

自駕車測試技術

車輛中心 研究發展處 / 何世榮

鑒於消費者對於車輛安全意識抬頭，以及對行車安全之需求日益提升，市面上搭載先進駕駛輔助系統 (ADAS) 之車輛逐漸普及化，對於交通安全有顯著提升，隨著人工智慧 (AI) 不斷進化，未來人類生活將有重大變革，從駕駛輔助系統到自動駕駛系統，自駕車儼然已是車輛產業趨勢亦是眾所皆知之話題，全球知名車廠，紛紛投入自動駕駛車輛研發，世界各大車廠、零組件供應商、科技公司及運輸業者也紛紛搶攻自駕車產業新商機。

在自動駕駛車輛蓄勢待發之同時，其實際上路之安全議題一直也是媒體關注焦點，自動駕駛車輛所引起之致命事故，也讓車輛自動駕駛發展蒙上一層陰影。有媒體及網路評論等輿論認為，自駕車距離真正要上路行駛依然有很長的路要走；首先，自動駕駛系統 (ADS) 開發商需要確保系統具備足夠安全性，雖然目前有些國家已開放部分自駕車在實際道路上進行測試，然而在城市道路中，車輛、行人、道路系統及天候等因素十分複雜，對自駕車之安全性帶來嚴峻的挑戰，且現行交通法規無法完整規範自駕車；有鑒於此，歐洲、美國、日本及中國等國家針對自駕車也提出相關指導原則，作為交通法規修訂前自駕車上路之依循。

壹、自駕車測試方法

自動駕駛車輛依據 SAE J3016 所述共分成 6 個等級 (Level 0~Level 5，圖 1 所示)，自動駕駛等級 Level 0~Level 2 從偵測行駛環境提供駕駛者警示訊息，到部分車輛駕駛行為由先進輔助系統來控制，這些包含前方防撞警示 (FCW)、適應性巡航控制 (ACC)、自動緊急剎車 (AEB) 等縱向控制輔助系統，以及車道偏移警示 (LDW)、車道維持輔助 (LKA)、車道跟隨系統 (LFS) 等橫向控制之駕駛輔助系統提供駕駛者輔助功能；目前針對這些輔助系統國際上已有 ISO、SAE、Euro NCAP 等相關測試方法及標準可參考，車輛中心投入 ADAS 系統研發已有多年，也陸續建置相關驗證測試能量，並擴增試車場測試道等，提供國內外業者多元檢測驗證服務。

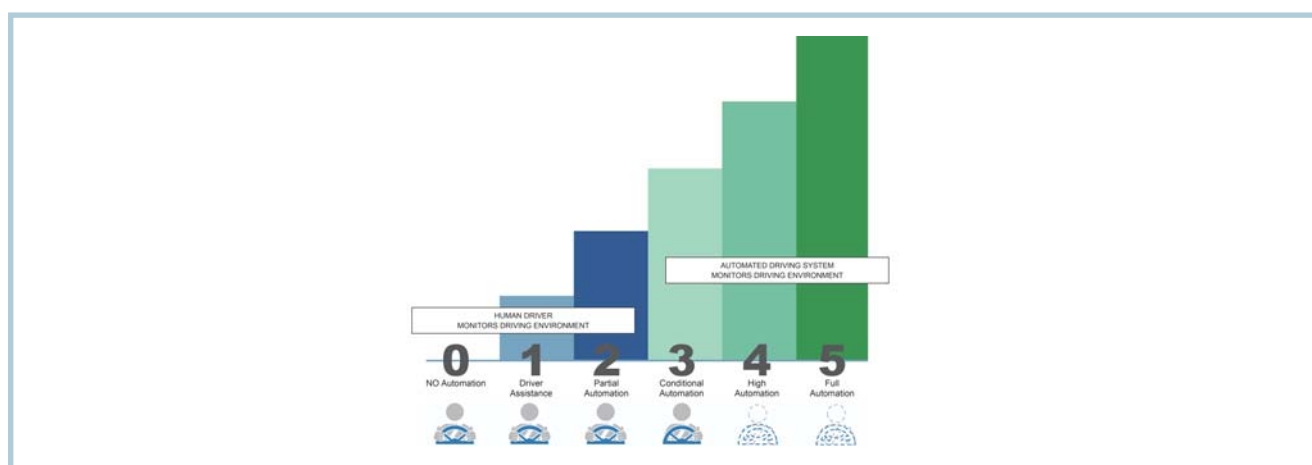


圖 1. SAE J3016 自動駕駛車輛分級

(資料來源：SAE)

自動駕駛等級 Level3~Level 5 係由系統提供大部分之車輛控制行為，從特定條件下之自動駕駛任務到完全自動駕駛行為；自駕車搭載感知融合、決策與控制等複雜系統（圖 2），未來亦須整合人機介面、精密圖資、GPS 以及車聯網 (Wifi/DSRC/5G) 等方能實現完全自動駕駛功能。目前國際間尚未有測試自駕車之共通標準或及法規，惟在歐、美、日及中國大陸對於自駕車上路有提出針對安全議題之要求。

美國運輸部發佈第 3 版自動駕駛指導政策《準備迎接未來交通：自動駕駛車輛 3.0》(Preparing for the Future of Transportation: Automated Vehicles 3.0 [AV 3.0])，美國對自駕車上路測試採較開放態度。歐洲許多由車廠、系統供應商、設備商及研究單位等所組成之組織也有進行自駕車相

關測試標準研擬計畫（如 Adaptive、PEGASUS research project 等），其主要的目的係開發測試自動駕駛功能程序，以便加速實現自動駕駛，而這些計畫有些已結案，有些還在進行中，目前也產出了一些自駕車測試方法成果，奠定了未來測試自駕車標準之基礎。日本 2018 年擬定「自動駕駛制度整備大綱」，文中說明自動駕駛相關賠償制度，減輕廠商恐需負擔過大責任之隱憂，藉此提高廠商搶進自動駕駛產業之意願。而中國大陸繼北京市 2018 年規範《自動駕駛車輛道路測試能力評估內容與方法》及《自動駕駛車輛封閉測試場地技術要求》後，目前大陸自駕車上路要求皆引用《智能聯網汽車自動駕駛功能測試規程》作為測試自駕車上路之基本功能要求。



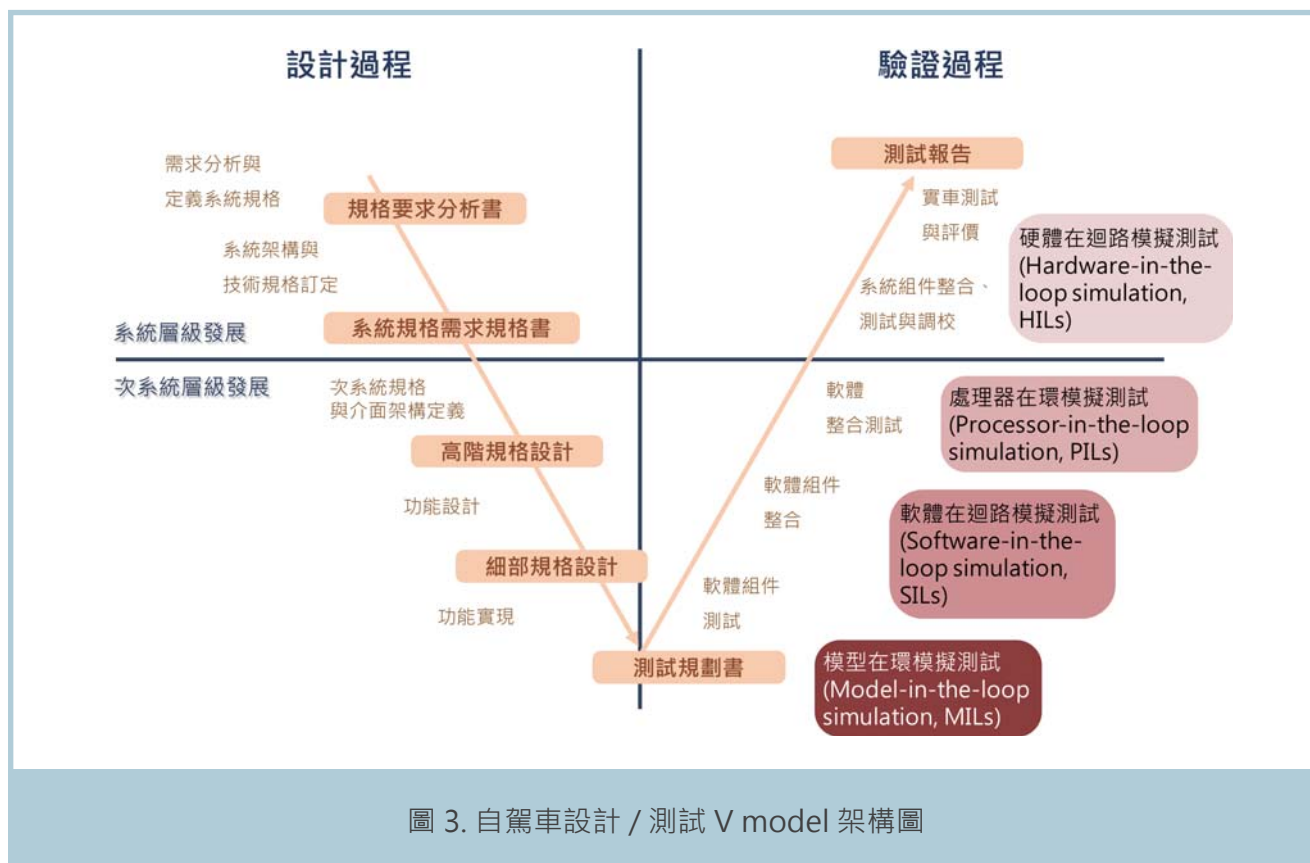
圖 2. 自動駕駛車輛系統模塊

(資料來源：Automated Driving Safer and More Efficient Future Driving)

在國外有關自駕車相關文獻中不難發現，目前在自駕車測試方法主要分成三大類，即模擬測試、封閉場域（試車場）測試及開放場域（實際道路）測試；模擬測試係利用電腦軟體，在模擬環境中建置自動駕駛車輛測試之場景及車輛/系統模型，將虛擬之自駕車在虛擬場景裡運行，可隨時且快速輸入或設計場景，測試自駕車之運行功能；封閉場域測試乃將真實車輛在特別設計之實體場景裡，依據設計之測試程序進行重複性測試，以確認自駕車在真實之特定場景中是否能夠達到預期功能要求，以確保真正上路後之安全性；開放場域測試顧名思義係將具自動駕駛功能車輛在公共道路上行駛，藉由在實際複雜之交通狀態下運行來訓練自動駕駛系統，累積運行里程並記錄相關訊息，讓未來自駕車能適應一般交通環境提升交通運行效率，而在進行此測試前，亦須完成模擬及封閉場域等功能及安全相關測試，以降低道路行駛安全之風險。

貳、模擬測試

由於自駕車所處環境較為複雜，有很多交通情境難以在實際測試場域中重現，故藉由模擬軟體建立虛擬之交通場景以及虛擬車輛模型，讓虛擬搭載自動駕駛系統車輛在虛擬交通場景裡重複進行測試，無須建置真實交通場景、車輛及系統，有效降低成本及縮短測試時間，也因此模擬測試提供可控制性、可預測性、可重複性、可擴展性及提高效率等優點，這些功能對複雜系統之測試極為重要，與其構建一個或多個功能齊全之測試車相比，模擬亦是測試初期相對便宜之選擇，模擬環境之建置和部署速度也更快，並且可以測試更多不同交通條件，藉由模擬測試可快速確認自駕車之功能安全及系統強健性。



自駕車系統開發過程須依循 V model 程序 (圖 3) 進行各階段測試驗證。圖中左側為設計開發階段，因尚無任何硬體雛型產出，故此階段主要執行 MIL (Model in the Loop，模型在迴路測試)，以確認設計階段功能；圖中右側為測試驗證階段，此階段主要進行 HIL (Hardware in the Loop，硬體在迴路測試) 及實車測試，以確認雛型/產品功能，依此架構在系統測試階段找出可修復之問題點，對於自駕車開發亦即重要。Waymo 為目前自駕車實際上路測試里程數最高之自駕車開發商，其截至 2018 年 7 月已在公開道路累積 800 萬英哩測試里程，且在電腦模擬環境中也累積 50 億英哩之模擬駕駛里程數，並將自駕車在實際道路上遇到最具挑戰性之狀況轉化為虛擬場景，讓自動駕駛軟體能在模擬環境中學習，可見模擬測試在自駕車開發過程中扮演舉足輕重角色。

有鑑於此，車輛中心在發展 ADAS 及 ADS 同時，也建置駕駛模擬實驗室 (圖 4)，藉由 MATLAB/Simulink 強健開發工具，可制訂模塊對於各種時變系統，如控制、通訊、信號處理、影像處理和圖像處理系統等進行模擬、測試，也可以進行基於模型之設計；運用 PreScan 軟體建置虛擬場景 (包含可依需求建立交通環境、設置車輛、行人和障礙物、模擬光影氣候之變化及模擬交通流等) 以及感知器模型 (包含攝影機、雷達、光達、GPS 等)，提供自駕車各式各樣之交通情境模擬 (圖 5)；再由 CarSim/BikeSim 建立多自由度車輛模型，產生與實車相似之車輛動態特性，於虛擬情境中行駛，並可自訂測試車與其他車輛相對關係，在此環境中可以執行多種環境條件排列組合，各項測試可重現協助偵錯改良，以及將所有測試條件與參數皆記錄下來，有助於釐清測試過程中所發生之問題點。



圖 4. ARTC 駕駛模擬實驗室



圖 5. PreScan 情境模擬
(資料來源：PreScan)

目前車輛中心在進行模擬測試上主要分成三大區塊，即 MiL、HiL 與 Vehicle in the Loop (ViL)；MiL 測試主要目的在可提高演算法功能上之確定性，利用虛擬車輛 / 系統模型在虛擬場景中運行，可快速測試演算法邏輯，並簡化過於複雜測試流程；HiL 測試主要用來驗證單純在模擬環境下結合控制器 ECU 後兩者輸出結果是否一致，利用虛擬的車輛 / 系統模型結合實體的 ECU 並在模擬驗證環境中導入失效驗證情境，能實際測試車用控制器在不同失效階段下，以了解控制器存在危險性及風險情況，控制器是否實施緊急保護措施；ViL 測試則為了提高實車測試驗證安全性，利用實體車輛 / 系統在虛擬場景中運行，將實車運動資訊回傳至虛擬環境中之驗證車輛，確保虛擬驗證車輛可與實際車輛之運動姿態相同，並透過虛擬感測模組偵測虛擬場景中之驗證車輛與對手車輛或相關物件之互動關係，再將此互動資訊傳輸至系統 ECU，ECU 依感測資訊下達控制命令來控制實際車輛之轉向、煞車或油門等底盤模組，因此利用 PreScan 模擬環境條件提供真實車輛進行自駕系統演算法開發驗證，最後再進行實車道路情境測試確保系統功能之完整性、可控性、系統穩定性及強健性。

參、封閉場域測試

有別於模擬測試，封閉場域測試是把虛擬場景搬到現實世界，在一個真實場域（試車場），建構實體逼真之建築物、目標障礙物、道路線、標誌與號誌等，依據不同測試需求專為自駕車設計特定測試情境，讓搭載自動駕駛系統之車輛在各樣真實且逼真的測試場景中進行測試，在可控制條件的場地內不斷的重複測試，測試自動駕駛車輛物理反應特性、功能及極限性能等，作為實際上路前不可或缺之測試項目。目前美國 Mcity、日本 J-town、韓國 K-city、瑞典 AstaZero、法國 UTAC CERAM 等試車場皆建置測試自駕車之場景，類別包含模擬市區街道情境、郊區道路行駛情境、高速/快速道路行駛情境、不同環境模擬測試道及大面積之測試區（多用途，依使用者自行設定/規劃）等，因應大部分實際道路行駛可能發生之情境，利用這些設施重現。

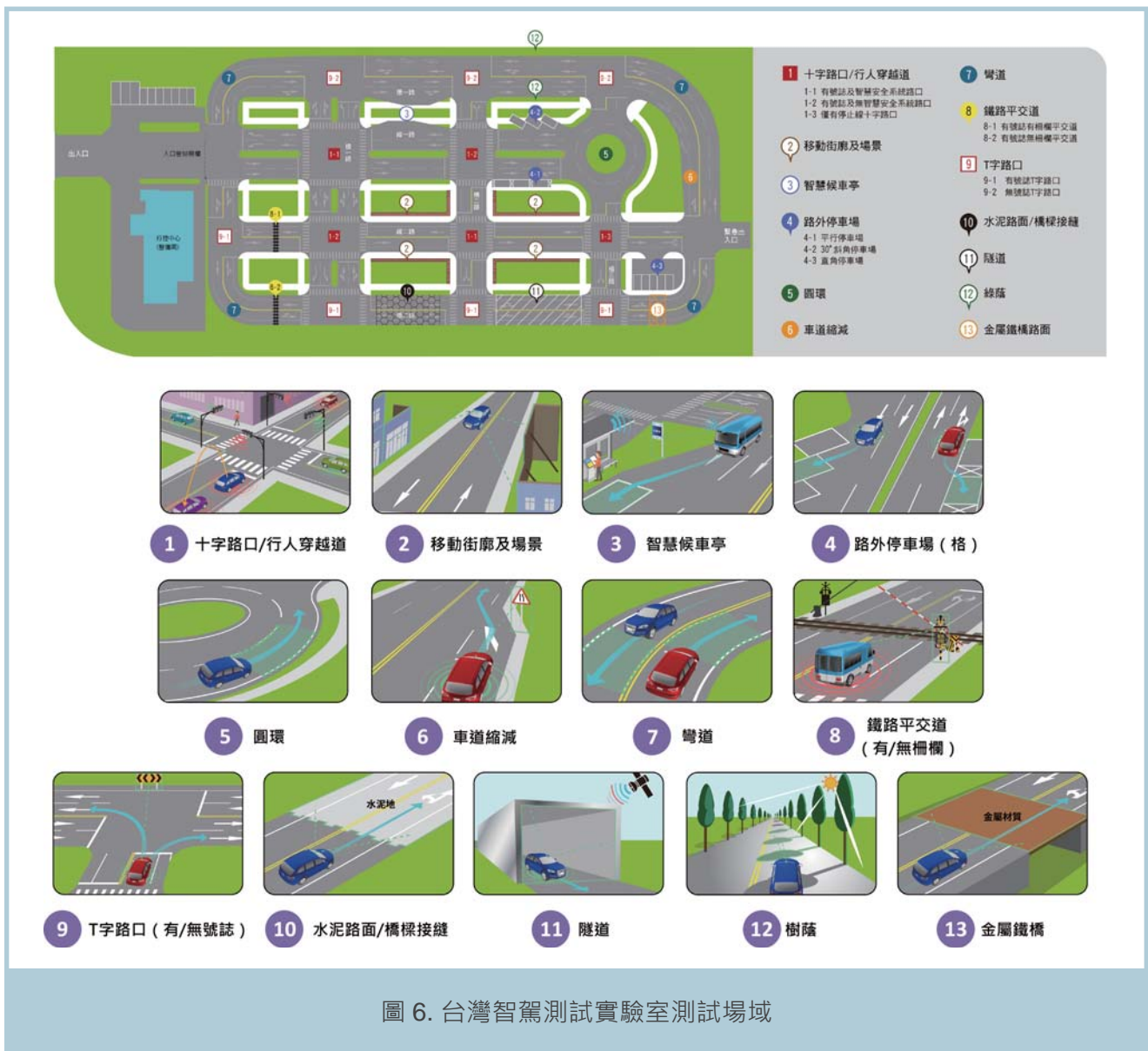


圖 6. 台灣智駕測試實驗室測試場域

車輛中心從 ADAS 系統研發到近年致力自駕車研發，也建置相關測試設備，包含符合 Euro NCAP 之氣球車及假人（成人 / 兒童）執行 Euro NCAP 的 AEB 測試，以及因應系統開發需求中所設計之行人與車輛場景，高精度 GPS 用來定位自駕車之行駛軌跡，此外，台南沙崙之台灣智駕測試實驗室場域包含 13 種測試場景（圖 6），這些自駕測試環境分別為十字路口、行人穿越道、移動場景、智慧候車亭、路外停車場（格）、車道縮減、彎道、鐵路平交道（有 / 無柵欄）、T 字路口（有 / 無號誌）、水泥牆面 / 橋梁接縫、隧道、樹蔭、金屬鐵橋、圓環等，都是以國內最常見之交通路網為建設基礎，同時場域內也配置有 2018 年歐盟發布之 NCAP（歐盟新車評鑑系統）的 AEB 系統測試設備，有具備騎腳踏車之行人及可移動之軟式目標車等目標物，未來將會再新增更多不同規格之測試設施。

前進臺灣智駕測試實驗室 車輛中心 ARTC 自駕車帶您開箱



肆、開放場域測試

綜觀自駕車之優點，包含降低駕駛操作失誤，並提高車輛行駛安全性，提高車輛 / 道路之使用效率等，自駕車最終目標是要能真正上路，若把自駕車當作是一名駕駛者，感知系統如同駕駛者的眼睛，能夠看清周圍景物及位置；決策系統如同駕駛者的大腦，會進行思考、估測及判斷；車輛控制系統如同駕駛者的手、腳。在大腦決定怎麼動作後，手、腳立刻做出反應，當一名合格駕駛要能把車開上路就需先取得駕駛執照，而模擬及特定場景（封閉場域）之實車測試就如同自駕車

「考照」訓練，接著就是要實際道路駕駛訓練，；自駕車也相同道理，在實際多樣 / 複雜之交通情境下，訓練自駕車在不同天候狀況下能準確地辨識交通號誌與標誌，以及其他車輛、自行車，還有行人等也都必須能夠判別，且能夠偵測朝著自車接近中之物體及其距離和速度，藉由決策系統判定後來控制車輛行為，以應付各種可能發生之狀況。實際道路測試除了累計車輛行駛里程記錄相關訊息，訓練自駕車更聰明外（感知能力 / 決策控制），也是展現自動駕駛系統能力成熟度之證據。

Waymo 為目前國際上自駕車能力成熟度最高之廠商，也是在實際道路測試累積最多里程車輛，美國加州車輛管理局 (DMV) 也於 2019 年 2 月公布 2018 年自動駕駛脫離報告 (Disengagement Report)，依據當地相關法律規定，這些取得許可在加州測試自動駕駛車輛之公司，必須每年公開駕駛者介入控制自駕車之次數，其在 2017 年 12 月至 2018 年 11 月的報告中指出，Waymo 在公共道路上之測試里程數最多，大約達到 120 萬英里，其脫離率 (rate of disengagement，指的是駕駛員需要介入接管自動駕駛車輛的情況，單位為：次 /1000 英里) 則是從 2017 年每千英哩的 0.179 提高到 2018 年的 0.09，這表示自駕車在辨識和處理各種駕駛任務上已變得越來越好。

伍、結論

因應自駕車產業發展，車輛中心積極投入自駕車開發，且近年亦有不錯成果，從自動駕駛模擬測試到實車測試的逐步推進，車輛中心之駕駛模擬實驗室預計 2019 年可完成沙崙自駕車測試場域以及車輛中心測試場域 (包含實驗室區道路與 12 條實車測試道) 之模擬環境建置，並進行車輛中心自駕車模型之虛擬環境測試；此外，模擬實驗室也會建置影像感測系統 HIL 測試能量，目前也已提供國內業者驗證服務。而科技部今年 2 月於台南沙崙開幕之台灣智駕測試實驗室場域，也提供 13 種道路交通情境，涵蓋台灣大部分交通情景，惟因場地較小，目前僅可執行較低車速下之運行，而未來車輛中心也因應自駕車高速測試需求，在彰濱之試車場測試場域將進行擴建規劃，有助提供國內自駕車測試更完善之測試驗證服務。

參考文獻：

- [1]SAE J3016 (2014, Jan). Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems.
- [2] 田政弘、董又銘 (2018)。ADAS 主動安全系統之模擬驗證技術。ARTC 車輛研測專刊，創新研發，43-49。
- [3] Daniel Watzenig、Martin Horn(2017)。Automated Driving Safer and More Efficient Future Driving
- [4] 張俊毅 (2018)。國際自動駕駛測試場域介紹。ARTC 車輛研測專刊，驗證技術，80-87。