

燃料電池・バッテリーハイブリッド試験電車の開発

車両制御技術研究部 動力システム

研究室長 山本 貴光

1. はじめに

燃料電池は水素等を燃料として、電気エネルギーと水を生成する非常にクリーンな電源として開発が注目されている。鉄道総研では、非電化区間を走行するディーゼルカーの置き換えを対象として、また、将来的には電車の代替も視野に入れ、全く新しい駆動源である燃料電池を適用した鉄道車両の開発を行っている。今回は、バッテリー装置、バッテリー充放電装置、燃料電池・バッテリーハイブリッドモニタ装置を開発、車載化して100kW級燃料電池とハイブリッド化し、車両加速性能を向上した。補機電力は架線からの給電を要せず、回生エネルギーを吸収・再利用可能なシステム構成とした。この構成により2両編成にて走行試験を実施し、車両加速性能向上および回生エネルギー有効利用による車両システム効率向上が確認できた。これらの開発内容及び試験結果について以下に報告する。

2. 燃料電池とバッテリーハイブリッド構成の試験電車概要

鉄道総研では2001年度より燃料電池車両の開発を行っており、2006年4月から100kW級燃料電池システムを車両に搭載して走行試験等を行ってきた。しかし、この時点では燃料電池と車両走行用インバータ装置を直結した構成であり、出力は1車両を駆動するのが限界で、補機電力は架線より供給される構成であった。今回、バッテリーとハイブリッド構成とすることにより、2両編成とし、全ての電源は燃料電池が発電した電力により賄い、ブレーキ時の回生電力も有効利用できるようになった。試験電車の外観を図1に、主な仕様を表1にそれぞれ示す。



図1 燃料電池試験電車

表1 燃料電池・バッテリーハイブリッド
試験電車の主な仕様

最高設計速度	100km/h
電源方式	燃料電池・バッテリーハイブリッド：DC1500 V
燃料電池	固体高分子型 120kW
燃料電池 チョッパ装置	昇圧直流電力変換装置 800 V→1500 V 600 kVA
バッテリー 装置	リチウムイオンバッテ リー36 kWh、360 kW
バッテリー 充放電装置	双方向直流電力変換装 置 600 V-1500 V 360 kW
主電動機	三相誘導電動機 95 kW× 2
水素タンク	TYPEⅢ、35 MPa、約 720 L

3. 100kW 級燃料電池システムと高圧水素タンクシステム

100kW 級燃料電池システムは 1 両での走行試験に供したものをラジエータの小型化、水素配管および水冷システムに改良を加えて今回使用した（図 2）。高圧水素タンクシステムは 3 年間のタンクの有効期限が満了したため、タンクの更新を行った（図 3）。



図 2 車両に搭載された 100kW 級燃料電池



図 3 高圧水素タンクシステム

4. ハイブリッド構成の検討

燃料電池(FC)とバッテリーのハイブリッド構成としては様々な構成が考えられるが、直流 1500V に対応した駆動システムに適用できる構成として図 4 に示す構成を選定した。本構成において、今回新たにリチウムイオンバッテリー装置およびバッテリー充放電装置を試作した。

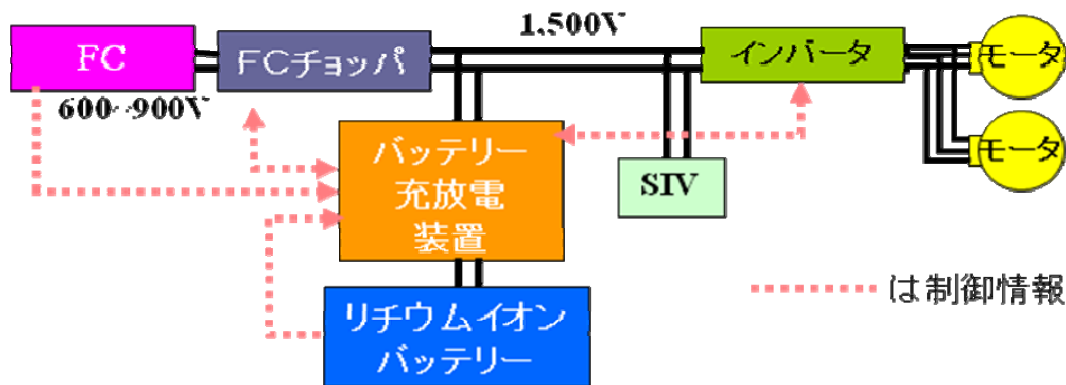


図 4 今回採用した燃料電池・バッテリーハイブリッド構成

5. リチウムイオンバッテリー装置、バッテリー充放電装置の開発

ハイブリッド用バッテリーとして、近年、高性能化され、信頼性も向上し、コストも低くなりつつあるリチウムイオンバッテリー（図 5）を採用した。電圧は約 600V であり、バッテリーの容量は再生電力 360kW が吸収可能であることを条件として 60Ah に決定した。

バッテリー充放電装置として双方向チョップ装置（図 6）を開発し、今回はこの装置にハイブリッド制御機能を付加した。制御方法としては、基本的に中間回路電圧を 1500V 一定に制御するように充放電制御を行い、バッテリーの残存容量 (SOC)・車両速度・運転状況等の条件により燃料電池の出力制御を行っている。

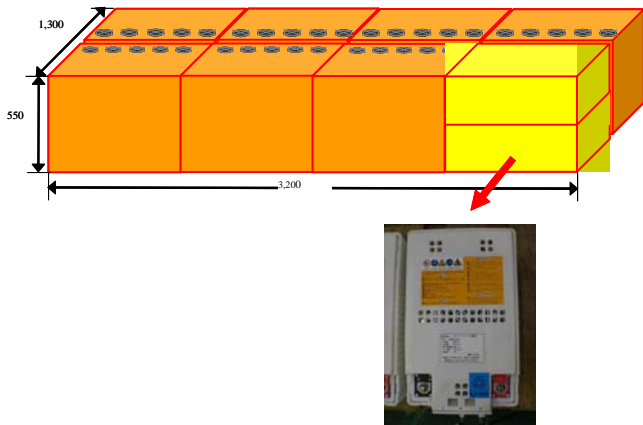


図5 リチウムイオンバッテリー装置



図6 バッテリー充放電装置

6. 各機器の車両搭載状況

これまでの1両編成での走行試験では試験車両1両に100kW級燃料電池システム、高圧水素タンクシステム、インバータ装置などを搭載していた。今回新たに試作したバッテリー装置およびバッテリー充放電装置はもう一方の車両に搭載し、2両編成とした(図7)。今回の試験車両では本来電車として走行するために必要な機器を床下に搭載し、さらにこれらの機器を搭載したため新たに搭載した機器はほとんど車両内に搭載することとなったが、将来的には各機器を車両搭載用として新規設計すれば十分床下に搭載できる可能性がある。

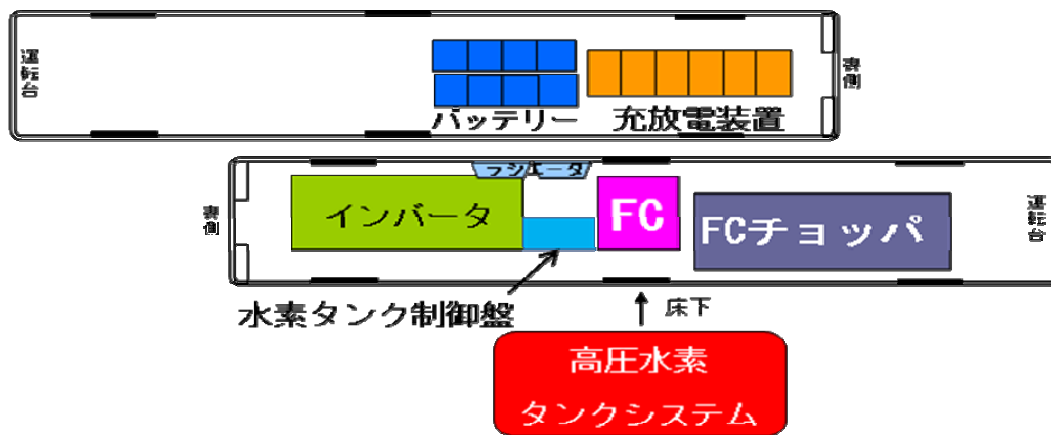


図7 燃料電池・バッテリーハイブリッド各機器の車両搭載状況

7. 走行試験結果

燃料電池とバッテリーによるハイブリッド構成で走行した試験結果の一例を図8に示す。走行開始直後、速度5km/h以上になるとバッテリーに回生電力を受け入れられるように燃料電池の出力が若干低下する。加速中は燃料電池とバッテリーからのハイブリッド電力により必要電力が賅われる。だ行後、回生ブレーキが動作するとこの電力をバッテリーが吸収できるように燃料電池の出力が絞られる。回生ブレーキから空気ブレーキに切り替わるとまた燃料電池の出力が再開し、速度5km/h以下になるとバッテリーSOCを所定の値まで回復するように燃料電池の出力を増大させている。走行試験の結果から得られた燃費およびエネルギー効率を表2に示す。

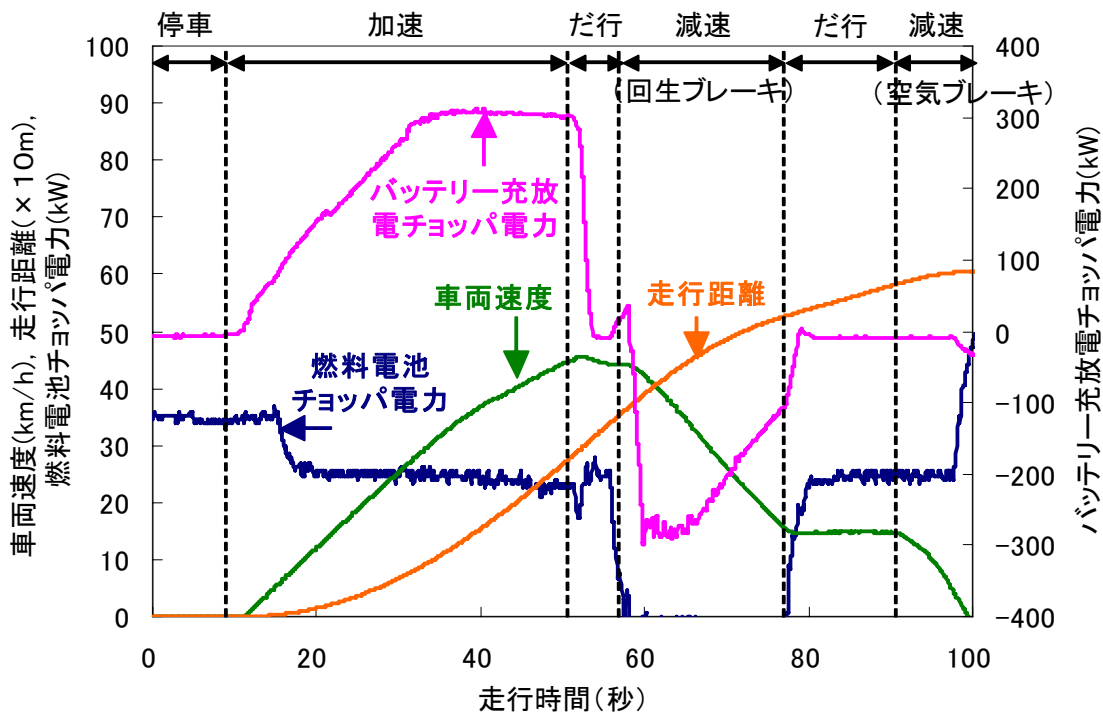


図 8 燃料電池とバッテリーによるハイブリッド構成での走行試験結果例

表 2 燃費およびエネルギー効率の評価

消費水素量	743 mol (1.49 kg)	補機エネルギー	14.91 kWh
走行距離合計	6151 m	バッテリー放電エネルギー	0.65 kWh
燃費	4.14 km/kg-H ₂	水素エネルギー	49.0 kWh
力行エネルギー	20.29 kWh	エネルギー効率	70.5 %*

*エネルギー効率 = (力行エネルギー + 補機エネルギー - バッテリー放電エネルギー) / 水素エネルギー × 100%

8. まとめ

燃料電池車両の開発として今回、燃料電池・バッテリーハイブリッド構成とし、走行試験を行って、性能確認および燃費・エネルギー効率等の評価を行った。燃費は 4.1km/kg-H₂ と想定していた値 (5km/kg-H₂) より若干低めな値となった。これは折り返し・停車時間が営業線における走行より長くなった影響と考えられる。また、エネルギー効率は 70% と比較的高い値となった。これは試験線が短いため、加速後、殆どだ行走行すること無しに回生ブレーキを動作させており、走行抵抗によるロスが営業線における走行より小さいためと考えられる。いずれも構内試験線における特殊事情での値である。

今後の進め方としては、走行試験を継続して行い、今回の構成でどれだけ連続走行が可能であるかなど走行条件を変更した状況での評価を行うとともに、燃料電池およびバッテリーの寿命評価を行う。また、実用時に必要と考えられる 300kW 級燃料電池の導入の可能性について引き続き調査を行う。

なお、本研究開発の一部は国土交通省からの補助金を受けて実施した。