K00200

マツダ減速エネルギー回生システム i-ELOOP (intelligent energy loop) の開発

平野 晴洋^{*1} 高橋 正好^{*2}

Development of Mazda Brake Energy Recovery system i-ELOOP (intelligent energy loop)

Seiyo HIRANO^{*1} and Masayoshi TAKAHASHI^{*2}
^{*1} Mazda Motor Corporation, Powertrain System Dept. Powertrain Development Div.
3-1, Shinchi, Fuchu-cho, Aki-gun Hiroshima 730-8670, Japan

Based on the technology development long-term vision, "Sustainable Zoom-Zoom", Mazda has been promoting what we call a "Building Block Strategy". With new-generation technology called "SKYACTIV TECHNOLOGY", we thoroughly improve the base technologies for Powertrain efficiency, vehicle weight reduction while combining them with electric device technology in a phased manner so as to reduce CO2 emission. In the second step of this approach, we have developed a new regenerative braking system "i-ELOOP" that recovers energy generated by deceleration and reuses it as electric energy necessary for a vehicle. Today, I present "i-ELOOP": the regenerative braking technology we developed in the second step of our Building Block Strategy

Key Words : Regenerative braking, i-ELOOP

1. 緒 言

マツダではすべてのお客様に、「走る歓び」と「優れた環境安全性能」を提供する「サステナブル Zoom Zoom 宣言」を行い、環境対応として「ビルディングブロック戦略」を推進している (Fig1)。これは、「SKYACTIV TECHNOLOGY (スカイアクティブテクノロジー)」で、クルマの基本性能を徹底的に改善し、さらに段階的に電気デバイス技術を組み合わせてゆくものである。本稿では、ビルディングブロック戦略 STEP2 として、2012 年に発売される車種に採用される「i-ELOOP」(アイイー ループ) について紹介する。

Fig 1. Mazda Building Block Strategy

Table 1 Mazda BMS systems

	charge control	i-stop dual battery	i-stop single battery	i-ELOOP
Idling stop	-	+	+	++
Brake Regen.	+	-	+	++
Battery	55D23L	46B24L 26B17L	Q85	EDLC Q85
Alternator	6GM 90A@12V	6GM 90A@12V	8GM 110A@12V	Variable voltage 150A@24V
DC/DC converter	-	-	200W	675W
BMS	1st generation (hole sensor)		2nd generation (shunt sensor)	

^{*1} 非会員 マツダ(株) PT 開発本部 PT システム開発部 (〒730-8670 広島県安芸郡府中町新地 3-1) E-mail: hirano.se@mazda.co.jp

^{*2} 非会員 マツダ(株) 車両開発本部車両システム開発部

2. マツダ電気デバイス技術の流れ

マツダでは、鉛バッテリーのバッテリーマネジメント技術（以下 BMS）を中心とした電気デバイス技術を継続的に進化させてきた。まず 2003 年から、マツダ初の減速エネルギー回生システムである「充電制御」を採用したデミオを市場に導入した。2009 年から、「i-stop」を採用したアクセラ、ビアンテ、プレマシーを市場に導入し、2011 年のデミオでは、シングルバッテリーシステムへと進化させた。2012 年には、キャパシタによる減速エネルギー回生システム「i-EL00P」を、世界で初めて乗用車の市販車に搭載する（Table1）。

これらの電気デバイス技術では、停車中の放電や、減速時の大電流充電が必要となっており、これまでにない高い充放電性能が求められている。BMS は、これらの性能の向上と自動車の電源系としての信頼性を両立してゆく必要がある。バッテリーの信頼性は、確実なエンジン再始動や安定した車両電源の確保であり、バッテリー寿命の延長も求められている。i-EL00P ではキャパシタ（以下 EDLC; Electric Double Layer Capacitor）を新たに採用することで、上記の要求を同時に満足させた。

3. i-EL00P

3・1 システム構成

i-EL00P では、EDLC をエンジンルームに搭載し、発電機からの距離を短くすることにより送電ロスを極力小さくしている。DC/DC コンバータはシート下に搭載し、一般的な走行状態で、車両消費電力を賄える容量(675W)とした。発電機は、EDLC の電圧 (12V~25V) に対応するため、新たに可変電圧式オルタネータを採用した。高電圧化と大電流出力により、従来比約 3 倍の発電出力を、ほぼ同一外形で実現している。

EDLC の容量は、一般的な減速 1 回分の減速エネルギーを蓄電できる容量 (25kJ) とした。この容量で、アイドルストップ中の車両消費電力をほぼ賄うことができる。(20A×100 秒間)

Variable voltage alternator (12-25V)

Fig. 2 i-EL00P system structure

Fig.3 Comparison of each batteries

3・2 燃費性能

近年、車両消費電力は、安全装備や環境対策技術等の電気装備品の追加により増大傾向にある。一方車両自体が消費する総エネルギーは、燃費向上により、ますます減少傾向にある。つまり車両消費総エネルギーに占める車両消費電力の比率はどんどん高まっている。そこで減速エネルギーを電力として回生し、車両消費電力に充てれば、内燃機関の発電ロスを無くし、燃費性能を上げることができる。内燃機関に無駄な仕事をさせないことで、新開発の SKYACTIV-G による燃焼効率向上との相乗効果となる。

車両の減速は、数秒間程度で終わるものが一般的であり、短い減速時間内に、より多くの電力を充電しなければならない。他の蓄電デバイスとパワー密度で比較すると、EDLC が最もパワー密度に優れている (Fig. 3)。エネルギー密度で比較した場合、EDLC は極端に少ないが、一度の減速エネルギーを蓄えるには十分である。

i-EL00P では、この限定された容量の EDLC を最大限に活用する電力マネジメント制御を採用している。EDLC の蓄電量が満杯で、次の減速エネルギーを受け入れられないと、燃費効果が減少してしまう。そこで、次の減速エネルギーを逐次予測し、最適なキャパシタ蓄電量となるように調節している。これにより、安定した減速エネルギー回生ができるシステムとしている。

パワー密度が極めて優れた EDLC と先進的な制御技術により、実用走行で、5～10%の燃費向上を実現している。減速頻度が多く、車両消費電力が大きい走行シーンでは、最大で 10%以上の燃費効果が期待できる。高速道路などの減速頻度が少ない走行でも、アクセルオフによる緩やかな減速で十分な回生エネルギーが得られる。

3・3 信頼性

車両の電源としてのバッテリーへの信頼性要求は、車両の電動化に伴い、ますます重要となっている。アイドルストップ技術では、バッテリーが故障するとエンジン始動ができない等の致命的な問題となることが考えられる。i-stop では、始動電源を二重系とし、また高精度な BMS による劣化診断を強化することで信頼性を確保している。

i-ELOOP では種別の異なる電源を 2 個使用することにより、電源を二重系とし、燃費性能と電源の信頼性を両立させている。DC/DC コンバータの上流は可変電圧系とし、回生性能を高めると同時に、通常の 12V 車としても機能することができる (Fig4)。DC/DC コンバータの下流は 12V の一定電圧とし、電源品質を向上させ、車両システムの信頼性や商品性を向上している。また EDLC は他の化学電池と異なり物理反応原理であり、安全性も高く充放電によるサイクル寿命に優れている。充放電を主に EDLC に行わせることにより、鉛バッテリーのサイクル寿命も大きく延長できる。バッテリー交換の期間延長は、お客様の利便性向上のみならず、使用済み鉛バッテリーの処理など環境負荷を減らせる。さらに i-ELOOP で採用した EDLC は、炭素やアルミニウム等から製造され、活性炭は椰子殻を使用している。植物由来の廃材の有効活用であり、貴金属類を使用していないため採掘等に伴う環境問題も少ない。

Fig. 4 i-ELOOP system architecture

4. 結 語

今回導入した「i-ELOOP」により、実用走行でも 5～10%の優れた燃費改善を行い、優れた環境性能と走る喜びを提供した。さらに、鉛バッテリーの寿命を大幅に延長し、お客様の利便性を改善するとともに、環境負荷の少ないシステムとした。自動車の燃費向上は、自動車会社にとって最大の課題であり、減速エネルギーの再利用は、重要な技術領域である。減速エネルギー回生技術には、電気エネルギーを蓄積するバッテリーだけでなく、その管理技術である BMS も大きな技術課題となる。今後、ビルディングブロック戦略の STEP3 である電気駆動も含めて、BMS のさらなる進化を目指してゆく。

文 献

- (1) 吉田ほか：新型デミオ向けバッテリーマネジメントシステムの紹介 マツダ技報 No.29 (2011), p14-19
- (2) 久米ほか：次世代バッテリーマネジメント技術の開発 マツダ技報 No.28 (2010), p54-58
- (3) 猿渡ほか：マツダ i-STOP (アイ・ストップ) マツダ技報 No.27 (2009), p9-14
- (4) 西里ほか：バッテリーマネジメントによる燃費改善 マツダ技報 No.25 (2007), p152-156