

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2014-525046
(P2014-525046A)

(43) 公表日 平成26年9月25日(2014.9.25)

(51) Int. Cl.		F I		テーマコード (参考)
G 2 1 C 19/07 (2006.01)		G 2 1 C	19/06	L
G 2 1 D 3/04 (2006.01)		G 2 1 D	3/04	Q

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2014-523046 (P2014-523046)
 (86) (22) 出願日 平成24年7月27日 (2012.7.27)
 (85) 翻訳文提出日 平成26年1月30日 (2014.1.30)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2012/048469
 (87) 国際公開番号 W02013/019589
 (87) 国際公開日 平成25年2月7日 (2013.2.7)
 (31) 優先権主張番号 13/558,443
 (32) 優先日 平成24年7月26日 (2012.7.26)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 61/513,051
 (32) 優先日 平成23年7月29日 (2011.7.29)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 501010395
 ウエスチングハウス・エレクトリック・カンパニー・エルエルシー
 アメリカ合衆国 ペンシルベニア州 16066 クランベリー・タウンシップ ウエスチングハウス・ドライブ 1000
 (74) 代理人 100091568
 弁理士 市位 嘉宏
 (72) 発明者 タトゥリ、エムレ
 アメリカ合衆国 ペンシルベニア州 15146 モンロービル ドービル・ドライブ #8 541

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 使用済原子燃料プールの冷却および監視のための崩壊熱による発電

(57) 【要約】

原子力発電所の全電源喪失時に、使用済燃料プールの水を補給するためのポンプと、プールを監視するセンサとを継続的に給電するための補助電源。電源はプール内の使用済燃料からの廃熱を利用して、熱電モジュールシステム、あるいはスターリングサイクルまたは有機ランキンサイクルエンジン等の廃熱利用エンジンを作動させ、ポンプとセンサのための発電を行う。また、補助電源は冷却システムに給電し、使用済燃料プールを冷却することができる。

【選択図】 図 1

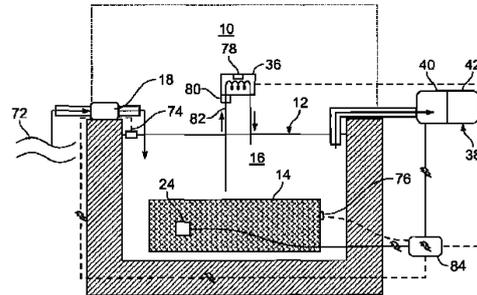


FIG. 1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

- a. 使用済燃料建屋（10）と；
- b. 使用済燃料建屋（10）に収容され、放射線遮蔽液体（16）が充填された使用済燃料プール（12）と；
- c. 使用済燃料プール（12）内において、使用済燃料または他の放射線照射済原子炉コンポーネントを支持するための使用済燃料ラック（14）と；
- d. 使用済燃料ラック（14）と放射線遮蔽液体（16）の間、または放射線遮蔽液体と周囲環境の間の温度差に応答して、オフサイトの供給源からの入力なしに電力を発生する発電システム（38）；と
- e. 発電システム（38）の出力に接続された、ポンプに電力を供給するための入力と、冷却材の補助貯蔵所（72）からの流体取入口と、使用済燃料プール（12）に放出する流体排出口を有するポンプシステム（18）を含む使用済燃料貯蔵施設。

10

【請求項 2】

使用済燃料建屋（10）内において使用済燃料プール（12）の状態を監視するセンサ（76）を含み、センサは発電システム（38）の出力に接続され発電システム（38）によって少なくとも部分的に給電されることにより、使用済燃料プールの状態を遠隔地に伝える請求項 1 に記載の使用済燃料貯蔵施設。

20

【請求項 3】

発電システム（38）は熱電モジュール（24）を含む、請求項 1 に記載の使用済燃料貯蔵施設。

【請求項 4】

熱電モジュール（24）は使用済燃料プール（12）内で使用済燃料ラック（14）により支持される請求項 3 に記載の使用済燃料貯蔵施設。

【請求項 5】

発電システム（38）はスターリングエンジン（42）を含む、請求項 1 に記載の使用済燃料貯蔵施設。

【請求項 6】

発電システム（38）は有機ランキンサイクルエンジン（40）を含む請求項 1 に記載の使用済燃料貯蔵施設。

30

【請求項 7】

発電システム（38）は冗長な発電機（24、40、42）を含み、各発電機は異なる原理に基づいて温度差を電力に変換する請求項 1 に記載の使用済燃料貯蔵施設発電システム。

【請求項 8】

発電システム（38）が使用済燃料プール（12）の放射線遮蔽液体（16）を冷却するように構成された冷却器（36）を作動させる請求項 1 に記載の使用済燃料貯蔵施設。

【請求項 9】

冷却器（36）は熱交換器を含み、熱交換器を介して放射線遮蔽液体が循環され、冷却器（36）はさらに空気を導管の上に流すファンを含み、導管を介して放射線遮蔽液体（16）が循環される請求項 8 に記載の使用済燃料貯蔵施設。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願の相互参照

本出願は、2011年7月29日に提出された米国仮特許出願第61/513、051号に基づく優先権を主張する。

50

本発明は、一般的には使用済原子燃料プールに関連し、さらに詳細には停電発生時に使用済原子燃料プールの冷却および監視をバックアップすることが可能な電源に関する。

【背景技術】

【0002】

加圧水型原子炉は、通常18ヶ月のサイクルで燃料交換を行う。燃料交換プロセスの際に、炉心内で照射された燃料集合体の一部が取り出され、炉心の周りに再配置される新しい燃料集合体と交換される。取り出された使用済原子燃料集合体は、典型的には水中のまま、使用済燃料プールを収容する別の建物に運ばれる。使用済燃料プールにはこれらの放射線の燃料集合体が貯蔵される。使用済燃料プール内の水は許容可能なレベルまで放射線を遮蔽するのに十分な深さを有し、燃料集合体内の燃料棒が放射性燃料物質および核分裂生成物を密封する燃料棒の被覆を破る虞がある温度に達することを防ぐ。少なくとも燃料集合体内の崩壊熱が下がり、集合体の温度が乾燥貯蔵を許容するレベルになるまで、冷却は継続される。

10

【0003】

日本の福島第一原子力発電所の事故は、長期間にわたる電源喪失が使用済燃料プール冷却システムに引き起こす可能性がある事態についての懸念を強めた。津波の結果、オフサイトの電源が失われ、全電源喪失という事態が生じた。電源が失われて、使用済燃料プールの冷却システムが停止した。浸漬された高放射性使用済燃料集合体によって加熱されたプールの温度が上昇したことに起因して、一部の使用済燃料プールの水が気化し蒸発して飛散した。補給水をプールに圧送する電力が長期間にわたって無くなると、燃料集合体が露出してその中の燃料棒の温度が上昇し、それらの燃料棒の被覆が破損して、環境への放射能洩れにつながる虞がある。

20

【0004】

本発明の目的は、使用済燃料プールで発生する崩壊熱性廃熱から得られる電力を利用し、オンサイトまたはオフサイトの電源とは独立に、使用済燃料プールの冷却能力を持続することが可能なバックアップシステムを提供することである。

【発明の概要】

【0005】

これらおよび他の目的は、放射線遮蔽液体が充填された使用済燃料プールを囲繞する使用済燃料建屋を有する使用済燃料貯蔵施設の設計によって達成される。使用済燃料プール内には燃料ラックが配設され、使用済燃料または他の放射線照射済原子炉コンポーネントを支持する。発電システムが設けられ、使用済燃料ラックと放射線遮蔽液体の間、または放射線遮蔽液体と周囲環境の間の温度差に応答して、オフサイトの供給源からの入力なしに電力を発生する。発電システムによってポンプシステムは給電され、適当な液状冷却材を使用済燃料プールに加える。ポンプシステムは、液状冷却材の補助貯蔵所からの流体取入口と使用済燃料プールに放出する流体排出口とを具備する。使用済燃料プール内の放射線遮蔽液体が或る特定のレベルを下回るとポンプをオンするように、ポンプシステムを動作させることができる。望ましくは、放射線遮蔽液体と液状冷却材はどちらも水を含む。

30

【0006】

好ましくは、使用済燃料貯蔵施設は使用済燃料建屋内に使用済燃料プールの状態を監視するセンサを含む。センサは他の電源が利用不能のときに発電システムにより給電され、使用済燃料プールの状態を遠隔地に伝えることができるのが望ましい。

40

【0007】

一実施態様では、発電システムは熱電モジュールを含む。好ましくは、熱電モジュールは使用済燃料プール内で使用済燃料ラックにより支持される。第2の実施態様では、発電システムはスターリングエンジンを含む。第3の実施態様では、発電システムは有機ランキンサイクルエンジンを含む。別の実施態様では、発電システムは冗長な発電機を含み、各発電機は異なる原理に基づいて温度差を電力に変換する。

【図面の簡単な説明】

【0008】

50

添付の図面と併せて以下の実施態様の説明を読めば、本発明のさらなる理解を得ることができよう。

【0009】

【図1】後述する本発明の実施形態に従って構成された使用済燃料プール施設の概略図である。

【0010】

【図2】図1の実施形態における発電システムの一部として使用することができる熱電モジュールの概略図である。

【0011】

【図3】図1に示された実施形態の発電システムで使用することができるアルファ型スターリングエンジンの概略図である。

10

【0012】

【図4】図1に示された実施形態の発電システムで使用することができるベータ型スターリングエンジンの概略図であり、

【0013】

【図5】図1に示された実施形態の発電システムで使用することができる有機ランキンサイクルエンジンの概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

全電源喪失の結果、長期間にわたって使用済燃料プールの冷却能力が失われる可能性があることへの懸念は、津波が日本の福島第一原子力発電所を作動不能にしたことによって強まった。本発明は、外部電源が利用不能である場合に、原子力発電所の使用済燃料プール内容物を継続的に冷却するための別の方法を提示する。

20

【0015】

図1は、使用済燃料プール建屋10内に囲繞された使用済燃料プール12を示す。燃料ラック14が使用済燃料プール12内に配置され、ホウ酸水16のプールに浸漬される。燃料ラック14は、隣接する原子炉系（図示せず）から取り出された多数の放射性使用済燃料集合体を支持する。典型的には、使用済燃料プール12内のホウ酸水が再循環システムによって熱交換システムを介して再循環され、熱交換システムで冷却されることによって、使用済燃料プールの温度が燃料集合体内の燃料棒被覆をその破損につながる可能性のある温度よりも低い温度に確実に保つ所望のレベルに維持される。全電源喪失時、冷却ポンプが動作するための電力がない場合には、燃料棒からの崩壊熱によってプールの水温が上昇するが、やがてはプールの水位は蒸発により下がり始める。この失われた水を補えば燃料棒の過熱および/または露出を防ぐことができるが、補給水貯蔵所に接続され使用済燃料プールに水を追加する補助ポンプ18を運転するために、電力が必要である。取水ポンプ18は、大洋、海、湖、またはこの目的に適うサイズの他の水源に接続されていることが望ましい。本明細書に記載の実施形態によれば、プール12内の使用済燃料からの崩壊熱を用いて必要な電力を発生する。電力はファン78等の冷却器36を動作させるためにも使用することができる。ここでファン78はその配向によって、好ましくは使用済燃料プール建屋10の外部から取り入れられた空気を、ポンプ80により導管82を介して循環されるプール12からのホウ酸水の上に通すことにより、使用済燃料プールのホウ酸水を冷却することができる。ファン78とポンプ80はどちらも配電ブロック84を介して電力を得る。

30

40

【0016】

本明細書に記載したように発生されるべき動力が電気である場合、2つの一般的な手法がある。各手法は独立して用いることができるが、それらを並行して使用すれば、より効率的で信頼性の高いシステムを得ることができる。

【0017】

第1の一般的なアプローチは、崩壊熱を電気に変換する市販の熱電モジュール24を用いて、使用済燃料プール内のホウ酸水16と燃料ラック14との温度差を利用することで

50

ある。図 1 に示すように、熱電モジュール 24 は、燃料ラック 14 に取り付けることができる。熱電モジュールは市販されており、燃料ラック 14 に固着した例が図 2 に略示され、図 1 では参照符号 24 によって識別される。熱電モジュール 24 は、一般に、N 型および P 型ドーパ半導体材料 26 から成る素子を 2 つ以上、電気的には直列に、熱的には並列に接続して構成される。N 型材料は過剰な電子（完全分子格子構造を完成するために必要とされる分より多い電子）を有するようにドーパされ、P 型材料は電子欠損（完全分子格子構造を完成するために必要とされる分より少ない電子）が存するようにドーパされる。N 型材料中の過剰な電子と P 型材料中の電子欠損に起因する「正孔」がキャリアとなり、熱源 28 から熱電材料を介してがヒートシンク 30 へと熱エネルギーを移す。熱電モジュールによって発生される電気はモジュールの両側の温度差の大きさに比例する。

10

【0018】

第 2 の選択肢は、ポンプのための電気を発生する廃熱利用エンジン 38 を使用することである。そのようなエンジン 38 は、例えばスターリングサイクルまたは有機ランキンサイクルを用いる。

【0019】

スターリングエンジンは、一般に作動流体と呼ばれる空気または他のガスを異なる温度レベルで繰り返し圧縮し膨張させることによって、熱エネルギーを正味の機械的仕事に変換する、この場合は機械的仕事とは発電機を駆動する、熱機関である。アルファ型スターリングエンジン 42 が図 3 に示され、これは 2 つのシリンダ 44、46 を含む。膨張シリンダ 44 は例えば使用済燃料プールからのホウ酸水と接触することによって高温に保たれる一方、圧縮シリンダ 46 は例えば外気によって冷却される。2 つのシリンダの間の通路 48 には、再生器 34 がある。再生器は高温空間と低温空間の間に配置された内部熱交換器兼一時蓄熱器であり、作動流体が最初一方向に、次にもう一つの方向に通過する。その機能は、これがなければ最高と最低のサイクル温度の中間温度にある環境との間で交換されることになる熱をシステム内に保持することによって、サイクルの熱効率をそれら最高と最低の温度により規定されるカルノー効率の限界に近づけることである。

20

【0020】

図 4 は、ベータ型スターリングエンジンを示す。ベータ型スターリングエンジンには唯一のシリンダ 52 がある。シリンダ 52 は、一方の端部 54 が高温に、もう一方の端部 56 が低温に保たれる。緩く嵌合するディスプレイサ 58 は、シリンダの高温側端部と低温側端部の間で空気を分流させる。シリンダ端部のパワーピストン 60 は、フライホイール 50 を駆動する。

30

【0021】

発電機 70 を駆動するために使用できる別の廃熱利用エンジンは、参照符号 40 によって図 5 に略示された有機ランキンサイクルエンジンである。ランキンサイクルは、すべての蒸気機関で使用される熱機関運転サイクルである。ほとんどのエンジンサイクルと同様に、ランキンサイクルは、図 5 に概略的に示す 4 段階プロセスである。作動流体は、ポンプ 62 によってボイラー 64 に圧送される。流体がボイラーにある間に、外部熱源が流体を加熱する。次に高温の蒸気が膨張してタービン 66 を駆動する。一度タービンを通過した蒸気は凝縮されて液体に戻り、ポンプへと再循環されてサイクルを再びから開始する。ポンプ 62、ボイラー 64、タービン 66 と凝縮器 68 は、標準的な蒸気機関の 4 つの部分であり、ランキンサイクルの各過程を表している。有機ランキンサイクルは従来の蒸気ランキンサイクルと同じ原理で、今日の大部分の火力発電所によって利用されているように動作する。主な相違点は、作動流体として蒸気ではなく有機化学物質を用いることにある。有機ランキンサイクルで使用される有機化学物質は、フロンおよび他のほとんどの典型的な冷媒、例えばイソペンタン、CFC、HFC、ブタン、プロパン、アンモニアを含む。これらのガスは非常に低い温度で沸騰するので、低温での発電に使用することができる。相違点は他にもいくつかある。加熱および膨張は、ボイラーではなく、蒸発器を加熱することにより起こる。凝縮器は流体を冷却して液体に戻すのに外気温度を利用することができる。蒸発器と熱源または凝縮器と冷却源を直に接触させる必要はない。システム

40

50

の効率を高めるために再生器を使用してもよい。

【 0 0 2 2 】

ランキンサイクルエンジンとスターリングサイクルエンジンはどちらも、使用済燃料プールの水塊を熱入力として用い、低温側に外気を用いる。熱電モジュールの手法と廃熱利用エンジンの手法はどちらも他方の動作に影響を与えないので、これらを併用することができる。また、燃料とプールの水が加熱されればされるほど、これらのシステムの効率が増大するという、好都合な負帰還ループが形成される。

【 0 0 2 3 】

再び図 1 を参照すると、プール 1 2 内のホウ酸水 1 6 の水位 1 2 が低下するとフロート 7 4 によってシステムは始動し、ポンプ 1 8 が貯水所 7 2 からプールに水を引けるようになることが理解できよう。さらに、センサ 7 6 を補助電源 2 4 または 3 8 のいずれかによって給電し、使用済燃料プールおよびその内容物の状態を示す信号を遠隔地に送ることにより、それに応じた発電所の状態管理が可能になる。

10

【 0 0 2 4 】

本発明の特定の実施態様について詳しく説明してきたが、当業者は、本開示書全体の教示するところに照らして、これら詳述した実施態様に対する種々の変更および代替への展開が可能である。例えば、スターリングエンジンまたはランキンサイクルエンジンをポンプに直接連結することにより、ポンプ駆動を目的にして発電するのではなく、ポンプを機械的に駆動するようにしてもよい。したがって、ここに開示した特定の実施態様は説明目的だけのものであり、本発明の範囲を何らも制約せず、本発明の範囲は添付の特許請求の範囲に記載の全範囲およびその全ての均等物である。

20

【 図 1 】

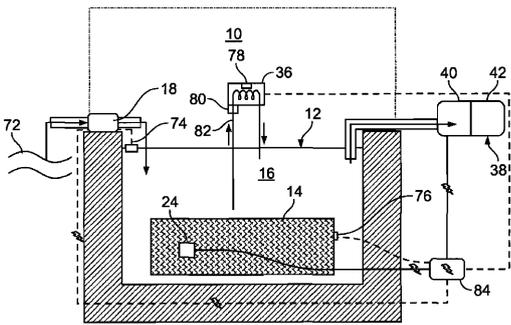


FIG. 1

【 図 2 】

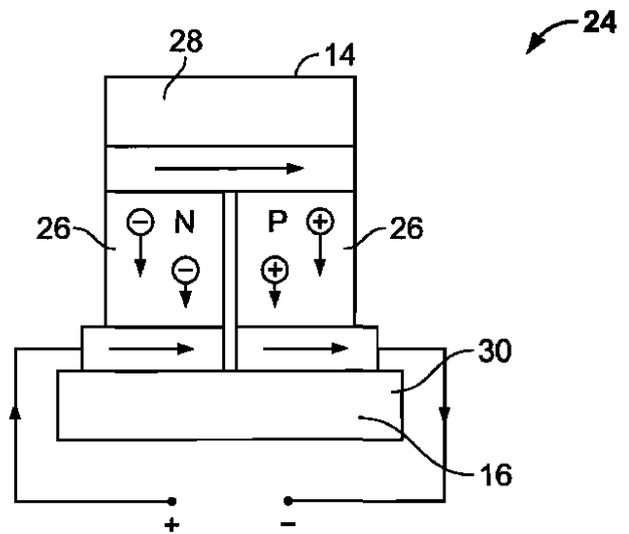


FIG. 2

【 図 3 】

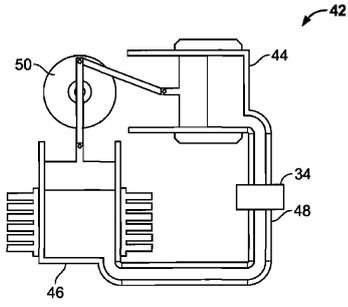


FIG. 3

【 図 5 】

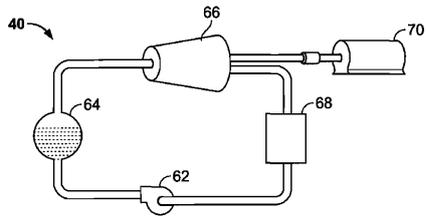


FIG. 5

【 図 4 】

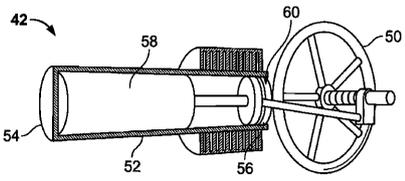


FIG. 4

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US 12/48469
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC(8) - H01L 31/04; H01M 14/00 (2012.01) USPC - 166/55; 340/854.6 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) USPC: 166/55; 340/854.6 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched USPC: 310/301-305, 322/2R; 136/202; 429/5 (text search - see terms below) Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) PatBase; PubWEST(USPT,PGPB,EPAB,JPAB); Google Search Terms: spent, used, fuel ,nuclear, fission, power, generation, thermoelectric, stirling, engine, rankine, pool, building, rack, pump, decay heat		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WESTINGHOUSE, Emergency Fuel Pool Cooling System, May 2011 (05.2011) [retrieved on 23 November 2012 (23.11.2012)]. Retrieved from the Internet:<URL: http://www.westinghousenuclear.com/Products_&_Services/docs/flysheets/NS-FS-0133.pdf > pgs 1-2	1-9
Y	US 2005/0028858 A1 (ROSSI) 10 February 2005 (10.02.2005), entire document especially paras [0037], [0065]-[0067]	1-9
Y	US 6,252,923 B1 (IACOVINO et al.) 26 January 2001 (26.01.2001), entire document especially col 5, lns 41-48	2
Y	US 2008/0121389 A1 (ZILMER) 29 May 2008 (29.05.2008), entire document especially para [0002]	5
Y	JP 2000/221297 A (HIRONO et al.) 11 August 2000 (11.08.2000), entire document especially the Abstract, Figures	6-7
A	US 5,268,942 A (NEWTON et al.) 07 December 1993 (07.12.1993), entire document	1-9
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/>		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 23 November 2012 (23.11.2012)		Date of mailing of the international search report 22 JAN 2013
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. 571-273-3201		Authorized officer: Lee W. Young PCT Helpdesk: 571-272-4300 PCT OSP: 571-272-7774

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN

(72)発明者 ベレチャク、ジョゼフ、ジー
 アメリカ合衆国 ペンシルベニア州 1 6 0 6 6 クランベリー・タウンシップ ハニー・ローカ
 スト・ドライブ 4 0 2

(72)発明者 ル、パオフ
 アメリカ合衆国 ペンシルベニア州 1 6 0 4 6 セブン・フィールズ ドーチェスター・ドライ
 ブ 5 2 9

(72)発明者 スタンズベリー、コリー、エイ
 アメリカ合衆国 ペンシルベニア州 1 6 0 6 3 ジーリエノーブル ティンバーブルック・コー
 ト 8 0 2

(72)発明者 グラー、センク
 アメリカ合衆国 ペンシルベニア州 1 5 6 4 2 アーウィン キャメロン・ドライブ 1 1 4

(72)発明者 オストロスキー、マイケル、ジョゼフ
 アメリカ合衆国 ペンシルベニア州 1 5 0 6 8 ニュー・ケンジントン キーストン・ドライブ
 3 5 4