

# 論文の内容の要旨

論文題目      ミニマルな内傾型パーソナルモビリティの提案と評価

氏    名      後藤 健太郎

## 第1章 緒言

2020年現在、メガトレンドとして急速な都市化の進行が挙げられている。都市における生活の質を左右する要素の一つが交通であり、現在でも多くの都市が渋滞・混雑や公害などの交通問題を抱えている。都市化の進行によって生じる新興都市においては、十分に発達した公共交通機関が存在しないため道路を用いた輸送手段に頼る傾向が強く、都市交通問題はより深刻なものとなる。一方、既存の都市においても一定量の輸送は道路を利用しており、また、移動手段や土地利用の多様性を確保し生活の質を向上させる上でも、自家輸送手段の効率化は望ましいことである。したがって、車道を使う都市向け自家輸送手段はこれまでに引き続き進歩していく必要がある。車道を使う都市向け自家輸送手段にはいくつかの категорияがあるが、本研究ではパーソナルモビリティビークル (PMV) の領域を選択することとした。これは、現在、都市の車道を占有している乗用車が複数名の輸送能力を持つにも関わらず大半が1名乗車状態で走行しており、これをPMVに置き換えることで移動の自由さを損なわずに車道を利用する自家輸送の効率化が可能であると考えられるためである。実際、PMVはこの理由において注目されているが、いまだ普及は限定的である。本研究では、取り巻く環境と既存のモビリティの客観的な俯瞰から車道走行型都市向けPMVのあるべき姿を描き出し、これに則った新たなPMVを提案してさらにその評価を行う。

続いて、どのような提案と評価を行うかについて論じる。車道を走行する輸送手段は様々な要素から成り立っているが突き詰めると主にタイヤと路面の間の垂直抗力及び摩擦力によって車体を支えつつ運動を発生させて乗員を移動させる機械に他ならず、故に、その本質はタイヤの使

い方と乗員の移動への関わり方にあると著者は考えている。また、車道を走行する輸送手段は、車両全体のフットプリントに比してごくわずかな面積のタイヤの接地面のみでしか基本的に力を発生することができず、また、その接地面は重心よりも必ず有意に低いところに位置するため、等速直線運動以外の動き方をする際にこの慣性力は必ずモーメントを生じさせることから、タイヤの使い方と乗員の移動への関わり方という本質は、この慣性力が車体を転がそうとする性質へどう対処するかという側面が特に重要であると考えられる。本研究ではこの車道を走行する輸送手段の機械としての本質に踏み込むために、車道走行型都市向け PMV の機構・構造において新しい要素を持つ提案を行うことを目指す。評価については、提案車両が本質的に新しい部分に着目し、理論解析とともに試験車両を用いた走行実験を実施して力学的な評価を行う。

## 第2章 都市における PMV に関する考察

本章では、都市交通問題を解決し得る車道走行型 PMV の提案、すなわち、車両計画の前段階として、要件定義を行う。

まず、自家輸送手段の性能項目をより上位の費用と効果の概念によって整理する。続いて、この概念に沿って、都市において車道走行型 PMV が向き合うべきこれからの状況の展望として、社会と技術の両面から都市交通の特徴、自動運転技術の普及、MaaS の発展に関して考察を行い、都市において利用あるいは提案されてきた自家輸送手段のこれまでの振り返りとして、乗用車と二輪車の比較を参考として既存の車道走行型 PMV の考察を行った。これらの客観的な俯瞰から現在我が国において PMV の普及が限定的なレベルに留まっている理由を導き出し、これを解消するために重視すべき性能項目を選び取って、現在において提案されるべき都市向け車道走行型 PMV の要件は、省フットプリントでフルキャビンを持ち／シンプルで小さく軽い、「ミニマルな都市向け車道走行型 PMV」であると結論付けた。

## 第3章 ミニマルな内傾型 PMV の提案とその評価の方針

各々の基本諸元が輸送手段の性質にどのように関連するかを理論的に検討した上で、前章で導き出した要件を効率良く満たすことのできるミニマルな解となるように車両計画を行った結果として、著者独自の新機構であるセンターピボットサスペンション (CPS) をキーコンポーネントとし、以下の特徴を持つ「リーン・オートモービル」を提案する。

- ・ 乗車定員 1 名
- ・ 前 2 輪、後ろ 1 輪の 3 輪構成
- ・ 操舵とリーンモーメントの発生は前 2 輪が担い、駆動は後ろ 1 輪が担う
- ・ 全長 1.8 m, 全幅 0.7 m の省フットプリント
- ・ 乗員の操作力をリーンモーメントに変換できる CPS を備える内傾型
- ・ 乗員が体重移動や足つきを行う必要がなくフルキャビンの装備が可能
- ・ リーン操作は下肢を用いたペダル操作で行う
- ・ 操舵はサイドスティック式とする
- ・ ランニングコンポーネントを下方に集中配置する

「リーン・オートモービル」という名称は、この車両が乗員の操作力・制御能力を活用した内傾型車両であり、最低限の快適性を確保しながらもミニマルな諸元を持つことから、「無駄がない」・「傾く」という 2 つの意味を持つ“lean”という英単語がキーワードとなると考え定めた。車体イメージ図を図 1 に示す。

続いて、車道を走る輸送手段の機械としての本質であると著者の考えるタイヤの使い方と人の関わり方に密接に関わる慣性力への対処方法に着目して、リーン・オートモービルの既存の輸送手段に対する位置付けを行った。その結果、左右方向の慣性力への対処を CPS によって乗員の操作力をリーンモーメントに変換して直接車体の傾きを制御して行うという点でどの既存の内傾型車両とも異なる、本質的に新しい有意義な提案であることが示された。また、本論文後半で行う提案の評価については、リーン制御に関わる独自の機能を持つが故に必要な実現性の評価と同機能によって発現する特有の効果に関する評価、すなわち、リーンに関する運転性と乗員が能動的に決定する内傾角が影響を及ぼす電費についての評価を行うことに学術的な意義があると考えられる。

#### 第 4 章 ミニマルな内傾型 PMV の理論解析

本章では、前章に挙げたリーン・オートモービルのリーンに関する運転性と乗員が能動的に決定する内傾角が影響を及ぼす電費についての理論解析を行う。

リーンに関する運転性の理論解析を行うに当たって、まず、リーン・オートモービルの基本的な運動特性の考察に適した力学モデルとして二輪車の Sharp の 4 自由度モデルに乗員によるリーン操作に関する自由度を加えた 4+1 自由度モデルを作成した。このモデルに、リーン・オートモービルの設計値や、設計値と予想値等の車両パラメータを代入して行った過渡応答特性の計算と時系列シミュレーションからは、乗員の操作によるリーン制御が可能であると考えに足る結果が得られるとともに、乗員が行うリーン制御手法に関する示唆と、車両設計に関して CPS の発揮するロール剛性値の目安とリーンステアを考慮したタイロッド配置の方針が得られた。

内傾角が電費に及ぼす影響の理論解析は、旋回中にタイヤ起因の走行抵抗が内傾角によってどの程度変化するかを平面 2 自由度モデルにおいて表し、運転性の理論解析に用いたのと同じ車両パラメータを代入して行った。この計算の結果、リーンウィズの状態となるように内傾を行うことによって旋回中のタイヤ起因の走行抵抗のかなりの割合が削減できることが予測された。

#### 第 5 章 試験車両を用いた実験による理論の検証

本章では、試験車両に先立って製作した CPS 試験機及び試験車両（図 2）の概要及び諸元の測定結果、リーンに関する運転性と内傾角が電費に及ぼす影響についての試験車両を用いた走行実験、シミュレーションと走行実験の測定値との比較による 4+1 自由度モデルの妥当性の確認について述べる。

CPS 試験機の諸元測定結果からは試験車両の CPS の板ばね部の設計へのフィードバックが得られ、評価項目に合致するように試験車両及び実験手法を設計した上で行った走行実験からは、前章で示唆された複数のリーン制御手法が低速領域において可能であることと、前章の推定値とはタイヤ特性の想定が実際と異なっていたことが原因と考えられる差が生じたものの内傾によ

り走行抵抗が減少して電費が向上する効果が示された。また、試験車両の諸元の測定結果を用いた4+1自由度モデルによる計算と走行試験の結果との比較から、センサの誤差や路面が完全に水平かつ平滑ではないことが原因と考えられるずれがあったものの、4+1自由度モデルはリーン・オートモビルの基本的な運転性の検討を行うに当たって妥当なモデルであると結論付けた。

この他に、走行実験として分析を行った以外の試験走行から、実際の道路におけるリーン・オートモビルの運用が基本的には可能であるとの所感が得られるとともに、実用に向けたCPSの改良や横転防止機構に関する指針も得られた。また、試験車両の設計方針と実際に達成された空車質量から、内傾型車両が生来的に軽量でありミニマルであることを目指すモビリティの形式としてふさわしいことも示唆された。

## 第6章 結言

本論文は、コンテキストの俯瞰・ユニークな提案・理論解析と実走行による検証の両面からの評価という一連の取り組みを優れたPMVを目指す姿勢を一貫させて体系的に行った様を著した。提案そのものの有用性と並んで本論文にまとめた提案に至るまでの論考と提案の評価を通じて得られた知見が都市向けPMV、特に内傾型PMVのこれからの研究開発の基となって活用されることにより現在・未来の都市交通問題の解決に資すると信ずる。

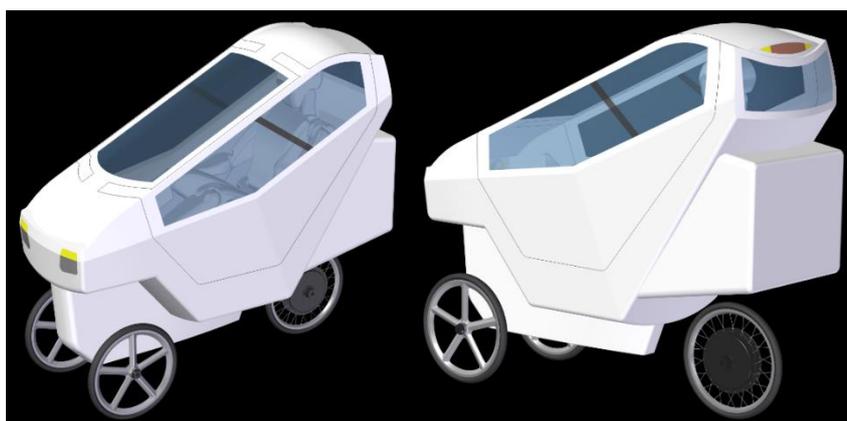


図1



図2