

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-198422
(P2004-198422A)

(43) 公開日 平成16年7月15日(2004.7.15)

(51) Int.C1.⁷

F 1

テーマコード(参考)

G21C 17/00

G21C 17/00

2 GO 75

G21C 7/08

G21C 7/08

Z

G21C 17/10

G21C 17/10

T

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L 外国語出願 (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2003-419030 (P2003-419030)	(71) 出願人	301068310 グローバル・ニュークリア・フェュエル・ア メリカズ・エルエルシー
(22) 出願日	平成15年12月17日 (2003.12.17)	(74) 代理人	100093908 弁理士 松本 研一
(31) 優先権主張番号	10/321,441	(74) 代理人	100105588 弁理士 小倉 博
(32) 優先日	平成14年12月18日 (2002.12.18)	(74) 代理人	100106541 弁理士 伊藤 信和
(33) 優先権主張国	米国(US)		

最終頁に続く

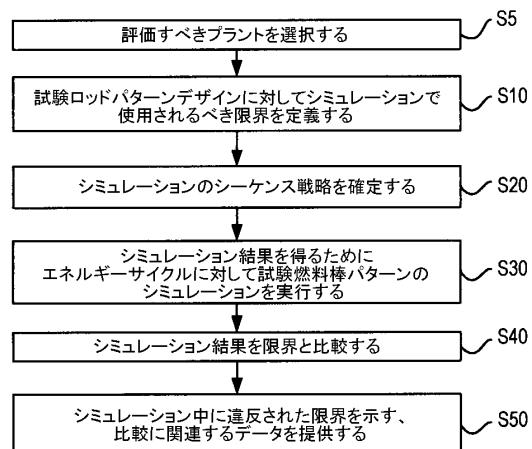
(54) 【発明の名称】原子炉におけるロッドパターンを開発するための方法及び装置

(57) 【要約】

【課題】 試験ロッドパターンデザインに適用可能な限界のセットが定義され、試験ロッドパターンデザインのサブセットを位置決めするためのシーケンス戦略が確定される。

【解決手段】 原子炉の炉心における燃料バンドルのサブセットであっても良い試験ロッドパターンデザインのサブセットに対して原子炉動作がシミュレートされて、複数のシミュレーション結果が生成される。シミュレーション結果は限界と比較され、比較からのデータは、シミュレーション中にいずれかの限界が試験ロッドパターンデザインにより違反されたか否かを示すために提供される。設計担当者又は技術者はこのデータを使用して、シミュレーションのための派生ロッドパターンデザインを作成し、最終的には特定の炉心に関するロッドパターンデザインを完成するために、どのオペレータパラメータを調整する(例えば、ブレードノッチ位置を制御する)必要があるかを判定することができる。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

原子炉を動作させるための制御メカニズムを表す原子炉用ロッドパターンデザインを開発する方法において、

試験制御ロッドパターンデザインに適用可能である限界のセットを定義する過程と、

限界に基づいて、試験ロッドパターンデザインの1つ以上のサブセットを位置決めするためのシーケンス戦略を確定する過程と、

試験ロッドパターンデザインの少なくとも1つのサブセットに対して原子炉動作をシミュレートして、複数のシミュレーション結果を生成する過程と、

シミュレーション結果を限界と比較する過程と、

シミュレーション中に試験ロッドパターンデザインにより違反された限界を示すデータを提供する過程とから成る方法。

【請求項 2】

試験ロッドパターンデザイン、限界、シミュレーション結果及び比較からのデータに関連する情報を格納することと、

試験ロッドパターンデザインを修正して、派生ロッドパターンデザインを作成することと、

シミュレーション中に派生ロッドパターンデザインにより違反された限界を示すデータを解明するために、シミュレートする過程、比較する過程及び提供する過程を繰り返すことと、

沸騰水型原子炉、加圧水型原子炉、ガス冷却炉及び重水炉より成る群から1種類の原子炉を選択することとを更に含む請求項1記載の方法。

【請求項 3】

定義する過程は、

シミュレートする過程を実行するために入力されるべき変数に適用可能である入力限界を定義することと、

シミュレーション結果に適用可能である結果限界を定義することとを更に含み、

入力限界及び結果限界は比較する過程において評価され、

入力限界はクライアントが入力するプラント特有制約及び炉心性能基準に関連し、

結果限界は原子炉動作に使用される動作パラメータ限界、炉心安全度限界、それらの動作限界及び安全度限界のマージン、並びにクライアントが入力するプラント特有制約のうちの少なくとも1つの関連している請求項1記載の方法。

【請求項 4】

比較する過程は、

シミュレーション結果を評価するために目標関数を構成することと、

目標関数を使用してシミュレーション結果ごとに目標関数值を生成することと、

どのシミュレーション結果が限界に違反するかを判定するために、定義された限界のセットに基づいて目標関数值を評価することとを更に含む請求項1記載の方法。

【請求項 5】

提供する過程は、比較する過程が全ての限界は満足されたこと、又は受け入れ可能なマージンの中で満足されたことを示す場合に、受け入れ可能ロッドパターンデザインに関連するデータを提供することとを更に含む請求項1記載の方法。

【請求項 6】

派生ロッドパターンデザインのN回の反復を展開するために、修正する過程、シミュレートする過程、比較する過程及び提供する過程を繰り返し反復することと、

N回の反復のうちの選択された反復について、ロッドパターンデザイン、限界、シミュレーション結果及び比較からのデータに関連する情報を格納することとを更に含み、

繰り返し反復する過程は、特定の反復回における比較において、全ての限界が満足されたこと、又は受け入れ可能なマージンの中で満足されたことが示されるまで実行され、方法は、

10

20

30

40

50

原子炉の受け入れ可能ロッドパターンデザインに関連するデータを出力することを更に含む請求項2記載の方法。

【請求項7】

原子炉を動作させるための制御メカニズムを表す原子炉用ロッドパターンデザインを開発する装置(1000)において、

試験ロッドパターンデザインを格納するメモリ(250)と、

試験ロッドパターンデザインに適用可能な限界のセットを受信し、限界に基づいてロッドパターンデザインのサブセットを位置決めするためのシーケンス戦略を確定することを可能にするインタフェース(230)と、

ロッドパターンデザインの少なくとも1つのサブセットに対してシミュレーション原子炉動作を実行して、複数のシミュレーション結果を生成するシミュレータと、
10

シミュレーション結果を限界と比較するプロセッサ(400)とを具備し、

前記インタフェース(230)は、シミュレーション中に試験ロッドパターンデザインにより違反された限界を示すデータを提供する装置(1000)。

【請求項8】

試験ロッドパターンデザインによる1つ以上の限界の違反を示すデータに応答して、

前記インタフェース(230)は、試験ロッドパターンデザインを修正して派生ロッドパターンデザインを作成する指令を受信し、

前記シミュレータは派生ロッドパターンデザインに対してシミュレーションを反復し、
20

前記プロセッサ(400)は、シミュレーション結果を限界と比較し、

前記インタフェース(230)は、シミュレーション中に派生ロッドパターンデザインにより違反された限界を示すデータを提供する請求項7記載の装置(1000)。

【請求項9】

1つ以上の限界の違反を示すN番目ごとの派生ロッドパターンデザインに関するデータに応答して、

前記インタフェース(230)、前記シミュレータ及び前記プロセッサ(400)は、ロッドパターンデザイン修正機能、シミュレーション機能、比較機能及びデータ提供機能のN回の反復を実行し、N回の反復のうちの選択された反復について、
20

前記メモリ(250)は、ロッドパターンデザイン、限界、シミュレーション結果及び比較からのデータに関連する情報を格納する請求項8記載の装置(1000)。
30

【請求項10】

前記インタフェース(230)、前記シミュレータ及び前記プロセッサ(400)は、前記プロセッサ(400)が、特定の反復回において、全ての限界が満足されたこと、又は受け入れ可能なマージンの中で満足されたことを判定するまで、前記N回の反復を実行し、

前記インタフェース(230)は、前記原子炉の受け入れ可能ロッドパターンデザインに関連するデータを出力し、

受け入れ可能ロッドパターンデザインは制御ブレード構成及び制御棒構成のうちの一方として具現化される請求項9記載の装置(1000)。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は一般に原子炉に関し、特に原子炉の炉心のロッドパターンデザインを識別することに関する。

【背景技術】

【0002】

沸騰水型原子炉(BWR)又は加圧水型原子炉(PWR)などの原子炉の炉心は、異なる特性を有する燃料棒(BWRの場合)又は異なる特性を有する複数の燃料棒群(PWRの場合)から成る数百本の個別の燃料バンドルを有する。それらのバンドル(燃料棒群)は、1つの燃料バンドル(燃料棒群)の中における燃料棒間の相互作用及び燃料バンドル
50

(燃料棒群)間の相互作用が、政府による制約及び顧客指定による制約を含めて、あらゆる規制制約及び原子炉設計制約を満たすように配列されるのが好ましい。更に、ロッドパターンデザイン、例えば、炉心内部における制御ブレード(BWRの場合)又は制御棒(PWRの場合)などの制御メカニズムの配列は、炉心のサイクルエネルギーを最適化するように判定されなければならない。炉心サイクルエネルギーは、運転停止時に実行されているように、新たな燃料要素によって炉心を再生する必要が生じる前に炉心が発生するエネルギーの量である。

【0003】

例えば、BWRの場合、炉心内部における可能なバンドル配列及び1つのバンドルにおける個別の燃料要素配列の数は数百階乗を超えると考えられる。それらの数多くの異なる可能構成の中で、全ての適用可能設計制約を満たすことができるのはわずか数パーセントのロッドパターンデザインのみであろう。更に、あらゆる適用可能設計制約を満たすロッドパターンデザインの中で経済的であるのは、そのわずか数パーセントである。

【0004】

従来、ロッドパターンデザインの判定は試行錯誤方式で実行されてきた。特に、技術者又は設計担当者の過去の経験のみに基づいて、ロッドパターンデザインを行うときには初期パターンデザインが識別された。当初に識別されたロッドパターンデザインは、その後、コンピュータでシミュレートされた。ある特定の設計制約を満足しなければ、その構成を修正し、再度のコンピュータシミュレーションが実行された。以上説明した手続きを使用して適切なロッドパターンデザインが識別されるまでには、通常、何週間にも及ぶ労力が必要とされていた。

【0005】

例えば、現在使用されているプロセスは、設計担当者が原子炉プラント特有の動作パラメータを入力ファイルであるASCIIテキストファイルに繰り返し入力することを要求する独立手動操作ロッドパターンデザインプロセスである。入力ファイルに入力されるデータは制御ブレードのブレードノッチ位置(評価される原子炉が沸騰水型原子炉(BWR)である場合)、炉心流量、炉心照射線量(例えば、メガワット・日毎短時間(MWT/s)で測定された炉心エネルギー・サイクル1回当たりの燃焼量)などを含む。

【0006】

原子力規制委員会(NRC)が認可した炉心シミュレーションプログラムは得られた入力ファイルを読み取り、シミュレーションの結果をテキスト又は2進ファイルへ出力する。そこで、設計担当者はシミュレーション出力を評価して、設計基準に適合しているか否かを判定すると共に、熱限界のマージンの違反が起こったことを検証する。設計基準に適合できない場合(すなわち、1つ以上の限界に違反している場合)には、設計担当者が手作業で入力ファイルを修正する必要がある。特に、設計担当者は1つ以上の動作パラメータを手作業で変更し、炉心シミュレーションプログラムを再度実行することになるであろう。このプロセスは、申し分ないロッドパターンデザインが実現されるまで繰り返された。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

このプロセスは極めて長い時間を要する。要求されるASCIIテキストファイルは構成するのに骨が折れ、多くの場合、誤りを生じやすい。ファイルは固定フォーマットであり、極めて長く、場合によっては5000行を超えるコードを含む。ファイルに1つ誤りがあっても、シミュレータのクラッシュを招き、更に悪い場合には、さほど逸脱しているように見えず、当初は検出するのが困難であるが、時間の経過に伴って繰り返すうちに悪化し、実際の運転中の炉心に配置されたときにはおそらく炉心サイクルエネルギーを減少させてしまうような結果を生じる。

【0008】

更に、設計担当者をより好都合なロッドパターンデザインの解に向かって誘導するため

10

20

30

40

50

に、手動操作による反復プロセスを介して補助は全く与えられない。現在のプロセスでは、責任のある設計担当者又は技術者の経験と直観がロッドパターンデザインの解を判定する唯一の手段である。

【課題を解決するための手段】

【0009】

原子炉を動作させるための制御メカニズムを表現する、原子炉のロッドパターンデザインを開発する方法及び装置が説明される。方法において、試験ロッドパターンデザインに適用可能な限界のセットが定義され、試験ロッドパターンデザインの1つ以上のサブセットを位置決めするためのシーケンス戦略が限界に基づいて確定される。例えば、原子炉の炉心における燃料バンドルのサブセットであっても良い試験ロッドパターンデザインのサブセットに対して原子炉動作がシミュレートされて、複数のシミュレーション結果が生成される。シミュレーション結果は限界と比較され、比較からのデータは、シミュレーション中にいずれかの限界が試験ロッドパターンデザインにより違反されたか否かを示すために提供される。設計担当者又は技術者はこのデータを使用して、シミュレーションのための派生ロッドパターンデザインを作成し、最終的には特定の炉心に関するロッドパターンデザインを完成するために、どのオペレータパラメータを調整する（例えば、ブレードノッチ位置を制御する）必要があるかを判定することができる。別の実施例においては、複数の異なるロッドパターンデザインに対して、原子炉の炉心で使用されるべき最適のロッドパターンデザインを実現するために違反された限界を絶えず改善しつつ、上記の過程を反復する最適化ルーチンが呼び出されても良い。

10

20

30

40

50

【0010】

本発明は、以下の詳細な説明及び添付の図面から更に完全に理解されるであろう。図面中、同じ要素は同じ図中符号により表されるが、図中符号は単なる例示を目的として付されており、本発明を限定するものではない。

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

原子炉のロッドパターンデザインを開発するための方法及び装置は、ユーザが適切な表示装置で検討できるようなロッドパターンデザイン（例えば、BWRの場合はノッチ位置及び制御ブレードパターンのシーケンス、PWRの場合は制御ロッドパターンのグループシーケンスなど）をユーザが仮想作成することを可能にするために、グラフィカルユーザインターフェース（GUI）と、処理媒体（例えば、ソフトウェア駆動プログラム、プロセッサ、アプリケーションサーバなど）とを含む。装置は、提案されたロッドパターンデザインの解がシミュレートされる原子炉動作に関するユーザ入力限界又は制約にどれほど近く適合しているかに基づいて、ユーザに対してフィードバックを提供する。

【0012】

初期試験ロッドパターンデザインから始めて、ユーザは、GUIを介して、シミュレートされる試験ロッドパターンデザインに適用可能である限界（例えば、限界はプラント特有の制約データであっても良い）を入力する。例えば、制約データ又は限界は、特定の原子炉プラント又は炉心エネルギーサイクルに関する限界又は目標動作値及び炉心性能値のセットとして定義されても良い。次に、ユーザは、GUIを介して、試験ロッドパターンデザインの原子炉シミュレーション（例えば、NRCにより認可されているシミュレーションコードを使用する3次元シミュレーション）を開始し、シミュレーションの結果を検討する。1つの面では、方法は、シミュレートされたロッドパターンデザインが限界又は制約にどれほど近く適合しているかを比較するために目標関数を計算する。目標関数は、制約又は限界を取り入れ、ロッドパターンデザインの限界に対する厳守度を定量化する式である。例えば、シミュレーションの結果及び計算された目標関数値に基づいて、炉心設計担当者、技術者又はプラント管理者などであると思われるユーザは特定のデザインがユーザの限界条件に適合するか（すなわち、最大サイクルエネルギー条件に適合するか）否かを判定することが可能である。そこで、GUIを介して、ユーザは試験ロッドパターンデザインを修正して派生ロッドパターンデザインを作成し、派生ロッドパターンデザイ

ンにおいて何らかの性能改善があるか否かを判定するためにシミュレーションを繰り返すための指令を発行する。更に、ユーザは、シミュレートされるデザインが全ての限界を満足するまで、又はユーザにとって受け入れ可能であるマージンの中で全ての限界を満足するまで、G U I を介して、N種類のロッドパターンデザインに対して機能（例えば、シミュレーション、結果と限界の比較、限界違反がある場合の修正など）を反復しても良い。

【 0 0 1 3 】

本発明の方法及び装置はいくつかの利点を提供する。第1に、方法及び装置は、原子炉の所望のロッドパターンデザインを作成するために必要とされる時間の量を10分の1に短縮するために計算環境を利用する。方法はユーザの入力制約又は設計限界を完全に厳守する（例えば、目標関数が0に等しくない場合、ロッドパターンデザインは完全ではない）。方法及び装置は、従来の手動操作による反復プロセスと比較して、ロッドパターンデザインを迅速に変更すること及び変更されたデザインをシミュレートすることに関してより大きな動作上の融通性を提供する。手動操作による反復プロセスに関して説明したように、シミュレータ入力ファイルを生成することを試みている間に誤りを犯すことは全くない。

【 0 0 1 4 】

図1は、本発明の一実施例に従った方法を実現するための装置を示す。図1を参照すると、装置1000は、例えば、アクセス可能なウェブサイトの中央ネクサスとして利用されても良いアプリケーションサーバ200を含む。アプリケーションサーバ200は、例えば、WINDOWS（登録商標）2000アプリケーションサーバなどの周知の何らかのアプリケーションサーバとして具現化されても良い。アプリケーションサーバ200は複数の計算サーバ400、暗号サーバ260及びメモリ250に動作接続されていても良い。メモリ250は、例えば、リレーショナルデータベースサーバとして具現化されても良い。

【 0 0 1 5 】

複数の外部ユーザ300は暗号化128ビット機密保護ソケット層（S S L）接続375などの適切な暗号化媒体を介してアプリケーションサーバ200と通信しても良いが、本発明はこの暗号化通信媒体に限定されない。ユーザ300はインターネットを介して、あるいはパーソナルコンピュータ、ラップトップ、パーソナルデジタルアシスタント（P D A）などのうちのいずれか1つから、ウェブベースインターネットブラウザなどの適切なインターフェースを使用して、アプリケーションサーバ200に接続しても良い。更に、アプリケーションサーバ200は、内部ユーザ350が、例えば、インターネットを介してアクセスできるように、適切なローカルエリアネットワーク接続（L A N 275）を介して内部ユーザ350に対してもアクセス可能である。アプリケーションサーバ200はオンライン機密保護、目標関数値を計算するために全ての計算を指示し且つデータをアクセスすること、並びにユーザが検討できるようなロッドパターンデザインの様々な特徴の適切な図表表現を作成することを責務とする。図表情報は128ビットS S L接続375又はL A N 275を介して通信される（ユーザ300/350の適切な表示装置に表示される）。これ以降、ユーザという用語は内部ユーザ350と外部ユーザ300の双方を表す。例えば、ユーザは原子炉のロッドパターンデザインを判定するためにウェブサイトをアクセスしている原子炉プラントの代表者及び/又は本発明の方法及び装置を使用することによりロッドパターンデザインを開発するために原子炉プラントの現場で賃貸されているベンダーのいずれかであっても良い。

【 0 0 1 6 】

図2は、図1の装置と関連するアプリケーションサーバ200を示す。図2を参照すると、アプリケーションサーバ200は、様々な構成要素を接続し且つユーザから受信されるデータの経路を形成するためにバス205を利用する。バス205は、多くのコンピュータアーキテクチャにおいて標準的である周辺コンポーネント相互接続（P C I）バスなどの従来のバスアーキテクチャによって実現されても良い。これに代わるV M E B U S、N U B U S、アドレスデータバス、R A M バス、D D R（ダブルデータレート）バスなど

10

20

30

40

50

のバスアーキテクチャを利用してバス 205 を実現することも言うまでもなく可能であろう。ユーザは、アプリケーションサーバ 200 と通信するために、適切な接続 (LAN 275 又はネットワークインターフェース 225) を介してアプリケーションサーバ 200 へ情報を通信する。

【0017】

アプリケーションサーバ 200 はホストプロセッサ 210 を更に含み、ホストプロセッサは現在利用可能である PENTIUM (登録商標) プロセッサなどの従来のマイクロプロセッサによって構成されても良い。ホストプロセッサ 210 は、ユーザにより表示及び検討するために、グラフィカルユーザインターフェース (GUI) 機能及びブラウザ機能、機密保護機能の指示、様々な限界に関する目標関数の計算などの計算の指示などのアプリケーションサーバ 200 における全てのリアルタイム機能及び非リアルタイム機能の全てが実行される中央ネクサスを表している。従って、ホストプロセッサ 210 は、ソフトウェアにおいてブラウザとして具現化される GUI 230 を含んでいても良い。ブラウザは、装置 1000 のユーザに対するインターフェースを提示し、ユーザと対話するソフトウェア装置である。ブラウザはユーザインターフェース構成要素 (例えば、ハイパーテキスト、ウィンドウなど) 及び画像をフォーマッティングし、表示する責務を負う。

【0018】

ブラウザは、通常、標準ハイパーテキスト、マークアップ言語 (すなわち、HTML) により制御され、指令される。これに加えて、又はその代わりに、更に詳細なユーザ対話を要求する GUI 230 の制御流れにおける決定は Java (登録商標) Script を使用して実現されても良い。これらの言語は共に所定のアプリケーションサーバ 200 の実現形態の特定の詳細に合わせてカスタマイズ又は適合されても良く、画像は周知の JPEG、GIF、TIFF 及び標準化圧縮スキーマを使用してブラウザで表示されても良いが、XML、「ホームブルー (home brew)」言語、あるいはその他の周知の非標準化言語及びスキーマのような、その他の非標準化言語及び圧縮スキーマを GUI 230 に対して使用しても良い。ホストプロセッサ 210 は暗号サーバ 260 に動作接続されても良い。従って、アプリケーションサーバ 200 は、装置 1000 を外部からの侵入から保護するためのファイアウォールを設定するように、暗号サーバ 260 を使用することにより全ての機密保護機能を実現する。更に、暗号サーバ 260 は登録ユーザの全ての個人情報の機密を保護する。

【0019】

アプリケーションサーバ 200 は複数の計算サーバ 400 にも動作接続されていて良い。計算サーバ 400 はユーザ入力データを処理し、ロッドパターンデザインのシミュレーションを指示し、以下に更に詳細に説明するように比較のために値を計算し、且つ結果を提供するために要求されるあらゆる計算を実行する。提供される結果は、GUI 230 を介して、アプリケーションサーバ 200 の指示の下に表示されれば良い。

【0020】

計算サーバ 400 は、例えば、WINDOWS (登録商標) 2000 サーバとして具現化されても良い。特に、計算サーバ 400 は、目標関数を構成し且つ目標関数値を計算すること、特定の試験ロッドパターンデザインに対して炉心動作をシミュレートし、そのシミュレーションから出力を発生するために 3D シミュレータプログラムを実行すること、GUI 230 を介するユーザからのアクセスに対して、表示のために結果データを提供すること、及び以下に更に詳細に説明するような最適化ルーチンを反復することを含む多数の複雑な計算を実行するように構成されれば良い (ただし、ここで挙げた計算に限定されない)。

【0021】

図 3 は、本発明の一実施例に従ったデータベースサーバ 250 の一例を示す。メモリ又はデータベースサーバ 250 は Oracle (登録商標) 8i Alpha ES 40 リレーショナルデータベースサーバなどのリレーショナルデータベースであれば良い。リレーショナルデータベースサーバ 250 は、本発明の方法を実現するために必要な全てのデータ及び結果を処理する。

10

20

30

40

50

理する複数の従属データベースを含んでいても良い。例えば、リレーショナルデータベースサーバ250は、特定の原子炉について評価される全ての試験ロッドパターンデザインのユーザ入力限界及び／又は設計制約を格納するデータベースである限界データベース251などの従属データベースを含む格納領域を含んでいても良い。更に、リレーショナルデータベースサーバ250は、3Dシミュレータにおいてシミュレートされるべき特定のロッドパターンデザインに関する全てのパラメータを格納する待ち行列データベース253を含んでいても良い。全てのシミュレータ結果はシミュレータ結果データベース255に格納されれば良い。シミュレータ結果データベース255（及び限界データベース251）は、特定の試験ロッドパターンデザインに適用可能である複数の目標関数値を計算するために、計算サーバ400によりアクセスされれば良い。それらの目標関数値はリレーショナルデータベースサーバ250内の目標関数値データベース257に格納されれば良い。3Dシミュレータ入力パラメータデータベース259もリレーショナルデータベースサーバ250に含まれていて良い。データベース259は全ての照射線量ステップに対するロッドパターン位置及び原子炉動作パラメータを含む。計算サーバ400がリレーショナルデータベースサーバ250に動作接続され、リレーショナルデータベースサーバ250と通信できるため、図3に示す従属データベースの各々は1つ以上の計算サーバ400に対してアクセス可能である。

【0022】

図4は、沸騰水型原子炉を例としてロッドパターンデザインに関して説明される本発明の一実施例に従った方法を示すフローチャートであるが、方法及び装置がPWR、ガス冷却炉及び重水炉に適用可能であることは理解されている。

【0023】

図4を参照すると、ステップS5では評価のために1つの原子炉プラントが選択され、選択されたプラントの試験ロッドパターンデザインに関するシミュレーションで使用されるべき限界が定義される（ステップS10）。限界に基づいて、制御メカニズムの運動（例えば、制御ブレードノッチ位置、制御棒位置など）のシーケンス戦略が確定される（ステップS20）。複数のシミュレーション結果を生成するために、炉心デザイン全体に対して、又は試験ロッドパターンデザインの1つのサブセット（例えば、炉心における燃料バンドルのサブセットであっても良い）に絞って、原子炉動作がシミュレートされる（ステップS30）。シミュレーション結果は限界と比較され（ステップS40）、その比較に基づいて、いずれかの限界が違反されたか否かを示すデータが提供される（ステップS50）。このデータは、シミュレータされた炉心のどの場所が最大の限界違反部分であるか、すなわち、限界違反に最も大きく寄与する部分であるかを示す標識もユーザに提供する。これらのステップの各々については以下に更に詳細に説明する。

【0024】

図8から図13は、本発明の方法及び装置の様々な特徴を更に説明するためにコンピュータベースアプリケーションの一例を示す画面図である。以下の本発明の方法及び装置の説明中、それらの図について時に応じて言及する場合がある。まず、初期試験ロッドパターンデザインを選択できるように、1つの原子炉プラントが選択される（ステップS5）。原子炉プラントは、例えば、リレーショナルデータベース250のようなアクセス可能データベースに格納されている格納リストから選択されれば良い。評価されるべき原子炉は、例えば、BWR、PWR、ガス冷却炉又は重水炉のいずれかであれば良い。先に評価されたプラントからのデータを格納しておき、適切なアクセス可能フォルダの下にリストアップされたプラントを適切な入力装置（マウス、キーボード、プラズマタッチスクリーンなど）及びGUI230を介してアクセスしても良い。プラントが選択され、初期試験ロッドパターンデザインが選択される。初期試験ロッドパターンは以前のシミュレーションで使用されたロッドパターンデザインから選択されても良く、評価されるべき原子炉に類似している原子炉からのロッドパターンデザインに基づいて選択されても良く、且つ／又は評価されるべき原子炉プラントにおいてより以前の炉心エネルギーサイクルで使用された実際のロッドパターンデザインから選択されても良い。

10

20

30

40

50

【0025】

プラントが選択されると、プラント構成ウェブページをアクセスするために、G U I 2 3 0 を使用して以前の試験デザインを入力することにより、初期ロッドパターンデザインが選択されれば良い。例えば、ウェブページは、後のシミュレーションにおける評価に備えて、ユーザに「モデルサイズ」、例えば、4分の1炉心、2分の1炉心又は炉心全体を選択することを可能にしても良い。更に、ユーザは、選択されたモデルサイズに対して、適切なドロップダウンメニューなどをクリックすることにより炉心対称オプション（例えば、八分円、四分円、非対称）を選択しても良い。

【0026】

「八分円対称」を選択することにより、ユーザは、8つの八分円の全て（1つの八分円は、例えば、1つの燃料バンドル群である）がモデル化される八分円に類似していると仮定して原子炉をモデル化することができる。その結果、シミュレータ時間は概して8倍に増加する。その結果、シミュレータ時間は一般に8倍に増加される。同様に、「四分円対称」を選択することにより、ユーザは、4つの四分円の各々がモデル化される四分円に類似していると仮定して原子炉をモデル化することができる。従って、シミュレータ時間は一般に4倍に増加される。バンドル特性の非対称が八分円又は四分円対称を妨げるのであれば、ユーザは非対称を指定することも可能である。

【0027】

試験ロッドパターンデザインに適用可能な限界のセットが定義される（ステップ S 1 0）。それらの限界は評価されるべき特定の原子炉の設計の重要な面及びその原子炉の設計制約に関連していても良い。限界は、試験ロッドパターンデザインのシミュレーションを実行するために入力されるべき変数に適用可能であっても良く、シミュレーションの結果にのみ適用可能な限界であっても良い。例えば、入力限界はクライアントが入力する原子炉プラント特有の制約及び炉心性能基準に関連していても良い。シミュレーション結果に適用可能な限界は原子炉動作に使用される動作パラメータ限界、炉心安全度限界、それらの動作限界及び安全度限界に対するマージン、並びに他のクライアントが入力する原子炉プラント特有の制約のうちの1つ以上に関連していても良い。図 8 A は、クライアントが入力するプラント特有の制約を示し、これはシミュレーションの入力変数に対する限界及びシミュレーション結果に対する限界として構成されていても良い。図 8 A を参照すると、全体を矢印 8 0 5 で示すように複数のクライアント入力プラント特有制約が列挙されている。制約ごとに、欄 8 1 0 により示すように、1つの設計値限界を割り当てることが可能である。

【0028】

限界に基づいて、試験ロッドパターンデザインの1つ以上のサブセットを位置決めするためのシーケンス戦略が確定される（ステップ S 2 0）。例えば、評価されるべき原子炉が沸騰水型原子炉である一実施例においては、限界は許容しうる制御ブレード位置及び持続時間を確定するのを助ける。ユーザが初期シーケンス戦略を判定するのを補助するため、制御ブレードテーマは許容しうるブレード対称性と共に定義される。典型的な B W R 動作の場合、例えば、制御ブレードは4つのブレード群（「A 1」、「A 2」、「B 1」及び「B 2」）に分割されても良い。ブレードをそれらのブレード群に区分することにより、ユーザは所定のシーケンスの中で許容しうるブレードのみを容易に識別できるであろう。従って、望ましくない解をもたらす結果につながると考えられる望ましくないブレードの使用が防止される。制御ブレードテーマは照射線量ごとに識別されるので、必然的に十分なブレード定義が得られる。

【0029】

制御ブレードテーマ及びブレード対称性を定義することにより、ユーザは制御ブレードテーマ内で単一のブレード位置を識別するだけで済むようになり、他の対称の制御ブレードはそれに追随する。従って、冗長な制御ブレード位置情報によって図表領域が煩雑になることはない。更に、シーケンス戦略を自動化することにより、許容されない制御ブレード位置誤差の発生が阻止される。

10

20

30

40

50

【0030】

ユーザは、次に、サイクル開始（B O C）からサイクル終了（E O C）に至る全てのシーケンス及び初期ロッドパターン判定を識別する。図8Bは、制御ブレードシーケンスがどのように入力されるかを図表により示す。ブレード群(Blade group)と名付けられた欄817では、ユーザは、例えば、ユーザが既に何を入力していたかに基づいてシーケンス戦略を調整又は設定することができる。図8Bでは、ユーザは811で照射線(Exposure)量ステップを設定し、813で計算型(calculation Type)を設定し、815で詳細なロッドパターンを設定し、817でブレード群を設定し、且つ適切な動作パラメータを設定している。

【0031】

限界が定義され、シーケンス戦略が確定されると、シミュレーションが開始される（ステップS30）。シミュレーションは計算サーバ400により実行されても良いが、装置1000の外部で実行される3Dシミュレーションプロセスであっても良い。ユーザはPANACEA（登録商標）、LOGOS（登録商標）、SIMULATE（登録商標）、POLCA（登録商標）などの周知の実行可能な3Dシミュレータプログラムを採用するか、あるいは周知のように、適切なシミュレータドライバが定義され、符号化されている他のいずれかの周知のシミュレータソフトウェアを採用すれば良い。計算サーバ400は、ユーザによりGUI230を介して入力されたデータに基づいてそれらのシミュレータプログラムを実行しても良い。

【0032】

従って、ユーザは任意の時点でGUI230を使用して3Dシミュレーションを開始するが、シミュレーションを開始するための手段にはいくつかの異なる種類がある。例えば、周知のように、ユーザはウィンドウドロップダウンメニューから「シミュレーション実行(run simulation)」を選択しても良いし、ウェブページタスクバーで「RUN」アイコンをクリックすることも可能であろう。更に、ユーザはシミュレーションの図表更新又は状態を受信しても良い。シミュレーションに関連するデータはリレーショナルデータベースサーバ250内の待ち行列データベース253に待機していても良い。シミュレーションが待機状態にあるとき、周知のように、ユーザはシミュレーションが完了する時点に関して音声及び／又は視覚による表示を受けても良い。

【0033】

ユーザがシミュレーションを開始すると、その後に多数の自動化ステップが続く。図5は、シミュレーションステップS30を更に詳細に示すフローチャートである。まず、ロッドパターンデザイン問題に関する全ての定義が3D炉心シミュレータに合わせて3D命令セット（例えば、コンピュータジョブ）に変換される（ステップS31）。これにより、ユーザは先に説明したシミュレータのようないくつかの種類のシミュレータから選択することが可能になる。どの特定のシミュレータを選択するかは、ユーザにより入力されるプラント基準（例えば、限界）によって決まる。コンピュータジョブは各リレーショナルデータベースサーバ250の待ち行列サーバ253に待機するように実行可能状態とされる（ステップS33）。特定のシミュレーションに関するデータの格納により、最前の反復又は以前の反復から可能なシミュレーション反復を開始することが可能になる。このデータを格納し、検索することにより、ロッドパターンデザインに対する以後のシミュレーション反復の実行に要する時間はわずか数分又は数秒になる。

【0034】

これと同時に、利用可能な計算サーバ400の各々で実行中のプログラムは数秒ごとに実行すべき実行可能なジョブを検索するために走査する（ステップS37）。実行可能な状態のジョブがあれば、1つ以上の計算サーバ400は待ち行列データベース253からデータを獲得し、適切な3Dシミュレータを動作させる。先に説明したように、ユーザに対して1つ以上の状態メッセージが表示されても良い。シミュレーションが完了すると、関心ある全ての結果はリレーショナルデータベース250内の1つ以上の従属データベース（例えば、シミュレーション結果データベース255）に格納される。従って、試験口

10

20

30

40

50

ッドパターンデザインに関する目標関数値を計算するために、リレーションナルデータベースサーバ 250 をアクセスできる。

【0035】

図 6 は、図 4 の比較ステップを更に詳細に示す流れ図である。目標関数は計算サーバ 400 によるアクセスに備えてリレーションナルデータベースサーバ 250 に格納されていても良い。目標関数値を提供する目標関数計算も、従属する目標関数値データベース 257 などのリレーションナルデータベースサーバ 250 内に格納されても良い。図 6 を参照すると、目標関数計算に対する入力は限界データベース 257 からの限界と、シミュレータ結果データベース 255 からのシミュレータ結果とを含む。従って、1つ以上の計算サーバ 400 はこのデータをリレーションナルデータベースサーバ 250 からアクセスする（ステップ S41）。 10

【0036】

本発明の方法及び装置においては、任意の数の目標関数フォーマットを利用できるであろうと考えているが、一実施例は、(a) 「CONS」と表現される、ある特定の制約パラメータに対する限界（例えば、原子炉プラントパラメータの設計制約）、(b) 「RESULT」と表現される、その特定の制約パラメータに関する 3D シミュレータからのシミュレーション結果、及び(c) 「MULT」と表現される、制約パラメータの乗数という 3 つの要素を有する目標関数を含む。事前定義済み MULT のセットは、例えば、BWR プラント構成の大きな集団から経験的に判定されても良い。それらの乗数は、原子炉エネルギー、反応度限界及び熱限界を適切な順序で判定することを可能にする値に設定されても良い。従って、本発明の方法は経験的に判定された乗数の総称セットを利用し、それらは 30 種類を超える異なる炉心デザインに適用可能であろう。しかし、GUI 230 により乗数を手動操作で変更することは可能であり、これは、ユーザの好みで事前設定済みデフォルトにより識別される乗数より大きい乗数によっていくつかの制約に「ペナルティを課す」ことが望まれる場合もあるという点で重要である。 20

【0037】

目標関数値は個別の制約パラメータごとに計算されても良いし、全ての制約パラメータを一まとめとして計算されても良いが、その場合、全ての制約パラメータはある特定の試験ロッドパターンで評価されるべきものの全体を表している。目標関数の個々の制約要素は式(1)に記載するように計算されれば良い。 30

【0038】

$$OBJ_{par} = MULT_{par} * (RESULT_{par} - CONS_{par}) \quad (1)$$

式中、「par」は図 8A に列挙されているクライアント入力制約のうちのいずれかであれば良い。これらのパラメータは評価のための可能な候補になりうるであろうパラメータであるばかりではなく、原子炉の適切な炉心構成を判定するために一般に使用されているパラメータでもあることを理解すべきである。総合的な目標関数は全ての制約パラメータの総計である。すなわち、

$$OBJ_{TOT} = \text{SUM}(par=1, 31)[OBJ_{par}] \quad (2)$$

式 1 に関して説明すると、RESULT が CONS より小さい場合（例えば、制約の違反がない）、差は 0 にリセットされ、目標関数は 0 になる。従って、0 の目標関数値は、ある特定の制約が違反されなかったことを示す。正の目標関数値は、修正を必要とすると思われる違反を表す。更に、シミュレーション結果は特殊座標 (i, j, k) 及び時間座標（照射線量ステップ）（例えば、炉心エネルギーサイクルにおける特定の時間）で提供されても良い。従って、ユーザはどの時間座標（例えば、照射線量ステップ）にその問題が位置しているかを見て取ることができる。そのため、ロッドパターンは識別された照射線量ステップでのみ修正される。 40

【0039】

加えて、目標関数値は各照射線量ステップの関数として計算され、試験ロッドパターンデザイン問題全体に対して合計されても良い（ステップ S43）。制約ごとに計算された目標関数値と、照射線量ステップごとの目標関数値は、総目標関数値に対する所定の制約 50

の寄与の度合を表す百分率を求めるために、各目標関数値を正規化することにより更に検査されても良い（ステップ S 4 5）。目標関数計算の各々結果、すなわち、値は、リレーショナルデータベースサーバ 250 内の従属目標関数値データベース 257 に格納される。

【 0 0 4 0 】

目標関数値はロッドパターン開発の手動操作による判定に利用されても良い。例えば、限界に違反するパラメータを判定するために、ユーザは図表形式で目標関数計算の値を見ても良い。更に、ロッドパターンデザインを首尾よく反復する中で目標関数値に何らかの変更が行われる場合、それは提案されたデザインにおける改善と損失の双方を推定するための基準をユーザに与える。

10

【 0 0 4 1 】

数回の反復の間の目標関数値の増加は、ユーザの変更が所望の解から離れつつあるロッドパターンデザインを作成していることを示し、一方、目標関数値を減少しつつ連続する反復（例えば、目標関数値が正の値から 0 に向かって減少する場合）は、反復ロッドパターンデザインの改善を示すであろう。連続する反復の間の目標関数値、限界及びシミュレーション結果は、リレーショナルデータベースサーバ 250 内の様々な従属データベースに格納されても良い。従って、後の修正が役に立たないと判明した場合には、過去の反復からのデザインを迅速に検索できるであろう。

【 0 0 4 2 】

目標関数の計算が完了すると、評価される試験ロッドパターンデザインのシミュレーション中に違反された限界を含む、目標関数計算に関連するデータがユーザに提供される。図 9 は、ユーザが検討すると思われる図表データの一例を示す。図 9 を参照すると、入力限界を表す制約パラメータのリストと、制約ごとの目標関数値計算の各々の値とが表示されている。図 9 は、例えば、チェックされたボックス 905 により示すように、ボックス内のチェックマークによって違反された限界を示している。更に、限界違反ごとに、その寄与及び百分率（%）寄与（図 6 に関して説明した計算及び正規化ルーチンに基づく）が表示されている。従って、このデータに基づいて、ユーザには後の反復に備えて試験ロッドパターンデザインに対してどのような修正を実行する必要があるかに関する勧告が与えられる。

20

【 0 0 4 3 】

あるいは、個別のロッドパターンの修正はユーザの希望に任されても良いのであるが、手続き上の勧告は、例えば、プルダウンメニューの形で与えられても良い。それらの勧告は 4 つのカテゴリ、すなわち、エネルギーに有益な移動、反応度制御、エネルギーに不利益な移動及び（熱限界からの）過剰マージンの追加工エネルギーへの変換の 4 つに分割されても良い。好ましい技法は、エネルギーに不利益な移動よりエネルギーに有益な移動を使用して問題に対処する方法である。ロッドパターンデザインが全ての限界（クライアントが入力したプラント特有制約、設計限界、熱限界など）に適合していたとしても、ユーザは特定の限界に対する過剰マージンが追加工エネルギーに変換されることを検証しても良い。従って、以下の論理ステートメントは上記の手続き上の勧告を表現していると考えられる。

30

【 0 0 4 4 】

エネルギーに有益な移動

- ・ブレードの最上部からずれてピーキングがあれば、ブレードをより深く挿入する
- ・E O C で N E X R A T （例えば、熱マージン制約）問題があれば、サイクルのより早期の時点でブレードをより深く挿入する
- ・サイクルの中途中で k W / f t ピーキングがあれば、サイクルのより早期の時点で燃料棒をより深く押し込む

40

【 0 0 4 5 】

反応度制御

- ・シーケンス中に流量が多すぎれば、燃料棒を深く引く

50

・シーケンス中に流量が少なすぎれば、燃料棒をより深く押し込む

【0046】

エネルギーに不利益な移動

・シーケンス中に炉心の底部でピーキングがあれば、局所領域で浅くブレードを挿入する
【0047】

過剰マージンの追加工エネルギーへの変換

・E O Cで余分なM F L C P Rマージンがあれば、サイクルのより早期の時点でブレードをより深く押し込む

・E O Cでk W / f tマージンがあれば、サイクルのより早期の時点でブレードをより深く押し込む

・E O Cで炉心の中心において余分なM F L C P Rマージンがあれば、サイクルのより早期の時点で中央の燃料棒をより深く押し込む

【0048】

場所と、目標関数により示される限界違反の時間照射線量に基づいて、ユーザは制約違反に対処し、修正するために、上記の勧告のうちの1つ以上に容易に従うことができるであろう。

【0049】

目標関数計算の結果として得られたデータは適切な表示装置で解釈されても良い。例えば、このデータは、図9に関して説明したように、違反源を指示した制約のリストとして表示されても良い。しかし、ユーザは、例えば、2次元又は3次元画面として構成可能である複数の異なる「結果」表示画面をアクセスしても良い。以下の表1はユーザが利用可能である画面のいくつかの例を示している。

【0050】

【表1】

表1 – ユーザが利用可能である図表画面
目標関数結果 – リスト
最大炉心値と照射線量の関係のグラフ
中心点最大値と照射線量の関係のグラフ
最大炉心値の場所と照射線量のグラフ
ピン値と照射線量のグラフ
バンドル最大値と照射線量のグラフ
3D回転図観測
以前の反復に対する性能の報告
様々な設計担当者の改善率の報告
サーバ状態の表示
待ち行列状態の表示
システム勧告の表示

【0051】

図10から図11Bは、本発明に従ってユーザ利用可能である図表画面を示す。図10を参照すると、ユーザは、いくつかの制約又はパラメータの画面を表示するために、タスクバーの「ビュー（view）」アイコンから適切なドロップダウンメニューをプルダウンする。図10に示すように、ユーザは最大分数制限パワー密度（Maximum Fractional Limiting Power Density、M F L P D）制約パラメータを選択している。プルダウンメニュー1010により示すように、ユーザが利用可能ないいくつかの異なる図表画面がある。ユーザは単純に所望の画面を選択し、その後、図11A又は図11Bに示すようなページをアクセスすれば良い。図11Aは、1105及び1110に示すように、特定の制約の2つの異なる2次元グラフを示す。例えば、ユーザは、炉心サイクルにおいて特定の照射線量について最大平均平面熱発生速度（Maximum Average Planar Heat Generation Rate、M

10

20

30

40

50

A P L H G R) の違反がどこで起こったか (炉心最大値と照射線量のグラフ 1105 、及び M F P L D の軸方向値と照射線量のグラフ 1110) を判定することができる。それらの制約の限界は線 1120 及び 1125 により示され、違反は通常図 11A の 1130 及び 1135 で示されている。

【 0052 】

図 11B は別の画面、この場合には、M A P L H G R と照射線量の関係の違反に寄与する最大の原因がどの場所にあるかを知るために、炉心の横断面全体を 2 次元で表す画面を示す。1140 及び 1150 でわかるように、丸で囲まれた正方形は、炉心における M A P L H G R の違反の最大の寄与原因である燃料バンドルを表す (例えは、1140 及び 1150 は M A P L H G R に違反するバンドルを指示している) 。これにより、ユーザはロッドパターンデザインにおいてどの燃料バンドルが修正を必要としているかを知ることができる。

10

【 0053 】

図 7A 及び図 7B は、本発明の一実施例に従った修正処理及び反復処理のステップを説明する流れ図である。図 7A を参照すると、ステップ S60 でデータを解釈することにより、ユーザは修正サブルーチンを開始しようとする (ステップ S70) 。実際の場面では常に、最初の試験ロッドパターンデザインは受け入れ可能なデザインではなく、修正サブルーチンが要求されるであろう。一実施例では、ユーザはグラフィカルユーザ G U I 230 を利用して、手動操作によりこの修正サブルーチンを指示できる。別の実施例においては、何回かのロッドパターンデザイン反復に対して自動的にシミュレーション、目標関数の計算及び目標関数計算の結果又は値の評価を自動的に繰り返す最適化アルゴリズムの限度内でサブルーチンが実行されても良い。

20

【 0054 】

ユーザは、表示されるデータに基づいて、いずれかの限界が違反されたか否かを判定する (ステップ S71) 。限界の違反がなければ、ユーザが、ロッドパターンデザインから最大パワーの特性が得られたことを示す識別子があるか否かを判定する。例えは、それらの識別子は、サイクル延長のためにプルトニウム発生を最大にするために燃料棒を炉心内部へ更に深く押し込むことにより良好な熱マージン利用 (M F L C P R 及び L H G R のマージンなど) を示す標識を含むであろう。サイクルデザインに対して最小 E O C 固有値が得られたとき (固有値検索) 又は所望のサイクル長さが一定の E O C 固有値で判定されたとき、パワー条件に適合したと示されても良い。試験ロッドパターンデザインから最大パワーが得られたとの指示があった (ステップ S72 の出力が Y E S である) 場合、受け入れ可能なロッドパターンデザインが判定されたことになり、ユーザはそのロッドパターンデザインに関連する結果の報告をアクセスしても良い (ステップ S73) 。

30

【 0055 】

限界が違反された (ステップ S71 の出力が Y E S である) カ、又は限界の違反はないが、ロッドパターンデザインから最大パワーが得られなかったという指示がある (ステップ S72 の出力が N O である) 場合には、ユーザは、シーケンス戦略の修正が要求されることを示す特性があるか否かを判定する (ステップ S74) 。シーケンス戦略を修正する必要性を示す特性は過剰な制御ブレード (制御棒) 履歴、局所領域における E O C の過剰な M F L C P R 及び個別の照射線量において M F L C P R を含むことが不可能であることを含むであろう。更に、ロッドパターン設計の変更の数度にわたる反復が試みられ、目標関数の改善が現実に見られなかつた場合には、これは代替ロッドパターンシーケンスを開する必要があるであろうということを示すもう 1 つの標識である。

40

【 0056 】

従って、シーケンス戦略が修正を要求する (ステップ S74 の出力が Y E S である) 場合、ユーザはシーケンス戦略を変更することにより派生ロッドパターンデザインを作成する (ステップ S75) 。例えは、図 8B 及び図 8C を参照すると、ユーザはブレードグレーピングを変更するために動作構成ページの編集オプションを選択しても良い (図 8B の 817 を参照) 。

50

【0057】

シーケンス戦略を修正する必要があることを示す特性が存在しない（ステップS74の出力がNOである）場合には、ユーザは、制御ブレード又は制御棒の位置を変更することにより派生パターンを作成するために試験ロッドパターンデザインを修正しても良い。図8Bを参照すると、ユーザは特定の照射線量について「燃料棒設定（set rods）」ボックス830をチェックし、編集アイコン835を選択する。図8Cに示すように、それらの操作は別の表示を出現させ、ユーザは、それに基づいて、手動操作によりある特定のグループの制御ブレードのノッチ位置を変更することができる。図8Cには、セル841で選択されたブレード群Interior A1を含む炉心横断面を示す「ブレードグループ定義（Define Blade Groups）」画面840が示されている。オプション（Options）プルダウンメニュー842を選択することにより、ユーザは「ブレード制約設定（Set Blade Constraints）」ウィンドウ845と呼ばれる別のウィンドウを表示することができる。最小引き出し欄850はブレードをどの程度まで炉心内部に入れることができるかを識別する。最大引き出し欄855はブレードをどの程度まで炉心外へ出すことが許容されるかを識別し、許可なし（Not Allowed）欄860はこの特定のロッドパターンデザインに関して許容されないブレード位置を識別する。本発明は沸騰水型原子炉の制御ブレードノッチ位置を変更することに限定されず、加圧水型原子炉における制御棒の棒位置の変更並びにその他の種類の原子炉（例えば、ガス冷却炉、重水炉など）における制御棒位置の変更にも適用されることを理解すべきである。

10

20

試験ロッドパターンが燃料棒位置の変更により修正されるか、又はシーケンス戦略の変更により修正されるかに関わらず、派生ロッドパターンデザインが全ての限界に適合するか否かを判定するためにステップS30～S50は繰り返される（ステップS77）。これは反復プロセスであっても良い。

30

【0059】

図7Bは、本発明の一実施例に従った反復プロセスを示す。シミュレートされた派生ロッドパターンデザインごとに、ユーザは、シミュレーション結果と限界との比較に関連するデータ（例えば、計算された目標関数値）が依然として限界違反の存在を示しているか否かを判定する。限界違反がなければ、ユーザは特定の原子炉で使用できる受け入れ可能なロッドパターンデザインを開発したことになり、受け入れ可能なロッドパターンデザインに関連する図表結果をアクセスすれば良い（ステップS173）。

40

【0060】

反復が限界の違反を依然として示している（ステップS160の出力がYESである）場合には、全ての限界が満足されるまで、又はユーザの判定に従って受け入れ可能であるマージンの中で全ての限界が満足されるまで、ステップS70の修正サブルーチンが繰り返し反復される（ステップS170）。この反復プロセスは、ユーザがロッドパターンデザインを微調整でき、また、おそらくは従来の、手動操作による反復プロセスによって以前に抽出可能であったよりも、更に多くのエネルギーを受け入れ可能ロッドパターンデザインから抽出できるという点で有益である。更に、リレーションナルデータベースサーバ250及び複数の計算サーバ400を取り入れたことで、計算の処理が迅速になる。図7Bで説明したような反復プロセスは、従来の一度に1つのパラメータを変更し、その後に炉心シミュレーションを実行するという手動操作による反復プロセスを使用した場合の数週間と比較して、極めて短い期間で実行できるであろう。

40

【0061】

ここまで、ユーザ又は設計担当者がGUI230を介してデータを解釈し、表示されるフィードバック（目標関数からのデータ）に基づいて、所望のデザインを獲得するために手作業により試験ロッドパターンデザインを繰り返し修正することに関連して、本発明の方法及び装置を説明してきた。しかし、図7A及び図7Bの上述のステップは最適化プロセスを経て実行されても良い。最適化プロセスは複数の異なるロッドパターンデザインに対して、原子炉の炉心で使用されるべき最適のロッドパターンデザインを実現するために

50

絶えず違反された限界を改善しつつ、図 7 A 及び図 7 B のステップを繰り返す。

【 0 0 6 2 】

図 1 2 は、そのようなプロセスを開始するための画面図を示す。例えば、プラント及び試験ロッドパターンを選択した後、ユーザは最適化構成画面 1 2 0 5 を表示しても良い。ユーザは、例えば、ロッドパターン最適化、炉心流量最適化及びシーケンス間隔最適化の最適化パラメータ 1 2 4 0 を選択しても良い。

【 0 0 6 3 】

ロッドパターン最適化 (Optimize Rod Patterns) は、動作サイクル中の、原子炉を制御するために所定のシーケンスが使用されている持続時間について、制御棒グループ (シーケンスと呼ばれる) の中の個々の制御棒位置を最適に判定することを意味している。
10 制御棒の位置は局所パワー並びに核反応速度に影響を及ぼす。炉心流量最適化 (Optimize Core Flow) は、動作サイクル中の時間の関数として、原子炉を通過する原子炉冷却剤の流量を最適に判定することを意味している。流量は原子炉全体のパワー並びに核反応速度に影響を及ぼす。シーケンス間隔最適化は、動作サイクル中に原子炉を制御するために所定のシーケンス (すなわち、制御棒グループ) が使用される持続時間を最適に判定することを意味する。シーケンス間隔は局所パワー並びに核反応速度に影響を及ぼす。

【 0 0 6 4 】

適切な入力装置 (例えば、キーボード、マウス、タッチ表示など) を使用して、ユーザは GUI 2 3 0 を介して、1つの最適化パラメータ 1 2 4 0 と関連する選択ボックス 1 2 4 2 をクリックすることにより 1 つ以上の最適化パラメータを選択すれば良い。選択が行われると、選択された最適化パラメータの選択ボックス 1 2 4 2 にチェックマークが現れる。その選択ボックス 1 2 4 2 を再度クリックすると、最適化パラメータの選択は解除される。

【 0 0 6 5 】

最適化問題と関連する制約パラメータをメモリ (リレーショナルデータベースサーバ) 2 5 0 に格納しても良い。それらは、例えば、限界データベース 2 5 1 に格納される。制約パラメータは、1つ以上の制約を満足させなければならない又は満足させるべきである最適化問題のパラメータであり、制約は先に説明した限界に類似しているであろう。

【 0 0 6 6 】

図 1 3 は、沸騰水型原子炉の炉心デザインの最適化問題と関連する最適化制約を列挙した最適化制約ページの一例の画面図を示す。図示されるように、各々の最適化制約 1 3 5 0 は関連する 1 つの設計値 1 3 5 2 を有する。各最適化制約は指定の設計値以下でなければならない。ユーザは目標関数を構成する最に考慮すべき最適化パラメータを選択することができる。ユーザは、最適化制約 1 3 5 0 と関連する選択ボックス 1 3 5 4 をクリックすることにより、最適化制約を選択する。選択が行われると、選択された最適化制約 1 3 5 0 の選択ボックス 1 3 5 4 にチェックマークが現れる。選択ボックス 1 3 5 4 を再度クリックすると、最適化制約の選択は解除される。

【 0 0 6 7 】

各最適化パラメータは関連する所定のクレジット項及びクレジット重みを有し、それらはリレーショナルデータベースサーバ 2 5 0 に格納されている。同様に、各最適化制約も関連する所定のペナルティ項及びペナルティ重みを有し、それらは限界データベース 2 5 1 及び / 又は目標関数値データベース 2 5 7 などの、リレーショナルデータベースサーバ 2 5 0 に格納されていても良い。図 1 3 に示すように、ペナルティ項は設計値を組み込んでおり、ユーザはこの値を希望に応じて変更 (すなわち、構成) することができる。更に、図 1 3 の実施例により、ユーザは最適化制約 1 3 5 0 ごとの重要度 (Importance) 1 3 5 6 を設定することができる。最適化制約の重要度フィールド 1 3 5 8 において、ユーザは微小、低、公称、高及び極度というプルダウンメニューを与えられる。各々のオプションは、重要度が大きいほど、所定のペナルティ重みも大きくなるような経験的に予め定められたペナルティ重みに相關している。このように、ユーザは所定のペナルティ重みのセットの中から選択する。

10

20

30

40

50

【0068】

上記の選択が完了すると、計算サーバ400はリレーショナルデータベースサーバ250から選択肢を検索し、先に説明した一般定義及び選択プロセス中に実行された選択に従って目標関数を構成する。その結果構成される目標関数は、選択された最適化パラメータと関連するクレジット要素の和と、選択された最適化制約と関連するペナルティ要素の和とを加算した値である。

【0069】

更に、この実施例は、ユーザがクレジット重み及びペナルティ重みを処理する方法を選択することを可能にする。例えば、ユーザにはペナルティ重みに関して静的、デスペナルティ、動的及び適応という可能な方法論が与えられ、クレジット重みに関して静的、動的及び適応という可能な方法論が与えられ、ペナルティ重みとクレジット重みの双方に関して相対適応の方法論が与えられる。周知の静的方法論は重みを当初に設定された値に維持する。周知のデス方法論は各ペナルティ重みを無限大に設定する。周知の動的方法論は、最適化検索において目標関数を使用している期間中に、重み変化の量及び／又は頻度を判定する数式に基づいて初期重み値を調整する。周知の適応方法論も最適化検索の進行中に適用される。この方法では、ペナルティ重み値は設計値に違反する制約パラメータごとに定期的に調整される。相対適応方法論は、本出願の発明者により出願された、特願2003-325370号に開示されている。10

【0070】

目標関数を使用する最適化

図14は、本発明の一実施例に従って目標関数を採用する最適化プロセスのフローチャートを示す。この最適化プロセスは、本出願の発明者により出願された、特願2003-327076号に開示されている。20

【0071】

説明の便宜上、図14の最適化プロセスは図1に示すアーキテクチャにより実現されるものとして説明される。図示されるように、ステップS1410では、先の章で説明したように目標関数が構成され、その後、最適化プロセスが始まる。ステップS1412で、計算プロセッサ400はリレーショナルデータベース250からシステム入力を検索するか、又は使用中の最適化アルゴリズムに基づいて最適化問題の入力パラメータ（すなわち、システム入力）として1つ以上の値セットを生成する。例えば、それらの入力パラメータは1つのバンドルのロッドパターンを判定することに関連していくても良い。しかし、最適化はそれらのパラメータの使用に限定されず、他の入力パラメータとして、原子炉内部における新たな燃料バンドル及び照射済み燃料バンドルの配列、サイクル中の時間の関数としての、棒グループ（シーケンス）の選択及び制御棒位置の配置、サイクル中の時間の関数としての炉心流量、原子炉冷却剤入口圧力なども考えられるであろう。30

【0072】

各々の入力パラメータの値のセットは最適化問題の候補解である。先に説明したような炉心シミュレータはシミュレート動作を実行し、入力パラメータ値セットごとにシミュレーション結果を生成する。シミュレーション結果は最適化パラメータ及び最適化制約の値（すなわち、システム出力）を含む。それらの値、又はそれらの値のサブセットは目標関数の数式における変数の値である。40

【0073】

次に、ステップS1414では、計算プロセッサ400は目標関数及びシステム出力を使用して、候補解ごとの目標関数値を生成する。ステップS1416で、計算プロセッサ400は、ステップS1414で生成された目標関数値を使用して最適化プロセスが1つの解に収束したか否かを評価する。収束に到達しなければ、ステップS1418で、入力パラメータセットが修正され、最適化反復カウントが増分され、処理はステップS1412に戻る。ステップS1412、S1416及びS1418の生成動作、収束評価動作及び修正動作はGenetic Algorithms、Simulated Annealing及びTabu Searchなどの周知のいずれかの最適化アルゴリズムに従って実行される。最適化を利用して受け入れ可能ロッド

10

20

30

40

50

パターンデザインを判定する場合、最適化は収束（例えば、図7A及び図7BのステップS73/S173におけるような受け入れ可能な結果）が得られるまで実行される。

【0074】

本発明の技術的効果は、ロッドパターンデザインが原子炉を動作させるための制御メカニズムを表現しているような、原子炉のロッドパターンデザインを効率良く開発するための方法を提供するコンピュータベース構成、並びに内部ユーザ及び外部ユーザに原子炉のロッドパターンデザインを迅速に開発し、シミュレートし、修正し、完成する能力を与えるコンピュータベース方法である。

【0075】

以上、本発明を説明したが、本発明を数多くの方法で変形できることは自明であろう。例えば、原子炉のロッドパターンデザインを開発する方法を説明したが、BWRなどの原子炉は先に概要を説明した方法に従って開発されたロッドパターンデザインを使用して動作するように構成されても良い。そのような変形は本発明の趣旨からの逸脱とみなされるべきではなく、当業者には自明であろうと考えられるそのような変形の全ては特許請求の範囲の範囲内に含まれることが意図されている。

【図面の簡単な説明】

【0076】

【図1】本発明の一実施例に従った方法を実現するための装置を示す図。

【図2】本発明の一実施例に従った方法を実施するための装置のアプリケーションサーバを示す図。

【図3】本発明の一実施例に従って複数の従属データベースを有するリレーションナルデータベースを示す図。

【図4】本発明の一実施例に従った方法を説明するフローチャート。

【図5】本発明の一実施例に従ったシミュレーションステップを示すフローチャート。

【図6】本発明の一実施例に従った図4の比較ステップを更に詳細に示すフローチャート。

【図7】図7A、図7Bは、本発明の一実施例に従ったロッドパターンデザインの変更及び反復プロセスを示すフローチャート。

【図8A】本発明の方法及び構成の様々な特徴を更に説明するためのコンピュータベースアプリケーションの例を示す画面図。

【図8B】本発明の方法及び構成の様々な特徴を更に説明するためのコンピュータベースアプリケーションの例を示す画面図。

【図8C】本発明の方法及び構成の様々な特徴を更に説明するためのコンピュータベースアプリケーションの例を示す画面図。

【図9】本発明の方法及び構成の様々な特徴を更に説明するためのコンピュータベースアプリケーションの例を示す画面図。

【図10】本発明の方法及び構成の様々な特徴を更に説明するためのコンピュータベースアプリケーションの例を示す画面図。

【図11A】本発明の方法及び構成の様々な特徴を更に説明するためのコンピュータベースアプリケーションの例を示す画面図。

【図11B】本発明の方法及び構成の様々な特徴を更に説明するためのコンピュータベースアプリケーションの例を示す画面図。

【図12】本発明の方法及び構成の様々な特徴を更に説明するためのコンピュータベースアプリケーションの例を示す画面図。

【図13】本発明の方法及び構成の様々な特徴を更に説明するためのコンピュータベースアプリケーションの例を示す画面図。

【図14】本発明の一実施例に従って使用される最適化ルーチンを説明するフローチャート。

【符号の説明】

【0077】

10

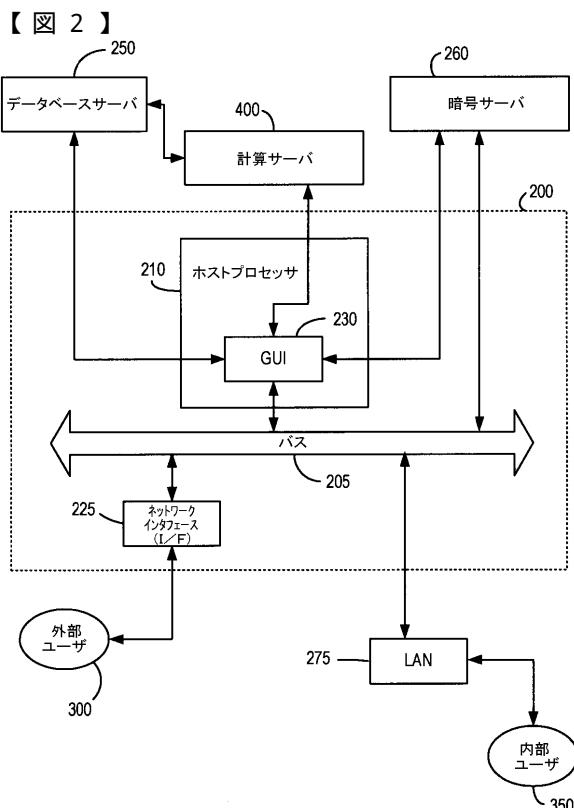
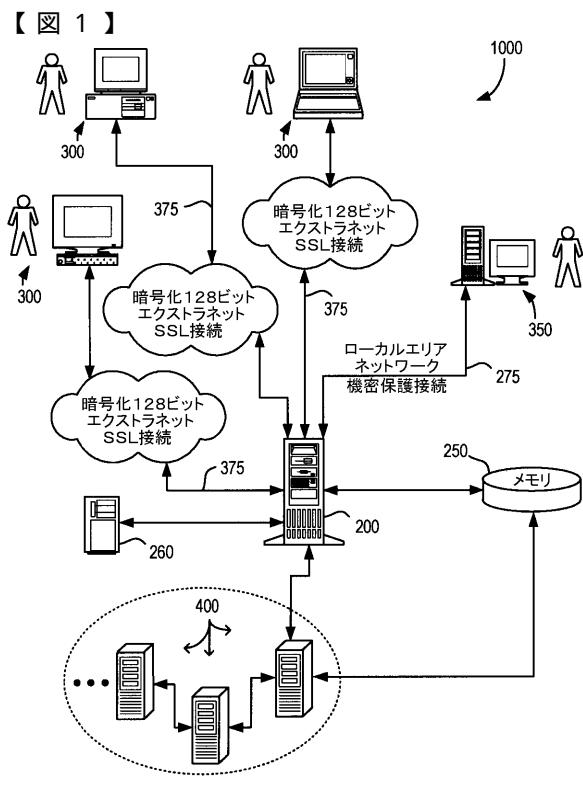
20

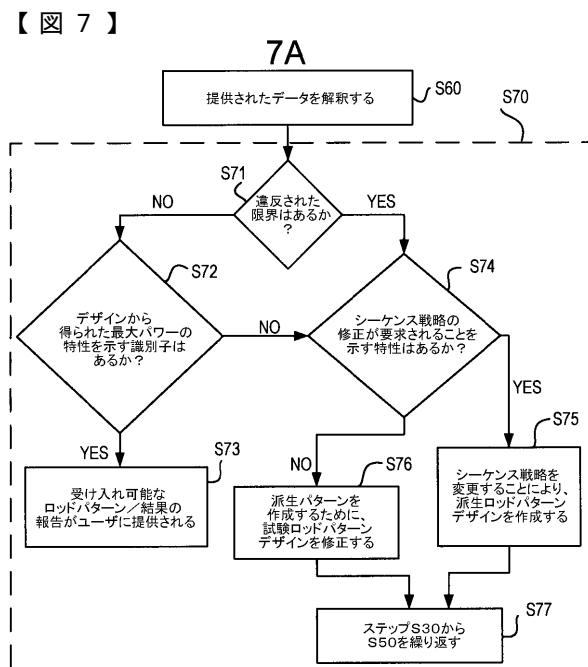
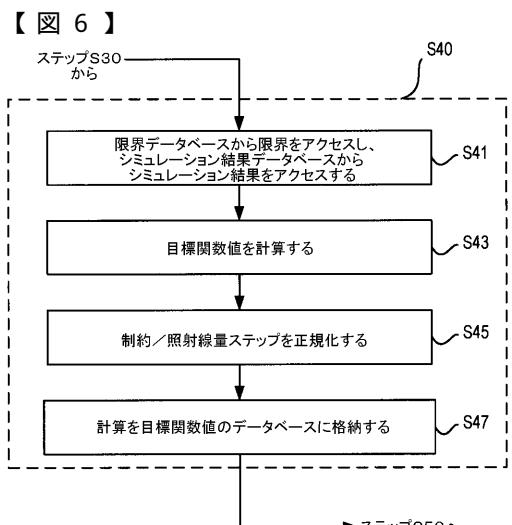
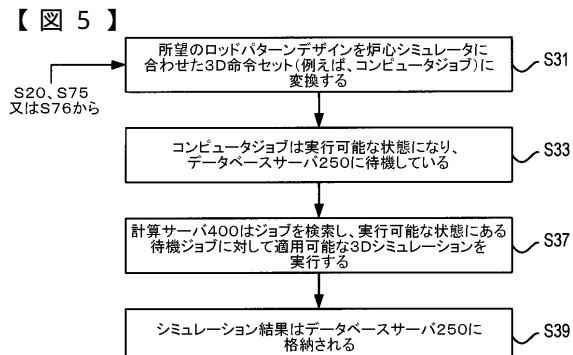
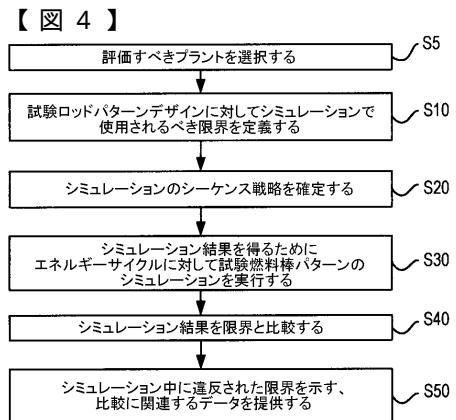
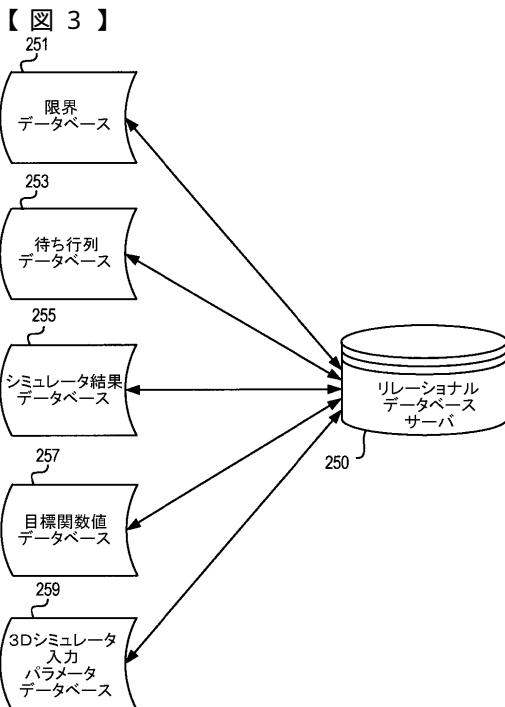
30

40

50

200...アプリケーションサーバ、205...バス、210...ホストプロセッサ、225...ネットワークインターフェース、230...グラフィカルユーザインタフェース(GUI)、250...リレーショナルデータベースサーバ(メモリ)、251...限界データベース、253...待ち行列データベース、255...シミュレータ結果データベース、257...目標関数値データベース、259...3Dシミュレータ入力パラメータデータベース、260...暗号化サーバ、275...ローカルエリアネットワーク(LAN)接続、375...128ビット機密保護ソケット層(SSL)接続、400...計算サーバ





【図 8 A】

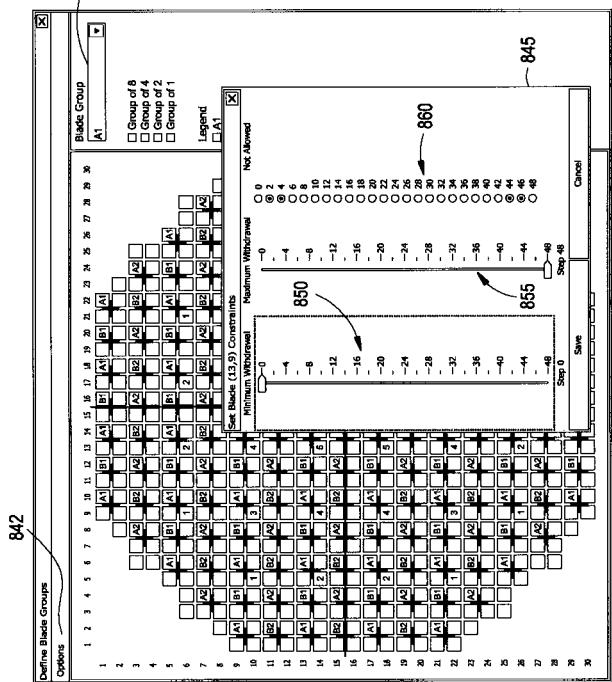
805

Constraint Description	Importance	Exposure Dependence	Design Value	Objective Add Pct.	Optimization Credits
Maximum MFLCR	Nominal	<input type="button" value="Edit"/>	0.964	<input type="checkbox"/>	None
Maximum MFLPD	Nominal	<input type="button" value="Edit"/>	0.957	<input type="checkbox"/>	None
Maximum MAPLGR	Nominal	<input type="button" value="Edit"/>	0.957	<input type="checkbox"/>	None
Minimum % Flow	Nominal	<input type="button" value="Edit"/>	85.0	<input type="checkbox"/>	None
Maximum % Flow	Nominal	<input type="button" value="Edit"/>	100.0	<input type="checkbox"/>	None
Eigenvalue Upper Tolerance (Δ Cycle)	None	<input type="button" value="Edit"/>	1.0E-4	<input type="checkbox"/>	None
Eigenvalue Lower Tolerance (Δ Cycle)	None	<input type="button" value="Edit"/>	1.0E-4	<input type="checkbox"/>	None
EDC Eigenvalue Upper Tolerance	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
EDC Eigenvalue Lower Tolerance	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
Minimum Cycle Length (MWD/st)	None	<input type="button" value="Edit"/>	11500.0	<input type="checkbox"/>	None
Maximum Nodal Exposure Ratio (NDRAT)	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
Maximum Bundle Average Exposure @ EDC	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
Minimum % Shutdown Margin	Nominal	<input type="button" value="Edit"/>	1.5	<input type="checkbox"/>	None
Maximum % Hot Excess	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
Minimum % SLC5 Margin	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
Minimum % Hot Excess @ 200	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
Maximum Hot Excess Slope (%/MWD/st)	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
Minimum Average Void Fraction	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
Maximum Average Void Fraction	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
Minimum Axial Void Tilt (AVT)	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
Maximum Axial Void Tilt (AVT)	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
Minimum Axial Power Tilt (APT)	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
Maximum Axial Power Tilt (APT)	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
Minimum Axial Peak	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
Maximum Axial Peak	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
Maximum Integrated Power	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None

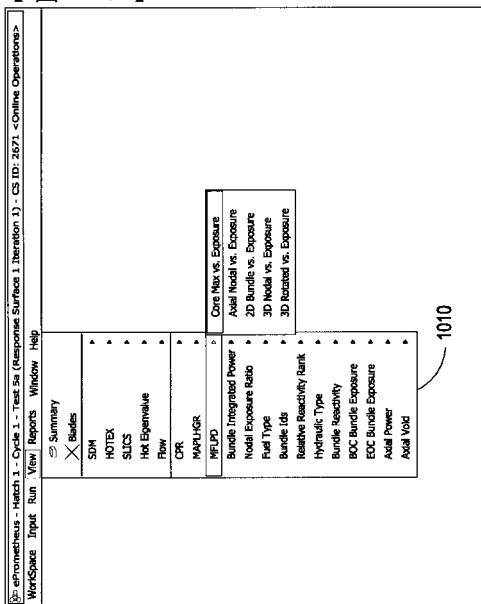
810

Constraint Description	Importance	Exposure Dependence	Design Value	Objective Add Pct.	Optimization Credits
Maximum MFLCR	Nominal	<input type="button" value="Edit"/>	0.964	<input type="checkbox"/>	None
Maximum MFLPD	Nominal	<input type="button" value="Edit"/>	0.957	<input type="checkbox"/>	None
Maximum MAPLGR	Nominal	<input type="button" value="Edit"/>	0.957	<input type="checkbox"/>	None
Minimum % Flow	Nominal	<input type="button" value="Edit"/>	85.0	<input type="checkbox"/>	None
Maximum % Flow	Nominal	<input type="button" value="Edit"/>	100.0	<input type="checkbox"/>	None
Eigenvalue Upper Tolerance (Δ Cycle)	None	<input type="button" value="Edit"/>	1.0E-4	<input type="checkbox"/>	None
Eigenvalue Lower Tolerance (Δ Cycle)	None	<input type="button" value="Edit"/>	1.0E-4	<input type="checkbox"/>	None
EDC Eigenvalue Upper Tolerance	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
EDC Eigenvalue Lower Tolerance	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
Minimum Cycle Length (MWD/st)	None	<input type="button" value="Edit"/>	11500.0	<input type="checkbox"/>	None
Maximum Nodal Exposure Ratio (NDRAT)	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
Maximum Bundle Average Exposure @ EDC	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
Minimum % Shutdown Margin	Nominal	<input type="button" value="Edit"/>	1.5	<input type="checkbox"/>	None
Maximum % Hot Excess	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
Minimum % SLC5 Margin	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
Minimum % Hot Excess @ 200	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
Maximum Hot Excess Slope (%/MWD/st)	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
Minimum Average Void Fraction	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
Maximum Average Void Fraction	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
Minimum Axial Void Tilt (AVT)	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
Maximum Axial Void Tilt (AVT)	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
Minimum Axial Power Tilt (APT)	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
Maximum Axial Power Tilt (APT)	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
Minimum Axial Peak	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
Maximum Axial Peak	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None
Maximum Integrated Power	None	<input type="button" value="Edit"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	None

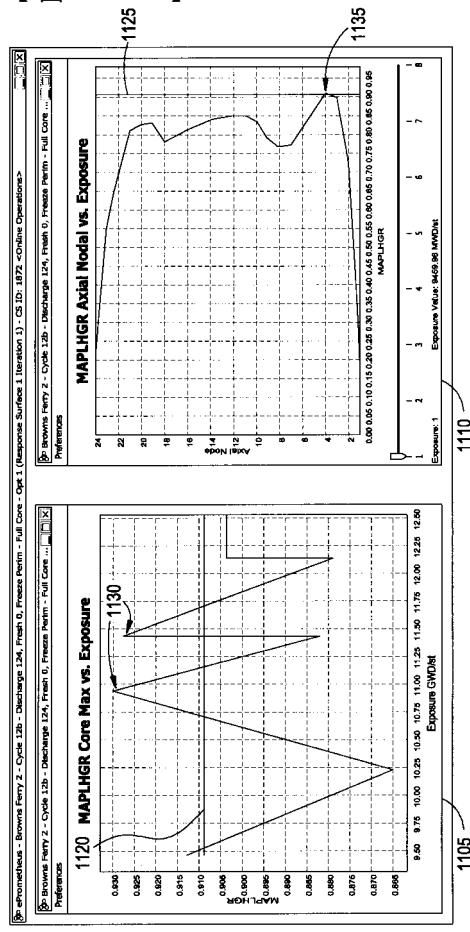
【図 8 C】



【図10】

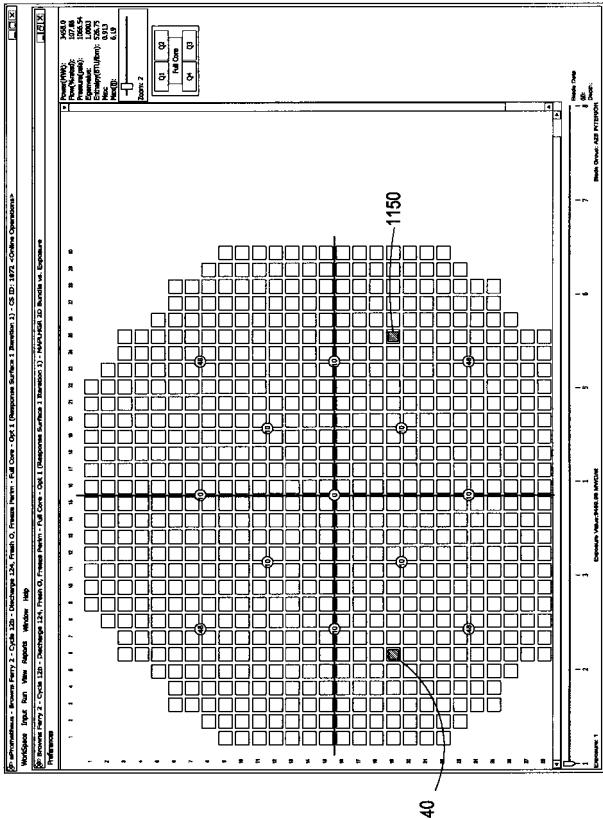


【図11A】

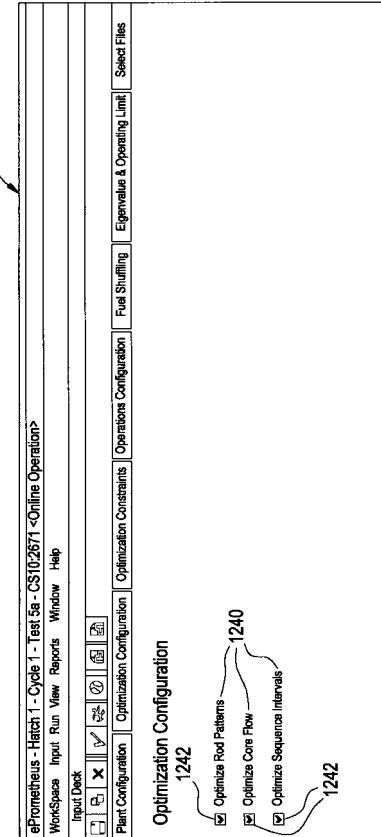


1105

【図11B】



【図12】

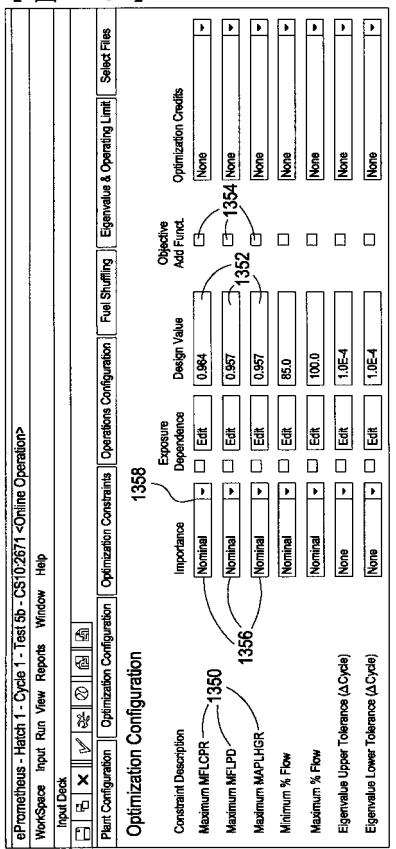


1242

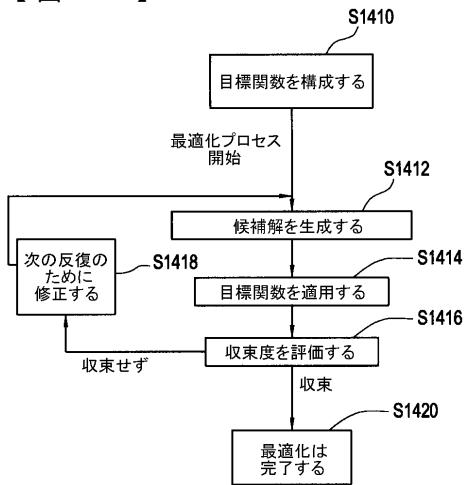
1240

1242

【図13】



【図14】



フロントページの続き

- (72)発明者 ウィリアム・アール・ラッセル,ザ・セカンド
アメリカ合衆国、ノース・カロライナ州、ウィルミントン、アーポリタム・ドライブ、1044番
- (72)発明者 デビッド・ジョセフ・クロバチェック
アメリカ合衆国、ノース・カロライナ州、クレ、クレ・デューンズ・レーン、325番
- (72)発明者 スティーブン・バリー・サットン
アメリカ合衆国、ノース・カロライナ州、ウィルミントン、セントリー・オーツ・ドライブ、6
421番
- (72)発明者 ク里斯チャン・カルロス・オヤルズン
アメリカ合衆国、ノース・カロライナ州、ライツビル、グリーンズボロ・ストリート(番地なし)
- (72)発明者 ウィリアム・チャールズ・クライン
アメリカ合衆国、ノース・カロライナ州、ウィルミントン、ライデン・ロード、6225番
- (72)発明者 キャリー・リード・メリット
アメリカ合衆国、ノース・カロライナ州、ウィルミントン、バイオレット・コート、3523番
- F ターム(参考) 2G075 AA03 AA05 AA10 CA08 CA25 DA17 FC11 GA35

【外國語明細書】

2004198422000001.pdf