

基盤技術の融合とシンカ —自動車部品の軽量化—

Assimilation and Evolution of Basic Technologies: Weight Reduction of Automobile Parts

竹内真司 S.TAKEUCHI

This paper describes weight reducing technology for automotive parts in order to reduce CO₂ and improve fuel consumption of automobiles in response to environment problems. It also explains the importance of basic technologies (material development, measurement and simulation analysis, efficiency technology, and manufacturing technology) and the need for future research, using examples of developed technologies, both directly and indirectly related the weight reduction.

Key Words: weight reduction, basic technology, material substitution, measurement, simulation, efficiency technology, manufacturing technology

1. はじめに

サステナビリティに対する意識の高まりとともに、自動車を取り巻く環境は急激に変化し、エネルギー関連産業とともに自動車関連産業は大きな転換期を迎えている。自動車からモビリティへ、そして単に移動や輸送手段からサービスを含む大きな価値の創生を含むものへと進化すると考えられる。さらに、新興国市場の急成長は、産業全体の競争を激化させ、過去の常識や成功体験にとられない、新たな発想による技術革新が必要になってきている¹⁾。

こうした中、当社の研究開発部門では、主に現事業製の商品力向上を狙いとした基盤要素技術開発と、新領域に対応する新技術の創出に取り組んでいる。本報では、自動車の進む方向性の中で、自動車部品の環境対応、特に軽量化を中心に、関連する基盤研究の取り組み事例について紹介する。

2. 環境対応としての省エネルギー、燃費向上

環境問題としての地球温暖化は、資源やエネルギー問題とともに非常に重要な位置付けにある。その要因でもあるCO₂排出量を削減する取り組みでは、自動車においても世界的に削減目標が示されており(図1)²⁾、燃費向上に向けた開発は自動車部品においても同様に激化している。

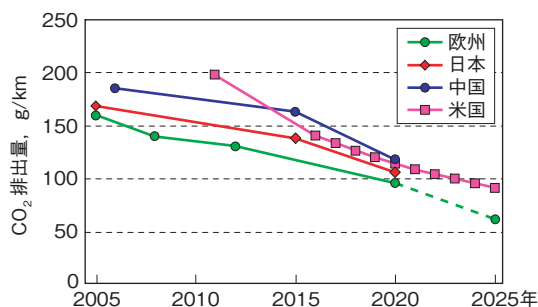


図1 燃費規制の動向 (CO₂ 排出量)²⁾
Trends of fuel efficiency regulation
(amount of CO₂ emission)

近年、自動車においてはEV/HEVをはじめ、減速エネルギー回生、アイドリングストップ機構といった電動化が進み、また次世代内燃機関の開発、小排気量化(過給機付)によるダウンサイジングなどにより、飛躍的に燃費が向上した。今後もさらにこれらを装備したクルマの比率は増加すると思われる。

当社の取り組みにおいては、油圧式パワーステアリングから電動パワーステアリング(EPS)に切り換えることで、燃費を約3%(小型車の場合)向上させた。さらにモータの小型化とハーネスの削減、コラムのアルミ化により、約15%の軽量化を達成した(図2)。電子制御4WDカップリングでも約38%の軽量化を達成し、2012年に量産化したアイドリングストップ用電動オイルポンプでは、モータ部を約30%小型化することにより、消費エネルギーを約47%削減できた³⁾。こうした

効果を達成できた背景には、これまでに培ってきた基盤技術の融合とシンカによる技術の蓄積の成果と考える。

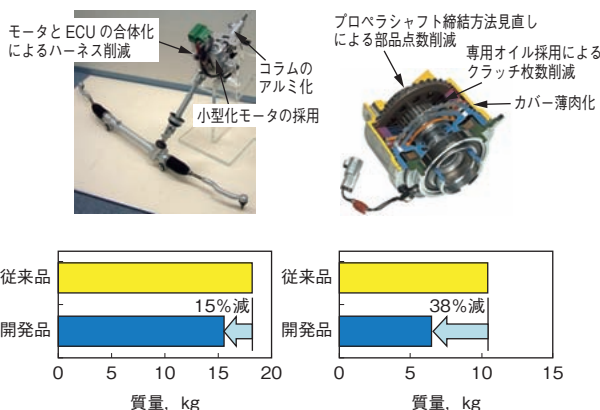


図2 軽量化の取り組み事例³⁾
Examples of weight reduction efforts

3. 軽量化に向けた基盤技術研究開発の取り組み

図3には、燃費向上に向けた取り組みの一般的概要をまとめた。重要となる取り組みとしては、1) パワートレインやドライブトレインにおける効率向上技術、2) 車両全体のエネルギー入出力における効率向上化技術(空気抵抗・転がり抵抗低減、エネルギーマネジメントなど)、3) 質量低減のための軽量化技術があり、本報では、特に3)の軽量化技術を取り上げ、基盤技術研究での取り組みとその方向性について述べる。

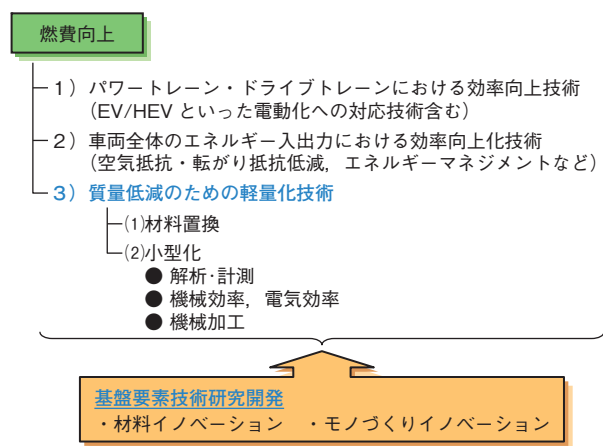


図3 燃費向上への取り組み概要
Outline of the approach to improve fuel consumption

図4に示すように、車両質量と燃費との関係においては反比例の傾向を示し、軽量化が燃費向上に有効であることを示している。

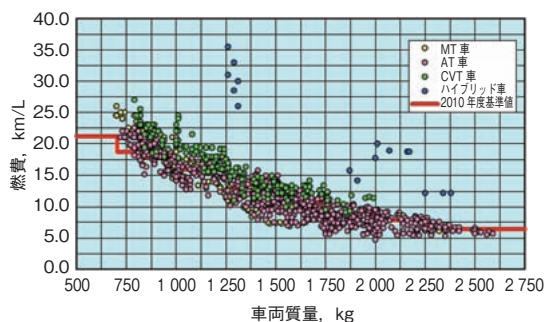


図4 車両質量と燃費との関係⁴⁾
Relationship between vehicle weight and fuel consumption

また、一方で軽量化については、燃費低減効果があるばかりではなく、その他の性能面においても、表1に示すメリットがあることが知られている⁵⁾。「走る」「止まる」「曲がる」を基本とする自動車、モビリティにおいて、質量はその運動性能に対し非常に重要な要素であり、そのために軽量化技術は特に重点的に取り組む必要がある。運動性能に関連するタイヤの転がり抵抗、加速・制動・旋回時の抵抗を表す式には、いずれも車両総質量が関係しており、質量はエネルギー損失に大きく影響しているといえる。

表1 軽量化のメリット⁵⁾
Advantages of weight reduction

定員5名乗車時1500kgの乗用車にて、10%の軽量化ができた場合での効果試算結果

項目		効果
排出ガス	CO	▲4.5%
	HC	▲2.5%
	NO _x	▲8.8%
燃費性能 (10・15モード)		▲3.8%
発進加速性能		+ 8%
制動停止距離		▲5%
軽快性 (微低速での操舵力)		+ 6%
耐久性 (き裂に到る疲労強度)		+ 70%

以下、軽量化に直接的、間接的に関連する基盤技術について述べる。

3.1 材料置換

軽量化に最も直接的に有効な方法は材料置換である。鉄からアルミニウムや樹脂への置換は、従来より着々と増加し、広がりを見せている。特に樹脂化による軽量化

の取り組みはアルミニウムよりも早く、近年その傾向は加速している。樹脂はリサイクル性が高い点でも有効とされているが、鉄とは異なる強度・耐久性、剛性、耐熱性・熱衝撃、寸法安定性、経年劣化などに対して、どう適用させるかが課題となる。そのため、物性分析、解析・計測、成型・加工技術などといった基盤技術が重要となる。たとえば、ステアリングギヤボックスでは、部分的に樹脂化されたものも量産化しているが、エンジンルーム内への搭載やラック推力を受ける構造部材であるという点で、上記の課題に対する信頼性確保が開発のポイントとなっている。そのため、早くからアルミ化が進んでいる。

最近では周辺技術が進んだこともあり、自動車と同様に、マグネシウムへの期待も高まっており、また FRP などの新素材も注目されている⁴⁾。ただし、材料置換を進めるにあたって、原材料費、製造工程を含むコストも重要であり、軽量化とコストを両立させるための研究開発が望まれる。

3.2 小型化

小型化を進める上で、単にハウジング肉厚を薄くするだけでは不十分で、ハウジング部品の一体共用など、基本設計の見直しを行わないと大幅な小型化は難しい。そのためには、強度を確保するための応力解析・計測技術をはじめ、トライボロジー分野における摩擦・摩耗に関する解析・評価技術、電気分野におけるエネルギー解析技術などが必要となる。さらに新しい加工方法による形状生成や精度向上技術も重要となる。

以下に、そうした基盤技術の研究内容についての事例を中心に紹介する^{6)~13)}。

3.2.1 解析・計測

材料置換と同様、小型化・薄肉化といった形状変更を行う場合は、通常 FEM 解析でその応力分布や熱変位、ひずみ、固有振動等を検討し、設計・試作・評価といったプロセスが一般的である。なお、解析がいかに正確に実際の現象を捉えているかによって、その開発に与える影響は大きい。

また応力測定では歪ゲージを用いるのが一般的であるが、今回各構成部品に発生する最大応力とその発生箇所を特定する新しい計測法を開発した。この結果を解析モデルにフィードバックすることにより、製品の小型化に貢献することができた。この技術を駆動系等速ジョイン

ト (CVJ) に適用した例を図 5 に示す⁶⁾。

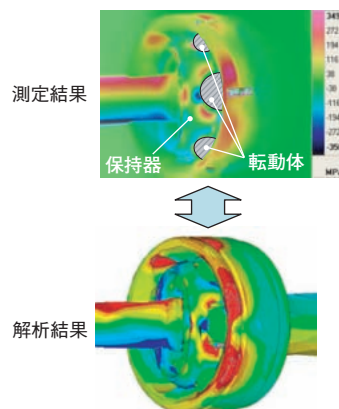


図 5 赤外線による応力分布測定の実例
Example of stress distribution measurement using infrared

CVJ では、ジョイント内の応力分布を可視化することにより、より高精度な計算が可能となった。その結果、新たに開発した小型 CVJ では、車両 1 台あたり 300 ~ 900g の軽量化を達成する事ができた。また、本技術をステアリングのインタミディエイトシャフトに適用することで、車両搭載状態で発生する偶力の影響を加味して、スライド機構部の内部応力分布を求めることが可能となった。

3.2.2 機械効率

エネルギー効率をあげることは、直接、自動車の燃費向上につながるとともに、ユニット機器の効率向上により、その向上相当分の小型化をはかれる可能性もある。

機械効率は、ユニット機器のしゅう動部やギヤ部での摩擦損失、ギヤかみあい損失の寄与が大きく、そこにはトライボロジー的要因が関与している。

自動車に多く使用されている軸受の摩擦低減に重点的に取り組み、弾性流体潤滑理論 (EHL 理論) や摩擦発生要因の解析を基にした独自の技術により、その摩擦トルクの低減と効率化を進めてきた。軸受自体の小型化は、強度、剛性等が低下することも考慮する必要があり、難しい点もあるが、摩擦低減がモータなどのユニット機器の出力源の必要出力を低減し、この低減相当分の出力機器の小型化につながる事が可能となる場合がある。例として、円すいころ軸受の摩擦低減に関しては、各諸元と摩擦抵抗との関係を明確化し、背反する諸特性を最適化することで大幅な摩擦低減 (図 6) を達成することができた。

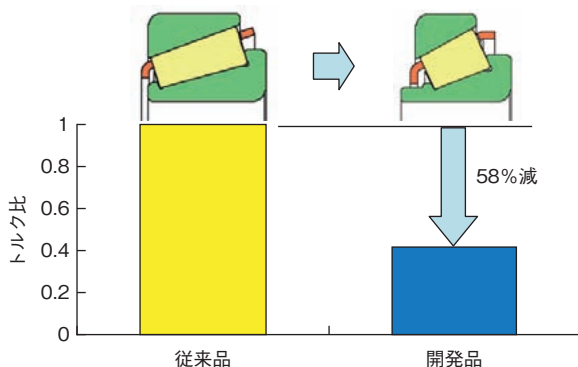


図6 諸元最適化による摩擦トルク損失低減効果 (円すいころ軸受)⁷⁾
Reduction of tapered roller bearing friction torque through parameter optimization

また、ユニット機器のしゅう動部抵抗低減と静粛性につながる減衰特性向上の両立を目的としたグリースの開発を実施した (図7)。

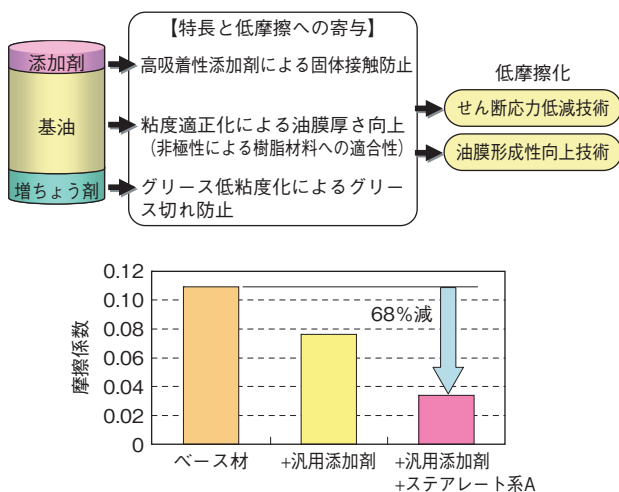


図7 低摩擦グリース⁸⁾
Low-friction grease

その他、表面処理による低摩擦化研究は、Diamond-like Carbon (DLC) 膜の改良とその応用を中心に進めてきた⁹⁾。実用化当初に適用した駆動系電子制御 4WD カップリング (ITCC : Intelligent Torque Controlled Coupling) では、その低摩擦特性により大幅な小型化が実現できた。DLC 技術は他の自動車部品やそれ以外の部品へも展開をはかるべく検討している。一方で、その成膜には量産性に優れたプラズマ CVD 法を用いているが、量産性をさらに向上させた低温での処理方法も開発した。

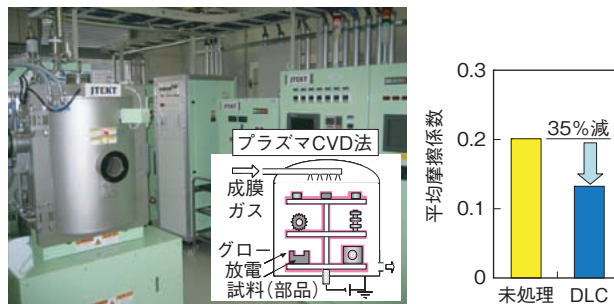


図8 DLC 技術による低摩擦化⁹⁾
Friction reduction using DLC films

3.2.3 電気効率

ユニット機器においては、バッテリーからの電力供給を受け、トルク・推力といった出力を発生するが、エネルギー効率を考える場合、前述の機械効率と同じく電気効率も重要な因子となる。図9には、EPSのエネルギー損失を例として示す。

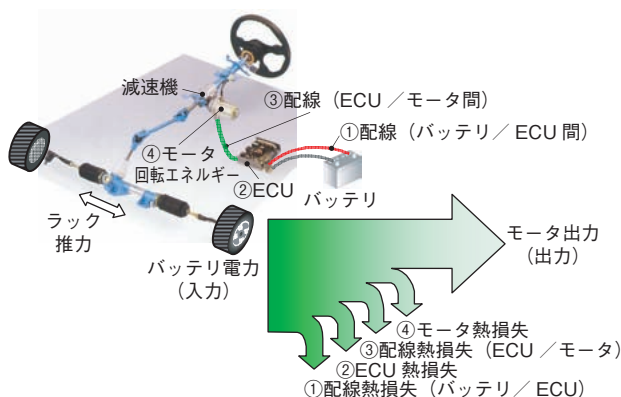


図9 EPS でのエネルギー損失¹⁰⁾
Energy loss within the EPS system

電気効率としては、バッテリーからハーネス、ECU (Electronic Control Unit)、モータハーネス、およびモータ部での損失が全て影響し、それぞれの効率化が求められる。別置き ECU をモータと合体・一体化させてハーネスレス構造にしたり、モータの効率を上げるために、磁気回路の最適化、コイルの高占積率化、およびステータの環状化技術を開発することにより、従来モータに比べ約 35% の軽量化に貢献することができた¹⁰⁾。

図10は、モータ設計におけるボトルネック要因であるコイルの高占積率化や磁気回路の最適化に対し、製造技術面での開発を推進することで課題を克服し小型化を可能とした事例である。製品開発において、モノづくりの革新が非常に重要なことを示唆している。

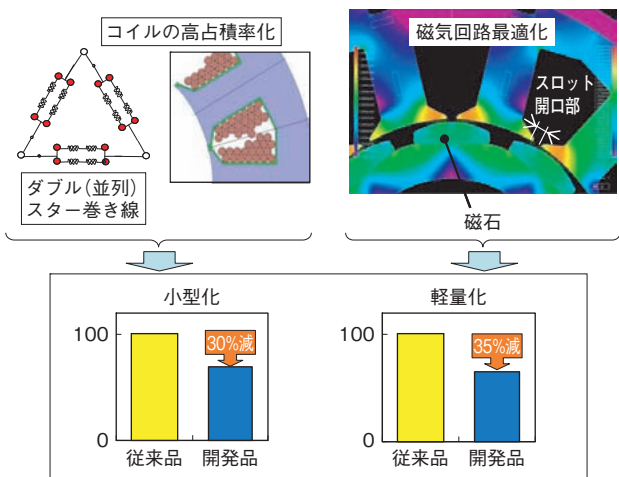


図10 モータの小型・軽量化事例¹⁰⁾
Case example of motor downsizing/weight reduction

3.2.4 機械加工

ユニット機器の構造において、従来加工法における工具軌跡、精度確保、ばらつき低減などの面からの制約条件により、部品の分割や厚肉化を実施せざるを得ないという課題がある。言い換えれば、新しい加工法を適用することで、小型化の可能性があるということである。当社が工作機械メーカーであることの強みを活かし、その部品の加工要素技術研究の推進により、小型化につなげることが必要である。加工の高精度化に関しては、機械の剛性向上はもとより、工作物のたわみ量や熱変形量を補償する技術を開発し、その効果を確認した(図11, 12)。引き続き、この結果を設計にフィードバックし小型化設計に活かしていく。

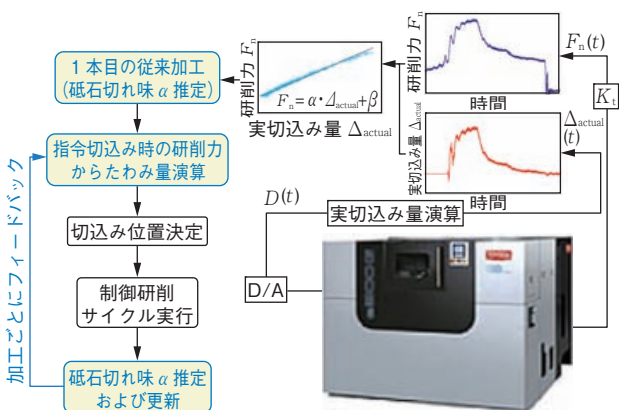


図11 工作物のたわみ量補償¹¹⁾
Feed control based on calculations of workpiece deflection

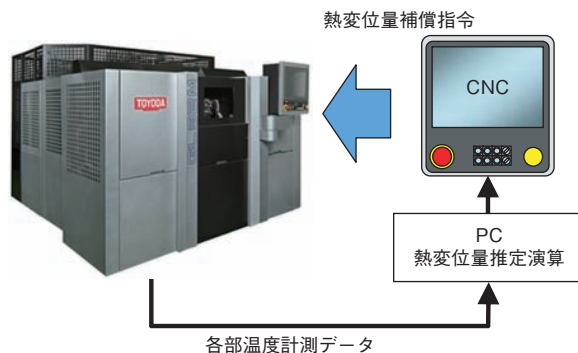


図12 熱変位補償^{12), 13)}
Thermal deformation compensation

4. おわりに

今後もますます軽量化ニーズが増すことは間違いのない。本報では、軽量化のために直接的・間接的に必要となる技術事例を紹介した。また一方、画期的な軽量化が達成できても、コストは非常に重要であり、その双方を両立することが必要であることは言うまでもない。

材料開発、計測・解析技術、効率化技術、製造技術などの基盤技術の融合とシンカを通して、さらに自動車部品のみならず、軸受、工作機械・メカトロニクスの事業の枠にとらわれず、お客様のニーズとシーズをマッチングさせた研究開発が重要と考える。各事業本部との連携をさらに強化しつつ、研究開発部門からの成果を、魅力ある商品の価値向上につなげていきたい。

* 1 ITCC は、株式会社ジェイテクトの登録商標です。

参考文献

- 1) 田中 栄：未来予測レポート2013-2025(自動車編)，日経BPコンサルティング(2012)。
- 2) 日経BP社：日経 Automotive Technology 7月号，(2013)7. 44
- 3) 株ジェイテクト：CSRレポート(2012). 12-14
- 4) 安田武夫：日本自動車工業会 JAMAGAGINE(2010)，<http://www.jama.or.jp/lib/jamagazine/201011>。
- 5) 小吹信三：TOYOTA Technical Review, vol. 52, no. 1(2002). 8-11
- 6) 北村昌久：JTEKT ENGINEERING JOURNAL, no. 1009(2011). 6-18
- 7) 松山博樹：JTEKT ENGINEERING JOURNAL, no. 1009(2011). 108-113

- 8) 中田竜二, 山田 渉, 中野史郎, 筒井大介: 低摩擦・樹脂適合性を両立した樹脂/鉄しゅう動用グリース, トライボロジー会議予稿集 東京(2013).
- 9) 鈴木雅裕, 山川和芳, 齊藤利幸: JTEKT ENGINEERING JOURNAL, no. 1008(2010). 38-43
- 10) 小池 進, 谷永 隆, 丹羽智宏: JTEKT ENGINEERING JOURNAL, no. 1010(2012). 34-38
- 11) 頼経昌史, 田野 誠, 酒井隼樹, 村上慎二: 円筒研削における工作物たわみ補償に関する研究, 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (2013).
- 12) 佐々木雄二, 岩井英樹, 桜井康匡, 若園賀生: 工作機械熱変位補償技術の研究(第1報). 精密工学会学術講演会講演論文集, (2012).
- 13) 佐々木雄二, 岩井英樹, 桜井康匡, 若園賀生: 工作機械熱変位補償技術の研究(第2報). 精密工学会学術講演会講演論文集, (2013).

筆 者



竹内真司*
S. TAKEUCHI

* 研究開発本部 研究企画部