

明 細 書

発明の名称：液体容器のクールダウン方法及び貯蔵設備

技術分野

[0001] 本開示は、液体容器のクールダウン方法及び貯蔵設備に関する。

背景技術

[0002] 下記の特許文献1には、低温液体容器内の散布管から低温液体を散布することにより、低温液体容器を冷却するクールダウン方法が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2013-09453号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 極低温液体を貯蔵する液体容器のクールダウンでは、貯蔵する極低温液体を液体容器内に散布する。この極低温液体の散布を始めてからしばらくの間は、極低温液体が気化して体積が増大するため、液体容器内の圧力が上昇する。ところが、極低温液体の散布をさらに続けると、ある時点で液体容器内の気体の体積が減少し始め、液体容器内の圧力が低下し、最終的には液体容器内が負圧になるおそれがある。

[0005] そこで、本開示では、液体容器内の圧力低下を抑制しつつ液体容器を冷却するクールダウン方法及び貯蔵設備を提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

[0006] 本開示の一態様に係る方法は、極低温液体を貯蔵する液体容器のクールダウン方法であって、前記液体容器内に前記極低温液体を散布させながら供給する散布供給と、前記液体容器内に前記極低温液体を供給する非散布供給と、を組み合わせ、前記液体容器の温度が予め定めた閾値を下回ったとき、前記非散布供給を開始し又は前記非散布供給における前記極低温液体の供給量を増加させる。

[0007] また、本開示の一態様に係る貯蔵設備は、極低温液体を貯蔵する液体容器と、前記液体容器内に前記極低温液体を散布させながら供給する散布供給配管と、前記液体容器内に前記極低温液体を供給する非散布供給配管と、前記散布供給配管からの前記極低温液体の供給と前記非散布供給配管からの前記極低温液体の供給を組み合わせる前記液体容器を冷却するクールダウンプログラムを実行し、前記クールダウンプログラムにおいて、前記液体容器の温度が予め定めた閾値を下回ったとき、前記非散布供給配管からの前記極低温液体の供給を開始し又は前記非散布供給配管からの前記極低温液体の供給量を増加させる制御装置と、を備えている。

発明の効果

[0008] 上記の方法及び構成によれば、液体容器内の圧力低下を抑制しつつ液体容器を冷却するクールダウン方法及び貯蔵設備を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]図1は、貯蔵設備の構成図である。

[図2]図2は、クールダウンプログラムのフロー図である。

発明を実施するための形態

[0010] <全体構造>

以下、実施形態に係る貯蔵設備100について説明する。はじめに、貯蔵設備100の全体構造について説明する。図1は、貯蔵設備100の構成図である。図1に示すように、貯蔵設備100は、液体容器10と、散布供給配管20と、非散布供給配管30と、通気配管40と、制御装置50と、を備えている。以下、これらの構成要素について順に説明する。

[0011] 液体容器10は、極低温液体を貯蔵する容器である。極低温液体には、液体水素及び液体ヘリウム等が含まれる。本実施形態の液体容器10は、球形型である。ただし、液体容器10は、下方部分が上下方向に延びる円筒であり上方部分が鏡板である平底円筒型であってもよく、水平方向に延びる円筒の両側が鏡板である枕型であってもよい。また、液体容器10は地上に設置されていてもよく、船などの移動体に搭載されていてもよい。

- [0012] 液体容器 10 は、金属製の内槽 11 と、内槽 11 を外側から覆う金属製の外槽 12 を含んでいる。内槽 11 及び外槽 12 は、一例として SUS304 L で形成されている。ただし、内槽 11 及び外槽 12 の材料は、これに限定されない。また、内槽 11 と外槽 12 の間は、一例として真空であるとともに、パーライト等の断熱材が充填されている。
- [0013] 液体容器 10 には、互いに異なる高さ位置に、複数の温度センサ 13、14、15 が設けられている。各温度センサ 13、14、15 は、対応する高さ位置における液体容器 10（内槽 11）の温度を測定する。なお、本実施形態では、3つの温度センサ 13、14、15 が液体容器 10 に設けられているが、液体容器 10 に設けられる温度センサの数は限定されない。さらに、液体容器 10 には、液体容器 10 内の圧力を測定する圧力センサ 16 も設けられている。
- [0014] 散布供給配管 20 は、液体容器 10 内に極低温液体を散布させながら供給する「散布供給」を行う配管である。つまり、散布供給は、極低温液体を粒子状にして液体容器 10 内に供給する手法である。散布供給配管 20 は、液体容器 10 の外部に位置する共通配管 60 に接続されており、この共通配管 60 から極低温液体が供給される。散布供給配管 20 は、共通配管 60 から延びて、液体容器 10 を径方向に貫通し、液体容器 10 内の上部に達している。
- [0015] 散布供給配管 20 は、複数の散布供給口 21 を含んでいる。各散布供給口 21 は、液体容器 10 内の上部に位置している。共通配管 60 から散布供給配管 20 に供給された極低温液体は、各散布供給口 21 から液体容器 10 内に散布される（散布供給が行われる）。また、散布供給配管 20 には散布供給弁 22 が設けられている。この散布供給弁 22 を開くことにより散布供給が開始され、散布供給弁 22 の開度を小さくすることで散布供給における極低温液体の供給量が減少し、散布供給弁 22 を完全に閉じることで散布供給が停止する。
- [0016] 非散布供給配管 30 は、液体容器 10 内に極低温液体を噴出又は放出させ

ながら（散布させずに）供給する「非散布供給」を行う配管である。つまり、非散布供給は、極低温液体を一連の連続体として液体容器１０内に供給する手法である。非散布供給配管３０は、散布供給配管２０と同様に、共通配管６０に接続されており、この共通配管６０から極低温液体が供給される。つまり、共通配管６０は、散布供給配管２０と非散布供給配管３０の両方に極低温液体を供給する。非散布供給配管３０は、共通配管６０から延びて、液体容器１０を径方向に貫通し、液体容器１０内の下部に達している。

[0017] 非散布供給配管３０は、非散布供給口３１を含んでいる。非散布供給口３１は、液体容器１０内の下部に位置している。共通配管６０から非散布供給配管３０に供給された極低温液体は、非散布供給口３１から液体容器１０内に噴出又は放出させながら供給される（非散布供給が行われる）。また、非散布供給配管３０には非散布供給弁３２が設けられている。この非散布供給弁３２を開くことにより非散布供給が開始され、非散布供給弁３２の開度を小さくすることで非散布供給における極低温液体の供給量が減少し、非散布供給弁３２を完全に閉じることで非散布供給が停止する。

[0018] また、本実施形態の非散布供給口３１は、液体容器１０の内面から液体容器１０の中央部に向かって極低温液体を供給している。つまり、非散布供給口３１から極低温液体が湧き出るように供給されている。ただし、非散布供給配管３０を液体容器１０の内部を通るように配置し、液体容器１０の内面付近に配置された非散布供給口３１から液体容器１０の内面に向かって極低温液体を供給してもよい。また、非散布供給口３１は、液体容器１０内の下部に位置していなくてもよい。なお、貯蔵設備１００の運用時には、非散布供給配管３０は液体容器１０に極低温液体を充填し、又は、液体容器１０から極低温液体を液体容器１０の外部へ搬出する配管として機能する。

[0019] 通気配管４０は、液体容器１０内で極低温液体が気化して発生したボイルオフガスを液体容器１０の外部へ搬出する配管である。通気配管４０は、液体容器１０内の上部に開口する取出口４１を含んでいる。液体容器１０内のボイルオフガスは、取出口４１から通気配管４０に流入して液体容器１０の

外部に搬出される。また、通気配管40には、通気配管弁42が設けられている。

[0020] 制御装置50は、種々の制御を行う装置である。制御装置50は、プロセッサ、揮発性メモリ、不揮発性メモリ、及び、I/Oインターフェース等を有している。制御装置50の不揮発性メモリには、後述するクールダウンプログラムを含む各種プログラム、及び、各種データが保存されており、プロセッサが各プログラムに基づき揮発性メモリを用いて演算処理を行う。

[0021] 制御装置50は、液体容器10に設けられた温度センサ13、14、15と電氣的に接続されており、各温度センサ13、14、15から測定信号を受信することにより、液体容器10の温度を取得することができる。また、制御装置50は、液体容器10に設けられた圧力センサ16と電氣的に接続されており、圧力センサ16から測定信号を受信することにより、液体容器10内の圧力を取得することができる。また、制御装置50は、散布供給弁22、非散布供給弁32、及び、通気配管弁43と電氣的に接続されており、各弁22、32、43に制御信号を送信することにより、各弁22、32、43の開度を制御することができる。なお、制御装置50は、モータを用いて各弁22、32、43の開閉を行ってもよく、空気圧や油圧を用いて各弁22、32、43の開閉を行ってもよい。

[0022] 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、それらの組合せ、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合せであり、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。

[0023] <クールダウンプログラム>

次に、制御装置 50 が実行するクールダウンプログラムについて説明する。クールダウンプログラムは、液体容器 10 を冷却するためのプログラムである。常温の液体容器 10 に、例えば非散布供給口 31 から極低温液体を充填すると、非散布供給口 31 周辺が局所的に冷却されるため、液体容器 10 の非散布供給口 31 周辺とその他の箇所の温度差が大きくなることで、液体容器 10 が破損するおそれがある。そのため、常温の液体容器 10 に極低温液体を充填する場合には、はじめに液体容器 10 に極低温液体を液体容器 10 の内部全体にゆっくり供給して液体容器 10 を冷却するクールダウンを行う。

[0024] 図 2 は、クールダウンプログラムのフロー図である。図 2 に示すように、クールダウンプログラムが開始されると、制御装置 50 は、散布供給弁 22 を開いて散布供給を行い、非散布供給弁 32 を閉じる（ステップ S1）。つまり、散布供給配管 20 の各散布供給口 21 から極低温液体が散布されることで、液体容器 10 内の上部から、液体容器 10 の内部空間に向けて極低温液体が散布される。これにより、液体容器 10 内の気体が冷却され、冷却された気体が液体容器 10 全体を均一に冷却する。つまり、液体容器 10 は、内部の気体を介して、極低温液体によって間接的に冷却される。

[0025] なお、散布供給を行うことにより、液体容器 10 内に散布された極低温液体は気化し、液体容器 10 内にボイルオフガスが発生する。ボイルオフガスが発生することで液体容器 10 内の圧力が上昇する。このとき、液体容器 10 内で発生したボイルオフガスの一部は、通気配管 40 を介して液体容器 10 の外部へ放出される。ボイルオフガスの放出量は、通気配管弁 42 の開度を制御することで調整できる。なお、本実施形態では、圧力センサ 16 から

取得した液体容器 10 内の圧力に基づいて、通気配管弁 42 の開閉が制御される。ただし、クールダウン時には通気配管弁 42 を閉じ、ボイルオフガスが液体容器 10 の外部へ放出されないようにしてもよい。

[0026] 続いて、制御装置 50 は、液体容器 10 の温度を取得する（ステップ S2）。本実施形態では、制御装置 50 は、温度センサ 13、14、15 から液体容器 10 の温度を取得する。なお、本実施形態における液体容器 10 の温度とは、液体容器 10 の内槽 11 の内表面の温度をいう。

[0027] 続いて、制御装置 50 は、ステップ S2 で取得した液体容器 10 の温度が、予め定めた閾値を下回っているか否かを判定する（ステップ S3）。前述のとおり、極低温液体を液体容器 10 内で散布すると、通気配管 40 を介して外部に放出しない限り、液体容器 10 内の圧力は上昇していく。そのため、液体容器 10 の最高使用圧力を超えないように通気配管弁 42 を開閉して液体容器 10 の圧力を調整する。ただし、極低温液体の散布を続けてゆくと、液体容器 10 の温度の低下に伴って、ある時点において液体容器 10 内に散布して蒸発し増加する液化ガスの体積よりも、液体容器 10 内に存在する液化ガスの温度降下により減少する体積の方が大きくなり、液体容器 10 内の圧力が低下してゆく。これを続けていくと、やがて液体容器 10 の圧力がゼロを下回り負圧に達する。上記のステップ S3 における閾値は、液体容器 10 内が負圧になる直前の液体容器 10 の温度である。この閾値は、液体容器 10 を用いて事前に行ったクールダウンの試験結果に基づいて決定してもよいし、または机上検討によって得られた値もしくは経験則により得られた値を用いてもよい。

[0028] ステップ S3 において、液体容器 10 の温度が閾値を下回っていないとき（ステップ S3 で NO）、つまり液体容器 10 内が負圧になるおそれがないとき、ステップ S2 に戻る。一方、ステップ S3 において、液体容器 10 の温度が閾値を下回っているとき（ステップ S3 で YES）、つまり液体容器 10 内が負圧になるおそれがあるとき、制御装置 50 は、散布供給弁 22 を閉じて散布供給を停止し、非散布供給弁 32 を開いて非散布供給を開始する。

(ステップS4)。

[0029] ステップS4において、散布供給弁22を閉じることにより、液体容器10内の上部からの極低温液体の散布が停止される。これにより、液体容器10内の気体の冷却が抑制されることで、液体容器10内の気体の体積の減少が抑制される。その結果、液体容器10内の圧力の低下を抑制することができる。さらに、ステップS4において、非散布供給弁32を開くことにより、非散布供給配管30から液体容器10に極低温液体が供給され、液体容器10が直接冷却される。このとき、非散布供給配管30から供給された極低温液体は気化してボイルオフガスが発生する。その結果、液体容器10内の気体の量が増加し、液体容器10内の圧力の低下を抑制することができる。

[0030] 続いて、制御装置50は、液体容器10のクールダウンが完了したか否かを判定する(ステップS5)。例えば、制御装置50は、液体容器10の温度が予め定めたクールダウン完了温度以下となったときクールダウンが完了したと判定し、液体容器10の温度が上記のクールダウン完了温度よりも高いときクールダウンが完了していないと判定してもよい。また、例えば、制御装置50は、液体容器10に供給した極低温液体が気化せずに液体容器10に溜まり始めて、極低温液体の液位が予め定めた基準液位以上となったときにクールダウンが完了したと判定し、極低温液体の液位が上記の基準液位よりも低いときにはクールダウンが完了していないと判定してもよい。

[0031] ステップS5において、制御装置50が、クールダウンが完了していないと判定した場合(ステップS5でNO)、ステップS5に戻る。一方、ステップS5において、クールダウンが完了したと判定した場合(ステップS5でYES)、クールダウンプログラムを終了する。以上が、本実施形態におけるクールダウンプログラムの説明である。

[0032] なお、クールダウンプログラムが終了すると(液体容器10のクールダウンが完了すると)、制御装置50は液体容器10に極低温液体の充填を開始する。極低温液体の充填は非散布供給配管30によって、又は、散布供給配管20と非散布供給配管30の両方によって行われる。このとき、非散布供

給配管 30 から供給される極低温液体の供給量は、ステップ S 4 における供給量を増加させてもよい。つまり、非散布供給配管 30 から液体容器 10 に供給される極低温液体の供給量は、クールダウン後に増加させることができる。

[0033] また、上記のクールダウンプログラムでは、液体容器 10 の温度が閾値を下回ったとき、非散布供給弁 32 を開いて、非散布供給配管 30 からの極低温液体の供給（非散布供給）を開始した（ステップ S 4 参照）。ただし、クールダウンプログラム開始時（ステップ S 1）から非散布供給弁 32 を開いて予め非散布供給を行っておき、液体容器 10 の温度が閾値を下回ったとき（ステップ S 3 で YES）、非散布供給弁 32 の開度を大きくして、非散布供給における極低温液体の供給量を増加させてもよい。

[0034] 同様に、上記のクールダウンプログラムでは、液体容器 10 の温度が閾値を下回ったとき、散布供給弁 22 を閉じて、散布供給配管 20 からの極低温液体の供給（散布供給）を停止した（ステップ S 4）。ただし、液体容器 10 の温度が閾値を下回ったとき（ステップ S 3 で YES）、散布供給弁 22 の開度を小さくして、散布供給における極低温液体の供給量を減少させてもよい。

[0035] また、上記のクールダウンプログラムでは、ステップ S 4 において散布供給弁 22 の閉止と非散布供給弁 32 の開放を同時に行っているが、同時でなくともよい。つまり、ステップ S 4 において、散布供給弁 22 を閉じてから（散布供給を停止してから）所定時間後に非散布供給弁 32 を開いてもよく（非散布供給を開始してもよく）、非散布供給弁 32 を開いてから（非散布供給を開始してから）所定時間後に散布供給弁 22 を閉じてもよい（散布供給を停止してもよい）。

[0036] また、上述した実施形態では、制御装置 50 がクールダウンプログラムを実行することにより、液体容器 10 のクールダウンを行った。ただし、液体容器 10 のクールダウンは作業者が手動で行ってもよい。

[0037] <まとめ>

上述した実施形態に係る方法は、極低温液体を貯蔵する液体容器のクールダウン方法であって、前記液体容器内に前記極低温液体を散布させながら供給する散布供給と、前記液体容器内に前記極低温液体を供給する非散布供給と、を組み合わせ、前記液体容器の温度が予め定めた閾値を下回ったとき、前記非散布供給を開始し又は前記非散布供給における前記極低温液体の供給量を増加させている。

[0038] このように、液体容器の温度が予め定めた閾値を下回ったとき、非散布供給を開始し又は非散布供給における極低温液体の供給量を増加することにより、液体容器が極低温液体によって直接冷却され始め、又は、より多くの極低温液体によって直接冷却されることになる。このとき、液体容器は局所的に冷却されるため、液体容器内における気体全体としては冷却が抑制され、体積の減少が抑制される。さらに、非散布供給によって供給された極低温液体は気化してボイルオフガスが発生するため、液体容器内の気体の量が増加する。その結果、液体容器内の圧力の低下を抑制することができる。

[0039] また、上述した実施形態に係る方法では、前記液体容器の温度が前記閾値を下回ったとき、前記散布供給を停止し又は前記散布供給における前記極低温液体の供給量を減少させている。

[0040] このように、散布供給を停止し又は散布供給における極低温液体の供給量を減少させることにより、液体容器内の気体の冷却が抑制される。これにより、液体容器内の気体の体積の減少が抑制され、液体容器内の圧力の低下を抑制することができる。

[0041] また、上述した実施形態に係る方法では、前記散布供給では、前記極低温液体を前記液体容器内の上部から供給し、前記非散布供給では、前記極低温液体を前記液体容器内の下部から供給している。

[0042] このように、散布供給では、極低温液体を液体容器内の上部から供給することで、液体容器内が負圧になるおそれが無い場合には、冷却された気体を介して液体容器全体を均一に冷却することができる。また、非散布供給では、極低温液体を液体容器内の下部から供給することで、液体容器内が負圧に

なるおそれがある場合には、極低温液体が液体容器の底部に留まりやすく、液体容器は局所的に冷却される。これにより、液体容器内の気体全体としては冷却されにくく、液体容器内の圧力の低下を抑制することができる。

[0043] また、上述した実施形態に係る貯蔵設備は、極低温液体を貯蔵する液体容器と、前記液体容器内に前記極低温液体を散布させながら供給する散布供給配管と、前記液体容器内に前記極低温液体を供給する非散布供給配管と、前記散布供給配管からの前記極低温液体の供給と前記非散布供給配管からの前記極低温液体の供給を組み合わせる前記液体容器を冷却するクールダウンプログラムを実行し、前記クールダウンプログラムにおいて、前記液体容器の温度が予め定めた閾値を下回ったとき、前記非散布供給配管からの前記極低温液体の供給を開始し又は前記非散布供給配管からの前記極低温液体の供給量を増加させる制御装置と、を備えている。

[0044] このように、液体容器の温度が予め定めた閾値を下回ったとき、非散布供給からの極低温液体の供給を開始し又は非散布供給配管からの極低温液体の供給量を増加することにより、液体容器が極低温液体によって直接冷却され始め、又は、より多くの極低温液体によって直接冷却されることになる。このとき、液体容器は局所的に冷却されるため、液体容器内における気体全体としては冷却が抑制され、体積の減少が抑制される。さらに、非散布供給配管から供給された極低温液体は気化してボイルオフガスが発生するため、液体容器内の気体の量が増加する。その結果、液体容器内の圧力の低下を抑制することができる。

符号の説明

[0045] 10 液体容器
20 散布供給配管
30 非散布供給配管
50 制御装置
100 貯蔵設備

請求の範囲

- [請求項1] 極低温液体を貯蔵する液体容器のクールダウン方法であって、
前記液体容器内に前記極低温液体を散布させながら供給する散布供給と、
前記液体容器内に前記極低温液体を供給する非散布供給と、を組み合わせ、
前記液体容器の温度が予め定めた閾値を下回ったとき、前記非散布供給を開始し又は前記非散布供給における前記極低温液体の供給量を増加させる、方法。
- [請求項2] 前記液体容器の温度が前記閾値を下回ったとき、前記散布供給を停止し又は前記散布供給における前記極低温液体の供給量を減少させる、請求項1に記載の方法。
- [請求項3] 前記散布供給では、前記極低温液体を前記液体容器内の上部から供給し、
前記非散布供給では、前記極低温液体を前記液体容器内の下部から供給する、請求項1又は2に記載の方法。
- [請求項4] 極低温液体を貯蔵する液体容器と、
前記液体容器内に前記極低温液体を散布させながら供給する散布供給配管と、
前記液体容器内に前記極低温液体を供給する非散布供給配管と、
前記散布供給配管からの前記極低温液体の供給と前記非散布供給配管からの前記極低温液体の供給を組み合わせる前記液体容器を冷却するクールダウンプログラムを実行し、前記クールダウンプログラムにおいて、前記液体容器の温度が予め定めた閾値を下回ったとき、前記非散布供給配管からの前記極低温液体の供給を開始し又は前記非散布供給配管からの前記極低温液体の供給量を増加させる制御装置と、を備えている貯蔵設備。