

図3 シリーズハイブリッドシステム

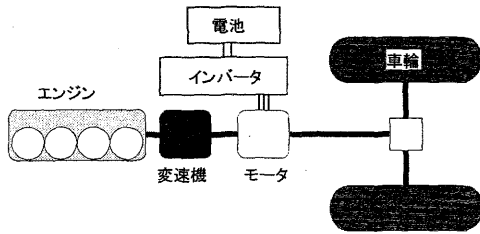


図4 パラレルハイブリッドシステム

2-1. システム構成と作動

THS は動力源としてガソリンエンジンとモータを備えているが、基本となるのはエンジンである。エンジンの出力は遊星歯車を利用した動力分割機構により、車輪の駆動力と発電機駆動力に分割される。発電機で発生した電力はモータを駆動するのに直接利用したりインバータで直流に変換され電池に蓄えられる。この動力分割機構・モータ・発電機を含むハイブリッド用トランスミッションは乗用車用として非常にコンパクトに構成されている。THS の作動を示す。①発進時や低速走行時、緩やかな坂を下る時など、エンジン効率の悪い領域は燃料をカットして、エンジンを停止させてモータで走行する。②通常走行時は、エンジン動力を2分割し、一方は車輪を直接駆動する。他方は発電機を駆動して発電し、この電力でモータを駆動し駆動力をアシストする。③全開加速時には、電池からもパワーが供給され、さらに駆動力が追加される。④減速・制動時には車輪でモータを駆動して回生発電を行い、回収エネルギーは電池へ蓄えられる。⑤電池は一定の充電状態を維持するように制御されており、

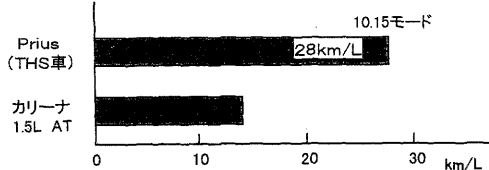


図6 燃費性能

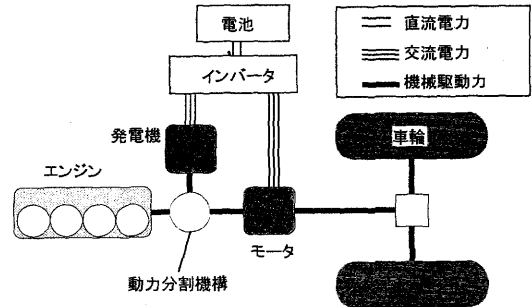


図5 トヨタハイブリッドシステム

充電量が少なくなるとエンジンで発電機を駆動し充電を行う。従って、電気自動車のような外部からの充電は不要である。

2-2. システムの性能

THS を搭載した車両の性能を以下に示す。

- ①燃費性能 (図6) 高効率エンジンの採用と燃費効率の良い領域での運転、停車時のエンジン停止、減速・制動時のエネルギー回収により、従来エンジンを搭載したオートマチック車に比べ、10.15モードの走行燃費を約2倍に向上させている。
- ②排出ガスレベル (図7) 走行燃費向上に伴い、CO₂の排出量も約1/2の削減となる。同時にCO・HC・NOxの排出量を日本の規制値の約1/10レベルに低減している。

3. 電気システムの概要

THS では従来のエンジン車には無い高電圧電気システムを採用している。それは、モータ・発電機・インバータ・電池等の高電圧で機能するコンポーネントとそれらを制御するコンピュータであるHV-ECU、電池ECU等から構成される。発電機・モータのトランスミッション、およびインバータ・DCDCコンバータは、エンジンルームに搭載している。電池・リレー・電池ECU等は電池BOX

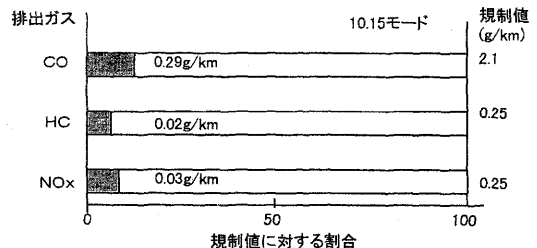


図7 排出ガス

として一つのコンポーネントにまとめ、トランクルームに搭載している。また、これらのユニット間はパワーケーブル（高電圧線）にて接続されている。THS ではモータ・発電機を駆動するのに 288V の高電圧を採用した。これらは電流を減らし、構成部品のコンパクト化を狙ったものである。

エネルギー貯蔵装置としての電池は、従来、各種電池、キャパシタなどが検討されてきた。我々は、これまで電気自動車用として開発した、高いエネルギー密度・軽量・長寿命等の優れた特長を有するシール型ニッケル水素電池の技術をさらに進化させ、THS の特性に適応した高性能ニッケル水素電池をパナソニック EV エナジー社と共同で開発した。

以下に THS 用に開発したニッケル水素 (Ni-MH) 電池について紹介する。

4. THS 用 Ni-MH 電池

4-1. 電池性能

THS 用電池は、エンジン始動用電源、車両加速時におけるモーター駆動用電源としての機能を有するとともに、車両減速時の回生エネルギー、発電エネルギーの受け皿としての機能を併せ持つ必要がある。電気自動車では駆動するためのエネルギー源は搭載した電池のみであるが、THS はエンジンを搭載しており、エネルギー源についてはガソリンなどの燃料であるため、電池エネルギー量は比較的小さなもので成立する。出力についてはエンジンと電池(モータ)で分担するが、電池出力、充電受け入れ性

が高いほど燃費などの特性が向上する。したがって THS 用の電池には、小型、軽量でありながら、車両加速時のパワーアシストとエネルギー回収の為には、高いレベルでの出力、充電受入性が要求される。さらにそういった使用条件下での長寿命も確保しなくてはならない。これらの目標を達成できる電池として、われわれは、小型円筒型の密閉ニッケル水素電池を選択した。ここでは、体格、重量をできるだけ小さくして、さらに車両要求レベルの出力に到達することを目指してきた。図 8 に示すように、電気自動車用 Ni-MH 電池と比較し、約 3 倍の出力密度を実現し、表 1 に示す、目標性能を達成した。

4-2. 電池構成

円筒型セルをセル軸方向に 6 個直列に接続して、1 モジュールを構成した(図 9)。40 モジュールを直列に接続して 1 パックの電池としている。小型高出力を実現するため、セル間は溶接による接続とし、最大 21kW での高率充放電に伴いジュール熱損失を最低限に抑さえ、電気的に確実な接続を確保した。モジュール接続用のバスバーは、モジュールホルダにモールドし、一体化した構造としている。モジュールホルダを図 10 に示す。また、電池、電池 ECU、電池冷却ファン、システムメインリレー (SMR)、サービスプラグなどの機能部品を 1 ケースの中にコンパクトに収納し、一つのパッケージとした(図 11)。高電圧の電池を保持する構造部材として絶縁に配慮する為、樹脂材を多用したが、車両振動入力に対して耐えうる構造設計を行った。

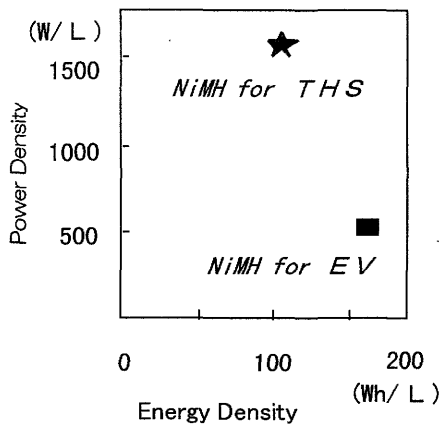


図 8 THS 用電池と電気自動車用電池の関係

表 1 THS 用 Ni-MH 電池の仕様

Item	Specifications
Power (25°C、10sec)	21kW
Power Acceptability (25°C、10sec)	20kW
Capacity	6.5Ah
Range of Temperature	-30~60°C
Nominal Voltage /Number of Cell	288V/240cell
Weight	45kg

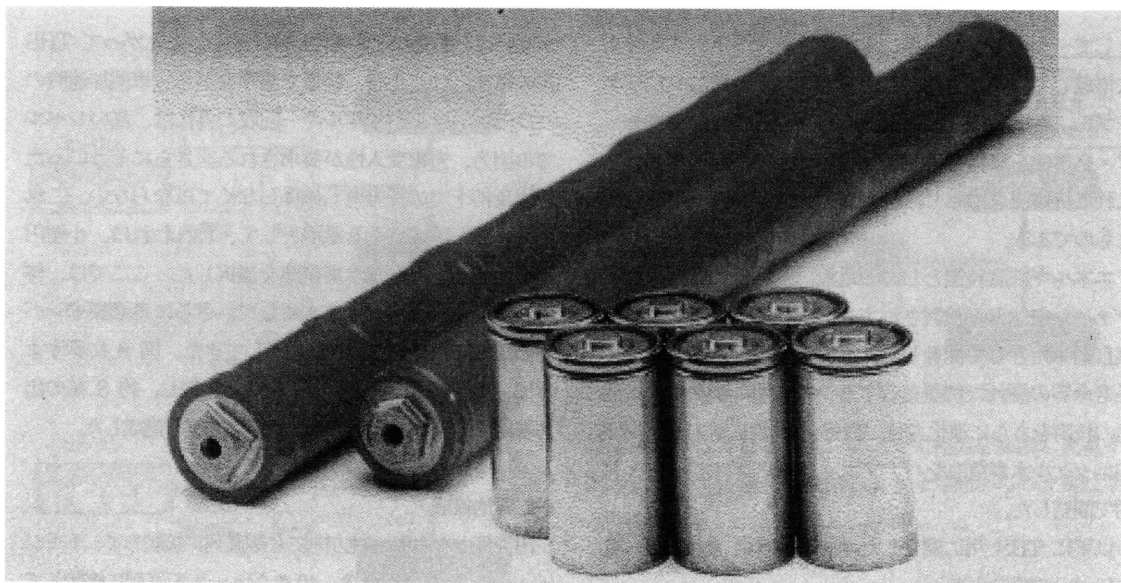


図9 THS用電池セルとモジュール

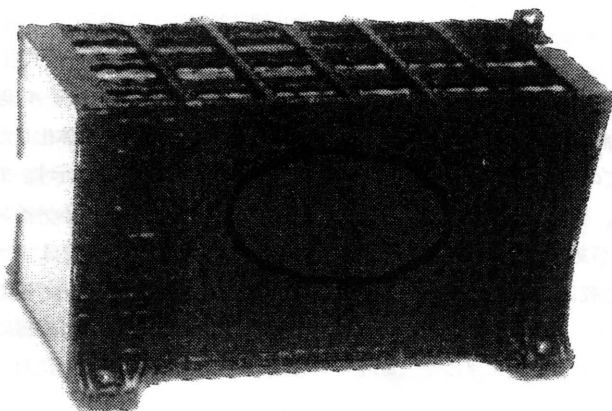


図10 THS用モジュールホルダー

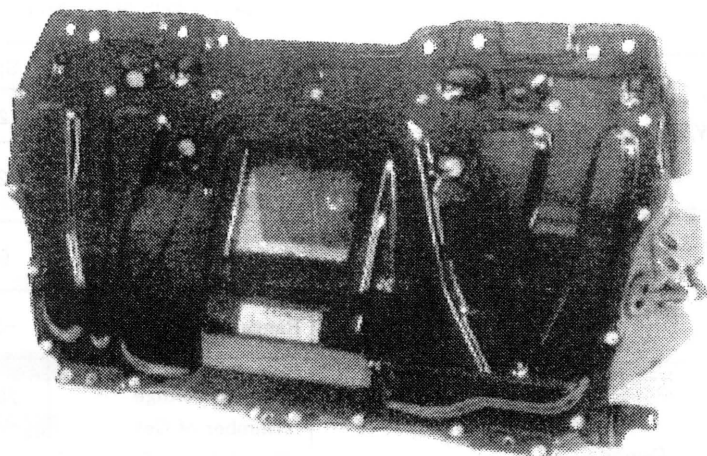


図11 THS用電池システム

4-3. 電池制御

電池制御には、電池の充電状態を一定に保つためのSOC(State Of Charge=充電状態)管理、電池の温度を適正に保つための温度制御、電池を安全に使用するための保護制御機能がある。図 12 に示すように専用の電池 ECU により行われる。電池 ECU は、電池の電圧・電流・温度を検出し、SOC の演算を行う。SOC 演算値を HV-ECU へ通信することにより、SOC を一定に保つよう充放電を要求する。THS では、加速時のモータへの電力供給と減速時の回生電力受入のために、通常時 SOC は中央付近に保つ必要がある。そのためにまず SOC を精度よく検出することが重要である。本システムでは、充放電電流を積算して SOC を演算することを基本としている。このように求めた SOC 演算値をもとに、SOC が低下した場合には充電を要求し、SOC が上昇した場合には放電を要求することで、設定した SOC の上限・下限をこえることなく SOC を制御中心に保つように管理している。SOC 推移の例を図 13 に示す。また、電池温度制御のための冷却ファンを駆動し、電池保護のために SMR の遮断を要求する。

5. 安全機構

THS では 288V という高電圧を採用しているの、万一の感電防止のために以下の考え方で安全システムを構築している。

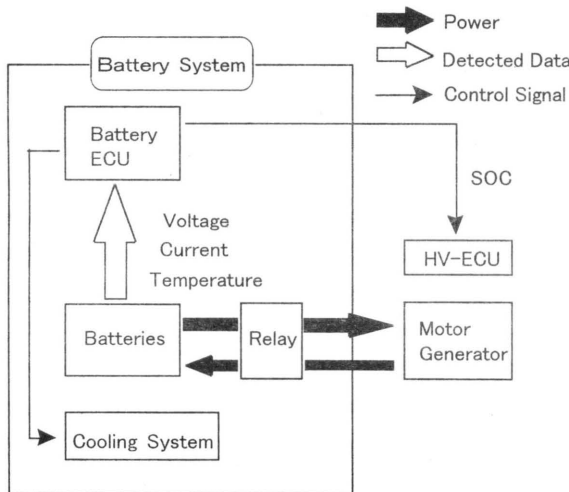


図 12 電池制御システム

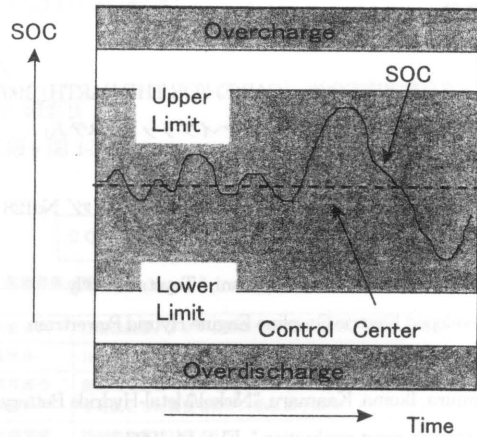


図 13 SOC 管理

- 1) 高電圧回路を隔離する。高電圧回路は正/負両極とも車体(12V 系)とは絶縁し、かつ、高電圧機器・配線にはケース・カバーを設定することで人が回路に直接接触することができないようにしている。
- 2) 高電圧回路を遮断する。車両の整備時など人が高電圧回路に直接接触する可能性がある場合には、電池を高電圧回路から切り離すことで安全性を確保している。
 - a) 手動遮断装置(サービスプラグ)を電池の中間位置に設定。
 - b) 自動遮断装置として、電池 BOX 内に電磁リレーを設置。
 - ①イグニッションキー(始動キー)を OFF にしたとき。
 - ②高電圧機器(インバータ)のカバーが開かれたとき。
 - ③車両衝突を検出したとき。
 - c) 上記の自動遮断装置が働いたとき、高電圧が残留しないように、電池以外の電源である発電機の発電を停止するとともにインバータ内のコンデンサ電荷の強制放電を行う。
- 3) 絶縁抵抗劣化検出 高電圧回路と車体間の絶縁抵抗の低下を検出し、警告を発する。

6. まとめ

以上、画期的な低燃費と排ガスのクリーン化を達成した THS について紹介した。今後、ハイブリッド車が普及していくために益々の改良を続けるとともに、コストの低減・重量の低減・電池のリサイクルシステムの確立などの課題を克服する努力を続けて行きたい。この小さなクルマが 21 世紀への大きな一歩となり、クルマ社会の未来がさらに広がることを願っている。

参考文献

- 1) トヨタ自動車株式会社 「CAR(E) FOR THE EARTH」 1997
- 2) トヨタ自動車株式会社 「トヨタハイブリッドシステム」
PRESS INFORMATION'97, 1997
- 3) 小木曾, ニューバートレイン・ハイブリッド車について, トヨタ誌 No128
21-23(1998)
- 4) Sasaki, Takaoka, Matsui, Kotani, "Toyota's Newly
Developed Electric-Gasoline Engine Hybrid Powertrain
System.", EVS-14, 1997
- 5) Kimura, Ikoma, Kanmaru, "Nickel/Metal-Hydride Battery
for power assist application.", EVS-14, 1997