

(1)

九、發明說明

【發明所屬之技術領域】

本發明有關於核子反應器，更明確地說，有關於預測反應器的模擬方法。

【先前技術】

核子反應器爐心包含很多個別元件，這些元件具有不同特徵以影響爐心有效操作之策略。例如，核反應器爐心具有很多，例如幾百個別燃料組件（束），其具有不同特徵並必須被安排在反應器爐心內或”裝載”，使得於燃料束間之相互作用滿足所有規則及反應器設計侷限，包含政府及客戶指定侷限。同樣地，如果我們想要最佳化在一特定反應器電廠之反應器爐心的效能，設計或開發一有效控制策略，則其他影響反應器爐心之反應度及整體效率的可控制元件與因素也必須列入考慮。此“操作控制元”（也稱為“獨立控制變數”及“設計輸入”）包含例如可以個別調整或設定的各種物理元件架構及可控制作業條件。

除了燃料束“裝載”外，控制變數的其他來源包含“爐心流量”或流經爐心之水流率、“曝露”及”反應度”或由於束濃化在爐心內之燃料束間之互相動作。因此，每一這些操作控制元構成一獨立控制變數或設計輸入，其可以具有對反應器爐心的整體反應有重大的影響。由於這些獨立控制變數可以造成大量不同操作值及這些值之組合，因此，即使使用已知電腦輔助技術來分析及最佳化在核反應度及

(2)

效能上之所有個別影響，仍是很大之挑戰及費時之工作。

例如，在反應器爐心可能的不同燃料束架構的數量可能超出一百個以上之階乘。在很多不同裝載模型可能性中，只有很低百分比的架構可以滿足一特定反應電廠之所有要求設計侷限。另外，只有很低百分比之架構滿足所有符合成本效益的設計侷限。

再者，除了滿足各種設計侷限外，因為一燃料束裝載配置重大地影響爐心循環能量（即在爐心需要以新燃料元素更換燃料前，反應器爐心之能量數量），所以，需要選擇一特定裝載配置，以最佳化爐心循環能量。

爲了完成及維持所需之能量輸出，反應器爐心週期地以新燃料束更換燃料。於一更換燃料與下一次更換燃料間之時間經常被稱爲操作之“燃料循環”或“爐心循環”，並此，該時間係取決於特定反應器電廠而定，大約在二十至二十四個月之間（典型約十八個月）。在更換燃料時，典型最少反應燃料的三分之一被由反應器移開，而其他之燃料束則在新燃料束被加入前再定位。一般而言，爲了改良爐心循環能量，較高反應度束應定位在內爐心位置。然而，此等配置在爲了滿足電廠特定設計侷限下，並不可能一直達成。因此，每當燃料束被相對於其他燃料束裝載至各種不同位置時，確認每一燃料循環產生最佳效能的爐心裝載配置呈現出一複雜及密集計算最佳化的問題，該問題係費時才能解決的。

於一爐心循環進行中，定義爲過量反應度或“熱過量”

(3)

之爐心的過量能量能力係以幾種方式加以控制。一種方式使用一可燃反應抑制劑，例如鈷加入新燃料中。啓始可燃抑制劑之數量係由設計侷限及為設備及美國核能管制委員會（NRC）所設定之效能特徵所決定。可燃抑制劑控制多數但並非全部之過量反應度。因此，藉由吸收核能放射而抑制反應度之“控制片”（於此也稱為“控制棒”）被用以控制過量反應。典型，一反應爐心包含很多此等控制片，其係裝配在選定燃料束之間並係可軸向定位在爐心內。這些控制片確保安全關機並提供了控制最大功率尖峰因數之主要機制。

所用之控制片的總數量隨著爐心大小及幾何加以變化，典型係在 50 及 150 之間。控制片的軸向位置（例如全插、全抽、或其間）係基於控制過量反應度及符合其他操作侷限，例如最大爐心功率尖峰因數的需要。對於每一控制片，可能有例如 24 或更多軸向位置及 40 個“曝露”（即使用期間）步階。假設降低控制片數量的對稱及其他需求可以在任何時間施加，則即使在最簡單例子中，仍有幾百萬種控制片位置的可能組合。這些可能架構中，只有很小部份滿足所有可用設計及安全侷限，以及，這些之中，只有很少部份符合經濟效應。再者，控制片的軸向定位也影響了任一給定燃料裝載模型所可以完成爐心循環能量。因為吾人想要最大化爐心循環能量，以最小化核燃料循環成本，所以開發一最佳控制片定位策略呈現了另一顯著獨立控制變數最佳化問題，其必須在想要最佳化燃料循

(4)

環設計及管理策略時加以考量。

傳統上，包含爐心裝載及控制片定位決定之反應器燃料循環設計及管理與最佳化有關其他可變操作控制元之策略係基於反應器爐心設計工程師之過去經驗的“試誤法”加以決定。由於需要快速反應電廠操作狀況之環境，所以一爐心設計工程師可能面對在很短時間內，確認超出 200 個獨立控制變數值的艱鉅挑戰。例如，特定建議爐心裝載配置或控制片定位置對反應器效能在爐心循環時間的衝擊通常係由個別電腦模擬加以決定。若一特定設計侷限並未為一指定配置所滿足，則此配置被修改及執行另一電腦模擬。因為即使評估單一給定獨立控制變數改變的衝擊，仍需要相當長之電腦模擬時間，所以，在適當燃料循環設計使用此程序加以確認前，典型需要幾週之人力及電腦資源。

再者，使用此試誤法，一旦確認滿足所有設計及安全侷限之燃料循環設計配置，則可能造成確認的配置並不能提供實際之最大循環能量。因此，此試誤法必須持續直到工程師相信已確認爐心之最佳燃料循環設計為止。然而，於實際上，很可能一不符合工程師過去經驗的特定爐心配置可能為用於該爐心之實際最佳燃料循環設計。然而，此一實際最佳爐心配置可能不能經由該試誤法加以確認。

【發明內容】

本發明提供一種預測反應器模擬方法與設備。本發明

(5)

使用一反應器之反應面作為所產生模擬結果的虛擬工作空間。一反應面定義於設計輸入（即控制變數）與爐心設計之一或多數方面之操作輸出（即效能參數）間之關係。於一例示實施例中，反應面特徵化在一設計輸入與操作輸出間之關係為一多項式函數。

使用這些各種多項式函數作為預測元，本發明之例示實施例可以使用一組設定輸入，來推導出反應器爐心之操作輸出，其中一或多數設計輸入已經基於使用者輸入加以修改。因為反應面使用為反應面所代表之相對簡單多項式產生操作輸出結果，所以操作輸出值係以即時方式產生。此不同於傳統反應器模擬器所採之相當長程序，以產生操作輸出值。

【實施方式】

本發明將以下詳細說明及附圖加以了解，圖式中，相同元件係以相同參考號表示，圖式係只作例示用並不用以限定本發明。

本發明使用一反應面作為一類型之虛擬工作空間，並允許作即時預測反應器模擬。反應面定義於若干設計輸入與反應器爐心設計之一或多數方面的若干操作輸出間之關係。因此，在規定本發明之前，建立反應面的詳細說明係被提供在一種使用反應面以最佳化反應器爐心設計的方法。隨後，將提供一種預測反應器爐心模擬的方法。

(6)

建立反應面

以下說明係針對用以建立反應面的例示實施例。用以建立反應面之方法可以操作為一終端使用者應用執行，例如，在微軟視窗 95/NT 環境中。然而，反應面之建立並不限定於任一特定電腦系統或特定環境。相反地，熟習於本技藝者可以知道，於此所述之系統與方法可以有利地應用至需要任何多控制變數相關之工業/科學程序或系統之管理及/或最佳化的環境中，其包含化學及機械程序模擬系統、壓水反應器模擬系統、沸水反應器模擬系統等等。再者，系統可以內藏在各種不同平台上，包含 UNIX、LINUX、麥金塔、下一步、開放 VMS 等等。因此，以下之例示實施例的說明係作說明目的並非限定用。

首先，參考第 1A 圖，一方塊圖，例示用以最佳化用於核能反應器之多操作控制變數或設計輸入的例示系統實施例。定義一特定反應器爐心 3 之反應器電廠特定設計侷限及循環特定啓始資料 1 係被提供作為輸入資料給最佳化系統 2。用於此操作控制變數或設計輸入（例如棒模型、燃料裝載、爐心流量等）係被提供作為輸出，用於核能反應器爐心之設計與管理之中。

參考第 1B 圖，顯示一例示電腦網路管理，其中可以內建有該包含建立一反應面的最佳化方法。多數一般目的電腦/處理器 10/11 係被耦接至一區域網路（LAN）15，其本身可以耦接至一或多數分立開放或私人接取網路 20，用以與一或多數遠端電腦 21 通訊。於一較佳實施例中，

(7)

多控制變數最佳化方法係經由內佇在至少一電腦 10 中之軟體模組加以實施。如下所述中，該等模組可以分散於電腦 10 之間並可以內佇在經由 LAN15 及/或網路 20 通訊的一或多數電腦 10 (及 21) 上。

如以下第 1B 圖所示，通訊網路 15 及/或 20 可以為一開放網路，例如網際網路，或私人接取網路，例如區域網路 (LAN) 或廣域網路 (WAN)。一般目的電腦 10 係直接或經由數據機耦接至網路 15，並且除了傳統 I/O 及使用者介面元件 (未示出) 外，由獨立處理器 11 有或沒有專屬記憶體 12 所構成。電腦 10 可以為各種高速處理機之一種，例如 VMS- α 電腦系統、古董電腦系統、高速工作站或高速相容個人電腦 (例如桌上型或膝上型系統)。在網路 15 及 20 上之通訊可以使用傳統及特有協定之較佳組合加以完成，以促成處理機間之有效通訊，例如 TCP/IP 協定。

較佳為能支援模擬核能反應器爐心操作之適當軟體的系統的兩或更多電腦 10 (21) 係經由例如 LAN15 及/或網路 20 之通訊鏈結加以耦接，以交換資料檔案及控制資訊。多數傳統反應器爐心模擬程式 (或程式組) 例如通用電氣 (GE) 之“PANECEA”3-D 反應器爐心模擬程式可以用以配合本發明。此類型之模擬程式能處理定義爐心之三維變數。包含用於選定“獨立”反應器控制變數或設計輸入 (例如燃料裝載、棒模型、爐心流量等) 之值的輸入檔案係被提供作為輸入，以及，模擬程式提供一輸出檔案，其

(8)

包含用於選定效能參數或操作輸出之值。例如，操作輸出包含但並不限定於傳統上用以計算在燃料操作循環之反應器爐心效能的參數，例如臨界功率比（CPR）、停機餘裕（SDM）、最大平均平面線性熱產生率（MAPLHGR）、限制功率密度的最大分數（MFLPD）、熱過量反應度、徑向及軸向功率尖峰、尖峰燃料棒及束曝露、為裝載每公斤鈾 235 所產生之反應器能量輸出（以百萬瓦日為單位）所量得之鈾利用率等等。

被分析之很多效能參數係為空間及時間相關，例如 MAPLHGR、MFLPD 及最大臨界功率比（MCPR）。因此，部份操作輸出可以為在整個一或多數爐心更換燃料循環中，多數分立間距（即每一“曝露”步驟）中，反應器爐心之狀態指示。

參考第 2 圖，說明一用以執行建立反應面的多控制變數最佳化方法之例示軟體系統 200 內之基本功能處理及資料流。有關可選擇“解答”位準之資訊（以下所詳述）、其他處理選項及反應器爐心循環特定輸入資料資訊較佳為使用者在啓始階段時（未示出）輸入。一包含特定於特定燃料循環之特定反應器電廠之反應器爐心特徵及操作臨界至品質侷限的循環特定反應器爐心輪廓輸入檔 201 係由此使用者輸入資訊建立。此循環特定輸入資料係被用以指明用以定義一特定反應器之啓始“中心點”資料之啓始獨立控制變數或設計入值。此中心點資料係被提供作為輸入資料檔 202 給反應器爐心模擬程式（實際模擬程式（未示

(9)

出))。一反應器爐心模擬 207 係使用中心點資料加以進行。例如，一三維 (3D) 分析爐心模擬係執行於選定之“主”電腦 10 上。當模擬程序完成時，產生了一中心點模擬輸出資料檔 212。來自此檔案之中心點模擬輸出資料然後被儲存在選定“主”電腦 10 之數位儲存記憶體的多維陣列內，並被使用作為建立一類型反應面 219，用以評估不同控制變數值之反應器效能。

再者，在選定操作控制變數之獨立控制控制變數值的預定改變所代表之不同物理條件及侷限下，相同反應器爐心之分離模擬係為軟體系統所同時執行。不同模擬器輸入資料檔 203-206 係被建立，每一資料檔反映選定控制變數（例如設計輸入）值的改變，及每一輸入檔係被補充至內佇在一或多數獨立電腦或處理器 10、21 上之獨立反應器爐心模擬程式或程序 208-211，該等電腦係經由通訊網路 15、20 加以連接。在基於所接收輸入檔中之值執行爐心模擬之後，每一模擬器程序將回覆以反映反應器爐心之依賴變數（即，操作輸出）所得輸出值之輸出資料檔 213-216。一旦，對於每一獨立變數例 208-211 之反應器爐心模擬完成，則在方塊 217 所示，藉由將每一資料項以取自原始“中心點”例 212 之輸出資料分割，而標稱化來自模擬器輸出檔 213-216 之資料。

在所有模擬例輸出資料被標稱化後，每一獨立控制變數例之標稱化資料被特徵化為轉移函數。例如，標稱化資料被映圖至一組對應二階多項式，其反應相對於在給定控

(10)

制變數而在給定模擬輸出中之變化；然而，更高或更低階多項式也可以使用。換句話說，特徵在於一組相關多項式係數的二階多項式係被選擇以配合在有限數量反應器爐心模擬中取得之模擬輸出資料。例如，三個模擬係被用以評估每一獨立控制變數：一中心點例及兩變數例；其中，用於特定控制變數之中心點例定量值係個別地增量及減量。多項式然後被用以作為“預測子”，以預測用於每一控制變數，選定操作輸出（即效能參數）的定量值。獨特地定義每一多項式之係數係藉由使用傳統解決二階多項式（例如曲線擬合法）的演繹技術，由標稱化模擬器輸出資料所發展，如在方塊 218 所示。如方塊 219 所表示，此標稱化係數資料被儲存在於此所定義之電腦記憶體區中。基本上，反應面包含反應器對設計輸入（控制變數）值之個別或組合變化的反應器之相關操作輸出（效能參數）反應或關係。以此方式，反應面作為一種虛擬工作空間及資料陣列儲存庫，用以儲存用於多數獨立控制變數之來自不同例模擬之所得反應器爐心模擬輸出資料。

再者，用於每一控制變數之多項式係在 220 被評估，對分隔開每一控制變數允許範圍之控制變數中之值施加變化，並且，選擇一最佳多項式預測子。如同針對多項式最佳化及評估模組及第 7 圖所討論，另一模擬程序 221 係使用為選定最佳多項式預測子所提供之控制變數值加以進行，以評估修改值。若反應器效能之改良係藉由模擬結果所指明，則修改控制變數係被接受為在啓始中心點例的改

(11)

良。此獨立變數之新組合然後被再定義為新中心點例，及整個控制變數評估程序再次重覆（如第 2 圖虛線所示），直到沒有實現重大改良為止。因此，反應面被修改及經由此程序成長。一旦決定不再能取得進一步改良，則此反應面使用更小範圍（更多限制）之控制變數值加以精製，上述步驟係被重覆。當無法看出對控制變數的進一步改良，並且，不能完成對控制變數值範圍的進一步縮小，則整個最佳化程序基本上完成。

於第 3 圖中，例示出用以實施多控制變數最佳化方法的例示軟體系統 300 的大概，其係以功能相關份或”模組”參考分開之附圖第 4 至 8 圖加以顯示，其顯示用於每一模組中之功能程式控制步驟。全體包含軟體系統之軟體系統 300 之一或多數模組可以被實現在電腦可讀取媒體，用以容易分配及安裝在一或多數處理機或網路電腦系統中。雖然，於此所述之功能相關軟體的部份係以可以個別或一起為分開處理機所執行之元件軟體模組表示，但軟體系統並不需要被限定至模組化元件實施法。如第 3 圖所示，軟體系統 300 之例示實施例包含一反應面啓始模組 301、一或多數控制變數模組 302、一多項式係數發展模組 303、多項式用途模組 304 及一反應面儲存/修改模組 305。在軟體系統 300 內之功能相關軟體的模組化配置對不同環境，藉由特定應用之想要或適用以使用或省略不同控制變數模組（第 5A-5E 圖），而加強軟體系統之整體彈性及可應用性，再者，促成了新及不同或更新控制變數模組之加入。

(12)

反應面啓始模組 301 基本上負責接收操作者輸入之描述操作狀況的資料以及用於給定反應器爐心之侷限（例如啓始爐心裝載、棒模型等等）並建立用於標稱化反應面 219 之開始點或“中心點”模擬例。每一控制變數模組 302 均包含程式控制步驟，用以建立用於特定類型反應器爐心控制變數的模擬例資料，例如燃料束裝載、控制棒位置、爐心流量、順序改變位置、束特徵等等。對於每一設計輸入（獨立控制變數）類型，可能有很多操作輸入（獨立變數）例要考慮。再者，對於每一為特定控制變數模組所考量的獨立變數例，其中至少有兩爐心模擬執行，可以由其中取得反應資料：一模擬係使用中心點模擬例值，以獨立控制變數值增加一預定量加以執行；及另一模擬為使用中心點模擬例值，以獨立控制變數值減少一預定量加以執行。對於一特定控制變數或設計輸入，增加及減少模擬輸入值間之差係被稱為控制變數的範圍或“寬度”，因為所有模擬例結果被儲存在反應面上，所以，其被稱為反應面“寬度”（相對於控制變數）。每一模擬例結果包含模型在爐心模擬程序中之所有操作效能參數（依賴變數）之值。最後，反應面包含至少三爐心模擬例結果給每一獨立變數例：中心點例反應及由該特定控制變數模組所建立之兩變數例反應。

控制變數模組 302 較佳使用在 LAN 中的單一電腦/處理器 10 加以順序執行。也可以使用針對特定反應器電廠特殊考量的其他控制變數模組（未示出）。控制變數模組

(13)

302 可以執行於任意順序，並且，取決於想要之反應器效能的各種要對品質考量及改良程度，可以使用任一單一或幾個控制變數模組（如第 3 圖之虛線所示）。包含控制變數值之模擬器輸入資料檔係為每一控制變數模組所建立並被補充至在 LAN（或遠端網路 21）中之具有內存爐心模擬器程式的其他電腦/處理器。一旦模擬例為一處理機所完成，則其建立包含所得值之模擬器輸出資料檔並將該檔送至維護反應面的電腦。因為反應器爐心模擬典型很費時，所以，此分配處理配置多少允許很多不同爐心模擬例被同時處理，藉以大量降低花在爐心模擬的整個時間。

或者，不同控制變數模組也可以內存在連接在一 LAN、WAN 或經由其他通訊鏈路連接至不同獨立電腦上。例如，於此一實施例中，內存在一電腦中之反應面啓始模組 301 放置一要求在 LAN 上，用以執行特定想要控制變數模組給內存有模組的另一電腦，然後，將中心點例資料由反應面傳送。

多項式係數發展模組 303 包含用於每一獨立變數例，以映圖爐心模擬結果至對應於每一效能參數（即操作“相關”變數）的特有二階多項式曲線之程式控制碼。每一多項式係數值係被決定使得每一多項式配合來自三模擬例之資料至其對應效能參數。多項式用途模組 304 包含用以對每一控制變數值改變及對爐心效能產生最大衝擊改變的程式控制碼。因為執行一爐心模擬很費時，所以多項式用作為快預估子（相對於 3-D 模擬執行），以決定在控制變數

(14)

的輸入寬度上的效能參數值，以取代執行一爐心模擬。具有最大效能衝擊之控制變數係被使用預定目標函數，遞迴比較預估效能參數值加以決定。最後，一儲存/修改模組 305 包含程式控制碼，用以儲存及文件反應面並輸出量化最佳控制變數操作值，或者，若決定結果可以藉由降低反應面的“寬度”（如下所詳述）進一步改良時，則修改反應面。

參考第 4 圖，一流程圖，顯示為反應面啓始模組 301 所執行之功能步驟。前幾啓始步驟 401-404 基本上取得並指出建立一啓始中心點模擬例所需之資訊。在步驟 401 中，循環特定反應器爐心操作條件資料係經由操作者輸入加以指出，該條件資料包含用於控制變數（即啓始控制棒模型、啓始爐心裝載配置等等）及一啓始反應面寬度。在步驟 402，形成設計基礎的特定反應器電廠的特定操作侷限係由所取得之操作者輸入資訊指出—此設計基礎及侷限資訊協助如下所述之“目標功能”的評估，其係用以比較其他解決方案之相對品質。另外，電腦操作者也可以如以下參考多項式最佳化及評估模組與第 7 圖所述，選擇一輸入選項，以允許兩或更多控制變數之操作值變化，對反應器效能的影響被一起考慮。

在步驟 403，在最佳化時予以考慮的特定獨立控制變數（爐心裝載、棒模型、爐心流量、順序改變、束特徵等等）係基於取得之操作者輸入資訊加以指出。在步驟 404，予以被用於爐心內之燃料束係被指出並依據反應度

(15)

值加以排序。再者，在步驟 405 中，產生一用於產生中心點模擬例的爐心模擬輸入資料檔並被補充至內佇（或遠端）爐心模擬程式。一旦模擬完成，模擬結果被送回於一模擬輸出檔。在步驟 406 中，一多維陣列被建立在記憶體中，成爲一模擬“反應面”及來自模擬輸出檔之資料係被儲存於其中作爲中心點例。

再者，一或多數控制變數模組 302 係被執行，以發展用於特定控制變數之值的變化的模擬例資料。一個控制變數模組以上之執行爲選用的。可以由本揭示所迅速了解，也可以如想要地包含其他控制變數特定模組（於此未揭示）。如前所述，個別控制變數模組也可以爲一單一處理器所依序執行，或者爲在 LAN 或 WAN 內之不同電腦所同時執行。因爲每一控制變數模組執行造成增加更多模擬例資料給反應面，所以，本方法之正確性及所可達成之可能反應器效能最佳化可以相對地加強。

參考第 5A 圖，爲燃料束裝載之控制變數例模組所執行之功能步驟係被首先討論。燃料束裝載模組檢測在反應器中由燃料束位置或裝載配置之變化所造成之效能參數的變化。傳統上，多數反應器爐心爲八分圓對稱，因此，因此，只有在爐心內之一八分圓內的束配置需要加以考慮。然而，八分圓對稱並不是程序的要求。如步驟 501 所示，首先決定對於特定反應器，是否燃料束裝載改變爲允許之給定預定侷限。若束裝載改變並不允許，則程式控制到另一模組。若束裝載改變允許，則所有許可束位置藉由重覆

(16)

步驟 503 至 507 對每一不同位置加以對稱考量，如同方塊 502 所示。

在步驟 503，在選定位置之束的已知反應度值被改變至一預定較高值。然後，產生一新爐心模擬輸入檔一輸入檔反應在燃料束反應度值的變化及剩餘燃料的調換，以最小化相對於中心點之反應度差。此剩餘燃料的調換係藉由參考前述由步驟 404 所產生之先前排序名單加以完成，藉以以“級聯排列”策略，在排序名單中之束排列位置係被移位一位置。例如，由排序名單中之反應度排名 10 改變至排名 5 的位置將有由改變排名 5 到 6、排名 6 至 7、等等直到排名 9 至 10 的作用。爐心模擬輸入檔然後被補充至可用處理器/電腦，用以模擬程序，如步驟 504 所示。（雖然大致預期反映一“棒耗乏”之爐心模擬輸入檔，但也可以將此方法用於非棒耗乏類型之模擬器輸入檔。）沒有了等待補充爐心模擬結果，用於同一位置的束反應度值在步驟 505 改變至一較原始反應度為低之值。如此所述針對各種控制變數模組，針對一特定控制變數增加及降低之組合量係依據被考量的特定控制變數加以預定，並定義了被檢測控制變數的值的範圍或“寬度”。

再者，在步驟 506，具有改變反應度值的新爐心模擬輸入檔被再次產生並補充至任一可用處理器/電腦 10，以處理另一模擬。於一操作例中，一旦在步驟 504 及 506 中完成模擬例，則來自每一模擬之輸出資料參數可以被標稱化至中心點、擬合至多項式並例如藉由執行爐心模擬之每

(17)

一處理器/電腦儲存至共用反應面 219。若在其他位置之燃料束的反應度值變化並未被模擬，則不必等到爐心模擬的先前步驟完成，一新束位置被選擇，及步驟 503-506 被再次重覆，直到所有許可束位置均被考慮為止，如步驟 507 所示。最後，一旦用於燃料束反應度變數的所有獨立控制變數例被考量，則處理可以在另一模組的控制下被持續。

第 5B 圖顯示為一例子控制變數模組所執行之程式控制步驟，用以探討控制棒或片之不同軸向位置。以類似於第 5A 圖之燃料束裝載模組的方式，用於每一控制棒之兩模擬例係被發展及模擬結果被加至共同反應面。在步驟 509，首先決定是否控制棒模型改變為反應器的允許給定預指出侷限。若控制棒圖案改變並未允許，則程式控制被傳送至另一模組。若控制棒改變被允許，則預定控制棒被選擇作分析，如步驟 510 所示。再者，在步驟 511 中，選定控制棒的啓始位置值被增加一預定量，使得增加量並不違反爐心的物理邊界或特定使用者限制。一只具有選擇控制棒位置值改變的新爐心模擬輸入檔然後被產生並補充至可用處理器/電腦 10，用以模擬處理，如步驟 512 所示。

在步驟 513，用於相同控制棒之控制棒位置值係被改變至低於原始位置的值，如同步驟 511 所作。再者，在步驟 514，再次產生一具有改變位置值的新爐心模擬輸入檔並將其補充至可用處理器/電腦 10，用以處理一第二模擬例。如所示，在步驟 515，若在其他控制棒中之位置值改變予以被模擬，則新控制棒被選擇及步驟 511-514 再次被

(18)

重覆，直到所有控制棒均被考慮為止。至於，燃料束裝載模組，在控制棒定位模組中之每一步驟可以進行，不必等待先前步驟的爐心模擬完成。最後，一旦所有用於控制棒位置變化之所有獨立控制變數均被考慮，則處理可以在另一模組的控制下繼續。

第 5C 圖顯示為例如控制變數模組所執行的程式控制步驟，用以發展來自爐心流量變化的反應面。類似於第 5A 及 5B 圖之其他獨立控制變數模組的方式，每一爐心流量控制變數的兩模擬例被發展並加至共同反應面。在步驟 519，首先決定是否爐心流量改變為反應器之允許預定侷限。若爐心流量改變不允許，則程式控制移至另一模組。若允許爐心流量改變，則選擇一特定爐心流量變數作分析，如步驟 520 所述。再者，在步驟 521，選擇爐心流量變數之啓始中心點例值係增加一預定量。然後，產生只具有選擇爐心流量變數值變化的新爐心模擬輸入檔並將該檔輸入至可用處理器/電腦 10，用以模擬處理，如步驟 522 所示。

在步驟 523，用於相同爐心流量變數之爐心流量值被改變至低於原始值的一值，如同步驟 521。再者，在步驟 524，再次產生一具有改變流量值之新爐心模擬輸入檔，並將該檔補充至可用處理器/電腦，用以處理第二模擬例。如步驟 525 所示，若其他爐心流量變數之爐心流量值變化未被模擬，則下一獨立爐心流量變化被選擇，及步驟 521-524 再次重覆，直到所有獨立爐心流量變數都被考量

(19)

為止。至少上述之其他控制變數模組，於此模組中之每一步驟可以被進行，而不必等待先前步驟的爐心模擬完成。最後，一旦所有爐心流量變數之獨立控制變數例被考量後，處理可以在另一模組的控制下繼續。

第 5D 圖顯示為例示控制變數模組所執行之程式控制步驟，以用以發展來自順序間隔改變之反應面。以類似其他控制變數模組方式，用以在操作循環中發生之每一控制片順序間隔的兩模擬例被發展並加至共同反應面 219。在步驟 529，首先決定是否順序間隔改變對反應器為允許之給定預定侷限否。若改變未被允許，則程式控制送至另一模組。若改變被允許，則選定一特定順序間隔作分析，如在步驟 530 所示。再者，在步驟 531，用於選定順序間隔之啓始中心點例順序間隔值增加使用者所指定量。然後，產生只具有選定順序間隔值變化之一新爐心模擬輸入檔，並將該檔補充至可用處理器/電腦 10，用以模擬處理，如步驟 532 所示。

在步驟 533，如同 531，用於相同控制片順序間隔之順序間隔值被改變至低於原始值的一值。再者，在步驟 534，一具有改變位置值之新爐心模擬輸入檔被再次產生並補充至可用處理器/電腦，用以處理第二模擬例。如步驟 535 所示，若有其他順序間隔變數值變化未被模擬，則選擇一新束及步驟 531-534 被再次重覆，直到其他相關獨立順序間隔變數被考量為止。至於，其他控制變數模組，則在此模組中之每一步驟可以進行，不必等待爐心模擬的

(20)

先前步驟完成。最後，一旦用於順序間隔變數的所有獨立控制變數例被考量，則程序可以在另一模組的控制下繼續。

雖然第 5A 至 5D 圖中之模組展現最佳化方法，以認定具有值的獨立控制變數在本質上為“連續”的，例如，於裝載參數、棒模型參數、流量參數及順序交換參數等，但本發明也可以認為“分立”值控制變數的改變，例如束特徵。考量分立值類型控制變數之例示控制變數 (CV) 模組係藉由使用文中之燃料束特徵加以提供，如第 5E 圖所示。

現參考第 5E 圖，說明由束特徵改變發展反應器模擬反應資料的程序控制步驟。於此例子中，燃料束特徵可以代表在燃料棒架構中，具有差異之任一燃料束，例如，由於徑向及/或軸向鈾 235 濃化變動及/或徑向及/或軸向鈈變動。如同前述模組，產生爐心模擬器例並執行用以每一獨立控制變數。於完成每一燃料束特徵獨立控制變數時，相關變數輸出資訊被標稱化至相對中心點。然而，不同於對多項式之映圖反應，反應被映圖至線性函數。一旦所有控制變數模組 302 及相關模擬例完成執行及模擬結果被標稱化至相對中心點，則模擬例資料被映圖至多項式及/或線性函數，及結果被儲存在反應面 219。

第 6 圖顯示用以發展映圖每一模擬例至多項式的多項式係數的功能程式控制步驟，該多項式擬合用於每一獨立變數例之三個資料值（即上、下及中心點值）。在功能步

(21)

驟 601，延遲其他處理，直到所有模擬例完成及反應面被更新為止。再者，在步驟 602 及 603，反應面被存取及所有為控制變數模組 302 所產生之模擬資料被標稱化至中心點例資料。再者，在功能步驟 604，係數被決定，用以定義一特有二階多項式，其擬合用於每一獨立控制變數之三個標稱模擬例值。然而，因為某些控制變數（例如燃料束棒架構）之評估可能只評估為分立變化，用於這些類型變數之爐心模擬結果被儲存在反應面，作為分立一階評估並未被映圖至多項式。最後，在步驟 605，用於每個多項式之係數被儲存，並且，進一步處理持續進行多項式最佳化及評估模組。

第 7 圖顯示用於多項式最佳化及評估模組 304 之功能程式控制步驟。此模組檢測為每一相關於每一控制變數的二階多項式所預測之反應器效能參數值，以決定哪一控制變數及值在反應器效能中，產生最重大改良。在步驟 700 及 701，由每一控制變數模擬例發展之多項式由反應面存取並被再分群並用以預測在該控制變數之許可值寬度上，效能參數（例如 CPR、MFLPD、MAPLHGR 等）之定量值。換句話說，選擇一控制變數及相關為該控制變數所影響的每一效能參數（即操作輸出）的多項式被用以預測一組效能參數值，以表示預定量之分立增量的每一個之反應器效能在該控制變數之寬度（即預定許可值範圍）上之選擇控制變數中值的變化。此程序係針對每一獨立控制變數加以重覆。

(22)

在本技藝中所稱為“重疊”原理下，對於不同控制變數組合所完成的多數改變的淨影響可以藉由總合個別完成之個別控制變數改變影響的總和加以決定。因此，在啓始及輸入階段中（即當循環特定輸入及設計基礎考量被指出，例如有關第 4 圖之啓始模組之步驟 401 及 402 所討論者），本系統之使用者可以選擇一最佳化“解析度”位階作為輸入選項，以允許一獨立變數以上之定量操作值的變化被彼此組合加以評估。隨後，若此選項被先前選定，則在步驟 700，多數選定之獨立控制變數的每一組合之個別多項式預測影響綜合組合，以定量決定多數改變對每一反應器爐心效能參數的不同控制變數之淨影響。所選擇解析度位準愈高，則愈多獨立控制變數被組合評估，因此，檢測一組合之或然率愈大將改良反應器效能。例如，在一選擇“三”的最佳化解析度位準，用於三個不同獨立控制變數之定量值的變化，以及，所考量之總量控制變數的三個控制變數之每一組合應被考量。在一特定解析度下之多數控制變數間之所有分立變化係使用用於每一控制變數的相關多項式預測子加以檢測。

雖然較高解析度位準可能需要較略低解析度位準者需要略長之處理時間，但總處理時間係遠低於傳統方法，因為多項式預測子係被使用及組合，因此，替代了執行每一例之反應器爐心之實際電腦模擬。以此方式，該方法基本上被窮舉及幾乎保護指出全局最佳燃料循環設計。雖然，由於處理時間，實際上，可能很高解析度位準並不可行，

(23)

但此方法的能力以允許選擇一特定解析度位準，以使得系統使用者選擇定量一程度的“接近”相要達成的真實絕對最佳化。

再者，在步驟 702，對於個別控制變數或控制變數之組合（即設計輸入）所作之每一定量值變化，一“目標功能”測試係用以，以對改良效能參數（即“相關”變數）之影響，來定量該變化之相對“價格”或“強度”。目標功能設定用於每一效能參數之特定限定值，該參數主要經由相對於定義設計限制之效能“違反”的整合加以決定，其係偏移開相關於例如其他能量之增加熱邊緣等之有利結果的效能“信用”之整合。預定乘數（即數學因素）被應用至用於每一效能參數 - 例如熱過量、MFLPD、MAPLHGR 等的設計限定值，以提供標稱化及每一參數的相對排名。基本上，於步驟 702，每一預測效能參數值使用一目標功能加以測試，並依據傳統知識及本技藝中之實務加以進行，以決定用於最佳化爐心效能的最佳組控制變數多項式預測子。在步驟 703，用於控制變數之最佳值被指出。因為每一多項式預測子相對應於一特定控制變數，所以多項式預測子被比較，如同步驟 702 之目標功能所估價，及持續步驟 700-702 被遞迴，直到用於控制變數之最佳值被指出為止。再者，在步驟 704，控制變數值係與由先前遞迴所取得之值（若有的話）比較，以決定有任何改良否（即為目標功能所提供之準則的改良）。若未檢測出改良，則程序進行至第 8 圖所示之步驟。若找到部份改良，則一爐心模

(24)

擬輸入例係使用對應於一或多數控制變數之選定最佳多項式預測子的改良值加以備製，及一爐心模擬被執行，如步驟 705 所示。

雖然，使用多項式允許快速預測可能在反應器效能中能構成何種改良，但在步驟 705 之爐心模擬提供於模擬程序與在反應面中之多項式係數資料間之校正。基本上，這允許藉由提供“實際”（不同於預估）爐心模擬資料加以驗證，該爐心模擬資料文件化在改變控制變數上之爐心操作。在步驟 706，步驟 705 之爐心模擬結果與來自中心點例之爐心模擬結果（或先前最佳化結果）比較，以決定是否已經對爐心效能造成改良。若來自步驟 705 爐心模擬之結果顯示在中心點例上之改良，該改良被加入及程序被再次重覆，如步驟 708 所示。若在步驟 705 之爐心模擬結果未改良，則對應控制變數被認為是“不可靠”並被標示為如此，如在步驟 707 所示。即，在步驟 707，對應控制變數值不會被認為是可能解答。一旦執行超出預定量之不可靠控制變，如同在步驟 709 之測試，則多項式最佳化及評估停止及程序進行如第 8 圖所示之步驟。

第 8 圖顯示用以儲存/修改反應面模組 305 之功能程式控制步驟。首先，反應面之現行“寬度”在步驟 801 被檢測（即反應面之寬度以所探討之控制變數值的範圍表示）。若可得到為用於控制變數之建立模擬例中，藉由 CV 模組所用之值的預定範圍中之降低，則範圍被降低及使用原始中心點例資料，啓始新反應面之建立。如同在功

(25)

能步驟 802 所示，為降低反應面寬度。在此點，最佳化程序使用一或多數各種控制模組，再開始建立此“新”反應面，如第 4 圖之輸入點“B”所示。若不能得到為 CV 模組所用之控制變數值的“寬度”的降低，則現行反應面資料被文件化（儲存）及最佳控制變數值被輸出，如步驟 803 及 804 所示。

預測反應器爐心模擬

第 9 圖例示使用依據本發明之預測反應器爐心模擬之方法的例示系統方塊圖。如所示，一伺服器 910 包含一連接至處理器 914 之圖型使用者介面 912。該處理器 914 係連接至記憶體 916，其儲存一或多數反應面等等。伺服器 910 直接為一使用者輸入裝 918（例如顯示器、鍵盤及滑鼠）所接取。伺服器 910 也可以使分別在網內網路 920 及網際網路 924 上之電腦 922 及 926 所存取。

一系統使用者使用輸入 918、電腦 924 及電腦 926 直接接取在網內網路 920 及網際網路 924 上之系統。當使用者接取系統時，經由 GUI912 之處理器 914 提供使用者以使用為處理器 914 所執行之預測反應器模擬工具的選項。若使用者選擇使用此工具，則執行如第 10 圖所示之操作。

第 10 圖例示依據本發明例示實施例之預測反應器爐心模擬的方法流程圖。如所示，使用預測反應器模擬工具，使用者在步驟 S10 中，接取儲存在記憶體 916 中之反

(26)

應面並相關資訊。例如，在步驟 S10，被接取為反應面部份的資料可以包含 1) 擾亂建立反應面之獨立控制變數（即控制棒、燃料束、曝露步驟等）組；2) 在建立反應面中，每一獨立控制變數被干擾的寬度或範圍；3) 對應於“無”干擾反應面預測之中心點解答；及 4) 反應面多項式係數組。可以了解的是，記憶體 916 可以儲存用於一或多數反應器爐心之多數反應面。

在步驟 S12 中，使用者可以接取目標功能，與相關問題侷限及包含目標功能的權重，用以配合所接取之反應面以產生爐心設計。另外，使用者也可以輸入修正之問題侷限及權重，以提供“新”目標功能。

在使用者接取反應面後，或者，使用者在步驟 S14 中，選擇一或多數設計輸入後，可以顯示一或多數操作輸出、一或多數在設計輸入及/或輸出之侷限、及/或此資訊總和的預定格式。可以了解的是，本發明並不限定於這些顯示選項及也可能有各種其他顯示項目。

於步驟 S16 中，使用者改變一或多數在設計輸入上之設計輸入值及/或侷限。再者，使用者要求處理器 914，以使用在步驟 S18 中之修改設計輸入及/或侷限，來產生新操作輸出。使用反應面之操作輸出值的產生係被詳細討論，有關產生反應面，在此並未重覆。因為反應面使用為反應面所代表之相當簡單多項式，產生操作輸出結果，所以操作輸出值被以即時產生。此不同於傳統反應器模擬器花用相當長程序以產生操作輸出值。

(27)

在步驟 S20 中，使用者表示目標功能，以施加至為選定反應面所代表之原始解答及為步驟 S18 所代表之結果的新解答方案。使用者可以選擇使用以產生選擇反應面於原始及新解答方案中之目標功能。或者，使用者可以在原始及新解答方案中，選擇使用一新輸入目標功能（見步驟 S12）。或者，使用者也可以指明使用在原始解答方案上之目標函數及在新解答方案上之不同目標功能。

隨後在步驟 S22，使用者指出施加為預測反應器模擬所產生之資訊。例如，使用者可以指示處理器 914，以顯示用於一或多數操作輸出的最差例值；基於在步驟 S20 完成之選擇，用於原始解答方案及/或新解答之顯示準則（即目標功能值）；顯示在步驟 S18 所產生及供給於 S16 的資訊，呈現一預定格式；及/或上述之組合。來自預測反應器模擬的所有輸出結果可以圖形顯示並可以包含：1）純量圖對時間；2）一維軸圖對時間；3）二維爐心徑向映圖對時間；4）三維爐心映圖，由軸向切割面對時間；及 5）三維爐心對時間。

可以了解的是，預測反應器模擬的方法提供為反應器爐心所用之反應面，作為虛擬工作空間的類型，以測試對設計的可能變化。再者，預測反應器模擬結果被以即時方式產生，使得此為可用選項，用以快速測試理論或經驗設計改變。

本發明的技術作用為一電腦系統，其提供以即時產生預估竹器模擬結果。

(28)

如此所述之本發明，明顯地，可以有各種方式加以變化。例如，雖然本發明所述為應用至一沸水式反應器設計，但本發明也可以等效應用至壓力式反應器中。此等變化並不被視為離開本發明之精神及範圍，這些修改對於熟習於本技藝者可以明顯地為包含在以下申請專利範圍之中。

【圖式簡單說明】

第 1A 圖為方塊圖，例示用於核能反應器之最佳化多操作控制變數之系統；

第 1B 圖為一本發明可以內藏之獨立處理器之網路配置示意圖；

第 2 圖為一資料流程圖，其例示用以執行反應器爐心多控制變數最佳化之軟體系統實施例中之處理間之基本資料流；

第 3 圖為一方塊圖，例示用以實施反應器爐心多控制變數最佳化方法的軟體系統實施例；

第 4 圖為一流程圖，例示為反應面啓始模組所執行之功能程式控制步驟；

第 5A 圖為一流程圖，例示為一燃料束裝載模組所執行之功能程式控制步驟；

第 5B 圖為一流程圖，例示為控制棒軸定位模組所執行之例示功能程式控制步驟；

第 5C 圖為一流程圖，例示為一爐心流模組所執行之

(29)

例示功能程式控制步驟；

第 5D 圖為一流程圖，例示為順序間隔模組所執行之例示功能程式控制步驟；

第 5E 圖為一流程圖，例示為一燃料束特徵模組所執行之例示功能程式控制步驟；

第 6 圖為一流程圖，例示為多項式係數發展模組所執行之功能程式控制步驟；

第 7 圖為一流程圖，例示為多項式使用模組所執行之功能程式控制步驟；

第 8 圖為一流程圖，例示用以儲存及修改反應面結果之例示功能程式控制步驟；

第 9 圖為一依據本發明之使用預測反應器爐心模擬方法的系統方塊圖；及

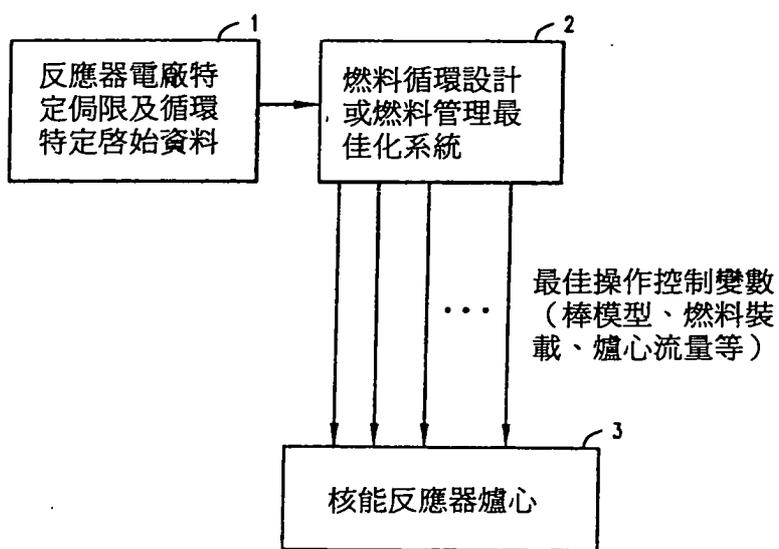
第 10 圖為一流程圖，例示依據本發明一實施例之預測反應器爐心模擬的方法。

【主要元件符號說明】

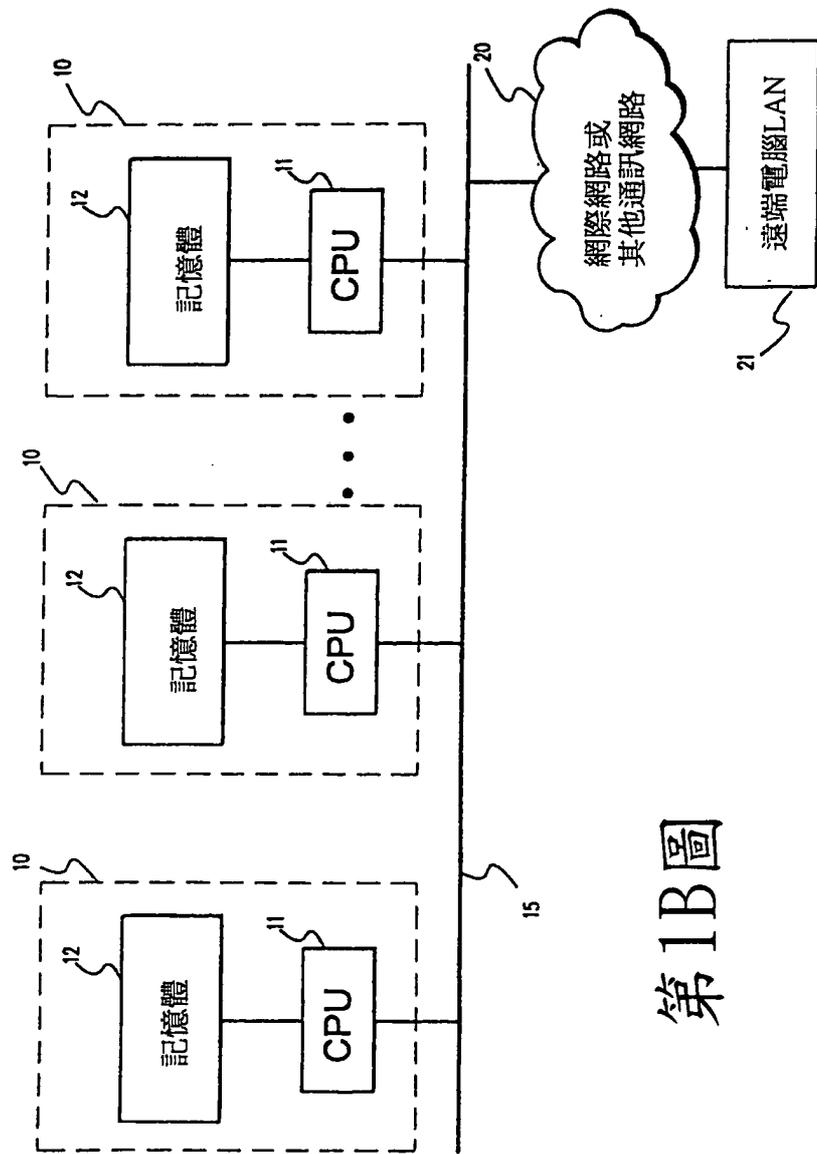
| | |
|-----|-----------|
| 10 | 一般目的電腦 |
| 11 | 處理器 |
| 12 | 記憶體 |
| 15 | 區域通訊網路 |
| 20 | 開放或私人接取網路 |
| 21 | 遠端電腦 |
| 910 | 伺服器 |

(30)

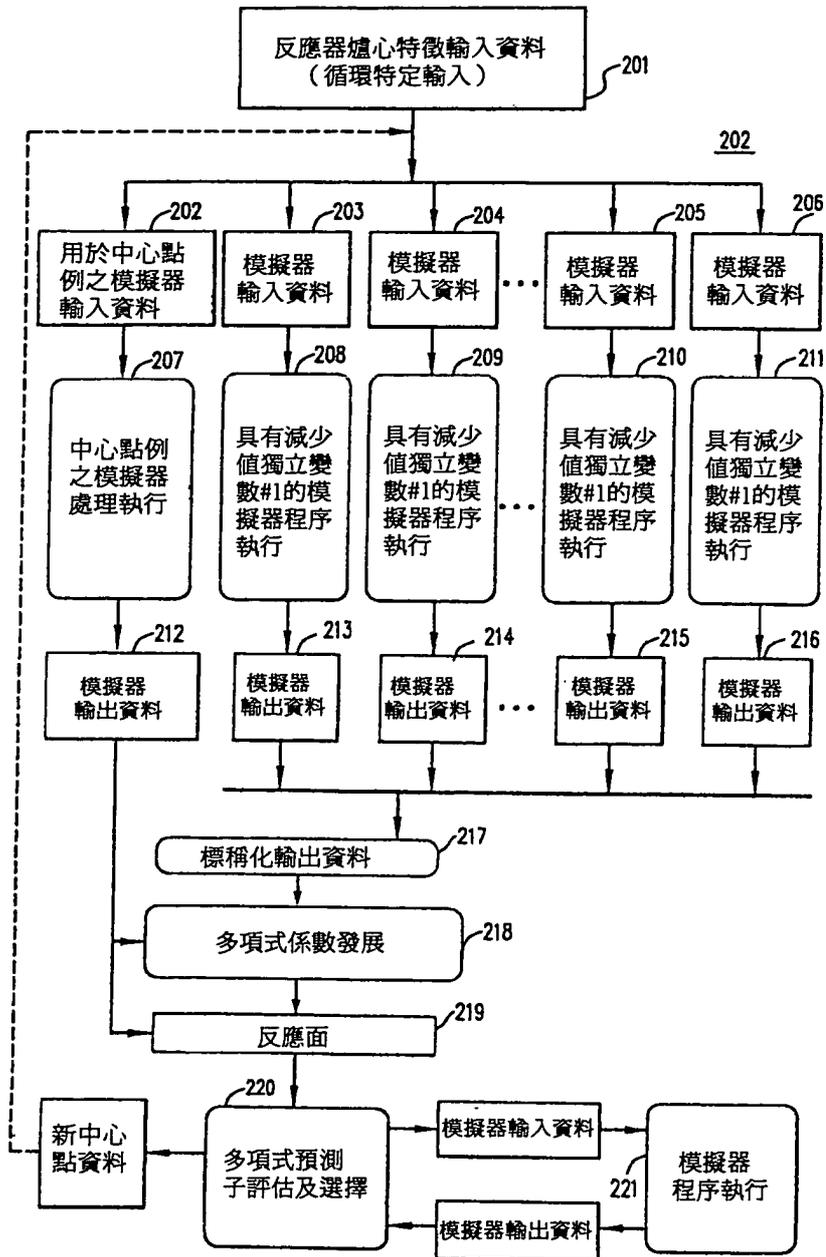
- 912 圖型使用者介面
- 914 處理器
- 916 記憶體
- 918 使用者輸入裝置
- 920 網內網路
- 922 電腦
- 924 網際網路
- 926 電腦



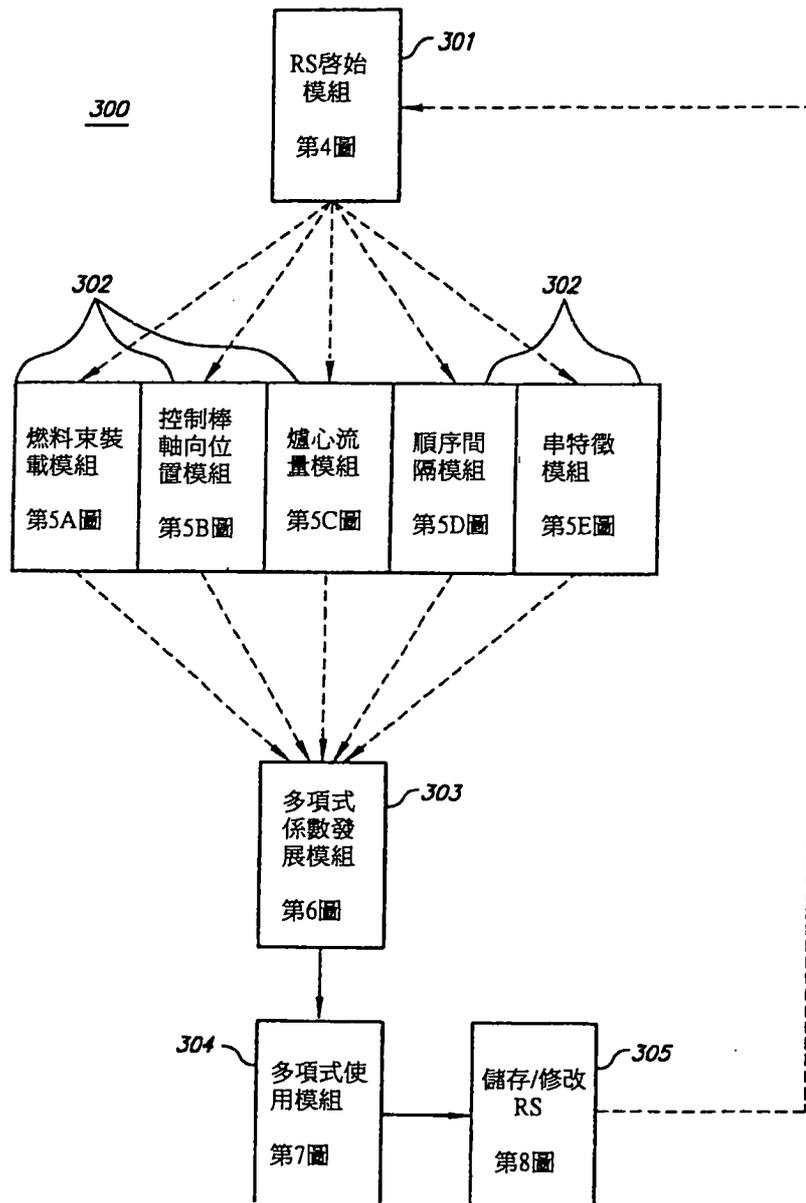
第1A圖



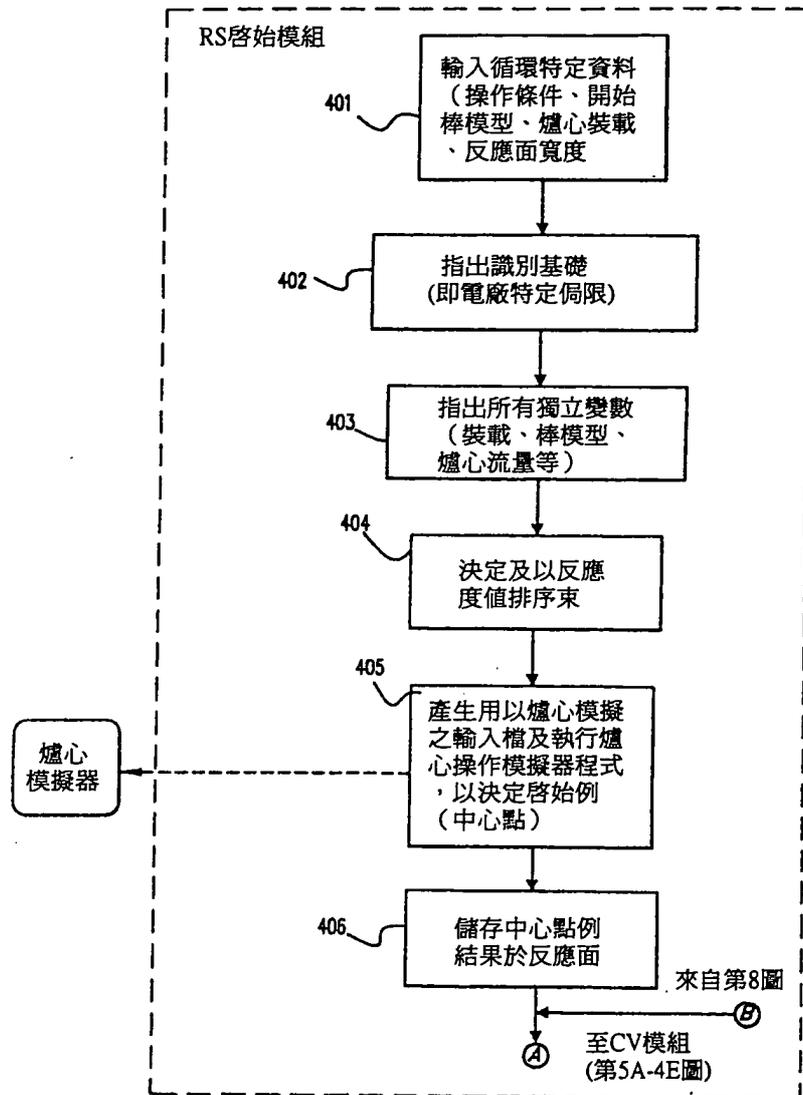
第1B圖



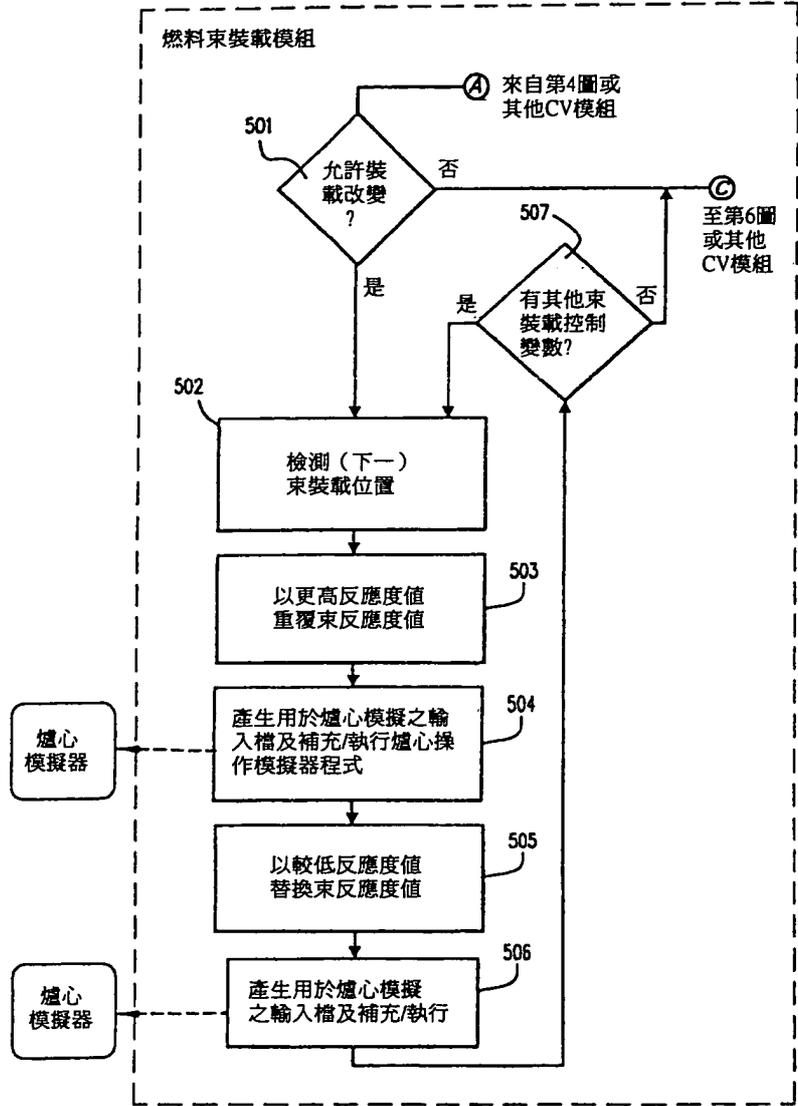
第2圖



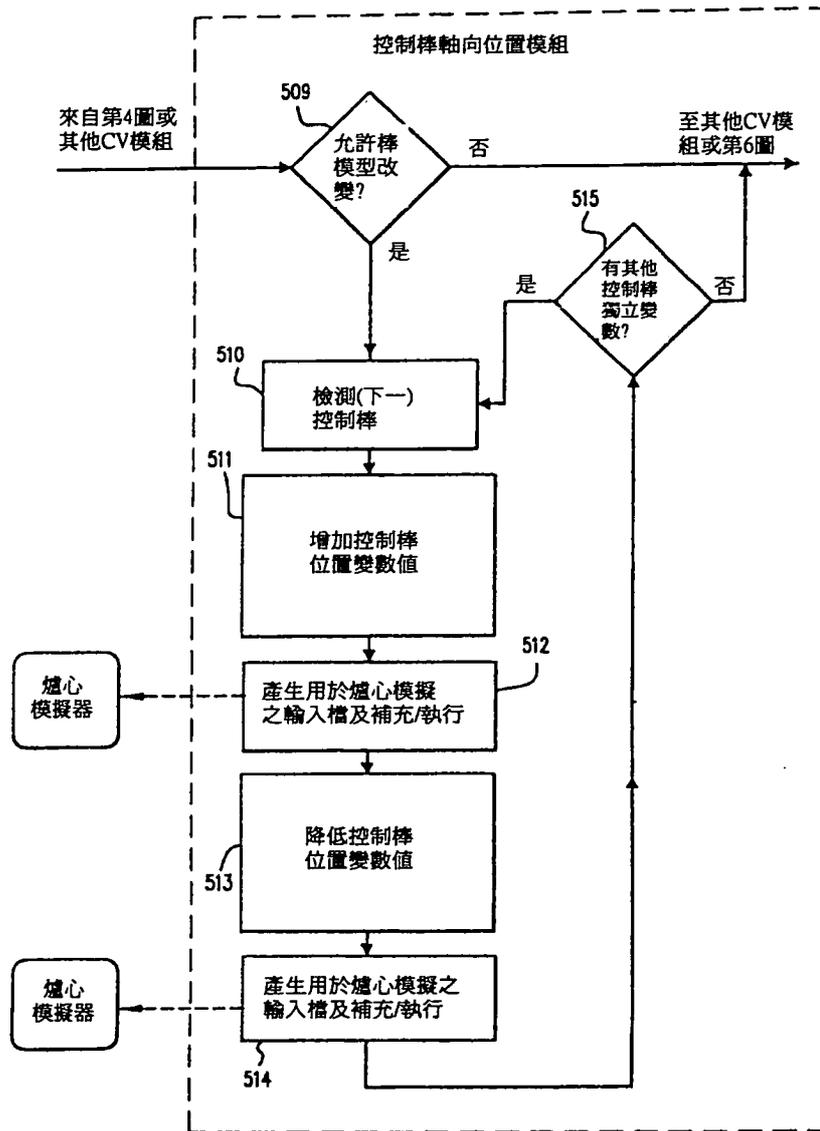
第3圖



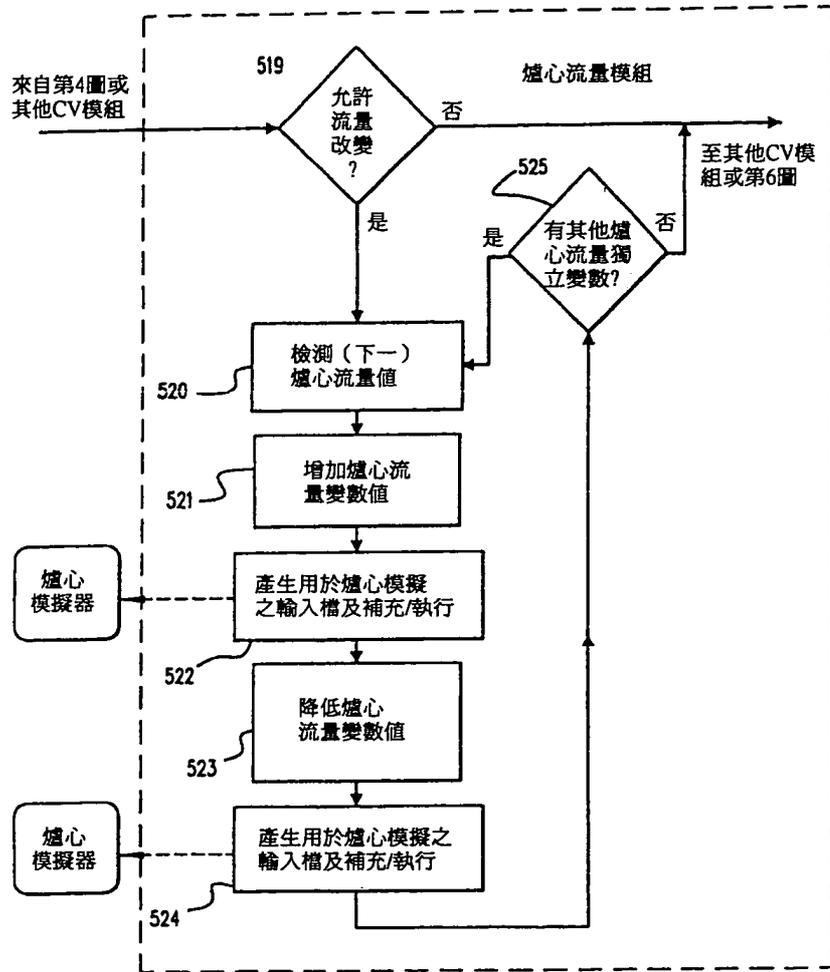
第4圖



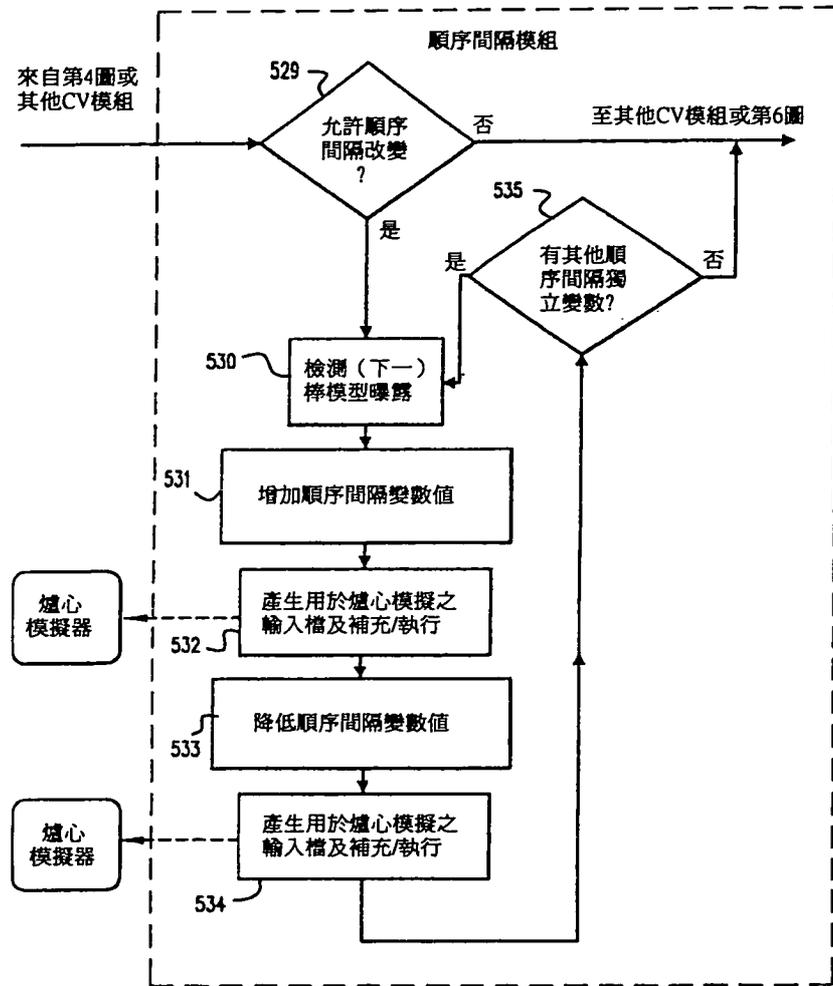
第5A圖



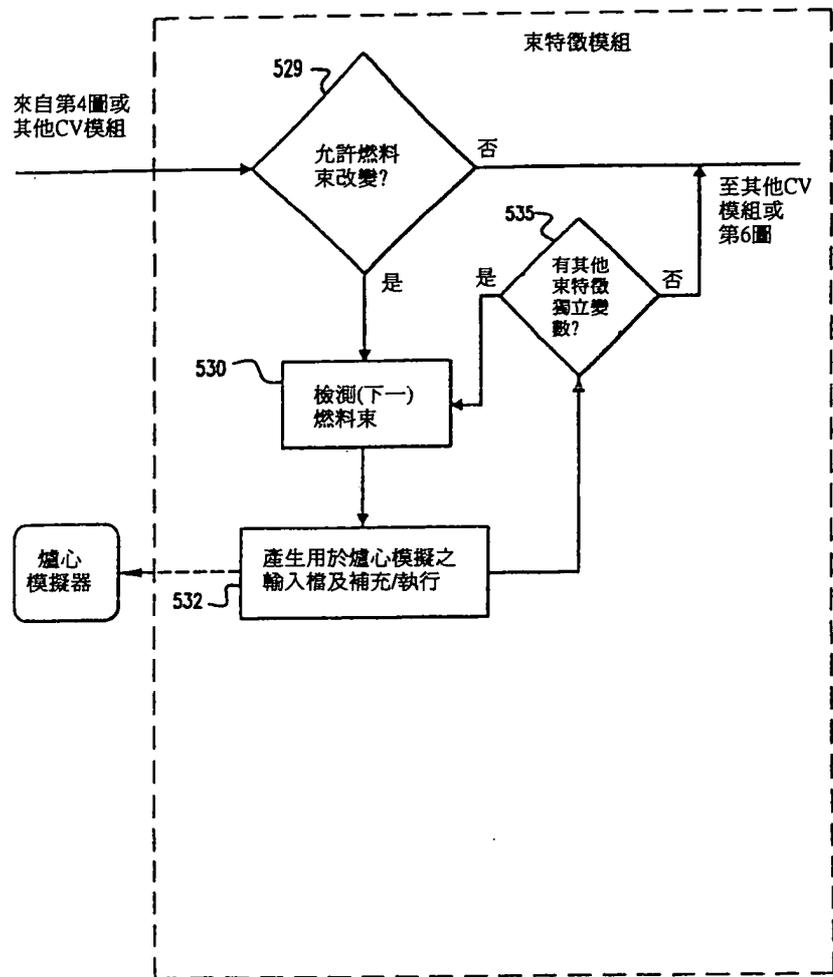
第5B圖



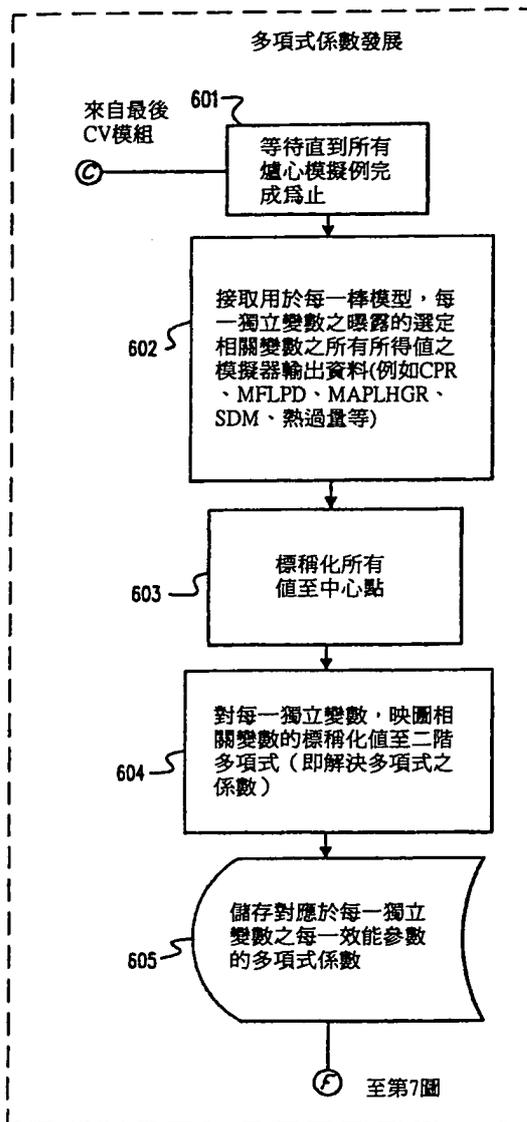
第5C圖



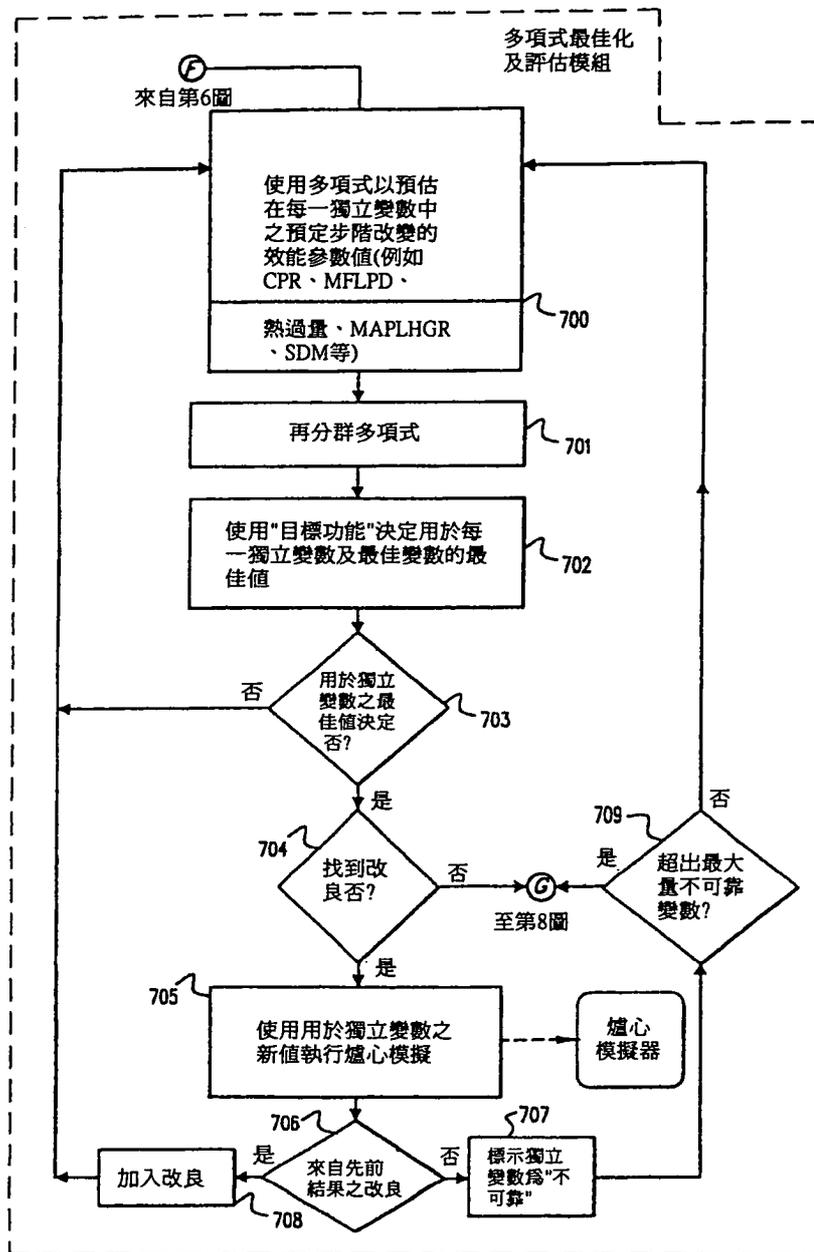
第5D圖



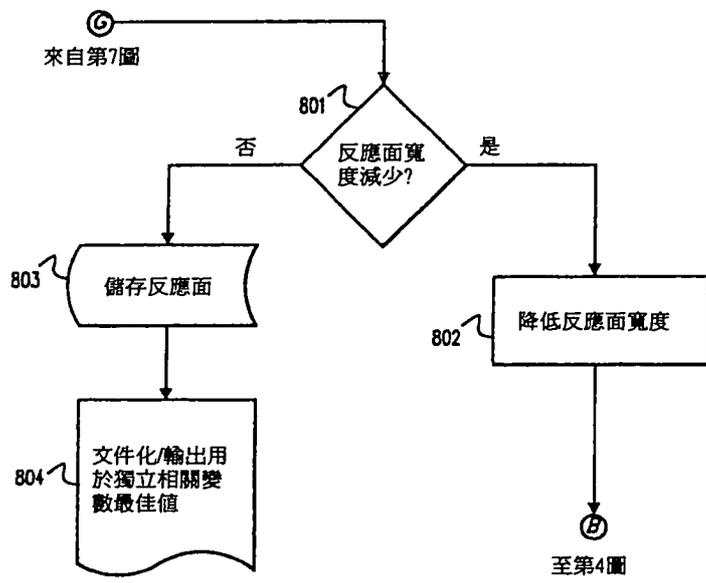
第5E圖



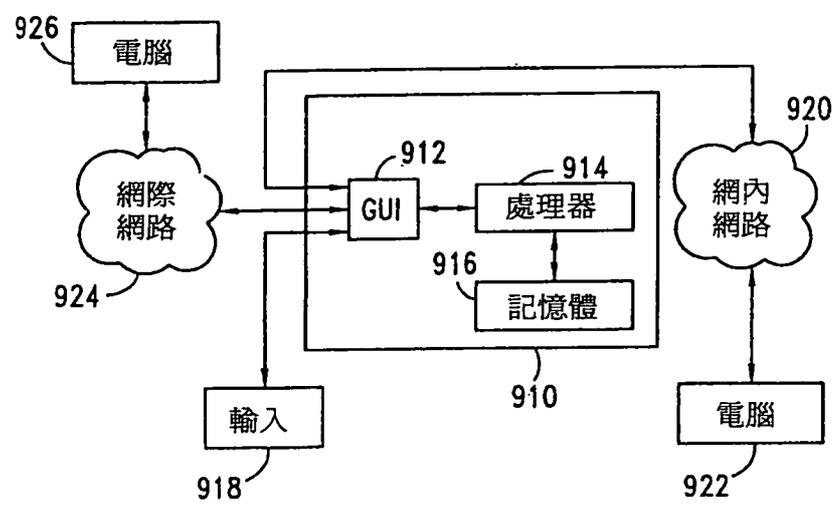
第6圖



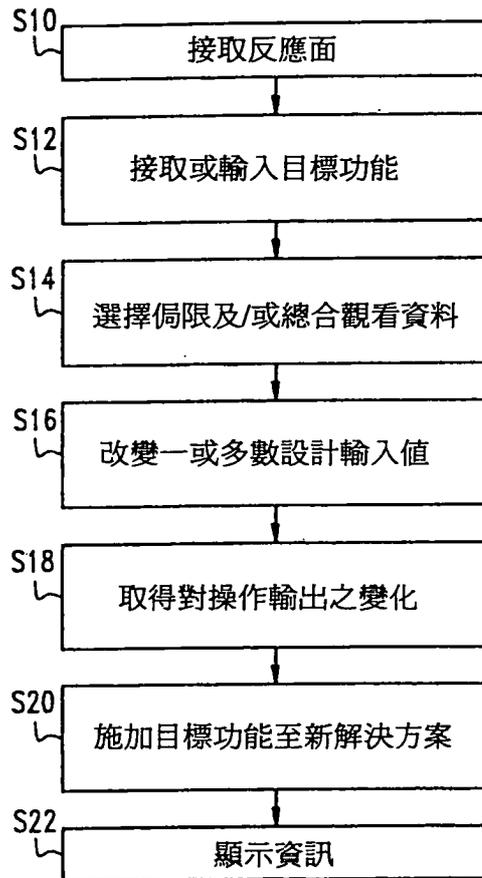
第7圖



第8圖



第9圖



第10圖

七、指定代表圖：

(一)、本案指定代表圖為：第(2)圖。

(二)、本代表圖之元件代表符號簡單說明：

- 201 反應器爐心特徵輸入資料(循環特定輸入)
- 202 用於中心點例之模擬器輸入資料
- 203 模擬器輸入資料 204 模擬器輸入資料
- 205 模擬器輸入資料 206 模擬器輸入資料
- 207 中心點例之模擬器處理執行
- 208 具有減少值獨立變數#1的模擬器程序執行
- 209 具有減少值獨立變數#1的模擬器程序執行
- 210 具有減少值獨立變數#n的模擬器程序執行
- 211 具有減少值獨立變數#n的模擬器程序執行
- 212 模擬器輸出資料 213 模擬器輸出資料
- 214 模擬器輸出資料 215 模擬器輸出資料
- 216 模擬器輸出資料 217 標稱化輸出資料
- 218 多項式係數發展 219 反應面
- 220 多項式預測子評估及選擇
- 221 模擬器程序執行

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

無

發明專利說明書

公告本

(本申請書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：093128439

※申請日期：93年09月20日

※IPC分類：G06Q 50/00 (2006.01)
 G21C 7/00 (2006.01)

一、發明名稱：

(中) 反應器模擬的方法、取得反應器模擬的方法與操作核能反應器之方法
 (英) Method for reactor simulation, method for obtaining a reactor simulation and method of operating a nuclear reactor

二、申請人：(共 1 人)

1. 姓名：(中) 環球核能燃料美國有限公司
 (英) GLOBAL NUCLEAR FUEL-AMERICAS LLC
 代表人：(中) 1. 麥克 吉尼伯斯
 (英) 1. GNIBUS, MICHAEL M.
 地址：(中) 美國北卡羅來納州威明頓卡瑟海尼路3901號
 (英) 3901 Castle Hayne Road, Wilmington, NC 28401, U.S.A.
 國籍：(中英) 美國 U.S.A.

三、發明人：(共 2 人)

1. 姓名：(中) 威廉 羅素二世
 (英) RUSSELL, II, WILLIAM EARL
 國籍：(中) 美國
 (英) U.S.A.

2. 姓名：(中) 大衛 科派瑞克
 (英) KROPACZEK, DAVID JOSEPH
 國籍：(中) 美國
 (英) U.S.A.

四、聲明事項：

◎本案申請前已向下列國家(地區)申請專利 主張國際優先權：

【格式請依：受理國家(地區)；申請日；申請案號數 順序註記】

1. 美國 ; 2003/10/03 ; 10/677,239 有主張優先權

發明專利說明書

公告本

(本申請書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：093128439

※申請日期：93年09月20日

※IPC分類：G06Q 50/00 (2006.01)
 G21C 7/00 (2006.01)

一、發明名稱：

(中) 反應器模擬的方法、取得反應器模擬的方法與操作核能反應器之方法
 (英) Method for reactor simulation, method for obtaining a reactor simulation and method of operating a nuclear reactor

二、申請人：(共 1 人)

1. 姓名：(中) 環球核能燃料美國有限公司
 (英) GLOBAL NUCLEAR FUEL-AMERICAS LLC
 代表人：(中) 1. 麥克 吉尼伯斯
 (英) 1. GNIBUS, MICHAEL M.
 地址：(中) 美國北卡羅來納州威明頓卡瑟海尼路3901號
 (英) 3901 Castle Hayne Road, Wilmington, NC 28401, U.S.A.
 國籍：(中英) 美國 U.S.A.

三、發明人：(共 2 人)

1. 姓名：(中) 威廉 羅素二世
 (英) RUSSELL, II, WILLIAM EARL
 國籍：(中) 美國
 (英) U.S.A.

2. 姓名：(中) 大衛 科派瑞克
 (英) KROPACZEK, DAVID JOSEPH
 國籍：(中) 美國
 (英) U.S.A.

四、聲明事項：

◎本案申請前已向下列國家(地區)申請專利 主張國際優先權：

【格式請依：受理國家(地區)；申請日；申請案號數 順序註記】

1. 美國 ; 2003/10/03 ; 10/677,239 有主張優先權

五、中文發明摘要

發明之名稱：反應器模擬的方法、取得反應器模擬的方法與操作核能反應器之方法

於一反應器模擬之方法中，使用者修改用於建立一反應面之一或多數設計輸入。反應面定義於設計輸入與爐心設計之至少一或多數方向的操作輸出間之關係。反應器模擬然後基於用於爐心設計的反應面及修改之設計輸入加以產生。

六、英文發明摘要

發明之名稱：

Method For Reactor Simulation, Method For Obtaining A Reactor Simulation And Method Of Operating A Nuclear Reactor

In the method for reactor simulation, a user modifies one or more design inputs used in creating a response surface. The response surface defines relationships between the design inputs and operational outputs of at least one or more aspects of a core design. A reactor simulation is then generated based on the response surface for the core design and the modified design input.

100年7月27日修正本

附件 6A : 第 093128439 號申請專利範圍修正本

民國 100 年 7 月 27 日修正

十、申請專利範圍

1. 一種反應器模擬的方法，包含步驟：

接收使用者輸入，包含事先用以建立現存反應面之一或更多設計輸入變數之值，該反應面定義設計輸入與爐心設計之至少一或多數方向的操作輸出間之關係；及

基於用於該爐心設計之現存反應面及所接收使用者輸入，產生一反應器模擬。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中該現存反應面包含資訊，以定義多數預測子，每一預測子基於設計輸入之一預測操作輸出之一。

3. 如申請專利範圍第 2 項所述之方法，其中該產生步驟使用有關於該使用者輸入之一或多數預測子，以產生新操作輸出。

4. 如申請專利範圍第 2 項所述之方法，其中每一預測子係為二階多項式及線性函數之一。

5. 如申請專利範圍第 1 項所述之方法，更包含：

提供對所產生反應器模擬上之回授給使用者。

6. 如申請專利範圍第 5 項所述之方法，其中該提供步驟更在接收使用者輸入前，提供用於該爐心設計之舊目標功能值，並且，在接收使用者輸入修改後，提供新目標功能值，用於該爐心設計。

7. 一種取得反應器模擬的方法，包含步驟：

指明一現存反應面，該現存反應面定義一爐心設計之至少一或多數方面的設計輸入及操作輸出間之關係；

輸入一或更多設計輸入值；

接收具有改變設計輸入之現存反應面的反應器模擬的一或多數反應器模擬結果。

8.如申請專利範圍第7項所述之方法，其中該現存反應面包含定義多數預測子之資訊，每一預測子基於設計輸入之一，預測操作輸出之一。

9.如申請專利範圍第7項所述之方法，其中該接收步驟包含更在接收使用者輸入前，接收用於該爐心設計之舊目標功能值，並且，在接收使用者輸入後，接收新目標功能值，用於該爐心設計。

10.一種操作核能反應器之方法，包含步驟：

使用一基於用於爐心設計之現存反應面及接收自一使用者的輸入所產生之反應器模擬，操作一核能反應器（3），該輸入包含用以建立現存反應面之設計輸入變數值，該現存反應面定義在爐心設計之至少一或更多方面之設計輸入變數及操作輸出間之關係。