

三相 200 V 交流出力機能を搭載した 外部給電器 Power Exporter e: 6000 の開発

Development of Power Exporter e: 6000, External Power Output Device,
with Three-phase 200 V AC Output Function

矢 萩 優 名¹
Yuuna YAHAGI
矢ヶ崎 健 太³
Kenta YAGASAKI

神 津 知 之¹
Tomoyuki KOZU
福 井 崇 裕¹
Takahiro FUKUI

尾 高 拓 弥²
Takuya ODAKA
伊 原 光 祐³
Kosuke IHARA

要 旨

ABSTRACT

外部給電器 Power Exporter 9000 をベースに、より低価格で汎用性を拡大させた Power Exporter e: 6000 を開発した。市場ニーズを捉えて出力を適正化し、出力低減に合わせた部品点数削減と、最小限にコストを抑えた変化点対応により、高品質を維持したまま低価格を実現した。さらに、世界に先駆けて 3 台連携で三相 200 V 交流出力をする機能を追加して、一般用電気工作物として Vehicle to Load and Vehicle to Home に対応し、産業機器などの大型の電気機器へ用途を拡大した。加えて、電動自動車用充放電システムガイドライン V2L DC 版に適合した上で給電コネクタのケーブル伸長や制御の変更をおこない、他社を含めたより多くの電動車両との接続に関する汎用性を高めた。

The less-expensive and more versatile Power Exporter e: 6000 was developed based on the Power Exporter 9000 external power output device. A lower price was achieved while maintaining high quality by optimizing power output in response to market needs, reducing the number of parts in line with the reduced power output, and addressing change points with minimal cost. In addition, the first known function to provide three-phase 200 V AC output with three linked units has been added to realize Vehicle to Load and Vehicle to Home as an electrical facility for general use, thereby expanding use applications to large electrical equipment such as industrial equipment. The power supply cable length was extended and the control was modified to conform to the “Electric Vehicle V2L DC Charge/Discharge System Guidelines” to enhance connectivity with even more EVs, including those of other automakers.

1. まえがき

Honda は 2050 年に全製品と企業活動を通してカーボンニュートラルの実現を目指しており、それに向け 2040 年には四輪における EV, FCV 販売比率 100% の目標を掲げている⁽¹⁾。世の中の動向としても電動車両の市場は拡大しており、それに伴い車に蓄えられた電気の活用に対するニーズも拡大していくことが予想される。

Honda は、世界で初めて電動自動車用充放電システムガイドライン V2L DC 版⁽²⁾ (以降 V2L ガイドライン) に適合した可搬型外部給電器 Power Exporter 9000⁽³⁾ (PE9000) を、2016 年より販売してきた。Fig. 1 に外部給電システムの構成を示す。電動車両から供給される電圧は DC 電圧であり、この電圧は車両やバッテリーの状態に依存して変動する。この変動する DC 電圧をコンバータにより所定の DC 電圧に変換し、さらにインバータにより AC 電圧に変換し

¹ 先進パワーユニット・エネルギー研究所

E-mail: yuuna_yahagi@jp.honda

² 株式会社ホンダ・レーシング

³ 本田技研工業株式会社

Table 1 Comparison of specifications

		PE6000	PE9000	A	B
Destination		Japan	Japan	Japan	Japan
Rated power (kVA)		6	9	3	4.5
Rated alternating current voltage (V)	Single-phase	100 / 200	100 / 200	100	100
	Three-phase	200	-	-	-
Receptacle		200 V × 1 100 V × 4	200 V × 1 100 V × 6	100 V × 2	100 V × 3
Mass (kg)		41	51	21	38
Volume (m ³)		0.128	0.128	0.073	0.093
Cable length (m)		2.1	1.2	2.0	2.0
Applicable standard	Charge/discharge system guidelines for electric vehicles V2L DC version	2.1	2.1	2.1	2.1
	CHAdeMO version	2.0	1.0	2.0	2.0

て電気機器に電気を供給する。PE9000 は Honda が培ってきたエンジン発電機のインバータ技術^{(4),(5)}を採用しており、高品質な交流 100 V と 200 V の電圧を同時に出力できる特長を持つ。さらに、9 kVA の大出力を静音、無臭で供給できるため、平時はイベントやキッチンカーなどの電源として、災害などの発生時は停電した避難所や災害対策本部などの電源として、フェーズフリーに活用することができる。

しかし、現在の日本の外部給電器市場では、PE9000 よりも低出力で低価格なものが主流となっている。さらに、今後は中小規模事業所の事業継続計画 (Business Continuity Planning: BCP) 対応の市場が広がることが予想されている。この BCP 対応では、Fig. 2 に示すような機器での使用が想定される (2023 年 10 月現在, Honda 調べ) こ

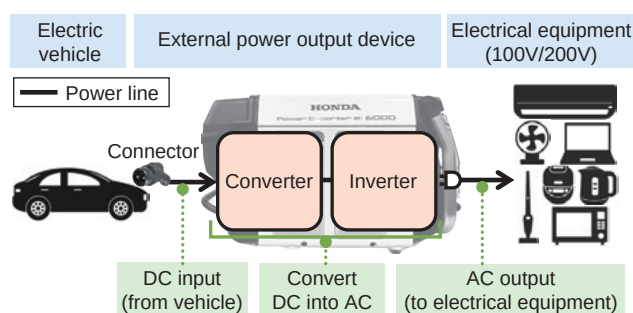


Fig. 1 Configuration of external power output system



Examples of power consumption

2 air conditioners	1,600 W
20 ceiling lights	1,600 W
10 desktop PCs	1,000 W
2 laptops	60 W
1 electric kettle	1,000 W
1 TV	150 W
Total	5,410 W

Fig. 2 Example of instantaneous power consumption in BCP of small and medium-sized office

とから、6 kVA クラスの外部給電器が必要になると考えた。加えて、外部給電器市場の拡大に伴い、より多様な機器への対応が求められるようになり、大型の電気機器を動かすことができる三相 200 V 交流 (以降三相交流) 出力の機能追加が期待されている。一方で、V2L ガイドラインに適合した電動車両の増加により、様々な車種との組み合わせによる使用機会が増え、車両との接続に関する使い勝手を改善し、汎用性を高めることも市場要望として挙がってきている。

2. 開発のねらい

PE9000 をベースに定格出力を 6 kVA にして低価格な製品とし、さらに市場要望に応じて進化させた外部給電器 Power Exporter e: 6000 (PE6000) を開発した。Fig. 3 に電動車両と接続した PE6000 の外観を示す。PE9000 の機能や高い電源品質を維持したまま、7% の部品削減と 88% の部品流用をすることで開発費用と製造コストを最小限に抑え、低価格を実現した。加えて、市場要望に応じて PE6000 をより競争力の高い製品とすることをねらいとし、以下を開発の主要項目とした。

- (1) 世界に先駆けた三相 200 V 交流出力機能追加
- (2) 車両接続における汎用性の拡大

Table 1 に PE6000 と PE9000、および他社製品の主要諸元を示す。



Fig. 3 External view of PE6000 with electric vehicle

3. 開発技術の紹介

3.1. 三相 200 V 交流出力機能

PE6000 には三相交流出力機能を追加した。三相交流とは、電気事業法で定められた商用電源の一種で、線間電圧が 182 V から 222 V、線間位相差が 120 度の三相電源のことである。三相電源はエレベータや産業機器などの大型電気機器を動かすことができるため、停電時の対応として外部給電器への機能搭載が期待されている。一方、従来の三相交流発電機で 10 kW を超える大型の電気機器を動かす場合には、法令によって、国の機関へ保安規定を届け出ることや主任技術者の選任をおこなうことが定められており、非常時での運用には課題があった。そこで本開発では PE6000 を組み合わせ、安全かつ手軽に大出力の三相電源を扱うことを可能とする技術を構築した。

3.1.1. 三相交流の生成原理

三相交流は U 相、V 相、W 相と呼ばれる三相の正弦波を合成することで生成できる。三相交流出力機能のシステム図を Fig. 4 に、外観を Fig. 5 に示す。本システムでは V2L ガイドライン⁽²⁾に適合している電動車両と PE6000 をそれぞれ 3 台組み合わせ、PE6000 に搭載された二つのインバータを使って三相交流を生成する。3 台の PE6000 を A 機、B 機、C 機、それぞれに搭載されている 2 台のインバータをインバータ 1、インバータ 2 とする。三相出力モードで起動するとインバータ 1 とインバータ 2 の位相差が 120 度に設定される。3 台の PE6000 の起動順番を A 機、B 機、C 機とした場合、A 機のインバータ 1 は U 相、インバータ 2 は V 相を出力する。次に起動する B 機のインバータ 1 は先に起動した A 機のインバータ 2 に同期することで V 相を出力し、インバータ 2 は W 相を出力する。同様

に C 機のインバータ 1 は W 相、インバータ 2 は U 相を出力する。そして、各 PE6000 から出力された交流波形を集電 BOX で接続し定格 16.4 kVA (線電流 52 A) の三相交流の電力を得る。この技術はエンジン発電機で培ったリアルタイム通信同期制御⁽⁴⁾と並列同期制御⁽⁵⁾を応用したものである。それぞれの技術について以下に詳細を説明する。

リアルタイム通信同期制御は、同一機内の 2 台のインバータの出力波形の位相差を任意の角度に設定し、高精度で出力、維持する技術である。従来のデュアルボルテージインバータ発電機⁽⁴⁾では、インバータ 1 とインバータ 2 が出力している 100 V 交流波形の位相差を 180 度に設定している。これにより、二つのインバータの出力波形の正のピークと負のピークの位相が一致するため、この差分を取ることで 200 V 交流出力を得ることができる。PE6000 でも単相モードでは同様の制御をおこなっている。

並列同期制御は、並列接続されたインバータ発電機を信号通信線レスで同期運転させる技術である。同じ相を出力する 2 台のインバータはこの電圧と電流の位相差を検出し、それをもとに出力周波数をわずかに増減して互いに歩

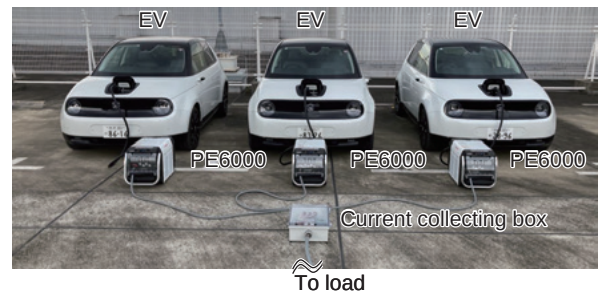


Fig. 5 External view of parallel three-phase 200 V AC output system

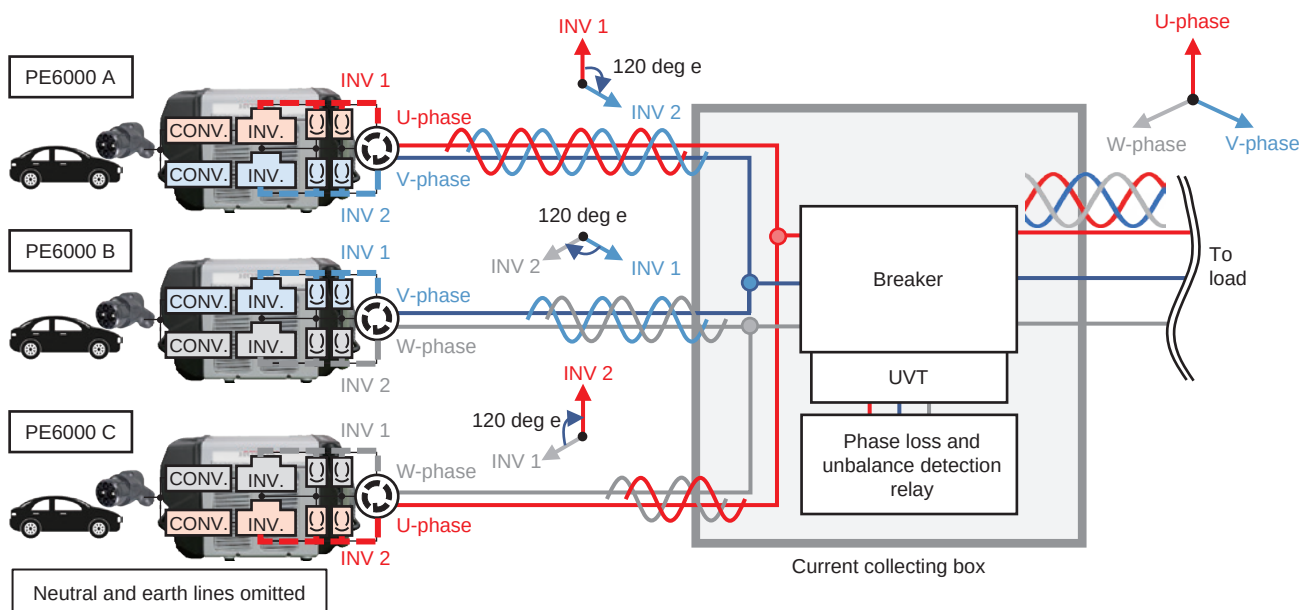


Fig. 4 System configuration of parallel three-phase 200 V AC output

Table 2 Conditions of single output test

Vehicle	Honda e (Honda)
Output power	No load
Power factor	—
Frequency (Hz)	50

み寄ることで、信号通信線レスで波形の同期を維持する。従来の並列運転に対応したインバータ発電機⁽⁵⁾では、専用のケーブルで接続した発電機同士をこの技術によって自動的に同期し、2台分の電力を合成している。

本システムは車両と PE6000 を3台組み合わせるため、車両の電欠や PE6000 の過熱保護機能などによって、3台中1台もしくは2台の PE6000 の出力が止まってしまう可能性がある。この場合、U 相、V 相、W 相が欠相または不平衡となり、接続された電気機器を壊す原因となる可能性があった。そこで、集電 BOX に欠相、不平衡リレーおよび Under Voltage Trip device (UVT) を搭載し、欠相および不平衡発生時にブレーカを作動させ出力を停止し、さらに、出力が止まったことを PE6000 の表示灯でユーザへ通知する機能を追加した。

3.1.2. 三相交流出力の実機検証

Table 2 の試験条件で、PE6000 で新たに設定した 120 度の位相差をもつ正弦波が出力できていることを確認した。単相モードと三相モードでそれぞれ出力される交流の電圧波形を Fig. 6、測定結果を Table 3 に示す。インバータの電

Table 3 Results of single output test

Output mode setting	Single-phase	Three-phase
One cycle of sine wave T (msec)	20.00	20.00
Time difference of zero-cross timing T_{diff} (msec)	10.00	6.67
Difference of electric angles θ_{diff} (calculated value) (deg e)	180.0	120.0

Table 4 Conditions of three-phase output test

Vehicles	3 cars, 3 Honda e cars
Output power (kVA)	16.4
Line current (A)	52
Power factor	Inductive load 0.8
Frequency (Hz)	50

Table 5 Results of three-phase output test

	U-V	V-W	W-U
Line voltage (V rms)	185	185	185
One cycle of sine wave T (msec)	20.00		
Time difference of zero-cross timing T_{diff} (msec)	6.67	6.67	6.67
Difference of electric angles θ_{diff} (calculated value) (deg e)	120.0	120.0	120.0

気角の差 θ_{diff} は、下記の式 (1) で求めることができる。

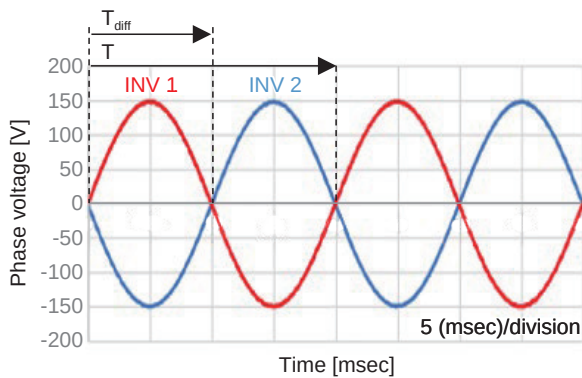
$$\theta_{diff} = \frac{T_{diff}}{T} \times 360 \text{ (deg e)} \quad (1)$$

T : Cycle (msec)

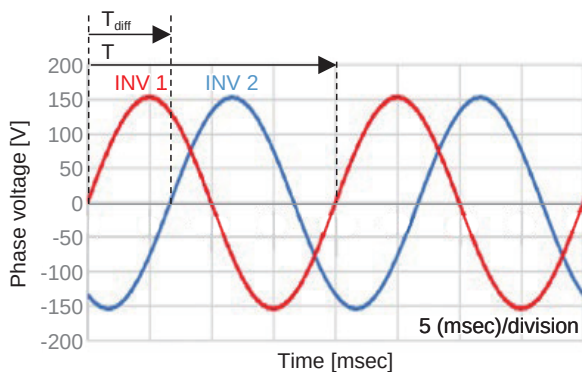
T_{diff} : Time difference of zero-cross timing (msec)

単相モードで起動した2台のインバータの出力波形の位相差は 180 度、三相モードで起動した波形の位相差は 120 度となり、リアルタイム通信同期制御により設定通りの位相差へ高精度に制御できた。

次に、車両と PE6000 を3台組み合わせ、モータ等の誘導負荷を想定して Table 4 に示す試験条件で、三相交流出力の波形確認をおこなった。定格出力 16.4 kVA 時の線間電圧波形を Fig. 7、測定結果を Table 5 に示す。並列同期制御により三相の正弦波が同期され、電気事業法の規定内である線間電圧 185 V、位相差 120 度の交流波形が出力できた。



(a) Single-phase output mode



(b) Three-phase output mode

Fig. 6 Comparison of phase differences in single output waveforms for each mode

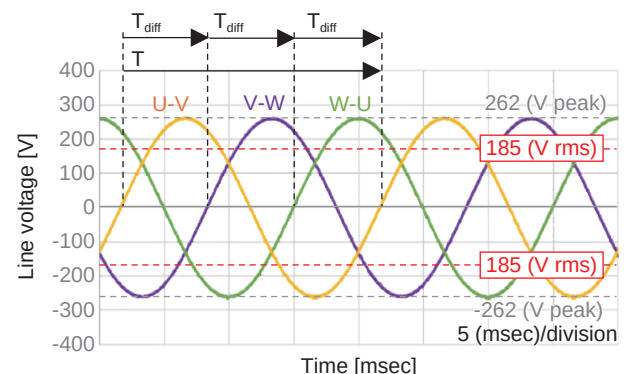


Fig. 7 Three-phase output waveform

以上の技術により、三相交流出力機能を実現し、産業機器などの大型の電気機器に対応した。さらに 1 台の出力が 10 kW 以下であること、合計出力が 50 kW 未満であること、電気設備の技術基準の解釈(第 199 条の 2)⁽⁶⁾へ適合したことにより、10 kW を超える出力でありながら国の機関への届け出や主任技術者の選任が不要な一般用電気工作物として Vehicle to Load and Vehicle to Home (V2L2H) を可能とした。また、同一機で単相と三相を切り替えて使用することができるため、三相電源専用機と比較し、より多くの場面で活用することができる。

3.2. 車両接続の汎用化

PE6000 および PE9000 は V2L ガイドライン⁽²⁾に適合した可搬型外部給電器であり、Fig. 8 に示すように、給電コネクタを車両の給電口に差し込んで勘合させ、給電コネクタケーブルを介して車両と本体を接続する構成となっている。PE9000 は CLARITY FUEL CELL 専用として開発したため、ケーブル長を CLARITY FUEL CELL に適した 1.2 m に設定していた。しかし、電動車両の普及に伴い、V2L ガイドラインへの適合車両が増加し、PE9000 を CLARITY FUEL CELL 以外の車両と組み合わせて使用する機会が増え、車両の給電口の位置によってはケーブルが短く接続しづらいという使い勝手の課題が顕在化した。以下に汎用性拡大を目的に取り組んだケーブル伸長および、それに伴う電磁ロック方式の変更とその課題への対応の 3 点について紹介する。

3.2.1. 給電コネクタケーブル伸長

ケーブルの伸長は、ケーブル径を小径化しケーブル収納時の巻き数を増やすことで、収納スペースを拡大させずに対応した。給電コネクタの諸元を Table 6 に示す。PE9000 は 9 kVA の大出力のため、 $\phi 26.3$ mm の太いケーブル径が必要であった。PE6000 では、出力低減に合わせてケーブル径を $\phi 23.4$ mm へ小径化した。さらに、Fig. 9 に示すように、ケーブル収納時の巻き半径を徐々に小さく 3 周巻く仕様にした。ケーブルの小径化によって生まれたスペースを

Table 6 Comparison of specifications of power supply connectors

	PE6000	PE9000
Required maximum current (A)	36	54
Rated current (A)	37	100
Rated voltage (VDC)	Below 500	DC450
Mass (kg)	2.2	3.2
Cable	Length (m)	2.1
	Diameter (mm)	$\phi 23.4$ (typical)
	HV+/- conductor size (mm ²)	5.5 (10 AWG)
	Mass (kg/m)	0.5
		1.2
		$\phi 26.3$ (typical)
		22
		1.0

巻き付け仕様の変更により活用し、伸長したケーブルの収納を達成した。

一方で、伸長したケーブルの収納のために 3 周目の巻き半径を小さくしたことで、ケーブルと周辺部品が干渉し、ケーブル収納時の作業性が低下した。この課題に対しては、3D モデルを用いた検証により、ケーブルと周辺部品の干渉がなくなるコネクタ収納角度を明らかにし、ホルダを新設計することで対応した。

以上より、ホルダ以外のきょう体部品は PE9000 から流用してコスト低減を図りつつ、V2L ガイドライン対応の

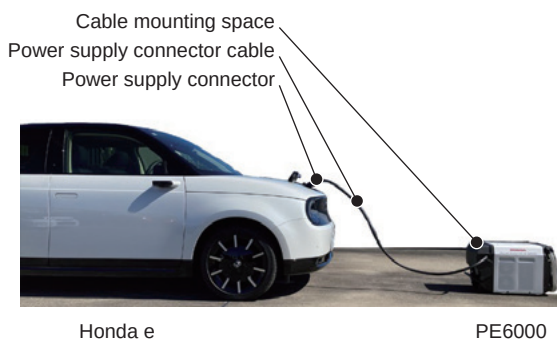


Fig. 8 External view of power supply connector and cable

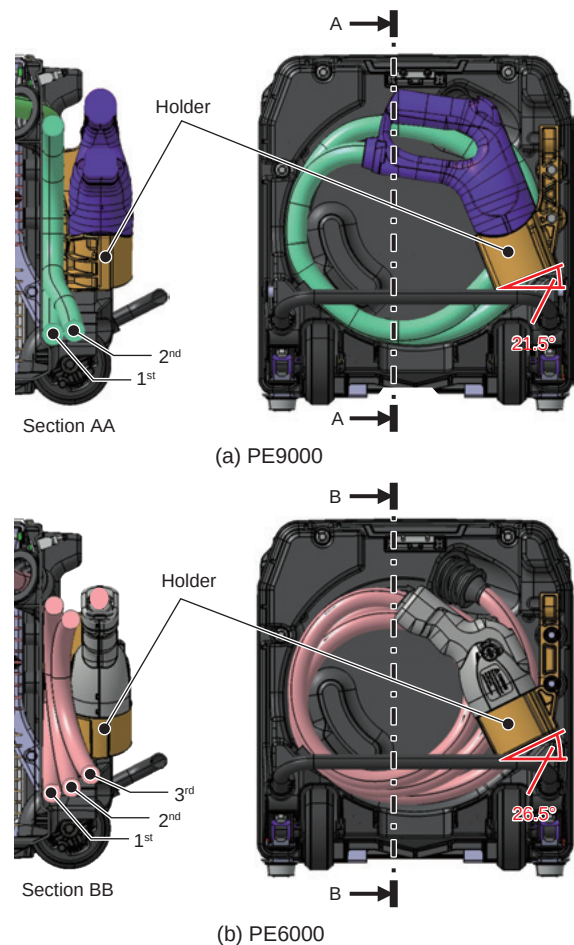


Fig. 9 Power supply connector cable storage status

可搬型外部給電器として最長となる 2.1 m の給電コネクタケーブルの搭載を可能とし、より多くの車両と接続しやすいパッケージを構築した。

3.2.2. 電磁ロック方式変更

給電コネクタには安全のため給電中に車両と給電コネクタの勘合が解除されないように、ソレノイドを用いた電磁ロックが搭載されている。給電コネクタケーブルの小径化に伴い、給電コネクタの電磁ロック方式を変更した。

電磁ロックの仕様は V2L ガイドラインの規定により、給電コネクタの高圧ケーブルの導体の断面積が 22 mm^2 以上の場合には常時通電型、 22 mm^2 未満の場合には自己保持型⁽⁷⁾とする必要がある。そのため Table 6 に示すように、出力が大きくケーブル径の太い PE9000 が常時通電型であったのに対し、PE6000 はケーブルの小径化に伴い自己保持型を採用した。ソレノイドを用いた電磁ロックの状態遷移図を Fig. 10 に示す。常時通電型はロック中に常に電力を消費する一方、自己保持型はロックとアンロックの切り替え時にのみ電力を消費するため、電磁ロックで消費する電力量を削減できるという特長を持つ。PE6000 の電磁ロックは PE9000 と比較して 5 分連続給電した場合は 98.4% (0.31 Wh)、30 分連続給電した場合は 99.7% (1.89 Wh) の電力を削減可能である。

一方で、自己保持型の採用においては回路の追加が課題となった。常時通電型はロック状態の切り替えと状態検知を一つの回路で制御可能であったのに対し、自己保持型では三つの回路が必要になる。本開発では電磁ロック変更に対応するため、Electrical Control Unit (ECU) に制御回路を追加した。このとき、基板パターンを見直し、基板サイ

ズを維持したことで、ECU ケースを流用することを可能とし、ECU のレイアウトやマウント部品に影響を与えずコスト低減に寄与した。

3.2.3. ロック方式変更に伴う課題への対応

PE6000 および PE9000 は 12 V 電源を内部に持たないバッテリーレスの外部給電器である。そのため、ECU の起動や電磁ロックの操作は 12 V 電源を車両から受け取ってこなう。12 V 電源は、接続される車両の仕様によって給電コネクタもしくは 12 V アクセサリーソケットから供給される。12 V アクセサリーソケットから 12 V 電源が供給される場合の接続概要を Fig. 11 に示す。

常時通電型であった PE9000 はロックからアンロックへの切り替え時に 12 V 電源が不要であったのに対して、自

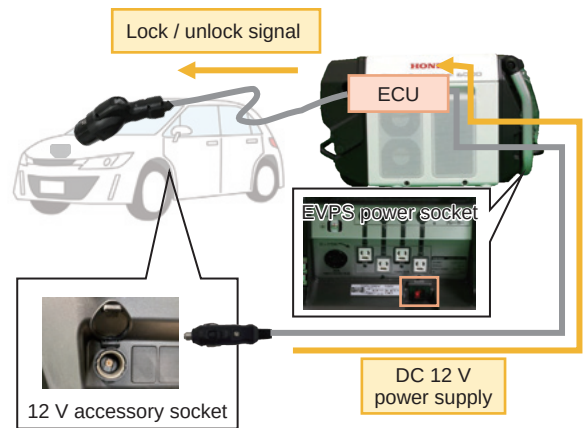


Fig. 11 System configuration of control power supply from 12 V accessory socket

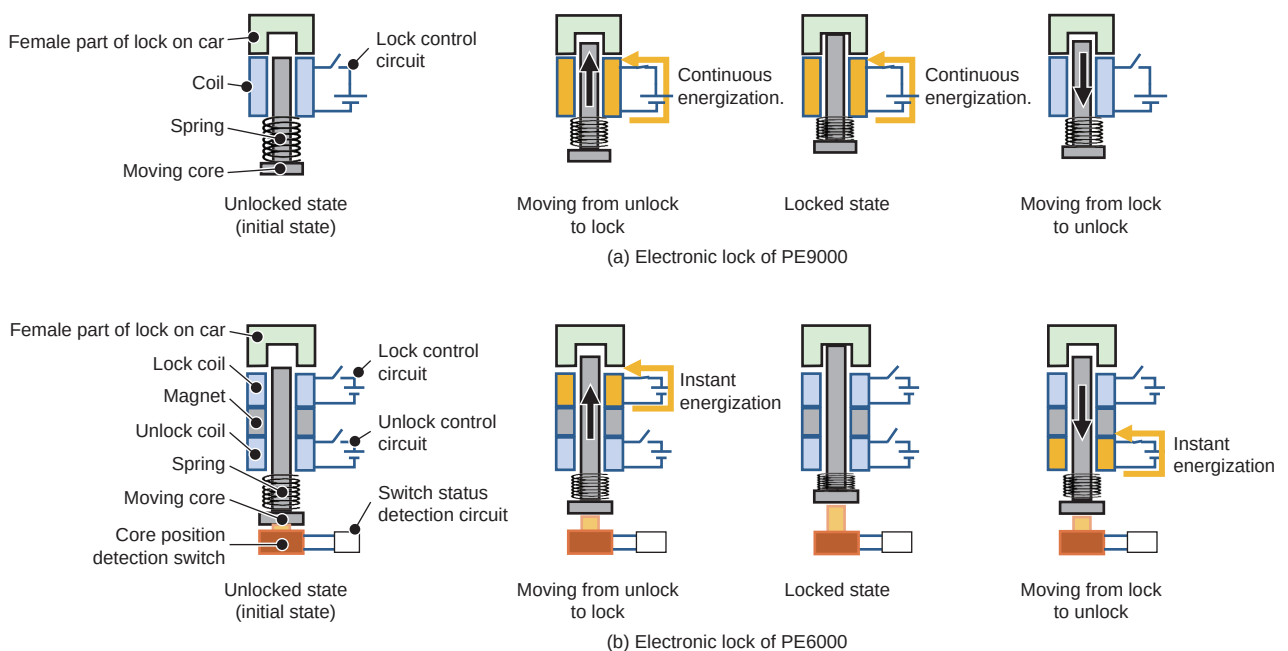


Fig. 10 State transition diagram of electromagnetic lock using solenoid

己保持型となった PE6000 は前述の通り 12 V 電源が必要となった。給電コネクタが外せなくなる状況は、12 V アクセサリーソケットと接続するケーブルが給電中に抜けてしまう場合と、12 V アクセサリーソケットの電源供給が車両制御によって停止してしまう場合、高圧バッテリーの異常起動や高圧ケーブルの断線が生じた場合に起こる。

本開発では給電コネクタが外せなくなる事象に対して、以下の 2 項目の対応をおこなった。

第 1 に、給電中に 12 V 電源が失われたことを表示灯のランプアクションによって通知する機能を追加した。通知によってユーザはケーブルが抜けたことや、車両の 12 V 電源供給が停止していることに気づき、停止操作をおこなう前にアンロックに必要な 12 V 電源を復旧することができる。これにより、給電コネクタを外すことができなくなる事象を未然に防ぐことができる。

第 2 に、上記の通知に気づかずに 12 V 電源が喪失したまま停止操作をおこない、給電コネクタを外せなくなった場合でも、取り外すことを可能とする電磁ロック制御を構築した。給電コネクタを外せなくなった場合、ユーザは 12 V 電源を復旧した後に再度 PE6000 を起動する。PE6000 では電磁ロックの状態に関わらず、起動時に高圧バッテリーの異常起動や高電圧ケーブルの断線が生じていないかを自己診断する。自己診断結果から、12 V 電源喪失により取り外せなかった場合にはアンロック動作をおこない正常動作に復帰し、高圧系の異常により取り外せなかった場合にはロック状態を継続する。これにより、安全が確認できた場合のみ正常動作に復帰し給電終了後は通常通り給電コネクタを外すことができる。

以上の技術により、12 V バッテリーを搭載することなく自己保持型への変更に対応した。

4. まとめ

外部給電器 PE9000 をベースに高品質の維持と新機能の追加をしながら、出力の適正化により低価格を実現した PE6000 を開発し、2023 年 9 月から販売を開始した。この PE6000 は低価格でありながら、市場のニーズを捉えて設定した開発項目を達成して汎用性を拡大し、より競争力の高い製品となった。

- (1) 世界に先駆けて三相交流出力機能を追加した。3 台を組み合わせることで 16.4 kVA の大出力を可能とし、産業機器などへの給電に用途を拡大した。
- (2) 給電コネクタのケーブル長を V2L ガイドライン対応の可搬型外部給電器最長となる 2.1 m に伸長することで車両接続の汎用性を拡大した。また、これに伴う技術課題に最大限コストを抑えて対処し、低価格実現に寄与した。

以上の技術により V2L2H にて活用範囲を広げ、フェー

ズフリーでの使い方をより多く提案できると考えている。PE6000 が人々の生活を支え、お客様の喜びの拡大に繋がることを確信している。

参考文献

- (1) <https://global.honda.jp/sustainability/integratedreport/>, (参照 2024/5/31)
- (2) 一般社団法人 CHAdeMO 協議会, V2L 検定基準 DC 版, (2015)
- (3) 津野康一, 小松貴如, 船木美帆, 進正則, 金澤絃行, 大串健次: 次世代自動車向け高出力可搬型外部給電システムの開発, Honda R&D Technical Review, Vol. 28, No. 2, p. 36-43
- (4) 中村政史, 笠置将平, 広瀬忠文, 新川康浩, 浅井孝一, 上村健二: デュアルボルテージインバータ発電機 EM7000is の開発, Honda R&D Technical Review, Vol. 16, No. 2, p. 55-64
- (5) 藤井茂, 清水元寿, 中村政史: 正弦波インバータ発電システムの構築, HONDA R&D Technical Review, Vol. 8, p. 70-76
- (6) https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/law/files/dengikaishaku.pdf, (参照 2024/5/31)
- (7) 自己保持型ソレノイド, めかとり通信, 新電元メカトロニクス株式会社, No. 35, p. 1-4, (2021), <https://smt.shindengen.co.jp/product/download/pdf/smtcom35.pdf>, (参照 2024/5/31)

■著 者■



矢萩 優名



神津 知之



尾高 拓弥



矢ヶ崎 健太



福井 崇裕



伊原 光祐