

駆動力と充放電の統合制御

藤井 毅 内田 利之 堀 洋一

Charging and Driving Force Control of Motor-Assisted AMT with Super Capacitor

Fujii Takeshi, Toshiyuki Uchida, Yoichi Hori (Tokyo University)

The power density of super capacitors gets increasing but still less energy capacity than the other conventional batteries. On this paper, Motor-assisted AMT system is proposed as one of the applications of them on cars with hybrid system. Constructing of the controller with disturbance torque observer logic can produce continuous acceleration without any additional sensors.

キーワード：ハイブリッド，キャパシタ，AMT，モータ，トルク，アシスト

Keywords : Hybrid, Capacitor, Automated Manual Transmission, Motor, Torque, Assist

1. はじめに

自動車の歴史において、特にその創成期においては幾多の電気自動車が存在した。しかし、少なくとも現状において、電気自動車は一部の特殊用途の車両にのみ用いられるに留まっている。その理由の一つが主に航続距離や動力性能の面で、内燃機関を搭載する自動車を上回ることができなかったことである。しかし、近年の地球環境の保護に対する関心の高まりや石油価格の高騰をうけ、自動車の燃費性能向上や排気性能向上に対する市場の要求が高まり、電気自動車の効率の良さや排気のクリーンさが見直されるようになってきた。そこで、一台の自動車に内燃機関と電気モータという二種類の駆動機関を搭載し、内燃機関駆動の自動車と電気自動車の双方の良いところを引き出そうというコンセプトの、いわゆるハイブリッド自動車の研究・開発が現在盛んに行われている。

一方で、近年の材料技術やパワーエレクトロニクス技術の向上により、蓄電要素の一種であるキャパシタの大容量化が著しく進展し、自動車の駆動電源として用いることができるレベルにまで達してきた。キャパシタは従来の化学電池と比較して、蓄えられるエネルギーの総量は小さいものの、瞬時に大エネルギーを放出することが可能である。そのためハイブリッド自動車の駆動電源として大容量キャパシタを用いることで、内燃機関とキャパシタの互いの特徴を相補し、より性能の高いハイブリッド車両を成立させることができるのではないかと期待されている⁽¹⁾。

本研究では、キャパシタと内燃機関を組み合わせたハイブリッド自動車のシステムの一つとして、AMTと呼ばれる

自動変速機との組み合わせを提案し、その成立性と制御方法に対して検討を行う。

2. システムの構成

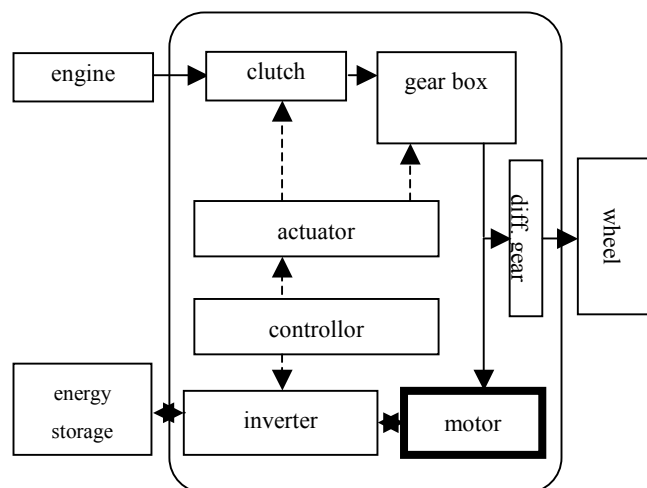


図 1 モータアシスト AMT 構成図

Fig. 1. Construction of motor-assisted AMT.

本研究で提案するモータアシスト AMT は、ギアボックスの出力軸の後位に、変速中のトルク遮断を補償するためのモータを取り付けるというシステムである⁽²⁾。その構成を図1に示す。

本システムの場合、エンジンのトルクが変速機構により遮断されている間も、モータが単独で出力軸を駆動するこ

とができるため、変速前後で連続した加減速を行うことができる。同時に、エネルギー回生においては、変速状態に寄らず、たとえニュートラル状態であっても減速時のエネルギー回収も行うことが可能である。

このようなアプリケーションを前提とすると、モータを駆動する電源には、変速中という短い時間（1秒程度）に大出力を放出することができるという仕様が要求される。そこで本研究では、このシステムの電源にキャパシタを使用することを想定した検討を行う。

3. 制御手法

前章で紹介したようなモータアシスト AMT を実現する場合、ドライバの加減速要求に応える駆動力制御と、エネルギー効率を高めるための充放電制御の両立が必要不可欠である。本研究ではこれを簡便かつ精度よく行うために、トルクオブザーバを用いた制御手法を提案する。

〈3・1〉 要求トルク T_{req} の計算

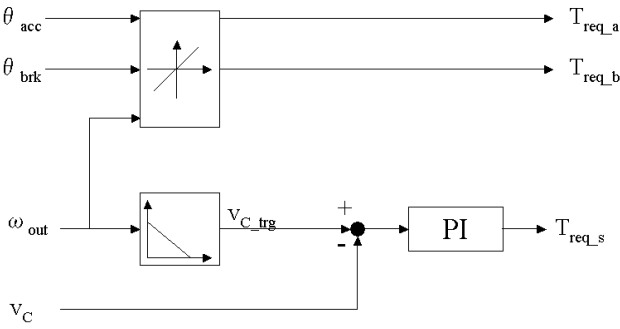


図2 要求トルク演算器の構成

Fig. 2. Construct of calculation block of requested torque.

第一に、ドライバが踏み込むアクセルの踏み込み量 θ_{acc} とブレーキペダル踏み込み量 θ_{brk} 、および車速 ω_{out} を引数として、ドライバ加速要求トルク T_{req_a} とドライバ減速要求トルク T_{req_b} を求める。これはドライバの加減速要求の大きさを直接表す指標である。

次に、モータとエンジン・ブレーキのトルク配分を決定するために、ストレージ要求トルク T_{req_s} なる変数を定義する。車速 ω_{out} を引数とし、目標となるストレージ電圧 v_{c_trg} を求める。本研究で用いた目標ストレージ電圧マップの例を図3に示す。

4章で行うシミュレーション実験においては、図3に示すような、車速に応じて v_{c_trg} が減少するマップを使用した。これは、

- ① 低い車速という状態は、将来変速が起こる確率の高い状態であり、変速に備えてストレージにエネルギーを蓄えておくことが望ましい
- ② 高い車速という状態は、停車するまでに取り出すことができる回生電力が大きい状態であり、効率を向上させるためにストレージのエネルギーを空にしておくこ

とが望ましい

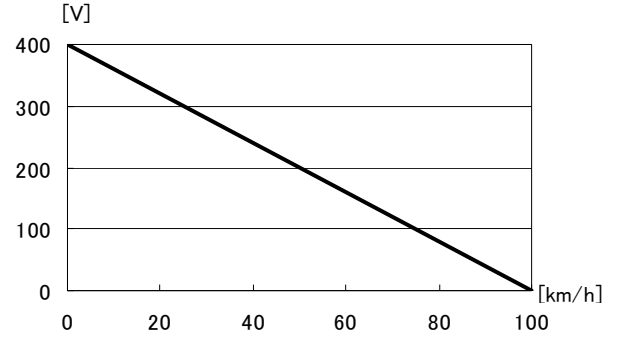


図3 目標ストレージ電圧マップ例

Fig. 3. Example of torque map of an engine.

という2つの目的を同時に解決するためである。最終的にはこの値とキャパシタの実電圧 v_c との差をPI制御器に入力し、 v_c が v_{c_trg} に追従するように、ストレージ要求トルク T_{req_s} を決定する。

〈3・2〉 目標トルク T_{trg} の計算

T_{req_a} と T_{req_b} 、 T_{req_s} を元にエンジン向け目標トルク T_{trg_e} 、ブレーキ向け目標トルク T_{trg_b} 、車両全体目標トルク T_{trg_g} を生成する。具体的には、

① $T_{req_b} = 0$ の場合（ブレーキオフ）

$$\begin{cases} T_{trg_e} = T_{req_a} + T_{req_s} \\ T_{trg_b} = T_{req_b} (=0) \\ T_{trg_g} = T_{req_a} + T_{req_b} \end{cases} \quad \cdots (1)$$

② $T_{req_b} < 0$ の場合（ブレーキオン）

$$\begin{cases} T_{trg_e} = T_{req_a} \\ T_{trg_b} = T_{req_b} - \min(0, \max(T_{req_b}, T_{req_s})) \\ T_{trg_g} = T_{req_e} + T_{req_b} \end{cases} \quad \cdots (2)$$

という演算をする。エンジンやブレーキはモータに比べて応答速度が十分遅いため、エンジンのスロットルおよびブレーキの油圧は、これら T_{trg_e} 、 T_{trg_b} を目標値として個別に独立した制御を行う。

次に、走行中にモータが補償すべきトルクの大きさを推定するために、外乱オブザーバを用いてモータ目標トルク T_{trg_m} 算出する。オブザーバの構成を図9に示す。車速 ω_{out} を等価慣性重量 $I(N)$ を元に、外乱トルク T_{obs} を式(3)のように評価する。

$$T_{obs} = P\Phi_0 i_q - \hat{I}(N)\dot{\omega}_{out} - \hat{T}_{fric}(\omega_{out}) \quad \cdots (3)$$

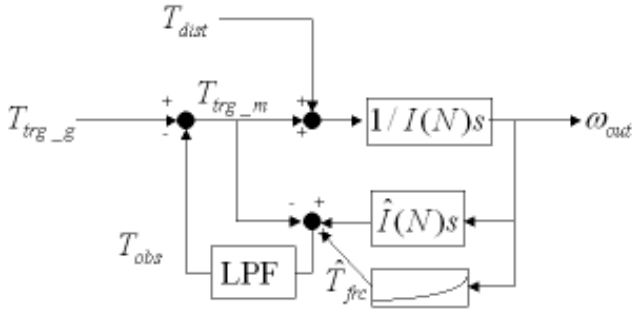


図 4 外乱トルクオブザーバの構成

Fig. 4. Construct of disturbance torque observer.

このようにオブザーバトルクを定義することにより、式の右辺にはエンジントルクやブレーキトルクの項が含まれていないため、それらの成分は「外乱」として T_{obs} の中に含まれる。(1)または(2)で得られた車両全体目標トルク T_{trg_g} と、(3)で得られた観測トルク T_{obs} を元に、 T_{trg_m} を式(4)のように定める。

$$T_{trg_m} = T_{trg_g} + T_{obs} \quad \dots (4)$$

これにより、モータ・エンジン・ブレーキの各トルク出力デバイスの総トルクは、モータの応答性の速さに追従して車両全体のトルク目標値 T_{trg_g} に追従する。そのうえ、仮に変速機が変速中でエンジンのトルクを伝えられないような状態であっても、オブザーバには「外乱が 0 になった」と捉えられるに過ぎないので、総トルクは継続して車両全体のトルク目標値 T_{trg_g} に追従する。言い換えるならば、提案する制御を用いることで、クラッチストロークセンサをはじめとする追加のセンサをつけなくても、変速中のトルク遮断を補償することができる。

4. 実験

提案する駆動力制御及び充放電制御の効果を検討するために、本システムを軽量コンピュータに搭載することを想定し、表 1 に示すような諸元で計算機によるシミュレーションモデルを構築し、模擬試験を行った⁽³⁾。

表 1 シミュレーション条件

Table 1. Simulation condition.

Max Engine Power	5.5[kW]	r_c	0.1[Ω]
Weight	565[kg]	r_m	0.07[Ω]
Tire radius	0.235 [m]	L_m	0.37[mH]
C	0.25[F]	Φ_0	0.07[Wb]

図 5、図 6 はアクセル開度 100[%]、キャパシタ初期チャージ 400[V]の条件における、加速中の模擬走行波形である。

エンジンとモータが協調してドライバ要求トルクを生成するため、変速中にエンジントルクが遮断されても、車両は連続した加速を続けることができることがわかる。また、外乱オブザーバを用いてエンジンの出力軸トルク成分を推定しながら補償することで、クラッチセンサやエンジントルクセンサのようなセンサ情報を用いていないにもかかわらず、連続した加減速を実現することが可能であることが示された。また、アクセル開度が 100[%]になっているにもかかわらずスロットル開度は 100[%]になっておらず、充電状態に応じてその開度が制御されている。これは、提案する制御手法を用いることで、スロットルの制御がアクセルによる制御から独立し、充放電制御に充てることができるようになったということを示唆している。

図 7、図 8 はブレーキ踏み込み量 30[%]、キャパシタ初期チャージ 200[V]の条件における、時速 50[km/h]からの減速走行模擬波形である。減速時も、ブレーキトルクを外乱オブザーバにより推定しながらモータによる電力回生を行うことで、ブレーキ油圧等のセンサ情報を用いなくても、キャパシタへの充電を管理しながらドライバの要求どおりの減速度を生成できるということが示された。

5. まとめ

キャパシタと内燃機関を組み合わせたハイブリッド自動車のシステムの一つとして、AMT との組み合わせを提案し、その成立性と駆動力の制御方法に対して検討を行った。

その結果、現在の生産技術で実現可能な容量のキャパシタでもそれが成立するというを示した。外乱オブザーバを構成してエンジン出力やブレーキトルクを推定することにより、クラッチセンサやブレーキ油圧センサのようなメカニカルセンサなしでもドライバ要求トルクに追従した連続的な加減速が得られることを示した。

同時に本制御手法を用いることで、キャパシタの充放電制御をスロットルやブレーキ油圧の制御を組み合わせることで効果的に行うことができ、さらに運動性能の向上も達成することができる可能性があることも示すことができた。

今後は実験車両を製作してその効果を検証し、更なる性能の向上や問題点の解決を目指すことを目標としている。

文 献

- (1) 佐々木：「キャパシタハイブリッドバスシステムの開発(第 2 報)：キャパシタハイブリッドシステムの特徴・改善・可能性」，自動車技術会論文集，
- (2) 曾我：「モータ式オートメテッドマニュアルトランスミッションの開発」，自動車技術，Vol.58，
- (3) 藤井：「大容量キャパシタを用いたモータアシスト AMT の駆動力制御」，電気学会自動車研究会，VT07-04
- (4) 藤井：「大容量キャパシタを用いた EV の効率的充放電制御の検討」，電気学会自動車研究会，VT07-12
- (5) H.D. Lee：「Advanced Gear Shifting and Clutching Strategy for a Parallel Hybrid Vehicle」，IEEE Industry Applications Magazine，Nov. /Dec.，2000.

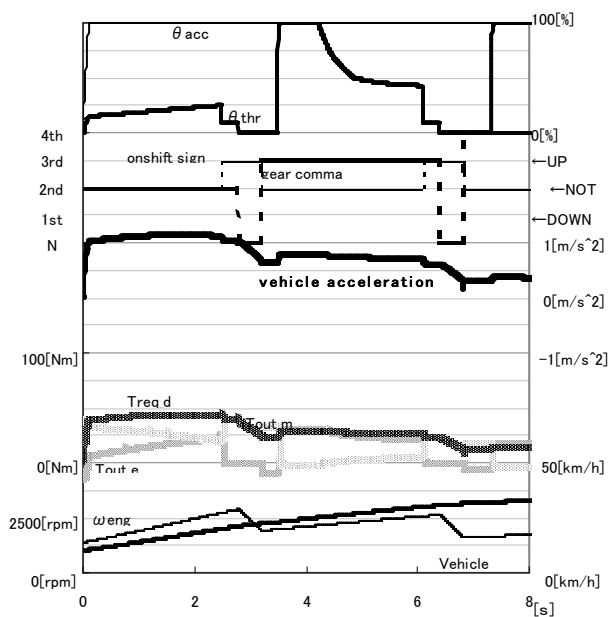


図 5 モータアシスト AMT 模擬走行波形①(加速)

Fig. 5. Simulation result of driving the car with the motor-assisted AMT ① (acceleration).

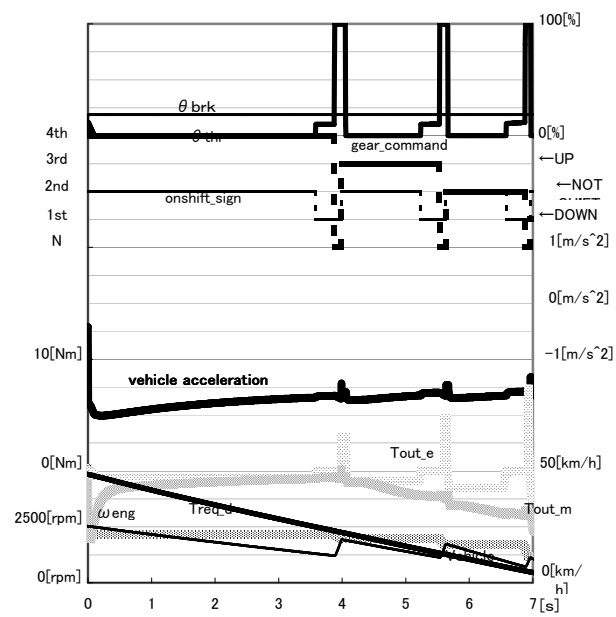


図 7 モータアシスト AMT 模擬走行波形②(減速)

Fig. 7. Simulation result of driving the car with the motor-assisted AMT ② (deceleration).

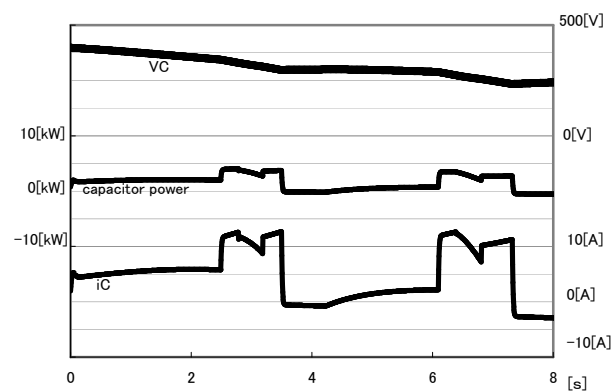


図 6 モータアシスト AMT キャパシタ電流波形①(加速)

Fig. 6. Simulation result of electric current with the motor-assisted AMT ① (acceleration).

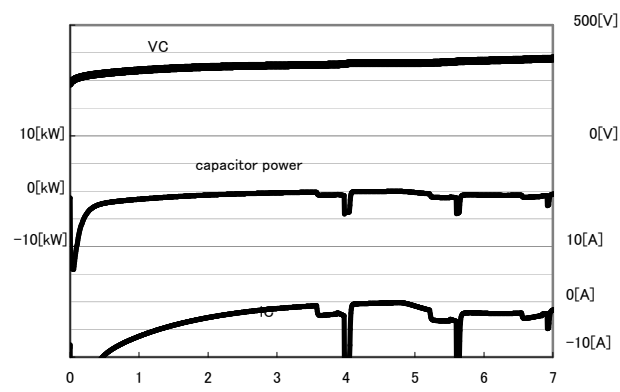


図 8 モータアシスト AMT 模擬走行波形②(減速)

Fig. 8. Simulation result of driving the car with the motor-assisted AMT ② (deceleration).