

# 國立交通大學

## 土木工程學系碩士班

碩士論文

應用虛擬實境技術於土木工程材料實驗示範

Application of Virtual Reality in the Demonstration of

Civil Engineering Materials Laboratory

研究生：周宏運

指導教授：林昌佑 博士

中華民國九十九年十一月

應用虛擬實境技術於土木工程材料實驗示範

Application of Virtual Reality in the Demonstration of  
Civil Engineering Materials Laboratory

研究生：周宏運

Student : Hung-Yun Chou

指導教授：林昌佑 博士

Advisor : Dr. Chang-Yu Lin



A Thesis

Submitted to Department of Civil Engineering  
College of Engineering

National Chiao Tung University

In Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of

Master of Science

In

Civil Engineering

November 2010

HsinChu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十九年十一月

# 應用虛擬實境技術於土木工程材料實驗示範

研究生：周宏運

指導教授：林昌佑

國立交通大學 土木工程學系碩士班

## 摘要

工程材料實驗，是土木工程領域的基礎。透過實驗的操作與驗證，能讓學生了解各項材料的物理及化學特性、力學性質，以至於工程上的應用。

然而，由於學生經驗不足、實驗細節繁雜及數據零碎，很難於有限的時間內，在材料實驗室達到一定的學習目標與成果。本研究透過網路教學方式，以虛擬實境(Virtual Reality)的技術來呈現交通大學土木材料實驗室，開發一互動學習系統，建立良好的情境學習環境，提升學生在土木工程材料實驗課程的學習成效。

本研究應用虛擬實境技術，針對土木工程材料實驗課程設計實驗示範教學系統。其中實驗步驟導覽功能以漸進的教學方式帶領學生學習課程內容；實驗操作示範功能則是讓學生能夠親自參與整個實驗操作過程，並融入實驗情境中來學習整個實驗流程，藉此累積實驗經驗、熟記實驗細節。

關鍵字：網路教學、情境學習、虛擬實境、Virtual Reality。

# **Application of Virtual Reality in the Demonstration of Civil Engineering Materials Laboratory**

Student: Hung-Yun Chou

Adviser: Dr. Chang-You Lin

Institute of Civil Engineering  
National Chiao Tung University

## **Abstract**

The experimental course of civil engineering materials is one of the basic courses in department of civil engineering. Students learn the physical properties, chemical properties, mechanical properties, and the application of the civil engineering of each civil engineering materials by the operation and verification of the civil engineering materials laboratory.

In the past, it is so difficult to make up the learning objective in the short time. Not only students have no idea and experience on the civil engineering material laboratory, but also the complex details and trivial data are just like a lot of troubles. So, this study builds a situational web-based learning system on the method of virtual reality for the civil engineering materials laboratory. Students can interact with this VR System for help the effect of the civil engineering materials laboratory.

This study designed the demonstration of civil engineering materials laboratory teaching system by VR technology. This VR System combined by two functions. The “Introduction of Steps” function teaches the steps of the experiments. And students can operate the experiments on the “Demonstration of Operate” function. Students can accumulate experience and memorize details by personally participating in the experiments.

Keyword : Web-Based Learning 、 Situated Learning 、 Virtual Reality.

## 誌謝

感謝恩師 林昌佑老師在課業及生活上的辛勤指導與悉心教誨，在我為學與處事上多有啟迪；老師耐心指導論文研究方向和提供研究資訊，幫助我順利完成研究論文，師恩浩瀚，學生銘記在心。

同時，承蒙交通大學土木工程學系老師， 洪士林教授及 趙文成教授於口試期間提供寶貴的意見，使本文更臻完善，在此表達最由衷的謝意。

研究期間承蒙學長陳奕銘、沈秉廷的照顧與提攜；大潘潘、小潘潘、泡哥、小黃等同學的互相勉勵與支持；歷經分手困境仍不離不棄與我一同研究奮戰的戰友小恩恩；小祥祥、小震震等學弟在研生活上的陪伴；一起健身的好夥伴阿杜、華仔，謝謝你們幫我練出八大片腹肌。謝謝大家生活中的相伴，豐富我的研生活！

同時感謝媽媽及眾阿姨、舅舅，在我研究所求學期間的照顧及支持，讓我在學業上無後顧之憂，專心致力於論文的研究。

最後再次感激於交大所結識的師長及朋友們，衷心祝福你們萬事順利、平安。

# 目 錄

	頁次
中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iii
目 錄.....	iv
表目錄.....	vi
圖目錄.....	vii
<b>第一章 緒論</b> .....	<b>1</b>
1.1 研究動機與目的.....	1
1.2 研究流程.....	2
1.3 研究內容架構.....	3
<b>第二章文獻回顧</b> .....	<b>4</b>
2.1 情境式網路學習環境.....	4
2.1.1 情境學習理論發展.....	5
2.1.2 網路學習環境.....	6
2.2 虛擬實境.....	9
2.2.1 虛擬實境相關硬體配備.....	10
2.2.2 虛擬實境應用軟體.....	11
2.2.3 虛擬實境在土木工程之應用.....	13
<b>第三章 研究技術</b> .....	<b>16</b>
3.1 Virtools簡介.....	16
3.1.1 Virtools虛擬世界組成.....	16
3.1.2 Virtools設計介面.....	18
3.2 Virtools開發流程說明.....	21

3.3 Virtools應用案例.....	22
<b>第四章 系統建構.....</b>	<b>24</b>
4.1 系統架構說明.....	24
4.1.1 系統簡介.....	24
4.1.2 系統操作環境.....	26
4.1.3 實驗步驟導覽.....	27
4.1.4 實驗操作示範.....	28
4.2 教材製作及互動設定.....	30
4.2.1 實驗紀錄表格製作.....	30
4.2.2 實驗步驟導覽互動設定.....	31
4.2.3 實驗紀錄設定.....	32
4.2.4 實驗操作示範3D物件互動設定.....	34
4.3 網頁檔設定.....	36
<b>第五章 實例展示.....</b>	<b>37</b>
5.1 初始環境展示.....	37
5.2 實驗步驟導覽展示-以「水泥比重實驗」為例.....	38
5.2 實驗操作示範展示-以「細粒料比重、吸水率實驗」為例.....	40
<b>第六章 結論與建議.....</b>	<b>37</b>
6.1 結論.....	45
6.2 建議.....	46
<b>參考文獻.....</b>	<b>47</b>

## 表目錄

	頁次
表 2.1 虛擬實驗室較傳統實驗室的優勢比較表.....	49
表 3.1 物件調整鈕名稱功能對照表.....	50
表 3.2 網格顯示鈕名稱功能對照表.....	50
表 3.3 攝影機調整鈕名稱功能對照表.....	50
表 3.4 元件新增鈕功能對照表.....	51



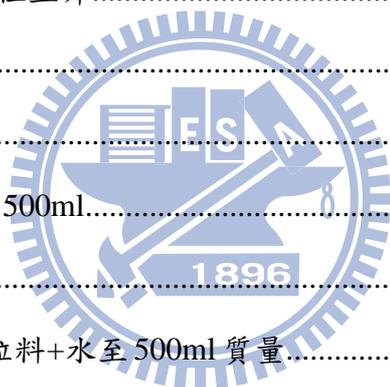
# 圖目錄

	頁次
圖 1.1 研究流程.....	52
圖 2.1 金愷達光電科技偏光式 3D 立體眼鏡.....	53
圖 2.2 NuVision 無線立體眼鏡.....	53
圖 2.3 3Dconnexion 3D 滑鼠.....	54
圖 2.4 VTi 訊息手套.....	54
圖 2.5 Visbox 大型沉浸設備.....	55
圖 2.6 虛擬土木材料教學實驗室-粒料篩分析試驗部分.....	55
圖 2.7 虛擬實驗室之抗壓試驗.....	56
圖 2.8 虛擬實境視覺模擬於結構破壞分析之應用.....	56
圖 2.9 SRC 基本架構之虛擬實境展示系統.....	57
圖 3.1 Virtools 使用者操作介面.....	58
圖 3.2 編輯區介面.....	58
圖 3.3 資料區 Building Blocks 行為模組.....	59
圖 3.4 資料流程設定區 階層管理介面.....	59
圖 3.5 資料流程設定區 流程圖編輯介面.....	60
圖 3.6 Virtools 開發流程.....	60
圖 3.7 Poptronik 化學實驗教室-危機處理教學.....	61
圖 3.8 Science Kit Architectures.....	61
圖 3.9 Chemical.....	62
圖 4.1 實驗示範教學系統架構圖.....	63
圖 4.2 潘玠怡 粒料篩分析試驗.....	63
圖 4.3 潘天恩 混凝土抗壓實驗.....	64

圖 4.4	實驗目的、實驗參考標準、實驗步驟導覽及實驗操作示範.....	64
圖 4.5	實驗步驟導覽起始畫面.....	65
圖 4.6	混凝土配比設計實驗-步驟說明、表格查詢.....	65
圖 4.7	實驗操作示範初始畫面.....	66
圖 4.8	實驗操作示範架構圖.....	66
圖 4.9	步驟提示框-拿空鐵盤.....	67
圖 4.10	操作指令鈕-拿吹風機.....	67
圖 4.11	實驗紀錄鈕及實驗數據匯整表格.....	68
圖 4.12	制定實驗數據表格紋理.....	68
圖 4.13	制定實驗數據表格材質.....	69
圖 4.14	制定實驗數據表格 2D Frame.....	69
圖 4.15	實驗步驟 3D Transformations 模組 Look At.....	70
圖 4.16	實驗步驟 3D Transformations 模組 Move To.....	70
圖 4.17	實驗步驟 Logics 模組 Test.....	70
圖 4.18	實驗數據模擬運算流程.....	71
圖 4.19	實驗操作示範 操作指令鈕 Script 清單.....	71
圖 4.20	操作指令鈕 Text Display 模組設定.....	72
圖 4.21	操作指令鈕 PushButton 模組設定.....	72
圖 4.22	音效 Wave Play 模組設定.....	72
圖 4.23	物件階層 Set Parent 模組設定.....	73
圖 4.24	物件位置 Set Position 模組設定.....	73
圖 4.25	物件方向 Set Orientation 模組設定.....	73
圖 4.26	天秤開關點擊前互動效果設定.....	74
圖 4.27	天秤開關點擊後互動效果設定.....	74
圖 4.28	細粒料恆重運算設定.....	75

圖 4.29 天秤螢幕顯示設定.....	75
圖 4.30 網頁檔輸出設定.....	76
圖 4.31 虛擬實驗室起始畫面.....	76
圖 5.1 教學網站畫面.....	77
圖 5.2 虛擬材料實驗室外觀.....	77
圖 5.3 自動門開啟效果.....	78
圖 5.4 點選頂端控制鈕.....	78
圖 5.5 材料分類.....	79
圖 5.6 水泥比重實驗.....	79
圖 5.7 水泥比重實驗 起始畫面.....	80
圖 5.8 實驗步驟導覽 操作解說.....	80
圖 5.9 將煤油倒入比重瓶.....	81
圖 5.10 將比重瓶放入恆溫水槽.....	81
圖 5.11 以勺子將水泥倒入比重瓶中.....	82
圖 5.12 將比重瓶放入恆溫水槽中.....	82
圖 5.13 水泥比重實驗重點提示.....	83
圖 5.14 水泥性質說明.....	83
圖 5.15 實驗紀錄說明.....	84
圖 5.16 實驗紀錄表格及實驗數據呈現.....	84
圖 5.17 細粒料比重、吸水率實驗 起始畫面.....	85
圖 5.18 實驗操作示範 操作說明.....	85
圖 5.19 細粒料氣乾階段說明.....	86
圖 5.20 細粒料絕乾階段說明.....	86
圖 5.21 細粒料面乾內飽和階段說明.....	87
圖 5.22 秤重互動.....	87

圖 5.23 顯示面乾內飽和細粒料質量(含鐵盤).....	88
圖 5.24 調整視角找到空鐵盤.....	88
圖 5.25 細粒料倒入鐵盤.....	89
圖 5.26 系統提示不足 500g 細粒料(含鐵盤重).....	89
圖 5.27 系統提示整理、歸位.....	90
圖 5.28 量桶裝水中.....	90
圖 5.29 顯示比重瓶質量.....	91
圖 5.30 顯示水面已達 150ml.....	91
圖 5.31 系統提示倒細粒料.....	92
圖 5.32 倒入細粒料使瓶內水位上升.....	92
圖 5.33 顯示加水後達 500ml.....	93
圖 5.34 滾動比重瓶中.....	93
圖 5.35 系統提示需再加水至 500ml.....	94
圖 5.36 系統提示秤重.....	94
圖 5.37 顯示比重瓶+500g 細粒料+水至 500ml 質量.....	95
圖 5.38 實驗紀錄.....	95



# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景

隨著社會發展、時代變遷，工程材料的種類推陳出新，工程師在工程中選用最適當的材料除了根據專業的知識外，尚須依靠本身的經驗去判斷材料在不同用途及環境當中的性質差異，藉由不斷累積的觀察與實驗經驗充分了解各材料的優缺點及特性，以便在各種工程中設計出最適當的材料組合、配比。

工程材料實驗課程的目的就是如此，除了讓學生藉由工程材料實驗不斷累積各種實驗方法與材料特性等知識與操作經驗，也訓練其探究事實真理的精神與獨立思考的能力。

由表1.1可以看出虛擬實驗室較傳統實驗室的優勢所在。傳統實驗室受限於時間跟地點，學生較難在課堂之上將工程材料實驗的實驗細節及材料性質吸收消化，容易造成教學資源的浪費。為此本研究透過網路教學將虛擬實境應用到工程材料實驗，設計一套實驗教學系統，讓學生可以不受時間與地點的限制，在網路上自由學習。

## 1.2 研究動機與目的

國父 孫中山先生在「實業計畫」一書中，明確指出欲使中國實業長期

並穩定地發展定要普遍設置石工場、土敏土場、三合土場，用來研究開發水泥、粒料及混凝土等三項土木材料[1]。足見土木材料在社會發展歷史佔有不可或缺的地位。

身為土木工程學系的學生，甫接觸土木工程學科的第一件要事，便是去了解各工程材料的材料性質，並藉由親自操作工程材料實驗來吸收及驗證各材料的材料性質。透過實驗的操作與驗證，能讓學生親身體驗各項材料的物理及化學特性、力學性質，並探究各實驗方法的邏輯觀念。

然而，工程材料實驗是一項重視經驗累積的課程，目前國內大專院校的工程材料實驗開設在大學一年級，每週有三小時的上課時間，如此有限的授課時數對於多半是普通高中出身的大學生而言顯然是不足的，學生在缺乏實驗操作經驗的情形下，常常會忽略實驗步驟細節而導致實驗數據誤差過大，有時學生為了交差了事去捏造數據，忽略了實驗最重要的精神不在於求得標準解答，而是藉由實驗過程去探究事實真相、了解實驗失敗的原因，這才是學習的根本。

為了加強學生的實驗知識和專業技能，本研究以虛擬實境開發軟體 Virtools 來設計一套實驗示範教學系統，應用於土木工程材料實驗課程。期望能利用現代電腦處理 3D 圖像的高效能配合網路普及所帶來的便捷性，讓學生在進入實驗室之前能夠隨時使用虛擬實驗室進行網路學習，藉此提高

學生在土木工程材料實驗課程的學習效果。

### 1.3 研究流程

本研究目的是以虛擬實境建立土木工程材料實驗的互動教學內容，研究流程(圖 1.1)如下：

#### 1. 資料蒐集整理：

本研究是針對土木工程材料實驗來作教學應用設計，教學內容參考交通大學趙文成教授所編製的影音教學光碟、講義，同時也參考工程材料的相關教材來作為教學內容及實驗數據的設計；另一方面參考了虛擬實境的相關文獻與開發軟體 Virtools 的應用書籍，來加強虛擬實境的相關技術。

#### 2. 虛擬材料實驗室更新：

針對交通大學土木工程所潘玠怡及潘天恩共同建立的交通大學虛擬材料實驗室進行物件的更新、相關的腳本架構重整，便於後續的實驗步驟教學系統設計開發。

#### 3. 教學內容規劃：

針對土木工程材料實習的教學內容與虛擬實境的應用功能，來設計整個虛擬材料實驗室的教學內容架構、目標；並規劃實驗操作互動功能。

#### 4. 教學系統實作：

實作實驗示範教學系統，提供包含水泥、粒料、混凝土等三項材料的各項實驗之實驗目的、實驗參考標準、實驗步驟、實驗數據模擬之教學內容及實驗操作示範互動功能。

## 5. 論文撰寫：

整理本研究的成果，進行論文撰寫。

### 1.4 研究內容架構

本論文共分五個章節。第一章緒論是在說明研究背景並敘述研究動機與目的，簡介研究流程及論文內容。第二章文獻回顧的內容為情境式網路學習環境之介紹，以及虛擬實境的相關文獻探討。第三章研究技術則介紹本研究中所使用的虛擬實境開發軟體 Virtools 的相關功能及特性。第四章系統建構說明實驗示範教學系統的設計規劃與實作過程。第五章實例展示則以使用者角度進入虛擬材料實驗室，依序展示出實驗示範教學系統的實驗步驟導覽及實驗操作示範等應用。第六章結論與建議。

## 第二章 文獻回顧

### 2.1 情境式網路學習環境

#### 2.1.1 情境學習理論發展

心理學家 Neisser 在“Cognition and reality: Principles and implications of cognitive psychology”一書中提到技能與知識的學習都是從認知期(Cognitive Period)開始[2]，學生藉由老師來說明與示範而瞭解技能的操作方式與知識的應用。然而，學生本身並不必具備相關的認知能力，包含較為精進的邏輯思考能力與陳述性知識，往往會因為教導者在描述技術與知識時，太過於抽象籠統而難以吸收。

而後，Brown、Collins 以及 Duguid 等三人便在“Situated Cognition and the Culture of Learning”一文首次提到情境學習 (Situated Learning) 的概念。他們認為學生應在真實的環境裡學習知識，藉由與真實情境間的互動以建構其知識與技能；並在社會的互動過程中，逐步地瞭解知識的意涵，並將其快速吸收與應用[3]。以此激發學習者的興趣與動機，將抽象的知識實際應用到周遭的環境上，以解決問題與滿足其需求。

正式提出的情境式學習理論的是 Lave 與 Wenger 兩位人類學家[4]。兩位學者藉由觀察人們平時的工作情況或是其日常生活行為，發現人們日常生活的認知活動 (Everyday Cognition) 常會與當時的生活情境相關。當人們

遇到困難時，會不斷的累積其失敗的經驗，直到解決問題並建立自己的經驗法則，在往後遇到相同的問題時便能迎刃而解。

McLellan認為情境學習中所指的情境為[5]：1.真實的工作環境。2.高度擬真、高度虛擬的工作環境。3.錨式情境脈絡(Anchoring Context)。其認為在上述環境中學習的學生可以獲得更好的知識與技術之培養。Winn則表示要達到情境教學目標主要有三種教學設計方法[6]：1.設計為學徒制教學。2.提供近似於真實的學習經驗，以實際操作的方式進行教學。3.直接規劃設計於真實世界中學習。

主張情境學習的學者口徑一同的認為知識如同工具，是學生與人文社會、自然環境互動所衍生的產物，其本質上受到文化脈絡與自然法則的影響。所以學習必須是學習者與生活情境交互作用下的結果，不僅僅只是課堂上抽象的講授，令知識跟生活脈絡脫節。他們所關心的是學生及其本身所處的學習環境之互動歷程，並將教學重點著墨在如何提供及營造一處可供學生自動自發挖掘知識的學習環境。因此，學生應置身於技術與知識的實習，並於富含學習理念與行為的情境中學習，才能達成預設的學習目標。

### 2.1.2 網路學習環境

隨著高速網路的快速發展，全球資訊網(WWW)在科學教育所扮演的角色可謂是舉足輕重。學生可以透過WWW所構築的教學環境自主的收集資料

並瀏覽網路上無窮無盡的教學資源，以超連結方式建構的網狀知識結構，能有效的協助學生歸納並將知識連結整合[7]。透過超媒體非線性的資料搜尋及互動式的操作介面可以引發學生較高層次的思考技能(Higher Order Thinking Skills)，使網路學習成為自主的學習環境[8]。吳明隆認為網路學習環境建立了新的溝通模式與資源分享的學習情境，並含有下列幾項特質[9]：

#### 1. 全球多元學習環境：

WWW是具有分散式、超媒體、跨平台、即時互動等特性的資訊系統，可以突破時空的障礙，使得網路學習情境更加豐富多元。

#### 2. 數位化多媒體：

結合聲音、文字、動畫、影像、圖形等數位資料，透過高速網路的傳遞與使各項教育資源更易於製作、儲存、整合與學習，大大提升了網路教育資源的可用性。

#### 3. 超媒體的特色：

以超連結(Hyperlink)方式將視訊、聲音、圖案等教學內容快速鍵結在一起。以動態的連結關係讓學生根據他的實際需求來做跳躍式、反覆式或非線性式的搜尋，以截取其所需的教學資訊。

#### 4. 兼顧同步與非同步互動：

網路學習情境應可以讓身處於不同時間地點的學生，隨時隨地的進行

同步與非同步的學習互動。

#### 5. 匿名式的多元溝通：

學生以匿名、代號遨遊於網路學習情境時，常能引發潛在一面的特質，勇於表達自我，激盪出更多的想像力與創造性。

#### 6. 即時性的資訊：

拜全球高速網路的普及化所賜，各種訊息都能在網路上以最新最快的樣貌呈現，如社群網站Youtube等，學生能透過這些即時的資訊更新來豐富自己的視野。

#### 7. 豐富的學習情境：

在網路學習情境中的資訊交流擁有即時性、寬廣性及多元性等特性，可以提供豐富的教學資源與功能，如遠距教學。

受到情境學習理論的影響，網路教學環境亦有了相同的教學模式。國立臺灣師範大學廖桂菁製作一套地球科學的情境式網路輔助教材[10]，在其研究的過程中，大多數參與線上非同步互動的學生皆認為情境式網路教學環境有助於同學間的情感交流，並能活絡班級的學習風氣。

近年來，蓬勃發展的網路教學環境亦開展出多種符合情境式教學環境所定義的教學系統。並以虛擬實境的教學應用最引人注目，在土木工程領域的教學應用更是不勝枚舉，於第2.2.3節虛擬實境在土木工程之應用中可

以略窺一二。

## 2.2 虛擬實境

虛擬實境(Virtual Reality)簡稱 VR 技術，是利用電腦建構一個虛擬三度空間，提供操作者視覺、聽覺、觸覺等感官模擬，透過虛擬實境設備讓使用者如同身歷其境一般，及時、沒有限制地與虛擬空間內的事物互動。

由機械工程領域的專家 Grigore Burdea 教授及 Philippe Coffet 教授兩人所共同撰寫的“Virtual Reality Technology”一書中，完整定義了虛擬實境系統須具備三項要素為想像力(Imagination)、互動性(Interaction)及沉浸度(Immersion) [11]，藉由此三項要素相輔相成來提升虛擬實境系統的工作效能。關於三項要素則分別說明如下：

### 1. 想像力(Imagination)：

工程師結合想像力與創意自行規範所建構的虛擬世界，凸顯出日常生活中不易觀察到的枝微末節，給予使用者前所未見的新鮮感，同時營造出如同電影故事中的神祕氛圍來激發使用者探索虛擬世界的欲望，藉此提升虛擬實境系統的使用效果。

### 2. 互動性(Interaction)：

虛擬實境系統強調人的主導作用，由使用者主動去探索、與虛擬事物

及時互動來達到身歷其境的感覺，一套良好的虛擬實境系統須能夠提供使用者即時的互動功能，可以令使用者在虛擬實境中的有積極參與感與認同感，藉由即時的刺激與鼓勵讓使用者得到前所未有的滿足與成就感。

### 3. 沉浸度(Immersion)：

唯有使用者深度浸淫在虛擬的環境中，才可以得到的最佳的使用成效。所以，完善的虛擬實境系統必須能夠避免外界的干擾影響，在系統中亦要多安排互動事件來滿足使用者的好奇心以提高其學習探索的求知慾望，使其能夠留連忘返於虛擬的世界當中，以此來達到最佳的學習效果與工作成效。

將虛擬實境技術運用於教育方面，往往能使學生感到與真實情境相接近之學習效果。在虛擬世界中學習，不僅可以有三度空間的立體感受，更可以與虛擬世界有高自由度的互動行為，例如使用者可以移動這個虛擬世界中的物件，自由走動來回瀏覽虛擬的世界。透過虛擬實境技術，以較低的開發及維護成本來營造出一個優良的情境教學環境，達到寓教於樂的學習成效。

#### 2.2.1 虛擬實境相關硬體配備

##### 1. 立體偏光眼鏡

透過不同方向的濾鏡將左右眼不同視角的影像遮蔽來達到立體效果(圖

2.1)，用來觀賞3D立體影像，。

## 2. 液晶鏡片無線眼鏡

透過電腦透過紅外線發設計與液晶無線眼鏡相連接，電腦將畫面輸出成不同視角的影像給左右兩眼，令人眼產生立體的視覺效果(圖2.2)。

## 3. 3D滑鼠：

推、拉、傾斜或轉動3D滑鼠，能對3D物體和環境進行同步平移、縮放和旋轉的操作，為虛擬實境主要的互動輸入設備之一(圖2.3)。

## 4. 訊息手套：

此種硬體配備最主要的是透過力回饋裝置捕捉使用者手掌和手指的運動情形，進而將訊息轉換成數位資訊傳送回去的一種虛擬實境輸入硬體(圖2.4)。

## 5. 大型沉浸設備：

一般指高分辨率的顯示器。藉由倍數不同的放映機達到高度準確性，而且利用高性能圖表群組供給能力，在每台放映機之後以一個描繪點，可以讓一群小團體的人同時檢查數量龐大且詳盡的資料訊息(圖 2.5)。

### 2.2.2 虛擬實境應用軟體

虛擬實境應用軟體的目的是讓使用者可以自由發揮創意，建立自己的虛擬實境世界，相關的應用軟體有以下：

## 1. Virtools

本論文研究即是使用互動開發軟體Virtools製作虛擬實驗室，利用虛擬實境互動展示實驗教學，搭配立體眼鏡讓使用者彷彿身處實驗室；此軟體可呈現虛擬空間並與使用者產生即時互動，有關Virtools的開發功能將於第三章做詳細的說明介紹。

## 2. Virtual Reality Studio

VR Reality Studio。是一套較低階的虛擬實境應用產品，但它仍然具有互動行為編輯的能力。在VR Studio中提供互動行為編輯能力的是Freescape Control Language，能提供使用者去描述複雜的虛擬互動行為。

## 3. Superscape VRT

由 Supercapex 公司所研發的 Superscape VRT 是一套專業級的虛擬實境應用軟體。特色是建立虛擬物件的資料庫與使用者的互動行為模組。它本身內建的函式功能非常強大且支援較多種虛擬實境的硬體輸出、輸入配備、可以提供較高的 3D 影像效果、即時的感官互動等等的功能。

## 4. Sense8 WorldToolkit

由 Sense8 公司所開發的 WorldToolKit 是一套高階的虛擬實境軟體。可用於 DOS、Windows 等系統。Sense8 WorldToolkit 可以支援許多虛擬實境硬體輸出、輸入配備，同時具備許多元件擴充功能。

### 2.2.3 虛擬實境在土木工程之應用

目前正處於資訊工程發展迅速的時代，許多應用虛擬實境技術的產品隨著電腦模擬速度的進步而大量地推出，虛擬實境工程師不斷累積設計經驗，讓虛擬實境的應用蓬勃發展。越來越多領域都要藉助虛擬實境的高度互動功效來達到節省時間、成本的目的，範圍包括醫學、軍事、工程、娛樂、教育……等，運用相當廣泛。

近年來，土木工程領域有越來越多的人投入在虛擬實境技術研究裡，並將其應用在課程教學、建築物監測、技術訓練、結構設計分析等不同功能上面，分別介紹如下：

#### 1. 教學系統模擬：

有別於以往傳統的教學方式，利用 3D 虛擬實境創造虛擬教室，不再受限於時間跟地點，利用虛擬教室讓學生自由探索與遨遊虛擬場景與其中的腳色、物件互動，增加學習興趣，以達到更有效的教學效果。

邱明祺[12]架設虛擬材料力學實驗室，提供虛擬材料力學實驗室中相關教學的主題說明，以虛擬實境提供 3D 圖形的展示介面，並超連結相關的教學網頁，能提供遠端使用者更便利的學習方式。

陳奕銘[13]利用材料力學與 VRML 技術結合，在虛擬教室中，教授各種教學資訊並以互動式對話窗呈現的複選題，極力營造沉浸式的虛擬學習

環境，藉此增加學生對於材料力學的好奇心與求知欲，加強學生跟虛擬教室的互動學習交流，達到真正教學目的。

潘玠怡[14]與潘天恩[15]透過 3ds Max 以交通大學土木工程學系材料實驗室為範本建立虛擬材料實驗室，並將虛擬材料實驗室匯入 Virtools 中開發篩分析實驗(圖 2.6)及混凝土柱抗壓實驗(圖 2.7)等工程材料實驗課程應用，結合工程材料實習的專業知識與 3D 繪圖的技術將學生從傳統實驗室帶入虛擬實境的全新境界，藉此提升工程材料實習學習效果。

## 2. 建築結構安全監測：

詹雅晶[16]將結構破壞分析與虛擬實境視覺模擬作一結合應用以便於建築結構安全的監測，結合 Auto CAD 與 3ds Max 等軟體實作交通大學工程二館校園景觀模型，接著以 SAP2000 對此模型進行非線性靜力推覆分析，再利用 Virtools 平台發展一虛擬實境模擬環境，將破壞分析的資訊融入工程二館的虛擬環境當中，透過這個系統來進行結構安全監測應用(圖2.8)。

## 3. 工程機具訓練模擬：

University of Minnesota 的 R.T. Koehnen 透過虛擬實境模擬隧道開挖時之虛擬環境[17]，讓操作者可以先行模擬操作機具，並對模擬開挖中可能遭遇之狀況及其處理方式。

## 4. 道路設計與交通狀況模擬：

江西省南昌設計學院陳國，陳圓，張伯根等三人將道路設計3D立體化、網路化[18]。設計者可以在任意的視角下檢測現場設計或到路標示的狀況，身臨其境的感受虛擬空間、尺度、環境、光線以至於聲音的模擬效果，進而讓道路設計更臻完美。

#### 5. 建築結構設計分析的應用模擬：

段弘毅[19]透過 Virtools 開發一套 SRC 基本架構的展示系統，透過互動設定，讓使用者可以在虛擬環境當中觀察 SRC 結構的細部施工情形(圖 2.9)。

陳正忠等人利用虛擬實境在 RC 建築結構設計[20]，探討推展應用虛擬實境之網際網路基礎環境，並以 RC 建築結構設計為例，發展結合分析程式、梁柱韌性設計程式與虛擬實境技術之應用系統，透過建立梁柱設計之 3D 立體配筋虛擬實境模型，提供業主、設計者、施工者及監造者透過網頁瀏覽，共享結構外型及各構件鋼筋配置 3D 立體設計成果，達到評估、展示、檢核、施工、決策等目的。

## 第三章 研究技術

以工程材料實驗課程為主題所發展的虛擬實境教學系統，是透過交通大學土木系所採購的Virtools來開發而成。將虛擬實境的技術與情境學習理論做一結合，讓學生可以自發、自主的在虛擬實驗室當中學習各項實驗，期望能以各項互動效果來營造有趣、愉悅的學習環境，以增進其學習效果。

### 3.1 Virtools 簡介

#### 3.1.1 Virtools 虛擬世界組成

Virtools 整合 3D 模型、文字、貼圖、影音等數位資訊，以 3D 即時互動為開發目標，發展如 3D 遊戲、模擬訓練、虛擬實境等互動程式應用。提供直覺式的圖形開發介面，讓使用者在短時間內透過模組功能來建立互動行為腳本流程，開發功能強大且完善的應用工具。

由 Virtools 所構成的虛擬世界，其所包含的基本組成有三項，依序是虛擬物件、行為模組、環境處理，其說明如下：

##### 1. 虛擬物件：

虛擬物件整個虛擬世界的主角，在 Virtools 裡大致上可分為 3D 物件、2D 框架(2D Frame)等兩項虛擬物件。依其功能性分別敘述如下：

##### (1) 3D 物件：

在虛擬世界中，3D 物件用來代表人物、物品、場景等可以直接

觀察的對象，在 Virtools 所建構的虛擬世界中更進一步的將互動功能與 3D 物件做連結。例如，虛擬世界的門可以任意的被使用者開闔。在第五章實例展示中，會另作 Virtools 的 3D 物件互動效果展示說明。

## (2) 2D 框架：

2D 框架主要是用來作為操作介面選單或是做為文字說明的頁面。使用者可以透過 2D 框架的選單功能直接地在虛擬世界中點選想要使用的功能，如同瀏覽網頁一般方便迅速。本研究即結合 2D 框架來呈現大量教學內容的文字部分，達到即時的學習效果。

## 2. 行為模組：

透過 Virtools 內建的行為模組來描繪虛擬世界中各項虛擬物件的互動行為與特性，在虛擬世界中發展充滿想像力的虛擬互動事件。

以“Set Parent”（設定父類別）為例，“Set Parent”是處理 3D 物件階層關係的行為模組，透過此模組可以將指定的 3D 物件或是人物、攝影機等等設為另一 3D 物件或是人物、攝影機的父類別，當前者的狀態改變時，後者也會跟著改變。

如本研究實驗操作的功能當中，使用者將器材拿起來，接著透過“Set Parent”將使用者設為該器材的父類別，如此一來當時使用者往門口移動的時候，該器材也會跟著使用者移動至門口。

### 3. 環境處理：

Virtools 提供了燈光及網格(Grid)等物件用來作為環境設定，分別說明如下：

#### (1) 燈光：

在 Virtools 的初始環境是不具備燈光效果的，在沒有設定燈光的條件時，就如同漆黑的深夜一般，3D 物件亦不能被使用者所看見。所以在製作時必須先行設定虛擬空間中的燈光，同時亦可以透過燈光來展現空間中多重的光影效果，使虛擬世界生動活潑更加令人沉迷。

#### (2) 網格：

不同於真實世界，在 Virtools 的虛擬世界中，使用者可以恣意的移動到任一位置，無邊無際。不過在虛擬實境的應用上面，通常不需要這麼廣闊的空間，此時透過網格的制訂來限制使用者的活動範圍在一定的區域內，防止使用者跑到沒有編輯的區域。

### 3.1.2 Virtools 設計介面

一般將 Virtools 的設計介面分成功能選單、編輯區、資料區及資料流程設定區(圖 3.1)，分別說明如下：

#### 1. 功能選單：

在功能選單中 File 是處理基本的檔案存取功能、網頁檔轉檔及程式流

程圖列印；Resources 與繪圖軟體模型匯入整理相關；Editors 負責屬性階層管理、VSL 腳本管理、參數除錯及 Shader 語法編輯等較高階的應用設定。

## 2. 編輯區(圖 3.2)：

### (1) 選單：

資料選單有快照擷取及物件清單；鏡頭顯示選單則可以用來切換攝影機鏡頭與設定顯示卡的相關參數值。

### (2) 快速控制鈕：

物件調整鈕用來調整 3D 物件的位置與縮放比例；網格顯示鈕控制 2D 網格(2D Grid)及 3D 網格(3D Grid)的顯示；元件新增鈕提供了紋理(Texture)、材質(Material)、2D 框架(2D Frame)、3D 框架(3D Frame)、網格(Grid)、攝影機(Camera)、燈光(Light)、路徑(Curve)及入口物件(Portal)等元件的新增功能；攝影機調整鈕則是用來調整攝影機的視角及視野。

物件調整鈕、網格顯示鈕、攝影機調整鈕及元件新增鈕等四項快速控制鈕相對應的功能說明如表 3.1 至表 3.4 所示。在 4.2 節教材製作及互動設定當中會再介紹利用編輯區的快速控制鈕來製作系統中的 2D 教學物件。

### (3) 編輯視窗：

本研究所有的物件安排、測試、執行畫面的呈現都在這個視窗中進行。

### 3. 資料區(圖 3.2)：

資料區則主要負責提供行為模組 (Building Blocks) 及素材資源 (Resources) 等兩種資料。Building Blocks 存放 700 多種行為模組提供使用者利用開發互動功能，包含 3D 變化 (3D Transformations)、攝影機 (Cameras)、角色 (Characters)、碰撞 (Collisions)、控制器 (Controllers)、網格 (Grid)、介面 (Interface)、燈光 (Lights)、邏輯 (Logics) 等行為模組可以選擇(圖 3.3)。本研究即是透過各個模組來整合設計出一套實驗教學系統。

Resources 則擺放著透過繪圖軟體繪製而匯入的物件資料，並依類型而有相對應的資料夾供存取。

### 4. 資料流程設定區：

資料流程設定區分成階層管理介面與流程圖編輯介面，其中階層管理介面負責各項物件的參數制定(圖 3.4)；流程圖編輯介面則是整個虛擬互動的核心，本研究設計的實驗教學系統其所有互動程式的腳本設計及各個物件的參數設定都在這裡安排(圖 3.5)。

## 3.2 Virtools 開發流程說明

應用 Virtools 的作為軟體開發的工具，其開發流程(圖 3.6)大致上可以分為模型匯入、整合開發、播放體驗。分別說明如下：

### 1. 模型匯入：

由於 Virtools 主要用途為互動行為設定，僅有內建素材庫讓使用者作為基本開發訓練用途，不具備建模功能，故開發流程的第一步是先在繪圖軟體將模型製作完畢並匯入 Virtools 內等待開發。

常用的 3D 繪圖軟體有 3ds Max、Maya、XSI、Lightwave、Collada 等，透過指定的 Virtools Plugging 轉檔工具將檔案轉為 Virtools Export 檔案格式後，再匯入 Virtools 進行互動行為程式開發。

### 2. 整合開發：

直覺式的開發、建構豐富的 3D 數位內容，這個部分就是整個 Virtools 的主軸。以 Virtools 作為開發平台，使用內建行為模組來創造各種互動行為與邏輯運算，把外掛模組套件擴充至整個架構的互動功能，包含物理屬性模組(Physics)、網路伺服器(Web)、網路擴充功能(Network)等，激盪工程師的無限想像力。

本研究所設計的實驗教學系統，是以潘玠怡及潘天恩透過 3ds Max 所共同開發出來的虛擬實驗室 3D 模型作為基礎，進而在 Virtools 當中整合

設計出實驗步驟導覽及實驗操作等兩項互動教學功能，相關的功能設定及展示會在第四章及第五章作說明。

### 3. 播放體驗：

依照開發專案的需求，提供多樣化的虛擬體驗管道，如沉浸式的 Virtools VR Pack；3D Office 及 3D XE Players 支援區域網路播放、3D Life Player 則提供網際網路分享的功能。如此廣泛的體驗管道可為不同需求的使用者帶來更多樣且更便利的操作體驗。

本研究所開發的實驗教學系統，即是透過 3D Life Player 在網頁瀏覽器播放 vmo 檔案來進行一連串的實驗教學，相關的播放設定及畫面展示會在第 4.4 節網頁檔設定及第五章系統架構作詳細的介紹。

## 3.3 Virtools 應用案例

目前已有許多公司、設計團隊或是個人玩家藉由 Virtools 開發出各式的虛擬實境應用程式，內容包含 3D 遊戲、3D 導覽、虛擬教學、數位行銷及醫學模擬等，相關案例介紹如下[21]：

### 1. 化學實驗教室-危機處理教學：

Poptronik 公司開發此互動式數位學習範例，運用互動式數位學習方式，透過化學實驗室的環境安全測試、尋找工作環境中危險的因子(圖 3.7)，來教育環境安全的重要性。用評量方式測驗學生的學習效能，為一

活潑有趣的互動學習體驗。

## 2. Architectures :

ARTE Science Kit 公司使用 Virtools 所開發的 3D 建築模型建模範例，能給予網路的使用者在 3D 的環境下，建造屬於自己的虛擬建築。利用簡單的模型操作設計工具，去實地操作體驗建造出複雜的建築(圖 3.8)。

## 3. Chemical :

此範例是元素週期表的教學專案，使用者可以在虛擬空間中操控方框來選取元素，以各個角度來觀察元素模型及其電子運行軌跡(圖 3.9)。



## 第四章 系統建構

### 4.1 系統架構說明

#### 4.1.1 系統簡介

本研究以交通大學土木工程所潘玠怡及潘天恩共同建立的交通大學虛擬材料實驗室3D模型為基礎，利用Virtools開發出實驗示範教學系統。並在系統發展的過程中請土木系同學來參與開發測試，藉此不斷改進系統的操作介面及流程。

如圖 4.1所示，實驗示範教學系統是以教學導向及實作導向兩種不同的教學方向去設計出實驗步驟導覽與實驗操作示範等兩項功能。以漸進的教學方式帶領使用者學習課程內容，累積實驗經驗、熟記實驗細節，並學習判讀實驗數據。最後，由使用者親自操作實驗過程來加深其對於工程材料實驗的印象。

教學內容主要參考自交通大學趙文成教授針對工程材料實習課程所設計的工程材料實驗教學影片及講義，透過實驗示範教學系統的實驗步驟導覽及實驗操作示範讓使用者了解水泥、粗粒料、細粒料、混凝土等材料的材料性質。將水泥、粒料、混凝土等三類材料分成11項實驗題目，使用者可依照實驗题目的排序來學習，其排序如下：

#### 1. 水泥實驗：

有水泥比重實驗、水泥細度實驗、水泥標準稠度實驗、水泥漿凝結時間實驗等四項實驗。

## 2. 粒料實驗：

有粗粒料比重及吸水率實驗、細粒料比重及吸水率實驗、篩分析實驗、空隙試驗法 粒料單位質量實驗等四項實驗。

## 3. 混凝土實驗：

有混凝土配比設計實驗、混凝土坍度實驗、混凝土抗壓實驗等三項實驗。

如圖 4.2所示，使用者選定實驗題目後，系統便會提供實驗目的、實驗參考標準等教學內容，幫助使用者對於該實驗題目做一初步認識。並且在左側顯示實驗步驟導覽及實驗操作示範等兩項互動功能的啟動鈕，使用者在了解實驗目的及實驗參考標準後，即可點擊啟動鈕來啟動該項互動功能以進行實驗學習。

在實驗步驟導覽部分系統，提供了實驗步驟、實驗紀錄等教學內容，讓使用者在互動學習的過程中，充分了解實驗的原理及方法，掌握工程材料的相關特性，進一步培養出敏銳且具有判斷力的工程師素養。

在實驗操作示範部分，使用者必須藉由步驟提示框及操作指令鈕來完成整個實驗操作流程，過程中所量測到的數據會在最後整理彙出，提供使

用者作為學習參考用

另外，本研究保留潘玠怡與潘天恩兩位同學分別設計的互動實驗：「粒料篩分析試驗」(圖 4.3)、「混凝土抗壓實驗」(圖 4.4)。兩位在互動教學設定上各有其教學特色，讓使用者有不同的互動學習模式，提升學習的趣味性、豐富性。

#### 4.1.2 系統操作環境

本系統透過鍵盤及滑鼠等輸入設備來進行虛擬實驗室實驗教學互動操作。使用者透過鍵盤便可以自由地在虛擬實驗室裡面移動，分別是按W向前移動、S向後退；D往左移動、A往右移動；並以滑鼠來調整其觀看角度，操作方式是將滑鼠右鍵壓住不放，移動滑鼠以調整視角；使用者亦可藉由滑鼠滾輪來產生其位置拉遠拉近的移動效果。

在選單瀏覽方面，使用者可以將滑鼠移動到選單上面來觀察其操作提示文字，依照各個選單的操作提示以左鍵點擊來開啟所需的互動功能，或是再次點擊以關閉選單。

在體驗實驗步驟導覽的學習過程中，則會用到空白鍵來做為系統展示步驟說明的控制鍵，使用者利用空白鍵自行切換至下一項步驟說明。而在實驗操作的體驗中，則需配合滑鼠左鍵來點擊指令鈕與3D物件產生互動；或是直接點擊部分3D物件來感受其互動效果，如轉開水龍頭。

藉由上述操作環境設定來學習實驗步驟導覽的教學內容、遊覽虛擬實驗室場景並與虛擬實驗工具進行實驗操作互動、體驗虛擬材料實驗室沉浸式的教學模式，其操作效果將配合實驗步驟導覽及實驗操作示範等兩項互動功能呈現於第五章實例展示。

### 4.1.3 實驗步驟導覽

實驗步驟導覽功能是以教學導向作為主，其功用是讓使用者了解各個實驗的實驗步驟、實驗器材及操作方式等，方式是以導覽攝影機帶領使用者去瀏覽各實驗相關的實驗器材。如圖 4.5 所示，選擇實驗題目並進入實驗步驟覽功能，系統會先告知使用者實驗步驟導覽的操作方式，接著在過程中呈現實驗步驟的文字提示來引導使用者學習實驗流程，藉此幫助使用者熟習實驗室各器材的相關位置與實驗步驟的內容。

等到實驗步驟完成後，使用者可以打開實驗紀錄表格，此時系統會給予一組實驗數據讓使用者判斷該實驗結果是否符合相關規範的容許值，如 ASTM 規定水泥比重不得低於 3.05，否則水泥硬化嚴重強度大減。其教學流程分為：

#### 1. 實驗步驟：

系統以第一人稱攝影機帶領使用者前去觀察相關的實驗儀器，過程中步驟說明及注意事項、表格查詢等教學內容資訊，會依各實驗所需安排給

使用者吸收，如圖 4.6 所示為「混凝土配比設計」之實驗步驟說明及表格查詢。

## 2. 實驗紀錄：

完成實驗步驟後，系統會給予一份該實驗的實驗數據，藉由判讀實驗數據是否合於相關規範的容許值，讓使用者對於該材料的材料性質加深印象，並比對實驗步驟所提示的重點來探究數據誤差的各種可能。

而使用者於水泥及粒料等兩項材料的實驗課程所得到的材料細數，將會作為「混凝土配比設計」中計算單位體積混凝土粗粒料用量及單位體積混凝土細粒料用量所需的參數。

### 4.1.4 實驗操作示範

實驗操作示範功能則以實作導向為主，使用者可與虛擬實驗室中的各項3D實驗儀器與實驗工具來進行實驗互動操作，藉由親自操作該實驗題目的各個實驗步驟互動來熟悉實驗環境及該實驗操作流程。如圖 4.7所示，選擇實驗題目並進入實驗操作功能，系統會告知使用者實驗操作的操作方式。

接著在實驗操作的過程中，系統會以操作提示框來提示下一步實驗步驟；當學生滿足操作提示的所指示的實驗步驟時系統會將操作指令鈕顯示出來；接著點擊操作指令鈕來與虛擬實驗室裡的3D物件產生互動行為並模擬實驗器材的操作情形。

完成所有的實驗步驟便可以觀看此次的實驗紀錄。透過實驗操作功能來進行虛擬實驗操作其過程如同親身至實驗室進行實驗一般，可在短時間學習並累積足夠的實驗經驗與技術。

以「細粒料比重及吸水率實驗」為例，實驗操作示範功能的架構設定(圖 4.8)說明如下：

#### 1. 步驟提示框：

提供實驗步驟細節及說明，指引使用者去完成各項實驗步驟。如圖 4.9 所示，步驟提示框內出現「至架上拿空鐵盤」的實驗步驟，此時使用者便需配合步驟提示去架子上尋找並拿取空鐵盤。

#### 2. 操作指令鈕：

在實驗操作示範功能中，使用者大多是以滑鼠點擊操作指令鈕來完成與 3D 物件的互動。如圖 4.10 所示，步驟提示框提示使用者拿起吹風機，並於左上方出現一「拿吹風機」的操作指令鈕，此時使用者點擊拿吹風機的操作指令鈕便能將吹風機拿起來，繼續進行下一步驟的實驗。

#### 3. 實驗紀錄鈕：

如圖 4.11 所示，使用者點擊實驗紀錄鈕後，系統會將實驗數據彙整表格展示出來，同時完成材料係數的運算，接著將鐵盤、比重瓶、氣乾細粒料等實驗數據依序顯示出來。

## 4.2 教材製作及互動設定

### 4.2.1 實驗紀錄表格製作

本研究透過大量的 2D 物件來呈現教學內容，包含實驗目的、標準參考、實驗數據表格等。以「水泥細度實驗」的實驗紀錄表格為例，備好實驗紀錄表格圖檔，接著依照下列步驟設定順序將實驗紀錄表格圖檔匯入虛擬實驗室：

#### 1. 實驗紀錄表格紋理新增：

如圖 4.12 所示，於編輯區的元件新增鈕中點選新增紋理，在資料流程設定區中會切換為階層管理介面點來進行新增紋理的參數設定，接著點擊裡面的 Change File 鈕來選取預先準備好的實驗紀錄表格圖檔，確認表格匯入貼圖區內後，按下 Set IC 設定其初始值。

設定初始值這個動作非常重要，不論是腳本、行為模組設計或是物件設定都要執行這個指令，後面的設定說明不再重複贅述這個設定動作。

#### 2. 實驗紀錄表格材質設定：

如圖 4.13 所示，同樣在編輯區的元件新增鈕中點選新增材質，在階層管理介面來更改新增材質的參數，於上方點選 Texture 鍵更改其套用的紋理為前項步驟所新增的實驗紀錄表格紋理。

#### 3. 實驗紀錄表格 2D 框架製定：

如圖 4.14 所示，在在編輯區的元件新增鈕中點選新增 2D 框架，並在階層管理介面將其套用的材質更改為前項步驟所設定的實驗紀錄表格材質。完成上述動作，便能夠得到一張實驗紀錄表格的 2D 物件。

另外根據「水泥細度實驗」實驗紀錄表格所要紀錄的五項數據，新增五個 2D 框架作為數據展示介面，依序是水泥式樣重、篩底盤重、篩底盤重+停留量、停留量、細度係數，將 Parent 皆設為「水泥細度實驗」實驗紀錄表格 2D 框架，並分別設定 Position、Size 等參數，將各別的 2D 框架數據展示介面放置在數據紀錄空格內。

#### 4.2.2 實驗步驟導覽互動設定

本研究在實驗室門外設置了一台第一人稱視角攝影機，命名為「導覽攝影機」。並建立一攝影機腳本來設定其的操控方式，使用者能以鍵盤來控制導覽攝影機的前進後退，並藉由滑鼠來轉動視角調整至適當的觀察角度。

實驗步驟導覽會指引使用者對實驗器材進行觀察並學習過程中所安排的實驗步驟說明，本研究將所有的導覽互動安排在各個實驗的實驗步驟導覽控制鈕中，以「水泥比重實驗」的導覽攝影機與煤油的互動設定為例，在此針對其行為模組作一設定上的說明，並在 5.1 節實驗步驟導覽展示來呈現其操作效果：

##### 1. 攝影機視角鎖定煤油：

如圖 4.15 所示，使用行為模組 “Look At”，讓導覽攝影機面對水泥比重實驗所要使用的煤油，藉此讓使用者可以觀察到煤油的所在位置。為了讓導覽攝影機面對煤油的反應速率不至於過快，令其 Following Speed 為 75%。

#### 4. 攝影機接近煤油：

如圖 4.16 所示，利用行為模組 “Move To” 讓導覽攝影機移動到煤油前面作近距離觀察，使用者亦可以自行控制導覽攝影機的位置與視角來觀察煤油。

#### 3. 顯示實驗步驟說明：

圖 4.17 所示，以 “Op” 與 “Test” 兩個邏輯行為模組來設計導覽攝影機移動過程中顯示實驗步驟說明的時機。利用 “Op” 模組功能，可以得到導覽攝影機跟煤油的座標差，並以模組 “Test” 不斷去測試比較座標差與預設值的大小，當判斷條件一成立，就會開啟行為模組 “Text Display” 來執行步驟說明功能。利用行為模組 “Text Display” 將煤油的重點提示顯示在使用者面前，讓使用者一邊觀察實驗工具一邊依照重點提示所提醒的重點來學習。

#### 4.2.3 實驗紀錄設定

實驗紀錄是實驗步驟導覽的最後一項教學內容，當實驗步驟說明結束

後系統才會展示出實驗紀錄控制鈕，使用者點擊實驗紀錄控制鈕時便能獲得一份實驗數據。

將實驗數據放在最後呈現的設計是為了避免使用者只想抄襲系統模擬的實驗數據了事而不將實驗步驟的功能學習完畢。系統除了將數據展示在使用者的面前，也會把計算好的材料係數輸出到指定資料夾以便於查詢。

以「水泥細度實驗」為例，實驗數據模擬設計如下：

#### 1. 顯示實驗紀錄表格：

由實驗紀錄控制鈕來啟動「水泥細度實驗」實驗數據模擬運算腳本，安排行為模組“Show”顯示出實驗數據表格。

#### 2. 實驗數據模擬運算：

所有「水泥細度實驗」實驗數據模擬的運算設定都在這個Script裡面，運算完畢再把結果存進指定陣列當中並將結果送到指定的2D框架作一數據展示，這個安排除了便於整個運算流程設計，在日後要修改運算設定時，也只需要針對這個Script作調整，節省修改的時間。其處理的實驗紀錄共有五項分別是：水泥式樣重 $W_0$ 、篩底盤重 $W_1$ 、篩底盤重+停留量 $W_2$ 、停留量 $W_2-W_1$ 、細度係數 $\{1-[(W_0-(W_2-W_1))/W_0]\} \times 100\%$ 。根據其關係式來設計實驗數據模擬之運算流程。

如圖4.18所示，先是利用邏輯行為模組Random來隨機選取一組篩底盤

重 $W_1$ ；再用同樣的方法來產生停留量 $W_2-W_1$ ；再透過Op將上述兩值相加得到篩底盤重+停留量 $W_2$ ；最後透過三組Op運算得到細度係數 $\{1-[(W_0-(W_2-W_1))/W_0]\}\times 100\%$ 。再利用行為模組Add Row把上面的模擬數據存進水泥細度實驗Array中，並以Array Save將細度係數輸出到指定資料夾。

#### 4.2.4 實驗操作示範 3D 物件互動設定

在實驗操作示範裡的3D物件互動效果被設定在各個操作指令鈕Script中，以「細粒料比重及吸水率實驗」為例，共分成48個操作指令鈕Script(圖4.19)來連貫整個實驗流程，一項操作指令鈕Script會對應一項實驗步驟，透過操作指令鈕Script來安排該實驗步驟的步驟提示及3D物件互動效果，當使用者滿足步驟提示所指示的條件便可呼叫出操作指令鈕，藉由點擊操作指令鈕來執行與3D物件互動以完成該項實驗步驟。

以該實驗的「秤細粒料恆重操作指令鈕」為例，針對其實驗步驟所相對應的行為模組作一設定說明，並在5.3節實驗操作展示來呈現其操作效果：

##### 1. 將絕乾細粒料拿至小電子秤旁：

如圖4.20所示，以行為模組“TextDisplay”提示使用者將絕乾的細粒料帶到小電子秤旁進行秤重的工作，接著以“Op”及“Test”兩個邏輯模組判斷使用者所操控的導覽攝影機是否有移動至天秤旁，其條件為兩者的距離小於或等於250。當使用者移動至小電子秤旁並滿足上述條件時，便

由“Test”的模組出口True連結至行為模組“TextDisplay”的模組入口Off以關閉該操作提示，接著由模組出口Exit Off離開並呼叫出操作指令鈕。

## 2. 將絕乾細粒料放在小電子秤上：

以模組“Show”展示出操作指令鈕，再以模組“TextDisplay”提示使用者將烘乾細粒料放於小電子秤上，以“PushBotton”模組安排指令鈕的點擊效果，包含點擊前後材質、出入口的連結等設定(圖4.21)，並安排“Wave Player”模組讓使用者點擊操作指令鈕時有一提示音效來提示使用者點擊完成(圖4.22)。點擊完成後以三項行為模組“Set Parent”、“Set Position”、“Set Orientation”針對烘乾細粒料的父類別(圖4.23)、位置(圖4.243)、方向(圖4.25)作一設定處理，作用是將烘乾細粒料置在小電子秤上。

## 3. 按下秤重開關ON：

提示使用者按下秤重開關ON後，以模組“2D Picking”、“Test”、“Mouse Cursor System”，作一滑鼠與小電子秤開關ON的互動特效設定(圖4.26)，當滑鼠移動到秤重開關ON時可以改變鼠標圖示為手指圖示，讓使用者有「按開關」的互動感覺，接著會在“Mouse Waiter”模組等候秤重開關ON被按下。

如圖 4.27所示，接著為做出秤重開關往下按壓而變低的效果，安排邏輯模組“Bezier Progression”及“Op”，與行為模組“Translate”作為秤重

開關ON往下壓的特效設定。

#### 4. 顯示絕乾細粒料質量：

最後由小電子秤螢幕來展示出絕乾細粒料的質量，模組“Random”、“Op”輸出一浮點數作為烘乾細粒料的質量(圖4.28)，並將其存入一指定的Virtools Array作為後續實驗數據匯整的參數。最後以模組“Create System Font”、“Set Font Properties”、“3D Text”等作為絕乾細粒料的質量顯示(圖4.29)。

### 4.3 網頁檔設定

將虛擬材料實驗室輸出成網頁檔，透過網頁瀏覽器來進行互動教學，目的是讓同學可以在沒有時間地點限制的情況下隨時上網進行工程材料實驗學習。執行 File\Create Web Page 開啟網頁檔輸出功能；點選 Choose Destination 設定網頁檔名稱及儲存的路徑；在 Window Size 輸入 900、675(圖4.30)；輸出完畢在指定資料夾可以找到 html 及 vmo 檔。

最後在網頁檔中加入 JavaScript 呼叫 Virtools 函式庫的 Play、Pause、Reset 等三項播放控制功能，讓使用者可以在網頁下方直接點選開始、暫停、重新啟動等三項控制鈕來播放 vmo 檔。如圖 4.31 所示，開啟 html 便會啟動瀏覽器播放 vmo 檔，帶領使用者進入虛擬材料實驗室。

## 第五章 實例展示

### 5.1 初始環境展示

使用者由教學網站(圖 5.1)連結進入虛擬實驗室實驗示範教學系統，以第一人稱的操作方式來進行虛擬互動，甫映入眼簾是虛擬材料實驗室的正門外觀及名稱(圖 5.2)，使用者按下 W 鍵往前移動接近自動門時，自動門會自動開啟(圖 5.3)。進入實驗室後，根據語音指示點選頂端的「交通大學土木材料虛擬實驗室」啟動鈕 (圖 5.4)啟動實驗示範教學系統。

此時畫面出現三種主要分類，由左至右依序是：水泥實驗、粒料實驗、混凝土實驗(圖 5.5)，使用者可以用滑鼠左鍵點選任一項材料來觀察該項材料所涵蓋的實驗題目，再將滑鼠移至實驗題目上方可以觀察各項實驗之累計學習次數及實驗目的。如圖 5.6 所示，當使用者將滑鼠移動到「水泥比重實驗」題目上，在實驗题目的左方顯示出「學習次數 0」，表示使用者尚未學習過水泥比重實驗；而實驗題目選單下方則有水泥比重實驗的實驗目的可供使用者對水泥比重實驗有一初步了解。

選擇實驗課程後，會再次顯示該實驗题目的實驗目的與實驗參考標準，使用者了解該實驗题目的實驗目的後，便能點選實驗步驟導覽或實驗操作示範的控制鈕來啟動該項教學功能。藉由實驗步驟導覽所提供的教學內容及實驗操作示範的互動功能來感受身歷其境的學習效果。

## 5.2 實驗步驟導覽展示-以「水泥比重實驗」為例

如圖 5.7 所示為例，使用者以滑鼠左鍵點選「水泥比重實驗」題目後，系統就會在左上方顯示水泥比重實驗的實驗步驟導覽控制鈕及實驗操作示範控制鈕，同時系統會在畫面的中間呈現水泥比重實驗的實驗目的及實驗參考標準，使用者可以根據實驗目的及實驗參考標準先建立起水泥比重實驗的基本概念。

使用者了解實驗目的後，接著以左鍵點選左上方實驗步驟導覽控制鈕以開啟實驗步驟導覽。如圖 5.8 所示，一開始系統會提示實驗步驟導覽的操作解說，告知使用者在導覽過程中使用者需可以配合空白鍵來進行步驟說明及實驗數據的展示。

在了解實驗步驟導覽的操作說明後，使用者就可以按下空白鍵來進行實驗步驟導覽。導覽過程中，實驗器材上方所顯示的實驗器材名稱會以自轉的方式來吸引使用者的目光，讓使用者清楚的觀察到實驗器材的擺放位置。分為下列六項來展示水泥比重實驗的實驗步驟導覽過程：

### 1. 將煤油倒入比重瓶：

如圖 5.9 所示，使用者在了解實驗步驟導覽的操作解說後，按下空白鍵後，導覽攝影機便會將視角轉向煤油並自動往其方向前進，接著依序導覽煤油、漏斗及比重瓶等實驗器材，同時系統告知使用者須準備好此三項

實驗器材，並提醒使用者在煤油倒入比重瓶時，須小心傾到避免煤油外漏。

## 2. 將比重瓶(含煤油)放入恆溫水槽：

如圖 5.10 所示，使用者學習完步驟 1 接著按下空白鍵，鏡頭便轉向門口恆溫水槽並自動往其方向前進直至使用者到達恆溫水槽面前。過程中系統告知使用者將裝有煤油的比重瓶放入恆溫水槽，並於 30 分鐘後紀錄比重瓶刻度 V1 以及水溫。

## 3. 以勺子將水泥倒入比重瓶中：

如圖 5.11 所示，使用者學習完步驟 2 並按下空白鍵，鏡頭便轉向一號桌，接著自動往勺子、細桿等實驗工具前進。此時系統告知使用者以勺子將 100g 水泥徐徐倒入比重瓶中。

## 4. 將比重瓶(含煤油、水泥)放入恆溫水槽：

如圖 5.12 所示，使用者學習完步驟 3，接著按下空白鍵，系統告知使用者須再次將裝有煤油及 100g 水泥的比重瓶置入恆溫水槽，30 分鐘後紀錄刻度 V2 及水溫；並說明兩次油面差為水泥之體積，得到水泥體積變可以計算出水泥比重。

## 5. 水泥性質提示：

使用者完成上述四項實驗步驟導覽後，會陸續看到實驗步驟的重點提示(圖 5.13)及水泥性質的說明(圖 5.14)。

## 6. 實驗數據：

如圖 5.15 所示，當使用者學習完上述的實驗步驟並按下空白鍵，系統會在左上方顯示出實驗數據控制鈕，同時告知使用者在觀察實驗數據的同時可以配合前述實驗步驟導覽所學來檢討數據的合理性。如圖 5.16 所示，使用者以滑鼠左鍵點擊實驗數據控制鈕，系統會呈現出水泥比重實驗的實驗紀錄表格及本次導覽所得到的實驗數據。

## 5.3 實驗操作示範展示-以「細粒料比重、吸水率實驗」為例

以圖 5.17 所示為例，在使用者進入實驗室開啟實驗題目選單之後，使用者以滑鼠左鍵點選「細粒料比重、吸水率實驗」題目，系統會接著在左上方顯示實驗步驟導覽控制鈕及實驗操作示範控制鈕，並在畫面的中間呈現水泥比重實驗的實驗目的及實驗參考標準，使用者可以根據實驗目的及實驗參考標準先建立起實驗的基本概念。

如圖 5.18 所示，使用者了解實驗目的後，以左鍵點擊實驗操作控制鈕進入實驗操作示範功能，系統會在畫面右下方顯示出步驟提示框及操作指令框，並在步驟提示框中說明實驗操作的使用方法，使用者了解完整個實驗操作的操作方法後，就能以滑鼠左鍵點擊操作指令框中的開始指令鈕，開始進行實驗操作。

以下根據細粒料的含水量分為三個階段來介紹該階段的實驗目標並以細粒料面乾內飽和階段的實驗流程作為實驗操作的範例解說：

1. 細粒料氣乾階段：

如圖 5.19 所示，此階段的實驗目標為將 2kg 的細粒料烘乾至絕乾狀態以秤其恆重。

2. 細粒料絕乾階段：

如圖 5.20 所示，此階段的實驗目標為秤細粒料恆重，經計算得細粒料含水率。接著將絕乾細粒料浸水 20~28 小時至表面及內部均飽和狀態，再將其乾燥至面乾內飽和狀態。

3. 細粒料面乾內飽和階段：

如圖 5.21 所示，此階段的實驗目標為秤取面乾內飽和細粒料之質量，計算得細粒料吸水率。接著取 500g 面乾內飽和細粒料以比重瓶作比重試驗，計算面乾內飽和細粒料之比重。此階段可分為四個步驟說明如下：

(1) 秤面乾內飽和細粒料質量(含鐵盤)：

使用者了解面乾內飽和階段的實驗目標後，點擊開始鈕進行面乾內飽和階段的實驗操作。使用者先將面乾內飽和細粒料置於小電子秤上秤重，如圖 5.22 所示，在秤重的互動過程中，使用者透過滑鼠左鍵

點擊秤重開關 ON 來表示出按下秤重開關的互動行為。接著在小電子秤的螢幕上讀取面乾內飽和細粒料之質量(含鐵盤) (圖 5.23)。使用者紀錄實驗數據，完畢後將細粒料置於一旁。

## (2) 秤 500g 細粒料：

使用者將細粒料放在一旁後，依照系統指示至架上拿取空鐵盤；如圖 5.24 所示，使用者按住滑鼠左鍵來選取視角，在架子底層看見空鐵盤後，以 W 鍵往空鐵盤方向移動；使用者拿到空鐵盤後，便將空鐵盤拿回小電子秤上放好，再依系統提示至架上拿取勺子來勺取細粒料秤重。

使用者將勺子拿回小電子秤旁，系統指示以勺子秤取 500g 細粒料，在細粒料倒入鐵盤的過程中可以看到細粒料灑落在鐵盤內的滾動碰撞效果(圖 5.25)。設計這個物理屬性效果是為了增加實驗操作的趣味與變化性，提升使用者在學習上的專注力，為求畫面執行流暢，將每顆細粒料的比例放大並減少數量至 50~80 顆之間，以此簡略示意為 500g 的細粒料。

接著按下秤重開關 ON 讀取剛才勺取的細粒料質量，小電子秤螢幕顯示細粒料仍不足 500g，系統提示使用者再次勺取細粒料(圖 5.26)。

得到 500g 的細粒料之後，系統指示將 500g 的細粒料置於一旁並

將剩餘細粒料放回第四桌(圖 5.27)。

(3) 量筒裝水，秤比重瓶質量：

使用者將剩餘細粒料放回第四桌後，依照系統指示至架上將量筒拿至洗手台裝水，在裝水的互動中，使用者透過滑鼠左鍵點擊水龍頭開關來表示打開水龍頭的互動行為。如圖 5.28 所示，為使用者以量筒裝水的過程，可以清楚看見裝水過程中量筒水面逐漸上升的情形。裝好水後，系統提示使用者將量筒放在小電子秤旁。

放好量筒後，使用者再依照系統指示將比重瓶拿至小電子秤上秤重。同樣透過點擊秤重開關 ON 來秤取比重瓶的質量，接著紀錄比重瓶質量(圖 5.29)。



(4) 細粒料比重測量：

紀錄完比重瓶質量後，使用者依照系統指示於比重瓶內倒入 150ml 的水，當比重瓶出現刻度以及 150ml 字樣時(圖 5.30)，表示水面已達 150ml。待水面達 150ml 後，使用者再依照系統提示將架上的漏斗拿來插在比重瓶上方。

接著系統再提示使用者點擊指令鈕將 500g 的細粒料倒進比重瓶中(圖 5.31)。因為加入細粒料而使得比重瓶的水位上升，使用者可以直接在畫面上觀察到標示水位的紅色刻度位置往上移動(圖 5.32)。

將細粒料倒入比重瓶後，使用者將水加至刻度 500ml，當比重瓶的刻度位置再次向上移動並呈現 500ml 的字樣時，表示此刻水位已達 500ml(圖 5.33)。系統接著提示滾動比重瓶將瓶內的氣泡搖出，使用者點擊指令鈕便可以觀察比重瓶的滾動方式(圖 5.34)。完成滾動的工作後，可以觀察到因為氣泡的溢出使水位刻度略為下降，表示比重瓶內的水位已不足 500ml，此時系統提示使用者將水再次加至 500ml(圖 5.35)。

待水位達到 500ml 後，系統提示秤取比重瓶的質量(含 500g 細粒料及水達 500ml 的質量)(圖 5.36)，接著使用者點擊指令鈕及秤重開關 ON 來秤取該瓶質量並將質量記錄下來(圖 5.37)。

完成前面 1~3 項階段的實驗操作後，使用者即能點擊實驗紀錄鈕，觀察本次實驗操作之實驗結果(圖 5.38)。

## 第六章 結論與建議

### 6.1 結論

本研究的研究目的是輔助學生加強工材實驗中各項實驗方法與操作技巧；並幫助學生熟習實驗環境、掌握實驗器材的擺放位置，使學生在工材實習課可以迅速進入實驗狀況。研究結論整理如下：

#### 1. 物件整合更新：

本研究在設計互動教學之前，先針對龐大的資料量進行整合處理，如物件初始條件重設、物件名稱中文化、物件階層關係重定、腳本重新編輯等等，完成以上整合工作有助於後續互動功能的開發工作。雖然在更新上花費一番時間，卻因此累積了不少使用經驗與技術，也體會到前人架設虛擬材料實驗室的辛苦。

#### 2. 教學系統開發：

本研究透過 Virtools 開發虛擬的工程材料實驗教學系統，營造出情境式的虛擬學習環境，學生透過鍵盤、滑鼠等輸入設備在虛擬實驗室中進行互動學習。在教學系統中，先以實驗步驟導覽功能來幫助學生了解實驗流程、步驟細節、熟習實驗環境與實驗器材位置。接著，學生透過實驗操作示範功能親身體驗實驗的互動過程，熟悉實驗室的操作環境與模式，提升實際進行實驗時的工作效率。

## 6.2 建議

在系統開發完畢之後，提供網頁檔給土木工程學系學生使用，就其使用經驗提出幾點建議以供參考改良：

1. 圖形化界面的處理應更美觀並在選單標籤上做更直覺式的操控設計，讓使用者可以更輕易上手、增加學習效率。
2. 針對在規格較差的主機上執行會有相當嚴重的畫面延遲情形發生，應針對互動模組的安排做出更加精簡的設計，並且改善 3D 模型材質的精緻度來減低電腦運算負擔。
3. 操作互動應配合更高階的輸出、輸入設備讓學生擁有高度自由來操作實驗儀器進行實驗步驟操作。
4. 目前虛擬實驗室為單機操作模式，然而工程材料實驗不可能單由一個人去完成，一般都會透過分組以分工的方式來進行實驗，故希望能開發為多人遠端連線的虛擬教學環境，使多人同時在線上進行實驗互動，使實驗過程更貼近真實的實驗情境，加強學習效果、聯繫同儕情誼。
5. 可以安排實驗室危機、地震、人員遭機具壓傷等突發狀況的模擬，讓學生除了在虛擬實驗室當中學習工材課程知識，亦可以透過突發狀況的模擬增加對危機處理的應變能力。若能在實驗過程中安排突發事件必能更貼近現實的實驗情境，符合情境學習的設計概念。

## 參考文獻

1. 孫文，實業計畫，廣州，1921。
2. Neisser, U., Cognition and reality: Principles and implications of cognitive psychology, San Francisco, 1976.
3. Brown, J. S.& Collins, A. & Duguid, P., Situated cognition and the culture of learning, Educational Researcher, 1989.
4. Lave, J. & Wenger, E., Situated learning, University of Cambridge Press, New York, 1991.
5. McLellan, H., Situated learning perspectives, N.J., Educational Technology Publications, 1996.
6. Winn, W., “Instructional design and situated learning : paradox or partnership”, Educational Technology, 33(3), pp.16-21, 1993.
7. 顏榮泉，「全球資訊網在教學與學習上之應用探討」，教學科技與媒體，第25期，33~41頁，1996。
8. 林紀慧，「電腦超媒體學習環境與國小科學學習」，教學科技與媒體，第44期，2~12頁，1999。
9. 吳明隆，「電腦網路學習特性及其相關問題的省思」，教育部電子計算機中心簡訊，第8709期，23~39頁，1998。
10. 廖桂菁，「情境式網路學習環境對科學學習之影響」，國立臺灣師範大學，碩士論文，2000。
11. Burdea, Grigore & Coiffet, Philippe, Virtual reality technology, Wiley, New York, 1994.
12. 邱明祺，「虛擬實境於電腦輔助教學之研究-以材料力學之學習為

- 例」，國立交通大學，碩士論文，1998。
13. 陳奕銘，「材料力學虛擬教室」，國立交通大學，碩士論文，1999。
14. 潘玠怡，「虛擬土木材料教學實驗室-粒料篩分析試驗部分」，國立交通大學，碩士論文，2009。
15. 潘天恩，「虛擬實驗室之抗壓試驗」，國立交通大學，碩士論文，2009。
16. 詹雅晶，「虛擬實境視覺模擬於結構破壞分析之應用」，國立交通大學，碩士論文，2007。
17. R.T. Koehnen, Building 3D Geographic Models in VRML: An Experiment Using USGS DEMs to Build Internet Browser Viewable Terrains, University of Minnesota, 2002.
18. 陳國，陳圓，張伯根，「VRML技術在公路設計中的研究與展望」，江西省南昌設計學院，2003。
19. 段弘毅，「SRC基本架構之虛擬實境展示」，國立交通大學，碩士論文，2007。
20. 陳正忠等，虛擬實境之應用研究(一)基礎環境建立與 RC 建築結構之應用，中興工程顧問公司，2003。
21. 愛迪斯公司網站。  
<http://www.axis3d.com.tw>
22. 金愷達光電科技公司商務平台。  
<http://corp.7735.net/262827/>

表1.1 虛擬實驗室較傳統實驗室的優勢比較

傳統實驗室	虛擬實驗室
維護管理不易	維護容易
設備更新困難	3D物件擴充容易
實驗限制多	不限時間地點、人數
較易發生危險	安全無虞
需使用較多教育資源	資源需求低
上課次數有限	學習次數無限

表3.1 物件調整鈕名稱功能對照表

物件調整鈕		選取	點選或框選3D物件
		鎖定	鎖定或鬆開3D物件
		框選模式	切換框選模式：整體或部分
		移動	拖曳3D物件改變其世界座標值
		選轉	旋轉3D物件改變其座標方向
		縮放	調整3D物件大小比例

表3.2 網格顯示鈕名稱功能對照表

網格顯示鈕		顯示2D網格	顯示或隱藏顯示2D網格
		顯示3D網格	顯示或隱藏顯示3D網格

表3.3 攝影機調整鈕名稱功能對照表

攝影機調整鈕		景深	拉遠或拉近攝影機在場景的深淺位置
		視角	放寬或縮窄攝影機的視角
		縮放	放大或縮小攝影機的鏡頭倍率
		平移	平移攝影機的座標位置
		環繞	使攝影機對著某物件繞行

表3.4 元件新增鈕功能對照表

元件新增鈕		Create New Camera
		Create New Light
		Create New 3D Frame
		Create New Curve
		Create New Grid
		Create New 2D Frame
		Create New Material
		Create New Texture
		Create New Portal
		Create New Video

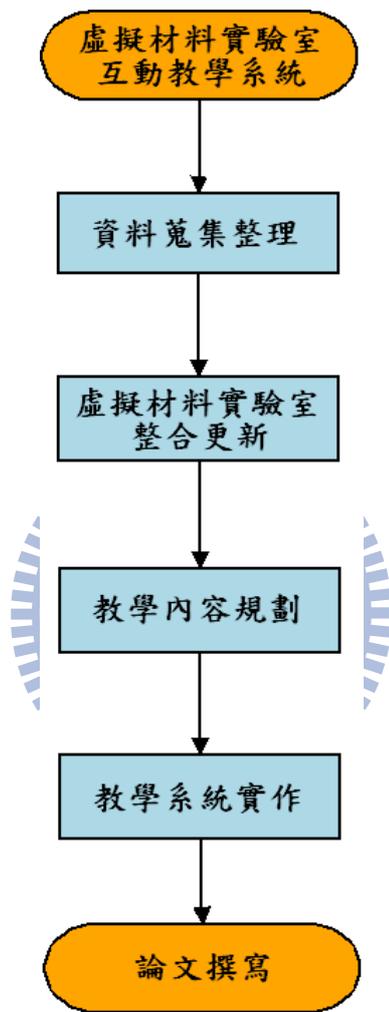


圖 1.1 研究流程



圖 2.1 金愷達光電科技偏光式 3D 立體眼鏡[22]



圖 2.2 NuVision 無線立體眼鏡[21]



圖 2.3 3Dconnexion 3D 滑鼠[21]



圖 2.4 VRi 訊息手套[21]



圖 2.5 Visbox 大型沉浸設備[21]

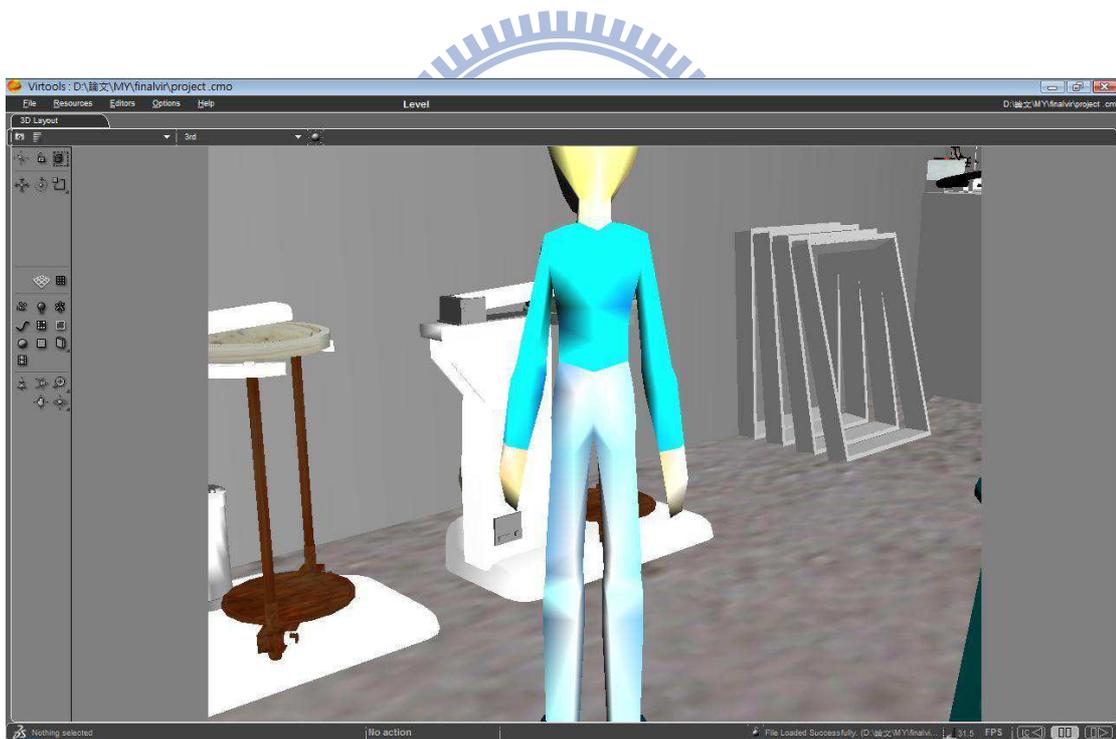


圖 2.6 虛擬土木材料教學實驗室-粒料篩分析試驗部分[14]

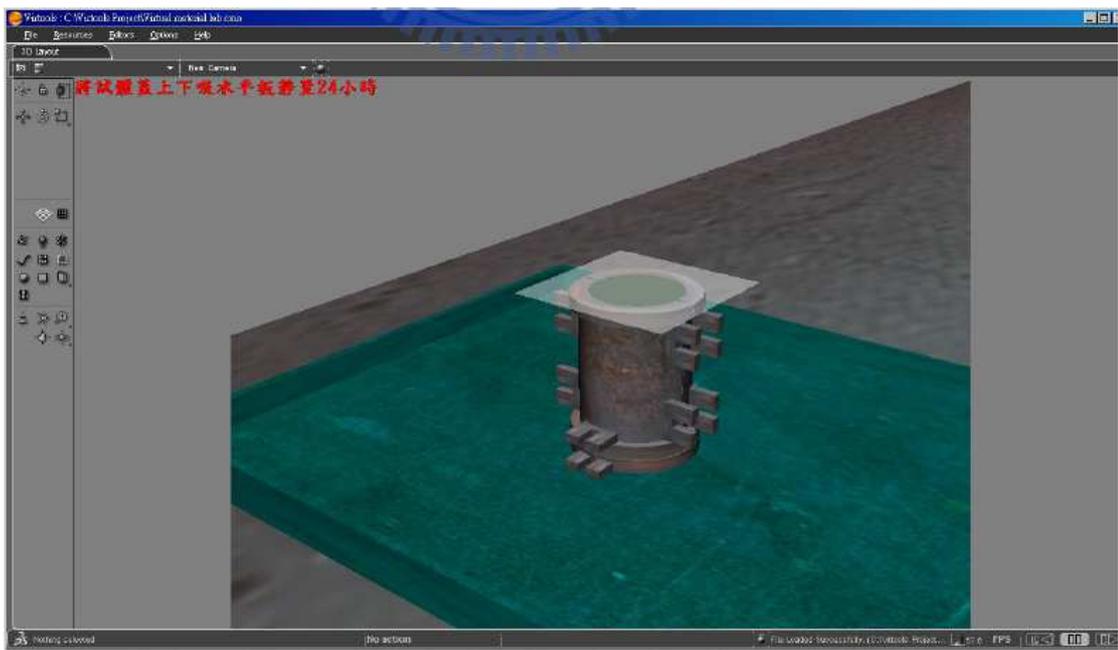


圖 2.7 虛擬實驗室之抗壓試驗[15]

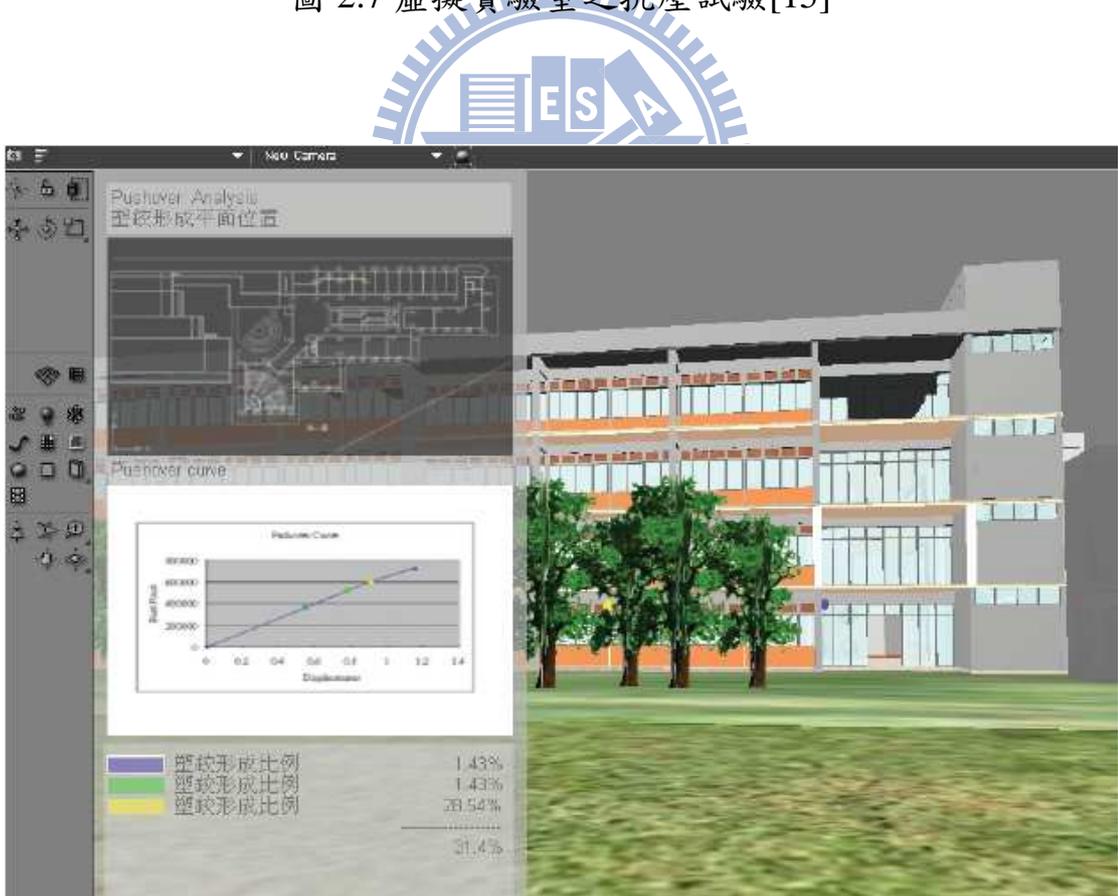


圖 2.8 虛擬實境視覺模擬於結構破壞分析之應用[16]

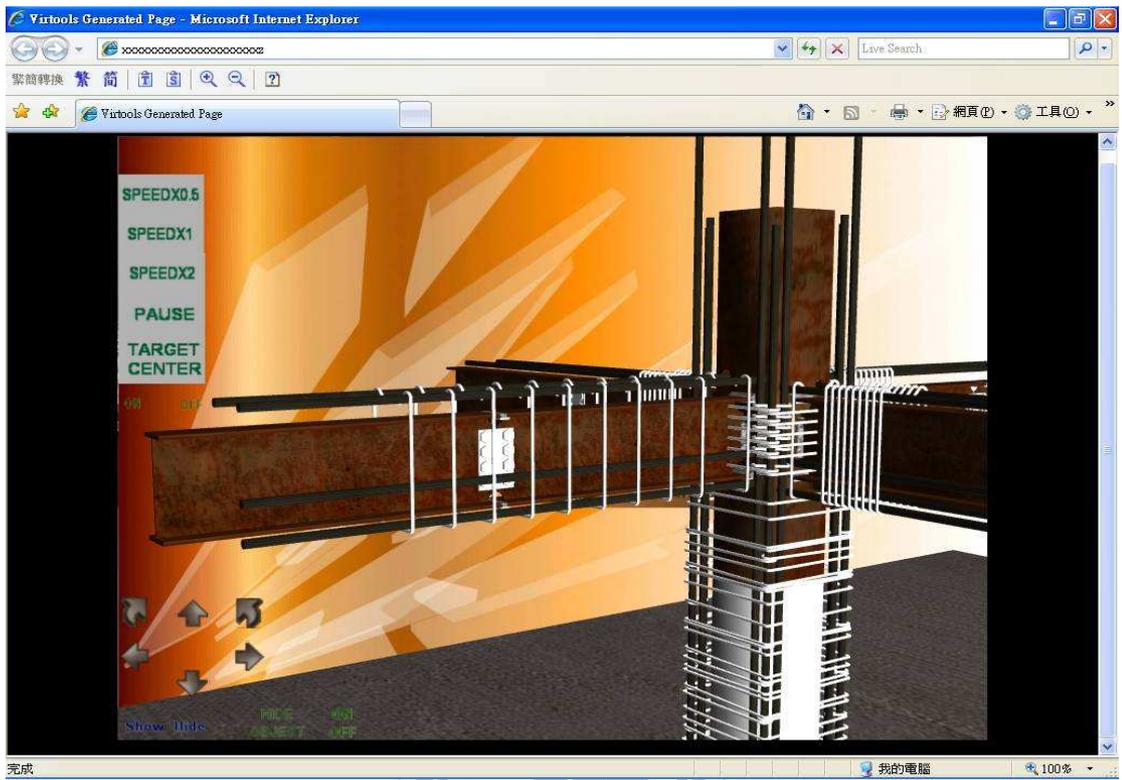


圖 2.9 SRC 基本架構之虛擬實境展示系統[19]



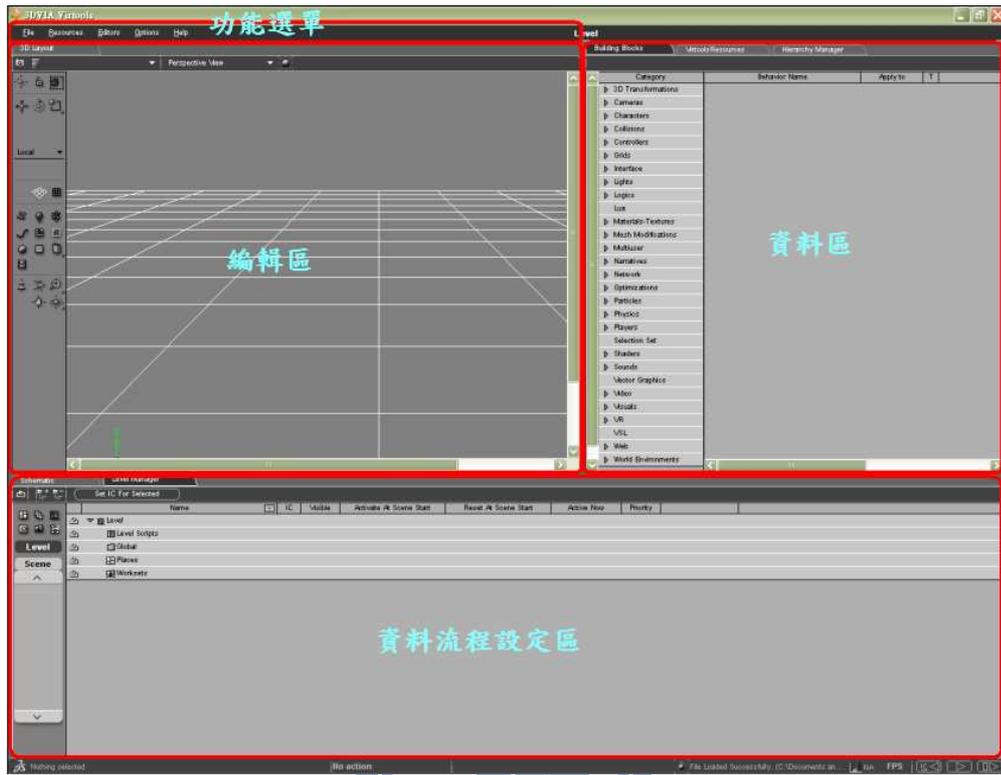


圖 3.1 Virtools 使用者操作介面

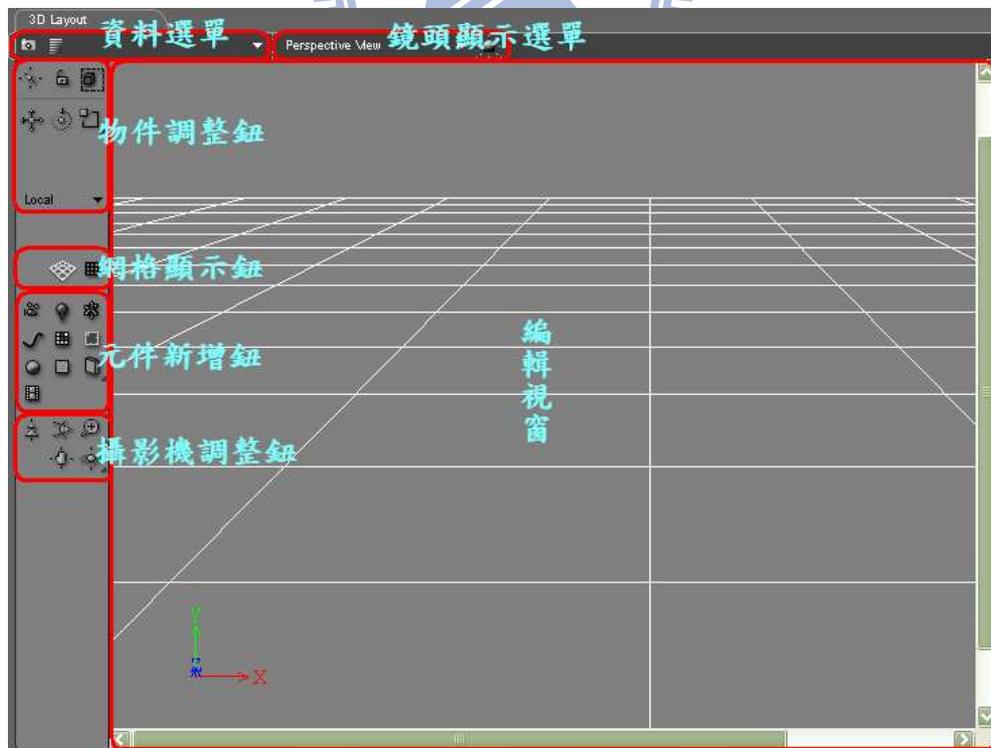


圖 3.2 編輯區介面

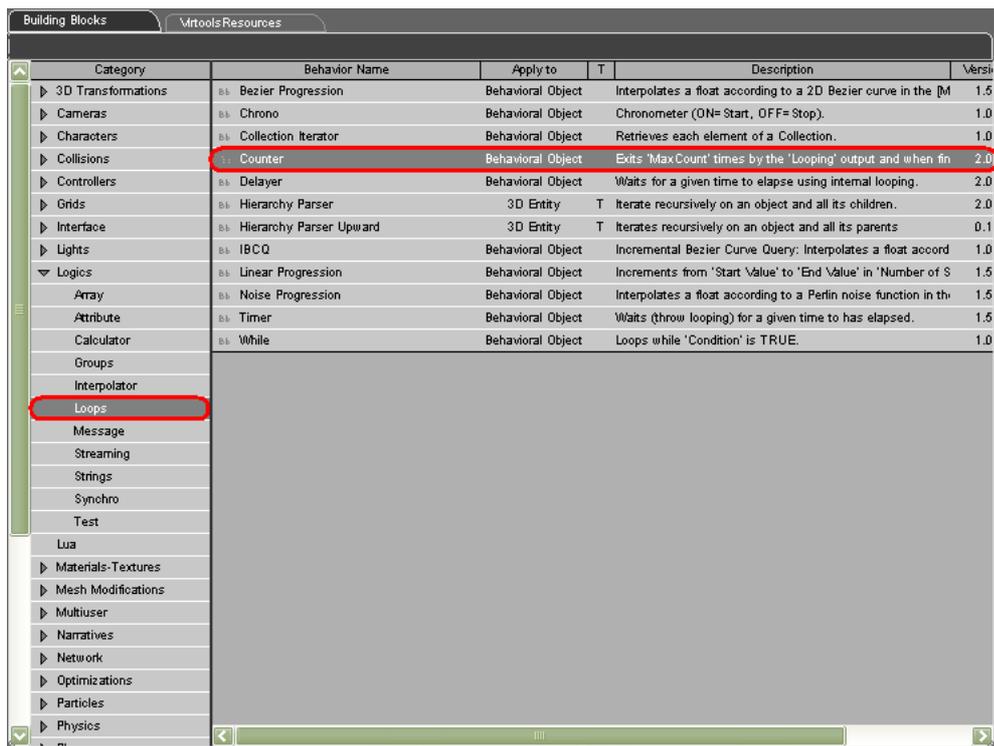


圖 3.3 資料區 Building Blocks 行為模組

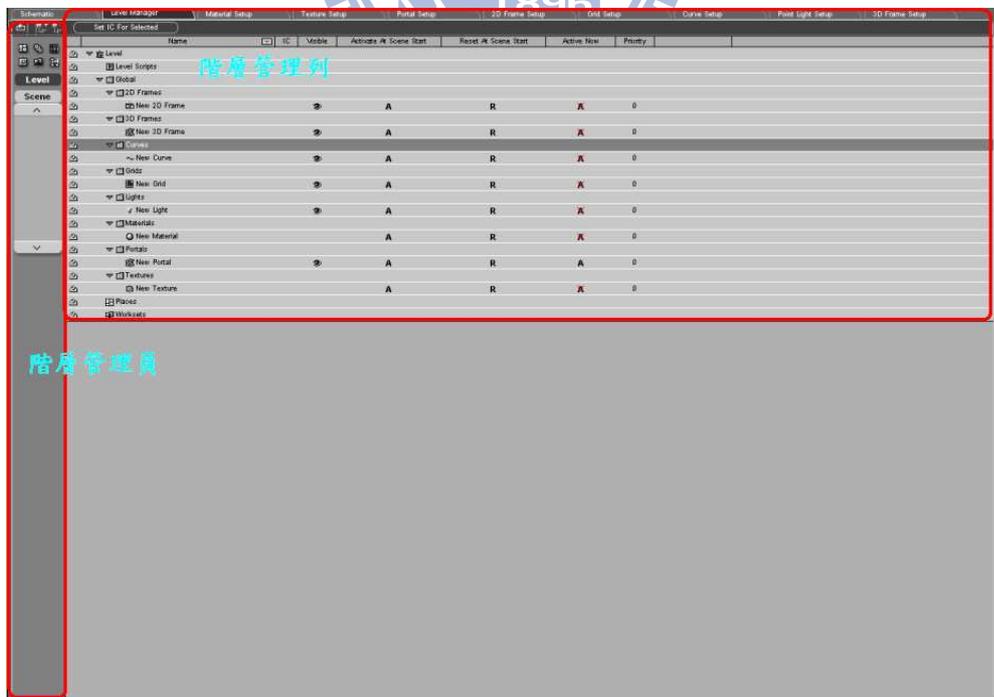


圖 3.4 資料流程設定區 階層管理介面

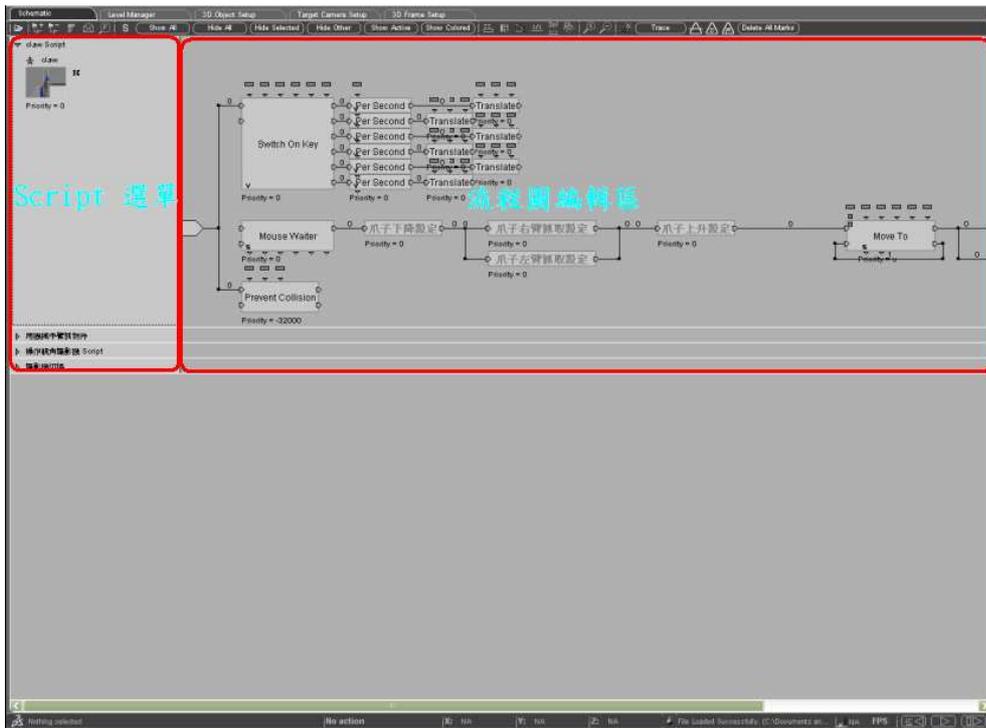


圖 3.5 資料流程設定區 流程圖編輯介面



圖 3.6 Virtools 開發流程[21]



圖 3.7 Poptronik 化學實驗教室-危機處理教學[21]

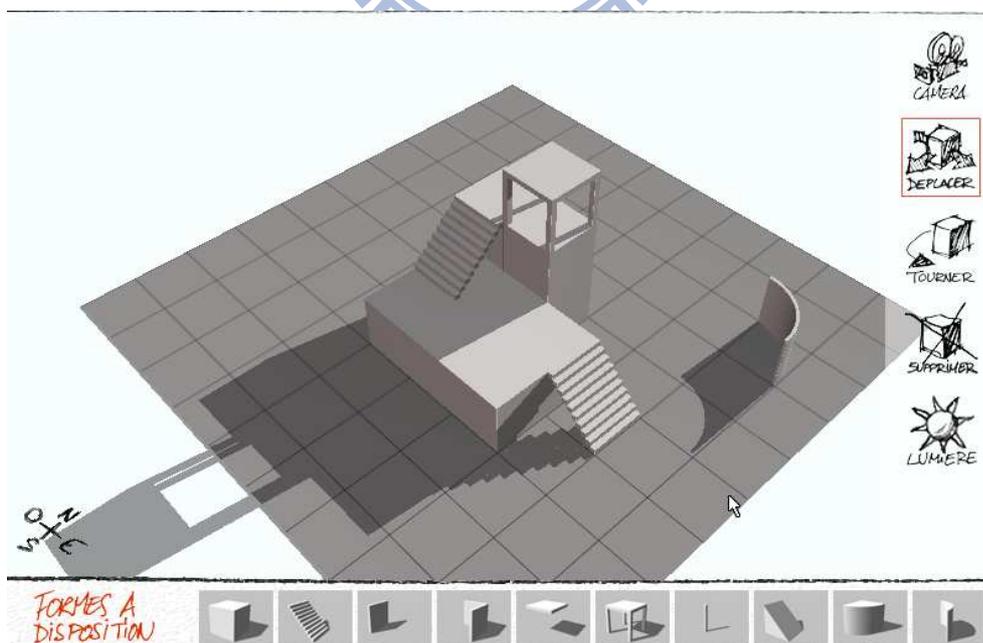


圖 3.8 Science Kit Architectures[21]

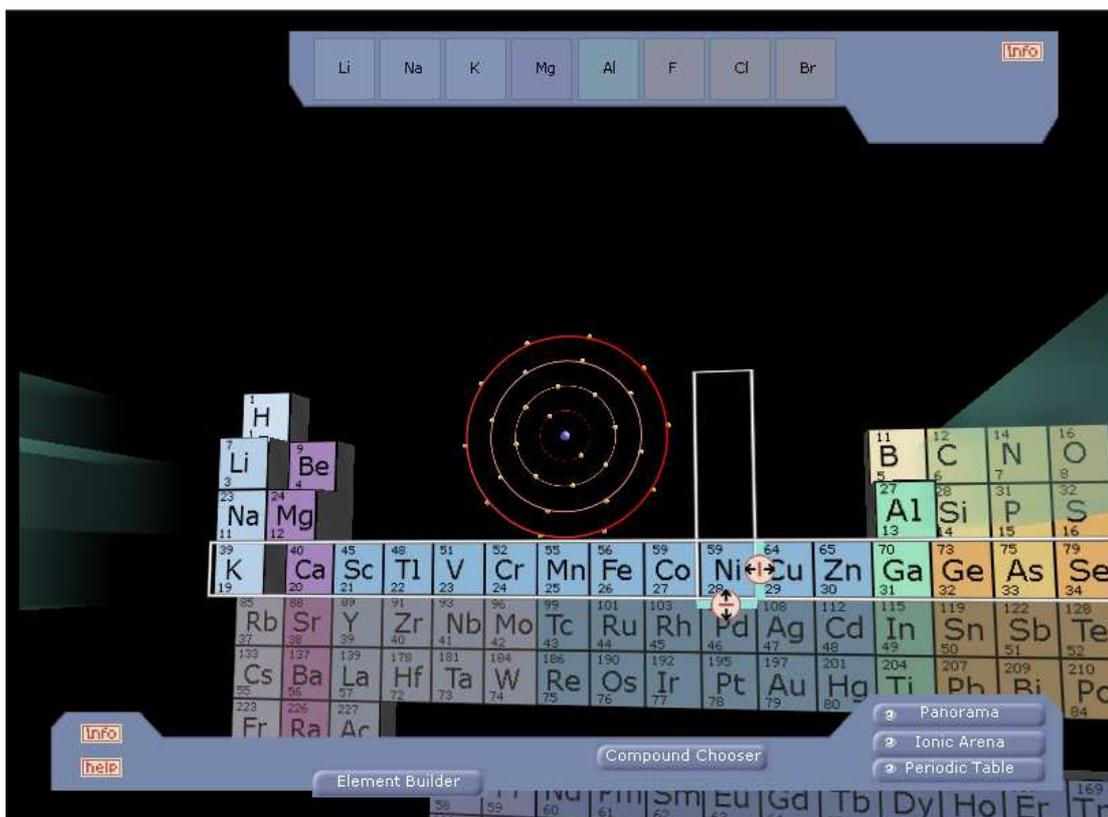


圖 3.9 Chemical[21]



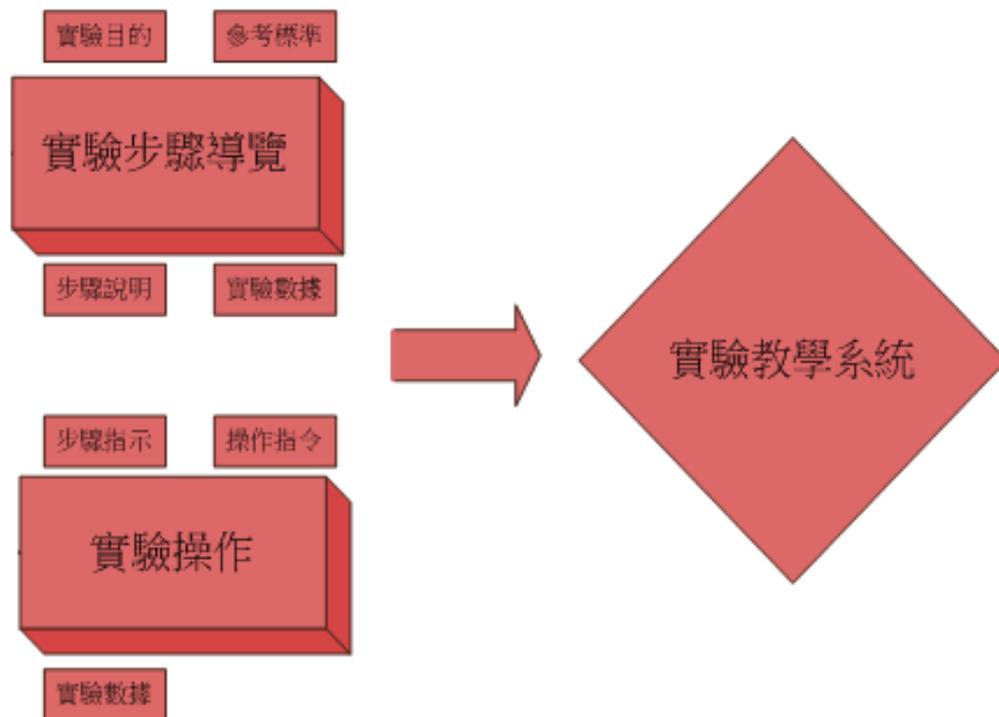


圖 4.1 實驗示範教學系統架構圖

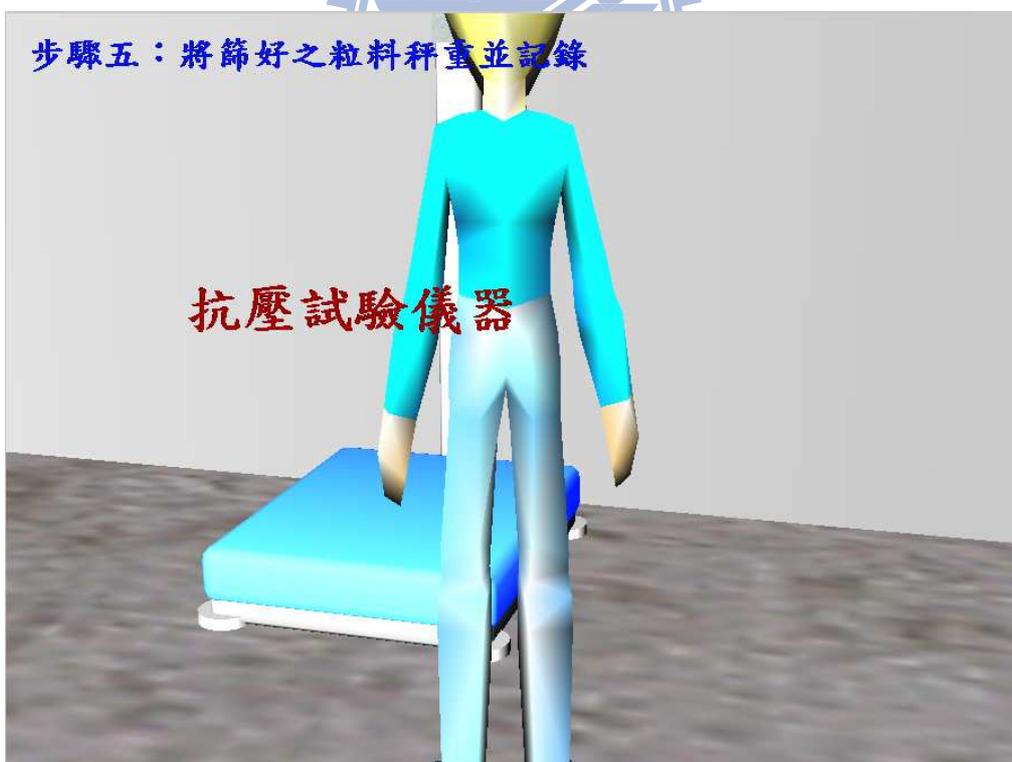


圖 4.2 潘玠怡 粒料篩分析試驗[14]

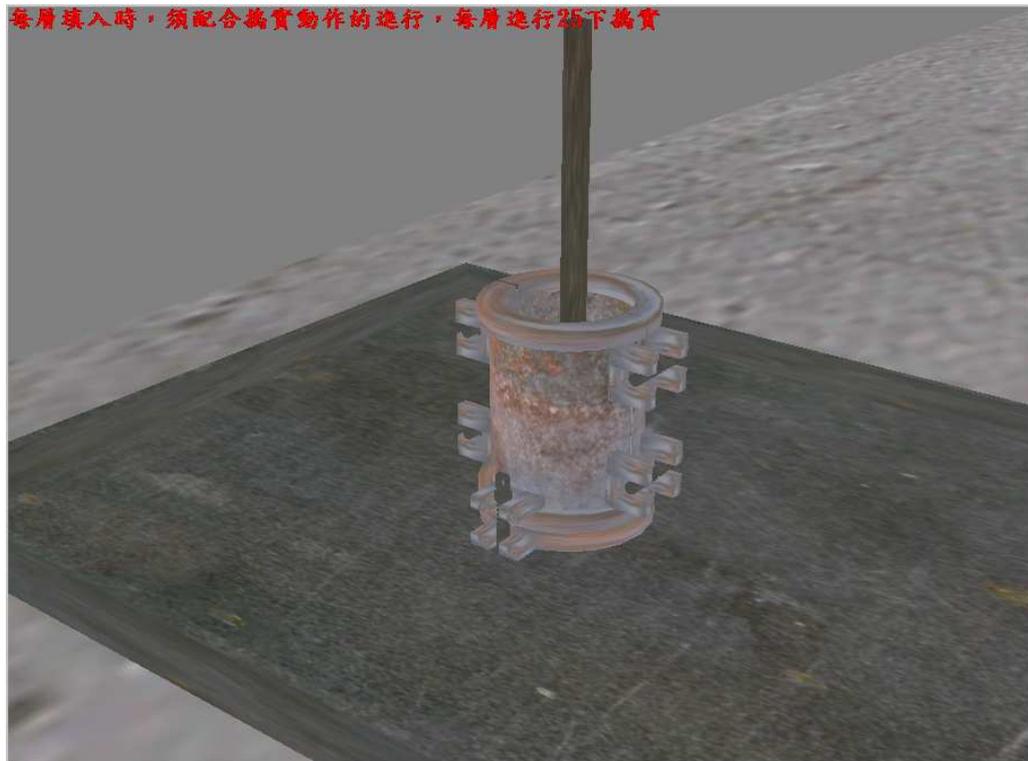


圖 4.3 潘天恩 混凝土抗壓實驗[15]

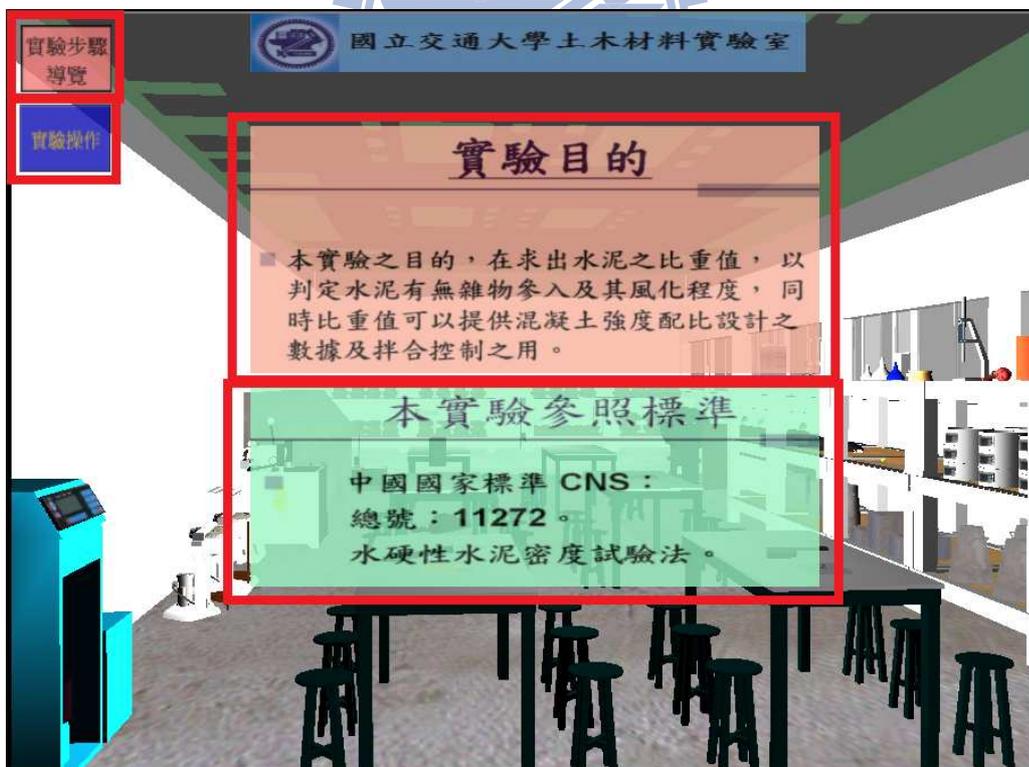


圖 4.4 實驗目的、實驗參考標準、實驗步驟導覽及實驗操作示範

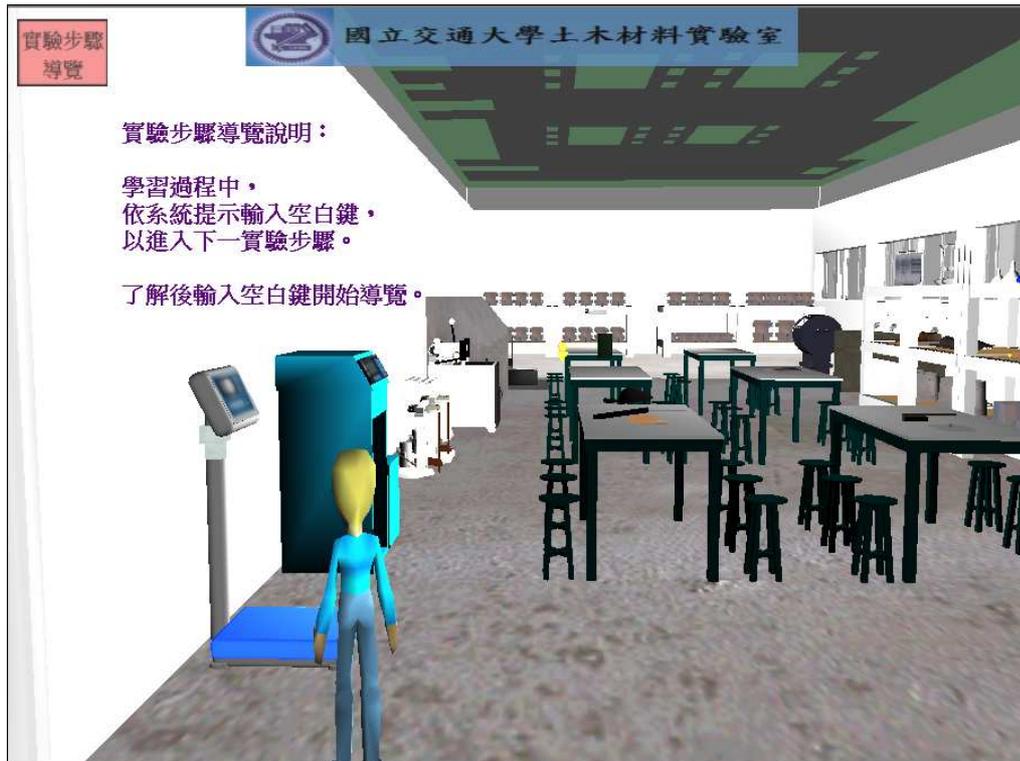


圖 4.5 實驗步驟導覽起始畫面

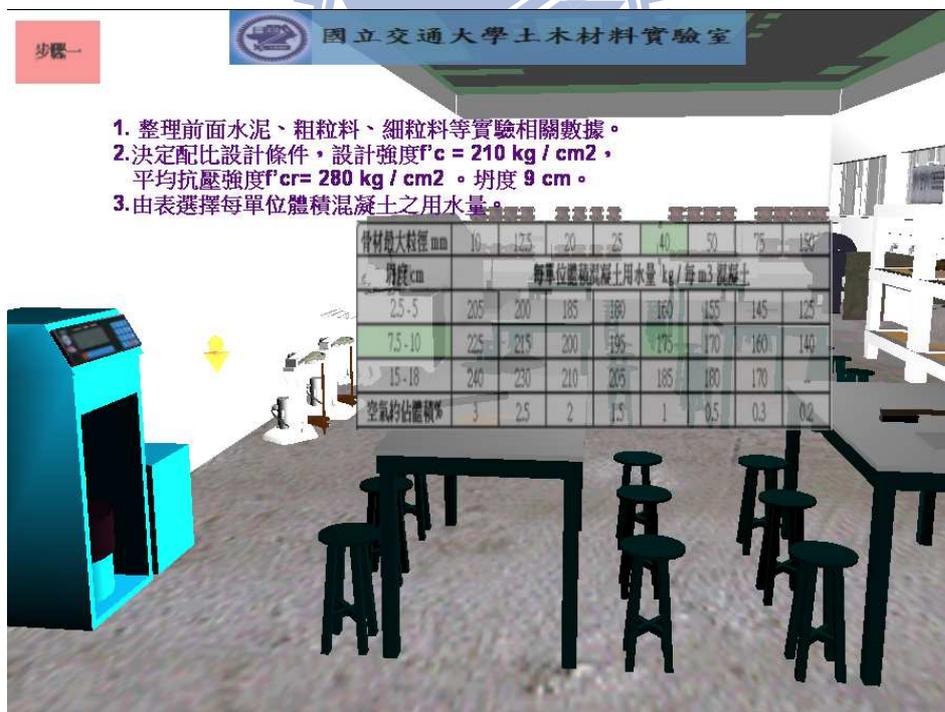


圖 4.6 混凝土配比設計實驗-步驟說明、表格查詢



圖 4.7 實驗操作示範初始畫面

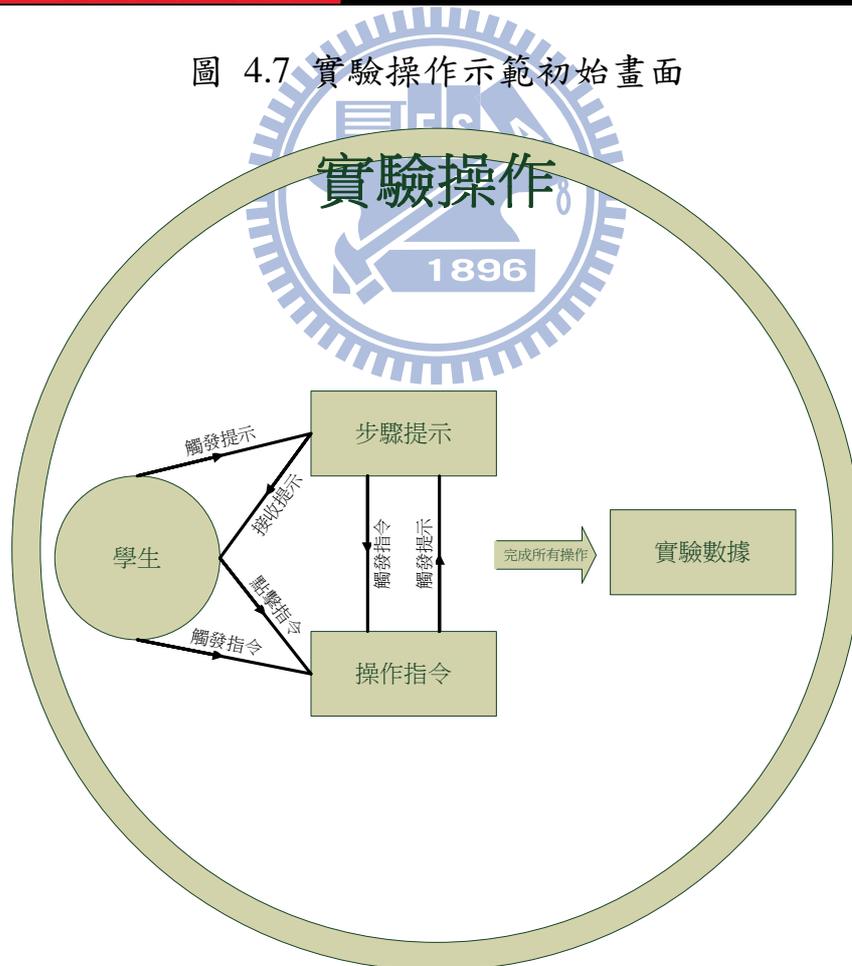


圖 4.8 實驗操作示範架構圖

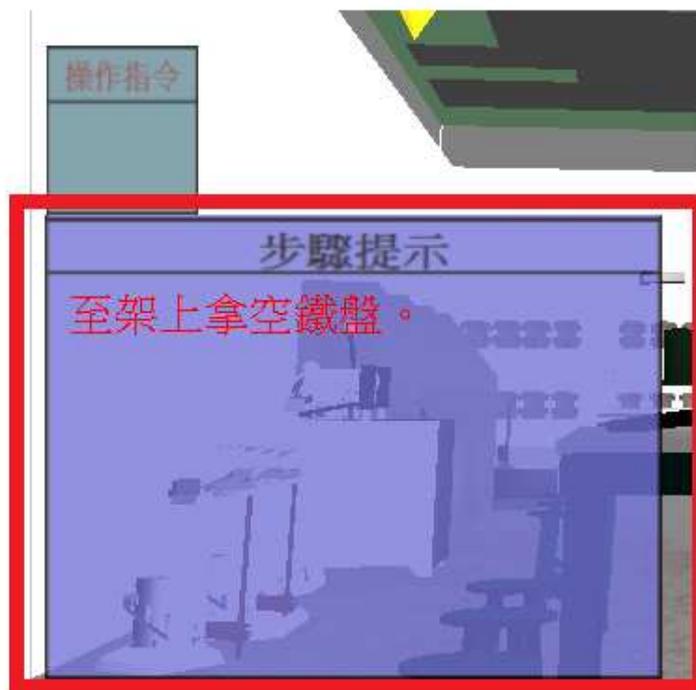


圖 4.9 步驟提示框-拿空鐵盤

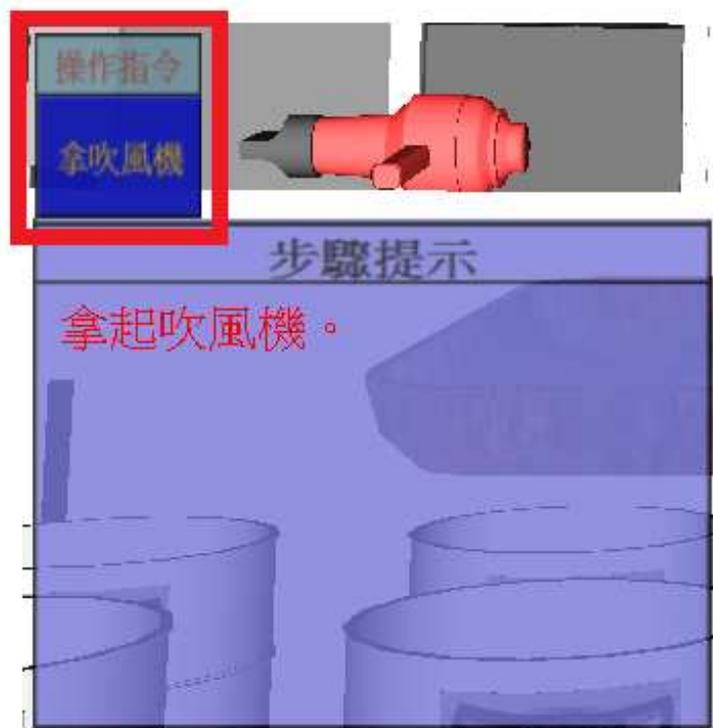


圖 4.10 操作指令鈕-拿吹風機



圖 4.11 實驗紀錄鈕及實驗數據匯整表格

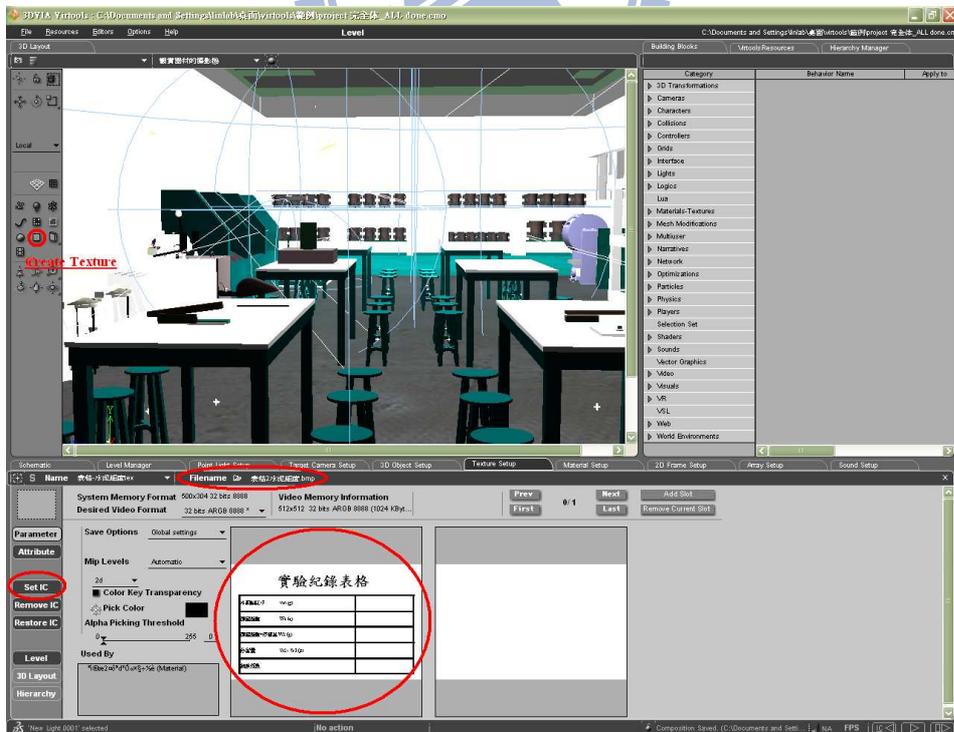


圖 4.12 制定實驗數據表格紋理

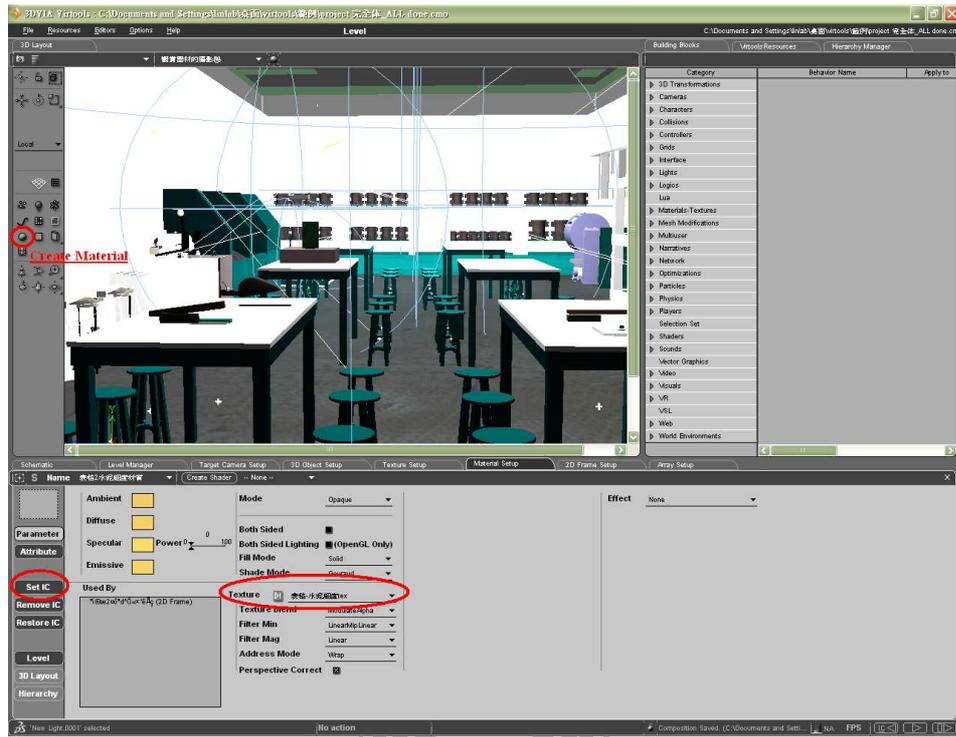


圖 4.13 制定實驗數據表格材質

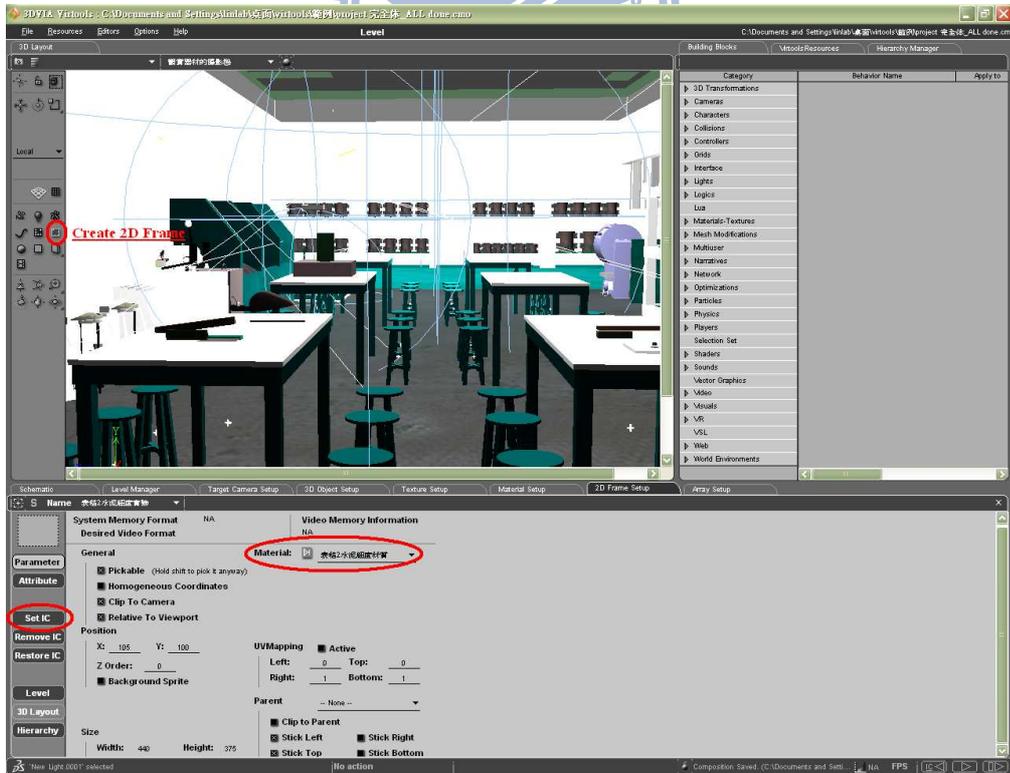


圖 4.14 制定實驗數據表格 2D 框架

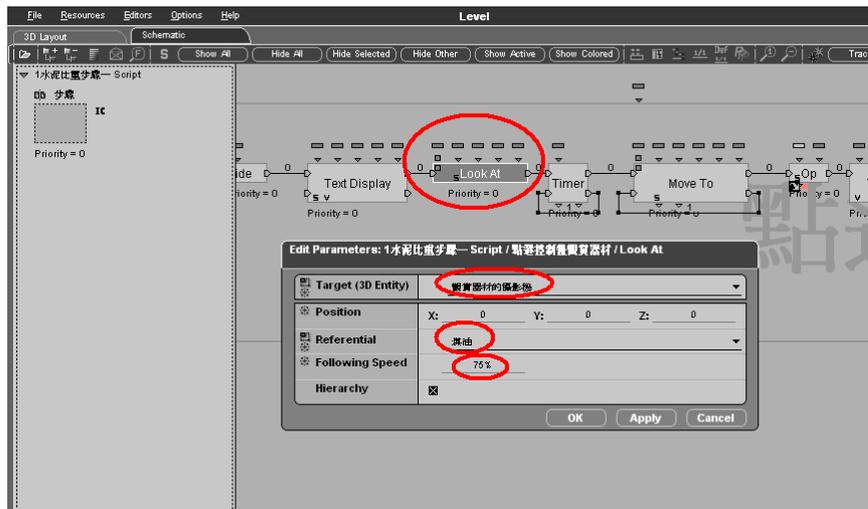


圖 4.15 實驗步驟 3D Transformations 模組 Look At

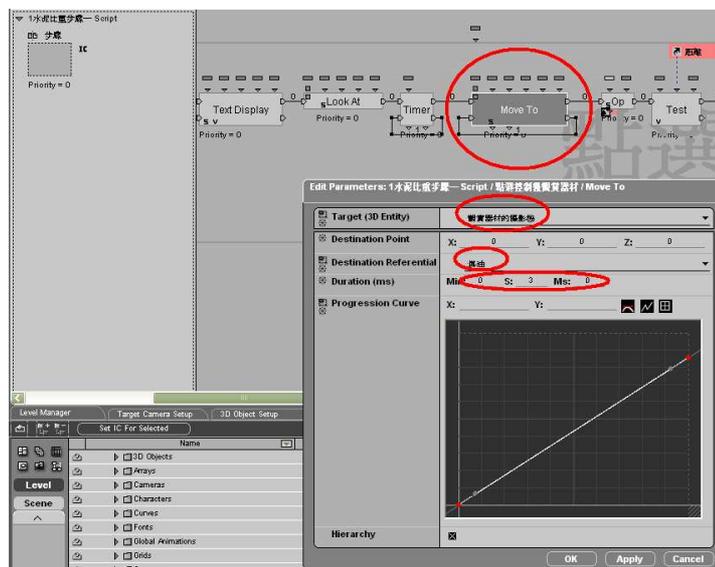


圖 4.16 實驗步驟 3D Transformations 模組 Move To

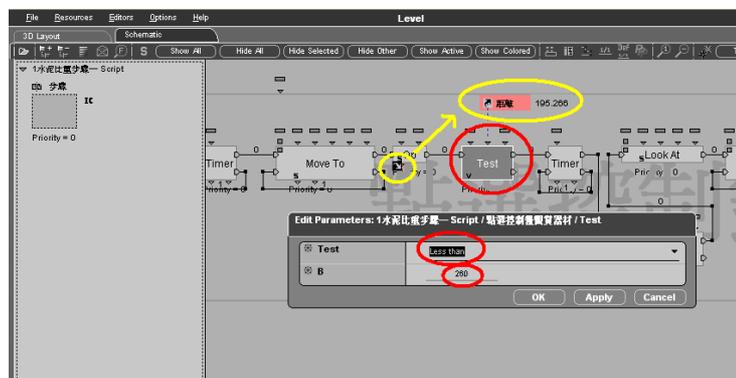


圖 4.17 實驗步驟 Logics 模組 Test

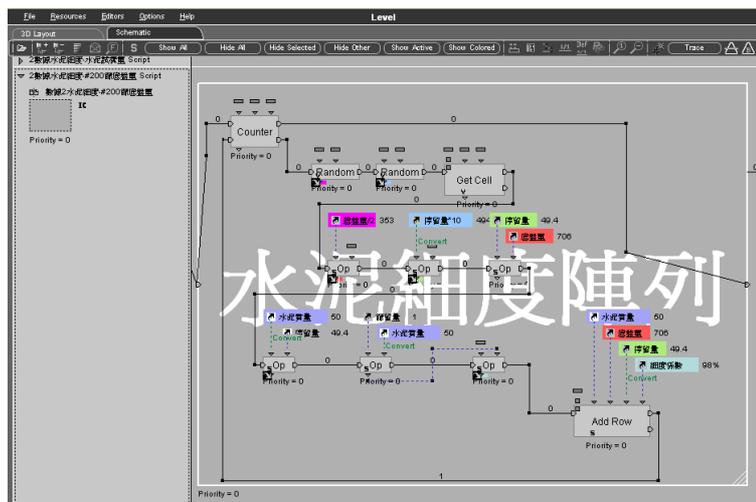


圖 4.18 實驗數據模擬運算流程

Name	IC	Visible	Activate At Scene Start	Reset At Scene Start	Active Now	Priority
malan000使用說明控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan000參數盤控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan000停盤盤控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan000總盤歸位控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan001食2kg細粒控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan002烘乾細粒控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan003取出恆重細粒控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan005放好總盤控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan006食水樽控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan007水樽蓋水樽控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan008食滿好水的水樽控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan008放下水樽控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan010加入細粒控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan011食乾水樽控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan012取水控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan013食乾水樽控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan014取出細粒控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan015水樽歸位控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan016食乾量筒控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan017食滿量筒控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan018乾筒攪拌控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan019食量筒控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan020把粒料放入量筒控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan021拖費25下控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan022擲平控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan023工具筒攪拌控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan024量筒內粒料恆重操作控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan025歸位量筒控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan101參數盤控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan102放好總盤控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan105食乾手樽控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan106粉粒控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan107粉粒控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan108秤克500g控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan109把粒料盛盤歸位控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan110食量筒控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan111取水控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan112食量筒2控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan113放量筒控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan114食比重瓶控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan115秤比重瓶控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan116移動比重瓶控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan117取水150ml控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan118食漏斗控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan119掃上漏斗控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan120取出細粒控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan121取水量500ml控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan122取水2控制鈕 Script	X		A	R	A	0
malan123秤500ml比重瓶控制鈕 Script	X		A	R	A	0
秤細粒恆重操作控制鈕 Script	X		A	R	A	0

圖 4.19 實驗操作示範 操作指令鈕 Script 清單

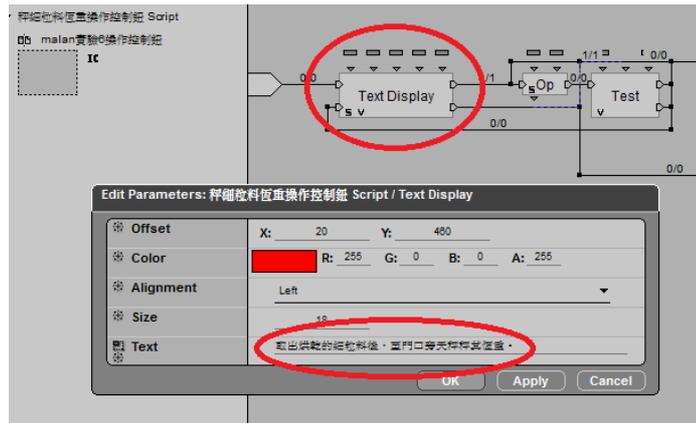


圖 4.20 操作指令鈕 Text Display 模組設定

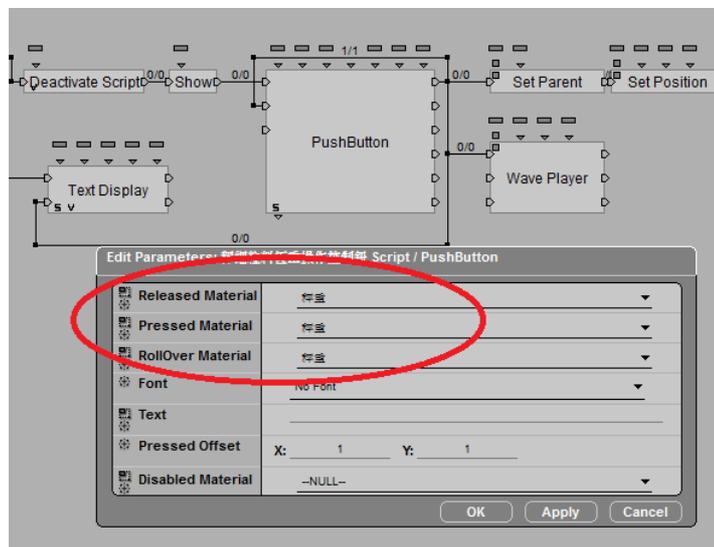


圖 4.21 操作指令鈕 PushButton 模組設定

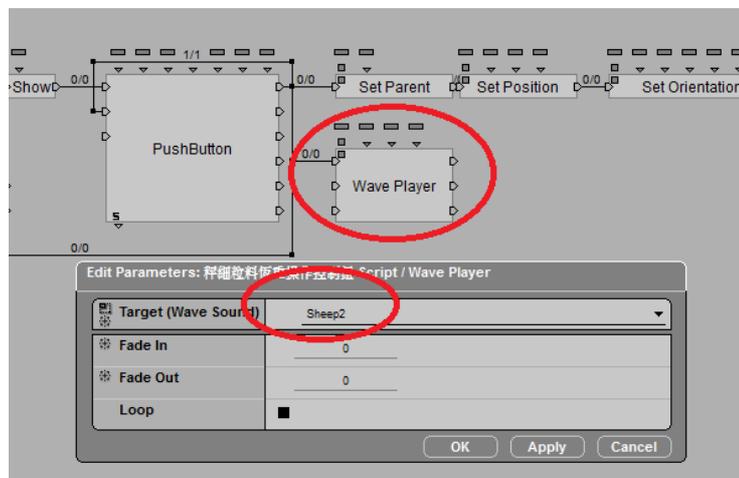


圖 4.22 音效 Wave Play 模組設定



圖 4.23 物件階層 Set Parent 模組設定

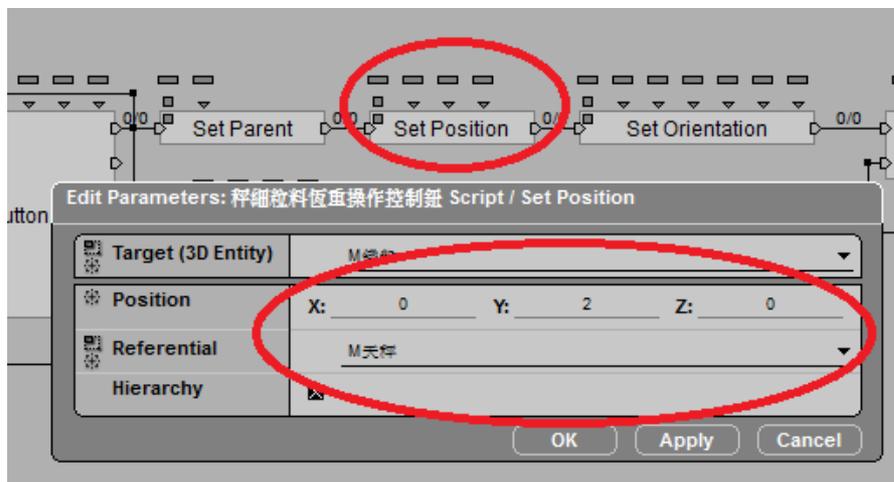


圖 4.24 物件位置 Set Position 模組設定

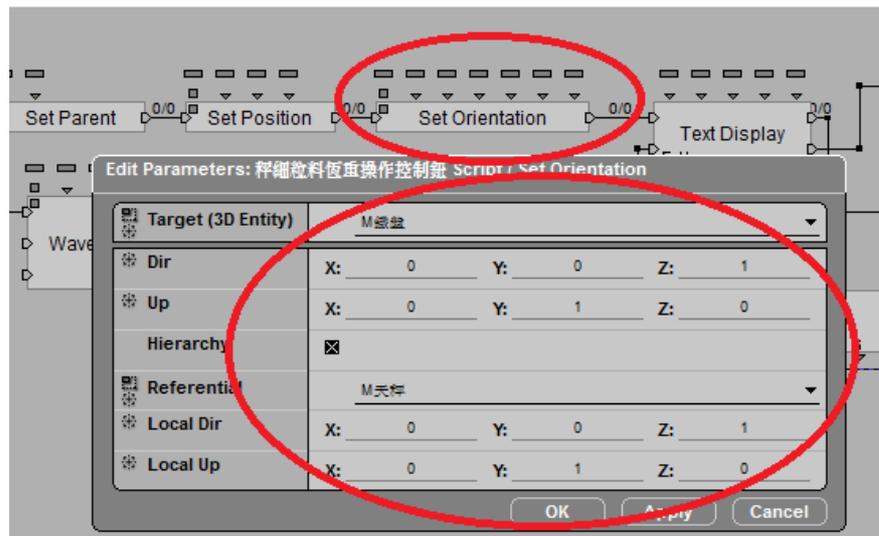


圖 4.25 物件方向 Set Orientation 模組設定

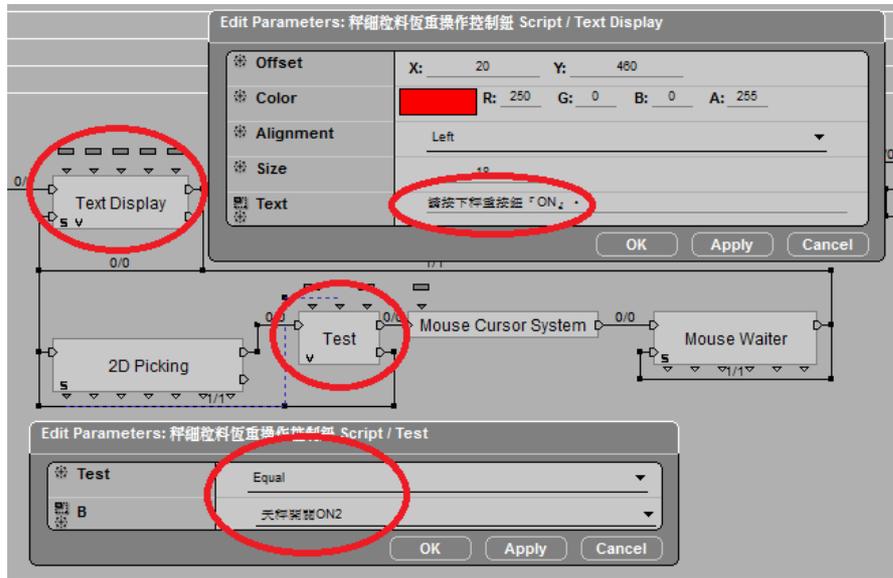


圖 4.26 天秤開關點擊前互動效果設定

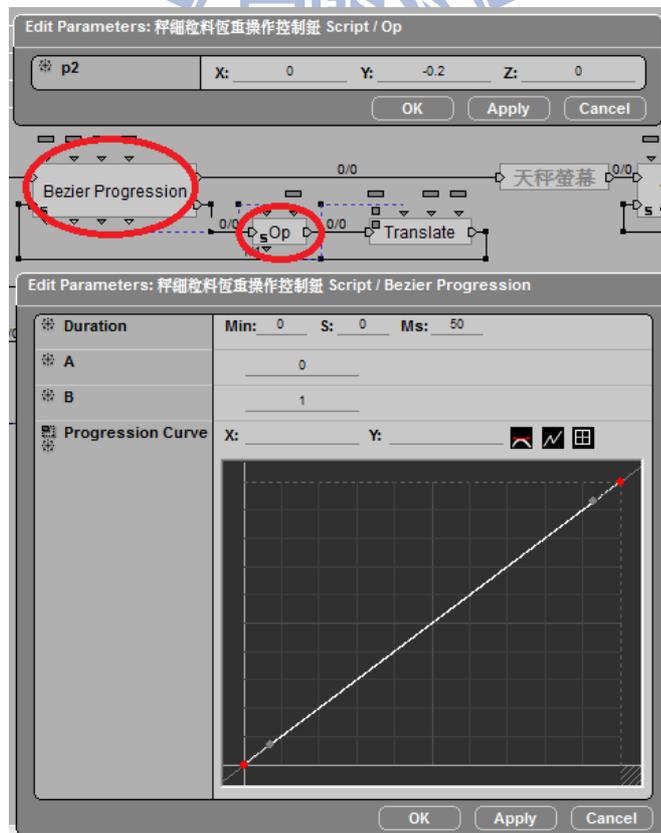


圖 4.27 天秤開關點擊後互動效果設定

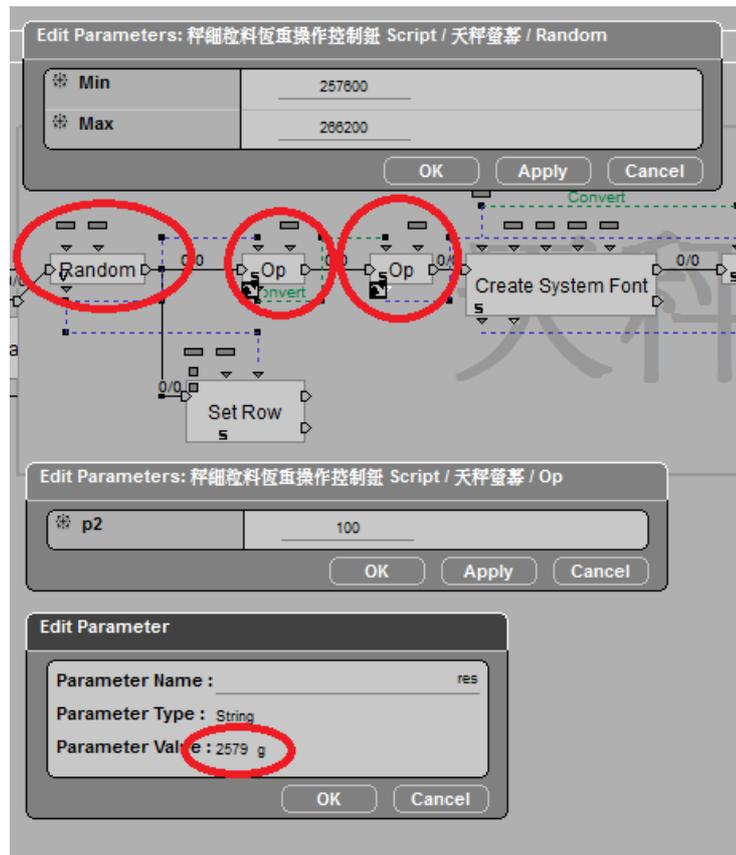


圖 4.28 細粒料恆重運算設定

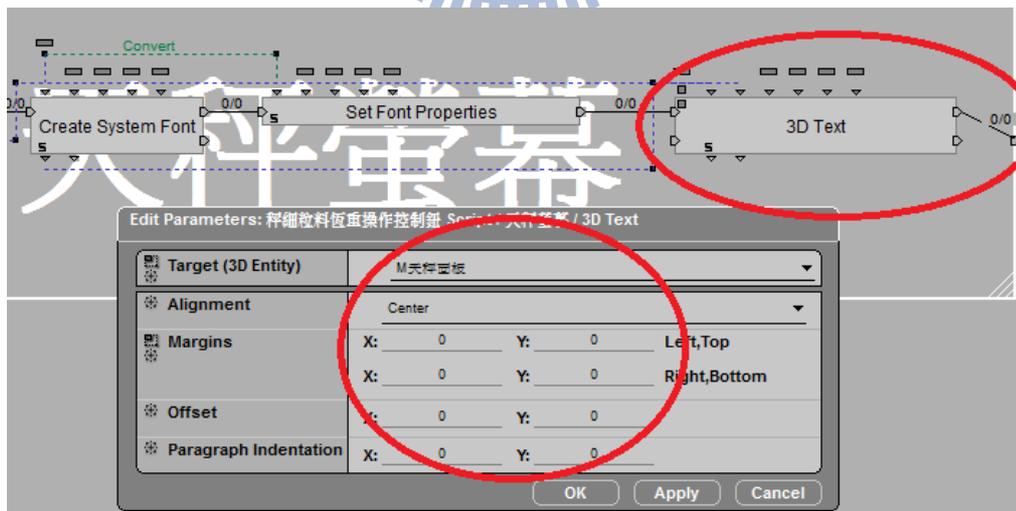


圖 4.29 天秤螢幕顯示設定

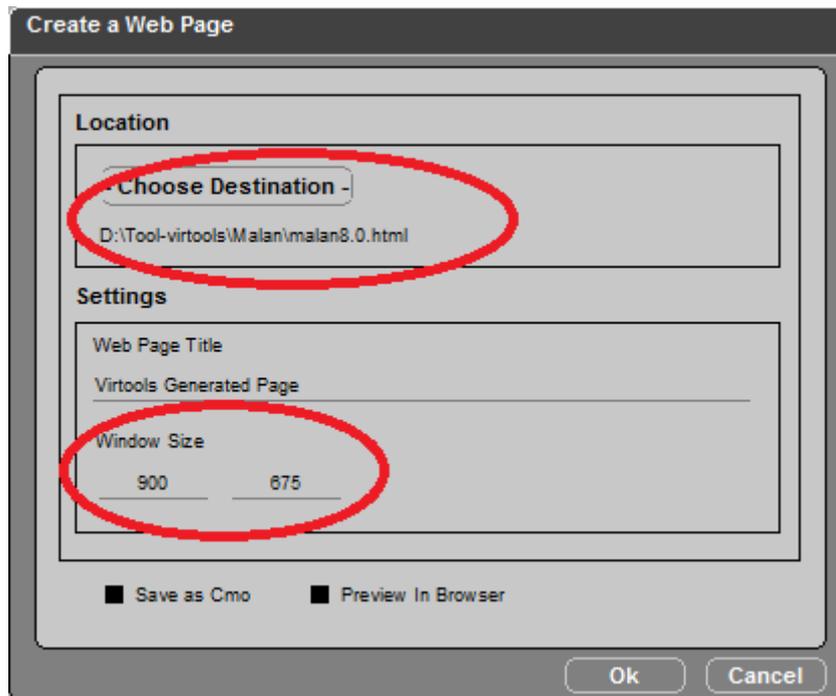


圖 4.30 網頁檔輸出設定

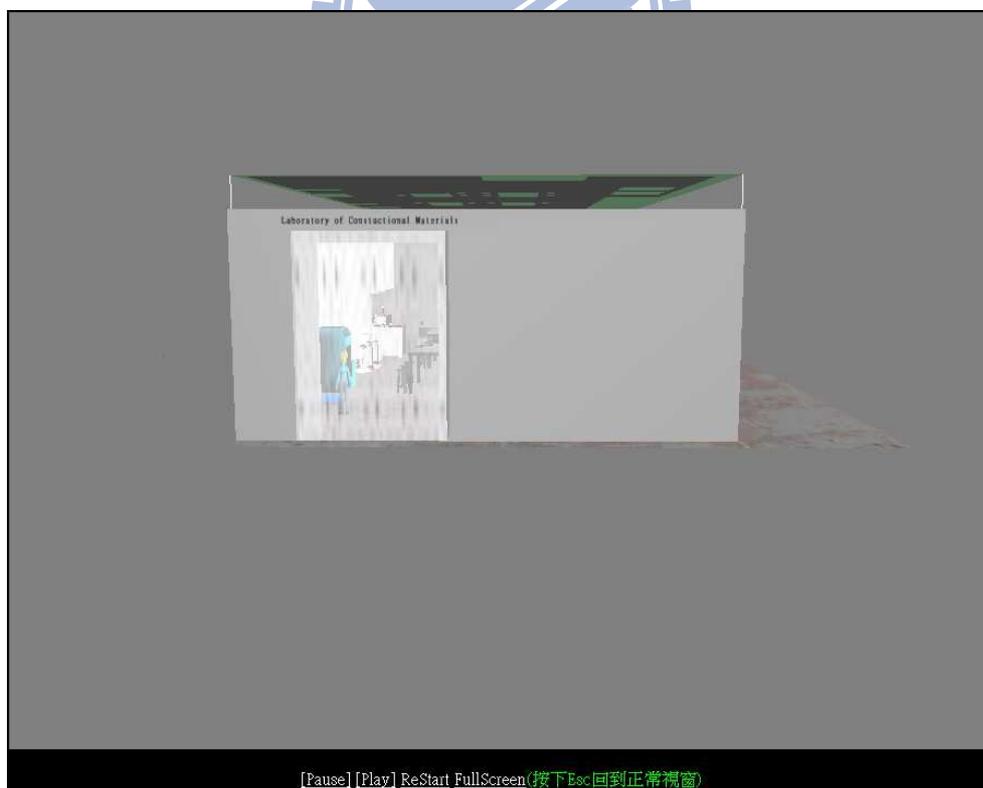


圖 4.31 虛擬實驗室起始畫面



圖 5.1 教學網站畫面

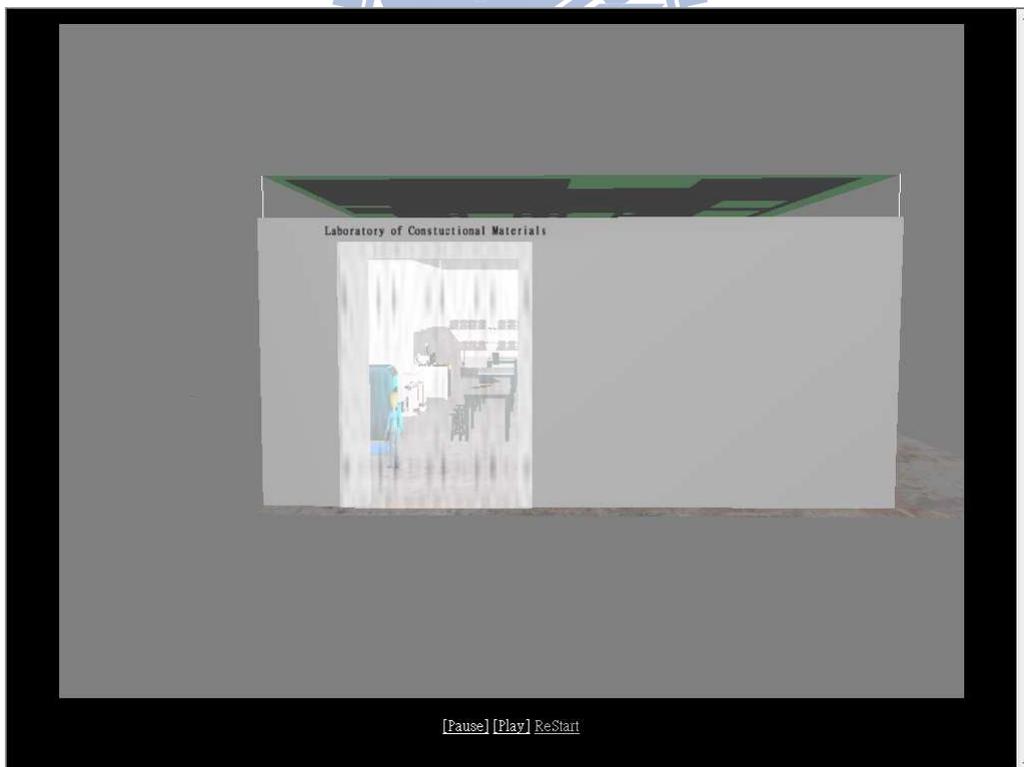


圖 5.2 虛擬材料實驗室外觀



圖 5.3 自動門開啟效果



圖 5.4 點選頂端啟動鈕



圖 5.5 材料分類



圖 5.6 水泥比重實驗



圖 5.7 水泥比重實驗 起始畫面

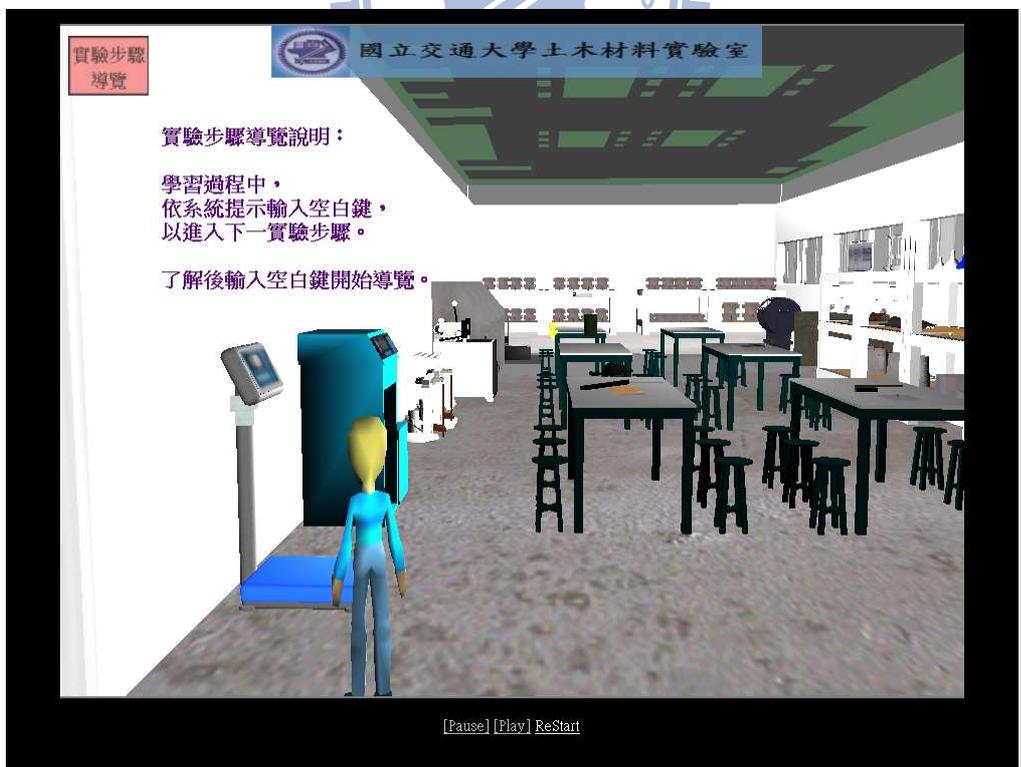


圖 5.8 實驗步驟導覽 操作解說



圖 5.9 將煤油倒入比重瓶

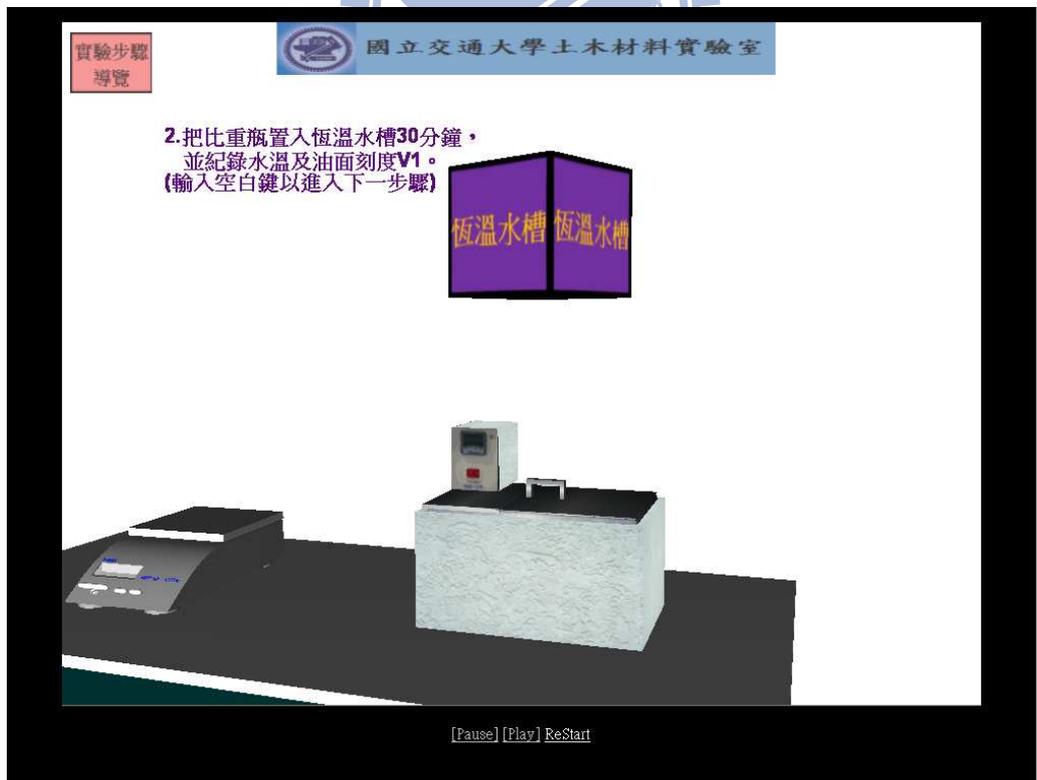


圖 5.10 將比重瓶放入恆溫水槽

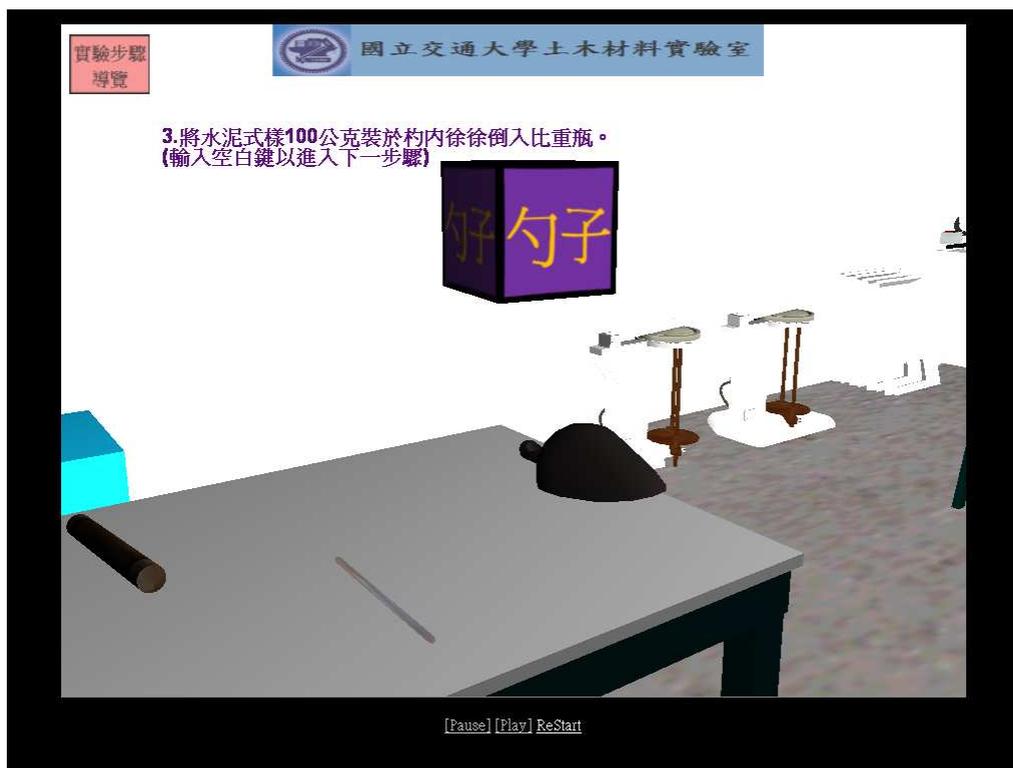


圖 5.11 以勺子將水泥倒入比重瓶中

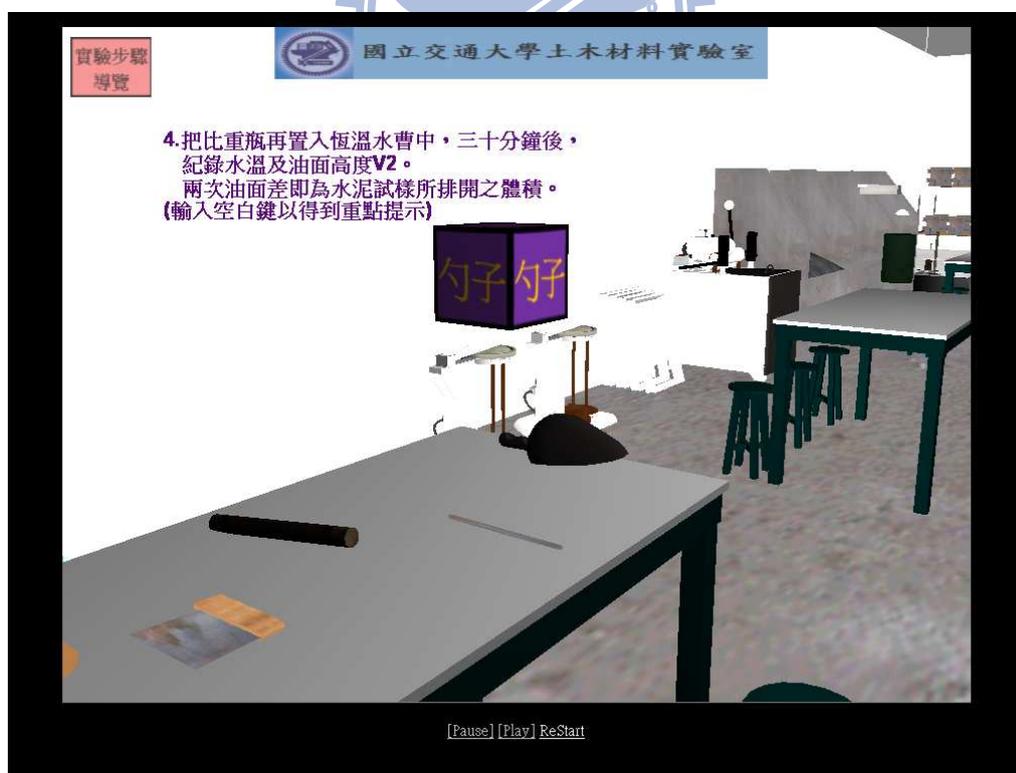


圖 5.12 將比重瓶放入恆溫水槽中



圖 5.13 水泥比重實驗重點提示



圖 5.14 水泥性質說明



圖 5.15 實驗紀錄說明



圖 5.16 實驗紀錄表格及實驗數據呈現



圖 5.17 細粒料比重、吸水率實驗 起始畫面

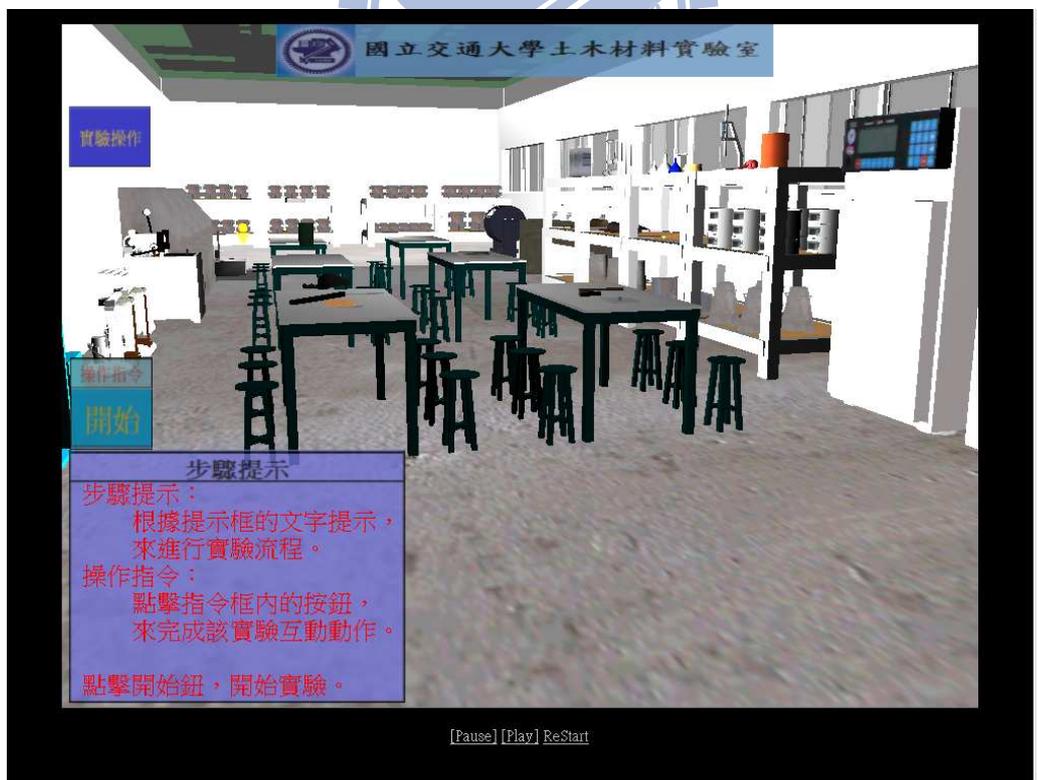


圖 5.18 實驗操作示範 操作說明



圖 5.19 細粒料氣乾階段說明

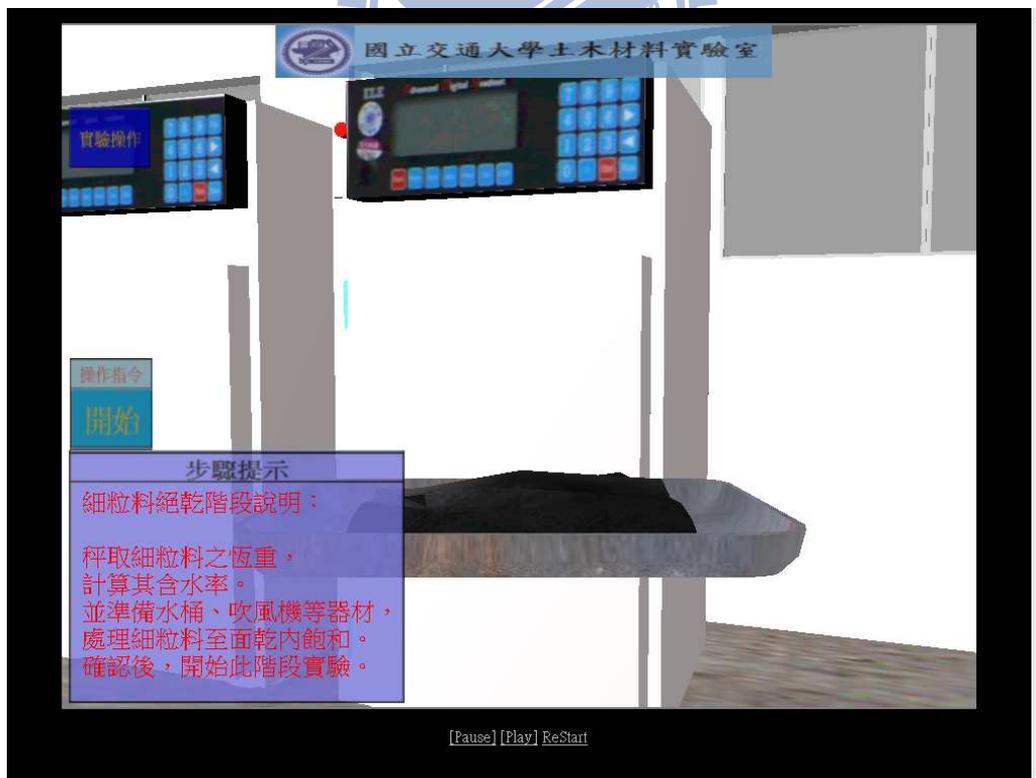


圖 5.20 細粒料絕乾階段說明

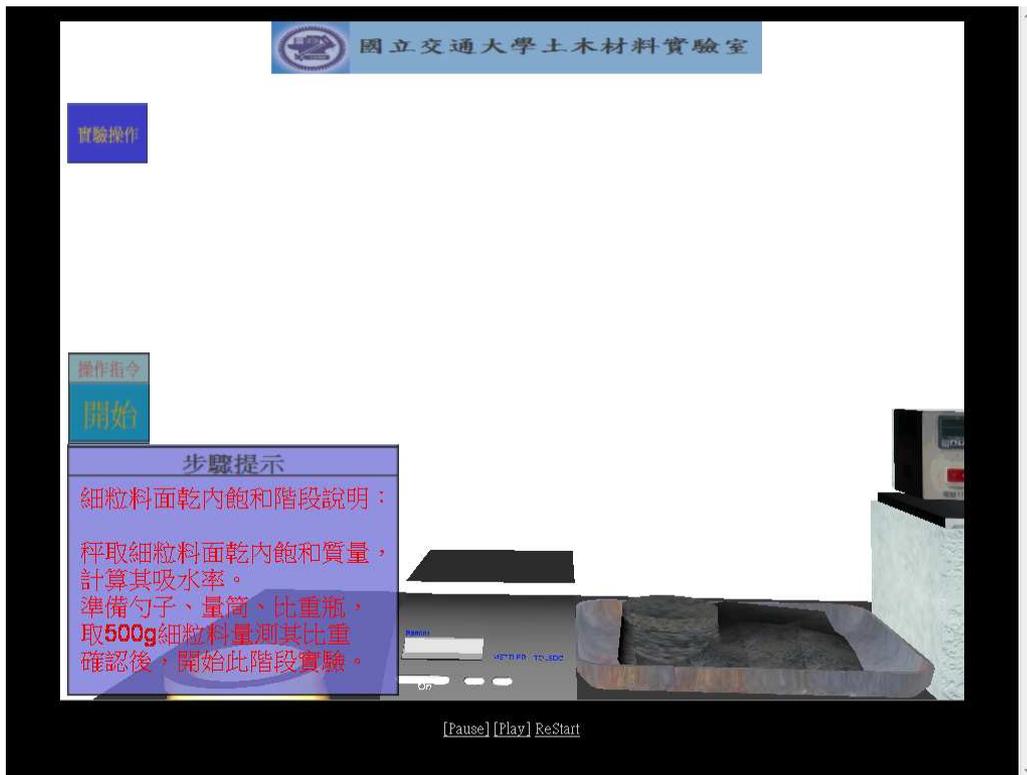


圖 5.21 細粒料面乾內飽和階段說明

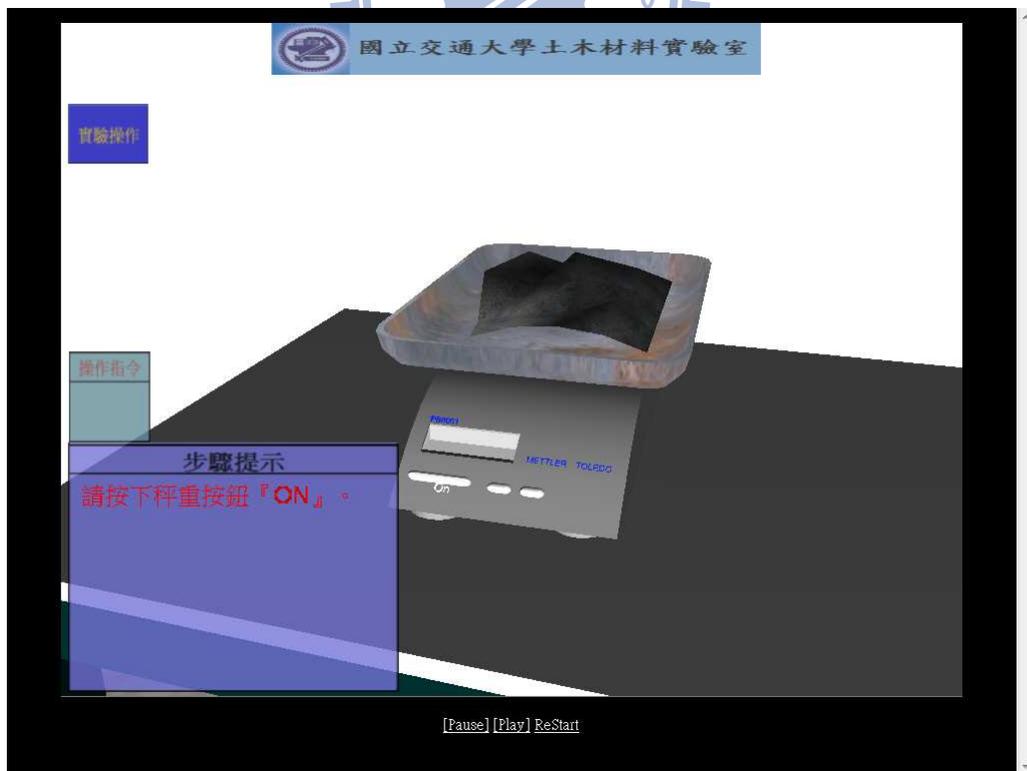


圖 5.22 秤重互動

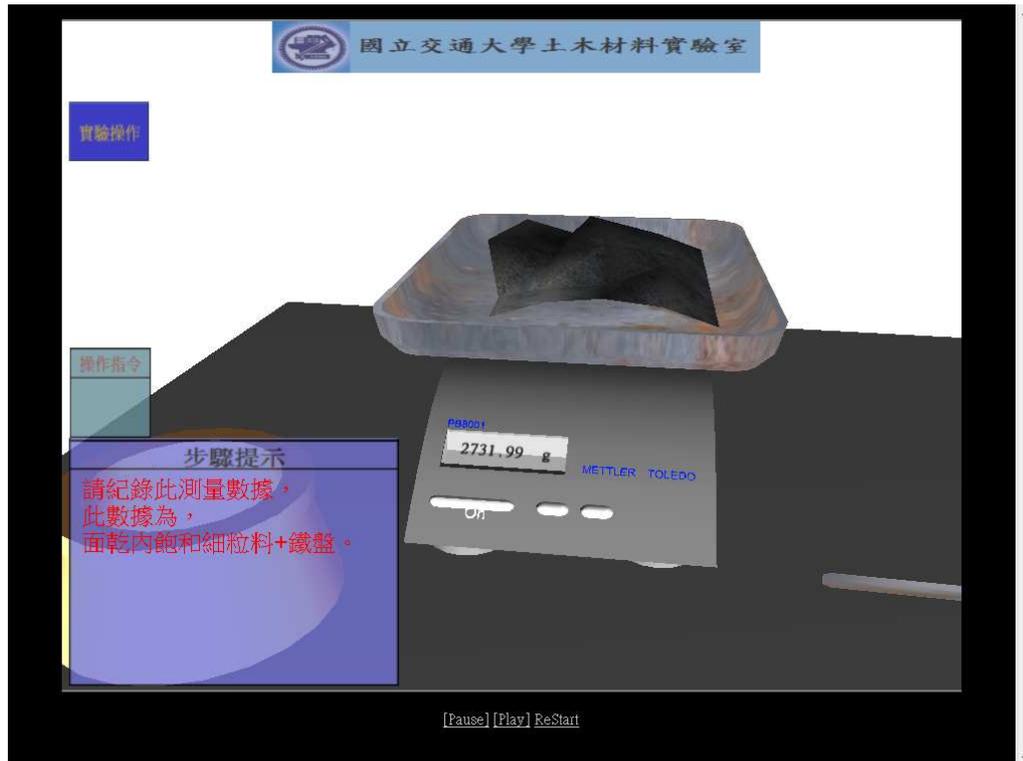


圖 5.23 顯示面乾內飽和細粒料質量(含鐵盤)



圖 5.24 調整視角找到空鐵盤

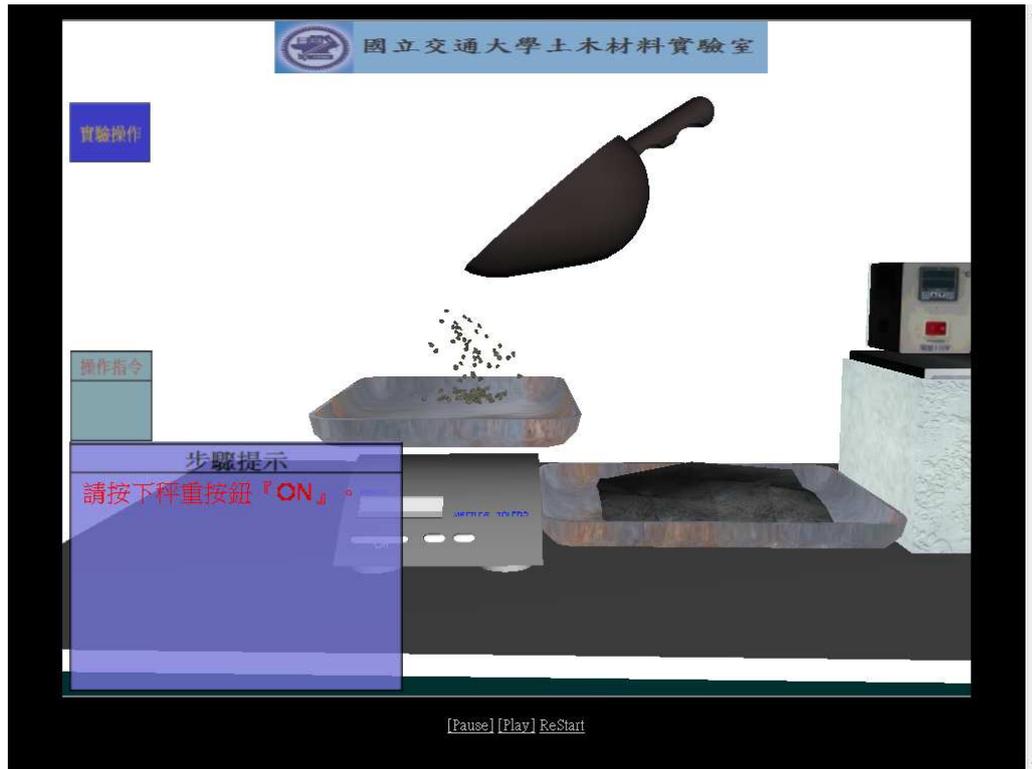


圖 5.25 細粒料倒入鐵盤

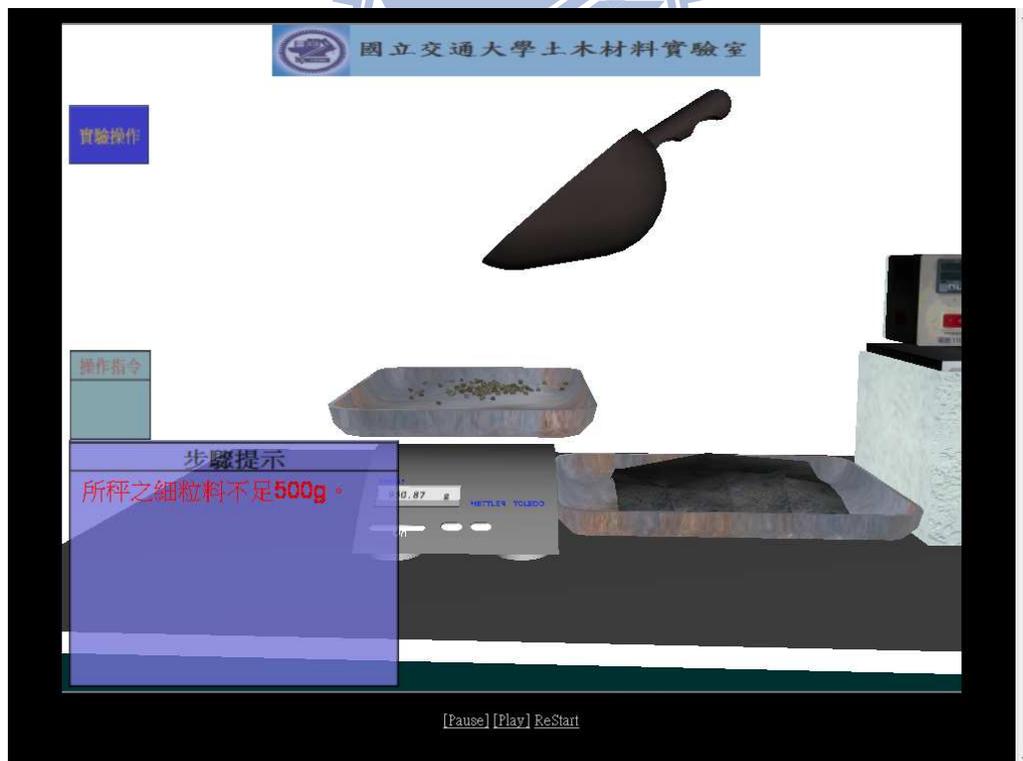


圖 5.26 系統提示不足 500g 細粒料(含鐵盤重)



圖 5.27 系統提示整理、歸位

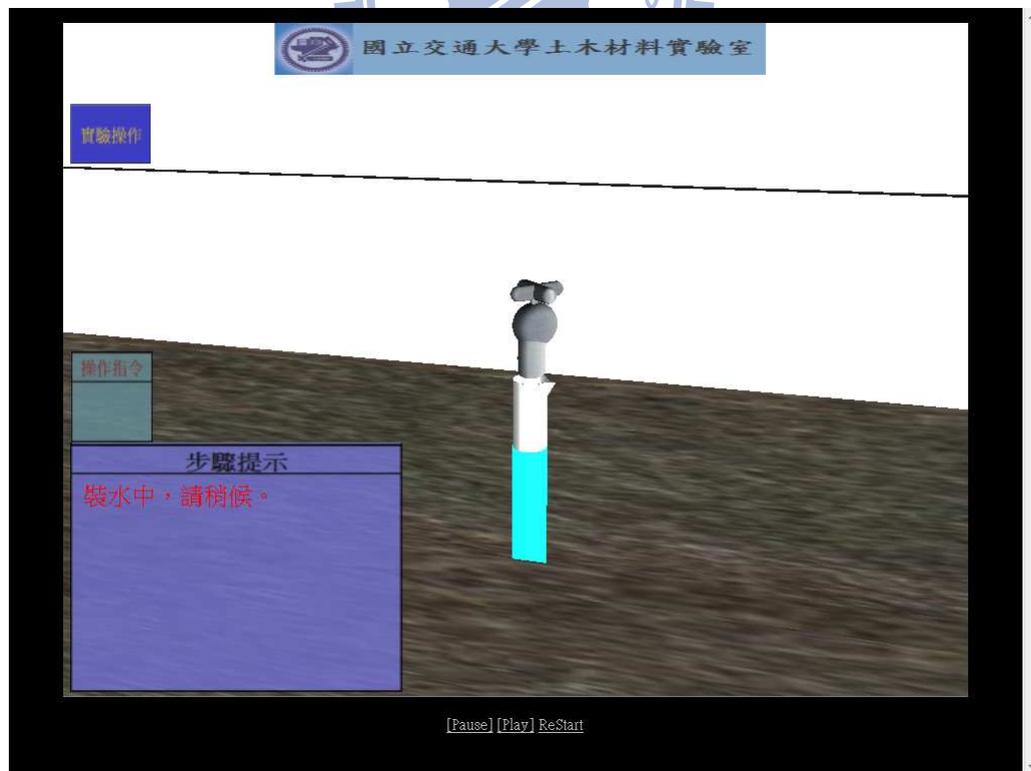


圖 5.28 量桶裝水中

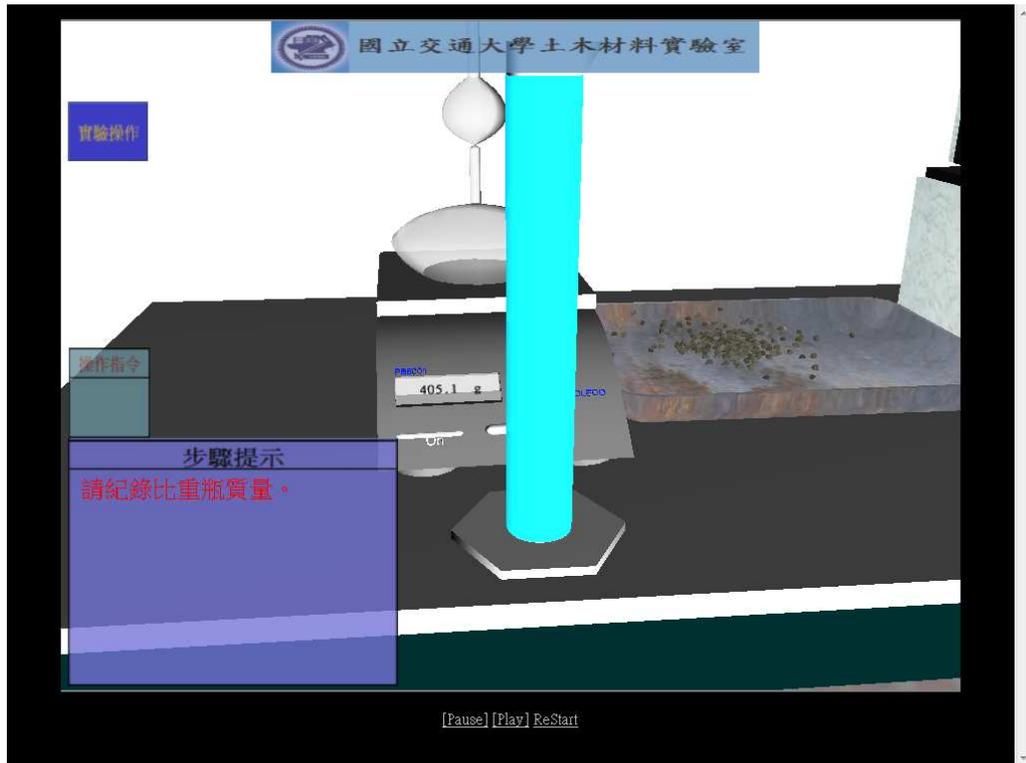


圖 5.29 顯示比重瓶質量

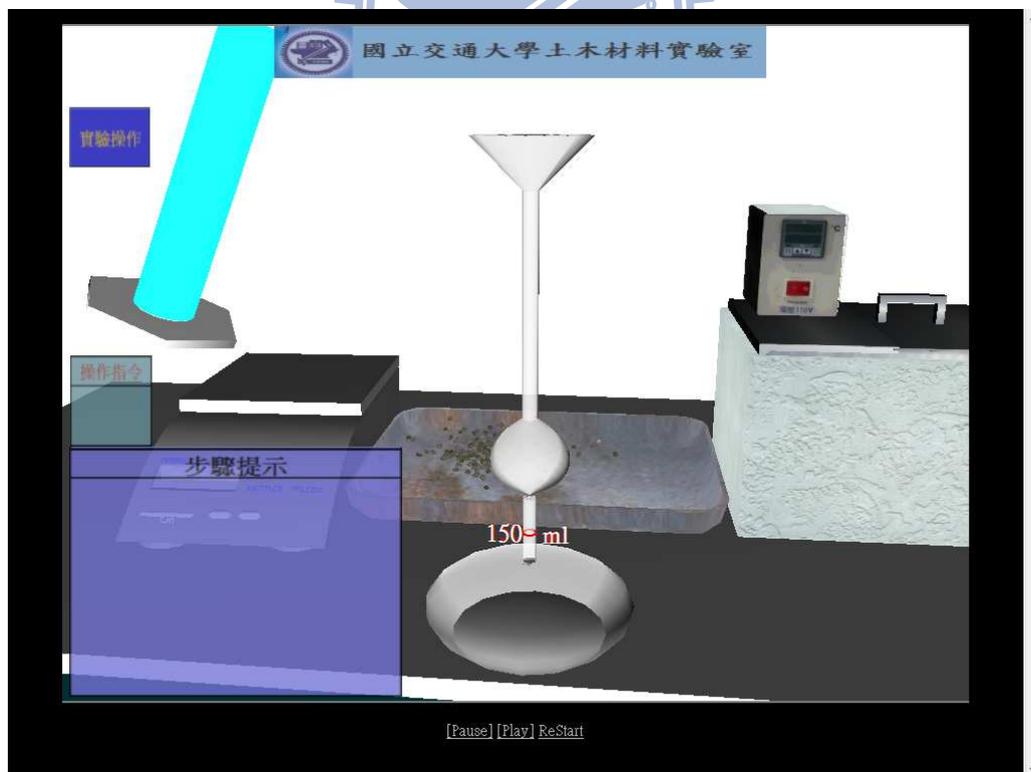


圖 5.30 顯示水面已達 150ml

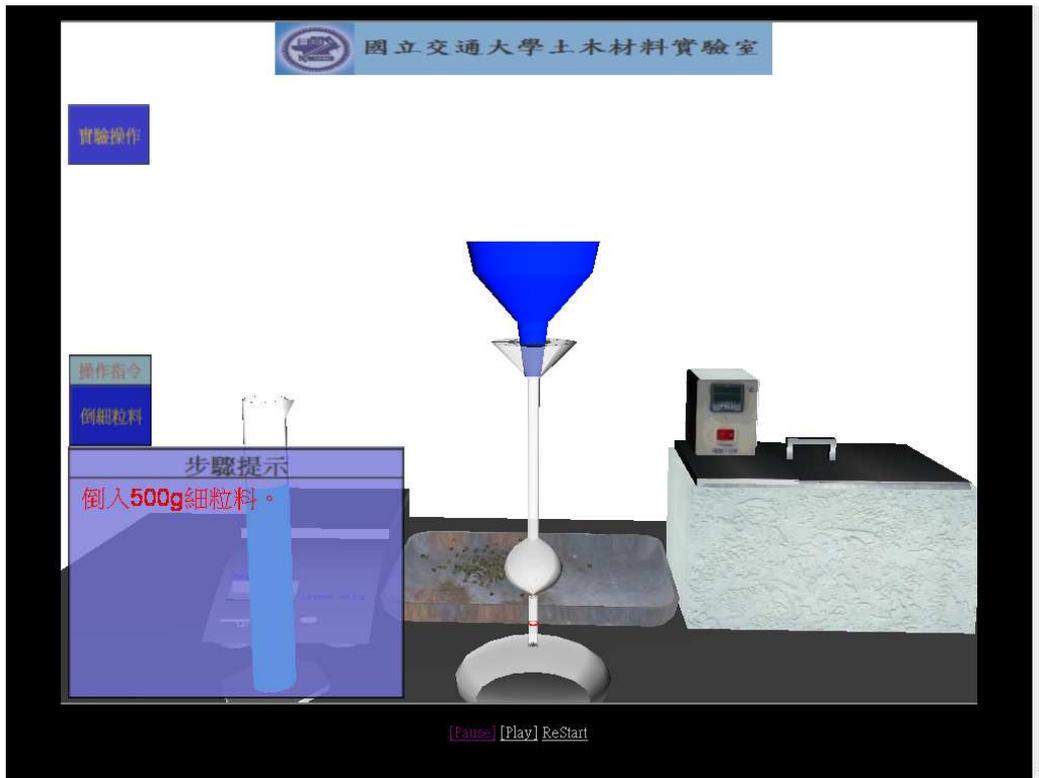


圖 5.31 系統提示倒細粒料

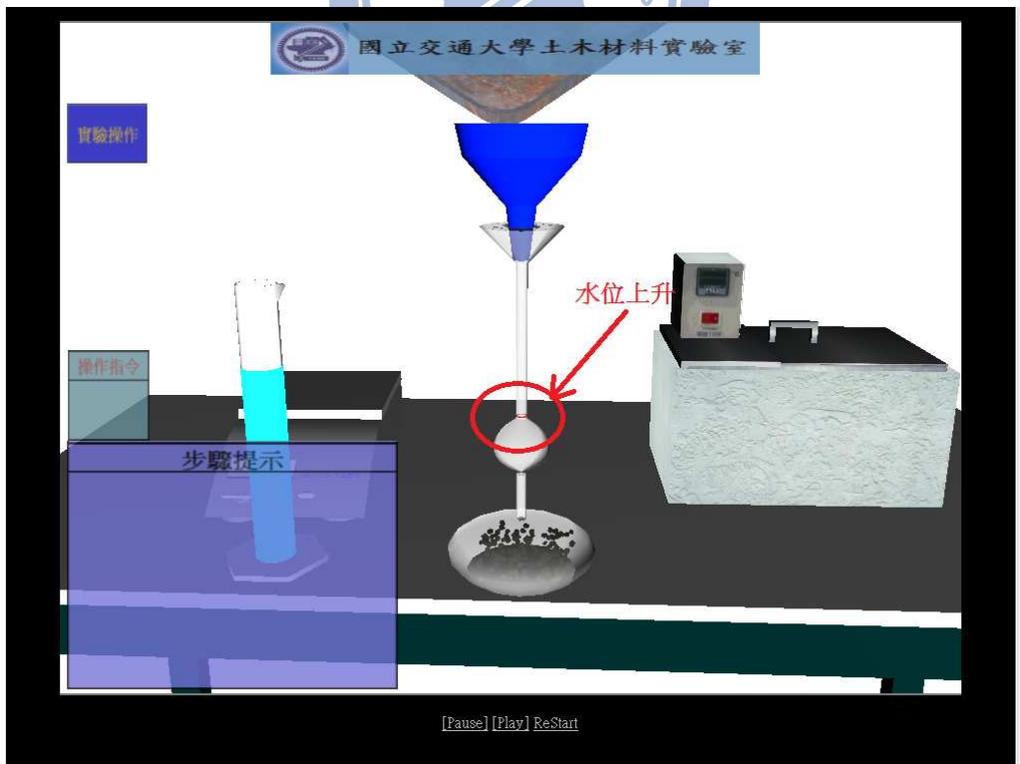


圖 5.32 倒入細粒料使瓶內水位上升

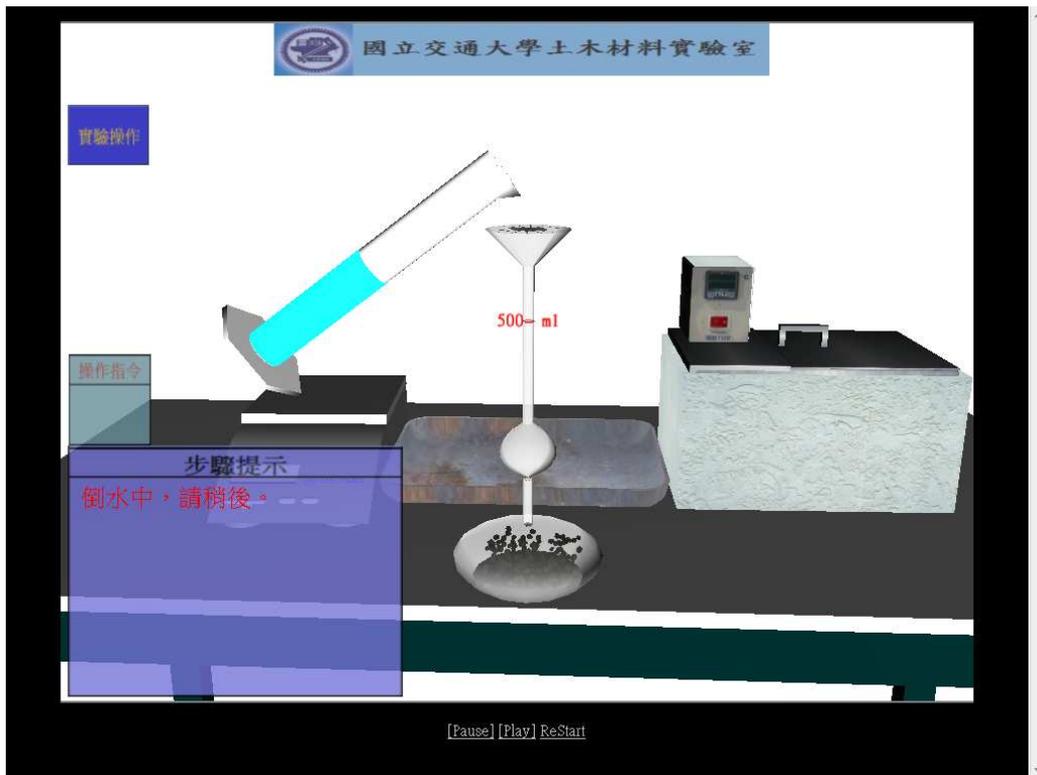


圖 5.33 顯示加水後達 500ml

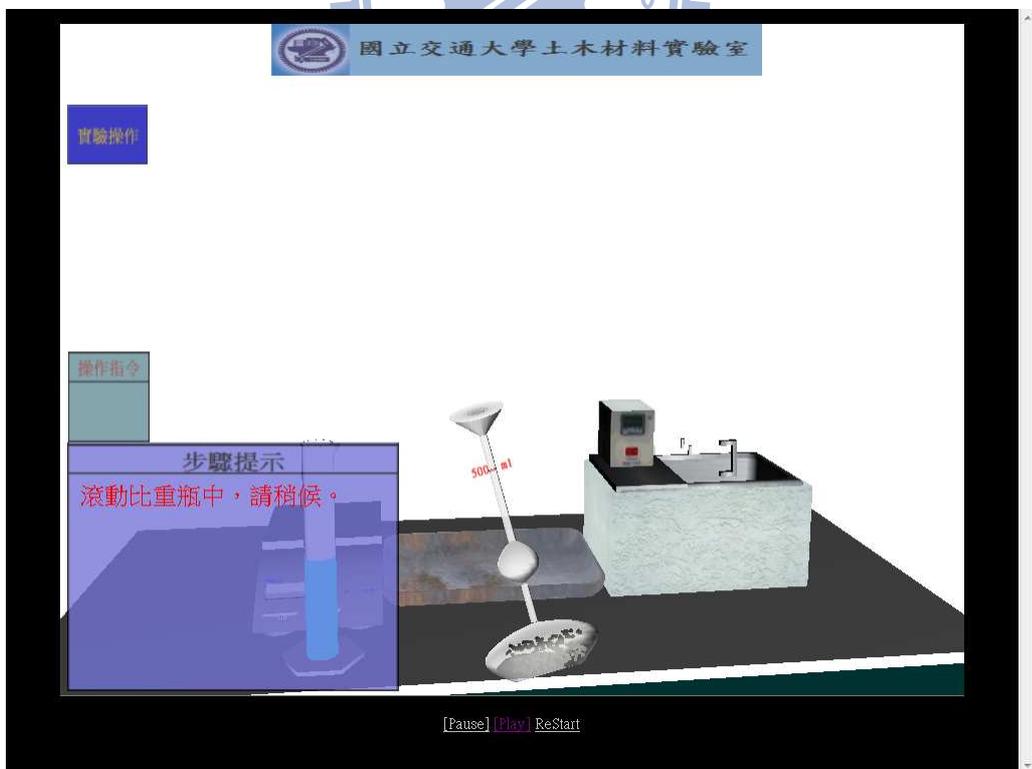


圖 5.34 滾動比重瓶中

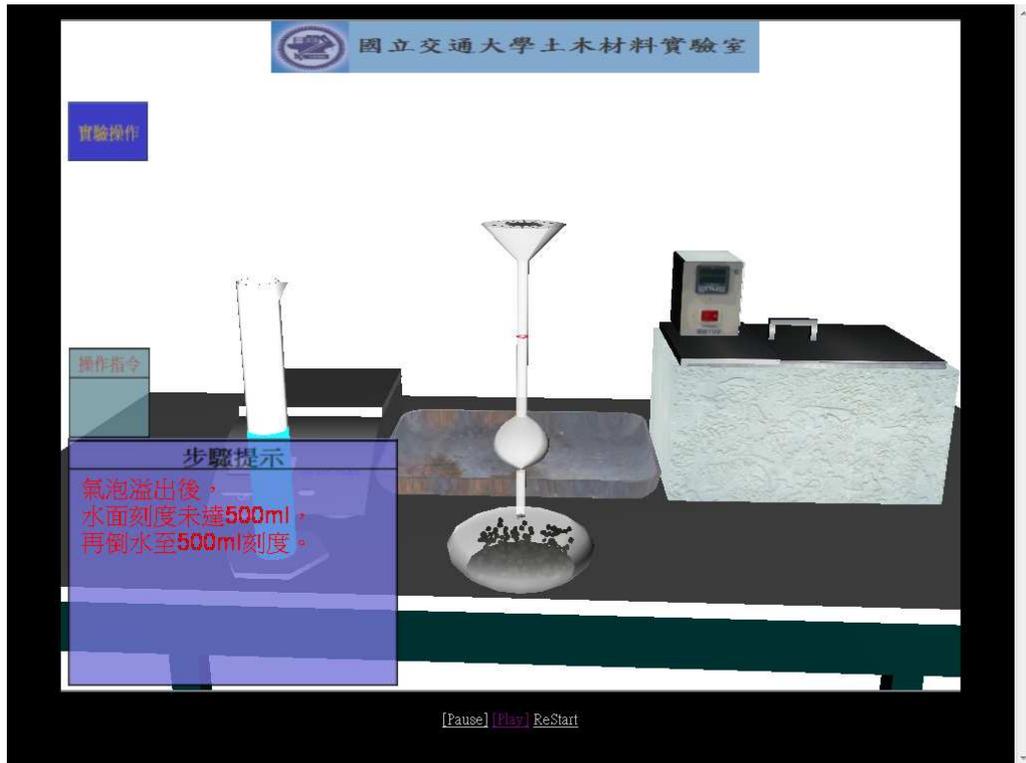


圖 5.35 系統提示需再加水至 500ml



圖 5.36 系統提示秤重

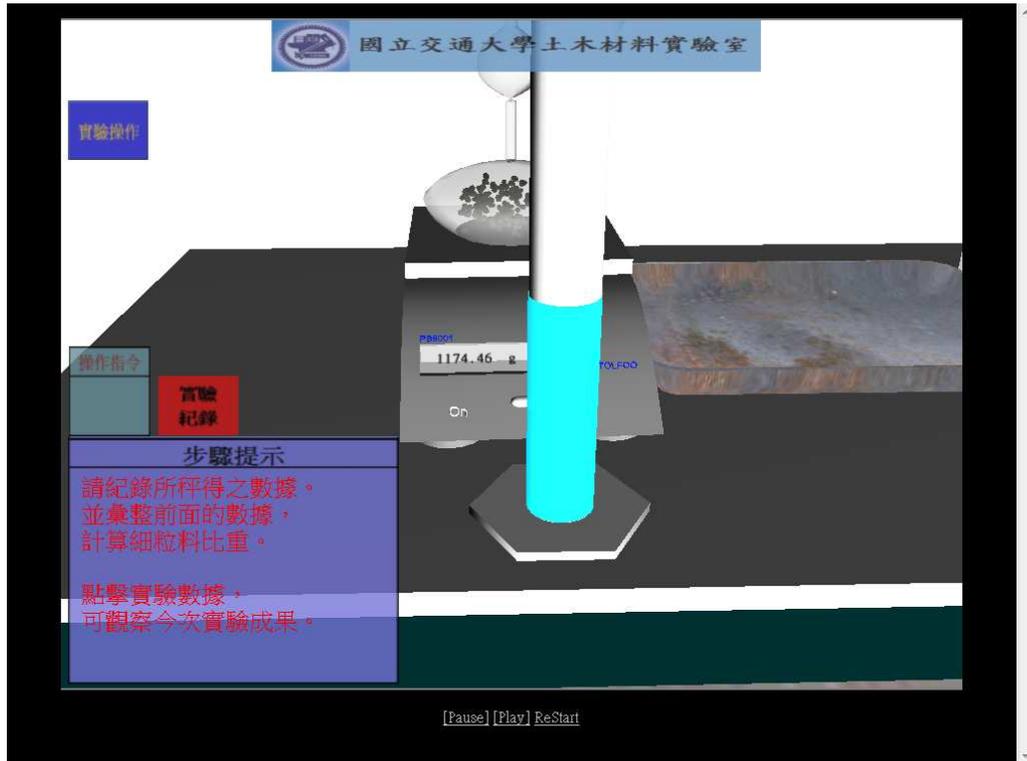


圖 5.37 顯示比重瓶+500g 細粒料+水至 500ml 質量

國立交通大學土木材料實驗室

實驗操作

操作指令

實驗紀錄

步驟提示

請紀錄所稱得之數據。  
並彙整前面的數據，  
計算細粒料比重。

點擊實驗數據，  
可觀察今次實驗成果。

實驗數據匯整		
	鐵 盤	700.87 g
	比 重 瓶	405.1 g
$\omega_0$	氣 乾 細 粒 料	2700.87 g
$\omega_1$	絕 乾 細 粒 料 及 鐵 盤	2605.84 g
$\omega_2$	面 乾 內 飽 和 細 粒 料 及 鐵 盤	2731.99 g
$\omega_3$	比 重 瓶 及 500g 細 粒 料 加 水 達 標 度 500ml	1174.46 g
	含 水 率	3.6%
	吸 水 率	4.8%
	比 重	2.17

[Pause] [Play] ReStart

圖 5.38 實驗紀錄