

以 STEP 為基之產品設計資料模型進行產品可維修性分析

林怡君 吳品先 余志成*
國立台灣科技大學，機械工程研究所
106 台北市大安區基隆路四段四十三號

摘要：為達成同步工程之產品開發，本文針對設計時所涵蓋之產品資料，導入產品資料標準 STEP，建構一套產品設計資料模型。產品設計資料模型，包含產品之功能、實體和管理資料。產品之功能資料描述產品的需求、機能及行為特性；實體資料則包括產品結構組成之細部資訊，如物件屬性與鏈結關係；管理資料則記錄設計過程與產品版本。此資料模型可做為產品同步工程分析之設計資料架構。而依據 STEP 標準所建立之資料模型，除系統化的整理產品設計相關資料外，更可作為未來跨平台作業的資料交換。以產品的可維修性資料為例，可維修性評估重點包括分析故障的可偵測性、發生機率與影響性，以及零件的可接近性與維修過程中拆卸裝配的困難度，分別可建構於產品的功能與實體資料中。本文並提出一套產品可維修性的評估工具，應用所建立的產品設計資料模型，配合維修推論法則，進行可維修性評估的自動化。除分析零組件故障和維修之瓶頸，並可進一步評估產品的陳列設計與品質企畫。

關鍵字：品質機能展開、故障模態分析、適宜維修的設計、同步工程

1. 背景與目的

隨著 STEP 標準的日漸發展，許多學者依據 ISO 10303 的定義，發展出不同的系統整合環境如：Rosenman 與 Wang[3]發展以 STEP 基礎之整合模型 (Design-Oriented Model)，以提供多方面設計導向的資訊。Wang 與 Mills[1]建構一套支援產品資料發展之 STEP 產品資料模型 (Collaboration-oriented Product Representation Model; CPRM)，提供虛擬產品資料發展的模式。有些學者提出 STEP 為基礎之產品資料模組運用於組裝適宜性分析，建構包含零件幾何特徵、組裝鏈結關係及鏈結操作的資訊，並配合推論法則的建立，應用於拆卸與組裝順序的推演[7][16]。或運用 AP 210 於印刷電路板之可組性分析決策系統的建立，用以檢定元件配置是否符合可組性之條件[2]。另有文獻使用 AP 203 之產品資料模型，應用於電子化型錄系統的建構，便於查詢所得之資料直接導入電腦輔助系統中[18]。

在同步工程的設計流程中，相關工程師常需從各個角度進行產品的設計評估與修改。以產品之可維修性評估為例，同時受影響的包括陳列設計 (Layout Design)、組裝設計、可靠度分析與回收拆卸特性。

以往在傳統的陳列設計中，往往著重於適宜裝配性的分析，而忽略產品的可維修性才是直接影響顧客對產品的滿意度與信心的指標。不當的設計將使得產品故障維修時的困難度增加、成本提高，因此在設計初期亦必須將維修的適宜性加以考慮。可維修性設計中所考量的產品設計資訊，主要包括結構資訊與功能資訊。為使產品資訊保有一致性與可分享性，本文利用 ISO10303-STEP 產品資料標準，建構產品設計資訊，作為未來同步化設計的基礎。

不同於可裝配性分析，在維修性設計的研究中尚無一套系統化方法，但還是有一些應用之設計準則與評估工具。故障模態與效應分析 (Failure Mode and Effect Analysis; FMEA)[4]分析零件故障對設計機能所產生的影響，並針對零件故障發生的機率、偵測困難度及嚴重性，評估零件的重要性。而維修模態分析 (Service Mode Analysis; SMA) [5]則評估維修頻率、步驟與成本，找出關鍵零組件與維修工資的集中處，藉以改良該零組件之壽命與零組件之陳列設計。在評估產品的可拆卸性方面，Dowie[6]分析產品拆卸過程與動作，估計所需的拆卸成本。而 Makino 等[14]則進而應用產品的保固維修記錄於設計品質

的提升，並提出一個電腦化的檢查清單 (Checklist) 作為維修性設計的參考。

本文將針對可維修性的設計重點，提出一套完整的評估工具。而為達到同步化的分析，便於分析資訊能即時跨平台的進行交換與傳遞，本文將應用 STEP 為基的產品設計資料模型，並分析可維修性評估中所牽涉之結構與功能資訊，建構產品資料模型，配合推論法則，找尋高重要度零件與維修的瓶頸，作為設計變更的建議。

2. STEP 產品資料標準

為整合產品生命週期中的所有資訊，包括了研發設計、生產及維修等階段所使用的技術資料、維修手冊、產品設計圖說及操作說明等，且避免多種資料標準之同時並行，造成資料交換與管理的困難，於是有產品資料交換標準 STEP(Standard for the Exchange of Product data, STEP)[7]之中性資料表現格式被提出。STEP 的主要目的，為支援整體產品生命週期中，所有相關產品資料的一致表示法，和在不同作業系統間資料的交換格式。使產品所有資料包括功能需求、設計分析、製造生產及檢測品管間，都有一致的表示方法，進而達成不同系統或部門間同步工程的目的。

STEP 依據其功能和範圍不同，主要可區分為六大部份，並分別以 Part 做為區別。若將 STEP 整體視為一部字典，每個 Part 如同單字般都是一部完整的標準說明，其中間可因應時間的改變，新增或刪除而不停更新。STEP 產品模型之主要架構如圖 1 所示：

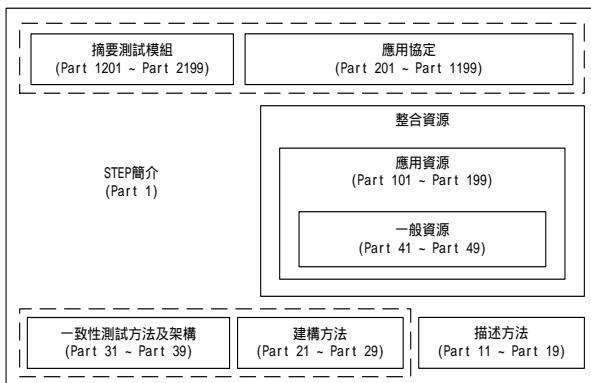


圖 1 STEP 產品資料模型架構

STEP 標準採用 EXPRESS 語言[9]，作為描述產品資料結構的工具。EXPRESS 為一種正式化 (formal)、不混淆的文字型態資料描述語言，也是一種模型建構語言 (modeling language)。其具有物件導向及繼承的特性，可同時被人類瞭解和電腦譯讀。但 EXPRESS 是一種靜態的資料描述架構，並非實際的程式語言，它可以進行編譯 (compile)，卻無一般程式語言具有之輸出及輸入的功能，因此其不能被執行產生任何結果。因此在電腦化整合環境中，還需

要透過其它高階語言如 C++ 等輔助，作為介面與分析的功能。

EXPRESS-G 則為描述 EXPRESS 資料架構之圖形化表示法，提供人類對於模型建立和理解之更佳途徑。透過圖形化的表示，模型中各實體和屬性的關係將更容易被理解和表現。EXPRESS-G 的符號分為三種型態，分別是定義、關係及組成。

3. 產品設計資料架構

產品設計資訊可分為功能資料、實體資料和管理資料三個部份。功能資料涵蓋了產品之需求 (Customers' Requirements)、設計機能 (Functional Design) 和產品特性 (Product Characteristics)；實體資料描述產品之結構組成，以及幾何、製程和材料等細部資訊；而管理資料則為設計過程中維持及控制設計變更及產品版本之資訊。

上述三個部份的資料，彼此相互影響，並非獨立存在。從產品設計流程來看，顧客對是項產品的需求會藉由產品的預期特性來滿足。而產品的特性則藉由產品設計機能來達成。而設計機能則對應至產品的實體資料；如元件、組件與其組合關係。反之，由結構面的設計變更，也會循以上的路徑影響到產品的需求滿足程度。此外，產品設計自概念規劃至成品之各階段設計資料，皆與管理資料中的設計變更和版本資訊相關。而在陳述設計變更的動作和行為時，更牽涉產品具體資料的改變，而每一次的設計變更也形成不同的版本資訊。

在詳細分析產品設計所需的資料與參考相關文獻[3]，本文應用 STEP 標準，建構產品設計資料模型，圖 2 為產品設計資料模型之 EXPRESS-G 表示法。

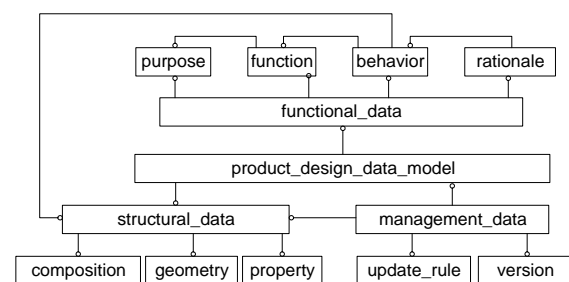


圖 2 產品設計資料模型之 EXPRESS-G 表示法

3.1 功能資料

功能資料 (Functional Data) 描述產品物件之主要目的和達成方法，可細分為三個主要的部份：需求、機能和特性，其定義如下：

- (1). 需求 (purpose)：主要用以描述產品的設計意圖，其中包含了產品的需求和客戶對產品的要求。這

些描述通常是比較概念性的，是產品需滿足的項目。

- (2). 機能(function)：描述滿足用途的產品機能，即設計進行的方式。除了主要的功能外，亦可記錄產品的次要或延伸功能，最終延伸的機能，稱為終端機能。
- (3). 行為(behavior)：描述設計所呈現的產品特性、動作或對其它產品間之相互關係。
- (4). 理由(rationale)：解釋產品行為的合理性，藉由特性的限制條件，對結構設計進行規範。

需求、機能、行為與理由間互有關聯但也很容易混淆，需求通常是描述為什麼(Why)需要此產品，機能為此產品進行了什麼(What)，行為是產品如何(How)達成功能，而理由對行為提供限制法則。以電風扇為例，對此項產品的需求為提供涼爽，吹風即為機能，電扇轉動帶動氣流的過程為行為，若限制風扇最低轉速則為理由。通常顧客的需求會轉換至產品的需求，再對應至產品機能，行為來完成機能，由理由規範行為特性，此即功能面之設計資訊。

3.2 實體資料

產品之實體資料表現整體產品、組件和零件，其包含三個主要部份：組成(composition)、幾何(geometry)和性質(property)。其定義如下：

- (1). 組成(composition)：產品的組成包括零件的類型及零件間的關聯。零件的類型可分為功能件與結合作件，而產品零件間之關聯性可分為實體鏈結及陳列干涉[16]。
- (2). 幾何(geometry)：表示產品零件的幾何形狀、尺寸、對位及零件持取狀況。

性質(property)：描述產品零件的工程性質，如材料、製程及發生故障的機率等。

儘管產品設計資料應包含以上之類別和屬性，但在設計初期階段亦可只描述產品的需求、機能和行為，再分析其屬性，進一步獲得細部乃至全體之實體資料。

3.3 管理資料

管理資料為設計過程中維持及控制設計變更及產品版本之資訊。在設計過程中，產品資訊可能需要不停的更新，以因應功能資料或實體資料的修改，管理資料則會對應到實體資料之變更。管理資料包含更新規則和版本兩部份：

- (1). 更新規則(Update Rule)：陳述產品設計變更時的動作和行為，與實體資料的群組和繼承關係等都有相當的關聯。更新規則的型態可以由動作/情況/修正(Action/Condition/Correction)來表示。
- (2). 版本(Version)：產品設計變更的過程中，會產生許多版本資訊，其與設計者與變更時間有最主要的關聯。

以 STEP 建構之產品設計資料模型，充份涵蓋產品生命週期中之設計資訊，且 EXPRESS 語言具物件導向的擴充性，在不同的設計分析皆可在此模型中增添資料模組。

4. 產品可維修性分析

產品製造的完成並非設計分析的終點，反而是設計接受檢驗的起點。產品與顧客的接觸即始於產品製造的完成，產品的品質以及可維修性直接影響保固維護成本與顧客對該產品的滿意度與信心。

以往設計者常以提高產品可靠度與零件壽命來減少維修的機率，但沒有任何一個零組件具有百分之百的可靠度，此外增加可靠度往往意味著成本的增加。使用者大多能接受產品維修為產品生命週期一部份的事實，只要降低維修頻率及故障影響性，且不需長時間或高金額的開支，便不會影響產品的滿意度。因此在設計初期即考慮產品的可維修性，已成同步工程中重要的一環。

4.1 產品維修適宜性

適宜維修的設計(Design for Serviceability; DFS)在於研究產品的維修瓶頸，用以改進設計組合、簡化拆卸步驟、權衡零件壽命與維修困難度，確保使用者的滿意度及降低產品維修成本。而產品維修之難易度主要取決於能否迅速斷定哪一個零組件需要維修，同時是否能容易地拆裝該維修零件，產品維修性可從六個方面來探討：

- (1). 重要性(Importance)：元件故障將導致產品部分機能失效，而其元件之重要性應由該元件對產品機能及顧客需求的影響性來決定。
- (2). 發生性(Occurrence)：元件在生命週期中失效的機率需權衡零件成本與維修成本，提升零件品質可降低失效機率，減少維修成本，但須衡量對零件成本的影響。
- (3). 可偵測性(Diagnoseability)：產品故障維修的第一步驟在偵測是哪一個元件失效，可偵測性乃指不藉助特殊昂貴的檢測設備，診斷出問題所在的難易度。
- (4). 可接近性(Accessibility)：失效機率較高的元件應安排在產品較外層的位置，並且需提供足夠的工具維修空間，否則須拆解影響維修的零件，導致維修時間加長。
- (5). 重組裝性(Reassemblability)：零件的接合方式決定更換該零組件所需的時間、工具與技術。當零組件常因產品故障而需維修時，應採用適宜反覆拆裝的接合方式。
- (6). 可修復性(Repairability)：若元件只需調整或清理，而不需更換整個零件時，其調整或清理的容易度稱為可修復性。若該零件必須特殊的修復技術，或不能修復需整個更換，則其可修復性較差。

圖 3 為可維修性分析的流程圖。其中透過客戶需求及產品機能與零件的關係，可找出零件的重要性，再評估其發生故障的頻率及故障可偵測性後，可推导出每個零件故障的風險性。而透過維修拆卸與裝配步驟的分析，則可評估故障零件的可接近性與重組裝性。

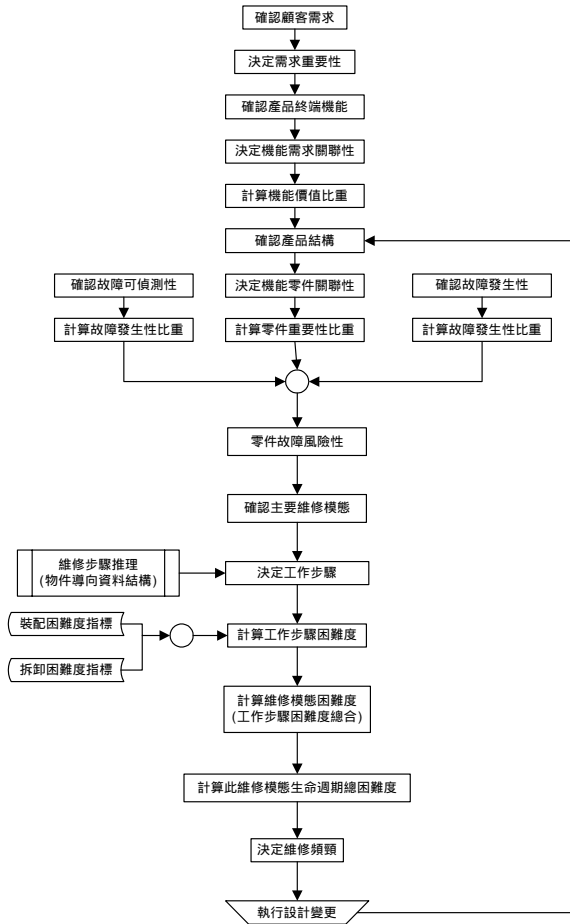


圖 3 可維修性分析流程圖

4.2 零件重要性

在產品定義與概念設計階段，設計者從顧客需求中分析產品所應具有的機能，進而產生概念設計與產品結構來表現設計機能。DFS 主要從客戶的觀點評估設計，零件故障將導致部份機能失效，因此零件的重要性應由該零件機能失效，對使用者需求所造成的影響來決定。但零件失效對需求的影響性不易直接判定，因零件的滿足部分客戶對該項產品的需求，若能同時考量客戶需求以及產品機能間的關係，即可找出零件的相對重要性。產品機能設計分析(Functional Design Analysis)[13]，可瞭解系統所有需求、機能及關聯。再以品質機能展開(Quality function deployment; QFD)[1]，進行二階段品質機能展開(圖 4)。

第一階段 QFD 主要在於分析顧客需求品質與產品機能間的關聯性，進而將需求重要性展開至產品機能，求得產品機能權重。第二階段 QFD 則分析產品機能與產品零組件結構的關連性，再由第一階段所找出的機能權重展開至產品零組件之權重，此權重即該零件故障時對顧客需求的影響性。由此可作為未來設計變更、或成本權衡量的依據，也可作為不同產品設計間的優劣評估的參考。

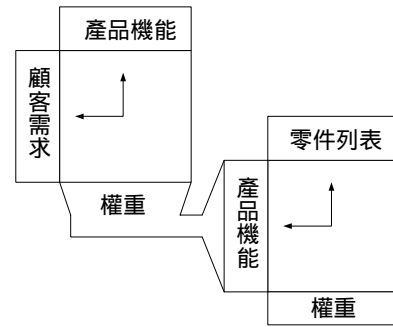


圖 4 零件重要性分析步驟

4.3 零件故障風險性

本節結合了品質機能展開(QFD)與故障模態與效應分析(FMEA)的觀念，推算出零件故障之風險性。零件故障風險性除了包括先前 QFD 所推導的零件重要性之外，也應考量零件故障的發生頻率及故障時的偵測性。故障是指設備產生不能滿足原有設計機能或規格的現象，而產品機能的變動則源自產品中的某個零件，在特定時間內無法達成其預定的機能。表 1 為零件故障風險分析表，上半部為 QFD 第二階段機能與零件的關聯分析，下半部則加上發生頻率與可偵測性的比重，評估零件的故障風險。其分析流程如下：

- (1). 由零件重要性分析，計算零件重要性比重 I (%)
- (2). 以 1 ~ 10 評估各個零件故障發生的可能性 (Likelihood of Occurrence)，進而轉換成故障發生的可能性百分比(1 ~ 100)%：以 O 表示
- (3). 以 1 ~ 10 評估各個零件故障發生時的偵測性困難度 (Detection Difficulty)，進而轉換成故障可偵測性百分比(1 ~ 100)%：以 D 表示
- (4). 計算零件故障影響指標 (Risk Priority Number)

$$RPN = (I) \times (O) \times (D) \quad (式 1)$$

故障風險性指標 RPN 值愈高，則表示該零件對顧客的影響性愈大，在設計時應特別注意。通常在決定故障風險指標的安全範圍後，將對超過範圍的之零件進行檢討。或是提升零件品質來降低發生機率，或是改變設計增加故障時的偵測性，或是改變產品結構設計，以另一種概念設計來傳遞機能。但若有直接導致人身安全或嚴重傷害之故障，無論其 RPN 值大小皆應納入重新設計的考量。

由表 2 中零件的維修模態困難度指標(Service Mode Difficulty Index)，可找出維修階段的關鍵零組件，藉以改進零件的壽命及陳列方式，降低零組件的維修成本。另外，對於具有較高的維修步驟困難度指標(Life Cycle Service Difficulty of Steps)中找尋維修成本較高的維修步驟。若能改變其固定或鏈結方式以減少困難度，亦能達到降低維修成本的目的。

表 3 產品可維修性分析表

Labor Steps	Service Modes				Serviceability Analysis	
	Difficulty Index	Labor Step Difficulty Index	Disassembly steps	Total RPN of Steps	Life cycle Service Difficulty of steps	
維修步驟						
Service Mode Difficulty Index						
Total Life-cycle Difficulty Index						

5. 適宜維修分析的資料建構

以往在產品在進行適宜維修性分析時，只考慮產品的結構和零件的拆裝關係。但故障零件的維修成本不僅包括直接的拆卸組裝工資與零件成本，更應考量故障偵測的難易與故障之效應。因此輔以功能面分析客戶需求與產品機能間的相互關聯，更能有效評估零件失效對客戶造成的影響。故本文在可維修性設計的資料架構，首先以實體關係模型分析資料間的關連性，進而應用先前提出的 STEP 設計資料架構，探討包括在機能分析與零件重要度分析中的功能資料，與零件可接近性、維修頻率、重組裝性中的實體資料。

5.1 適宜維修設計資料結構

實體關係模型(Entity Relationship Model ; ER)的模型化概念，是一個很普遍的高階概念資料模型，通常應用在資料庫通用程式的概念設計。而 EER 模型除了 ER 模型的概念外，還包含了子類別(subclass) 超類別(superclass)、一般化(generalization)及特殊化(specialization)之概念。而伴隨這些概念的

屬性繼承(attribute inheritance)將更有效率的建構父子間的關係資料。

為了方便適宜維修設計資料推理,本文使用 EER 物件導向式的資料結構定義。在功能面包括了需求和機能。而在結構關係涵蓋了零件本身的屬性，以及零件間的鏈結關係。圖 5 為維修設計中推理之 EER 模型。

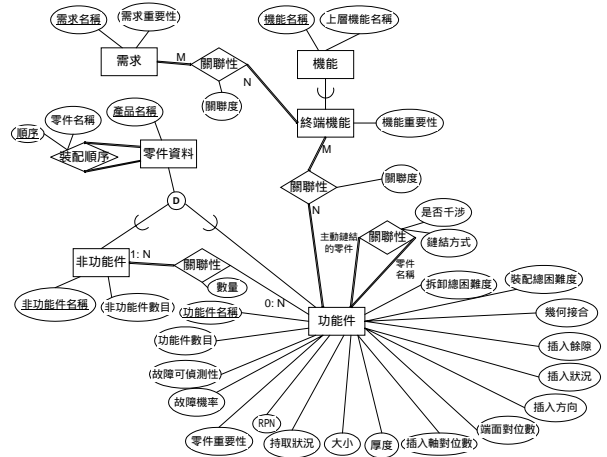


圖 5 適宜維修設計分析之 EER 模型

5.2 可維修性分析之功能資料

產品的功能資料涵蓋了客戶需求、產品機能、行為以及理由。在可維修性分析上，主要著重於客戶需求與產品機能間的相對關係。若產品的研發發展方向完全是由顧客需求和重要性所決定，而不是由設計部門的想像出來，則品質的企劃和設定更能確保顧客滿意度，但顧客的需求有時並不符合設計機能的要求，所以權衡需求與功能間的關聯性，形成決定機能的重要因素。

產品在設計初期，都有希望達成之主機能，然而產品機能並非如此單一化，主機能往往是由許多隱含的次機能構成。機能的定義以動-名詞(Verb-Noun)的形式表示，而機能間的相對關係，可藉由向後推論法(Backward Search)推行，經過反覆的搜尋後，最終的機能則稱為終端機能。

圖 6 為適宜維修分析所使用之功能資料，為產品設計資料模型的延伸。

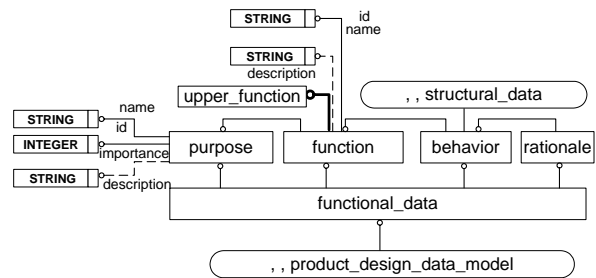


圖 6 功能資料之 EXPRESS-G 表示法

5.3 可維修性分析之實體資料

維修工作免不了要對產品進行拆卸以及裝配的動作，而拆卸及裝配的難易主要和零件的幾何特性與零件間的鏈結有關。組成最終產品所需的物件可分成兩大類：功能件類別與結合物件類別。功能件類別是指用來組成最終產品且能達成預定機能之主要物件群，包含元件、次組件、零件及主組件。而結合物件類別是指分離的固定件（fasteners），如螺絲、扣環、固定銷等，主要用於維持由兩個或兩個以上的功能件的結構穩定性。由於結合物件往往伴隨著所固定之功能件出現，並不獨立存在，因此在拆裝的推論過程中，只需考慮功能件的順序，藉此提高推論的效率。

產品零組件間之關聯性分為實體鏈結(Physical Connection)及陳列干涉(Layout Interference)兩大類。所謂實體鏈結是指兩零件間藉由結合物件或零件間的幾何互動，產生直接接觸的鏈結關係，因而造成二者某些運動自由度的限制。此類鏈結又可歸類成永久接合及可拆式接合。但物件間除了可能存在實體鏈結外，兩物件不論有無接觸到，皆可能因產品結構空間陳列的關係，使得其中一個物件的移除或裝配會受到另一個物件影響，造成二者拆裝順序的必要條件，則稱此兩個物件存在陳列干涉關係[16]。

產品拆裝的過程包括零件的持取、結合與檢驗，為提升產品的拆裝效率，對零件組合關係中的拆裝方向與狀況、相對餘隙和鏈結方式，以及幾何關係中的尺寸大小、厚度、對位和持取狀況皆為設計時應考量之重要因素[15]。圖 7 為適宜維修分析所使用之實體資料模型，而由圖中可知實體資料參照到功能資料中的行為，故功能和實體之間存在相互影響關係。

6. STEP 為基的適宜維修性設計

由先前提出的 STEP-Based 產品設計資料模型，以及適宜維修設計中所需用到之資料模組及推論方法後，可將產品設計資料模型與適宜維修設計之資料進行對應，使適宜維修設計之資料得以置入 STEP 模型中，並予以標準化。而配合推論法則，便可推論出 QFD 分析、零件影響性分析、與零件拆裝步驟分析[16]，因而自動產生可維修性分析表。

對於進行適宜維修性分析時，可藉由匯入 STEP 檔案進行分析，亦可匯出 STEP 檔案做為分析結果之格式輸出。在 STEP 標準中，Part 21 交換檔[10]是以清楚的交換結構將產品資料編碼，規範產品之資料交換結構格式，而此檔案格式適用於電腦系統間產品資料的轉換。為便利於產品可維修性之推論，在我們的研究中以 VB6 撰寫介面程式，將 Part 21 標準交換檔中的產品資訊轉置入 Access 資料庫中，並使用 ST-Tools Inc.所發展的 ST-Developer 軟體，對 STEP 檔案進行交換。ST-Developer 提供 C++ 類別庫及管理使用 STEP 標準資料的工具，亦為發展 STEP

產品資料模型的整合型基礎工具。同時不管是以 ISO 10303 標準所定義的資料模型，或是自己應用的需求而使用 EXPRESS 語言定義自己的資料，皆可使用此套工具。另外軟體也結合 ROSE 資料庫，並且可將 ROSE 之檔案格式轉換為 Part 21 之 STEP 標準資料檔案，作為一中立的檔案格式，達成產品資料分享的目的。圖 8 為進行可維修性分析自動化的流程。

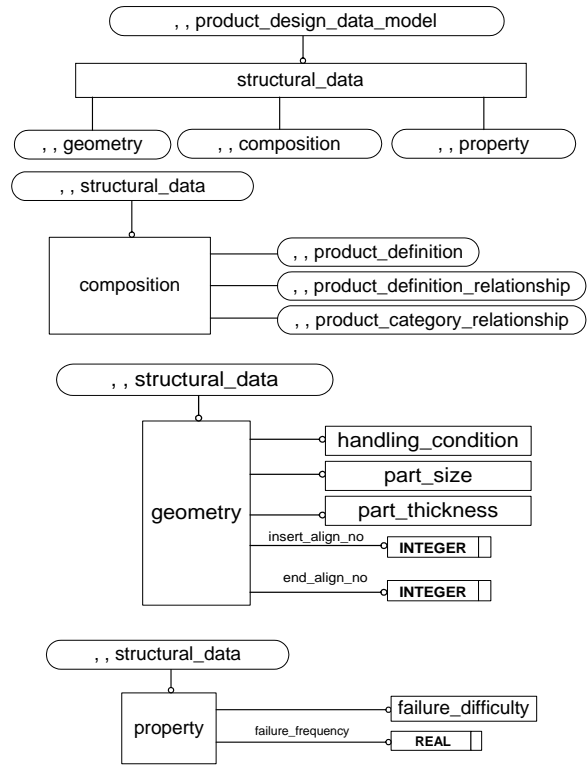


圖 7 實體資料之 EXPRESS-G 表示法

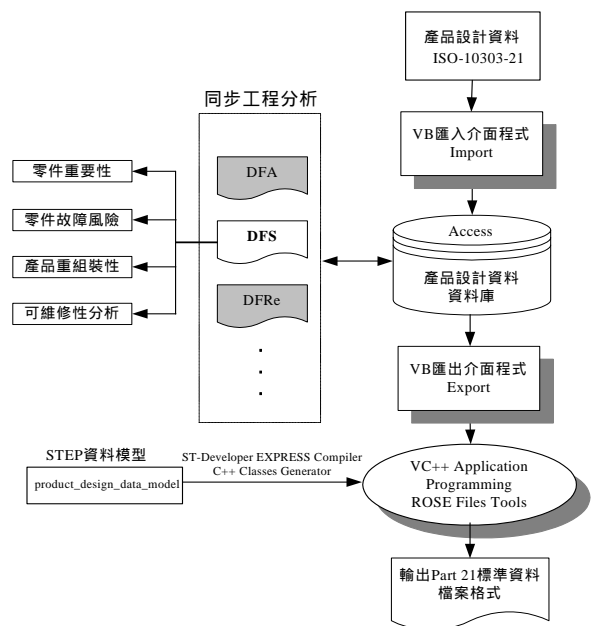


圖 8 可維修性自動化分析

7. 結論

在產品的開發階段,過去多注重於實體結構的陳列規劃,往往忽略功能面的重要性,本文提出一套以 STEP 為基礎的產品設計資料模型,涵蓋產品生命週期中包括功能、實體以及管理三方面的設計資料,使得產品設計在功能與實體方面能同時進行且互相參照。而國際產品資料標準 STEP 的導入,使此資料模型具有交換的一致性與分享性,且 EXPRESS 語言可因應不同的產品資料進行擴充,故此系統可做為日後同步工程分析之資料架構。

本文以維修適宜性的分析作為設計資料的應用說明,並提出了維修適宜性的分析工具,結合品質機能展開、故障模態與效應分析與維修模態分析的觀念,推導客戶需求導向的設計可維修性分析,更客觀的提供一套設計評估的工具。而配合 Step-Based 產品設計資料庫的架構與推論引擎的建立,可對依 ISO 10303 Part 21 標準建立之產品設計,進行跨平台式的設計分析自動化,將可做為未來同步化設計分析之模式建立基礎。

8. 參考文獻

- [1] Wang, F. and Mills, J., "A Product Data Model and Processor Supporting Virtual Product Development", ASME 2000 Design Engineering Technical Conferences And Computers and Information in Engineering Conference, DETC2000/CIE-14618(2000)
- [2] Liu, T.H., Trappey, A.J.C., and Shyu, J.B., "ISO 10303-Base PCB Assembly Data Model for Assembly Analysis", CONCURRENT ENGINEERING: Research and Applications, Vol.7, NO.2, pp.159-176.(1999)
- [3] Rosenman, M. and Wang, F., "CADOM : A Component Agent-based Design-Oriented Model for Collaborative Design", Research in Engineering Design 11:193-205 (1999)
- [4] Dewhurst, P. and Abbatiello, N. "Design for Service", Design for X Concurrent Engineering Imperatives, ed. Huang, G.Q., London: Chapman & Hall, pp.298-317. (1996)
- [5] DiMarco, P., Eubanks, C.F. and Ishii, K., "Service Modes and Effect Analysis: Integration of Failure Analysis and Serviceability Design", ASME Computers in Engineering Conference, pp.1-8 (1995)
- [6] Dowie T., Simon M., and Fogg, B., "Product Disassembly Costing in A LifeCycle Context," Clean Electronics Products and Technology, 9-11, pp. 202-207 (1995)
- [7] Liu, T.H., Fischer, G.W., "An Assembly Code Classification and Coding Schema Based on a STEP Mechanical Product Model", Manufacturing Review, Vol.8, NO.1, March 1995, pp.33-46. (1995)
- [8] International Standard Organization 10303-1, Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange - Part 1: Overview and Fundamental Principles, Dec.(1994)
- [9] International Standard Organization 10303-11, Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange - Part 11: Description Methods: The EXPRESS Language reference manual, Dec.(1994)
- [10] International Standard Organization 10303-21, Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange - Part 21: Implementation Methods: Clear text encoding of the exchange structure, Dec. (1994)
- [11] 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)
- [12] Akao, Y., QFD Integrating Customer Requirements into Product Design, Productivity Process .(1990)
- [13] Pugh, S., Total Design Integrated Methods for Successful Product Engineering, Addison Wesley. pp.210-212 (1990)
- [14] Makino, A., Barkan, P., and Pfaff, R., "Design for Serviceability," Proc. Of the 1989 ASME Winter Annual Meeting 1989, San Francisco CA. (1989)
- [15] Design for Assembly Calculator, Westinghouse Productivity and Quality Center, Pittsburgh, PA, USA(1986)
- [16] 江吉祥, 以 STEP 為基進行產品組裝與拆卸分析之推演架構, 國立台灣科技大學機械系, pp.30-31,(2000)
- [17] 杜春長、余志成, "產品維修適宜性的自動化分析", 中華民國自動化科技學會第十一屆全國自動化科技研討會論文集, pp. 1387-1394. (NSC 88-2212-E-011-009) (1999)
- [18] 盧東宏、蔡志成, "以 STEP 支援分散式機械設計電子化型錄系統之研究", 中華民國自動化科技學會第十一屆全國自動化科技研討會論文集, pp. 229-236 (1999)