

應用駕駛績效與安全評估流程實作於駕駛模擬系統之研究¹

魏健宏² 李友仁² 林士敏² 林豐福³ 張仲杰³

摘要

近年來國內駕駛模擬系統之發展迅速，不論在交通安全、ITS 應用及人因課題上已有許多相當不錯的成果，而交通部運研所在 94 年的研究報告中建構了駕駛績效與安全評估系統與流程，使駕駛模擬儀應用於交通安全議題上之研究有所依循，並且能夠加速發展及應用。本研究便以該流程為基礎，依循其架構設計適當之交通安全議題進行模擬實驗，以實際應用之方式瞭解該評估流程之程序與項目是否可以對應於交通安全之實例分析中。

本研究係以固定基底式汽車駕駛模擬系統為平台，從事國內本土化之交通安全課題探討，內容以施工地區警告標誌尺寸大小及顏色對駕駛人操作影響程度為研究主軸。經由實驗分析之結果可知醒目與放大後之速限標誌具有數項優點，主要效益在於提前瞭解標誌資訊進而增加反應距離及反應時間，且在操作車輛的同時駕駛人亦不易遭受外在交通狀況或其他不當駕駛車輛之干擾而影響本身駕駛行為。整體而言，由運研所所建構之駕駛績效與安全評估流程在駕駛模擬系統的應用上具有相當程度的可行性，不論是量測指標、軟硬體設備與評估項目等皆已於該報告中規劃出許多可依循的方向，相對的也簡化了駕駛模擬系統在應用上的複雜程度，應用範圍也將更廣闊。

壹、前言

隨著世界各國機動車輛的快速成長，已使得道路交通狀況變得十分擁擠、混亂與複雜。道路建設已完全無法負荷汽機車成長的速度，汽機車充斥街道的情形顯示出交通安全與運輸效率上的各項問題。而近年來，從事交通行為特性分析之研究課題趨於多元化，但是在基本資料的取得上，諸如現場控制之實驗、實地觀測等傳統的交通調查方法，在成本及資料之精確性、適用性、時效性等考量下，已不符成本效益價值。汽車駕駛模擬系統（Driving Simulation System）之發展解決了傳統交通調查之缺點，其關鍵項目之一為虛擬實境技術之應用。虛擬實境（Virtual Reality, VR）為一種透過電腦影像合成、3D 圖學的技术，將真實世界之交通

¹本研究為交通部鼓勵大學設立行車事故鑑定研究中心專題計畫(MOTC-NCKU-9202)及交通部運研所合作研究專題計畫(93-SDB005)之衍生成果，作者感謝相關審查委員之意見。本研究內容不代表任何機構之政策主張。

²國立成功大學交通管理系。

³交通部運研所。

運輸環境逼真地移植於電腦世界中，並藉由電腦影像呈現。之後，只須經由受測者操縱駕駛模擬儀 (Driving Simulator)，便可輕易地獲得各種動態交通特性資料。虛擬實境的技術除了可以進行長時間的觀察外，亦可以設定多種特殊狀況，藉以得到在真實世界下，不易得到的資料，具有安全、資料易獲得及可變性高等優點。

交通部運研所於民國 93 年的研究報告「應用駕駛模擬儀開發智慧型運輸系統實驗平台之軟硬體規劃設計」中建構了嚴謹之駕駛模擬系統駕駛績效與安全評估流程，該評估流程探討人車系統互動反應與駕駛績效和安全評估的關係，並建構詳細之評估指標，目的在使駕駛模擬儀應用於交通安全議題上之研究有所依循。本研究是以該報告所完成之駕駛績效與安全分析流程為基礎，選擇適當之交通安全課題依照該評估系統所建立之實驗流程逐步完成模擬實驗與數據分析。為展示駕駛模擬系統之應用性，須將該評估系統所建議之評估步驟融入此模擬實驗中，以實際應用之方式瞭解該評估流程之程序與項目是否可以對應於交通安全之實例分析中。

交通安全之基本要意是駕駛人與行人在遵守交通規則下，不發生意外事故為前提。而不論是交通標誌、標線或號誌等交通工程設施存在之目的皆是預先提醒道路使用人前方可能具有的道路交通狀況並且要求使用人確切遵守相關規定，避免發生交通事故，故此類交通工程設施在交通安全領域中具有十分顯著之重要性。本研究便選擇交通工程設施對交通安全的影響為研究主題，同時依據交通部運研所建構之研究流程，逐步規劃模擬實驗流程及評估指標，期能對國內交通安全有所貢獻。

交通標誌的設置與調整改善牽涉許多人因要素，非常適合以駕駛模擬實驗的方式，蒐集受測者對該標誌感知程度並量測其反應特徵，此反應特徵通常直接呈現於行駛速率的控制上，而加減速是車輛行駛安全要件之一，故本研究以統計方法評析受測者於加減速行為的差異，瞭解受測者之感知與反應程度。關於模擬場景中所有的標誌、標線及道路設施之幾何形狀與設置位置皆以現行相關規則與規範為依據。

貳、文獻回顧

2.1 國內駕駛模擬系統文獻回顧

本研究將國內駕駛模擬系統文獻分為場景開發、駕駛模擬系統開發與驗證、車流理論及實驗設計三部分，茲將歷年國內駕駛模擬系統重要發展整理如表 1 所示。

表 1 國內駕駛模擬系統發展歷程及應用課題

研究領域	作者	研究內容
場景開發	張劭卿[1]	利用 Superscape VRT 軟體來建構高速公路之汽車駕駛模擬離形。
	運研所[2]	開發北部第二高速公路視覺模擬，基本的物件模組包括上匝道、基本路段、曲線路段、上坡、隧道與下匝道等部分。

駕駛模擬系統開發與驗證	蘇昭彰、郭信義[3,4]	探討市區幹道車道變換模擬駕駛實驗結果，與在真實駕車環境下所蒐集而得之實驗結果間的關聯性。
	運研所[5]	針對場景部份，開發以利用三槍投影的方式展現駕駛時之效果，同時亦完成開發特殊天候狀況的場景。
	蘇育賢[6]	針對正常人做一系列直線加速、變換車道與彎道實驗，對每次的駕駛行為做分析研究，以了解正常人使用本系統時，能否有一穩定的駕駛表現與驗證系統的穩定度。
	丁秉煌等[7]	比對虛擬場景與真實道路下之辨識距離，提出在虛擬場景中之修正公式。並完成運動平台反應及監控系統效能評估、虛擬場景之運算效能評估、駕駛座艙之控制與實車驗證、標誌辨識度實驗及煞車警示反應距離實驗等驗證項目。
	交通部運研所(A)[8]	建置六軸運動平臺、真實座艙、三螢幕視覺及場景軟體的系統整合能力。
	交通部運研所(B)[9]	ITS 應用規劃及建立運研所駕駛模擬儀實驗室、六軸運動平臺增加 Washout 功能、改善方向盤、油門及剎車力回饋功能。
車流理論及實驗設計	林鄉鎮[10]	利用虛擬實境技術所構建之駕駛模擬系統，建立本土化的高速公路小汽車跟車模式。
	魏健宏、鍾炳煌[11]	彙整進口匝道區域車流特性及車輛匯入行為，構建智慧型匯入決策支援模式。
	王世豪[12]	以駕駛模擬儀設備，進行青年人、中年人以及老年人三個不同年齡層駕駛者的跟車反應實驗，探討駕駛者察覺前車緊急煞車的感知反應時間之差異。
	魏健宏、洪嘉亨[13]	利用駕駛模擬系統探討車上警示系統之功能，並利用拉丁方格法讓駕駛人在無預警情況下受測，以求最真實的駕駛反應。

2.2 國外駕駛模擬系統應用

目前世界上最先進的駕駛模擬儀座落於美國愛荷華 (IOWA) 大學的 IDS (IOWA Driving Simulator) 系統，模擬系統的應用在於從事各種不同的交通相關課題研究。茲將國外所作之研究分類為駕駛者特性、道路與天候環境及 ITS 相關課題，彙整如表 2 所示。

表 2 國外駕駛模擬系統應用

分類	文獻	研究主題
駕駛者特性	Kirk et al. [14]	年齡
	Roge et al. [15]	疲勞駕駛
	Tokunaga et al. [16]	駕駛分心
道路與天候環境	Dissanayake et al. [17]	道路交控設施設計與設置
	Huang et al. [18]	道路幾何設計
	Hideki et al. [19]	天候環境
ITS 相關課題	Comte [20]	智慧型速度調適系統
	Hiroyuki et al. [21]	車內警示系統
	Uang et al. [22]	導航系統

2.3 駕駛模擬系統應用於交通安全評估流程

根據交通部運研所針對駕駛模擬儀現有功能進行駕駛績效與駕駛安全評估時，該研究建立如圖 1 的流程。研究者須先決定研究方向，此方向可由人、車、路、環境與事件等五個角度來思考。人的方面可選擇研究駕駛者本身基本特徵及其它身體狀況因素所產生的駕駛績效與安全差異，如不同年齡層駕駛行為之差異性，其他有關駕駛因素，尚可包括：性別、健康狀況、疲勞、飲酒與藥物等情形。研究者也可選擇駕駛者進行各種駕駛操控所衍生出來的行駛狀態，如左轉、右轉、超車、煞車、變換車道及對標線、標誌與號誌的反應等，均可做為探討駕駛績效與安全的方向。這些均有助於建立我國駕駛者車內行為與行駛狀態之資料庫。

在車的方面，不同車型具有不同之車輛性能，均會對駕駛行為造成不同之影響。另一方面，由於車上許多影音設備與 ITS 系統均需在車內裝設車機，故這些車機系統與駕駛者間的溝通介面，如：資訊顯示方式與操作方式等人機介面，便成為一項重要的研究方向，此種溝通介面深受長期生活型態與思考模式的影響，因此，依據國外的國情與文化所演繹推出之車機設計，是否能正確地與我國駕駛者互動，以及我國駕駛者較適合何種車機介面設計，均是相當值得探討的方向。此外，調適性巡航控制(Adaptive cruise control, ACC)系統操作參數的設定與防鎖死煞車系統(ABS)等車輛之安全系統對駕駛者的影響也是一個研究方向，因此經由駕駛績效及安全面瞭解我國駕駛者在使用車內設備的影響，即為一重要與可行之研究課題。

有關路及環境方面之研究，除了可單純探討各種不同道路狀況(乾燥、潮濕、瀝青路面、混凝土路面、石子路面等)、天候(晴與霧等)以及光線(白天、夜間等)對駕駛績效與安全的影響，甚至可進而搭配內裝系統功能輔助，研究車內安全車輛系統(如夜視系統等)對駕駛者在不良道路及環境中行車的注意程度。再者，各種路上相關的交通工程設施與 ITS 顯示系統對駕駛績效與安全的影響亦是值得探討的方向，例如評估路上相關的顯示系統設置位置、顏色、圖樣、尺寸與字體大小，均可利用駕駛模擬儀評估這些顯示系統的位置與顯示內容，是否能在適當的時間進入駕駛者的視野範圍內以及是否引起駕駛的注意，並使駕駛者採取某些反應。

對於事件方面的研究，即在探討路上狀況對駕駛者行駛操控行為的影響，如前車緊急煞車或孩童突然衝入路中，駕駛人的反應措施等。路上狀況概可分為一般意外突發狀況(不同車流、塞車、掉落物、道路施工等)、安全狀況(正常路面與駕駛情形下)及極端危險(事故、危險駕駛行為，如蛇行、超速、任意變換車道等)三種等級。除了探討不同事件在駕駛績效與安全上的差異外，也可進一步搭配車輛內是否裝配有安全輔助功能(如防撞警示等)的駕駛輔助系統，來瞭解如何協助駕駛者因應行車過程中可能發生在道路上的事件。

不論研究者選擇進行何種研究課題，接下來要作的事是一樣的。即首先需決定要評估的項目是行駛狀態、心理或分心等，因為不同評估需求代表的是需要不同的硬體設備，進而也衍生出量測項目的差異；至於場景的選擇，則與研究者希望在何種虛擬的交通環境中進行這些評估有關。在做完這些選擇並進行實驗後，

研究者便需要針對所量測的項目，探討其駕駛績效與安全問題。

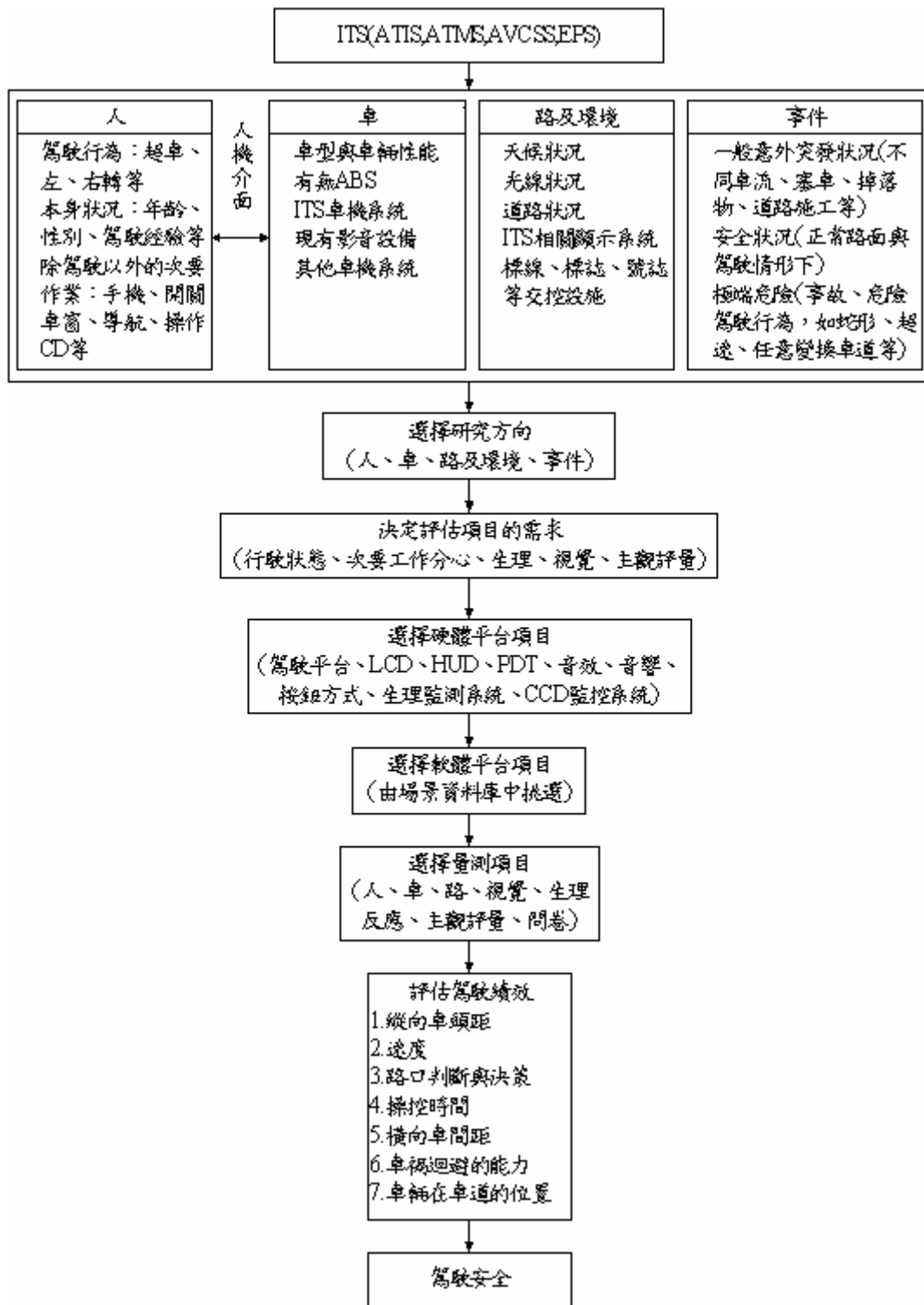


圖 1 駕駛績效與安全評估流程
 資料來源：交通部運研所(民 94)[9]

參、駕駛模擬系統應用於交通安全之實例研究

3.1 實例課題選擇

本研究係以交通工程設施作為研究課題，並選擇以交通標誌設置準則為研究主體。交通工程設施可協助提升交通安全與效率，唯其所呈現之績效好壞有賴使用者與交通工程設施的良性互動，駕駛模擬系統正可以作為視察此互動關係之有效工具，經由駕駛模擬系統配合圖 1 駕駛模擬儀駕駛安全評估系統之流程，設計適當之實驗瞭解該交通工程設施所呈現之績效是否足以接受。故交通工程設施、安全與效率及駕駛模擬系統三者間存在密切互動關係，如圖 2 所示。

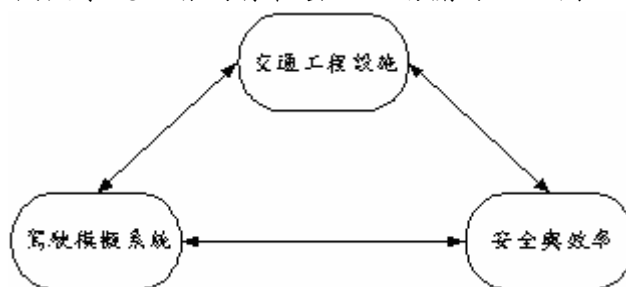


圖 2 交通工程設施、安全與效率及駕駛模擬系統關係圖

速限標誌屬於交通標誌禁制標誌的一類，其目的在於告知車輛駕駛人嚴格遵守道路行車最高時速之限制。國內現行之速限標誌設置尺寸共有標準型、放大型、縮小型與特大型四類（設置規則第五十七條），一般而言速限愈高的路段所採用的標誌較一般來得大；但是在某些路段上若有特殊考量需要駕駛人提前辨認標誌內容，使事前資訊能更早提供給予駕駛者增加安全減少肇事率，亦得酌情採用較大型標誌。標準型之速限標誌其設計為牌面直徑 65 公分、放大型則為牌面直徑 90 公分，本研究以相同地點放置相同標誌（但大小不同），藉此可於駕駛模擬系統中進行標誌大小對於駕駛人影響之研究。

除了標誌大小外，本研究亦加入顏色之實驗變因。目前國內速限標誌所使用之顏色是以紅邊白底黑字，本研究嘗試改變固有速限標誌之顏色配置，比較顏色改變前後對駕駛行為之差異性，探討顏色改變是否會帶給駕駛人更佳之效果。在顏色的挑選上應有幾項原則：1. 可以更清楚讓駕駛人注意、2. 在不同光源下仍有良好之視覺效果，以此原則本研究選擇目前國道高速公路新設之收費站找零車道告示牌之設置顏色螢光黃綠色，以其為底色搭配醒目的紅色數字。

目前各式標誌設置於道路上之目的，事實上是相當明確且清楚，但如果受到其他交通狀況及車輛的影響下，可能不經意地駕駛人忽略標誌意義，標誌的效用性可能會降低。於是本實驗便加入其他系統車輛，干擾受測者，以瞭解駕駛人的開車習慣是否會因為其他車輛的干擾而改變。本實驗於直線路段因施工原因速限必須從 60kph 降到 40kph，但是鄰車道卻有車輛突然加速或煞車，以此來探討速限標誌在有其他干擾狀況下對駕駛者的影響性，參見圖 3。

3.2 實驗課題情境設計

車輛行駛於速限 60kph 市區道路路段（車道寬 3.2m、路肩 2m、單向雙車道），行駛經過預警路段（長 200m），出現路肩封閉及降低行駛速率（40kph）等標誌，

施工路段（長 400m、速限 40kph）過後恢復正常路寬及速限，故每一個實驗全長 1200m。

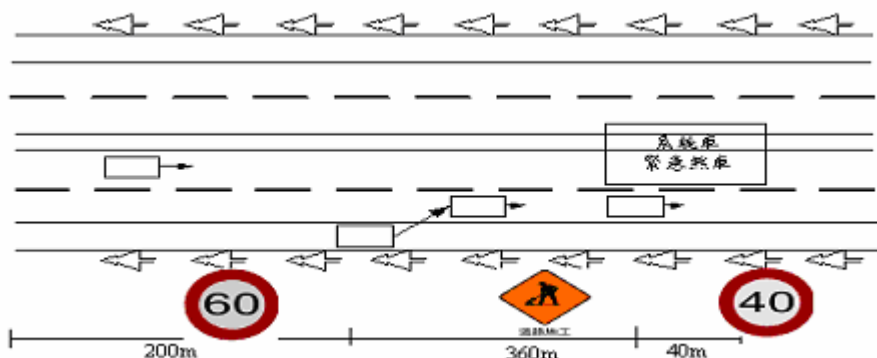


圖 3 實驗課題示意圖

本研究相關實驗中，應處理之變因共有控制變因與應變變因兩類。其中應變變因是本實驗欲觀察之車輛速率（由行駛速率與加減速加以量測），而控制變因分為速限標誌尺寸、標誌顏色與系統車減速干擾等情況，由此三項控制變因的組合，本研究將實驗分為 8 組（A1~A8），詳細實驗設計內容如表 3 所示，說明如下：

1. 速限標誌尺寸：分為標準尺寸（牌面直徑 R=65cm）、與放大標誌（牌面直徑 R=90cm）兩種情況。
2. 速限標誌顏色：分為國內所用紅邊白底黑字配色及改變顏色後黃綠底紅字之速限標誌，如圖 4 所示。正常標誌顏色配色時，黑色數字受限於紅邊之內圓半徑，不能超過白色範圍，而當顏色改變後相對的可以將數字加大，故相同面積之速限標誌改變顏色後之數字較原先來得大。



圖 4 速限標誌顏色改變前後之比較

3. 系統車干擾：施工路段前 300m 處有一系統車與實驗車以相同的行駛速率前進，系統車於 40kph 標誌前 40m 處突然減速至 10kph，並不會依照速限減速，測試駕駛者是否會受系統車的干擾而改變減速狀況。

表 3 實驗組合設計構想

情境設計		實驗組別							
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
場景設計		車道寬度為 3.2m，路肩為 2m，單向雙車道，為一速限 60kph 的市區道路路段。為使其符合實際道路狀況，加設施工路段（速限 40kph）。							
實驗種類	標準速限標誌（R=65）	√	√	√	√				
	標誌放大（R=90）					√	√	√	√
	標準顏色之速限標誌（紅、白、黑）	√		√		√		√	
	改變顏色之速限標誌（黃綠底、紅字）		√		√		√		√
	系統車減速			√	√			√	√

蒐集資料	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 速限標誌前 40m 處之速率(考量受測者的反應時間與車速) ➤ 速限標誌前 25~55m 最大減速率
------	---

3.3 評估指標

本實驗以車輛的速率與最大減速率為整體評估指標，藉此衡量標誌大小產生之不同視覺效應，此效應將直接影響反應時間，並具體呈現於駕駛人速率控制的駕駛行為。通常交通工程師設計高快速道路時，將駕駛人的反應時間設為 2.5 秒，並有研究指出 3.2 秒的反應時間更可包含 85% 駕駛人 [23]。為合理容納大多數駕駛人的反應特性，本實驗評估指標詳細內容如下所述：

1. 速率：駕駛車輛距標誌前方 40m 公尺的平均速率。假設駕駛人反應時間為 2.5 秒，如以 60kph 速率前進時辨識標誌加行動反應約需 40m 的距離，研究駕駛者在該點速率的變化，該數值可表示駕駛者是否認知速限標誌的作用，而降低其速率。
2. 最大減速率：評估駕駛車輛在標誌前特定距離處之最大減速率。假設駕駛人反應時間約為 1.5~3.2 秒間，以本研究速限 60kph 為例，所需距離約為 25~55m，在該特定距離之速率變化數值可表示駕駛人反應標誌指示的能力。

3.5 駕駛模擬系統應用於交通安全之駕駛績效與安全評估研究架構

由交通部運研所所完成駕駛績效與安全流程之研究架構(圖 1)，該評估系統包含相關模擬實驗由初始之研究課題規劃至最終結果分析與應用，在 ITS 的大架構下將其細分為 1.人、車、路、事件之要素設定，2.選擇研究方向，3.決定評估項目的需求，4.選擇硬體平台項目，5.選擇軟體平台項目，6.選擇量測項目，7.評估駕駛績效等 7 部分，而最終目的是探討對於駕駛安全之效益。為檢測圖 1 運作流程與合理性，並配合交通工程設施模擬實驗之進行，以駕駛模擬系統應用於交通工程準則之探討內容對應於駕駛績效與安全流程，評估圖 1 之流程與項目是否可以有效地引用評估駕駛安全之相關研究中。表 4 係將本文內容對應於圖 1 之對照表。

表 4 交通工程設施模擬實驗之駕駛安全評估流程對照表

交通工程設施模擬實驗	駕駛模擬儀應用於駕駛安全評估系統
3.1 研究課題選擇	人、車、路、事件之要素設定
3.2 實驗場景設計與實驗變因	選擇研究方向
3.2 實驗場景設計與實驗變因	評估評估項目的需求
3.3 評估指標	選擇量測項目
4.1 駕駛行為特性檢定	評估駕駛績效
4.2 小結	駕駛安全評估

根據運研所該研究第五章可彙整出本實驗所需之評估項目與硬體設備(如表 5 所示)，主要是使用固定式駕駛模擬儀；在分心狀況、生理狀況、視覺狀況則無使用其它設備。另彙整出此實驗所考慮之實驗場景變數(如表 6 所示)，由該表可知駕駛車行為是緩慢的煞車以及左轉，事件車及他車行為是突然煞車，其他車種為小客車，道路幾何為直線道路與交叉路口，道路型態為單向雙車道的市區道路，天候為晴天，光線為白天。

表 5 交控設施對駕駛行為之駕駛評估項目與硬體設備

評估項目	必需的硬體設備
行駛狀態	固定式駕駛模擬儀
分心狀況	無
生理狀況	無
視覺狀況	無

表 6 交控設施對駕駛行為影響之實驗場景

名稱	駕駛車行為	事件車及他車行為	其他車種	道路幾何	道路型態	天候
項目	1.緩慢的煞車 2.左轉	1.鄰車道車輛突然加速或煞車	1.小客車	1.直路 2.交叉路口	市區主要道路 單向車道數： 單向雙車道	晴天 光線： 白天

根據上述說明可建立此實驗之駕駛績效評估資料庫如表 7 所示（特殊研究類資料庫），此實驗所量測人的行為變數包含有反應時間及反應距離，車的變數為速率和最大減速率，路的變數在量測縱向位置，各變數定義詳見表 7 內容。

表 7 交控設施對駕駛行為之駕駛績效與安全評估資料庫

研究主題	速限標誌尺寸顏色於有無鄰車干擾時對駕駛行為之影響
駕駛車操控行為	緩慢煞車、左轉
事件車或他車操控行為	突然緊急煞車
道路型態	單向兩車道的市區主要道路
其他車種	小客車
模擬器量測-人的行為	反應時間、反應距離
模擬器量測-車	速率、最大減速率
模擬器量測-路	縱向位置
量測項目定義	<ul style="list-style-type: none"> ● 反應時間：從駕駛發現狀況至駕駛者腳離開油門踏板的時間。 ● 反應距離：從駕駛發現狀況至駕駛者腳離開油門踏板的距離。 ● 辨識距離：主要量測駕駛人發現標誌之距離。 ● 車速：主要量測駕駛人發現標誌前後之車速變化。 ● 最大減速率：駕駛發現狀況踩下煞車踏板，車輛開始減速至完成減速期間內每秒最大減速率。

肆、實驗數據分析

4.1 駕駛行為特性檢定

為瞭解標誌大小及系統車干擾對駕駛行為上的差異性，蒐集各組 40kph 速限標誌前方 40m 之速率及 25~55m 間之最大減速率，以統計檢定方式瞭解各實驗組間是否有顯著差異，將 8 種實驗組合分成 11 組兩兩比較與討論，如表 8 所示。

表 8 駕駛行為特性之命題假設

$H_0 : V_i = V_j$ $H_1 : V_i \neq V_j$ $V_i = \text{實驗組} A_i \text{速限標誌前 } 40\text{m 之平均速率}$ $V_j = \text{實驗組} A_j \text{速限標誌前 } 40\text{m 之平均速率}$	$i=1 \sim 8$ $j=1 \sim 8$ $i \neq j$
$H_0 : D_i = D_j$ $H_1 : D_i \neq D_j$ $D_i = \text{實驗組} A_i \text{速限標誌前 } 25\text{m} \sim 55\text{m 間之平均最大減速率}$ $D_j = \text{實驗組} A_j \text{速限標誌前 } 25\text{m} \sim 55\text{m 間之平均最大減速率}$	

1. 標準速限標誌（紅邊白底黑字） vs. 標準速限標誌（黃綠底紅字），此處僅探討無其他干擾狀況下，標誌顏色改變之影響。檢定結果如表 9 所示，A1 與 A2 在速限標誌前方 40m 處之速率經由 T 檢定後，發覺兩組有顯著差異，顯示顏色改變後之速限標誌的確能更快吸引駕駛人的注意，而提早進行減速動作。而經由最大減速率之 T 檢定後，結果也有顯著差異，A1 實驗組在該區段中最大減速率明顯較 A2 高，顯示由於原顏色標準速限標誌尺寸較小之原因，駕駛人反應距離也相對減短，故需要以較大之減速動作達成降低速率之要求。

表 9 實驗組 A1、A2 之比較

	平均速率(kph)	標準差	平均速率 T 值
A1 實驗組	57.65	3.69	6.119 > $T_{58,0.05} = 1.697$ 拒絕 H_0
A2 實驗組	49.33	6.47	
	平均最大減速率(m/s^2)	標準差	平均最大減速率 T 值
A1 實驗組	15.14	4.75	5.301 > $T_{58,0.05} = 1.697$ 拒絕 H_0
A2 實驗組	9.78	2.77	

2. 標準速限標誌（紅邊白底黑字） vs. 標準速限標誌（紅邊白底黑字）及系統車減速，此處探討標準速限標誌下有無系統車突然減速狀況下之差異性，檢定結果如表 10 所示。兩組平均速率及最大減速率經由 T 檢定後均有顯著差異，有系統車減速情況時平均速率明顯受到系統車減速影響而降低；有系統車干擾時之最大減速率明顯高於無系統車狀況，顯示駕駛人容易受系統車減速造成心裡壓力，害怕與系統車碰撞，故也對應於系統車之減速動作採用緊急煞車的方式迴避系統車。

表 10 實驗組 A1、A3 之比較

	平均速率(kph)	標準差	平均速率 T 值
A1 實驗組	57.65	3.69	2.593 > $T_{58,0.05} = 1.697$ 拒絕 H_0
A3 實驗組	53.85	7.10	
	平均最大減速率(m/s^2)	標準差	平均最大減速率 T 值
A1 實驗組	15.14	4.75	5.303 > $T_{58,0.05} = 1.697$ 拒絕 H_0
A3 實驗組	20.71	9.54	

3. 標準速限標誌（紅邊白底黑字） vs. 放大速限標誌（紅邊白底黑字），此處探討相同顏色（紅邊白底黑字）不同標誌大小之影響，且無其他干擾下狀況。檢定

結果如表 11 所示，A1 與 A5 在速限標誌前方 40m 處之速率經由 T 檢定後，發覺兩組有著顯著差異，顯示標誌放大後駕駛人增加了反應距離，也提早進行了反應動作，使得 A5 的速率低於 A1。而經由最大減速率之 T 檢定後，結果有顯著差異，A1 實驗組在該區段中最大減速率明顯較 A2 高，顯示由於速限標誌尺寸較小之原因，駕駛人反應距離也相對減短，故需要以較大之減速動作達成降低速率之要求。

表 11 實驗組 A1、A5 之比較

	平均速率(kph)	標準差	平均速率 T 值
A1 實驗組	57.65	3.69	7.221 > $T_{58,0.05}=1.697$ 拒絕 H_0
A5 實驗組	45.54	6.06	
	平均最大減速率(m/s^2)	標準差	平均最大減速率 T 值
A1 實驗組	15.14	4.75	5.567 > $T_{58,0.05}=1.697$ 拒絕 H_0
A5 實驗組	9.42	2.83	

4. 標準速限標誌（黃綠底紅字） vs. 標準速限標誌（黃綠底紅字）及系統車減速，此組探討黃綠底紅字之標準尺寸速限標誌，有無系統車突然減速狀況下之差異性，檢定結果如表 12 所示。兩組平均速率經由 T 檢定後並無顯著差異，但是最大減速率之 T 檢定結果卻有著顯著差異，A4 明顯用高於無系統車狀況下之煞車動作降低速率，顯示駕駛人仍受系統車減速造成心裡壓力，害怕與系統車碰撞，故也對應於系統車之減速動作採用緊急煞車的方式迴避系統車。

表 12 實驗組 A2、A4 之比較

	平均速率(kph)	標準差	平均速率 T 值
A2 實驗組	49.32	6.47	0.97 < $T_{58,0.05}=1.697$ 接受 H_0
A4 實驗組	47.63	7.00	
	平均最大減速率(m/s^2)	標準差	平均最大減速率 T 值
A2 實驗組	9.78	2.77	4.86 > $T_{58,0.05}=1.697$ 拒絕 H_0
A4 實驗組	13.80	3.57	

5. 標準速限標誌（黃綠底紅字） vs. 放大速限標誌（黃綠底紅字），此組探討相同顏色（黃綠底紅字）不同標誌大小之影響，且無其他干擾下狀況。檢定結果如表 13 所示，A2 與 A6 在速限標誌前方 40m 處之速率經由 T 檢定後，發覺兩組呈現顯著差異，顯示放大標誌後使駕駛人更能夠及時反應達成降低速率之目的。而經由最大減速率之 T 檢定後，亦有顯著差異，A2 實驗組在該區段中最大減速率明顯較 A6 高，顯示由於速限標誌尺寸較小之原因，駕駛人反應距離也相對減短，故需要以較大之減速動作達成降低速率之要求。

表 13 實驗組 A2、A6 之比較

	平均速率(kph)	標準差	平均速率 T 值
A2 實驗組	49.32	6.47	4.396 > $T_{58,0.05}=1.697$ 拒絕 H_0
A6 實驗組	42.87	4.79	
	平均最大減速率(m/s^2)	標準差	平均最大減速率 T 值
A2 實驗組	9.78	2.77	4.854 > $T_{58,0.05}=1.697$ 拒絕 H_0
A6 實驗組	6.73	3.35	

6. 標準速限標誌（紅邊白底黑字）及系統車減速 vs. 標準速限標誌（黃綠底紅字）

及系統車減速，此處為相同於系統車減速情況下，標誌尺寸相同但顏色不同之比較，經由 T 檢定分析後，不論是平均速率或最大減速率之差異皆是顯著的狀況，如表 14 所示。紅邊白底黑字之速限標誌前方 40m 處速率明顯較黃綠底紅字速限標誌高，顯示顏色改變後駕駛人提早進行了認知與反應，故增加了反應距離，使得 A4 的速率低於 A3。而最大減速率亦同，A3 的減速行為採取較為急促之減速動作，不同於 A4 平緩，此現象顯示顏色改變給予較明確內容及較大反應距離，駕駛人能夠較安全有效地操控車輛。

表 14 實驗組 A3、A4 之比較

	平均速率(kph)	標準差	平均速率 T 值
A3 實驗組	53.86	7.10	4.544 > $T_{58,0.05}=1.697$ 拒絕 H_0
A4 實驗組	47.63	7.00	
	平均最大減速率(m/s^2)	標準差	平均最大減速率 T 值
A3 實驗組	20.71	9.54	7.023 > $T_{58,0.05}=1.697$ 拒絕 H_0
A4 實驗組	13.80	3.58	

7. 標準速限標誌（紅邊白底黑字）及系統車減速 vs. 放大速限標誌（紅邊白底黑字）及系統車減速，此組為相同於系統車減速情況下，相同顏色（紅邊白底黑字）不同尺寸速限標誌之比較，經由 T 檢定分析後，不論是平均速率或最大減速率之差異皆是顯著的狀況，如表 15 所示。放大標誌後於標誌前方 40m 處速率明顯較標準速限標誌低，最大減速率亦明顯減小並沒有受到系統車減速因素而發生不正常的操作行為。此現象顯示放大標誌給予較明確內容及較大反應距離，駕駛人能夠較安全有效地操控車輛。

表 15 實驗組 A3、A7 之比較

	平均速率(kph)	標準差	平均速率 T 值
A3 實驗組	53.86	7.10	3.581 > $T_{58,0.05}=1.697$ 拒絕 H_0
A7 實驗組	47.50	6.63	
	平均最大減速率(m/s^2)	標準差	平均最大減速率 T 值
A3 實驗組	20.71	9.54	6.101 > $T_{58,0.05}=1.697$ 拒絕 H_0
A7 實驗組	9.68	2.66	

8. 放大速限標誌（紅邊白底黑字）及系統車減速 vs. 放大速限標誌（黃綠底紅字）及系統車減速，此處為相同於系統車減速情況下，不同顏色之放大速限標誌之比較，經由 T 檢定分析後，不論是平均速率或最大減速率之差異皆是顯著的狀況，如表 16 所示。改變顏色後於標誌前方 40m 處速率明顯較正常顏色之速限標誌低，最大減速率也明顯下降。此現象顯示改變顏色之速限標誌變得更顯目，相對的增加了駕駛人的反應距離，使駕駛人更早獲得行車資訊，能夠較安全有效地操控車輛。

表 16 實驗組 A4、A8 之比較

	平均速率(kph)	標準差	平均速率 T 值
A4 實驗組	47.63	7.00	4.544 > $T_{58,0.05}=1.697$ 拒絕 H_0
A8 實驗組	41.07	3.69	
	平均最大減速率(m/s^2)	標準差	平均最大減速率 T 值
A4 實驗組	13.80	3.58	7.024 > $T_{58,0.05}=1.697$ 拒絕 H_0
A8 實驗組	7.89	2.91	

9. 放大速限標誌（紅邊白底黑字）vs. 放大速限標誌（黃綠底紅字），此組為相同放大速限標誌但不同顏色之比較，經由 T 檢定分析後，如表 17 所示，在速限標誌前方 40m 處平均速率與最大減速率在改變速限標誌顏色後均有顯著差異，皆有明顯下降。此現象是由於改變顏色後之速限標誌變得更顯目，間接地增加了駕駛人的反應距離，使駕駛人更早獲得行車資訊，及早進行減速動作，相對的使減速率較為平緩。

表 17 實驗組 A5、A6 之比較

	平均速率(kph)	標準差	平均速率 T 值
A5 實驗組	45.54	6.06	1.895 > $T_{58,0.05}=1.697$ 拒絕 H_0
A6 實驗組	42.87	4.79	
	平均最大減速率(m/s^2)	標準差	平均最大減速率 T 值
A5 實驗組	9.42	2.83	3.359 > $T_{58,0.05}=1.697$ 拒絕 H_0
A6 實驗組	6.73	3.35	

10. 放大速限標誌（紅邊白底黑字）vs. 放大速限標誌（紅邊白底黑字）及系統車減速，此組探討放大標誌下且顏色相同為紅邊白底黑字，有無系統車減速狀況下之駕駛行為差異性，檢定結果如表 18 所示兩組之平均速率與最大減速率經由 T 檢定後皆無顯著差異，顯示標誌放大後已及時且清楚地傳遞交通控制資訊，駕駛人正確的認知後，較不受系統車之干擾而影響本身操作行為。

表 18 實驗組 A5、A7 之比較

	平均速率(kph)	標準差	平均速率 T 值
A5 實驗組	45.54	6.06	1.197 < $T_{58,0.05}=1.697$ 接受 H_0
A7 實驗組	47.51	6.63	
	平均最大減速率(m/s^2)	標準差	平均最大減速率 T 值
A5 實驗組	9.42	2.83	0.361 < $T_{58,0.05}=1.697$ 接受 H_0
A7 實驗組	9.68	2.66	

11. 放大速限標誌（黃綠底紅字）vs. 放大速限標誌（黃綠底紅字）及系統車減速，此處探討放大標誌下且顏色相同為黃綠底紅字，有無系統車減速狀況下之駕駛行為差異性，檢定結果如表 19 所示。兩組之平均速率與最大減速率經由 T 檢定後皆無顯著差異，顯示標誌放大已及時且清楚地傳遞交通控制資訊，駕駛人正確的認知後，較不受系統車之干擾而影響本身操作行為，且與表 18 對照後，可知此處之平均速率及減速率皆較表 18 低，顯示操作更平穩，即黃綠底紅字更能及早使駕駛人感知。

表 19 實驗組 A6、A8 之比較

	平均速率(kph)	標準差	平均速率 T 值
A6 實驗組	42.87	4.79	1.634 < $T_{58,0.05}=1.697$ 接受 H_0
A8 實驗組	41.68	3.69	
	平均最大減速率(m/s^2)	標準差	平均最大減速率 T 值
A6 實驗組	6.73	3.35	1.424 < $T_{58,0.05}=1.697$ 接受 H_0
A8 實驗組	7.89	2.92	

4.2 小結

從本研究各實驗組間之統計檢定分析後，可發現放大的標誌及顏色的改變明顯地有助於使駕駛人提早發現標誌指示進而作出適當的反應，其他車流的不當操作行為則可能造成駕駛人改變正常駕駛行為。綜合實驗結果本研究發現有下列幾點重要現象存在：

1. 在標準速限標誌與放大標誌相較之下，由於前者的辨識距離較短，減速動作多在標誌臨近前方顯現，常常會有較急促的減速行為；而後者辨識距離較長往往促使減速動作提早進行，相關數據顯示標誌前方減速率較為平緩，故標誌放大有助於駕駛人維持合理行車速率與平緩減速。
2. 在改變顏色後相較之下，標準顏色的辨識距離較顏色改變為黃綠底紅字短，故減速行為也較為急促；而後者卻因為顏色改變的效果顯得相當醒目，吸引了駕駛人的目光增加了感知辨識距離，減速率也較為平緩，故醒目的標誌顏色的確有助於駕駛人。
3. 在標準顏色之放大標誌狀況下，不論有無周遭系統車干擾或是周遭系統車如何操作，對於駕駛人的影響皆不明顯。原因在於放大標誌與標準速限標誌相較之下使駕駛人增加了 20~30m 之反應距離，即 1~2 秒之反應時間；而當改變顏色後更增加 10m 左右的反應距離，使得增加之反應時間最多可達 2.5 秒。此項成果將可回饋至交通工程設施（標誌）設置準則修正機制。

伍、結論與建議

5.1 結論

整體而言，由運研所所建構之駕駛績效與安全評估流程在駕駛模擬系統的應用上是具有相當程度的可行性，從一開始的人、車、路與環境及事件的大架構下思考研究方向，本研究以駕駛安全的觀點將交通工程設施定為主要研究目標，研究駕駛人的行駛狀態與交通工程設施的關連性，並選擇適當之量測指標評析駕駛績效，經由分析後發現交通工程設施對於駕駛人的確有十足的影響效果，同時也證明了該評估流程合理性與可行性。依此看來日後駕駛模擬系統的應用上，在確定研究方向後並依循研究架構流程逐一執行，而不論是量測指標、軟硬體設備與評估項目等皆已於該報告中規劃出許多可依循的方向，相對的也簡化了駕駛模擬系統在應用上的複雜程度，應用範圍也將更廣闊。

5.2 建議

1. 駕駛績效與安全評估流程於駕駛模擬系統的應用上是可行的，日後應以此架構為基本研究流程，設計更多探討國人發生事故主因之模擬實驗，以增加實作經驗。當實驗結果逐漸累積後，便會形成一個我國的駕駛績效與安全資料庫，同時也可開始逐步建立我國在這方面的知識庫。因此在累積這些資料與知識前，必須先嘗試對駕駛績效與駕駛安全如何評估作一個界定，以使未來利用駕駛模擬儀所累積及衍生的資訊，能具有共同的基礎。
2. 本研究實例分析是以直線路段所組成，在日後相關研究中應可提高道路幾何複雜度，進行更多比較分析研究。
3. 本研究於標誌設置上皆於定點處設置單一標誌，以單純且資訊量低的方式提供給受測者。目前國內道路有許多定點設置兩個以上標誌，故日後研究中可在同

一地點設置兩種以上標誌，增加標誌資訊量，進行分析探討。

參考文獻

1. 張劭卿，汽車駕駛模擬系統之行車動態影像製作之研究，成功大學交管系碩士論文，民國 84 年 6 月。
2. 交通部運研所，用路人駕駛模擬儀軟硬體之規劃研究，民國 87 年 5 月。
3. 蘇昭彰，利用小汽車駕駛模擬儀從事駕車行為實驗中有關受測者駕車者行為之驗證，成功大學交管系碩士論文，民國 88 年 6 月。
4. 郭信義，利用小汽車駕駛模擬儀從事駕車行為研究有關道路環境之驗證分析，成功大學交管系碩士論文，民國 88 年 6 月。
5. 交通部運研所，駕駛模擬儀視覺系統之整體規劃研究，民國 91 年 4 月。
6. 蘇育賢，虛擬實境在駕駛行為之研究與應用，中央大學機械系碩士論文，民國 91 年 7 月。
7. 丁秉煌等，「駕駛模擬儀虛擬場景視覺校正之研究」，中華民國運輸學會第十八屆學術論文研討會，92 年 12 月，新竹市，論文編號：1607。
8. 交通部運研所(A)，汽車駕駛模擬系統軟硬體之擴充與測試駕駛行為實例應用之研究，民國 94 年 3 月。
9. 交通部運研所(B)，應用駕駛模擬儀開發智慧型運輸系統實驗平台之軟硬體規劃設計 (1/4)，民國 94 年 3 月。
10. 林鄉鎮，高速公路小汽車駕駛者跟車行為之研究：以虛擬實境(VR)技術所架構之駕駛模擬系統為工具，成功大學交管系博士論文，民國 86 年 6 月。
11. 魏健宏、鍾炳煌，「高速公路加速車道併入行為之研究」，中華民國第 9 屆運輸安全研討會，92 年 4 月。
12. 王世豪，以駕駛模擬儀進行跟車反應時間之探討，中央大學機械系碩士論文，民國 93 年 7 月。
13. 魏健宏、洪嘉亨，「先進安全車輛車內警示資訊系統績效評估之研究」，中華民國運輸學會第 19 屆學術論文研討會，93 年 12 月。
14. Kirk, A. and Stamatidis, N. (2001) "Crash rates and traffic maneuvers of younger drivers," *Transportation Research Record* 1779, pp. 68-77.
15. Roge, J. et al. (2001) "Variations of the level of vigilance and of behavioral activities during simulated automobile driving," *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 33, No. 2, pp. 181-186.
16. Tokunaga, R. A. et al. (2000) "Cellular telephone conversation while driving—effects on driver reaction time and subjective mental workload," *Transportation Research Record* 1724, pp. 1-6.
17. Dissanayake, S. and Lu, J. J. (2001) "Effect of larger stop signs on older drivers," Presented at the Transportation Research Board 80th Annual meeting.
18. Huang, H. F. et al. (2002) "Evaluation of lane reduction road diet measures on crashes and injuries," *Transportation Research Record* 1784, pp. 80-90.

19. Hideki, T. et al. (2002) "The verification of effectiveness on driving support system for patrol car under the dense fog using driving simulator," 9th ITS World Congress.
20. Comte, S. L. (2000) "New system: new behavior?" *Transportation Research, Part F*, Vol. 3, No. 2, pp. 95-111.
21. Hiroyuki, M. et al. (2002) "Simulation study of the accident reduction effect with advanced cruise-assist highway system," 9th ITS World Congress.
22. Uang, S. T. et al. (2003) "Effect on driving behavior of congestion information and of scale of in-vehicle navigation systems," *Transportation Research, Part C*, Vol. 11, pp. 423-438.
23. Hopper, K. and McGee, H. (1983) "Driver perception-reaction time: Are revision to current specification values in order?" *Transportation Research Record* 904, pp. 21-30.