

## 第五章 教學案例

從先前研究可知國際上已經有不少學校如 MIT、Harvard、UPenn、Columbia、ETH、AA、RMIT 等將 CAD/CAM 應用作為數位設計的教學課程，目的讓學生可以學習及熟悉這些新媒材。為了讓台灣的建築教育也可以掌握 CAD/CAM 新媒材的發展與應用，同時針對本研究主要目的，將 CAD/CAM 新媒材的應用性研究發展成為教學課程內容，因此本研究將前面案例分析所整合的過程、對骨架表皮步驟的操作分析及部份步驟自動化的研究，進一步作為教學應用。此章節將基於交大建築研究所開設的「CAD/CAM 新媒材基礎課程」，分別對此課程從 2005 年至 2007 年的三次教學進行討論。在三次課程中以授課(lecture)方式教學為主，著重 CAD/CAM 應用於設計過程；但於第三次課程教學，由於應用 CAD/CAM 於設計過程的操作步驟已經成熟，希望將 CAD/CAM 應用延伸到建造過程，因此課程額外加設了工作室(studio)的訓練，實作真實自由形體設計案來完整訓練 CAD/CAM 應用於設計與建造過程。本論文研究將基於此三次課程授課(lecture)部分的「CAD/CAM 設計過程」，及一次課程工作室(studio)部分的「CAD/CAM 設計與建造過程」，討論其教學應用與發展，最後提出可供建築教育作為課程參考的初期教學綱要建議。

### 5.1 CAD/CAM 設計過程 (CAD/CAM design process)

此步驟主要從三次的「CAD/CAM 新媒材基礎課程」教學，討論如何將本研究所歸納的過程與分析研究，發展成為課程的教材。另外也探討在每一次教學過程中為了找出適當及有效的教學，對課程內容所作的修正。以下介紹課程目的與架構，接著再針對三次課程內容的修正作詳細討論與分析。最後再基於課程教學檢討與修正提出此課程教學綱要建議。

#### 課程目的

「CAD/CAM 新媒材基礎課程」為碩士班的選修課程，每次上課三小時。由於此課程將操作許多不同的數位技術，因此即使是基礎課程，學生仍需具備操作數位工具的基本能力。為了訓練學生熟悉 CAD/CAM 新媒材，了解數位建築設計與建造過程，此課程的主要教學目的包含以下四點：

1. 以案例與實作經驗之介紹讓學生了解 CAD/CAM 新媒材於自由形體設計的應用。
2. 訓練學生熟悉 CAD/CAM 設備軟硬體之間的操作過程及骨架表皮製作過程。
3. 訓練學生應用 CAD/CAM 新媒材操作自由形體設計。
4. 鼓勵學生將 CAD/CAM 新媒材作為數位設計應用。

#### 課程架構

基於教學目的，此課程除了希望訓練學生熟悉 CAD/CAM 過程與技術操作外，也希望可以訓練學生懂得如何整合這些技術操作並應用於設計過程。因此課程架構分成兩個主要部份：

### 1.步驟操作訓練及 2.設計應用訓練。

第一部分為期四週的「步驟操作訓練」，主要介紹 CAD/CAM 應用於自由形體設計的操作步驟為主。教學方式以三部份來進行：

- a. 概念介紹：以實作案例介紹 CAD/CAM 應用。
- b. 技術教學：CAD/CAM 操作步驟教學。
- c. 作業評論：學生於課堂上簡報作業，並給於建議與評論。

而第二部份為期四週的「設計應用訓練」，讓學生應用所學的 CAD/CAM 技術與步驟來操作自由形體設計過程，教學方式主要以討論學生於課堂上的簡報為主，給予建議與解決問題。

### 課程內容

此課程從 2005 年秋季班開始，到 2006 年春季與秋季班共三次的課程，基於本研究不同階段的分析來發展成為教學內容。以下分別以此三次教學來分析課程內容調整、教學案例討論及教學檢討。對於教學案例討論，只針對課程架構第二部份「設計應用訓練」進行討論與分析。這是由於課程架構第一部分「步驟操作訓練」，學生主要練習所教學的操作步驟與技術應用，作業相似性高，因此僅提供課程結果資料而不在本章節進行討論(詳見附錄五)。

#### 第一次教學：2005 年秋季班

由於要將本研究分析發展為此課程的教學內容，因此開始調整原始的課程內容，尤其是針對課程架構中第一部分「步驟操作訓練」的教學內容。以下為原始課程內容：

	概念介紹	技術教學
第一週	自由形體骨架及表皮觀念與經驗	Maya 入門操作
第二週	形體設計與骨架設計	形體與骨架製作步驟/ RP 輸出形體模型
第三週	骨架卡接	卡接製作步驟/laser cutter 製作骨架模型
第四週	細部設計解決	

原始課程內容並未包含表皮製作過程，只訓練學生操作骨架製作的步驟及應用雷射切割及 RP 兩種技術。而且利用一週進行骨架卡接教學，主要是因為操作步驟繁瑣，必須花較多時間來讓學生熟悉操作過程。同時介紹如何考慮自由形體的細部設計及問題解決。另外授課內容主要透過國內實作過的設計案例，以經驗教學為主。

基於本研究第三章對「CAD/CAM 設計與建造過程」中各步驟的分析，希望更有系統介紹過程中重要的 CAD/CAM 操作步驟。除了骨架製作的教學，也加入表皮製作的操作步驟，此外對於技術教學除了原來的雷射切割及 RP，則加入了 3D 雷射掃描技術應用的教學。對於原始課程的細部設計解決教學，則分別納入每週課程中。另外授課內容除了以國內實作設計案例作為經驗教學外，也加入國際相關的設計作為案例介紹。主要將內容調整成先以 CAD/CAM 應用基礎概念作為入門介紹，再以不同的操作步驟，骨架製作、表皮製作及實體數位化作為每週主題的概念介紹，同時在各主題中配合主要的應用技術，雷射切割、RP 及 3D 雷射掃描器，給予技術教學。下列為 2005 年秋季班調整的課程內容：

2005 秋	概念介紹	技術教學
第一週	CAD/CAM 應用整體觀念介紹	Maya 入門操作/ 自由形體操作
第二週	骨架製作的觀念與經驗	骨架製作步驟/ laser cutter 製作骨架模型
第三週	表皮製作的觀念與經驗	折板製作步驟/ laser cutter 製作折版模型
第四週	3D scanner 技術與應用	3D scanner 操作/RP 輸出掃描模型

經過課程內容的調整，課程架構第一部份「步驟操作訓練」更加緊湊，以往繁瑣的骨架製作以兩週進行教學，但將此步驟壓縮成一週，又加上折版表皮的操作訓練，加重了學生的課程學習壓力。為了讓學生了解更多的 CAD/CAM 應用，在每週作業上，除了要求學生熟悉所教學的骨架表皮操作及不同技術操作外，學生必須依每週主題找尋相關的國際設計案例，了解其 CAD/CAM 製作過程。當各操作步驟訓練完後，就進入課程架構中的第二部份「設計應用訓練」。由於在「步驟操作訓練」中，對於每週的步驟訓練都非常的繁瑣，尤其是骨架製作與表皮製作過程，因此學生在第二部份的「設計應用訓練」中傾向於多人組團來操作一個自由形體設計案，再從設計過程中個別選擇單一種步驟或技術來操作，最後課程結果只有四人為團體合作的一個設計案。以下基於此學生(四人團體)在四週「設計應用訓練」中所操作的過程來討論教學案例。

第一週概念發展。四位同學共同的设计主題為「螺形體居住空間」，將設計分成四部份：螺形主體設計，活動表皮設計，內部自由形組合空間設計及內部自由形樓梯設計，各由一位同學負責設計與操作。開始個別以手繪草圖及 3D 量體模型輔助設計概念發想(圖 5-1~5-4)。

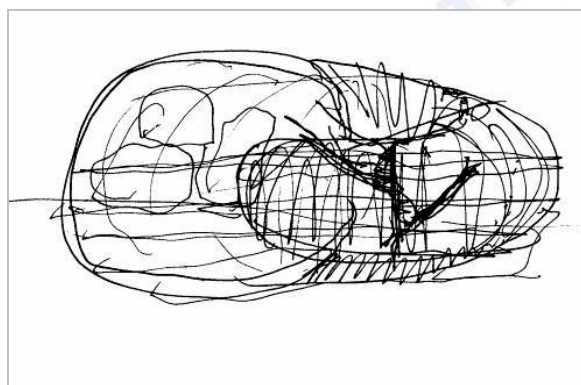


圖 5-1 螺形主體設計之草圖

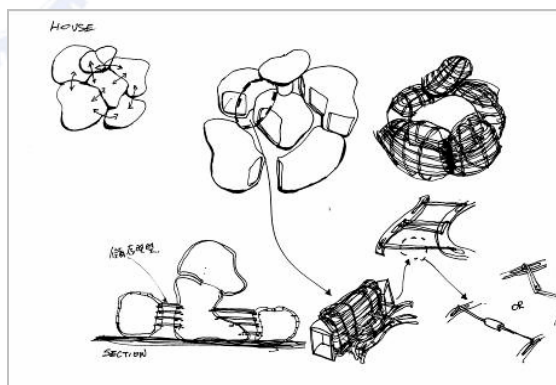


圖 5-2 自由形組合空間設計之草圖

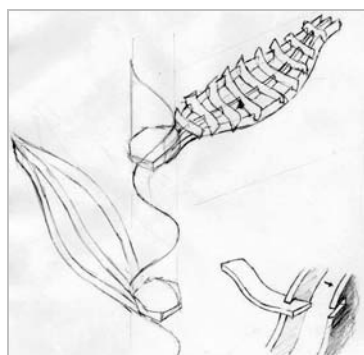


圖 5-4 自由形樓梯設計之草圖

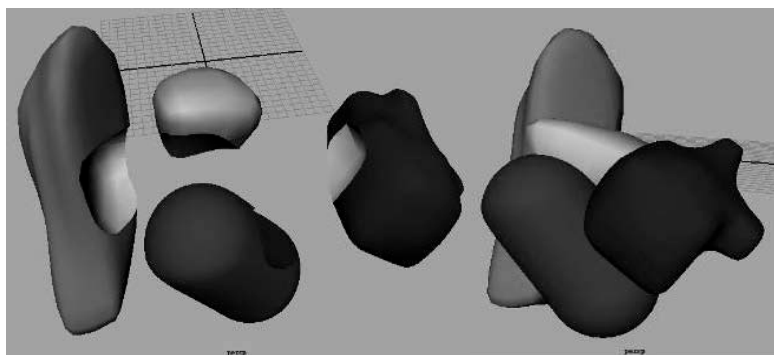


圖 5-3 自由形組合空間設計之 3D 量體

第二週設計發展。此階段四位學生依自己的設計概念個別進行設計形體發展。由於課堂技術教學以操作 Maya 軟體為主，因此學生都利用 Maya 中的 Nurbs 建模方式來操作設計的曲面形體(圖 5-5~5-7)，但其中設計活動表皮的學生利用他較熟悉的 3D MAX 軟體操作。從不同軟體應用，可看出各軟體操作特性影響了設計形體，3D MAX 主要以 polygon 操作而在 Nurbs 建模上沒有 Maya 操作的方便性，從圖 5-8 可看出設計形體為簡單幾何形體所建。

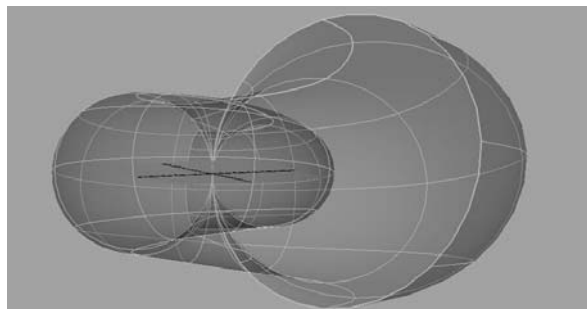


圖 5-5 螺形主體設計之形體發展(Maya 操作)

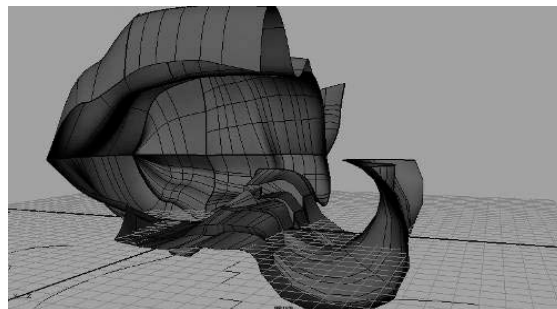


圖 5-6 自由形組合空間設計之形體發展(Maya 操作)

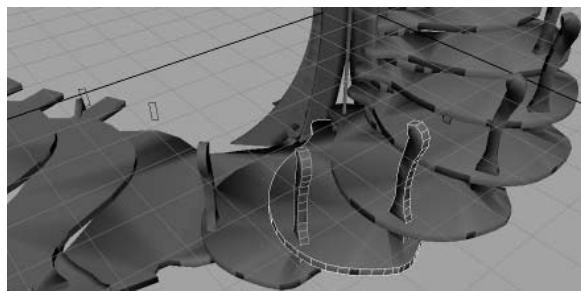


圖 5-7 自由形樓梯設計之形體發展(Maya 操作)



圖 5-8 活動表皮設計之形體發展(3D Max 操作)

第三週單元輸出。當設計形體定案後，開始將四部份的設計作整合(圖 5-9)。在整合過程中相互調整，最後製作定案模型(圖 5-10)，再分別進行模型單元輸出。過程中學生選擇雷射切以圓心分割骨架，但在製作骨架中心線割與 RP 作為模型製作的技術應用。螺形主體設計時，所使用的投影分割線指令經常出現問題，導致操作困難，經過多次測試最後建議學生改成使用 Nurbs 以相交切割方式才成功取出正確的中心線(圖 5-11)。另外因骨架製作步驟繁瑣，加上在處理垂直方形骨架與水平圓管交接時，以 polygon 進行布林運算發生許多操作上的困難，因此花了許多時間在製作 2D 輸出圖面；而活動表皮設計則形體較簡單直接利用雷射切割將每個活動單元輸出(圖 5-12)；自由形樓梯設計也先將主要支撐由雷射切割輸出(圖 5-13)。定案的自由形組合空間設計應用雷射切割與 RP 輸出每一組組合單元(圖 5-14)。

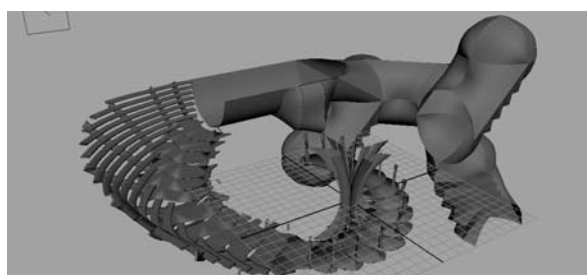


圖 5-9 自由形組合空間與樓梯設計之整合

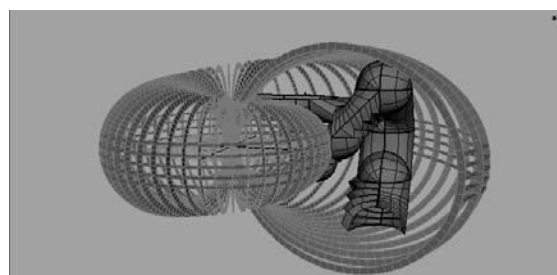


圖 5-10 整合設計之定案 3D 模型



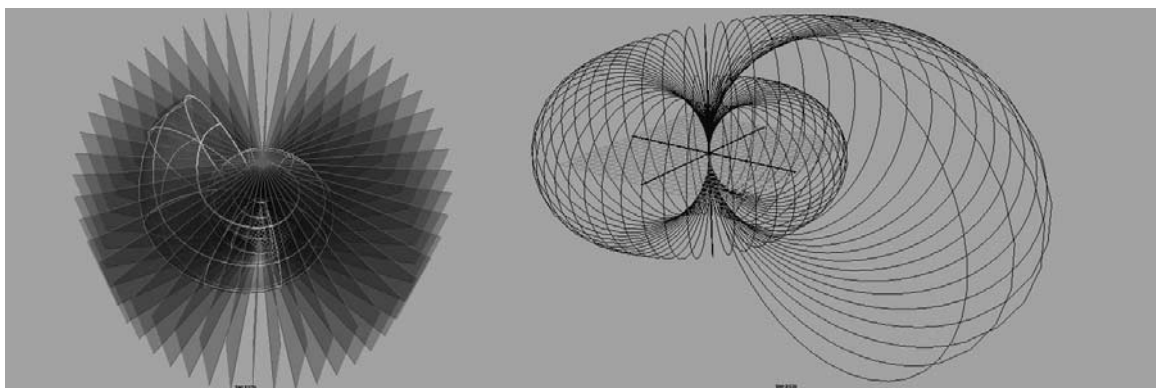


圖 5-11 螺形主體設計的骨架分割系統

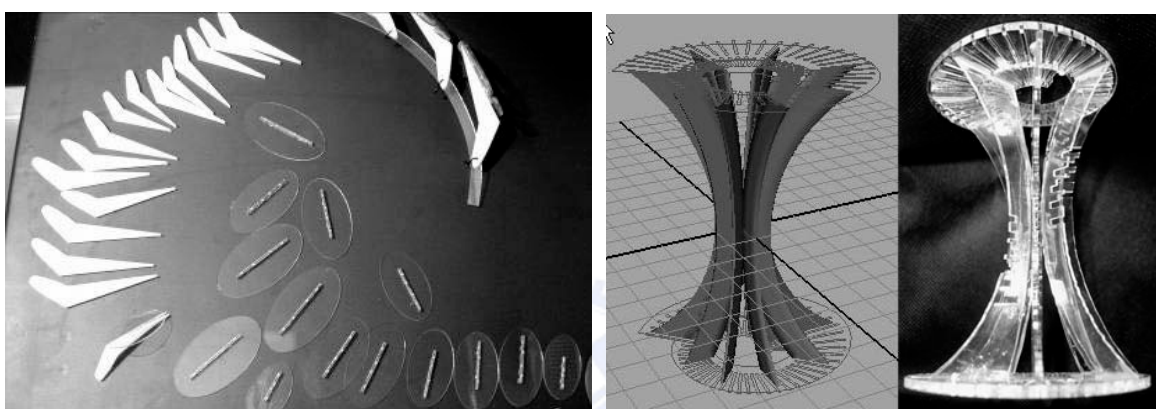


圖 5-12 活動表皮單元輸出

圖 5-13 自由形樓梯主支撐模型輸出

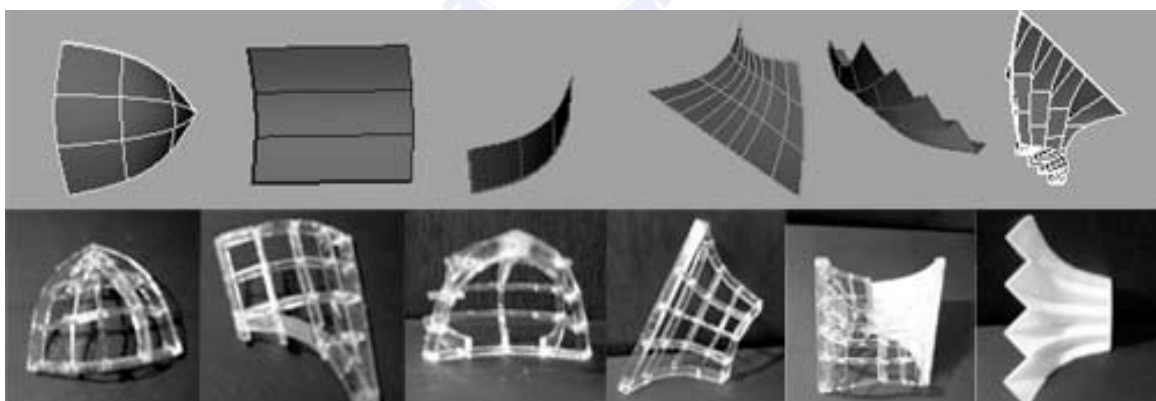


圖 5-14 自由形組合空間單元模型輸出

第四週模型組裝。當設計單元都輸出後，開始將各單元組裝成完整的模型。在螺形主體設計的組裝過程，由於在過程中花較多時間解決骨架單元的輸出圖面製作，而忽略考慮組裝程序，因此在組裝時遇到單元定位的困難，必須將模型吊掛才能順利組裝(圖 5-15)。另外加上在 3D 模型處理垂直水平骨架交接時因操作困難出現誤差，導致最後圓管組裝困難。內部設計的自由形組合空間將已經輸出的六個不同組合單元進行組合成設計的形體(圖 5-16)。對於活動表皮則於組裝完成後進行測試表皮可動機制的設計(圖 5-17)。自由形樓梯設計的踏板與扶手單元於組裝完後，再置入螺形主體空間中(圖 5-18)。圖 5-19 為最後的設計模型。



圖 5-15 螺形主體單元組裝過程



圖 5-16 自由形組合空間單元組裝完成

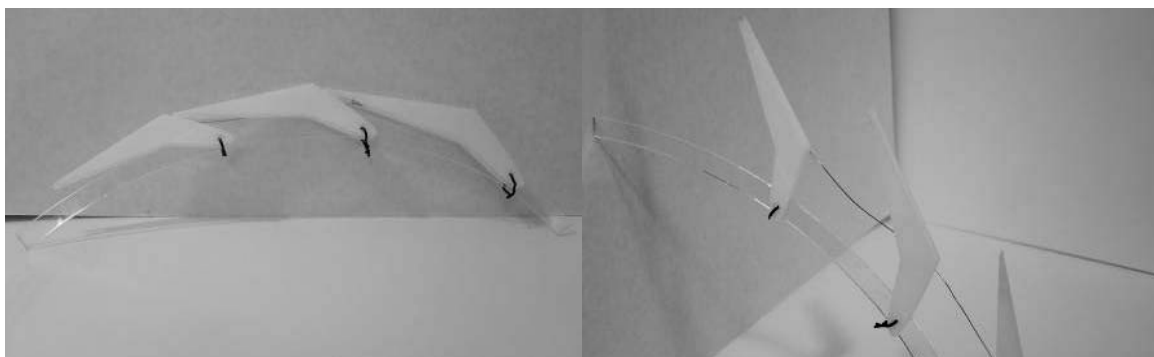


圖 5-17 活動表皮單元組裝與測試

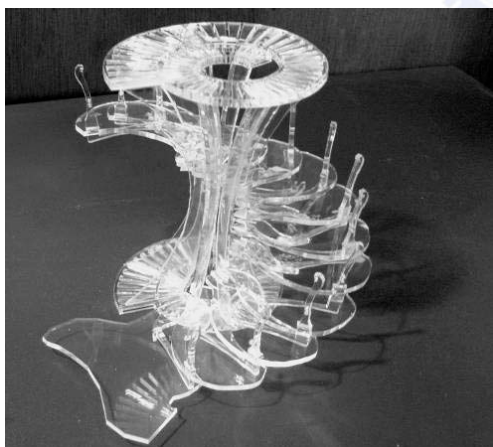


圖 5-18 自由形樓梯主支撐模型輸出

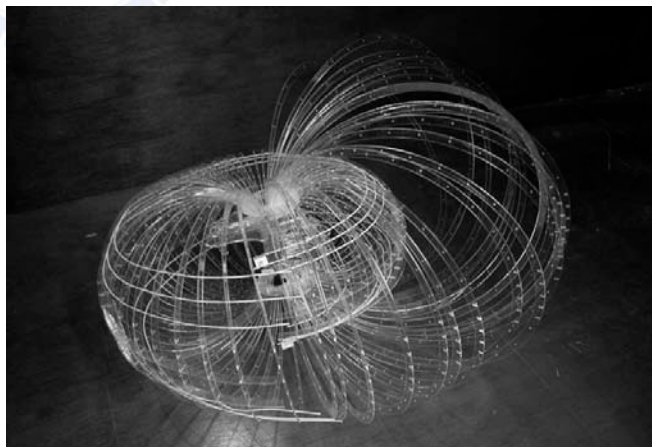


圖 5-19 最後完成的模型

基於上述的討論，對課程中「步驟操作訓練」及「設計應用訓練」兩部份的教學結果，本論文研究提出下列重點：

1. 在「步驟操作訓練」中，少數學生應用其他軟體來操作，從過程中發現各軟體操作的優缺點，同時也從中嘗試各種可行的操作方法。其中在骨架製作教學中，對於凹槽製作步驟原來以非常繁瑣的布林運算過程來操作，但在學生於其他軟體應用中嘗試了另一種更適合

且快速的操作步驟。

2. 在「步驟操作訓練」及「設計應用訓練」中，發現學生在操作某些步驟時常會遇到相同的問題，其中以 Maya 利用投影指令將分割線製作骨架中心線的操作步驟常出現錯誤。希望可以從這些問題歸納找出可以解決的更佳操作方法。

3. 在「步驟操作訓練」中，由於 RP 技術配合 3D scanner 技術一起教學，訓練中沒有強調應用於設計過程，多數學生只將簡單模型作為輸出練習。另一方面，部分學生將 3D scanner 所掃描的物件用 RP 輸出，則遇到必須解決破面問題而浪費許多操作時間。對於這兩種技術缺乏訓練學生如何應用於設計過程的操作步驟，導致學生於「設計應用訓練」中很難應用這些技術。

4. 在前面「設計應用訓練」討論中，發現學生都花太多時間解決技術操作問題，因此很學生無法將每步驟及技術都獨自操作，缺乏整合應用的訓練。另外也缺乏時間考慮設計結構問題，組裝程序等。同時也沒時間作測試的模型。

5. 在前面「設計應用訓練」討論中，發現組團會分散學生對整體設計中應用 CAD/CAM 的操作訓練。

6. 案例分析有助於學生對 CAD/CAM 應用，除了課堂上所需取的內容外，有更廣的認識。

以上檢討針對「步驟操作訓練」中部份繁瑣步驟操作方式的改進，於本研究第四章技術研究轉檔過程分析中提出更適當的解決方式。從研究中將凹槽製作及分割操作方式簡化，利用 Nurbs 相交切割(intersect)的指令操作來取代以往用布林運算製作凹槽的方式；同時也取代以往分割步驟所使用的投影指令操作。經過研究測試，這種方式解決了指令操作出現錯誤的問題，也讓操作步驟更有效及精準。另外對於 RP 及 3D scanner 技術操作步驟，本研究也在轉檔過程分析中歸納出著重於設計過程應用的操作步驟。

### 第二次教學：2006 年春季班

經過第一次教學經驗，在此課程中，將 2005 年秋季班課程內容的教學案例討論及檢討，作為課程內容調整的參考依據，同時也將本研究對於技術操作的進一步研究作為課程內容，以下為所作的調整。

一、針對檢討第 1, 2 點，修正部分操作步驟的教學內容，將本研究第四章轉檔過程研究中對凹槽製作及分割步驟的簡化操作方式取代繁瑣的操作步驟。

二、針對檢討第 3 點，改變 RP 操作步驟的訓練，將基於本研究第四章轉檔過程中的 RP 操作步驟，訓練學生將 3D 軟體所製作的設計形體輸出。因此將 RP 訓練調整到第三週教學，讓學生可以在製作自由形體骨架與表皮操作過程時就有機會將複雜的形體模型輸出。

三、針對檢討第 4 點，找尋最佳化與簡化的步驟並撰寫成自動化程式，但由於剛開始研究，因此未在這學期使用於課程教學中。

四、針對檢討第 5, 6 點，要求學生在第二部份「設計應用訓練」時應獨自完成一個設計，及持續保留案例分析的作業需求。

綜合以上的調整，主要將「步驟操作訓練」的課程內容修改幾個操作步驟及將 RP 技術教學調整到前一週以讓學生可以製作設計形體模型。以下為 2006 春季班的課程內容：

2006 春	概念介紹	技術教學
第一週	CAD/CAM 應用整體觀念介紹	Maya 入門操作/ 自由形體操作
第二週	骨架製作的觀念與經驗	骨架製作步驟/ laser cutter 製作骨架模型
第三週	表皮製作的觀念與經驗	折板製作步驟/ laser cutter 製作折版模型 RP 輸出設計模型
第四週	3D scanner 技術與應用	3D scanner 操作

另外對於課程作業的要求與第一次教學相同，但對於課程架構第二部份「設計應用訓練」則開始要求學生以個人為主來操作 CAD/CAM 新媒材輔助自由形體設計過程。基於這些修改過的課程內容教學，再分析教學案例。在這次教學的「步驟操作訓練」結果中（請詳見附錄五），因為步驟減化，學生在操作步驟所花的時間比第一次課程減少許多。而且也在自由形體製作時應用 RP 技術，了解此技術如何輔助設計形體的輸出。至於第二部份的「設計應用訓練」結果中，共有 6 位學生個別操作設計，而且設計主題都偏向於具使用性的小型傢俱設計，如燈具，座椅，CD 架、書架、圓筒隔牆等，所製作的模型具功能性。但本章僅選擇其中較完整的四個設計過程來討論教學案例。

第一週概念發展。對於課程結果所選擇的四個設計為：燈具、座椅、圓筒隔牆、CD 架。概念發展階段中設計燈具的學生以手作實體紙板模型呈現設計概念形體(圖 5-20)；座椅設計也同樣利用手作模型來呈現一個以母親懷抱為主題的座椅 (圖 5-21)；而圓筒隔牆設計利用蜂槽形態的圖片作為形體概念發想(圖 5-22)，希望製作一個具有圓筒功能的座位隔牆設計；CD 架設計則一開始就利用 Maya 形塑設計形體，希望製作一個像布一樣柔軟的 CD 架(圖 5-23)。

第二週設計發展。以手作實體模型發展概念的燈具與座椅兩個設計應用 3D scanner 掃描實體模型後，將所得到的數位資料在 Maya 編修成完整的設計形體(圖 5-24, 5-25)。而圓筒設計與 CD 架設計則直接在 Maya 軟體中用 Nurbs 建模功能發展設計形體模型(圖 5-26, 5-27)。



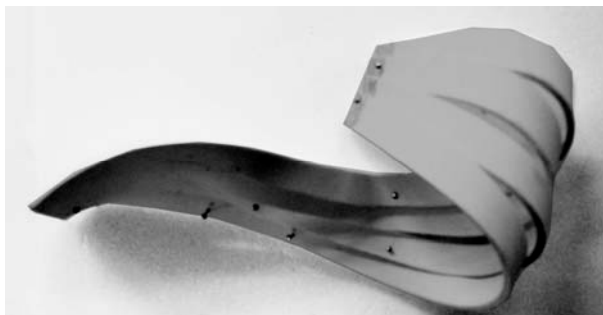


圖 5-20 燈具設計之手作實體概念模型

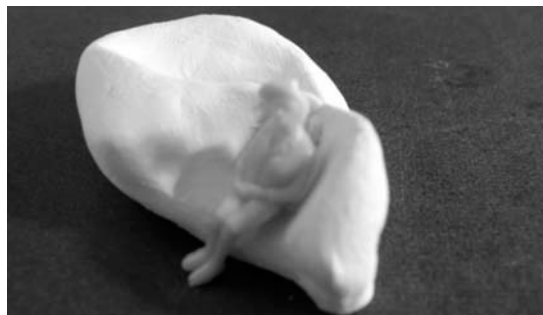


圖 5-21 座椅設計之手作實體概念模型

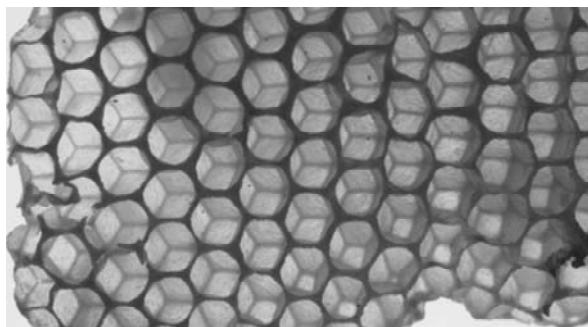


圖 5-22 圓筒隔牆設計之概念圖形

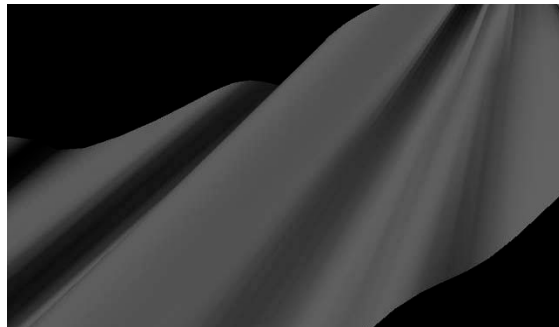


圖 5-23 CD 架設計之 Maya 操作概念形體

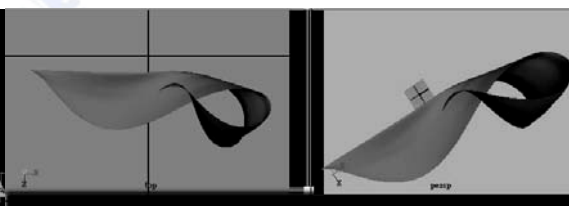
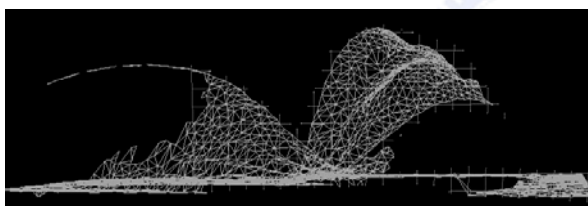


圖 5-24 燈具設計:應用 3D scanner 將實體模型掃描成數位模型再到 Maya 編修形體

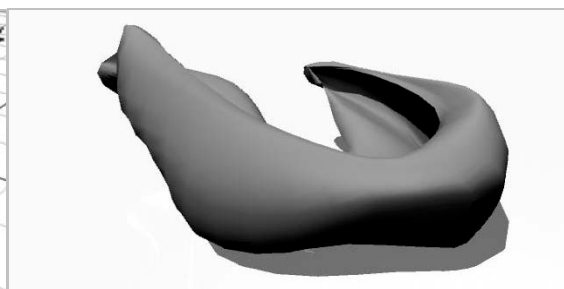
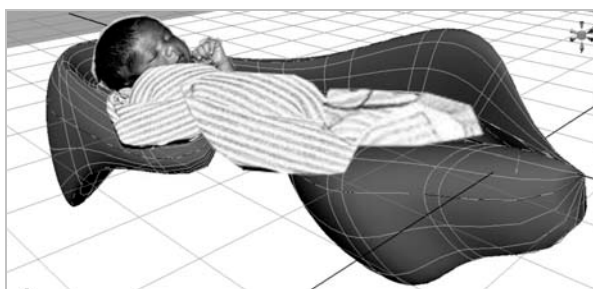


圖 5-25 座椅設計:應用 3D scanner 將實體模型掃描成數位模型再到 Maya 編修形體

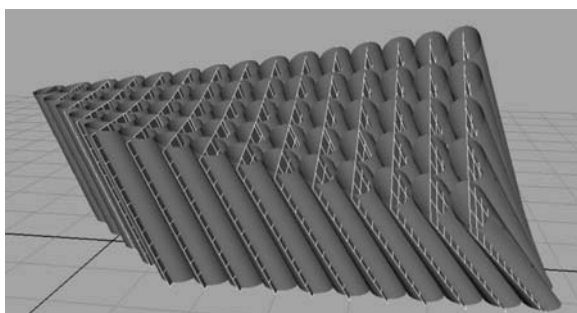


圖 5-26 圓筒隔牆設計:在 Maya 中發展設計形體

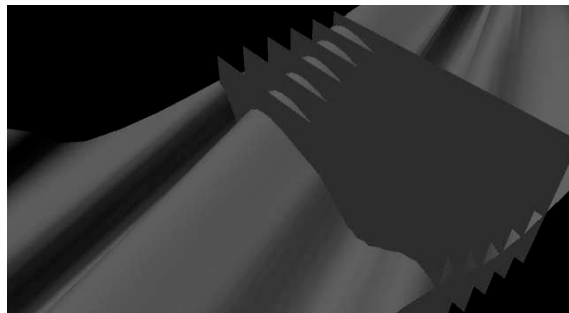


圖 5-27 CD 架設計:在 Maya 中發展設計形體

第三週單元輸出。當設計形體都決定後，每個設計開始將形體分割成骨架與表皮設計。燈具設計依據形體變化以兩種分割方式，垂直與圓心系統來製作主骨架，然後進行凹槽製作，再將所得到的骨架線段匯出至 AutoCAD 排版後應用雷射切割輸出(圖 5-28)。除了骨架設計，也配合骨架分割製作折版表皮，還將每一片折板用雷射切割雕刻型狀，主要為了最後以透明壓克力製成的燈具在燈光下可透出隱約的圖案。

另外座椅設計也開始分割形體，希望製作以骨架作為座椅設計的主體，快速操作骨架製作與凹槽製作，順利將骨架線段匯出，準備以雷射切割輸出骨架單元(圖 5-29)。

圓筒隔牆設計在製作單元輸出時遇到較多的困難，因為其設計主要以圓筒形作為設計結構，因此必須將所設計的圓筒單元展開成平面輸出。但由於設計的筒形經由布林運算切割已形成不規則體，因此在展開過程中測試了多種方式，還藉由其他軟體的輔助如 FormZ，卻因形體複雜及轉檔過程導致資料損失，形體扭曲變形，加上 FormZ 攤平時有太多分割面，使切割出的模型無法拼接成完整的圓筒體(圖 5-30)。經過多次測試也在 AutoCAD 將攤平的線條編修後，最後辛苦切割出部份可組裝的單元(圖 5-31)。

對於 CD 架設計的單元輸出，因是垂直水平分割，故較熟悉及簡單。在 Maya 中操作骨架製作及凹槽切割後就匯出 2D 的單元輸出檔案(圖 5-32)，直接應用雷射切割輸出單元，因為操作快速因此有機會先組裝測試模型的結構，當將 CD 置放於模型時發現整個結構因無法承重而凹陷，此時學生重新修正設計形體，修正完後再重新操作單元輸出的步驟(圖 5-33)。

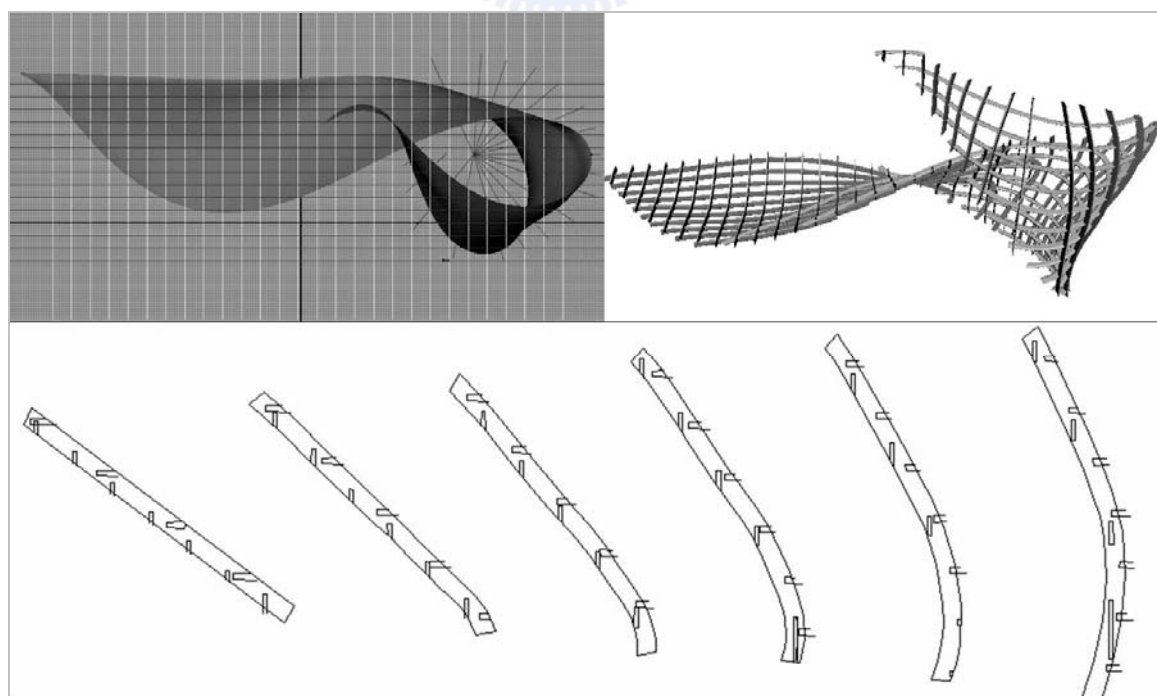


圖 5-28 燈具設計: 形體分割系統與骨架製作，骨架單元線段匯出 AutoCAD 編修排版準備雷射切割輸出

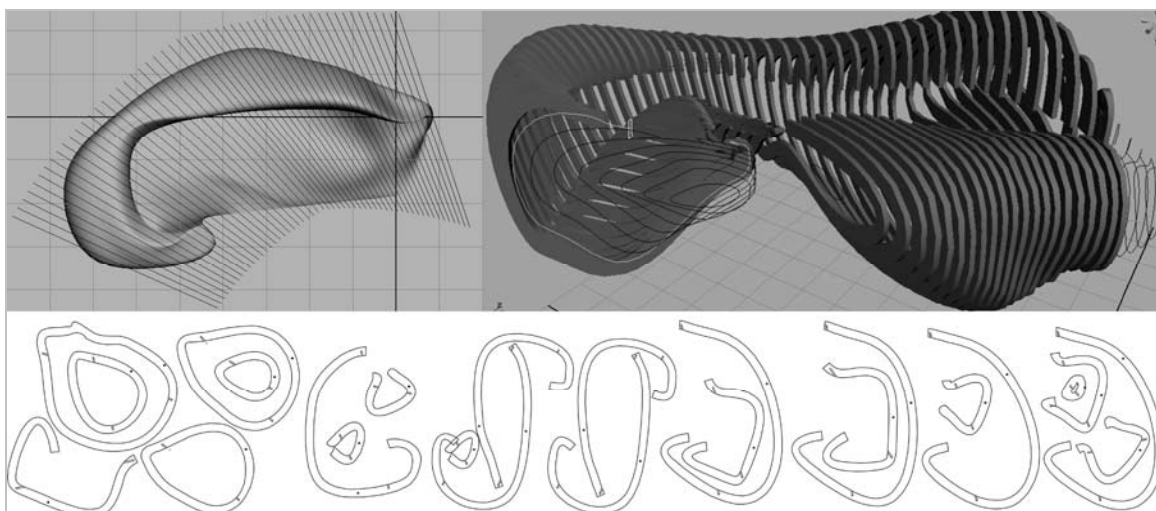


圖 5-29 座椅設計: 形體分割系統與骨架製作, 骨架單元線段匯出 AutoCAD 排版準備雷射切割輸出

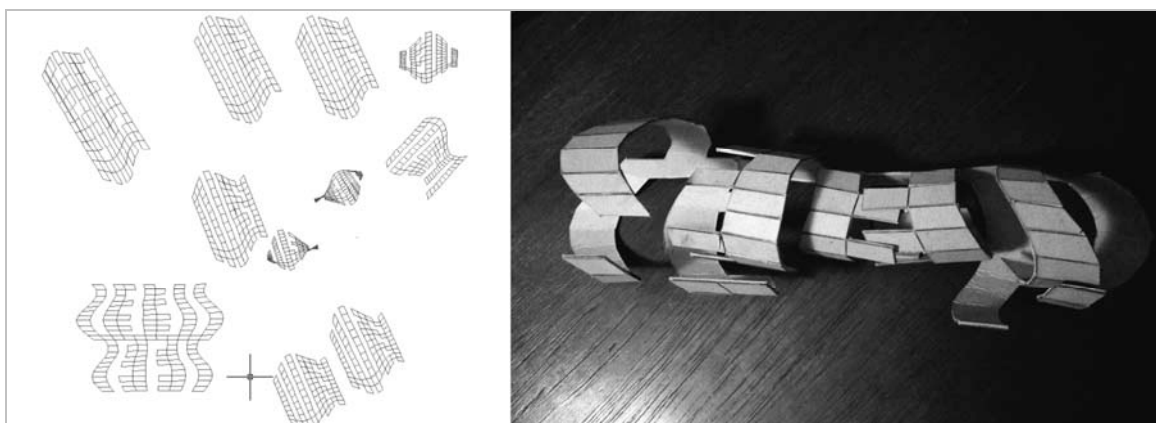


圖 5-30 圖筒隔牆設計: 應用 FormZ 攤平卻導致變形, 模型無法組裝,

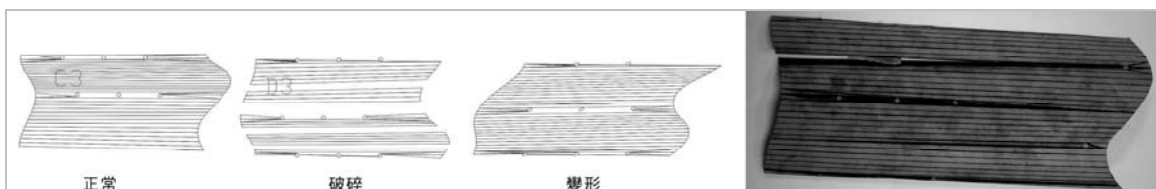


圖 5-31 圖筒隔牆設計: 經由多次測試及 AutoCAD 編修, 最後輸出可組裝的單元

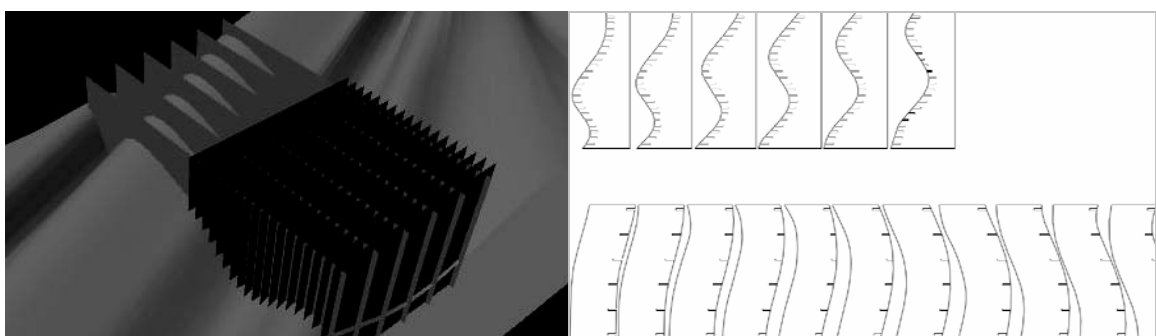


圖 5-32 CD 架設計: 形體分割與骨架製作, 設計單元於 AutoCAD 排版後準備雷射切割輸出



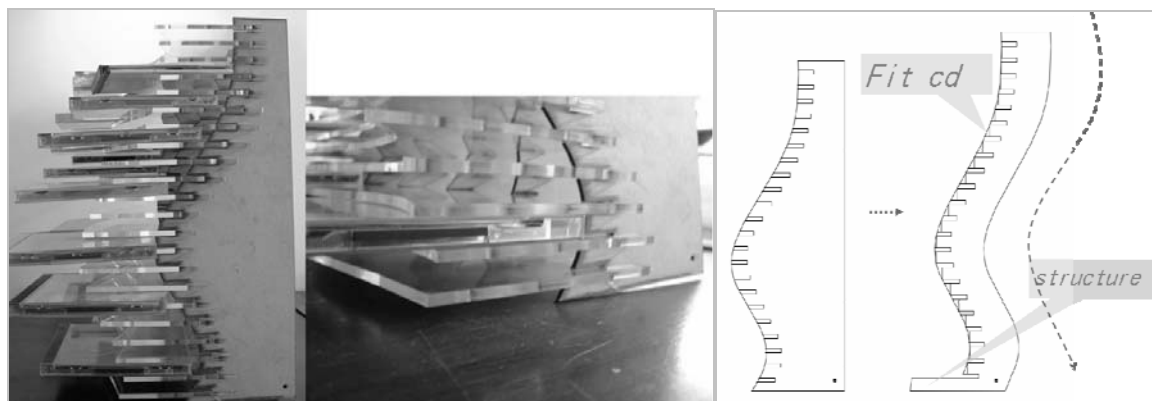


圖 5-33 CD 架設計: 測試模形結構發現問題後, 重新修正設計形體

第四週模型組裝。每個設計中的單元都輸出後, 就開始進行組裝。燈具設計因為除了壓克力骨架單元組裝外, 還包含數量很多的折板表皮單元, 因此必須花較多時間組裝, 最後組裝完成被當成桌上燈具來應用(圖 5-34)。圖 5-35 為座椅設計組裝完成的模型。而圖筒隔牆設計因單元製作過程遇到許多困難而只能將設計部份組裝(圖 5-36)。CD 架設計經過設計調整後, 再重新製作的模型結構已經可作為放置許多 CD 的實用性 CD 架(圖 5-37)。

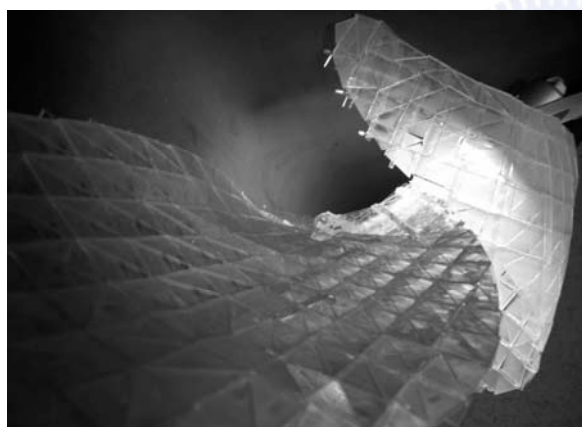


圖 5-34 燈具設計: 組裝完成的模型, 也作為實際應用



圖 5-35 座椅設計: 組裝完成的模型

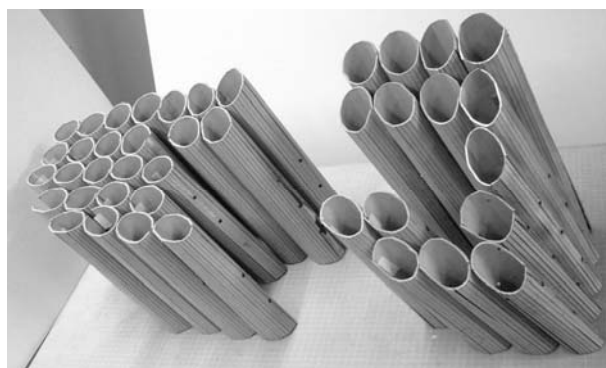


圖 5-36 圓筒隔牆設計: 組裝完成的模型

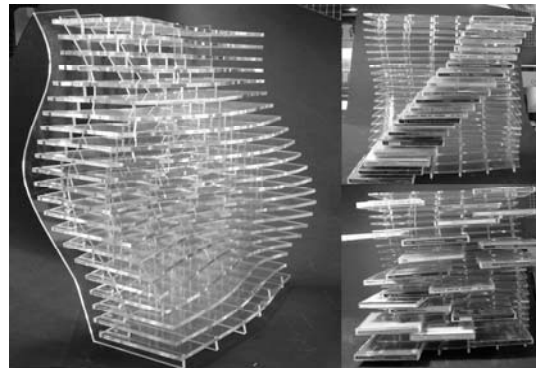


圖 5-37 CD 架設計: 組裝完成的模型, 也作為實際應用

基於上述的討論, 對課程教學中「步驟操作訓練」及「設計應用訓練」, 本論文研究觀察出下列重點:



1. 在「步驟操作訓練」中，由於操作步驟已被簡化，讓學生容易操作，因此學生可以於「設計應用訓練」中獨自應用 CAD/CAM 新媒材完成一個設計過程。而且從上述的討論中可看出在過程中部分學生不希望只將所學會的技術操作後製作一個模型，而是希望所製作的模型具功能性及實用性。
2. 經過「步驟操作訓練」所修正過的步驟教學，學生已開始了解如何將 3D scanner 及 RP 技術應用於設計過程中，在上述「設計應用訓練」討論中，可看出學生開始整合多種不同技術來輔助自由形體設計過程。
3. 在「設計應用訓練」中，從部份設計如上述所討論的 CD 架設計，可看出當操作步驟簡化後，單元輸出及模型製作更容易，學生可以有機會作結構測試或探討組裝程序的測試模型，再從測試模型中將設計作更好的調整。
4. 在「設計應用訓練」中，會出現因設計問題不同而衍伸出操作步驟的新問題，從上述討論中的圓筒隔牆設計過程，因為所操作的設計並非課程中所教學的垂直水平骨架分割或折板表皮操作，而是必須將圓筒形體展開成設計單元，因此必須找出可解決的操作方式，還需要藉由其他軟體的輔助。為了解決因設計需求不同而衍生的不同操作方式，希望可以從案例分析過程中找尋多種解決方法，並在課程內容以概念方式介紹其他軟體或技術的應用。

#### 第三次教學：2006 年秋季班

從 2006 年春季班課程內容的教學案例討論及檢討，可知步驟操作的簡化讓學生更容易掌握應用 CAD/CAM 設計自由形體設計過程，而且有助於學生開始以 CAD/CAM 新媒材創作。因此在這次課程中，除了繼續以簡化的操作步驟教學外，也將本研究於第四章過程自動化所探討局部步驟的自動化程式作為教學應用，同時也從過程中檢驗程式的實用性。以下為基於上一次教學檢討及希望加入自動化步驟所作的調整：

一、針對檢討第 1, 3 點，雖然操作步驟已經簡化，但還是需要重複操作一些指令動作，尤其是在製作折板展開時因數量多須花費大量時間操作，因此希望可以更縮短這些操作步驟，將重複性高的指令動作以自動化程式取代。主要將本研究的過程自動化步驟—折板操作的自動化應用(展開自動化)，取代以往手動操作的教學。

二、針對檢討第 2 點，由於技術教學中的三種技術操作都已強調應用於設計過程，從結果看出學生了解如何整合應用，因此將上一次課程內容的技術教學架構持續保持不變。

三、針對檢討第 4 點，會於這次課程內容中的概念介紹部份，多介紹與教學中相關的技術及其他可輔助的軟體，如常用於展開功能的專業摺紙軟體 pepakura，及對於製作雕塑品時 CAD/CAM 應用的 Lamina 軟體等。此外，也介紹國外一些操作步驟的自動化例子。

雖然以上為此課程所作的調整，但對於整體的課程內容架構及課程作業與 2006 春季班相同，只是添增上述的教學內容。在這次教學第一部份的「步驟操作訓練」課程結果中（請詳見附錄五），因為簡化的操作步驟加上部分以自動化程式取代，學生在操作步驟上更順暢，而且遇到的操作問題也大大減少。因為操作步驟簡單，因此對於不同技術的應用也更熟悉。至於第二部份的「設計應用訓練」課程結果中，共有 5 位學生個別操作設計，而且都偏重於設計創作，個別設計主題為數位模組空間設計、攀爬空間設計、桌上裝置設計、結構表皮設計及新鐵窗設計。本章僅選擇其中較完整的四個設計過程來討論教學案例。

第一週概念發展。對於課程結果所選擇的四個設計為：數位模組空間設計、攀爬空間設計、桌上裝置設計及結構表皮設計。其中數位模組空間設計及攀爬空間設計為較完整的設計過程，原因是這兩個設計也是另一門數位設計課中的設計創作。數位模組設計以概念圖呈現模矩化的設計概念，從柯比意廊香教堂自由形體中找出模矩(圖 5-38)。攀爬空間設計則以手作紙模型表達「折」的設計概念(圖 5-39)。桌上裝置設計則一開始就在 3D Max 中操作設計概念形體(圖 5-40)。而結構表皮設計以手作模型作為設計概念的呈現，希望設計一個可自由活動與扭曲的結構表皮(圖 5-41)。



圖 5-38 數位模組空間設計：概念圖呈現設計概念

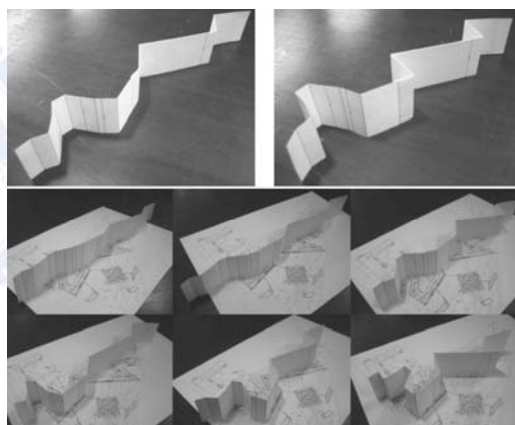


圖 5-39 攀爬空間設計：手作紙模型呈現設計概念

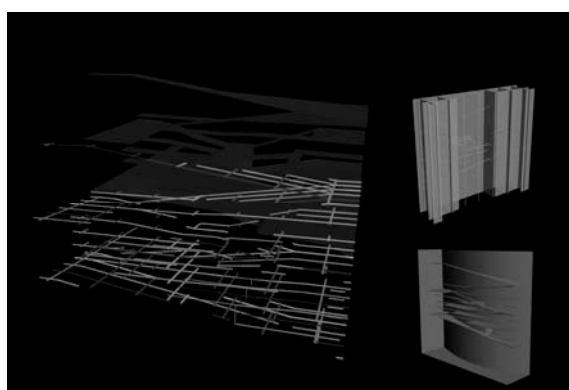


圖 5-40 桌上裝置設計：以 3D Max 形體發展設計概念

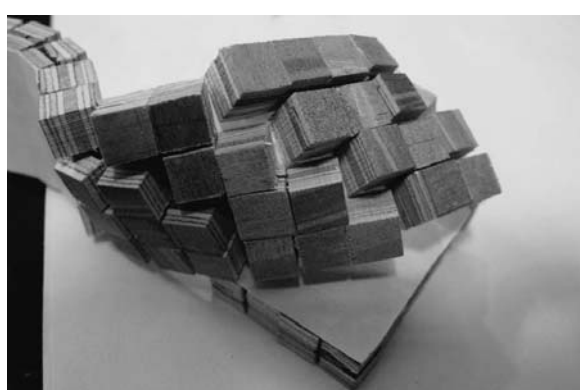


圖 5-41 結構表皮設計：手作實體模型呈現設計概念

第二週設計發展。數位模組設計基於設計概念開始設計模組單元，而且製作紙模型來檢視模組單元(圖 5-42)。經過檢視後再到 Maya 將單元組合成多組不同的空間主結構單元，創造出以模組單元所組成的自由形體設計(圖 5-43)。攀爬空間設計主要將概念發展的折線於 3D

Max 中進行形體扭曲後，發展成為設計形體(圖 5-44)。而桌上裝置設計延續在概念發展時於 3D Max 所建構的概念形體來發展成主要形體(圖 5-45)。對於結構表皮設計則比較像在設計接頭細部設計，於此階段依然利用圖面及紙模型來檢視單元之間的接點設計(圖 5-46)。

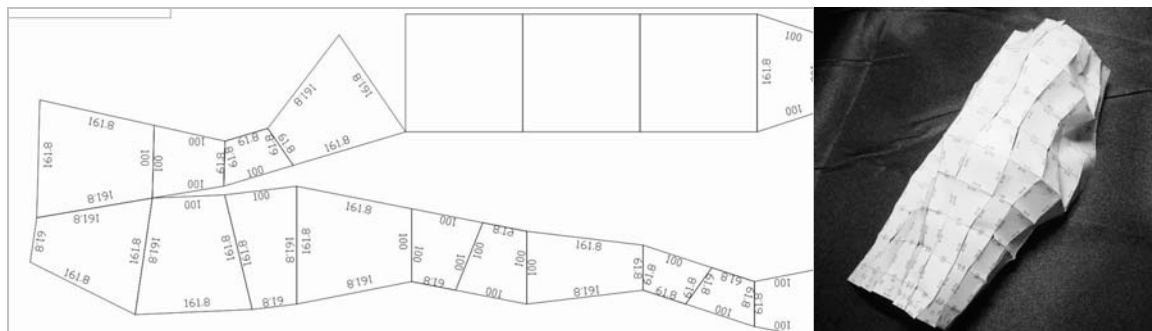


圖 5-42 數位模組空間設計: 製作實體模型檢視模組單元

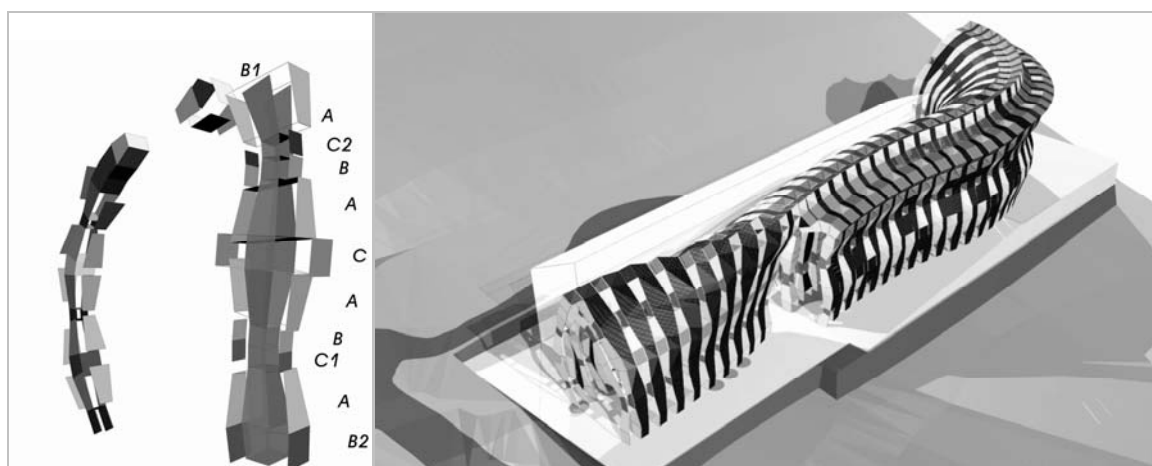


圖 5-43 數位模組空間設計: 於 Maya 中發展設計形體(以模組單元創造自由形體設計)

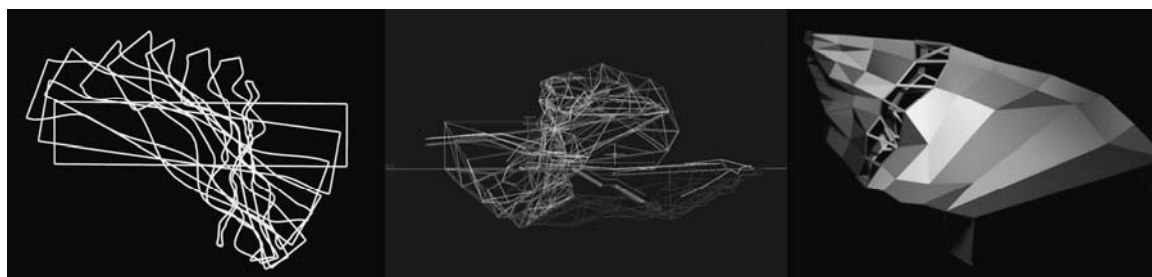


圖 5-44 攀爬空間設計: 於 3D Max 中將折線扭曲發展成設計形體

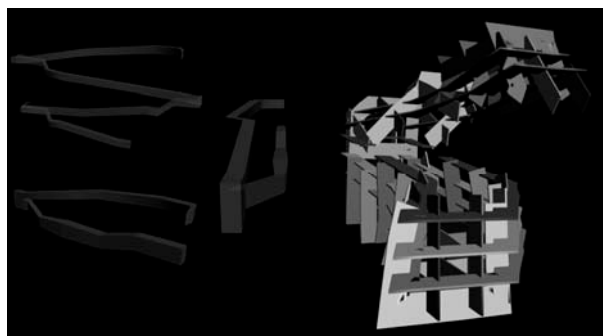


圖 5-45 桌上裝置設計: 於 3D Max 發展設計形體



圖 5-46 結構表皮設計: 手作紙模型檢視接點設計

第三週單元輸出。數位模組空間設計於設計模組決定後，將設計中的幾種模組單元展開成 2D 圖面，應用雷射切割輸出，再組裝每組單元並組合成設計形體中三種不同模組，來檢視設計及探討組裝程序(圖 5-44)。

攀爬空間設計的形體主要為折板表皮所組成，骨架系統則是依據折板形狀製作，並非垂直水平系統而是由自由向度變化的軸向形成骨架形體。由於骨架形體複雜，因此先以 RP 直接輸出完整的骨架模型(圖 5-45)。接著再切割出一個骨架單元企圖利用雷射切割製作模型，目的希望可以找出跟真實建造更接近的製作方式。為了克服自由向度骨架凹槽製作方式，經多次測試，最後將每根骨架切割許多斷面後取出線段來輸出(圖 5-46)。對於部份特殊的骨架形體則與表皮製作時所利用的方法一樣，直接將形體展開成 2D 圖面，操作過程中應用課程所介紹的展開專業軟體 Pepakura 來展開形體。圖 5-47 為表皮與骨架單元的展開圖面。最後再利用雷射切割輸出這些表皮與骨架單元(圖 5-48)。

桌上裝置設計的形體為多向度卡接的骨架系統所組成。在製作骨架單元過程中，學生開始挑戰非垂直水平骨架系統的凹槽製作方法。從設計形體衍生出兩種必須克服的問題，第一為遇到 C 形骨架卡接時，再操作凹槽製作步驟時的 1/4 移位切割操作會出現錯誤。第二為遇到斜交的骨架時如何計算凹槽寬度。從多次測試中學生提出了解決方式。解決 C 形骨架卡接在操作步驟上並沒有改變，只是必須注意操作上的先後程序就不會有錯誤(圖 5-49)。而斜交骨架在凹槽製作過程中必須多切割骨架寬度的兩個面才可以取出正確的凹槽寬度(圖 5-50)。依循這些方式後，即可取得正確骨架輪廓線來輸出，製作測試組裝程序的模型(圖 5-51)。

結構表皮設計的主要單元由三面設計單元組成一個立體結構單元，而每一面設計單元希望以雷射切割輸出後再進行組裝。圖 5-52 為過程中對三面設計單元所探討的各種切割方式及連接一個立體結構單元之間的活動接頭設計圖面。對於設計單元不同切割方式製作模型進行測試後，最後決定一種最佳方式作為設計單元的輸出。

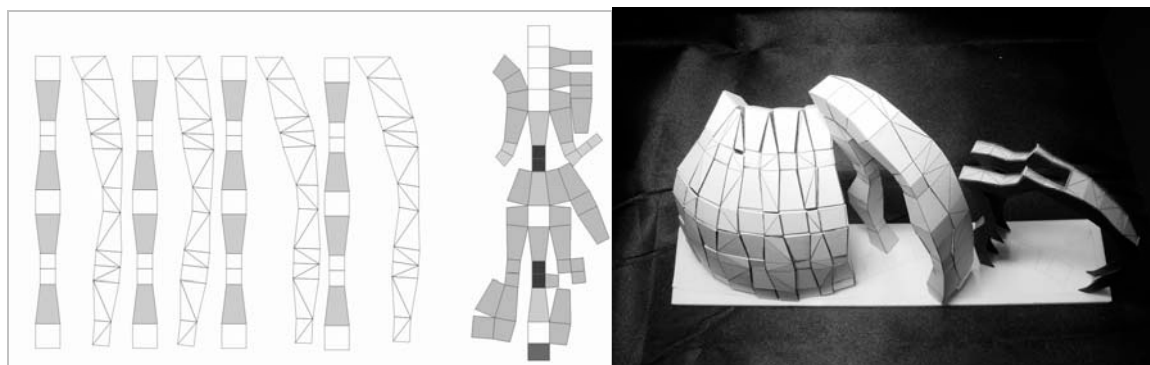


圖 5-44 數位模組空間設計：將展開的單元輸出並進行組裝，測試組裝程序及檢視設計



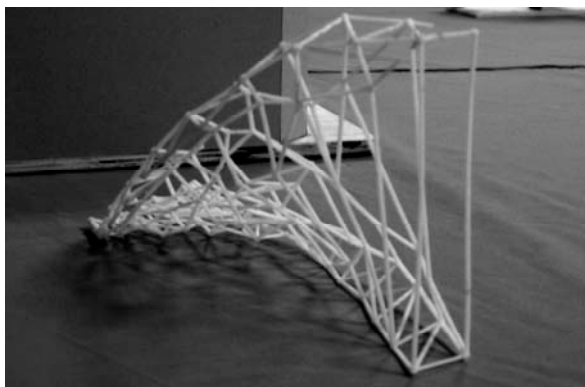


圖 5-45 攀爬空間設計: RP 骨架模型

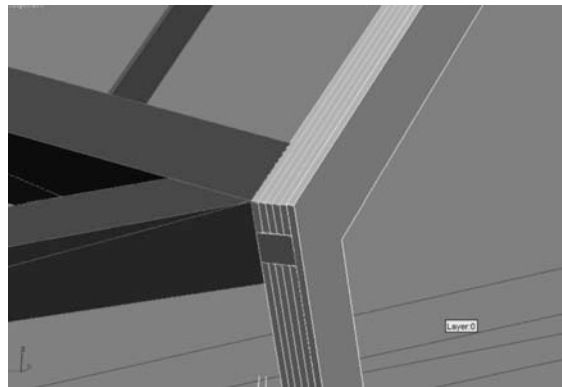


圖 5-46 攀爬空間設計: 多向度變化骨架製作方式

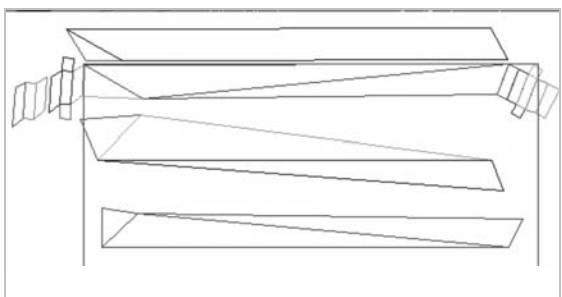
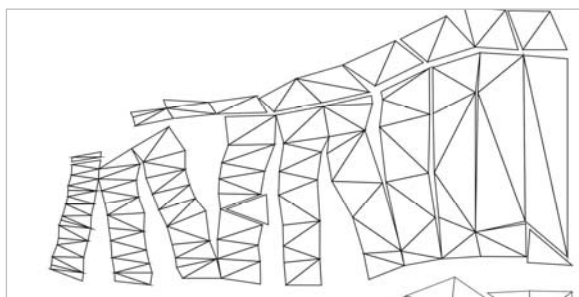


圖 5-47 攀爬空間設計: 表皮單元與骨架單元之 2D 展開輸出圖面

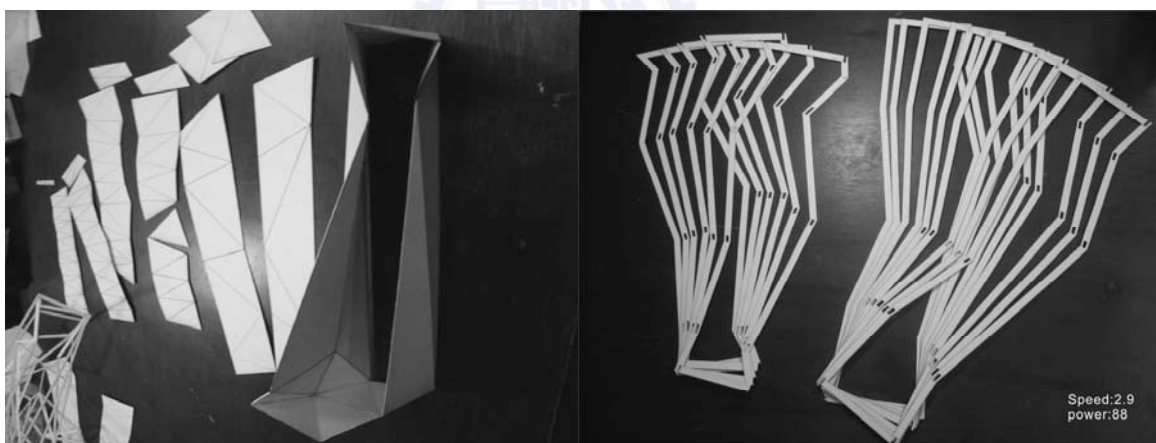


圖 5-48 攀爬空間設計: 表皮單元與骨架單元輸出

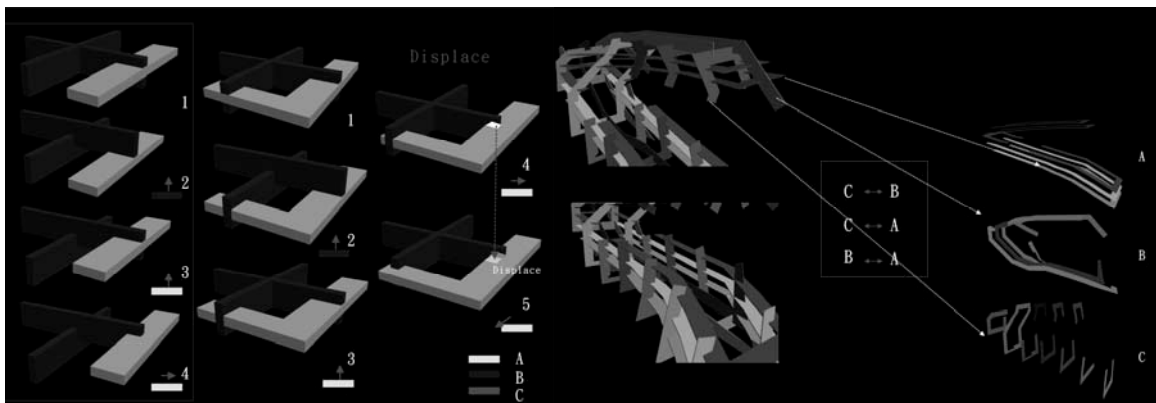


圖 5-49 桌上裝置設計: C 形骨架卡接的凹槽製作操作程序

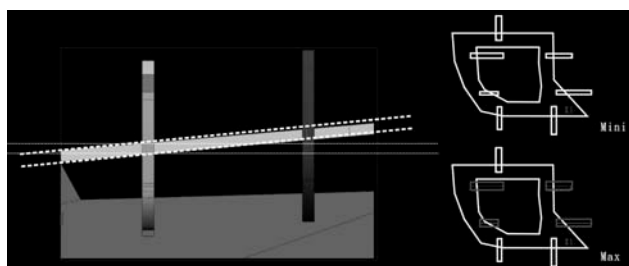


圖 5-50 桌上裝置設計：斜向骨架卡接的凹槽製作過程

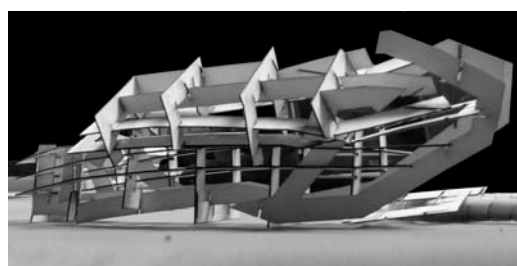


圖 5-51 桌上裝置設計：測試組裝程序的模型

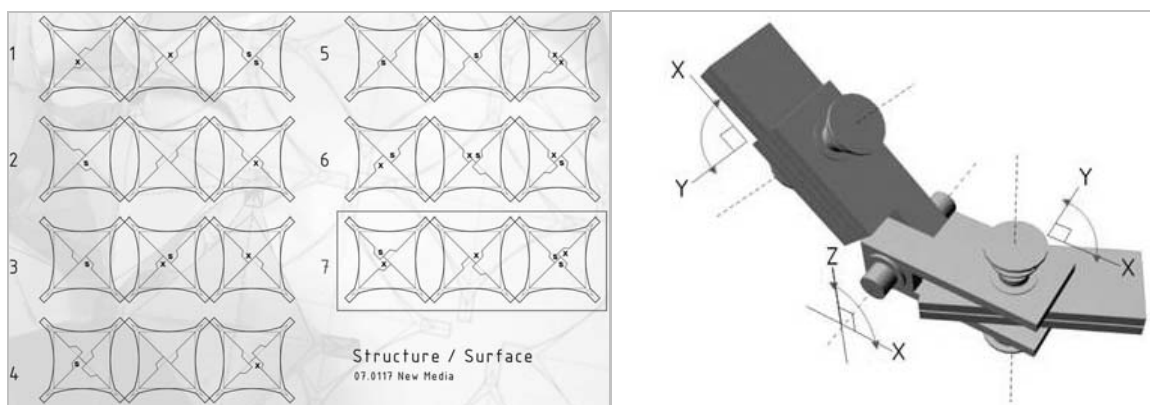


圖 5-52 結構表皮設計：設計單元切割方式與活動接頭設計

第四週模型組裝。經由測試模型的製作了解組裝程序後，數位模組空間設計最後以組裝完整的大型模型呈現出具有模組基礎卻又形體自由的設計空間感(圖 5-53)。而攀爬空間設計的表皮單元與骨架單元輸出後，分別組裝成表皮模型與局部骨架模型(圖 5-54)。桌上裝置設計也於過程中克服了操作問題而順利將形體的骨架單元組裝完成(圖 5-55)。結構表皮設計中的單元組裝完成後，最後呈現的是可任由變動的模型，只利用一種立體結構單元及一種接頭單元，即可組合成多變的形體(圖 5-56)。



圖 5-53 數位模組空間設計：組裝完成的模型

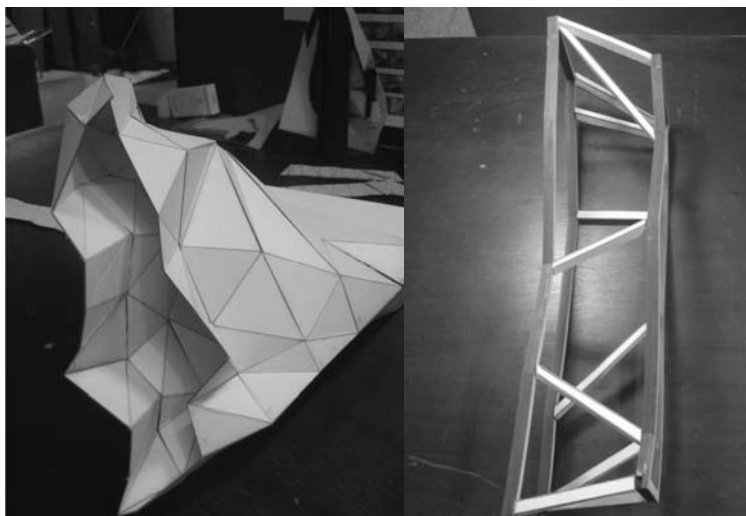


圖 5-54 攀爬空間設計：組裝完成的表皮與骨架模型

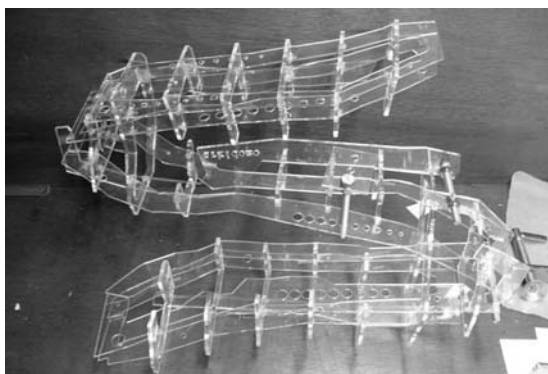


圖 5-55 桌上裝置設計：組裝完成的模型



圖 5-56 結構表皮設計：組裝完成的可動模型

基於上述的討論，對課程教學中「步驟操作訓練」及「設計應用訓練」兩部份的結果，本論文研究提出以下重點：

1. 在「步驟操作訓練」中，於折板表皮製作的步驟教學已加入自動化應用，學生在操作折板展開時節省了許多操作時間。但也從應用過程中經檢討而對自動化程式作些許修改(增加不同折線方向的折板展開)，以達到更符合設計應用的需求。
2. 在上述「設計應用訓練」討論中，學生為了不同設計需求而應用其他軟體輔助，尤其是形體展開功能。課堂教學中所介紹的專業展開軟體 **Pepakura** 應用可以作為幾何形體展開的輔助，而且操作過程也簡單。
3. 在上述「設計應用訓練」討論中，可看出設計過程中對於課程內容所教學的簡化步驟已經沒有操作上的問題，而是開始依設計不同需求去尋找其他可行的操作方法。課程內容將操作步驟簡化甚至自動化，提供了學生多思考設計的機會，也讓學生開始利用 **CAD/CAM** 新媒材創作新設計及嘗試新方法。

綜合以上檢討，希望可以作為下一次教學的課程內容調整參考。另外也希望可以更完整將本研究的過程自動化步驟研究作為此課程的教學應用。在教學過程中將 **CAD/CAM** 新媒材的最基本操作觀念提供給學生，希望他們在操作過程中可以不經煩瑣步驟，容易專注在設計上，將 **CAD/CAM** 新媒材視為輔助設計過程的數位工具。

#### CAD/CAM 基礎課程授課(lecture)教學綱要建議

從三次教學討論與課程調整，可知在四週「步驟操作訓練」的授課內容，除了訓練骨架、表皮製作、雷射切割、RP 及 3D scanner 技術的應用外，希望學生可以從中獲得設計及數位的啟發。在第一週 **CAD/CAM** 應用概念介紹及數位工具的技術教學，希望學生可創作出更自由的形體空間設計，同時利用動態模擬與演算法等輔助形體發展，使設計概念發展過程趨向數位化。第二週骨架製作概念介紹及雷射切割技術教學，讓學生在瞭解結構觀念及材料應用的同時，也啟發他們對數位設計中新構築的認識，同時釐清組裝程序。第三週的表皮製作概念介紹及 **RP** 技術訓練過程，希望學生有機會以表皮設計創造多元的空間層次，激發對建築表皮設計的新想法及細部接頭等新構築的觀念，此外也提供表皮切割標準化及數位



表皮設計(如智慧互動表皮等)的觀念與發展。至於第四週 3D scanner 應用的概念介紹及操作技術教學，希望學生於設計過程中，有效運用實體與虛擬模型來體驗及模擬設計空間感。另外操作中的實體數位化過程可快速及精準取得實體模型的數位資料。基於上述討論，本研究將四週課程內容發展成四個教學階段(modules) (可為四週、八週或十六週的教學課程)，提出下列四階段教學為例的 CAD/CAM 基礎課程授課(lecture)教學綱要建議：

	概念介紹	技術教學	設計啟發	數位啟發
階段一 (Module1)	CAD/CAM 應用 整體觀念介紹	Maya 入門/ 自由形體操作	1.創作更自由的曲線形體空間設計，設計動態的流線形體。	1.利用動態模擬或演算法數位過程衍生設計概念形體。
階段二 (Module2)	骨架製作的觀念 與經驗	骨架製作步驟/ laser cutter	1.了解設計的結構觀念及材料的應用。 2.認識數位設計的新構築方式。	1.透過數位操作過程，製作形體複雜的結構設計，並清楚理解精準組裝程序。
階段三 (Module3)	表皮製作的觀念 與經驗	折板製作步驟/ laser cutter/RP	1.設計多元層次空間。 2.激發對於數位時代建築表皮設計的新想法，如可動結構表皮及新表皮材料製作等。 3.設計細部接頭及認識新構築觀念。	1.利用數位工具輔助製作形體自由卻可標準化製造的表皮設計。 2.透過數位操作過程，瞭解數位表皮設計製作，如數位控制的智慧互動表皮等。
階段四 (Module4)	3D scanner 技術與應用	3D scanner 操作 步驟	1.利用真實模型與虛擬模型來真實體驗及虛擬模擬設計的空間感。	1.透過實體數位化過程，可以快速及精準取得實體模型的數位資料。

## 5.2 CAD/CAM 設計與建造過程 (CAD/CAM design and construction process)

前述分析「CAD/CAM 新媒材基礎課程」的三次課程教學與結果，主要著重於此課程授課(lecture)部分的「CAD/CAM 設計過程」教學，學生學習如何應用 CAD/CAM 新媒材於設計過程而沒有建造過程的訓練。為了讓學生可以完整學習「CAD/CAM 設計與建造過程」，此課程於第三次教學過程中(2006.12~2007.2)額外開設工作室課程(studio)，訓練學生利用 CAD/CAM 新媒材來設計與建造一個實際的設計案，同時也希望從過程中驗證教學中的方法步驟是否可以在真實案例中被執行。對於設計與建造過程的訓練內容依據本研究第三章的過程分析與第四章對部分步驟的技術研究結果來執行。此工作室的過程訓練分成兩階段：1.前四週操作設計過程及 2.後四週進行建造過程，由三位受過前面「CAD/CAM 設計過程」訓練的學生組團來共同操作。以下為 CAD/CAM 設計與建造過程的訓練時程：



	設計與建造過程	主要工作
前四週 1215~0115	建築計畫	數位量體
	概念發展	形體生成
	設計發展	3D 主要模型 & CAM 實體模型製作
	細部設計與施工圖	細部施工圖
後四週 0115~0213	數位建構	單元生產(單元施工圖)
		單元生產(單元加工) & 實物模型製作
		預組裝
		現場組裝

### 建築計畫

此設計案的基地為台北市立美術館 3C 展覽室，一開始於 3D 軟體 Maya 中建置數位基地模型，再以數位量體模型計畫空間量及分析配置關係(圖 5-57)。

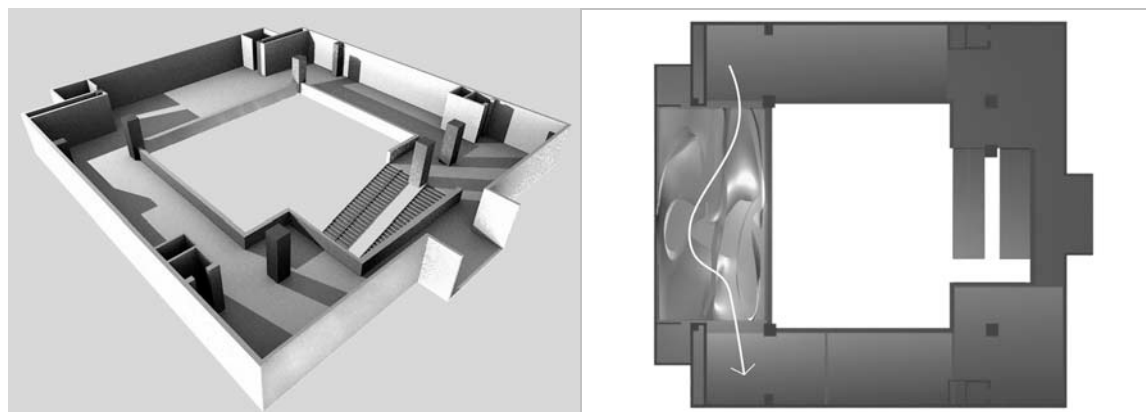


圖 5-57 數位基地模型及空間配置關係

### 概念發展

此設計概念取自中國書法藝術，主題為「狂草」，希望將狂草書法的筆畫發展成設計形體，創作一個具有東方藝術及狂草氣韻的建築空間裝置設計。概念發展過程中先分析唐代懷素狂草的書寫筆畫(圖 5-58)，再運用數位工具來操作形體生成。形體生成的操作方式藉由 3D 軟體動態模擬來衍生設計形體，利用 Maya 軟體中的動態力學模擬書寫狂草時具有力道行為，在三度空間中進行筆劃書寫過程。經過動態模擬的演變過程，將 2D 的筆畫衍生成 3D 的空間單元(圖 5-69, 5-60)。從動態演變過程中所決定的定案形體，如圖 5-61。此形體在平面，立面與透視空間中都呈現出書法的氣勢與神韻。



圖 5-58 書法筆劃分析

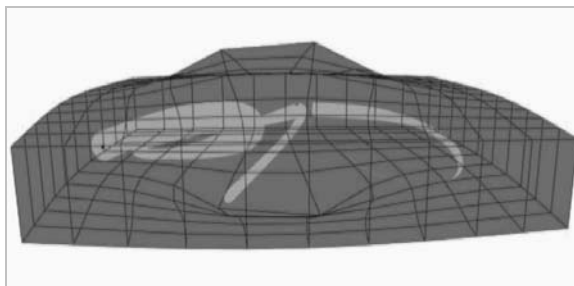


圖 5-59 Maya 動態力學模擬書法力道

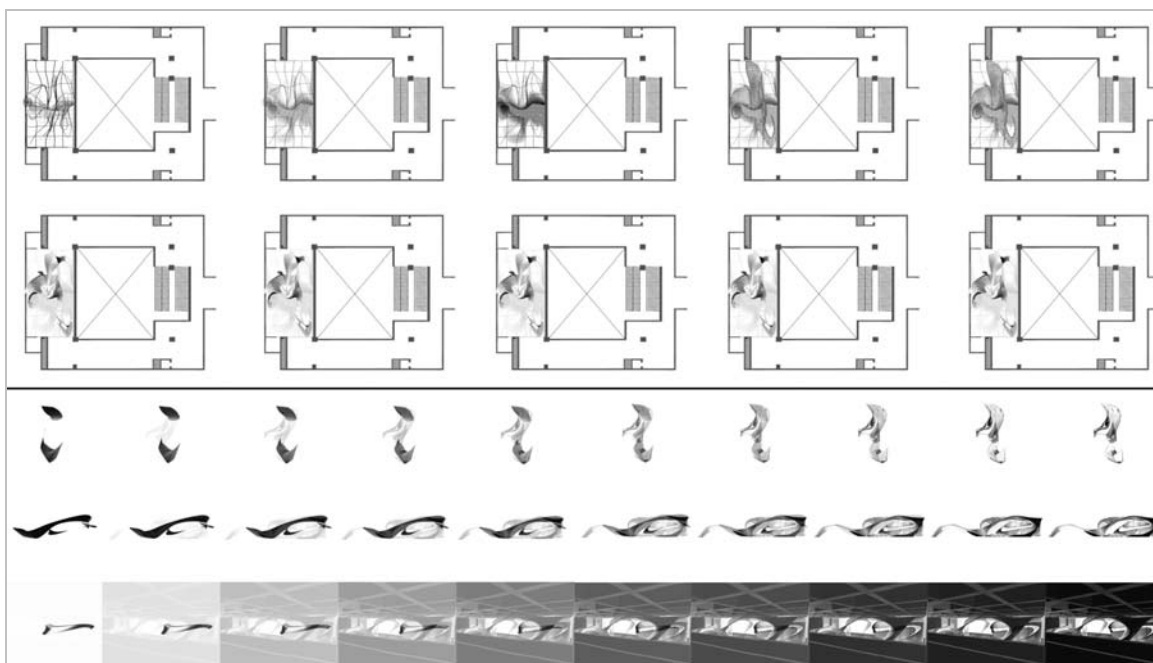


圖 5-60 動態模擬:a.三度空間書寫書法過程 b. 2D 筆劃衍生成 3D 空間

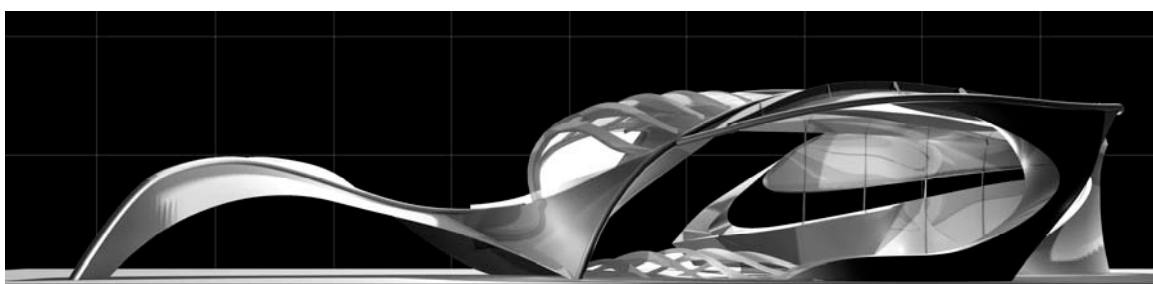


圖 5-61 定案形體

### 設計發展

此過程主要於虛擬及實體環境中操作 3D 主要模型及 CAM 實體模型製作，以下分別敘述：

#### 3D 主要模型

設計主要形體定案後，將曲面順化再進行骨架與表皮分割。此設計案的骨架分成兩種形式，垂直水平分割的扁鐵骨架系統及自由彎曲造型的彎管骨架系統（圖 5-62）。扁鐵骨架的分割系統主要應用在設計主體，而彎管骨架則作為形體邊緣的自由彎曲結構，讓結構形體呈現更順暢的流線型。每根扁骨架於此設計中的斷面並不是單一矩形而是多變化的形體，此斷

面設計在規則的垂直水平骨架系統中表現出另一種自由流線的空間層次(圖 5-63)。另外對於表皮設計則以折板形式為主，以金屬及壓克力做為折板材料(圖 5-64)。當骨架與表皮設計定案後，即成為 3D 主要模型(圖 5-65)。

#### CAM 實體模型製作

在骨架設計過程中，應用雷射切割及 RP 製作 CAM 實體模型來測試扁鐵骨架系統的結構性及彎管骨架系統的空間關係。為了檢視扁鐵骨架設計的結構性，將設計中具有座椅功能的「一撇」筆劃形體的骨架系統製作比例 1:8 骨架模型來測試結構功能。由於此形體變化大且非一般處於穩定狀態的形體，在 3D 模型中無法判定所設計的骨架系統是否足以支撐形體而不傾倒，因此利用雷射切割製作骨架實體模型來檢視。製作過程中，應用骨架製作與凹槽製作的自動化程式製作雷射切割所需的 2D 圖面。當骨架組裝完成後，發現座椅骨架模型因無法支撐形體上部份的重量而導致整座形體不穩定傾倒及扭曲(圖 5-66)。經由檢視再回到 3D 模型調整及增加骨架系統的密度，接著又重新製作調整過的骨架模型，此時形體已經具有合理及穩定的結構。另外，由於彎管骨架系統處於三度空間中變化彎曲，在 3D 模型中較難掌握每根彎管之間與整體的空間關係，因此藉由 RP 技術直接輸出彎管骨架的實體模型來檢視(圖 5-67)。

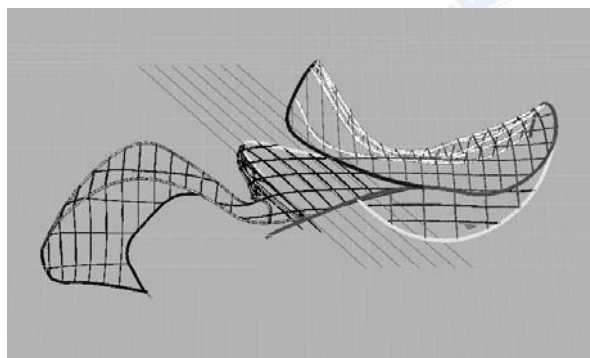


圖 5-62 垂直水平扁鐵骨架系統與彎管骨架系統設計

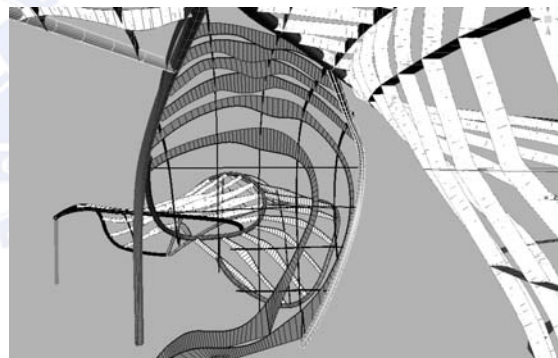


圖 5-62 多變化斷面的扁鐵骨架設計

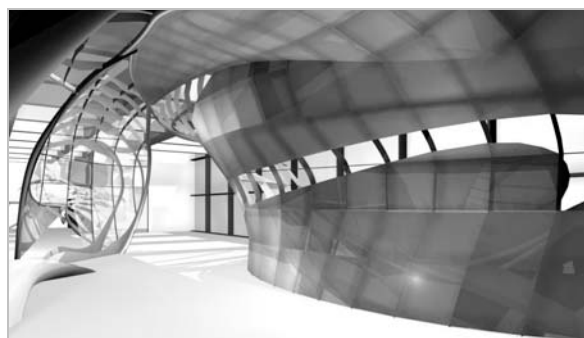


圖 5-64 表皮折板設計

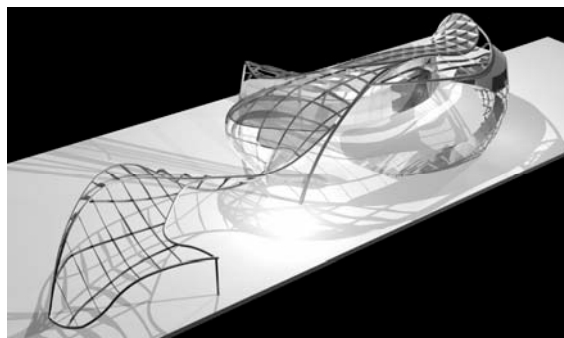


圖 5-65 3D 主要模型

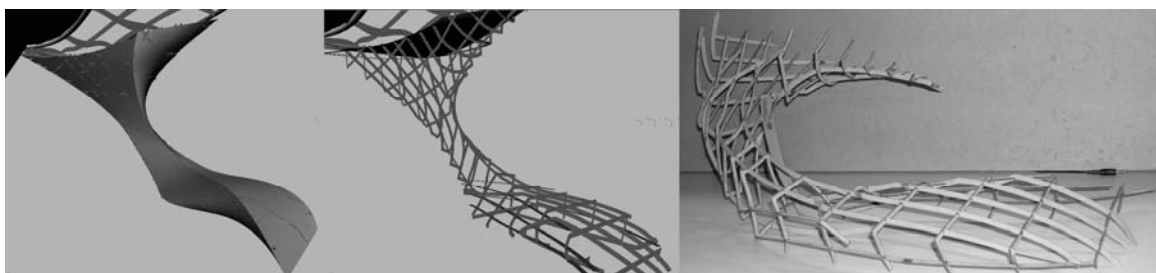


圖 5-66 CAM 實體模型:雷射切割製作座椅骨架模型

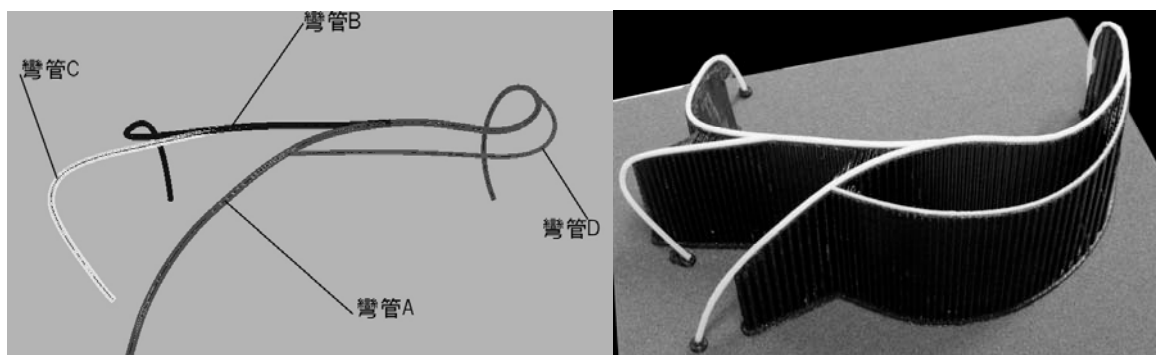


圖 5-67 CAM 實體模型:RP 製作彎管骨架模型

### 細部設計與施工圖

此設計案中僅有壓克力折板與扁鐵骨架接合必須使用固定抓具。由於時間因素的限制，決定直接使用先前交大曾經在自由形體設計案中所設計的壓克力固定抓具。這個抓具主要由不銹鋼 CNC 洗床及雷射切割單元所製成。在設計中依據抓具的尺寸及可活動範圍來決定壓克力折板與骨架的間距及折板的大小(圖 5-68)。因為直接使用原有抓具因此省略了抓具細部設計與開模製作的過程。

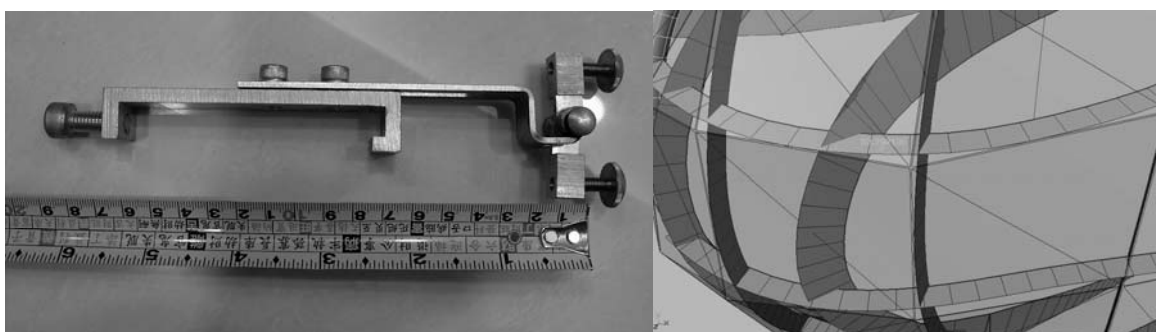


圖 5-68 細部抓具與調整折板骨架距離

### 數位建構

在數位建構階段中，先從已具有骨架與表皮設計的 3D 主要模型中，拆解骨架單元與表皮單元製作單元生產所需的單元施工圖，再到工廠進行單元加工。為了先檢視施工程序，於單元加工的同時也在工作室製作比例 1:8 的實物模型。接著將模型與單元組裝編號圖交由施作廠商進行工廠預組裝，最後再將組裝形體拆解運送到現場組裝。以下分別討論數位建構過程的這五個重要工作：



單元施工圖

首先製作放樣點施工圖(圖 5-69)，由於設計形體自由，因此放樣方式以雷射切割製作自由曲形的底座及決定重要固定點的位置。接著就繪製骨架施工圖及表皮施工圖。對於骨架系統中的垂直水平扁鐵骨架單元應用自動化程式輔助製作供雷射切割用的 2D 骨架單元圖面(圖 5-70)。而自由彎曲的彎管骨架單元製作方式於本研究的步驟分析及課程中並無教學，但基於案例分析國外案例及文獻中國內案例的經驗來了解製作程序。主要先將自由曲線拆解成許多近似曲線的 2D 弧線，操作步驟於 Maya 中利用三點建弧形指令來建立，在製作每一條弧線時必須控制弧線半徑大於 100cm 以利彎管加工(圖 5-71a)。為了讓每段弧型彎管施作時以正確的彎曲角度相互連接，設計上利用雷射切割的扁鐵骨架作為定位依據。這些空間中的 2D 弧線製作完後，展開於平面並匯入 AutoCAD 標註成為提供給工廠加工的彎管骨架施工圖(圖 5-71b)。表皮折板設計也應用 2D 展開自動化程式輔助製作折板表皮施工圖(圖 5-72)。

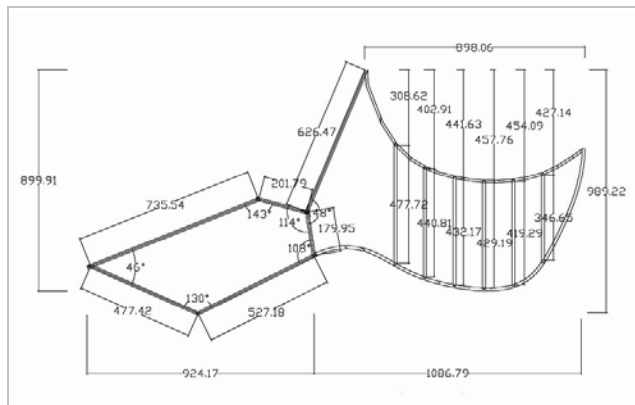


圖 5-69 放樣點施工圖

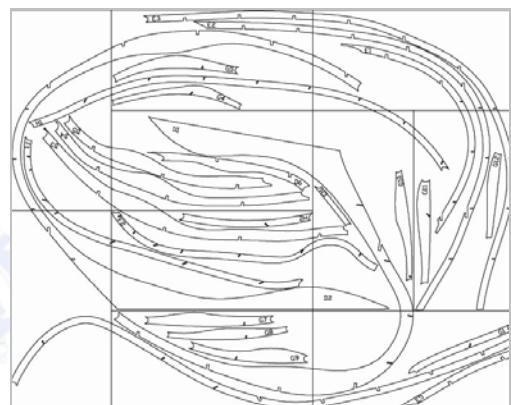


圖 5-70 雷射切割扁鐵骨架施工圖

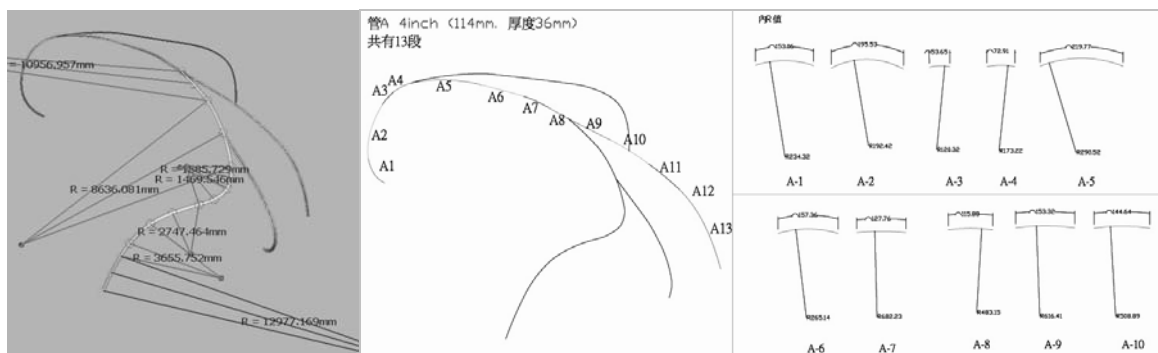


圖 5-71a.彎管骨架單元以近似 2D 弧線製作 b.彎管骨架施工圖

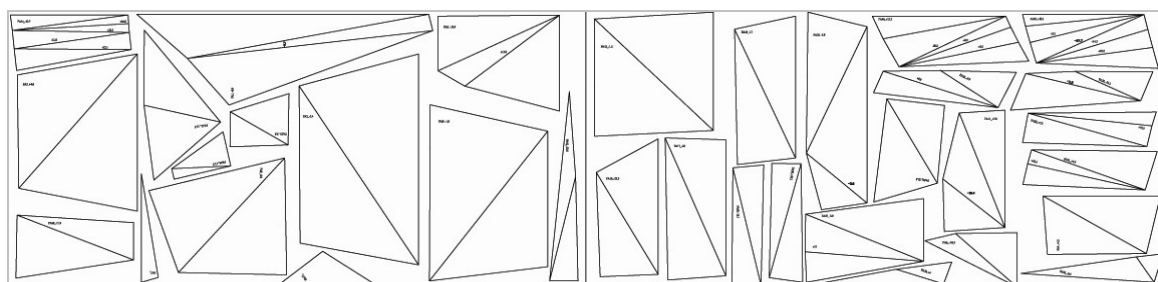


圖 5-72 雷射切割折板表皮施工圖

### 單元加工

單元施工圖製作完交由加工廠進行單元加工，所發包的工廠分別為金屬雷射切割加工廠，壓克力雷射切割加工廠及金屬彎管加工廠。扁鐵骨架單元由 8mm 厚的鋼板雷射切割，金屬折板單元則由 2mm 厚的鋼板切割後再由數控折床機器折出來角(圖 5-73)。壓克力折板單元的加工過程先由雷射切割輸出單元後再利用熱烤折出來角(圖 5-74)。對於彎管骨架單元的製作由滾彎機器將設計中兩種不同口徑的金屬圓管(3 英吋, 4 英吋)，依照單元施工圖每一段 2D 弧形的弧長及半徑來彎曲。彎管施作時利用管中套管來增加金屬圓管強度以防止進行滾彎時產生變形。每一根 2D 彎管單元由機器滾彎後再經由測量及校正來維持精準度(圖 5-75)。另外扁鐵骨架單元因為雷射切割版面限制以致有些單元必須被切割輸出，所以對於每根單元在接合切割的部份時，為了避免誤差產生也必須再依照骨架單元尺寸圖作校正(圖 5-76)。



圖 5-73 雷射切割扁鐵骨架單元與折板表皮單元



圖 5-74 雷射切割壓克力折板表皮單元



圖 5-75 滾彎機器製作彎管單元

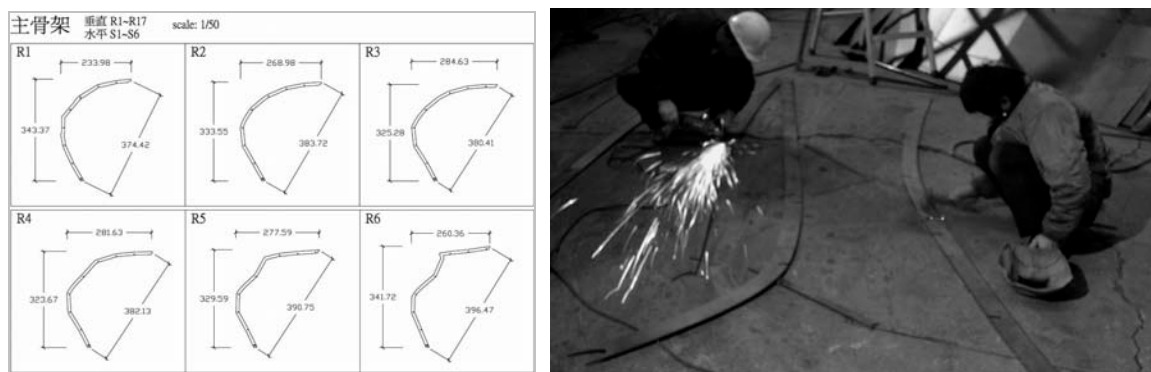


圖 5-76 被切割的扁鐵骨架單元接合時需依照單元尺寸圖來校正

### 實物模型製作

另一方面，為了測試施工組裝程序，在工廠進行單元加工的同時也於工作室製作比例 1:8 的實物模型。製作過程依原有單元施工圖製作比例 1:8 圖面後，利用雷射切割輸出扁鐵骨架單元與金屬折板單元，而彎管骨架的每一段 2D 弧形單元則直接從 3D 模型單元直接由 RP 輸出(圖 5-77)。單元輸出後，依照骨架與表皮編號圖來進行組裝(圖 5-78)。在單元組裝程序中，先組裝主結構的扁鐵骨架及彎管骨架，每一段彎管 2D 弧形單元依所接觸的扁鐵骨架來調整旋轉角度，接合成完整的彎管骨架，骨架組裝完後接著將折板依照編號組裝，最後完成的模型如圖 5-79。組裝過程中遇到最困難的就是調整每段彎管旋轉角度，如果角度錯誤就無法與下一段彎管接合，從製作經驗中發現與每一段彎管所接觸的雷射切割扁鐵骨架必須多於三根才會較容易校正彎管角度。從模型製作過程中，讓學生可以有機會了解真正的施工程序並提早調整及解決了一些單元誤差與組裝問題。同時此實物模型每一單元都清楚標註編號以供施作時作為參考，主要是希望在工廠組裝時，除了 2D 施工圖面外也可以藉助此三度空間實物模型的輔助，讓施作廠商更容易理解完整的設計形體與單元組裝施工程序。



圖 5-77 實物模型製作過程: 雷射切割及 RP 輸出骨架單元

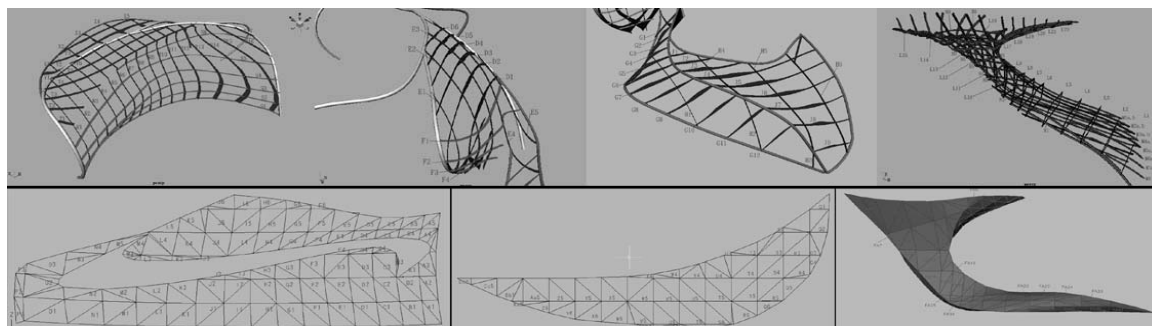


圖 5-78 骨架與表皮編號圖





圖 5-79 組裝完成的 1:8 實物模型

### 預組裝

當單元生產與實物模型製作完後，即開始在鐵工廠進行預組裝。首先透過模型及圖面與製作廠商討論組裝程序及最後搬運到現場時所需拆解的方式。組裝過程中施作人員同時參考骨架表皮編號圖面及模型來進行組裝(圖 5-80)。施工程序先組裝主結構體的扁鐵骨架與彎管骨架，最後再將每一片折板依序固定於骨架上，整個設計形體於一週時間工廠預組裝完成(圖 5-81)。由於預組裝過程中具有詳細的組裝編號圖面及 3D 模型的輔助，加上富有專業經驗的顧問協助現場協調，施作問題大大減少，因此設計團隊不用每天到組裝現場解決問題，只有在幾個關鍵時間到現場檢視進度及解決少數與設計相關問題。真正施作過程中對於每段彎管單元的接合也遇到與製作模型時一樣的狀況，必須花較多時間調整旋轉角度，但實物模型在此施工過程扮演重要角色，施作人員先參考模型中每一段具編號的彎管單元組裝角度，再進行調整焊接，加速了組裝時間。組裝完的形體依據可搬運到現場的大小單元進行拆解，而每件拆解單元必須在接合焊接處編號以方便重新組裝。

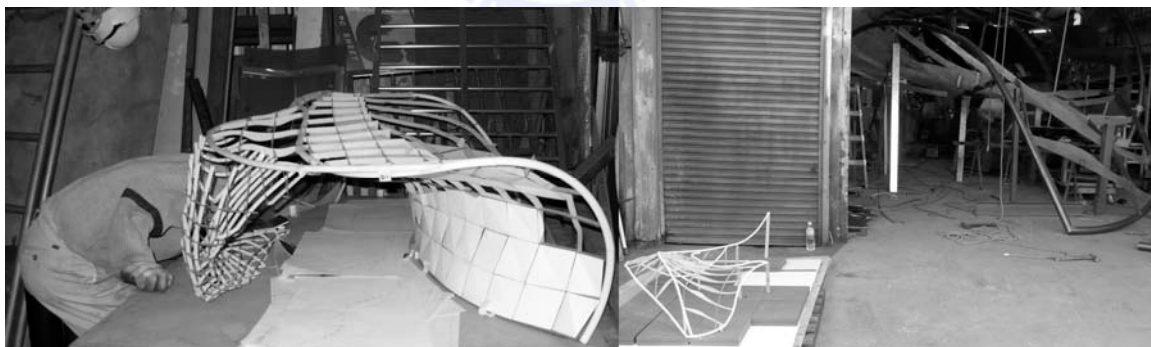


圖 5-80 預組裝: 按照編號圖面及參考模型進行組裝



圖 5-81 預組裝



### 現場組裝

拆解的主體單元運送至現場後，進行現場組裝(圖 5-82)。現場組裝前先依放樣點施工圖現場放樣，同時也利用單元生產時所製作的雷射切割自由曲形底座作為放樣參考依據。決定放樣點後開始依編號將拆解單元重新銲接組裝。由於主要結構體已在工廠預組裝，清楚施工程序，而且局部金屬折板組裝的誤差問題已解決，因此現場組裝非常順利。金屬骨架與表皮單元組裝完後，進行表面補土及油漆工程，最後才將壓克力折板依照折板編號圖以抓具固定於扁鐵骨架上(圖 5-83)。現場組裝過程中壓克力折板安裝需調整抓具來校正折板正確位置，另外座椅形體的折板也因未在工廠預組裝而需解決折板組裝時誤差的校正，因此折板組裝耗費較多的施作時間。但從此經驗中得知折板組裝時所產生的誤差來自於骨架組裝時凹槽留出的 1mm 容許誤差所導致的累積誤差。為期 9 天的現場組裝過程，最後順利將這件「狂草」自由形體設計裝置組裝完成(圖 5-84)。

從上述對於自由形體設計案的設計與建造過程各步驟分析討論，可知此設計案於設計過程的訓練從早期概念發展到形體定案都是數位操作。過程中以課程所教學的骨架與表皮步驟來製作設計發展過程的 CAM 實體模型及數位建構過程的單元施工圖，足以證實這些步驟可執行於真實設計案例。另一方面，整個過程中數位建構過程比數位設計過程複雜，牽涉到與施作廠商之間的溝通。在台灣的製作廠商對此類自由形體建造技術並不十分熟悉，需要設計者給予施工程序的建議及協助。透過此設計與建造過程的訓練，讓學生了解建造過程將會面臨的實際問題，並且從經驗中學習解決方式。

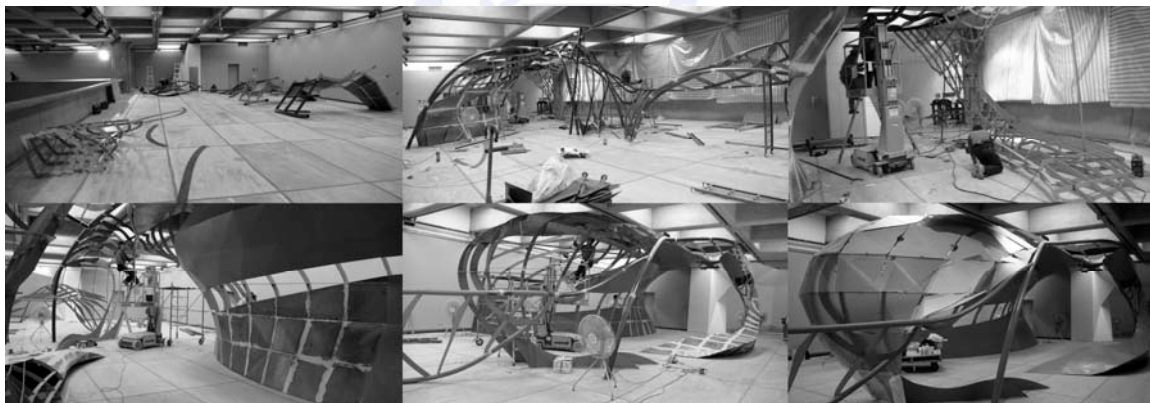


圖 5-82 現場組裝：金屬骨架與折板組裝



圖 5-83 現場組裝：壓克力折板安裝



圖 5-84 組裝完成的「狂草」自由形體裝置設計

### CAD/CAM 基礎課程工作室課程(studio)先期教學綱要建議

目前為止此課程對於「CAD/CAM 設計與建造過程」訓練只有第一次教學案例，未來希望可以基於此次的教學訓練過程進行調整，繼續發展成為更完整的訓練課程。雖然只是第一次的教學應用，本研究將此訓練過程發展成具有兩個階段(module)的工作室訓練內容。以下分別以此兩階段：1.數位設計階段及 2.數位建造階段，來討論階段中重要步驟的訓練要點及對操作過程的啟發。

*數位設計階段。*從一開始建築計畫過程訓練學生利用數位工具掌控設計的空間量，從數位資訊中控制設計預算。概念發展過程的數位操作形體生成方式可以訓練學生對高階指令如動態模擬的應用，同時啟發學生有創意的運用數位運算方式衍生設計形體。設計發展過程則訓練學生製作骨架與表皮的 3D 數位模型及 CAM 實體模型，以作為設計結構與形體之檢視。在製作過程中，啟發學生對於自由形體新構築的觀念及釐清建造時的施工程序。細部設計與施工圖過程，主要訓練特殊細部接頭的設計，過程中學生有機會設計單一形式但卻可變動的接頭，讓骨架與表皮設計具有更多變化。

*數位建造階段。*數位建構過程中的單元施工圖步驟，訓練學生精確製作能與施作廠商溝通的骨架與表皮單元的圖面，從溝通過程中讓學生有機會思考單元製作程序。而單元加工進行時讓學生觀摩不同加工廠，了解不同材料單元的加工程序，希望促進學生對所繪製的單元施工圖有更深入的理解。製作實物模型(mock-up)步驟，可以增進設計者及施作廠商對於單元組裝施工程序的理解，另外也可以讓設計者提早發現組裝問題及單元錯誤，於建造前進行調整。對於預組裝步驟，一般只在較小型的設計案中執行，大型自由形體建築只做局部 1:1 的實物模型。工廠預組裝的觀摩，可讓學生更進一步瞭解真實比例與真實材料製作時，會因材料特性所引起的問題，其中以組裝誤差最為常見，從中累積經驗並思考解決方式。最後組裝步驟，則讓學生了解如能在預組裝將問題解決，組裝過程將更有效的控制施作時間。

綜合上述討論，本論文研究提出下列兩階段教學為例的 CAD/CAM 基礎課程工作室課程(studio)先期教學綱要建議：

階段 (Module)	設計與建造過程	步驟	訓練要點 & 啟發
數位設計	建築計畫	數位量體	1.訓練掌控空間量與設計預算。
	概念發展	形體生成	1.訓練高階數位工具之應用，如動態模擬，演算法等。 2.啟發有創意的運用數位運算方式衍生設計形體。
	設計發展	3D 主要模型 CAM 實體模型	1.訓練骨架與表皮製作過程。 2.訓練應用 CAD/CAM 技術於實體模型製作。 3.啟發對於自由形體新構築的觀念及建造施工程序的概念。
	細部設計 與施工圖	細部設計	1.訓練骨架表皮之接頭設計。 2.啟發設計單一型式卻可多變的接頭細部，創造可變動的自由形體設計。
數位建造	數位建構	單元施工圖	1.訓練繪製精準及有效的骨架與表皮單元施工圖，並嘗試與施作廠商溝通。 2.啟發思考單元的製作程序。
		單元加工	1.訓練學生多了解不同設計單元的加工程序，可以促進對繪製單元施工圖的理解與意義。
		實物模型 (mock-up)	1.訓練對於施工程序的掌控及提早解決施作將會面臨的組裝問題。 2.啟發學生找出更適當的單元設計及組裝程序。
		預組裝 (小型)	1.訓練對於組裝誤差的經驗累積及思考解決方式。 2.啟發學生對於真實材料特性的理解。
		現場組裝	1.訓練學生對於組裝前必須有嚴謹的施作程序觀念，才能有效掌控現場組裝的施作時間。