

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7565850号
(P7565850)

(45)発行日 令和6年10月11日(2024.10.11)

(24)登録日 令和6年10月3日(2024.10.3)

(51)国際特許分類		F I	
C 0 1 B	3/24 (2006.01)	C 0 1 B	3/24
C 0 1 B	3/02 (2006.01)	C 0 1 B	3/02 B
C 2 5 B	1/04 (2021.01)	C 2 5 B	1/04
C 2 5 B	1/042(2021.01)	C 2 5 B	1/042
C 2 5 B	9/00 (2021.01)	C 2 5 B	9/00 A
請求項の数 9 (全9頁) 最終頁に続く			
(21)出願番号	特願2021-61245(P2021-61245)	(73)特許権者	000006208
(22)出願日	令和3年3月31日(2021.3.31)		三菱重工業株式会社
(65)公開番号	特開2022-157169(P2022-157169		東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号
	A)	(74)代理人	110002147
(43)公開日	令和4年10月14日(2022.10.14)		弁理士法人酒井国際特許事務所
審査請求日	令和5年11月13日(2023.11.13)	(72)発明者	碓井 志典
			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
		(72)発明者	浅野 耕司
			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
		(72)発明者	岩淵 宏之
			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
		(72)発明者	原 伸英
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 水素製造システムおよび水素製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

9 0 0 以上の熱エネルギーを発生可能な熱源と、
前記熱エネルギーにより加熱された熱媒体が循環する循環経路と、
前記循環経路を循環する前記熱媒体を使用して原料を反応させて水素を製造する第 1 水素製造装置と、
前記第 1 水素製造装置で使用されて前記循環経路を循環する前記熱媒体を用いて原料を反応させて水素を製造する第 2 水素製造装置と、
を備える水素製造システム。

【請求項 2】

前記第 1 水素製造装置は、9 0 0 以上の熱エネルギーにより前記熱媒体が加熱されてこの加熱された高温熱媒体を使用して水素を製造し、前記第 2 水素製造装置は、前記高温熱媒体より低温の低温熱媒体を使用して水素を製造する、
請求項 1 に記載の水素製造システム。

【請求項 3】

前記第 1 水素製造装置は、メタン熱分解法と高温水蒸気電解法と熱化学分解法といずれか一つにより水素を製造し、前記第 2 水素製造装置は、高温アルカリ水電解法により水素を製造する、
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】

前記第 1 水素製造装置と前記第 2 水素製造装置は、同一の方法で仕様の異なる方式により水素を製造する、

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】

前記熱媒体により前記第 1 水素製造装置または前記第 2 水素製造装置で使用される原料を予熱する、

請求項 1 から請求項 4 のいずれか一項に記載の水素製造システム。

【請求項 6】

前記第 1 水素製造装置または前記第 2 水素製造装置は、高温水蒸気電解法または熱化学分解法により水素を製造するものであり、蒸気を過熱する蒸気過熱器と、過熱蒸気を電気分解する水電解セルとを有する、

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 7】

前記第 2 水素製造装置で使用された前記熱媒体を用いて水素を製造する第 3 水素製造装置を有する、

請求項 1 から請求項 6 のいずれか一項に記載の水素製造システム。

【請求項 8】

前記熱源は、高温ガス炉で生成される、

請求項 1 から請求項 7 のいずれか一項に記載の水素製造システム。

【請求項 9】

900 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が循環する工程と、
循環する前記熱媒体を使用して原料を反応させて水素を製造する工程と、
水素の製造に使用されて循環する前記熱媒体を用いて原料を反応させて水素を製造する工程と、
を有する水素製造方法。

【発明の詳細な説明】

【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】

低炭素社会を実現する技術として、例えば、高温ガス炉がある。高温ガス炉は、運転温度が軽水炉に比べて高温である。高温ガス炉は、燃料の被覆にセラミックス材料を使用し、冷却材がヘリウム、減速材が黒鉛である。高温ガス炉は、運転温度が高く、高い熱エネルギーが得られることから、発電以外のエネルギー利用が可能であり、水素製造装置への適用が進められている。従来の水素製造システムとして、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】

【0003】

【文献】特許第 3964657 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上述した高温ガス炉は、高温の熱エネルギーを用いて水素を製造する。高温の熱エネルギーを用いた水素製造技術としては、メタン熱分解法、熱化学分解法（IS 法）や高温水蒸気電解法（SOEC）などがある。ところが、従来の高温の熱エネルギーを用いた水素製造技術は、熱エネルギーにおける高温領域で利用されるメタン熱分解などの技術を利用したものでしかない。そのため、従来の水素製造技術は、利用できる熱エネルギーの温度

10

20

30

40

50

範囲が限定されており、熱エネルギーの利用効率の向上が求められている。

【 0 0 0 5 】

本開示は、上述した課題を解決するものであり、熱エネルギーにおける利用効率の向上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】

【 0 0 0 6 】

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、900 以上の熱エネルギーを発生可能な熱源と、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素を製造する第1水素製造装置と、前記第1水素製造装置で使用された前記熱媒体を用いて水素を製造する第2水素製造装置と、を備える。

10

【 0 0 0 7 】

また、本開示の水素製造方法は、900 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素を製造する工程と、水素の製造に使用された前記熱媒体を用いて水素を製造する工程と、を有する。

【発明の効果】

【 0 0 0 8 】

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、熱エネルギーにおける利用効率の向上を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 9 】

20

【図1】図1は、水素製造システムを表す概略構成図である。

【図2】図2は、高温水蒸気電解法による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】

【 0 0 1 0 】

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。

【 0 0 1 1 】

30

< 水素製造システム >

図1は、水素製造システムを表す概略構成図である。

【 0 0 1 2 】

本実施形態において、図1に示すように、水素製造システム10は、熱源11と、第1水素製造装置12と、第2水素製造装置13とを備える。

【 0 0 1 3 】

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。第1水素製造装置12は、熱源11で発生した熱エネルギーにより加熱された熱媒体を使用して水素を製造する。第1水素製造装置12は、例えば、メタン熱分解法により水素を製造する水素製造装置である。第2水素製造装置13は、第1水素製造装置12で使用された熱媒体を用いて水素を製造する。第2水素製造装置13は、例えば、高温アルカリ水電解法により水素を製造する水素製造装置である。

40

【 0 0 1 4 】

すなわち、第1水素製造装置12は、900 以上の熱エネルギーにより加熱された高温熱媒体を使用して水素を製造する。第2水素製造装置13は、高温熱媒体が第1水素製造装置12で使用されて温度が低下した低温の低温熱媒体を使用して水素を製造する。

【 0 0 1 5 】

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、第1循環経路L

50

１１が連結される。第１循環経路Ｌ１１は、熱源１１の他に、中間熱交換器２１、再生熱交換器２２、冷却器２３、圧縮機２４が連結される。中間熱交換器２１は、第２循環経路Ｌ１２が連結される。

【００１６】

中間熱交換器２１は、第１循環経路Ｌ１１を流れる１次ヘリウム（１次熱媒体）と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、第１循環経路Ｌ１１を流れる、例えば、９５０の１次ヘリウムにより第２循環経路Ｌ１２を流れる２次ヘリウムを、例えば、９００に加熱する。

【００１７】

冷却器２３は、中間熱交換器２１で熱交換した１次ヘリウムを冷却する。圧縮機２４は、第１循環経路Ｌ１１を流れて冷却器２３により冷却された１次ヘリウムを圧縮する。再生熱交換器２２は、中間熱交換器２１で熱交換した１次ヘリウムと、冷却器２３により冷却されて圧縮機２４により圧縮された１次ヘリウムとの間で熱交換する。

10

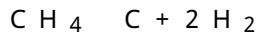
【００１８】

第２循環経路Ｌ１２は、中間熱交換器２１の他に、第１水素製造装置１２、第２水素製造装置１３、循環ポンプ２５が連結される。循環ポンプ２５は、第２循環経路Ｌ１２の２次ヘリウムを循環し、第１水素製造装置１２から第２水素製造装置１３に供給する。

【００１９】

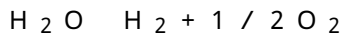
第１水素製造装置１２は、メタン熱分解法により水素を製造する。例えば、メタンを含む天然ガスを高温の２次ヘリウムにより加熱された触媒反応器に供給する。すると、メタンは、高温域で水素と炭素に熱分解する。

20



【００２０】

第２水素製造装置１３は、高温アルカリ水電解法により水素を製造する。例えば、アルカリ水が貯留された電解槽内にアノード電極（陽極）とカソード電極（陰極）を配置すると共に、その間に隔壁（イオン交換膜など）を設け、電極に通電することで水素と酸素を生成して分離する。ここで、高温の２次ヘリウムにより電解槽を加熱する。



【００２１】

第２循環経路Ｌ１２を流れる２次ヘリウムは、中間熱交換器２１で１次ヘリウムにより加熱された後、循環ポンプ２５により第１水素製造装置１２から第２水素製造装置１３に供給され、中間熱交換器２１に戻される。

30

【００２２】

なお、高温の２次ヘリウムにより、第１水素製造装置１２または第２水素製造装置１３で使用される原料を予熱するように構成してもよい。第１水素製造装置１２にて、原料としての天然ガス（メタン）を高温の２次ヘリウムにより事前に加熱する。また、第２水素製造装置１３にて、原料としての水を高温の２次ヘリウムにより事前に加熱する。

【００２３】

< 水素製造方法 >

本実施形態の水素製造方法は、９００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素を製造する工程と、水素の製造に使用された前記熱媒体を用いて水素を製造する工程とを有する。

40

【００２４】

熱源１１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、第１循環経路Ｌ１１を流れ、中間熱交換器２１にて、第２循環経路Ｌ１２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２１で熱交換された２次ヘリウムは、第２循環経路Ｌ１２を流れ、第１水素製造装置１２に、例えば、９００程度で供給される。

【００２５】

第１水素製造装置１２は、８９０の２次ヘリウムを用いてメタン熱分解法により水素

50

を製造する。第 1 水素製造装置 1 2 で使用されることで、例えば、800 まで温度低下した 2 次ヘリウムは、第 2 循環経路 L 1 2 により第 2 水素製造装置 1 3 に供給される。第 2 水素製造装置 1 3 は、800 の 2 次ヘリウムを用いて高温アルカリ水電解法により水素を製造する。第 2 水素製造装置 1 3 で使用されることで、例えば、550 まで温度低下した 2 次ヘリウムは、第 2 循環経路 L 1 2 により中間熱交換器 2 1 に戻される。

【0026】

第 1 水素製造装置 1 2 により製造された水素と、第 2 水素製造装置 1 3 により製造された水素は、別々に、または、混合して貯蔵され、用途に合わせて供給される。

【0027】

< 水素製造システムの変形例 >

本実施形態の水素製造システムは、上述した実施形態に限定されるものではない。第 1 水素製造装置および第 2 水素製造装置としては、上述したメタン熱分解法と高温アルカリ水電解法の他に、熱化学分解法（IS 法）や高温水蒸気電解法（SOEC）などを組み合わせて適用することができる。ここで、第 1 水素製造装置で使用する高温熱媒体の温度域は、800 ～ 900 であり、第 1 水素製造装置として、メタン熱分解法、熱化学分解法、高温水蒸気電解法（SOEC）を適用することができる。また、第 2 水素製造装置で使用する低温熱媒体の温度域は、600 ～ 800 であり、第 2 水素製造装置として、水蒸気改質法を適用することができる。さらに、第 2 水素製造装置で使用する低温熱媒体の温度域を、500 ～ 800 とした場合、第 2 水素製造装置として、高温アルカリ水電解法、高温水蒸気電解法（プロトン伝導型 SOEC）を適用することができる。

【0028】

ここで、第 1 水素製造装置と第 2 水素製造装置を、同一の水素製造方法による水素製造装置とし、異なる仕様により水素を製造するものとしてもよい。例えば、第 1 水素製造装置および第 2 水素製造装置としてメタン熱分解法を適用し、それぞれの触媒の種類を異ならせる。また、第 1 水素製造装置および第 2 水素製造装置として、高温水蒸気電解法を適用し、それぞれの電極の種類を異ならせる。

【0029】

また、第 1 水素製造装置または前記第 2 水素製造装置として、高温水蒸気電解法を適用することができる。以下、高温水蒸気電解法を用いた水素製造装置について説明する。図 2 は、高温水蒸気電解法による水素製造システムを表す概略構成図である。

【0030】

図 1 に示すように、水素製造システム 10 は、熱源 11 と、第 1 水素製造装置 12 と、第 2 水素製造装置 13 とを備える。第 1 水素製造装置 12 は、高温熱媒体を使用して水素を製造し、第 2 水素製造装置 13 は、高温熱媒体が第 1 水素製造装置 12 で使用されて温度が低下した低温の低温熱媒体を使用して水素を製造する。上述した説明では、第 1 水素製造装置 12 がメタン熱分解法により水素を製造するものであるが、例えば、第 1 水素製造装置が高温水蒸気電解法により水素を製造するものであってもよい。

【0031】

すなわち、図 2 に示すように、第 1 水素製造装置 30 は、蒸発器 31 と、蒸気過熱器 32 と、固体酸化物型水電解セル 33 と、リサイクル熱交換機 34 とを備える。

【0032】

熱源（高温ガス炉）11 は、1 次ヘリウムまたは 2 次ヘリウムの循環経路 L 21, L 31 が連結される。循環経路 L 21 は、蒸発器 31 が連結され、循環経路 L 31 は、蒸発器 41 が連結される。蒸発器 41 は、循環経路 L 32 を介してタービン 42 が連結される。タービン 42 は、発電機 43 に連結される。発電機 43 は、蓄電設備 44 に接続される。蒸発器 41 は、循環経路 L 31 を流れる高温のヘリウムと、循環経路 L 32 を流れる蒸気との間で熱交換を行う。蒸発器 41 で加熱された蒸気は、タービン 42 に供給され、タービン 42 を駆動回転する。発電機 43 は、タービン 42 の回転により駆動されて発電し、蓄電設備 44 に蓄電する。

【0033】

10

20

30

40

50

蒸発器 31 は、水供給経路 L22 を介して蒸気過熱器 32 と固体酸化物型水電解セル 33 とリサイクル熱交換機 34 が連結される。固体酸化物型水電解セル 33 は、蓄電設備 44 から電力が供給される。蒸発器 31 は、循環経路 L21 を流れる高温のヘリウムと、水供給経路 L22 を流れる蒸気（水）との間で熱交換を行う。蒸発器 31 で生成された蒸気は、蒸気過熱器 32 に供給される。蒸気過熱器 32 は、蒸気を過熱して過熱蒸気を生成する。蒸気過熱器 32 で生成された過熱蒸気は、固体酸化物型水電解セル 33 に供給される。固体酸化物型水電解セル 33 は、過熱蒸気を電気分解して酸素と水素を生成して分離する。リサイクル熱交換機 34 は、水供給経路 L22 を流れる水と生成された水素との間で熱交換することで、蒸気を生成する。

【0034】

第1水素製造装置 30 は、蒸発器 31 で加熱された蒸気を蒸気過熱器 32 により過熱蒸気として固体酸化物型水電解セル 33 に供給する。そのため、固体酸化物型水電解セル 33 は、過熱蒸気を電気分解することで、効率良く水素を生成することができる。

【0035】

そして、第1水素製造装置 30 で使用されたヘリウムは、温度が低下し、循環経路 L21 により第2水素製造装置（図示略）に供給される。第2水素製造装置は、例えば、高温アルカリ水電解法などにより水素を製造する。

【0036】

また、上述した実施形態にて、第1水素製造装置 12 と第2水素製造装置 13 を設けたが、第2水素製造装置 13 で使用された熱媒体を用いて水素を製造する第3水素製造装置を設けてもよい。第3水素製造装置は、第2水素製造装置で使用する低温熱媒体の温度域よりも低い温度域の熱媒体を利用して水素を製造する。

【0037】

また、上述した実施形態にて、熱源 11 を高温ガス炉としたが、この構成に限定されるものではない。例えば、熱源として、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。

【0038】

また、上述した実施形態にて、熱源 11 として、高温ガス炉を適用し、第1水素製造装置 12 および第2水素製造装置 13 として、メタン熱分解法、高温アルカリ水電解法、熱化学分解法、高温水蒸気電解法を適用することで、二酸化炭素の発生量をなくすることができる。また、熱源として、再生エネルギーを利用した電気炉やヘリオスタット式太陽熱集光装置を適用することで、同様に、二酸化炭素の発生量をなくすることができる。但し、熱源 11 として高温ガス炉を適用することで、水素製造装置の形式に拘わらず、二酸化炭素の発生量を低減することができる。

【0039】

[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、900 以上の熱エネルギーを発生可能な熱源 11 と、熱エネルギーにより加熱された熱媒体を使用して水素を製造する第1水素製造装置 12 と、第1水素製造装置 12 で使用された熱媒体を用いて水素を製造する第2水素製造装置 13 とを備える。

【0040】

第1の態様に係る水素製造システムによれば、熱源 11 で発生した熱エネルギーにより加熱された熱媒体を使用し、第1水素製造装置 12 と第2水素製造装置 13 により段階的に水素を製造する。その結果、熱エネルギーを効率良く利用し、熱エネルギーにおける利用効率の向上を図ることができる。

【0041】

第2の態様に係る水素製造システムは、第1水素製造装置 12 が900 以上の熱エネルギーにより加熱された高温熱媒体を使用して水素を製造し、第2水素製造装置 13 が高温熱媒体より低温の低温熱媒体を使用して水素を製造する。これにより、高温熱媒体および低温熱媒体の熱エネルギーを利用して効率良く水素を製造することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 2 】

第3の態様に係る水素製造システムは、第1水素製造装置12は、メタン熱分解法と高温水蒸気電解法と熱化学分解法といずれか一つにより水素を製造し、第2水素製造装置13は、高温アルカリ水電解法により水素を製造する。これにより、高温熱媒体を利用してメタン熱分解法と高温水蒸気電解法と熱化学分解法といずれか一つにより水素を製造し、低温熱媒体を利用して高温アルカリ水電解法により水素を製造することとなり、効率良く水素を製造することができる。

【 0 0 4 3 】

第4の態様に係る水素製造システムは、第1水素製造装置12と第2水素製造装置13は、同一の方法で仕様の異なる方式により水素を製造する。これにより、第1水素製造装置12と第2水素製造装置13による水素製造装置をほぼ同じにすることができ、製造コストの低減を図ることができる。

10

【 0 0 4 4 】

第5の態様に係る水素製造システムは、熱媒体により第1水素製造装置12または第2水素製造装置13で使用される原料を予熱する。これにより、熱媒体の熱エネルギーの有効利用を図ることができる。

【 0 0 4 5 】

第6の態様に係る水素製造システムは、第1水素製造装置12または第2水素製造装置13は、高温水蒸気電解法または熱化学分解法により水素を製造するものであり、蒸気を過熱する蒸気過熱器32と、過熱蒸気を電気分解する固体酸化物型水電解セル33とを有する。これにより、効率良く水素を製造することができる。

20

【 0 0 4 6 】

第7の態様に係る水素製造システムは、第2水素製造装置13で使用された熱媒体を用いて水素を製造する第3水素製造装置を有する。これにより、熱エネルギーを更に効率良く利用し、熱エネルギーにおける利用効率の向上を図ることができる。

【 0 0 4 7 】

第8の態様に係る水素製造システムは、熱源11は、高温ガス炉で生成される。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。

【 0 0 4 8 】

第9の態様に係る水素製造方法は、900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素を製造する工程と、水素の製造に使用された熱媒体を用いて水素を製造する工程とを有する。これにより、熱エネルギーを効率良く利用し、熱エネルギーにおける利用効率の向上を図ることができる。

30

【符号の説明】

【 0 0 4 9 】

- 10 水素製造システム
- 11 熱源
- 12 第1水素製造装置
- 13 第2水素製造装置
- 21 中間熱交換器
- 22 再生熱交換器
- 23 冷却器
- 24 圧縮機
- 25 循環ポンプ
- 30 第1水素製造装置
- 31 蒸発器
- 32 蒸気過熱器
- 33 固体酸化物型水電解セル
- 34 リサイクル熱交換機
- 41 蒸発器

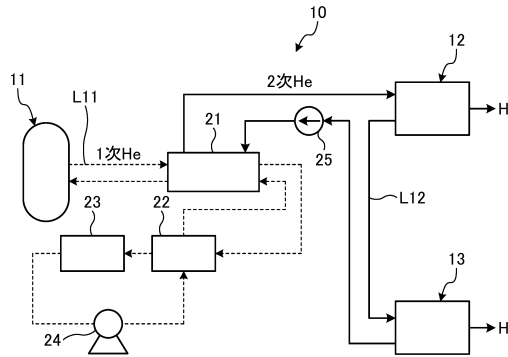
40

50

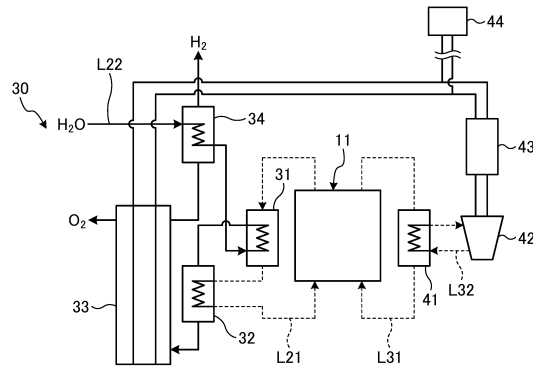
- 4 2 タービン
- 4 3 発電機
- 4 4 蓄電設備
- L 1 1 第 1 循環経路
- L 1 2 第 2 循環経路
- L 2 1 , L 3 1 , L 3 2 循環経路

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (51)国際特許分類 F I
C 2 5 B 15/021 (2021.01) C 2 5 B 15/021
- 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
- (72)発明者 勝田 理史
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
- (72)発明者 清木 義夫
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
- (72)発明者 行本 敦弘
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
- 審査官 森坂 英昭
- (56)参考文献 国際公開第 2 0 1 9 / 2 3 4 9 9 2 (W O , A 1)
国際公開第 2 0 1 6 / 0 3 1 7 7 1 (W O , A 1)
国際公開第 2 0 2 0 / 0 9 5 6 6 4 (W O , A 1)
特開 2 0 1 6 - 0 9 8 3 8 7 (J P , A)
特開 2 0 0 3 - 1 6 5 7 0 4 (J P , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
- C 0 1 B 3 / 0 0 - 3 / 5 8
C 2 5 B 1 / 0 4
C 2 5 B 1 / 0 4 2
C 2 5 B 9 / 0 0
C 2 5 B 1 5 / 0 2 1