

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 以機械元件之功能與關聯建立機械設計模組之研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2212-E-002-055-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立臺灣大學機械工程學系暨研究所

計畫主持人：劉正良

計畫參與人員：陳育琛

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 7 月 13 日

# 以機械元件之功能與關聯建立機械設計模組之研究

劉正良 陳育琛

國立臺灣大學 機械工程學系

國科會計劃編號： NSC-92-2212-E-002-055

## 摘要

本研究嘗試以機械元件的功能與關聯建立機械設計模組，將機械元件依功能分類，配合功能類別間特徵外型之關聯，表現於機械設計模組上。依據元件特有的屬性，設計者可以依設定的屬性選擇適當的元件。依據功能類別間的關聯利用設計模組搜尋相搭配的元件，搭配以屬性選擇適當的元件，進而組成整個系統，以輔助設計者從事打樣設計的工作。

關鍵詞：功能分類、特徵外型、屬性、機械設計模組、打樣設計

## A Study of Mechanical Design Module Establishment Constructed by Functions and Relationship of Mechanical Elements

### Abstract

This work attempts to establish the mechanical design module from the functions and attributes of the mechanical elements. The mechanical elements are classified by their functions and function pairs. Their relationship of the characteristic shapes and functions are represented in the mechanical design module. Through choosing suitable elements based on matching attributes and the uses the mechanical design module, the whole mechanical system is thus established. Consequently, mechanical design module can assist designer in carrying out layout design, so that the designer can show his design concepts systematically.

Keywords: classification of design functions, characteristic shape, attribute, mechanical design module, layout design

### 1. 前言

機械設計是偏重心智表現的行為，一般認為設計是需要經驗與創意的，加上現今的系統日益複雜，需要更長的訓練與更多的人力才能完成，所以有了設計方法的產生[1][2]，嘗試以系統化的方法，讓設計人員有所依循，能更有效率的從事設計工作。設計方法雖提供了標準化的程序，但在實際的設計工作上，仍需要設計人員以經驗來判斷及選擇設計方案或元件，且沒有實用的方法能加以輔助，因此經驗仍是設計人員最重要的資產。如何有系統的幫助這些設計人員拓展自己的知識與經驗並做出正確的決定，就成了一個新的需求。

所謂的「經驗」並不是一個可以具體描述的東西，而是許多心靈層面表現的總稱，傳統的哲學家認為經驗是人類主動認識能力的成果，結構主義者則提出了「結構」一詞來統一具體與抽象、內容與形式的關係。李維史陀[3]認為「結構」是超越經驗的，是內在的而先天的，且無意識地影響著人類的行為。結構主義的方法在於將所有的系統視為由有限的模式以各種組合方式表現出來的，而最初的模式就是「結構」[4]。無論是語言學、社會學或是心理學都可以採用結構主義的方法而產生了結構語言學[5]、結構社會學與結構心理學等。

而機械的系統是由有限的機械元件加以選擇組合之後所組成，與語言學的結構相近，因此將結構主義的方法應用在機械設計上，提供了研究機械設計一個新的方向。

現代的設計問題遠較從前複雜，單純地以圖面直接進行設計已經無法順利達成設計的目標，因此出現各種設計方法，提供了設計者在進行設計時可以因循的步驟。而在機械設計中，雖有許多方法及工具可以幫助分析性的設計工作，然而對非分析性工作的輔助工具則相當缺乏，其原因是從事設計者不瞭解非分析性機械設計的結構，所以無法建立針對非分析性工作的輔助工具。

如果能夠找出機械系統的基本結構，解析設計人員在進行設計時的心裡歷程，就能夠將機械設計的經驗以特定的模式保存下來，進而建立輔助設計的工具，如機械設計模組。而結構主義提供了一種研究方法，透過「深層結構—轉換規則—表層結構」之觀點，來探討事物的本質及其表象的關連，及其中轉換的過程。對機械設計而言，結構主義的方法不僅是將已存在的零件、圖形加以分析整理，更能探討設計者在進行設計時心智運作的過程並且加以保存，所以結構主義的方法論提供了一種新的概念來詮釋機械設計。

本研究之目的在於提供一種方法，建構機械設計模組及應用設計模組幫助設計。應用此方法可將既有的設計以圖與表的方式保存原設計者所運用的知識與巧思，藉此建立完整的機械設計模組，且可以不斷的擴充。而應用機械設計模組的方法，可讓設計人員在進行新的設計時，能夠藉由機械設計模組的資料，進行合理的設計，建立機械系統的打樣圖。

## 2. 結構主義的研究方法

### 2.1. 結構主義的基本概念

結構主義者所說的「具體的存在」指的是該事物特殊的存在方式，也就是能與其他事物的存在相區分的具體標誌，所謂的「結構」包含「形式」與「材質」，並且是一種「存在的方式」，一個具有獨特結構的事物應該要發揮其功能才是具體的存在。那「結構主義」又是什麼？當人感覺到某些現象時，由於感官的運作方式，以及人腦整理、解釋外來刺激的方式，使人會賦予這些現象一些特徵[4]，就是人類把周遭的時空連續體切割成片段，相對的，人類製作物品、安排儀式、或者記述歷史時，也都以所認識的自然為模擬的對象。

結構主義之父李維·史陀認為哲學家 and 人類學家的基本任務要做到最精確、最有意義和最簡單明瞭地描述人類群體的社會行為，說明和解釋各種社會現象，在結構主義者看來，結構主義實際上是處理這些問題，並為回答這些問題而整理事實材料的一種方法，結構主義者把自己的哲學看做是一種方法論。它的精髓與基本部分是由一系列叫做「結構主義的方法」所構成的[4]。

欲將結構主義的方法應用在機械設計上，必須將一些結構主義的基本觀念，以機械設計的觀念加以解釋，以下就是一些應用於機械設計中的結構主義重要觀念。

#### 一、物件—關聯

在結構主義的觀念中，所謂的「結構」並不僅僅是單純的將所有分子相加在一起，而是其中的分子以某種形式存在著，且還包含許多的限制與關聯所一同組成的。如果以「物件」來當作結構中最小的組成分子，而「關聯」是決定結構形式的性質，則可以說一個結構是由其中所有的物件經由某些關聯而組成一個具有特定形式的集合。由此觀點來看，機械系統亦可視為一種結構，因為在機械系統中的零件彼此之間組合都具有特定的關聯。

#### 二、二元性

在結構主義者看來，所有的動物都具備有某種區分範疇的能力，而這些區分出來的範疇基本上是成雙成對的。在這些基本範疇的基礎上，再形成更複雜的、反應各種相互關係的範疇。所以一切關係最終都可以還原為兩項對立的關係，於是在結構主義的方法看來，每個關係中的每個元素，都可以根據自己在對立關係中的位置以及在整體模式中的相對位置，被賦予其本身的價值。

對機械元件而言，某種元件之所以會存在，會被人們使用至今，必定是其具有與其他元件不同的特性。如果能找出各種機械元件間的二元對立關係，便能定義出機械元件在整體機械系統中的相對位置。

### 三、轉換概念

結構主義認為所有能觀察到的人類行為與社會現象，都是源自於一個人類深層的普同結構，但這個普同結構是無法被觀察到的，而且外顯的現象十分複雜，也無法直接歸納出結構的本體，因此結構主義者提出了「轉換」的概念。結構主義者透過「深層結構—轉換規則—表層結構」的觀念對事物的本質與表象進行研究，換句話說，轉換規則的建立就是找出深層結構的方法。

如果將設計完成後的機器視為外顯的表層結構，其表現了設計者深層的普同結構，那麼應用結構主義的方法應該也能找出一套機械設計的轉換規則，以得到機械設計的深層結構。有了機械設計的轉換規則後，便可應用來輔助從事新的機械設計。

### 四、類項與聯組

在索緒爾研究語言的共時性之後，發現類似性關係與連接性關係這兩種主要的關係。前者為一種互相對比而又可以互相替換的類似關係，索緒爾稱其為類項關係 ( associative relations )；後者為一種構成語言序列的各元素之間的連接關係，稱之為聯組關係 ( syntagmatic relations )。在語言的序列中，一個元素的價值不但取決於與那些能替換它的元素間的對比，也取決於序列中在這元素前後的各項元素。所以類項關係決定了可相互替換的元素間的對比，而聯組關係則決定了組合的可能性，即可能組成各元素間的序列的關係[5]。

#### 2.2 機械設計模組

以結構主義的方法來進行機械設計結構的建立，先前之理論發展是從結構主義語言學中獲得其與機械設計的關連，再建立結構主義觀點的設計模式，最後逐漸發展出以模組的形式來表現機械設計結構。以下就對機械設計模組發展的一系列做回顧。

#### 2.3 結構主義與機械設計的關連

Liu 和 Lee [6]從結構主義的觀點探討機械設計，曾嘗試找出將結構主義觀念與機械設計加以連結的可能性，探討了機械設計與語言的相關性，如表 1 所示，並指出語言行為及設計行為都是符號思考的過程，在設計的過程中，設計者同時運用圖像和語言的符號來進行思考，此兩種符號是設計者藉以思考與傳達訊息的媒介。

表 1 機械與語言結構的類比 [6]

語言	機械
意義	功能
文章	系統
段落	次系統
句子	模組
字	零件

#### 2.4 語言學在機械設計的應用

Liu 和 Shyu [7]從轉換生成語法的觀點探討機械設計之創新行為，以語言學的方法來建立機械設計的模式，他認為機械設計有語言之創造性特質，都是以有限的元素產生無限的設計，可以發揮無限的創造力。而藉由界定設計語法中的語素—「基本設計單元」，即可在各設計範疇中套用，如同語言一般。語法的轉換規則可幫助設計過程的表達，並可輔助設計者從事系統的合成。

而後黃凱立從結構主義與結構語言學之觀點建立機械設計模式之雛形[8]，認為若把零件當成機械系統中最小的設計單元，則這樣建構出的機械設計模式將無法應用於零件本身的設計，另外就

是由下而上的設計不合乎一般設計習慣。所以他根據結構語言學中「詞組律—轉換規則—詞組結構」之研究方法，探討由零件出發的構詞學。以「零件功能基」為機械系統中之最小單位，希望能從零件之設計語法衍生至機械系統之設計語法，找出其他可能的設計方法。

綜觀以上所述，使用結構主義與結構語言學建構機械設計模式應該是可行的，其中以結構主義中「深層結構—轉換規則—表層結構」是建構模式時最重要的理論基礎。

### 2.5. 以結構主義建立機械設計模組

Liu [9]以機械元件中具有特定功能之外型組合，來對機械設計做另一種詮釋。機械系統就像一連串以功能呈現的元件所組成的結構，根據結構主義的概念，機械元件的功能外型組合就像語言的文法，因此對功能的描述為外型的合成提供了新的意義。使用功能外型合成的方法，或可產生許多不同的機械設計方案。

徐任俊從結構主義的觀點出發，認為要解決機械設計中「經驗」所造成的問題，必須找出機械設計本身之普遍性結構，也就是結構主義中的「深層結構」[10]。徐君採用了「功能」與「形狀特徵」做為模組的兩個座標軸，將物件依據兩軸線排列於模組上。

劉正良與魏麟孫以系統設計的觀點建構機械設計圖譜 [11]，以系統設計的觀點探討零組件間的關聯，建構一表達「系統內各零組件之間的關聯」的架構，這架構包括了兩個基本軸線「流動性關聯」與「非流動性關聯」，使用者可利用此架構系統化地表達已知系統內各零組件的關聯。此研究中認為機械設計模式 (mechanical design pattern) 是機械系統間或零組件間的一些可行的組合，可完成一特定之功能需求。經由座標軸的訂定，每個模式都有固定的表現形式，模式內的各零組件彼此相關聯而可被視為一個整體。

## 3. 設計模組的產生

### 3.1 機械設計模組的要素

機械設計中所使用到的元件包羅萬象，完全熟知掌握極為不易，希望能藉由機械設計模組，快速而有系統的幫助設計者瞭解各元件的各種性質與元件之間的關係，進而幫助設計者利用機械設計模組進行設計。

機械設計模組必須具備的要素為功能、屬性、及關聯，功能與屬性定義出元件於模組上的位置，關聯則定義出元件之間的關係。也就是以功能與屬性表現出元件本身的性質，以關聯表現元件與其他元件組合的方式，而機械設計模組則是能將這些資訊有系統地保存並清楚地表達出來的一種方式，或說是表現機械設計的深層結構。

### 3.2 機械設計模組的基本性質

機械設計模組基本要素為功能、屬性、及關聯，若以結構主義的「類項」與「聯組」來比喻，同功能的元件可視為同一類項關係，而功能之間的組合方式則可視為聯組關係，而屬性則是決定同一類項內各元件的差異。

#### 一、功能

Wilson 與 Sadler [12]對何謂機械下了一個明確的定義：機器就是一個擁有明確動作，並且執行有用工作能力的相關部分的組合。其中「執行有用工作能力」指的就是機器的功能。若根據設計方法的角度來說，從事系統化設計的程序是：釐清目標、訂出需求規格、建立功能結構、尋找可用的物理原理、建立工作結構，在確定設計工作的目標跟規格之後，最重要的是建立機械系統的功能結構，因此需要瞭解各個元件的功能，才能知道如何達成設計的要求。

#### 二、屬性

在傳統的機械設計中，選擇機械元件的方式多是根據設計者自身的經驗，使用一般最常用的元件，再者根據元件的工作需求及環境要求來考量。如果將區別各元件的特性挑選出來，訂為元件的屬性，依屬性將同功能的元件再加以區別，設計者在進行設計工作時，只要根據其所需要的屬性，設定各屬性在需求上的重要性，進而篩選出合適的元件，即可方便地做出正確的選擇。

### 三、關聯

在結構主義的觀念中，結構與集合最大的不同在於結構具有特定形式的關聯，意即結構包括了本質與關聯。而對機械系統而言，功能就是本質，元件的組合方式就是關聯，然而元件的排列組合並不像語言一般是線性的，而是空間性的，所以機械元件之間的關聯是多維的，然而為了方便在模組上表現機械系統的關聯，不至於太複雜而不易使用，本研究採用平面的方式來建立元件的關聯，將元件以功能類別與關聯一起表現在機械設計模組中。

#### 3.3 機械設計模組的產生程序

為了將機械設計的知識與經驗有系統的以機械設計模組的方式來表現，必須要一套有系統的程序與方法將此抽象的經驗轉成具體的形式，本研究中建立機械設計模組的程序如下：

##### 一、決定元件分類

為了將具體的機械元件抽象化以表現在機械設計模組上，以取代繁多的機械元件，所以必須先決定機械元件的類別。決定類別的方式，需考量在概念設計階段，對建立功能結構的需求，因此以功能作為元件的類別，將機械元件依功能分類，把同樣功能的元件集合在一起，以一個功能類別來代表。再考慮到設計者建立功能關聯時的需要，將同功能的元件以次要的功能再次分類，讓同一分類之下的元件有更高的同質性，同時表現於機械設計模組之中，使模組更細緻化。

##### 二、選擇元件屬性

被歸類到同樣功能的元件，彼此之間仍然有許多差異性，這是因為這些同功能的元件在使用上有著不同的考量。為了凸顯這些差異性，讓設計者辨別，也為了提供設計者在使用此類元件時，需要被考慮的項目，所以必須依照此類元件的特性，定義出屬於這一功能類別元件的屬性。

##### 三、分析元件關聯

表現機械系統結構的機械設計模組不只是一堆元件的集合，更具有元件之間的關聯，關聯是將結構的形式外顯的重要因素。在建立元件的功能類別與屬性之後，便要對既有之機械系統做關聯分析，尋找存在機械系統中普遍性的元件關聯。

##### 四、排列類別位置

為了讓機械設計模組能清楚的表現元件的功能類別與關聯，類別與關聯必須經過適當的排列，讓兩者可以清楚的表現在二維的平面上，構成能簡單使用的機械設計模組。

根據以上四個程序，完成由功能類別圖示組成的機械設計模組，將元件以抽象化的功能類別代表，並且保存熟練設計者的經驗，冀能兼顧設計的普同性與指導設計的實用性。

#### 3.4 機械設計模組的組成

為了簡化機械設計模組，並增加其使用上的實用性，以便設計者從概念設計階段就能運用機械設計模組，本研究的設計模組由兩個部分組成，第一部分是「功能類別關聯圖」，第二部分則包含了「功能類別之元件與屬性表」以及「同功能元件屬性比較表」。而設計者則可利用模組以及其中的資料建立設計工作所需要的「需求功能打樣圖」及「需求元件打樣圖」。

圖 1 就是械設計模組建立與應用程序，圖中可以看出各階段所產生的圖表，以及設計者在任一階段應該採取的行動。

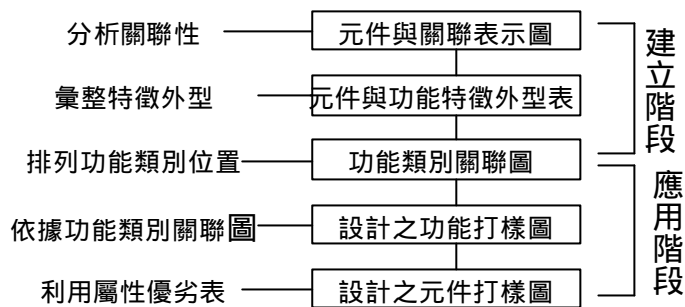


圖 1 機械設計模組建立與應用程序圖

#### 4. 設計模組的元件分類

結構主義認為事物的某個結構必須發揮其特有的功能才是實際的存在，以此觀念來看機械元件，若要建立一個機械設計的模式，並且在概念設計階段就可以應用的話，以元件的功能來做分類會比以外型或材質來分類為恰當。

以下就以功能的觀點設定機械元件的類別，此分類方式乃是參考前述研究中的分類法[8, 11]，並加以些許的調整以適合本研究之機械設計模組。其中標題所示的是主功能類別，而次一級的標題則是次功能類別，如表 2 所示，其英文名稱是一般常用的名詞，而主功能類別的代碼是取英文名稱之第一個字母的大寫來表示，次功能類別的代碼是以小寫的字母，並加上其主功能類別的大寫字母代碼而成。

在定出機械元件的功能類別之後，接下來就是將各種元件依據功能類別加以歸類，在本研究中所列出的元件是參考徐灝主編的機械設計手冊[13]，從中挑選出來與傳動機構有關的常用元件，若想擴充機械設計模組則需要日後增加更多的元件。

表 2 機械元件功能分類

主功能類別		次功能類別	
(中文名稱) 英文名稱	代碼	中文名稱 (英文名稱)	代碼
(輸入類) Input	I	轉動類 (Revolution)	Ir
		(直動類) Linearity	Il
輸出類 Output	O	轉動類 Revolution	Or
		直動類 Linearity	OI
傳動類 Transmission	T	傳遞類 Delivery	Td
		轉換類 Translation	Tt
		離合類 Clutch	Tc
		制動類 Brake	Tb
		儲能類 Storage	Ts

連結類 Connection	C	軸向類 Axis	Ca
		徑向類 Radius	Cr
		平面類 Plane	Cp
承接類 Support	S	轉動類 Revolution	Sr
		非轉動類 Non-revolution	Sn
定位類 Positioning	P	軸向類 Axis	Pa
		平面類 Plane	Pp
機座類 Base	B		
保護類 Guard	G		

## 5. 參考實例

以千斤頂[14]做為本研究實例應用的主要目的在於：藉由機械設計模組的引導，產生各種元件的組合方式，從中獲得新的千斤頂結構的可能性。

從需求表所列出的功能需求，決定千斤頂的功能結構，其輸出功能為承台直線向上的運動，而輸入功能為人力的輸入，因此其中間功能應為力量與扭矩之轉換、扭矩之傳遞與放大等。

依功能類別可以發現與其相連的功能類別有輸入直動類 (Ii)、傳動轉換類 (Tt)、連結平面類 (Cp)、承接非轉動類 (Sn) 與機座類 (B)。

根據功能結構，輸出之前所需要的功能是將扭矩轉換成力量，因此應該選擇具有將轉動轉換成直動功能的傳動轉換類元件。根據功能結構「放大扭矩」，需要一對傳動轉換類的元件，而在此設計中是轉動的傳遞，所以應該先選擇連結轉動類的元件作為中繼，接著才是以一組傳動轉換類元件達成放大扭矩的功能。再來則是以傳動傳遞類元件達成「傳遞扭矩」的功能，同樣也需要連結轉動類的元件來連結傳動轉換類與傳動傳遞類的元件。最後決定輸入的功能是以輸入轉動類的元件來達成，而輸入轉動類與傳動傳遞類元件之間也需要連結轉動類的元件。

從上述概念的描述，可以產生如圖 2 之基礎功能打樣圖。圖中每一個圖塊代表了某種功能類別的元件，線條則是代表兩元件之間的外型搭配關聯。而圖塊中的功能類別代碼請參見表 2。

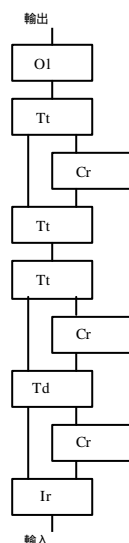


圖 2 千斤頂的基礎功能打樣圖



當然圖 2 還不足以做為整個千斤頂系統的功能打樣，所以必須參考規格表以及功能關聯圖，訂出其他需要的功能元件。在這個階段中必須將上一階段產生的功能打樣圖轉換成實體的模組，意即必須分段將功能類別的圖示轉換成適當的元件，此時就要借助機械設計模組中的元件功能外型以及功能類別元件與屬性等資料，幫助設計者搜尋相關的元件並加以選擇，如圖 3 所示。

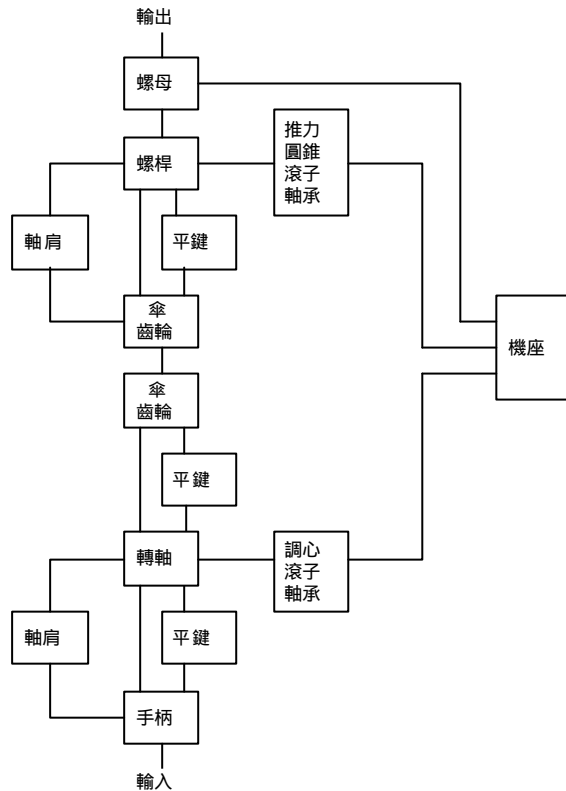


圖 3 千斤頂的元件打樣圖

## 6. 結論與建議

本研究以結構主義的方法，嘗試以模組的方式表現機械元件的功能與關聯，模擬機械設計的深層結構轉換成表層結構的過程，並將其應用於實際的設計工作上。

本研究之機械設計模組是根據機械元件的功能與關聯，將元件分類並建立結構，繪成模組，幫助設計者進行打樣設計。

本研究以元件的功能建立一分類法，此功能分類除了將元件分類，亦做為將元件抽象化的表示法。每一功能類別的元件都具有特定的屬性。而元件之間的關係則以元件的特徵外型做為決定元件間關聯的依據，最後可以將實體機械系統轉化為以圖塊與線條表現的關係圖，並發展成實體的機械系統。

本研究若能以專家系統的方式建立元件的資料庫，便可利用專家系統進行元件的搜索與比對，而電腦化之後也能讓資料的使用更為便利。

## 參考文獻

- [1] Cross, N., *Engineering Design Method*, John Wiley & Sons, New York, 1994.
- [2] Pahl, G. and W. Beitz, *Engineering Design*, Springer-Verlag, London, 1995.
- [3] 艾德蒙·李區著，黃道琳譯，*結構主義之父-李維史陀*，桂冠圖書股份有限公司，台北市，1994。

- [4] 高宣揚，*結構主義*，遠流出版公司，台北市，1997。
- [5] 喬納森·卡勒著，張景智譯，*索緒爾*，桂冠圖書股份有限公司，台北市，1992。
- [6] Liu C., and S. Lee, 1994, "Methodology for creative machine design based on decomposing-composing technique," *JSME International Journal*, Series C, Vol. 37, No. 2, pp.376-383.
- [7] Liu C., and F. Shyu, 1996,"Methodology for establishing a creative machine design formal model based upon transformational-generative grammar," *Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers*, Vol.17, No.5, pp.425-434.
- [8] 黃凱立，*從結構主義與結構語言學之觀點建立機械設計模式之雛形*，台灣大學機械工程學研究所碩士論文，台北市，1996。
- [9] Liu, Cheng-Liang, "Study of Functional Shape Matching and Synthesis in Machine Design Systems", *Journal of Engineering Design*, Vol.5, No.3, pp.211-225, 1994.
- [10] 徐任俊，*以結構主義的方法建立機械設計圖譜之研究*，台灣大學機械工程學研究所碩士論文，台北市，1999。
- [11] 劉正良，魏麟孫，2001，"以系統設計的觀點建構機械設計圖譜之研究"，中華民國機構與機器設計第四屆學術研討會，彰化縣大葉大學，11月16日，pp.78-85。
- [12] Wilson, C. E., and J. P Sadler, *Kinematics and Dynamics of Machinery*, Harper Collins College Publishers, New York, 1993.
- [13] 徐灝主編，*機械設計手冊 (1~4)*，建宏出版社，台北市，1994。
- [14] 賴耿陽譯著，*千斤頂設計實務*，復漢出版社，台南市，1996。

#### **Acknowledgement**

The authors would like to express their gratitude to the National Science Council of the grant number: NSC-92-2212-E-002-055.