

# 学 位 論 文 要 旨

題 目 側方車両の影響を受ける自動車の空気力学的特性と抵抗増加抑制に関する研究  
(Study on Aerodynamic Characteristics and Reduction of Drag Increase  
of Road Vehicle Affected by the Adjacent Vehicle)

氏 名 清水 圭吾

地球温暖化などの環境問題の観点から、各国の自動車の CO<sub>2</sub> 排出量規制目標値は段階的な強化が続いている。自動車メーカーではそれらの規制目標値を達成するため、パワーソースの効率向上や、車両走行時の抵抗低減に取り組んでいる。このうち走行抵抗の低減における重要な課題の一つとして、空気抵抗の低減が挙げられる。従来の空力性能開発では、空気抵抗係数  $C_D$  を評価指標とし、一様流中において車両の姿勢を固定した正対風条件で評価が行われてきた。しかしながら実際の自動車の走行環境では、横風などの外乱を受けることで車両に相対する風向角が時々刻々変化する。また、正対風条件において  $C_D$  が低い車両は、風向角の変化に対する  $C_D$  増加の割合が大きい傾向にあることが示され、近年では横風外乱の影響を考慮した空気抵抗評価の重要性が指摘されている。実路上の代表的な横風の発生要因として、隣接する車線を走行する大型車両（側方走行車両）の影響が挙げられる。この側方走行車両の影響を受けた際の空気力学的特性の関係に関しては、走行安定性の観点から横力、ヨーモーメントに対する影響が数多く報告されているが、 $C_D$  への影響については未解明な点が多い。この要因として、互いに流体力学的影响を及ぼし得る距離に二つの車両が存在するため、複雑な流れ場が形成され、 $C_D$  に対する影響因子の同定が困難な点が挙げられる。側方走行車両により生じる  $C_D$  変化と空力現象の関係を明らかにすることは、実走行環境における  $C_D$  を低減するうえで、重要な知見になると考える。そこで本研究では、実走行環境における外乱に対してロバストな空力性能を実現するため、大型車両が乗用車の側方を走行する条件における  $C_D$  変化の発生要因を、空力現象と関連付けて明らかにすることを目的とする。さらに、横風外乱による  $C_D$  変化を低減可能な、車両周囲に形成される流れの制御手法を構築することを目的とする。本論文は以下の 6 章から構成される。

第 1 章では、本論文の研究背景、および実走行環境における空気力学的外乱に関する研究、特に側方走行車両と空気力変化の関連について述べた先行研究について示した。先行研究に対して、本研究の位置づけを示すとともに本論文の研究目的について述べた。

第 2 章では、実走行試験手法、風洞試験手法、および数値解析手法について述べた。実走行試験手法では、試験に用いた車両の空力特性、および追い抜かれ条件の空気力計測手法を示した。風洞試験手法では、スケールモデルの空力特性、側方走行車両の外乱を再現する風洞試験装置の概要を示した。数値解析手法では、基礎方程式、離散化手法、および解析条件について述べた。

第 3 章では、実車およびスケールモデルを用いて、側方走行車両の外乱により、計測対象車両に発生する空気力の定量的な評価結果を示した。実走行試験では、空力特性の異なる 2 台の車両が、トラックに追い抜かれる際の空気力変化を評価した。その結果、同一の追い抜かれ条件下で生じる空気抵抗変化量に、有意な差が生じることを示した。スケールモデルを用いた風洞試験では、実走行試験で用いた車両の空力特性を模したモデルを 2 台作製し、側方走行条件における空気力変化を評価した。また、実走行環境で想定される範囲で相対位置および相対速

度を変化させた際の空気力変化へ与える影響を評価した。これらの評価結果から、空力特性の差異により、側方走行条件における  $C_D$  変化量に差異が生じることを示した。

第4章では、側方走行条件で  $C_D$  変化の発生要因となる空力現象を成分分離する手法を用い、 $C_D$  変化に対する各成分の寄与を分析した。その結果、側方走行車両が形成する圧力場の投影による圧力場成分、および相対風向角の変化に伴い計測対象車両周囲の流れの変化で生じる横風成分の2つの成分の寄与が大きいことを示した。また余剰分の発生が、2車間の空気力学的な相互干渉などによるものであることを示した。計測対象車両の空力特性によって変化量が異なる横風成分と余剰分の  $C_D$  変化を空力応答成分としてまとめ、この成分による  $C_D$  変化を流れの制御における低減対象とした。また、相対位置、車両形状、および相対速度が各成分に与える影響を調査し、条件変化に伴う  $C_D$  変化の発生要因を各成分の変化から示した。さらに、空力応答成分による  $C_D$  変化が顕著に生じる事例として、追い抜かれ条件で生じる空気力の履歴効果を示した。本論文での履歴効果とは、側方走行車両の通過後も通過時の空気力変化が持続する非定常な空力現象を指す。履歴効果は、側方走行車両により特定の風向角変化が車両に作用することで、計測対象車両後方に形成する流れの構造が大きく変化することで発生した。

第5章では、空力応答成分による  $C_D$  変化の発生要因を分析し、 $C_D$  変化を低減する車両周囲の流れの制御手法を示した。分析の結果、空力応答成分の発生は、計測対象車両の後方の流れ、およびタイヤ周りの流れの応答が要因であることを示した。後方の流れにおいては、風向角変化に伴う後曳き渦の強化、タイヤ周りの流れにおいては、床下を通過する流れのリヤタイヤへの干渉が、 $C_D$  の増加をもたらす。これらの分析結果をもとに、流れの制御コンセプトを構築し、それを実現するために流れの特性を制御因子とした、流れの制御手法を提案した。側方走行条件における  $C_D$  変化、および実路上の横風外乱の影響をモデル化した  $C_{DW}$  変化を評価指標として、制御手法の有用性を評価した。提案した制御手法により、いずれの  $C_D$  変化量も低減する結果を得た。また本章では、デザイン性との両立といった実車開発において想定される流れの制御の課題に対し、解決策として注目される流れのアクティブ制御技術を適用した事例を示した。空力性能およびデザイン性に感度の高い、車体サイド後端の曲面部の流れの剥離現象を対象とし、アクティブ制御技術としてプラズマアクチュエータを適用した。その結果、車体サイド後端の剥離線の後方から、主流に対して逆向きの誘起流を発生させることで、剥離促進による  $C_D$  低減を実現した。これにより、少なくとも本条件の範囲では、プラズマアクチュエータといった流れのアクティブ制御により、車体サイド後端のデザイン自由度を保持したまま、 $C_D$  低減が可能であることを示した。

最後に第6章では、本論文の結論を述べた。本研究で得られた知見により、側方走行車両からの横風を含む空気力学的外乱が作用することで生じる  $C_D$  変化を低減することによって、実走行環境における  $C_D$  低減への貢献が期待できる。