

報告番号	甲 第 13792 号
------	-------------

## 主 論 文 の 要 旨

論文題目 路面入力で発生する車両運動と非定常空気力の連成  
(Coupling between vehicle behavior and unsteady aerodynamics in road input)

氏 名 前田 和宏

## 論 文 内 容 の 要 旨

本研究は、空気力による自動車の運動性能向上を目的として、非定常な空気力を応答関数として定式化して運動との連成解析を行うことで、車両運動との相互作用を明らかにすることを目的としている。それにより、ドライバーの感じ方でしか説明できていなかった空気力による性能向上についてその効果を定量的に示すこと、さらに車両運動の応答性や乗心地を向上させる手段として活用することを意図している。

第1章では、本研究の取り組みである“路面入力で発生する車両運動と非定常空気力の連成”について、研究の必要性・重要性を先行研究の経緯から示し、取り組みの概要とその新規性を示した。

自動車の走行性能に対する車両周りの流れの影響について、これまでは主に空気抵抗に注力して研究開発がなされ、大きな低減がもたらされた。それにより、他の車両性能の向上や走行環境の整備と相まってより高速での走行が可能となり、さらなる燃費性能向上とともに走行安定性の向上も求められてきている。そのため、走行安定性へに対する空気力の寄与も重要な課題と着眼されており、製品化された車両においては、空気力を考えた新たな性能向上策が多数取り入れられている。しかしながら、そういった方策は、風洞での定常空気力計測ではその効果を十分に説明できず、ドライバーの感覚的な走行評価によって最適化を行っている場合が多い。それらの効果を定量的に説明するためには、空気力の時間変化や変動、入力に対する応答といった非定常特性まで考慮することが必要となっており、本研究に取り組む動機となっている。

車両が受ける非定常な空気力は、風の変化（乱れた風や横風突風に遭遇）により発生するものや、路面や操舵入力による運動によって発生するものが考えられる。風の変化による非定常空気力の解析は先行して行われており、オーバシュートや応答遅れの現象が確認され、応答特性として考慮する必要性が認められている。一方、運動により発生する非定常空気力についてはまだ検討例が少なく、定式化を行い運動への影響を示す取り組みが不足している。

これに対して本研究では、運動により発生する非定常空気力を応答関数として定式化し、運動との連成解析を行い、ドライバーが感じる効果までも発生空気力と運動挙動の違いとして定量的に示すことを目的とした。自由度が少なく実験・解析のしやすい路面入力による車両縦運動（ピッチ・上下運動）を対象とし、実車両での細部形状変更の影響について、非定常空気力計測と運動解析、実走行運動計測による検証、流速応答計測による流れの考察を取り入れて研究を実施した。

第2章では、風洞での模型加振実験による運動で発生する非定常空気力の計測と応答関数への定式化を示した。

模型用加振装置を開発して風洞内に設置して、加振実験により作用する荷重を計測し、一様風速有り無しでの荷重差から空気力を抽出した。車輪およびホイールハウスまで模擬した実際の車両の1/4模型を用い、模型を支持・加振するスティングを、流れを乱さないよう車輪を貫通させて設置した。フロント/リヤの車軸部に上下変位を与え、一定周波数でのピッチまたは上下加振を行い、その周波数を変化させて周波数応答特性を求めた。

その結果により、運動による非定常空気力の発生を示し、応答関数として定式化できることを確認した。応答関数は、空気イナータ・ダンピング・ばね（加速度・速度・変位に比例して発生する空気力）、および1次遅れで表現できることを示した。特に、1次遅れも取り入れる必要があることは、新しく得られた知見である。ルーフ上面の小突起有り無しによる比較では、ピッチ運動で発生するリヤ空気力に大きな差が見られ、突起無しはピッチ運動に戻す空気イナータ力が大きく発生し、突起有りは流れの乱れによりその発生力が弱まっていることを示された。

第3章では、第2章で定式化した空気力応答関数を用い、路面入力時の運動方程式と連成させた運動応答関数の算出・時系列シミュレーションを行い、非定常空気力が運動に与える影響を定量的に示した。

路面入力を考えた2自由度の連立した縦運動方程式において、フロント/リヤ車軸にサスペンション力と並列に働く非定常空気力入力を加える。それを、路面入力に対するピッチ・上下運動出力の応答関数として整理し、車両の諸元値・非定常空気力係数を代入することで、車両の具体的な運動応答関数を求めた。非定常空気力係数は、模型加振試験で求めた係数から相似則に沿って変換して用いた。形状変更による比較を行った結果、突起無

しの場合には有りに比べ、ピッチ運動の応答ゲインが低周波では小さく高周波では大きいことが確認された。サスペンションによる運動と空気力作用の関係が周波数によって変わっていくためであり、非定常空気力とサスペンション応答、路面入力を連成させて考える必要性を示した。

つぎに、求めた運動応答関数を用いた時系列シミュレーションを行い、具体的な路面入力での影響を確認した。段差乗り越えのステップ路面入力では、突起無しの場合の方がピッチ・上下運動の変動が大きくなる結果を得られたが、それはリヤ空気力が大きく発生することでリヤサスペンションの発生力も増加した結果であり、非定常空気力と運動が連成することを示している。また、一定周波数路面入力では、突起無しの場合の方がピッチ運動の変動が低周波路面で小さく、高周波路面では大きくなっている。運動応答関数が表しているように、車両運動への影響が路面入力周波数によっても変化することを時系列応答でも確認できた。

以上のように、非定常空気力の影響の定量化を、運動応答の違いとして示すことができた。

第4章では、実走行での運動挙動計測とドライバー評価による解析方法の検証、非定常空気力の車両諸元に対する影響割合の算出、車両周りの流速応答計測による流れの考察を行った。

実際の車両による路面凹凸のあるテストコース走行試験により、突起有り無しのケースについて運動挙動計測を行った。突起無しの場合の方がピッチ・上下運動ともに変動振幅が大きいことが計測され、対応する時系列シミュレーション解析と同様の傾向であることが確認される。これは運動応答関数と路面入力周波数から考えて妥当な結果であり、細部形状変更による車両運動変化が、今回の解析により再現できていることが検証できた。

ドライバーの感じ方による評価においては、突起無しは路面追従性の良さを感じ、突起有りは路面ショックのやわらかさを感じていることが得られた。解析結果と対比すると、突起無しは、上下・ピッチ運動の応答ゲインが大きく遅れが小さいことと対応し、突起有りは、応答ゲインが小さく遅れが大きいことに対応することが確認できる。後者の方が、一般ドライバーにとっては安心感が高い挙動である。ドライバーが感じる細部形状変更による運動挙動の差を、一部ではあるが定量的に示すことができたと考えられる。

また、定式化した運動応答関数を用い、非定常空気力の各係数（空気イナータ、ダンピング、ばね）を、等価な車両諸元（車両質量、サスペンションのダンピング係数、ばね係数）と対比し、影響割合を求めた。ピッチ運動時のリヤ空気イナータ（加速度比例の空気力）が、車両のリヤ慣性力を **39%**減らすことと同等の効果があることがわかり、無視できない影響を持っていることが確認された。

さらに、運動時の車両周りの流速応答に着目し計測を行った。形状違い（突起有り無し）の比較から、表面流速が速く運動に対する流速応答の範囲が広いほど、非定常空気力の発

生が大きくなる関係が推察された。その観点から考察すると、ピッチ運動時のリヤ空気イナータは、ルーフ・床下と側面の間での流れの出入りで起こる流量変化により誘起されていると考えられ、突起無しでは表面流速が速く応答範囲が大きいことからその発生力が大きく、突起有りでは乱れの発生により弱まっていると理解することができた。

以上のように、本研究では、運動で発生する非定常空気力に着目し、応答関数として定式化し運動との連成解析を行うことで、車両運動への影響を定量的に示した。主要な結論として、以下の結果が得られた。(1) 運動で発生する非定常空気力は、上下運動とピッチ運動で発生する空気力に分けられ、それぞれ空気イナータ・ダンピング・ばね、および 1 次遅れで表現できる。(2) 非定常空気力は周波数特性を持ち、路面入力・サスペンション特性を考えた連成解析が必要である。(3) 細部形状変更でドライバーが感じる運動挙動の差を、定量的に示すことが可能となった。(4) 例えばピッチ運動時のリヤ空気イナータは主にルーフ・床下と側面の間での流れの出入りに起因することなど、影響の大きい空気力係数、それに対応する流れの要因を特定することができた。

これらにより、運動で発生する非定常空気力を運動性能向上の有用な手段として活用し、今までとは違う運動応答の良さや乗心地の良さの実現、さらにそれらの両立が可能となる見通しを得ることができた。今後さらにこのアプローチを発展させることで、安定した走行による気持ちの良い移動が可能な「安全安心な車両」の開発が期待できる。