

乗用車用42V 電源と ISG への期待と課題

今後の乗用車電源はどう変わるか。この大きな命題について、最近の技術文献、資料をもとに42V 電源への期待と真のハイブリッドカー実現への希求を込めて解説する。

●岡村研究所 岡村 逸夫

近頃、自動車の中で大量に電気を使うようになった。

昔の自動車では電気は補助であった。始動用の通称セルモータが付いても、30年ほど前まで手でエンジンを掛けるクランクの穴があった。冬の朝はエンジンが掛りやすいよう車の前に立ちクランクを何回か廻してからスタータの鍵を入れる。見ていた隣の坊や、「おじさんの車は僕のと同じだね、ねじを巻いて走る……」

自動車の電源電圧

始動装置がついても鉛蓄電池が弱くて、しばしばエンジンがかからなくな

った。セル数は少ないほうが丈夫だから電池は6V、日本でも+接地と-接地の車種が混在し、若いころバッテリーの接続には気をつけると仕込まれた記憶がある。表1のように乗用車は12V、-接地に統一されていった。

近年それを42V、電池の電圧でいうと36Vにしようという動きが世界中で活発になってきた。50年に一度の変革として自動車とその関連業界、学会で大きなテーマとなっている。電気学会でも論文誌D(産業応用部門)に解説¹⁾が掲載され、電気関係学会でもシンポジウム²⁾が組まれた。

商用車は24Vが標準なので、1.5倍の36Vにしても大した効果はない。42

V化は乗用車だけの課題である。

自動車の電源電圧の話題が、自動車の専門家でもない筆者に、なぜお鉢が回ってきたか。それは、42V系が単に電圧の変更だけでなく二次電池の問題、あるいはハイブリッド電気自動車と関係するからであろう。

電圧の変更は装置の設計ばかりでなくコネクタや配線から、EMCまで多くの改変と技術的課題が生じる。後出の図1で示すように、自動車各部の油圧装置が電動に変わるなど、産業の変化やチャンスも生れる。だがここで、自動車あるいは関連機器メーカーの方々と同じことを書いたのでは読者は失望されるであろう。これらは文献を参照いただくとして、本稿では電気学会誌や日本の自動車業界誌とは別の角度から述べてみたい。

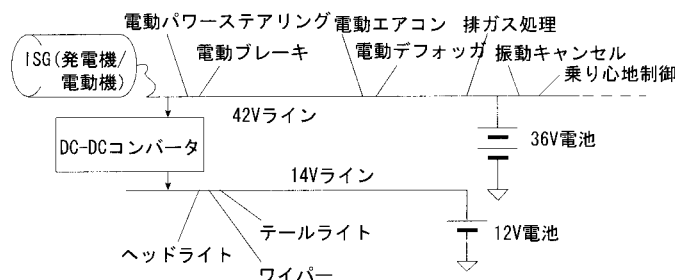
世界電気自動車会議

恒例の世界電気自動車会議 EVS-18 (Electric Vehicle Symposium) が2001年10月にベルリンで開かれ、筆者もキャパシタハイブリッド車に関する論文³⁾を発表した。世界各地持ち回りで隔年に開催されていたこの会議は1996年以降は毎年開かれている。今年はテロの影響で、申し込んでも欠席する人

●表1 乗用車電源電圧の変遷 [文献1]を参考にして作成

およその年代	1920~	1955~	2000~	20X0~
公称電圧	7V (電池6V)	14V (電池12V)	42V (電池36V)	多重電圧
追加された負荷	点火 照明 補機 (ワイパー、スタータ)	点火 (EFI) 補機 (デフォッガ、オーディオ)	パワーステアリング、パワープレーキ、燃費、排ガス対応	燃料電池、本格ハイブリッド:300V 電装品: 42V コンピュータ: 5V

●図1 ISG/42V システムのコンセプト



●表2 ISG (Integrated Starter Generator) に期待される効果 (表3(*1))

効果	燃費との関係	蓄電装置への要求
アイドルストップ	○	出力密度
高効率発電	○	-
回生制動	○	出力密度 (入力密度)
加速性	×	出力密度
振動のアクティブ制御	×	出力密度

や展示しない会社が目立ったが、論文総数288 (口頭発表110、ポスターセッション178)、電気バスから小さな部品まで実物の展示、試乗会を伴う盛大な会合である。

シンポジウム予稿集から“42V”と後述する“ISG” (Integrated Starter Generator) で288論文から検索すると16あった。ほかの例ではウルトラキャパシタで11、HEVで23、電池では84あった。

何をしようとしているか

文献1)によれば42V化には次の5つの狙いがあるという。

- ①燃費向上、排出ガス削減
- ②快適性の向上
- ③電動化による軽量化、低コスト化
- ④モータ効率向上と配線の細線化
- ⑤新機能追加による商品力向上

①を除いて残りをひとまとめにする、自動車の中で使う電力が増えるので、電源電圧が12Vでは発電機や配線の損失が大きい。だから電圧を上げればもっと電気が合理的に使える……というのである。

多くの論文は、42V化が燃費の向上に寄与し地球環境の改善に貢献する50年ぶりの大改革などと述べている。だが部外者が読むと、やや永田町流の論旨に聞こえ、ひと理屈言いたくなる。

そんなに電気を使うエアコンや電装、通信完備で自動制御で動くような、エネ

ルギーを食う車をたくさん作らないほうが、よほど地球環境に良いはずだ。①は大切だが、現状レベルのハイブリッドでどれほど燃費が改善できるものか。

だが、人間の悲しい性で欲望は抑えられない。禿山になりかかっているシュバルツヴァルトや魚の住めなくなりつつある北欧の美しい湖沼を知りながら、アオトバーンを200km/hrで走り、大食いのジェット機で地球を半周して世界環境会議や電気自動車会議に出席する矛盾を食い止められない。

どうしても高性能な車を量産するという行動が変えられないなら、燃費が悪いよりいくらかでも良いほうが環境にやさしい、という論理なのであろう。

ISG とは何か

本稿の自動車用42V系は別名で、ISG (Integrated Starter Generator) またはISA (Integrated Starter Alternator) と呼ばれる。

普通の乗用車のエンジンには1kW程度の大きさの2つの電動機、正確には始動用電動機と発電機が取り付けられている。この2つは原理的に同じものだから、一緒にして一台にまとめると2~3kWとなりスタータと発電機を兼ねさせることができる。これを利用して簡易なハイブリッドにすれば、あまりコストがかからない。

単に電源電圧を42Vにするのではなくて、スタータとジェネレータをひと

まとめにして、低価格なハイブリッドにしようというのがこの考え方である。

参考になる文献

表2にISGの効果として挙げられている点を表3の論文(*1)から拾った。この論文では日本の電気学会の資料^{1,2)}や雑誌の解説⁴⁾とは異なり、42V化するかわちハイブリッド化と捉え、どういう蓄電装置があればそれが実現するか、をまともに論じている。

本稿で議論の対象とするのは前述のEVS-18の論文のうち内容上ISGを扱っている14編で、検索の順で表3に論文リストとして掲載した。

欧米の論文は概して率直で、日本の平均的な論文とは比較にならないほど詳細なレベルまで書き込んであるから、参考になる。ただし、これらの論文はいずれも執筆者の立場によって、クローズアップする部分が大きく異なっている。会社の新製品発表などで他社との比較表を見ると、どの会社も自分のところが一位になっている、あのやり方である。

そこで表3では立場がわかるよう著者名のほかに、末尾に所属の略称をつけた。その後の括弧内 (PP044) などとあるのは予稿CD-ROMのPaperディレクトリのpdfファイル名である。

鉛電池の論文は鉛、新型電池の研究はその新型電池でなければならないように読める。それならユーザーである自動車会社の論文なら公平かという、それぞれの立場があるから、これらを全部読んでよく考える必要がある。多数の意見や大会社の見解が正しいとも限らない。

そういう筆者にも偏見があるだろう

から、その判断の基礎となった文献を示したのが表3である。これとても限られた登場メンバーの論文にすぎないが、本稿で用いた根拠は、必要とあれば読者ご自身で検証が可能である。

ソフトハイブリッド

本稿のための調査で気づいた重要なポイントがある。実はこれまで筆者自身もISGは電源電圧の42Vへの変更が主体だと思っていた。先に挙げた電気学会関係の国内の論文^{1,2)}の掲載号でも、電池の論文は1つしかなかった。ところが、ここに検索したEVS-18の論文のほとんどは、電源電圧の変更の目的は低燃費化で、ハイブリッド化がその伏線にあると述べている。

筆者がそれを言うと、こいつはキャパシタハイブリッド車やECS (Energy Capacitor System)⁵⁾にムリに話を持っていきたいのだと思われそうだが、それは違う。

表3の中の電気二重層キャパシタメーカーやその関連の人達だけがそういうなら不思議はないが、各種の二次電池の実験結果を公表している自動車メーカーの立場で書かれた論文である表3(*1)をはじめ、いくつもの二次電池メーカーの論文でさえ、電池の不利を公言しながらソフトハイブリッドへの発展の可能性を述べている。

ハードかソフトか

二次電池によるパラレルハイブリッド車プリウスを開発、製品として発売したトヨタの功績は非常に大きい。新しいことなどできるだけ避けて、安全な経営方針を執ろうとする最近の日本の大企業の中で、当時は性能に限界の

●表3 表2のEVS-18で発表されたISG、ISAあるいは42Vを含んでいる論文リスト

- (*1) Daniel Kok et al "42V Energy Storage Systems for Stop-Start Application in Hybrid Vehicles" Ford Aachen RC (pp111)
- (*2) Andrew Burke et al "Update of Ultracapacitor Technology and Hybrid Vehicle Applications: Passenger Cars and Transit Buses" University of California-Davis (pp044)
- (*3) V.V.Härrri, S.Egger "Supercapacitor Circuitry Concept 'SAM' for Public Transport Vehicles and other Applications" University of Applied Science of Central Switzerland, Lucerne (pp188)
- (*4) S. Buller, E. Karden et al "Simulation of Supercapacitors in highly dynamic Applications" RWTH Aachen, Germany (pp056)
- (*5) Gwënaél Guyonvarch, Christophe Petitjean "Electrical Climate Control Systems for Electrified Powertrains" Valeo France (pp061)
- (*6) Engbert Spijker et al "An ISG with Dual Voltage Power Net Stretching the Technology Boundaries for higher Fuel Economy" Ford (pp110)
- (*7) Detlef Heinemann et al "Ultracaps in power-assist applications in Battery Powered Electric Vehicles-Implications on Energy Management Systems" Siemens, EPCOS (pp374)
- (*8) Shin-ichi Yuasa et al "Development of Prismatic Type Nickel/Metal Hydride Battery for HEV" Panasonic EV (pp152)
- (*9) Uwe Koehler and Claus Schmitz "Nickel Metal Hydride Batteries for Hybrid Vehicles and New Vehicle Power Supply Systems" NBT GmbH/Varta AG (pp314)
- (*10) Ayako Hirao et al "Development of 36V VRLA Battery for Mild-HEVs" Matsushita Battery (pp153)
- (*11) Jörg Kümpers "Lithium Ion Batteries for Hybrid Vehicles and New Vehicle Power Supply Systems" NBT GmbH/Varta (pp313)
- (*12) Varakin I.N., et al "Module of Electrochemical Capacitors for Applications in Hybrid Vehicles" ESMA Russia (pp190)
- (*13) John MacBain and Joseph Conover "Co-Simulation of Automotive Propulsion Systems" Delphi (pp125)
- (*14) John MacBain and Joseph Conover "Simulation of Stop/Start Systems" Delphi (pp379)
- (*15) Atsushi Kanazaki "Development of Power Capacitors for ISA Systems" Nihon Chemicon (pp086)

●表4 ハイブリッドの名前、ハードにソフト、そしてマイルド

呼称	およその回生効率	実例
名前はまだない (高効率ハイブリッド)	~50%	日産ディーゼルバス、トラック
ハードハイブリッド (一般のハイブリッド)	~30%	プリウスなど
ソフトハイブリッド (妥協したハイブリッド)	~15%	ソフト、マイルド各社

あることが明白だった二次電池をハイブリッド車に取り込み、実用化した努力も技術も立派だと思う。

ただし筆者はあくまで現在のプリウスレベルのハイブリッド車をひとまとめにハードハイブリッドと区分するには異論がある。二次電池の特性を守りながら見事にシステムに取り込んだ手腕は感心するが、それと完璧なハイブリッドシステムの実現とは別である。

ブレーキエネルギーを30%余り回生するプリウスと、10~15%しかかないソフトあるいはマイルドハイブリッドとを区別するのならば、さらにその上にある50~70%あるいはそれ以上も

回生するハイブリッドはやはり別クラスと区別すべきである。(ちなみに、このクラスのハイブリッド車は、すでにキャパシタハイブリッドによって高速からの回生制動電力を捨てずに実用化することに成功^{6,7)}している。)

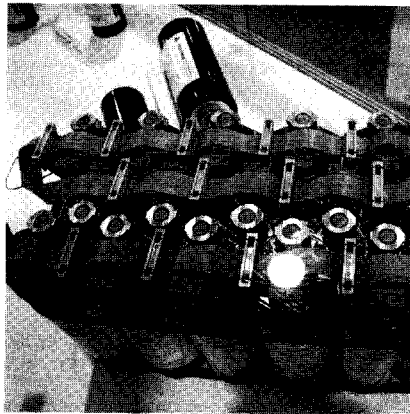
さて、表4ではハードハイブリッドの上を何と表現すべきか困った。正直に言えばこれが本来のハイブリッドで、その下は電池の性能やシステムコストにおいて妥協したハイブリッドなのである。

42V電源の技術的議論が高まっているのは確かではあるが、こうした理想のハイブリッドシステムへの関心、そ

●写真1 EVS-18で展示されていたISG用キャパシタの例



(a) EPCOS ドイツ



(b) Montena スイス



(c) Ness 韓国

して電池側への高レベルの技術革新が伴ってこそ、低燃費化も含めた自動車の次世代像に対する本来のホットな議論と言えるのではないだろうか。

42V 系へ膨らむ期待

ISGの標準的な構成では図1に示すように、14V系と42V系の2つの電源システムを備え、その間をスイッチングコンバータでつないで、電力のやり取りができるようにする。

42V系はエンジンをアイドルストップした後のスタートに使うほか、ISGの回生制動など表2に挙げた各項に使いたい。それらはグループに分けると

①燃費向上、排出ガス削減

回生制動

アイドルストップ後の起動

触媒ヒータ

②快適性の向上

電動エアコン

姿勢制御

振動防止

③電動化による軽量化、低コスト化

電動パワーステアリング

電動ブレーキ

などが42V系に接続される。

二次電池の悩み

だが、肝心の電池は期待に応えられるか。在米の鉛蓄電池でいえば、同じ技術で作った36V電池を12V電池と比べると同一体積重量では、セルが小型で直列数が増えるため蓄電容量は1/2~1/3になってしまう〔表3(*1)〕。これでは表2に挙げたメリットどころか、アイドルストップだけでさえ二次電池消耗装置になりかねない。

鉛電池のメーカーも座して見過ごしているわけではなく、巻き戻しタイプの低内部抵抗の鉛蓄電池(*1)や、シール(バルブつき)鉛電池のISG専用品の開発(*10)などが登場し、鉛電池の低価格性をアピールして実用化の第一陣にある。

しかし、当面はこれしかないととしても、鉛電池の限界を危ぶむ意見はユーザーである自動車メーカー(*1)ばかりでなく電池メーカー(*9、11)の中にも少なくない。その代替はNiMHかLiイオンかという点で意見が分かれる。

NiMHはサイクル寿命では鉛電池よりはるかに良いと認められている。しかし、低温で極端にパワーが落ちることと、高温での安全性と耐久性、セルの均一性の問題から、温度管理や保護回路が不可欠で、電池そのものと共にコストアップが指摘されている(*1)。

Liイオン電池は価格と安全性が課題で、Liポリマーは価格以外の点では期待が持てるという。

意外にも論文の数で多数決を取れば、電気二重層キャパシタの可能性を挙げる意見(*1、2、4 etc)がむしろ優勢である。これらの論文を執筆した欧米の人たちはECSを知らない。率直に言えば巧妙とはとてもいえないキャパシタの使い方と彼らが承知している性能のキャパシタで評価した結果がこれなのだから、わが国でECSをやっている企業にとっては、大いに有利な畑が目の前に展開しつつあるときええええよう。

論文と実績

しかし、論文の成果はどの程度信用できるか。本当は具体例をひとつずつ

取り上げて議論した方が良いのだが、支障があるので一般論で述べよう。

たとえば電気自動車やハイブリッド車に電池を適用した論文を読むと、初期の鉛電池から今日のNiMHやLiイオン電池まで、完成度の高い、完璧と見える成果が論文その他の文献で多数発表されている。全部この通りなら電池の研究は完成で、とくに蓄電技術に不安はなくなっているはずだ。

しかし現実には市場で、クレームや回収、数は少ないが事故の実情さえ見聞する。研究発表が体裁の良いことだけを述べる広告の一種と見えるようでは、昨今問題になっている食肉会社の虚偽表示は他人事ではない。

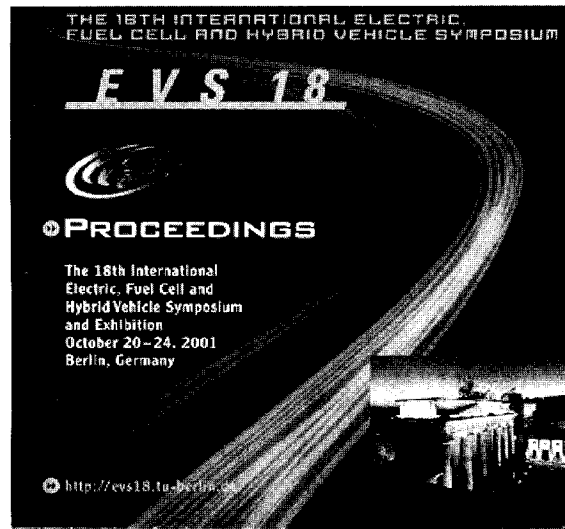
非のうちどころのない立派な論文が発表されているのだが、実物はどんどん回収されているという状況があれば、次の論文は信用されなくなり、その業界や学会が自ら墓穴を掘ってしまう。

実用よりはるかに軽い条件、たとえば浅い充放電でサイクル試験をした結果を発表したりする。ユーザーの方もそうした上げ底に薄々気づいて、メーカーが1時間というから30分くらい持つだろう、みたいに製品や業界全体が割り引いて見られている。

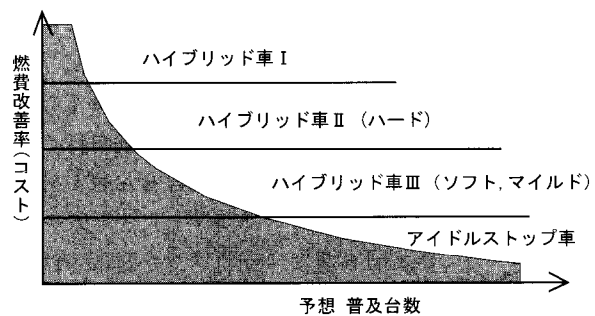
これは別に電池かキャパシタかの課題ではないはずだ。もっとも二次電池には、宿命的にこうした不確定要素が多く含まれているのが実情かもしれない。それをいくらかでも減らし、実証しようとする電池の関係者は日夜努力を重ねているに違いない。それでも、実物の振る舞いが予測しかねるのが電池のむずかしいところなのであろう。

1901年にエジソンは長年の研究の成果である鉄-ニッケル電池を West Orange の研究所で公開した。あらゆる科学的可能性を探求し、問題の多い旧

●写真2 EVS-18の統一デザイン



●図2 燃費改善率と普及の割合はこうなるかという心配



来の鉛電池や誕生したばかりのNiCdに勝る理想の電池をついに完成し、参観者達には3階から落としても壊れないエジソン電池を実演して見せた。しかしその翌年以降、新型電池は30%の不良率で回収と改修の苦闘が続き、晩年の発明王を苦しめる⁸⁾。

何が問題か

表3に挙げた論文の中で、総括的に述べているものを一つ採るとすれば表3(*1)を選ぶ。ISGが何をもたらずかを述べた上で、その鍵となるのは蓄電装置で、可能性のある手段は

- シール鉛電池
- ニッケル水素電池

- リチウム電池システム
 - 電気二重層キャパシタ
- として、各々の課題を挙げている。

前出の表2はこの論文のTable1の翻案である。

鉛電池の従来タイプは電解液が豊富なので新型のガラスマットタイプやシール鉛に比べて高温に強く、60℃あるいはそれ以上で、熱暴走やドライアップの危険がすくない。密閉型は車室に置けるなど扱いは便利だが、酸素と水素を再結合して水に戻すのは発熱反応なので耐熱性は課題が残る、などと詳細に述べている。表3(*6)に事例として、フォードのFocusという小型車に鉛電池によるISGを積んだ研究が報告されている。

次に改良型の鉛電池がたくさん登場する。一つの容器に2つの12V電池を入れたものや、スパイラルに巻いた鉛電池など写真入で、設計の狙いにも言及しており読んでいくだけでも楽しい。

NiMHはSAFTやVarta製が評価されている。放電深度100%で3000サイクルの実証があり、4%では350,000サイクルが期待できるという。これらは鉛電池ではとても及ばない耐久性、短所は自己放電が多いことと低温特性が大幅に劣る点だという。

Liイオン、Liポリマー電池の各種は性能は良いが、低温特性とコストが問題で現状のままでは無理だと述べている。

ここまでの論調が厳しいので、電気二重層キャパシタはさぞやっつけられているだろうと読み進むと、意外に寛大で将来有望と書いてある。これは現在の彼らの技術ではすぐに使えそうもないので希望的に述べたのかもしれない。電気二重層キャパシタだけを扱ったシミュレーションの論文表3(*4)が同じグループから発表されている。

この論文(*4)はキャパシタの問題をよく突いている。ただしそれらはECSでは当初からわかっていたので、すべて解決している。だがこの論文では損失を減らすために内部抵抗を下げ、直列の問題を解決するために等化回路を入れると損失が増えるから、究極には誤差を小さくすべきと書いている。

問題点の把握は的確だが、解決方法として提言している「キャパシタの誤差、ばらつきを減らす」という方法は、筆者の考えでは実用にはならないと思う。10年も20年にもわたってキャパシタを、すべての経年変化や温度差も含めて、静電容量と自己放電率をいずれも±2.5%以内に入るよう品質保証す

る……こんなことのできるキャパシタメーカーは世界中に存在しないだろう。キャパシタに無理な要求を突きつけるよりはECSの電子回路部に含まれる並列モニター⁹⁾を用いれば、はるかに安価に高信頼度で目的を達することができる。

ユーザーの見識

文献1)は示唆に富んでいて図にも面白いものがあった。それを参考にして図2を描いてみた。要するに、アイドルストップだけならば安いから普及台数は大きく、マイルドあるいはソフトハイブリッドはそれよりコスト高だから普及台数が減り、プリウスクラスではさらに少なくなるというものである。この論法で行くと完璧なハイブリッド車はぜんぜん普及しないことになる。

ホントかな、と考えてみた。もしもそうなら、自動車は一番小さい、余計な装備のない車種がベストセラーになるはずだ。すると自動車産業は軽自動車に向かって収斂し、さらにはバイクから自転車、そしてスケートボードへと進化していく……果たしてそうだろうか。

まったく反対ではあるまいか。これまで自動車は社会に大いに貢献した一方で、技術の進歩とともに、不可欠とはいえない過剰な性能と快適さを売り物にし、ユーザーの欲望と虚栄心をあおって利益をあげ産業として大をなすにいたった。これは自動車産業だけを非難しているのではなく、いうなれば近代の文明?社会はあらゆる分野でこの方向⁹⁾をたどってきた。

ここにきて環境負荷を軽減するために金を掛けた車はコスト高だから売れないなどと言えるだろうか。一回り大

きなエンジンや輝くボディ、上等なタイヤにホールディングの良い足回り、特製のシートにエアコン、オーディオ、ナビゲータ……こういうものに何十万~何百万円も支払うユーザーがたくさんいる現在、なぜ完全なハイブリッド車のコストがムリなのであろうか。

これはユーザーの社会常識の問題もあろう。現にヨーロッパとわが国の平均的な環境に対する意識レベルは大きく異なる。しかしそれを口実にして、ドアビームのない乗用車や排ガス対策の甘いディーゼル車を国内専用で製造した道を繰り返さないだけの、むしろ欧米の先頭に立って意識改革を求めるくらいの、気概と良識を持って欲しい。

そういうメーカーが大をなすかどうかは、結局はユーザー一人ひとりの見識なのかもしれない。

〔文 献〕

- 1) 寺谷達夫、21世紀の車と42V電源、電気学会論文誌 Vol.121-D, No.4 (2001)
- 2) シンポジウム、自動車電源の42V化に関する諸問題、平成13年度電気関係学会東海支部連合大会、講演論文集
- 3) M. Okamura: "A Progress Report of the Capacitor Hybrid System-ECS" EVS-18, 5 D (2001)
- 4) 藤堂安人、SAE2001報告42V化が本格始動、日経メカニカル、No.650, 2001
- 5) 岡村勉夫: 電気二重層キャパシタと蓄電システム、改訂2版、日刊工業新聞社、(2001-2)
- 6) 野津育郎、他: キャパシタ式蓄電装置搭載中型ハイブリッドトラックの開発、日産ディーゼル工業株、自動車技術会2000年秋季学術講演会前刷集 (2000-10-19)
- 7) 本田技研工業(株): Press Information, (2000-9-28)
- 8) Neil Baldwin: "Edison-Inventing The Century", Hyperion, New York, 1995.
- 9) レスターブラウン: 地球白書、家の光協会、(2001-4)

●おかむら みちお
(株)岡村研究所 所長