

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-141304

(P2012-141304A)

(43) 公開日 平成24年7月26日(2012.7.26)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)
G 2 1 C 1/02 (2006.01) G 2 1 C 1/02 G D F A
 G 2 1 C 1/02 G D M

審査請求 未請求 請求項の数 14 O L 外国語出願 (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2011-281168 (P2011-281168)
 (22) 出願日 平成23年12月22日 (2011.12.22)
 (31) 優先権主張番号 12/980, 398
 (32) 優先日 平成22年12月29日 (2010.12.29)
 (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 100088454
 弁理士 加藤 紘一郎
 (72) 発明者 エドワード ジェイ. ラホダ
 アメリカ合衆国 ペンシルベニア州 15218 エッジウッド ワシントン・ストリート 116

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高速炉の最適構成

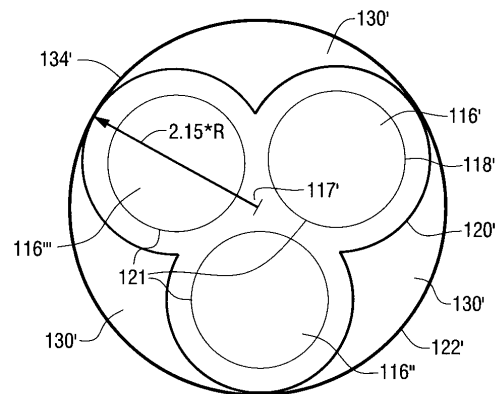
(57) 【要約】

【課題】 液体金属または熔融塩冷却材を有する改良型原子炉を提供する。

【解決手段】

原子炉は液体金属または熔融塩冷却材を有し、円筒状の格納容器134は立上り空間130'、原子炉容器120'、少なくとも2個、好ましくは3個乃至9個のロープ121を有し、各ロープ121はそれ以外のロープと相互接続され、各ロープは高速炉の炉心116'、116''、116'''を収納する。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ほぼ円筒形の格納容器が少なくとも 2 つのローブを備えた多ローブ型原子炉容器を有し、各ローブはそれ以外のローブと相互接続され、各ローブが高速炉の炉心を収納する液体金属または熔融塩冷却型原子炉。

【請求項 2】

ローブはほぼ円形である請求項 1 の液体金属または熔融塩冷却型原子炉。

【請求項 3】

ローブが 3 個乃至 9 個ある請求項 1 の液体金属または熔融塩冷却型原子炉。

【請求項 4】

ローブが 3 個乃至 6 個ある請求項 1 の液体金属または熔融塩冷却型原子炉。

【請求項 5】

液体金属または熔融塩冷却材は、本質的にナトリウム、ナトリウム及びカリウム、鉛、鉛及びビスマス、フッ化ナトリウム、フッ化カリウム及びフッ化カリウム並びにその混合物及び他の熔融塩より成る群から選択した熱伝達物質である請求項 1 の液体金属または熔融塩冷却型原子炉。

【請求項 6】

少なくとも 3 つのローブを有する原子炉容器が円筒壁を有し底部が閉じた格納容器内にあって、液体金属または熔融金属塩の冷却材のプールを保持し、原子炉容器の各ローブはそれ以外のローブと相互接続され、高速炉炉心を収納する、少なくとも 3 つのローブを有する液体金属または熔融塩冷却型原子炉。

【請求項 7】

ローブはほぼ円形である請求項 6 の液体金属または熔融塩冷却型原子炉。

【請求項 8】

ローブが 3 個乃至 9 個ある請求項 6 の液体金属または熔融塩冷却型原子炉。

【請求項 9】

ローブが 4 個乃至 5 個ある請求項 6 の液体金属または熔融塩冷却型原子炉。

【請求項 10】

液体金属または熔融塩冷却材は、本質的にナトリウム、ナトリウム及びカリウム、鉛、鉛及びビスマス、フッ化ナトリウム、フッ化カリウム及びフッ化カリウム並びにその混合物及び他の熔融塩より成る群から選択した熱伝達物質である請求項 6 の液体金属または熔融塩冷却型原子炉。

【請求項 11】

冷却材の液体金属はナトリウムである請求項 6 の液体金属または熔融塩冷却型原子炉。

【請求項 12】

ローブの炉心は全て一緒にまたはそれぞれ独立して動作可能である請求項 6 の液体金属または熔融塩冷却型原子炉。

【請求項 13】

格納容器は円筒壁と 4 個のローブを有する請求項 6 の液体金属または熔融塩冷却型原子炉。

【請求項 14】

格納容器は円筒壁と 5 個のローブを有する請求項 6 の液体金属または熔融塩冷却型原子炉。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は高速炉、特に液体金属または熔融塩冷却型原子炉の新規で改良型の原子炉炉心設計に係る。

【発明の背景】

【0002】

10

20

30

40

50

ウエスチングハウス社の米国特許第 4, 949, 363号(発明者:Tupper et al.)に記載されるように、液体金属冷却型原子炉(LMR)は他の原子炉と同様に最高538(1000°F)の温度で動作し、燃料要素の形に製造され原子炉容器の炉心内に集合体として配置された核物質の分裂により熱を発生する。LMRが発生する熱を用いて発電が行なわれる。

【0003】

液体ナトリウムは優れた熱伝達特性、また、エネルギー発生に係る温度で低い蒸気圧を有し、豊富で、受け入れ可能な純度のものの入手が容易であり、比較的安価であることから、LMRの原子炉冷却材として格好の媒体である。しかしながら、水と激しく反応する性質のため、ナトリウム-水蒸気型ボイラーの設計にはいろいろの問題がある。加えて、高速炉における核プロセスの制御は軽水型熱動炉と比べると本質的に容易でない。主要な冷却材循環ラインの1つが破裂して起こる冷却材喪失リスクを最小限に抑えるために、ループ型でなくてプール型の原子炉が好まれる。

10

【0004】

プール型高速炉の容器を従来技術として図1及び1Aの概略図に示すが、これはHunsbedt et al.の米国特許第5, 043, 135号に記載されたものである。図1に示す受動冷却型液体原子炉10のタイプは熱伝達用としてナトリウム金属またはナトリウム/カリウムのような液体金属冷却材のプール14を収納する円形の原子炉容器12を有し、このプールには核分裂性燃料を含む原子炉炉心16が浸漬されている。核分裂作用の速度は原子炉炉心16からまたは該炉心内へ移動する総括的に18で示す中性子吸収制御棒により制御される。原子炉容器12は同心的な格納容器20内に離隔関係で包囲されるが、これら全部はコレクターシリンダ22内にある。例えばコンクリート製サイロ24が図示のようにコレクターシリンダ22を収納する。図1及び1Aに示すように、循環する流体の流路を区分するこの同心型構成により一連の環状立下り隔壁28及び立上り隔壁30が形成される。体積部32は冷たい周囲空気34を含むが、この空気は加熱されると、図1及び1Aの矢印で示すように、格納容器のコレクターシリンダ22の底部を回って環状ライザ-隔壁30を上昇し、36で総括的に示す出口へ流れる自然対流を誘起する。このように、冷却システムは完全に受動形であり、対流及び熱放射により連続動作する。この従来技術の標準型設計は地上33に配置可能である。

20

【0005】

従来型原子炉はCacheraの米国特許第3, 968, 653号のように原子炉から熱を除去するために多種多様な巧妙なエネルギー駆動式冷却システムを利用する。モジュラータイプのような液体金属冷却型原子炉が米国特許第4, 508, 677号に記載されているが、これはナトリウムまたはナトリウム-カリウムを冷却材として利用する。

30

【0006】

高速炉の受動的安全性は原子炉容器を介する崩壊熱の除去に基づくものである。核分裂型原子炉が停止した後も炉心から熱が引続き発生する。この崩壊熱(原子炉の残留熱/核分裂生成物の崩壊熱)を事故または故障状態の発生による原子炉の運転停止後も常に除去できることが重要である。受動冷却型高速炉システムは主として、流体の自然対流、伝導及び熱放射のプロセスにより継続的に動作する。このシステムでは、崩壊熱は熱を発生する原子炉の燃料炉心から原子炉容器へ、一次冷却回路ループを介する冷却材の自然対流作用により移送される。この熱は原子炉容器の壁を、そして、原子炉容器と格納容器との間の空気が充満した空間を介して伝導され、周囲雰囲気中に送られるが、これは自然対流する周囲空気への自然対流と、部分的には熱放射による。

40

【0007】

受動的安全性の重要なパラメータは、炉心16の体積に対する原子炉容器の外壁12の表面積の比率である。高速炉の炉心は非常にコンパクトであるため、この事実は、受動冷却型炉心を依然として維持しながら得られる最大出力を約1000MW(メガワット)の熱出力に制限する。かかるタイプの原子炉の一例はHunsbedtの米国特許第5, 021, 211号に記載されるように、金属冷却材の大部分の温度を安全限界以下の温度に維持しよ

50

うとする。出力レベルが高くなればなるほど高速炉の資本及び運転コストが減少するはずであるが、炉心を介する液体金属冷却材の流れが停止すると燃料炉心の温度が高いピークを呈する可能性が高くなる。従って、燃料炉心からの崩壊熱の除去は、主として、それを取り囲む恐らく全部で8インチのステンレス鋼の厚い質量体を介する熱伝導によるものとなり、炉心領域内から外部領域への熱の移送に、互いに反対の表面側で約700°F(371)の温度差が必要となる。この分野の他の特許には、例えばTupper et al.の米国特許第4,859,402号及び米国特許第5,043,136号が含まれる。

【0008】

従来技術を示す図2を参照して、従来型原子炉構成の一般的で単純化した断面図に示す原子炉炉心116は中心117を有し、液体金属または塩冷却材114は燃料及び原子炉容器120と格納容器122の内壁と接触し、空気冷却材は環状立上り空間130内に含まれ、そこで入来する冷たい空気が原子炉容器の外壁と接触する。炉心の中心から格納容器のコレクターシリンダ122の内壁までの半径は1.0に等しい。冷たい空気の接触点134をシリンダ122上に示す。

10

【0009】

再言すると、

1. LMRは高いエネルギー密度(高速スペクトル)を有し、液体金属または溶融塩のような高効率の冷却材を必要とする。
2. LMRへの冷却材の流れを喪失すると、水冷型原子炉と比べて潜在的に問題が非常に深刻になる。
3. 従って、LMRは主冷却系(蒸気発生器)を失った場合に備えて補助的冷却系を必要とする。
4. LMR構成には2種あるが、1つはPRWと同様なループ型、もう1つはBWRと同様なプール型である。
5. プール型は冷却材喪失時の除熱効率が高いが、その理由は液体金属が炉心から容器の壁へ熱を伝導し、容器の壁から放射または対流により熱を除去できるからである。
6. プール型構成による除熱の重要なパラメータは体積(炉心)に対する表面積(容器の内壁)の比率である。即ち、原子炉炉心の体積(立法メートル)に対する容器の内壁の表面積(平方メートル)の比率である。この比率が大きくなればなるほど除熱効率が増加する。
7. パラメータの解析によると1000メガワットがプール型原子炉にとって最適であることがわかっている。出力を小さくなると経済性が低下し、出力が大きくなると安全の問題が深刻になる。
8. 何れの設計も炉心から外方に同心の体積部を設けることを教示している。

20

30

【0010】

従って、除熱効率を最大限にし、コスト性能及び商業性が良い、新型で単純且つ革新的なLMR設計が求められている。本発明の主要な目的はLMRのための新型で革新的且つ単純な炉心設計を提供することにある。

【発明の概要】

【0011】

上記需要の充足及び上記目的の達成は、広義の実施例において、少なくとも2つのローブを有する多ローブ型原子炉容器がほぼ円筒形の格納容器内にあり、各ローブはそれ以外のローブと相互接続され、高速炉炉心を収納する、液体金属または溶融塩冷却型原子炉を提供することにより可能となる。ローブの数を3乃至9個、好ましくは3乃至6個、最も好ましくは4または5個にすることができる。これは革命的な設計であり、原子炉の概念としては前例がなく自明でないと考えられる。

40

【0012】

本発明はまた、多ローブ型原子炉容器が円筒壁を有し底部が閉じた格納容器内において、液体金属または溶融金属塩の冷却材のプールを保持し、多ローブ型原子炉容器は少なくとも2つのローブを有し、各ローブはそれ以外のローブと相互接続され、高速炉炉心を収

50

納する液体金属または溶融塩冷却型原子炉にある。これらの炉心は単一ユニットとして、即ち全部一緒に、またはそれぞれ独立して、運転することが可能である。このアプローチは原子炉炉心の体積に対する外側の原子炉容器の内壁の表面積の比率を増加させ、格納容器の所与の体積内における有意に高い熱出力を可能にするため、資本コストが減少する。底部を閉じた容器は、空気により冷却される立上り部分/隔壁により取り囲まれた同心の格納容器内に収納される。一般的に、格納容器は円筒壁を有する。液体ナトリウムが好ましいが、ナトリウムの代替物としてナトリウムとカリウム、鉛/ビスマス合金のような液体溶融金属、NaF、KFのような溶融塩及び他の溶融塩が含まれる。しかしながら、これらに限定されない。

【0013】

円筒状以外の設計の試行を示唆するものは従来技術に存在しないように思われる。従来技術は本発明の劇的に異なるローブ設計については反対方向の教示をしているように思える。これらのローブは設計機能でなく原子炉効率の劇的な増加に寄与する。

【図面の簡単な説明】

【0014】

本発明は添付図面を参照するとよく理解できるであろう。

【図1】図1は液体金属または塩冷却型原子炉の底部を断面で示す概略図である。

【図1A】図1の一部の概略図であり、環状の冷却ライザー隔壁を溶融金属または塩冷却材に関連して示す。

【図2】図2は従来技術の構成を断面図で示す一般的で単純化して概略図であり、外方の原子炉の半径を炉心の中心に関連して示す。

【図3】図3は3つのローブを有する高速炉の一般的で単純化した概略的な断面図であり本発明を最も良く示すものである。

【図4】図4は4つのローブを備えた高速炉の構成を示す一般的で単純化した概略断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

本発明につき、図3は3つのローブを備えた高速炉の構成を示す。図示の番号は、例えば134'と134のように図2と同様である。図3において、炉心の共通の中心117'から格納容器シリンダ122'の内壁までの半径は2.15に等しい。この設計は3つの炉心116'、116''、116'''を有し、液体金属または塩冷却材は各炉心の燃料を含むローブ121と接触する。原子炉容器を120'で示すが、共通の立上り空間130'には空気冷却材が含まれ、流入する冷たい空気がポイント134'において格納シリンダ122'と接触する。通常の場合において、各炉心が発生する残留熱はそれ自身の独立した冷却装置により除去される。炉心がその冷却装置を喪失しても、炉心は相互接続されているため他の炉心の独立した冷却装置へアクセス可能であり、立上り空間130'内の空気は3つの炉心領域と接触しているため原子炉容器を冷却するための表面積が大きい。図3において、*は乗算を意味する。図4は4つのローブまたは原子炉116'乃至116'''を有する本発明の好ましい実施例を示す。それ以外の好ましい実施例として5つのローブまたは原子炉を含むものがある。

【0016】

提案された新しい原子炉構成では、原子炉プールを相互接続したものをを用い、各プールはそれ自身の炉心を有し、その炉心は1つのグループとしてまたはそれぞれ独立して運転可能であり、それら全ては単一の格納建屋内に配置する。そのアプローチは、原子炉の体積に対する表面積の比率を事実上増加させるため、所与の体積の格納容器内で有意に高い熱出力が可能となり、資本コストが減少する。この概念は図3及び4並びに以下の計算により示される。3つまたは4つのローブを有する円形構成がコストで相対的に有利なことを分析した。R = 原子炉の半径、H = 原子炉の高さ、* = 乗算記号

例

X個のローブ(X個の原子炉)を有する構成の解析

10

20

30

40

50

格納容器（単一のローブ）の体積 = $3.14 * H * (R)^2$

格納容器（X個のローブ）の体積 = $3.14 * H * (1/\cosine 90 - 180/X + 1)^2$

容器及び構造体のコストスケールに常用される0.7のスケール係数を用いると、
コスト比率 X / 1ローブ = $[(1/\cosine(90 - 180/X) + 1)^2]^{0.7} = (1/\cosine(90 - 180/X) + 1)^{1.4}$

出力比率 Xローブ / 1ローブ = $X / 1 = X$

出力/コスト比率 Xローブ / 1ローブ = $(X / (1/\cosine 90 - 180/X + 1))^{1.4}$

【0017】

この解析結果を下表に示す。少なくとも3つのローブ及び最大9個のローブでは、出力/コスト比率は単一原子炉のものより大きいことに注意されたい。従って、構造の複雑さに応じて、3個乃至6個のローブが最も有用であるが、その理由はローブの数が増加すると原子炉容器の製造がより複雑になり、利点の大部分はローブが6個になるまで得られるからである。

10

原子炉の数 (X)	格納容器の半径	出力/コスト比率
1	1.00	1.00
2	2.00	0.76
3	2.15	1.02
4	2.41	1.16
5	2.70	1.24
6	3.00	1.29
7	3.30	1.31
8	3.61	1.32
9	3.92	1.33
10	4.24	1.33
11	4.55	1.32
12	4.86	1.31

20

30

【0018】

本明細書に示す計算は本願に記載した概念がコストの面で有利なことを示すものである。多ローブシステムでは、単一原子炉システムと比べて格納容器の資本コストの改善されるだけでなく別の利点を得られる。これらは、

1. タービン、発電機、変圧器、制御系統、復水器、安全系統及び認可のような発電所の残りのコストに関する経済性が優れている。

40

2. 格納容器内であるが原子炉容器の外側の空間は事故発生時の熱シンクとして動作可能である。これらの領域は大きな格納容器へ熱を伝達する働きもする。かかる材料の例には、非ナトリウム冷却型原子炉の水（または氷）もしくはナトリウム冷却型原子炉の硫酸ナトリウム十水和物のような物質が含まれる。

3. 設計想定事象時において影響を受けなかった原子炉の安全系統に影響を受けた原子炉のバックアップ安全系統として使用できる。

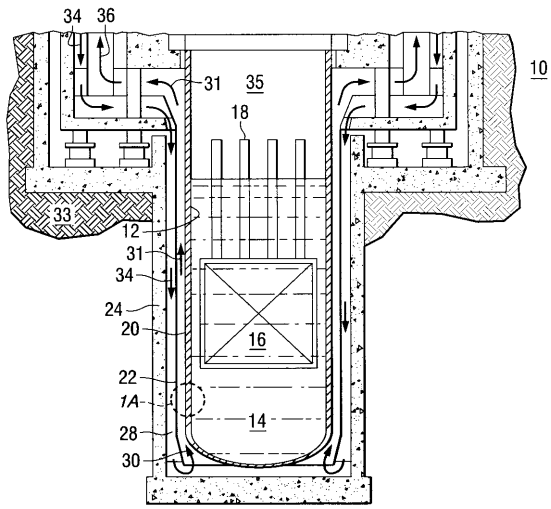
【0019】

本発明を特許法令の必要条件に従って詳しく且つ完全に説明したが、添付の特許請求の範囲の発明思想または範囲から逸脱することなく変形例または設計変更が可能であること

50

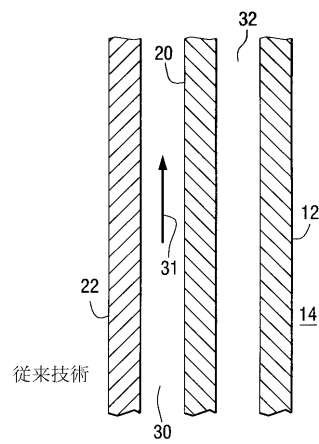
を理解すべきである。

【図1】



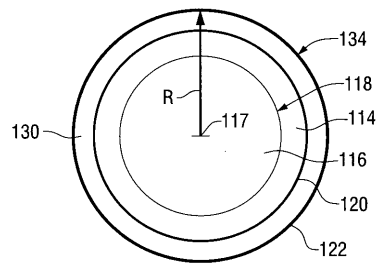
従来技術

【図1A】



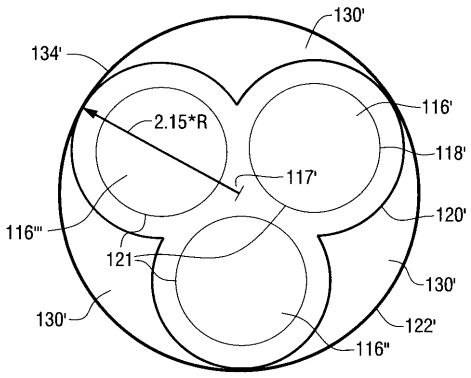
従来技術

【図2】

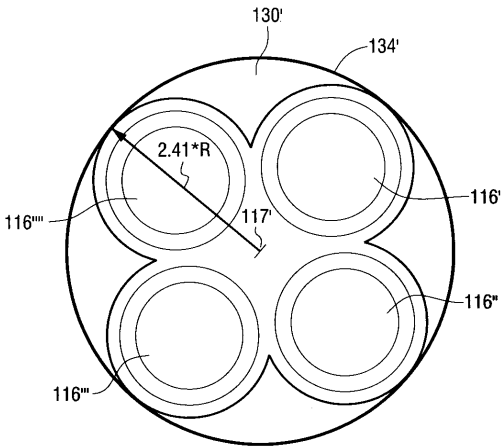


従来技術

【 図 3 】



【 図 4 】



フロントページの続き

(72)発明者 マリオ ディー・カレリ

アメリカ合衆国 ペンシルベニア州 15090 ウェックスフォード ブラック・オーク・コート 2655

(72)発明者 マシュー ジェイ・メモット

アメリカ合衆国 ペンシルベニア州 15235 ピッツバーグ リンウッド・ドライブ 152

【外国語明細書】

OPTIMUM CONFIGURATION FOR FAST REACTORS

BACKGROUND OF THE INVENTION

1. Field of the Invention

[0001] The present invention relates to new and improved reactor core designs for fast reactors, particularly liquid metal or molten salt cooled nuclear reactors.

2. Description of the Prior Art

[0002] As described in Westinghouse U.S. Patent No. 4,949,363 (*Tupper et al.*), a liquid metal-cooled nuclear reactor (LMR), like other nuclear reactors, operate at temperatures up to 538C° (1,000°F), and produces heat by fissioning of nuclear materials which are fabricated into fuel elements and assembled within a nuclear reactor core situated in a reactor vessel. The heat produced by the LMR is used to generate electricity.

[0003] Liquid sodium has excellent heat-transfer properties and low vapor pressure at temperatures of interest for power generation, and is abundant, commercially available in acceptable purity and is relative inexpensive, making it an attractive medium as a reactor coolant, for LMRs, however, it does react violently with water which imposes problems in the design of sodium-to-water steam boilers. In addition, the control of the nuclear process in fast reactors is inherently hard as compared to light water thermal reactors. In order to minimize the risk of a coolant loss due to the rupture of one of the main coolant circulating lines, a pool type reactor is favored over a loop type system.

[0004] A schematic of a pool type fast reactor vessel is shown in prior art FIGS. 1 and 1A and described by *Hunsbedt et al.* (U.S. Patent 5,043,135). FIG. 1 shows one type of a passively cooled liquid nuclear reactor 10 containing a circular reactor vessel 12 containing a pool of liquid metal coolant 14 such as sodium metal or sodium/potassium, for heat transfer, in which is immersed nuclear core 16 containing fissionable fuel. Fission action rate is governed by neutron absorbing control rods, generally shown as 18, moving from or into the nuclear core 16. The reactor vessel 12 is enclosed within a concentric containment vessel 20 in spaced apart relationship all within collector cylinder 22. A silo 24 of, for example concrete, houses the collector cylinder 22 as shown. As shown in FIGS. 1 and 1A, a series of annular downer partitions 28 and riser partitions 30 are formed by this concentric arrangement which partitions

form cycling fluid circuit paths. Volume 32 contains cool ambient air 34, which, upon heating, induces a natural convection passing around the bottom of containment collector cylinder 22 and up annular riser partition 30, as shown by the arrows in FIGS. 1 and 1A, to an outlet shown generally as 36. As such, the cooling system is entirely passive and operates continuously by convection and thermal radiation. This prior art, standard design, can be placed in the ground 33.

[0005] Conventional nuclear reactors have utilized a variety of elaborate energy driven cooling systems to dissipate heat from the reactor, such as *Cachera* (U.S. Patent 3,968,653). Liquid metal cooled reactors such as the modular type are disclosed by U.S. Patent No. 4,508,677, utilizing sodium or sodium-potassium as the coolant.

[0006] Passive safety of fast reactors rely on removing “decay heat” through the reactor vessel. Heat continues to be generated by the core even after the fission reactor has stopped. It is important that this decay heat (reactor residual heat/fission product decay heat) can always be removed after reactor shutdown caused by an accident or fault condition. A passively cooled fast reactor system primarily operates continuously through the process of natural convection in fluids, conduction and thermal radiation. Here, decay heat is transported from the heat producing reactor fuel core out to the reactor vessel by means of natural convection flow of the coolant through the primary cooling circuit loop. The transported heat is in turn conducted out through the wall of the reactor vessel and on through the air filled space intermediate the reactor and containment vessel wall is continued on into the surrounding atmosphere, by natural convection to the naturally convecting surrounding air and partially by thermal radiation.

[0007] The critical parameter in passive safety is the ratio of the surface area of the reactor vessel outer wall 12 to volume of the core 16 ratio. Since fast reactor cores are very compact, this fact has limited the maximum power that is available while still maintaining a passively cooled core to about 1000 MW (megawatts) thermal. One such type reactor, as described by *Hunsbedt* (U.S. Patent 5,021,211) undertakes to maintain the bulk of the metal coolant at temperatures below safe limits. Although higher power levels should reduce the capital and operating costs of the fast reactor, high fuel core temperature peaks would be likely to occur if the liquid metal coolant flow through the core is terminated. Thus, removal of decay heat from the fuel core is primarily by heat conduction through an extensive mass of enclosing stainless steel, perhaps eight inches total, which would require a temperature difference between the opposite surface areas of approximately 700°F (371°C) to transport the heat from within the core

region to an exterior region. Other patents in this area, include, for example, U.S. Patent Specification Nos. 4,859,402 (*Tupper et al.*); 5,043,136 (

[0008] Referring now to prior art FIG. 2, a general, simplified cross-section of a prior art reactor configuration is shown with a reactor core 116, having a center 117 with liquid metal or salt coolant 114 contacting the fuel and the reactor vessel 120, the inside of the containment vessel 122, with air coolant contained in the annular riser space 130 where entry cool air contacts the outside of the reactor vessel. The radius = 1.0 from the core center to the interior of containment collector cylinder 122. Point of cool air contact 134 is shown on cylinder 122.

[0009] To reiterate:

1. LMRs have high power density (fast spectrum) and need very effective coolant such as liquid metal or molten salt.
2. If the coolant flow is lost to the LMR, the problem is potentially more severe than for water reactors.
3. Therefore, LMRs require an auxiliary coolant system in case the main one (steam generators) is lost.
4. There are two LMR configurations: loop, which is similar to a PWR and pool which is similar to a BWR.
5. A pool configuration is more effective in removing heat if the coolant flow is lost, because the liquid metal can conduct the heat from the core to the vessel wall where it is taken out by radiation and flow convection.
6. The critical parameter for the pool configuration conduction of heat out is the surface (inner vessel wall) to volume (core) ratio. That is surface area in meters square of inner vessel wall: volume in meters cubed (m^3) of the reactor core. The higher the ratio, the more effective the heat removal.
7. Parametric analyses have indicated that 1000 MWt is about the optimum for a pool reactor. Lower powers lack in economics, higher powers give more safety problems;
8. All designs teach concentric volumes from the core outward.

[0010] Thus, there is a need for a new, simpler and revolutionary LMR design, to maximize heat removal efficiencies and be cost effective and commercial. It is a main object to provide a new, innovative simpler core design for LMRs.

SUMMARY OF THE INVENTION

[0011] The above needs are met and above object accomplished by providing, in its broadest embodiment, a liquid metal or molten salt cooled nuclear reactor comprising a generally cylindrical containment vessel with a multi-lobed reactor vessel with at least two lobes each lobe interconnected with the other lobe and each lobe containing a fast reactor core. There can be three to nine lobes, preferably three to six lobes, most preferably four or five lobes. This is thought to be of revolutionary design and unprecedented in nuclear concept; not even obvious to try.

[0012] The invention also resides in a liquid metal or molten salt cooled nuclear reactor comprising a multi-lobed reactor vessel, in a closed bottom containment vessel having a cylindrical wall for holding a pool of liquid metal or molten metal salt coolant; the multi-lobed reactor vessel having at least two lobes each lobe interconnected with the other lobe and each lobe containing a fast reactor core. These cores can be run as a single unit, that is all together, or independently. This approach effectively increases the ratio of the surface area of the inner wall of the reactor vessel exterior to volume of the reactor cores, allowing significantly higher thermal powers within a given containment volume, thereby decreasing the capital cost. The closed bottom container may be further contained in a concentric containment vessel surrounded by riser portions/partitions cooled by air. Generally, the containment vessel will have a cylindrical wall. While liquid sodium is preferred, alternatives to sodium include but are not limited to sodium and potassium liquid molten metals such as lead or lead/bismuth alloys, molten salts such as NaF, KF and other molten salts.

[0013] There seems to be no prior art suggestion to try anything other than concentric designs. Prior art would appear to teach away from the dramatically different lobe design of this invention. The lobes are not a design function but contribute in a dramatic fashion to the efficiency of the reactor.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

[0014] The invention will be more fully understood by reference to the attached drawings in which:

[0015] FIG. 1 is a schematic illustration of the bottom portion of a liquid metal or salt cooled nuclear reactor in cross section;

[0016] FIG. 1A is a schematic illustration of a part of FIG. 1 showing annular cooling riser partitions as related to the molten metal or salt coolant;

[0017] FIG. 2 is a general, simplified schematic of a cross-section of a prior art configuration showing the radius of the outer reactor wall in relation to the core center;

[0018] FIG. 3, which best shows the invention, is a general, simplified schematic cross-section of a three-lobe fast reactor configuration; and

[0019] FIG. 4 is a general, simplified schematic cross-section of a four-lobe fast reactor configuration.

DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

[0020] As regards the instant invention, FIG. 3 shows a three-lobe fast reactor configuration, having numbering similar to FIG. 2 but, for example, 134' equals 134 etc.. In FIG. 3, the radius = 2.15 from the common core center 117' to the interior of the containment cylinder 122'. This design has three cores 116', 116" and 116''' with liquid metal or salt coolant contacting the fuel containing lobes 121 of each core. The reactor vessel is shown as 120' and air coolant is contained in common riser space 130' with entry cool air contacting the containment cylinder 122' at point 134'. Under normal circumstances, the residual heat generated by each core will be removed by its own independent cooling device. In the case where a core has lost its cooling device, the interconnection of the cores gives access to the independent cooling devices of the other interconnected cores and, as can be seen, the air in the riser space 130' has contact in all three core areas giving more surface area for cooling of the reactor vessel. In FIG. 3, the asterisk (*) means multiply. FIG. 4 is one of the preferred embodiments of this invention with four lobes or reactors 116' to 116'''. The other preferred embodiment contains five lobes or reactors.

[0021] In the proposed new reactor geometry interconnected reactor pools are used, each having its own core which can be run either as a group or independently, all located within a single containment building. This approach effectively increases the surface area to volume ratio of the reactor allowing significantly higher thermal powers within a given containment volume, therefore decreasing the capital cost. This concept is illustrated in FIG. 3 and FIG. 4 and by the

calculations below, where the relative cost advantages of three and four-lobe circular geometries have been analyzed: R = radius of reactor; H = height of reactor, * = multiply.

EXAMPLE:

Analysis of an X lobed (X reactor) geometry:

$$\text{Volume of containment (single lobe)} = 3.14 * H * (R)^2$$

$$\text{Volume of containment (X lobes)} = 3.14 * H * (1/\cosine(90-180/X)+1)^2$$

Utilizing a scale factor of 0.7 which is generally used for scaling the cost of vessels and structures:

$$\text{Cost ratio X/1 lobe} = [(1/\cosine(90-180/X)+1)^2]^{0.7} = (1/\cosine(90-180/X)+1)^{1.4}$$

$$\text{Power ratio X lobes/1 lobe} = X/1 = X$$

$$\text{Power/cost ratio X lobes/1 lobe} = (X/(1/\cosine(90-180/X)+1))^{1.4}.$$

The results of this analysis are shown in the table below. Note that for at least three lobes and up to nine lobes the power/cost ratio is higher than that for a single reactor. Thus, depending on complexity of construction, three to six lobes are most useful since increasing the number of lobes also increases the complexity of making the reactor vessel and the majority of the benefit is gained by the time a six lobed vessel is used.

Number of Reactors (X)	Radius of Containment	Power/Cost Ratio
1	1.00	1.00
2	2.00	0.76
3	2.15	1.02
4	2.41	1.16
5	2.70	1.24
6	3.00	1.29
7	3.30	1.31
8	3.61	1.32
9	3.92	1.33
10	4.24	1.33
11	4.55	1.32
12	4.86	1.31

[0022] The calculations presented here is an illustration of the cost advantage of the concept that is covered in this patent. The use of a multilobe system also offers additional features as compared to the single reactor system besides an improvement in containment capital cost.

These include:

1. Economy of scale in the balance of plant costs for such things as turbines, generators, transformers, control systems, condensers, safety systems and licensing.
2. The space within the containment but outside the reactor vessel can serve as a heat sink during accident conditions. These areas also serve to transmit heat to the larger containment. Examples of such materials would include water (or ice) for non-sodium cooled reactors or materials such as sodium sulfate decahydrate for sodium cooled reactors.
3. Ability to use the safety systems of the unaffected reactors during a design basis event as the backup safety systems to the affected reactor.

[0023] While a full and complete description of the invention has been set forth in accordance with the dictates of the patent statutes, it should be understood that modifications can be resorted to without departing from the spirit hereof or the scope of the appended claims.

1. A liquid metal or molten salt cooled nuclear reactor comprising a generally cylindrical containment vessel with a multi-lobed reactor vessel with at least two lobes each lobe interconnected with the other lobe and each lobe containing a fast reactor core.

2. The liquid metal or molten salt coolant nuclear reactor of Claim 1, wherein the lobes have a generally circular geometry.

3. The liquid metal or molten salt coolant nuclear reactor of Claim 1, wherein there are three to nine lobes.

4. The liquid metal or molten salt coolant nuclear reactor of Claim 1, wherein there are three to six lobes.

5. The liquid metal or molten salt coolant nuclear reactor of Claim 1, wherein the liquid metal or molten salt coolant is a heat transfer material selected from the group consisting essentially of sodium, sodium and potassium, lead, lead and bismuth, sodium fluoride, potassium fluoride and potassium fluoride and mixtures thereof, and other molten salts.

6. A liquid metal or molten salt coolant nuclear reactor comprising at least a three-lobed reactor vessel, in a closed bottom containment vessel having a cylindrical wall for holding a pool of liquid metal or molten metal salt coolant; the at least three-lobed reactor vessel having at least three lobes each lobe interconnected with the other lobe and each lobe containing a fast reactor core.

7. The liquid metal or molten salt coolant nuclear reactor of Claim 6, wherein the lobes have a generally circular geometry.

8. The liquid metal or molten salt coolant nuclear reactor of Claim 6, wherein there are three to nine lobes.

9. The liquid metal or molten salt coolant nuclear reactor of Claim 6, wherein there are four to five lobes.

10. The liquid metal or molten salt coolant nuclear reactor of Claim 6, wherein the liquid metal or molten salt coolant is a heat transfer material selected from the group consisting essentially of sodium, sodium and potassium, lead, lead and bismuth, sodium fluoride, potassium fluoride and potassium fluoride and mixtures thereof, or other molten salts.

11. The liquid metal or molten salt coolant nuclear reactor of Claim 6, wherein the liquid metal of the coolant is sodium.

12. The liquid metal or molten salt coolant nuclear reactor of Claim 6, wherein the lobe cores can run all together or independently.

13. The liquid metal or molten salt coolant nuclear reactor of Claim 6, wherein the containment vessel has a cylindrical wall and four lobes.

14. The liquid metal or molten salt coolant nuclear reactor of Claim 6, wherein the containment vessel has a cylindrical wall and five lobes.

ABSTRACT OF THE DISCLOSURE

A nuclear reactor having a liquid metal or molten salt coolant in a riser space 130', has a cylindrical containment vessel 134 with a reactor vessel 120', at least two lobes 121, preferably three to nine lobes 121, each lobe 121 interconnected with the other lobe(s) and each containing a fast reactor core , 116', 116", 116" and 116'''.

1/3

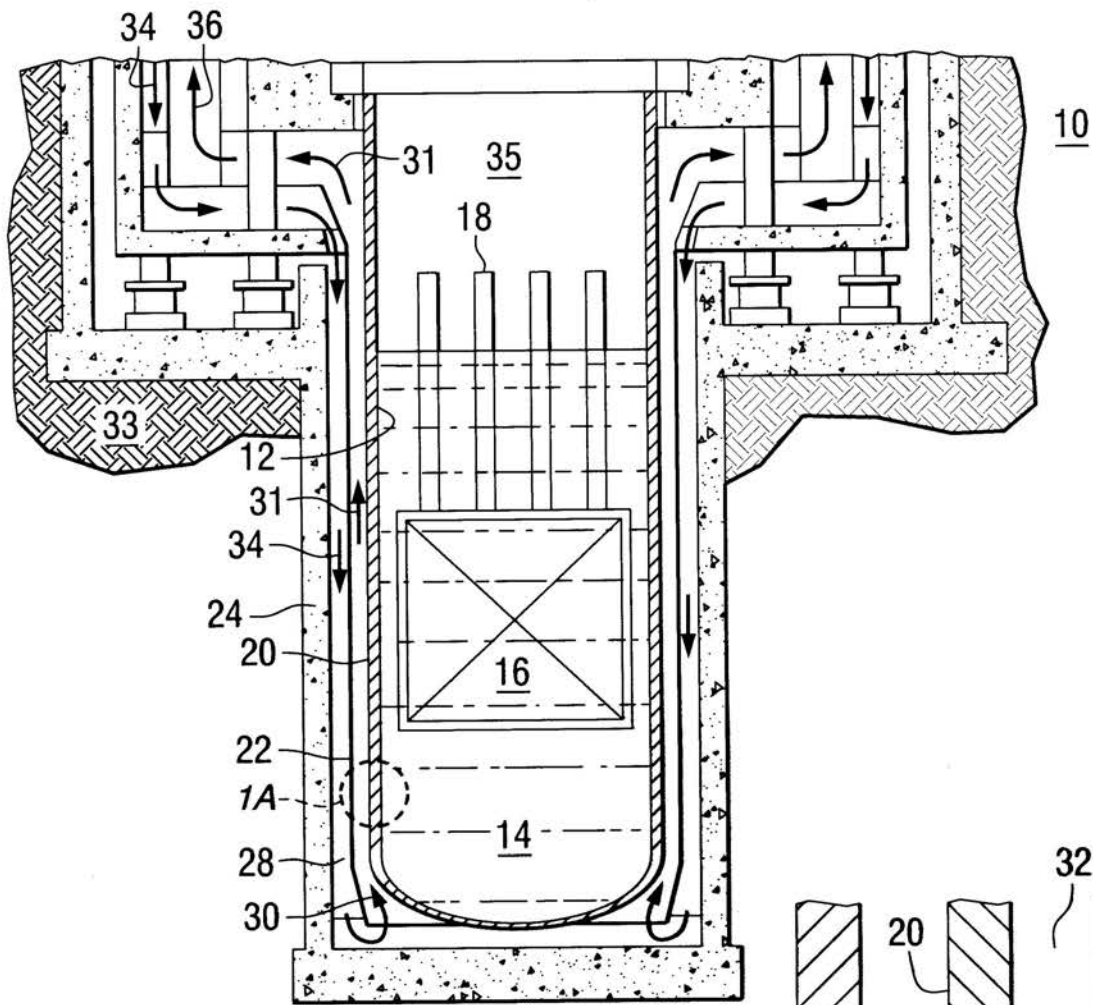
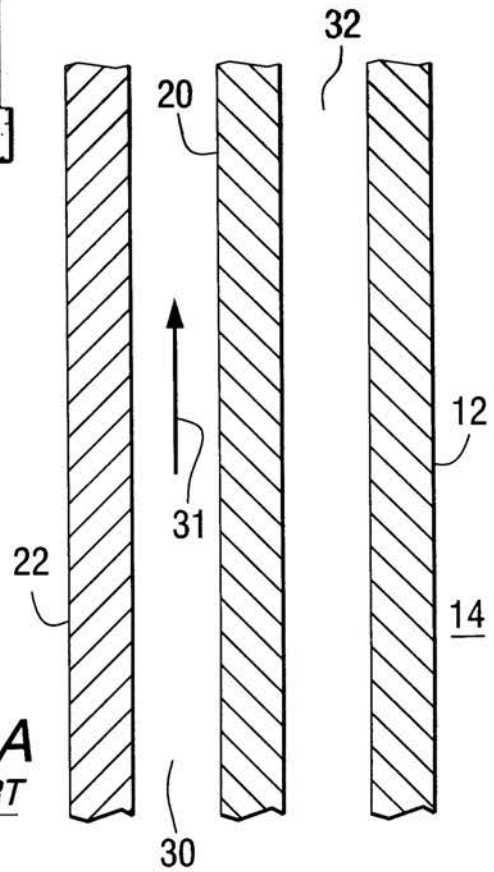


FIG. 1
PRIOR ART

FIG. 1A
PRIOR ART



2/3

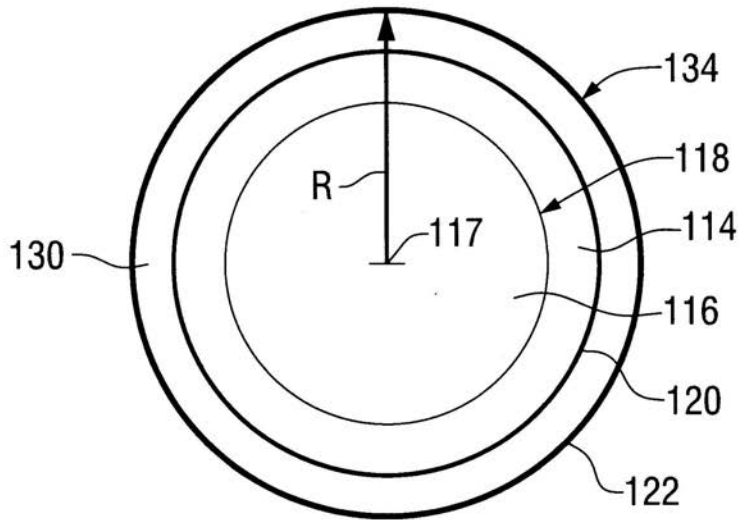


FIG. 2
PRIOR ART

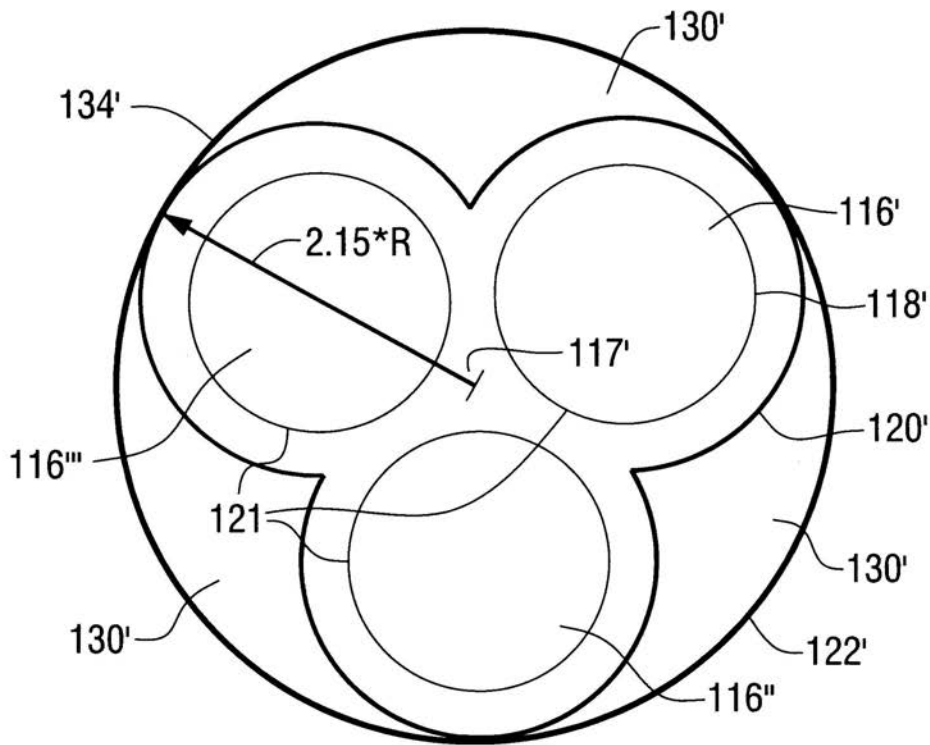


FIG. 3

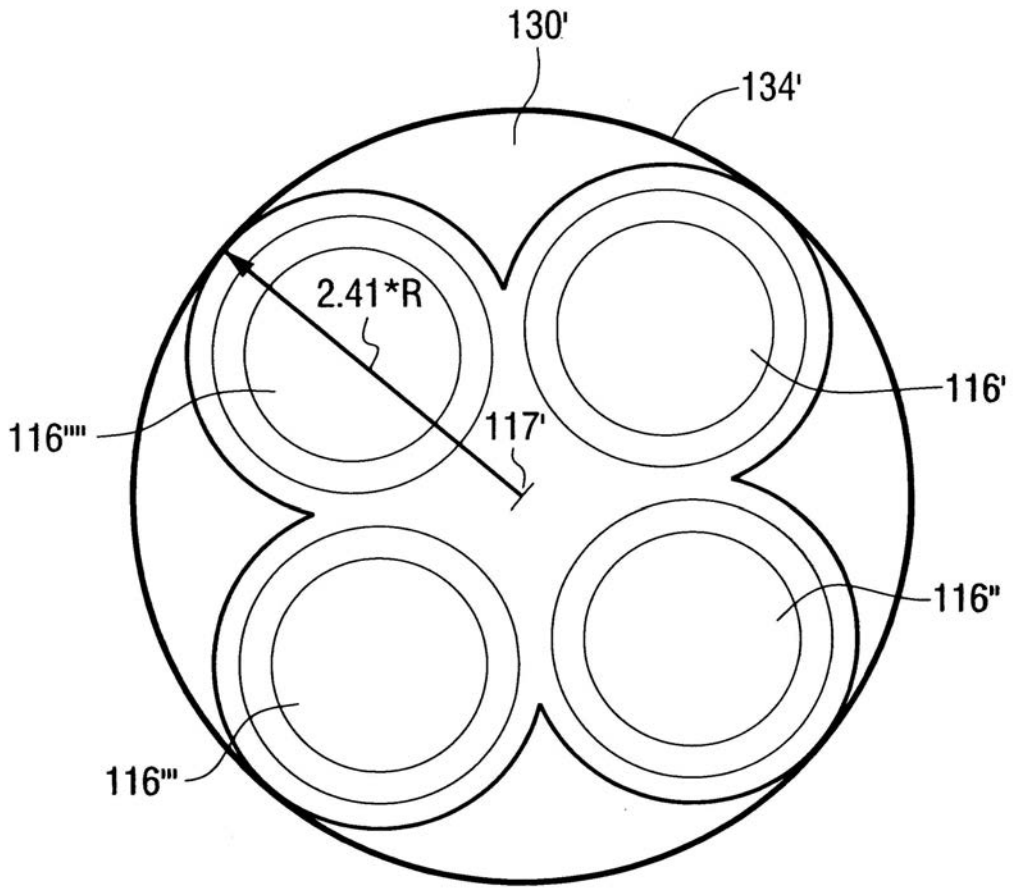


FIG. 4