

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第5680089号
(P5680089)

(45) 発行日 平成27年3月4日(2015.3.4)

(24) 登録日 平成27年1月16日(2015.1.16)

(51) Int.Cl.
C O 2 F 1/48 (2006.01)

F I
C O 2 F 1/48 B

請求項の数 11 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2012-532074 (P2012-532074)	(73) 特許権者	390041542
(86) (22) 出願日	平成22年7月20日 (2010. 7. 20)		ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ
(65) 公表番号	特表2013-506545 (P2013-506545A)		アメリカ合衆国、ニューヨーク州 1 2 3
(43) 公表日	平成25年2月28日 (2013. 2. 28)		4 5、スケネクタデイ、リバーロード、1
(86) 国際出願番号	PCT/US2010/042505		番
(87) 国際公開番号	W02011/041013	(74) 代理人	100137545
(87) 国際公開日	平成23年4月7日 (2011. 4. 7)		弁理士 荒川 聡志
審査請求日	平成25年7月16日 (2013. 7. 16)	(74) 代理人	100105588
(31) 優先権主張番号	12/570, 227		弁理士 小倉 博
(32) 優先日	平成21年9月30日 (2009. 9. 30)	(74) 代理人	100129779
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 黒川 俊久
		(74) 代理人	100113974
			弁理士 田中 拓人

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電気化学的脱塩システムおよび方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電気化学的脱塩システムであって、当該電気化学的脱塩システムが、
各々電気化学的脱塩モジュールを備えている第1及び第2の電気化学的脱塩装置であって、電気化学的脱塩モジュールが、少なくとも1つの電極対と電解質溶液を収容するための各電極対間のコンパートメントとを備えていて、第1及び第2の電気化学的脱塩装置の各々が、複数の連続動作サイクルであって、各サイクルが、各電極対を充電して電解質溶液中のイオンを電極上に吸着するための充電モードの動作と、電極対を放電してイオンを電極対から脱着するための放電モードの動作とを含む複数の連続動作サイクルを含んでいる、第1及び第2の電気化学的脱塩装置と、
第1及び第2の電気化学的脱塩装置が交互的な充電及び放電モードの動作をもつように、前記システムを制御するように構成されたコントローラであって、第1及び第2の電気化学的脱塩装置の一方が放電モードにあって前記少なくとも1つの電極対が電流を放出する間に、第1及び第2の電気化学的脱塩装置の他方が充電モードの動作にあって第1及び第2の電気化学的脱塩装置の前記一方から放出される電流を受け取るように、前記システムを制御するように構成されたコントローラと
を備えており、前記コントローラが、第1及び第2の電気化学的脱塩装置の各々の放電モードの動作が通常放電モードの動作と強制放電モードの動作とを含んでいて、以前の動作サイクル又は複数の以前の動作サイクルの平均値に基づいて、通常放電電流、通常放電時間、強制放電電流及び強制放電時間を計算及び決定するように、システムを制御するよう

に構成されている、電気化学的脱塩システム。

【請求項 2】

前記コントローラが、第 1 及び第 2 の電気化学的脱塩装置が各々等しいサイクル時間を有するように、前記システムを制御するように構成されている、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 3】

前記コントローラが、第 1 及び第 2 の電気化学的脱塩装置の各々に対して、前記充電モードの動作に対する充電時間が前記放電モードの動作に対する放電時間に等しくなるように、前記システムを制御するように構成されている、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 4】

第 1 及び第 2 の電気化学的脱塩装置が、電気化学的脱塩モジュールと電源との間に電氣的に接続された少なくとも 1 つの双方向コンバータを備える、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 5】

前記双方向コンバータは各々、前記充電モードの動作中に第 1 及び第 2 の電気化学的脱塩装置の一方が有する電気化学的脱塩モジュールに直流を送信し、第 1 及び第 2 の電気化学的脱塩装置の他方に直流を送信するための双方向 DC / DC コンバータを含む、請求項 4 に記載のシステム。

【請求項 6】

各々イオンを連続的に除去するための、直列に接続された少なくとも 2 つの第 1 の電気化学的脱塩装置と、直列に接続された少なくとも 2 つの第 2 の電気化学的脱塩装置とを備える、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 7】

前記コントローラが、前記電極対の充電に必要な電荷に従って、第 1 及び第 2 の電気化学的脱塩装置に対する充電電流プロファイルを計算及び記憶するように構成されている、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 8】

前記コントローラが、前記通常放電モードの動作において、第 1 の電気化学的脱塩装置の電極対から放出される瞬時の放電エネルギーが、第 2 の電気化学的脱塩装置の電極対を充電するための瞬時のエネルギー必要量を満足するか否かを比較するように構成されている、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 9】

前記コントローラが、放電時間中に放出されるエネルギーとエネルギー入力との差が最大となるように通常充電時間及び強制放電時間を決定するように構成されている、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 10】

前記コントローラが、前記通常放電時間及び強制放電時間の計算及び決定を、ある特定の時間間隔で繰り返すように構成されている、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 11】

前記コントローラが、強制放電モードの動作の終わりに、放電モードの電気化学的脱塩装置の少なくとも 1 つの電極対の両端の電圧が実質的にゼロに等しく、放電モードの第 1 の電気化学的脱塩装置の両端の電圧がゼロを下回るように、システムを制御するように構成されている、請求項 1 に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、脱塩技術の分野に関し、より詳細には、電気化学的脱塩システムおよびシステムの制御方法に関する。

【背景技術】

【 0 0 0 2 】

電気化学的脱塩システムの1つのタイプは、電解質溶液内で少なくとも1つの電極対を用いるものである。電気化学的脱塩システムは複数の連続動作サイクルを備えており、各動作サイクルは充電モードの動作と放電モードの動作を含んでいる。電気化学的脱塩システムの充電モードの動作では、電極対は外部電源によって逆に充電されて、電極対間に電界が形成される。電解質溶液中のイオンは、電界によって、逆に充電された電極の方へ駆動され、電極の表面上に吸着される。結果的に、電極対によってキャパシタが形成され、そこに電気エネルギーが充電モードの動作中に貯蔵される。充電モードの動作中に、電解質溶液中のイオンの濃度は時間とともに低下する。したがって、電気化学的脱塩システムから出る電解質溶液は、電気化学的脱塩システム中に供給される電解質溶液と比べてイオンが減少した希薄水である。放電モードの動作中に、キャパシタ（電極）内に貯蔵された電気エネルギーは放出され、イオンが電極対の表面から脱着して電解質溶液中に入る。したがって、放電モードの動作中に電気化学的脱塩システムから出る電解質溶液は、供給溶液と比べてイオンの濃度が高い濃縮水である。このような電気化学的脱塩装置は、「スーパーキャパシタ脱塩（SCD）システム」とも言われる。

10

【 0 0 0 3 】

放電モードの動作中に電極対を放電する従来の方法には、電極対間に短絡回路を形成すること、または公共施設に電極対を接続して、電極対によって放出される電流を消費すること、または電極対の極性を逆にして、電極対に貯蔵された電気エネルギーを放出することが、含まれている。従来の方法の中には、放電モードの動作中に放出される電気エネルギーを、SCDシステム自体において直接利用するものはない。

20

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 4 】

【 特許文献 1 】 米国特許出願公開第 2 0 0 8 / 1 0 5 5 5 1 号 明 細 書

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 5 】

したがって、SCDシステムとして、現在利用できるシステムとは異なり、放電プロセスの間に放出される電気エネルギーを直接利用するものを提供することが望ましい場合がある。現在利用できるものとは異なるSCDシステムの動作を制御するための方法を提供することが望ましい場合がある。

30

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 6 】

一実施形態によれば、電気化学システムが提供される。電気化学的脱塩システムは、第1および第2の電気化学装置とコントローラとを備える。第1および第2の電気化学装置はそれぞれ、電気化学的脱塩モジュールを備え、電気化学的脱塩モジュールは、少なくとも1つの電極対と電解質溶液を収容するための各電極対間のコンパートメントとを備える。第1および第2の電気化学的脱塩装置はそれぞれ、複数の連続動作サイクルを備えている。各サイクルは、各電極対を充電して電解質溶液中のイオンを電極上に吸着するための充電モードの動作と、電極対を放電して電極対からイオンを脱着するための放電モードの動作と、を含んでいる。コントローラは、第1および第2の電気化学的脱塩装置が交互的な充電および放電モードの動作を有するように、システムの制御を行なうように構成されている。第1および第2の電気化学的脱塩装置の一方が放電モードにあって少なくとも1つの電極対が電流を放出する間に、第1および第2の電気化学的脱塩装置の他方が充電モードの動作にあって前記第1および第2の電気化学的脱塩装置の一方から放出された電流を受け取る。

40

【 0 0 0 7 】

一実施形態によれば、電気化学的な脱塩方法が提供される。本方法は、第1の電気化学的脱塩装置を充電モードの動作で動作させることを含む。充電モードの動作は、第1の電

50

電気化学的脱塩装置の少なくとも１つの電極対を逆極性で充電することと、電解質溶液を第１の電気化学的脱塩装置の各電極対間のコンパートメントを通して送ることと、電解質溶液中のイオンを少なくとも１つの電極対上に吸着することと、第１の電気化学的脱塩装置から外へ希薄溶液を出すことと、を含む。電気化学的な脱塩方法は、第１の電気化学的脱塩装置を放電モードの動作で動作させることであって、第１の電気化学的脱塩装置の少なくとも１つの電極対に貯蔵された電気エネルギーを第２の電気化学的脱塩装置へ放出して、第２の電気化学的脱塩装置の少なくとも１つの電極対を、第１の電気化学的脱塩装置の少なくとも１つの電極対によって放出された電気エネルギーを用いて充電することと、第１の電気化学的脱塩装置の少なくとも１つの電極対上に蓄積されたイオンを脱着してコンパートメント内の電解質溶液中に入れることと、を含む放電モードの動作で動作させることを、含む。

10

【０００８】

本発明のこれらおよび他の特徴、態様、および優位性は、以下の詳細な説明を添付図面を参照して読むことでより良好に理解される。なお図面の全体に渡って同様の文字は同様の部品を表わしている。

【図面の簡単な説明】

【０００９】

【図１】本発明の一実施形態による第１および第２の電気化学的脱塩装置を備える電気化学的脱塩システムの典型的な概略図である。

【図２】１つの動作サイクル内の図１の第１の電気化学的脱塩装置に対する典型的な充電および放電電流図を例示する図である。

20

【図３】動作サイクル内の図１の第１の電気化学的脱塩装置に対する典型的な充電および放電電圧図を例示する図である。

【図４】１つの動作サイクル内の図１の第２の電気化学的脱塩装置に対する典型的な充電および放電電流図を例示する図である。

【図５】動作サイクル内の図１の第２の電気化学的脱塩装置に対する典型的な充電および放電電圧図を例示する図である。

【図６】第１の電気化学的脱塩装置の放電モードの動作中の方法の典型的なプロセス・マップである。

【図７】本発明の一実施形態による、充電モードの動作中の図１の第１の電気化学的脱塩装置の典型的な電気化学的脱塩ユニットを例示する図である。

30

【図８】本発明の一実施形態による、放電モードの動作中の図１の第１の電気化学的脱塩装置の典型的な電気化学的脱塩ユニットを例示する図である。

【図９】本発明の別の実施形態による電気化学的脱塩ユニットの断面図である。

【図１０】本発明の別の実施形態による電気化学的脱塩システムを例示する図である。

【発明を実施するための形態】

【００１０】

本発明の実施形態は電気化学的脱塩システムに関する。電気化学的脱塩システムは、第１および第２の電気化学的脱塩装置とコントローラとを備える。第１および第２の電気化学的脱塩装置はそれぞれ、電極対と電解質溶液を収容するための電極対間のコンパートメントとを備える。第１および第２の電気化学的脱塩装置はそれぞれ、複数の連続動作サイクルを備え、各サイクルは、電極対を充電して電解質溶液中のイオンを電極表面上に吸着するための充電モードの動作と、電極対上に貯蔵された電気エネルギーを放出して電極上に蓄積されたイオンを脱着して電解質溶液中に入れるための放電モードの動作とを、含んでいる。コントローラは、第１および第２の電気化学的脱塩装置の一方が放電モードの動作にあって電極対が電気エネルギーを放出するときに、第１および第２の電気化学的脱塩装置の他方が充電モードの動作にあって電極対が前記第１および第２の電気化学的脱塩装置の一方から放出された電気エネルギーを受け取るように、電気化学的脱塩システムの制御を行なうように構成されている。したがって、一方の電気化学的脱塩装置の放電モードの動作によって放出された電気エネルギーを別の電気化学的脱塩装置が用いて、電気化学的

40

50

脱塩システムのエネルギー効率が向上する。電気化学的脱塩システムの「エネルギー効率」は、イオン除去のために利用されるエネルギーと、電源によって電気化学的脱塩システムに供給される全エネルギーとの比率を指す。以後、本明細書において、電気化学的脱塩システムを「スーパーキャパシタ脱塩システム」とも言い、電気化学的脱塩装置を「スーパーキャパシタ脱塩装置」とも言う。

【0011】

近似用語は、明細書および請求項の全体を通して用いる場合、用語が関係する基本機能の変化を招くことなく許容範囲で変化することができる任意の定量的な表現を修飾するために適用される場合がある。したがって、「約」などの用語によって修飾される値は、指定される正確な値に限定されない。場合によっては、近似用語は、値を測定するための機器の精度に対応する場合がある。

10

【0012】

別に定義がない限り、本明細書で用いる技術および科学用語の意味は、本発明が属する分野の当業者が広く理解しているものと同じである。用語「第1」、「第2」などは、本明細書で用いる場合、何ら順番、数量、または重要性を示すものではなく、むしろ1つの要素を別のものから区別するために用いている。また用語「a」および「an」は、数量の限定を示すものではなく、むしろ参照した物品のうちの少なくとも1つの存在を示すものである。

【0013】

「スーパーキャパシタ」は、一般的なキャパシタと比べてエネルギー密度が比較的高い電気化学キャパシタである。本明細書で用いる場合、「スーパーキャパシタ」には、他の高性能キャパシタ（たとえばウルトラキャパシタ）が含まれている。キャパシタは、一対の接近して配置された導体（「電極」と呼ばれる）間の電界にエネルギーを貯蔵することができる電気装置である。キャパシタに電圧が印加されると、大きさは等しいが逆極性の電荷が各電極上に形成される。

20

【0014】

図1を参照して、電気化学的脱塩システムたとえばスーパーキャパシタ脱塩（SCD）システム10は、第1のSCD装置12、第2のSCD装置14、少なくとも1つの電源16、および第1および第2のSCD装置12、14の動作を制御するコントローラ18を、備えている。

30

【0015】

図1の例示した実施形態では、第1および第2のSCD装置12、14は、1つの共通電源16に電気的に結合されている。他の実施形態では、SCDシステム10は複数の電源を備えていても良い。たとえば、SCDシステム10は第1および第2の電源（図示せず）を備え、第1および第2のSCD装置12、14に、それぞれ結合されている。例示した実施形態においては、電源16は、交流を与えるAC電源20と、交流を直流に変換して第1および第2のSCD装置12、14に印加するための整流器22と、を備えている。他の実施形態においては、電源16はDC電源であっても良い。DC電源は、直流またはDC電圧を、第1および第2のSCD装置12、14に、整流器を用いることなく供給する。例示した実施形態においては、第1および第2のSCD装置12、14は、たとえばシャントを介して1つの共通の整流器22に電気的に結合されていても良い。他の実施形態においては、電源16は、それぞれ第1および第2のSCD装置12、14に結合するように動作可能な第1および第2の整流器を備えていても良い。

40

【0016】

図1の例示した実施形態では、第1のSCD装置12は、少なくとも1つのSCDモジュール24（第1のSCDモジュール24）と、第1のSCDモジュール24と電源16との間の第1のコンバータ28とを備えている。ある実施形態においては、第1のSCDモジュール24は、少なくとも1つの電極対32、33と、電解質溶液（図7および8）を収容するための電極対32、33間のコンパートメント36（図7および8）とを備えている。同様に、例示した実施形態においては、第2のSCD装置14は、少なくとも1

50

つのSCDモジュール26(第2のSCDモジュール26)と、第2のSCDモジュール26と電源16との間の第2のコンバータ30とを備え、第2のSCDモジュール26は、少なくとも1つの電極対34、35と、電解質溶液を収容するための電極対34、35間のコンパートメント36とを備えている。例示した実施形態においては、第1および第2のSCDユニット24、26は、内部抵抗R1およびR2を、それぞれ含んでいる。一実施形態においては、第1および第2のコンバータ28、30はそれぞれ、双方向DC/DCコンバータである。代替的な実施形態においては、第1および第2のSCDユニット24、26は、1つの共通の双方向コンバータを備えている。

【0017】

図1の例示した実施形態では、第1のSCD装置12は、第1のSCDユニット24両端の電圧(V1)を測定するための第1の電圧センサ38と、電極対32、33に印加されるかまたはそこから放出される充電/放電電流(I1)を測定するための第1の電流センサ42と、を備えている。第2のSCD装置14は、第2のSCDユニット26両端の電圧(V2)を測定するための第2の電圧センサ40と、電極対34、35に印加されるかまたはそこから放出される充電/放電電流(I2)を測定するための第2の電流センサ44と、を備えている。測定電圧(V1、V2)および電流(I1、I2)がコントローラ18に送信され、コントローラ18はこれらの信号を用いて、第1および第2のSCD装置12、14の制御を図る。

【0018】

ある実施形態においては、第1および第2のSCD装置12、14はそれぞれ、複数の連続動作サイクルを備えている。各サイクルは、電極対32、33(34、35)を充電して電解質溶液中のイオンを電極32、33(34、35)の表面上に吸着するための充電モードの動作と、電極対32、33(34、35)上に貯蔵された電気エネルギーを放出して電極対32、33(34、35)上に蓄積されたイオンを脱着して電解質溶液に入れるための放電モードの動作とを備えている。

【0019】

ある実施形態においては、コントローラ18は、第1および第2のSCD装置12、14を、それらが交互的な充電および放電モードの動作を有するように制御するように構成されている。第1および第2のSCD装置12、14の一方が放電モードの動作にあって、電極対32、33または34、35が電流を放出するときに、第1および第2のSCD装置12、14の他方は充電モードの動作にあって、電極対34、35または32、33は、前記第1および第2のSCD装置12、14の一方から放出される電流を受け取る。たとえば、第1のSCD装置12が放電モードの動作にあって、第1のSCD装置12の電極対32、33が電流を放出する間に、第2のSCD装置14は充電モードの動作にあって、第2のSCD装置14の電極対34、35は、第1のSCD装置12の電極対32、33から放出される電流を受け取る。第2のSCD装置14が放電モードの動作に変わると、第2のSCD装置14の電極対34、35から電流が放出され、一方で、第1のSCD装置12は充電モードの動作にあって、第1のSCD装置12の電極対32、33は、第2のSCD装置12の電極対34、35から放出される電流を受け取る。したがって、1つのSCD装置の放電モードの動作によって放出される電気エネルギーが別のSCD装置によって用いられて、SCDシステム10のエネルギー効率が向上する。

【0020】

ある実施形態においては、コントローラ18は、第1および第2のSCD装置12、14に対する充電電流プロファイル(図示せず)および充電時間(t1)を、電極対32、33および34、35を充電するのに必要な電荷(Q)に従って計算して記憶するように構成されている。一実施形態においては、充電電流は一定のDC電流である。一実施形態においては、第1および第2のコンバータ28、30は、充電電流プロファイルに従って第1および第2のSCD装置12、14に充電電流を出力するように動作される。例示した実施形態では、第1のSCD装置12の電極対32、33によって放出された電流は、放電モードの動作においては、第1のコンバータ28を通して第2のSCD装置14へ送

10

20

30

40

50

信され、さらに第2のコンバータ30によって充電DC電流に変換されて、第2のSCDユニット28の電極対34、35を充電することが図られる。同様に、第2のSCD装置14の電極対34、35によって放出された電流は、第2のコンバータ30を通して第1のSCD装置12へ送信され、さらに第1のコンバータ28によって充電DC電流に変換されて、第1のSCD装置12の電極対32、33を充電することが図られる。

【0021】

一実施形態においては、第1および第2のSCD装置12、14は、等しいサイクル時間(T)を有する。図2および3にそれぞれ、第1のSCDユニット24の典型的な充電/放電電流曲線および電圧曲線(第1の電流センサ42および第1の電圧センサ38によって測定される)を、1つの動作サイクル内で例示する。図3の電圧曲線V1およびVc1は、第1のSCDユニット24両端の電圧および電極対32、33両端の電圧を、それぞれ表す。図4および5にそれぞれ、第2のSCD装置14の第2のSCDユニット28上の放電/充電電流曲線および電圧曲線(第2の電流センサ44および第2の電圧センサ40によって測定される)を、図2および3と同じ動作サイクルおよび同じ時間枠内で例示する。図5の電圧曲線V2およびVc2は、第2のSCDユニット26両端の電圧および電極対34、35両端の電圧を、それぞれ表している。例示した実施形態においては、第1および第2のSCD装置12、14の動作サイクルはそれぞれ、充電時間(t1)を伴う充電モードの動作と、放電時間(t2)を伴う放電モードの動作とを有する。すなわち、

$$T = t1 + t2$$

である。一実施形態においては、充電時間(t1)は放電時間(t2)に等しい。

【0022】

図2および3を参照して、充電時間(t1)内の充電モードの動作中に、第1のコンバータ28は、充電電流(I1)を第1のSCDユニット24に与えるように動作する。例示した実施形態においては、充電時間(t1)中の充電電流(I1)は一定のDC電流である。他の実施形態においては、充電時間(t1)中の充電電流(I1)は時間とともに可変であっても良い。図3に示すように、充電時間(t1)中の第1のSCDユニット24両端の充電電圧(V1)と電極対32、33両端の電圧(Vc1)とは、徐々に増加する。放電時間(t2)内の放電モードの動作中に、電極対32、33からは放電電流(I1)が第1のコンバータ28を通して放出される。放電モードの動作中の放電電流(I1)は、充電モードの動作における充電電流(I1)と比べて逆方向である。図3の例示した実施形態においては、放電時間(t2)中の第1のSCDユニット24両端の放電電圧(V1)と電極対32、33両端の電圧(Vc1)とは、減少する。

【0023】

図2および3の例示した実施形態においては、放電モードの動作は、通常放電モードの動作を通常放電時間(t3)の間含んでいる。通常放電時間(t3)中に、電極対32、33からは、そこに貯蔵された電気エネルギーによって駆動される放電電流(I1)が第1のコンバータ28を通して放出され、第1のSCDユニット24両端の電圧(V1)および電極対32、33両端の電圧(Vc1)は低下する。しかし、通常放電モードの動作の終わりにおいて、電気エネルギーは完全には放出されない。なぜならば、内部抵抗(R1)両端の電圧が存在するからであり、これは、SCDシステム10のエネルギー効率を向上させるには不都合である。

【0024】

図2および3の例示した実施形態においては、第1および第2のSCD装置12、14の放電モードの動作はさらに、強制放電モードの動作を強制放電時間の間含んでいる(t4)。強制放電モードの動作中に、電源16から強制放電電流(I1)が電極対32、34に供給されるが、充電モードの動作における充電電流(I1)と比べて逆極性である。コントローラ18は、強制放電モードの動作の終わりにおいて電極対32、33両端の電圧(Vc1)が実質的にゼロに等しく第1のSCDユニット24両端の電圧(V1)がゼロを下回るように、システムの制御を行なうように構成されている。したがって、第1の

10

20

30

40

50

S C Dユニット24内に貯蔵された電荷は完全に放出される。

【0025】

ある実施形態においては、第2のS C D装置14の動作サイクルは第1のS C D装置12と同じである。第1のS C D装置12が充電時間(t_1)内の充電モードの動作にあるときに、第2のS C D装置14は放電モードの動作にあり、第1のS C D装置12を充電するために電流を放出している。第1のS C D装置12が、放電時間(t_2)中に放電モードの動作にあって電流を放出するときに、第2のS C D装置14は、充電モードの動作にあって第1のS C D装置12および電源16によって放出される電流によって充電される。

【0026】

ある実施形態においては、充電時間(t_1)における第1のS C D装置の充電モードの動作中に、第1のコンバータ28は、コントローラ18によって操作される電流プロファイルに従って充電電流(I_1)を送信するように動作する。コントローラ18は、第2のS C D装置14によって放出された通常放電電流(I_2)が、充電電流(I_1)を発生させるためのエネルギー必要量を満足させられるときに、第1のコンバータ28が、電源16から電流を受け取ることなく、充電電流(I_1)を発生させるために通常放電電流(I_2)のみを受け取るように、システムの制御を行なうように構成されている。第2のS C D装置14によって放出された通常放電電流(I_2)が、充電電流(I_1)を発生させるためのエネルギー必要量を満足させられないときには、第1のコンバータ28は、通常放電電流(I_2)および電源16からの電流の両方によって駆動されるエネルギーを受け取るように動作する。

【0027】

ある実施形態においては、コントローラ18が行なう第1および第2のS C D装置12、14の充電および放電プロセスは、同様ではあるが、時間的に交互に行なわれる。図6に、第1のS C D装置12を放電するためにコントローラ18が行なう典型的なプロセス100を例示する。例示したプロセス100は、ステップ102で開始し、コントローラ18は、第1のS C D装置12の電極対32、33が、通常放電モードの動作を始めて通常放電電流(I_1)を第1のコンバータ28を通して放出するように、動作する。通常放電電流(I_1)の電気エネルギーをさらに、第2のS C D装置14の電極対34、35を充電するための充電電流(I_2)に変換する。

【0028】

ある実施形態では、ステップ104において、コントローラ18は、第1のS C D装置12の電極対32、33が放出する電気エネルギーが、第2のS C D装置14の電極対34、35を充電するためのエネルギー必要量を満足するか否かを判定する。一実施形態においては、コントローラ18は、第1のS C D装置12から放出される瞬間電力(P_1)、すなわち、

$$P_1 = V_1 \times I_1$$

を、第2のS C D装置14が受け取る瞬間電力(P_2)、すなわち、

$$P_2 = V_2 \times I_2$$

と比べる。 $P_1 \geq P_2$ であるならば、第1のS C D装置12によって放出された電気エネルギーは、第2のS C D装置14のエネルギー必要量を満足することができると判定されて、プロセス100はステップ106に進む。

【0029】

ステップ106では、ある実施形態において、コントローラ18は、最大可能な放電電流を計算し、第1のコンバータ28を制御して最大可能な放電電流を第2のS C D装置14へ送信するようにした後で、ステップ104に戻ることを、第1のS C D装置12によって放出された電気エネルギーが第2のS C D装置14のエネルギー必要量を満足することができなくなる(すなわち、 $P_1 < P_2$ となる)まで、行なう。プロセス100はステップ108に進んで、第2のS C D装置14の第2のコンバータ30は、第1のS C D装置12によって放出される放電エネルギーおよび電源16からの電気エネルギーの両方が

ら電流を受け取るように動作する。

【 0 0 3 0 】

ステップ 1 0 7 では、ある実施形態において、コントローラ 1 8 が、通常放電電流 (I 1)、通常放電時間 (t 3)、および強制放電時間 (t 4) を計算して決定する。一実施形態においては、コントローラ 1 8 は、第 2 の S C D 装置 1 4 の以前の動作サイクルの充電電流 (I 2) および電圧 (V 2) と、他の情報たとえば内部抵抗 (R 1) およびキャパシタンス (C 1) とを用いて、通常放電時間 (t 3) および強制放電時間 (t 4) を計算する。他の実施形態においては、コントローラ 1 8 は、たとえばいくつかのサイクルの電流および電圧の平均値を用いても良い。

【 0 0 3 1 】

例示した実施形態においては、ステップ 1 0 7 は、コントローラ 1 8 が、第 1 の S C D 装置 1 2 からのエネルギー出力 (E 1) を最大にする放電電流 (I 1) を計算するステップ 1 0 8 を含んでいる。例示した実施形態においては、ステップ 1 0 7 はさらに、第 1 の S C D 装置 1 2 が強制放電モードの動作を開始すると仮定して強制放電電流 (I 1) を計算するように、コントローラ 1 8 を構成するステップ 1 1 0 を含んでいる。一実施形態においては、強制放電電流 (I 1) は一定の D C 電流である。ある実施形態においては、強制放電電流 (I 1) を、強制時間 (t 4) に基づいて計算する。強制時間 (t 4) は、全放電時間 (t 2) と通常放電時間 (t 3) との差である。充電時間 (t 1) が放電電流時間 (t 2) に等しいとき、強制時間 (t 4) は充電時間 (t 1) と通常放電時間 (t 3) との差である。一実施形態においては、コントローラ 1 8 は、電極対 3 2、3 3 中に残存する電荷 (Q) を計算し、強制電流を、

【 0 0 3 2 】

【 数 1 】

$$Q = \int_{t_3}^{t_3+t_4} I_1(t) dt$$

に従って計算するように、構成されている。

【 0 0 3 3 】

例示した実施形態においては、ステップ 1 0 7 はさらにステップ 1 1 2 を含んでいる。ステップ 1 1 2 では、コントローラ 1 8 が、強制放電モードの動作中の第 1 の S C D 装置 1 2 へのエネルギー入力を計算する。

【 0 0 3 4 】

例示した実施形態においては、コントローラ 1 8 は、ステップ 1 0 8、1 1 0、および 1 1 2 の計算を、決定された時間間隔で、放電時間 (t 2) が終了するまで繰り返す。一実施形態においては、たとえば、時間間隔は 5 秒である。

【 0 0 3 5 】

ある実施形態では、ステップ 1 1 6 において、コントローラ 1 8 は、放電時間 (t 2) 中に放出されるエネルギーと入力されるエネルギーとの差が最大になるように、通常放電時間 (t 3) および強制放電時間 (t 4) を決定する。

【 0 0 3 6 】

ある実施形態では、ステップ 1 1 8 において、コントローラ 1 8 は第 1 の S C D 装置 1 2 を制御して、決定された通常放電時間 (t 3) の終わりに強制放電モードの動作を開始させ、決定された強制放電時間 (t 4) の終わりにステップ 1 2 0 で終わらせる。

【 0 0 3 7 】

図 7 に、第 1 および第 2 の S C D 装置 1 2、1 4 の典型的な S C D モジュール、たとえば充電モードの動作中の第 1 の S C D モジュール 2 4 を例示する。図 8 に、放電モードの動作中の典型的な第 1 の S C D モジュール 2 4 を例示する。例示した実施形態においては、典型的な S C D モジュール 2 4 は、容積を画定する脱塩容器 4 6 と、容積内に収容されコンバータ 2 8 に電気的に結合された少なくとも 1 つの電極対 3 2、3 3 とを備えている。

10

20

30

40

50

【0038】

図7および8の例示した実施形態においては、SCDモジュール24はさらに、電気絶縁スペーサ48を電極対32、33の間に備える。さらに、脱塩容器46は、供給源52からの供給電解質溶液50がコンパートメント36に入るときに少なくとも1つの入口（標示せず）と、出力液体がコンパートメント46から出るための少なくとも1つの出口54とを備えている。電解質溶液を、外力を用いて脱塩容器46内に案内しても良い。好適な外力としては、重力、吸引、およびポンピングを挙げても良い。

【0039】

ある実施形態においては、第1および第2の電極32、33はそれぞれ、高表面積を有する導電材料と、第1のコンバータ28に電氣的に結合するための導電材料内の電流コレクタ（図示せず）とを含んでいる。本発明のある特定の実施形態においては、電極、電流コレクタ、および絶縁スペーサ48の好適な材料および特徴は、本出願の譲受人に共通に譲渡された米国特許出願公開第20080185346号明細書（開示内容は本明細書において参照により取り入れられている）に記載および例示されたタイプであっても良い。

【0040】

図7を参照して、充電モードの動作中に、電極対32、33は、第1のコンバータ28によって正極および負極としてそれぞれ充電される。供給源52からの供給電解質溶液50を、SCDモジュール24の電極対32、33間を進ませる。陽イオン（ M^+ ）が負極33の方に移動してそこに吸着され、負イオン（ X^- ）が正極32の方に移動してそこに吸着される。SCDモジュール24内部でこのように電荷が蓄積される結果、出力液体（SCDモジュール24から出てくる希薄液56である）の陽イオン（ M^+ ）および負イオン（ X^- ）の濃度は、供給電解質溶液50と比べて低い。一実施形態においては、希薄液56に再び、第1のSCD装置12へ戻すことによってさらに脱イオンすることを施す。別の実施形態においては、希薄液56はたとえば工業用途に対する出力である。

【0041】

図8を参照して、充電モードの動作の後の放電モードの動作中に、吸着された陽イオンおよび負イオンが電極対32、33から脱着される。ある実施形態においては、SCDモジュール24の放電モードの動作中に、電極対32、33の極性は同じに保たれる場合があるが、電極対32、33間の電位差は小さくなる場合があるため、負イオンおよび陽イオンは電極32、33から脱着することができる。他の実施形態においては、SCDモジュール24の放電モードの間に、電極32、33の極性を逆にしても良い。その結果、出力液体（濃縮液58と言われる）は、陽イオンおよび負イオンの濃度が、供給電解質溶液50と比べて高い。

【0042】

図9を参照して、本発明の別の実施形態によるSCDモジュール60は、脱塩容器46内に収容された複数の電極対32、33を備えている。複数の電極対32、33は、並列に配設され、イオン障壁62によって互いに接続されている。例示した実施形態では、脱塩容器46は、供給電解質溶液50を対応するコンパートメント36にそれぞれ並列に同時に導入するための複数の入口と、充電モードの動作中に希薄液56であり放電モードの動作において濃縮液58である出力液体が出るための複数の出口54と、を備えている。代替的な実施形態では、図面には示さないが、入口のうちの1つのみによって供給電解質溶液50がコンパートメント36の1つに導入され、あるコンパートメント36の出口54が別のコンパートメント36の入口と直列に連絡するようにコンパートメント36が相互接続され、その結果、液体が各コンパートメント36上を通る。例示した実施形態においては、出口54のうちの1つのみが出力液体の出口である。したがって、濃縮液58のイオン濃度をより高くすることができる。別の実施形態においては、SCDモジュール60は、前述した並列および直列モードの任意の組み合わせ方法で構成することができる。

【0043】

図10を参照して、本発明の別の実施形態によるSCDシステム64は、直列に接続された複数の第1のSCD装置12と、直列に接続された複数の第2のSCD装置14とを

10

20

30

40

50

備えて、供給電解質溶液 50 に対してそれぞれ連続的にイオンを除去することを図っている。コントローラ 18 は、第 1 の S C D 装置 12 がそれぞれ、対応する第 2 の S C D 装置 14 とともに交互的な充電および放電モードの動作を有する（図 1 ～ 6 の記載を参照して説明した通りである）ように、システムの制御を行なうように構成されている。したがって、ある S C D 装置の放電電流を別の S C D 装置が用いて S C D ユニットの充電を図っている。他の実施形態においては、第 1 の S C D 装置 12 のうちの 1 つが、第 2 の S C D 装置 14 のうちの 2 つ以上とともに交互的な充電および放電モードの動作を有していても良い。第 1 の S C D 装置から放出される放電電流 12 を用いて、第 2 の S C D 装置 14 のうちの前記 2 つ以上を充電することを図る。

【 0 0 4 4 】

10

本明細書で説明した実施形態は、請求項で説明する本発明の要素に対応する要素を有する組成物、構造、システム、および方法の例である。この書面の説明によって、当業者であれば、請求項で説明する本発明の要素に同様に对应する代替的な要素を有する実施形態を作製して用いることができる場合がある。したがって、本発明の範囲には、請求項の文字通りの言葉使いと違わない組成物、構造、システム、および方法が含まれ、さらに、請求項の文字通りの言葉使いとの差が非実質的である他の構造、システム、および方法が含まれる。本明細書では、ある特定の特徴および実施形態のみを例示して説明してきたが、多くの変更および変形が、当該の技術における当業者に想起される場合がある。添付の請求項は、このような変更および変形のすべてに及んでいる。

【 図 1 】

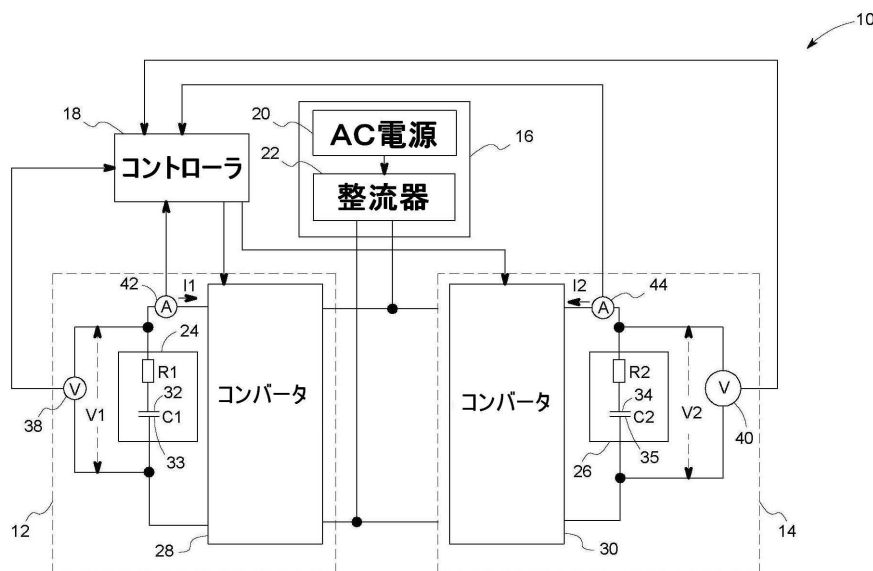


FIG. 1

【図 2】

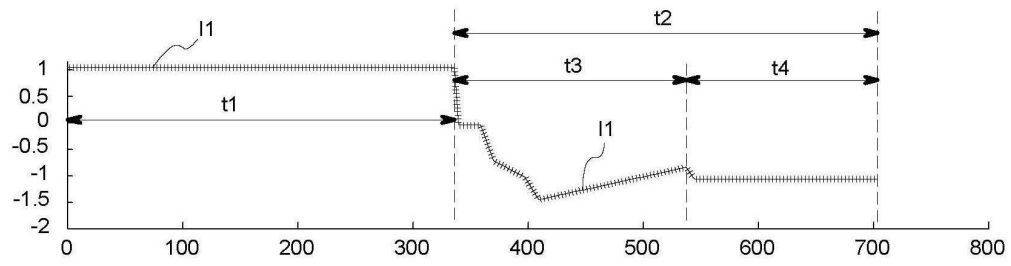


FIG. 2

【図 3】

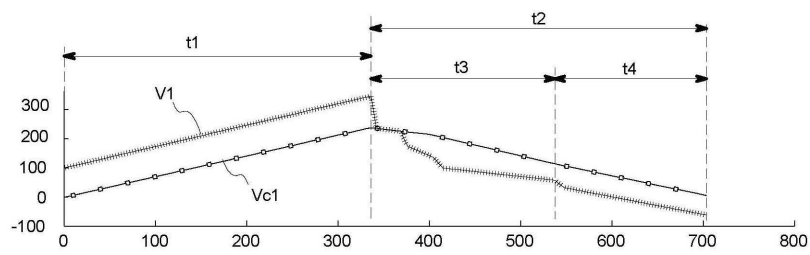


FIG. 3

【図 4】

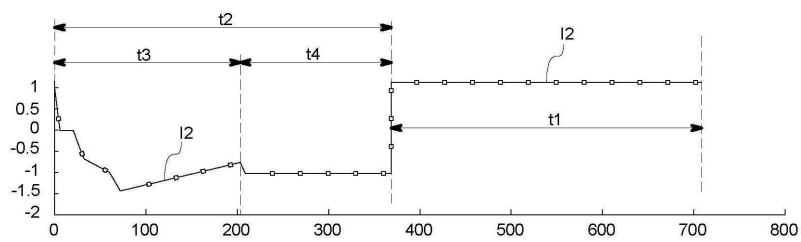


FIG. 4

【図 5】

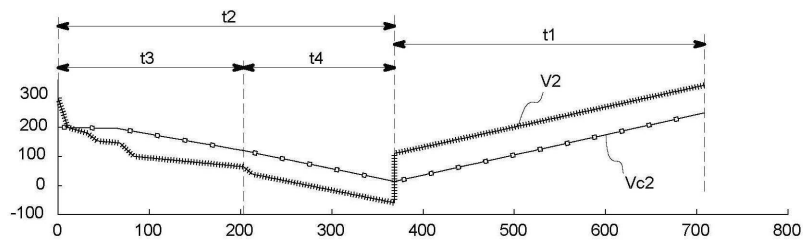


FIG. 5

【図 6】

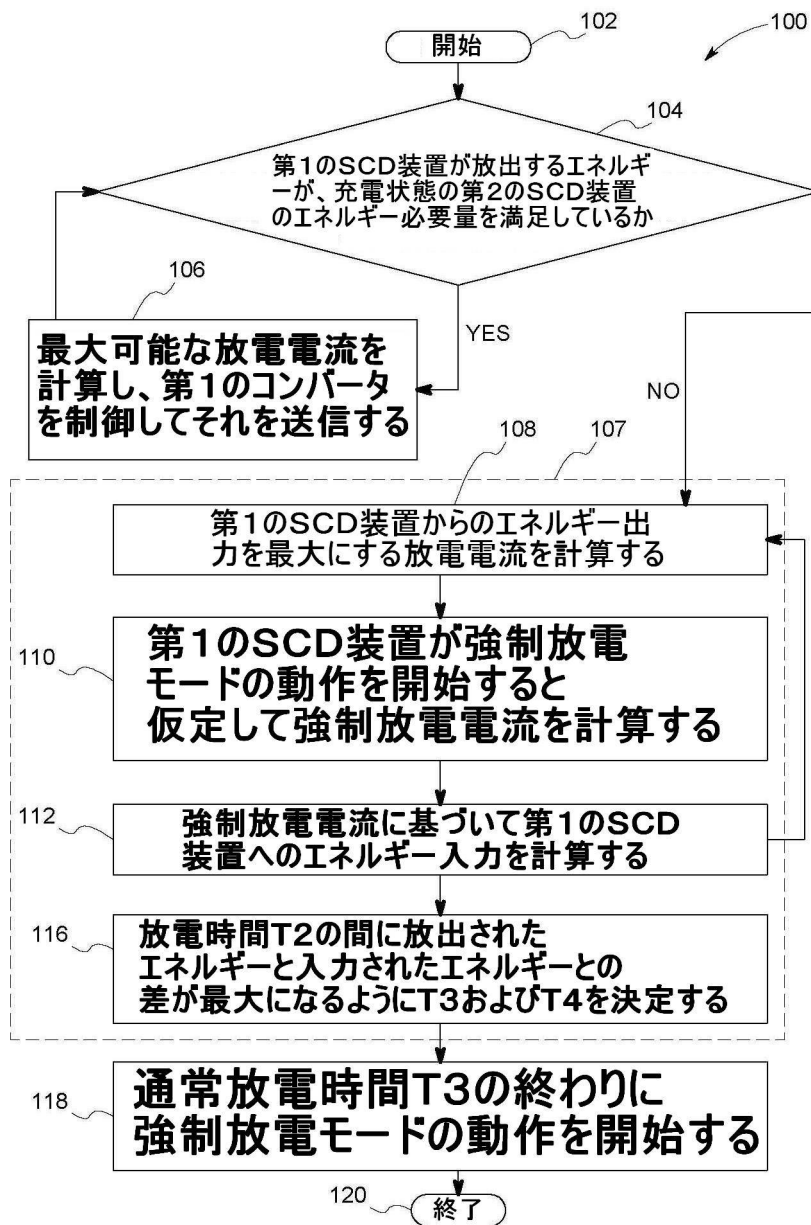


FIG. 6

【図 7】

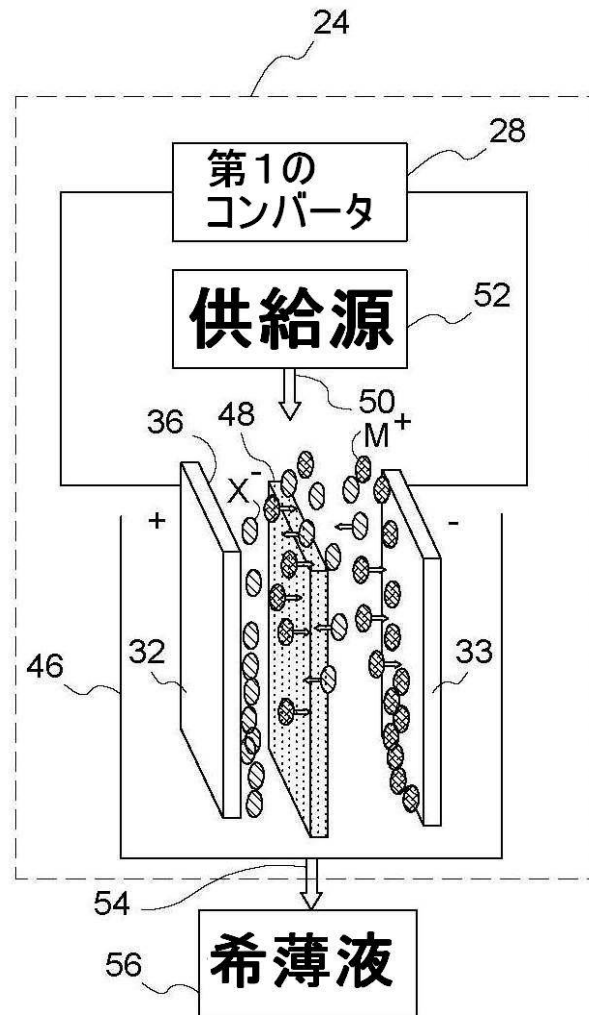


FIG. 7

【圖 8】

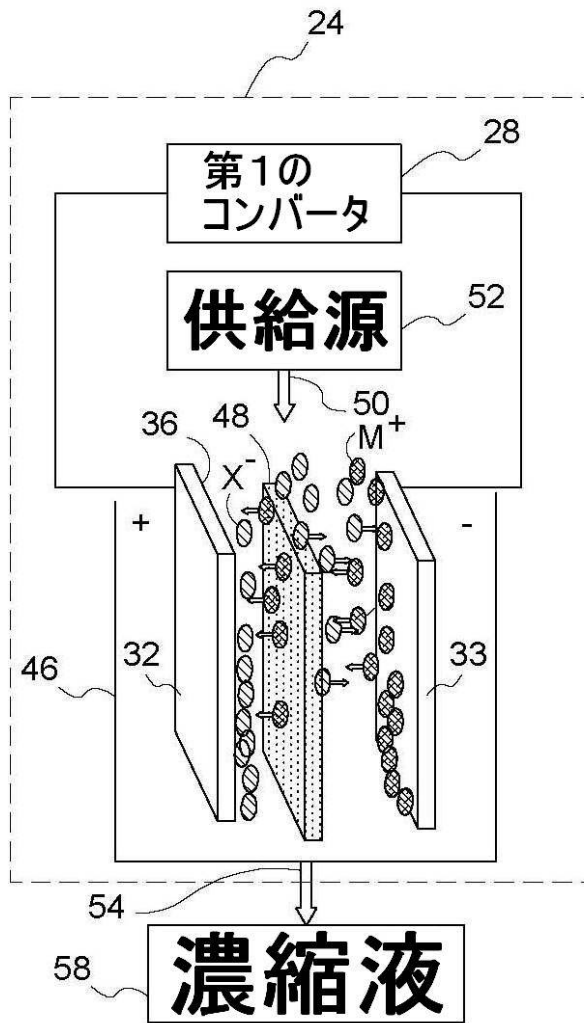


FIG. 8

【図 9】

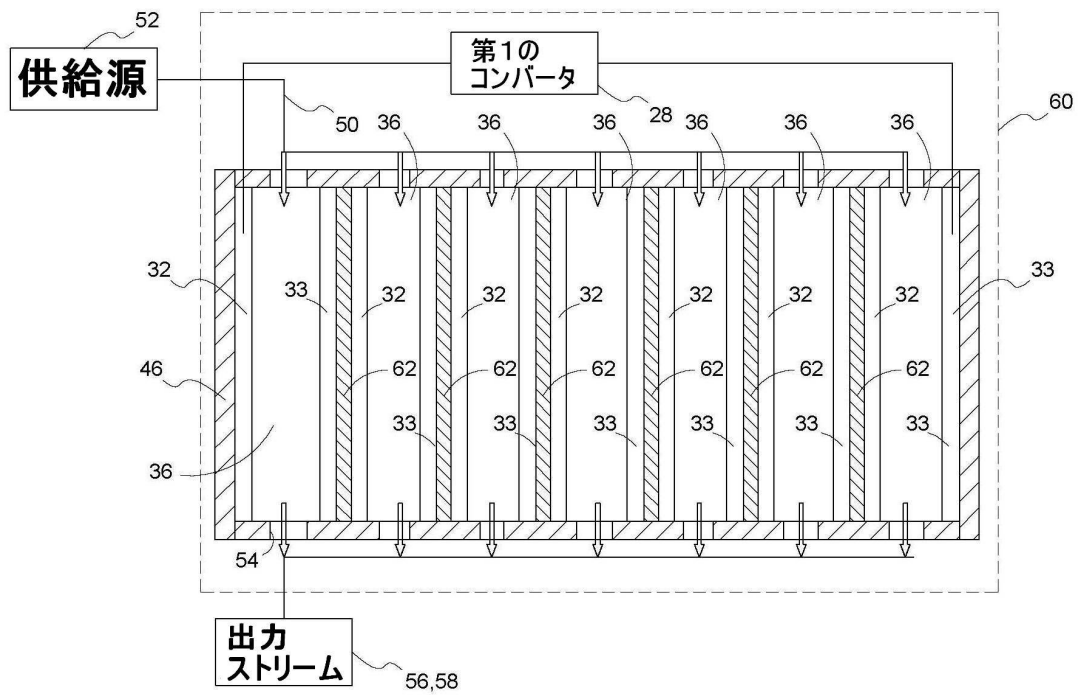


FIG. 9

【図 10】

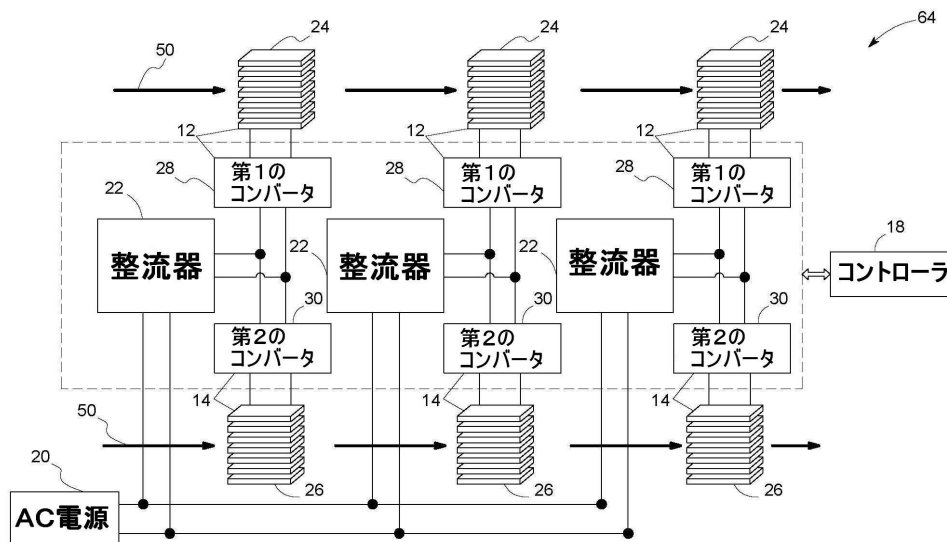


FIG. 10

フロントページの続き

- (72)発明者 ニウ, ラン
アメリカ合衆国、ニューヨーク州・12309、ニスカユナ、ビルディング・ケイ1-4エイ59
、パテント・ドケット・ルーム、グローバル・リサーチ
- (72)発明者 ヤン, ハイ
アメリカ合衆国、ニューヨーク州・12309、ニスカユナ、ビルディング・ケイ1-4エイ59
、パテント・ドケット・ルーム、グローバル・リサーチ
- (72)発明者 バーバー, ジョン・エイチ
アメリカ合衆国、ニューヨーク州・12309、ニスカユナ、ビルディング・ケイ1-4エイ59
、パテント・ドケット・ルーム、グローバル・リサーチ
- (72)発明者 フ, ミン
アメリカ合衆国、ニューヨーク州・12309、ニスカユナ、ビルディング・ケイ1-4エイ59
、パテント・ドケット・ルーム、グローバル・リサーチ
- (72)発明者 ション, リファ
アメリカ合衆国、ニューヨーク州・12309、ニスカユナ、ビルディング・ケイ1-4エイ59
、パテント・ドケット・ルーム、グローバル・リサーチ
- (72)発明者 カイ, ウェイ
アメリカ合衆国、ニューヨーク州・12309、ニスカユナ、ビルディング・ケイ1-4エイ59
、パテント・ドケット・ルーム、グローバル・リサーチ
- (72)発明者 ガオ, シン
アメリカ合衆国、ニューヨーク州・12309、ニスカユナ、ビルディング・ケイ1-4エイ59
、パテント・ドケット・ルーム、グローバル・リサーチ
- (72)発明者 リウ, ユンフェン
アメリカ合衆国、ニューヨーク州・12309、ニスカユナ、ビルディング・ケイ1-4エイ59
、パテント・ドケット・ルーム、グローバル・リサーチ

審査官 富永 正史

- (56)参考文献 特表平11-505463(JP, A)
特開2003-285066(JP, A)
特開2003-285067(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C02F 1/46 - 1/48
B01D 61/00 - 71/82