

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：92134055

※申請日期：92年12月03日

※IPC分類：G21D 3/00, G21C 3/328,
G06F 19/00

壹、發明名稱：

(中) 發展核子反應爐內棒材圖案的方法和設備

(外) Method and arrangement for developing rod patterns in nuclear
reactors

貳、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三九〇一號

(英) 3901 Castle Hayne Road, Wilmington, NC 28401, U.S.A.

國籍：(中英) 美國 U.S.A.

參、發明人：(共 6 人)

1. 姓 名：(中) 威廉 羅素二世

(英) RUSSELL, II, WILLIAM EARL

地 址：(中) 美國北卡羅來納州威明頓阿伯利頓大道一〇四四號

(英) 1044 Arboretum Drive, Wilmington, NC 28405, U.S.A.

2. 姓 名：(中) 大衛 科派瑞克

(英) KROPACZEK, DAVID JOSEPH

地 址：(中) 美國北卡羅來納州庫雷海灘庫雷達斯巷三二五號

(英) 325 Kure Dunes Lane, Kure Beach, NC 28449, U.S.A.

3. 姓 名：(中) 史蒂芬 沙頓

(英) SUTTON, STEVEN BARRY

地 址：(中) 美國北卡羅來納州威明頓桑翠歐克斯大道六四二一號

(英) 6421 Sentry Oaks Drive, Wilmington, NC 28409, U.S.A.

4. 姓 名：(中) 歐亞曾 克麗斯汀

(英) OYARZUN, CHRISTIAN CARLOS

地 址：(中) 美國北卡羅來納州威明頓南學院路三四一——一號 # 二〇二五
(英) 341-11 S. College Road #2025, Wilmington, NC 28403, U.S.A.

5. 姓 名：(中) 威廉 克林
(英) CLINE, WILLIAM CHARLES
地 址：(中) 美國北卡羅來納州威明頓萊敦路六二二五號
(英) 6225 Lydden Road, Wilmington, NC 28409, U.S.A.

6. 姓 名：(中) 卡羅 麥瑞特
(英) MERRITT, CAREY REID
地 址：(中) 美國北卡羅來納州威明頓紫蘿蘭廣場三五二三號
(英) 3523 Violet Court, Wilmington, NC 28409, U.S.A.

肆、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 ; 2002/12/18 ; 10/321,441 ☒ 有主張優先權

地 址：(中) 美國北卡羅來納州威明頓南學院路三四一——一號 # 二〇二五
(英) 341-11 S. College Road #2025, Wilmington, NC 28403, U.S.A.

5. 姓 名：(中) 威廉 克林
(英) CLINE, WILLIAM CHARLES
地 址：(中) 美國北卡羅來納州威明頓萊敦路六二二五號
(英) 6225 Lydden Road, Wilmington, NC 28409, U.S.A.

6. 姓 名：(中) 卡羅 麥瑞特
(英) MERRITT, CAREY REID
地 址：(中) 美國北卡羅來納州威明頓紫蘿蘭廣場三五二三號
(英) 3523 Violet Court, Wilmington, NC 28409, U.S.A.

肆、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 ; 2002/12/18 ; 10/321,441 ☒ 有主張優先權

(1)

玖、發明說明

【發明所屬之技術領域】

本發明大致上有關核子反應爐，且更特別是有關確認用於一核子反應爐之爐心之棒材圖案設計。

【先前技術】

諸如沸水式反應爐(Boiling Water Reactor，下文簡稱BWR)或加壓水反應爐(Pressurized Water Reactor，下文簡稱PWR)之核子反應爐爐心具有燃料棒之數百支個別燃料棒束(BWR)或燃料棒之棒群(PWR)，其具有不同特性。最好安排這些棒束(燃料棒群)，以致在一燃料棒束(棒群)內之棒材之間、及各燃料棒束(燃料棒群)間之相互作用滿足所有規定及反應爐設計限制，包括政府及顧客指定之限制。另外，必須決定該棒材圖案設計、諸如在該爐心內之控制葉片(BWR)或控制棒(PWR)等控制機構之配置，以便最佳化爐心循環能量。在需要以新燃料元件重新補充該爐心之前，諸如在一停電時間所做者，爐心循環能量係一反應爐爐心產生之能量總數。

於一BWR之案例中，譬如，該爐心內之潛在棒束配置數目及一棒束內之個別燃料元件配置可能超過數百階乘。由這些很多不同可能之架構，僅只一小百分比之棒材圖案設計可滿足所有可適用之設計限制。再者，僅只一小百分比之這些真的滿足所有可適用設計限制之棒材圖案設計係合乎經濟效益的。

傳統上，在一嘗試錯誤之基礎上決定棒材圖案設計。特別地是，於設計一棒材圖案設計中，僅只基於工程師或設計者之過去經驗確認一最初之圖案設計。然後該最初確認之棒材圖案設計係在一電腦中模擬。假如不滿足一特定設計限制，則修改該配置及運轉另一次電腦模擬。在使用上述程序確認一適當之棒材圖案設計之前，一般需要很多星期之資源。

譬如，一現在正使用之製程係一獨立之手工棒材圖案設計製程，其需要一設計者再三地將反應爐廠特定之操作參數輸入一美國資訊交換標準碼(American Standard Code for Information Interchange, 下文簡稱 ASCII)文字檔，這是一輸入檔案。打入該輸入檔案之資料包含控制葉片之葉片刻槽位置(假如所評估之反應爐係一沸水式反應爐(BWR))、爐心流動、爐心暴露(例如爐心能量循環中之燃燒數量，以每段短時時百萬瓦特日子(MWD/st)作測量)等。

經核能管制委員會(NRC)允許之爐心模擬程式讀取該結果之輸入檔案及將該模擬之結果輸出至一文字或二進位檔案。然後一設計者評估該模擬輸出以決定是否已滿足該設計基準，及亦確認各種安全係數不會違反熱量限制。未能滿足設計基準(亦即違反一或更多項限制)時需要一設計者手動修改該輸入檔案。特別地是，該設計者將手動改變一或更多操作參數及再次運作該爐心模擬程式。重複此過程，直至達成一令人滿意之棒材圖案設計。

(3)

此過程非常地費時。所需之 ASCII 文字檔係建造費力的，且通常易錯誤。該檔案係固定格式與極長，有時候超過五千或更多行之編碼。該檔案中之單一錯誤導致該模擬程式之失敗，或更糟地是導致一可能最初難以偵測、但將隨著時間及迭代擴大之稍微錯誤結果，以致當放置於一實際操作之核子反應爐爐心時或許減少爐心循環能量。

再者，經由該手動反覆過程未提供任何幫助，以便引導設計者朝向更有有利之棒材圖案設計解決方法。於現在之製程中，負責之設計者或工程師之經驗及直覺係決定棒材圖案設計解決方法之唯一方法。

【發明內容】

將敘述一種用以發展核子反應爐內棒材圖案設計之方法及設備，在此該棒材圖案設計代表一用於操作該核子反應爐之控制機構。於該方法中，界定一組適用於測試棒材圖案設計之限制，及基於該限制建立一連串策略，用以定位該測試棒材圖案設計之一或更多子集合。模擬在一測試棒材圖案設計之子集合上之反應爐操作以產生複數模擬之結果，該子集合可譬如為一反應爐爐心中之燃料棒束之子集合。該模擬之結果係與該限制作比較，及提供該比較資料以指示該測試棒材圖案設計於該模擬期間是否違反任何限制。基於該資料，一設計者或工程師能夠決定需要調整何操作參數(例如控制葉片刻槽位置)，以便建立一模擬用之衍生棒材圖案設計。於另一具體實施例中，可運用一最

佳化常式，該常式遍及若干不同棒材圖案設計反覆執行上面之步驟，不斷改善違反之限制，以便達成一用於核子反應爐爐心之最佳棒材圖案設計。

【實施方式】

用於發展一核子反應爐內棒材圖案設計之方法及設備可包含一圖形使用者介面(Graphics User Interface，下文簡稱 GUI)及一處理媒體(例如軟體驅動程式、處理器、應用伺服器)，以能夠讓一使用者實際地建立棒材圖案設計(例如用於 BWRs 之控制葉片圖案之刻槽位置及順序、用於 PWRs 之控制棒圖案之棒群順序等)，並可由該使用者於一合適之顯示裝置上再過目。基於一提議之棒材圖案設計解決方法如何接近地滿足使用者輸入用於模擬核子反應爐操作之限值或限制，該設備提供回饋至該使用者。

以一最初之測試棒材圖案設計開始，該使用者經由該 GUI 輸入各種限制(例如限制可為工廠之特定限制資料)，其適用於將模擬之測試棒材圖案設計。譬如，該限制資料或各種限制可界定為用於一特定反應爐工廠或爐心能量循環之一組限制或目標操作及爐心性能值。然後該使用者可經由該 GUI 開始該測試棒材圖案設計之一反應爐模擬(例如使用經 NRC 允許之模擬碼之三維模擬)，及由該模擬觀看結果。於一論點中，該方法計算一目標函數，以比較一模擬之棒材圖案設計如何接近地滿足該限值或限制。一目標函數係一數學方程式，其合併該限值或限制及量化對該

(5)

限制之棒材圖案設計之相依性。譬如，基於該模擬之結果及所計算之目標函數值，譬如可能為一爐心設計者、工程師或工廠監督者之使用者係能夠決定一特別之設計是否滿足該使用者之限制需求(亦即，滿足一最大之循環能量需求)。然後經由該 GUI，該使用者可修改該測試棒材圖案設計，以建立一衍生之棒材圖案設計，及發出命令以重複該模擬，以決定該衍生之棒材圖案設計中是否有任何性能改善。再者，經由該 GUI，該使用者可能遍及 N 種棒材圖案設計反覆執行該函數(例如模擬；結果對限制之比較，假如違反限制即作修改等)，直至一模擬設計滿足所有限制，或在該使用者可接受之一安全係數內滿足所有限制。

本發明之方法及設備提供數個優點。首先，該方法及設備利用一計算環境，以實現十倍減少建立一核子反應爐用之想要棒材圖案設計所需之時間數量。該方法完全依附至一使用者之輸入限制或設計限制(例如，假如該目標函數係不等於零，該棒材圖案設計係不完結)。當比起習知之手動反覆製程時，該方法及設備提供較大之操作彈性，以迅速地改變棒材圖案設計及模擬所變更之設計。於企圖產生一模擬器輸入檔案中不再造成錯誤，如關於手動反覆製程所敘述者。

圖 1 說明一用於履行按照本發明示範具體實施例之方法之設備。參考圖 1，設備 1000 包含一應用伺服器 200，該應用伺服器譬如可具有一可存取網站之中心連結之作用。該應用伺服器 200 可用任何習知應用伺服器具體化，

諸如一視窗(WINDOWS)2000 應用伺服器。應用伺服器 200 係有效運作地連接至複數計算伺服器 400、加密伺服器 260、及至一記憶體 250。記憶體 250 可譬如具體化為一關聯式資料庫伺服器。

複數外部使用者 300 可經由一合適之加密媒介與應用伺服器 200 相通，諸如一已加密之 128 位元安全通信協定 (Secure Socket Layer，下文簡稱 SSL) 連接裝置 375，雖然本發明不限於此加密之通訊媒介。一使用者 300 可使用諸如一以網頁為基礎之網際網路瀏覽器之合適介面，經由網際網路或由個人電腦、膝上型電腦、個人數位助手(PDA)等之任何一種連接至該應用伺服器 200。再者，內部使用者 350 可經由一合適之區域網路(Local Area Network，下文簡稱 LAN) 連接裝置 275 進出應用伺服器 200，以致內部使用者 350 具有譬如經由一內部網路之資料存取。該應用伺服器 200 係負責線上安全性，用於引導資料之所有計算及存取，以便計算目標函數值，及用於建立一使用者可再過目之棒材圖案設計之各種特色之合適圖形表示。該圖形資訊係經由該 128 位元 SSL 連接裝置 375 或 LAN 275 相通(將顯示在使用者 300/350 之一合適顯示裝置上)。下文，使用者一詞意指內部使用者 300 及外部使用者 300 兩者。譬如，該使用者可為存取該網站以決定一用於他或她之核子反應爐棒材圖案設計之核子反應爐工廠之代表人及／或一賣方之任何一種，該賣方由一反應爐工廠所僱，以藉著使用本發明之方法及設備發展棒材圖案設計。

圖 2 說明一與圖 1 設備有關之應用伺服器 200。參考圖 2，應用伺服器 200 利用一匯流排 205 連接各種零組件及提供一用於由該使用者接收資料之路徑。匯流排 205 可用傳統匯流排架構提供，諸如於很多電腦架構中用作標準之周邊零件連接介面 (PCI) 匯流排。當然能利用另一種匯流排架構以履行匯流排 205，諸如 VMEBUS、NUBUS、位址資料匯流排、RAMbus、雙頻寬 (DDR) 匯流排等。使用者經由一合適之連接裝置 (LAN 275 或網路界面 225) 溝通資訊至應用伺服器 200，以與應用伺服器 200 相通。

應用伺服器 200 亦可包含一主機處理器 210，其可用諸如目前市售 PENTIUM 處理器之習知微處理器構成。主機處理器 210 代表一中心連結，由此施行應用伺服器 200 中之所有即時及非真實之功能，諸如圖形使用者介面 (GUI) 及瀏覽器功能、指向安全性函數、諸如用於各種限制之目標函數計算之直接計算等，用於顯示及藉著該使用者再過目。據此，主機處理器 210 可包含一 GUI 230，該 GUI 在軟體中可具體化為一瀏覽器。瀏覽器係軟體裝置，其對設備 1000 之使用者呈現一介面及與其互相作用。該瀏覽器負責用於格式化及顯示使用者介面零組件 (例如超文件、視窗等) 及圖樣。

瀏覽器典型係藉著標準之超文件、標籤語言 (亦即超文件標記語言) 控制及命令。另外或於另一選擇中，於 GUI 230 之控制流量中需要更詳細之使用者相互作用之任何決定可使用爪哇腳本語言 (JavaScript) 履行。這些語言

兩者可定製或改造成用於一給定應用伺服器 200 工具之特定細節，且影像可使用熟知 JPG、GIF、TIFF 及其他標準化壓縮方案顯示在該瀏覽器中，其他非標準化語言及壓縮方案可使用於該 GUI 230，諸如可延伸性標示語言 (Extensible Markup Language，下文簡稱 XML)、“自製”語言或其他習知非標準化語言及方案。主機處理器 210 可有效運作地連接至一加密伺服器 260。據此，應用伺服器 200 藉著使用該加密伺服器 260 施行所有安全性功能，以便建立一防火牆，以保護該設備 1000 不遭受外部之安全性侵害。再者，加密伺服器 260 保護所有註過冊使用者之個人資訊。

應用伺服器 200 亦可有效運作地連接至複數計算伺服器 400。該計算伺服器 400 可施行所需之所有計算，以處理使用者輸入資料、一棒材圖案設計之直接模擬、計算如在下文進一步詳細敘述之用於比較之值、及提供可在應用伺服器 200 之引導下經由該 GUI 230 顯示之結果。

該計算伺服器 400 可譬如具體化為視窗 2000 伺服器。更特別地是，該計算伺服器 400 可架構成施行大批複雜之計算，這可包含、但不限於架構該目標函數及計算目標函數值；執行一 3D 模擬器程式以模擬在一特別測試棒材圖案設計上之反應爐爐心操作，及由該模擬產生輸出；提供結果資料供一使用者經由 GUI 230 存取及顯示；及反覆執行一如在下文進一步詳細敘述之最佳化常式。

圖 3 按照本發明之示範具體實施例說明一示範資料庫

伺服器 250。記憶體或資料庫伺服器 250 可為一關聯式資料庫，諸如一甲骨文(Oracle) 8i Alpha ES 40 關聯式資料庫伺服器。關聯式資料庫伺服器 250 可包含許多處理所有必要之資料及結果之前置資料庫，以便施行本發明之方法。譬如，關聯式資料庫伺服器 250 可包含儲存區，該儲存區包含諸如限制資料庫 251 之前置資料庫，該限制資料庫是一儲存所有該使用者輸入限值及／或用於供一特別核子反應爐作評估之所有測試棒材圖案設計之設計限制之資料庫。另外，關聯式資料庫伺服器 250 可包含一佇列資料庫 253，其儲存所有用於一特別棒材圖案設計而欲在該 3D 模擬器中模擬之參數。所有模擬器之結果可儲存於模擬器結果資料庫 255 中。該模擬器結果資料庫 255(及限制資料庫 251)可藉著該計算伺服器 400 所存取，以便計算許多適用於一特別測試棒材圖案設計之目標函數值。這些目標函數值可儲存於一在關聯式資料庫伺服器 250 內之目標函數值資料庫 257 中。一 3D 模擬器輸入參數資料庫 259 亦可包含在關聯式資料庫伺服器 250 內。資料庫 259 可包含用於所有暴露步驟之棒材圖案位置及反應爐操作參數。當該計算伺服器 400 係有效運作地連接至關聯式資料庫伺服器 250，及可與該關聯式資料庫伺服器 250 相通時，圖 3 所述之每一前置資料庫可存取至一或更多計算伺服器 400。

圖 4 係一說明按照本發明示範具體實施例之方法之流程圖，其以用於示範沸水式反應爐之一棒材圖案設計之觀

點作敘述，應了解該方法及設備係適用於 PWRs、氣冷式反應爐及重水反應爐。

參考圖 4，於步驟 S5 中選擇用於評估之反應爐工廠，且界定用於該選擇工廠之測試棒材圖案設計之一項模擬之限制(步驟 S10)。基於這些限制，建立用於控制機構移動(例如控制葉片刻槽位置、控制棒位置等)之順序策略(步驟 S20)。可在整個爐心設計上模擬反應爐操作(步驟 S30)，或集中焦點在該測試棒材圖案設計之一子集合上，這可譬如為在一反應爐爐心中之燃料棒束之子集合，以便產生複數模擬結果。該模擬之結果係與該限制作比較(步驟 S40)，及基於此比較，提供資料說明是否有違反任何限制(步驟 S50)。該資料亦對該使用者提供一項指示，即一模擬爐心中之何位置係對一限制違反之最大違反者或最大貢獻者。現在於下文進一步詳細地敘述這些步驟之每一步驟。

圖 8-13 係敘述一以電腦為基礎之示範應用之視窗圖像，以進一步敘述本發明之方法及設備之各種特色。在本發明之方法及設備之以下敘述中可偶而參考這些圖示。最初，選擇一反應爐工廠(步驟 S5)，以致可選擇一最初之測試棒材圖案設計。可由一儲存之表單選擇該反應爐工廠，諸如儲存在一關聯式資料庫 250 之可存取資料庫上。欲評估之反應爐可譬如為 BWR、PWR、氣冷式反應爐或重水反應爐之任何一種。可儲存來自先前評估工廠之資料，且在諸如可經由一合適之輸入設備(滑鼠、鍵盤、電漿接觸

式螢幕等)及 GUI 230 存取之合適可存取資料夾下列出該工廠。可選擇一工廠，且可選擇一最初之測試棒材圖案設計。該最初之測試棒材圖案可選自先前模擬中所使用之一棒材圖案設計、基於來自一與欲評估反應爐類似之反應爐之棒材圖案設計作選擇、及／或選自一欲評估反應爐工廠中之稍早爐心能量循環中所使用之實際棒材圖案設計。

一旦選擇該工廠，可藉著使用 GUI 230 以存取一工廠架構網頁，並輸入一先前之測試設計選擇一最初之棒材圖案設計。譬如，該網頁可讓使用者選擇一“模型尺寸”，例如四分之一爐心、一半之爐心、或整個爐心，用以於隨後之模擬中評估。另外，一使用者可藉著輕按一合適之下拉選單等選擇一用於該選擇模型尺寸之爐心對稱性選項(例如八分圓、四分圓、無對稱性)。

藉著選擇“八分圓對稱性”，假設所有 8 個八分圓(在此一八分圓係譬如一群燃料棒束)係類似於該依模型製作之八分圓，該使用者能製作該反應爐之模型。因此，模擬器時間大致上係以八之因數增加。同理，藉著選擇“四分圓對稱性”，假設每一個 4 四分圓係類似於該依模型製作之四分圓，該使用者能製作該反應爐之模型。因此，該模擬器時間大致上係以四之因數增加。假如棒束性質中之不對稱性阻礙八分圓或四分圓對稱性，該使用者亦可指定無對稱性。

界定一組適用於該測試棒材圖案設計之限制(步驟 S10)。這些限制可能有關欲評估之特別反應爐設計之主要

論點及該反應爐之設計限制。該限制可應用於將輸入用以施行測試棒材圖案設計之一模擬之各變數，及可為僅只適用於該模擬之結果之限制。譬如，該輸入限制可能有關顧客輸入之反應爐工廠特定限制及爐心性能基準。應用於該模擬結果之限制可能有關一或更多操作參數限制，而用於反應爐操作、爐心安全限制、這些操作及安全限制之安全係數、及其他顧客輸入之反應爐工廠特定限制。圖 8A 說明顧客輸入之工廠特定限制，其可架構成對該模擬之輸入變數上之限制及在該模擬結果上之限制。參考圖 8A，在此列出複數顧客輸入之工廠特定限制，如藉著該箭頭 805 所大致指示者。對於每一限制，其可能指派一設計值限制，如藉著欄 810 所示。

基於這些限制建立用於定位一測試棒材圖案設計之一或更多子集合之順序策略(步驟 S20)。於譬如欲評估反應爐係一沸水式反應爐之具體實施例中，該限制有助於建立可容許之控制葉片位置及持續期間。隨同可容許之葉片對稱性界定控制葉片主旨，以有助於該使用者決定一最初之順序策略。譬如於典型 BWR 操作中，該控制葉片可分成四群葉片(“A1”、“A2”、“B1”、及“B2”)。藉著將葉片分配進入這些葉片群，該使用者可在一給定之順序內輕易地確認僅只該允許之葉片。因此，防止使用將導致一不想要之解決方法之不想要葉片。因為對每一次暴露確認控制葉片主旨，可強加令人滿意之葉片界定。

藉著界定控制葉片主旨及葉片對稱性，該使用者在該

控制葉片主旨內僅只需要確認單一葉片位置，且其他對稱控制葉片將據此遵循。如此，該圖形區域不會因多餘之控制葉片位置資訊所凌亂地散布。再者，自動操作一順序策略防止發生非法之控制葉片位置錯誤。

該使用者繼續由循環之開始(BOC)至循環之終止(EOC)確認所有順序及該最初之棒材圖案決定。圖 8B 係一如何可輸入該控制葉片順序之圖形說明。在 817 標題為葉片群之欄能夠讓該使用者譬如基於該使用者業已輸入之何種限制調整或設定該順序策略。於圖 8B 中，該使用者已在 811 設定該暴露步驟、在 813 之計算型式、在 815 之詳細棒材圖案、在 817 之葉片群、及任何適當之位置參數。

以業已界定之限制及業已建立之順序策略，開始一模擬(步驟 S30)。該模擬可藉著計算伺服器 400 所執行；然而，該模擬可為一於該設備 1000 外部運轉之 3D 模擬處理。該使用者可採用熟知可執行之 3D 模擬器程式，諸如 PANACEA、LOGOS、SIMULATE、POLCA、或任何其他習知模擬器軟體，在此該適當之模擬器驅動程式業已如所習知地界定及編碼。該計算伺服器 400 可基於該使用者經由 GUI 230 之輸入執行這些模擬器程式。

如此，該使用者可使用 GUI 230 隨時開始一 3D 模擬，及可具有若干及不同方法開始一模擬。譬如，該使用者可由一視窗下拉選單選擇一“運轉模擬”，或能如所習知地輕按一網頁工作列上之“運轉”圖像。另外，該使用者

可接收該模擬之圖形更新或狀態。有關該模擬之資料可在關聯式資料庫伺服器 250 內之佇列資料庫 253 中排隊。一旦該模擬係排隊，該使用者可能具有一有關該模擬何時完成之聲音及／或視覺指示，如所習知者。

一旦該使用者開始模擬，隨之有很多自動化步驟。圖 5 係一更詳細說明模擬步驟 S30 之流程圖。最初，用於該棒材圖案設計問題之所有界定係轉換成一用於該 3D 反應爐爐心模擬器之 3D 指令集(例如一電腦程式應用)(步驟 S31)。這能夠讓該使用者選擇模擬器之數種型式，諸如上面所述之模擬器。一特別模擬器之選擇可依該使用者所輸入之工廠基準(例如該限制)而定。該電腦程式應用係預備好用以佇列在每一關聯式資料庫伺服器 250 之佇列資料庫 253 中(步驟 S33)。用於一特別模擬之資料之儲存能夠使任何潛在模擬反覆由該最近或先前之反覆開始。藉著儲存及取回該資料，未來對一棒材圖案設計之模擬反覆僅只需時數分鐘或數秒施行。

同時發生的是，一在每一可用之計算伺服器 400 上運行之程式每隔數秒即掃描，以尋找可用之程式應用並運行之(步驟 S37)。假如一程式應用係預備好運行，一或更多計算伺服器 400 由該佇列資料庫 253 獲得該資料及運行該適當之 3D 模擬器。如上面所述，一或更多狀態訊息可顯示給該使用者。當模擬完成時，所有感興趣之結果可儲存於該關聯式資料庫伺服器 250 內之一或更前置資料庫中(例如模擬結果資料庫 255)。據此，可存取該關聯式資料

庫伺服器 250，以便為該測試棒材圖案設計計算該目標函數值。

圖 6 係一更詳細說明圖 4 之比較步驟之流程圖。該目標函數可儲存於用以藉著計算伺服器 400 存取之關聯式資料庫伺服器 250 中。提供目標函數值之目標函數計算亦可儲存於該關聯式資料庫伺服器 250 中，諸如於一前置目標函數值資料庫 257 中。參考圖 6，至該目標函數計算之輸入包含來自該限制資料庫 257 之限制及來自該模擬器結果資料庫 255 之模擬器結果。據此，一或更多計算伺服器 400 由關聯式資料庫伺服器 250 存取該資料。

雖然本發明之方法及設備想像任何數目之可利用目標函數格式，一具體實施例包含一具有三要素之目標函數：
(a)一特別限制參數之限值(例如用於反應爐工廠參數之設計限制)，其表示為“CONS”；(b)來自該 3D 模擬器用於該特別限制參數之模擬結果，其表示為“RESULT”；及
(c)一用於該限制參數之乘數，其表示為“MULT”。可譬如由 BWR 工廠架構之一大量收集憑經驗決定一組預先界定之 MULTs。這些乘數可設定在能夠使反應爐能量、反應率限制、及熱量限制以一適當順序決定之值。據此，本發明之方法利用一組憑經驗決定之通用乘數，其可應用至超過三十種不同之爐心設計。然而，GUI 230 允許手動地改變該乘數，這是重要的，其中該使用者優先可能想要某些限制“處以”比該預設值所確認之乘數較大之乘數。

可為每一個別之限制參數、及為所有限制參數整體計

(16)

算一目標函數值，在此所有限制參數代表欲於一特別測試棒材圖案中評估之實體。可如方程式(1)中所述計算該目標函數之一個別限制要素：

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

在此“par”可為圖 8A 中所列出之顧客輸入限制之任何一種。應了解這些參數不僅只是可能供評估之參數，而亦是一般使用以便決定核子反應爐用之合適爐心架構之參數。該總目標函數可為所有限制參數之加總，或

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

參考方程式 1，假如 RESULT 係少於 CONS(例如在此係沒有一限制違反)，該差值係重新設定至零，且該目標函數將為零。據此，零之目標函數值指示沒有違反一特別限制。該目標函數之正值代表可能需要修改之違反。另外，可用特殊座標 (i,j,k) 及時間座標 (暴露步驟) (例如於一爐心能量循環中之特別時間) 之形式提供該模擬結果。因此，該使用者可在該時間座標 (例如暴露步驟) 看見問題所在。因此，僅只在已確認之暴露步驟修改該棒材圖案。

此外，目標函數值可計算為每一暴露步驟之函數，及合計用於該整個測試棒材圖案設計問題 (步驟 S43)。為每一項限制所計算之目標函數值、及每暴露步驟之目標函數

值可藉著標準化每一目標函數值進一步檢查，以對一總目標函數值提供一給定限制之貢獻百分比(步驟 S45)。目標函數計算之每一結果或值係儲存於關聯式資料庫伺服器 250 內之一前置目標函數值資料庫 257 中。

該目標函數值可利用在棒材圖案發展之手動決定中。譬如，可由該使用者圖型地觀看該目標函數計算之值，以便決定違反限制之參數。另外，在經由棒材圖案設計之成功迭代，於目標函數值中之任何變化提供該使用者一測量工具，以估計其提議設計中之改善及損害兩者。

經由數次迭代在一目標函數中之增加指示該使用者之改變正建立一移離一想要解決方法之棒材圖案設計，而較少目標函數值(例如該目標函數值由正值朝向零減少)之連續迭代值可指示該反覆棒材圖案設計中之改善。經由連續之迭代之目標函數值、限制及模擬結果可儲存於關聯式資料庫伺服器 250 內之各種前置資料庫中。因此，萬一稍後之修改證實沒有用處，可迅速地取回來自過去之迭代之設計。

當完成該目標函數計算時，該使用者可提供有關該目標函數計算之資料，這可能包含於一評估測試棒材圖案設計之模擬期間已違反之各種限制。圖 9 說明一使用者可再過目之示範圖形資料。參考圖 9，在此顯示限制參數之一列表，該參數可代表該輸入限制、及在每一限制之基礎上之每一目標函數值計算之值。圖 9 以一框格中之檢查標記說明已違反之限制，譬如檢查框格 905 所指示。另外，對

於每一限制之違反，顯示其貢獻及貢獻百分比(%) (基於該計算及關於圖 6 所敘述之標準化常式)。據此，基於此資料，該使用者可有關係需要對隨後迭代用之測試棒材圖案設計作什麼修改提供一項推薦。

雖然該個別之棒材圖案修改可另外選擇地留作該使用者之需求，譬如能以下拉選單之形式提供程序上之推薦。這些推薦可分成四類：能量有益之移動、反應率控制、能量有害之移動，及把過度之安全係數(由熱量限制)轉換成額外之能量。一較佳技術係專注於使用能量有益之移動而非能量有害之移動之問題。縱使該棒材圖案設計滿足所有該限制(顧客輸入之工廠特定限制、設計限制、熱量限制等)，該使用者可證實對一特別限制之任何過度安全係數係轉換成額外之能量。據此，以下之邏輯陳述可代表上面程序上之推薦：

能量有益之移動

- 假如脫離葉片之頂部，更深地插入葉片
- 假如在 EOC 有 NEXRAT(例如一熱量安全係數限制)問題，稍早於循環中更深地插入葉片
- 假如於中央循環期間有 kW/ft 尖峰，稍早於循環中更深地驅動較深之棒材

反應率控制

- 假如於順序期間之流量太高，拉出深的棒材
- 假如於順序期間之流量太低，更深地驅動棒材

能量有害之移動

· 假如於順序期間在爐心之底部有峰值，於局部區域中插入淺之葉片，把過度之安全係數轉換成額外之能量

· 假如在 EOC 有額外之 MFLCPR 安全係數，稍早於循環中更深地驅動葉片

· 假如在 EOC 有額外之 kW/ft 安全係數，稍早於循環中更深地驅動葉片

· 假如在 EOC 於爐心之中心有額外之 MFLCPR 安全係數，稍早於循環中更深地驅動中心棒材

基於該位置，及基於限制違反之時間暴露，如由該目標函數所指示，一使用者可輕易地遵循一或更多上面之推薦以處理及改正限制違反。

源自該目標函數計算之資料可在一合適之顯示裝置上解析。譬如，此資料可顯示為一具有已指出違反者之限制之列表，如關於圖 9 所敘述者。然而，該使用者可存取若干不同之“結果”顯示螢幕，該顯示螢幕可譬如架構成 2 維或 3 維之視圖。以下之表 1 列出該使用者可用之部份示範視圖。

表 1 – 使用者可用之圖形視圖
目標函數結果 – 列出
最大爐心值對暴露之曲線圖
允許之最大值對暴露之曲線圖
最大爐心值之位置對暴露之曲線圖
栓銷值對暴露之曲線圖

棒束最大值對暴露之曲線圖
綜覽 3D 旋轉圖
報告性能相對先前之迭代
各種設計者之報告改良率
伺服器狀態之顯示
佇列狀態之顯示
顯示系統推薦

圖 10-11B 按照本發明說明該使用者可用之圖形視圖。參考圖 10，一使用者可由工作列上之“view”圖像拉下一合適之下拉選單，以便顯示某些限制或參數之檢視。如圖 10 所說明，一使用者已選擇一最大部份限制之功率密度(MFLPD)限制參數。在此使用者可用若干不同圖形視圖，如藉著下拉選單 1010 所示。該使用者僅只選擇想要之視圖及可然後進出一頁面，諸如圖 11A 或 11B 所說明者。圖 11A 說明特別限制之二不同之 2 維曲線圖，如在 1105 及 1110 所視。譬如，對於爐心循環中之一特別暴露，該使用者能決定在何處發生最大平均之平面加熱產生比率(MAPLHGR)之違反(於一爐心最大值對暴露曲線圖 1105 中，及 MFLPD 之一軸向值對暴露曲線圖 1110 中)。用於這些限制之極值係由直線 1120 及 1125 所示，並具有大致上於圖 11A 中之 1130 及 1135 所示之違反。

圖 11B 說明另一視圖，於此案例中說明一爐心之整個剖面之二維視圖，以便看出用於 MAPLHGR 對暴露之最大

違反貢獻者係定位在何處。如能在 1140 及 1150 看見者，該圍起之方格代表對爐心中之 MAPLHGR 係最大違反貢獻者之燃料棒束（例如 1140 及 1150 指向棒束違反之 MAPLHGR）。這給該使用者一指示，即該棒材圖案設計中之燃料棒束可能需要修改。

圖 7A 及 7B 係流程圖，其按照本發明之一示範具體實施例敘述修正及反覆執行處理步驟。參考圖 7A，藉著在步驟 S60 解析該資料，該使用者可能傾向於開始一修正副程式（步驟 S70）。在所有實用性中，該第一測試棒材圖案設計將不是一可接受之設計，且將需要該修正副程式。於一具體實施例中，藉著該圖形使用者 GUI 230 之幫助，該使用者能夠手動地引導該修正副程式。於另一具體實施例中，可在一最佳化演算法之範圍內施行該副程式，該演算法對於若干棒材圖案設計反覆自動地迭代模擬、目標函數之計算、及該目標函數計算之結果或值之評估。

基於該顯示之資料，該使用者決定是否任何限制係已違反（步驟 S71）。假如沒有限制係已違反，該使用者決定是否任何識別碼指示由該棒材圖案設計獲得該最大之動力特性。譬如，這些識別碼可藉著將棒材更深地驅動進入該爐心包含一良好熱量安全係數利用率（諸如 MFLCPR 及 LHGR）之指示，以最大化用於循環延伸之鈾產生。當獲得用於該循環設計之最小 EOC 特徵值（特徵值搜尋）或該想要之循環長度係在一固定之 EOC 特徵值處決定時，動力需求可顯示為已滿足。假如在此有一指示為由該測試棒材圖

案設計已獲得該最大動力(步驟 S72 之輸出為 YES)，已決定一可接受之棒材圖案設計，及該使用者可存取一有關該棒材圖案設計之報告結果(步驟 S73)。

假如限制係已違反(步驟 S71 之輸出為 YES)或限制未違反，但在此有一指示為該最大動力尚未由該棒材圖案設計獲得(步驟 S72 之輸出為 NO)，則該使用者決定是否任何特徵指示需要修改該順序策略(步驟 S74)。指示需要修改該順序策略之特徵可包含過度控制葉片(控制棒)歷史記錄、在 EOC 於局部區域中之過度 MFLCPR、及未能在個別之暴露處獲得 MFLCPR。另外，假如已嘗試棒材圖案設計改變之數次迭代，且對該目標函數尚未有任何真正之改善，這是另一項指示，即可能需要探究另一選擇之棒材圖案順序。

據此，假如該順序策略需要修改(步驟 S74 之輸出為 YES)，該使用者藉著改變該順序策略(步驟 S75)建立一衍生之棒材圖案設計。譬如，及參考圖 8B 及 8C，該使用者可在該操作架構頁面選擇一編輯選項，以改變該葉片組合(看圖 8B 中之 817)。

假如沒有任何特徵指示該順序策略需要修改(步驟 S74 之輸出為 NO)，該使用者可藉著改變控制葉片或控制棒之位置修改該測試棒材圖案設計以建立一衍生圖案。參考圖 8B，該使用者檢查用於一特別暴露之“設定棒材”框格 830 及選擇編輯圖像 835。如圖 8C 所示，這些操作可帶來另一項顯示，其能夠讓該使用者手動地變更於一特

別群中之控制葉片之刻槽位置。於圖 8C 中，在此顯示一“界定葉片群”之螢幕畫面 840，其以一在小隔間 841 選擇之葉片群 Interior A1 說明一爐心剖面。藉著選擇下拉選單 842 之選項，該使用者可顯示稱為“設定葉片限制”視窗 845 之另一視窗。該最小之收回欄 850 確認允許一葉片進入該爐心多遠。該最大之收回欄 855 確認允許該葉片退出該爐心多遠，並在該不允許欄 860 確認不允許用於此特別棒材圖案設計之葉片位置。其將了解本發明不限於改變用於沸水式反應爐之控制葉片刻槽位置，而且也不限於改變加壓水反應爐中控制棒之棒材位置，以及其他型式反應爐(例如氣冷式反應爐、重水反應爐等)中之控制棒位置。

不管該測試棒材圖案是否已藉著改變棒材位置作修改或藉著改變順序策略作修改，重複步驟 S30-S50 以決定該衍生之棒材圖案設計是否滿足所有限制(步驟 S77)。這可變成一反覆之製程。

圖 7B 按照本發明之一示範具體實施例說明該反覆之製程。對於每一已模擬之衍生棒材圖案設計，該使用者決定是否模擬結果及各限制(例如該計算好之目標函數值)間之比較有關之任何資料仍然指示有限制違反。假如否，該使用者已發展出一可接受之棒材圖案設計，其可用於一特別反應爐，及可存取有關該可接受棒材圖案設計之圖形結果(步驟 S173)。

假如一迭代仍然指示該限制係已違反(步驟 S160 之輸

出為 YES)，則重複地執行於步驟 S70 中之修正副程式，直至滿足所有限制，或直至在一可接受之安全係數內滿足所有限制，如藉著該使用者所決定者(步驟 S170)。該反覆之流程係有益的，因為其能夠讓該使用者微調一棒材圖案設計，且比先前以該習知手動反覆製程所可能做出者，或許由一可接受之棒材圖案設計擷取出甚至更多之能量。再者，該關聯式資料庫伺服器 250 及若干計算伺服器 400 之結合促進計算。如圖 7B 所述，當與使用該先前技藝之改變一參數然後同時運行一反應爐爐心模擬之手動反覆製程所費若干星期作比較時，該反覆製程可在一非常短時期內完成。

至此為止，已以一使用者或設計者經由 GUI 230 解析資料及基於所顯示之反饋(來自該目標函數之資料)用手反覆修改一測試棒材圖案設計以便獲得一想要設計之觀點敘述本發明之方法及設備。然而，圖 7A 及 7B 之前述步驟亦可經由一最佳化製程完成。該最佳化製程遍及若干不同棒材圖案設計反覆執行圖 7A 及 7B 中之步驟，不斷地改善已違反之限制，以便達成一用於核子反應爐爐心之最佳棒材圖案設計。

圖 12 說明開始此一製程之視窗圖像。譬如，在選擇該工廠及該測試棒材圖案之後，該使用者可顯示一最佳化架構螢幕 1205。該使用者可選擇最佳化參數 1240，以譬如最佳化棒材圖案、最佳化爐心流動、及最佳化順序區間。

對於操作循環期間之持續時期，當該給定之順序係用於控制該反應爐時，最佳化棒材圖案意指作成一控制棒組合(稱為一數列)內之個別控制棒位置之一最佳決定。棒材位置影響該局部之動力以及該核子反應速率。最佳化爐心流動意指作成反應爐冷卻劑流經該反應爐之流速之一最佳決定，其為操作循環期間之一時間函數。流速影響整體反應爐動力以及該核子反應速率。最佳化順序區間意指作成持續時期之一最佳決定，一給定順序(亦即控制棒組合)係用於該操作循環期間控制該反應爐。順序區間影響局部之動力以及該核子反應速率。

使用一合適之輸入設備(例如鍵盤、滑鼠、觸控顯示器等)，該使用者藉著在與一最佳化參數 1240 有關之選擇框格 1242 中輕按可經由 GUI 230 選擇一或更多該最佳化參數。當選定時，一項檢查顯現在該選定最佳化參數之選擇框格 1242 中。再次輕按該選擇框格 1242 可取消該最佳化參數之選擇。

記憶體(關聯式資料庫伺服器)250 亦可儲存與該最佳化問題有關之限制參數。這些參數可譬如儲存於限制資料庫 251 中。該限制參數係必須或應滿足一限值或多項限制之最佳化問題之參數，在此一限制可類似於如上面所述之限制。

圖 13 說明一示範最佳化限制頁面之視窗圖像，其列出與鍋爐水反應爐爐心設計之最佳化問題有關之最佳化限制。如所示，每一最佳化限制 1350 具有一與其有關之設

計值 1352。每一最佳化限制必須落在該指定設計值以下。該使用者具有能力去選擇用於考慮架構該目標函數之最佳化參數。該使用者藉著在與最佳化限制 1350 有關之選擇框格 1354 中輕按選擇一最佳化限制。當選定時，一項檢查顯現在該選定最佳化限制 1350 之選擇框格 1354 中。再次輕按該選擇框格 1354 可取消該最佳化限制之選擇。

每一最佳化參數可具有一與其有關而儲存於關聯式資料庫伺服器 250 中之預定信用條款及信用權重。同理，每一最佳化限制具有一與其有關而儲存於關聯式資料庫伺服器 250 中之預定懲罰條款及懲罰權重，該伺服器 250 諸如於限制資料庫 251 及／或目標函數值資料庫 257 中。如圖 13 所視。該懲罰條款併入該設計值，且該使用者能如所想要地改變(亦即架構)該值。另外，圖 13 之具體實施例允許該使用者對每一最佳化限制 1350 設定一重要性 1356。於一最佳化限制用之重要性欄區 1358 中，該使用者可下拉不重要、低、額定、高及極端重要之選項。每一選項與一憑經驗之預定懲罰權重有相互關係，以致該重要性越大，則該預定懲罰權重越重。以此方式，該使用者由一組預定懲罰權重之中作選擇。

一旦完成上面之選擇，一計算伺服器 400 由關聯式資料庫伺服器 250 取回上面之選擇，及根據上述討論之通用界定及於該選擇製程期間所作之選擇架構該目標函數。該最終架構之目標函數等於與該選擇之最佳化參數有關之信用要素之總合加上與該選擇之最佳化限制有關之懲罰要素

之總合。

另外，此具體實施例中提供該使用者選擇處理該信用及懲罰權重之方法。譬如，該使用者係供給靜態、死刑、動態、及被設計成適用於該懲罰權重之可能方法論；係供給靜態、動態及被設計成適用於該信用權重之可能方法論；及被設計成適用於該懲罰及信用權重之相關方法論。熟知之靜態方法論將該權重維持在其最初設定值。該熟知之死亡方法論將每一懲罰權重設定至無窮大。該熟知之動態方法論於該目標函數之使用過程期間在一最佳化搜尋中基於一數學式調整該最初之權重值，該數學式決定該權重變化之數量及／或頻率。亦於最佳化搜尋之過程期間應用該熟知適應性方法論。於此方法中，定期地調整用於每一違反該設計值之限制參數之懲罰權重值。該相關之適應性方法論係揭示在本申請案之發明家於 2002 年 9 月 19 日提出之美國專利申請案第號 10/246,718 中，其標題為“在一目標函數之前後關係內之有適應性地決定權重因子之方法及裝置”。

最佳化使用該目標函數

圖 14 說明一最佳化製程之流程圖，其採用按照本發明之一示範具體實施例之目標函數。此最佳化製程係揭示在本申請案之發明家於 2002 年 9 月 19 日提出之美國專利申請案第號 10/246,716 中，其標題為“用於對限制問題所提出解決方法作評估之方法及裝置”。

僅只為說明故，圖 14 之最佳化製程將敘述為藉著圖 1 所說明之架構所施行。如所示，於步驟 S1410 中，如上面前述段落中所討論地架構該目標函數，然後開始該最佳化製程。於步驟 S1412 中，該計算處理器 400 由關聯式資料庫 250 取回系統輸入，或基於使用中之最佳化演算法為該最佳化問題之輸入參數(亦即系統輸入)產生一或多組值。譬如，這些輸入參數可能關於決定用於一棒束之棒材圖案。然而，最佳化係不限於使用這些參數，其他輸入參數可能係未用過及已暴露燃料棒束在該反應爐內之配置、棒材組合(數列)之選擇、及於該循環期間在該組群內之控制棒位置之配置(其為時間之函數)、於該循環期間之爐心流動(其為時間之函數)、反應爐冷卻劑入口壓力等。

每一組輸入參數值係最佳化問題之一候選解決方法。該爐心模擬器如上述運行一模擬操作及為每一組輸入參數值產生一模擬結果。該模擬結果包含用於該最佳化參數及最佳化限制之值(亦即系統輸出)。這些值、或這些值之子集合係該目標函數之數學式中之變數值。

然後，於步驟 S1414 中，一計算處理器 400 使用該目標函數及該系統輸出以為每一候選解決方法產生一目標函數值。於步驟 S1416 中，該計算處理器 400 使用於步驟 S1414 中所產生之目標函數值評定該最佳化製程是否收斂至一解決方法。假如未抵達收斂，則於步驟 S1418 中，修改該輸入參數組，該最佳化迭代計數係增加且其處理返回至步驟 S1412。根據任何熟知之最佳化演算法，諸如遺傳

演算法、模擬退火法、及塔布搜尋法，施行步驟 S1412, S1416 及 S1418 之產生、收斂評估、及修改操作。當利用該最佳化以決定一可接受之棒材圖案設計時，運行該最佳化直至獲得收斂(例如可接受之結果，如於圖 7A 及 7B 之步驟 S73/S173 中)。

本發明之技術效果係一種以電腦為基礎之設備，其提供一路徑以有效率發展一核子反應爐設計用之棒材圖案，在此該棒材圖案設計代表一用於操作該反應爐之控制機構；以及一種以電腦為基礎之方法，其用於提供內部及外部使用者有能力為其反應爐設計迅速地發展、模擬、修改一棒材圖案及使該棒材圖案趨於完美。

本發明已如此作敘述，其將明顯的是可在許多方面變化本發明。譬如，因已敘述發展一核子用之棒材圖案設計之方法，可架構諸如 BWR 之核子反應爐以使用一按照上面概述方法所發展之棒材圖案設計運轉。此變化將不視為脫離本發明之精神及範圍，且對熟練該技藝者將變得明顯之所有此等修改係意欲涵括在以下申請專利之範圍內。

【圖式簡單說明】

由在此下文所給與之詳細敘述及所附圖面將更充分了解本發明，其中類似元件係以類似參考數字表示，並僅只給與供作說明用，及如此非本發明之限制，且其中：

圖 1 說明一用以履行按照本發明示範具體實施例之方法之設備；

(30)

圖 2 說明一用以履行按照本發明示範具體實施例之方法之配置應用伺服器；

圖 3 說明一具有按照本發明示範具體實施例之前置資料庫之關聯式資料庫；

圖 4 係一流程圖，其敘述按照本發明示範具體實施例之方法；

圖 5 係一流程圖，其說明按照本發明一示範具體實施例之模擬步驟；

圖 6 係一流程圖，其按照本發明之一示範具體實施例更詳細地說明圖 4 之比較步驟；

圖 7A 及 7B 係流程圖，其按照本發明之一示範具體實施例說明一棒材圖案設計之修改及一反覆製程；

圖 8 -13 係一以電腦為基礎之示範應用之視窗圖像，以進一步敘述本發明之方法及設備之各種特色；及

圖 14 係一流程圖，其敘述一用於按照本發明示範具體實施例之最佳化常式。

元件表

200	應用伺服器
205	匯流排
210	主機處理器
225	網路界面
230	圖形使用者介面
250	記憶體

- 251 限制資料庫
- 253 佇列資料庫
- 255 模擬器結果資料庫
- 257 目標函數值資料庫
- 259 立體輸入參數資料庫
- 260 加密伺服器
- 275 區域網路
- 300 外部使用者
- 350 內部使用者
- 375 連接裝置
- 400 計算伺服器
- 805 顧客輸入之工廠特定限制
- 810 設計值限制
- 811 暴露步驟
- 813 計算型式
- 815 詳細棒材圖案
- 817 葉片群
- 830 設定棒材框格
- 835 編輯框格
- 840 界定葉片群之螢幕畫面
- 841 小隔間
- 842 選項下拉選單
- 845 設定葉片限制視窗
- 850 最小收回欄

855	最大收回欄
860	不允許欄
905	檢查框格
1000	設備
1010	下拉選單
1105	爐心最大值對暴露曲線圖
1110	MFLPD 軸向值對暴露曲線圖
1120	限制
1125	限制
1130	限制違反
1135	限制違反
1140	棒束違反 MAPLHGR
1150	棒束違反 MAPLHGR
1205	圖形檢視
1240	最佳化參數
1242	選擇框格
1350	最佳化限制
1352	設計值
1354	選擇框格
1356	重要性
1358	重要性欄區

伍、中文發明摘要

發明之名稱：發展核子反應爐內棒材圖案的方法和設備

本發明揭示一種方法，其界定一組可應用於測試棒材圖案設計之限制，及建立一用於定位該測試棒材圖案設計之一或更多子集合之順序策略。在該測試棒材圖案設計之一子集合上模擬反應爐操作以產生複數模擬結果，該子集合可譬如為反應爐爐心中之燃料棒束之一子集合。該模擬結果係與該限制作比較，且提供來自該比較之資料以指示於該模擬期間是否有由該測試棒材圖案設計所違反之任何一種限制。一設計者或工程師可使用該資料以決定需要調整何操作參數（例如控制葉片刻槽位置），以便建立一衍生之棒材圖案設計供模擬，及最後使用於一特別爐心之棒材圖案設計趨於完美。

陸、英文發明摘要

發明之名稱：
METHOD AND ARRANGEMENT FOR DEVELOPING ROD PATTERNS IN
NUCLEAR REACTORS

In the method, a set of limits applicable to a test rod pattern design are defined, and a sequence strategy for positioning one or more subsets of the test rod pattern design is established. Reactor operation on a subset of the test rod pattern design, which may be a subset of fuel bundles in a reactor core for example, is simulated to produce a plurality of simulated results. The simulated results are compared against the limits, and data from the comparison is provided to indicate whether any of the limits were violated by the test rod pattern design during the simulation. A designer or engineer may use the data to determine which operator parameters need to be adjusted (e.g., control blade notch positions for example) in order to create a derivative rod pattern design for simulation, and eventually perfect a rod pattern design for a particular core.

(1)

拾、申請專利範圍

1.一種發展核子反應爐內棒材圖案設計之方法，該棒材圖案設計代表一用於操作該反應爐之控制機構，該方法包含下列步驟：

界定一組限制，其可應用於一測試棒材圖案設計；

基於這些限制建立一順序策略，其用以定位該測試棒材圖案設計之一或更多子集合；

在該測試棒材圖案設計之至少一子集合上模擬反應爐操作，以產生複數模擬結果；

比較該模擬結果與該限制；及

提供資料，其指示於該模擬期間由該測試棒材圖案設計所違反之限制。

2.如申請專利範圍第1項之方法，其尚包含：

儲存有關該測試棒材圖案設計、限制、模擬結果及來自該比較之資料之資訊；

修改該測試圖案設計，以建立一衍生之棒材圖案設計；

重複該模擬，比較一供給之步驟以發展資料，該資料指示於該模擬期間由該衍生之棒材圖案設計所違反之限制之；及

選擇一種核子反應爐，其中該反應爐係選自一包含沸水式反應爐、加壓水反應爐、氣冷式反應爐、及重水反應爐之群組。

3.如申請專利範圍第1項之方法，其中該界定步驟

(2)

尚包含：

界定輸入限制，其可應用於欲輸入用以施行該模擬步驟之變數；及

界定結果限制，其應用於該模擬結果，

其中該輸入限制及結果限制係在該比較步驟中作評估

其中該輸入限制係有關顧客輸入之工廠特定限制及爐心性能基準，

其中該結果限制係有關反應爐操作之操作參數限制、爐心安全限制、對那些操作及安全限制之安全係數、及顧客輸入之工廠特定限制之至少一種。

4.如申請專利範圍第1項之方法，其中該比較步驟尚包含：

架構一目標函數，以評估該模擬結果；及

為每一模擬結果使用該目標函數產生目標函數值；及

基於該界定之限制組評估該目標函數值，以決定何模擬結果違反一限制。

5.如申請專利範圍第1項之方法，其中假如該比較步驟指示所有限制已滿足、或在一可接受之安全係數內滿足，該供給步驟尚包含供給有關一可接受棒材圖案設計之資料。

6.如申請專利範圍第2項之方法，尚包含：

反覆執行該修改、模擬、比較一供給之步驟，以發展該衍生棒材圖案設計之N次迭代，及用於該N次迭代之

(3)

選定一迭代；

儲存有關該棒材圖案設計、限制、模擬結果及來自該比較之資料之資訊；

其中施行該迭代重複步驟，直至一特別迭代中之比較指示所有限制已滿足、或在一可接受之安全係數內滿足，該方法尚包含：

輸出有關用於該核子反應爐設計之一可接受棒材圖案設計之資料。

7.一種發展核子反應爐內棒材圖案設計之設備(1000)，該棒材圖案設計代表一用於操作該反應爐之控制機構，該設備包含：

一記憶體(250)，其儲存一測試棒材圖案設計；

一介面(230)，其接收一組可應用於該測試棒材圖案設計之限制，及能夠基於該限制建立一用於定位該棒材圖案設計之子集合之順序策略；

一模擬器，其用於在該棒材圖案設計之至少一子集合上運行一模擬反應爐操作，以產生複數模擬結果；及

一處理器(400)，其比較該模擬結果與該限制，

該介面(230)提供資料，其指示於該模擬期間由該測試棒材圖案設計所違反之限制。

8.如申請專利範圍第7項之設備(1000)，其中對指示由該測試棒材圖案設計所違反之一或更多限制之資料作出回應，

該介面(230)接收一修改該測試棒材圖案設計之命令

(4)

，以建立一衍生之棒材圖案設計；

該模擬器在該衍生之棒材圖案設計上重複該模擬；

該處理器(400)比較該模擬結果與該限制；及

該介面(230)提供資料，其指示於該模擬期間由該衍生棒材圖案設計所違反之限制。

9.如申請專利範圍第8項之設備(1000)，其中對指示一或更多限制違反之用於每隔第N次衍生棒材圖案設計之資料作出回應，

該介面(230)、模擬器及處理器(400)施行棒材圖案設計修改、模擬、比較及資料提供函數之第N次迭代，及用於該N次迭代之選定一迭代；

該記憶體(250)儲存有關該棒材圖案設計、限制、模擬結果及來自該比較之資料之資訊。

10.如申請專利範圍第9項之設備(1000)，其中

該介面(230)、模擬器及處理器(400)施行該N次迭代，直至該處理器(400)於一特別迭代中決定該已滿足、或在一可接受之安全係數內滿足之所有限制，

該介面(230)輸出有關用於該核子反應爐之一可接受棒材圖案設計之資料，

其中該可接受之棒材圖案設計係具體化為控制葉片架構及控制棒架構之一。

圖 1

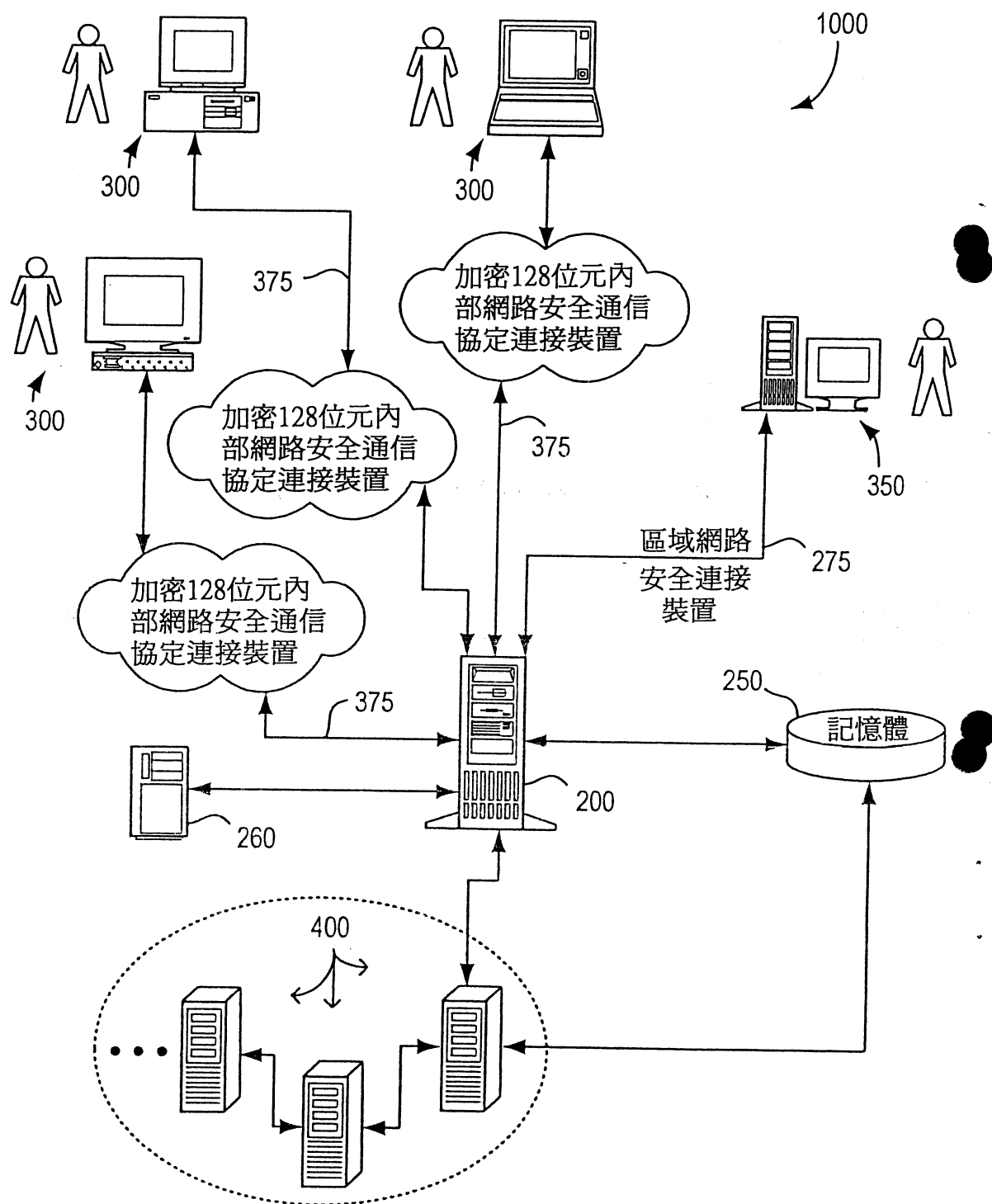


圖 2

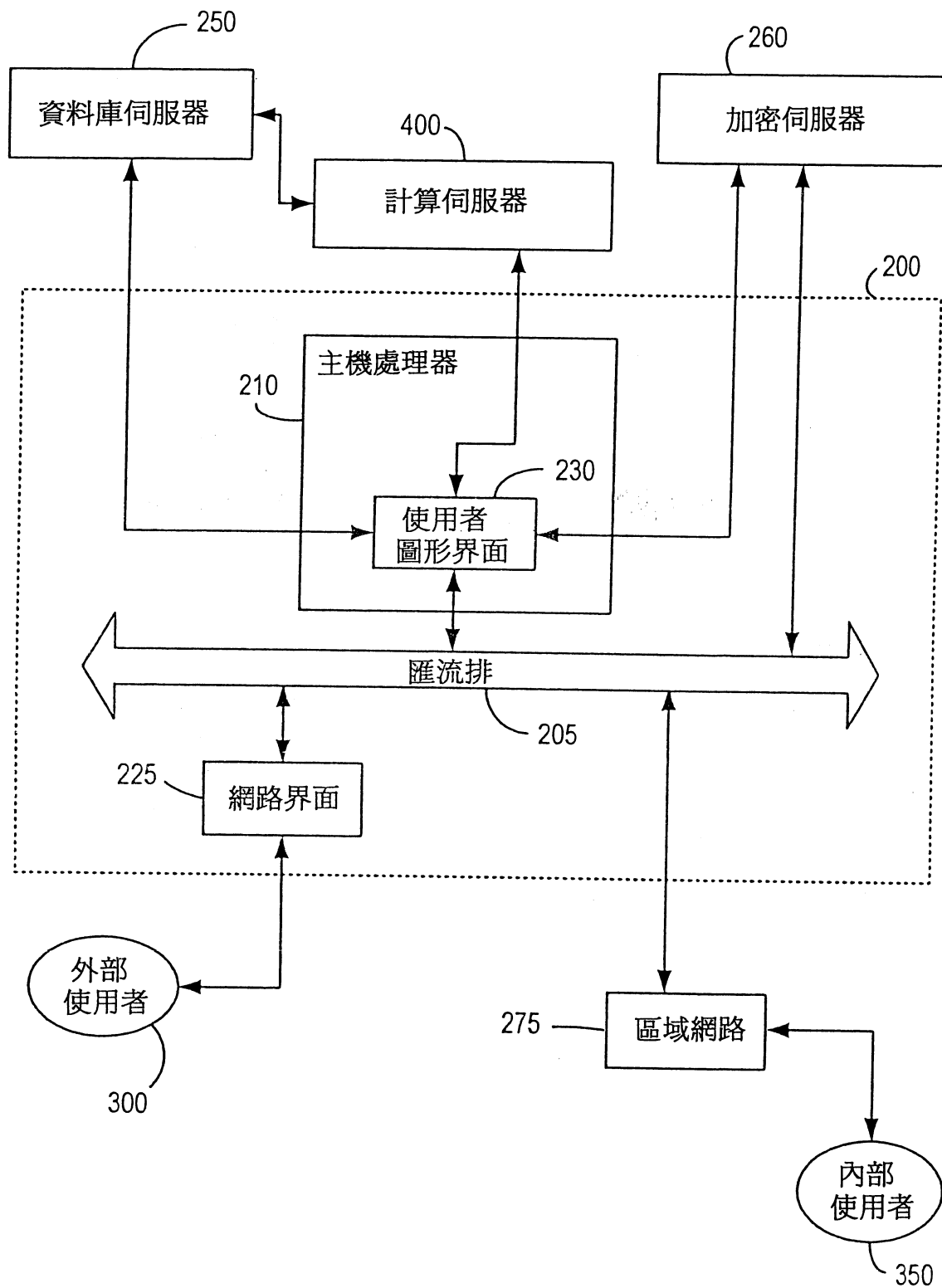


圖3

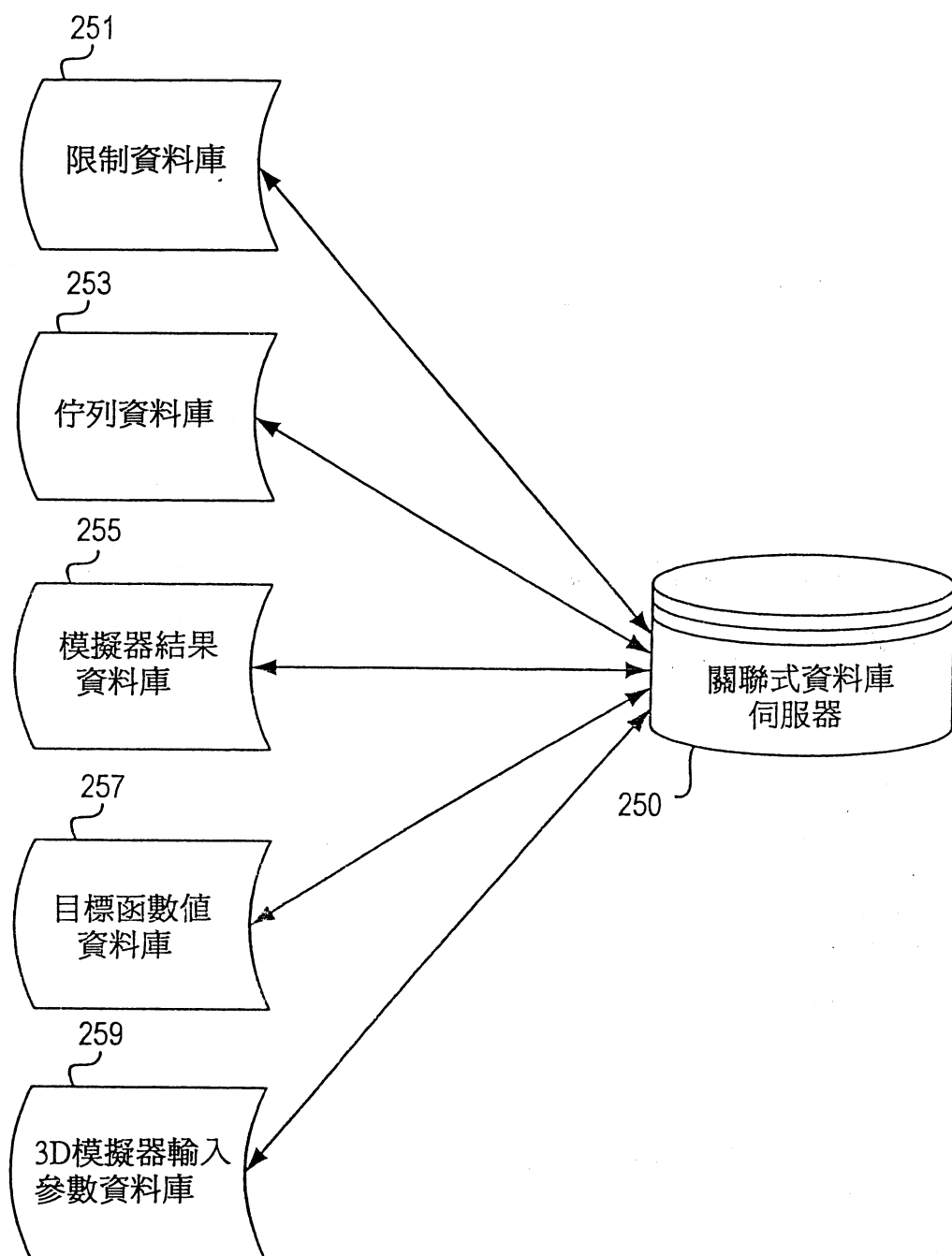


圖 4

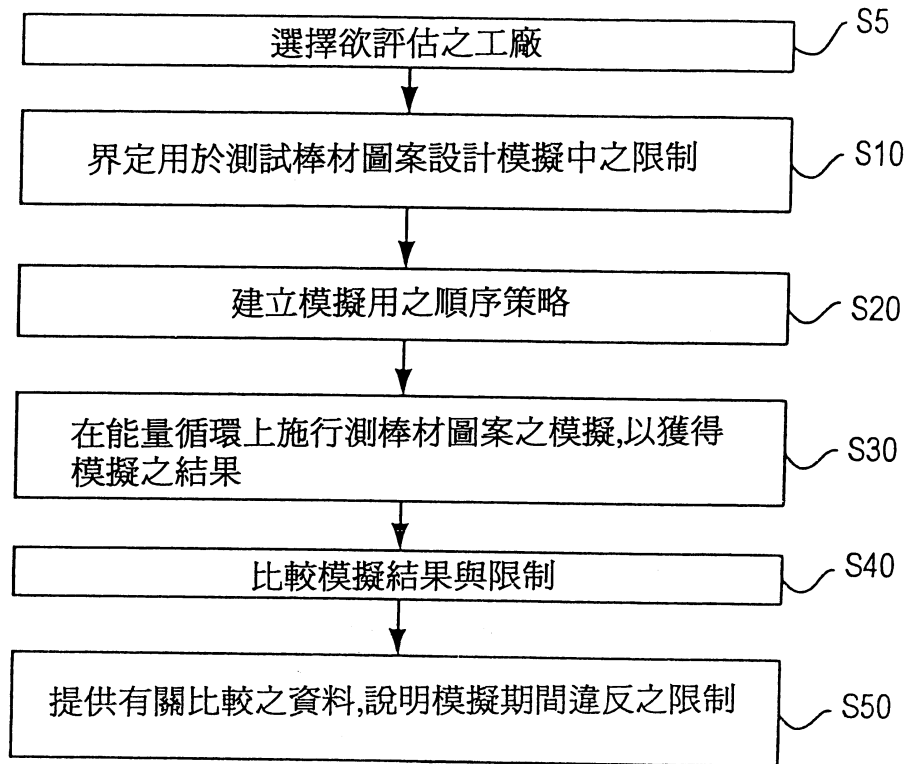


圖 5

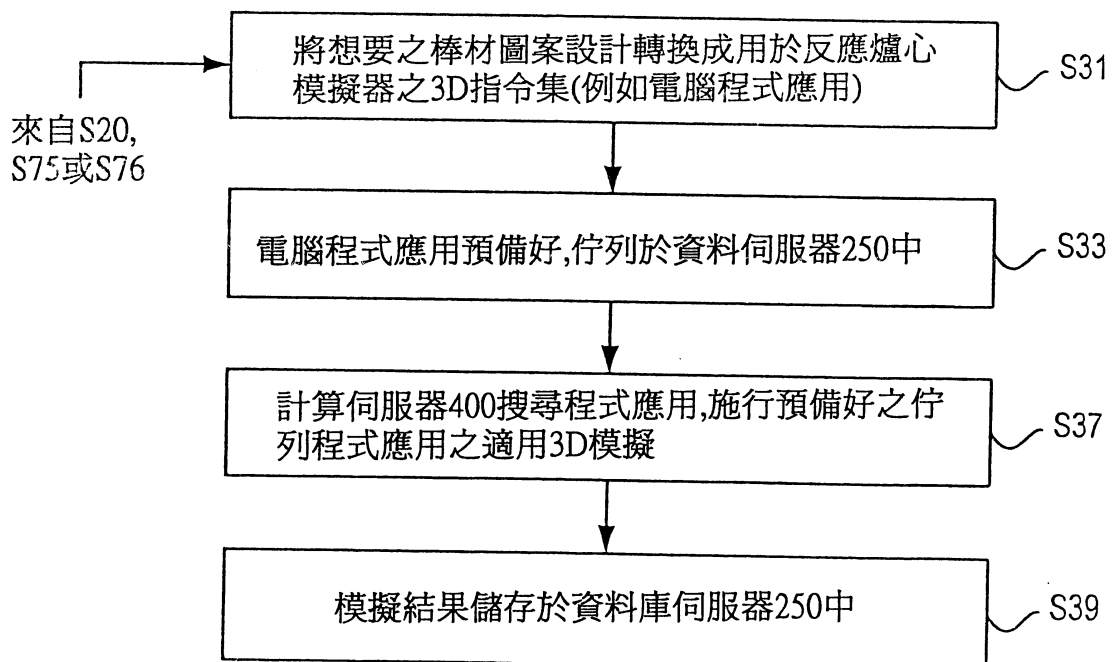


圖 6

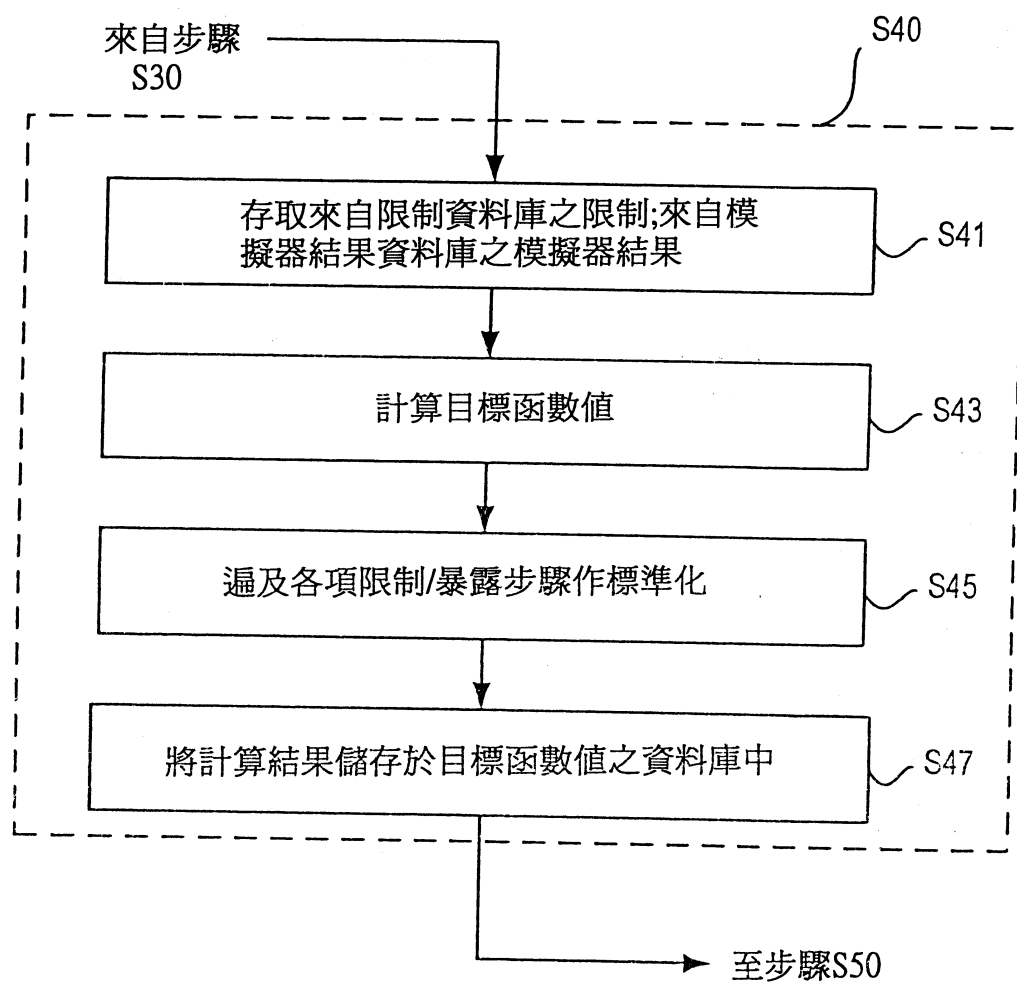
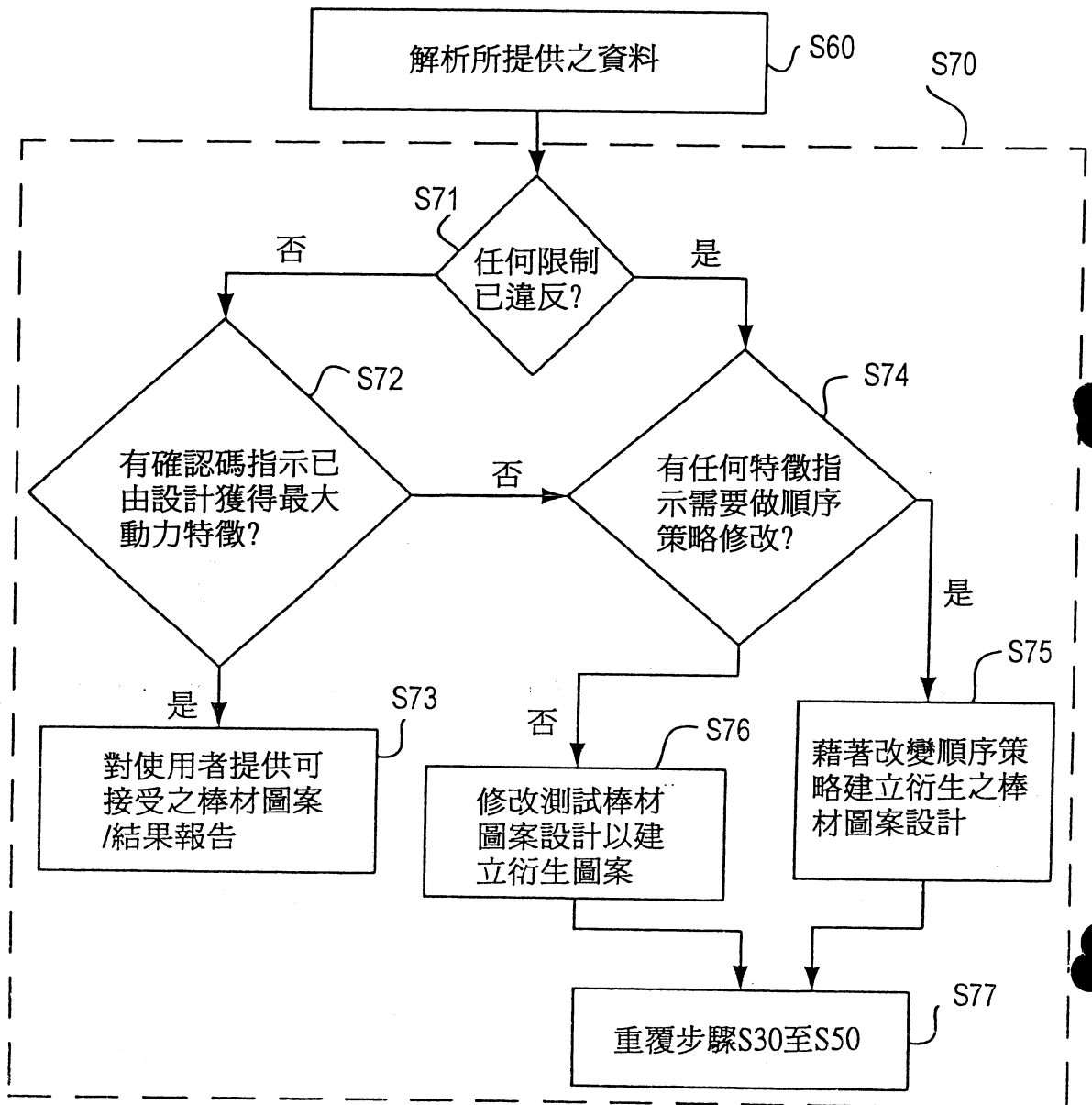


圖 7A



來自S70

圖 7B

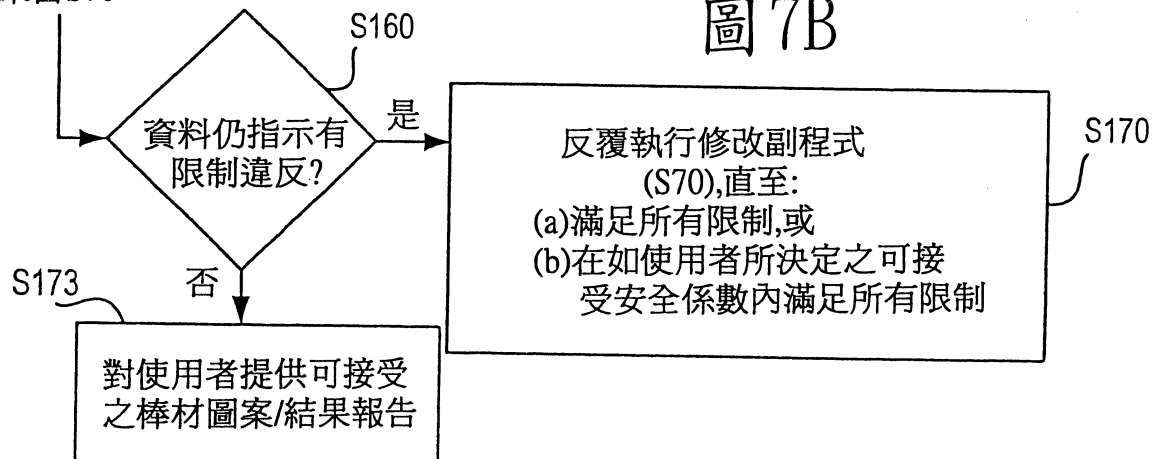


圖 8A

805

ePrometheus - Hatch 1 - Cycle 1 - Test 5b - CS ID:2485 <Online Operations>

WorkSpace Input Run View Reports Window Help

Input Deck

Plant Configuration Optimization Configuration Optimization Constraints Operations Configuration Fuel Shuffling Eigenvalue & Operating Limit Select Files

Optimization Constraints

Constraint Description	Importance	Exposure Dependence	Design Value	Objective Add Funct.	Optimization Credits
Maximum MFLCPR	Nominal	☐ Edit	0.964	☐	None
Maximum MFLPD	Nominal	☐ Edit	0.957	☐	None
Maximum MAPLHGR	Nominal	☐ Edit	0.957	☐	None
Minimum % Flow	Nominal	☐ Edit	85.0	☐	None
Maximum % Flow	Nominal	☐ Edit	100.0	☐	None
Eigenvalue Upper Tolerance (Δ Cycle)	None	☐ Edit	1.0E-4	☐	None
Eigenvalue Lower Tolerance (Δ Cycle)	None	☐ Edit	1.0E-4	☐	None
EOC Eigenvalue Upper Tolerance	None		0.0	☐	None
EOC Eigenvalue Lower Tolerance	Nominal		0.0	☐	Nominal
Minimum Cycle Length (MWD/st)	None		11500.0	☐	None
Maximum Nodal Exposure Ratio (NEXRAT)	None		0.0	☐	None
Maximum Bundle Average Exposure @ EOC	None		0.0	☐	None
Minimum % Shutdown Margin	Nominal	☐ Edit	1.5	☐	None
Maximum % Hot Excess	None	☐ Edit	0.0	☐	None
Minimum % SLICS Margin	None	☐ Edit	0.0	☐	None
Minimum % Hot Excess @ 200	None		0.0	☐	None
Maximum Hot Excess Slope (%/(MWD/st))	None		0.0	☐	None
Minimum Average Void Fraction	None	☐ Edit	0.0	☐	None
Maximum Average Void Fraction	None	☐ Edit	0.0	☐	None
Minimum Axial Void Tilt (AVT)	None	☐ Edit	0.0	☐	None
Maximum Axial Void Tilt (AVT)	None	☐ Edit	0.0	☐	None
Minimum Axial Power Tilt (APT)	None	☐ Edit	0.0	☐	None
Maximum Axial Power Tilt (APT)	None	☐ Edit	0.0	☐	None
Minimum Axial Peak	None	☐ Edit	0.0	☐	None
Maximum Axial Peak	None	☐ Edit	0.0	☐	None
Maximum Integrated Power	None	☐ Edit	0.0	☐	None

810

圖 8B

eprometheus - Hatch 1 - Cycle 1 - Test Sb - CS ID:2485 - <Online Operations>
 Workspace Input Run View Reports Window Help

Input Deck

Plant Configuration Optimization Configuration Optimization Constraints Operations Configuration Fuel Shuffling Eigenvalue & Operating Unit Select Files

Operations Configuration 813

Number of Exposures Steps = 30

Run To	Exposure	Calculation Type	Rod Pattern	Flow Sequence Interval	Blade Group	HOTEX	SDM	SLICS	EOC	Cedar Qualifier	Set Rods	Set Operational Conditions
1	0.0	Flow	☒	☐	A2 Interior	☒	☐	☐	☐	00000	☐	Edit
2	200.0	Flow	☒	☐	A2 Interior	☐	☒	☐	☐	00200	☐	Edit
3	500.0	Flow	☒	☐	A2 Interior	☐	☐	☐	☐	00500	☐	Edit
4	1000.0	Flow	☒	☐	A2 Interior	☐	☐	☐	☐	01000	☐	Edit
5	1500.0	Flow	☒	☐	A2 Interior	☐	☐	☐	☐	01500	☐	Edit
6	2000.0	Flow	☒	☐	A2 Interior	☐	☐	☐	☐	02000A	☐	Edit
7	2000.0	Flow	☒	☐	B1 Interior	☐	☐	☐	☒	02000B	☐	Edit
8	2500.0	Flow	☒	☐	B1 Interior	☐	☐	☐	☐	02500	☐	Edit
9	3000.0	Flow	☒	☐	B1 Interior	☐	☐	☐	☐	03000	☐	Edit
10	3500.0	Flow	☒	☐	B1 Interior	☐	☐	☐	☐	03500	☐	Edit
11	4000.0	Flow	☒	☐	B1 Interior	☐	☐	☐	☐	04000A	☐	Edit
12	4000.0	Flow	☒	☐	B2 Interior	☐	☐	☐	☐	04000B	☐	Edit
13	4500.0	Flow	☒	☐	B2 Interior	☐	☐	☐	☐	04500	☐	Edit
14	5000.0	Flow	☒	☐	B2 Interior	☐	☒	☐	☐	05000	☐	Edit
15	5500.0	Flow	☒	☐	B2 Interior	☐	☐	☐	☐	05500	☐	Edit
16	6000.0	Flow	☒	☐	B2 Interior	☐	☒	☐	☐	06000A	☐	Edit
17	6000.0	Flow	☒	☐	A1 Interior	☐	☒	☐	☐	06000B	☐	Edit
18	6500.0	Flow	☒	☐	A1 Interior	☐	☐	☐	☐	06500	☐	Edit
19	7000.0	Flow	☒	☐	A1 Interior	☐	☒	☐	☐	07000	☐	Edit
20	7500.0	Flow	☒	☐	A1 Interior	☐	☐	☐	☐	07500	☐	Edit
21	8000.0	Flow	☒	☐	A1 Interior	☐	☐	☐	☐	08000A	☐	Edit
22	8000.0	Flow	☒	☐	B1 Interior	☐	☐	☐	☐	08000B	☐	Edit
23	8500.0	Flow	☒	☐	B1 Interior	☐	☐	☐	☐	08500	☐	Edit
24	9000.0	Flow	☒	☐	B1 Interior	☐	☒	☐	☐	09000	☐	Edit

811 830 835

817

815

Run To Exposure Calculation Type Rod Pattern Flow Sequence Interval Blade Group HOTEX SDM SLICS EOC Cedar Qualifier Set Rods Set Operational Conditions

1 0.0 Flow ☒ ☐ A2 Interior ☒ ☐ ☐ ☐ 00000 ☐ Edit

2 200.0 Flow ☒ ☐ A2 Interior ☐ ☒ ☐ ☐ 00200 ☐ Edit

3 500.0 Flow ☒ ☐ A2 Interior ☐ ☐ ☐ ☐ 00500 ☐ Edit

4 1000.0 Flow ☒ ☐ A2 Interior ☐ ☐ ☐ ☐ 01000 ☐ Edit

5 1500.0 Flow ☒ ☐ A2 Interior ☐ ☐ ☐ ☐ 01500 ☐ Edit

6 2000.0 Flow ☒ ☐ A2 Interior ☐ ☐ ☐ ☐ 02000A ☐ Edit

7 2000.0 Flow ☒ ☐ B1 Interior ☐ ☐ ☐ ☒ 02000B ☐ Edit

8 2500.0 Flow ☒ ☐ B1 Interior ☐ ☐ ☐ ☐ 02500 ☐ Edit

9 3000.0 Flow ☒ ☐ B1 Interior ☐ ☐ ☐ ☐ 03000 ☐ Edit

10 3500.0 Flow ☒ ☐ B1 Interior ☐ ☐ ☐ ☐ 03500 ☐ Edit

11 4000.0 Flow ☒ ☐ B1 Interior ☐ ☐ ☐ ☐ 04000A ☐ Edit

12 4000.0 Flow ☒ ☐ B2 Interior ☐ ☐ ☐ ☐ 04000B ☐ Edit

13 4500.0 Flow ☒ ☐ B2 Interior ☐ ☐ ☐ ☐ 04500 ☐ Edit

14 5000.0 Flow ☒ ☐ B2 Interior ☐ ☐ ☒ ☐ 05000 ☐ Edit

15 5500.0 Flow ☒ ☐ B2 Interior ☐ ☐ ☐ ☐ 05500 ☐ Edit

16 6000.0 Flow ☒ ☐ B2 Interior ☐ ☐ ☒ ☐ 06000A ☐ Edit

17 6000.0 Flow ☒ ☐ A1 Interior ☐ ☐ ☒ ☐ 06000B ☐ Edit

18 6500.0 Flow ☒ ☐ A1 Interior ☐ ☐ ☐ ☐ 06500 ☐ Edit

19 7000.0 Flow ☒ ☐ A1 Interior ☐ ☐ ☒ ☐ 07000 ☐ Edit

20 7500.0 Flow ☒ ☐ A1 Interior ☐ ☐ ☐ ☐ 07500 ☐ Edit

21 8000.0 Flow ☒ ☐ A1 Interior ☐ ☐ ☐ ☐ 08000A ☐ Edit

22 8000.0 Flow ☒ ☐ B1 Interior ☐ ☐ ☐ ☐ 08000B ☐ Edit

23 8500.0 Flow ☒ ☐ B1 Interior ☐ ☐ ☐ ☐ 08500 ☐ Edit

24 9000.0 Flow ☒ ☐ B1 Interior ☐ ☐ ☒ ☐ 09000 ☐ Edit

Add Blade View Show Cedar Qualifiers

圖 8C

842

Define Blade Groups

Options

Blade Group: A1

Legend: ☐ A1

☐ Group of 8
☐ Group of 4
☐ Group of 2
☐ Group of 1

841

845

860

850

855

Set Blade (13,9) Constraints

Minimum Withdrawal

Maximum Withdrawal

Not Allowed

Step 0

Step 48

Save

Cancel

840

圖 9

ePrometheus - Browns Ferry 2 - Cycle 11 - Version 1.0 Official Test Case (Do Not Modify) (Response Surface 1 Iteration 1) - CS ID: 846

Workspace
Input
Run
View
Reports
Window
Help

Summary

Max MFLPD

0.938

Max MFLCPR

0.932

Max Flow (%)

99.85

Max Eigenvalue Δ

1.0E-4

EOC

1.00129

Objective Function

0.2190122

Max MAPLHGR

0.906

Max CSDM (%)

1.553

Min Flow (%)

85.26

Min Eigenvalue Δ

-1.0E-4

Cycle Length (MWD/st)

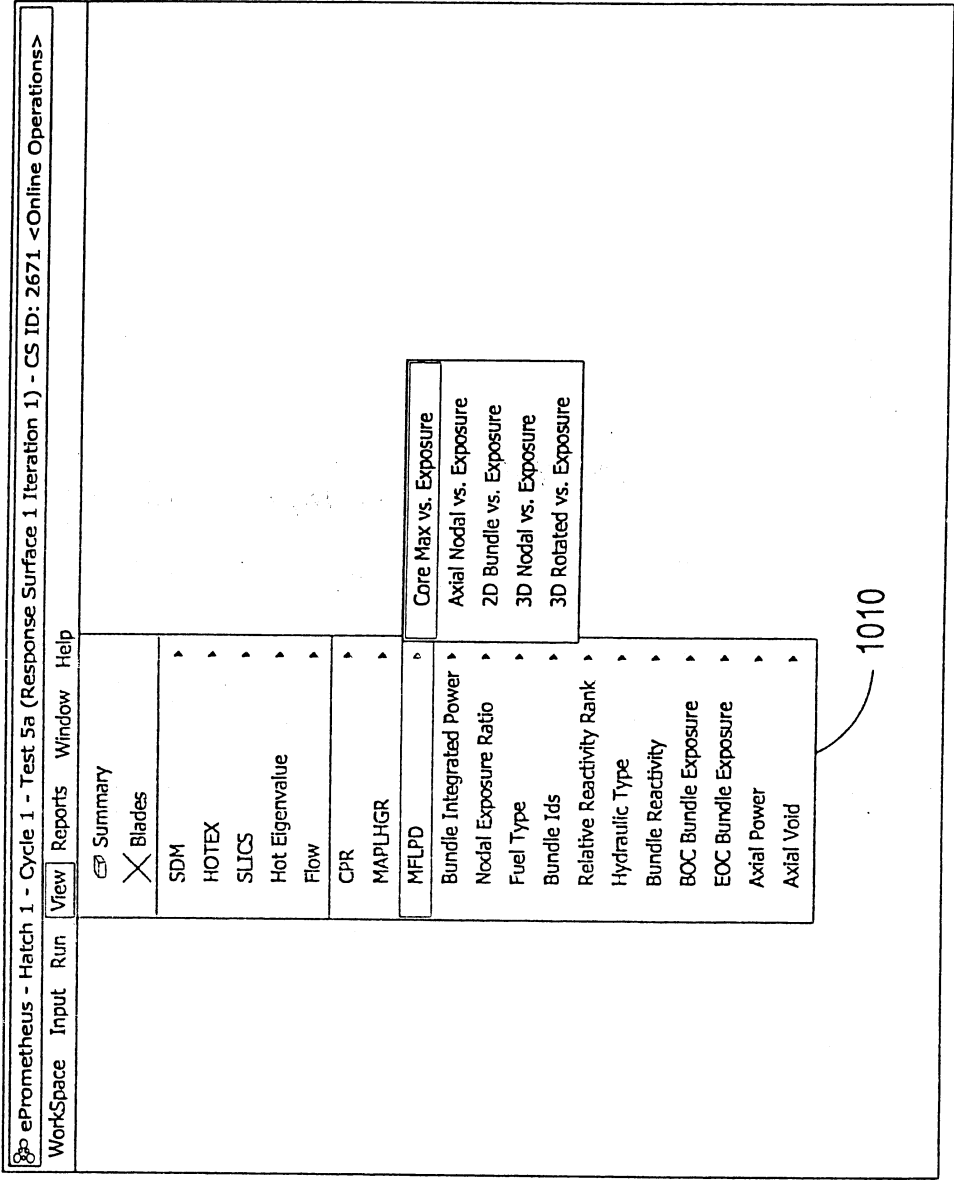
14500.0

Graph Selected

Select All

Deselect All

圖10



11A

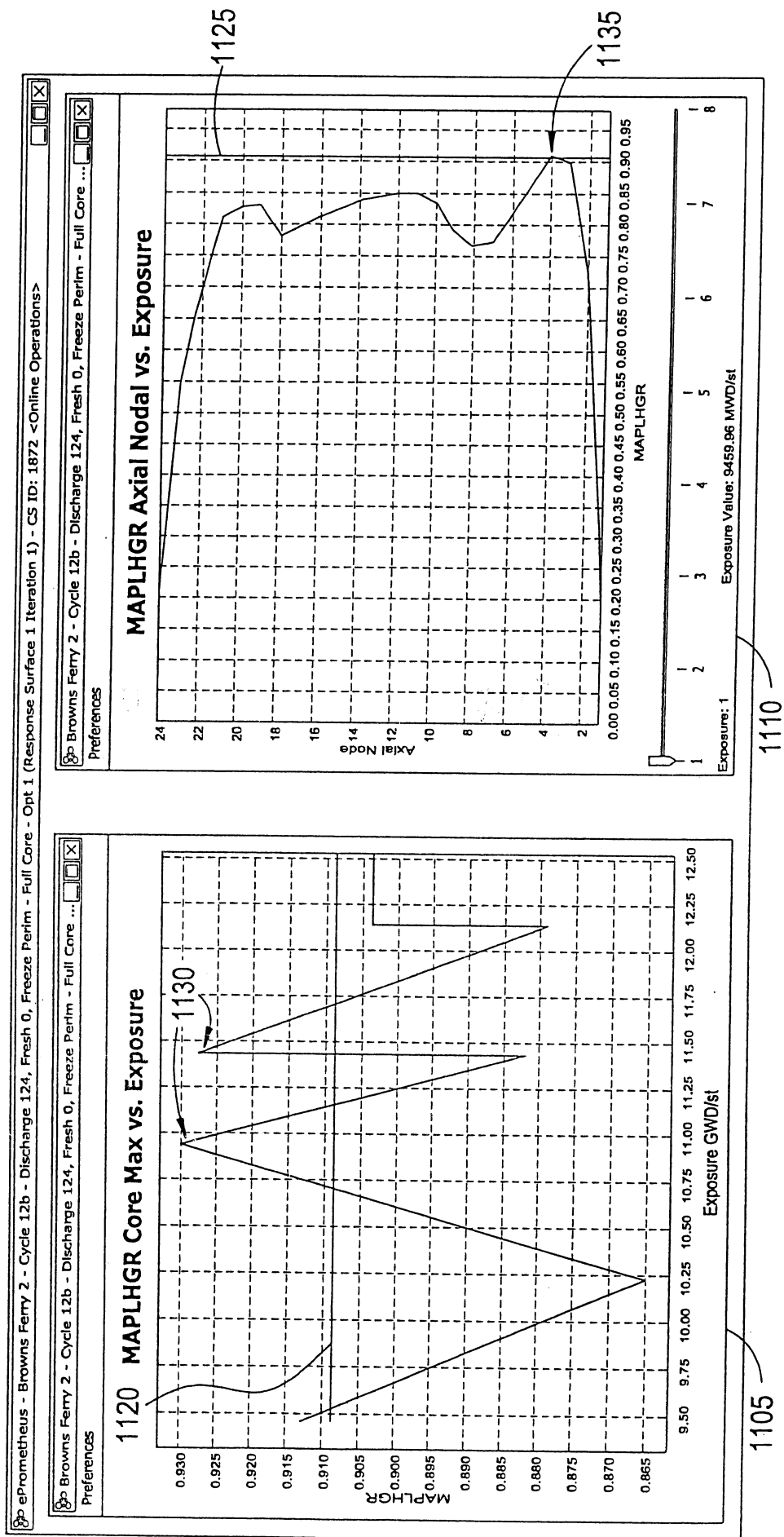


圖 11B

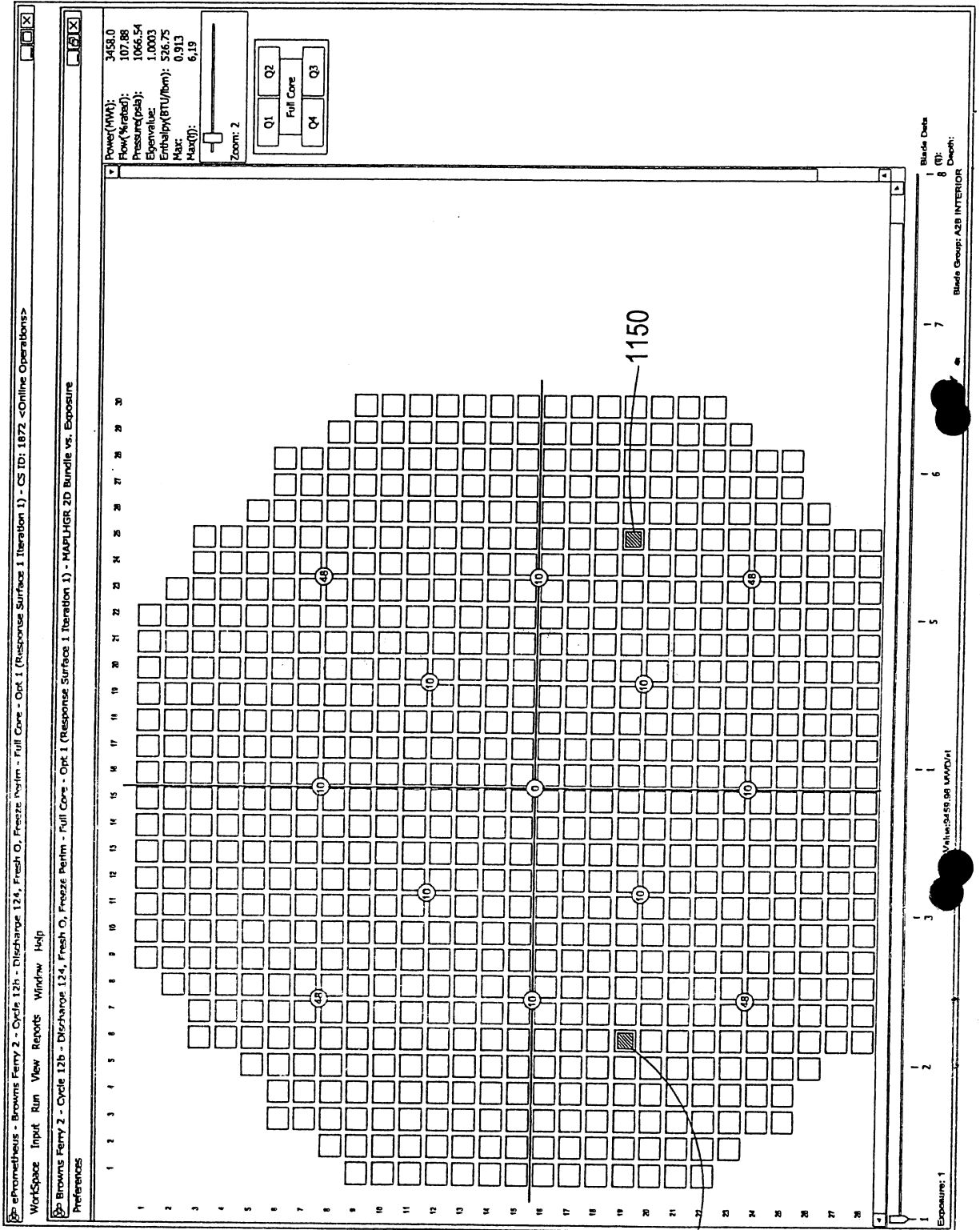


圖 13

ePrometheus - Hatch 1 - Cycle 1 - Test 5b - CS10:2671 <Online Operation>

WorkspaceInputRunViewReportsWindowHelp

Input Deck

Plant Configuration

Optimization Configuration

Optimization Constraints

Operations Configuration

Fuel Shuffling

Eigenvalue & Operating Limit

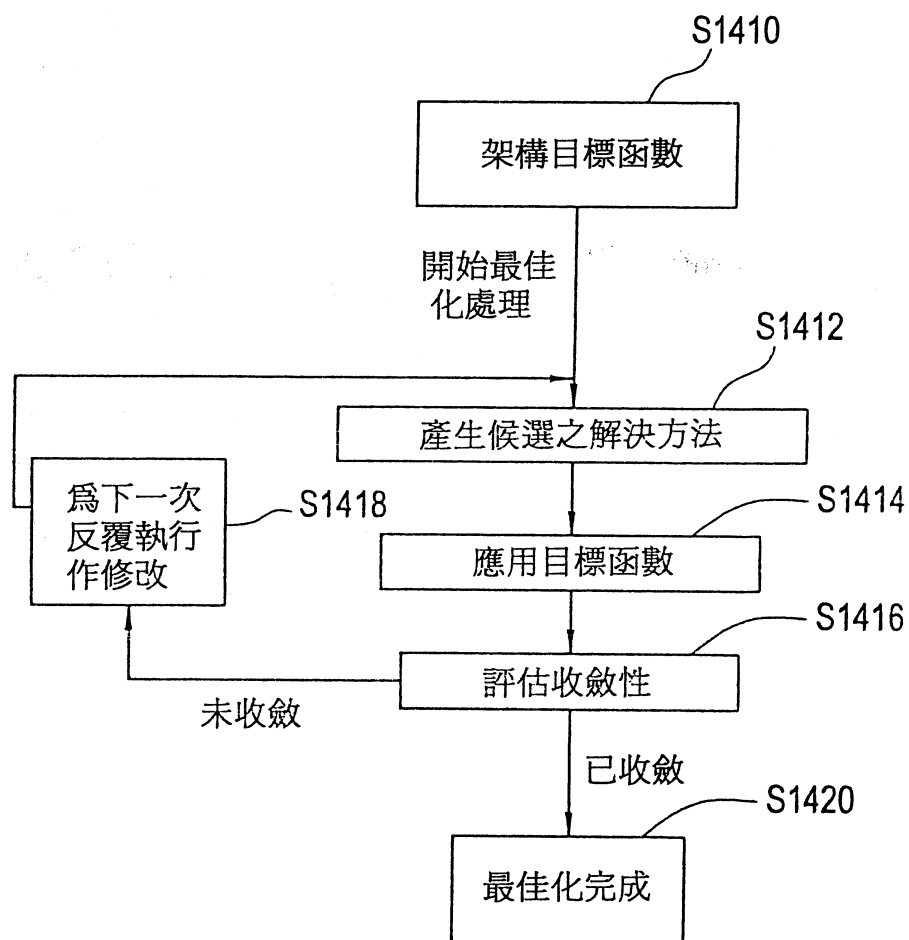
Select Files

Optimization Configuration

Constraint Description	Importance	Exposure Dependence	Design Value	Objective Add Funct.	Optimization Credits
Maximum MFLCPR	Nominal	Edit	0.964	☐	None
Maximum MFLPD	Nominal	Edit	0.957	☒	None
Maximum MAPLHGR	Nominal	Edit	0.957	☒	None
Minimum % Flow	Nominal	Edit	85.0	☐	None
Maximum % Flow	Nominal	Edit	100.0	☐	None
Eigenvalue Upper Tolerance (Δ Cycle)	None	Edit	1.0E-4	☐	None
Eigenvalue Lower Tolerance (Δ Cycle)	None	Edit	1.0E-4	☐	None

• • •
• • •
• • •

圖 14



柒、(一)、本案指定代表圖為：第 4 圖

(二)、本代表圖之元件代表符號簡單說明：無

捌、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：無