



(21)申請案號：112146271 (22)申請日：中華民國 112 (2023) 年 11 月 29 日  
(51)Int. Cl. : H01L21/67 (2006.01) G05B19/418 (2006.01)  
G06N5/025 (2023.01)  
(30)優先權：2022/11/29 美國 63/428,526  
(71)申請人：日商東京威力科創股份有限公司 (日本) TOKYO ELECTRON LIMITED (JP)  
日本  
(72)發明人：小林大 KOBAYASHI, DAI (JP) ；品川淳 SHINAGAWA, JUN (JP)  
(74)代理人：陳長文  
申請實體審查：無 申請專利範圍項數：9 項 圖式數：21 共 51 頁

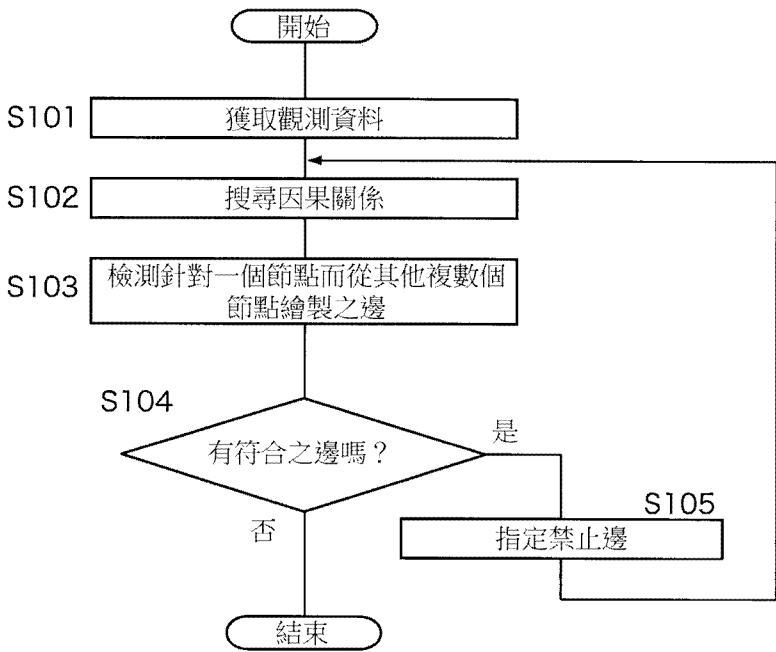
(54)名稱  
電腦程式、資訊處理裝置及資訊處理方法  
(57)摘要

本發明提供一種電腦程式、資訊處理裝置及資訊處理方法。  
本發明使電腦執行如下處理：從監視對象之觀測系統獲取與複數種觀測變數對應之觀測資料；基於所獲取之觀測資料，導出觀測系統中之觀測變數之因果結構；基於所導出之因果結構，提取成為一個觀測變數之變動原因候補之 1 個或複數個其他觀測變數；以及輸出提取結果。

指定代表圖：

符號簡單說明：

S101:步驟  
S102:步驟  
S103:步驟  
S104:步驟  
S105:步驟



【圖6】



## 【發明摘要】

### 【中文發明名稱】

電腦程式、資訊處理裝置及資訊處理方法

### 【中文】

本發明提供一種電腦程式、資訊處理裝置及資訊處理方法。

本發明使電腦執行如下處理：從監視對象之觀測系統獲取與複數種觀測變數對應之觀測資料；基於所獲取之觀測資料，導出觀測系統中之觀測變數之因果結構；基於所導出之因果結構，提取成為一個觀測變數之變動原因候補之1個或複數個其他觀測變數；以及輸出提取結果。

### 【指定代表圖】

圖6

### 【代表圖之符號簡單說明】

S101:步驟

S102:步驟

S103:步驟

S104:步驟

S105:步驟

【發明說明書】

【中文發明名稱】

電腦程式、資訊處理裝置及資訊處理方法

【技術領域】

【0001】 本發明係關於一種電腦程式、資訊處理裝置及資訊處理方法。

【先前技術】

【0002】 於基板處理裝置中，基於製程之配方來進行對基板之處理。配方包含複數個步驟，例如藉由針對每個步驟控制壓力或溫度等各種參數，可獲得最佳之處理結果。各種參數之設定值存在針對每個步驟而不同之情形，因此針對每個基板管理設置於基板處理裝置之複數個感測器之測量資料。

【0003】 於專利文獻1中揭示有一種技術，其係關於具有多維之自變數及因變數之製程，使資料可視化。

先前技術文獻

專利文獻

【0004】 專利文獻1：日本專利特表2022-502806號公報

【發明內容】

[發明所欲解決之問題]

【0005】 本發明之目的在於提供一種基於觀測資料而導出觀測變數間之因果結構之電腦程式、資訊處理裝置及資訊處理方法。

[解決問題之技術手段]

【0006】 本發明之電腦程式係一種用以使電腦執行處理之電腦程

式，上述處理係：從監視對象之觀測系統獲取與複數種觀測變數對應之觀測資料；基於所獲取之觀測資料，導出上述觀測系統中之觀測變數之因果結構；基於所導出之因果結構，提取成為一個觀測變數之變動原因候補之1個或複數個其他觀測變數；以及輸出提取結果。

[發明之效果]

【0007】 根據本發明，能夠基於觀測資料而導出觀測變數間之因果結構。

【圖式簡單說明】

【0008】

圖1係對實施方式之資訊處理系統之構成進行說明之說明圖。

圖2係表示藉由資訊處理裝置導出之因果結構之一例之模式圖。

圖3係表示資訊處理裝置之內部構成之方塊圖。

圖4係表示觀測變數之關係之有向非循環圖。

圖5係表示針對一個節點而從其他複數個節點繪製邊之有向非循環圖之例之模式圖。

圖6係表示因果結構之導出順序之流程圖。

圖7係對因果結構之修正操作進行說明之說明圖。

圖8係表示用戶所進行之因果結構之修正順序之流程圖。

圖9係表示預測模型之生成順序之流程圖。

圖10係表示結果預測之執行順序之流程圖。

圖11係對變動原因之推定方法進行說明之說明圖。

圖12係表示變動原因之推定順序之流程圖。

圖13係表示應對資訊之輸出順序之流程圖。

圖14係說明對變動原因候補進行縮小範圍時之操作之說明圖。

圖15係表示受理變動原因之縮小範圍操作時之順序之流程圖。

圖16係表示實施方式7中之因果結構之導出順序之流程圖。

圖17係表示插補了函數類型之因果結構之一例之模式圖。

圖18係表示非線性關係之圖顯示之例之模式圖。

圖19係表示作為製程機制之知識而可視化之例之模式圖。

圖20係表示用於故障預知之因果結構之例之模式圖。

圖21係表示製程窗口之製成順序之流程圖。

### 【實施方式】

【0009】 以下，參照圖式，對一實施方式進行說明。

#### (實施方式1)

圖1係對實施方式之資訊處理系統之構成進行說明之說明圖。實施方式之資訊處理系統具備可通訊地連接之資訊處理裝置100及基板處理裝置200。

【0010】 基板處理裝置200例如為包含至少1個曝光裝置、蝕刻裝置、成膜裝置、離子注入裝置、灰化裝置、濺鍍裝置等之半導體製造裝置。作為替代，基板處理裝置200亦可為製造液晶顯示面板、有機EL(Electro-Luminescence，電致發光)面板等FDP(Flat Display Panel，平面顯示面板)之顯示器製造裝置。

【0011】 於基板處理裝置200中，在製程開始時設定基板之溫度、腔室內之壓力或氣體流量、由高頻電源施加之電壓等各種設定值。又，於基板處理裝置200設置有複數個感測器，其等在製程之執行中測量基板之溫度、腔室內之壓力或氣體流量、施加至上部電極或下部電極之電壓等。

基板處理裝置200將製程開始時設定之設定值或製程之執行中測量之測量值作為觀測資料輸出至資訊處理裝置100。

【0012】 資訊處理裝置100從監視對象之觀測系統(於本實施方式中為基板處理裝置200)獲取觀測資料。資訊處理裝置100基於所獲取之觀測資料，搜尋觀測變數間之因果關係，根據應當應用於觀測變數間之制約條件修正因果關係，藉此導出觀測系統中之觀測變數整體之因果結構。

【0013】 圖2係表示藉由資訊處理裝置100導出之因果結構之一例之模式圖。因果結構例如藉由使用表示各觀測變數之節點及表示節點間之因果關係之邊的有向非循環圖進行描繪。於基板處理裝置200中進行之實際之製程中，會處理多個觀測變數，但於圖2中，為了簡化而僅摘錄8個觀測變數，示出其等之因果結構。

【0014】 圖2所示之有向非循環圖係由與8個觀測變數對應之節點ND1～ND8、及表示觀測變數間(節點間)之因果關係之複數個邊EG12、EG36、EG37、EG46、EG56、EG62、EG67、EG68所構成。於圖2之例中，利用正六邊形之圖符表示節點ND1～ND8，但圖符之形狀並不限於正六邊形，亦可為圓形或其他形狀。圖符之內部所示之字串表示各觀測變數之變數名。

【0015】 於2個節點ND1、ND2之間示出了從節點ND1向節點ND2的方向繪製之邊EG12。連接2個節點ND1、ND2之邊EG12表示在與節點ND1對應之觀測變數(採光窗之被膜)與與節點ND2對應之觀測變數(OES)之間有因果關係。採光窗之被膜表示沉積於採光窗之被膜之量。OES為Optical Emission Spectrometer(光譜分析儀)，表示電漿之發光強度之測量資料。邊EG12之朝向(以箭頭符號表示之朝向)表示採光窗之被膜對

OES造成影響。關於其他節點間之因果關係亦同樣如此。

【0016】 於以下之說明中，於第1觀測變數對第2觀測變數造成影響之情形時，第1觀測變數亦稱為處於第2觀測變數之上游之觀測變數，第2觀測變數亦稱為處於第1觀測變數之下游之觀測變數。

【0017】 以下，對導出因果結構之資訊處理裝置100之構成進行說明。

圖3係表示資訊處理裝置100之內部構成之方塊圖。資訊處理裝置100例如為具備控制部101、記憶部102、通訊部103、操作部104及顯示部105之專用或通用之電腦。

【0018】 控制部101具備CPU(Central Processing Unit，中央處理單元)、ROM(Read Only Memory，唯讀記憶體)、RAM(Random Access Memory，隨機存取記憶體)等。於控制部101所具備之ROM中記憶對資訊處理裝置100所具備之硬體各部之動作進行控制之控制程式等。控制部101內之CPU讀入並執行記憶於ROM中之控制程式或記憶於記憶部102中之下述電腦程式，控制硬體各部之動作，藉此，使裝置整體作為本發明之資訊處理裝置發揮作用。於控制部101所具備之RAM中暫時記憶運算之執行中所利用之資料。

【0019】 於實施方式中，構成為控制部101具備CPU、ROM及RAM，但控制部101之構成並不限定於上述者。控制部101例如亦可為具備GPU(Graphics Processing Unit，圖形處理單元)、FPGA(Field Programmable Gate Array，場可程式化閘陣列)、DSP(Digital Signal Processor，數位信號處理器)、量子處理器、揮發性或非揮發性記憶體等之1個或複數個控制電路或運算電路。又，控制部101亦可具備輸出日期

時間資訊之時鐘、測量從給出測量開始指示起至給出測量結束指示為止之經過時間之計時器、對數量進行計數之計數器等功能。

【0020】 記憶部102具備HDD(Hard Disk Drive，硬式磁碟機)、SSD(Solid State Drive，固態硬碟)、EEPROM(Electronically Erasable Programmable Read Only Memory，電子可擦可程式化唯讀記憶體)等記憶裝置。於記憶部102中記憶由控制部101執行之各種電腦程式或由控制部101利用之各種資料。

【0021】 記憶於記憶部102中之電腦程式(程式製品)包含因果結構學習程式PG1，該因果結構學習程式PG1用於使電腦執行從基板處理裝置200之觀測資料導出觀測變數之因果結構之處理。因果結構學習程式PG1可為單一之電腦程式，亦可由複數個電腦程式構成。又，因果結構學習程式PG1亦可由複數台電腦協作執行。進而，因果結構學習程式PG1亦可為部分地使用既有之庫者。

【0022】 記憶部102中除了包含因果結構學習程式PG1以外亦可還包含基於觀測變數間之因果關係而生成預測模型之預測模型生成程式PG2、使用預測模型來預測觀測資料之預測程式PG3、進行製程變動之原因推定及應對推薦之原因推定程式PG4等。該等程式PG1～PG4可為分別獨立之電腦程式，亦可為經整合之1個電腦程式。

【0023】 包含因果結構學習程式PG1之電腦程式由可讀取地記錄有該電腦程式之非暫時性記錄媒體RM來提供。記錄媒體RM為CD-ROM(Compact Disc Read Only Memory，唯讀光碟)、USB(Universal Serial Bus，通用串列匯流排)記憶體、SD(Secure Digital，安全數位)卡、微型SD卡、小型快閃(註冊商標)等可攜型記憶體。控制部101使用未

示於圖中之讀取裝置，從記錄媒體RM讀取各種電腦程式，將所讀取之各種電腦程式記憶於記憶部102中。又，記憶於記憶部102中之電腦程式亦可由通訊來提供。於此情形時，控制部101藉由經由通訊部103之通訊而獲取電腦程式，將所獲取之電腦程式記憶於記憶部102中即可。

【0024】 通訊部103具備用以在與外部裝置之間收發各種資料之通訊介面。作為通訊部103之通訊介面，可使用依據LAN(Local Area Network，區域網路)等通訊標準之通訊介面。外部裝置為上述基板處理裝置200或用戶終端(未圖示)等。通訊部103於從控制部101輸入應當發送之資料之情形時，向作為位址之外部裝置發送資料，於接收到從外部裝置發送之資料之情形時，向控制部101輸出接收到之資料。

【0025】 操作部104具備觸控面板、鍵盤、開關等操作裝置，受理用戶等所進行之各種操作及設定。控制部101基於由操作部104給出之各種操作資訊而進行適宜之控制，視需要將設定資訊記憶於記憶部102中。

【0026】 顯示部105具備液晶監視器或有機EL(Electro-Luminescence，電致發光)等顯示裝置，根據來自控制部101之指示來顯示應當報知給用戶等之資訊。

【0027】 再者，本實施方式中之資訊處理裝置100可為單一之電腦，亦可為由複數台電腦或周邊裝置等所構成之電腦系統。又，資訊處理裝置100亦可為實體被虛擬化之虛擬機器，亦可為雲。進而，於本實施方式中，將資訊處理裝置100與基板處理裝置200作為不同個體來記載，但資訊處理裝置100亦可為設置於基板處理裝置200之內部者。

【0028】 以下，對利用資訊處理裝置100之因果結構之導出方法進行說明。

(1)因果關係之搜尋

觀測變數間之因果關係例如藉由結構方程式模型而建模。作為結構方程式模型之一的LiNGAM(Linear Non-Gaussian Acyclic Model，線性非高斯非循環模型)係假定於線性非循環模型下外生變數之概率分佈為非高斯分佈。又，觀測變數之關係由有向非循環圖表示。圖4係表示觀測變數之關係之有向非循環圖。於圖4之例中，將觀測變數之數量設為3個，因此有向非循環圖由3×3之相鄰矩陣 $B=\{b_{ij}\}$ 表示。 $b_{ij}$ 係線性回歸之係數，表示從觀測變數 $x_j$ 向觀測變數 $x_i$ 之結合之強度。於將觀測變數 $x_j$ 之外生變數(誤差變數)設為 $e_j$ 時，結構方程式模型由數式1表示。

【0029】 [數式1]

$$x_i = \sum_{i \neq j} b_{ij} x_j + e_j$$

【0030】 關於搜尋結構方程式模型之演算法(因果搜尋演算法)之一，提出了DirectLiNGAM演算法(例如參照S. Shimizu et al. Journal of Machine Learning Research, 12(Apr): 1225-1248(2011))。於該演算法中，在上述假定下，重複進行回歸分析與回歸殘差彼此之獨立性評估，藉此能夠使線性回歸之係數 $b_{ij}$ 最佳化。基於經最佳化之係數 $b_{ij}$ 而於節點間繪製邊，藉此可描繪如圖4所示之有向非循環圖。

【0031】 於圖4之例中，將觀測變數之數量設為了3個，但於將觀測變數之數量概括化而設為 $n$ 個( $n$ 為2以上之整數)之情形時亦同樣如此，有向非循環圖由 $n \times n$ 之相鄰矩陣 $B=\{b_{ij}\}$ 表示。

【0032】 (2)邊修剪

於上述因果搜尋中，有時針對一個節點而從其他複數個節點繪製邊，只要邊不循環。圖5係表示針對一個節點而從其他複數個節點繪製邊

之有向非循環圖之例之模式圖。圖5之例表示從表示OES、VI(Visual-Inertial，視覺慣性)感測器電壓測量值、VI感測器電流測量值之各節點ND2、ND6、ND7針對表示蝕刻量之節點ND8繪製邊之實例。該實例表示OES、VI感測器電壓測量值及VI感測器電流測量值之各觀測變數互相具有較強之共線性，進而與表示蝕刻量之觀測變數亦具有關聯。

【0033】於本實施方式中，為了避免此種過擬合之狀態，而附加如下制約條件：禁止同時從有共線性之複數個觀測變數針對一個觀測變數繪製邊。具體而言，嘗試留下哪一邊精度會最佳，將除了精度最佳之邊以外之邊指定為禁止邊。此時，非循環之制約亦變化，因此一併執行因果結構之再搜尋。

【0034】圖5之例表示從節點ND2、ND6、ND7向節點ND8之邊中從節點ND2、ND7向ND8之邊被指定為禁止邊之狀態。於指定了禁止邊之情形時，非循環之制約亦變化，因此再次執行上述因果搜尋演算法。

【0035】圖6係表示因果結構之導出順序之流程圖。資訊處理裝置100之控制部101從記憶部102讀出並執行因果結構學習程式PG1，藉此進行以下處理。

【0036】控制部101從作為監視對象之觀測系統的基板處理裝置200獲取與複數種觀測變數對應之觀測資料(步驟S101)。控制部101所獲取之觀測資料包含採光窗之被膜、OES、下部電極之消耗、上部電極之消耗、電壓設定值、VI感測器之電壓測量值、VI感測器之電流測量值、蝕刻量等藉由基板處理裝置200測量之資料或藉由基板處理裝置200設定之資料。控制部101藉由經由通訊部103而與基板處理裝置200通訊來獲取該等觀測資料。

【0037】 控制部101基於所獲取之觀測資料，搜尋觀測變數間之因果關係(步驟S102)。於搜尋因果關係時，作為預處理，可選擇用於因果結構之導出之觀測變數，亦可使用基板處理裝置200中之製程之先驗知識而於觀測變數間附加制約條件。控制部101藉由使用上述因果搜尋演算法搜尋觀測變數間之因果關係而導出觀測變數整體之因果結構。具體而言，控制部101在假定了於觀測變數間有線性、因果結構有非循環性、外生變數之概率分佈為非高斯分佈、不同之外生變數彼此相互獨立之後，重複進行回歸分析與回歸殘差彼此之獨立性評估，藉此使線性回歸之係數 $b_{ij}$ 最佳化。控制部101基於經最佳化之係數 $b_{ij}$ 而於節點間繪製邊，藉此生成有向非循環圖。藉此，獲得來自具有共線性之複數個節點之邊可混合存在之觀測變數間之因果結構。

【0038】 控制部101從步驟S102中獲得之因果結構檢測針對一個節點而從具有共線性之其他複數個節點繪製之邊(步驟S103)。控制部101判斷有無符合之邊(步驟S104)，於判斷為有符合之邊之情形時(S104：是)，為了附加禁止同時從有共線性之複數個觀測變數針對一個觀測變數繪製邊之制約條件，於將除了精度最佳之邊以外者指定為禁止邊之後(步驟S105)，使處理返回至步驟S102。

【0039】 於在步驟S104中判斷為不存在符合之邊之情形時(S104：否)，控制部101結束本流程圖之處理。

【0040】 藉此，控制部101能夠導出如圖2所示之觀測變數整體之因果結構。控制部101可使所導出之因果結構顯示於顯示部105，亦可通過通訊部103而通知給用戶終端(未圖示)。

【0041】 如上所述，於實施方式1中，能夠基於從監視對象之觀測

系統(基板處理裝置200)獲得之觀測資料而導出觀測變數整體之因果結構，能夠將觀測變數間之因果關係提示給用戶。

【0042】 於實施方式1中，實施了防止具有共線性之複數個節點針對其他節點同時具有因果關係之邊修剪，因此防止邊之誤認，能夠實現可靠性更高之因果結構之學習。

【0043】 (實施方式2)

於實施方式2中，對藉由針對提示給用戶之因果結構受理互動之操作而修正因果結構之構成進行說明。

再者，關於系統之整體構成或資訊處理裝置100之內部構成，因與實施方式1相同，故省略其說明。

【0044】 圖7係對因果結構之修正操作進行說明之說明圖。資訊處理裝置100之控制部101使用實施方式1中揭示之方法，導出觀測變數整體之因果結構，使所導出之因果結構顯示於顯示部105。因果結構藉由有向非循環圖進行描繪。控制部101於導出因果結構之過程中計算出了從一個節點對其他節點之影響度(線性回歸之係數 $b_{ij}$ )，因此亦可基於該影響度而變更節點間之邊之粗細或顏色。例如，於從一個節點對其他節點之影響度相對較高之情形時，亦可使連結該等2個節點間之邊之粗細變粗，亦可以紅色或藍色等與其他邊不同之顏色顯示。

【0045】 於圖7之有向非循環圖中，因邊EG36、EG68示出得較其他邊粗，故表示VI感測器電壓測量值或下部電極之消耗對於蝕刻量之影響度較上部電極之消耗或電壓設定值高。

【0046】 控制部101通過操作部104受理用戶對顯示於顯示部105之有向非循環圖之修正操作。例如，控制部101受理使用操作部104所具備

之滑鼠或觸控面板來新描繪邊之操作。藉由該操作，用戶能夠於任意2個節點間新追加本來應有之邊。又，控制部101亦可受理使用操作部104所具備之滑鼠或鍵盤來選擇作為刪除對象之邊之操作、及為了刪除所選擇之邊而預定之操作(例如，刪除鍵之按下操作)。藉由該操作，用戶能夠刪除不要之邊。進而，控制部101亦可受理使用操作部104所具備之滑鼠或觸控面板來使邊之開始點或結束點移動至其他節點之操作。藉由該操作，用戶能夠變更觀測變數間之因果關係。

【0047】 圖7表示受理了使邊EG17之開始點從節點ND1移動至節點ND3之操作之例。於此情形時，節點ND1、ND7間之邊EG17消失，於節點ND3、ND7間生成新的邊EG7。作為替代，亦可受理刪除邊EG17之操作、及於節點ND3、ND7間描繪新的邊(邊EG37)之操作。

【0048】 圖8係表示用戶所進行之因果結構之修正順序之流程圖。資訊處理裝置100之控制部101以與實施方式1相同之順序導出觀測變數整體之因果結構，使所導出之因果結構顯示於顯示部105(步驟S201)。此時，亦可基於從一個節點對其他節點之影響度而變更邊之粗細或顏色並加以顯示。

【0049】 控制部101針對顯示於顯示部105之因果結構，通過操作部104而受理修正(步驟S202)。控制部101通過操作部104而受理新追加本來應有之邊之操作、刪除不要之邊之操作、變更因果關係之操作等。

【0050】 控制部101基於修正後之因果結構而再計算影響度(步驟S203)。影響度會根據邊之追加或刪除而變化，因此控制部101不使因果結構變化而使用數式1再計算影響度(線性回歸之係數 $b_{ij}$ )。

【0051】 於未充分獲得學習所需之觀測資料之情形等時，僅藉由因

果結構演算法有可能並未將觀測變數間之因果關係充分地修正完全。於實施方式2中，藉由互動之操作，能夠實現誤認邊之刪除或已知之邊之追加，能夠基於用戶之見解而修正因果結構。

**【0052】**（實施方式3）

於實施方式3中，對基於所導出之因果結構而生成預測模型之構成進行說明。

再者，關於系統之整體構成或資訊處理裝置100之內部構成，因與實施方式1相同，故省略其說明。

**【0053】** 圖9係表示預測模型之生成順序之流程圖。資訊處理裝置100之控制部101從記憶部102讀出並執行預測模型生成程式PG2，藉此進行以下處理。再者，關於監視對象之觀測系統之因果結構設為已導出。

**【0054】** 控制部101受理應設為監視對象之結果參數之選擇(步驟S301)。此處，從顯示於顯示部105之因果結構選擇應設為監視對象之一個觀測變數。

**【0055】** 控制部101針對在步驟S301中選擇之結果參數，提取具有直接因果關係之1個或複數個觀測變數(步驟S302)。例如，於假定圖2之因果結構為所導出之因果結構，節點ND8之蝕刻量為在步驟S301中選擇之結果參數之情形時，控制部101提取節點ND6之VI感測器電壓測量值作為與蝕刻量具有直接因果關係之觀測變數。

**【0056】** 控制部101將在步驟S301中選擇之結果參數設為目標變數，將在步驟S302中選擇之觀測變數設為說明變數，生成預測模型(步驟S303)。預測模型可使用任意模型。例如，於結果參數(=Y)與作為說明變數提取之觀測變數(=x)之間的關係由線性函數表示之情形時，可將預測模

型記述為 $Y=ax+b$ 。因已獲得了關於結果參數 $Y$ 及觀測變數 $x$ 之觀測資料，故可藉由使用其等之觀測資料使上述預測模型最佳化而求出係數 $a$ 、 $b$ 。預測模型不限於線性函數，可使用任意函數。又，預測模型亦可為機器學習之學習模型。

【0057】如上所述，於實施方式3中，可在指定了結果參數之情形時，基於所導出之因果結構，提取具有直接因果關係之觀測變數，生成根據觀測變數預測結果參數之預測模型。即，於實施方式3中，可排除處於偽關係之參數，生成對能夠改變結果之因素強韌之預測模型。

【0058】再者，於本實施方式3中，選用了控制部101提取與結果參數具有直接因果關係之觀測變數(說明變數)之構成，但亦可由用戶任意選擇說明變數。用戶參照顯示於顯示部105之因果結構，使用操作部104，選擇與應設為說明變數之觀測變數對應之節點即可。例如，於圖2之因果結構中，在將節點ND8之蝕刻量設為結果參數時，作為說明變數提取之觀測變數為VI感測器電壓測量值，但用戶若希望，則可將不具有直接因果關係之OES等觀測變數添加至說明變數。

#### 【0059】(實施方式4)

於實施方式4中，對使用所生成之預測模型進行結果預測之構成進行說明。

再者，關於系統之整體構成或資訊處理裝置100之內部構成，因與實施方式1相同，故省略其說明。

【0060】圖10係表示結果預測之執行順序之流程圖。資訊處理裝置100之控制部101於生成預測模型後，從記憶部102讀出並執行預測程式PG3，藉此進行以下處理。

【0061】 控制部101從作為監視對象之觀測系統之基板處理裝置200獲取與預測模型之說明變數對應之觀測資料(步驟S401)。若說明變數為VI感測器電壓測量值，則控制部101獲取由VI感測器獲得之電壓測量值之資料。

【0062】 控制部101將所獲取之觀測資料輸入至預測模型，預測結果(步驟S402)。控制部101藉由執行使用預測模型之運算，能夠預測結果。

【0063】 控制部101將步驟S402中所預測之結果與基準值進行比較(步驟S403)，判斷是否滿足基準值(步驟S404)。於判斷為滿足基準值之情形時(S404：是)，控制部101判斷在基板處理裝置200中實施之製程正常，而結束本流程圖之處理。

【0064】 另一方面，於判斷為不滿足基準值之情形時(S404：否)，控制部101判斷在基板處理裝置200中實施之製程不正常，而輸出警報(步驟S405)，結束本流程圖之處理。控制部101例如藉由將表示製程不正常之意之資訊顯示於顯示部105而輸出警報。作為替代，控制部101亦可將表示製程不正常之意之資訊通過通訊部103而通知給用戶終端(未圖示)。

【0065】 如上所述，於實施方式4中，可使用預測模型預測結果，判斷所預測之結果是否滿足基準值，藉此判斷在基板處理裝置200中實施之製程是否正常。

#### 【0066】 (實施方式5)

於實施方式5中，對基於因果結構而推定針對一個觀測變數之變動原因之構成進行說明。

再者，關於系統之整體構成或資訊處理裝置100之內部構成，因與實

施方式1相同，故省略其說明。

【0067】 於實施方式5中，利用所導出之因果結構，針對變動原因不明之觀測變數，確認變動了之觀測變數之上游，藉此特定出變動原因。

【0068】 圖11係對變動原因之推定方法進行說明之說明圖。假定獲得了圖2所示之因果結構作為觀測變數之因果結構。參照因果結構可知，作為對節點ND6之VI感測器電壓測量值造成影響之觀測變數，存在節點ND3之下部電極消耗、節點ND4之上部電極消耗及節點ND5之電壓設定值。又可知，作為對節點ND7之VI電流測量值造成影響之觀測變數，存在節點ND3之下部電極消耗及ND6之VI感測器電壓測量值。

【0069】 VI感測器電壓測量值及VI感測器電流測量值由以下之計算式表示。

【0070】 
$$\text{VI感測器電壓測量值} = w1 \times \text{電壓設定值} + w2 \times \text{下部電極消耗} + w3 \times \text{上部電極消耗}$$

$$\text{VI感測器電流測量值} = w4 \times \text{VI感測器電壓測量值} + w5 \times \text{下部電極消耗}$$

此處， $w1 \sim w5$ 係以邊之影響度表達之係數。

【0071】 圖11之上段表示電壓設定值之時間變動，中段表示VI感測器電壓測量值之時間變動，下段表示VI感測器電流測量值之時間變動。若無下部電極及上部電極之消耗，則VI感測器電壓測量值可僅用電壓設定值來說明，因此應該如中段之圖中以虛線所示般變動。然而，於實際之測量值如以實線所示般變動之情形時，推測VI感測器電壓測量值受到了下部電極及上部電極之消耗之影響。即，推測中段之圖中以虛線所示之圖與以實線所示之圖之間之差量包含起因於下部電極之消耗之差量 $\Delta V1$ 及起因於上部電極之消耗之差量 $\Delta V2$ 。

【0072】 同樣，若無下部電極之消耗，則VI感測器電流測量值可僅用VI感測器電壓測量值來說明，因此應該如下段之圖中以虛線所示般變動。然而，於實際之測量值如以實線所示般變動之情形時，推測VI感測器電流測量值受到了下部電極之消耗之影響。即，推測下段之圖中以虛線所示之圖與以實線所示之圖之間之差量包含起因於下部電極之差量 $\Delta I$ 。

【0073】 控制部101藉由以VI感測器電壓測量值及VI感測器電流測量值之推定結果與實測值相符之方式進行最佳化，能夠推定下部電極及上部電極之消耗度。

【0074】 圖12係表示變動原因之推定順序之流程圖。資訊處理裝置100之控制部101於導出因果結構後，從記憶部102讀出並執行原因推定程式PG4，藉此進行以下處理。

【0075】 控制部101假定無變動原因，基於邊之影響度而進行回歸，推定各觀測變數(步驟S501)。

【0076】 控制部101將觀測變數之實測值與推定值進行比較(步驟S502)。實測值與推定值大幅不同之觀測變數可視為因變動原因要素之介入而變動者。

【0077】 控制部101以填補實測值與推定值之間之差量之方式使變動原因之變動度最佳化，將經最佳化之變動度相對較大者推定為變動原因(步驟S503)。

【0078】 圖13係表示應對資訊之輸出順序之流程圖。控制部101於推定變動原因後，視需要執行以下處理。

【0079】 控制部101從因果結構搜尋能夠抑制變動原因之影響之觀測變數(步驟S521)，判斷是否有符合之觀測變數(步驟S522)。

【0080】 於搜尋到能夠利用基板處理裝置200進行控制之變數(例如，電壓設置值等)之情形時，判斷為有符合之觀測變數(S522：是)，控制部101將利用觀測變數抑制變動原因作為應對資訊而輸出(步驟S523)。應對資訊顯示於顯示部105。作為替代，應對資訊通過通訊部103而通知給用戶終端。

【0081】 於搜尋到能夠利用基板處理裝置200進行控制之變數(例如，下部電極或上部電極之消耗等)之情形時，判斷為無符合之觀測變數(S522：否)，控制部101將去除或更換變動原因作為應對資訊而輸出(步驟S524)。應對資訊顯示於顯示部105。作為替代，應對資訊通過通訊部103而通知給用戶終端。

【0082】 如上所述，於實施方式5中，可推定針對一個觀測變數之變動原因，將針對該變動原因之應對資訊提示給用戶。

【0083】 (實施方式6)

於實施方式6中，對基於用戶之見解而推定變動原因之構成進行說明。

再者，關於系統之整體構成或資訊處理裝置100之內部構成，因與實施方式1相同，故省略其說明。

【0084】 圖14係說明對變動原因候補進行縮小範圍時之操作之說明圖。假定已獲得如圖14所示之因果結構，並要調查針對節點ND8之蝕刻量之變動原因。於此情形時，節點ND8之上游之節點ND6(VI感測器電壓測量值)、以及進而其上游之ND3(下部電極消耗)、ND4(上部電極消耗)及ND5(電壓設定值)成為變動原因候補。資訊處理裝置100之控制部101例如變更該等節點ND3、ND4、ND5、ND6、ND8之顏色而顯示於顯示部

105。亦可變更節點之大小或變更連結節點間之邊之粗細而變更變動原因候補之顯示態樣來代替變更節點之顏色而顯示之構成。

【0085】 控制部101通過操作部104而受理對變動原因候補進行縮小範圍之用戶之操作。用戶能夠藉由參照顯示於顯示部105之因果結構，確認針對變動原因候補所獲得之觀測資料，而高效率地對可能性進行縮小範圍。例如，若VI感測器電壓測量值與蝕刻量之間之關係正常，則能夠將VI感測器電壓測量值從變動原因候補排除。控制部101於受理了針對節點ND6之選擇操作(例如，點選操作)之情形時，將節點ND6之VI感測器電壓測量值從變動原因候補排除，使節點ND6之顯示態樣還原。

【0086】 為了對變動原因候補進一步進行縮小範圍，亦可驗證處於候補之下游之觀測變數之變動。例如，為了驗證節點ND3之下部電極消耗之影響，亦可確認ND6之VI感測器電壓測量值及節點ND7之VI感測器電流測量值，驗證下部電極消耗之影響。此時，若VI感測器電壓測量值與VI感測器電流測量值之間之關係正常，則能夠將下部電極消耗從變動原因候補排除。控制部101於受理了針對節點ND3之選擇操作(例如，點選操作)之情形時，將節點ND3之下部電極消耗從變動原因候補排除，使節點ND3之顯示態樣還原。

【0087】 藉由以上，變動原因候補被縮小範圍至ND4之上部電極消耗及ND5之電壓設定值兩者，因此控制部101輸出提示更換上部電極之資訊作為應對資訊。又，控制部101輸出提示調整電壓設定值之資訊作為應對資訊。

【0088】 圖15係表示受理變動原因之縮小範圍操作時之順序之流程圖。資訊處理裝置100之控制部101於導出因果結構後，從記憶部102讀出

並執行原因推定程式PG4，藉此進行以下處理。

【0089】 控制部101針對由用戶指定之一個觀測變數，提取成為變動原因候補之1個或複數個觀測變數(步驟S601)。控制部101變更與所提取之觀測變數對應之節點之顯示態樣(步驟S602)。控制部101亦可針對與由用戶指定之一個觀測變數對應之節點亦同樣地變更顯示態樣。

【0090】 控制部101通過操作部104而受理選擇應當從變動原因候補排除之觀測變數之選擇操作(步驟S603)，將所選擇之觀測變數從變動原因候補排除(步驟S604)。於步驟S603-S604中，驗證之結果為，將用戶判斷為無問題之觀測變數或根據用戶之見解而無關聯之觀測變數從變動原因候補排除。於進而存在處於上游之觀測變數之情形時，重複執行步驟S603-S604之處理。

【0091】 控制部101判斷於變動原因候補之下游是否存在變動未驗證之觀測變數(步驟S605)，於存在未驗證之觀測變數之情形時(S605：是)，提示用戶進行驗證(步驟S606)。用戶確認下游之觀測變數之變動，若無變動，則從變動原因候補排除。即，控制部101通過操作部104而受理選擇應當從變動原因候補排除之觀測變數之選擇操作(步驟S607)，將所選擇之觀測變數從變動原因候補排除(步驟S608)。於在步驟S605中判斷在下游無未驗證之觀測變數之情形時(S605：否)，控制部101使處理移行至步驟S609。

【0092】 控制部101基於按步驟S603～S608之順序縮小範圍後之變動原因候補，輸出應對資訊(步驟S609)。應對資訊顯示於顯示部105。作為替代，應對資訊通過通訊部103而通知給用戶終端。

【0093】 如上所述，於實施方式6中，能夠基於用戶所進行之驗證

或用戶之見解而對變動原因候補進行縮小範圍。又，能夠基於縮小範圍後之變動原因候補而對用戶提示應對資訊。

**【0094】**（實施方式7）

於實施方式7中，對在非線性系統中之應用例進行說明。

再者，關於系統之整體構成或資訊處理裝置100之內部構成，因與實施方式1相同，故省略其說明。

**【0095】** 針對線性系統，進行特徵量之選擇或因果結構之學習，對說明變數進行縮小範圍，藉此能夠構建說明性較高且強韌之預測模型或可信任之異常原因特定模型。

**【0096】** 另一方面，針對非線性系統，大多構建將設定參數設為說明變數、將處於結果中之參數設為目標變數並使用隨機森林或高斯過程回歸等之預測模型。於非線性系統中，難以特定出因果結構或函數類型，模型會黑盒化，因此對各個說明變數以何種方式對目標變數之變動造成影響之說服力較低，無法進行設定值之微調整或可靠性較高之結果變動之修正。又，即便於預先作為領域知識而知曉部分性之函數類型等之情形時，亦無法添加利用其進行之修正或制約，因此僅憑統計處理性之方法難以製成反映部分性之函數類型或領域知識之模型。

**【0097】** 因此，於實施方式7中，對針對具有非線性因果關係之參數，使用雖不會特定出準確之函數類型但能夠特定出有無關係性之方法來執行因果結構之學習之方法進行說明。

**【0098】** 圖16係表示實施方式7中之因果結構之導出順序之流程圖。資訊處理裝置100之控制部101從記憶部102讀出並執行因果結構學習程式PG1，藉此進行以下處理。

【0099】 控制部101從作為監視對象之觀測系統的基板處理裝置200獲取與複數種觀測變數對應之觀測資料(步驟S701)。控制部101所獲取之觀測資料包含藉由基板處理裝置200測量之資料或藉由基板處理裝置200設定之資料。控制部101經由通訊部103而與基板處理裝置200通訊，藉此獲取該等觀測資料。

【0100】 控制部101基於所獲取之觀測資料，搜尋觀測變數間之因果關係(步驟S702)。於搜尋因果關係時，作為預處理，可選擇用於因果結構之導出之觀測變數，亦可使用基板處理裝置200中之製程之先驗知識而於觀測變數間附加制約條件。函數類型雖不明，但能夠進行包含非線性之搜尋之演算法為已知，因此控制部101藉由使用該演算法搜尋觀測變數間之因果關係而導出觀測變數整體之因果結構。於導出因果結構後，亦可根據與實施方式1相同之順序，檢測針對一個節點而從具有共線性之其他複數個節點繪製之邊，將除了精度最佳之邊以外者指定為禁止邊。

【0101】 控制部101針對各因果關係推定函數類型(步驟S703)。此時，控制部101基於基板處理裝置200之領域之制約或見解而推定函數類型即可。

【0102】 控制部101藉由將所推定之函數類型導入至在步驟S702中導出之因果結構，而進行因果結構之插補(步驟S704)。可使所導出之因果結構顯示於顯示部105，亦可通過通訊部103而通知給用戶終端(未圖示)。

【0103】 圖17係表示插補了函數類型之因果結構之一例之模式圖。因果結構與實施方式1同樣藉由使用表示各觀測變數之節點及表示節點間之因果關係之邊的有向非循環圖進行描繪。於圖17中，為了簡化而僅摘錄8個觀測變數，示出插補了觀測變數間之函數類型之因果結構。

【0104】 圖17所示之有向非循環圖係由與8個觀測變數對應之節點ND1～ND4、ND7～ND10及與2個函數對應之節點ND5、ND6以及表示節點間之因果關係之邊EG15、EG25、EG28、EG35、EG36、EG46、EG57、EG68、EG79、EG810所構成。於圖17之例中，利用正八邊形之圖符表示節點ND1～ND10，但圖符之形狀並不限於正八邊形，亦可為圓形或其他形狀。圖符之內部所示之字串表示各觀測變數之變數名或函數類型。

【0105】 於圖17之例中，將表示觀測變數之節點ND1～ND4、ND7～ND10及表示函數之節點ND5、ND6改變顏色而表示。除了改變圖符之顏色而表示以外，宜改變圖符之形狀而表示等使顯示態樣不同來顯示。又，於圖17之例中，觀測變數間之邊以實線表示，表示對函數之輸入及從函數之輸出之邊以虛線表示。除了改變線種類而表示以外，宜改變顏色而表示等使顯示態樣不同來顯示。又，亦可以能夠區分設定值及觀測值之節點之方式使顯示態樣不同來顯示。

【0106】 如上所述，於實施方式7中，能夠基於從監視對象之觀測系統(基板處理裝置200)獲得之觀測資料，導出考慮了觀測變數間之非線性之因果結構，而提示給用戶。

【0107】 再者，於實施方式7中，選用了藉由在有向非循環圖中導入表示函數類型之節點而使非線性關係可視化之構成，但亦可對非線性關係進行圖顯示。圖18係表示非線性關係之圖顯示之例之模式圖。圖18示出了觀測變數A、B、C之間有 $C=B \times \cos(A)$ 之關係之情形時之顯示例。於圖18中，示出了觀測變數A之值固定，利用滑塊使觀測變數B之值改動而致使觀測變數C以何種方式變動之情況。

**【0108】（實施方式8）**

於實施方式8中，對作為製程開發時之知識而使從實驗資料學習之因果結構可視化之構成進行說明。

**【0109】** 圖19係表示作為製程機制之知識而可視化之例之模式圖。圖19表示使氣體A之流量(Gas A Flow)、氣體B之流量(Gas B Flow)、RF(Radio Frequency, 射頻)功率(RF1 Pow)與蝕刻速率(E/R)之間之關係作為各觀測變數之因果關係而可視化之例。即便取1個蝕刻速率，亦難以把握使氣體流量、RF功率、DC(Direct Current, 直流)偏壓等以何種程度變動較為合適，若不參照包括感測器在內之總覽之知識，則難以判斷什麼發生了偏移。因此，基於從實驗中獲得之觀測資料，使用與圖7相同之方法製成因果結構，如圖19所示地進行可視化，藉此能夠以容易將特徵量間之關係作為知識來參照、有效利用之方式留下。

**【0110】** 如上所述，於實施方式8中，藉由能夠以因果結構之形式留下，而能夠給熟練者以外亦以能夠展開之形式留下知識。又，藉由包含函數類型在內而形式化、可視化為因果結構，可獲得應當使設定值以何種方式變動而進行實驗等用以接近所需之結果之知識。

**【0111】（實施方式9）**

於實施方式9中，對總覽地預測製程整體，預知、防止故障或異常之構成進行說明。

**【0112】** 圖20係表示用於故障預知之因果結構之例之模式圖。於圖20所示之因果結構中，若僅限制DC電壓(DC Volt)或冷卻溫度(Brine temp)之設定值係無法直接指定DC電流(DC Current)或下部電極溫度(Lower temp)。例如，蝕刻速率(E/R)預計會因電漿流量或能量之增大而

提高，但另一方面，預想電極溫度會上升。因此，於使DC電壓上升至極限之情形時，存在因電極之加熱而損壞之虞。

【0113】 因此，需要總覽製程整體，對照因果結構來判斷感測器值有無表現異常之處。即，能夠並不限定於各部之預測，而是藉由總覽整體而不忽略故障之危險。

【0114】 具體而言，控制部101基於因果結構，製成能夠執行製程之範圍(製程窗口)之表格來提示給用戶即可。在位於製程窗口外之情形時，控制部101亦可提出以最小限度之修正來落入窗口內之替代配方。

【0115】 圖21係表示製程窗口之製成順序之流程圖。控制部101以與實施方式7相同之順序製成針對非線性關係插補了函數類型之因果結構，基於製成之因果結構，生成表示感測器值是否落入容許範圍之判定模型(步驟S901)。

【0116】 控制部101使用所生成之判定模型，生成表示針對流動之設定值為能之範圍之多維表格(步驟S902)。例如，於生成與RF功率1及RF功率2等2個設定值有關之表格(二維表格)之情形時，生成在(RF功率1, RF功率2)這2個設定值之組合為(1000 V, 100 V)之情形時為不能、在為(1000 V, 200 V)之情形時為能……等表格即可。

【0117】 控制部101基於所生成之多維表格，提示與固定值之設定對應之製程窗口(步驟S903)。例如，將RF功率1(或RF功率2)固定，將RF功率2(或RF功率1)之範圍生成為製程窗口，顯示於顯示部105即可。

【0118】 如上所述，於實施方式9中，能夠預防實驗時因二次效應引起之故障。

【0119】 各實施方式中記載之事項能夠相互組合。又，發明申請專

利範圍中記載之獨立請求項及附屬請求項無論引用形式為何，於所有組合中，均能夠相互組合。進而，發明申請專利範圍中使用了記載引用其他2個以上請求項之請求項之形式(多項附屬項形式)，但並不限於此。亦可使用記載引用至少一個多項附屬項之多項附屬項(多項引多項)之形式來記載。

【0120】 應當認為本次揭示之實施方式於所有方面均為例示且並非限制性者。本發明之範圍並不由上述含義所示，而是由發明申請專利範圍所示，意圖包含與發明申請專利範圍均等之含義及範圍內之所有變更。

【0121】 例如，於實施方式中，作為監視對象之觀測系統，舉出基板處理裝置200為例進行了說明。監視對象之觀測系統不限於基板處理裝置200，亦可為執行電氣設備、化學工業製品、醫藥品、食品、化學工業製品等任意製造製程之製造裝置。又，監視對象之觀測系統不限於實施某些製造製程之裝置或系統，亦可為適當組合人之生活環境或經濟活動、氣象環境等之任意系統。

#### 【符號說明】

##### 【0122】

100:資訊處理裝置

101:控制部

102:記憶部

103:通訊部

104:操作部

105:顯示部

200:基板處理裝置

- EG12:邊
- EG15:邊
- EG17:邊
- EG25:邊
- EG28:邊
- EG35:邊
- EG36:邊
- EG37:邊
- EG46:邊
- EG56:邊
- EG57:邊
- EG62:邊
- EG67:邊
- EG68:邊
- EG78:邊
- EG79:邊
- EG810:邊
- ND1:節點
- ND2:節點
- ND3:節點
- ND4:節點
- ND5:節點
- ND6:節點

- ND7:節點
- ND8:節點
- ND9:節點
- ND10:節點
- PG1:因果結構學習程式
- PG2:預測模型生成程式
- PG3:預測程式
- PG4:原因推定程式
- RM:記錄媒體
- S101:步驟
- S102:步驟
- S103:步驟
- S104:步驟
- S105:步驟
- S201:步驟
- S202:步驟
- S203:步驟
- S301:步驟
- S302:步驟
- S303:步驟
- S401:步驟
- S402:步驟
- S403:步驟

- S404:步驟
- S405:步驟
- S501:步驟
- S502:步驟
- S503:步驟
- S521:步驟
- S522:步驟
- S523:步驟
- S524:步驟
- S601:步驟
- S602:步驟
- S603:步驟
- S604:步驟
- S605:步驟
- S606:步驟
- S607:步驟
- S608:步驟
- S609:步驟
- S701:步驟
- S702:步驟
- S703:步驟
- S704:步驟
- S901:步驟

S902:步驟

S903:步驟

$\Delta I$ :差量

$\Delta V1$ :差量

$\Delta V2$ :差量

## 【發明申請專利範圍】

### 【請求項1】

一種電腦程式，其用以使電腦執行如下處理：

從監視對象之觀測系統獲取與複數種觀測變數對應之觀測資料；

基於所獲取之觀測資料，導出上述觀測系統中之觀測變數之因果結構；

基於所導出之因果結構，提取成為一個觀測變數之變動原因候補之1個或複數個其他觀測變數；以及

輸出提取結果。

### 【請求項2】

如請求項1之電腦程式，其用以使上述電腦執行如下處理：

使用表示各觀測變數之節點及表示節點間之因果關係之邊，生成表示上述因果結構之有向非循環圖；以及

顯示所生成之有向非循環圖。

### 【請求項3】

如請求項2之電腦程式，其用以使上述電腦執行如下處理：

變更與所提取之1個或複數個其他觀測變數對應之節點之顯示態樣；

受理從變更了顯示態樣之節點中對變動原因候補進行縮小範圍之操作；以及

基於縮小範圍後之變動原因候補，輸出用以抑制上述一個觀測變數之變動之應對資訊。

### 【請求項4】

如請求項1之電腦程式，其中

上述觀測變數間之關係之一部分具有非線性。

**【請求項5】**

如請求項4之電腦程式，其用以使上述電腦執行如下處理：

於上述具有非線性之觀測變數間之間，插補表示上述觀測變數間之關係之函數類型之節點。

**【請求項6】**

如請求項4之電腦程式，其用以使上述電腦執行如下處理：

以不同之顯示態樣顯示具有線性之觀測變數間之節點及具有非線性之觀測變數間之節點。

**【請求項7】**

如請求項4之電腦程式，其用以使上述電腦執行如下處理：

利用圖來顯示上述具有非線性之觀測變數間之關係。

**【請求項8】**

一種資訊處理裝置，其具備：

獲取部，其從監視對象之觀測系統獲取與複數種觀測變數對應之觀測資料；

導出部，其基於所獲取之觀測資料，導出上述觀測系統中之觀測變數之因果結構；

提取部，其基於所導出之因果結構，提取成為一個觀測變數之變動原因候補之1個或複數個其他觀測變數；以及

輸出部，其輸出提取結果。

**【請求項9】**

一種資訊處理方法，其藉由電腦執行如下處理：

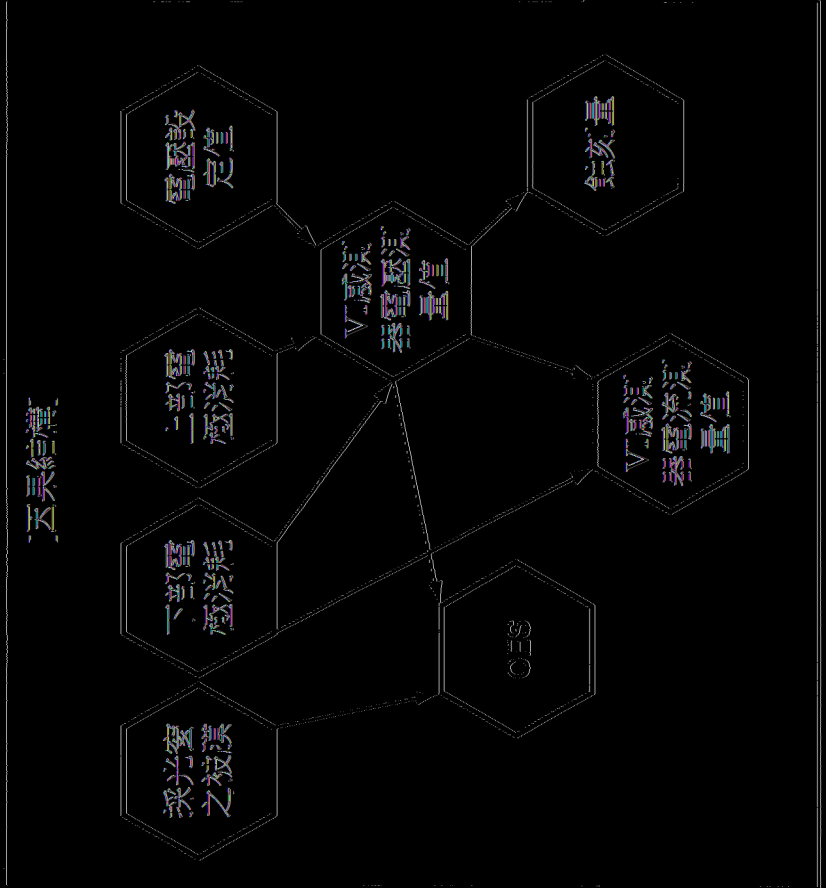
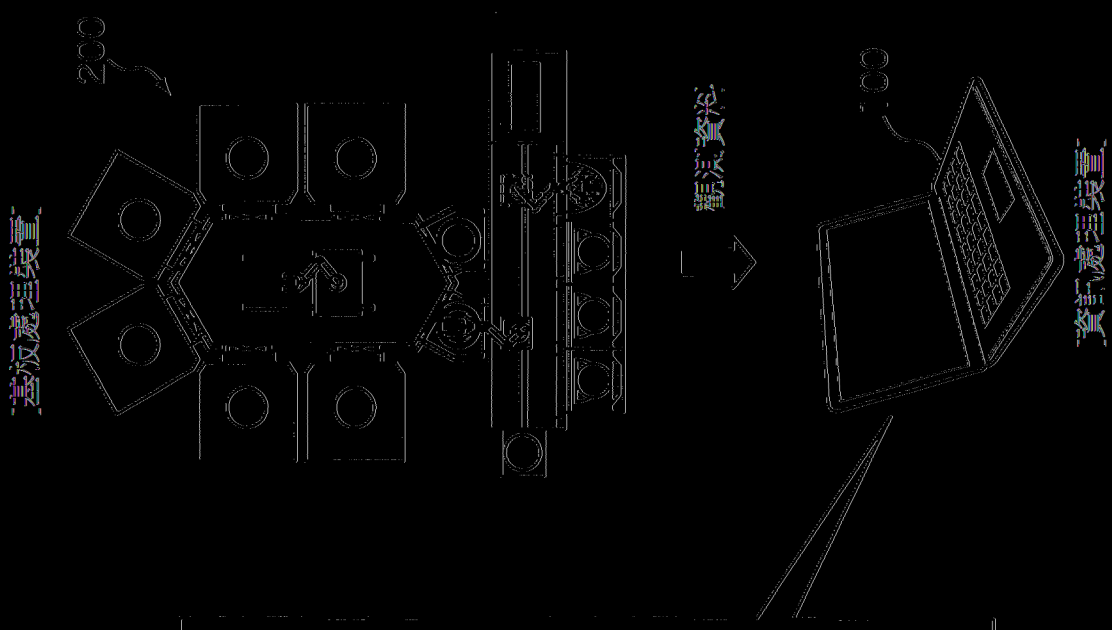
從監視對象之觀測系統獲取與複數種觀測變數對應之觀測資料；

基於所獲取之觀測資料，導出上述觀測系統中之觀測變數之因果結構；

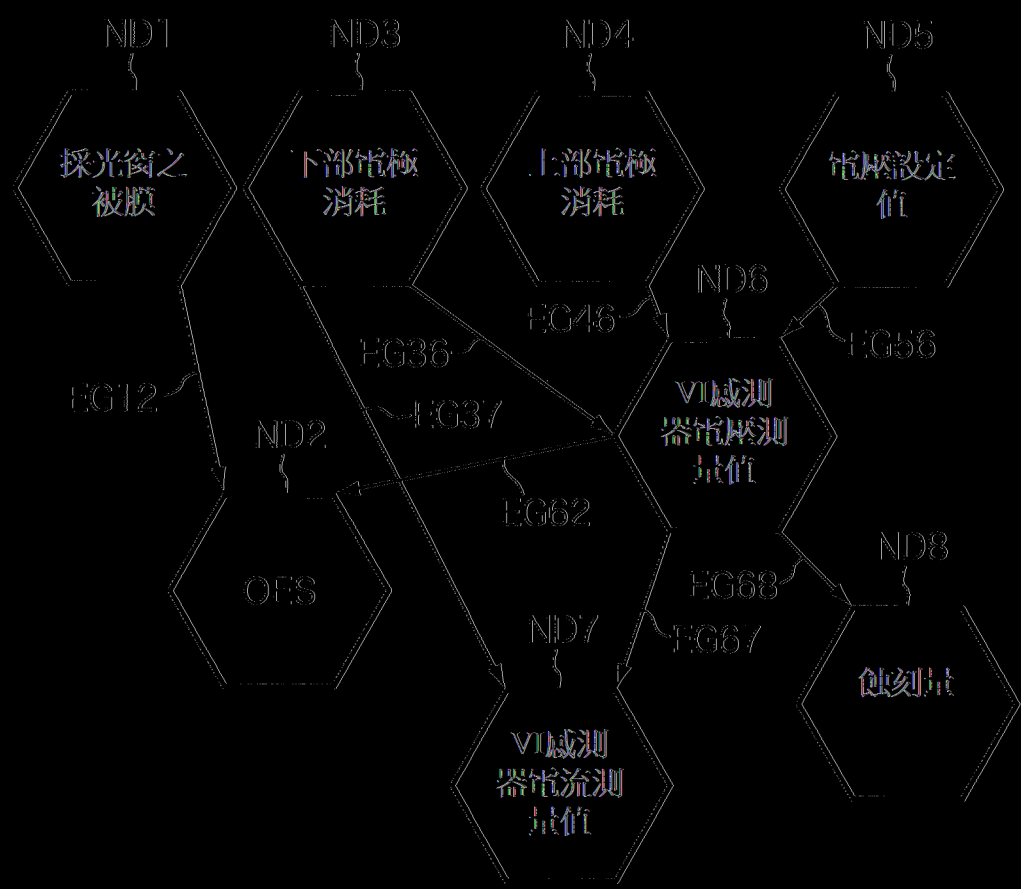
基於所導出之因果結構，提取成為一個觀測變數之變動原因候補之1個或複數個其他觀測變數；以及

輸出提取結果。

(發明圖式)

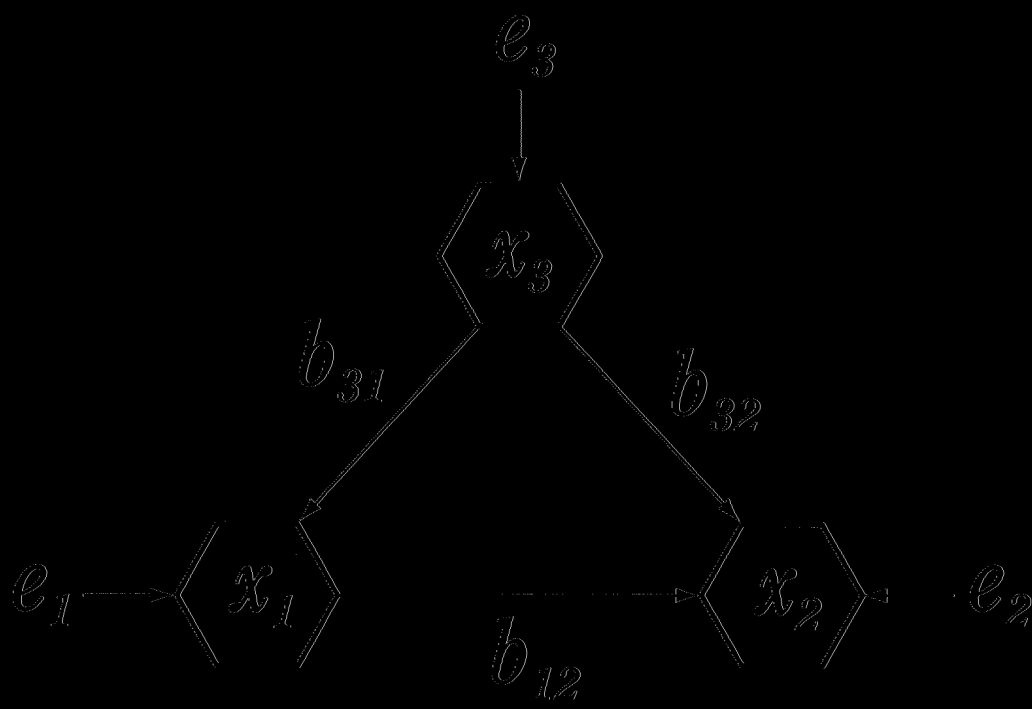


【圖2】

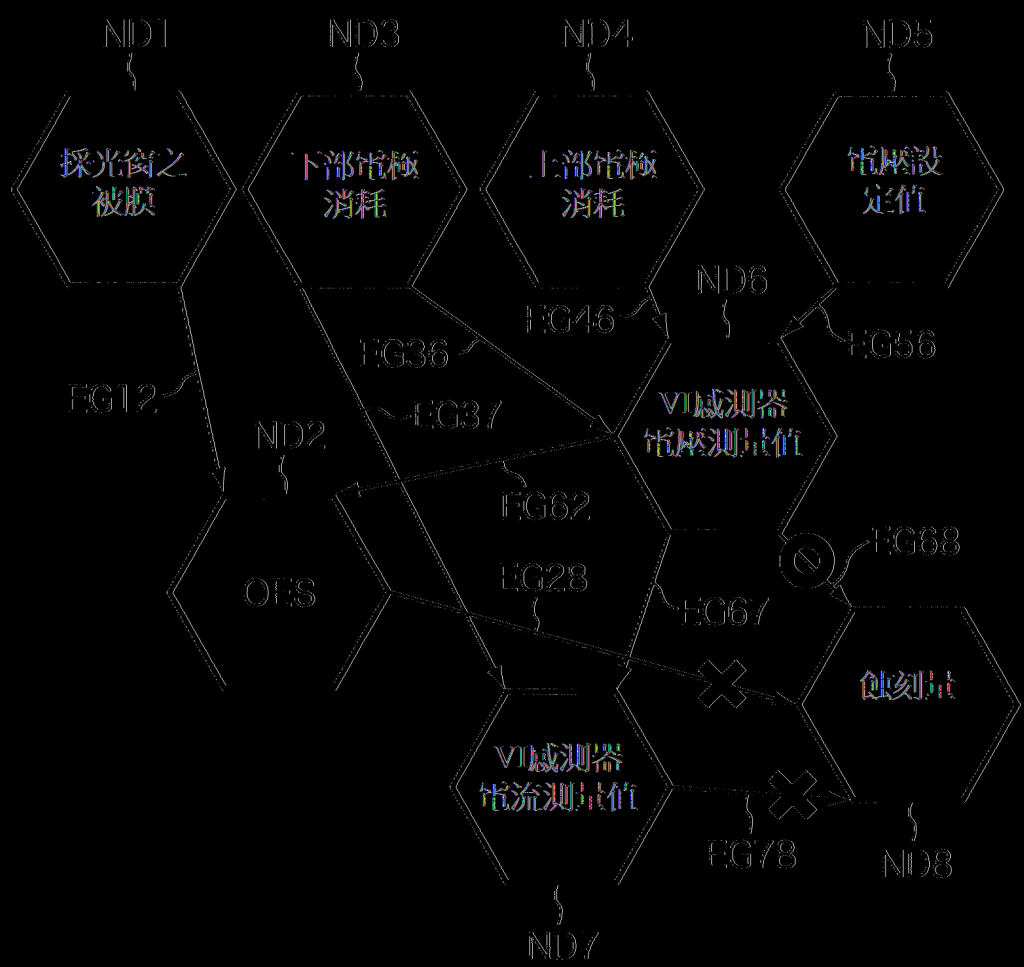


〔圖2〕

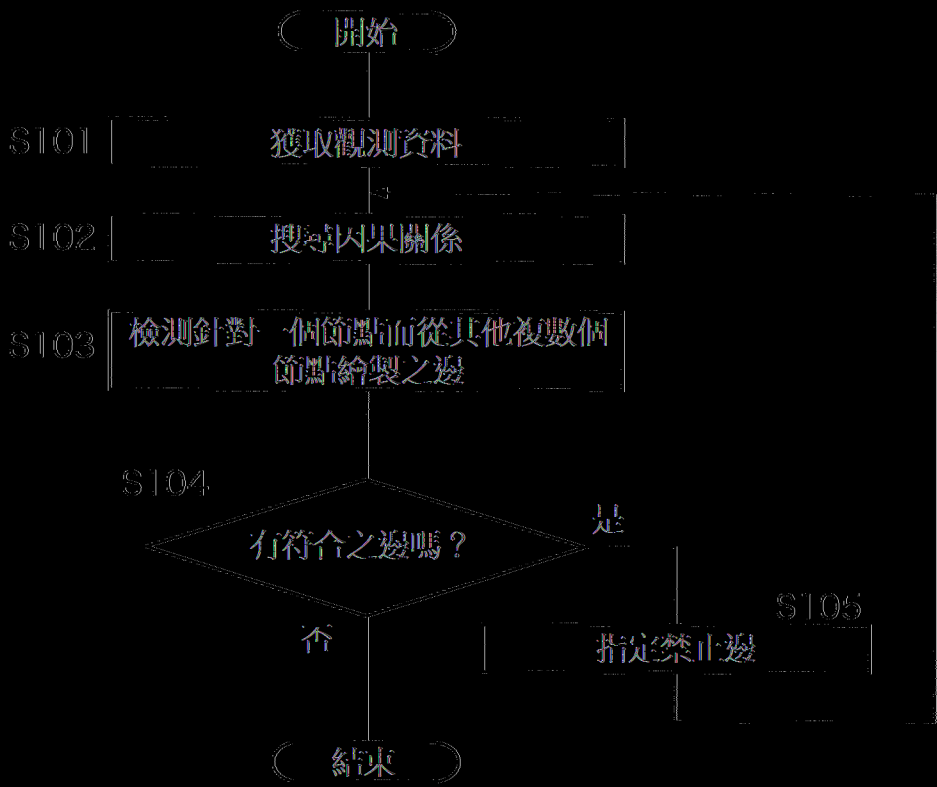




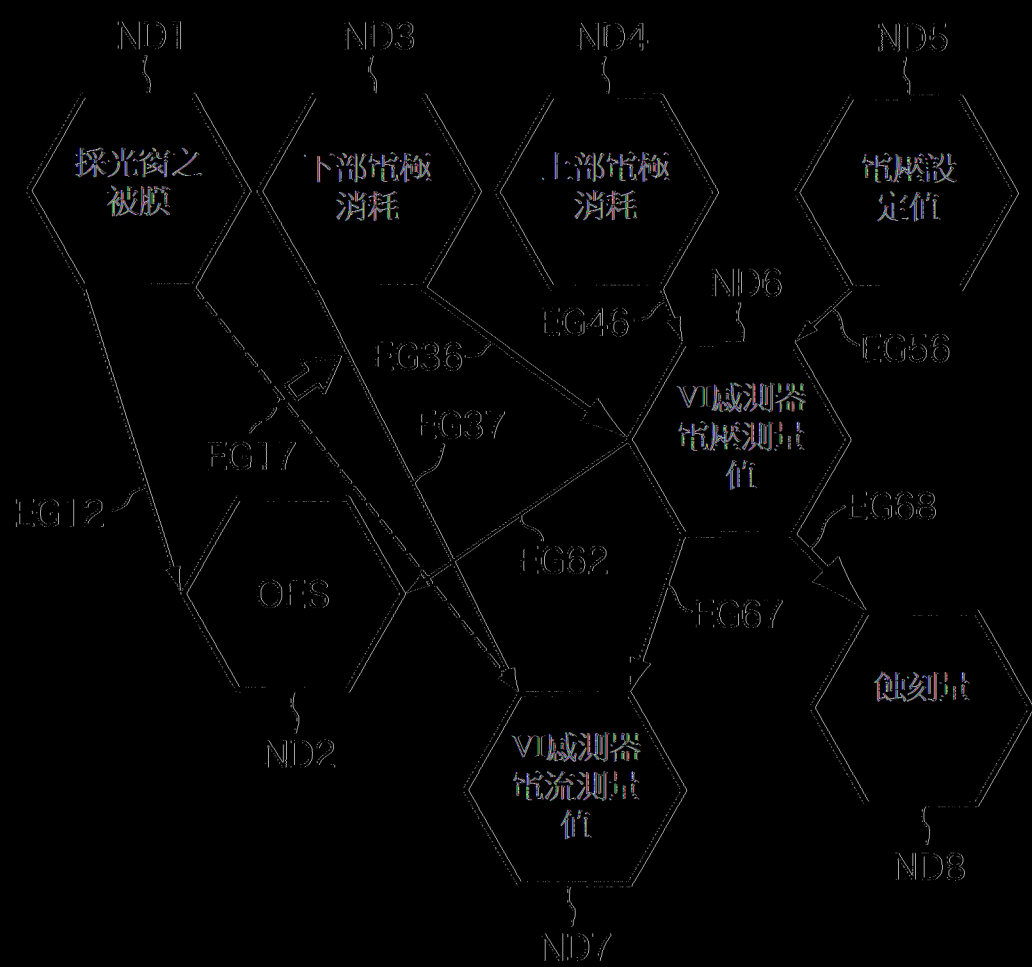
[(圖4)]



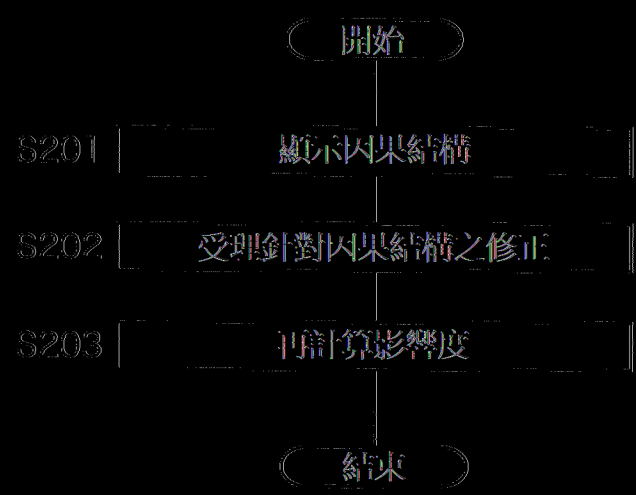
[(圖5)]



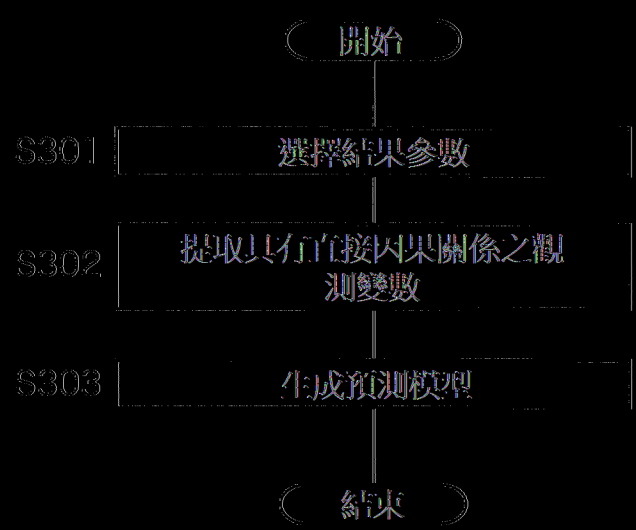
|(圖6)|



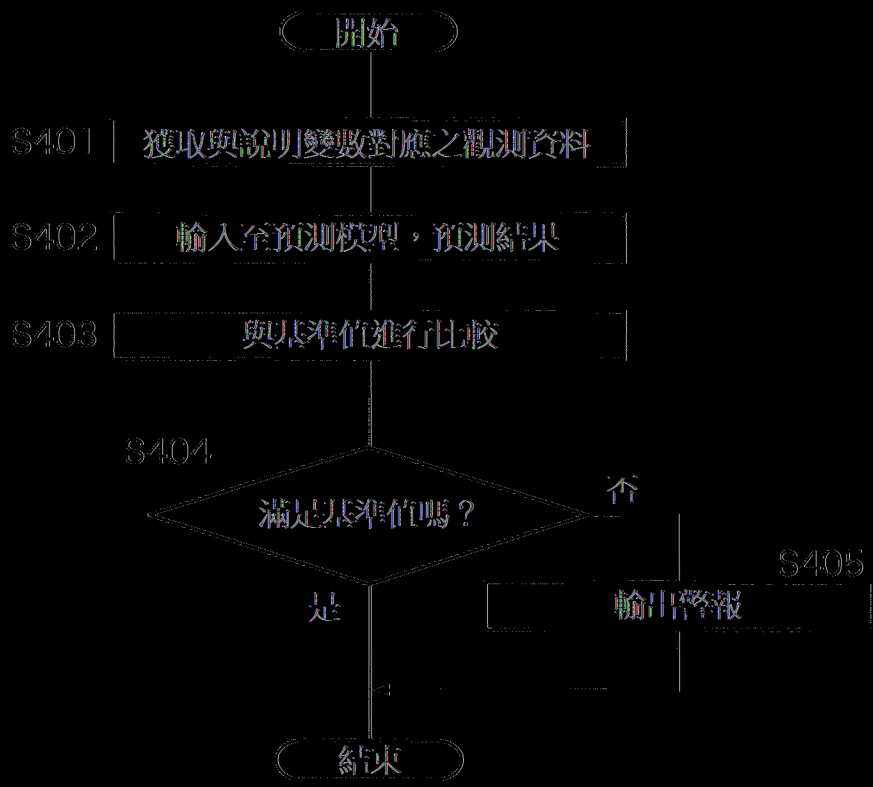
〔圖7〕



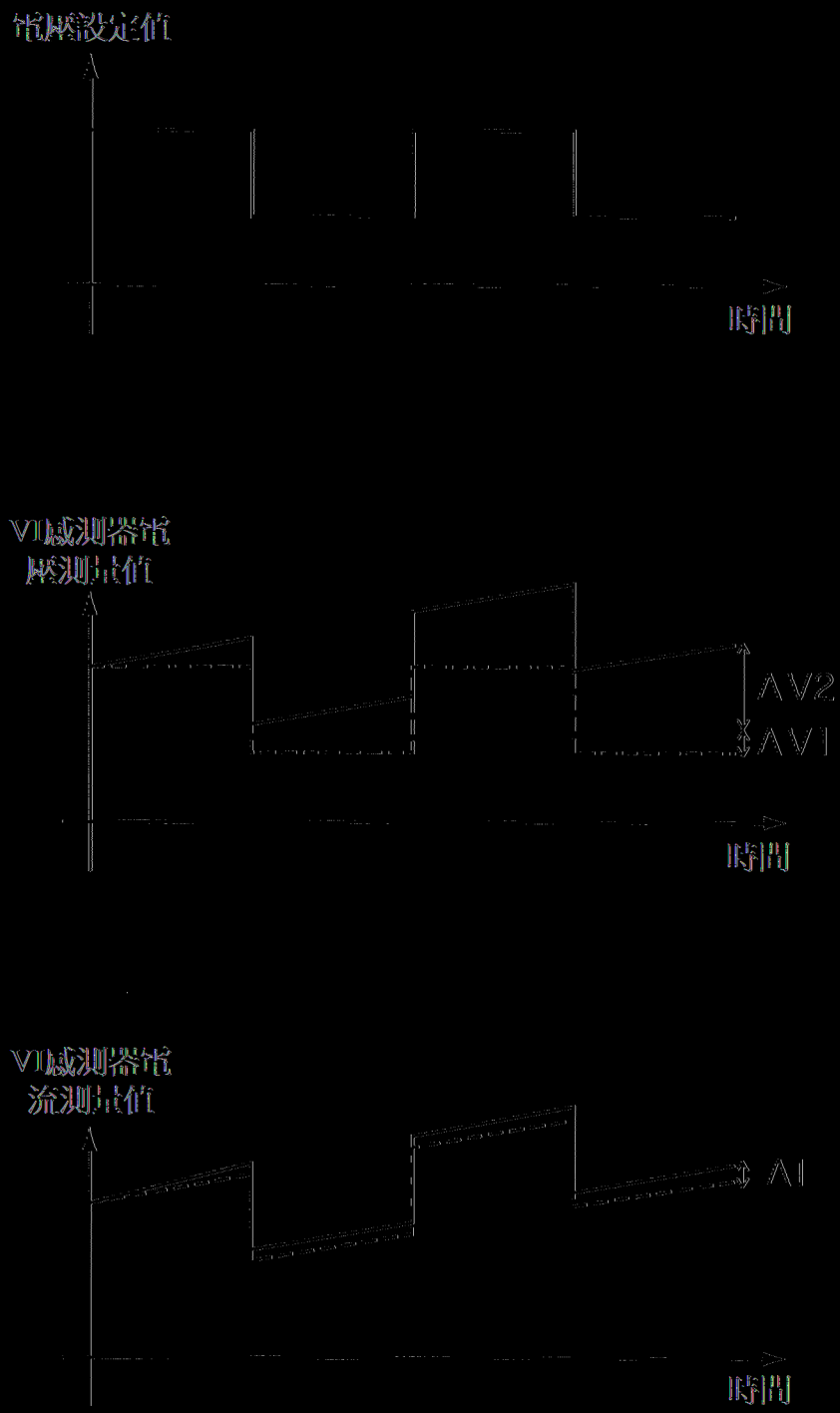
〔圖8〕



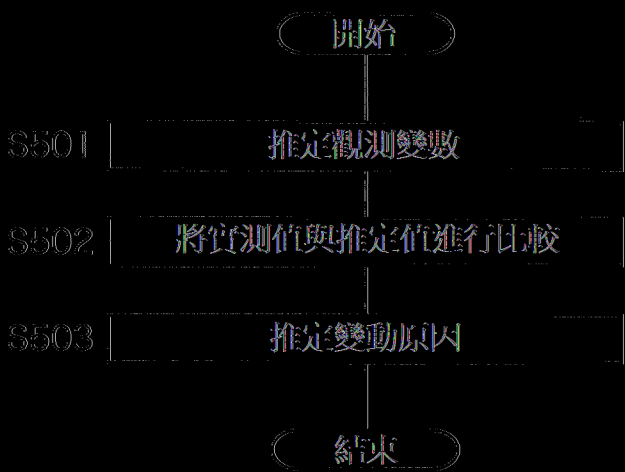
[(圖9)]



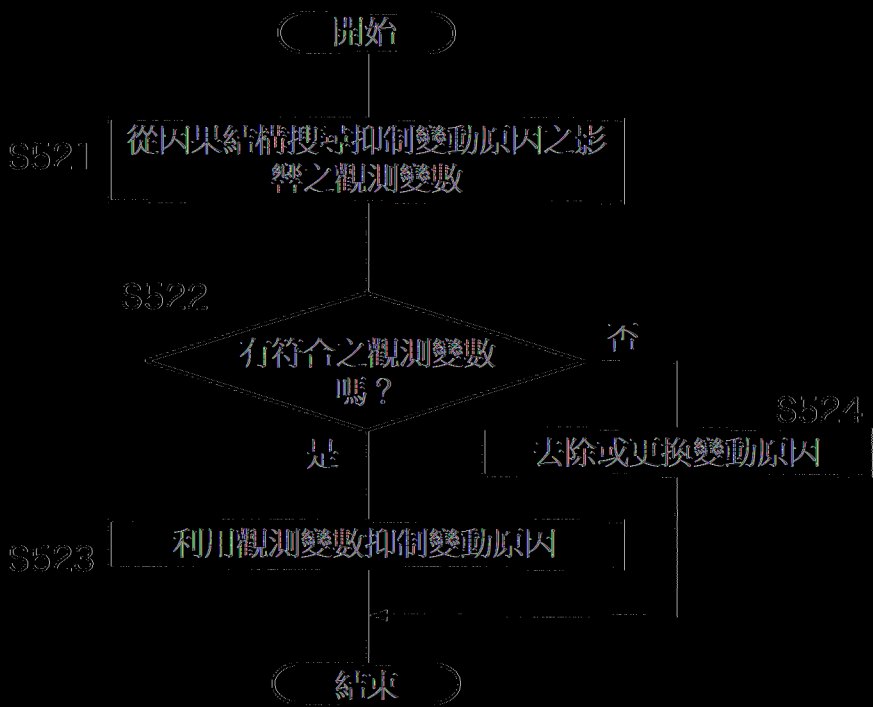
[(圖10)]



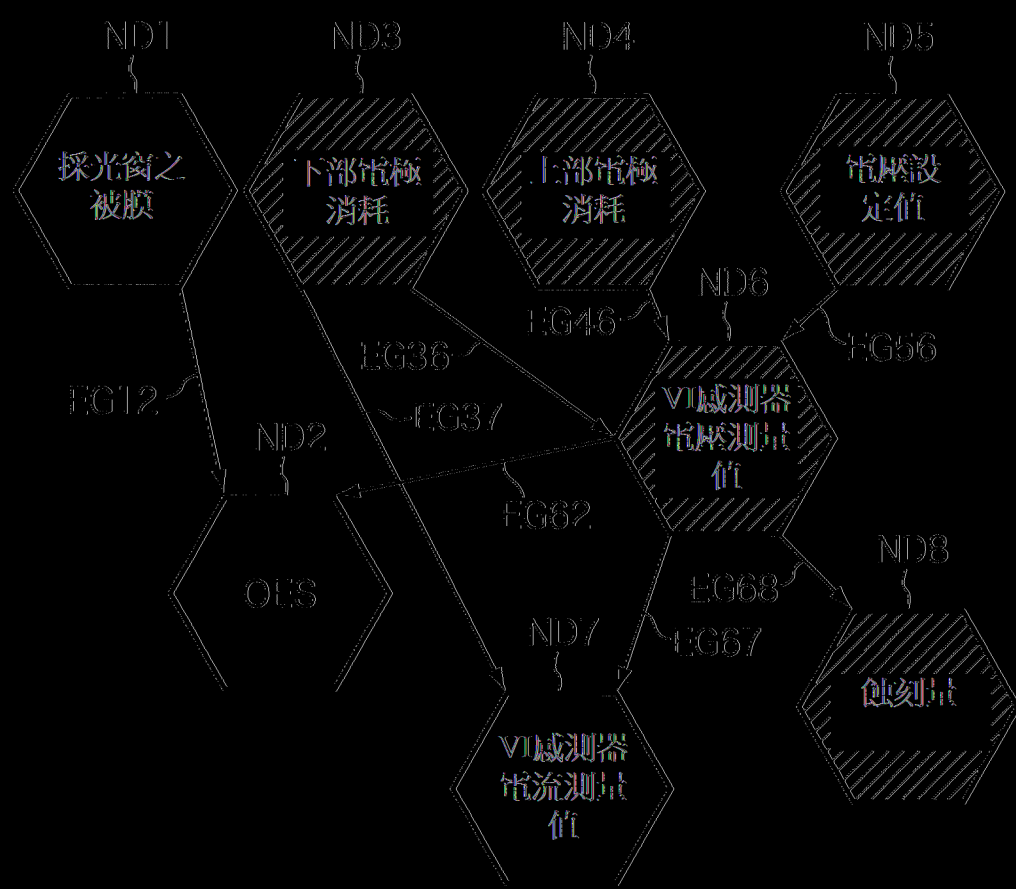
[(圖11)]



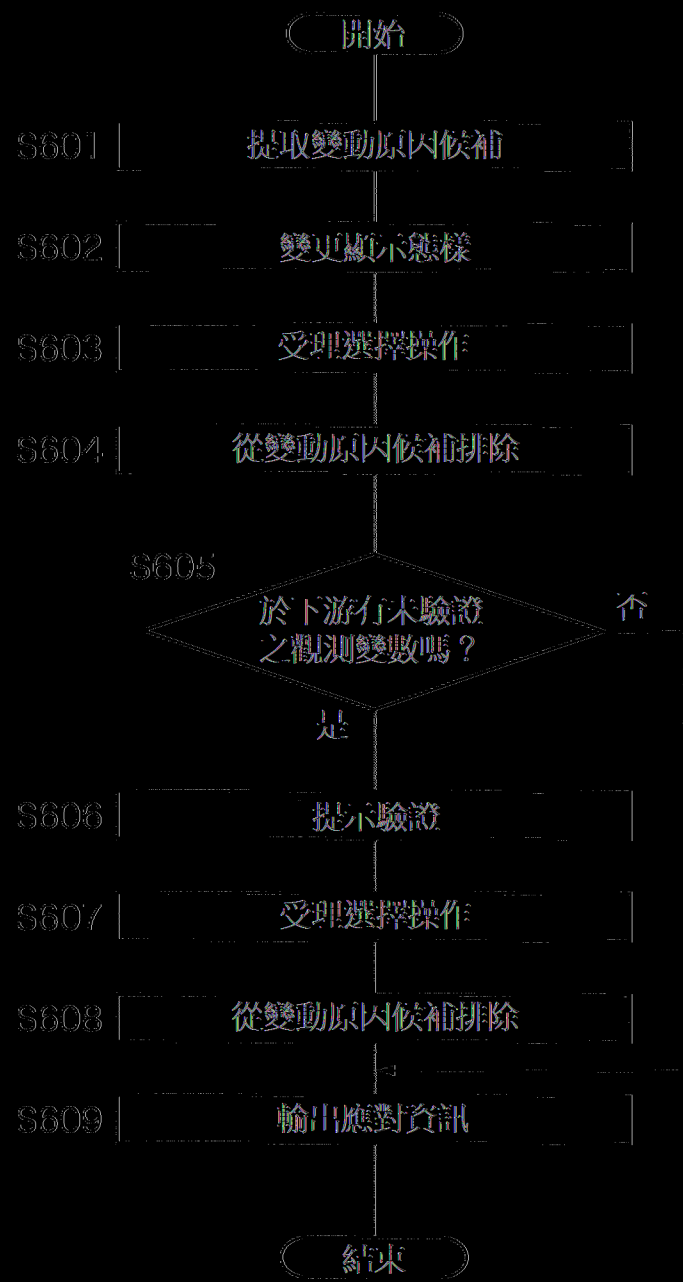
|(圖12)|



|(圖13)|

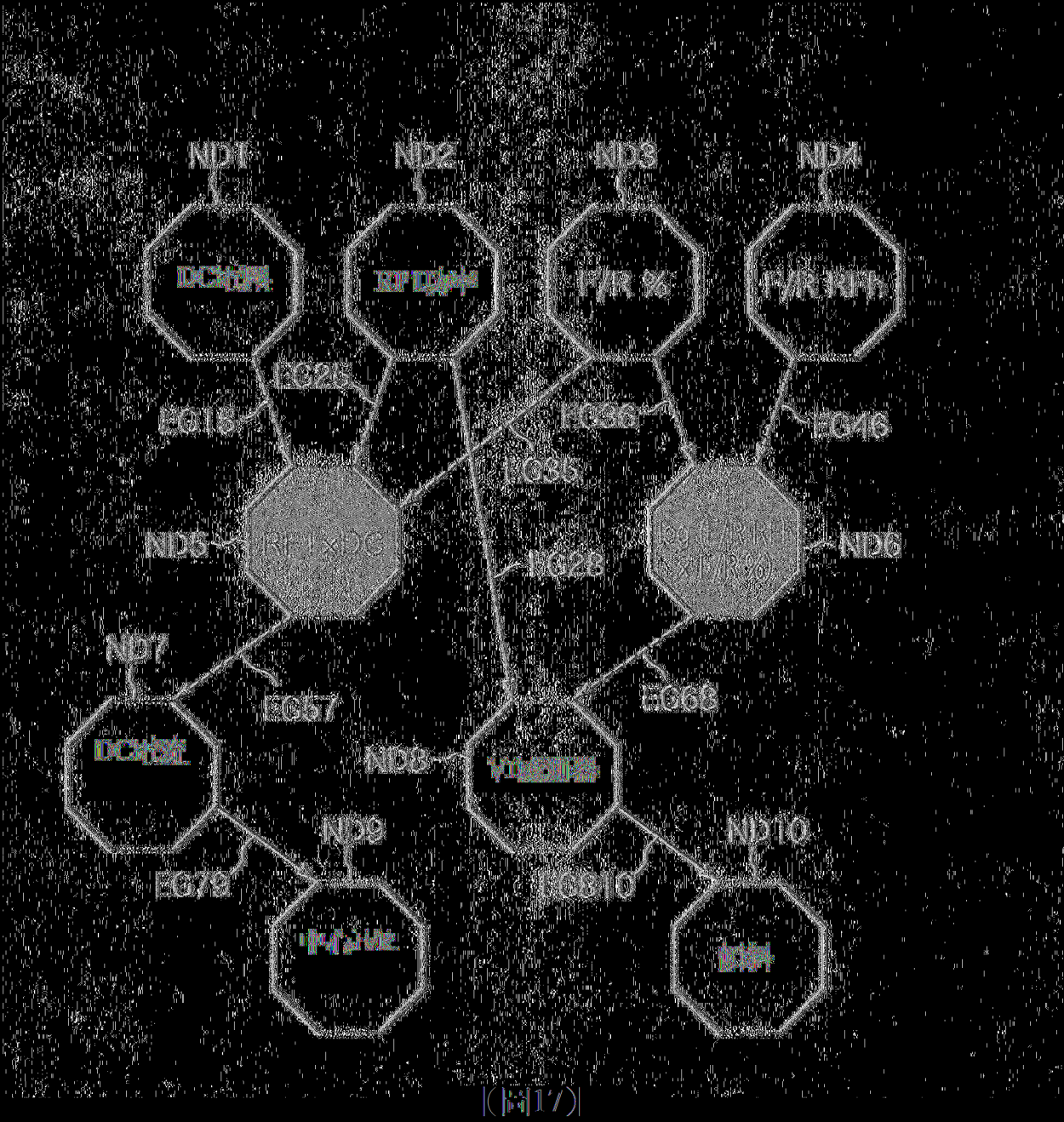


[(圖14)]

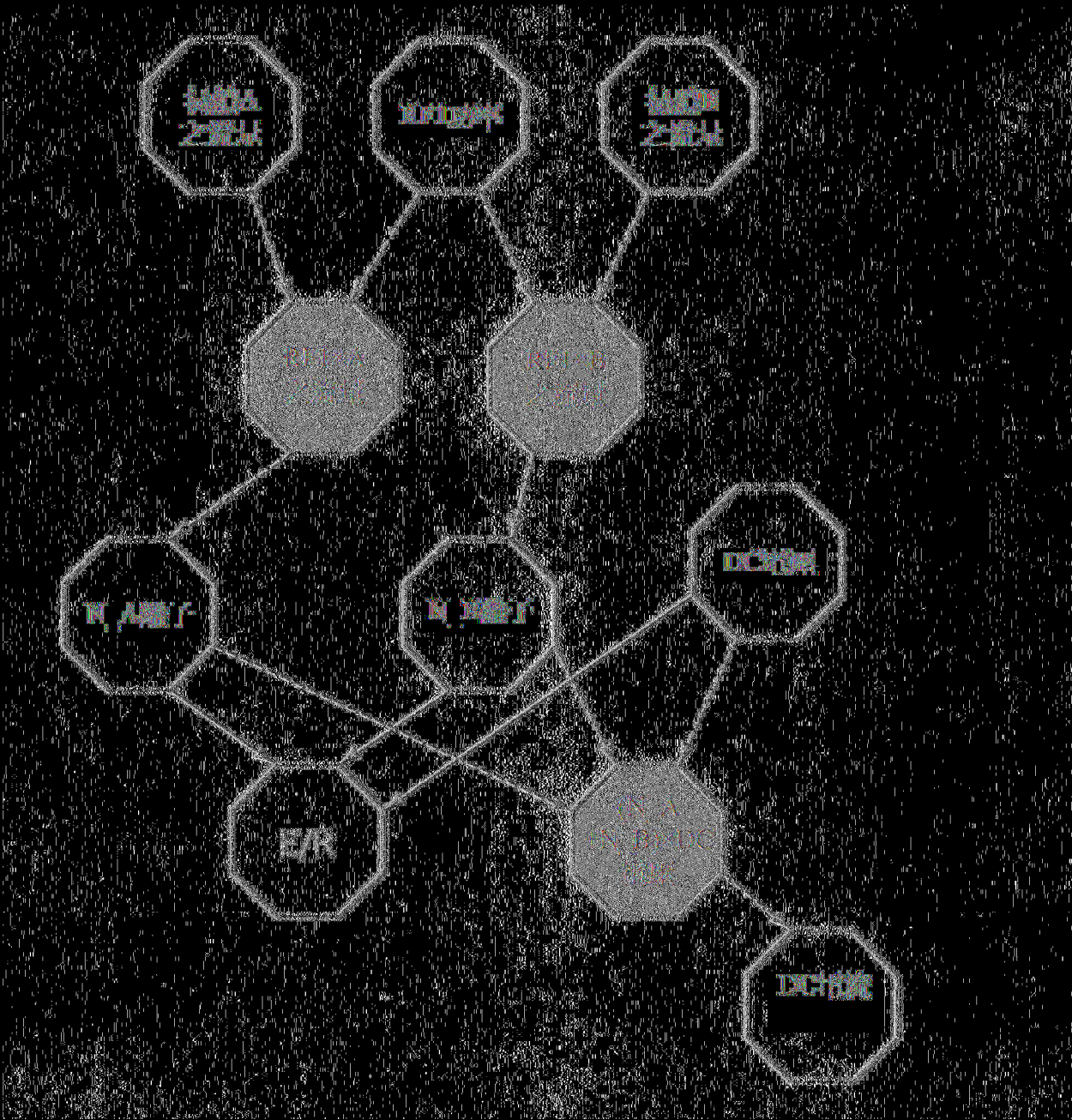


〔圖15〕









[(圖19)]

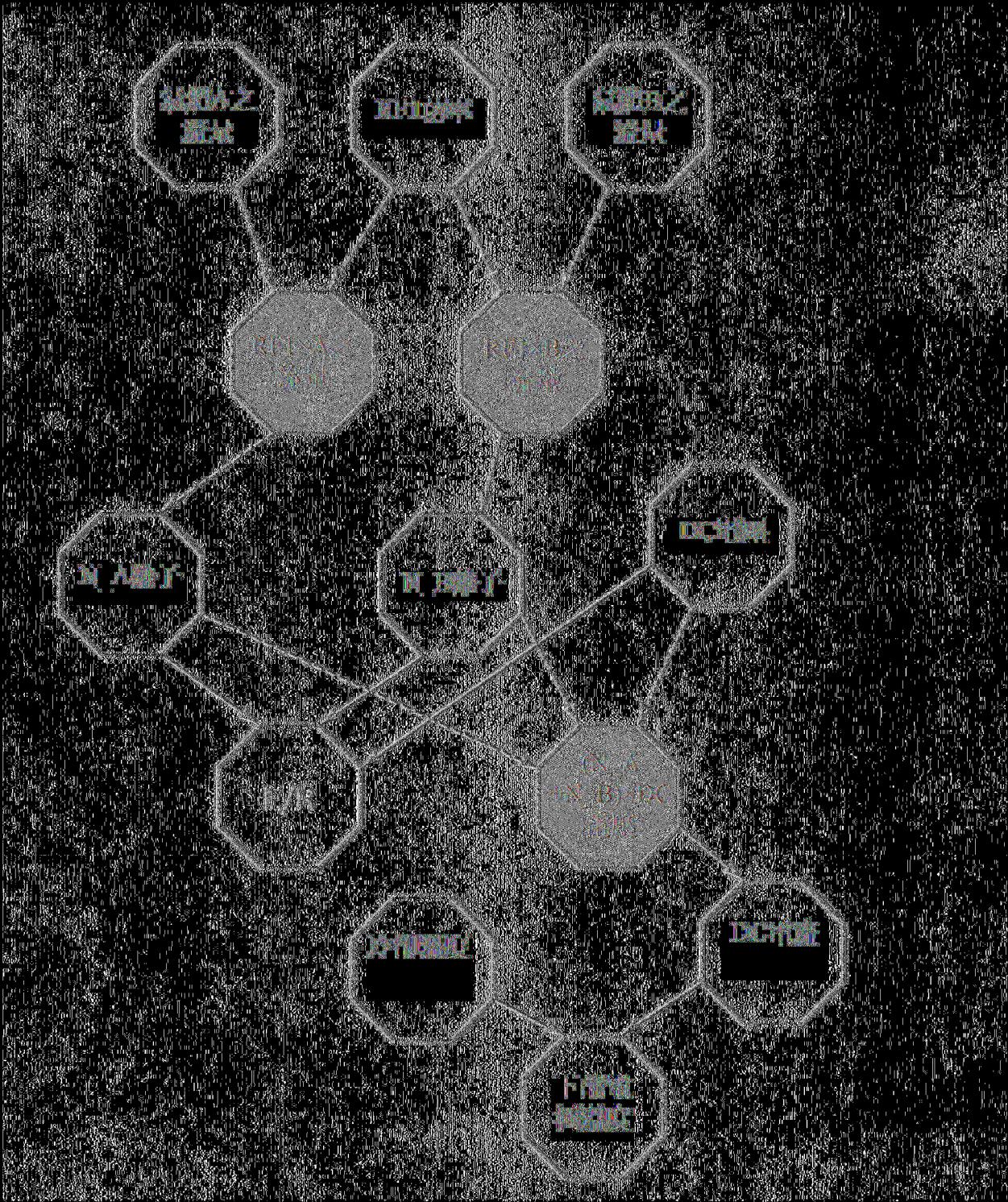


圖 10

