

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2009年9月3日(03.09.2009)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2009/107715 A1

- (51) 国際特許分類:  
B60M 3/06 (2006.01) H01M 10/50 (2006.01)  
B60M 3/02 (2006.01) H02J 1/14 (2006.01)  
H01M 10/30 (2006.01) H02J 7/34 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/053552
- (22) 国際出願日: 2009年2月26日(26.02.2009)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2008-051409 2008年2月29日(29.02.2008) JP  
特願 2008-202052 2008年8月5日(05.08.2008) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 川崎重工業株式会社 (KAWASAKI JUKOGYO KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒6508670 兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号 Hyogo (JP).

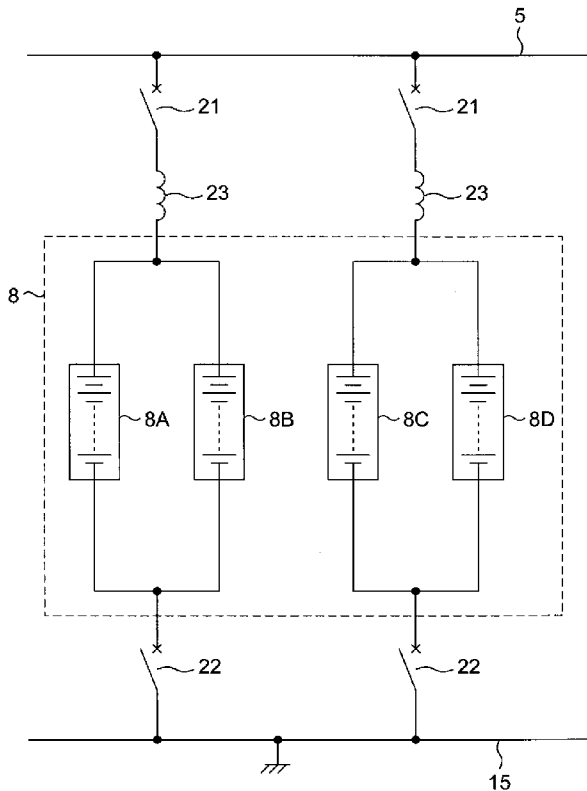
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 堤 香津雄 (TSUTSUMI, Kazuo) [JP/JP]; 〒6520884 兵庫県神戸市兵庫区和田山通2丁目1番18号 川崎重工業株式会社内 Hyogo (JP). 松村 隆廣 (MATSUMURA, Takahiro) [JP/JP]; 〒6520884 兵庫県神戸市兵庫区和田山通2丁目1番18号 川崎重工業株式会社内 Hyogo (JP). 富田 千代春 (TONDA, Chiyoharu) [JP/JP]; 〒6520884 兵庫県神戸市兵庫区和田山通2丁目1番18号 川崎重工業株式会社内 Hyogo (JP). 西村 和也 (NISHIMURA, Kazuya) [JP/JP]; 〒6520884 兵庫県神戸市兵庫区和田山通2丁目1番18号 川崎重工業株式会社内 Hyogo (JP). 後藤 文也 (GOTO, Fumiya) [JP/JP]; 〒6520884 兵庫県神戸市兵庫区和田山通2丁目1番18号 川崎重工業株式会社内 Hyogo (JP).
- (74) 代理人: 田中 光雄, 外 (TANAKA, Mitsuio et al.); 〒5400001 大阪府大阪府中央区城見1丁目3番7号 IMPビル 青山特許事務所 Osaka (JP).

[続葉有]

(54) Title: ELECTRIC RAILWAY POWER-SUPPLY SYSTEM

(54) 発明の名称: 電気鉄道用電力供給システム

[図2]



(57) Abstract: Provided is an electric railway power-supply system which requires no vast installation area, is excellent in a rapid charge/discharge characteristic, and can be created at a low cost. An electric railway substation (9) comprising a transformer (3) for receiving power from an AC power line (2), a rectifier (4) connected to the transformer (3), and a feeder (5) connected to the rectifier (4) is provided with a nickel-hydrogen battery (8) as DC power equipment, wherein the nickel-hydrogen battery (8) is direct-coupled to the feeder (5).

(57) 要約: 広大な設置面積を必要とせず、急速充放電特性に優れ、かつ廉価に作製できる電気鉄道用電力供給システムを提供する。交流電力回線2から受電する変圧器3と前記変圧器3に接続された整流装置4と前記整流装置4に接続される電線5とを有する電気鉄道用の変電所9において、直流電力設備としてニッケル水素電池8を有し、前記ニッケル水素電池8が電線5に直結されてなる。

WO 2009/107715 A1



(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ,

NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

## 明 細 書

### 電気鉄道用電力供給システム

#### 技術分野

[0001] 本発明は、電気鉄道用の架線に電力を供給する電気鉄道用電力供給システムに関する。

#### 背景技術

[0002] 一般的に、電気鉄道用変電所は、例えば、電力会社から供給される交流電力又は鉄道会社が所有する発電所から供給される交流電力を直流電力に変換してき電線へ供給する。き電線に供給された直流電力は、空中架線を経由し、パンタグラフを通じて電気車両に供給される。あるいは、直流電力は、き電線から第三軌条を介して電気車両に供給される。電気車両は、供給された電力を、車両に搭載された電力制御装置を介して、走行用のモータ(回転モータ又はリニアモータ)に供給し、そこで電気エネルギーを走行エネルギーに変換して走行する。

[0003] 電気車両が消費するエネルギー量は、車両の走行状態に応じて変化する。具体的には、加速時に電気車両は短時間の間に大量の電力を消費する。その結果、架線又は第三軌条の電圧、さらにはき電線の電圧が一時的に降下する。このような一時的な電圧低下に対応するため、回生機能付きの電気車両を備えた鉄道設備では、減速時に走行用の回転モータ又はリニアモータは発電機として作用し、電気車両が持っている走行エネルギーを電気エネルギーに変換し電力回収を図る。その回収した電力で供給電圧の一時的な電圧降下を補うようにしている。

[0004] 特許文献1:特開2000-341874号公報

特許文献2:特開2001-260719号公報

特許文献3:特開2002-2334号公報

#### 発明の開示

#### 発明が解決しようとする課題

[0005] 回生機能付き電気車両の減速の際、モータで発生し回収した電力は、電気車両の電力制御装置により架線又は第三軌条からき電線に送られる。このとき、線路上に加

速中の他の電気車両があれば、その電気車両で回生電力が消費される。しかし、線路上に加速中の電気車両が無い場合、回生された電力により、電気車両内の電力配線を通して架線又は第三軌条の電圧は一時的に上昇する。このときの電圧の上昇が小さければ問題はないが、電圧の上昇が大きければ、電気車両の電力設備や鉄道設備に設けられた他の電気設備の運転に支障を生じる。特に、上昇した電圧が電気設備の耐電圧を越える場合、その設備が損傷することもある。

- [0006] このような問題を解消するため、電気車両の電力制御装置は、所定電圧を超える回生電力の発生を抑制する制御－回生の絞り込み－を行う。さらに、架線等の電圧が極端に高い場合、電力制御装置は、電力の回生を打ち切る制御を行う。この結果、回生の失効が生じる。しかし、回生の絞り込み又は失効が起こると、電気車両は必要な減速度を確保するために機械ブレーキを使用することになり、走行エネルギーは熱エネルギーに変換されて無駄に消費される。また、ブレーキパッドも摩耗し、メンテナンス費用の上昇を招く。
- [0007] そのため、回生の失効を防止するために回生チョップを用いて回生電力を抵抗器で熱エネルギーに変換する方法が提案されている。また、回生電力を交流電力に変換する能力を持つインバータを変電所に設置し回生電力を商用周波数交流に変換して、変電所から電力系統に戻したり、駅設備で使用したりする技術が実用化されている。
- [0008] また、特許文献1には、電力の負荷平準化を図るために、き電線に鉛蓄電池を接続する電気鉄道用充放電装置が記載されている。
- [0009] 更に、特許文献2、3には、変電所において、二次電池又は電気二重層キャパシタを有する電力貯蔵装置を、昇降圧チョップ等の充放電制御装置を介してき電線に接続する電気鉄道用電力供給システム(電源設備)が開示されている。
- [0010] しかしながら、上述の回生チョップを用いて回生電力を抵抗器で熱エネルギーに変換する方法は、回生電力を無駄に消費するものである。また、上述の回生電力を変電所に設置されたインバータを用いて電力系統に戻したり、駅設備で使用したりする方法は、確かに、回生電力を有効に利用するものであるが、高価なインバータが必要とされるため設備費が高価になるという問題がある。

- [0011] また、特許文献1に記載される鉛蓄電池は、電気鉄道用電力供給システムで利用するには適さない。その理由は次の通りである。電気車両はその加速初期に大量の電力を消費し、他方、回生機能を有する電気車両は減速初期に大量の回生電力を発生させる。従って、電力供給系統に接続する蓄電池には、急激な負荷変動に対応できる充放電能力が必要である。しかし、鉛蓄電池は、そのような急激な負荷変動に十分対応できる充放電能力が無い。このため、鉛蓄電池を回生電力の貯蔵に利用するには、多数の鉛蓄電池が必要となる。そのためには、広大な設置面積が必要になる。
- [0012] また、特許文献2、3に開示される電気鉄道用電力供給システム(電源設備)で利用される充放電制御装置には、非常に高価であるという問題がある。また、充放電制御装置は応答性が悪いため、急激に増えた回生電力を効率よく貯蔵(充電)できない。さらに、充放電制御装置として用いられ得る昇降圧チョッパは信号装置に障害となる高調波ノイズを発生するおそれがある。また、電力会社から供給される受電電圧の変動によって電気鉄道用変動所からき電線へ供給する電圧が変動すると、充放電制御装置の正常な動作が保証できない。
- [0013] また、き電線は、それ自体が持っている抵抗により、電気鉄道用変電所から離れるにつれて大きな電圧降下を招く。したがって、電気鉄道変電所から離れた場所にある電気車両が加速する場合、電圧降下により車両の走行に支障を来すおそれがある。
- [0014] さらに、電気鉄道変電所から離れた場所の電気車両から電力を回生する場合でも、減速中の電気車両から回生された電力によつてき電線電圧が急激に上昇し、回生の絞り込みや回生の失効を招くおそれがある。
- [0015] 本発明は、上述の問題を解決するためになされたもので、広大な設置面積を必要とせず、急速充放電特性に優れ、かつ安価な電気鉄道用電力供給システムを提供することを目的とする。本発明はまた、変電所から遠く離れた地点でも、電気車両の安定した走行性能を維持でき、回生失効等により走行エネルギーが無駄に消費されることのない、電気鉄道用電力供給システムを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0016] これらの目的を達成するため、本発明のニッケル水素電池を備えた電気鉄道用電力供給システムは、交流電力回線から受電する変圧器と前記変圧器に接続された整流装置と前記整流装置に接続されるき電線とを有する電気鉄道用の変電所において、直流電力設備としてニッケル水素電池を有し、前記ニッケル水素電池が前記き電線に直結されている。ここで、「直結」とは、充放電制御装置を介することなく、直接き電線に接続されることを意味する。
- [0017] 本発明は、好ましくは、ニッケル水素電池を用いている。ニッケル水素電池は、内部抵抗が小さく、かつSOC (state of charge) の変動による電圧変動が小さく電池容量を有効利用できるため、他の二次電池に比べて小容量の電池を用いてき電線に直接接続することができ、広大な設置面積を必要としない。また、ニッケル水素電池は電圧変動が小さいため充放電制御装置が不要となり、充放電制御装置の設置スペースを必要としない。高価な充放電制御装置を用いないため、装置全体として廉価となる。更に、ニッケル水素電池は体積エネルギー密度が高いことから、広大な設置面積を必要としない。また、ニッケル水素電池は、充放電制御装置のような動作遅れもなく、急速充放電特性に優れている。また、充放電制御装置として用いられる昇降圧チョッパが省略されれば、信号装置の障害となる高調波ノイズが発生するおそれもない。更に、ニッケル水素電池は、内部抵抗が小さく、かつSOCの変動による電圧変動が小さいことから、電気車両の加速時に、極めて短い時間に大電流が必要となる場合にニッケル水素電池から放電を行って電圧の低下を抑えるのに他の電池よりも適している。更に、ニッケル水素電池は、電気車両が回生を行うことによって極めて短い時間に大電流が発生しても、充電を行って電圧の上昇を抑えるのに他の電池よりも適している。したがって、き電線電圧の安定化を図り、電気車両運行の効率化に資することが可能となる。
- [0018] また、ニッケル水素電池は、1つ以上の電池モジュールによって構成され、前記電池モジュールは、対向して設けられた一対の板状の集電体の間に、セパレータによって仕切られた正極セルと負極セルとを有する複数の単位電池が、互いに隣り合う一方の前記単位電池の正極セルと他方の前記単位電池の負極セルとが対向するように積層されてなり、かつ、互いに隣り合う一方の前記単位電池と他方の前記単位電

池との間に、前記一方の単位電池の正極セルと前記他方の単位電池の負極セルとの隔壁を兼ねる板状の共通集電体が設けられ、前記共通集電体は気体または液体からなる伝熱媒体の流通経路を有するものでもよい。

[0019] この構成によれば、ニッケル水素電池の発熱を効果的に抑えることができ、電池の劣化を抑制し、電池の長寿命化を図ることができる。また、電池モジュールを上記のように単位電池が積層された構成とすることにより電池モジュールの等価的な内部抵抗をより小さく抑えることができる。上記のように単位電池が積層された電池モジュールを用いてニッケル水素電池を構成することにより、より小型化を図り、設置面積を小さくすることができる。

[0020] また、前記共通集電体は、多孔質の金属板からなるものでもよい。

[0021] また、前記共通集電体は、前記伝熱媒体の流通経路となる複数の通流孔が設けられた金属板からなるものでもよい。金属板としてアルミニウム板を使用すれば、導電性が良好になるし、熱伝導を良好に行うことが可能となる。

[0022] 前記ニッケル水素電池は、1つ以上の電池モジュールによって構成され、前記電池モジュールは、それぞれ、対向して設けられた板状の正極集電体と負極集電体と、前記正極集電体と前記負極集電体の間に配したセパレータと、前記正極集電体に接する正極セルと前記負極集電体に接する負極セルとを有する複数の単位電池が、互いに隣り合う一方の前記単位電池の正極集電体と他方の前記単位電池の負極集電体とが対向するように積層されてなり、かつ、互いに隣り合う前記単位電池の間に気体または液体からなる伝熱媒体の流通経路が設けられてあってもよい。

[0023] この構成によれば、ニッケル水素電池の発熱を効果的に抑えることができ、電池の劣化を抑制し、電池の長寿命化を図ることができる。また、電池モジュールを上記のように単位電池が積層された構成とすることにより電池モジュールの等価的な内部抵抗をより小さく抑えることができる。上記のように単位電池が積層された電池モジュールを用いてニッケル水素電池を構成することにより、より小型化を図り、設置面積を小さくすることができる。

[0024] また、前記ニッケル水素電池は、1つ以上の電池モジュールによって構成され、前記電池モジュールは、それぞれ、対向して設けられた板状の正極集電体と負極集電

体との間に、電解質溶液が充填されるとともに、正極活物質を含有する正極シートと負極活物質を含有する負極シートとが交互に組み込まれるように、前記正極集電体から前記負極集電体に向けて複数枚の前記正極シートを配するとともに前記負極集電体から前記正極集電体に向けて複数枚の前記負極シートを配し、且つ前記各正極シートと各負極シートとの間にセパレータを介在させてなる構造を有する複数の単位電池が、互いに隣り合う一方の前記単位電池の正極集電体と他方の前記単位電池の負極集電体とが対向するように積層されてなり、かつ、互いに隣り合う前記単位電池の間に気体または液体からなる伝熱媒体の流通経路が設けられてあってもよい。

- [0025] この構成によれば、ニッケル水素電池の発熱を効果的に抑えることができ、電池の劣化を抑制し、電池の長寿命化を図ることができる。また、電池モジュールを上記のように単位電池が積層された構成とすることにより電池モジュールの等価的な内部抵抗をより小さく抑えることができる。上記のように単位電池が積層された電池モジュールを用いてニッケル水素電池を構成することにより、より小型化を図り、設置面積を小さくすることができる。
- [0026] また、前記伝熱媒体の流通経路に通流孔を有する導電性の伝熱板を、互いに隣り合う一方の前記単位電池と他方の前記単位電池との間に、前記一方の単位電池の正極集電体と前記他方の単位電池の負極集電体とに接するように挿入していてもよい。
- [0027] また、前記伝熱板は、アルミニウム板からなるものでもよい。アルミニウム板は電気抵抗が小さく、熱伝導性も良好である。さらに、アルミニウム板にニッケルめつきを施すことにより接触抵抗が小さくなるので、好ましい。
- [0028] また、互いに隣り合う一方の前記単位電池と他方の前記単位電池との間に、それぞれ前記一方の単位電池の正極集電体と前記他方の単位電池の負極集電体とに接し、かつそれぞれの間に前記伝熱媒体の流通経路が設けられるように複数の導電部材を挿入していてもよい。
- [0029] また、前記導電部材は、表面にニッケルめつきが施されたアルミニウム板からなるものでもよい。アルミニウム板は電気抵抗が小さく、それにニッケルめつきを施すことに



より接触抵抗が小さくなるので、前記導電部材として好ましい。

[0030] 更に、前述の目的を達成するために、本発明の電気鉄道用電力供給システムは、電気車両用の変電所に接続され前記変電所から直流電力が供給されるき電線と、ニッケル水素電池を備えた電力貯蔵供給装置とからなり、前記ニッケル水素電池が前記き電線に直結されてなり、かつ、前記電力貯蔵供給装置が前記変電所の構内とは異なる場所に設備されてなる。

[0031] 特に、変電所から遠く離れた地点のき電線、例えば変電所と変電所の間付近のき電線や、線路の終端あるいは始端に対応するき電線の端部にニッケル水素電池を直結して電力貯蔵供給装置を構成することにより、変電所から遠く離れた地点において、き電線の大幅な電圧降下を抑えて電気車両の走行性能を十分に引き出すことができるとともに、き電線の大幅な電圧上昇を抑えて回生失効等による電気車両の走行エネルギーの無駄な消費を抑えることができる。また、ニッケル水素電池をき電線に直結してなる電力貯蔵供給装置は、変電所に比べて廉価である。

[0032] なお、前述の「構内」とは、需要場所のことであり、電気使用場所を含み、電気を使用する構内全てである。ここでいう構内は、塀やさく、フェンス、堀などによって区切られた地域または施設者ならびにその関係者以外の者が自由に出入りできない地域あるいは地形上その他社会通念上これらに準ずる地域とみなし得るところをいう。

[0033] 前述の「前記変電所の構内と異なる場所」とは、電気鉄道用電力供給システムにおいては、給電所とも称される場所乃至は設備である。かかる給電所には、普通変圧器は設置されておらず、二次電池等の電力貯蔵供給設備が設置されている。

### 発明の効果

[0034] 本発明は、広大な設置面積を必要とせず、急速充放電特性に優れ、かつ廉価に作製される電気鉄道用電力供給システムを提供することができるという効果を奏する。本発明に係る電気鉄道用電力供給システムは、省エネ、回生失効対策、ピークカット、架線電圧降下対策などに有効である。

[0035] 更に、本発明は、変電所から遠く離れた地点においても電気車両の走行性能を十分に引き出すとともに回生失効等による電気車両の走行エネルギーの無駄な消費を抑える、電気鉄道用電力供給システムを提供することができるという効果を奏する。ま

た、変電所が停電や障害により送電できない場合でも、変電所に備わるニッケル水素電池やニッケル水素電池を含む電力貯蔵供給装置により車両の補機を止めることなく車両を最寄の駅まで走行させることができる。さらに、短時間であれば、変電所に備わるニッケル水素電池やニッケル水素電池を含む電力貯蔵供給装置を変電所の代わりに用いることもできるので、変電所の保守整備を容易に行うことができる。

#### 図面の簡単な説明

- [0036] [図1]本発明の第1の実施の形態に係る、ニッケル水素電池を備えた電気鉄道用電力供給システムの概略構成図である。
- [図2]本発明の第1の実施の形態におけるニッケル水素電池の実施例の一つを示す回路図である。
- [図3]各種電池等のSOC (state of charge) に対する電圧変化を示すSOC特性図である。
- [図4]図1からニッケル水素電池とニッケル水素電池を除いた変電所部分とを抽出して示した図である。
- [図5](a)～(d)は、本発明の第1の実施の形態に係るニッケル水素電池を備えた電気鉄道用電力供給システムの実証試験結果を示す図である。
- [図6](a)は、第1構成例の電池モジュールの概略断面構成図であり、(b)は、同電池モジュールの一部を示す斜視図である。
- [図7]円筒形電池を一部破断した概略斜視図である。
- [図8]角形電池の概略断面構成図である。
- [図9]第2構成例の電池モジュールを、強制冷却を行うファンと風洞により冷却を行う構成を示した斜視図である。
- [図10](a)は、第2構成例の電池モジュールの縦断面図であり、(b)は、同電池モジュールの正極板および負極板の間に配置される導電部材を示す断面図である。(c)は、単位電池の正極板外部に配置された導電部材を示す斜視図である。
- [図11]伝熱板の斜視図である。
- [図12]第3構成例の電池モジュールの横断面図である。
- [図13]図12の電池モジュールにおける伝熱板内の空気の流れ方向を示す図である

。

[図14]図12の電池モジュール内における熱の伝達方向を示す図である。

[図15]耐久性を向上させた単位電池の概略断面構成図である。

[図16]本発明の第2の実施の形態に係る電気鉄道用電力供給システムの概略構成図である。

[図17](a)～(d)は、第2の実施の形態に係る電気鉄道用電力供給システムの実証試験結果を示す図である。

### 符号の説明

[0037] 1:交流電源、2:交流電力回線、3:変圧器、4:整流装置、5:き電線、7:帰線、8:ニッケル水素電池、9:電気鉄道用の変電所、9a、9b:電気鉄道用の変電所、10a、10b:電力貯蔵供給装置、11、11a、11b、11c:電気車両、40:電池モジュール、41:単位電池、42:イオン透過性セパレータ、43:正極セル、44:負極セル、45:正極集電体、46:負極集電体、47:集電部材、48:酸素ポンプ、49:圧力調整弁、50:経路、51a、51b、51c、51d、51e、51f:バルブ、52a、52b、52c、52d、52e、52f:バルブ、53:ファン、61:正極活物質シート、62:イオン透過性セパレータ、63:負極活物質シート、64:負極端子、65:正極端子、71:正極活物質シート、72:イオン透過性セパレータ、73:負極活物質シート、74:正極端子、75:負極端子、76、77:絶縁体、81:電池モジュール、82、84:空気流通空間、83a、83b:吸気ファン、85:正極板、85S:正極セル、86:負極板、86S:負極セル、87:イオン透過性セパレータ、88:空気流通経路、89:導電部材、90、91、92、93:絶縁板、94:正極端子、95:負極端子、96:伝熱板、97:空気流通経路、98:電池モジュール、99:正極集電体、100:負極集電体、101:イオン透過性セパレータ、102:電解質溶液、103:正極シート、104:負極シート、105:統括正極集電体、106:統括負極集電体、107、108:絶縁板、111:正極集電体、112:負極集電体、113:絶縁体、114:イオン透過性セパレータ、115:正極セル、116:負極セル、117:ポリプロピレン繊維の不織布、118:ニッケルフォームの成形体、119:ポリプロピレン繊維の不織布、120:ニッケルフォームの成形体。

発明を実施するための最良の形態

[0038] 以下、本発明の好ましい実施の形態を、図面を参照しながら説明する。

[0039] 第1の実施の形態

#### 1. 電気鉄道用電力供給システムの構成、動作

図1は、本発明の第1の実施の形態に係る電気鉄道用電力供給システムの概略構成を示す。

[0040] 図1に示すように、電気鉄道用変電所(以下「変電所」という。)9は、電力系統に接続された交流電源1から交流電力回線2を介して受電する変圧器3と、変圧器3に接続された整流装置4と、整流装置4に並列に接続されたニッケル水素電池(詳細は後述)8とを備える。整流装置4は、その正側端子が、き電線5に接続され、負側端子が配線14によって帰線7に接続されている。ニッケル水素電池8は、き電線5及び配線15に直結されている。より具体的には、ニッケル水素電池8は、その正極側外部端子がき電線5に接続され、負極側外部端子が配線15を介して帰線(レール)7に接続されている。言い換えれば、ニッケル水素電池8は、充放電電圧若しくは充放電電流、又は、充放電電圧及び充放電電流を制御する充放電制御装置を介さずに、き電線5に接続されている。

[0041] 以上のように構成される電気鉄道用電力供給システムにおいて、整流装置4は変圧器3からの交流電圧を直流電圧に変換してき電線5に出力する。整流装置4から出力される直流電力は、き電線5を経由し架線である電車線を介して電気車両11a, 11bに供給される。電気車両11a, 11bでは、供給される直流電力を、例えば車上の電力制御装置12によって交流に変換し、走行用の電動機13や補機に供給する。また、電気車両11a, 11bで発生した回生電力は、き電線5を介してニッケル水素電池8に供給されて、ニッケル水素電池8を充電する。また、ニッケル水素電池8に蓄積された電力は、その後、き電線5の電圧状態に応じて電気車両11a, 11bに供給される。

[0042] 例えば、電気車両11aが制動状態にある回生車両であり、電気車両11bが加速状態にある加速車両であるとき、回生車両からの回生電流が加速車両へ供給されるとともに、余剰の回生電流がき電線5を介してニッケル水素電池8へ流入し、ニッケル水素電池8を充電する。一方、電気車両11a, 11bがともに加速車両であるとき、ニッケル

ル水素電池8からの放電電流が、き電線5から電車線を介して加速車両へ供給される。以上は、ニッケル水素電池8の充電時及び放電時の例示であり、上記例に限られるものではない。

[0043] 要するに、ニッケル水素電池8は、き電線5と帰線7との間の電圧(以下、「き電線電圧」という)が、ニッケル水素電池8の起電力(以下、「電池電圧」という)より高いときに充電され、低いときに放電される。このように、ニッケル水素電池8では、浮動充電及び浮動放電が行われる。ここで、ニッケル水素電池8は、き電線電圧の平均値に相当する電池電圧を有するように構成されている。

[0044] 以上のように、本実施形態の電気鉄道用電力供給システムでは、変電所9においてニッケル水素電池8をき電線5及び配線15に直結した構成を有する。そのため、全体の構成が簡易であり急速充放電特性に優れ且つコストの低い電力供給システムを構築できる。

[0045] 整流装置4は、全波整流器または半波整流器であってもよく、または、IGBT等の制御素子を用いて構成される電力変換器いわゆるDC-DCコンバータであってもよい。交流電源1は商用電力系統であることが多いが、これに限定されるものではなく、自家発電等の電力系統であってもよい。また、電気車両は、地上を走る電車の他、地下鉄の電車、路面電車、LRV(超低床路面電車)等であってもよい。図1に示す変電所9には、変圧器3、整流装置4、及びニッケル水素電池8が装備されているが、従来技術の構成例のような昇降圧チョッパ等の充放電制御装置や回生電力を交流電力回線に戻すためのインバータが装備されていてもよい。

[0046] ニッケル水素電池8は、き電線電圧の平均値に相当する電池電圧を有する単数の電池モジュールで構成されていてもよい。または、ニッケル水素電池8は、き電線電圧の平均値に相当する電池電圧を出力可能なように、複数の電池モジュールを直列接続した構成(以下、この構成を「直列電池モジュール」という)としてもよい。、更に、上記単数の電池モジュールまたは上記直列電池モジュールが並列接続されて構成されていてもよい。並列接続すれば電池容量が大きくなるが、等価的な内部抵抗は低下する。なお、電池モジュールは、複数の単位電池が直列接続されてなる構成である。

- [0047] 図2は、本実施の形態のニッケル水素電池8の構成の一例を示した図である。図2に示す構成の場合、ニッケル水素電池8は、4つのユニット8A～8Dが並列接続されて構成されている。各ユニット8A～8Dは、上記単数の電池モジュールで構成されていてもよいし、上記直列電池モジュールで構成されていてもよい。
- [0048] 図2では、各ユニット8A～8Dを構成する電池が短絡したときの保護回路として高速度遮断器21、22が設けられている。高速度遮断器21がき電線5側に配置されるとともに、高速度遮断器22が帰線7と接続される配線15側に配置され、リアクトル23はニッケル水素電池8と高速遮断器21の間に配置されている。このように、リアクトル23を設けることにより、短絡時の電流の立ち上がりを緩やかにして高速度遮断器21、22に掛かる負担を減らすことができ、確実に事故電流を遮断できる。なお、リアクトル23は、高速遮断器22とニッケル水素電池8の間に配置してもよい。
- [0049] なお、高速度遮断器21、22とリアクトル23は場合によっては省略可能である。また、高速度遮断器21、22の代わりにいわゆるディスコン(断路器)を設けてもよい。ディスコンは負荷電流の遮断能力はないが、電気回路を開路して保守作業を行うときに有効である。
- [0050] 2. ニッケル水素電池の特性
- 以下、本実施の形態の電気鉄道用電力供給システムに使用されるニッケル水素電池の特性について他の種類の二次電池と比較しながら説明する。
- [0051] 図3は、各種電池等のSOC (state of charge) に対する電圧変化を示すSOC特性図である。曲線aはニッケル水素電池の電圧変化、曲線bは鉛蓄電池の電圧変化、曲線cはリチウムイオン電池の電圧変化、曲線dは電気二重層キャパシタの電圧変化を示す。
- [0052] SOCの変動に対する電圧変化( $\Delta V / \Delta \text{SOC}$ )は、ニッケル水素電池で約0.1、鉛蓄電池で約1.5、リチウムイオン電池で約2、電気二重層キャパシタで約3になっている。つまり、同じ電圧変化を想定すれば、ニッケル水素電池は、鉛蓄電池の1/15に、リチウムイオン電池の1/20に、電気二重層キャパシタの1/30に電池容量を小さくできる。よって、これに相応して電池寸法を小さくすることができる。
- [0053] 図3に示すように、曲線aで示されるニッケル水素電池は、他の電池等に比較して

電圧の変動に対するSOCの変動の範囲Sが広いという特性を有する。即ち、ニッケル水素電池は、SOCの変動に対して電池電圧の変動が小さい。これに比べて、曲線b、c、dで示される他の電池等では、SOCの変動に対して電池電圧の変動が大きい。例えば、SOCの中央値でみれば、ニッケル水素電池では、中央値の電圧を $V_1$ とし電圧変動が範囲 $dV_1$ 内におさまるように使用する場合、SOCの範囲Sのほぼ全てにおいて使用することができ、電池容量を有効に利用することができる。これに対し、鉛蓄電池では中央値の電圧を $V_2$ とし電圧変動が範囲 $dV_2$ 内におさまるように使用する場合、SOCが狭い範囲でしか使用することができず、電池容量を有効に利用できない。同様に、リチウムイオン電池では中央値の電圧を $V_3$ とし電圧変動が範囲 $dV_3$ 内におさまるように使用する場合、SOCが狭い範囲でしか使用することができず、電池容量を有効に利用できない。ここで、電圧変動範囲の大きさは、 $dV_1/V_1 = dV_2/V_2 = dV_3/V_3$ とする。

- [0054] 電圧変動の観点から考察すれば、SOCが範囲Sの中ほど(例えばSOCが40~60パーセント)のとき、ニッケル水素電池8を図1のようにき電線5に直結した場合、ニッケル水素電池8の充放電が繰り返されることによりその充電状態が変動しても電池電圧の変動を非常に小さく抑えることができる。他方、他の電池(例えば、リチウムイオン電池)の場合は、電池電圧の変動が大きくなる。つまり、ニッケル水素電池は、電池容量を有効に利用することができる。
- [0055] なお、き電線電圧の変動許容範囲は、公称目標電圧(例えば750Vまたは1500V)に対してプラスマイナス20%程度の範囲である。
- [0056] き電線に電池を直結する場合は、電池全体がもっているエネルギー量の中で充放電可能である範囲は、き電線電圧の変動に対するSOC特性で示される範囲に限定される。つまり、き電線電圧の変動に対するSOC特性で示される範囲でしか電池内にある電力が有効に活用されない。
- [0057] ニッケル水素電池は、き電線電圧の変動許容範囲で、SOC特性の大半がカバーされるため、電池内の容量が有効に利用される。
- [0058] 他方、ニッケル水素電池と比較して他の種類の二次電池では、SOCに対する電圧変化の傾斜が大きいので、き電線に許容されるプラスマイナス20%程度の範囲では

、有効な電池容量は比較的少なくなる。即ち、ニッケル水素電池以外の鉛蓄電池やリチウムイオン電池等の二次電池をき電線に直結して使用しようとするれば、ニッケル水素電池と比較して結果的に多数の電池が必要になり、広大な設置面積が必要となり、更に設備費が高価となる。

[0059] 図4は、ニッケル水素電池8と、ニッケル水素電池を除いた変電所部分9aとを抽出して示した図である。即ち、変電所9aとニッケル水素電池8とが負荷である電気車両に対して並列接続された構成である。

[0060] き電線の送り出し電圧をV1、ニッケル水素電池8の端子電圧をV2、ニッケル水素電池8の内部抵抗をR2、変電所9aのインピーダンスをR1とすると、ニッケル水素電池8に流れる電流I2は、次式で示される。

$$I2 = (V1 - V2) / R2$$

したがって、ニッケル水素電池8の内部抵抗が小さいほど、ニッケル水素電池8に多くの電流が流れ、充放電できる電気量が大きい。

[0061] 例えば、き電線の公称目標電圧が750Vの場合には、単位電池を30個直列接続して構成される電池モジュールを、20個直列接続して1つのユニットを構成すれば、1つのユニットは、750V、200Ahで、内部抵抗が160～240mΩとなる。このユニットを2つ並列接続してニッケル水素電池8を構成すれば、内部抵抗は80～120mΩとなり、同ユニットを4つ並列接続してニッケル水素電池8を構成すれば、内部抵抗は40～60mΩとなり、内部抵抗の小さいニッケル水素電池8を構成することができる。

[0062] 一方、ニッケル水素電池8と比較して、同容量の鉛蓄電池の内部抵抗はニッケル水素電池8の約10倍であり、また、同容量のリチウムイオン電池の内部抵抗はニッケル水素電池8の約2倍である。

[0063] このため、電気車両による回生電流は、ニッケル水素電池の方が鉛蓄電池やリチウムイオン電池に比べて多く流れ、二次電池に充電される電気量は多い。

[0064] また、電気車両が加速する場合、変電所9aの有するインピーダンスと二次電池の内部抵抗の比に応じて電気車両加速のための負荷電流が分担されるので、二次電池の内部抵抗が高いと、二次電池に蓄えられた電気量が充分利用できない。2500kW級の変電所のインピーダンスは約0.01Ω程度であるので、ニッケル水素電池の



内部抵抗 $0.05\Omega$ を考慮すると、変電所9とニッケル水素電池8の負荷分担はおおよそ5:1となる。一方、鉛蓄電池においては内部抵抗が約 $0.5\Omega$ であるので、負荷分担はおおよそ50:1となり、鉛蓄電池はニッケル水素電池に比べて電池に蓄えられた電気量の活用を十分に図ることができない。このことは鉛蓄電池以外の他タイプの二次電池であつても同様である。

[0065] 以上より、ニッケル水素電池8では、同容量の他の二次電池と比較して、内部抵抗が小さいため多くの電流が流れ、充放電できる電気量が多い。もつとも、鉛蓄電池やリチウムイオン電池の場合、多数並列接続すれば内部抵抗を小さくすることはできるが、広大な設置面積が必要となり、更に高価な設備費がかかる。

[0066] 以上のように、SOCに対する電圧変化の点からも、また内部抵抗の点からも、鉛蓄電池やリチウムイオン電池をき電線に直結しようとするれば、膨大な数の電池が必要になるとともに広大な設置面積が必要となり、更に高価な設備費もかかるため、実用的ではない。

[0067] そのような不都合の解消のために、他の種類の二次電池では、高価な充放電制御装置である昇降圧チョッパを用いて充電電圧をコントロールすることによって電池容量の多くを使用するための制御を行わざるを得ない。

### [0068] 3. 実証試験結果

第1の実施の形態における、ニッケル水素電池を備えた電気鉄道用電力供給システムの実証試験を行った。図5(a)～(d)に、その実証試験結果を示す。

[0069] この実証試験は、日本のある複線区間の電気鉄道用変電所において、図1に示すように、ニッケル水素電池8をき電線5に直結して行った。この実証試験において、整流装置4の電圧仕様は750Vであり、ニッケル水素電池8の仕様は、750V、800Ahである。整流装置4及びニッケル水素電池8は、上り車両用及び下り車両用の電車線に接続されるき電線に接続されている。ここで用いたニッケル水素電池8は、例えば、図2に示すように、750V、200Ahの4個のユニット8A～8Dを並列接続したものである。各ユニット8A～8Dは、37.5V、200Ahの電池モジュールが20個直列接続されて構成されている。また、各電池モジュールは、単位電池が30個直列接続されて構成されている。ここでは、電池モジュールとして、例えば後述する図12～図14に示さ

れた第3構成例のものを用いたが、他の構成例のものを用いてもよい。

- [0070] 図5(a)は、実証試験日の午前10時から11時までのニッケル水素電池8のI-V(電流-電圧)特性を示す。図5(b)は、同日の午前11時から12時までのニッケル水素電池8のI-V特性を示す。図5(c)は、同日の午前12時から13時までのニッケル水素電池8のI-V特性を示す。図5(d)は、同日の午前13時から14時までのニッケル水素電池8のI-V特性を示す。ここで、電流が負の値のときは充電、正の値のときは放電を示す。
- [0071] 図5(a)~(d)におけるI-V特性は、直線e~hで示され、直線e~hは、概ね、 $V = -0.05I + 775$ である。
- [0072] 実証試験から、直線e~hにおいて、電池電圧の変動は、1V程度であり、また、内部抵抗は $0.05\Omega$ 程度であることがわかる。
- [0073] この試験における実際の取得データは、図5(a)~(d)において、黒点で示されている。これら黒点から、充放電が多数回繰り返されていることがわかる。このように、充放電が繰り返されるとSOCが変動するが、図3の曲線aで示されるように、ニッケル水素電池はSOCの広い範囲Sで安定した電圧特性を有し、かつ内部抵抗が小さいため、総じて電圧変動を小さくすることができる。
- [0074] 例えば、ニッケル水素電池8に代えて、鉛蓄電池をき電線に直結した場合には、鉛蓄電池は内部抵抗が大きいため、図5(a)において、例えば鎖線k1で示されるようなI-V特性になる。そしてさらに、SOCが変動すると図3の曲線bで示されるように電圧も大きく変動するため、I-V特性が鎖線k1から例えば鎖線k2に変動する。例えば、非常に多数の鉛蓄電池を並列接続することにより内部抵抗を小さくできたとしても、上述のようにSOCの変動によってI-V特性が変動する。従って、鉛蓄電池は、充放電装置として用いるのに適していない。
- [0075] また、リチウムイオン電池の場合も、SOCが変動すると図3の曲線cで示されるように電圧が大きく変動する。従って、リチウムイオン電池も、き電線に直結して充放電装置として用いるのに適していない。
- [0076] 以上述べたように、内部抵抗が小さく、かつSOCの変動による電圧変動が小さいニッケル水素電池8であるから、き電線5に直結して、充放電装置として用いることがで

きる。本実施の形態では、SOCの変動による電圧変動が小さい範囲(例えば図3の範囲S)を使用できるように電池容量を設定している。

[0077] 鉛蓄電池やリチウムイオン電池では、き電線に直結するために容量を極端に大きくすると、非常に大きな設置面積が必要となり、また、コストも非常に高くなるので、実用に適さない。

[0078] ニッケル水素電池8は、内部抵抗が小さく、かつSOCの変動による電圧変動が小さい。従って、電気車両が加速を行うことによって瞬間的に大電流が必要となりニッケル水素電池から放電を行っても電圧の低下が抑えられる。それとともに、電気車両が回生を行うことによって瞬間的な大電流が発生してもニッケル水素電池が充電することによって電圧の上昇を抑えられる。このように、ニッケル水素電池を備えた電気鉄道用電力供給システムは、き電線電圧の安定化を図ることができる。このことは、前述の実証試験によっても確認することができた。

[0079] 4. 電池モジュールの構成例

以下、本発明の第1の実施の形態に用いるニッケル水素電池8を構成する電池モジュールの構成例について述べる。以下に説明する電池モジュールの構成例は、後述する本発明の第2の実施の形態における電気鉄道用電力供給システムのニッケル水素電池にも同様に適用できる。

[0080] 4.1 第1構成例

図6(a)は、第1構成例の電池モジュールの概略断面構成図であり、図6(b)は、同電池モジュールの一部を示す斜視図である。

[0081] この電池モジュール40は、図6(a)に示すように、一例として6個の単位電池41を直列に連結した構造である。各単位電池41は、中間部を、イオンは透過するが電子を透過させないポリプロピレン繊維の不織布からなり、親水化処理を施していない疎水性のセパレータ42で仕切った、正極セル43と負極セル44を有している。左端の単位電池41の正極セル43の左端壁は正極集電体45として、右端の単位電池41の負極セル44の右端壁は負極集電体46として機能する。左端の単位電池41の負極セル44の右側壁および右端の単位電池41の正極セル43の左側壁は、隔壁を兼ねる集電部材47からなる。中間に位置する4個の単位電池41の間にも隔壁を兼ねる集

電部材47が配置される。かくして、左端の単位電池41から右端の単位電池41に至るまで、集電部材47を介して直列に接続されている。各正極セル43と負極セル44には、共通の電解質溶液としてKOH水溶液が充填されている。また、正極セル43のKOH水溶液には水酸化ニッケル粉Aが混入され、負極セル44のKOH水溶液には水素吸蔵合金粉Bが混入されている。

- [0082] 集電部材の材質としては、ニッケル金属板、ニッケル金属箔、炭素板、ニッケルメッキした鉄、ニッケルメッキしたステンレス鋼、若しくはニッケルメッキした炭素などの材料であって、アルカリ電解質溶液中で腐食などの変質をせず、イオンが通過しなくて電気伝導性があるものを使用することができる。
- [0083] 前述のように、負極セル44には負極の粉体活物質として水素吸蔵合金粉Bを装入した電解質溶液が充填され、正極セル43には正極の粉体活物質として水酸化ニッケル粉Aを装入した電解質溶液が充填される。このとき、セパレータ42は疎水性であるので、負極セル44と正極セル43の内部に電解質溶液を充填する際には、電池内部を減圧下(約1000Pa以下の内圧)の状態にして電解質溶液を押し込む、という方法が取られる。
- [0084] 負極と正極の粉体活物質の組み合わせとしては、例えば、水素吸蔵合金と水酸化ニッケルの組み合わせを用いることができる。水素吸蔵合金の一例としては、 $\text{La}_0.3(\text{Ce}, \text{Nd})_{0.15}\text{Zr}_{0.05}\text{Ni}_{3.8}\text{Co}_{0.8}\text{Al}_{0.5}$ を挙げることができる。
- [0085] また、電解質溶液としては、例えば、KOH水溶液、NaOH水溶液、LiOH水溶液などを用いることができる。
- [0086] セパレータ42は親水化処理の施されていない疎水性材料で製造されている。セパレータ42は、常時アルカリ性の電解質溶液に接触するという条件下で使用されるので、セパレータ42に使用される疎水性材料は耐化学薬品性に優れているものが好ましい。例えば、ポリエチレン繊維、ポリプロピレン繊維などのポリオレフィン系繊維、ポリフェニレンサルファイド繊維、ポルフルオロエチレン系繊維、ポリアミド系繊維などは耐化学薬品性に優れているので、セパレータ42として好ましく用いることができる。これらの繊維から、例えば、織物、編物、不織布、糸レース、平打組物などの繊維シートを形成することができる。これらの中でも、織物や不織布は引張強度が高く、形態安

定性に優れており、電池組立時に破損しにくいので好ましい。この織物としては、平織り、朱子織り、綾織りなどでよい。他方、不織布としては、例えば、カード法、エアレイ法、スパンボンド法、メルトブロー法などにより形成した繊維ウェブを、ニードルパンチ、水流などにより絡合する方法、熱融着性繊維を含む繊維ウェブを熱処理、あるいは熱処理と加圧処理により融着する方法、繊維ウェブを接着剤により接着する方法により得ることができる。もちろん、織物や不織布はこれらに限定されるものではない。

[0087] また、図6(a)に示す第1構成例の電池モジュールにおいて、高压の酸素ガスを封入した酸素ボンベ48から、圧力調整弁49を経て、各単位電池41の正極セル43と負極セル44に対して、経路50を経て酸素ガスを供給することが可能である。即ち、経路50を経て、6個の正極セル43に至る各分岐路に設けたバルブ51a、51b、51c、51d、51eおよび51fと、6個の負極セル44に至る各分岐路に設けたバルブ52a、52b、52c、52d、52eおよび52fとを開閉することにより、正極セル43と負極セル44の両方、又は、正極セル43のみ若しくは負極セル44のみに酸素ガスを供給することにより、この酸素ガスと負極セル44に残っている余剰の水素ガスとを反応させて、水に転換することができる。即ち、負極セル44に供給された酸素ガスは負極セル44内に残っている余剰の水素ガスと反応して水に転換され、正極セル43に供給された酸素ガスはセパレータ42を透過して負極セル44内に残っている余剰の水素ガスと反応して水に転換される。

[0088] 次に、図6(a)に示す構成の密閉型ニッケル水素電池のモジュールにおいて、高压(20kg/cm<sup>2</sup>)の酸素ガスを封入した酸素ボンベ48から圧力調整弁49を経て2kg/cm<sup>2</sup>の酸素ガスを、6個の単位電池41の各正極セル43と各負極セル44の両方に供給した場合における負極セル44の内圧上昇抑制効果を確認する実験を行ったので、説明する。

[0089] 実験では、正極集電体45と負極集電体46を図示しない負荷である白熱灯に接続して放電を開始して1時間後、6個の単位電池41の各負極セル44の内圧は1MPaまで上昇した。ここで、各負極セル44の電解質溶液のない空部分の容積は0.0012m<sup>3</sup>であった。

- [0090] そこで、酸素ポンプ48から圧力調整弁49を経て $2\text{kg}/\text{cm}^2$ の酸素ガスを6個の単位電池41の各正極セル43と各負極セル44の両方に供給すると、1時間後に6個の単位電池41の各負極セル44の内圧は0.1MPaまで低下した。
- [0091] ところで、電池製造者は一般に、電池反応に起因する発熱をいかに処理するかという問題に直面することが多い。特に、密閉構造の電池では、発熱の問題が無視し得ないものであり、密閉構造の電池は適切な伝熱構造を備えることが好ましい。
- [0092] 従来の円筒形電池や角形電池は電池ケースの外側を冷却しているので、ニッケル水素電池を円筒形電池や角形電池の構造にした上で所定の冷却効果を挙げることは困難である。というのは、円筒形電池でも角形電池でも、セパレータおよび活物質の配置方向に対して直角方向、例えば、円柱状の電池の場合では半径方向へ熱を伝える構造、つまり、積層したセパレータおよび活物質を通して外部に熱を伝える構造となっているからである。
- [0093] 図7は円筒形電池の一例に関する図である。図7に示すように、正極活物質シート61、イオン透過性セパレータ62、負極活物質シート63、及び、イオン透過性セパレータ62を順に重ねて渦巻き状に巻き取ることで、円筒形電池が構成される。この円筒形電池では、ケース64が負極端子となり、キャップ65が正極端子となる。図8は角形電池の一例に関する図である。図8に示すように、正極活物質シート71、イオン透過性セパレータ72、負極活物質シート73、及び、イオン透過性セパレータ72を順に重ねることで、角形電池が構成される。この角形電池では、一方の端部壁74が正極端子となり、他方の端部壁75が負極端子となる。側部壁76、77は、絶縁体である。
- [0094] 図7に示す構造は、活物質シート及びセパレータの配置方向(円周方向)に対して直角方向(半径方向)に熱を伝える必要があるが、多層に重ねられた物質を経て良好に熱伝導を達成することは困難であり、むしろ、各層が断熱材に近い役割を果たすと考えられる。特に、熱伝導性の低い繊維または多孔質のプラスチック素材であるセパレータが積層されているため、熱伝導性は特に低くなる。同様に、図8に示す構造は、活物質シート及びセパレータの配置方向(水平方向)に対して直角方向に熱を伝える必要があるが、多層に重ねられた物質を経て良好に熱伝導を達成することは困難であり、むしろ、各層が断熱材に近い役割を果たすと考えられる。

- [0095] しかも、電池が大きくなると、容量の(2/3)乗に比例してしか伝熱面積が増加せず、また、伝熱距離も長くなる。その結果、図7および図8に示す電池において、ケースの外側を冷却しても、電池内部は必要な温度に冷却されない。
- [0096] そこで、図6(a)に示す電池構造において、隔壁を兼ねる集電部材47の構造を、例えば、多孔質とすることで伝熱面積を増やせば、この多孔質集電部材47が伝熱部材としての役割も果たすため、電池反応により発生した熱をこの集電部材から十分に放散できる。このことにより、電池の劣化を抑制できる。一方、この集電部材47を放熱部材として利用する以外に、蓄熱部材として利用することもできる。つまり、電池反応により発生した熱が密閉構造の電池内にこもることは電池の劣化が促進されるので好ましいことではないが、一方で電池反応をスムーズに実行するためには、電池構成部材は一定の温度範囲(約25°C~50°C)にあることが好ましい。そこで、多孔質集電部材47から強制的に放熱するのではなく、場合によっては、電池構成部材を一定温度以上、例えば約25°C以上とするために、放熱を抑えるように、一部の多孔質集電部材47の外面に断熱材を貼着することもできる。同様に、放熱板をファンで強制的に冷却する構造では、電池構成部材が一定温度以下の場合には、ファンを稼働させないことにより放熱を抑えるようにすることができる。
- [0097] 電池が大型化すると、表面積も大きくなり、表面を冷却するだけでは電池内部の冷却が不十分となることが多い。そこで、図6(a)に示すように電池が複数の単位電池を積層した構造である場合には、各単位電池を仕切る隔壁である集電部材47を冷却すると、電池内部も効果的に冷却することが可能である。隔壁である集電部材47は導電性に優れており、図6(b)に示すように、多孔質のアルミニウム板からなる集電部材47と、セパレータで仕切られた正極セルと負極セルを有する単位電池41とは密に接続されている。そのため集電部材47を通して電子だけでなく熱もよく伝えることができる。
- [0098] 集電部材47による放熱を効率的に行うために冷却用空気を供給するためのファン53を下方に設置する、という実験を、図6(a)に示す構成のニッケル水素電池モジュールにおいて行った(図6(b)参照)。まず、ファン53を停止した状態で室温下において120%過充電を行ったところ、2時間後に電池内部に設置した温度計の温度は

約100°Cまで上昇した。

[0099] そこで、ファン53を起動して6個の単位電池からなる電池モジュールに向けて冷風を供給したところ、120%過充電を行って2時間経過後においても、電池内部に設置した温度計の温度は室温(25°C)から約10°C程度しか上昇しなかった。

[0100] なお、集電部材47には、多孔質のアルミニウム板等を用いる代わりに、例えば上下方向に冷媒を流すための多数の通流孔が設けられたアルミニウム板等の金属板を用いてもよい。

[0101] また、この電池モジュール40には、例えば、正極集電体45の中央部に、後述の図10に示す正極端子94と同様の外部接続用の正極端子が取り付けられ、負極集電体106の中央部に、後述の図10に示す負極端子95と同様の外部接続用の負極端子が取り付けられてもよい。

[0102] 4.2 第2構成例

図9は、第2構成例の電池モジュール81を、強制冷却を行うファンと風洞(空気流通空間)により冷却を行う構成を示した斜視図である。電池モジュール81は下部に空気が流通する空気流通空間82を備えている。吸気ファン83aと吸気ファン83bによって吸い込まれた空気は、下部の空気流通空間82、電池モジュール81内の伝熱空間、及び、上部の空気流通空間84を経て外部に放出される。図9における矢印は空気の流れる方向を示す。

[0103] 図10(a)は、第2構成例の電池モジュールの縦断面図である。図10(b)は、図10(a)において矢印xの方向から見た同電池モジュールの正極板および負極板の間に配置される導電部材を示す断面図である。図10(c)は、第2構成例の電池モジュールを構成する(以下で説明する)単位電池の正極板外部に配置される導電部材を示す斜視図である。図10(a)における矢印x以外の矢印は空気の流れる方向を示す。

[0104] この電池モジュール81は、一例として6個の単位電池を積層したものである。各単位電池は、正極集電体である正極板85と負極集電体である負極板86との間に電解質溶液を装入するとともに、正極セル85Sと負極セル86Sの間に、アルカリ電解液中で腐食などの変質をせず、イオンは透過するが電子を透過させないセパレータ87を介在させ、正極セル85S内に正極活物質を装入し、負極セル86S内に負極活物質



を装入してなる構成である。そして、隣り合う2個の単位電池の間には、吸気ファン83aと吸気ファン83bから吸い込まれた空気が流通する上下方向の空気流通経路88が設けられている。

[0105] なお、空気流通経路88は、正極板85と負極板86が対面している部分の全部にわたって設けられているのではなく、図10(b)及び図10(c)に示すように、正極板85と負極板86の中央部の上下方向に設けられている。空気流通経路88の両側には導電部材89が配置されており、正極板85と負極板86は導電部材89によって接続されている。

[0106] セパレータ87としては、例えば、四フッ化エチレン樹脂、ポリエチレン、ナイロン、ポリプロピレンなどの織物や不織布又はメンブレンフィルターなどを使用することができる。導電部材89としては、ニッケルメッキしたアルミニウム板等のニッケル金属板、ニッケル金属箔、炭素板、ニッケルメッキした鉄、ニッケルメッキしたステンレス鋼、ニッケルメッキした炭素などの材料であって、アルカリ電解質溶液中で腐食などの変質をせず、イオンが通過しなくて電気伝導性があるものを使用することができる。

[0107] 各単位電池は絶縁板93、92により上下を囲まれている。下部及び上部の空気流通空間82、84は、夫々の下方及び上方を絶縁板90、91により囲まれている。更に、図10に示すような左端の正極板85の中央部には、外部接続用の正極端子94が取り付けられている。図10に示すような右端の負極板86の中央部には外部接続用の負極端子95が取り付けられている。

[0108] 図10(a)において、電池モジュール81に代えて、図6に示す多孔質の集電部材47を有する電池モジュール40を使用することもできる。

[0109] また、空気流通経路88の設けられた導電部材89に代えて、図11に示す伝熱板96を用いてもよい。この伝熱板96はアルミニウムを素材としてニッケルメッキを施したもので、上下方向に空気の流通経路97が多数設けられている。この伝熱板96を、導電部材89に代えて、正極板85と負極板86の間に挿入して、吸気ファン83aと吸気ファン83bによって吸い込まれた空気を流通経路9に流通させることができる。伝熱板96は、正極板85と負極板86に接して正極板85と負極板86を電氣的に接続するための部材でもあり、電気伝導性も有する。その点で、アルミニウムは電気抵抗が比較的

低く、熱伝導率が比較的大きいので、伝熱板96として好ましい特性を有しているが、酸化しやすいという欠点を有している。そこで、アルミニウム板にニッケルメッキを施したものは、酸化を抑制するだけでなく、ニッケルメッキが施されることにより接触抵抗が低下するので、伝熱板96としてさらに好ましい。

[0110] 4.3 第3構成例

図12は、第3構成例の電池モジュールの横断面図である。図13は、図12の電池モジュールにおける伝熱板内の空気の流れ方向を示す図であり、図12に示される絶縁板107、108が省略されている。図14は、図12の電池モジュール内における熱の伝達方向を示す図である。

[0111] この電池モジュール98は、複数の単位電池を積層したものである。各単位電池では、対向して設けられた正極集電体99と負極集電体100の間に、アルカリ電解液中で腐食などの変質をせず、イオンは透過するが電子を透過させない蛇腹状のセパレータ101が交互に両集電体に近接するように配置される。更に各単位電池では、蛇腹状のセパレータ101と正極集電体99とで区画される空間に電解質溶液102とともに正極活物質を含有する正極シート103が配置され、蛇腹状のセパレータ101と負極集電体100とで区画される空間に電解質溶液102とともに負極活物質を含有する負極シート104が配置され、正極シート103と負極シート104がセパレータ101を挟んで交互に組み込まれている。また、正極シート103は正極集電体99に接し、負極シート104は負極集電体100に接している。そして、隣り合う2個の単位電池の間には、一方の単位電池の正極集電体99ともう一方の単位電池の負極集電体100に接するように図11に示す伝熱板96が挿入されている。この伝熱板96の空気流通経路97の向きは、正極シート103と負極シート104の上下方向に一致している。各単位電池の正極集電体99と負極集電体100との間は、セパレータ101によって正極セルと負極セルとに2分割され、セパレータ101と正極集電体99とで区画され正極シート103が配置される領域が正極セルとなり、セパレータ101と負極集電体100とで区画され負極シート104が配置される領域が負極セルとなる。

[0112] 例えば、図9において、第2構成例の電池モジュール81に代えて、本構成例の電池モジュール98を用いることにより、電池モジュール98を冷却するように構成できる

- 。
- [0113] 図12に示すように、導電性に優れるとともに熱伝導性のよい金属で構成された正極集電体99と負極集電体100が、それぞれ正極シート103及び負極シート104と直接接触し、その上、各集電体99, 100が、電氣的に正極集電体99と負極集電体100をつなぐ役割を果たす伝熱板96と接触している。このことにより、図13の矢印で示す方向に沿って伝熱板96の空気流通経路97を流通する空気に対して、電池反応の結果発生した熱は、図14の矢印で示す方向に沿って効率的に伝達されて外部に放出される。このようにして、電池モジュール98の温度は、電池反応をスムーズに実行することができる適正な範囲に維持される。
- [0114] 図12に示すように、正極の端部には統括正極集電体105が設けられ、負極の端部には統括負極集電体106が設けられている。電池モジュール98の側部には、絶縁板107, 108が設けられている。統括正極集電体105の中央部に、例えば図10に示す正極端子94と同様の正極端子が取り付けられ、統括負極集電体106の中央部に、例えば図10に示す負極端子95と同様の負極端子が取り付けられる。
- [0115] 正極シート103は、例えば、正極活物質と導電性フィラーと樹脂に溶剤を加えてペースト状にしたものを基板上に塗布して板状に成形し、硬化させたものである。負極シート104は、例えば、負極活物質と導電性フィラーと樹脂に溶剤を加えてペースト状にしたものを基板上に塗布して板状に成形し、硬化させたものである。正極活物質および負極活物質としては、すべての公知の活物質材料を用いることができる。導電性フィラーとしては、炭素繊維、炭素繊維にニッケルメッキしたもの、炭素粒子、炭素粒子にニッケルメッキしたもの、有機繊維にニッケルメッキしたもの、繊維状ニッケル、ニッケル粒子、若しくはニッケル箔を、単独で、若しくは組み合わせて用いることができる。樹脂としては、軟化温度120°Cまでの熱可塑性樹脂、硬化温度が常温から120°Cまでの樹脂、蒸発温度120°C以下の溶剤に溶解する樹脂、水に可溶性溶剤に溶解する樹脂、若しくは、アルコールに可溶性溶剤に溶解する樹脂などを用いることができる。基板としては、ニッケル板などの電気伝導性のある金属板を用いることができる。

- [0116] 5. 電池の耐久性向上の一例

電池にキャパシタ成分を加えて高速、短時間の充放電をこのキャパシタ成分で行い、不足分を電池が負担し、結果として、電池の耐久性を向上させることが可能である。というのは、キャパシタ成分の内部抵抗は電池の内部抵抗に比べて小さいので、高速で短時間の充放電を行った場合、キャパシタ成分が主に充放電するため電池の負担が少なくなるからである。この効果を得るためには、キャパシタ容量の大きな物質をセパレータと正極活物質の間およびセパレータと負極活物質の間に挿入する方法を採用することができる。例えば、図15に示すような構造の単位電池を採用することができる。

[0117] 図15に示す単位電池は、正極側を正極集電体111で囲まれ、負極側を負極集電体112で囲まれ、側部を絶縁体113で囲まれる。これらで囲まれたセル内には電解質溶液が満たされる。そのセルは、アルカリ電解液中で腐食などの変質をせず、電子は透過させないが、イオンを透過させるイオン透過性の略蛇腹状のセパレータ114によって正極セル115と負極セル116に2分割されている。正極セル115内には、セパレータ114に全面的に接する正極活物質を含有する略蛇腹状のポリプロピレン繊維の不織布117が配され、さらに、不織布117に全面的に接するとともに正極集電体111に部分的に接する正極活物質を含有する略蛇腹状のニッケルフォームからなる成形体118が配されている。負極セル116内には、セパレータ114に全面的に接する負極活物質を含有する略蛇腹状のポリプロピレン繊維の不織布119が配され、さらに、不織布119に全面的に接するとともに負極集電体112に部分的に接する負極活物質を含有する略蛇腹状のニッケルフォームからなる成形体120が配されている。図15に示す構成において、略蛇腹状のポリプロピレン繊維の不織布117と略蛇腹状のポリプロピレン繊維の不織布119がキャパシタ成分に相当する。

[0118] 図15に示す構成の密閉型電池において、略蛇腹状のポリプロピレン繊維の不織布117と略蛇腹状のポリプロピレン繊維の不織布119を取り除いた場合のサイクル寿命は4000サイクルであったが、図15に示すように、略蛇腹状のポリプロピレン繊維の不織布117と略蛇腹状のポリプロピレン繊維の不織布119を有する場合のサイクル寿命は10000サイクルを超えた。

[0119] この図15に示す構成の単位電池を複数積層して電池モジュールを構成することが

できる。例えば、前述の第2、第3構成例の場合と同様、図10に示す導電部材89あるいは図11に示す伝熱板96を介して図15に示す構成の単位電池が複数個直列接続されるように積層すればよい。

[0120] 以上に述べた各構成例では、複数の単位電池を積層して電池モジュールを構成し、その際、単位電池の積層方向(並び方向)と同じ方向に並ぶように正極セルと負極セルとを配置するとともに、互いに隣りあう一方の単位電池の正極セルと他方の単位電池の負極セルとの間に板状の集電体(図6の集電部材47、図10の正極板85及び負極板86、図12の正極集電体99及び負極集電体100等)を配置している。そして、集電体(図6の集電部材47)を多孔質部材とすることで、集電体の内部に冷媒流路が設けられた構成としている。あるいは、集電体(図10の正極板85及び負極板86、図12の正極集電体99及び負極集電体100)の間に、中央に空気流通経路88を形成する導電部材89(図10参照)または空気流通経路97となる通流孔が設けられた伝熱板96(図11参照)を挿入した構成としている。このような構成とすることにより、電池反応によって発生する熱を集電体から効率よく冷媒(例えば空気)へ取り込んで外部へ放散することができ、冷却効果が大きなものとなる。

[0121] なお、上記では、冷媒(伝熱媒体)として空気を用いたが、水または油等の液体を用いるように構成してもよい。また、これに限定されるものではなく、一般的に伝熱媒体として知られている気体または液体からなるすべての伝熱媒体を用いることができる。

[0122] また、複数の単位電池を積層して電池モジュールを構成し、その際、単位電池の積層方向(並び方向)と同じ方向に並ぶように正極セルと負極セルとを配置するとともに、互いに隣りあう一方の単位電池の正極セルと他方の単位電池の負極セルとの間に板状の集電体(図6の集電部材47、図10の正極板85及び負極板86、図12の正極集電体99及び負極集電体100等)を配置し、1つの板状の集電体(図6の集電部材47)を隣接する2つの単位電池の集電体として共用することによって、あるいは、隣接する2つの板状の集電体(図10の正極板85及び負極板86、図12の正極集電体99及び負極集電体100)が導電部材89(図10参照)または伝熱板96(図11参照)を介して広い面接触によって接続されることにより、複数の単位電池が直列接続されてい

るので、電池モジュールの等価的な内部抵抗をより小さく抑えることができる。

[0123] 以上に述べたように、各構成例のように電池モジュールを構成し、かつ冷却構造を備えることにより、電池反応による発熱を抑えることができるため、電池の劣化を抑制し、電池の長寿命化を図ることができる。また、電池モジュールの等価的な内部抵抗をより小さく抑えることができる。したがって、ニッケル水素電池8の長寿命化を図り、等価的な内部抵抗をより小さく抑えることができる。

[0124] 6. まとめ

以上のように、本発明の第1の実施の形態における電気鉄道用電力供給システムは、変電所9において、ニッケル水素電池8をき電線5及び配線15に直結した構成を有する。この構成により、昇降圧チョッパのような非常に高価な充放電制御装置を不要とすることができるため、装置全体の構成を簡単化できるとともに製造コストを低減できる。また、充放電制御装置における動作遅れもなく、急速充放電特性に優れ、き電線電圧を安定化できる。また、充放電制御装置として用いられる昇降圧チョッパが省略されれば、信号装置の障害となる高調波ノイズが発生するおそれもない。

[0125] 本発明の第1の実施の形態における電気鉄道用電力供給システムは、充放電制御装置を要しないことから、その設置スペースが不要となる。また、一般的にニッケル水素電池は体積エネルギー密度が高いため、多数の単位電池を用いた大容量のニッケル水素電池8であっても、広大な設置面積を必要としない。また、前述した各構成例のように単位電池が積層された電池モジュールを用いてニッケル水素電池8を構成することにより、より小型化を図り、設置面積を小さくすることができる。例えば、前述の実証試験で用いた750V、800Ahのニッケル水素電池8は、その体積が $18\text{m}^3$ のものである。

[0126] また、ニッケル水素電池8は内部抵抗が小さいため、電池内部で発生する発熱量が少なく、熱損失を低減でき、また、電池自体の放熱装置を少なくできる。

[0127] 鉄道の電気車両においては、瞬間的な大電流の入り・切りや、架線とパンタグラフの離線や第三軌条と集電靴の離線により急激な電流、電圧の変化が発生する。ニッケル水素電池は、キャパシタ効果を持つため、瞬間的に急激な電圧の立ち上がり変化を受けても、または、逆に瞬間的に大電流を放出しても、他の電池に比較して、電

池全体として電圧の変化をなだらかにすることができるという点で有利である。ニッケル水素電池8の単位電池を、後述する電池の耐久性向上の一例として図15に示す単位電池の構成とすることにより、ニッケル水素電池8の持つキャパシタ効果をより高めることができる。

[0128] 第2の実施の形態

1. 電気鉄道用電力供給システムの構成、動作

図16は、本発明の第2の実施の形態における電気鉄道用電力供給システムの概略構成図である。第1の実施の形態では、ニッケル水素電池8は電気鉄道用の変電所9に設置されていた。これに対して、本発明の第2の実施の形態における電気鉄道用電力供給システムでは、電気鉄道用の変電所と変電所の中間点のような変電所9以外の場所に、ニッケル水素電池8を含む電力貯蔵供給装置10a、10bを設置している。

[0129] なお、本発明の第2の実施の形態に係る電気鉄道用電力供給システムで用いるニッケル水素電池8を構成する電池モジュールは、前述の第1の実施の形態で用いるニッケル水素電池8を構成する電池モジュールと同様のものでよい。

[0130] 図16に示す電気鉄道用電力供給システムにおいて、電力貯蔵供給装置10a、10bは、ニッケル水素電池8が、き電線5に直結された構成を有している。ここで、ニッケル水素電池8が、き電線5に直結されている、とは、第1の実施の形態と同様に、ニッケル水素電池8が充放電制御装置を介さずにき電線5に接続されているということである。ニッケル水素電池8は、その正極側外部端子がき電線5に接続され、負極側外部端子が帰線(レール)7に接続されている。即ち、ニッケル水素電池8の一对の外部端子がき電線5及び帰線7に接続されている。実施の形態1で述べたように、ニッケル水素電池は、SOCに対する電圧変動が小さいことから充放電制御装置を必要とせず、き電線5及び帰線7に直結することができる。

[0131] 電力貯蔵供給装置10a、10bは、電気鉄道用変電所(電気車両用の変電所)9a、9bの構内とは異なる場所に設置され、電力貯蔵供給装置10a、10bのニッケル水素電池8は、変電所9a、9bとき電線5の接続部分とは異なるき電線5の部分に直結されている。具体的には、電力貯蔵供給装置10bについては、電気鉄道用変電所9aと電

気鉄道用変電所9bの中間地点のき電線5に、ニッケル水素電池8が直結されている。また、電力貯蔵供給装置10aについては、ニッケル水素電池8は、き電線5の端部5eに最も近い電気鉄道用変電所9aからき電線5の端部5e寄りの地点のき電線5に、または、き電線5の端部5eに直結されている。

[0132] 以上のように構成される本実施の形態の電気鉄道用電力供給システムでは、電気車両11a、11b、11cで発生した回生電力は、電力貯蔵供給装置10a、10b内に設置されたニッケル水素電池8に蓄積される。ニッケル水素電池8に蓄積された電力は、き電線5の電圧状態に応じて電気車両11a、11b、11cに適宜供給される。

[0133] この構成により、き電線5の電圧が電力貯蔵供給装置10a、10b内のニッケル水素電池8の電圧より低くなろうとすると、ニッケル水素電池8からき電線5に放電され、き電線電圧の降下を抑えられる。これにより、き電線の電圧降下により個々の電気車両の走行に支障が生じることが防止され、電気車両の走行性能が十分に引き出され、結果として電気車両の全体の運行に支障を及ぼすことがなくなる。また、回生電力発生時にき電線電圧が電力貯蔵供給装置10a、10b内のニッケル水素電池8の電圧より高くなろうとすると、ニッケル水素電池8が充電され、き電線電圧の上昇を抑えられる。これにより、回生失効等が防止され、電気車両の走行エネルギーが無駄に消費されることが防止される。

[0134] ここで、き電線5にはそれ自体に抵抗があるため、変電所から遠くなるほど、電圧降下が大きくなる。つまり、変電所から遠く離れた地点を走行する電気車両が、加速して大量の電力を消費すると、より電圧降下が大きくなり、電気車両の走行に支障をきたすおそれがある。また反対に、電気車両が減速時には、発生する回生電力によってき電線電圧は上昇する。このとき、き電線5の抵抗により、回生電力を発生した電気車両付近のき電線の電圧上昇は、その電気車両付近よりも変電所に近い地点のき電線の電圧上昇に比べて、大きくなる傾向があり、回生失効等が発生するおそれがある。

[0135] 上記の問題は、き電線5の抵抗と、変電所から電気車両までの長い距離とに起因する。そこで、本発明の第2の実施の形態では、特に、電力貯蔵供給装置10a、10bを、変電所9aと変電所9bの間や、線路の終端または始端付近に設けている。これに



より、電力貯蔵供給装置10a、10bから電気車両までの距離を相対的に短くでき、き電線5の抵抗に起因する、ニッケル水素電池8からの放電時のき電線電圧の電圧降下やニッケル水素電池8への充電時のき電線電圧の電圧上昇の変動を低減できる。

[0136] なお、電力貯蔵供給装置10a、10bは、必要に応じて変電所間に設置すればよく、全ての変電所間に設置されなくてもよい。例えば、変電所間の距離が短ければ、その変電所間には設置しなくてもよい。また、き電線の端部にも、必要に応じて設置すればよく、き電線の端部と変電所との距離が短ければ設置しなくてもよい。

[0137] また、電力貯蔵供給装置10a、10bがあれば、隣接する変電所が故障して送電できない場合でも電力貯蔵供給装置10a、10bからの電力供給により電気車両を最寄の駅まで走行させることができる。さらに、短時間であれば電力貯蔵供給装置10a、10bを変電所の代用とすれば、変電所の機能を停止させて変電所の保守整備を行うことができる。

[0138] また、新たに鉄道を敷設する場合には、電力貯蔵供給装置10a、10bを変電所間に設置することで、変電所間の間隔を長くして変電所の数を少なくすることができる。ニッケル水素電池8によって構成される電力貯蔵供給装置10a、10bに比べて、変電所の建設費用は多大である。また、既存の鉄道の変電所を廃止して電力貯蔵供給装置10a、10bを設置し、余った敷地を有効利用することも可能になる。このように電力貯蔵供給装置10a、10bが変電所の代替物になり得ることは、以下の実証試験の示すところである。

## [0139] 2. 実証試験結果

本発明第2の実施の形態に係る電気鉄道用電力供給システムの実証試験を行った。図17(a)～(d)は、その実証試験結果を示す図である。

[0140] この実証試験は、日本のある複線区間の電気鉄道用変電所において、例えば整流装置4と並列接続されるようにしてニッケル水素電池8をき電線5と帰線7間に接続し、同変電所の機能を停止させることにより、ニッケル水素電池8を有する電力貯蔵供給装置10a、10bの実験装置とすることで、通常の変電所間隔の2倍の間隔の間に設置された電力貯蔵供給装置10a、10bの能力を確認するものである。

[0141] この実証試験において、き電線の電圧仕様は750Vであり、ニッケル水素電池8の

仕様は、712.5V、800Ahである。また、停止状態の整流装置4及びニッケル水素電池8は、上り車両用及び下り車両用の電車線に接続されるき電線に接続されている。ここで用いたニッケル水素電池8は、例えば、図2に示すように、4個のユニット8A～8Dを並列接続したものである。各ユニット8A～8Dは、37.5V、200Ahの電池モジュールが19個直列接続されて構成されている。また、各電池モジュールは、単位電池が30個直列接続されて構成されている。

[0142] 図17(a)は、実証試験日の午前5時から6時までのニッケル水素電池8のI-V(電流-電圧)特性を示す。図17(b)は、同日の午前6時から7時までのニッケル水素電池8のI-V特性を示す。図17(c)は、同日の午前7時から8時までのニッケル水素電池8のI-V特性を示す。図17(d)は、同日の午前8時から9時までのニッケル水素電池8のI-V特性を示す。ここで、電流が負の値のときは充電、正の値のときは放電を示す。

[0143] 図17(a)～(d)におけるI-V特性は、直線e～hで示され、直線e～hは、概ね、 $V = -0.05I + 752$ である。

[0144] 実証試験から、直線e～hにおいて、内部抵抗は0.05Ω程度であることがわかる。また、最高電圧が815V、最低電圧が637Vであり、朝のラッシュ時間帯においても、750Vのき電線電圧において許容される900V～600Vの範囲内に収まることが実証されたため、結果的にニッケル水素電池による給電設備により、変電設備の代替物となり得る、という試験結果となった。

[0145] 3. まとめ

本発明の第2の実施の形態における電気鉄道用電力供給システムは、第1の実施の形態と同様に、ニッケル水素電池8をき電線5に直結している。このため、昇降圧チョッパのように非常に高価な充放電制御装置を不要にできるため、装置全体として構成を簡単にでき、製造コストを低減できる。また、充放電制御装置における動作遅れもなく、急速充放電特性に優れ、き電線電圧の安定化を実現できる。また、充放電制御装置として用いられる昇降圧チョッパが省略されれば、信号装置の障害となる高調波ノイズが発生するおそれもない。

[0146] 特に、変電所から遠く離れた地点のき電線、例えば変電所と変電所の中間のき電

線5や、線路の終端あるいは始端に対応するき電線の端部5eに、ニッケル水素電池8を直結して電力貯蔵供給装置10a、10bを構成する。これにより、変電所から遠く離れた地点において、き電線自体の抵抗や電気車両が加速することにより生じるき電線の大幅な電圧降下を抑え、電気車両の走行に支障をきたすことなく電気車両の走行性能を十分に引き出すことができる。それとともに、電気車両が減速する際に発生する回生電力によるき電線5の大幅な電圧上昇を抑え、回生失効等による電気車両の走行エネルギーの無駄な消費を抑えることができる。

- [0147] なお、本発明の第1の実施の形態では、電気鉄道用電力供給システムにおいて、ニッケル水素電池を電気鉄道用の変電所に設置した。また、本発明の第2の実施の形態では、電気鉄道用電力供給システムにおいて、ニッケル水素電池を電気鉄道用の変電所以外の場所に設置した。ニッケル水素電池の設置場所はこれらの限定されない。一のニッケル水素電池を電気鉄道用の変電所に設置し、同時に、別のニッケル水素電池を電気鉄道用の変電所以外の場所に設置してもよい。

#### 産業上の利用可能性

- [0148] 本発明に係るニッケル水素電池を備えた電気鉄道用電力供給システムは、電気鉄道用変電所に設置されるニッケル水素電池を備えた電気鉄道用電力供給システム等として好適に用いることができる。
- [0149] また、本発明に係る電気鉄道用電力供給システムは、電気鉄道用変電所から離れた地点に設置される電気鉄道用電力供給システム等として好適に用いることができる。

。

## 請求の範囲

- [1] 電気車両用の変電所に接続され前記変電所から直流電力が供給されるき電線を備える電気鉄道用電力供給システムであって、  
直流電力貯蔵供給設備としてニッケル水素電池を有し、前記ニッケル水素電池が前記き電線に直結されてなる  
電気鉄道用電力供給システム。
- [2] 交流電力回線から受電する変圧器と前記変圧器に接続された整流装置と前記整流装置に接続されるき電線とを有する電気鉄道用の変電所において、  
直流電力設備としてニッケル水素電池を有し、前記ニッケル水素電池が前記き電線に直結されてなる  
電気鉄道用電力供給システム。
- [3] 前記ニッケル水素電池は、1つ以上の電池モジュールによって構成され、  
前記電池モジュールは、  
対向して設けられた一対の板状の集電体の間に、セパレータによって仕切られた正極セルと負極セルとを有する複数の単位電池が、互いに隣り合う一方の前記単位電池の正極セルと他方の前記単位電池の負極セルとが対向するように積層されてなり、かつ、互いに隣り合う一方の前記単位電池と他方の前記単位電池との間に、前記一方の単位電池の正極セルと前記他方の単位電池の負極セルとの隔壁を兼ねる板状の共通集電体が設けられ、前記共通集電体は気体または液体からなる伝熱媒体の流通経路を有する、請求項2に記載の電気鉄道用電力供給システム。
- [4] 前記共通集電体は、多孔質の金属板からなる、請求項3に記載の電気鉄道用電力供給システム。
- [5] 前記共通集電体は、前記伝熱媒体の流通経路となる複数の通流孔が設けられた金属板からなる、請求項3に記載の電気鉄道用電力供給システム。
- [6] 前記ニッケル水素電池は、1つ以上の電池モジュールによって構成され、  
前記電池モジュールは、  
それぞれ、対向して設けられた板状の正極集電体と負極集電体と、前記正極集電体と前記負極集電体の間に配したセパレータと、前記正極集電体に接する正極セル

と前記負極集電体に接する負極セルとを有する複数の単位電池が、互いに隣り合う一方の前記単位電池の正極集電体と他方の前記単位電池の負極集電体とが対向するように積層されてなり、かつ、互いに隣り合う前記単位電池の間に気体または液体からなる伝熱媒体の流通経路が設けられた、請求項2に記載の電気鉄道用電力供給システム。

- [7] 前記ニッケル水素電池は、1つ以上の電池モジュールによって構成され、前記電池モジュールは、それぞれ、対向して設けられた板状の正極集電体と負極集電体との間に、電解質溶液が充填されるとともに、正極活物質を含有する正極シートと負極活物質を含有する負極シートとが交互に組み込まれるように、前記正極集電体から前記負極集電体に向けて複数枚の前記正極シートを配するとともに前記負極集電体から前記正極集電体に向けて複数枚の前記負極シートを配し、且つ前記各正極シートと各負極シートとの間にセパレータを介在させてなる構造を有する複数の単位電池が、互いに隣り合う一方の前記単位電池の正極集電体と他方の前記単位電池の負極集電体とが対向するように積層されてなり、かつ、互いに隣り合う前記単位電池の間に気体または液体からなる伝熱媒体の流通経路が設けられた、請求項2に記載の電気鉄道用電力供給システム。
- [8] 前記伝熱媒体の流通経路に通流孔を有する導電性の伝熱板を、互いに隣り合う一方の前記単位電池と他方の前記単位電池との間に、前記一方の単位電池の正極集電体と前記他方の単位電池の負極集電体とに接するように挿入した、請求項6または7に記載の電気鉄道用電力供給システム。
- [9] 前記伝熱板は、アルミニウム板からなる、請求項8に記載の電気鉄道用電力供給システム。
- [10] 互いに隣り合う一方の前記単位電池と他方の前記単位電池との間に、それぞれ前記一方の単位電池の正極集電体と前記他方の単位電池の負極集電体とに接し、かつそれぞれの間に前記伝熱媒体の流通経路が設けられるように複数の導電部材を挿入した、請求項6または7に記載の電気鉄道用電力供給システム。
- [11] 電気車両用の変電所に接続され前記変電所から直流電力が供給される電線と、

ニッケル水素電池を備えた電力貯蔵供給装置とからなり、前記ニッケル水素電池が前記電線に直結されてなり、かつ、前記電力貯蔵供給装置が前記変電所の構内とは異なる場所に設備されてなる電気鉄道用電力供給システム。

- [12] 前記ニッケル水素電池は、1つ以上の電池モジュールによって構成され、  
前記電池モジュールは、  
対向して設けられた一対の板状の集電体の間に、セパレータによって仕切られた正極セルと負極セルとを有する複数の単位電池が、互いに隣り合う一方の前記単位電池の正極セルと他方の前記単位電池の負極セルとが対向するように積層されてなり、かつ、互いに隣り合う一方の前記単位電池と他方の前記単位電池との間に、前記一方の単位電池の正極セルと前記他方の単位電池の負極セルとの隔壁を兼ねる板状の共通集電体が設けられ、前記共通集電体は気体または液体からなる伝熱媒体の流通経路を有する、請求項11に記載の電気鉄道用電力供給システム。
- [13] 前記共通集電体は、多孔質の金属板からなる、請求項12に記載の電気鉄道用電力供給システム。
- [14] 前記共通集電体は、前記伝熱媒体の流通経路となる複数の通流孔が設けられた金属板からなる、請求項12に記載の電気鉄道用電力供給システム。
- [15] 前記ニッケル水素電池は、1つ以上の電池モジュールによって構成され、  
前記電池モジュールは、  
それぞれ、対向して設けられた板状の正極集電体と負極集電体と、前記正極集電体と前記負極集電体の間に配したセパレータと、前記正極集電体に接する正極セルと前記負極集電体に接する負極セルとを有する複数の単位電池が、互いに隣り合う一方の前記単位電池の正極集電体と他方の前記単位電池の負極集電体とが対向するように積層されてなり、かつ、互いに隣り合う前記単位電池の間に気体または液体からなる伝熱媒体の流通経路が設けられた、請求項11に記載の電気鉄道用電力供給システム。
- [16] 前記ニッケル水素電池は、1つ以上の電池モジュールによって構成され、  
前記電池モジュールは、  
それぞれ、対向して設けられた板状の正極集電体と負極集電体との間に、電解質

溶液が充填されるとともに、正極活物質を含有する正極シートと負極活物質を含有する負極シートとが交互に組み込まれるように、前記正極集電体から前記負極集電体に向けて複数枚の前記正極シートを配するとともに前記負極集電体から前記正極集電体に向けて複数枚の前記負極シートを配し、且つ前記各正極シートと各負極シートとの間にセパレータを介在させてなる構造を有する複数の単位電池が、互いに隣り合う一方の前記単位電池の正極集電体と他方の前記単位電池の負極集電体とが対向するように積層されてなり、かつ、互いに隣り合う前記単位電池の間に気体または液体からなる伝熱媒体の流通経路が設けられた、請求項11に記載の電気鉄道用電力供給システム。

[17] 前記伝熱媒体の流通経路に通流孔を有する導電性の伝熱板を、互いに隣り合う一方の前記単位電池と他方の前記単位電池との間に、前記一方の単位電池の正極集電体と前記他方の単位電池の負極集電体とに接するように挿入した、請求項15または16に記載の電気鉄道用電力供給システム。

[18] 前記伝熱板は、アルミニウム板からなる、請求項17に記載の電気鉄道用電力供給システム。

[19] 互いに隣り合う一方の前記単位電池と他方の前記単位電池との間に、それぞれ前記一方の単位電池の正極集電体と前記他方の単位電池の負極集電体とに接し、かつそれぞれの間に前記伝熱媒体の流通経路が設けられるように複数の導電部材を挿入した、請求項15または16に記載の電気鉄道用電力供給システム。

[20] 電気鉄道用の変電所と電力貯蔵供給装置とを備える電気鉄道用電力供給システムであって、

前記変電所は、  
交流電力回線から受電する変圧器と、  
前記変圧器に接続された整流装置と、  
前記整流装置に接続される電線とを有し、  
更に、直流電力設備として第1のニッケル水素電池を有し、前記第1のニッケル水素電池が前記電線に直結されてなり、

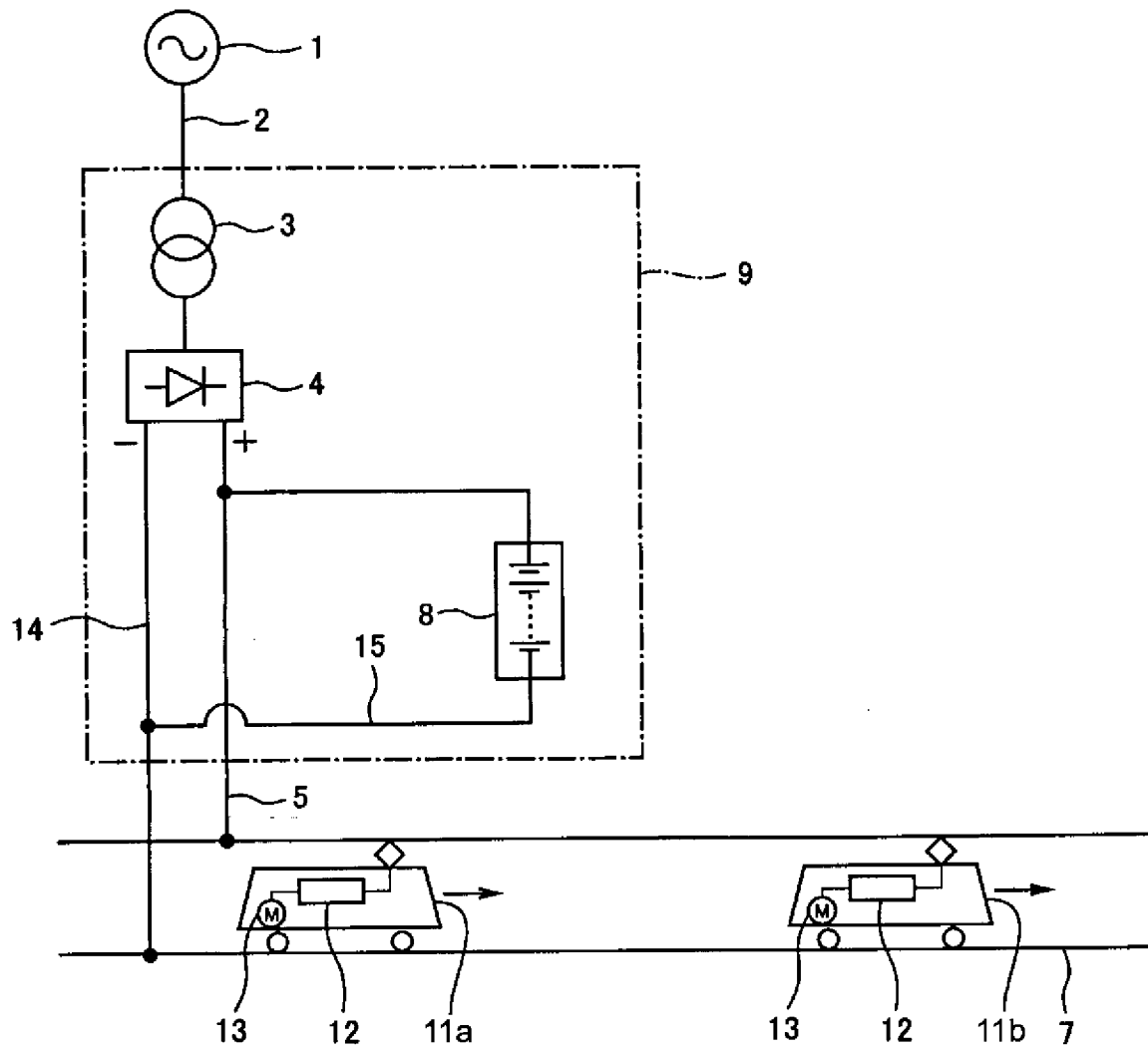
前記電力貯蔵供給装置は、

第2のニッケル水素電池を有し、更に、前記第2のニッケル水素電池が前記電線に直結されてなり、且つ、前記電力貯蔵供給装置が前記変電所の構内とは異なる場所に設備されてなる

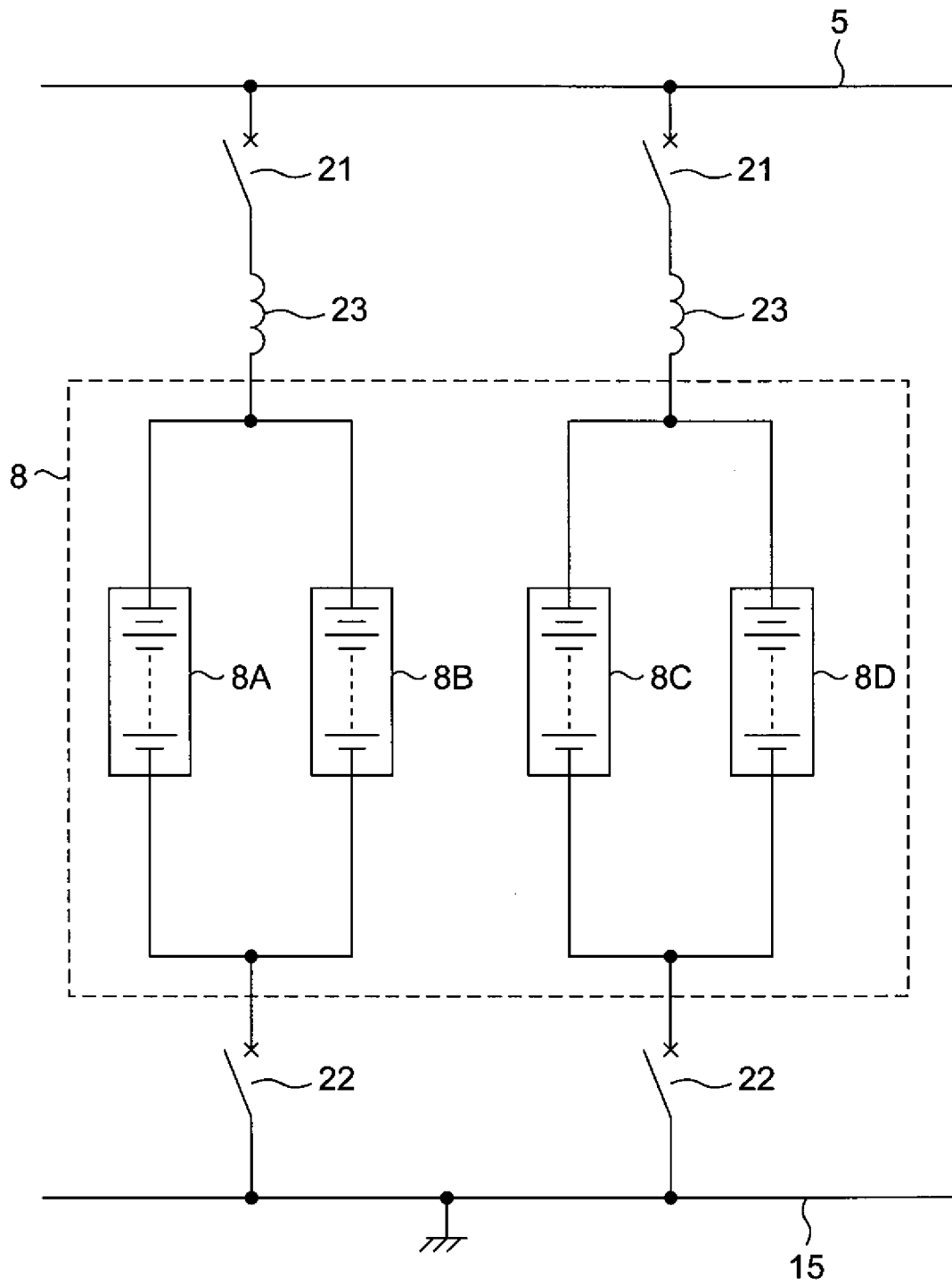
電気鉄道用電力供給システム。



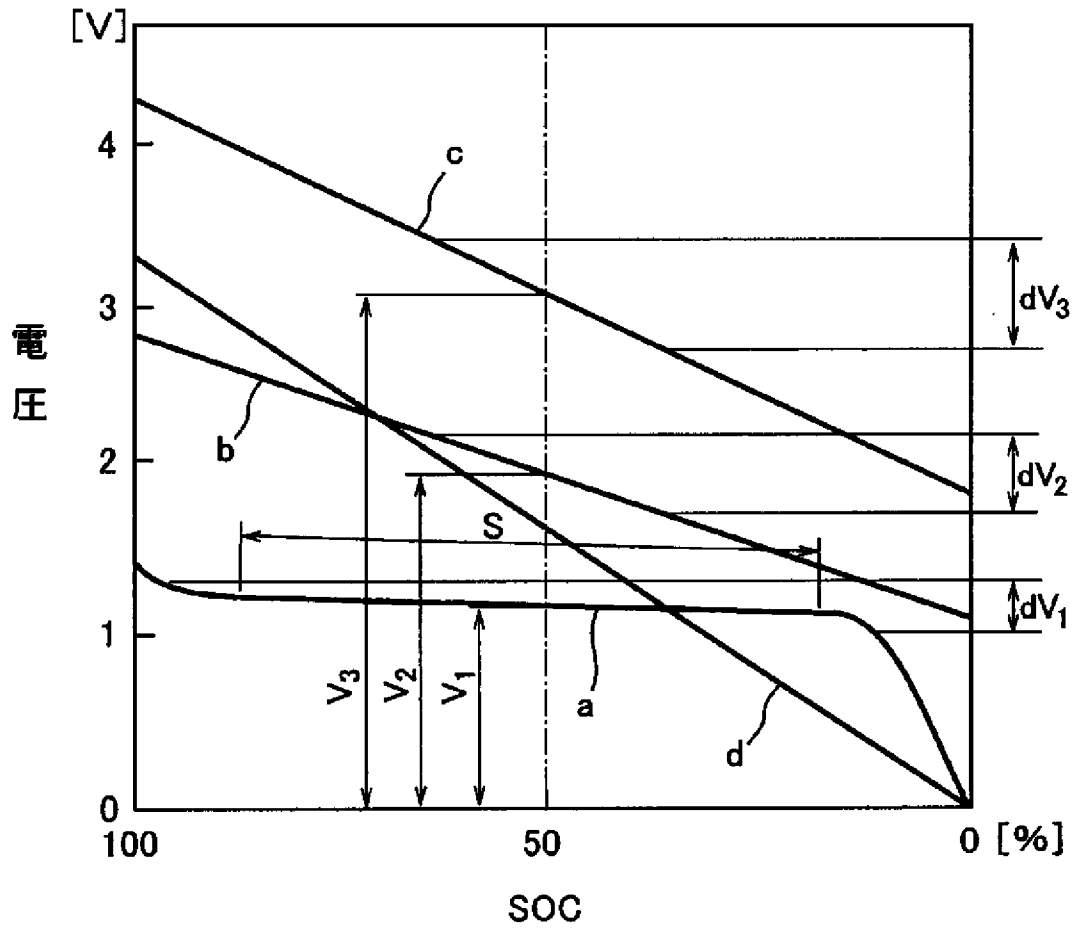
[図1]



[図2]

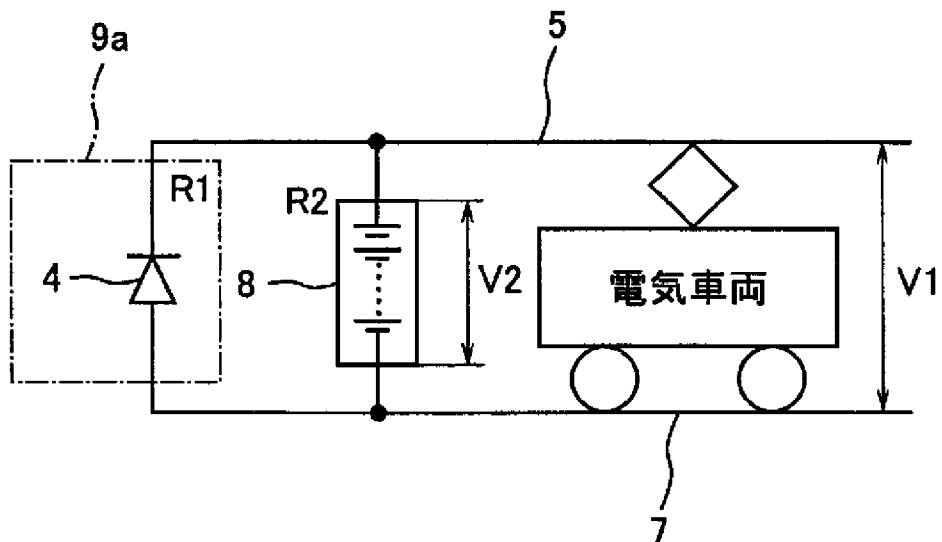


[図3]

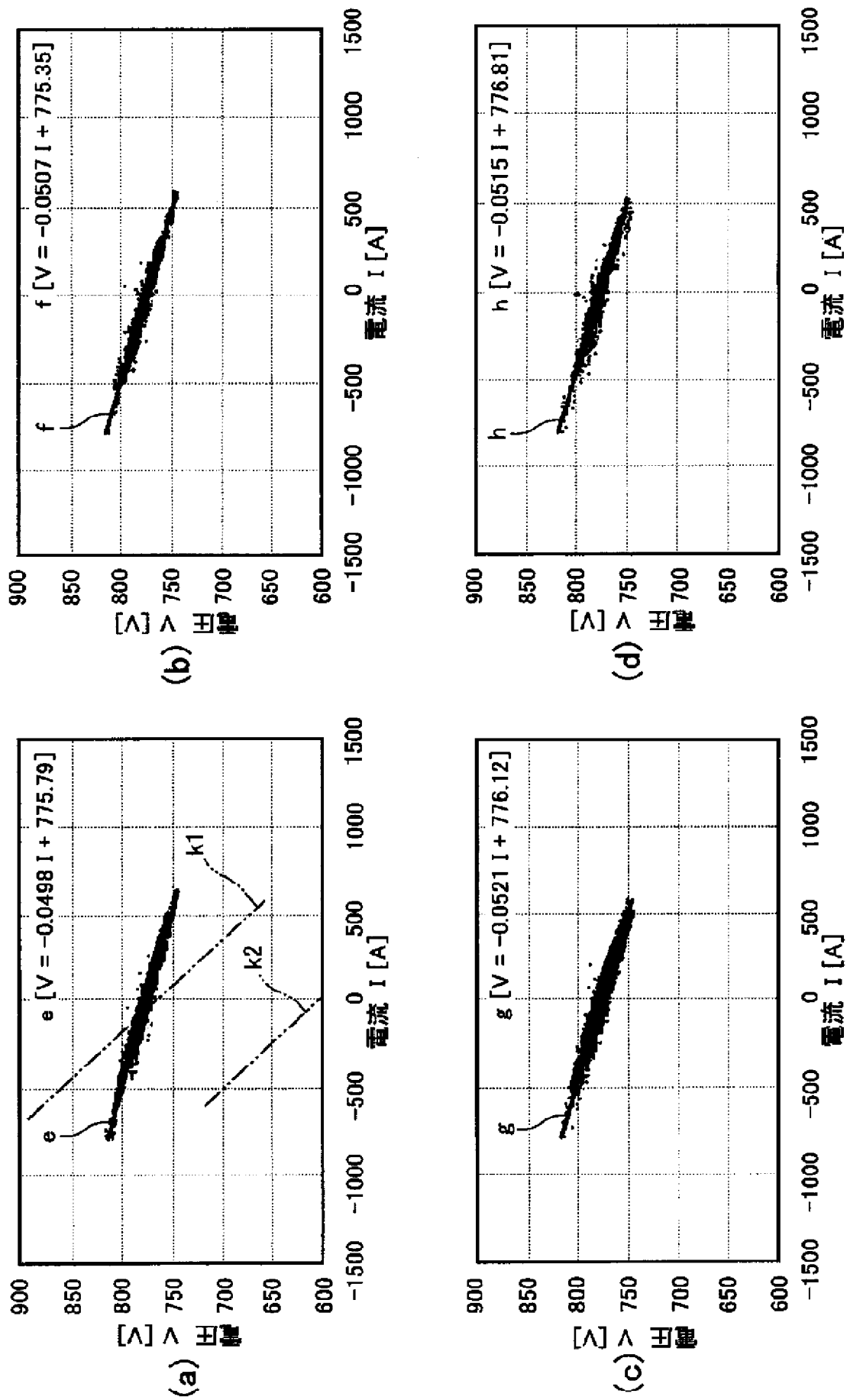


$$\frac{dV_1}{V_1} = \frac{dV_2}{V_2} = \frac{dV_3}{V_3}$$

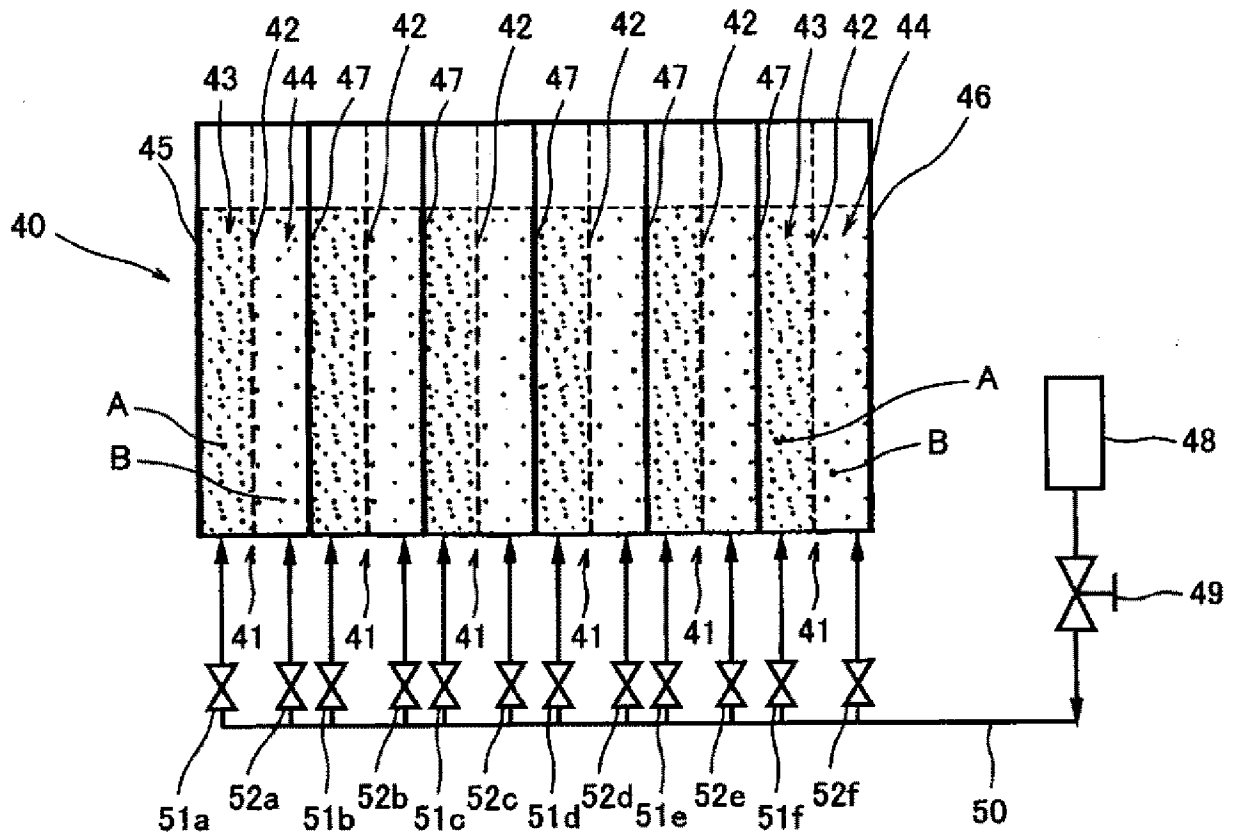
[図4]



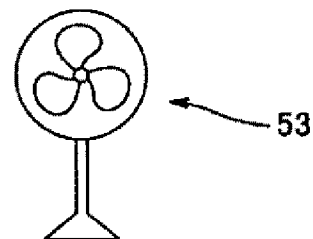
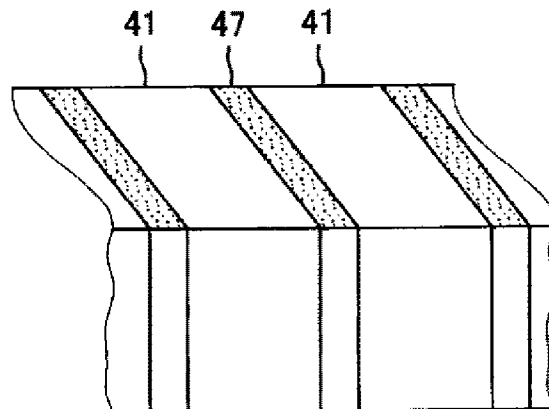
[図5]



[図6]

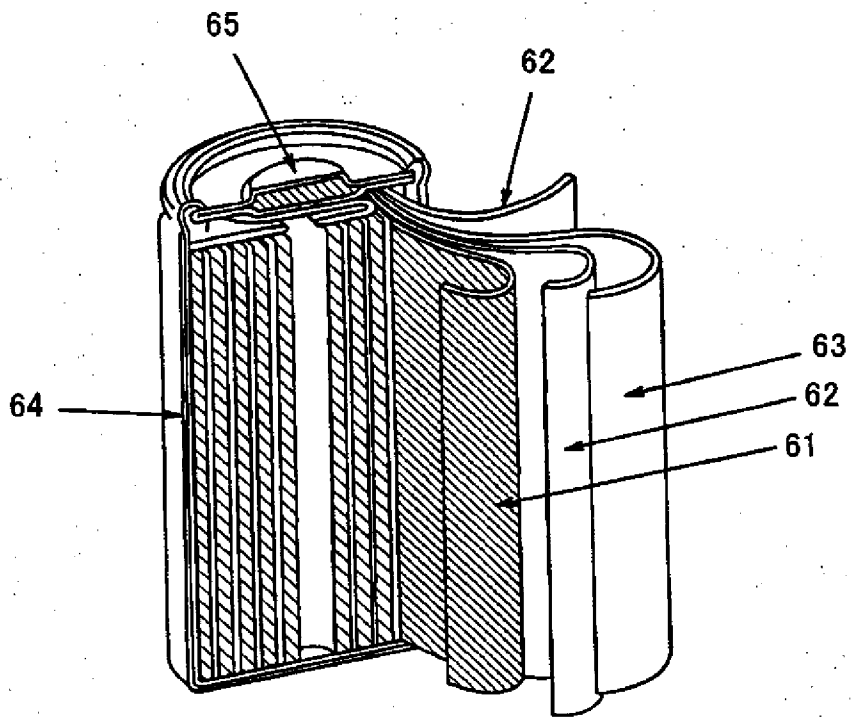


(a)

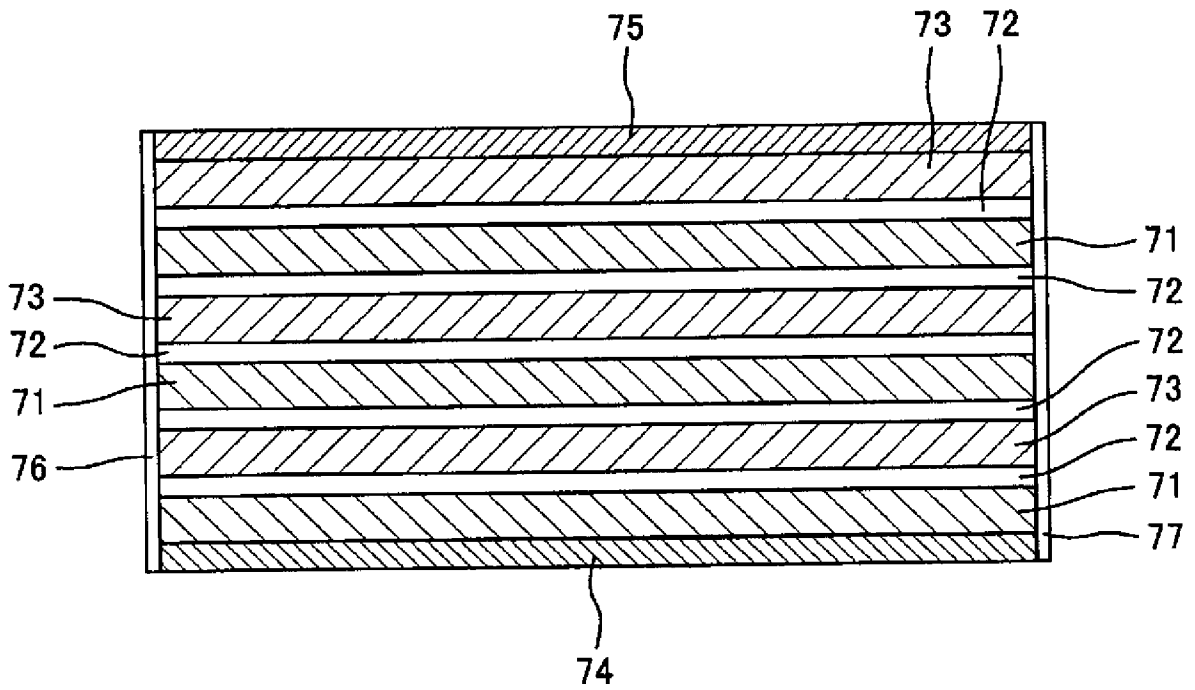


(b)

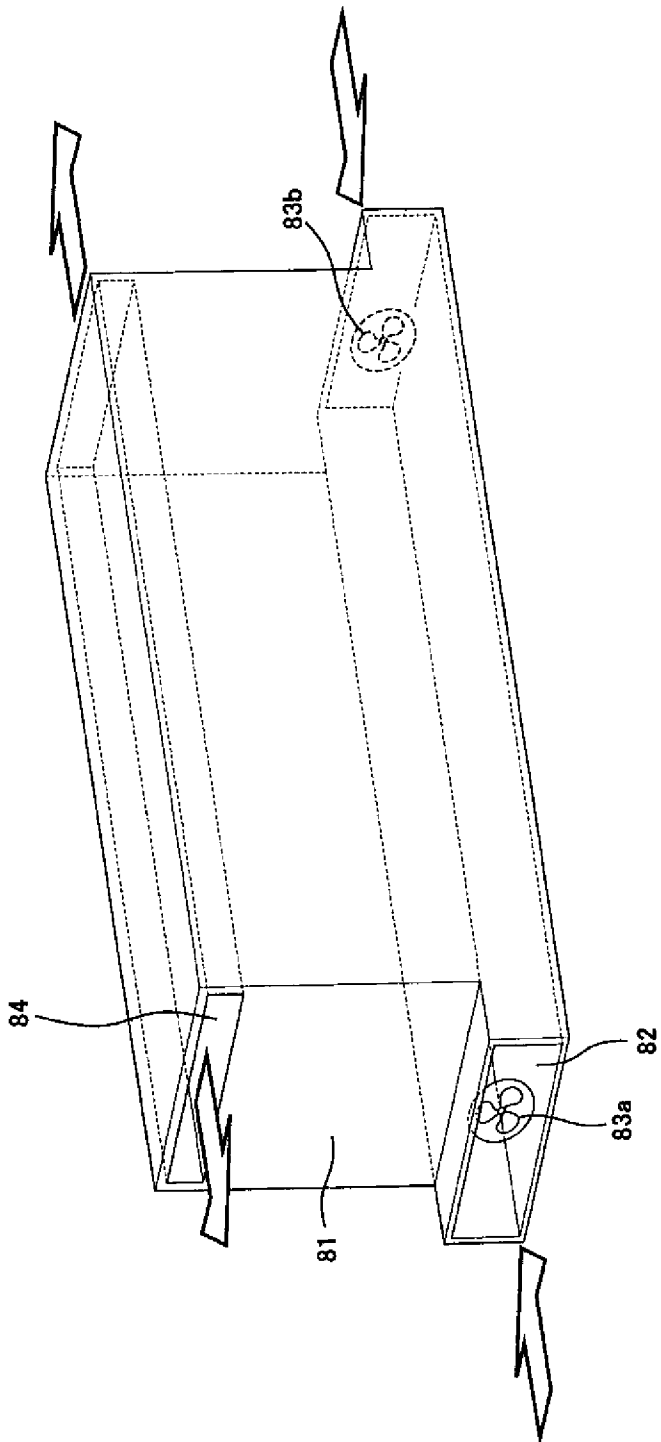
[図7]



[図8]



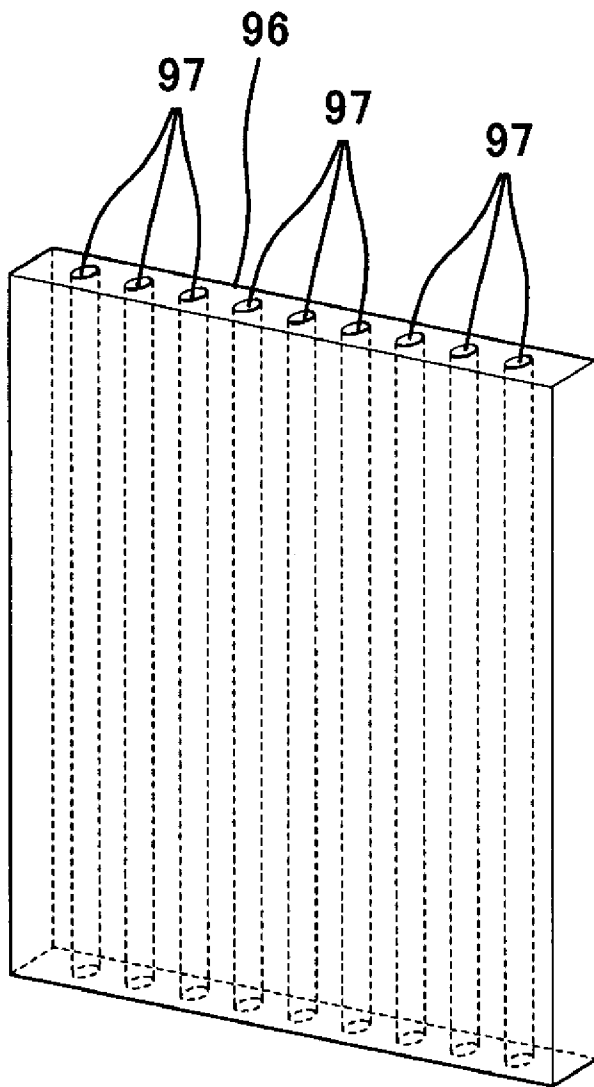
[図9]



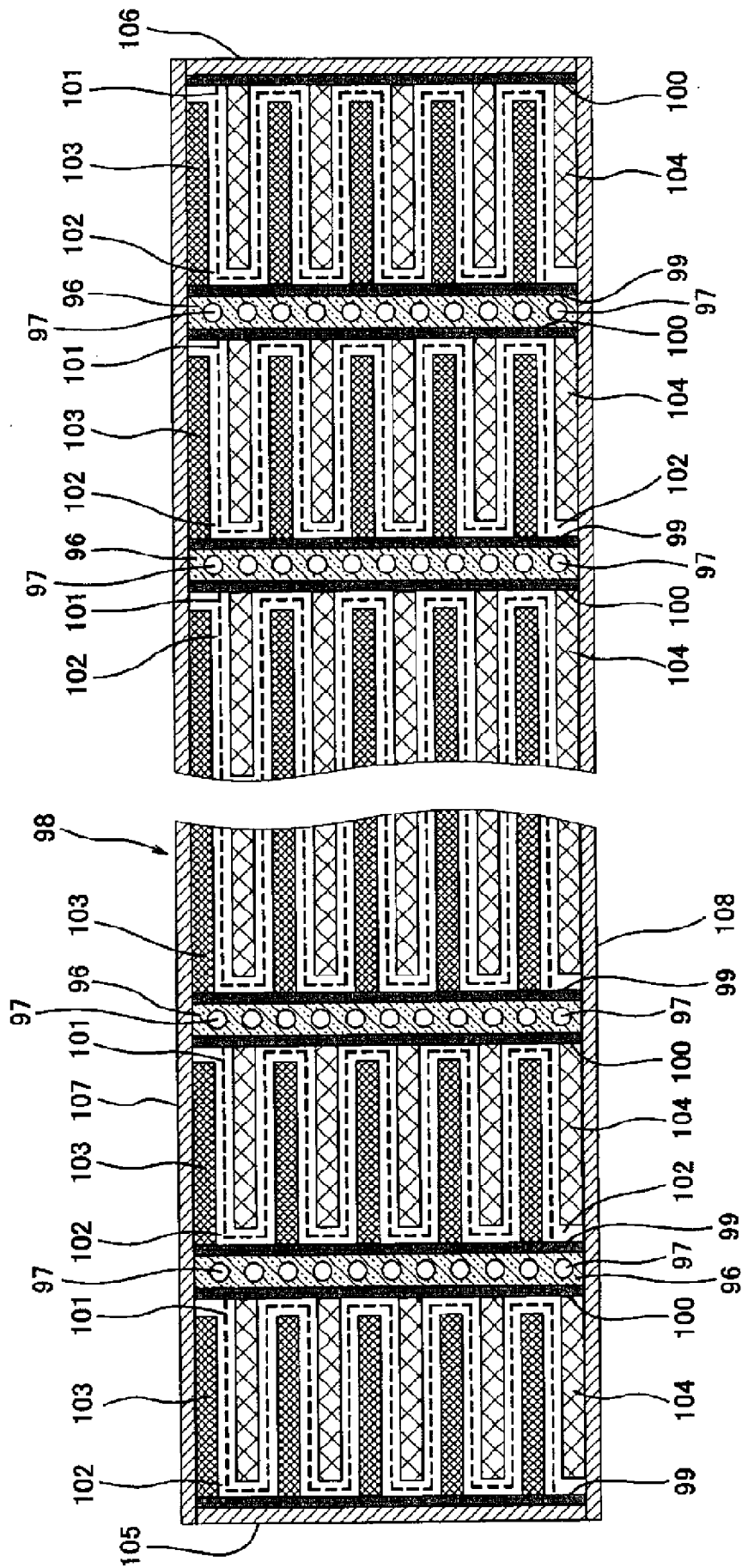




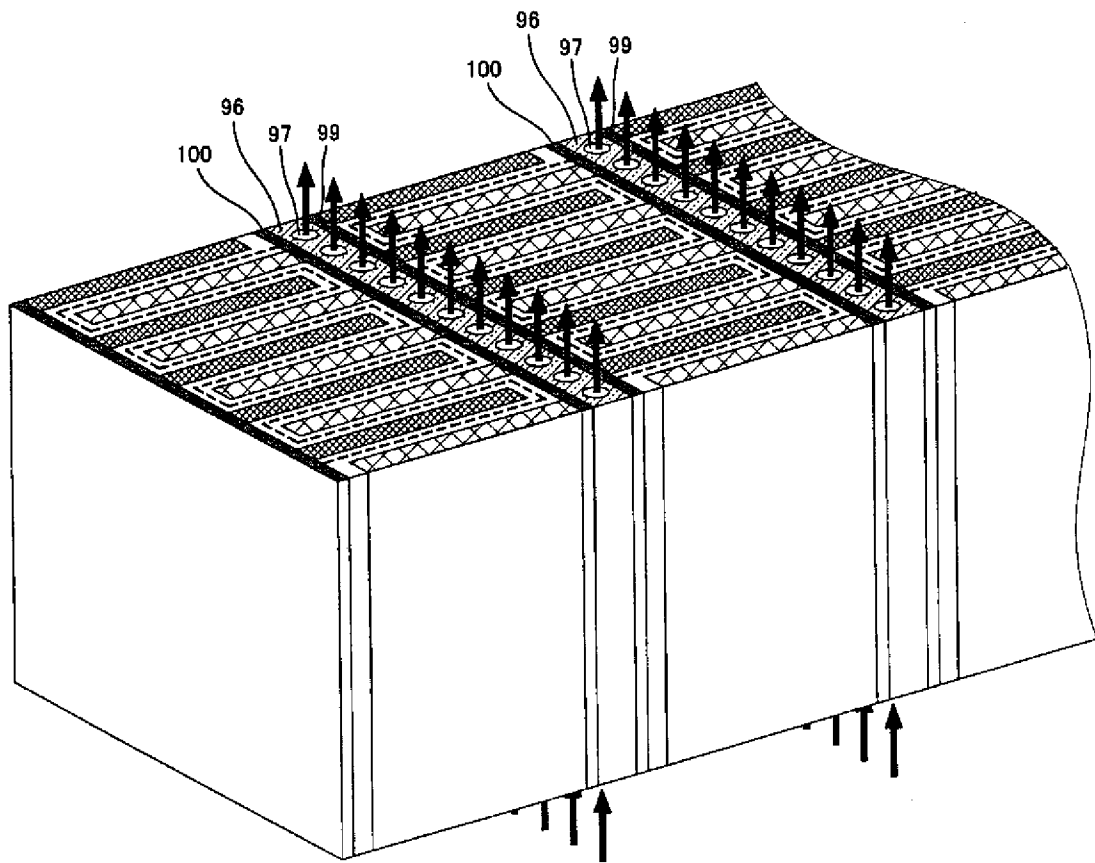
[図11]



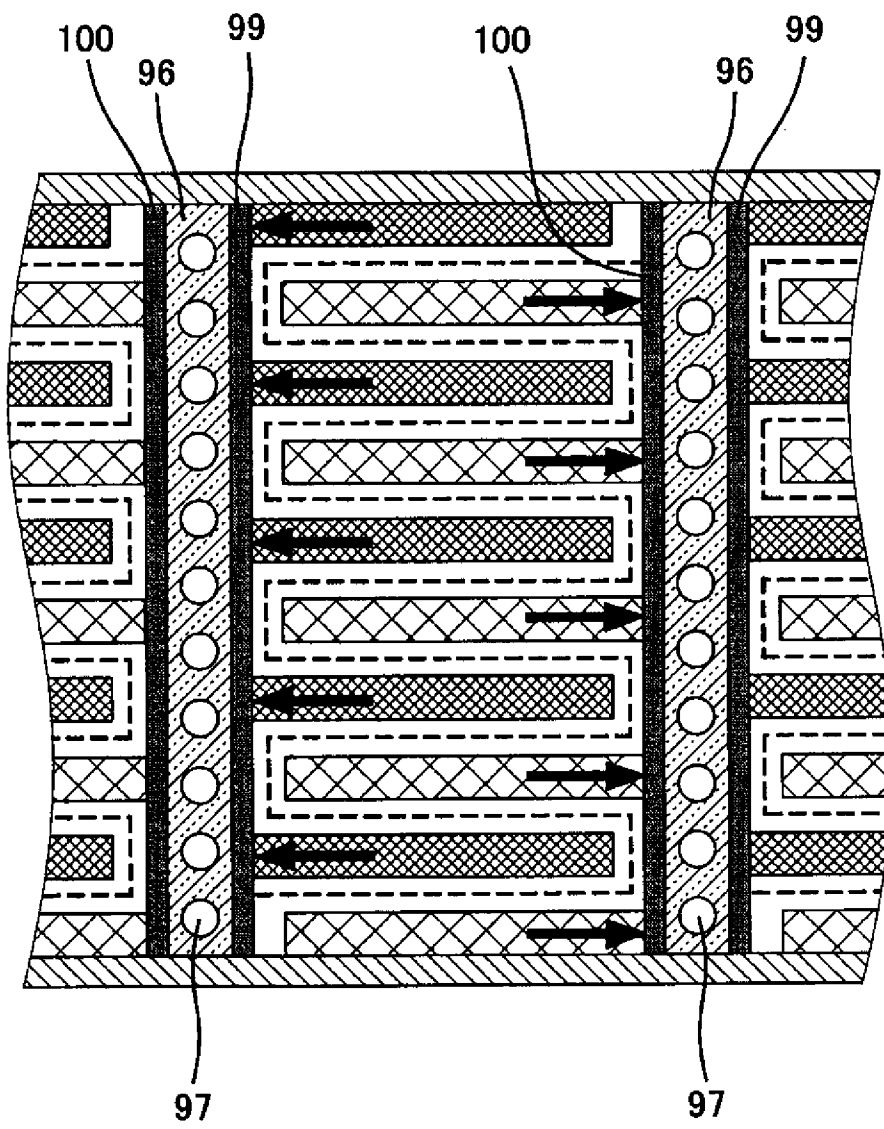
[図12]



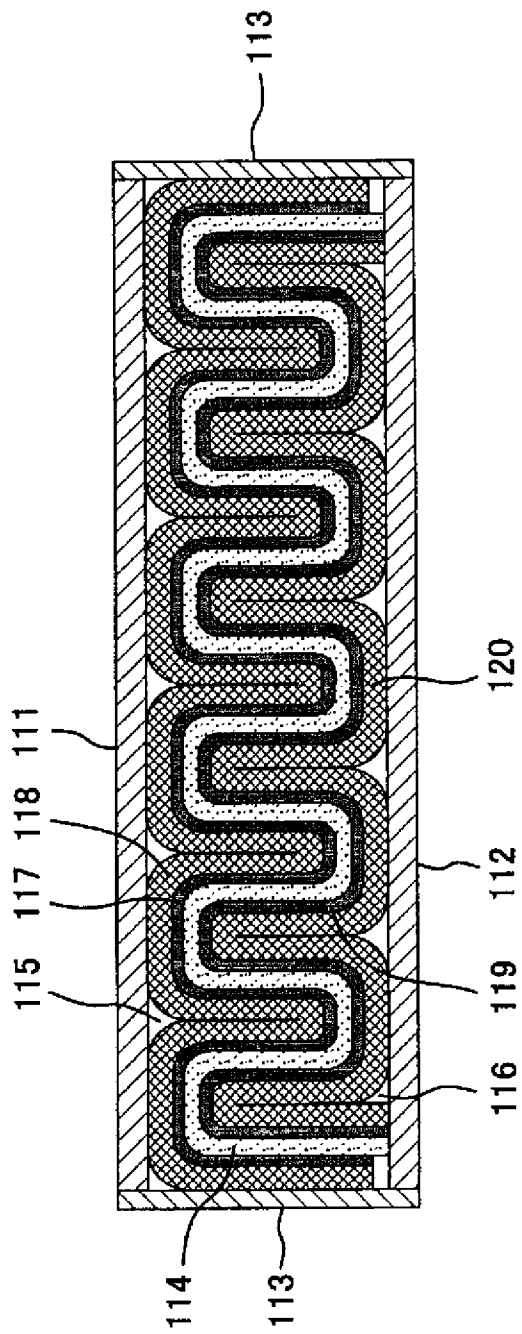
[図13]



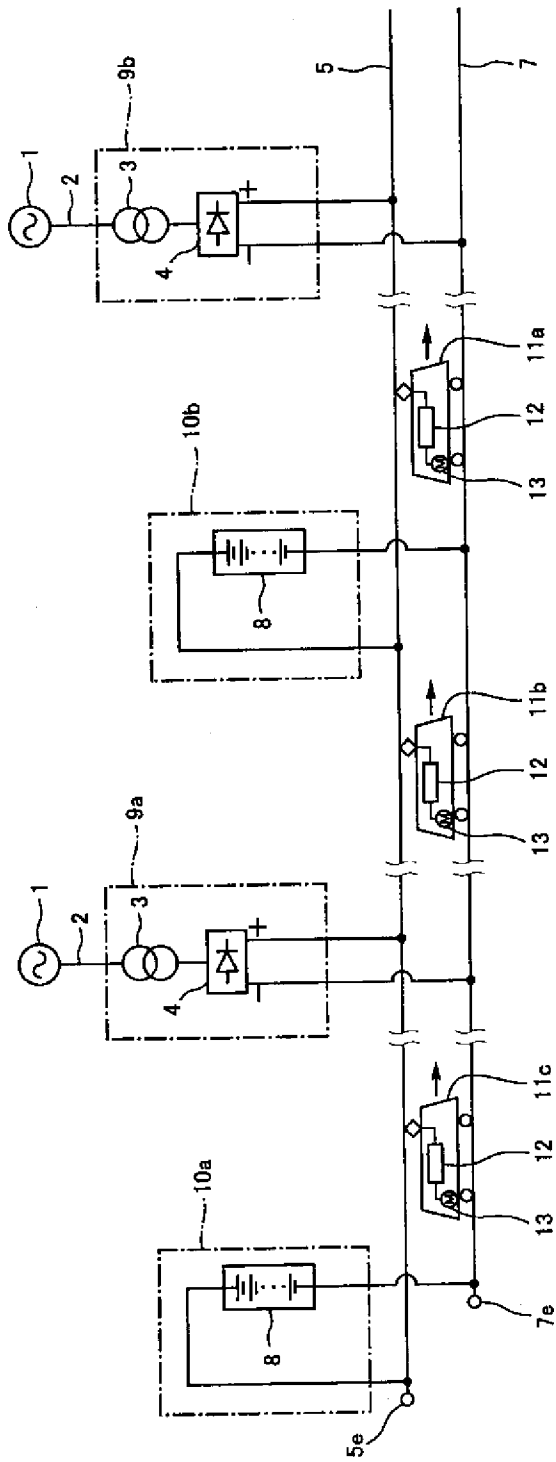
[図14]



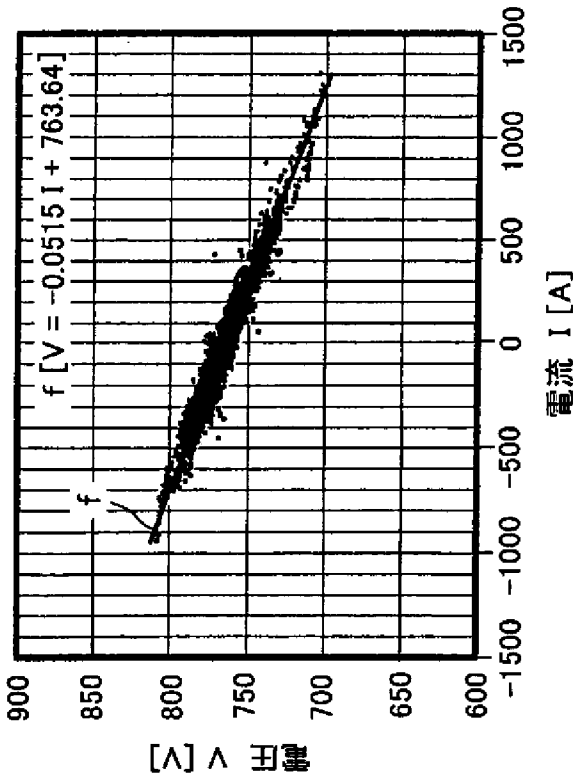
[図15]



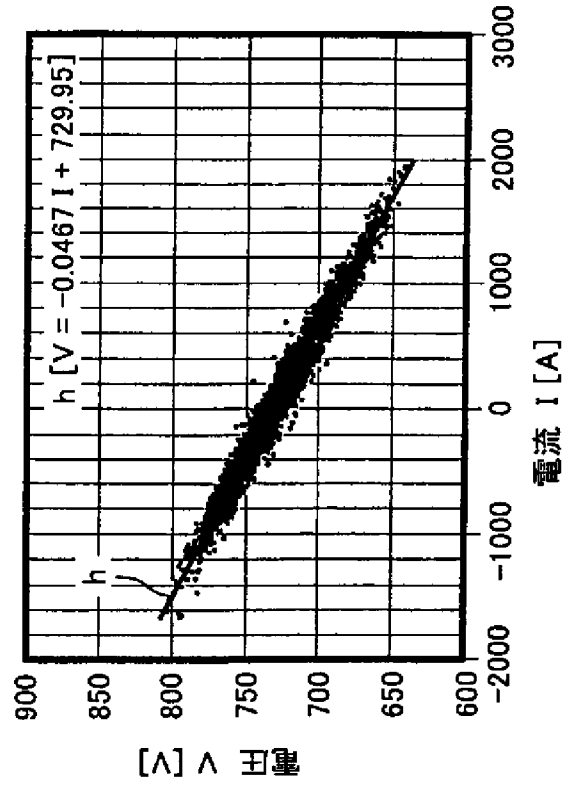
[図16]



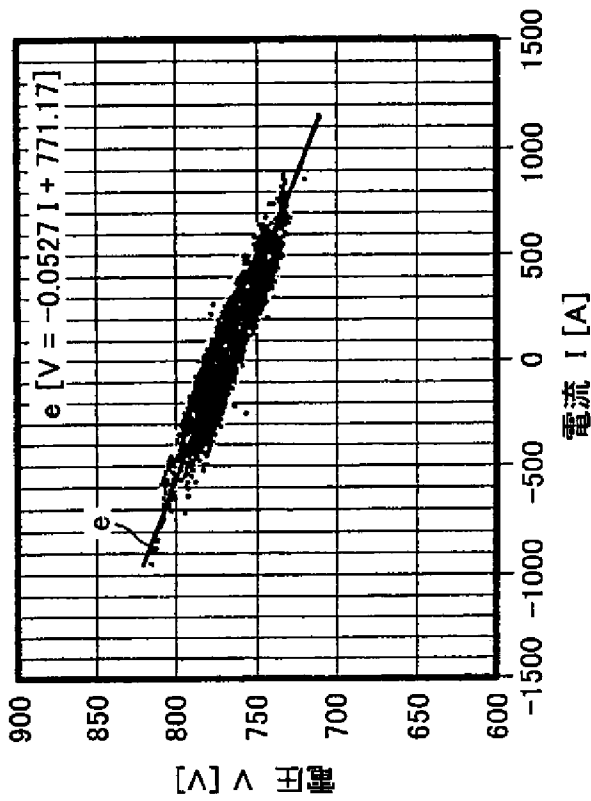
[図17]



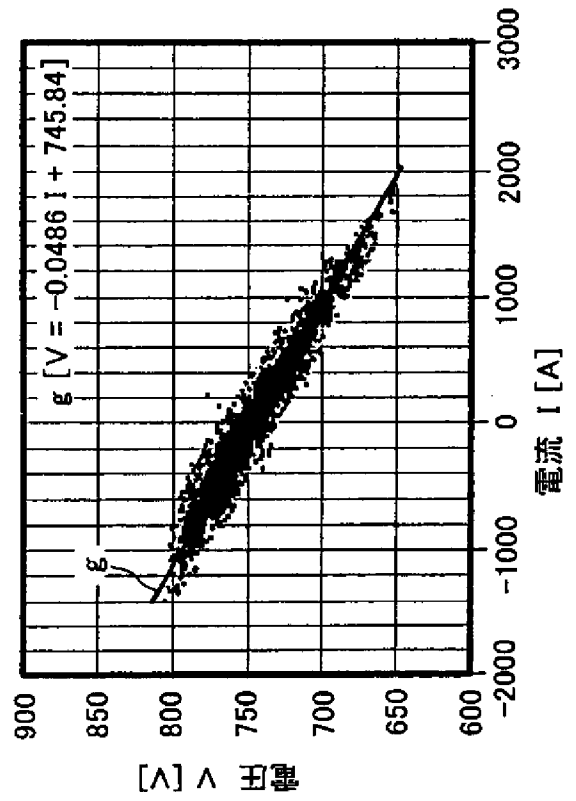
(b)



(d)



(a)



(c)

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/053552

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B60M3/06(2006.01)i, B60M3/02(2006.01)i, H01M10/30(2006.01)i, H01M10/50(2006.01)i, H02J1/14(2006.01)i, H02J7/34(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B60M3/06, B60M3/02, H01M10/30, H01M10/50, H02J1/14, H02J7/34

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2000-341874 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 08 December, 2000 (08.12.00), Par. Nos. [0006] to [0011], [0041] to [0046]; all drawings (Family: none)	1, 2, 6, 7, 11, 15, 16, 20 3-5, 8-10, 12-14, 17-19
Y A	JP 2005-206111 A (Toshiba Corp.), 04 August, 2005 (04.08.05), Par. No. [0037]; Fig. 1 (Family: none)	1, 2, 6, 7, 11, 15, 16, 20 3-5, 8-10, 12-14, 17-19
Y A	JP 2007-66647 A (Toyota Motor Corp.), 15 March, 2007 (15.03.07), Par. Nos. [0040], [0041]; all drawings (Family: none)	6, 7, 15, 16 3-5, 8-10, 12-14, 17-19

Further documents are listed in the continuation of Box C.  See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search  
19 May, 2009 (19.05.09)

Date of mailing of the international search report  
02 June, 2009 (02.06.09)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2009/053552

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P,A	WO 2008/099609 A1 (Kawasaki Heavy Industries, Ltd.), 21 August, 2008 (21.08.08), Full text; all drawings (Family: none)	1-20

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. B60M3/06(2006.01)i, B60M3/02(2006.01)i, H01M10/30(2006.01)i, H01M10/50(2006.01)i, H02J1/14(2006.01)i, H02J7/34(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. B60M3/06, B60M3/02, H01M10/30, H01M10/50, H02J1/14, H02J7/34

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2009年
日本国実用新案登録公報	1996-2009年
日本国登録実用新案公報	1994-2009年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	JP 2000-341874 A (住友電気工業株式会社) 2000. 12. 08, 段落0006-0011、0041-0046, 全図 (ファミリーなし)	1, 2, 6, 7, 11, 15, 16, 20 3-5, 8-10, 12-14, 17-19
Y A	JP 2005-206111 A (株式会社東芝) 2005. 08. 04, 段落0037, 第1図 (ファミリーなし)	1, 2, 6, 7, 11, 15, 16, 20 3-5, 8-10, 12-14, 17-19

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

\* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの  
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献  
 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

19. 05. 2009

国際調査報告の発送日

02. 06. 2009

国際調査機関の名称及びあて先  
 日本国特許庁 (ISA/J P)  
 郵便番号100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)	3H	9250
東 勝之		
電話番号 03-3581-1101	内線	3316

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	JP 2007-66647 A (トヨタ自動車株式会社) 2007. 03. 15, 段落0040、0041, 全図 (ファミリーなし)	6, 7, 15, 16 3-5, 8-10, 12-14, 17-19
PA	WO 2008/099609 A1 (川崎重工業株式会社) 2008. 08. 21, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-20