

令和 3 年 6 月 20 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01421

研究課題名(和文)低燃費ハイブリッド車へのコースティング走行技術導入を促進するショックレス加速制御

研究課題名(英文) Shockless Acceleration Control to Promote the Introduction of Coasting Driving Technology to Fuel-efficient Hybrid Vehicles

研究代表者

大石 潔 (Kiyoshi, Ohishi)

長岡技術科学大学・工学研究科・教授

研究者番号：40185187

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、ハイブリッド車を含むエンジン車の燃費を10%以上向上させるコースティング走行の導入を促進させるために、運転性能を下げずにスムーズなクラッチ締結と短時間(0.4秒以内)ショックレス加速制御を、模擬実験装置の実験結果で実現したことにある。コースティング走行技術の普及促進への最大の課題は、運転者の加速要求から実際に加速するまでに生じる遅れ時間と加速ショックによる運転性能低下を除くことである。そこで、本研究では、機械的なマイナス要素である動力伝達系のガタを、モータ制御で電気的なプラス要素にしたガタ詰め制御に基づく短時間ショックレス加速制御を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

コースティング走行技術は、ハイブリッド車に対して低コストでの適用が容易で、低燃費化法として理想的である。本研究は、動力伝達系のクラッチ後段のガタを活用して、クラッチ締結時のショックを絶縁し、0.4秒以内でのスムーズな連結トルク制御して、短時間ショックレス加速制御を実現している。このように、ガタの欠点を、ショックレス加速制御の長所にするには、学術的に独自性と創造性が高い。コースティング走行技術による燃費性能は平均10%以上向上する。燃費の10%向上は、2016年度末の日本のハイブリッド車を含むガソリンエンジン車で試算すると二酸化炭素の削減量としては年間約4億5千万トンになり、社会的意は高い。

研究成果の概要(英文)：In order to promote the introduction of coasting driving, which improves the fuel efficiency of engine vehicles including hybrid vehicles by more than 10%, this research achievement is the realization of smooth clutch engagement and short-time (within 0.4 seconds) shockless acceleration control without degrading driving performance through the experimental results of a simulated experimental system. The biggest challenge in promoting the use of coasting driving technology is to eliminate the delay time between the driver's request for acceleration and the actual acceleration, and the degradation of driving performance caused by acceleration shock. Therefore, in this research, a short-time shockless acceleration control based on the rattle-packing control was realized, in which the rattle in the power transmission system, which is a mechanical negative element, was made into an electrical positive element by motor control.

研究分野：制御工学

キーワード：電力工学 制御工学 電気機器

1. 研究開始当初の背景

コースティング走行技術を導入することで燃費を 10%以上改善できると今までに報告されてきた。この技術を広く普及促進させるためには、運転性能を低下させないための「アクセルオンから加速するまで 0.4 秒以内で行う」新しい制御手法が必要となる。この一連の制御フェイズでコースティング走行技術を実現した例は学術的にも工業的にも未だ無かった。コースティング走行技術の普及促進への最大の課題は、運転者の加速要求から実際に加速するまでに生じる遅れ時間と加速ショックによる運転性能低下を除くことである。本研究では、機械的なマイナス要素である動力伝達系のガタを、モータ制御で電気的なプラス要素にして実現する。

したがって、本研究内容は学術的にも工業的にもオリジナルな研究開発である。この技術開発が達成されると、ハイブリッド車の他に既存のエンジン自動車にも適用可能であるので、日本の総ガソリンエンジン車 6500 万台(2016 年現在：日本自動車工業会)に適用できれば、排出二酸化炭素を年間約 4 億 5 千万トン削減できる(国土交通省調査データ参照)。このことから、本研究課題は持続可能な社会の実現に向けて、社会的にも非常に意義のある研究内容である。

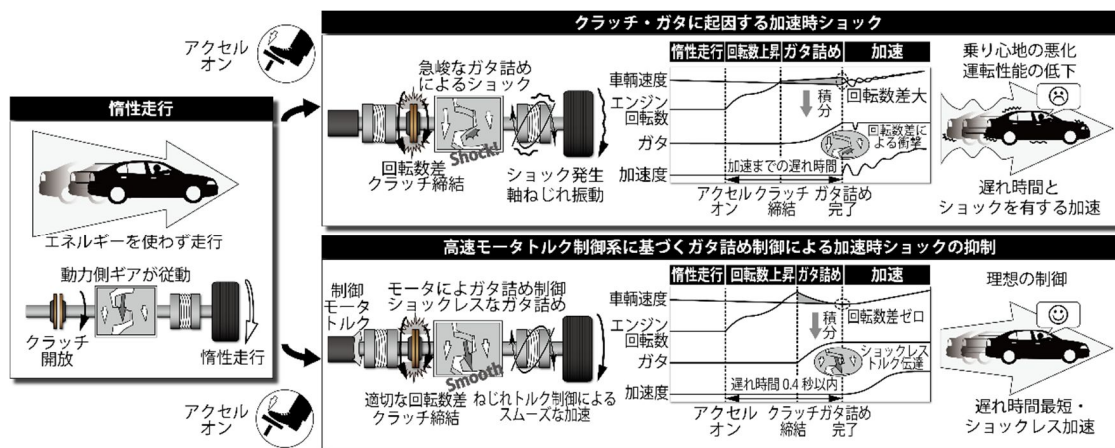


図1 低燃費コースティング走行技術導入を促進するショックレス加速制御

2. 研究の目的

本研究の目的は、図1に示す様に、運転性能を下げずにスムーズなクラッチ締結と短時間(0.4 秒以内)ショックレス加速制御を実現することである。そこで本研究では、機械的なマイナス要素である動力伝達系のガタを、モータ制御で電気的なプラス要素にしたガタ詰め制御(図2参照)を実現する。

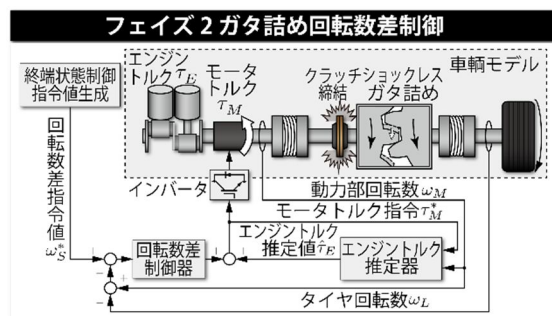


図2 ショックレス加速のためのガタ詰め制御

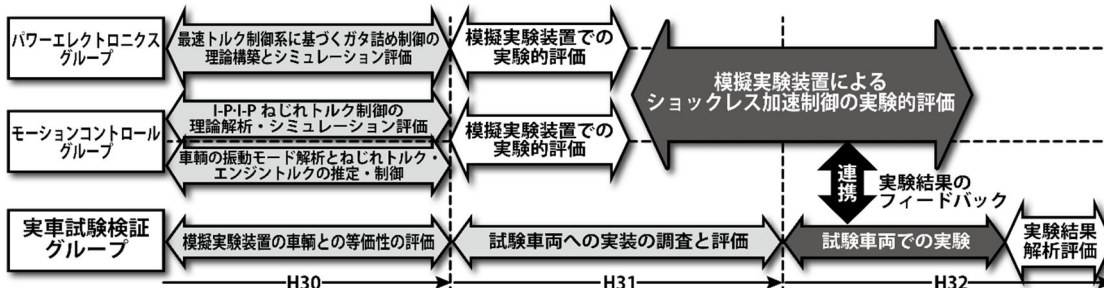


図3 本研究課題のロードマップ図

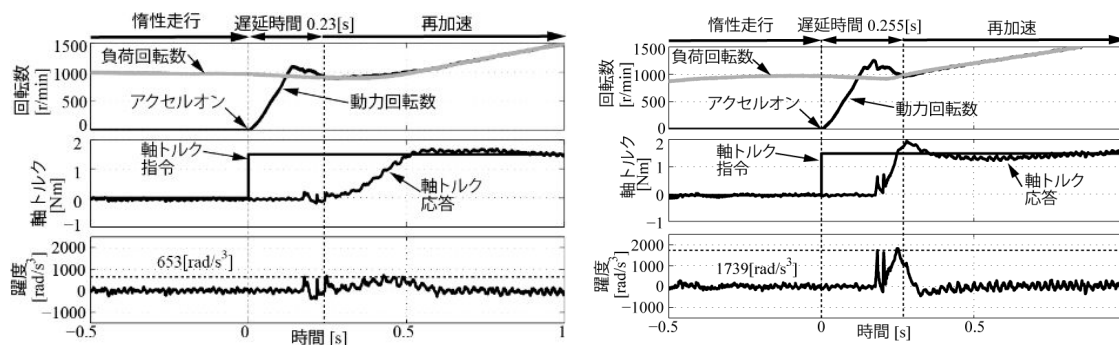
3. 研究の方法

本研究は、3つのフェイズより実現される。フェイズ1は、ACモータ(IPMSM)によりエンジンを再始動して、クラッチ前後の回転数差を所定の値に制御する。フェイズ2は、惰性走行時に生じるガタを用いてクラッチ締結時のショックを絶縁するとともに終端状態制御によるガタ詰め制御を行う。フェイズ3は、提案する「オブザーバ理論に基づいた I-P・I-P ねじれトルク制御」により、クラッチ締結後の非線形摩擦と共振振動に起因するショックのない加速制御を行う。

本研究は図3のロードマップで実施する。パワーエレクトロニクス、モーションコントロールと実車試験検証の3グループ体制で進める。なお、最終年度の実車試験はコロナ禍の影響と申請予算からの実予算減額の2つの理由でできなかった。

パワーエレクトロニクスグループは「エンジン再始動から0.4秒以内でのクラッチ締結とショックレス加速制御」を、終端状態制御、瞬時トルク制御と瞬時正弦波電圧制御などを用いて実現する。モーションコントロールグループは動力伝達系のガタ、共振モード、非線形摩擦を持つシステム全体の制御戦略を理論的に進める。実車試験検証グループでは、模擬実験装置での試験を実車試験に可能な限り近づけて、模擬試験装置での試験の考察と評価を行う。

4. 研究成果



(ガタ締め制御あり) (ガタ締め制御なし)

図4 終端状態制御方式ガタ締め制御による再加速実験結果

本研究の成果として、フィードフォワード制御の終端状態制御方式によるガタ締め制御系を構成して、ショックレス再加速制御の実現を目指している。ハイブリッド車等価実験装置を用いて、終端状態制御方式によるガタ締め制御の実験評価を行った。ハイブリッド車等価実験装置はエンジン+ISGモータの模擬モータ、乾式電磁クラッチ(半締結不可)、動力伝達系のガタ(バックラッシ)、共振モードを模擬する板ばねと負荷側慣性体、車両速度を模擬する負荷モータで構成されている。ガタでクラッチ締結のショックを絶縁することによるショックレス再加速制御の等価実験を図4のように実施した。実験結果より、**終端状態制御方式のガタ締め制御による再加速制御では、惰性走行開始(アクセルオン)から0.23秒で、スムーズな再加速ができることを確認した。クラッチ締結のショックをガタ締め制御の有無で、躍度を比較すると1739rad/s³ 653rad/s³という結果が得られ、ショックが1/3に低減できることを立証した。難解なクラッチ締結後の短時間ショックレス再加速制御に対して、学術的にも工業的にも大きく前進した。**

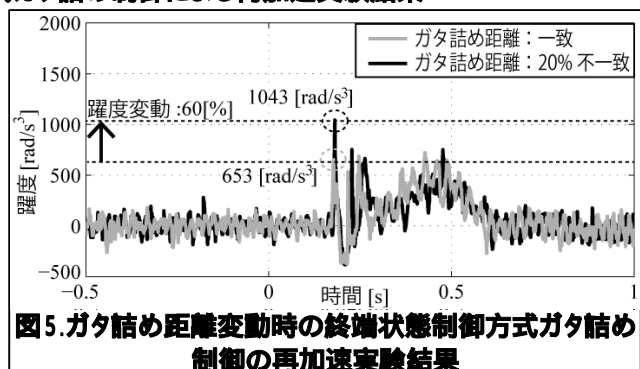


図5.ガタ締め距離変動時の終端状態制御方式ガタ締め制御の再加速実験結果

しかしながら、終端状態制御方式のガタ締め制御では、ガタ締め距離が変動する場合、実験結果は20%変動時の躍度変動は653rad/s³ 1043rad/s³の約1.6倍に上昇し、加速度の変化が若干大きくなった応答になった。(図5参照)したがって、終端状態制御方式だけのガタ締め制御のショックレス再加速制御は、ガタ締め距離変動に対して、ショックレス再加速の実現は若干難しい場合があることを確認した。また、図4の実験結果では動力回転数が車両速度に一致する完全締結までの時間は短時間(0.23秒)を実現しているが、動力回転数と軸トルクの両者が一致する機械的パワー(トルク×速度)伝達達成には、0.5秒ほどかかっている。機械パワーの到達においても、0.4秒以内の達成を目指しているが、終端状態制御方式だけのガタ締め制御では、その達成は若干難しい場合があることを確認した。

そこで、惰性走行からのショックレス再加速による超低燃費ハイブリッド車を確実に実現するために、アンチバウニング・ガタ締め制御とクラッチ滑り加速度制御が必要であると評価した。この2つ制御方式は令和3年度科研費基盤研究(B)で実現する。その成果としては、次の2つが期待できる。1.ガタ締め距離が未知であっても、ガタ締め完了後にバウニング振動を起こさせない「アンチバウニング・ガタ締め制御」によるガタ締め制御する。2.滑り加速度制御で滑り加速度指令によってモータトルクを引き下げることで、安定に高粘着状態(滑り状態)を維持して、クラッチの半締結(半クラッチ)状態をスムーズかつ安定に維持する。その結果、惰性走行からのショックレス再加速による超低燃費ハイブリッド車を確実に実現する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Tran Phuong Thao, Kiyoshi Ohishi, Yuki Yokokura	4. 巻 67
2. 論文標題 Fine Sensorless Force Control Realization Based on Dither Periodic Component Elimination Kalman Filter and Wide Band Disturbance Observer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Industrial Electronics	6. 最初と最後の頁 757-767
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TIE.2018.2883256	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yuki Yokokura, Kiyoshi Ohishi	4. 巻 67
2. 論文標題 Fine Load-Side Acceleration Control Based on Torsion Torque Sensing of Two-Inertia System	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Industrial Electronics	6. 最初と最後の頁 768-777
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TIE.2018.2881944	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Akinori Yabuki, Kiyoshi Ohishi, Toshimasa Miyazaki, Yuki Yokokura	4. 巻 8
2. 論文標題 Quick Reaction Force Control for Three-Inertia Resonant System	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Journal of Industry Applications	6. 最初と最後の頁 941-952
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejjia.8.941	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Akira Yamaguchi, Kiyoshi Ohishi, Yuki Yokokura, Toshimasa Miyazaki, Kotaro Sasazaki	4. 巻 8
2. 論文標題 Backlash-based Shock Isolation Control for Jerk Reduction in Clutch Engagement	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Journal of Industry Application	6. 最初と最後の頁 160-169
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejjia.8.160	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tenjiro Hiwatari, Kiyoshi Ohishi, Yuki Yokokura, Haruya Kada, Sota Sano, Akira Satake	4. 巻 7
2. 論文標題 Fast Torque Response and Reduced Pulse Width Modulation Switching Frequency Based on Model Predictive Direct Torque Control and Selective Harmonic Elimination	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEJ Journal of Industry Application	6. 最初と最後の頁 431-440
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejia.7.431	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	和田 安弘 (Yasuhiro Wada) (70293248)	長岡技術科学大学・工学研究科・教授 (13102)	
研究分担者	横倉 勇希 (Yuki Yokokura) (70622364)	長岡技術科学大学・工学研究科・准教授 (13102)	
研究分担者	宮崎 敏昌 (Toshimasa Miyazaki) (90321413)	長岡技術科学大学・工学研究科・教授 (13102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関