

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

自動化營建技術創新模式之研究(第2年) 研究成果報告(完整版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 99-2221-E-216-041-MY2
執行期間：100年08月01日至101年07月31日
執行單位：中華大學營建管理學系

計畫主持人：余文德

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：陳泰旭
博士班研究生-兼任助理人員：吳誌銘

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

公開資訊：本計畫可公開查詢

中華民國 101 年 10 月 08 日

中文摘要： 創意經濟是繼知識經濟之後，人類經濟發展下一波主要動力之來源。受限於傳統營建技術工法研究所採取的流程分析及施工性改善方法，其所分析者為現有之工法流程，其所根據者為少數工程師之經驗，因此其所得到的成果亦僅為「漸進式創新」之技術工法。近年來伴隨專利資料庫、創新問題解決理論(TRIZ)以及電腦輔助創新工具在營建工法開發上之應用，其所分析者為過去經驗之最佳解，其所依據者為全人類之技術資料庫，因此其所得之成果已跳脫傳統「漸進式創新」之侷限，而達到「系統性」或「激烈型」之創新技術，而其創新效益更大幅提升。本研究計畫以研究團隊先前已發表之「系統化技術創新流程(STIP)」研究成果為基礎，針對該方法在創新方案產生過程之人為判斷的不確定性及局部最佳解問題，以及耗費人力處理技術資料等成本與時間效益問題，進行改進研究。研究成果提出「營建技術自動創新模式(ACTIM)」，並開發相關電腦雛形系統進行驗證。為發展此一系統，本研究解決了以下三個研究問題：建構一個能夠充分表達營建工法特徵與屬性之模式化語言、定義一個可以表達技術創新解決方案之目標函數以及發展一個最佳化求解演算法，進而整合成為一自動化營建技術創新方法。為達成以上研究目標，本研究以二年為期完成相關技術之研究，本研究第一年完成「營建技術自動創新模式(ACTIM)」之模式建構，及相關理論基礎的推導，並以一營建技術為個案進行自動化技術創新個案研究，以驗證模式之可行性；第二年繼續第一年之成果，依據第一年之成果修正 ACTIM 模式，並將所修正模式應用於其他兩個新的案例中，以驗證所提方法之可行性。最後，根據兩年之研究成果，提出研究及果之討論。經過兩年之研究發現，所提出之 ACTIM 模式切實能夠提供營建技術研究人員一個相當有用之工具，以協助進行營建技術之創新研發。

本計畫完成後共發表中英文學術期刊論文七篇、中英文研討會論文六篇、技術報告兩篇、專利兩項、可技轉之 know-how 一件。其中有「營建技術自動化創新構想產生模式之研究」及「應用 TRIZ 於營建工程技術創新構想自動化產生之探討」等兩篇論文分別獲得營建管理學會及海峽兩岸中華萃思學會之論文獎，研究成果超過當初所預設：兩篇 SCI/EI 論文及四篇研討會論文之目標，為一成功之研究計畫。

中文關鍵詞： 電腦輔助創新、創新問題解決理論、演化樹、營建技術創新方法

英文摘要： Creative economy has been identified as the major driving force for the next wave of human's economic

growth. The traditional construction innovations were relatively limited and incremental due to the adopted techniques. Just recently patent analysis and the theory of inventive problem-solving (TRIZ) have been employed in the innovation of construction technologies. Such methods escape from the existing construction processes and generate innovative solutions based on the global human intelligence, thus resulted in system or radical innovations and bring in significant benefits. This research founded on the Systematic technology Innovation Process (STIP) developed by the same research team, aims at improving the uncertainties involved by human judgments and the tremendous manual efforts required for processing huge amount of technological information of the previous model. An Automated Construction Technology Innovation Model (ACTIM) is proposed and a prototype system has been developed to implement and test the proposed method. Three objectives are planned to accomplish the proposed method: to develop a modeling language for representing construction technologies; to define an objective function for guidance of optimum searching; to develop an optimization algorithm so that the optimal innovative alternative can be found. In order to achieve the planned objectives, the research was planned for two years: (1) Year I—complete the development of research methodology and the planning the ACTIM system and algorithms; (2) Year II—finish the system implementation, the case study for verification and revision of proposed system, and the publication of the research works. The proposed ACTIM is verified to solve the problems of over-involvement of human efforts in the current computer-aided technology innovation method. It also provides a building block for the development of the Theory for Optimization of Construction Technology.

The publications of the research include: 7 research journal papers, 6 conference papers, 2 technical reports, 2 patents, and a transferable know-how. Two publications have earned awards from the Construction Management Association and the TRIZ

Association. All planned objectives are achieved successfully.

英文關鍵詞： Computer aided innovation, TRIZ, Genetic operation trees, Construction technology innovation

自動化營建技術創新模式之研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫
計畫編號：NSC 99-2221-E-216-041-MY2
執行期間：2010年8月1日至2012年7月31日

執行機構及系所：中華大學營建管理學系

計畫主持人：余文德
協同主持人：鄭紹材
計畫參與人員：吳誌銘、羅浩榕、江庭芳、陳泰旭

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本計畫除繳交成果報告外，另須繳交以下出國心得報告：

- 赴國外出差或研習心得報告
- 赴大陸地區出差或研習心得報告
- 出席國際學術會議心得報告
- 國際合作研究計畫國外研究報告

處理方式：除列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

- 涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

中 華 民 國 101 年 10 月 02 日

中文摘要

創意經濟是繼知識經濟之後，人類經濟發展下一波主要動力之來源。受限於傳統營建技術工法研究所採取的流程分析及施工性改善方法，其所分析者為現有之工法流程，其所根據者為少數工程師之經驗，因此其所得到的成果亦僅為「漸進式創新」之技術工法。近年來伴隨專利資料庫、創新問題解決理論(TRIZ)以及電腦輔助創新工具在營建工法開發上之應用，其所分析者為過去經驗之最佳解，其所依據者為全人類之技術資料庫，因此其所得之成果已跳脫傳統「漸進式創新」之侷限，而達到「系統性」或「激烈型」之創新技術，而其創新效益更大幅提升。本研究計畫以研究團隊先前已發表之「系統化技術創新流程(STIP)」研究成果為基礎，針對該方法在創新方案產生過程之人為判斷的不確定性及局部最佳解問題，以及耗費人力處理技術資料等成本與時間效益問題，進行改進研究。研究成果提出「營建技術自動創新模式(ACTIM)」，並開發相關電腦雛形系統進行驗證。為發展此一系統，本研究解決了以下三個研究問題：建構一個能夠充分表達營建工法特徵與屬性之模式化語言、定義一個可以表達技術創新解決方案之目標函數以及發展一個最佳化求解演算法，進而整合成為一自動化營建技術創新方法。為達成以上研究目標，本研究以二年為期完成相關技術之研究，本研究第一年完成「營建技術自動創新模式(ACTIM)」之模式建構，及相關理論基礎的推導，並以一營建技術為個案進行自動化技術創新個案研究，以驗證模式之可行性；第二年繼續第一年之成果，依據第一年之成果修正 ACTIM 模式，並將所修正模式應用於其他兩個新的案例中，以驗證所提方法之可行性。最後，根據兩年之研究成果，提出研究及果之討論。經過兩年之研究發現，所提出之 ACTIM 模式切實能夠提供營建技術研究人員一個相當有用之工具，以協助進行營建技術之創新研發。

本計畫完成後共發表中英文學術期刊論文七篇、中英文研討會論文六篇、技術報告兩篇、專利兩項、可技轉之 know-how 一件。其中有「營建技術自動化創新構想產生模式之研究」及「應用 TRIZ 於營建工程技術創新構想自動化產生之探討」等兩篇論文分別獲得營建管理學會及海峽兩岸中華萃思學會之論文獎，研究成果超過當初所預設：兩篇 SCI/EI 論文及四篇研討會論文之目標，為一成功之研究計畫。

關鍵字：電腦輔助創新、創新問題解決理論、演化樹、營建技術創新方法

Abstract

Creative economy has been identified as the major driving force for the next wave of human's economic growth. The traditional construction innovations were relatively limited and incremental due to the adopted techniques. Just recently patent analysis and the theory of inventive problem-solving (TRIZ) have been employed in the innovation of construction technologies. Such methods escape from the existing construction processes and generate innovative solutions based on the global human intelligence, thus resulted in system or radical innovations and bring in significant benefits. This research founded on the Systematic technology Innovation Process (STIP) developed by the same research team, aims at improving the uncertainties involved by human judgments and the tremendous manual efforts required for processing huge amount of technological information of the previous model. An Automated Construction Technology Innovation Model (ACTIM) is proposed and a prototype system has been developed to implement and test the proposed method. Three objectives are planned to accomplish the proposed method: to develop a modeling language for representing construction technologies; to define an objective function for guidance of optimum searching; to develop an optimization algorithm so that the optimal innovative alternative can be found. In order to achieve the planned objectives, the research was planned for two years: (1) Year I—complete the development of research methodology and the planning the ACTIM system and algorithms; (2) Year II—finish the system implementation, the case study for verification and revision of proposed system, and the publication of the research works. The proposed ACTIM is verified to solve the problems of over-involvement of human efforts in the current computer-aided technology innovation method. It also provides a building block for the development of the Theory for Optimization of Construction Technology.

The publications of the research include: 7 research journal papers, 6 conference papers, 2 technical reports, 2 patents, and a transferable know-how. Two publications have earned awards from the Construction Management Association and the TRIZ Association. All planned objectives are achieved successfully.

Keywords: Computer aided innovation, TRIZ, Genetic operation trees, Construction technology innovation

中文摘要	II
Abstract	III
一、前言	1
二、文獻回顧	2
2.1 營建技術創新發展過程	2
2.2 營建技術創新流程與模式	3
2.3 電腦輔助技術	4
三、研究方法：營建技術自動化創新模式(ACTIM)架構	4
3.1 營建技術自動創新模式 ACTIM 架構說明	4
3.2 營建技術自動創新模式 ACTIM 執行流程	5
四、驗證結果：營建技術創新案例測試	11
4.1 第一年：方法可行性測試	12
4.1 第二年：模式驗證測試	20
五、研究結果討論	33
5.1 ACTIM 模式案例測試結果	33
5.2 技術系統元件重要性衡量方法之假設	33
5.3 應用功能模型建立演化樹與基因串編碼與解碼	34
5.4 適應度函數定義與構想選擇機制	34
5.5 演化結果分析與評估	34
六、結論與建議	35
6.1 結論	35
6.2 建議	35
參考文獻	37
計畫成果報告自評表	42
衍生研發成果推廣資料表	45
出席國際學術會議心得報告	47

一、前言

營建技術之創新可對於企業、產業、社會等提供明顯的潛在效益[1,2]，企業投入技術研發[3]及增加營建技術創新能力所形成的差異化亦能產生競爭之優勢[4]。「營建技術創新」可定義為新材料或新施工技術的組合[5]。Slaughter[1]認為營建創新為於實際之營建施工流程、產品或系統，採用新穎的作法而達到明顯的改變與改善，並對於現行制度上產生重要的發展與改變。然而過去數十年來，營建業技術之研究發展、創新之速度以及生產力之提升相較其他產業顯得緩慢[6-11]。其影響因子可歸納為產業保守、過多小型企業、忽略研究發展、法規與標準的要求等[2,9,11-13]。在諸多的限制因素下，營建技術創新需要一套有效率的方法以提昇技術之創新能力。過去營建技術之發展大多仰賴工程人員之知識與經驗，加上營建問題具有不易描述與呈現的特性，以及創新構想產生方式如腦力激盪、水平思考等，存在著不易收斂以及選擇之情形[14]。

先前研究雖已提出系統化技術創新流程 (Systematic Technology Innovation Process, STIP) [15]及創新方案自動產生模式 (Model for Automatic Generation of Innovative Alternatives, MAGIA) [16]等方法，嘗試改進過去營建技術創新實務上所遭遇之困難。然而上述兩種方法仍存在一定之限制，例如，STIP方法雖然建立了一套系統化之方法流程，使從事技術創新之工程人員可以遵循以降低結果之不確定性，但此方法必須透過人工方式進行構想之產生與選擇，無法突破傳統人為判斷之侷限性；而MAGIA模式針對構想產生階段達到自動化產生創新方案之功能，但該模式雖能局部改善構想產生之瓶頸，卻未能整合成為一系統化之方法，實務應用上較為困難。有鑑於此，本研究提出一套營建技術自動創新模式 (Automated Construction Technology Innovation Model, ACTIM)，針對產品/技術之概念發展階段建構系統化創新流程，並且能於構想產生與構想選擇階段達到自動化的效果。本ACTIM模式主要由先前研究之系統化技術創新流程STIP與創新方案自動產生模式MAGIA所組成，其目的在解決過去營建技術創新流程無法整合系統化與自動化之情形，提供技術研發人員於產品研發概念階段一完整性之系統化技術創新模式。為驗證ACTIM模式之可行性，本文以兩項實際技術研發專利案例進行說明，彙整與歸納ACTIM實際應用結果。最後並針對ACTIM模式之假設以及限制進行討論，並提出未來可持續發展之方向，以作為相關研究之參考。

本研究以兩年為期，第一年先回顧相關重要文獻，並建構 ACTIM 所需之理論基礎，並完成演算法推導以及雛型系統之建立；第二年透過實際營建技術應用，除測試修正 ACTIM 之功能外，並完成三個實際技術之創新。本研究第一年完成「營建技術自動創新模式(ACTIM)」之模式建構，及相關理論基礎的推導，並以一營建技術為個案進行自動化技術創新個案研究，以驗證模式之可行性；第二年繼續第一年之成果，依據第一年之成果修正 ACTIM 模式，並將所修正模式應用於其他兩個新的案例中，以驗證所提方法之可行性。最後，根據兩年之研究成果，提出研究及果之討論。經過兩年之研究發現，所提出之 ACTIM 模式切實能夠提供營建技術研究人員一個相當有用之工具，以協助進行營建技術之創新研發。

二、文獻回顧

2.1 營建技術創新發展過程

早期營建技術創新之研究，多著重企業內部之組織與流程角度探討營建創新所需要之問題與需求或是技術推力與市場拉力[9,17-19]，此外並強調組織度對於營建新興技術之分類、導入、應用之觀念與重要性[20,21]。受限於既有之創新工具，前述研究多討論組織層級之一般性創新觀念，少有涉及營建技術創新之流程或方法。到廿世紀末，開始關注營建技術創新之模式。例如，Slaughter 提出有關營建技術創新的類型分類，依據技術系統的改變以及影響大小可分成漸進式 (incremental)、模組式 (modular)、架構式 (architectural) 系統式 (system)、以及激烈式 (radical) 等五種創新類型[1,22]，企業可依據不同規模選擇不同之技術與研發策略[1,10]。此外，也有學者針對現有或新技術工法的採用評估與選擇提出分析模式[23-27]。然而前述相關課題多仍從組織層級著眼，著重在新技術之分類以及營建技術工法於工程使用上的評選。直到最近十年來，隨著其他領域有關技術創新工具與方法(如專利資訊與創新問題解決理論 TRIZ 的應用與發展)以及創新概念逐漸導入於營建領域，使營建技術創從以前的概念評估逐漸朝向實體技術方法之發展。例如，技術分析定位與研發策略建議[28]、TRIZ 於營建工程技術創新[29]，應用 TRIZ 分析營建工程技術之原則[30,31]等。此外，將 TRIZ 結合其他工具之應用如價值工程[32,33]、知識管理[33,34]等相關研究，逐漸將營建技術創新帶向嶄新領域。

2.2 營建技術創新流程與模式

有關於營建創新之流程與模式，早期 Tatum[19]以數個新施工方法描述營建業廠商創新的過程，包括：辨識出針對創新有利機會、創造出創新的環境、發展需要的能力、提供新的施工技術、實驗與改進、執行等。Chang et al.[20]認為營建業發展必要建立一套系統化方法，包括辨識 (identify)、評估 (evaluate)、導入 (introduce) 等，以確保當新技術開發完成後評估與採用的依據。該研究並透過技術影響因子包括成本/效益、風險、可行性進行新技術的衡量與分析。Slaughter [1,22]除提出五項營建技術創新層級，並也認為企業可透過衡量自身的條件，採取適合的創新模式。其中應包含：(1)定義階段；(2)評估階段；(3)企業內部支持階；(4)準備階段；(5)實際執行階段；(6)執行後之評估階段。Abd El Halim and Haas[35](2004)將營建問題解決所產生的發明至商業化的創新過程，區分為問題定義階段 (problem identification)、分析研究階段 (analytical investigation)、發展解決方案 (development of a solution)、建立全尺寸模型 (establishing validity of full-scale prototype)、以及商業化實現 (commercial realization) 階段。前述研究可得知過去探討之營建技術發展流程，一般可歸納為技術問題定義、問題分析、構想產生、導入與執行、回饋等五階段。Yu et al.[15] (2009a) 於營建技術研發各階段結合電腦輔助創新工具，提出一系統化技術創新流程 STIP。STIP 方法主要結合研發專案管理概念產生階段之可交付成果、專利分析工具、以及根原因分析、功能模型分析等電腦輔助創新工具所組成，以提供系統化技術創新之流程。STIP 確實提供技術研發工程師一個系統化技術創新之指南，但在最具關鍵的構想產生階段卻必須由研發人員進行構想之研擬，而無法達到自動化之功能。為克服此問題，Yu et al.[16] (2012) 提出自動化創新構想產生模式 MAGIA，該方法主要結合基因演算法、演化樹、TRIZ 等技術，將營建技術之建模與創新過程，仿照生物遺傳演化之原理進行自動化進化。該方法確實解決了一部分人工構想產生之瓶頸點問題，然而卻缺乏系統化之步驟。且 MAGIA 雖解決構想產生之問題，有關構想評估與應用等實務問題卻未能加以解決。因此，如何整合系統化創新流程並應用自動化構想產生方法，減少創新過程中高度仰賴人員的問題，為一值得探究之課題。此外，營建技術創新最終之目的在於解決工程實務之課題，如何評估技術之價值與可行性亦為先前研究亟待補強之處。

2.3 電腦輔助技術

過去十餘年間，其他科技產業在電腦輔助創新(Computer Aided Innovation, CAI)工具之發展日新月異，為能達自動化創新之目的，藉由電腦輔助技術已是營建技術創新之新趨勢。營建產業現今所使用的電腦輔助設計 CAD (Computer Aided Design, CAD) 工具，以及其所產生的效益與貢獻已成為近代最具影響性的資訊技術創新[36]；電腦輔助創新(CAI)則為 CAD 之後越來越受產業接受與重視的電腦輔助技術 [37]。電腦輔助創新之概念，主要在協助研發人員於產品發展期初之設計過程的執行，並已經被廣泛應用於企業發展與滿足顧客需求之營運過程中，將創意之構想並發展成成熟之商品導入市場中[38] (Leon, 2009)。CAI 技術是以資通訊技術協助產品研發過程，並同時使用 TRIZ 方法以產生有效之創新構想[38-40]。Li et al.提出「設計者」與「電腦」間創造性思考之關聯理論：在設計者方面著重自身知識與資訊之形成，以個人創造性思考作為輸入；而在電腦應用方面，則主要提供知識庫與資訊來源以輔助設計者的創意思考或提供資訊的來源[39] (Li et al., 2007)。Hüsigg and Kohn (2009) [37]指出電腦輔助創新之優勢包含提升效率 (efficiency)、提升創新成果之效益 (effectiveness)、提升創新能力 (competence) 及提升創造力 (creativity) 等。如此可得知，CAI 工具結合系統化技術創新方法，不但可以創新構想來源外，更可以提升創新效率，進而達到自動化構想產生之目的。

三、研究方法：營建技術自動化創新模式(ACTIM)架構

3.1 營建技術自動創新模式 ACTIM 架構說明

依據文獻回顧之結果，本研究結合系統化技術創新流程與自動化構想產生模式，建立營建技術自動創新方案產生模式(ACTIM)，如圖 1 所示。本 ACTIM 模式以 STIP 系統化流程步驟為主要創新過程，結合 ACTIM 之遺傳演化功能，並增加構想選擇分析之功能。為達到自動化之目的，ACTIM 於各步驟中整合不同之電腦輔助創新工具(包括知識庫、專利分析、功能模型分析、基因演化等模組)。ACTIM 之系統化步驟包括問題定義、根原因分析、目標技術選定、功能模型分析、構想產生與功能模型修正、構想選擇、以及概念定義等，成為一個容易為工程師所依循之模式。為確保創新目標之達成，ACTIM

應用專案管理方法定義各階段之交付成果，使得技術創新成果更為明確。此外，先前 MAGIA 模式所使用之工具，包括演化樹[41]、基因演算法[42]、TRIZ 等亦整合於 ACTIM 中，提供技術建模與自動化構想產生之機制。

3.2 營建技術自動創新模式 ACTIM 執行流程

營建技術創新方案產生模式 ACTIM 之流程共計 10 步驟如圖 1 所示，各階段流程步驟之內容說明如下：

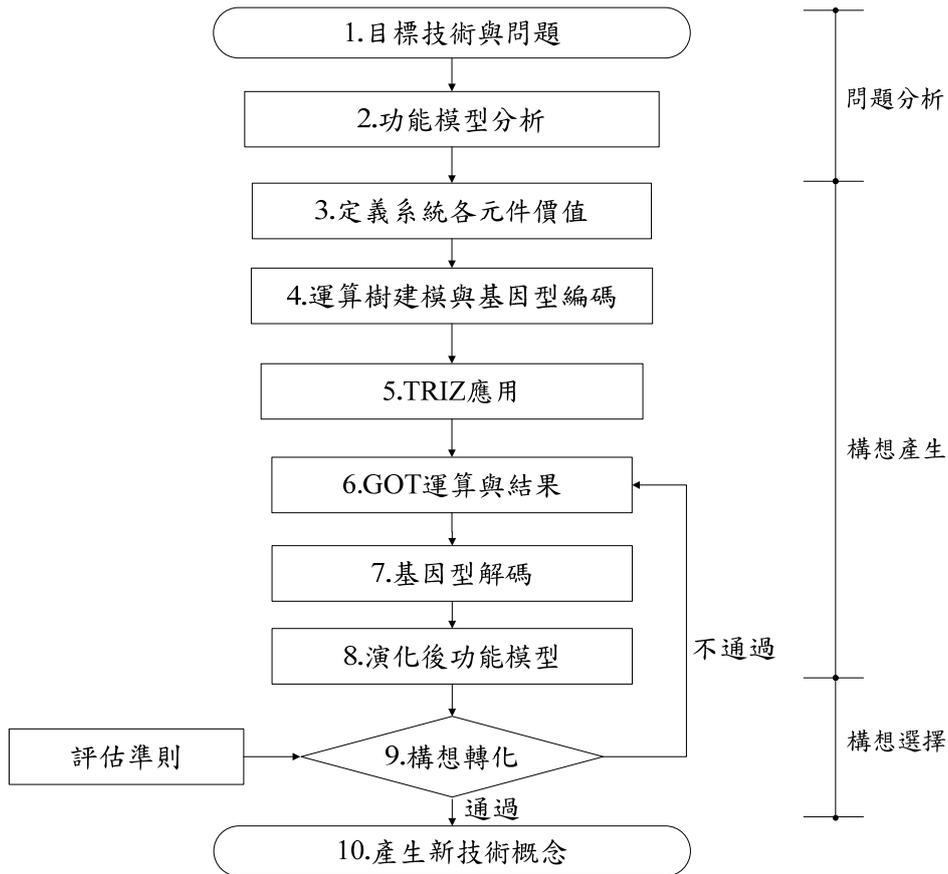


圖 1 ACTIM 模式架構

1. 目標技術與問題

營建技術問題定義型式可泛指各種營建技術，例如，設計或施工問題中針對材料、工法、設備等技術所面臨到之品質、生產力、安全等問題，皆可作為創新改善之目標技術與標的，並從中找出技術發展與創新之機會。

為能夠明確分析技術問題之成因並進行分析與改善，本 ACTIM 模式採用根原因分析 (Roots Cause

Analysis, RCA) 方法，以結構化方式將營建技術問題的根本因素解構為樹狀圖形式，並提供辨識與解決問題的關鍵成因[43,44]。RCA 為分析一項不良事件 (undesirable event) 或是問題的最基本成因，若真正問題的成因沒有被辨識出來，而是僅解決其它原因，所發生之問題仍然會存在並持續發生，因此辨識與消除問題的根原因為影響後續技術發展之重要之階段。一般進行根原因分析流程包括[45]：(1) 描述實際原因；(2) 定義造成原因之實際現象；(3) 應用 3W2H (what, when, where, how, how much) 方法針對問題成因進行細節描述；(4) 以團隊方式進行分析，而非獨自作業分析；(5) 考量每一項可能發生的根原因；(6) 確認所有合理的根原因，並消除不合理的原因；及(7) 如果所分析根原因為人為疏失，將其從實際原因中移除。

2. 功能模型分析

此階段可針對產生問題之技術作為目標技術，並應用功能模型分析(Function model analysis, FMA) 作為技術分析之工具，透過功能模型(Function model, FM)將技術元件抽象化以分析技術系統中之各元件，可描述產品整體系統中子系統的功能以及連結關係[46]。FM 建置主要由 SAO(subject-action-object) 語法所建構，一般建立功能模型分析之流程包括[47]：(1) 搜尋技術資料庫—以建立參考辭庫及目標技術；(2) 依據參考技術名詞定義 FM 中之主要元件，包括主詞(Subject)、受詞(Object)元件及功能鏈結(Action link)；(3) 定義 FM 中之個別 SAO 關聯鏈；(4) 結合個別 SAO 關聯鏈，以成為整合之 FM 模型；(5) 驗證 FM 之正確性與合理性。

3. 定義系統各元件價值

假設一營建技術系統之功能模型(FM)中共有 N 個元件(包括 Subject 及 Object)及 M 個功能鏈結(兩個元件互相作用則鏈結數為二)，第 i 個元件(以 $Comp_i$ 表示)之對外鏈結數共有 NL_i 個，則該元件對於該 FM 之相對重要性(以 $Imp(Comp_i)$ 表示)可以用其對外鏈結數與整體 FM 之總鏈結數(M)之比值表示，如式(1)所示：

$$Imp(Comp_i) = \frac{NL_i}{\sum_{j=1}^N NL_j} = \frac{NL_i}{M} \quad (1)$$

一個對外鏈結數不高的元件，可能因為提供了關鍵的功能鏈結，亦可成為該技術系統中的重要元

件，此一特性可用關聯度(Relevance, R)來表示。綜合考量上述兩項因子，並且引入技術適存度(fitness)之概念，則一個技術系統(FM)個別元件之價值可用式(2)來衡量：

$$Fit(Comp_i) = R_i \times Imp(Comp_i) = R_i \times \frac{NL_i}{\sum_{j=1}^N NL_j} = R_i \times \frac{NL_i}{M} \quad (2)$$

式(2)中， N 、 M 及 NL_i 如式(1)之定義； R_i 為第 i 個元件之關聯度； $Fit(Comp_i)$ 則為第 i 個元件在技術系統之「元件價值」，以適存度表示。

依據式(2)，一個技術系統 FM 之整體價值(Fit_{total})可以式(3)表示：

$$Fit_{total}(Comp) = \sum_{j=1}^N Fit(Comp_j) \quad (3)$$

式(3)中， N 及 $Fit(Comp_i)$ 如式(2)之定義； $Fit_{total}(Comp)$ 為技術系統之整體適存度。

4. 演化樹建模與基因型編碼

完成技術系統之適存度衡量計算後，本研究藉由基因演算法賦予營建技術系統自我演化改善之自動化創新機制。然為達到此一功能，首先必須將 FM 轉換成為電腦所能理解之基因型(genotype)模型。ACTIM 結合演化樹(Genetic Operation Tree, GOT)以及簡單基因演算法(Simple Genetic Algorithm, sGA)，將 FM 中之 SAO 關聯鏈編碼建模，成為一可演化之技術系統模型。以下說明演化樹建模與基因串編碼之步驟：

(1) 演化樹建模

此步驟先以功能模型中所列舉之 SAO 為基本之運算結構(如圖 2 所示)，其次將目標技術系統功能模型中之所有 SAO 結構建構成一完整之樹狀結構，其概念模型如圖 3 所示：

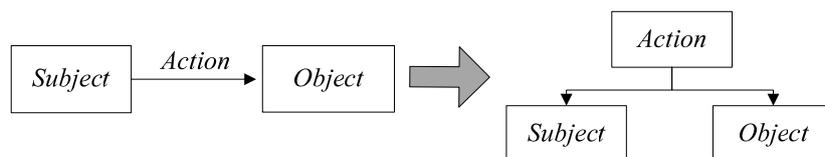


圖 2 SAO 轉換為演化樹示意圖

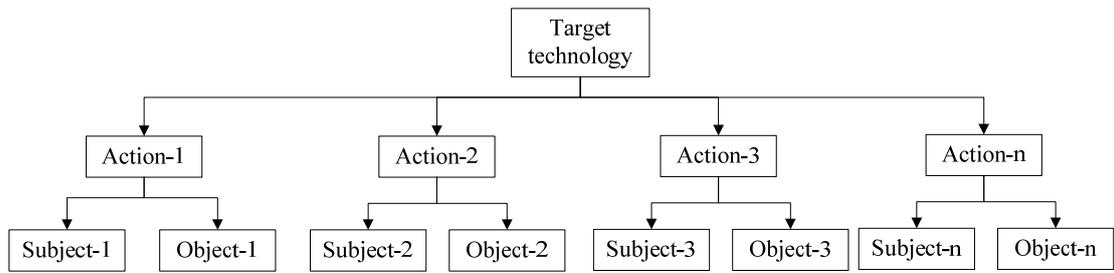


圖 3 演化樹示意圖

(2) 基因型編碼

此步驟目的在將前述演化樹模型進行基因型編碼，目的為透過染色體編碼後，應用用基因演算法進行與演化，其編碼原則如圖 4 所示。將演化樹之所有主詞 (S) 作為第一組染色體；所有功能鏈結 (A) 作為第二組染色體；所有受詞 (O) 作為第三組染色體。

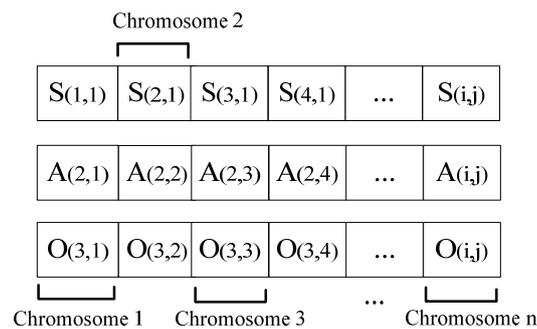


圖 4 以 SAO 進行染色體編碼示意圖

5. TRIZ 應用

技術之創新若完全藉由隨機性模型(Stochastic model)—基因演算法—進行，勢必因為過度的隨機性使得創新之結果不易收斂。為改善此一問題，ACTIM 模式加入了創新問題解決理論 TRIZ 之應用 [48,49]。其方法是採用缺乏矛盾訊息下的問題解決流程，亦即單一工程特性對應發明原則 [50,51]，將 TRIZ 矛盾矩陣表中每一個「欲改善的工程參數(Engineering parameter, EP)」所有對應的創新法則 (Inventive principle, IP) 進行整理與統計，出現次數越多表示使用該發明原則解決問題的機率愈高。將其概念歸納成如式(4)所示：

$$Fit(Action_q(EP_k, IP_i)) = \frac{Frq(IP_i)}{\sum_{j=1}^{40} Frq(IP_j)} \quad (4)$$

式(4)中， $Fit(Action_q(EP_k, IP_i))$ 表示第 i 個發明法則(IP_i)對於第 k 個工程參數(EP_k)應用於第 q 個功能鏈結之適用性； $Frq(IP_i)$ 表示透過單一工程特性對應發明原則(如表 1 所示)，第 i 個發明法則在改善第 k 個工程參數之出現頻率；而右式分母則為所有發明法則應用於改善第 k 個工程參數出現次數之總和。

表 1 單一參數特性發明原則等級表[錯誤! 找不到參照來源。]

等級	A1	A2	B	C	D	E	F
次數	>19	16~18	13~15	10~12	7~9 次	4~6 次	1~3 次

式(4)提供了 TRIZ 發明法則對特定技術系統元件之改善功能的衡量，將此衡量與式(3)之技術系統元件整體適存度加總，則可得到一個技術系統從原本的功能模型(FM_{old})改變成為新一代功能模型(FM_{new})之創新方案的適存度衡量值，以式(5)表示：

$$Fit(FM_p) = \sum_{i=1}^N Fit(Comp_i) + \sum_{q=1}^M Fit(Action_q(EP_k, IP_i)) \quad (5)$$

式(5)中， $Fit(FM_p)$ 表示第 p 個技術創新方案(FM_p)之適存值； N 為 FM 之總元件數； M 為 FM 之總功能鏈結數； $Fit(Comp_i)$ 之計算如式(2)； $Fit(Action_q(EP_k, IP_i))$ 之計算如式(4)。

6.GOT 運算與結果

完成創新方案之適存值衡量及技術系統之 GOT 建模後，即可進行技術創新之演化運算。在技術系統演化過程，本研究採取字罩(mask)式交配機制，其示意圖如圖 5 所示。首先，產生與物種字串長度相同的字罩當作交配時的位元指標器，其中字罩為隨機地由 0 與 1 所組成，字罩為 1 的位元即是兩物種字串彼此交換位元資訊的位置。

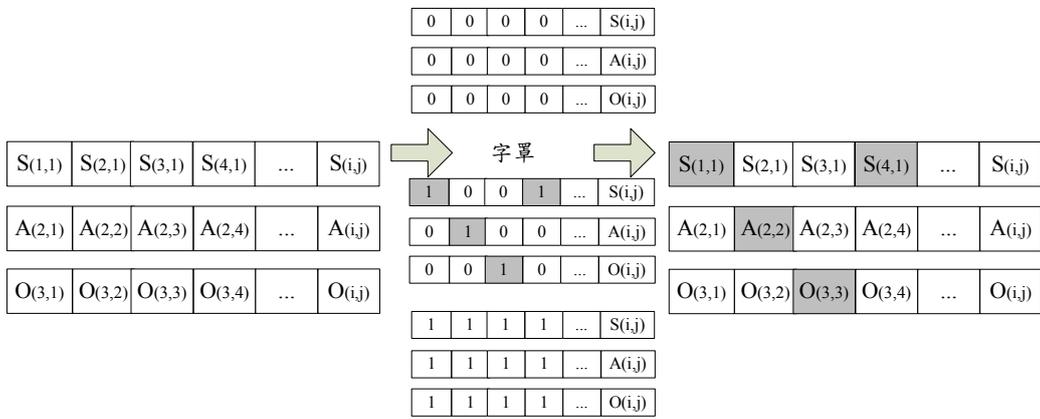


圖 5 ACTIM 字罩式母代交配示意圖

演化運算過程同一般之 sGA 演算法[42]，包括：複製(reproduction)、交配(crossover)、突變(mutation)及選擇(selection)。在進行選擇前，必須先計算創新方案之適存值，計算公式如式(1)~(5)所示。本基因演算法採用菁英策略(elitist strategy)，亦即僅保留適存值最高的族群進行下一世代之演化。演化過程在以下判斷準則滿足時即停止：(1) 演化世代達 100 代；(2) 適存值不再改善。經過 GOT 演化後，所得到的創新方案為一如圖 4 之基因型，為瞭解其物理意義，必須進行解碼以還原為功能模型之形式。

7. 基因型解碼

完成技術創新方案之演化後必須將演化後之基因型進行解碼，其原則如圖 6 所示。首先，將基因型編碼轉換成演化樹結構，其次再將演化樹結構轉換成演化後之新功能模型。

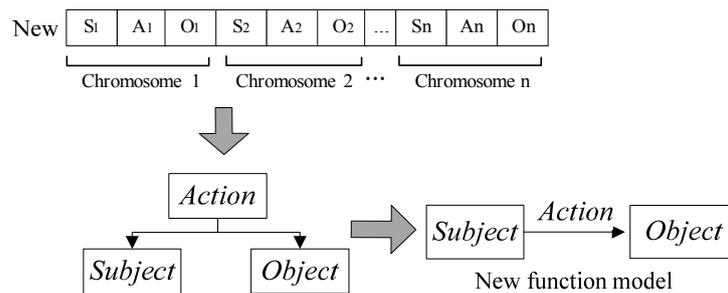


圖 6 基因型編碼轉換為 SAO 示意圖

8. 演化後之功能模型

以技術系統演化後之適存值最高者之基因型為優先轉換對象，將演化後之演化樹架構繪製成演化後之功能模型，並從中獲得解決技術問題之 TRIZ 發明原則解答。

9. 構想轉化

本步驟將演化後之結果及獲得之 TRIZ 發明原則解答，代回原目標技術以產生新功能模型設計並進行評估。在評估準則部分，本研究使用簡化設計原則作為主要技術構想評估的基礎，並同時考量新技術是否需滿足法令與規範等條件。若最佳解之設計為不可行則依序採用次佳解進行設計，或回到步驟 6 重新進行演化。

在構想評估與選擇應用上，應用系統簡化評估原則針對新舊技術所包含之元件進行數量以及連結關係的比較，本研究以電腦輔助創新軟體 Goldfire Innovator 中新舊技術之簡化設計比較原則如表 2 所示：

表 2 新舊技術簡化設計評估準則

序號	評估項目	內容說明	符號/公式
1	元件數量	元件之總數量	(A)
2	有用功能數量	有用功能之總數量	(B)
3	有害/不足/過多功能數量	有害功能之總數量	(C)
4	新舊系統元件的總數量的比值	此指標為新技術系統中之元件總數量，與目標技術系統中元件總數量之比值，若數值小於 1 表示新技術系統簡化程度較目標技術佳。	(NT_A/TT_A)
5	新舊系統的連結關係總數量的比值	此指標為新技術與目標技術所有連結關係之比值，小於 1 表示新技術系統為佳。	$(NT_{(B+C)}/TT_{(B+C)})$

備註：新技術 NT=New Technology, 傳統技術 TT=Traditional Technology

10. 產生新技術概念

經過構想轉化及評估為較佳之技術創新方案將成為採用方案，經採用後之新技術方案的功能模型設計利用電腦輔助設計或實體模型方式呈現新技術，並輔以簡短之說明文字以呈現新概念。

四、驗證結果：營建技術創新案例測試

為能夠實際測試 ACTIM 之可行性，在電腦輔助工具應用上本研究結合 Goldfire Innovator® 中之科學效應與專利資料庫，做為目標技術之來源。而自動化構想產生之工具軟體，則採用基因演算法軟體 GeneHunter® 作為演化計算工具。另外，為了測試 ACTIM 之可行性，本節說明過去兩年間本研究所進行之三個測試案例及其結果。第一年先以「隔震層管線設計結構」為案例，測試所提出之 ACTIM 模式的可行性；第二年再以營建工程常見之施工架系統安全問題以及混凝土養護作業品質問題等兩個案例

進行驗證。

4.1 第一年：方法可行性測試

為測試本研究所提出之 ACTIM 初步模式的可行性，第一年度先以「建築物隔震層管線設計結構專利（專利公告號 M323756，公告日期 2007/12/11，專利權人為潤弘精密工程事業股份有限公司，如圖 8 所示）」作為個案分析與模式測試之目標技術，並進行個案研究。

一、問題定義

本研究之目標技術專利描述為當地震來襲時，建築物或是地下所埋設之管線常會因地震之錯動而斷裂、破損，又有可能經年累月受濕氣或是土壤腐蝕，上述因素為導致管線無法正常運作之原因，因此如何保護管線結構減少因天災受到破壞亦或如何延長結構壽命為此案例之目的。

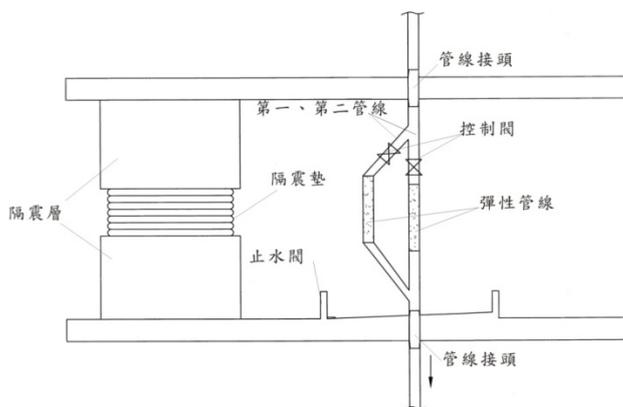


圖 7 隔震層管線設計結構實施例圖

二、關鍵字萃取

因專利文件之申請專利範圍皆類似整體文件之一章節段落，因此，利用標點符號作為系統辨識切割的依據為一有效之策略。首先將申請專利範圍內容以句為單位做切割動作，並以此跟本研究建立之營建專利語料庫進行名詞比對。將介於 S 與 O 之間的動詞作為關聯，以各語句為主要依據，即是以標點符號「，」、「。」為基準，將斷詞結果與營建專利語料庫之元件內容做相似度比對，以此結果作為 S 與 O 之正確性斷詞結果，並依此結果以詞性判別兩元件之連結關係以產出 SAO 分析。斷詞之結果如圖 9、10 所示。

```
該(Nes)下層管線接頭(Na)進一步(D)連結(Vc)有(V_2)下部管線(Na)，(COMMATEGORY)
其中(Nep)該(D)止水槽(Na)內(Ned)進一步(D)包含(Vj)一(Neu)洩水孔(Na)，(COMMATEGORY)
該(Nes)洩水孔(Na)連接(Vj)有(V_2)一(Neu)洩水管路(Na)與(Caa)該(Nes)下部管線(Na)相連(VH)，(PERIODCATEGORY)
```

圖 8 Claims 內容擷取 SAO 示意圖



圖 9 SAO 結構單元擷取示意圖

三、SAO 功能模型清單

步驟 SAO 比對所產生之結果製作成 SAO 分析表如表 3 所示，呈現目標技術中各元件之連結關係，並作為功能模型的基礎資訊。

表 1 目標技術 SAO 分析表

編號	S	A	O	備註
1	上層結構	相連	隔震墊	隔震系統
2	隔震墊	相連	下層結構	隔震系統
3	上層管線接頭	埋設於	上層結構	隔震系統
4	下層管線接頭	埋設於	下層結構	隔震系統
5	第一管線	相連	上層管線	隔震系統
6	第一管線	相連	下層管線	隔震系統
7	上層管線接頭	相接	第一管線	管線系統
8	第二管線	相連通	第一管線	管線系統
9	第二管線	包含	彈性部分	管線系統
10	管線結構	包含	控制閥	管線系統
11	控制閥	相對	彈性部分	管線系統
12	控制閥	設置於	第一管線及該第二管線	管線系統
14	止水槽	設置於	下層結構	排水系統
15	止水槽	包含	洩水孔	排水系統
16	洩水孔	連接	洩水管路	排水系統
17	洩水管路	相連通	下部管線	排水系統

SAO 分析表(表 3)繪製轉化後之專利文件申請專利範圍之功能模型，如圖 11 所示。

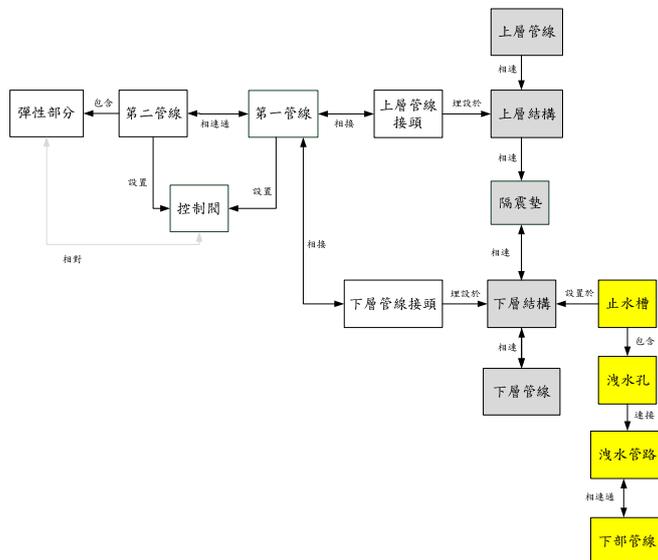


圖 10 SAO 分析表轉換後之功能模型

四、演化樹模型建構

分析功能模型與利用單一工程特性對應之發明原則後，再將功能模型建構成演化運算樹並且進行 SAO 串之編碼，如圖 12 所示。

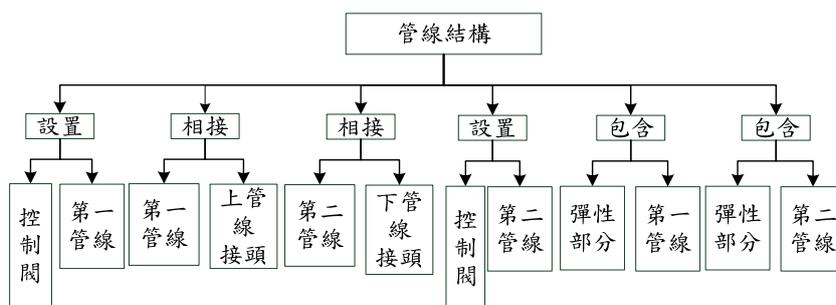


圖 11 管線結構子系統之演化樹模型

將隔震層管線設計結構之管線結構子系統各元件之得分與權重關係依照提供與接收之連結關係所統計，如表 4 所示。創新前之功能模型目標功能值，如表 5 所示。根據計算結果可得知，隔震層管線設計結構之管線結構子系統在創新前之功能值為 4.62，因此本研就在此定義當演化後結果大於 4.62，即具改善意義。

表 2 各功能元件之得分與權重關係

隔震層管線結構設計之元件得分(管線結構部份)					
元件	Out-link	In-link	權重	相關性評估	得分
管線接頭	1	2	0.23	2.00	0.46
控制閥	2	0	0.15	1.00	0.15
第一管線	1	2	0.23	2.00	0.46
第二管線	1	2	0.23	2.00	0.46
彈性部分	2	0	0.15	2.00	0.31
總和	7	6	1	--	--

表 3 目標技術中管線結構各組 SAO 之功能值

組別	SAO-1	SAO-2	SAO-3	SAO-4	SAO-5	SAO-6
S	第一管線	控制閥	第二管線	控制閥	彈性部分	彈性部分
A	相接	設置	相接	設置	包含	包含
O	管線接頭	第一管線	管線接頭	第二管線	第一管線	第二管線
功能值	0.52	0.35	0.52	0.35	0.43	0.43
總合	4.62					

本研究對於隔震層管線結構之問題定義為「如何增加管線結構之耐久性與穩定性」，對此，本研究所定義之工程參數(EP)為「13-物體穩定性」，根據單一工程特性對應之發明原則如表 6 所示，所統計出前 3 名發明原則分邊為「35-變化物理、化學狀態」、「39-惰性環境」與「2-取出、分離」：

表 4 EP-13 物體穩定性對應之發明原則統計表

IP13 物體穩定性																	
IP	35	39	2	40	27	1	18	32	15	18	13	10	19	22	3	23	30
次數	18	8	6	6	6	5	5	5	4	4	3	3	3	3	3	3	3
機率	16%	7%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	4%	4%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%
累計	16%	23%	28%	33%	38%	43%	48%	53%	57%	61%	64%	67%	70%	73%	76%	79%	82%
權重	0.16	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03

五、基因編碼與演化

此功能模型總共有 4 種 S 與 3 種 O，因此在代號之設定上 S 為 1~4 之常數 O 為 1~3 之常數，按照此邏輯轉換將元件名稱轉為代號，S 部分為：第一管線=1、控制閥=2、第二管線=3、彈性管線=4；O 部分為：管線接頭=1、第一管線=2、第二管線=3，而 A 部分則是參照單一工程特性對應之發明原則所統計出來之機率所決定，在軟體內設定是給予 1~82 之常數亂數選取：1~16 對應之發明原則為 35 權重為 1.62、17~23 為 39 權重為 0.72、24~28 為 2 權重為 0.54，以此類推，表 8 為各元件代號對照表，表 9 為常數對應之 IP 與權重，依照上述編碼方式將 SAO 串編碼成為基因串如圖 13 所示。

表 5 管線結構子系統之 SAO 串

SAO-1			SAO-2			SAO-3			SAO-4			SAO-5			SAO-6		
S	A	O	S	A	O	S	A	O	S	A	O	S	A	O	S	A	O
控制閥	穿越	第一管線	第一管線	穿越	管線接頭	第二管線	穿越	管線接頭	控制閥	穿越	第二管線	彈性管線	設置	第一管線	彈性管線	設置	第二管線

表 6 各元件代號對照表

S 元件名稱	第一管線	控制閥	第二管線	彈性管線
代號	1	2	3	4

O 元件名稱	管線接頭	第一管線	第二管線	
代號	1	2	3	

表 7 常數對應之 IP 與權重

常數	01~16	17~23	24~28	29~33	34~38	39~43	44~48	49~53	54~57	58~61	62~64	65~67	68~70	71~73	74~76	77~79	80~82
對應 IP	35	39	2	40	27	1	18	32	15	18	13	10	19	22	3	23	30
權重	0.16	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03

基因-1			基因-2			基因-3			基因-4			基因-5		基因-6			
1	1	1	2	2	2	3	3	1	2	4	3	4	5	2	4	6	3

圖 12 管線結構子系統之基因串

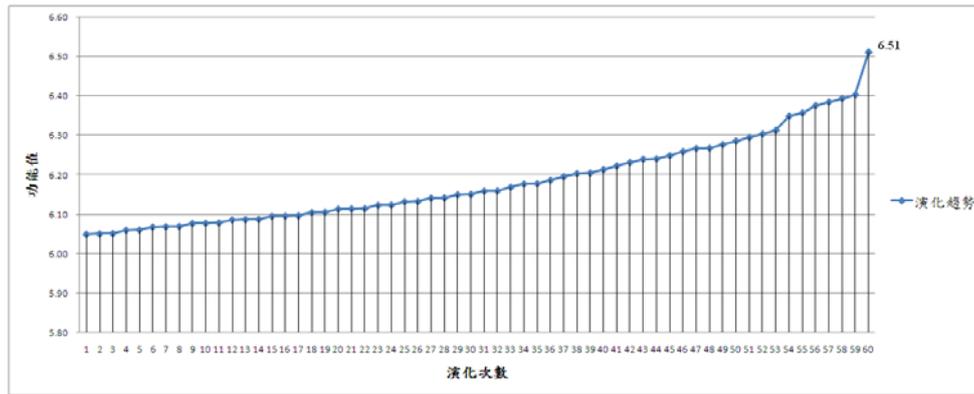


圖 13 系統演化功能值之趨勢圖

六、創新技術功能模型

演化後之結果如表 10 所示，新功能模型圖繪製則將表 10 中各組 SAO 中 S 與 O 還原成元件名稱即可得到新功能模型之 SAO 串作為依據，還原成新功能模型圖，此外 IP 用以提供 A 之部分，之後選定使用何種發明原則並進行功能改善時將會由 S 與 O 確定 A 之詞彙，還原之功能模型如下：

表 8 演化結果(解碼後)

組別	SAO-1	SAO-2	SAO-3	SAO-4	SAO-5	SAO-6
S	第二管線	第一管線	第一管線	第一管線	第一管線	第一管線
A	35	35	35	35	35	35
O	第二管線	第一管線	第一管線	管線接頭	管線接頭	備用管線
功能值	6.51					

將演化結果還原成功能模型，結果為第一管線對自己、第二管線以及管線接頭都使用「35-變化物理、化學狀態」之發明原則，第二管線對自己使用「35-變化物理、化學狀態」之發明原則，演化後之功能值為 6.51，功能模型如圖 15 所示。

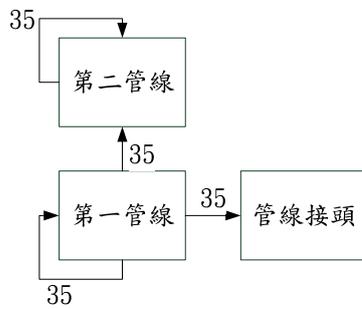


圖 14 演化結果之發明原則

根據演化結果，本研究使用演化後功能值最高之演化結果作為構想轉化之對象。因此，本研究將針對關係數量最多之元件做構想轉化，轉化後之功能模型僅為管線結構子系統部份之功能模型如圖 16 所示，必須加入隔震結構子系統之功能模型才為最終結果之功能模型，該結果可得知為改善目標技術中針對管線隔震結構的穩定性。經演化後之初步構想為將第一、第二管線變成具有彈性與延展性之材料，管線內部具有控制閥，其改善構想圖如圖 17 所示，此設計方案之優劣為當地震等外力影響建築物時所帶來之錯動，新管線隔震設計之第一、第二管線部分可於樓版錯動時隨著錯動方向而搖擺，使管線輸送之功能不至於被外力所影響，以增加整體結構之穩定性。

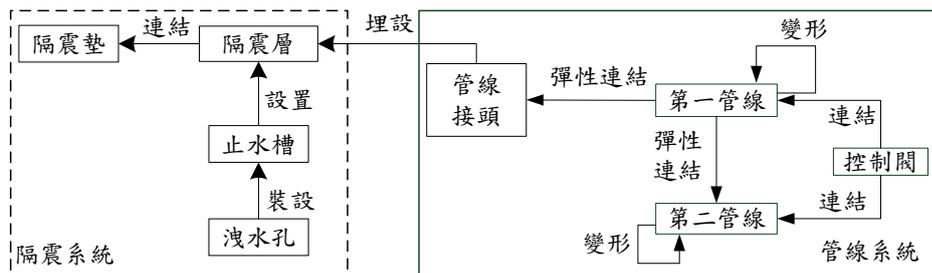


圖 15 最終結果之功能模型與構想圖

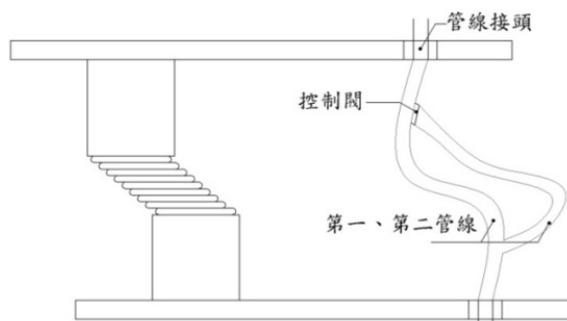


圖 16 最終結果之功能模型與構想圖

七、結果與討論

本研究第一年完成「營建技術自動化創新模式(ACTIM)」之模式建構，及相關理論基礎的推導，並以一營建技術為個案進行自動化技術創新。本 ACTIM 模式主要架構係參考產品發展過程中之概念階

段，其流程包括問題定義、模型分析、構想產生、構想選擇等產品研發重要過程。經過初步個案驗證發現，本研究所提出之 ACTIM 自動化創新模式確實可行，所提出之建模與自動化技術演化之演算法皆能達成初步設定之功能。上述功能已開發完成初步雛型系統，提供初步驗證之需求。在第一年測試後，其所遭遇之問題與解決對策歸納如表 11 所示。

表 11 模式測試結果

相關模組	遭遇問題	解決對策
1. 自動化功能模型萃取	A. 專利宣告元件之層級問題	先針對分析之目標技術所需改善之元件或方向，決定系統元件的層級，並於資料探勘後所產生之功能模型分析標中進行選擇，以保留下後續分析之元件。
	B. 專利申請範圍外之元件無法分析問題	除針對文字探勘方式分析專利申請範圍外，並可針對專利說明書中其他揭露項目，如摘要、先前技術、實施方式等內容，以文字探勘方式進行摘要，加入功能模型中。
2. 自動化構想產生	A. 適應度函數設定問題	修正適應度函數之設定，針對目標技術功能模型之元件設定上，多增加工程參數上之條件（如重量、長度等）。
	構 B 想轉化呈現問題	導入建築資訊模型的概念，從目標技術的選定即開始針對功能模型實體圖進行繪製，並結合上一點所提出之建議，針對各元件給予工程參數的設定。

模式測試所遭遇之問題與後續模式未來修正與執行方向分述如後：

(一) 現階段所遭遇之問題

1. 自動化功能模型萃取功能

本研究以專利資訊中之專利申請範圍作為文字探勘所分析的對象，原因為專利分請範圍為專利文件中主張該專利之技術範圍，且具有法律上之意義，其撰寫方式具有一定的撰寫規則，若純粹針對技術上之 SAO 模型建構，專利申請範圍中之獨立項目已記載所有技術之元件與關係，可透過資料探勘方式進行 SAO 元件的擷取，並可繪製成功能模型，經實際測試後模式為可行，目前本研究發現可能產生之問題如下：

A. 專利宣告元件之層級問題——一般在描述技術元件中，部分系統會包含子元件，子元件會包含次元件等（如鋼筋混凝土施工系統包含鋼筋、混凝土、模板等元件，混凝土中包含砂、水、水泥等次元件），經由文字探勘辨識所呈現之 SAO 矩陣表以及圖示，會將所有系統元件之層級呈現，然而功能模型分析有時僅針對基本構成元件進行分析，若分析太細節之元件容易形成功能模型複雜且不易區分析系統的層級關係。

演算法改善修正：

先針對分析之目標技術所需改善之元件或方向，決定系統元件的層級，並於資料探勘後所產生之功能模型分析標中進行選擇，以保留下後續分析之元件即可，如此在功能模型的呈現上，可針對問題清楚呈現元件間的關係。

- B.專利申請範圍外之元件無法分析—由於專利申請範圍中所主張之獨立項或附屬項，皆以針對該技術之發明人所欲主張申請之技術，對於未主張之技術將不會於專利範圍中提及（例如鋼筋混凝土工程模板架設組立方法，其專利申請範圍中主要針對模板系統及其元件之關係，對於鋼筋與混凝土等其系統與元件較不會出現在專利申請範圍中），如此在以專利範圍作為目標技術之分析對象，可能面臨到無法將整體系統透過文字探勘方式呈現。

演算法改善修正：

除針對文字探勘方式分析專利申請範圍外，並可針對專利說明書中其他揭露項目，如摘要、先前技術、實施方式等內容，以文字探勘方式進行摘要，加入功能模型中，以完整呈現技術實際應用上的關係。

2.自動化構想產生功能

自動化構想產生模組為 AFME 模組之產出作為基礎，透過演化樹方式針對該技術進行技術基因串之編碼與演化，透過演化前針對各元件的重要性以及適應度函數的設定，最後再透過演化後之基因串，再轉化成功能模型，作為新技術的產生，經實際測試後模式為可行，目前本研究發現可能產生之問題如下：

- A.適應度函數設定問題—本計畫以演化樹（基因演算法結合運算樹）進行技術演化過程中，適應度函數扮演者技術演化的方向，並且需確認新演化之技術上之功能值較前世代為佳的關鍵設定，目前本計畫以 TRIZ 單一工程參數對應之發明原則，以及目標技術功能模型之連結關係以及與改善方向相關性三者作為評估因子。在實際演化過程中，適應度函數將以功能值之大小進行演化結果的判斷，此方式本計畫發現演化後之結果可能無法轉換成可行之技術，此現象本計畫研判在基因串以及適應度函數設定上，無法使系統判別元件間連結之可行性，所以造成某些不相關之元件之連結，形成無法解釋之情形。

演算法改善修正：

修正適應度函數之設定，針對目標技術功能模型之元件設定上，多增加工程參數上之條件（如重量、長度等）如此在演化過程中，適應度函數控制演化過程之目標會更佳明確，演化結果在還原功能模型時，相關人員也會了解主要呈現或改變之功能元件，進行演化後功能模型的繪製。

- B.構想轉化呈現問題—因計畫執行技術演化後之功能模型，因功能模型為以抽象方之進行技術模型的分析，因此在產生新功能模型後，如何轉換為實體技術模型與呈現，目前本研究以人為方式進行實

體模型的呈現，此方式可能產生不同人員產生不同的結果之情形。

演算法改善修正：

導入建築資訊模型的概念，從目標技術的選定即開始針對功能模型實體圖進行繪製，並結合上一點所提出之建議，針對各元件給予工程參數的設定，如此可將相關人員對於目標技術以及演化後之結果，會較具有共識，因此在演化結果的呈現上一致性也會較高。

4.1 第二年：模式驗證測試

經過第一年測試後，本研究重新修正 ACTIM 演算法及相關計算程式，修正後之 ACTIM 演算流程如圖 1 所示。其次，再針對兩個實際營建工程案例進行驗證，說明如下：

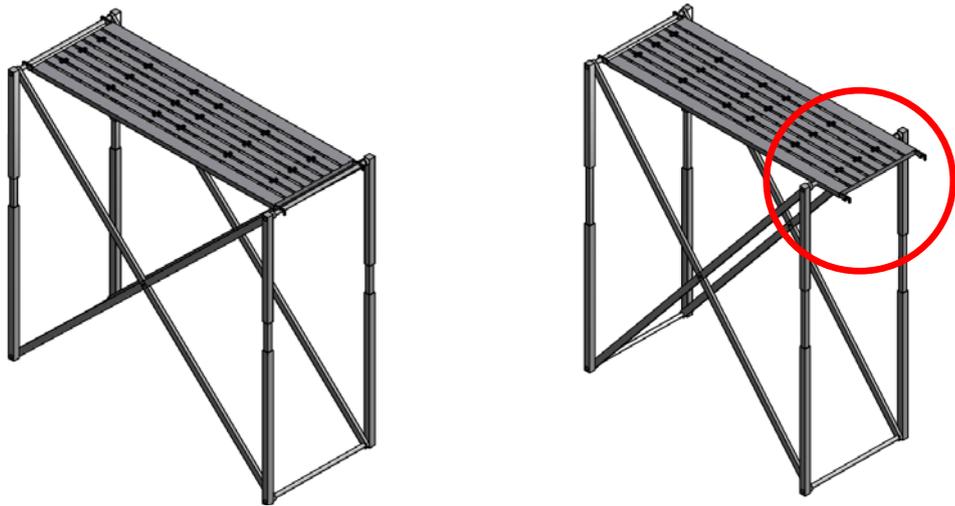
一、案例一—施工架踏板

1. 目標技術與問題

依行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所研究報告指出[52]，營建工程施工過程中，最倚重之施工媒介物為施工架，其主要功能為提供施工人員一臨時性之施工平台。由於施工架上之作業經常距地面超過兩公尺，因此存在著墜落風險。此外施工人員也需長時間在施工架上進行作業，增加人員暴險之機率。因此如何確保人員於施工架上作業之安全，實為一值得探討之技術創新課題。傳統施工架外型如圖 17 所示，為固定踏板長度之設計。然而一般由施工架所產生的災害包含：(1) 人為因素—如於水平踏板上堆積施工機具或材料，導致行走空間狹小不足而形成不安全的環境；(2) 材料因素—由於國內尚未針對施工架踏板訂定統一規格以及強度規範，經長期使用形成材料疲勞變形，進而形成不安全的作業環境。雖然上述問題可透過管理方式進行改善，然而在實務應用上，施工架在鋪設時常因工程設計之尺寸以及需求不同，導致固定尺寸之施工踏板時因無法滿鋪於走道上(如圖 18 所示)，形成部分走道產生間隙，或是踏板重疊產生高低差，因而形成易致職災之施工環境。將此一技術問題繪製成根原因分析圖，如圖 19 所示。



圖 17 一般施工架踏板外型



a. 施工架長度於180cm時

b. 施工架長度於150cm時踏板多餘情形

圖 18 一般施工架使用情形

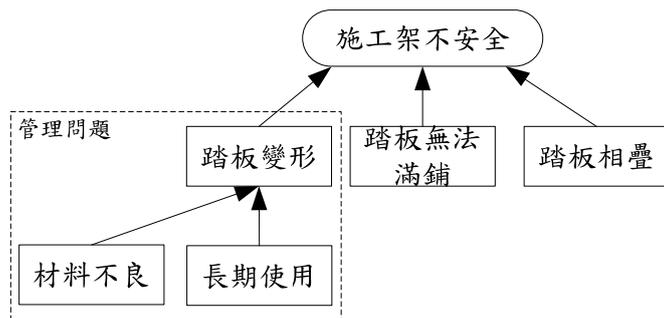


圖 19 施工架不安全之根原因分析

2. 功能模型分析

透過目標技術分析，傳統施工架之技術系統可繪製成功能模型如圖 20 所示。從圖 20 可得知，施工架系統主要由鷹架、踏板以及掛鉤所組成，然而在踏板上掛鉤連結鷹架時，有時無法提供足夠的鋪

設面積形成不足的情形。

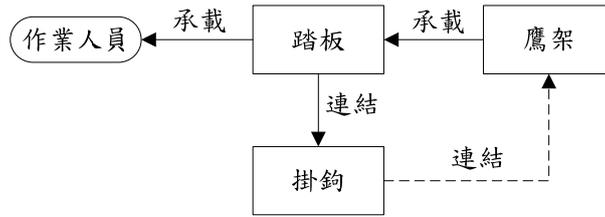


圖 20 一般施工架踏板之功能模型

3. 定義系統中各元件價值

由前一階段之問題定義可得知，施工架於作業人員施工過程中，常存在著踏板上之掛鈎無法滿鋪於鷹架上導致踏板間存在開口之情形。因此，本案例針對施工架相關元件定義如表 12 示，計算出功能模型之功能鏈結總數量為 7 次；系統元件中踏板、鷹架及掛鈎三項元件均和本技術問題相關，因此予以加權。經計算後踏板為 0.86 為最高，鷹架與掛鈎均為 0.58。

表 19 施工架元件重要性與相關性分析表

元件 a	輸出連結 b	輸入連結 c	重要性 d (b+c)/7	相關性 e	得分
鷹架	1	1	0.29	2	0.58
踏板	2	1	0.43	2	0.86
掛鈎	1	1	0.29	2	0.58

4. 演化樹建模與基因串編碼

將施工架系統技術中所有元件之 SAO 模型，以演化樹結構進行建模，如圖 21 所示，可得知該技術系統存在三組之 SAO。

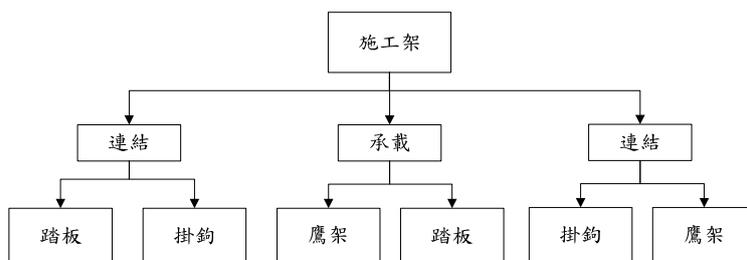


圖 21 施工架系統之演化樹模型

其次，將施工架演化樹模型中所出現之 SAO 關聯鏈，轉換為基因型如表 13 所示，。依適存值計算，可知演化前傳統施工架技術之適存值計為 4.04。

表 110 施工架技術系統基因串編碼

S	踏板(1,1)	鷹架(2,1)	掛鉤(3,1)
A	連結(1,2)	承載(2,2)	連結(3,2)
O	掛鉤(1,3)	踏板(2,3)	鷹架(3,3)
<i>Fit</i>	1.44	1.44	1.16
ΣFit	4.04		

5. TRIZ 應用

由於本案例以施工架系統作為改善目標，並無設定特定之惡化參數，因此參考單一工程特性對應發明原則，所對應到之 TRIZ 改善工程參數為「EP-35 物體的適應性」；經統計後之發明法則出現次數如表 14 所示，可得到各建議發明法則之次數與權重。其中，IP-35(改變物理或化學狀態)具最高之適用性。

表 111 改善物體的適應性所對應之發明法則統計

發明法則	35	1	15	16	29	13	2	6
EP 35	18	13	11	7	7	5	4	4
總和	18	13	11	7	7	5	4	4
總次數	110							
權重	0.16	0.12	0.10	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04
機率	16%	12%	10%	6%	6%	4%	4%	4%
累加	16%	28%	38%	44%	50%	54%	58%	62%

6. GOT 運算與結果

(1). 演化參數設定

本案例之演化參數基本設定為：(1)每一演化世代產生族群數(population)為 200；(2) 交配率設定為 0.98；(3) 突變率設定為 0.05；(4) 採用菁英策略；(5) 演化停止準則—最佳演化世代後 100 世代內無更佳之適存值即停止演化。

(2). 演化結果

演化過程及適存值如圖 22 所示，可得到最佳演化世代為第 11 世代，適存值為 5.49，高於原技術方案之適存值(4.04)。

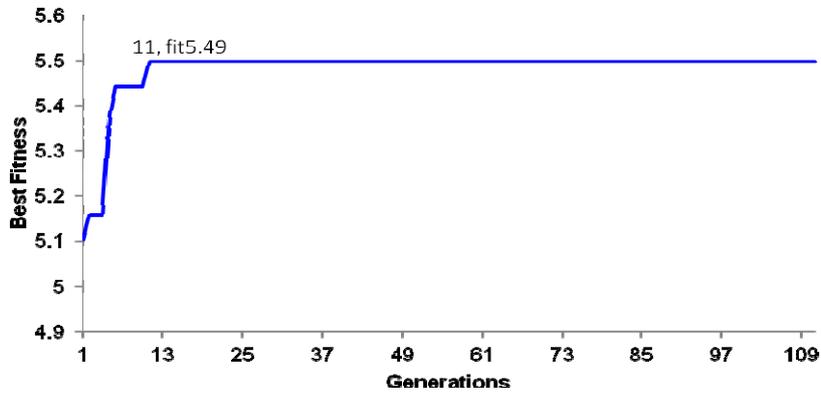


圖 22 施工架踏板技術演化過程圖

7. 基因串解碼

經演化過後之基因型，經解碼後彙整成表 15 所示，其適存值為 5.49。

表 112 施工架踏板演化後之基因型解碼與適存值

S	踏板	踏板	踏板
A	35	35	35
O	踏板	踏板	踏板
<i>Fit</i>	1.83	1.83	1.83
ΣFit	5.49		

註：小數點四捨五入

8. 演化後功能模型

將表 5 繪製成演化後之功能模型如圖 23 所示，為踏板元件採用 IP-35 「改變物理或化學狀態」，將踏板改變其物理性質為新技術之發展方向

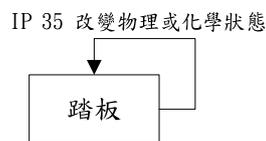


圖 23 施工架踏板演化後之功能模型圖 1

9. 構想轉化

本案例針對施工架踏板於鷹架上鋪設走道技術創新，經演化結果得到第 35 項發明法則「改變物理或化學狀態」，繪製成功能模型。該發明法則內容主要針對改變元件的物理性質如彈性、密度等。因此

產生出的構想為將施工架踏板設計為彈性結構方式，透過具有彈性之踏板可伸縮鋪設，解決施工架走道上之開口以及重疊產生之高低差情形。然而考量到實務上安全法規的規定以及作業人員的安全，此構想可能目前在實務上無法應用。因此，依圖 1 步驟 9，考慮適存值次佳之構想方案，如表 16 所示。其中對於踏板採取發想法則第一項「分割」原理，其發想法則內容為將物體分割成獨立單元或是變成組裝式的物體，進而提昇踏板元件之適應性，繪製成功能模型如圖 24 所示。代回原功能模型結果如圖 25 所示，採用伸縮踏板設計(將一片踏板分割成為兩片組合踏板)，其技術方案簡化設計評估如表 17 所示。由表 17 可得知整體而言新技術方案較目標技術佳，因此，本創新設計概念可做為後續技術發展之方向。。

表 16 施工架踏板演化後之基因串解碼與功能總值(次佳解)

S	踏板	踏板	踏板
A	1	35	35
O	踏板	踏板	踏板
總計	5.44		

註：小數點四捨五入

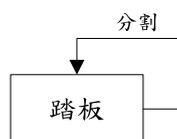


圖 24 施工架踏板演化後之功能模型圖 2

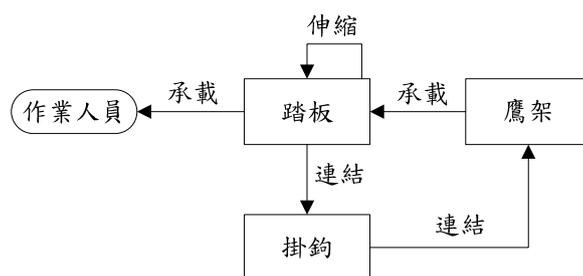


圖 25 新施工架踏板技術之功能模型

表 17 施工架踏板方案簡化設計評估表

序號	評估項目	目標技術	新技術	結果
		TT	NT	
1	元件數量(A)	4	4	相同
2	有用功能數量(B)	5	5	新技術佳

3	有害/不足/過多功能之數量(C)	1	0	
4	新舊系統元件的總數量的比值 $NT(A)/TT(A)$	1		相同
5	新舊系統所有功能總數量的比值 $NT(B+C)/TT(B+C)$	0.83		新技術佳
備註：新技術 NT=New Technology, 目標技術 TT=Target Technology				

10. 產生新技術概念

相關技術概念已經申請成為專利技術，參考中華民國專利 M392217 「鷹架踏板」之設計[53]，其設計為將施工架踏板設計成鷹架踏板子母構件如，其組合結果如圖 26 所示，再藉由應將踏板子母構件上的安全掛鉤，達成可伸縮調整功能。新施工架踏板技術之使用與調整示意圖如圖 27 所示。

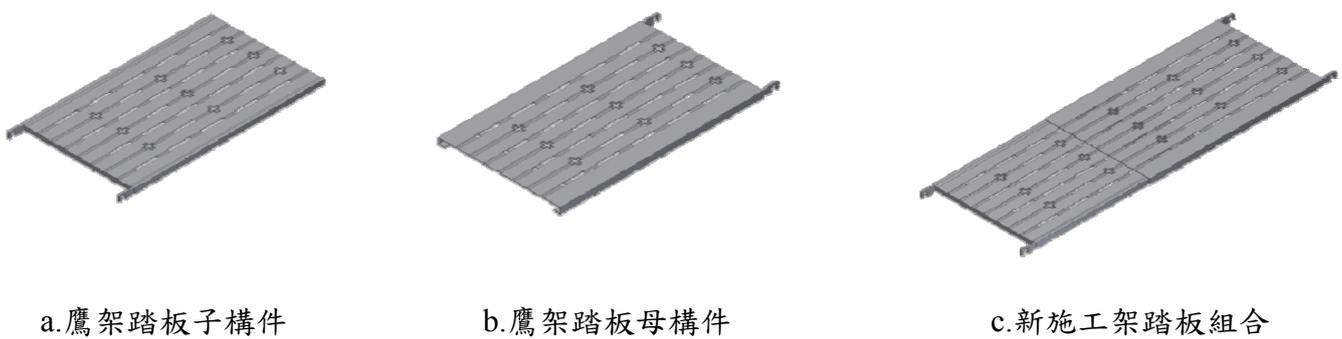


圖 26 新施工架踏板技術之組合示意圖

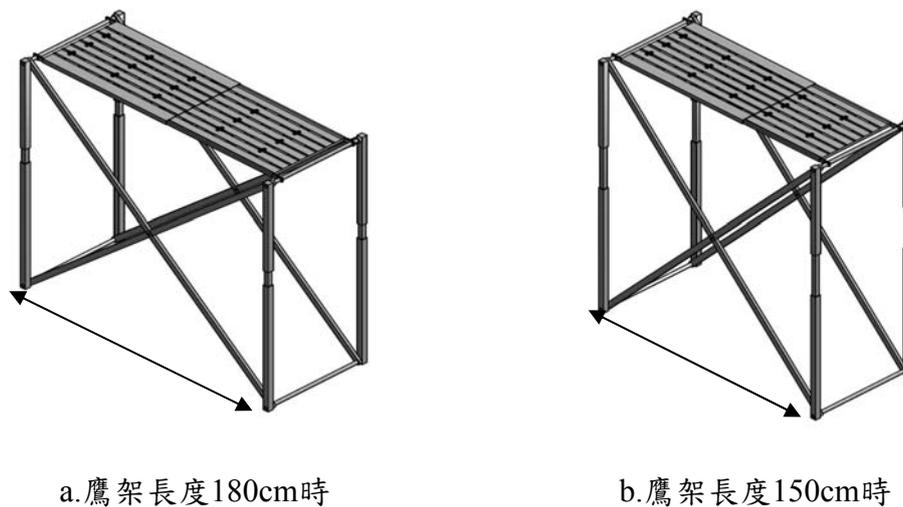


圖 27 新施工架踏板技術之使用與調整示意圖

二、案例二—場鑄混凝土養護技術

1. 目標技術與問題

一般混凝土澆置後，水泥需要於充裕水份的環境進行水化作用，若水分不足將造成水化不完全，甚至內部產生微裂縫等劣化現象。所以足夠養護時間對於混凝土的結構性質與品質具有重要影響。然而如果養護時間縮短，將明顯降低混凝土之強度，一般混凝土材料需養護 7 天強度才會相當於養護 28 天之 80%。一般養護方法，以濕治養護法(moist curing)進行混凝土的養護[54]，如圖 28 所示。此方式優點為可有效控制塑性收縮及乾燥收縮龜裂的產生以及加強混凝土之水化作用，促進強度發展等。但缺點包括易影響後續模板組立作業以及養護需要較大量的人工。本案例將一般濕治養護技術繪製成根本原因分析圖如，圖 29 所示。由圖 29 可得知，混凝土水化時周遭空氣會吸收混凝土表面水份之問題為導致養護濕度不足之主要根本原因。

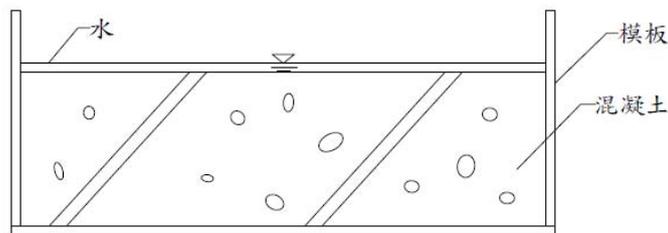


圖 2 混凝土濕治養護示意圖

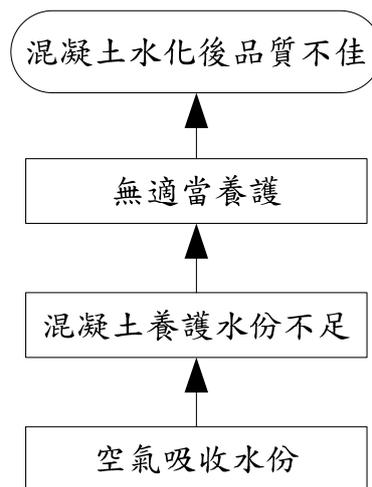


圖 29 混凝土水化後品質不佳根本原因分析

2. 功能模型分析

針對一般混凝土養護作業之功能模型如圖 30 所示，可得知該技術主要是由灑水器流出水，水覆蓋於混凝土表面，提供混凝土於水化過程中進行養護的功能，然而空氣(超系統)會吸收混凝土水份形成有害作用。

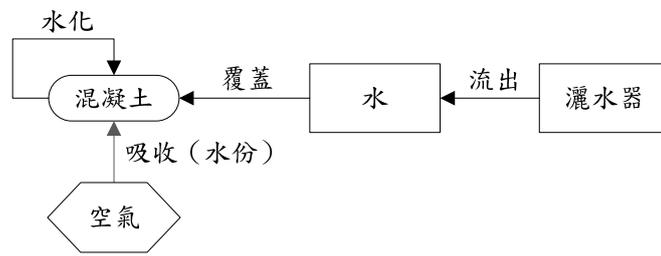


圖 30 混凝土濕治養護功能模型圖

3. 定義系統中各元件價值

由前一階段之問題定義可得知，剛澆置完畢的混凝土在水化過程中，為避免混凝土表面因水份蒸發後形成乾縮與破壞混凝土結構之情形，需不斷地提供水份以進行養護，因此本案例針對養護過程中相關元件定義如表 18 所示。計算出功能模型之連結關係數量總計 6 次；系統元件中混凝土及水與技術創新問題具有相關性，因此予以相關性加權。經計算後系統元件之得分混凝土為 1、水為 0.66、灑水器為 0.17。

表 18 混凝土養護之元件重要性以及問題相關表

元件 a	輸出連結 b	輸入連結 c	重要性 d (b+c)/6	相關性 e	得分
混凝土	1	2	0.5	2	1
水	1	1	0.33	2	0.66
灑水器	1	0	0.17	1	0.17

4. 演化樹建模與基因型編碼

將一般混凝土養護作業中所有元件之 SAO 關聯鏈以演化樹及構進行建模，如圖 31 所示，可得知該技術系統具有三組 SAO。

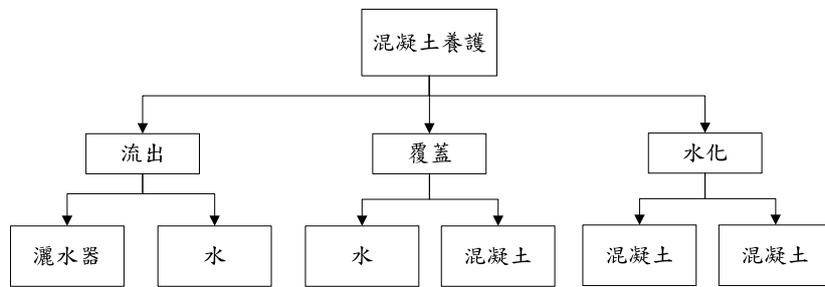


圖 31 混凝土濕治養護之演化樹模型

在基因串編碼作業，將混凝土濕治養護技術之演化樹模型，轉換為基因型如表 19 所示。經計算可得知演化前混凝土濕治養護技術之適存值總計為 4.49。

表 19 混凝土濕治養護技術之基因型編碼

S	灑水器(1,1)	水(2,1)	混凝土(3,1)
A	流出(1,2)	覆蓋(2,2)	水化(3,2)
O	水(1,3)	混凝土(2,3)	混凝土(3,3)
<i>Fit</i>	0.83	1.66	2
ΣFit	4.49		

5. TRIZ 應用

本研究以改善混凝土濕治養護技術為改善目標，並無設定特定之惡化參數。因此，參考單一工程特性對應發明原則，所對應到之 TRIZ 改善工程參數為「EP-30 作用於物體的有害因子」。經統計後之發明法則出現次數如表 20 所示，可得到建議發明法則之次數與權重。其中，IP-22(將有害成為有用功能原理)具最高之適用性。

表 20 改善作用於物體的有害因子所對應之發明法則統計

發明法則	22	35	2	1	33	18	19	28	24	39
EP 30	18	15	12	8	8	6	6	6	6	6
總次數	140									
權重	0.13	0.11	0.09	0.06	0.06	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03
機率	13%	11%	9%	6%	6%	4%	4%	4%	4%	4%
累加	13%	24%	33%	39%	45%	49%	53%	57%	61%	65%

6. GOT 運算與結果

(1). 演化參數設定

本案例之演化參數基本設定為：(1) 每一演化世代產生族群數為 200；(2) 交配率設定為 0.98；(3) 突變率設定為 0.05；(4) 採用菁英策略；(5) 演化停止準則—最佳演化世代後 100 世代內無更佳之適存值即停止演化。

(2).演化結果

演化過程及適存值如圖 32 所示，可得到最佳演化世代為第 22 世代，適存值為 6.38，高於原技術方案之適存值(4.49)。

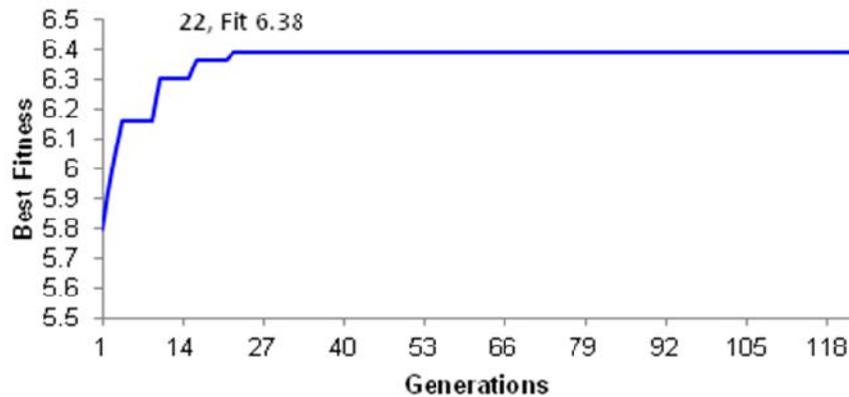


圖 32 混凝土濕治養護技術演化過程圖

7.基因串解碼

經演化過後之基因型，經解碼後彙整成表 21 所示，其適存值為 6.38。

表 21 混凝土濕治養護技術演化後之基因型解碼與適存值

S	混凝土(1,1)	混凝土(2,1)	混凝土(3,1)
A	IP 22(1,2)	IP 22(2,2)	IP 22(3,2)
O	混凝土(1,3)	混凝土(2,3)	混凝土(3,3)
<i>Fit</i>	2.13	2.13	2.13
ΣFit	6.38		

註：小數點四捨五入

8.演化後功能模型

將表 11 繪製成演化後之功能模型，如圖 33 所示。為混凝土元件採用 IP-22 「將有害成為有用功能原理」，將原本技術系統中之有害元件「空氣（超系統）」，轉換成有益的作用為新技術之發展方向。

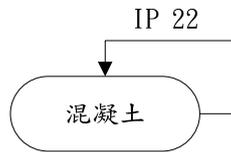


圖 33 混凝土濕治養護技術演化後之功能模型

9. 構想轉化

將演化結果繪製成功能模型圖，如圖 34 所示，可得知演化結果可朝向混凝土需自行提供養護的條件，演化後所提供之第 22 項發明原則「將有害成為有用功能原理」。因此，構想轉換可將原本對於混凝土水化作業有害之空氣進行轉換利用。經技術資料庫檢索後發現相關技術概念已見於中華民國專利 I311129 混凝土之自養護方法[55]，該技術為一種混凝土之自養護方法，可吸收大氣中水分並釋放水分於混凝土內部。其方法為混凝土澆置之後，將至少一層保濕膜表面塗覆於混凝土上。該保濕膜係具有吸收大氣水氣並釋放水分予混凝土之功能，使得混凝土在澆置後不需額外的水分或任何外部的養護，達到自養護的目的。此概念符合第 22 項發明原則之應用，並可以減少水以及灑水器應用的次數。

此外，本研究亦利用科學效應資料庫提出另一技術創新概念，參考圖 35 所示。由於混凝土水化過程中會產生熱，圖 35 說明熱空氣挾帶水份往上流動時，若經由多孔材料，熱空氣中之水份會滯留於多孔材料中，形成一含水層，繪製成功能模型如圖 36 所示。並將前述兩項構想與目標技術進行簡化設計比較如表 22 所示。可得知新技術 2 優於目標技術與新技術 1，其概念可做為後續技術發展之方向。

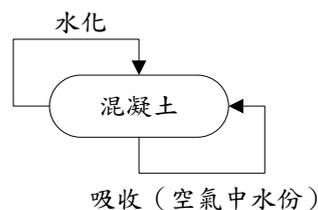


圖 34 新混凝土養護作業技術之功能模型 1

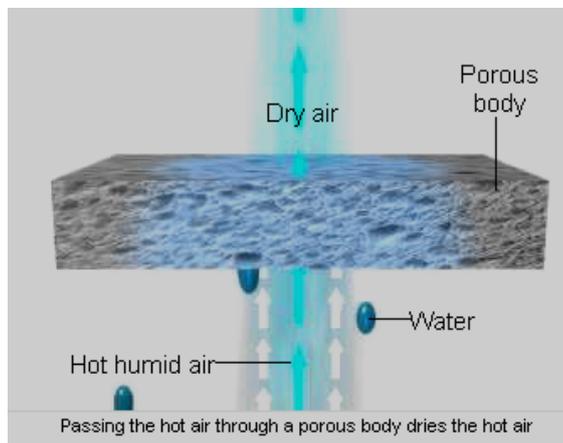


圖 35 保留水份方法之科學效應圖

圖片來源：Goldfire Innovator 科學效應資料。

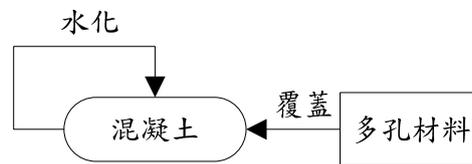


圖 36 新混凝土養護作業技術之功能模型 2

表 22 混凝土養護作業新技術方案比較表

序號	評估項目	目標技術	新技術 1	新技術 2	結果
		TT	NT1	NT2	
1	元件數量(A)	3	2	2	新技術 1,2 為佳
2	有用功能數量(B)	3	3	2	
3	有害/不足/過多功能之數量(C)	1	0	0	新技術 2 為佳
4	新舊系統元件的總數量的比值 NT(A)/TT(A)	新技術 1 : 0.67 新技術 2 : 0.67			新技術 1,2 為佳
5	新舊系統所有功能總數量的比值 NT(B+C)/TT(B+C)	新技術 1 : 0.75 新技術 2 : 0.5			新技術 2 為佳
備註：新技術 NT=New Technology, 目標技術 TT=Target Technology					

10. 產生新技術概念

本研究參考圖 35 保留水份方法之科學效應，應用於混凝土養護作業，使混凝土於水化時所產生之熱與水份，透過一覆蓋於混凝土表面之多孔材料以提供保水之功能，達到混凝土表面養護的功能，新設計之示意圖如圖 37 所示。

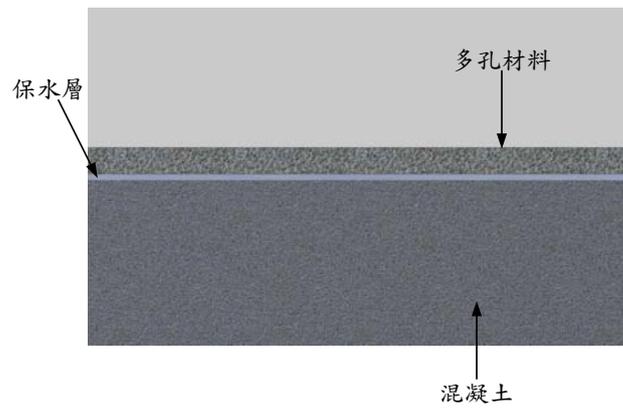


圖 37 新混凝土養護方法之示意圖

五、研究結果討論

本節將討論 ACTIM 模式之案例測試結果，以及該模式之假設與限制的合理性，以作為未來後續研究之參考。

5.1 ACTIM 模式案例測試結果

經由兩個實務案例測試結果可得知，ACTIM 模式結合系統化創新流程(STIP)與自動化創新構想產生模式(MAGIA)，可以解決過去營建技術創新流程無法整合系統化與自動化之情形，改善過去營建創新過程不易產生有效或創新方案之局限性。本 ACTIM 模式提供技術研發人員於產品研發概念階段一完整性之技術創新模式，並協助人員快速找到創新技術概念以進行參考設計。另由案例一測試過程可得知，過去許多研究強調營建技術之規範與標準為影響新技術概念是否可行之關鍵因素。此一因素可於構想產生後，經由專家初步評估是否可行。若無法滿足規範要求可採取演化結果之次佳解等進行應用與設計，以達到解決問題以符合規範與標準之規定。

5.2 技術系統元件重要性衡量方法之假設

一般企業進行產品或技術創新，常以過去產品開發之歷史資訊作為下一代產品展的基礎。然而新產品開發本身屬於新技術的研發特性，使得許多技術資訊不是無法依據歷史資料進行衡量或預估，就

是需要大量人力與時間之投入，因此導致創新方案無法自動化產生之主因。本研究針對目標技術內元件重要性之分析方式，採取以元件之連結關係多寡進行重要性 (importance) 排序，再針對目標技術系統中之元件與問題定義的相關性 (relevance) 進行加權。經由案例測試後得知，此一方法可快速找出營建技術系統中之主要問題並進行改善。且此一評估只需於演化前進行一次，而不必在演化過程中再進行，因此，不會影響自動化技術創新之過程。

5.3 應用功能模型建立演化樹與基因串編碼與解碼

本研究採用演化樹中樹狀結構分析方式，演化樹為結構化呈現數學模型之方法，將功能模型轉換成為演化樹用以呈現技術之架構，並進行基因串編碼以及演化後之演化樹解碼，此一方法經本研究測試後為可行。此外就演化樹的自組織特性，建議未來研究可針對演化樹演化過程設定演化限制條件，使演化結果解碼後具有修剪演化樹之功能，並經由解碼後產生不同長度基因型之設計。

5.4 適應度函數定義與構想選擇機制

本研究於基因演算法運算過程中之適應度函數定義，以目標技術功能模型中動作 (action) 之關係數量來針對系統中元件之重要性進行判斷；並針對欲解決問題具關聯性的元件並給與相對的權重，藉此將與技術問題相關的元件朝向欲改善之方向進行演化。

此外，本研究與演化過程中採用單一改善特性對應之發明原則方法，該方法強調針對技術系統選擇欲改善之工程參數 (改善參數)，但無法預測會惡化的參數為何。經統計改善參數所對應之發明原則，發明法則出現次數越高，表示解決該改善工程參數問題的機會越大，此方式符合基因演算法中「輪盤法」的選擇機制。另一方面，單一工程參數對應之發明法則方法對照在研發專案過程概念階段中，因產品概念具有不確定性以及尚未進入產品發展階段。因此，在不知實際產品發展過程中之可能產生之問題 (惡化參數)，此實為符合該階段概念之方法。

5.5 演化結果分析與評估

本研究針對技術進行演化並自動產生創新構想，提出一自營建技術創新方案產生模式。透過實際案例測試可得知，技術系統會經由演化後產生適存值較高之元件以及連結關係，此概念類似於 TRIZ 中之最終理想結果 (Idea Final Result, IFR)，並將此演化結果代回原目標技術中進而產生新技術構想。

然而部分演化結果可能會形成無法解釋或是現階段技術無法實踐之情形，此時亦可選擇演化過程中其它世代之結果（次佳解）進行構想轉化與應用。另本研究評估新技術方案採用簡化設計原則，配合功能模型中之元件數量以及連結關係進行目標技術與新技術的比較。此方式可於產品概念階段快速評估新技術之效益，然未來研究可針對技術評估方法發展出新的分析模式。

六、結論與建議

6.1 結論

過去數十年間，營建產業技術創新的速度與風氣受限於產業特性因素影響，發展較其他高科技產業遲緩。過去營建技術創新相關研究多強調工程人員的知識與背景，以進行營建技術分析與改善，而缺乏依系統化以及自動化之技術創新方法與模式。本研究所提出之營建技術自動創新模式(ACTIM)，可以改善過去營建技術創新流程無法整合系統化與自動化之情形。本 ACTIM 模式以 STIP 系統化流程步驟為主要創新過程，結合 MAGIA 之遺傳演化機制並增加構想選擇評估之功能，可達到構想產生自動化之目的，並經由簡化設計原則評估創新構想的效益。經實際營建技術創新案例測試後可得知，本研究所提出之 ACTIM 方法可協助人員進行系統化技術分析，並進行構想產生與構想選擇自動化之工作，以改善過去構想產生階段必須仰賴人為方式進行選擇與評估之問題。

6.2 建議

本研究所建立營建工程創新方案產生模式，雖經案例測試後證實可改善營建技術創新構想產生的效率，然仍為初步之模式需要持續研究改進。對於後續研究方向建議包括：

一、可針對不同技術領域或設計需求定義不同之目標函數

本研究目標函數之定義為應用目標技術系統中之功能元件重要性得分，以及以技術系統之簡化設計作為評估準則。建議未來可結合不同之技術創新領域，如綠色設計、環境友善度設計等，並加入評估指標建構不同設計領域之目標函數進行應用。

二、針對兩項以上之技術進行最佳化的演算並產生創新構想

本研究所建構之構想自動產生模式，現階段可針對單一目標技術之功能模型進行演化而產生創新構想。為能使創新更具多樣性，建議後續研究可針對兩項以上不同產品或技術進行交配與演化。所需克服之關鍵研究課題為如何定義合適參與演化的技術與決定不同基因型長度之交配與適存值計算方法。另外，尚需解決如何針對兩項以上之技術擷取創新概念，並進行融合產生新技術之問題。

三、將演化結果透過實體模型進行呈現與修正

目前本研究對於演化後所產生之創新技術方案的呈現方法，仍須依賴人員進行設計與繪製。現今已有許多電腦輔助工具具有實體建模（solid modeling）與修正參數之功能。建議未來可於目標技術選定與分析時，結合電腦實體建模以建構目標技術之實體模型。如此，經由演化後所得到之創新構想，即可依據目標技術實體模型進行調整與呈現模型的幾何屬性（如體積、尺寸）或是材料屬性等，提供人員快速了解新技術之內容。

參考文獻

1. Slaughter, E.S., “Models of construction innovation” *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.124, No.3, pp.226-231 (1998).
2. Blayse, A.M. and Manley, K., “Key influences on construction innovation,” *Construction Innovation*, Vol.4, No.3, pp.143-154 (2004).
3. Manley, K., McFallan, S. and Kajewski, S., “Relationship between construction firm strategies and innovation outcomes,” *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.135, No.8, pp.764-771 (2009).
4. Tatum, C.B., “Building better: technical support for construction,” *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.131, No.1, pp.23-32 (2005).
5. Barrett, P., Sexton, M. and Lee, A., *Innovation in Small Construction Firms*, Taylor & Francis, UK, (2008).
6. Holmen, E.H., Pedersen, A.C. and Torvatn, T., “ Building relationships for technological innovation,” *Journal of Business Research*, Vol.58, No.9, pp.1240-1250 (2005).
7. Ioannou, P.G. and Liu, L.Y., “Advanced construction technology system-ACTS,” *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.119, No.2, pp.288-306 (1993).
8. Koskela, L. and Vrijhoef, R., “Is the current theory of construction a hindrance to innovation?” *Building Research and Information*, Vol.29, No.3, pp.197-207 (2001).
9. Nam, C.H. and Tatum, C.B., “Major characteristics of constructed products and resulting limitations of construction technology,” *Construction Management and Economics*, Vol.6, No.2, pp.133-148 (1988).
10. Nam, C.H. and Tatum, C.B., “Leaders and champions for construction innovation,” *Construction Management and Economics*, Vol.15, No.4, pp.259-270 (1997).
11. Toole, T.M., “Uncertainty and home builder’s adoption of technological innovations,” *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.124, No.4, pp.323-332 (1998).
12. Manseau, A., “Redefining innovation,” *Building Tomorrow: Innovation In Construction And Engineering*, Edited by Manseau, A. and Shields, R., Ashgate Publishing, England, (2005).

13. Seaden, G., "Economics of innovation in the construction industry," *Journal of Infrastructure systems*, Vol.2, No.3, pp.103-107 (1996).
14. Li, H. and Love, P.E.D., "Developing a theory of construction problem solving," *Construction Management and Economics*, Vol.16, No.6, pp.721-727 (1998).
15. Yu, W.D., Wu, C.M. and Chen, W.C., "Innovating Road Manhole Technology with Systematic Technology Innovation Process(STIP)," *Proceedings of The 2nd International Multi-Conference on Engineering and Technological Innovation (IMETI 2009)*, 2009, Orlando, FL, pp.35-40 (2009).
16. Yu, W.D., Cheng, S.T., Wu, C.M. and Lou, H.R., "A Self-Evolutionary Model for Automated Innovation of Construction Technologies," *Automation in Construction*, Vol.27, pp.78-88 (2012).
17. Nam, C.H. and Tatum, C.B., "Toward understanding of product innovation process in construction," *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.115, No.4, pp.517-534 (1989).
18. Tatum, C.B. "Potential mechanisms for construction innovation" *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.112, No.2, pp.178-191 (1986).
19. Tatum, C.B., "Improving constructability during conceptual planning," *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.113, No.2, pp.191-207 (1987).
20. Chang, L. M., Hancher, D. E., Napier, T. R., & Kapolnek, R. G., "Methods to identify and asses new building technology," *Journal of Construction and Management*, ASCE, Vol.114, No.3, pp.408-425 (1988).
21. Ioannou, P.G. and Carr, R.I., "Advanced building technology matrix system," *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.114, No.4, pp.517-531 (1988).
22. Slaughter, E.S., "Implementation of construction innovations," *Building Research and Information*, Vol.28, No.1, pp.2-17 (2000).
23. Skibniewski, M.J., and Chao, L.C., "Evaluation of advanced construction technology with AHP method," *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.118, No.3, pp.577-593 (1992).
24. Chao, L.C. and Skibniewski M.J., "Neural network method of estimating construction technology acceptability," *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.121, No.1, pp.130-142 (1995).

25. Slaughter, E.S., "Rapid innovation and integration of components comparison of user and manufacturer innovations through a study of residential construction," Ph. D. Dissertation, Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, (1991).
26. Yu, W.D. and Skibniewski, M.J., "A Neuro-Fuzzy computational approach to constructability knowledge acquisition for construction technology evaluation," *Automation in Construction*, Vol.8, No.5, pp.539-552 (1999).
27. Yu, W.D. and Skibniewski, M.J., "Quantitative constructability analysis with a Neuro-Fuzzy Knowledge-Based Multi-Criterion decision support system," *Automation in Construction*, Vol.8, No.5, pp.553-565 (1999).
28. Yu, W.D. and Lo, S.S., "Patent Analysis-Based fuzzy inference system for technological strategy planning," *Automation in Construction*, Vol.18, No.6, pp.770-776 (2009).
29. Mohamed, Y. and AbouRizk, S., "Application of the theory of inventive problem solving in tunnel construction," *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.131, No.10, pp.1099-1108 (2005).
30. Teplitskiy, A., "Application of 40 inventive principles in construction" TRIZ Journal (online), <http://www.triz-journal.com>, (Mar 2005).
31. Cheng, S.T., Yu, W.D., Wu, C.M., Chiu, R.S., "Analysis of construction inventive patents based on TRIZ," *Proceedings of International Symposium on Automation and Robotics in Construction 2006 (ISARC 2006)*, Tokyo, Japan, pp.134-139 (2006).
32. Mao, X., Zhang, X., and AbouRizk, S.M., "Enhancing value engineering process by incorporating inventive Problem-Solving techniques," *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.135, No.5, pp.416-424 (2009).
33. Zhang, X., Mao, X. and AbouRizk, S.M., "Development a knowledge management system for improved value engineering practices in the construction industry," *Automation in Construction*, Vol.18, No.6, pp.777-789 (2009).
34. Mohamed, Y. and AbouRizk, S., "Technical knowledge consolidation using theory of inventive problem solving," *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.131, No.9, pp.993-1001 (2005).

35. Abd El Halim, A.O. and Haas, R., "Process and case illustration of construction innovation," *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.130, No.4, pp.469-614 (2004).
36. Kale, S. and Ardit, D., "Diffusion of computer aided design technology in architectural design practice," *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.131, No.10, pp.1135-1141 (2005).
37. Hüsigg, S. and Kohn, S., "Computer aided innovation-State of the art from a new product development perspective," *Computers in Industry*, Vol. 60, No.8, pp.551-562 (2009).
38. Leon, N. "The future of computer-aided innovation," *Computers in Industry*, Vol. 60, No.8, pp.539-550 (2009).
39. Li, Y., Wang, J., Li, X., and Zhao, W. "Design creativity in product innovation", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.33. No.3-4, pp.213-222 (2007).
40. Tan, R., Ma, J., Liu, F. and Wei, Z., "UXDs-driven conceptual design process model for contradiction solving using CAIs," *Computers in Industry*, Vol. 60, No.8, pp.584-591 (2009).
41. Yeh, I.C., and Lien, L.C., "Knowledge discovery of concrete material using Genetic Operation Trees," *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, No.3, Part 2, pp.5807–5812 (2009).
42. Holland, J., *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Press, Ann Arbor, MI, (1975).
43. Wilson, P.F., Dell, L. D. and Anderson, G.F., *Roots Cause Analysis: A Tool for Total Quality Management*, ASQC Quality Press, MI, (1993).
44. Doggett, A., "Roots cause analysis: a framework for tool selection," *The Quality Management Journal*, Vol. 12, No.4, pp.34-45 (2005).
45. Mahto, D. and Kumar, A., "Application of root cause analysis in improvement of product quality and productivity," *Journal of Industrial Engineering and Management*, Vol.1, No.2, pp.16-53 (2008).
46. Stone, R. and Wood, K., "Development of a functional basis for design," *Journal of Mechanical Design*, Vol. 122, No.4, pp.359-370 (2000).
47. Kurfman, M. A., Stock, M. E., Stone, R. B., Rajan, J. & Wood, K. L., "Experimental studies assessing the repeatability of a functional modeling derivation method," *Journal of Mechanical Design*, ASME, Vol.125, No.4, pp.682-693 (2003).

48. Altsuller, G., *40 Principles : TRIZ Keys to Technical Innovation*, Technical Innovation Center, MA, (2002).
49. Savransky, S.D., *Engineering of Creativity*, CRC press, FL, (2000).
50. Chen, J.L. and Liu, C.C., "An eco-innovative design approach incorporating the TRIZ method without contradiction analysis," *Journal of Sustainable Product Design*, Vol.1, No.4, pp.263-272 (2001).
51. 劉志成，「TRIZ 方法改良與綠色創新設計方法之研究」，博士論文，國立成功大學機械研究所，台南市(2003)。
52. 張智奇，「施工架水平踏板現況調查與性能測試」，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所計畫報告，No.IOSH97-S312，新北市(2008)。
53. 李祥正，「M392217 鷹架踏板」，中華民國專利公報，第三十七卷，第三十二期，第 7793-7800 頁(2010)。
54. 林金面，*土木施工學*，文笙書局，台北市(2003)。
55. 趙文成，「I311129 混凝土之自養護方法」，中華民國專利公報，第三十六卷，第十八期，第 733-740 頁(2009)。

國科會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：

本研究之原始構想在於發展出一套可以突破傳統營建技術創新在構想產生階段之瓶頸的模式方法，以加速技術創新之速度。此一目的在兩年研究之後已經達到原定之目的。所提出之模式架構—營建技術自動創新模式(ACTIM)—包含兩個子模式：(1) 系統化技術創新流程(STIP)及(2) 自動化構想產生模式(MAGIA)，已發表在學術期刊中，並於已應用於數個實際營建技術創新個案，且已有專利產生，可驗證當初構想之可行性。已發表之學術期刊共四篇，投稿與中期刊共三篇，其中四篇為 SCI/EI 等級之學術期刊，在兩年內達成此一結果誠屬不易。除此之外，在本研究計畫結束時亦發現 ACTIM 未來可跨大延伸至可持續(Sustainable)及綠色科技(Green technology)等領域，不論在學術性或實務應用性，皆有可觀之價值。

本研究在學術上之主要價值，主要在於突破技術建模之困難瓶頸，超越傳統以流程為基礎(Process-based)之系統模擬建模方法，可以深入分析技術元件之功能技轉。ACTIM 導入基因演算之激烈型創新(Radical innovation)演化本質，並以創新問題解決理論(TRIZ)之創新原理來指導演化方向，使突變雖然激烈但不至於朝盲目無目的地的方向進行，故較易收斂。此為在傳統營建技術創新與演化式技術創新兩大兩領域的突破。雖然受限於計畫執行時間，實務應用上在初期，然而幾個試用案例中亦已證實 ACTIM 具有實務應用之價值。未來將朝更多實務應用，以及綠色演化之方向強化 ACTIM 模式方法，並產生更多之實務工程技術。

整體而言，進化已達成原定之目的，並已引導出後續研究之方向，經研究團隊自我評估為一成功之研究計畫案。

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

學術期刊論文：

已發表 撰寫中 無

- (1) Yu, W. D., Cheng, S. T., Wu, C. M., and Lou, H. R., "A Self-Evolutionary Model for Automated Innovation of Construction Technologies," *Automation in Construction*, Vol.27,, pp.78-88, 2012. (SCI/EI)
- (2) 吳誌銘、鄭紹材、余文德、林楨中，「建築工程電梯直井內材料運送作業人員安全防墜裝置之創新」，*技術學刊*，已接受，投稿日期：2012/2/21，接受日期：2012/4/30。預計刊登：2012/11 (EI)
- (3) 余文德、吳誌銘、羅浩榕，「營建技術自動化創新構想產生模式之研究」，*營建管理季刊*，第 88 期，第 23-33 頁，2011。(獲中華民國營建管理協會評選為 2011 年最佳研究論文)
- (4) 余文德、吳誌銘、江庭芳，「營建工程專利技術功能模型自動化分析之研究」，*營建管理季刊*，第 88 期，第 1-11 頁，2011。

已投稿審查中 (已投稿審查中)

- (1) 吳誌銘、余文德、鄭紹材，「營建技術創新方案產生模式之研究」，*中國土木水利工程學刊*，審查中，投稿日期 2012/9/13。(EI)
- (2) Yu, W. D., Cheng, S. T., Wu, C. M., and Chen, T. S., "Enhanced Function Modeling for Analysis of Innovative Construction Technologies," Selected by CC2012 for Special Issue on Creative Construction to be published in *Automation in Construction*, 2012. (SCI/EI)

撰寫中未發表之文稿

- (1) Wu, C. M., Yu, W. D., and Cheng, S. T., "A Model Used for the Generation of Innovative Construction Alternatives," *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE.(SCI)

專利：

已獲得 無

- (1) 余文德、鄭紹材、蘇祺焜、劉雅芳、吳誌銘，「植栽裝置改良」，新型專利，專利號：M401980，專利申請人：中華大學，公告日：2011/4/21。

申請中

- (1) 余文德、鄭紹材、吳誌銘、連偉志、羅浩榕，「營建工程豎井開挖安全保護裝置」，發明專利，專利申請人：中華大學，專利審查中。申請號：098141099，申請日期 2009/12/2。

技轉：已技轉 洽談中 無

其他：(以 100 字為限)

本研究完成一整合性之營建技術自動創新系統(ACTIM)，可應用於營建工程及其他領域之裝置型(Device)技術創新構想產生，具有實用上之商業價值。雖尚未撰寫商業化程式系統，但方法論已驗證可行，具可移轉性。

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）

本計劃之研究成果，以提出一營建技術自動創新模式(ACTIM)，解決過去進行營建技術創新時之不確定性並縮短概念產生之時間，提升研發過程之效益，進而達到系統性或激烈型之技術創新規模。在學術研究成就上，本研究 ACTIM 以功能模型與運算樹結構分析營建技術之方法，並整合許多技術創新工具（包含根原因分析、運算樹、基因演算法、目標函數設計等）之流程，並透過電腦輔助創新與演算法以獲得新技術之方法，解決過去學術界對於營建技術僅概念上之描述，遲遲無法具體地進行建模與創新設計之問題；在技術創新方面，透過多項案例測試後可得知，ACTIM 可產生可行之新技術概念，其技術創新範圍可跳脫個人或產業內的知識範圍，進而應用不同（跨）領域之技術創新概念，藉此提昇技術創新之層級；社會影響方面，透過本研究可使國內營建產業中之產官學研相關單位瞭解營建技術創新之產業現況以及創新之重要性，並鼓勵投入營建技術之創新與發展，進而提昇台灣於國際營建產業之競爭力。本研究並提供一有效之技術創新方法架構供參考，爾後相關單位可應用或參考本研究提出之方法論與模式，進而針對不同之技術領域與範圍（如材料、施工方法）進行技術創新。

國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期：101年10月02日

國科會補助計畫	計畫名稱：自動化營建技術創新模式之研究 計畫主持人：余文德 計畫編號：NSC 99-2221-E-216-041-MY2-2 領域：營建管理		
研發成果名稱	(中文) 植栽裝置改良		
	(英文) IMPROVED PLANTING APPARATUS		
成果歸屬機構	中華大學	發明人 (創作人)	余文德、鄭紹材、蘇祺焜 劉雅芳、吳誌銘
技術說明	(中文) 本創作提供一種植栽裝置改良，包含有第一框架、第一軸樞結構、第二框架、植栽墊、澆灌組件以及複數個鎖合元件。第一框架具有複數個第一框格。第一軸樞結構具有複數個第一灑水孔，第一軸樞結構設置於第一框架的邊緣處。第二框架藉由第一軸樞結構樞接於第一框架，第二框架具有複數個第二框格以及複數個槽孔。植栽墊設置於第一框架與第二框架之間，植栽墊對應第二框架之複數個槽孔設置有複數個開孔。澆灌組件設置於第一框架之一側。複數個鎖合元件穿設於第二框架之複數個槽孔與植栽墊之複數個開孔，藉以將第二框架與植栽墊鎖合固定。本創作之植栽裝置改良，不需要大空間設置之，進而可以延長此植栽裝置改良的耐久性。組裝、施工方便，進而可配合各類建築物體之外牆(例如：住家、辦公大樓、工廠、飯店...等)設置之。		
	(英文) The invention provides an improved device for planting in a confined built environment. It consists of a frame #1, axial structure #1, frame #2, planting pad, dripping system and several connecting components. The planting pad is clipped between the two framing system. As plants are planted on the pad and held by the framing system, it provides a vertical planting system for wall, dam, and any vertical built structure. With the dripping system, the planting system is able to sustain the plants for a long term. It also provides a green construction method for heat insulation of the building.		
產業別	景觀設計、建築		
技術/產品應用範圍	既有與新建建築之外牆、屋頂等表面結構		

技術移轉可行性及預期效益	本創作之植栽裝置改良設計，不需要大空間設置之，進而可以延長此植栽裝置改良的耐久性。此外本創作組裝、施工方便、低成本，可配合各類建築物體之外牆。因此可對於既有或新建建築需要針對外牆進行美化與改善之需求具有實用之效益。因此技轉對象可針對結構補強、美化之企業，並配合製造之廠商進行生產後進行合作。
---------------------	---

註：本項研發成果若尚未申請專利，請勿揭露可申請專利之主要內容。

國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期：101年10月02日

國科會補助計畫	計畫名稱：自動化營建技術創新模式之研究 計畫主持人：余文德 計畫編號：NSC 99-2221-E-216-041-MY2-2 領域：營建管理		
研發成果名稱	(中文) 營建技術自動創新模式 (英文) Automated Construction Technology Innovation Model		
成果歸屬機構	中華大學	發明人 (創作人)	余文德、鄭紹材、 吳誌銘、羅浩榕
技術說明	<p>(中文)</p> <p>本 ACTIM 技術可自動產生技術創新最重要之創新構想，ACTIM 採用創新之方法，該方法整合文字探勘、珠鍊分析、基因演算等技術而構成一自動化之技術創新模式。本技術以現有技術資料庫中之技術資訊為基礎，應用演化樹建模，使技術模型可以利用基因演算法加以演化，並達到自動產生創新構想之目的。最後，創新之技術構想透過 3D 建模方法加以呈現，使得工程師更易了解技術之內涵。技術執行之步驟包括：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 目標技術與問題 2. 功能模型分析 3. 定義系統各元件價值 4. 演化樹建模與基因型編碼 5. TRIZ 應用 6. GOT 運算與結果 7. 基因型解碼 8. 演化後之功能模型 9. 構想轉化 10. 產生新技術概念 		

	<p>(英文)</p> <p>The Automated Construction innovation Model (ACTIM) can generate innovative construction methods automatically with a novel approach that integrates a text mining technique, patent analysis, and Genetic Algorithm (GA). Previous technological information stored in the public patent databases is adopted as the knowledge repository for building the function model of the target construction method. It is then transformed into a genetic operation tree (GOT) for evolving with GA. Finally, the innovative solution is recovered as a function model and realized in a 3D mode. As a result, the engineers can better understand the content of the innovative technology. The procedure of ACTIM consists of the following 10 steps:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Problem definition 2. Function modeling 3. Component value definition 4. GOT modeling and GA encoding 5. TRIZ consulting 6. GA evolution 7. GA decoding 8. Function model recovering 9. Transformation of innovative alternative 10. Presentation of innovative technology
產業別	土木、建築、營建及其他具裝置型之技術類別領域
技術/產品應用範圍	既有技術改善或新式技術創新
技術移轉可行性及預期效益	本創作之重點在於技術建模與自動演化之整合，技術移轉方式可透過產學合作針對特定技術困難進行改善。故受移轉者可擁有新技術之智慧財產權，而不若其他技術移轉可能導致後續侵權問題。且可應用解決之領域廣泛，包括土木、建築、營建及其他具裝置型之技術類別領域。預期效益除技術創新度之提升外，亦可縮短創新時間，並節省人力成本。

註：本項研發成果若尚未申請專利，請勿揭露可申請專利之主要內容。

國科會補助專題研究計畫項下出席國際學術會議心得報告

2011 年 10 月 01 日

計畫編號	NSC 99-2221-E-216-041-MY2-2		
計畫名稱	自動化營建技術創新模式之研究		
出國人員姓名	余文德	服務機構及職稱	中華大學營建管理學系教授
會議時間	2011 年 9 月 23 日至 25 日	會議地點	Chongqing, China
會議名稱	(中文) 中華營建管理研究會-第十六屆提昇營建管理與房地產國際研討會 (英文) CRIOCM 2011-16th International Symposium on "Advancement of Construction Management and Real Estate"		
發表論文題目	(中文) 自動化營建創新模式所面臨未來營建之挑戰 (英文) An Automated Construction Innovation Model to Meet Future Construction Challenges		

報告內容應包括下列各項：

一、參加會議經過

第 16 屆建設管理與房地產發展國際學術研討會為東南亞(含澳洲)地區規模最盛大的年度營建工程與管理國際學術研討會，舉辦時間為 9 月 23 日至 9 月 25 日於中國重慶市重慶交通大學舉辦。9 月 23 日為註冊與報到日，該研討會於 6 月 24 日正式舉行，該日上午為各主題之專家學者特邀專題演講，本人亦受邀為八位 Keynote speakers 之一。

二、與會心得

該研討會至今年已經舉辦 16 屆，為一頗具歷史且參與者眾之大型研討會，雖然參與者多為東南亞國家(包括中、台、港、星、馬、澳、印度、美國等)，共計約三百餘篇文章發表，台灣本次投稿兩篇論文。論文主題主要在於營建管理、不動產投資以及電腦輔助系統等，本年度有關建築資訊模型(BIM)為主題之論大幅增加，足見此一課題在此一區域(特別是中國大陸)越來越受到重視，未來可能越來越重要。

本次本人以國科會計畫之成果能夠受邀擔任特邀專題演講頗為榮幸，由演講後之問答提問分析，聽眾對於所提出之 ACTIM 模式應用在永續綠色營建技術創新研發之應用最感興趣。可見本研究之成果未來可朝向此一方向進行後續研究。

三、考察參觀活動(無是項活動者省略)

本次研討會後與其他台灣學者一起參加一個三峽工程之參訪團，實地參觀中國三峽大壩工程之現地完工實景，以及其他本大型專案之相關子計畫(包括防洪、治水、發電、觀光、交通運輸等)之實際執行成果，參觀此一中國及世界性之大型專案後，深深被其複雜性以及困難性所震撼。從參訪過程亦學習到中國營建產業如何克服困難達成計畫目標，也發現到本計畫的缺失及不足值得改善之處。

四、建議

由於本研討會為東南亞地區最大之營建相關國際學術研討會，參加人員背景雖不若其他國際性研討會多元，而以中國、香港等華人學者為主；但著眼中國目前已經成為世界最大之營建市場，所累積之實證技術及管理知識亦為各國之最，未來國內學者應該加強對於此一研討會之參與，以蒐集並了解中國在相關領域之發展程度，為國內產業研擬因應對策。

五、攜回資料名稱及內容

Keynote Speech 講義、CRIOCM 2011 論文集資料一份。

國科會補助專題研究計畫項下出席國際學術會議心得報告

日期：100年9月23日

計畫編號	NSC 99-2221-E-216-041-MY2-2		
計畫名稱	自動化營建技術創新模式之研究		
出國人員姓名	吳誌銘	服務機構及職稱	中華大學科管博士學位學程四年級
會議時間	2011年9月6日至9日	會議地點	哈尼亞，希臘
會議名稱	(中文) 第2屆土木、結構與環境工程柔性計算方法國際研討會 (英文) The Second International Conference on Soft Computing Technology in Civil, Structural and Environmental Engineering(CSC 2011)		
發表論文題目	(中文)整合技術演化趨勢與演化樹於創新方案產生之探討 (英文) Integration of Technology Evolution Trends and Genetic Operation Trees for the Generation of Innovative Alternatives		

報告內容應包括下列各項：

一、參加會議經過

第2屆土木、結構與環境工程柔性計算方法國際研討會，今年選在位於希臘所屬島嶼中最南方也是最大島嶼「克里特島」中的第二大城「哈尼亞」進行。本人除投稿與口頭發表學術論文外，並申請參加青年研究人員最佳論文的選拔。

二、與會心得

該研討會由國際土木工程領域著名的英國出版社 Civil-Comp Press 所主辦之研討會，每年均針對土木營建相關研究課題彙集世界各地相關學者齊聚一堂進行研討，因此除此行所發表研究論文中所提及之演算法以及應用外，並參加青年研究人員最佳論文選拔。雖然最後並無獲得該獎項，但在與會過程中能看到世界上相關學者們應用不同之柔性計算方法於土木營建工程上之應用與分析，其中也包含與本研究計畫相關應用於技術創新之方法，增加本計劃對於研究課題應用的靈感與方向。

三、考察參觀活動(無是項活動者省略)

無考察與參觀活動

四、建議

此次研討會參與過程中的亞洲國家除南韓外，較少亞洲國家以及台灣專家與學者前往參加，由南韓此行參加的陣容可謂龐大，可得知南韓包含產業界與學術界正積極發展以提升國際學術、研發能量以及知名度，因此建議未來台灣可鼓勵國內相關研究學者或青年研究人員透過組團方式共同參與，可於研討會過程中使其他國家學者注意到台灣的學術以及研究能力，進而提昇國際之能見度。

五、攜回資料名稱及內容

研討會摘要論文集以及全文光碟

國科會補助專題研究計畫項下出席國際學術會議心得報告

日期：101年7月10日

計畫編號	NSC 99-2221-E-216-041-MY2-2		
計畫名稱	自動化營建技術創新模式之研究		
出國人員姓名	吳誌銘	服務機構及職稱	中華大學科管博士學位學程五年級
會議時間	2012年6月29日至7月2日	會議地點	匈牙利，布達佩斯
會議名稱	(中文) 2012 創意營建研討會 (英文) 2012 Creative Construction Conference		
發表論文題目	(中文) 提昇功能模型分析於創新營建施工技術之研究 (英文) Enhanced Function Modeling for Analysis of Innovative Construction Technologies		

報告內容應包括下列各項：

一、參加會議經過

此次會議期程為6/29至7/3於東歐匈牙利布達佩斯舉行。第一天6/29為研討會之報到作業，7/1~7/2則為研討會的報告與討論議程。大會在每天上午分別安排國際知名學者進行專題演講，7/1日當天邀請到營建技術領域知名期刊 Automation in Construction 主編 Mirosław Skibniewski 主講 Creative in Construction: A Look at the Past and a Peak into the Future。Skibniewski 所主編之期刊以及與演講之研究課題與學生博士研究期間所研究之課題有關。該演講內容闡述過去世界上幾個偉大的朝代如美索不達米亞文明、中國、希臘、羅馬等，皆由不同的環境與文化建構不同建築文化（形式）以及建築技術與材料。在現今資訊發達以及全球化的時代，更須應用現今科技如自動化、奈米科技、ICT 技術等整合與改進世界上優良的建築技術與工法，並克服現今地球上所面臨到之問題如極端氣候、永續發展等問題，進而發展出具有創新與創意之營建技術。中午學生利用餐敘時間主動與 Skibniewski 碰面並交談學生博士期間之研究課題以及現況，他表示學生之研究亦符合創意營建的主要研究課題，並樂意於學生報告場次前往聆聽。在論文發表議程上學生所投稿之論文被安排於7/1日下午場次進行報告，報告題目為 Enhanced Function Modeling for Analysis of Innovative Construction Technologies，會場中學者提出兩項問題進行討論。7/2日上午所進行的專題演講為來自於希臘雅典科技學院 John Paris Pantouvakis，演講課題為 Building Information Modeling (BIM) for Data Sharing and Collaborative Working in Construction，演講內容主要談論到現今營建工程熱門之研究課題「建築資訊模型 BIM」已成為管理大型營建工程專案之有用工具，並分享 BIM 如何於施工過程中分享以及不同角色的協作機制，以提昇 BIM 的使用成效。下午場次的專題演講主講人 Kas Oosterhuis，來自於荷蘭 Delft University of Technology。所分享的題目為 Next Generation Building- Four Decades of Evolution，內容主要歸納出過去三十年以及未來十年之建築世代，1992年為數位化建築（digital architecture）；2002年為非標準化建築（nonstandard architecture）；2012年為互動建築（interactive architecture）；未來2022則為自動化建築（robotic architecture）。7/3日為大會安排之布達佩斯城市參訪（excursion），藉由此次機會使非本地之

國際與會人員了解當地城市建築以及文化。研討會議程於 7/3 日結束並於 7/4 搭機返國。

二、與會心得

此行研討會主辦地點位於東歐匈牙利首都布達佩斯 (Budapest)，該城市主要由布達與佩斯兩城市圍繞於多瑙河畔兩岸所發展出具有悠久歷史文化的城市格局，體會到歐洲人的生活環境與態度與文化。

創意營建 (Creative Construction) 為近幾年國際營建工程領域所逐漸探討之課題，此次研討會所收錄之論文約 75 篇，口頭報告發表約 69 篇，海報發表約 6 篇。以與會區域分布比例而言，歐洲區域國家 (歐盟) 為主要參加的區域；其次則為亞洲 (包括韓國、大陸、香港、台灣)，尤以韓國為亞洲區域最踴躍參與之國家；再來則以北美美加地區。

在與會過程中除與國際知名期刊主編 Skibniewski 以及相關學者碰面外，並結識許多來自亞洲區域如大陸、香港、新加坡等教授學者，以及年紀與學生相仿的博士或在學博士生，並彼此交換研究心得以及研究課題。由於學生博士研究課題亦符合大會創意營建與營建創新的課題與範疇，因此在與會過程中接觸到來自於世界各地在營建工程領域中研究創意營建的學者，並體會到創新與創意亦為營建工程中為來所發展之趨勢。藉由創意的想法不斷地改進營建工程技術如管理技術、施工技術、資訊技術、材料技術等，進而解決未來面臨到之環境以及永續之議題。

三、考察參觀活動(無是項活動者省略)

本次大會所準備之參觀考察行程，內容包含參觀匈牙利在地文化包括建築、民生、競技、傳統服飾等。相關內容摘錄大會所提供之行程表。

09.00

Leaving the Conference Venue by bus

(meeting point: main entrance of Danubius Thermal Hotel Margitsziget)

10.15

Arrival at the Royal Palace in Visegrád.

Welcome snacks and drink.

Short introduction on the history of the Castle.

11.15

Parade with drums and flags to the "Salamon-tower" (cca. 400 m).

Wine tasting on the panorama balcony of the tower with white and red wines.

Introduction on the local knight order, on the knight tournament and on the tower.

12.00

Knight tournament, King and Queen selection ceremony, falcon show, duels, weapon tryouts.

13.00

The tournament is followed by a royal feast in Renaissance Restaurant, guests march (torch-light in dark) to the restaurant (200 meters) led by drummers.

15.00

Transfer back to the Conference Venue. Approximate arrival at 16.00

四、建議

經此次參加研討會之心得，創意營建已成為近年重要之研究課題，創意營建所涵蓋之範疇甚廣，如施工技術、創意管理、BIM、系統模擬等。由於台灣目前工程內需市場已逐漸飽和，若與其他國家

競爭則需仰賴過去所累積之經驗並發展出高附加價值的知識以及技術方能產生優勢，因此在創新管理技術以及 BIM 等應符合國內條件之學術與實務研究課題，值得持續研究與發展。

五、攜回資料名稱及內容

研討會論文摘要集以及全文光碟各乙份。

六、其他

無

國科會補助專題研究計畫項下出席國際學術會議心得報告

2011 年 10 月 01 日

計畫編號	NSC 99-2221-E-216-041-MY2-2		
計畫名稱	自動化營建技術創新模式之研究		
出國人員姓名	余文德	服務機構及職稱	中華大學營建管理學系教授
會議時間	2011 年 9 月 23 日至 25 日	會議地點	Chongqing, China
會議名稱	(中文) 中華營建管理研究會-第十六屆提昇營建管理與房地產國際研討會 (英文) CRIOCM 2011-16th International Symposium on "Advancement of Construction Management and Real Estate"		
發表論文題目	(中文) 自動化營建創新模式所面臨未來營建之挑戰 (英文) An Automated Construction Innovation Model to Meet Future Construction Challenges		

報告內容應包括下列各項：

一、參加會議經過

第 16 屆建設管理與房地產發展國際學術研討會為東南亞(含澳洲)地區規模最盛大的年度營建工程與管理國際學術研討會，舉辦時間為 9 月 23 日至 9 月 25 日於中國重慶市重慶交通大學舉辦。9 月 23 日為註冊與報到日，該研討會於 6 月 24 日正式舉行，該日上午為各主題之專家學者特邀專題演講，本人亦受邀為八位 Keynote speakers 之一。

二、與會心得

該研討會至今年已經舉辦 16 屆，為一頗具歷史且參與者眾之大型研討會，雖然參與者多為東南亞國家(包括中、台、港、星、馬、澳、印度、美國等)，共計約三百餘篇文章發表，台灣本次投稿兩篇論文。論文主題主要在於營建管理、不動產投資以及電腦輔助系統等，本年度有關建築資訊模型(BIM)為主題之論大幅增加，足見此一課題在此一區域(特別是中國大陸)越來越受到重視，未來可能越來越重要。

本次本人以國科會計畫之成果能夠受邀擔任特邀專題演講頗為榮幸，由演講後之問答提問分析，聽眾對於所提出之 ACTIM 模式應用在永續綠色營建技術創新研發之應用最感興趣。可見本研究之成果未來可朝向此一方向進行後續研究。

三、考察參觀活動(無是項活動者省略)

本次研討會後與其他台灣學者一起參加一個三峽工程之參訪團，實地參觀中國三峽大壩工程之現地完工實景，以及其他本大型專案之相關子計畫(包括防洪、治水、發電、觀光、交通運輸等)之實際執行成果，參觀此一中國及世界性之大型專案後，深深被其複雜性以及困難性所震撼。從參訪過程亦學習到中國營建產業如何克服困難達成計畫目標，也發現到本計畫的缺失及不足值得改善之處。

四、建議

由於本研討會為東南亞地區最大之營建相關國際學術研討會，參加人員背景雖不若其他國際性研討會多元，而以中國、香港等華人學者為主；但著眼中國目前已經成為世界最大之營建市場，所累積之實證技術及管理知識亦為各國之最，未來國內學者應該加強對於此一研討會之參與，以蒐集並了解中國在相關領域之發展程度，為國內產業研擬因應對策。

五、攜回資料名稱及內容

Keynote Speech 講義、CRIOCM 2011 論文集資料一份。

國科會補助專題研究計畫項下出席國際學術會議心得報告

日期：100年9月23日

計畫編號	NSC 99-2221-E-216-041-MY2-2		
計畫名稱	自動化營建技術創新模式之研究		
出國人員姓名	吳誌銘	服務機構及職稱	中華大學科管博士學位學程四年級
會議時間	2011年9月6日至9日	會議地點	哈尼亞，希臘
會議名稱	(中文) 第2屆土木、結構與環境工程柔性計算方法國際研討會 (英文) The Second International Conference on Soft Computing Technology in Civil, Structural and Environmental Engineering(CSC 2011)		
發表論文題目	(中文)整合技術演化趨勢與演化樹於創新方案產生之探討 (英文) Integration of Technology Evolution Trends and Genetic Operation Trees for the Generation of Innovative Alternatives		

報告內容應包括下列各項：

一、參加會議經過

第2屆土木、結構與環境工程柔性計算方法國際研討會，今年選在位於希臘所屬島嶼中最南方也是最大島嶼「克里特島」中的第二大城「哈尼亞」進行。本人除投稿與口頭發表學術論文外，並申請參加青年研究人員最佳論文的選拔。

二、與會心得

該研討會由國際土木工程領域著名的英國出版社 Civil-Comp Press 所主辦之研討會，每年均針對土木營建相關研究課題彙集世界各地相關學者齊聚一堂進行研討，因此除此行所發表研究論文中所提及之演算法以及應用外，並參加青年研究人員最佳論文選拔。雖然最後並無獲得該獎項，但在與會過程中能看到世界上相關學者們應用不同之柔性計算方法於土木營建工程上之應用與分析，其中也包含與本研究計畫相關應用於技術創新之方法，增加本計劃對於研究課題應用的靈感與方向。

三、考察參觀活動(無是項活動者省略)

無考察與參觀活動

四、建議

此次研討會參與過程中的亞洲國家除南韓外，較少亞洲國家以及台灣專家與學者前往參加，由南韓此行參加的陣容可謂龐大，可得知南韓包含產業界與學術界正積極發展以提升國際學術、研發能量以及知名度，因此建議未來台灣可鼓勵國內相關研究學者或青年研究人員透過組團方式共同參與，可於研討會過程中使其他國家學者注意到台灣的學術以及研究能力，進而提昇國際之能見度。

五、攜回資料名稱及內容

研討會摘要論文集以及全文光碟

國科會補助專題研究計畫項下出席國際學術會議心得報告

日期：101年7月10日

計畫編號	NSC 99-2221-E-216-041-MY2-2		
計畫名稱	自動化營建技術創新模式之研究		
出國人員姓名	吳誌銘	服務機構及職稱	中華大學科管博士學位學程五年級
會議時間	2012年6月29日至7月2日	會議地點	匈牙利，布達佩斯
會議名稱	(中文) 2012 創意營建研討會 (英文) 2012 Creative Construction Conference		
發表論文題目	(中文) 提昇功能模型分析於創新營建施工技術之研究 (英文) Enhanced Function Modeling for Analysis of Innovative Construction Technologies		

報告內容應包括下列各項：

一、參加會議經過

此次會議期程為6/29至7/3於東歐匈牙利布達佩斯舉行。第一天6/29為研討會之報到作業，7/1~7/2則為研討會的報告與討論議程。大會在每天上午分別安排國際知名學者進行專題演講，7/1日當天邀請到營建技術領域知名期刊 Automation in Construction 主編 Miroslaw Skibniewski 主講 Creative in Construction: A Look at the Past and a Peak into the Future。Skibniewski 所主編之期刊以及與演講之研究課題與學生博士研究期間所研究之課題有關。該演講內容闡述過去世界上幾個偉大的朝代如美索不達米亞文明、中國、希臘、羅馬等，皆由不同的環境與文化建構不同建築文化（形式）以及建築技術與材料。在現今資訊發達以及全球化的時代，更須應用現今科技如自動化、奈米科技、ICT 技術等整合與改進世界上優良的建築技術與工法，並克服現今地球上所面臨到之問題如極端氣候、永續發展等問題，進而發展出具有創新與創意之營建技術。中午學生利用餐敘時間主動與 Skibniewski 碰面並交談學生博士期間之研究課題以及現況，他表明學生之研究亦符合創意營建的主要研究課題，並樂意於學生報告場次前往聆聽。在論文發表議程上學生所投稿之論文被安排於7/1日下午場次進行報告，報告題目為 Enhanced Function Modeling for Analysis of Innovative Construction Technologies，會場中學者提出兩項問題進行討論。7/2日上午所進行的專題演講為來自於希臘雅典科技學院 John Paris Pantouvakis，演講課題為 Building Information Modeling (BIM) for Data Sharing and Collaborative Working in Construction，演講內容主要談論到現今營建工程熱門之研究課題「建築資訊模型 BIM」已成為管理大型營建工程專案之有用工具，並分享 BIM 如何於施工過程中分享以及不同角色的協作機制，以提昇 BIM 的使用成效。下午場次的專題演講主講人 Kas Oosterhuis，來自於荷蘭 Delft University of Technology。所分享的題目為 Next Generation Building- Four Decades of Evolution，內容主要歸納出過去三十年以及未來十年之建築世代，1992年為數位化建築（digital architecture）；2002年為非標準化建築（nonstandard architecture）；2012年為互動建築（interactive architecture）；未來2022則為自動化建築（robotic architecture）。7/3日為大會安排之布達佩斯城市參訪（excursion），藉由此次機會使非本地之

國際與會人員了解當地城市建築以及文化。研討會議程於 7/3 日結束並於 7/4 搭機返國。

二、與會心得

此行研討會主辦地點位於東歐匈牙利首都布達佩斯 (Budapest)，該城市主要由布達與佩斯兩城市圍繞於多瑙河畔兩岸所發展出具有悠久歷史文化的城市格局，體會到歐洲人的生活環境與態度與文化。

創意營建 (Creative Construction) 為近幾年國際營建工程領域所逐漸探討之課題，此次研討會所收錄之論文約 75 篇，口頭報告發表約 69 篇，海報發表約 6 篇。以與會區域分布比例而言，歐洲區域國家 (歐盟) 為主要參加的區域；其次則為亞洲 (包括韓國、大陸、香港、台灣)，尤以韓國為亞洲區域最踴躍參與之國家；再來則以北美美加地區。

在與會過程中除與國際知名期刊主編 Skibniewski 以及相關學者碰面外，並結識許多來自亞洲區域如大陸、香港、新加坡等教授學者，以及年紀與學生相仿的博士或在學博士生，並彼此交換研究心得以及研究課題。由於學生博士研究課題亦符合大會創意營建與營建創新的課題與範疇，因此在與會過程中接觸到來自於世界各地在營建工程領域中研究創意營建的學者，並體會到創新與創意亦為營建工程中為來所發展之趨勢。藉由創意的想法不斷地改進營建工程技術如管理技術、施工技術、資訊技術、材料技術等，進而解決未來面臨到之環境以及永續之議題。

三、考察參觀活動(無是項活動者省略)

本次大會所準備之參觀考察行程，內容包含參觀匈牙利在地文化包括建築、民生、競技、傳統服飾等。相關內容摘錄大會所提供之行程表。

09.00

Leaving the Conference Venue by bus

(meeting point: main entrance of Danubius Thermal Hotel Margitsziget)

10.15

Arrival at the Royal Palace in Visegrád.

Welcome snacks and drink.

Short introduction on the history of the Castle.

11.15

Parade with drums and flags to the "Salamon-tower" (cca. 400 m).

Wine tasting on the panorama balcony of the tower with white and red wines.

Introduction on the local knight order, on the knight tournament and on the tower.

12.00

Knight tournament, King and Queen selection ceremony, falcon show, duels, weapon tryouts.

13.00

The tournament is followed by a royal feast in Renaissance Restaurant, guests march (torch-light in dark) to the restaurant (200 meters) led by drummers.

15.00

Transfer back to the Conference Venue. Approximate arrival at 16.00

四、建議

經此次參加研討會之心得，創意營建已成為近年重要之研究課題，創意營建所涵蓋之範疇甚廣，如施工技術、創意管理、BIM、系統模擬等。由於台灣目前工程內需市場已逐漸飽和，若與其他國家

競爭則需仰賴過去所累積之經驗並發展出高附加價值的知識以及技術方能產生優勢，因此在創新管理技術以及 BIM 等應符合國內條件之學術與實務研究課題，值得持續研究與發展。

五、攜回資料名稱及內容

研討會論文摘要集以及全文光碟各乙份。

六、其他

無

國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2012/10/05

國科會補助計畫	計畫名稱: 自動化營建技術創新模式之研究		
	計畫主持人: 余文德		
	計畫編號: 99-2221-E-216-041-MY2		學門領域: 營建管理
研發成果名稱	(中文) 植栽裝置改良		
	(英文) IMPROVED PLANTING APPARATUS		
成果歸屬機構	中華大學	發明人 (創作人)	余文德, 鄭紹材, 吳誌銘, 蘇祺焜, 劉雅芳
	<p>(中文) 本創作提供一種植栽裝置改良, 包含有第一框架、第一軸樞結構、第二框架、植栽墊、澆灌組件以及複數個鎖合元件。第一框架具有複數個第一框格。第一軸樞結構具有複數個第一灑水孔, 第一軸樞結構設置於第一框架的邊緣處。第二框架藉由第一軸樞結構樞接於第一框架, 第二框架具有複數個第二框格以及複數個槽孔。植栽墊設置於第一框架與第二框架之間, 植栽墊對應第二框架之複數個槽孔設置有複數個開孔。澆灌組件設置於第一框架之一側。複數個鎖合元件穿設於第二框架之複數個槽孔與植栽墊之複數個開孔, 藉以將第二框架與植栽墊鎖合固定。本創作之植栽裝置改良, 不需要大空間設置之, 進而可以延長此植栽裝置改良的耐久性。組裝、施工方便, 進而可配合各類建築物體之外牆(例如: 住家、辦公大樓、工廠、飯店... 等)設置之。</p> <p>(英文) The invention provides an improved device for planting in a confined built environment. It consists of a frame #1, axial structure #1, frame #2, planting pad, dripping system and several connecting components. The planting pad is clipped between the two framing system. As plants are planted on the pad and held by the framing system, it provides a vertical planting system for wall, dam, and any vertical built structure. With the dripping system, the planting system is able to sustain the plants for a long term. It also provides a green construction method for heat insulation of the building.</p>		
產業別	營造業; 建物裝修及裝潢業; 其他工程業		
技術/產品應用範圍	既有與新建建築之外牆、屋頂等表面結構		
技術移轉可行性及預期效益	本創作之植栽裝置改良設計, 不需要大空間設置之, 進而可以延長此植栽裝置改良的耐久性。此外本創作組裝、施工方便、低成本, 可配合各類建築物體之外牆。因此可對於既有或新建建築需要針對外牆進行美化與改善之需求具有實用之效益。因此技轉對象可針對結構補強、美化之企業, 並配合製造之廠商進行生產後進行合作。		

註: 本項研發成果若尚未申請專利, 請勿揭露可申請專利之主要內容。

99 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：余文德		計畫編號：99-2221-E-216-041-MY2					
計畫名稱：自動化營建技術創新模式之研究							
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	3	4	100%	篇	其中「營建技術自動化創新構想產生模式之研究」一文獲得營建管理學會101年度最佳研究論文獎。
		研究報告/技術報告	2	2	100%		
		研討會論文	3	3	100%		其中「應用 TRIZ 於營建工程技術創新構想自動化產生之探討」一文獲得第四屆海峽兩岸創新方法研討會 2011 年度最佳研究論文獎。
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	1	0	100%	件	該專利並獲系內經費補助製作雛型系統
		已獲得件數	1	0	60%		該專利並獲系內經費補助製作雛型系統
	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	1	3	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	4	4	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。)	本研究完成一整合性之營建技術自動創新系統(ACTIM)，可應用於營建工程及其他領域之裝置型(Device)技術創新構想產生，具有實用上之商業價值。雖尚未撰寫商業化程式系統，但方法論已驗證可行，具可移轉性。						
--	--	--	--	--	--	--	--

	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	

國科會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）

本研究之原始構想在於發展出一套可以突破傳統營建技術創新在構想產生階段之瓶頸的模式方法，以加速技術創新之速度。此一目的在兩年研究之後已經達到原定之目的。所提出之模式架構—營建技術自動創新模式(ACTIM)—包含兩個子模式：(1) 系統化技術創新流程(STIP)及(2) 自動化構想產生模式(MAGIA)，已發表在學術期刊中，並於已應用於數個實際營建技術創新個案，且已有專利產生，可驗證當初構想之可行性。已發表之學術期刊共四篇，投稿與中期刊共三篇，其中四篇為 SCI/EI 等級之學術期刊，在兩年內達成此一結果誠屬不易。除此之外，在本研究計畫結束時亦發現 ACTIM 未來可跨大延伸至可持續(Sustainable)及綠色科技(Green technology)等領域，不論在學術性或實務應用性，皆有可觀之價值。

本研究在學術上之主要價值，主要在於突破技術建模之困難瓶頸，超越傳統以流程為基礎(Process-based)之系統模擬建模方法，可以深入分析技術元件之功能技轉。ACTIM 導入基因演算之激烈型創新(Radical innovation)演化本質，並以創新問題解決理論(TRIZ)之創新原理來指導演化方向，使突變雖然激烈但不至於朝盲目無目的地的方向進行，故較易收斂。此為在傳統營建技術創新與演化式技術創新兩大兩領域的突破。雖然受限於計畫執行時間，實務應用上在初期，然而幾個試用案例中亦已證實 ACTIM 具有實務應用之價值。未來將朝更多實務應用，以及綠色演化之方向強化 ACTIM 模式方法，並產生更多之實務工程技術。

整體而言，進化已達成原定之目的，並已引導出後續研究之方向，經研究團隊自我評

估為一成功之研究計畫案。