

Title	人の生活に浸透するモビリティサービスの設計支援手法
Author(s)	村本, 衛一
Citation	
Issue Date	2024-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	ETD
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/19061">http://hdl.handle.net/10119/19061</a>
Rights	
Description	Supervisor: 篠田 陽一, 先端科学技術研究科, 博士

## 概要

交通システムが単なる移動手段から、社会的、経済的、環境的な影響が大きい都市システムの一部となり人々の生活やビジネス、社会的関係、生活環境などに大きな影響を与えるため、その計画には、より総合的なアプローチが求められている。

本研究では、計算機科学と計算能力の進歩を活用して、交通計画の費用便益分析の限界を超える新しいモビリティサービスの設計と評価手法を提案する。提案手法は、新たな要求が発生し新たなモビリティが新たな環境で運用されることを念頭に、複数の意思決定者が多数のサービス選択肢から最適解を導出できるモビリティサービス設計支援・評価手法であり、形式仕様の活用で評価指標を正確に把握しつつ、事象駆動シミュレータを対話的に用いる手法である。この手法では、経済性と利便性だけでなく、安全性も考慮した3つ以上の指標を同時に評価する。地域の需要と交通量を調査し、運行パターンの候補を抽出する。そして、シミュレータを使用してこれらを再現し、評価指標の均衡から最適な解を抽出する。

計算機科学の成果である形式仕様記述とモデル検査の力を利用して、ライドシェアサービスの活性特性 (liveness property) を検査した。ライドシェアサービスは、出産や事故時の配車、薬剤の配送など、活性特性が求められる並列システムの一例である。予約したにもかかわらず配車が行われない状況は社会的に受け入れられない。線形時相論理とクリプキ構造を使用してライドシェアシステムを記述した。Maude という仕様記述言語を用いて、本質的なシステム仕様と地図や人や車の配置などのパラメータを分離して記述する例を示した。並列システムでは、公平性の仮定を置かないと活性特性が満たされないことが知られている。本研究では、ライドシェアシステムのモデル検査においても強い公平性の仮定が必要であることを指摘した。公平性の仮定を置くと、計算量が爆発し、現在の計算機でも計算不可能な場合がある。この問題に対して、分割統治アプローチを採用し、モデル検査を高速化することに成功した。現在の計算機ではメモリ不足になる可能性があるため計算不能なモデル検査を、約3分43秒に短縮できることを例示した。

シミュレータを用いて計算機能力を活用して、新たなモビリティサービスの設計・評価を行う方法の実践として、人を運ぶ事例とモノを運ぶ事例に提案手法を適用した。人を運ぶ事例としては、大阪地区での自動運転ライドシェアシステムのサービスを題材に評価を行った。大阪地区では、社員がビルの出入りの際に社員カードで時刻を刻印するデータがあるため、1日30万トリップ程度の人の動きをほぼ正確に再現できる。自動運転車両と人との間がある一定の距離内に近接する事象の頻度と車両の重量及び速度から事故発生時の重篤度を算出する安全性の指標を定義した。既存の費用便益分析で用いられてきた経済性、利便性の指標のみならず、安全性の指標を含めた3指標を加味した最適解を HPC である StarBED を活用して全探索した。また、焼きなまし法を用いて最適解を探索した。この結果、最大積載人数の4名/台の車両を運行することで最適解が得られるという直感とは反して、3人乗りの車両を運行したほうが最適であるという結果を得ている。また、シミュレーションでは、人と車が近接する場所を特定できるため、当該事象の発生場所を地図上に可視化したところ、実際の自動運転車両と人との近接事象が発生した場所と合致することが確認できている。すなわち、危険事象が発生する場所を回避する経路を再設計したり、当該場所を通過する時の最高速度を制限した新たな運行計画を作成することで、より最適な解が得られることが分かった。計算機の力を使って網羅的に検査することで得られた解であると言える。

また、シミュレータを使用して計算能力を活用し、藤沢 SST での自動配送ロボットによる配送サービスの設計と評価を行った。藤沢 SST では、多くの住民が商品を注文し受け取り消費して生活している。複数の店舗からの配送を想定し、ロボットの数や営業時間などの要素をシミュレーションパラメータとして最適解を探索した。パラメータの組み合わせは10億を超えるため、複数の限られたシミュレーションバッチを実行し、安全性、経済性、利便性の評価軸上にパレート解

を表示し、意思決定者がベストな解を選択していく対話的な方法で最適解を見つける手法を提案した。結果、10億以上の選択肢があるにも関わらず多くの評価者は類似した解を最適として選ぶ結果が得られている。アンケートにより、実行時間、説明性、UI、納得性、全体把握性に関する主観評価を行った。結果、実行時間と説明性の評価は高かった。UI、納得性、全体把握性に関しては良好な評価ではあるが、まだ改善の余地もあることが確認できた。

さらに、4つ目の指標を定義し、これを3次元空間にプロットし、パレート解を比較できる方法を提案した。安全性、経済性、利便性に加えて、「道路での滞留時間」と「店頭待ち時間」という新たな制約を信号時相論理 (STL) の記述を用いて定義し、シミュレータを使用した対話的な手法で最適解を探索した。STL の記法により評価指標について評価者の共通理解を得た上で、既存の Optuna 方式と提案方式の比較した。結果、提案方式は評価者の戦略をよく反映しているが、網羅性に関しては既存方式が高い評価を得た。既存方式と提案方式のシミュレーション実行回数を比較すると、既存方式の方が25倍多くのシミュレーションを実行していたため、シミュレーションバッチの回数を増やすことで提案手法の網羅性を高められることが分かった。モビリティサービスには、移動中の滞留時間や店舗での待ち時間など、時間的空間的に変化する指標が数多く存在する。シミュレータを用いた評価に STL 式を導入することにより、提案方式で設計・評価できる項目が増え、より実用的な設計・評価方法にできた。

仮説を立案し複数の評価指標により検証することが望まれているモビリティサービス、特に走行路や運行方法が確立していない新たなモビリティの投入が必要となるモビリティサービスの設計・評価に提案手法は好適である。

**Keywords:** 交通計画, 自律移動モビリティ, 意思決定シミュレーション, 多目的最適化