

もっとインテリジェントに！ 車載デバイス技術情報誌

MOTOR

エレクトロニクス

NO. 10

電池特性解説からLICの製作・全固体電池の評価実験まで

EVと電池の充電・放電・給電

鉛電池の特性を120%引き出す

SBS1.1規格とSMBusプロトコルを使ってみよう

エネルギー密度より充放電特性と長寿命化を優先したSCiB

<https://toragi.cqpub.co.jp>



ご購入はこちら。

<https://shop.cqpub.co.jp/hanbai/books/47/47201.html>

見本

CQ出版社

第1章



～多種多様な電池から選択のための基礎知識～

電池の充放電の特性データの使い方

長谷川 圭一

現在は、EVに限らず電池を使うことが少なくない。電池の種類も増えており、EVやモバイル機器などに電源を搭載したい時、その選択肢も多くなった。その中で、使用目的に合わせて、どういう仕様のどういう特性の電池を選ぶかを考える。まずは、電池の種類を整理した後、電池のカタログにある特性値がどういう意味を持つかを考える。特に、放電特性と充電特性について、その見方と考え方を示す。(編集部)

1. 電池の特性ってナニ？

■ 1.1 電池の放電と充電の性能

● 電池需要は増加と多様化に進む

今では「電池」に関する記事や情報をたくさん目にします。これも

- IoT化によるモバイル機器の普及
- エンジン駆動からモータ駆動への転換

が進んでいるので、その電源となる電池に対する需要が年々増えつつあるからです

また、電池に対する要求も多様になり、いろいろな仕様や特性を持った電池が次々に登場しています。

● 多様化で選択肢は増えたが…

電池の多品種化により、その選択肢は増えつつあります。一方で電池性能も品種ごとに異なり、最適な電池選定をするのは簡単ではありません。

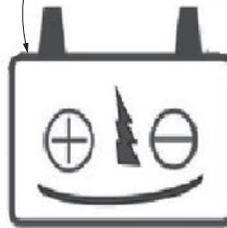
電池の使い方によっても選択肢は異なり、逆に、電池の特性を考慮して使用することで長寿命化や大きな電気容量の確保につながります。

● 一次電池と二次電池、放電と充電

電池の特性では、2つのことを重視しなくてはなりません。

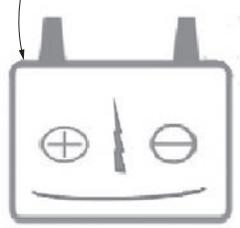
例えば、テレビのリモコンでは、単3電池や単4電池のような使い切りタイプの電池を使います。この使い切りタイプの電池を“一次電池 (primary cell)”といいます。

一次電池は、1回で使い切ってしまう。充電できない電池



(a) 一次電池

二次電池は、“蓄電池”とも呼ばれ「充電と放電を繰り返す」ことができる電池



(a) 二次電池

図1 一次電池と二次電池

一方、スマートフォン等のモバイル機器に組み込まれている電池の多くは、充電器で“充電”が可能なタイプです。充電は無限ではありませんが、何度でもできます。このタイプを“二次電池 (secondary cell)”といます(図1)。

一次電池を使用するとき気になるのは放電の性能ですが、二次電池では加えて充電の性能も気になります。

● 電池の性能の“良し悪し”って何か？

テレビのリモコンの電池が切れて家電量販店に買いに行くとしましょう。リモコンに使う単3電池だけでもたくさんの種類が並んでいます(写真1)。値段も高いものから安いものまで。さて、一体何が違うのでしょうか？

「高い値段を出せば、それなりに性能も良い」と思いたいですね。では、その“性能”って一体何でしょうか？ 性能の良し悪しって、どうやって比べるのでしょうか？

電池の性能は、電圧と電流の値だけでは表せません。それらの値は、電池につながる負荷(抵抗値など)によっても変化します。これらを定性的・定量的に表した「電池の特性」について考えてみましょう。



写真1 リモコンと単3電池

■ 1.2 放電と充電でまったく違う顔を持つ電池

● 電池の特性は「充電」と「放電」で異なる

電池の「特性」と聞くと、「電池がどれくらいの時間“持つ”のか」、つまり「どれくらいの時間“放電”が可能なのか」を示していると考えませんか。もちろん、電池の持ちは重要な特性ではあるのですが…

例えばスマートフォンの電池で考えてみると、何度も繰り返し長寿命で使いたい、短時間で素早く充電したい、などと使い方全体を考える必要が出てきます。この「使う」ということを頭において放電や充電を考えることが大切になります。

また、電池を使っていて中の電気容量が減ってくると、パワーがなくなってきたと感じます。つまり、電池中にある電気容量によって電池の性能が変わって行くことも経験上ご存じだと思います。

● 放電と充電の特性をたどってみる

ここで、電池を「人に見立てて」、放電と充電のそれぞれの特性を考えてみましょう(図2)。

(1) 放電：電池そのものに大きく依存

放電は、電池がパワー(電気)を出すことに相当します。どこまで放電できるかは、電池そのものに依存します。

放電には電池の性格がそのまま表れ、その時の電池の状態も関係します。つまり、マッチョで元気があればダウンとパワーを出せるし(大きな電流を流せる)、

やせていて元気がなければ少ししかパワーは出せません(電流が少ししか流せない)。

(2) 充電：充電器にも依存

一方の充電は、電池にパワー(電気)を食べさせるため、充電器による味付けが大切です。充電器が食べやすくした電気だと電池は受け入れます。しかし、食べにくい電気だと受け付けません。

充電器による味付けだけでなく、電池の種類ごとに好き嫌いなどの自己主張もあります。

このように電池の放電と充電では電池の違った側面が現れるので、それぞれの特徴づけられる特性項目で表現することが必要になります。

2. 個性派ぞろいの電池の世界

電池の特性の話始める前に、まず電池の種類をおさらいしておきます。多種多様な電池がありますが、ここでは身近な電池に限っています。

■ 2.1 一次電池/乾電池

まず、テレビやエアコンのリモコン用電池を考えてみましょう。この場合、多くは使い捨ての一次電池が使われますが、使うのは電気屋やコンビニで広く売られている定型(寸法/電圧)のものです。

● 直列や並列につなげられる

例えば、最も身近な電池として、単3や単4といった国際標準品の円筒型の“乾電池(dry cell)”注1(一次電池の一種)がよく使われています。

1個(最小単位を「セル」という)で1.5Vの電圧があり、使いやすく、しかも安全です。このため、直列に接続して高電圧にしたり、並列に接続して容量を大きくしたりして用いることもあります。

このように乾電池の場合、直並列の接続はある程度自由にできますが、二次電池になると直列や並列に接続する場合、一定の制約があります。

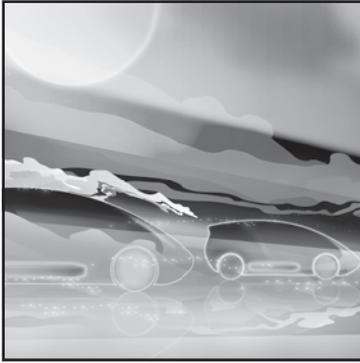
● マンガン電池とアルカリ電池

同じ乾電池でも、マンガン電池やアルカリ電池など種類があります。いずれも、正極に二酸化マンガン



図2 放電と充電

第3章



～エネルギー密度より充放電性能と
長寿命化を優先した～

負極がLTOのリチウム・イオン電池 “SCiB”

澁谷 信男

リチウム・イオン電池は安全性に問題があると言われながらも、その普及速度は著しく急激だ。リチウム・イオン電池といっても、採用する電極材・電解液の違いにより多くの種類がある。ここで紹介するSCiBは10年ほど前に発表されたもので、負極材にLTO(チタン酸リチウム)を使用していて、セル電圧は2.4Vと他のリチウム・イオン電池と比べて1.4V程度低い。つまり、エネルギー密度が低いのだが、高速充電が可能、安全性が高いなどの特徴があったが、このタイプの電池の普及は進んでいなかったように見える。しかし、ここにきて再評価されている。ここでは、その理由を探ってみる。(編集部)

● LIBの中での“SCiB”は起電圧が低いが…

LIBにはいろいろな種類があり、その特性も大きく異なります。その中に、東芝が開発した“SCiB”(2007年発表)があります。ほとんどのLIBでは、負極にグラファイト(黒鉛=炭素)を採用していますが、SCiBではチタン酸リチウム(LTO)を採用しています。

そのため、SCiBの1セル当たりの電圧が2.4Vと、グラファイトを負極にするLIBが3.2～3.8Vあるのに比してかなり低く、エネルギー密度も低い(三菱自動車「i-MiEV」には採用されたが)ので、EVやHEV(ハイブリッド車)にはあまり採用されていません。

● SCiBには長寿命、急速充電、低温特性の特徴が…

しかし、SCiBの特徴のもう一面の「長寿命」や「急速充電性能」、「低温特性」が注目されています。

例えば、公表されているものでは東北電力のメガ・バッテリー、スズキ自動車の「エネチャージ」用二次電池があります。

また、東京地下鉄 銀座線「1000系」、さらには、JR東海の次期新幹線車両「N700S」でも採用される予定です。いずれも、停電などの非常時にトンネル内や鉄

はじめに ——リチウム・イオン電池と SCiB

● EV普及とリチウム・イオン電池

世界的にEV化が急激に進んでいます。EV化を加速するための重要なキーワードに「二次電池(蓄電池)」技術があります。現状の二次電池(以後、単に「電池」ということもある)の高容量化や長寿命化に加え、急速充電性能の向上が必須となります。リチウム・イオン電池(以後「LIB」と略す)は、他の電池に比べ体積や重量当たりの電気容量が大きいため、現在のEV用電池の主流です。

しかし、現状のLIBには課題が山積みです。つまり、高価で充電時間がかかり、寿命も短いことです。逆に言えば電池技術の革新がEV普及の鍵なのです。

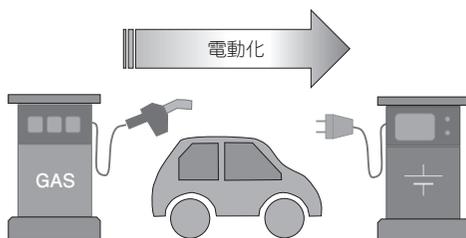


図1 電動化にシフト

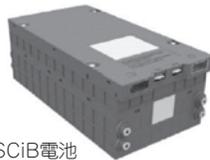


写真1 非常用電源にSCiBを搭載する東京地下鉄 銀座線1000系——停電時に最寄り駅まで移動できる容量の電池を搭載

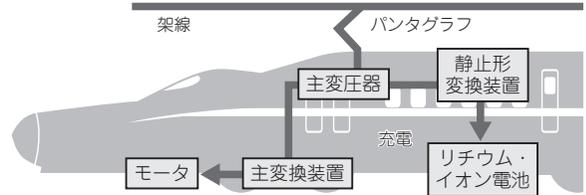
見本



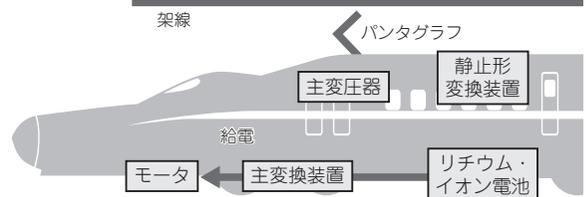
(a) N700Sの確認試験車



(b) 台車に搭載するSCiB電池



(c) 通常走行時は電池に充電



(d) 給電されていない時、電池での自走時

写真2 SCiBを搭載する東海道新幹線N700S系(いずれも、提供 JR東海)

橋上で停止した時に、そこを脱出し最寄りの駅まで自走する電源とします。ここでは、エネルギー密度よりも長寿命性・安全性が評価されたようです。

本稿では、このSCiB (Super Charge ion Batteryの略)の特徴と使用方法について、従来のLIBとの比較をしながら解説します。

	xEV 低電圧 ハイブリッド	高電圧系 ハイブリッド	PHEV	EV
高	鉛蓄電池 互換	高入出力	高容量	高容量
優先順位	高入出力	長寿命	長寿命	安全性
低	長寿命	安全性	安全性	長寿命

図2 電動化用蓄電池の応用と要求性能

1. LIBの多様な応用に対する要求性能

● EVで要求されるリチウム・イオン電池の仕様

LIBへの要求性能は用途により異なります(図2)。

例えばEV用途では、内燃機関と比べ、現在でも十分なエネルギー(電気)容量が実現できません。PHEV(プラグイン・ハイブリッド車)では、ハイブリッド車用電池に外部充電プラグを追加するため、EVとハイブリッドの両方の機能を実現することが必要です。EVに比べ搭載する電池容量が少ないぶん、充電が頻繁に発生し、EV以上に長寿命な電池が必要になります。

● HEVで要求されるリチウム・イオン電池の仕様

トヨタのプリウスに代表されるハイブリッド自動車(HEV)に要求されるのは、電池容量よりも高入出力を頻繁に行う性能です。電池劣化が少ないSOC 50%^{注1}近辺での充放電になるように制御しています。

欧州ではxEVという48Vマイルド・ハイブリッド

注1: SOCはState of Chargeの略で「充電率」のこと。満充電時をSOC 100%とし、完全放電時をSOC 0%と表現する。なお、電池が劣化しても、その状態での満充電時はSOC 100%と表現する。

注2: 自動車の電源電圧というと12Vであった。自動車の電装品の多くも12V駆動をベースにしている。欧州では、次世代でこれを48Vで統一しようという動きがある。電流を減らすことにより、電装品での動作効率が上げられる。そうすると、クルマ用電子部品も全て48V仕様にならなければならない。マイルド・ハイブリッド48V化の動きはその一環。

「マイルド・ハイブリッド車」とは、ハイブリッド車の1形態で、主動力はエンジン、モータはエンジンの補助をする役割となる。モータは小さく、それだけでは自走できないが、エネルギー回生には使える。この場合、低電圧駆動モータを利用することが多い。一方、「ストロング・ハイブリッド車」があり、こちらはエンジンとモータが対等で、走行条件によってエンジン駆動で走行するか、モータ駆動で走行するかを使い分ける。トヨタのプリウスは、ストロング・ハイブリッド車の代表格。

見本



～ BMSと電池残量計測を担うガス・ゲージIC～

SBS 1.1 規格と SMBus プロトコル を使ってみよう

大熊 均

多直列、多並列となる複数の電池セルで構成される電池パックを製造する際、BMS (Battery Management System) を用意する場合がある。BMS について厳密な定義、規格はないが、主に保護機能、残量計測機能、セル・バランス機能の集合であり、これらを使い、安全、高効率、長寿命を図るものである。この中の残量計測は、「ガス・ゲージIC」や「残量計IC」と呼ばれる専用のICを使うのが一般的である。ある規模以上向けの電池向けICでは、I²Cの拡張ともいえる通信規格 SMBus の上で定義される SBS で通信を行える場合がある。ここでは、SBS に準拠したガス・ゲージICを使って、電池の残量や劣化を測定する方法を示している。

1. リチウム・イオン電池パックの 回路基板とガス・ゲージIC

● 回路基板に必須の保護機能

リチウム・イオン電池パックには、保護機能を持たせることが必須となっています。一般的には、専用の保護IC に対応します。主な保護は、過充電、過放電、過電流、温度などです。

■ 1.1 ガス・ゲージICとは

● 回路基板には残量計IC が搭載されている場合もある

必須の保護機能以外に、残量計測機能を備えているものもあります。今日のモバイル機器、スマートフォン、タブレット、携帯型ゲーム、Bluetooth イヤホンなどでは、ほぼ全ての機器で電池残量を知ることができます。

今日においては残量計測機能も事実上必須であると考えられます。簡素に電圧と残量のテーブルを持つだけのものから、残量計専用のIC を使うものまであります。残量計IC は多くのメーカーから提供されており、このIC を使うのが一般的となっています。残量計IC はガソリンの残量メーターに倣い、Fuel gauge とか、ガス・ゲージ (Gas gauge) と呼ばれてい

るようです。以降は簡単のため、ガス・ゲージで統一します。

● ガス・ゲージIC の役割

ガス・ゲージIC の主な機能は、「残量と劣化の計測」となります。2018年現在、高度なものでは保護機能・多直列電池のための、セルごとの電圧をコントロールするセル・バランス機能・残量計機能を兼ね備えるIC もあるようです [例：Texas Instruments 社 (以下 TI) 社製 bq40z50]。しかし、本文では簡単のため、こういった高機能・多機能なIC の全機能の紹介をすることはせず残量計測機能に絞って解説をします。

劣化とは、さまざまな環境での使用履歴、自然な経年劣化により、出荷時点からどれほど容量が落ちたかを表します。

残量とは現時点の劣化状態で、満充電に対してどれくらい容量が残っているかを表します。

残量や劣化に関する化学的な情報は、『トランジスタ技術』2018年11月号の別冊付録『アナログウェア』No.7を参照ください。

● ガス・ゲージIC の残量、劣化の測定の概要

以下の単純な測定値

- 電池電圧
- クーロン・カウント
- 内部抵抗
- 電池セル温度

に加え、各社独自のアルゴリズムで推測を行います。しかし、その対象は同じリチウム・イオン電池であるため、各社のアプローチもほぼ同じであると考えられます (特定の一社のみが飛び抜けて良い精度であるということは考えにくい)。リチウム・イオン電池の劣化の仕組み (前述『アナログウェア』, No.7 など参照) を前提とし、膨大な量の電池セルを実際に充放電や環境試験を行った記録に基づいて、アルゴリズムを組み立てていると考えられます。

実際、TI 社の bq2060a と bq40z50 を比較すると、後者の方が持っているパラメータも膨大に内部ロ

コラム 電池残量アルゴリズムについて

電池残量推定のアルゴリズムは、SBS1.1では規定されておらず、ガス・ゲージICメーカーがそれぞれのアルゴリズムを持っているようです。ただし、そのアルゴリズムを公開しているICメーカーはあまりないように思います。

その中でも米国Texas Instruments (以下、TI)社のCEDVやインピーダンス・トラック、米国Maxim社のモデル・ゲージといった残量精度・寿命推測のためのアルゴリズムについては、それぞれWeb上でも概要が公開されており説明もあります。

ここでは2社のアルゴリズムについて簡単にまとめておきます。

■ TI社のインピーダンス・トラック方式

◆電池セルの内部抵抗を追う

TI社のアルゴリズム、インピーダンス・トラックは、その名のとおり電池の内部抵抗を追うものです。

概要は次のとおりです。

内部抵抗の上昇について一時的なもの(温度、放電電流の大きさなど)と恒久的なもの(経年劣化、繰り返しによる劣化など)を区別し、測定データを蓄積、活用することで精度の高い情報を返します。

TI社製のガス・ゲージは、EEPROMまたはDataFlashに膨大な量のデータを保持しているものが多く、内部のアルゴリズムはこれらを適宜更新、あるいは読み取りをしてICが稼働しています。

■ Maxim社のモデル・ゲージ方式

◆model gauge 概要とバージョンアップの推移

Maxim社のモデル・ゲージ(model gauge)には、以下のバージョンがあります。

(1) model gauge

開放電圧のみで残量を推測。シャント抵抗不要で無駄な消費がない。

(2) model gauge m3

解放電圧&&シャント抵抗によるクーロン・カウントで残量を推測。

(3) model gauge m5

m3に加えて、

*経年予測アルゴリズムのcycle+

*残量ゼロ付近での計算誤差を除去するエンプティ収束アルゴリズム

*その他多数のバッテリー容量学習のための機能が追加されているようです。

TI社のガス・ゲージICに比べ、内部情報は詳細には公開されておらず、同社製ガス・ゲージのような巨大なデータテーブル(EEPROM, DataFlash)もありません。データシートの情報量からして、とても少なく感じられます。

Maxim社のmodel gaugeのページで動画が公開されていますが、この「開放電圧とクーロン・カウント」というシンプルなアプローチは、膨大な量の電池セルを実際に測定し、データを記録してきた自社の実績への信頼と自信があってこそと考えられます。
<https://www.maximintegrated.com/jp/products/power/battery-management/battery-fuel-gauges.html>

クもとても複雑です(データシートから分かる範囲なので、誰が確認しても分かるほどの大きな違いである)。充放電時のセル温度や、充電も放電もしていない状態の監視および残量や劣化データへの反映など、古いbq2060aにはない作業が行われています。

2. リチウム・イオン電池向けの通信規格

●ガス・ゲージICの一般的な通信規格

絶対標準のものはありません。筆者がこれまでに市場に流通しているガス・ゲージICを見た経験では、1-wire、I²C (smbus)、SPIのものがありました。その

中で圧倒的に多いのがI²C (SMBus)です。

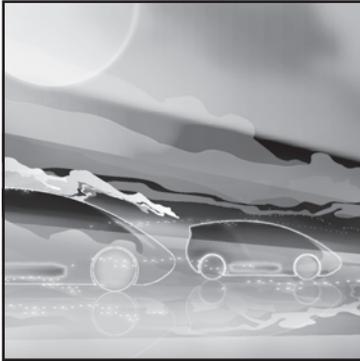
ここではSMBusとSBSについて説明します。

■ 2.1 SBS1.1とは何か

●SMBusとは

おおむねI²Cと同じです(図1)。電気的仕様が若干異なっているので、採用を検討しているICのデータシートや、NXP Semiconductor社のI²C規格書にて確認してください。

I²Cに幾つかのトランザクション(1byte r/w, 2byte r/w, マルチバイト r/w など)と、誤り訂正のPEC (Packet Error Check)が追加されているのが主な



～期待されているリチウム・イオン電池の将来型～

全固体電池はどれだけ安全なのか

鶴岡 正美

リチウム・イオン電池は電解液に有機系液体を用いるため、電池自体が高温になると、どうしても燃焼・爆発の危険性が高まってしまう。そうした中、電解液を使わないリチウム・イオン電池の開発が進んでいる。電解液の代わりにセラミック系材料が電解質として使われている。実用化までにまだまだ時間がかかると言われているが、単セルの全固体リチウム・イオン電池が台湾企業からサンプル出荷されている。どこまで安全か、実際に実験してみた。(編集部)

はじめに ——全固体電池が市場に出てくる！

今話題のリチウム・イオン全固体電池ですが、巷には、2020年代前半には自動車用途として市場投入され、2035年くらいには超巨大市場が形成されるとの予測があります。これに興味を持つ方は多いと思われる。リチウム・イオン電池の最大の欠点である燃焼・爆発、この危険性がないという全固体電池の特徴は、今まさに期待されている仕様だからです。

しかし、日本で実物を見る機会はまだまだ少ないと思います。

今回、筆者は台湾ProLogium社(以下、PLG社と略す)製の全固体電池を入手し、簡単な評価実験を行うことができたので、簡単なレポートを記します。といっても入手したのはEV用の電池パックではなく、多くの人により身近なモバイル用途向けの単セル製品です。それでも全固体電池の魅力を実感するのに十分なインパクトを受けました。

1. ProLogium社の全固体電池の概要

筆者は、数年前にPLG社を訪問したことがあります。同社が全固体電池を製造していることはその頃から知っていましたが、まだ実力には懐疑的でした。今回、再訪問の際(2018年)には、工場も移転・増築されていて、量産が本格的になっていることに驚きを感じ

ています。

第2工場の^{くわ}鋳入れ式も済んでいて、1 GWh/年の生産能力を確保する準備が整ってきています。当初は産業機器向け、軍事・消防・レスキュー向けの高付加価値向け商品が主流ですが、新工場ではやはり車載向けの生産も視野に入っているようです。

今回は、評価用のセルとして特別に触らせてもらうことができ、リチウム・イオン電池の世界でのエポックを感じる事ができました。

なお、PLG社のホームページには日本語のページもあり、グローバルに市場展開を進めています。日本以外の展示会には、すでに積極的に出展しているようです。

● 全固体電池の構造と安全性の特徴

さて、今回筆者らが入手できたのは、フレキシブル・シート状単セルの「FLCBシリーズ」と、ラミネート(パウチ)状単セルの「PLCBシリーズ」の製品群から各1種ずつです。

PLG社ではこれらの全固体電池の特徴を以下ののように記しています。

- (1) +極板と-極板の間には絶縁層(セパレータ)がない単純構造。
- (2) 主要電解質部は液体ではなくセラミック層である。
 - このため、短絡による熱暴走(燃焼、爆発)が起こらない。
 - 電池内部からの漏液がない。
 - 硫化物が漏れないので、水分と反応せず、ガスも発生しない。
- (3) セラミック電解質層は屈曲性が良い。

このため、1万回の屈曲(屈曲15度以内)に耐えられる。
- (4) -20～+85℃での充電、-40～+105℃での放電が条件付きで可能。

このように、従来のリチウム・イオン・ポリマ電池に比べて、安全性と使用温度範囲が広がっています。

見本

表1 ProLogium社の全固体電池の使用

電気的特性	定格容量	2150mAh
	定格電圧	3.8V
	動作電圧	4.4V～2.75V
大きさ	L105×W60×T4.5mm, 59.5g	
動作環境	標準充電方式	CC-CV (定電流・定電圧充電方式)
	標準充電電流/電圧	0.2CmA/4.4V
	カットオフ電流	0.05C
	最大充電電流	2CmA
	標準放電方式	CC (定電流)
動作温度	-20℃～+60℃	

(a) FLCB4360A5AAMA

電気的特性	定格容量	90mAh
	定格電圧	3.75V
	動作電圧	4.35V～2.75V
大きさ	L76×W51.5×T0.43mm, 3.1g	
動作環境	標準充電方式	CC-CV (定電流・定電圧充電方式)
	標準充電電流/電圧	0.2CmA/4.4V
	カットオフ電流	0.05C
	最大充電電流	1CmA
	標準放電方式	CC (定電流)
動作温度	-20℃～+60℃	

(b) PLCB4360A5AAMA



(a) FLCB051076AAAA



(b) PLCB4360A5AAMA

写真1 今回実験に使用したProLogium社のリチウム・イオン電池

ます。

コスト問題に対しては第二工場の建設などの投資が行われているので、需要増に対応して供給量も増え、コストダウンにつながる気もします。

PLG社によると、各国の自動車メーカーとの協業がスタートしていて、EV向けの電池の開発も行われているようです。

● 当面の生産規模は小さく、当初の価格は高い

いいことばかりですが、現状でのマイナス要因もあります。

最大の問題点は、リチウム・イオン・ポリマ電池などに比べて数倍するコストです。そして製造プロセスに課題も残っているだろうし、設備増強がまだ途中なので生産量も少なく、大需要にはこれからの対応になります。製造量が増えてくことで、価格低下の可能性が高まります。

多数セルのパックの製造にもチャレンジしているようですが、組立製造技術も途上と思われます。

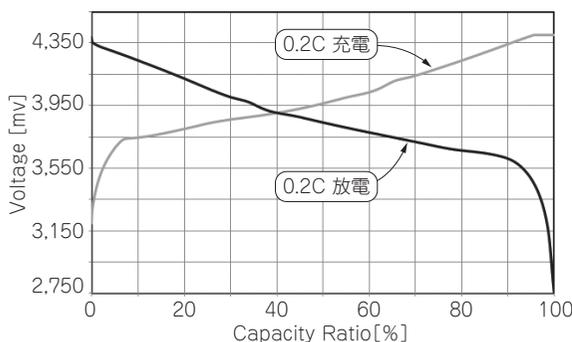
セルのばらつきも、今後は改善されていくと思います。

2. 全固体電池の特性

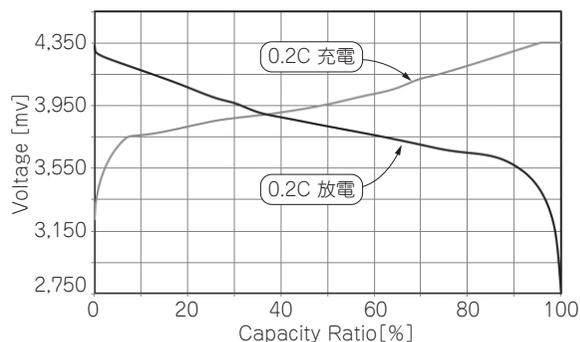
● 基本特性

フレキシブル・シート形状のFLCBシリーズの電池FLCB051076AAAAとラミネート形状のPLCBシリーズの電池PLCB4360A5AAMAの各定格仕様を表1に示します(写真1)。FLCBの方が定格容量の大きいタイプです。電極材が異なるためか、定格電圧もFLCBの方が若干高くなっています。

また、FLCB051076AAAAの特性図を図1～4の(a)に、PLCB4360A5AAMAの特性図を図1～4の



(a) FLCB4360A5AAMA



(b) PLCB4360A5AAMA

図1 充電・放電特性

(充電は0.2Cで4.4VになるまでCC/CV充電、カットオフ電流は0.05C、放電は、0.4Vから2.75Vになるまで0.2Cで行う)



～プリアドープ必須！ 実験室で水平ドープ法による～

“リチウム・イオン・キャパシタ”の製作

白田 昭司

「リチウム・イオン電池 (LIB)」の機能と「電気二重層キャパシタ (EDEC)」の機能を合わせ持ったハイブリッド蓄電池として「リチウム・イオン・キャパシタ (LIC)」がある。高価なため普及が進んでいないが、本特集の別稿にある「走行中ワイヤレス給電」のように、LIBやEDECでは対応できない用途に使われている。これは、このLICを研究室レベルで自作した報告である。製作方法は幾つかあるが、ここでは水平ドープ方式で製作している。(編集部)

はじめに

リチウム・イオン電池でもなく、キャパシタでもない——そのような二次電池として「リチウム・イオン・キャパシタ」があります。文字どおり、リチウム・イオン電池と電気二重層キャパシタの特性の「いいところ取り」のような電池で、とても興味深いモノです。

リチウム・イオン電池が普及によって価格が下がってきたのに対し、電気二重層キャパシタは普及が遅れているようで価格は下がりません。リチウム・イオン・キャパシタはその電気二重層キャパシタよりもさらに普及が進んでおらず、高価なままです。

市販品を入手して充放電特性等を評価することもよいのですが、より深くその特徴を知る1つの方法とし

て、実際に製作して、その中身まで推し量ってみたいと考えました。

企業ではリチウム・イオン・キャパシタの製作法は非公開であるため、具体的な内容は知ることができません。また、特許の公開公報でも、製作例についてはわずかに垣間見ることが出来る程度です。

筆者らの研究室では、リチウム・イオン電池の上流から下流に至るセルの製作に取り組んできましたが(本誌No.4に関連記事を掲載)、これらの経験を基に新たにリチウム・イオン・キャパシタの製作に取り組みました。

1. リチウム・イオン・キャパシタの特徴

● LICは、LIBとEDLCのハイブリッド電池

リチウム・イオン・キャパシタ (Lithium-Ion Capacitor) は、電気二重層キャパシタ (EDLC) とリチウム・イオン電池 (LIB) の特徴を併せ持ったハイブリッド型のキャパシタです。頭文字をとって「LIC」と呼ばれています。本稿でも、以降は「LIC」とします。

市販のLICの例を写真1に示します。

● LICの原理

次に、LICの動作原理を図1に示します。また、LICの構成材料を他の2種類の二次電池(蓄電デバイス)と比較したものを表1に示します。



(a) YUNASCO製(英国/ウクライナ) :
容量1300mA, 電圧2.8V, 75 × 120 × 11mm,
パワー密度4.0kW/kg,



(b) SAMWHA(韓国)製 :
容量360mAh (1000F),
電圧2.8V, 35φ × 60mm



(c) 太陽誘電(日本)製 :
容量89mAh (200F),
電圧3.8V, 25.4 × 10mm

写真1

市販のLICの例 エネルギー密度37Wh/kg, 内部抵抗1.0~1.2mΩ

見本

ではLICの動作を見ていきましょう。

(1) 充電時

電解液中のリチウム・イオン (Li^+) が、負極のグラファイト (炭素系材料) に吸蔵されていきます。図1に示すように、満充電に近づくにつれてグラファイト内部にLiイオンが大量に保有されます。この吸蔵を「ドーブ」(dope) といいます。もともとドーブとは、少量をあらかじめ添付するという化学用語です。

また、電解液中の陰イオン (「アニオン」という) である BF_4^- イオン (または PF_4^- イオン) が正極の活性炭に付着されます。このとき、正極である活性炭の界面では BF_4^- イオンと正極のプラス・イオンで蓄電機構である電気二重層を形成します。

(2) 放電時

放電時は、負極グラファイトから Li^+ イオンが電解液中に放出され、正極の活性炭から BF_4^- イオン (または PF_4^- イオン) が放出されます。

● LICの特徴

従来のEDLCと比較すると、LICには以下のような

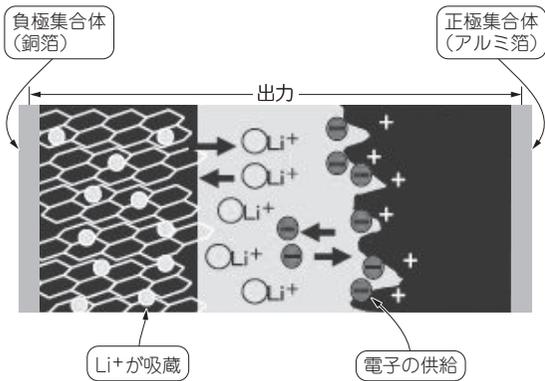


図1 LICの動作原理図

表1 蓄電デバイスの構成

種類	正極	電解液	負極
リチウム・イオン電池	コバルト酸リチウム	リチウム塩 ($LiBF_4$, $LiPF_6$)	グラファイト
電気二重層キャパシタ	活性炭	プロピレン・カーボネート系	活性炭
リチウム・イオン・キャパシタ	活性炭	リチウム塩 ($LiBF_4$, $LiPF_6$)	リチウムがドーブ可能な炭素材料

表2 蓄電デバイスの特性比較

項目	リチウム・イオン電池	電気二重層キャパシタ	リチウム・イオン・キャパシタ
最高使用温度 (°C)	60	60	80
使用下限電圧 (V)	2.7	なし	2.2
パワー密度 (W/L)	100~5,000	1,000~5,000	5,000
エネルギー密度 (Wh/L)	150~600	2~6	10
サイクル寿命	1,000回	100万回 (容量低下30%)	100万回以上 (容量低下10%)
充電性能	充電に時間を要する	秒単位の充放電が可能	秒単位の充放電が可能
内部抵抗	高抵抗	低抵抗	低抵抗
寿命	短寿命	長寿命	長寿命
安全性	発熱・発火	安全	安全

特徴が挙げられます。

- (1) 静電容量が大きくとれる
- (2) セル電圧が大きくとれる
- (3) エネルギー密度が大きい
- (4) 急速充放電が可能である
- (5) 高温サイクル特性に優れる
- (6) 耐久性, 信頼性が高い
- (7) 自己放電が少ない
- (8) 安全性が高い

LICと他の蓄電デバイスとの一般的な特性を比較したものを表2に示します。

2. LICの製作方法

● プリドーブしてLICを作る2つの方法

LICの製法として、負極のプリドーブ (吸蔵) 方法を採用します。

負電極の芯となる集電体に負極活物質を塗工し、事前にそこへ少量のリチウムをドーブ (吸蔵) することを「プリドーブ」(predope) といいます。負極にプリドーブすることによりエネルギー密度の高いキャパシタが実現できます。

また、負極電位が低下するとキャパシタの電圧を高くすることができます。

大別して、プリドーブの製法には2種類があります。

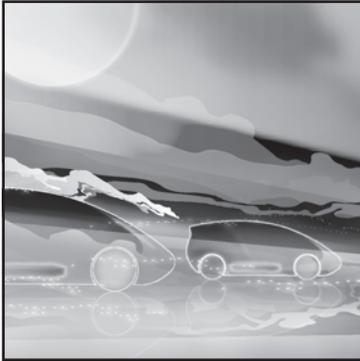
(1) 垂直ドーブ法 (孔開箔法)

1つは、負極活物質を塗工した多孔構造の集電体 (負極電極) へリチウム金属箔を対抗して設置する方法です。これは「孔開箔法」または「垂直ドーブ法」といいます (図2)。

(2) 水平ドーブ法 (貼付法)

もう1つは、非多孔構造の負極電極へ製造時にリチ





～磁界結合方式と同様に今後の普及が期待～

電界結合ワイヤレス電力伝送

大平 孝

これからのモバイル機器や電動自動車 (EV) の重要な技術キーワードに、ワイヤレス電力伝送 (WPT) がある。ワイヤレス給電にもさまざまな方式がある。これまでは、磁界結合方式によるものがいろいろ開発されていたが、電界結合方式も注目されるようになってきた。ここでは、電界結合方式によるWPTの考え方を示す。電力伝送効率の良いWPTを実現するには、 kQ 積 (k は結合係数、 Q は Q ファクタ) と呼ばれる性能指標が重要だという。この kQ 積は、磁界結合方式でも、電界結合方式でも同様に使用できる。(編集部)

1. 磁界結合と kQ 積

● WPT・電磁誘導・磁界共鳴

「放送」・「通信」に続く第3の高周波マーケットを狙って、「ワイヤレス電力伝送 (WPT: Wireless Power Transfer/Transmission)」の研究が世界中で活発化しています。

皆さんは「WPT」と聞くとどんなイメージをもちますか。代表例は近接配置された2つのコイルとそれらを共通に貫く磁力線の絵です(写真1)。

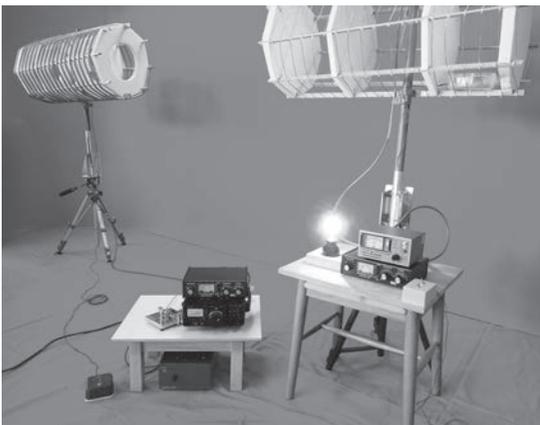


写真1 磁界結合ワイヤレス電力伝送実験の様子⁽²¹⁾

一方のコイルに交流を流すと、他方のコイルに同じ周波数の交流電圧が発生します。この物理現象を“電磁誘導”と呼びます。

電磁誘導にコンデンサを付加した構成を“磁界共鳴”と呼ぶ時代がありましたが(コラムA参照)、ここでは、総称して“磁界結合”と呼ぶことにします。

● 磁界結合は L と M 、 R で構成される

磁界結合系の構造例を図1(a)に示します。これを表す回路を図1(b)に示します。図中の記号の意味は次のとおりです。

- L : 自己インダクタンス
- M : 相互インダクタンス
- R : 巻き線抵抗

ここでは簡単のため2つのコイルが同じ形状、つまり左右対称の構造として話を進めます。

● 性能指標 kQ 積

デバイスや電子部品を購入するときはデータ・シートで何かしらの指標となる性能を見て製品選びの参考にします。例えば、次のような性能です。

- ・トランジスタ: h_{FE} (電流増幅率)
- ・ダイオード: V_r/V_f (逆耐圧÷順方向電圧)
- ・OPアンプ: GB 積 (利得×帯域幅)
- ・論理回路: PD 積 (消費電力×遅延時間)
- ・受信アンテナ: G/T 比 (利得÷雑音温度)
- ・光学レンズ: F 値 (口径÷焦点距離)
- ・スポーツカー: パワーウェイト比 (馬力÷重量)

WPTの性能指標は「 kQ 積」(結合係数 k × Q ファクタ) です。

● kQ 積の法則は電力伝送効率の上限を表す

図2に示すように、 kQ 積はWPTが達成できる電力伝送効率 (受電電力÷送電電力) の上界を表します⁽¹⁹⁾。

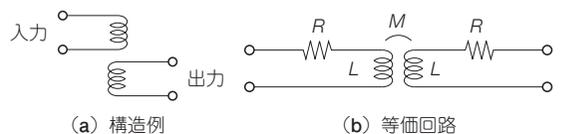


図1 磁界の結合系

見本

この普遍的で汎用性が高い法則は、磁界結合はもちろん、電界結合やアンテナ結合などあらゆるWPT方式において成立します。ワイヤレスの世界でよく知られている「フリスの式」や「シャノンの定理」に続く第3の基本法則の位置づけです。

● 結合係数 k はどのように決まるのか

磁界結合において、 k と Q がどのように決まるのか考えてみましょう。結合係数 k は、右側コイルから発した全磁力線のうち左側コイルに到達する割合のことです。

$$k = \frac{M}{L} \dots\dots\dots \text{式(1)}$$

式(1)から、2つのコイルを互いに近づけていくと k が大きくなるのが分かります。磁力線が空間から突然発生することはあり得ないので、 k が1以上になることはありません。相互インダクタンス M が自己イン

ダクタンス L より常に小さいことから納得できます。

● Q ファクタはどのように決まるのか

一方、結合状態とは別に「コイルの単体の良さを表す指標」として「 Q ファクタ」があります。

これは、図2(b)に示す結合系の出力ポートを開放した状態で入力ポートから結合系を見込んだインピーダンスの実部に対する虚部の比です。

$$Q = \frac{\omega L}{R} \dots\dots\dots \text{式(2)}$$

ここで $\omega = 2\pi f$ の f は所望の伝送周波数です。

● kQ 積には共鳴の概念が含まれない

式(1)と式(2)を乗算することにより式(3)が得られます。

$$kQ = \frac{\omega M}{R} \dots\dots\dots \text{式(3)}$$

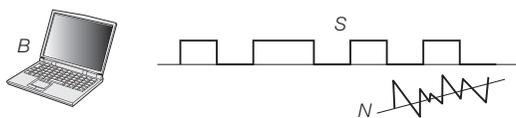
ここで、気付いてほしい重要ポイントがあります。

1. 放送波はどこまで届くのか「フリスの式」



$$\frac{P_R}{P_T} = G_T \left[\frac{\lambda}{4\pi d} \right]^2 G_R$$

2. 通信速度の上界「シャノンの定理」



$$R \leq B \log_2 \left[1 + \frac{S}{N} \right]$$

3. 電力伝送効率の上界「 kQ 則」



$$\frac{P_{out}}{P_{in}} \leq \frac{\rho - 1}{\rho + 1}$$

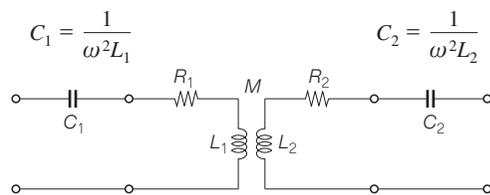
図2 ワイヤレスを支配する3つの基本法則

コラムA 「共鳴」って新しい物理現象なのかな…

一昔前、「磁界結合系」を「電磁誘導方式」と「磁界共鳴方式」に分類し、異なる物理現象のように解説している記事をよく見掛けました。最近になり、多くの方々が、それは本質的な差ではなかったことに気付きました。

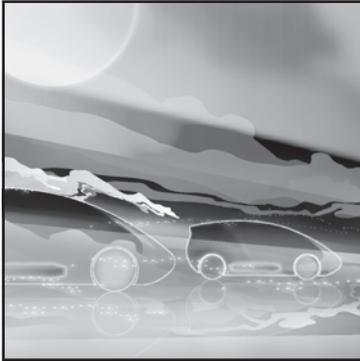
例えば、モータの世界では、駆動回路にコンデンサを挿入して巻き線のリアクタンスを補償するのはごく当たり前のことです。また、高周波増幅器の設計では、誘導性スタブを装荷してトランジスタの寄生容量と共役整合させることも普通に行われています。

既知の技術も使う場所を変えると効果が新鮮に感じられるのはやむを得ませんが、これを新しい物理現象のように主張すると本筋を見失うので要注意です。



図A C_1 と C_2 を追加しただけで方式名が変わった

見本



～実車試験&路面設備の製作と実証実験～

ワイヤレス給電仕様のインホイール・モータ搭載EVの開発<後>

畑 勝裕 / 居村 岳広 / 藤本 博志 / 佐藤 基 / 郡司 大輔

この章の前半では、実際に製作した第2世代ワイヤレス・インホイール・モータの実車試験ユニットおよび路面設備の製作について紹介する。第1世代から大幅に改良した点、走行中ワイヤレス給電に向けた新たな取り組みについても触れる。後半は、製作した実車と路面設備での実証実験について述べる。(編集部)

1. W-IWM実車ユニットの製作

1.1 開発ユニットの仕様

● 第1世代W-IWMから大幅に大出力化

2015年に開発した第1世代ワイヤレス・インホイール・モータ、以下W-IWM)では、1輪当たり最大3.3kWの一次試作ユニットを製作しました。後輪2輪に搭載時の総出力は6.6kWです。これから目標性能を総出力48kWと、大幅に大出力化します(表1)。

そのため、第1世代W-IWMの一次試作で得たノウハウを基に、1輪当たり最大12kW、4輪装備時に総出力48kWを目指して研究・開発に取り組みました。

● 4輪装備時に市販EVと同等の性能

今回開発した第2世代W-IWMの仕様を表2に示します。1輪当たりのモータ出力は目標と同じ12kWとし、4輪装備時には総出力、総ホイール・トルク共に市販EVと同等の性能を実現しました。

なお、今回開発した第2世代W-IWMも減速機方式のIWMであるため、モータ・トルクは減速機を介してホイールに伝達されます。そのため、総ホイール・

表1 第1世代W-IWMの一次試作ユニットの仕様

	目標性能	一次試作仕様
モータ数	4	2(後輪)
モータ出力	12kW	3.3kW
総出力	48kW	6.6kW
総ホイール・トルク	1300Nm	475Nm

市販EVの性能までは大電力化が課題

トルクは76.4Nm(モータ・トルク)×4.4(減速比)×4(モータ数)→1344Nmとなります。

● 第2世代W-IWMでは前輪ユニットを製作

第1世代W-IWMの一次試作では、筆者らの研究室所有の実験車両FPEV4-Sawyer⁽¹⁾の後輪サブユニットに適合させるように製作しました。このとき、後輪操舵は検討していなかったため、一次試作ユニットでは安定した力行・回生動作さえ実現できればOKとしていました。

第2世代W-IWMでは、将来の4輪装備を見据えて、操舵機構が必須となる前輪サブユニットの製作に取り組みました。そのため、これまでのサスペンション動作に加えて操舵時についても再検討しました(コラムA参照)。

1.2 送受電コイルの製作

● 車体-ホイール間には同サイズで大電力に対応

第1世代W-IWMでは送電コイル(350×218mm)と受電コイル(300×218mm)は異なる設計でした。今回は、写真1(a)に示すコイルを「車体-ホイール」間で2つ利用し、送受電コイルで同じ形状(350×250mm)としました。

各コイルの線材は、第1世代W-IWMと同様にリッツ線を用いました。ただ、線材全体の断面積を大きくすることで12kW以上の大電力化に対応するととも

表2 第2世代W-IWMを4輪装備時の性能比較*1

	ワイヤレスIWM 4輪装備時	(参考) M社製 市販EV*2
モータ出力	12kW	47kW
モータ・トルク	76.4Nm	160Nm
減速比	4.4	7.065
モータ数	4	1
総出力	48kW	47kW
総ホイール・トルク	1344Nm	1130Nm

*1: 現在は前輪2輪のみ

*2: Webサイト掲載の諸元表より

見本

に、より素線の細いリッツ線を使って交流抵抗を低減し、さらなる高効率化を図っています。

● 走行中給電用の受電コイルは巻き数を増加

走行中給電用の受電コイルを写真1(b)に示します。「車体-ホイール」間の送受電コイルと比較して、送電側となる路面コイルとの形状の差異が大きくなるため、コイル間の結合係数を大きくすることが難しく、高効率伝送のために十分な結合を確保することが課題となります。

そこで、受電コイルの巻き数を29→40巻きを増やすことでコイルの自己インダクタンスを増加させ、路

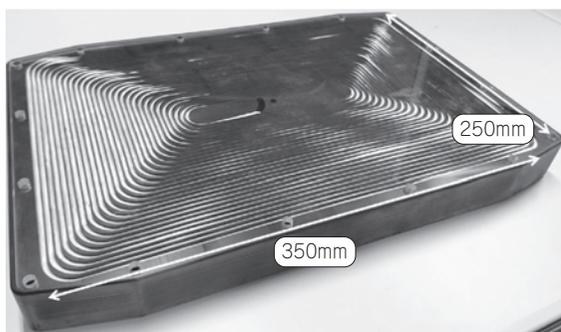
面コイルとの結合が大きくなるようにしています。

● 送受電コイルの構造は配線の取り回しを考慮

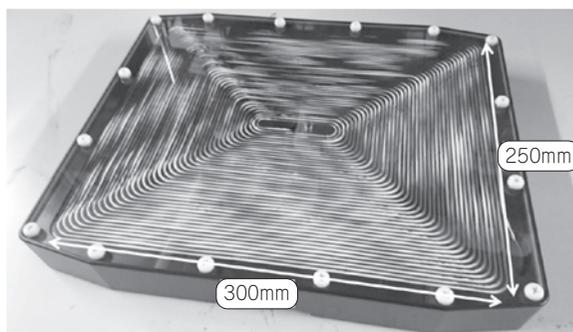
送受電コイルの構造を図1に示します。第1世代W-IWMと同様に樹脂プレート内の溝にリッツ線をはめ込み、樹脂カバーなどを利用して成形しています。

今回の開発では、コイル背面に取り出す配線の取り回しを考慮して、図1(c)、(d)に示すようにコイル背面に配置するフェライトの位置を中央部と周辺部で変更する工夫をしています。

このフェライトは、送受電コイルの結合を強めるほか、コイル周辺の金属が与える影響の低減、外部への

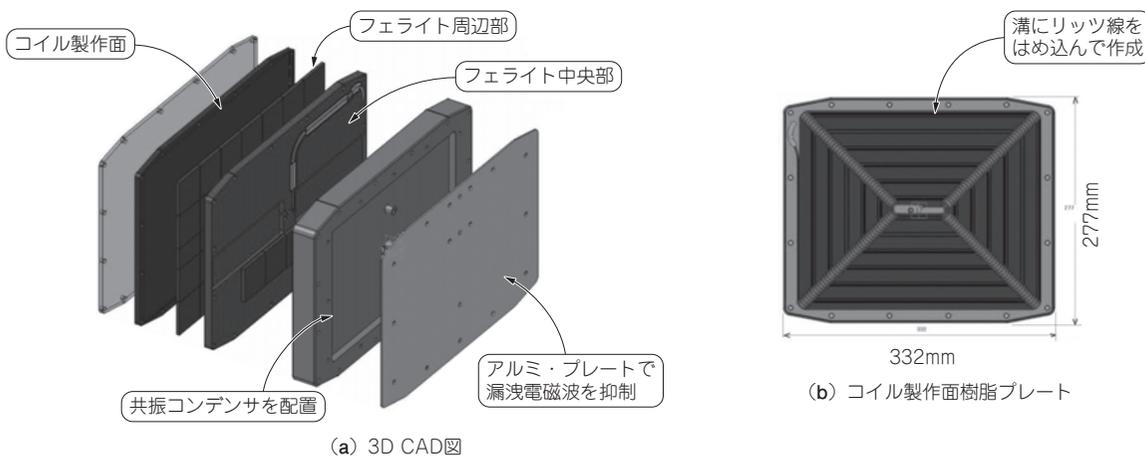


(a) 「車体-ホイール」間の送受電コイル



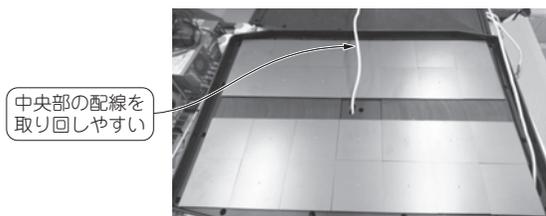
(b) 走行中給電用の受電コイル

写真1 第2世代W-IWMの送受電コイル

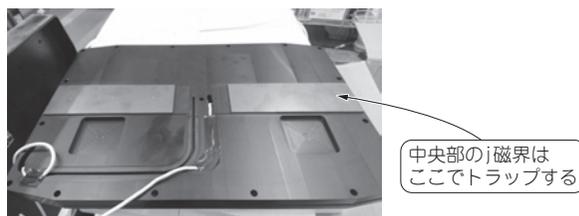


(a) 3D CAD図

(b) コイル製作面樹脂プレート



(c) 背面フェライト(周辺部)



(d) 背面フェライト(中央部)

図1 送受電コイルの構造

見本



永久磁石による回転型 「磁気浮上・走行装置」 ～ “磁気車輪” の動作原理・実験・製作～

藤井 信男

磁気浮上を実現するには「超電導を使う」ことが必要だと思いがちだが、ここで紹介する「磁気車輪」はネオジム磁石と電磁コイルによる誘導反発磁界を使って常温で駆動する。磁気車輪が高速に回転することで浮上力を実現し、その一部を推力にも充てている。今回の実験では、1000rpmの回転で35kgの実験車両の浮上走行に成功している。この磁気車輪の浮上を、鉄道総合技術研究所の公開日で見方もいるであろう。

(編集部)

はじめに

“リニア・モータ”という、東京一名古屋間で建設中の磁気浮上型の“超電導リニア新幹線”を思い浮かべる人が多いでしょう。

しかし、「浮上しない」リニア・モータもあり、すでに東京・大阪・福岡など全国の一部の地下鉄路線で採用されています。この技術を本誌No.9⁽²⁾で解説しました。一方、超伝導型リニア・モータでなくても「磁気浮上する回転体も考案され、実現されています。

ここでは、筆者らが実際に設計製作した「磁気浮上回転型の走行装置」について実験レポートを示します。なお、この磁気浮上の回転体を「磁気車輪」と呼んでいます。

1. 安定した「誘導反発型」の磁気浮上

磁気浮上の場合、「浮上ギャップが小さくなると反発力が大きくなり、その結果、接触しないようにギャップを広げるので、制御なしで自動的に安全なギャップに保つ自己安定性を有する」というのが、安定/安心できる方式と言えます。

これを実現できるのが「誘導反発型磁気浮上」で、超伝導リニア新幹線の浮上方式も同じです。

■ 1.1 静止型の誘導反発磁気浮上の原理

● 交番磁界を生成する浮上体を導体板上に置く

磁気車輪の浮上原理から説明します。図1のような極めて単純なモデルを考えます。これは、導体板上で浮上体を磁気浮上させる方法の1つです。

● 浮上体には巻き線か電磁石を装備し磁界を発生

浮上体には「巻き線」や「電磁石」を装備し、これらに交流電流を流して「交番磁界」や「回転磁界」または「移動磁界」の時間的に変化する磁界を発生させます。

● 導体板で発生した誘導磁界と浮上体の磁界が反発

浮上体で発生した磁界を導体板に「鎖交」させ、導体板中に「誘導電流」を発生させて浮上体の磁界と誘導磁界間に反発力を発生させる方式です。

これには、時間で変化する磁界を作るのに浮上体を機械的に動かす必要がないという利点があります。

● この方式では浮上体を浮上させられない！？

しかし、この方法では浮上体の自重よりも大きな磁気反発力を発生させることはできません。

その理由は、巻き線に電流を流すと発熱によって電流密度が制限され、浮上に必要な大きな起磁力を作ることができないためです。

● 磁力が足りない！

超電導巻き線だと可能性はありますが、現段階では小型軽量の冷却で比較的高い周波数で安定に使用できる交流用超電導線材はありません。

■ 1.2 静止型の誘導反発磁気浮上

● 磁気浮上させるには…

実用性がある誘導反発型磁気浮上装置としては、次

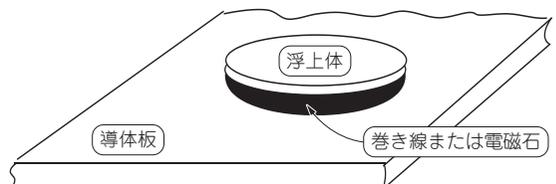


図1 静止型の誘導反発磁気浮上装置

見本

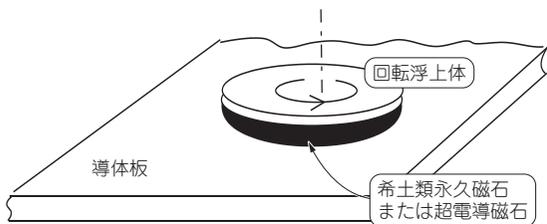


図2 導体板上で希土類永久磁石あるいは超電導磁石を回転させる誘導反発磁気浮上装置

のようなことが要求されます。

- (1) 最低限、装置の自重よりも大きな反発浮上力を発生できること。
- (2) 磁界の発生源および誘導された電流でのジュール損による電力消費量が問題にならないほど少ないこと。

● 上記要件の解決策

これらの要件を満たすためには、

- ① 軽量の浮上体から強力な磁界を発生できること
- ② そのために大きなエネルギー積をもつ希土類の永久磁石または超電導磁石を使用すること

が考えられます。しかし、これらはいずれも時間的に変化しない磁界のため、導体板上でこれらの磁石を機械的に運動させる方式になります。

■ 1.3 運動型の誘導反発磁気浮上

● 浮上体を回転させる

図2に、永久磁石または超電導磁石を円板に装着した浮上体を導体板上で回転させる、誘導反発型磁気浮上の概略を示します。

● 導体板の代わりに短絡コイルを使うと

一方、誘導電流を流すのに導体板の代わりに短絡コイルを使用することもできます。

図3に直線状に配置した短絡コイル上で永久磁石ま

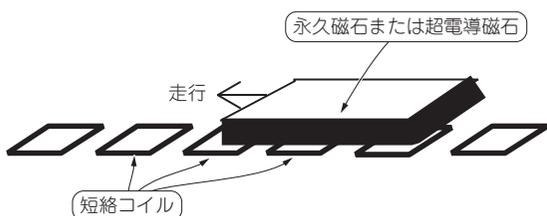


図3 短絡コイル上で永久磁石または超電導磁石を直線走行させる誘導反発磁気浮上装置

注1：磁極の裏側から出入りする磁束を他の磁極の裏側に通すための通路として使われる鉄類を「ヨーク (yoke, 継鉄)」という。モータなどのヨークには、成層鉄心が使用されることが多いが、ここでは時間的に変化する磁束がほとんどないため、ヨークへ鉄板を用いている。

たは超電導磁石を動かす誘導反発型の磁気浮上方式の概略を示します。

この超電導磁石を用いる方式はJRの超電導リニア新幹線に使用されている浮上・案内装置の原型です。

*

しかしこれは、基本的に回転しない方式です。ここでは、回転にこだわります。そこで、次節からは導体板上で「希土類の永久磁石を回転させる」誘導反発型磁気浮上方式の動作原理について説明し、その能力と実用性について検討します。

2. 導体板上で永久磁石を回転させる方式

■ 2.1 基本モデル

● 導体板上で永久磁石を回転させるモデル

今回の磁気車輪の基本モデルを図4に示します。導体板上で「永久磁石 (以下、PMと略す)」を機械的に回転させるPM回転体モデルです。

● 2極の永久磁石がある円形ヨークが空中回転する

PM回転体には「円形のヨーク^{注1}」にPMが2極で取り付けられています。PM回転体は十分広い導体板上に (浮き上がった形で) 平行配置されて速度 v で左回転しているとします。

■ 2.2 発生する誘導起電力と電流

● PMから磁束が導体板に交差する

基本モデルで発生する誘導起電力電流を考えます。

まず、PMが図4に示す位置にあれば、PMから導体板に鎖交する磁界 (磁束) は図5 (a) のようになります。ここで×印は磁界の方向が導体表面から奥へ、●印は奥から手前方向の磁界を表しています。

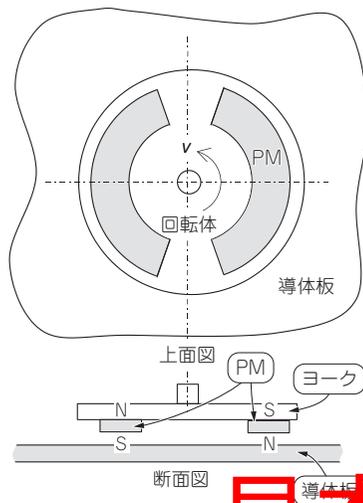


図4 導体板上で永久磁石 (PM) が回転するモデル

見本

2018年 CQ EVミニカート筑波レース 秋大会



カウル装着可能な大会で 記録は大幅アップ!

ユニーク・ボディの26台が
筑波サーキットに集まった

青山 義明

毎年秋に筑波サーキットで開催

「CQ EVミニカート」と「CQ ブラシレス・モータ&インバータ」を使用したワンメイクレース「CQ EVミニカート・レース」は、30分間のレース時間でいかに長く走ることができるかを競います。

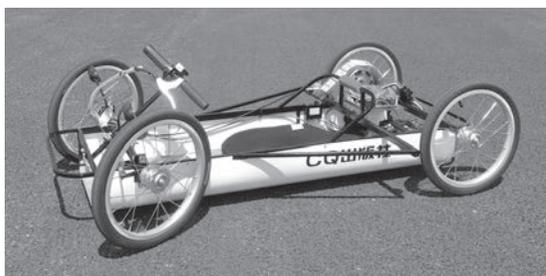
本大会は2014年に第1回が開催され、2017年までは年に1回、秋に開催していました。開催から5年目を迎えた2018年は、6月と10月の2回の開催となりました。

レース自体に大きな変更はなく、これまでと同様の30分間で行われる耐久レースです。

● ワンメイクのレース規則

(1) 車両仕様

車両はCQ EVミニカート(写真1)のキットのみで、



(a) 組み立てた「CQ EVミニカート」



(b) 2018年夏大会優勝者、柳原氏の運転姿

写真1 CQ EVミニカート

全車が同一のシャーシを使用します。ただし、ブレーキやアクセル、タイヤ/チューブ(サイズおよびリムの変更は不可)、チェーン、速度計の変更は可能です。また、スプロケットの歯数変更も可能です。

(2) モータ仕様

モータも、CQ ブラシレス・モータ&インバータ・キット(写真2)のモータ部を使用します。このモータは、モータ・コイルの巻き方が自由に設定できます。

具体的には、このモータのステータは18スロット(コイル)で3相の交流で入力するため、1相当たりは6つのコイルになります。接続方法も、6直列/2直3並列/3直2並列/6並列のどれでもOKです(図1)。

当然、その線径と巻き数も自由となります。

(3) コントローラ仕様

一方、コントローラは自由です。先に示したキット同梱のコントローラでも、市販コントローラでも、自作コントローラでもOKです。

(4) 電池仕様

電池は、鉛(12V×2)またはリチウム・イオン(25.2V/指定機種のみ/電池パックのBMS設定変更不可)から選択します(写真3)。

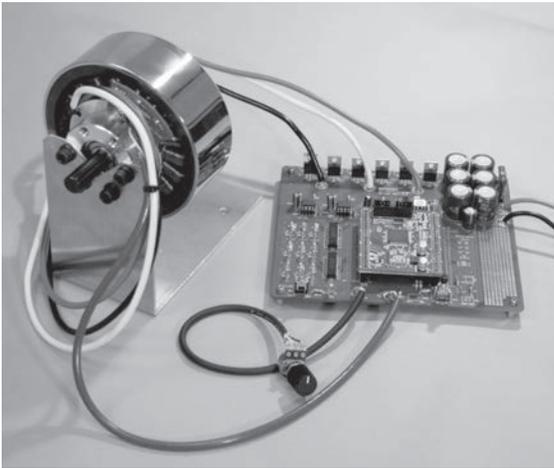
● レースは「筑波サーキット(コース2000)」で

レースの舞台は、CQ EVミニカートの2016年大会から使用している「筑波サーキット(コース2000)」です。

筑波サーキットは高低差のあまりないコースです



(c) 2018年秋大会のレース風景

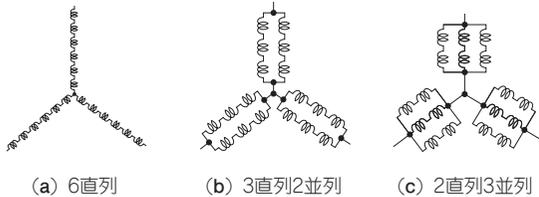


(a) はんだ付け / 組み立て完成後



(b) モータ部の組み立て前

写真2 CQ ブラシレス・モータ&インバータ



(a) 6直列 (b) 3直列2並列 (c) 2直列3並列

図1 18スロットのモータ・コイルの接続法



写真3 レースで使用できる「CQリチウム・イオン電池パック / EVミニカート用」

が、それでもホームストレートから1コーナーにかけて若干上がっており、それを抜けるとS字コーナーに向けてまた下がっていく楽しいコースです。コース全体の高低差は5.8mです。

このコース2000には大小7つのコーナーがあります(CQ EVミニカートでは4輪コースを使用)が、コース幅も十分広く、コーナーのRはいずれもCQ EVミニカートにとってはそれほどタイトなものでもないの(ゴーカート場よりも高速走行可能)、ライン取りも戦略の1つといえます(図2)。

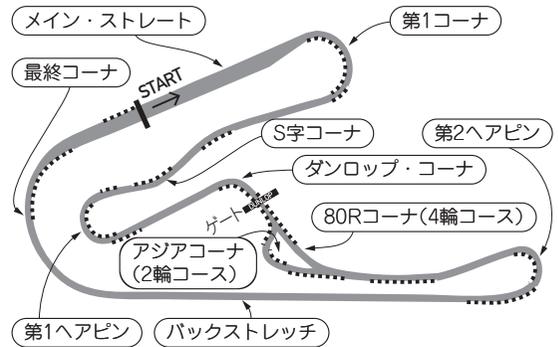


図2 筑波サーキット(コース2000)
JAF公認の本格的レース場

カウル装着で記録は伸ばせるか

● 制限付きながらカウル装着が可能に！

今回の大会では、これまでのレギュレーションに大きな変更が加えられ、「カウル(空気抵抗を減らすためのボディ)の装着が可能」となりました。

ただしカウルには制限があります。

- 幅500mm以内
- 高さは地上600mm以内
- 全てのタイヤが露出していること
- 車両シャーシの機構的/構造的改造はNG

● レースの勝敗はエレキ中心から総合技術力に

これまで必要とされてきたのは「モータ設定技術(コイルの巻き数など)」、「モータ制御技術(エレクトロニクス技術)」、「車両整備技術(メカニカル技術)」といった要素です。

カウル装着が可能となったことで、これら以外

見本



上位入賞を目指すための省エネ型EVレース車の損失削減の考え方<下> 車体構造とタイヤ周りのレイアウト

中村 昭彦

上省エネ型レース「エコノムーブ」を例にして、レース上位を狙うための車両設計の考え方を示す。前回のモータ制御編に続いて今回は車体構造とタイヤ周りのレイアウトについて解説する。筆者は、エコノムーブ・レースで優勝経験も多い。ここでは、筆者の車両開発の進化過程も見える。(編集部)

パイプ・フレームでは軽くて剛性の高いパイプを使い、その組み合わせ配置を考えます。

複合素材でできたモノコック・フレームも同様で、その部材の配置によって大きく変化します。単純に考えると部材を離して配置します。

筆者らのチームが最初にオリジナルで作った車体を写真1に示します。

1. 競技用の車体構造

前号(MOTORエレクトロニクス No.9)に引き続き、エコノムーブ車両を前提とした省エネ型EVレース車の開発方法について述べます。今回は、車体の開発を中心に述べます。つまり、車体の本体と車輪周りを含めて搭乗者を支える構造物、これをどのようにレイアウトするかを考えます。

車体は必要な強度や剛性を確保しつつ、できるだけ軽量であることが望ましいのです。

● 車体構造には2つの方式から考える

車体構造としては、

①パイプを組み上げた「パイプ・フレーム構造」

②複合素材を使った「モノコック・フレーム構造」

などがよく採用されます。「優れた材料を使えば、軽くて良いものができる」と思われるかもしれませんが、材料の選択以上に、その車体構造のレイアウトによる影響が大きいのです。

2. モノコック・フレーム構造の変遷

● 外皮がフレーム構造に

ここで例を示します。写真1は、筆者らのチームが2002年に初めて作った車両です。複合素材であるモノコック・フレームを使用しています。

図1に示すように、特徴は、外皮がフレームとして機能していることです。つまり、前輪のすぐ横の外皮もフレームとして考えているので、本体と一体になるのです。

■ 2.1 第1世代車両の問題点

● 外皮をフレームと一体にした構造

写真1の前輪付近を見ていただくと分かるように、前輪のすぐ横の外皮もフレームとして考えたので、外皮と本体は一体です。

ただしこの場合、タイヤのメンテナンス時に問題が発生しました。



写真1 筆者らのチームの初代マシン

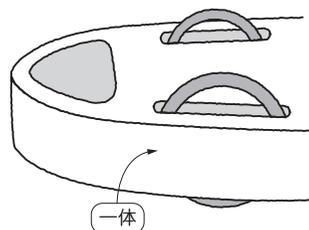


図1 外皮をフレームとした構造での前輪足回り部

● 車輪が簡単に外せない

この車は、前輪の足回りがサブフレームで構成されており、タイヤのメンテナンス時にはサブフレームごと左右前輪を一体として本体から外す必要がありました。

もちろん、この点は設計時に分かっていた。その当時は、タイヤのメンテナンス頻度はそんなに多くないと思っていたからです。

しかし、実際のレースでは、タイヤを頻繁に取り外す必要があり、実戦向きではないと反省しました。

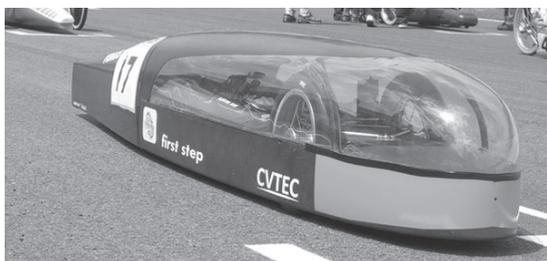
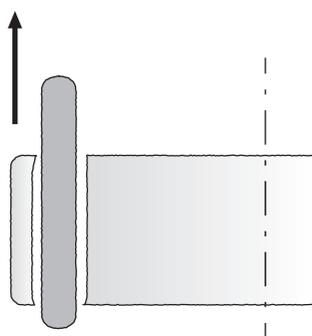


写真2 筆者らの2代目の車両

取り外し方向



(a) 概念図



(b) 上面カウルを外した状態での前輪部

図2 改良して車輪を取り外しやすにした

■ 2.2 第2世代車両の改良

● 前輪車輪を上方に取り出しやすく改良

写真2は2007年に作った車両です。前回同様、車体構造として、タイヤ外皮部分が一体のフレームです。

ただし、前輪の車軸は中央のボルト1本でアップライト(直立方向)から取り外せる構造としました(図2)。これで、タイヤのメンテナンス時間を短縮できます。

中央のボルトを取り外すとハブから車軸ごとホイールが外れます。この中央のボルト1本でタイヤを外せる機構には大きな欠点がありました。

● 剛性が低くなる欠点が発生

分解可能にすることで車軸の接続部分の剛性が低くなります。そのため大きな荷重が掛かった場合、図3の矢印方向にたわみが生じ、それに対応させるために車体からタイヤが出る開口部の大きさを大きめにせざるを得ませんでした。

■ 2.3 3代目の車両の開発

● 空気抵抗を減らすために再度改良を図る

写真3が3代目の車両です。どこが変わったか気付かれたでしょうか。

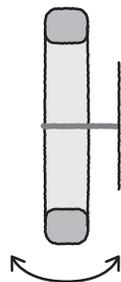


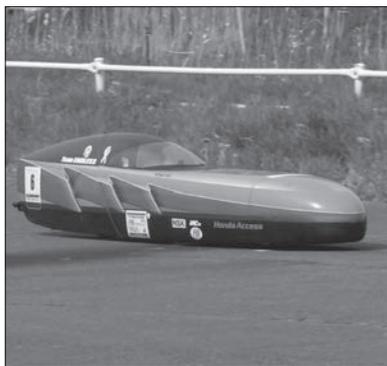
図3

大きな荷重がかかった時には
タイヤがたわむ



(c) 前輪を容易に外せるようになった

見本



モータ・コイルの 最適な巻き方を探る

～エコノムーブで「菅生サーキット」を
走るために～

本田 聡

使用目的に合わせて、モータ・コイルの巻き方が自由になる「CQ ブラシレス・モータ・キット」がある。では、どのようにしてコイルの巻き方を決めればよいのだろうか。このモータ・キットは永久磁石同期モータで、ロータ側に永久磁石が12極、ステータ側にコイル18スロットがある。巻き方の自由度とは、コイルに巻くマグネット・ワイヤの太さ、コイル1スロット当たりの巻き数、そして1相当たり6スロットのコイルの接続法を6直列か3直2並か2直3並か6並列のどれにするかである。筆者は、このモータをSUGOサーキットで行われるエコノムーブ・レース用のモータとして採用し、3位の成績を収めた。ここでは、そのモータの巻き方をどのようにして決めたかを示す。

(編集部)

はじめに

筆者の所属する会社クラブ「Team ENDLESS」は、ガソリン・エンジンによる省燃費競技会(通称「エコラン」)に参加するため、1990年に創部されました。

その後、チームは電気自動車エコランへも参入し、1995年開始の「スポーツランドSUGO」でのエコノムーブ・レースには、初回からずっと参加しています。

正式名称「電気自動車エコラン競技大会 in SUGO」の2018年大会(8月11～12日、主催：次世代モビリティエコラン協会)への参加にあたり、自分たちのチーム記録を塗り替えようと、新たなモータで挑戦することを決めていました。その時、ある人から「CQ ブラシレス・モータ」とその“低損失コア・ステータ”の組み合わせが良いのでは」と提案されました。

早速、製造元のミツバSCRのホームページ(以下HP)を見ると、そこには、モータの「定格出力：50W～1,000W程度まで巻き線仕様によりカスタム可能」の文字が確かにありました。さらに検討の末、このモータをわれわれのチームのマシン「リボンGo!」

(写真1)に搭載してスポーツランドSUGOを走ることに決めたのです。

1. モータ出力の目標設定

● 目標出力を決める鍵は「勾配10%、高低差70m」

まず、モータ出力の目標を決めます。そのためには、レースのサーキット・コースを知る必要があります。サーキットがある「スポーツランドSUGO」は宮城県柴田郡に位置します。その中心にサーキットがあり、4輪車/2輪車の全日本レースも開催される、1周約3.7kmの本格的なレーシング・コースです(図1)。

このコースの特徴は、最大高低差70m、最大登坂勾配10%を誇る、他のコースにはない急坂を持っていることでしょう。

図1のコース高低差を表したグラフを見ると、平坦な部分のごく一部であり、EVにとっては登坂性能と回生性能が発揮できるコースとも言えます。

● 下り坂に制限速度65km/hの計測ポイントあり!

「電気自動車エコラン競技大会 in SUGO」では、公称423Whの鉛バッテリーをエネルギー源に、2時間で走行した周回数を競います。

またこの競技会では、南側の下り坂の途中で速度計測ポイントが設けられており、そこを65km/hを超えて走ることは禁止されています。

そのため、下り坂で速度をつけその勢いで坂を登る、という作戦にも限界がありそうです。

● 自分(競技車両)の走行抵抗を知る

エコラン競技では“走行抵抗”が重要です。走行抵



写真1 筆者らのチームのエコノムーブ「リボンGo!」

見本

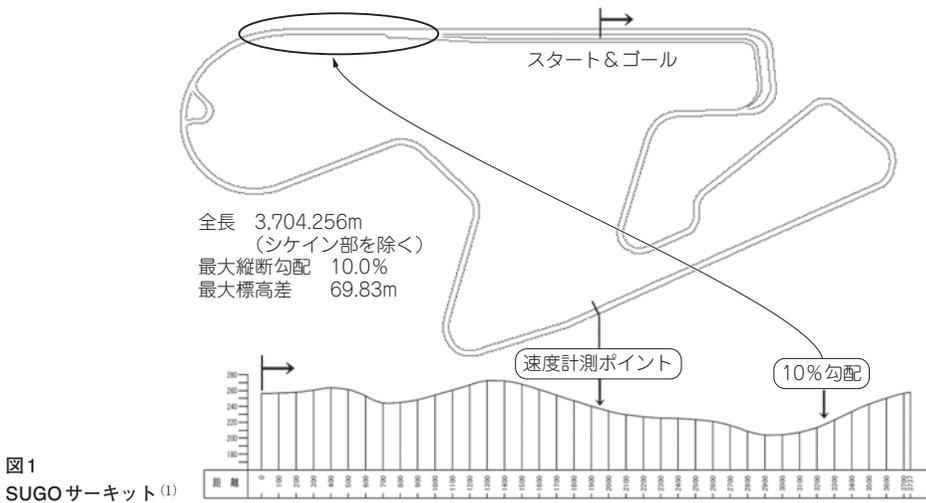


図1 SUGOサーキット(1)

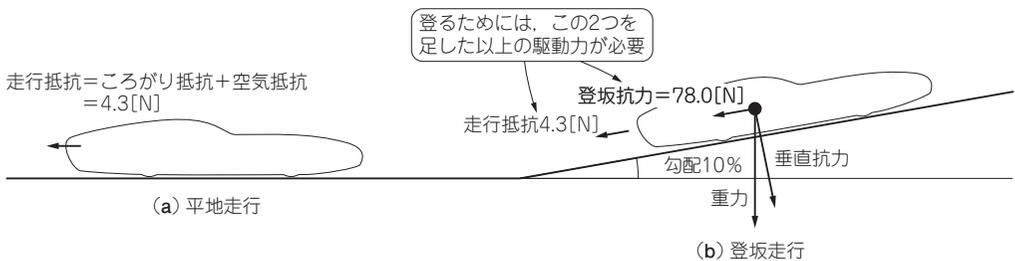


図2 平地走行時と登坂時に車両に掛かる力 (30km/h)

表1 出力計算表

項目	仕様値	計算式
車体質量 (ドライバ, バッテリ含む)	80 [kg]	
駆動系伝達効率 (チェーン1段減速)	0.96 [0]	
走行抵抗 (平地, 30km/h 一定)	4.3 [N]	
登坂勾配	0.1 [0]	
登坂抵抗力	78.0 [N]	車体質量 [kg] × 重力加速度 9.8 [m/sec ²] × sin (tan ⁻¹ (登坂勾配 [0]))
目標車速 (30km/h)	8.33 [m/sec]	
目標駆動出力	686 [W]	(走行抵抗 [N] + 登坂抵抗力 [N]) × 目標車速 [m/sec]
目標モータ軸出力	715 [W]	目標駆動出力 [W] / 駆動系伝達効率 [0]

余裕を持って「720W」を目標とする

抗とは、「走行するときに車両が受ける力」のことですが、転がり抵抗と空気抵抗、登坂抵抗力^注などの合計となります。厳密でなくとも、およその値を知らないと、効率の良いモータは実現できません。

この走行抵抗の力より大きい駆動力(推力)がある

注：坂を登る際に車両へ加わる力は、一般的には「登坂抵抗」または「勾配抵抗」と呼ばれている。「ころがり抵抗」や「空気抵抗」は損失につながるが、「登坂」は電気エネルギーから位置エネルギーへの“変換”という現象であるため、筆者は登坂抵抗という言葉を使わず「登坂抵抗力」と表現している。

ことで、クルマは前へ走ることができます。筆者チームの競技車両である「リボンGo!」を見てみましょう(写真1)。次のように考えました。

(1) 平地走行時

運転するドライバとバッテリー込みで約80kgの質量、これまでの実績から、平地での一定車速の走行抵抗は30km/hで約4.3Nと分かっています。

皆さんの車両はどうでしょうか？ 走行抵抗なんて調べたことがないという方も、

- 効率が既知のモータで走らせ、消費電力から逆

見本

広道を走るEVバスの開発



ベンチャの挑戦 ～8輪コミュニティEVバスの製作と普及～

宗村 正弘

EVに挑戦するベンチャ企業は少なくない。ただ、EVでは複雑なエンジンが不要なので、中小企業でも簡単にクルマ開発ができるというわけでもない。紹介するのは、ベンチャ企業が制約条件の中で、ユニークな魅力あるクルマづくりに挑戦した記録である。筆者は、少人数の乗客を対象とした低速コミュニティ・バスを、トルクが小さいモータでも8輪駆動にすることで、楽しく魅力あるクルマになったという。（編集部）

はじめに ——8輪駆動コミュニティEVバス

筆者は、自動車会社で車両設計・開発に長年携わっていましたが、定年を前にドロップアウトして、商品開発を生業とした(株)シンクトゥギャザーを地元の群馬県で設立しました。

そして、起業後に受けた仕事の1つが8輪駆動の小型EVバスの開発製作でした。これを契機に会社はEV製造ベンチャ企業としての道を歩みはじめました。

今では、日本各地や海外の街で8輪(10輪型もある)駆動の電動コミュニティ・バスが走っています。弊社ではこのバスを「eCOM-8」と命名しています(写真1)。

本稿では、その開発と車両製作を振り返りながら、エンド・ユーザと直結する商品開発において何を考えて開発を進めたかを述べたいと思います。



写真1 電動コミュニティ・バス「eCOM-8」(桐生市)

1. 与えられたテーマ

クライアントから最初にいただいたテーマは、以下の3項目です。予算と製作台数以外、極めて大まかで漠然としたものでした。細かいことは要求されなかったぶん、こちらで考えなければならない事柄が多くなり、負荷的には大変重くなります。

しかし、いろいろ調べたり、知恵を絞ってアイデアを出したり、自分の能力を試す良い機会と捉えて、チャレンジ精神で取り組みました。

(1)「低速電動コミュニティ・バス」とする

読んで字のごとく、「低速」と「電動」は誰もが説明なしに分かりますが、「コミュニティ・バス」と言われても、私にはイメージできませんでした。そもそもバスにあまり乗ったことがなかったのです。

広辞苑で「コミュニティ」を調べてみると「共属感情を持つ人々の集団」とあります。さらに「コミュニケーション」を引くと「社会生活を営む人間の間に行われる知覚・感情・思考の伝達」とありました。そこから「乗り合わせた乗客同士が、そこで得られた感情や感動を共有・交流を図れるバス」と考えました。

(2) 公道を走れること

公道を走るクルマは、法律により「ナンバープレート(以下、ナンバーと略す)」を取得しなければなりません。ナンバーを取得するには、EV車両が道路運送車両法の保安基準を満足する必要があります。

そこで、第1条から第58条の難解な保安基準と細目告示を全文読破し、各条に適用除外条件があることを見つけ、それを整理しました。その結果、

- ・最高速度20km/h未満
- ・10人乗り
- ・動力電圧60V以下

という3つの条件を持つと、最大の適用除外を受けられ、ナンバーが取得しやすいことが分かりました。

クライアントに報告し、その条件で車両仕様を固めることのできることを得ました。もちろん、適用除外に



写真2 富山県宇奈月温泉で走る“e-COM8”



写真3 マレーシアで走る“e-COM8”

ない項目は法律に規定された内容を満足するように設計しました。

(3) 予算800万円/台と製作台数

正直に言うと、1台800万円で作れるのかこの時点ではまったく分かりませんでした。ただ、ナンバー取得まで含めると、外部委託試験や資料作成に相当費用が掛かるのは明らかで、ナンバー取得は別予算(年度に改めて計上)とする了解を得ました。

それでも1台800万円で作るのは厳しそうです。

● 受託を決める

しかし、私はその後の将来展望も考え、単独プロジェクトとしては赤字を覚悟のうえで引き受けました。いわゆる経営判断というやつです。

自分に与えられた課題を整理し、向かうべき方向をクライアントの合意を得て明確にすることは大変重要な作業で、開発初期において決して疎かにしてはいけないポイントです。

2. 車両基本構想

■ 2.1 魅力ある車両にするために

● 制約の中で希望の特徴をどう織り込むか

次に行う作業は、車両(クルマの法的用語)の全体的な構想と個々の部分の作り方を総合的に考えることです。さまざまな制約や織り込みたい特長などを、どのように整合させていくかです。製品開発としての大方の方向性が決定されます。知恵とアイデアと閃きひらめと苦悩が交錯する場面です。

● 乗る人にとって魅力ある車両にする

ここで重要なポイントは、クルマというものは「人が乗ってなんぼのモノ」であるということです。往々にして技術者は独り善がりやプライドにとらわれがちです。技術的に優れているか、最新技術や先端技術がどうかのこのより、「便利に使えるか」、「心地よく使えるか」、「違和感がないか」、「楽しいか」、「乗りたいか」…など、人の感性に訴えるものをどのように具現

化するかが最も重要なことです(写真2, 写真3)。

● あえて新技術への挑戦はしない

eCOM-8の車両構想では、予算や時間的な制約もあって、あえて私自身が持つ「既存技術の集積でよし」とし、新技術や高度な技術にはこだわりませんでした。それでも「魅力ある」商品を生み出すことは可能だと考えました。

もちろん、コストの制約は避けられません。どうしても安く作れるかも併せて考える必要があります。車両のデザインもコストに大きく影響するので、この時点で大まかなデザインの方向性も頭の中に描きます。

■ 2.2 既存のパワー・ユニットを活用する

● 既存のパワー・ユニットではトルク不足

実は当時の弊社は、モータと減速機からなるオリジナルの「パワー・ユニット」を持っていました(図1, 写真4)。これは、1人乗り原付ミニカー用途を想定して①ミツバ製モータと②自社開発の減速機を一体化したもので、以下の仕様になっています。

- ・モータと減速機がインホイール方式で一体化
- ・定格出力：0.3kW
- ・最大トルク：5Nm

イメージしにくいかもしれませんが、モータの仕様としては、「CQブラシレス・モータ(ミツバ製、販売



写真4 パワー・ユニット

ISBN978-4-7898-4720-9

C3055 ¥3800E

CQ出版社

定価：本体3,800円(税別)



9784789847209



1923055038004



見本