



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I512761 B

(45)公告日：中華民國 104 (2015) 年 12 月 11 日

(21)申請案號：098104044

(22)申請日：中華民國 98 (2009) 年 02 月 09 日

(51)Int. Cl. : G21G1/02 (2006.01)

(30)優先權：2008/02/21 美國

12/071,455

(71)申請人：奇異 日立核能美國有限責任公司 (美國) GE-HITACHI NUCLEAR ENERGY AMERICAS LLC (US)

美國

(72)發明人：小羅素 威廉 RUSSELL, II, WILLIAM EARL (US)；蒙那提 克里斯多弗 MONETTA, CHRISTOPHER J. (US)；史密斯 大衛 SMITH, DAVID GREY (US)；史達丘斯基 羅梭 STACHOWSKI, RUSSELL EDWARD (US)

(74)代理人：林志剛

(56)參考文獻：

US 2007/0133731A1

US 2008/0240330A1

Knapp, et al., "PRODUCTION OF MEDICAL RADIOISOTOPES IN THE ORNL HIGH FLUX ISOTOPE REACTOR (HFIR) FOR CANCER TREATMENT AND ARTERIAL RESTENOSIS THERAPY AFTER PTCA", January 1999, Czechoslovak Journal of Physics, Vol. 49, Issue 1, pages 799-809.

審查人員：黃衍勳

申請專利範圍項數：8 項 圖式數：8 共 48 頁

(54)名稱

製造放射性同位素之方法

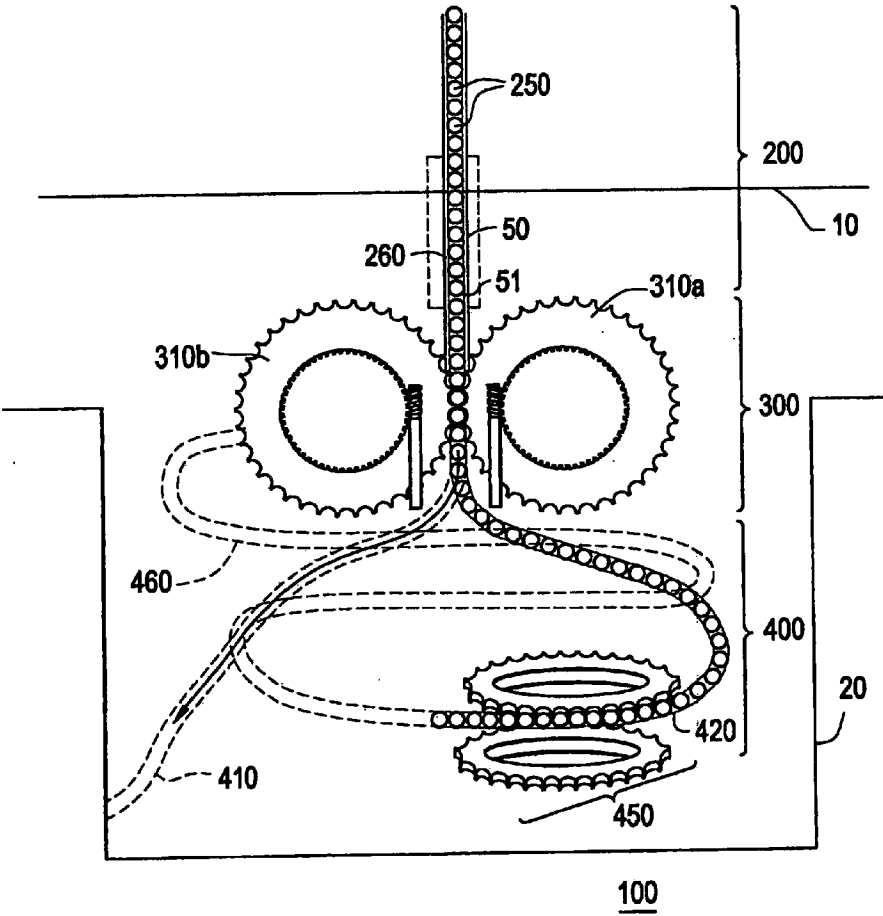
METHOD OF PRODUCING RADIOISOTOPES

(57)摘要

示範具體實施例係有關在運作中的商業用核反應器之儀表應用管中製造放射性同位素之設備與方法。照射靶可在運作中時插入或移出儀表應用管及轉化為以別的方法無法自核反應器獲得的放射性同位素。示範設備可持續插入，移除及儲存待轉化為可用的放射性同位素之照射靶。

Example embodiments are directed to apparatuses and methods for producing radioisotopes in instrumentation tubes of operating commercial nuclear reactors. Irradiation targets may be inserted and removed from instrumentation tubes during operation and converted to radioisotopes otherwise unavailable from nuclear reactors. Example apparatuses may continuously insert, remove, and store irradiation targets to be converted to useable radioisotopes.

第2圖



- 10 . . . 反應器壓力容器
- 20 . . . 乾井
- 50 . . . 儀表應用管
- 51 . . . 儀表應用管開口
- 100 . . . 放射性同位素產生系統
- 200 . . . 儀表應用管子系統
- 250 . . . 照射靶
- 260 . . . 套筒
- 300 . . . 照射靶驅動子系統
- 310a . . . 驅動齒輪
- 310b . . . 驅動齒輪
- 400 . . . 照射靶儲存和移除子系統
- 410 . . . 引出管
- 420 . . . 保持管
- 450 . . . 流動控制機構
- 460 . . . 補充管

公告本

發明專利說明書

(本申請書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：098104044

※申請日：098 年 02 月 09 日

※IPC 分類：G21G 1/02(2006.01)

一、發明名稱：(中文／英文)

製造放射性同位素之方法

Method of producing radioisotopes

二、中文發明摘要：

示範具體實施例係有關在運作中的商業用核反應器之儀表應用管中製造放射性同位素之設備與方法。照射靶可在運作中時插入或移出儀表應用管及轉化為以別的方法無法自核反應器獲得的放射性同位素。示範設備可持續插入，移除及儲存待轉化為可用的放射性同位素之照射靶。

三、英文發明摘要：

Example embodiments are directed to apparatuses and methods for producing radioisotopes in instrumentation tubes of operating commercial nuclear reactors. Irradiation targets may be inserted and removed from instrumentation tubes during operation and converted to radioisotopes otherwise unavailable from nuclear reactors. Example apparatuses may continuously insert, remove, and store irradiation targets to be converted to useable radioisotopes.

四、指定代表圖：

(一)、本案指定代表圖為：第 2 圖。

(二)、本代表圖之元件符號簡單說明：

10：反應器壓力容器

20：乾井

50：儀表應用管

51：儀表應用管開口

100：放射性同位素產生系統

200：儀表應用管子系統

250：照射靶

260：套筒

300：照射靶驅動子系統

310a：驅動齒輪

310b：驅動齒輪

400：照射靶儲存和移除子系統

410：引出管

420：保持管

450：流動控制機構

460：補充管

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：無

六、發明說明

【發明所屬之技術領域】

示範具體實施例大體上係有關具有醫學應用的放射性同位素及在核反應器中製造彼之設備與方法。

【先前技術】

放射性同位素由於其放射不同量和類型的離子化輻射之能力而具有各種不同醫學應用。此能力使放射性同位素可用於癌症相關的治療、醫學造影和標誌技術、癌症和其他疾病診斷及醫學滅菌。

短期放射性同位素(其具有數天或甚至數小時的半衰期)在癌症和其他醫療方面特別重要的是其產生獨特輻射分佈還有在特定應用中遞送輻射劑量之後迅速衰變為身體排出的無害、穩定的同位素之能力。然而，這些短期放射性同位素的短暫半衰期也使其取得及處理有困難。短期放射性同位素照慣例係在加速器或低功率反應器中利用醫學設施或附近製造設施裝置內的中子轟擊穩定母同位素予以製造。這些放射性同位素由於特定應用所需的放射性同位素之相當快速的衰變時間和精確量而迅速被輸送。另外，醫學短期放射性同位素的製造一般需要笨重且昂貴的照射及萃取裝備，其可能有礙醫學設施的成本、空間及/或安全。

數種具有醫學應用的短期放射性同位素可透過核分裂產生，且因此在核能發電廠大量產生。例如，核燃料中的

鈾-235 之分裂可能產生大量的銨-99，其係有用於多種造影及癌症診斷應用。然而，核燃料中產生的短期放射性同位素可能與廣大範圍的其他核分裂副產物混合。有用的短期放射性同位素之萃取可能具有不可接受的輻射和化學暴露風險及/或可能需要使該短期放射性同位素可衰變為無用量之時間。

由於短期放射性同位素的製造困難及壽命，所以此放射性同位素可能供不應求，特別是在頑疾領域如癌症方面具有重要醫學應用的那些放射性同位素。有效短期放射性同位素的成本比起典型用於疾病如癌症的健康照護成本可能變得過高。

【發明內容】

示範具體實施例係有關製造放射性同位素的方法，該放射性同位素可用於醫學應用、商業用核反應器及相關設備。示範方法可利用常見於核反應器容器中的儀表應用管使照射靶暴露於運作中的核反應器裡所發現的中子通量。由於此通量使該等照射靶中可產生短期放射性同位素。這些短期放射性同位素可接著經由自該儀表應用管及反應器封鎖結構移除該等照射靶而相當迅速且簡單地獲得，而不用關閉該反應器或化學萃取過程。該短期放射性同位素可接著立即運送至醫學設施以供用於，例如，癌症治療。

示範具體實施例可包括用於核反應器及其儀表應用管中製造放射性同位素的設備。示範具體實施例可包括一或

多個子系統，其係建構為能將照射靶插入及移出運作中的商業用核反應器儀表應用管。示範具體實施例可包括管子系統 (tube subsystem)、照射靶驅動子系統及/或照射靶儲存和移除子系統，其用於自儀表應用管插入及移除照射靶。示範具體實施例可保持彼內所用的照射靶之線性順序以便能追蹤及測量示範具體實施例照射靶所中製造的放射性同位素。

經由詳細說明附圖將使示範具體實施例變得更加顯而易見，其中以相同標號代表相同元件，彼等僅以圖解的方式提供且因此不限制此處的示範具體實施例。

【實施方式】

在此揭示示範具體實施例的詳細例示性具體實施例。然而，此處所揭示的特定結構及功能細節僅為以說明示範具體實施例為目的之代表例。然而，此等示範具體實施例可以許多選擇性形式具體化且不可視為僅限於此處所述的示範具體實施例。

將瞭解的是，儘管第一、第二等等措辭可用於此處說明各種元素，但是這些元素不得受這些措辭所限制。這些措辭僅用以區分一元件與另一元件。例如，第一元件可被稱為第二元件，且類似地，第二元件可被稱為第一元件，而不會悖離示範具體實施例的範圍。如此處所用的，"及/或"一詞包括一或多個相關列舉項目之任何者或所有組合。

將瞭解的是，當提及一元件係"連接"，"耦合"、"接合"，"附接"或"固定"於另一元件時，其可直接連接或耦合至其他元件或可能存在中間元件。相對地，當提及一元件係"直接連接"或"直接耦合"至另一元件時，就不存在中間元件。其他用於說明元件之間的關係的文字應該以類似的方式解釋(例如，"在...之間"對比於"正好在...之間"、"相鄰"對比於"直接相鄰"等等)。

在此所用的術語僅爲了達到說明特定具體實施例的目的而非意欲成爲示範具體實施例的限制。如此處所用的，除非措辭當中另行明確地指明，否則單數形式者及"該"同樣意欲包括多數形式。另外亦將明瞭措辭"包含"、"包括"，用於此處時，載明所述的特徵、整數、步驟、操作、元件及/或成分的存在，但是不排除額外一或多種其他特徵、整數、步驟、操作、元件、成分及/或其群組的存在。

應該也要注意在一些替代性實施例中，特別提到的功能/作用可不依圖式所提到的順序進行。例如，連續顯示的二圖式事實上可實質且同時執行或有時候可以相反順序執行，其取決於所涉及的功能性/作用。

第 1 圖爲能配合示範具體實施例和示範方法使用的習用反應器壓力容器 10 的圖解。反應器壓力容器 10 可用於至少一種舉世慣用於發電的 100 Mwe 商業用輕水核反應器中。反應器壓力容器 10 可位於在意外情況中用以封鎖放射線且預防該反應器 10 運作時接近反應器 10 的封鎖結

構 411。在該反應器容器 10 下方的凹處，習稱為乾井 (drywell) 20，用於收藏服務該容器的設備，如泵、排液管、儀表應用管及/或控制桿驅動器。如第 1 圖所示，至少一個儀表應用管 50 垂直伸入該容器 10 及井，進入或通過在核心 15 運作時含有核燃料和相當大量的中子通量之核心 15。儀表應用管 50 一般可為圓柱形且隨著該容器 10 的高度加寬；然而，此產業中常會遇到其他儀表應用管幾何形狀。儀表應用管 50 可具有，例如，約 1 吋的內徑及/或空隙。

該儀表應用管 50 可終止於該乾井 20 中的反應器容器 10 下方。習慣上，儀表應用管 50 可允許將中子偵測器及其他類型的偵測器經過該乾井 20 下端的開口插入彼內。這些偵測器可向上延伸經過儀表應用管 50 以監視該核心 15 的情況。習用監視器類型的實例包括廣大範圍偵測器 (WRNM)、源範圍監視器 (SRM)、中間範圍監視器 (IRM) 及/或局部功率範圍監視器 (LPRM)。進入該儀表應用管 50 及插入彼等內的任何監視裝置由於封鎖和照射的危害於是傳統上受限於運作中斷的時間。

儘管容器 10 係以常見於商業用沸水反應器的組件來說明，但是示範具體實施例和方法可配合數種不同類型之具有儀表應用管 50 或其他伸入反應器的進出管之反應器使用。例如，壓力水反應器、重水反應器、石墨減速反應器等等 (其具有低於 100 百萬瓦電力至數十億瓦電力的額定功率且具有一些所在位置異於第 1 圖所示的儀表應用管)

可配合示範具體實施例及方法使用。關此，可用於示範方法的儀表應用管可為該核心周圍之任何幾何形狀的突出特徵，該突出特徵能包圍往各種類型的反應器之核心通量的通路。

申請人察覺該儀表應用管 50 可用於迅速且不斷產生大規模的短期放射性同位素而不需要化學或同位素分離及/或等候商業用反應器的反應器停機。示範方法可包括將照射靶插入儀表應用管 50 中及使該照射靶暴露於運作中的核心 15，藉以使該等照射靶暴露於運作中的核心 15 裡常遇到的中子通量。該核心通量可將該等照射靶的實質部分轉化為有用的放射性同位素，其包括可用於醫學應用的短期放射性同位素。照射靶可接著自該儀表應用管 50 抽出，即使是在該核心 15 持續運作時亦同，且移除以供醫學及/或工業使用。下文揭示使示範方法能實現的示範具體實施例，其包括能藉由示範具體實施例予以實現之示範方法的進一步細節。

第 2 圖為用於核反應器中製造放射性同位素之示範具體實施例系統的圖解。示範具體實施例放射性同位素產生系統 100 係顯示於第 2 圖，在乾井 20 中的儀表應用管 50 下方，在反應器壓力容器 10 下方。示範具體實施例放射性同位素產生系統 100 可將照射靶 250 插入及移出核反應器儀表應用管以供在運作中的容器 10 裡照射。示範具體實施例放射性同位素產生系統 100 可包括 3 個不同子系統，各者依序於下文中討論 - 儀表應用管子系統 200；照

射靶驅動子系統 300；及/或照射靶儲存和移除子系統 400。後文將持續討論照射靶 250 及其於示範具體實施例和方法中的用途。

管子系統

第 3 圖為示範具體實施例儀表應用管子系統 200 之圖解。如第 3 圖所示，儀表應用管 50（亦如第 1 至 2 圖所示）自該乾井 20 中的下方位置伸入反應器容器 10 和含有核燃料的核心 15。照射靶 250 可藉由照射驅動子系統 300 經由儀表應用管開口 51 以線性方式推入及移出儀表應用管 50（第 5 圖）。

儀表應用管 50 可延伸至該核心 15 的頂部 16 附近。因此，照射靶 250 可透過該儀表應用管 50 的核心 15 之垂直長度以線性方式安置及固定。該核心 15 裡的中子通量可為習知且可為夠高而能將該管 50 中的實質量之照射靶 250 轉化為有用的短期放射性同位素。下文將參照第 8A 和 8B 圖做討論，靶 250 的類型和在該核心 15 的垂直位置可使暴露時間和放射性同位素產生速率能精確計算以將放射性同位素的產生和活性最大化。

套筒 260 可以被插入儀表應用管 50 裡以提供該等放射靶 250 之進一步的封鎖、遮蔽和幾何形狀匹配。套筒 260 可大體上為堅硬的且由一種在暴露於運作中的核心 15 時能實質上維持其物理特性的材料製造。套筒 260 可由，例如，不銹鋼、鋁、鋳合金、英高鎳(Inconel)、鎳、鈦等

等製得。

套筒 260 可延伸超過該儀表應用管 50 中的開口 51 以提供超過儀表應用管 50 的引導及對齊。例如，套筒 260 可向下延伸且在靠近照射靶驅動子系統 300 處終止以適當地引導照射靶 250 進出該照射靶驅動子系統 300，其可位於比開口 51 又更低於容器 10 的位置。

套筒 260 可提供平滑連續不斷的內表面以促進照射靶 250 插入及移出儀表應用管 50。如上文討論，儀表應用管 50 可具有各式各樣的幾何形狀及/或配合進入容器 10 的垂直距離改變寬度。套筒 260 爲了考量儀表應用管 50 的幾何形狀可具有不定外徑但是可具有關連照射靶 250 的尺寸之均勻內徑。例如，該套筒 260 可具有夠窄的內徑以預防照射靶 250 偏移或在經過儀表應用管 50 的管線中改變位置，以允許保持照射靶順序，允許根據順序識別等等。

在一個示範具體實施例中，套筒 260 可爲模組式(modular)且由數個能裝配且插入儀表應用管 50 的配件構成。如第 4A 及 4B 圖所示，數個不同組件可形成一個模組式套筒 260。在第 4A 圖中，顯示套筒 260 的片段 261。各個片段 261 可包括匹配元件 264 及/或 265，其可將各個片段 261 接合於另一個片段 261 且藉由中空的方式使照射靶 250 能通過片段 261。匹配元件 264 及 265 可包括，例如，中空螺紋端和孔或中空柄腳和接受器。片段 261 可具有不定外徑 262 以符合或呈現儀表應用管 50 的幾何形狀且夠小以通過開口 51。片段 261 可包括相對固

定的內徑 263 及與收納的照射靶 250 相容的寬度。因此，若將片段 261 個別插入儀表應用管 50，片段 261 可裝配於儀表應用管 50 內部以提供連續線性的內徑給插入管 50 和套筒 260 內的照射靶 250。

或者，如第 4B 圖所示，套筒 260 可具有實質固定的內徑和外徑，且一或多個模組式筒夾 266 可耦合至套筒 260 以提供儀表應用管 50 與套筒 260 /筒夾 266 之間的接合。因此，筒夾 266 可插入且裝配在儀表應用管 50 中的套筒 260 周圍以提供連續內徑給插入管 50 和藉由模組式筒夾 266 環繞的套筒 260 內之照射靶 250。

照射靶驅動子系統

第 5 圖為示範具體實施例照射靶驅動子系統 300 之圖解。如第 5 圖所示，兩個驅動齒輪 310a 和 310b 可接收及/或傳送照射靶 250 來去套筒 260 或儀表應用管 50 的開口 51。驅動齒輪 310a 和 310b 可相互對立安置。驅動齒輪 310a 和 310b 可安置於容器 10 下方的乾井 20 中之儀表應用管 50 的下方兩側。根據在容器 10 下方的乾井 20 中之空間大小定出驅動齒輪 310a 和 310b 及靶驅動子系統 300 的尺寸和位置，放射性同位素產生系統 100 可完全套入全世界許多現行運作中的核反應器之乾井 20 內。

驅動齒輪 310a 和 310b 可具有特定形狀的周邊或側表面 311a 及/或 311b，其與照射靶 250 的形狀互補以便牢固地抓住且固持或接合來到驅動齒輪 310a 與 310b 之間的照

射靶 250。例如，如第 5 圖所示，表面 311a 和 311b 可具有扇形以匹配球形照射靶 250。表面 311a 和 311b 中的扇形可具有實質上類似於照射靶 250 的半徑以牢固地固持及移動來到驅動齒輪 310a 與 310b 之間的照射靶 250 同時維持照射靶 250 進出儀表應用管 50 的相同線性順序。或者，表面 311a 和 311b 可具有其他形狀以配合及/或匹配可由熟於此藝之士予以取代的替換形狀之照射靶。

驅動齒輪 310a 和 310b 可以相反方向繞著垂直於儀表應用管 50 的平行軸旋轉，以便升高或降低通過彼等之間的照射靶 250。例如，如第 5 圖所示，若驅動齒輪 310a 以順時針方向旋轉且驅動齒輪 310b 以逆時針方向旋轉，則在該等驅動齒輪 310a 與 310b 旋轉的軸之間和下方的照射靶 250 可自儲存和移除子系統 400 提高至管子系統 200 內。相反地，若驅動齒輪 310a 和 310b 以逆向旋轉，使驅動齒輪 310a 以逆時針方向旋轉且驅動齒輪 310b 以順時針方向旋轉，則照射靶 250 可自管子系統 200 降至移除子系統 400 內。

驅動齒輪 310a 和 310b 及其他可用於照射靶驅動子系統 300 的示範驅動機構可保持照射靶 250 通過管子系統 200 與照射靶儲存和移除子系統 400 之間的線性順序。依此方式，整個示範具體實施例系統 100 均可保持照射靶 250 的整體線性順序，且可成功進行任何與管 50 內照射靶 250 垂直順序有關的照射靶監測。

如第 5 圖所示，驅動齒輪 310a 和 310b 可經由驅動動

力子系統 390 予以驅動，該驅動動力子系統 390 能讓驅動齒輪 310a 與 310b 之間同步移動。第 5 圖所示的示範具體實施例顯示多個從動力驅動心軸 325 轉移至驅動齒輪 310a 和 310b 的個別齒輪。動力驅動心軸 325 可連接至分別與上傳遞齒輪 392a 和 392b 的有齒區嚙合之有齒的下傳遞齒輪 391a 和 391b，所以上傳遞齒輪 392a 和 392b 可經由動力驅動心軸 325 的轉動予以旋轉。上傳遞齒輪 392a 和 392b 可分別包括螺紋或聯鎖端(interlocking end) 393a 和 393b，其分別與驅動齒輪 310a 和 310b 嚙合或聯鎖。依此方式，驅動齒輪 310a 和 310b 二者可經由動力驅動心軸 325 的轉動予以旋轉。

如第 5 圖所示，下傳遞齒輪 391a 和 391b 可以相反取向分別嚙合至驅動齒輪 310b 和 310a，以便以上述的相反方向旋轉驅動齒輪 310a 和 310b。上傳遞齒輪 392a 和 392b 可具有類似的半徑且與類似半徑的驅動齒輪 310b 和 310a 嚙合以便賦予對稱的角位移(驅動齒輪 310a 和 310b 可相互具有負角位移)給驅動齒輪 310a 和 310b。因此，若驅動齒輪 310a 和 310b 具有類似的表面 311a 和 311b 外徑，照射靶 250 可套在表面 311a 和 311b 內的固定周圍位置以便能透過上述的驅動齒輪 310a 和 310b 固持且接合照射靶 250。

咸瞭解任何習知配置齒輪及/或提供動力給驅動齒輪 310a 和 310b 的方法均可用於示範具體實施例。例如，儘管在上傳遞齒輪 392a 和 392b 上顯示有蝸形齒輪系統以驅

動驅動齒輪 310a 和 310b，但是其他界面，包括習用齒輪及/或摩擦板界面，均可使用。或者，例如，驅動齒輪 310a 和 310b 可直接由電動馬達給予動力而不需要驅動動力子系統 390 和動力驅動心軸 325。

動力驅動心軸 325 可經由各種手段（包括馬達 921）局部給予動力，由脫離主循環泵的傳動裝置等等，或可以遠端方式給予動力。如第 5 圖所示，動力驅動心軸 325 可連接至能轉動動力驅動心軸 325 的馬達 921。數位計數器 911 可進一步連接至動力驅動心軸 325 以偵測動力驅動心軸 325 的位置、轉數及/或角速度。數位計數器 911 和馬達 921 二者可以通訊方式連接至電腦 900。

電腦 900 可適當地寫入程式，輸入或取得有關系統資訊，其包括，例如，用於示範具體實施例系統 100 的齒輪之半徑和齒輪之間的連接、其他子系統 200 和 400 中的齒輪和照射靶之位置、反應器軸通量分佈、照射靶尺寸、構成和線性順序，及/或來自數位計數器 911 和馬達 921 的資訊。利用此資訊，電腦 900 可透過示範具體實施例系統 100 自動啟動馬達 921 及移動照射靶 250。此自動啟動可根據習知系統和反應器資訊，其包括線上狀態。依此方式，電腦 900 可連接且搭配其他子系統（其包括下述的照射靶儲存和移除子系統 400），以便使整個示範具體實施例系統 100 能同步化。

照射靶驅動子系統 300 可以任何想要的速度自管子系統 200 插入及移出照射靶 250，其取決於驅動齒輪 310a

和 310b 的轉速及驅動齒輪 310a 和 310b 的半徑。另外，驅動齒輪 310a 和 310b 可用以維持管子系統 200 內的照射靶 250 之軸位置。因驅動齒輪 310a 和 310b 可藉由，例如，上傳遞齒輪 392a 和 392b 及驅動齒輪 310a 和 310b 之螺紋端 393a 和 393b 上所用的蝸形齒輪系統固持於定位，所以照射靶 250 可固持於軸位置而沒有空間從鎖上的驅動齒輪 310a 和 310b 與管 50 及 / 或套筒 260 之間逸出。也就是說，螺紋端或聯鎖端 393a 和 393b 可包括與驅動齒輪 310a 和 310b 連接的螺桿以供驅動齒輪 310a 和 310b 移動及旋轉但是預防驅動齒輪 310a 和 310b 驅動該驅動動力子系統 390。

經由保持該儀表應用管 50 中的照射靶 250 之軸順序及插入或移出該核心 15 的照射靶 250 之順序，可實現通過照射靶驅動子系統 300 的照射靶 250 之追蹤及識別。

儘管將照射靶驅動子系統舉例說明為第 5 圖的一系列齒輪，但是熟於此藝之士明白其他升高及 / 或降低子系統 200 和 400 之間的照射靶 250 之機構也可使用。例如，子系統 200 和 400 之間的引動器或氣壓驅動可用以移動及固持這些子系統之間的照射靶 250。依此方式其他機構均可用於靶驅動子系統 300 同時示範具體實施例放射性同位素產生系統 100 仍能發揮將照射靶插入及移出運作中的核反應器儀表應用管 50 的功能。

照射靶儲存和移除子系統

第 6 圖為照射靶儲存和移除子系統 300 的示範具體實施例的圖解。如第 6 圖所示，照射靶 250 可進入或離開儲存和移除子系統 400 頂端附近的照射靶驅動子系統 300。照射靶 250 可自保持管(holding tube) 420 (其自照射靶驅動子系統 300 的出口向下運行進入乾井 20 下方位置)進入/離開儲存子系統 300。保持管 420 可為為了在暴露於運作中的核反應器附近所存在之輻射時能實質維持其物理特性而設計的材料所製造之硬性管，該材料包括，例如，不銹鋼、鎳為底的合金、鈦等等。

未經照射(新鮮)的照射靶 250 可經保持管 420 向上移而被裝填至照射靶驅動子系統 300 內且/或經照射的照射靶 250 (當下含有因暴露於核心中子通量而得之短期放射性同位素)可在經由該照射靶驅動子系統 300 自該運作中的反應器移出之後向下進入保持管 420 內而被儲存於保持管 420。保持管 420 可包括位於保持管 420 與移除機構 415 (其係於下文中對照第 7 圖說明)的間隙附近之引出管 410。

移除機構 415 可將照射靶 250 從該保持管 420 推入引出管 410。引出管 410 可接著通過圍阻 411 至外部保持區 412，其中可獲得照射靶 250 以供當作放射性同位素。引出管 410 可以各種方式通過圍阻 411，包括透過離開圍阻 411 的乾井 20 中之習知的管子及/或艙口及/或透過通過圍阻 411 之特別設計的通道。此通道可經特別設計以承受圍阻加壓及/或保持安全。

第 7 圖為示範具體實施例移除機構 415 之圖解。如第 7 圖所示，示範具體實施例移除機構 415 可包括連接至活塞/輪架構中的心軸 417 和驅動輪 416 之推桿 418。驅動輪 416 可經由推移傳動裝置(removal gearing) 414 旋轉且自保持管 420 將照射靶 250 推入引出管 410。

推移傳動裝置 414 可為連接至驅動輪 416 的習用嵌齒輪或可為第 7 圖所示的螺桿和蝸形齒輪架構。推移傳動裝置 414 可在想要時連接至驅動動力子系統 390 及/或動力驅動心軸 325 (第 5 圖)以便在照射靶被照射靶驅動子系統 300 移動時同步抽出照射靶。依此方式，準確定位和照射靶 250 識別可能行得通的是在子系統之間，經由維持靶順序/及或透過示範具體實施例放射性同位素產生系統 100 同步移動靶 250 進行。或者，可將馬達 922 及/或數位計數器 912 附接於驅動心軸 325 以提供旋轉位置和計時給電腦 900。此系統可為類似於上文第 5 圖所討論的馬達 921/數位計數器 911 組合且可中繼類似的資訊給共享電腦 900 以促進照射靶 250 移動和在示範具體實施例系統 100 中移行/移出的同步化。

儘管示範具體實施例移除機構 415 係顯示為活塞/輪架構，但是其他類型的移除機構均可配合示範具體實施例使用。例如，移除機構 415 可包括遠端操作的引動器，其在啟動時單純地將照射靶 250 推入引出管 410。此技藝中習知的其他類型移除機構均可依熟於此藝之士所習知的方式取代移除機構 415。

如第 6 圖所示，照射靶 250 可填入保持管 420 往下達到流動控制機構 450。補充管 460 可以螺旋方式向上延伸且繞著子系統 400 及 / 或 300 至照射靶儲槽 419。依此方式，重力可驅使照射靶 250 向下經過補充管 460 至流動控制機構 450。儘管補充管 460 係以一螺旋顯示，但是任何數目的架構均可使用，包括自儲槽 419 藉助於額外的驅動系統將照射靶推至流動控制機構 450 的筆直或向上路徑。

流動控制機構 450 可為一組類似於照射靶驅動子系統 300 (第 5 圖) 的驅動齒輪 310a 與 310b 之帶齒的及 / 或特殊表面的齒輪，且省略冗餘部分的說明。流動控制機構可包括一對水平齒輪替代驅動齒輪 310a 與 310b 的垂直方式。類似於該等齒輪 310a 和 310b，該流動控制機構 450 可藉由連接至驅動心軸的蝸形齒輪經由連接齒輪而移動。驅動心軸可連接至馬達及 / 或計數器，該二者可連接至電腦 900，該電腦 900 可進一步協調且利用流動控制機構 450 控制照射靶 250 的移動。

流動控制機構 450 可使照射靶保持及 / 或移動於補充管 460 與保持管 420 之間，該二者可同時具有接近流動控制機構 450 的開口。因為照射靶可自儲槽 490 以重力驅動，所以流動控制機構 450 可用以在非所欲時阻擋照射靶向上推入保持管 420。流動控制機構 450 可經由該照射靶驅動子系統 300 (第 5 圖) 的相同齒輪組 320 及 / 或動力傳動裝置 325 予以驅動以便簡化且保持示範具體實施例放射性同位素產生系統 100 的同步。控制流動控制機構 450 的

電腦 900 之軟體可維持所有子系統 200、300 和 400 的同步性。

流動控制機構 450 係顯示為一組齒輪；然而，數個不同類型的阻擋裝置，如引動器、閥等等，均可用以控制補充管 460 與保持管 250 之間的照射靶移動。

藉由示範具體實施例儲存和移除系統 400 的架構，照射靶 250 順序和線性自插入至移出示範具體實施例放射性同位素產生系統 100 均可予以保持。例如，當照射靶 250 在核心中被照射之後自照射驅動系統 300 填入保持管 420 時，靶可備用及/或驅入補充管 460 直到所有照射管自儀表應用管子系統 200 移除為止。由於補充管 460 的重力驅動本質，流動控制機構 450 可使該經照射的照射靶 250 向上返回移除機構 415，該移除機構 415 可同步將佇列之經照射的照射靶 250 抽至該引出管 410。依此方式，當經照射的照射靶 250 被導引至圍阻 411 外側時照射靶在管 50 中從最頂部至最底部位置的精確垂直順序可被保持。

該核心 15 內的中子通量一般為熟於此藝之士所習知或可測得。經由保持該核心中的照射靶線性順序，示範具體實施例系統 100 可提供在照射靶 250 中最大的比活性。依此方式，照射靶 250 的比活性可經由使靶能輕易排放置於具有通量的軸位置而予以最大化，該通量係傳導性以產生照射靶 250 的醫學及/或工業應用所需的比活性。

另外，經由第 6 圖所示的架構，補充管 460 可具有約等於儀表應用管 50 的長度之長度，由此預防照射靶的不

正確計數或溢入照射靶驅動子系統 300 或管子系統 200。儲槽 419 可儲存額外的照射靶，該等額外的照射靶可在所有先前經照射的照射靶 250 通往保持管 420 內之後釋放至補充管 460 內。依此方式，儲槽 419 可持續提供照射靶 250 至示範具體實施例放射性同位素產生系統 100 內且可使放射性同位素生產量最大化。

儲槽 419 可同時扮作靶補充儲存庫及用於放置排出該堆疊迴路 460 的靶 250 之儲存庫。當子系統 300 及/或流動控制機構 450 將靶推入該反應器核心時，可使額外的靶 250 能藉由重力排出儲存庫 419 且進入補充管 460。當靶係自該反應器核心抽出時，靶可移回儲槽 419 內。儲槽 419 可為能使此照射靶移動的各種形狀，其包括，例如，漏斗形儲槽。

第 6 圖所示的示範具體實施例照射靶儲存和移除子系統 400 可促進含有可用於醫學及工業應用的短期放射性同位素之照射靶 250 的井然有序的移除及/或儲存；然而，其他示範具體實施例子系統可成功地使經照射的照射靶 250 自該放射性同位素產生系統 100 移除。例如，移除子系統 300 可完全由經導引至圍阻外側的引出管構成，使得照射靶 250 可自照射靶驅動系統直接離開該容器 10 及/或自彼直接裝填至該容器 10 內。

放射性同位素產生系統運作

示範具體實施例放射性同位素產生系統係說明於上

文，總結此示範具體實施例的運作可達到示範方法的目的。新鮮照射靶 250 可儲存在儲槽 419 (第 6 圖)中及/或經由流動控制機構 450 保持於補充管 460 中。釋放或起動流動控制機構 450 時，照射靶 250 可經保持管 420 向上移動，由於該儲槽 419 高於保持管 420 而藉由重力及/或經由流動控制機構予以驅動。

一旦足量的照射靶 250 已經通往保持管 420 內，照射靶 250 可在驅動齒輪 310a 和 310b (第 5 圖)附近排出保持管 420。驅動齒輪 310a 和 310b 可經旋轉以與自保持管 420 所出現的照射靶 250 匹配。驅動齒輪 310a 和 310b 可依序將照射靶 250 移入套筒 260 (第 3 圖)同時保持照射靶 250 的順序。照射靶 250 可持續驅入套筒 260 內以便經過開口 51 通往儀表應用管 50 內且向上進入核心 15。一旦儀表應用管 50 和套筒 260 填滿照射靶，驅動齒輪 310a 和 310b 可將該等照射靶保持於該管 50 中的定位。

該核心 15 可在照射靶係保持於該管 50 和核心 15 中之時運作。知道該核心 15 的軸通量分佈和該照射靶 250 構成，照射靶可保持在核心 15 內一段時間以將照射靶 250 實質轉化為想要的放射性同位素。

當想要的時間達到時，驅動齒輪 310a 和 310b 可不再保持管 50 和套筒 260 及/或反向內的靶 250 以使照射靶能自套筒 260 往回通往保持管 420 內。該等照射靶 250 的向下驅動可支援進一步回到補充管 460 內之保持管 420 或補充管 460 中的其他照射靶。保持機構 450 可另外協助使照

射靶回到補充管 460 內或，交替地，可預防任何照射靶進入保持管或移除進入保持管的靶 250 使得當經照射的照射靶 250 向下通至保持管 420 內時保持管 420 是空的。

一旦所有經照射的照射靶 250 自套筒 260 注入保持管 420，保持機構 450 可驅動或使重力能驅動該經照射的照射靶 250 進入引出管 410（第 7 圖）。移除機構 415 可隨著保持機構 450 所致該等照射靶 250 的移動而將該等照射靶 250 同步推入引出管 410。

自引出管 410，經照射的照射靶 250 可自圍阻 411 予以移除且獲得以供醫學或工業應用。在該等示範具體實施例系統的整個運作中，照射靶 250 均維持線性順序。上述的整個過程可由驅動有關各個子系統的各種子系統之遠端使用者或電腦 900 自動化操作。例如，遠端電腦 900 可開始將靶 250 插入該核心 15 且可計算該核心 15 的軸通量分佈及置於該核心 15 中的照射靶 250 之中子特徵。知道該等照射靶的線性順序且因而彼等在該核心中的軸配置，該電腦可算出想要的暴露時間。在經過該暴露時間時，該電腦開始自該核心移除靶 250 且，一旦自該核心 15 移除所有靶 250，該電腦 900 可開始自示範具體實施例系統和圍阻 411 移除靶 250。各個照射靶 250 的精確活性和輻射性質可以其移除時的線性順序計算，而能獲得且利用存在於經照射的照射靶 250 中之放射性同位素。

照射靶

第 8A 及 8B 圖為示範具體實施例照射靶 250a 和 250b 的圖解。如第 8A 圖所示，照射靶 250a 可大略為球形以便能透過示範具體實施例設備旋轉及滾轉。然而，如上文討論的，照射靶也可為其他形狀。例如，六面體及/或圓柱體可當作照射靶 250 以預防一些或所有方向的滾轉或容納不同儀表應用管 50 幾何形狀及/或位置。驅動齒輪的表面及管形狀可予以變化以匹配這些不同照射靶幾何形狀。

如第 8A 圖所示，照射靶 250a 可大體上為固態且由一種於暴露在存在於運作中的商業用核反應器裡之中子通量時會轉化為有用的放射性同位素之材料製成。或者，不同材料可以不同半徑在照射靶 250a 中鍍著或形成層而能更易於處理且自照射靶 250a 獲得放射性同位素。

或者，如第 8B 圖所示，照射靶 250b 可大體上為中空且包括一種當暴露在存在於運作中的商業用核反應器裡之中子通量時會轉化為有用的氣態、液態及/或固態放射性同位素之液態、氣態及/或固態材料。殼 251 可環繞並包含該固態、液態或氣態靶材 252，該殼 251 當暴露於中子通量時具有可忽略的物理變化，該殼 251 包括，例如，不銹鋼及/或鋁。出入口 253 可透過殼 251 進出以獲得照射靶 250b 所製造的放射性同位素。例如，出入口 253 可接合或穿入殼 251 以便提供用於該氣態/液態/固態靶材 252 及所製造的放射性同位素之密封物。出入口 253 可包括易碎區 255，當該氣態/液態/固態放射性同位素即將獲得而遭受適當外力時其易於劃破，易於擊穿等等。

儘管示範具體實施例放射性同位素產生系統 100 已經詳細說明為可用以實施製造且獲得短期放射性同位素之示範方法的設備，但是可瞭解其他設備均可用以實施示範方法。例如，含有照射靶的封閉套筒可以"匣"狀方式在各種間隔下插入及移出運作中的商業用反應器儀表應用管以將該等照射靶適度暴露於足以產生可用的短期放射性同位素之中子通量。

示範具體實施例及示範方法中可產生數種不同的放射性同位素。示範具體實施例和示範方法可具有一特定優點在於彼等能在比起所製造的放射性同位素之半衰期相對快速的時間量程內產生且獲得短期放射性同位素，而不需停止商業用反應器(此為可能昂貴的程序)，且不需有危害且漫長的同位素及/或化學萃取程序。儘管具有診斷及/或治療應用的短期放射性同位素可以示範設備和方法製造，但是也可產生具有工業應用及/或長壽半衰期的放射性同位素。

在示範方法和設備中可選擇照射靶 250 及在儀表應用管 50 中的暴露時間量以測定所製造的放射性同位素之類型和濃度。也就是說，如上文討論的，因為知道運作中的反應器內之軸通量準位，且因為示範具體實施例可精準控制用於示範具體實施例設備及方法中的照射靶 250 之軸位置，所以照射靶 250 的類型和尺寸及暴露時間均可用以測定所得的放射性同位素及其強度。熟於此藝之士及參照習用衰變和斷面圖知道什麼類型的照射靶 250 暴露於特定量

的中子通量能製造想要的放射性同位素。另外，照射靶 250 可根據其相對較小的中子斷面做選擇，以便不致實質干擾運作中的商業用核反應器核心裡發生的核連鎖反應。

例如，已知鉬-99 暴露於特定量的中子通量時可轉化為具有約 6 小時的半衰期之銨-99m。銨-99m 具有數種特殊醫學用途(包括醫學造影和癌症診斷)及短期半衰期。利用鉬-99 所製造且以靶 250 的尺寸為基準暴露於運作中的反應器裡之中子通量的照射靶 250，在示範具體實施例設備和方法中經由測定含有 Mo-99 的照射靶之尺寸、該靶在該操作核心中的軸位置、該操作核心的軸分布、及該照射靶的暴露時間量可產生且獲得銨-99m。

以下表 1 列舉數種利用適當照射靶 250 的示範方法中可產生的短期放射性同位素。所列舉的短期放射性同位素之最長半衰期可為約 75 天。已知反應器停機和用過的燃料抽取頻率可少到 2 年才進行，且自燃料萃取和獲得放射性同位素需要相當多處理和冷卻時間，以下所列舉的放射性同位素可能無法實際由習用之用過的核燃料製造且獲得。

表 1 - 所製造的可能放射性同位素之列表

母材料	所製造的 放射性同位素	半衰期 (大約)	可能用途
鉬-99	鎝-99m	6 小時	癌和不易通透臟器之造影
鉻-50	鉻-51	28 天	標記血球及腸胃道疾病
銅-63	銅-64	13 小時	Wilson's & Menke's 疾病研究
鎢-164	鎢-165	2 小時	關節炎滑膜切除治療
鉕-168	鉕-169	9.4 天	關節炎疼痛緩解
鈦-165	鈦-166	27 小時	肝癌和腫瘤治療
碘-130	碘-131	8 天	甲狀腺癌和β治療的用途
銥-191	銥-192	74 天	內放射線癌治療
鐵-58	鐵-59	46 天	鐵代謝和脾臟疾病研究
銻-176	銻-177	6.7 天	分泌腺腫瘤的造影和治療
鈮-102	鈮-103	17 天	攝護腺癌短距治療
磷-31	磷-32	14 天	真性多紅血球症治療
鉀-41	鉀-42	12 小時	冠狀動脈血液流動研究
銻-185	銻-186	3.7 天	骨癌治療
釷-152	釷-153	46 小時	繼發癌的疼痛緩解
硒-74	硒-75	120 天	消化酶研究
鈉-23	鈉-24	15 小時	電解質研究
鋇-88	鋇-89	51 天	攝護腺癌和骨癌的疼痛緩解
鎳-168	鎳-169	32 天	腦脊髓液研究
鎳-176	鎳-177	1.9 小時	用於製造 Lu-177
釷-89	釷-90	64 小時	癌症短距治療

表 1 並非示範具體實施例和示範方法可製造的放射性同位素之完整列表而是例示一些可配合包括癌症治療的醫療法使用的放射性同位素。在適當的靶選擇下，透過示範具體實施例和方法幾乎任何短期放射性同位素均可製造且獲得以供使用。

由此說明示範具體實施例，熟於此藝之士將會明白示

範具體實施例可透過例行的實驗法且不需另外深入活動予以變化。變化不得視為悖離示範具體實施例的精神和範圍，且意欲將對熟於此藝之士為顯而易見的所有此類修飾均包括在後續申請專利範圍的範疇以內。

【圖式簡單說明】

第 1 圖為具有儀表應用管的習用核反應器的圖解。

第 2 圖為用於核反應器中製造短期放射性同位素之示範具體實施例系統的圖解。

第 3 圖為示範具體實施例系統的示範具體實施例管子系統之圖解。

第 4A 及 4B 圖為可配合示範具體實施例系統使用的示範具體實施例套筒之圖解。

第 5 圖為可配合示範具體實施例系統使用的示範具體實施例照射靶驅動子系統之圖解。

第 6 圖為可配合示範具體實施例系統使用的示範具體實施例照射靶儲存子系統之圖解。

第 7 圖為可配合示範具體實施例系統使用的示範具體實施例移除機構之圖解。

第 8A 及 8B 圖為示範具體實施例照射靶之圖解。

【主要元件符號說明】

10：反應器壓力容器

15：核心

16：核 心 的 頂 部

20：乾 井

50：儀 表 應 用 管

51：儀 表 應 用 管 開 口

100：放 射 性 同 位 素 產 生 系 統

200：儀 表 應 用 管 子 系 統

250：照 射 靶

250a：照 射 靶

250b：照 射 靶

251：殼

252：靶 材

253：出 入 口

255：易 碎 區

260：套 筒

261：套 筒 的 片 段

262：不 定 外 徑

263：內 徑

264：匹 配 元 件

265：匹 配 元 件

266：筒 夾

300：照 射 靶 驅 動 子 系 統

310a：驅 動 齒 輪

310b：驅 動 齒 輪

311a：側 表 面

311b：側表面

320：齒輪組

325：動力驅動心軸

390：驅動動力子系統

391a：有齒的下傳遞齒輪

391b：有齒的下傳遞齒輪

392a：上傳遞齒輪

392b：上傳遞齒輪

393a：聯鎖端

393b：聯鎖端

400：照射靶儲存和移除子系統

410：引出管

411：封鎖結構

412：外部保持區

414：推移傳動裝置

415：移除機構

416：驅動輪

417：心軸

418：推桿

419：照射靶儲槽

420：保持管

450：流動控制機構

460：補充管

900：電腦

911 : 數位計數器

912 : 數位計數器

921 : 馬達

922 : 馬達

七、申請專利範圍

1. 一種製造放射性同位素之方法，該方法包含：

選擇至少一個具有已知中子斷面之照射靶，該照射靶不為中子偵測器；

將該照射靶插入核反應器之儀表應用管中使該照射靶暴露於運作中的核反應器裡所遭遇的中子通量，該儀表應用管係延伸到該反應器裡且具有從該反應器的外部可及之開口，當照射靶暴露於核反應器裡所遭遇的中子通量時該照射靶實質上轉化為放射性同位素，該插入係包括將該照射靶置於該儀表應用管的一軸位置經過一時間量，該時間量相當於在一通量準位下將該照射靶轉化為放射性同位素所需的時間量，該軸位置相當於以該核反應器之軸中子通量分佈為基準的軸位置；及

自該儀表應用管移除該照射靶及所製得的放射性同位素。

2. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其中該核反應器為 100+百萬瓦電力核反應器。

3. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其中該插入及移除係於該核反應器運作中時進行。

4. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其中該所製得的放射性同位素具有 75 天或更短的半衰期。

5. 如申請專利範圍第 4 項之方法，其中該照射靶為選自由鉬-99、鉻-50、銅-63、鎢-164、鉕-168、鈦-165、碘-130、銥-191、鐵-58、鎰-176、鈮-102、磷-31、鉀-

41、銻 -185、釷 -152、硒 -74、鈉 -23、銥 -88、鎰 -168、鎰 -176 及釷 -89 所組成的群組的一者。

6. 如申請專利範圍第 4 項之方法，其中該所製得的放射性同位素為選自由鎳 -99m、鉻 -51、銅 -64、鎳 -165、鉬 -169、鈦 -166、碘 -131、銥 -192、鐵 -59、鎳 -177、鈾 -103、磷 -32、鉀 -42、銻 -186、釷 -153、硒 -75、鈉 -24、銥 -89、氙 -133、鎰 -169、鎰 -177 及釷 -90 所組成的群組的一者。

7. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其另外包含：

自環繞該核反應器的封鎖結構移除該照射靶及所製得的放射性同位素。

8. 一種製造放射性同位素之方法，該方法包含：

選擇至少一個具有已知中子斷面之照射靶；

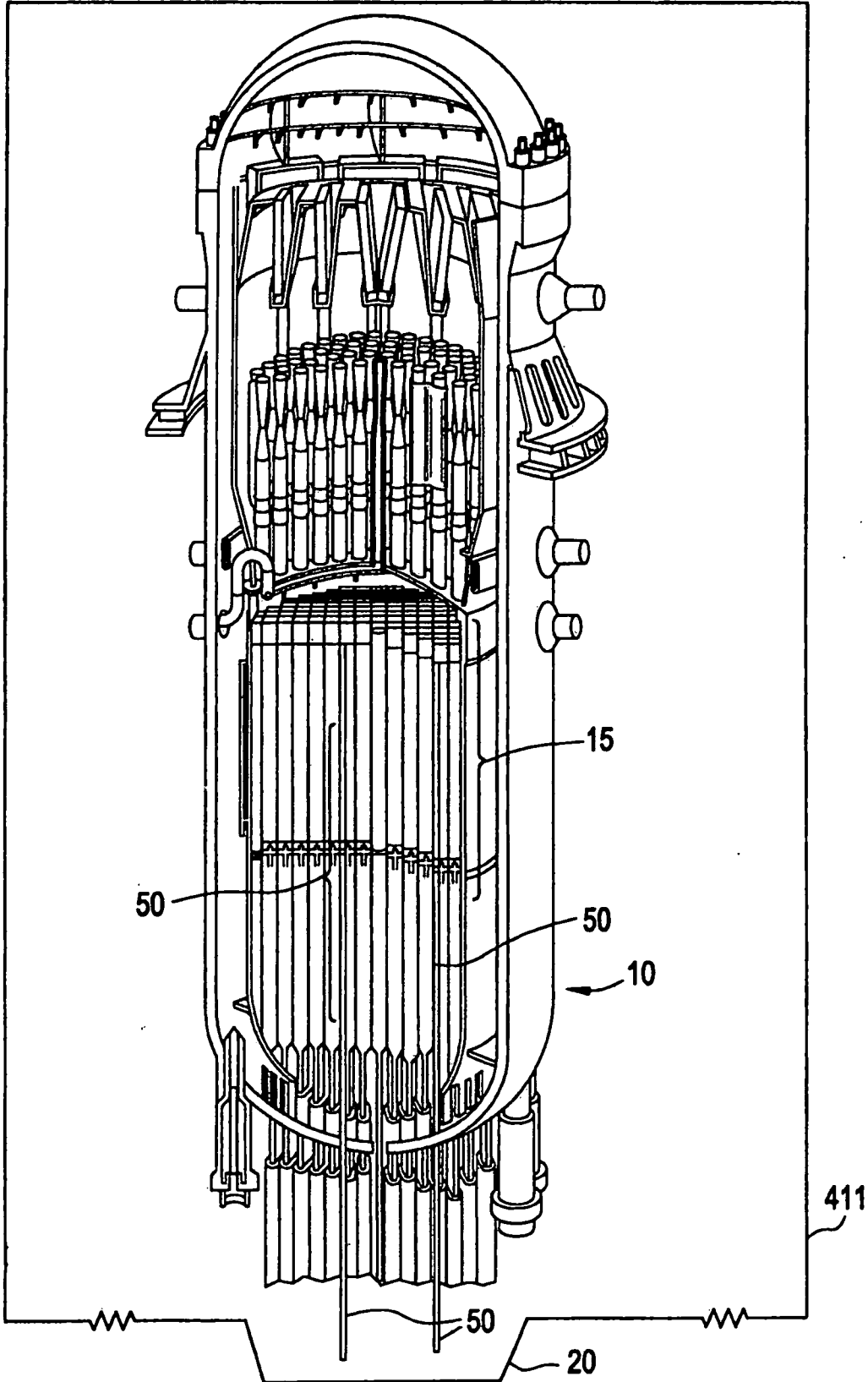
將該照射靶插入核反應器之儀表應用管中使該照射靶暴露於運作中的核反應器裡所遭遇的中子通量，該儀表應用管係延伸到該反應器裡且具有從該反應器的外部可及之開口，當照射靶暴露於核反應器裡所遭遇的中子通量時該照射靶實質上轉化為放射性同位素，該插入係包括將該照射靶置於該儀表應用管的一軸位置經過一時間量，該時間量相當於在一通量準位下將該照射靶的實質部分轉化為放射性同位素所需的時間量，該軸位置相當於以該核反應器之軸中子通量分佈為基準的軸位置；及

自該儀表應用管移除該照射靶及所製得的放射性同位素。

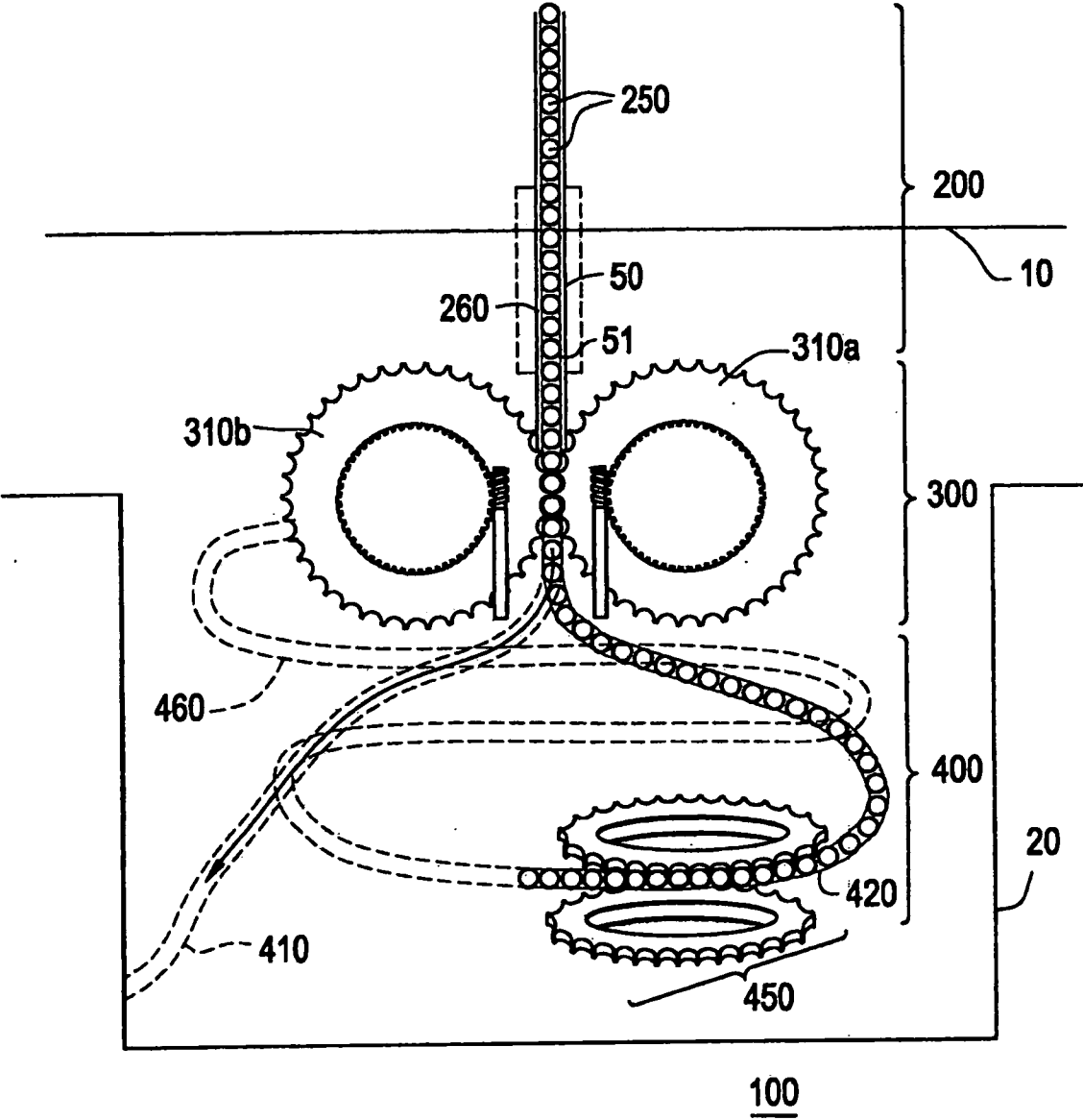
第1圖

858595

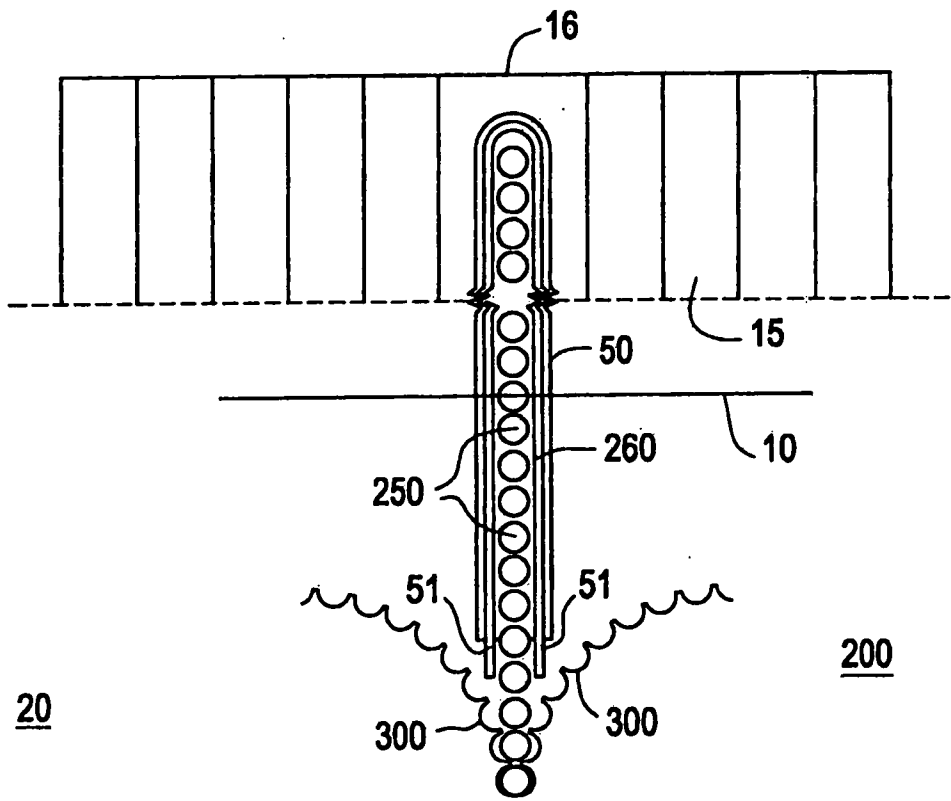
習用技藝



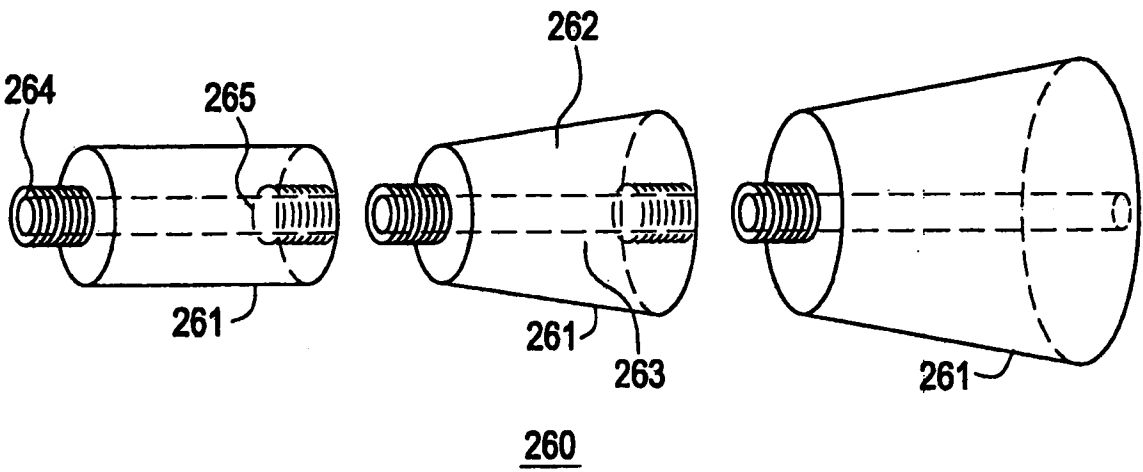
第2圖



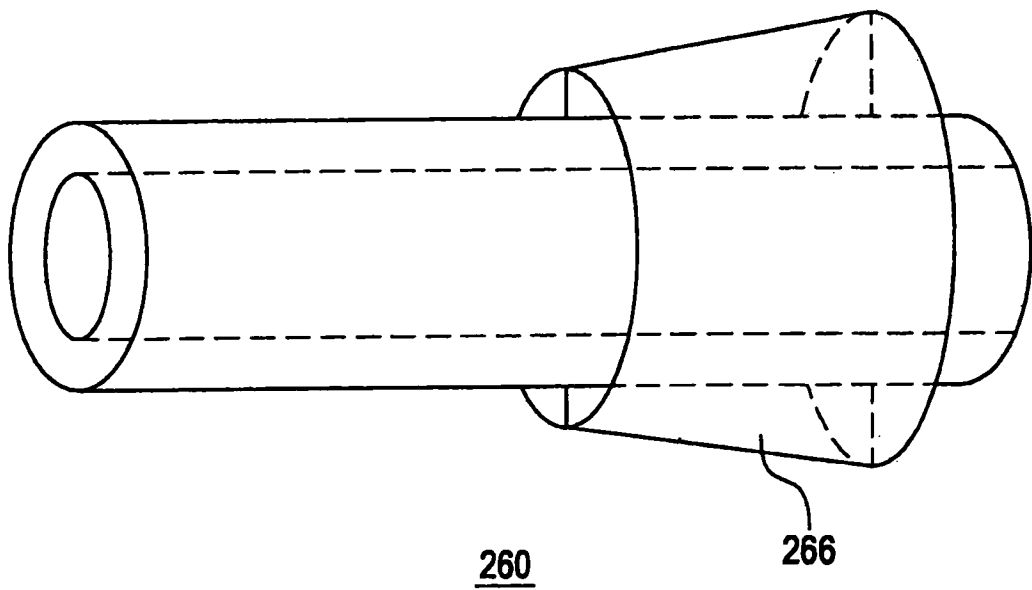
第3圖



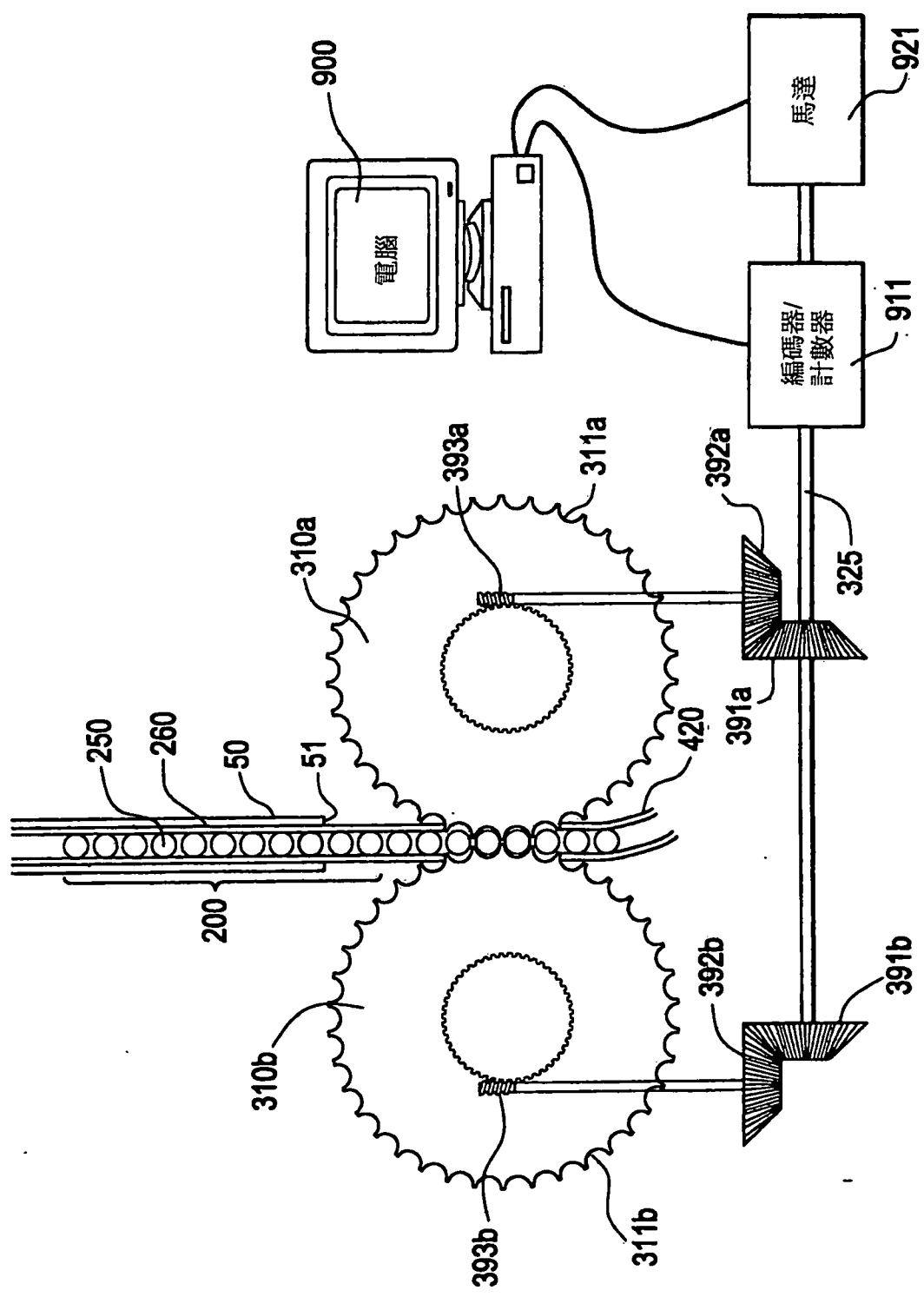
第4A圖



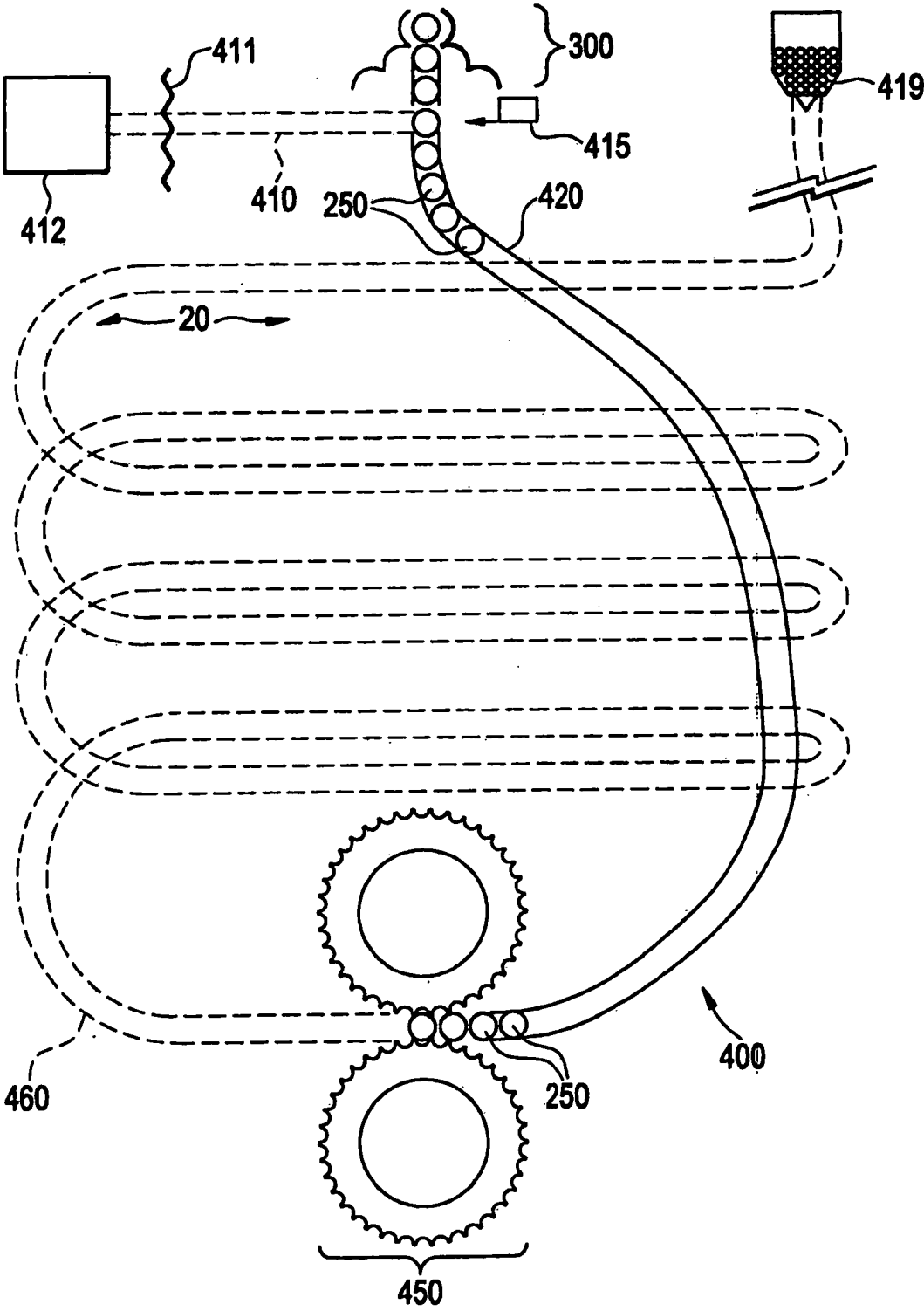
第4B圖



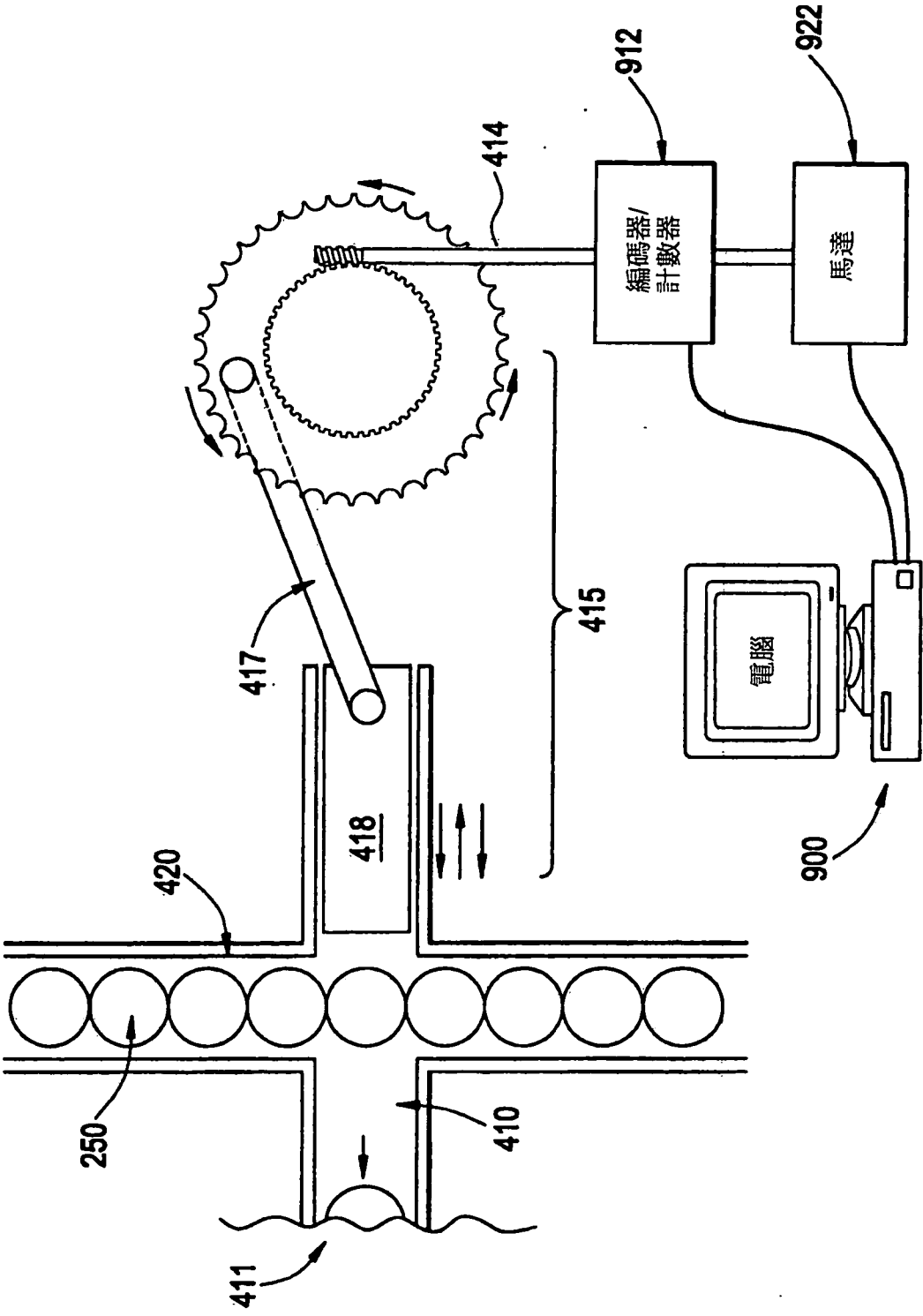
第5圖



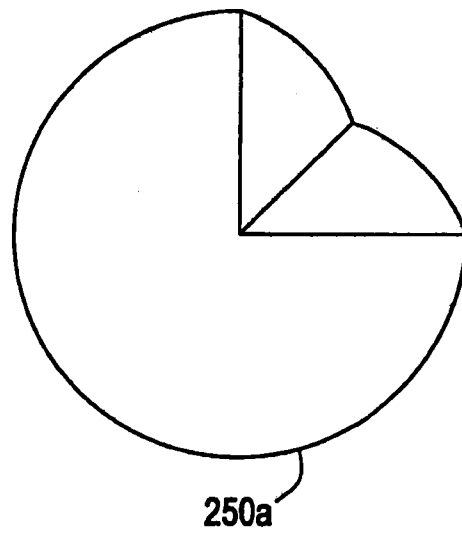
第6圖



第7圖



第8A圖



第8B圖

