(19)日本国特許庁(JP)　(12)公表特許公報(A)　(11)公表番号
特表2025-516667
(P2025-516667A)
(43)公表日　令和7年5月30日(2025.5.30)

(51)国際特許分類		FI			テーマコード（参考）
Ｆ０３Ｇ	*7/00 (2006.01)*	Ｆ０３Ｇ	7/00	Ｇ	４Ｄ００６
Ｆ０３Ｇ	*6/00 (2006.01)*	Ｆ０３Ｇ	7/00	Ｃ	
Ｆ０３Ｇ	*4/00 (2006.01)*	Ｆ０３Ｇ	7/00	Ｈ	
Ｂ０１Ｄ	*61/42 (2006.01)*	Ｆ０３Ｇ	6/00		
Ｂ０１Ｄ	*61/00 (2006.01)*	Ｆ０３Ｇ	4/00		

審査請求　未請求　予備審査請求　未請求　（全47頁）　最終頁に続く

(21)出願番号　特願2024-566699(P2024-566699)
(86)(22)出願日　令和5年5月9日(2023.5.9)
(85)翻訳文提出日　令和6年12月23日(2024.12.23)
(86)国際出願番号　PCT/US2023/021447
(87)国際公開番号　WO2023/219996
(87)国際公開日　令和5年11月16日(2023.11.16)
(31)優先権主張番号　17/662,587
(32)優先日　令和4年5月9日(2022.5.9)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(31)優先権主張番号　63/425,514
(32)優先日　令和4年11月15日(2022.11.15)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(31)優先権主張番号　63/490,405
最終頁に続く

(71)出願人　524413164
ナナ，ラフル エス
ＮＡＮＡ，Ｒａｈｕｌ Ｓ．
アメリカ合衆国３２４０５フロリダ州パナマ・シティ、ウエスト・サーティース・コート３０５０
(71)出願人　524413175
フェリア，ラファエル エイ
ＦＥＲＩＡ，ＲＡＦＡＥＬ Ａ．
アメリカ合衆国２９６４０サウスカロライナ州イーズリー、ハグッド・ストリート３０６
(74)代理人　100145403
弁理士　山尾 憲人
(74)代理人　100135703
最終頁に続く

(54)【発明の名称】　逆電気透析または圧力遅延浸透セルおよびその使用方法

(57)【要約】
熱エネルギーから電力または水素を生成する方法およびシステムが開示される。この方法は、選択透過性膜（１０４）によって第１の塩分溶液を第２の塩分溶液から分離し、第１の塩分溶液および／または第２の塩分溶液によって熱源から熱エネルギーを受け取り、第１の塩分溶液と第２の塩分溶液を制御された方法で混合し、第１の塩分溶液と第２の塩分溶液との間の塩分濃度差が減少するにつれて、少なくとも一部の塩分濃度勾配エネルギーを電力として捕捉することを含む。この方法はさらに、熱ポンプ（３２０）によって第１の塩分溶液から第２の塩分溶液に熱エネルギーを伝達し、第１の塩分溶液と第２の塩分溶液との間の塩分濃度差を増加させることを含む。この方法には、さらなるエネルギー効率および発電のために、膜蒸留、電気透析、および／または塩分解のプロセスが含まれ得る。

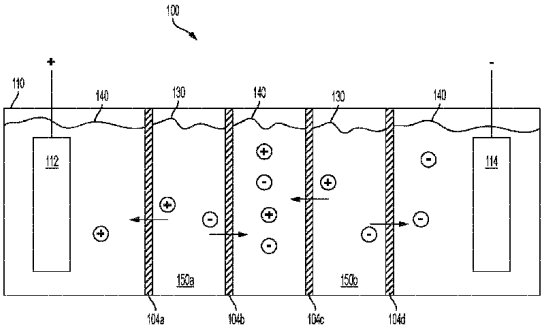


FIG. 1

【特許請求の範囲】
【請求項１】
逆電気透析システムであって、
アノードと、
カソードと、
前記アノードと前記カソードの間に配置された１つ以上のセルと
を含み、前記１つ以上のセルのうち少なくとも１つが、
カチオンを選択的に透過するように構成された第１の膜と、
アニオンを選択的に透過するように構成された第２の膜であって、前記第１の膜から離間した第２の膜と、
前記第１の膜と前記第２の膜との間に配置された濃厚塩分溶液であって、前記第１の膜はカチオンが前記カソードに向かって選択的に移動することを可能にし、および前記第２の膜はアニオンが前記アノードに向かって選択的に移動することを可能にして、前記カソードと前記アノードとの間に電圧差を生じさせるように、前記第１の膜と前記第２の膜が、濃厚塩分溶液を希薄塩分溶液から分離する、濃厚塩分溶液と、
熱エネルギーを前記濃厚塩分溶液または前記希薄塩分溶液に伝達するように構成された熱最適化システムと、
ヒートポンプを含む再生システムであって、
前記１つ以上のセルのうちの前記少なくとも１つから前記希薄塩分溶液を受け取り、
前記ヒートポンプによって前記希薄塩分溶液から熱エネルギーを除去して、前記希薄塩分溶液に塩を沈殿させ、
前記希薄塩分溶液に前記塩を沈殿させた後、前記希薄塩分溶液を前記１つ以上のセルのうちの前記少なくとも１つに循環させ、
前記沈殿した塩を前記濃厚塩分溶液に導入し、および
前記沈殿した塩を前記濃厚塩分溶液中に溶解させる
ように構成された再生システムと
を含む、システム。
【請求項２】
前記再生システムが、前記希薄塩分溶液中に溶解した塩を沈殿させた後、前記希薄塩分溶液から除去された前記熱エネルギーの少なくとも一部を前記希薄塩分溶液に戻して伝達するようにさらに構成される、請求項１に記載の逆電気透析システム。
【請求項３】
前記再生システムが、前記希薄塩分溶液から除去された前記熱エネルギーの少なくとも一部を前記濃厚塩分溶液に伝達し、前記沈殿した塩を前記濃厚塩分溶液中に溶解させるようにさらに構成される、請求項１に記載の逆電気透析システム。
【請求項４】
前記熱源が、熱エネルギーを前記濃厚塩分溶液に伝達し、前記沈殿した塩を前記濃厚塩分溶液中に溶解するように構成される、請求項１に記載の逆電気透析システム。
【請求項５】
前記濃厚塩分溶液が、吸熱溶液または発熱溶液を含む、請求項１に記載の逆電気透析システム。
【請求項６】
前記濃厚塩分溶液が、非線形温度依存性を有する溶解度を有する物質を含む、請求項１に記載の逆電気透析システム。
【請求項７】
前記第１の膜および前記第２の膜が、イオン交換膜を含む、請求項１に記載の逆電気透析システム。
【請求項８】
第２のセルをさらに含み、前記第２のセルが、
カチオンを選択的に透過するように構成された第３の膜と、

アニオンを選択的に透過するように構成された第４の膜であって、前記第３の膜から離間した第４の膜と、
前記第３の膜と前記第４の膜との間に配置された第２の濃厚塩分溶液であって、前記第３の膜と前記第４の膜が、第２の濃厚塩分溶液を第２の希薄塩分溶液から分離する、第２の濃厚塩分溶液と
を含み、前記濃厚塩分溶液が、吸熱溶液を含み、
前記第２の濃厚塩分溶液が、発熱溶液を含み、および
前記ヒートポンプが、前記濃厚塩分溶液と前記第２の濃厚塩分溶液との間で熱を伝達するように構成される、請求項１に記載の逆電気透析システム。
【請求項９】
前記熱最適化システムが、制御システムを含み、前記制御システムが、プロセッサによって、１つ以上の熱源または前記逆電気透析システムの状態の１つ以上の測定値に基づいて、前記１つ以上の熱源と前記逆電気透析システムとの間の熱の伝達を調整するように構成される、請求項１に記載の逆電気透析システム。
【請求項１０】
前記熱源が、地熱、産業廃熱、または太陽熱のうちの１つ以上を含む、請求項９に記載の逆電気透析システム。
【請求項１１】
熱エネルギーから電力を生成する方法であって、
選択透過性膜によって第１の塩分溶液を第２の塩分溶液から分離すること、
前記第１の塩分溶液および／または前記第２の塩分溶液によって、熱最適化システムから熱エネルギーを受け取ること、
前記第１の塩分溶液と前記第２の塩分溶液を制御された方法で混合し、前記第１の塩分溶液と前記第２の塩分溶液との間の塩分濃度差が減少するにつれて、少なくとも一部の塩分濃度勾配エネルギーを電力として捕捉すること、および
ヒートポンプによって前記第１の塩分溶液から前記第２の塩分溶液に熱エネルギーを伝達し、前記第１の塩分溶液と前記第２の塩分溶液との間の前記塩分濃度差を増加させること
を含む、方法。
【請求項１２】
逆電気透析を用いて前記塩分濃度勾配エネルギーを捕捉することをさらに含む、請求項１１に記載の方法。
【請求項１３】
発電機を駆動する圧力遅延浸透を用いて前記塩分濃度勾配エネルギーを捕捉することをさらに含む、請求項１１に記載の方法。
【請求項１４】
前記第１の塩分溶液および前記第２の塩分溶液のそれぞれが、閉鎖系内で循環する、請求項１１に記載の方法。
【請求項１５】
前記第１の塩分溶液から前記第２の塩分溶液に熱エネルギーを伝達することにより、前記第１の塩分溶液中にて塩を沈殿させる、請求項１１に記載の方法。
【請求項１６】
前記沈殿した塩を前記第２の塩分溶液に導入することにより、前記第１の塩分溶液と前記第２の塩分溶液との間の塩分濃度差を増加させることをさらに含む、請求項１５に記載の方法。
【請求項１７】
電気分解により水素ガスを生成するために前記生成された電力の一部を使用することをさらに含む、請求項１１に記載の方法。
【請求項１８】
前記第１の塩分溶液から前記第２の塩分溶液に熱エネルギーを伝達することが、前記第

２の塩分溶液よりも低温である前記第１の塩分溶液から熱エネルギーを伝達することを含む、請求項１１に記載の方法。
【請求項１９】
前記熱最適化システムが、１つ以上の熱源または前記第１の塩分溶液および／または前記第２の塩分溶液の状態の１つ以上の測定値に基づいて、前記１つ以上の熱源から前記第１の塩分溶液および／または前記第２の塩分溶液への熱の伝達を調整するように構成される、請求項１１に記載の方法。
【請求項２０】
前記熱源が、地熱、産業廃熱、または太陽熱のうちの１つ以上を含む、請求項１９に記載の方法。
【請求項２１】
塩勾配エンジンシステムであって、
逆電気透析バッテリと、
再生システムと
を含み、前記逆電気透析バッテリが、
アノードと、
カソードと、
前記アノードと前記カソードの間に配置された１つ以上のセルと
を含み、前記１つ以上のセルのうち少なくとも１つが、
カチオンを選択的に透過するように構成された第１の膜と、
アニオンを選択的に透過するように構成された第２の膜であって、前記第１の膜から離間した第２の膜と、
前記第１の膜と前記第２の膜との間に配置された濃厚塩分溶液であって、前記第１膜はカチオンが前記カソードに向かって選択的に移動することを可能にし、および前記第２の膜はアニオンが前記アノードに向かって選択的に移動することを可能にして、前記カソードと前記アノードとの間に電圧差を生じさせるように、前記第１の膜と前記第２の膜は濃厚塩分溶液を希薄塩分溶液から分離する、濃厚塩分溶液と、
熱エネルギーを前記濃厚塩分溶液または前記希薄塩分溶液に伝達するように構成された熱最適化システムと
を含み、
前記再生システムが、塩沈殿システム、膜蒸留システム、蒸発システム、正浸透システム、塩分解システム、電気透析システム、およびそれらの任意の組み合わせからなる群から選択される、塩勾配エンジンシステム。
【請求項２２】
前記再生システムが、塩沈殿システムを含み、前記塩沈殿システムが、
前記逆電気透析バッテリから使用済み希薄溶液を受け取り、
前記ヒートポンプによって前記使用済み希薄溶液から熱エネルギーを除去し、前記使用済み希薄溶液から塩を沈殿させ、および前記希薄塩分溶液を再生し、
前記希薄塩分溶液を再生した後、前記希薄塩分溶液を前記逆電気透析バッテリに循環させ、
前記沈殿した塩を使用済み濃厚溶液に導入し、および
前記沈殿した塩を前記使用済み濃厚溶液中に溶解させ、および前記濃厚塩分溶液を再生する
ように構成される、請求項２１に記載の塩勾配エンジンシステム。
【請求項２３】
前記再生システムが、前記希薄塩分溶液中に溶解した塩を沈殿させた後、前記希薄塩分溶液から除去された前記熱エネルギーの少なくとも一部を前記希薄塩分溶液に戻して伝達するようにさらに構成される、請求項２２に記載の塩勾配エンジンシステム。
【請求項２４】
前記再生システムが、前記使用済み希薄溶液から除去された前記熱エネルギーの少なく

とも一部を前記使用済み濃厚溶液に伝達し、前記沈殿した塩を前記使用済み濃厚溶液中に溶解させるようにさらに構成される、請求項２２に記載の塩勾配エンジンシステム。
【請求項２５】
前記熱源が、前記使用済み濃厚溶液に熱エネルギーを伝達し、前記沈殿した塩を前記使用済み濃厚溶液中に溶解させるように構成される、請求項２２に記載の塩勾配エンジンシステム。
【請求項２６】
前記濃厚塩分溶液が、非線形温度依存性を有する溶解度を有する物質を含む、請求項２１に記載の塩勾配エンジンシステム。
【請求項２７】
前記再生システムが、塩沈殿システムを含み、前記塩沈殿システムが、
前記逆電気透析バッテリから使用済み希薄溶液を受け取り、および前記使用済み希薄溶液から塩を沈殿させて、前記希薄塩分溶液を再生するように構成された塩沈殿装置と、
前記逆電気透析バッテリから使用済み濃厚溶液を受け取り、および前記塩沈殿装置によって生成された塩を受け取って、前記濃厚塩分溶液を再生するように構成された濃厚液タンクと、
１つ以上の熱交換器と
を含む、請求項２１に記載の塩勾配エンジンシステム。
【請求項２８】
前記塩沈殿装置から前記希薄塩分溶液を受け取るように構成された希薄液タンクをさらに含む、請求項２７に記載の塩勾配エンジンシステム。
【請求項２９】
前記濃厚液タンクに熱エネルギーを供給するように構成された熱源システムをさらに含む、請求項２７に記載の塩勾配エンジンシステム。
【請求項３０】
前記再生システムが、膜蒸留システムを含み、前記膜蒸留システムが、
疎水性膜を含む膜蒸留容器と、
該容器を加温し、および前記疎水性膜の片側を冷却するように構成されたヒートポンプと
を含み、前記膜蒸留システムが、加温後に前記疎水性膜に塩勾配を形成し、および超希薄溶液を生成し、および前記濃厚塩分溶液を再生するように構成される、請求項３１に記載の塩勾配エンジンシステム。
【請求項３１】
前記逆電気透析バッテリから使用済み濃厚溶液を受け取り、および前記膜蒸留容器に接続されるように構成された濃厚液タンクと、
前記逆電気透析バッテリから使用済み希薄溶液を受け取り、および前記膜蒸留容器に接続されるように構成された希薄液タンクと
をさらに含み、前記膜蒸留容器内での再生の後、前記濃厚液タンクが、前記濃厚溶液を受け取るように構成され、前記希薄液タンクが、前記膜蒸留容器から前記超希薄溶液を受け取るように構成される、請求項３０に記載の塩勾配エンジンシステム。
【請求項３２】
前記疎水性膜が、ポリテトラフルオロエチレン、ポリプロピレン、またはポリフッ化ビニリデンを含み、および、サンドイッチセルスタック構成で構成される、請求項３０に記載の塩勾配エンジンシステム。
【請求項３３】
前記再生システムが、前記塩分解システムを含み、前記塩分解システムが、
前記逆電気透析バッテリから使用済み希薄溶液を受け取るように構成された容器であって、前記使用済み希薄溶液が塩を含む、容器と、
前記容器を加温し、および前記容器内に塩を含むガス状生成物を生成するように構成されたヒートポンプと、

前記逆電気透析バッテリから使用済み濃厚溶液を受け取り、および前記ガス状生成物を受け取るように構成された吸収器であって、前記ガス状生成物中の前記塩が前記使用済み濃厚溶液によって吸収されて、前記濃厚塩分溶液を再生する、吸収器と
を含む、請求項３１に記載の塩勾配エンジンシステム。
【請求項３４】
前記再生システムが、前記蒸発システムを含み、前記蒸発システムが、
前記逆電気透析バッテリから使用済み濃厚溶液を受け取り、および水蒸気を生成して、前記濃厚塩分溶液を再生するように構成された蒸発器と、
前記蒸発器に熱エネルギーを供給するように構成されたヒートポンプと、
前記逆電気透析バッテリから使用済み希薄溶液を受け取り、および前記蒸発器によって生成された前記水蒸気を受け取るように構成された凝縮器であって、前記水蒸気が凝縮し、および前記使用済み希薄溶液と混合して、前記希薄塩分溶液に再生される、凝縮器と
を含む、請求項３１に記載の塩勾配エンジンシステム。
【請求項３５】
前記再生システムが、前記電気透析システムを含み、
前記電気透析システムが、使用済み希薄溶液および使用済み濃厚溶液を受け取るように構成され、
電気が、前記電気透析システムに供給され、イオンを前記使用済み希薄溶液から前記使用済み濃厚溶液へ移動させて、前記希薄塩分溶液および前記濃厚塩分溶液を再生する、請求項３１に記載の塩勾配エンジンシステム。
【請求項３６】
前記再生システムが、塩沈殿システムを更に含み、前記塩沈殿システムが、
前記逆電気透析バッテリから使用済み希薄溶液を受け取り、および使用済み希薄溶液が前記電気透析システムに供給される前に前記使用済み希薄溶液から塩を沈殿させるように構成された塩沈殿装置と、
前記逆電気透析バッテリから使用済み濃厚溶液を受け取り、および前記塩沈殿装置によって生成された塩を受け取るように構成された濃厚液タンクと
を含み、電気透析による再生の後、前記濃厚液タンクが、前記濃厚溶液を受け取るように構成され、前記希薄液タンクが、前記電気透析システムから前記希薄塩分溶液を受け取るように構成される、請求項３５に記載の塩勾配エンジンシステム。
【請求項３７】
前記再生システムが、前記塩沈殿システムおよび前記膜蒸留システムを含む、請求項３１に記載の塩勾配エンジンシステム。
【請求項３８】
前記再生システムが、電気透析および前記塩沈殿システムを含む、請求項３１に記載の塩勾配エンジンシステム。
【請求項３９】
前記再生システムが、前記逆電気透析バッテリから使用済み濃厚溶液を受け取り、および切り替え可能な溶解度システムを用いて前記濃厚塩分溶液を再生するように構成された前記正浸透システムを含む、請求項３１に記載の塩勾配エンジンシステム。
【請求項４０】
前記再生システムが、前記逆電気透析バッテリから使用済み希薄溶液を受け取り、および前記切り替え可能な溶解度システムから水を受け取るように構成された希薄液タンクをさらに含み、前記水が、前記使用済み希薄溶液と混合されて、前記希薄塩分溶液を再生する、請求項３９に記載の塩勾配エンジンシステム。
【請求項４１】
前記切り替え可能な溶解度システムが、
前記正浸透システムを通じて循環され、および使用済みドロー溶液を生成する、ドロー溶液と、
前記使用済みドロー溶液を受け取り、および熱を加えるように構成された回収装置であ

って、CO_2が放出され、および水が生成される、回収装置と、
前記回収装置から前記溶液を受け取り、およびCO_2を添加して前記ドロー溶液を再生するように構成されたジェネレータと
を含む、請求項３９または４０に記載の塩勾配エンジンシステム。
【請求項４２】
前記第１の膜および前記第２の膜が、イオン交換膜を含む、請求項２１～４１のいずれか一項に記載の塩勾配エンジンシステム。
【請求項４３】
第２のセルをさらに含み、前記第２のセルが、
カチオンを選択的に透過するように構成された第３の膜と、
アニオンを選択的に透過するように構成された第４の膜であって、前記第３の膜から離間した第４の膜と、
前記第３の膜と前記第４の膜との間に配置された第２の濃厚塩分溶液であって、前記第３の膜と前記第４の膜が、第２の濃厚塩分溶液を第２の希薄塩分溶液から分離する、第２の濃厚塩分溶液と
を含み、前記濃厚塩分溶液が、吸熱溶液を含み、
前記第２の濃厚塩分溶液が、発熱溶液を含み、および
前記ヒートポンプが、前記濃厚塩分溶液と前記第２の濃厚塩分溶液との間で熱を伝達するように構成される、請求項２１～４２のいずれか一項に記載の塩勾配エンジンシステム。
【請求項４４】
前記熱最適化システムが、制御システムを含み、前記制御システムが、プロセッサによって、１つ以上の熱源または前記逆電気透析システムの状態の１つ以上の測定値に基づいて、前記１つ以上の熱源と前記逆電気透析システムとの間の熱の伝達を調整するように構成される、請求項２１～４３のいずれか一項に記載の塩勾配エンジンシステム。
【請求項４５】
前記熱源が、地熱、産業廃熱、または太陽熱のうちの１つ以上を含む、請求項４４に記載の塩勾配エンジンシステム。
【請求項４６】
前記ヒートポンプが、蒸気圧縮サイクル、熱電冷却装置、化学吸収冷却装置、または同時の加熱および冷却のために当該技術分野で使用されていることが知られている他の装置である、請求項２１～４６のいずれか一に記載の塩勾配エンジンシステム。
【請求項４７】
熱エネルギーから電力または水素を生成し、および水を生成するための塩勾配エンジンシステムであって、
請求項２１～４６のいずれか一項に記載のシステムと、
液体乾燥剤除湿プロセスと
を含む、塩勾配エンジンシステム。
【請求項４８】
熱エネルギーから電力を生成し、第１の塩分溶液と第２の塩分溶液との間の塩分濃度差を再生する方法であって、
選択透過性膜によって前記第１の塩分溶液を前記第２の塩分溶液から分離すること、
前記第１の塩分溶液および／または前記第２の塩分溶液によって、熱最適化システムから熱エネルギーを受け取ること、
前記第１の塩分溶液と前記第２の塩分溶液を制御された方法で混合し、前記第１の塩分溶液と前記第２の塩分溶液との間の塩分濃度差が減少するにつれて、少なくとも一部の塩分濃度勾配エネルギーを電力として捕捉すること、
ヒートポンプによって前記第１の塩分溶液から前記第２の塩分溶液に熱エネルギーを伝達して、第１の塩分溶液と第２の塩分溶液との間の塩分濃度差を増加させること、および
塩分解、電気透析、膜蒸留、蒸発、正浸透、塩沈殿、またはそれらの任意の組み合わせ

からなる群から選択される再生プロセスを適用することによって、前記第１の塩分溶液と前記第２の塩分溶液との間の塩分濃度差を再生すること
を含む、方法。
【請求項４９】
追加の電力を生成するために、圧力遅延浸透（ＰＲＯ）システム、容量混合（ＣＡＰ）システム、またはＰＲＯシステムとＣＡＰシステムの両方を適用することをさらに含む、請求項４８に記載の方法。
【請求項５０】
前記方法が、膜蒸留によって第３の塩分溶液を生成することを含み、前記第３の塩分溶液を前記第１の塩分溶液および／または前記第２の塩分溶液に混合することをさらに含む、請求項４８に記載の方法。
【請求項５１】
逆電気透析を用いて前記塩分濃度勾配エネルギーを捕捉することをさらに含む、請求項４８に記載の方法。
【請求項５２】
発電機を駆動する圧力遅延浸透を用いて前記塩分濃度勾配エネルギーを捕捉することをさらに含む、請求項４８に記載の方法。
【請求項５３】
前記第１の塩分溶液および前記第２の塩分溶液のそれぞれが、閉鎖系内で循環する、請求項４８に記載の方法。
【請求項５４】
前記第１の塩分溶液から前記第２の塩分溶液に熱エネルギーを伝達することにより、前記第１の塩分溶液中にて塩を沈殿させる、請求項４８に記載の方法。
【請求項５５】
前記沈殿した塩を前記第２の塩分溶液に導入することにより、前記第１の塩分溶液と第２の塩分溶液との間の前記塩分濃度差を増加させることをさらに含む、請求項５４に記載の方法。
【請求項５６】
電気分解により水素ガスを生成するために、前記生成された電力の一部を使用することをさらに含む、請求項４８に記載の方法。
【請求項５７】
前記第１の塩分溶液から前記第２の塩分溶液に熱エネルギーを伝達することが、前記第２の塩分溶液よりも低温である前記第１の塩分溶液から熱エネルギーを伝達することを含む、請求項４８に記載の方法。
【請求項５８】
前記熱最適化システムが、１つ以上の熱源または前記第１の塩分溶液および／または前記第２の塩分溶液の状態の１つ以上の測定値に基づいて、前記１つ以上の熱源から前記第１の塩分溶液および／または前記第２の塩分溶液への熱の伝達を調整するように構成される、請求項４８に記載の方法。
【請求項５９】
前記熱源が、地熱、産業廃熱、または太陽熱のうちの１つ以上を含む、請求項４８に記載の方法。
【請求項６０】
前記再生プロセスが、
ｉ）前記第１の塩分溶液から形成された使用済み希薄溶液であって、塩を含む使用済み希薄溶液を提供すること、
ｉｉ）前記使用済み希薄溶液を加熱して前記塩を分解し、ガス状生成物を生成すること、
ｉｉｉ）前記ガス状生成物を吸収器に移送すること、および
ｉｖ）前記ガス状生成物を固化させて、前記吸収器内の使用済み濃厚溶液中の塩沈殿物

として再形成すること
を含む塩分解のプロセスであって、前記塩沈殿物が、前記使用済み濃厚溶液中に溶解して、前記第２の塩分溶液を再生する、塩分解のプロセスを適用すること
を含む、請求項４８に記載の方法。
【請求項６１】
前記使用済み希薄溶液が、前記第１の塩分溶液よりも高い塩分含有量を有し、
前記ガス状生成物を前記吸収器に移送することによって、前記使用済み希薄溶液の前記塩分含有量が低下して、前記第１の塩分溶液を再生する、請求項６０に記載の方法。
【請求項６２】
前記再生プロセスが、
ｉ）前記第１の塩分溶液から形成された使用済み希薄溶液であって、塩を含む使用済み希薄溶液を提供すること、
ｉｉ）前記第２の塩分溶液から形成された使用済み濃厚溶液を提供すること、
ｉｉｉ）電気を供給して前記塩をイオンに分離し、イオンを前記使用済み希薄溶液から前記使用済み濃厚溶液に移動させること
を含む電気透析のプロセスであって、前記使用済み希薄溶液の塩分含有量が減少して、前記第１の塩分溶液を再生するとともに、前記使用済み濃厚溶液の塩分含有量が増加して、前記第２の塩分溶液を再生する、電気透析のプロセスを適用すること
を含む、請求項４８に記載の方法。
【請求項６３】
前記再生プロセスが、
ｉ）前記第２の塩分溶液から形成された使用済み濃厚溶液を提供すること
ｉｉ）前記使用済み濃厚溶液を加熱して、水蒸気を生成すること、および
ｉｉｉ）使用済み希薄溶液と混合するために、前記水蒸気を移送すること、
を含む蒸発のプロセスであって、前記使用済み希薄溶液の塩分含有量が減少して、前記第１の塩分溶液を再生するとともに、前記使用済み濃厚溶液の塩分含有量が増加して、前記第２の塩分溶液を再生する、蒸発のプロセスを適用すること
を含む、請求項４８に記載の方法。
【請求項６４】
前記再生プロセスが、
ｉ）疎水性膜であって、該膜の片側に使用済み濃厚溶液を、該膜の反対側に使用済み希薄溶液を有する、疎水性膜を含む膜蒸留容器を提供すること、
ｉｉ）前記使用済み濃厚溶液を加温して、水蒸気を生成すること
を含む膜蒸留のプロセスであって、前記水蒸気が、前記疎水性膜を透過して、前記使用済み希薄溶液と混合し、前記第１の塩分溶液を再生するとともに、前記使用済み濃厚溶液の塩分含有量が増加して、前記第２の塩分溶液を再生する、膜蒸留のプロセスを適用すること
を含む、請求項４８に記載の方法。
【請求項６５】
前記再生プロセスが、
使用済み濃厚溶液およびドロー溶液を正浸透システムに通して循環させて、前記第２の塩分溶液を再生し、および使用済みドロー溶液を生成すること、
前記使用済みドロー溶液を切り替え可能な溶解度システムに通して循環させて、前記ドロー溶液を再生し、および水を生成すること
を含む正浸透のプロセスを適用すること
を含む、請求項４８に記載の方法。
【請求項６６】
前記正浸透のプロセスが、
前記水を使用済み希薄溶液と混合して、前記第１の塩分溶液を再生すること
をさらに含む、請求項６５に記載の方法。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本技術は、一般的には、熱エネルギーから電力および／または水素を生成するための塩勾配熱エンジンシステムおよび方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
塩分濃度（salinity）勾配電力は、川が海に流れ込むときなどに自然に発生する２つの流体（通常は淡水と塩水）間の塩分濃度差から生成されるエネルギーである。逆電気透析（ＲＥＤ：Reverse electrodialysis）は、例えば、カチオン交換膜とアニオン交換膜を交互に重ねたスタックに塩水と淡水を通すことによって、塩分濃度勾配からエネルギーを取り出すために使用できる。塩水と淡水の間の化学電位差によって各膜に電圧が発生し、システム全体の電位はすべての膜の電位差の合計になる。開ループＲＥＤバッテリでは、塩分濃度勾配を維持するために、塩水と淡水の継続的な供給が必要である。この制約により、商業規模のＲＥＤバッテリの実際の設置場所が制限され得る。さらに、開ループＲＥＤバッテリは、水源内のミネラル、微生物、その他の異物や物質による汚染の影響を受けやすくなる。閉ループＲＥＤセルでは、濃厚塩分溶液（concentrated saline solution）と希薄塩分溶液（dilute saline solution）の継続的な供給源は必要ないが、濃厚溶液と希薄溶液の間の塩分濃度差を継続的に再生する必要があり、これはエネルギーの大量消費および／または非効率的であり得る。
【０００３】
本明細書では、上記の問題および／またはその他の問題に対処するための方法およびシステムについて説明する。
【発明の概要】
【０００４】
逆電気透析システムが開示され、逆電気透析システムは、アノードと、カソードと、アノードとカソードの間に配置された１つ以上のセルとを含み、１つ以上のセルの少なくとも１つが、カチオンを選択的に透過するように構成された第１の膜と、アニオンを選択的に透過するように構成された第２の膜であって、第１の膜から離間した第２の膜と、第１の膜と第２の膜との間に配置された濃厚塩分溶液とを含み、第１の膜はカチオンがカソードに向かって選択的に移動することを可能にし、および第２の膜はアニオンがアノードに向かって選択的に移動することを可能にして、カソードとアノードとの間に電圧差を生じさせるように、第１の膜と第２の膜が、濃厚塩分溶液を希薄塩分溶液から分離する。システムは、熱エネルギーを濃厚塩分溶液または希薄塩分溶液に伝達するように構成された熱最適化システムと、ヒートポンプを含む再生システムとを含む。再生システムには、塩沈殿システム、膜蒸留システム、塩分解システム、電気透析システム、正浸透システム、蒸発、またはそれらの任意の組み合わせのうちの１つ以上が含まれる。再生システムに膜蒸留システムが含まれる場合、膜蒸留システムは、第１または第２の塩分溶液の少なくとも一部を含む容器であって、疎水性膜で覆われている容器と、容器を加温し、および疎水性膜の反対側を冷却するように構成されたヒートポンプ（または代替的に、第２のヒートポンプ）とを含む。
【０００５】
再生システムに塩分解システムが含まれる場合、塩分解システムは、第１の塩分溶液から形成された使用済み希薄溶液の少なくとも一部を受け取るように構成された容器であって、使用済み希薄溶液が塩を含む、容器と、容器を加温するように構成されたヒートポンプ（または代替的に、第２のヒートポンプ）と、容器から放出された少なくとも１つのガス状生成物を受け取るように構成された冷水ストリームとを含む。塩分解システムは、塩を分解し、その後、冷水ストリーム中に塩沈殿物を再形成するように構成されてもよい。
【０００６】
熱エネルギーから電力を生成する方法も開示される。この方法は、選択透過性膜によっ

て第１の塩分溶液を第２の塩分溶液から分離すること、第１の塩分溶液および／または第２の塩分溶液によって、熱最適化システムから熱エネルギーを受け取ること、第１の塩分溶液と第２の塩分溶液とを制御された方法で混合し、第１の塩分溶液と第２の塩分溶液との間の塩分濃度差が減少するにつれて、少なくとも一部の塩分濃度勾配エネルギーを電力として捕捉すること、ヒートポンプによって第１の塩分溶液から第２の塩分溶液に熱エネルギーを伝達し、第１の塩分溶液と第２の塩分溶液との間の塩分濃度差を増加させること、および以下の１つ以上を含むことができる：（ｉ）塩分解のプロセスを適用すること、（ｉｉ）第１の塩分溶液、第２の塩分溶液、または両方の塩分溶液から塩分を除去するために、電気透析を適用すること、および／または（ｉｉｉ）膜蒸留によって第３の塩分溶液を生成すること。方法が膜蒸留によって第３の塩分溶液を生成することを含む場合、方法はさらに、第３の塩分溶液を第１の塩分溶液および／または第２の塩分溶液に混合することを含み得る。

【０００７】

塩分解のプロセスには、第１の塩分溶液から形成された使用済み希薄溶液であって、塩を含む使用済み希薄溶液の少なくとも一部を提供すること、使用済み希薄溶液を加熱して塩を分解し、少なくとも１つのガス状生成物を生成すること、少なくとも１つのガス状生成物を冷溶液に移すこと、およびガス状生成物を固化させて冷溶液中で塩沈殿物として再形成することが含まれ得る。

【０００８】

この方法は、追加の電力を生成するために、圧力遅延浸透（ＰＲＯ）システム、容量混合（ＣＡＰ）システム、またはＰＲＯシステムとＣＡＰシステムの両方を適用することを含み得る。

【０００９】

塩勾配熱エンジンシステムが開示され、このシステムは、アノードと、カソードと、アノードとカソードの間に配置された１つ以上のセルとを含み、１つ以上のセルの少なくとも１つは、カチオンを選択的に透過するように構成された第１の膜と、アニオンを選択的に透過するように構成された第２の膜であって、第１の膜から離間した第２の膜と、第１の膜と第２の膜との間に配置された濃厚塩分溶液とを含み、第１の膜はカチオンがカソードに向かって選択的に移動することを可能にし、および第２の膜はアニオンがアノードに向かって選択的に移動することを可能にして、カソードとアノードとの間に電圧差が生じさせるように、第１の膜および第２の膜は濃厚塩分溶液を希薄塩分溶液から分離する。再生システムには、塩沈殿システム、膜蒸留システム、塩分解システム、電気透析システム、正浸透システム、蒸発、またはそれらの任意の組み合わせのうちの１つ以上が含まれる。再生システムに膜蒸留システムが含まれる場合、膜蒸留システムは、第１または第２の塩分溶液の少なくとも一部を含む容器であって、疎水性膜で覆われている容器と、容器を加温し、および疎水性膜の反対側を冷却するように構成されたヒートポンプ（または代替的に、第２のヒートポンプ）とを含む。膜蒸留システムは、加温後に膜に塩勾配を形成し、容器内に第３の塩分溶液を生成するように構成されている。疎水性膜には、ポリテトラフルオロエチレン、ポリプロピレン、またはポリフッ化ビニリデンが含まれ得、任意選択的に、サンドイッチセルスタック構成で構成することもできる。

【００１０】

再生システムに塩分解システムが含まれる場合、塩分解システムは、第１の塩分溶液から形成された使用済み希薄溶液の少なくとも一部を受け取るように構成された容器であって、使用済み希薄溶液が塩を含む、容器と、容器を加温するように構成されたヒートポンプ（または代替的に、第２のヒートポンプ）と、容器から放出された少なくとも１つのガス状生成物を受け取るように構成された冷水ストリームとを含む。塩分解システムは、塩を分解し、その後、冷水ストリーム中に塩沈殿物を再形成するように構成されてもよい。

【００１１】

塩分解システムは、逆電気透析バッテリからの使用済み希薄溶液を受け取るように構成された容器であって、使用済み希薄溶液が塩を含む、容器と、容器を加温し、および容器

内に塩を含むガス状生成物を生成するように構成されたヒートポンプと、逆電気透析バッテリからの使用済み濃厚溶液を受け取り、およびガス状生成物を受け取るように構成された吸収器とを含み得る。ガス状生成物中の塩は、使用済み濃厚溶液によって吸収され、濃厚塩分溶液を再生できる。

【００１２】

塩勾配熱エンジンシステムは、塩沈殿システムおよび膜蒸留システム、あるいは電気透析システムおよび塩沈殿システムを含み得る。塩勾配熱エンジンシステムは、液体乾燥剤除湿プロセスをさらに含み得る。

【００１３】

再生システムに膜蒸留システムが含まれる場合、膜蒸留システムは、疎水性膜を含む膜蒸留容器と、容器を加温し、および疎水性膜の片側を冷却するように構成されたヒートポンプとを含み得る。膜蒸留システムは、加温後に疎水性膜で塩勾配を形成し、および超希薄溶液を生成し、および濃厚塩分溶液を再生するように構成できる。膜蒸留システムは、さらに、逆電気透析バッテリからの使用済み濃厚溶液を受け取るように構成され、および膜蒸留容器に接続された濃厚液タンクと、逆電気透析バッテリからの使用済み希薄溶液を受け取るように構成され、および膜蒸留容器に接続された希薄液タンクとを備えていてもよい。濃厚液タンクは、膜蒸留容器から濃厚溶液を受け取るように構成され、希薄液タンクは、膜蒸留容器から超希薄溶液を受け取るように構成され得る。疎水性膜は、ポリテトラフルオロエチレン、ポリプロピレン、またはポリフッ化ビニリデンから構成され得、サンドイッチセルスタック構成に構成される。

【００１４】

再生システムに蒸発システムが含まれる場合、蒸発システムは、逆電気透析バッテリから使用済み濃厚溶液を受け取り、および濃厚塩分溶液を再生するための水蒸気を生成するように構成された蒸発器と、蒸発器に熱エネルギーを供給するように構成されたヒートポンプと、逆電気透析バッテリから使用済み希薄溶液を受け取り、および蒸発器によって生成された水蒸気を受け取るように構成された凝縮器とを含み得る。水蒸気は凝縮し、および使用済み希薄溶液と混合して、希薄塩分溶液として再生される。

【００１５】

再生システムに電気透析システムが含まれる場合、電気透析システムは、使用済み希薄溶液および使用済み濃厚溶液を受け取るように構成されてもよい。電気透析システムに電気が供給され、イオンが使用済み希薄溶液から使用済み濃厚溶液に移動し、希薄塩分溶液と濃厚塩分溶液が再生される。

【００１６】

再生システムは、塩沈殿システムおよび電気透析システムを含み得、塩沈殿システムは、逆電気透析バッテリから使用済み希薄溶液を受け取り、および使用済み希薄溶液が電気透析システムに供給される前に使用済み希薄溶液から塩を沈殿させるように構成された塩沈殿装置と、逆電気透析バッテリから使用済み濃厚溶液を受け取り、および塩沈殿装置によって生成された塩を受け取るように構成された濃厚液タンクとを備える。濃厚液タンクは濃厚溶液を受け取るように構成され得、希薄液タンクは電気透析システムから希薄塩分溶液を受け取るように構成される。

【００１７】

再生システムは、逆電気透析バッテリから使用済み濃厚溶液を受け取り、および切り替え可能な溶解度システムを使用して濃厚塩分溶液を再生するように構成された正浸透システムを含み得る。正浸透システムでは、再生システムは、逆電気透析バッテリから使用済み希薄溶液を受け取り、および切り替え可能な溶解度システムから水を受け取るように構成された希薄液タンクをさらに含み得、水は使用済み希薄溶液と混合されて、希薄塩分溶液を再生する。切り替え可能な溶解度システムは、正浸透システムを通じて循環され、および使用済みドロー溶液を生成するドロー溶液と、使用済みドロー溶液を受け取り、および熱を加えるように構成された回収装置であって、CO_2が放出され、および水が生成される、回収装置と、回収装置から溶液を受け取り、およびCO_2を添加してドロー溶液を

再生するように構成されたジェネレータとを含むことができる。

【００１８】

熱エネルギーから電力を生成する方法も開示される。この方法は、選択透過性膜によって第１の塩分溶液を第２の塩分溶液から分離すること、第１の塩分溶液および／または第２の塩分溶液によって、熱最適化システムから熱エネルギーを受け取ること、第１の塩分溶液と第２の塩分溶液とを制御された方法で混合し、第１の塩分溶液と第２の塩分溶液との間の塩分濃度差が減少するにつれて、少なくとも一部の塩分濃度勾配エネルギーを電力として捕捉すること、ヒートポンプによって第１の塩分溶液から第２の塩分溶液に熱エネルギーを伝達し、第１の塩分溶液と第２の塩分溶液との間の塩分濃度差を増加させること、および以下の１つ以上を含むことができる：（ｉ）塩分解のプロセスを適用すること、（ｉｉ）第１の塩分溶液、第２の塩分溶液、または両方の塩分溶液から塩分を除去するために、電気透析を適用すること、および／または（ｉｉｉ）膜蒸留によって第３の塩分溶液を生成すること。方法が膜蒸留によって第３の塩分溶液を生成することを含む場合、方法はさらに、第３の塩分溶液を第１の塩分溶液および／または第２の塩分溶液に混合することを含み得る。第１の塩分溶液および第２の塩分溶液方法は、実質的にまたは完全に閉じられた閉鎖系内で溶液を循環させることを含み得る。

【００１９】

塩分解のプロセスには、第１の塩分溶液から形成された使用済み希薄溶液であって、塩を含む使用済み希薄溶液の少なくとも一部を提供すること、使用済み希薄溶液を加熱して塩を分解し、少なくとも１つのガス状生成物を生成すること、少なくとも１つのガス状生成物を冷溶液に移すこと、およびガス状生成物を固化させて冷溶液中で塩沈殿物として再形成することが含まれ得る。塩分解、電気透析、膜蒸留、蒸発、正浸透、塩沈殿、またはそれらの任意の組み合わせからなる群から選択される再生プロセスを適用することにより、第１の塩分溶液と第２の塩分溶液との間の塩分濃度差を再生する。

【００２０】

この方法は、逆電気透析を用いて、または発電機を駆動する圧力遅延浸透を用いて、塩分濃度勾配エネルギーを捕捉することをさらに含んでもよい。

【００２１】

この方法は、第１の塩分溶液から第２の塩分溶液に熱エネルギーを伝達して第１の塩分溶液に塩を沈殿させることを含み得、さらに、任意選択的に、沈殿した塩を第２の塩分溶液に導入して、第１の塩分溶液と第２の塩分溶液との間の塩分濃度差を増加させることを含む。

【００２２】

この方法は、電気分解により水素ガスを生成するために、生成された電力の一部を使用することを含み得る。

【００２３】

この方法は、塩分解のプロセスを適用することを含む再生プロセスを含み得、塩分解のプロセスは、第１の塩分溶液から形成された使用済み希薄溶液であって、塩を含む使用済み希薄溶液を提供すること、使用済み希薄溶液を加熱して塩を分解し、ガス状生成物を生成すること、ガス状生成物を吸収器に移送すること、ガス状生成物を固化させて、吸収器内の使用済み濃厚溶液中の塩沈殿物として再形成することを含み得る。ガス状生成物を吸収器に移送することにより、使用済み希薄溶液の塩分含有量が減少して第１の塩分溶液を再生できる。塩沈殿物は使用済み濃厚溶液に溶解して第２の塩分溶液を再生でき、また、任意選択的に、使用済み希薄溶液の塩分含有量は第１の塩分溶液よりも高くてもよい。

【００２４】

この方法は、電気透析のプロセスを適用することを含む再生プロセスを含み得、電気透析のプロセスは、第１の塩分溶液から形成された使用済み希薄溶液であって、塩を含む使用済み希薄溶液を提供すること、第２の塩分溶液から形成された使用済み濃厚溶液を提供すること、電気を供給して塩をイオンに分離し、イオンを使用済み希薄溶液から使用済み濃厚溶液に移動させることを含み得る。使用済み希薄溶液の塩分含有量が減少して第１の

塩分溶液が再生されるとともに、使用済み濃厚溶液の塩分含有量が増加して第２の塩分溶液が再生される。

【００２５】

この方法は、蒸発のプロセスを適用することを含む再生プロセスを含み得、蒸発のプロセスは、第２の塩分溶液から形成された使用済み濃厚溶液を提供すること、使用済み濃厚溶液を加熱して水蒸気を生成すること、使用済み希薄溶液と混合するために、水蒸気を移送することを含み得る。使用済み希薄溶液の塩分含有量が減少して第１の塩分溶液が再生されるとともに、使用済み濃厚溶液の塩分含有量が増加して第２の塩分溶液が再生される。

【００２６】

この方法は、膜蒸留のプロセスを適用することを含む再生プロセスを含み得、膜蒸留のプロセスは、疎水性膜であって、膜の片側に使用済み濃厚溶液を、膜の反対側に使用済み希薄溶液を有する疎水性膜を含む膜蒸留容器を提供すること、および使用済み濃厚溶液を加温して水蒸気を生成することを含み得る。水蒸気は疎水性膜を透過して使用済み希薄溶液と混合し、第１の塩分溶液を再生するとともに、使用済み濃厚溶液の塩分含有量が増加し、第２の塩分溶液を再生する。

【００２７】

この方法は、正浸透のプロセスを適用することを含む再生プロセスを含み得、正浸透のプロセスは、使用済み濃厚溶液およびドロー溶液を正浸透システムに通して循環させて、第２の塩分溶液を再生し、および使用済みドロー溶液を生成すること、使用済みドロー溶液を切り替え可能な溶解度システムに通して循環させて、ドロー溶液を再生し、および水を生成することを含み得る。

【００２８】

本明細書に組み込まれ、本明細書の一部を構成する添付図面は、本開示の特定の実施形態を例示するものであり、本開示の範囲を制限するものではない。

【図面の簡単な説明】

【００２９】

【図１】図１は、逆電気透析（ＲＥＤ）システムの一例を示す。

【図２】図２は、再生システムの一例を示す。

【図３】図３は、熱最適化システムの一例を示す。

【図４】図４は、圧力遅延浸透（ＰＲＯ）システムの一例を示す。

【図５】図５は、水素生成システムの一例を示す。

【図６】図６は、熱エネルギーから電力を生成する方法のフローチャートである。

【図７】図７は、実施形態に従ってプログラム命令を格納または実行するために使用できる内部ハードウェアの例のブロック図を示す。

【図８】図８は、塩沈殿システムと関連したＲＥＤまたはＰＲＯバッテリを含み、外部熱源に接続された、本開示のシステムおよび方法の例である。

【図９】図９は、塩沈殿システムと関連したＲＥＤまたはＰＲＯバッテリを含む本開示のシステムおよび方法の別の例である。このシステムには外部熱源システムは含まれないが、ヒートポンプループおよび／または廃熱などを介して、希薄液タンクに熱が追加される。

【図１０】図１０は、塩分解システムと関連したＲＥＤまたはＰＲＯバッテリを含む本開示のシステムおよび方法の例である。

【図１１】図１１は、蒸発システムと関連したＲＥＤまたはＰＲＯバッテリを含む本開示のシステムおよび方法の例である。

【図１２】図１２は、電気透析システムおよび塩沈殿と関連したＲＥＤまたはＰＲＯバッテリを含む本開示のシステムおよび方法の例である。

【図１３】図１３は、膜蒸留システムと塩沈殿を組み込んだ再生システムの例である。

【図１４】図１４は、膜蒸留システムを組み込んだ再生システムの例である。

【図１５】図１５は、すべての操作タンクが作動している再生用バッチシステムの例であ

る。
【図１６】図１６は、蒸気凝縮器とヒートポンプを使用した水製造の例である。
【図１７】図１７は、図１６のシステムをどのように使用して、塩分濃度勾配エネルギー熱システムで使用するための冷流体タンクおよび温流体タンクを形成するかを示す例である。
【図１８】図１８は、液体乾燥剤除湿プロセスを使用した大気水生成に関連するＲＥＤまたはＰＲＯバッテリを含む本開示のシステムおよび方法の例である。
【図１９】図１９は、正浸透システムと関連したＲＥＤまたはＰＲＯバッテリを含む本開示のシステムおよび方法の例である。
【発明を実施するための形態】
【００３０】
本発明は、熱を利用し、熱エネルギーから電力を生成する塩勾配熱エンジンシステムに関する。塩勾配熱エンジンは、熱エネルギーを利用して塩分濃度（salinity）勾配を生成または再生し、電気および／または水素などの使用可能なエネルギーを生成するシステムであり得る。塩勾配熱エンジンシステムの例としては、ＲＥＤバッテリやＰＲＯバッテリなどがある。ＲＥＤバッテリには、複数の選択透過性膜と１つ以上の電極が組み込まれている場合があり、これについては以下で詳しく説明する。ＰＲＯバッテリには１つの膜が組み込まれており、１つ以上の電極は必要ない。ＰＲＯバッテリは、ＲＥＤバッテリのように濃厚（または濃縮）塩分溶液と溶液の塩分濃度差から直接電力を生成するのではなく、圧力を生成する。ＰＲＯバッテリの選択透過性膜は、例えば希薄（または希釈）溶液から濃厚塩分溶液まで、溶質ではなく溶媒が優先的に膜を通過できるように構成され、溶液間の塩分濃度差が減少する。
【００３１】
ＲＥＤバッテリとＰＲＯバッテリの両方に、選択透過性膜によって希薄溶液から分離された濃厚塩分溶液が含まれ得る。また、両方のシステムにおいて、システムによって生成される力（または電力）のレート（または速度）は、少なくとも濃厚塩分溶液と希薄溶液との間の塩分濃度差の関数であり、オプションとして少なくとも濃厚塩分溶液の温度の関数でもある。
【００３２】
逆電気透析システムは、アノード、カソード、およびアノードとカソードとの間に配置された１つ以上のセルを含むことが開示される。１つ以上のセルのうち少なくとも１つは、カチオンを選択的に透過するように構成された第１の膜と、アニオンを選択的に透過するように構成された第２の膜とを含み、第２の膜は第１の膜から離間している。セルにはさらに、第１の膜と第２の膜の間に配置された濃厚塩分溶液が含まれ、第１の膜はカチオンを選択的にカソードに向かって移動させ、第２の膜はアニオンを選択的にアノードに向かって移動させて、カソードとアノードの間に電圧差を生じさせるように、第１の膜と第２の膜は濃厚塩分溶液を希薄塩分溶液から分離する。第１の選択透過性膜および第２の選択透過性膜には、イオン交換膜が含まれてもよい。
【００３３】
本明細書に開示される逆電気透析システムで使用される、複数の選択透過性膜は、例えば、２～５００、２～２００、１０～４００、または２～１００である。特定の選択透過性膜は、イオン成分が自由に拡散する能力を制限する。代わりに、カチオン交換膜（およびアニオン交換膜）は、それぞれカチオン成分とアニオン成分が、反対方向に移動または動くことを可能にする。各選択透過性膜は、イオン交換樹脂などの荷電（イオン性）側鎖を有する有機または無機ポリマーで作製できる。各選択透過性膜は、グラフェン、還元グラフェン酸化物、またはグラフェン酸化物から作製され得る。選択透過性膜は、単層または薄い多層シートに構成された、任意選択的に積層され、任意選択的にナノポアを含む、グラフェンを含み得る。選択透過性膜は、グラフェン、還元グラフェン酸化物、またはグラフェン酸化物を含むことができ、逆浸透水ろ過システムで一般的に使用されるようなカートリッジであってもよい。膜の透過性は、グラフェンシートの構成やその他の特徴に依

存し得る。単層または薄い多層シートは、膜の透過性を変えるために伸ばしたり、その他の方法で構成したりできる。

【００３４】

選択透過性膜は、使用時に溶液中に存在する塩から酸と塩基を生成する双極性膜（例えば、片側にアニオン、反対側にカチオン）であってもよい。選択透過性膜の選択性は、サイズ、電荷、電荷密度、相（例えば、疎水性／親水性）または極性によって決まる。

【００３５】

選択透過性膜は、本明細書にその全体が参照により組み込まれているＷＯ２０２２／０３２２３６に開示されているものなど、配向されたナノチャネルを有するポリマー複合膜であってもよい。例えば、選択透過性膜は、（ｉ）ポリマーの膜、フィルムまたはコーティングであって、第１の表面と、第２の表面とそれらの間のフィルム厚さとを有する層を含み、ならびに、フィルム内で六角形に充填されたシリンダーとして少なくとも部分的に整列し、フィルム表面と平行に整列し、およびＨ１メソフェースとして存在する円筒形ポリマー繊維を含み、シリンダーはシリンダー内で内部的に架橋され、および、シリンダーは、該膜、フィルムまたはコーティングを通過する流体の流れのためにシリンダー間にチャネルを提供するように空間的に配置される、ポリマーの膜、フィルムまたはコーティングと、（ｉｉ）ポリマーの膜、フィルムまたはコーティングと接触する多孔質支持層と、を含む薄膜複合膜であってもよい。実施形態では、多孔質支持層は、ポリアクリロニトリル、ポリフッ化ビニリデン、ポリスルホン、ポリアミド、ポリイミド、ポリプロピレン、陽極酸化アルミニウム、セルロースアセテート、または不織布である。

【００３６】

塩勾配熱エンジンシステムは、熱エネルギーを濃厚塩分溶液または希薄塩分溶液に伝達するように構成された熱源と、ヒートポンプを含む再生システムとを含むことができる。ヒートポンプは、同時の加熱および冷却のために当該技術分野で使用されることが知られた任意の装置であり得、任意選択的に、約１より大きい、または約１～約１０、約１～約６、または約３～約４の性能係数を提供する。ヒートポンプは、蒸気圧縮サイクル、熱電冷却装置（thermoelectric chiller）、化学吸収冷却装置（chemical absorption chiller）などであってもよい。蒸気圧縮サイクルは、スクリュー・アコースティック・エアコンディショナー（screw, acoustic, air conditioner）であってもよい。ここで使用されるヒートポンプには、相変化する冷媒または相変化しない冷媒が含まれ得る。冷媒は、CO_2、ヘリウム、またはヒートポンプでの使用が知られているその他の冷媒である。ヒートポンプには熱力学サイクルが含まれ得る。熱力学サイクルには、加熱と冷却を同時に行う機能を提供する冷媒サイクルと非冷媒サイクルの任意の組み合わせを含めることができる。ヒートポンプは、Ｅｑｕｉｕｍが開発したようなサーモコースティックヒートポンプであり得る（https://www.pv-magazine.com/2023/01/02/residential-thermo-acoustic-heat-pump-produces-water-up-to-80-c/）。ヒートポンプは、米国特許第９，９１５，４３６号「熱源最適化システム」、または米国特許第１１，０６７，３１７号「熱源最適化システム」に開示されているシステムであってもよい。上記の各特許は、その全体が参照により本明細書に組み込まれる。特定の実施形態では、加湿器、除湿器、双方向排気ファン、および／またはスワンプクーラーをヒートポンプと組み合わせて使用して、逆電気透析を駆動できる。ヒートポンプは、水、冷媒、グリコール、オイルなどであり得るが、これらに限定されない既知の熱交換流体によって燃料供給され得る。

【００３７】

伝統的に、湿度はＨＶＡＣ冷却では好ましくない。湿度はシステムに死荷重を加えるからである。水蒸気の凝縮によってエネルギーが消費され、エネルギーが無駄になり、エネルギー効率が低下する。典型的には、冷却のためにサーモスタットで希望の温度が設定されている場合、水蒸気を凝縮するために使用されるエネルギーは、空気を冷却するために使用できたはずのエネルギーである。このシナリオでは、蒸気を凝縮して凝縮水にするためにエネルギーが消費され、ＨＶＡＣユニットは蒸発潜熱に抗して動作する。

【００３８】
これに対して、本開示によれば、湿度は、逆電気透析プロセスを駆動し、および電気、水素、酸素、およびそれらの任意の組み合わせを生成するために使用できる追加のエネルギーをシステムに提供するので、環境内の湿度は非常に好ましいものとなり得る。たとえば、システムに湿気を導入し、水蒸気の潜熱を捕捉して逆電気透析を駆動し、電気を生成するために利用できる。同様に、氷の形成では、水の熱結晶化を利用して逆電気透析プロセスを駆動し、電気、水素、酸素、またはそれらの組み合わせを生成できる。
【００３９】
再生システムは、１つ以上のセルのうちの少なくとも１つから希薄塩分溶液を受け取り、希薄塩分溶液から熱エネルギーを（ヒートポンプによって）除去し、希薄塩分溶液に塩を沈殿させるように構成できる。再生システムは、希薄塩分溶液によって塩を沈殿させた後、希薄塩分溶液を１つ以上のセルのうちの少なくとも１つに循環させ、沈殿した塩を濃厚塩分溶液に導入し、沈殿した塩を濃厚塩分溶液に溶解させるように構成されてもよい。
【００４０】
再生システムは、希薄塩分溶液に溶解した塩を沈殿させた後、希薄塩分溶液から除去された熱エネルギーの少なくとも一部を希薄塩分溶液に戻すように構成できる。再生システムは、希薄塩分溶液から除去された熱エネルギーの少なくとも一部を濃厚塩分溶液に伝達し、沈殿した塩を濃厚塩分溶液に溶解するように構成できる。熱源は、濃厚塩分溶液に熱エネルギーを伝達し、沈殿した塩を濃厚塩分溶液に溶解するように構成できる。濃厚塩分溶液には、吸熱溶液または発熱溶液が含まれ得る。濃厚塩分溶液には、非線形温度依存性を有する溶解度を有する物質が含まれ得る。
【００４１】
１つ以上の他の再生システムを採用してもよい。再生システムは電気透析を含み得る。逆電気透析システムに加えて、電気透析を水の浄化に使用できる。電気透析では、希薄塩分溶液を電気透析によってさらに脱塩できる。たとえば、塩を沈殿させる場合、希薄塩分溶液の濃度は溶解度曲線によって制限される。希薄塩分溶液をさらに希釈するために、電気透析を利用することもできる。再生可能な電気（太陽光や風力など）を使用して電気透析を行い、希薄塩分溶液から塩を分離し、さらに希釈されたストリームを形成することができる。これによりエネルギー貯蔵が可能になる。たとえば、太陽が出ている時間には、電気透析を利用して塩勾配を充電し、日没後にその塩勾配からのエネルギーを活用できる。逆電気透析に使用されるものと同じバッテリ／タンクを電気透析に使用できる。図１２は電気透析とＲＥＤ／ＰＲＯバッテリを含むシステムの例であり、これについては以下でさらに詳しく説明する。
【００４２】
逆電気透析システムは、１つ以上の熱源または逆電気透析システムの状態の１つ以上の測定値に基づいて、１つ以上の熱源と逆電気透析システムとの間の熱の伝達を調整するように構成された制御システムをさらに含んでもよい。熱源には、地熱、産業廃熱、太陽熱のうち１つ以上が含まれる。
【００４３】
塩勾配熱エンジンシステムは、塩勾配を生成するための塩分解システムを備えていてもよい。塩の分解は、本明細書に開示されている塩沈殿のプロセスの代わりに、逆電気透析によって行われてもよい。例えば、使用済み希薄溶液（ＲＥＤバッテリから供給）は、塩が分解する温度（例えば、重炭酸アンモニウムは６０℃付近でCO_2とアンモニアに分解する）より高い温度に加熱され得る。溶液が加熱されると、塩が分解し、使用済み希薄溶液がガス状生成物として残り、使用済み希薄溶液中の塩の濃度が低下して、再生された希薄溶液が生成される。真空またはオプションのファンの適用により、ガス状生成物を冷たいストリームに移動させるのに役立つ。ガス状生成物（例えば、CO_2とアンモニア）を冷水流に送り込むと反応して固体の塩の形に戻って沈殿する（例えば、CO_2アンモニアと冷水が重炭酸アンモニウム塩になる）。溶液中の沈殿した固体塩（例えば、重炭酸アンモニウム）は、ＲＥＤバッテリ内の濃厚塩分溶液に移送され得る。このプロセスでは、使

用済み希薄溶液および冷水ストリームのそれぞれの加熱および冷却にヒートポンプが使用され得る。ヒートポンプは、本明細書に開示される逆電気透析システムの他の工程で使用されるヒートポンプと同じであっても異なっていてもよい。任意選択的に、ガス状生成物が冷たいストリーム中で沈殿するときに、熱エネルギーを抽出し、使用済み希薄溶液に伝達して塩を分解してもよい。さらに、熱エネルギーを使用して沈殿溶液の温度を上昇させ、溶解度を高め、超濃厚溶液を得ることもできる。図１０は、ＲＥＤバッテリと塩分解プロセスの容器との間の溶液の流れを示す塩分解プロセスの例であり、以下でさらに詳しく説明する。塩分解プロセスを適用することで、塩分解を組み込むことで濃厚塩分溶液と希薄塩分溶液の再生が可能になる。

【００４４】

逆電気透析システムには第２のセルが含まれ得る。第２のセルには、カチオンを選択的に透過するように構成された第３の膜と、アニオンを選択的に透過するように構成された第４の膜とが含まれ、第４の膜は第３の膜から離間して配置される。第２のセルには、第３の膜と第４の膜の間に配置された第２の濃厚塩分溶液が含まれ、第３の膜と第４の膜は、第２の濃厚塩分溶液を第２希薄塩分溶液から分離する。濃厚塩分溶液には吸熱溶液が含まれ得、第２の濃厚塩分溶液には発熱溶液が含まれ得、ヒートポンプは濃厚塩分溶液と第２の濃厚塩分溶液との間で熱を伝達するように構成され得る。

【００４５】

逆電気透析システムには膜蒸留システムが含まれ得る。膜蒸留（ＭＤ：Ｍembrane Ｄistillation）は熱駆動の分離プロセスであり、液体は排除され、蒸気分子のみが多孔質疎水性膜を透過する。ＭＤプロセスの原動力は、疎水性膜を横切る温度差によって生じる蒸気圧差である。疎水性膜は本質的に疎水性であるか、またはその表面が疎水性になるように改質されている必要がある。ＭＤ用の疎水性膜は、ポリテトラフルオロエチレン（ＰＴＦＥ）、ポリプロピレン（ＰＰ）、ポリフッ化ビニリデン（ＰＶＤＦ）、またはそれらの任意の組み合わせであり得る。疎水性膜の大きな表面積は、ＲＥＤスタックに似たサンドイッチ型セルスタック設計で使用できる。疎水性膜のスタックには、電極のない１種類または複数種類の疎水性膜のみが含まれ得る。ヒートポンプを利用すると、加熱と冷却を同時に行い、強力な温度勾配駆動力を作り出すことで、ＭＤプロセスの効率を高めることができる。例えば、ヒートポンプは、疎水性膜の片側で使用済み濃厚溶液または使用済み希薄溶液を約４０℃～約８０℃に加熱すると同時に、疎水性膜のもう一方の側で冷却ストリーム熱交換器、冷媒付き蒸発器、または冷水などの冷却手段を提供して希薄溶液を生成し、たとえば周囲条件、地熱、太陽熱、産業廃熱などから熱を調達するために使用できる。膜蒸留により、ヒートポンプの力を活用して、本明細書に開示する逆電気透析システムで使用できる塩勾配を効率的に生成できる。ヒートポンプは、本明細書に開示される逆電気透析システムの他の工程で使用されるヒートポンプと同じであっても異なっていてもよい。膜蒸留は、ＲＥＤバッテリに導入するための濃厚塩分溶液、およびオプションで希薄塩分溶液を生成するために使用できる。図１３は、ＭＤシステムとＲＥＤシステムの間の溶液の流れを示す膜蒸留システムの例である。膜蒸留を組み込むことで、濃厚塩分溶液および希薄塩分溶液の再生が可能になる。

【００４６】

ここで利用される膜蒸留プロセスは、直接接触ＭＤ（ＤＣＭＤ）、エアギャップＭＤ（ＡＧＭＤ）、真空ＭＤ（ＶＭＤ）、スイーピングガスＭＤ（ＳＷＧＭＤ）、真空多重効用膜蒸留（Ｖ－ＭＥＭＤ）、透過ギャップＭＤ（ＰＧＭＤ）、またはそれらの組み合わせであり得る。

【００４７】

膜蒸留システムは、第１または第２の塩分溶液の少なくとも一部を含む容器であって、蒸気の透過を可能にする疎水性膜で覆われている容器と、容器を加温し、および膜の反対側を冷却するように構成されたヒートポンプとを含み得る。膜蒸留システムは、加温後に膜に塩勾配を形成し、容器内に第３の塩分溶液（すなわち、濃厚な、または濃縮された）を生成するように構成され得る。膜蒸留システムには、容器を加温するための第２のヒー

トポンプと、オプションで、容器と膜の反対側にある冷却デバイスとが含まれ得る。冷却デバイスは、冷たいストリーム、熱交換器、冷媒ループなどであり、あるいは、例えば蒸気を凝縮して液体に戻すなどの動作をする。図１３は膜蒸留プロセスの例であり、疎水性膜が温かい濃厚溶液と冷たい希薄溶液の間に塩勾配を形成する様子を示し、これについては、以下でさらに詳しく説明する。膜蒸留システムは、蒸気の透過を可能にする疎水性膜によって分離された第１または第２の塩分溶液の少なくとも一部を含むことができる。この実施形態では、溶液は疎水性膜の両側に供給され、ヒートポンプは膜の片側を温めるように構成され、一方、溶液を冷却するために膜の反対側に冷却デバイスが設けられる。

【００４８】

逆電気透析システムには、米国特許第９，１１２，２１７号に開示されている微生物逆電気透析電解セル（ＭＲＥＣ：microbial reverse-electrodialysis electrolysis cell）が含まれ、その全文が本明細書に参照により組み込まれている。この実施形態では、微生物が電気を生成してＲＥＤシステムを駆動する。ＭＲＥＣには、ＲＥＤバッテリ内に配置された複数の電気発生微生物が含まれ、アノードでの有機物の酸化とカソードでの酸素の還元によって水素と電気の生成を補助し得る。微生物は暖かい環境で繁殖するため、ヒートポンプを使用すると、微生物が電極の過電圧を除去する能力が向上し得る。電極過電圧は、熱力学的に不利な電極反応により、大きなエネルギー損失につながる。さらに、ヒートポンプによって供給される熱エネルギーを活用することで、反応速度が向上し、ＲＥＤで同じ量のエネルギーを生成するために必要な膜の量が削減される。たとえば、住宅環境では、浄化槽からの下水などの有機廃棄物は、微生物逆電気透析を利用して使用可能なエネルギーに変換され得る。本明細書に開示された塩勾配熱エンジンシステムのいずれかに紫外線を使用することで、システム内の微生物の増殖や汚染を制限できる。

【００４９】

塩勾配熱エンジンシステムでは、ＲＥＤとＰＲＯは連続的にまたはバッチシステムで一緒に動作できる。バッチシステムで動作する場合、逆電気透析システムには、複数の沈殿装置、および／または並列または積み重ねられた配置の複数のタンクが含まれ得る。バッチシステムで操作する場合、沈殿装置、タンク、スタックは全体として異なるサイズであり、直列、並列、またはその両方の組み合わせで操作され、逆流、交差流、または並流で操作され得る。例えば、システムには、それぞれが再生された希薄溶液を生成する２つ以上の沈殿装置が含まれ、これらの沈殿装置はＲＥＤバッテリに流入する前に結合される。および／または、システムには、それぞれが再生された濃厚塩分溶液を生成する２つ以上の溶解タンクが含まれ、これらの溶解タンクがＲＥＤバッテリに流入する前に結合される。バッチシステムとして動作する場合、効率を高めるために、塩分溶液がＲＥＤバッテリスタックを複数回（複数パス）通過してよい。これにより、システムの残りの部分の動作を維持しながら、たとえば保守のためにシステムの一部の動作を停止できるようになる。

【００５０】

一実施形態では、１つの容器が沈殿装置（例えば、使用済み溶液から塩を沈殿させ、再生された希薄溶液を除去する）と溶解タンク（例えば、沈殿した塩を含む容器に使用済み溶液を加え、その後、溶液に塩を溶解して再生された濃厚溶液を作ることができる）の両方であってもよい。ここでは、沈殿した塩を除去する代わりに、塩を容器内に残し、再生された濃厚塩分溶液を作るために利用する。

【００５１】

濃厚溶液と希薄溶液は別々のループになる。しかしながら、２つの溶液は、制御された状態で混合され得る（ＲＥＤ／ＰＲＯスタック内での制御された混合）。さらに、ＲＥＤ／ＰＲＯスタック内の濃厚溶液と希薄溶液の間で、制御されていない混合浸透（水流）が発生し得る。浸透により、希薄溶液中の水の一部がＲＥＤ／ＰＲＯスタック内の濃厚溶液に移送または移動し得る。浸透によるこの水の動きにより、希薄液タンクと濃厚液タンク内の総量のバランスをとるように制御された流れが生じ得る。これがなければ、濃厚液タンク内の体積は増加し続ける。ループ間の制御された混合または流れは、両方のループに同じ体積の溶液が含まれるように動作するバルブを組み込むことによって制御できる。

【００５２】
熱エネルギーから電力を生成する方法が開示される。この方法は、選択透過性膜によって第１の塩分溶液を第２の塩分溶液から分離することを含む。この方法は、第１の塩分溶液および／または第２の塩分溶液によって熱源から熱エネルギーを受け取ることを含む。この方法は、第１の塩分溶液と第２の塩分溶液を制御された方法で混合し、第１の塩分溶液と第２の塩分溶液との間の塩分濃度差が減少するにつれて、少なくとも一部の塩分濃度勾配エネルギーを電力として捕捉することを含む。この方法は、ヒートポンプによって第１の塩分溶液から第２の塩分溶液に熱エネルギーを伝達し、第１の塩分溶液と第２の塩分溶液との間の塩分濃度差を増加させることを含む。
【００５３】
この方法は、逆電気透析を使用して塩分濃度勾配エネルギーを捕捉することを含み得る。この方法は、発電機を駆動する、塩分濃度勾配エネルギーの圧力遅延浸透を捕捉することをさらに含んでもよい。いくつかの実施形態では、第１の塩分溶液および第２の塩分溶液のそれぞれは、閉鎖系内で循環する。第１の塩分溶液から第２の塩分溶液に熱エネルギーを伝達すると、第１の塩分溶液に塩が沈殿し得る。この方法は、沈殿した塩を第２の塩分溶液に導入し、第１の塩分溶液と第２の塩分溶液との間の塩分濃度差を増加させることを含むことができる。この方法は、生成された電力の一部を使用して電気分解により水素ガス、および必要に応じて酸素ガスを生成することを含み得る。いくつかの例では、第１の塩分溶液から第２の塩分溶液に熱エネルギーを伝達することは、第２の塩分溶液よりも低温の第１の塩分溶液から熱エネルギーを伝達することを含む。
【００５４】
この方法は、さらに、１つ以上の熱源または第１の塩分溶液および／または第２の塩分溶液の状態の１つ以上の測定値に基づいて、１つ以上の熱源から第１の塩分溶液および／または第２の塩分溶液への熱の伝達を調整することを含むことができる。熱源には、地熱、産業廃熱（発電所など）、輸送車両（自動車、船、トラックなど）からの排気、太陽熱などの１つ以上が含まれる。
【００５５】
この方法は、閉鎖系内の第１の塩分溶液と第２の塩分溶液の循環の流れを逆転させることを含むことができる。これは、閉ループシステムの両端にソレノイドバルブを適用することで実現できる。循環の流れを逆転させることによってエネルギーの生成が停止されることはなく、膜は反対側の両側面でほぼ均等に摩耗して、選択透過性膜の使用期間が延長され得る。
【００５６】
以下の説明では、当業者にとって明らかな開示された技術の従来の特徴については省略するか、または簡単に説明するにとどめる。様々な実施形態への言及は、本明細書に添付された特許請求の範囲を制限するものではない。さらに、本明細書に記載されている例はいずれも非限定的なものであり、添付の請求項の多くの可能な実施形態のうちのいくつかを単に示しているに過ぎない。さらに、本明細書に記載の特定の特徴は、可能なさまざまな組み合わせおよび順列のそれぞれにおいて、記載されている他の特徴と組み合わせて使用できる。当業者であれば、本発明を通常の実験と組み合わせて使用することで、実施例または実施形態に具体的に開示されていない他の結果を達成する方法を知るであろう。
【００５７】
また、説明に使用されている用語は、特定のバージョンまたは実施形態を説明するためだけのものであり、添付の請求項によってのみ制限される本開示の範囲を制限することを意図したものではないことも理解される。本明細書において特に定義されていない限り、すべての用語は、明細書から暗示される意味、ならびに当業者によって理解される意味、および／または辞書、論文などで定義されている意味を含め、可能な限り広範に解釈されるものとする。特に定義されていない限り、本明細書で使用されるすべての技術用語および科学用語は、当業者によって一般的に理解される意味と同じ意味を持つ。本明細書に記載されているものと類似または同等の方法、装置、および材料はいずれも、本開示の実施

形態の実施または試験に使用できるが、ここでは好ましい方法、装置、および材料について説明する。本明細書で言及されているすべての参考文献は、その全体が参照により組み込まれる。

【００５８】

本明細書および添付の請求項で使用される単数形「a」、「an」、および「the」は複数形を含み、文脈により明らかに別のことが示されていない限り、特定の数値への言及には少なくともその特定の値が含まれる。本明細書では、範囲は「約」または「およそ」ある特定の値から、および／または「約」または「およそ」別の特定の値までと表現され得る。このような範囲が表現される場合、別の実施形態には、１つの特定の値からおよび／または他の特定の値までが含まれる。同様に、先行詞「約」の使用により値が近似値として表現される場合、特定の値が別の実施形態を形成することが理解されるであろう。また、例えば、水平、垂直、上、上方、下方、下、左、右などのすべての空間参照は、説明目的のみであり、開示の範囲内で変更できることも理解される。たとえば、「上方」と「下方」という表現は相対的なものであり、他方の文脈でのみ使用され、必ずしも「優れている」と「劣っている」という意味ではない。一般的に、異なる特徴または部品の類似した空間参照は、類似した空間方向および／または配置を示す。すなわち、各「第１の端部」は、デバイスの同じ端に位置または向けられている。

【００５９】

本開示で説明するシステムおよび方法は、一般的に、２つの溶液を正確に調整し制御して混合することにより、２つの溶液間の塩濃度差から使用可能なエネルギーを効率的に抽出することに向けられている。システムは、電力を直接生成したり、水素ガスまたは水素ガスと酸素ガスとを生成したりするために使用でき、水素ガスまたは水素ガスと酸素ガスとは、機械的（および／または電気的）動力を生成するための燃料として、あるいは、圧力および／または重力による位置エネルギーを生成するために使用でき、圧力および／または重力による位置エネルギーはいずれも、タービンを駆動したり、その他の有用な作業を実行したりするために使用できる。システムにはさまざまなサイズと出力がある。いくつかの実施形態は、単一の住宅または商業ビルの規模で電力を生成するように構成されてもよい。いくつかの例では、システムは、地域または国の電力網に電力を供給する産業用発電システムを含む。いくつかの例では、システムは、電力を生成するだけでなく（または電力を生成する代わりに）、例えば車両群に電力を供給するために水素燃料を供給する。

【００６０】

図１は、塩分濃度勾配から電気を生成するためのシステム１００の一例を示す。例示のシステム１００には、逆電気透析（ＲＥＤ：reverse electrodialysis）バッテリ１１０が含まれている。ＲＥＤバッテリ１１０には、１つ以上のセル１５０、１５０ａ、１５０ｂによって分離されたカソード１１２とアノード１１４が含まれる。各セル１５０には、塩溶液１３０、すなわち、溶媒と塩の液体混合物が含まれており、この塩は、アニオン性およびカチオン性の構成成分へと溶解されており、イオン性構成成分は互いに自由に移動できる。各イオンは単一の電荷を持つこともあれば、複数の電荷を持つこともある。いくつかの例では、溶媒と溶質はそれぞれ水と塩化ナトリウム（ＮａＣｌ）である。ＮａＣｌの解離イオンはNa^+とCl^-であり、それぞれ単一の電荷を持つ。互いに自由に移動できるアニオンとカチオンを含む液体混合物を形成する他の溶媒と溶質も使用できる。溶媒は、水、アルコール、ベンゼン、グリセリンを含むがこれらに限定されない有機または無機の液体であり得る。塩溶液は発熱性または吸熱性であってもよい。つまり、溶液が形成されると、塩素酸カリウム（$KClO_3$）または硝酸カリウム（KNO_3）が水に溶解する場合のように溶液は熱を吸収するか、塩化カルシウム（$CaCl_2$）が水に溶解する場合のように熱を放出する。

【００６１】

図１に示すように、塩溶液１３０は、選択透過性膜１０４、１０４ａ～ｄによって希薄溶液１４０（すなわち、塩溶液よりも溶質濃度が低い溶液）から分離される。塩溶液１３

０は、セル１５０の一方の側ではカチオン交換膜（１０４ａ、１０４ｃ）によって希薄溶液１４０から分離され、セル１５０のもう一方の側ではカチオン交換膜（１０４ａ、１０４ｃ）から離間したアニオン交換膜（１０４ｂ、１０４ｄ）によって希薄溶液１４０から分離される。塩溶液１３０は、カチオン交換膜（１０４ａ、１０４ｃ）とアニオン交換膜（１０４ｂ、１０４ｄ）との間の空間に配置される。これらの膜１０４がない場合、塩溶液１３０は希薄溶液１４０に自由に拡散し、２つの溶液の塩分濃度が均等になる。負に帯電したイオンがアノード１１４に向かって移動し、正に帯電したイオンがカソード１１２に向かって移動すると、セル１５０を横切って電位差（電圧）が発生する。バッテリ１１０の合計電圧には、各セル１５０の電圧が含まれる。

【００６２】

イオンは膜１０４の近くに蓄積する傾向があり得る。この蓄積は発電プロセスを妨げ得る。この蓄積に対抗するために、システム１００は、塩溶液１３０および／または希薄溶液１４０に攪拌力または混合力を適用し、イオンが溶液１３０、１４０全体にわたってより均一に（均質に）分散されるようにできる。いくつかの例では、システム１００は、１つ以上の溶液１３０、１４０に音波振動を適用して、溶液１３０、１４０の均質性を高める。システム１００は、イオンが蓄積するセル１５０の領域、例えば１つ以上の膜１０４の近傍に音波振動を適用して、１つ以上の溶液１３０、１４０の均質性を効果的に高めることができる。

【００６３】

図１に示すように、電極（例えば、カソード１１２、アノード１１４）は希薄溶液１４０に囲まれている。あるいは、電極１１２、１１４は、リンス溶液によって囲まれ、リンス溶液が電極１１２、１１４間の閉ループで循環され、リンス溶液が塩溶液１３０および希薄溶液１４０から分離されるようにしてもよい。このような配置では、外側の選択透過性膜１０４（すなわち、ＲＥＤバッテリ１１０の各電極１１２、１１４に最も近い膜１０４）は同じタイプ（例えば、両方ともアニオン交換膜、または両方ともカチオン交換膜）である。例えば、カチオン交換膜１０４は、カソード１１２を囲むリンス溶液を塩溶液１３０から分離でき、また、カチオン交換膜１０４は、アノード１１４を囲むリンス溶液を希薄溶液１４０から分離できる。この配置では、塩溶液１３０からカソード１１２を囲む電解質に移動するカチオンは、アノード１１４に再循環され、カチオンはカチオン交換膜１０４を通過して希薄溶液１４０に入り得る。同様に、それぞれの電極１１２、１１４に最も近い膜１０４は両方ともアニオン交換膜であってもよく、その場合、アニオンは（リンス溶液内で）アノード１１４からカソード１１２に循環され、アニオンはアニオン交換膜１０４を通過して希薄溶液１３０に入る。どちらの構成でも、還元反応がカソード１１２で起こり、バランスをとる酸化反応がアノード１１４で起こる。いくつかの例では、リンス溶液には、電極１１２、１１４での反応を強化するための支持電解質が含まれている。この配置では、両方の電極１１２、１１４が同じ電解質（リンス溶液）に囲まれているため、リンス溶液が電極１１２、１１４間に抵抗負荷を形成し、その負荷を通じて電流が流れ、ＲＥＤバッテリ１１０の出力が低下し得る。いくつかの例では、リンス溶液および／または関連する循環システムは、ＲＥＤバッテリ１１０の出力負荷またはＲＥＤバッテリ１１０のセル１５０の内部抵抗に対して高い抵抗を持つように構成され得る。例えば、リンス溶液循環経路は比較的長く構成されてもよい。

【００６４】

バッテリ１１０によって生成される電流はイオンの移動速度の関数であり、イオンの移動速度は、塩分濃度勾配（すなわち、塩溶液１３０と希薄溶液１４０の間の塩分濃度差）、（少なくとも）塩溶液１３０の温度、および膜１０４の特徴を含むいくつかの要因の関数である。塩溶液１３０の温度は、高温でのイオンの運動エネルギーの増加により、塩溶液１３０内のイオンが膜１０４に向かって（および膜１０４を横切って）移動する速度に影響する。ネルンストの式によれば、生成される電力は、塩溶液１３０と希薄溶液１４０の塩分分配比の対数の関数である。しかしながら、イオンが塩溶液１３０から希薄溶液１４０に移動するにつれて、希薄溶液１４０の塩分濃度が増加し、塩溶液１３０の塩分濃度

は減少する。したがって、「使用済み」塩溶液１３０と「使用済み」希薄溶液１４０の間の勾配は減少する。バッテリ１１０の電流（したがって、電力出力）を維持するために、使用済み塩溶液１３０および／または使用済み希薄溶液１４０をリフレッシュすることによって、塩分濃度差を継続的に再生できる。このため、使用済み塩溶液１３０および／または使用済み希薄溶液１４０は、ＲＥＤバッテリ１１０と再生システムとの間で（たとえば、閉ループ内で）循環され得る。あるいは、使用済み塩溶液１３０および／または使用済み希薄溶液１４０は、例えば、川や海、湾などの自然の供給源から継続的に補充されてもよい。

【００６５】

図２は再生システム２００の一例を示す。例示の再生システム２００には、塩除去サブシステム２１０が含まれている。再生システム２００は、使用済み希薄溶液１４０を閉ループで循環させ、ＲＥＤバッテリ１１０から塩除去サブシステム２１０を経由して、リフレッシュされた希薄溶液１４０としてＲＥＤバッテリ１１０に戻す。いくつかの例では、塩除去サブシステム２１０は、希薄溶液１４０の溶媒を蒸発させて凝縮し、凝縮した溶媒をリフレッシュされた希薄溶液１４０としてＲＥＤバッテリ１１０に戻して循環させる。システムは、残りの希薄溶液１４０が溶解限界に近づくか、溶解限界を下回るまで溶媒を蒸発させ得る。残った希薄溶液１４０は、使用済み塩溶液１３０に再導入され、塩溶液１３０をリフレッシュできる。いくつかの例では、塩除去サブシステム２１０は、塩溶液１３０の溶媒を蒸発させて凝縮し、凝縮した溶媒をリフレッシュされた希薄溶液１４０としてＲＥＤバッテリ１１０に戻して循環させる。閉ループＲＥＤバッテリ１１０では、塩除去サブシステム２１０は、塩溶液１３０と希薄溶液１４０の両方を蒸発させて凝縮し、両方の溶液から凝縮した溶媒をリフレッシュされた希薄溶液１４０としてＲＥＤバッテリ１１０に戻して循環させ、残りの溶液をリフレッシュされた（濃縮された）塩溶液１３０としてＲＥＤバッテリ１１０に戻して循環させることができる。いくつかの例では、塩除去サブシステム２１０は、蒸発ではなく（または蒸発に加えて）、塩沈殿のプロセスを通じて希薄溶液１４０の塩分濃度を低下させ、ＲＥＤバッテリ１１０内の塩溶液１３０と希薄溶液１４０との間の塩分濃度差を再生する。塩分濃度勾配を再生する他の方法としては、例えば共晶冷却結晶化（ＥＣＣ：Eutectic Chilled Crystallization）によって使用済み希薄溶液１４０を凍結することや、精密濾過および／または膜分離を使用することが挙げられる。いくつかの例では、複数の方法が有利に組み合わせられる。例えば、沈殿段階または凍結段階は、使用済み希薄溶液１４０から塩を分離するために必要な総エネルギーを最適化するために、後続の膜濾過段階によって強化されてもよい。

【００６６】

図２に示すように、例示の塩除去サブシステム２１０は、塩を沈殿させることによって使用済み希薄溶液１４０から塩を除去する。一般的に、溶媒が溶質を溶かす能力は温度の上昇とともに増加する。逆に、溶液の温度を飽和点（溶液の塩分濃度が最大になる温度）と呼ばれる温度より下げると、通常は溶質が沈殿する。例示の塩除去サブシステム２１０には、使用済み希薄溶液１４０を飽和点未満の温度まで冷却するように構成された熱伝達デバイス２１６が含まれている。使用済み希薄溶液１４０が発熱溶液である場合、塩が沈殿するにつれて希薄溶液１４０はさらに冷却される。いくつかの例では、熱伝達デバイス２１６は、リフレッシュされた希薄溶液１４０を、例えば、冷却前の使用済み希薄溶液１４０の温度まで加熱する。つまり、熱伝達デバイス２１６は、図２の熱伝達デバイス２１６に関連付けられた矢印で示されているように、使用済み希薄溶液１４０から除去された熱エネルギーの一部またはすべてを、リフレッシュされた希薄溶液１４０に戻して伝達することができる。このようにして、ＲＥＤバッテリ１１０に入るリフレッシュされた希薄溶液１４０の温度は、ＲＥＤセル１５０から出る使用済み希薄溶液１４０の温度と実質的に同じになる。

【００６７】

例示の塩除去サブシステム２１０では、沈殿した塩２１２は、例えば、高密度の固体の形で、塩除去サブシステム２１０の底に沈殿する。いくつかの例では、塩除去サブシステ

ム２１０には、沈殿した塩２１２を塩除去サブシステム２１０から運び出すように構成された搬送デバイス２３０が含まれる。搬送デバイス２３０は、ベルト、ポンプ、アルキメデスのねじ、または沈殿した塩２１２を塩除去サブシステム２１０から物理的に輸送するように構成された他のデバイスまたはシステムであってもよい。例えば、塩が固体である場合、搬送デバイス２３０は固体材料を輸送できる機械的システムであってもよい。いくつかの例では、除去された塩２１２は塩補充サブシステム２２０に搬送され、そこで塩が使用済み塩溶液１３０に再導入（例えば、再溶解）され、使用済み塩溶液１３０がリフレッシュされる。再生システム２００が希薄溶液１４０を循環させるのと同様に、再生システム２００は、使用済み塩溶液１３０を閉ループでＲＥＤバッテリ１１０から塩補充サブシステム２２０を経由してＲＥＤバッテリ１１０に循環させ、リフレッシュされた塩溶液１３０として戻すこともできる。塩補充サブシステム２２０は、塩除去サブシステム２１０によって除去された塩を再溶解するプロセスを通じて塩溶液１３０の塩分濃度を増加させ、それによってＲＥＤバッテリ１１０内の塩溶液１３０と希薄溶液１４０との間の塩分濃度差を再生できる。

【００６８】

前述のように、溶媒が溶質を溶かす能力は一般に温度の上昇とともに増加する。したがって、塩溶液１３０の温度が高いほど、塩分濃度が高くなり、塩溶液１３０と希薄溶液１４０の塩分濃度差も大きくなる。溶解度曲線は、特定の量の溶媒が溶解できる溶質の量を温度の関数としてプロットしたものである。いくつかの例では、溶液に関連付けられた溶解度曲線は直線である。つまり、溶媒が溶解できる溶質の量は、広範囲の温度（たとえば、溶媒が液体である範囲全体）にわたって温度変化に伴って直線的に変化し得る。いくつかの例では、溶媒が溶解できる溶質の量は、温度の変化に応じて非線形に変化する。このような場合、溶媒が溶解できる溶質の量は、狭い温度範囲内であっても、例えば５倍以上に増加し得る。システム１００は、塩溶液１３０の塩分濃度が高い温度範囲内でＲＥＤバッテリ１１０を動作させるように構成できる。追加の塩を溶解するには、塩溶液１３０に追加の熱を伝達する必要があり得る。さらに、システム１００は、塩溶液１３０が溶解点（solubility point）未満に冷却された場合に望ましくない沈殿を回避するために、「安全マージン」を提供するために、ＲＥＤバッテリ１１０の温度を溶解点より上の点に維持してよい。

【００６９】

塩補充サブシステム２２０は、例えば追加の塩を溶解できるように、塩溶液１３０の温度を上げるように構成された１つ以上の熱源から熱エネルギーを受け取ることができる。例えば、塩補充サブシステム２２０は、塩除去サブシステム２１０の熱伝達デバイス２１６から廃熱を受け取ることができる。塩補充サブシステム２２０は、図２の塩補充サブシステム２２０に関連付けられた矢印で示されているように、他の熱源からも熱エネルギーを受け取るように構成することもできる。熱源の例には、地熱、産業廃熱、太陽熱、燃焼熱、蒸気圧縮サイクル廃熱（ヒートポンプなど）、化学反応熱、またはタービンを駆動するなどの従来の手段では容易にまたは効率的に使用可能な形式に変換されないその他の形式の熱が含まれるが、これらに限定されない。

【００７０】

熱最適化システムは、本明細書に記載の発電システム１００による熱エネルギーの使用を最適化するために使用できる。熱最適化システムについては、米国特許第１１，０６７，３１７号にさらに記載されており、その内容全体が本明細書に参照により組み込まれる。熱最適化システムは、１つ以上の熱源から１つ以上のヒートシンクに熱エネルギーを伝達する。ヒートシンクの例としては、一年の涼しい季節の居住空間やオフィス空間の内部、温水プール、サウナ、スチームルームなどが挙げられる。これらの例では、システムは、ヒートシンクへの熱エネルギーの伝達を調整することによって温度を調節するように構成され得る。たとえば、熱最適化システムは、加熱された空間および／または加熱された水の温度を監視し、１つ以上のＰＩＤフィードバックループおよび／またはエキスパートシステムを実行するなどの（ただし、これらに限定されない）プロセッサベースのロジッ

クを使用して熱の伝達を調整できる。暑い季節には、内部空間が熱源となり得る。この場合、プロセッサベースの調整システムは、これらの空間からの熱エネルギーの伝達を調整して温度を調整できる。

【００７１】

図３は、熱最適化システム３００の一例を示す。例示の最適化システム３００には、前述のように、１つ以上の熱源３０５、１つ以上のヒートシンク３１０、および１つ以上のＲＥＤバッテリ１１０が含まれる。いくつかの例では、発電システム１００には、ＲＥＤバッテリ１１０の代わりに（またはそれに加えて）、圧力遅延浸透（ＰＲＯ：pressure-retarded osmosis）システム（詳細は以下で議論する）、または塩分濃度勾配から電気を生成するための他のシステム（たとえば、容量混合（ＣＡＰ：capacitive mixing））が含まれる。最適化システム３００には、ある場所から別の場所に熱を移動するように構成された１つ以上のポンプ３２０が含まれ得る。いくつかの例では、最適化システム３００は、蒸気圧縮冷凍を使用して熱源からヒートシンクに熱を伝達する。つまり、最適化システム３００は、冷媒を圧縮して、冷媒からヒートシンクに熱エネルギーを（例えば、熱エネルギーを吸収および分配する目的で構成された熱交換器によって）伝達できる。最適化システム３００は、圧縮された冷媒を熱源に（例えば、目的に合わせて構成された配管を介して圧縮された冷媒をポンプ移送することによって）移送し、冷媒を膨張させて熱源から熱エネルギーを（例えば、熱源から熱エネルギーを供給する目的で構成された熱交換器を介して）吸収する。蒸気圧縮冷凍システムには、熱エネルギーの伝達方向を変える逆転弁またはその他の制御可能なデバイスが含まれ得る。最適化システム３００は、逆転弁を制御して熱伝達の方向を変更し、例えば、周囲温度が比較的高い日中に内部空間を冷却し、その後、周囲温度が下がる夜間に熱の流れを逆転させて内部空間を加熱できる。

【００７２】

熱最適化システム３００の動作は、例えば図７に関して以下で説明するように、プロセッサを備えた制御システム３５０によって調整されてもよい。プロセッサは、例えば、現在の状況に基づいて、制御システム３５０に熱源３０５、ヒートシンク３１０、およびＲＥＤバッテリ１１０（あるいはＰＲＯシステムまたはＣＡＰシステム）間の熱伝達を調整させる命令を実行する。制御システム３５０は、発電システム１００内、例えば塩除去サブシステム２１０および塩補充サブシステム２２０などのサブシステム間の熱伝達を調整し得る。制御システム３５０は、熱源３０５、ヒートシンク３１０、およびＲＥＤバッテリ１１０（あるいはＰＲＯまたはＣＡＰシステム）との間で信号３５２、３５２ａ～ｃを送信したり受信したりできる。制御システム３５０は、例えば熱源３０５、ヒートシンク３１０、およびＲＥＤバッテリ１１０（あるいはＰＲＯシステム）の１つ以上の条件または状態を示す信号３５２を受信できる。例えば、信号３５２は、温度および／または圧力などの測定量を示す場合もあれば、加熱された内部空間の目標温度などのユーザ入力を示す場合もある。発電システム１００に関連する温度には、それぞれＲＥＤバッテリ、塩除去サブシステム２１０、および／または塩補充サブシステム２２０内の塩溶液１３０および希薄溶液１４０の温度が含まれる。

【００７３】

制御システム３５０は、制御信号を送信するために使用され、例えば、圧縮機および／またはポンプの速度、逆転弁の方向、塩搬送／移送デバイス２３０の動作速度などを制御し、指示された目標温度および／または電力出力を達成する。例えば、制御システム３５０は、塩溶液の温度をその溶解限界またはその近くになるように調整できる。このようにして、制御システム３５０は、現在の状況とユーザ設定に基づいて、複数の熱源３０５およびヒートシンク３１０間の熱伝達を同時に効率的に制御および調整しながら、発電システム１００の出力を最適化できる。さらに、制御システム３５０は、１つ以上のヒートポンプ３２０によって生成される蒸気圧縮サイクルの廃熱のレベルに影響を与え、廃熱を１つ以上のヒートシンクおよび／またはＲＥＤバッテリ１１０に伝達し、それによって、自身の廃熱を効率的に回収して発電やその他の目的に使用できる。このようにして、最適化システム３００は、さまざまな動的条件（たとえば、年間を通じてまたは１日を通じて条

件が変化する）下で、および／またはＲＥＤバッテリ１１０の需要に基づいて、さまざまな熱源のいずれかまたはすべてから熱を伝達できる。さらに、制御システム３５０は、余剰エネルギーを蓄えるように発電システム１００を構成することもできる。例えば、電気エネルギーの需要が低い場合、制御システム３５０は、ＲＥＤバッテリ１１０が、そのエネルギー出力の一部を、生成時に使用される電気エネルギーとしてではなく、後で燃料として使用される水素ガスとして生成するように設定できる。さらに、ＰＲＯシステムの場合、制御システム３５０は、たとえばタービンを通る流量を制御することによって、圧力が電気に変換されるレートを構成できる。このようにして、制御システム３５０は、電力需要が低いときに、例えば重力位置エネルギーの形で一部のエネルギーを保持し、電力需要が高いときに、より多くの重力位置エネルギーを電気エネルギーに変換できる。

【００７４】

いくつかの実施形態では、システム１００には、上記のＲＥＤバッテリ１１０の代わりに（またはそれに加えて）ＰＲＯシステムが含まれる。図４は、ＰＲＯシステム１２０の例を示している。例示のＰＲＯシステム１２０には、上記のＲＥＤバッテリ１１０と同様に、選択透過性膜１０４ｃによって希薄溶液１４０から分離された塩溶液１３０も含まれている。しかし、ＰＲＯシステムは、塩溶液１３０と希薄溶液１４０との間の塩分濃度差から直接電力を生成するのではなく、重力による位置エネルギーの形をとり得る圧力を生成する。したがって、ＰＲＯシステムは、電極を含まないものであり得る。ＰＲＯシステムの選択透過性膜は、溶液間の塩分濃度差を減少させるために、例えば希薄溶液１４０から塩溶液１３０へ、溶質ではなく溶媒が優先的に膜を通過できるように構成できる。ＰＲＯシステムでは、選択透過性膜は、水は透過できるが塩分は透過できない中空糸膜であり得る。ＰＲＯシステムでは、選択透過性膜は、中空糸膜、スパイラル巻き膜、平板膜、またはそれらの組み合わせであってもよい。その結果、溶媒が膜１０４ｃを通過して塩溶液１３０に移動するにつれて、塩溶液１３０内の溶媒の圧力および／または平均高さが時間の経過とともに増加し得る。システム１００は、例えば、（上昇した）塩溶液１３０をタービン、パドルホイール、または電気を生成するための他の適切な機構に導くことによって、塩溶液１３０の増大した圧力および／または重力による位置エネルギーを、電気エネルギーなどのより使用可能な形態の電力に変換できる。次に、システム１００は、使用済み塩溶液１３０を、上記の塩除去サブシステム２１０と同様の溶媒除去システムに通して循環させることができる。たとえば、溶媒回収システムは、蒸発（オプションで、沸点を下げるために部分真空である）とその後の凝縮によって余分な溶媒を除去できる。溶媒回収システムは、その後、凝縮した溶媒をリフレッシュされたまたは「補給（ｍａｋｅ ｕｐ）」希薄溶液１４０としてＰＲＯシステム１２０に戻して循環させ、リフレッシュされた塩溶液（余分な溶媒が除去された後）をリフレッシュされた塩溶液１３０としてＰＲＯシステム１２０に戻して循環させる。あるいは（またはさらに）、溶媒回収システムは、使用済み塩溶液１３０から溶質を沈殿させてから、使用済み塩溶液を「補給」希薄溶液１４０としてＰＲＯシステム１２０に戻して循環させ、沈殿した塩を、例えば図２の搬送デバイス２３０を介して塩溶液１３０に戻して導入してもよい。上述のＲＥＤバッテリ１１０と同様に、ＰＲＯシステム１２０によって生成される電力のレート（または速度）は、少なくとも塩溶液１３０と希薄溶液１４０との間の塩分濃度差と、少なくとも塩溶液１３０の温度の関数である。

【００７５】

ＲＥＤシステムは、ＲＥＤバッテリおよび／またはＰＲＯシステムの代わりに（またはそれらに加えて）容量式（ＣＡＰ）システムであり得る。ＣＡＰシステムは、塩分濃度勾配から電気エネルギーを生成するために使用される電極ベースの技術である。ＣＡＰシステムを使用した発電は、電極の充電と放電のサイクルに基づいている。ＣＡＰシステムの電極は、塩分濃度が大きく異なる２つの溶液に順番にさらされる。ＣＡＰシステムは、塩分濃度勾配の形でエネルギーを充電し、塩分濃度差からエネルギーを抽出し、その塩濃度が変化したときに塩分溶液に浸された２つの電極間で発生する電圧上昇を利用する。発電量は主に、各電極の以下の特性、すなわち塩分濃度の変化による電位上昇の振幅と、高塩

分溶液内の電位とに依存する。電気の生成を停止せずに、システムの流れを逆転させ、極性を変更させ得るように、電極を同じものにしてよい。ＣＡＰシステムには、本明細書に開示されているように、１つ以上の選択透過性膜が含まれ得る。

【００７６】

図１に示すように、塩溶液１３０は、セル１５０の一方の側ではカチオン交換膜（１０４ａ、１０４ｃ）によって希薄溶液１４０から分離され、セル１５０の他方の側ではアニオン交換膜（１０４ｂ、１０４ｄ）によって希薄溶液１４０から分離されている。あるいは、塩溶液１３０と希薄溶液１４０は、単一の選択透過性膜１４０（例えば、カチオン交換膜またはアニオン交換膜）によって分離されてもよい。単一の膜１４０を横切るイオンの選択的な移動により、膜１４０を横切る電位差（電圧）が発生する。図１の実施形態と同様に、ＲＥＤセル１５０の単一膜実施形態（たとえば、フローポンプ）によって生成される電流もイオンの移動速度の関数であり、イオンの移動速度は、塩溶液１３０と希薄溶液１４０間の塩分濃度勾配、（少なくとも）塩溶液１３０の温度（高温ではイオンの運動エネルギーが増加するため）、および単一膜１０４の特徴を含む、いくつかの要因の関数である。

【００７７】

いくつかの実施形態では、システムは、発熱塩溶液１３０ａを使用するように構成された第１のＲＥＤバッテリ１１０ａと、吸熱塩溶液１３０ｂを使用するように構成された第２のＲＥＤバッテリ１１０ｂを含む。システムは、発熱塩溶液１３０ａに溶質を溶解することによって発生した熱を吸熱溶液１３０ｂに伝達して、溶質を溶解する際に吸収された熱を置換できる。

【００７８】

いくつかの実施形態では、生成された電力の一部は、例えば電気分解によって水を分解することによって、水素ガスを生成するために使用される。たとえば、希薄溶液が水の場合、水を水素と酸素に分解するために１．２３ボルトの電位差が水に加えられ得る。酸素は、建物やその他の屋内エリアなどの空間に供給され、および送り込まれ得る。水素および／または酸素は、例えばバッテリとして後で使用するために保存できる。塩溶液または希薄溶液のいずれか（または両方）は、電気分解によって分解され得る。図５は、水素を生成するように構成されたＲＥＤバッテリ１１０の一例を示す。放出された水素ガスと酸素ガスは、ＲＥＤバッテリ１１０のそれぞれのカソード１１２とアノード１１４の近くの表面に「泡立つ」場合がある。システム１００は、酸素ガスと水素ガスを（例えば、カソード１１２とアノード１１４を物理的に分離することによって）分離し、水素を捕捉して（例えば、水素ガスがカソード近くの表面に泡立つときにそれを捕捉して）貯蔵し、その後、燃料として使用するために、適切な手段で適切な場所に水素を輸送する。このような場合、システム１００は、電気分解で失われた溶媒を、例えば小川やその他の淡水源から補充または「補給」する必要がある。ＲＥＤバッテリ１１０は、電気分解が自然に起こるように構成されてもよい。つまり、ＲＥＤバッテリ１１０は、その溶媒の電気分解を引き起こすのに十分な電位差を生成するように構成され得る。いくつかの例では、再生システムは、補給用の淡水がリフレッシュされた希薄溶液１４０としてＲＥＤバッテリ１１０（あるいはＰＲＯまたはＣＡＰシステム）に循環されるときに、電気分解を使用して使用済み塩溶液１３０の塩分濃度をリフレッシュする。いくつかの例では、システムには、（たとえば、ＲＥＤバッテリあるいはＰＲＯまたはＣＡＰシステムの溶媒を電気分解するのではなく）電気分解によって水素ガスを生成するための別の水リザーバが含まれている。ＲＥＤバッテリまたはＰＲＯシステムが閉ループのままであるとともに、別の水リザーバには独自の「補給」源があり得る。これらの実施形態では、水のリザーバは熱リザーバとして機能したり、熱最適化プロセスにおいて他の役割を果たしたりすることもできる。

【００７９】

図６は、熱エネルギーから電力を生成する方法の一例のフローチャート６００を示す。ステップ６０２では、例示の方法は、選択透過性膜１０４によって、第１の塩分溶液１３０を第２の塩分溶液１４０から分離することを含む。選択透過性膜１０４は、第１の塩分

溶液１３０と第２の塩分溶液１４０の制御された混合を提供するように構成され、混合が起こると、塩分濃度勾配エネルギーをより有用な形で捕捉できる。いくつかの例では、選択透過性膜１０４は、例えばＰＲＯシステムの場合のように、第１の塩分溶液１３０の溶媒が優先的に膜を通過して別の第２の塩分溶液１４０に入るように構成されている。いくつかの例では、選択透過性膜１０４は、例えばＲＥＤバッテリ１１０の場合のように、第１の塩分溶液１３０のアニオンまたはカチオンのいずれかが優先的に膜を通過して別の第２の塩分溶液１４０に入るように構成されている。

【００８０】

ステップ６０４では、例示の方法は、熱源から熱エネルギーを受け取ることを含む。ＲＥＤバッテリ１１０（またはＰＲＯシステム）によって生成される電力は温度の関数である。受け取った熱エネルギーにより、ＲＥＤバッテリ１１０は動作を継続できる（たとえば、電気を生成する）。いくつかの例では、制御システム３５０は、受け取る熱エネルギーの量を調整し、どの熱源３０５が熱エネルギーを提供するかを構成するように構成されている。いくつかの例では、制御システム３５０は、１つ以上のヒートポンプ３２０からの廃熱をＲＥＤバッテリ１１０に伝達するように構成されている。いくつかの実施形態では、発電システム１００は、１つ以上のヒートポンプ３２０を動作させるための電力の一部または全部を提供する。予測的な例として、ＲＥＤバッテリ１１０の効率は約３０％になり得る（つまり、ＲＥＤバッテリ１１０に伝達される熱エネルギーの３０％が電気または他の使用可能なエネルギー形式に変換される）。ヒートポンプ３２０の性能係数（ＣＯＰ）は３～４であり得る（つまり、ヒートポンプ３２０は、熱源から２～３ＫＷの電力を取り込んで、３～４ＫＷをヒートシンクに伝達するために１ＫＷの電力を必要とし得る（入力電力と熱源から取り込まれる熱電力の合計）。たとえば、ＣＯＰが４のヒートポンプ３２０では、合計４ＫＷの熱をＲＥＤバッテリ１１０に伝達するために１ＫＷの電力が必要になり得る。ヒートポンプ３２０は、低グレードまたは「廃」熱源、例えば、３００℃未満の熱源などの、容易に有用なエネルギー形態に変換されない熱源から熱を伝達できる。予測されるいくつかの例では、熱源は、そうでなければ単に廃熱を環境に排出する産業プロセスからもたらされるものであってもよい。効率が３０％の場合、ＲＥＤバッテリ１１０は、伝達された４ＫＷの熱から１．２ＫＷの電力を生成できる。この予測例では、１ＫＷの電力がヒートポンプ３２０に電力を供給するために使用され得、２００Ｗの電力が他の目的に残され得る。したがって、この予測例では、ＲＥＤバッテリ１１０とヒートポンプ３２０の複合システム１００は、３ＫＷの「廃」熱以外の電力の正味入力なしで、電力２００Ｗの正味出力を生成する。廃熱が工業プロセスからもたらされるものである場合、ＲＥＤバッテリ１１０とヒートポンプ３２０の複合システム１１０は、２００Ｗの正味出力を生成すると同時に、廃熱を環境に放出する前に廃熱を３ＫＷ冷却するという利点も提供すると予測される。複合システム１１０の予想される正味効率は、ＲＥＤバッテリ１１０の効率の向上によってさらに増幅され得る。

【００８１】

さらに、発電システム１００は、１つ以上のヒートポンプによって生成された廃エネルギーの一部を捕捉し、その廃エネルギーを電気エネルギーに変換してヒートポンプ３２０に電力を供給することにより、例えば居住空間の暖房または冷房に使用されるヒートポンプなどの、ヒートポンプ３２０の有効性能係数（ＣＯＰ）を向上させることができる。たとえば、加熱ＣＯＰが３のヒートポンプでは、３ＫＷの熱を熱源からヒートシンクにポンプ移送するのに１．５ＫＷの電力が必要になり得る。ヒートシンクが４．５ＫＷの電力（３ＫＷのポンプ移送熱と最大１．５ＫＷの廃熱）をすべて必要としない場合は、制御システム３５０は、最適化システム３００を構成して、廃熱の一部またはすべてをＲＥＤバッテリ１１０に伝達し、ヒートポンプ３２０の電力に変換して、ヒートポンプ３２０の有効ＣＯＰを向上させることができる。さらに、制御システム３５０は、例えば瞬間的な電力需要が生成可能な電力量よりも大きい場合など、廃棄エネルギーの一部を後で使用するために保存できる形式に変換するように発電システム１００を構成できる。たとえば、ＰＲＯシステムは、放出されていない圧力および／または重力による位置エネルギーの形で廃

棄エネルギーを保持し、将来、たとえば電気エネルギーの需要が高まったときに放出し得る。同様に、ＲＥＤバッテリ１１０は、ある量の電気エネルギーを生成する代わりに、将来燃料として使用される水素ガスを生成できる。したがって、ヒートポンプ３２０からの廃熱を柔軟に捕捉し、ヒートポンプの有効ＣＯＰをさらに高めるために放出できる。

【００８２】

ステップ６０６では、例示的な方法は、第１の塩分溶液１３０と第２の塩分溶液１４０を制御された方法で混合することを含む。ステップ６０８では、例示の方法は、少なくとも一部の塩分濃度勾配エネルギーを電力として捕捉することを含む。上述のように、ＲＥＤバッテリ１１０あるいはＰＲＯシステムまたはＣＡＰシステムは、溶液（１３０、１４０）が混合されるにつれて、塩分濃度勾配エネルギーがより有用な形態に変換されるように構成できる。ステップ６１０では、例示の方法は、ヒートポンプ３２０によって、第１の塩分溶液から第２の塩分溶液に熱エネルギーを伝達することを含む。ステップ６１２では、例示の方法は、第１の塩分溶液と第２の塩分溶液との間の塩分濃度差を増加させることを含む。上述のように、ヒートポンプ３２０は使用済み希薄溶液１４０を冷却し、希薄溶液１４０から塩を沈殿させ、希薄溶液をリフレッシュできる。ヒートポンプは、使用済み希薄溶液１４０から使用済み塩溶液１３０に熱を伝達し、塩溶液１３０に導入された塩を溶解するプロセスを強化する。あるいは（またはそれに加えて）、ヒートポンプ３２０は、使用済み塩溶液１４０を加熱して、塩溶液１４０を蒸発させ、塩溶液をリフレッシュしてもよい。蒸発した溶媒は、溶媒蒸気がリフレッシュされた希薄溶液としてＲＥＤバッテリ１１０に戻して循環される際に凝縮され得る（例えば、ヒートポンプによって冷却される）。

【００８３】

図８は、塩沈殿システムを含む再生システムの一例を示す。この実施形態では、塩沈殿システムは、塩沈殿装置８８０、３つの熱交換器８８２、８８４、８３８（代替実施形態では、１つの熱交換器、２つの熱交換器、または３つより多い熱交換器が含まれてもよい）、および外部熱源システム８９０を含む。この再生システムは、使用済み希薄溶液８４０をＲＥＤまたはＰＲＯバッテリ８１０から塩沈殿システムを経由して閉ループで循環させ、リフレッシュされた希薄溶液８４５としてＲＥＤまたはＰＲＯバッテリ８１０に戻す。オプションとして、リフレッシュされた希薄溶液８４５は、ＲＥＤまたはＰＲＯバッテリ８１０に送られる前に、希薄溶液を保持するタンク８４６内に一定期間保存され得る。使用済み希薄溶液８４０は塩沈殿装置８８０に送られ、そこで熱交換器８８４が使用済み希薄溶液８４０から熱エネルギーを除去して塩８８５を沈殿させ、これにより塩沈殿装置８８０内の溶液がさらに希釈され、再生された希薄溶液８４５（リフレッシュされた希薄溶液とも呼ばれ得る）が提供される。塩８８５は、使用済み濃厚溶液８３０を収容する濃厚液タンク８３６（または使用済み濃厚溶液を再生するように構成されたタンク）に送られる。濃厚液タンク８３６内では、オプションとして熱交換器８３８などを介して熱エネルギーを適用することにより、塩８８５が使用済み濃厚溶液８３０に溶解され、塩分濃度が上昇して再生された濃厚溶液８３５（リフレッシュされた濃厚溶液とも呼ばれ得る）が生成される。

【００８４】

塩沈殿システムは、蒸発ではなく（または蒸発に加えて）、塩沈殿のプロセスを通じて使用済み希薄溶液８４０の塩分濃度を低下させ、沈殿した塩８８５を使用して使用済み濃厚溶液８３０の塩分濃度を高め、濃厚溶液８３５と希薄溶液８４５の間の塩分濃度差を再生して、ストリームをＲＥＤまたはＰＲＯバッテリ８１０に向け、そこで使用できるようにする。

【００８５】

図８に示すように、例示の塩沈殿システムは、塩を沈殿させることによって使用済み希薄溶液８４０から塩を除去する。溶液の温度を飽和点（溶液の塩分濃度が最大になる温度）として知られる温度未満に下げると、通常は溶質が沈殿する。このシステムには、図８に熱交換器８８４として示されている熱伝達デバイスが含まれており、使用済み希薄溶液

８４０を飽和点未満の温度まで冷却するように構成されている。熱交換器８８２は、リフレッシュされた希薄溶液８４５と使用済み希薄溶液８４０との間で受動的に熱を交換する。熱交換器８８２は、希薄液タンク８４６内の溶液の温度が最適には約３０℃～約５０℃であり得るため、リフレッシュされた希薄溶液８４５を、例えば、冷却前の使用済み希薄溶液８４０の温度まで加熱する。つまり、熱交換器８８２は、使用済み希薄溶液８４０から除去された熱エネルギーの一部またはすべてを、リフレッシュされた希薄溶液８４５に戻すことができる。使用済み希薄溶液８４０は約３０℃～約４０℃であり得、沈殿装置内で約５℃まで低下する。このようにして、バッテリ８１０に入るリフレッシュされた希薄溶液８４５の温度は、バッテリ８１０から出る使用済み希薄溶液８４０の温度と実質的に同じになる。熱交換器８８２は、前述のように冷却と加熱の両方の役割を果たすことも、または、再生された希薄溶液８４５が沈殿装置８８０を離れた後に加熱のみを行うようにシステム内に配置することもできる。例えば、再生された希薄溶液８４５のストリームに熱風を吹き付けて加熱してもよい。制御バルブ８１１、８１２は、溶液の流量を制御しバランスをとるためにシステムに組み込まれている。ポンプ８１３、８１４は、溶液を移動させてＲＥＤまたはＰＲＯバッテリ８１０に流すためにシステムに含まれている。ポンプ８１３、８１４は、流体を移動させるために流体に作用する、当該技術分野での使用が知られている任意のポンプまたはデバイスであり得、例えば、ダイヤフラムポンプ、遠心ポンプまたは蠕動ポンプであるが、これらに限定されない。制御バルブおよびヒートポンプの数は、開示されるシステム間で異なり得る。当業者であれば、本開示のいずれの実施形態にも１つ以上の制御バルブを追加できることが理解されるであろう。熱交換器８８４、８３８は、それぞれ沈殿装置８８０またはタンク８３６からの熱を熱源システム８９０に伝達する。熱交換器８８４、８３８は、それぞれ沈殿装置８８０またはタンク８３６内に沈められ得、コイル内を液体が循環するコイルであってもよく、または、シェルまたはチューブ熱交換器など、当該技術分野で知られている他の熱交換器であってもよい。

【００８６】

図８には、システムに熱を加える熱交換器８９１とヒートポンプ８９２を含む外部熱源システム８９０が含まれている。外部熱源システム８９０は、塩沈殿システムと併用して、濃厚液タンク８３６に熱エネルギーを供給できる。外部熱源システム８９０は、沈殿装置８８０および濃厚液タンク８３６の加温および冷却を行うために、閉ループ、オプションで冷媒ループを備えるように示されている。熱交換器８９１は、低グレード熱（例えば、約１００℃未満、または約２００℃未満）、または超低グレード熱（例えば、周囲空気、または約８０℃未満）を、任意で空気から直接、または外部熱源から引き込む。外部熱源は、熱源システム８９０に外部熱を供給し、外部熱は最終的にはＲＥＤ／ＰＲＯバッテリ８１０によって電気に変換される。

【００８７】

他の実施形態では、熱源システム８９０は存在せず、代わりに高グレード熱（例えば、蒸気、または約１００℃を超える熱を供給する任意の熱源）を濃厚液タンクに直接追加して加熱できる。図９は、塩沈殿システムを含む再生システムの一例を示しているが、図８に含まれる外部熱源システムは有していない。図９では、塩沈殿装置８８０が冷却されると、熱エネルギーが、任意選択で熱９９１として、放出される。熱９９１は、当該技術分野で既知の任意の手段によって、除去されたり、任意の発生源に送られたり、放出されたり、または熱９９２を介してシステムに戻されたりできる。熱９９２、９９３は、周囲のエネルギー、ヒートポンプ、またはシステム内の他の場所（例えば、熱９９１）からシステムに導入され得る。

【００８８】

図１０は、塩分解システムを含む再生システムの一例を示す。この実施形態では、塩分解システムは、吸収器１０８０、塩分解容器１０８１、２つの熱交換器１０８２、１０８４（代替実施形態では、１つの熱交換器、または２つより多い熱交換器が含まれてもよい）、およびヒートポンプ１０１３を含む。塩の分解には熱が加えられる。この再生システムは、使用済み希薄溶液１０４０をＲＥＤまたはＰＲＯバッテリ１０１０から塩分解容器

１０８１を介して閉ループで循環させ、塩分解容器１０８１で熱を加えてタンクを温め、蒸気とガス状の塩１０８５を形成し、リフレッシュされた希薄溶液１０４５としてＲＥＤまたはＰＲＯバッテリ１０１０に戻す。熱交換器１０８４は、使用済み希薄溶液ストリーム１０４０とリフレッシュされた希薄溶液ストリーム１０４５の間で熱エネルギーを伝達するように配置されている。使用済み濃厚溶液１０３０は、ＲＥＤまたはＰＲＯバッテリ１０１０から吸収器１０８０を通って閉ループで循環し、その後、リフレッシュされた濃厚溶液１０３５としてＲＥＤまたはＰＲＯバッテリ１０１０に戻る。熱交換器１０８２は、使用済み濃厚溶液ストリーム１０３０とリフレッシュされた濃厚溶液ストリーム１０３５の間で熱エネルギーを伝達するように配置されている。容器１０８１に熱が加えられると、ガス状生成物（例えば、分解されたガス状塩）１０８５が容器から放出され、吸収器１０８０によって受け取られ、吸収器１０８０にて、蒸気内で分解された塩が使用済み濃厚溶液１０３５に吸収され、溶液の塩濃度が上昇する。塩分解容器１０８１内の使用済み希薄溶液１０４０から塩が除去され、再生された希薄ストリーム１０４５が残される。熱９９２、９９３は、周囲のエネルギー、ヒートポンプ、またはシステム内の他の場所からシステムに導入され得る。熱９９１は除去され、ヒートポンプで使用されるか、放出され得る。ヒートポンプ１０１３は、加熱と冷却を同時に行うことができ（熱入力９９１と熱出力９９３を参照）、別の源からの熱／熱エネルギー９９４を使用することもできる。溶液の流量を制御しバランスをとるために、制御バルブ１０１１がシステムに組み込まれている。塩分解容器１０８１は液体からガスを分離し、これは、溶液中の塩を分解するためのフラッシュタンクまたはストリッパーカラムを含み得る。塩分解容器１０８１および吸収器１０８０は、本明細書に記載された機能を実現し、当業者によって容易に理解される任意の容器あるいは、容器、タンク、および／またはカラムのグループであってもよい。

【００８９】

図１１は、蒸発システムを含む再生システムの別の例である。図１１の実施形態は、蒸発器１０９１と凝縮器１０９０とを組み込んでいる点で図１０の実施形態と異なる。この例では、使用済み濃厚溶液１０３０は、ＲＥＤまたはＰＲＯバッテリ１０１０から蒸発器１０９１を通って閉ループで循環し、蒸発器１０９１にて、熱９９２、９９３が加えられて溶液が沸騰し、水が蒸気１０９３として蒸発し、これにより、より濃縮された溶液、つまりリフレッシュされた濃厚溶液が残こされ、これはＲＥＤまたはＰＲＯバッテリ１０１０に向けて戻される。蒸気１０９３は蒸発器１０９１から凝縮器１０９０に送られ、凝縮器１０９０にて、容器が冷却され、蒸気が水に凝縮されて使用済み希薄溶液１０４０と混合され、リフレッシュされた希薄溶液１０４５を形成し、これは閉ループでＲＥＤまたはＰＲＯバッテリ１０１０に戻される。ヒートポンプ１０１３は、凝縮器１０９０に冷却効果をもたらす。従来、このヒートポンプの代わりに冷水ループが使用され、システムに投入された熱はすべて失われていた。図示のようにヒートポンプを組み込むことで熱が回収され、プロセスのエネルギー効率が向上する。蒸発器１０９１および凝縮器１０９０は、本明細書に記載された機能を実現し、当業者によって容易に理解される任意のタンク、容器、カラム、またはそれらのグループであってもよい。

【００９０】

図１２は、電気透析と塩沈殿を含む再生システムの例である。希薄溶液１１４１と濃厚溶液１１３１は電気透析システム１１９０に送られ、電気透析システム１１９０にて、電気が供給されてイオンが希薄溶液から濃厚溶液に移動することで希薄溶液１１４１から塩が分離され、超希薄溶液１１４７が生成される。電気透析を使用すると、電気を使用して、より濃縮された溶液１１３２と超希薄溶液１１４７が生成される。使用済み希薄溶液１１４０は、沈殿装置１１８０で塩が除去され、希薄溶液１１４１（使用済み希薄溶液１１４０よりも塩分濃度が低い）が残される。希薄溶液１１４１は、電気透析を使用して溶解度曲線を超えてさらに希釈され、超希薄溶液１１４７が生成され、より大きな塩勾配が形成される。図１２に示すように、超希薄溶液は電気透析タンクから希薄溶液貯蔵タンク１１４６に流れ、希薄溶液貯蔵タンク１１４６にて、沈殿装置１１８０からの希薄溶液１１４１（存在する場合）と混合される。別の実施形態では、当業者が容易に想定できるよう

に、バルブを採用して溶液の流れを変更するように配置して、超希薄溶液１１４７がバッテリ１１１０に直接流れるようにシステムを構成してもよい。

【００９１】

使用済み希薄溶液１１４０は、塩沈殿装置１１８０に送られ、そこで冷却される（熱１１９１が除去される）。使用済み希薄溶液１１４０から熱エネルギーを除去すると、塩１１８５が沈殿し、塩沈殿装置１１８０内の溶液がさらに希釈されて希薄溶液１１４７が生成される。この希薄溶液は、貯蔵タンク１１４６に送られるか、または電気透析処理によってさらに希釈されてよい。再生された希薄溶液１１４５（リフレッシュされた希薄溶液とも呼ばれ得る）は、超希薄溶液１１４７と同じ塩分濃度、または、タンク１１４６内で超希薄溶液１１４７と混合された後に希薄溶液１１４１よりも低い塩分濃度を有する。再生された希薄溶液１１４５は、塩分濃度勾配を利用するためにバッテリ１１１０に戻って流れる。塩１１８５は、使用済み濃厚溶液１１３０と混合されてその塩分濃度を高め、その後、濃厚液貯蔵タンク１１３６に送られる。濃厚液貯蔵タンク１１３６内では、オプションで熱１１９２またはその他の熱エネルギー源を適用して、塩１１８５が使用済み濃厚溶液１１３０に溶解され、塩分濃度が上昇して濃厚溶液１１３１が生成され、その後、濃厚溶液１１３１が電気透析システム１１９０に送られて塩分濃度が上昇し、より濃縮された溶液１１３２が生成される。より濃縮された溶液１１３２は、再生された濃厚溶液１１３５（リフレッシュされた濃厚溶液とも呼ばれ得る）より高いか、または同等の塩分濃度を有し得る。濃厚液タンク１１３６の底には余分な塩（図示せず）が入っている場合がある。余分な塩が存在する場合、濃厚液タンク１１３６は、一時的に余分な熱が利用できなくなったときにプロセスを継続して実行できるようにバッテリとして機能し得る。

【００９２】

塩沈殿システムは、蒸発ではなく（または蒸発に加えて）、塩沈殿のプロセスを通じて使用済み希薄溶液１１４０の塩分濃度を低下させ、沈殿した塩１１８５を使用して使用済み濃厚溶液１１３０の塩分濃度を高め、濃厚溶液１１３１と希薄溶液１１４１の間の塩分濃度差を増大する。この実施形態では、図２とは異なり、濃厚溶液１１３１および希薄溶液１１４１は、バッテリ１１１０に再導入される前に、電気透析によってさらに処理され、溶液間の塩分濃度差が増大される。ＲＥＤまたはＰＲＯバッテリ１１１０によって生成された電気１１７１は、当該技術分野で既知の任意の手段によって使用され、貯蔵され、および／または電気透析システム１１９０の動作用の電気１１７０として使用され得る。

【００９３】

図１２では、ＲＥＤまたはＰＲＯバッテリ１１１０とは異なるタンクが電気透析システム１１９０に使用されているが、他の実施形態では、逆電気透析に使用されるものと同じタンクが電気透析に使用され得る。

【００９４】

図１３は、図１２の電気透析システム１１９０の代わりに膜蒸留システム１３９０と塩沈殿を組み込んだ再生システムの例である。膜蒸留システム１３９０には、多孔質疎水性膜（図示せず）を通過して希薄溶液に浸透し得る水を蒸発させて塩分濃度を下げ、超希薄溶液１３４７を生成するヒートポンプ（図示せず）が含まれている。超希薄溶液１３４７は、バルブを採用して、ストリームの流れを変更するように配置した状態で、図示するように、バッテリ１１１０または希薄液タンクに直接送られ得る。図１３に示すように、超希薄溶液１１３７は膜蒸留システム１３９０から希薄液貯蔵タンク１１４６に流れ、そこで沈殿装置１１８０からの希薄溶液１１４１（存在する場合）と混合される。別の実施形態では、当業者が容易に想定できるように、バルブを採用して溶液の流れを変更するように配置して、超希薄溶液１３４７がバッテリ１１１０に直接流れるようにシステムを構成してもよい。

【００９５】

濃厚液貯蔵タンク１１３６内では、オプションとして熱１１９２またはその他の熱エネルギー源を適用して、塩１１８５が使用済み濃厚溶液１１３０に溶解され、塩分濃度が上昇して濃厚溶液１１３１が生成され、その後、濃厚溶液１１３１は膜蒸留システム１３９

０に送られて塩分濃度が上昇し、より濃縮された溶液１３３２が生成される。より濃縮された溶液１３３２は、再生された濃厚溶液１１３５（リフレッシュされた濃厚溶液とも呼ばれ得る）より高いか、または同等の塩分濃度を有し得る。

【００９６】

図１４は、塩の沈殿を伴わない膜蒸留システム１３９０を組み込んだ再生システムの例である。使用済み希薄溶液１１４０は希薄液貯蔵タンク１１４６に送られ、そこで冷却され（つまり、熱エネルギー１１９１が除去され）、膜蒸留システム１３９０に送られる。使用済み濃厚溶液１１３０は濃厚液貯蔵タンク１１３６に送られ、そこで加温され（つまり、熱エネルギー１１９２がシステムに投入され）、膜蒸留システム１３９０に送られる。貯蔵タンクの加熱および冷却は、オプションで１つ以上のヒートポンプ（図示せず）によって供給できる。使用済み希薄ストリーム１１４０および使用済み濃厚ストリーム１１３０は、疎水性膜（図示せず）を横切るストリーム間の温度差によって生じる蒸気圧差を利用して動作する膜蒸留システム１３９０に送られる。再生された希薄溶液１４４５および再生された濃厚溶液１４３５は、膜蒸留システム１３９０の動作によって生成され、その後、図１４に示すように、必要に応じて貯蔵タンク１１４６、１１３６を経由して、ＲＥＤまたはＰＲＯバッテリ１１１０に循環される。

【００９７】

図１５は、バッチシステムで複数のタンクが動作する再生システムと組み合わせたＲＥＤ／ＰＲＯタンクの例である。操作タンク１５０１、１５０２、１５０３、１５０４のそれぞれは、冷却タンク（つまり、沈殿装置）、加熱タンク（つまり、溶解タンク）であり得、または任意の時点で非アクティブであり得る。例えば、タンク１５０１は、最初に冷却タンクとして動作し、使用済み希薄溶液から塩を沈殿させて再生された希薄溶液１５４５を残し得、希薄溶液１５４５は、その後、希薄液タンク１５４６に送られ得る。次に、タンク１５０１の動作が加熱タンクに変更され、使用済み濃厚溶液１５３０が、沈殿した塩を保持するタンクに送られ、その後、加温されて塩が溶液に溶解し、再生された濃厚溶液１５３５を残し得、再生された濃厚溶液１５３５は、その後、濃厚液タンク１５３６に送られ得る。それ以外の時間では、タンク１５０１は、メンテナンスが必要な場合、またはその他の理由で非アクティブであってよいことがある。この操作の変更は、必要に応じて、バッチシステム内のどの操作タンクにも適用できる。

【００９８】

バルブシステム１５２０は、タンクをＲＥＤ／ＰＲＯバッテリ１５１０から分離し、使用済み希薄溶液１５４０および使用済み濃厚溶液１５３０のそれぞれについて、その全部または一部の流れを１つ以上の操作タンク１５０１、１５０２、１５０３、１５０４に導くことによって動作する。第２バルブシステム１５２２は、操作タンク１５０１、１５０２、１５０３、１５０４を貯蔵タンクから分離し、再生された希薄溶液１５４５および再生された濃厚溶液１５３５の流れをそれぞれの貯蔵タンク１５４６、１５３６に導くことによって動作する。希薄液タンク１５４６は再生された希薄溶液１５４５を受け取って保持し、濃厚液タンク１５３６は再生された濃厚溶液１５３５を受け取って保持する。この図１５では４つのタンクが動作している様子を示しているが、４つより少ないタンクまたは４つより多いタンクをシステムに接続してバッチシステムで動作させることもできる。

【００９９】

図１６は、蒸気凝縮器１６０１、圧縮機またはヒートポンプ１６０２、および蒸発器１６０３を利用した水製造方法を示す。冷媒１６１２は、蒸気凝縮器１６０１、ヒートポンプ１６０２、および蒸発器１６０３を循環する。図示するように、蒸発器１６０３は周囲空気から水蒸気を除去し、入ってきた周囲空気よりも冷たく乾燥した空気と水とを放出する。凝縮器は潜熱を放出し、この潜熱は本明細書に開示される塩分濃度勾配エネルギーシステム１６１０で使用できる。たとえば、このシステムは、家庭やその他の建物で周囲空気を除湿（または水分を除去）したり、オプションで熱を発生させてＲＥＤ／ＰＲＯバッテリで電気に変換したりするために使用できる。

【０１００】

図１７は、図１６のシステムを、本明細書に開示された塩分濃度勾配エンジン熱システム１６１０であって、図８～１５に示されるような再生システムを任意に含むシステムで使用される溶液を加温および冷却するために使用できる温水タンク１６２０および冷水タンク１６２５を製造する方法として組み込む。蒸発器１６０３は水を冷却して冷水タンク１６２５を作り、凝縮器１６０１は水を加熱して温水タンク１６２０を作る。熱伝達媒体１６１３（例えば、水、グリコール、オイル、冷媒）は、冷タンク１６２５から塩分濃度勾配エンジンシステム１６１０を通って閉ループで流れ、熱伝達媒体１６１４は、温タンク１６２０から塩分濃度勾配エンジン熱システム１６１０を通って閉ループで流れる。オプションではあるが、ヒートシンク１６４０が表示されており、システムからの余分な熱を吸収または発散する役割を果たす。システムが必要以上の熱を発生している場合、その熱はヒートシンクに伝達され得、例えば、大気中に熱１６３１が放出され得る。オプションではあるが、システムに熱エネルギーまたは熱１６３１を供給する他の熱源１６３０も示されている。各々の他の熱源としては、例えば、熱交換器、工業用蒸気、ラジエーター、周囲温度、コイル、対流など、当該技術分野で既知の任意の手段が挙げられるが、これらに限定されない。

【０１０１】

本明細書に開示される塩分濃度勾配システムは、水を生成できる（本明細書では大気水生成とも呼ばれる）。大気水生成は、凝縮、吸着、冷却などのさまざまな技術を使用して空気から水を抽出するプロセスである。大気水生成の概念は、乾燥した砂漠地帯であっても、大気環境にかなりの量の水蒸気が含まれているという事実に基づいている。これをＲＥＤ／ＰＲＯバッテリ、ヒートポンプ、閉ループプロセスと組み合わせると、エネルギーと水を生成できる。

【０１０２】

大気水生成の１つの手段は凝縮である。凝縮では、空気を露点／凝縮温度より低い温度まで冷却し、空気中の水蒸気を液体の水に凝縮する。この方法は、除湿器やヒートポンプなどの熱力学サイクルでよく使用される。このプロセスは空気の温度と湿度に依存しており、これは、例えば心理測定（psychometric）チャートを確認することで、当業者には容易に理解できる。

【０１０３】

大気水生成のもう一つの手段は吸着である。吸着ではシリカゲルやゼオライトなどの乾燥剤を使用して空気中の水分を吸収する。乾燥剤が水分を吸収し、必要に応じて飽和状態になったら、加熱して水を放出し、水を集めて使用できる。同様に、水分子との親和性が高い物質である液体乾燥剤は、液体乾燥剤除湿プロセスと呼ばれ得る方法で空気から水分を除去するために使用できる。このプロセスは、空気から水分を吸収する液体乾燥剤でコーティングされた表面上に空気（オプションで、約３０％を超える中程度から高い湿度含有量を有し、乾燥していない空気）を通過させることを含み得る。吸収した水を液体乾燥剤から除去すると、元の状態に再生できる。当該技術分野で知られている任意の固体乾燥剤または液体乾燥剤を本明細書にて使用できる。

【０１０４】

液体乾燥剤除湿プロセスは、除湿用ユニット（コンディショナーとも呼ばれる）と再生用ユニット（ジェネレータとも呼ばれる）の２つの独立した空気処理ユニットを含む閉ループシステムであり得る。除湿ユニットは典型的には、吸収器を有して構成され、吸収器では、液体乾燥剤が表面に噴霧または塗布され、ファンまたは送風機が湿った空気を該表面上で循環させる。空気が該表面を通過すると、液体乾燥剤が空気から水分を吸収し、乾燥した空気が空調された空間に排出される。

【０１０５】

再生システムは、使用済み液体乾燥剤と熱源（この場合はヒートポンプ）が入った別の容器を含み得る。この実施形態では、液体乾燥剤に熱が加えられて吸収された水分が除去される再生と呼ばれるプロセスを通じて、吸収された水分が液体乾燥剤から除去される。除去された水蒸気は、ヒートポンプを介して凝縮されて水を生成でき（これは、濾過（例

えば、逆浸透または当該技術分野で使用される他の既知のシステム）を追加することで、飲料水とし得る）、または、希薄溶液に追加して、ＲＥＤ／ＰＲＯバッテリの塩分濃度勾配を増加させることもできる。この生成水は、電気分解および／またはＲＥＤの原料（またはフィード）として使用できるため、追加的または代替的に水素を生成するために使用できる。

【０１０６】

典型的には、大気水生成は、水を生成するために水の蒸発潜熱に逆らうため、非常に多くのエネルギーを消費する。ＲＥＤなどの閉ループ塩分濃度勾配エンジンシステムと組み合わせると、潜熱を大気中に放出するのではなく、利用して水素および／または電気に変換できる。液体乾燥剤除湿プロセスの利点としては、高温多湿の気候でも低湿度レベルから水を抽出できること、また、廃熱、太陽エネルギーおよび／またはヒートポンプを再生に利用できることが挙げられる。乾燥した暑い気候の地域からヒートポンプだけを使用して水蒸気を凝縮することは、ヒートポンプと乾燥剤を併用するよりもはるかに困難であろう。液体乾燥剤除湿プロセスとヒートポンプおよび塩分濃度勾配エンジンシステムを組み合わせることで、非常に乾燥した暑い気候でもかなりの量の水とエネルギーを生産できる。

【０１０７】

図１８は、液体乾燥剤除湿プロセスを使用した大気水生成の例である。この例では、水が空気から取り出され、コンディショナー１８１２内の乾燥剤によって吸収される。使用済み（弱くなった）乾燥剤１８２０はジェネレータ１８１１に移送され、そこで乾燥剤は水の蒸発によって再生され、それによって強い乾燥剤１８２１が再生され、強い乾燥剤１８２１はコンディショナー１８１２に戻される。ヒートポンプ１８８２は、弱くなった乾燥剤１８２０と再生された強い乾燥剤１８２１のストリームの間で熱を移動させるために使用される。ジェネレータ１８１１から除去された蒸気１８８４は、蒸気凝縮器１８１５に送られ、そこで冷却されて液化され、飲料水（ろ過システムを適用）を含むあらゆる目的のための水１８８５が生成される。

【０１０８】

図１８は、温水タンク１８１３および冷水タンク１８１４の製造方法を利用しており、これらは、本明細書に開示される塩分濃度勾配エンジン熱システム１８１０であって、図８～１５に示すような再生システムを任意に含むシステムで使用される溶液（例えば、水）を加温および冷却するために使用できる。熱交換器１８８４は水を冷却して冷タンク１８１４を作り、熱交換器１８８３は水を加熱して温タンク１８１３を作る。熱伝達媒体１８１６（例えば、水、グリコール、オイル、冷媒）は、熱交換器１８８３、１８８４からヒートポンプ１８０２に閉ループで流れ込む。１つ以上のヒートシンクとその他の熱源を組み込んで、温タンク１８１３または冷タンク１８１４の一方または両方に加熱または冷却を提供できる。温タンク１８１３は、閉ループで温供給ストリーム１８３０としてジェネレータ１８１１と塩勾配エンジン熱システム１８１０に温水を供給し、温供給ストリーム１８３０はより低い温度のストリーム１８３１として温タンク１８１３に戻る。冷タンク１８１４は、閉ループで冷水を冷供給ストリーム１８３２として蒸気凝縮器１８１５へ、コンディショナー１８１２へ、および塩勾配エンジン熱システム１８１０へ供給し、冷供給ストリーム１８３２は、より高温のストリーム１８３３として冷タンク１８１４に戻る。

【０１０９】

本明細書に開示される塩分濃度勾配システムには、ＲＥＤ／ＰＲＯバッテリからの使用済み希薄溶液および使用済み濃厚溶液を再生する手段として、すなわち再生システムとして、正浸透（ＦＯ：forward osmosis）が含まれ得る。正浸透システムでは、使用済み濃厚溶液などのフィード溶液（feed solution：または供給溶液）を半透膜の片側に配置し、ドロー溶液（draw solution：または駆動溶液）を半透膜の反対側に配置し得る。ドロー溶液は、フィード溶液よりも浸透圧が高い溶液であればどのような溶液でもかまわない。ドロー溶液には異なる塩、合成塩が含まれ得、または、フィード溶液と本質的に

同じであり得るが、より高い濃度である。塩勾配を形成して、使用済み濃厚溶液から水を引き出し、その後、ドロー溶液を組み込んだ切り替え可能な溶解度システムによって再生する。ドロー溶液によって生成される浸透圧勾配により、フィード溶液から水分子が膜を通して引き出されつつ、塩やおよびその他の汚染物質はフィード溶液側に残る。これにより、濃厚溶液を再生してＲＥＤ／ＰＲＯバッテリに戻すことができる。ＦＯシステムで使用される膜は、ＰＲＯバッテリで使用される可能性のある任意の膜を使用できる。ただし、ＦＯの場合、膜はＰＲＯ膜ほど高い圧力に耐えられるように設計する必要はない。

【０１１０】

正浸透システムには、切り替え可能な溶解度システムが組み込まれ得、切り替え可能な溶解度システムは、ドロー溶液および二酸化炭素（CO_2）と水との間の可逆反応を利用して、切り替え可能な溶解度特性を有する溶液を形成する。これらの切り替え可能な溶解度溶液は、疎水性形態と親水性形態を切り替えることができる。切り替え可能な溶解度溶液を形成する方法は、アミンを水に溶解し、特定のｐＨレベルの溶液を形成することを含む。例えば、アミンとしては、１－シクロヘキシルピペリジン、Ｎ－メチルジプロピルアミン、エチル４－（ジエチルアミノ）ブタノエート、Ｎ，Ｎ－ジメチルフェネチルアミン、Ｎ，Ｎ－ジエチルブチルアミン等が挙げられる。本明細書で言及されるドロー溶液とは、半透膜を横切って水を引き込むために高い浸透圧または濃度を有する溶液である。したがって、切り替え可能な溶解度溶液は、正浸透システムにおけるドロー溶液であってもよい。切り替え可能な溶解度溶液にCO_2が導入されると、アミンと反応して塩が形成され、溶液のｐＨが低下する。このｐＨの変化によりアミンの溶解度が変化し、水への溶解度が増減する。したがって、アミンの溶解度はCO_2の存在によって変化し得、熱を加えることで可逆的である。具体的には、ｐＨが低い場合（たとえば、約７未満、または７と１の間）、アミンは溶液中でより溶解しやすくなる。逆に、ｐＨが高い場合（たとえば、７超）、アミンは水に溶けにくくなり、溶液に溶ける量も少なくなる。CO_2の溶解度は温度に依存する。温度が上昇すると、CO_2の溶解度が低下し、水とCO_2がアミン溶液から分離する。水が除去されたら、溶液を冷却してCO_2の溶解度を高め、アミンが完全に溶解して溶解度が上がるようにする。

【０１１１】

上述のように切り替え可能な溶解度システムを使用すると、ドロー溶液を再生できるとともに、加熱と冷却を同時に提供できるヒートポンプのパワーも活用できる。ドロー溶液の溶解度が低下すると、水を分離して送り、ＲＥＤ／ＰＲＯバッテリからの使用済み希薄溶液と混合できる。水を除去することで、正浸透システムで使用されるドロー溶液が濃縮および再生され、ＲＥＤ／ＰＲＯバッテリからの使用済み濃厚溶液が再生される。

【０１１２】

塩分濃度勾配エンジンシステムを発電所などの産業施設の近くで稼働させると、さまざまな利点が得られる。発電所では、その過程で余分な廃熱と、望ましくない副産物としてのCO_2の放出の両方が発生する。この工業用CO_2は、本明細書に開示される正浸透システムで、ドロー溶液の溶解度を制御するために使用できる。

【０１１３】

図１９では、この再生システムは、使用済み希薄溶液１９４０をＲＥＤまたはＰＲＯバッテリ１９１０から希薄液タンク１９４６を介して閉ループで循環させ、希薄液タンク１９４６で水１９７０が追加されて再生された希薄溶液１９４５が形成され、ＲＥＤまたはＰＲＯバッテリ１９１０に戻される。使用済み濃厚溶液１９３０も、ＲＥＤまたはＰＲＯバッテリ１９１０から正浸透システム１９８０を介して閉ループで循環され、再生された濃厚溶液１９３５が生成され、ＲＥＤまたはＰＲＯバッテリ１９１０に戻される。切り替え可能な溶解度システム１９２０も示されている。ドロー溶液１９５５は、正浸透システム１９８０を循環し、システムの操作に使用され、使用済みドロー溶液１９５０が生成される。回収装置１９６０では、使用済みドロー溶液１９５０に熱１９９２が加えられ、CO_2が放出されるため、使用済みドロー溶液の溶解度が低下し、水１９７０を分離してデカントできる。ジェネレータ１９６５でCO_2がシステムに戻されると、ドロー溶液中の

溶質の溶解度が増加する（たとえば、塩は溶液に再溶解される得、溶液は浸透圧が高くなるように濃縮する必要がある）。CO_2の溶解度を高めるために、溶液を冷却する（熱エネルギー１９９１がシステムから取り出される）。

【０１１４】

本明細書に開示された様々な特徴（または局面）は、説明および添付の図面に具体的に提示された組み合わせとは異なる組み合わせで組み合わせられ得ることを理解されたい。また、例に応じて、本明細書で説明するプロセスまたは方法のいずれかの特定の行為またはイベントは、異なる順序で実行されたり、追加、結合、または完全に省略され得ることも理解されるべきである（たとえば、説明するすべての行為またはイベントが、技術を実行するために必要ではないことがあり得る）。さらに、本開示の特定の特徴は、明確にするために単一のモジュールまたはユニットによって実行されるものとして説明されているが、本開示の技術は、例えば、ＲＥＤバッテリ、ＰＲＯシステム、ＣＡＰシステム、水素生成サブシステム、塩沈殿サブシステム、蒸発サブシステムなどに関連付けられたユニットまたはモジュールの組み合わせによって実行され得ることが理解されるべきである。

【０１１５】

１つ以上の例では、説明されている技術は、ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、またはそれらの任意の組み合わせで実行できる。ソフトウェアで実行される場合、機能は、コンピュータ読み取り可能な媒体に１つ以上の命令またはコードとして格納され得、およびハードウェアベースの処理ユニットによって実施され得る。コンピュータ読み取り可能な媒体には、データ記憶媒体など（ＲＡＭ、ＲＯＭ、ＥＥＰＲＯＭ、フラッシュメモリ、または命令またはデータ構造の形式で所望のプログラムコードを格納するために使用でき、コンピュータがアクセスできるその他の媒体など）の有形媒体に対応する非一時的なコンピュータ読み取り可能な媒体が含まれ得る。

【０１１６】

命令は、１つ以上のデジタル信号プロセッサ（ＤＳＰ）、汎用マイクロプロセッサ、特定用途向け集積回路（ＡＳＩＣ）、フィールドプログラマブルロジックアレイ（ＦＰＧＡ）、またはその他の同等の集積ロジック回路または個別ロジック回路などの１つ以上のプロセッサによって実施され得る。したがって、本明細書で使用される「プロセッサ」という用語は、前述の構造のいずれか、または説明した技術の実行に適したその他の物理構造を指し得る。また、この技術は、１つ以上の回路または論理要素にて完全に実行することもできる。

【０１１７】

図７は、プログラム命令を格納または実行するために使用できるハードウェアの例を示している。バス７１０は、ハードウェアの他の図示された部品を相互接続する主要な情報ハイウェイとして機能する。中央処理装置（ＣＰＵ）７０５はシステムの中央処理ユニットであり、プログラムの実行に必要な計算と論理演算を実行する。ＣＰＵ７０５は、単独で、または図７に開示されている他の要素の１つ以上と組み合わせて、本開示内で使用される用語としてのプロセッサの一例である。読み取り専用メモリ（ＲＯＭ）およびランダムアクセスメモリ（ＲＡＭ）は、本開示内で使用される用語として、非一時的なコンピュータ読み取り可能な記憶媒体７２０、メモリデバイス、またはデータ格納体の例を構成する。

【０１１８】

インターフェースを提供し、および１つ以上のデータセットに関連するクエリまたは分析を実施するためのプログラム命令、ソフトウェア、またはインタラクティブモジュールは、メモリデバイス７２０に格納できる。オプションとして、プログラム命令は、コンパクトディスク、デジタルディスク、フラッシュメモリ、メモリカード、ユニバーサルシリアルバス（ＵＳＢ）ドライブ、光ディスク記憶媒体、および／またはその他の記憶媒体などの有形の非一時的なコンピュータ読み取り可能な媒体に格納され得る。

【０１１９】

オプションのディスプレイインターフェース７３０により、バス７１０からの情報をオ

ーディオ、ビジュアル、グラフィック、または英数字形式でディスプレイ７３５に表示できる。外部デバイスとの通信は、さまざまな通信ポート７４０を使用して行われ得る。通信ポート７４０は、インターネットやイントラネットなどの通信ネットワークに接続され得る。

【０１２０】

ハードウェアには、キーパッド７５０などの入力デバイス、あるいはタッチスクリーン、リモートコントロール、ポインティングデバイス、ビデオ入力デバイス、および／またはオーディオ入力デバイスなどの他の入力デバイス７５５からのデータの受信を可能にするインターフェース７４５も含まれ得る。

【０１２１】

上記で開示した様々な、または他の特徴および機能、あるいはそれらの代替手段は、他の多くの異なるシステムまたはアプリケーション、あるいはシステムとアプリケーションの組み合わせへと望ましく組み合わされ得ることが理解されるであろう。また、現在予期または予想されていない様々な代替、改変、変更、または改良が、当業者によってその後に行われる可能性があり、それらも以下の請求の範囲に包含されることが意図される。

【図面】

【図１】

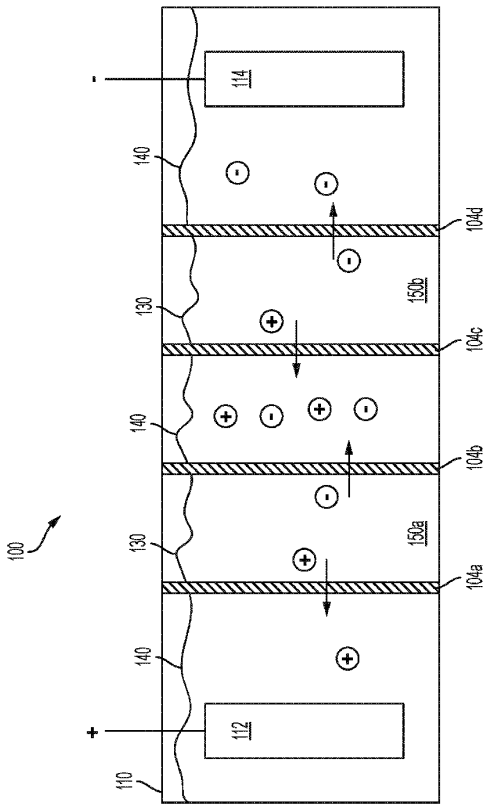


FIG. 1

【図２】

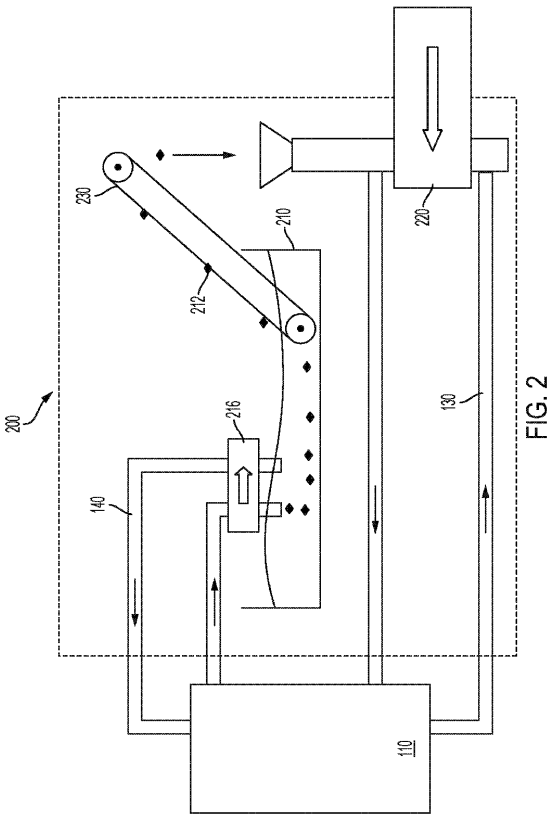


FIG. 2

【図３】

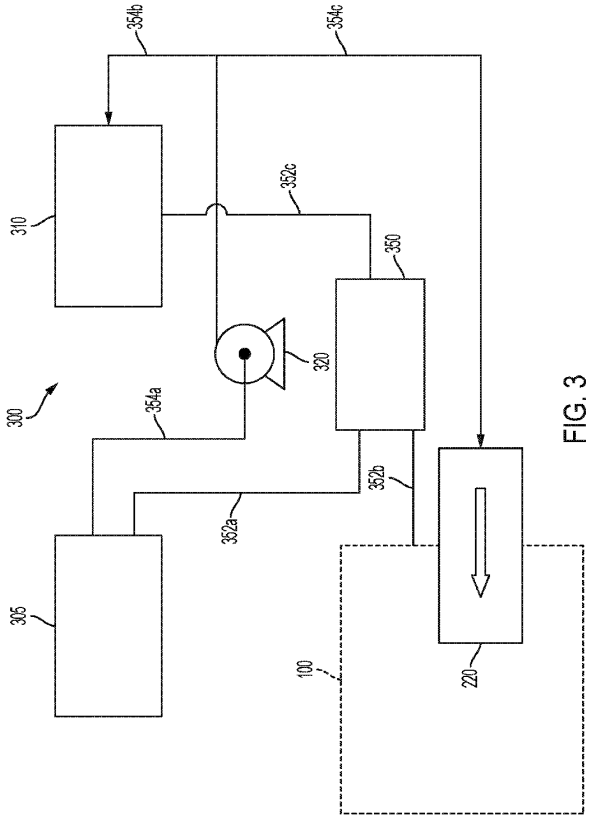


FIG. 3

【図４】

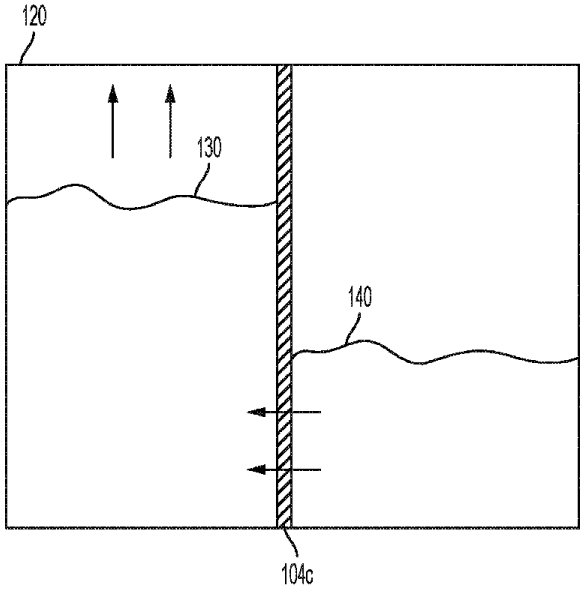


FIG. 4

【図５】

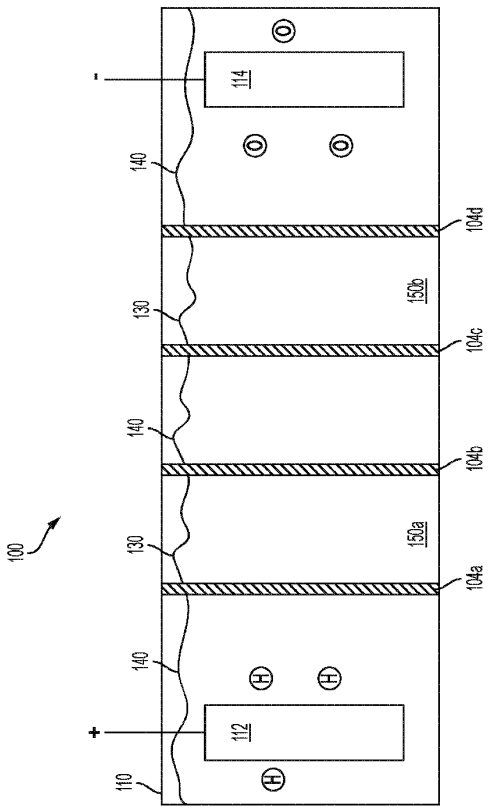
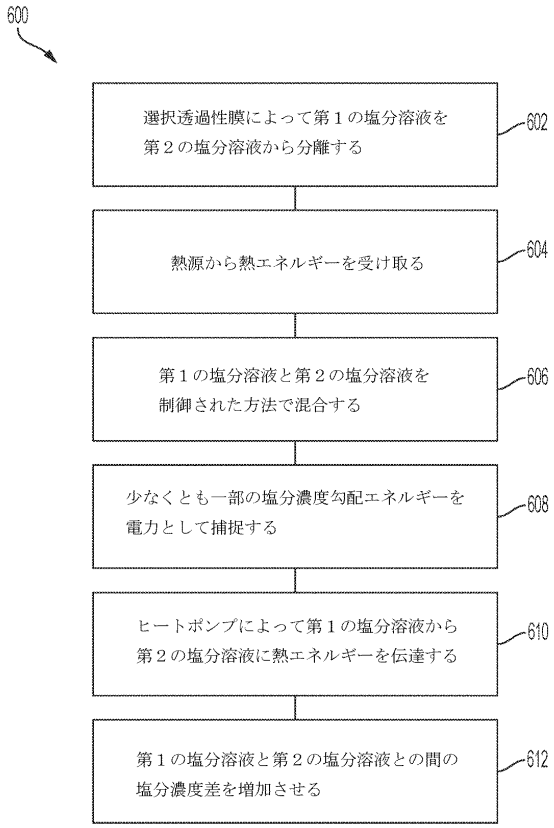
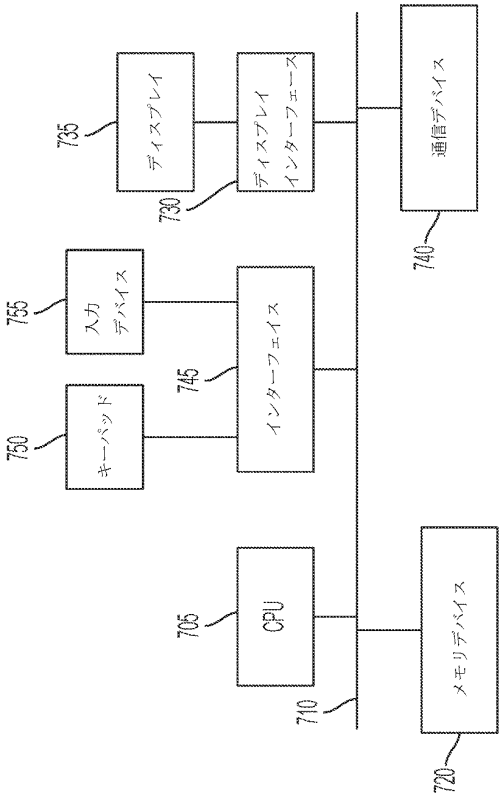


FIG. 5

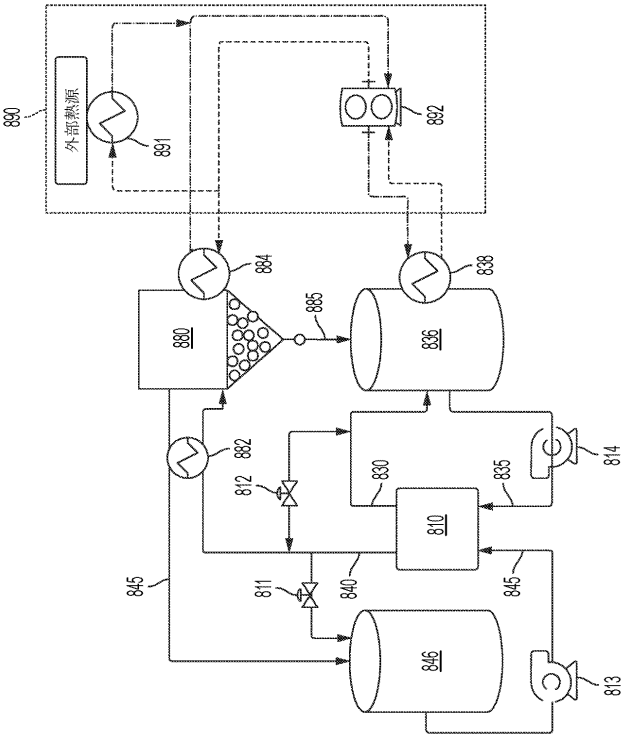
【図６】



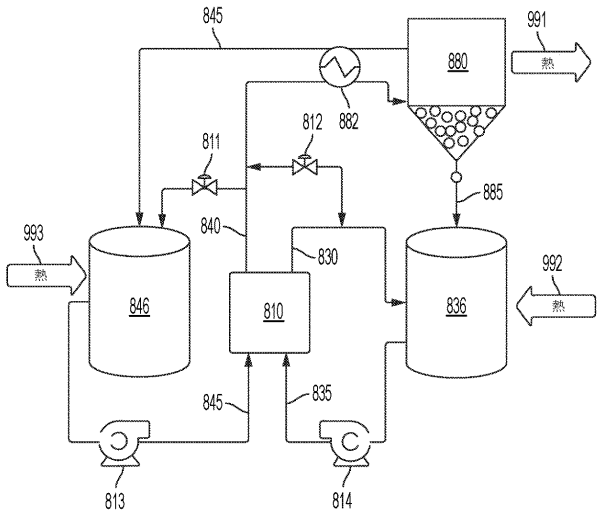
【図７】


735
ディスプレイ
730
ディスプレイインターフェース
740
通信デバイス
755
入力デバイス
745
インターフェイス
750
キーパッド
705
CPU
710
メモリデバイス
720

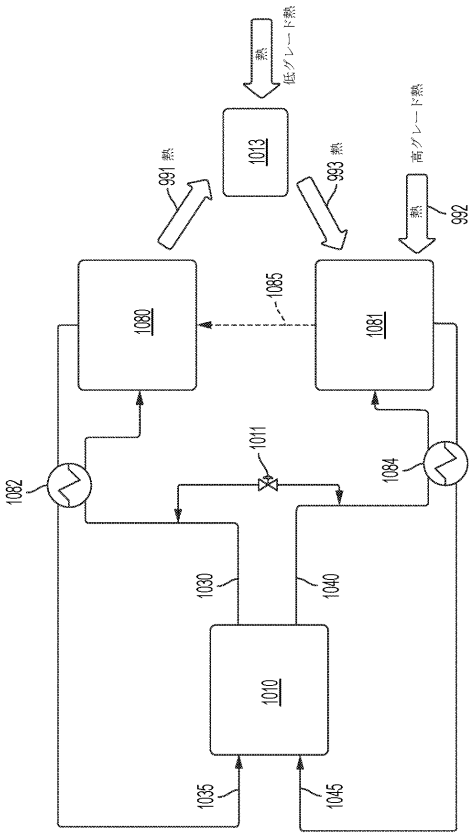
【図８】


890
外部熱源
891
892
884
838
880
885
836
882
812
830
835
814
810
845
811
840
845
846
813

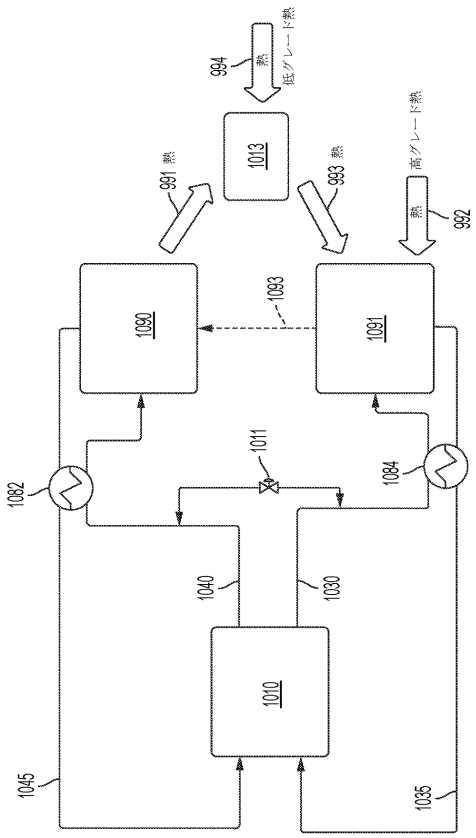
【図９】


845
991
熱
880
882
812
811
885
993
熱
840
830
992
熱
846
810
836
845
835
813
814

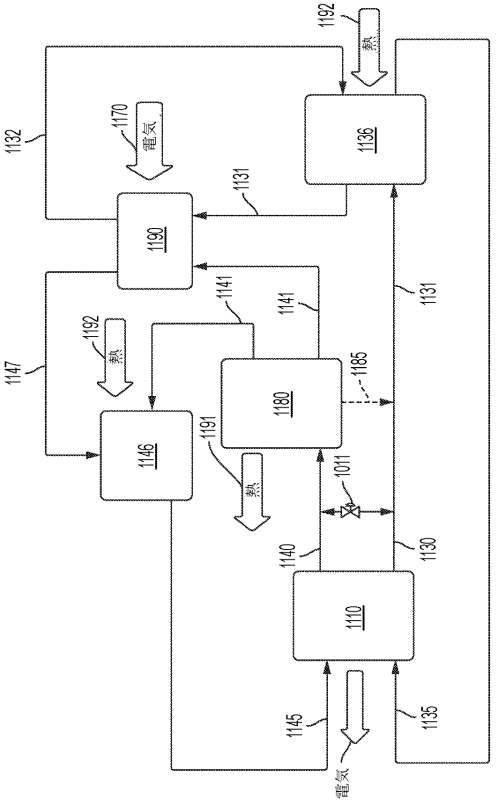
【図１０】


熱
低グレード廃熱
1013
991 熱
993 熱
高グレード廃熱
992
熱
1085
1080
1081
1011
1082
1084
1030
1040
1010
1035
1045

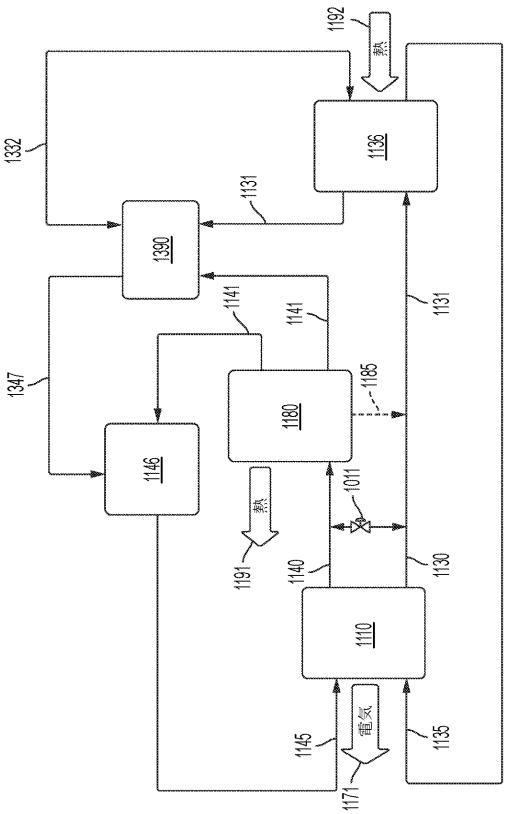
【図１１】



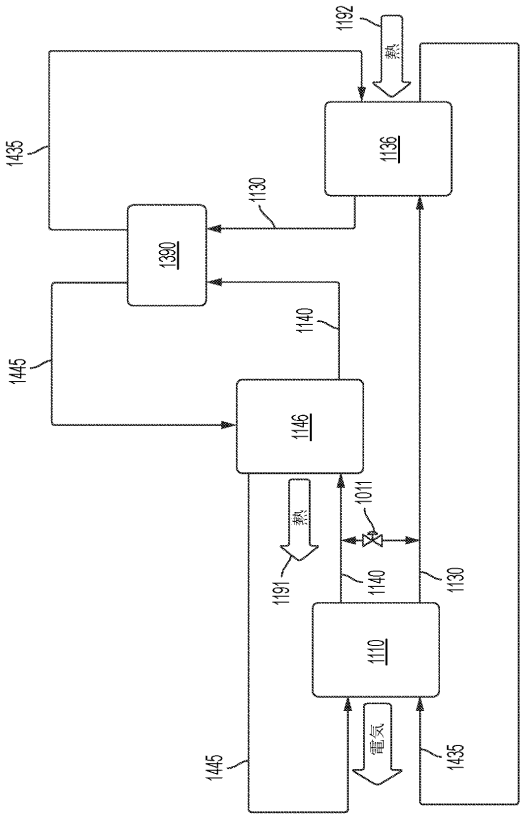
【図１２】



【図１３】



【図１４】



【図１５】

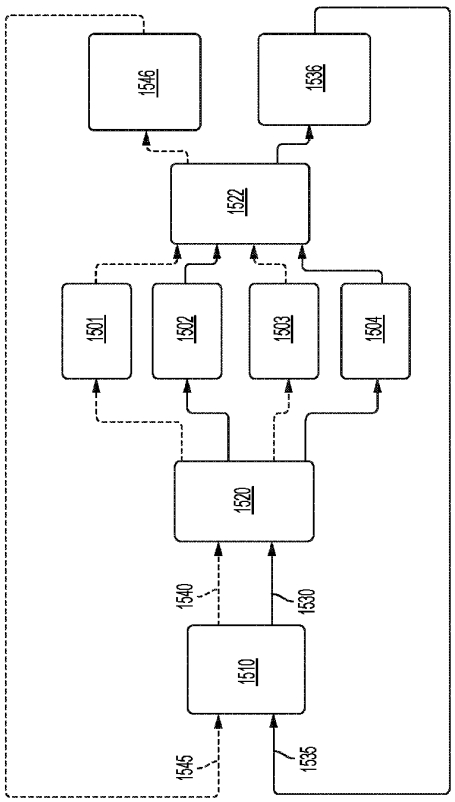
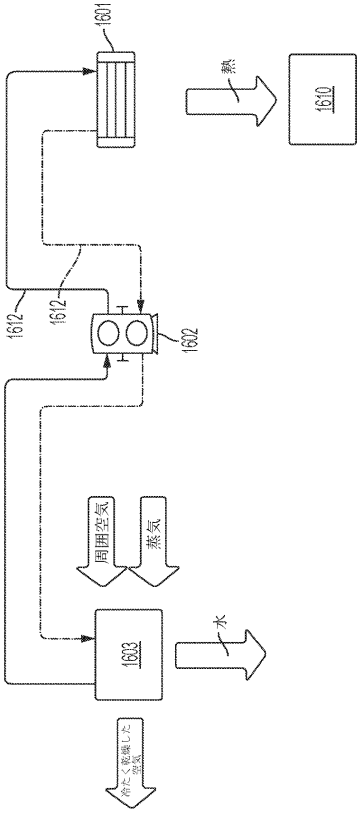


FIG. 15

【図１６】



【図１７】

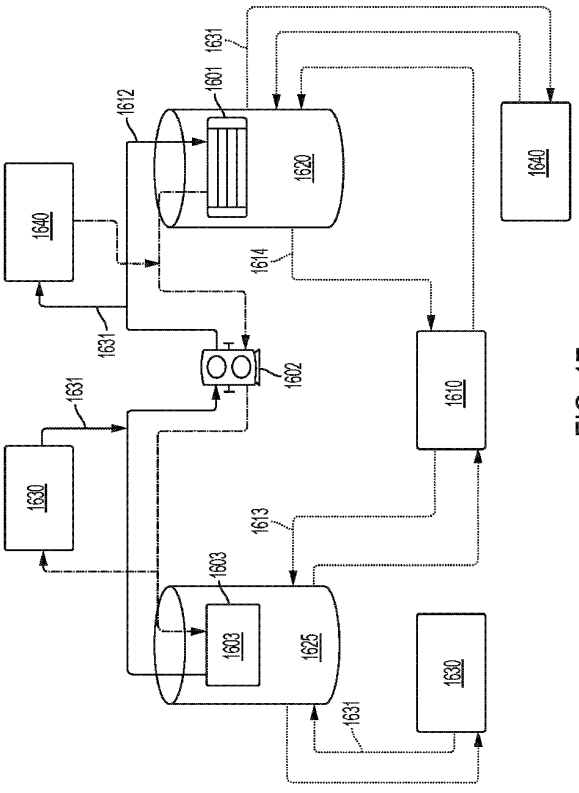
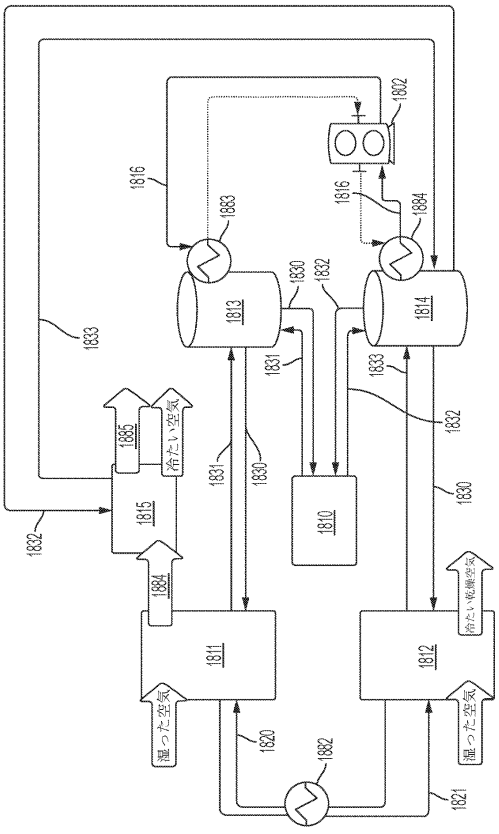
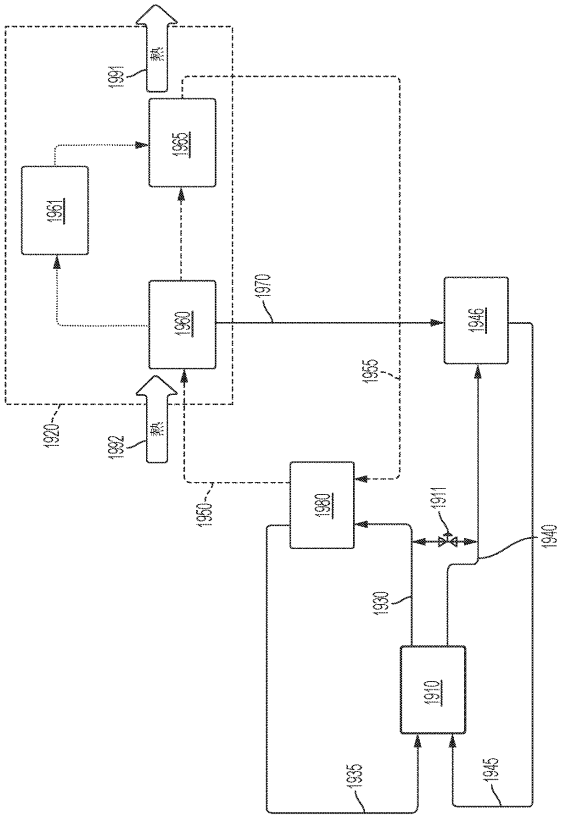


FIG. 17

【図１８】



【図１９】


1991
1965
1961
1960
1970
1946
1955
1920
1992
1950
1980
1911
1940
1930
1910
1935
1945

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2023/021447

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F03G7/00
ADD.

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)
F03G

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 37 14 628 A1 (PFAUTSCH EMIL [DE]) 26 November 1987 (1987-11-26)	11-13, 15,16, 18-20, 48-52, 54,55, 57-66
A	column 2, lines 1-61; claim 1; figure 1	1-10,14, 17, 21-47, 53,56

X	US 4 171 409 A (LOEB SIDNEY [US]) 16 October 1979 (1979-10-16)	11-16, 18-55, 57-66
A	column 3, lines 27-44; figure 1	1-10,17, 56

	-/--	

[x] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[x] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"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)

"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

"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

"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

"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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
10 October 2023	20/10/2023

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	de Martino, Marcello

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2023/021447

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 283 913 A (LOEB SIDNEY) 18 August 1981 (1981-08-18)	11-66
A	claim 1; figure 4	1-10

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/US2023/021447

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 3714628 A1	26-11-1987	NONE	
US 4171409 A	16-10-1979	IL 51542 A	31-03-1980
		US 4171409 A	16-10-1979
US 4283913 A	18-08-1981	NONE	

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (April 2005)

フロントページの続き

(51)国際特許分類	FI			テーマコード（参考）
	B01D	61/42		
	B01D	61/00	500	
	B01D	61/00		

(32)優先日　令和5年3月15日(2023.3.15)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(81)指定国・地域　AP(BW,CV,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,ME,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CV,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IQ,IR,IS,IT,JM,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,MG,MK,MN,MU,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SC,SD,SE,SG,SK,SL,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW

弁理士　岡部 英隆
(72)発明者　ナナ，ラフル エス
アメリカ合衆国３２４０５フロリダ州パナマ・シティ、ウエスト・サーティース・コート３０５０
(72)発明者　フェリア，ラファエル エイ
アメリカ合衆国２９６４０サウスカロライナ州イーズリー、ハグッド・ストリート３０６

Ｆターム（参考）　4D006　GA14 GA17 GA27 GA50 HA47 JA42Z JA43Z JA45Z JA51Z JA56A JA66A KA15 KA31 KB12 KB13 KB18 KB30 KE02Q KE12Q KE22Q KE23Q KE24Q MA03 MA09 MA13 MA14 MB10 MC03 MC18 MC22 MC23 MC29 MC30 MC39 MC54 MC58 MC62 PA01 PA02 PB03 PB05 PC72