

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5998043号
(P5998043)

(45) 発行日 平成28年9月28日(2016.9.28)

(24) 登録日 平成28年9月2日(2016.9.2)

(51) Int. Cl.	F I				
FO2G 5/02 (2006.01)	FO2G	5/02		C	
CO1B 3/38 (2006.01)	FO2G	5/02		B	
FO1K 23/10 (2006.01)	CO1B	3/38			
FO1N 5/02 (2006.01)	FO1K	23/10		P	
FO2D 19/02 (2006.01)	FO1N	5/02		A	
請求項の数 10 (全 17 頁) 最終頁に続く					

(21) 出願番号 特願2012-281938 (P2012-281938)
 (22) 出願日 平成24年12月26日(2012.12.26)
 (65) 公開番号 特開2014-125923 (P2014-125923A)
 (43) 公開日 平成26年7月7日(2014.7.7)
 審査請求日 平成27年9月24日(2015.9.24)

(73) 特許権者 000005108
 株式会社日立製作所
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
 (74) 代理人 100100310
 弁理士 井上 学
 (74) 代理人 100098660
 弁理士 戸田 裕二
 (74) 代理人 100091720
 弁理士 岩崎 重美
 (72) 発明者 島田 敦史
 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
 株式会社 日立製作
 所 中央研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 エンジンコンバインドシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

水素を含む改質後燃料を燃料として駆動するエンジンと、
 前記エンジンの動力を用いて発電する発電機と、
 前記エンジンの排熱を用いて水素化合物燃料の水蒸気改質により水素を含む改質後燃料を生成する改質器と、
 前記改質器で利用されなかった前記エンジンの排熱を用いて冷熱または動力を生成する熱利用システムと、を備え、
 前記熱利用システム内の排熱を使って改質器に供給する水を加熱することを特徴とするエンジンコンバインドシステム。

【請求項2】

請求項1において、前記熱利用システムの凝縮器の凝縮熱によって、前記改質器に供給する水を加熱することを特徴とするエンジンコンバインドシステム。

【請求項3】

請求項1において、前記改質器で生成した前記改質後燃料は熱交換器を介して前記エンジンに供給されることを特徴とするエンジンコンバインドシステム。

【請求項4】

請求項3において、前記改質後燃料に含まれる水蒸気を前記熱交換器で凝縮させて、前記改質後燃料から水を回収することを特徴とするエンジンコンバインドシステム。

【請求項5】

請求項 1 において、前記エンジンに前記燃料を直接供給する燃料供給手段を備えることを特徴とするエンジンコンバインドシステム。

【請求項 6】

請求項 5 において、

前記エンジンの吸気管に空気の供給量を調整するための空気流量調整バルブを有し、

前記エンジンに供給される前記燃料および前記改質後燃料の割合に応じて、前記空気流量調整バルブによって前記エンジンへの空気供給量を制御することを特徴とするエンジンコンバインドシステム。

【請求項 7】

請求項 1 において、前記熱利用システムがランキンサイクルまたは吸収式冷凍機であることを特徴とするエンジンコンバインドシステム。

10

【請求項 8】

水素を含む改質後燃料を燃料として駆動するエンジンと、

前記エンジンの動力を用いて発電する発電機と、

前記エンジンの排熱を用いて水素化合物燃料の水蒸気改質により水素を含む改質後燃料を生成する改質器と、

前記改質器で利用されなかった前記エンジンの排熱を用いて動力を生成するランキンサイクルと、を備え、

前記ランキンサイクルは、熱媒体である水を貯蔵する水タンクと、前記水タンクから供給される水を前記エンジンの排熱を用いて蒸発させる第一の熱交換器と、前記第一の熱交換器から排出された水蒸気が供給される膨張機と、前記膨張機から排出された後の水蒸気を凝縮させて水を前記水タンクに回収する第二の熱交換器とを備え、

20

前記膨張機から排出された水蒸気を前記改質器に供給し、水蒸気を含む改質後燃料を前記第二の熱交換器に供給し、水を回収することを特徴とするエンジンコンバインドシステム。

【請求項 9】

請求項 8 において、

前記膨張器から前記改質器に水蒸気を供給する第一の配管と、

前記膨張器を介さずに前記第一の熱交換器から排出された水蒸気を前記改質器に供給する第二の配管と、

30

前記第一の配管および第二の配管を流れる水蒸気の流量を調整する流量調整手段と、を備えることを特徴とするエンジンコンバインドシステム。

【請求項 10】

請求項 8 において、前記エンジンの排気管に過給器を備え、前記過給器は前記改質器と前記第一の熱交換器との設けられていることを特徴とするエンジンコンバインドシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はエンジンコンバインドシステムに関するものである。

40

【背景技術】

【0002】

エンジンは供給する燃料の発熱量の 50 ~ 60 % は排熱として捨てられる。そのため、排気熱を回収し、動力もしくは冷熱などへ変換することで、システム全体として高効率化、高度利用が可能となる。排熱を活用して、天然ガスなどの燃料を水素、一酸化炭素もしくは二酸化炭素へ改質する場合、この反応が吸熱であることから、排熱を燃料の発熱量として回収することが可能となる。つまり、化学反応により排熱回収が可能となる。天然ガスや石油系燃料は上記改質反応が可能であるが、改質温度が 500 ~ 700 と高いため、高温の排気熱を使うことになる。そのため、改質に利用した後の排気熱はまだ高温状態にあることから、さらに別の熱利用機器を構成することができる。たとえば、ランキンサ

50

イクルや吸収式冷凍機などの利用機器を活用できる。これによりシステム全体の高効率化が可能となる。

【0003】

改質器とその他熱利用機器を組み合わせたシステムとして、たとえば、特許文献1に記載のシステムがあげられる。このシステムは天然ガスを燃料としてエンジンを駆動し、エンジンの排気管に改質器を搭載し、改質器の後流にランキンサイクル、CO₂分離器を搭載した構成である。この構成の場合、排気中のCO₂を改質器に供給するためにCO₂分離器を搭載している。また、改質器を通過した余剰の排熱を使ってランキンサイクルで動力を生み出す構成となっている。

【0004】

特許文献1に記載のシステムはランキンサイクルで熱交換器、蒸気タービン、凝縮器、ポンプといった構成部品が必要であり、改質システムでは改質器とCO₂分離器といった構成部品が必要となる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開平11-093778号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

これまでの改質器を搭載したエンジンでは、排気管に改質器とその後流に熱回収システムを設けるため、装置の構成部品点数が多いにもかかわらず、熱利用システムであるランキンサイクルと改質システムは独立して使用するため、排熱利用の観点で相乗的な効果が期待できない。またランキンサイクルからの排熱（冷媒の凝縮熱）は利用されずに捨てられていることから排熱回収率が低下し、システム全体の効率が低下するという課題がある。

【0007】

本発明は、エンジンの排熱を有効利用してシステム効率に優れたエンジンコンバインドシステムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明のエンジンコンバインドシステムは、水素を含む改質後燃料を燃料として駆動するエンジンと、エンジンの動力を用いて発電する発電機と、エンジンの排熱を用いて水素化合物燃料の水蒸気改質により水素を含む改質後燃料を生成する改質器と、改質器で利用されなかったエンジンの排熱を用いて冷熱または動力を生成する熱利用システムと、を備え、熱利用システム内の排熱を使って改質器に供給する水を加熱する構成としたことを特徴とする。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、エンジンの排熱を有効利用してシステム効率に優れたエンジンコンバインドシステムを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本発明のエンジンコンバインドシステムの概略図を示す図である。

【図2】メタン水蒸気改質の改質温度と平衡転化率の関係を示す図である。

【図3】第1実施形態に係る改質器とランキンサイクルを組み合わせた構成のエンジンコンバインドシステムの概略図を示す図である。

【図4】改質温度と水の加熱量（潜熱量、顕熱量の合計）の関係を示す図である。

【図5】改質後燃料と改質前燃料のエンジンに供給するガス量の比較を示す図である。

【図6】第1実施形態に係るエンジンコンバインドシステムの起動時の制御フローの一例

10

20

30

40

50

を示す図である。

【図7】第1実施形態に係るエンジンコンバインドシステムの定格運転時の改質器の温度制御フローの一例を示す図である。

【図8】第1実施形態に係るエンジンコンバインドシステムの定格運転時のランキンサイクルの制御フローの一例を示す図である。

【図9】第2実施形態に係る改質器と吸収式冷凍機を組み合わせた構成のエンジンコンバインドシステムの概略図を示す図である。

【図10】第3実施形態に係る改質器とランキンサイクルを組み合わせた構成のエンジンコンバインドシステムの概略図を示す図である。

【図11】第3実施形態に係るエンジンコンバインドシステムの起動時の制御フローの一例を示す図である。

10

【図12】第3実施形態に係るエンジンコンバインドシステムの定格運転時の改質器の温度制御フローの一例を示す図である。

【図13】第3実施形態に係るエンジンコンバインドシステムの定格運転時の熱交換器の温度制御フローの一例を示す図である。

【図14】第4実施形態に係る改質器と過給器とランキンサイクルを組み合わせた構成のエンジンコンバインドシステムの概略図を示す図である。

【図15】改質器の構成の一例を示す模式図である。

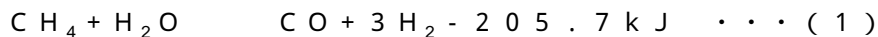
【図16】エンジンコンバインドシステムのシステム効率を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

20

【0011】

図1に本発明のエンジンコンバインドシステムの概略図を示す。エンジンの排気管に改質器を搭載し、改質器に燃料と水蒸気を供給する。本システムでは燃料として天然ガスを例として説明する。天然ガスは多成分であるが、以下主成分であるメタン(CH_4)を例に説明する。メタンの水蒸気改質反応は式(1)となる。



【0012】

式(1)は吸熱反応であることから、メタン1molを反応させることで、205.7kJの熱が吸収される。つまり、メタン1molの低位発熱量(802.7kJ)が、水蒸気改質により、205.7kJ高くなる。つまり改質後燃料である一酸化炭素と水素の合計発熱量はメタンよりも1.25倍高くなる。この吸熱量を排気熱でまかなうことで、排熱が燃料の発熱量として回収され、有効利用される。

30

【0013】

図2は、式(1)に示したメタンの水蒸気改質反応における平衡状態での改質温度と転化率の関係である。図2では $S/C=1, 2$ の条件をそれぞれ示した。 S/C とは改質前の成分である水蒸気(S)とメタン(C)のモル比のことを示す。メタンの水蒸気改質反応において転化率50%を確保するには615($S/C=1$)、550($S/C=2$)の改質温度が必要となることが分かる。つまり、改質器を通過した排ガスは高温状態であり、さらに動力もしくは冷熱を作ることができる温度域であることが分かる。

【0014】

40

たとえば、排熱から電気あるいは動力に変換したい場合はランキンサイクルを使用し、排熱から冷熱を作りたいときは吸収式冷凍機を使用する。ランキンサイクルあるいは吸収式冷凍機のどちらにおいても、冷媒を使用し、循環サイクルにおいて冷媒を冷却する行程(凝縮行程)が存在する。凝縮行程においては排熱が出てくるため、その熱を改質器に使用する水の加熱に使用する。そうすることで、熱利用システムの冷媒冷却と改質器で供給する水の蒸気化の両面で効果が得られる。

【0015】

燃料として天然ガスを例として説明したが、灯油、軽油、重油、ガソリンなどの炭化水素燃料、メタノール、エタノールなどのアルコール系燃料とその含水燃料、その他、アンモニアなど、水蒸気改質により水素を生成可能な水素化合物を用いることができる。

50

[第 1 実施形態]

図 3 に第 1 実施形態に係る改質器とランキンサイクルを組み合わせたエンジンコンバインドシステムの構成図を示す。

【 0 0 1 6 】

エンジン 1 0 2 の排気管に改質器 1 0 3 が接続され、改質器 1 0 3 の排ガス下流側にランキンサイクルに用いられる熱交換器 1 0 5 が設けられる。この熱交換器 1 0 5 はランキンサイクルの加熱行程を実施するものである。ランキンサイクルの循環経路の熱媒体がポンプ P 1 を介して熱交換器 1 0 5 に供給される。熱交換器 1 0 5 では、改質器 1 0 3 で利用されなかったエンジン 1 0 2 の排熱によって熱媒体が加熱され、高温、高圧の熱媒体となる。この高温、高圧の熱媒体が膨張機 1 0 6 へ送られ、膨張機 1 0 6 でエンタルピー差が生まれることで、発電機 1 0 7 により発電が行われる。膨張機 1 0 6 から排出された熱媒体は凝縮器 1 0 8 により凝縮され、再度ポンプ P 1 によって熱交換器 1 0 5 に送られる。凝縮器 1 0 8 には水タンク 1 0 9 からポンプ P 2 を介して水が供給され、熱媒体を冷却して凝縮させる。一方、水タンク 1 0 9 から凝縮器 1 0 8 に供給された水は、ランキンサイクルの凝縮行程の凝縮熱によって加熱される。凝縮器 1 0 8 から出た高温の水または水蒸気は、熱交換器 1 1 0 に供給され、改質器 1 0 3 から排出される高温の改質後燃料と熱交換され、さらに加熱され、その後、流量調整バルブ V 4 により流量を調整して、改質器 1 0 3 に送られる。また、改質器 1 0 3 には燃料タンク 1 0 4 から流量調整バルブ V 1 を介して、流量が調整された天然ガスが改質器 1 0 3 へ供給される。これにより改質器 1 0 3 では、式 (1) に示す水蒸気改質反応が行われ、水素 (H_2) と一酸化炭素 (CO) が生成される。

【 0 0 1 7 】

図 4 に改質温度と改質器に供給する水の加熱量 (必要潜熱、顕熱の合計) の関係を示す。式 (1) の改質反応でメタン 1 mol を水蒸気改質するために必要な水の潜熱、顕熱の合計値で示す。改質温度が大きいほど、また、S / C が大きいほど必要な水の潜熱、顕熱は大きくなる。S / C = 3 の条件においては改質反応熱 2 0 5 k J を超える熱量が必要になることがある。図 3 の構成にすると、熱交換器 1 0 8 におけるランキンサイクルでの凝縮熱を改質器 1 0 3 に供給する水の顕熱、潜熱に利用でき、それにより改質器 1 0 3 において改質反応に利用できる排熱割合が増加する。従って、改質反応の転化率が向上する。ランキンサイクルから見た場合においても、凝縮器 1 0 8 の熱媒体の冷却に水を使えることから、凝縮器 1 0 8 の高効率化、小型化が可能となる。つまり、改質システム、ランキンサイクルシステムの両面から見て、相乗的な効果がある。熱交換器 1 1 0 も同様に水の潜熱、顕熱に利用でき、それにより改質器 1 0 3 において改質反応に利用できる排熱割合が増加する。従って、改質反応の転化率が向上する。

【 0 0 1 8 】

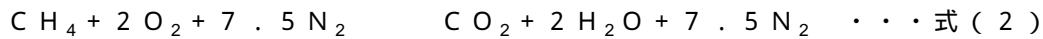
本構成において、天然ガスと水蒸気の供給量の割合は S / C が 1 よりも大きい値で制御することが望ましい。これは改質器 1 0 3 内での天然ガスの炭化を防ぐと同時に、所定温度での転化率を高めるためである。このように改質器 1 0 3 に過剰の水蒸気を供給すると、改質後燃料中に水蒸気が混ざる。これに対して、図 3 に示したように改質器 1 0 3 からエンジン 1 0 2 への改質後燃料の供給経路の途中に熱交換器 1 1 0 を設け、熱交換器 1 1 0 で改質後燃料に含まれる水蒸気を凝縮させ、凝縮した水を水タンク 1 0 9 に戻す構成とすることが好ましい。これにより改質器 1 0 3 へ送られた余剰の水を水タンクに回収して、再度改質器 1 0 3 に送ることができる。また、配管内での水凝縮や、過剰な水蒸気のエンジン 1 0 2 への混入を防ぐことができる。配管内で水が凝縮すると、改質器 1 0 3 の圧力変動が大きくなることや、エンジン 1 0 2 へ凝縮された水が供給される可能性がある。つまり熱交換器 1 1 0 を設けることで、水の再利用のほか、エンジン 1 0 2 の燃焼および改質器 1 0 3 の改質反応の安定性が向上する効果が得られる。熱交換器 1 1 0 を通過した改質後燃料は燃料調整バルブ V 2 により、流量が調整された後にエンジン 1 0 2 に供給され、エンジンが駆動される。エンジン 1 0 2 は発電機 1 0 1 と機械的に接続されており、エンジン 1 0 2 の動力を用いて発電機 1 0 1 で発電が行われる。

【 0 0 1 9 】

また、図 3 のシステムでは燃料をエンジン 1 0 2 に直接供給する燃料供給手段を備えている。具体的には、燃料タンク 1 0 4 はエンジン 1 0 2 と流量調整バルブ V 5 を介して配管で接続されており、流量調整バルブ V 5 により燃料タンク 1 0 4 の燃料をエンジン 1 0 2 に直接供給できる構成となっている。この燃料供給手段を設けることで改質器 1 0 3 が利用できないとき、あるいはエンジンの要求する燃料量を改質後燃料でまかなうことができないときに流量調整バルブ V 5 により天然ガスがエンジン 1 0 2 に直接供給される。ここで、改質器 1 0 3 が利用できない場合としては、始動時などの改質器が低温状態、あるいは改質器の性能が低下したときなどである。

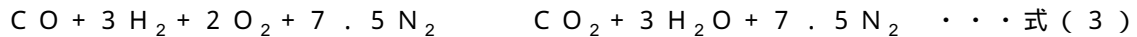
【 0 0 2 0 】

またエンジンの吸気管にはエンジン 1 0 2 に供給する空気量を調整するために空気流量調整バルブ V 3 (通常はスロットル) が設置されている。エンジン 1 0 2 に供給する燃料性状は上述のように変動することから、それに応じて空気量を調整する必要がある。天然ガスの主成分であるメタンを例に量論燃焼時の反応を式 (2) に示す。



【 0 0 2 1 】

式 (2) によると空気と燃料の体積比 (空気体積 / 燃料体積) = 9 . 5 となる。一方メタン 1 m o l の水蒸気改質後の成分を量論燃焼した時の反応は式 (3) となる。



【 0 0 2 2 】

式 (3) によると空気と燃料の体積比 (空気体積 / 燃料体積) = 2 . 4 となる。量論燃焼において、改質前後で燃料と空気の体積割合が異なる。図 5 にメタンと改質後燃料の燃焼熱を同じにした場合 (8 0 2 . 7 k J) の量論燃焼時における燃焼室内の空気と燃料のモル数を示す。メタンと改質後燃料でトータルのガス量はほぼ変わらないが、その割合が大きく異なることが分かる。エンジンに供給する空気と燃料の割合は通常空気過剰率で示されるが、エンジンの熱効率、排気性能の観点で、空気過剰率は所定の値に制御される必要がある。このことから同エンジン発電出力において、所定の空気過剰率でエンジン運転を行うには、エンジンに供給する改質後燃料と改質前燃料の割合に応じて、空気流量調整バルブ V 3 によって供給する空気量を制御することが有効となる。

【 0 0 2 3 】

図 3 に示すシステムにおいて、改質器 1 0 3 、熱交換器 1 0 5 、 1 1 0 、凝縮器 1 0 8 の前後には温度計と圧力計が設置され (図示は省略) 、制御装置 1 1 1 によりそれぞれの値を見ながらユーザの要求する発電量にあわせて、各流量調整装置 (V 1 ~ V 5) およびポンプ (P 1 , P 2) が制御される。

【 0 0 2 4 】

本実施形態のエンジンコンバインドシステムの制御フローの一例を図 6 ~ 8 の制御フロー図を用いて説明する。

【 0 0 2 5 】

まず、図 6 を用いて始動時の制御フローの例を説明する。S 1 0 0 1 で要求発電電力を確認する。要求発電電力が所定以上のとき、S 1 0 0 2 でエンジン 1 0 2 を始動するプログラムがスタートする。S 1 0 0 3 にて V 5 が制御され、エンジン 1 0 2 に燃料タンク 1 0 4 から燃料が供給される。エンジン 1 0 2 が始動することで改質器 1 0 3 が温められ、温度が上昇する。S 1 0 0 4 で改質器 1 0 3 の温度が所定温度以上と判断されると、S 1 0 0 5 で P 2 の電源が入り、V 4 が制御されることで、改質器 1 0 3 に水が供給される。また V 1 が制御されることで、燃料タンク 1 0 4 より改質器 1 0 3 に燃料が直接供給される。改質後燃料は V 2 が制御されることで、エンジン 1 0 2 に供給される。このときエンジン 1 0 2 の発電電力を一定に保つため、燃料タンク 1 0 4 からエンジン 1 0 2 に供給する燃料量を減らすよう、V 5 を制御する。次に S 1 0 0 6 で熱交換器 1 0 5 の温度が監視され、所定温度以上になると、S 1 0 0 7 で P 1 の電源が入り、ランキンサイクルの冷媒が循環され、暖気終了となる。このように改質器 1 0 3 、熱交換器 1 0 5 の温度を見なが

10

20

30

40

50

ら、順次各バルブ、ポンプの電源が入り、改質器、熱利用システムの運転を効率よく、開始することができる。

【 0 0 2 6 】

次に、図 7 を用いて定格運転時の改質器の温度制御フローについて説明する。S 2 0 0 1 にて定格運転と判定されると、定格運転時の改質器の温度制御が開始される。まず、S 2 0 0 2 で改質器の温度情報に基づいて改質器 1 0 3 の温度が所定温度範囲内か否かが判断され、改質器 1 0 3 の温度が所定温度範囲を外れている場合には S 2 0 0 3 で所定温度範囲よりも高いか低いかが判断する。S 2 0 0 3 において、改質器 1 0 3 の温度が所定温度範囲よりも高いと判断された場合には、2 0 0 4 にて改質器の温度を下げるために、V 1 , V 4 を制御することで、改質器へ供給する燃料量と水の量を増加させる。これにより吸熱反応量が増加し、改質器 1 0 3 の温度を下げるることができる。またこの際、エンジンを同出力に保つために、V 2 を制御し、改質後燃料のエンジンへの供給量を増加させるとともに、V 5 を制御することで、燃料タンクから燃料のエンジン 1 0 2 への供給量を減少させる。以上の制御を行い S 2 0 0 6 に移行し、S 2 0 0 1 ~ S 2 0 0 6 を繰り返し実行する。また、S 2 0 0 3 で改質器 1 0 3 の温度が所定温度範囲よりも低いと判断された場合には、改質器 1 0 3 の温度を増加させるため、2 0 0 5 にて V 1 , V 4 を制御し、改質器へ供給する燃料量と水の量を減少させる。これにより、吸熱反応量を低下させて改質器 1 0 3 の温度を上げることができる。また、エンジンを同出力に保つために、V 2 を制御し、改質後燃料のエンジンへの供給量を減少させるとともに、V 5 を制御することで、燃料タンクから燃料のエンジン 1 0 2 への供給量を増加させる。以上の制御を行い S 2 0 0 6 に移行し、S 2 0 0 1 ~ S 2 0 0 6 を繰り返し実行する。また、S 2 0 0 2 で改質器の温度が所定範囲内であると判断された場合には、そのまま S 2 0 0 6 に移行し、S 2 0 0 1 ~ S 2 0 0 6 を繰り返し実行する。

【 0 0 2 7 】

次に、図 8 を用いて定格運転時のランキンサイクルの制御フローについて説明する。S 3 0 0 1 にて定格運転と判定されると、定格運転時のランキンサイクルの制御が開始される。まず、S 3 0 0 2 にて熱交換器 1 0 5 の温度が所定範囲内か否かが判断され、熱交換器 1 0 5 の温度が所定範囲を外れている場合には S 3 0 0 3 で所定温度範囲よりも高いか低いかが判断する。S 3 0 0 3 において、熱交換器 1 0 5 の温度が所定範囲よりも高いと判断された場合には、S 3 0 0 4 で P 1 の動力が制御され、熱媒体の循環量を増加させる。これにより熱交換器 1 0 5 の温度が低下し、膨張機 1 0 6 の出力が増加し、発電機 1 0 7 の発電量が増加する。なお、P 1 の動力制御はインバータなどを用いて行う。以上の制御を行い S 3 0 0 6 に移行し、S 3 0 0 1 ~ S 3 0 0 6 を繰り返し実行する。また、S 3 0 0 3 において、熱交換器 1 0 5 の温度が所定温度範囲よりも低いと判断された場合には S 3 0 0 5 で P 1 の動力が制御され、熱媒体の循環量を減少させる。これにより熱交換器 1 0 5 の温度を上昇させる。以上の制御を行い S 3 0 0 6 に移行し、S 3 0 0 1 ~ S 3 0 0 6 を繰り返し実行する。また、S 3 0 0 2 で熱交換器 1 0 5 の温度が所定範囲内であると判断された場合には、そのまま S 3 0 0 6 に移行し、S 3 0 0 1 ~ S 3 0 0 6 を繰り返し実行する。以上の制御を行うことによって、熱交換器 1 0 5 の温度を所定温度範囲にすることでランキンサイクルの発電効率（膨張機 1 0 6 の断熱効率、発電機 1 0 7 の発電効率）が正常に保たれる。ランキンサイクルは所定温度以下で運転すると、熱効率が低下することや、膨張機 1 0 6 の故障にもつながるため、上記のような制御が行われる。このような制御を行うことで、熱交換器 1 0 5 へ供給される排ガス熱量の変動に応じて、ランキンサイクルシステムを制御でき、システム効率向上と、システム故障を防止できる。

[第 2 実施形態]

図 9 に第 2 実施形態に係る改質器と吸収式冷凍機を組み合わせたエンジンコンバインドシステムの構成図を示す。図 9 において、吸収式冷凍機以外の構成は図 3 と同様であり、同じ構成については説明を省く。本実施形態では、冷媒として水、吸収材として臭化リチウムを用いた吸収式冷凍機を例として説明する。図 3 と同様に本実施形態のエンジンコンバインドシステムもエンジン 1 0 2 の排気管に改質器 1 0 3 が接続され、改質器 1 0 3 の

排ガス下流側に熱交換器 105 が設けられている。この熱交換器 105 と分離器 202 で吸収式冷凍機の再生器 205 として機能する。

【0028】

まず、吸収式冷凍機の構成を説明する。吸収器 201 に貯留されている水蒸気を吸収した臭化リチウム水溶液がポンプ P1 によって熱交換器 105 に供給され、エンジンの排ガスと熱交換される。エンジンの排熱によって加熱されることで、臭化リチウム水溶液は分離器 202 で水蒸気と臭化リチウムの濃溶液に分離され、温度、圧力の高い水蒸気は凝縮器 203 に送られ、臭化リチウムの濃溶液は吸収器 201 に送られる。凝縮器 203 に送られた水蒸気は、水タンク 109 からポンプ P2 を介して送られた水との熱交換により凝縮する。凝縮器 203 で凝縮した水は膨張弁 V6 で断熱膨張されて、温度、圧力が下がった状態で蒸発器 204 へ送られ、蒸発器 204 で熱交換されて水蒸気となり、吸収器 201 に送られて臭化リチウムに吸収される。蒸発器 204 では、冷媒と熱交換される媒体が潜熱冷却され、冷熱として外部に供給される。

10

【0029】

本実施形態のシステムでは、改質器 103 に供給する水蒸気として、吸収式冷凍機の凝縮器 203 に冷却水として水タンクから供給される水を利用することを特徴とする。これにより、改質器 103 に送られる水は凝縮器 203 の放熱により加熱されることで、改質器 103 にエンタルピーの高い水蒸気を送ることができ、それにより改質器 103 は転化率が向上する効果が得られる。また凝縮器 203 の冷却に改質用の水を利用するため、クーリングタワーのような冷却用の循環装置を必要としない点において、装置構成を簡素化

20

【0030】

また、吸収式冷凍機では再生器 205 で臭化リチウムが析出しないように臭化リチウムの水溶液濃度は所定濃度である必要がある。そのために熱交換器 105 で熱交換された後の臭化リチウムの温度は所定以下にする必要がある。一方で再生器 205 は限られた温度範囲で駆動しながら、冷熱能力を高めるためにはより冷媒の流量を高める必要がある。つまり、熱交換器 105 で臭化リチウム水溶液と熱交換する排ガスは所定温度以下であり、かつ熱量（排ガス流量、比熱）を高くすることが求められる。所定温度以下で、エンジン排ガスの熱量を増加させる方法として、エンジンで希薄燃焼させることが挙げられる。希薄燃焼することで、排ガス流量と比熱を共に高めることができる。エンジンの廃熱は排ガス熱とエンジン冷却水への廃熱の 2 種類あるが、エンジンを希薄燃焼させることで、燃焼温度が低くなることから、エンジン冷却水との温度差が小さくなることから、エンジン冷却水への廃熱割合が小さくなり、逆にエンジン排ガス熱の割合が増加する。これらの理由で、エンジンで希薄燃焼させることで、所定温度以下に保ちながら、熱交換器 105 へ供給可能な排ガス熱量が増加する。しかしながら、天然ガスは可燃範囲が狭く、希薄燃焼させるためには、点火エネルギーを高める、エンジン内の空気流動を強くするなど、新たなエネルギーが必要となり、エネルギー損失を増加させてしまう。一方、本システムでは水素を含む改質後燃料をエンジンに供給するため、可燃範囲が大幅に広がり、上述の新たなエネルギーを加えることなく、希薄燃焼が可能となる。これにより熱交換器 105 で吸収式冷凍機の冷媒と熱交換することで限られた温度範囲で駆動する吸収式冷凍機の冷熱能力

30

40

【0031】

本実施形態のシステム構成により、改質器の改質効率を高めると同時に吸収式冷凍機の冷熱能力を高めることができ、改質システム、吸収式冷凍機の双方の高効率化を図ることができる。

【0032】

図 9 に示すシステムにおいて、改質器 103、熱交換器 105、110、凝縮器 203、蒸発器 204 の前後には温度計と圧力計が設置され（図の記載は省略）、制御装置 111 によりそれぞれの値を見ながらユーザの要求する発電量、冷熱量にあわせて、各流量調整装置（V1～V5）およびポンプ（P1、P2）が制御される。流量調整装置 V3 に関

50

しては、エンジンで希薄燃焼させるための空気量を調整するために制御される。本実施形態の吸収式冷凍機を用いたシステムにおいても、第1実施形態で説明した図6～8と同様の制御を行うことで、冷媒の温度を所定範囲に保つことができ、システム効率向上と、システム故障を防止できる。

【0033】

なお、図9に示すシステムにおいて、吸収式冷凍機の加熱には排ガス熱のみを供給しているが、エンジンの冷却水熱を供給する、あるいは燃料を直接吸収式冷凍機に供給するといった方法で加熱する構成としてもよい。

[第3実施形態]

図10に第3実施形態に係るエンジンコンバインドシステムの構成図を示す。本実施形態のシステムは、エンジン102の排気管に改質器103を搭載し、改質器103の排ガス下流側の熱を使い、ランキンサイクルを組み動力を生み出す構成である。図3との違いはランキンサイクルに使用する熱媒体が水であり、この水を改質器103の改質反応の水蒸気として利用する構成とした点である。ランキンサイクルで利用できるエンジン排熱の温度が所定温度より高い場合、ランキンサイクルの冷媒に水を使用することができる。この場合、膨張機後の蒸気をそのまま改質器103に供給することができる。つまり、本システムに供給する水は排熱を使って改質器103で燃料(水蒸気)となるほかに、ランキンサイクルの熱媒体としても作用することになる。

【0034】

本システムのランキンサイクルについて説明する。水タンク109に貯蔵された熱媒体である水がポンプP1により熱交換器105に送られる。熱交換器105では、改質器103で利用されなかったエンジン102の排熱によって水が加熱され、高温、高圧の水蒸気となる。この高温、高圧の水蒸気が膨張機106へ送られ、膨張機106でエンタルピー差が生まれることで、発電機107により発電が行われる。膨張機107から排出された水蒸気は供給量調整装置V8を介して改質器103に供給され、燃料タンクから供給される燃料とともに改質器103で水蒸気改質される。その後、改質器103から排出される改質後燃料に含まれる水蒸気は熱交換器110によって凝縮され、改質後燃料と水に分離され、水が水タンク109に回収される。よって、熱交換器110がランキンサイクルの凝縮器となる。

【0035】

一方、熱交換器110で分離された改質後燃料は燃料調整バルブV2を介してエンジン102に供給し、エンジン102を駆動させ、発電機101により発電を行う。

【0036】

このように本システムでは、ランキンサイクルに使用する熱媒体を改質器103の燃料(水蒸気)としても使用することによって、部品点数削減とシステムの高効率化を同時に実現することができる。

【0037】

また、図7のシステムでは、膨張器を介さずに熱交換器105から排出された水蒸気を改質器103に供給するための供給量調整装置V7を備えた配管を設けている。これにより、例えば、エンジン102の出力が小さく、ランキンサイクルで十分な動力を生み出すことができない運転条件の場合に、供給量調整装置V7により熱交換器105で加熱された水蒸気を直接改質器103に供給し、供給量調整装置V8によって膨張器106から水蒸気を改質器103に供給しないように制御することができる。このような制御を行うことにより、エンジン102の出力が小さく、ランキンサイクルで十分な動力を生み出すことができない運転条件の場合にも、エネルギー損失を抑制してシステムを稼動することができる。

【0038】

図10に示すシステムにおいて、改質器103、熱交換器105、110の前後には温度計と圧力計が設置され(図の記載は省略)、制御装置111によりそれぞれの値を見ながらユーザの要求する発電量にあわせて、各流量調整装置(V1～V5、V7、V8)お

10

20

30

40

50

よびポンプ（P1）は制御される。

【0039】

本実施形態のエンジンコンバインドシステムの制御フローの一例を図11～13の制御フロー図を用いて説明する。

【0040】

まず、図11を用いて始動時の制御フローの例を説明する。S4001～S4004についてはS1001～S1004と同様の制御を行うことから説明は割愛する。S4004にて改質器103の温度が所定温度以上になると、S4005にてP1の電源が入り、V7が制御されることで、改質器に水が供給される。この際、V8は閉じられており、ランキンサイクルへは水を供給しない。またV1が制御されることで燃料タンク104から燃料が改質器103に供給され、改質後燃料がV2を制御することでエンジン102へ供給される。このときエンジンの発電電力を一定に保つため、燃料タンク104からエンジンに供給する燃料量を減らすよう、V5を制御する。S4006にて熱交換器105の温度が所定温度以上のとき、S4007でV8が制御されることでランキンサイクルへ水が供給される。また同時にV7は水の供給量を減少するように制御される。このようにすることで、改質器へ供給される水の量は一定に保たれる。

【0041】

次に、図12を用いて定格運転時の改質器の温度制御フローについて説明する。S5001にて定格運転と判定されると、定格運転時の改質器の温度制御が開始される。まず、S5002で改質器103の温度を監視し、改質器103の温度が所定温度範囲内か否か判断され、改質器103の温度が所定温度範囲を外れている場合にはS5003で所定温度範囲よりも高いか低いかを判断する。S5003において、改質器103の温度が所定温度範囲よりも高いと判断された場合には、S5004でV7が制御され、改質器103への水供給量を増加する。またV1を制御することで、改質器103への燃料供給量を増加させる。これにより、改質による吸熱量が増加するため、改質器103の温度を下げるができる。また改質後燃料が増加することから、V2が制御され、エンジンへの改質後燃料の供給量が増加される。エンジンの発電量を一定に保つために、V5を制御することで、エンジンに直接供給する燃料量を減少させる。以上の制御を行いS5006に移行し、S5001～S5006を繰り返し実行する。また、S5003において、改質器103の温度が所定温度範囲よりも低いと判断された場合には、S5005でV7が制御され、改質器103への水供給量を減少する。またV1を制御することで、改質器103への燃料供給量を減少させる。これにより、改質による吸熱量が減少するため、改質器103の温度が増加する。また改質後燃料が減少することから、V2が制御され、エンジンへの改質後燃料の供給量が減少される。エンジンの発電量を一定に保つために、V5を制御することで、エンジンに直接供給する燃料量を増加させる。以上の制御を行いS5006に移行し、S5001～S5006を繰り返し実行する。また、S5002で改質器の温度が所定範囲内であると判断された場合には、そのままS5006に移行し、S5001～S5006を繰り返し実行する。このように制御することで、改質器103の温度範囲を一定に保つことができ、改質器103は高い転化率で運転でき、また劣化を抑制できることから高い転化率を維持することができる。結果的にシステム効率を高めることができる。

【0042】

次に、図13を用いて熱交換器105の温度変化に対応した制御フローを説明する。S6001にて定格運転と判定されると、定格運転時の熱交換器1の温度制御が開始される。まず、S6002にて熱交換器105の温度が所定範囲内か否か判断され、熱交換器105の温度が所定範囲を外れている場合にはS6003で所定温度範囲よりも高いか低いかを判断する。S6003において、熱交換器105の温度が所定範囲よりも高いと判断された場合には、S6004でV8が制御されランキンサイクルへの水供給量を増加する。またV7を制御することで、改質器103への水供給量が一定に保たれる。これにより熱交換器105の温度を低下させる。以上の制御を行いS6006に移行し、S6001

10

20

30

40

50

～S6006を繰り返し実行する。また、S6003において、熱交換器105の温度が所定温度範囲よりも低いと判断された場合にはS6005でV8が制御されランキンサイクルへの水供給量を減少する。またV7を制御することで、改質器103への水供給量が一定に保たれる。これにより、熱交換器105の温度を上昇させる。以上の制御を行いS6006に移行し、S6001～S6006を繰り返し実行する。また、S6002で熱交換器105の温度が所定範囲内であると判断された場合には、そのままS6006に移行し、S6001～S6006を繰り返し実行する。以上の制御を行うことによって、熱交換器105へ供給される排ガス熱量の変動に応じて、ランキンサイクルシステムを制御でき、システム効率向上と、システム故障を防止できる。

[第4実施形態]

図14に第4実施形態に係るエンジンコンバインドシステムの構成図を示す。図10との違いは改質器103と熱交換器105の間に過給器(ターボ)301が搭載され、エンジン102へ供給する空気を過給する点である。天然ガスなどのガス燃料は液体燃料に比べ、エンジン102への供給ガス中の燃料の割合が大きいため、最大トルクが小さくなる。なかでも図5に示すように改質後燃料は一部が水素でありエネルギー密度が低いため、供給できる空気量が小さくなる。よって、図8に示すように過給器301を設置し、吸入空気を過給することで、トルクを高めることができ、エンジン102の高効率化が可能となる。エンジン排ガスは過給器301を通過することで温度が下がることから、改質器103の後流に位置する。ランキンサイクルは比較的低温域まで熱回収できることから、過給器301の後流側に位置し、これにより排熱をカスケード的に利用することができる。また過給機301で加圧された空気は熱交換器302を通過することで、冷却することができ、より高密度に空気をエンジン内へ供給することができ、最大トルクを高めることができる。また熱交換器302の空気と熱交換するために、水タンク109より水を供給する。これにより、過給機301で加熱された空気の熱をランキンサイクルおよび改質器に供給する水の加熱に利用でき、ランキンサイクルで出力される動力(発電量)および改質器の改質割合が高くでき、システム効率を高めることができる。

【0043】

図14に示すシステムにおいて、改質器103、熱交換器105、110、302の前後には温度計と圧力計が設置され(図の記載は省略)、制御装置111によりそれぞれの値を見ながらユーザの要求する発電量にあわせて、各流量調整装置(V1～V5、V7、V8)およびポンプ(P1)は制御される。本実施形態のシステムにおいても、第3実施形態で説明した図11～13と同様の制御を行うことで、システム効率向上とシステム故障を防止できる。

【0044】

次に、第1実施形態～第4実施形態で適用される改質器の構造の一例を説明する。改質器は、図15(a)に示すように、外形が円柱状を呈する複数本の反応セル31と、複数の反応セル31を収容した円筒状の第1ケーシング32と、を備えている。そして、天然ガスと水蒸気が各反応セル31内を通流し、高温の排気ガスが反応セル31の外であって第1ケーシング32内を通流するようになっている。

【0045】

第1ケーシング32及び後記する第2ケーシング34は、熱伝導率が高くなるように金属製(例えば、SUS)で形成されている。なお、第1ケーシング32、第2ケーシング34の形状は、円筒状に限定されず、その他に例えば、四角形筒状、多角形筒状でもよい。

【0046】

反応セル31は、図15(b)に示すように、積層された複数枚の反応シート33と、複数枚の反応シート33を収容した第2ケーシング34と、を備えている。

【0047】

各反応シート33は、図15(c)に示すように、ベースとなる金属箔35と、金属箔35の両面にそれぞれ形成された多孔質層36と、多孔質層36に担持された触媒37と

10

20

30

40

50

、を備えている。つまり、各反応シート33は、触媒37が担持した多孔質層36、金属箔35、触媒37が担持した多孔質層36の順で積層した三層構造である。

【0048】

なお、厚さ方向において隣り合う反応シート33、33間には、天然ガス、水蒸気、生成した水素及び一酸化炭素が通流可能な隙間が形成されている。

【0049】

また、反応シート33はシート状であるから、その熱容量が小さく、熱が反応シート33を速やかに伝導し、触媒37がその触媒機能を良好に発揮する温度に速やかに昇温する。これにより、天然ガスと水蒸気を水素と一酸化炭素とに分解する分解反応の効率は、高くなっている。

10

【0050】

さらに、各反応シート33には、複数の貫通孔33aが形成されている。これにより、排気ガスの熱が厚さ方向に良好に伝導し、また、天然ガス、水蒸気、生成した水素及び一酸化炭素が、厚さ方向にも良好に通流するようになっている。

【0051】

金属箔35は、例えばアルミニウム箔で構成され、その厚さは50~200 μ m程度とされる。

【0052】

ただし、金属箔35を備えず、又は、金属箔35に代えて、ベースとなる多孔質層を備え、反応シート33全体を多孔質構造としてもよい。

20

【0053】

多孔質層36は、触媒37を担持するための層であって、天然ガス、水蒸気、生成した水素及び一酸化炭素が通流可能な複数の細孔を有している。このような多孔質層36は、例えば、アルミナを主体とする酸化物で構成される。

【0054】

触媒37は、天然ガス、水蒸気を分解し、水素及び一酸化炭素を生成させるための触媒である(式(1)参照)。このような触媒37は、例えば、白金、ニッケル、パラジウム、ロジウム、イリジウム、ルテニウム、モリブデン、レニウム、タングステン、バナジウム、オスミウム、クロム、コバルト、鉄等から選択された少なくとも1種で構成される。

【0055】

次に、図16を用いて、第1実施形態~第4実施形態で適用するエンジンの種類とシステム効率について説明する。本システムは、エンジン排ガスからの熱を回収し、システム効率を高めるものである。エンジンは一般的に排ガス熱と冷却水熱の2種類の廃熱がある。冷却水熱は一般的に80度程度の低い温度のため、その熱から動力あるいは冷熱に変換するには効率が低くなる。一方、排ガス熱は温度が高く、火花点火エンジンの場合、700~1000と高い排ガス熱が排出される。そのため、冷却水熱への廃熱を削減し、エンジン廃熱を排ガス熱へ集中させることで、廃熱を利用し動力あるいは冷熱に変換する効率を高めることができる。図16(a)は一般的なエンジンに改質器、熱利用機器(例えば電力に変換できる機器)を搭載した際のエネルギー収支を示す。この場合、燃料のエネルギーを1とした場合、エンジンの冷却水へ排出される量は0.25となり、電力に変換できる量は0.525となる。一方、図16(b)はエンジンの冷却水を不要にした断熱エンジンに改質器、熱利用機器を搭載した際のエネルギー収支を示す。この場合、エンジンの冷却水は排出されず、その代わりに、排ガス熱が増加し、結果的に電力に変換できる量は0.575となる。以上のことから断熱エンジンに本システムを適用することで、システム効率向上がより効果的になることがわかる。断熱エンジンを実現するには、耐熱性の高い材料をエンジンの燃焼室内の表面に適用することが求められる。また燃焼温度を低くするために不活性ガスを活用した希薄燃焼をすることも重要である。

30

【0056】

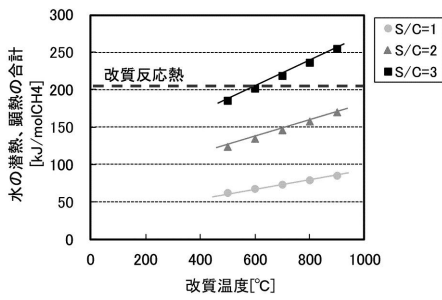
以上で説明した本発明の実施形態に係るエンジンコンバインドシステムによれば、改質器において化学的な排熱回収が可能となり、エンジンの熱効率が向上し、改質器後流の熱

40

50

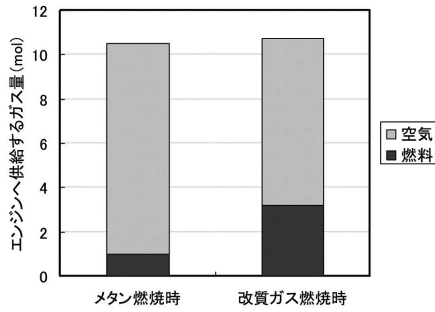
【 図 4 】

【 図4 】



【 図 5 】

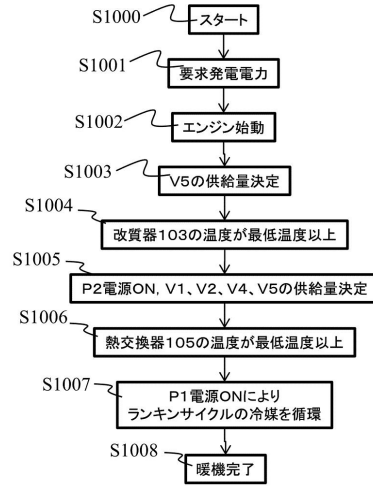
【 図5 】



同燃焼熱(802.7kJ)で比較した燃焼室内のガス量

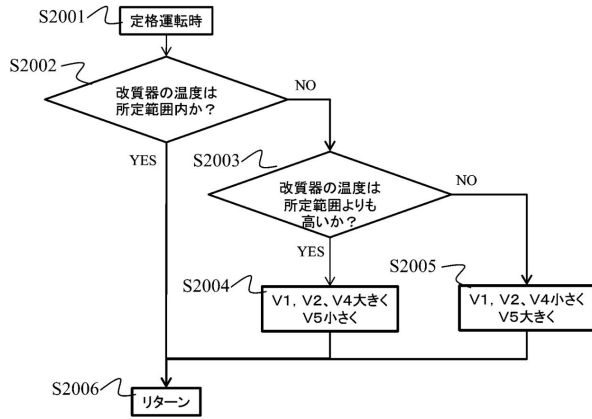
【 図 6 】

【 図6 】



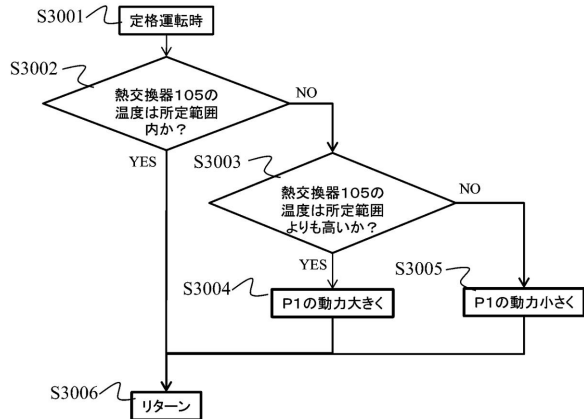
【 図 7 】

【 図7 】



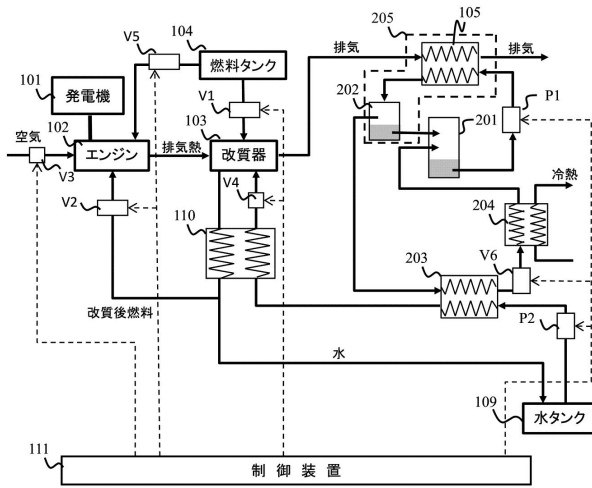
【 図 8 】

【 図8 】



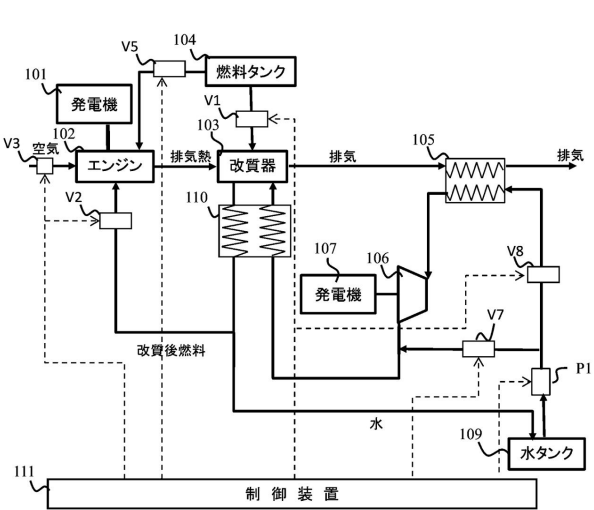
【図9】

【図9】



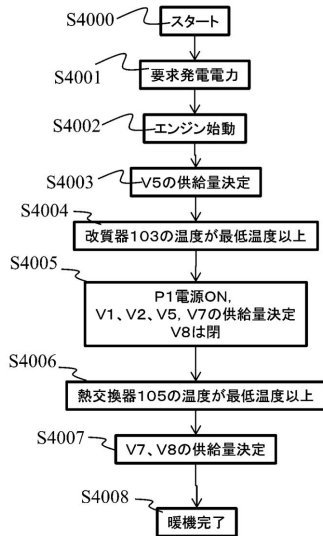
【図10】

【図10】



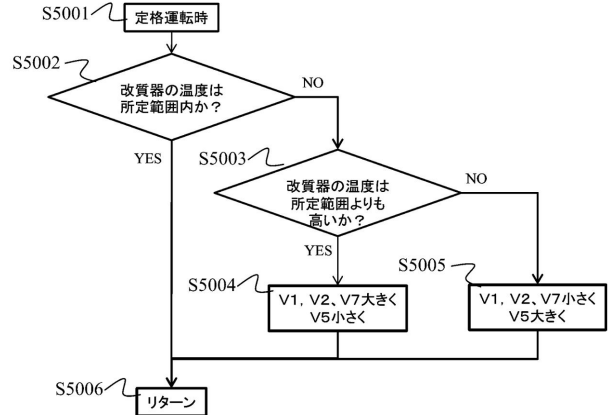
【図11】

【図11】



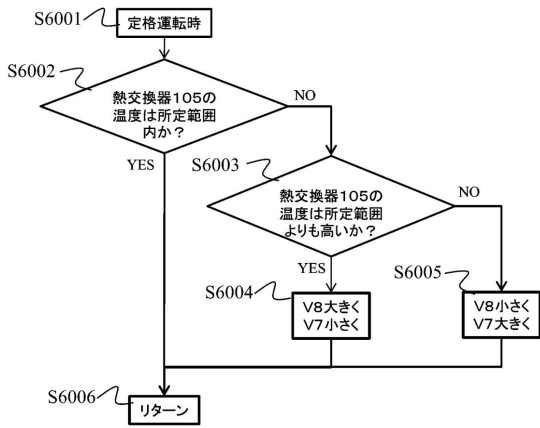
【図12】

【図12】



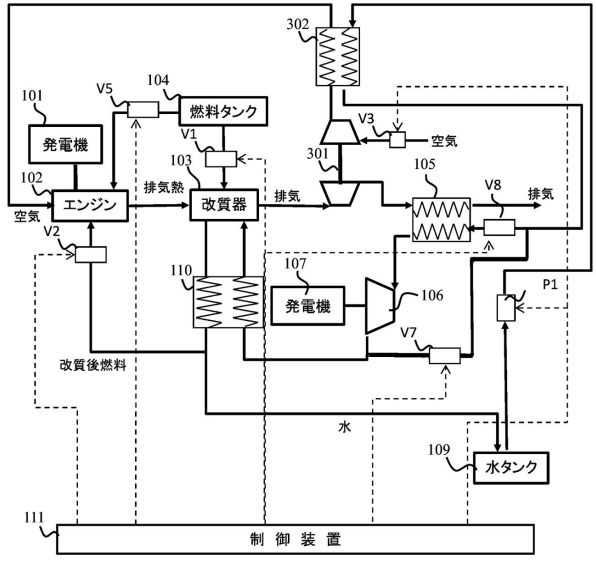
【図13】

【図13】



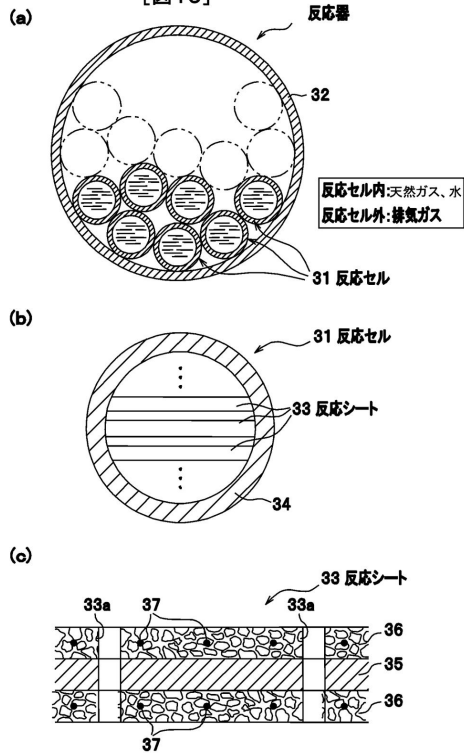
【図14】

【図14】



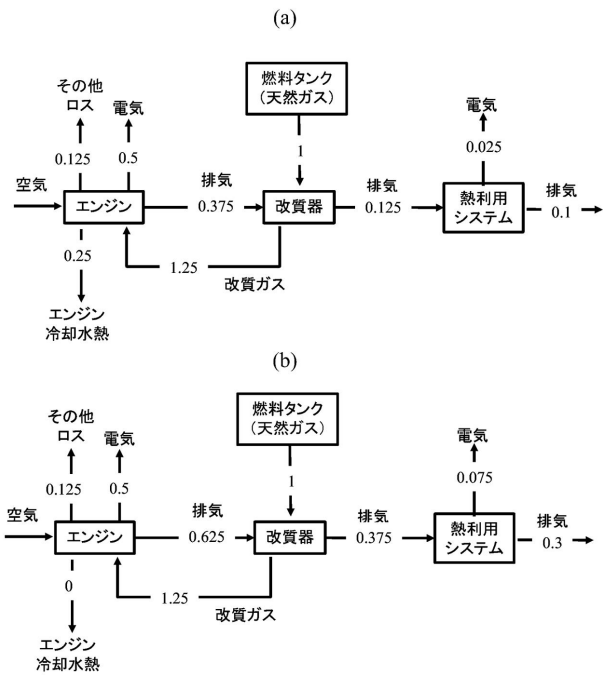
【図15】

【図15】



【図16】

【図16】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I	
F 0 2 D 19/06 (2006.01)		F 0 1 N 5/02	B
F 0 2 D 19/08 (2006.01)		F 0 2 D 19/02	B
F 0 2 D 29/06 (2006.01)		F 0 2 D 19/02	C
F 0 2 M 21/02 (2006.01)		F 0 2 D 19/02	F
F 0 2 M 31/16 (2006.01)		F 0 2 D 19/06	Z
		F 0 2 D 19/08	B
		F 0 2 D 29/06	
		F 0 2 M 21/02	K
		F 0 2 M 31/16	C

(72)発明者 石川 敬郎

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
所内

株式会社 日立製作所 中央研究

審査官 瀬戸 康平

(56)参考文献 特開2004-244268(JP,A)
特表2002-536587(JP,A)
特開2008-163944(JP,A)
国際公開第2011/028322(WO,A1)
米国特許第5927063(US,A)
米国特許第5628183(US,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C 0 1 B 3 / 3 8
F 0 1 K 2 3 / 1 0
F 0 1 N 5 / 0 2
F 0 2 D 1 9 / 0 2 - 1 9 / 1 0 , 2 9 / 0 6
F 0 2 G 5 / 0 2
F 0 2 M 2 1 / 0 2
F 0 2 M 3 1 / 1 6
DWPI (Thomson Innovation)