

次世代のエレクトロニクスを作る

増刊

トランジスタ技術 SPECIAL

超小型/高効率DC-DCコンバータから低ノイズ・スイッチング・レギュレータまで

クルマとパワーエレの 電源トランス&コイル技術教科書 [LTspice対応]

シミュレーション
DVD-ROM
付き

付属DVD-ROMのコンテンツ

- 電子回路シミュレータ LTspice XVII
- トランス・インダクタ設計解析ツール
Magnetics Designer
- トランス・ボビンの作成に! 3次元CAD
DesignSpark Mechanical
- お手本電源回路
- LTspice基本入門

ご購入はこちら。

<https://shop.cqpub.co.jp/hanbai/books/MSP/MSPZ201905.htm>

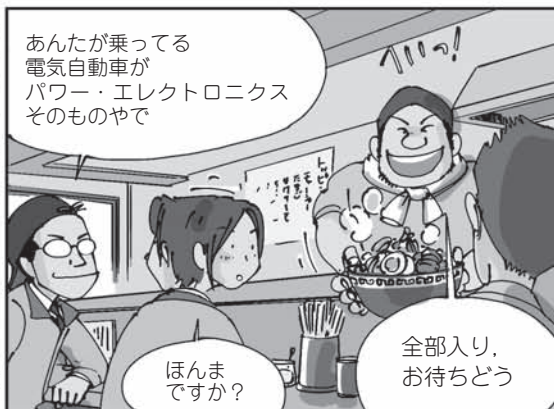
CQ出版社

見本

イントロダクション

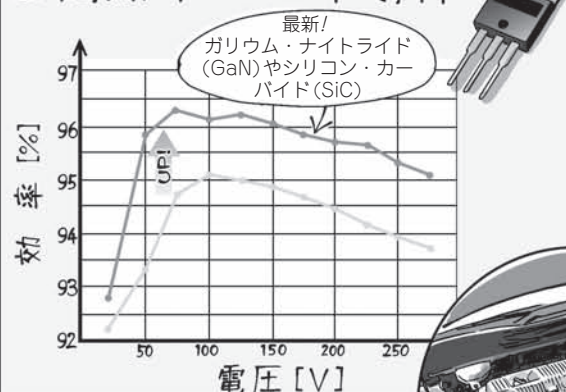
走るkWモータ・カーがエレクトロニクスを牽引中！
学ぶなら電気自動車に！
今どき電源&パワエレ技術

**エコ時代の
電気屋
必見！**

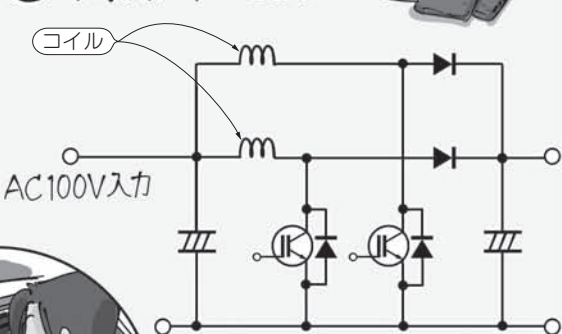


電気自動車は最新パワエレ全部入り！

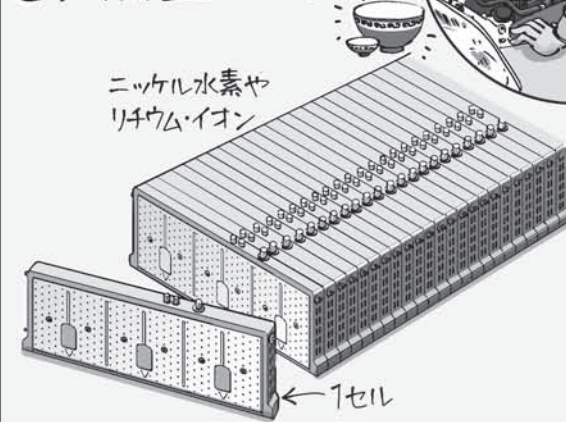
① 高効率パワー半導体



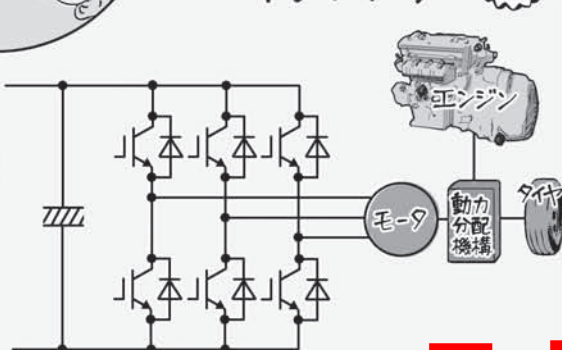
② 高効率電源



③ 大容量バッテリー



④ 高効率モータ・インバータ



見本

第1部 入門! 電気自動車のエレクトロニクス

第1章 クルマはこうやって進化してきた

パワー回路の進化とEV時代の到来

宮村 秀夫
Hideo Miyamura

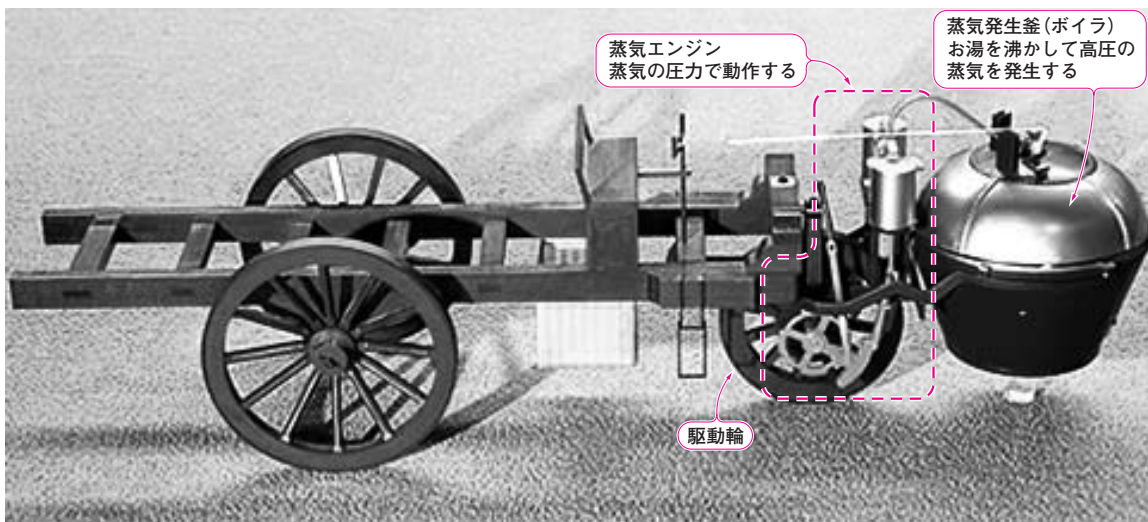
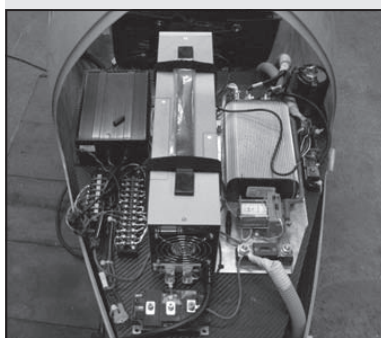


写真1 自動車の始祖(出典:トヨタ博物館)
フランス製の蒸気自動車「キュニョーの砲車」の模型

自動車を動かすパワーの源… 原動機の進化

● 18世紀中ごろ…自動車の原動機の原点「蒸気機関」

自動車の歴史は、18世紀中ごろから走り始めた写真1に示す「蒸気自動車」に端を発します。蒸気自動車は、ワットが発明した蒸気機関を原動機とする自動車で、乗合自動車などとして活躍しました。蒸気エンジンは、お湯を沸かして蒸気を発生させる必要があったので、走り出すまでに長い準備時間が必要なこと、水の補給が頻繁に必要なことなどから徐々に姿を消していきました。

● 19世紀…2つの原動機が出現「ガソリン・エンジンと電気モータ」

19世紀になると、今日でも大活躍の代表的な2つの原動機が出現しました。一つはドイツの発明家ニコラウス・アウグスト・オットー(以下、オットー)が発明した**ガソリン・エンジン**などの**内燃機関**、もう一つは

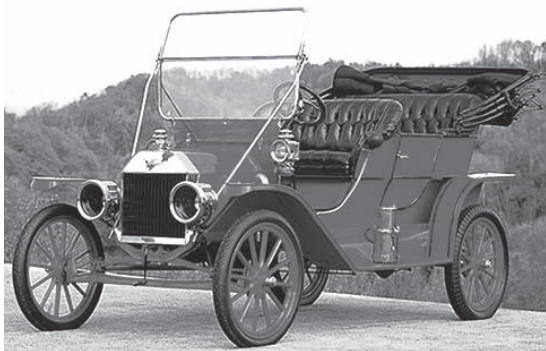
イギリスの化学者マイケル・ファラデー(以下、ファラデー)が発明した**電気モータ**(以下、**モータ**)です。

この2つの原動機も、出現とともに自動車への応用研究が始まりました。1876年にガソリンを燃料とする内燃機関をオットーが発表し、その9年後の1885年にはドイツの技術者ゴットリープ・ヴィルヘルム・ダイムラー(以下、ダイムラー)がガソリン自動車の特許を出願しました。一方1821年にはモータが発明され、諸説ありますが、1840年代には電池とモータを搭載した電動の乗り物がスコットランドで登場したとされています。

● 取り扱い易く乗り心地が良い電気自動車が人気

19世紀末から20世紀初頭の自動車黎明期には、電気自動車のほうが人気があったようです。写真2(a)に示すT型フォードの大量生産で有名な、アメリカの自動車会社フォード・モーターの創設者ヘンリー・フォードの妻は、写真2(b)に示すデトロイト・エレクトリック社製の電気自動車を愛用していたとされています。

見本



(a) T型フォード(出典：トヨタ博物館)



(b) 1916年式 デトロイト・エレクトリック(GSユアサ)

写真2 T型フォードとデトロイト・エレクトリックの電気自動車

「自動車王」ヘンリー・フォードの妻はデトロイト・エレクトリック製の電気自動車を愛用していたという

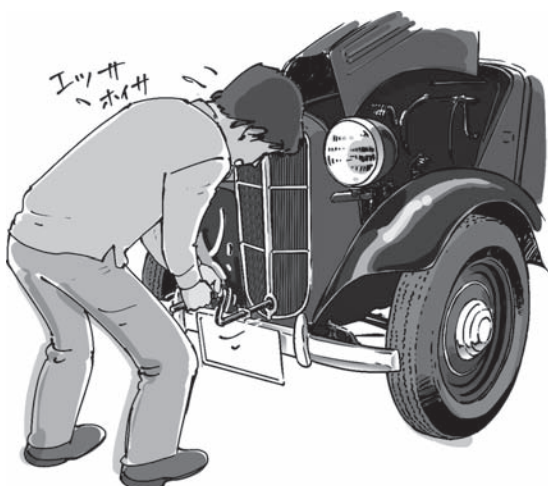


図1 れいめい期のエンジン始動

エンジン始動にはコツと体力が必要だったが、電気自動車はスイッチONですぐ走れた

います。

当時のエンジン車は、エンジンの始動が難しかったようです。図1に示すようにエンジンの始動はエンジンのクランク・シャフトを手で回して行っていたうえ、燃料の供給方式も原始的であったこと、燃料の質もよくなかったことから、**エンジンの始動には技術と体力を要しました。**

走り出したら走り出したで排気ガスのにおいがするうえ、振動や騒音も大きかったのです。そこへいくと電気自動車はスイッチONですぐ走り出せて、エンジン車に比べて静かで振動が少なく、排気ガスのにおいもなかったことから、**取り扱いが容易で快適な乗り物**として喜ばれたのです⁽¹⁾。

● 燃料「石油」の安定供給とエンジンの性能向上でエンジン車に人気移る

自動車のれいめい期には始動が簡単、静かで快適と喜ばれた電気自動車でしたが、エンジン車も日進月歩

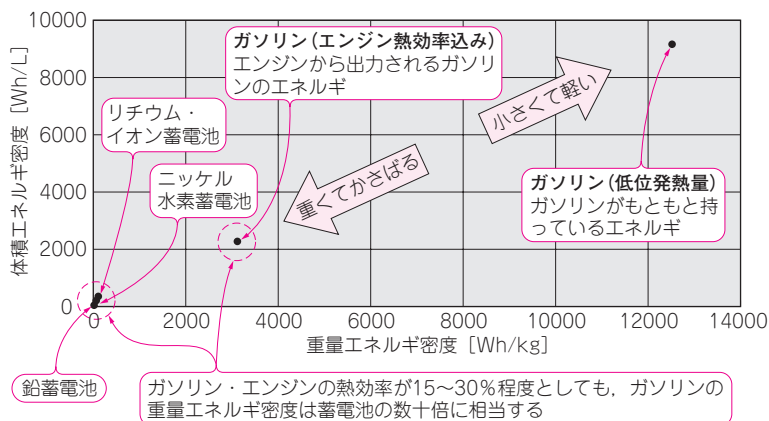


図2 ガソリンと蓄電池のエネルギー密度比較

同一体積・重量で比べるとガソリンの方が蓄電池よりエネルギー量が2けたも大きい

見本



(a) OS電気自動車(小型乗用)



(b) 神銅電気自動車(乗り合い)

写真3 戦前の国産電気自動車(出典: 国立国会図書館)

石油の入手が困難な時代、当時豊富とされていた水力発電の電力利用が推奨された

の発展をとげました。

ベルト・コンベアを使った近代的な生産方式で史上初めて量産されたエンジン車であるT型フォードの登場は1908年ですが、開発当初はエタノールを燃料にすることを計画していました。

しかし、アメリカで原油の機械掘りがはじまり石油が安定供給されるようになって石油を燃料としたことと、エンジンの始動を手動式から現在のようなモータで始動する方式を後に取り入れたことなどから、エンジンの始動が簡単になりました。すると、取り扱いの容易さが電気自動車に追いついてきて、エンジン車の人気も電気自動車に追いついてきます。また、図2に示すように石油などの液体燃料は、単位体積・単位重量当たりのエネルギー量を示すエネルギー密度が電池よりも二けたほど大きく「より遠くへ走っていきける」という性質をエンジン車はもっているのです。次第に電気自動車の市場はエンジン車に奪われていきました。

こうして、始動性と快適さがうりものであった電気自動車は、徐々にその割合を減らしていきました。

戦前～戦後…日本の自動車事情

● 戦前…日本でも電気自動車が活用されていた

日本では、1917年にアメリカ製の電気自動車が初めて輸入されました。この当時は、電気自動車がアメリカで乗り合いバスやタクシーとして活躍した時代なので、日本でも電気自動車の商業利用が相当調査研究されていました⁽²⁾。また、国内でも写真3に示すような電気自動車が製作されるようになりました。

年号が大正から昭和になり、世界情勢の変化とともに国内のエネルギー情勢が変化していきました。特に、満州事変勃発後、国内では石油の入手が難しくなるばかりで、民間の自動車では石油に代わる代替燃料の適用研究が盛んに行われるようになりました。当時の日

本の自動車は乗合自動車やトラックがほとんどですが、代替燃料として薪・木炭・天然ガス、そして電気をその研究対象としていたようです⁽³⁾。電動の乗り合いバスやトラックの製作については、当時の電気協会から設計基準が発行されています⁽⁴⁾。この当時の文献には(a)～(d)などの記述がみられます。

- (a) 電気自動車用の車体や電動機、蓄電池などの標準化が検討されていた。
- (b) 電気自動車には夜間の余剰電力を活用することが推奨されていた。
- (c) モータなどの構成装置の配置の自由度を生かした意匠設計が取り入れられていた(例: 写真4)。
- (d) 走行用電池の交換システムが欧米で運用されていた⁽²⁾。

現代の電気自動車でも同じことが言われています。

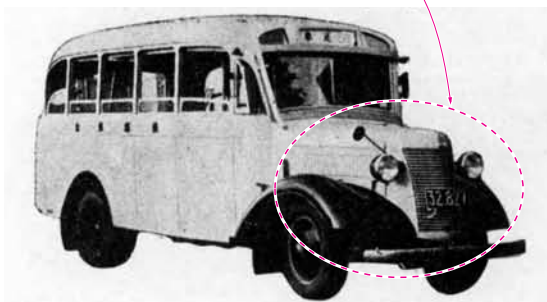
● 戦後…一度電気自動車は消えた

1945年に終戦を迎え、混乱期にあった日本ではガソリンなどの石油製品が依然統制物資として扱われていたため、終戦後数年は国産の電気自動車が生産・販売されていました⁽¹⁾。しかし、原油の輸入が再開され、国内のエネルギー事情が改善してガソリンなどの石油製品が安定供給されるようになると、電気自動車をはじめ、薪や木炭で走るバスやトラックもガソリン車やディーゼル車にとって変わりました。その理由は次に示す(1)～(3)の通りです。

- (1) 電気自動車は、大量の蓄電池を搭載するわりには短い距離しか走れず充電に時間がかかる。
- (2) 薪や木炭で走る自動車は燃料が固形物であり取り扱いが不便。
- (3) ガソリン車やディーゼル車に比べてパワー不足。

見本

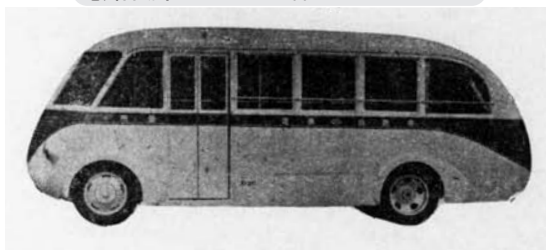
エンジン車は、当時の技術ではエンジンの大きさや冷却などの問題から搭載場所に制約があった



(a) 内燃機関(エンジン)車の乗合自動車の例

電気自動車はエンジン車に比べ電動機や電池の配置に自由度があり、現代に通じるようなデザインだった

主要コンポーネントの配置の自由度は現在でも電気自動車のメリットと言われている



(b) 電動の乗合自動車の例

写真4 戦前のエンジン車と電気自動車のデザイン(出典：国立国会図書館)
電気自動車の利点を生かした設計が既にされていた

復活！電気自動車… パワー半導体や電動機、電池が改良

戦後一度姿を消した電気自動車ですが、1970年代あたりから電気自動車の研究開発が再開されます。理由は、2度にわたるオイル・ショックで石油の供給不安が問題になったこと、もう一つは当時深刻だった大気汚染への対応です。

日本でも1971年から76年にかけて、通商産業省(現在の経済産業省)の大型プロジェクトとして電気自動車開発が進められました。

戦前の電気自動車は、直流直巻きモータの界磁巻き線を複数用意して、直列接続と並列接続を切り替えたり、電機子への直列抵抗の挿入を接点で切り替えてモータの出力を制御していました。

● パワー・デバイスの進化

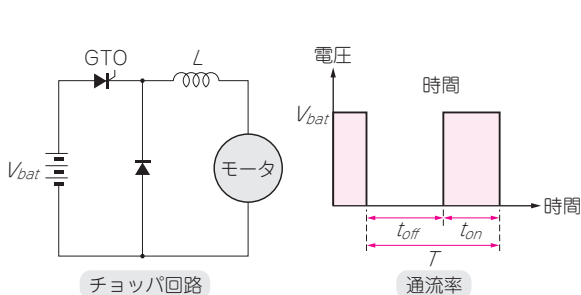
70年代の電気自動車では、図3(a)のようにサイリ

スタを使うなど、電動機の出力制御にパワー半導体を適用することで、現在のような無段変速が行われるようになりました。しかし、電気自動車が一般に市販されるには至りませんでした。

90年代に入ると、大気汚染に悩むアメリカのカリフォルニア州でZEV(ゼロ・エミッション・ヴェークル規制)法が施行され、再び電気自動車の研究開発が盛んになります。ZEV法とは、自動車メーカーが販売する車両のうちある一定比率をZEV(Zero Emission Vehicle、無排出車)としなければならないとするカリフォルニア州の規制です。

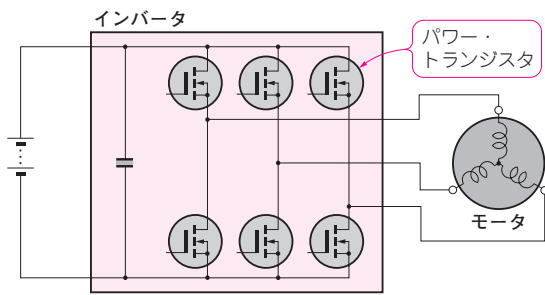
アメリカでは、大気汚染に関するカリフォルニア州の規制を他の州が後を追うようにとり入れる傾向があるため、自動車の巨大市場であるアメリカで自動車メーカーが商売を続けるには、排気ガスが出ない電気自動車のある程度作って販売する必要があったのです。

このころにはパワー半導体に大容量のバイポーラ・トランジスタやMOSFET、さらにはIGBTが出現し



GTO (Gate Turn Off) サイリスタを使った直流機用チョップ回路。直流機をPWM制御できるようになって、無段階で出力制御が可能

(a) 70年代～



電力用MOSFETやIGBTの出現とマイコンの発達で3相インバータが作れるようになった→交流機の変速ドライブが可能

(b) 80年代末から90年代以降

図3 大電力を扱える半導体素子の発達につれて回路方式が変遷していった

見本



(a) 1995年式 トヨタ RAV4 EV(出典：トヨタ博物館)

写真5 90年代の電気自動車

カリフォルニア州のZEV規制対応で一般消費者に届けられた代表的なEV



(b) ホンダ EV プラス(出典：ツインリンクもてぎ)

ていました。これらにマイコンを組み合わせることで図3(b)に示すように、誘導モータや永久磁石式の同期モータといった交流モータが電気自動車に適用されるようになりました。

● 蓄電池の進化

蓄電池には、それまで主流だった鉛蓄電池にかわり、より小型軽量なニッケル水素蓄電池が搭載されるようになりました。自動車用の交流モータやそのインバータの開発に、自動車メーカーが本格的に取り組むようになったのは、このころからといえます。GM、フォード、クライスラーといったアメリカの自動車メーカー・ビッグ3や、写真5に示す日本のトヨタ、ホンダが作った電気自動車は、実際にアメリカの一般消費者の元に届けられました。しかし、価格や走行できる距離の問題からごく限られた生産台数に留まりました。いまでもたまたに、アメリカでトヨタが当時販売した電気自動車走っているのを目撃することがあります。

● 電気自動車向けパワエレ技術の見通し

今も昔も変わらず求められる自動車向けの技術の一

つに、小型・軽量化が挙げられます。これは電気自動車やハイブリッド車も例外ではありません。

自動車向けのパワエレ技術では、パワー半導体の材料を現在のシリコン(Si)から炭化シリコン(SiC)や窒化ガリウム(GaN)へ置き換えることで損失低減と装置全体の小型・軽量化が期待されています。また電池技術では、現状のリチウム・イオン蓄電池のエネルギー密度を一けた上回ることを目標に、リチウム空気蓄電池(コラム参照)などが実用化に向け研究されています。

今世紀…クルマの電動化が本格化

● ハイブリッド車

90年代の電気自動車開発で本格的に自動車メーカーが取り組んだインバータ技術やモータ技術は、ハイブリッド車向けの電気駆動システムとして花開きます。1997年にはトヨタが、1999年にはホンダが一般向けにハイブリッド車の市販を開始しました。

ハイブリッド車は、エンジンの燃料消費量が多い領域は積極的にモータを使用することで燃費の改善を図ります。ハイブリッド車は、それまでのエンジン車

コラム 酸素で発電! 「リチウム空気蓄電池」 エネルギー密度がリチウム・イオンのナント10倍!

リチウム空気蓄電池は、次世代の蓄電池です。まだ、実用化されていませんが、通常の蓄電池と同じように使えるように研究が進められています。

これまでの蓄電池と決定的に違うのはその構造です。蓄電池の充放電は、二つの物質間の酸化還元反応で行います。既存の蓄電池は、活物質と呼ばれる酸化還元を行う2種類の物質を両方とも蓄電池に内蔵します。これが重く大きくなる原因の一つです。

リチウム空気蓄電池は、活物質にリチウムと空気中の酸素を用います。内蔵する活物質はリチウムだけで、もう一つの活物質は、外気からほぼ無限に供給される酸素です。これにより劇的な小型・軽量化が期待でき、既存のリチウム・イオン蓄電池の10倍以上のエネルギー密度が得られるものと期待されています。

(宮村 秀夫)

見本



(a) 日産 LEAF



(b) 三菱自動車 i-MiEV(出典：三菱自動車)

写真6 現代の電気自動車

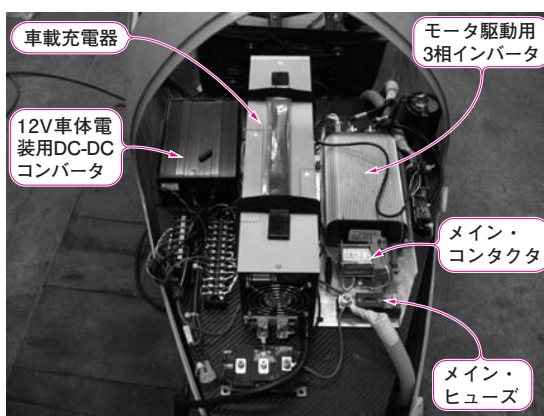
エネルギーの多様化，気候変動問題へのソリューションとして再び脚光を浴びている



(a) 自作電気自動車の例(プロミネンスP.C.D.)

写真7 自作電気自動車と高圧電装部品

インターネット通販で，自宅にしながら電気自動車の自作に必要な部品が世界中から買える



(b) P.C.D.の高圧電装部品

と比べ燃料消費率を約半分にできたうえ，エンジン車と変わらない使い勝手を両立できたことから，現在の日本の新車販売におけるハイブリッド車比率が約3割に達するなど，もはやあたりまえの自動車技術になりました。

● 電気自動車

2009年に三菱自動車から，2010年には日産からリチウム・イオン蓄電池を搭載した電気自動車が本格量産され一般消費者が購入できるようになりました(写真6)。一般消費者向け電気自動車の本格量産は，自動車の歴史上大きなトピックと言えます。

部品の入手性が向上…個人でも電気自動車の製作を試せる時代がきた

電力用半導体やマイコンなどの高機能化と低価格化，インターネットによる商業活動の活発化で，個人が世界中から写真7に示すような電気自動車の製作に必要な

な部品を自宅で購入できるようになり，その気になれば自分で電気自動車を製作できる時代になりました。これも，今世紀ならではの变化です。

電気自動車にかけられる期待，また図2に示ような蓄電池のエネルギー密度が液体燃料より劣る点などの問題点は，歴史を紐解くと現在とあまり変わっていない気がします。現在は，自動車メーカでなくとも電気自動車を試すことができる時代になったので，今後読者から革新的な電気自動車が生み出されることを期待してやみません。

◆参考文献◆

- (1) 御堀 直嗣；興味深い電気自動車の歴史とこれからのEV，JAMAGAZINE 2011年8月号2011年8月号，日本自動車工業会。
- (2) 東京市電気局調査課；電気自動車に関する調査，調査資料第7巻 第4号，1926年10月。
- (3) 日本乗合自動車協会；代用燃料車の総括的研究 代用燃料車研究講習会速記録，1939年7月。
- (4) 電気協会；電気自動車設計基準，1940年12月。

見本

トランジスタ技術 SPECIAL

No.146

オシロ/SGからスペアナ/ネットアナ/ラジオまで

信号処理プログラミングで操るソフトウェア無線機&計測機

B5判 240 ページ 定価：本体 2,700 円＋税



SDR (Software Defined Radio) は、 μV 級の微弱なアナログ信号を A-D 変換してコンピュータで処理し、解析するセンシング・マシンです。「ソフトウェアで定義する受信機」という言葉の定義からすると無線機であるべきですが、その汎用性は通信機にとどまりません。脳波の測定や超音波レーダ、広帯域なオーディオ機器など幅広く応用できます。

本書では、2つの製作事例を題材に、SDR 機器の内部構成や設計について解説します。

◆製作事例 その1

安価なマイコン・ボード「ラズベリー・パイ」と FPGA (Field Programmable Gate Array) を組み合わせて製作した電波受信機

◆製作事例 その2

FPGA を搭載した USB 接続の信号処理実験基板。ソフトウェアの変更によって各種測定器として使える従来の無線通信はさまざまな分野の知識を必要とするため習得が大変でしたが、最近は高周波回路のワンチップ化が進み、わずかな IC を組み合わせるだけでハードウェアが完成します。一方で、FPGA などのデジタル信号処理の知識や、ソフトウェア上の処理についての知識が必要となります。本書を通じて SDR 機器の設計を体験することで、SDR についての理解が深まります。

バック・ナンバも好評発売中！

No.145 電圧/電流/インピーダンス/周波数特性/SN比…何でも測れる私のサイエンス・ラボ！ テスタ/オシロ/USBアナライザ入門
B5判 240 ページ 本体 2,400 円＋税

No.144 AI/Twitter/センシング/IFTTT…クラウド機能をお手軽装備ベタッと貼れる Wi-Fi マイコン ESP 入門
B5判 176 ページ CD-ROM 1 枚＋基板 1 枚（※基板は初版限定付録）付き 本体 2,700 円＋税

No.143 IoT/家電から計測/オーディオまで！高信頼性設計の基礎固めベスト・アンサ 150！電子回路設計ノウハウ全集
B5判 176 ページ 本体 2,400 円＋税

No.142 フリー&機能制限なし！世界のパーツを動かそう！KiCad×LTspice で始める本格プリント基板設計 [DVD 付き]
B5判 176 ページ DVD-ROM 付き 本体 2,400 円＋税

No.141 アンプ/フィルタから電源/オーディオ…お手本シミュレーション 150 バイタル学習！パソコン回路塾 [LTspice CD 付き]
B5判 208 ページ CD-ROM 付き 本体 2,400 円＋税

No.140 ブラシ付き/ブラシレスからベクトル制御まで！静かに力強く回すトコトン実験！モータのメカニズムと高効率駆動
B5判 176 ページ 本体 2,400 円＋税

No.139 1石アンプからカスタム・アナログまで、フルディスクリットで高性能仕上げ！実践式！トランジスタ回路の読解き方&組合せ方入門
B5判 176 ページ 本体 2,400 円＋税

No.138 基本部品やダイオード/トランジスタのふるまいが見えてくるオームの法則から！絵ときの電子回路 超入門
B5判 176 ページ 本体 2,400 円＋税

No.137 見つける・求める・製作の素がいっぱい！プロの経験をソックリいただき！今すぐ作れる！今すぐ動く！実用アナログ回路事典 250
B5判 176 ページ 本体 2,400 円＋税

No.136 どこから始めたらいいかわからないエレクトロニクス1年生に贈る電気の単位から！回路図の見方・読み方・描き方
B5判 144 ページ 本体 2,200 円＋税

No.135 目いっぱい貯めて、一滴残らず使い切る！安全かつ長持ち Liイオン/鉛/NiMH 蓄電池の充電&電源技術
B5判 168 ページ 本体 2,400 円＋税

No.134 誤動作ゼロ/破壊ゼロ/発熱もノイズも出さないコンデンサ/コイル/MOSFETの動かし方 要点マスタ！パワー電源&高輝度 LED 照明の作り方
B5判 144 ページ 本体 2,200 円＋税

No.133 今すぐ USB マイコン Arduino と今すぐプログラムで収集・解析・制御研究室で役立つ パソコン計測アナログ回路集
B5判 144 ページ CD-ROM 付き 本体 2,400 円＋税

No.132 ワンチップでシンプル仕上げ！安定・安全な電圧と電流を供給してくれる実験用スタンダード電源設計実例集
B5判 176 ページ 本体 2,400 円＋税

No.131 A-D コンバータ、OP アンプそしてマイコンを使ってスマートに実験研究に！測る電子回路の作り方
B5判 176 ページ 本体 2,400 円＋税

No.130 24 ビット D-A コンバータから低雑音電源までハイレゾ・オーディオの回路技術と製作の素
B5判 144 ページ 本体 2,200 円＋税

No.129 ガッチリくっついて高性能いつまでも見ればわかる！正統派のはんだ付け [動画 DVD 付き]
B5判 144 ページ DVD-ROM 付き 本体 2,400 円＋税

No.128 USB3.1, PCI Express, LVDS...10Gbps 超までパッチリ受け渡し Gビット時代の高速度データ伝送技術 [シミュレーション CD 付き]
B5判 144 ページ CD-ROM 付き 本体 2,500 円＋税

No.127 商品利用もできる無制限ツールでメーカー顔負けのモノ作りに挑戦一人で始めるプリント基板作り [完全フリー-KiCad 付き]
B5判 248 ページ CD-ROM 付き 本体 2,700 円＋税

No.126 パッチリ動いて高性能！ちょうどいい部品と値の求め方がわかるアナログ・センスによる電子回路チューニング術
B5判 144 ページ 本体 2,200 円＋税

No.125 キロ・ワット超を制御する電力変換技術の実際パワーエレクトロニクス技術教科書
B5判 160 ページ 本体 2,200 円＋税

No.124 色判定から暗視/防犯まで デジタル処理自由自在カメラ・モジュールの動かし方と応用製作
B5判 144 ページ 本体 2,200 円＋税

CQ出版社

<https://shop.cqpub.com/>

雑誌 16712-05

㊦ 2019.8.18



4910167120591

03600

見本