

4. IPTハイブリッドバスの開発と実証試験

交通システム研究領域 ※林田 守正
環境研究領域 後藤 雄一 成澤 和幸 明 光在
日野自動車株式会社 古藤 隆志 下島 繁明

1. はじめに

平成 17 年度から開始された次世代低公害車開発・実用化促進プロジェクト（第 2 期次世代プロジェクト）では、外部電源から搭載バッテリーへ非接触給電が可能な IPT ハイブリッドバスについて開発を行うとともに実用化に向けた課題を抽出するための実証試験を実施している。ハイブリッド自動車は地球温暖化対策として有望であると言われており、開発されたバスの技術的特徴を概説するとともに実証走行において明らかになった地球温暖化対策としての有用性を示す。さらに、残された課題、今後の展望について述べる。

2. IPTハイブリッドバス開発の経緯

国土交通省の委託により交通安全環境研究所が中核的研究機関となって次世代低公害車開発促進プロジェクト（第 1 期次世代プロジェクト）が平成 14 年度から 16 年度の間、実施された。このプロジェクトにおいて二つの大型ハイブリッド自動車が開発された。一つはシリーズハイブリッドバスであり他の一つはパラレルハイブリッドトラックである。



(a) シリーズハイブリッドバス



(b) パラレルハイブリッドトラック

図 1 第 1 期次世代プロジェクトで開発した自動車

図 1 にその概要を示す。このプロジェクトで得られた結果を要約すると以下である。

1. ハイブリッド車は減速時のエネルギー回生を特徴とするため、加減速を頻繁に繰り返すバスでの使用が有用である。

2. ハイブリッド車パワートレインの構造的特徴から、15 トンクラスの車両が限度であり、この点からもバスでの使用が適正である。

3. パラレルハイブリッドは、二系統の動力を併用することから、坂道走行や高速走行など多用な走行形態に対応可能である。

4. 外部電源から搭載バッテリーへ非接触で充電可能な IPT（非接触誘導給電）システムを搭載することで更なる環境性能向上が期待できる。

そこでこの第 1 期次世代プロジェクトでのシリーズおよびパラレルハイブリッド車両の開発に係る知見を活かしたモデル車両として、以下に述べる IPT 搭載型のハイブリッドバスを試作し、実証試験を行うことにした。なお車両の製作にあたっては日野自動車株式会社が担当した。

3. 開発したバスの概要

第 2 期次世代プロジェクトの目的は、新たに都市内走行に適した IPT ハイブリッドバスを試作するとともに、大量普及を促進するために公道走行試験等を通じて実証走行データを収集することにある。



図 2 第 2 期次世代プロジェクトで開発したバス

表1 IPTハイブリッドバスの主要諸元

	IPTハイブリッドバス	ベースHVバス	保安基準の規定
全長	10.925m	←	12m以下
全幅	2.490m	←	2.5m以下
全高	3.285m	←	3.8m以下
軸距	5.200m	←	—
車両重量	12,130kg	11,150kg	—
定員	63名	75名	座席の幅・奥行き
乗務員+座席+立席	1名+23名+39名	1名+30名+44名	立席面積+0.14m ² で立席数を定める
前軸重量	5,665kg	5,545kg	10,000kg以下
後軸重量	9,930kg	9,730kg	10,000kg以下
車両総重量	15,595kg	15,275kg	20,000kg以下
最大安定傾斜角度	39度	40度	35度以上

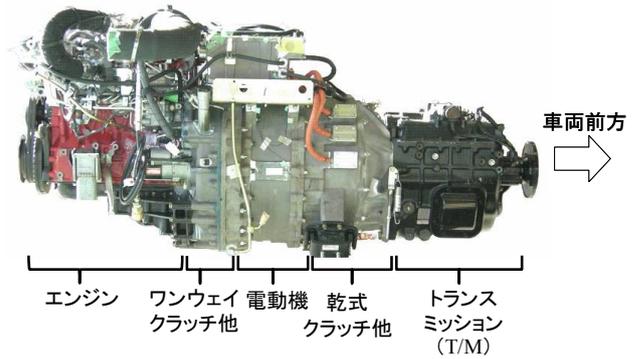


図5 パワートレイン構成

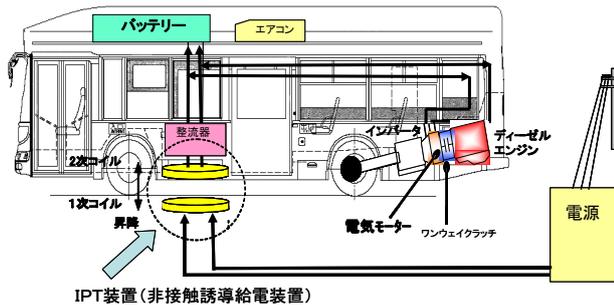


図3 IPTハイブリッドバスの車両構成

セル	単位	仕様	備考
セル	定格電圧 [V]	3.7	内部抵抗=1.69mΩ (S.O.C.50%, 25℃, 10sec後のI-V特性傾き値)
	定格容量 [Ah]	20	
	サイズ [mm]	324.0×156.0×7.4	
	質量 [kg]	0.56	
パック	定格電圧 [V]	51.8	セルバラバラ回路含む
	定格容量 [Ah]	40	
	サイズ [mm]	355.0×300.6×208.0	
	質量 [kg]	25.0	
車載	定格電圧 [V]	518	フレーム、ケーブル類、冷却ファンを含む 内部抵抗計算値: 118mΩ (1.69mΩ×140cell ² p)
	定格容量 [Ah]	80	
	容量 [kWh]	41.4	
	サイズ [mm]	1638×1628×395	
	質量 [kg]	580	

図4 搭載バッテリーの仕様

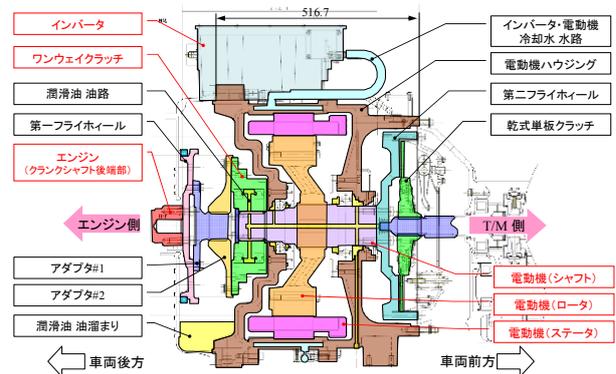


図6 動力伝達の断面

IPTハイブリッドバスは市販のハイブリッドバスをベースにした改造により製作した。開発したバスの外観を図2に、ベースのハイブリッドバスと比較した主要諸元を表1に示す。以下に開発したバスの技術内容を記述する。

3. 1. 搭載設計

車両構成を図3に示す。ワンウェイクラッチを介して、エンジンと電動機（モータ）を一体化したパワートレインをバス後部に配した。一方屋根上中央部にはエアコンユニットを搭載し、リチウムイオン電池は屋根上前方に搭載した。これらを搭載したことによる操縦安定性への影響を極力避けるように重量配分を考慮して屋根上に機器を配置した。

操縦安定性に影響を及ぼさないように、リチウムイオン電池は全体重量を650kg以下に抑えた。このため高張力アルミ製の専用フレームを作成して搭載した。搭載バッテリーの仕様を図4に示す。

車両中心よりやや前方の床下にIPTシステムの二次コイルを搭載した。その他高電圧回路などの改造を行った。

3. 2. パワートレインの試作

パワートレイン構成の詳細を図5に示す。全質量は約1,300kgである。エンジン後端からトランスミッション前までの動力伝達の断面を図6に示す。エンジン諸元を表2に示す。エンジンは小型バス用の4気筒4,728ccのディーゼルエンジンで新長期規制に適合している。このクラスのバスでは8L程度のエンジンが通常必要であるが、ハイブリッド化の効果により、より小型のエンジンが採用できた。電動機及びインバータの仕様を表3に示す。電動機は永久磁石同期型、インバータは可変周波数式である。

表2 エンジン諸元

項目	諸元
種類	水冷4サイクル4シリンダ ターボインタークーラ付 ディーゼル
後処理装置	DPR*
排気量	4,728 cc
排出ガスレベル	新長期規制
エンジン単体出力	132kW
(参考値)	490Nm

* Diesel Particulate active Reduction system

表3 電動機、インバータの仕様

項目	仕様	
電動機	型式	永久磁石同期電動機
	最大出力	180 kW / 2000-2600 rpm
	最大トルク	859 Nm / 0-2000 rpm
	定格出力	80 kW / 1750-2600 rpm
	定格トルク	437 Nm / 0-1750 rpm
	ステータ寸法	内-外径 φ460-575 × 140
	外径寸法	φ719 × 517
インバータ	型式	可変周波数式
	寸法	590 × 380 × 188
	質量	41 kg
冷却	水冷(電動機、インバータ共通)	

図6に示すようにパワートレインはエンジン出力軸とトランスミッションの間に電動機のロータが挿入された構造になっている。したがってエンジンからの動力は電動機の動力と足し合わされて駆動系に伝わる構造である。一方、エンジン出力軸と電動機の間にはワンウェイクラッチが挿入されており、減速時には駆動系からの力がエンジン軸に伝わらない構造になっている。したがって電動機を発電機として用いエネルギー回生により制動を行う場合のエネルギー回生効率をより高く出来る構造になっている。またこれによりエンジンを停止させた純粋電気走行が可能である。

項目	仕様
サイズ	φ340、全長88 mm
質量	33.4 kg
定格トルク	10760 Nm (エンジントルク比=22:1)
必要潤滑油量	200cc/min.以上

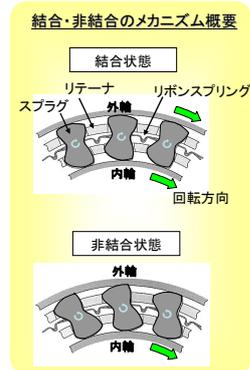


図7 ワンウェイクラッチ (OWC) の仕様と構造

ワンウェイクラッチの仕様と構造を図7に示す。

3. 3. 車両性能評価

IPTハイブリッドバスの排出ガス、運動性能、騒音性能についてベースのハイブリッドバスと比較することにより評価した。排出ガスはハイブリッド車として新長期排出ガス規制を満足した。表4に発進加速性能を示す。ベースハイブリッドバスより車両質量が増加したものの、電動機の高トルク特性によりベース車両と同等の加速性能が得られた。

表5に騒音性能を示す。IPTハイブリッドバスはベース車両と比較して低騒音性能に優れ、とりわけ電気自動車走行では特に静粛であることが確認できた。

表4 加速性能

試験項目	車両	運転モード	測定結果 [sec]
0発進性能 (0-20km/h加速)	IPTバス	EV	4.81
		HV	5.05
	ベース車	HV	4.61
追越加速性能 (40-50km/h加速)	IPTバス	EV	6.11
		HV	6.45
	ベース車	HV	6.22

表5 騒音性能

試験項目	車両	運転モード	測定結果 [dB]
定常走行時 車外音	IPTバス	EV	71
		HV	75
	ベース車	HV	78
加速走行時 車外音	IPTバス	EV	73
		HV	80
	ベース車	HV	80



図8 実証走行経路



図9 IPTの搭載状態

4. 実証試験の結果

第2期次世代プロジェクトでは実用化を目指した実証試験により、大量普及のための環境を整備することが重要な目的である。そこで、都市内走行を想定した場合と、山岳路走行を想定した場合について、路上走行試験を行い、主として、エネルギー消費に関する性能評価を行った。またIPTの充電性能についても評価した。

4. 1. 走行試験

図8に走行経路を示す。都市内走行状態を再現する経路として、羽村一箱根ヶ崎路を、山岳路を想定して、青梅ー五日市路を選定した。

4. 2. 性能評価

このバスは電気自動車モード (EV モード) とハイブリッド運転モード (HV モード) を切り替えて運転できる構造になっている。都市内走行条件ではハイブリッド走行で約 3km/L の燃費値が得られた。一方、純電気走行した場合には、0.88km/kWh の値が得られた。これらのデータを基に以下の評価を行った。

表6 IPTの充電性能

試験番号	給電開始 S.O.C. (OCV)	使用エネルギー[kWh]			給電量 [kWh]		効率		⑤ 通電時間 ⁴⁾ [sec]	④/⑤ 充電出力 [kW]
		① トラック サプライ	② 他 ²⁾	③ バッテリ 入力部	④ バッテリ 充電量 ³⁾	③/② IPT変換 効率	④/① 総合充電 効率			
1	51% (525V)	13.9	13.7	0.154	11.4	11.1	83.2 %	80.6 %	1,480	27.1
2	42% (510V)	17.7	17.5	0.170	14.8	14.4	84.1 %	82.5 %	1,594	32.5

IPTの搭載状況写真を図9に、充電性能を表6に示す。SOC50%前後の電池充電状態において公称給電能力 30kW でSOC30%前後増加するよう充電を行った結果である。通電時間は 25 分ほどかかり総合効率は 80%程度であった。前述の実走行データと表6の結果から計算すると、15 分の充電で 6km 程度しか電気走行をすることが出来ない。充電時間を短くし、かつ走行距離を伸ばして使いやすくするためには、少なくとも 50kW の容量を持つ充電装置が必要と考えられる。また効率の点でも改善の余地があると思われる。

5. 残された課題と今後の展望

得られた実証試験データから都市内 (丸の内) 巡回バスとして使用した場合を想定して二酸化炭素排出削減効果を算出した。東京駅、有楽町駅周辺の一周 3.9km のコースである。政府等の原単位データ等を用いて試算した結果によれば、全走行距離の 8 割を EV モードとした場合、二酸化炭素排出量は従来のディーゼルバスと比べて 44% の低減効果が得られることが分かった。今後さらに詳細なデータを積み重ねて検討を行う必要はあるものの、IPT ハイブリッドが二酸化炭素排出抑制に対して極めて効果的な技術であると言える。また非接触誘導給電装置の開発と最適化を進めて高効率化をはかることにより、より一層有望な技術に発展できる可能性がある。

6. まとめ

排出ガス抑制に有望な技術として取り上げて来た大型車ハイブリッド技術は、次世代の地球環境に優しい技術として進化しつつある。今後さらに公道での実地走行を積み重ね、実用化に適したハイブリッドバスの基本概念を明らかにして地球温暖化防止の有効な対策として普及に資する予定である。

最後に、この開発に携わって頂いた、多くのメーカー、関係者の方々にこの場を借りて謝意を表したい。