HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	自動車運動-空力連成解析手法の開発と非定常空力予測［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	池田, 隼
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12301号
Issue Date	2016-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/61659
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Jun_Ikeda_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学　位　論　文　内　容　の　要　旨

博士の専攻分野の名称　　博士（工学）　　氏名　池田 隼

学　位　論　文　題　名

自動車運動-空力連成解析手法の開発と非定常空力予測
(A Coupled Mechanical Motion and Aerodynamics Simulation of a Road Vehicle for the Assessment of Unsteady Aerodynamics)

近年, 自動車の高速化や燃費向上のための軽量化を背景として, 高速走行安定性や操縦安定性といった走行性能に対する空力特性の寄与を把握することが重要な課題となっている. 自動車に作用する空気力は車速の自乗に比例して大きくなることから, 特に高速走行時の走行・操縦安定性を議論するときには, サスペンションや車体剛性といった機械的な特性だけでなく, 空力特性が大きく影響する. 従来, 自動車の空力特性が走行・操縦安定性に及ぼす影響は, 時間平均された定常状態の横力や揚力, ヨーイングモーメントによって評価されてきた. 一方で, 自動車に対する接近流の変化や, 自動車の姿勢変化に伴って時間的に変化する非定常空力が走行・操縦安定性に及ぼす影響が明らかになりつつあり, 近年では非定常空力特性が研究対象として注目されている.

これまでの研究では, 車両姿勢変化に伴う非定常空力の発生とその運動への寄与については, 周期的に強制運動として与えた姿勢変化に対する空力応答として, その位相ずれやゲインによって議論されてきた. この場合, ある特定の軸周り運動とその軸周りの空力応答というように, 単純化した 1 自由度運動として議論することが一般的である. これに対して実走行状態では, 複合的かつ三次元的な多自由度車両運動, 即ち, 加減速, 横・上下変位, 各軸周り回転運動が同時に生じる場合が多い. このような多自由度運動では, 例えばある軸周りの回転運動に対する空力の寄与を考える場合も, 対象とする軸回りの運動に起因する流れ構造のみならず, 他の軸方向・軸周り運動によって生じる流れ現象の影響を複合的に受けていると考えられる. したがって, 実走行状態を想定してその走行・操縦安定性を空力的に向上させるためには, 多自由度運動中の非定常空力特性の解明が必要と考えられる.

一方で車両の運動力学的な観点からは, 空力が走行・操縦安定性に及ぼす影響は, 空気力を外力として与えた自動車の運動方程式を解いた際の車両の運動応答によって議論されている. しかしながら従来の研究では, こういった空気力の影響は, 車両姿勢を準静的に変化させた定常空力の考慮に留まり, 実走行状態を十分に模擬できているとはいえない. したがって, 実走行状態において空力特性が走行・操縦安定性に及ぼす影響を明らかにし, 車両運動に対する安定性を評価するためには, 多自由度車両運動を再現したうえで, こういった運動時に作用する非定常空気力を高精度に再現し, 運動予測にフィードバックする手法の構築が必要と考えられる.

本論文では, 実走行状態における多自由度車両運動の一つとして, ドライバー操舵によるレーンチェンジ運動に着目する. まず, 自動車運動-空力連成解析手法を構築する. そしてこの手法をレーンチェンジ運動中のばね上車体の運動応答に対して適用することで, 非定常空力が車両の運動応答に及ぼす影響を明らかにし, その評価手法を提案することを目的とする.

本論文の第 1 章では, 本論文に関する背景と目的を示した.

第 2 章では, 解析手法について述べた. 数値流体解析には, 自動車周りの非定常空力解析に適した

ラージエディシミュレーションを用いた. その精度検証は定常空力係数と表面圧力係数を風洞実験結果と比較することで行い, 本論文の目的に十分な精度が得られていることを示した. 運動解析手法には, ばね上車体の 3 自由度運動モデルを用い, 運動方程式の導出と各項の計算手順について述べた.

第 3 章では, 連成解析手法の構築について述べた. 自動車の運動を数値流体解析上で再現するために用いた二つの移動境界手法, 解析格子の変形によって移動境界を表現する Arbitrarily Lagrangian Eulerian 法と, 流体の基礎方程式を自動車に固定した座標系で解き, 進行方向の変化を接近流風向で表現する非慣性系座標に基づく手法について述べた. そして, これらの移動境界手法を併用することで, 任意の水平面内運動とばね上車体運動を数値流体解析上で再現可能であることを示した. さらに, 運動解析と数値流体解析を同一ステップ内で解くことで両者の相互影響を考慮できる, 双方向連成解析手法の構築について示し, その計算手順について述べた.

第 4 章では, 多自由度運動時の非定常空力発生メカニズムを調べるために, レーンチェンジ運動を単純化し, 周期的かつ強制的にローリング・ヨーイング複合運動を与えた際の非定常空力ローリングモーメント応答とその発生メカニズムについて調べた. 単体ローリング運動と単体ヨーイング運動で得られた空力応答を算術的に足し合わせた結果と, 実際に複合運動させて得られた結果を比較することで, 複合運動時特有の空力応答を調査した. 結果として, 複合運動時には単体運動の足し合わせに比べ, 空力ローリングモーメントの位相遅れが増大することを示した. さらに, その増大は床下, 特にフロントタイヤの伴流とリアホイルハウス周りの流れに起因することを明らかにした. このことから, 実車が操舵によって姿勢変化しているときの非定常空力応答を議論するには, 多自由度運動を再現する必要があることを明らかにした.

第 5 章では, 非定常空気力が運動応答に及ぼす影響を調べるため, 車両運動と空力を双方向に連成させた解析を行い, レーンチェンジ運動中の空力とばね上車体の運動応答について調べた. 車両姿勢を準静的に変化させた定常空力を基にした運動解析で得られた結果と, 双方向連成解析で得られた結果を比較することで, レーンチェンジ運動中のばね上車体の運動応答, 特にローリング運動に及ぼす非定常空力の寄与を調べた. さらに, ばね上車体のローリング運動方程式における各項の寄与を調べることで, 非定常空力がどの項を通してローリング運動を変えたのか調べた. 結果として, 非定常空力によって各タイヤの接地荷重が変化することで, ローリング運動に差が生じることを明らかにした. そしてこの各タイヤの接地荷重変化は, 空力ローリングモーメントだけでなく, 空力ピッチングモーメントや空力揚力が変化することで三次元的にばね上車体の姿勢が変化し, サスペンション・ダンパー系を介してばね反力が変化するために生じることを示した. このことから, 非定常空力が運動応答に与える影響を詳細に議論する際は, 多自由度運動を再現する必要があること, 運動応答に与える複合的な非定常空力の影響を接地荷重変化によって評価できることを示した.

最後に, 第 6 章で本論文の結論について述べた.