

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	統計量に基づいた走行モード制御によるプラグインハイブリッド車の実時間燃費最適化
Title(English)	Statistics-based Drive Mode Control on Real-Time Fuel Economy Optimization in Plug-in Hybrid Electric Vehicles
著者(和文)	渡辺隆之助
Author(English)	Ryunosuke Watanabe
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11746号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:三平 満司,石崎 孝幸,倉林 大輔,早川 朋久,畑中 健志
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11746号, Conferred date:2022/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	渡辺 隆之助	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	三平 満司	教授	畑中 健志	准教授
	審査員	石崎 孝幸	准教授		
		倉林 大輔	教授		
		早川 朋久	准教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「統計量に基づいた走行モード制御によるプラグインハイブリッド車の実時間燃費最適化」と題し、全7章から構成されている。

第1章「序論」では、はじめに本論文の研究背景として、複数のエネルギーで駆動するシステムを対象とした研究の重要性を述べている。そのようなシステムの代表例としてプラグインハイブリッド車 (PHEV) を取り上げ、PHEV のエネルギー消費戦略の基本方針を述べた後に、効率的な駆動のためには走行モード (用いるエネルギー源) の適切な切替が要求されることを主張している。本論文ではこの目的に対して、走行する経路の情報に基づいた燃費最適化問題を提案し、数値および実機実験による有用性を示すと述べている。

第2章「数学的準備」では、本論文にて必要となる数学的用語の定義や性質を紹介している。まず、凸最適化に必要な定義と数学的記述を導入している。また、不確定現象の数学的記述として確率変数・分布の定義および諸定理について述べ、確率変数の統計量から得られる不等式の性質と論文内で用いる確率分布の推定手法について説明している。

第3章「問題設定・モデル化」では、本論文の問題設定を述べて、走行経路および PHEV のモデル化手法を提案している。まず、事前に計画された走行経路上の負荷を、統計情報に基づいてモデル化している。具体的には走行経路の情報として道路勾配と車速を定義し、道路勾配は確定的、車速は確率的としている。PHEV のエネルギー消費量モデルは道路勾配・車速に応じた静的マップとして定義している。本論文の主題である PHEV の走行モードは、EV モード (電力駆動)・HV モード (ガソリン駆動) の2モードを制御するとしている。

第4章「統計量に基づいた走行モード制御手法および実機検証」では、第3章で定義したモデルを用いて、走行モード制御による PHEV の実時間燃費最適化手法を提案し、数値および実機実験によって有用性を検証している。提案手法は最適化ベースの走行モード制御である。決定変数を走行モード (EV・HV) とし、評価関数をガソリン消費量の期待値、拘束条件を充電残量に対する電力消費の期待値としている。この燃費最適化問題は整数計画問題の一種である二値線形計画問題となり、既存の効率的な数値最適化手法によって解くことができると主張している。提案手法の数値・実機検証について説明し、各検証結果による燃費改善の有用性と、実時間で実行可能であることを実証している。

第5章「リスクを考慮した燃費最適化」では、第4章で提案した手法の課題点を解決するために、走行モード入力の変動およびリスク評価をするための統計量を導入した手法を提案している。まず、PHEV の内部システムが現在の車速値に応じて走行モードを制御できるように入力を拡張している。また、リスク統計量として conditional value at risk (CVaR) と entropic value at risk (EVar) による最適化を考察している。CVaR はガソリン消費量が大きくなるリスクを定量化し、ガソリン消費分布の正方向への広がりを抑制する制御を可能にすると述べている。他方の EVar は、充電残量に対する確率制約に Chernoff の不等式を適用することで自然に導かれる。本論文では、これらの CVaR で定量化した評価関数と EVar の境界値に基づく拘束条件が混合整数計画問題となることを導出している。最後に、数値実験により提案手法の性能および設計について第4章の手法と比較し、燃費改善の有用性を示している。

第6章「排出ガス抑制を考慮した燃費最適化」では、燃費最適化と同時に排出ガス抑制を達成する手法に取り組んでいる。排出ガス抑制を達成するために、PHEV に搭載されている三元触媒コンバータの温度モデルを検討し、温度変化を予測するための新たな単純化モデルを導入している。この触媒温度モデルは、3つの異なるダイナミクス (暖機による急速な加熱・EV モード走行による冷却・HV モード走行による加熱) が切り替わるシステムとして表現される。最適化問題において、評価関数は暖機のために必要なガソリン消費量を採用し、拘束条件は内燃機開始時の許容触媒温度として設定している。これらの評価関数・拘束条件を燃費最適化と同時に解くことで、排出ガス抑制を考慮した最適な走行モード制御を提案している。数値実験による結果は、現実的な許容触媒温度に対して提案手法が燃費改善を達成することを検証している。

第7章「結論」では、本論文の貢献についてまとめ、今後の課題・展望について述べている。

以上を要するに、本論文は事前に計画された走行経路において、エネルギー消費を統計量として予測した走行モード制御による PHEV の実時間燃費最適化を提案している。本論文は、従来では補助的に活用していた走行経路の情報を主体的に用いた PHEV の燃費最適化を考察しており、実時間動作を実証している。また、リスク統計量を導入することで手法を拡張するほか、より実用化を目指す上で重要な触媒温度を考慮する方法も述べており、工学上・工業上の貢献が大きい。よって、博士 (工学) の学位論文として十分価値のあるものとして認められる。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。