

解説 車両電源の42V化*

42V PowerNet for Future Vehicles

鈴木 珠城 寺谷 達夫
 Tamaki SUZUKI Tatsuo TERATANI

Due to the problem recognition of the increase in electric demand of the vehicles, investigations have been made into the introduction of 42V PowerNet. It is expected that 42V PowerNet will be introduced to the vehicles in the near future because 42V PowerNet is effective in the enhancement of vehicle function, and improvement of the energy consumption due to the loss reduction of electric equipment, etc.

This paper describes full details of 42V system citing the equipment and the panels exhibited in the “42V forum” held in July, 2002.

Key words : Electric equipment, Hybrid vehicle, Standard, 42V PowerNet, Motor generator, ISG, Arc, Leak, VRLA battery

1. はじめに

近年、車両の電源電圧に42Vを導入することがグローバルに検討されている。42Vの導入には次のような期待がもてる。

大電力機器を用いて、車両の新しい機能を実現できること

電気機器の損失が低減することで燃費が向上し、地球温暖化にかかわるCO₂排出量が削減でき、環境改善に貢献できること

このような理由から、2002年度自動車技術会の春季大会で同会発案による「42Vフォーラム」が開催された。筆者らは自動車技術会 42V分科会幹事として本フォーラムに参画した。以下フォーラムをレビューし、42Vニーズの背景、アプリケーション、要素技術、標準化についてまとめる。

2. 42Vニーズの背景

自動車は19世紀末頃に誕生して以来、環境・安全・快適性向上のため、様々な電気機器が搭載されてきた。更なる新しい機能実現のため、電源電圧をより高くすることが研究されてきた。

約50年前に自動車の電源電圧は6Vから12Vに切り替えられた。6Vの時代、電気はおもに照明と点火装置などの電気負荷に使われていた。12Vに切り替えられてからは、エンジン制御、エアコン、オーディオ、ナビゲーションなど様々な電気機器が用いられるようになった。

近年、自動車は更に機能を向上させるため、大電力機器が使われ車両全体の消費電力は増大しつつある (Fig. 1)¹⁾。

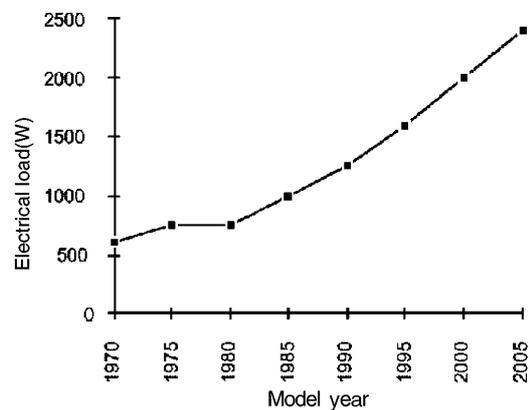


Fig. 1 Historical and anticipated average electrical load in a high-end automotive

環境面では燃費改善や排気改善のため、電磁吸排気弁、電動パワーステアリング、加熱触媒、ISG (Integrated Starter Generator)などが研究されている。

安全・快適性面では視界・制動・操舵の信頼性向上、ドライバビリティの向上のため、急速電気霜取り、電気油圧ブレーキ、シートヒータ、電動エアコンなどが研究されている (Fig. 2)。

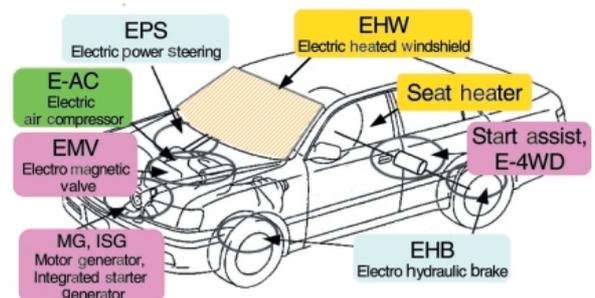


Fig. 2 Examples of future high power load

* (社)自動車技術会の了解を得て、「自動車技術Vol.57, No.2 (2003.2)」より転載

これら新たな電気機器が加わることにより、従来12V系で上限といわれている180Aを将来上回ることが予想される。その結果、12V系ハーネスの電流容量限界を超えることから、この問題を解決するに当たり、電源電圧を高くすることが注目された。

では電圧をどこまで上げることができるか。

MIT（米国マサチューセッツ工科大学）を中心とする産学共同のコンソーシアムなどで、世界中の自動車メーカーや部品メーカーが参画し国際的な議論が繰り広げられた。詳細な説明は省略するが、ボデーを共通の電氣的グラウンドにもつ構造において、「人体に対する安全性」という考え方から、12Vの3倍の36V、すなわちシステム作動電圧14Vの3倍の42Vを採択することでコンセンサスが得られた。

6Vから12Vへ電源電圧が変更されて以来、実に50年ぶりの変更となり、「50年に一度の変革」ともいわれる(Fig. 3) ²⁾。

Needs & trends for future power supply 42V

- Back Ground
- 1) Regulations for fuel economy and emission
 - 2) Demand of new high power load (kW class)
- Limit of 14V, Necessity for high voltage

| Transition of standard voltage | | | |
|--|--|--|---|
| 1920s | 1955 | 2000 | 20XX |
| 7V (Battery: 6V) | 14V (Battery: 12V) | 42V (Battery: 36V) | Multiple-Voltage |
| Load: Accessories -Lamp -Ignition | Load: Body electronics -Lamp -Engine Management System -Audio -Navigation system | Load: Power electronics -HEV, ISG -X-by-Wire -High fuel-efficiency -Low emission | HEV, FCEV: 150-300V Power: 42V ECU: 7V |

Fig. 3 Back ground of 42V

3. 42Vの利点と課題

前節の内容を整理すると将来42Vを採用する主な利点は次のようになる。

- 大電力機器が使える (1 - 10kW)
- ハーネスを細線化する分、軽量化できる
- 比較的汎用性のある半導体が使用できる
- 12Vの整数倍で電池を使用できる

これらにより、先に取り上げた将来使われる様々な大電力機器に対して、採用環境が整ったように思われる。しかし42Vを採用する上で、様々な要素的技術課題も挙げられる ²⁾。

アーク

リーク

ノイズ 等

が主なものである。代表的にアークとリークについて解説する。

アークは、電位のかかった接点や端子が開離するとき放出される火花のことである。42Vの電界強度は14Vに比べ3倍になるためアークエネルギーも増大する。これにより接点や端子は溶損し、場合によりハーネス焼損の恐れがある。

リークは離れて設置された電極間に、水分や油分など何らかの介在物が存在することにより電子が移動し電流が流れることである。アーク同様42Vでは14Vに比べ3倍の電界強度が生じることから電子が移動しやすくなる。これにより42Vとグラウンド間で短絡すると、14Vの場合に比べ3倍の電流が流れることから、電極部やハーネスが溶損・焼損しやすくなる。また42Vと14V間で短絡すると、14V側の機器が破壊され機能障害を生じることがある。

これらのように42Vは利点が上げられる反面、解決すべき要素技術の課題もある。以下、42Vを用いたアプリケーション例や要素技術課題に取り組んだ製品例について解説する。

4. アプリケーション例

4.1 トヨタ マイルドハイブリッドシステム (トヨタ自動車) ^{3) 9)}

このシステム (Fig. 4) は世界初の42V電源搭載車として、トヨタ社のクラウンに搭載され市販された。

機能は二つに分類される。第1の機能は交差点における停車時のアイドルストップ (エンジン停止と再始動) と車両減速時のエネルギー回収。第2の機能はエンジン停止中のエンジン補機駆動。



Fig. 4 Toyota Mild Hybrid System

Fig. 5の構成に示すように、このシステムの主要なコンポーネントは次の製品から構成される。MG (Motor Generator)、インバータ、36V電池(いずれも後述)。

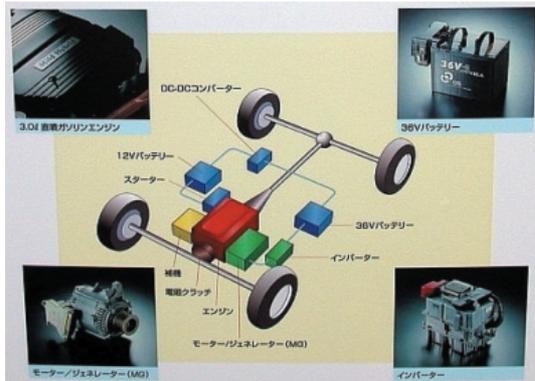


Fig. 5 Main structure of Mild Hybrid System

次に動作について述べる。

車両が走行中に減速・制動を開始すると、車輪からMGにトルクが伝えられMGの発電機能により三相交流発電する。交流電流はインバータで直流に変換され36V電池を充電する。これにより車両の走行エネルギーの一部を電池に回収する(エネルギー回生)。

車両が停止するとエンジンも停止する(アイドルストップ)。このとき36V電池から供給された直流電流はインバータにおいて三相交流に変換され、MGの電動機能によりエアコン用コンプレッサやパワーステアリングポンプを駆動する(補機駆動)。このときクランクプーリとクランクシャフトは電磁クラッチにより切り離されている。

再発進時は電磁クラッチが結合され、MGの電動機能により車両を駆動しつつエンジンを再始動する。

このシステムはアイドルストップとエネルギー回生により、システム非装着車と比べて燃費が約15%向上する(10-15モード)。地球温暖化にかかわるCO₂排出量削減の面からも将来への普及が期待される。

4.2 Mild HV用 MG, 同インバータ(デンソー)²⁾⁹⁾

MGは発電機能と電動機能を兼ね備える点で、後述するISGと機能的に同等のものである。企業によってはISA(Integrated Starter Alternator)と呼ぶこともある。MGは搭載・駆動面で2種類に分けられる。

- ・従来の発電機同様にエンジンブロックの側面に搭載され、ベルトやチェーン等で駆動されるタイプ

- ・エンジンと変速機の上に挟み込まれ、エンジンの出力軸で直接駆動されるタイプ
本MGは搭載・駆動面で前者に該当する。このMGとインバータは前述の「トヨタ マイルドハイブリッドシステム」に用いられた。主な特徴は次のとおり。

MG (Fig. 6)

- ・界磁巻線方式採用により、高回転時の誘起電圧抑制と低回転時の高トルクを実現
- ・SC (Segment Conductor) 採用による小型化
- ・千鳥結線採用による低騒音化

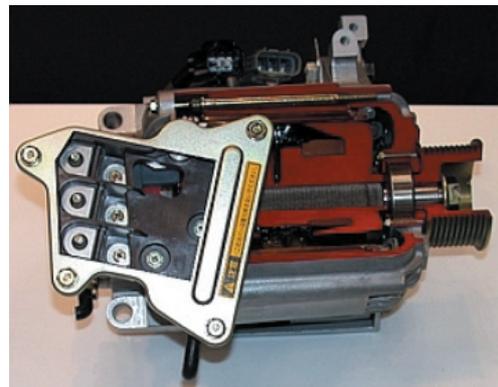


Fig. 6 MG (Motor Generator)

インバータ (Fig. 7)

- ・アイドルストップECUをインバータと一体化し、かつ放熱効率を高めた扁平コンデンサー採用により小型化
- ・保護センサを内蔵した高機能なMOSFETモジュールによる高信頼性

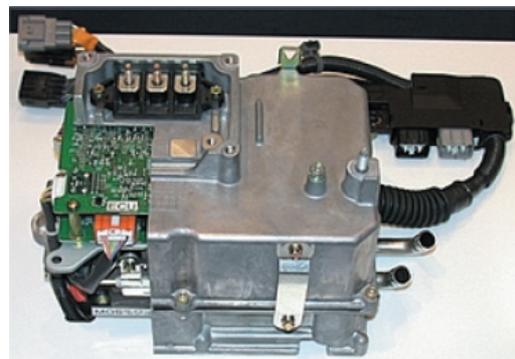


Fig. 7 Inverter

4.3 ISG (Siemens VDO Automotive)⁹⁾

本ISG (Fig. 8) は搭載・駆動面で「エンジンと変速機の間」に挟み込まれ、エンジンの出力軸から直接駆動されるタイプに該当する。この直接駆動タイプはベルト駆動タイプに比べ回転機の外径を大きくできることから比較的大きい出力を得るのに向いている。欧州ではこのタイプが比較的積極的に開発されている。直接駆動型ISGの特徴は次のとおりである。

- ・CO₂排出 (140g/km) の観点から、2008年までに燃費を低減することが構想されている (これは欧州の自動車産業が取組んでいる) : ISGは回生ブレーキと確実なスタート/ストップに貢献できる
- ・自動車の安全性向上 : 例 リンプモード (1) やエンスト防止
- ・快適性向上 : 例 途切れない、迅速なエンジン始動
- ・ドライブレインの性能向上 : 例 ブースト能力 (1) 非常時、最低限の機能で難を逃れること。ISGの場合エンジンが故障した際、モータ走行で路肩に待避することを指す



Fig. 8 ISG machine and inverter

4.4 パワーデバイス (日立製作所)(Fig. 9)⁹⁾

本パワーデバイスはISG用インバータの電流制御部に用いられる大電力半導体装置である。一般にISGは出力が数kW~数十kWあるため扱う電流は数百Aレベルに達する (本パワーデバイスの定格は500A)。このことからインバータの内部に搭載するため小型化が要求される反面、発熱を抑制することが重要になる。主な特徴は次のとおりである。

- ・SSPM コンセプト
[SSPM : Sub-System Power Module]
- ・高電流MOSデバイス
- ・WBC [Wide Bus Contact] 構造による超低インダクタンス設計
- ・ソフト・スイッチング機能による跳上り電圧低減
- ・過温度、過電流保護機能

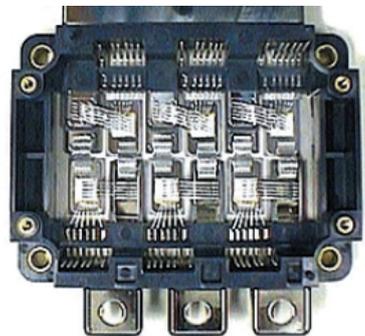


Fig. 9 Power device

5. 要素技術適用例

5.1 マイルドハイブリッド車用36V電池 (日本電池)⁹⁾

マイルドハイブリッド車の用途では、充電 (エネルギー回生) と放電 (エンジン再始動および補機駆動) による電力の出し入れ量が従来の電池と比べ大きいことと、その頻度が大きいことにより、内部の発熱量が大きくなる。そのため寿命低下が問題となる。本電池は寿命を向上するため、いくつかの工夫が施されている。その一部は次のようなものである。

- ・正極板 : 正極格子の耐食性を向上させるためPb-Ca-Sn系合金を使用
- ・負極板 : サルフェーション (2) を抑制するため、カーボンを多く添加し密度の高い活物質を採用

(2) 硫酸鉛の結晶が粗大化し充電が困難になる現象。部分充電状態かつ高温下で使用された時起こりやすい。

本電池は前述の「トヨタ マイルドハイブリッドシステム」に採用された (Fig. 10)。特徴と用途は次のとおりである。

- ・長寿命、高出力



Fig. 10 36V battery

- ・アイドルストップ時の補機駆動（エアコンなど）
- ・発進時のモータ駆動
- ・エンジン再始動
- ・回生充電

5.2 サービスプラグ、コネクタ他（矢崎総業³⁾8)

42Vがグランドや14Vに短絡すると14V機器の破壊や焼損が発生する恐れがある。このことから、整備中のトラブルを防止するため、36V電池とハーネスを強制的に切り離すサービスプラグが考案された。

また、作業者が14V系と誤接続しないよう識別するため、ハーネスの色が議論された。その結果、「アンバー色」を採用することが国内で合意された。

コネクタには二つの問題がある。電位が印加された状態で離脱したとき生じる、端子のアーカ溶損。コネクタ内部に浸水したとき生じる、端子間リークによる焼損。これらに対しコネクタに工夫が施された。

トヨタ マイルドハイブリッドシステムにはサービスプラグ、ハーネスのアンバー色、二重ロック機構コネクタが採用された（Fig. 11）。サービスプラグとコネクタの特徴は次のとおりである。

サービスプラグ

- ・接点溶損防止のため、ダミー端子を設置
- ・耐久性向上のため、接点にダブル接点構造、ダミー端子材質にタングステンをそれぞれ採用

コネクタ

- ・半嵌合時の離脱防止のため、二重ロック機構（CPA）を採用
- ・リーク対策のため隔離壁を設け、沿面距離を確保（従来4mm 本構造30mm）

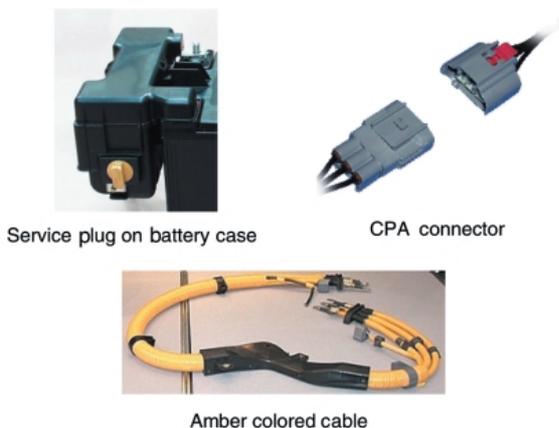


Fig. 11 Service plug, Connector, Cable

5.3 EBリレー（松下電工⁹⁾）

リレーはソレノイドにより機械的に電極を開閉する機器である。42Vリレーでは電位のかかった接点が開くとき、14Vリレーに比べて大きなアーカが発生し接点溶損する。電界強度が3倍に増すことから、アーカを切り離すためには接点間の距離を従来以上に上げる必要がある。しかし広がった接点を開閉させるためには、接点吸引力を高める必要からソレノイドは大型化する。従って、形状を小型にあるいは14Vと同等に保つため、接点間距離を短縮させかつアーカを切り離すことが重要である。

本リレー（Fig. 12）の主な特徴は次のとおりである。

- ・2点切り接点構造でアーカを抑制
- ・永久磁石でアーカを伸長

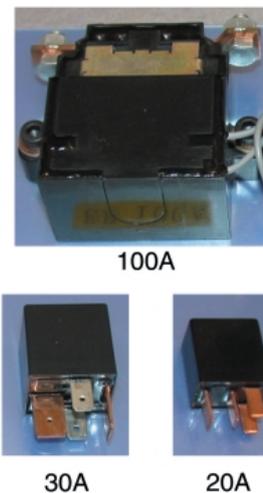


Fig. 12 EB relays

5.4 スイッチ（東海理化⁹⁾）

スイッチはリレー同様、機械的に電極を開閉する機器である故、接点部のアーカ対策が重要な課題である。

スイッチは自動車を利用するユーザが直接動作させる機器故に、使われ方に個人差がある。特に例えば緩慢に操作した場合、アーカが長時間持続するため接点溶損する可能性がある。従って使われ方に依存せず、一定時間で俊敏に電極を開離させる性能がスイッチには求められる。

一方、用途によっては電流値が大きい場合、あるいは作動回数が多い場合があり、電極が大型化するので接点式以外の手段を用いる必要がある。本展示ではこれらのケースにおけるスイッチの使い分けについて提案（Fig. 13）があった。それぞれの特徴は次のとお

りである .

小電流 , 低作動回数では高速直切りSW
スナップアクションSW

- ・高速開離によるアーク低減
- ・接点動作と人の操作を分離した機構

大電流 , 高作動回数では半導体応用SW
ハイブリッド SW

- ・リレーとMOS-FETを組み合わせたハイブリッドモジュール

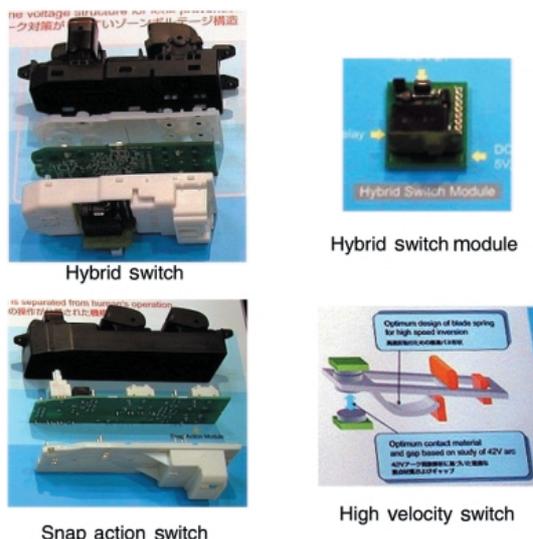


Fig. 13 42V switches

5.5 ヒューズ (太平洋精工) (Fig. 14)⁹⁾

ヒューズの機能は過電流が流れた場合、ハウジング (樹脂ケース) 内のエレメント (可溶部) がジュール熱で溶断することにより、電気の流れを遮断することである .

42V環境下では従来の14Vに比べてリークに伴う電極の溶損やハーネスの焼損の危険が増すことから、ヒューズによる確実な電流遮断が求められる .

42V下ではエレメントが溶断する際、アークが発生する . その際特に従来の14V系ヒューズではハウジングの内表面が炭化する . これによりハウジング内表面が絶縁劣化しリーク電流が流れるため、発煙あるいは発火することがある . すなわち絶縁劣化を阻止するため、ハウジング材質を改良することが重要である .

また同じ電流値呼称でも14V用と42V用でヒューズの耐電圧容量が異なることから、車両に組付ける際の誤組付け防止を考慮する必要がある .

本ヒューズの主な特徴は次のとおりである .

- ・既存のMinifuseと同サイズ
- ・PA (ポリアミド) 系ハウジング
- ・ハウジングの凹凸を用いた誤組み付け防止構造

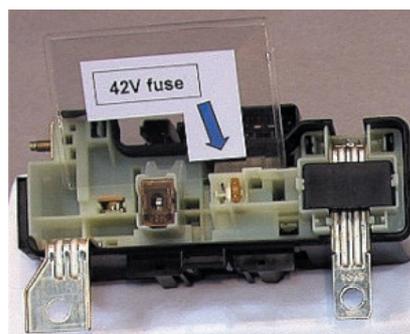


Fig. 14 Fuse

6 . 標準化動向

現在42Vの標準化は、ISOのISO/TC22/SC3/WG14で42V回路電圧条件の規格案が議論されている .

標準化は欧州の研究組織ForumBordnetzを中心に議論され、2000年5月にISOにドラフトが提出された . 2001年の2月以降、プロジェクト21848としてWG14にて審議されてきた . 2002年7月の第4回横浜会議にて、WG14はドラフト21848に関する一連の議論を終えた . 同年秋の投票を経て、2003年4月のWG13会議 (12V, 24V機器の規格16750を扱う) で21848のドラフトは統合される予定である .

国内においては自動車技術会が1999年から標準化を自主的に調査してきた⁸⁾ . 42Vに対する関心の高まり、ISOのWG14対応の必要性などから、2002年1月に電子電装部会に「42V分科会」が発足した .

現在、日本からは次の3点 (Fig. 15) をISOやSAE

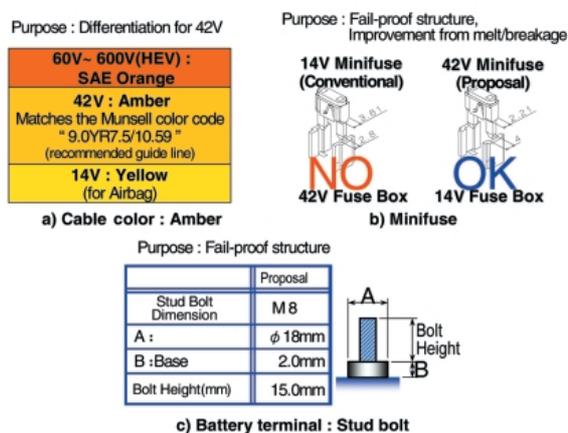


Fig. 15 Japanese proposal for 42V standard

に向けて42Vの標準化を提唱している。
 ハーネスのアンバー色
 ミニヒューズ（誤組付け防止構造）
 バッテリ端子のスタッドボルト構造
 現在ISO, SAEが採用するに至っていないが、複数
 案の候補に取り上げられている。

7. おわりに

42Vは2001年に世界に先駆けて日本市場に導入された。現時点、技術課題やコスト高が普及を予想より遅らせている。しかし将来、自動車の機能の進化において42V化は必要となるであろう。42Vの規格はほぼ一本化できており、今後、世界のカーメーカ、部品メーカによる要素技術開発、システム開発でのブレークスルーと42Vの基礎技術を着実に積み上げていくことが、42V化普及の鍵を握るものと期待している。

< 参考文献 >

1) John G. Kassakian, et al. : Automotive Electrical Systems. The Power Electronics Market of the Future, IEEE APEC 2000, Vol. 1 (2000), pp. 3-9.

- 2) 寺谷達夫他：自動車電源の現状と展望，電気学会誌，Vol. 122, No.6 (2002)，pp. 356-359。
- 3) 森川正美他：MG設計上の課題と対応，2001年度電気関係学会東海支部連合大会 シンポジウム 自動車電源の42V化に関する諸問題，S2-6 (2001)
- 4) 坂野順一他：42Vモータ・ジェネレータシステム，電気学会自動車研究会，VT-02-3 (2002)，pp. 13-18。
- 5) 近藤弘紀他：42V車輛配電システムと保護，電気学会自動車研究会，VT-02-5 (2002)，pp. 25-28。
- 6) 栗原正幸他：42V車両向け軽負荷用スイッチの開発，電気学会自動車研究会，VT-02-4 (2002)，pp. 19-23。
- 7) Ito, Keiichi : Development of Standard Minifuse , The New Automotive 42V PowerNet (2001) , pp. 165-172 .
- 8) 社団法人自動車技術会：自動車42Vシステムの標準化技術動向，TP01003 (2001)
- 9) 社団法人自動車技術会：2002年度春季大会，42Vフォーラム テキスト (2002)



< 著 者 >



鈴木 珠城
 (すずき たまき)
 第1開発部
 次世代電源開発 (42Vコーディネーション) に従事



寺谷 達夫
 (てらたに たつお)
 トヨタ自動車(株) 技術企画部
 次世代電源開発 (42V含む), アイドルストップシステム, マイルドHVの開発企画に従事