）

MAZDA3 はマツダが生産・販売する自動車であり、アクセラの後継モデルとして 2019 年 5 月に発表されました。本講演では MAZDA3 の開発における CAE 活用事例についてご講演されました。開発にあたっては、特に以下の 3 点に力を入れたとのことでした。

- ①精度向上：内装の変形やダミーの挙動の精度向上、溶接部の破断の再現
- ②領域拡大：オブリーク試験※、MPDB※への対応
- ③効率化：部品を選択すると自動的にそれらを組み合わせるモデリングシステムの開発など

先代モデルと比較して CAE の工数が約 4 倍になったのに対し、CAE と実験の両方を合わせた工数についてはほぼ変化していないとのこと、自動車開発における CAE の重要性を知ることができました。

※オブリーク試験：車両に対し斜め 15° 方向から台車を衝突させる試験

※MPDB：車両と台車の双方を動かして衝突させ、車両間の事故に近い状況を再現する試験

2-6. 講演 3 「新型タントの開発」

講演：稲岡 繁孝氏（ダイハツ工業㈱）

タントはダイハツ工業が生産・販売する軽自動車であり、2019 年 7 月にフルモデルチェンジが行われました。本講演ではモデルチェンジにおける CAE 活用事例についてご講演されました。

CAE においては、操縦安定性向上のためにフレーム結合部の剛性を検討したほか、エネルギー吸収に有利に働くように変形するフレームの構造検討などを行ったそうですが、私がとりわけ興味を持ったのがモデルの精度です。開発ではドアハンドルとドアロック機構についても詳細にモデル化し、側面衝突の際にドアが問題なく開くかどうかといった検討まで CAE で行ったそうです。コンピュータの性能向

上により、CAE で扱うモデルは年々詳細化しているとは伺っていましたが、そうしたことまでバーチャルで検討できているということには驚きました。

2-7. 講演 4 「新型ハイエースの見栄え向上 外板結合構造の開発」

講演：松村 幸昌氏（トヨタ車体㈱）

ハイエースはトヨタ自動車が生産・販売するバンであり、2019 年 1 月に海外向けとしてフルモデルチェンジが行われました。ハイエースは大型であるため、車体の外板が複数の鋼板を溶接して作られています。そのため悪路走行時、外板の継ぎ目で塗膜とシーラーが割れる問題があり、その評価はこれまで試作車を用いた試験に頼っていました。今回の開発では外板間の相対変位と塗膜割れの発生に相関があることを確認し、この結果を悪路走行シミュレーションと組み合わせることによって、試験前に塗膜とシーラーの割れを評価する手法を確立しました。

商用車であるハイエースは前回のモデルチェンジから 15 年が経っており、開発当時の知見が CAE においてはあまり役に立たなかったのだそうです。このこともあり、塗膜とシーラーの割れを精度良く予測する手法の開発に改めて取り組むことになったとのこと。それだけ CAE の導入によって車両開発のアプローチは変化しているということであり、そうした技術の変化に対応することが今後エンジニアに求められることだと感じました。

2-8. 講演 5 「バス固有の車体構造における CAE の活用」

講演：小田 明氏（いすゞ自動車㈱）

バスの構造として用いられるスケルトンボディは、鋼管を用いた骨格と薄板の外板を組み合わせたもので、多様な窓枠配置に対応できるという特徴があります。いすゞ自動車において、構造検討では構造の詳細なモデルに対し解析を行うのが普通だそうです。しかし大型路線バス「エルガ」のモデルチェンジを機に、軽量化の勘どころを把握するためスケルトンボディを簡易的に複数の梁で置き換えたモデルによる検討を行ったとのこと。

簡易モデルに対して複数条件で解析を行うことにより、各部材に加わる荷重や各部材が構造全体の剛性に寄与する度合いなどを把握することができ、構造の剛性を高めるための各部材の断面形状など、設計の方向性を定めることができたとのこと。

設計の初期段階では、構造全体であっても簡略化して検討することがあるということに驚きました。またそうした検討を行うためには、元となる構造を表現する範囲でどの部位をどれだけ簡略化するかという判断が重要になると感じました。

2-9. 講演 6「マスバネ手法を用いた歩行者保護構造開発」

講演：鈴木 一成氏（日産車体㈱）

日産車体は 2016 年、同社が生産する商用車である NV150 AD をマイナーチェンジしました。この開発の際、車両の全長を変更せずに従来モデルよりも優れた歩行者保護構造を検討するため、マスバネモデルを用いて構造検討を行いました。

従来は、部品を設計して 3D データを作成後、それをフルカーモデル(車両全体のモデル)に組み付けて解析し、改善点を分析して部品設計をやり直す、という流れで開発を行っていました。しかしそれでは部品の 3D データの作成やフルカーモデルの解析に時間を要し、設計サイクルを素早く回すことは困難です。そこで今回は部品をマスバネモデル化してパラメータスタディを行い改善していくことを繰り返し、マスバネモデルで十分に検討された段階で詳細な 3D 形状の設計に取り組んだとのこと。これにより詳細な 3D データがない設計の初期段階から素早く精度の良い構造検討が可能となり、開発着手から図面の手配までの期間を従来と比較して約 60%削減できたとのことで、検討手法の工夫でこれだけの工数削減ができるということに驚きました。

※マスバネモデル：対象物を 3D データとしてモデル化するのではなく、一次元的にマス(mass: 質量)とバネに置き換えた簡易的なモデル

2-10. 講演 7「軽衝突計算用樹脂部品簡易結合モデルの開発」

講演：松浦 範和氏（㈱本田技術研究所）

車が低速度で衝突した際、グリルやバンパーが脱落し、エアコンコンデンサーなどの部品が損傷する場合があります。これまではシミュレーションにおいてグリルやバンパーを固定するクリップの脱落を再現できておらず、今回はこの現象を再現するモデルの開発手法についてご講演されました。

クリップの形状を詳細にモデル化して解析を行うと、計算時間は大きく増加してしまいます。そこでクリップの結合部を単純な線要素でモデル化し、クリップが外れるレベルの負荷があればその要素を自動的に削除してクリップの脱落を再現するという手法を採りました。簡易モデルによって検討を行うことで、計算時間を大きく増加させることなくクリップ外れを表現することが可能となりました。

また簡易モデルの作成においては元となるクリップの形状によって線要素の特性を変更する必要がありますが、開発では機械学習によってクリップの形状を自動認識する画像認識モデルも構築しました。簡易結合モデルの作成を自動化したことにより、モ

デル作成に要する工数を 50%以上削減できたとのことです。

CAE で製品開発が効率的に行えるようになった時代だからこそ、その CAE の中でルーチンワークをいかに自動化して開発期間の短縮ができるかということが今後重要になると思います。

3. インタビュー

自動車技術会の部門委員会の一つである構造強度部門委員会は、車体構造、部品に関する CAE 技術の研究推進を目的とし、車体構造開発に必要な CAE 技術の調査・討議・研究を行っています(技術ロードマップ：https://www.jsae.or.jp/roadmap/pdf/tec_06-1.pdf)。

今回は、構造強度部門委員会委員長である大宮 正毅氏（慶應義塾大学）に、これからの時代における車体開発と CAE の活用についてお話を伺いました。

車体軽量化の今後のトレンドについて

——材料面での車体軽量化手法については、①高張力鋼*の使用、②鋼にこだわらないマルチマテリアル化*の大きく 2 つが挙げられます。現在の主流と今後の方向性について教えてください。

大宮氏：鋼は安価で大量生産もしやすいので、今は鋼の高張力化が主流となっています。アルミや FRP は鋼に比べると高価であり、特に FRP は性能や信頼性にまだ不透明な部分が多いです。いずれはこれらの材料も使ってマルチマテリアル化することになると思いますが、当面の間は鋼の高張力化によって軽量化を進めていくことになるでしょう。

※高張力鋼：添加元素や材料組織を制御し、鋼の中でも特に強度を向上させた鋼のこと（一般的に、引張強度が 490 MPa 程度以上の鋼を指す）

※マルチマテリアル化：様々な種類の材料を適材適所に配置し、製品の性能を高めること

——CAE で超高張力鋼*や FRP*を扱うにあたり、現在は具体的に何が課題となっていますか。

大宮氏：超高張力鋼は加工時に割れやシワが発生しやすいという特徴があります。また延性が低いために破断しやすいという性質もあり、そうした現象の予測技術の構築・精度向上が課題となっています。この辺りの研究は、構造強度部門委員会としても取り組んできました。さらに FRP については、割れやヒビに加えてはく離についても発生を予測しなければならないため、そうした現象も再現できる解析技術を構築する必要があります。

※超高張力鋼：高張力鋼よりも強度を高めた鋼(一般的に、引張り強度が 1 GPa 程度以上のものを指す)

※FRP：樹脂にガラス繊維や炭素繊維などを複合して強度を向上させたプラスチック

——鋼の高張力化に限界はあるのでしょうか。

大宮氏：高張力化すれば車体の軽量化には貢献しますが延性が低くなってしまうので、車体構造に適用しても衝突安全性能を確保するのが困難になります。延性を確保したまま強度を高められる鋼の開発も行われているが、現状の鋼では難しいです。このため車体構造においては鋼の強度を際限なく上げるということは現実的ではなく、ある時点で非鉄材料への置換にシフトすると考えられます。

CAE 開発の方向性について

——構造強度部門委員会のロードマップにおける技術目標に「AI や機械学習の活用による自動設計・自動評価」とありますが、具体的にはどのような活用を目指すのでしょうか。

大宮氏：例えば、衝突安全性能の開発であれば車両の CAD モデルから乗員の傷害値まで予測できるというのが理想の一つだと思います。つまり、まず様々なバリエーションの衝突解析を何回も実施し、乗員の傷害値を含む解析結果のビッグデータを作ります。そしてそのデータを学習させたモデルを作成し、車両のデータをそのモデルにインプットするだけで、衝突解析を行わずに乗員の傷害値を出すことができるということが活用方法としては理想形です。

——「バーチャル開発」が本シンポジウムのテーマですが、車両開発に関わる全ての実験をバーチャルで行うということは将来的にあり得るのでしょうか。

大宮氏：日本でも、特に実物での試験にコストがかかるトラック等についてはバーチャルテストで認証する動きがあります。仮に今後、予防安全技術が発達し、絶対にぶつからない自動車が出てくれば衝突試験が不要になる可能性もあるかもしれませんが、最終的には実物でどのような現象が起こるかを確認することが必要ですから、そのようになるとは思えません。バーチャルがメインとなっても、重要なところについては今後も実機で行われるでしょう。

CAE をうまく扱うとは？

——構造最適化によって導かれた最適構造について

は、最終的には設計者が力学的に解釈するということが必要ではないかと思います。いかがでしょうか。

大宮氏：確かにその必要はあります。構造の力学的な理屈が分からなければ、構造が壊れた場合にその原因が分からず、改善の方向が定まらないということになりかねません。また、最適化計算はある条件内で行うため、全ての場合で最適であるとは限らないという点も注意が必要です。今後より多くのシチュエーションで最適な構造が導き出せるようになれば、この辺りの扱い方も変わってくるかもしれません。

——シミュレーションを扱う技術者、学生にはどのような知識・センスが求められると思いますか。

大宮氏：やはり、力学の基本的な知識が重要になると思います。シミュレーションではまず簡易的なモデルから計算を始め、結果に対し当たりをつけると思いますが、そこでは座学でやっているような力学の知識を使って妥当かどうか判断することになります。手計算と合うことが確認できれば、自分の行ったシミュレーションの妥当性を保証することができるということです。簡易的なモデルで検討をしてからより詳細なモデルについて検討を行う。そうしたステップを踏む経験を積むことが重要だと思います。

4. まとめ

本レポートでは各開発における詳細な構造検討については十分にご紹介ができませんでしたが、構造、工法、素材の面から着々と構造の軽量化が続けられているということを知ることができ、感動しました。

またご紹介した通り、車両開発では詳細なモデルを作成して細かな現象までバーチャルで確認するという使い方もあれば、簡易的なモデルで設計の方針を立てるといった使い方もあり、一口に CAE といってもその活用方法は様々でした。開発において CAE の役割が大きくなっていくと考えられる今後、エンジニアは CAE の使い方に関するリテラシーを持つことがますます求められてくると思います。

構造強度部門委員会ではシンポジウムを隔年で開催しています。車体構造や部品に対する CAE 開発についてご興味のある方は、ぜひ参加されてはいかがでしょうか。

謝辞

講演者の皆様をはじめ、快くインタビューを受けくださった大宮 正毅氏に心より感謝申し上げます。またこのような貴重な機会を設けてくださった自動車技術会の関係者の皆様には大変お世話になりました。心より感謝申し上げます。