

【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載

【部門区分】第 6 部門第 1 区分

【発行日】平成21年2月12日 (2009.2.12)

【公開番号】特開2006-189439(P2006-189439A)

【公開日】平成18年7月20日 (2006.7.20)

【年通号数】公開・登録公報2006-028

【出願番号】特願2005-371382(P2005-371382)

【国際特許分類】

G 2 1 C 17/00 (2006.01)

【F I】

G 2 1 C 17/00 S

G 2 1 C 17/00 T

【手続補正書】

【提出日】平成20年12月19日 (2008.12.19)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

原子炉の炉心用未照射燃料バンドル設計を決定する方法であって、

N 個のバンドルグループの各々について 1 つ又はそれ以上の基準未照射燃料バンドル設計の燃料棒タイプ別構成を評価するために、ユーザ定義の目標条件を含む複数の評価条件入力 (300) を定義する段階と、

前記 N 個のバンドルグループの各々について評価される所与の基準バンドル設計の各バンドルの各 (i、j) 棒位置で単一本タイプの棒交換を行うことに基づいて、応答局面法による応答曲面 (400) を生成する段階と、

探索アルゴリズム (500) を反復し、前記生成された応答曲面を利用して前記 N 個のバンドルグループの各々にわたって同時に行われた複数本棒タイプの交換の所与の組み合わせを評価して、前記 N 個のバンドルグループの各々について前記ユーザ定義目標条件を満足する認定未照射燃料バンドル設計を決定する段階と、

前記 N 個のバンドルグループの各々についての前記ユーザ定義目標条件を満足する認定未照射燃料バンドル設計に関するデータを、ユーザーへの表示のために出力する段階とを、具備する燃料バンドル設計方法。

【請求項 2】

前記入力は、照射燃料の初期炉心装荷パターン、評価される原子炉プラントのプラント及びサイクル計画、制御羽根パターン、炉心流量、認定未照射燃料バンドル設計を決定するために評価されるべきバンドルグループの数 (N)、各バンドルグループについて評価又は摂動されるべき既存の基準未照射燃料バンドル設計、前記応答曲面を生成するために前記基準バンドル設計における燃料棒と交換されることになる燃料棒タイプデータベースが利用可能な棒タイプ、及び前記燃料棒タイプデータベース内の各棒タイプが既存の燃料棒と交換される前記 N 個のバンドルグループの各々における棒位置、の内の 1 つ又はそれ以上を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の燃料バンドル設計方法。

【請求項 3】

前記目標条件は、局所バンドル制約値、大域的炉心制約値、及び製造制約値を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の燃料バンドル設計方法。

【請求項 4】

前記局所バンドル制約値は、前記認定未照射燃料バンドル設計のバンドル内で満足されるべき局所ピーキング、R係数、及び平均バンドル濃縮度制約値の1つ又はそれ以上を含み、

前記大域的炉心制約値は、最大限界出力密度率(MFLPD)、最大平均平面線形熱発生速度(MAPLHGR)、最大限界臨界出力比率(MFLCPR)、冷間停止マージン、熱間過剰反応度制約値の1つ又はそれ以上を含み、

前記製造制約値は、前記炉心に関する燃料棒タイプ数の最大値及び前記認定未照射燃料バンドル設計のバンドルに関する棒タイプ数の最大値の一方又は両方を含む、ことを特徴とする請求項3に記載の燃料バンドル設計方法。

【請求項5】

前記応答曲面を生成する段階が、

前記N個のバンドルグループの各々について所与の基準バンドル設計に従って所与のバンドル(410、420、430)の各(i、j)位置で単一本ロッドの交換を行うことによって前記N個のバンドルグループの各々について所与の基準バンドル設計を摂動し、燃料棒タイプデータベース内に記憶された複数の燃料棒タイプの各々が、前記N個のバンドルグループの各々について複数の摂動されたバンドル設計を生成するように所与のバンドルにおける各(i、j)位置で所与の棒を交換するように選択される段階と、

前記摂動された設計のバンドルの各々のバンドルシミュレーション(400)を行って、対応するバンドルシミュレーション出力を生成する段階と、

前記摂動された設計の摂動されたバンドルが装荷された仮想炉心の炉心シミュレーション(450)を行って、炉心シミュレーション出力を生成する段階と、

各々が前記単一本のロッド交換に起因して所与の摂動されたバンドル設計のバンドルシミュレーションに従って生成された局所応答と前記バンドルシミュレーションにより実行された前記摂動されたバンドルの炉心シミュレーションに従って生成された大域的応答とを含む前記応答曲面のデータセットとして前記バンドルシミュレーション出力及び炉心シミュレーション出力(460)を記憶する段階と、を含む請求項1に記載の燃料バンドル設計方法。

【請求項6】

前記探索アルゴリズムを反復する前記段階が、

前記応答曲面を利用して前記N個のバンドルグループの各々にわたり同時に行われる複数本棒タイプの交換から生じる複数の候補バンドル設計解(510)を生成して、各所与の候補設計について、バンドルシミュレーション出力及び炉心シミュレーション出力を前記所与の候補設計に対する前記応答曲面から取得する段階と、

各候補設計(520)の前記バンドルシミュレーション出力及び予測炉心シミュレーション出力を目的関数に入力して各候補解について予測目的関数値を得る段階と、

前記N個のバンドルグループの各々について認定未照射燃料バンドル設計を表し且つ前記目標条件を満足する最低予測目的関数値を有する前記候補バンドル設計解(530)を目的関数値に基づいてランク付けする段階と、

を含む請求項1に記載の燃料バンドル設計方法。

【請求項7】

前記認定未照射燃料バンドル設計について改善が不可能であることを確認する段階(600)を更に含み、前記確認段階が、

実際のバンドルシミュレーション出力を生成するための前記認定設計におけるバンドルのバンドルシミュレーション(610)と、実際の炉心シミュレーション出力を生成するための前記バンドルシミュレーションを通じて実行された前記認定設計に従って装荷された仮想炉心の炉心シミュレーション(620)とを行う段階と、

前記実際のバンドルシミュレーション出力と炉心シミュレーション出力とに基づいて実際の目的関数値(630)を決定する段階と、によって行われ、

前記実際の目的関数値が前記予測目的関数値に等しいか又は認定可能なマージン内(640)にある場合には、全てのN個のバンドルグループについての前記認定燃料バンドル

設計（６８０）が改善を示さないことを特徴とする請求項６に記載の燃料バンドル設計方法。

【請求項８】

前記実際の目的関数値が前記予測目的関数値に等しくないか、又は、前記認定可能なマージン内にある場合には、前記認定未照射燃料バンドル設計を修正基準未照射燃料バンドル設計（６５０）として設定する段階と、

応答曲面（６５０）の生成段階と修正認定可能未照射燃料バンドル設計を決定するための探索アルゴリズム（６６０）の反復段階とを繰り返す段階と、  
を更に含む請求項７に記載の燃料バンドル設計方法。

【請求項９】

実際の目的関数値が前記予測目的関数値に等しいか又は所与の認定可能なマージン内（６４０）となるまで、或いは現在の反復と前回の反復との間で前記実際の目的関数値の改善が示されなくなるまで、前記設定機能、生成機能、及び反復機能を反復的に繰り返す段階を更に含む請求項８に記載の燃料バンドル設計方法。

【請求項１０】

前記燃料棒タイプデータベースは、前記単一本棒の交換を行うための特定の標準化された選択可能な燃料棒タイプのセットを記憶することを特徴とする請求項６に記載の燃料バンドル設計方法。

【請求項１１】

前記認定未照射燃料バンドル設計を修正するための勧告をユーザに提供する段階を更に含む請求項１に記載の燃料バンドル設計方法。

【請求項１２】

原子炉の炉心用未照射燃料バンドル設計を決定する方法であって、

少なくとも１つの最適化ルーチンを利用して、評価される所与の炉心の最大Ｎ個の未照射燃料バンドルグループについてユーザ定義目標条件を満足する所望の燃料バンドル設計を達成する段階を含み、

この少なくとも１つの最適化ルーチンは、

前記Ｎ個のバンドルグループの各々について評価される所与の基準バンドル設計の各バンドルの各（*i*、*j*）棒位置で単一本棒タイプの交換を行うことに基づいて応答曲面（４００）を生成し、

前記ユーザ定義目標条件を満足する前記Ｎ個のバンドルグループの各々について所望の燃料バンドル設計に収束するための目的関数を用いて、前記生成された応答曲面を利用して前記Ｎ個のバンドルグループの各々にわたり同時に行われる複数本棒タイプの交換を行うことによって各々が生成された、複数の候補未照射燃料バンドル設計解（５００）を評価し、

前記Ｎ個のバンドルグループの各々についての前記ユーザ定義目標条件を満足する認定未照射燃料バンドル設計に関するデータを、ユーザへの表示のために出力する、

ように構成されていることを特徴とする方法。

【請求項１３】

所望の燃料バンドル設計を決定するために使用される前記目的関数は、最適化ルーチン依存のものであり、

前記最適化ルーチンは、ランダムベース又は確定ベースの最適化アルゴリズムである、ことを特徴とする請求項１２に記載の燃料バンドル設計方法。

【請求項１４】

請求項１の方法によって決定された前記認定未照射燃料バンドル設計に従って装荷された未照射燃料バンドルを有する原子炉の炉心。

【手続補正２】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】０００８

## 【補正方法】変更

## 【補正の内容】

## 【0008】

未照射バンドル設計に対するこの反復的手法は時間が掛かり、非効率的なプロセスである。全ての様々なコンピュータコードについての入力ファイル及び実行ファイルは、正しい順序で生成及び実行されなければならない。対話式GUIプログラム（IBNDL）を使用すると、これらのタスクの大部分を自動化することができるが、それでも、プロセスの様々なステージでかなりのユーザ介入が必要である。バンドル計算後、手作業で又は別の対話式GUIプログラムを使用して未照射バンドル設計を炉心シミュレータ入力に付加する。従って、1つのプラットフォーム上への様々なコンピュータコードの自動化及び統合は存在しない。更に、この反復的手法は、製造時間が長くなる可能性のある複雑な棒設計及び構成からなるバンドル設計に至る可能性がある。

【特許文献1】米国特許公開 2004 - 0122629

【特許文献2】米国特許 6748348

## 【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0013

## 【補正方法】変更

## 【補正の内容】

## 【0013】

原子炉の炉心用未照射燃料バンドル設計を決定する方法及び装置は、グラフィカルユーザインターフェース（GUI）及び処理媒体（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、及びその他）を利用することができる。GUI及び処理媒体は、ユーザ又は設計者が、1つ又はそれ以上の計算サーバ、データベース及び/又はメモリとを用いて、所与の炉心のN個までのバンドルグループについて1つ又はそれ以上の既存の基準燃料バンドル設計を評価する迅速なプロセスを実行するのをグラフィカルに補助する。この処理は、各バンドルグループについての1つ又はそれ以上の基準未照射燃料バンドル設計において、未照射燃料バンドルの所与の（i、j）棒位置で燃料棒毎の変更を行うことによって、ユーザ原子炉の炉心の特定の目標条件又は要件に適合する未照射燃料バンドル設計を開発することができるようになる。

## 【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0014

## 【補正方法】変更

## 【補正の内容】

## 【0014】

図1は、本発明による方法及び例示的な実施形態を実施するための装置100を示す。図1を参照すると、装置100は、内部メモリ120と通信するプロセッサ110を含むことができ、内部メモリ120は、例えば、N個のバンドルグループに適用可能な所望の未照射燃料バンドル設計を決定する際に使用されることになる応答曲面(Response Surface)を記憶する1つ又はそれ以上の下位データベースを含むことができる。

## 【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0015

## 【補正方法】変更

## 【補正の内容】

## 【0015】

一般に応答曲面(Response Surface)とは、極めて高速に実行される伝達関数であり、ここでは伝達関数に対する入力「X」変数（制御羽根位置、照射燃料配置、及びその他などの独立変数）は、出力「Y」変数（炉心限界値MFLPD、MAPLHGR、MFLCPR

、及びその他及びサイクルエネルギーなどの従属変数)を生成する。高速実行により、応答曲面は、所与の候補バンドル又は炉心設計を評価するのに、従来の炉心又はバンドルシミュレータでは5分よりも長くかかるのに対し、0.1秒よりも短い時間で実行される。これにより、探索アルゴリズム(最適化探索ルーチンとして具現化することができる)が、バンドル及び炉心シミュレータだけを利用している場合には僅か数個の解を調べるのに要する同じ時間で何万個もの解を調べることが可能となる。応答曲面は、何百ものシミュレータによる事例を事前に実行することによって予め生成することができる(RSの導関数を生成する)。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0037

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0037】

製造制約値は、例えば、炉心に関する棒タイプ数の最大値及び許容未照射燃料バンドル設計のバンドルに関する棒タイプ数の最大値(即ち、各バンドル及び/又は炉心全体にわたって使用される異なる棒タイプの数に関して制限がある可能性がある)を含むことができる。ユーザ定義目標条件/限界値に関係するデータは、メモリ120内の適切なデータベース(図示せず)に記憶することができる。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0038

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0038】

全ての入力及び限界値が定義された後、N個のバンドルグループの各々について評価する所与の基準バンドル設計の各バンドルの各(i、j)棒位置での単一棒タイプの変更に基づいて応答曲面を生成することができる(400)。次いで、探索アルゴリズムを反復して、N個のバンドルグループの各々に対してユーザ定義目標条件を満足する許容燃料バンドル設計を決定するために、生成した応答曲面を使用してN個のバンドルグループの各々にわたり同時になされた複数本棒タイプの変更の所与の組み合わせを評価する(500)ことができる。以下では、応答曲面の生成及び探索アルゴリズムの反復について更に詳細に説明する。