

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7199634号
(P7199634)

(45)発行日 令和5年1月6日(2023.1.6)

(24)登録日 令和4年12月23日(2022.12.23)

(51)国際特許分類 F I
 G 2 1 C 15/18 (2006.01) G 2 1 C 15/18 L
 G 2 1 D 3/04 (2006.01) G 2 1 D 3/04 Q
 G 2 1 D 1/00 (2006.01) G 2 1 D 1/00 S

請求項の数 15 外国語出願 (全9頁)

| | | | |
|-------------------|-----------------------------|----------|---|
| (21)出願番号 | 特願2018-219118(P2018-219118) | (73)特許権者 | 522466681 |
| (22)出願日 | 平成30年11月22日(2018.11.22) | | ロールス - ロイス、 エスエムアール、 リミテッド |
| (65)公開番号 | 特開2019-95450(P2019-95450A) | | Rolls - Royce SMR Limited |
| (43)公開日 | 令和1年6月20日(2019.6.20) | | イギリス国ダービーシャー、 ダービー、 ムーア、 レーン、 ケアオブ、 ロールス - ロイス、 パブリック、 リミテッド、 カンパニー |
| 審査請求日 | 令和3年6月17日(2021.6.17) | (74)代理人 | 100120031 弁理士 宮嶋 学 |
| (31)優先権主張番号 | 1719431.7 | (74)代理人 | 100127465 弁理士 堀田 幸裕 |
| (32)優先日 | 平成29年11月23日(2017.11.23) | (74)代理人 | 100202304 弁理士 埴 和也 |
| (33)優先権主張国・地域又は機関 | 英国(GB) | | |

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 原子力発電所

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

原子力発電所であって、
 原子炉圧力容器と、
 前記原子炉圧力容器内で発生した熱エネルギーを利用して蒸気を発生させるように配置された蒸気発生器と、
 前記原子炉圧力容器から前記蒸気発生器に熱エネルギーを伝達するための流体回路と、
 緊急時において重力によって前記蒸気発生器に供給するための冷却液を貯蔵する冷却液タンクと、
前記冷却液タンクと前記蒸気発生器との間に設けられた供給導管であって、前記冷却液タンクと前記蒸気発生器との間の流体連通を可能にすることができ、通常運転中は閉じ、緊急時に開くように構成されたバルブを有する供給導管とを備え、
 前記蒸気発生器は、蒸気を乾燥させるように構成された1つ以上の気水分離器を含む蒸気乾燥ゾーンを含み、
 前記蒸気発生器および冷却液タンクは、前記冷却液タンクの少なくとも一部が、前記蒸気乾燥ゾーンによって規定された閾値よりも下方に位置し、緊急時において冷却液が前記冷却液タンクから前記蒸気発生器に供給されたときに、前記冷却液が前記閾値未満に留まるように構成されている、原子力発電所。

【請求項 2】

前記冷却液が前記閾値未満に留まっていることを条件に、前記または各気水分離器が前

記蒸気発生器内の蒸気を乾燥させるように機能するように、前記閾値が設定されている、請求項 1 に記載の原子力発電所。

【請求項 3】

前記閾値は、前記蒸気乾燥ゾーンの下端によって規定されている、請求項 1 または 2 に記載の原子力発電所。

【請求項 4】

前記または各気水分離器は、少なくとも部分的に前記蒸気乾燥ゾーン内に位置する、請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の原子力発電所。

【請求項 5】

前記冷却液タンクは、冷却液を収容している、請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載の原子力発電所。

10

【請求項 6】

前記冷却液タンク内の前記冷却液のレベルが前記閾値以下である、請求項 5 に記載の原子力発電所。

【請求項 7】

前記冷却液タンクは、原子炉格納容器の内側に設置されている、請求項 1 乃至 6 のいずれか一項に記載の原子力発電所。

【請求項 8】

前記冷却液タンクは、前記蒸気発生器の周囲を取り囲んでいる、請求項 1 乃至 7 のいずれか一項に記載の原子力発電所。

20

【請求項 9】

前記冷却液タンクは、前記冷却液タンクとその外側との間の流体連通を提供することができるバルブを有する、請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載の原子力発電所。

【請求項 10】

前記蒸気発生器内の圧力を低下させることができる減圧バルブを更に備える、請求項 1 乃至 9 のいずれか一項に記載の原子力発電所。

【請求項 11】

前記減圧バルブは、蒸気を補助的な場所へ送ることができる、請求項 10 に記載の原子力発電所。

【請求項 12】

前記冷却液が前記蒸気乾燥ゾーンによって規定された閾値未満のまま、重力によって前記冷却液タンクから前記蒸気発生器に冷却液を供給する工程を備える、請求項 1 乃至 11 のいずれか一項に記載の原子力発電所を運転する方法。

30

【請求項 13】

前記冷却液タンクとその外側との間に流体連通を提供するようにバルブを開く工程を更に備える、請求項 12 に記載の方法。

【請求項 14】

前記蒸気発生器内の圧力を低下させるように減圧バルブを開く工程を更に備える、請求項 12 または 13 に記載の方法。

【請求項 15】

前記減圧バルブを開く工程は、蒸気を補助的な場所へ送る、請求項 14 に記載の方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、原子力発電所に関する。

【背景技術】

【0002】

原子力発電所は、通常、原子炉、一次回路、熱交換器、二次回路、およびタービンを含んでいる。一次回路内の一次流体は、原子炉によって加熱される。一次流体は熱交換器に流れ、そこで二次回路内の二次流体を加熱する。加熱された二次流体は、タービンを駆動

50

して発電するために使用される。

【0003】

壊滅的な故障が発生する可能性があるため、原子炉および燃料は、過熱されないようにすることが重要である。したがって、原子炉を冷却することが必要である。一般に、冷却は、一次回路の一次流体（または冷却液）中の熱の循環によって運転中に提供され、熱交換器（例えば、蒸気発生器またはボイラー）を介して二次冷却システムと熱を交換し、この熱を発電所の最終ヒートシンクと交換する。最終ヒートシンクは、海、冷却塔、または他の代替のヒートシンクであってもよい。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0004】

原子力発電所は、上述した通常の冷却フローが利用できないことを意味する故障がある場合（電気がないなどの場合）、依然として崩壊熱の形態で実質的な熱を発生する原子炉の停止状態において原子炉が過熱されることを防止する安全システムを含んでいることが重要である。

【課題を解決するための手段】

【0005】

一態様によれば、原子力発電所が提供され、原子力発電所は、原子炉圧力容器と、前記原子炉圧力容器内で発生した熱エネルギーを利用して蒸気を発生させるように配置された蒸気発生器と、前記原子炉圧力容器から前記蒸気発生器に熱エネルギーを伝達するための流体回路と、緊急時において重力下で前記蒸気発生器に供給するための冷却液を貯蔵する冷却液タンクとを備え、前記蒸気発生器は、蒸気を乾燥させるように構成された1つ以上の気水分離器を含む蒸気乾燥ゾーンを含み、前記蒸気発生器および冷却液タンクは、緊急時において冷却液が前記冷却液タンクから前記蒸気発生器に供給されたときに、前記冷却液が前記蒸気乾燥ゾーンによって規定された閾値未満に留まるように構成されている。

20

【0006】

前記冷却水が前記閾値未満に留まっていることを条件に、前記若しくは各または少なくとも幾つかの気水分離器が前記蒸気発生器内の蒸気を乾燥させるように機能するように、前記閾値が設定されていてもよい。前記閾値は、蒸気発生器の二次側の前記冷却水が前記閾値未満に留まっていることを条件に、前記若しくは各または少なくとも幾つかの気水分離器が前記蒸気発生器内の蒸気を乾燥させるように機能するように設定されていてもよい。前記閾値は、前記蒸気乾燥ゾーンの下端によって規定されていてもよい。前記蒸気乾燥ゾーンは、蒸気の乾燥が起こる領域、または前記若しくは各気水分離器の運転可能な範囲内として規定されていてもよい。前記または各気水分離器は、少なくとも部分的に前記蒸気乾燥ゾーン内に位置していてもよい。

30

【0007】

前記冷却液タンクは、水のような冷却液を収容していてもよい。前記冷却液タンク内の前記冷却液のレベルが前記閾値以下であってもよい。前記冷却液タンクは、原子炉格納容器の内側に設置されていてもよい。前記冷却液タンクは、前記蒸気発生器、原子炉の配置または原子炉格納容器の周囲を取り囲んでいてもよい。

40

【0008】

前記冷却液タンクは、前記冷却液タンクとその外側との間の流体連通を提供することができる、ブリーザバルブのようなバルブを有していてもよい。発電所は、前記蒸気発生器内の圧力を低下させることができる減圧バルブを更に備えていてもよい。前記減圧バルブは、蒸気を補助的な場所へ送ることができてもよい。発電所は、冷却液タンクと蒸気発生器との間に供給導管を更に備えていてもよい。供給導管は、冷却液タンクと蒸気発生器との間の流体連通を可能にすることができるバルブを有していてもよい。

【0009】

また、上述した原子力発電所を運転する方法が開示され、この方法は、前記冷却液が前記蒸気乾燥ゾーンによって規定された閾値未満のまま、重力下で前記冷却液タンクから前

50

記蒸気発生器に冷却液を供給する工程を備えていてもよい。

【0010】

方法は、前記冷却液タンクとその外側との間に流体連通を提供するようにバルブを開く工程を更に備えていてもよい。方法は、前記蒸気発生器内の圧力を低下させるように減圧バルブを開く工程を更に備えていてもよい。前記減圧バルブを開く工程は、蒸気を補助的な場所に送ってもよい。

【0011】

本発明は、互いに排他的であるような特徴の組み合わせを除いて、本明細書で参照される特徴および/または限定の任意の組み合わせを含み得る。

【0012】

本発明の実施形態は、添付の図面を参照して、例として以下に説明されるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】図1は、原子力発電所を示す概略図である。

【図2】図2は、図1の原子炉チャンバを示す概略図である。

【図3】図3は、代替の配置による原子炉チャンバを示す概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

図1を参照すると、原子力発電所の概略が符号10で示されている。この発電所は、核燃料を収納する原子炉圧力容器(RPV)11と、一次流体回路14と、この例では蒸気発生器16である熱交換器と、二次流体回路18と、タービン20とを備えている。タービン20は、タービンホール(turbine hall)(または建物若しくはチャンバ)(図示せず)内に収納され、原子炉容器11は原子炉チャンバ24(または建屋若しくはホール)内に収納されている。原子炉チャンバ24は、格納障壁によってタービンホールから分離されている。障壁は、例えば、コンクリートおよび/または鋼鉄から作られていてもよい。

【0015】

原子力発電所10の通常運転中、一次回路14の一次流体は、原子炉圧力容器11で発生した熱エネルギーによって加熱される。一次流体は、この例では水である二次流体を加熱する蒸気発生器16に流れ、蒸気を発生させる。発生した蒸気は、タービン20を駆動するために使用され、それによって電気を発生させる。二次流体は、復水器19に流れ、最終ヒートシンク21からの水を使用して冷却される。最終ヒートシンクは、冷却塔、河川、湖、または冷却水の他の適切な供給源であってもよい。例えば停電が発生した場合等の緊急時では、二次回路のポンプが運転を停止する場合があります、これは二次流体回路18内の水が流れ続けないことを意味し、これにより原子炉圧力容器11内の温度が増加する。したがって、何らかの干渉または電源条件なしに、発電所の即時停止状態から熱が循環するまでの長期間にわたって熱を除去するための手段を提供することが望ましい。

【0016】

図2は、以下に詳細に説明するように、原子力発電所の一部を示しており、緊急時(例えば停電の間)に、一次流体回路(および原子炉圧力容器11)から熱を除去するための、特定の場所における最終ヒートシンク29を含んでいる。図示されているように、この場合、原子炉は、蒸気発生器16が原子炉圧力容器11に近接して連結されていることを意味する、近接連結原子炉(close-coupled reactor)である。特に、この場合、蒸気発生器16は原子炉圧力容器11に隣接するとともに、原子炉圧力容器11に機械的および流体的に接続されている。単一の蒸気発生器16が示されているが、複数の蒸気発生器16が設けられていてもよいことを理解されたい。原子炉圧力容器11および蒸気発生器16の全体の組立体は、原子炉チャンバ24内に収納され、原子炉チャンバ24の基部に近接して位置付けられている。

【0017】

図2に示すように、蒸気発生器16は、2つの実質的に水平な配列の気水分離器28を含み、蒸気発生器16の上部領域において、一方は他方の上方に設置されている。気水分

10

20

30

40

50

離器 28 は、水滴が気化ガスから除去され、それによって実質的に乾燥した蒸気を発生させるように、蒸気発生器 16 内で発生した蒸気を乾燥させるように構成されている。実質的に乾燥した蒸気は、5%未満の液体水、4%未満の液体水、3%未満の液体水、2%未満の液体水、1%未満の液体水、0.5%未満の液体水または0.25%未満の液体水を含む蒸気であると考えられ得る。したがって、気水分離器 28 は、実質的に乾燥した蒸気がタービン 20 に供給されることを確実にする。これは、湿った蒸気はタービンに損傷を与え得るとともに、乾燥した蒸気よりも伝達するエネルギーが少ないため、非常に望ましい。2列の気水分離器 28 が示されているが、適切な数の分離器が使用され得ることを理解されたい。

【0018】

気水分離器 28 は、本明細書において、蒸気発生器 16 の上部領域内の蒸気乾燥ゾーン 26 として参照されるものを規定する。蒸気乾燥ゾーン 26 は、蒸気発生器 16 内の領域であり、気水分離器 28 によって湿った蒸気から水滴が除去され、実質的に乾燥した蒸気を発生させる領域である。気水分離器 28 は、少なくとも部分的に蒸気乾燥ゾーン 26 内に設置されている。

【0019】

蒸気発生器 16 は、蒸気発生器 16 を減圧させることができる減圧バルブ 30 を更に備えている。バルブ 30 は、例えば、モータ若しくはソレノイドシステムによって、または遠隔制御システムを介して運転され得る。他の場合、バルブ 30 は、電力損失時に自動的に開き得る電気機械バルブ (electro-mechanical valve) を備えていてもよい。減圧バルブ 30 は、蒸気を補助的な場所 (すなわち、主タービン 20 ではない場所または設備) に送るように運転され得る。補助的な場所は、原子炉格納容器、外部の大気、別個のタンク、最終ヒートシンク、または (後述する) 特定の場所における最終ヒートシンクであってもよい。

【0020】

原子力発電所 10 は、冷却液タンク 29 の形態で特定の場所における最終ヒートシンク (LUHS) を更に備えている。特定の場所における最終ヒートシンク 29 は、最終ヒートシンク 21 とは異なり、原子炉圧力容器 11 に近接して (すなわち特定の場所に) 設けられている。この場合、冷却液タンク 29 は水タンクであり、所定量の水を収容している。しかしながら、他の流体冷却液が使用され得ることを理解されたい。以下で詳細に説明するように、緊急時において一次流体回路 14 から熱を逃がすために、冷却液タンク 29 が使用されてもよい。このような緊急時は、二次流体回路 18 が一次流体回路 14 から熱を逃がすことができない場合に起こり得る。これは、流体が二次流体回路 18 内を循環しないか、または最終ヒートシンク 21 が二次流体を適切に冷却しない可能性があるためである。このような緊急事態は、停電時に起こり得る。この配置では、冷却液タンク 29 は、原子炉チャンバ 24 とタンク 29 との間に物理的な障壁 (例えば、格納障壁) が存在するように、原子炉チャンバ 24 の外側に設けられている。しかしながら、代替の配置では、冷却液タンク 29 が原子炉チャンバ 24 内に設けられていてもよい。

【0021】

タンク 29 の底部は、供給導管 38 によって蒸気発生器 16 の底部に流体的に接続されている。供給導管 38 は、タンク 29 内の冷却液が重力下で蒸気発生器 16 に供給されるように、例えば電気機械バルブのような、緊急時に開く (または開き得る) バルブ 34 を有している。冷却液タンク 29 の上部領域には、冷却液タンク 29 と大気 (または外部環境) との間の流体連通を提供するために開かれ得るブリーザバルブ 36 が設けられており、これにより、タンク 29 の内側の圧力と外側の圧力とを一様にするようになっている。これは、緊急時において、タンク 29 から蒸気発生器 16 への冷却液の流れを補助する。

【0022】

冷却液タンク 29 には、重力によって (すなわち、バルブ 30、34、36 を開くことによって) 冷却液が蒸気発生器 16 に供給されたとき、冷却液が蒸気乾燥ゾーン 26 によって規定された閾値 32 を超えないことを確実にする充填レベルまで、冷却液、この場合

10

20

30

40

50

水が満たされている。この場合、閾値 3 2 は、気水分離器 2 8 の上部の下方であって、気水分離器 2 8 の底部の上方の位置にある。閾値 3 2 は、冷却液が閾値 3 2 未満に留まることを提供し、発生した蒸気を乾燥させるために、気水分離器 2 8 が適切に機能することを確実にするように選択される。これは、蒸気発生器 1 6 が、タンク 2 9 からの冷却液により満たされた緊急時であっても、乾燥蒸気が発生することを確実にする。

【 0 0 2 3 】

この場合、冷却液タンク 2 9 は、閾値 3 2 以下のレベルまで充填されている。これは、冷却液 2 9 が重力下で蒸気発生器 1 6 に供給されたときに、冷却液 2 9 が閾値 3 2 を上回らないことを確実にする。冷却液タンク 2 9 は、閾値 3 2 を超えて充填され得るが、緊急時には、冷却液が閾値 3 2 未満のままであることを依然として確実にすることを理解されたい。特に、閾値 3 2 を超える冷却液タンク 2 9 内の冷却液の体積が、閾値 3 2 未満の蒸気発生器 1 6 の容積未満であるように、閾値 3 2 を超えるレベルまで、冷却液タンク 2 9 が充填され得る。代替の配置では、蒸気発生器 1 6 は、緊急時に冷却液が閾値 3 2 を超えることを防止する排水管を有している。

10

【 0 0 2 4 】

例えば、停電などの緊急時には、一次回路 1 4 内の流体を十分に冷却することはもはや不可能である。これは、二次回路 1 8 内の流体を汲み上げることはもはや不可能であり、および/または二次流体が十分に冷却され得ない可能性があるためである。この場合、原子炉圧力容器 1 1 が過熱されないことを確実にすることが重要である。緊急時であることが検出されると、バルブ 3 0、3 6、3 8 が全て開く。これは自動であってもよく、あるいは作業者が、緊急時であることの検出に応じてバルブを開かなければならないかもしれない。例えば、バルブ 3 0、3 6、3 8 のうちの 1 つ以上は、電気機械バルブであってもよく、停電の場合にはバルブが自動的に開くように構成されていてもよい。減圧バルブ 3 0 を開くと、蒸気発生器 1 6 内の圧力が低下し、発生した蒸気が補助的な場所に送られることを確実にする。ブリーザバルブ 3 6 を開くことは、冷却液タンク 2 9 と大気との間の流体連通を提供し、したがって圧力を一様にする。バルブ 3 4 を開くと、冷却液（この場合水）が重力により蒸気発生器 1 6 内に流れる。水の形態の冷却液は、一次回路 1 4 によって蒸気に変えられ、それによって一次回路 1 4 および原子炉圧力容器 1 1 から熱を除去する。冷却液が閾値 3 2 未満のままであるため、気水分離器 2 8 は、蒸気発生器 1 6 を出る蒸気が実質的に乾燥蒸気であるように、蒸気を適切に乾燥させる（すなわち、湿った蒸気から水滴を除去する）ように機能する。

20

30

【 0 0 2 5 】

蒸気発生器 1 6 を出る蒸気は実質的に乾燥しているので、同一の体積の水に対して、より多くの熱が蒸気発生器 1 6 から除去される。これは、蒸気発生器 1 6 を出る蒸気が湿っている場合よりも、同一の冷却を達成するために必要な水がより少なくなることを意味し得る。したがって、一定時間（例えば、熱が循環するまで）原子炉圧力容器 1 1 を冷却するために、（より小さい体積の水を収容する）より小さい冷却液タンク 2 9 を提供することが可能となり得る。あるいは、より長時間にわたって原子炉圧力容器 1 1 を冷却するために、同一サイズのタンク 2 9 が使用されてもよい。冷却液タンク 2 9 は、何らかの干渉または電源条件なしに、原子力発電所の即時停止状態から熱が循環するまでの長期間にわたって崩壊熱を除去するための総合的なヒートシンク要求（total heat sink requirements）を提供するようなサイズに形成されていてもよい。

40

【 0 0 2 6 】

図 3 に示す代替の配置では、冷却液タンク 2 9 は、蒸気発生器 1 6、原子炉発電所の配置または原子炉格納容器の周囲を取り囲む環状の冷却液タンク 2 9 であってもよい。このような配置は、レベルを閾値 3 2 未満に保ちながら、タンク 2 9 を適切なサイズにすることができる。

【 0 0 2 7 】

上述した配置では、単一の蒸気発生器 1 6 が存在する。しかしながら、複数の蒸気発生器 1 6 が存在し得ることを理解されたい。各々が独自の冷却液タンク 2 9（または L U H

50

S)を有していてもよく、または1つの冷却液タンク29が、複数の蒸気発生器16を提供してもよい。

【0028】

蒸気発生器16は垂直に置かれた蒸気発生器として示されているが、説明した配置は、水平に置かれた蒸気発生器にも等しく適用可能である。

【0029】

本発明は上述した実施形態に限定されるものではなく、本明細書に記載された概念から逸脱することなく様々な修正および改良を行うことができることを理解されたい。互いに排他的な場合を除いて、特徴のいずれかは、別個に、または他の特徴と組み合わせて適用されてもよく、本開示は、本明細書に記載された1つ以上の特徴の全ての組み合わせ、および部分的な組み合わせにまで及ぶ。

10

20

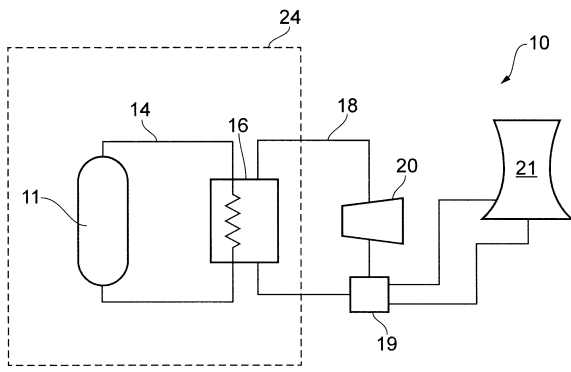
30

40

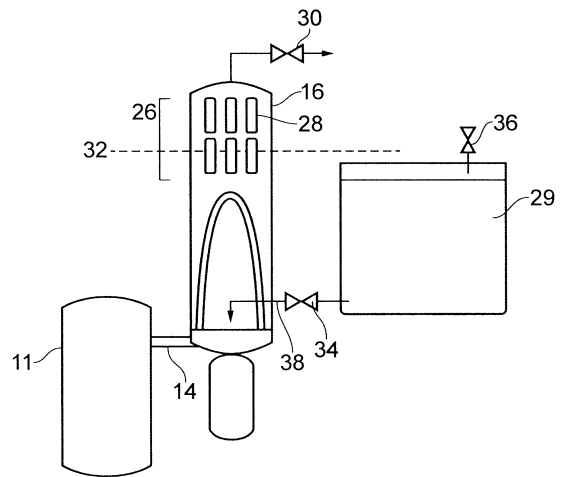
50

【図面】

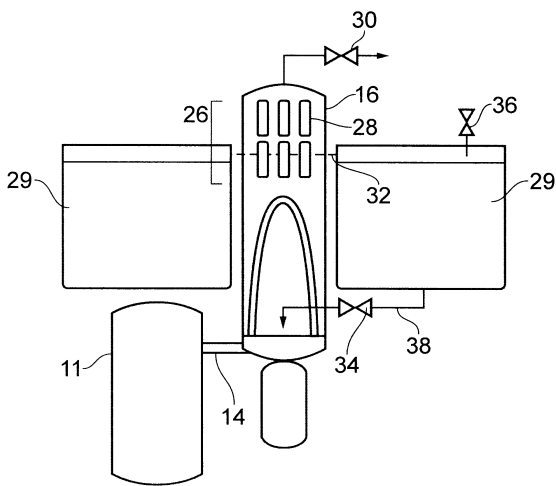
【図 1】



【図 2】



【図 3】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(72)発明者 ジェームズ、シー、パルマー
イギリス国ダービー、ピーオー、ボックス、31、ロールス - ロイス、パブリック、リミテッド、
カンパニー

審査官 後藤 大思

(56)参考文献 特開平04 - 109197 (JP, A)
特開2009 - 210157 (JP, A)
米国特許第04239596 (US, A)
特開昭50 - 052496 (JP, A)
特開昭62 - 008094 (JP, A)
特開昭60 - 254000 (JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G21C 15/00 - 15/28