

1 モーター2クラッチ式パラレル ハイブリッドシステム

日産自動車株式会社

代表取締役 カルロス ゴーン

パワートレイン第四製品開発部	主管	早崎 康市
パワートレイン第四製品開発部	主管	阿部 達夫
EVパワートレイン開発部	エキスパートリーダー	安達 和孝
パワートレイン第四製品開発部	主担	山村 吉典
パワートレイン第四製品開発部	主担	中条 桂介

はじめに

ハイブリッド車は環境技術として、小型車から高級車まで様々な車種が市場へ投入されている。特に小型車では良燃費車として幅広く受け入れられているが、高級車では燃費改善効果の少なさやダイレクト感のない独特の加速フィーリングなどから普及は促進していない。今回1モーター2クラッチ式パラレルハイブリッドシステムを開発し、小型車並の燃費性能と走りの楽しさの両立により高級車におけるハイブリッドの普及拡大を目指した。

開発のねらい

今回当社の開発した1モーター2クラッチ式パラレル型は、乗用車用ハイブリッドとして最も軽量シンプルかつ燃費特性に優れており、更にトルクコンバーターを廃し効率を高めた世界初のシステムである。本システムでは走行中のエンジン停止・起動、変速、発進をクラッチを介して頻繁に切り替える為、乗用車に求められ

るスムーズさを実現することが難しく、一般的に商品化は困難と認識されてきた。今回モーターおよびクラッチ制御技術、高出力・高応答リチウムイオンバッテリーなどを開発することでこれらの課題を解決し、高車速までのモーター走行などにより3.5Lエンジンの高級車にもかかわらず1.5Lクラス並み燃費性能と気持ちの良いドライビングフィールを実現することをねらいとした。

装置の概要

1. システムのアウトライン

図1に車両全体のシステム構成を示す。核となる50kWモーターを搭載するハイブリッドトランスミッション、リチウムイオンバッテリー、インバーターは独自開発である。重要サブシステムである協調回生型ブレーキシステム、電動エアコンシステム、電動油圧パワーステアリングシステムは、サプライヤーとの新開発である。エンジンは制御システムを中心に改良を加えている。

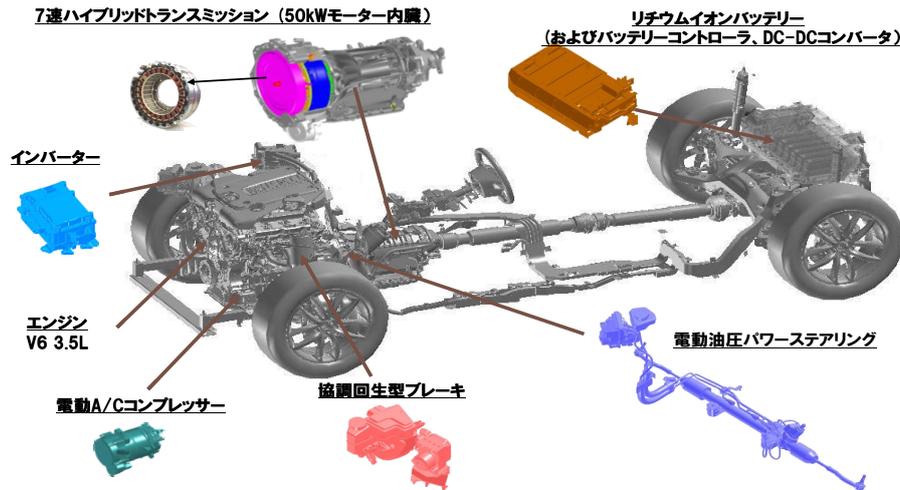


図1 システム全体の構成

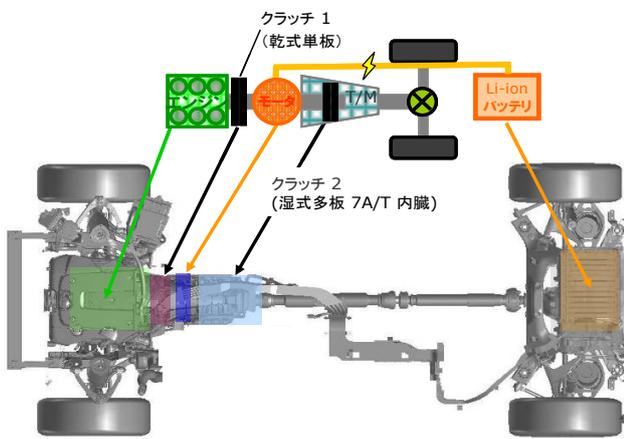


図2 パワートレインの構成

図2にパワートレインの構成を示す。エンジンからクラッチ1（乾式単板）、モーター、7速オートマチックトランスミッションを直列に配置している。クラッチ2（湿式多板）はトランスミッション内の変速用クラッチ・ブレーキを活用し、発進要素およびエンジン始動時の振動遮断の機能を持たせている。

2. システムの基本動作パターン

システムオペレーションの基本動作パターンは次に示す6つのモードを有している。

- ① クラッチ1を開放しモーターだけで走行
定常走行、減速時、アイドルストップ時
- ② エンジンとモーターの両方で走行

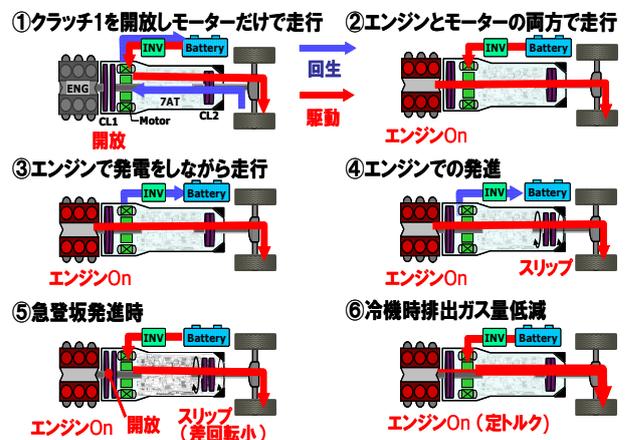


図3 基本動作パターンとエネルギーフロー

強い加速や登坂時

- ③ エンジンで発電をしながら走行
充電量低下時、高速走行時、通常の加速時
- ④ エンジンでの発進
充電量低下時、エンジン暖機中
- ⑤ モーター能力を一時的に高めて発進
急登坂発進によるクラッチ温度上昇を抑制
- ⑥ エンジントルクを一定に制御し走行
冷機始動直後の排出ガス量低減

図3に、それぞれの状態図とトルクと電力のフローを示す。

技術上の特徴

前述の通り、本システムではシンプルな構成

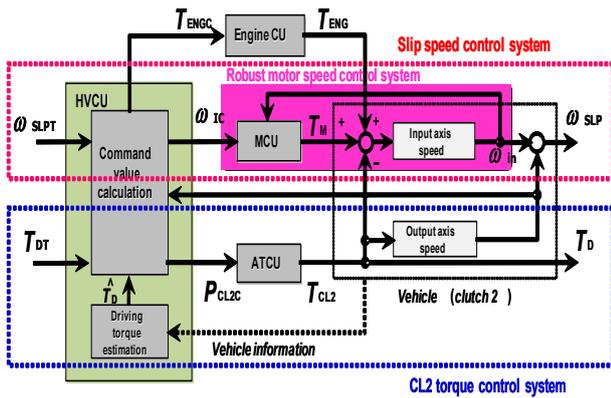


図4 クラッチ2とモーター制御の概念図

により高い燃費性能などのポテンシャルを有するが、クラッチによる発進やエンジン始動を行う際のスムーズさが最大の課題であった。これを解決するために以下の様な技術開発を行った。

1. エンジン始動時にクラッチ2をスリップさせ、始動に伴う振動を遮断
2. 始動による外乱トルク下でも安定したクラッチ2のスリップを確保する為、モーターによる高速なスリップ回転数制御と油圧によるクラッチ伝達容量制御とに機能を分割。
3. クラッチ制御の高精度化の為、モーター推定トルクをセンサーとした学習機能の開発。
4. モータートルクを数ms単位で正負にも安定的に切り替え可能な高応答・高精度モーター制御
5. ハイブリッド用高出力・高応答型リチウムイオンバッテリーの開発

図4にクラッチ2とモーター制御の概念図を示す。発進制御において、高応答のモーター制御による回転速度とクラッチトルク容量の二つのフィードバック構成を採用することによりスムーズさと耐久性を両立させている。すなわち、クラッチ2のトルク制御精度を向上させることにより、スムーズさが向上し、クラッチ2

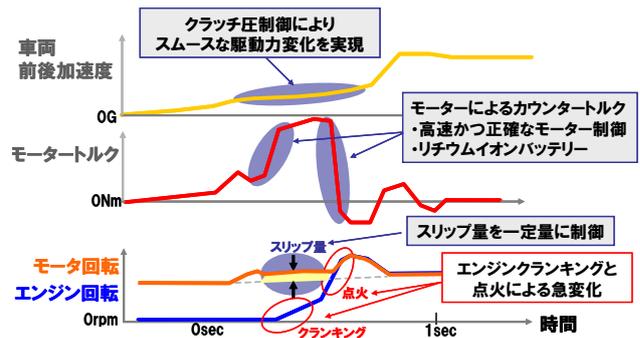


図5 走行中のエンジン始動制御例

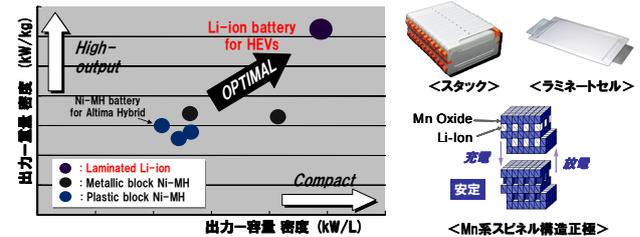


図6 リチウムイオンバッテリー

の差回転コントロール精度を向上させることにより、クラッチ耐久性が向上している。

図5に走行中のエンジン始動時にもスムーズさを保つモーター制御の例を示す。このシーンではエンジン始動による高速な変動トルクがスリップ制御中のクラッチ2にも作用するが、高速なモーター回転数制御により、スリップを安定的に持続でき、スムーズな駆動力を実現できている。このような急なモーター制御では、サージにより発振してしまうが、内部モデルをもつロバスト制御により高速且つ振動しない制御を実現している。また、この制御は高速で電力の出し入れが可能な新開発のリチウムイオンバッテリー技術で達成している。

図6に開発したリチウムイオンバッテリーを示す。リチウムイオンバッテリーは、96個のセルから成り、冷却に優れたラミネート構造のセルと安定なMn系スピネル構造正極で、高信頼なバッテリーを実現している。従来のニッケル水素 (Ni-MH) バッテリーに比べ約2倍のパワー密度、素早い充放電が可能である。

実用上の効果

図 7 に達成した燃費性能を示す。本技術の狙いである高効率なシステムとEV（モーター）走行頻度の拡大により10・15モード燃費で19km/Lを実現した。これはベースとなるガソリン車に対し90%の向上であり、1.5Lクラス小型車と同等である。また平均年間走行距離を元に算出すると、ガソリン車に比べて1年間に464Lの燃料節約が可能となりCO₂に換算すると1068kgに相当する。また、クラッチ機構による走行中のエンジン完全停止等により、平坦路で最大80km/h、下り坂や前車に追いついてアクセルを緩める様な時でも100km/h超までEV（モーター）走行が可能となった。これにより、エンジンが停止している時間割合はアイドリングストップを含めて約50%程度まで高められた。これは、燃費向上は元より、実用上の車内外騒音の低減にも貢献している。図 8 は北米での実路試験（約3ヶ月間）におけるエンジン稼働・停止時間である。

知的財産権の状況

本開発品の装置に関する代表的な特許登録は下記の通りである。

- ① 日本国特許第4462170号
名称：エンジン始動制御装置
概要：エンジン始動時にクラッチ2をスリップさせる
- ② 日本国特許第4396661号
名称：クラッチ締結制御装置
概要：クラッチスリップ中の伝達トルクとスリップ回転数を分離し制御
- ③ 日本国特許第4341611号
名称：エンジン再始動制御装置
概要：変速とエンジン始動の同時制御



図 7 燃費性能

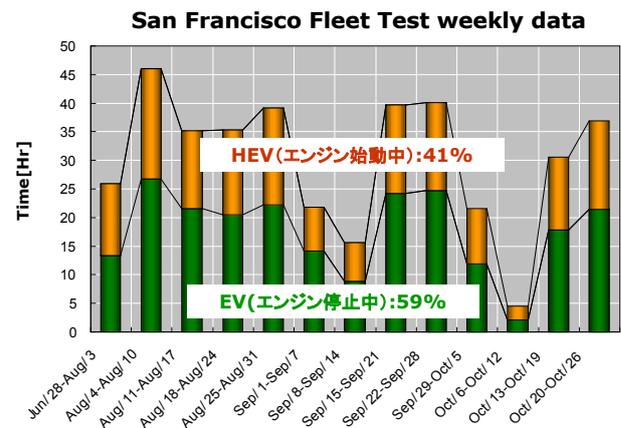


図 8 エンジン稼働・停止時間

むすび

乗用車では世界初となるトルクコンバータなしの1モーター2クラッチ式パラレルハイブリッドシステムを開発し、2010年末より量産を開始した。高級車の燃費基準を引き上げるだけでなく、走行性能も同時に向上させた事で、高い評価と高級車におけるハイブリッドのシェア拡大に貢献できたと自負している。一方でモーター走行性能の実質的な拡大で、ご購入いただいたお客様からはモーター走行距離をいかに伸ばすかという新しい運転の楽しみ方も聞かれ、副次的な環境効果として注目している。シンプルながら技術的難易度の高いシステムを実用化し、今後は更なる改良と発展に努めたい。