

模型製作策略之應用傳達研究

梁榮進^{1*} 王紀瑞²

¹嶺東科技大學科技商品設計系

²建國科技大學自動化工程系

摘 要

製作模型的目的是在於進行測試、實驗、模擬、製造與造型設計的評估使用。產品設計、航太工業設計、空間設計和建築設計等領域，都必須製作模型進行設計評估，藉以達到模型的品質和應用傳達功能。本研究根據產品模型使用目的之準則，進行製作策略研究，採用專家經驗的評量方法，根據設計專案的模型使用意義，進行模型製作策略研究，以灰關聯分析方法 GRA(Grey Relational Analysis)計算專家評量的共識性結果，以灰結構模型圖 GSM(Grey Structure Model)傳達出模型的製作策略，提供模型製作選擇的最佳鑑別方法。

關鍵詞：模型製作、專家經驗、灰關聯分析方法、灰結構模型

A Study on the Application Convey of Model Making Strategy

Jung-Chin Liang^{1*} and Jee-Ray Wang²

¹ Department of Technological Product Design, Ling Tung University

² Department of Automation Engineering, Chienkuo Technology University

ABSTRACT

The purposes of making model are to evaluate the product test, experiment, simulation, manufacturing and structure design. In the fields of product design, aerospace industrial design, space design and architectural design, the model making is necessary for design assessment. In this study, the model using guidelines, the expert experiences assessment methods, and the purpose of the product model design project were used to conduct production strategy research. Furthermore, the data were analyzed by GRA (Grey Relational Analysis) to calculate the consensus of expert assessment results. Finally, the GSM (Grey Structure Model) chart conveyed model making strategies and provided the best selection method of the model making.

Keywords: model making, expert experiences, grey relational analysis, grey structure model

一、前言

產品設計、航太工業設計、空間設計和建築設計等領域，皆須製作模型進行輔助設計與檢討，為了促使模型的製作應用可以傳達最佳的使用功能，根據模型的使用目的，選擇適當的製作策略方法，可以促進模型的品質和機能，同時也能實際傳達模型製作的使用意義，這項模型製作方法的研究與應用傳達之探討，即為本文「模型製作策略」之意義。模型製作傳達有許多類型(Type)，每一種製作方式的展現都有其優、缺點；本研究針對產品模型的使用性及應用傳達行為，研究模型製作策略，可以協助專案設計順利推動。因此，如何從產品設計研發所需求的模型功能準則，結合模型的製作策略規範，擬定出最佳的產品模型製作執行策略，是為本研究之目的。

Pantograph2011年提出產品模型製作的主要功能是以測試機能、實驗功能、模擬應用、製造評估與造型設計為目的[1]。產品模型是由各種材料所組成，每一種材料都有其固有的製作加工方式，依照模型製作使用之目的，選擇適合的材料執行模型製作，可以促進模型的使用機能，而不論是採用手工方式或是機械方法製作模型，都是可行的方法。產品模型製作行為非制式化工作，模型結構必須符合設計專案之要求才有應用的價值，慎選合宜的模型製作策略，可以協助產品設計研發工作的進行[2]。

「模型」的形態、結構、色彩、和質感確立了模型的外在品質；模型的強度、剛性、機構和材料性質，創造了模型的內在功能。整合以上的模型製作要求條件，所傳達出來的模型成果，最能達到產品設計研發應用的品質。根據模型製作應用傳達之規範要求，該如何進行製作策略的規劃，藉以達到使用功能的傳達，已成為模型製作設計的重要工作 [3-4]。製作模型是一項策略的運作，模型除了傳達基本的功能，也是一件檢討產品結構設計的實體，「模型」直接傳達設計理念與構想的實現，設計師驗證設計品質藉由模型的內、外結構之展現，激發出新的設計構想及提供改進依據，所以面對產品的實務設計之要求，慎選模型製作策略傳達出良好的模型品質，成為產品設計開發需求的模型，模型的製作策略必須與應用傳達功能密切結合[5, 6]。

產品模型製作過程依照形態、結構、尺寸和精緻度的要求，選擇適當的製作策略。模型在實務應用上，有兩項主要的功能意義：一、可以快速獲得立體結構，二、能夠立刻成為產品設計開發檢討的功能 [6]。各種的產品設計行徑，藉由模型結構組織的領悟和發現，可以檢討設計行為的正確與否，以及了解整體設計的完整性[7]。由於透過模型製作可以協助設計構想的實現，經由模型製作的檢討，可以了解設計問題的發現，所以從模型製作執行的過程中，就必須慎思可應用傳達之本質。

因此，本研究針對 Pantograph 所提出：產品模型的主要功能是以測試機能、實驗功能、模擬應用、製造評估與造型設計為目的，提出以上的模型功能，作為本研究的評量準則，透過專家經驗對於製作策略的共識性意見之提供，採用灰關聯分析方法進行評量資料的解析，而可以獲得專家經驗的製作策略共識觀點，如此也可以避免錯誤的發生，並且可以促進模型製作的完整性。本研究之結果，最後再透過灰結構模型的圖解傳達，提供了最佳模型製作選擇方案的系統圖，協助模型製作策略與模型使用的推動，解決長久以來難以判別的產品模型製作策略之問題。

二、相關文獻與理論

2.1 模型製作策略之鑑別方法

產品模型之功能不只是傳達 3D 立體的概念而已，其主要重點更在於協助設計專案的順利推動及協助設計提案的達成。本研究採用專家經驗法則，根據產品模型製作應用之準則，採用重要性評量的研究方法，針對模型製作策略進行研究探究，藉由專家們的共識觀點所評量出來的研究結果，在具有數學基礎的研究架構下，可以計算出評量結果的重要性排序，解析產品模型製作策略的傳達，促進模型的實際應用功能，讓產品模型的製作應用價值得以展現，解決了不易理解的模型製作策略之問題。

2.2 灰關聯理論(GRA)

2.2.1 灰關聯理論說明

1982年學者鄧聚龍(J. L. Deng) 提出灰色

系統理論 [8]。這是一項運用數學方法，將不明確問題進行解析的理論方法；針對相關的研究問題或條件，採用數學運算分析方法，將難以釐清的問題，進行有系統的分析處理，能夠在複雜的問題中，整理出有系統的結構組織之解析方法。這當中「灰關聯分析法」是灰色系統理論中，最有效的分析工具。當面對著系統模型內訊息不明確與不完整性等問題，灰關聯分析方法可以進行關聯性問題的分析與建構，並且可以將事物的不確定性、多變量、離散的、不完整性數據做最有效的處理[9-10]。本研究透過專家經驗之模型製作策略，結合模型應用傳達之觀點，以研究評量的數據，建立灰色系統的比較序列和標準序列，以及應用序列的灰關聯度數值(Gamma)建立權重排序，成為鑑別模型製作策略重要性排序的結構方法，以及符合專案設計要求的模型使用功能。灰關聯分析方法，近年來已被廣泛應用於各領域的研究執行，如教育評量分析、產品設計調查、市場調查研究、社會科學、系統模型、電腦科學等領域，當前已有許多成功研究案例[11-18]。

2.2.2 建立灰色關聯數據

本研究以研究評量所得到的資料，首先建立灰關聯矩陣，這是由參考向量和比較向量所建立出來的矩陣，其公式如下：

$$x_0 = (x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(k), \dots, x_0(m));$$

$$k = 1, 2, 3, \dots, m$$

Reference vector (1)

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= (x_1(1), x_1(2), \dots, x_1(k), \dots, x_1(m)) \\ x_2 &= (x_2(1), x_2(2), \dots, x_2(k), \dots, x_2(m)) \\ &\vdots \\ x_i &= (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(k), \dots, x_i(m)) \\ &\vdots \\ x_n &= (x_n(1), x_n(2), \dots, x_n(k), \dots, x_n(m)) \end{aligned} \right\}$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

Comparative vector (2)

2.2.3 灰關聯的形成與產生

針對灰關聯的評比與產生，乃是首先將評量比較的原始數列之數據給予正規化，亦即必

須在相同的條件下進行評比，而能產生客觀的評量數據。其中建立比較性的條件，必須滿足三個條件，分別為：無因次性(Nondimension)、同等級性(Scaling)和同級性(Polarization) [20]。相關資料經過評量比較之後，可以得到「評量結果」，經過計算處理後，可以得到「研究結果」。本研究灰關聯度的計算是根據期許目標，以「望大」為期許(希望的目標值越大越好)，而可以求取最大的灰關聯度，成為優先選擇的策略，因此灰關聯的評量決策矩陣以「望大值」進行設定，而計算出灰關聯度，這項數值即為制定策略方法的排序值(權重值)，其公式為：

望大 (Larger-the-better)：公式如下：

$$x_i^*(k) = \frac{x_i(k) - \min_i x_i(k)}{\max_i x_i(k) - \min_i x_i(k)} \quad (3)$$

當是 j 是代表一個「評量決策灰關聯矩陣」，其中的公式 $\max_i x_i(k)$ 為 j 中的最大數值， $\min_i x_i(k)$ 為 j 中的最小數值。

2.2.4 灰關聯計算

針對評量資料的灰關聯度之計算，其中的局部性灰關聯度(Local GRA)的參考序列為： x_0 ，比較數列為 x_j ，當 Γ_{0i} 愈趨近於 1 時，表示 x_0 與 x_j 的關聯程度越高。反之若趨近於 0 時，則表示其關聯程度比較低[19-21]；根據灰關聯度(Gamma)數值的大小，是為本文鑑別製作策略方法優先權的依據。局部性灰關聯度的計算公式如下：

$$\Gamma_{0i} = \Gamma(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\bar{\Delta}_{\max} - \bar{\Delta}_{0i}}{\bar{\Delta}_{\max} - \bar{\Delta}_{\min}} \quad (4)$$

where $\bar{\Delta}_{0i} = \|x_{0i}\|_{\rho} = \left(\sum_{k=1}^n [\Delta_{0i}(k)]^{\rho} \right)^{\frac{1}{\rho}}$

公式中的 $\bar{\Delta}_{0i}$ 是代表數據列中，彼此間的數值之規範(norm)。 $\bar{\Delta}_{\max}$ 及 $\bar{\Delta}_{\min}$ 為 $\bar{\Delta}_{0i}$ 的最大值與最小值。 ρ 是代表「距離」，當 $\rho \geq 1, 2, \dots, m$ 時，稱為敏考斯基距離(Minkowski distance)，

即一數列與另一數列的敏考斯基距離。 $\rho = 2$ 時，則稱為歐幾里德距離(Euclidean distance)，即兩點間的歐式距離。

至於，整體性灰關聯度的計算公式為：

$$\text{where } \bar{\Delta}_{ij} = \left(\sum_{k=1}^n [\Delta_{ij}(k)]^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

2.2.5 灰關聯排序

灰關聯排序的擬定是根據灰關聯度 Γ_{oi} 值進行比較，當灰關聯度的值比較大的一方，因為有比較大的 Γ_{oi} 值時，因此被認定為比較重要的依據。本文全部的模型製作策略之產生，皆以灰關聯度的大小作為排序依據。

2.3 灰結構模型理論

研究評量結果所計算出來的灰關聯度和排序 (Grey Relational Ordinal)，即為模型製作策略的重要性排序結構，亦即模型製作策略的選擇方案。本研究根據灰結構模型的分析理論 [19-21]，可以將系統模型的因素項目，鑑別出序列式結構組織，提供模型製作策略的策略方法。對於灰結構模型的計算呈現方式，乃是彙整專家們所評量出來的共識決策矩陣，以 Matlab 軟體進行計算，而根據其矩陣數據的關聯性，則可以繪製出排序結構系統圖，成為模型製作執行的策略準則。灰結構模型的結構圖是具有次序性的組織，因此可以進行多樣化問題及各領域研究的執行，並且可以解讀離散序列之間的權重和排序等問題。

計算灰結構模型的矩陣公式為：

$$\Gamma = \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \cdots & \gamma_{1m} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \cdots & \gamma_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma_{m1} & \gamma_{m2} & \cdots & \gamma_{mm} \end{bmatrix} \quad (6)$$

當 γ_{ij} 是代表「元素的路徑」，其中， $i, j = 1, 2, \dots, m$ ；則

$$\gamma_{ij} = 1 - \frac{\|x_i - x_j\|_{\zeta}}{\max \nabla_i \max \nabla_j \|x_i - x_j\|_{\zeta}} \quad (7)$$

2.3.1 灰結構模型的階層建立(Cluster)

灰結構模型除了可以進行研究結果的問題鑑別與解析，同時也可以進行集群分析(cluster analysis)找出相同階層內的關聯結構元素，成為判別策略替代方案的系統圖 [19-22]。灰結構模型是一種垂直性的結構圖，可以將研究結果的相關因素排列成有系統的組織，這種圖解方法促使研究結果簡單化且清楚呈現出來。灰結構模型的圖解方法，近年來廣泛被運用於各領域的研究，已有許多的成功研究案例 [23-24]。灰結構模型的階層關係之建立方式為：

1. 當「 C 」是代表一個階層的結構時，這個階層則是由一群結構元素所組成，其公式為：

$$C_i = \{X_j | e_{ij} \leq \theta\} \quad (8)$$

當 E 是代表「灰結構模型的灰關聯矩陣」其中， $i, j = 1, 2, 3, \dots, m$ ； θ 是代表一個階層的係數，其界定值為 $0 \leq \theta \leq 1$ ，所形成的矩陣如下：

$$E = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & \cdots & e_{m1} \\ e_{21} & e_{22} & \cdots & e_{m2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{m1} & e_{m2} & \cdots & e_{mm} \end{bmatrix} \quad (9)$$

這當中，誤差值為 $e_{ij} = |\gamma_{oi} - \gamma_{oj}|$ ， $0 \leq e_{ij} \leq 1$ 並且 $e_{ii} = 0$

2. 灰結構模型其階層結構中的各項元素，彼此是互有同質性的關連性。所以，其階層劃分原則為：

$$\{C_i\} = \min \nabla_i; \text{ 並且 } C_i \not\subset C_j \text{ 或 } j, i \neq j.$$

2.3.2 灰結構模型之策略路徑之建立

根據灰結構模型之階層結構理論，將數個有關聯的元素聚集在相同的群組中，可以了解彼此的關聯性 [23-24]。

這當中， ψ 是一個共同係數，介於 $0 \leq \psi \leq 1$ ，兩者之間是共同的關聯性 (x_i, x_j) ，當 P 是表示「策略路徑」，則 P 係由上下之間

的關係元素所組成(x_i to x_j)，因此建立灰結構模型之策略路徑 P ，其關係為：

$$P = \{(x_i, x_j) | \gamma_{ij} \geq \psi, \gamma_{oi} < \gamma_{oj}\} \quad (10)$$

三、模型製作策略之鑑別

3.1 受測者資料與編碼

本研究分別從台灣的北、中、南地區之企業公司，挑選出經驗豐富的五名產品設計專家，作為研究評量調查的受測者。這些專家對於各種模型的功能及製作策略的設計組合，專業經驗豐富。本研究首先將受測專家及模型製作策略進行編碼，而能建立具有關聯的原始決策矩陣。接著將受測者編碼為： $S(1) \sim S(5)$ ，以利身分之區隔，如下表 1 所示。

表 1. 受測者資料

受測者	專業年資	專業經驗
S(1)	8 年	家具設計、景觀產品設計、空間設計、藝術設計。
S(2)	11 年	生活產品設計、模型製作、文具用品設計、景觀設計。
S(3)	15 年	機構設計、機械設計、自行車設計、鋼管家具設計。
S(4)	16 年	航太工業設計、造型設計、機構設計、RP 成形專長。
S(5)	18 年	機械設計、機構設計、產品設計、模型製作加工。

3.2 評量資料的擬定與編碼

「模型」是傳達產品專案設計的實體，依照製作使用之要求而選擇適當的製作策略。本研究彙整專家經驗的共識意見提供，進行模型製作策略與模型傳達功能的鑑別，初階段共提出十三種模型製作策略方法，排除同性質的功能及相仿的語詞後，最後擬定出十種模型製作策略方案，成為本研究的評量資料，並將其編碼為： $P(1) \sim P(10)$ ，如表 2 所示。

表 2. 模型製作策略評量資料

模型製作策略	模型功能
P(1) 快速草模 (3D sketch model)	以容易製作的材料如：紙板、保麗龍、木板和石膏等材料，可以快速的將立體形態或輪廓製作出來，提供造形 (Form) 設計或設計討論使用的模型，缺點是尺寸不是很精確。
P(2) 外觀模型 (Mock-up)	依照設計圖的尺寸、造形 (Form) 結構，以各種材料製作出模型，作為造形、結構、材料、色彩、質感或操作使用傳達的功能，提供實際外觀形態的立體效果。
P(3) 比例模型 (Scale-model)	依照設計圖以各種材料，進行放大或縮小比例製作出模型，提供外觀形態、結構、色彩或質感的評估使用，放大比例可以清楚傳達設計內容，縮小比例則可以節省製作成本。
P(4) 機構功能模型 (Working-sample)	為了讓功能可以進行實驗，採用各種材料製作模型，提供操作模擬，機構功能測試、強度試驗、安全測試、設計檢討，以及相關功能實驗的模型。
P(5) ABS 塑膠模型 (Plastic model)	使用塑膠材料製作模型，可以模擬各種塑膠、壓克力、金屬、玻璃等材質，配合設計圖結構，可以採用平板、空心管或塊狀等塑膠，製作出不容易變形的模型。
P(6) 木製模型 (Wood model)	使用木質材料製作出各種立體造形，或具有木紋 (Wood grain) 效果的模型，經濟快速傳達立體結構，優點是可以自由裁切材料的形狀規格，以手工方式或機械方式，製作出各種形態結構，而呈現出多變化立體造型。
P(7) CNC 雕刻模型 (CNC computer carving model)	以 3D 繪圖方式，結合電腦化 CAD、CAM 的製作結合，以不易變形的材料，使用機械雕刻方式，製作出尺寸精確，不容易變形的模型，提供正確造形與尺寸的傳達。
P(8) 鋁鎂合金模型 (Light metal model)	採用鋁、鎂合金材料製作模型，可以測試金屬的強度與剛性，採用 CNC 雕刻方式，製作出不易變形、尺寸精確、重量輕，並且也可以模擬各種金屬材的質感。
P(9) PU 模型 (PU model)	採用 PU (Poly urethane) 材料具容易製作加工特性，可以快速製作出立體形態，缺點是模型表面粗糙、精緻度不足，只適合製作基本的造形，或概念設計的傳達。
P(10) RP-快速原型-模型 (Rapid prototyping)	RP (Rapid prototyping) 模型是以電腦化技術，配合樹脂材料製成特定的實體，根據立體結構的切層 (Slicing) 處理，將電腦圖檔製成立體模型 (Solid model)。優點是模型尺寸精確，缺點是受到機械規格的限制，只能製作小件的模型，而且只能用特定的材料進行製作。

3.3 模型製作策略準則之擬定

本研究根據 Pantograph 提出的產品模型之製作功能意義，以「測試機能、實驗功能、模擬應用、製造評估和造型設計」作為模型製作策略與功能傳達的研究評估準則，並且應用這些準則的定義，成為專家評量模型製作策略重要性排序的依據，而能夠找出模型製作策略的重要性原則，接著將評估準則編碼為(A)~(E)，如表 3 所示。

表 3. 模型製作準則之編碼

編碼	準則名稱
(A)	以測試機能為準則
(B)	以實驗功能為準則
(C)	以模擬應用為準則
(D)	以製造評估為準則
(E)	以造型設計為準則

3.4 受測者(專家)評量之進行

本研究以表 3 的各準則為評量依據，然後依照正確的模型製作策略方式，以 0.1~1 的等級進行評量 (0.1 最不重要，1 最重要)，然後請受測專家針對表 2 的模型製作策略進行重要性評量，而建立原始決策矩陣。彙整全部受測者評量結果之平均值，得到如表 4~表 8 的評量表(矩陣)；接著將模型製作策略編碼填入縱座標，將受測者編碼填入橫座標，並且將受測者的評量結果之數據填入對應的欄位，得到了 LGRA 表 (Local Grey Relational Analysis，模型製作策略的局部性灰關聯表)。如表 4~表 8。

本研究期許找出灰關聯度的最大值，成為優先選擇的製作策略，因此，將表 4~表 8 的縱座標各欄位列出望大值(最大的評量數值)，帶入局部性灰關聯度公式及望大值公式之定義，計算之後，獲得了模型製作策略的評量結果灰關聯度(Gamma 數值) [21-24]。然後根據 Gamma 值的大小進行排序之後，得到了模型製作策略的重要性排序(優先選擇排序)，以及各項模型功能準則下的製作策略之次序性結構，分別列在表 4~表 8 中。

表 4. 以測試機能為準則之評量矩陣

(A)-以測試機能為準則						LGRA 值 (Gamma)	排序
受測者	S(1)	S(2)	S(3)	S(4)	S(5)		
望大值	1	1	0.9	0.9	0.7		
P(1)	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0	10
P(2)	0.3	0.5	0.4	0.4	0.4	0.397	6
P(3)	0.2	1	0.6	0.5	0.3	0.488	5
P(4)	1	1	0.9	0.9	1	1	1
P(5)	0.8	0.7	0.5	0.5	0.4	0.693	4
P(6)	0.5	0.4	0.3	0.4	0.3	0.382	7
P(7)	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.989	2
P(8)	0.8	0.8	0.8	0.8	1	0.904	3
P(9)	0.2	0.2	0.3	0.4	0.2	0.178	9
P(10)	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3	0.205	8
P(4)>P(7)>P(8)>P(5)>P(3)>P(2)>P(6)>P(10)>P(9)>P(1)							

表 5. 以實驗功能為準則之評量矩陣

(B)-以實驗功能為準則						LGRA 值 (Gamma)	排序
受測者	S(1)	S(2)	S(3)	S(4)	S(5)		
望大值	1	0.9	1	0.9	1		
P(1)	0.1	0.3	0.2	0.2	0.1	0	10
P(2)	0.5	0.6	0.5	0.6	0.7	0.533	4
P(3)	0.4	0.3	0.4	0.6	0.4	0.317	6
P(4)	1	0.9	1	0.8	1	1	1
P(5)	0.6	0.4	0.5	0.6	0.4	0.427	5
P(6)	0.2	0.3	0.4	0.2	0.1	0.080	8
P(7)	0.7	0.8	0.8	0.9	1	0.835	2
P(8)	0.8	0.7	0.8	0.7	0.9	0.812	3
P(9)	0.2	0.1	0.3	0.4	0.2	0.080	9
P(10)	0.1	0.3	0.3	0.2	0.3	0.083	7
P(4)>P(7)>P(8)>P(2)>P(5)>P(3)>P(10)>P(6)>P(9)>P(1)							

表 6. 以模擬應用為準則之評量矩陣

(C)-以模擬應用為準則						LGRA 值 (Gamma)	排序
受測者	S(1)	S(2)	S(3)	S(4)	S(5)		
望大值	1	1	1	1	1		
P(1)	0.4	0.3	0.4	0.3	0.2	0	10
P(2)	0.7	0.5	0.6	1	1	0.538	4
P(3)	0.7	0.6	0.7	0.6	0.5	0.434	6
P(4)	1	1	1	1	1	1	1
P(5)	0.6	0.4	0.7	0.6	0.9	0.423	7
P(6)	0.4	0.5	0.7	0.6	0.7	0.363	8
P(7)	0.7	0.8	0.8	0.6	0.7	0.576	2
P(8)	0.6	0.7	0.8	0.7	0.7	0.552	3
P(9)	0.3	0.4	0.5	0.4	0.4	0.118	9
P(10)	0.6	0.8	0.7	0.6	0.7	0.520	5
P(4)>P(7)>P(8)>P(2)>P(10)>P(3)>P(5)>P(6)>P(9)>P(1)							

表 7. 以製造評估為準則之評量矩陣

(D)-以模擬應用為準則						LGRA 值 (Gamma)	排序
受測者	S(1)	S(2)	S(3)	S(4)	S(5)		
望大值	1	1	1	1	1		
P(1)	1	1	1	1	1	0.797	3
P(2)	1	0.9	0.8	1	0.9	1	1
P(3)	0.7	1	1	1	1	0.364	5
P(4)	0.3	0.6	0.7	0.6	0.7	0	10
P(5)	1	0.7	0.6	0.4	0.4	0.857	2
P(6)	0.8	0.9	1	0.9	0.9	0.612	4
P(7)	0.5	0.8	0.9	0.7	0.8	0.283	8
P(8)	0.3	0.4	0.8	0.9	0.7	0.038	9
P(9)	0.7	0.4	0.5	0.7	0.6	0.303	7
P(10)	0.6	0.6	0.7	0.4	0.9	0.323	6
P(2)>P(5)>P(1)>P(6)>P(3)>P(10)>P(9)>P(7)>P(8)>P(4)							

表 8. 以造型設計為準則之評量矩陣

受測者	(E)-以模擬應用為準則					LGRA 值 (Gamma)	排序
	S(1)	S(2)	S(3)	S(4)	S(5)		
望大值	0.9	1	1	1	1		
P(1)	0.8	1	0.8	1	0.9	0.938	2
P(2)	0.9	0.9	1	0.8	1	1	1
P(3)	0.6	0.4	0.7	0.3	0.7	0.224	9
P(4)	0.5	0.5	0.4	0.3	0.4	0	10
P(5)	0.6	0.4	0.5	0.6	0.7	0.309	6
P(6)	0.3	0.5	0.7	0.6	0.6	0.263	7
P(7)	0.6	0.6	0.5	0.7	0.7	0.440	3
P(8)	0.5	0.7	0.6	0.7	0.6	0.440	4
P(9)	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.238	8
P(10)	0.8	0.7	0.6	0.5	0.6	0.434	5
P(2) > P(1) > P(7) > P(8) > P(10) > P(5) > P(6) > P(9) > P(3) > P(4)							

3.5 模型綜合功能之價值性鑑別

接著，本研究為了探究全部模型製作策略的綜合功能價值之認定(重要性排序)，亦即那一種製作策略方式，其模型功能最有多元傳達的使用價值。於是全部受測者評量結果之 Gamma 值(如表 4~表 8)建立灰關聯矩陣；然後將製作策略的編碼填入縱座標，將準則(A)~(E)填入橫座標，接著將 Gamma 值填入對應的欄位，產生了如表 9 的矩陣。接著將表 9 的縱座標各欄位列出望大值，帶入局部灰關聯度公式及望大值公式之定義，並且以 Matlab 軟體進行計算獲得研究結果[21-24]；這項結果為專家們共識認定的「模型綜合功能價值」的排序情形(如表 9)。表 10 的排序表，乃是經由表 9 的 Gamma 值之大小，所計算出來的結果。

表 9. 模型傳達綜合功能價值的評量矩陣

準則	準則(A)~(B)之 LGRA 值					Gamma 值	排序
	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)		
望大值	1	1	1	1	1		
P(1)	0	0	0	0.797	0.938	0.095	9
P(2)	0.397	0.533	0.538	1	1	1	1
P(3)	0.488	0.317	0.434	0.364	0.224	0.425	6
P(4)	1	1	1	0	0	0.446	5
P(5)	0.693	0.427	0.423	0.857	0.309	0.758	3
P(6)	0.382	0.080	0.363	0.612	0.263	0.328	7
P(7)	0.989	0.835	0.576	0.283	0.440	0.867	2
P(8)	0.904	0.812	0.552	0.038	0.440	0.654	4
P(9)	0.178	0.080	0.118	0.303	0.238	0	10
P(10)	0.205	0.083	0.520	0.323	0.434	0.275	8
P(2) > P(7) > P(5) > P(8) > P(4) > P(3) > P(6) > P(10) > P(1) > P(9) (重要性排序結構)							

表 10. 模型傳達綜合功能價值的排序表

模型類型	Gamma	模型類型	Gamma	排序
P(1)	0.095	P(2)	1	1
P(2)	1	P(7)	0.867	2
P(3)	0.425	P(5)	0.758	3
P(4)	0.446	P(8)	0.654	4
P(5)	0.758	P(4)	0.446	5
P(6)	0.328	P(3)	0.425	6
P(7)	0.867	P(6)	0.328	7
P(8)	0.654	P(10)	0.275	8
P(9)	0	P(1)	0.095	9
P(10)	0.275	P(9)	0	10
原始資料		重要性排序		

本研究接著以表 10 的 Gamma 值為基礎繪出曲線圖，得到可以分析模型傳達綜合功能價值的曲線圖。如圖 1 所示。

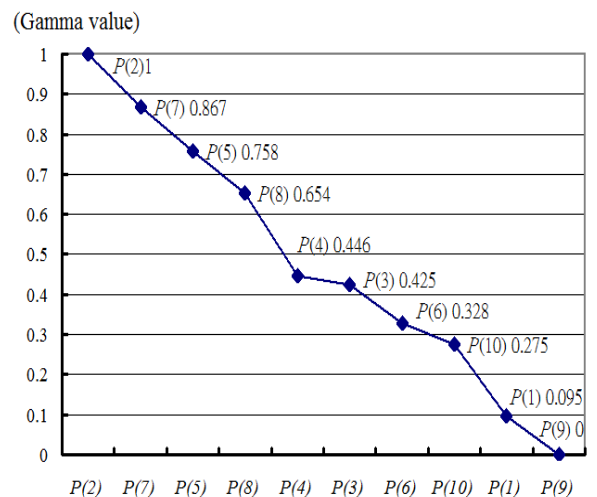


圖 1. 製作策略綜合功能價值之排序圖。

3.6 模型製作準則的重要性評量

本文為了探究模型製作準則(模型應用功能準則)的重要性，於是將表 9 的矩陣進行轉置(Transport)，並且將模型製作策略的各欄位列出望大值，形成了可以計算模型製作準則重要性的關聯矩陣(如表 11)，帶入局部灰關聯度公式及望大值公式之定義，經過計算之後得到了評量結果。接著將表 11 的 Gamma 值進行排序，以及對應表 3 的準則名稱，得到表 12 的研究結果。其重要性排序如下：

(A)準則 > (C)準則 > (B)準則 > (E)準則 > (D)準則

表 12. 準則之重要性排序表

準則編碼	Gamma	編碼	準則名稱	Gamma	排序
(A)	1	(A)	以測試機能為準則	1	1
(B)	0.484	(C)	以模擬應用為準則	0.707	2
(C)	0.707	(B)	以實驗功能為準則	0.484	3
(D)	0	(E)	以造型設計為準則	0.316	4
(E)	0.316	(D)	以製造評估為準則	0	5

四、研究結果與分析

4.1 灰結構模型的建立與分析

本研究以表 9 為基礎，重新列出矩陣資料，提供繪製灰結構模型的矩陣資料，如表 13 所示。

表 13. 繪製灰結構模型圖之矩陣

準則	準則(A)~(D)之 LGRA 值				
	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)
望大值	1	1	1	1	1
P(1)	0	0	0	0.797	0.938
P(2)	0.397	0.533	0.538	1	1
P(3)	0.488	0.317	0.434	0.364	0.224
P(4)	1	1	1	0	0
P(5)	0.693	0.427	0.423	0.857	0.309
P(6)	0.382	0.080	0.363	0.612	0.263
P(7)	0.989	0.835	0.576	0.283	0.440
P(8)	0.904	0.812	0.552	0.038	0.440
P(9)	0.178	0.080	0.118	0.303	0.238
P(10)	0.205	0.083	0.520	0.323	0.434

根據表 13 的資料，帶入局部灰關聯度公式及望大值公式之定義，繪出灰結構模型圖，如圖 2 所示。圖 2 的灰結構模型是垂直性的結構系統，比圖 1 的曲線圖容易進行判別，每一項策略(P)都能清楚的給予定位，上下階層的排序是以 Gamma 值的大小為依據(從 0~1)，當 Gamma 值差距比較大時，圖示呈現垂直排列，差距比較小時，則呈現斜線排列，若彼此的 Gamma 值很接近時，則呈現水平排列。藉由這種方式的判別功能，容易鑑別相關聯問題的同質性或差異性情形；根據圖示結構的組織

則可以立即了解其次序性等問題。所以灰結構模型的圖解方式，優於曲線圖的傳達功能，在本文中成為比較進步的圖解表達方法，而且具客觀的效果。

本研究為了了解同質性問題(模型)的相關項目，根據圖 2 的圖示結構，將比較聚集的項目劃分成一個群組，而能夠進行集群分析(Clustering analysis)了解其結構內容；如圖 2 本文將之並劃分成四個群組，分別可以了解各群族的關聯組織，及深入了解模型製作策略之間的關聯性，這是本文灰結構模型的另一傳達功能，並且提供了研究結果的正確傳達。

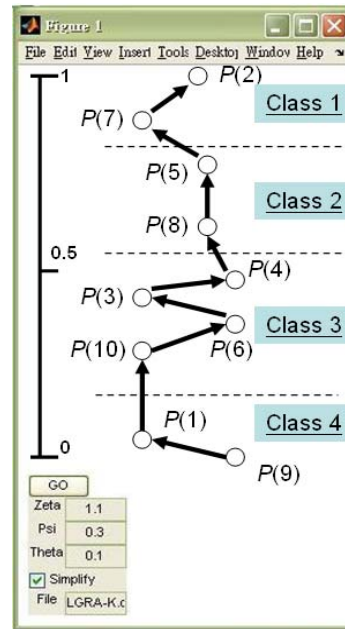


圖 2. 灰結構模型圖。

4.2 最佳製作策略之分析

本研究為了探究模型最佳製作策略方法的呈現，將表 4~表 9 所評量出來的結果，彙整成可以互相比較的排序表。提供模型製作決策者，可以快速的找到最佳製作策略方案，如表 14 所示。這項由專家以客觀評量方式，所得到的研究結果呈現出規則性排序，提供了模型製作功能與製作策略選擇的最佳策略。本文根據各種產品模型之製作功能意義之準則，彙整其評量結果的局部灰關聯度(如表 13)，經過計算之後所得到的綜合性(準則)觀點之重要性排序為： $P(2) > P(7) > P(5) > P(8) > P(4) > P(3) > P(6) > P(10) > P(1) > P(9)$ 。如表 14 所示。

表 14. 最佳製作策略比較表

準則	模型製作策略之排序
(A)	$P(4) > P(7) > P(8) > P(5) > P(3) > P(2) > P(6) > P(10) > P(9) > P(1)$
(B)	$P(4) > P(7) > P(8) > P(2) > P(5) > P(3) > P(10) > P(6) > P(9) > P(1)$
(C)	$P(4) > P(7) > P(8) > P(2) > P(10) > P(3) > P(5) > P(6) > P(9) > P(1)$
(D)	$P(2) > P(5) > P(1) > P(6) > P(3) > P(10) > P(9) > P(7) > P(8) > P(4)$
(E)	$P(2) > P(1) > P(7) > P(8) > P(10) > P(5) > P(6) > P(9) > P(3) > P(4)$
	$P(2) > P(7) > P(5) > P(8) > P(4) > P(3) > P(6) > P(10) > P(1) > P(9)$

本文為了鑑別全部模型製作策略被重視的排序情形，於是藉由表 14 的排序，採用分數設定的計算方式，進行名次(分數)的加總，來鑑別模型製作策略受到重視的排序狀態。本文接著依序設定第一名的積分為 1 分，以此類推，最後一名的績分設定為 10 分；累計模型製作策略分數最低者即為最受重視的項目，依此類推而計算出模型製作策略最受重視的排序情形。因此，根據表 14，首先整理出排序/分數對照表，如表 15 所示。接著根據 $P(1) \sim P(10)$ 所對應的排次/分數分別進行加總，經過計算之後得到表 16 的排序表，成為鑑別模型製作策略項目受到重視的排序表。

表 16. 最受重視之模型製作策略排序結果

最受重視之 模型製作策略	模型製作項目	名次之 加總分數
第一名	$P(2)$ 外觀模型	17
第二名	$P(7)$ CNC 雕刻模型	19
第三名	$P(8)$ 鋁鎂合金模型	26
第四名	$P(5)$ ABS 塑膠模型	27
第五名	$P(4)$ 機構功能模型	28
第六名	$P(3)$ 比例模型	39
第七名	$P(10)$ RP-快速原型-模型	39
第八名	$P(6)$ 木製模型	41
第九名	$P(1)$ 快速草模	44
第十名	$P(9)$ PU 模型	52

根據表 16，本文提出排序前三名的模型製作策略進行分析與討論。第一名 $P(2)$ 外觀模型是最受到重視的模型製作策略，對照表 2 其模型功能是依照設計圖的尺寸、造形 (Form) 結構，以各種材料製作出模型，作為造形、結

構、材料、色彩、質感或操作使用傳達的功能，提供實際外觀形態的立體效果；由於 $P(2)$ 可以製作呈現出多元的設計結構，並且提供近似量產產品的結構形態，所以最受到重視。排名第二的是 $P(7)$ CNC 雕刻模型，對照表 2 其功能是以 3D 繪圖方式，結合電腦化 CAD、CAM 的製作結合，可採用不易變形的材料，使用機械雕刻方式，製作出尺寸精確，不容易變形的模型，正確提供造形與尺寸的傳達；由於 $P(7)$ CNC 雕刻模型，具備了不容易變形的功能，而且可以掌握精確尺寸，對於產品研發而言，可以進行未來產品的真實尺寸傳達，由於模型精度具真實效果，所以獲得第二名。至於排序第三名的 $P(8)$ 鋁鎂合金模型，是採用鋁、鎂合金材料所製作模型，可以實際測試金屬的強度與剛性，採用 CNC 雕刻方式，製作出不易變形、尺寸精確、重量輕，並且也可以模擬各種金屬材的質感； $P(8)$ 與 $P(7)$ 都是以電腦化機械進行模型製作，並且皆能進行正確尺寸的製作傳達，但是 $P(8)$ 鋁鎂合金模型，由於材料之使用受到限制，相較於 $P(7)$ 可以應用多元材料去製作模型，顯然 $P(7)$ 的模型製作策略優於 $P(8)$ 的實際功能，所以 $P(8)$ 為第三名。

至於排序最後一名的 $P(9)$ PU 模型，其模型是採用 PU (Poly urethane) 材料製作呈現，對照表 2，這種模型製作策略雖然可以快速製作出立體模型，但是其模型表面粗糙，尺寸及精緻度也不易控制，只適合製作基本的概念模型，更由於其模型之傳達功能與品質性皆不佳，所以被評定為最後一名。

五、結論

5.1 結論

本研究擷取專家經驗及其觀點，整體研究透過客觀評量數據的呈現，並以灰關聯分析方法進行資料的計算處理，分別獲得了各種模型製作策略(功能)的重要性排序結果，研究過程以透明方式呈現出來，這種有系統的研究方法，可以針對不明確問題進行解析，並且可以正確計算出研究結果。本研究結果最後經由灰結構模型的傳達，呈現出綜合性觀點的最佳製作策略，得到了容易鑑別和可以快速進行比較的圖解方法。本研究採用專家經驗進行策略性評量，不僅可以得到專業人士的見解，而且還

可以避免錯誤信息的產生，因而可以充分掌握客觀研究之效果。本研究以擷取共識性評量結果為研究依據，因此若有個人的偏見行為，並影響整體專家之共識認定結果，所以具有比較高的可信度。

本文以模型製作策略的功能為準則，進行模型製作策略的重要性研究，透過專家經驗共識之彙整，所得到的研究結果，可以提供模型製作教學的應用執行，同時也可以讓模型製作學習者，可以正確的選擇模型製作方式，促進模型製作的應用傳達效果，讓產品設計研發工作得以順利的執行。

另外，本研究方法之組合，具有以下的研究貢獻，說明如下：

1. 本研究方法也適用於各種不同領域的研究執行。面對著各種不同的研究問題時，可以從複雜的信息中解析出結果，而可以成為各種領域研究執行的良好方法。
2. 本研究以客觀評量數據及有系統的研究程序下，得到了垂直系統的研究結果(如圖2)，從圖示結構中，不僅可以鑑別上下階層的排序情形，而且也可以清楚明辨各排序因子之差異(距)情形，這種透明化的研究結果，以實質的評量數據呈現出排序差異，凸顯出整體研究結果的可信度。
3. 本研究之價值也在於運用灰關聯分析方法的解析，將計算出來的局部性灰關聯度數值界定於「0,1」之間，正確解析出模型製作策略的排序結構，同時以簡單、明確且容易鑑別的圖式呈現出來，凸顯本研究方法之效果。
4. 本研究結果藉由灰結構模型的傳達，也可以快速找到模型製作策略的替代方案，讓模型的製作選擇，可以順利進行與傳達。

5.2 研究結果之建議

1. 本研究只針對模型功能及其應用傳達效能，進行製作策略的重要性研究，建議未來的研究者，可以將材料因素納入研究內容，那麼所得到的研究結果，相信會有更佳的應用參考價值。
2. 本研究只提出五位資深的專業人士為受測專家，建議未來的研究者可以增加受測者人數，或是再以年齡層或性別因素進行研究探究，相信整體研究結果將會更為嚴謹。

參考文獻

- [1] Pantograph., Creative Shape + Model Making, Long Sea International Book Co., Ltd, Taipei, 2011.
- [2] Deng, J. T., Product Design and Development, Ocean Publishing Co., Ltd. Beijing, 2010.
- [3] 謝大康, 產品設計表達, 高等教育出版社, 2005。
- [4] 羅雅萱, 什麼是產品設計, 龍溪圖書出版社, 2008。
- [5] Peng, Z. S., Product Model Design, Hunan University Press, Changsha, 2009.
- [6] Liang, J. C., The Theory and Practice of Product Model Making, Chuan Hwa Publishing Ltd, Taipei, 2010.
- [7] 志田慣平, 建築模型-製作紙面模型, 新形象出版社, 台北, 1999。
- [8] 鄧聚龍, 灰色系統理論與應用, 高立圖書出版, 台北, 2000。
- [9] 溫坤禮、張簡士坤、葉鎮愷、王建文、林慧珊, MATLAB 在灰色系統理論的應用, 全華科技圖書, 台北, 2006。
- [10] Liang, J. C., Lee, Y. L., and Chen, J. S., "A Style Description Framework Analysis of Gear Stick Based on GRA and ISM," *Journal of Gray System*, Vol. 12, No. 3, pp. 109-116, 2009.
- [11] Liang, J. C., Lee, Y. L., and Liu, S. F., "Strategic *Kansei* Design for A Nice Doorplate Based on GRA," *Journal of Gray System*, Vol. 12, No. 4, pp. 177-184, 2009.
- [12] Liang, J. C., Lee, Y. L., and Weng, H. J., "Design Strategies of Household Tea Tables With Glass Based on GRA," *Journal of Gray System*, Vol. 13, No. 3, pp. 91-96, 2010.
- [13] Lee, Y. L., Liang, J. C., Chen, J. S., and Wu, C. K., "The Best Materials Selection Among Prototype Model Making Technique Based on QFD And GRA," *IASTED International Conference*, pp. 689-092, 2010.
- [14] Sheu, T. W., Wang, B. T., Liang, J. C., Tzeng, J. W., and Nagai, M., "Applying Grey S-P Chart to Analyze the English Listening Performances Among College Students," *The 15th Conference on Grey System Theory and Applications*, pp.

- A107-A114. 2010.
- [15] Lee, Y. L., Chen, J. S., Liang, J. C., Wu, C. K., and Kao, P. H., "Purchasing Decision and Design Strategy of High Heels in Female Consumer Market," *International Journal of Taiwan Kansei Information*, Vol. 1, No. 1, pp. 1-8, 2010.
- [16] Liang, J. C., Sheu, T. W., Wang, B. T., Tzeng, J. W., and Nagai, M., "The Study of Product Structure Integrates *Kansei* Design Evaluation Identification on Creation of New Products," *International Journal of Taiwan Kansei Information*, Vol. 2, No. 1, pp. 27-38, 2011.
- [17] Liang, J. C., Lee, Y. L., and Weng, H. J., "Design Strategies of Household Tea Tables With Glass Based on GRA," *International Journal of Gray System*, Vol. 13, No. 3, pp. 91-96, 2010.
- [18] Liang, J. C., Wang, J. R., and Wang, L. H., "*Kansei* Product Design Based on The Personal's Hair Image," *International Journal of Gray System*, Vol. 14, No. 1, pp. 29-40, 2011.
- [19] Yamaguchi, D., Li, G. D., and Nagai, M., "New Grey Relational Analysis for Finding The Invariable Structure and Its Applications," *Journal of Grey System*, Vol. 8, No. 2, pp. 167-178, 2005.
- [20] Nagai, M., Yamaguchi, D., and Li, G. D., "Grey Structural Modeling," *Journal of Grey System*, Vol. 8, No. 2, pp. 119-130, 2005.
- [21] Yamaguchi, D., Li, G. D., and Nagai, M., "Verification of Effectiveness for Grey Relational Analysis Models," *Journal of Grey System*, Vol. 10, No. 3, pp. 169-182, 2007.
- [22] Yamaguchi, D., Li, G. D., Akabane, K. M. T., and Kitaoka, M., "A Realization Algorithm of Grey Structural Modeling," *Journal of Grey System*, Vol. 10, No. 1, pp. 33-40, 2007.
- [23] 梁榮進, "灰關聯分析方法結合 GSP 表與 GSM 運用於模型製作課程鑑別之研究", *嶺東學報*, 第 29 期, 第 171-196 頁, 2011。
- [24] Sheu, T. W., Liang, J. C., Wang, B. T., Tzeng, J. W., and Nagai, M., "Evaluating and Structuring Learning Difficulties of The Course Content in Professional Product Design," *The 1st OARIC International Conference- Educational Leadership, Knowledge and Technology Innovation in Cultural Diversity and Knowledge-based Society*, pp. 41-46, 2011.

表 11. 計算準則排序之關聯矩陣

模型製作策略 P(1)~P(10)之 LGRA 值											Gamma 值	排序
策略	P(1)	P(2)	P(3)	P(4)	P(5)	P(6)	P(7)	P(8)	P(9)	P(10)		
望大值	0.938	1	0.488	1	0.857	0.612	0.989	0.904	0.303	0.520		
(A)準則	0	0.397	0.488	1	0.693	0.382	0.989	0.904	0.178	0.205	1	1
(B)準則	0	0.533	0.317	1	0.427	0.080	0.835	0.812	0.080	0.083	0.4841	3
(C)準則	0	0.538	0.434	1	0.423	0.363	0.576	0.552	0.118	0.520	0.7071	2
(D)準則	0.797	1	0.364	0	0.857	0.612	0.283	0.038	0.303	0.323	0	5
(E)準則	0.938	1	0.224	0	0.309	0.263	0.440	0.440	0.238	0.434	0.3161	4

重要性排序結果：(A)準則 > (C)準則 > (B)準則 > (E)準則 > (D)準則

表 15. 排序/分數對照表

準則	排序/分數									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(A)	P(4)	P(7)	P(8)	P(5)	P(3)	P(2)	P(6)	P(10)	P(9)	P(1)
(B)	P(4)	P(7)	P(8)	P(2)	P(5)	P(3)	P(10)	P(6)	P(9)	P(1)
(C)	P(4)	P(7)	P(8)	P(2)	P(10)	P(3)	P(5)	P(6)	P(9)	P(1)
(D)	P(2)	P(5)	P(1)	P(6)	P(3)	P(10)	P(9)	P(7)	P(8)	P(4)
(E)	P(2)	P(1)	P(7)	P(8)	P(10)	P(5)	P(6)	P(9)	P(3)	P(4)
以綜合性觀點之排序	P(2)	P(7)	P(5)	P(8)	P(4)	P(3)	P(6)	P(10)	P(1)	P(9)