

RAV4 LEV とモニタテストの概要

朝倉吉隆

トヨタ自動車株式会社

〒471-71 豊田市トヨタ町1番地

The RAV4 LEV and Its Monitor Test

Yoshitaka Asakura

Toyota Motor Corporation, Electric Vehicle Div.

1 Toyota-cho Toyota, Aichi, 471-71

The RAV4 EV is a genuine electric vehicle designed for the most practical use in both city and highway traffic. It incorporates a new Nickel-Metal Hydride (Ni-MH) battery, which offers a driving range of over 200 km. To ensure its market adaptability in areas of the world, we have started two-year monitoring programs since the end of 1995 in several cities of Japan and the United States of America. The initial test results brought us great belief in its progressed performance in real market application. This paper outlines the design concept of the vehicle system, aimed at minimizing its energy consumption and maximizing battery life, and also describes the results of the monitoring tests and findings on the following issues.

1. 緒言

電気自動車が普及するためには1) 一充電走行距離の伸長、2) 信頼性の向上、3) 低コスト化、4) 充電インフラの整備だけでなく、より従来のガソリンエンジン車に近い車両性能を実現するため、5) 市街地、高速道路での走行に適した動力性能、6) 快適性、操作性向上など一層の改良が必要である。

Ni-MH電池はエネルギー密度が高く出力特性も安定していることから、電気自動車(EV)用電池として有望視されており、各社のEVへの搭載が検討されている。トヨタ自動車ではこれらの課題を克服するために新開発のシール形ニッケル水素(Ni-MH)電池、軽量高効率のPMモータ、ヒートポンプ式エアコン、車載充電器などを採用したRAV4 LEVを開発し、96年9月より国内で販売を開始した。この開発では市場での適合性を確認するため、95年末より日本、米国で総計20台のモニタテストを行っている。本報では車両の概要とモニタテストの状況を紹介する。

表1. 電気自動車の開発状況

(1996年末時点の各社発表データより)

メーカー	車種	一充電走行距離 (km)		最高速度(km/h)	モータの種類	バッテリーの種類
		市街地	ハイウェイ			
トヨタ	RAV4 LEV	215	180	125	永久磁石式	Ni-MH
ダイハツ	シャレード・ソシアEV	120	—	120	DCブラシレス	Ni-MH
ホンダ	Honda EV	210	—	130	DCブラシレス	Ni-MH
日産	ブルーリジューEV	200≥	—	—	永久磁石式	Li-ion
GM	EV1	112	144	125	AC誘導	鉛酸
Ford	Ranger EV	93	—	120	AC誘導	鉛酸
PSA	Peugeot 106	60	—	75	AC誘導	Ni-Cd
	Citroen Saxo	80	—	90	DC	Ni-Cd

2. RAV4 L E Vの概要

RAV4 L E VはSUV (Sport Utility Vehicle) として親しまれているRAV4をベースにしたシティコミュタEVである。主な特徴としてつぎのとおりである。また表1に主な車両諸元を示す。

- 1) 大容量活長寿命で軽量のニッケル水素 (Ni-MH) 電池を市販車として世界で初めて搭載。
- 2) 高出力の永久磁石同期形モーター、回生ブレーキシステムなどの採用により、一充電走行距離の伸長を実現。10・15モード走行時の一充電走行距離は215 kmを実現した。モーターと同軸一体型のトランスアクスルを採用することでパワートレインの小型軽量・高出力化をはかり、加速性能の向上とスムーズな加減速を実現した。(図1、2)
- 3) 車載充電器採用により、家庭用電源 (AC 200V) からの充電可能とするとともに、タイマ機能により安価な夜間電力も利用しやすくした。
- 4) 駆動用電池を床下にコンパクトに収納することで、低重心を実現するとともに広い車内空間とラゲージスペースを確保した。
- 5) 電力消費を低減するインバーター制御ヒートポンプ式エアコン (冷媒: HFC134a) や電動パワーステアリングを採用し、走行時の快適性を向上した。

表2. RAV4 L E V 主要諸元表

寸法・重量	全長	mm	3,565
	全幅	mm	1,695
	全高	mm	1,620
	車両重量	kg	1,460
	乗車人員	名	4
パワーユニット	モーター	種類	永久磁石同期型
		最高出力	kW/rpm 45/2,600~8,600
		最大トルク	Nm/rpm 165/0~2,600
	トランスアクスル (減速比)		9.455
	駆動用電池	種類	シール型ニッケル水素
		容量	Ah (Hr) 95 (5)
		個数	24
		公称電圧	288 (12V×24個)
	充電器	種類	車載式充電器
		入力電源	V/A 単相 200/30
標準充電時間		約8時間	
性能	最高速度	km/h	125
	一充電走行距離 (10・15モード)	km	215

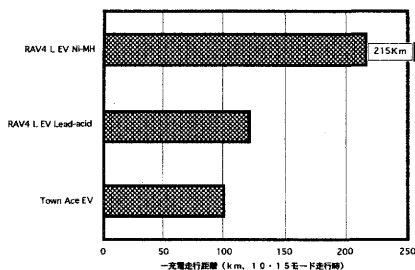


図1. RAV4 L EVの一充電走行距離

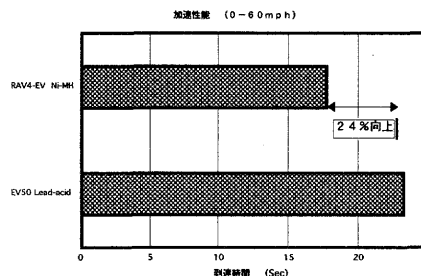


図2. RAV4 L EVの加速性能

3. EV技術の課題と対応

3.1 Ni-MH電池の特徴

Ni-MH電池の充放電反応は正極と負極の間を水素イオンが往復するいわゆるロッキングチェア反応であり、鉛酸電池のように溶解析出反応でないため安定した出力が保持できるとともに原理的に長寿命といわれている(図3)。しかしこうした長所の反面、高温での充電が継続した場合には寿命劣化が早いことが課題の一つである。この理由は以下のように考えられている。高温下の充電では正極から酸素ガスが発生しやすくなり、この酸素が負極の水素吸蔵合金中の水素と結合反応し水になる際に発熱を伴うため、電池温度がさらに高まり、電池の充電反応が進まなくなる。この状態では電池に投入された電力は熱損失(ジュール熱)となり、さらに電池の温度を高くなることから充電効率が低下する。また発生した酸素は水素吸蔵合金を酸化し活物質の機能を損ねてしまう。このような高温下での充電が繰り返されることにより電池寿命が低下する。

RAV4 L EVの開発では電池の内部抵抗の低減および活物質の改良などを実施した。またサイクル寿命を伸長するために電池の限界温度以上にならないように次のような車載技術の工夫を織り込んだ。

- (1) 走行中の発熱を抑えるため、電池の内部抵抗および導通部の抵抗をできるだけ低くし大電流放電時に電池温度を上げない。
- (2) 各モジュール電池温度を均一にするために十分な冷却能力を電池パックに備える。
- (3) 走行直後で電池温度が高い場合は電池冷却を実施して充電可能な電池温度まで下げる。
- (4) 充電時に電池が高温になった場合には充電を制御する。

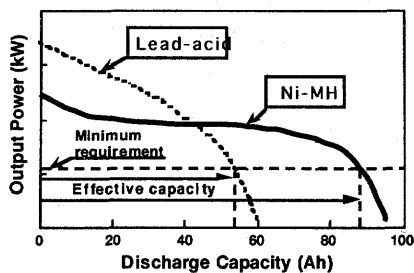


図3. Ni-MH電池の出力特性

3. 2 電池冷却

上述のように高温時の充電による電池寿命の劣化を防ぐため、電池パック内の各モジュール電池を均一に冷却することが必要である。システムの簡素化と冷却系の消費電力を低減するため、シロッコファンをトレイ前方に配置し、外気導入による空冷方式を採用した。

図4左はバッテリーパック内のモジュール配置である。冷却風は電池セル間の通気孔を通り、トレイ下面の開口部より排気される。通風路の圧力損失を低減し、図4右のように均一な風速分布を得た。また電池温度によりファン作動制御を行っている。

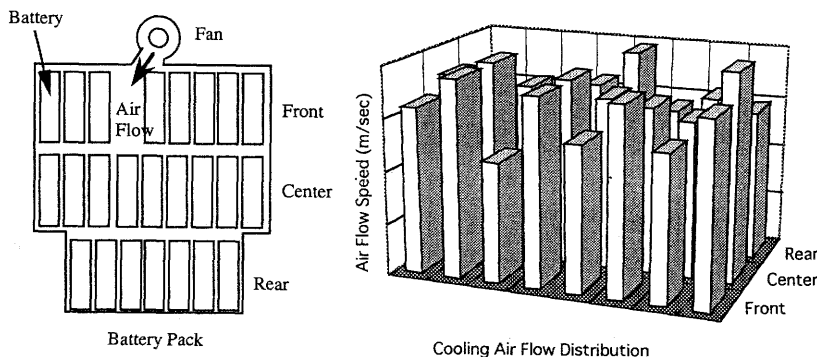


図4. 電池冷却システムの概要 (右; 電池パック平面配置図、左; 冷却風速分布)

3. 3 電池管理技術

Ni-MH電池管理の重点は充電時の電池温度管理と電流制御、走行負荷に応じた電池保護制御および電池残存容量 (SOC: State of Charge) の検出精度の向上である。RAV4 LEVでは次の制御を織り込んでいる。

充電制御

過充電を防止し、充電時の電池温度上昇による充電効率の低下を最小限にするため、電池温度と満充電判定の関係を実験的に求め充電制御アルゴリズムを設定した。

電池入出力制御

走行時の過放電および過充電による電池へのダメージを防止するため、低SOCでの走行出力制限、電池異常判定時の出力制限および高回生時の入力制限を織り込んだ。

電池残存容量 (SOC) の検出

上述の電池管理を確実にを行うためには、電池の残存容量 (SOC) の判定精度の向上が必須である。一般に実路走行時の電池電圧-電流 (I-V特性) の関係はその電流量および温度条件によって異なるため、単一には決まらない。このため残存容量の推定はこれらのデータ (I-V特性) を逐次検出し、車載のコンピュータにより逐一計算することによって求めている。

3. 4 モーター制御技術

図5は永久磁石式同期型モータと誘導モータのトルク性能曲線の比較である。永久磁石式同期型モータの採用により、モータ重量を30%軽減した。また弱め界磁制御により誘導形モータ同様に高回転域でのトルク発生が可能となった。またモータおよびインバータのシステム効率の向上は走行時のエネルギー消費低減の重要な課題である。効率の調整では使用頻度の高い領域を高効率化するのが効果的である。モータ制御適合にあたっては実際の走行データと各種のモード走行データをもとに最適化を図った。

これらのモータ制御以外にコンベンショナルなオートマチック車に近いクリープトルク特性を付加することで発進時の操作性およびヒルホールド性を高めた。

つぎに回生ブレーキ制御について述べる。発進停止の多い市街地走行、丘陵地走行では回生ブレーキによる高率のエネルギー回収が可能である。しかし回生電流が大きすぎると、電池の劣化につながる。RAV4 LEVでは電池の充電受け入れ制限電圧ぎりぎりまで回生電流を受け入れ、制限電圧を超過しないように油圧ブレーキを制御する設定とした。この結果米国燃費試験方法として知られるFUDSモードでのエネルギー回収率を約25%まで高めることができた。

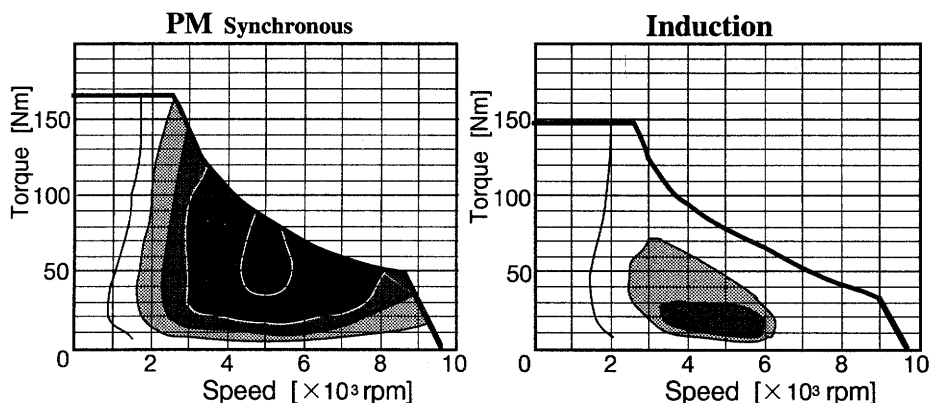


図5. モーター出力特性の比較 (左; 永久磁石式同期型、右; AC誘導)

3. 5 空調システム

空調システムの省エネルギー化は電気自動車の開発課題として重要なポイントである。RAV4 LEVではエアコン使用時の電力消費を低減するため、高効率のヒートポンプと2層流式の室内熱交換器ユニットからなるエアコンシステムを採用した。しかしながら外気温が-10℃以下に下がる寒冷地で使用した場合、外気からの熱交換効率が低下するため、快適な室内温が十分得られない。これは低温時は吸入圧力が低下し冷媒循環量が低下することおよび吐出温度が上昇することによりコンプレッサの駆動が制限されるためである。そこでガスインジェクション方式のエアコンを寒冷地向けに開発した(図6)。このガスインジェクション方式では凝縮器出口冷媒を中間圧まで減圧し、気液分離したあと、吸熱に寄与しないガス冷媒をコンプレッサにもどす。この方式を採用することにより-10℃以下での暖房が可能となり、後述のモニター車に搭載し、その性能を確認した。

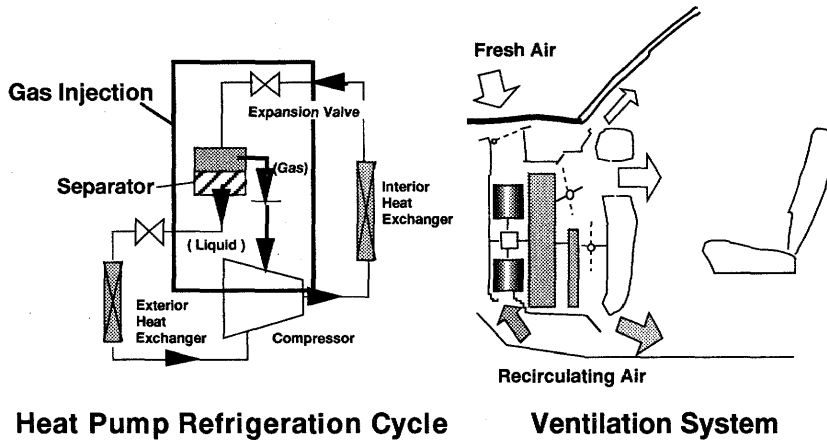


図6. ガスインジェクション式 ヒートポンプエアコンの概略図

4. モニタテストの概要

RAV4 L EVの市場適合性を評価するため通常のフィールドテストに加えて、95年末より日本、米国で20台のモニタテストを2年間の予定で開始した。搭載電池はNi-MHと鉛酸の2種類の設定である。このモニタテストの目的は、1) 実際のユーザのさまざまな使われ方から得られる改良点の把握、2) 車両および電池データの収集と信頼性の確認である。

モニタテストの初期結果

”ガソリン車と同じように使えるEV”、”往復80マイルの通勤に使える”などモニタユーザからも高い評価を受けている。その一方で”充電操作性、出だしの加速感、追い越し加速性”などさらにレベルアップが必要であるとの指摘も得られた。

エネルギー回収

図7は再生ブレーキによって得られたエネルギー回収率(=電池に回収される電力/電池から出ていく電力)である。ここでは東京およびロサンゼルスと比較した。東京都市内では平均車速が低く、回生率は20~30%と高い値となった。これは渋滞および信号発進でのゴーストストップが多く回生頻度が高いためである。一方、Freewayを多用するロサンゼルスでは、平均車速が高く、回生率は低くなる傾向である。これらのデータからエネルギー回収率の分布はおおむね市街地モード(FUDS)とHighway走行モード(HWFET)の回生率の間の領域に分布している。この結果からRAV4 L EVのエネルギー回生は実際の使われ方でもほぼねらいどおり作動していることが確認できた。

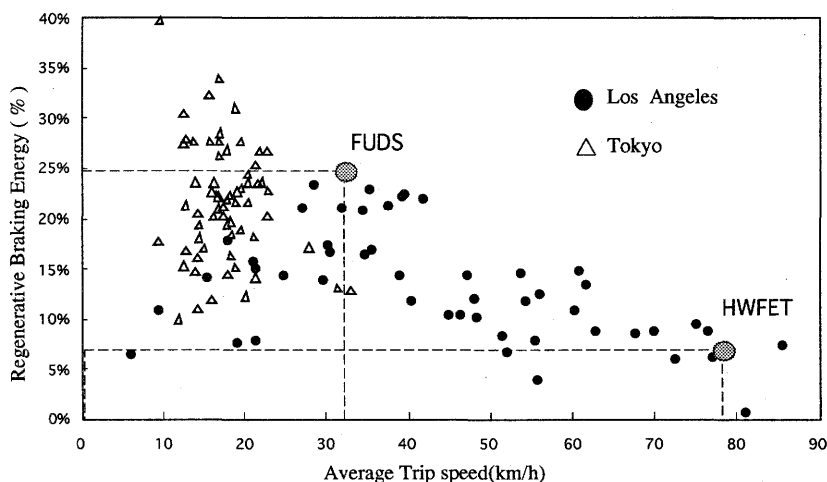


図7. 東京およびロサンゼルスモニターデータからみたエネルギー回収率の比較
(FUDS; 市街地走行モード、HWFET; ハイウェイ走行モード)

電力料金

日本および米国のモニターから提供されたAC電力量をもとに電力料金を算定した。日本国内の電力料金換算では昼間電力料金はガソリン車の75%、夜間電力では35%となった。安価な夜間電力を使用することで電気自動車の経済性が高まると言える。

寒冷地での確認試験

寒冷地で電気自動車を使用するには暖房性能の向上と低温による消費エネルギーの増大という課題の解決が必要である。暖房性能および電池の出力性能を実際の環境条件で確認するため、米国ミシガン州にてフィールドテストを実施した。ガスインジェクションヒートポンプエアコンの消費電力は車両全体の電力消費の15%の増加にとどまり、電気自動車の寒冷地用エアコンとして実用性が高いことを確認した。

もう一つの課題は低温による走行に必要な消費エネルギーの増大である。低温下では空気抵抗、機械損失、タイヤ転がり抵抗などの走行抵抗が増大する。また暖房使用頻度・時間が増すことによるエネルギー消費が加わってくる。寒冷地での走行レンジの実態を今後も引き続き把握し、これらの地域でのEVの実用性を判断していくことが必要である。

5. まとめ

RAV4 LEVを用いたモニターテストを日本および米国で開始し、その初期評価結果から次の結果を得た。

- 1) Ni-MH電池搭載により”ガソリン車と同等に使える走行性能、80 mileの通勤に楽に使える走行レンジ”などその実用性をモニターから高く評価された。
- 2) 充電費用の概算から夜間電力使用時には、エネルギーコストはガソリン車の約1/3となり、

EVのエネルギー経済性を確認した。

- 3) 各地の収集データから、エネルギー回生の実態を明らかにした。渋滞の多い都市部では20%前後であるが、高速走行の多い地域では10%程度に低下する。モード走行時のエネルギー回生率との比較から、ほぼ設計ねらいどおりにエネルギー回生が実現できていることを確認した。
- 4) 寒冷地での暖房性能を向上するため、ガスインジェクション方式のヒートポンプエアコンをモビ~~ル~~車に採用し、その暖房性能、消費電力のいずれも実用可能であることを確認した。

6. 今後の課題

RAV4 LEVでは200kmを越える一充電走行距離と優れた動力性能により都市型シティ通勤用EVとして高い実用性を実現できた。しかし電気自動車の一層の普及にはまだいくつもの課題が残存している。第一には製品コストの低減である。電気自動車の量産化によるコストダウンのみならず、部品の共通化による低減努力が必要である。第二の課題は動力性能の向上、一充電走行距離の伸張など走行性能の一層の向上である。第三には電気自動車にとって使用条件の厳しい寒冷地、酷暑地での車両評価を進め、技術課題を明確にしていくことが必要である。

参考文献

- [1] Y.Asakura, K.Kanamaru, "The RAV4 EV and Its Adaptability to the Real Market", Proc. of EVS-13, Osaka, (October 1996)
- [2] Y.Fujii, K. Kanamaru, Y.Shoji. "Toyota EV-50: An effort to realize practical EVs," Proc. of EVS-12, Los Angeles, CA, (December 1994)
- [3] T.Suzuki, K.Ishii. "Air Conditioning System for Electric Vehicle," SAE 960688