

科技部補助專題研究計畫成果報告 期末報告

使用 OpenGL ES 開發虛擬物理實驗室 APP

計畫類別：個別型計畫
計畫編號：NSC 102-2218-E-041-001-
執行期間：102 年 08 月 01 日至 103 年 07 月 31 日
執行單位：嘉藥學校財團法人嘉南藥理大學資訊管理系

計畫主持人：劉育寰

計畫參與人員：大專生-兼任助理人員：謝孟廷
大專生-兼任助理人員：陳昶吉

處理方式：

1. 公開資訊：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2 年後可公開查詢
2. 「本研究」是否已有嚴重損及公共利益之發現：否
3. 「本報告」是否建議提供政府單位施政參考：否

中 華 民 國 103 年 10 月 28 日

中文摘要：本計畫擬建置一個的自主性與互動性極高的虛擬物理實驗室教學系統。以開發 Android 版本的 APP 為主，完成後亦可移植到 iOS 平台上。初步先以模擬碰撞實驗為主要實驗內容。本系統使用 OpenGL ES 及 Bullet Physics Library 物理引擎為主要開發工具，並以全物件導向程式語言設計概念來完成程式架構。提供可擴充的實驗器材管理模組式本系統的另一個特色，並採用 XML 格式來設計組態檔。利用實驗組態檔來儲存實驗器材佈署與屬性，可重現當初的實驗場景；並可儲存實驗數據資訊並可自動轉換成實驗報告格式，以供授課教師快速驗證實驗的正確性。

中文關鍵詞：虛擬物理實驗室、行動裝置程式、OpenGL ES、物理引擎、開放源碼

英文摘要：A highly autonomous and interactive virtual physics laboratory e-learning system is constructed in our project. The android APP is developed first, and then the system might transplant into iOS platform. In the first, the collision experiments are the major content to be implemented. Our system is developed by OpenGL ES and Bullet Physics Library Engine, and is used full object oriented architecture. The modularized experiment equipment management system is another advanced feature of our system. The experiment configuration files, which can be written by XML format, can record the deployments and attributes of experiment equipments, and can be used to reconstruct the experiment scene graph. In addition, the experiment results can also be saved and transform into the experimental report format, so that the correctness of the experiment can be verified.

英文關鍵詞：Virtual Physics Laboratory、Android APP、OpenGL ES、Physics Library Engine、Open Source

一、中文摘要

本計畫擬建置一個的自主性與互動性極高的虛擬物理實驗室教學系統。以開發 Android 版本的 APP 為主，完成後亦可移植到 iOS 平台上。初步先以模擬碰撞實驗為主要實驗內容。本系統使用 OpenGL ES 及 Bullet Physics Library 物理引擎為主要開發工具，並以全物件導向程式語言設計概念來完成程式架構。提供可擴充的實驗器材管理模組式本系統的另一個特色，並採用 XML 格式來設計組態檔。利用實驗組態檔來儲存實驗器材佈署與屬性，可重現當初的實驗場景；並可儲存實驗數據資訊並可自動轉換成實驗報告格式，以供授課教師快速驗證實驗的正確性。

二、英文摘要

A highly autonomous and interactive virtual physics laboratory e-learning system is constructed in our project. The android APP is developed first, and then the system might transplant into iOS platform. In the first, the collision experiments are the major content to be implemented. Our system is developed by OpenGL ES and Bullet Physics Library Engine, and is used full object oriented architecture. The modularized experiment equipment management system is another advanced feature of our system. The experiment configuration files, which can be written by XML format, can record the deployments and attributes of experiment equipments, and can be used to reconstruct the experiment scene graph. In addition, the experiment results can also be saved and transform into the experimental report format, so that the correctness of the experiment can be verified.

三、關鍵詞(keywords)

虛擬物理實驗室(Virtual Physics Laboratory)、行動裝置程式(Android APP)、OpenGL ES、物理引擎(Physics Library Engine)、開放源碼(Open Source)

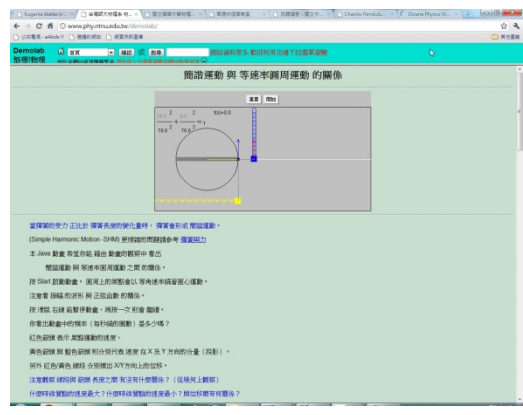
四、前言

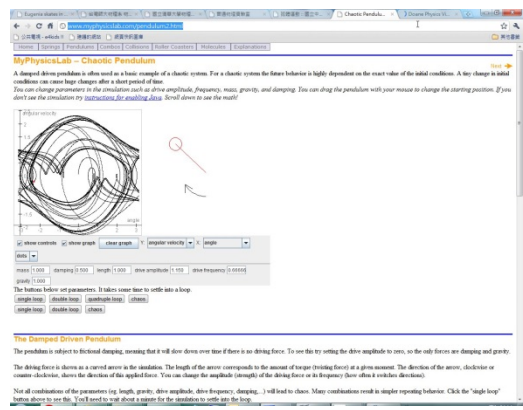
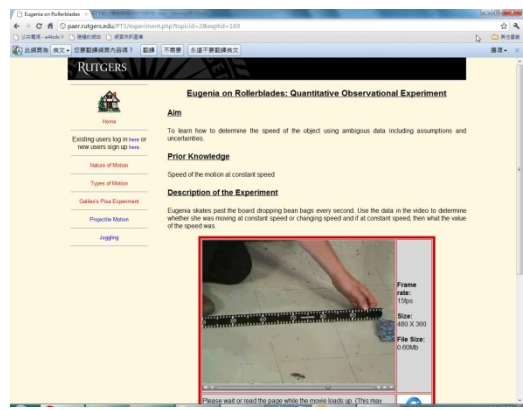
如同十年前電腦開始普及一般，近年來 App 這個字眼開始出現在我們的生活中，原因是智慧型手機與平板電腦的普及化。智慧型手機銷售量的增加帶動了 APP 的下載數量，根據 Millennial Media 於 2011 年 8 月的研究數據指出，全球下載 APP（手機應用軟體程式）的次數依種類排名，第一至第五名分別是遊戲、音樂與娛樂、社群、溝通和天氣。從使用者下載的 APP 種類當中，不難看出大多數人最重視的是 APP 的行動娛樂附加價值服務。智慧型手機或平板電腦真的可以讓人類生活變得更聰明嗎？一名過度沈迷於手機遊戲和通訊軟體的高中生，因斷絕和外界的實際互動，導致語言能力退化到幼稚園階段，只會點頭、搖頭，回答是或不是。有醫師表示，智慧型手機日漸普及，最近手機網路成癮症者就多了 3 成。在捷運、公車上，隨處可見低頭族，手指在手機螢幕上畫來畫去，查閱是否有新的郵件或來電，不管大人小孩，全都變成了「低頭族」，面無表情盯著那小小的螢幕或對著它傻笑。就精神醫學來看，這已是類似輕微的強迫症，可說是新世代通病，值得關注。臨床顯示，低頭族容易出現焦慮、憂鬱等傾向，也是「手機幽靈振動症候」、「手機幻聽症候群」的高危險群，儘管腦內多巴胺分泌正常，但還是容易出現非典型的假性幻覺。這已經出現因壓力過大而導致自律神經失調之症狀。

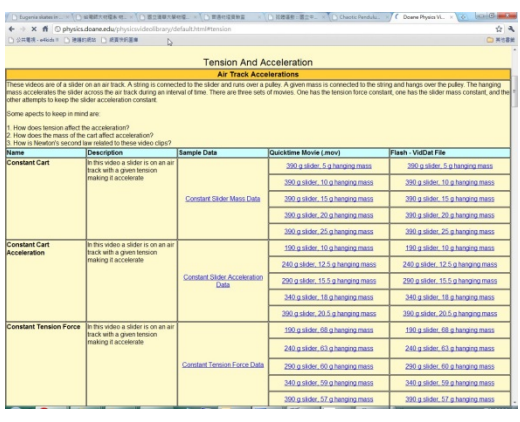
由此可見，智慧型手機或平板電腦所引發的問題不亞於 1950 年代漫畫所帶來的問題。當

時，劍仙類的武俠神怪漫畫充斥校園，甚至引發兒童信以為真，想要上山求仙的社會問題。教育單位把問題歸咎於「漫畫」，禁止兒童看漫畫就成為最簡單而直接的「解決對策」。名漫畫家劉興欽老師卻想出了不同的解決方式——為什麼不藉漫畫「以毒攻毒」呢？於是他著手畫了一本《尋仙記》，希望小朋友看了可以得到教訓，沒想到推出後反應十分熱烈。基於這樣的想法，既然智慧型手機或平板電腦儼然已成為時代的趨勢，何不多開發一些富有教育意義的 APP，讓使用者能從娛樂中學習。目前 APP Store 有關教育類的 APP 大約可分為字典類、算術類、故事類、兒歌類、拼圖類或記憶類等，大多適合於幼兒或兒童。比較缺乏互動性高，可協助國高中生自我學習的數位教材。以物理實驗課程為例，實驗所需的設備並非隨手可得；學生於課堂時間外，似乎很少有機會對於實驗的過程有更進一步的練習或更深刻的了解。坊間各大出版社雖然有針對部頒的課綱製作相關的數位教材，但仍缺乏自主性，亦即實驗的內容僅限於教材範圍；而且這樣的數位教材好像只提供給老師於課堂上使用。目前很少有跟虛擬物理實驗室有關的 APP，但有找到一些虛擬物理實驗室的網站(1)~(7)。Table 1 列出了幾個國內外知名的虛擬物理實驗室網站，並做了一些比較與評估。無論國內或國外的虛擬物理實驗室網站，其內容都還算豐富，但在實驗過程大多都以平面動畫以或影片的方式來呈現，很少有使用 3D 方式來呈現，且國內虛擬物理實驗室的內容大多以大學相關課程為主。總之，內容難度過高、互動性與自主性太低是這些網站的主要缺點。

Table 1. 國內外虛擬物理實驗室網站資訊與截圖

網站名稱	呈現方式			互動性	內容豐富程度	截圖
	平面動畫	影片	3D 場景			
教室 台灣師大物理系物理教學示範實驗	✓	✓		中	中	
普通物理實驗室	✓	✓		高	高	

網站名稱	呈現方式			互動性	內容豐富程度	截圖
	平面動畫	影片	3D 場景			
國立清華大學物理系科普教育網站		✓		低	中	
國立中央大學物理演示實驗		✓		低	中	
MyPhysicsLab-Physics Simulation with Java	✓			高	高	
Physics Teaching Technology Resource		✓		低	中	

網站名稱	呈現方式			互動性	內容豐富程度	截圖
	平面動畫	影片	3D 場景			
Doane College Physics Department	✓	✓		低	中	

五、研究目的

本計畫的主要目的是希望能建置一個以 3D 的方式呈現且互動性與自主性極高的虛擬物理實驗室教學系統。初步研究打算先建置一個虛擬實驗室模擬場景，再以 3D 建模的方式建立相關的實驗器材。在場景內可以擺放所需的實驗器材，並依實驗內容的要求佈署實驗器材；實驗進行時再依各實驗器材的屬性去模擬應有的物理行為，以完成物理實驗的過程，並可擷取實驗器材的相關屬性當作實驗的結果。在實驗完成後，虛擬物理實驗室教學系統可將所得之實驗數據依指定格式製做成實驗報告檔，還可以同步將實驗器材的佈署以參數或組態的方式儲存成檔案，必要時可供教師還原當時學生的佈署，以進一步驗證實驗的正確性。如此，可將虛擬物理實驗室的數位內容模擬成真實的實驗課程，授課教師可透過虛擬物理實驗室教學系統於一般教室就可以進行實驗操作模擬教學，而學生亦可以透過虛擬物理實驗室系統實作該實驗內容；或甚至可以當作實驗的操作考試之用。

虛擬實驗室模擬場景與所有的實驗器材均以物件導向的方式設計，利用物件的屬性及行為完成擬真的物理實驗。除此之外，整個系統採用模組化的概念來設計，亦即可以在虛擬物理實驗室教學主系統中以外掛的方式加入新開發的實驗器材，無須修改程式，即可模擬新的實驗。無論是實驗器材外掛、實驗報告或是實驗佈署均採用 XML 的格式來描述，可稱之為組態檔。

本研究計畫的虛擬物理實驗室教學主系統主要包括組態管理子系統、實驗器材建置子系統、實驗器材庫管理子系統、實驗報表管理子系統、實驗場景子系統等。虛擬物理實驗室教學主系統主要是負責開啟系統操介面，從這些介面可選擇管理實驗器材、開啟舊實驗、儲存實驗或建立新實驗。可當作一般單機版的 APP 執行，此版本稱為單機版 APP。在後續的研究中。可以開發成網路版，與伺服器連線，主要是可以跟後台的課程管理平台連線，作為學校授課用的數位教材，此版本稱為線上版。兩個版本其實可以是同一個 APP，只是組態檔來源不同，就會有不同的功能表現。單機版需透過組態檔下載的方式才能更新實驗器材，而網路版只需與伺服器連線即可自動更新最新的實驗器材。茲將各項子系統的主要功能需求簡述如下：

組態檔管理子系統(Configuration File Management Subsystem, CFM) :

1. 能解讀 XML 檔案格式。
2. 有可擴充式的實驗器材庫管理機制。
3. 能將場景中的實驗器材的最終配置儲存成組態檔。
4. 能依據所下載的組態檔，配置初始實驗器材庫及實驗室場景。
5. 可處理實驗報表擷取子系統所傳來的實驗數據 XML 檔。

實驗器材建置子系統(Equipment Construction Subsystem, EC)

1. 能以類似工具列或工具視窗的方式呈現實驗器材組態檔內所描述的器材。
2. 能從工具列或工具視窗將設備圖示拖曳至實驗試場景中，並在實驗試場景中建置該項設備。

實驗器材庫管理子系統(Equipment Database Management Subsystem, EDM)

1. 能將實驗器材以模組化(目錄架構)的方式存放於檔案系統中。
2. 該檔案系統下的每個目錄都是一個實驗器材。
3. 程式執行時會自動依據檔案下桶下的目錄建置相對應的實驗器材。

實驗報表擷取子系統(Reprot Generation Subsystem, RGS) :

1. 根據實驗場景中的實驗器材之屬性設定，於實驗進行中自動擷取相關實驗器材的相關屬性作為實驗數據，並轉成為 XML 格式，交由組態管理子系統管理。
2. 可設定實驗報告項目與格式，並可將所擷取到的實驗數據依實驗報告格式組成實驗報告檔。

實驗場景模擬子系統(Virtual Laboratory Simulation Subsystem, VPSS) :

實驗場景模擬子系統是本研究計畫最核心的部分，由 OpenGL ES 所撰寫的。

1. 能手動或自動配置實驗器材的位置與連結關係。
2. 能依據實驗器材組態檔動態建立實驗器材庫於實驗室場景。
3. 能對每個場景中的實驗器材設定外觀及物理屬性。
4. 能依據場景中實驗器材的物理屬性，真實模擬出每項器材的物理行為。
5. 需具有重置功能，可將實驗狀態回復至初始設定狀態，以利重覆執行實驗。
6. 能依據實際需要，設定空間尺寸比例及時間軸比例，以方便使用者觀察實驗過程。
7. 能將實驗過程轉存成影片檔。

六、文獻探討

由於本計畫必須使用到 3D 的技術來開發 Android 及 iOS 的 APP，在實驗器材建模的部分，我們評估了知名的 3D 建模軟體，如 3Ds MAX、Maya、六角大王等。除了評估這些軟體

的功能外，是否能夠很簡單的建構出本研究所需的實驗器材也是評估的重點。當然，最重要的是該用使用何種 3D 物件的檔案格式才能讓檔案最小、3D 物件不失真。至於實驗進行時的動畫(即物理行為的表現)，原則上是希望由智慧型手機或平板電腦上的 3D 顯示的函式庫來完成，必要時才由 3D 建模工具先完成動畫的部分，然後再由 3D 顯示的函式庫來撥放。因此，在 3D 建模軟體的評估上還需考量動畫的部分轉成 3D 物件檔後，也需評估是否可以由智慧型手機或平板電腦上的 3D 顯示的函式庫正確撥放？智慧型手機或平板電腦上大多都內建一種 3D 顯示函式庫---OpenGL ES，但是 OpenGL 在處理物理行為上似乎必須由程是開發者自己撰寫程式來完成，雖然在撰寫程式上會比較麻煩，可是卻可以充分使用 OpenGL ES 的所有功能，執行效率也可以比較高。

除了 OpenGL ES 外，目前也有很多知名的開放源碼的遊戲引擎，而且也都逐漸開發出手機版本，其中 jMonkeyEngine (jME)是一個不錯的選擇。jME 是一個遊戲引擎，僅使用 Java 及 LWJGL 作為預設的描繪器，並且完全支援 OpenGL 2 到 4 的版本。就其本身而言，jMonkeyEngine 是一 3D 繪圖函式庫，可以當作低階的遊戲開發工具。再加上正式版本的 jMonkeyEngine 3 SDK 的整合型開發工具(IDE)，使之成為一個更高水準的遊戲開發環境和多種圖形元件。雖然它的 SDK 只適用於 NetBeans 平台，但 jME 也開發出 Android 的開發工具。因此，本計畫也會對 jME 進行評估，評估它是否可以開發 Android 的 APP。網路上還可以查詢到其他可以用在 Android 和甚至 iOS 上的遊戲引擎，如 Angle、Rokon、Lgame、AndEngine、libgdx、jPCT、Alien3d、Catcake、Jgame、Env3D、Ardor3D 等，也將是本計畫初期要評估的函式庫。

以下僅針對幾項本計畫會使用到的技術(如 OpenGL ES 及 3D 建模工具)進行簡單的介紹與評估：

OpenGL ES

OpenGL ES 和 OpenGL 一樣，是 Khronos 所維護、定義的免授權費、跨平台的 3D Graphics API，不過和 OpenGL 不同的是，OpenGL ES 主要是針對嵌入式系統 (embedded system) 的環境 (像是手機、PDA)；而近年來網頁上的多媒體技術越來越複雜、多樣化，也漸漸地需要用到 3D Graphics 的硬體加速，所以也出現了基於 OpenGL ES 2.0 而發展、直接在網頁上做 3D 顯示的 WebGL。

也由於 OpenGL ES 所針對的環境一般來說效能都較差、有支援的功能也較少，所以 OpenGL ES 的技術方面的進展會比 OpenGL 來的慢、而且也有較多的限制。目前 OpenGL ES 有兩個大版本，一個是基於 OpenGL 1.3 / 1.5、使用「fixed function pipeline」的 1.0 / 1.1，另一個則是基於 OpenGL 2.0、使用「programmable pipeline」的 2.x。兩者最大的差別，就在於

OpenGL ES 2.0 移除了 fixed function pipeline 的功能，而要使用透過 vertex / fragment shader 來實作的 programmable pipeline。

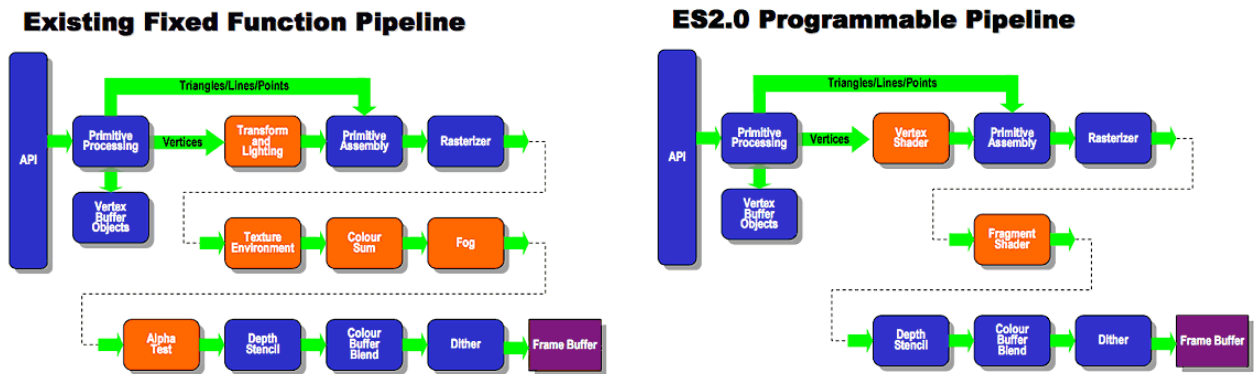


Figure 1. OpenGL ES 的 fixed function pipeline 和 programmable pipeline 的流程圖。錯誤！找不到參照來源。錯誤！找不到參照來源。

Figure 1 是取自 OpenGL ES 網站的 fixed function pipeline 和 programmable pipeline 的流程圖。以這兩張流程圖，應該可以清楚地發現：vertex shader 就是對應到本來的 transform 和 (pre-vertex) lighting 的部分，fragment shader 則是對應到 texture、colour sum、fog、alpha test 等功能；也就是說，這些(橘色的部分)本來在 fixed function pipeline 時會由系統做掉的計算，現在在 programmable pipeline 都要自己寫 shade 程式來做計算了。這樣的好處，是 render 的方法可以變得相當地有彈性，程式開發者可以根據自己的需求，來調整這兩大塊的計算方法，來達到自己需要的功能；但是相對的缺點就是，就算是最簡單的程式，都還是需要自己編寫 shader 程式，某種程度上也提高了入門的門檻。

而另外和傳統 OpenGL 在開發上差異較大的部分，包括了：

- 在 OpenGL ES 2.0 裡也沒有 OpenGL 的 matrix stack，程式開發者必須要自行計算投影矩陣以及各物件的 transform matrix，再傳到 shader 裡做計算；雖然在 GPU 端的程式是有矩陣計算的功能，但是在 CPU 端就需要自己實作矩陣計算的基本演算法了。
- 在 OpenGL ES 裡沒有 glBegin() / glEnd() 這種 immediate mode 的函式，vertex 資料必須用 buffer object 或 vertex array 來處理。
- 取消了 GL_QUADS / GL_POLYGONS 這兩種 primitive 類型。
- vertex 的所有資訊(包含本身的位置、顏色、normal 等等)都變成以抽象的 vertex attrib 來處理，需要自行定義並在 vertex shader 裡計算。
- Lighting、material 也都是以抽象的形式，以 uniform 變數形式傳進 shader 並自行計算。

這些只是一些比較大的差異，其他還有一些地方也都不一樣，就不在這邊列舉了。而實際上，以這些部份來看，OpenGL ES 2.0 在概念上與其說是接近 OpenGL 2.0，其實更接近 OpenGL 3.x 的 Core profile 了。所以基本上以 OpenGL 3.0 的概念來寫 OpenGL ES 2.0 的程式，應該會更為適合；只是 OpenGL ES 2.0 的功能又比 OpenGL 3.x 少了些。

Khronos 繼去年在 Siggraph 2011 發布 OpenGL 4.2 後，在今年的 Siggraph 2012，又發布新的 OpenGL 4.3 的規格。另外，這次 Khronos 也同時發布了新的 OpenGL ES 3.0 的規格，希望可以將行動裝置上的圖形顯示帶到下一個層次。官方條列的新功能列表如下：

- multiple enhancements to the rendering pipeline to enable acceleration of advanced visual effects including: occlusion queries, transform feedback, instanced rendering and support for four or more rendering targets;
- high quality ETC2 / EAC texture compression as a standard feature, eliminating the need for a different set of textures for each platform;
- a new version of the GLSL ES shading language with full support for integer and 32-bit floating point operations;
- greatly enhanced texturing functionality including guaranteed support for floating point textures, 3D textures, depth textures, vertex textures, NPOT textures, R/RG textures, immutable textures, 2D array textures, swizzles, LOD and mip level clamps, seamless cube maps and sampler objects;
- an extensive set of required, explicitly sized texture and render-buffer formats, reducing implementation variability and making it much easier to write portable applications.

七、研究方法

虛擬物理實驗室教學系統之建置：

在本計畫中的虛擬物理實驗室教學系統(Virtual Physics Laboratory e-learning System, VPLS)包含 5 個子系統：組態檔管理子系統(Configuration File Management Subsystem, CFM)、實驗器材建置子系統(Equipment Construction Subsystem, EC)、實驗器材庫管理子系統(Equipment Database Management Subsystem, EDM)、實驗報表管理子系統(Report Management Subsystem, RM)及實驗室場景子系統(Laboratory Scene Graph Subsystem, LSG)，如 Figure 2 所示。茲簡述如下：

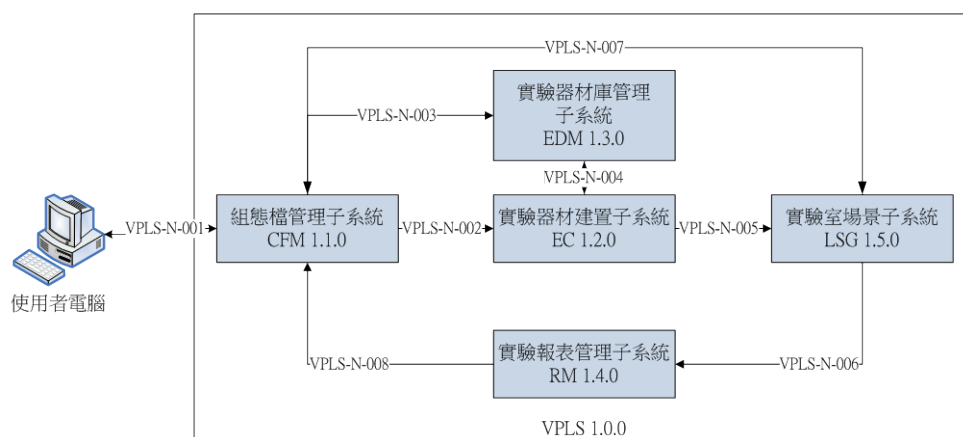


Figure 2. 虛擬物理實驗室教學系統(Virtual Physics Laboratory e-learning System, VPLS)架構圖

組態檔管理子系統(Configuration File Management Subsystem, CFM)

組態檔管理子系統在虛擬物理實驗室系統中扮演著一個非常重要的角色，它是一個跟實驗課程管理系統的溝通橋樑。它可以用來設定虛擬物理實驗室系統初始的實驗器材庫的內容、可用來儲存實驗器材佈署及實驗結果組態、亦可依據組態檔的內容在初始時即還原實驗狀態。不管虛擬物理實驗室系統是以單機版、網路版或線上版執行，組態檔管理子系統都可已有上述功能，只是非線上版時，會將組態檔儲存於本機硬碟，而不會上傳至實驗課程管理系統。實驗組態檔基本上以 XML 格式紀錄。

實驗器材建置子系統(Equipment Construction Subsystem, EC)

在虛擬物理實驗室系統中所有或部分可用的實驗器材將會以類似工具列或工具視窗的方式呈現於系統中。當要佈署實驗器材時，只要從工具列或工具視窗將設備圖示拖曳至實驗試場景中，在實驗試場景中就會產生該項設備。至於會有多少實驗器材預先放置於工具列或工具視窗中，則依據組態檔的內容而定。在虛擬物理實驗室系統以非線上版執行時，亦允許使用者自行加入自訂的實驗器材，只要依據實驗器材庫管理的準則建立實驗器材即可。

實驗器材庫管理子系統(Equipment Database Management Subsystem, EDM)

將實驗器材以模組化(目錄架構)的方式存放於檔案系統中。每一個實驗器材模組會定義設備的幾何結構、設備辨識名稱、外觀屬性及物理屬性。其中實驗桌是預設實驗器材，亦是實驗場景中具管理能力的設備。

實驗報表管理子系統(Report Management Subsystem, RM)

實驗報表即格式化的實驗數據，在實驗報表管理系統中可設定所要記錄的實驗器材的物理屬性，如每單位時間的位置、速度或加速度等。在格式化部分，則以類似 Visual Studio 的 Crystal Report 的方式設定所欲記載數據的格式。實驗報表檔基本上也是以 XML 格式紀錄，甚是於線上版時還可跟實驗組態檔合併成同一個檔案。

實驗室場景子系統(Laboratory Scene Graph Subsystem, LSG)

這是整個虛擬物理實驗室系統的核心，以 Java 3D 建置並管理所有的實驗器材與場景。主要的管理物件是實驗桌，以樹狀結構來管理所有加入場景的實驗器材，亦即所有設備均會成為實驗桌的子節點。每一個設備(包含實驗桌)在虛擬物理實驗室系統中都是以物件導向的觀念設計的，所以每個物件會依據自己的外觀屬性(如大小、顏色等)有不同的呈現。在實驗試場景中可能必須要有一些抽象的物件，用來傳遞兩個連結實驗器材物件的物理屬性，如實驗器材與實驗桌的接觸面、某個實驗器材物件將於某個時間點會與另一個實驗器材物件碰撞等。

介面需求(Interface Requirement)

外部介面需求(External Interface Requirements)

需求編號	優先順序	需求描述
VPLS-N-001	1	使用者於主控台或網頁上直接執行 VPLS，可傳遞組態檔路徑給 CFM。亦可將 CFM 傳回的組態檔儲存於本機磁碟。

內部介面需求(Internal Interface Requirements)

需求編號	優先順序	需求描述
VPLS-N-002	1	CFM 能傳遞初始建置的實驗器材清單及每項設備的屬性給 EC。
VPLS-N-003	1	CFM 傳送可用實驗器材清單給 EDM。
VPLS-N-004	1	EDM 根據所接收的設備清單或依模組化定亦取得之設備清單建立設備清單工具列或工具視窗給 EC 使用。
VPLS-N-005	1	EC 根據組態檔的設備清單及屬性或使用者的操作於 LSG 中建立並設定實驗器材物件。
VPLS-N-006	1	LSG 傳送實驗數據給 RM。
VPLS-N-007	1	RM 將所接收的實驗數據套用格式樣版。
VPLS-N-008	1	RM 套用格式樣版後的實驗數據轉成 XML 格式傳送給 CFM。

功能分解圖

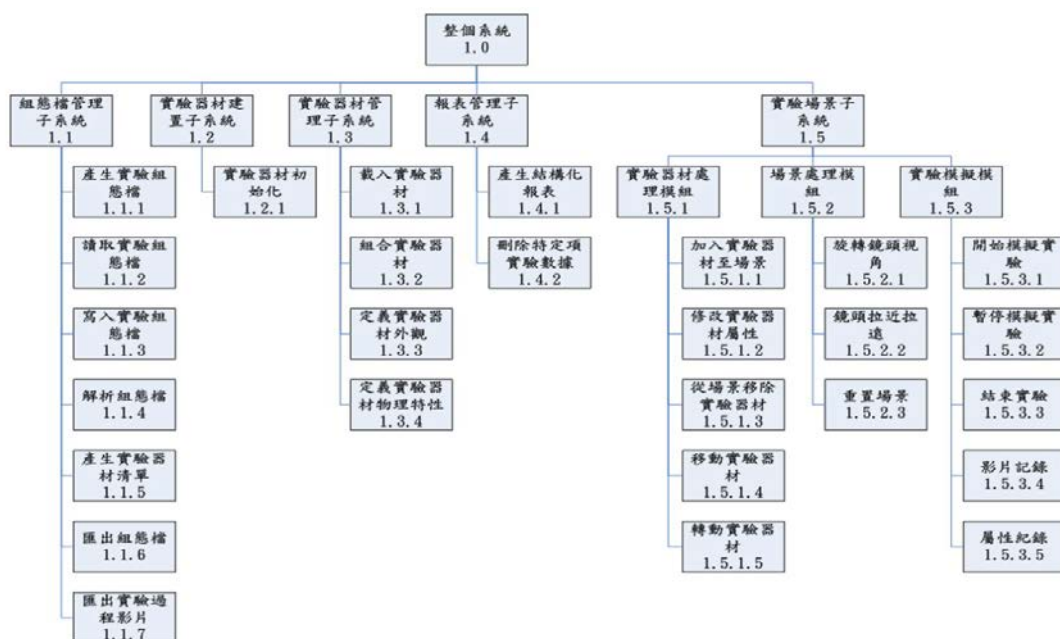


Figure 3. 功能分解圖

在場景處理模組裡有本系統自主性高的幾個功能：

1. 器材位置：由於以 2D 圖來呈現的實驗，器材的位置都是固定的，而我們的系統提供了 XYZ 軸讓使用者將器材移至實驗桌任何一個位置，但當然的是器材的位置影響著實驗的結果。
2. 視角：為了與真正做實驗相符，視角的改變也是不可或缺的，使用者可以任意的旋轉視角到最適當最想要的觀察角度，觀察任何一面的實驗過程。

而組態檔管理子系統裡有：

3. 實驗組態檔的匯出：在學生這端可以依照老師要求的去製作實驗，只要實驗一完成就會產生「實驗組態檔」，這個檔案是為了讓老師還原學生做的實驗過程是否正確以及提供給學生重新觀看以做過的實驗所產生的檔案。
4. 實驗過程影片輸出：這個功能是為了讓使用保存自己所做過的實驗過程影片，使用者若不想每當想觀看同一個實驗就得重新載入實驗組態檔，則可以匯出影片。

以上這幾點是本系統高自主性且特別的功能。

類別圖分析

類別圖顯示類別間的程式碼相依性以及各類別之繼承關係，以下兩張圖為本系統主要的類別圖，依序為實驗器材管理子系統類別圖以及 Xml 子系統類別圖。

● 實驗器材管理子系統類別圖

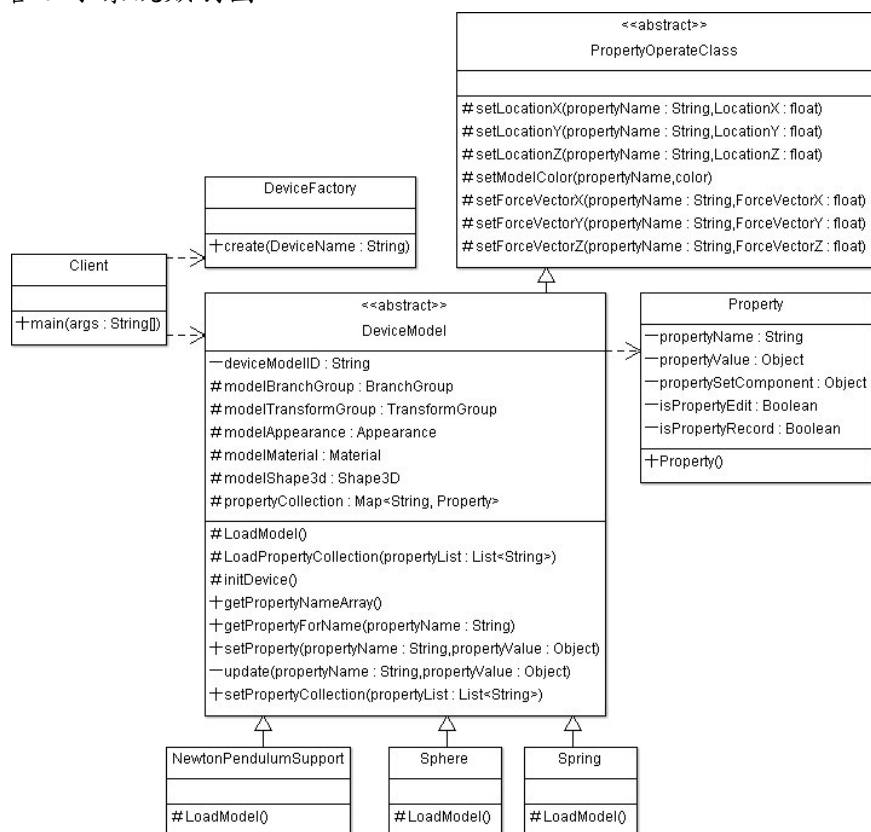


Figure 4. 實驗器材管理子系統類別圖

PropertyOperateClass 定義所有支援的屬性處理，由 DeviceModel 類別實做這些屬性處理，以後所有新開發的實驗設備模型，都需繼承 DeviceModel 類別並且實做 LoadModel 方法，每項設備預設支援所有屬性，如果設備開發人員想自己定義新的屬性處理，則必須覆寫 DeviceModel 類別中的 LoadPropertyCollection 以及 setProperty 方法。DeviceFactory 類別用來根據傳入的設備名稱回傳該設備的類別，例如：DeviceModel deviceModel = DeviceFactory.create(Sphere);。

Xml 子系統類別圖

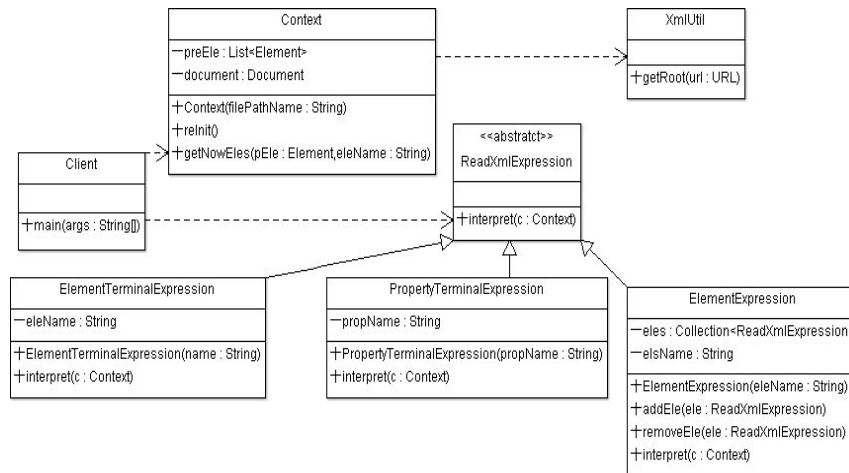


Figure 5. Xml 子系統類別圖

Xml 使用解譯器模式，使用類似 XPath 的方式，定義自行設計的語法來讀取 Xml 檔案的資料，比如說有一 Xml 檔案如下：

```
<DeviceModel>
  <name>Sphere</name>
</DeviceModel>
```

如我預想取得 DeviceModel 節點下的 name 節點的值，程式碼如下：

```
Context c = new Context(Xml 檔案名稱)
ReadXmlExpression rxe = Parser.parse(DeviceModel/ name);
String name = rxe.interpret(c);
```

這樣做的好處是如果 Xml 定義的方式改變了，只需要改變語法就可以抓取到所需要的值，程式大致上都不需要修改。

狀態圖分析

以下是系統最主要的狀態轉移圖

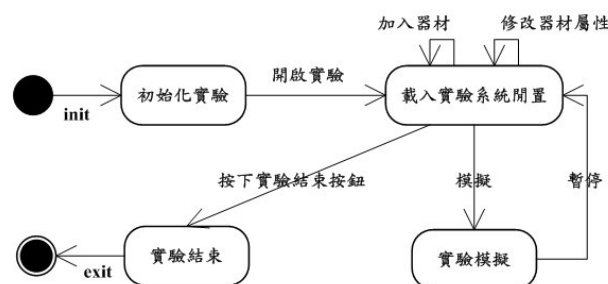


Figure 6. 狀態圖

這是主實驗場景的狀態圖，剛開始程式進入主實驗視窗時會等待使用者下一步動作，當使用者按下畫面上方的實驗器材加入按鈕，便會啟動加入器材相關事件，當實驗器材加入後，便能進一步修改其屬性與移動模型位置或視角調整，等到使用者把實驗器材都配置完畢之後，按下開始按鈕便會進入開始模擬狀態，在這狀態下使用者不能做任何的調整，僅能等待模擬結束或者按暫停按鍵，回到系統閒置狀態。最後使用者按下實驗結束按鈕，才會啟動實驗結束狀態。

八、結果與討論

程式介面

整個介面大致分為三個區域：實驗器材區(左)、實驗場景區(中)、器材屬性區(右)。實驗器材區會根據器材庫存放路徑自動建立清單。

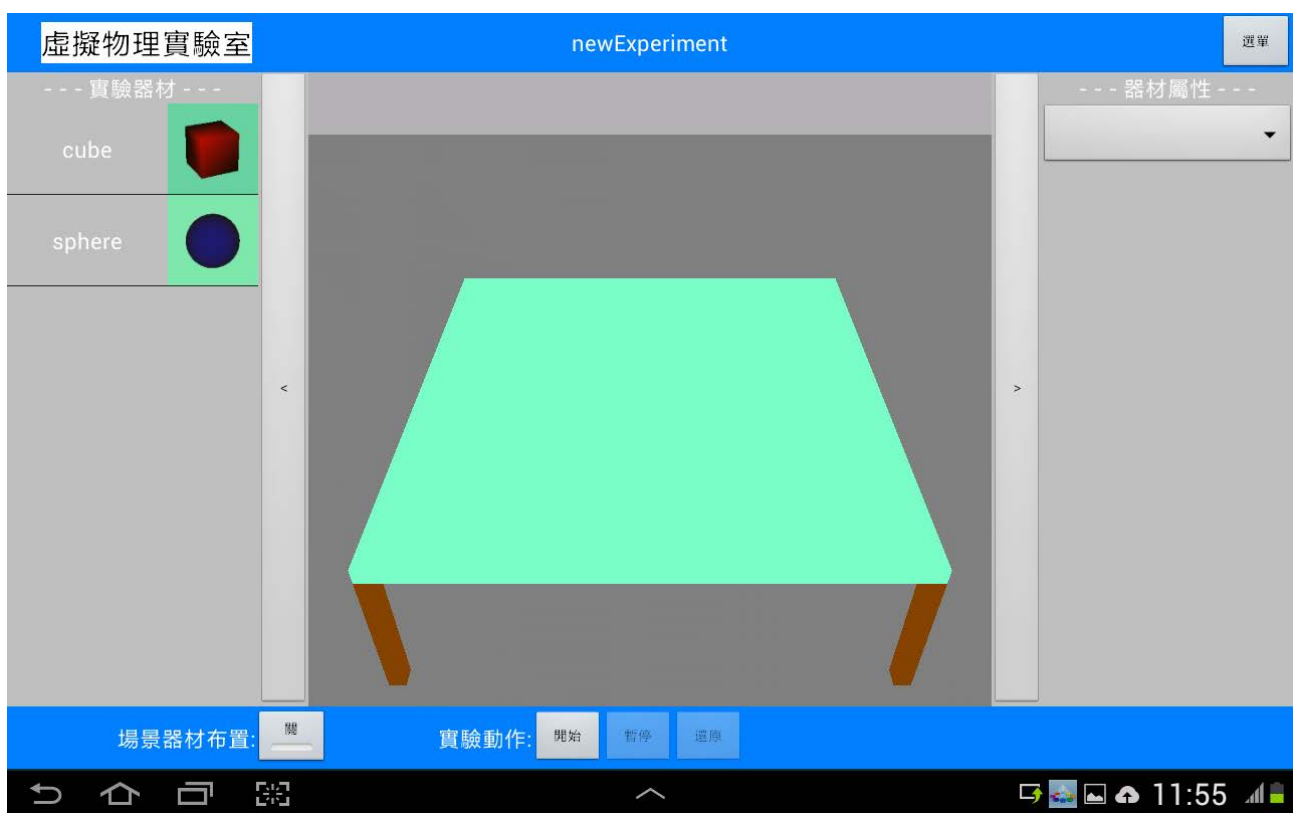


Figure 7. 程式介面

開啟實驗器材佈署功能

在畫面下方有一個“場景器材布置”的按鈕，開啟時始可佈署實驗器材(如 Figure 8 所示)。可由左邊實驗器材區，以長按並拖曳的方式將實驗器材放置於實驗場景區。實驗場景區會將實驗器材自動排列於實驗桌的中間靠左的位置(如 Figure 9 所示)。而佈署第二個實驗器材時，實驗器材會自動對齊前一個實驗器材(如 Figure 10 所示)。

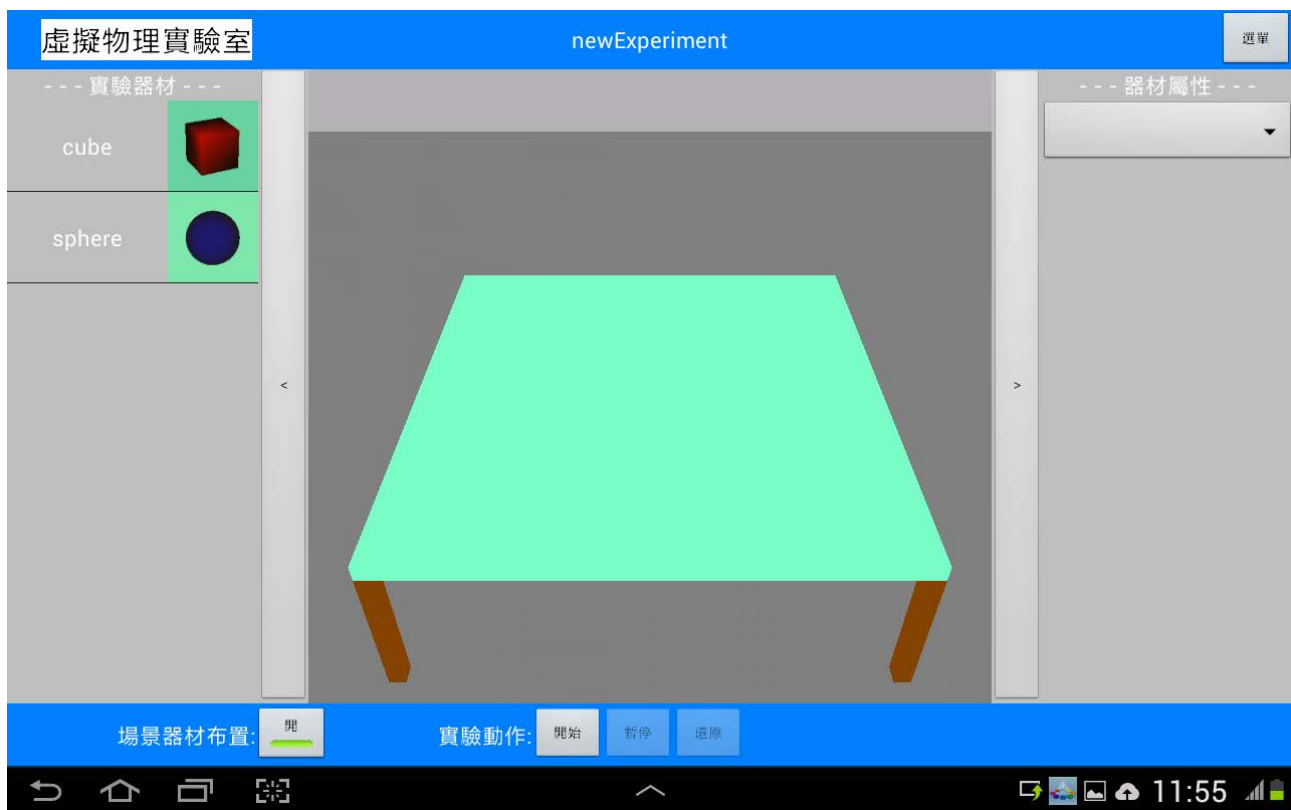


Figure 8. 開啟“場景器材布置”的按鈕。

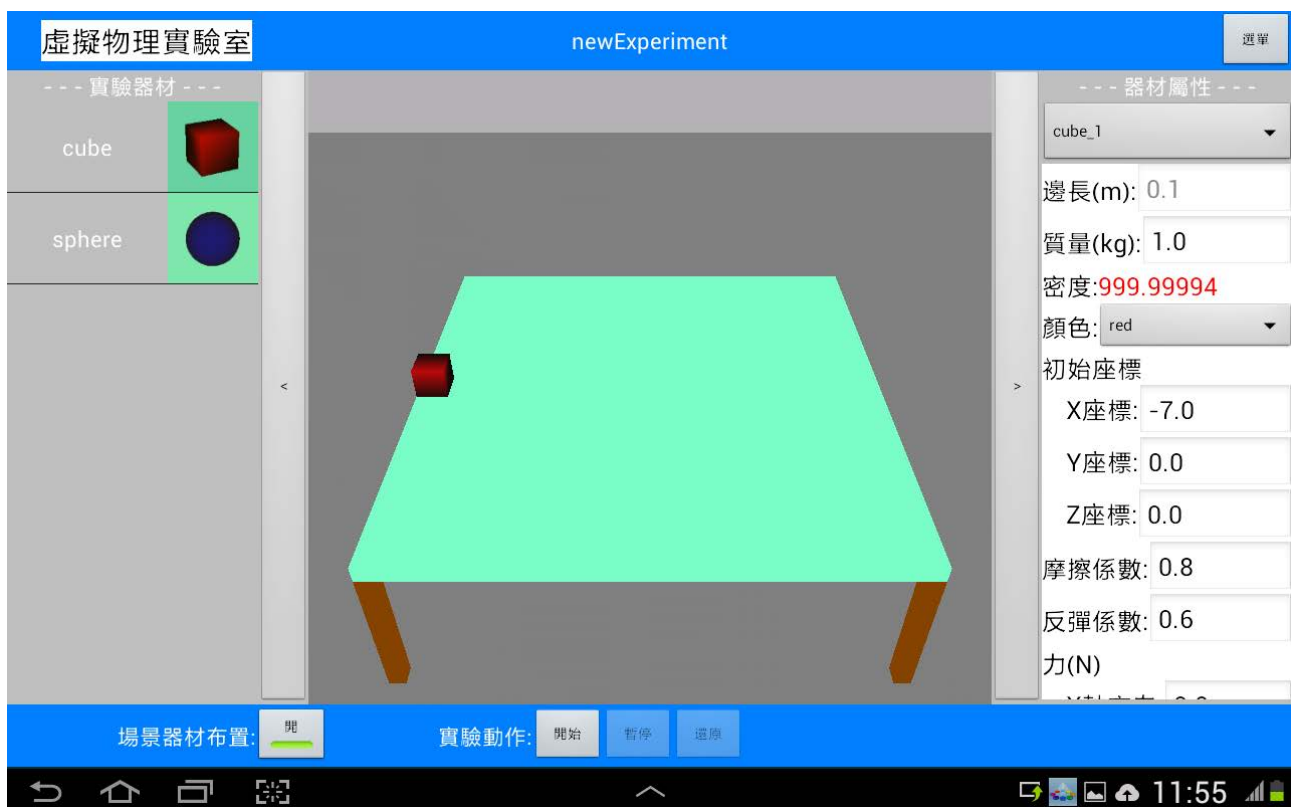


Figure 9. 佈署第一個實驗器材，會將實驗器材自動排列於實驗桌的中間靠左的位置。

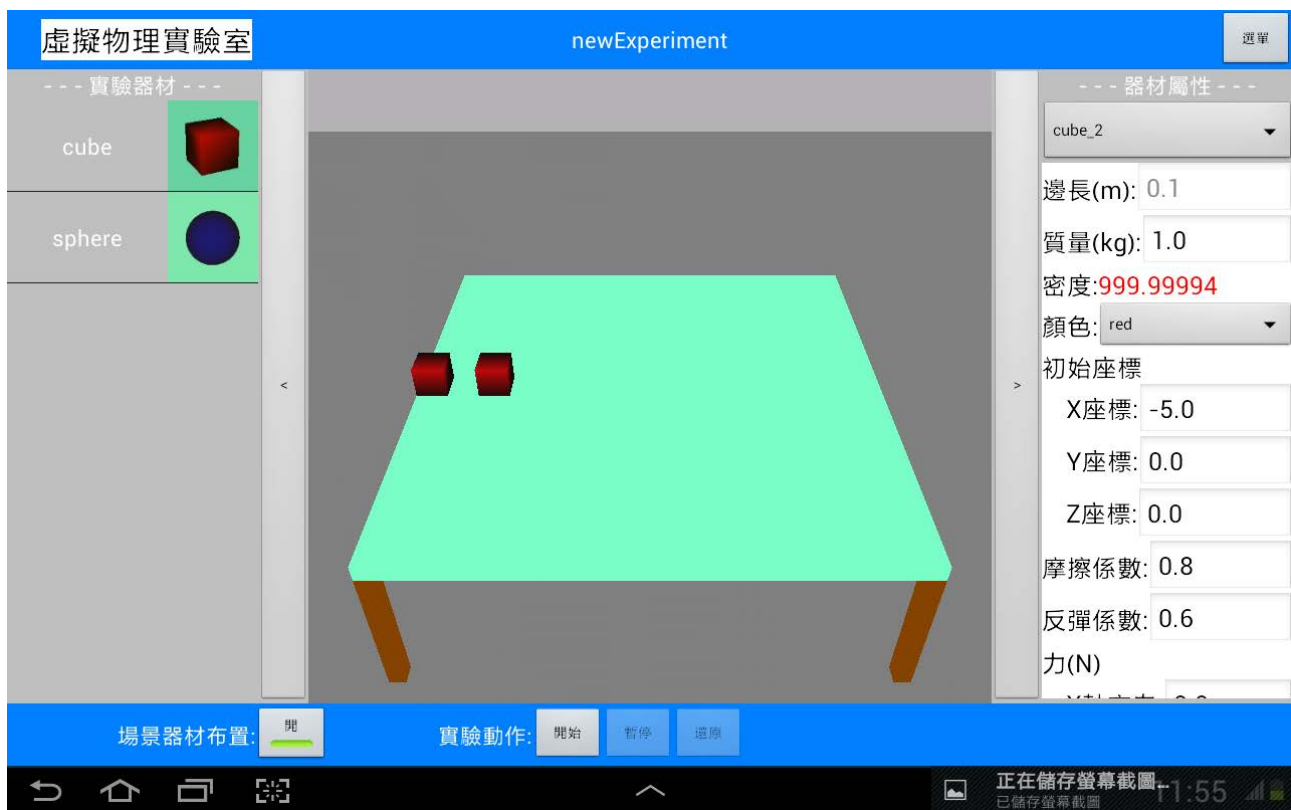


Figure 10. 佈署第二個實驗器材，實驗器材會自動對齊前一個實驗器材。

實驗器材屬性介面

每個實驗器材都有外觀屬性（如顏色、位置座標等）及物理屬性（摩擦係數、彈性係數、力等）。按實驗器材屬性界面上方的下拉選單可選擇欲設定屬性的實驗器材（如 Figure 11 所示），或直接於實驗場景點選實驗器材。設定“力”的屬性值（如 Figure 12 所示）。

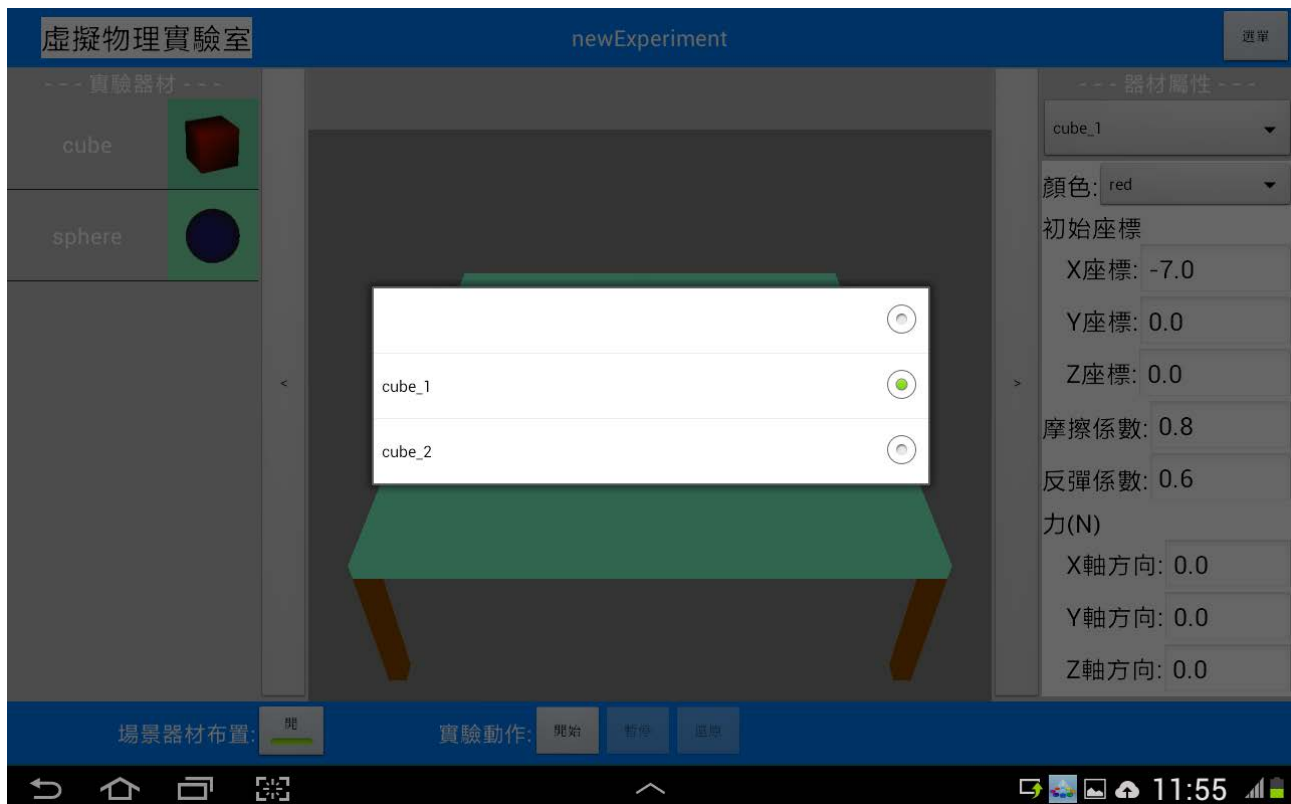


Figure 11. 選取欲設定屬性的實驗器材。

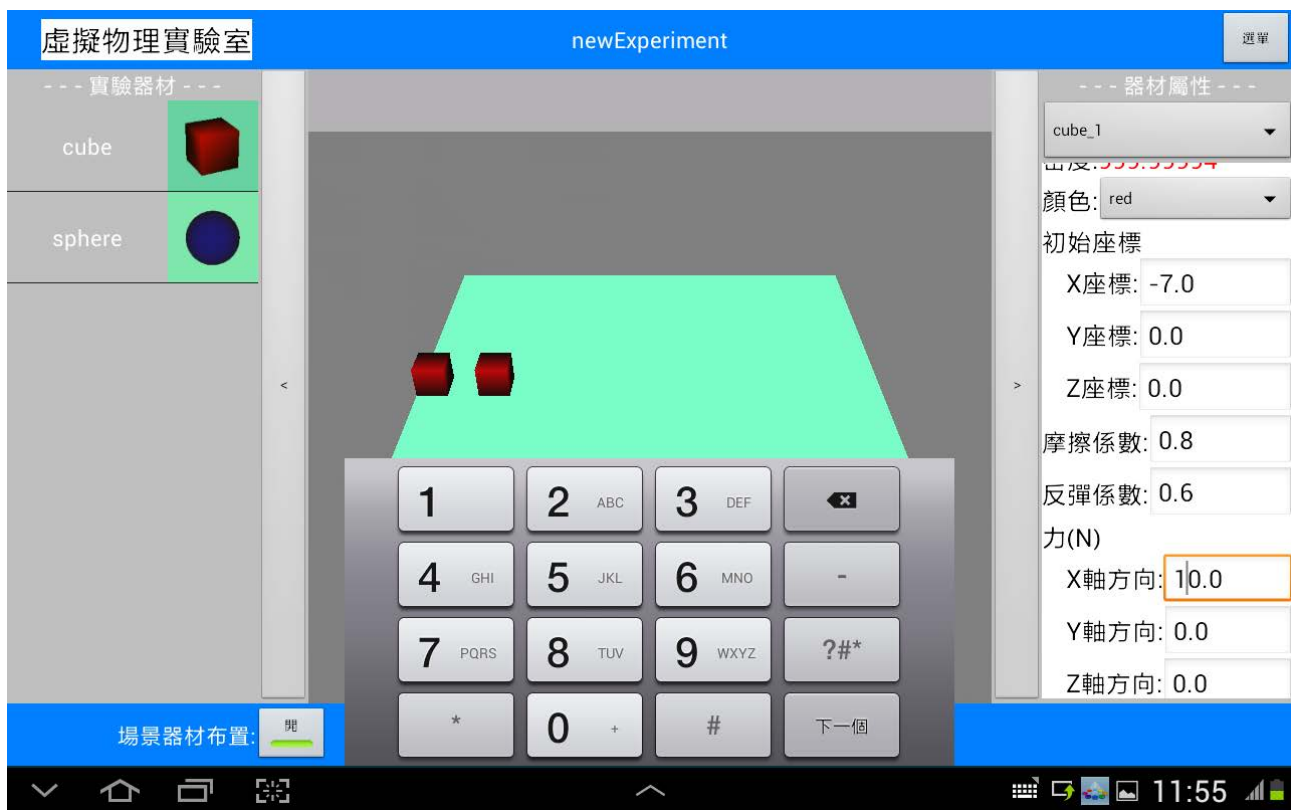


Figure 12. 設定“力”的屬性值

碰撞模擬

實驗器材中有設定主動式物理屬性（如力），那麼按了實驗動作的“開始”按鈕，將會依照實驗器材所設定的主動式物理屬性開始進行運動模擬（如 Figure 13 及 Figure 14 所示）。

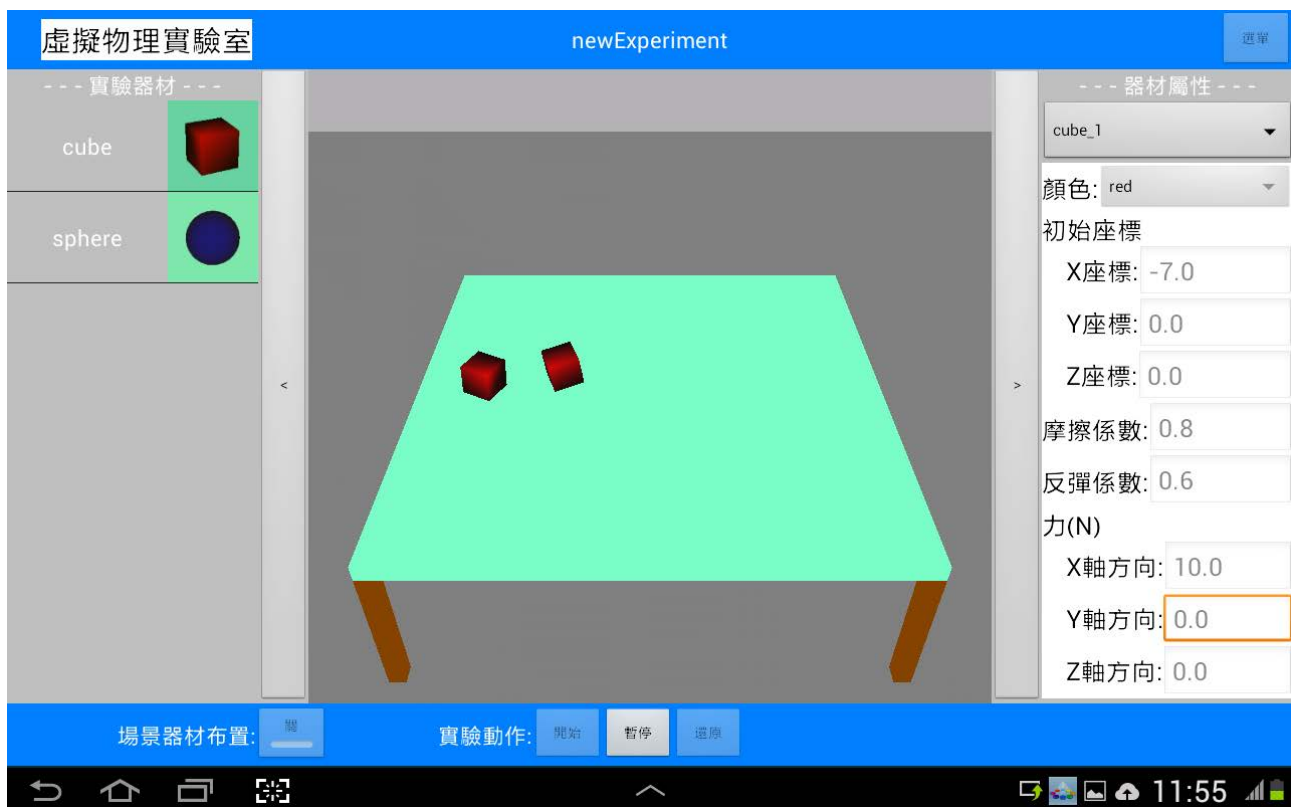


Figure 13. 碰撞模擬開始

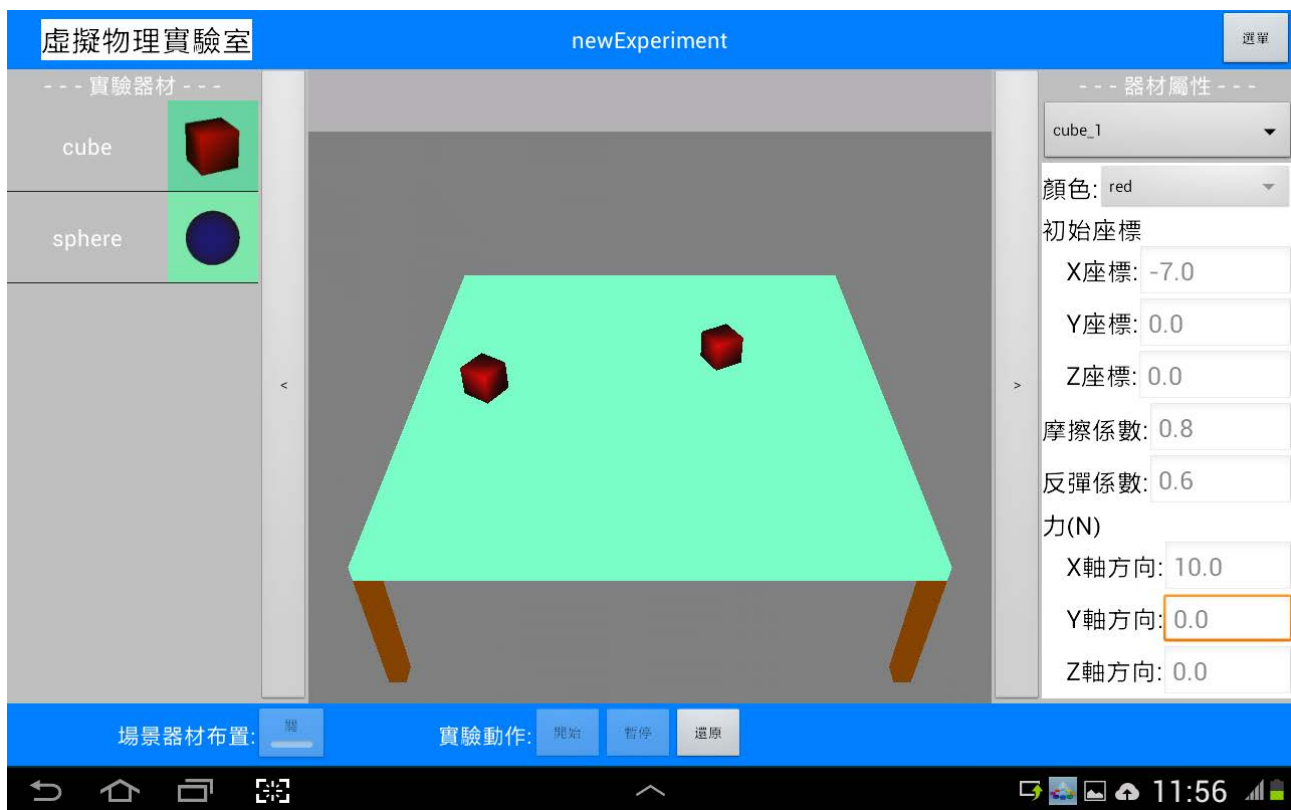


Figure 14. 碰撞模擬結束

還原成初始狀態

按“還原”按鈕即可將實驗場景中的實驗器材還原到初始狀態（如 Figure 15 所示）。

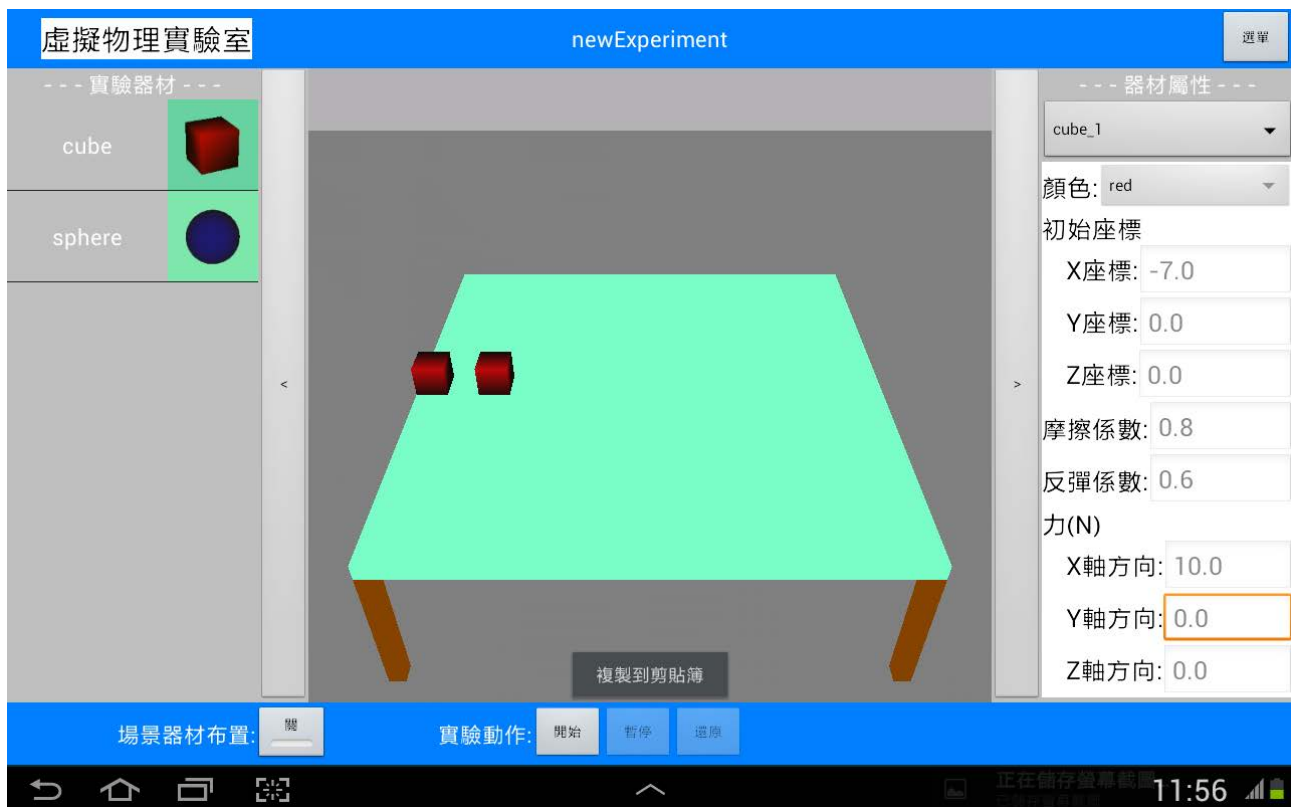


Figure 15. 將實驗場景還原成初始狀態。

九、參考文獻

- (1) <http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/>，台灣師大物理系-物理教學示範實驗教室。
- (2) <http://experiment.phys.nchu.edu.tw/>，普通物理實驗室。
- (3) <http://140.114.80.32/schoolpad/front/bin/home.phtml>，國立清華大學物理系科普教育網站。
- (4) <http://demo.phy.tw/>，國立中央大學物理演示實驗。
- (5) <http://www.myphysicslab.com/>，MyPhysicsLab-Physics Simulation with Java。
- (6) <http://paer.rutgers.edu/PT3/index.php>，Physics Teaching Technology Resource。
- (7) <http://physics.doane.edu/physicsvideolibrary/default.html>，Doane College Physics Department。

科技部補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2014/10/25

科技部補助計畫	計畫名稱：使用OpenGL ES開發虛擬物理實驗室APP	
	計畫主持人：劉育寰	
	計畫編號：102-2218-E-041-001-	學門領域：推動計畫-開放軟體
無研發成果推廣資料		

102 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：劉育寰

計畫編號：102-2218-E-041-001-

計畫名稱：使用 OpenGL ES 開發虛擬物理實驗室 APP

成果項目			量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）
			實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數(含實際已達成數)	本計畫實際貢獻百分比		
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%	章/本	
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（外國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)	無
---	---

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與（閱聽）人數	0	

科技部補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

☒達成目標

☐未達成目標（請說明，以 100 字為限）

☐實驗失敗

☐因故實驗中斷

☐其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文：☐已發表 ☐未發表之文稿 ☐撰寫中 ☒無

專利：☐已獲得 ☒申請中 ☐無

技轉：☐已技轉 ☐洽談中 ☒無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

目前提供 Android 單機版，可以 XML 格式載入或儲存實驗場景配置及實驗結果於 SD 記憶卡中。

目前實作以系統內建的 3D 幾何物件為主的簡單物理碰撞實驗器材，如長方體或球。

後續可開發 iOS 版本。

日後提供網路連線功能，可分享實驗結果，或與教學平台連結可作為線上物理實驗課程。