

# バッテリーマネージメントシステム と直流の昇降圧回路

2011年7月4日(月)

電気をつかう社会

# 電気のある暮らし

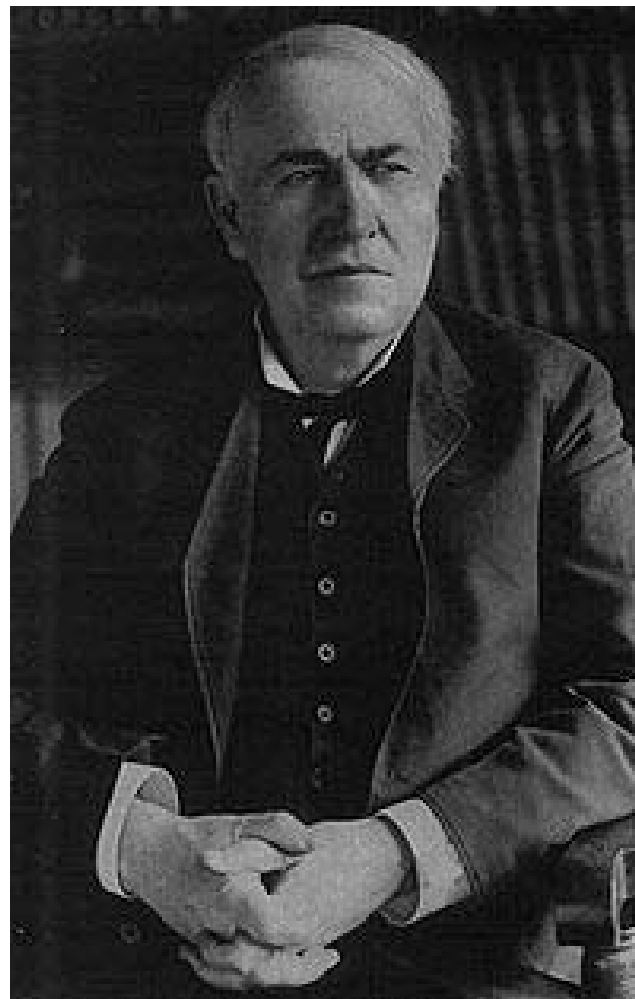
現在、私たちは電気をエネルギーとして使う社会に生きている。このことに何の疑問も持たないほど、電気エネルギーはありふれたものになっている。

このような社会はエジソンによってつくられたとみなすことができる。

エジソンは発明家としてよく知られた人物であるが、むしろ、電気のある暮らしができる社会を作った起業家と考えることができる。

電気のある暮らしは、灯りを手軽に使えるくらしから始まった。

# エジソンの写真



1878年のエジソン[net]

# 白熱電球の写真



エジソン  
米国  
1879年  
Eはネジ式の  
口金

スワン  
英国  
1878年

スワンベース(引っ  
掛け式)の口金

2つのタイプのソケット[6]



## 灯りについて

### 白熱灯

1878年真空白熱電球はイギリスのスワンが発明した。

一応の完成を見た白熱電球の最初のもの。

1879年エジソンが長寿命の類似の電球を製造した。

1880年ゼネラル・エレクトリック (GE) は直流配電による電灯事業を展開した。

2008年東芝は白熱電球の生産を2010年に廃止と発表。

### 蛍光灯

1937年ゼネラル・エレクトリックが蛍光灯を発売開始した。

1941年: 東京芝浦電気(現・東芝ライテック)が“マツダ 蛍光ランプ”として、昼光色15Wと20Wを発売した。

### LED照明

1994年Ga<sub>N</sub>による青色LEDが開発された。

最近急速にLED照明が使われるようになっている。



白熱電球から蛍光灯、LED照明へ。  
120年の移り変わり。

# 電気器具

電気が家庭で利用できるようになると、すぐに新しい利用法が考え出されるようになった。20世紀初期には、家庭生活を楽にする「労力節約」器具が発明・考案されたが、家庭で一般的に見られる器具は、電灯のほかはアイロンだけだった。初期の電気器具は、ヘアカール用焼きごてのように、電気を使って熱を起こすものがほとんどだった。1900年代には電動機 (p.38-39) が広く使われるようになり、電気を運動に変えることができるようになる。電気器具の範囲が広がり、小型電熱器や料理用泡立て器、ヘアドライヤーなどが作られるようになった。

しかし、掃除機のような大型器具は、まだ裕福な家庭にしか見られなかった。



**アイロン**  
最初の電気アイロンは、高温の電気火花を熱源として利用した。この火花は、炭素棒の間を飛び散るアークだった。炭素棒は燃えてなくなるので、電気が消えれば手で炭素棒を押しこみ、適正なギャップ (すきま) を保ってやらなければならない。同じ原理を利用した炭素アーク灯 (p.37) と同様に、このような方法で電気を熱に変えるのは、危険で信頼性も低かった。1883年、アメリカで安全アイロンに特許が与えられた。このアイロンは、炭素棒の代わりに発熱体を使っていた

個別ヒューズ  
指示灯



**電気湯沸かし**  
水は電気導体なので、水と電気は危険な組み合わせである。最初の電気湯沸かしには、水の下に発熱体を入れるための場所が別に設けられていた。発熱体は容器本体を加熱したが、熱の大部分は空气中に逃げてしまった。1921年にスワンが作った電気湯沸かしには、完全に絶縁処理を施した耐水性の発熱体が、初めて水の中に取り付けられた



[6]

電気の普及のために電気をつかう製品を発明する。

電球の需要は  
4500万個になった

初期の電気メーター



硫酸銅溶液の  
入った瓶

抵抗導線

銅板

熱を  
供給する  
ランプ

### メーターを読み取る

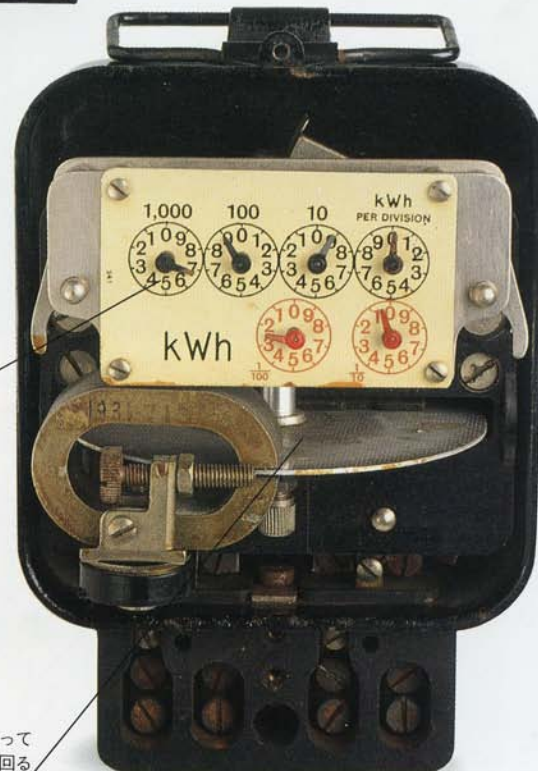
電力会社の係員が定期的に  
使用者を訪れ、電気メーターを  
読み取った。彼らは、電源を  
切って銅板を取り出し、  
新しい銅板と取り替えた。  
そして、古い銅板を持ち  
返って重さはかった。  
このようにして、電力会社  
は使用者への請求金額を計算  
したのである



### 電気メーター

トーマス・エジソンが開発した初期のメーター  
(左の写真)は、電気分解(p.32-33)を利用して  
電気の使用量を測定した。電流は硫酸銅溶液の  
入った瓶を通る。電流が流れると一方の  
銅板の表面が溶け、もう一方に堆積する。銅板の  
重量変化が、電気使用量に比例するわけである。  
波形抵抗線と電球を下部に取りつけて、  
冬季に溶液が凍結するのを防いだ。1930年代には、  
メーター(下の写真)に誘導(p.34-35)によって  
動く回転板を取りつけ、これに一連の  
目盛り盤を連動させた。これらの目盛り盤に、  
電気エネルギーの使用量がキロワット時  
(1時間当たり1000ワットの電力)単位で表示された

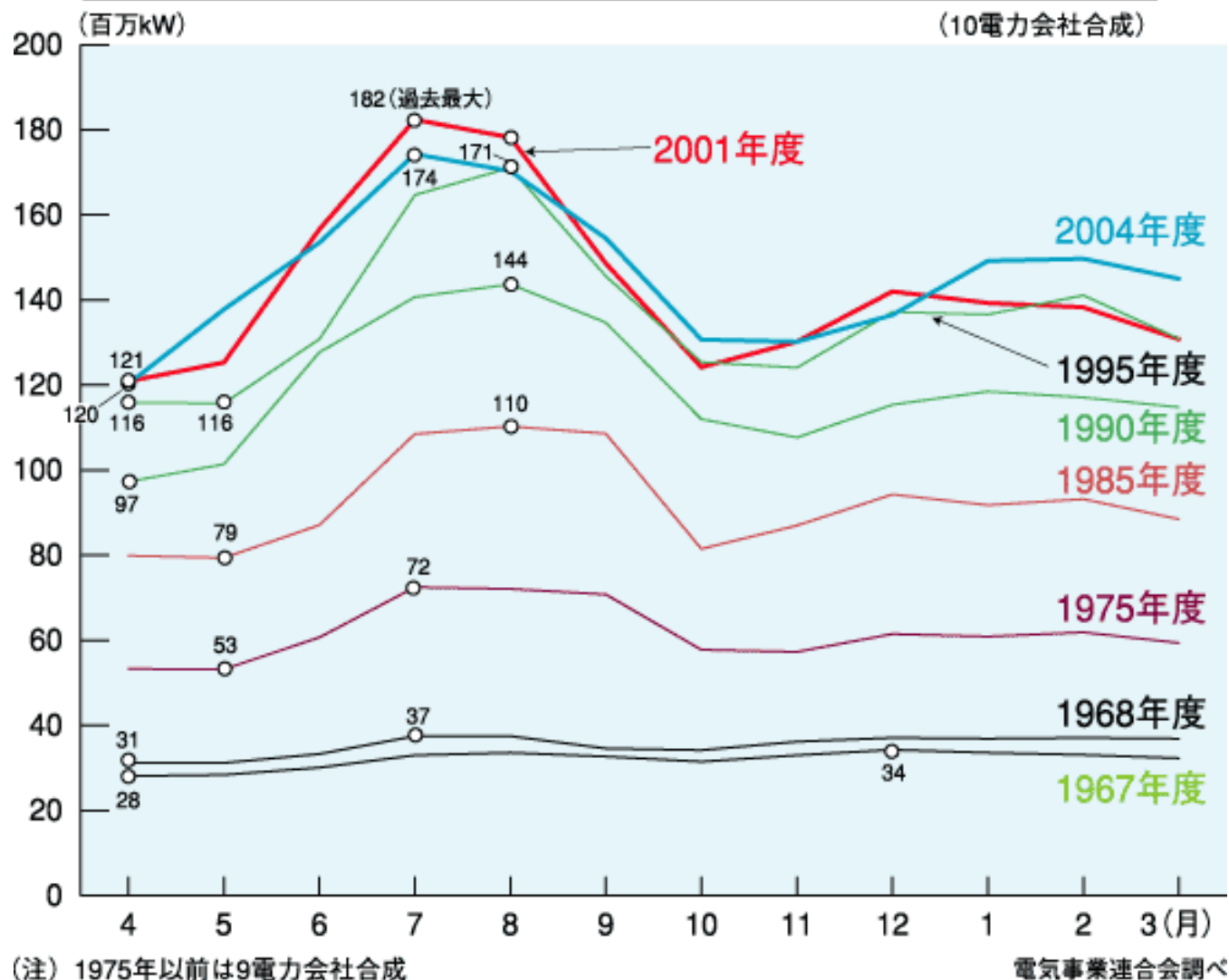
1930年代のメーター



キロワット時を  
示す目盛り盤

誘導によって  
回転板が回る

# 1年間の電気の使われ方の推移



NETから引用。

効率的に電気を  
つくり  
送り  
つかい  
ためる  
システムとは、

# スマートグリッド(賢い送電網)

スマート: 賢い、洗練された

グリッド: 格子状の構造、電力業界では送電網

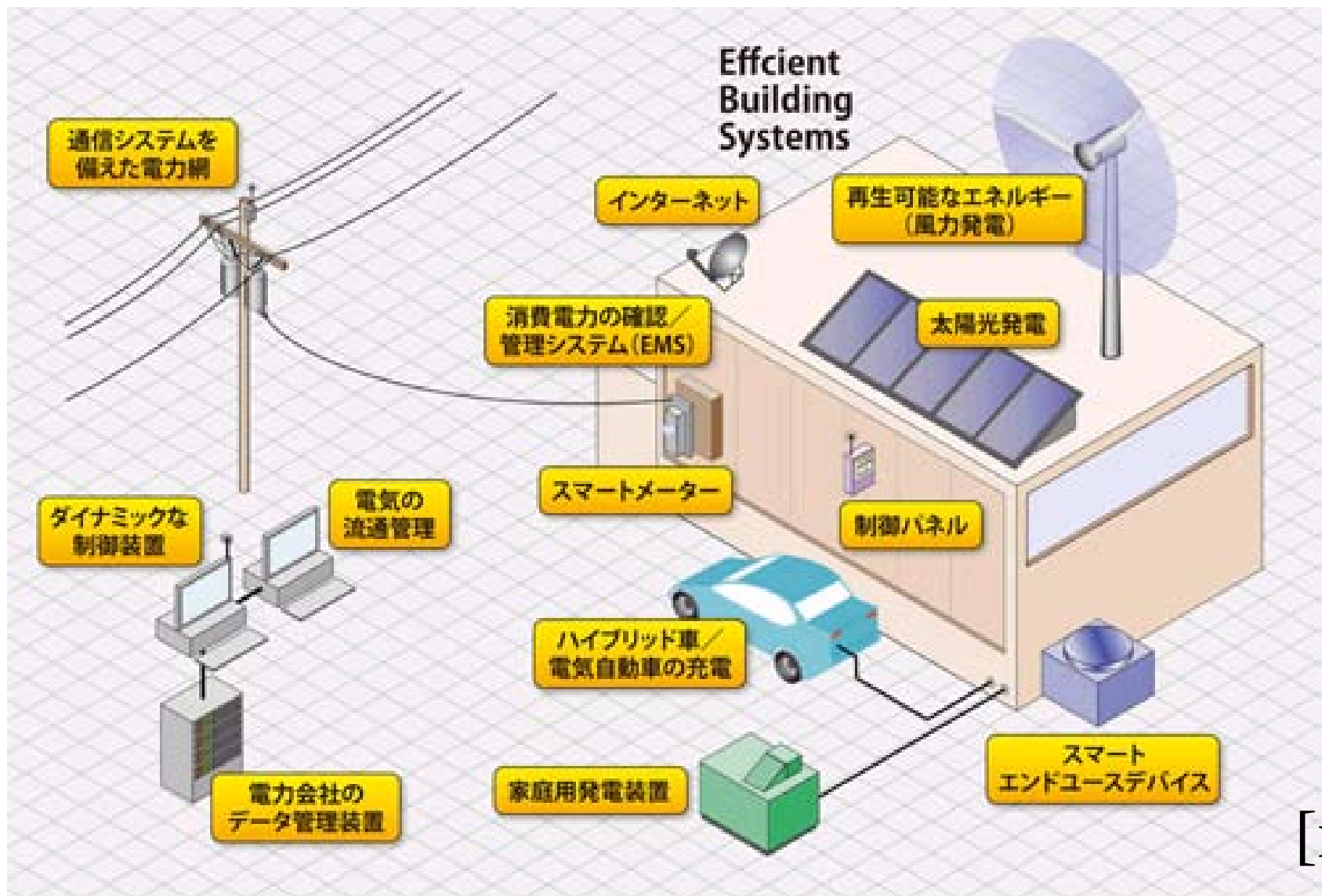
## スマートグリッドの構成要素

エネルギー

通信技術

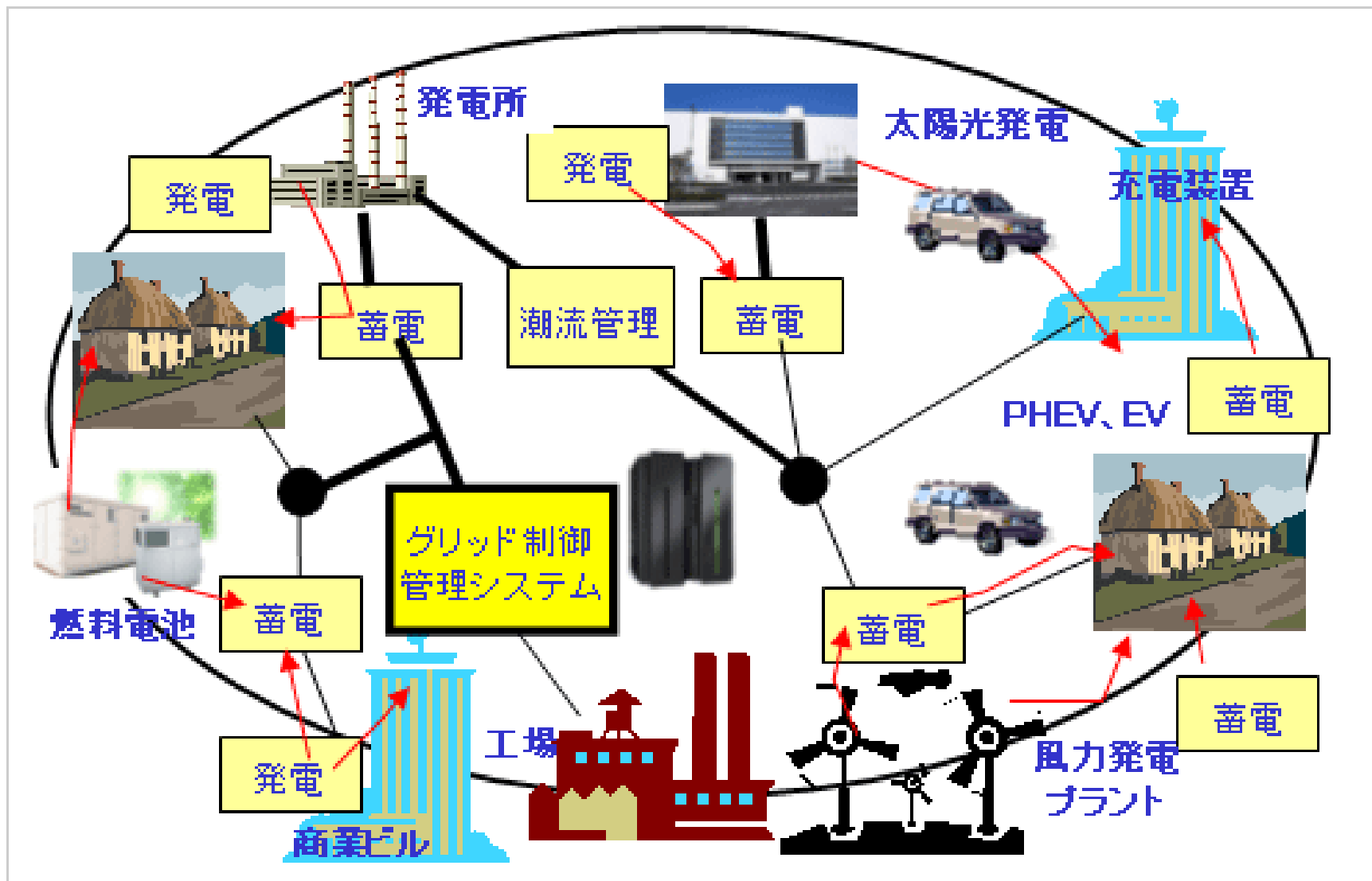
情報処理技術

厳密な定義はない。ICT(Information and Communication Technology)を使って、電力エネルギーのネットワークを効率的に運用しようとするものをいう。巨大システムを形成するはずである。



出典：米国電力中央研究所

米国電力中央研究所のスマートグリッドの概念図



IBMのスマートグリッドの概念図 [net]

# 分散型の発電

- 太陽光発電 発電量が変動
- 風力発電 発電量が変動
- 潮力発電 発電量が変動
- 地熱発電 発電量が安定

このような発電装置が電力網に接続される。

eco-trans (electric, comfortable and optimum transportation society)

エコトランスプロジェクト(電気電子工学科が中心になって実施している工学部のプロジェクト)

- ・ 電気エネルギーによるエコで快適な移動手段を利用できる社会の実現

電気自動車(EV)

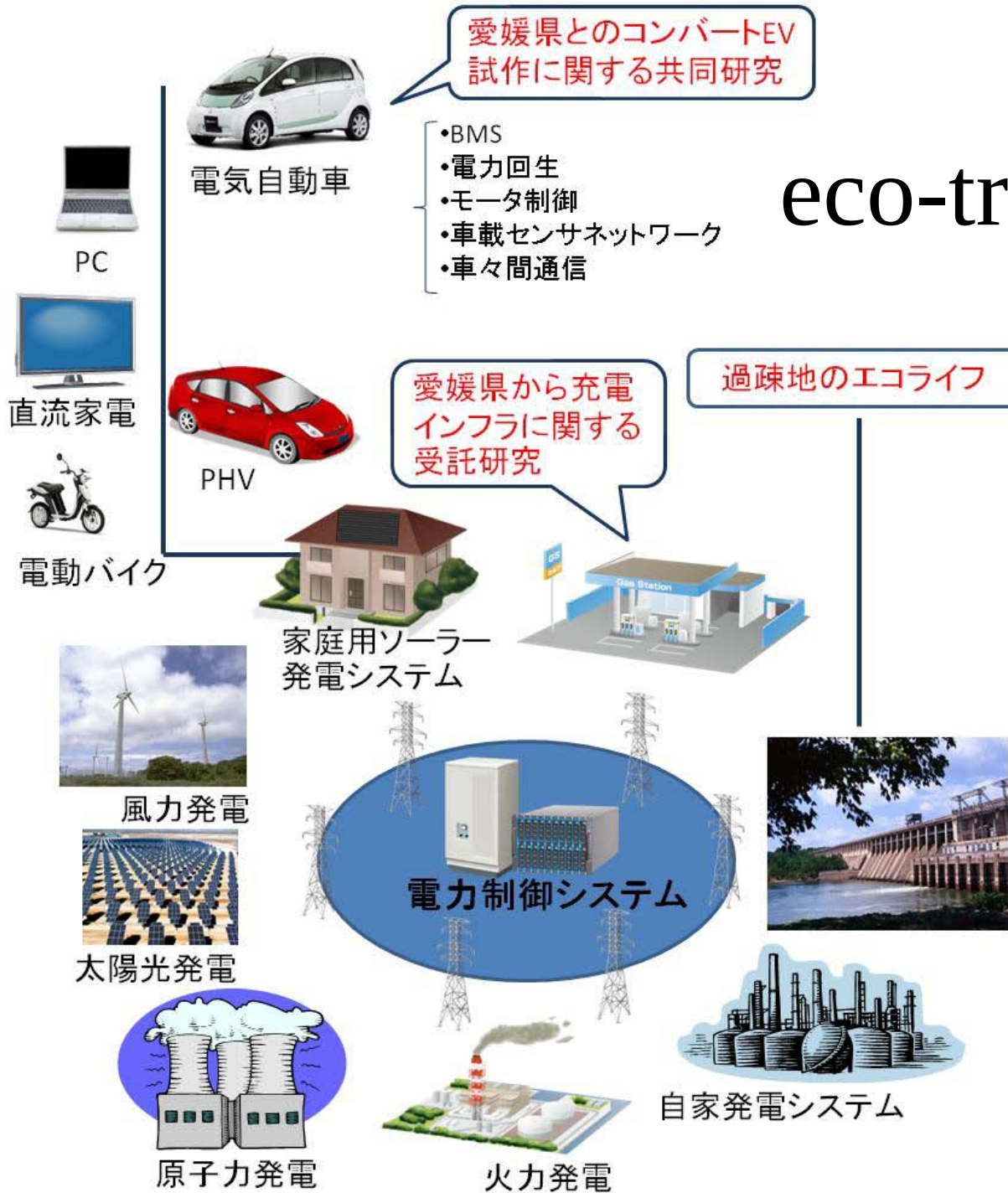
屋内直流送電

安全運転支援

過疎地のエコライフ

- ・ 次世代電力網、スマートグリッド

# eco-transの説明図



# 電気エネルギーを蓄える

従来、電気工学ではあまり考えられてこなかった。  
スマートグリッドを実現するためには、  
重要な技術となるはずである。

# 電気エネルギーを蓄える

## 力学的

ポテンシャルエネルギー: 揚水発電

運動エネルギー: フライホイール電力貯蔵

圧力エネルギー: 圧縮空気エネルギー貯蔵

## 化学的

二次電池: 一般家庭で使える方法

コンデンサ

## 物理的

電気二重層コンデンサ

電磁エネルギー: 超電導エネルギー貯蔵

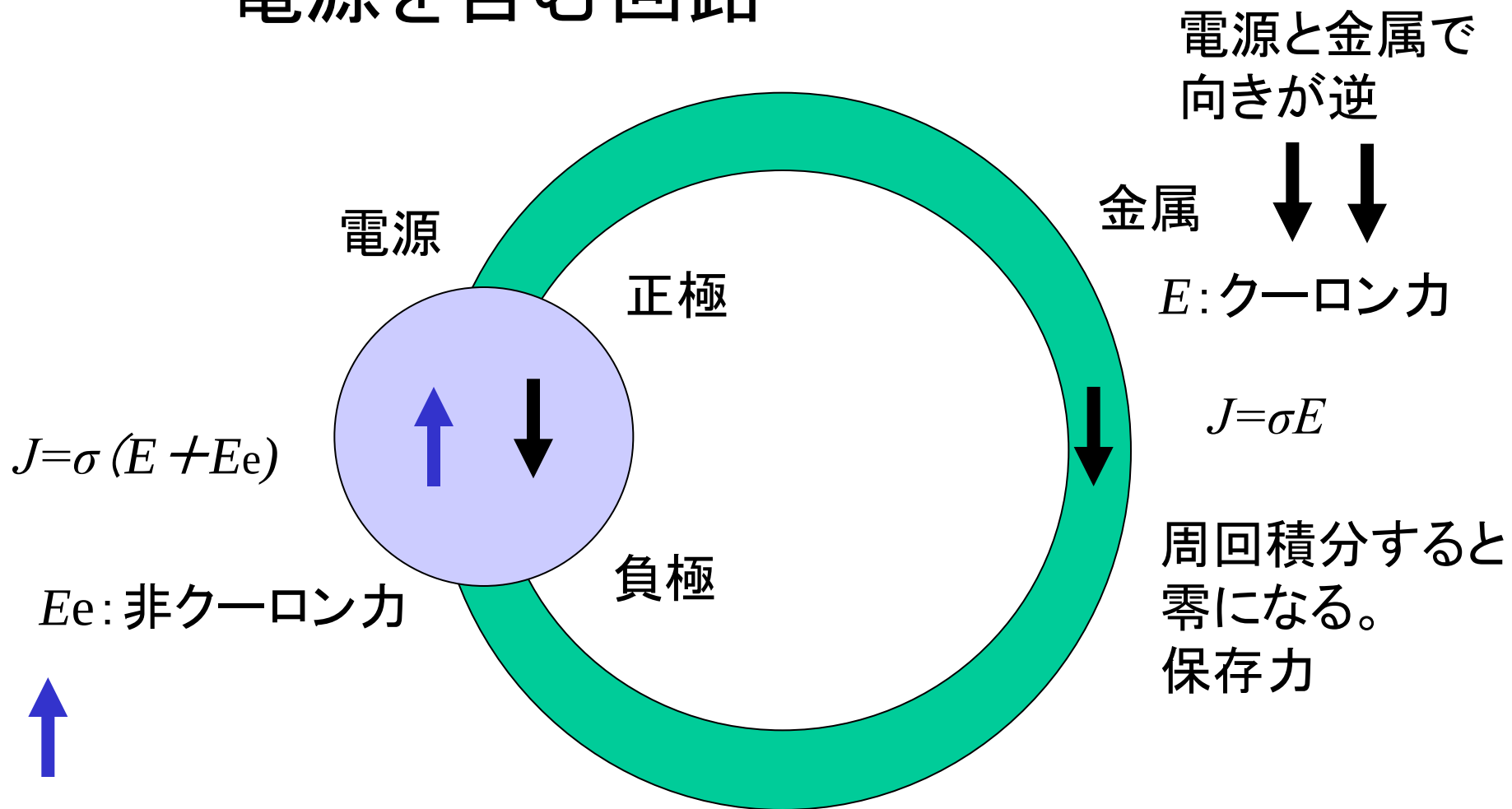
# 電気を蓄える：電力貯蔵というが・・・

電力は仕事率であり、単位時間あたりのエネルギーに使う言葉。蓄えられるものではない。蓄えるのはエネルギーである。

慣例に従って、電力貯蔵という言葉を使う。愛媛大学の電気電子工学科では、電気を「つくる、送る、つかう、ためる」分野の教育と研究を行う分野に対して、電気エネルギー分野(講座)という言葉を使っている。

電源とは

# 電源を含む回路



金属中で電界は零ではない。このクーロン電界が電荷を移動させている。

クーロン電界の向きは金属中と電源中で逆向きになる。クーロン電界は金属、電源を含む経路に沿って一周積分すると零になる。保存力である。

電源の中では、電荷を金属中と同じ向きに流し続けるクーロン電界以外の力が働く。これを非クーロン力と名付けている。電流連続の式、あるいは、電荷の保存則が成立している。

電池の起電力を理解するためには、物質の界面における電気現象を知る必要がある。

# 界面の電気学

## 金属の接触電位差

異種の金属の接触によって現れる電位差のことをいう。  
金属のフェルミポテンシャルと外界の電位の間には仕事関数と呼ばれるエネルギー差がある。

異種の金属を接触させると、フェルミポテンシャルが等しくなるように電子が移動して金属の境界面に電気2重層を生じる。この電位差が接触電位差であって、フェルミエネルギーあるいは仕事関数の差に等しい。

金属AとBの接触電位差が $V_{AB}$ であるとする。金属AとC、BとCの接触電位差が、それぞれ、 $V_{AC}$ および $V_{BC}$ であるとする、 $V_{AB}=V_{AC}-V_{BC}$ が成立する。これをボルタの法則という。

## 仕事関数

金属内から電子を外部に取り出すに必要な最小エネルギー。

# 電解質と金属の界面

金属A－電解質－金属B－金属Aを接触させると、両端の金属が同じでも電位差が現れる。このときも、異種の物質の接触面には電気2重層が現れる。

## 電荷のキャリア(運び手)

電子、イオン、正孔

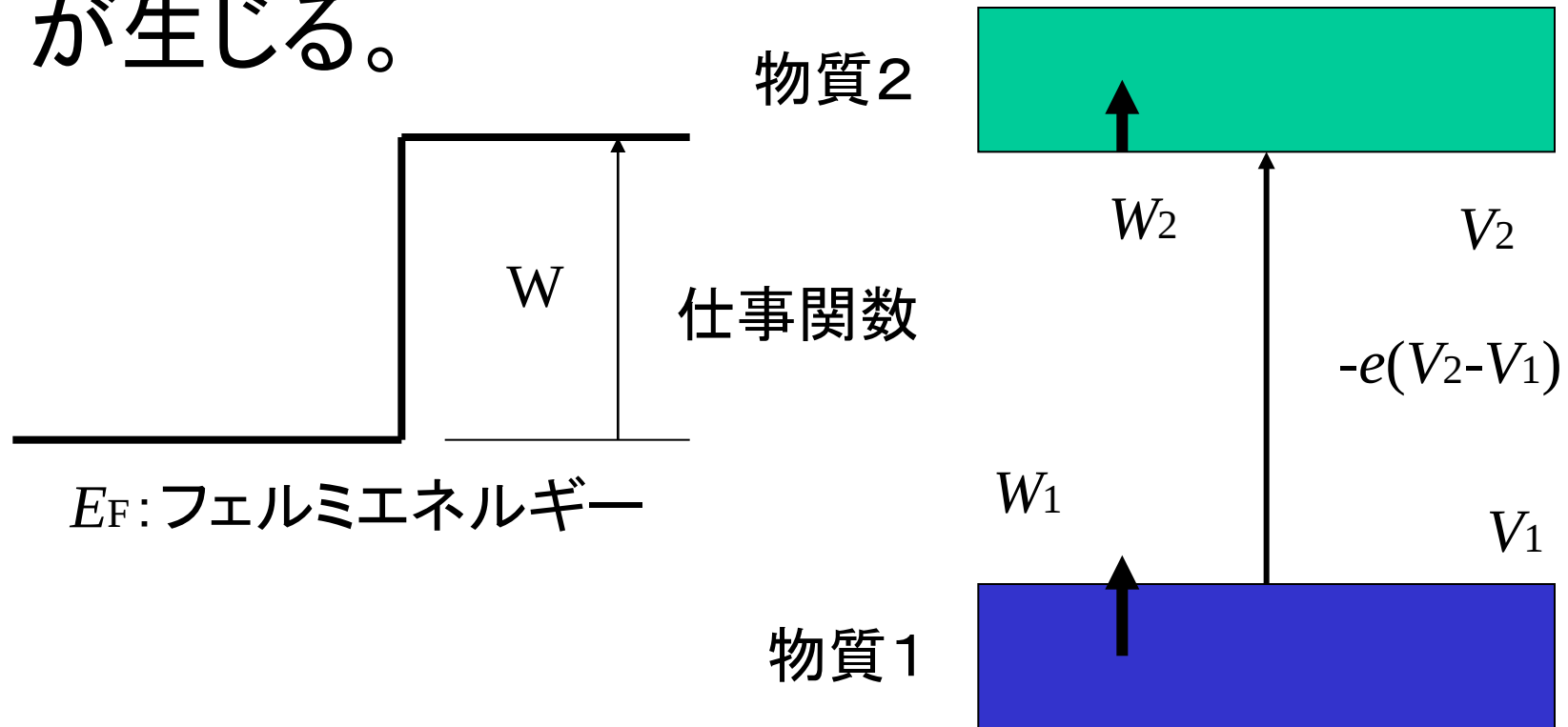
## 接触面ではキャリアの移動が起こる

キャリアが移動して電気2重層ができると、電界を生じる。キャリアを移動させる力は、クーロン力ではない。これを仮に非クーロン力と呼ぶと、クーロン力と非クーロン力が釣り合った状態でキャリアの移動が止まる。

## 非クーロン力

拡散による流れ、光起電力、熱起電力、電磁誘導

金属を接触させると仕事関数の差の電位差が生じる。



$$\text{仕事} = W_1 - W_2 - e(V_2 - V_1)$$

電荷の移動が起こらなくなる。仕事が零になったときに平衡状態となる。電子の電荷を $-e$ としている。

$$V_{21} = V_2 - V_1 = (W_1 - W_2) / e$$

2つの金属の間に生じる電位差は平衡状態で得られたものであり、電流を流し続けるエネルギーがないので電流を取り出すことはできない。

2つの金属の間にもう一つ異なる金属を接触させると、

$$V_{12} + V_{23} + V_{31} = (W_2 - W_1 + W_3 - W_2 + W_1 - W_3)/e = 0$$

となり、やはり電流を取り出せない。ボルタの法則。

電流を流し続けるためには

電解質のように界面で化学反応が起こり、エネルギーを供給できる物質が必要である。界面で化学反応を起こす物質が常に新しいものである必要がある。

具体的な電池：鉛蓄電池

# 鉛蓄電池

陽極：過酸化鉛( $\text{PbO}_2$ )

陰極：鉛( $\text{Pb}$ )

電解質：硫酸( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )

放電時：硫酸が消費され、正負の極に硫酸鉛が生成

充電時：元の状態に戻る

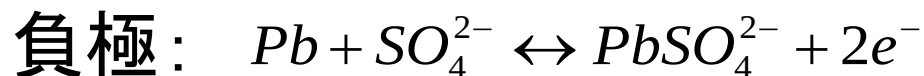
電圧：約2V

電流容量が比較的大きい。

極板から流れ出す電荷、流れ込む電荷は電子である。

電解質中では、水素イオンと硫酸基が電流を担う。

# 鉛蓄電池の化学反応



$\left\{ \begin{array}{l} \rightarrow \text{放電} \\ \leftarrow \text{充電} \end{array} \right.$

## 放電

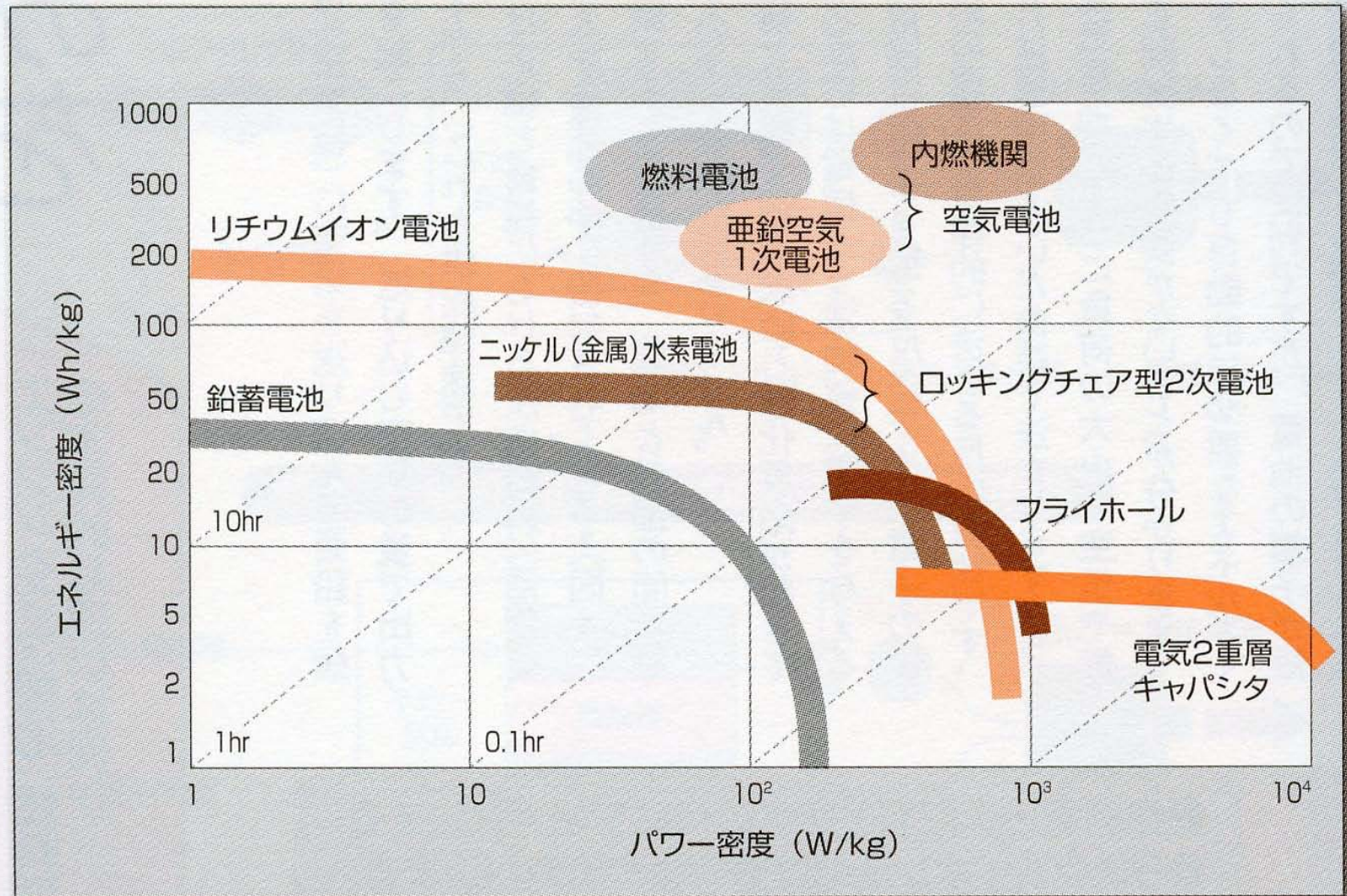
電極と電解質の界面では電気2重層が生じる。負極側の電解質で生じた電子は極板側に移動する。正極側では、電子、電解質中の水素イオン、硫酸基、極板の過酸化鉛が反応する。

## 充電

起電力より大きい電圧で、放電時とは逆向きに電流を流す。

# 電力貯蔵方式の性質

図2 ラゴーニ・プロット(Ragone Plot)



右上になるほど性能がよい[4]

# バッテリーマネージメント

# EVにおける例

図1 バッテリコントローラ

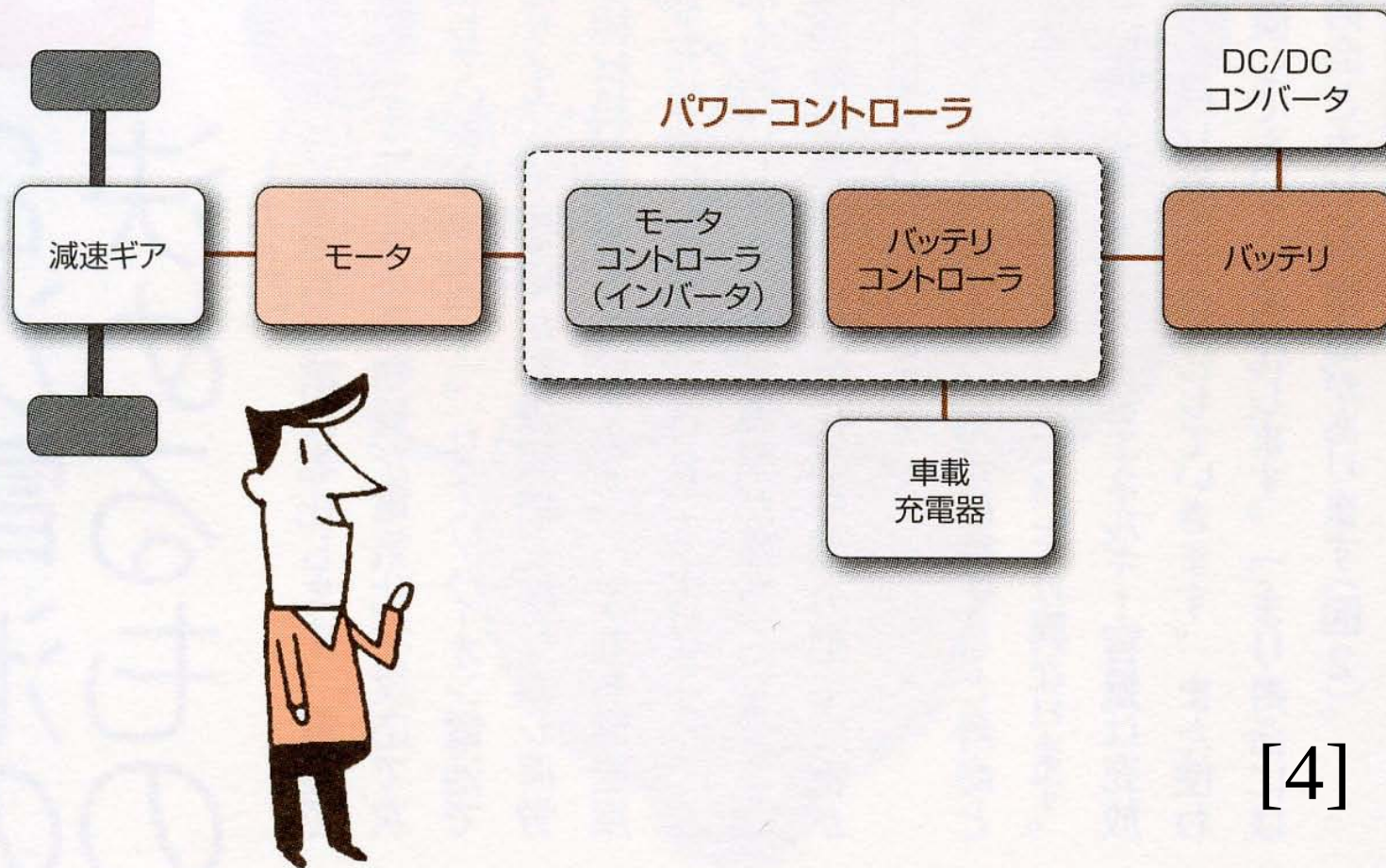
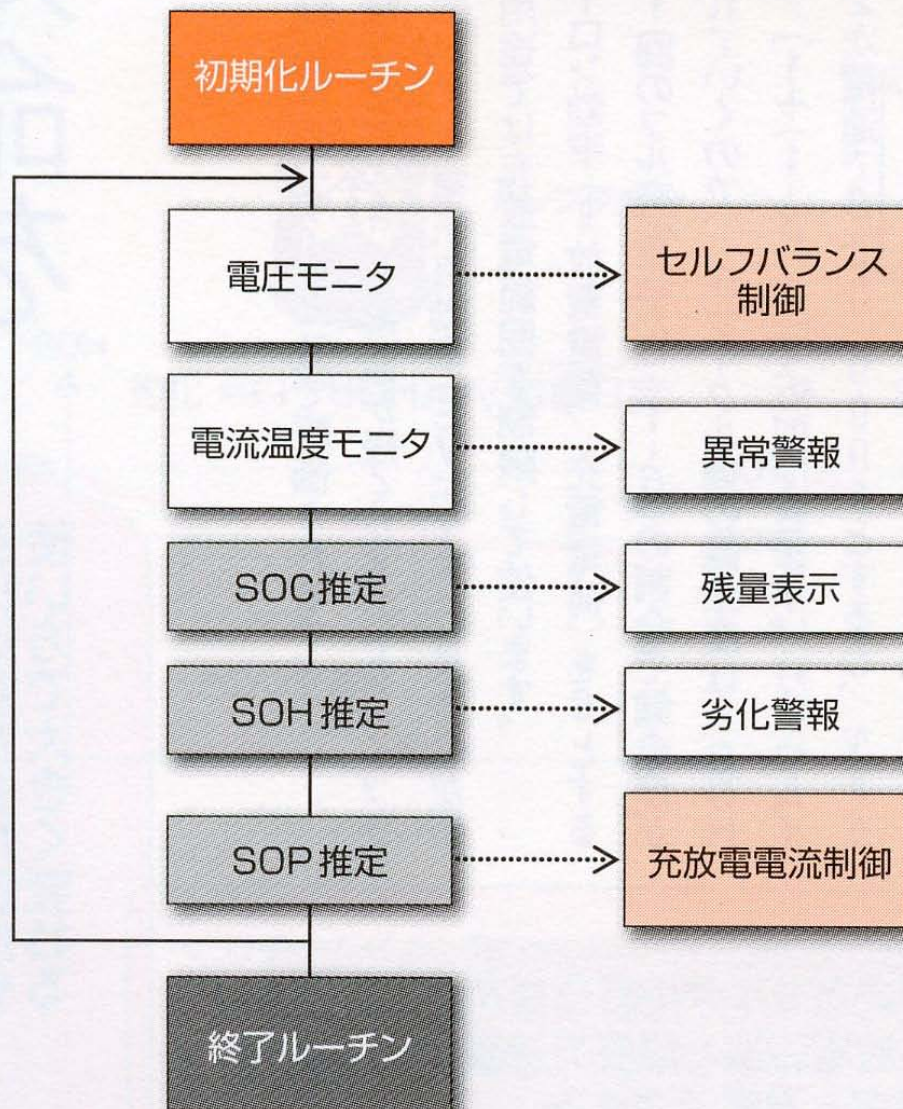


図2 バッテリコントローラの制御ルーチン



SOC: State of Charge  
SOH: State of Health  
SOP: State of Power

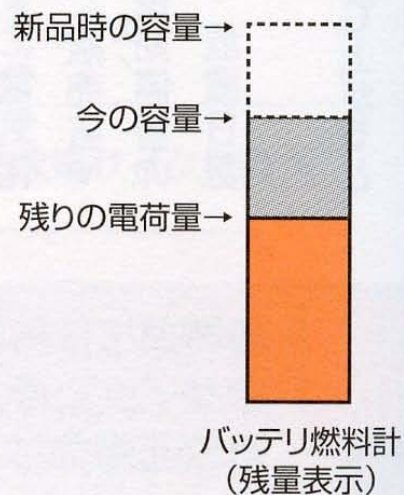


図1 直列可変抵抗による電圧制御

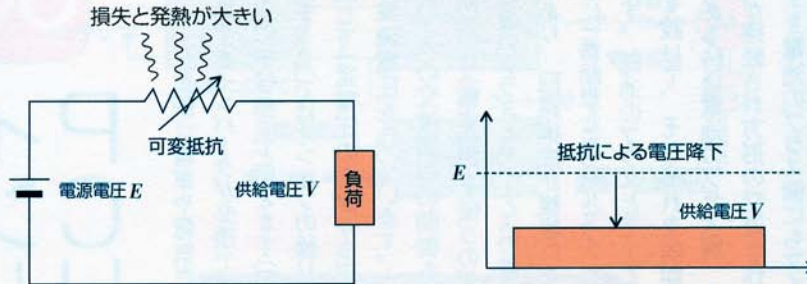


図2 直流チョップのPWM(Pulse Width Modulation)パルス幅変調

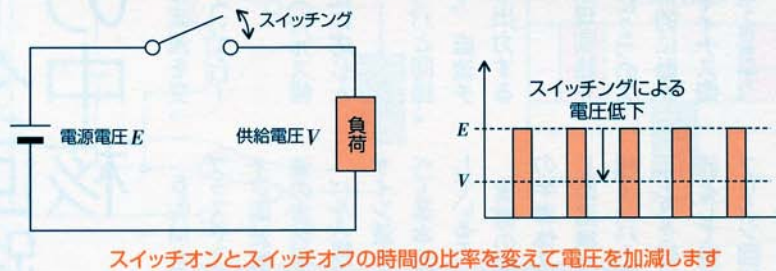
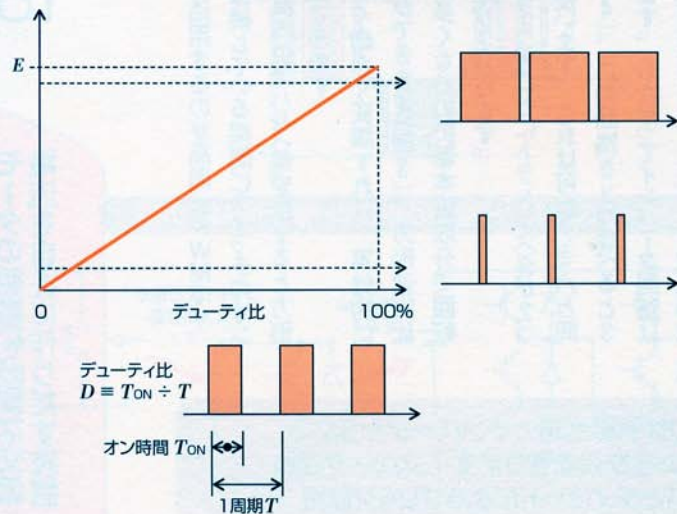


図3 PWMによる電圧調整



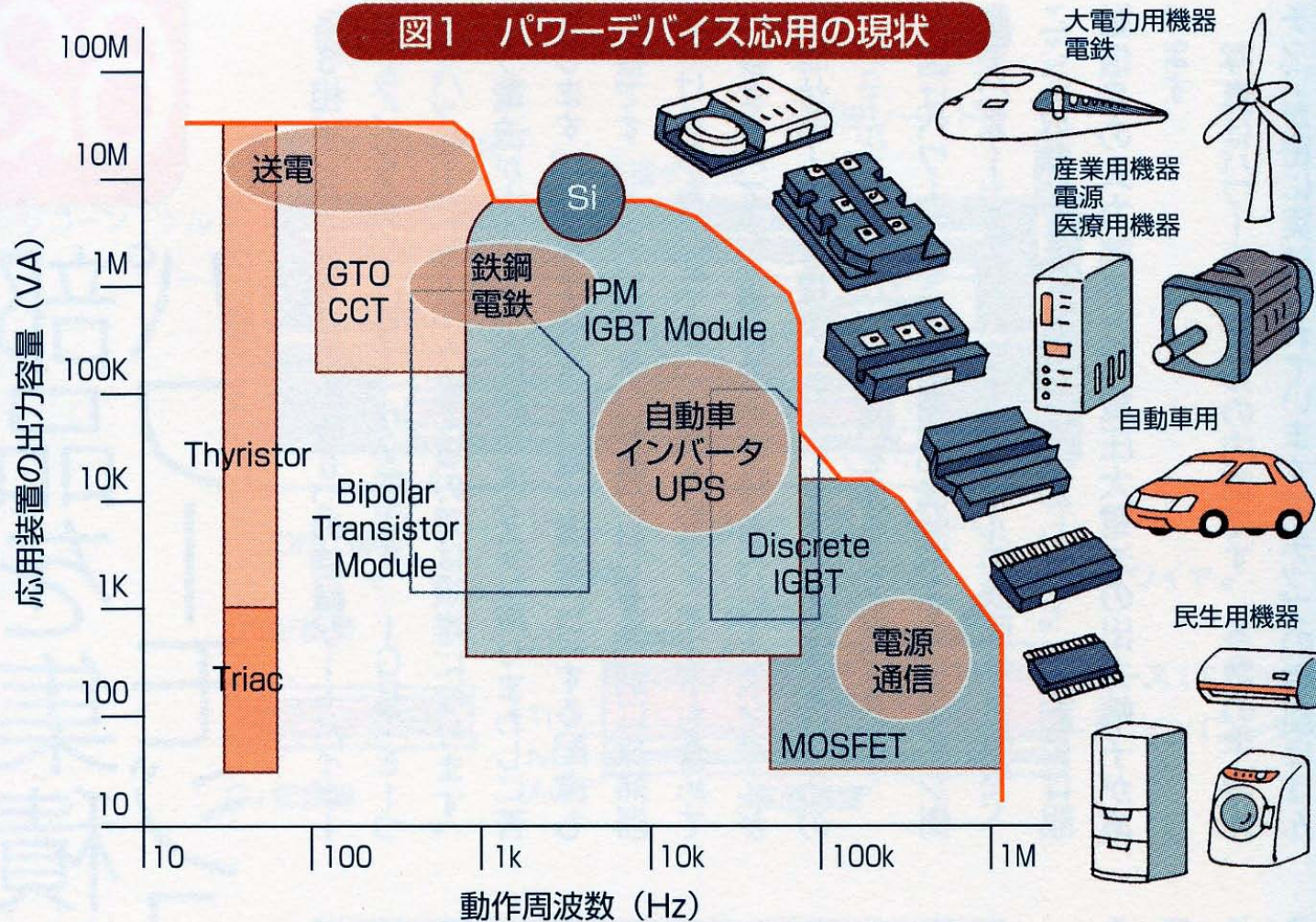
平均電圧は電源  
電圧と零の間

onの時間が長い

offの時間が長い

[4]





現在、中・大容量電力に適用されているパワーエレクトロニクス技術の発展のほとんどが、IGBT や IPM 技術の進化に支えられている。

出典：「三菱電機パワーデバイスの技術・製品動向のご案内」

<http://www.mitsubishichips.com/Japan/index.html> TripleA+ Technology Now

# 電気電子工学科における バッテリーマネージメント システム構築へ向けての 初歩的な取り組み

## 2つの例を紹介する

# BMSのための鉛蓄電池 内部抵抗測定方法の検討

愛媛大学  
電機制御工学研究室  
加地 啓太

# BMSの構成

モニタ、推定、制御、診断の流れ

表示

推定

残容量  
劣化度

制御・管理

- ・充放電レート
- ・温度管理
- ・セルバランス

診断

故障  
診断

電流・電圧・温度etc...  
モニタリング

レンジ  
レート  
制御

放電

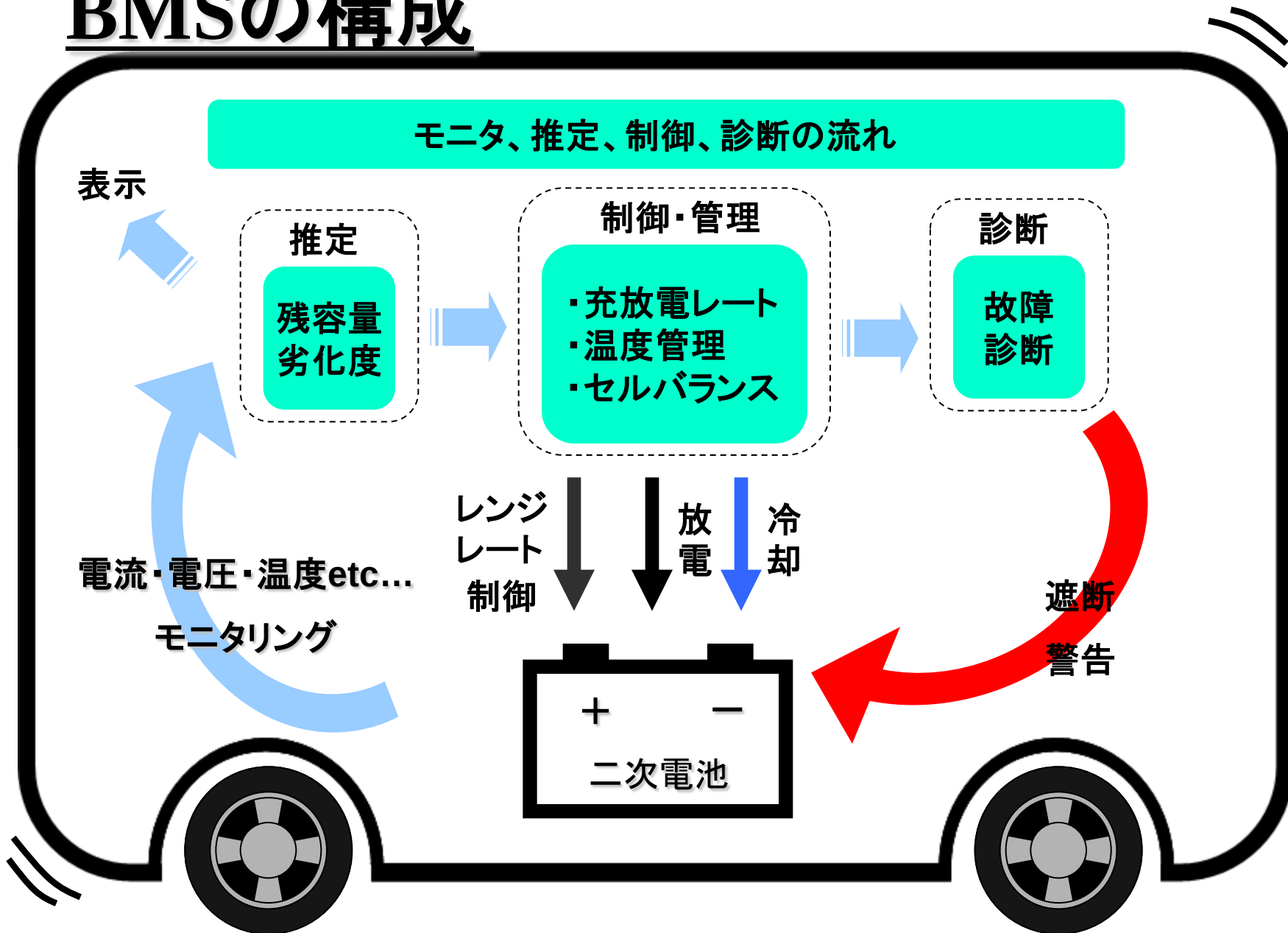
冷却

遮断  
警告

+

-

二次電池



# 目的

- Arduino基板を用いて、鉛蓄電池の内部インピーダンスの測定および、鉛蓄電池の状態をモニタリングするシステムを構築する。
- 鉛蓄電池の内部インピーダンスから、残容量や劣化度を推定する。

# Arduino

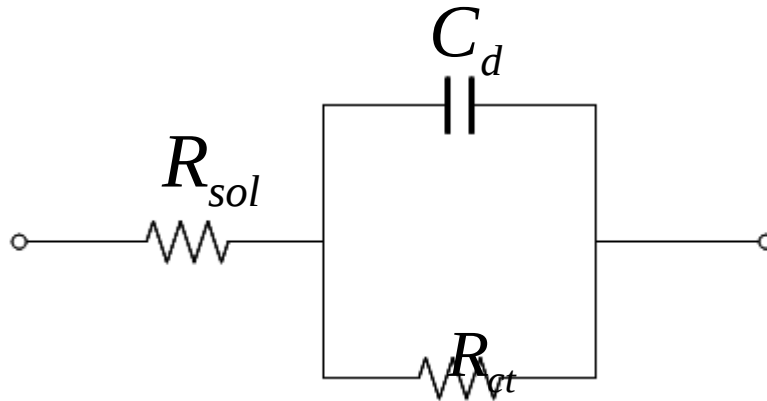
Atmel社の AVRマイコンを実装した基板と、開発システムから構成される、オープンソースハードウェア

## 特徴

- C++をベースとしている
- USB経由で書き込みが可能
- ソフト、ハード両方がオープンソース



# 二次電池の内部インピーダンス



$R_{ct}$ : 電荷移動抵抗

$R_{sol}$ : 液抵抗

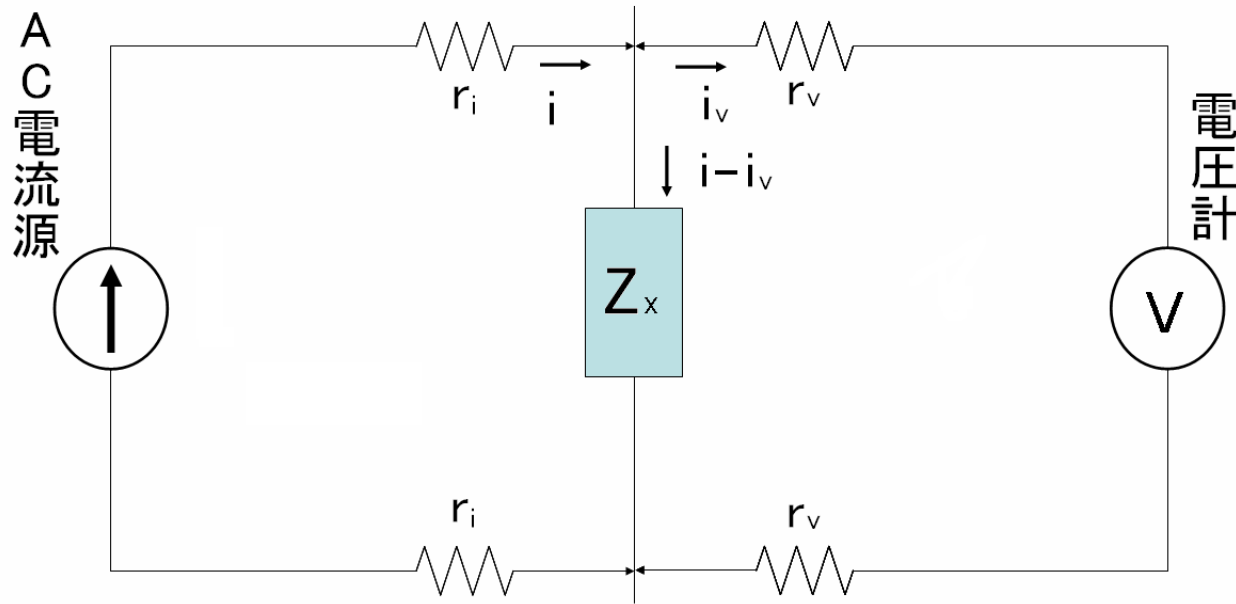
$C_d$ : 電気二重層容量

二次電池の内部インピーダンス

表. 放電による内部インピーダンスの変化

| 要素              | 変化 | 原因                               |
|-----------------|----|----------------------------------|
| 液抵抗 $R_{sol}$   | 増大 | 電解液の比重低下、陽極格子腐食による格子抵抗の増加、etc... |
| 電荷移動抵抗 $R_{ct}$ | 増大 | 有効反応活物質量の減少                      |
| 電気二重層容量 $C_d$   | 減少 | 有効反応活物質面積の減少                     |

# 交流4端子法



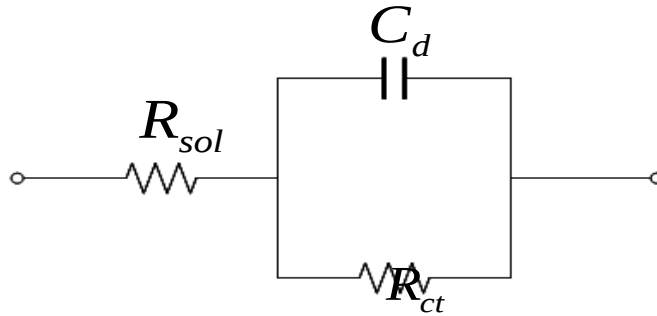
$r_i, r_v$ : 接触抵抗、線抵抗  
 $r$ : 電圧計の内部抵抗  
 $v_0$ : 電圧計の指示値  
 $Z_x$ : 内部インピーダンス

$$Z_x = \frac{v_0}{(i - i_v)}$$

$r \gg Z_x$  より  
 $i_v$  を無視

$$Z_x \cong \frac{v_0}{i}$$

# 各パラメータの導出



二次電池の内部インピーダンス

$R_{ct}$ : 電荷移動抵抗

$R_{sol}$ : 液抵抗

$C_d$ : 電気二重層容量

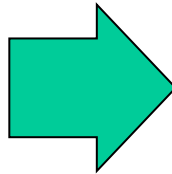
$$|\dot{Z}| = \sqrt{\left( R_{sol} + \frac{R_{ct}}{1 + \omega^2 C_d^2 R_{ct}^2} \right)^2 + \left( \frac{\omega C_d R_{ct}^2}{1 + \omega^2 C_d^2 R_{ct}^2} \right)^2}$$

3種類の周波数(10kHz,1kHz,500Hz)による交流4端子法

$$|\dot{Z}_{10k}| \quad \omega_{10k}$$

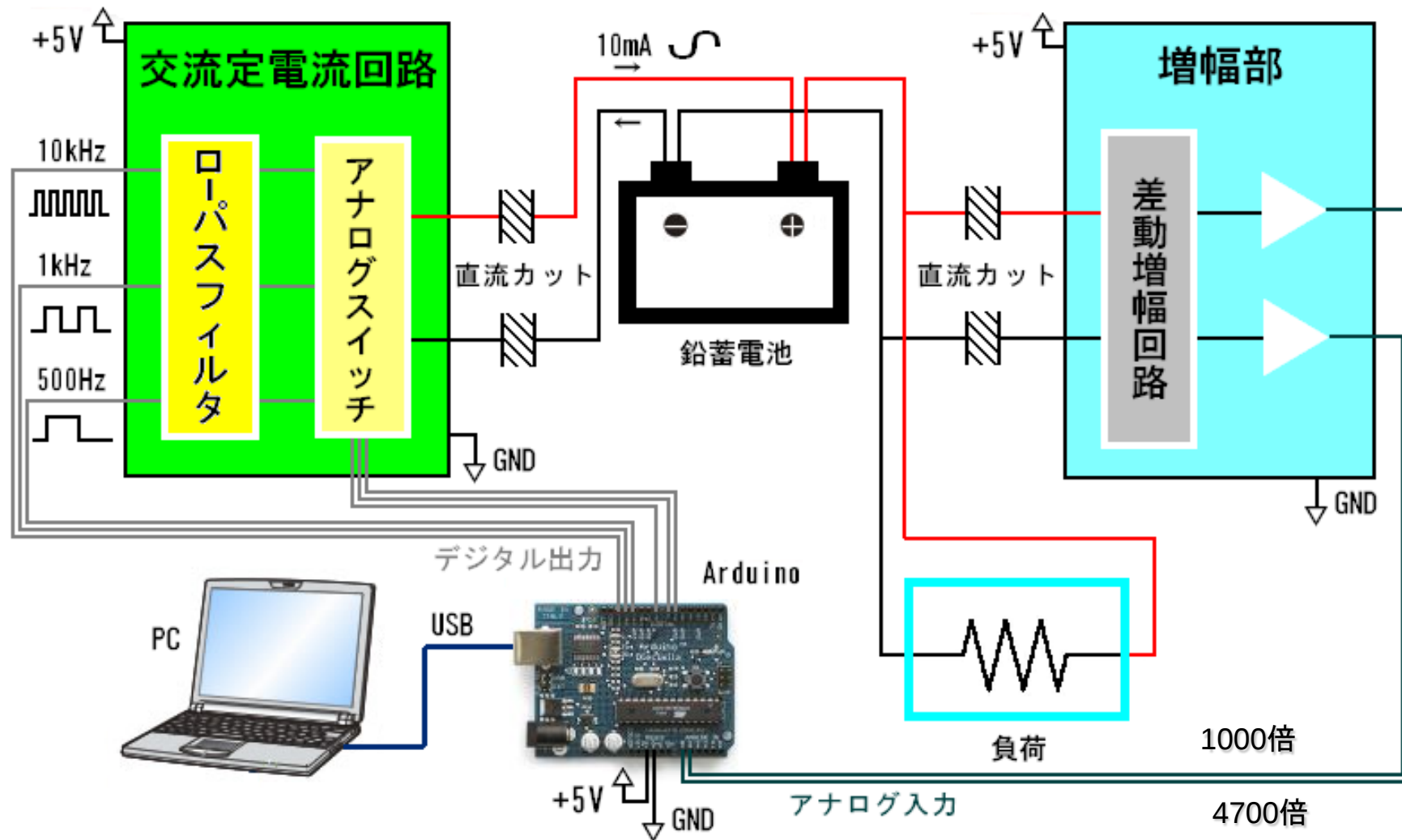
$$|\dot{Z}_{1k}| \quad \omega_{1k}$$

$$|\dot{Z}_{500}| \quad \omega_{500}$$

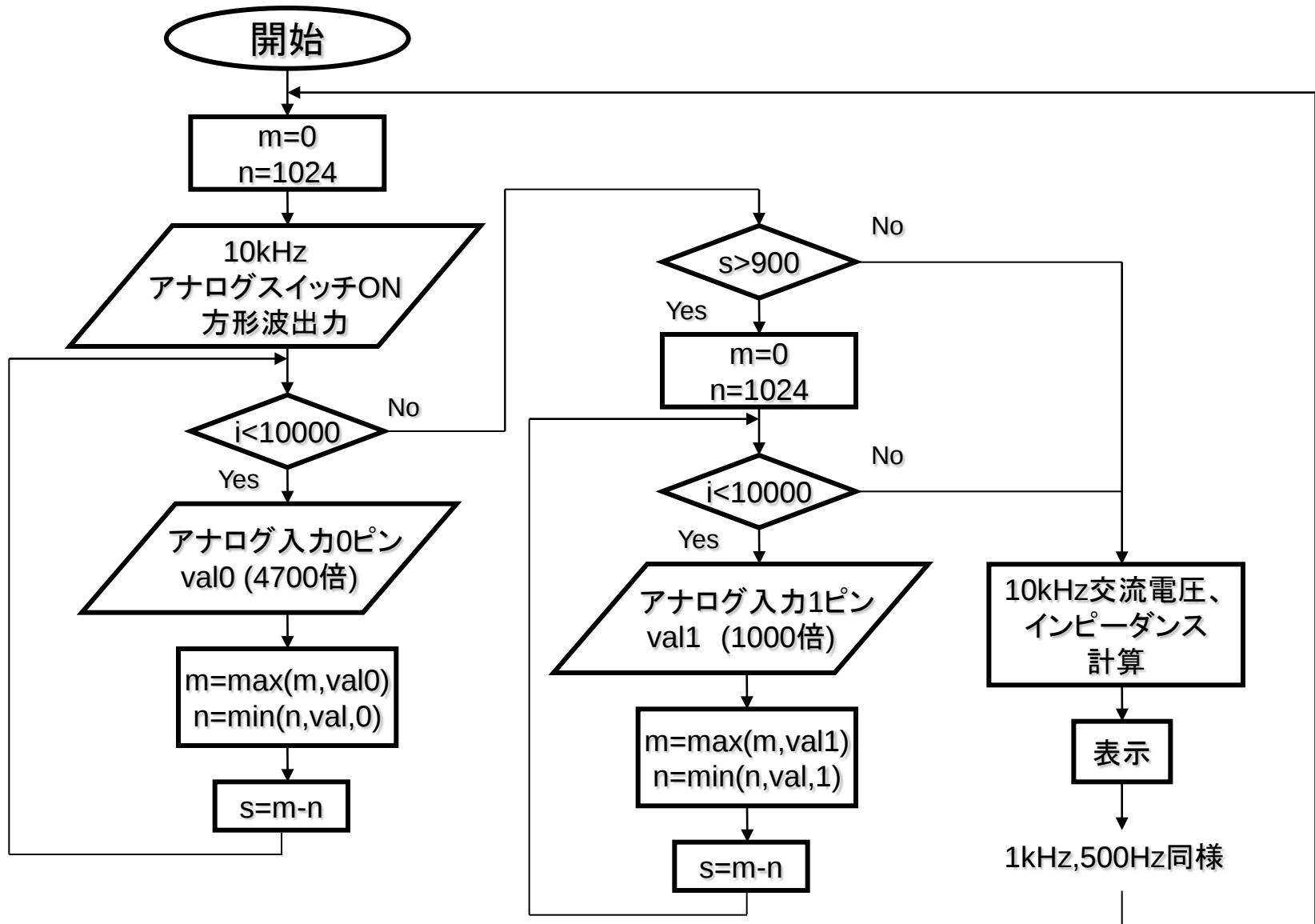


連立方程式により各成分の導出が可能

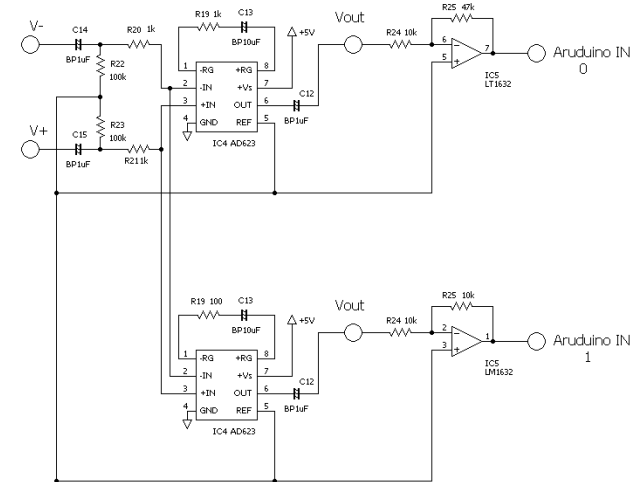
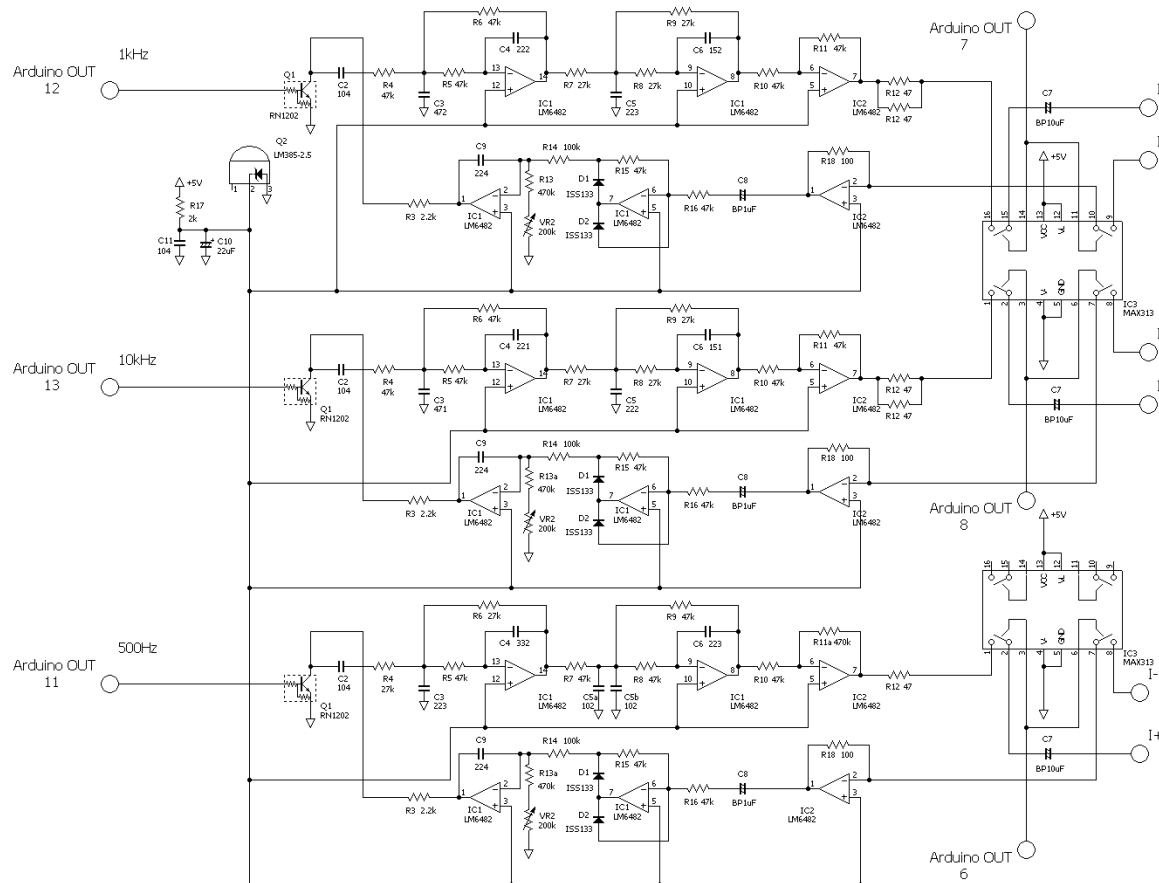
# 試作システムの構成



# フローチャート

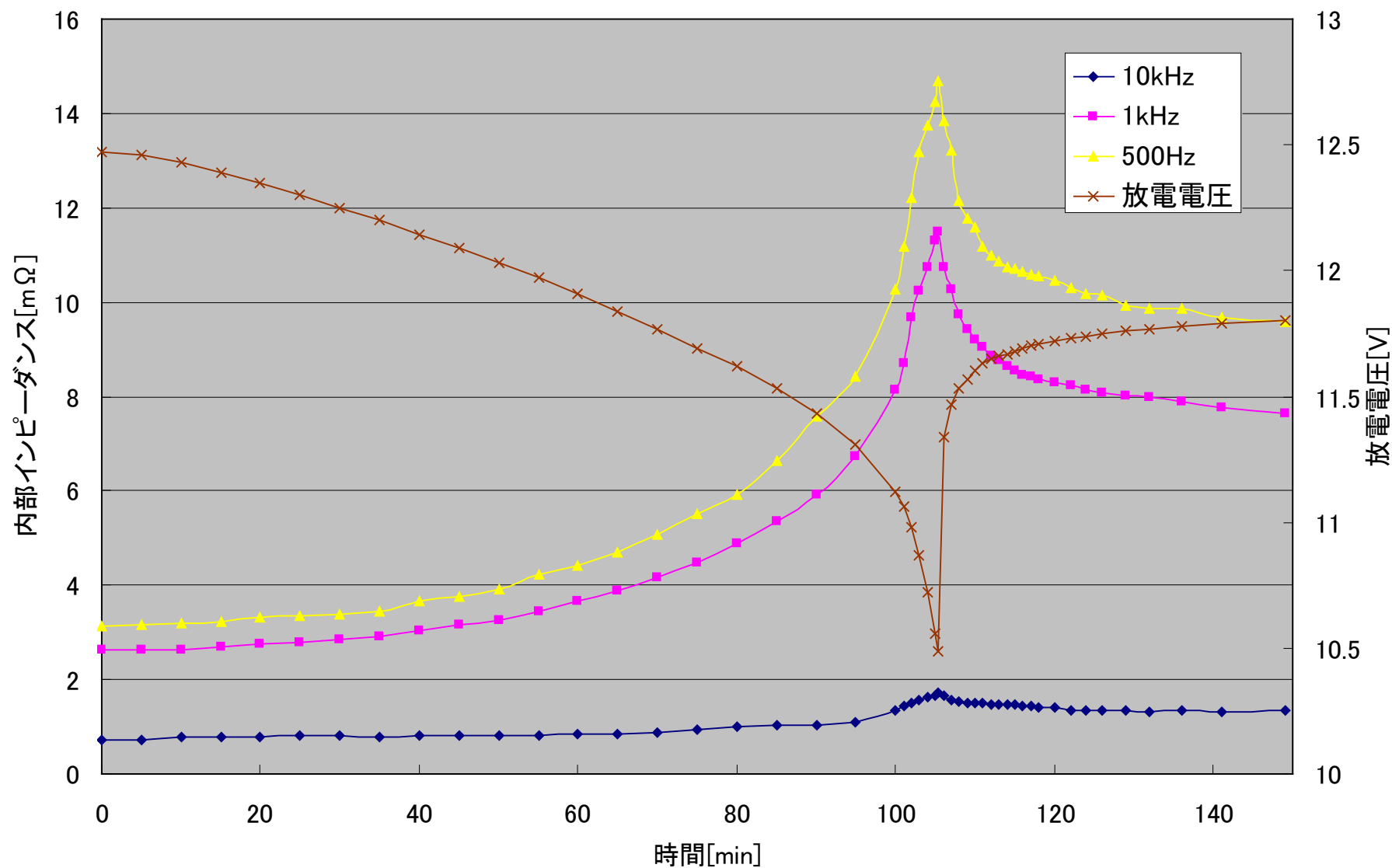


# 試作回路

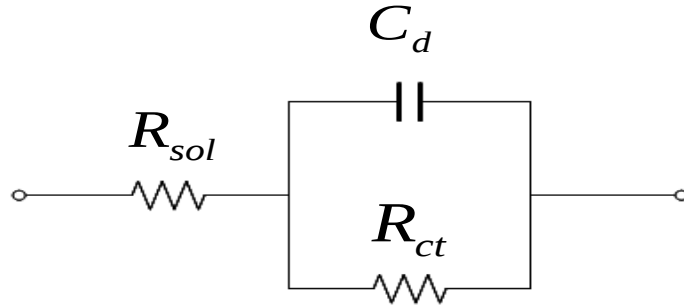


# 実験結果

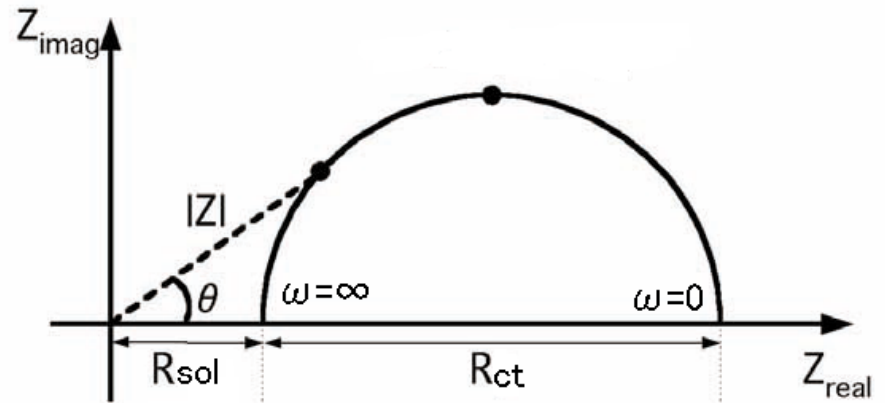
放電電圧と各周波数の内部インピーダンスの変化



# 考察①



二次電池の内部インピーダンス



Cole Cole Plot

$$|\dot{Z}| = \sqrt{\left( R_{sol} + \frac{R_{ct}}{1 + \omega^2 C_d^2 R_{ct}^2} \right)^2 + \left( \frac{\omega C_d R_{ct}^2}{1 + \omega^2 C_d^2 R_{ct}^2} \right)^2}$$

$$\theta = -\tan^{-1} \frac{\omega C_d R_{ct}}{R_{sol} + R_{ct} + \omega^2 C_d^2 R_{sol} R_{ct}^2} \quad \rightarrow \quad \lim_{\omega \rightarrow \infty} \theta \rightarrow 0$$

# 考察②

$\omega_{10k}$  で  $\theta \cong 0$  と近似すれば

これより

$$R_{sol} = |\dot{Z}_{10k}|$$
$$C_d = \sqrt{\frac{3\beta}{\alpha^2 - \alpha}} \quad R_{ct} = \sqrt{\frac{\alpha + \sqrt{\alpha + \frac{4\beta}{C_d^2}}}{2\omega_{1k}^2 \omega_{500}^2}}$$

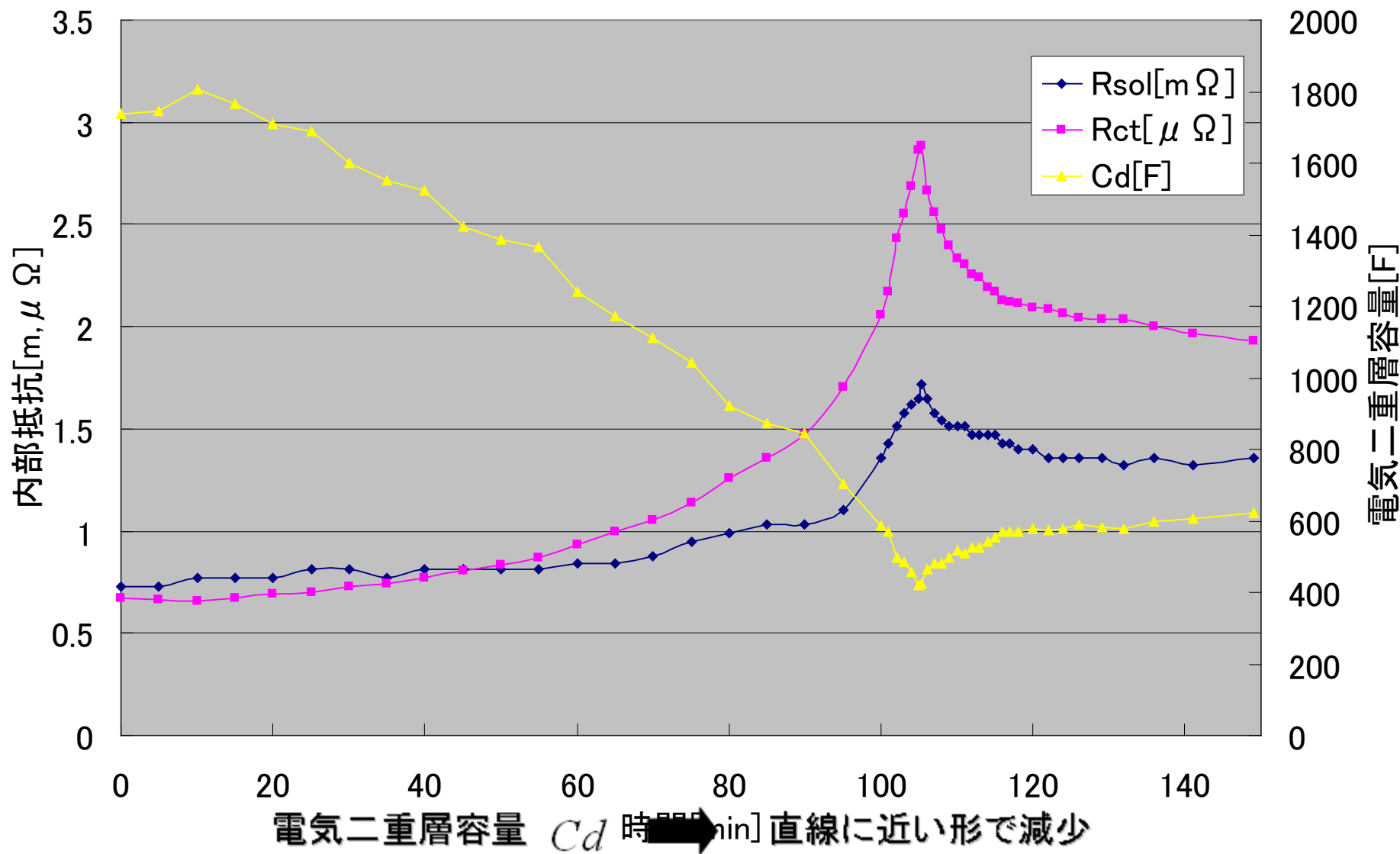
ただし

$$\alpha = \left( \omega_{1k}^2 |\dot{Z}_{1k}|^2 - \omega_{500}^2 |\dot{Z}_{500}|^2 \right) - |\dot{Z}_{10k}|^2 (\omega_{1k}^2 - \omega_{500}^2)$$

$$\beta = 4\omega_{1k}^2 \omega_{500}^2 \left( |\dot{Z}_{1k}|^2 + |\dot{Z}_{500}|^2 \right)$$

# 考察③

各パラメータの変化



# まとめ

- Arduino基板を用いて、鉛蓄電池の内部インピーダンスの変化をモニタリングするシステムを構築した。
- 交流4端子法を用いた、鉛蓄電池の内部インピーダンス測定回路を製作した。
- 3種類の周波数により、交流4端子法を行うことで、内部インピーダンスの各パラメータと、その変化を導出した。
- 電気二重層容量成分は、残容量の低下に伴い、ほぼ直線的に減少することが分かった。

# 今後の課題

- を導出し、劣化度による各パラメータの変化を求める劣化度の違う、鉛蓄電池の各パラメータ。
- 鉛蓄電池以外の2次電池で実験を行い、各パラメータを導出する。
- 各パラメータから、鉛蓄電池の状態を診断し、それに応じて鉛蓄電池を最適に制御する”BMS”を構築する。

# BMSのためのクーロンカウント 法による鉛蓄電池のSOC推定

愛媛大学大学院  
電機制御工学研究室  
松本 和毅

# 1.研究背景

環境対策の一環として  
二酸化炭素を排出する機器の電動化



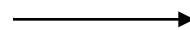
CO2を削減

ハイブリッド自動車 : 390kg/年(190kg/年削減)

電動バイク : 40kg/年(155kg/年削減)

## 問題点

- ・車両価格と航続距離のつりあい
- ・傾斜走行時の馬力不足
- ・給電設備の普及不足



重点は  
蓄電技術に

BMSのためのクーロンカウント法による鉛蓄電池の  
SOC推定

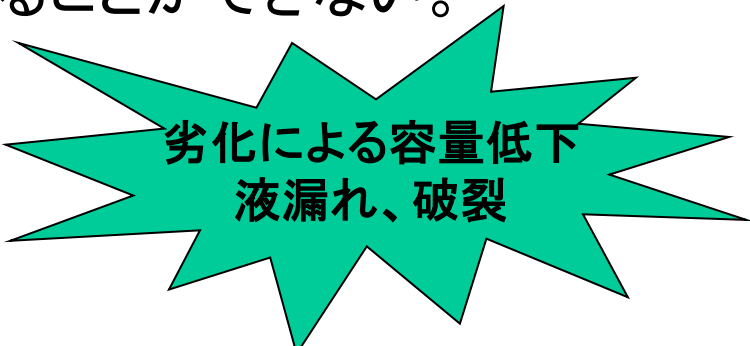
# 1.研究背景

二次電池技術の発展

Liイオン電池、電気二重層キャパシタなど新電池系の開発  
安全性と容量の両立

化学電池の状態把握は難しく、過酷な環境化では電池を酷  
使してし

まいモータの能力を活かしきることができない。

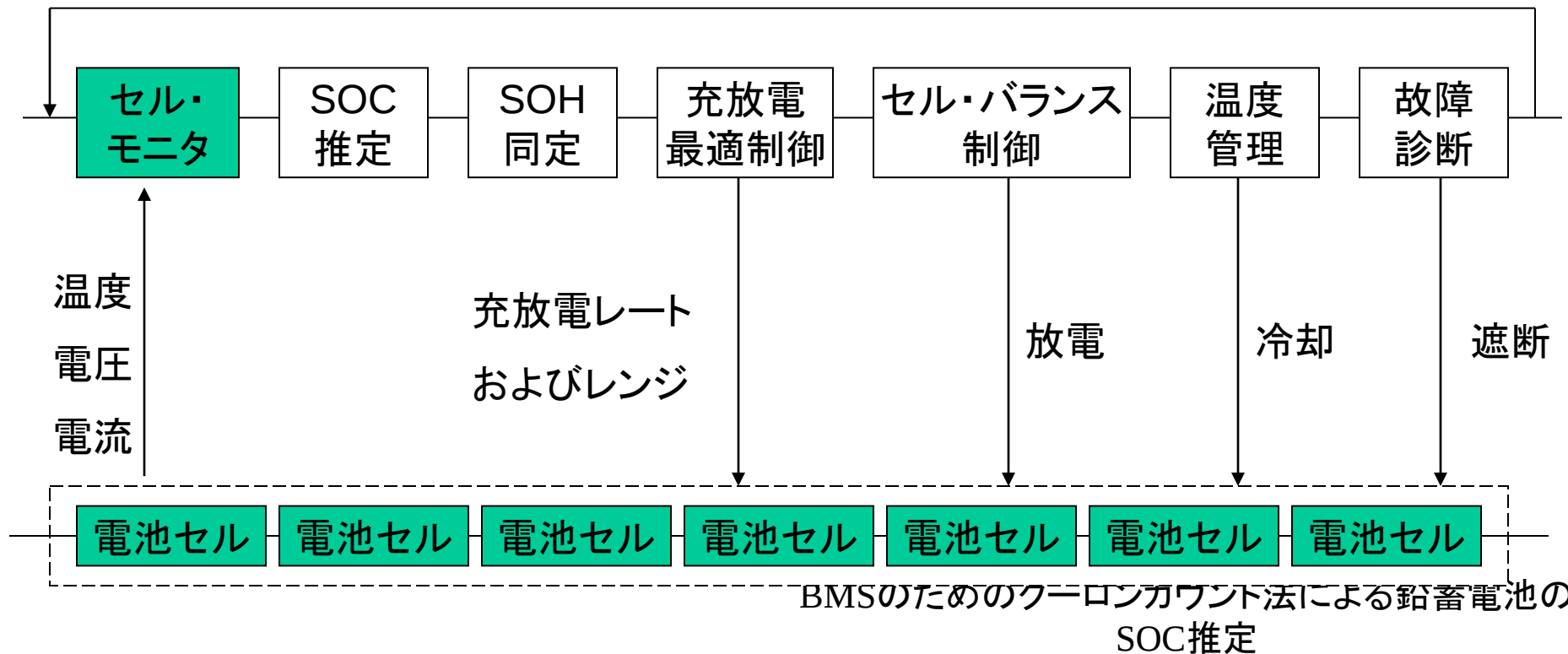


劣化による容量低下  
液漏れ、破裂

BMSのためのクーロンカウント法による鉛蓄電池の  
SOC推定

## 2. Battery Management System

素電池とそれを直並列した組電池の電氣的、熱的なマネジメントのため、充放電の最適化を行う制御ユニット  
→長期にわたる信頼性の確保



# 3.研究目的

## 電動車両普及の為の技術的アプローチ

二次電池の状態を把握し、充放電の最適化を行うBMSを構築  
電池性能を最大限に活用し劣化を抑制したい

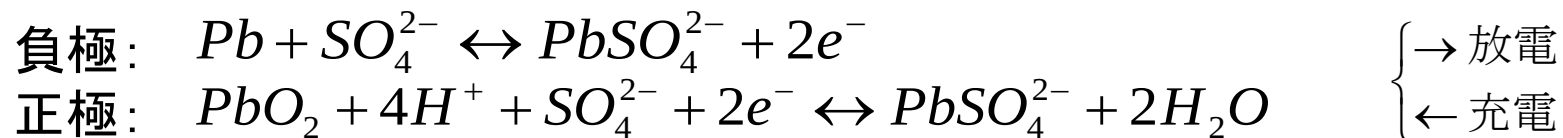
## 研究目的

BMSに必要な電池パラメータのモニタリングする回路を製作、  
電池状態の指標となるSOC(充電率)の推定を目的とする。  
方法としてクーロンカウント法を用い鉛蓄電池のSOCを測定  
実験から求め推定精度を確かめた。

# 4.鉛蓄電池について



|            |                 |
|------------|-----------------|
| 定格(WP8-12) | 完全密封型           |
| セル数        | 6               |
| 公称電圧       | 12V             |
| 容量         | 8Ah(10時間率)      |
| 重量         | 約2.7kg          |
| 最大放電電流     | 160A(for 30sec) |
| 内部抵抗       | 19mΩ(at 1kHz)   |
| 推奨最大充電電流   | 2.4A            |



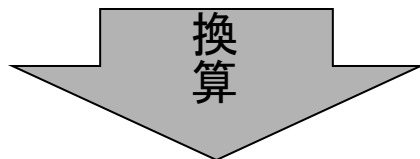
サルフェーション

負極板表面に硫酸鉛の硬い結晶が発生

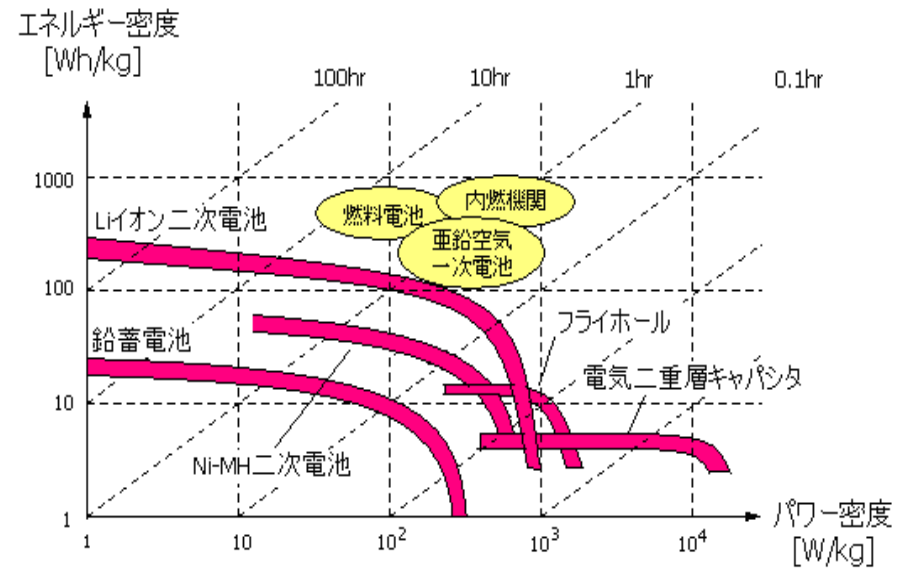
BMSのためのクーロンカウント法による鉛蓄電池の  
SOC推定

## 4.鉛蓄電池の役割

三菱自動車工業(株)  
電気自動車「i-MiEV」の搭載電池  
Liイオン電池(GSユアサ) 価格  
[81.4V200Ah] ￥200万



鉛蓄電池 ￥43万  
(WP8-12)  
電気二重層キャパシタ ￥3億8千万  
(2.5DSA1900M51)

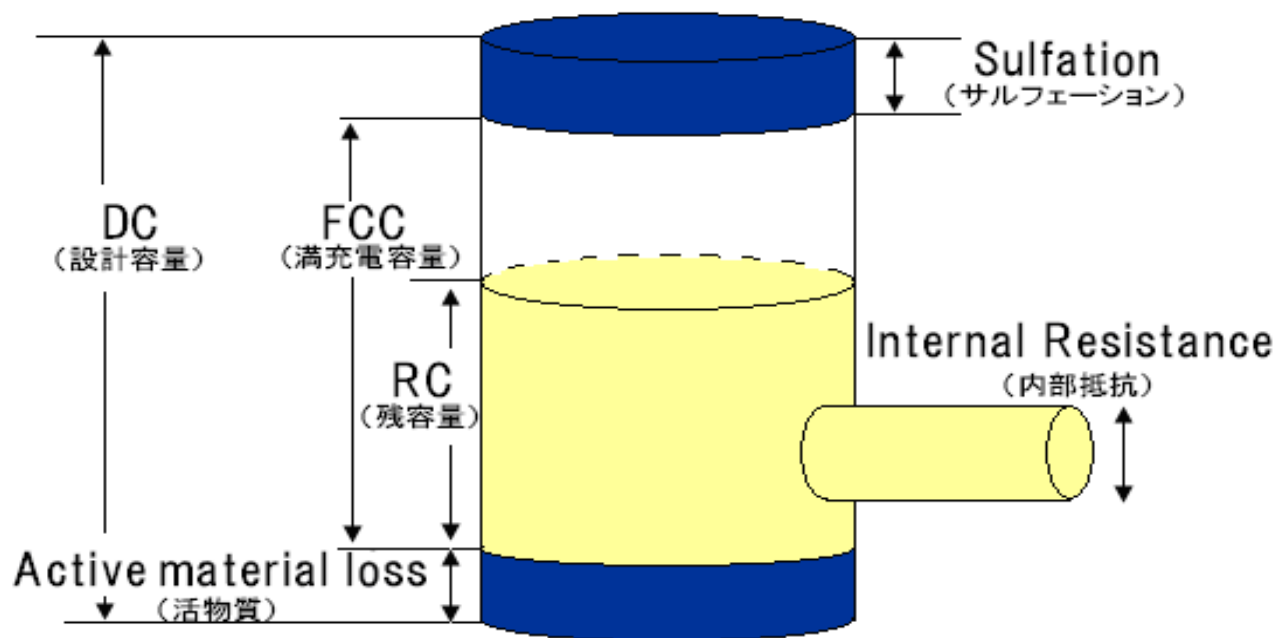


エネルギー密度…重量に対する容量の大きさ  
パワー密度…電荷の出し入れのしやすさ

低単価、長寿命が最大の特徴。スクーター、フォークリフトなどの短距離走行電動車両では最も利用されている。

BMSのためのクーロンカウント法による鉛蓄電池のSOC推定

## 5. 鉛蓄電池のパラメータ説明



充電率 :  $SOC = \frac{RC}{FCC}$  (残量電荷の比率を表す)

健全度 :  $SOH = \frac{FCC}{DC}$  (劣化度合いを表す)

BMSのためのクーロンカウント法による鉛蓄電池の  
SOC推定

# 6.クーロンカウント法

電流の時間積分で電荷を求める方法

$$Q(t) = \int I(t)dt$$

$$[C] = [A] * [\text{sec}]$$

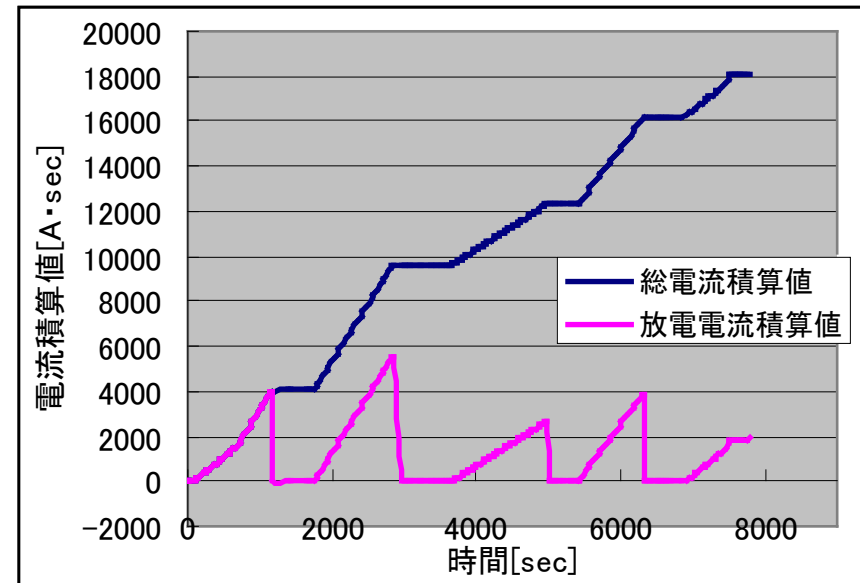
放電開始前の充電率をSOC<sub>0</sub>とし、放電電荷をFCCと比較する。

$$SOC = SOC_0 \pm \frac{\int I(t)dt}{FCC} \quad (1)$$

(充電)  
(放電)

状態変数SOC<sub>0</sub>、FCCを求める必要がある。  
そこで、SOC<sub>0</sub>をOCVより算出。FCCを次式によって表す

$$FCC = \beta * SOH * DC \quad (2)$$



β: 出力効率 SOH: 健全度  
DC: 設計容量 FCC: 満充電容量

BMSのためのクーロンカウント法による鉛蓄電池のSOC推定

# 7.OCV推測からのSOC<sub>0</sub>取得

## Open Circuit Voltage法

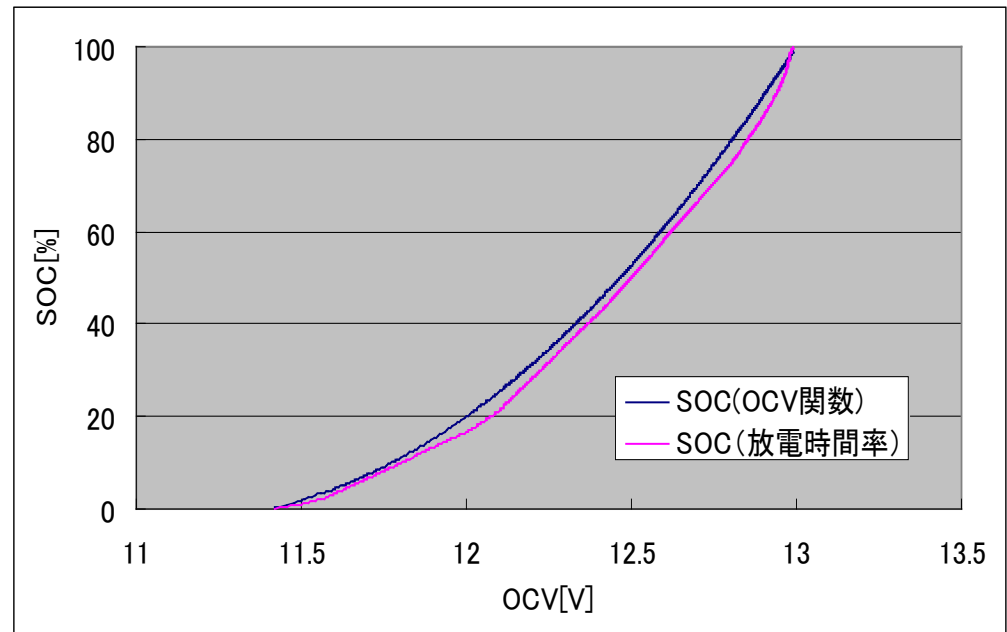
内部抵抗により負荷接続状態では電圧降下が生じる(Irドロップ)。バッテリーの起電力となるOCVを測定することでSOC推定ができる。

放電中にOCVを測定することはできない  
電圧変化からOCV推測

↓  
二次曲線により近似

充電率プロット

| OCV[V] | SOC[%] |
|--------|--------|
| 13     | 100    |
| 12     | 20     |
| 11.4   | 0      |

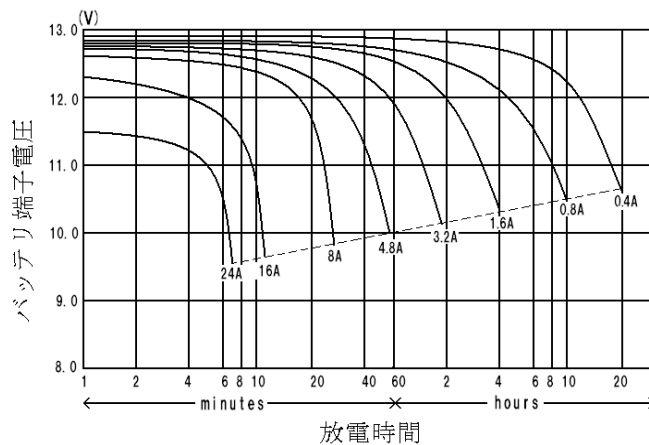


$$SOC = \frac{1}{1.2} (35 * OCV^2 - 779 * OCV + 4332)$$

BMSのためのクーロンカウント法による鉛蓄電池の  
SOC推定

# 8.出力効率の算出

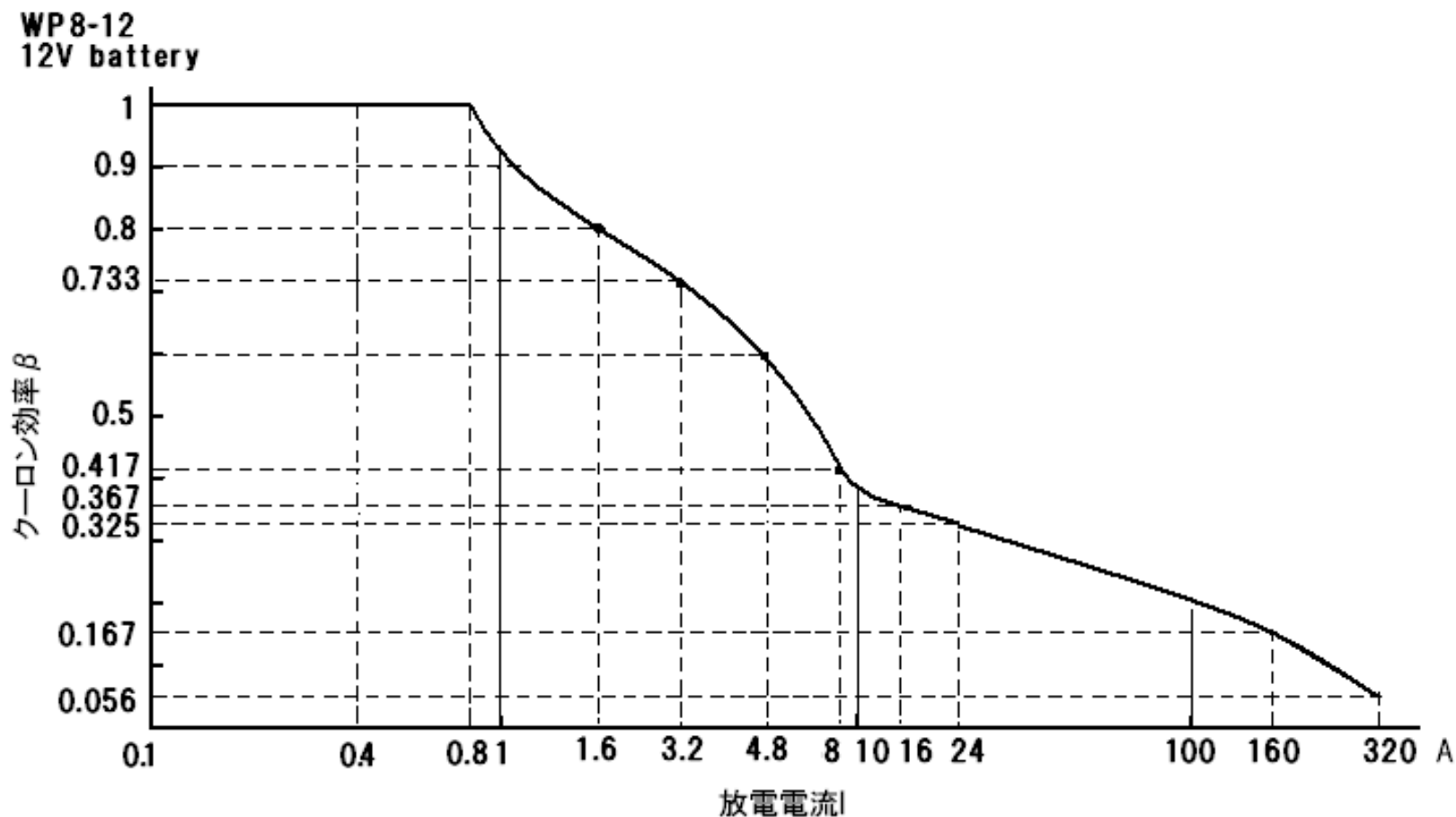
二次電池では放電電流に相對して利用できる電荷が減少する



| 放電電流<br>[A] | 放電時間<br>[sec] | 電荷量<br>[A・sec] | Q <sub>x</sub> | 出力効率β<br>[Q <sub>x</sub> /Q <sub>0</sub> ] |
|-------------|---------------|----------------|----------------|--------------------------------------------|
| 0.4         | 72000         | 28800          | Q <sub>0</sub> | 1                                          |
| 0.8         | 36000         | 28800          | Q <sub>0</sub> | 1                                          |
| 1.6         | 14400         | 23040          | Q <sub>1</sub> | 0.8                                        |
| 3.2         | 6600          | 21120          | Q <sub>2</sub> | 0.733333                                   |
| 4.8         | 3600          | 17280          | Q <sub>3</sub> | 0.6                                        |
| 8           | 1500          | 12000          | Q <sub>4</sub> | 0.417                                      |

BMSのためのクーロンカウント法による鉛蓄電池の  
SOC推定

## 8.出力効率の算出



BMSのためのクーロンカウント法による鉛蓄電池の  
SOC推定

# 9.SOH算出によるFCCの導出

式(1)、式(2)より、
$$\frac{\int I(t)dt}{FCC} = \frac{\int I(t)dt}{\beta \cdot SOH \cdot DC} = SOC_0 - SOC = \text{電荷使用率}$$

$$SOH = \frac{\int I(t)dt}{\beta \cdot DC \cdot \text{電荷使用率}} \quad (3)$$

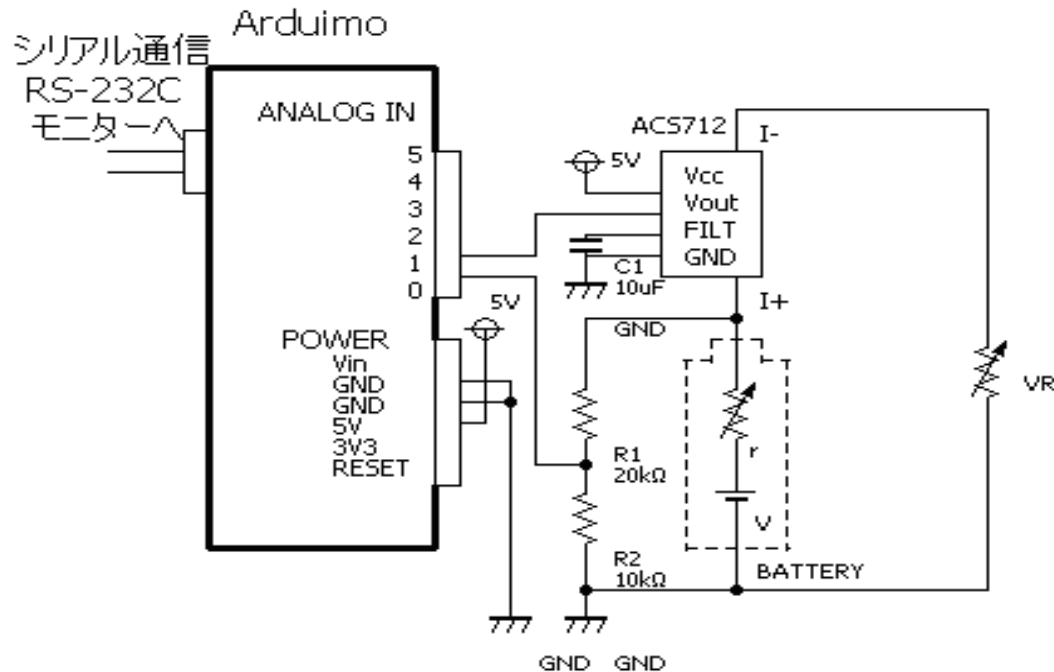
SOHの導出(DC=28800[A・sec])

| 放電電流<br>[A] | 出力効率<br>$\beta$ | 電流積算値<br>[A・sec] | 電圧変化[V]     | 電荷使用率  | SOH   |
|-------------|-----------------|------------------|-------------|--------|-------|
| 1.5         | 0.87555         | 18507.67         | 12.58～10.39 | 0.8000 | 0.920 |
| 1.5         | 0.87555         | 18899.50         | 12.65～10.48 | 0.8125 | 0.922 |
| 4.5         | 0.63666         | 15527.03         | 12.70～10.22 | 0.9375 | 0.917 |

**SOH = 0.92**

BMSのためのクーロンカウント法による鉛蓄電池の  
SOC推定

# 10.実験回路の説明

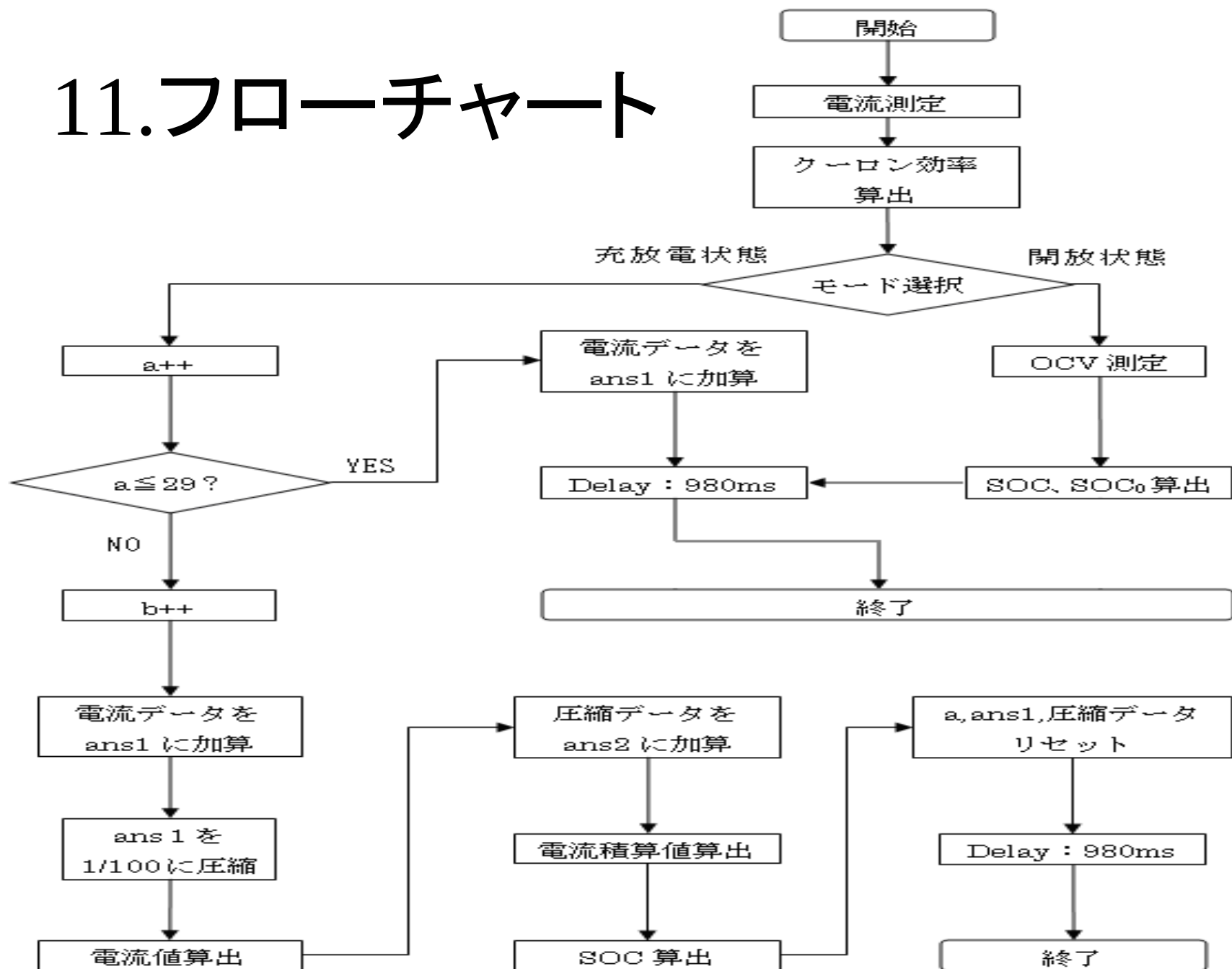


Arduino基盤を用いてモニタリング

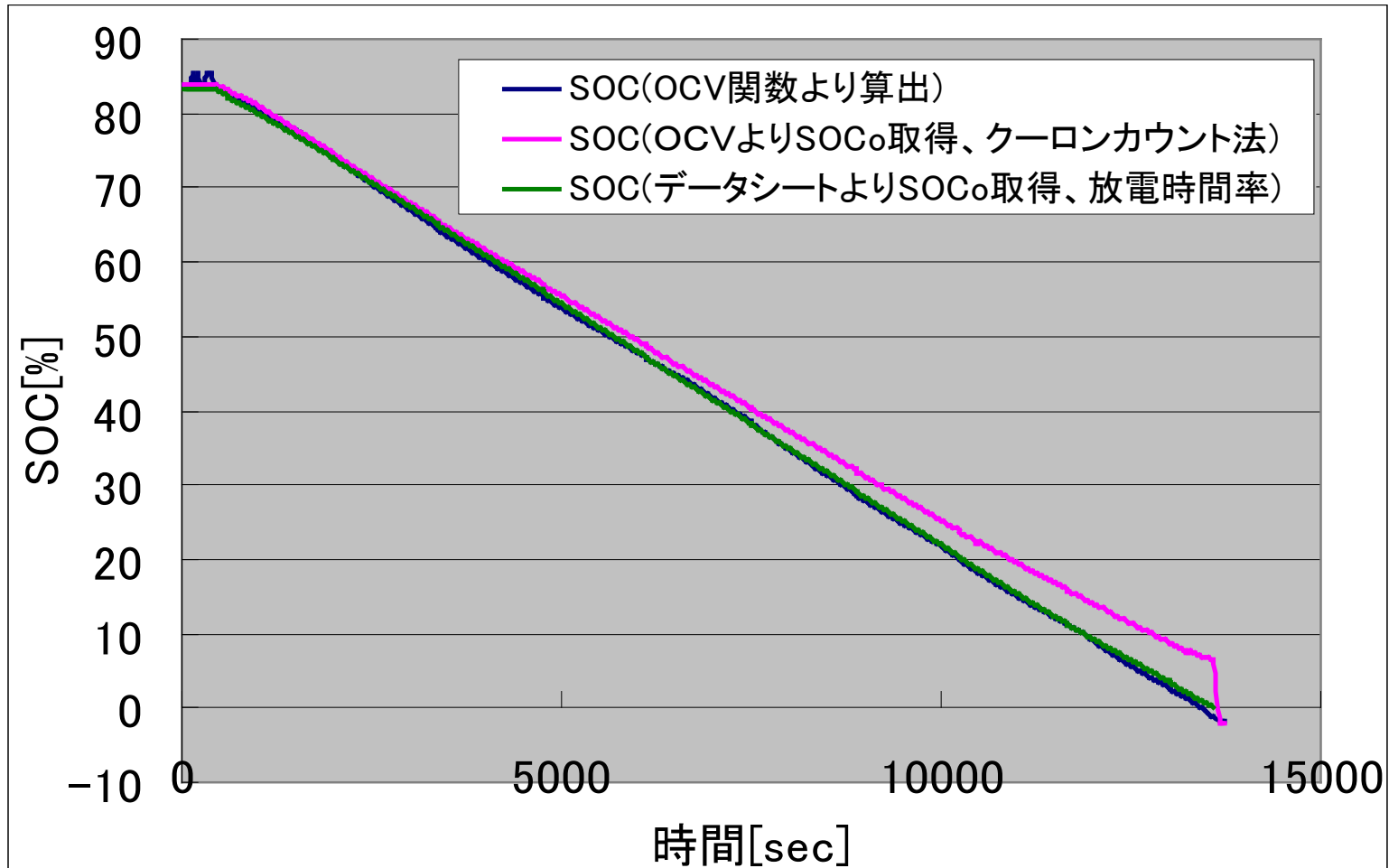
- 鉛蓄電池端子電圧(1/3に分圧)
- 放電電流(ACS712を利用)

BMSのためのクーロンカウント法による鉛蓄電池の  
SOC推定

# 11.フローチャート

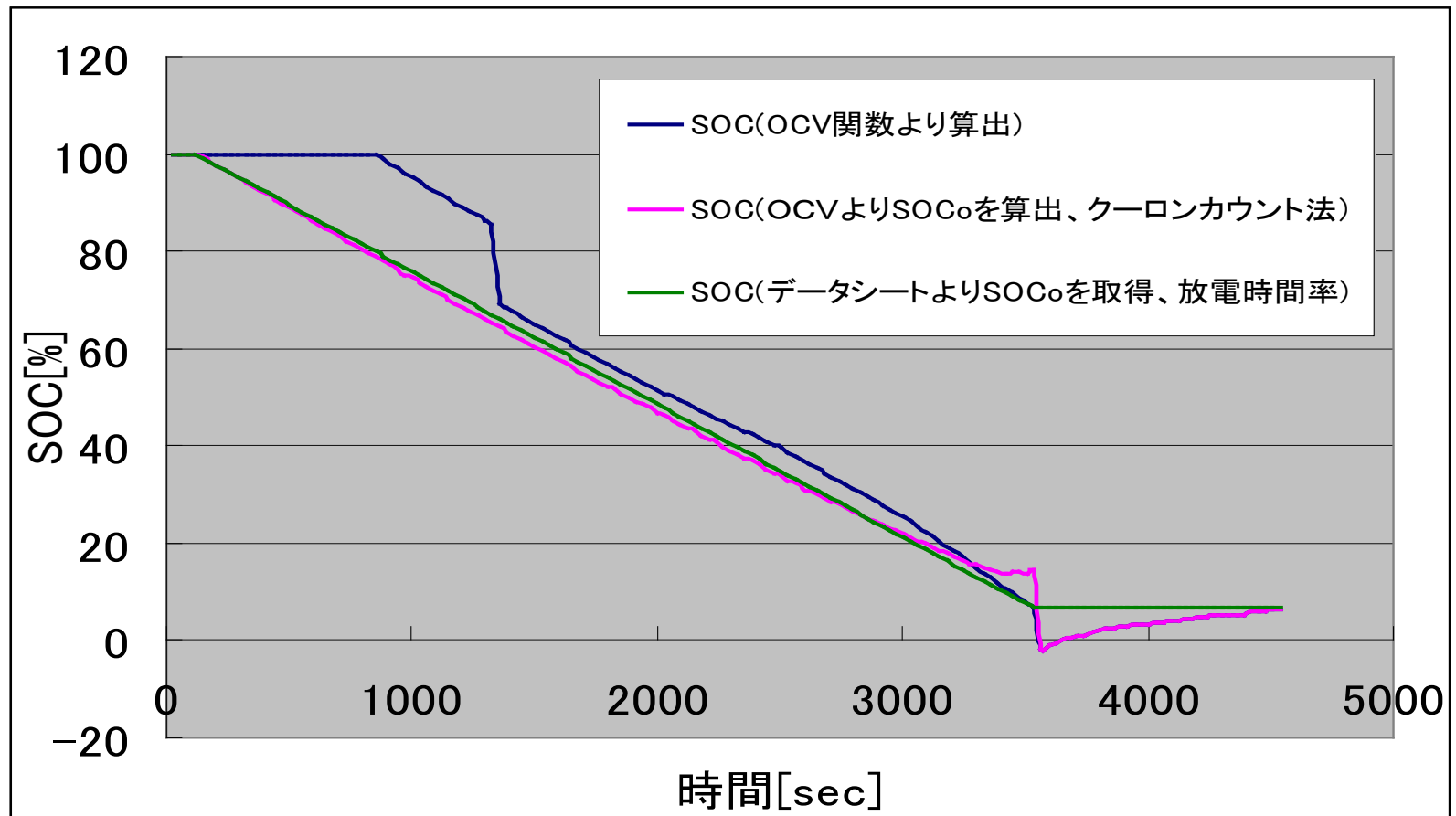


# 12.SOC推定実験



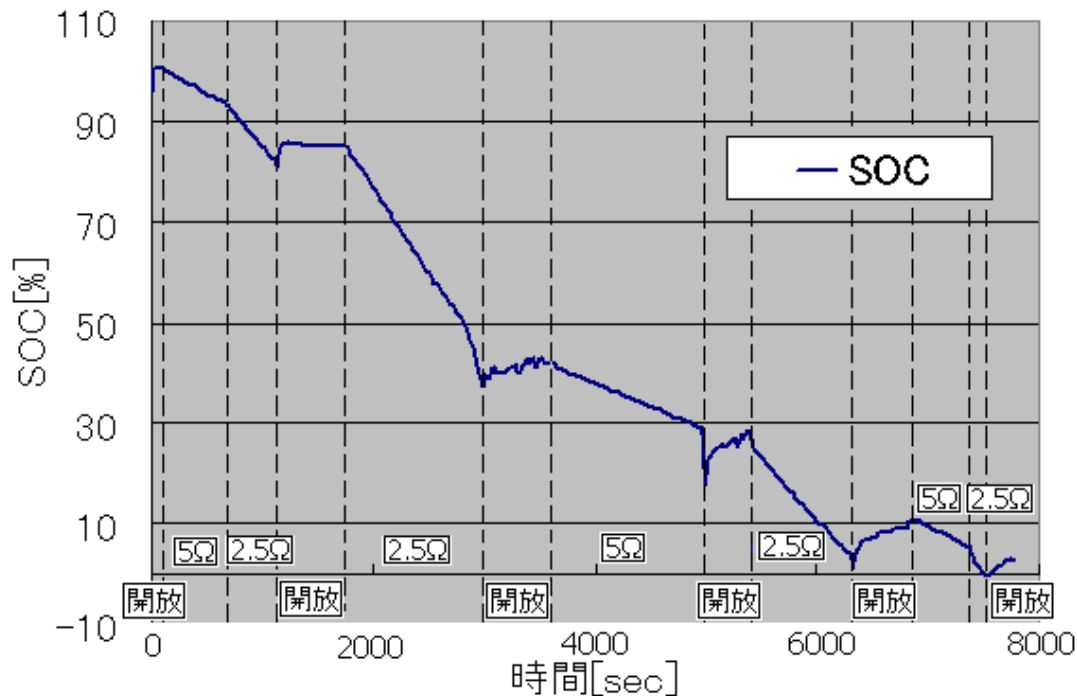
BMSのためのクーロンカウント法による鉛蓄電池の  
SOC推定

# 13.SOC推定実験(充電直後)



BMSのためのクーロンカウント法による鉛蓄電池の  
SOC推定

# 14. 走行時を想定したSOC推定



BMSのためのクーロンカウント法による鉛蓄電池の  
SOC推定

# 15.まとめ

SOCが比較的高い状態では高い推定精度を得ることができ、40%以上の状態では測定誤差は最大5%であった。

OCVによるSOC0の取得は課題とされていた電流積算値の誤差を補正しており、クーロンカウント法によるSOC推定法は自動車のように走行と停止を繰り返す放電環境においても有効であると分かった。

# 16. 今後の課題

- **OCVの測定方法を再検討**

放電深度の深い状態では、放電時の端子電圧とOCVの間には大きな電位差が生じていた。原因としては、バッテリーの内部抵抗の急増加にあると考えられ、本来のOCVを測定するには開放状態の期間が短すぎた。

- **温度補正やSOHの推定**

化学電池の特徴である使用環境による状態変化を捉え誤差を補正する。推定に用いるパラメータを増やし推定精度の向上が期待できる。

# 直流の昇圧、降圧回路

図2 電圧の違う電源ラインにDC/DCコンバータ

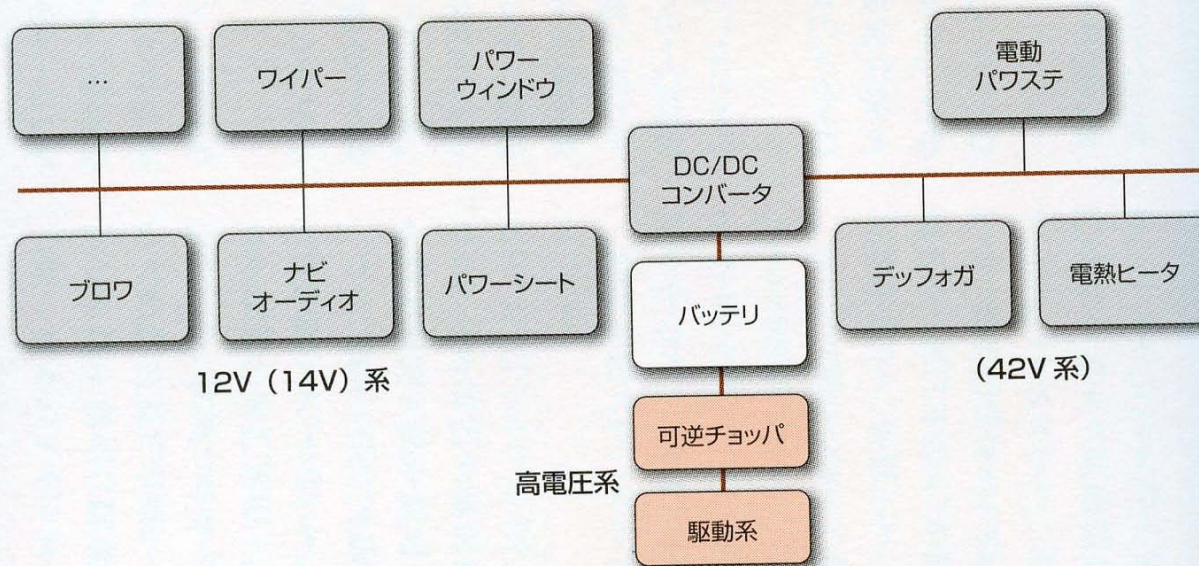
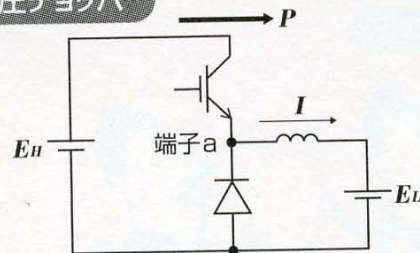
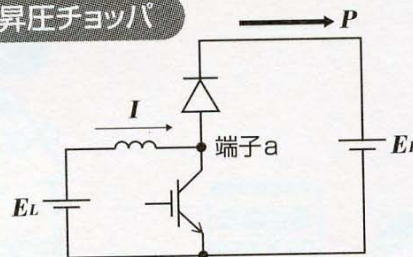


図3 チョッパによるDC-DC変換

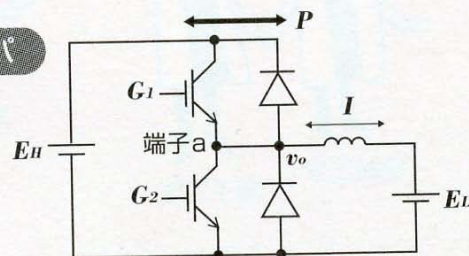
(a) 降圧チョッパ



(b) 昇圧チョッパ



(c) 可逆チョッパ



$P$  は電気エネルギーの流れの方向

直流に対する  
変圧器

[4]

過渡応答の演習問題として、  
各自この回路の応答を  
解いてみてください。

どうでもいいことですが・・・

日本における電気自動車の歴史

# 電気自動車

GS湯浅のホームページ[net]から

1873年、英国で初めて電気自動車が誕生。

なお、ガソリン自動車の完成は1884年。

1899年、日本に初めて電気自動車が輸入される。

米国製プログレス三輪電気自動車。

明治期の自動車は電気自動車を中心・10種類を超え、数十台が利用されていた。



デトロイト号1917年、米国より「デトロイト号」5台輸入される。[net]

# 大正時代の電気自動車

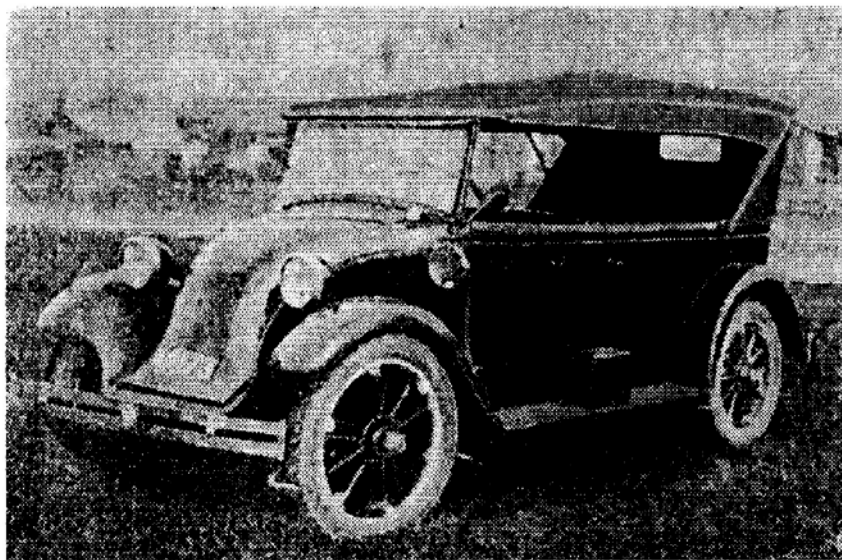
エス・ビーのエスは発明者のスレーピー博士(Dr.Slaby)の頭文字、ビーは製作者ベリンガー (Beringer)の頭文字をとった車名である。

## 松山でも

松山市三番町10番地「エス・ビー電気自動車株式会社」を設立。大正12年。

大正15年解散。

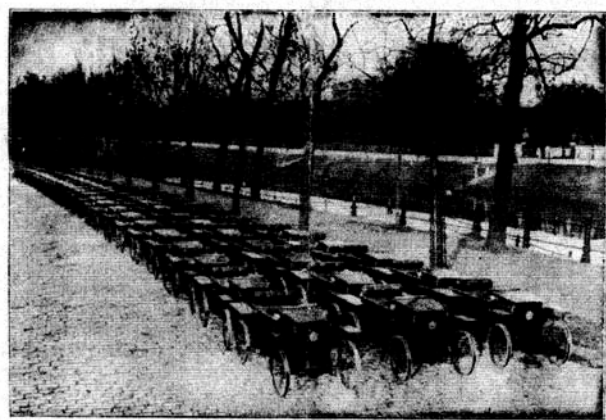
大正13年に神戸高等工業学校で電気自動車を作っている。



大正13年、神戸高等工業学校で製作した電気自動車（出典B）

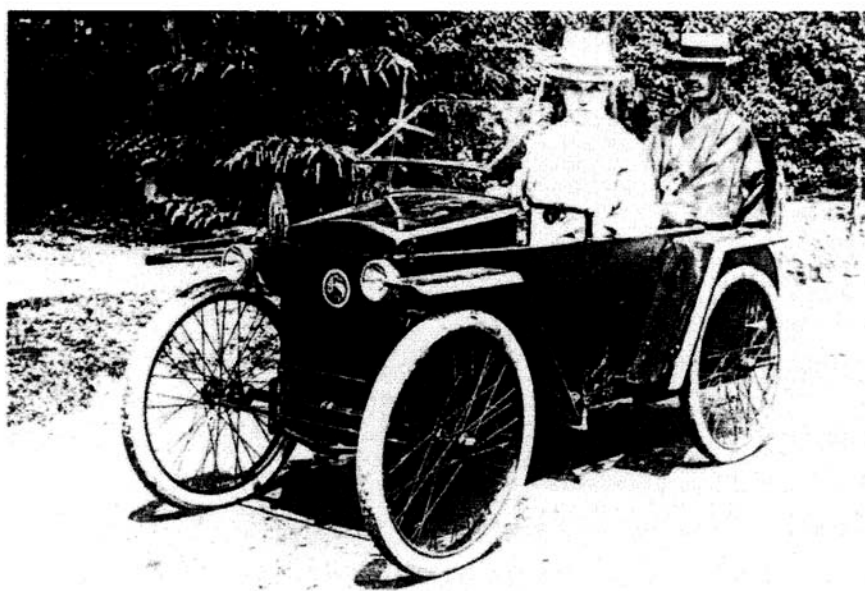
運轉手の免状を要せし

市林伯逸獨  
社會式株造製車轉自氣電一ヒスエ



店理代義洋東  
會商車轉自氣電獨日

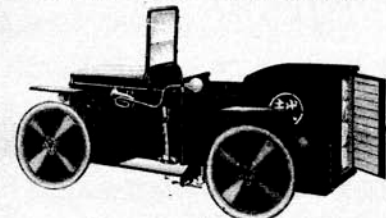
輸入された日独電気自転車商会のエス・ビー電気自転車（石田祐二郎氏提供）



エス・ビー電気自転車に乗る日本電池株式会社島津源蔵（「日本電池100年史」より）

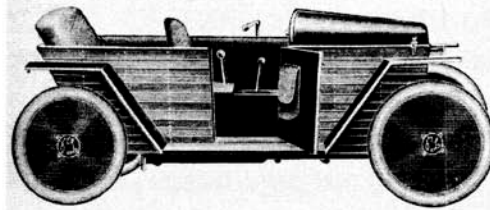
僅八厘で壹哩を走る

車氣電一ヒスエ用達配物荷小



最新千九百廿金車式  
エス・ビー電気車 貳人乗 構造  
電池………ニ・四槽 八段アルム（ア）時  
寸法………全幅五尺五寸、全長六尺五寸  
重量………七十四斤五兩  
其他各人乗に同じ

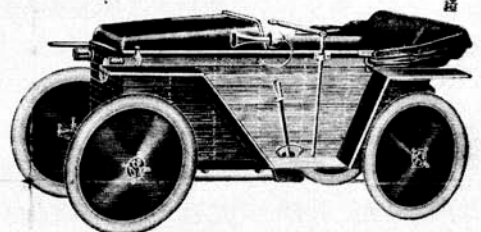
車氣電一ヒスエ乗人貳



- エス・ビー電気自転車の五欠特長
- 1) 價格低廉 如何に安全なるも其價格不廉ならば一般利用の實地に達せざるも本車は今日の商業程度に最も適すべく其價格を低廉にす
  - 2) 操縦簡便 彼の在來の操縦油機關を備へたる自動自転車又は小動力車は全無自來に於ては操縦難なる虞に於て一層電氣のスイッチを動かすのみにして、遠距離自在に於て操縦小兒等も就分簡便にして自由に運轉するを得べく各官路に於ても自動車同様の取扱を受け運轉の必要なし
  - 3) 實用經濟 一回の充電に五十里以上走り得べく一哩の電料僅に七厘に過ぎず、市街電車に乘るより更に安し、然も充電は普通電燈より之を爲すを得べく、其投金も亦自動自転車に同じ
  - 4) 取扱輕便 其大さ市三尺、高さ六尺、重量三十斤に過ぎずして何れに於ても運搬を以て其車輪、タイヤ等凡そ自動自転車同様ならず此は結構體は固く同様の自転車に於ても爲す得なく、或時運搬に於ても必要なき一時間六分より十六分、更に十分の自來の動力を以て之に動力を得べく、且つ其止め、電氣、手止の安全なる種の此あり何時にても其止の間に停車せしむべく最も安全なり
  - 5) 快走安全 在來の操縦油機關より其の不決な高き聲音なく、或時運搬に於ても必要なき一時間六分より十六分、更に十分の自來の動力を以て之に動力を得べく、且つ其止め、電氣、手止の安全なる種の此あり何時にても其止の間に停車せしむべく最も安全なり

エス・ビー電気車の広告（石田祐二郎氏提供）

最新千九百廿金車式エス・ビー車 壹人乗 構造  
電池………スレービ式 壹段、運轉自在  
電機………モーター式 貳段、運轉自在  
寸法………全幅五尺五寸、全長六尺五寸  
重量………七十四斤五兩  
其他各人乗に同じ



車氣電一ヒスエ乗人壹

●積載重量 參四拾貫  
各種御取扱の商品の種類により如何様にも御注文に應じ設計製作見積り可仕候



車氣電一ヒスエ達配便郵包小

## 参考書

1. 名和 小太郎著、エジソン 理系の想像力、みすず書房、2006年刊。
2. 橋爪 紳也、西村 陽編、都市と電化研究会著、にっぽん電化史、(社)日本電気協会新聞部、2005年刊。
3. 電子情報通信学会「技術と歴史」研究会編、電子情報通信技術史、コロナ社、2006年刊。
4. 福井エドワード著、スマートグリッド入門 次世代エネルギービジネス、アスキー出版、2009年刊。
5. 廣田幸嗣著、トコトンやさしい 電気自動車の本、日刊工業新聞社、2009年刊。
6. スティーブ・パーカー著、ザ・サイエンス・ヴィジュアル 電気、東京書籍、1993年。
7. 菊池正典著、「電気」のキホン、ソフトバンク・クリエイティブ株式会社、2010年。

この他、嶋田隆一監修、佐藤義久著、図説電力システム工学、丸善株式会社、2002年刊も参考にしています。

おわり