

從知識形式與草圖探討仿生設計思考

邱婉婷 邱上嘉

國立雲林科技大學設計學研究所

摘要

自1960年仿生名詞發明後，其在工程技術領域有許多開創性的產品，惟在設計領域卻少有發表。本研究奠基於此，以兩項具體的實驗來了解仿生設計思考的相關問題：一是以兩種不同的生物知識形式，來評估不同形式下完成的仿生設計草圖透析其內容的深度，二是藉12件仿生設計草圖與新設計師的訪談內容，分析仿生設計思考的流程，其結果為：1. 有體驗比無體驗式的生物知識能呈現較深度的仿生設計；2. 分析出16項仿生設計思考的重要元素，與4種設計思考流程的類型，且由13項元素共同組構出一個仿生設計的共織地圖。從本研究初步成果明顯可見，跨領域的仿生知識著實對設計有創造性的啟發，故期待未來仿生能成為一門新興的設計領域。

關鍵詞：仿生設計、設計思考、創造力、專家法、ZMET

1. 前言

1.1 研究動機與目的

在現今知識經濟的時代氛圍下，無論產官學各領域的發展方向，都從早先的「專業分工」到今日的「跨領域整合」，其表明在生活中找尋知識的「創新價值」與「創意思考」的重要性。這也反映在設計領域中，「仿生」—即「模仿生物」或「向自然學習」的這項特質，以台灣的设计科系學生而言，是從初接觸專業領域，即基本設計階段開始，就會從設計史與設計理論的基礎教材裡，認知到「仿真是作為一種人類設計的本能」與「大自然的完美形態是設計學習的典範」，但這也是設計系學生接觸仿生設計的專業教材之一，仿生設計很少成為一門專門獨立的課程。回到仿生發展的目標，它很清晰的表明，它是希望藉由先於人類開始活動前，大自然長時間累積的智慧，有許多的創新知識價值值得我們參考應用，所以仿生是擷取生物長時間的知識來提供給設計、工程、技術等各項發展作為範型與討論的重要基礎。

直到有正式的仿生名詞與定義，是在1960年代美國的軍事專家Jack Ellwood Steele所提出的(Halacy, 1965, pp. 13-15)，爾後被廣泛運用在技術性的仿生工業上發展(Bar-Cohen, 2006)，但設計類的仿生發展卻一直停留在上述片面的設計基礎概念階段，所以相對於技術仿生專門性的知識論，仿生設計鮮少有文獻與理論建構，可見當今的仿生設計領域是重視實務，而較缺乏理論建構的狀態，總結

仿生學在設計領域的需求因素有四項：1. 仿生學重點在學習自然界長時間演化下已大量修正缺點形成較佳模式。2. 此模式值得各界應用其智慧，產生跨領域知識與創新價值。3. 然現今仿生學在工程技術界應用較廣，已有各項先端科技產品出現。4. 設計界的仿生基礎從定義、理論乃至教學、產品化等均未成熟，綜上本研究認為仿生設計是一門具有創新價值的設計方法學，所以擬藉仿生設計的實驗案例，來瞭解仿生設計知識與思考的關鍵因素，惟在文獻探討部份，是兩個知識合作與思考的模式，所以不分技術或設計類已發表的相關的仿生概念文獻，最後預期本研究成果能回饋於仿生設計研究微薄的貢獻。

1.2 仿生名詞定義

首先，要先就本研究主題的「仿生(Bionic)」及「仿生設計(bionic design)」做一個明確的界定。「仿生」一詞目前有兩種最常見到的名詞—Bionic與Biomimetic。Bionic是早在1958年美國少校Jack Ellwood Steele提出「仿生」這一新的名詞，他在1958年第一次使用，但廣泛對外宣告是在1960年，他與多位仿生學者在美國共同召開第一次仿生研討會，而這研討會的口號是「人造系統的生命原型是新技術的鑰匙」，並標榜仿生學正式的誕生，與會學者更表示此學科是仿造生命系統的、或在某種意義上表現生命系統特徵的、或那些與生命系統相似之系統科學。會中並設置仿生的標誌(圖1)，標誌上是以積分符號連接手術刀(圖1下方元素)和電烙槍(圖1上方元素)組合成的圖案，表示仿

生學是借助生命科學和數學以解決工程技術問題的跨領域綜合學科 (Bar-Cohen, 2006; Halacy, 1965, pp. 13-175; Vincent, et al., 2006)。



圖1 仿生標誌 (Halacy, 1965, p. 175)

在設計界也有以此名稱發展的仿生設計 bionic design 一詞出現。另一仿生名詞是 Biomimetic 是由物理學家 Otto Schmitt 所提出，他宣稱是更早於 Bionic 定名和提出仿生學說的時候，他在 1957 年就以 Biophysics 一詞說明仿生學的理念。直到 1969 年他以 Biomimetic 一詞正式發表文章為題，他在 1963 年就說過他認為 Biomimetic 比 Bionic 更能表達仿生學的內容 (Vincent, et al., 2006)。目前在工程技術類的仿生學領域中，比較此二名詞的慣用程度，Biomimetic 使用的頻度與範疇確實比較大，以 Biomimetic 為仿生設計一詞的也有，但用於技術類仿生多，較少見於設計類的仿生。故在本研究的設計領域還是以最早定名公布的 Bionic，為延伸訂定的 bionic design 一詞使用較廣，故為本研究的仿生設計標的。但也有其它學者會使用的仿生設計名詞有 Bio-design、Biologically inspired design 等，這類型的研究也有 (Lodato, 2005; Helms, et al., 2009)，它雖不是本研究所使用的仿生名詞與定義，但也可提供仿生研究者更廣泛的查詢與參考 (表1)。

1.3 仿生設計文獻回顧

整理前人的仿生設計研究可以發現以下幾個結論：1. 人工物的知識系統常會需要自然知識系統來幫助刺激，以激發

人工物的設計靈感。當知識的形式不同，所帶來的刺激和效果也會受影響 (Chakrabarti, et al., 2005)，2. 當仿生對於將新知識引入設計領域，它是有效的從成為一個堅固的知識系統開始，其發展過程是在「概念設計的階段」中進行的 (Helms, et al., 2009; Wen, et al., 2008)，3. 設計領域中最常見到運用仿生的形態作為「產品設計」物件的外在形態 (Lodato, 2005; Wu and Chang, 2009)。仿生設計作品以一種能增進設計者的「創造力」的方式表現其優點 (Brazhnik, 2007; Helms, et al., 2009; Lodato, 2005; Wen, et al., 2008)，即它最終能具體發展出一些「創新」革新的時代新產品，而讓人耳目一新 (Helms, et al., 2009; Lodato, 2005; Wen, et al., 2008)。

1.3.1 仿生設計知識與教育

回到在學校中我們最常見的教材，即知識系統的分類，可以先區分為兩大類；即自然與人工內容的教材，但是從學習的觀察上，我們會發現，大家對於自然的資料因為其真實性而且多樣性，所以特別受到學習者的歡迎，並且也被發現自然教材與靈感的不斷產生與更新有直接的關係，當然在仿生領域中也有非常多案例證實，生物知識形式確實對仿生產品的發展系統有很大的影響 (Chakrabarti, et al., 2005)，Chakrabarti 等人 (2005) 認為生物動態行為提供設計者得到良好的設計資訊與成果 (圖2)。接著 Liikkanen and Perttula (2010) 發現當新知識進入設計者的概念轉換時，有的選擇將重要的新知識以草圖的方式加重其記憶，在不斷的草圖過程中進行其設計思考，直到概念設計發展停止。

以設計教材展現的方式，即知識形式，一般都以下列幾種來溝通與傳達：文字、圖片、插圖、影片等 (Chakrabarti, et al., 2005)。若更細緻分類知識形式與使用者的重要中介因素，以上述文獻可推論生物的「行為語言」，應更能加強設計者執行設計時，在草圖思考過程中，具有生物之真實性、臨場性、感官性，可以為跨領域知識的轉換與刺激靈感提供更多的幫助。

表1 仿生名詞定義整理

名詞	引用出處	名詞定義
Biomimetic	(Vincent, et al., 2006)	此名詞最早使用於 1950 年代 Otto Schmitt 從生物學與技術學中轉換觀念與分析而得，他在 1957 年時提出此套觀念，但還沒有使用 Biomimetic 一詞，反而用 Biophysics 而直到 1969 年他才把 Biomimetic 放在他文章的標題上發表出來。
Bionic	(Lodato, 2005) (Vincent, et al., 2006)	Bionic 簡單說就是「從自然中描繪」。它是 1960 年由 Jack Ellwood Steele 提出。他定義仿生是從自然系統中借用為工程準則的催化劑，被應用到設計、材料、技術的系統發展。他指出仿生是系統的科學，它從自然中轉換或複製許多功能，即重現與運用分析自然系統的特點。
Bio-design/Biodesign	(Lodato, 2005)	仿生設計是建構在自然情形下的設計解決方法，就如建築被指稱為「生活的機器」是一樣的，設計同自然環境中的功能，以更有效率的方法為設計解決問題，所發展出來的多樣規則。
Biologically inspired design	(Helms, et al., 2009)	生物啟發設計是用來分析生物系統到發展工程問題的解決狀態，通常它的結果與創新有關，它的材料與流程會發展出一套抽象設計概念以進行工程。



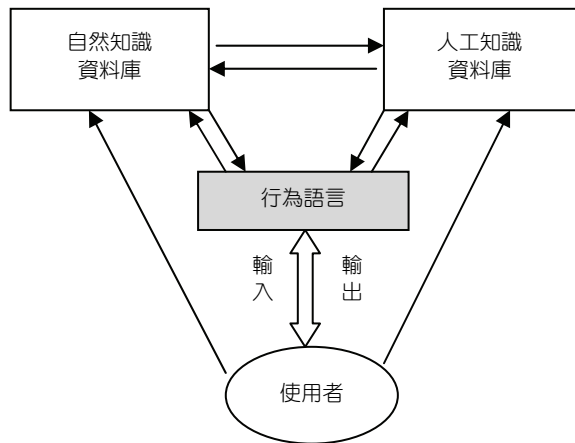


圖2 設計靈感的內在結構
(Chakrabarti, et al., 2005)

1.3.2 不同的知識系統連結

自然與設計兩個領域在學科分類上最大的差別，就是前者屬於基礎科學，後者屬於應用科學。所以這條知識的傳遞路線方向，是從基礎走向應用，即自然走向設計之路。Kindlein等人 (2007) 認為仿生研究必須依靠「連接元素 (junction elements)」而發展，也即是如果能證明元素連接系統成功，就可以打開這條仿生的通路，也代表自然與設計的通路，並且可以自由的選擇開或關。

從相關文獻中可以歸納出兩個仿生連結元素的系統，Kindlein等人 (2007) 稱為「創意發展 (development of creative)」與「功能狀況 (functional solutions)」的連結元素系統，他將此稱為仿生的固定系統 (fixation systems)。回顧1963年Archer在他的專書《Systematic method for designer》中提到非常相似的連結元素系統，他稱為「創意思考 (creative thinking)」與「邏輯分析 (logical analysis)」系統 (圖3)。

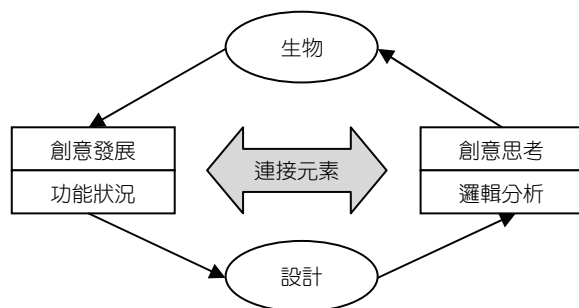


圖3 仿生設計的連結元素系統

另外Wen等人 (2008) 進一步提出仿生物素的系統，就像是設計的流程一樣，是先從自然的資料集 (information

sourcebook)，連接元素為行為、功能、色彩與外形，再轉換到各種人類生活應用的設計與發明。且設計師在進行的過程會利用2D繪製草圖或進行3D電腦數位技術，來揭開從自然通往設計或其他領域的道路。

1.3.3 創新設計

設計是有目的性的工作，所以為了產生更多樣性、有創造性的作品，開始引用其他領域的知識，進到設計流程中，仿生設計就是很好的一例，它可以製成有生物理念、外型、好用、愉悅的產品。Wu and Chang (2009) 和Patton (2005) 均認為可以運用仿生造型、有機造型和自由形態的產品，即是以動物移情與催化人們的感性經驗，產生對物品之間的感性對話與愉悅感。但這僅僅是仿生作品產生受大眾喜愛其中一項的指標，若要了解或改變仿生的參數時，則必須反向從設計過程來加以檢視。許多研究說明設計思考的重要開端，就在設計流程中的概念設計階段，Cross (1989) 將概念階段也稱為創造階段 (Dorst and Cross, 2001; Jin and Li, 2007), Georgiev and Nagai (2010) 以設計過程是求解解決問題的重要性來看，稱概念階段為主要階段 (the main design stages)。

所以當一個以設計目的發生的知識系統進入設計思考，它創造絕佳的機會讓設計者轉換知識成為一個好的靈感、新點子 (Georgiev and Nagai, 2010; Wu and Chang, 2009)。仿生設計的過程，從分析生物訊息到轉換為設計思考，兩種知識的合作就始於設計思考的開端，也是引發創造性思考的重要階段。而在設計的方式可以是一個人的獨立創作，也可能是跨領域團隊共同研討的結果 (Kim, et al., 2008; Walton, 2006)。但要完成一件新的、有創見、突破性的設計，另一項概念設計的重點是它的目的性，其目的在有效解決使用者的問題 (Chakrabarti, 2005)，或者使原來未發現的問題，在思考後顯現與化解，然後達到更好的境界。所以仿生是以解決問題的方式來建立知識穩固 (knowledge-intensive firms, 簡稱KIFs) 系統與設計穩固 (design firms) 系統，它屬於基礎的認識論 (Rylander, 2009)，然後再勾勒出內容和方法，這樣的方法就是一種創造性的方法 (creativity model)，經過這樣的方法，相信可以展現在多樣性、創造性的科學、藝術、法律、醫學和設計領域 (Austin and Steele, 2001; Fisher, et al., 2002; Owen, 2006)。

設計的這項創造性特質，雖關鍵在跨領域知識的開發，但是更重要的還是設計者的思考能力 (Cooper, et al., 2009)，開發每個人都與生俱來珍貴而獨特的創造本質，建構一種經由新知識的建造過程，重新發揮人類的創造性的思維，並導向新的獨特結果 (Kim, et al., 2008)。然而設計思考也並非單獨從設計者個人的角度，通常還需要具備另一項重

要的介質，那就是文化，設計者對文化認同需要有所了解，才能做出感動人心有共鳴感的設計 (Clark and Smith, 2008; Wu and Chang, 2009)，所以設計思考要考量的重點是知識、設計元素、到計畫、流程與新產品的誕生，這些其實都涵括於仿生設計流程之中，而它的實質設計內容與材料就正如 Kimbell and Stables (2008) 而言的，就是將新知識與設計師 (designerly way) 的知識互相連結，而這整體而言，就是一仿生設計思考，也是仿生設計的方法學，並且也是一項創新設計的發揮 (Bar-Cohen, 2006; Wen, et al., 2008)。

II. 研究方法

本實驗目的是在了解仿生設計思考，所以提供對設計師而言是新知識的生物學，來看生物被帶入設計的轉換與結果，實驗A的研究目的是比較兩類不同的生物知識形式，每一類分別完成7件仿生設計草圖，然後將此14件作品以專家法提供予7生物學家的評估，得知何種仿生知識形式是對於仿生設計有較高的助益；第二項實驗B的實驗目的是提供設計師均同一種生物知識形式，而得到12件作品的草圖，再與設計師進行深入訪談，紀錄設計師其設計思考的故事，再以ZMET法加以分析，其得出仿生連接元素系統。

2.1 實驗A：知識形式對仿生設計的影響

2.1.1 實驗對象

因本研究目的在不同生物知識形式對仿生設計的影響，所以分兩種知識形式提供予新設計師，在此指大學四年級以上已具備設計專業的學生，每一組7人，所以自變項為生物知識形式，一組是以自己的寵物了解為生物知識，以下稱寵物組 (表2, P1-1-P7-7)，另一組是以本實驗提供的一段

生物影片，內容是螃蟹的生態，故稱為螃蟹組 (表2, P8-8-P12-14)。請設計師分組各以寵物及螃蟹生物為題材來進行仿生設計草圖，草圖執行細節同下實驗B之說明。

2.1.2 實驗設備與環境

寵物組的實驗環境選擇在一般設計教室，成員計7位，事早已先取得資訊為設計師有長時間飼養寵物的經驗，來完成從寵物發想的仿生設計，以草圖與文字說明方式，完成於一頁A4紙。螃蟹組成員7位，其實驗場地與步驟同下實驗B。

2.1.3 專家法與李克特式量表

整理寵物組與螃蟹組合計14件作品，尋求7位生物專家為草圖與說明評分，評分標準是以作品中生物知識的涉入程度，分5個位階「非常不符合」、「不符合」、「無意見」、「符合」、「非常符合」，由高至低5, 4, 3, 2, 1給分。

2.2 實驗B：以草圖探討仿生設計思考

2.2.1 實驗對象

因本研究目的在2種不同知識的轉換，即生物學與設計學，故選擇已經具備設計專業能力的新手設計師，當給予設計師新的生物知識這項挑戰時，是假設其可以將生物轉換到已熟悉的設計能力上，然後展現出一種新內涵的仿生設計發展與成果，之後本研究可以從設計完成的草圖、文字與訪談中獲得仿生設計的相關知識。

受測者是挑選台灣某國立大學設計系所4年級以上的學生作為本研究受測者，實驗A計有空間設計大學四年級學生8名，得到8件作品，另碩士班學生4名，惟在不限作品數量下，其中一位 (P8) 完成3件作品，故得到5件，由以上14件作品分兩組對照以進行研究 (表2, P1-1-P12-14)。

表2 實驗A受測者基本資料表

受測者代號	生物	作品序號	設計產品用途	性別	學歷	設計背景
以下為寵物組						
P1	魚	1	魚缸	女	大學肄	空間設計
P2	蜥 (蜴)	2	蜥蜴的窩	女	大學肄	空間設計
P3	鳥	3	鳥巢	男	大學肄	空間設計
P4	鳥	4	鳥籠	女	大學肄	空間設計
P5	魚	5	魚池	女	大學肄	空間設計
P6	魚	6	魚飼料	女	大學肄	空間設計
P7	(天竺) 鼠	7	鼠窩	女	大學肄	空間設計
以下為螃蟹組						
P8	(螃) 蟹-U	8	遊戲器具	女	大學肄	空間設計
P9	(螃) 蟹-C	9	帽子	男	碩士肄	空間設計
	(螃) 蟹-C	10	浴缸	男	碩士肄	空間設計
	(螃) 蟹-M	11	建築物	男	碩士肄	空間設計
P10	(螃) 蟹-C	12	滑鼠	男	碩士肄	空間設計
P11	(螃) 蟹-U	13	嬰兒車	女	碩士肄	空間設計
P12	(螃) 蟹-U	14	(公共汽車) 候車亭	男	碩士肄	媒體設計

備註：學歷欄中「大學肄」專指大學四年級學生，「碩士肄」指研究所一至三年級學生，「碩士」指碩士畢業。



表3 實驗B受測者基本資料表

受測者代號	生物	作品序號	設計產品用途	性別	學歷	設計背景
P8	(螃蟹-U	8	遊戲器具	女	大學肄	空間設計
P9	(螃蟹-C	9	帽子	男	碩士肄	空間設計
增	(螃蟹-C	10	浴缸	男	碩士肄	空間設計
增	(螃蟹-M	11	建築物	男	碩士肄	空間設計
P10	(螃蟹-C	12	滑鼠	男	碩士肄	空間設計
P11	(螃蟹-U	13	嬰兒車	女	碩士肄	空間設計
增	(螃蟹-L	15	吸塵器	女	碩士肄	空間設計
P12	(螃蟹-U	14	(公共汽車) 候車亭	男	碩士肄	媒體設計
P13	(螃蟹-S	16	手機	女	大學肄	空間設計
P14	(螃蟹-U	17	兒童玩具	女	大學肄	空間設計
P15	(螃蟹-M	18	碎冰機	男	碩士	空間設計
P16	(螃蟹-X	19	建築物大門	女	碩士肄	空間設計

備註：學歷欄中「大學肄」專指大學四年級學生，「碩士肄」指研究所一至三年級學生，「碩士」指碩士畢業。

本研究受測者刻意不選擇產品設計系所學生，因為就文獻上得知，仿生設計通常表現在產品設計上居多，所以仿生在設計教材中，於產品設計系的教材居多，其他設計科系非常少見，因此本研究想得知仿生表現在產品設計，究竟是學校教育學習的結果，還是一種與設計的契合度，故本研究對象排除是產品設計系學生，實驗中要求完成至少一項設計成品，卻不限制產品種類，結果是否仍以產品設計領域的成品種類居多，將從研究結果中揭曉。

實驗B受測者背景亦刻意挑選非產品設計專業的背景，計有3名空間設計大學四年級學生，有6名碩士生其中5名為空間設計系所的背景，1名碩士生是媒體設計系所，惟總數9名受測者中，其中2位 (P9, P12) 增加3件作品，故合計9位受測者有12件作品 (表3, P8-8-P16-19)。實驗操作是採不限制受測者完成的時間，與限定完成的設計作品尺度、產品種類與數量。

2.2.2 實驗設備與環境

本實驗是選擇在受測者所在的大學設計系所的行為觀察實驗室進行。其室內空間分成兩個部份 (圖4a)；內部空間是受測者所處的空間，主要擺設有一張書桌，桌上提供電腦設備，為觀賞生物影片使用，另提供實驗進行的內容問卷一份，抽屜中有各種繪圖或書寫的工具，桌的前方架設一部能近距離拍攝繪圖過程的立式錄影機，在天花的四方架設有小型全程錄影設備。另外外部空間是研究者所在空間，即實驗操作者的位置，雖與受測者的空間相鄰，僅隔著一面玻璃隔間，卻只有從研究者這方可以單向透視到受測者的各種動態，方便隨時觀察內部空間進行的狀態，並從電腦中可以獲得所有受測者在實驗進行過程的錄影結果 (圖4b)。

實驗進行的流程與細節為：

1. 首先請受測者觀看一段12分鐘的生物影片，內容是描述7種螃蟹為主角的自然生態。

2. 影片觀賞後要求受測者選擇一種最吸引他的螃蟹，以其傳達而來的生物訊息，進行一項不限種類、尺度的設計作品。
3. 影片觀看完，受測者依問卷內容提示，請他打開旁邊抽屜的繪圖工具，以繪製草圖和簡短的文字表達其構想。設計過程可反覆觀看已預先切割成每隻螃蟹的獨立影片約1-2分鐘或靜態照片。所以受測者開始進行繪製草圖和文字說明 (圖4c)。
4. 受測者填答基本資料。
5. 研究者進入內部空間與受測者針對其草圖、文字說明，進行深入訪問。
6. 最後，致贈一份小禮物後完成本實驗。

以上每一項步驟受測者是在一種不知道下一步驟將如何進行的情形下，從問卷內容的步驟一步步引導 (不許翻頁到下一個步驟) 來進行本實驗，且皆在全程錄影的過程中進行。

2.2.3 ZMET法

2.2.3.1 ZMET法概述

隱喻抽取技術 (Zaltman Mataphor Elicitation Technique, 以下簡稱ZMET)。此技術是由Zaltmann在1994年發明，他在發明之前，曾在1980年代起就陸續著文說明應該使用其他領域的知識來挑戰既有的知識，他表明這樣做是一項有趣且應該如此的正確方向 (Shocker and Zaltmann, 1977; Zaltmann, 1991)，這在當時應該是很前衛的看法，也與仿生知識的精神不謀而合。所以他開始嘗試運用其他領域的知識來作為他想要了解消費者心中真正需求的研究，亦稱為消費者的潛在消費行為研究。另外他認為傳統的消費研究使用觀察、口述或問卷的文字化方法，常無法了解消費者真正的需要，因為消費者有些想法是必須透過畫面來表達

其內在的感受，所以，他發明ZMET來回到人類的原始深沉的思考模式，轉向圖像式思考來誘發人們的內在思考並表達其觀點。ZMET目前仍被歸類為非傳統的市場調查法，它是結合社會心理學、認知心理學、人類學、社會學的一門質性研究方法 (Zaltmann and Coulter, 1995; Zaltmann, 1996)。

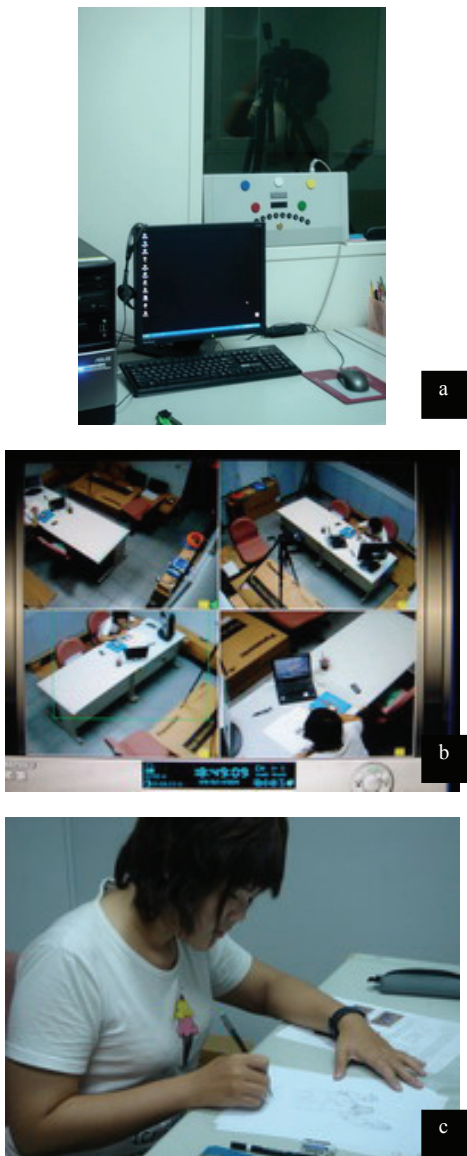


圖4 實驗設備與環境

2.2.3.2 ZMET執行內容

Zaltmann發明此研究法的同時也提出10個ZMET的執行內容，雖後來又微調成8個步驟，在此簡述與本研究的做法相符部分 (Coulter and Zaltmann, 1994; Zaltmann and Coulter, 1995; Zaltmann, 1996; Zaltmann, 1997)：

1. 說故事 (Storytelling)：受測者在深入訪談時描述設計思

考的重要過程與內容，即Zaltmann所謂的隱喻詳述 (Metaphor Elaboration)，讓受測者藉由設計成果—草圖中文字，另與研究員的深入訪談內容，說明生物對其設計的意義，而仿生它是如何讓這兩種知識銜接，簡言之是受測者設計思考的返回描述。因本研究為避免過多的設計思考模糊研究焦點，所以請受測者提供草圖簡短的設計思考描述，來回應本次的設計過程，本次實驗的分析就以這段描述來做為內容分析的主要文本。

2. 錯失的影像 (Missed Images)：訪談過程受測者可以描述設計上沒發現的任何訊息，但是對他而言是有意義的畫面，例如有受測者談到：看螃蟹爬行的樣子想到在大樓洗窗工人的動作，所以想要用螃蟹的樣子來做吸塵器，這裡的錯失影像就是「大樓洗窗工人」，在訪談過程中，我們回復了這個畫面，才能使設計的思考過程被完整重現。
3. 分類 (Sorting)：研究者依受測者的設計內容描述做成各分類標籤，其目的是在進行下一步驟的構念抽出，也就是找出思考的起始成組片斷，來做為後面的三種構念層級分析。
4. 構念抽出 (Construct Elicitation)：再參考凱利方格法¹和攀梯技術²，最後得出基本構念與構念的3種層級，即起始構念 (originator construct)、連結構念 (connector construct) 與終結構念 (destination construct)。
5. 最代表性的影像 (Most Representative Picture)：受測者選出其中認為最具代表性的影像進行操作。
6. 相反影像 (Opposite Images)：受測者說明與其挑選主題形成最大對比的影像，因為這樣的結果會衝擊著他的設計成果，對瞭解其設計思考有助。
7. 感官影像 (Sensory Images)：受測者可進一步描述使用其他感官 (包含觸摸、嚐、聞、聽、辨色、情感上的感覺) 來探索仿生概念。
8. 心智地圖 (The Mental Map)：研究者重複確認所有受測者的構念，故本實驗共得到至少12項作品的心智地圖。
9. 對影像做摘要說明 (The Summary Image)：受測者對影像表現出生物到設計主要的想法，以文字、簡短的一句話、深入訪談對話與草圖4種方式表現出來。
10. 共識地圖 (Consensus Map)：最後由研究者將受測結果繪製成一個概念地圖，來展現多數人的仿生設計想法。內容中可以清楚的辨識出各項仿生設計的元素、元素間的關連性與設計流程等仿生設計學基本知識。



III. 結果與討論

3.1 知識形式與仿生設計

實驗A的14件作品 (對照表2與圖5) 在7位生物專家的分析, 依設計的生物種類描述, 很清楚的被分類為有經驗式的和無經驗式的生物, 也即是設計上給予的要求依照寵物及指定生物 (螃蟹) 來執行仿生創作, 所以新設計師的生物種類來源, 有意圖的表現在對生物的內容程度上, 即對寵物的深度高於指定生物螃蟹, 所以生物學家除了可以輕易

分類也給與寵物較高的生物內容評分, 寵物創作的總分是 142: 螃蟹創作的總分132, 足足高出10分 (圖6)。

這足以說明不同生物知識的類型, 有體驗式的生物知識所獲得的生物知識和轉換是高於無體驗式的, 所以在進行跨領域的知識的收集時, 是可以有方法有效的對知識形式做想像, 不一定要侷限在慣用的知識習慣, 可以選擇不同領域的知識, 與不同形式的知識, 對於設計思考與結果也會有所創新。



圖5 19項仿生設計作品

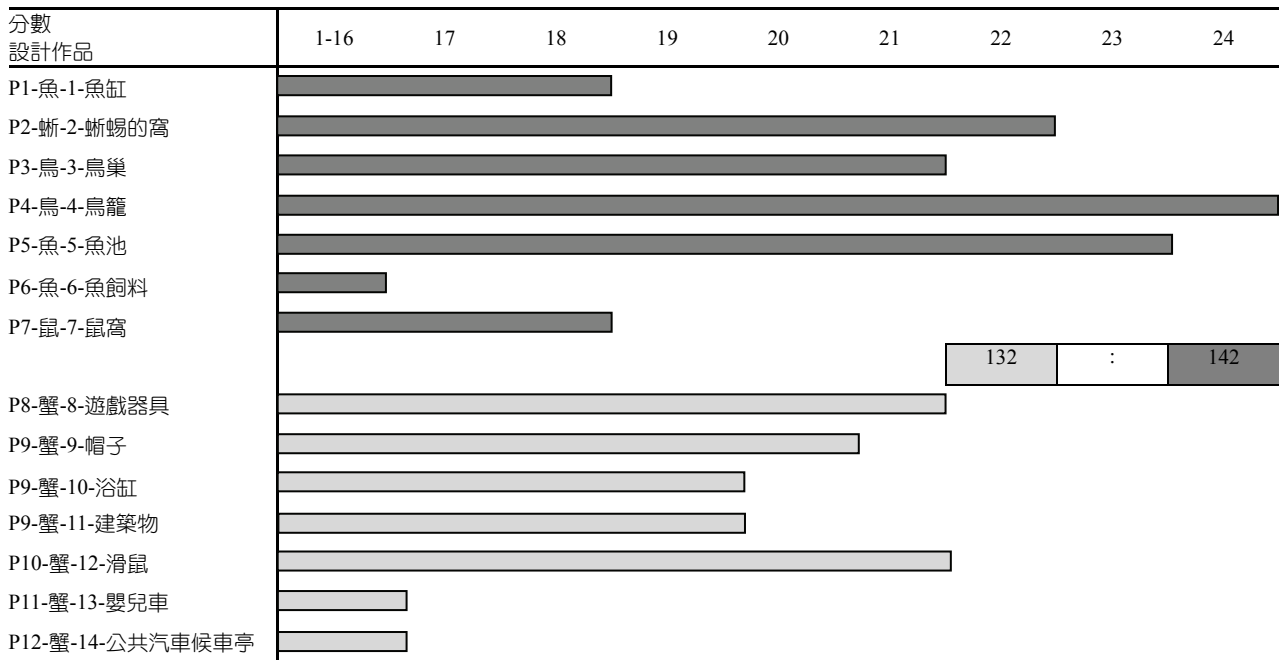


圖6 兩種知識形式的仿生設計予生物專家的評分結果

3.2 仿生概念設計

Liikkanen and Perttula (2010) 認為「設計靈感的產生design idea generation or idea generation簡稱為IG)」模式研究是最近新興熱門的一項研究，因為從事IG研究可以了解設計者的「感知基礎 (cognitive basis)」，他也發現主要可分成兩種靈感產生IG的依賴模式，一種是從設計者長時間記憶中累積的「階段記憶搜尋 (strategic memory search)」(Liikkanen and Perttula, 2010; Nijstad and Stroebe, 2006)，另一種是屬於原始永恆記憶的「自然記憶搜尋 (nature of memory search)」(Coskun et al., 2000, pp. 307-329)，但最終無論採取哪一種搜尋模式，其連接到設計師的都是在重要的設計概念階段 (Liikkanen and Perttula, 2010)，且正如 Purcell and Gero (1998) 所言，設計師認為草圖有利於將其思考連接到創新與創造性上，它是一項非常好的工具選擇，所以草圖在設計師概念階段是具有代表性的，並也能擔負起將非常多元知識經驗混合與整合的一個終點站。

Zaltmann在發明ZMET的動機就闡明原始人類還無文字之初，都是透過人類最原始的圖像式思維能力 (Zaltmann and Coulter, 1995)，這也是設計傳達的最主要語言，所以當新知識的提供與引入，也常選擇圖像的方式，即草圖的方式來幫助思考，另外在生物已轉換到設計師的設計思考之後，也透過設計者的圖像表達，加上語言文字，所以思考的輸出也同樣以圖像為主，是為了讓閱讀設計的一方可以更加清楚設計師的思考脈絡與關鍵點。所以在實驗B，我們發現設計者從一種螃蟹的知識得到一連串的新的設計概念

(圖5)，並完成一項新的設計作品草圖階段，兩者之間，就存在著上述的設計感知與表達。具體做法是從設計者描述的草圖和語言中，也即是配合Zaltmann的說故事法則，去獲得主要的設計流程階段和各階段的重要元素，期進一步累積多人的資訊，彙整成一個初步接近仿生設計流程與元素的輪廓。從草圖中初步看到仿生的設計思考是融入生物知識的設計形態，它是一種具有螃蟹的外在形態、甚至模仿其肢體動態的新的美感經驗，正如Wen等人 (2008) 認為的仿生設計是具有美感意義 (aesthetic intent) 和幾何特性 (geometrical characteristics)(Wen, et al., 2008)。另外實驗B結果有3/4比例的設計作品是導向產品設計，另1/4比例才是符合原設計者空間背景的空間設計作品 (表3與圖5之P8-8~P16-9)，且將以上作品再提供予設計專家判斷，得到多數是有創造性的新案例作品 (Helms, 2009)，從上述理論與實驗初步結果說明：1. 跨不同設計領域是非常可行的做法。2. 提供跨領域的生物知識轉換為設計靈感也是可行的資訊提供。3. 設計者也回應這項設計是結合過去經驗與記憶的設計靈感來源。4. 設計作品均有別與以往的產品外形功能，有自然美感靜態造型，或具有自然型態的流線與動態感，確實能將設計師的思考，直接串連到成為創造性的創新產品設計。5. 最終，12位設計者均趨向回應此方法是非常有助於在概念設計階段來進行的。6. 另一項後續實驗是將此設計者的草圖再提供生物專業者，多數可以再給予更多的肯定和深入的生物知識，所以未來可以持續進行更深入階段草圖階段，來回應仿生設計思考的回饋與進展。





圖7 從說故事尋找仿生設計思考的生成示意圖

3.3 仿生設計元素

為具體化設計師在概念設計階段所進行的草圖設計，表現設計師在設計發展過程中的思考，所以實驗B請設計師回溯設計過程中最精要的一段設計思考，並以語言或文字化的方式描述，即ZMET步驟之一的說故事，經歸納整理後導出16項的構念，是依ZMET三種層級分類；起始、連結與終結的各項構念（表4）（Zaltmann, 1996）。

在第一層起始層級的6項構念中，是從12個設計作品單選或複選的情形下共出現19次的構念，它們均代表設計師在觀看生物影片，針對動物的某種樣態感興趣而引發其設計。以選取次數來判斷個別構念的重要性順序是：「動物行為」、「動物造型」、「動物器官與體色」等。這說明設計師特別對生物的行為、動作，甚至其「新陳代謝」過程亦可納入為動態行為中，所以設計師們總共在動物的動態行為上選取了8次，它們是設計中引入新知識的主力，這項結果相較於次高的動物造型僅有5次的選取次數是非常令人震驚的，因為這對比在過去仿生設計教育的過程，給予我們的知識都是著重引導我們認識生物的原型，屬於靜態的自然美學知識，在仿生教育的方向上，與本研究的結果正好不相一致，未來可以做為教育上的重要參考。

第二層連結層級的7項構念，仍舊有單與複選的情形發生，也跟第一層級同樣是單選多於複選的情形，設計師總共選取了15次的構念，以選取次數判別重要順序是：「聯想」最高有8次，而「過去經驗」和「吸引」2項各有2次，所以選取次數相同，而其他構念均只有1次。針對最重要的「聯想」構念來看，它選取的次數占了這層級選取次數的一半以上，故「聯想」是生物這項新知識與設計知識互相連結的關鍵因素。但是在第二順位的「過去經驗」與「吸引」卻有4次的選取中3次與第一高位的「聯想」是連結的，即是它不是單獨成立，舉例而言有3位設計師具體指出他的聯想是關連於個人的過去經驗或記憶，或其聯想是因為第一層級的生物知識刺激導致，

也有設計師指出他的聯想是生物與人類的動作非常相像而有趣，所以刺激他的設計靈感。

第三層終結層級中，設計師總共選取了14次的構念，但是此層級應該再分為二階層，因為按一般設計流程中的「解決問題」它還在類似上述的思考階段，簡單說是軟體工作。但是另兩項構念：「產品設計」與「空間設計」，則代表的是具體的設計成果，稱硬體工作。結果顯示僅2位設計師選擇選取「解決問題」，一位是藉「解決問題」來釐清設計功能後走向空間設計，另一位選取第一層級的「動物器官」後直接就跳過第二層級到「解決問題」，但是卻在此暫時停頓思考後，接下來重新再由第一層走向二到三層，表示其第一次的路徑只是初步檢選構念做為初階的思考後，再來才是完整的思考路徑產生。但多數的10項作品是直接從第二層就走向具體設計的思考方式。

分析這12項作品之中，9位選擇完成產品設計，占總比例的75%，而3位選擇完成空間設計，是與其原有的設計背景相同，占總比例的25%。所以從本研究上述結果中證明，不同知識的跨領域是可行的，如從生物到設計。另不同設計領域互換也是可行的，如空間設計到產品設計。

比較上述三種構念層級的選取次數，是從第一層級越往第二層級之後的選取次數逐漸遞減，即第一層級是19次，明顯多於第二層級的15次和第三層級的14次，雖然第二和第三層級的差距不大。代表知識的轉換在前端的了解分析階段是比較複雜，需要更多資訊的，而越到後端的设计階段，因為設計師已具備一定的專業訓練和具備能力，相較之下，也越來越不需要求助外界的新資訊提供。

3.4 仿生設計流程

就前述，實驗B返回到12項作品原創設計師的設計思考中，所得到的16項構念，這是屬於整體的聯集，但使用ZMET的心智地圖可以更釐清個別設計師的設計思考脈

表4 16項元素與3段構念層級表

	起始構念						連結構念						終結構念			
	O1	O2	O3	O4	O5	O6	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	D1	D2	D3
P8-8					V+			V+								V
P9-9					V+				V+							V
P9-10					V1+	V2+	V									
P9-11				V+												V
P11-15			V+				V2+						V1+			V
P11-13			V+				V1+						V2+			V
P13-16			V1+		V2+		V1+		V2+							V
P10-12				V+										V		
P14-17					V+		V3+	V2+			V1+					V
P15-18	V1+				V2+		V+									V
P16-19			(V)									(V-)			(V-)	
P12-14		V+														V
次數	1	2	5	2	8	1	8	1	1	1	2	0	2	2	9	3
(反向)			(1)									(1)			(1)	
比例	0.05	0.11	0.26	0.11	0.42	0.05	0.53	0.07	0.07	0.07	0.13	0	0.13	0.14	0.64	0.21

表5 各構念代號與名稱對照表

代號	名稱	代號	名稱
O1	新陳代謝	C3	特點
O2	動物體色	C4	引發好奇心
O3	動物造型	C5	吸引
O4	動物器官	C6	設計動機
O5	動物行為	C7	過去經驗
O6	動物生存環境	D1	解決問題
C1	聯想	D2	產品設計
C2	人的動作	D3	空間

絡，從中得到構念的關係與方向性，其結果將有助於了解仿生設計流程的樣態。所以，本研究也以16項元素與3段構念層級表(表4)所得到的資訊，表中標示的「+正記號」代表以ZMET步驟的起始、連結與終結三種層級為路徑方向的順向，最後到達處以無記要顯示終點，同理標示為「-負記號」就是往逆向，即終結、連結到起始的方向，僅有一位設計師在第二次思考時，發生與ZMET步驟相反的走向，此稍後會加以說明。所以，本研究結果已詳實完成12個ZMET步驟中設計師的心智地圖，並總結得到4種類型的心智圖(圖8)，且依設計師選擇數量高低之順序排列與說明其代表意義如下：

1. 層次類型：共有7項設計作品(編號P8-8, P9-9, P9-11, P11-15, P13-16, P14-17, P12-14)屬於此種設計流程走向，此類型是最符合ZMET步驟的三層級，每一層級均有涉及，且會在每層級選擇至少一個構念，依序往層級高的方向走。此即代表它進行設計作品的思考是一個最典型、而完整的一條思緒，從起始、連結走到終結的思考的點，它不僅是一條直線形的思慮，更是從跨知識思考到人造成品，為ZMET所假設深沉思維，

在設計領域中的解釋可以初步定為標準的設計流程。故可以得知它的思考特點著重在「層次性」上。

2. 取捨類型：共有3項設計作品(編號P9-10, P10-12, P16-19)，即1/4作品是屬於本類型，它的類型雖符合ZMET步驟的層級走向，但簡單的說，它不是一次到達，它分成至少2次，舉例而言，第一次是從起始走到連結，第二次又重新選擇新的起始點、連結到終點。這種類型是屬於對於知識或設計選擇會感到猶豫不決，需要思考的停頓後返回，再多做幾次判斷，但以本實驗顯示，在多次的判斷後均會走向思考的終點，即仿生設計的成果。故，它的思考特點著重在「多取捨性」上。
3. 瞬間爆發類型：僅有1項設計作品(編號P11-13)是屬於此類型，它與前述的順向走向相同，所以也與ZMET步驟的層級走向一致，但是雖然方向一致，卻缺少了中間的層級，是無連結層級的思考，所以它只有起點和終點，卻不需要任何中間元素來幫助設計思考進入完成作品階段。也說明，它的思考特點屬於一種「瞬間的爆發力」。
4. 思考縝密類型：最後一種類型，雖然僅有1項設計是屬於此類型(編號P15-18)但也最特殊。因為它是一條循環的路徑，方向是ZMET步驟的層級走向，依序走完每個層級的起始、連結、終結，但卻未完，它接續再從終結、走向連結與起始。但此循環類型表現出一種知識到設計又回到知識，這樣的思考路徑，就如同設計的再汲取知識讓設計加分的一種好的思考方式。所以，它的设计思考特點是著重在「縝密性」。以本類



型而言，因本研究是先以設計師自行檢選的一段最精要的思慮做為取樣，若繼續深入它後續的走向，也可能同此類型的循環方式繼續下去，或有其他的走向，此有待後續研究深化。

從上述12件設計作品歸納的心智圖類型，得到仿生設計思考流程至少具有此4種的類型：從起始點的方向性而言，就是多層次、多起點、無中間層次與循環層次類型，從思考的特性而言，就是標準的「層次型」思考、「取捨型」的思考、「瞬間爆發型」的思考和反覆的「思考縝密型」。

另本研究在各類型的樣本數量還是屬於少量的，但本次實驗的總體初步看出有此分類，建議未來可以執行更多樣本的實驗，或是按各類型的特點設計新的實驗進行驗證。

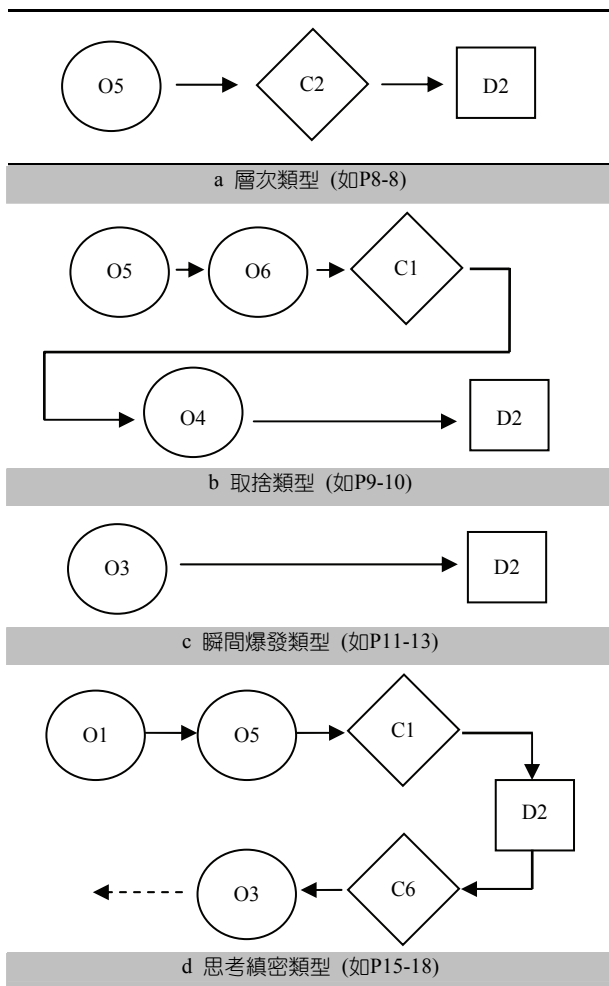


圖8 4種類型仿生心智圖 (圖說編號為表4的編號)

這4種類型之中的第二種取捨型它非常相似於實驗A的做

法，設計師會重複回到第一層級知識系統中尋找可用的資訊，可見第一層級是非常重要的，如果加上實驗A的結果，建議發展多種的知識形式來協助設計者的思考，甚至結合不同知識領域的專業團隊共同合作，持續發展實驗A初步得到生物學家認為設計師應該改正不要過度依賴人類的眼光，仿生設計更應該以動物的各種感知來了解這個世界，如此才能擴大到各種物種的角度，還有物種如何適應自然棲息地的因應方式，如此來為人類找到更多的可能性，並且是融入自然世界的角度，他們也建議發展像大自然一樣無汙染的材料在產品之中，這才是對自然最的回應方式，人類應循這樣的角度前進。

3.5 仿生共織地圖

從上述除了得出16種的構念，也從個別設計師所檢選的構念與方向，歸納出12項作品的心智圖，幫助我們釐清仿生設計思考的走向，最後階段是把12項作品的思考流程，整併在一張共同的關係圖上，那就是ZMET最後一個步驟的共織地圖，以本研究而言，為何要結構出一幅如蜘蛛網的仿生思考地圖？個別的關係圖與共同關係圖的目標有何不同，即心智圖和共織地圖有何差異？

回應前述文題的答案是，因為個別的關係圖只能被當作一個獨特案例看待，但是當案例的樣本數多了，結構起來，就可以找出問題的中心與邊緣，從本研究結果來看(圖9)，舉例而言同樣是第一層起始構念的6項生物知識元素中，所謂的邊緣元素是「新陳代謝」和「動物體色」，因為它們必須連結到第一層的中心元素「動物行為」才能接觸到第二層的「聯想」元素，所以網絡中元素的親疏可見。另從共織地圖中可以區別出一個大網和一個不完整的網絡，所以在此的中心是大網由13項構念元素所完成，即「新陳代謝O1」、「動物體色O2」、「動物造型O3」、「動物行為O5」、「動物生存環境O6」、「聯想C1」、「人的動作C2」、「特點C3」、「引發好奇心C4」、「吸引C5」、「設計動機C6」、「過去經驗C7」、「產品設計D2」，另被排除在外關係不明確，還無法結構或系統於仿生設計思維的是「動物器官O4」、「解決問題D1」和「空間設計D3」此3項元素(圖9)。說明它們還有待進一步更多的研究釐清細節，才能重新在網絡中被看清楚究竟該有的位置，和它們與中心的親疏關係。至於本研究主要織造的大網，由此13項元素所構成，但構成的關係中，明顯可見，其中包含有2個小網，即由「聯想C1」、「人的動作C2」到「產品設計D2」，與由「聯想C1」、「動物的一特點C3」到「產品設計D2」這兩個小網。此呈現結果很容易讓對於仿生設計有興趣的研究者或設計者，能一窺究竟仿生設計的基本樣貌。

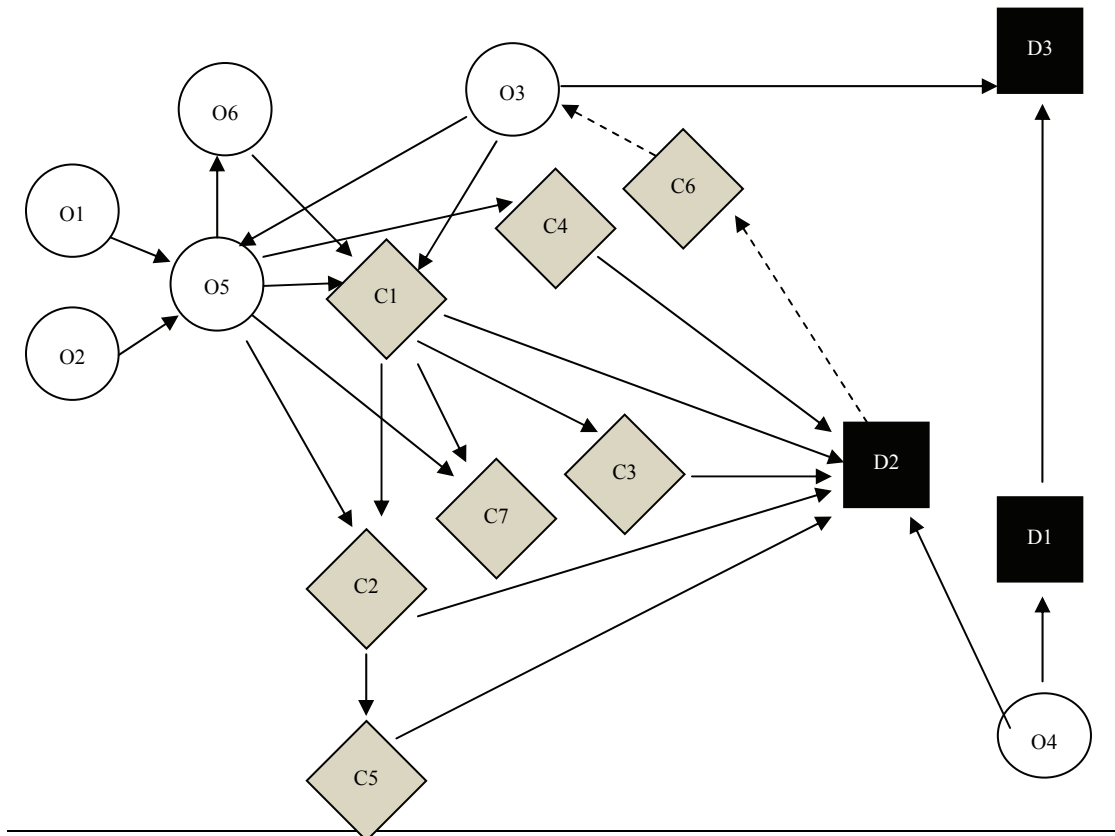


圖9 仿生共織地圖 (圖說編號為表3的編號)

IV. 結 論

本研究關注於兩項焦點，仿生知識形式討論與轉換到設計知識的系統轉換過程，另為跨領域知識內化到設計師在執行完整的仿生設計過程中的設計師思考研究。本研究在設計之初，先檢視從仿生設計研究的文獻資料，得知對於有系統性建構仿生研究的學術研究非常缺乏，為了有一全盤性的了解生物與設計兩種知識的進和出，即輸出與輸入是如何發生於設計師的腦海裡的流程，所以展開本研究實驗，從上述結果獲得2項的初步成果：

1. 以提供一種生物體驗或影片為生物知識來看「仿生設計教育」，發現相對比以往的靜態圖片知識提供轉換成設計，體驗式的知識比非體驗式的知識要深，另外動態影片下的設計成果有更多的動態感，歸納其導因一是前述所言的動態教材提供，所以多數設計師選擇以「動物行為」為知識轉換的因子。
2. 所以展現在概念設計中的「仿生設計思考能力」介質有16項元素，4種典型的路徑方向，由13項元素構成一個仿生設計思考的網絡圖，唯其中三項元素（動物器官、解決問題與空間設計）的網絡關係不夠明確。

最後，跨生物與設計領域的「仿生設計方法學」經本研究釐出初步架構，且產生許多有創造性與新穎的設計成果，未來有待在這樣的研究基礎上，繼續往研究的質和量邁進，建議後續研究可以進行的3個方向研究為：

1. 仿生設計教育：本研究的成果是以草圖呈現，本無法確定其是否具有動態機構，所以也在實驗B之後與設計者的深度訪談中問及作品的動靜態性，12項作品中有10項（佔所有作品的83%）的設計師均回答作品是具有動態成分的，故初步判斷是因為本研究在設計初始階段提供予影片的方式有關，且多數的設計師在第一層構念的選擇，也以「動物行為」最感興趣，故引導到設計作品的動態想法，從草圖結果也觀察到多數作品出現3D的立體向度。未來如能延續本初步研究成果，在仿生設計教育上多嘗試動態的教材，相信可以增進設計師的空間感和創造力。
2. 仿生設計思考力：本研究主要的成果，即是以設計師的仿生設計思考脈絡，分析出16項的仿生設計元素，並且找到其4種類型的設計流程，與整體仿生設計網絡，來做為未來後續仿生研究、設計、教學的參考。目前的結論在質與量可提供的分析基礎，還是非常有限。相信以



此為出發點，繼續以仿生為探討方向，以更大範圍的對象與訪談內容量，或改變不同的對象、方法，或透過長時間的觀察分析，可以讓仿生設計思考的研究更臻完善。

3. 仿生設計方法學：人類必須拋開本位主義，才能真正討論與自然和諧共處的議題，這也是實踐仿生研究的入門精神，如此才能以自己的專業知識與億萬年演化而來的自然知識進行對話，最終改善這個自然與人為共創的世界。仿生是一門涵蓋深遠的學問，過去一直存在很片斷，以人為目的利用的想法來操作這世界，所以回到人類的本能與自然的共存關係上，仿生並不是一門新知識或新領域，而是挖掘人類本有的仿生設計思考，使其文字化後呈現出其內在抽象樣貌。若能完成此項跨領域的設計方法，相信也可將其他知識領域導引至設計領域來，產生互動與融合，讓設計領域的知識量逐漸擴充與完備，期待能突破知識領域與思考模式的隔閡，對自然(包含人為)的世界有更大的貢獻。

注 釋

1. 凱利方格法 (Kelly Grid)：它是由Kelly在1995年提出，主要目的在構念抽取，找出元素的概念後，進行概念分析，形成凱利方格圖。其操作步驟如下分成四個步驟：準備元素 (Elements)、引出構念 (Construct)、方格評比、資料分析。
2. 攀梯技術 (Ladder)：Boer and McCarthy (2003) 指出攀梯技術是深度訪談法 (In-Depth Interview) 的一部份，它以直接引誘的方式進行，受測者回答所認知的屬性，而訪談者則以循序漸進、反覆詢問得深入探索方式，詢問受訪者對該屬性的重要性，目的在挖掘受測者心中的重要概念連結網絡。

參考文獻

- Archer, L. B., 1963, Systematic method for designer, 1st Edition, Oxford, UK.
- Austin, S. and Steele, J., 2001, Mapping the conceptual design activity of interdisciplinary teams, *Design Studies*, Vol. 22, No. 3, pp. 211-232.
- Bar-Cohen, Y., 2006, Bioimetics-using nature to inspire human innovation, *Bionspiration and Biomimetics*, Vol. 1, No. 1, pp. 1-12.
- Boer, M. D. and McCarthy, M. B., 2003, Means-End Chain Theory Applied to Irish Convenience Food Consumers, *Cahiers Options Méditerranéennes*, Vol. 64, pp.59-72.
- Brazhnik, O., 2007, Databases and the geometry of knowledge,

Data and Knowledge Engineering, Vol. 61, No. 2, pp. 207-227.

- Chakrabarti, A., Sarkar, P., Leelavathamma, B. and Nataraju, B. S., 2005, A functional representation for aiding biomimetic and artificial of new ideas, *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, Vol. 19, No. 2, pp. 113-132.
- Clark, K. and Smith, R., 2008, Unleashing the Power of Design Thinking, *Design Management Review*, Vol. 19, No. 3, pp. 8-15.
- Cooper, R., Junginger, S. and Lockwood, T., 2009, Design Thinking and Design Management: A Research and Practice Perspective, *Design Management Review*, Vol. 20, No. 2, pp. 46-55.
- Coskun, H., Paulus, P. B., Brown, V. and Sherwood, J. J., 2000, Cognitive stimulation and problem presentation in idea-generation groups, *Group Dynamics: Theory, Research and Practice*, Vol. 4, No. 4, pp. 307-329.
- Coulter, R. H. and Zaltmann, G., 1994, Using the Zaltman Metaphor Elicitation Technique to Understand Brand Images, *Journal of Advertising Research*, Vol. 21, No. 1, pp. 501-507.
- Cross, N., 1989, *Engineering design methods: strategies for product design*, 1st Edition, John Wiley and Sons, West Sussex.
- Dorst, K. and Cross, N., 2001, Creativity in the design process: co-evolution of problem-solution, *Design Studies*, Vol. 22, No. 5, pp. 425-437.
- Fisher, K. M., Wandersee, J. H. and Moody, D. E., 2002, *Mapping Biology Knowledge*, 1st Edition, Kluwer Academic Publisher, New York.
- Georgiev, G. V. and Nagai, Y., 2010, A method for the evaluation of meaning structures and its application in conceptual design, *Journal of Design Research*, Vol. 8, No. 3, pp. 214-234.
- Halacy Jr., D. S., 1965, *Bionics: the science of "Living" machines*, 1st Edition, Holiday House., New York.
- Helms, M., Vattam, S. S., and Goel, A. K., 2009, Biologically inspired design: process and products, *Design Studies*, Vol. 30, No. 5, pp. 606-622.
- Jin, Y. and Li, W., 2007, Design concept generation: a hierarchical coevolutionary approach, *Journal of Mechanical Design*, Vol. 129, No. 10, pp. 1012-1022.
- Kelly, G. F., 1995, *The Psychology of Personal Constructs*, 1st Edition, Norton, New York.
- Kim, Y. S., Kim, M. S. and Wilde, D. J., 2008, Toward the Management of Design Creativity: Personal Creativity Modes, Design Activity, and Team Interaction, *Design Management Review*, Vol. 4, No. 1, pp. 45-52.
- Kimbell, R. and Stables, K., 2008, *Researching Design*

- Learning: Issues and Findings from Two Decades of Research and Development, 1st Edition, Springer: Netherlands.
- Kindlein Jr., W., Alves Candido, L. H., Marques, A. C., Santos, S. S. dos. and Silva Viegas, M. da., 2007, Development of Junction Elements from Study of the Bionics, *Journal of Bionic Engineering*, Vol. 4, No. 1, pp. 41-46.
- Lakoff, G. and Johnson, M., 1980, *Metaphors We Live By*, 1st Edition, Chicago University Press, Chicago.
- Liikkanen, L. A. and Perttula, M., 2010, Inspiring design idea generation: insights from a memory-search perspective, *Journal of Engineering Design*, Vol. 21, No. 5, pp. 545-560.
- Lodato, F., 2005, The nature of design, *Design Management Review*, Vol. 16, No. 1, pp. 56-61.
- Nijstad, B. A. and Stroebe, W., 2006, How the group affects the mind: a cognitive model of idea generation in groups, *Personality and Social Psychology Review*, Vol. 10, No. 3, pp. 186-213.
- Owen, C., 2006, Design Thinking: Notes on its Nature and Use, *Design Research Quarterly*, Vol. 2, No. 1, pp. 16-27.
- Patton, P., 2005, Twentieth-century root of organic form. In Holt, S. S. and Skov, M. H., *Blobjects and Beyond: The new fluidity in design*, 1st Edition, Chronicle Books, San Francisco.
- Pepe, M. L. and Keen, T. R., 1981, *Personal Construct Psychology and Education*, 1st Edition, Academic Press, London.
- Purcell, A. T. and Gero, J. S., 1998, Drawings and the design process, *Design Studies*, Vol. 19, No. 4, pp. 389-430.
- Rylander, A., 2009, Design Thinking as Knowledge Work: Epistemological Foundations and Practical Implications, *The Design Management Journal*, Vol. 4, No. 1, pp. 7-19.
- Shocker, A. D. and Zaltmann, G., 1977, Validity Importance in Consumer Research: Some Pragmatic Issues, *Advance in Consumer Research*, Vol. 4, No. 1, pp. 405-408.
- Vincent, J. F. V., Bogatyreva, O. A., Bogatyrev, N. R., Bowyer, A., and Pahl, A. -K., 2006, *Biomimetics: its practice and theory*, The Royal Society, Vol. 3, pp. 471-482.
- Walton, T., 2006, Leadership, Creativity, Teamwork, *Design Management Review*, Vol. 17, No. 3, pp. 6-9.
- Wen, H. -I., Zhang, S. -J., Hapeshi, K. and Wang, X. -f., 2008, An innovative methodology of product design from nature, *Journal of Bionic Engineering*, Vol. 5, No. 1, pp. 75-84.
- Wu, T. -Y. and Chang, W. -C., 2009, Development of a product with pleasure: modeling the bionic design approach, *Japanese Society for the Science of Design*, Vol. 56, No. 2, pp. 43-52.
- Zaltmann, G. and Coulter, R. H., 1995, Seeing the Voice of the Customer: Metaphor-Based Advertising Research, *Journal of Advertising Research*, Vol. 35, No. 4, pp. 35-51.
- Zaltmann, G., 1991, One Mega and Seven Basic Principles for Consumer Research, *Advance in Consumer Research*, Vol. 18, No. 1, pp. 8-10.
- Zaltmann, G., 1996, Metaphorically Speaking: New technique uses multidisciplinary idea to improve qualitative research, *Marketing Research Forum*, Vol. 8, No. 2, pp. 13-20.
- Zaltmann, G., 1997, Rethinking Market Research: Putting People Back In, *Journal of Marketing Research*, Vol. 97, No. 34, pp. 424-437.

*Received 9 November 2010
Accepted 21 January 2011*



BIONIC DESIGN THINKING FROM KNOWLEDGE STYLES AND SKETCHES

Wan-Ting Chiu and Shang-Chia Chiou

Graduate School of Design
National Yunlin University of Science and Technology
Yunlin, Taiwan 64002, R. O. C.

ABSTRACT

Since the term “Bionic” was coined in 1960, there were a number of technological products invented that have had deeply influenced the human societies; however, comparing with the achievements in technology, bionics in design seemingly being nearly “uncivilised” with very rare establishments on related expertise. Henceforth, this study conducted an experiment to understand: 1. if bionic design methods helpful to creative design; 2. what is the process and critical elements of bionic design, the effect on design thinking with different forms of biological knowledge. The experiment conclusions are: 1. the innovative, varied works made by the subjects are given in the same biological material, proves the positivity of bionics to creative design; 2. four types of Bionic design thinking process and sixteen critical elements are inducted, and thirteen in which are drew as the consensus map, sense of motion of designers would be enhanced if provided with dynamic material.

Keywords : bionic design, design thinking, creativity, expert approach, ZMET