

## 報廢產品回收拆解順序的推演

李溢明 余志成\*

國立高雄第一科技大學 機械與自動化工程系

### 摘要

本文探討產品回收處理零件拆解順序推演的最佳化。在進行回收性的相關分析時，需考量材料種類、拆解方式與後置處理方式(材料再生、回收與掩埋/廢棄)，這些會影響產品的拆解順序，對於回收處理方式相同與具回收方式相容性的零件，在不影響其他物件移除的情況下，可以視為區塊(Block)一起拆解。零件的裝配與拆卸，直接受到零組件的接合與陳列結構方式的影響，本文採用關聯矩陣(Relationship Matrix)來表示產品陳列結構，再配合推論法則得到回收區塊的組合，與區塊拆解的最佳化步驟，以達到分析的自動化。

關鍵詞：回收性分析、關聯矩陣、產品拆卸、回收區塊

### 1. 簡介

同步工程主張在研發初期概念設計階段，即將整個產品生命週期中影響產品設計的重要因素，考慮到設計裡面，以避免如傳統序列式的產品開發流程中，往往只注重滿足功能需求，卻常常忽略與產品生命週期其他各階段之間的配合，導致太多與太晚的設計變更，因而造成了成本無謂的增加。

產品的廢棄處理分析，由於消費者與環保意識抬頭，日益受到重視。為減少產品廢棄時對環境所造成的衝擊，產品設計建議使用可回收或是可回用的材料，並減少材料種類，以提升回收效率，降低拆卸及廢棄物處理成本，Chen等[1]提出使用便於回收處理的合適材料，使得在回收處理時減少付出的成本，並藉由回收過程從中獲利。Beitz[2]則建議在物件與物件間結合處使用較易拆除的結合物件，以減少回收時拆卸的時間。

在同步工程的設計評估中，為便於零件組裝與拆解順序的推演，需掌握物件間的鏈結關係。Ishii等[3]以圖示與語意表現法(Semantic Representation)，建構出一個圖形化的組裝架構圖，以Icons代表零件、次組合與連結件，Links表示系統內零件彼此間的關係，

描述設計的陳列方式。物件鏈結圖[4]也以圖示的方式表現產品的陳列設計，主要包含物件與鏈結，方格代表物件，實線鏈結表示物件間存在實體接合，鏈結中的圖示符號表示裝配方式，虛線表示物件間因遮蔽而產生的陳列干涉關係(圖1)。

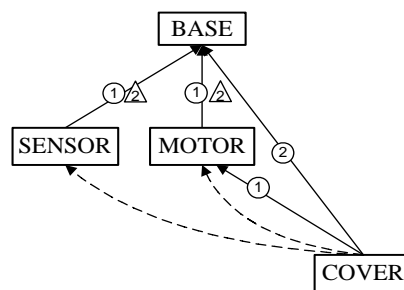


圖 1 物件鏈結圖

Dini等[5]則提出三種矩陣：鏈結矩陣(connection matrix)、接觸矩陣(contact matrix)及干涉矩陣(interference matrix)，表現產品元件間的位置及鏈結關係架構，以利於電腦程式的管理，並提出構成次組件的法則來決定次組件的形成，以決定組裝拆卸步驟。江吉祥與余志成提出以單一關聯矩陣(Relationship Matrix)表現概念設計階段產品的物件結構[4]，藉由簡單的推演法則，便可應用於可裝配性、可維修性、可回收性的分析中[6]。

產品的回收處理主要分作零件回用、材料再生與焚化/掩埋廢棄等，而回收程序的拆卸主要考量材料的相容性和回收處理方式，對於處理方式相同的零件，且不影響其它物件的移除時，在回收拆卸過程中可視為一個合併區塊(Block)[7][8]；例如同樣是要焚化廢棄的零件，或是材料再生方式相容的零件，便不需要進一步的拆解分類，以減少不必要的拆卸動作。因此在回收處理時，必須了解材料種類、回收處理的相容性與產品的結構資料，本文將應用關聯矩陣，配合產品回收拆解的特性，提出區塊的形成與區塊拆解順序的推論法則，以獲得產品回收處理時最少的拆解步驟，提供工程師在初期設計評估的參考。

\* 聯絡作者：jcyu@ccms.nkfust.edu.tw

## 2. 陳列設計表示法

### 2.1 物件與鏈結

產品設計之初往往是藉由產品機能分析(Product Function Analysis)，利用功能樹[9]，將顧客需求的機能分解推演至終端機能，藉以實體化組合而成可行的設計。因此組成產品的物件中可分為功能件(Functional Component)與結合作件(Fasteners)[4]，功能件是指組成最終產品且能達成預定機能之主要物件群，如元件、零件...等；而結合作件則是指使兩個或兩個以上之功能件達到結構穩定的連接件，如螺絲、鉚釘、扣環、...等。這些物件需依產品生命週期各項因素的評估，妥善安排於產品的設計空間中，以得到最佳的陳列設計。

為達到產品的功能與結構穩定性，部分功能件之間產生了陳列的關聯性，功能件之間的關聯性可分為兩大類：(1) 實體鏈結 (Physical Link) 及 (2) 陳列遮蔽 (Layout Covering)。所謂實體鏈結是指兩物件間存在直接接觸的鏈結關係，以分離的結合作件或是以功能件本身的幾何特徵如螺紋與內建的扣件(snap)，作為鏈結的方式。此外，物件間除了有實際接觸的鏈結關係外，還可能因產品結構空間陳列的影響，而使得一個物件在裝配或移除過程中無法順利裝配或移除，若另一個物件已經先安裝，而使得該物件無法順利安裝或移除，這兩個物件之間的關係稱為陳列遮蔽(Layout Covering)。

物件與鏈結則個別需記錄其屬性，以便於後續設計評估，在物件屬性包括零件的功能、重量與材質等，鏈結的屬性包括裝配方式(圖 2)、數量，或遮蔽關係等。例如在回收分析中，材質與重量可用以判斷回收處理的方式，而材質則可判斷實體鏈結關係存在的物件對是否具回收相容性，裝配方式與遮蔽關係用來判斷區塊形成的條件。

### 2.2 關聯矩陣

本文應用關聯矩陣(Relationship Matrix)表示法來描述產品的空間結構，在關聯矩陣中只列出了功能件，而暫時忽略分離結合作件，因為結合作件目的在穩定物件結構，本身並不具其他的產品功能，且達到固定結構的方式不限於特定的結合作件，尤其在概念設計階段的評估，常會因製造方式或是可組裝性的考量而變更，亦可以功能件本身的幾何特徵作為固定，不藉助分離的結合作件。同時因結合作件的安裝順序一般都是伴隨在所要固定的功能件之後，故在分析組裝拆卸順序時，可先忽略結合作件，在找出功能件的合理組裝順序

時，再依序插入相關的結合作件，可大幅減少未來組裝順序推論的時間。

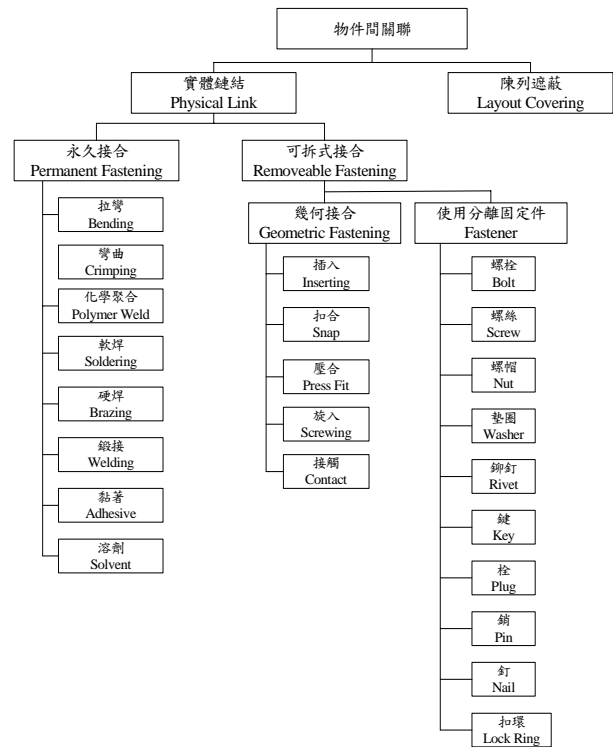


圖 2 物件間關聯性的分類

關聯矩陣為  $N \times N$  的矩陣，其中  $N$  代表待分析產品的功能件數，將功能件於行列中依相同順序，由上而下、由左而右填入，對於存在實體鏈結關係的零件對  $A_i$  與  $A_j$ ，若在組裝過程中，零件  $A_i$  會先置於治具上，或是裝到組合中的主組件上，而另一零件  $A_j$  在之後鏈結在  $A_i$ ，並以永久或/和可拆式接合方式，使這二個零件形成穩定的結構，對此鏈結對中之  $A_j$  而言，稱為「主動件」；對  $A_i$  稱之為「被動件」。在關聯矩陣中縱軸代表主動件(Active,  $i$  軸)，橫軸代表被動件(Passive,  $j$  軸)，便可藉由關聯矩陣描述產品的陳列結構(圖 4)。

關聯矩陣描述功能件之間的關連性，包括「實體鏈結」與「陳列遮蔽」，其陳列關係的標記方式如下：

- “0” 表示零件與零件間不存在任何關聯。
- “1” 表示零件與零件間有「實體鏈結」關係。如圖 3，組裝時物件A是先固定到主組件上，而後物件D再以螺絲固定到物件A，在這個鏈結對中，物件D稱為主動件，物件A稱為被動件，矩陣中在物件D的那一列與物件A的那一行中以鏈結碼“1”表示之，而其實體鏈結的方式是以「連結件」：螺絲。

- “2” 表示零件與零件間有「陳列遮蔽」關係，如圖 3，物件C要移除時，若物件E尚未移出，則受到物件E的遮蔽，以致無法順利移除，故物件E對物件C存在陳列遮蔽的關聯，鏈結碼以“2”表示。
- “3” 表示零件與零件間同時具有「實體鏈結」與「陳列遮蔽」關係，如圖 3中物件D主動鏈結到物件B，故存在「實體鏈結」關係。而當要移除物件B時，其固定螺釘受到物件D之遮蔽，以致無法在拆除D之前移出B，所以物件D對物件B也存在「陳列遮蔽」的鏈結關係，物件D對物件B的鏈結碼以“3”表示之。

以圖 3的組件為例，所對應的關聯矩陣如圖 4所示。

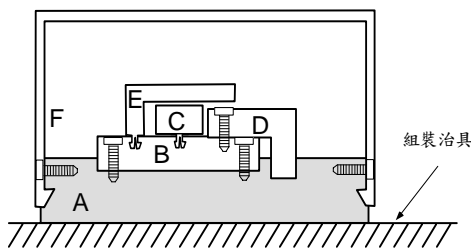


圖 3 產品陳列關係例

$$RM = \begin{matrix} & \begin{matrix} A \\ P \end{matrix} & \begin{matrix} F \\ D \\ C \\ B \\ E \\ A \end{matrix} \\ \begin{matrix} F \\ D \\ C \\ B \\ E \\ A \end{matrix} & \begin{matrix} \rightarrow \\ \downarrow \\ \downarrow \\ \downarrow \\ \downarrow \\ \downarrow \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 2 & 2 & 2 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 2 & 2 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

圖 4 上圖陳列關係所對應的關聯矩陣

### 3. 回收區塊關聯矩陣

#### 3.1 材料回收處理的相容性與區塊的判斷

對於回收程序來說，拆卸主要考量材料的相容性和回收處理方式，材料彼此相容且不影響其他物件的移除時，在回收拆卸過程中可視為一個合併區塊 (Block)，不須分開處理，因此可省去不必要的拆解步驟，如部份熱塑性的高分子材質有相容的特性，否則各物件、組件自成一個區塊。因此，產品回收拆卸效率與區塊數目有密切關係，區塊數目越少其拆卸回收效率越高，但決定物件對可形成回收區塊有以下三個條件：

1. 區塊化之後的物件必須保有結構穩定性，故區塊內的物件之間須存在實體鏈結關係，在拆解時才可以一起移除。
2. 區塊內的物件需具材質回收的相容性，因此區塊內的零件可以視同一回收方式處理，不需個別拆解處理。
3. 合併後的區塊不得使任何區塊外的物件變得完全無法移出。

我們可藉由關聯矩陣來判斷區塊的形成，首先由上而下找出有實體鏈結即鏈結碼為 1 或 3 的鏈結對，假設  $O_a$  與  $O_p$  具有實體鏈結且其材料與回收處理方式相容，而關於形成區塊的第三個條件的檢驗，需確保因形成區塊後  $O_a$  不需自  $O_p$  上移除時，不會造成其他鏈結到  $O_p$  上的主動件無法移除。這可藉由檢查鏈結對的被動件  $O_p$  的那一行，找出是否還有其他的實體鏈結，然後檢查若  $O_a$  的那一列與這些物件不存在陳列遮蔽關聯，則  $O_a$  與  $O_p$  可組成一個回收區塊。形成區塊後，關聯矩陣將可依下一節所描述的方式合併成區塊關聯矩陣，之後再反覆上述的搜尋方式，反覆判斷直到沒有新的區塊產生為止。

以圖 4之實體鏈結對物件B與E為例，E主動鏈結到B之上，因此滿足形成區塊所要求之結構穩定條件，之後檢查這兩個物件是否具回收處理的相容性，之後必須確保被合併後的區塊不得使任何物件變得無法移出；我們可檢查B行，跟B有鏈結關係的除了E之外還有C與D，檢查主動件E列，發現物件E會遮蔽到C和D，因此若E與B形成區塊，則不E移除會使得C和D無法移除，故E和B無法形成區塊，除非C與D也能合併在同一區塊。

#### 3.2 區塊關聯矩陣

在判斷出可結合成回收區塊的零件後，便可將關聯矩陣簡化成區塊化的關聯矩陣，為推演出區塊化的關聯矩陣，本節將說明區塊關聯合併的法則。首先以 0 表示無鏈結關係存在，1 表示有鏈結關係存在，P 表示實體鏈結關係，C 表示陳列遮蔽關係。我們可將原先在 2.2 節關聯矩陣中的十進位連結碼：0, 1, 2, 3 轉成 CP 的二進位碼以判斷區塊後彼此間的鍊結關係：

表 1 十進位關聯碼轉成 2 進位碼 CP

2 位元		十進位
C	P	物件關聯
0	0	0
0	1	1
1	0	2
1	1	3

區塊中的主動件與被動件與其他零件的關係，則可以在CP碼以下標 $a$ 和 $p$ 區分個別的鏈結碼。如圖 4 關聯矩陣中，假設B和C可形成區塊，其中C為主動件，B為被動件。而E與C存在陳列遮蔽關係，E與B存在實體鏈結關係，在這裡 $C_a P_a=10$ ，而 $C_p P_p=01$ 。對於區塊內零件之間的鏈結關係可不看，鏈結碼以 0 取代。對於形成物件的鏈結對的兩個橫列的合併，也就是C與B列的合併成區塊的鏈結碼 $C_b P_b$ ，其合併方式為

$$P_b = P_a \vee P_p \quad (1)$$

$$C_b = C_a \vee C_p \quad (2)$$

也就是這兩個零件其中若有任何一個零件主動鏈結或遮蔽其他零件，則合併成區塊後與該零件仍存在實體鏈結或陳列遮蔽的關聯，其橫列合併結果如圖 5 所示。

對於形成物件的鏈結對的兩個直列的合併方式，則採用

$$P_b = P_a \vee P_p \quad (3)$$

$$C_b = C_p \quad (4)$$

如果形成區塊的零件跟其它零件若存在實體鏈結，則區塊與該零件仍存在就存在實體鏈結關係( $P_b=1$ )。而對於陳列遮蔽關係，若某零件影響到區塊內被動件的移除，則該零件也將會影響區塊的移除。但合併成區塊後，該主動件將不需自被動件上移除，故該零件與區塊中主動件之間的陳列遮蔽關係並不會影響到合併成區塊後的陳列遮蔽關係。

以圖 4 的鏈結矩陣為例，若C和B可以形成區塊(C為主動件，B為被動件)，E對於C有陳列遮蔽關係，對B無陳列遮蔽，故 $C_a=1$ ， $C_p=0$ ，E對於B為實體鏈結，對於C無實體鏈結，故 $P_a=0$ ， $P_p=1$ ，因零件C合併成區塊後不需拆除，而E並不影響要拆除(B+C)區塊時，需拆除在A上的兩個螺釘，依照式(3)與式(4)，可得E對(B+C)區塊之鏈結關係為 $C_b=0$ ， $P_b=1$ ，轉為原先的十進位關聯碼為 1，以此類推，可得到如圖 5 之區塊關聯矩陣。

$$RM_r = \begin{matrix} \begin{matrix} \text{A} \\ \downarrow \\ \text{P} \end{matrix} & \begin{matrix} \text{F} & \text{D} & \text{(B+C)} & \text{E} & \text{A} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{F} \\ \text{D} \\ \text{(B+C)} \\ \text{E} \\ \text{A} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 2 & 2 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 3 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 2 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

圖 5 區塊關聯矩陣的合併

#### 4. 區塊拆解順序的推導

關聯矩陣可用來推演產品合理的裝配與拆卸順序，若我們將關聯矩陣中物件由上而下（由左而右）代表一種組裝順序，而當關聯矩陣中的物件順序由上而下，是一個合理的組裝順序時，反之物件由下而上（或是橫列由右而左）即代表一個物件合理的拆卸順序，此時關聯矩陣的外觀將具有以下的特性[4]：

- 對角線右方不存在“1”或“3”，代表存在鏈結關係的物件對，當依序由上而下安裝，其被動件的安裝順序恆在主動件之前，因此當主動件要固定時，被動件已經存在，不會有無法安裝的情形。
- 對角線右方不存在“2”，代表先安裝的物件不會遮蔽到後安裝的物件，造成後安裝的物件無法安裝的問題。或者當對角線右方存在“2”，但該陳列遮蔽鏈結無法在不影響前一個條件下，將“2”移至對角線左下方，即對角線右方之“2”之數量為最少，此時將會有強制次組件的存在。

所謂強制性次組件是指某些兩個或以上的零件組，無法將個別零件組裝到主組件上，必須先將這些零件組合成次組合後，才能再一起組裝到主組件上。

而以區塊拆卸的觀點來看，若該鏈結矩陣為一區塊化的矩陣，則將區塊由右至左依序拆除時，當對角線右方不存在“1”，代表移除該區塊時，該物件上並沒有任何主動的鏈結件，在移除時不會將不同的回收區塊一起移除。而對角線右方不存在“2”，代表要移除的區塊不會受到其他區塊的遮蔽，造成物件無法移除的問題。因此可形成一組合理的拆卸順序。

為了得到合理化解解順序，關聯矩陣合理化之推論法則如下：

- 將矩陣對角線右邊有 1 之符號移到對角線左邊，其作法是將該鏈結對的兩個物件順序互調，也就是同時將矩陣的行與列對調。
- 矩陣對角線右邊有 2 時，將對角線右邊有 2 之符號移到對角線左邊；其作法是將該鏈結對的兩個物件順序互調。
- 對角線右邊 2 無法移動到對角線左邊時，我們可以判斷有次組件存在，可將這些往對角線移動，使其集中，以便判斷強制次組合的成員。

最後完成之由關聯矩陣主動軸由下而上，或被動軸由右至左即為合理與最少步驟的拆解順序。

當一個物件關聯矩陣利用 3.1 節的方法判斷區塊的形成之後，得到如圖 6 之最終區塊關聯矩陣，假設其中共包括 4 個區塊：B1, B2, B3 與 B4。

$$RM_b = \begin{matrix} & \begin{matrix} \xrightarrow{A} \\ P \end{matrix} & \begin{matrix} B1 \\ B2 \\ B3 \\ B4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} B1 \\ B2 \\ B3 \\ B4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 2 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

圖 6 未合理化之原始區塊矩陣

但是圖 6 還不是一個合理化之關聯矩陣，此時利用關聯矩陣合理化之推論法則，找到對角線右上角B1 與B4 存在實體鏈結，因此將B1 與B4 物件對調之後，所得之矩陣已為合理化之最終關聯矩陣如圖 7。

$$RM_{bf} = \begin{matrix} & \begin{matrix} \xrightarrow{A} \\ P \end{matrix} & \begin{matrix} B4 \\ B2 \\ B3 \\ B1 \end{matrix} \\ \begin{matrix} B4 \\ B2 \\ B3 \\ B1 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 2 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

圖 7 合理化之區塊矩陣

當關聯矩陣合理化時，此時零件從右而左為合理的拆卸順序，因為最右一行為零行代表該區塊上面並沒有任何回收區塊主動鏈結在該區塊上面，也不受任何區塊的陳列遮蔽，因此可先拆除B1，之後可將B1 相關的關聯刪除，矩陣便簡化如圖 8；

$$RM_{bf}^r = \begin{matrix} & \begin{matrix} \xrightarrow{A} \\ P \end{matrix} & \begin{matrix} B4 \\ B2 \\ B3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} B4 \\ B2 \\ B3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

圖 8 拆除區塊後簡化的區塊矩陣

而後最後一行又是零行，同理仍可拆除，反覆因此該產品區塊化後之零件拆解順序為

- (1) 將 B1 從 B4 拆除
- (2) 將 B3 從 B2 拆除
- (3) 將 B2 從 B4 拆除
- (4) 移除 B4

### 5. 應用例

假設圖 3 中各個零件材質和回收處理方式如表 2 所示：

表 2 圖 3 中零件材質與回收處理方式

零件名稱	A	B	C	D	E	F
材質	ABS	鐵	鐵	鐵	PA	PE
回收處理方式	再生	再生	再生	再生	再生	再生

依據 3.1 節之形成區塊的三要素，從A列開始一個一個往下判斷，找出了可以形成區塊的物件為B和C，C和B有鏈結關係存在，而二者材質同為鐵，因此回收方式相容，此時檢查被動件B行，B和D與E尚有實體鏈結關係，但是由C列判斷C並不會遮蔽到D和E，故C和B可以形成區塊。再依據 3.2 節之區塊關聯合併法則，得到圖 5 之區塊關聯矩陣。

之後再從矩陣的最上方零件A開始判斷，判斷出(B+C)和D也可以形成區塊，再依之前相同的法則合併區塊矩陣如圖 9 所示。

$$RM_r = \begin{matrix} & \begin{matrix} \xrightarrow{A} \\ P \end{matrix} & \begin{matrix} F \\ (B+C+D) \\ E \\ A \end{matrix} \\ \begin{matrix} F \\ (B+C+D) \\ E \\ A \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 2 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

圖 9 應用例之最終區塊關聯矩陣

再重複上述之判斷方法，此時需重新判斷，已經無區塊的形成，故最終之區塊關聯矩陣為圖 9 所示。此時分析出此項產品再回收時至少可合併為四個區塊，圖 9 亦可改寫為圖 6 的回收區塊矩陣的，之後依據第四節關聯矩陣的推論法則，先推導出合理化區塊矩陣，可得到合理化的區塊關聯矩陣如圖 7，亦可表示為圖 10，因此獲得最後的區塊拆解順序為F→E→(B+C+D)→A。

$$RM_r = \begin{matrix} & \begin{matrix} \xrightarrow{A} \\ P \end{matrix} & \begin{matrix} A \\ (B+C+D) \\ E \\ F \end{matrix} \\ \begin{matrix} A \\ (B+C+D) \\ E \\ F \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 2 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

圖 10 合理化組裝順序之區塊關聯矩陣

## 6. 結論

本文以關聯矩陣表現產品的物件結構，並探討產品回收特性，提出回收區塊的概念，由關聯矩陣轉換並為區塊化的關聯矩陣，而藉由矩陣合理化的流程推導出合理話與最少的拆解步驟進行回收處理，本流程可在概念設計階段，依結構陳列關係判斷出回收過程的拆解順序，實現產品廢棄處理的拆解步驟推演自動化。未來可配合可回收性的評估法則，進行產品可回收性的同步工程分析。

## 參考文獻

- [1]. Chen, R.W., Navin-Chandra, D. and Prinz, F. B., Product Design for Recyclability: A Cost Benefit Analysis Model and its Application, *Electronics and the Environment, IEEE*, pp.178 – 183., 1993
- [2]. Beitz, W., *Design for Ease of Recycling*, Technology University of Berlin, Berlin, 1992
- [3]. Ishii, K., Eubanks, C.F., and Marks, M., Evaluation Methodology for Post-manufacturing Issues in Life-cycle Design, *Concurrent Engineering: Research and Application*, Vol.1, pp.61-68, 1993
- [4]. 江吉祥、余志成，以 STEP 為基之物件陳列表示法進行產品組裝拆卸步驟推論，中國機械工程學會第十七屆全國學術研討會，製造與材料論文集，高雄第一科技大學，第 617-625 頁，Dec. 8-9，2000
- [5]. Dini, G. and Santochi, M., Automated Sequencing and Subassembly Detecting in Assembly Planning, *Annals of The CIRP*, Vol.41, pp.1-4, 1992
- [6]. 吳品先、余志成，產品概念設計的同步化分析，中國機械工程學會第十九屆全國學術研討會論文集，虎尾技術學院，2002
- [7]. 廖偉志、余志成、杜春長，電腦輔助產品裝配維修及回收性同步化分析，中國機械工程學會第十五屆全國學術研討會，製造與材料組論文集，1998
- [8]. 廖偉志、余志成，產品裝配維修及回收設計同步化分析之物件陳列表示法，中國機械工程學會第十五屆全國學術研討會，固力與設計組論文集，1998
- [9]. Don Clausing, *Total Quality Development: A Step-by-Step Guide to World-Class Concurrent Engineering*, New York ASME press., 1994

## Disassembly Sequencing in the Recycling of Retired Products

In-Min Lee and Jyh-Cheng Yu

Department of Mechanical and Automation Engineering  
National Kaohsiung First University of Science and  
Technology

## Abstract

This study addresses the optimal disassembly sequencing in the recycling of retired products. There are three basic types of disposal for the retired products including material recycling, part reuse, and discarding. The material recycling is the most important one in the product disposal that involves material classification and part disassembly. If the materials of the components of a subassembly are compatible in the recycling processes, they can be treated as a “recycling block” and removed altogether without further disassembly. The disassembly sequencing is affected by the product structure. We applies the Relationship Matrix to represent the physical links and the layout covering of the product structure. This paper describes the inference rules to recognize the recycling blocks from the Relation and a scheme to derive the optimal disassembly sequencing.

Keywords: Product Recycling、Relationship Matrix、Disassembly、Recycling Block