

(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2011-523045

(P2011-523045A)

(43) 公表日 平成23年8月4日(2011.8.4)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G 2 1 C 3/00 (2006.01)	G 2 1 C 3/00 Z	
G 2 1 C 3/62 (2006.01)	G 2 1 C 3/62 M	
F 2 8 D 15/02 (2006.01)	F 2 8 D 15/02 Z	
G 2 1 C 3/60 (2006.01)	G 2 1 C 3/60	
G 2 1 C 3/02 (2006.01)	G 2 1 C 3/62 N	
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 27 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2011-509489 (P2011-509489)
 (86) (22) 出願日 平成21年5月15日 (2009.5.15)
 (85) 翻訳文提出日 平成23年1月12日 (2011.1.12)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2009/003028
 (87) 国際公開番号 W02009/139899
 (87) 国際公開日 平成21年11月19日 (2009.11.19)
 (31) 優先権主張番号 12/152, 904
 (32) 優先日 平成20年5月15日 (2008.5.15)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 508156546
 シーレイト リミテッド ライアビリティ
 ー カンパニー
 SEARETE LLC
 アメリカ合衆国, 98004 ワシントン
 州, ベルビュー, シックス ストリート
 エスイー 11235, スイート 200
 1756-114th Ave. Se, S
 uite 110, Bellevue, W
 A 98004, United Stat
 es of America
 (74) 代理人 110000338
 特許業務法人原謙三国際特許事務所

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ヒートパイプ核分裂燃料部材

(57) 【要約】

原子核分裂核燃料部材、システム、アプリケーション、装置、および方法に関する実施例を提供する。本発明の実施例は、原子核分裂核燃料部材、ヒートパイプアセンブリー、ヒートパイプ、原子核分裂核燃料部材の製造方法、およびヒートパイプアセンブリーの製造方法などを含む。

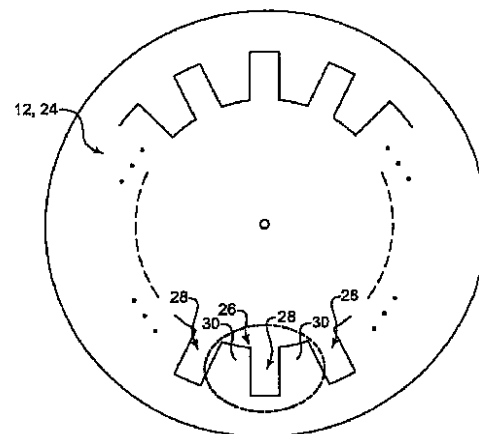


FIG.3A

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

原子核分裂核燃料材料と、
少なくとも一部が上記原子核分裂核燃料材料内に配置された少なくとも 1 つのヒートパイプとを含むことを特徴とする原子核分裂核燃料部材。

【請求項 2】

上記原子核分裂核燃料材料は、核分裂性物質および燃料親物質のうちの少なくとも 1 つを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の原子核分裂核燃料部材。

【請求項 3】

上記核分裂性物質は、 ^{233}U 、 ^{235}U 、および ^{239}Pu のうちの少なくとも 1 つを含むことを特徴とする請求項 2 に記載の原子核分裂核燃料部材。 10

【請求項 4】

上記燃料親物質は、 ^{232}Th および ^{238}U のうちの少なくとも 1 つを含むことを特徴とする請求項 2 に記載の原子核分裂核燃料部材。

【請求項 5】

上記原子核分裂核燃料材料は孔を有しており、
上記ヒートパイプは上記孔の少なくとも一部に配置された毛管構造を有していることを特徴とする請求項 1 に記載の原子核分裂核燃料部材。

【請求項 6】

上記孔は、上記原子核分裂核燃料材料の少なくとも一部を通る通路を有していることを特徴とする請求項 5 に記載の原子核分裂核燃料部材。 20

【請求項 7】

上記通路は、上記毛管構造の一部を実質的に囲む壁部を有していることを特徴とする請求項 6 に記載の原子核分裂核燃料部材。

【請求項 8】

上記孔は実質的に密閉されていることを特徴とする請求項 5 に記載の原子核分裂核燃料部材。

【請求項 9】

上記孔の表面に複数の溝が設けられており、複数の上記溝が上記毛管構造を形成していることを特徴とする請求項 5 に記載の原子核分裂核燃料部材。 30

【請求項 10】

上記毛管構造は灯心を含んでいることを特徴とする請求項 5 に記載の原子核分裂核燃料部材。

【請求項 11】

上記灯心は、トリウム、モリブデン、タンゲステン、銅、タンタル、ジルコニウム、炭素および耐火性金属のうちのいずれかの材料からなることを特徴とする請求項 10 に記載の原子核分裂核燃料部材。

【請求項 12】

上記孔内に配置された作動流体を有していることを特徴とする請求項 5 に記載の原子核分裂核燃料部材。 40

【請求項 13】

上記作動流体は、蒸発可能かつ凝縮可能であることを特徴とする請求項 12 に記載の原子核分裂核燃料部材。

【請求項 14】

上記作動流体は、 ^7Li 、ナトリウム、およびカリウムのうちのいずれかを含むことを特徴とする請求項 13 に記載の原子核分裂核燃料部材。

【請求項 15】

上記ヒートパイプは、蒸発部と凝縮部とを有していることを特徴とする請求項 1 に記載の原子核分裂核燃料部材。

【請求項 16】

上記ヒートパイプは、断熱部をさらに有していることを特徴とする請求項 15 に記載の原子核分裂核燃料部材。

【請求項 17】

上記凝縮部の少なくとも一部が上記原子核分裂核燃料材料の外部に配置されていることを特徴とする請求項 15 に記載の原子核分裂核燃料部材。

【請求項 18】

上記蒸発部の少なくとも一部が上記原子核分裂核燃料材料の外部に配置されていることを特徴とする請求項 15 に記載の原子核分裂核燃料部材。

【請求項 19】

上記断熱部の少なくとも一部が上記原子核分裂核燃料材料の外部に配置されていることを特徴とする請求項 16 に記載の原子核分裂核燃料部材。

10

【請求項 20】

ヒートパイプ装置と、

上記ヒートパイプ装置と一体化された当該ヒートパイプ装置と熱交換可能な原子核分裂核燃料材料とを含むことを特徴とするヒートパイプアセンブリー。

【請求項 21】

上記原子核分裂核燃料材料は孔を有しており、

上記ヒートパイプ装置の少なくとも一部が上記孔内に配置されていることを特徴とする請求項 20 に記載のヒートパイプアセンブリー。

【請求項 22】

20

上記孔は上記原子核分裂核燃料材料の少なくとも一部を通る通路を有していることを特徴とする請求項 21 に記載のヒートパイプアセンブリー。

【請求項 23】

上記通路は、上記毛管構造の一部を実質的に囲む壁部を有していることを特徴とする請求項 22 に記載のヒートパイプアセンブリー。

【請求項 24】

上記孔は実質的に密閉されていることを特徴とする請求項 21 に記載のヒートパイプアセンブリー。

【請求項 25】

上記ヒートパイプ装置は孔を有しており、

30

上記原子核分裂核燃料材料の少なくとも一部が上記孔部に配置されていることを特徴とする請求項 20 に記載のヒートパイプアセンブリー。

【請求項 26】

上記原子核分裂核燃料材料は、焼結粉体燃料微細構造、泡微細構造、高密度微細構造のうちのいずれかの微細構造を有していることを特徴とする請求項 25 に記載のヒートパイプアセンブリー。

【請求項 27】

上記原子核分裂核燃料材料は、毛管構造を有していることを特徴とする請求項 25 に記載のヒートパイプアセンブリー。

【請求項 28】

40

上記ヒートパイプ装置は、毛管構造を有していることを特徴とする請求項 20 に記載のヒートパイプアセンブリー。

【請求項 29】

上記毛管構造は複数の溝によって形成されていることを特徴とする請求項 28 に記載のヒートパイプアセンブリー。

【請求項 30】

上記毛管構造は灯心を有していることを特徴とする請求項 28 に記載のヒートパイプアセンブリー。

【請求項 31】

上記灯心は、トリウム、モリブデン、タングステン、鋼、タンタル、ジルコニウム、炭

50

素および耐火性金属のうちのいずれかの材料からなることを特徴とする請求項 30 に記載のヒートパイプアセンブリー。

【請求項 32】

上記ヒートパイプ装置内に配置された作動流体を含むことを特徴とする請求項 28 に記載のヒートパイプアセンブリー。

【請求項 33】

上記作動流体は、蒸発可能かつ凝縮可能であることを特徴とする請求項 32 に記載のヒートパイプアセンブリー。

【請求項 34】

上記作動流体は、 ${}^7\text{Li}$ 、ナトリウム、およびカリウムのうちのいずれかを含むことを特徴とする請求項 33 に記載のヒートパイプアセンブリー。

10

【請求項 35】

上記ヒートパイプ装置は、蒸発部と凝縮部とを有していることを特徴とする請求項 20 に記載のヒートパイプアセンブリー。

【請求項 36】

上記ヒートパイプ装置は、断熱部をさらに有していることを特徴とする請求項 35 に記載のヒートパイプアセンブリー。

【請求項 37】

上記原子核分裂核燃料材料は、核分裂性物質および燃料親物質のうちの少なくとも 1 つを含むことを特徴とする請求項 20 に記載のヒートパイプアセンブリー。

20

【請求項 38】

上記核分裂性物質は、 ${}^{233}\text{U}$ 、 ${}^{235}\text{U}$ 、および ${}^{239}\text{Pu}$ のうちの少なくとも 1 つを含むことを特徴とする請求項 37 に記載のヒートパイプアセンブリー。

【請求項 39】

上記燃料親物質は、 ${}^{232}\text{Th}$ および ${}^{238}\text{U}$ のうちの少なくとも 1 つを含むことを特徴とする請求項 37 に記載のヒートパイプアセンブリー。

【請求項 40】

孔を有する原子核分裂核燃料材料と、

上記孔の少なくとも一部に配置された毛管構造と、

上記孔に配置された作動流体とを有することを特徴とする原子核分裂核燃料部材。

30

【請求項 41】

上記孔は、上記原子核分裂核燃料材料の少なくとも一部を通る通路を有していることを特徴とする請求項 40 に記載の原子核分裂核燃料部材。

【請求項 42】

上記通路は、上記毛管構造の一部を実質的に囲む壁部を有していることを特徴とする請求項 41 に記載の原子核分裂核燃料部材。

【請求項 43】

上記孔は実質的に密閉されていることを特徴とする請求項 40 に記載の原子核分裂核燃料部材。

40

【請求項 44】

上記原子核分裂核燃料材料は、核分裂性物質および燃料親物質のうちの少なくとも 1 つを含むことを特徴とする請求項 40 に記載の原子核分裂核燃料部材。

【請求項 45】

上記核分裂性物質は、 ${}^{233}\text{U}$ 、 ${}^{235}\text{U}$ 、および ${}^{239}\text{Pu}$ のうちの少なくとも 1 つを含むことを特徴とする請求項 44 に記載の原子核分裂核燃料部材。

【請求項 46】

上記燃料親物質は、 ${}^{232}\text{Th}$ および ${}^{238}\text{U}$ のうちの少なくとも 1 つを含むことを特徴とする請求項 44 に記載の原子核分裂核燃料部材。

【請求項 47】

上記孔の壁表面がヒートパイプの壁表面を形成していることを特徴とする請求項 40 に

50

記載の原子核分裂核燃料部材。

【請求項 4 8】

上記壁表面に複数の溝が設けられており、複数の上記溝が上記毛管構造を形成していることを特徴とする請求項 4 7 に記載の原子核分裂核燃料部材。

【請求項 4 9】

上記毛管構造は灯心を含んでいることを特徴とする請求項 4 0 に記載の原子核分裂核燃料部材。

【請求項 5 0】

上記灯心は、トリウム、モリブデン、タンゲステン、銅、タンタル、ジルコニウム、炭素および耐火性金属のうちのいずれかの材料からなることを特徴とする請求項 4 9 に記載の原子核分裂核燃料部材。

10

【請求項 5 1】

上記作動流体は、蒸発可能かつ凝縮可能であることを特徴とする請求項 4 0 に記載の原子核分裂核燃料部材。

【請求項 5 2】

上記作動流体は、 ${}^7\text{Li}$ 、ナトリウム、およびカリウムのうちのいずれかを含むことを特徴とする請求項 5 1 に記載の原子核分裂核燃料部材。

【請求項 5 3】

上記ヒートパイプは、蒸発部と凝縮部とを有していることを特徴とする請求項 4 7 に記載の原子核分裂核燃料部材。

20

【請求項 5 4】

上記ヒートパイプは、断熱部をさらに有していることを特徴とする請求項 5 3 に記載の原子核分裂核燃料部材。

【請求項 5 5】

上記凝縮部の少なくとも一部が上記原子核分裂核燃料材料の外部に配置されていることを特徴とする請求項 5 3 に記載の原子核分裂核燃料部材。

【請求項 5 6】

上記蒸発部の少なくとも一部が上記原子核分裂核燃料材料の外部に配置されていることを特徴とする請求項 5 3 に記載の原子核分裂核燃料部材。

【請求項 5 7】

上記断熱部の少なくとも一部が上記原子核分裂核燃料材料の外部に配置されていることを特徴とする請求項 5 4 に記載の原子核分裂核燃料部材。

30

【請求項 5 8】

原子核分裂核燃料材料の少なくとも一部を含む壁部を有する孔と、
上記孔の少なくとも一部に設けられた毛管構造と、
上記孔に配置された作動流体とを有することを特徴とするヒートパイプ。

【請求項 5 9】

蒸発部と凝縮部とを有していることを特徴とする請求項 5 8 に記載のヒートパイプ。

【請求項 6 0】

断熱部をさらに有していることを特徴とする請求項 5 9 に記載のヒートパイプ。

40

【請求項 6 1】

上記壁部における上記凝縮部の少なくとも一部を形成している部分が上記原子核分裂核燃料材料を含んでいないことを特徴とする請求項 5 9 に記載のヒートパイプ。

【請求項 6 2】

上記壁部における上記蒸発部の少なくとも一部を形成している部分が上記原子核分裂核燃料材料を含んでいないことを特徴とする請求項 5 9 に記載のヒートパイプ。

【請求項 6 3】

上記壁部における上記断熱部の少なくとも一部を形成している部分が上記原子核分裂核燃料材料を含んでいないことを特徴とする請求項 6 0 に記載のヒートパイプ。

【請求項 6 4】

50

上記壁部は、構造材料からなる少なくとも１つの層と、上記原子核分裂核燃料材料からなる少なくとも１つの層とを有していることを特徴とする請求項５８に記載のヒートパイプ。

【請求項６５】

上記構造材料は、鋼、ニオブ、バナジウム、チタン、耐火性金属、および耐火性合金のうちのいずれかを含むことを特徴とする請求項６４に記載のヒートパイプ。

【請求項６６】

上記原子核分裂核燃料材料は、核分裂性物質および燃料親物質のうちの少なくとも１つを含むことを特徴とする請求項５８に記載のヒートパイプ。

【請求項６７】

上記核分裂性物質は、 ^{233}U 、 ^{235}U 、および ^{239}Pu のうちの少なくとも１つを含むことを特徴とする請求項６６に記載のヒートパイプ。

【請求項６８】

上記燃料親物質は、 ^{232}Th および ^{238}U のうちの少なくとも１つを含むことを特徴とする請求項６６に記載のヒートパイプ。

【請求項６９】

上記孔の表面に複数の溝が設けられており、複数の上記溝によって上記毛管構造が形成されていることを特徴とする請求項５８に記載のヒートパイプ。

【請求項７０】

上記毛管構造は灯心を含んでいることを特徴とする請求項５８に記載のヒートパイプ。

【請求項７１】

上記灯心は、トリウム、モリブデン、タングステン、鋼、タンタル、ジルコニウム、炭素および耐火性金属のうちのいずれかの材料からなることを特徴とする請求項７０に記載のヒートパイプ。

【請求項７２】

上記作動流体は、蒸発可能かつ凝縮可能であることを特徴とする請求項５８に記載のヒートパイプ。

【請求項７３】

上記作動流体は、 ^7Li 、ナトリウム、およびカリウムのうちのいずれかを含むことを特徴とする請求項７２に記載のヒートパイプ。

【請求項７４】

孔を有する壁部と、
上記孔の少なくとも一部に設けられた毛管構造と、
上記孔に配置された作動流体と、
上記孔の少なくとも一部に配置された原子核分裂核燃料材料とを有することを特徴とするヒートパイプ。

【請求項７５】

蒸発部と凝縮部とを有していることを特徴とする請求項７４に記載のヒートパイプ。

【請求項７６】

断熱部をさらに有していることを特徴とする請求項７５に記載のヒートパイプ。

【請求項７７】

上記壁部における上記凝縮部の少なくとも一部を形成している部分が上記原子核分裂核燃料材料を含んでいないことを特徴とする請求項７５に記載のヒートパイプ。

【請求項７８】

上記壁部における上記蒸発部の少なくとも一部を形成している部分が上記原子核分裂核燃料材料を含んでいないことを特徴とする請求項７５に記載のヒートパイプ。

【請求項７９】

上記壁部における上記断熱部の少なくとも一部を形成している部分が上記原子核分裂核燃料材料を含んでいないことを特徴とする請求項７６に記載のヒートパイプ。

【請求項８０】

10

20

30

40

50

上記原子核分裂核燃料材料は、焼結粉体燃料微細構造、泡微細構造、高密度微細構造のうちのいずれかの微細構造を有していることを特徴とする請求項 7 4 に記載のヒートパイプ。

【請求項 8 1】

上記原子核分裂核燃料材料は、毛管構造を有していることを特徴とする請求項 7 4 に記載のヒートパイプ。

【請求項 8 2】

上記原子核分裂核燃料材料は、核分裂性物質および燃料親物質のうちの少なくとも 1 つを含むことを特徴とする請求項 7 4 に記載のヒートパイプ。

【請求項 8 3】

上記核分裂性物質は、 ^{233}U 、 ^{235}U 、および ^{239}Pu のうちの少なくとも 1 つを含むことを特徴とする請求項 8 2 に記載のヒートパイプ。

【請求項 8 4】

上記燃料親物質は、 ^{232}Th および ^{238}U のうちの少なくとも 1 つを含むことを特徴とする請求項 8 2 に記載のヒートパイプ。

【請求項 8 5】

上記孔の表面に複数の溝が設けられており、複数の上記溝が上記毛管構造を形成していることを特徴とする請求項 7 4 に記載のヒートパイプ。

【請求項 8 6】

上記毛管構造は灯心を含んでいることを特徴とする請求項 7 4 に記載のヒートパイプ。

【請求項 8 7】

上記灯心は、トリウム、モリブデン、タングステン、鋼、タンタル、ジルコニウム、炭素および耐火性金属のうちのいずれかの材料からなることを特徴とする請求項 8 6 に記載のヒートパイプ。

【請求項 8 8】

上記作動流体は、蒸発可能かつ凝縮可能であることを特徴とする請求項 7 4 に記載のヒートパイプ。

【請求項 8 9】

上記作動流体は、 ^7Li 、ナトリウム、およびカリウムのうちのいずれかを含むことを特徴とする請求項 8 8 に記載のヒートパイプ。

【請求項 9 0】

原子核分裂核燃料材料を準備する工程と、

上記原子核分裂核燃料材料内に少なくとも 1 つのヒートパイプの少なくとも一部を形成する工程とを含むことを特徴とする原子核分裂核燃料部材の製造方法。

【請求項 9 1】

上記原子核分裂核燃料材料内に少なくとも 1 つのヒートパイプの少なくとも一部を形成する上記工程は、

上記原子核分裂核燃料材料内に少なくとも 1 つの孔を形成する工程と、

上記孔の少なくとも一部に毛管構造を形成する工程と、

上記孔に作動流体を配置する工程とを含むことを特徴とする請求項 9 0 に記載の原子核分裂核燃料部材の製造方法。

【請求項 9 2】

上記原子核分裂核燃料材料内に少なくとも 1 つの孔を形成する上記工程は、上記原子核分裂核燃料材料の少なくとも一部を通る通路を形成する工程と含むことを特徴とする請求項 9 1 に記載の原子核分裂核燃料部材の製造方法。

【請求項 9 3】

上記原子核分裂核燃料材料内に少なくとも 1 つの孔を形成する上記工程は、機械加工によって上記孔を形成する工程と含むことを特徴とする請求項 9 1 に記載の原子核分裂核燃料部材の製造方法。

【請求項 9 4】

10

20

30

40

50

上記機械加工は、ドリル加工、切削加工、およびプレス加工のうちのいずれかを含むことを特徴とする請求項 9 3 に記載の原子核分裂核燃料部材の製造方法。

【請求項 9 5】

上記原子核分裂核燃料材料内に少なくとも 1 つの孔を形成する上記工程は、型のまわりに上記原子核分裂核燃料材料を形成する工程を含むことを特徴とする請求項 9 1 に記載の原子核分裂核燃料部材の製造方法。

【請求項 9 6】

上記型は心棒を含むことを特徴とする請求項 9 5 に記載の原子核分裂核燃料部材の製造方法。

【請求項 9 7】

上記原子核分裂核燃料材料内に少なくとも 1 つの孔を形成する上記工程は、溶接、鋳造、電気めっき、プレス、モールドイングのうちのいずれかの作業を含むことを特徴とする請求項 9 5 に記載の原子核分裂核燃料部材の製造方法。

【請求項 9 8】

上記孔の少なくとも一部に毛管構造を形成する上記工程は、上記孔の表面に複数の溝を形成する工程を含むことを特徴とする請求項 9 1 に記載の原子核分裂核燃料部材の製造方法。

【請求項 9 9】

上記孔の表面に複数の溝を形成する上記工程は、機械加工、エッチング、鋳造、プレス加工のうちのいずれかの作業を含むことを特徴とする請求項 9 8 に記載の原子核分裂核燃料部材の製造方法。

【請求項 1 0 0】

上記孔の少なくとも一部に毛管構造を形成する上記工程は、上記孔の少なくとも一部に灯心を配置する工程を含むことを特徴とする請求項 9 1 に記載の原子核分裂核燃料部材の製造方法。

【請求項 1 0 1】

予め設定された上記原子核分裂核燃料部材の出力生成能力に応じて上記溝のサイズを決定する工程を含むことを特徴とする請求項 9 1 に記載の原子核分裂核燃料部材の製造方法。

【請求項 1 0 2】

上記作動流体の伝熱特性に応じて上記溝のサイズを決定する工程を含むことを特徴とする請求項 9 1 に記載の原子核分裂核燃料部材の製造方法。

【請求項 1 0 3】

揮発性の核分裂生成物に応じて上記溝のサイズを決定する工程を含むことを特徴とする請求項 9 1 に記載の原子核分裂核燃料部材の製造方法。

【請求項 1 0 4】

ヒートパイプ装置を準備する工程と、

原子核分裂核燃料材料をヒートパイプ装置と一体化させて当該原子核分裂核燃料材料と当該ヒートパイプ装置とを熱交換可能にする工程とを含むことを特徴とするヒートパイプアセンブリの製造方法。

【請求項 1 0 5】

ヒートパイプ装置を準備する上記工程は、

壁部を有するヒートパイプ本体を準備する工程と、

上記壁部の少なくとも一部に孔を形成する工程と、

上記孔の少なくとも一部に毛管構造を形成する工程と、

上記孔に作動流体を配置する工程とを含むことを特徴とする請求項 1 0 4 に記載のヒートパイプアセンブリの製造方法。

【請求項 1 0 6】

上記原子核分裂核燃料材料と上記ヒートパイプ装置とを熱交換可能にする上記工程は、上記壁部の少なくとも一部に原子核分裂核燃料材料を配置する工程を含むことを特徴とす

10

20

30

40

50

る請求項 105 に記載のヒートパイプアッセンブリーの製造方法。

【請求項 107】

上記原子核分裂核燃料材料と上記ヒートパイプ装置とを熱交換可能にする上記工程は、上記孔の少なくとも一部に原子核分裂核燃料材料を配置する工程を含むことを特徴とする請求項 105 に記載のヒートパイプアッセンブリーの製造方法。

【請求項 108】

上記孔を形成する上記工程は、機械加工によって上記孔を形成する工程を含むことを特徴とする請求項 105 に記載のヒートパイプアッセンブリーの製造方法。

【請求項 109】

上記機械加工は、ドリル加工、切削加工、およびプレス加工のうちのいずれかを含むことを特徴とする請求項 108 に記載のヒートパイプアッセンブリーの製造方法。

【請求項 110】

上記原子核分裂核燃料材料内に少なくとも 1 つの孔を形成する上記工程は、型のまわりに上記原子核分裂核燃料材料を形成する工程を含むことを特徴とする請求項 105 に記載のヒートパイプアッセンブリーの製造方法。

【請求項 111】

上記型は心棒を含むことを特徴とする請求項 110 に記載の原子核分裂核燃料部材の製造方法。

【請求項 112】

上記孔を形成する上記工程は、溶接、鋳造、電気めっき、プレス、モールドイングのうちのいずれかの作業を含むことを特徴とする請求項 111 に記載の原子核分裂核燃料部材の製造方法。

【請求項 113】

上記孔の少なくとも一部に毛管構造を形成する上記工程は、上記孔の表面に複数の溝を形成する工程を含むことを特徴とする請求項 105 に記載のヒートパイプアッセンブリーの製造方法。

【請求項 114】

上記孔の表面に複数の溝を形成する上記工程は、機械加工、エッチング、鋳造、プレス加工のうちのいずれかの作業を含むことを特徴とする請求項 113 に記載のヒートパイプアッセンブリーの製造方法。

【請求項 115】

上記孔の少なくとも一部に毛管構造を形成する上記工程は、上記孔の少なくとも一部に灯心を配置する工程を含むことを特徴とする請求項 105 に記載のヒートパイプアッセンブリーの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【発明の詳細な説明】

【0001】

〔技術分野〕

本発明は、核分裂燃料部材、並びに、核分裂燃料部材に関するシステム、アプリケーション、装置および方法に関する。

【0002】

〔発明の概要〕

本明細書では、核分裂燃料部材、並びに、核分裂燃料部材に関するシステム、アプリケーション、装置および方法の実施例を提示する。本発明の実施例および概念は、核分裂燃料部材、ヒートパイプ部品、ヒートパイプ、核分裂燃料部材の製造方法、ヒートパイプ部品の製造方法などを含むが、これに限定されるものではない。

【0003】

上記の概要は単なる例示であり、本発明を限定するものではない。また、上記の概念、実施例および特徴に加えて、図面および下記の詳細な説明を参酌することにより、更なる概念、実施例および特徴が明白になるであろう。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 4 】

〔 図面の簡単な説明 〕

図 1 A は、一実施形態に係る核分裂燃料部材の概略的な外観を示す斜視図である。

【 0 0 0 5 】

図 1 B は、図 1 A で示される核分裂燃料部材の細部の概略的な外観を示す斜視図である。

【 0 0 0 6 】

図 2 A は、核分裂燃料部材の一例の概略的な形状を示す切欠側面図である。

【 0 0 0 7 】

図 2 B は、核分裂燃料部材の別例の概略的な形状を示す切欠側面図である。

10

【 0 0 0 8 】

図 2 C は、核分裂燃料部材のさらに別例の概略的な形状を示す切欠側面図である。

【 0 0 0 9 】

図 2 D は、核分裂燃料部材のさらに別例の概略的な形状を示す切欠側面図である。

【 0 0 1 0 】

図 3 A は、図 2 A ～ 2 D で示した核分裂燃料部材の形態の一部の概略的な形状を示す切欠端面図である。

【 0 0 1 1 】

図 3 B は、図 3 A で示した部分の詳細を示す図である。

【 0 0 1 2 】

図 4 A は、ヒートパイプの一例の概略的な形状を示す切欠側面図である。

20

【 0 0 1 3 】

図 4 B は、ヒートパイプの別例の概略的な形状を示す切欠側面図である。

【 0 0 1 4 】

図 4 C は、ヒートパイプのさらに別例の概略的な形状を示す切欠側面図である。

【 0 0 1 5 】

図 4 D は、ヒートパイプのさらに別例の概略的な形状を示す切欠側面図である。

【 0 0 1 6 】

図 5 A は、図 4 A ～ 4 D で示したヒートパイプの形態の一部の概略的な形状を示す切欠端面図である。

30

【 0 0 1 7 】

図 5 B は、図 5 A で示した部分の詳細を示す図である。

【 0 0 1 8 】

図 5 C は、図 4 A ～ 4 D のヒートパイプの別の形態の一部の概略的な形状を示す切欠端面図である。

【 0 0 1 9 】

図 6 は、図 4 A ～ 4 D のヒートパイプの別の形態の一部の概略的な形状を示す切欠側面図である。

【 0 0 2 0 】

図 7 A は、核分裂燃料部材の製造方法の一例を示すフローチャートである。

40

【 0 0 2 1 】

図 7 B は、図 7 A のフローチャートの一部の詳細を示すフローチャートである。

【 0 0 2 2 】

図 7 C は、図 7 A のフローチャートの一部の詳細を示すフローチャートである。

【 0 0 2 3 】

図 7 D は、図 7 A のフローチャートの一部の詳細を示すフローチャートである。

【 0 0 2 4 】

図 7 E は、図 7 A のフローチャートの一部の詳細を示すフローチャートである。

【 0 0 2 5 】

図 7 F は、図 7 A のフローチャートの一部の詳細を示すフローチャートである。

50

【 0 0 2 6 】

図 7 G は、図 7 A のフローチャートの一部の詳細を示すフローチャートである。

【 0 0 2 7 】

図 7 H は、図 7 A のフローチャートの一部の詳細を示すフローチャートである。

【 0 0 2 8 】

図 7 I は、図 7 A のフローチャートの一部の詳細を示すフローチャートである。

【 0 0 2 9 】

図 8 A は、ヒートパイプ部品の製造方法の一例を示すフローチャートである。

【 0 0 3 0 】

図 8 B は、図 8 A のフローチャートの一部の詳細を示すフローチャートである。

10

【 0 0 3 1 】

図 8 C は、図 8 A のフローチャートの一部の詳細を示すフローチャートである。

【 0 0 3 2 】

図 8 D は、図 8 A のフローチャートの一部の詳細を示すフローチャートである。

【 0 0 3 3 】

図 8 E は、図 8 A のフローチャートの一部の詳細を示すフローチャートである。

【 0 0 3 4 】

図 8 F は、図 8 A のフローチャートの一部の詳細を示すフローチャートである。

【 0 0 3 5 】

図 8 G は、図 8 A のフローチャートの一部の詳細を示すフローチャートである。

20

【 0 0 3 6 】

図 8 H は、図 8 A のフローチャートの一部の詳細を示すフローチャートである。

【 0 0 3 7 】

〔 詳細な説明 〕

以下の詳細な説明において、添付の図面を参照する。これらの図面は、詳細な説明の一部をなす。図面において、明細書中で異なるものを指示していない場合、同じ部材には同じ符号を付している。詳細な説明、図面および特許請求の範囲で述べる実施例は、本発明を限定するものではない。ここで述べた主題の目的および趣旨から逸脱しない範囲で、他の実施例や変形例を用いてもよい。

【 0 0 3 8 】

30

上記の概略のように、本発明の実施形態は、核分裂燃料部材、並びに、核分裂燃料部材に関するシステム、アプリケーション、装置および方法を提供するものである。本発明の実施形態および概念は、核分裂燃料部材、ヒートパイプ部品、ヒートパイプ、核分裂燃料部材の製造方法、ヒートパイプ部品の製造方法などを含むが、これに限定されるものではない。

【 0 0 3 9 】

上記の概略のように、限定されない実施例として、少なくとも一つのヒートパイプが配置された核分裂燃料部材であってもよいし、核分裂燃料部材を有するヒートパイプであってもよい。

【 0 0 4 0 】

40

図 1 A を参照して一実施例としての核分裂燃料部材 1 0 を説明するが、本発明はこれに限定されるものではない。核分裂燃料部材 1 0 は核分裂燃料材料 1 2 を含む。核分裂燃料材料 1 2 の中には、ヒートパイプの少なくとも一部 1 4 (図中では破線で示す) が配置されている。

【 0 0 4 1 】

核分裂燃料材料 1 2 は特に限定されるものでない。核分裂燃料材料 1 2 は、特定のアプリケーションにとって望まれるあらゆるタイプの核分裂燃料材料であってもよい。したがって、核分裂燃料材料 1 2 は、金属、化合物、合金、あるいはこれらの組み合わせの形態であってもよい。核分裂燃料材料 1 2 は、中性子スペクトルを用いるいかなるタイプの核分裂原子炉で使用されてもよい。例えば、核分裂燃料材料 1 2 は、熱中性子スペクトルを

50

有する核分裂原子炉で使用されてもよい。また、核分裂燃料材料 12 は、高速中性子スペクトルを有する核分裂原子炉で使用されてもよい。

【0042】

また、核分裂燃料材料 12 は、増殖炉で使用されてもよい。上記増殖炉としては、例えば核分裂爆燃波高速増殖炉のような高速増殖炉が挙げられるが、これに限定されるものではない。核分裂爆燃波高速増殖炉については、米国特許出願番号 11 / 605, 943 (発明の名称:「AUTOMATED NUCLEAR POWER REACTOR FOR LONG-TERM OPERATION」、発明者: RODERICK A. HYDE, MURIEL Y. ISHIKAWA, NATHAN P. MYHRVOLD, AND LOWEILL. WOOD, JR.、出願日: 2006 年 11 月 28 日) に示されている。核分裂燃料材料 12 は、核分裂性物質および / または燃料親物質を含んでいてもよい。例えば、核分裂性物質は、 ^{235}U 、 ^{238}U および / または ^{239}Pu を含んでいてもよい。また、燃料親物質は、 ^{232}Th および / または ^{238}U を含んでいてもよい。

【0043】

また、核分裂燃料部材 10 の配置は何ら限定されるものではない。本明細書で図示される配置構成は、例示した目的のためだけに使用されるものである。核分裂燃料部材 10 の配置構成は、特定の配置に限定されるものではない。

【0044】

図 1 B に示されるように、核分裂燃料材料 12 に孔 18 を形成してもよい。孔 18 は、核分裂燃料材料 12 の少なくとも一部 14 を通る通路であってもよい。また、孔 18 の表面 20 は、ヒートパイプ 16 (図 1 A) の一部 14 (図 1 A) の壁であってもよい。孔 18 は、何らかの適切な方法で形成される。例えば、孔 18 は、核分裂燃料材料 12 を何らかの方法で機械的に加工することで所望の形状に形成される。例えば、ドリル加工 (drilling)、切削加工 (milling)、プレス加工 (stamping) などの方法を用いてもよい。または、心棒 (mandrel) のような形状を有する型の周囲に核分裂燃料材料 12 の少なくとも一部 22 を形成することにより孔 18 を形成してもよい。なお、ここでは心棒を例示したがこれに限定されるものではない。このような形成は、溶接 (welding)、鋳造 (casting)、電気めっき、プレス、モールドイングなどの所望の方法で実現することができる。ただし、これらの方法に限定されるものではない。

【0045】

図 2 A ~ 図 2 D に示すように、ヒートパイプ 16 の壁 24 は核分裂燃料材料 12 の孔 18 から延びており、表面 20 の延長部分としての役割を果たす。孔 18 は実質的に密閉されていてもよい。壁 24 は、高温操作および / または中性子束環境に適した所望の材料で作製される。壁 24 は、特に限定されるものではないが、鋼、ニオブ、バナジウム、チタニウム、耐火性金属、および / または、耐火性合金の何れか一つまたは複数により作製されてもよい。耐火性金属の例としては、ニオブ、タンタル、タングステン、ハフニウム、レニウム、または、モリブデンがあるが、これに限定されるものではない。耐火性合金の例としては、米国特許公報 6, 902, 809 号に開示されているようなレニウム - タンタル合金や、タンタル合金 T - 111、モリブデン合金 T Z M、タングステン合金 M T - 185、ニオブ合金 Nb - 1 Zr などが含まれるが、これらに限定されるものではない。

【0046】

ヒートパイプ 16 の毛管構造 26 は孔 18 の少なくとも一部の内部に形成される。つまり、表面 20 は毛管構造 26 の一部を囲む壁となる。毛管構造 26 は、核分裂燃料材料 12 の外部に配置され、壁 24 により囲まれたヒートパイプ 16 の内部に形成されていてもよい。毛管構造は灯心 (wick) を有していてもよい。上記灯心としては、トリウム、モリブデン、タングステン、鋼、タンタル、ジルコニウム、カーボン、および、耐火性金属などの所望の適した材料で作製される。

【0047】

図 3 A および図 3 B に概略的に示したように、毛管構造 26 は軸の回りに設けられた複数の溝 28 であってもよい。各溝 28 はランド (land) 30 によって分離されている。溝 28 の内部に複数の溝 32 を更に設けてもよい。各溝 32 は、2 つのランド 34 により、

あるいはランド 30 の 1 つとランド 34 の 1 つとにより、互いに分離されている。溝 28 および溝 32 の形成方法については、特に限定されるものではないが、例えば、機械加工、エッチング、鋳造、絞り加工、あるいは他の方法などを用いることができる。

【0048】

図 2 A ~ 図 2 D および図 3 B に示したように、作動流体 36 (図 3 B 参照) はヒートパイプ 16 内に供給される。作動流体 36 は蒸発可能かつ凝縮可能である。作動流体 36 としては、特に限定されるものではないが、例えば、リチウム (${}^7\text{Li}$)、ナトリウム、カリウムなどを用いることができる。図 2 A ~ 図 2 D に示した例では、ヒートパイプ 16 は、蒸発部 38 と凝縮部 40 とを含んでいる。図 2 A および図 2 C に示したように、蒸発部 38 は、完全にあるいは実質的に原子核分裂燃料材料 12 内に配置されていてもよい。ただし、蒸発部 38 は、必ずしも、完全にあるいは実質的に原子核分裂燃料材料 12 内に配置される必要はない。図 2 B および図 2 D に示したように、蒸発部 38 の少なくとも一部が原子核分裂燃料材料 12 の外部に配置されていてもよい。図 2 A ~ 図 2 D に示したように、凝縮部 40 は完全に原子核分裂燃料材料 12 の外部に配置されていてもよい。しかしながら、これに限らず、凝縮部 40 の一部または全部が原子核分裂燃料材料 12 内に設けられていてもよい。図 2 A ~ 図 2 D に矢印 44 で示したように、原子核分裂燃料材料 12 からの熱は蒸発部 40 に伝達される。蒸発部 38 内の作動流体は、矢印 46 で示したように、蒸発して液体から気体に相変化する。気体状態の作動流体 36 は、矢印 48 で示したように、ヒートパイプ 16 内を蒸発部 38 から凝縮部 40 へ移動する (断熱部 42 が設けられている場合には蒸発部 38 から断熱部 42 を介して凝縮部 40 へ移動する)。凝縮部 40 では、矢印 50 で示したように、作動流体 36 からの熱はヒートパイプ 16 の外部へ伝達される。凝縮部 40 内の作動流体 36 は、矢印 52 で示したように、凝縮して気体から液体へ相変化する。液体状態の作動流体 36 は、矢印 54 で示したように、毛管構造 26 における毛管現象により凝縮部 40 から蒸発部 38 へ戻される。図 4 C および図 4 D のように断熱材 42 が設けられている場合には、作動流体 36 は、この断熱材 42 を通って凝縮部 40 から蒸発部 38 へ戻される。

【0049】

したがって、図 1 A、図 1 B、図 2 A ~ 図 2 D に示したヒートパイプアッセンブリー (ヒートパイプ構造体) は、ヒートパイプ 16 および原子核分裂燃料材料 12 を含むヒートパイプアッセンブリーであってもよい。上述したように、原子核分裂燃料材料 12 にはヒートパイプ 16 が不可欠であり、原子核分裂燃料材料 12 はヒートパイプ 16 と熱交換を行えるように配置されている。すなわち、原子核分裂燃料材料 12 には孔 18 が形成されており、この孔 18 内にヒートパイプ 16 の少なくとも一部 14 が配置される。

【0050】

図 4 A ~ 図 4 D に示すように、ヒートパイプアッセンブリー 60 がヒートパイプ装置 62 を備えていてもよい。このヒートパイプ装置 62 は、壁部 63 を備えている。詳細は後述するが、原子核分裂燃料材料 64 にはヒートパイプ装置 62 が備えられており、原子核分裂燃料材料 64 はヒートパイプ装置 62 と熱交換を行えるように配置されている。

原子核分裂燃料材料 64 としては上述した原子核分裂燃料材料 12 (図 1 A、図 1 B、および図 2 A ~ 図 2 D に示した原子核分裂燃料材料 12) と同様のものを用いることができる。ここではその詳細な説明は省略する。

【0051】

ヒートパイプアッセンブリー 60 は、原子核分裂核燃料部材 10 (図 1 A、図 1 B、図 2 A ~ 図 2 D、図 3 A、および図 3 B 参照) と共通の特徴点をいくつか有している。共通の特徴点には同じ符号を付し、その説明を省略する。

【0052】

ヒートパイプ装置 62 には孔 66 が設けられている。原子核分裂燃料材料 64 はこの孔 66 の少なくとも一部の内部に配置されていてもよい。例えば、図 5 A および図 5 B に示すように、原子核分裂燃料材料 64 は毛管構造 26 内に配置されていてもよい。

【 0 0 5 3 】

ただし、原子核分裂燃料材料 6 4 は、必ずしも毛管構造 2 6 内に配置されている必要はなく、孔 6 6 内のどの位置に配置されていてもよい。また、図 5 C に示すように、原子核分裂燃料材料 6 4 は孔 6 4 内における、原子核分裂燃料材料 6 4 を適切な位置に保持するための 1 または複数の支持構造 6 7 上に配置されていてもよい。付加的な毛管構造 2 6 a が原子核分裂燃料材料 6 4 の外面に設けられている。支持構造 6 7 の少なくとも 1 つは、原子核分裂燃料材料 6 4 の外面に設けられた毛管構造 2 6 a と孔 6 6 の表面に設けられた毛管構造 2 6 との間で毛管現象によって液体状態の作動流体を輸送することができる、流路や毛管構造などの液体の輸送構造である。

【 0 0 5 4 】

ヒートパイプ 6 2 は、蒸発部 3 8 および凝縮部 4 0 を備えている。図 4 A および図 4 C に示したように、原子核分裂燃料材料 6 4 は、完全にあるいは実質的に蒸発部 3 8 内に配置されていてもよい。ただし、蒸発部 3 8 は、必ずしも、完全にあるいは実質的に原子核分裂燃料材料 6 4 内に配置される必要はない。図 4 B および図 4 D に示したように、原子核分裂燃料材料 6 4 の少なくとも一部が蒸発部 3 8 の外部に配置されていてもよい。原子核分裂燃料材料 6 4 が孔構造を有していてもよい。また、原子核分裂燃料材料 6 4 は、焼結粉体燃料微細構造 (sintered powdered fuel microstructure)、泡微細構造 (foam microstructure)、高密度微細構造 (high density microstructure) などを有していてもよい。

【 0 0 5 5 】

ヒートパイプ 6 2 は毛管構造 2 6 を備えている。毛管構造 2 6 は、上述した構成と同様、表面 6 5 におけるランド 3 0 の間に形成された溝 2 8 を含んでいてもよい。また、毛管構造 2 6 は、上述した構成と同様、表面 6 5 におけるランド 3 0 とランド 3 4 との間に形成された溝 3 2 を含んでいてもよい。また、孔構造は灯心を有していてもよい。

【 0 0 5 6 】

また、ヒートパイプアセンブリ 6 0 は、上述した構成と同様、作動流体 3 6 を含んでいてもよい。また、ヒートパイプ装置 6 2 は断熱部 4 2 (図 4 C および図 4 D 参照) を含んでいてもよい。

【 0 0 5 7 】

図 4 A ~ 図 4 D に示したように、原子核分裂燃料材料 6 4 からの熱は蒸発部 4 0 に伝達される。蒸発部 3 8 内の作動流体は、矢印 4 6 で示したように蒸発し、液体から気体に相変化する。気体状態の作動流体 3 6 は、矢印 4 8 で示したように、ヒートパイプ装置 6 2 内を蒸発部 3 8 から凝縮部 4 0 へ移動する。(図 4 C および図 4 D のように断熱部 4 2 が設けられている場合には蒸発部 3 8 から断熱部 4 2 を介して凝縮部 4 0 へ移動する)。凝縮部 4 0 では、矢印 5 0 で示したように、作動流体 3 6 からの熱はヒートパイプ装置 6 2 の外部へ伝達される。凝縮部 4 0 内の作動流体 3 6 は、矢印 5 2 で示したように、凝縮して気体から液体へ相変化する。液体状態の作動流体 3 6 は、矢印 5 4 で示したように、毛管構造 2 6 における毛管現象により凝縮部 4 0 から蒸発部 3 8 へ戻される。図 4 C および図 4 D のように断熱材 4 2 が設けられている場合には、作動流体 3 6 は、この断熱材 4 2 を通って凝縮部 4 0 から蒸発部 3 8 へ戻される。

【 0 0 5 8 】

図 6 に示したように、ヒートパイプ装置 6 2 a が少なくとも 1 層の構造材料層 6 8 および少なくとも 1 層の原子核分裂燃料材料層 6 4 a を有する壁部 6 3 a を備えていてもよい。原子核分裂燃料材料層 6 4 a は孔 6 6 の外部に配置されていてもよい。なお、簡潔かつ明瞭にするために、構造材料層 6 8 および原子核分裂燃料材料層 6 4 a をそれぞれ 1 層だけ備えた構成を示しているが、これに限らず、構造材料層 6 8 および原子核分裂燃料材料層 6 4 a の数は任意に設定してもよい。構造材料層 6 8 は、鋼、ニオブ、バナジウム、チタン、耐火性金属、耐火性合金、あるいはこれらの組み合わせであってもよい。耐火性金属としては、例えば、ニオブ、タンタル、タングステン、ハフニウム、レニウム、あるいはモリブデンなどが挙げられる。耐火性合金としては、例えば、US 特許公報 6902809 に

10

20

30

40

50

開示されているレニウム - タンタル合金、タンタル合金 T - 1 1 1、モリブデン合金 T Z M、タングステン合金 M T - 1 8 5、ニオブ合金 N b - 1 Z r などを用いることができる。

【 0 0 5 9 】

原子核分裂燃料材料層 6 4 a は、完全にあるいは実質的に蒸発部 3 8 内に配置されていてもよい。また、原子核分裂燃料材料層 6 4 a における 1 または複数の層が、断熱部（断熱部が設けられている場合）の少なくとも一部、および / または凝縮部の少なくとも一部に設けられていてもよい。

【 0 0 6 0 】

次に、上述した原子核分裂核燃料部材およびヒートパイプの製造方法について説明する。

10

【 0 0 6 1 】

以下に、処理の流れを示す一連のフローチャートを示す。理解を容易にするために、最初のフローチャートに全体像を示し、以降のフローチャートで変形例および / または上記全体像のサブステップや追加ステップなどの拡張例を示す。当業者であれば、本明細書に示す実施例（例えば最初の全体像を示すフローチャートおよびその後の追加例や詳細例を示すフローチャート）に基づいて、様々な実装例を容易かつ迅速に理解できるだろう。また、当業者であれば、本明細書に示す実施例がモジュール設計の典型例を示すものであることを理解できるだろう。

【 0 0 6 2 】

図 7 A は、原子核分裂核燃料部材の製造方法 8 0 を示している。製造方法 8 0 では、まずブロック 8 2 で処理を開始する。次に、ブロック 8 4 において、原子核分裂核燃料材料を供給する。次に、ブロック 8 6 において、原子核分裂核燃料材料内に少なくとも 1 つのヒートパイプの少なくとも一部を配置する。そして、ブロック 8 8 で処理を終了する。

20

【 0 0 6 3 】

ブロック 8 6 における原子核分裂核燃料材料内に少なくとも 1 つのヒートパイプの少なくとも一部を配置する処理は、図 7 B に示すように、更なるプロセスを含んでいてもよい。

例えば、ブロック 9 0 において原子核分裂核燃料材料の少なくとも一部に孔を形成し、ブロック 9 2 において上記孔の少なくとも一部に毛管構造を形成し、ブロック 9 4 において作動流体を上記孔に配置してもよい。

30

【 0 0 6 4 】

ブロック 9 0 の原子核分裂核燃料材料内に孔を形成する処理を、図 7 C のブロック 9 6 に示すように、機械加工によって行ってもよい。また、ブロック 9 6 における機械加工は、ドリル加工、切削加工、プレス加工、あるいはその他の方法によって行ってもよい。

【 0 0 6 5 】

また、ブロック 9 0 の原子核分裂核燃料材料内に孔を形成する処理は、図 7 D のブロック 9 8 に示すように、原子核分裂核燃料材料の少なくとも一部の周囲の形状を加工する処理（限定されるものではないが、例えば心棒形状に加工する処理）を含んでいてもよい。この処理は、例えば、溶接、鋳造、電気メッキ、圧延、型枠成型、あるいはその他の方法によって行われてもよい。

40

【 0 0 6 6 】

また、ブロック 9 2 の上記孔の少なくとも一部に毛管構造を形成する処理は、図 7 E のブロック 1 0 0 に示すように、上記孔の表面に複数の溝を形成する処理を含んでいてもよい。また、ブロック 1 0 0 における上記孔の表面に複数の溝を形成する処理は、機械加工、エッチング、鋳造、プレス加工、あるいはその他の方法で行うことができる。

【 0 0 6 7 】

また、ブロック 9 2 の上記孔の少なくとも一部に毛管構造を形成する処理は、図 7 F のブロック 1 0 2 に示すように、上記孔の少なくとも一部に灯心を形成する処理であってもよい。

50

【 0 0 6 8 】

また、ブロック 8 6 において原子核分裂核燃料材料内に少なくとも 1 つのヒートパイプの少なくとも一部を配置する処理の前に、図 7 G のブロック 1 0 4 に示すように、予め設定されている原子核分裂核燃料部材の出力生成能力に基づいて上記孔のサイズを決定するようにしてもよい。一例として、上記孔の断面積を予め設定された原子核分裂核燃料部材の出力生成値を作動流体における特定の軸方向の熱流量で除算した値に応じて選択してもよい。

【 0 0 6 9 】

図 7 H に示すように、ブロック 8 6 において原子核分裂核燃料材料内に少なくとも 1 つのヒートパイプの少なくとも一部を配置する前に、ブロック 1 0 6 で予め設計されている作動流体の伝熱特性に基づいて上記孔のサイズを決定するようにしてもよい。例えば、上記孔の断面積をヒートパイプ作動流体からの熱輸送能力の設計値を達成できるように選択してもよい。また、この選択は、作動流体の運用上の蒸気密度、蒸発潜熱、および流速（あるいはマッハ数）を考慮して行ってもよい。また、上記孔の側面の寸法を蒸気流の設計上のレイノルズ数を提供するように選択してもよい。

【 0 0 7 0 】

図 7 I に示すように、ブロック 8 6 において原子核分裂核燃料材料内に少なくとも 1 つのヒートパイプの少なくとも一部を配置する前に、ブロック 1 0 8 で揮発性の核分裂生成物に基づいて上記孔のサイズを決定するようにしてもよい。例えば、上記孔の容積を、当該容積内での特定量の気体の核分裂生成物の生成による圧力上昇に基づいて選択するようにしてもよい。また、上記孔の容積を、ヒートパイプの伝熱特性上の当該容積内における特定量の気体の核分裂生成物の慣性の影響に応じて選択するようにしてもよい。

【 0 0 7 1 】

図 8 A は、ヒートパイプアセンブリーの製造方法 1 1 0 を示している。この製造方法 1 1 0 では、まずブロック 1 1 2 で処理を開始する。次に、ブロック 1 1 4 においてヒートパイプ装置を準備する。次に、ブロック 1 1 6 において原子核分裂核燃料材料をヒートパイプ装置と一体化させてこのヒートパイプ装置と熱交換可能にする。そして、ブロック 1 1 8 で処理を終了する。

【 0 0 7 2 】

図 8 B に示すように、ヒートパイプ装置を準備するブロック 1 1 4 は更なる工程を含んでいてもよい。例えば、ブロック 1 2 0 において壁部を有するヒートパイプ本体を準備し、ブロック 1 2 2 において上記壁部の少なくとも一部に孔を設け、ブロック 1 2 4 において上記孔の少なくとも一部に毛管構造を設け、ブロック 1 2 6 において上記孔内に作動流体を導入するようにしてもよい。

【 0 0 7 3 】

図 8 C に示すように、ブロック 1 1 6 における原子核分裂核燃料材料をヒートパイプ装置と熱交換できるようにする処理は、上記壁部の少なくとも一部に原子核分裂核燃料材料を配置するブロック 1 2 8 を含んでいてもよい。また、図 8 D に示すように、ブロック 1 1 6 における原子核分裂核燃料材料をヒートパイプ装置と熱交換できるようにする処理は、上記孔の少なくとも一部に原子核分裂核燃料材料を配置するブロック 1 3 0 を含んでいてもよい。

【 0 0 7 4 】

図 8 E に示すように、ブロック 1 2 2 は機械加工によって壁部に孔を設けるブロック 1 3 2 であってもよい。上記機械加工 1 3 3 は、特に限定されるものではないが、例えば、ドリル加工、切削加工、プレス加工、あるいはその他の方法であってもよい。

【 0 0 7 5 】

図 8 F に示すように、ブロック 1 2 2 における壁部の少なくとも一部に孔を設ける処理は、型（例えば心棒など）のまわりに壁部を形成するブロック 1 3 4 によって行ってもよい。また、溶接、鋳造、電気めっき、プレス、モールディングなどを用いて行ってもよい。

。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 6 】

図 8 G に示すように、ブロック 1 2 4 における孔の少なくとも一部に毛管構造を形成する処理は、上記孔の表面に複数の溝を形成するブロック 1 3 6 を含んでいてもよい。また、ブロック 1 3 6 における上記孔の表面に複数の溝を形成する処理は、特に限定されるものではないが、例えば、機械加工、エッチング、鋳造、プレス加工などによって行ってもよい。

【 0 0 7 7 】

図 8 H に示すように、ブロック 1 2 4 における孔の少なくとも一部に灯心設けるブロック 1 3 8 を含んでいてもよい。

【 0 0 7 8 】

本明細書に開示した構成要素（例えばブロック）、装置、および物、並びにそれらに関する説明は本発明を明瞭にするための例示であり、本発明はこれらの例示に限定されるものではなく、様々な変更を施してもよいことは当業者であれば容易に理解できるだろう。すなわち、上述した各例およびその説明は、本発明のより一般的な例を示すことを意図したものである。また、本明細書における例示はそれらの種類を示すためのものであって、それらの例示に含まれない構成要素（例えばブロック）、装置、および物、並びにそれらの説明の適用を制限することを意図したものではない。また、本明細書において単数形および／または複数形で記載した用語は、数量を限定するものではなく、状況および／または適用方法に応じて、複数から単数まで、および／または単数から複数まで適宜変換可能である。単数／複数の変換例については自明なのでここではその例示は省略する。

【 0 0 7 9 】

本明細書には本発明の特定の実施例を開示しているが、これらの開示に基づいて、本発明の主題および概念から逸脱しない範囲で変更および修正を行ってもよいことは当業者にとって自明である。また、特許請求の範囲に示した事項は、本発明の主題および概念の範囲内でそのような変更および修正を施したものであり、本明細書に記載した範囲内のものである。また、本発明の範囲は請求項の記載によって定義されている。

【 0 0 8 0 】

また、本明細書および請求項に記載されている用語は開放型用語（open term）である（例えば、「～を含んでいる」という用語は「～を含んでいるが、そのみに限定されない」という意味であり、「～を有する」という用語は「～を有するが、そのみに限定されない」という意味であり、「～を含む」という用語は「～を含んでいるが、そのみに限定されない」という意味である）。また、特定の数量を意図している場合には請求項においてそれを明示しており、請求項において数量を明示していない場合には数量は限定されない。例えば、同じ請求項内において「少なくとも 1」あるいは「1 以上」という表現がある場合、当該請求項内において同じ部材に不定冠詞（" a " および／または " a n "）が付されている場合には、「少なくとも 1」あるいは「1 以上」と解釈すべきである。不定冠詞が付されている場合も同様である。なお、請求項において数量が明示されている場合（例えば「少なくとも 2 つ」あるいは「2 以上」といった他の修飾語を用いずに「2 つ」とのみ記載されているような場合）には当該数量を意味すると解釈すべきである。また、「A、B、および C のうちの少なくとも 1 つ」といった表現が用いられている場合、当該表現は当業者の慣例に基づいて解釈されるべきである（例えば、「A、B、および C の少なくとも 1 つを有するシステム」という記載は、A のみを有するシステム、B のみを有するシステム、C のみを有するシステム、A と B とを有するシステム、A と C とを有するシステム、B と C とを有するシステム、および／または、A と B と C とを有するシステムなどを含む。）。また、「A、B、または C のうちの少なくとも 1 つ」といった表現が用いられている場合、当該表現は当業者の慣例に基づいて解釈されるべきである（例えば、「A、B、または C の少なくとも 1 つを有するシステム」という記載は、A のみを有するシステム、B のみを有するシステム、C のみを有するシステム、A と B とを有するシステム、A と C とを有するシステム、B と C とを有するシステム、および／または、A と B

10

20

30

40

50

とCとを有するシステムなどを含む。)。また、明細書、請求項、および図面における「および/または」という記載は、2つのタームのうちの1つ、2つのタームのうちの一方、あるいは2つのタームの両方を意味し得る。例えば、「Aおよび/またはB」という記載は、「AまたはB」という意味と「AおよびB」という意味とを含む。

【0081】

本明細書には様々な実施例を示したが、他の実施例も実現可能であることは当業者にとって自明である。すなわち、本明細書に示した様々な実施例は本発明の一例であって本発明を限定するものではなく、本発明の範囲および精神は請求項の記載によって定義されている。

【図面の簡単な説明】

10

【0082】

【図1A】図1Aは、一実施形態に係る核分裂燃料部材の概略的な外観を示す斜視図である。

【図1B】図1Bは、図1Aで示される核分裂燃料部材の細部の概略的な外観を示す斜視図である。

【図2A】図2Aは、核分裂燃料部材の一例の概略的な形状を示す切欠側面図である。

【図2B】図2Bは、核分裂燃料部材の別例の概略的な形状を示す切欠側面図である。

【図2C】図2Cは、核分裂燃料部材のさらに別例の概略的な形状を示す切欠側面図である。

【図2D】図2Dは、核分裂燃料部材のさらに別例の概略的な形状を示す切欠側面図である。

20

【図3A】図3Aは、図2A～2Dで示した核分裂燃料部材の形態の一部の概略的な形状を示す切欠端面図である。

【図3B】図3Bは、図3Aで示した部分の詳細を示す図である。

【図4A】図4Aは、ヒートパイプの一例の概略的な形状を示す切欠側面図である。

【図4B】図4Bは、ヒートパイプの別例の概略的な形状を示す切欠側面図である。

【図4C】図4Cは、ヒートパイプのさらに別例の概略的な形状を示す切欠側面図である。

【図4D】図4Dは、ヒートパイプのさらに別例の概略的な形状を示す切欠側面図である。

30

【図5A】図5Aは、図4A～4Dで示したヒートパイプの形態の一部の概略的な形状を示す切欠端面図である。

【図5B】図5Bは、図5Aで示した部分の詳細を示す図である。

【図5C】図5Cは、図4A～4Dのヒートパイプの別の形態の一部の概略的な形状を示す切欠端面図である。

【図6】図6は、図4A～4Dのヒートパイプの別の形態の一部の概略的な形状を示す切欠側面図である。

【図7A】図7Aは、核分裂燃料部材の製造方法の一例を示すフローチャートである。

【図7B】図7Aのフローチャートの一部の詳細を示すフローチャートである。

【図7C】図7Aのフローチャートの一部の詳細を示すフローチャートである。

40

【図7D】図7Aのフローチャートの一部の詳細を示すフローチャートである。

【図7E】図7Aのフローチャートの一部の詳細を示すフローチャートである。

【図7F】図7Aのフローチャートの一部の詳細を示すフローチャートである。

【図7G】図7Aのフローチャートの一部の詳細を示すフローチャートである。

【図7H】図7Aのフローチャートの一部の詳細を示すフローチャートである。

【図7I】図7Aのフローチャートの一部の詳細を示すフローチャートである。

【図8A】ヒートパイプ部品の製造方法の一例を示すフローチャートである。

【図8B】図8Aのフローチャートの一部の詳細を示すフローチャートである。

【図8C】図8Aのフローチャートの一部の詳細を示すフローチャートである。

【図8D】図8Aのフローチャートの一部の詳細を示すフローチャートである。

50

- 【図 8 E】図 8 A のフローチャートの一部の詳細を示すフローチャートである。
【図 8 F】図 8 A のフローチャートの一部の詳細を示すフローチャートである。
【図 8 G】図 8 A のフローチャートの一部の詳細を示すフローチャートである。
【図 8 H】図 8 A のフローチャートの一部の詳細を示すフローチャートである。

【図 1 A】

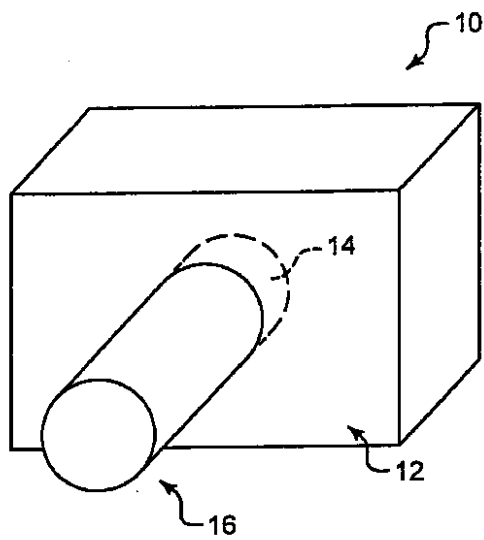


FIG.1A

【図 1 B】

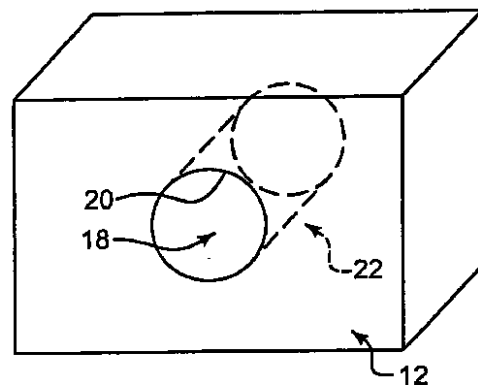


FIG.1B

【図 2 A】

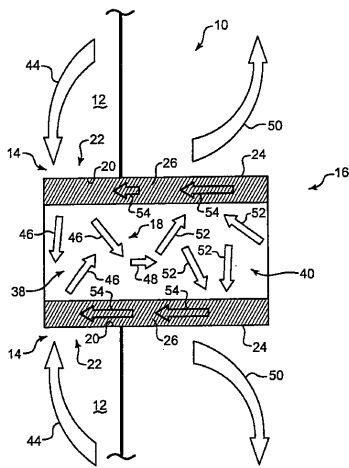


FIG.2A

【図 2 B】

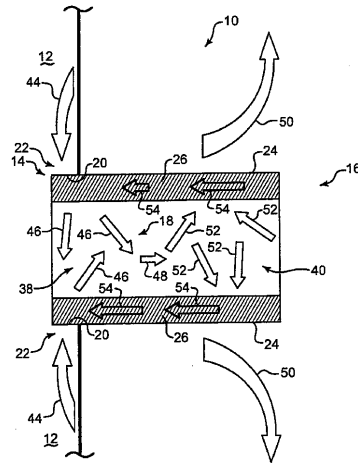


FIG.2B

【図 2 C】

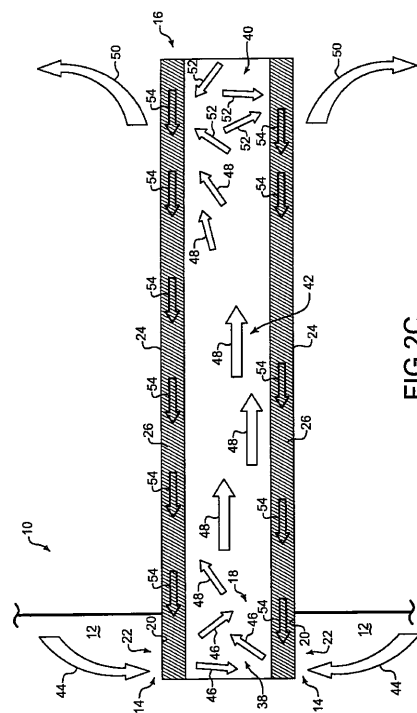


FIG.2C

【図 2 D】

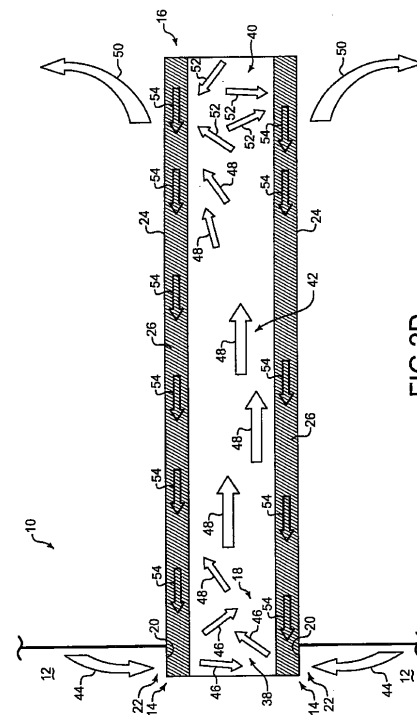


FIG.2D

【 図 3 A 】

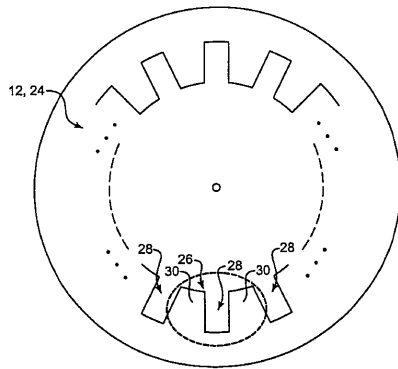


FIG.3A

【 図 3 B 】

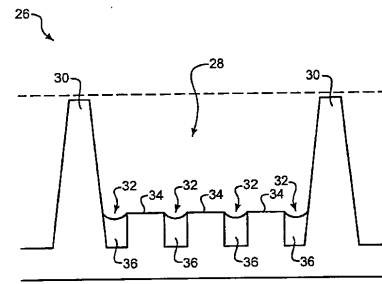


FIG.3B

【 図 4 A 】

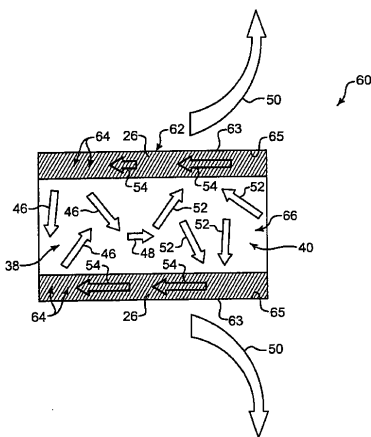


FIG.4A

【 図 4 B 】

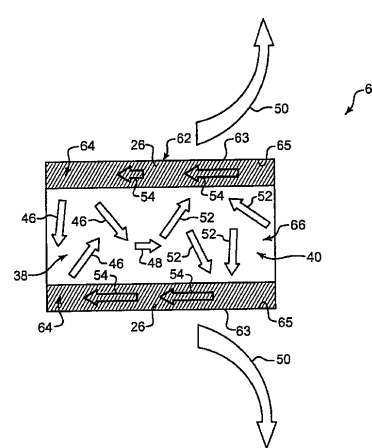


FIG.4B

【図 4 C】

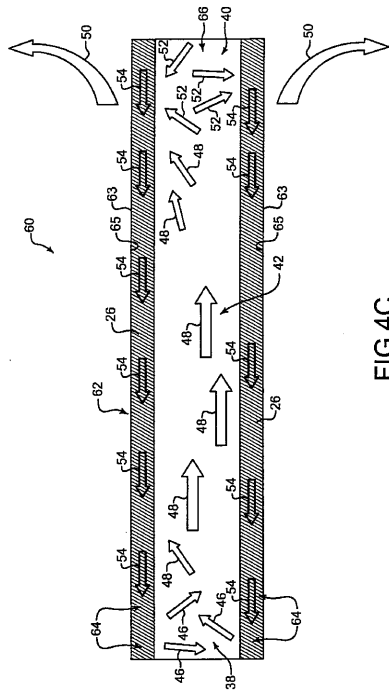


FIG.4C

【図 4 D】

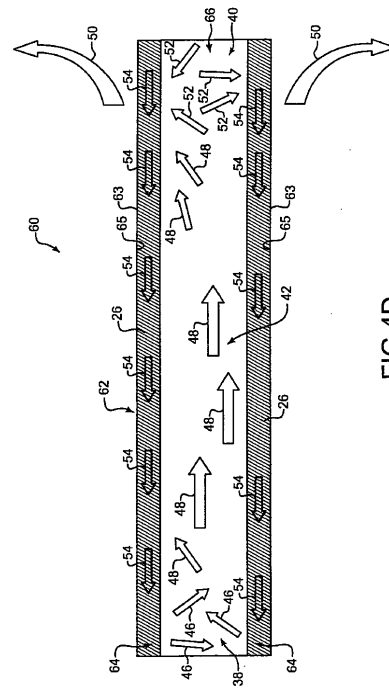


FIG.4D

【図 5 A】

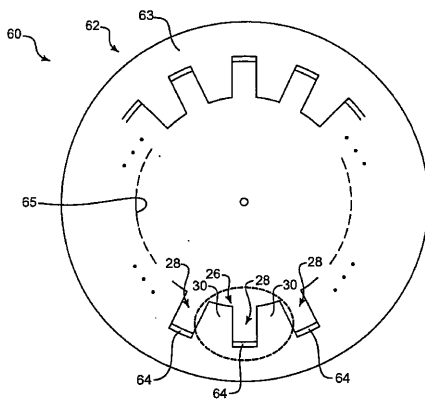


FIG.5A

【図 5 B】

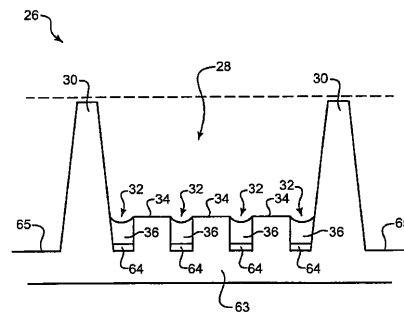


FIG.5B

【図 5 C】

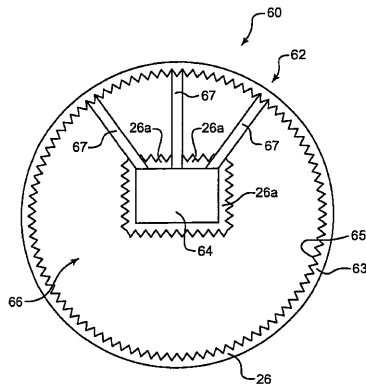


FIG.5C

【図 6】

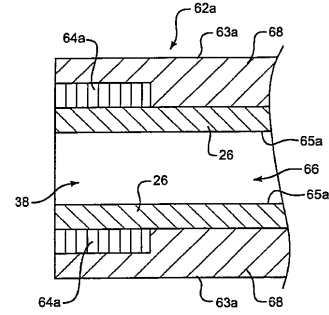
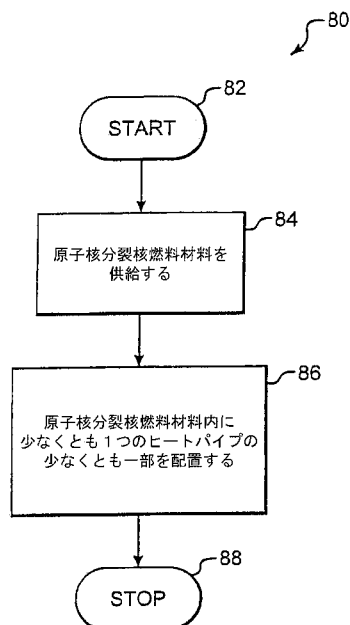
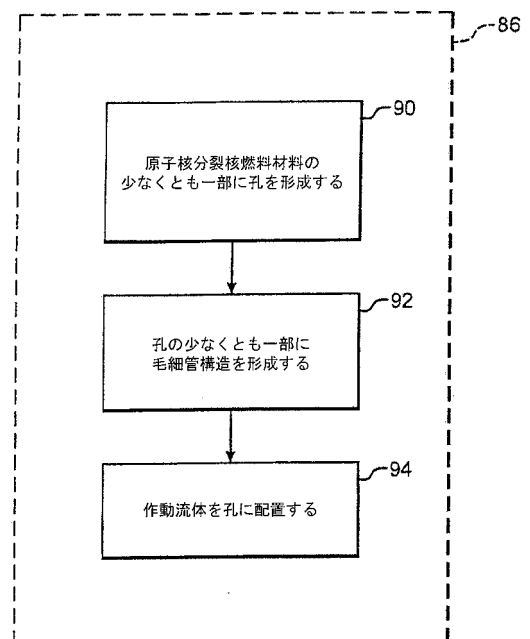


FIG.6

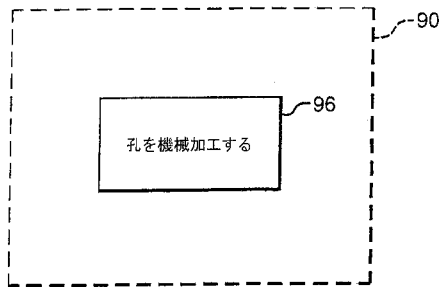
【図 7 A】



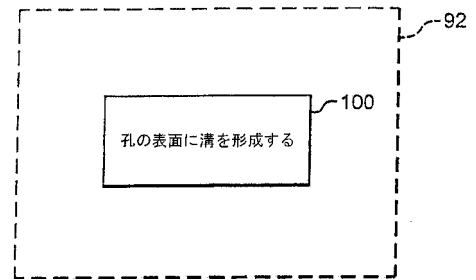
【図 7 B】



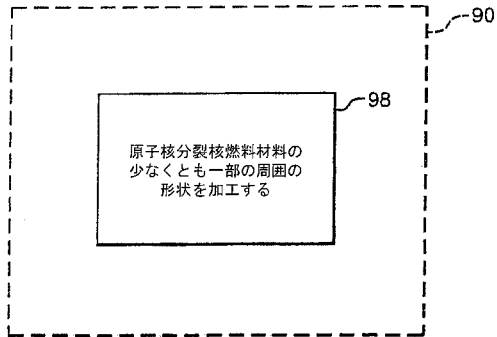
【図 7 C】



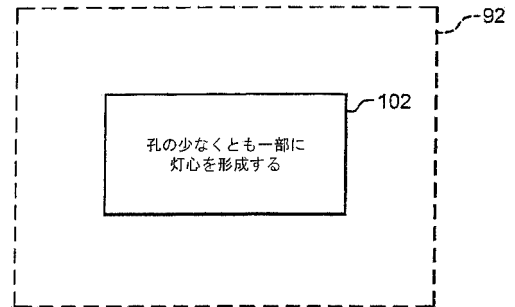
【図 7 E】



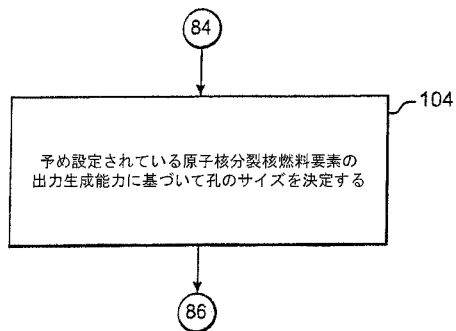
【図 7 D】



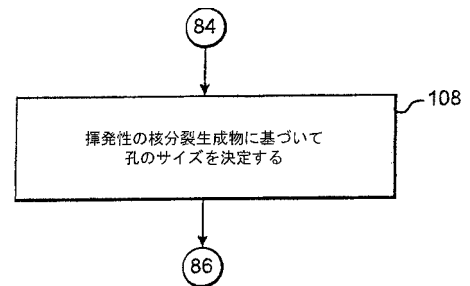
【図 7 F】



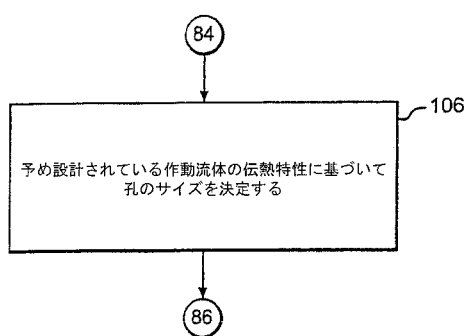
【図 7 G】



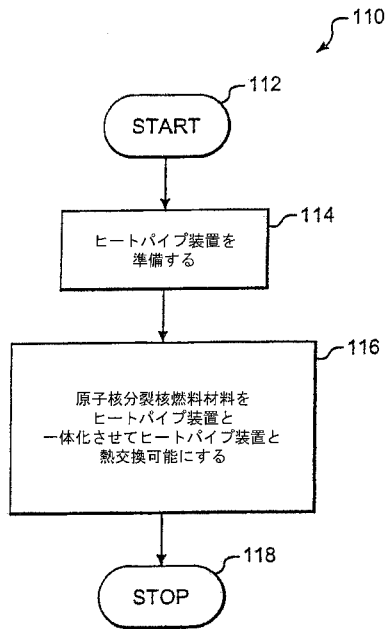
【図 7 I】



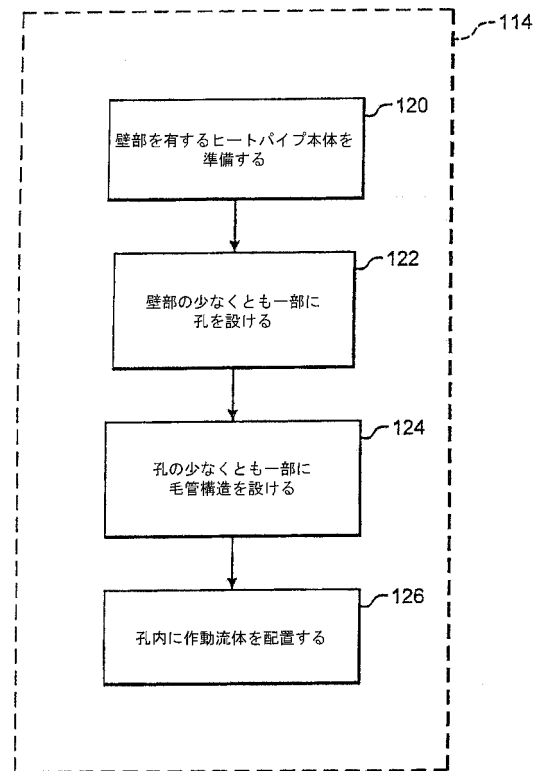
【図 7 H】



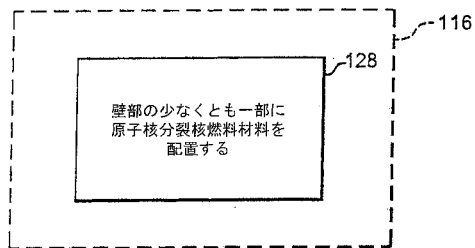
【図 8 A】



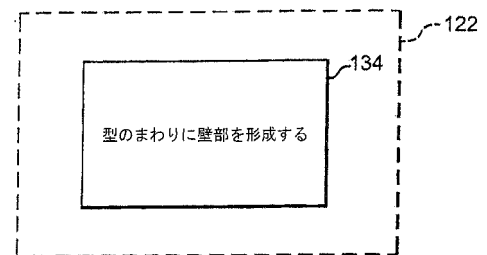
【図 8 B】



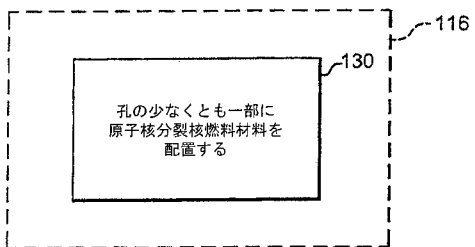
【図 8 C】



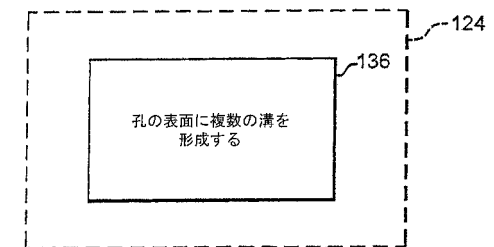
【図 8 F】



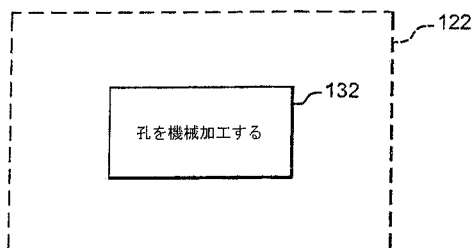
【図 8 D】



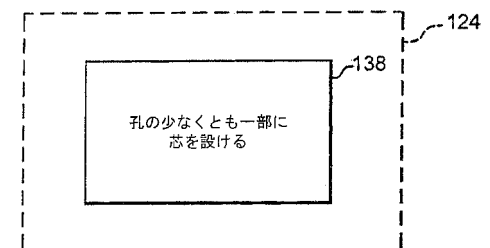
【図 8 G】



【図 8 E】



【図 8 H】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US 09/03028

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC(8) - G21C 15/06 (2009.01)

USPC - 376/367

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)

IPC(8) - G21C 15/06 (2009.01)

USPC - 376/367

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
USPC - 376/260, 261, 327

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

PubWEST (PGPB,USPT,EPAB,JPAB); Google Patents; Google Scholar

Search Terms Used: nuclear, fuel, fissile, fertile, heat, pipe, uranium, thorium, plutonium, cavity, capillary, wick, condenser, evaporator, adiabatic, working, fluid, mill, welding, mandrel

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X — Y	US 2008/0069269 A1 (PETERSON) 20 March 2008 (20.03.2008) para [0020], [0021], [0033], [0035], [0037], [0038], [0055], [0065], [0068], [0075]	1-14, 20-34, 37-52, 58, 64-74, 80-92, 88-107, 113-115 15-19, 35, 36, 53-57, 59-63, 75-79, 93-97, 108-112
Y	US 5,684,848 A (GOU et al.) 04 November 1997 (04.11.1997) col 1, ln 33-38; col 3, ln 1-5	15-19, 35, 36, 53-57, 59-63, 75-79
Y	US 6,878,952 B1 (OHSONO et al.) 12 April 2005 (12.04.2005) col 2, ln 40-43; col 11, ln 17-19	93, 94, 108, 109
Y	US 4,604,785 A (EDDENS) 12 August 1986 (12.08.1986) col 1, ln 53-61; col 3, ln 34-48	95-97, 110-112

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"B" 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

24 June 2009 (24.06.2009)

Date of mailing of the international search report

07 JUL 2009

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

(51) Int.Cl.	F I			テーマコード (参考)
G 2 1 C 3/04 (2006.01)	G 2 1 C	3/62	Z	
G 2 1 C 15/06 (2006.01)	G 2 1 C	3/02	Z	
	G 2 1 C	3/04		
	G 2 1 C	15/06	C	
	G 2 1 C	15/06	Z	

(81) 指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(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, SE, SI, SK, 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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, 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, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

- (72) 発明者 アールフェールド, チャールズ, イー.
アメリカ合衆国, 9 2 0 3 7 カリフォルニア州, ラホーヤ, カミニート プライスフィールド
6 6 3 5
- (72) 発明者 ジルランド, ジョン, ロジャース
アメリカ合衆国, 9 8 0 3 4 ワシントン州, カークランド, 6 7 番 アベニュー エヌ.イー.
1 3 2 2 6
- (72) 発明者 ハイド, ロデリック エー.
アメリカ合衆国, 9 8 0 5 2 ワシントン州, レドモンド, 1 6 1 番 アベニュー エヌ.イー.
9 9 1 5
- (72) 発明者 イシカワ, ミュリエル ワイ.
アメリカ合衆国, 9 4 5 5 0 - 4 9 2 1 カリフォルニア州, リバーモア, ヒルクレスト アベニュー 1 1 8 5
- (72) 発明者 マキャリース, デイビッド ジー.
アメリカ合衆国, 9 8 0 0 6 ワシントン州, ベルビュー, エス.イー. 4 6 番 プレース 1 7
4 2 5
- (72) 発明者 ミアボルド, ネイサン, ピー.
アメリカ合衆国, 9 8 0 0 4 ワシントン州, ベルビュー, 6 番 ストリート エスイー 1 1 2
3 5, スイート 2 0 0
- (72) 発明者 ウィーバー, トーマス, アラン
アメリカ合衆国, 9 4 4 0 2 カリフォルニア州, サン マテオ, アローヨ コート 8 番 1 0
1
- (72) 発明者 ホイトマー, チャールズ
アメリカ合衆国, 9 8 0 4 5 ワシントン州, ノース ベンド, エス.イー., アップランズ ウ
エイ 1 5 5 0 9
- (72) 発明者 ウッド, ジュニア, ローウェル, エル.
アメリカ合衆国, ワシントン州, ベルビュー, 1 1 2 番 アベニュー エヌイー # 2 3 1 0 9
8 9