

明 細 書

発明の名称：燃料供給システムおよび船舶

技術分野

[0001] 本開示は、内燃機関用の燃料供給システム、および前記燃料供給システムを含む船舶に関する。

背景技術

[0002] 従来から、例えば船舶などに搭載される、レシプロエンジンやガスタービンエンジンなどの内燃機関用の燃料供給システムが知られている。例えば、特許文献１には、ディーゼルエンジン用の燃料供給システムが開示されている。この燃料供給システムは、液化ガスを強制的に気化し、その気化ガスを燃料としてディーゼルエンジンへ供給する。

[0003] 具体的に、特許文献１の燃料供給システムでは、燃料供給ラインを通じてタンクから液化ガスが導出される。燃料供給ラインには、気化ガスがディーゼルエンジンの要求圧力よりも高い圧力となるように液化ガスを昇圧するポンプが設けられているとともに、ポンプよりも下流側に気化器が設けられている。さらに、特許文献１の燃料供給システムでは、還流ラインがポンプと気化器の間で燃料供給ラインから分岐してタンクにつながっている。還流ラインには流量制御弁が設けられている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献１：特開２０１６－０４９８８１号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 特許文献１には液化ガスが液化水素であってもよいことが記載されている。液化ガスが液化水素である場合、ポンプによって液化水素がディーゼルエンジンの要求圧力よりも高い圧力となるように昇圧されたときに液化水素が臨界圧力以上となる。なお、ディーゼルエンジン以外の内燃機関へ燃料を供

給する場合も、ポンプによって液化水素が内燃機関の要求圧力よりも高い圧力となるように昇圧されたときに液化水素が臨界圧力以上となる。

[0006] ポンプからは、臨界温度未満の液化水素か、臨界温度以上の超臨界水素が吐出される。いずれの場合も、気化器は加熱器の役割を果たす。特に、ポンプから臨界温度未満の液化水素が吐出される場合、気化器による加熱によって液化水素が超臨界水素となる。

[0007] 内燃機関での単位時間当たりの超臨界水素の使用量がポンプの吐出流量よりも少ない場合、余剰の臨界圧力以上の液化水素または超臨界水素を還流ラインを通じてタンクへ戻すことが望まれる。この場合、還流ラインに設けられた流量制御弁は減圧弁として機能する。

[0008] 臨界圧力以上の液化水素または超臨界水素をタンクへ戻すために減圧すると、その一部乃至多くが水素ガスとなる。このため、減圧によって生じた水素ガスを凝縮し、凝縮した液化水素をタンクへ戻すことが望ましい。さらには、凝縮した液化水素がタンクへ戻されたときに、タンク内で発生するボイルオフガスが増えないことが望ましい。

[0009] そこで、本開示は、タンク内で発生するボイルオフガスを増やすことなく、余剰の臨界圧力以上の液化水素または超臨界水素を減圧後に液化水素の状態でタンクへ戻すことができる燃料供給システムを提供することを目的とする。また、本開示は、前記燃料供給システムを含む船舶を提供することも目的とする。

課題を解決するための手段

[0010] 本開示は、一つの側面から、超臨界水素を燃料として内燃機関へ供給する燃料供給システムであって、液化水素を貯留するタンクと、前記タンクから液化水素を導出する燃料供給ラインと、前記燃料供給ラインに設けられた第1ポンプと、前記第1ポンプよりも下流側で前記燃料供給ラインに設けられた、前記液化水素を昇圧して臨界圧力以上とする第2ポンプと、前記第2ポンプの下流側で前記燃料供給ラインから分岐して前記タンクにつながる、減圧弁が設けられた還流ラインと、前記減圧弁よりも下流側で前記還流ライン

に設けられた気液分離器と、前記第 1 ポンプと前記第 2 ポンプの間で前記燃料供給ラインから抜き出された、前記タンク内の気層の圧力における飽和温度未満の液化水素と、前記気液分離器から流出する水素ガスとを攪拌することで前記水素ガスを凝縮する攪拌装置と、を備え、前記攪拌装置で凝縮した液化水素が前記タンク内へ戻される、燃料供給システムを提供する。

[0011] 本開示は、別の側面から、上記の燃料供給システムを備える船舶を提供する。

発明の効果

[0012] 本開示によれば、タンク内で発生するボイルオフガスを増やすことなく、余剰の臨界圧力以上の液化水素または超臨界水素を減圧後に液化水素の状態でタンクへ戻すことができる燃料供給システム、および前記燃料供給システムを含む船舶が提供される。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]一実施形態に係る再液化装置の概略構成図である。

[図2]変形例の再液化装置の概略構成図である。

[図3]別の変形例の再液化装置の概略構成図である。

発明を実施するための形態

[0014] 図 1 に、一実施形態に係る燃料供給システム 1 A を示す。燃料供給システム 1 A は、超臨界水素を燃料として内燃機関へ供給するものである。例えば、燃料供給システム 1 A は船舶に搭載されてもよいし、陸上の発電設備に組み込まれてもよい。内燃機関は、例えば、レシプロエンジンまたはガスタービンエンジンである。レシプロエンジンは、オットーサイクル、ディーゼルサイクルおよびサバテサイクルのいずれであってもよい。

[0015] 具体的に、燃料供給システム 1 A は、液化水素を貯留するタンク 2 と、タンク 2 から液化水素を導出する燃料供給ライン 3 を含む。

[0016] 本実施形態では、タンク 2 が、内槽 2 1 と外槽 2 2 を含む二重殻タンクである。内槽 2 1 と外槽 2 2 の間には真空層が形成される。ただし、タンク 2 は、断熱材で覆われた一重殻タンクであってもよい。また、本実施形態では

、タンク２が横向き円筒状である。ただし、タンク２は縦向き円筒状であってもよい。あるいは、タンク２は、球状であってもよいし、略直方体状であってもよい。

[0017] タンク２内では液化水素の蒸発によってボイルオフガス（ＢＯＧ）が発生する。つまり、タンク２内では、液化水素によって液層が形成されるとともに、ボイルオフガスによって気層が形成される。

[0018] タンク２内に液化水素が投入される際には、液化水素が十分に冷却されている。このため、タンク２内に液化水素が投入されてから、液化水素の液面が高位に保たれるしばらくの間、例えば数週間の間は、タンク２内の液化水素に温度層が形成され、液化水素の上層の液面近傍ではタンク２内の気層の圧力における飽和温度となって平衡状態に保たれるが、液化水素の下層においては液化水素の温度を、タンク２内の気層の圧力における飽和温度以下に保つことが可能である。例えば、タンク２内の気層の圧力は大気圧以上であり、タンク２内の液化水素の温度は２０Ｋ以上である。

[0019] 燃料供給ライン３には、上流側から順に、第１ポンプ４、第２ポンプ５および加熱器６が設けられている。本実施形態では、第１ポンプ４が燃料供給ライン３の上流端よりも下流側で燃料供給ライン３に設けられている。また、本実施形態では、第１ポンプ４および第２ポンプ５がタンク２外に配置されるとともに、第１ポンプ４が真空断熱ポッド１１内に配置されている。真空断熱ポッド１１は、内壁と外壁の間に真空層が形成されたものである。

[0020] タンク２の内槽２１と第１ポンプ４とは導出路３１によって接続されている。導出路３１は燃料供給ライン３の上流部を構成する。真空断熱ポッド１１の内部は液化水素または水素ガスで満たされる。導出路３１におけるタンク２の外槽２２内に位置する部分は一重管で構成され、外槽２２と真空断熱ポッド１１の内壁または外壁の間の部分は真空断熱二重管で構成され、真空断熱ポッド１１の内壁または外壁内に位置する部分は一重管で構成される。

[0021] ただし、タンク２の内槽２１と真空断熱ポッド１１とが導出路３１によって接続され、真空断熱ポッド１１の内部が導出路３１を通じてタンク２の内

槽 2 1 から導出される液化水素で満たされ、第 1 ポンプ 4 が真空断熱ポッド 1 1 内の液化水素を吸入してもよい。この場合、導出路 3 1 および真空断熱ポッド 1 1 の内部が燃料供給ライン 3 の上流部を構成する。

[0022] 第 1 ポンプ 4 は、導出路 3 1 を通じてタンク 2 内の液化水素を吸入する。第 1 ポンプ 4 と第 2 ポンプ 5 とは第 1 吐出路 3 2 によって接続されており、第 2 ポンプ 5 と加熱器 6 とは第 2 吐出路 3 3 によって接続されており、加熱器 6 からは供給路 3 4 が延びている。供給路 3 4 には、内燃機関へ燃料を供給するか否かを切り換える遮断弁が設けられる。

[0023] 第 1 吐出路 3 2 における真空断熱ポッド 1 1 の内壁または外壁内に位置する部分は一重管で構成され、真空断熱ポッド 1 1 の内壁または外壁外に位置する部分は真空断熱二重管で構成される。第 2 吐出路 3 3 は一重管と真空断熱二重管のどちらで構成されてもよい。供給路 3 4 は一重管で構成される。ただし、燃料供給システム 1 A が船舶に搭載される場合、供給路 3 4 における機関室内に位置する部分は二重管で構成されてもよい。

[0024] 第 1 ポンプ 4 は、液化水素をタンク 2 から第 2 ポンプ 5 へ送り込む。例えば、第 1 ポンプ 4 の出口において、液化水素の圧力は 0.3 MPa G 以上 1.0 MPa G 以下である。

[0025] 第 2 ポンプ 5 は、液化水素を内燃機関の要求圧力よりも高い圧力となるように昇圧して臨界圧力以上とする。第 2 ポンプ 5 の出口温度が臨界温度未満であれば第 2 ポンプ 5 から臨界圧力以上の液化水素が吐出され、第 2 ポンプ 5 の出口温度が臨界温度以上であれば第 2 ポンプ 5 から超臨界水素が吐出される。例えば、内燃機関がディーゼルサイクルのレシプロエンジンである場合、第 2 ポンプ 5 の出口における臨界圧力以上の液化水素または超臨界水素の圧力は 2.5 MPa G 以上 3.5 MPa G 以下である。

[0026] 加熱器 6 は、臨界圧力以上の液化水素または超臨界水素を内燃機関の要求温度よりも高い温度となるように加熱する。例えば、内燃機関がディーゼルサイクルのレシプロエンジンである場合、加熱器 6 の出口における超臨界水素の温度は 273 K 以上 333 K 以下である。

- [0027] また、燃料供給システム 1 A は、第 2 ポンプ 5 の下流側かつ加熱器 6 の上流側で燃料供給ライン 3 から分岐してタンク 2 につながる還流ライン 8 を含む。還流ライン 8 の下流部はタンク 2 を外部から内部へ貫通している。図例では、還流ライン 8 の下流端がタンク 2 の内槽 2 1 の底近くで開口しているが、還流ライン 8 の下流端はタンク 2 内の気層中で液化水素をスプレー噴射可能に構成されてもよい。還流ライン 8 におけるタンク 2 の外槽 2 2 外に位置する部分は真空断熱二重管で構成され、外槽 2 2 内に位置する部分は一重管で構成される。
- [0028] 還流ライン 8 には、上流側から順に、減圧弁 8 1 および気液分離器 8 2 が設けられている。臨界圧力以上の液化水素または超臨界水素は減圧弁 8 1 で減圧されることによって、水素ガス 100% となるか、気液二相流体となる。臨界圧力以上の液化水素または超臨界水素が減圧されることによって気液二相流体となる場合、気液分離器 8 2 で水素ガスと液化水素とが分離され、それらが気液分離器 8 2 から流出する。気液分離器 8 2 で分離された液化水素は、還流ライン 8 を通じてタンク 2 へ戻される。
- [0029] さらに、燃料供給システム 1 A は、気液分離器 8 2 から流出する水素ガスを凝縮する攪拌装置 7 を含む。本実施形態では、攪拌装置 7 が真空断熱ポッド 1 2 内に配置されている。真空断熱ポッド 1 2 は、内壁と外壁の間に真空層が形成されたものである。例えば、真空断熱ポッド 1 2 の内部は液化水素または水素ガスで満たされる。なお、真空断熱ポッド 1 2 の内部は真空に保たれてもよく、この場合、真空断熱ポッド 1 2 の内壁は無くてもよい。また、攪拌装置 7 を真空断熱ポッド 1 2 内に配置する代わりに、攪拌装置 7 の表面を真空断熱構造で覆ってもよい。
- [0030] 攪拌装置 7 は、送気ライン 7 1 により気液分離器 8 2 と接続されている。また、攪拌装置 7 は、抽出ライン 7 2 により燃料供給ライン 3 の第 1 吐出路 3 2 と接続されているとともに、返送ライン 7 4 によりタンク 2 と接続されている。返送ライン 7 4 の下流部はタンク 2 を外部から内部へ貫通している。図例では、返送ライン 7 4 の下流端がタンク 2 の内槽 2 1 の底近くで開口

しているが、返送ライン 7 4 の下流端はタンク 2 内の気層中で液化水素をスプレイ噴射可能に構成されてもよい。

[0031] 攪拌装置 7 は、抽出ライン 7 2 を通じて燃料供給ライン 3 から抜き出された液化水素と、送気ライン 7 1 を通じて気液分離器 8 2 から流出する水素ガスを攪拌することで水素ガスを凝縮する。

[0032] 送気ライン 7 1 における真空断熱ポッド 1 2 の内壁または外壁外に位置する部分は真空断熱二重管で構成され、真空断熱ポッド 1 2 の内壁または外壁内に位置する部分は一重管で構成される。抽出ライン 7 2 における真空断熱ポッド 1 2 の内壁または外壁外に位置する部分は真空断熱二重管で構成され、真空断熱ポッド 1 2 の内壁または外壁内に位置する部分は一重管で構成される。返送ライン 7 4 における真空断熱ポッド 1 2 の内壁または外壁内に位置する部分および外槽 2 2 内に位置する部分は一重管で構成され、真空断熱ポッド 1 2 の内壁または外壁と外槽 2 2 の間の部分は真空断熱二重管で構成される。

[0033] 抽出ライン 7 2 には流量制御弁 7 3 が設けられている。流量制御弁 7 3 ならびに上述した第 1 ポンプ 4、第 2 ポンプ 5 および減圧弁 8 1 は、制御装置 9 により制御される。なお、図 1 では、図面の簡略化のために一部の信号線の作図を省略する。

[0034] 制御装置 9 に関し、本明細書で開示する要素の機能は、開示された機能を実行するよう構成またはプログラムされた汎用プロセッサ、専用プロセッサ、集積回路、ASIC (Application Specific Integrated Circuits)、従来の回路、および/または、それらの組み合わせ、を含む回路または処理回路を使用して実行できる。プロセッサは、トランジスタやその他の回路を含むため、処理回路または回路と見なされる。本開示において、回路、ユニット、または手段は、列挙された機能を実行するハードウェアであるか、または、列挙された機能を実行するようにプログラムされたハードウェアである。ハードウェアは、本明細書に開示されているハードウェアであってもよいし、あるいは、列挙された機能を実行するようにプログラムまたは構成されている

その他の既知のハードウェアであってもよい。ハードウェアが回路の一種と考えられるプロセッサである場合、回路、手段、またはユニットはハードウェアとソフトウェアの組み合わせであり、ソフトウェアはハードウェアおよび/またはプロセッサの構成に使用される。

[0035] 制御装置 9 は、燃料供給ライン 3 の第 1 吐出路 3 2 に設けられた圧力計 9 1 および第 2 吐出路 3 3 に設けられた圧力計 9 2 と電氣的に接続されている。圧力計 9 1 は、第 1 ポンプ 4 から吐出される液化水素の圧力 P 1 を検出する。圧力計 9 2 は、第 2 ポンプ 5 から吐出される臨界圧力以上の液化水素または超臨界水素の圧力 P 2 を検出する。ただし、圧力計 9 2 は、燃料供給ライン 3 の供給路 3 4 に設けられて、加熱器 6 から流出する超臨界水素の圧力を検出してもよい。

[0036] 制御装置 9 は、圧力計 9 1 で検出される圧力 P 1 が所定値以上となるように第 1 ポンプ 4 の回転数を所定の範囲内において制御する。また、制御装置 9 は、第 1 ポンプ 4 の吐出流量が最小流量以下とならないように流量制御弁 7 3 を所定の開度以上において制御する。流量制御弁 7 3 の開度を所定の開度以上とすることによって、燃料供給ライン 3 を通じてタンク 2 から導出された、タンク 2 内の気層の圧力における飽和温度未満の液化水素の一部が抽出ライン 7 2 を通じて燃料供給ライン 3 から抜き出されて攪拌装置 7 へ供給される。攪拌装置 7 へ供給された液化水素は、攪拌装置 7 を通過した後に返送ライン 7 4 を通じてタンク 2 へ戻される。つまり、燃料供給ライン 3 の一部、抽出ライン 7 2、攪拌装置 7 および返送ライン 7 4 を通じて循環する液化水素によって、抽出ライン 7 2、攪拌装置 7、真空断熱ポッド 1 2 および返送ライン 7 4 が冷却される。

[0037] 制御装置 9 は、圧力計 9 2 で検出される圧力 P 2 に基づいて第 2 ポンプ 5 の回転数および減圧弁 8 1 の開度を制御する。より詳しくは、制御装置 9 は、圧力計 9 2 で検出される圧力 P 2 が閾値 α よりも小さい場合、減圧弁 8 1 を全閉とする。これにより、燃料供給ライン 3 を通じてタンク 2 から導出された、タンク 2 内の気層の圧力における飽和温度未満の液化水素の大部分が

超臨界水素となって内燃機関へ供給される。

[0038] 一方、圧力計 9 2 で検出される圧力 P_2 が閾値 α よりも大きい場合、制御装置 9 は、圧力 P_2 と閾値 α の偏差 ΔP に応じた開度となるように減圧弁 8 1 を開く。これにより、第 2 ポンプ 5 から吐出された臨界圧力以上の液化水素または超臨界水素のうちの余剰分が減圧弁 8 1 で減圧された後に気液分離器 8 2 に流入する。また、気液分離器 8 2 から流出する水素ガスが攪拌装置 7 へ供給され、攪拌装置 7 が、前記水素ガスと燃料供給ライン 3 から抜き出された液化水素とを攪拌することで前記水素ガスを凝縮する。攪拌装置 7 で凝縮した液化水素は、返送ライン 7 4 を通じてタンク 2 内へ戻される。

[0039] 以上説明したように、本実施形態の燃料供給システム 1 A では、余剰の臨界圧力以上の液化水素または超臨界水素が減圧弁 8 1 で減圧されることによって生じる水素ガスが、タンク 2 内の気層の圧力における飽和温度未満の液化水素の冷熱を利用して凝縮されるので、凝縮した液化水素がタンク 2 へ戻された後に再び気化することが抑制される。従って、タンク 2 内のボイルオフガスを増やすことなく、余剰の臨界圧力以上の液化水素または超臨界水素を減圧後に液化水素の状態でタンク 2 へ戻すことができる。

[0040] また、本実施形態では、第 1 ポンプ 4、第 2 ポンプ 5 および攪拌装置 7 がタンク 2 外に配置されているので、第 1 ポンプ 4、第 2 ポンプ 5 および攪拌装置 7 を容易にメンテナンスすることができる。

[0041] <変形例>

本開示は上述した実施形態に限定されるものではなく、本開示の要旨を逸脱しない範囲で種々の変形が可能である。

[0042] 例えば、図 2 に示す変形例の燃料供給システム 1 B のように、攪拌装置 7 がタンク 2 内に配置され、第 1 ポンプ 4 および第 2 ポンプ 5 がタンク 2 外に配置されてもよい。この構成によれば、燃料供給システム 1 B をコンパクト化することができる。なお、攪拌装置 7 がタンク 2 内に配置される場合、真空断熱ポッド 1 2 および返送ライン 7 4 は省略可能である。

[0043] また、図 3 に示す別の変形例の燃料供給システム 1 C のように、第 1 ポン

プ4 および攪拌装置7がタンク2内に配置され、第2ポンプ5がタンク2外に配置されてもよい。なお、本変形例では、第1ポンプ4が燃料供給ライン3の上流端で燃料供給ライン3に設けられている。この構成によれば、燃料供給システム1Cを顕著にコンパクト化することができる。また、本変形例では、真空断熱ポッド11も省略可能である。

[0044] <まとめ>

第1の態様として、本開示は、一つの側面から、超臨界水素を燃料として内燃機関へ供給する燃料供給システムであって、液化水素を貯留するタンクと、前記タンクから液化水素を導出する燃料供給ラインと、前記燃料供給ラインに設けられた第1ポンプと、前記第1ポンプよりも下流側で前記燃料供給ラインに設けられた、前記液化水素を昇圧して臨界圧力以上とする第2ポンプと、前記第2ポンプの下流側で前記燃料供給ラインから分岐して前記タンクにつながる、減圧弁が設けられた還流ラインと、前記減圧弁よりも下流側で前記還流ラインに設けられた気液分離器と、前記第1ポンプと前記第2ポンプの間で前記燃料供給ラインから抜き出された、前記タンク内の気層の圧力における飽和温度未満の液化水素と、前記気液分離器から流出する水素ガスとを攪拌することで前記水素ガスを凝縮する攪拌装置と、を備え、前記攪拌装置で凝縮した液化水素が前記タンク内へ戻される、燃料供給システムを提供する。

[0045] 上記の構成によれば、余剰の臨界圧力以上の液化水素または超臨界水素が減圧弁で減圧されることによって生じる水素ガスが、タンク内の気層の圧力における飽和温度未満の液化水素の冷熱を利用して凝縮されるので、凝縮した液化水素がタンクへ戻された後に再び気化することが抑制される。従って、タンク内のボイルオフガスを増やすことなく、余剰の臨界圧力以上の液化水素または超臨界水素を減圧後に液化水素の状態でタンクへ戻すことができる。

[0046] 第2の態様として、第1の態様において、前記第1ポンプ、前記第2ポンプおよび前記攪拌装置は前記タンク外に配置されてもよい。この構成によれ

ば、第1ポンプ、第2ポンプおよび攪拌装置を容易にメンテナンスすることができる。

[0047] 第3の態様として、第1の態様において、前記攪拌装置は前記タンク内に配置され、前記第1ポンプおよび前記第2ポンプは前記タンク外に配置されてもよい。この構成によれば、燃料供給システムをコンパクト化することができる。

[0048] 第4の態様として、第1の態様において、前記攪拌装置および前記第1ポンプは前記タンク内に配置され、前記第2ポンプは前記タンク外に配置されてもよい。この構成によれば、燃料供給システムを顕著にコンパクト化することができる。

[0049] 第5の態様として、本開示は、別の側面から、第1乃至第4の態様の燃料供給システムを備える船舶を提供する。

請求の範囲

- [請求項1] 超臨界水素を燃料として内燃機関へ供給する燃料供給システムであって、
- 液化水素を貯留するタンクと、
- 前記タンクから液化水素を導出する燃料供給ラインと、
- 前記燃料供給ラインに設けられた第1ポンプと、
- 前記第1ポンプよりも下流側で前記燃料供給ラインに設けられた、前記液化水素を昇圧して臨界圧力以上とする第2ポンプと、
- 前記第2ポンプの下流側で前記燃料供給ラインから分岐して前記タンクにつながる、減圧弁が設けられた還流ラインと、
- 前記減圧弁よりも下流側で前記還流ラインに設けられた気液分離器と、
- 前記第1ポンプと前記第2ポンプの間で前記燃料供給ラインから抜き出された、前記タンク内の気層の圧力における飽和温度未満の液化水素と、前記気液分離器から流出する水素ガスとを攪拌することで前記水素ガスを凝縮する攪拌装置と、を備え、
- 前記攪拌装置で凝縮した液化水素が前記タンク内へ戻される、燃料供給システム。
- [請求項2] 前記第1ポンプ、前記第2ポンプおよび前記攪拌装置は前記タンク外に配置される、請求項1に記載の燃料供給システム。
- [請求項3] 前記攪拌装置は前記タンク内に配置され、前記第1ポンプおよび前記第2ポンプは前記タンク外に配置される、請求項1に記載の燃料供給システム。
- [請求項4] 前記攪拌装置および前記第1ポンプは前記タンク内に配置され、前記第2ポンプは前記タンク外に配置される、請求項1に記載の燃料供給システム。
- [請求項5] 請求項1乃至4の何れか一項に記載の燃料供給システムを備える船舶。