

設計過程中創意產出的可能性

—以 PSEP 比例為測量標準

唐玄輝

長庚大學工業設計系

摘要

使用創意認知的概念，本研究提出研究設計創意的的方法，研究成果為一套可以測量設計過程中創意產出的可能性的方法，運用口語資料中不同認知層面的資料，以及創意發展階段預先發想結構(PSEP)，測量創新、價值和無法預期性。結果證明有經驗的設計師能較快速地激發其創造力，而且可以將設計過程的一半時間花費在創意發展上。DCOCS 編碼系統與 PSEP 比例也展示出其測量設計過程創意的能力。最後本研究討論傳統與數位媒材對於合作式設計創意的影響，以及未來的研究方向。

關鍵詞：設計媒材、創造力、設計認知、產生發展模型

1. 前言

創意與創造力在一般生活中是很常使用的概念，創意是指產生新概念的源頭，而創造力指的是持續產生新概念的能力。烹飪可以很有創意而物理發現也可以很有創意，不同行業，與不同情況對創造力一詞的使用，造成了創造力研究的多面向與豐富性。研究創造力的方法橫跨心理認知、人因工程、人工智慧 (Finke, Ward & Smith, 1992; Weisberg, 1993, Liu, 2000, Saunders & Gero, 2001)。心理認知的研究方法著重於利用認知實驗探求設計中問題解決的過程(problem solving) (Liu, 2000; Fink, Ward & Smith, 1995)，其他的研究著重於歷史資料的發掘，以找出天才型創意人物的成長過程 (Gardner, 1993)，本研究沿用心理認知研究創意的的方法，探討設計過程中的認知內容與設計物創意的關係，因此設計過程中的認知體驗如視覺與概念發展都是重要因素，對於產生創意產品也有一定的影響力 (Schön, 1992; Suwa, Gero & Purcell, 2000)。

1.1 研究目的

對於研究創意而言，參考文本(referential context)是很重要的觀念，它提供了評估創意時的依據。在認知研究與人工智慧領域，研究者利用它處理人類創意過程的內在結構與心理現象，其他研究則利用參考文本處理專業領域和社會文化相關的創意(Csikszentmihalyi, 1988; Boden, 1990)。這樣的分類展示了研究創意的兩個領域，如 Boden 所提的個人創意 (P-creativity) 與歷史創意 (H-creativity)，及 Gardner 所提的小創意(small-c) 與大創意(big-c) (Gardner, 1993; Boden, 1990)。

本研究的重點為 Csikszentmihalyi 的創意三角形中的心理與個人層面(Csikszentmihalyi, 1996)，及 Boden 所提的個人創意 (P-creativity) (Boden, 1990)，這類的創意屬於個人範疇，且受當事者的知識與概念影響，本研究的範圍集中於單一設計過程中所產生的創意。

本研究對於創意的定義包含創新、價值和無法預期性，價值的評估和參考文本有密切的關係，參考文本則和領域知識及判別設計結果的創意有關，但是由於本研究侷限於單一設計過程，所以不討論設計結果對評量設計過程創意的影響。何謂創

新，對於本研究而言，是和設計過程息息相關，有幾種的創新可以在設計認知過程發現：設計師在草圖中發現原本並未發現的視覺關係，設計師賦予了新的意義於原先就有功能意義的圖形，設計改變原有設計需求，由新的設定來代替，這幾個例子也包含無法預期性，而且這些預期性分布於設計認知中的視覺、功能意義、與概念發展。

2. 文獻探討

文獻簡單扼要的回顧設計思考領域、口語分析方法、以及設計過程中的創意。

2.1 設計思考研究方法

近年來討論設計思考本質的研究方法，主要是有五類：訪談設計師、觀察與案例研究、口語分析、理論探討、模擬實驗(Cross, 1999)。從 1920 年之後，口語分析逐漸成為心理學重要研究方法之一，口語分析是基於心理學的資訊處理理論 (information processing) 而來的研究方法 (Simon, 1983; Newell & Simon, 1972)，資訊處理理論指出思考是人類資訊處理的過程和產物。Groot 著名的西洋棋研究使用的便是放聲思考口語分析法，Newell 與 Simon 也將口語分析應用在對邏輯問題解決的研究裡 (Newell, Simon, 1972)，在近年來，許多關於設計思考的發表文章中，也嘗試將這個認知心理學的研究方法，應用在相關研究上 (Goldschmidt, 1991, 1992, 1994, 1995, 1999; Schön & Wiggins, 1992; Suwa & Tversky, 1997)。

2.2 口語分析

Eastman, McCracken, & Newstetter (2001)整理出近二十年在設計思考領域上的重要議題，及使用口語分析為研究方法的相關研究，為設計思考與口語分析做一完整的紀錄。由於人類的思考過程十分複雜以及快速，在這些過程中有些動作與反應連受測者也無法自覺。口語分析能藉由重新編碼與解碼的動作分析受測者資料，透過口語中蘊含的意義，能夠得到受測者腦中的思考資料，因此分析結果具有相當程度的客觀性。但相對的，由於口語分析需要耗費大量的時間，因此受測者人數並不多；且研

究者在編碼過程中，也容易因為個人主觀意見影響分析結果。在許多限制和前提下，口語分析仍是目前最適宜研究設計思考的研究方法。

目前口語分析法可分為兩大類，放聲思考法與影音回溯法，一般而言，欲觀察設計過程的認知研究，會採用放聲思考法，若欲觀察設計認知內容的研究，會使用影音回溯。因為影音回溯中，設計者能對除了動作以外的感知，機能，及概念範疇有較多的描述。此外，Suwa et al. (1998)在其研究限制中提到影音回溯法的缺點是無法從影片中的視覺活動了解當時的感知動作，但 Gero & Tang (2001)在比較放聲思考與影音回溯的研究中，發現兩者在設計過程所提供的資訊是相似的，並認為放聲思考不會影響設計過程的進行。

2.3 設計過程中的創意

本研究的分析架構延續由 Finke, Ward, and Smith(1992)所提出的「產生發展模型」(Geneplore model)，此模型提供了一個研究創意的的方法與實驗架構。此模型簡明扼要的將創意過程區分為「產生」與「發展」，在產生階段人們會有一些認知上的預先發想結構(preinventive structures)，預先發想結構是最終創意產出的發源地。在發展階段預先發想結構的屬性會被重新詮釋或是修改，進而產生創意。透過視覺研究、發明、概念發想等實驗資料，Finke, Ward, and Smith (1992)提出創意的發展就是一連串的「產生」與「發展」的來回激盪。創意過程的現象產生於創意過程與預先發想結構的屬性的交互連結。

本研究案應用此模式於工業設計過程中，而預先發想結構可來自於設計過程中的不同認知階層。根據「產生發展模型」，以下兩種的預先發想結構應該有所區別，首先是在創意產生階段，對於不同設計情境的第一反應，它可能來自於設計師的知識或是專業經驗和創意較無關係，其次是在創意發展階段，透過預先發想結構的詮釋與轉換所形成的創意發展。

以 Schön 和 Wiggins (1992)研究案中著名的

Petra 設計過程為例，Petra 最初看到他所畫的六個方框，可視為創意產生階段的預先發想結構，此預先發想結構為認知過程中的視覺。但是當她將此六個方框看成三個 L 型時，就有了創意發展階段的預先發想結構，內容為視覺關係。以功能意義而言，六個方框所代表的六個教室，可視為創意產生階段的預先發想結構，而後利用兩兩教室相鄰所發展的教育方式，則可視為創意發展階段的預先發想結構，本研究利用存在於不同層級的預先發想結構來作為設計過程中創意的指標。

3. 研究方法

根據預先發想結構的假設，本研究採用口語分析的個案研究方法，本研究所使用的分析工具 DCOCS 系統為 Suwa 在其一系列研究中發展之編碼系統，因此本研究方法細節與 Suwa 的一系列研究相似，但編碼系統有經過修正(Suwa & Tversky, 1997; Suwa, Purcell & Gero, 1998; Suwa, Gero & Purcell, 2000; Tang & Gero, 2001)。研究方法包含實驗與分析，實驗流程包含 1) 設計; 2) 在設計過程的錄影協助下敘述思考內容。分析的過程如圖一所示包含 1) 建立分析基本資料; 2) 透過口語資料與影像，分析設計意圖並斷句; 3)根據 DCOCS 分析設計過程; 4)觀察與統計於視覺分析與概念分析所出現的預先發想結構，進而預測設計過程中的創意發展 (圖 1)。

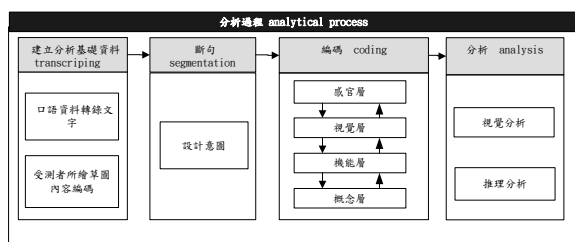


圖 1 分析流程。

3.1 建立分析基礎資料 Transcribing

從實驗中我們獲得了兩類資料，一類為受測者的口語資料，另一類為受測者在實驗過程中繪製的草圖。在口語資料方面，逐字轉為文字資料，這個階段被稱為謄寫 (transcribing)。為了增加編碼時的正確性，在將口語資料轉為文字資料時，儘可能將

整個口語內容忠實呈現，不僅是說話的內容，包含說話的時間點、停頓的秒數、呼應的繪圖動作等，必須特別註明 (表 1)。

表 1 轉錄口語資料。

30 : 50 (p2s), 確認燈..座 那燈罩的部份覺得尖尖的太銳利了, 所以把前面切的比較直角一點, 因為這個地方跟使用者會接觸 視覺的接觸, 那配合燈..燈罩的造型, 把底座也做類似的裝飾, 把那個頭尾切掉一截...



3.2 斷句操作 Segmentation

斷句的過程中，首先根據錄影記錄進行動作斷句，再進行文字斷句，最後將兩者整合得到最後的斷句結果，並以實際操作設計的時間軸為主。依研究操作定義而言，一個斷句表示一個設計意圖，在每個斷句中的一連串的認知活動 (例如感知、認知、繪圖或是動作等) 同時在設計師的腦中發生。一個斷句可能包含了數個句子，內容為對於某一項目/空間/標題做出一致性的陳述。若受測者對某一項目/空間/標題做出了兩種以上的陳述，便將其劃分為不同的斷句，因此整個口語資料可能包含了有數百個分段，藉由斷句可看出這個設計片段中，受測者腦中設計意圖的轉換以及思考的序列(Suwa & Tversky, 1997; Suwa, Purcell & Gero, 1998)。

斷句後針對每一個斷句以 DCOCS 編碼系統加以分析。在影音回溯的認知研究中，DCOCS 分析系統是近年研究中最常被使用編碼系統 (Tang, 2003)，Suwa 在其一系列的研究中，建立與發展此一系統 (Suwa et al., 1997, 2000, 2001)，其優點在於根源於認知心理學架構 (Anderson, 2000)，在設計草圖與知識的分析上，對於設計認知行為的探討將能有完整的觀察與描述，將設計片段以屬性、內容、肇因三個角度分析，可以有效驗證以設計內容為導向的認知實驗。初步地分析設計過程，本研究發現幾種不同的預先發想結構，本研究依照 DCOCS 將其分類為四個層級：感官層、視覺層、機能層、概念層。

編碼操作流程

研究者利用 DCOCS，將空白文字口語資料 (blank transcript) 轉換為編碼後的符號，在編碼過程中資料如有模糊不清的地方，以錄影帶為主要依據。每組口語資料分別編碼兩次，第一次編碼(1st coding)和第二次編碼(2st coding)間隔兩個星期，在編碼的過程中持續 DCOCS 發展與修正。

3.3 研究程序與方法

研究的程序分為兩部分，首先透過專家與生手測試編碼系統，以及預先發想結構的有效性，之後將比較傳統媒材對於創意的影響，傳統媒材為受測者所習慣的紙筆。

實驗設備分為三類，一類為提供給受測者的繪圖工具、實驗流程說明書以及設計所需之參考資料。另一類設備包含錄音與錄影儀器。第三類設備則是為影音回溯所準備，包含播放錄影帶的儀器與紀錄回溯的錄音錄影儀器。

正式實驗包含四部份：實驗流程說明、熱身實驗、設計模擬實驗以及最後的影音回溯。熱身實驗則是讓受測者能習慣放聲思考及影音回溯。傳統媒材實驗的進行如圖 2 所示。

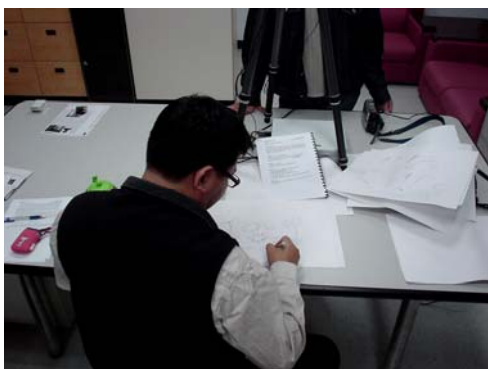


圖 2 正式實驗-受測者。

受測者在正式實驗前，有簡單的訪談以了解每一個受測者的設計背景與設計經驗。在熱身實驗中，受測者必須接受放聲思考的訓練，試著將思考的過程與內容以口語的方式說出來。暖身實驗一為心算題目，讓受測者練習如何邊想邊說，暖身實驗二為積木的堆疊遊戲，在過程中可練習如何邊想邊說，邊說邊做，熟悉整個實驗的模式。

構想發展時間，包含閱讀設計題目及構想提案。考慮到影音回溯可能造成受測者的疲倦，構想時間約 35 分鐘。請受測者假設這是即將對設計主管提出之設計提案，設計題目說明包含：設計產品概述、產品設計特點、外觀造型要求、功能需求與消費者目標。受測者在閱讀完設計題目後，隨即開始進行構想的發展。為了刺激受測者的思考，要求至少需發展 4-6 個概念，並在最後挑選最滿意的設計提案並發表。

4. 結果

前述的「產生發展模型」提供了一個觀察設計過程中創意的的方法，而預先發想結構則是其中的關鍵，本研究從視覺與概念發展兩個方面找尋預先發想結構的出現。「產生發展模型」提出創意過程的特徵為產生階段與發展階段的交互出現，因此發現越多發展階段的預先發想結構(PSEP：preinventive structure in the exploratory phase)則代表此設計過程越有創意潛能，因此將具有發展階段的預先發想結構的斷句除以總斷句數可的到 PSEP 比例，本研究將它視為創意的指標。

以專家受測者構想 2 的發展過程為例，他首先回顧第一個構想，並做出「因為有不同的情境，我會想把這個燈帶來帶去」的結論，因此設計目標從「燈具」進化成「可帶著走的燈具」，而在概念層級產生了一個發展階段的「預先發想結構」。接著專家畫了一個跟現有產品相似的燈具，想從現有產品引發構想，「那至於一開始呢 我就...說實在的腦筋什麼想法都沒有，畫一個跟現代很接近的一個檯燈，我看能不能從這邊去改變什麼，」(17：28)，所以專家在視覺層級產生了一個創意發展階段的「預先發想結構」。如果具有此類的斷句越多，則表示設計師從事創意發展與從事新發現的時間越多，因此也更具創意。

以下報告一位多座 iF 得獎設計師與一位優秀研究生的成果。以分析資料而言，確實發現預先發想結構存在於設計過程中，但專家與生手卻有不同的特徵。

1.專家的推理能力較強：因此在相同類型的線條的視覺刺激下，專家能產生多種聯想，邏輯推演能力較強，對圖形的詮釋能力也較高，因此可以產生較多發展階段的預先發想結構，因此較多創意發展來源。

2.專家的視覺推理較連續：在個案中發現生手經常先完成具象的圖形，才開始推理的動作，而專家則在最初的單一線條中就開始進行推理，因為生手在完成一個區塊後才主動閱讀草圖，所以生手的視覺推理比較跳躍並且間斷，而專家在繪製完一個線條之後便主動閱讀草圖，因此專家的視覺推理較為連續，連貫性也較生手強，因此可以產生較多發展階段的預先發想結構，及較多的創意發展來源。

統計 PSEP 出現的次數與比例發現，PSEP 斷句一直出現在專家設計過程中的不同階段，並且持續平穩的進行著，除了編號 1 的草圖在描寫使用情境，比例出現最低之外，其餘構想中幾乎每兩個斷句就會出現一次 PSEP，表示此專家設計師有一半的時間在從事創意發展的過程。值得注意的是，構想 2-1 由構想 2 進化而來，構想 3-1 由構想 3 進化而來，構想 2-1 的 PSEP 比例為 63%；構想 3-1 的 PSEP 比例為 62%；於此個案中，垂直構想發展中的 PSEP 比例比水平發展的 PSEP 比例高。而專家最滿意的構想 2-1 在整個設計過程中，PSEP 比例最高，表示最有創意的設計過程也產生了最受設計師喜愛的概念 (表 2)。

表 2 視覺推理出現比例。

構想編號	斷句數	預先發展結構出現次數	預先發展結構出現比例
1	37	11	30%
2	28	15	54%
3	9	4	44%
4	40	20	50%
5	44	25	57%
6	66	31	47%
2-1	30	19	63%
3-1	37	23	62%
總數	291	148	51%

統計 PSEP 在生手構想提案中出現的次數與比

例發現，PSEP 斷句出現在生手設計過程中的不同階段，但在設計前期呈現不穩定的情形，生手的 PSEP 比例較專家低，平均為 39%，尤其在設計前期階段更低。而生手最滿意的構想 9 在整個設計過程中，PSEP 比例最高。回溯 PSEP 比例最低的構想 1 與構想 2，我們發現構想 1 屬於將原有造型複製，構想 2 則不斷重複閱讀設計題目，因此為最不具創意的設計過程(表 3)。

表 3 生手視覺推理出現比例

構想編號	斷句數	預先發展結構出現次數	預先發展結構出現比例
1	16	3	19%
2	25	3	12%
3	39	11	28%
4	31	12	39%
5	17	9	53%
1-1	16	8	50%
7	37	17	46%
8	14	7	50%
9	22	12	55%
總數	217	84	39%

專家在整個設計過程中總共產生了 148 個 PSEP 斷句，平均每單位時間(5 分鐘)產生了 21.14 個；生手則總共產生了 83 個 PSEP 斷句，平均每單位時間(5 分鐘)產生了 11.86 個。以實驗組別為自變項，單位時間產生的 PSEP 斷句數量為依變項，作獨立樣本 T 檢定，P 值為 0.019，達顯著標準，表示專家與生手在設計過程中產生的 PSEP 斷句數，在數量上有顯著差異 (表 4)。

表 4 單位時間視覺推理數量。

時間	N							平均 值
	1	2	3	4	5	6	7	
0-5								
6-10								
11-15								
16-20								
21-25								
26-30								
31-35								
專家	6	21	23	25	21	24	28	21.14
生手	6	4	9	13	18	17	16	11.86

將所得數字繪成長條趨勢圖(圖 3)得知，專家除了在第 1 個單位時間，因為在描述情境所以

PSEP 斷句產量較少之外，在其餘的單位時間內均維持一個持續上升的狀態，所以我們可以知道專家的設計過程持續地在作創意發展，而且在很短的時間內就可以發揮創意能力，將一半以上的時間花在概念發展。反觀生手雖然也有 1/3 以上的時間在從事創意發展，但是需要較多的時間才能將創意發展的時間增加。總而言之，此位 iF 得獎設計師還是有較高的能力來從事創意發展，能在最短的時間內激發最多的創意發展。

此結果也同時展示了 PSEP 比例是可以用來比較設計過程中的創意程度，有經驗的設計專家可以產生較高 PSEP 比例的設計過程。

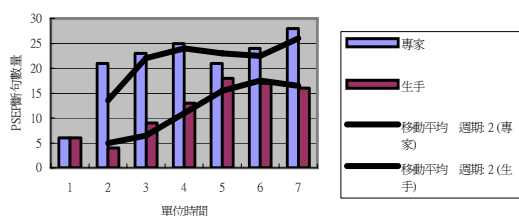


圖 3 PSEP 斷句數量長條趨勢圖

5. 討論

沿用 DCOCS 編碼與 PSEP 比例的創意測量方式，本研究繼續探討傳統媒材與數位媒材對創意發展的影響，比較傳統與數位媒材設計過程中的創意發展。數位媒材為 WACOM 的 Clitq 數位手寫螢幕，配上 Alias 的 SketchBook Pro 軟體，形成數位草繪系統。先前傳統與數位媒材研究，多使用 3D 軟體作為比較對象，曾使用過的 Pro-E、Alias、3D MAX 等數位媒材，並不適合和草圖一起比較，原因是其操作方式及用途均不適用於構想發展階段，因此也不適合用於創意發展的比較。數位媒材實驗配合 Macromedia Captiva 將影像作即時錄影與錄音，如圖 3 所示。



圖 3 數位草圖實驗設定。

實驗過程如前述，使用傳統草圖比上數位草圖，初步觀察結果發現：

1. 數位草圖系統雖然較原有 3D 系統更接近直覺式的紙筆，但是還是有差異，最大相異點在於筆觸的感覺，設計師習慣於紙筆的壓力反應，利用其細微的變化，繪製出不同深度的線條，這樣的線條有助於新造型的發現，以及創意的產生(Goel, 1995)。雖然實驗器材 WACOM 數位板具有 1024 階的壓力感應，但是在實際操作上，受測者常反應，過輕則看不見，過重則太黑，而且沒有回饋的感覺，對於創意發展有影響。
2. 數位草圖系統的筆尖和螢幕沒有密合，其中有螢幕玻璃的厚度，其次，由於數位筆的無線傳輸，草圖的繪製和手繪的動作有時間差，這兩者都需要時間適應。
3. 由於受測者對於數位媒材的熟悉度沒有傳統媒材的高，所以目前的實驗結果無法確認有經驗的數位草圖設計師是否能透過數位草圖激發較高的創意。數位草圖系統所提供的簡便功能，對於創意激發的影響目前還無法測試，除非將數位草圖與傳統草圖的物理差異減到最低。

6. 結論

數位媒體的日新月異帶領著設計師走向新的里程碑，在追逐更美麗的 3D 繪圖中，設計創意的激發更是重要的課題。在以往的電腦輔助設計中，需多程式都號稱可以輔助設計構想階段，刺激創意，但是多流於口號。

本研究首先採用口語分析及 DCOCS 編碼系統作實驗與資料分析，其次由「產生發展模型」推導出測量創意的的方法，利用發展階段的預先發想結構 (PSEP)的比例做為創意的指標。在專家與研究生的比較中，展示了專家激發創意的能力與速度，同時也展示了 PSEP 比例與創意發展的關係。最後套用此方法於傳統與數位媒材，發現即使是十分類似於傳統媒材的數位草繪系統，對於設計創意激發還是必須做更進一步的分析。

本研究的未來發展是要比較有經驗的數位草繪設計師與有經驗的傳統草繪設計師，更進一步的了解最新的數位觸控螢幕與數位草繪系統與傳統草圖的差異，進而將此應用於遠距合作式設計上。由於一般遠距設計多依賴低階白板與遠距系統，做設計的討論與分享，對於概念發展沒有著墨，如果能透過最新的數位觸控螢幕與數位草繪系統讓遠距設計師真正的合作，一起參予設計概念發展，這將可以真正實踐跨國界的設計合作。透過 DCOCS 與 PSEP 更可測量不同媒材對於合作式設計過程創意產出的影響，了解跨國界合作對於設計概念與創意的影響。

7. 致謝

本研究感謝國科會專題研究計畫的經費支持，計畫編號 NSC 95-2221-E-182-024。同時也感謝所有參與實驗課程的教師與同學，特別是蔡麗慧的參與實驗與分析。

8. 參考文獻

1. Aderson, J. R. (2000). *Cognitive Psychology and its Implications*, New York, Worth Publishers and W. H. Freeman.
2. Boden, M. A. (1990). *The Creative Mind: Myths and Mechanisms*, London, Cardinal.
3. Cross, N. (1999). Natural intelligence in design, *Design Studies*, **20**, pp.25-39.
4. Csikszentmihalyi, M. (1988). Society, culture, and person: a system view of creativity, in Sternberg, R. (ed.), *The Nature of Creativity*, Cambridge, UK,

- Cambridge University Press, pp. 325-339.
5. Csikszentmihalyi, M. (1996). *Creativity : Flow and the Psychology of Discovery and Invention*, New York, HarperCollins Publishers.
6. Eastman, C. M., McCracken, W., M., & Newstetter, W., C. (2001). *Design Knowing and Learning: Cognition in Design Education*, UK, Elsevier Science Ltd.
7. Finke, R. A., Ward, T. B., & Smith, S. M. (1992). *Creative Cognition - Theory, Research, and Applications*, Cambridge, Massachusetts, The MIT Press.
8. Finke, R. A., Ward, T. B., & Smith, S. M. (1995). *The Creative Cognition Approach*, Cambridge, Mass., MIT Press.
9. Gardner, H. (1993). *Creating Minds : An Anatomy of Creativity Seen through the Lives of Freud, Einstein, Picasso, Stravinsky, Eliot, Graham, and Gandhi*, New York, Basic Books.
10. Gero, J. S., & Tang, H.-H., (2001). The differences between retrospective and concurrent protocols in revealing the process-oriented aspects of the design process, *Design Studies*, **22**, pp.283-295.
11. Goel, V. (1995). *Sketches of Thought*, The MIT Press, Cambridge.
12. Liu, Y. T. (2000). Creativity or novelty?, *Design Studies*, **21**, pp.261-276.
13. Newell, M., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*, Englewood Cliffs, New York: Prentice Hall.
14. Saunders, R., & Gero, J. S. (2001). Artificial creativity: a synthetic approach to the study of creative behaviour, in Gero, J. S. & Maher, M. L. (eds), *Computational and Cognitive Models of Creative Design V*, Key Centre of Design Computing and Cognition, University of Sydney, Sydney, pp 113-139.
15. Schön, D. A., & Wiggins, G. (1992). Kind of

- seeing and their functions in designing, *Design Studies*, **13**, 135-156.
16. Schön, D. A. (1992). Designing as a reflective conversation with the materials of a design situation, *Knowledge-based Systems*, **5**, 3-14.
 17. Simon, H. A., (1983). Search and reasoning in problem solving, *Artificial Intelligence*, **21**, pp.7-29.
 18. Suwa, M., Gero, J. S., Tvesky, B., and Purcell, T., (2001) Seeing into Sketches: Regrouping parts encourages new interpretations, in J. S. Gero and B. Tversky (eds), *Visual and Spatial Reasoning in Design II*, pp.209-219.
 19. Suwa, M., Gero, J. S., & Purcell, T. (2000). Unexpected discoveries and S-invention of design requirements: important vehicles for a design process, *Design Studies*, **21**, 539-567.
 20. Suwa, M., Purcell, T., & Gero, J. (1998). Macroscopic analysis of design processes based on a scheme for coding designers' cognitive actions, *Design Studies*, **19**, pp.455-483.
 21. Suwa, M., & Tversky, B. (1997). What do architects and students perceive in their design sketches? A protocol analysis, *Design Studies*, **18**, 385-403.
 22. Tang, H.-H., & Gero, J. S. (2001). Sketches as affordances of meanings in the design process, in Gero, J. S., Tversky, B. and Purcell, T. (eds), *Visual and Spatial Reasoning in Design II*, Key Centre of Design Computing and Cognition, University of Sydney, Sydney, pp 271-282.
 23. Tang, H.-H. (2003). Visual Reasoning and Knowledge in the Design Process, *6th Asian Design International Conference*, Tsukuba, 6th Asian Design International Conference.
 24. Weisberg, R. W. (1993). *Creativity: Beyond the Myth of Genius*, New York, W. H. Freeman and Company.