

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2023年1月5日(05.01.2023)



(10) 国際公開番号

WO 2023/276415 A1

(51) 国際特許分類:  
*C01B 3/02* (2006.01)      *C25B 9/67* (2021.01)  
*C25B 9/00* (2021.01)      *C25B 15/027* (2021.01)  
*C25B 9/23* (2021.01)      *C25B 1/042* (2021.01)

(21) 国際出願番号:                    PCT/JP2022/017955

(22) 国際出願日:                    2022年4月15日(15.04.2022)

(25) 国際出願の言語:                    日本語

(26) 国際公開の言語:                    日本語

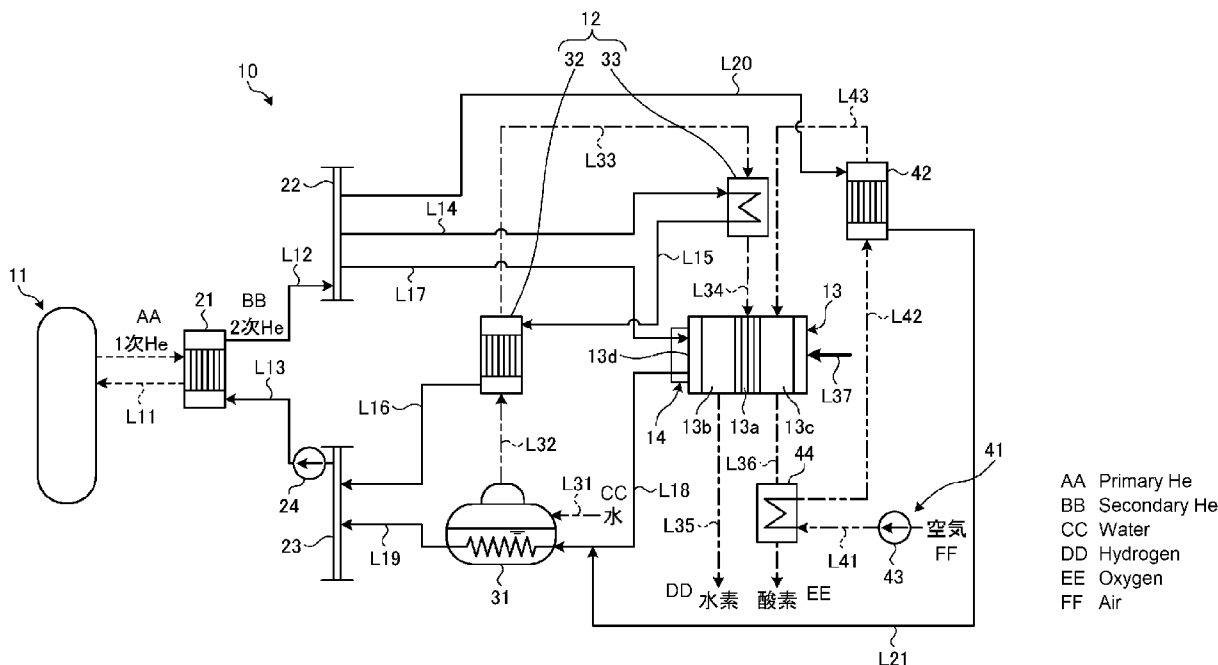
(30) 優先権データ:  
 特願 2021-109055    2021年6月30日(30.06.2021) JP

(71) 出願人: 三菱重工業株式会社 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.)  
 [JP/JP]; 〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 松尾 健(MATSUO, Takeshi); 〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 浅野 耕司 (ASANO, Koji); 〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 岩淵 宏之(IWABUCHI, Hiroyuki); 〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 中桐 基裕(NAKAGIRI, Motohiro); 〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 小城 育昌(KOSHIRO, Ikumasa); 〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 原 伸英(HARA, Nobuhide); 〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP).

(54) Title: HYDROGEN PRODUCTION SYSTEM AND HYDROGEN PRODUCTION METHOD

(54) 発明の名称: 水素製造システムおよび水素製造方法



(57) Abstract: Provided are a hydrogen production system and a hydrogen production method, the hydrogen production system including: a heat source capable of generating a thermal energy of 600 ° C or more; a heat exchanger that heats steam by using a heating medium heated by means of the thermal energy; a high-temperature steam electrolyzer that produces hydrogen by using the steam heated by means of the heating medium; and a heating apparatus that heats the high-temperature steam electrolyzer by using the heating medium heated by means of the thermal energy.

WO 2023/276415 A1

(74) 代理人: 弁理士法人酒井国際特許事務所 (SAKAI INTERNATIONAL PATENT OFFICE); 〒1000013 東京都千代田区霞が関 3 丁目 8 番 1 号 虎の門三井ビルディング Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JM, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: 水素製造システムおよび水素製造方法において、600℃以上の熱エネルギーを発生可能な熱源と、熱エネルギーにより加熱された熱媒体を用いて水蒸気を加熱する熱交換器と、熱媒体で加熱された水蒸気を用いて水素を製造する高温水蒸気電解装置と、熱エネルギーにより加熱された熱媒体を用いて高温水蒸気電解装置を加熱する加熱装置とを備える。

## 明 細 書

発明の名称：水素製造システムおよび水素製造方法

### 技術分野

[0001] 本開示は、水素製造システムおよび水素製造方法に関するものである。

### 背景技術

[0002] 水素製造技術の一つとして、高温水蒸気電解法がある。高温水蒸気電解法は、原料が安価であり、水素製造プロセスにおいて二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）が発生しないというメリットがある。しかし、高温水蒸気電解法は、電気分解により水素を生成するものであるため、電気エネルギーのコストが高いという課題がある。そこで、700℃以上の高温水蒸気を電気分解することで、電気分解に要する電気エネルギーを減少することが考えられる。

[0003] ところが、700℃以上の高温水蒸気を生成することは困難であり、従来、ボイラや電気炉などにより水を昇温して水蒸気を生成し、この水蒸気を電気分解して水素を生成している。しかし、この場合の水蒸気の温度は、100℃～200℃であり、高温水蒸気電解法に必要な700℃以上の高温水蒸気をより低い。また、水の分解は、吸熱反応であり、1モルの水を電気分解するときに、外部から286ジュールの熱を供給する必要がある。そのため、従来、水の電気分解時の吸熱と水蒸気の顕熱を水電解セルのジュール熱で補いながら、水蒸気を700℃～900℃として電気分解している。このような従来の水素製造装置として、例えば、下記特許文献1に記載されたものがある。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0004] 特許文献1：特表2019-537815号公報

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0005] 高温水蒸気電解法による水素製造装置は、高温水蒸気を利用することによ

って水の電気分解にかかる電気エネルギーを減少させることができる。しかし、現実には、従来の水素製造装置は、必要な電気エネルギーを、水の電気分解の運転温度に相当する温度の高温水蒸気の生成エネルギーにより賄うと共に、水の電気分解の吸熱反応を電気エネルギーで賄っている。すなわち、従来の水素製造装置は、水電解の吸熱と水電解セルの発熱がバランスする熱中立点の電位、または、熱中立点の電位以上の電位で運転しており、電気エネルギーのコストが高い。水素製造装置は、コストの大半が電力であり、この電力が再生可能エネルギーであれば、二酸化炭素を削減することができる。しかし、再生可能エネルギーは、電力の供給が不安定であるため、水素製造装置に適用することは困難である。一方で、火力発電システムにより生成した電気エネルギーは、二酸化炭素の発生が伴ってしまう。

[0006] 本開示は、上述した課題を解決するものであり、二酸化炭素の発生を抑制すると共にエネルギーコストの低減を図る水素製造システムおよび水素製造方法を提供することを目的とする。

### 課題を解決するための手段

[0007] 上記の目的を達成するための本開示の水素製造システムは、600℃以上の熱エネルギーにより加熱された熱媒体を用いて水蒸気を加熱する熱交換器と、前記熱媒体で加熱された水蒸気を用いて水素を製造する高温水蒸気電解装置と、前記熱エネルギーにより加熱された熱媒体を用いて前記高温水蒸気電解装置を加熱する加熱装置と、を備える。

[0008] また、本開示の水素製造方法は、600℃以上の熱エネルギーを発生させる工程と、前記熱エネルギーにより加熱された熱媒体を使用して水蒸気を加熱する工程と、前記熱エネルギーにより加熱された熱媒体を用いて高温水蒸気電解装置を加熱する工程と、前記熱媒体で加熱された水蒸気を用いて前記高温水蒸気電解装置により水素を製造する工程と、を有する。

### 発明の効果

[0009] 本開示の水素製造システムおよび水素製造方法によれば、二酸化炭素の発生を抑制することができると共にエネルギーコストの低減を図ることができる

。

### 図面の簡単な説明

- [0010] [図1]図1は、第1実施形態の水素製造システムを表す概略構成図である。  
[図2]図2は、電気密度と熱エネルギーとの関係を表すグラフである。  
[図3]図3は、第2実施形態の水素製造システムを表す概略構成図である。  
[図4]図4は、第3実施形態の水素製造システムを表す概略構成図である。

### 発明を実施するための形態

- [0011] 以下に図面を参照して、本開示の好適な実施形態を詳細に説明する。なお、この実施形態により本開示が限定されるものではなく、また、実施形態が複数ある場合には、各実施形態を組み合わせるものも含むものである。また、実施形態における構成要素には、当業者が容易に想定できるもの、実質的に同一のもの、いわゆる均等の範囲のものが含まれる。

- [0012] [第1実施形態]

#### <水素製造システム>

図1は、第1実施形態の水素製造システムを表す概略構成図である。

- [0013] 第1実施形態において、図1に示すように、水素製造システム10は、熱源11と、熱交換器12と、高温水蒸気電解装置(SOEC)13と、加熱装置14とを備える。

- [0014] 熱源11は、高温ガス炉であり、900℃以上の熱エネルギーを発生可能である。なお、熱源11は、高温ガス炉に限定されるものではなく、600℃以上の熱エネルギーを発生可能なものであればよい。熱源としては、例えば、電気炉、ヘリオスタット式太陽熱集光装置、ボイラ、ガスタービン排熱などを適用してもよい。

- [0015] 熱源11としての高温ガス炉は、燃料の被覆にセラミックス材料を使用し、冷却材をヘリウムとし、減速材を黒鉛とする原子炉である。高温ガス炉は、900℃以上の熱媒体としてのヘリウムガスを生成可能である。熱源11としての高温ガス炉は、循環経路L11が連結される。循環経路L11は、熱源11の他に、中間熱交換器21が連結される。中間熱交換器21は、供

給経路L12の一端部および戻り経路L13の一端部が連結される。

[0016] 中間熱交換器21は、循環経路L11を流れる1次ヘリウム（1次熱媒体）と供給経路L12のおよび戻り経路L13を流れる2次ヘリウム（2次熱媒体）との間で熱交換を行う。すなわち、中間熱交換器21は、循環経路L11を流れる、例えば、950℃の1次ヘリウムにより供給経路L12のおよび戻り経路L13を流れる2次ヘリウムを、例えば、900℃に加熱する。

[0017] 供給経路L12は、他端部に供給ヘッド22が連結される。戻り経路L13は、他端部に戻りヘッド23が連結される。戻り経路L13は、ファン24が設けられる。水素製造システム10は、熱源11で発生した900℃以上の熱エネルギーで加熱された熱媒体としての2次ヘリウムを用いて水素を製造するものである。

[0018] 高温水蒸気電解装置13は、固体酸化物形電気化学セルを用い、約700℃～800℃の高温で水電解により水素製造するものである。高温水蒸気電解装置13は、電解質層13aと、水素ガス拡散電極層13bと、酸素ガス拡散電極層13cとを有する。

[0019] 電解質層13aは、固体電解質からなる電解質層である。電解質層13aは、一方に水素ガス拡散電極層13bが配置され、他方に酸素ガス拡散電極層13cが配置される。ここで、水素ガス拡散電極層13bは、水素側の陰極電極であり、酸素ガス拡散電極層13cは、酸素側の陽極電極である。高温水蒸気電解装置13は、例えば、ケース13dの内部に電解質層13aと水素ガス拡散電極層13bと酸素ガス拡散電極層13cが配置されて構成される。

[0020] 蒸気発生器31は、2次ヘリウムの熱エネルギーにより水を加熱して水蒸気を生成する。蒸気発生器31は、水供給経路L31が連結されると共に、第1水蒸気供給経路L32の一端部が連結される。熱交換器12は、第1熱交換器32と、第2熱交換器33とを有する。第1熱交換器32は、第1水蒸気供給経路L32の他端部が連結されると共に、第2水蒸気供給経路L3

3の一端部が連結される。第2熱交換器33は、第2水蒸気供給経路L33の他端部が連結されると共に、第3水蒸気供給経路L34の一端部が連結される。

[0021] 第1熱交換器32は、2次ヘリウムの熱エネルギーにより水蒸気を過熱して過熱水蒸気を生成する。第2熱交換器33は、2次ヘリウムの熱エネルギーにより過熱水蒸気を更に過熱する。水蒸気供給経路L32, L33, L34にて、水蒸気の流れ方向の上流側に第1熱交換器32が配置され、第1熱交換器32より下流側に第2熱交換器33が配置される。

[0022] 高温水蒸気電解装置13は、第3水蒸気供給経路L34の他端部が連結される。高温水蒸気電解装置13は、水素ガス排出経路L35と酸素ガス排出経路L36が連結される。また、高温水蒸気電解装置13は、電力供給経路L37が接続され、外部から電力（電気エネルギー）が供給可能である。

[0023] 高温水蒸気電解装置13は、2次ヘリウムの熱エネルギーにより加熱された水蒸気を用いると共に、電力供給経路L37から供給された電気エネルギーを用いて水素を製造する。加熱装置14は、2次ヘリウムの熱エネルギーを用いて高温水蒸気電解装置13を加熱する。この場合、加熱装置14は、高温水蒸気電解装置13が水素を製造するときに吸熱反応により損失する熱エネルギーを補う。

[0024] 供給ヘッダ22は、熱媒体供給経路L14により第2熱交換器33が連結される。第2熱交換器33は、熱媒体供給経路L15により第1熱交換器32が連結される。第1熱交換器32は、熱媒体供給経路L16により戻りヘッダ23が連結される。すなわち、供給ヘッダ22の2次ヘリウムは、熱媒体供給経路L14により第2熱交換器33に供給されて水蒸気を過熱し、第2熱交換器33から熱媒体供給経路L15により第1熱交換器32に供給されて水蒸気を過熱し、第1熱交換器32から熱媒体供給経路L16により戻りヘッダ23に戻される。

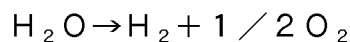
[0025] また、供給ヘッダ22は、熱媒体供給経路L17により加熱装置14が連結される。加熱装置14は、熱媒体供給経路L18により蒸気発生器31が

連結される。蒸気発生器 31 は、熱媒体供給経路 L19 により戻りヘッド 23 が連結される。すなわち、供給ヘッド 22 の 2 次ヘリウムは、熱媒体供給経路 L17 により加熱装置 14 に供給されて高温水蒸気電解装置 13 を加熱し、加熱装置 14 から熱媒体供給経路 L18 により蒸気発生器 31 に供給されて水を加熱し、蒸気発生器 31 から熱媒体供給経路 L19 により戻りヘッド 23 に戻される。

[0026] このとき、加熱装置 14 は、高温水蒸気電解装置 13 のケース 13d の内部に 2 次ヘリウムを導入し、水素ガス拡散電極層 13b および酸素ガス拡散電極層 13c を加熱する。

[0027] 高温水蒸気電解装置 13 は、第 3 水蒸気供給経路 L34 から高温の過熱水蒸気が水素ガス拡散電極層 13b に供給される。高温水蒸気電解装置 13 は、電力供給経路 L37 から電力が供給され、水素ガス拡散電極層 13b および酸素ガス拡散電極層 13c に電圧が印加される。すると、水蒸気は、水素ガス拡散電極層 13b で電気分解され、水素が発生する。発生した水素は、水素ガス排出経路 L35 に排出される。一方、水素ガス拡散電極層 13b で電気分解されて発生した酸素イオンは、電解質層 13a を透過し、酸素ガス拡散電極層 13c の内部を拡散されながら透過し、酸素として酸素ガス排出経路 L36 に排出される。

[0028] 高温水蒸気電解装置 13 は、下記式に応じた電気分解反応に基づいて水素と酸素が生成される。



[0029] 気体供給装置 41 は、気体（空気または水蒸気）を高温水蒸気電解装置 13 の酸素ガス拡散電極層 13c に供給する。気体加熱装置 42 は、2 次ヘリウムの熱エネルギーにより酸素ガス拡散電極層 13c に供給される気体を加熱する。気体供給経路 L41 は、気体供給装置 41 を構成するファン 43 が設けられる。酸素ガス排出経路 L36 は、熱交換器 44 が設けられる。気体供給経路 L41 は、熱交換器 44 に連結される。熱交換器 44 は、気体供給経路 L42 により気体加熱装置 42 に連結される。気体加熱装置 42 は、気

体供給経路L 4 3により酸素ガス拡散電極層1 3 cに連結される。

[0030] 供給ヘッド2 2は、熱媒体供給経路L 2 0により気体加熱装置4 2が連結される。気体加熱装置4 2は、熱媒体供給経路L 2 1により熱媒体供給経路L 1 8を介して蒸気発生器3 1が連結される。すなわち、供給ヘッド2 2の2次ヘリウムは、熱媒体供給経路L 2 0により気体加熱装置4 2に供給されて気体を加熱し、気体加熱装置4 2から熱媒体供給経路L 2 1により蒸気発生器3 1に供給される。

[0031] ファン4 3が駆動すると、気体（空気）は、気体供給経路L 4 1から熱交換器4 4に供給され、酸素ガス排出経路L 3 6を流れる酸素により加熱される。加熱された気体は、気体供給経路L 4 2により気体加熱装置4 2に供給され、2次ヘリウムの熱エネルギーにより加熱される。加熱された気体は、気体供給経路L 4 3により酸素ガス拡散電極層1 3 cに供給され、生成された酸素を酸素ガス排出経路L 3 6に排出する。

[0032] <水素製造方法>

本実施形態の水素製造方法は、600℃以上の熱エネルギーを発生させる工程と、熱エネルギーにより加熱された熱媒体を使用して水蒸気を加熱する工程と、熱エネルギーにより加熱された熱媒体を用いて高温水蒸気電解装置1 3を加熱する工程と、熱媒体で加熱された水蒸気を用いて高温水蒸気電解装置1 3により水素を製造する工程とを有する。

[0033] 熱源1 1としての高温ガス炉は、例えば、950℃の1次ヘリウムを生成する。高温の1次ヘリウムは、循環経路L 1 1を流れ、中間熱交換器2 1にて、戻り経路L 1 3を流れる2次ヘリウムと交換を行い、2次ヘリウムを、例えば、900℃まで加熱する。中間熱交換器2 1で熱交換された2次ヘリウムは、供給経路L 1 2を流れ、供給ヘッド2 2に、例えば、900℃程度で供給される。

[0034] ファン2 4が駆動すると、高温の2次ヘリウムが中間熱交換器2 1で加熱されながら循環する。供給ヘッド2 2の2次ヘリウムは、熱媒体供給経路L 1 4により第2熱交換器3 3に供給されて水蒸気を過熱し、第2熱交換器3

3から熱媒体供給経路L15により第1熱交換器32に供給されて水蒸気を過熱する。また、供給ヘッダ22の2次ヘリウムは、熱媒体供給経路L17により加熱装置14に供給されて高温水蒸気電解装置13を加熱する。さらに、供給ヘッダ22の2次ヘリウムは、熱媒体供給経路L20により気体加熱装置42に供給されて気体を加熱する。

[0035] 蒸気発生器31は、水供給経路L31から供給された水を加熱して水蒸気を生成する。水蒸気は、第1水蒸気供給経路L32により第1熱交換器32に供給されて過熱され、第2水蒸気供給経路L33により第2熱交換器33に供給されてさらに過熱され、例えば、850℃の高温水蒸気として高温水蒸気電解装置13に供給される。高温水蒸気電解装置13は、加熱装置14の2次ヘリウムにより加熱され、電力供給経路L37から供給された電力により高温水蒸気を電気分解し、水素と酸素を生成する。

[0036] 高温水蒸気電解装置13で生成された水素は、水素ガス排出経路L35から排出され、酸素は、酸素ガス排出経路L36から排出される。このとき、ファン43が駆動すると、気体（空気）が気体供給経路L41から熱交換器44に供給されて加熱され、気体供給経路L42により気体加熱装置42に供給されて加熱され、気体供給経路L43により酸素ガス拡散電極層13cに供給される。高温水蒸気電解装置13で生成された酸素は、気体供給経路L43から供給された高温の気体により酸素ガス排出経路L36に排出される。

[0037] <水素製造方法の原理>

図2は、電気密度と熱エネルギーとの関係を表すグラフである。

[0038] 図2は、燃料電池（SOFC）と高温水蒸気電解装置（SOEC）における電気密度と熱エネルギーとの関係を表すものである。図2に示すように、高温水蒸気電解に伴う吸熱は、電気密度の上昇に応じて一次関数（比例）で下降する。高温水蒸気電解に伴って発生するジュール発熱は、電気密度の上昇に応じて二次関数で下降してから上昇する。そのため、ジュール発熱と吸熱を合わせた熱は、電気密度の上昇に応じて二次関数で下降してから

上昇する。

[0039] 従来の水素製造システムは、第1実施形態のような熱源（高温ガス炉）11がないことから、高温水蒸気電解装置で発生するジュール発熱による熱により水を電気分解するときの吸熱反応を補っている。すなわち、従来の高温水蒸気電解装置は、熱中立点A以上の電位で運転している。

[0040] 一方、第1実施形態の水素製造システム10は、熱源（高温ガス炉）11を有することから、熱源11で発生した600℃以上の熱エネルギーにより加熱された熱媒体を用いて水蒸気を加熱することで、水を電気分解するときの吸熱反応を補うことができる。そのため、第1実施形態の水素製造システム10は、熱中立点A以下である運転点Bの電位で運転することができる。運転点Bでは、電気エネルギーを熱エネルギー（ジュール発熱）に変換することなく、電気エネルギーから熱エネルギーへの変換するときのエネルギーロスを低減することができる。

[0041] [第2実施形態]

図3は、第2実施形態の水素製造システムを表す概略構成図である。なお、上述した第1実施形態と同様の機能を有する部材には、同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

[0042] 第2実施形態において、図3に示すように、水素製造システム10Aは、第1実施形態と同様に、熱源11と、熱交換器12と、高温水蒸気電解装置（SOEC）13と、加熱装置14とを備える。第2実施形態の水素製造システム10Aは、第1実施形態に対して、熱媒体供給経路の簡略化を図っている。

[0043] 供給ヘッダ22は、熱媒体供給経路L14により第2熱交換器33が連結される。第2熱交換器33は、熱媒体供給経路L51により加熱装置14が連結される。加熱装置14は、熱媒体供給経路L18により蒸気発生器31が連結される。すなわち、供給ヘッダ22の2次ヘリウムは、熱媒体供給経路L14により第2熱交換器33に供給されて水蒸気を過熱し、第2熱交換器33から加熱装置14に供給されて高温水蒸気電解装置13を加熱する。

[0044] また、供給ヘッダ 2 2 は、熱媒体供給経路 L 5 2 により第 1 熱交換器 3 2 が連結される。第 1 熱交換器 3 2 は、熱媒体供給経路 L 1 6 により戻りヘッダ 2 3 が連結される。すなわち、供給ヘッダ 2 2 の 2 次ヘリウムは、熱媒体供給経路 L 5 2 により第 1 熱交換器 3 2 に供給されて水蒸気を過熱する。

[0045] そのため、水素製造システム 1 0 A は、熱媒体供給経路 L 5 1, L 5 2 の長さを短くして簡略化することができ、水素製造システム 1 0 A の簡素化を図ることができる。

[0046] [第 3 実施形態]

図 4 は、第 3 実施形態の水素製造システムを表す概略構成図である。上述した第 1 実施形態と同様の機能を有する部材には、同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

[0047] 第 3 実施形態において、図 4 に示すように、水素製造システム 1 0 B は、熱源 1 1 と、熱交換器 1 2 と、高温水蒸気電解装置 (SOEC) 1 3 と、加熱装置 1 4 B とを備える。第 3 実施形態の水素製造システム 1 0 B は、第 1 実施形態に対して、加熱装置 1 4 B の構成が相違する。

[0048] 加熱装置 1 4 B は、2 次ヘリウムの熱エネルギーを用いて高温水蒸気電解装置 1 3 を加熱する。加熱装置 1 4 B は、2 次ヘリウムと 3 次ヘリウムとの間で熱交換を行う熱交換器である。加熱装置 1 4 B は、2 次ヘリウムの熱エネルギーにより 3 次ヘリウムを加熱し、3 次ヘリウムの熱エネルギーを用いて高温水蒸気電解装置 1 3 を加熱する。このとき、加熱装置 1 4 B は、高温水蒸気電解装置 1 3 のケース 1 3 d の内部に 3 次ヘリウムを導入し、水素ガス拡散電極層 1 3 b および酸素ガス拡散電極層 1 3 c を加熱する。

[0049] すなわち、供給ヘッダ 2 2 の 2 次ヘリウムは、熱媒体供給経路 L 1 7 により加熱装置 1 4 B に供給される。加熱装置 1 4 B は、2 次ヘリウムの熱エネルギーにより 3 次ヘリウムを加熱する。加熱された 3 次ヘリウムは、熱媒体供給経路 L 6 1 により高温水蒸気電解装置 1 3 のケース 1 3 d の内部に供給され、水素ガス拡散電極層 1 3 b および酸素ガス拡散電極層 1 3 c を加熱する。水素ガス拡散電極層 1 3 b および酸素ガス拡散電極層 1 3 c を加熱した

3次ヘリウムは、熱媒体供給経路L 6 2により戻される。一方、3次ヘリウムを加熱した2次ヘリウムは、熱媒体供給経路L 1 8により蒸気発生器3 1に供給される。

[0050] そのため、水素製造システム1 0 Bは、加熱装置1 4 Bとして、2次ヘリウムと3次ヘリウムとの間で熱交換を行う熱交換器を設けたことで、2次ヘリウムの熱媒体供給経路L 1 5, L 1 8の簡素化を図ることができる。

[0051] [本実施形態の作用効果]

第1の態様に係る水素製造システムは、600℃以上の熱エネルギーにより加熱された熱媒体を用いて水蒸気を加熱する熱交換器1 2と、熱媒体で加熱された水蒸気を用いて水素を製造する高温水蒸気電解装置1 3と、熱エネルギーにより加熱された熱媒体を用いて高温水蒸気電解装置1 3を加熱する加熱装置1 4とを備える。

[0052] 第1の態様に係る水素製造システムによれば、600℃以上の熱エネルギーにより加熱された熱媒体を用いて高温水蒸気電解装置1 3を加熱し、600℃以上の熱エネルギーにより加熱された熱媒体を用いて水蒸気を加熱し、高温水蒸気を高温水蒸気電解装置1 3に供給して電気分解により水素を製造する。そのため、火力発電システムなどにより生成した電気エネルギーの使用量を低減して二酸化炭素の発生を抑制することができると共に、エネルギーコストの低減を図ることができる。

[0053] 第2の態様に係る水素製造システムは、加熱装置1 4, 1 4 Bが、高温水蒸気電解装置1 3が水素を製造するときに吸熱反応により損失する熱エネルギーを補う。これにより、外部から高温水蒸気電解装置1 3への熱エネルギーの供給量を減少させることができる。

[0054] 第3の態様に係る水素製造システムは、水蒸気を生成して水蒸気供給経路L 3 2, L 3 3, L 3 4により高温水蒸気電解装置1 3, 1 3 Bに供給する蒸気発生器3 1を有し、熱交換器1 2は、水蒸気供給経路L 3 2, L 3 3に設けられる第1熱交換器3 2と、水蒸気供給経路L 3 3, L 3 4における第1熱交換器3 2より下流側に設けられる第2熱交換器3 3とを有し、熱媒体

は、第2熱交換器33から第1熱交換器32に供給される。これにより、熱媒体は、下流側の第2熱交換器33から上流側の第1熱交換器32に供給することで、熱媒体の熱エネルギーを有効的に使用することができる。

[0055] 第4の態様に係る水素製造システムは、水蒸気を生成して水蒸気供給経路L32, L33, L34により高温水蒸気電解装置13, 13Bに供給する蒸気発生器31を有し、熱交換器12は、水蒸気供給経路L32, L33に設けられる第1熱交換器32と、水蒸気供給経路L33, L34における第1熱交換器32より下流側に設けられる第2熱交換器33とを有し、熱媒体は、第1熱交換器32に供給されると共に、第2熱交換器33から加熱装置14に供給される。これにより、熱媒体供給経路L51, L52の長さを短くして簡略化することができる。

[0056] 第5の態様に係る水素製造システムは、高温水蒸気電解装置13として、電解質層13aと、水素ガス拡散電極層13bと、酸素ガス拡散電極層13cとが設けられ、加熱装置14は、水素ガス拡散電極層13bおよび酸素ガス拡散電極層13cを加熱する。これにより、外部から高温水蒸気電解装置13への熱エネルギーの供給量を減少させることができる。

[0057] 第6の態様に係る水素製造システムは、気体を酸素ガス拡散電極層13cに供給する気体供給装置41と、熱エネルギーにより加熱された熱媒体を用いて酸素ガス拡散電極層13cに供給される気体を加熱する気体加熱装置42とを有する。これにより、高温水蒸気電解装置13の温度を低下させることなく、高温水蒸気電解装置13で生成された酸素を効率良く排出することができる。

[0058] 第7の態様に係る水素製造システムは、熱エネルギーを発生可能な熱源11としては、高温ガス炉があり、熱交換器12は、高温ガス炉で生成された高温ヘリウムの熱エネルギーにより加熱された熱媒体を使用して水蒸気を加熱する。これにより、二酸化炭素の発生量を低減することができる。

[0059] 第8の態様に係る水素製造システムは、熱エネルギーを発生可能な熱源11としては、高温ガス炉があり、加熱装置14, 14Bは、高温ガス炉で生

成された高温ヘリウムの熱エネルギーにより高温水蒸気電解装置 13 を加熱する。これにより、二酸化炭素の発生量を低減することができる。

[0060] 第9の態様に係る水素製造方法は、600℃以上の熱エネルギーを発生させる工程と、熱エネルギーにより加熱された熱媒体を使用して水蒸気を加熱する工程と、熱エネルギーにより加熱された熱媒体を用いて高温水蒸気電解装置 13, 13B を加熱する工程と、熱媒体で加熱された水蒸気を用いて高温水蒸気電解装置 13, 13B により水素を製造する工程とを有する。これにより、火力発電システムなどにより生成した電気エネルギーの使用量を低減して二酸化炭素の発生を抑制することができると共に、エネルギーコストの低減を図ることができる。

### 符号の説明

- [0061] 10, 10A, 10B 水素製造システム
- 11 熱源
  - 12 熱交換器
  - 13 高温水蒸気電解装置
  - 14, 14B 加熱装置
  - 21 中間熱交換器
  - 22 供給ヘッダ
  - 23 戻りヘッダ
  - 24 ファン
  - 31 蒸気発生器
  - 32 第1熱交換器
  - 33 第2熱交換器
  - 41 気体供給装置
  - 42 気体加熱装置
  - 43 ファン
  - 44 熱交換器
  - L11 循環経路

- L 1 2 供給経路
- L 1 3 戻り経路
- L 1 4, L 1 5, L 1 6, L 1 7, L 1 8, L 1 9, L 2 0, L 2 1, L 5 1, L 5 2, L 6 1, L 6 2 熱媒体供給経路
- L 3 1 水供給経路
- L 3 2 第1水蒸気供給経路
- L 3 3 第2水蒸気供給経路
- L 3 4 第3水蒸気供給経路
- L 3 5 水素ガス排出経路
- L 3 6 酸素ガス排出経路
- L 3 7 電力供給経路
- L 4 1, L 4 2, L 4 3 気体供給経路

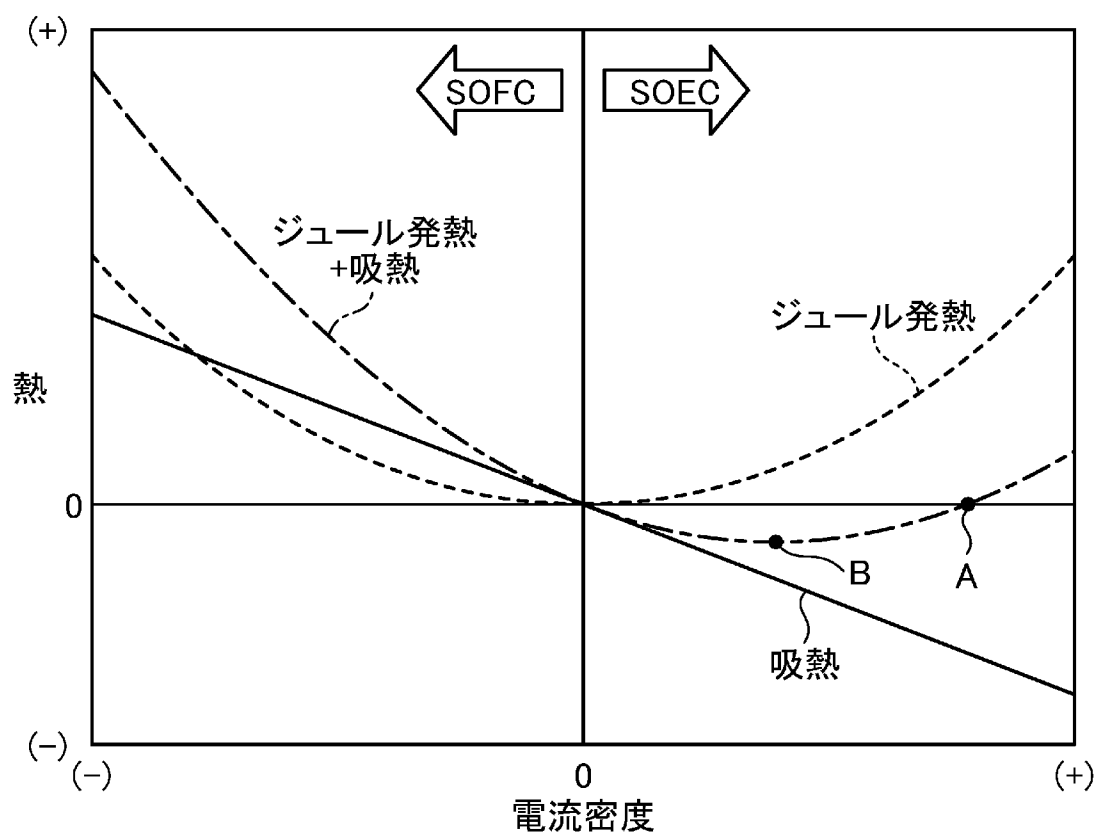
## 請求の範囲

- [請求項1] 600℃以上の熱エネルギーにより加熱された熱媒体を用いて水蒸気を加熱する熱交換器と、  
前記熱媒体で加熱された水蒸気を用いて水素を製造する高温水蒸気電解装置と、  
前記熱エネルギーにより加熱された熱媒体を用いて前記高温水蒸気電解装置を加熱する加熱装置と、  
を備える水素製造システム。
- [請求項2] 前記加熱装置は、前記高温水蒸気電解装置が水素を製造するときに吸熱反応により損失する熱エネルギーを補う、  
請求項1に記載の水素製造システム。
- [請求項3] 水蒸気を生成して水蒸気供給経路により前記高温水蒸気電解装置に供給する蒸気発生器を有し、前記熱交換器は、前記水蒸気供給経路に設けられる第1熱交換器と、前記水蒸気供給経路における前記第1熱交換器より下流側に設けられる第2熱交換器とを有し、前記熱媒体は、前記第2熱交換器から前記第1熱交換器に供給される、  
請求項1または請求項2に記載の水素製造システム。
- [請求項4] 水蒸気を生成して水蒸気供給経路により前記高温水蒸気電解装置に供給する蒸気発生器を有し、前記熱交換器は、前記水蒸気供給経路に設けられる第1熱交換器と、前記水蒸気供給経路における前記第1熱交換器より下流側に設けられる第2熱交換器とを有し、前記熱媒体は、前記第1熱交換器に供給されると共に、前記第2熱交換器から前記加熱装置に供給される、  
請求項1または請求項2に記載の水素製造システム。
- [請求項5] 前記高温水蒸気電解装置は、電解質層と、水素ガス拡散電極層と、酸素ガス拡散電極層とを有し、前記加熱装置は、前記水素ガス拡散電極層および前記酸素ガス拡散電極層を加熱する、  
請求項1に記載の水素製造システム。

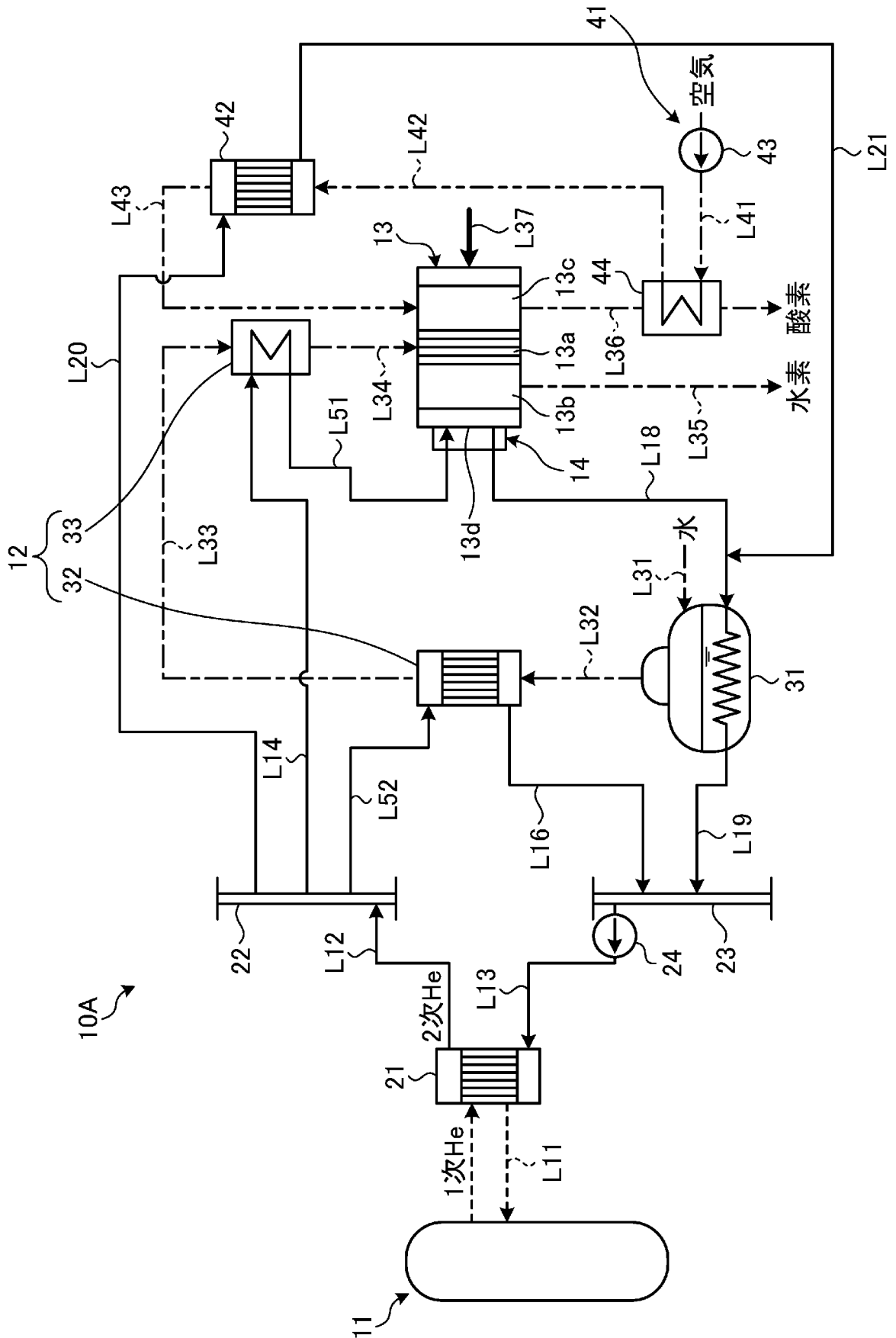
- [請求項6] 気体を前記酸素ガス拡散電極層に供給する気体供給装置と、前記熱エネルギーにより加熱された熱媒体を用いて前記酸素ガス拡散電極層に供給される気体を加熱する気体加熱装置とを有する、  
請求項5に記載の水素製造システム。
- [請求項7] 前記熱エネルギーを発生可能な熱源としては、高温ガス炉があり、前記熱交換器は、高温ガス炉で生成された高温ヘリウムの熱エネルギーにより加熱された熱媒体を使用して水蒸気を加熱する、  
請求項1に記載の水素製造システム。
- [請求項8] 前記熱エネルギーを発生可能な熱源としては、高温ガス炉があり、前記加熱装置は、高温ガス炉で生成された高温ヘリウムの熱エネルギーにより高温水蒸気電解装置を加熱する、  
請求項1に記載の水素製造システム。
- [請求項9] 600℃以上の熱エネルギーを発生させる工程と、  
前記熱エネルギーにより加熱された熱媒体を使用して水蒸気を加熱する工程と、  
前記熱エネルギーにより加熱された熱媒体を用いて高温水蒸気電解装置を加熱する工程と、  
前記熱媒体で加熱された水蒸気を用いて前記高温水蒸気電解装置により水素を製造する工程と、  
を有する水素製造方法。



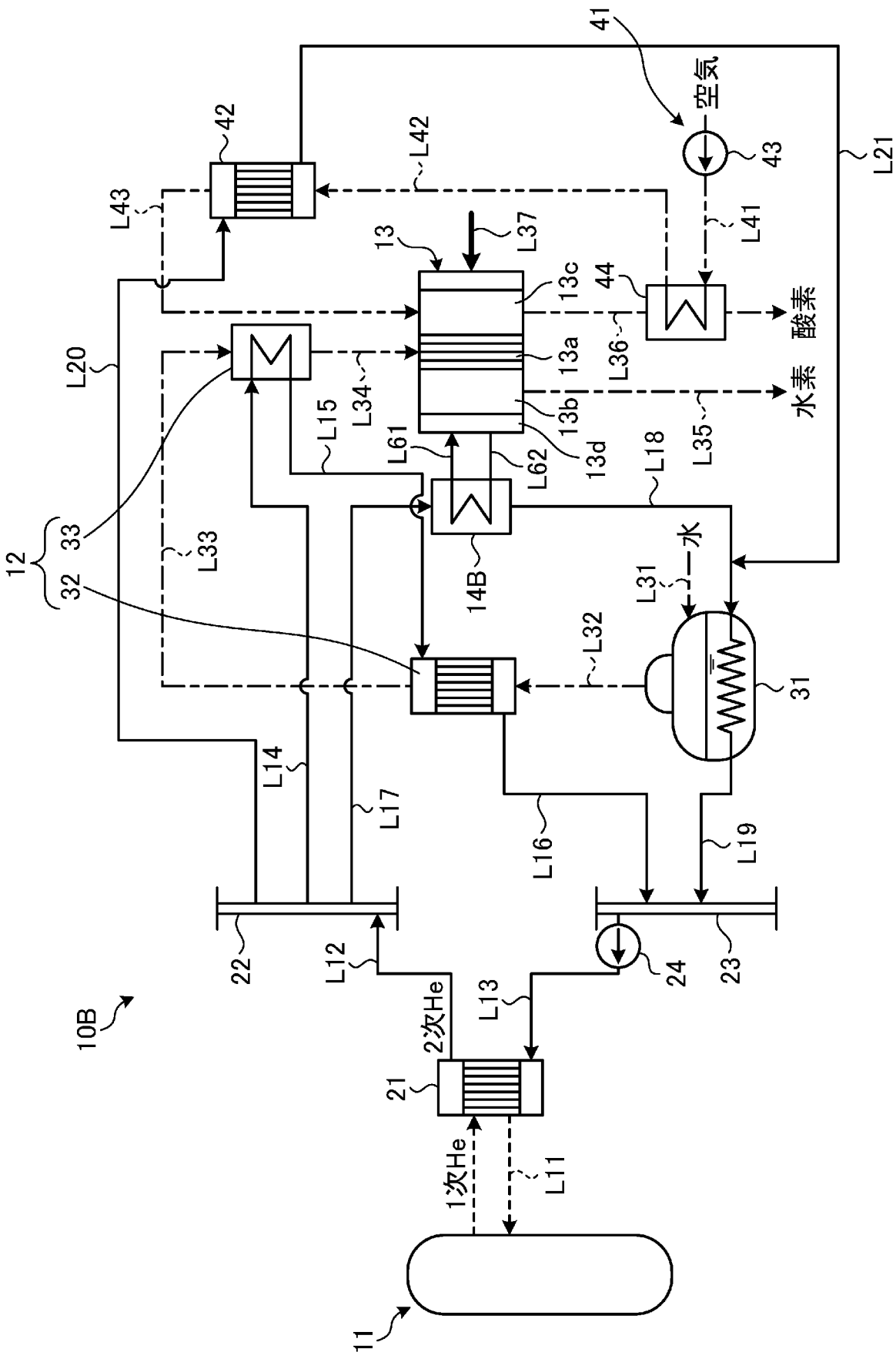
[図2]



[図3]



[図4]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/017955

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<i>C01B 3/02</i> (2006.01)i; <i>C25B 9/00</i> (2021.01)i; <i>C25B 9/23</i> (2021.01)i; <i>C25B 9/67</i> (2021.01)i; <i>C25B 15/027</i> (2021.01)i; <i>C25B 1/042</i> (2021.01)i FI: C25B1/042; C25B9/00 A; C25B9/23; C25B9/67; C01B3/02 H; C25B15/027		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) C25B1/00-C25B9/77; C25B13/00-C25B15/08		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2022 Registered utility model specifications of Japan 1996-2022 Published registered utility model applications of Japan 1994-2022		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2010-176939 A (TOSHIBA CORP) 12 August 2010 (2010-08-12) paragraphs [0017], [0023]-[0028], fig. 1	1-6, 9
Y		7-8
Y	JP 2002-47591 A (JAPAN ATOM ENERGY RES INST) 15 February 2002 (2002-02-15) paragraph [0031], fig. 7	7-8
A	JP 2010-535284 A (COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES) 18 November 2010 (2010-11-18) entire text, fig. 1-20	1-9
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 <b>21 June 2022</b>		Date of mailing of the international search report <b>28 June 2022</b>
Name and mailing address of the ISA/JP <b>Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan</b>		Authorized officer  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No. <b>PCT/JP2022/017955</b>
---

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2010-176939 A	12 August 2010	(Family: none)	
JP 2002-47591 A	15 February 2002	(Family: none)	
JP 2010-535284 A	18 November 2010	US 2010/0140102 A1 entire text, fig. 1-20 WO 2009/016226 A2 FR 2919617 A1 CN 101855387 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） C01B 3/02(2006.01)i; C25B 9/00(2021.01)i; C25B 9/23(2021.01)i; C25B 9/67(2021.01)i; C25B 15/027(2021.01)i; C25B 1/042(2021.01)i FI: C25B1/042; C25B9/00 A; C25B9/23; C25B9/67; C01B3/02 H; C25B15/027		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） C25B1/00-C25B9/77; C25B13/00-C25B15/08 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2022年 日本国実用新案登録公報 1996-2022年 日本国登録実用新案公報 1994-2022年 国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2010-176939 A (株式会社東芝) 12.08.2010 (2010-08-12) [0017], [0023]-[0028], 図1	1-6, 9
Y		7-8
Y	JP 2002-47591 A (日本原子力研究所) 15.02.2002 (2002-02-15) [0031], 図7	7-8
A	JP 2010-535284 A (コミッサリア ア レネルジー アトミック エ オ ゼネルジ ザルタナテイヴ) 18.11.2010 (2010-11-18) 全文, 図1-20	1-9
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日	
21.06.2022	28.06.2022	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官）  酒井 英夫 4E 9631  電話番号 03-3581-1101 内線 3425	

国際調査報告  
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2022/017955

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2010-176939 A	12.08.2010	(ファミリーなし)	
JP 2002-47591 A	15.02.2002	(ファミリーなし)	
JP 2010-535284 A	18.11.2010	US 2010/0140102 A1 全文, 図1-20	
		WO 2009/016226 A2	
		FR 2919617 A1	
		CN 101855387 A	