



運用 Unity 融合 BIM 執行 三維火災人員避難疏散模擬之研究

林世昌 / 國立臺灣大學土木工程系營建工程與管理組 博士班研究生
台北市消防設備師公會第五屆理事長 (2015-2018)

為了確保建築物內使用人員的居住安全，台灣從 2004 年起，建築物防火避難安全驗證除了法定規格式基準 (Route A) 外，設計者也可以根據「建築物防火避難安全性能驗證技術手冊」採用替代性方法 (Route B)，更可以採用火災煙控及動態避難分析的性能式檢證法 (Route C)，總共有此三種避難安全驗證方法。設計者會依據自己的經歷及業主的需求，選擇正確及適當地驗證方法，在建築物設計上獲得成功的表現，並可以使業主獲得最大的利益。動態避難分析軟體 Building EXODUS 或 SIMULEX 都是需要國外研究單位的授權，其使用費相當高且有使用期限，對於設計者是難以負擔。本研究目的是運用 Unity 軟體融合 BIM 建築資訊模型，進行火災發生時，三維空間人員動態避難的安全驗證，提供簡易及有效的動態避難分析工具。

關鍵詞：BIM、Unity、動態避難分析、避難疏散模擬

研究動機

台北大巨蛋於民國 104 年 6 月停工後，歷經 5 年的風風雨雨之後，民國 109 年 8 月終於復工，分析其停工理由中，最具爭議的避難疏散時間計算，開發單位所選用的避難軟體是台灣建築中心公告的英國 EXODUS，而市政府體檢小組所選用的避難軟體是日本 Sim-Tread。這兩種軟體其設定人員步行速度、戶外疏散空間人員密度及避難面積認定都有所不同。從「都市設計審議委員會」通過避難驗證的說明中，是採信英國格林威治大學的回信，軟體不應做「極端且特殊」的設定。從停工理由及復工說明都顯示，我們沒有適用自己國情的避難疏散軟體。

財團法人台灣建築中心於民國 93 年 12 月 15 日受內政部指定為防火避難綜合檢討評定書專業機構起，至 105 年止 10 餘年，並已完成 141 件性能設計評定案，平均每年有 12 ~ 13 件。近幾年，新北、桃園及台中直轄市所新建的高層建築物棟數遽增，性能設計評定案必然會再增加。台灣建築中心指定的動態避難

分析軟體有 EXODUS 及 SIMULEX，這兩款軟體都需要國外研究單位的授權，其使用費相當高且有使用期限，每年仍需付出 15% ~ 20% 的維護費，對於設計者是難以承受的負擔。台灣半導體積體電路製造是世界第一，資訊及理工人才非常充沛，發展本國的動態避難分析軟體已具備充足的能力。

EXODUS 及 SIMULEX 動態避難分析軟體都是英國所研究及開發，軟體開發需要投入經費及研究人力。內政部建築研究所 93 年 2 月出版之「建築物防火避難安全性能驗證技術手冊」及 95 年完成之「簡易二層驗證技術手冊之研究」都是針對替代式 (Route B) 的避難安全驗證。對於性能式避難安全驗證 (Route C)，始終未投入相關研究。內政部建築研究所直到 106 年才完成之「以 BIM 輔助建築防火避難性能驗證之研究」，開啟結合 BIM 的避難性能驗證的首例，個人思考運用 Unity 軟體融合 BIM 建築資訊模型，進行火災發生時，三維空間人員動態避難的安全驗證，提供簡易及有效的動態避難分析工具，作為呼籲大學或研究單位能早日投入經費及研究人力。

法令研析

我國現有之建築防災相關法規體系，分別有建築及消防兩個重要體系，建築體系以建築技術規則為主，消防體系以各類場所消防安全設備設置標準為主，並對於建築物之規模與用途而做出各種不同之規定。

自民國 92 年 8 月 19 日發布，「建築技術規則」總則編第 3 條明訂建築物之設計、施工、構造及設備，依本規則各編規定。但有關建築物之防火及避難設施，經檢具申請書、建築物防火避難性能設計計畫書及評定書向中央主管建築機關申請認可者，得不適用本規則建築設計施工編第三章、第四章一部或全部，或第五章、第十一章、第十二章有關建築物防火避難一部或全部之規定。

自民國 78 年 9 月 1 日發布「各類場所消防安全設備設置標準」，該標準是依據消防法第六條第一項規定訂定之。各類場所消防安全設備包含滅火設備、警報設備、避難逃生設備及消防搶救上之必要設備。但消防法第六條第二項規定，第六條第一項所定各類場所因用途、構造特殊，或引用與依第一項所定標準同等以上效能之技術、工法或設備者，得檢附具體證明，經中央主管機關核准，不適用依第一項所定標準之全部或一部。從上述建築及消防法令研析得知，推動性能式避難安全驗證的法令都已完整具備。

台灣防火避難安全驗證方法

臺灣防火避難安全驗證方法，其架構如圖 1。

Route A：規格式

- (1) 建築技術規則^[1]
- (2) 各類場所消防安全設備設置標準^[2]

Route B：替代式

- (1) 樓層避難安全性能驗證：內政部建築研究所出版之「建築物防火避難安全性能驗證技術手冊」^[3]。
- (2) 整棟避難安全性能驗證：內政部建築研究所出版之「建築物防火避難安全性能驗證技術手冊」。
- (3) 煙層簡易二層性能驗證：內政部建築研究所 95 年度協同研究計畫「簡易二層驗證技術手冊之研究」^[4]。
- (4) 火災延燒防止性能驗證：台灣建築中心出版之「火災延燒防止性能驗證技術手冊」。
- (5) 結構耐火性能驗證：內政部建築研究所出版之「建築物構造防火性能驗證技術手冊」。

Route C：性能式

- (1) 火災煙控模擬模式：FDS
- (2) 動態避難分析模式：Building EXODUS、SIMULEX

國內常用軟體：

- (1) 火災煙控模擬模式：PyroSim
- (2) 動態避難分析模式：PathFinder

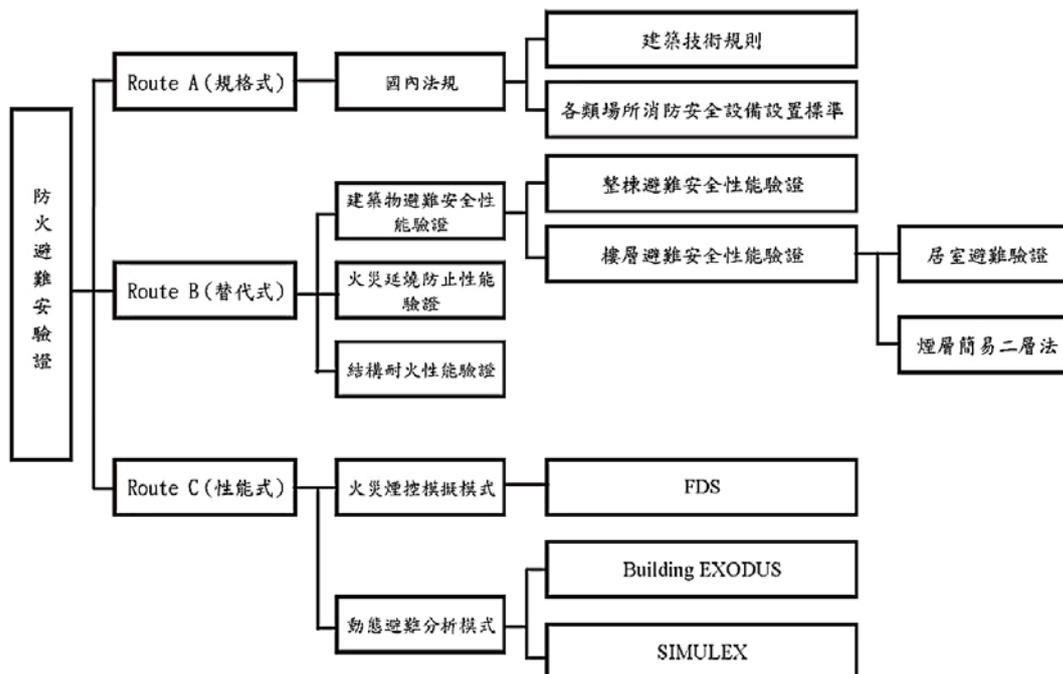


圖 1 臺灣防火避難安全驗證方法選用架構圖
(資料來源：台灣建築中心網站，2020)

火災煙控分析軟體

FDS (Fire Dynamics Simulator), 是由美國國家標準與科技研究所 (National Institute of Standards and Technology, NIST) 發展之火場模擬軟體。FDS 是以大尺度渦流模擬法 (Large Eddy Simulation, LES) 及直接數值模擬法 (Direct Numerical Simulation, DNS) 為基礎的電腦火災模擬軟體, 可以計算三維空間之火災行為, 它的計算方式是先將整個空間分割成許多小的格點, 再以質量、動量、能量、燃燒與熱傳求解。由於所有的計算必須在格點內完, 因此, 網格劃分的愈細膩, 在計算上也將愈繁雜。當計算完成後再利用後處理軟體 SmokeView, 利用 Open GL 以圖形、2D 或 3D 動畫, 將流場做動態或靜態的視覺化輸出。

FDS 與 Smokeview 軟體操作流程的主要架構分為以下三個模式:

- (1) 輸入: 於輸入模式中, 必須以純文字格式輸入模擬的設定模擬時間、模型尺寸、格點分配、邊界條件、物件規格及材質等, 做為電腦模擬計算基礎。
- (2) 運算: 即是 FDS 的運算核心部分, 將輸入模式所製作好的物件幾何尺寸等參數建制完成之後, 以電腦計算數值方法求解, 並將所需的計算結果輸出。
- (3) 輸出: FDS 的輸出模式部分與 Open GL 的繪圖軟體 Smokeview 作完美結合, 可將 FDS 所計算出來的結果, 以圖形、2D 或 3D 動畫的效果呈現。

其操作流程如圖 2。

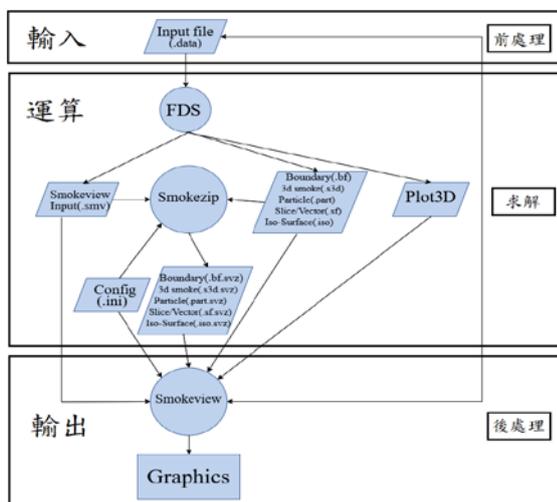


圖 2 FDS 與 Smokeview 軟體操作流程
(資料來源: FDS User Manual, 2019)

PyroSim: 是一個互動式模型建立軟體作為火災動力學計算軟體 (FDS) 之前端設計。此套件模擬軟體提供即時的反饋並確保輸入 FDS 之文件格式正確。建模時可以任意切換公制單位模式或英制單位模式。PyroSim 提供二維和三維幾何創建功能, 並可使用旋轉、複製、移動等功能簡化空間建立之程序。它用於創建火災模擬, 以準確預測火災期間的煙氣運動, 溫度, 一氧化碳濃度。這些模擬的結果用於確保建築物在施工之前的安全性, 評估建築物的安全性, 也可作為火災事故後, 根據的調查結果重建火災的延燒過程。

PyroSim 的火災模型提供了四個編輯器: 3D 視圖, 2D 視圖, 導航視圖和記錄視圖。這些都代表您當前的模型。如果添加, 刪除或選擇了一個視圖, 其他視圖將同時反映更改。下面簡要介紹每個視圖。

- (1) 導航視圖: 此視圖列出了模型中的許多重要記錄。它使您可以將模型的幾何形狀組織成組, 例如房間或沙發。
- (2) 3D 視圖: 此視圖顯示當前火災模型的 3D 表示。可以使用其他視圖控件瀏覽模型。還可以使用諸如平滑陰影, 紋理和對象輪廓之類的選項來控制模型的
- (3) 2D 視圖: 此視圖對於快速草繪幾何形狀 (例如牆壁和家具) 很有用。可以從三個查看平面中進行選擇, 並執行許多有用的幾何操作。
- (4) 記錄視圖: 此視圖提供將模擬生成的 FDS 輸入文件的預覽。它還提供了一種添加自定義記錄的方法, 該記錄不會被 PyroSim 處理, 而是會發送到 FDS。

導航視圖是 PyroSim 主窗口左側的樹狀視圖, 如圖 3。

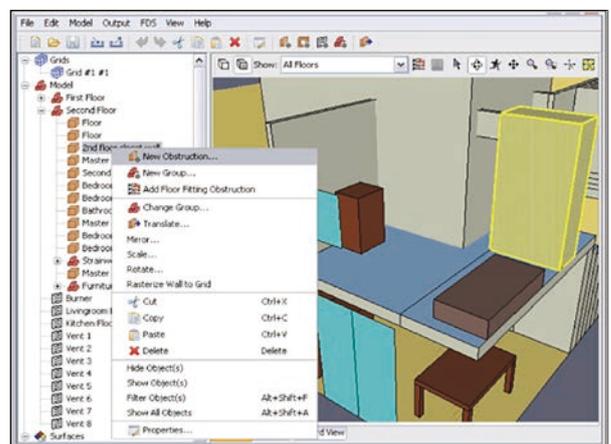


圖 3 導航視圖的使用示例
(資料來源: PyroSim User Manual, 2019)

動態避難分析軟體

building EXODUS：是由英國格林威治大學火災安全工學小組所研發，利用避難者、動作、行動、有毒性、行為模型等技術控制模擬，這五個相互作用的子模型在已經定義好的室內空間動作。內部的形狀包含在節點網格，節點通過圓弧系統連接。可用於疏散模擬和行人動態及循環分析其電腦軟體模擬逃生狀況之畫面如圖 4。基於高度複雜的子模型集，它打破了傳統工程分析的模式，從而產生了現實的人與人，人與火以及人與結構的交互作用結果，可在短時間內測試更多的人員疏散模式，發覺潛在危險區域，以達到最佳解決方案。



圖 4 電腦軟體模擬逃生狀況之畫面

(資料來源：Evacuation in a high rise office building, EXODUS 2010)

Simulex：是由英國 Fire Safety Group 所研發高層建築物避難的動態模擬程式，使用人員間的距離來決定步行的速度，該方式更符合人員在移動時的特性，與一般使用人員密度來決定步行速度的計算方式不同。Simulex 本身為二維空間之模擬程式，因此在模擬高樓層避難時，可使用連結 (Link) 的功能將不同樓層之平面利用樓梯串聯起來，並且在樓梯間由於人員上樓的步行速度比下樓緩慢，Simulex 也蒐集了大量的資料模擬人員在上下樓層時速度的差別，以確實的模擬人員在高樓層避難時之行為與特性。人員行進速度：在 Simulex 中人員的行進速度決定於此人與行進方向前一人的人員間隔，當二人間隔小於 1.5 公尺，後面人員的行進速度將會因此而降低，至於人員間隔與行進速度的關係如圖 5。

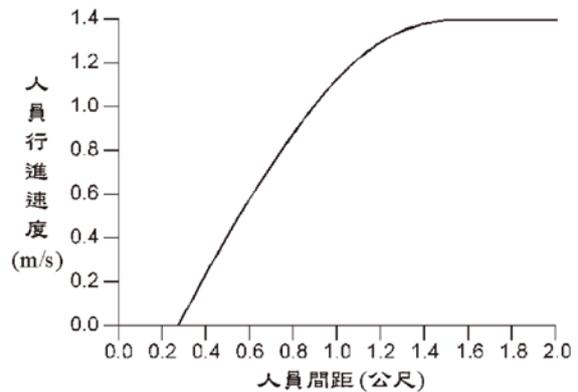


圖 5 人員間隔與行進速度關係圖

(資料來源：Simulex User Guide, 2011)

PathFinder：是由美國 Thunderhead engineering 公司開發的一個基於人員進出和運動的模擬器。它提供了圖形用戶界面的模擬設計和執行，以及三維可視化工具的分析結果。該運動的環境是一個完整的三維三角網格設計，以配合實際層面的建設模式。可以計算每個人員獨立運動並給予了一套獨特的參數 (最高速度，出口的選擇，等等)。Pathfinder 可以導入 FDS 模型，FDS 在模擬火災的同時，可以在相同時間內模擬人員疏散其電腦軟體模擬逃生狀況之畫面如圖 6。同步跟蹤不僅可以科學地分析出人員疏散的相關數據。這樣既直觀，又有可靠的數據，還可以分析出人員疏散的最佳時間，減少人員傷亡。



圖 6 電腦軟體模擬逃生狀況之畫面

(資料來源：PathFinder User Guide, 2019)

Unity 軟體

Unity 軟體是一個支援多平台、可簡易操作的遊戲開發工具，包含了強而有力的引擎，可充分整合專業應用技術，可開發執行於 PC、Mac、iOS、Android 的手機或平板電腦的遊戲。Unity 也可用於開發 PS3、XBox360、Wii 等主機的遊戲。Unity 提供人性化的操作

介面，支援 PhysX 物理引擎、粒子系統，並且提供網路多人連線的功能，不需學習複雜的程式語言，大幅降低遊戲開發的門檻。使用 Unity 可以縮短遊戲的開發時間，降低遊戲的製作成本。Unity 編輯器的操作介面如圖 7，是由不同功能的視窗組成，可以自行調整視窗的大小與位置，或是隱藏特定的視窗 [5]。

BIM 建築資訊模型

美國建築師學會定義建築資訊模型為一種「結合工程專案資訊資料庫的模型技術」。該項技術依靠資料庫技術為基礎。1984 年發布的 ArchiCAD 的 Radar CH，是提供個人電腦上運行的第一個建築資訊模型軟體。在執行建築專案時，使用建築資訊模型集合

所有相關資訊的複雜性，許多公司開發出建築資訊模型運用規範及框架。這些軟體套件（如：Autodesk Revit，Autodesk 3ds Max，Bentley AECOsim Building Designer，ArchiCAD, Tekla Structures，Synchro PRO，VectorWorks）不同以往如 AutoCAD 等的建築繪圖工具，能夠包含更多的資訊到建築模型中 [6]。Revit 編輯器的操作介面如圖 8。

融合三維空間人員動態避難模擬

Unity 支援的 3D 格式包括 *.3ds、*.dxf、*.dae、*.obj、*.fbx 等。此外，若您的電腦若有安裝 3ds Max 與 Maya 軟體，Unity 也支援 3ds Max (*.max) 格式與 Maya (*.mb) 格式。不過 FBX 仍是最為建議使用的檔案格式。

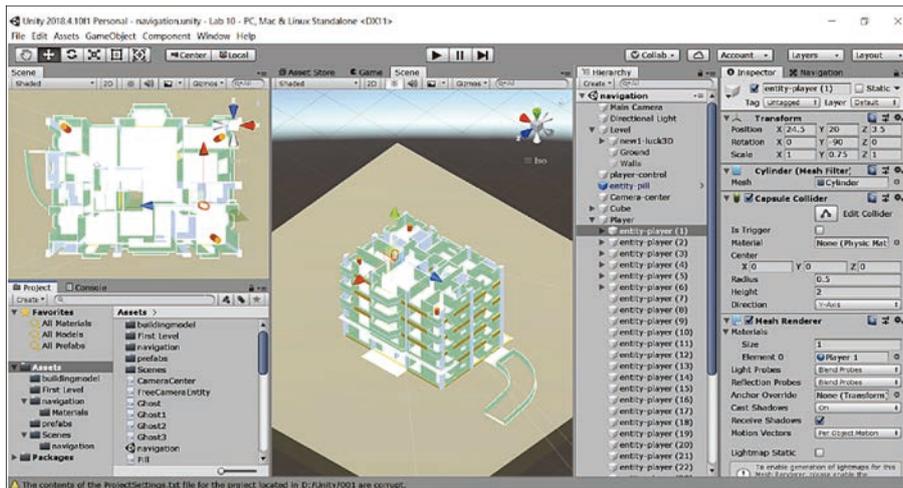


圖 7 Unity 編輯器的操作介面
(本研究整理資料)

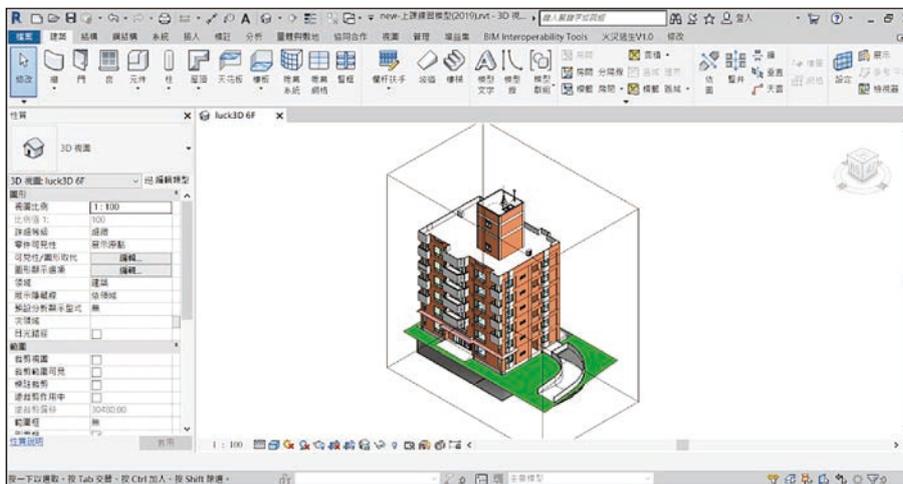


圖 8 Revit 編輯器的操作介面
(本研究整理資料)

融合三維空間人員動態避難模擬的步驟如下：(本研究整理資料)

1. 在 Revit 將 BIM 建築模型輸出為 *.FBX 格式，如圖 9 所示。
2. 在 Unity 匯入 3D (*.FBX 格式) 建築模型檔案，如圖 10 所示。
3. 在 Unity 設定人員避難的 Navigation 導航路徑，如圖 11 所示。
4. 在 Inspector 設定人員避難的位置、肩寬及身高，如圖 12 所示。

5. 在 Inspector 設定各樓層人員及梯間攝影機角度，如圖 13 所示。

6. 在 Inspector 設定地面廣場人員避難疏散的位置，如圖 14 所示。

使用 Unity 執行時，人員避難疏散的畫面是透過攝影機來呈現的，因此場景中至少需要擁有一部主要攝影機。實際上，我們會在避難路徑上的樓梯間及人員視角，裝設多部攝影機，並透過腳本程式切換不同的攝影機視角，呈現整個人員動態避難模擬完整過程。

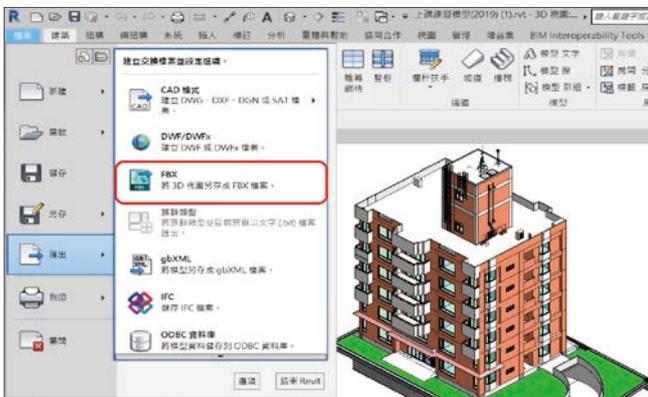


圖 9 BIM 建築模型輸出為 *.FBX 格式

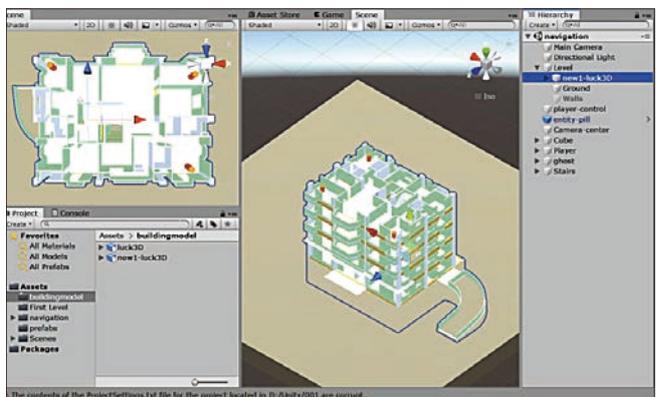


圖 10 匯入 3D (*.FBX 格式) 建築模型

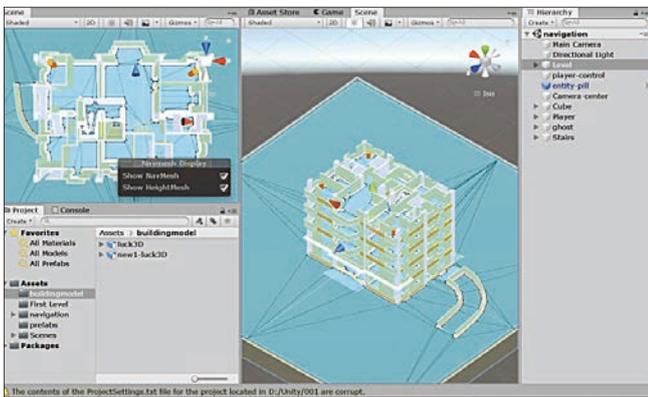


圖 11 設定人員避難的 Navigation 導航路徑

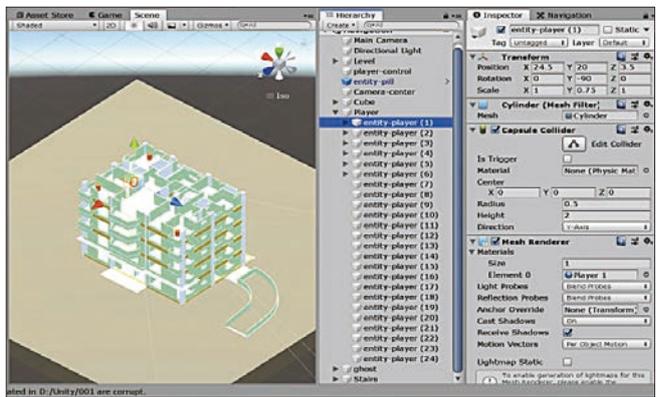


圖 12 設定人員避難的位置、肩寬及身高

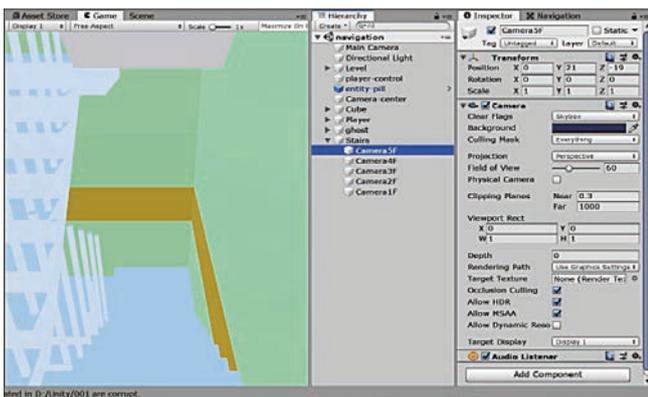


圖 13 設定各樓層人員及梯間攝影機角度

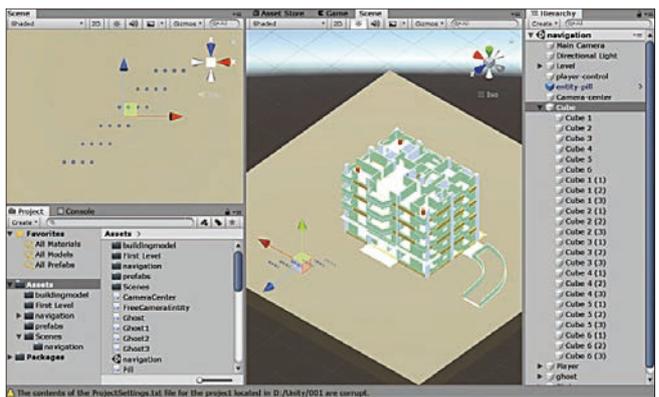


圖 14 設定地面廣場人員避難疏散的位置



圖 15 地面廣場人員避難疏散開始

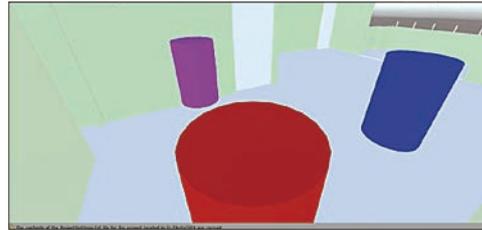


圖 16 entity-player (1) 人員避難之視角



圖 17 三樓梯間攝影機之視角



圖 18 二樓梯間攝影機之視角



圖 19 一樓梯間攝影機之視角

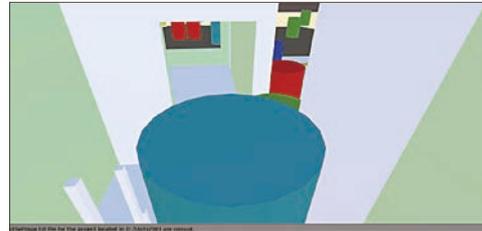


圖 20 entity-player (4) 人員避難之視角

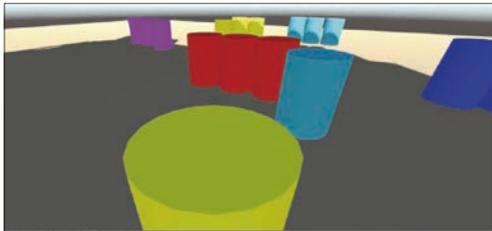


圖 21 entity-player (5) 人員避難的視角



圖 22 地面廣場人員避難疏散完成

三維空間人員動態避難模擬的執行過程如下：(本研究整理資料)

1. 在 Main Camera 地面廣場人員避難疏散開始，如圖 15 所示。
2. 在 entity-player (1) 人員避難之視角，如圖 16 所示。
3. 在三樓梯間攝影機之視角，如圖 17 所示。
4. 在二樓梯間攝影機之視角，如圖 18 所示。
5. 在一樓梯間攝影機之視角，如圖 19 所示。
6. 在 entity-player (4) 人員避難之視角，如圖 20 所示。
7. 在 entity-player (5) 人員避難之視角，如圖 21 所示。
8. 在 Main Camera 地面廣場人員避難疏散完成，如圖 22 所示。

結論

運用 Unity 直接載入 BIM 建築資訊模型，可以節省在軟體上重複繪製建築模型的時間，使用 Unity

Navigation 導航路徑功能，可以確保人員避難是採用最短路徑，並朝向地面廣場進行逃生，當火災發生時，三維空間內的所有人員，按照所設定的步行速度進行避難，其避難疏散動態模擬過程，可透過避難路徑上樓梯間攝影機及人員頭盔頂上的攝影機來呈現，本研究撰寫 C# 程式經過實際驗證後是可行的。本研究成果已足以提供設計人員使用之簡易及有效的動態避難分析工具。

參考文獻

1. 內政部營建署，「建築技術規則」(2019)。
2. 內政部消防署，「各類場所消防安全設備設置標準」(2019)。
3. 內政部建築研究所「建築物防火避難安全性能驗證技術手冊」(2004)。
4. 內政部建築研究所「簡易二層驗證技術手冊之研究」(2006)。
5. Unity 軟體，Unity Manual (2019)。
6. BIM 建築資訊模型，維基百科(2020)。