

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6125840号  
(P6125840)

(45) 発行日 平成29年5月10日 (2017.5.10)

(24) 登録日 平成29年4月14日 (2017.4.14)

(51) Int. Cl.	F 1	
<b>G 2 1 C 7/08</b>	<b>(2006.01)</b>	G 2 1 C 7/08
<b>G 2 1 C 7/24</b>	<b>(2006.01)</b>	G 2 1 C 7/24
<b>G 2 1 C 7/28</b>	<b>(2006.01)</b>	G 2 1 C 7/28
<b>G 2 1 C 7/34</b>	<b>(2006.01)</b>	G 2 1 C 7/34
<b>G 2 1 C 17/06</b>	<b>(2006.01)</b>	G 2 1 C 17/06
		B
請求項の数 2 (全 47 頁)		

(21) 出願番号	特願2012-504668 (P2012-504668)	(73) 特許権者	513313945
(86) (22) 出願日	平成22年4月2日 (2010.4.2)		テラパワー, エルエルシー
(65) 公表番号	特表2012-523008 (P2012-523008A)		アメリカ合衆国 ワシントン 98005
(43) 公表日	平成24年9月27日 (2012.9.27)		, ベルビュー, 120ティーエイチ
(86) 国際出願番号	PCT/US2010/001006		アベニュー ノースイースト 330,
(87) 国際公開番号	W02010/147615		スイート 100
(87) 国際公開日	平成22年12月23日 (2010.12.23)	(74) 代理人	110000338
審査請求日	平成25年2月25日 (2013.2.25)		特許業務法人HARAKENZO WOR
審判番号	不服2016-1969 (P2016-1969/J1)		LD PATENT & TRADEMA
審判請求日	平成28年2月8日 (2016.2.8)		RK
(31) 優先権主張番号	12/384,669	(72) 発明者	アールフェルド, チャールズ, イー.
(32) 優先日	平成21年4月6日 (2009.4.6)		アメリカ合衆国, 92037 カリフォル
(33) 優先権主張国	米国 (US)		ニア州, ラホーヤ, カミニト ブライズフ
(31) 優先権主張番号	12/459,591		ールド 6635
(32) 優先日	平成21年7月1日 (2009.7.1)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 進行波核分裂反応炉、核燃料アッセンブリ、およびこれらにおける燃焼度の制御方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する方法であって、  
上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する上記中性子束を調節することと、所定の燃焼度値以下の燃焼度値をもたらすこととを含み、

上記所定の燃焼度値以下の燃焼度値をもたらすことは、上記燃焼前面の後方にある第1位置から上記燃焼前面の前方にある第2位置まで中性子放出体を移動させることを含み、  
上記燃焼前面は、少なくとも1つの上記進行波核分裂反応炉の核燃料アッセンブリに対して移動することを特徴とする方法。

## 【請求項 2】

中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する方法であって、  
上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する上記中性子束を調節することを含み、

上記進行波核分裂反応炉における燃焼度値の制御に応じて、1つ以上の構造的な材料に対する放射線損傷を制御することをさらに含み、

放射線損傷を制御することは、所定の放射線損傷値以下の放射線損傷値をもたらすことを含み、

所定の放射線損傷値以下の放射線損傷値をもたらすことは、上記燃焼前面の後方にある第1位置から上記燃焼前面の前方にある第2位置まで中性子放出体を移動させることを含み、

上記燃焼前面は、少なくとも1つの上記進行波核分裂反応炉の核燃料アッセンブリに対して移動することを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【発明の詳細な説明】

【0001】

〔背景技術〕

本願は、一般的に核反応の制御に関し、より詳細には、進行波核分裂反応炉、核燃料アッセンブリおよびそれらにおける燃焼度を制御する方法に関する。

【0002】

運転中の核分裂反応度において、既知のエネルギーの中性子が大きな原子量を有している核種によって吸収されることについて知られている。生成される化合物の原子核は、より小さい原子量の2つの核分裂片、および崩壊生成物を含んでいる核分裂生成物に分離する。すべてのエネルギーの中性子によってそのような核分裂を生じることが知られている核種としては、核分裂性核種であるウラン-233、ウラン-235およびプルトニウム-239が挙げられる。例えば、0.0253 eV (電子ボルト)の運動エネルギーを有している熱中性子は、U-235核種の核分裂に使用され得る。核分裂性同位体に転換可能な核種であるトリウム-232およびウラン-238は、少なくとも1 MeV (100万電子ボルト)の運動エネルギーを有している高速中性子を用いる以外に、誘発核分裂を生じない。核分裂現象のそれぞれから放出される運動エネルギーの合計は、約200 MeVである。この運動エネルギーは、最終的に熱に変換される。

10

20

【0003】

さらに、中性子の開始線源をともなって開始する核分裂過程は、さらなる中性子を遊離させ、運動エネルギーを熱エネルギーに変換する。これは、継続するエネルギーの放出をともなう自動継続的な核分裂連鎖反応を生じる。

【0004】

継続運転のための進行波ピロトロン(Pyrotron)が、米国特許第3,093,569号(発行日:1963年6月11日、発明者:Richard F. Post, et al., 発明の名称:Traveling Wave Pyrotron)に開示されている。この特許は、プラズマの密度およびエネルギーを増加させ、それらにおいて核反応を導く継続運転する反応炉または装置を開示している。上記発明の目的は、磁性の進行波を採用して、個々の封じ込め領域内における荷電粒子の捕獲、過熱およびエネルギー回収が実現されているピロトロンを提供することである。上記封じ込め領域のそれぞれは経時的に機械に沿って前進する。しかし、この特許は、本明細書に記載され、主張されているような、進行波核分裂反応炉、核燃料アッセンブリおよびそれらにおける燃焼度の制御方法を開示しているとは考えられない。

30

【0005】

米国特許第3,799,839号(発行日:1974年3月6日、発明者:David L. Fischer, et al., 発明の名称:Reactivity And Power Distribution Control Of Nuclear Reactor)には、原子炉心の運転サイクルにおいて、所定の量の過剰な反応度を制御し、一定または定常の配電を維持するための、可燃毒物質の空間分布、量、密度および構造が開示されている。この特許によると、動作サイクルの全体を通して原子炉心における実質的に定常な配電をもたらす原子炉心における可燃毒物質の配列物を提供することが、上記発明の目的である。また、この特許によると、動作サイクルにおける一定の電力および同時の反応度の分布の決定によって、つまり、生じている局所的な過剰の反応度の決定によって、ならびに動作サイクルの期間の全体にわたる局所的な過剰の反応度の変化と実質的に適合させるために空間的に分布されている、量、密度および構造の可燃毒物質をもたらすことによって、他の目的が上記発明にしたがって実現されている。しかし、この特許は、本明細書に記載され、主張されているような、進行波核分裂反応炉、核燃料アッセンブリおよびそれらにおける燃焼度の制御方法を開示しているとは考えられない。

40

【0006】

米国特許第3,489,646号(発行日:1970年1月13日、発明者:Jean Pau

50

I Van Dievoet, et al., 発明の名称 : Method of Pulsating or Modulating a Nuclear Reactor) は、原子炉の動作を脈動させるか、または調節する方法に関する。この特許は、中性子束の密度を周期的に変化させることによって反応炉を調節することを開示している。この特許によると、原子炉の動作は、特定の位置にある量の中性子放射物質を含んでいる1つ以上の構造を、反応炉の核分裂領域の外にある位置において移動させることによって制御され、これによって、炉心から発せられる中性子の流れを、上記構造の速度に依存して調節する。外部から反応炉の系の反応度をこのようにして調節する中性子放出材料の試料は、中性子生成材料および/または中性子誘導材料(例えば、核分裂性材料、反射体材料または中性子誘導物質)であり得る。しかし、この特許は、本明細書に記載され、主張されているような、進行波核分裂反応炉、核燃料アッセンブリおよびそれらにおける燃焼度の制御方法を開示しているとは考えられない。

10

【0007】

以上に挙げた技術はいずれも、本明細書に記載され、主張されているような、進行波核分裂反応炉、核燃料アッセンブリおよびそれらにおける燃焼度の制御方法を開示しているとは考えられない。

【0008】

したがって、本明細書に記載され、主張されているような、進行波核分裂反応炉、核燃料アッセンブリおよびそれらにおける燃焼度の制御方法が必要とされている。

【0009】

〔概要〕

20

本開示の一局面によれば、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する方法が提供される。当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される上記中性子束を調節することを包含している。

【0010】

本開示の他の局面によれば、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉の燃焼度を制御する方法が提供される。当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面(burnfront)を規定する上記中性子束を調節することを包含している。

【0011】

本開示のさらなる他の局面によれば、原子炉心、および当該炉心に配置されている核分裂反応炉の核燃料アッセンブリを備えている進行波核分裂反応炉が提供される。核分裂反応炉の上記核燃料アッセンブリは、所定の燃焼度値以下の燃焼度値をもたらすように構成されている。

30

【0012】

本開示のさらなる局面によれば、進行波核分裂反応炉において燃焼前面を生成可能な原子炉心、当該原子炉心に配置されている核分裂反応炉の核燃料アッセンブリ、核分裂反応炉の当該核燃料アッセンブリに配置されている中性子相互作用性材料、および上記燃焼前面と関連するパラメータに応じて当該中性子相互作用性材料の配置を制御する制御系を備えている進行波核分裂反応炉が提供される。

【0013】

本開示のさらなる他の局面によれば、反応炉の圧力容器、上記圧力容器に密閉して配置されている核分裂反応炉の核燃料アッセンブリを備えている、それらにおける燃焼度を制御可能な進行波核分裂反応炉が提供される。核分裂反応炉の上記核燃料アッセンブリは、所定の装填パターンに配列されている中性子相互作用性材料、および上記中性子相互作用性材料に中性子を伝達するように配置されることが可能な、着脱式の核分裂の点火装置を含んでいる。核分裂の上記点火装置は、上記中性子相互作用性材料を通して移動する爆燃波の燃焼前面を発生させること可能である。

40

【0014】

本開示の特徴は、制御棒の形態における中性子吸収体材料、反射体材料、または中性子放出材料、もしくは爆燃波の燃焼前面に対する位置における吸収を促進する他の吸収体材料の提供である。

50

## 【 0 0 1 5 】

上述のものに加えて、種々の他の方法および/または装置の局面は、教示内容（例えば、本開示の本文（例えば、特許請求の範囲および/または詳細な説明）、および/または図面）に説明され、記載されている。

## 【 0 0 1 6 】

以上の記載は、概要であり、したがって詳細の単純化、一般化、包括化、省略を含み得る。したがって、当業者は、概要が単に例示であり、何らの限定することを意図されていないことを適切に理解する。上述のような例証的な局面、実施形態および特徴に加えて、さらなる局面、実施形態および特徴は、図面および以下の詳細な説明の参照によって明らかになる。

10

## 【 0 0 1 7 】

〔図面の簡単な説明〕

明細書は、本開示の主題を特に示しており、明確に主張している特許請求の範囲をともなって完結しているが、本開示は、添付の図面と関連付けて理解されるときに以下の詳細な説明から、より理解されるものと考ええる。さらに、異なる図面における同じ記号の使用によって、類似または同一の要素が示されている。

## 【 0 0 1 8 】

図 1 は、核分裂反応炉の構成の部分的な正面図である。

## 【 0 0 1 9 】

図 2 は、中性子エネルギーに対する断面積を示すグラフである。

20

## 【 0 0 2 0 】

図 3 は、中性子エネルギーに対する断面図のレシオをともなった、中性子エネルギーに対する断面積を示すグラフである。

## 【 0 0 2 1 】

図 4 は、核分裂反応炉の核燃料アッセンブリの一般的な代表物の部分的な正面図である。

## 【 0 0 2 2 】

図 5 は、核燃料棒の部分的な縦方向の断面図である。

## 【 0 0 2 3 】

図 6 は、制御棒の部分的な縦方向の断面図である。

30

## 【 0 0 2 4 】

図 7 は、反射棒の部分的な縦方向の断面図である。

## 【 0 0 2 5 】

図 8 は、第 1 の実施形態の核燃料アッセンブリの横方向の断面図であり、点火装置によって引き起こされた、正反対に配置された対称な爆燃の 2 つの燃焼前面を示しており、また、核燃料の第 1 の配置パターンを示している。

## 【 0 0 2 6 】

図 9 は、第 1 の実施形態の核燃料アッセンブリの半分の横方向の断面図であり、正反対に配置された対称な爆燃の燃焼前面の一方を示している。

## 【 0 0 2 7 】

図 10 は、点火装置からの距離に対する制御棒の挿入量を含んでいる第 1 の制御機能を示しており、第 1 の制御機能は、第 1 の核燃料アッセンブリの第 1 の核燃料の配置パターンに対応している。

40

## 【 0 0 2 8 】

図 11 は、第 2 の実施形態の核燃料アッセンブリの半分の横方向の断面図であり、正反対に配置された対称な爆燃の燃焼前面の一方を示しており、また、第 2 の核燃料の配置パターンを示している。

## 【 0 0 2 9 】

図 12 は、点火装置からの距離に対する制御棒の挿入量を含んでいる第 2 の制御機能を示しており、第 2 の制御機能は、第 2 の核燃料アッセンブリの第 2 の核燃料の配置パター

50

ンに対応している。

【 0 0 3 0 】

図 1 3 は、第 3 の実施形態の核燃料アッセンブリの半分の横方向の断面図であり、正反対に配置された対称な爆燃の燃焼前面の一方を示しており、また、第 3 の核燃料の配置パターンを示している。

【 0 0 3 1 】

図 1 4 は、点火装置からの距離に対する制御棒の挿入量を含んでいる第 3 の制御機能を示しており、第 3 の制御機能は、第 3 の核燃料アッセンブリの第 3 の核燃料の配置パターンに対応している。

【 0 0 3 2 】

図 1 5 は、第 4 の実施形態の核燃料アッセンブリの半分の横方向の断面図であり、正反対に配置された対称な爆燃の燃焼前面の一方を示しており、また、第 4 の核燃料の配置パターンを示している。

【 0 0 3 3 】

図 1 6 は、点火装置からの距離に対する制御棒の挿入量を含んでいる第 4 の制御機能を示しており、第 4 の制御機能は、第 4 の核燃料アッセンブリの第 4 の核燃料の配置パターンに対応している。

【 0 0 3 4 】

図 1 7 は、第 5 の実施形態の核燃料アッセンブリの半分の横方向の断面図であり、正反対に配置された対称な爆燃の燃焼前面の一方を示しており、また、第 5 の核燃料の配置パターンを示している。

【 0 0 3 5 】

図 1 8 は、点火装置からの距離に対する制御棒の挿入量を含んでいる第 5 の制御機能を示しており、第 5 の制御機能は、第 5 の核燃料アッセンブリの第 5 の核燃料の配置パターンに対応している。

【 0 0 3 6 】

図 1 9 は、第 6 の実施形態の核燃料アッセンブリの半分の横方向の断面図であり、正反対に配置された対称な爆燃の燃焼前面の一方を示しており、また、第 6 の核燃料の配置パターンを示している。

【 0 0 3 7 】

図 2 0 は、点火装置からの距離に対する制御棒の挿入量を含んでいる第 6 の制御機能を示しており、第 6 の制御機能は、第 6 の核燃料アッセンブリの第 6 の核燃料の配置パターンに対応している。

【 0 0 3 8 】

図 2 1 は、第 7 の実施形態の核燃料アッセンブリの半分の横方向の断面図であり、正反対に配置された対称な爆燃の燃焼前面の一方を示しており、また、第 7 の核燃料の配置パターンを示している。

【 0 0 3 9 】

図 2 2 は、点火装置からの距離に対する制御棒の挿入量を含んでいる第 7 の制御機能を示しており、第 7 の制御機能は、第 7 の核燃料アッセンブリの第 7 の核燃料の配置パターンに対応している。

【 0 0 4 0 】

図 2 3 は、波の制御機能の度合いに対する、爆燃の燃焼前面の速度と燃焼度の百分率の逆数との間における直線的な関係を示すグラフである。

【 0 0 4 1 】

図 2 3 A は、点火装置からの距離に対する中性子束を含んでいる中性子束の例示的な空間分布を示すグラフであり、当該空間分布は例示的な制御機能にしたがった燃焼前面の代表的なものである。

【 0 0 4 2 】

図 2 3 B は、図 2 3 A に示されている上記空間分布に対応する制御機能を示すグラフで

10

20

30

40

50

あり、上記点火装置からの距離に対する制御棒の挿入量を含んでいる。

【 0 0 4 3 】

図 2 3 C は、点火装置からの距離に対する中性子束を含んでいる中性子束の例示的な空間分布を示すグラフであり、当該空間分布は例示的な制御機能にしたがった燃焼前面の代表的なものである。

【 0 0 4 4 】

図 2 3 D は、図 2 3 C に示されている上記空間分布に対応する制御機能を示すグラフであり、上記点火装置からの距離に対する制御棒の挿入量を含んでいる。

【 0 0 4 5 】

図 2 3 E は、点火装置からの距離に対する中性子束を含んでいる中性子束の例示的な空間分布を示すグラフであり、当該空間分布は例示的な制御機能にしたがった燃焼前面の代表的なものである。

10

【 0 0 4 6 】

図 2 3 F は、図 2 3 E に示されている上記空間分布に対応する制御機能を示すグラフであり、上記点火装置からの距離に対する制御棒の挿入量を含んでいる。

【 0 0 4 7 】

図 2 4 ~ 6 5 は、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼を制御する例示的な方法のフローチャートである。

【 0 0 4 8 】

〔 詳細な説明 〕

20

以下の詳細な説明において、本明細書の一部を形成している添付の図面が参照される。図面において、同様の符号は、特に断りがない限り、類似の構成要素を特定している。詳細な説明、図面および特許請求の範囲に記載されている例示的な実施形態は、限定することを意味していない。他の実施形態が利用され得、他の変更が、本明細書に示されている主題の精神または範囲から逸脱することなくなされ得る。

【 0 0 4 9 】

さらに、本発明は、説明の明確さのために、形式的な概略の見出し語を使用している。しかし、見出し語は説明を目的としていること、および異なる種類の対象が本願の全体を通して説明されることが理解されるべきである。例えば、(複数の)装置/構造は、(複数の)処理/複数の動作の見出し語に基づいて説明され得るか、および/または(複数の)処理/複数の動作は、(複数の)装置/構造に基づいて論じられ得るか；および/または単一の主題の記載は、2以上の主題に及び得る。したがって、形式的な概略の見出し語の使用は、決して限定することを意図されていない。

30

【 0 0 5 0 】

さらに、本明細書に記載の対象は、ときとして、異なる他の構成要素に含まれているか、または当該構成要素と接続されている異なる構成要素を示している。そのように描写されている構造物が単に例示的であること、同じ機能性を達成する実際に多くの他の構造物が導入され得ることを理解すべきである。概念的な意味において、同じ機能性を実現するための構成要素の任意の配列物は、所望の機能性が実現されるように、有効に“結び付けられる”。したがって、特定の機能性を実現するために組み合わせられている、本明細書における任意の2つの構成要素は、構造物または中間の構成要素とは関係なく、所望の機能性が実現されるように互いに結び付けられていると見なされ得る。また同様に、そのように結び付けられている任意の2つの構成要素は、所望の機能性を実現するために、互いに“動作可能に接続されている”か、または“動作可能に連結されている”と見なされ得る、そのように結び付けられ得る任意の2つの構成要素はまた、所望の機能性を実現するために、互いに“動作可能に連結可能である”とみなされ得る。動作可能に連結可能な特定の例としては、物理的に組合せ可能な構成要素および/または物理的に相互作用する構成要素、および/または無線によって相互作用可能な構成要素および/または無線によって相互作用する構成要素、および/または論理的に相互作用する構成要素および/または論理的に相互作用可能な構成要素が挙げられるが、これらに限定されない。

40

50

## 【 0 0 5 1 】

いくつかの例において、1つ以上の構成要素は、本明細書において“に構成されている”、“に構成可能である”、“に対して動作可能な/動作している”、“適応されている/適応可能な”、“可能である”、“適合可能な/適合されている”などと言及され得る。当業者は、特に断りがなければ、“に構成されている”が動作状態の構成要素および/または非動作状態の構成要素および/または待機状態の構成要素を一般的に包含し得ることを認識する。

## 【 0 0 5 2 】

本明細書に開示されている種々の実施形態についてのいくつかの考慮すべき事項が、総括を目的として与えられているが、限定として解釈されるべきではない。また、本明細書に開示されているいくつかの実施形態は、以下に述べられている考慮すべき事項のすべての達成を考慮している。一方で、本明細書に開示されているいくつかの他の実施形態は、選択された考慮すべき事項の達成を考慮しており、以下に述べられている考慮すべき事項のすべてに適応する必要はない。以下の説明の一部は、論文(タイトル: Completely Automated Nuclear Power Reactors for Long-Term Operation: III. Enabling Technology For Large-Scale, Low-Risk, Affordable Nuclear Electricity” by Edward Teller, Muriel Ishikawa, Lowell Wood, Roderick Hyde, and John Nuckolls, presented at the July 2003 Workshop of the Aspen Global Change Institute, University of California Lawrence Livermore National Laboratory publication UCRL-JRNL-122708 (2003))から抜粋されている情報を含んでいる(この論文は、Energy, The International Journal, 30 November 2003に対する提出のために作成されたものであり、内容の全体が参照によって本明細書に援用される)。

## 【 0 0 5 3 】

上述のように、核分裂現象に導く核分裂性の核種に吸収される中性子ごとに、2つ以上の中性子が、核分裂性の核種が枯渇するまでに遊離させられる。この現象は、連続的に熱を生成するための工業的な原子炉に、言い換えると発電にとって有利に使用される。

## 【 0 0 5 4 】

しかし、反応炉の設計および動作において考慮すべき事項は、反応炉における一様ではない中性子束、冷却剤の流れ、核燃料の組成、および配電の組合せに起因して生じる“ピーク”温度(すなわち熱水路のピーク係数)に起因する反応炉の構造的な材料に対する熱損傷である。当該熱損傷は、ピーク温度が材料の限界を超えたときに生じる。これは、燃焼度の程度(すなわち核燃料の単位質量ごとに生成されるエネルギーの累積量)と無関係に起こり得る。燃焼度の程度は、重金属核燃料のメートルトンごとの1日のメガワットの単位(MWd/MTHM)、または重金属核燃料のメートルトンごとの1日のギガワットの単位(GWd/MTHM)として一般的に表される。“反応度の変化”(すなわち反応炉の応答性の変化)は、核燃料の燃焼度のために生じ得る。より詳細には、“反応度の変化”は、臨界連鎖反応を持続するための正確な量よりは、中性子を生成する反応炉の相対的な能力に関連している。反応炉の応答性は、反応炉に指数関数的な電力の増加または減少を引き起こさせる反応度の変化の時間の導関数として典型的に特徴付けられ、ここで時定数はリアクトルピリオド(reactor period)として知られている。この点について、中性子の吸収材料から形成されている制御棒が、変化する反応度および反応炉の応答性を調節し、制御するために、典型的に使用されている。そのような制御棒は、中性子吸収、したがって炉心における中性子束のレベルおよび反応度を種々に制御するために原子炉心の内外を往復させられる。中性子束のレベルは、制御棒の近傍において抑制され、制御棒から離れている領域において潜在的により高い。したがって、中性子束は、原子炉心の全体にわたって不均一である。これは、より高い流束のこれらの領域における、より高い核燃料の燃焼度を生じる。また、流束および出力の密度の変化が多くの変因によっていることは、原子力発電の当業者によって正しく理解され得る。制御棒との近接性は、主要な因子であり得るか、またはあり得ない。例えば、流束は、典型的に、制御棒が近接していない炉心の境界において有意に減少する。言い換えると、これらの作用は、より高い流束のこ

10

20

30

40

50

これらの領域における過熱または高温を引き起こし得る。そのようなピーク温度は、そのようなピーク温度にさらされる構造物の運用年数を、当該構造物の機械特性を変化させることによって不適切に低下させる。また、中性子束の密度と核分裂性燃料の濃度との積に比例する反応炉の出力密度は、損傷を受けることなくそのような高温に耐える、炉心の構造的な材料の能力によって制限される。したがって、核燃料の高い燃焼度によって引き起こされる高温に起因する構造的な損傷を回避することが好ましい。

【 0 0 5 5 】

反応炉の設計および動作における他の考慮すべき事項は、高い核燃料の燃焼度に起因する、原子炉心に含まれている構造的な材料に対する放射線損傷である。そのような放射線損傷は、材料の応答に関する情報を含んでいる平均はじき出し回数 (displacement per atoms) (DPA) (すなわちはじき出された原子数)、および材料がさらされている高速中性子のフルエンスについて表され得る。DPAは、燃焼度に比例し、放射線の線量および種類を明らかにするだけでなく、放射線に対する材料の応答の指標を含んでいる、放射線損傷の算出される代表的な指標である。この点について、炉心の構造に使用されるいくつか構造的な材料は、核分裂過程において放射される中性子にさらされているとき、脆化した状態になり得る。反応炉の構造的な完全性および安全な動作を保証するために、反応炉の構造的な材料に対するそのような放射線損傷を、既知の範囲内に維持することが好ましい。

【 0 0 5 6 】

したがって、限定を目的としておらず、例示を目的として、図1を参照すると、これまでに述べられている問題に対処するための核分裂反応炉の配列物(一般的に10を付す)が示されている。核分裂反応炉の配列物10は、複数の送電線(図示せず)を通じて伝送される電力を生成する。反応炉の配列物10は、反応炉の材料に対する中性子束の影響を決定するための試験を実施するために、代替的に使用され得る。

【 0 0 5 7 】

ふたたび図1を参照すると、反応炉の配列物10は、核分裂反応炉(一般的に20を付す)を備えている。当該核分裂反応炉は、一般的な複数の核分裂反応の核燃料アッセンブリ(一般的に30を付す)(図示されているのは1つだけである)を含んでいる。当該核分裂反応の核燃料アッセンブリは、反応炉の压力容器40内に配置されており、言い換えると、封じ込め構造内に収納され得る(図示せず)。例示を目的として、限定を目的としていない、一般的な核燃料アッセンブリ30の例示的な実施形態が以下に述べられている。一般的な核燃料アッセンブリ30は、中性子倍増管もしくは反射体材料(図示せず)、および放射線遮蔽物(図示せず)に囲まれ得る。この場合に、上記反射体材料は核燃料アッセンブリ30からの中性子の漏洩を減少させる。反射体材料のさらなる機能は核燃料アッセンブリの外部(例えば、放射線遮蔽物、構造的な支持部および封じ込め構造)の付近に認められる高速中性子のフルエンスを実質的に減少させることである。また、反射体材料は、一般的な核燃料アッセンブリ30の最外部における増殖作用の効率および特定の出力を向上させるように、一般的な核燃料アッセンブリ30の性能に対して影響する。一方で、上記放射線遮蔽物は、一般的な核燃料アッセンブリ30からの予期せぬ放射線の放出から生物圏をさらに保護する。

【 0 0 5 8 】

図1をさらに参照すると、冷却剤の一次循環路50は、一般的な核燃料アッセンブリ30からの熱を、蒸気を生成する熱交換器60に運ぶ。一次循環路50は、任意の好適な材料(例えば、ステンレス鋼)から形成され得る。したがって、一次循環路50は、必要に応じて、合金鉄、非鉄金属合金、ジルコニウムから形成される合金、または他の構造的な材料もしくは混合物から形成され得る。一次循環路50によって運ばれる冷却剤は希ガスまたはこれらの混合物であり得る。代替的に、冷却剤は、他の流体(例えば、水( $H_2O$ ))、または他の気体もしくは超臨界の二酸化炭素( $CO_2$ )であり得る。他の例として、冷却剤は、液体金属(例えば、ナトリウム(Na)または鉛(Pb))または合金(例えば、鉛-ビスマス(Pb-Bi))であり得る。さらに、冷却剤は、有機物に基づく冷

10

20

30

40

50

却剤（例えば、ポリフェニルまたはフッ化炭素）であり得る。一次循環路50によって運ばれる冷却剤は蒸気を生成する熱交換器60を通過するので、冷却剤は、熱交換器60に存在している動作流体にその熱を与える。動作流体が水である場合、動作流体は水蒸気に気化する。この場合に、水蒸気は二次循環路70に移動する。二次循環路70は、一次循環路50から分離されており、タービン発電機のセット80aおよび80bと連結されている。したがって、熱交換器60は、熱交換器60における動作流体、および二次循環路70に熱を伝えて、タービン発電機のセット80aおよび80bを回転させる動作流体として備えられている水蒸気を生成する。タービン発電機のセット80aおよび80bは、水蒸気に基づく発電の技術において十分に理解されている方法においてその回転にしたがって発電する。凝縮器90は、タービン発電機のセット80aおよび80bからの排気を

10

#### 【0059】

図1をふたたび参照すると、ポンプ100は、凝縮器90から熱交換器60に液化した動作流体を送り込むために、二次循環路70に連結されており、動作流体と流体連絡している。さらに、ポンプ110は、一次循環路50を通る反応炉の冷却剤を送り出すために、一次循環路50と連結されており、一次循環路50によって運ばれる反応との冷却剤と流体連絡している。一次循環路50は、一般的な核燃料アッセンブリから熱交換器60まで反応炉の冷却剤を運ぶ。また、一次循環路50は、熱交換器60から圧力容器40まで冷却剤を運ぶ。ポンプ110は、反応炉の運転中に核燃料アッセンブリ30によって生成された熱を除去するためにか、または反応炉20が運転されていないときの残りの崩壊熱を除去するために、一般的な核燃料アッセンブリおよび熱交換器60を含んでいる、一次循環路50を通して反応炉の冷却剤を循環させる。一般的な核燃料アッセンブリ30からの熱の除去は、一般的な核燃料アッセンブリ30が、所望されないほどの高温に過熱される危険性を低下させる。

20

#### 【0060】

ここで図2および3を参照すると、一般的な核燃料アッセンブリ30は高速中性子のスペクトルを好適に利用している。これは、熱中性子に対する熱外中性子についての核分裂生成物の高い吸収断面積が、核分裂生成物による中性子吸収のために、ウランを燃料にする実施形態において、少量を超えたトリウム<sup>238</sup>の利用、またはより大量のウランの同位体U<sup>238</sup>の利用を許容しないためである。

30

#### 【0061】

図2に最もよく表されているように、Th<sup>232</sup>を燃料とする実施形態にとって興味深い、中性子によって進行する優勢な核反応についての断面積が、 $10^{-3} \sim 10^7$ の中性子エネルギーにわたってプロットされている。核分裂生成物の核種における輻射性捕獲のための損失は、熱中性子の近傍（およそ0.1 eV）における中性子経済に顕著であるが、共鳴吸収領域（およそ3 ~ 300 eVの間）を超えると比較的無視し得る。したがって、核分裂性同位体に転換可能な物質に対する核分裂性の物質の割合の高い増殖炉を実現することを試みる場合、高速中性子の範囲をとまなう運転は、運転中の炉心内に蓄積する核分裂生成物のための中性子の損失を防止する補助となり得る。示されている核分裂生成物に関する輻射性捕獲の断面積は、高速中性子によって引き起こされる核分裂から生じ、続く崩壊を無視し得る程度まで受ける中間体核種Zについての断面積である。一般的な核燃料アッセンブリ30の実施形態の燃焼波の中央部分における核種は、いくらかの崩壊を受け、したがって中性子とのやや高い結合性を有している。しかし、パラメータに関する研究によって、炉心における核燃料の燃焼の結果は、そのような崩壊の正確な程度に対して非感受性であり得ることが示されている。

40

#### 【0062】

図3において、Th<sup>232</sup>を燃料とする実施形態にとって主に関心のある中性子によって進行する優勢な核反応についての断面積が、中性子のエネルギー範囲のうち最も興味深い部分（ $10^4 \sim 10^6 \cdot 5$  eV）にわたって、図3の上部にプロットされている。一般的

50

な核燃料アッセンブリ30の実施形態の中性子スペクトルは、 $10^5$  eV以上の中性子エネルギーのスペクトルにおいてピークを有している。図3の下部は、これらの断面積と $\text{Th}^{232}$ に関する中性子の放射性捕獲（核分裂性同位体に転換可能な物質に対する核分裂性の物質の増殖段階（生成する $\text{Th}^{233}$ が速やかに $\text{Pa}^{233}$ に崩壊し、それから相対的に緩やかに $\text{U}^{233}$ に崩壊し、同様に $\text{U}^{238}$ による中性子捕獲によって $\text{U}^{239}$ - $\text{Np}^{239}$ - $\text{Pu}^{239}$ の連鎖崩壊が生じる））についての断面積に対する中性子エネルギーの比率を含んでいる。したがって、核分裂生成物における放射性捕獲のための損失は、高速のスペクトルを有している反応炉について比較的に最小化されることが理解され得る。

#### 【0063】

次に図4および5を参照すると、一般的な核燃料アッセンブリ30は、核分裂性の材料および/または核分裂性同位体に転換可能な材料を含んでいる。これらの材料は、所定の反応炉の燃料棒の装填パターンに配列されている複数の細長い核分裂反応炉の燃料棒150（いくつかのみが示されている）の形態をとり得る。一般的な核燃料アッセンブリ30の例示的な実施形態が以下に開示されている。燃料棒150は、漏出に関して嚴重なエンクロージャ155に密閉して収納されている。各燃料棒150は、それらに配置されている核燃料160を有しており、核燃料160は、燃料棒の被覆材料170によって密閉して囲まれている。核燃料アッセンブリにとっての平均的な燃焼度値は被覆材料170によって制限されており、被覆材料170は核燃料アッセンブリ内の最も有用な構造的な材料である。核燃料160は、上述のような核分裂性核種（例えば、ウラン-235、ウラン-233またはプルトニウム-239）を含んでいる。核燃料160は、核分裂過程において直前に記載した核種に変わる、核分裂性同位体に転換可能な核種（例えば、トリウム-232および/またはウラン-238）を代替的に含み得る。さらなる代替物は、核燃料160が核分裂性核種および核分裂性同位体に転換可能な核種の所定の混合物を含み得るものである。限定を目的とせず、例示を目的として、核燃料160は、一酸化ウラン（ $\text{UO}$ ）、二酸化ウラン（ $\text{UO}_2$ ）、二酸化トリウム（ $\text{ThO}_2$ ）（酸化トリウムとも呼ばれる）、三酸化ウラン（ $\text{UO}_3$ ）、酸化ウラン-酸化プルトニウム（ $\text{UO}-\text{PuO}$ ）、八酸化三ウラン（ $\text{U}_3\text{O}_8$ ）およびこれらの混合物から必須になる群から選択される酸化物に基づいて形成され得る。代替的に、核燃料160は、他の金属（例えば、これらに限定されないが、合金または非合金のジルコニウムまたはトリウムの金属）と合金化されたウランを実質的に含み得る。さらなる代替物として、核燃料160は、ウランの炭化物（ $\text{UC}_x$ ）またはトリウムの炭化物（ $\text{ThC}_x$ ）を実質的に含み得る。例えば、核燃料160は、一炭化ウラン（ $\text{UC}$ ）、二炭化ウラン（ $\text{UC}_2$ ）、三炭化二ウラン（ $\text{U}_2\text{C}_3$ ）、二炭化トリウム（ $\text{ThC}_2$ ）、一炭化トリウム（ $\text{ThC}$ ）、およびこれらの混合物から必須になる群から選択される炭化物に基づいて形成され得る。非限定的な他の例として、核燃料160は、窒化ウラン（ $\text{U}_3\text{N}_2$ ）、窒化ウラン-窒化ジルコニウム（ $\text{U}_3\text{N}_2\text{Zr}_3\text{N}_4$ ）、窒化ウラン-プルトニウム（ $(\text{U}-\text{Pu})\text{N}$ ）、窒化トリウム（ $\text{ThN}$ ）、ウラン-ジルコニウム合金（ $\text{UZr}$ ）およびこれらの混合物から必須になる群から選択される窒化物に基づいて形成され得る。核燃料160を密閉して取り囲んでいる燃料棒の被覆材料170は、腐食および割れに対する公知の耐性を有している好適なジルコニウム合金（例えば、ZIRCOLOY（登録商標）（Westinghouse Electric Corporationの登録商標））であり得る。被覆材料170は、同様に他の材料（例えば、フェライトマルテンサイト鋼）であり得る。

#### 【0064】

図4および6を参照すると、一般的な核燃料アッセンブリ30は、中性子吸収体材料をさらに含んでいる。中性子吸収体材料は、複数の細長い中性子吸収体、または対応する制御棒の被覆190とともに制御棒180（いくつかのみが示されている）の形態をとり得る。制御棒180は、一般的な核燃料アッセンブリ30に負の作用を導入可能である。制御棒180は、“部分的な長さの”制御棒192（いくつかのみが示されている）および/または“全長の”制御棒194（いくつかのみが示されている）の形態であり得る。全

10

20

30

40

50

長の制御棒 194 は、燃料棒 150 に対して平行に、好適に配置されており、エンクロージャ 155 に完全に挿入されているとき、燃料棒 150 の全体の長さまで伸びている。また、部分的な長さの制御棒 192 は、燃料棒 150 に対して平行に、好適に配置されており、エンクロージャ 155 に完全に挿入されているとき、燃料棒 150 の全体の長さまで伸びていない。核燃料アッセンブリ 30 についての設計の要求を決定する中性子束に応じて、そのような部分的な長さの制御棒および全長の制御棒が任意の数だけ存在し得る。全長の制御棒 192 の目的は、例えば反応炉の配列物 10 の廃炉前に、一般的な核燃料アッセンブリ 30 内に生じている核分裂過程を低減させること、または停止させることである。さらに、制御棒および/または燃料棒の構成は、直前に述べられている標準的な棒のアッセンブリの構成に基づき得る。例えば、板状の燃料が使用され得る。さらに、燃料棒は燃焼の方向に対して直交（または任意の他の角度を有）し得る。

10

#### 【0065】

図 4 および 6 をさらに参照すると、各制御棒 180 は、許容範囲において高い中性子捕獲断面積を有している好適な中性子吸収体材料 200 を含んでいる。この点について、吸収体材料 200 は、リチウム、銀、インジウム、カドミウム、ホウ素、コバルト、ハフニウム、ジスプロシウム、ガドリニウム、サマリニウム、エルビウム、ユーロピウムおよびこれらの混合物から必須に選択される群から選択される金属または半金属であり得る。代替的に、吸収体材料 200 は、銀 - インジウム - カドミウム合金、炭化ホウ素、二炭化ジルコニウム、二炭化チタン、二炭化ハフニウム、チタン酸ガドリニウム、チタン酸ジスプロシウム、およびこれらの混合物から必須になる群から選択される化合物または合金であり得る。さらに、高い核分裂生成物の濃度を有しており、燃焼している燃料棒は、制御棒の一部として使用され得る。限定を目的とせず、例示のみを目的として、例えば、そのような各制御棒 180 は、例えば一般的な核燃料アッセンブリ 30 の製造中に、一般的な核燃料アッセンブリ 30 の内部にあらかじめ固定された複数の制御棒の注入管（図示せず）の 1 つのそれぞれの内部を垂直にスライドして移動可能である。部分的な長さの制御棒 194 の目的は、一般的な核燃料アッセンブリ 30 内の燃料のより正確な燃焼度をもたらすように、一般的な核燃料アッセンブリ 30 内の中性子束を精密に調節することである。

20

#### 【0066】

ふたたび図 4 および 6 を参照すると、制御棒 180 は、例えば制御部（図示せず）によって制御されている複数の駆動モータ 210 の 1 つによって、選択的に動作可能である。各駆動モータ 210 は、電力がモータ 210 に供給されているときに、それぞれの制御棒 180 と連動し、電力がモータ 210 に供給されていないとき（例えば、入射電力の損失時）に、好適に制御棒 180 を解放する。したがって、入射電力の損失が生じている場合、モータ 210 は、制御棒 180 が重力にしたがって上述の注入管にそって一般的な核燃料アッセンブリ 30 内へ垂直にスライドして降下するように、制御棒 180 を解放する。このようにして、制御棒 180 は一般的な核燃料アッセンブリ 30 に対して負の反応度を制御可能に与える。したがって、一般的な核燃料アッセンブリ 30 は、反応炉の運転者による制御または介入なしに、制御棒 180 によって入射電力の損失時に反応度を管理する能力を備えている。

30

#### 【0067】

図 7 を参照すると、一般的な核燃料アッセンブリ 30 は、中性子増幅体または中性子反射体をさらに備え得る。中性子反射体は、反射体棒の被覆 230 に密閉して囲まれている、複数の細長い中性子反射体棒 220 の形態をとり得る。反射体棒 220 は、中性子の弾性散乱を生じ、したがって中性子を“反射する”ことを目的としている。中性子のそのような弾性散乱に起因して、反射体棒 220 は、一般的な核燃料アッセンブリ 30 からの中性子の漏出を低減させることによって、核燃料アッセンブリ 30 に正の反応度をもたらし得る。この点について、各反射体棒 220 は、中性子散乱にとって好適な可能性を有している好適な中性子の反射体材料 240 を含んでいる。この点について、反射体材料 240 は、ベリリウム（Be）、鉛合金、タンゲステン（W）、バナジウム（V）、劣化ウラン（U）、トリウム（Th）、およびこれらの混合物から必須になる群から選択される材料

40

50

であり得る。また、反射体材料 240 は広範な鋼合金から選択され得る。一般的な核燃料アッセンブリ 30 における使用について考慮される核分裂性材料および核分裂性同位体に転換可能な材料はまた、高い弾性散乱表面積を有していることが、適切に理解されるべきである。

#### 【0068】

図 4 に戻って、一般的な核燃料アッセンブリ 39 は、比較的小さく、取り外し可能な核分裂の点火装置 245 を備えている。点火装置 245 は、垂直軸 247a に沿ってエンクロージャ 155 の中心に適切に配置されている、中程度に濃縮されている同位体の核分裂性材料（例えば、これらに限定されないが、 $U^{233}$ 、 $U^{235}$  または  $Pu^{239}$ ）を含んでいる。点火装置 245 は、必要に応じて、エンクロージャ 155 の中心よりむしろ、エンクロージャ 155 の端部に配置され得る。中性子は点火装置 245 によって放出される。点火装置 245 によって放出される中性子は、燃料棒 150 内の核分裂性材料および/または核分裂性同位体に転換可能な材料によって捕獲されて、上述の核分裂連鎖反応を起こす。点火装置 245 は、連鎖反応が自立的に継続する状態にいったんなると、除去され得る。

10

#### 【0069】

本明細書における教示は進行波核分裂反応炉について説明していることが理解される。そのような進行波核分裂反応炉の基本的な原理は、同時係属中の米国特許出願第 11/605,943 号（出願日 2006 年 11 月 28 日；、発明者：Roderick A. Hyde, et al.、発明の名称：Automated Nuclear Power Reactor For Long-Term Operation）においてより詳細に開示されている。当該出願は、本願と同一の譲受人に譲渡されており、当該出願の開示の全体が参照によって本明細書に援用される。

20

#### 【0070】

図 4、8 および 9 を参照すると、例示的な第 1 の実施形態である核分裂反応炉の核燃料アッセンブリ（一般的に 250 を付す）が示されている。例示的な第 1 の実施系チアの核燃料アッセンブリ 250 は、第 1 の実施形態の核燃料アッセンブリ 250 における中性子束のレベル（すなわち中性子の集団）を生じさせ、当該レベルを調節するための、第 1 の装填パターン（一般的に 260 を付す）を備えている。点火装置 245 による中性子の点火後の時点（例えば、点火から 7.5 年）に予定される瞬間における第 1 の装填パターン 260 が示されている。“調節する”という用語は、時間、空間および/またはエネルギーに応じて中性子束のレベルを修正するか、または変化させることを意味すると、本明細書において規定される。中性子束のレベルを調節することによって、第 1 の実施形態の核燃料アッセンブリ 250 における反応度が管理される。このようにして、反応炉のある領域における材料の組成が変更される。これは、有効な中性子増倍率  $k_{eff}$  のレベルの変化、言い換えると流束の変化（調節）を生じる。概略的に上述し、ここで詳述するように、第 1 の装填パターン 260 は、第 1 の実施形態の核燃料アッセンブリ 250 に過剰な反応度をもたらす爆燃波または“燃焼前面”を生成する。過剰な反応度は種々の原因のためにもたらされる。原因の 1 つはより多くの燃料が、燃焼するのではなく、増殖されることである。第 1 の装填パターン 260 は、燃焼前面 270 の後方（すなわち点火装置 245 および燃焼前面 270 の間にある空間）におけるこの過剰な反応度を十分に平衡化し、燃焼前面 270 の前方の周辺における増殖作用を可能にする。

30

40

#### 【0071】

図 10 を参照すると、第 1 の装填パターン 260 に対応する第 1 の制御機能（一般的に 275 を付す）は、点火装置 245 からの距離に応じた第 1 の実施形態の核燃料アッセンブリ 250 における制御棒の挿入量を含んでいるグラフ形状として示されている。図 10 からわかるように、y 軸は挿入されている制御棒の量である（値は、燃焼前面 270 の後方において 100% であり、燃焼前面の前方において 0% である）。x 軸は、メートルを単位として示されている点火装置 245 からの距離である。図 10 に示されている例示的な実施形態において、x 軸はおよそ 4 メートルの長さを有している。しかし、この距離は任意の好適な距離（例えば、4 メートル）であり得る。この特定の例は“一部の”場合を

50

示している。例えば、燃焼前面 270 がある距離 “x” 進行すると、ある制御棒が完全に挿入される。燃焼前面 270 がそれから他の距離 “x” 進行すると、他の制御棒が挿入される。示されている階段状の制御機能は “2 値” の場合である。実際には、反応炉の運転者は、階段状の制御から逸脱し得る。例えば、燃焼前面 270 に最も近い制御棒は、部分的であるか、または 50% であり得る。第 1 の制御機能 275 は、後述するように、監視システムによって認められた変化に応じたレベルに中性子束を調節する。適切に理解され得る通り、十分に安定した状態の爆燃波の燃焼前面 270 の伝播は、燃焼前面 270 の十分に後方にある制御材料の階段状の種類の種類配置によってもたらされる。一例として、反応速度は、燃焼前面 270 の前方において所望されるレベルを下回るべきであり、制御機能の応答は、核分裂の速度が上昇するように燃焼前面 270 の後方における吸収体を除去すること、または再配置することである。中性子束のレベルが得られ、ふたたび所望の状態を保つために制御機能が再調節される。また、燃焼領域の核分裂速度が低下されるように、最も近い階段状に機能する吸収体を燃焼前面 270 の前方に移動させることによって、出力が低下させられ得る。事故の状況において、燃焼波領域の全体に吸収体を十分に配置することによって階段状の機能の構成から逸脱することが考えられる。

10

#### 【0072】

図 8、9 および 10 を参照して、第 1 の装填パターン 260 は、図示されているように、水平軸 247b を中心にして、燃焼前面 270 の後方に配置されている制御棒 192 / 194 を含んでいる。第 1 の装填パターン 260 は、2 つの群になって配置されている燃料棒をさらに含んでいる。第 1 の群の燃料棒 280 は、核分裂性の材料を含んでおり（本明細書において “燃焼領域” と呼ぶ）、以下に記載するように、軸 247b を中心にして燃焼前面 270 の後方において所定の第 1 の群の燃料棒のパターンに配置されている。燃焼領域は、核分裂性の材料に増殖された当該材料をある割合において有している、主に核分裂性同位体に転換可能な材料である。第 2 の群の燃料棒 290 は、核分裂性同位体に転換可能な材料を含んでおり、図示されているように、水平軸 247b を中心にして、燃焼前面 270 の前方において所定の第 2 の群の燃料棒のパターンに配置されている。“燃焼前面 270 の前方において” という用語は、伝播する燃焼前面 270 およびエンクロージャ 155 の端部の間にある空間を意味すると規定される。“燃焼前面 270 の後方において” という用語は、点火装置 245 および燃焼前面 270 の間にある空間を意味すると規定される。

20

30

#### 【0073】

図 8、9 および 10 をさらに参照して、点火装置 245 がその中性子を放出して “点火” を引き起こすとき、限定を目的とせず、例示を目的として、2 つの燃焼前面 270 が、反対向きに伝播する波の対を形成するように、エンクロージャ 155 の両端に向かって点火装置 245 から外側へ放射状に進行する。これが生じると、燃焼前面 270 は、燃焼前面 270 が点火装置 245 から伝播するにしたがって第 1 の実施形態の核燃料アセンブリ 250 に過剰な反応度をもたらす、実質的に劣化している核分裂性の燃料である第 1 の群の燃料棒 280 に過剰な反応度をもたらす。これは燃焼前面 270 の後方におけるいくらかの過剰な反応度を残す傾向にある。この結果は以下の理由から望ましくない。過剰な反応度が、有意な燃焼がすでに生じている燃焼前面 270 の後方にある領域における核燃料アセンブリの構造的な材料が受ける増大した中性子のフルエンスを引き起こすためである。

40

#### 【0074】

図 8、9 および 10 をふたたび参照して、燃焼前面 270 の後方にある第 1 の群の燃料棒 280 によって生成される中性子束は、第 2 の群の燃料棒 290 における核分裂性同位体に転換可能な燃料材料を、燃焼前面の前縁において核分裂性の燃料材料に変化させることによって、燃焼前面 270 の前方にある第 2 の群の燃料棒 290 における核分裂性の材料を増幅することが理解されるべきである。第 2 の群の燃料棒 290 における核分裂性同位体に転換可能な燃料材料の、核分裂性の燃料材料への、燃焼前面の前縁における変化は、矢印 295 の方向に燃焼前面 270 を進行させる。燃焼前面 270 が所定の量の燃料に

50

わたって広がるにしたがって、中性子が核分裂性同位体に転換可能な核種における放射線捕獲を受け続ける限り、核分裂性同位体は継続的に生成される。核分裂性同位体が生成される速度は、反応炉内の所定の時間および位置に関して、寄生捕獲および核分裂に起因して核分裂性同位体の消費速度を上回り得る。さらに、核分裂性同位体に転換可能な材料における中性子の捕獲は、所定の半減期をともなって核分裂性の材料に崩壊する中間同位体を導く。したがって、ある伝播速度を波が有しているので、中間同位体のいくらかの量の崩壊は燃焼前面 270 の後方において生じる。これらの作用の組合せによって、燃焼前面 270 の後方に留まり、当該後方において生成されるさらなる反応度を生じる。

#### 【0075】

したがって、図 8、9 および 10 に示されるように、燃焼前面 270 が調節されて、種々の核分裂燃料の燃焼度を可能にする。この種の制御の構成において、伝播速度は、一定のレベルにおける出力の維持を許容可能なほどに燃焼前面 270 から離れている吸収体を維持することによって上昇させられる。燃焼前面 270 の後方にある吸収体材料の偏りは、燃焼前面 270 およびその前方における増殖に利用可能な中性子の量を低下させることなく、燃焼前面 270 内の過剰な反応度の構築を妨げる。したがって、第 1 の実施形態の核燃料アッセンブリ 250 における燃焼前面 270 を伝播させるために、上述のように燃焼前面 270 は、点火装置 245 によって生成され、それから伝播可能になる。一実施形態において、能動的に制御可能な制御棒 192 / 194 は、中性子吸収体（例えば、これらに限定されないが、Li6、B10 または Gd）を、燃焼前面 270 の後方にある第 1 の群の燃料棒 280 に挿入する。中性子吸収体のそのような挿入は、燃焼前面 270 の前方にある第 2 の群の燃料棒 290 の中性子反応度に対して、燃焼前面 270 によって現在、燃焼されている第 1 の群の燃料棒 280 の中性子反応度を下げるか、またはより低くし、矢印 295 によって示されている伝播方向の波を生じさせる。このような反応度の制御は、燃焼前面 270 の伝播速度を上昇させ、したがって伝播に必要な最小値、および上述の構造的な制限によって部分的に設定されるより高い値を超える燃焼度を制御するための手段をもたらす。

#### 【0076】

図 11 を参照すると、例示的な第 2 の実施形態の核分裂反応炉の核燃料アッセンブリ（一般的に 300 を付す）が示されている。例示的な第 2 の実施形態の核燃料アッセンブリ 300 は、第 2 の実施形態の核燃料アッセンブリ 300 における中性子束のレベルを調節するための、第 2 の装填パターン（一般的に 310 を付す）を含んでいる。点火装置 245 による中性子の点火後の時点（例えば、点火から 7.5 年）に予定される瞬間における第 2 の装填パターン 310 が示されている。中性子束のレベルを調節することによって、第 2 の実施形態の核燃料アッセンブリ 300 における反応度が管理される。ここで詳述するように、第 2 の装填パターン 310 は、第 2 の実施形態の核燃料アッセンブリ 300 に過剰な反応度をもたらす爆燃波または“燃焼前面”を生成する。第 2 の装填パターン 310 は、燃焼前面 270 の前方におけるこの過剰な反応度を十分に平衡化し、核燃料アッセンブリが受ける中性子束を減少させる。制御棒 192 / 194 は、燃焼前面 270 の前方における第 2 の群の燃料棒 290 に中性子吸収体を挿入し、これによって、燃焼前面 270 の伝播を減速させる。この場合に、燃焼前面 270 の左にある燃料は、燃焼前面の伝播にしたがって発電可能である。そのような制御方法は全体の核燃料アッセンブリ 300 の点火を導き得ることが理解され得る。

#### 【0077】

図 12 を参照すると、第 2 の装填パターン 310 と対応する第 2 の制御機能（一般的に 320 を付す）は、点火装置 245 からの距離に応じた第 2 の実施形態の核燃料アッセンブリ 300 における制御棒の挿入量を含んでいるグラフ形状として示されている。第 2 の制御機能 320 は、以下に記載されているように、監視システムによって観察された変化に応じたレベルに中性子束を調節する。したがって、本実施形態における十分に安定した状態の爆燃波の燃焼前面 270 の伝播は、図示されているような階段状の機能の分布の種類によってもたらされており、制御棒 192 / 194 の除去速度に部分的に依存している

## 【 0 0 7 8 】

図 1 3 を参照すると、第 3 の例示的な実施形態の核分裂反応炉の核燃料アッセンブリ（一般的に 3 3 0 を付す）が示されている。例示的な第 3 の実施形態の核燃料アッセンブリ 3 3 0 は、第 3 の実施形態の核燃料アッセンブリ 3 3 0 における中性子束のレベルを調節するための、第 3 の装填パターン（一般的に 3 4 0 を付す）を含んでいる。点火装置 2 4 5 による中性子の点火後の時点（例えば、点火から 7 . 5 年）に予定される瞬間における第 3 の装填パターン 3 4 0 が示されている。中性子束のレベルを調節することによって、第 3 の実施形態の核燃料アッセンブリ 3 3 0 における反応度が管理される。ここで詳述するように、第 3 の装填パターン 3 4 0 は、第 3 の実施形態の核燃料アッセンブリ 3 3 0 に過剰な反応度をもたらす爆燃波の燃焼前面 2 7 0 を生成する。第 3 の装填パターン 3 4 0 は、燃焼前面 2 7 0 の内部またはその側面における第 1 の群の燃料棒 2 8 0 に中性子吸収体を挿入する制御棒 1 9 2 / 1 9 4 を介して、燃焼前面 2 7 0 の近傍（すなわち燃焼前面 2 7 0 の内部またはこれと隣接する空間）におけるこの過剰な反応度を十分に平衡化する。燃焼前面の境界またはその近傍における過剰な反応度の構築および / または利用を可能にすることによって、燃焼前面 2 7 0 の有効な大きさおよび速度が調節され得る。

10

## 【 0 0 7 9 】

図 1 4 を参照すると、第 3 の装填パターンと対応する第 3 の制御機能（一般的に 3 5 0 を付す）が、点火装置 2 4 5 からの距離に応じた第 3 の実施形態の核燃料アッセンブリ 3 0 0 における制御棒の挿入量を含んでいるグラフ形状として示されている。第 3 の制御機能 3 5 0 は、以下に記載されているように、監視システムによって観察された変化に応じたレベルに中性子束を調節する。安定した状態の爆燃波の燃焼前面 2 7 0 の伝播は、図示するように連続的な機能の分布の種類によってもたらされる。

20

## 【 0 0 8 0 】

図 1 5 を参照すると、例示的な第 4 の実施形態の核分裂反応炉の核燃料アッセンブリ（一般的に 3 6 0 を付す）が示されている。例示的な第 4 の実施形態の核燃料アッセンブリ 3 6 0 は、第 4 の実施形態の核燃料アッセンブリ 3 6 0 における中性子束のレベルを調節するための、第 4 の装填パターン（一般的に 3 7 0 を付す）を含んでいる。点火装置 2 4 5 による中性子の点火後の時点（例えば、点火から 7 . 5 年）に予定される瞬間における第 4 の装填パターン 3 7 0 が示されている。中性子束のレベルを調節することによって、第 4 の実施形態の核燃料アッセンブリ 3 6 0 における反応度が管理される。ここで詳述するように、第 4 の装填パターン 3 7 0 は、第 4 の実施形態の核燃料アッセンブリ 3 7 0 に過剰な反応度をもたらす爆燃波の燃焼前面 2 7 0 を生成する。第 4 の装填パターン 3 7 0 は、制御棒 1 9 2 / 1 9 4 の使用を介して、燃焼前面 3 7 0 の後方および前方におけるこの過剰な反応度を十分に平衡化する。これによって、装填パターン 3 7 0 は、波の大きさ、伝播特性、ならびにしたがって燃焼度およびフルエンスを制御するさらなる手段を与える。代替的に、燃焼前面 2 7 0 は、核分裂性の材料をそれらにおいて有している制御棒 1 9 2 / 1 9 4 によって“前面において”促進され得る。

30

## 【 0 0 8 1 】

図 1 6 を参照すると、第 4 の装填パターン 3 7 0 と対応する第 4 の制御機能（一般的に 3 8 0 を付す）が、点火装置 2 4 5 からの距離に応じた第 4 の実施形態の核燃料アッセンブリ 3 6 0 における制御棒の挿入量を含んでいるグラフ形状として示されている。第 4 の制御機能 3 8 0 は、以下に記載されているように、監視システムによって観察された変化に応じたレベルに中性子束を調節する。安定した状態の爆燃波の燃焼前面 2 7 0 の伝播は、図示されているような機能の分布の種類によってもたらされている。

40

## 【 0 0 8 2 】

図 1 7 を参照すると、例示的な第 5 の実施形態の核分裂反応炉の核燃料アッセンブリ（一般的に 3 9 0 を付す）が示されている。例示的な第 5 の実施形態の核燃料アッセンブリ 3 9 0 は、第 5 の実施形態の核燃料アッセンブリ 3 9 0 における中性子束のレベルを調節するための、第 5 の装填パターン（一般的に 4 0 0 を付す）を含んでいる。第 5 の装填パ

50

ターン400は、燃料棒150および制御棒192/194に加えて、反射体棒220を含んでいる。図面からわかるように、非限定的な例示を目的として、吸収体の列の後ろにある反射体の列をともなっている吸収体の列のパターンである。代替的に、反射体の列は、吸収体の列の前に配置され得る。反射体は、吸収体の列（および燃焼前面270）に向かって漏出した中性子の一部を戻して、吸収体の必要性を低下させ、燃焼/増殖領域により多くの中性を生じさせる。点火装置245による中性子の点火後の時点（例えば、点火から7.5年）に予定される瞬間における第5の装填パターン400が示されている。中性子束のレベルを調節することによって、第5の実施形態の核燃料アッセンブリ390における反応度が管理される。ここで詳述するように、第5の装填パターン400は、第5の実施形態の核燃料アッセンブリ390に過剰な反応度をもたらす爆燃波の燃焼前面270を生成する。第5の装填パターン400は、燃焼前面370の後方にあるこの過剰な反応度を平衡化し、燃焼前面の後方にある核燃料アッセンブリ材料が受ける、相対的に高い燃焼度の結果として中性子のフルエンスを低下させる。制御棒192/194および反射体棒220は、燃焼前面270の後方にある第1の群の燃料棒280における中性子束を調節し、したがって、燃焼前面270の有効な大きさおよび伝播の特性を変化させる。

10

#### 【0083】

図18を参照すると、第5の装填パターン400と対応する第5の制御機能（一般的に410を付す）が、点火装置245からの距離に応じた第5の実施形態の核燃料アッセンブリ390における制御棒の挿入量を含んでいるグラフ形状として示されている。第5の制御機能410は、以下に記載されているように、監視システムによって観察された変化に応じたレベルに中性子束を調節する。安定した状態の爆燃波の燃焼前面270の伝播は、図示されているような機能の分布の種類によってもたらされている。安定した状態の爆燃波の燃焼前面270の伝播は、図示されているように、階段状の機能の分布の種類によってもたらされている。図10および11に示されている実施形態と同様に、そして上述のように、この種の分布は、燃焼前面の伝播速度の上昇をもたらし、達成すべき燃焼度の低下を可能にする。

20

#### 【0084】

図19を参照すると、例示的な第6の実施形態の核分裂反応炉の核燃料アッセンブリ（一般的に420を付す）が示されている。例示的な第6の実施形態の核燃料アッセンブリ420は、第6の実施形態の核燃料アッセンブリ420における中性子束のレベルを調節するための、第6の装填パターン（一般的に430を付す）を含んでいる。点火装置245による中性子の点火後の時点（例えば、点火から7.5年）に予定される瞬間における第6の装填パターン420が示されている。中性子束のレベルを調節することによって、第6の実施形態の核燃料アッセンブリ420における反応度が管理される。ここで詳述するように、第6の装填パターン430は、第6の実施形態の核燃料アッセンブリ420に過剰な反応度をもたらす爆燃波の燃焼前面270を生成する。第6の装填パターン430は、燃焼前面270の後方および前方におけるこの過剰な反応度を十分に平衡化し、核燃料アッセンブリの材料が受ける、比較的に高い燃焼度の結果として中性子のフルエンスを低下させる。制御棒192/194は、燃焼前面270の後方および前方における第1の群の燃料棒280に中性子吸収体を挿入し、これによって燃焼前面270の有効な大きさを変化させる。吸収体材料の近くには他の材料が存在し得ることが適切に理解され得る。

30

40

#### 【0085】

図20を参照すると、第6の装填パターン430と対応する第6の制御機能（一般的に440を付す）が、点火装置245からの距離に応じた第6の実施形態の核燃料アッセンブリ420における制御棒の挿入量を含んでいるグラフ形状として示されている。第6の制御機能440は、以下に記載されているように、監視システムによって観察された変化に応じたレベルに中性子束を調節する。安定した状態の爆燃波の燃焼前面270の向上した伝播は、図示されているような連続的な機能の分布の種類によってもたらされている。

50

## 【 0 0 8 6 】

図 2 0 を参照すると、例示的な第 7 の実施形態の核分裂反応炉の核燃料アッセンブリ（一般的に 4 5 0 を付す）が示されている。例示的な第 7 の実施形態の核燃料アッセンブリ 4 5 0 は、第 7 の実施形態の核燃料アッセンブリ 4 5 0 における中性子束のレベルを調節するための、第 6 の装填パターン（一般的に 4 6 0 を付す）を含んでいる。点火装置 2 4 5 による中性子の点火後の時点（例えば、点火から 7 . 5 年）に予定される瞬間における第 7 の装填パターン 4 5 0 が示されている。燃料棒 2 9 0 はすでに燃焼され得ることが留意されるべきである。中性子束のレベルを調節することによって、第 7 の実施形態の核燃料アッセンブリ 4 5 0 における反応度が管理される。ここで詳述するように、第 7 の装填パターン 4 6 0 は、第 7 の実施形態の核燃料アッセンブリ 4 5 0 に過剰な反応度をもたらす爆燃波の燃焼前面 2 7 0 を生成する。第 7 の装填パターン 4 6 0 は、燃焼前面 3 7 0 の後方におけるこの過剰な反応度を十分に平衡化し、核燃料アッセンブリの材料が受ける、比較的に高い燃焼度の結果として中性子のフルエンスを低下させる。燃焼前面 2 7 0 の前方において制御の階段状の機能を適切に配置し、燃焼前面 2 7 0 の後方における制御反応を調節することによって、燃焼前面 2 7 0 の方向を逆転させ、あらかじめ燃焼されている棒 2 9 0 を介した波の伝播が実現され得る。制御棒 1 9 2 / 1 9 4 は、ここでは燃焼前面 2 7 0 の後方に配置されている第 1 の群の燃料棒 2 8 0 に中性子吸収体を挿入し、これによって燃焼前面 2 7 0 の有効な大きさを変化させる。

10

## 【 0 0 8 7 】

図 2 2 を参照すると、第 7 の装填パターン 4 6 0 と対応する第 7 の制御機能（一般的に 4 7 0 を付す）が、点火装置 2 4 5 からの距離に応じた第 7 の実施形態の核燃料アッセンブリ 4 5 0 における制御棒の挿入量を含んでいるグラフ形状として示されている。第 7 の制御機能 4 7 0 は、以下に記載されているように、監視システムによって観察された変化に応じたレベルに中性子束を調節する。安定した状態の爆燃波の燃焼前面 2 7 0 の向上した伝播は、図示されているような階段状の機能の分布の種類によってもたらされている。

20

## 【 0 0 8 8 】

燃焼前面 2 7 0 は、監視システムによって監視される選択された伝播パラメータにしたがって、必要に応じて方向付けられることが、以下の教示から理解され得る。例えば、伝播パラメータとしては、燃焼前面 2 7 0 の伝播方向もしくは伝播位置、燃焼前面 2 7 0 の伝播速度、出力要求パラメータ（例えば、熱生成密度）、または燃焼前面 2 7 0 が進行すべき燃焼領域の断面積（例えば、燃焼前面 2 7 0 の伝播の軸に対する燃焼領域の軸方向または側方の面積）などが挙げられ得る。他の例として、伝播パラメータは、予測される制御要素（例えば、中性子を調節する構造または恒温装置）の機能停止もしくは誤動作、または燃料棒の機能停止もしくは誤動作を回避するために、燃焼前面 2 7 0 の空間的または時間的な位置、プロファイルおよび分布を制御するように選択され得る。燃料棒の機能停止または誤動作は、冷却剤の経路における流れの閉塞によって生じる熱点の膨張または被覆に起因し得る。他の例として、裂けて損傷した任意の燃料棒は、製造中の燃料棒の内部に配置されたトレーサの同位体を検出することによってもたらされるフィードバックによって検出され得る。さらなる例として、伝播パラメータは、線検出器もしくは“ガイガーカウンタ”による線の検出によるアクチニドの監視または検出か、またはガスモニタによるアクチニドの監視または検出に基づいて選択され得る。他の例として、伝播パラメータは、中性子束に応じた“切り取り試片（coupon）”からのデータの監視に基づいて選択され得る。さらなる他の例として、伝播パラメータは、熱電対を介した局所的な温度、および中性子検出器を介した局所的な流束の測定に基づいて選択され得る。

30

40

## 【 0 0 8 9 】

図 2 3 を参照すると、爆燃波の燃焼前面の速度と、波の制御機能の程度に対する燃焼度の割合との直線的な関係を表すグラフが示されている。中性子の作用を介して決定されるように、グラフ上の位置“ A ”は、燃焼前面 2 7 0 の制御における階段状の機能の種類に対応しており、グラフ上における位置“ B ”は、制御棒が配置されている燃焼前面 2 7 0 の分布の種類に対応している。位置“ A ”は、図 9 および 1 0 に示されている構成と類似

50

の構成に対応しており、位置“B”は、図13および14に示されている構成と類似の構成と対応している。グラフ上の位置“C”は、以下の制御の構成に対応している。当該構成は、図9および10に示されるような階段状の機能の構成と、図13および14に示されている連続的な機能の構成との間に吸収体が配置されている構成である（すなわち吸収体が、階段状の機能の場合ほどではないが、燃焼前面のより後方に分配されている）。図23は、MCNPX-CINDERコンピュータソフトウェアを用いて得られた中性子についての結果に関する。この点について、図23には、吸収体を使用される場合に、波の後方における階段状の機能として反応炉に吸収体を配置することによって、最速の波の速度および最小の燃焼度を与えられていることが示されている。この構成から逸脱する（波の全体にわたって吸収体を分布させる）と、波が減速し、最終的に吸収体が波の前面に配置されている場合に、波の速度は消失する。

10

## 【0090】

図23Aを参照すると、中性子束の例示的な空間分布（一般的に475を付す）を表すグラフが示されている。この点について、当該グラフは、点火装置245からの距離に対する中性子束として空間分布475をプロットしたものである。空間分布475は例示的な制御機能にしたがった燃焼前面の代表である。

## 【0091】

図23Bを参照すると、空間プロファイルまたは制御機能（一般的に477を付す）を表すグラフが示されている。制御機能477は図23Aにおける空間分布475に対応している。図23Bは、点火装置245からの距離に対する制御棒の挿入量をプロットしたものである。

20

## 【0092】

図23Cを参照すると、中性子束の例示的な空間分布（一般的に479を付す）を表すグラフが示されている。この点について、当該グラフは、点火装置245からの距離に対する中性子束として空間分布479をプロットしたものである。空間分布479は例示的な制御機能にしたがった燃焼前面の代表である。

## 【0093】

図23Dを参照すると、空間プロファイルまたは制御機能（一般的に481を付す）を表すグラフが示されている。制御機能481は図23Cにおける空間分布481に対応している。このグラフは、点火装置245からの距離に対する制御棒の挿入量をプロットしたものである。

30

## 【0094】

図23Eを参照すると、中性子束の例示的な空間分布（一般的に483を付す）を表すグラフが示されている。この点について、当該グラフは、点火装置245からの距離に対する中性子束として空間分布483をプロットしたものである。空間分布483は燃焼前面の代表である。

## 【0095】

図23Fを参照すると、空間プロファイルまたは制御機能（一般的に485を付す）を表すグラフが示されている。制御機能485は図23Eにおける空間分布485に対応している。空間プロファイル487は急峻な部分を有している。このグラフは、点火装置245からの距離に対する制御棒の挿入量をプロットしたものである。

40

## 【0096】

所定の燃焼度値以下の燃焼度値を実現可能であることが、上述の開示から適切に理解され得る。この点について、所定の燃焼度値以下の燃焼度値を得るために中性子吸収の大部分が燃焼前面270の後方にある位置において生じるように、中性子の吸収体、反射体および/または放射体の量は燃焼前面270に対する複数の位置において制御され得る。例えば、中性子放出体は、燃焼前面270の後方にある第1の位置から、燃焼前面270の前方にある第2の位置まで移動させられて、所定の燃焼度値以下の所望の燃焼度値をもたらし得る。

## 【0097】

50

さらに、1つ以上の構造的な材料に対する放射線損傷はまた、一般的な核燃料アッセンブリ30および例示的な実施形態の核燃料アッセンブリ250/300/330/360/390/420/450における燃焼度の制御に応じて制御され得ることが、上述の開示から適切に理解され得る。この点について、そのような放射線損傷の制御は、所定の放射線損傷値以下における所望の放射線損傷値（例えば、DPA）の達成を必然的にとまなう。所定の放射線損傷値以下の放射線損傷値をもたらすことは、燃焼前面270の後方における第1の位置から、燃焼前面270の後方にある第2の位置まで中性子放出体を移動させることを包含し得る。代替的に、中性子放出体は、潜在的な放射線損傷を制御するために、燃焼前面270の後方にある第1の位置から燃焼前面270の前方にある第2の位置まで移動させられ得る。他の代替法として、中性子吸収体の量は、潜在的な放射線損傷値を制御するために、燃焼前面270の後方にある位置における制御棒192/194によって制御され得る。この点について、中性子吸収体による中性子吸収の大部分は、燃焼前面270の後方にある位置において生じ得る。さらに、所定の放射線損傷値以下の所望の放射線損傷値をもたらすことは、燃焼前面270の後方にある位置において中性子反射体の量を制御することによって実現され得る。この点について、中性子反射体による中性子反射の大部分は、燃焼前面270の後方にある位置において生じ得る。

10

## 【0098】

また、中性子束は燃焼前面270に対する位置において選択的に調節され得ることが、上述の開示から適切に理解され得る。この点について、中性子束は、燃焼前面270の後方にある位置において調節され得る。この場合、調節の大部分は燃焼前面270の後方にある複数の位置において生じる。さらに、燃焼前面270によって放射される中性子束の選択的な調節は、燃焼前面270によって放射される中性子束の一部の選択的な吸収を必然的にとまない得る。言い換えると、中性子吸収体の量は、燃焼前面270に対する位置において制御される。より一般的には、中性子相互作用性材料の量（例えば、制御棒192/194の挿入）が燃焼前面270に対する上記位置において制御される。一実施形態において、燃焼前面270に対する上記位置における中性子相互作用性材料の量の制御は、燃焼前面270に対する上記位置における中性子放出体の量の制御を包含している。中性子放出体は、核分裂性の分子、核分裂性同位体に変換可能な分子および/または核分裂性の分子への崩壊を受けることが可能な分子であり得る。一方で、燃焼前面270に対する位置における中性子相互作用性材料の量の制御は、燃焼前面270に対する上記位置における中性子反射体の量の制御を包含し得る。

20

30

## 【0099】

さらに、中性子束の選択的な制御は空間プロファイルによって管理され得ることが、上述の開示から適切に理解され得る。空間プロファイルは、燃焼前面270について対称であるか、または非対称であるかのいずれかであり得る。空間プロファイルは、燃焼前面270の後方にある位置に好適に生じる急峻な部分を有し得る。

## 【0100】

燃焼前面270によって放射された中性子束の選択的な調節は、燃焼前面270と関連する燃焼パラメータの検出、および当該燃焼パラメータの検出に少なくとも部分的に応じた中性子束の調節を包含し得ることが、上述の開示から適切に理解され得る。燃焼パラメータの検出は、燃焼前面270に近接する少なくとも1つの位置における材料の放射線損傷（例えば、DPA）の監視；燃焼前面270に近接する少なくとも1つ位置における燃焼度の監視；燃焼速度の監視；燃焼前面の幅の監視；燃焼前面270に近接する少なくとも1つの位置における中性子束と関連する1つ以上の特性の監視；燃焼前面270に近接する少なくとも1つの位置における放射線の監視；および/または燃焼前面270と熱的に近似する少なくとも1つの位置における温度の監視を包含し得る。さらに、燃焼パラメータの検出に少なくとも部分的に応じた中性子束の選択的な調節は、燃焼パラメータの検出に少なくとも部分的に応じた中性子束の選択的な調節、ならびにフィードバック制御処理および/または燃焼パラメータと関連する複数のパラメータを有しているコンピュータを利用した演算手法に少なくとも部分的に応じた燃焼パラメータの検出を包含し得る。こ

40

50

の点について、コンピュータを利用した演算手法の1つ以上のパラメータは燃焼パラメータの検出に応じて修正され得る。

【0101】

(具体的な方法)

進行波核分裂反応炉および核燃料アセンブリにおける燃焼度を制御する例示的な実施形態と関連する具体的な方法がこれから説明される。

【0102】

図24～65を参照して、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉および核燃料アセンブリにおける燃焼度を制御する具体的な方法が示されている。

【0103】

図24を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法490は、ブロック500に始まる。ブロック510において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される中性子束を調節することを包含している。方法490はブロック520において終了する。

10

【0104】

図25を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法530は、ブロック540に始まる。ブロック550において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。方法530はブロック560において終了する。

【0105】

図26を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法570は、ブロック580に始まる。ブロック590において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック600において、所定の燃焼度値がもたらされる。方法570はブロック610において終了する。

20

【0106】

図27を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法620は、ブロック630に始まる。ブロック640において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック650において、所定の燃焼度値以下の燃焼度値がもたらされる。方法620はブロック660において終了する。

30

【0107】

図28を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法670は、ブロック680に始まる。ブロック690において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック700において、所定の燃焼度値以下の燃焼度値がもたらされる。ブロック710において、上記燃焼前面の後方にある位置における中性子吸収体の量が制御される。方法670はブロック720において終了する。

【0108】

図29を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法790は、ブロック800に始まる。ブロック810において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック820において、所定の燃焼度値以下の燃焼度値がもたらされる。ブロック830において、上記燃焼前面に対する複数の位置における、中性子吸収をもたらず中性子吸収体の量が制御され、ここで、上記中性子吸収体による上記中性子吸収の大部分が、上記燃焼前面の後方にある複数の位置において生じる。当該方法はブロック840において終了する。

40

【0109】

図30を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法850は、ブロック860に始まる。ブロック870において、当該方

50

法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック 880 において、所定の燃焼度値以下の燃焼度値がもたらされる。ブロック 890 において、上記燃焼前面の後方にある位置における中性子反射体の量が制御される。当該方法はブロック 900 において終了する。

【0110】

図 3 1 を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法 910 は、ブロック 920 に始まる。ブロック 930 において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック 940 において、所定の燃焼度値以下の燃焼度値がもたらされる。ブロック 950 において、上記燃焼前面に対する 1 つ以上の位置における、中性子反射をもたらず中性子反射体の量が制御され、上記中性子反射体による上記中性子反射の大部分が、上記燃焼前面の後方にある複数の位置において生じる。当該方法はブロック 900 において終了する。

10

【0111】

図 3 2 を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法 970 は、ブロック 980 に始まる。ブロック 990 において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック 1000 において、所定の燃焼度値以下の燃焼度値がもたらされる。ブロック 1010 において、中性子放出体が、上記燃焼前面の後方にある第 1 の位置から上記燃焼前面の後方にある第 2 の位置まで移動させられる。当該方法はブロック 1020 において終了する。

20

【0112】

図 3 3 を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法 1030 は、ブロック 1040 に始まる。ブロック 1050 において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック 1060 において、所定の燃焼度値以下の燃焼度値がもたらされる。ブロック 1070 において、中性子放出体が、上記燃焼前面の後方にある第 1 の位置から上記燃焼前面に近接する第 2 の位置まで移動させられる。当該方法はブロック 1080 において終了する。

【0113】

30

図 3 4 を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法 1090 は、ブロック 1100 に始まる。ブロック 1110 において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック 1120 において、所定の燃焼度値以下の燃焼度値がもたらされる。ブロック 1130 において、中性子放出体が、上記燃焼前面の後方にある第 1 の位置から上記燃焼前面の前方にある第 2 の位置まで移動させられる。当該方法はブロック 1140 において終了する。

【0114】

図 3 5 を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法 1150 は、ブロック 1160 に始まる。ブロック 1170 において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック 1180 において、1 つ以上の構造的な材料に対する放射線損傷が、進行波核分裂反応炉における燃焼度値に応じて制御される。当該方法はブロック 1190 において終了する。

40

【0115】

図 3 6 を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法 1200 は、ブロック 1210 に始まる。ブロック 1220 において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック 1230 において、1 つ以上の構造的な材料に対する放射線損傷が、進行波核分裂反応炉における燃焼度値に応じて制御される。ブロッ

50

ク 1 2 4 0 において、放射線損傷値がもたらされる。当該方法はブロック 1 2 5 0 において終了する。

【 0 1 1 6 】

図 3 7 を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法 1 2 6 0 は、ブロック 1 2 7 0 に始まる。ブロック 1 2 8 0 において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック 1 2 9 0 において、1 つ以上の構造的な材料に対する放射線損傷が、進行波核分裂反応炉における燃焼度値に応じて制御される。ブロック 1 3 0 0 において、所定の放射線損傷値以下の放射線損傷値がもたらされる。当該方法はブロック 1 3 1 0 において終了する。

10

【 0 1 1 7 】

図 3 8 を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法 1 3 2 0 は、ブロック 1 3 3 0 に始まる。ブロック 1 3 4 0 において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック 1 3 5 0 において、1 つ以上の構造的な材料に対する放射線損傷が、進行波核分裂反応炉における燃焼度値に応じて制御される。ブロック 1 3 6 0 において、所定の放射線損傷値以下の放射線損傷値がもたらされる。ブロック 1 3 7 0 において、中性子放出体が、上記燃焼前面の後方にある第 1 の位置から上記燃焼前面の後方にある第 2 の位置まで移動させられる。当該方法はブロック 1 3 8 0 において終了する。

20

【 0 1 1 8 】

図 3 9 を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法 1 3 9 0 は、ブロック 1 4 0 0 に始まる。ブロック 1 4 1 0 において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック 1 4 2 0 において、1 つ以上の構造的な材料に対する放射線損傷が、進行波核分裂反応炉における燃焼度値に応じて制御される。ブロック 1 4 3 0 において、所定の放射線損傷値以下の放射線損傷値がもたらされる。ブロック 1 4 4 0 において、中性子放出体が、上記燃焼前面の後方にある第 1 の位置から上記燃焼前面に近接する第 2 の位置まで移動させられる。当該方法はブロック 1 4 5 0 において終了する。

30

【 0 1 1 9 】

図 4 0 を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法 1 4 6 0 は、ブロック 1 4 7 0 に始まる。ブロック 1 4 8 0 において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック 1 4 9 0 において、1 つ以上の構造的な材料に対する放射線損傷が、進行波核分裂反応炉における燃焼度値に応じて制御される。ブロック 1 5 0 0 において、所定の放射線損傷値以下の放射線損傷値がもたらされる。ブロック 1 5 1 0 において、中性子放出体が、上記燃焼前面の後方にある第 1 の位置から上記燃焼前面の前方にある第 2 の位置まで移動させられる。当該方法はブロック 1 5 2 0 において終了する。

40

【 0 1 2 0 】

図 4 1 を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法 1 5 3 0 は、ブロック 1 5 4 0 に始まる。ブロック 1 5 5 0 において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック 1 5 6 0 において、1 つ以上の構造的な材料に対する放射線損傷が、進行波核分裂反応炉における燃焼度値に応じて制御される。ブロック 1 5 7 0 において、所定の放射線損傷値以下の放射線損傷値がもたらされる。ブロック 1 5 8 0 において、上記燃焼前面の後方にある位置における中性子吸収体の量が制御される。当該方法はブロック 1 5 9 0 において終了する。

【 0 1 2 1 】

50

図42を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法1600は、ブロック1610に始まる。ブロック1620において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック1630において、1つ以上の構造的な材料に対する放射線損傷が、進行波核分裂反応炉における燃焼度値に応じて制御される。ブロック1640において、所定の放射線損傷値以下の放射線損傷値がもたらされる。ブロック1650において、上記燃焼前面に対する複数の位置における中性子吸収体の量が制御され、ここで、上記中性子吸収体による中性子吸収の大部分が、上記燃焼前面の後方にある複数の位置において生じる。当該方法はブロック1660において終了する。

【0122】

10

図43を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法1670は、ブロック1680に始まる。ブロック1690において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック1700において、1つ以上の構造的な材料に対する放射線損傷が、進行波核分裂反応炉における燃焼度値に応じて制御される。ブロック1710において、所定の放射線損傷値以下の放射線損傷値がもたらされる。ブロック1720において、上記燃焼前面の後方にある位置における中性子反射体の量が制御される。当該方法はブロック1730において終了する。

【0123】

図44を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法1740は、ブロック1750に始まる。ブロック1760において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック1770において、1つ以上の構造的な材料に対する放射線損傷が、進行波核分裂反応炉における燃焼度値に応じて制御される。ブロック1780において、所定の放射線損傷値以下の放射線損傷値がもたらされる。ブロック1790において、上記燃焼前面に対する複数の位置における、中性子反射をもたらず中性子反射体の量が制御され、上記中性子吸収体による上記中性子吸収の大部分が、上記燃焼前面の後方にある複数の位置において生じる。当該方法はブロック1800において終了する。

20

【0124】

図45を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法1810は、ブロック1820に始まる。ブロック1830において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック1840において、上記燃焼前面に対する位置における上記中性子束が、選択的に制御される。当該方法はブロック1850において終了する。

30

【0125】

図46を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法1860は、ブロック1870に始まる。ブロック1880において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック1890において、上記燃焼前面に対する位置における上記中性子束が、選択的に制御される。ブロック1900において、上記燃焼前面の後方にある位置における上記中性子束が、選択的に調節される。当該方法はブロック1910において終了する。

40

【0126】

図47を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法1920は、ブロック1930に始まる。ブロック1940において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック1950において、上記燃焼前面に対する位置における上記中性子束が、選択的に制御される。ブロック1960において、上記燃焼前

50

面に対する複数の位置における上記中性子束が、選択的に制御され、ここで、上記燃焼前面に対する複数の位置における調節の量は空間プロファイルによって管理される。当該方法はブロック1970において終了する。

【0127】

図48を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法1980は、ブロック1990に始まる。ブロック2000において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック2010において、上記燃焼前面に対する位置における上記中性子束が、選択的に制御される。ブロック2020において、上記中性子束の調節の大部分が上記燃焼前面の後方にある複数の位置において生じるように、上記燃焼前面に対する複数の位置における上記中性子束が、選択的に調節される。当該方法はブロック2030において終了する。

10

【0128】

図49を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法2040は、ブロック2050に始まる。ブロック2060において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック2070において、上記燃焼前面に対する位置における上記中性子束が、選択的に制御される。ブロック2080において、上記燃焼前面に対する位置における上記中性子束の一部が選択的に吸収される。当該方法はブロック2090において終了する。

20

【0129】

図50を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法2100は、ブロック2110に始まる。ブロック2120において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック2130において、上記燃焼前面に対する位置における上記中性子束が、選択的に制御される。ブロック2140において、上記燃焼前面に対する上記位置における上記中性子吸収体の量が制御される。当該方法はブロック2150において終了する。

【0130】

図51を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法2160は、ブロック2170に始まる。ブロック2180において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック2190において、上記燃焼前面に対する位置における上記中性子束が、選択的に制御される。ブロック2200において、上記燃焼前面に対する上記位置における上記中性子相互作用性材料の量が制御される。当該方法はブロック2210において終了する。

30

【0131】

図52を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法2220は、ブロック2230に始まる。ブロック2240において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック2250において、上記燃焼前面に対する位置における上記中性子束が、選択的に制御される。ブロック2260において、上記燃焼前面に対する上記位置における上記中性子相互作用性材料の量が制御される。ブロック2270において、上記燃焼前面に対する上記位置における中性子放出体の量が制御される。当該方法はブロック2280において終了する。

40

【0132】

図53を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法2290は、ブロック2300に始まる。ブロック2310において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック2320において、上記燃焼前面に対する位置

50

における上記中性子束が、選択的に制御される。ブロック 2330 において、上記燃焼前面に対する上記位置における上記中性子相互作用性材料の量が制御される。ブロック 2340 において、上記燃焼前面に対する上記位置における中性子反射体の量が制御される。当該方法はブロック 2350 において終了する。

【0133】

図 54 を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法 2360 は、ブロック 2370 に始まる。ブロック 2380 において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック 2390 において、上記燃焼前面に対する位置における上記中性子束が、選択的に制御される。ブロック 2400 において、上記燃焼前  
10  
面と関連する燃焼パラメータが検出される。ブロック 2410 において、上記中性子束が、上記燃焼前面と関連する上記燃焼パラメータの検出に少なくとも部分的に応じて、選択的に調節される。当該方法はブロック 2420 において終了する。

【0134】

図 55 を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法 2430 は、ブロック 2440 に始まる。ブロック 2450 において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック 2460 において、上記燃焼前面に対する位置における上記中性子束が、選択的に制御される。ブロック 2470 において、上記燃焼前  
20  
面と関連する燃焼パラメータが検出される。ブロック 2480 において、上記燃焼前面に近接する少なくとも 1 つの位置と関連する燃焼パラメータが検出される。ブロック 2490 において、上記中性子束が、上記燃焼前面と関連する上記燃焼パラメータの検出に少なくとも部分的に応じて、選択的に調節される。当該方法はブロック 2500 において終了する。

【0135】

図 56 を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法 2510 は、ブロック 2520 に始まる。ブロック 2530 において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック 2540 において、上記燃焼前面に対する位置における上記中性子束が、選択的に制御される。ブロック 2550 において、上記燃焼前  
30  
面と関連する燃焼パラメータが検出される。ブロック 2560 において、上記燃焼前面に近接する少なくとも 1 つの位置における燃焼度値が監視される。ブロック 2570 において、上記中性子束が、上記燃焼前面と関連する上記燃焼パラメータの検出に少なくとも部分的に応じて、選択的に調節される。当該方法はブロック 2580 において終了する。

【0136】

図 57 を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法 2590 は、ブロック 2600 に始まる。ブロック 2610 において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック 2620 において、上記燃焼前面に対する位置における上記中性子束が、選択的に制御される。ブロック 2630 において、上記燃焼前  
40  
面と関連する燃焼パラメータが検出される。ブロック 2640 において、燃焼度の速度が監視される。ブロック 2650 において、上記中性子束が、上記燃焼前面と関連する上記燃焼パラメータの検出と少なくとも部分的に応じて、選択的に調節される。当該方法はブロック 2660 において終了する。

【0137】

図 58 を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法 2670 は、ブロック 2680 に始まる。ブロック 2690 において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック 2700 において、上記燃焼前面に対する位置  
50  
における上記中性子束が、選択的に制御される。ブロック 2710 において、上記燃焼前

面と関連する燃焼パラメータが検出される。ブロック2720において、燃焼前面の幅が監視される。ブロック2730において、上記中性子束が、上記燃焼前面と関連する上記燃焼パラメータの検出に少なくとも部分的に応じて、選択的に調節される。当該方法はブロック2740において終了する。

【0138】

図59を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法2750は、ブロック2760に始まる。ブロック2770において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック2780において、上記燃焼前面に対する位置における上記中性子束が、選択的に制御される。ブロック2790において、上記燃焼前面と関連する燃焼パラメータが検出される。ブロック2800において、上記中性子束と関連する1つ以上の特性が、上記燃焼前面に近接する少なくとも1つの位置において監視される。ブロック2810において、上記中性子束が、上記燃焼前面と関連する上記燃焼パラメータの検出に少なくとも部分的に応じて、選択的に調節される。当該方法はブロック2820において終了する。

10

【0139】

図60を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法2830は、ブロック2840に始まる。ブロック2850において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック2860において、上記燃焼前面に対する位置における上記中性子束が、選択的に制御される。ブロック2870において、上記燃焼前面に対する位置における上記中性子束の一部が選択的に吸収される。ブロック2880において、上記燃焼前面に近接する少なくとも1つの位置における放射線が監視される。ブロック2890において、上記中性子束が、上記燃焼前面と関連する上記燃焼パラメータの検出に少なくとも部分的に応じて、選択的に調節される。当該方法はブロック2900において終了する。

20

【0140】

図61を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法3000は、ブロック3010に始まる。ブロック3020において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック3030において、上記燃焼前面に対する位置における上記中性子束が、選択的に制御される。ブロック3040において、上記燃焼前面と関連する燃焼パラメータが検出される。ブロック3050において、上記燃焼前面に近接する少なくとも1つの位置における温度が監視される。ブロック3060において、上記中性子束が、上記燃焼前面と関連する上記燃焼パラメータの検出に少なくとも部分的に応じて、選択的に調節される。当該方法はブロック3070において終了する。

30

【0141】

図62を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法3080は、ブロック3090に始まる。ブロック3100において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック3110において、上記燃焼前面に対する位置における上記中性子束が、選択的に制御される。ブロック3120において、上記燃焼前面と関連する燃焼パラメータが検出される。ブロック3130において、中性子束が、上記燃焼前面と関連する上記燃焼パラメータの検出に少なくとも部分的に応じて、選択的に調節される。ブロック3140において、上記中性子束が、フィードバック制御処理に応じた上記燃焼パラメータの検出に少なくとも部分的に応じて、選択的に調節される。当該方法はブロック3150において終了する。

40

【0142】

図63を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法3160は、ブロック3170に始まる。ブロック3180において、

50

当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック3190において、上記燃焼前面に対する位置における上記中性子束が、選択的に制御される。ブロック3200において、上記燃焼前面と関連する燃焼パラメータが検出される。ブロック3210において、上記中性子束が、上記燃焼前面と関連する上記燃焼パラメータの検出に少なくとも部分的に応じて、選択的に調節される。ブロック3220において、上記中性子束画、コンピュータを利用した演算手順に応じた上記燃焼パラメータの検出に少なくとも部分的に応じて、選択的に調節される。当該方法はブロック3230において終了する。

#### 【0143】

図64を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法3240は、ブロック3250に始まる。ブロック3260において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック3270において、上記燃焼前面に対する位置における上記中性子束が、選択的に制御される。ブロック3280において、上記燃焼前面と関連する燃焼パラメータが検出される。ブロック3290において、上記中性子束が、上記燃焼前面と関連する上記燃焼パラメータの検出に少なくとも部分的に応じて、選択的に調節される。ブロック3300において、上記中性子束が、コンピュータを利用した演算手順に応じた上記燃焼パラメータの検出に少なくとも部分的に応じて、選択的に調節される。ブロック3310において、コンピュータを利用した複数の上記演算手順のうちの1つ以上が、上記燃焼パラメータの検出に応じて修正される。当該方法はブロック3320において終了する。

#### 【0144】

図65を参照すると、中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼度を制御する具体的な方法3330は、ブロック3340に始まる。ブロック3350において、当該方法は、上記進行波核分裂反応炉によって放射される、燃焼前面を規定する中性子束を調節することを包含している。ブロック3360において、上記燃焼前面に対する位置における上記中性子束が、選択的に制御される。ブロック3370において、上記燃焼前面と関連する燃焼パラメータが検出される。ブロック3380において、複数の構造的な材料のうちの1つ以上に対する放射線損傷が、上記中性子束の選択的な調節に応じて制御される。当該方法はブロック3390において終了する。

#### 【0145】

当業者は、本明細書に記載の構成要素（例えば、動作）、装置、対象およびそれらをともなっている記載が、概念の明確さのための例として使用されていること、ならびに種々の構成の変更が考慮されることを認識する。したがって、本明細書に使用されるとき、説明されている特定の例および付随する記載は、それらのより一般的な分類の代表的なものであると意図されている。一般的に、任意の特定の例の使用は、その分類の代表的なものであると意図されており、特定の構成要素（例えば、動作）、装置および対象を包含しないことの、限定であると理解されるべきではない。

#### 【0146】

さらに、当業者は、上述の例示的な処理および/または装置および/または手法は、本明細書の他の箇所（例えば、本明細書とともに提出された特許請求の範囲）および/または本願の他の箇所に教示されているより一般的な処理および/または装置および/または手法の代表的なものであることを適切に理解する。

#### 【0147】

本明細書に記載にされている本発明の主題の特定の局面が示されており、説明されているが、変更および修正は、本明細書に記載の主題およびそのより広い局面から逸脱することなくなされ得ること、ならびにしたがって、添付の特許請求の範囲は、本明細書に記載の主題の真の精神および範囲にあるような当該変更および修正のすべてをその範囲内に包含しているべきであることが、本発明の教示に基づいて当業者にとって明らかである。本明細書および特に添付の特許請求の範囲（例えば、添付の特許請求の範囲の本文）に使用

10

20

30

40

50

されている用語は、“オープンな”用語として一般的に意図されていることが、当業者によって理解される。例えば、“挙げられる(including)”という用語は、“～が挙げられるが、これに限定されない”と解釈されるべきであり、“有している”という用語は、“少なくとも有している”と解釈されるべきであり、“挙げられる(includes)”という用語は、“～が挙げられるが、これに限定されない”と解釈されるべきである。前置きされている請求項の文言の特定の数値が意図されている場合、そのような意図は特許請求の範囲において明確に文言されており、そのような文言がなければそのような意図は存在していないことが、当業者によってさらに理解される。例えば、理解を補うために、以下の特許請求の範囲は、請求項の文言の前に、前置きの表現“少なくとも1”および“1以上”を含み得る。しかし、そのような表現の使用は、同じ請求項に前置きの表現“1以上”もしくは“少なくとも1”および不定冠詞(例えば、“a”および“an”)が含まれている場合であっても、不定冠詞“a”および“an”による請求項の文言に対する前置きが、そのような前置きされている請求項の文言を含んでいる特定の任意の請求項を、そのような文言のみを含んでいる請求項に限定することを意味すると理解されるべきではない。例えば、“a”および/または“an”は、“1以上”または“少なくとも1”を意味すると典型的に解釈されるべきである。同じことは、請求項の文言の前に使用されている定冠詞の用法にあてはまる。さらに、前置きされている請求項の文言の数値が明確に記載されている場合であっても、当業者は、そのような文言が“少なくとも”文言されている数値を意味すると典型的に解釈されるべきことを認識する。例えば、他の修飾句なしの“2+文言”という最低限の記載が、“少なくとも2つの”文言、または“2以上”の文言を典型的に意味する。さらに、“A、BおよびCの少なくとも1つ、など”と類似の慣用表現が使用される場合の例において、一般的に、そのような構文は、当業者が当該慣用表現を理解する1つの意味として意図されている。例えば、“A、BおよびCの少なくとも1つを有しているシステム”は、A単独、B単独、C単独、同時にAおよびB、同時にAおよびC、同時にBおよびC、および/または同時にA、BおよびCなどを有しているシステムが挙げられるが、これらに限定されない。“A、BまたはCの少なくとも1つ、など”と類似の慣用表現が使用される場合の例において、一般的に、そのような構文は、当業者が当該慣用表現を理解する1つの意味として意図されている。例えば、“A、BまたはCの少なくとも1つを有しているシステム”は、A単独、B単独、C単独、同時にAおよびB、同時にAおよびC、同時にBおよびC、および/または同時にA、BおよびCなどを有しているシステムが挙げられるが、これらに限定されない。明細書、特許請求の範囲または図面における2以上の択一的な用語を表す選言的な単語および/または表現は、特に断りがない限り、上記複数の用語のうち、1つ、いずれかまたは両方を含んでいる可能性を考慮していると理解されるべきことが当業者によってさらに理解される。例えば、“AまたはB”という表現は、“A”、“B”または“AおよびB”の可能性を含んでいると典型的に理解される。

#### 【0148】

添付の特許請求の範囲について、当業者は、それにおいて文言されている動作が任意の順序において一般に実施され得ることを適切に理解する。また、種々の動作のフローがある(複数の)連続として表されているが、種々の動作は、例示されている順序以外の順序において実施され得るか、または同時に実施され得ることが理解されるべきである。そのような代替の順序の例は、特に断りがない限り、重複、多重化、割り込み、並べ替え、付加、前置き、補足、同時、逆転、または他の異なる順序付けを含み得る。さらに、“～に対応した”、“～に関連した”、またはの過去時制の形容詞ような用語は、特に断りがない限り、そのような変化形を排除しているとは一般的に意図されない。

#### 【0149】

したがって、規定されているのは、進行波核分裂反応炉、核燃料アセンブリ、およびそれらにおける燃焼度を制御する方法である。

#### 【0150】

種々の局面および実施形態が本明細書に開示されているが、他の局面および実施形態が

10

20

30

40

50

当業者にとって明らかである。例えば、核分裂反応炉の実施形態のそれぞれは、熱中性子炉、高速中性子炉、中性子増殖炉、高速中性子増殖炉、およびこれまでに記載されている進行波炉の実施形態に配置され得る。したがって、核燃料アッセンブリの各実施形態は、種々の各反応炉の設計において好ましく使用されるために、十分に用途が広い。

【0151】

さらに、本明細書に開示されている種々の局面は、例示を目的としており、以下の特許請求の範囲によって示されている真の範囲および精神を限定することを意図されない。

【図面の簡単な説明】

【0152】

【図1】核分裂反応炉の構成の部分的な正面図である。

10

【図2】中性子エネルギーに対する断面積を示すグラフである。

【図3】中性子エネルギーに対する断面図のレシオをともなった、中性子エネルギーに対する断面積を示すグラフである。

【図4】核分裂反応炉の核燃料アッセンブリの一般的な代表物の部分的な正面図である。

【図5】核燃料棒の部分的な縦方向の断面図である。

【図6】制御棒の部分的な縦方向の断面図である。

【図7】反射棒の部分的な縦方向の断面図である。

【図8】第1の実施形態の核燃料アッセンブリの横方向の断面図である。

【図9】第1の実施形態の核燃料アッセンブリの半分の横方向の断面図である。

【図10】点火装置からの距離に対する制御棒の挿入量を含んでいる第1の制御機能を示す図である。

20

【図11】第2の実施形態の核燃料アッセンブリの半分の横方向の断面図である。

【図12】点火装置からの距離に対する制御棒の挿入量を含んでいる第2の制御機能を示す図である。

【図13】第3の実施形態の核燃料アッセンブリの半分の横方向の断面図である。

【図14】点火装置からの距離に対する制御棒の挿入量を含んでいる第3の制御機能を示す図である。

【図15】第4の実施形態の核燃料アッセンブリの半分の横方向の断面図である。

【図16】点火装置からの距離に対する制御棒の挿入量を含んでいる第4の制御機能を示す図である。

30

【図17】第5の実施形態の核燃料アッセンブリの半分の横方向の断面図である。

【図18】点火装置からの距離に対する制御棒の挿入量を含んでいる第5の制御機能を示す図である。

【図19】第6の実施形態の核燃料アッセンブリの半分の横方向の断面図である。

【図20】点火装置からの距離に対する制御棒の挿入量を含んでいる第6の制御機能を示す図である。

【図21】第7の実施形態の核燃料アッセンブリの半分の横方向の断面図である。

【図22】点火装置からの距離に対する制御棒の挿入量を含んでいる第7の制御機能を示す図である。

【図23】波の制御機能の度合いに対する、爆燃の燃焼前面の速度と燃焼度の百分率の逆数との間における直線的な関係を示すグラフである。

40

【図23A】点火装置からの距離に対する中性子束を含んでいる中性子束の例示的な空間分布を示すグラフである。

【図23B】図23Aに示されている上記空間分布に対応する制御機能を示すグラフである。

【図23C】点火装置からの距離に対する中性子束を含んでいる中性子束の例示的な空間分布を示すグラフである。

【図23D】図23Cに示されている上記空間分布に対応する制御機能を示すグラフである。

【図23E】点火装置からの距離に対する中性子束を含んでいる中性子束の例示的な空間

50



法のフローチャートである。

【図48】中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼を制御する例示的な方法のフローチャートである。

【図49】中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼を制御する例示的な方法のフローチャートである。

【図50】中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼を制御する例示的な方法のフローチャートである。

【図51】中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼を制御する例示的な方法のフローチャートである。

【図52】中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼を制御する例示的な方法のフローチャートである。

10

【図53】中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼を制御する例示的な方法のフローチャートである。

【図54】中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼を制御する例示的な方法のフローチャートである。

【図55】中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼を制御する例示的な方法のフローチャートである。

【図56】中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼を制御する例示的な方法のフローチャートである。

【図57】中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼を制御する例示的な方法のフローチャートである。

20

【図58】中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼を制御する例示的な方法のフローチャートである。

【図59】中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼を制御する例示的な方法のフローチャートである。

【図60】中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼を制御する例示的な方法のフローチャートである。

【図61】中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼を制御する例示的な方法のフローチャートである。

【図62】中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼を制御する例示的な方法のフローチャートである。

30

【図63】中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼を制御する例示的な方法のフローチャートである。

【図64】中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼を制御する例示的な方法のフローチャートである。

【図65】中性子束を放射可能な進行波核分裂反応炉における燃焼を制御する例示的な方法のフローチャートである。

【図1】

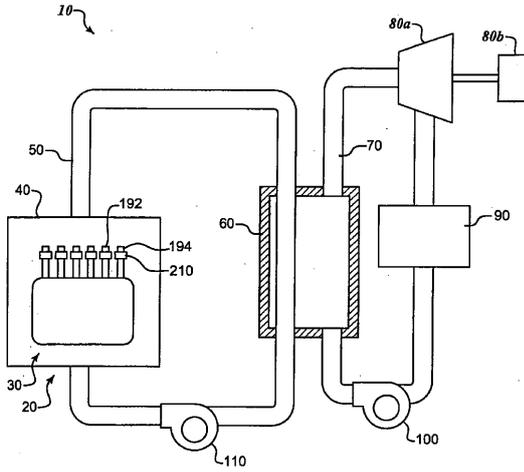
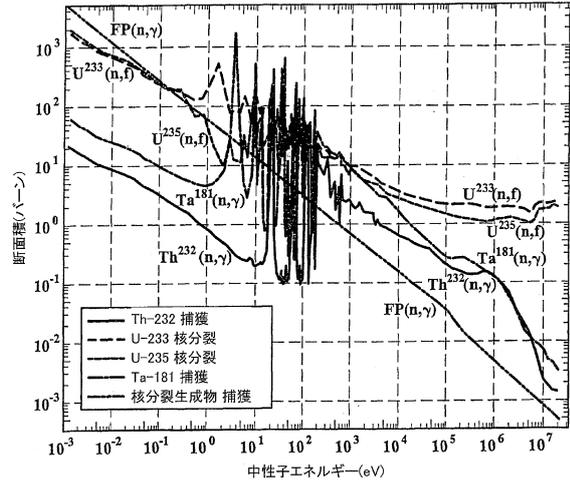
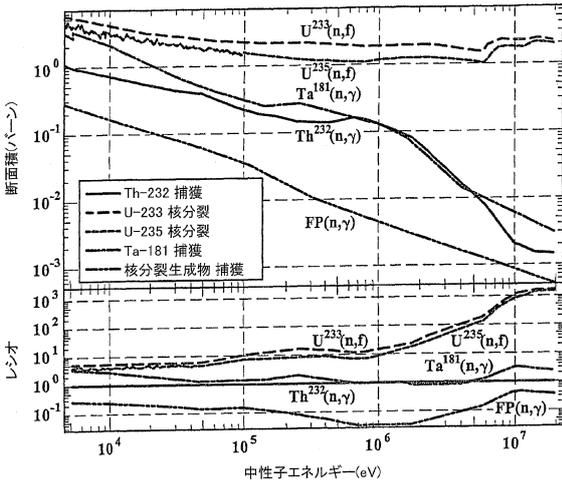


FIG.1

【図2】



【図3】



【図4】

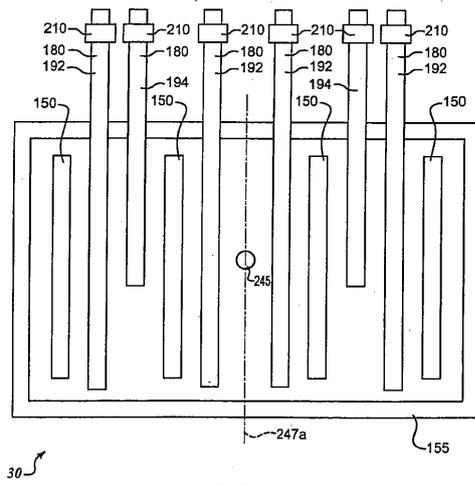


FIG.4

【 5 】

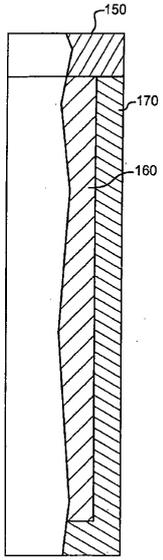


FIG.5

【 6 】

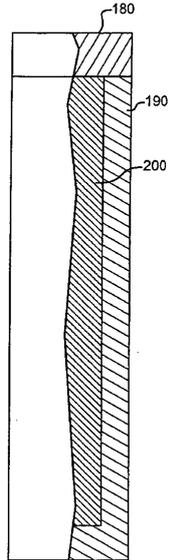


FIG.6

【 7 】

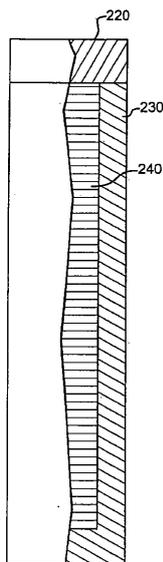


FIG.7

【 8 】

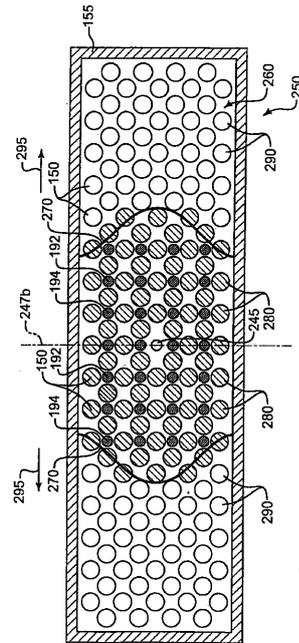


FIG.8

【図9】

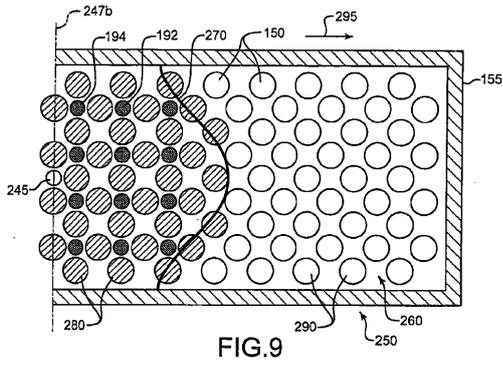


FIG.9

【図11】

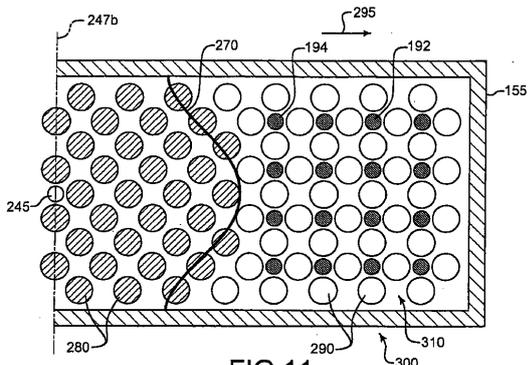
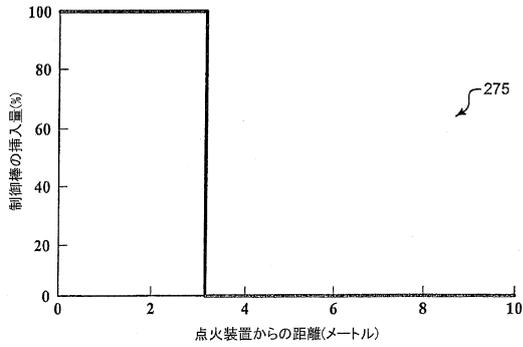
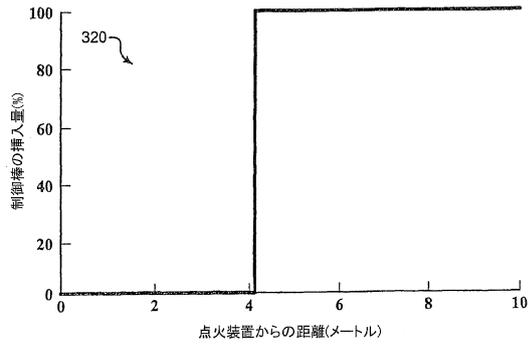


FIG.11

【図10】



【図12】



【図13】

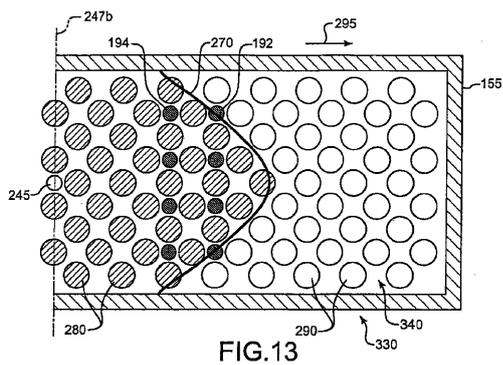


FIG.13

【図15】

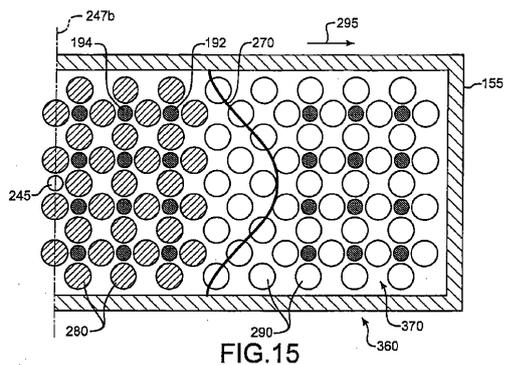
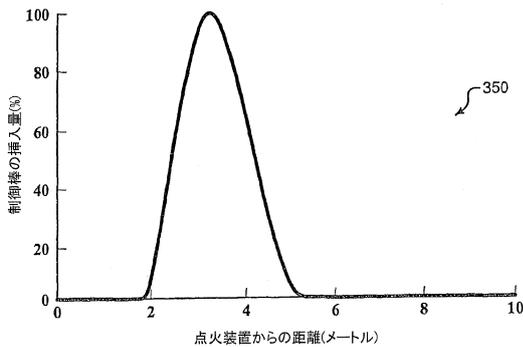
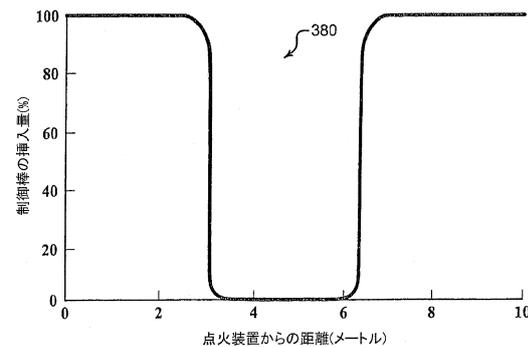


FIG.15

【図14】



【図16】



【図17】

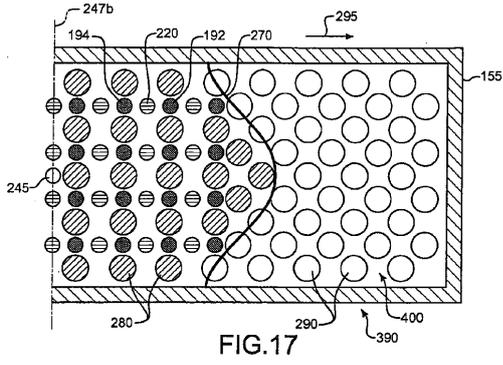


FIG.17

【図19】

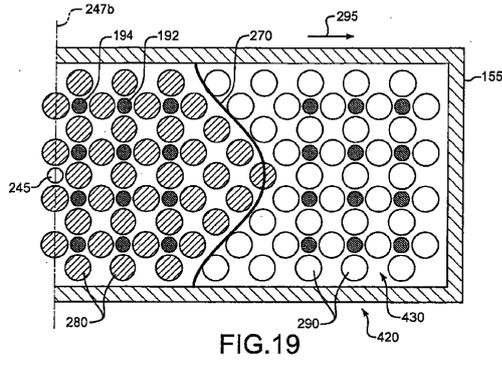
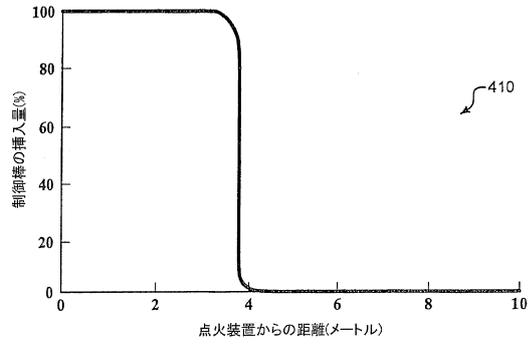
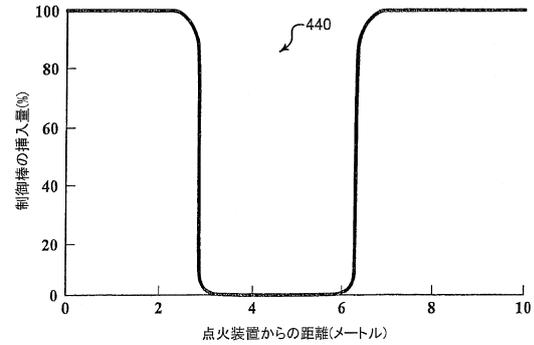


FIG.19

【図18】



【図20】



【図21】

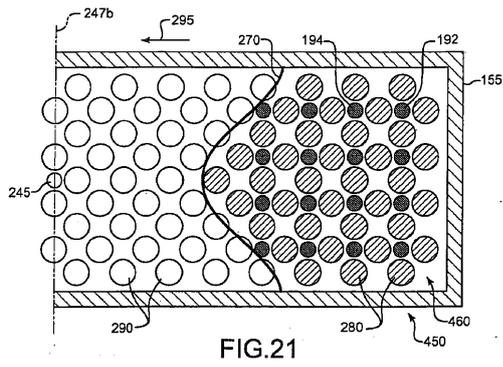
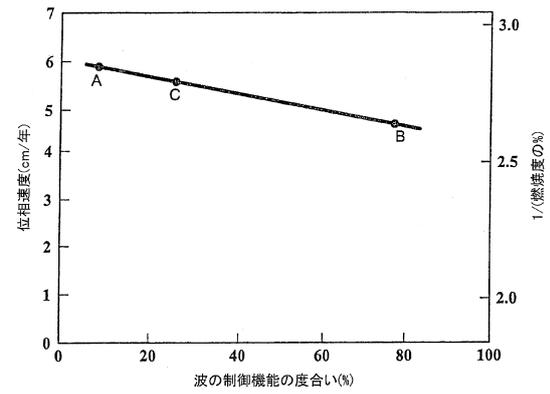
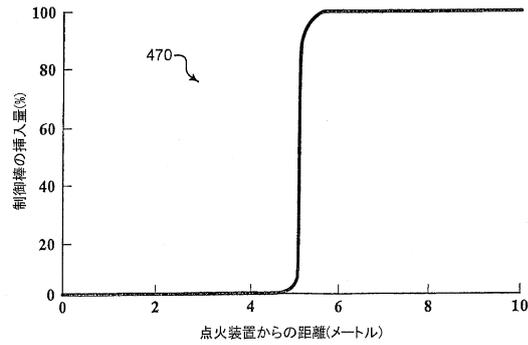


FIG.21

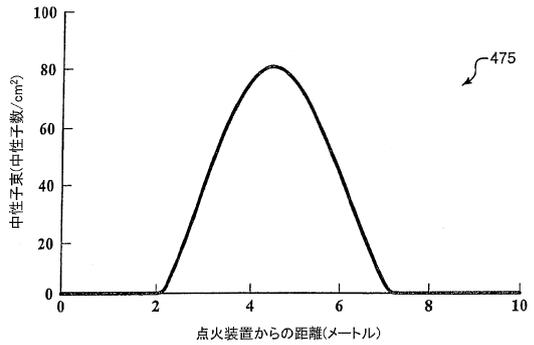
【図23】



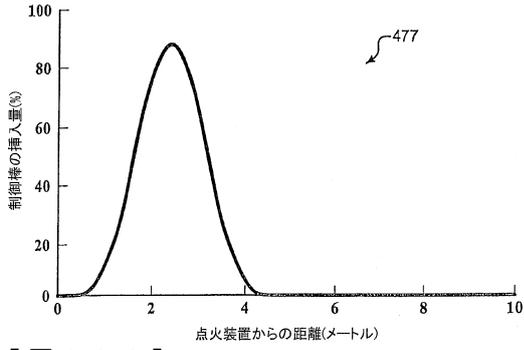
【図22】



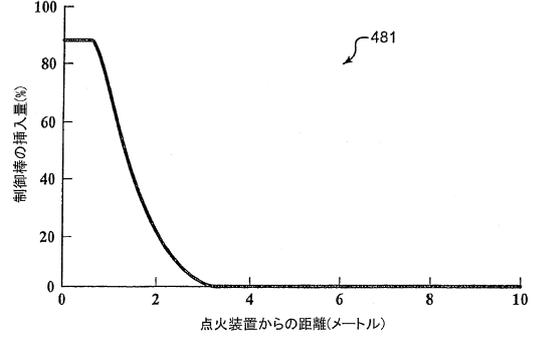
【図23A】



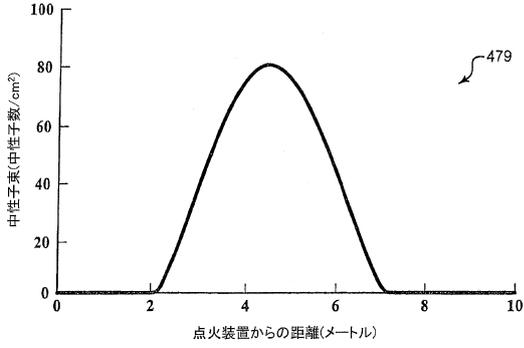
【図 2 3 B】



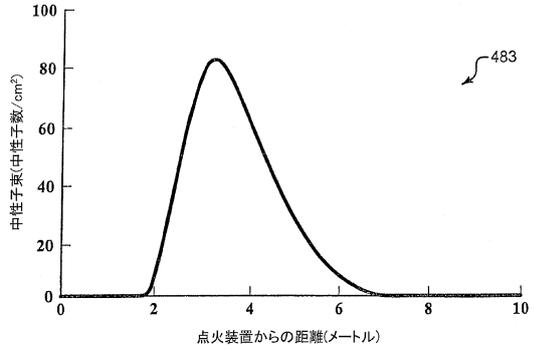
【図 2 3 D】



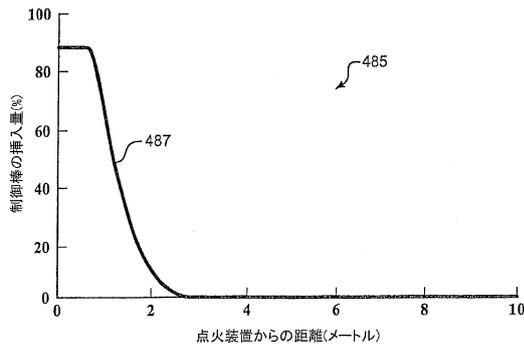
【図 2 3 C】



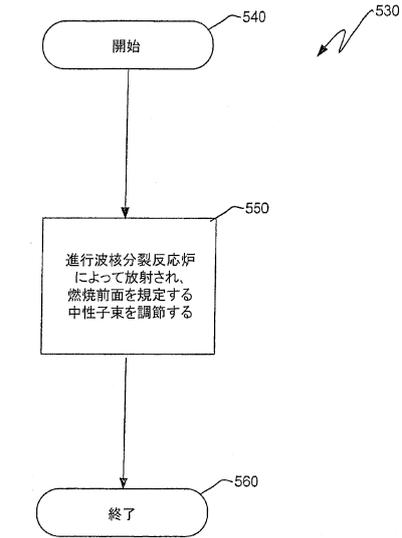
【図 2 3 E】



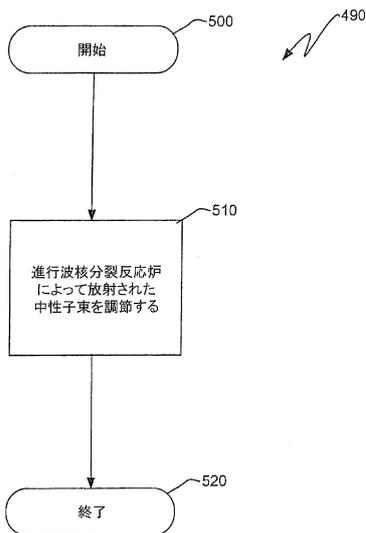
【図 2 3 F】



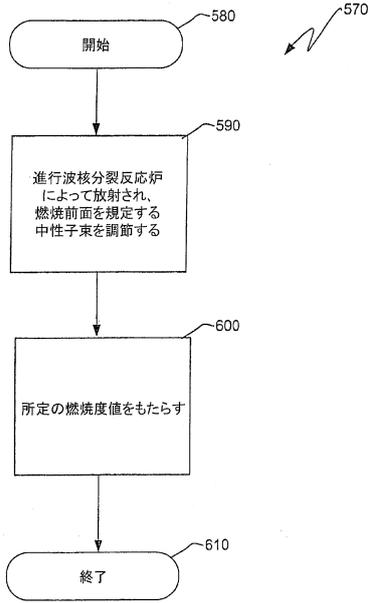
【図 2 5】



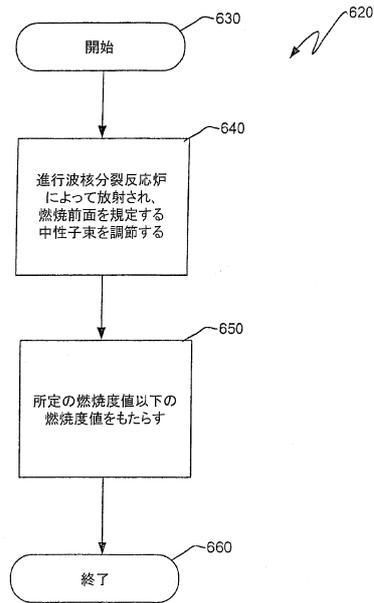
【図 2 4】



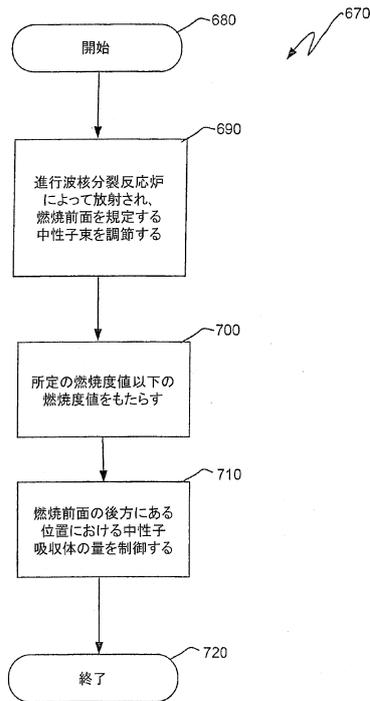
【図 26】



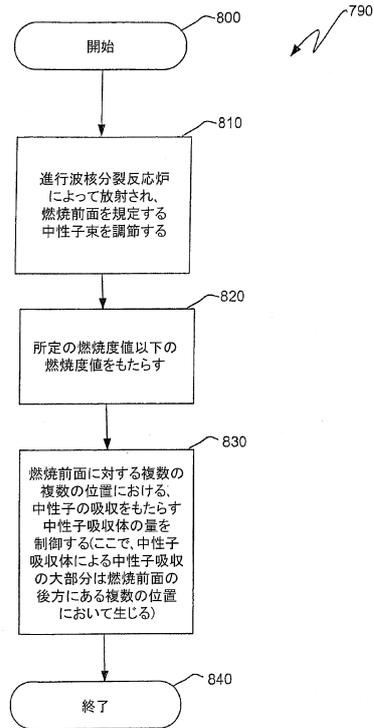
【図 27】



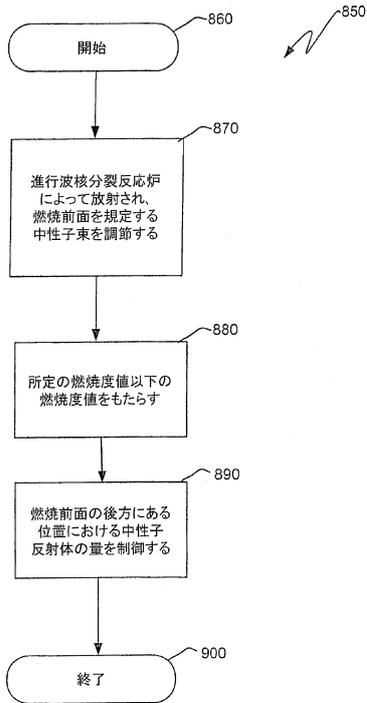
【図 28】



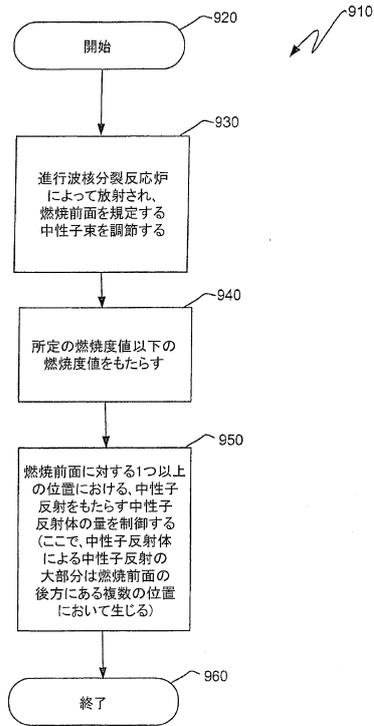
【図 29】



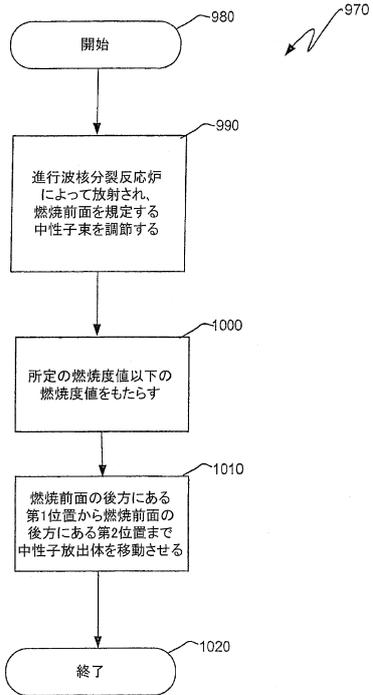
【図30】



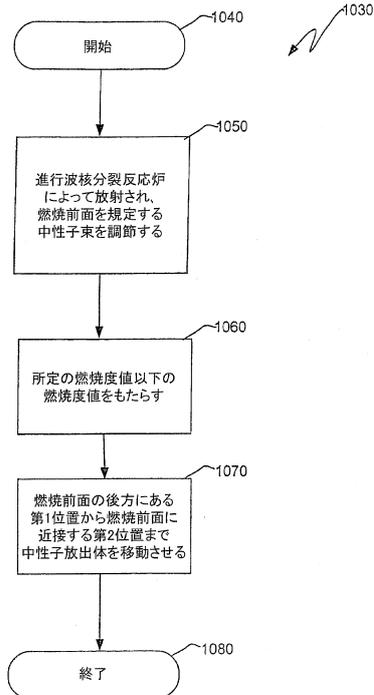
【図31】



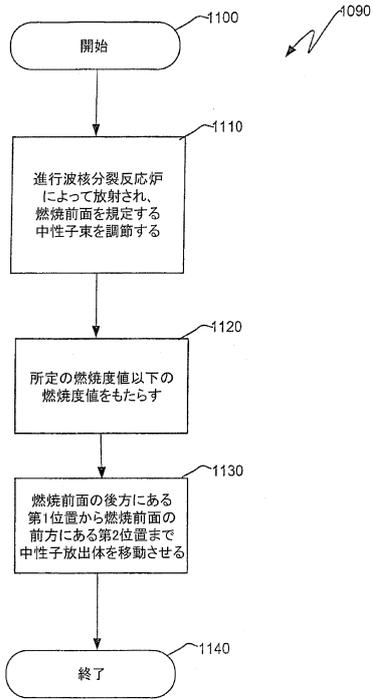
【図32】



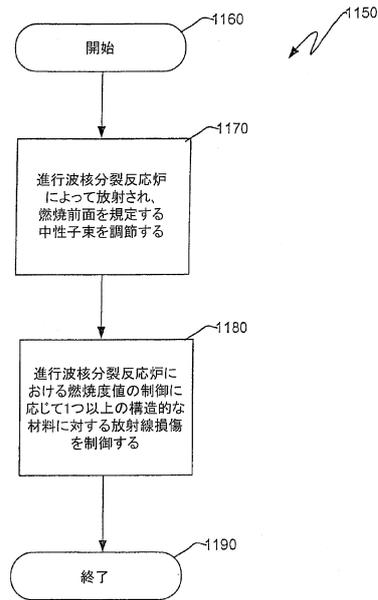
【図33】



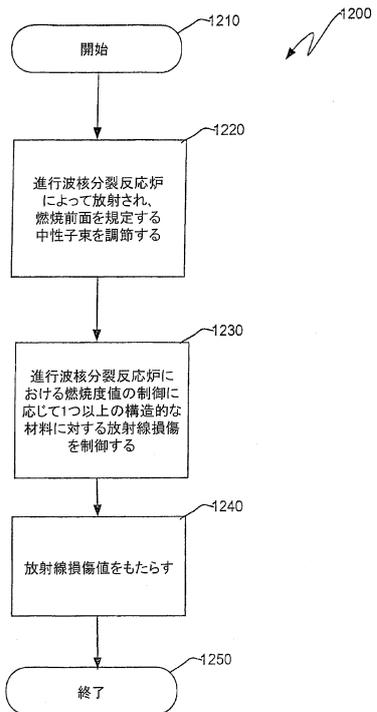
【図34】



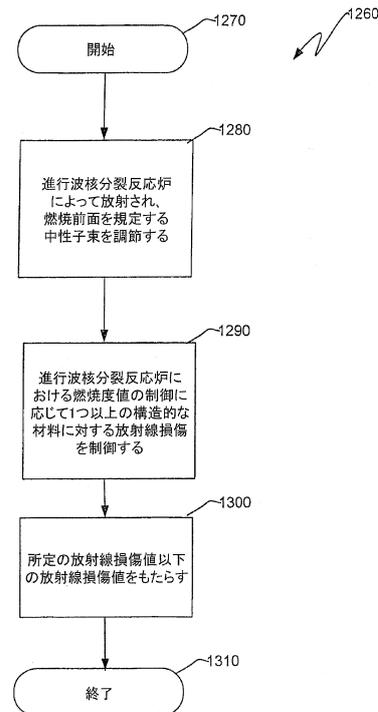
【図35】



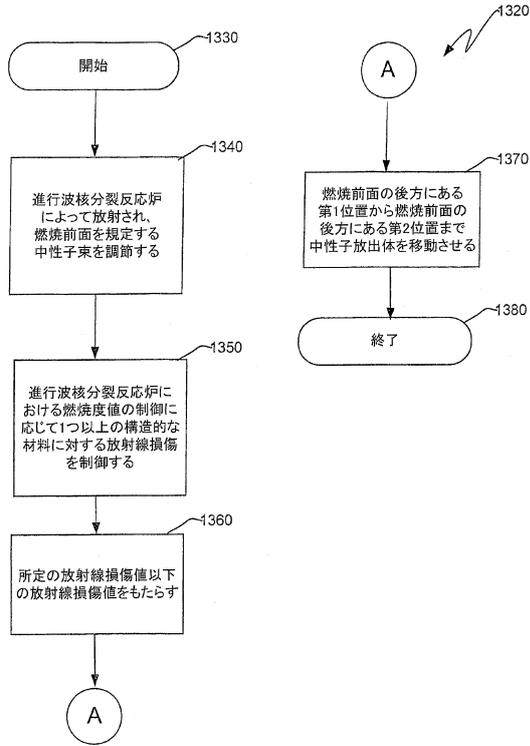
【図36】



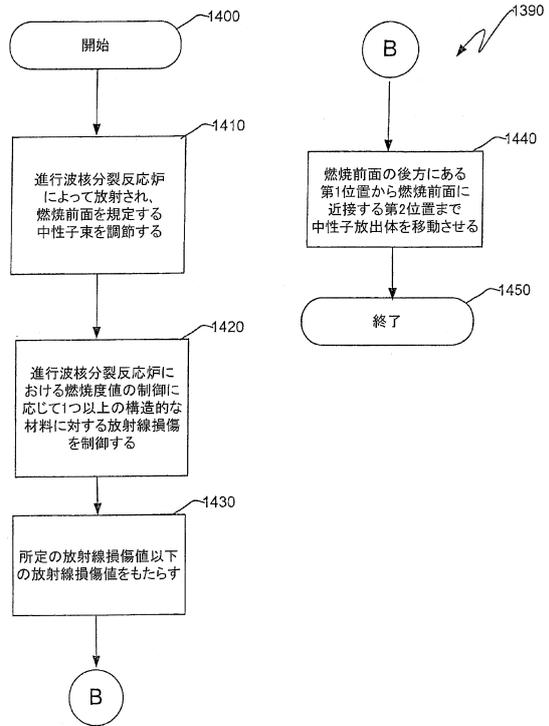
【図37】



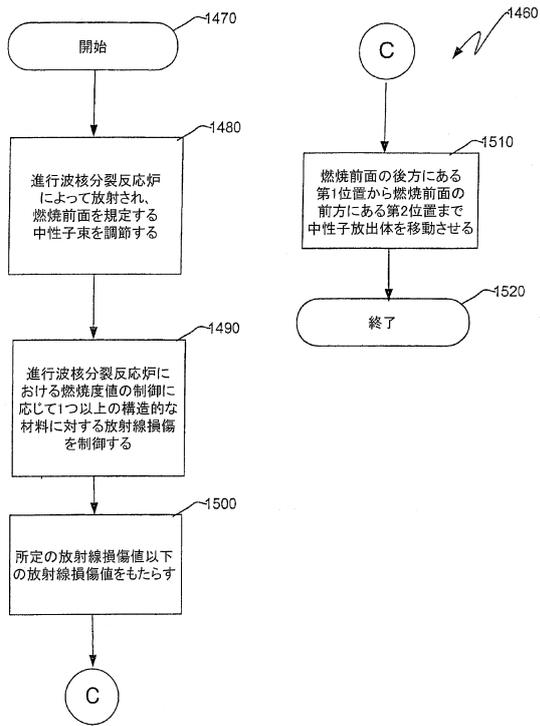
【図38】



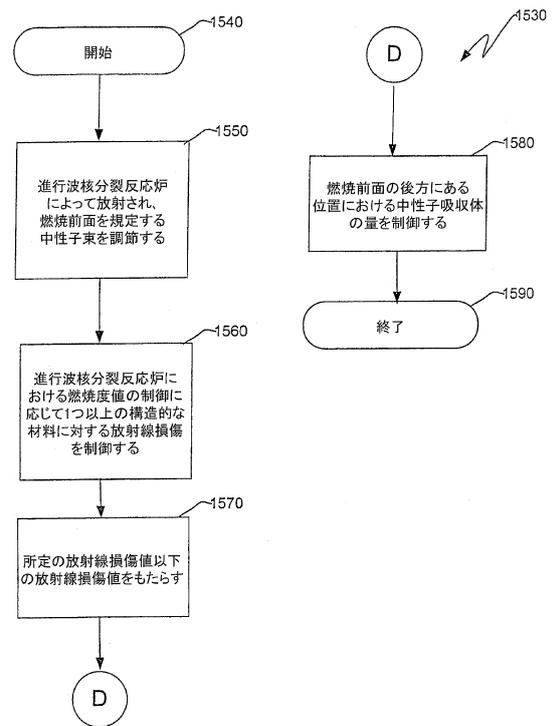
【図39】



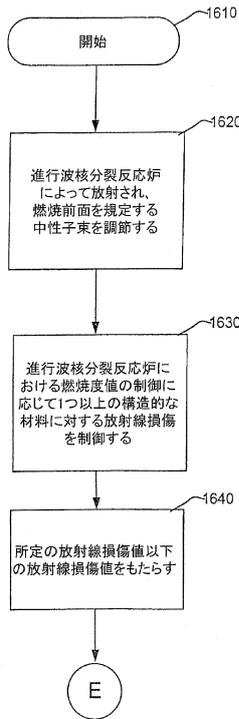
【図40】



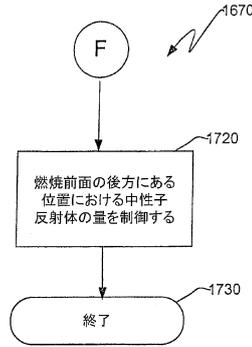
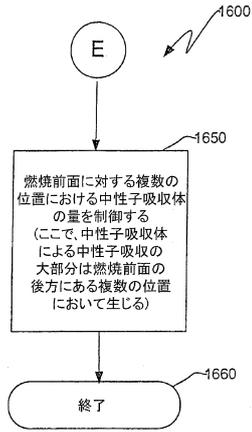
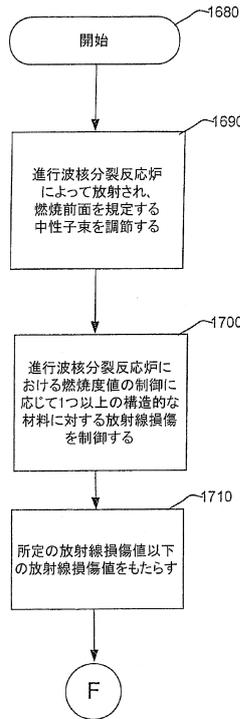
【図41】



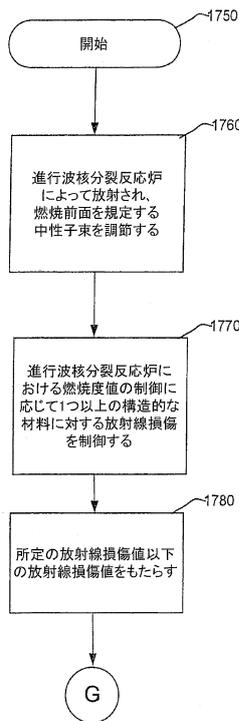
【図42】



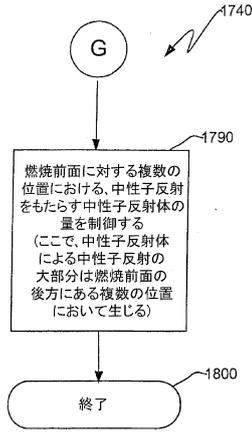
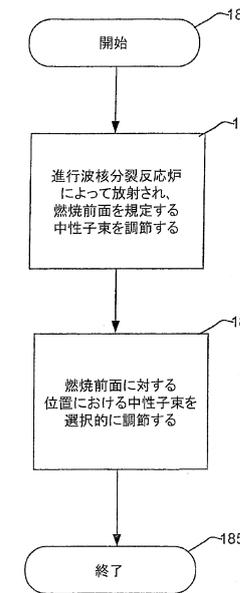
【図43】



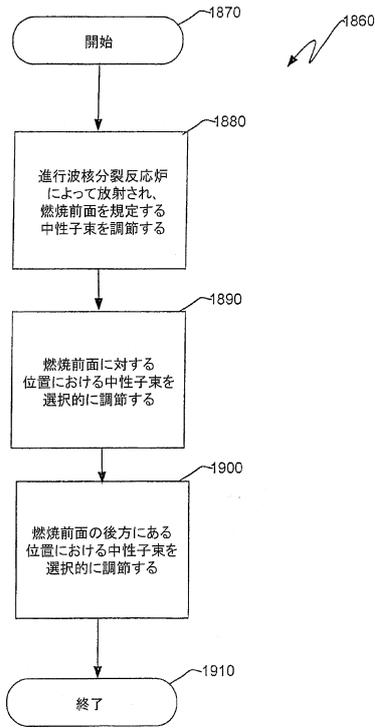
【図44】



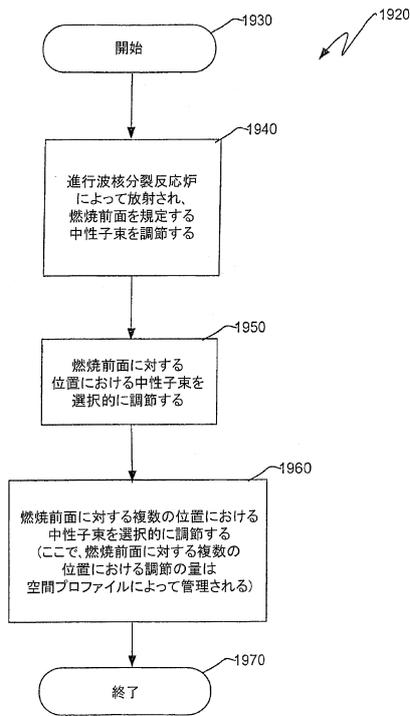
【図45】



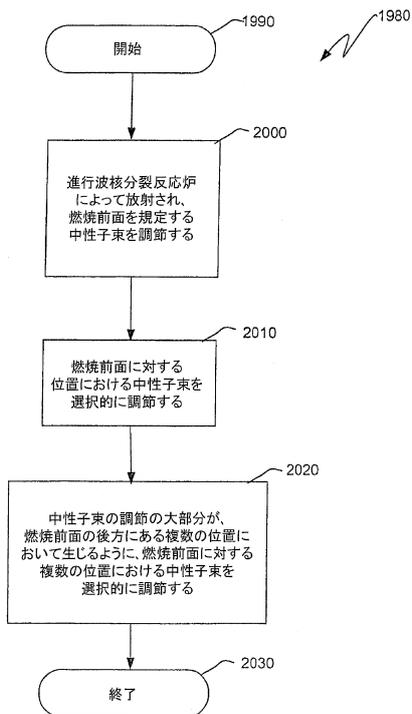
【図46】



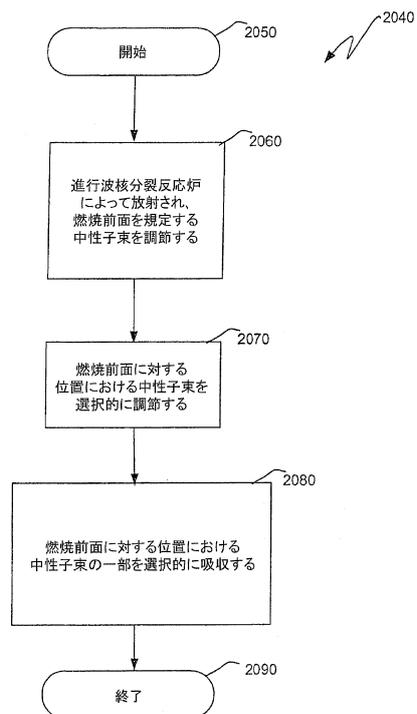
【図47】



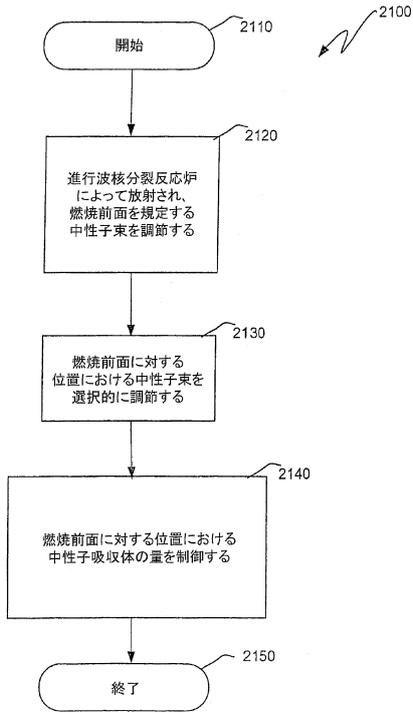
【図48】



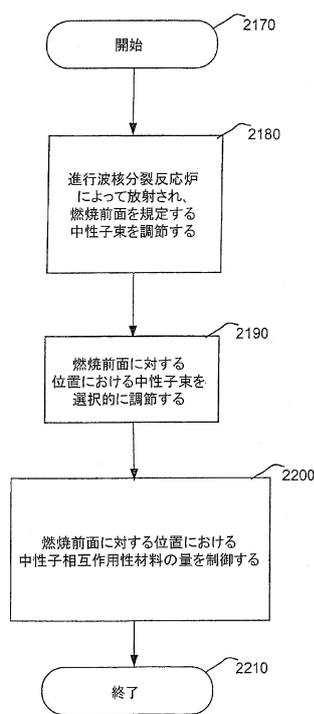
【図49】



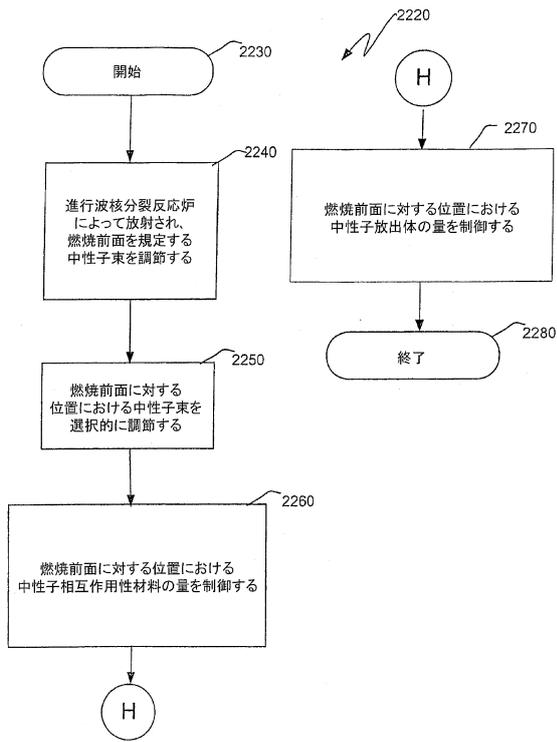
【図50】



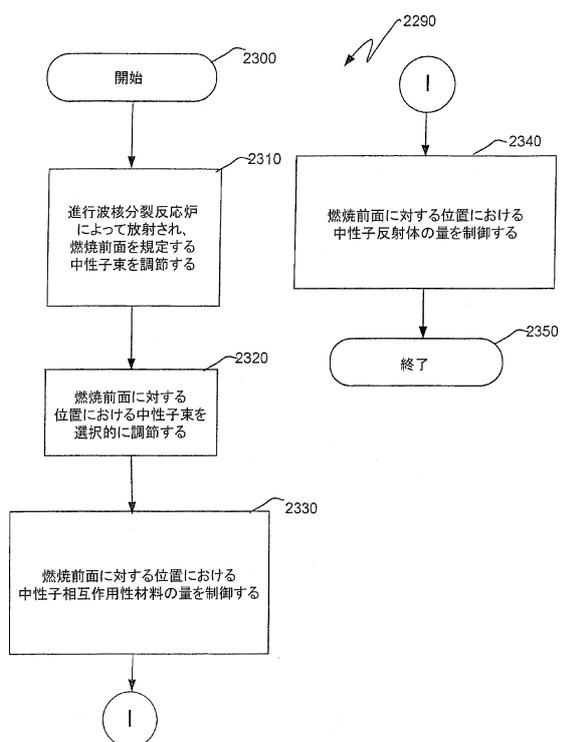
【図51】



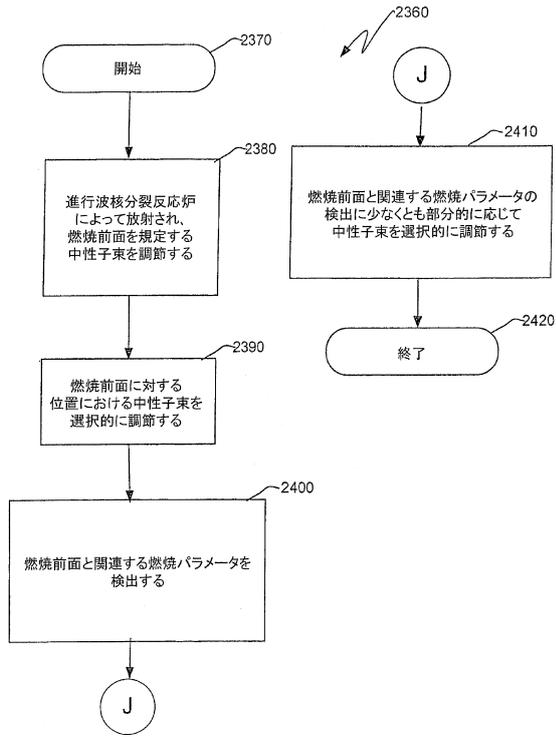
【図52】



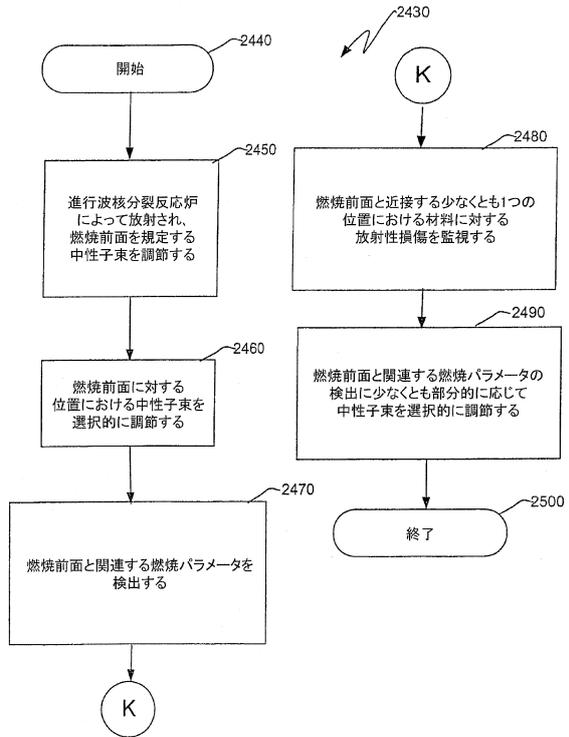
【図53】



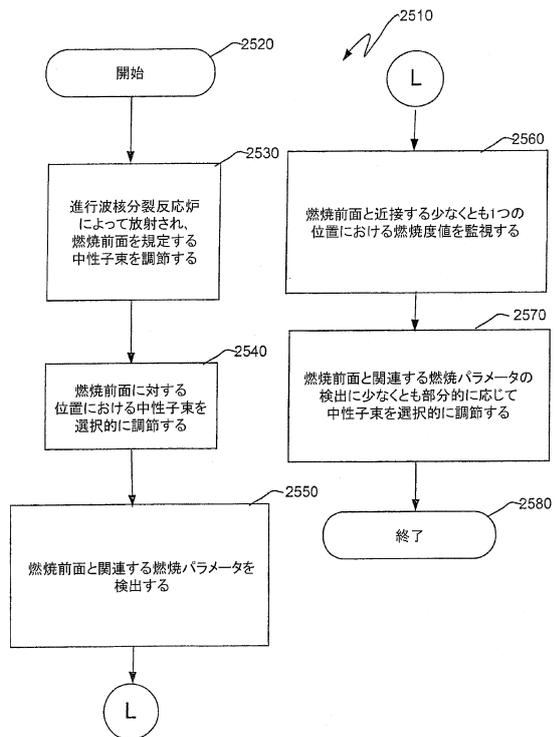
【図54】



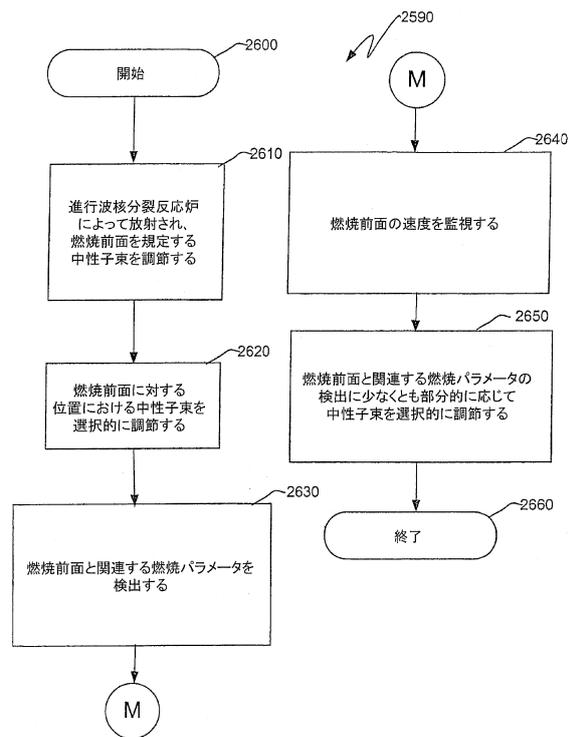
【図55】



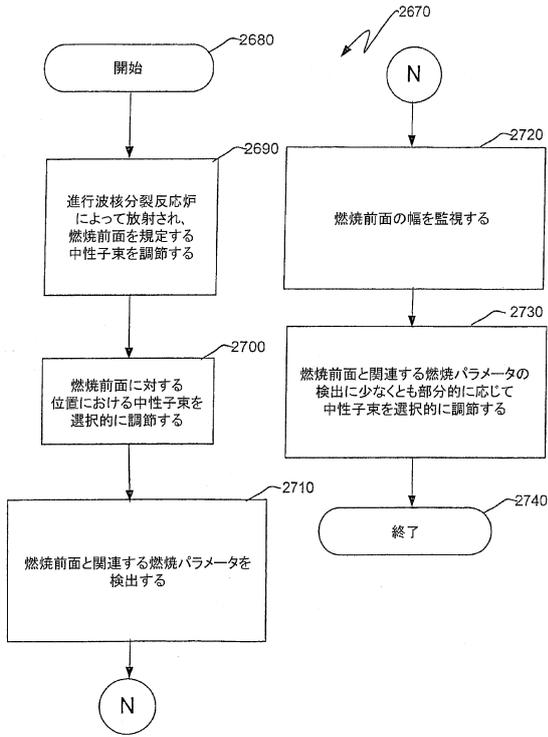
【図56】



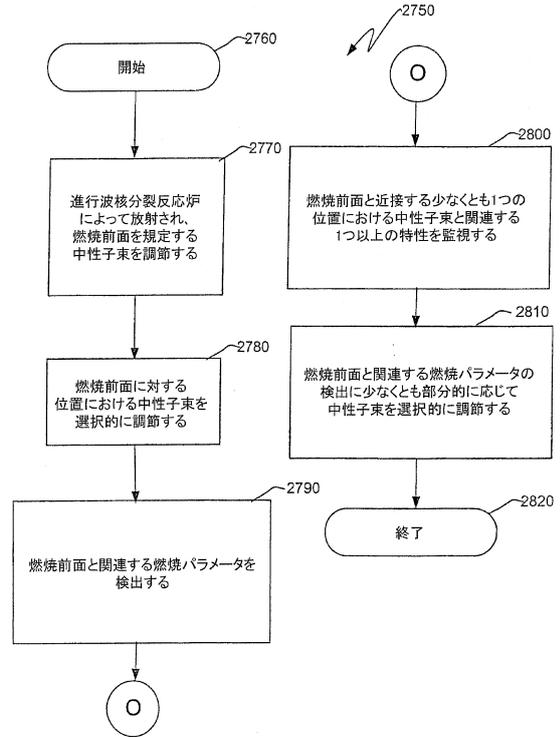
【図57】



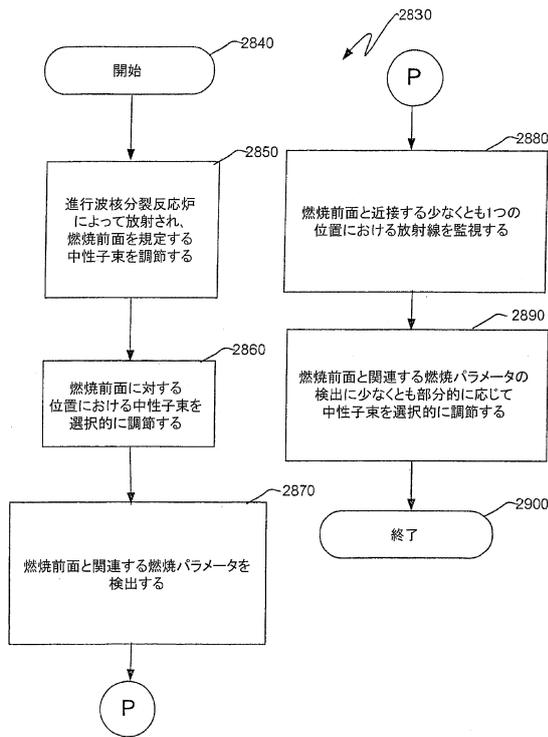
【図58】



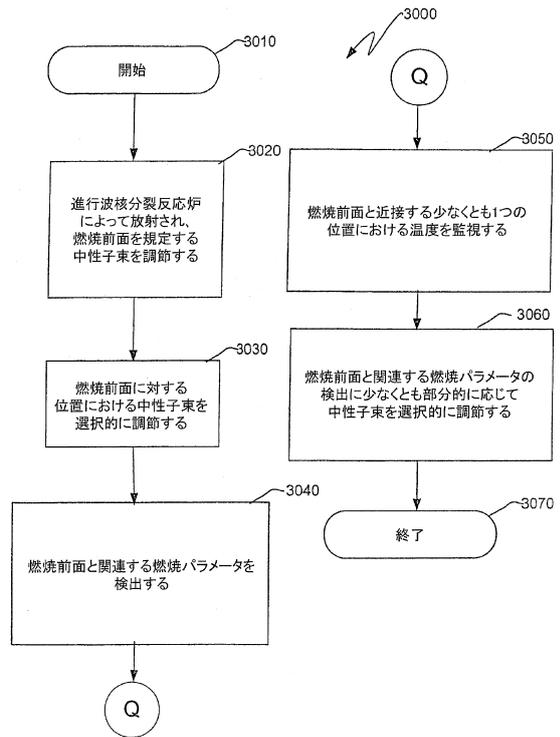
【図59】



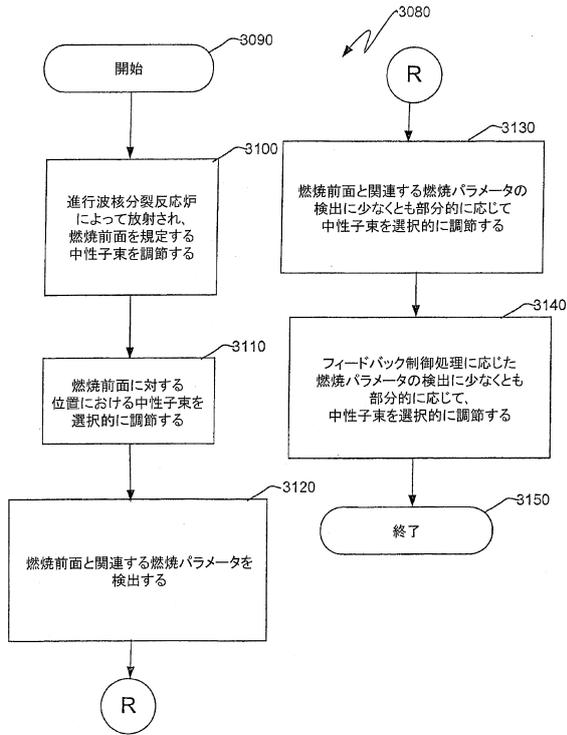
【図60】



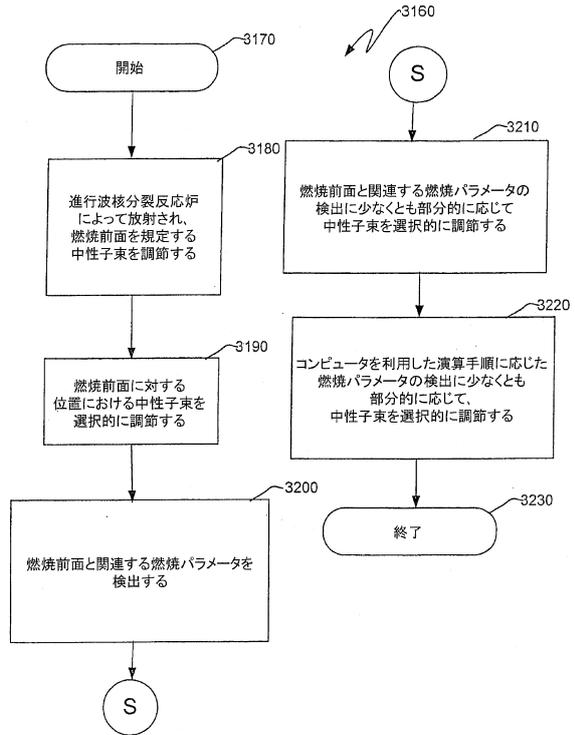
【図61】



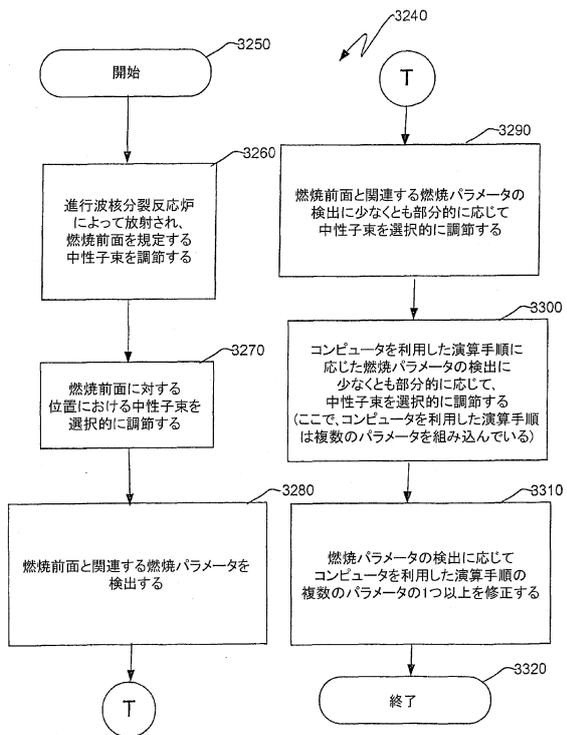
【図62】



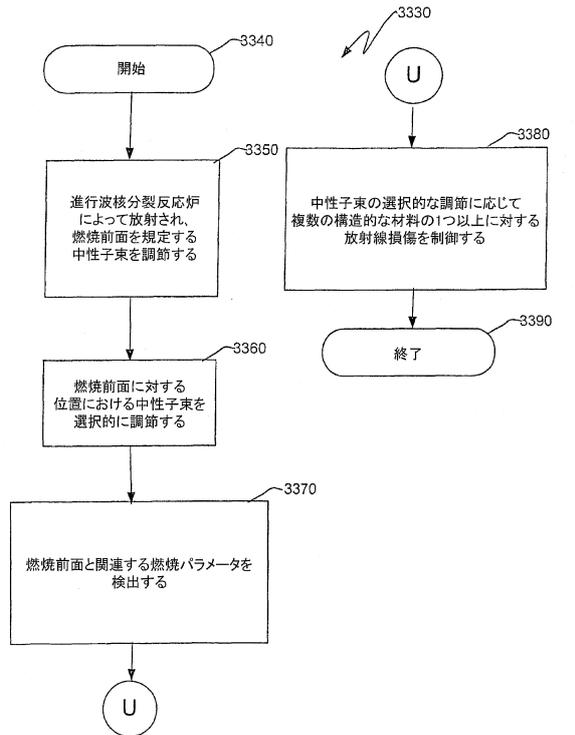
【図63】



【図64】



【図65】



## フロントページの続き

- (72)発明者 ギルランド, ジョン, ロジャース  
アメリカ合衆国, 98034 ワシントン州, カークランド, シクスティセブンス アベニュー  
エヌ.イー. 13226
- (72)発明者 ハイド, ロデリック, エー.  
アメリカ合衆国, 98052 ワシントン州, レドモンド, ワンハンドレッドシックスティファースト  
アベニュー エヌ.イー. 9915
- (72)発明者 イシカワ, ミュリエル, ワイ.  
アメリカ合衆国, 94550 - 4921 カリフォルニア州, リバーモア, ヒルクレスト アベニュー  
1185
- (72)発明者 マカリース, デイビッド, ジー.  
アメリカ合衆国, 98006 ワシントン州, ベルビュー, フォーティシックスス プレイス エ  
ス.イー. 17425
- (72)発明者 ミアボルド, ネイサン, ピー.  
アメリカ合衆国, 98004 ワシントン州, ベルビュー, シックスス ストリート エスイー  
11235, スイート 200
- (72)発明者 ホイトマー, チャールズ  
アメリカ合衆国, 98045 ワシントン州, ノース ベンド, アップランズ ウェイ エス.イ  
ー. 15509
- (72)発明者 ウッド, ロウエル, エル., ジュニア  
アメリカ合衆国, 98004 ワシントン州, ベルビュー, ワンハンドレッドトゥエルブス アベ  
ニュー エヌイー #2310 989
- (72)発明者 ツインマーマン, ジョージ, ビー.  
アメリカ合衆国, 94549 カリフォルニア州, ラフェイエット, アイヴァンホー アベニュー  
1833

## 合議体

審判長 伊藤 昌哉  
審判官 森 竜介  
審判官 森林 克郎

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2008/0123795 (US, A1)  
米国特許出願公開第2006/0171498 (US, A1)  
米国特許第5045275 (US, A)  
米国特許出願公開第2006/0109944 (US, A1)  
特公昭50-034191 (JP, B2)  
特開昭60-003585 (JP, A)  
国際公開第2008/097298 (WO, A1)  
特開平6-174882 (JP, A)  
特開2007-232429 (JP, A)

## (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G21C 7/08  
G21C 7/24  
G21C 7/28  
G21C 7/34  
G21C 17/06