

課題番号	Q20T-02
課題名 (和文)	走行環境を考慮したエコ走行運転と実走行運転とのずれの定量化を組み込んだ制御設計の構築
課題名 (英文)	Design of Model predictive control with a reference trajectory based on the gap between eco-drive control and driver operation
研究代表者	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 工学部、電気電子工学科、教授 氏名 日高 浩一
共同研究者	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 工学部、電気電子工学専攻、修士学生 氏名 青木 駿
	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 工学部、電気電子工学専攻、修士学生 氏名 遠藤 快
	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 氏名
	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 氏名

研究成果の概要 (和文)

本研究では燃費向上の駆動部制御に利用するモデル予測制御(Model Predictive control: MPC)に運転者の特性を考慮する設計法を提案し、MATLAB/ Simulink を利用したシミュレーションで有効性を示した。

駆動部制御ではエンジンおよびモータの各回転数を制御するための指令値である各トルクを走行に応じた評価関数の重みを変化させる MPC 設計法を提案し、テスト走行、実走行データでのシミュレーションで平均 2km/L の燃費向上を達成した。また、MPC で必要な参照軌道設計設計に、強化学習を応用して運転者の特性を利用する設計法を提案した。

研究成果の概要 (英文)

We proposed a design of novel weighting coefficients for MPC (Model Predictive Control) and a reference trajectory for MPC. First, the proposed MPC makes the coefficients variable according to driving conditions, i.e., varying the weighting effects at the stage of decreasing speed. Furthermore, we proposed a reference trajectory for MPC using reinforcement learning. We proposed the trajectory design based on reinforcement learning. In the design, the policy has two controllers. The controllers switch by lateral distance. The proposed MPC with varying the weighting effects and trajectory design are simulated using MATLAB/Simulink and these validity were evaluated.

1. 研究開始当初の背景

現在提案されてきた HEV 駆動部制御設計では運転者が操作する速度は代表的なドライビングサイクルで表しかつ既知としているため、走行環境に依存して変化する実走行中での運転者の操作は考慮されていない。

2. 研究の目的

高燃費走行が難しいと考えられる市街地などの中低速環境下に対して、提案する LPV モデルを利用して高燃費を達成するモデル予測制御を利用した駆動部制御設計法を提案し、テスト走行と共に実際の走行データを利用したシミュレーションにより有効性の検討を行う。さらに MPC で必要な参照軌道設計に強化学習を利用し運転者の特性を考慮した設計法も提案する。

3. 研究の方法

3.1 モデル予測制御のための可変重み設計法

正規分布を利用して無相関の変動パターンで燃費変化、エンジン回転数および充電率に関係する重み係数を変化させ、時系列燃費で急激な変化が見られた時間帯のエンジン・モータおよびジェネレータの回転数およびトルクと重み変化の関係を解析し、以下に示す可変重み係数設計法を提案した。

- (1) 固定値 60 で開始し、車速が減速した時 $60-10=50$ に変更する。
- (2) 減速が続く場合、重み係数を 5 低減させ、減速している間(2)を繰り返す。
- (3) 重み係数の下限値 20 に到達した場合、60 へリセットして(1)から(3)を繰り返す。

3.2 参照軌道設計法

強化学習を利用して繰り返しの動作により得られる軌道を参照軌道とする設計法を提案した。今回は車線変更のステアリング動作を対象とし、移動距離とヨー角加速度の 3 状態に対して報酬関数および行動価値関数である Q 値を更新し、得られた Q 値テーブルの最大値をとるステアリング角度をドライバーの操作入力として移動を行い、最終軌跡を参照軌道とする。

4. 研究成果

4.1 モデル予測制御のための可変重み設計法

燃費テストで利用される WLTP 走行および 3 週間分の実走行データを利用した燃費結果が以下となり提案法の有効性が確認できた。

表 1 各走行の燃費結果

走行サイクル	提案法	固定型(係数: 60)
WLTP	35.7 km/h	25.5 km/L
実走行	22.0 km/L	17.1 km/L

4.2 参照軌道設計法

乗り心地を含む報酬関数、乗り心地を含めない報酬関数および各報酬関数の重み係数も学習により可変とした報酬関数を利用した移動軌跡により次の結果を得た。ヨー角加速度から乗り心地の考慮ありなしで最大加速度に大きな違いは現れない結果となった。一方で各報酬関数の重みを変えた結果は少し不快の目安の 0.63m/s^2 未満まで低減できる結果を得た。その結果、報酬関数の配分を状態により適宜変更することが重要であることを確認した。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 9 件)

- ① 遠藤快, 日高浩一, 燃費向上のための走行状況に応じた可変型重み係数設計法 第 9 回 計測自動制御学会マルチシンポジウム(MSCS2022), 3G2-2(6 ページ), 2022.
- ② 遠藤快, 日高浩一, 走行状況に応じた可変型重み係数設計法, 第 22 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会, pp.2138-214, 2021.
- ③ 青木駿, 日高浩一, 強化学習を利用するモデル予測制御の設計法の検討, 第 9 回 計測自動制御学会マルチシンポジウム(MSCS2022), PS3-4, 2022.
- ④ 青木駿, 日高浩一, 2 輪車両モデルに対して強化学習を利用した車線変更動作の検討, 2021 年電気学会 電子・情報・システム部門大会, pp.1086-1089, 2021.

