

平成 21 年 5 月 27 日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2007 ～ 2008
 課題番号：19760290
 研究課題名（和文）最適運転理論に基づいたハイブリッド電源車両の最小エネルギー運転制御
 研究課題名（英文）Minimum Energy Operation Control for Hybrid Vehicles Based on Optimal Operation Theory
 研究代表者
 宮武 昌史 (MIYATAKE, MASAFUMI)
 上智大学・理工学部・准教授
 研究者番号：30318216

研究成果の概要：本研究課題では、ハイブリッド電源車両における省エネルギー運転制御を対象とし、最適性、すなわち最小エネルギー化を考慮しつつ、加減速指令や充放電量を制御する方法を提案し、さらにその実用性を増大させることができた。具体的には、位置エネルギーを考慮した省エネルギー運転制御法を提案・確立し、リアルタイム制御に利用できる一手法であるモデル予測制御の適用可能性を評価することができた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,300,000	0	1,300,000
2008 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,800,000	150,000	1,950,000

研究分野：電気機器工学・制御工学・システム工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・制御工学

キーワード：制御工学，省エネルギー，ハイブリッド車両，電気自動車，電気鉄道

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化に対応した CO2 排出削減などにより、今後、運輸部門にもエネルギー消費削減が厳しく求められる。その削減方法には色々あるが、省エネルギー運転は大幅な機器更新を伴わない有効な方法の一つである。しかしながら、現状の運転方法はドライバーによって異なり、同じ距離を同じ時間で走る場合の消費エネルギーには個人差が大きく、10%以上異なることもあり得る。そこで、省エネルギーを実現する運転、具体的には加減速パターンについて理論的検討が求められている。

一方、車両側に目を転じてみると、最近ではハイブリッド自動車をはじめとして、鉄道においてもハイブリッド車両や電力貯蔵装置を備えた車両が出現しており、用いる電源の多様化も今後ますます進むと考えられる。このような複雑な機器群をどのように運用するかにより、省エネルギー性も大きく変わってしまうため、こういった面でも理論的検討が求められている。

本研究では、ある距離を与えられた時間内に走るときの消費エネルギーを最小にする加減速パターンを求める、いわゆる最小エネルギー運転制御に焦点を当てたアプローチを取る。「与えられた時間内に」という条件

は、交通サービスの面から譲れない条件であり、これがないと「ゆっくり走る」という、面白くない結果しか出てこない。この条件を守ることこそ意味のある検討をもたらすが、数理的な取り扱いには意外に容易ではない。

この検討で考慮すべき条件としては、空気抵抗などによる損失、動力供給における電力損、勾配、速度制限（急カーブなど）、前後車両との干渉、信号などがある。これらの大部分を含めて考察を行わないと、現実に適用できる研究とはみなされないが、これらの考慮は一般に難しく、ほとんど行われて来なかった。

2. 研究の目的

本研究では、ハイブリッド電源車両における省エネルギー運転制御を対象とし、最適性、すなわち最小エネルギー化を考慮しつつ、制御の実用性を飛躍的に増大させることを目的とする。対象は、ハイブリッド電源を有する鉄道に加え、今後 ITS の発展で自動運転が可能となる自動車、特に電気モータを用いる自動車への適用も行う。これらのシステムで、最適な運転とはどういうものかをモデル分析で明らかとし、さらにこれまでの検討では行われていない、実際の車両に実装するための制御器構成について考える。シミュレーションだけでなく、簡易実験を行うことで、制御の有効性、実用性の評価も行う。

3. 研究の方法

(1) 2007(平成 19)年度

研究代表者らが 2006 年度までに既に開発していた動的計画法や勾配法などを用いた最適運転求解法について、さらに車両間の干渉、信号の影響なども考慮して発展させ、実システムへの適用性を一層向上させる。電気鉄道においては、電力貯蔵装置の応用に加え、ハイブリッド電車、燃料電池電車への適用も考慮し、様々な電源モデルを扱えるようにする。さらに、道路交通における自動車への応用も検討する。実際に考えられる制約については、各方面の専門家にも意見を聞き、書籍・論文なども良く調査する。加えて、最適化手法についても調査を行い、手法の改良も検討する。

理論的検討と並行して、交流電動機、チョップ、インバータ、慣性負荷、電気二重層キャパシタを組み合わせた模擬ハイブリッド電源-電動機駆動システムを構築する。インバータやチョップに与える PWM 波形を生成する制御システムは新規に購入するが、それ以外

は極力既存の装置を流用する。加減速度と効率の関係を示すモータ効率マップ作成と、起動から停止までの回転角とエネルギー消費量の計測などができるようシステムを整備する。

(2) 2008(平成 20)年度

従来は困難だった理論と実験との比較を行う。前年度に本補助金で購入した装置を利用し、実際に模擬電動機駆動システムによりエネルギー測定実験を行い、理論どおりの省エネルギーが達成されることを確認する。実験では、摩擦を変える、あるいは電源側に抵抗を挿入するなど、様々な条件を試み、普遍性を追求する。これらの条件の変化が最適解に大きな影響を与えうることは、これまでの検討からほぼ明らかなることであり、実験的な検証が必要とされる内容である。

また、シミュレーションも多数実行し、一般的な知見を得ることを試み、フィードバック機構を持つようなリアルタイム制御が可能な簡易的準最適運転制御法を検討する。昨年度の成果として、目的地までの走行距離と、目的地までの経路中の位置エネルギーの変化とを考慮するだけで、簡便なオンライン制御でも理論的最適解にある程度近づけられることを明らかにできたので、そのようなアプローチを進めていく。さらに、もっと予測的要素を取り入れて、理論的最適解に近づけることを目指す。

なお、10月から2月の5ヶ月間は、文部科学省の「大学教育の国際化加速プログラム（海外先進教育研究実践支援（研究実践型）」の個別取組「次世代電源による高効率モータ駆動法の開発」として、スイス・ベルン工科大学 (Bern University of Applied Sciences) に滞在する。受入先のアンドレア・ヴェッチーニ (Andrea Vezzini) 教授の協力を得ながら、電源の特性と高効率運転制御との関係について掘り下げて検討する。

4. 研究成果

2年間の成果を項目別にまとめる。

- (1) 既に開発した動的計画法や勾配法などを用いた最適運転求解法について、シミュレーションを多数行い、走行時間に余裕のある場合とない場合で、最適なエネルギー分担方法が異なることを示した。この成果についてまとめた論文が、電気学会の英文誌に採録されることとなった。さらに、自動車の走行条件として、

信号の影響や乗り心地なども考慮した簡易的シミュレーションを行い、最適化モデルで考慮できることを示した。

- (2) リアルタイム制御法の検討の初期段階として、バッテリーキャパシタハイブリッド車において、目的地までの距離と位置エネルギー（高度）の変化を考慮に入れたファジィ制御方法を提案した。オフラインで最適化した解とも比較を行った結果、これらを考慮に入れることで、リアルタイム制御シミュレーションの結果が理論最適解に近づくことが示された。さらに、より難しい燃料電池-キャパシタハイブリッドシステムに変更して検討を行い、電源の条件が変わった時でも十分理論的最適条件に近いところでオンライン制御ができていていることを示し、本制御法の利用価値を明らかにした。
- (3) 2008年10月から2009年2月の5ヶ月間は、文部科学省の「大学教育の国際化加速プログラム（海外先進教育研究実践支援（研究実践型）」の個別取組「次世代電源による高効率モータ駆動法の開発」のため受入教員アンドレア・ヴェッチェーニ教授のいるスイスのベルン工科大学に滞在した。その際、モデル予測制御によるモータの制御法について検討し、モデル予測制御による省エネ運転制御への適用可能性を示した。この方法では、様々な制約条件を考慮しつつ、消費エネルギーなどの目的関数をオンラインで最適化できる。しかも、モデルと実プラントの誤差に比較的強いことも分かった。これにより、本研究課題の遂行でこれまでで不十分であった、真のオンライン最適制御の検討を実現することができた。
- (4) インバータやチョップに与えるPWM波形を生成する「パワエレ用デジタル制御システム」を新規に購入し、既存の交流電動機、チョップ、インバータ、慣性負荷、電気二重層キャパシタを組み合わせた模擬ハイブリッド電源-電動機駆動システムの構築を行った。本模擬電動機駆動システムによりエネルギー測定実験を行い、理論どおりの省エネルギーが達成されるかどうか検討を行った。理論と実験は比較的近い値となったが、最適性の条件が実験装置でも満たされているかどうか必ずしも明確ではなく、十分な成果が出るには、もう少し追実験や考察が必要となると思われる。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計1件）

- ① M. Miyatake and K. Matsuda: “Energy Saving Speed and Charge/discharge Control of a Railway Vehicle with On-board Energy Storage by Means of an Optimization Model” IEEJ Transactions on Electrical and Electronics Engineering, Vol.4, No.6, (2009 採録決定済), 査読有

〔学会発表〕（計8件）

- ① M. Miyatake, K. Matsuda and H. Haga “Charge/discharge control of a train with on-board energy storage devices for energy minimization and consideration of catenary free operation” COMPRAIL 2008, pp.339-348, Toledo, Spain, (2008/09).
- ② 柘植 修平, 齊京 啓祐, 宮武 昌史「位置エネルギーを考慮したバッテリー・キャパシタ併用型電気自動車の高効率出力分担制御法」電気学会産業応用部門大会, No.2-66, pp.555-556, 高知 (2008/08).
- ③ 岩田 一穂, 宮武 昌史「燃料電池ハイブリッド鉄道車両の勾配区間における省エネルギー制御」電気学会産業応用部門大会, No.Y-136, p.Y-136, 高知 (2008/08).
- ④ M. Miyatake and K. Matsuda: “Optimal Speed and Charge/discharge Control of a Train with Onboard Energy Storage Devices for Minimum Energy Operation” SPEEDAM2008, No. TD_211, Ischia, Italy, (2008/06).
- ⑤ 宮武 昌史, 松田 邦彦: 「最適化モデルによる電気二重層キャパシタ車載電車の効率的制御法の検討」鉄道技術連合シンポジウム (J-Rail 2007), No.S3-2-2, pp.521-524, 東京 (2007/12).
- ⑥ M. Miyatake, H. Ko, K. Matsuda and H. Haga “Optimal Train Speed Control and Introduction of On-board Energy Storage Devices for Minimum Energy Operation” RTS2007, Tokyo, Japan, (2007/11).
- ⑦ M. Miyatake and H. Ko “Numerical Analyses of Minimum Energy Operation of Multiple Trains under DC Power Feeding Circuit” EPE 2007, No.102,

Aalborg, Denmark (2007/09).

- ⑧ 齊京 啓祐, 高田屋 晋一, 宮武 昌史
「EDLC・バッテリー併用電気自動車における高効率充放電制御方式」電気学会産業応用部門大会, No. Y-87, p. 87, 大阪 (2007/08).

[その他]

<http://power.ee.sophia.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮武 昌史 (MIYATAKE, Masafumi)

上智大学・理工学部・准教授

研究者番号 : 30318216

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし