

令和元年6月17日現在

機関番号：53203

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06252

研究課題名(和文)自己診断・自己再生型エネルギー蓄電池ユニット

研究課題名(英文)self-diagnosis,self-regeneration energy storage battery unit

研究代表者

水本 巖(Mizumoto, Iwao)

富山高等専門学校・電子情報工学科・教授

研究者番号：40239257

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：定電流間断充電と短パルス大放電電流を組み合わせ、多機能型劣化鉛蓄電池回復機を開発した。本機は、劣化鉛蓄電池回復機能、定電流・定電圧充電機能、定電流放電試験を備えた多機能型鉛蓄電池回復機である。本機をシリアルケーブルでパソコンに接続することによりインターネットを介して、電流電圧モニタ、遠隔制御、制御プログラムの変更が可能である。そのため蓄電設備に本機を組み込むと、現地に赴かなくても劣化鉛蓄電池の再生・放電試験が可能である。実際に4年間通勤用軽四自動車で使用したエンジン始動用鉛蓄電池について、CCA値および放電時間を同型の新品電池同様に再生した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在EV車が普及している中でも、エンジン始動用や機器制御補助バッテリーとして鉛蓄電池が使用されている。鉛資源はリチウムイオン電池の材料と比べても資源が豊富にあり安価であることから、自動車や産業用機械などの大型機器には、今後も使用し続けられると考えられる。廃棄処分に至る前に、鉛蓄電池の回復が可能になれば、自動車のバッテリー上がりの減少や廃棄バッテリーの削減が見込まれ、環境改善に結びつくと期待される。本研究では短パルス大放電を組み合わせた間断充電を利用して、劣化鉛蓄電池の再生を試みた。またこれまで別機器として購入されていた放電試験機、充電機の機能を付加した多機能型劣化鉛蓄電池回復機を開発した。

研究成果の概要(英文)：The recovery system of degraded a lead-acid battery was developed using an on-off constant current charge and short-large discharge pulse. The multifunctional system was equipped with the recovery of a degraded battery, constant current charge or constant voltage charge, and constant discharge current. The system performed monitoring voltage and current in operation, change of control program, remote operation with personal computer connected by a serial cable. A degradation lead acid battery of electricity storage systems will allow recovery without human operation at the installation location. The system recovered a commuting car battery to the same condition as new.

研究分野：電子工学

キーワード：鉛蓄電池 再生 寿命 CCA エンジン始動用 ディープサイクル

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

鉛蓄電池の回復方法として1kHzから10kHz程度の高周波パルスを利用した方法が主流を占めていた。これらはエンジンスタート用蓄電池などの比較的広い表面積を有する電極構造には有効であるがディープサイクル用鉛蓄電池や大容量の産業用電池などの厚みの厚い電極構造には化学反応時間が短く有効では無かった。そこでこれらディープサイクル型の蓄電池にも有効な定電流充電と反応待機時間および大電流放電とを組み合わせる回復方法を開発した。また劣化していることのセンシングもリモートで管理する方法が整っておらず、放電機も併せた回復機器の開発が望まれていた。そこで自己診断・自己回復装置の開発に着手した。

### 2. 研究の目的

鉛蓄電池の劣化診断方法の確立を行う。通常はエンジンスタート時ばかりが悪くなった。使用できる時間が短くなった等の使用感から判断できる内容ではあるが、インピーダンス等の定量的な測定に加えて充電時の電圧上昇過程から再生度合いを判断する方法を確立する。軽自動車に搭載する電池容量サイズからフォークリフト用の大容量鉛蓄電池の回復まで使用できる汎用性の高い機器を開発する。遠隔操作でも劣化判断、劣化診断、劣化回復が可能なシステムを開発することを目的とする。

### 3. 研究の方法

鉛蓄電池の劣化の主な原因はサルフェーションである。そのため通常の充電機は定電圧で充電する機会が多いので、サルフェーションが進むと電池の端子電圧は定電圧充電後、反応する活物質が少ないのですぐに上昇するため、充電器は満充電状態と判断し十分な充電が行われない。一方我々は、定電流充電で強制的に硫酸鉛を分解するため活物質を増やして深く充電することができるので蓄電池が回復する。また定電流充電時の間隔に、時間の間を置いているのは、化学反応が進行するのを待っていることに加え、定電流充電による過度のバッテリー温度の上昇を抑えるためである。特に制御弁型鉛蓄電池の場合は、無理やり定電流充電を行うと容器の変形および爆発の危険が伴うので、この場合、間隔を長めに採っている。回復モードでの充電電流値の目安は0.2C~0.3C程度であり、放電電流値の目安は0.5C~0.7C程度である(図1)。

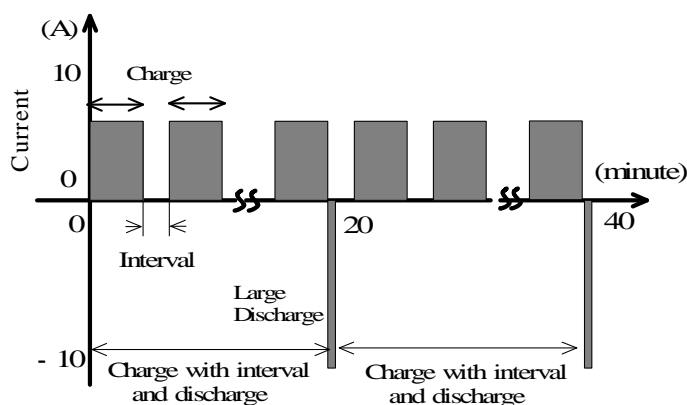


図1 定電流間断充電

### 4. 研究成果

#### (1) システム構成

本装置は、鉛蓄電池回復モード、充電モード、放電試験と、再生から試験検査まで一つの装置で済ませることができる。蓄電池の電池電圧に応じて12V機、24V機、48V機と3つのタイプがある。

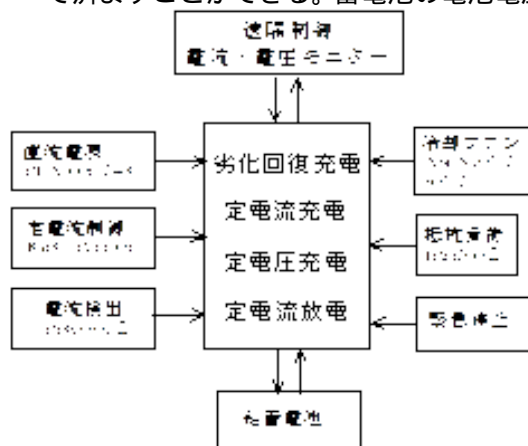


図2 システムブロック図

システムブロック図を示す(図2)。装置は、定電流充電を行うための直流電源と電流フィードバックを掛けるための電流検出及び制御回路、放電を行うための負荷抵抗、これらを組み合わせる回復モード、定電流充電もしくは定電圧充電および定電流放電が可能である。また任意の電流電圧値設定および時間設定、繰り返し充放電のループ条件設定のプログラム制御が可能である。また本機はパソコンとシリアルケーブル接続することにより電圧、電流値のモニタが可能であるため、蓄電池の品質管理に利用できる。また、各種モード設定および電池容量に応じた制御プログラム設定およびスタート、ストップ、リセットのリモート制御が可能であり、遠隔地での劣化鉛蓄電池の回復に応用できる。

図3に 装置のフロント写真を示す。装置は蓄電池と結ぶクリップコードが脱着可能である。経年変化によりグリップバネが弱くなった場合も現地で即交換できる。また鉛蓄電池の硫酸ガスにより、電極が腐食した場合も交換できる。また緊急時対応の為に、緊急ストップボタンが付属している。



図3 装置のフロント写真

#### (2)プログラム変更機能

本機は鉛蓄電池の電荷容量に応じて、注入電流や放電終止電圧等、プログラムの書き換えが可能である。初期設定ではエンジン始動用蓄電池に2チャンネル(28Ah、50Ah)、ディープサイクル用に2チャンネル(35Ah、120Ah)の規定4チャンネルに設定しているが、回復時間の短縮や放電電流の増減等、ユーザの要求に応じてエクセルファイル表で簡単に書き換えが可能である。特に海外での商用電源使用時、停電等の影響が懸念される場合には、回復モードでの補充電を省くなど、現場に応じた対応が可能である。またプログラム書き換えは遠隔制御でも可能である。

#### (3)データ通信機能

本機は電流・電圧・時間値を、モニタリングすることができる。電池の回復パターンをデータベース化して、回復履歴を残すことにより品質管理に役立てることができる。電圧電流の時間変化パターン例を図4に示す。

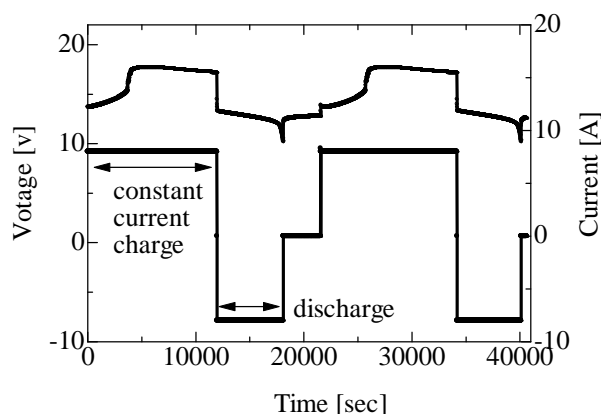


図4 電圧電流モニタ例

グラフ上部は電圧値の時間推移、下部は電流値の時間推移である。使用した電池は日本製40B19タイプ、8A定電流で約3時間半充電した後、8Aで定電流放電を行い、端子電圧が10.2Vになるまで放電し終了待機とした。1時間放置して再び充電を行い、繰り返し放電試験を行った例である。本機は蓄電池の繰り返し充放電による耐久試験も可能である。

#### (4)遠隔操作機能

本機はパソコンからの遠隔操作が可能である。鉛蓄電池とその負荷が継電リレー等で切り離せる状態であれば、その場に行かなくても遠隔操作で鉛蓄電池の回復と電源への接続が可能である。制御ソフトウェアの書き換えや電池容量の違いによる制御チャンネルの選択の変更、その場での放電試験も遠隔操作でも可能なので、定期メンテナンス検査は電池の入れ替え作業時以外に現地向へ赴く必要は無い。また遠隔カメラ等をセットにして運用すれば、より安全性能が増す。従来のシステムは回復器と試験器が別だったために全て現地での作業が主であった。

##### 放電モード

放電は定電流放電が可能で、終了電圧値および放電終了時間を任意に設定できる。また放電終了電圧測定タイミングは、放電中もしくは放電終了後の指定時間待機後、どちらでも設定可能である。特に放電時間を決めて放電終了後の戻り電圧で放電特性を判断したい場合等に便利である。繰り返し充放電試験を行いたい場合も、プログラム制御可能である。これらは劣化判断を行う場合に重要である。放電データは保存できるので初期状態との比較も可能であり、劣化判断を定量的に行うことができる。

## 充電モード

充電機能は定電圧充電、定電流充電、または定電流・定電圧充電の組み合わせが可能である。本機1台で回復機とトリクル充電器、放電試験機にもなるのでこれまで別々に購入してきた機器も、回復機能も併せて本機1台で済むのでコスト的にはメリットがある。また本モードでもデータ記録が可能であるので、充電時の電圧上昇過程を観測することにより劣化判断、回復判断の指標にできる。

## 回復モード

現在12V、24V、48Vの機種があり、回復したい電池の電圧によって機種を選定して使用する。48V機は

回復作用が終了した後は、手動もしくはネットワークからのパソコン遠隔操作で、放電モードや充電モードに切り替えることができる。手動および遠隔操作に限らず一度「リセット」ボタンを押した次の動作が有効となるように設定している。

## (5) 劣化評価

蓄電池の劣化評価は、エンジン始動用鉛蓄電池であれば通常CCA(Cold Cranking Ampere)で評価する場合が多い。実際に市販されているCCA測定値は、内部インピーダンスとほぼ比例しており劣化指標としては両方を用いることができる(水本他,2014)。ただし、ディープサイクル型鉛蓄電池にはCCA評価手法は使用できないので、満充電時の内部インピーダンスを劣化指標とした(中脇他,2015)。主に軽四自動車エンジンの始動用として用いられる日本製40B19型、電荷容量28Ahの蓄電池を、定電圧充電で4時間充電した後、10.2Vまで放電を行った。劣化を促進させるために放電終了後6時間放置した後、再び充放電を繰り返して、充電終了時に内部インピーダンスをLCRメータ(HIOKI3522-50)で測定した(図5)。

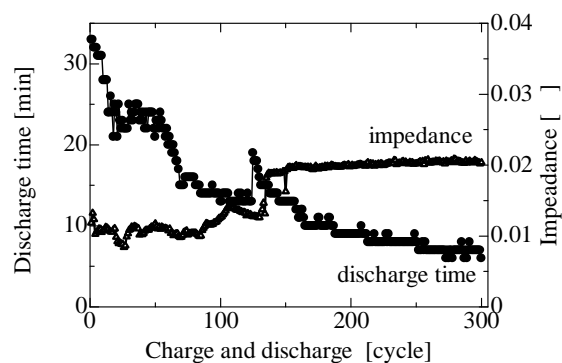
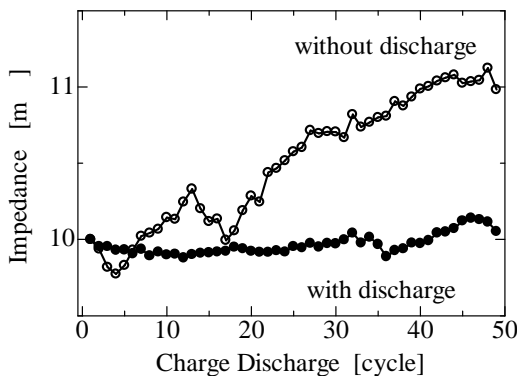


図5 放電時間とインピーダンスの関係 図6 放電パルスの有無とインピーダンスの比較

その結果、放電時間が減少すると内部インピーダンスは上昇することが分かった。また内部インピーダンスとCCA値の間には相関があることが分かった。ただし放電時間および内部インピーダンスとCCAの関係は、傾向として定性的には比例関係が確認されたものの、CCA値から放電時間が厳密に予測できるほどの精度では無かった。これは測定対象とする内部インピーダンスの値が小さ過ぎるため、測定器の接続時における誤差がどうしても生ずる。他社のバッテリー試験機も、内部インピーダンスを測定してバッテリーチェッカーとする場合は、この誤算については留意する必要がある。蓄電池における一番確実な試験方法は、やはり放電試験や大電流放電による実践に近い形が確実である。ただ現実的には、現場での試験には時間や電源が限られているのでエンジン始動用電池およびディープサイクル型とも、内部インピーダンスを蓄電池の劣化指標とした。なお従来の劣化鉛蓄電池の回復方法は、端子電圧よりも高い電圧で高周波パルスを加える方法が主だったが、我々は通常定電流充電でも電気分解が伴うので、ある程度回復効果は期待できると考えた。更に放電用パルスを組み合わせることにより、内部インピーダンスの上昇は更に抑えられることが分かった。間断充電における負パルスの効果を図6に示す。

インピーダンスの上昇変化をみると、放電無しの間断充電は、放電有りに比べてインピーダンス値の上昇傾向が強いことがわかる。そのため回復効果は、放電パルス有りの方が有効であると考えられる。回復可能な劣化鉛蓄電池は、主に劣化原因がサルフェーションであることから、負パルス放電により導電率が低い部分、すなわちサルフェーションが進んでない場所に $PbSO_4$ が晶出し、充電によってその領域部分と共に電気分解されるため、電極表面のサルフェーションが一様に分解(イオン化)されると考えている。次に日本製エンジン始動用鉛蓄電池40B19を用いて、間断充電と定電圧充電の放電時間の推移を比較した(図7)。放電は定電流

8A で端子電圧 9V まで放電を行い、劣化を恣意的に早く促進させるために放電後 6 時間放置してから充電した。

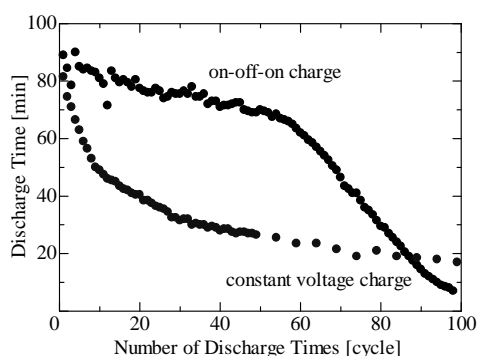


図 7 間断充電と定電圧充電の放電時間の比較

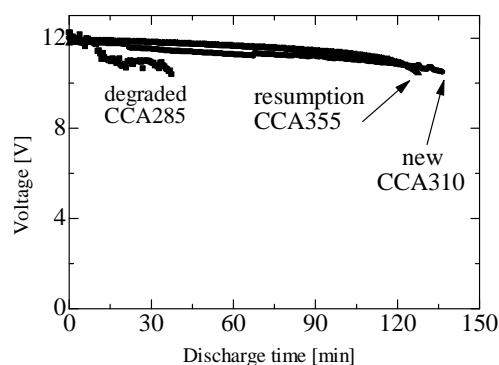


図 8 エンジン始動用電池回復事例

間断充電では、充放電繰り返し回数が 60 回近くまで当初の放電時間を確保しているが、定電圧充電では指数関数的に下がっていることが分かる。

#### (6) 回復事例

エンジン始動型鉛蓄電池の回復事例を図 8 に示す。主に小型軽四自動車に使用されている鉛蓄電池 (40B19) は、約 4 年間使用後、車検交換の時に外したものである。回復前の電池は、定電圧充電後、端末電圧が 10.2V になるまで、8A の定電流で放電した。その際の放電時間は約 40 分程度である。これを本装置回復モードに掛けて 12 時間後、同じ定電圧充電器で満充電状態を確かめ放電試験を行った。その結果、新品電池と同程度の放電時間まで回復した。回復後の負電極の電子顕微鏡で電極表面を確認した。電子顕微鏡による写真で観察では、電極表面の一部を観察しただけで、全ての電極表面を観測したわけではないが、観察を行った部分ではサルフェーションが除去され新品と変わらない状態になっていることを確認した。

#### まとめ

電流間断充電方式を用いた鉛蓄電池多機能型回復機は、劣化鉛蓄電池の CCA 値および放電時間の回復に成功した。本機に付属している放電・充電・回復機能は、インターネットによる遠隔制御が可能であり、制御プログラムの書き換え等全て遠隔で行えた。動作中の電圧および電流のモニタリングが可能であるため、回復パターンのデータベース化が可能であった。ディープサイクル型鉛蓄電池の再生も可能であったが再生に適している鉛蓄電池は、使い方や過放電・過充電履歴にも依存するが、一般的にはエンジン始動用であれば製造期間は 5 年以内、ディープサイクル型の中古電池であれば 8 年以内の電池が望ましい。

#### 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

I. Mizumoto, Y. Yoshi, K. Yamamoto and H. Oguma, Lead-acid storage battery recovery system and short-large discharge pulses, Electronics Letters, 54, p.777-779, 2018.

(査読あり)

水本巖・由井四海・山本桂一郎・小態博 「鉛蓄電池多機能型再生装置」科学・技術研究第 6 巻 2 号 pp.121-124, 2017 年 (査読あり)

〔学会発表〕(計 2 件)

草島淳司・水本巖・大島裕太・小態博・運上和也・浦恵里夏, 間断充電におけるインピーダンス変化の測定, 平成 29 年度電気関係学会北陸支部連合大会, H-5

伊藤美彩・大島祐大・水本巖・小態博, EMS 用太陽電池 SPICE モデルの温度因子の影響検討 平成 29 年度電気関係学会北陸支部連合大会, A2-10

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

取得状況 (計 1 件)

名称: 鉛蓄電池の充放電装置

発明者: 鈴木弥志雄・高田賢治・水本巖・小態博・山本桂一郎・能村正治・和泉清

権利者: ハウステック・トリニティ JAPAN 高専機構

種類: 特許

番号：2014-054093  
取得年：平成 30 年 6 月  
国内外の別： 国内

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：小熊 博

ローマ字氏名：Hiroshi Oguma

所属研究機関名：富山高等専門学校

部局名：電子情報工学科

職名：教授

研究者番号 ( 8 桁 ): 40621909