

ハイブリッド機関車の開発における東芝の取り組み

Toshiba's Approach to Development of Technologies for Hybrid Locomotive Systems

加藤 仁 山田 真広

■KATO Jin

■YAMADA Masahiro

近年、国内外の鉄道業界においても、自動車業界と同様にハイブリッド車両が登場するようになってきた。ハイブリッド鉄道車両は、省エネや低排出ガスなど環境性能の高さから世界で注目されており、国内外で様々な用途や方式による技術開発が進められている。

東芝は、日本貨物鉄道(株)と共同でHD300形式ハイブリッド機関車を開発するとともに、世界最大の鉄道見本市であるInnoTrans(イノトランス)2012において、標準ハイブリッド機関車のコンセプトを提案した。ハイブリッド鉄道車両は今後適用の拡大が期待されており、当社は、環境問題への対応と運転コストの低減に向けて、引き続き技術開発に注力していく。

Hybrid railway vehicle technologies have recently been attracting considerable attention as a solution for reducing the environmental burden and enhancing energy conservation in both the domestic and overseas railway industries.

At InnoTrans 2012, the world's largest exhibition related to the railway industry, various types of hybrid locomotives were presented including both series and parallel models powered by diesel engines and battery systems, as well as a model incorporating a pantograph and diesel engine. Toshiba exhibited conceptual designs for both a series-type hybrid shunting locomotive powered by a diesel engine and electric motors, and a main battery system incorporating SCiB™ battery modules. We are continuously focusing on the development of the hybrid shunting locomotive, which is expected to reduce the environmental burden and operating costs of the railway industry.

1 まえがき

近年、鉄道業界においても、自動車業界と同様にハイブリッド車両が登場するようになってきた。機関車か旅客車かを問わず、それらの多くは、省エネや低排出ガスなど環境性能の高さを特長としている。

ここでは、ハイブリッド車両で用いられる駆動方式と、東芝が日本貨物鉄道(株)と共同で開発したHD300形式ハイブリッド機関車(以下、HD300と略記)の概要について述べる。更に、今後のグローバル展開に向けて、2012年9月に開催された鉄道業界最大の国際見本市であるイノトランス2012で当社が提案した、ハイブリッド機関車のコンセプトについても述べる。

2 ハイブリッド車両の駆動方式

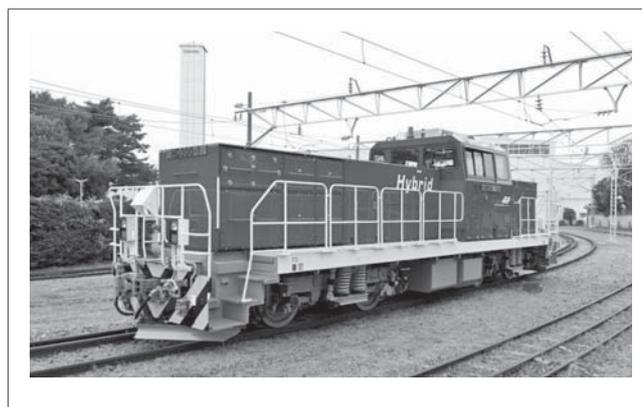
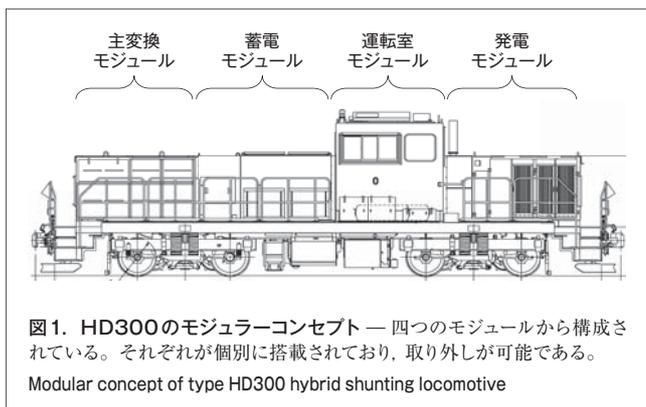
エンジンによる駆動力と電動機による駆動力を組み合わせることで車両を駆動するという意味でのハイブリッド車両としては、非電化路線で多く使われるディーゼル電気車両も、広義のハイブリッド車両に属するため、その意味では、鉄道におけるハイブリッド適用の歴史は古い。2000年以降には、省エネや低排出ガスなどへの要求から、蓄電装置を搭載したハイブリッド車両が盛んに開発されるようになった。

蓄電装置を搭載したハイブリッド車両は、蓄電装置に蓄積したエネルギーだけで走行するモードや、エンジンの駆動力を蓄電装置のエネルギーでアシストするモード、ブレーキ時の回生エネルギーを蓄電装置に蓄積するモードを設けることで、エンジンの燃費向上や、排出ガスの低減、静粛性の改善などを実現できる。

ハイブリッド車両の駆動方式には、大きく分けてシリーズ(直列)とパラレル(並列)の2方式がある。シリーズ方式のハイブリッドシステムは、エンジン、電動機、発電機、蓄電装置、及び電力変換装置から構成され、エンジンで発生した駆動力をいったん全て電気エネルギーに変換し、電動機により車両を駆動する。一般に、蓄電装置を大容量化してエンジンの出力を抑えることで、静粛性や動的特性を高めている。一方、パラレル方式には、エンジンの駆動力と電動機による駆動力をギヤによりメカニカルに結合して車両を駆動する方式や、エンジンに電動機を直接接続した方式がある。エンジンの駆動力を電動機でアシストすることで、燃費を向上させながら、エンジンによる高い加速性能も実現できる。

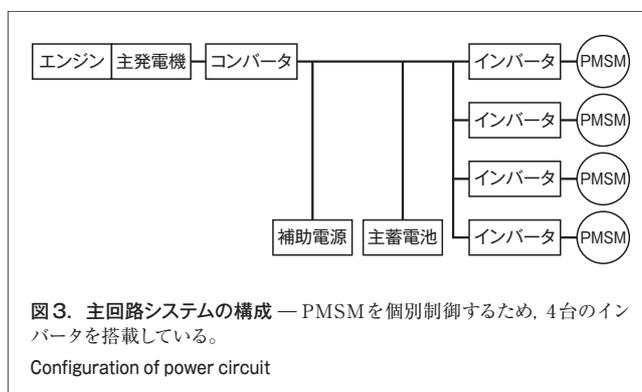
3 HD300形式ハイブリッド機関車の特長

当社は、“環境に優しいクリーンな機関車”をコンセプトに、有害排出ガス、車外騒音レベル、燃料消費量の低減を開発の



目標とし、日本貨物鉄道(株)と共同でHD300を開発し、量産化に成功した。HD300は、ディーゼルエンジンと大容量蓄電装置を搭載したシリーズ方式のハイブリッド機関車であり、その基本的な特長を次に示す。

- (1) モジュラーコンセプト HD300は、図1に示すように主変換モジュール、蓄電モジュール、運転室モジュール、及び発電モジュールから成り、それぞれが個別に搭載されていて取り外しが可能である。これは、設計の自由度を高めることを狙っており、今後、更に高性能な蓄電装置や燃料電池などが実用化された場合に、車体ぎ装の大幅な変更なしに新技術を容易に導入できるように、モジュールごとに入替えができる構成とした。
- (2) 省エネ技術 省エネを実現するために、次の装置を開発し採用した。
 - (a) 高性能蓄電装置を用いた大容量蓄電装置
 - (b) 永久磁石同期電動機 (PMSM: Permanent Magnet Synchronous Motor) を使用した高効率の主電動機
 - (c) 回生ブレーキ
- (3) 環境負荷低減技術 環境負荷低減のために、次の装置を開発し採用した。
 - (a) 油を使用しない空気圧縮機
 - (b) 環境負荷の少ない小型エンジン



Tier3や欧州のEU Stage III Aに適合

- (3) 主蓄電装置の異常時を想定してエンジンと発電機だけでも自走できる構成とし、その場合でも、最大踏面出力は114 kWを確保

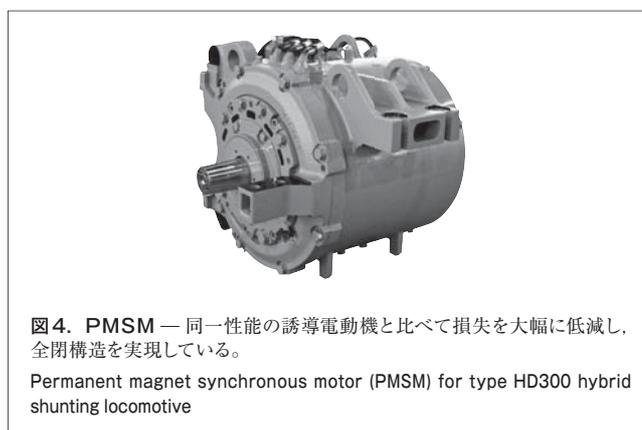
HD300は大容量の主蓄電装置を主な動力源とし、エンジンは蓄電装置の容量低下時又はアシスト時に起動し、常に最大の効率で動作するように定速度回転で定常パワーを出力する。これによりエンジンの小型化を実現でき、排出ガスと騒音の低減、更には燃費の向上を図ることができる。

4 HD300のシステム構成と主要機器の特長

HD300の外観を図2に、主回路システムの構成を図3に示す。図3に示すように、PMSMを個別制御するためインバータを4台搭載している。

機関車の動力を発生させるエンジン及び発電機には次の特長がある。

- (1) ディーゼルエンジン、主発電機、及びエンジン関係の補機類を一つのモジュールに収め、保守や騒音を低減
- (2) ディーゼルエンジンは、有害排出ガス低減のための規則である米国のEPA (Environmental Protection Agency)



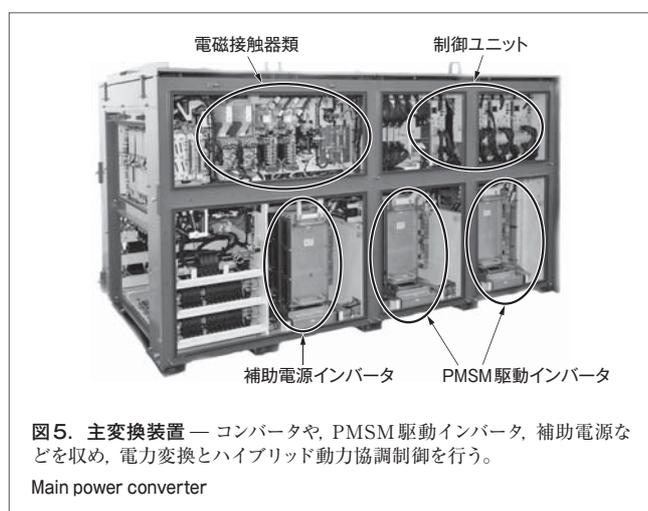
今回採用したPMSMの外観を図4に示す。同性能の誘導電動機と比べて損失が大幅に低減され、全閉構造を実現している点が大きな特長である。

PMSMの単体試験の結果から、次の知見が得られた。

- (1) 定格負荷試験において97.6%の高い実測効率を達成し、既存の開放形電動機と比べて、定格で9%程度の効率向上を実現した。
- (2) 入換機関車に必要なトルク性能を確保し、更に、実使用速度領域である25 km/h以下の速度で、誘導電動機と比べて損失が1/2以下になっていることを確認した。
- (3) 定格での温度上昇試験において良好な結果が得られ、全閉構造が冷却面で問題のないことを確認した。
- (4) 従来の開放形誘導電動機と比べて、電動機単体で約10 dBの低騒音化を実現した。

HD300の主変換装置は、コンバータ回路や、PMSM駆動インバータ回路、補助電源インバータ回路、主回路接触器などを収め、電力変換及びハイブリッド動力協調制御を行う装置である。主変換装置の外観を図5に、また、その特長を次に示す。

- (1) PMSM駆動制御のため各電動機を個別に制御する構成とし、万一故障したときの冗長性を確保するため、台車単位で回路が開放・運転可能な開放構成となっている。
- (2) 補助電源装置は、主変換装置の中間直流リンクから供給される電力を補助電源用インバータで三相交流電力に変換し、負荷に供給する。
- (3) 前述の小型エンジン及び高効率PMSMの適用により主変換装置の自冷化が実現でき、冷却用ブローヤや冷却風洞が不要になった。そのため、主変換装置の大幅な小型化とブローヤなどの補機電力の削減に寄与した。
- (4) 主蓄電装置制御、エンジン発電機制御、PMSM駆動制御、及びハイブリッド動力協調制御は主変換装置が行う。

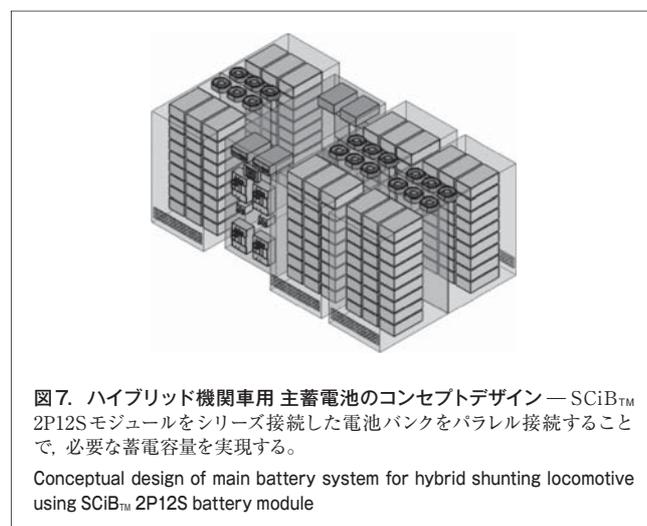
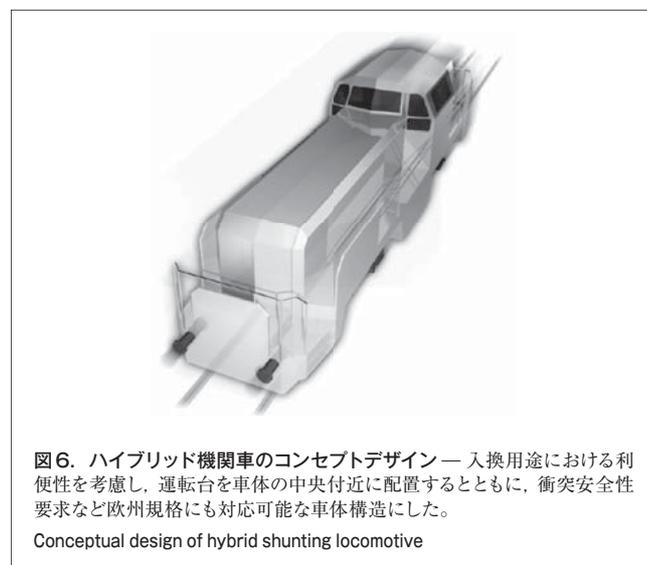


- (5) 将来、主蓄電装置などの互換性を確保する主回路方式及び制御方式を採用した。

以上の特長を持つシステム構成と機器を搭載したHD300の機関車全体の環境負荷低減効果を測定したところ、従来の入換機関車であるDE10と比べて、窒素酸化物 (NO_x) 排出量は61%，騒音は22 dB，燃料消費量は26%低減されることを確認した。HD300は、既に量産が開始されており、これらの効果が発揮されていくものと期待される。

5 新たなハイブリッド機関車のコンセプト

2012年9月に開催された鉄道業界最大の国際見本市の一つである、イノトランス2012で当社が発表した、新たなハイブリッド機関車と主蓄電装置のコンセプトデザインを、それぞれ図6及び図7に示す。車体は、入換用途の利便性に配慮して運転台を車体の中央付近に配置し、衝突安全性要求など



欧州規格にも対応可能な車体構造とした。また、主回路は、HD300と同様にシリーズハイブリッド方式を採用し、主蓄電装置からの電力供給で機関車の出力全てをカバーできるようにすることで、機関車の踏面出力700 kWに対し、ディーゼルエンジンの出力330 kWと、高い環境性能を備えるトラックやバス用の汎用ディーゼルエンジンを使用できるようにした。また、主蓄電装置は、二次電池 SCiB™ の2並列12直列(2P12S)モジュールを27シリーズ構成とした電池バンクを用い、このバンクを平行接続できるようにすることで、必要な蓄電容量を実現する。



図8. 平行方式のハイブリッド車両の展示 — ドイツ鉄道から出展された。
Exhibition of parallel-type hybrid train at InnoTrans 2012



図9. パンタグラフを持つハイブリッド車両の展示 — Stadler社から出展された。蓄電池は搭載せず、電化/非電化区間の走行に対応している。
Exhibition of hybrid locomotive incorporating pantograph

イノトランス2012では、平行方式のハイブリッド車両(図8)や、パンタグラフを持つハイブリッド車両(図9)の展示など、多様なハイブリッド車両がいくつも出展されていた。ハイブリッド車両に対する期待が高まるなかで、各国、各地域のニーズに合わせたローカルフィットの対応を要求されることが明確に把握できた。当社のハイブリッド機関車に対しても、訪れた鉄道事業者などから、主として環境負荷低減の面で強い関心と期待が寄せられた。モジュラーコンセプトを核として、当社の得意とする機器類を効果的に組み合わせた、開発コンセプトとコア技術の先進性が評価されたものと考えている。

6 あとがき

環境負荷低減を実現すべく開発したHD300の環境負荷低減効果を測定したところ、従来の入換機関車であるDE10と比べて、NO_x排出量は61%、騒音は22 dB、燃料消費量は26%低減されることを確認した。HD300は、既に量産が開始されており、これらの効果が発揮されていくものと期待される。

現在、世界で様々なハイブリッド鉄道車両の開発が進んでおり、今後ますます、鉄道車両へのハイブリッド技術の適用拡大が期待されている。当社は、今回の開発で培ったハイブリッド技術の適用先を広げ、更なる環境負荷低減で地球環境保護や省エネに貢献するため、技術開発に注力していく。



加藤 仁 KATO Jin

社会インフラシステム社 鉄道・自動車システム事業部 車両システム技術部主務。鉄道車両の技術開発及び設計に従事。
Railway & Automotive Systems Div.



山田 真広 YAMADA Masahiro

社会インフラシステム社 鉄道・自動車システム事業部 車両システム技術部。鉄道車両の技術開発及び設計に従事。
Railway & Automotive Systems Div.