

特集 | 自動車的大幅な軽量化を実現する 「トポロジー最適化システム」



京都大学 教授
西脇眞二氏

最適なマルチマテリアル構造が 設計可能なシステムを開発

ISMAでは自動車など輸送機器の大幅な軽量化を目指し、軽量材料を適材適所に使う「マルチマテリアル化」を進めています。

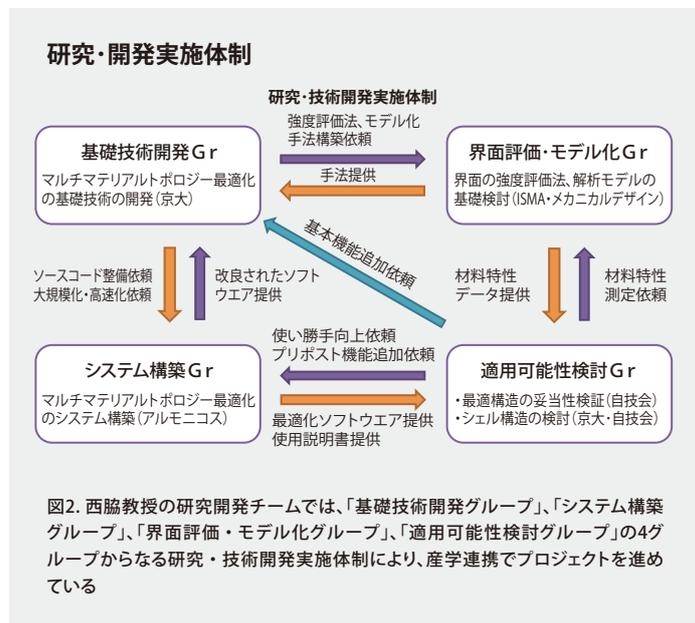
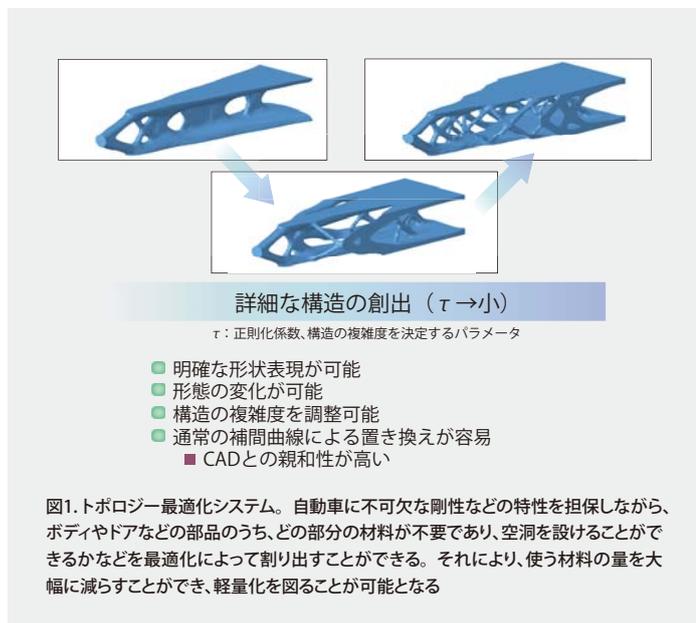
しかし、これまでマルチマテリアル構造の設計手法は確立されていませんでした。そこで、「トポロジー最適化システム」を適用することで、誰でも簡単に

最適なマルチマテリアル構造を設計できるツールの開発を進めているのが、京都大学大学院工学研究科の西脇眞二教授の研究開発チームです。

西脇教授の専門分野は、「構造最適化」です。これは、与えられた条件に対し最適な構造をコンピュータによる数値解析により導き出す手法です。トポロジー最適化は構造最適化の中で最も自由度の高い手法です(図1)。

これにより、使う材料の量を大幅に減らすことができ、軽量化を図ることができます。

しかし、これまでトポロジー最適化は単一の材料のみにしか適用されてきませんでした。そこで、マルチマテリアルに適用可能なトポロジー最適化システムを開発しようというのが、ISMAにおける西脇教授の研究開発チームのミッションです。



4つのグループが連携することで実際に作製可能なボディ構造の実現を目指す

「また、単にトポロジー最適化システムをマルチマテリアルに適用しただけでは、理想的な構造はわかりますが、実際に解析結果通りに作ることができるわけではありません。大きな課題は、得られた最適化結果をいかにして実設計に変換し、ボディ部品を実際に製造できるようにするかということでした」と西脇教授。

そこで、西脇教授の研究開発チーム

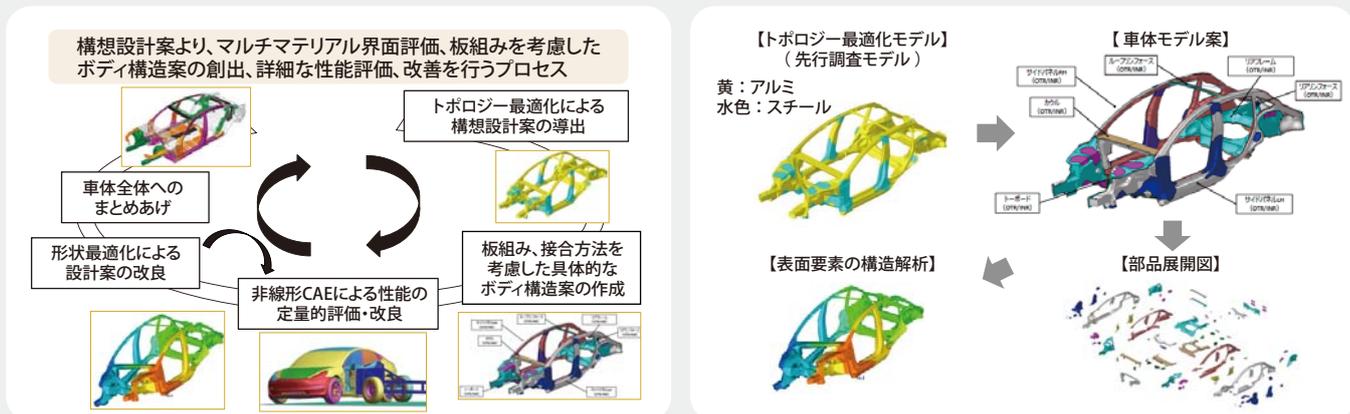
は、図2のような研究・技術開発実施体制を作り、産学連携でプロジェクトを進めています。それにより、2022年度中には実用性のあるボディ部品を提案していく計画です(図3)。

今後の目標は主に2つです。1つは、2022年度後半には、トポロジー最適化システムによる数値解析をもとに、製造性を考慮したマルチマテリアルボディ構造を提案すること。もう1つは、マルチマテリアルに適用可能なトポロジー最適化システムを標準化し、汎用ソフトウェアとして広く提

供することです。

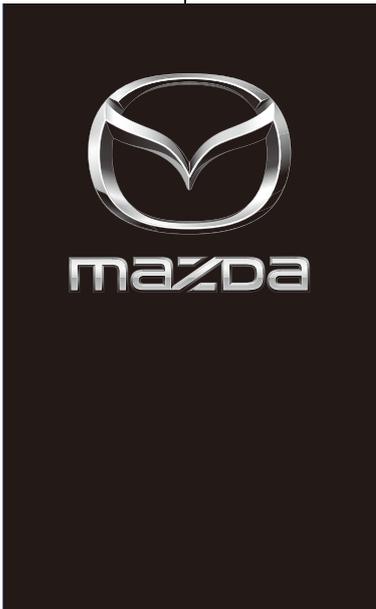
最後に、ISMAに参画した意義を西脇教授はこう語ります。「マルチマテリアルに適用可能なトポロジー最適化システムの構築は大学でもできることですが、それを実設計にまで落とし込むのは困難です。それに対し、ISMAの下、産学連携で研究開発を進めることで初めて自動車の実設計を目指すことが可能となりました。マルチマテリアルに適用可能なトポロジー最適化システムを通して、地球環境問題に貢献していきます」

マルチマテリアル実設計への適用



特集

自動車の軽量化に不可欠な「異種材料接合技術」の開発



マツダ株式会社技術研究所
主幹研究員
深堀 貢氏

車のマルチマテリアル化を目指し接合技術を大学や企業と共同開発

車体の軽量化を図る上で、重要な鍵を握るのが異種材料の接合技術です。マツダでは、長年にわたり、「摩擦攪拌点接合技術」(図4)をアルミニウム板同士の接合に加え、アルミニウム板と鋼板の接合に使う研究開発に取り組んできました。その経験を生かし、2013年からは、

プロジェクトに参画。10年間にわたり、摩擦攪拌点接合を中心に、異種材料の接合技術と、その評価技術の研究開発に取り組んでいます。

現在、自動車の車体に使われている鋼板は、主に「抵抗スポット溶接」で接合しています。しかし、この方法はアルミニウムの接合には不向きです。アルミニウムは鉄とは異なり、電気抵抗が低いため、溶解

するには大量の電流が必要だからです。したがって、車のマルチマテリアル化にあたっては、材料の種類に応じて最適な接合技術を導入する必要があります。加えて、既存の製造ラインに新たな接合技術を導入するには、抵抗スポット溶接並みの加工時間とサイクルタイムを実現する必要があります。

そこで、マツダは、ISMAプロジェクトの

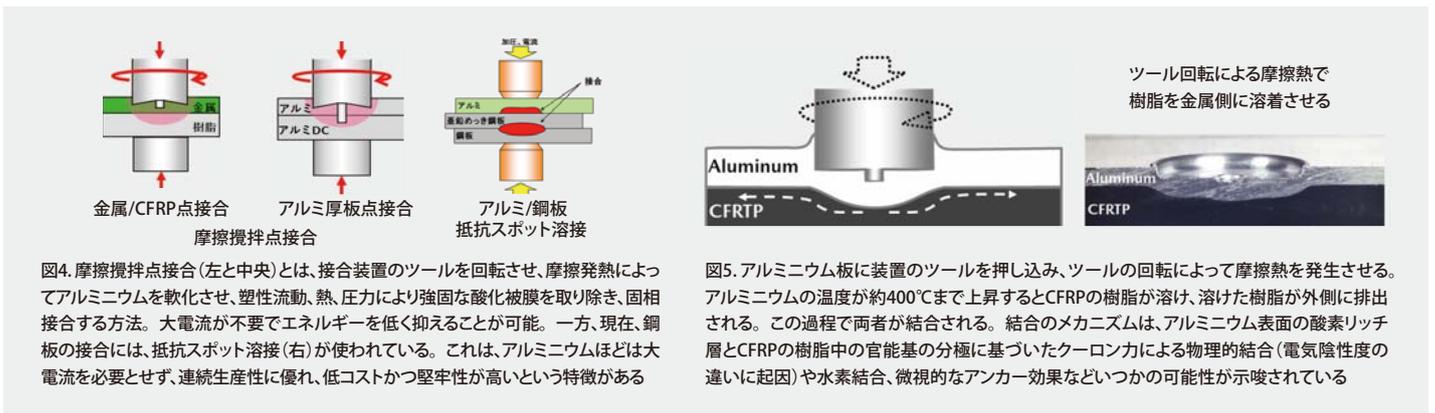


図4. 摩擦攪拌点接合(左と中央)とは、接合装置のツールを回転させ、摩擦発熱によってアルミニウムを軟化させ、塑性流動、熱、圧力により強固な酸化被膜を取り除き、固相接合する方法。大電流が不要でエネルギーを低く抑えることが可能。一方、現在、鋼板の接合には、抵抗スポット溶接(右)が使われている。これは、アルミニウムほどは大電流を必要とせず、連続生産性に優れ、低コストかつ堅牢性が高いという特徴がある

図5. アルミニウム板に装置のツールを押し込み、ツールの回転によって摩擦熱を発生させる。アルミニウムの温度が約400°Cまで上昇するとCFRPの樹脂が溶け、溶けた樹脂が外側に排出される。この過程で両者が結合される。結合のメカニズムは、アルミニウム表面の酸素リッチ層とCFRPの樹脂中の官能基の分極に基づいたクーロン力による物理的結合(電気陰性度の違いに起因)や水素結合、微視的なアンカー効果などいくつかの可能性が示唆されている

下、UACJ、広島大学と共同で、鋼板、アルミニウム、CFRPなど異種材料に最適な接合技術の研究開発に着手しました。加工時間は5秒以内を目標とし、摩擦攪拌点接合によるアルミニウムとCFRP及びアルミニウム厚板への適用技術、抵抗スポット溶接による鋼板とアルミニウムへの適用技術、さらに、その評価技術の開発に取り組みました。

異種材料の接合に関する 詳細なメカニズムを解明

異種材料の接合の信頼性を担保しつつ、製造プロセスの合理化を図るには、まず、異種材料の接合のメカニズムの解明が不可欠です。そこで、まず取

り組んだのが、摩擦攪拌点接合によるアルミニウムとCFRPの接合のメカニズムの解明です(図5)。その結果、アルミニウムとCFRPの接合には、摩擦攪拌点接合が有効であることが確認されました。

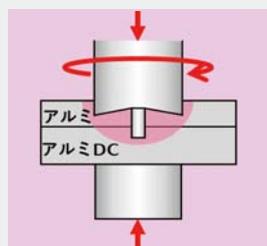
次に取り組んだのが、厚板のアルミニウムダイカストの接合です。アルミニウムダイカストは形状の自由度が高いため、車の軽量化において非常に有効です。実験結果からは、装置のツールの適切な制御が、強度設計上の重要なポイントとなることがわかりました(図6)。

一方、現在の自動車は、主に抵抗スポット溶接を使って接合されていることから、

抵抗スポット溶接を使ったアルミニウム板と鋼板の接合実験も実施しました。その結果、亜鉛メッキをした鋼板の方が亜鉛メッキをしていない鋼板よりも、接合強度が上がる事が判明しました。

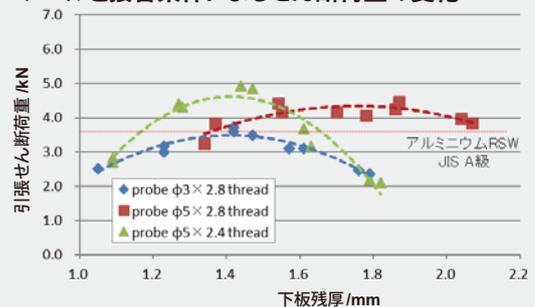
最後に深堀氏は、ISMAプロジェクトをこう振り返ります。「車のマルチマテリアル化という共通の目標に向け、大学、研究機関、企業が1つ屋根の下、大規模な共同研究を推進することでさまざまな成果を出すことができました。今後もISMAを通じて構築してきたネットワークを大切にしながら、革新技術の研究開発を通じて、車のさらなる軽量化を果たしていきます」

アルミ厚板の摩擦攪拌点接合【接合メカニズムと接合性】



下板アルミへのプローブの挿入により塑性流動を促し上下板を接合する。適切な条件で接合することでJIS規格A級のアルミ抵抗スポット溶接を超える接合強度の確保が可能。

ツールと接合条件によるせん断荷重の変化



ツールによる界面の接合形態の違い



Φ3×2.8 thread

Φ5×2.8 thread

Φ5×2.4 thread

図6. 上は接合断面の画像。破線は下板側と上板側の境界のラインを示している。これらはツールの先端についているプローブの径と長さが異なったツールで接合した断面で、左から径と長さはそれぞれ3mmと2.8mm、5mmと2.8mm、5mmと2.4mmとなっている。プローブの形状や長さによって、上板と下板の境界のラインの形状が変

化することがわかる。これにより接合強度が決まるため、この形状が重要。形状だけでなく、ツールの押し込み量によっても接合強度は変化するため、これらを適切に制御していくことが強度設計上の重要なポイントとなる

イベント情報

- 革新的新構造材料等研究開発「2022年度成果報告会」
日時：2022年12月20日(火) 場所：イイノホール(東京都千代田区内幸町)
- オートモーティブワールド2023「第13回 車の軽量化 技術展」
日時：2023年1月25日(水)～27日(金) 場所：東京ビッグサイト(東京都江東区有明)
- nano tech 2023 国際ナノテクノロジー総展・技術会議
日時：2023年2月1日(水)～3日(金) 場所：東京ビッグサイト(東京都江東区有明)
- 革新的新構造材料等研究開発「最終成果報告会」
日時：2023年3月16日(木) 場所：イイノホール(東京都千代田区内幸町)

ISMA REPORT October 2022, No.15

©Innovative Structural Materials Association. 2022 All rights reserved.

発行 新構造材料技術研究組合 (ISMA)

お問い合わせ先 新構造材料技術研究組合 (ISMA) 技術企画部
〒100-0006 東京都千代田区有楽町1-9-4 蚕糸会館10階
Tel : 03-6213-5655 Fax : 03-6213-5550
デザイン : 高田事務所 撮影 : 石川典人 (表紙ほか)
取材・執筆 : 山田久美