

次世代のエレクトロニクスを作る

2016
Summer
No.135

トランジスタ技術 SPECIAL

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

特設

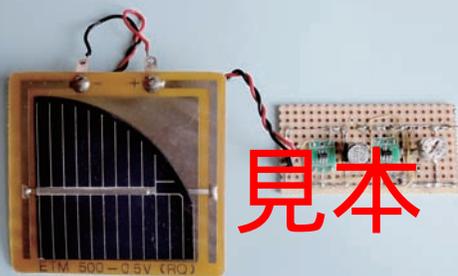
大容量キャパシタ×電池で
高速充放電バッテリー製作

ご購入はこちら
<http://shop.cqpub.co.jp/hanbai/books/MSP/MSP201607.htm>

巻末付録

24ページ
増!

動き続ける!
 μ Wマイコン&
電源IC活用法

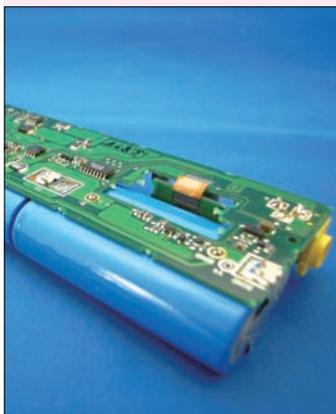


見本

CQ出版社

CQ出版社

見本



第1章 軽くて大容量！ 繰り返し使ってもOK

トコトン実験！ 小型リチウム・イオン蓄電池

佐藤 裕二 Yuji Sato

● 最近ではいろいろ使われている

現在、ケータイ、タブレット、ノートPC、電動工具などの身近なモバイル機器には、充電タイプのリチウム・イオン蓄電池が使われています。ここ数年では電動アシスト自転車、ハイブリッド自動車、電気自動車(EV)、家庭用蓄電装置など大型製品にも採用されています。

本章では、リチウム・イオン蓄電池の基礎知識を紹介し、基本特性を実験を交えて解説していきます。

基本的な特徴

なぜ、これほどまでにモバイル機器にリチウム・イオン蓄電池が採用されているのでしょうか？

● 特徴1：軽い！…重量エネルギー密度が高い

リチウム・イオン蓄電池は、電池のなかでも小型で軽量です。自動車用の鉛蓄電池と比較した結果を表1

表1 リチウム・イオン蓄電池の特徴1：軽い！重量エネルギー密度が高い

12V/34Ahの蓄電池を作ったときの例

種類	質量 [kg]	比率 [倍]
鉛	10	3.3
ニカド	10	3.3
ニッケル水素	6	2
リチウム・イオン	3	1

に示します。

鉛蓄電池12V/34Ahの質量を10kgとした場合、同じ電力で他の電池の質量を換算してみると、表1のような比率になります。比率はリチウム・イオンを1として計算しています。リチウム・イオン蓄電池は他の蓄電池の1/3程度の重さで済みます。

● 特徴2：小さい！…体積エネルギー密度が高い

同様に体積あたりの電力を計算してみると、前述の12V/34Ah鉛蓄電池の場合、約4.81です。このときリチウム・イオン蓄電池の体積は、表2に示すように0.81程度です。他の電池に比べて、体積も小さくして小型にすることが可能です。

● 特徴3：十数m~200Ah以上！…大容量もイける

表3に示すように、容量は十数mAh程度しかない小容量タイプから200Ah以上という大容量タイプまで、バラエティに富んでいます。さまざまな機器で使用されていることが現れています。

表2 リチウム・イオン蓄電池の特徴2：小さい！体積エネルギー密度が高い

12V/34Ahの蓄電池を作ったときの体積の例

種類	体積 [ℓ]	比率 [倍]
鉛	4.8	6
ニカド	3.2	4
ニッケル水素	1.6	2
リチウム・イオン	0.8	1

表3 リチウム・イオン蓄電池の特徴3：小容量から大容量までイける

各メーカーのデータシートより

種類	型名	メーカー名	容量	サイズ	質量
円筒(18650サイズ)	NCR18650B	パナソニック	3250 mAh	φ18.3 mm × 65.1 mm	47.5 g
円筒(14430サイズ)	UR14430Y	パナソニック	500 mAh	φ13.9 mm × 42.9 mm	16.4 g
ラミネート(ポリマ)	PP031012AB	天津力神	19 mAh	3.00 mm × 10.00 mm × 12.50 mm	0.6 g
ラミネート	L15A0N2C1	日立マクセル	15 Ah	7.5 mm × 100 mm × 222 mm	307 g
ラミネート(ポリマ)	SLPB160460330	Kokam	240 Ah	466 mm × 332 mm × 15.8 mm	47.9 g

見本



第2章 大容量をゴリゴリ使う 据え付け用途向き

基本！ 鉛蓄電池の使い方

赤城 令吉 Reikiti Akagi

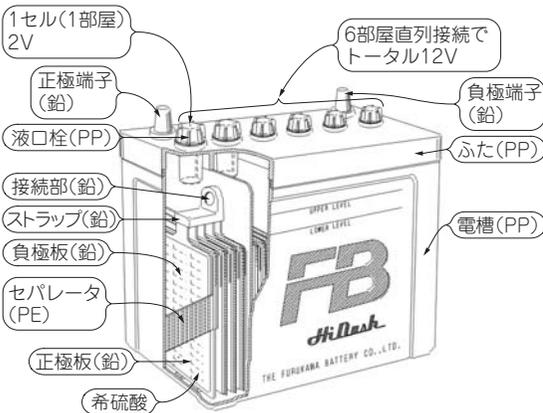


図1 12V鉛蓄電池の基本構造
よく見るクルマ用の例

鉛蓄電池は、起電力が2.24 V/セルであり、比較的電圧が高く身近です。

自動車やバイクの始動用12Vバッテリーとして汎用モジュール化されています。これらは図1に示すように、六つのセルをつないだ一つの容器に収まる形で12Vという電圧を供給できる構造となっています。

繰り返し放電(サイクル)回数が多い用途に使うのは

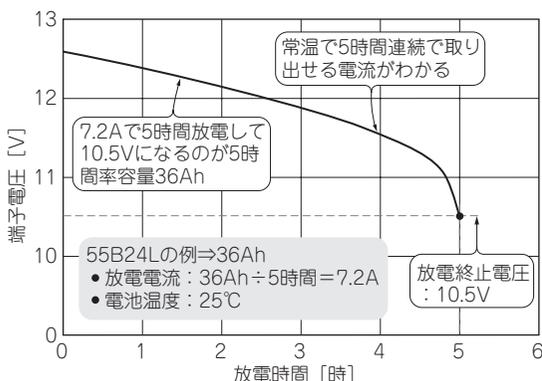


図2 超基本パラメータ：5時間率容量(5HR)
25℃で5時間放電したときに終止電圧10.5Vに至る容量をいう

それほど得意ではありませんが、容量が大きくて入手性がよく便利です。

鉛蓄電池は用途別に進化しており、例えば、

- 容量を減らす代わりに、サイクル特性を良くする

というように、ある特性を犠牲にすればある特性を伸ばすことができます。用途に合っていないくともそれなりの能力を発揮できます。

汎用の鉛蓄電池は自動車エンジンの始動用が中心ですが、安価で入手しやすいので、いろいろな方面に使用できます。負荷の大きさや、使用時間、電池容量などを考慮して選択します。

本章では、入手しやすい自動車の始動用タイプを例に、基本的な特徴や使用方法を紹介します。

トコトン実験！ 放電特性

- 基本パラメータ：5時間放電できる容量…5時間率容量(5HR)とは

鉛蓄電池の放電特性を表す基本パラメータに5時間率容量(5HR)というものがあります。

例えば36 Ah(55B24L)の場合、

- 電池温度：25℃
- 5時間率容量：25℃で放電したとき、端子電圧が10.5Vに低下する時間が5時間となる容量36 Ah
そのときの放電電流は36 Ah ÷ 5時間 = 7.2 A

となります(図2)。

5時間率容量で見ると、終止電圧10.5Vで、一律5h放電でどれだけ大きい電流で放電できるかを示しています。

2倍の10時間使用したいのであれば、2個並列につなぐ、もしくは、より容量の大きな電池を選択し、1個でまかないます。

また図3に示すように、放電電流が大きいほど利用できる容量は小さく、放電電流が小さいほど利用できる容量は大きくなります。

見本

第3章 大進化！ 入れたらもう抜けない

最新！ ニッケル水素蓄電池 のしくみ

武野 和太 Kazuta Takeno



ニッケル水素(NiMH)蓄電池は1990年に実用化され、ノート・パソコン、ビデオ・カメラ、携帯電話などのモバイル機器や、工具、ハイブリッド自動車などの動力用途に使われてきました。最近では、IT機器や医療機器、インフラ機器、電力貯蔵にも使われています。

ここでは、最新の乾電池互換タイプのニッケル水素蓄電池について、従来品と特性を比較しながら紹介します(図1)。

種類と特徴

● 電極と電解液の材料で分類される

ニッケル水素蓄電池は、正極にニッケル水酸化物、負極に水素吸蔵合金、電解液にKOHを主体とするアルカリ水溶液を用いた充電式の電池です。構成を図2(a)に示します。一般に電池には「ニッケル水素電池」と表示されています。

負極の水素吸蔵合金とは、常温付近で大量の水素をためたり放出したりできる材料です。充電時は活物質の水素を大量に吸蔵し、放電時は水素を放出することで充放電を行います。

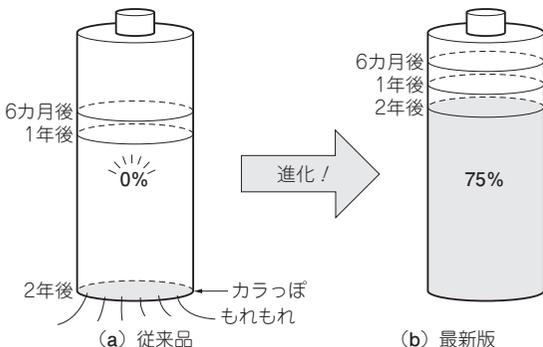


図1 最新のニッケル水素蓄電池は充電エネルギーが抜けにくい5年後でも70%の容量が残る。継ぎ足し充電で使っても長時間使える

● 繰り返し充放電に強く安全性も高い

図2(b)、図2(c)に示すのは、充放電時の電極の反応です。充電時は正極の水素原子が負極に、放電時は負極の水素原子が正極に移動します。

充放電反応が水素原子の移動だけで、鉛蓄電池やニカド蓄電池のような反応物質の溶解・析出反応はありません。このため、充放電の繰り返しに対して特性が安定しており、長寿命です。析出とは溶液や液体から固体が現れることです。

電解液はリチウム・イオン蓄電池のように可燃性の有機溶媒ではなく、不燃性の水溶液を使っているため、安全性が高いことが特徴です。

自己放電しにくく5年後でも 70%の容量が残る

● 使う前にいちいち充電する必要がなくなった

従来のニッケル水素蓄電池は自己放電が大きく、充電しても放っておくと使えなくなる弱点がありました。

2005年にはeneloopに代表される、低自己放電タイプが発売されました。使い勝手が大きく改善されたため、乾電池互換タイプの出荷数量はその後2倍程度に増えてきています。

以前は電池を使う日の前の晩に充電して使っていたが、時間があるときに充電して保管箱に入れておけば、いつでも使えるようになりました。さらに、買ってすぐ使える(出荷時に工場充電しているため)、非常時の予備電池として使える、長期間使う機器でも使える、という特徴もっています。

● 容量が抜けるしくみ

ニッケル水素蓄電池の自己放電メカニズムを図3に示します。図3の①から④が自己放電の主な原因です。

▶ 正極の分解反応

正極の自己分解反応により発生した酸素が、負極の水素を酸化して負極を放電させます。これにより、電池として自己放電します。

見本

第2部 超実用！充電回路集

第5章

保護機能バッチリ！
容量 2250 mAh で 18650 サイズ充電式でポータブル！
実験用リチウム・イオン
蓄電池モジュール

佐藤 裕二 Yuji Sato

本章では、18650サイズの市販リチウム・イオン蓄電池モジュールに内蔵された保護回路を紹介し、さらに充電回路を作ってみます。容量2250 mAhのタイプを使いますが、容量1450 mAhのタイプであれば1本から入手できるので、試してみることも可能です。文献(1)、(2)で使われているのと同じ電池モジュールです。

〈編集部〉

使用したリチウム・イオン蓄電池

本章では18650(直径18 mm、長さ65 mm)と呼ばれるサイズのリチウム・イオン蓄電池1本と保護回路を組み合わせた電池パック(写真1)を紹介します。まずは保護回路について解説し、本電池パックの9V入力充電回路を作ってみます。9V入力にはACアダプタを直接つなげるようにしておきます。



写真1 使用したリチウム・イオン蓄電池モジュール

● 最も汎用的な形状は“18650”

18650サイズとは直径18 mm、長さ65.0 mmの円筒形電池で、寸法を数値で表しています。このサイズの電池はもう十数年前からあり、さまざまな用途で使用されてきています。たとえば、ノートパソコンや電動工具、無線機、医療機、測量機、車など幅広く活躍しています。

18650は本来、規格で定められたサイズですが、直径や長さが微妙に大きいものがあります。体積が増えて電池の容量を上げられるからです。

● 主な仕様

使用した18650サイズの保護回路付きリチウム・イオン蓄電池パックの仕様を表1に示します。

リチウム・イオン蓄電池は、公称電圧が1.2 Vのニッケル水素(NiMH)蓄電池やニカド(NiCd)蓄電池と比べて、約3倍の電圧があります。一般的なりチウム・イオン蓄電池は公称電圧3.6～3.8 Vですが、実際には図1に示すように、3.0 V～4.2 Vで電圧が変化します。そこで、過充電保護は4.25 Vに、過放電保護は2.50 V

表1 使用した18650サイズの保護回路付きリチウム・イオン蓄電池パックの仕様

項目	仕様		
公称電圧	3.7 V		
公称容量	2250 mAh		
推奨充電条件	定電流定電圧(CCCV)方式 4.2 V/1.0 A		
推奨放電条件	連続最大放電電流 2 A		
使用環境	充電	0～45℃	
	放電	-20～60℃	
保護機能	回路	過充電保護	4.25 V
		過放電保護	2.50 V
		過電流保護	4～6 A
	ショート保護		
電池	過電流保護(PTC)		
	電流遮断機構(CID)		
		ガス排出弁(内部気圧上昇保護)	

見本

第6章

2250 mAh リチウム・イオン2次電池と
充電制御 IC MAX8903 で作る5 V/500 mA 出力の充電式
USB ポータブル電源

中道 龍二 Ryuji Nakamichi

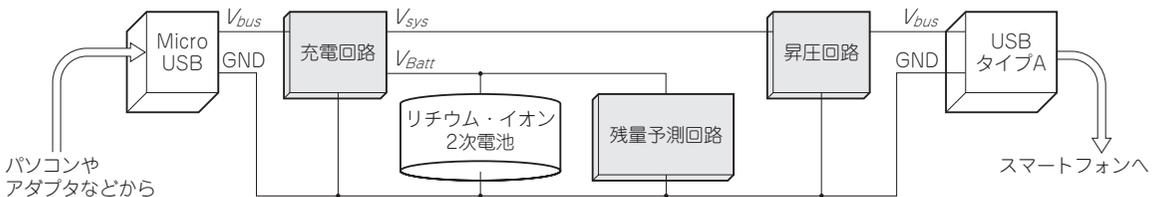
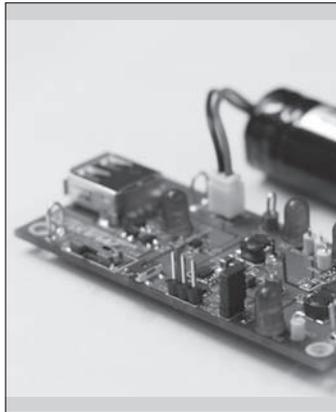


図1 充電式USBポータブル電源の構成

iPhoneやAndroid端末などのスマートフォン(通称スマホ)は、従来のケータイよりもネットワーク回線に接続する頻度や送受信する情報量が非常に多いため、消費電力がかなり多くなっています。1000 mAh(2012年6月執筆時点)を超える大容量の2次電池を搭載するのが一般的ですが、それでも1回の充電では1日もたないこともよくあります。

本章では、保護回路付き18650サイズ(直径18 mm, 長さ65 mm)2250 mAh リチウム・イオン2次電池モジュールを使って、写真1に示すようなUSB充放電対応のポータブル電源を製作しました。スマホの予備用電源などに使えます。製作物で実験しながらリチウム・イオン2次電池の充電制御や電池の残量管理など

について解説します。

製作した充電式USB
ポータブル電源の仕様

まずは充電回路、昇圧回路について説明します。製作する充電式USBポータブル電源の仕様を表1に、構成を図1に示します。

● 特徴1：USB充電電流は500 mA

今回製作する外付けバッテリー回路では充電用の電源は、スマホに添付されているACアダプタの出力(USBタイプA)を同様に添付されているUSBケーブル(Micro USBに変換)を使用して本機に供給します。iPhoneの場合にはUSBケーブルが異なるので別途家電量販店などで購入してください。

ACアダプタの出力容量は1 A以上のものも多いですが、本企画ではUSB2.0の最大バス電流が500 mAであることも考慮して充電回路側で入力電流を

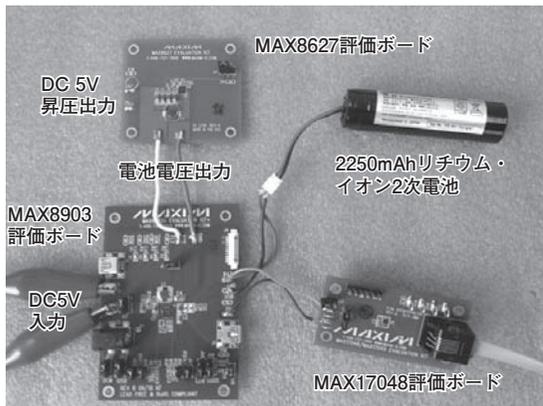


写真1 リチウム・イオン2次電池の充放電制御を予備実験するために製作した充電式USBポータブル電源。USB充放電できる

表1 製作した充電式USBポータブル電源の仕様

項目	仕様
入力	Micro USB, 5 V/500 mA
充電回路	降圧型DC-DCコンバータによる定電流定電圧(CCCV)充電
2次電池	保護回路付き18650型リチウム・イオン2次電池1セル 公称電圧3.6 V/容量2250 mAh
昇圧回路	昇圧DC-DCコンバータにより電池電圧を5 Vに変換
出力	USBタイプA 最大出力電流1 A (1.1 A)

見本

第7章 USB ホスト付きマイコンと Android アプリのプログラミング

フルカラー&タッチ式！スマホ充電 モニタ&リチウム・イオン・チャージャ

後閑 哲也 Tetsuya Gokan

イン
トロ

1

2

3

4

5

6

7

8

特設
1

特設
2

特設
3

付録

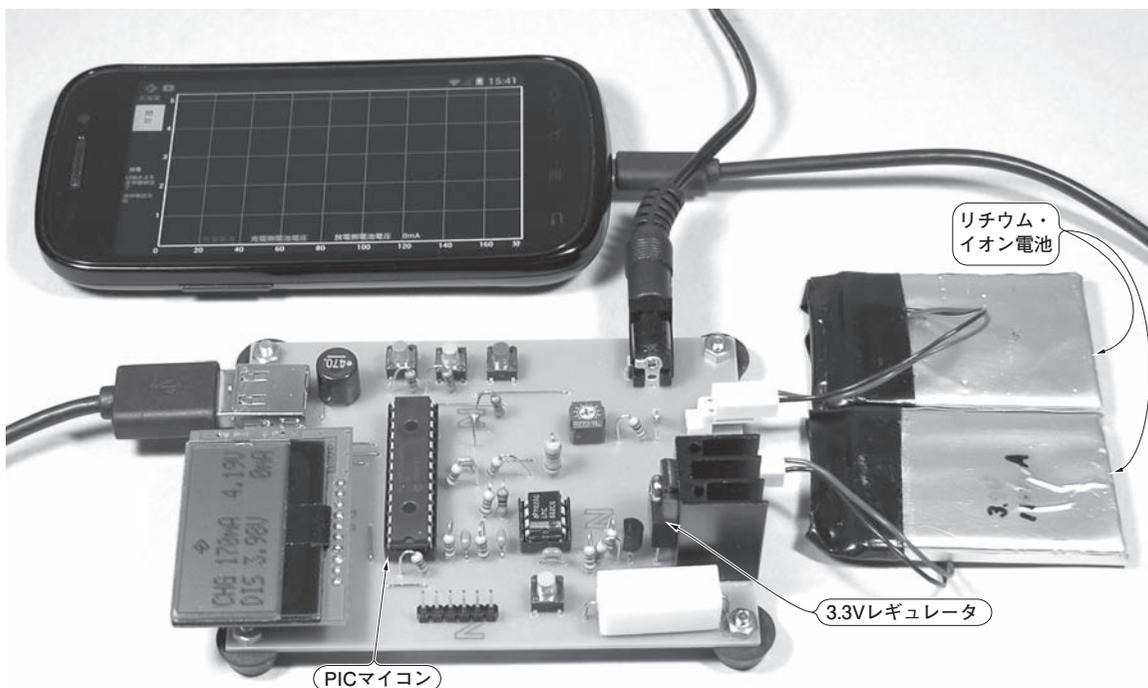


写真2 完成した充放電器の全体の外観

本章では、スマートフォンとそれに接続するUSBホストの外付け回路「アクセサリ」の開発の仕方を説明します。アクセサリには、PICマイコンでUSBホ

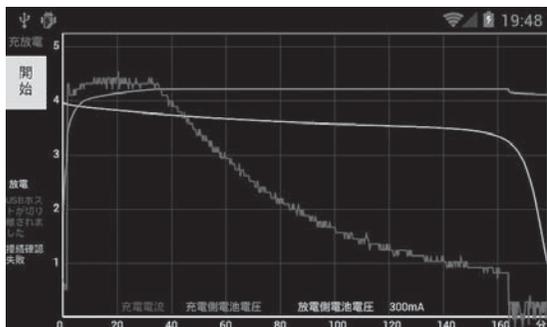


写真1 電池の充電/放電特性グラフ

スト機能をもつ16ビットのPIC24Fファミリーを使います。実用的なアクセサリということで、リチウム・イオン蓄電池の充放電器を製作することにします。

筆者は日ごろPICマイコンで多くの機器を製作していますが、安価に市販されているリチウム・イオン蓄電池(LAB503759C2)をよく使います。この電池には充放電制御回路が内蔵されていないので充電器を自作して使っているのですが、常に本当に充電されているか、放電特性は十分なものが曖昧で不安を感じていました。

そこで、電池の特性を確実にわかるようにするためには写真1のようなグラフで充放電状態を知ることができればよいと思い、今回の充放電器を製作しました。スマートフォンで充放電の経過をグラフ表示でき

見本

特設 大容量キャパシタ×電池で高速充放電バッテリー製作

第1章 電気二重層キャパシタと
リチウム・イオン・キャパシタの応用最新の大容量キャパシタを
使った電源回路設計

秋村 忠義 Tadayoshi Akimura

これまで、キャパシタ(コンデンサ)にエネルギーを蓄えて電源として使うことなど考えもしなかったと思います。容量が数百F程度と小さく、自然放電が大きかったからです。質の良い電極材料や電解液が入手できるようになり、電気二重層を使つての高エネルギー蓄電が現実のものとなってきました。ここ数年、基本特許が切れた比較的古い技術であるリチウム・イオン・キャパシタ(LiC)の性能向上も進み、単位重さ当たりの蓄電量は、鉛電池に匹敵するものができてきました。

電池すべてを大容量キャパシタに置き換えることは難しいですが、適所に使えば総合的な価値を高められるデバイスといえます。

大容量キャパシタの性質

表1に大容量キャパシタの特徴を示します。

大容量キャパシタは、充放電寿命が長く、内部抵抗が低く、微小電流から大電流まで効率良く充電できます。さらにメモリ効果などまったくなく、温度特性も電池より良い蓄電デバイスです。

欠点は放電とともに大きく電圧が変動する(蓄電量に比例)ことですが、DC-DCコンバータの技術が向上して、入力電圧範囲が広がったため、これも大き

な問題にはならなくなってきました。むしろ電圧変動によって、端子電圧だけを見るという簡単なくみで蓄電量や残量が正確に把握できます。

鉛などの有害物質を使わない大容量キャパシタはエコ時代の申し子です。まだまだ高価ですが、量産化になれば急激なコスト・ダウンが見込めます。

● 大容量キャパシタの蓄電エネルギーの定義

▶蓄電エネルギーの単位 [Ws]

電気二重層キャパシタやリチウム・イオン・キャパシタをエネルギー蓄電装置として利用する場合、蓄電容量がポイントになります。

蓄電エネルギー U_{cap} [Ws] は、使用電圧範囲とキャパシタの容量 C_{cap} [F] で決まります。使用電圧範囲は、充電上限電圧(耐圧) V_2 、下限電圧 V_1 で決まります。

$$U_{cap} [\text{Ws}] = C_{cap} (V_2^2 - V_1^2) / 2 \dots\dots\dots (1)$$

$$U_{cap} [\text{Wh}] = U_{cap} [\text{Ws}] / 3600 \text{ s}$$

▶電池は [Ah]、キャパシタは [Wh]

電池と比較する場合も、Whを使うと比較しやすいです。電池は電圧の変動が少ないのでAhで表記することが多いのですが、大容量キャパシタは充電量で電圧が大きく変動するからです。電池のWhは、(平均)電圧×Ahで算出できます。

表1 大容量キャパシタには「電気二重層キャパシタ」と、高エネルギー密度だが下限電圧がある「リチウム・イオン・キャパシタ」がある

蓄電デバイス	耐圧 [V]	内部抵抗 [Ω]	エネルギー密度 [Wh/kg]	出力密度 [W/kg]	充放電寿命	フローティング寿命	自己放電	温度特性	下限電圧
電気二重層キャパシタ	△ (2.5 V ~ 3.3 V)	◎	×~△	◎	◎ (約100万回)	◎	×~◎	○	0 V
リチウム・イオン・キャパシタ	○ (3.8 V ~ 4.0 V)	○~◎	○	○~◎	○ (約10万回)	◎	◎	○	2.0 V ~ 2.4 V
鉛蓄電池	◎ (約6 V)	△	○	△	△	△	◎	△	約5.3 V
リチウム・イオン蓄電池	○ (3.6 V ~ 4.3 V)	○	◎	○	△	△	◎	△	2.0 ~ 2.4 V

見本

巻末特別付録

動き続ける! μ Wマイコン&電源IC活用法

藤岡 洋一 Yoichi Fujioka

CONTENTS

第1章	電池のもつ限られたエネルギーを有効活用 最近の低消費電力デバイスに注目!	
1-1	低消費電力化が進む半導体	134
1-2	消費電力の低い機器を作るうえで必要な条件	135
第2章	動作電圧を下げクロック周波数を制御して対応する 低消費電力マイコンの傾向と特徴	
2-1	低消費電力システム向けマイコンのいろいろ	139
2-2	低消費電力動作のための工夫	140
第3章	高速タイプから不揮発性タイプまで 低消費電力メモリのいろいろ	
3-1	SRAM (Static Random Access Memory)	143
3-2	DRAM (Dynamic Random Access Memory)	143
3-3	EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory)	145
3-4	フラッシュ ROM (Flash Read Only Memory)	145
3-5	マスク ROM (Mask Read Only Memory)	146
3-6	FRAM (Ferroelectric Random Access Memory)	146
3-7	MRAM (Magnetoresistive Random Access Memory)	149
3-8	FRAM と MRAM の比較	150
第4章	低い電圧から高効率で動作する電源 IC バッテリー用高効率 DC-DC コンバータのいろいろ	
4-1	低消費電力回路が DC-DC コンバータに求める条件	152
4-2	シリーズ・レギュレータのほうがスイッチング・レギュレータより有効なこともある	153
4-3	昇圧 DC-DC コンバータの方式	153
4-4	インダクタ型降圧 DC-DC コンバータの動作原理	155
4-5	昇圧 DC-DC コンバータのさらなる低消費電力化の工夫	156
4-6	0.9V 以下から昇圧できる発電デバイス用 DC-DC コンバータ IC	157
4-7	ユニークな電源 IC の紹介	157



第1章 電池のもつ限られたエネルギーを有効活用

最近の低消費電力デバイスに注目!

藤岡 洋一 Yoichi Fujioka



図1 いまや身の回りはバッテリー搭載機器だらけ

最近では携帯電話だけでなく、携帯音楽プレーヤ、電子ブック、カーナビなど、身の回りに二次電池(蓄電池)を搭載した携帯機器が増えています(図1)。農業や医療、介護、健康維持のスポーツの現場などにおいて、こうした携帯型機器は今後も増えることが予想されます。

本稿は次のような機器を設計する方を対象としています。

- 単3/単4乾電池1~2本で動作するラジオ、ポータブル・オーディオ機器(消費電力: 10 mW ~ 500 mW 程度)
- 単4乾電池2本で動作する電子辞書など(消費電力: 100 mW ~ 200 mW 程度)
- リチウム・イオン蓄電池で動作するデジカメ、ムービー(消費電力: 1~5 W 程度)
- ボタン電池で動作する壁掛け電波時計、温湿度計など(消費電力: 0.1 mW ~ 1 mW 程度)
- リチウム・イオン蓄電池で動作するPNDなどの情報機器(消費電力: 3~5 W 程度)
- リチウム・イオン蓄電池で動作する携帯電話など(消費電力: 1 W 程度)
- マイコン・ガス・メータなどの超低消費電力機

器(消費電力: 50 μ W 程度)

- 発電デバイスを使った装置(消費電力: 数 μ W ~ 数 W)

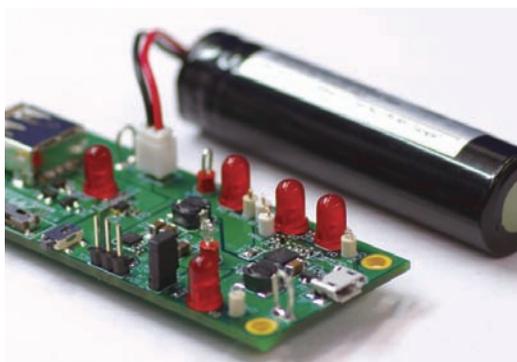
1-1 低消費電力化が進む半導体

電池のもつ限られたエネルギーを有効に使うには、電子部品を低消費電力で使う技術が求められます。そうです、低消費電力設計はまさに未来志向の技術なのです。それでは、一口に装置を低消費電力化するといっても、いったいどうすればよいのでしょうか。ここでは、携帯音楽プレーヤの構成を例に説明します(図2)。

まず、一番効果があるのは電源です。いわゆる乾電池と呼ばれる1次電池、近年は定番となったリチウム・イオン蓄電池、ニッケル水素蓄電池などの2次電池は、商用電源を使ったACアダプタとは異なり、出力電圧が一定ではなく、使用状態に応じて電圧が変化します。電池の特性を十分に理解したうえで、電池のエネルギーを最後まで上手に使いきるテクニックが求められるのです。

変化する電圧を、使用するデバイスに応じた一定の電圧に変換(昇圧/降圧)するテクニックも求められ

見本



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

雑誌 16711-07



4910167110763

02400

見本