

第二章 文獻探討

為了使電腦樂高於本研究過程中更有助於學生學習，本章首先對電腦樂高作一介紹，並舉出電腦樂高何以適合於教學；之後探討程式設計教學中所面臨的問題，及文獻中對於改善程式設計教學的想法；最後歸納出電腦樂高輔助學習的方法，以及相關的教學效益與建議，作為研究者進行研究與教學實施時的參考依據。

第一節 電腦樂高簡介

本節介紹電腦樂高的相關背景，包含發展源起、組成內容，及電腦樂高在教學領域的一般運用。

壹、源起

電腦樂高（Lego® Mindstorms™）的前身，原為一系列樂高（LEGO®）靜態積木產品，透過適當的組合，兒童可創造出許多不同形狀的物品，展現學童的想像與創意，反應出對真實世界的揣摩（田耐青，1999）。一九八四年，樂高公司與美國麻省理工學院媒體實驗室合作，積極開發出一套以樂高積木為基礎、結合科技學習的新產品（田耐青，1999；陳泰安，2001）。此一新產品Lego® DACTA於一九九八年問世，台灣地區的代理商貝登堡公司並於一九九九年正式引入這套新產品，本產品的最大特色是學習者可透過撰寫程式，使原本靜態的積木，產生運轉、發聲等物理反應（Barnes, 2002）。使用者可透過這套產品所提供的程式編輯環境撰寫程式，透過紅外線程式傳輸器，傳輸至以「可程式化控制積木（programmable RCX, Robotics Command eXplorer）」為主體的物理模型中，啟動該模型後，使用者便能透過觀察模型運轉與執行狀況，檢視程式內容是否符合使

用者需求 (Wolz, 2001)。

貳、組成

本套產品包括了以下物件：

一、圖形化控制軟體 (ROBOLAB)

本軟體提供 ROBOLAB 程式編輯環境。ROBOLAB 提供拖曳「圖示」的圖形編輯環境，取代傳統編寫程式的方式（見圖 2-1），並透過紅外線程式傳輸器（IR Transceiver），將編寫好的程式傳輸至以可程式化控制積木為主的模型中（陳泰安，2001）。

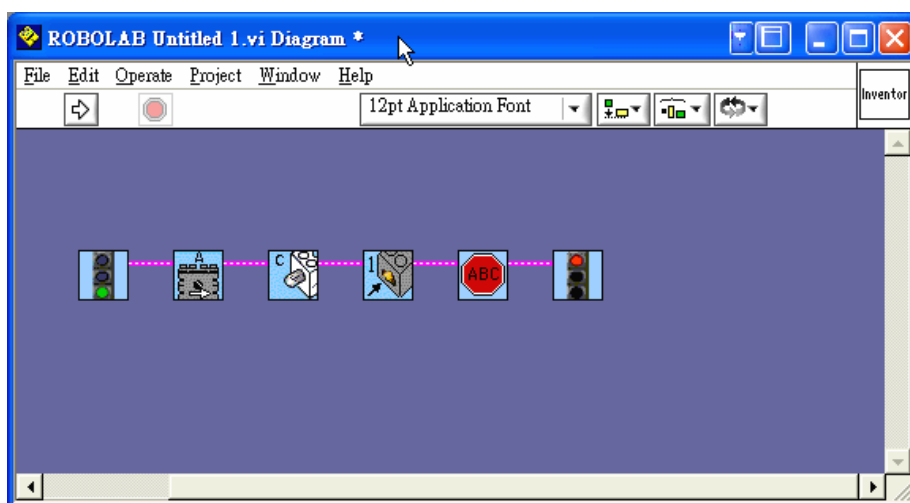


圖 2-1 ROBOLAB 的圖形編輯環境

二、紅外線程式傳輸器 (IR Transceiver)

提供程式傳輸的功能。學習者可在個人電腦上完成程式後，透過傳輸器將程式傳入模型。

三、可程式化控制積木 (programmable **RCX**, **R**obotics **C**ommand **eX**plorer)

為電腦樂高的主要元件。在接收學習者編譯完成的程式後，以此為主體的物理模型，如機器人、機器車等，會依程式內容進行運轉。

四、輸出入裝置

包含觸控感應器 (Touch sensor)、光感應器 (Light sensor) 等可接收外界訊

息的輸入裝置。馬達則為主要的訊號輸出裝置。

五、其他零組件等。

本研究將採用以上的二、三、四、五項，即電腦樂高的硬體單元進行教學。有關這些的硬體功能，將在第三章第四節中詳細介紹。

參、電腦樂高在教育上的運用

介紹完電腦樂高的相關軟硬體之後，在此進一步討論電腦樂高在教學上的應用。

由電腦樂高建置成的系統模型，可提供學習者手動操作的機會，而學習者手動操弄與觀察具體反應的學習過程，可與原本的抽象知識觀念與真實的物理反應相連結，此一模式能提升學習者學習動機，並激發學習者的學習興趣(Wolz, 2000; Barnes, 2002; Jacobsen & Jadud, 2005)。學生透過具體操作電腦樂高、觀察該模型運轉與執行，修正錯誤、驗證知識的過程，符合了建構論學習的觀點（田耐青，1999; Bers, Ponte, Juelich, Viera & Schenker, 2002）。

Bers 等（2002）在幼稚園教育中，即引入電腦樂高作為教學工具，藉由組裝的過程，讓兒童於設計中學習知識，而 ROBOLAB 環境中提供的圖示，對於兒童的程度而言，也屬可以接受的範圍。

田耐青（1999）透過觀察以電腦樂高創意競賽為主題的營隊活動實施過程，認為課程教學結合電腦樂高的使用，除與建構論之學習觀點相符外，也可協助學生建立九年一貫課程中，所強調的「運用科技與資訊」、「獨立思考與解決問題」等基本能力。

陳泰安（2001）在國中統整課程教學中，進行「智慧型投籃機器人」的製作，以比賽的方式為課程進行的主軸。在機器人組合的過程中，學習者經由課程的引導，將一項機器人組合的專題，切割為許多小單元，透過由淺入深的課程教學與分組實做，使學生完成此一專題的製作與機器人競賽。Lobo da Costa等（2003）採用合作學習的方式，使用可程式化控制積木（RCX）進行科學課程的教學與探

討，也舉辦團隊的競賽，鼓勵學生結合理論與實務、錯誤嘗試、動機激發與團隊工作等項目，均有積極正向的回饋。Portz（2002）在中學科技教育課程中也採取相同的方法，透過競賽的模式，提升學生的學習動機。

蔡依琳（2002）則透過理論與生活結合的課程規劃，利用電腦樂高教授國中生活科技課程「動力機械」單元，在課程進行中特別強調分組機制、互動、與情意環境的展現：如學生是否投入、參與討論等等。吳志緯（2002）則採用社團活動的模式，使用電腦樂高進行國小學生科學領域的合作學習。Miglino 等（1999）則採取皮亞傑認知發展的觀點，設計以觀察模擬生物（artificial organisms）為主的教學模式。透過電腦樂高的組裝，設計出不同的模擬生物，藉由建置模型與運轉觀察，使學生理解複雜的動態系統與真實世界中的生物行為與反應。

由於使用電腦樂高進行教學，除了向學生介紹如何透過圖形介面操作並運轉物理模型外，還可透過電腦樂高本身的結構與零件組合，一併向學生介紹機械運轉的過程與原理、軟硬體系統與如何開發介面、及機器零件的組合與實作等項目，能運用在許多跨學科學習，或是統整科目的學習上（Gilder, Peterson, Wright, & Doom, 2003; Weinberg, White, Karacal, Engle, & Hu, 2005）。而網路上也有豐沛的學習資源，包括 ROBOLAB 教學指引、多種適合 RCX 的程式編輯（譯）軟體等，可供研究者與學習者下載與參考（Patterson-McNeil & Brinker, 2001）。

第二節 程式設計教學

本節將針對程式設計教學所面臨的問題進行探討，由於本研究的教學實施對象以初學者為主，因此此將針對初學者學習程式設計所面臨的困難，及如何改善教學方式進行討論，最後說明電腦樂高為何能解決以上問題。

壹、教學問題

學習者背景知識不足，無法有效理解程式設計教學內容，是最常見的問題。在我國中小學的課程領域中，「認識程式語言及其在解決問題上的應用」是必備的基本資訊能力，而介紹程式語言的解題與邏輯，對學生而言深具啟發之效（陳麗如，2001）。從相關文獻的探討中，發現對於程式設計課程的學習動機欠佳者，都有英文、數理程度不佳的問題（Byrne & Lyons, 2001; Bergin & Reilly, 2005），而往往因為基礎欠佳，加上學習方法的偏差，導致在學習過程中問題橫生，又不敢向教師發問，或是與學生討論互動，如此惡性循環的結果，只會使學生學習程式設計的興趣越來越低落（Robins, Rountree & Rountree, 2003）。邱貴發（1996）所編纂的教學專題彙集中，許多高中職資訊教師在教學過程中普遍認為，學生對於程式設計課程有這樣的反應：

「學生最易遇到學習障礙或困擾的單元是『程式設計』（4-1 頁）；

「大多數學生在學習決策與迴圈單元時便出現一頭霧水，進入函數單元時更宛若鴨子聽雷」（4-1 頁）；

「『程式設計』是許多高職生的夢魘」（20-1 頁）；

除了學習者基礎不佳外，學生對於抽象的程式觀念無法理解，導致無法將所學觀念應用於解決問題，誠為關鍵所在。學生不知如何組織所學到的語法知識與設計概念並活用，不會規畫自己的解題方式，只會使用片段的程式觀念，與固定的解題策略解題，原因在於學生僅學到表面知識，而未將獲得的概念與策略確實理解、融會貫通，建立自身的心智模型（mental model）（Winslow, 1996; Wiedenbeck

& Ramalingam, 1999)，並進一步形成自己的「概念機器 (Notional machine)」(Robins, Rountree & Rountree, 2003; Fincher, 1999b)。每種程式語言的概念機器都不盡相同，概念機器的主要功能在於將學習者所學的程式概念與解題策略結合，轉化為自己心中理想化、以程式概念為主的虛擬機器，使學習者能於心中模擬自己所寫程式的運作情形 (Robins, Rountree & Rountree, 2003)。要將程式設計課程學好，除了吸收知識與學習解題方法外，如何建置自己心中的概念機器是十分重要的。但是，要如何理解所學到的程式設計知識，並將之融會貫通，建立自己的心智模型與概念機器呢？我們可以透過建置實體模型的方式，使學習者在觀察實體模型運轉的過程中，連結與解釋自己所學到的抽象程式設計觀念，並經由撰寫操控實體模型運轉的程式碼，使學習者能熟悉並活用本身所學到的程式概念與解題策略，並進而建立自己的概念機器。對一個初學者來說，物理模型的建立與操控，以及在程式執行前先行預測執行結果，再觀察其執行狀況，能引起學習者更大的學習興趣 (Robins, Rountree & Rountree, 2003)。因此，在理解抽象的程式設計觀念時，如果有實體物理模型的輔助，使學習者能由操控與觀察的過程中，感受程式運作的真實情境，進而協助學習者建立自身概念機器的作法，是有助於協助學習者理解與學習程式設計概念的。

現今的高中生應具有程式與演算法的基本觀念，並擁有解決問題的能力 (吳正己、何榮桂，1998；孫晉忻，2003)。了解程式語言的基本概念並用以解題，更是高中電腦課程「程式語言」單元的教學重點 (吳正己，何榮桂，1998)。而教學者在此扮演著關鍵性的角色，除了說服學生學習外，並須使學生建立學習動機，而學生們將會發現自己對於程式設計的興趣 (Jekins, 2001)。但是在諸多實務經驗中，發現因程式設計教學方法失當，又加上教材本身難度，而導致學生動機低落、興趣缺缺的例子。邱貴發 (1996) 也彙整出不少這樣的案例：

「有些教師乾脆要求學生把程式碼背下來」(12-1 頁)；

「結果經常是我在台上賣力演出後，學生還是有聽沒有懂，這使我產生了極大的挫折感」(12-1 頁)；

「教師與學生漸漸地把學習重點放在指令語法：.....,要他自己上機設計程式卻又困難重重」(17-1 頁)；

由上可知，程式設計是一般學生感到艱澀、畏懼的學習課程。而學生學習動機的低落，學習效果不彰，其原因除學生本身因素外，與教師的教學方法不無關係。在程式設計課程中，如迴圈觀念、函數觀念，都是被學生視為與數學內容相關，難度較高的單元（邱貴發編，1996），而以上兩單元又是程式設計中十分重要的觀念。因此，資訊教師應以此為借鏡，透過設計適當的活動，活絡教學情境，增加師生互動。亦可由生活化的方式切入教學，減少學生因英數能力不佳的背景因素，配合相關教學工具，降低學生學習挫折。

貳、教學策略

在程式語言的教學方法中，採用以問題解決為導向的教學方式，不僅能使學生脫離死記語法敘述的學習方式，更使學生活用所學到的程式觀念，同時透過練習與解題，可培養學生知識組織的能力（吳正己、林凱胤，1997; Barg et al., 2000）。在以培養問題解決能力為主的教學規劃中，教師可設定一組統整教學內容的專題作業，也就是學生最後要解決的問題，之後將相關的程式觀念分散於各小單元中，透過逐步學習、循序漸進的方式，學生可以在每個小單元的習題中驗證所學，並逐步學習程式設計概念與知識，藉由完成專題作業的目標，建立解決問題的能力，最後回顧專題作業的實作，學生可統整其所學知識與概念（邱貴發編，1996）。Arif（2000）即以計算機的設計為主題，逐步加入物件導向程式觀念，共設計四個單元如下（見表 2-1）：

表 2-1 Arif (2000) 物件導向概念的教學規劃

實作內容	講述概念
1. 「加、減、乘、除」功能	基本運算式觀念與程式架構
2. 將以上四種運算的功能函數化	抽象資料型態 (ADT) 與類別 (class) 觀念
3. 平方、開方與乘冪功能	繼承 (inheritance) 觀念
4. 平均、變異數與標準差功能	多型 (polymorphism)

四個教學單元的依序實施，使學習者能逐步學習物件導向的觀念，課程完畢學習者的計算機專題程式也完成了。這種結合主題設計的教學例子能夠吸引學生，提升學生的學習興趣。換言之，教學主題的審慎選擇，與教學內容的規劃，正是一種有效提昇學生學習程式設計動機的方法 (Jekins, 2001)。因此，本研究將採取專題導向的教學，逐步加入欲講授的程式概念，最後規劃一個專題作業，使學生能逐步學習，結合與統整所學，進而提升對程式設計學習的興趣。

抽象的程式觀念僅憑平面教學，如黑板、投影片的輔助，是不足的 (邱貴發編, 1996)。陳宏煒 (2003) 對於我國高中電腦實施現況的調查報告中也指出，對於程式設計進階單元 (如資料結構與演算法) 的學習反應不佳，教師應藉由使用不同的教學策略或工具，來解決此一困擾。Bennedsen 與 Caspersen (2005) 也提到針對初學者而言，講解如何進程式設計的撰寫、將程式從無到有的過程是非常重要的，以往的教學輔具無法將動態的執行結果表示出來。以往進程式設計教學時，除了個人電腦之外，難有其他的程式設計教學工具進行輔助，學生僅透過鍵盤輸入程式，並自螢幕畫面上顯示執行結果。

針對以上工具多樣性不足的狀況，及前段所提到的概念機器、實體物理模型的需求，若能考量適切性、趣味性、能否協助學習者培養技能等條件，適當地引入一教學工具，使程式設計學習過程異於以往學習經驗，則可引發學生好奇與增

加學習興趣 (Portz, 2002)。以往曾有研究引入模擬軟體進程式設計輔助教學之研究，但是若希望學生能進一步獲得具體操作實體模型的機會，可協助學生將程式設計抽象觀念與實體觀察結果結合，使學生能真正感受到程式執行時所產生的變化，可使學生產生不同的學習體驗與感受，再加上此教學工具還須滿足操作便利、功能可彈性擴充、價格合理等條件的考量，發現電腦樂高可滿足以上條件 (Klassner & Anderson, 2003)。

在電腦樂高輔助相關課程學習的經驗中得知，初學者可在不具有太多硬體背景知識的條件下，即能透過觀察與操作，由 RCX 元件的運行變化，或條件差異產生的回饋中，瞭解基本的程式運作原理 (Barnes, 2002)。而電腦樂高無論是程式編輯環境，或是積木零組件本身、輸出入裝置等，操作環境十分多元，不但增加學習趣味性，更進一步激發學生進行多樣嘗試與變化 (Portz, 2002; Klassner & Anderson, 2003)。電腦樂高的核心組件，也就是可程式化控制積木 RCX 的功能，除了可以接收以 ROBOLAB 環境撰寫的程式外，還有許多種類的程式語言工具搭配使用 (O'Hara & Kay, 2002)。只要事先將搭配該語言的韌體傳輸至 RCX 中，則 RCX 即可接受並處理該語言的程式內容。RCX 能搭配的語言包括 Ada、JAVA、C 等等，使用者也可自行開發程式語言工具使用。換言之，使用界面的多樣性已經大大擴充了電腦樂高的功能，使之不再是一套單純的玩具而已。

總結而言，電腦樂高能用於解題能力的訓練、程式概念的驗證、程式語言的概念，或是嵌入式系統、系統模擬等教學項目 (Flowers & Gossett, 2002)，因此電腦樂高可謂十分適用於電腦科學領域的教學，其中又以程式設計教學最為妥切。

第三節 電腦樂高與程式設計教學

本節我們將討論應用電腦樂高輔助教學案例的實施，與教學實施時的注意事項。

壹、電腦樂高輔助程式設計教學的優點

國外有不少使用電腦樂高，輔助資訊相關課程中教學的例子。Wolz（2001）結合 JAVA 程式與 RCX，進行 CS1 課程的教學，以增強學生具體操作的能力，並讓學生體驗立即回饋的成就感。教學時程包括兩週的專題計畫與錯誤嘗試，與三週的專題完成時間。教學內容為程式設計，及分組組裝機器人使其運轉。Wolz 的研究發現，學生藉由討論、程式除錯、機器人運轉測試與修改的過程，獲得程式設計的觀念。而 Wolz 也發現學生的成品即使無法順利運轉，也不影響學生對於程式設計的學習。過程比結果重要的論點，頗值得研究者在本研究中深入觀察。

此外，Klassner（2002）將電腦樂高應用於人工智慧課程教學，由基本的機器人反應設計（Simple reflex robot design）開始，循序引入感應器與現實模擬的關係（Sensor accuracy and functional simulation）與其他相關單元，並佐以機器人投籃（Team-based capture-the-balls）等小組競賽的活動。Klassner 在課程實施後，針對電腦樂高的硬體限制提出許多教學意見，但十分肯定電腦樂高在此課程中，扮演成功的教學平台角色。

Fagin 等（2001）也在美國空軍官校的 CS1 課程中，將電腦樂高與操作機器人相結合進行教學，使學生即使在硬體知識基礎略嫌薄弱的條件下，也能有效學習程式語言概念。不論是操控機器人轉彎，或是藉由觸控感應器感受外界刺激而改變運動型態，都帶給學習者從未有過的藉由手動、操控模型學習程式語言的經驗。Barnes（2002）也應用電腦樂高於程式入門課程的教學中，認為使用電腦樂高提供了有趣的、互動的學習情境，同時也不會對缺乏硬體概念的初學者造成學習困擾。以上諸例均說明使用電腦樂高輔助資訊專業科目的教學，是一個值得採

用的作法。

總結以上國內、外的教學案例，及本章第一節中所提到者，我們可歸納出使用電腦樂高，輔助程式設計教學的優點：

1.提升學習興趣

使用提高學生能提升學習程式設計興趣（Fain, Merkle, & Eggers, 2001; Jacobsen & Jadud, 2005），增強學生學習動機（Portz, 2002），可彌補傳統教學的不足。

2.提供手動經驗

由於電腦樂高的回饋方式，異於以往的學習環境，能鼓勵學生「做中學」、「手動操作」（Fain, Merkle & Eggers, 2001），激發學生在實作中發揮創意，進而鼓勵學生主動解決問題，因此採用「問題解決」策略，於操作中解決問題是使用電腦樂高輔助教學的精神所在（Jacobsen & Jadud, 2005）。

3.鼓勵互助合作

使用電腦樂高進行教學，除活絡課堂氣氛外，也進一步鼓勵學生在實作過程中進行討論（Leska, 2004），建立合作學習的機制（陳泰安，2001）。

貳、電腦樂高的教學實施與建議

以 Fagin 等人（2001）為例，係採用電腦樂高，學習程式設計中關於循序控制（Sequential Control）、變數（Variables）、常數（Constants）、副程序（Procedure）、選擇結構（Selection）與布林表示式（Boolean Expression）、陣列等觀念，並附有相關挑戰題，供學生練習與完成。如在「選擇結構」的教學單元中，開始引入決策的觀念，使電腦樂高組成的機器人，在面對不同的外在條件下，做出不同的物理反應。由於電腦樂高提供許多相關組件，如觸控感應器、光源感應器、溫度感應器等，故可使用「機器人遇到牆壁或其他障礙物，及變換方向」為例進行教學。使用電腦樂高進行教學的過程中，希望能避免程式初學者常面臨到的學習困擾，如電腦硬體知識基礎薄弱、對程式撰寫無從下手、對物件導向概念不清等等，使

學習者能在有趣、互動的環境中，專注於進程式設計的學習。Fagin 以問題解決（Problem Solving）為策略，實施「設計—程式撰寫—執行—重新設計」的學習步驟，希望使學生的學習負擔減少，並增加學生手動操作的學習體驗與樂趣。

Lawhead 等（2003）更利用電腦樂高建構物理模型，教授物件導向程式的課程中，將授課流程進一步細分為「實驗前作業（Pre-Lab）」、「範例程式（Sample Program）」、「實驗室作業（Lab exercise）」、「實驗報告（Lab report）」、「實驗課後作業（Post Laboratory）」等階段，使其課程實施更進一步符合科學實驗的精神。

而 Leska（2004）在使用電腦樂高，進行數學與程式設計的跨領域課程教學時，即特別著重學生對於課程的參與度。在三個單元程式實作的同時，不但要撰寫報告，紀錄各單元實作活動的過程，並紀錄實作過程中所發生的問題，並在最後作一課堂報告與學生分享。

總結以上所言，我們可歸納出使用樂高輔助教學的教學模式如下：

1. 中小學使用電腦樂高的課堂情形，不同於大專院校

中小學的教學過程中，採用電腦樂高的課程實施，多以營隊、社團為主，藉由趣味化的學習環境，強調基本能力的建立，與統整能力的培養；而國外大專院校部分，多獨立使用於資訊專業課程、或理工課程中。

2. 可採用專題製作為主，並搭配問題解決（Problem Solving）之教學策略

採用電腦樂高進行課程教學，由於其物理特性得以模擬真實環境，因此教學設計採用問題解決策略，搭配專題製作實施。教師可擬定生活化的習題供學生練習；教師也可提供範例，供學生操作，之後規定作業供學生練習，強化學生學習印象。教師也可結合競賽方式，或分組作業方式，塑造教學情境，以增強學習動機。因此如何設計出合宜的專題內容，能結合課堂所授觀念，進一步鼓勵學生實作，是值得我們研究的。

由以上教學案例與經驗得知：電腦樂高(Lego®Mindstorms™)確為一寓教於樂、值得採用的教學工具，但須經由縝密的教學規劃，方能有效達成教學目標。文獻中相關的教學經驗，也提醒我們須注意以下事項：

1.實施過程比結果重要

學生主要透過程式的實作與練習，了解程式設計觀念與教學內容。換言之，電腦樂高的角色是教學工具，而非教學內容本身。因此即使每一位（組）學生都能認真投入，過程與結果一樣重要，不必強求學生都必須完成每一次實作（Wolz, 2001）。Bers 等人（2002）亦認為操作電腦樂高失敗的經驗，對學生的學習而言更具價值，因為失敗的經驗將鼓勵同學進行深入的發問，及自動建立共同學習的機制。

2.確立工具的角色

使用電腦樂高輔助教學，以小規模為主，作為一般 PC 環境教學的補充工具為宜（Klassner, 2002）。

3.宜減少不必要的操作程序

在進行電腦樂高程式撰寫與模型操作的過程中，程式須先編譯無誤，且確認邏輯正確後，才傳至 RCX 上執行，使用中應避免不必要的程式傳輸過程（Lawhead, 2003），與傳輸程序錯誤引發的問題。換言之，程式即使編譯無誤，並不保證此程式將會正確執行出使用者期待的結果，如果有模擬器或模擬程式可供練習，待模擬情況無誤後，再將正確的程式傳輸至電腦樂高模型，可減少傳輸次數，及傳輸過程中所衍生的問題。

4.須妥善處理分組教學情形

電腦樂高硬體設備的成本，比起其他機器人產品的價格便宜不少（Klassner & Anderson, 2003），但是對一般中小學的教育經費而言，實無法達到一人一套設備的要求。參考其他教學經驗，多以團隊分組的方式，實施電腦樂高輔助程式設計課程的教學。這樣的方式除了節省成本的考量外，也可建立團隊合作、小組對話的機制，在專題實作或分組競賽上有集思廣益的效果。但是團體情況的掌握，與小組成員是否確實參與，將是研究者必須注意的課題（蔡依琳，2002；Weinberg et al., 2005）。