

出國報告（出國類別：考察）

參加2023年第4屆亞洲鐵道研討會  
（Asian Railway Conference, ARC）

服務機關：國家運輸安全調查委員會

姓名職稱：李坤享/鐵道調查組調查官

顏怡庭/運輸工程組助理研究員

派赴國家/地區：韓國/濟州島

出國期間：民國 112 年 10 月 31 日至 11 月 4 日

報告日期：民國 112 年 12 月 25 日

公務出國報告提要 系統識別號

出國報告名稱：「參加2023年第4屆亞洲鐵道研討會（Asian Railway Conference, ARC）」出國報告

頁數：58 頁 含附件：否

出國計畫主辦機關：國家運輸安全調查委員會

聯絡人：郭芷桢

電話：(02) 7727-6228

出國人員姓名：李坤享、顏怡庭

服務機關：國家運輸安全調查委員會

單位：鐵路調查組、運輸工程組

職稱：調查官、助理研究員

電話：(02) 8912-7388

出國類別：1考察2進修3研究4實習5視察6訪問7開會8談判9其他

出國期間：民國112年10月31日至11月4日

出國地區：韓國/濟州島

報告日期：民國112年12月25日

分類號/目

關鍵詞：Asian Railway Conference、ARC、AI、亞洲鐵道研討會、人工智慧、鐵道安全、數位化、數位維修、鐵道事故管理

內容摘要：

亞洲鐵道研討會（Asian Railway Conference, ARC）創始於2016年，每2年擇亞洲一城市舉辦，本次第4屆研討會於112年11月1日至11月3日假南韓濟州島舉行，參加對象為各國鐵道營運業者、政府機關、相關技術開發機關及鐵道製造商等，本次研討會是以「人工智慧」為主軸，促使鐵道系統朝向更為安全、更為智能發展，研討會提供有專題演講、技術交流等活動，本會為瞭解亞洲國際鐵道技術發展現況及未來趨勢，故指派人員參加本次研討會，拓展人工智慧應用於鐵道發展之視野。

本次就鐵道主題演說、專題演說、海報演說、技術展示等各主題下所參與之會議及技術展示進行說明，並提出人工智慧的重要性、數位維修的發展，及增加國際能見度之心得與建議。

# 目錄

壹、目的 .....	4
貳、行程 .....	5
參、參訪內容與心得.....	6
一、主題演說（Keynote Talk） .....	8
二、專題演說（Specific Session） .....	27
三、海報演說（Poster Session）及現場技術展示.....	50
肆、建議 .....	57

# 壹、目的

亞洲鐵道研討會（ARC）創始於2016年，每2年擇亞洲一城市舉辦，本次第4屆研討會於112年11月1日至11月3日假南韓濟州島舉行，參加對象為各國鐵道營運業者、政府機關、相關技術開發機關及鐵道製造商等，本次研討會是以「人工智慧」為主軸，促使鐵道系統朝向更為安全、更為智能發展，研討會提供有專題演講及技術交流等活動。

今年 ARC 共有鐵道主題演說、專題演說、海報演說、現場技術展示等數個主題，分別邀請相關的專家、學校單位、相關技術開發機關進行分享。本會為瞭解亞洲國際鐵道技術發展現況及未來趨勢，故指派人員參加本次研討會，拓展人工智慧應用於鐵道發展之視野。

## 貳、行程

本次2023年第4屆亞洲鐵道研討會（Asian Railway Conference, ARC）於韓國濟州島國際會議中心（International Convention Center Jeju, ICC Jeju）舉辦，時間為112年11月1日至11月3日，共計3日，行程規劃如表 1。

表1 行程

日期	起迄地點	規劃說明
10月31日	臺北 - 濟州島	啟程
11月1日至11月3日	濟州島	參加 Asian Railway Conference
11月4日	濟州島 - 臺北	返程

## 參、參訪內容與心得

本次2023年第4屆 Asian Railway Conference 場地在韓國濟州島國際會議中心（ICC Jeju）舉辦，位於濟州島南端海岸邊旁，會場位於韓國濟州島國際會議中心1樓及2樓，分別就本次研討會鐵道主題演說、專題演說、海報演說、現場技術展示等各主題安排會議室及展示場所。Asian Railway Conference 包含主題甚多，計有鐵道主題演說、專題演說、海報演說、現場技術展示等主題，謹就參與之會議及現場技術展示進行說明。



圖1 Asian Railway Conference 現場



圖2 主題演說現場



圖3 專題演說現場

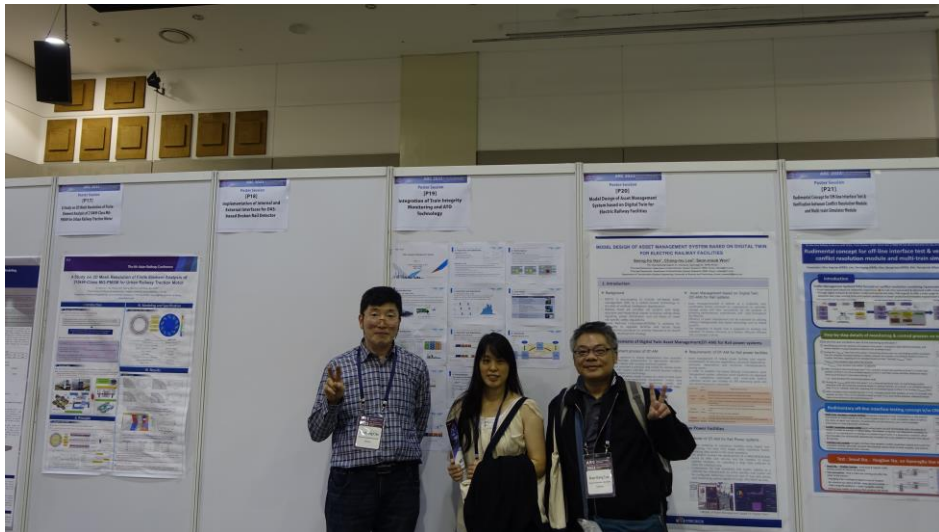


圖4 海報演說現場

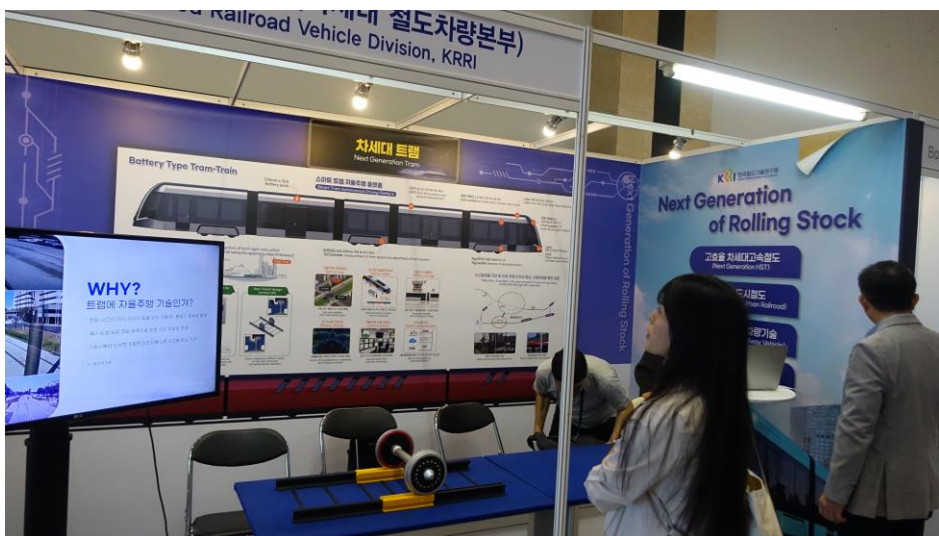


圖5 現場技術展示現場



## 一、主題演說 (Keynote Talk)

主題演說為大型之技術成果分享，由所有與會人員於1樓會場之大型會議室共同參與，共計8場次主題演說，由來自美國、瑞士、英國、韓國、大陸及印尼之專家學者進行演說，分述如下：

### (一)行走、滾動、奔跑、跳躍、爬行及超越：RoMeLa 開發之神奇機械人移動機制

本場主題演說介紹由加州大學洛杉磯分校之機械人技術與機械實驗室 (Robotics and Mechanism Laboratory, RoMeLa) 所發展之機械人技術與成果，包含可以專門應用於行走、滾動、奔跑、跳躍、爬行及超越等功能之機械人成果，現場播放於 RoMeLa 研發機械人之測試成果影片，這些機械人包含無人機、自動化鐵道平台、四足動物及類人生物等型式之相關特性可運用於鐵道運輸之相關調查、軌道檢查、列車檢查、修復及維修作業。

無人機、自動化鐵道平台型式機械人裝配自我移動功能平台及各種智能感應器模組，達到快速及正確之軌道缺陷偵測，可協助軌道維修人員於夜間完成相關軌道檢查作業，如圖 6。

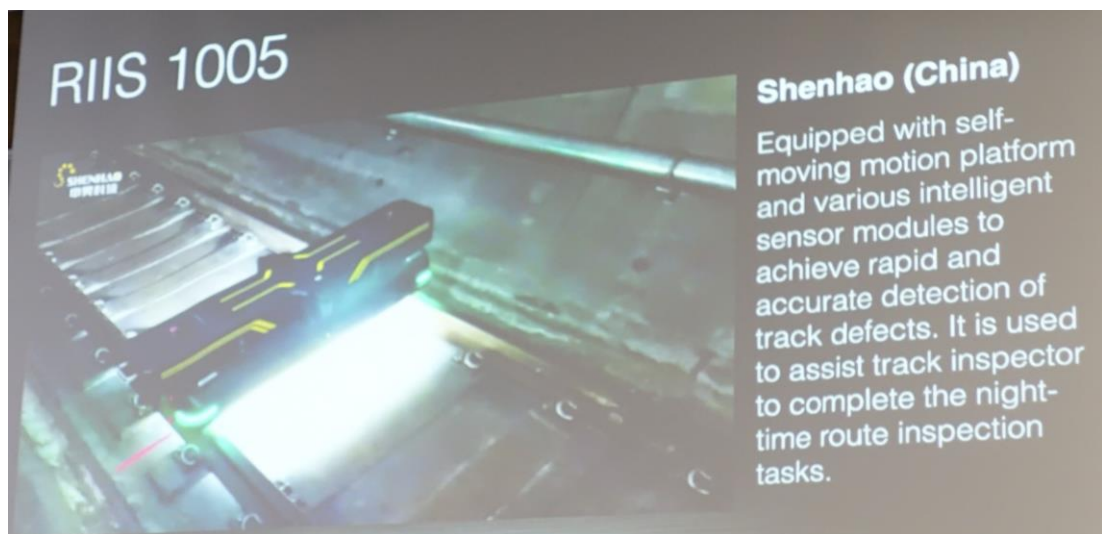


圖6 無人機、自動化鐵道平台型式機械人 (RIIS 1005)  
(資料來源: 2023/11/1 Asian Railway Conference 會場簡報)



四足動物型式機械人具備探索及移動之能力，以實現更安全及更有效率之列車檢查作業，如圖 7。

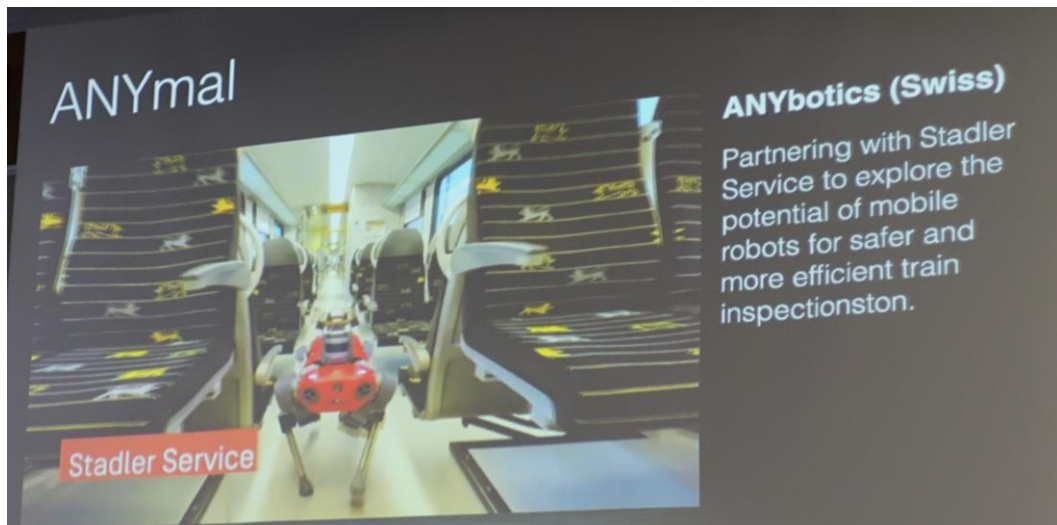


圖7 四足動物型式機械人（ANYmal）

(資料來源: 2023/11/1 Asian Railway Conference 會場簡報)

類人生物型式機械人具備舉昇大型物件至 10 公尺高之能力，可協助維修人員搬運電桿及門型架等物件至電車線高處並修復架空電車線系統，以避免維修人員於電車線維修作業時發生墜落或感電等之風險，如圖 8。



圖8 類人生物型式機械人（Humanoid Crane）

(資料來源: 2023/11/1 Asian Railway Conference 會場簡報)

## (二)從自動化到自主化之列車控制及智慧鐵道

本場主題演說介紹智能及綠能城市（Smart and Green City）之智能交通運

輸，智能城市之組成包含智能製造、智能政府、無線傳輸/Wi-Fi、智能/數位公民、公開資料、智能健康、智能農業、智能建築、智能電力及智能運輸等。

有關目前自動列車管理功能包含自動列車操作（ATO）、自動列車防護（ATP）、自動列車控制（ATC）及自動列車監督（ATS）；其功能，如表 2。

表2 目前自動列車管理功能一覽表

系統	中文	縮寫	功能
Automatic Train Operation	自動列車運轉	ATO	當有需求時，自動操作列車及停車
Automatic Train Protection	自動列車防護	ATP	當有需求時，自動操作韌機確保列車安全
Automatic Train Control	自動列車控制	ATC	ATP 及 ATO 均到位，確保對列車完全控制
Automatic Train Supervision	自動列車監督	ATS	管理及調節所有進路上運轉之列車

有關鐵道系統列車自動化等級（Grade of Automation）包含 GoA 0、GoA 1、GoA 2、GoA 3 及 GoA 4；其功能，如表 3。

表3 鐵道系統列車自動化等級功能一覽表

自動化等級	說明
GoA 0	列車運轉全由司機員監控，無自動化
GoA 1	列車運轉由司機員監控，由 ATP 系統輔助
GoA 2	半自動列車控制，由司機員操作列車，列車運轉及防護由 ATO 及 ATP 系統自動管理。
GoA 3	無人駕駛列車運轉，搭配隨車員處理可能之緊急情況
GoA 4	無人駕駛列車運轉，無須司機員及隨車員

智慧列車防護（Intelligent Train Protection, ITP）運用人工智慧（AI）來取代或協助自動列車防護（ATP）；智慧列車運轉（Intelligent Train Operation, ITO）增加智能以學習及適應傳統自動列車運轉（ATO），並達到能源、運量及舒適度之最佳化，有關鐵道系統智慧列車控制等級（Grade of Intelligent Train Control）包含

GoI 1、GoI 2、GoI 3 及 GoI 4；其功能，如表 4。

表4 智慧列車控制等級功能一覽表

智慧列車控制等級功能	說明
GoI 1	此等級包含實施所有 ATC 功能，惟不使用 AI 或僅有限功能被使用（例如最佳化自動列車監督）。於開放環境中通常可能為無智能功能或有限智能功能
GoI 2	此等級於開放環境支援部分智能功能，透過僅包含 ITO 作為具有能量、容量及/或舒適度優化功能之適應性 ATO，或僅包含用於駕駛輔助之 ITP 及/或在 ATP 不可用或有限監督情況下作為低速備援系統
GoI 3	此等級同時包含 ITO 及 ITP，在開放環境允許全面智能功能，雖然無先進學習及適應能力。例如在 GoI 3 等級，ITP 之人工智慧視覺演算法只需訓練1次，換言之，偵測軌道障礙物且不需更新
GoI 4	此等級同時包含 ITO 及 ITP，在開放環境允許全面智能功能，並有先進學習及適應能力。例如無監督學習及強化學習。該系統通常是完全連接、動態更新，並透過使用外部人工智慧模組進行大數據分析（例如透過數位孿生啟用之模組）來獲得更高水準之霧/雲端智慧之支援。

對於自主化之列車控制及智慧鐵道，提出致力於通用資料集生成及共享，以訓練及/或基準測試新穎之資料驅動技術，及資料增強、自動標記及新範例原則，如深度遷移學習以支援領域適應。開發混合實境模擬器以提高人工智慧測試之有效性及效率。可信人工智慧之研究（例如，透過機器學習冗餘和多樣性實現穩健性、管理道德和法律影響的透明度和可解釋性等）作為實現列車智能運轉之關鍵範例。

### (三)符合數位鐵路之標準、測試及保證

本場主題演說介紹英國鐵道安全及標準委員會（Rail Safety and Standards Board, RSSB）之職掌及對未來符合數位鐵路之標準、測試及保證之建議。RSSB

為英國獨立之鐵道系統安全、標準及研究之組織機構，RSSB 協助更安全、更有效率及更持續更新之鐵道發展。RSSB 提供新知識及解決方案，充分利用現有資產並開啟未來變革，達到安全及有效率之鐵道運輸。鐵道運輸發展部分新穎、部分更巨大及其他相較不同於過去之挑戰，包含合約式框架、經濟案例、經濟規模、人員與技術、與人類決策之互動、公平文化、降級運作、可靠度等級、誤報、認證、核准、與遺留解決方案之整合、過時管理及軟體修補更新等，對於持續增加之數位鐵道需求發展，如表 5。

表5 持續增加之數位鐵道需求發展一覽表

	AI 分析	新感測	分散式運算	通訊	機械人技術
即時資產 條件	V	V			
自動化維 修		V		V	V
主線移動 閉塞 ATO	V	V	V	V	
下世代行 車管理	V	V	V		
客製化服 務及資訊	V	V	V	V	V

對於鐵道系統測試及保證能力，其程序用以驗證系統及元件，確保安全整合及運轉之一部分須進行調整，如圖 9。

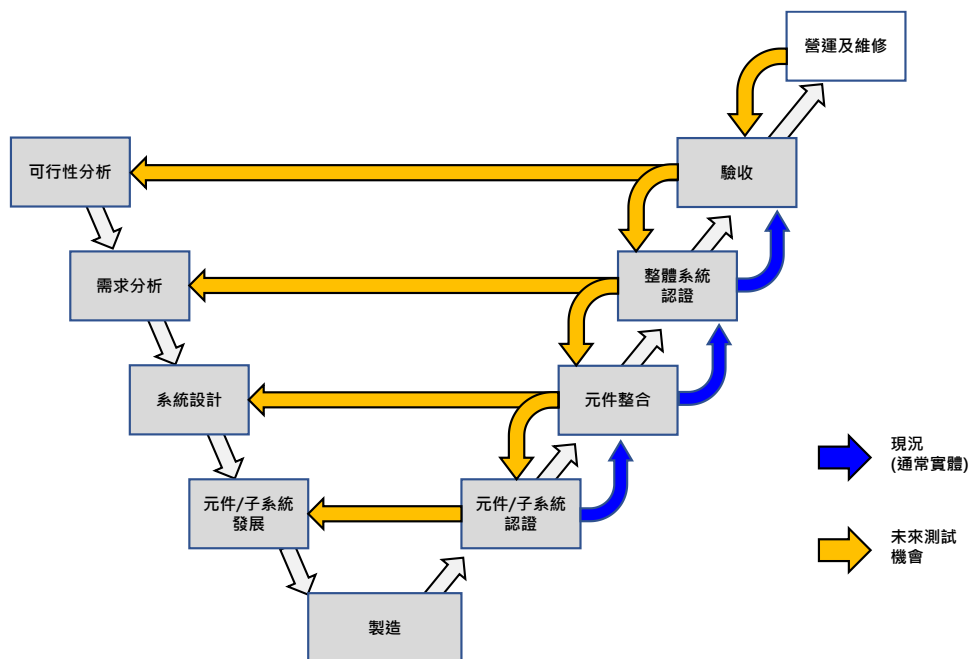


圖9 鐵道系統測試及保證能力未來調整概念圖

(資料來源: 2023/11/1 Asian Railway Conference 會場簡報)

透過數位鐵路之標準化，可以協助建立新鐵道相關規範、不同範疇之應用、風險評估、共通框架及能力建構。

#### (四)鐵道檢查及維修之深度學習應用

本場主題演說介紹有關應用人工智慧於鐵道檢查及維修之深度學習應用，於深度學習之應用包含物件偵測（車輛、軍事車輛、行人、失蹤人員、動物及船舶等）、地形感知（可穿越性及分類）、人類偵測（行為動作）、人類感知（姿勢體態）、多重追蹤（人員）、追蹤/重新識別（人員）、影像生成（對抗性）、GAN 影像（感光耦合元件→紅外線）、異常偵測（Micro-LED、列車車輪振動及缺陷/軌道扣件等），上述應用具有競爭力之特徵包含利用真實數據及合成數據可增加20%效能、多模態深度學習可增加融合成果及真實系統之認證可提高可靠度。

裝設各種型式鏡頭、GPS、3D 光達（3D Lidar）、感測器及工具之多功能無人作業車（Multiple Unmanned Vehicles）透過整合各種雲端服務，如推理雲端（Inference Cloud）及大數據/訓練雲端（Big Data/Training Cloud）可運用於鐵道機廠作業，並達到人工智慧於鐵道檢查及維修之應用，如圖 10。

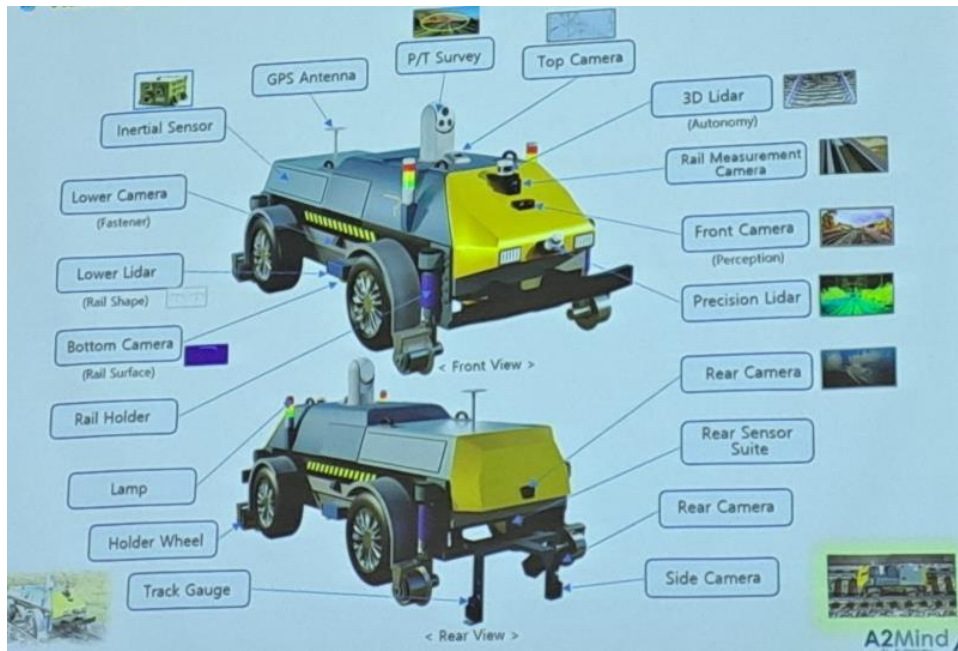


圖10 多功能無人作業車概念圖

(資料來源: 2023/11/1 Asian Railway Conference 會場簡報)

於鐵道檢查及維修之深度學習應用提出透過如高鐵列車（車輪振動）、軌道檢查機械人（缺陷/軌道扣件等）、軌道檢查及維修車輛、有人軌道量測車輛等工具作業，並將相關數據上傳至鐵道數據中心（Rail Data Center）。

深度學習技術透過多模態感測器融合，將換軌道檢查及量測成果；於未來，無人及自主平台（機械人）將主宰鐵道維修系統；針對未來之維修及安全，大數據中心（基礎建設）為新興之需求；我們需要更積極採用機械人技術來應對人口懸崖及效率；鐵道物流應透過引入無人及自主鐵道檢查及測量（多於 CBM 概念），並在未來運輸中發揮重要之作用。

#### (五)基於開放資源之自動駕駛平台技術及發展趨勢

本場主題演說介紹有關自動駕駛之等級、技術及發展趨勢等。自動駕駛系統（Autonomous Driving System）包含駕駛情境、操作領域設計、安全監視及環境（感測、計畫及控制），如圖 11。



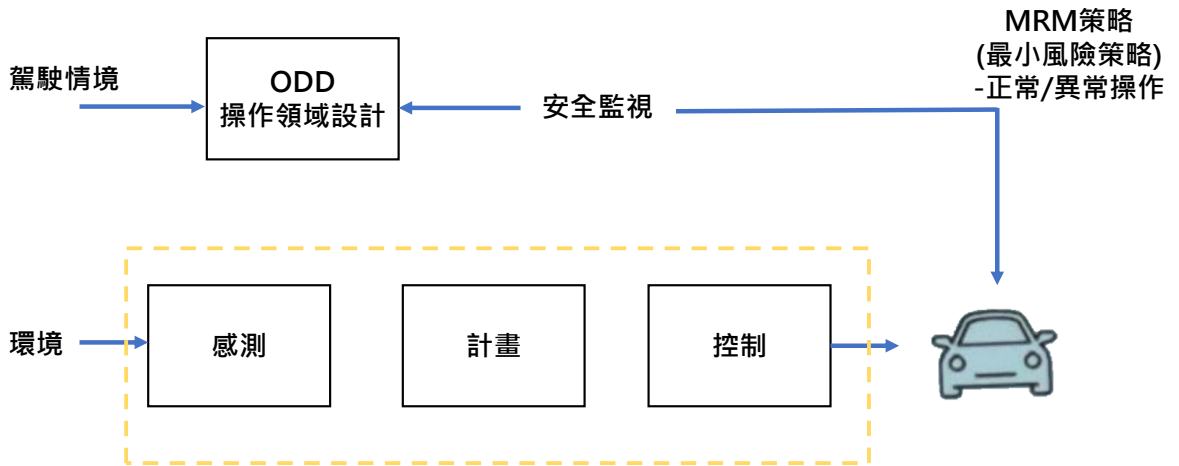


圖11 自動駕駛系統概念圖

(資料來源: 2023/11/1 Asian Railway Conference 會場簡報)

自動駕駛等級 (Level of Driving Automation) 分為 L0、L1、L2、L3、L4 及 L5 共計 6 等級，如表 6；自動駕駛系統之偵測系統、多重化及複雜性偵測功能，如圖 12。

表6 自動駕駛等級一覽表

等級	名稱	定義	周邊監控
L0	人工駕駛	由人類駕駛員全權駕駛車輛	人類駕駛員
L1	輔助駕駛	車輛對方向盤和加減速中的一項操作提供駕駛，人類駕駛員負責其餘的駕駛動作	人類駕駛員
L2	部分自動駕駛	車輛對方向盤和加減速中的多項操作提供駕駛，人類駕駛員負責其餘的駕駛動作	人類駕駛員
L3	條件自動駕駛	由車輛完成絕大部分駕駛操作，人類駕駛員需保持注意力集中以備不時之需	車輛
L4	高度自動駕駛	由車輛完成所有駕駛操作，人類駕駛員無需保持注意力集中，但限定道路和環境條件	車輛
L5	完全自動駕駛	由車輛完成所有駕駛操作，人類駕	車輛

等級	名稱	定義	周邊監控
		駛員無需保持注意力集中	



圖12 自動駕駛系統偵測系統、多重化及複雜性偵測功能示意圖

(資料來源: 2023/11/1 Asian Railway Conference 會場簡報)

透過建立基於雲端的服務環境，為所有連網行動裝置執行基於開源之整合識別及控制，提供最快、最具價格競爭力之解決方案。Opera 是 SpringCloud 提出之全端自動駕駛及解決方案，可實現 L3 級以上之自動駕駛系統，由外部環境識別系統、車輛判別及控制系統組成。Opera 結構靈活，可用於任何自動駕駛移動性，目前正在使用各種移動車輛在各個領域進行驗證解決方案。

硬體部分，移除雪花、雨滴等雜訊後，以光達點雲對車體附近物體（例如車輛、人、機車等）進行分類識別；Opera Positioning 基於攝影機影像中之 AI 來識別車道、交通號誌及路線中之物體（例如車輛、人、摩托車及障礙物等）。

自動駕駛系統必須確保所有參與者的安全，並且能夠在真實道路上運作。自動駕駛車輛之實際道路測試無法對操作環境及其他緊急情況進行完整之驗證。OperaSIM 提供了虛擬化驗證平台，可針對真實路測中無法驗證的各種場景，在虛擬模擬環境中進行重複測試。OperaSIM 使開發人員能夠測試系統是否按預期在複雜之城市駕駛條件下運作，並透過在虛擬環境中更改參數來確保行車安全。

#### (六)大陸智能高鐵之研究及發展

本場主題演說介紹有關數位技術之發展、智能高鐵之系統架構（Intelligent Speed Railway, IHSR）及北京-張家口智能高鐵之應用情形。

經濟之發展由 10,000 年前至 1860 年之農業經濟，1860 年至 21 世紀初期之工

業經濟，到 21 世紀初期迄今之數位經濟時代，包含數位科技、大數據/人工智慧及個人化平台生態，其中「數據」為產品之新要件，數位科技成為數位經濟最重要之元素。全世界鐵道數位科技計畫包含，美國高速鐵路計畫、德國鐵道 4.0 計畫、英國數位鐵道計畫、法國數位 SNCF 鐵道計畫、瑞士智慧鐵道 4.0 計畫、蘇聯 2023 年鐵道計畫、大陸智能高鐵計畫及澳洲 2040 年計畫等。

目前高速鐵路所面臨之挑戰包含更簡易及快速之施工工法、更安全及堅固之設備、更舒適、更綠能及能源效益及更有成本效益之運轉；智能高鐵係完全運用關於基礎建設、設備與外部環境及新數位科技之廣泛應用實現完整感知、無所不在之互聯、融合處理、主動式學習及科學決策所有數據之新世代高速鐵路系統。智能高鐵主要項目包含大數據平台、智能建築、智能設備及智能運轉（1 平台及 3 要件）；智能高鐵系統架構包含技術、數據及標準系統框架，如圖 13；技術系統框架組成，如圖 14、標準系統框架組成，如圖 15、數據系統框架組成，如圖 16，及智能高鐵之數據平台架構，如圖 17。

智能高鐵系統架構(Intelligent HSR System Architecture, IHSR-SA)

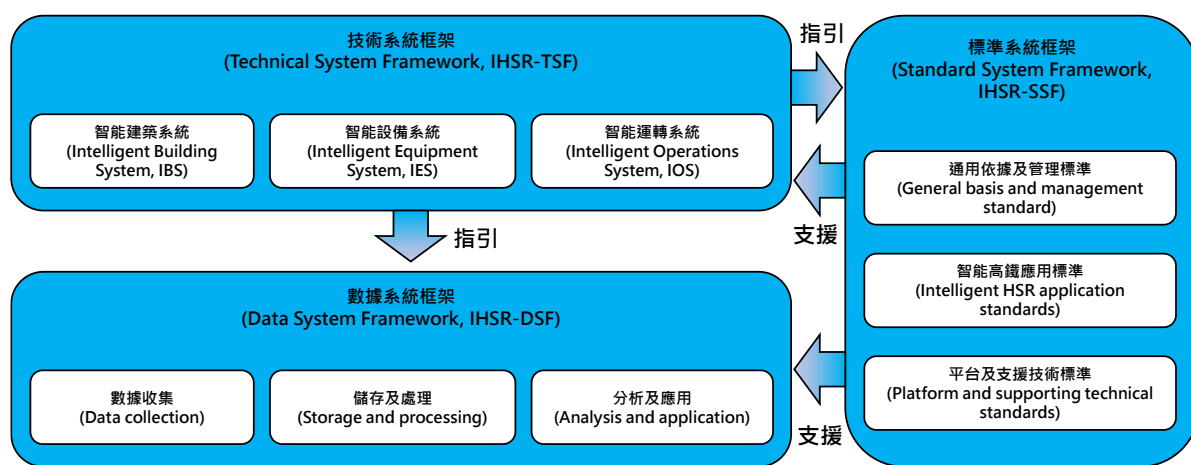


圖13 智能高鐵系統架構示意圖

(資料來源: 2023/11/2 Asian Railway Conference 會場簡報)

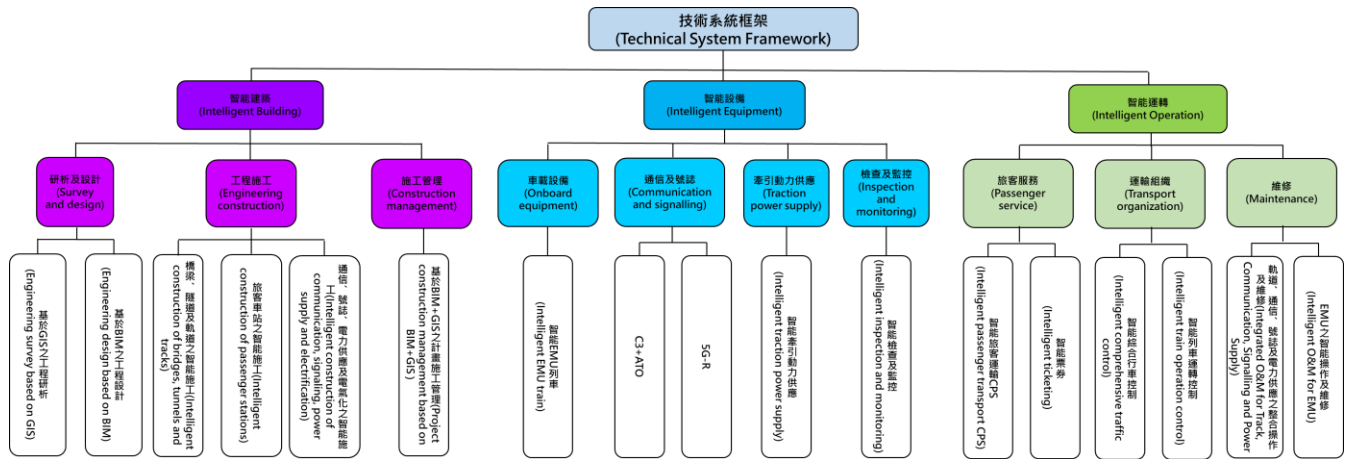


圖14 技術系統框架組成示意圖

(資料來源: 2023/11/2 Asian Railway Conference 會場簡報)

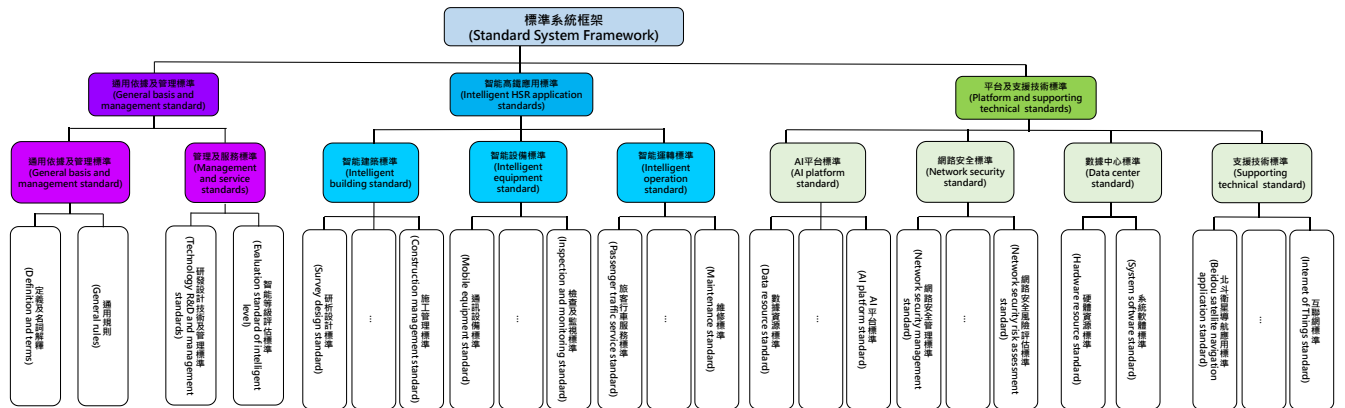


圖15 標準系統框架組成示意圖

(資料來源: 2023/11/2 Asian Railway Conference 會場簡報)

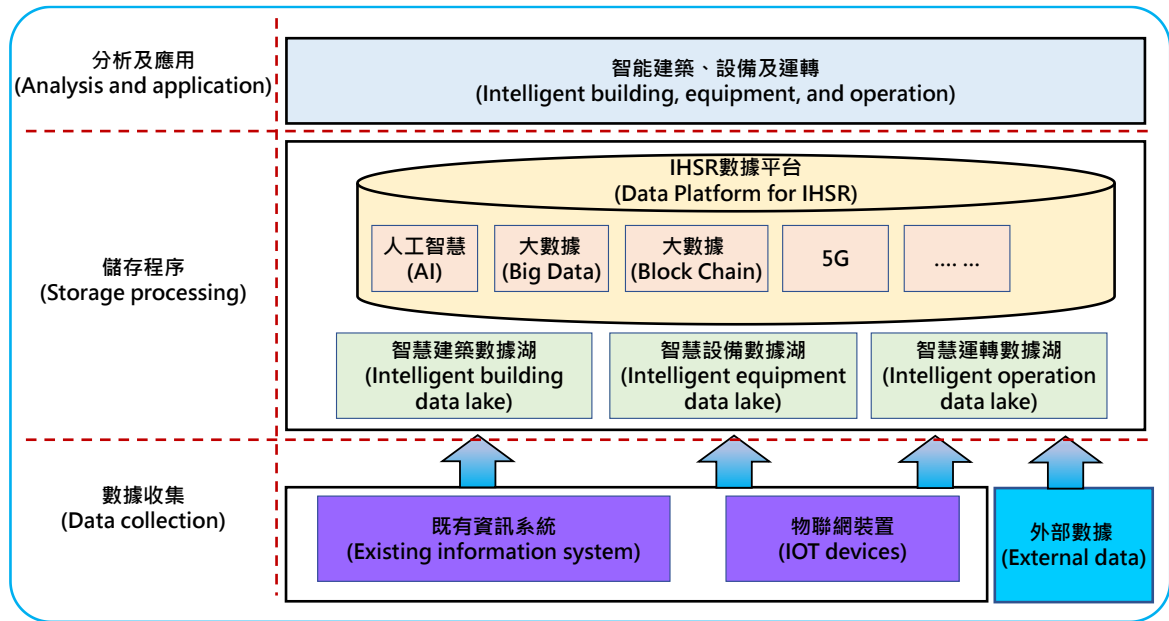


圖16 數據系統框架組成示意圖

(資料來源: 2023/11/2 Asian Railway Conference 會場簡報)

基於雲端邊緣協同之數據平台(Cloud-edge Collaboration Based Data Platform)

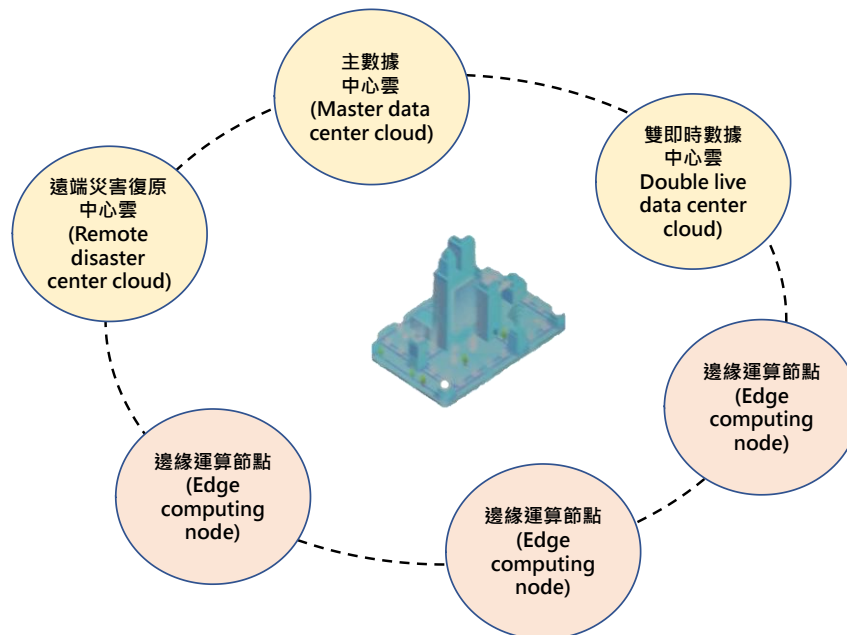


圖17 智能高鐵之數據平台架構示意圖

(資料來源: 2023/11/2 Asian Railway Conference 會場簡報)

北京-張家口高速鐵路（京張高鐵）為 2022 北京冬季奧運重要之交通運輸系統，從北京至張家口，全長約 174 公里。京張高鐵之智能建築 5 大創新包含下列：

- (1) 參數化協同設計 (Parameterized Collaborative Design)
- (2) BIM+GIS 工程管理平台 (BIM+GIS Engineering Management Platform)
- (3) 路基、橋梁及隧道之智能施工 (Intelligent Construction of Subgrade, Bridge and Tunnel)
- (4) 通信、號誌、電氣化及電源供應之智能施工 (Intelligent Construction of Communication, Signalling, Electricity and Power Supply Systems)
- (5) 車站之智能施工 (Intelligent Construction of Stations)



圖18 基於 BIM 之智能維修示意圖

(資料來源: 2023/11/2 Asian Railway Conference 會場簡報)

京張高鐵之智能設備創新包含智能 EMU 列車、運轉速度 350Km/h 之自動列車操作系統 (Automatic Train Operation, ATO)，如圖 19。



圖19 智能設備創新示意圖

(資料來源: 2023/11/2 Asian Railway Conference 會場簡報)



京張高鐵之智能運轉創新包含智能票務系統（Intelligent ticketing reservation system）、整合行車控制系統（Integrated dispatching system）、智能車站（Intelligent station）及智能營運維修系統（Intelligent operation and maintenance system）。



圖20 智能運轉創新示意圖

（資料來源: 2023/11/2 Asian Railway Conference 會場簡報）

對於未來智能高鐵有關智能建築、智能設備及智能運轉發展之目標如圖 21。

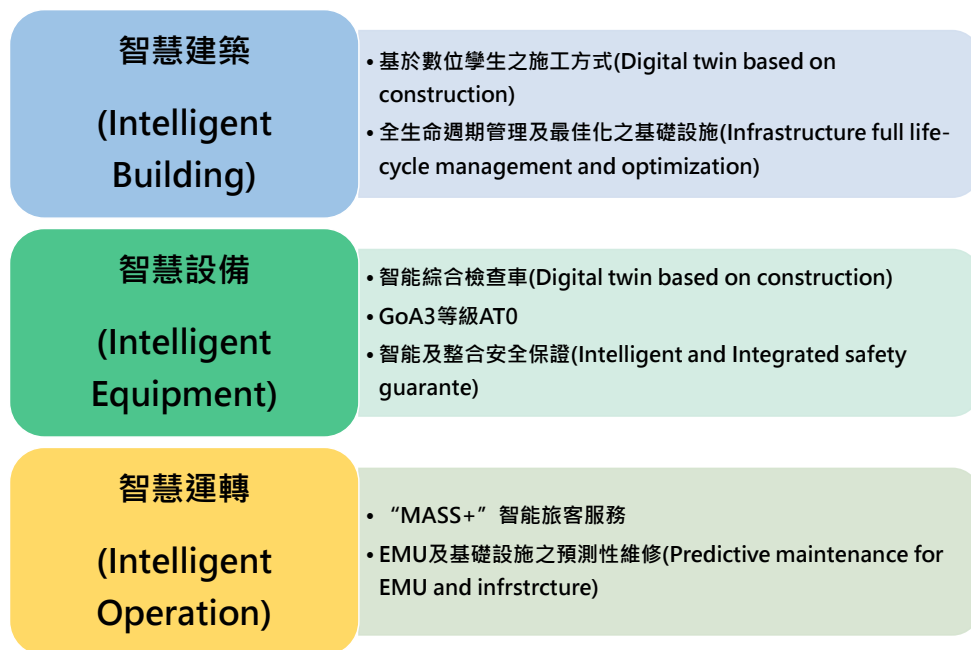


圖21 未來智能高鐵有關智能建築、智能設備及智能運轉發展之目標

（資料來源: 2023/11/2 Asian Railway Conference 會場簡報）

### (七) 印度尼西亞鐵道技術及系統：當前及未來增強安全性及可靠性之策略

本場主題演說介紹有關印度尼西亞當前鐵道技術及系統、安全性及可靠性策

略計劃。

印度尼西亞當前有關鐵道、捷運、輕軌及高鐵之鐵道技術及系統彙整，如表 7。

表7 印尼當前鐵道技術及系統一覽表

路線	營運速度 (Km/h)	路線長度 (Km)	乘車時間 (分鐘)	每列車運量 (人)	特性
雅加達-萬隆 高速鐵路 (High Speed Train Jakarta Bandung)	350	141.142	39.5	601	<ul style="list-style-type: none"> <li>● CTCS-3、RBC、GSM-R</li> <li>● 4 國際標準車站</li> <li>● EMU 車輛&amp; 27.5KV OCS</li> </ul>
大雅加達輕軌 (LRT Jabode- bek)	85	41.2	-	740~1308	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 移動閉塞號誌系 統 CBTC</li> <li>● 無人駕駛(GoA 3)</li> <li>● EMU 車輛&amp; 750 VDC</li> </ul>
望加錫-巴里 巴里鐵路 (KA Makas- sar – Parepare)	80	154.7	-	250	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 固定閉塞號誌系 統</li> <li>● 人工駕駛(GoA 0)</li> <li>● 柴聯車(Diesel Multiple Unit, DMU)</li> </ul>
日惹國際機場 鐵路線 (KA Bandara Yogyakarta, YIA)	85	-	45	240	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 固定閉塞號誌系 統</li> <li>● 人工駕駛(GoA 0)</li> <li>● 柴聯車(Diesel Multiple Unit, DMU)</li> </ul>
阿迪索馬爾莫 國際機場列車 (KA Bandara International Adi Soemarmo, BIAS)	80	43.665	60	240	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 固定閉塞號誌系 統</li> <li>● 人工駕駛(GoA 0)</li> <li>● 柴聯車(Diesel Multiple Unit, DMU)</li> </ul>
南蘇門答臘輕 軌 (巨港輕 軌) (LRT Sumatera Selatan)	85	22.3	-	434	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 平均速度：30 Km/h</li> <li>● 固定閉塞號誌系 統, ETCS Level 1</li> <li>● 人工駕駛(GoA 1), 車載號誌</li> <li>● 13 車站, 準點率 99%</li> </ul>

路線	營運速度 (Km/h)	路線長度 (Km)	乘車時間 (分鐘)	每列車運量 (人)	特性
					<ul style="list-style-type: none"> <li>● EMU 車輛 &amp; 第 3 軌供電 750 VDC</li> </ul>
雅加達輕軌 (LRT Jakarta)	90	5.8	-	270	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 平均速度：30 Km/h</li> <li>● 固定閉塞號誌系統, ATP(GoA 1)</li> <li>● 6 國際標準車站</li> <li>● EMU 車輛 &amp; 第 3 軌供電 750 VDC</li> </ul>
雅加達捷運 (MRT Jakarta)	100	16	30	1200~1800	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 平均速度：31.4Km/h</li> <li>● 移動閉塞號誌系統, CBTC</li> <li>● 半自動列車操作 (GoA 2)</li> <li>● 13 國際標準車站</li> <li>● 準點率&gt;99%</li> <li>● EMU 車輛 &amp; OCS 供電 1500 VDC</li> </ul>
蘇加諾-哈達 國際機場國際 機場列車 (KA Bandara Soekarno- Hatta)	-	37.68	52	272	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 固定閉塞號誌系統</li> <li>● 人工運轉號誌系統(GoA 0)</li> <li>● EMU 車輛 &amp; OCS 供電 1500 VDC</li> </ul>
日惹通勤線 (KRL Yogya - Solo)	85	58.6	-	135	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 平均速度：85Km/h</li> <li>● 固定閉塞號誌系統</li> <li>● 人工運轉號誌系統(GoA 0)</li> <li>● EMU 車輛 &amp; OCS 供電 1500 VDC</li> <li>● 11 車站</li> </ul>
蘇加諾-哈達 機場輕軌 (Sky Train Soekarno-Hatta Airport)	60	3.05	13	176	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 平均速度：20Km/h</li> <li>● 移動閉塞號誌系統 CBTC</li> <li>● 無人駕駛(GoA 4)</li> <li>● 自動導軌運輸 / 膠輪系統</li> <li>● EMU 車輛 &amp; 供電</li> </ul>

路線	營運速度 (Km/h)	路線長度 (Km)	乘車時間 (分鐘)	每列車運量 (人)	特性
					系統 750 VDC ● 3 車站

有關安全性及可靠性策略計劃，在鐵道安全管理系統（Railway Safety Management System, SMS）透過政策、安全規劃、安全規劃執行、安全績效監控及評估、績效審核及改善等步驟循環運作，達到鐵道安全管理系統執行良好之績效，如圖 22。

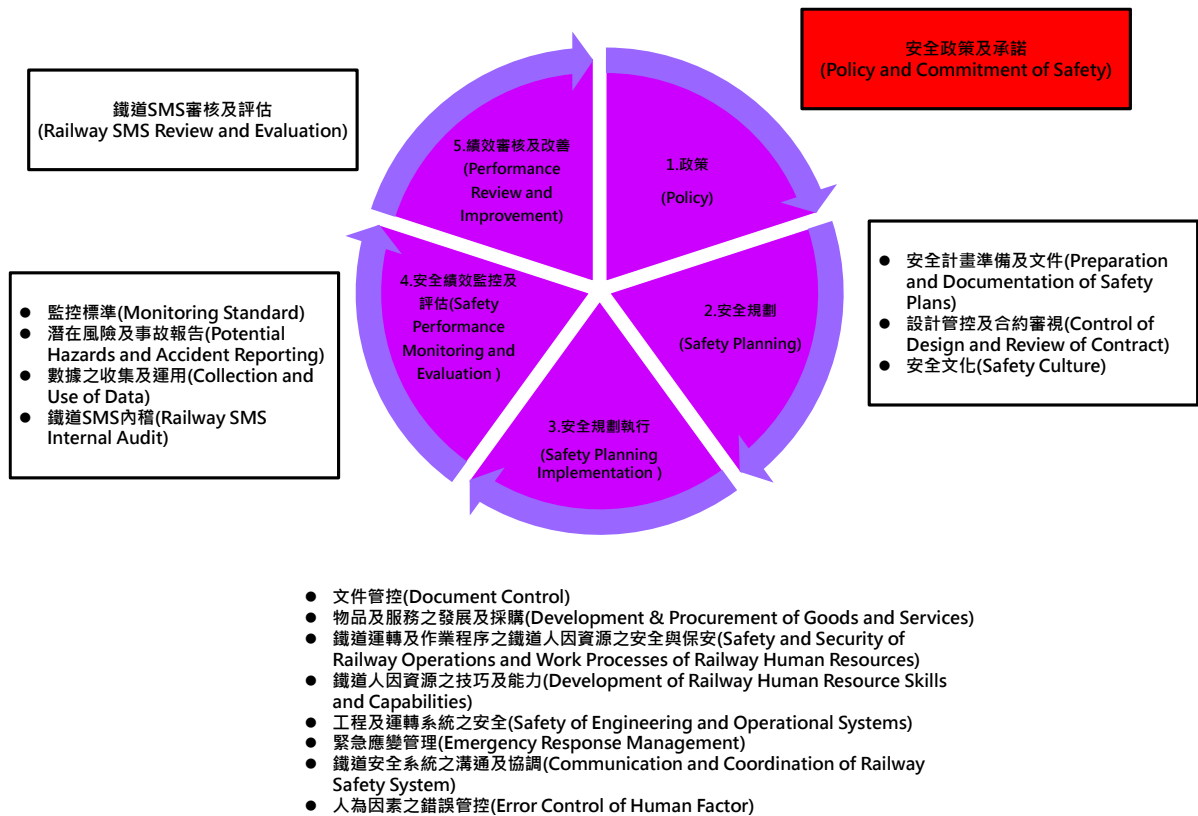


圖22 印度尼西亞有關鐵道安全管理系統執行步驟示意圖

(資料來源: 2023/11/2 Asian Railway Conference 會場簡報)

印度尼西亞之鐵道安全管理系統執行分為 3 個階段，初始階段（Initial Stage）、轉換階段（Transition Stage）及成熟階段（Advanced Stage），如圖 23。



圖23 印度尼西亞有關 SMS 執行階段示意圖

(資料來源: 2023/11/2 Asian Railway Conference 會場簡報)

為了改善鐵道系統相關基礎建設及車輛之營運安全及可靠度，印度尼西亞在法規上規定須執行基礎建設及車輛之安全評估（Safety Assessment），以減少鐵道事故之風險，安全評估應用之條件，如圖 24。

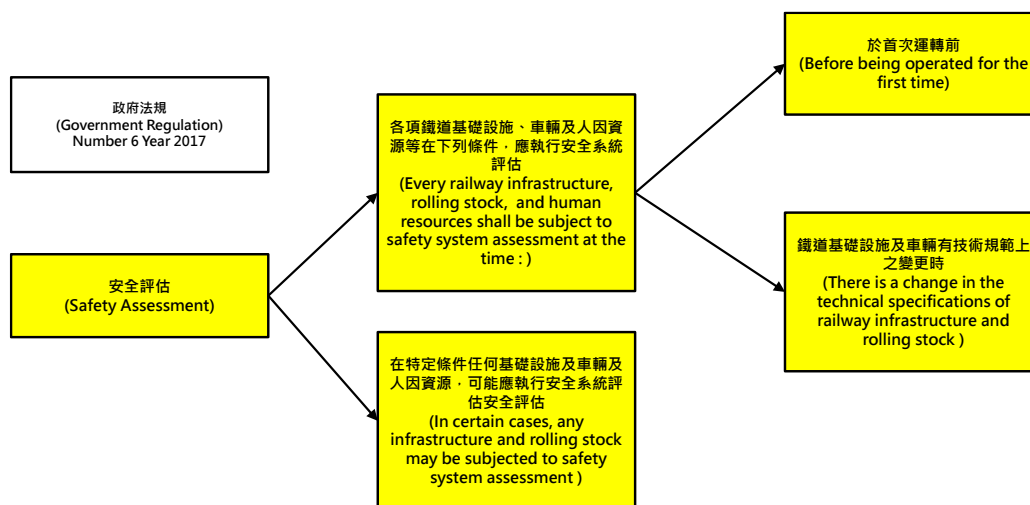


圖24 印度尼西亞有關鐵安全評估應用之條件示意圖

(資料來源: 2023/11/2 Asian Railway Conference 會場簡報)

#### (八)數位化將如何改變未來之鐵道運輸？

本場主題演說介紹有關鐵道工業數位轉型之必要性、鐵道數位轉型之方向及數位鐵道之技術。

當前鐵道運輸情況每年約有 42 億人搭乘，於韓國約有 500 萬公民搭乘鐵道運輸次數每年超過 80 次以上。依據韓國國土交通部(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, MOLIT)對於鐵道事故之安全鞏固措施提出 10 項主要課題，如圖 25。

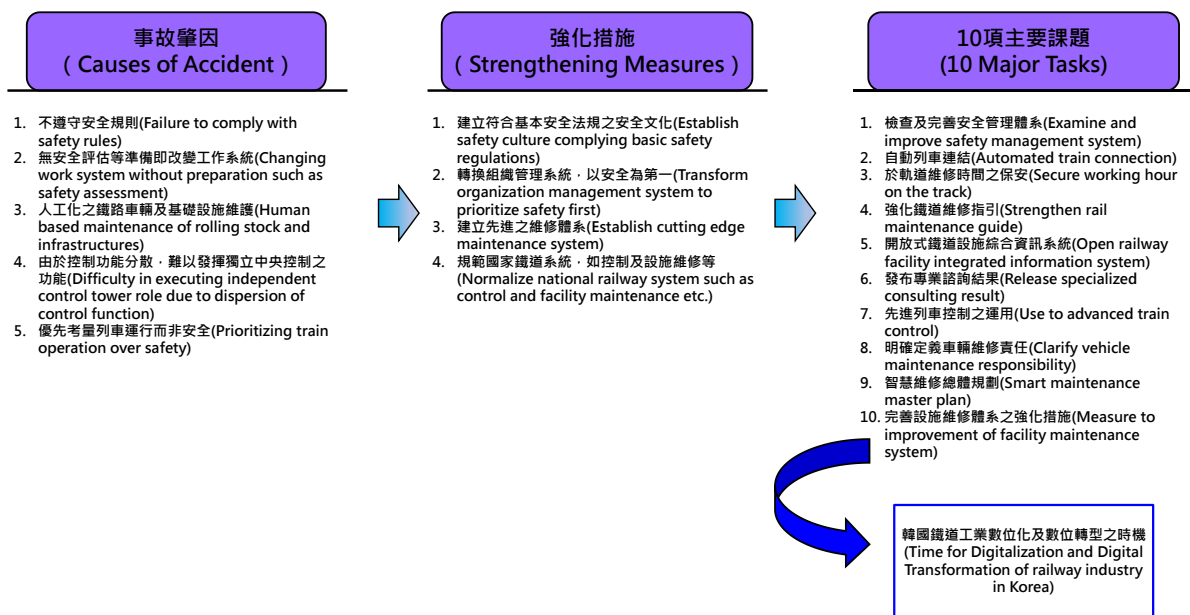


圖25 韓國鐵道安全鞏固措施示意圖

(資料來源: 2023/11/2 Asian Railway Conference 會場簡報)

數位化之關鍵技術包含物聯網、雲端、大數據、行動 (IoT, Cloud, Big Data, Mobile, ICBM)，人工智慧 (AI)、網路安全 (cyber security)、區塊鏈 (blockchain) 及擴增實境 (AR) 等。鐵道工業數位轉型之必要性主要係考量鐵道產業數位轉型程度低於其他產業、因鐵道基礎建設數位轉型之比例極大，故價格昂貴及在韓國並無全面/系統化之數位化行動計劃。數位轉型包含以數位科技 (如大數據、人工智慧或 5G 等) 結合既有工業，改變商業模式及創造超越數位化之新價值；創造效率、生產力以滿足在環境改變之客戶體驗、商業模式創新及快速反應。

數位轉型一般目標包含改善客戶經驗、更好處理效益、增加敏捷性、減少成本、提高員工生產力及改善協同合作。鐵道數位轉型之目標及應用技術，如表 8。

表8 鐵道數位轉型之目標及應用技術一覽表

方向	應用技術
旅客經驗 (Passenger experience)	M-DRT, 智慧車站 (Smart station)
效率 (Efficiency)	行車管理系統 (Traffic Management System, TMS), 建築資訊模型 (Building Information Modeling, BIM)
安全 (Safety)	基於數據之安全管理 (Data based safety management), 網路安全 Cyber security



方向	應用技術
永續發展 (Sustainability)	能源效益 (Energy efficiency), 預防性維修 (Preventive Maintenance), 5G 運用 (Application of 5G)
容量 (Capacity)	自動駕駛列車 (Autonomous Trains)
政策 (Policy)	韓國鐵道產業數位轉型策略路線圖 (Strategic roadmap for digital transformation for korea rail industry)

## 二、專題演說 (Specific Session)

專題演說為小型之技術成果分享，分為各項不同專題於會場2樓5間小型會議室由來自各國之專家學者進行演說，由與會人員依其需求前往參與，共計20場次專題演說，茲就本次參與之專題演說分述如下：

### (一)鐵道安全系統創新

#### 1. 自動平交道之創新控制技術

本場專題演說由法國古斯塔夫·艾菲爾大學 (University Gustave Eiffel) 之 Mohamed GHAZEL 介紹所研究之自動平交道之創新控制技術，內容包含研究之目標、計算模型及安全評估等，平交道事故之發生係因防護系統、法規規定、運轉規章及人類行為間之複雜互動所產生，本研究之目標為發展因應下列 2 項典型自動平交道風險情境之平交道控架構。

- (1) 由於列車速度較慢導致遮斷續關閉週期過長 (根據線路最高速度設定列車感測器位置)。
- (2) 與從相反方向通過平交道列車於2個連續關閉週期間，遮斷機開啟時間過短。

本研究利用歐洲鐵路行車管理系統 (European Rail Traffic Management System, ERTMS) 及新技術，開發自動平交道智慧控制解決方案，其特性包含即時列車速度決定及通訊設施 (例如 GSM-R)；本研究建立自動平交道智慧控制模型，其安全需求包含：

- (1) 安全性：檢查系統是否有列車位於平交道路口區間而平交道遮斷桿未關閉之情況
- (2) 正確性：當平交道兩側之監管區間內無列車時，平交道無法對道路交通進行封閉。

本研究目前為概念驗證階段（Proof of concept, POC），所提出之新控制架構有助於解決自動平交道之一些危險情境；以建立模型及檢查技術驗證目標之安全特性，安全分析必須含括更多方面：不確定性（例如列車速度、列車位置等）、通信延遲及問題及安全裕度等；基於模型之系統工程（Model Based System Engineering, MBSE）有助於引入鐵路控制之創新；可大幅減少現場測試作業，正式方法及 MBSE 可極大有利於鐵道產業引入創新並持續提高安全性及競爭力。

## 2. 利用監視攝影機偵測平交道遮斷桿斷裂之方法

本場專題演說由日本鐵道總合研究所（Railway Technical Research Institute, RTRI）之 Ryo Kageyama 介紹利用監視攝影機偵測平交道遮斷桿斷裂之研究成果，內容包含研究之目標、平交道遮斷桿斷裂偵測方法及性能評估等，在日本有超過 90%之平交道裝設平交道遮斷機（Crossing Gates），透過有條紋圖案之遮斷桿（Crossing Rod）將公路及鐵道進行分隔，而遮斷桿通常因強制闖入平交道之車輛或卡車之物件所破壞。

本研究透過平交道旁既設之監視攝影機將影像傳送至數據伺服器以遠端方式由斷裂偵測系統（Breakage detection system）計算監控平交道遮斷桿之狀態是否正常或有斷裂損壞情形，若有斷裂損壞情形可觸發告警訊息，其系統架構，如圖 26。

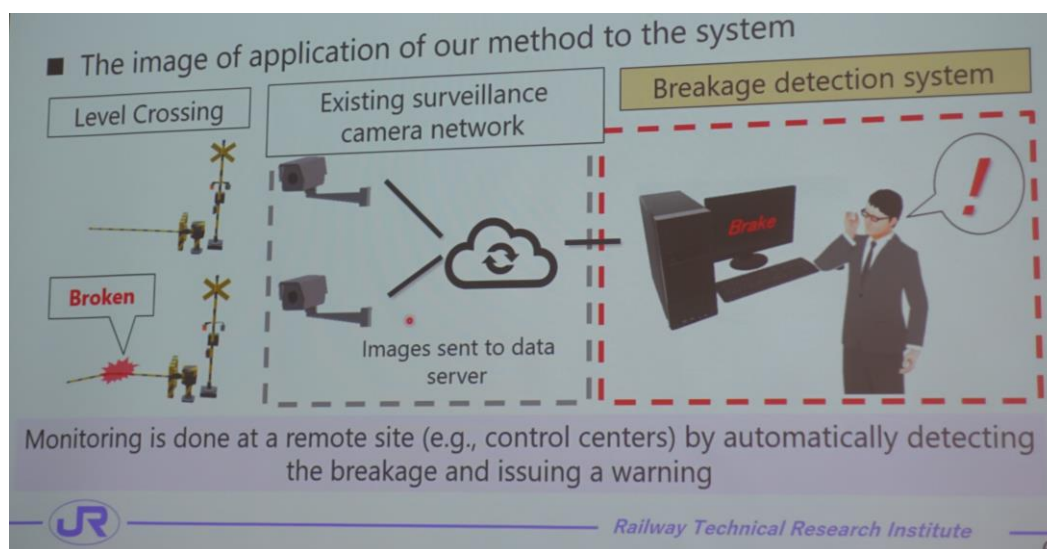


圖26 利用監視攝影機偵測平交道遮斷桿斷裂系統架構示意圖

(資料來源: 2023/11/1 Asian Railway Conference 會場簡報)

平交道遮斷桿斷裂偵測流程係透過建立遮斷桿之偵測範圍，擷取遮斷桿上之顏色分量並將其強度轉換為一維波形（1D waveform），將條紋圖案之以希爾伯特-黃轉換（Hilbert-Huang transform）進行強度解析，透過判別條紋圖案之強度，即可偵測識別遮斷桿損害之情況，如圖 27。

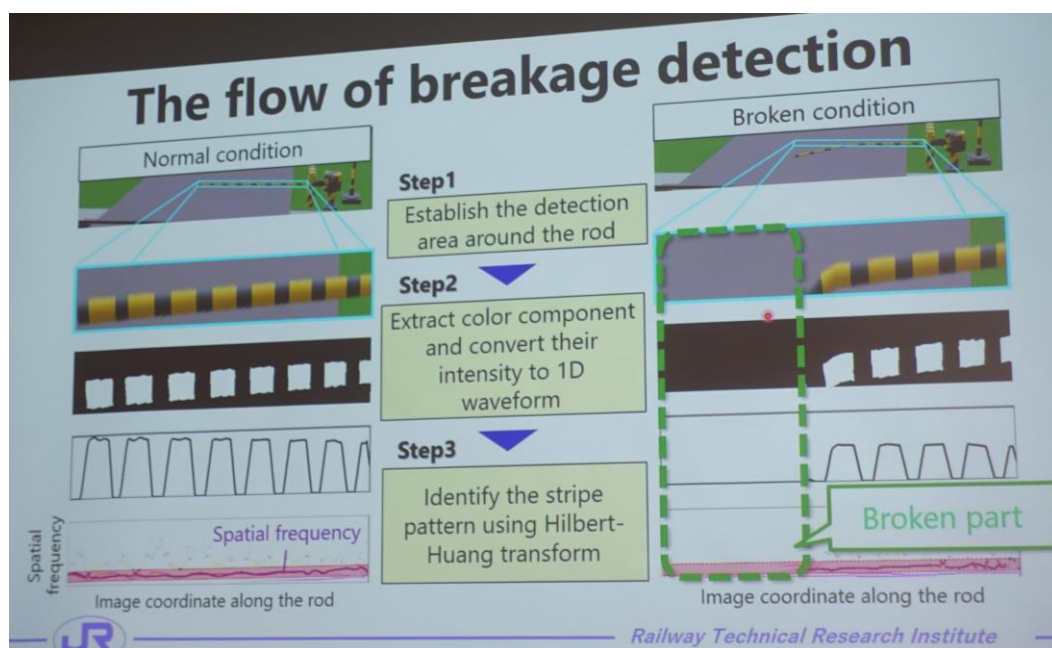


圖27 利用監視攝影機偵測平交道遮斷桿斷裂系統流程示意圖

(資料來源: 2023/11/1 Asian Railway Conference 會場簡報)

本研究經過實驗評估，超過 90%成功率可以正確偵測各種不同平交道遮斷桿斷裂之情境，在未來更將針各種適合用於本偵測方式之遮斷桿型式/材質及攝影機視角進行檢視，以提高平交道遮斷桿斷裂檢測之性能。

## (二)鐵道車輛之數位維修

### 1. 鐵道系統智慧維修整合平台之開發

本場專題演說由韓國 NEMOSYS 公司之 Jong Woon Kim 介紹鐵道系統智慧維修整合平台之開發成果，內容包含營運及維修階段之 RAMS 管理及基於狀態之維修解決方案等，鐵道系統智慧維修整合平台之開發，係利用專業、數據及科學之 RAMS 管理技術，由基於數據（Data）、基於資訊（Information）、基於知識（Knowledge）進化到基於智能（Wisdom）方式，透過 RAMS 需求、RAMS 輸出資料庫執行、鐵道安全關鍵項目選擇、風險管理、RAMS 目標定義、RAMS 性能監控、RAMS 性能評估、備品需求計算及預期生命管理，進而使維修作業/週期最佳化，如圖 28。

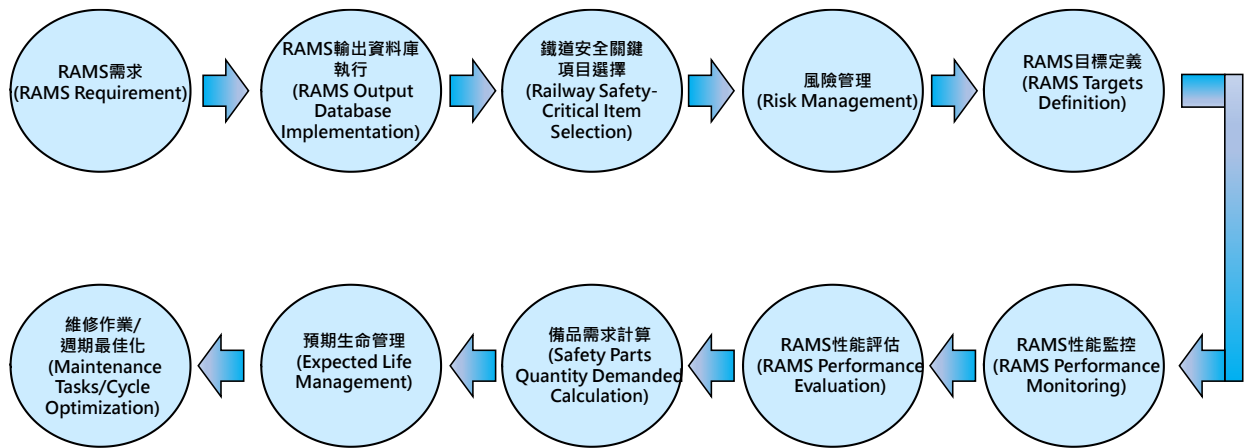


圖28 維修作業/週期最佳化流程示意圖

(資料來源: 2023/11/1 Asian Railway Conference 會場簡報)

鐵道系統智慧維修整合平台之特性，包含與故障管理系統相關之標準化/編碼系統之分析邏輯透過自動 RAMS 分析，提高使用及正確率；符合鐵路安全法、鐵路安全管理系統及國際 RAMS/RCM (Reliability Centered Maintenance) 標準之企業範圍 RAMS 管理系統；改善操作維修計畫，減少整體 LCC 及改善系統可用度/可靠度，所開發之鐵道系統智慧維修整合平台軟體操作畫面，如圖 29。



圖29 鐵道系統智慧維修整合平台軟體操作畫示意圖

(資料來源: 2023/11/1 Asian Railway Conference 會場簡報)

基於狀態之維修 (Condition Based Maintenance, CBM) 解決方案主要係依據先進的狀態監測和診斷技術提供設備元件之狀態條件訊息，判斷設備之異常，預知設備之故障，在故障發生前即進行檢修之方式，其發展成績包含系統分析及目標設施選定、數據收集、診斷及預測作業、維修週期最佳化及營運維修作業；

CBM+/PHM (Prognostics and Health Management) 平台發展架構，如圖 30。

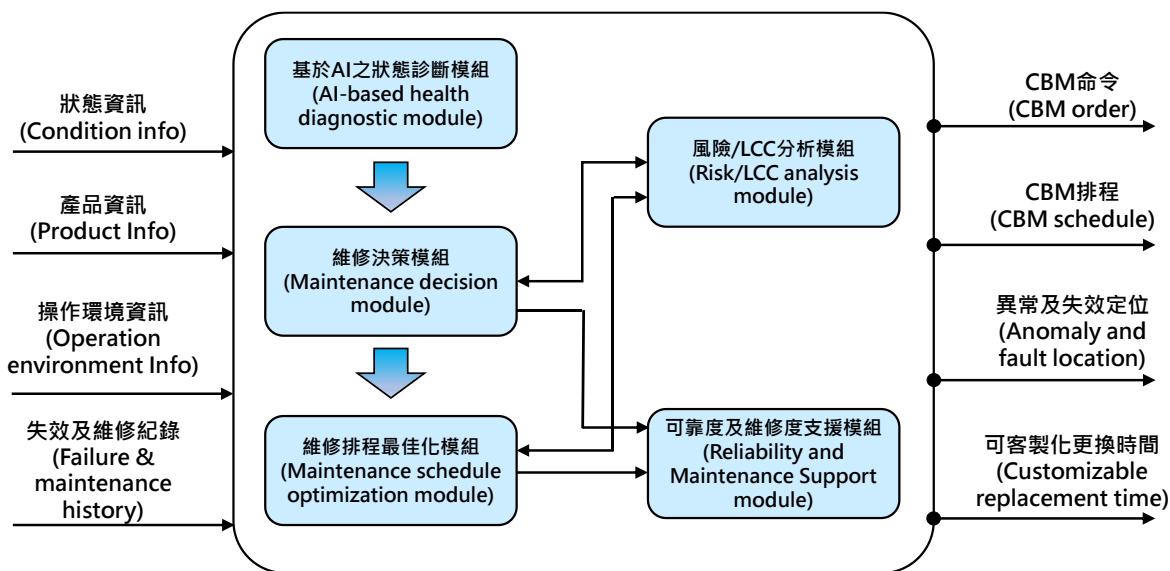


圖30 CBM+/PHM 平台發展架構示意圖

(資料來源: 2023/11/1 Asian Railway Conference 會場簡報)

## 2. 鐵道車輛之數位化維修技術

本場專題演說由韓國鐵道研究院 (Korea Railroad Research Institute, KRRI) 之 B. C. Goo 介紹 KRRI 之鐵道車輛數位化維修技術開發成果，內容包含目前鐵道車輛事故及維修狀態、鐵道車輛之數位化及鐵道車輛之數位化維修技術等，近 10 年韓國主要之鐵道事故共計約 76 件如表 9，鐵道事故之預防對於韓國為重要工作之一環，因此產生數位鐵道車輛技術發展之議題，可改變鐵道車輛之運作環境 (老化、提速、氣候變更)、鐵道車輛維修技術限制與模式改變、失效預測、降低維修成本、提升可靠度及即時狀態監控。

表9 近10年韓國主要之鐵道事故一覽表

事故類型	件數
列車出軌 (Derailment)	57
列車衝撞 (Crash)	10
列車火災 (Fire)	5
人員傷亡 (Human damage)	4
設施損壞 (Property damage)	3

鐵道車輛之數位化包含：

- (1) 監控技術使提升速度及安全
  - a. 車輛零組件非分解缺陷偵測
    - 煞車碟盤、馬達、驅動裝置（利用光纖偵測器、紅外線攝影機、電磁掃描及聲音全像）
  - b. 轉向架狀態診斷技術
    - 車輛軸承、阻尼、驅動裝置
    - 轉向架動態穩定性監測
    - 即時偵測
  - c. 診斷技術發展
    - 大數據
    - AI 導向演算法
    - 即時分析
- (2) 基於人工智慧之多重感測及主動控制技術，提升駕駛安全
- (3) 車況即時智慧掃描及風險評估技術
- (4) 簡化鐵道車輛維護之可視化技術
- (5) 多重轉型/靈活性之數位標準化
  - a. 軟體相容性
  - b. 硬體相容性
  - c. 通訊協定標準化

鐵道車輛之數位化維修技術包含：

- (1) 鐵道車輛進出機廠前後對主要元件之自動檢查
- (2) 高風險設備基於大數據之檢查及維修技術
- (3) 可變靈活之數位平台技術（降低30%維修成本）
- (4) 數位預測性維修計畫（提高100%可用度）
- (5) 機械人運用技術以防護人員於高風險及高難度之區域作業
- (6) 用於車道車輛預測性維修（Predictive maintenance）之數位孿生技術
- (7) 新車及既有鐵道車輛基於大數據之性能比較
- (8) 透過虛擬模型進行基於模擬之數據分析技術



- (9) 基於多用途/自主導航之運輸機械人系統
- (10) 利用機械人之維修檢查及管理
- (11) 利用人工智慧及大數據確保自動駕駛安全（減少50%事故發生率）
- (12) 與車聯網（Vehicle to everything, V2X）號誌系統相連之路口自動駕駛技術

### (三)東亞3國高鐵運轉知識與經驗交流

#### 1. 日本高鐵（Tkd 新幹線）營運方案及經驗介紹

本場專題演說由日本日本大學之 Norio Tomii 介紹日本高速鐵路（新幹線），內容包含日本新幹線之介紹、新幹線特點及議題等。日本新幹線最初於 1964 年開通東京至大阪之東海道新幹線，從初期 1 天只有約 10 班列車，至 2023 年每小時約有 16 班次（東海道山陽新幹線），其列車班距約為 3 分 45 秒，列車頻率大幅提高。

日本新幹線之特性為安全（Safety）、準點（Punctuality）及運量（Capacity），與傳統鐵路系統之差異在於：

- (1) 專用路線
  - a. 軌距不同
  - b. 電力系統電壓不同
  - c. 號誌系統不同
  - d. 運轉規章不同
- (2) 列車組性能（幾乎）相同
- (3) 軌道配置精簡

新幹線運轉之噪音運用隔音牆或安裝集電弓蓋等方式來進行防治，噪音準位於都會區約為 70dB。東海道新幹線列車型式包含希望號（Nozomi）、光號（Hikari）及回聲號（Kodama）；其型式，如表 10；停站模式，如圖 31。

表10 東海道新幹線列車型式一覽表

型式	停站方式	說明
希望號 (Nozomi)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 最快速</li> <li>● 僅停大車站</li> </ul>	希望號擔任由東京至新大阪以及進入山陽新幹線的特快列車（東海道新幹線內中途只停東京、品川、新橫濱、名古屋，京都及新大阪）。大部份班次均為此類列車，每小時最多 12 班。
光號 (Hikari)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 僅停大車站</li> <li>● 選擇性停站</li> </ul>	光號擔任由東京至新大阪/岡山的快速列車，比希望號停車稍多。每小時 2 班。
回聲號 (Kodama)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 停靠所有車站</li> </ul>	又稱木靈。回聲號擔任由東京至名古屋/新大阪的各站均停列車，每小時 2 班。唯一沒與山陽新幹線進行直通之班次。

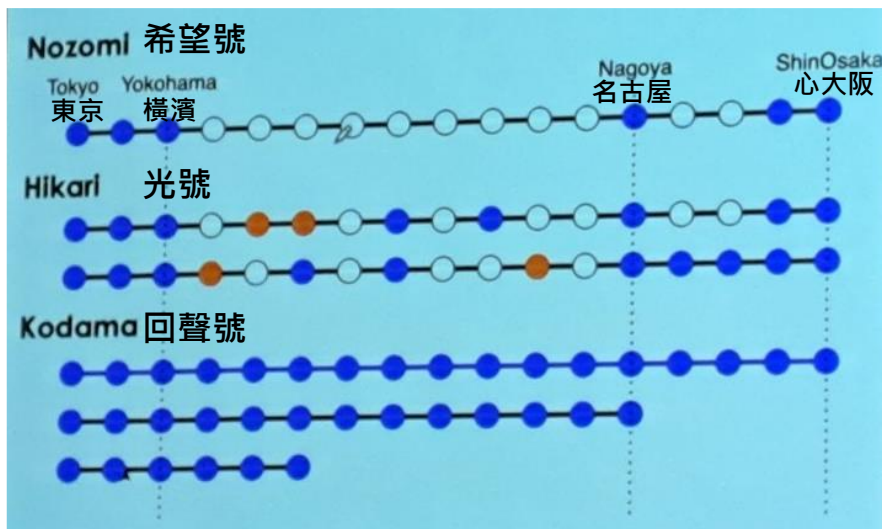


圖31 東海道新幹線列車停站模式示意圖

(資料來源: 2023/11/1 Asian Railway Conference 會場簡報)

東海道新幹線近來相關之議題，包含：

- (1) 研擬全列車標準車廂（無自由座車廂）
  - a. 3車廂（自由座車廂）+13車廂
  - b. 於新年期間，所有車位皆為對號座
- (2) 商務車廂旅客座位改善（如圖32）



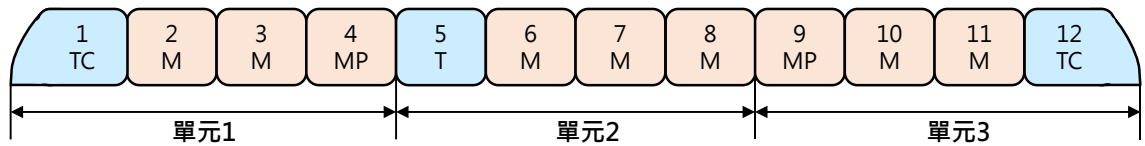
圖32 東海道新幹線商務車廂旅客座位改善示意圖

(資料來源: 2023/11/1 Asian Railway Conference 會場簡報)

## 2. 台灣高鐵營運方案及經驗介紹

本場專題演說由台灣財團法人中興顧問社之鍾志成博士介紹台灣高鐵營運方案及經驗，內容包含台灣高鐵之介紹、列車運轉計畫、票價型式及費率結構、既有服務之乘客滿意度及台灣高鐵未來之發展等。台灣高鐵計畫為世界最大之興建、營運及轉移計劃（Build, Operation, Transfer, BOT）之一，由台灣高鐵公司取得 35 年特許期間，於 1999 年開始動工，2007 年開始營運（臺北、板橋、桃園、新竹、臺中、嘉義、臺南及左營 8 個車站），2015 年進行財務重整並修正與政府之合約（特許期間延長為 70 年），新增 3 站（苗栗、彰化及雲林車站）亦於該年加入營運，2016 年路線北部延伸至南港車站，目前正在規劃後續延伸路線。

台灣高鐵列車由附駕駛室拖車（Driving Trailer, TC）、拖車（Trailer Car, T）、馬達車（Motor Car, M）及附集電弓馬達車（Motor Car with Pantograph, MP）共 3 單元，12 節車廂組成，如圖 33。



項目	數值
列車長	304m
列車寬	3.38m
列車高	3.65m
列車重	503ton
設計速度	350km/h
最大營運速度	300km/h
加速度	2.0km/h/s
常用煞車減速率	2.7km/h/s
緊急煞車減速率	4.0km/h/s
電源供應	25kV 60Hz AC

圖33 台灣高鐵列車組構成示意圖

(資料來源: 2023/11/1 Asian Railway Conference 會場簡報)

台灣高鐵之列車運轉計畫係依據需求預測依續執行列車停站模式規劃、列車運轉規劃、基本列車班表規劃、全天列車班表規劃及列車運用計畫。台灣高鐵之停車模式 (Stopping Patterns) 依據加入營運車戰術之增加而增多，主要目標係便捷旅客最少化乘客搭乘列車時間，其規劃考量包含停站模式之選定、確定最短運行時間之其他邏輯限制及必須滿足每一個出發地-目的地 (Origin-Destination, O-D) 需求，台灣高鐵於 2007 年開始營運及迄今之停站模式，如圖 34；車次編碼系統，如圖 35。

階段	模式	代碼	南港站	臺北站	板橋站	桃園站	新竹站	苗栗站	臺中站	彰化站	雲林站	嘉義站	臺南站	左營站
營運初期 (2007年)	直達車 (Express)	A		●										●
		B		●	●				●					●
	跳站停車 (Skip-Stop)	C		●	●	●			●			●	●	●
		D		●	●	●	●		●	●		●	●	●
	各站皆停 (All-Stop)	E		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
迄今 (2023年)	直達車 (Express)	B	●	●	●				●					●
		B'	●	●	●				●					●
	跳站停車 (Skip-Stop)	C	●	●	●	●			●	●	●	●	●	●
		D	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●
		E	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	各站皆停 (All-Stop)	F	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

圖34 台灣高鐵於2007年開始營運及迄今停站模式示意圖

(資料來源: 2023/11/1 Asian Railway Conference 會場簡報)

台灣高鐵列車車次編號  
(範例 0109次)

A	B	C	D
---	---	---	---

A：列車運轉型式

0：日常運轉列車      1：指定日運轉列車      8：臨時加班列車

B：停站模式代碼

BCD	停站模式代碼	南港站	臺北站	板橋站	桃園站	新竹站	苗栗站	臺中站	彰化站	雲林站	嘉義站	臺南站	左營站
1XX	B	●	●	●				●					●
2XX	B'	●	●	●				●				●	●
3XX	C	●	●		●			●	●	●	●	●	●
4XX	E	●	●	●	●	●	●	●					
5XX	E							●	●	●	●	●	●
6XX	D	●	●	●	●	●		●			●	●	●
8XX	F	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

CD：列車序號

D：上行(0,2,4,6,8)或下行(1,3,5,7,9)

圖35 台灣高鐵車次編碼系統示意圖

(資料來源: 2023/11/1 Asian Railway Conference 會場簡報)

台灣高鐵之票價型式以實體（車廂型式）及虛擬（車票型式）因子進行型式分類，如圖 36；標準車廂及商務車廂費率結構，如圖 37。

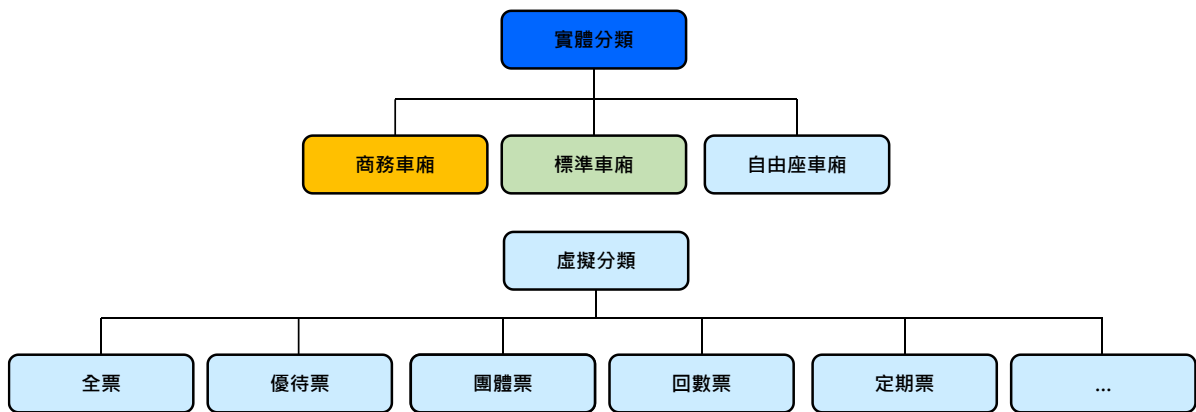


圖36 台灣高鐵票價型式分類示意圖

(資料來源: 2023/11/1 Asian Railway Conference 會場簡報)

### 標準車廂 對號座

車站	南港	台北	板橋	桃園	新竹	苗栗	台中	彰化	雲林	嘉義	台南	左營
南港	—	20	35	100	165	240	375	435	485	560	695	765
台北	40	—	20	80	145	215	350	410	465	540	675	745
板橋	70	40	—	65	130	200	335	395	450	525	660	730
桃園	200	160	130	—	65	140	270	335	390	460	595	665
新竹	330	290	260	130	—	70	205	270	320	395	530	600
苗栗	480	430	400	280	140	—	135	195	250	320	460	530
台中	750	700	670	540	410	270	—	65	115	190	325	395
彰化	870	820	790	670	540	390	130	—	55	125	265	335
雲林	970	930	900	780	640	500	230	110	—	75	210	280
嘉義	1,120	1,080	1,050	920	790	640	380	250	150	—	140	205
台南	1,390	1,350	1,320	1,190	1,060	920	650	530	420	280	—	70
左營	1,530	1,490	1,460	1,330	1,200	1,060	790	670	560	410	140	—

全票 新台幣/元

### 標準車廂 自由座

車站	南港	台北	板橋	桃園	新竹	苗栗	台中	彰化	雲林	嘉義	台南	左營
南港	—	15	30	95	160	230	360	420	470	540	670	740
台北	35	—	15	75	140	205	335	395	450	520	650	720
板橋	65	35	—	60	125	190	320	380	435	505	640	705
桃園	190	155	125	—	60	135	260	320	375	445	575	645
新竹	320	280	250	125	—	65	195	260	310	380	510	580
苗栗	465	415	385	270	135	—	130	185	240	310	445	510
台中	725	675	645	520	395	260	—	60	110	180	315	380
彰化	840	795	765	645	520	375	125	—	50	120	255	320
雲林	940	900	870	755	620	485	220	105	—	70	200	270
嘉義	1,085	1,045	1,015	890	765	620	365	240	145	—	135	195
台南	1,345	1,305	1,280	1,150	1,025	890	630	510	405	270	—	65
左營	1,480	1,445	1,415	1,290	1,160	1,025	765	645	540	395	135	—

全票 新台幣/元

### 商務車廂

車站	南港	台北	板橋	桃園	新竹	苗栗	台中	彰化	雲林	嘉義	台南	左營
南港	—	(130)*	(155)*	250	350	460	665	755	830	940	1,145	1,250
台北	(260)*	—	(130)*	220	320	425	625	715	800	910	1,115	1,220
板橋	(310)*	(260)*	—	200	295	400	605	695	775	890	1,090	1,195
桃園	500	440	400	—	200	310	505	605	685	790	995	1,100
新竹	700	640	590	400	—	205	410	505	580	695	895	1,000
苗栗	920	850	800	620	410	—	305	395	475	580	790	895
台中	1,330	1,250	1,210	1,010	820	610	—	200	275	385	590	695
彰化	1,510	1,430	1,390	1,210	1,010	790	400	—	185	290	500	605
雲林	1,660	1,600	1,550	1,370	1,160	950	550	370	—	215	415	520
嘉義	1,880	1,820	1,780	1,580	1,390	1,160	770	580	430	—	310	410
台南	2,290	2,230	2,180	1,990	1,790	1,580	1,180	1,000	830	620	—	205
左營	2,500	2,440	2,390	2,200	2,000	1,790	1,390	1,210	1,040	820	410	—

全票 新台幣/元

圖37 台灣高鐵票價費率結構示意圖

(資料來源: 台灣高鐵網站)

台灣高鐵之有關收費服務、列車設備及服務、車站設施及服務及班表規劃之乘客滿意度其目標為 95%，依據台灣高鐵公司之 2018 至 2022 年之乘客滿意度，如圖 38。



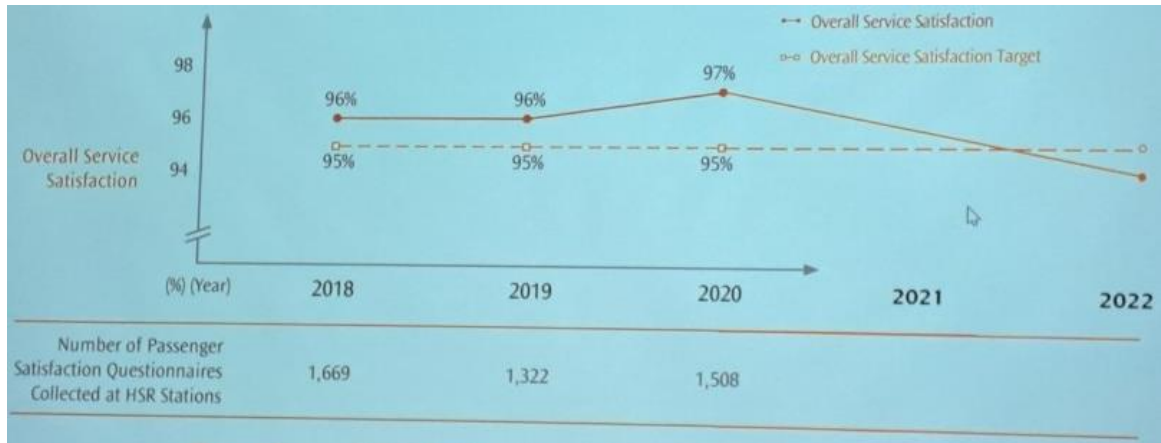


圖38 台灣高鐵公司2018至2022年乘客滿意度示意圖

(資料來源: 2023/11/1 Asian Railway Conference 會場簡報)

台灣高鐵未來之發展包含路網延伸計畫之發展（北端延伸線至宜蘭，南端延伸線至屏東）及運量問題之解決。

#### (四)鐵道事故管理及新科技之融合

##### 1. 出軌安全

本場專題演說由韓國鐵道研究院（Korea Railroad Research Institute, KRRI）之 Young-Sam Ham 介紹對於列車出軌之安全防護研究，內容包含列車運轉安全（Running Safety）定義、量測準則與方法及韓國高速鐵路列車運轉安全評估等。列車出軌之定義為鋼輪脫離鋼軌，列車運轉安全之問題在於列車出軌及翻覆，列車運轉安全之標準為脫軌係數（Derailment coefficient），脫軌係數=側向力（Lateral force）/縱向力（Vertical force），越大側向力則出軌之風險越大，如圖 39。

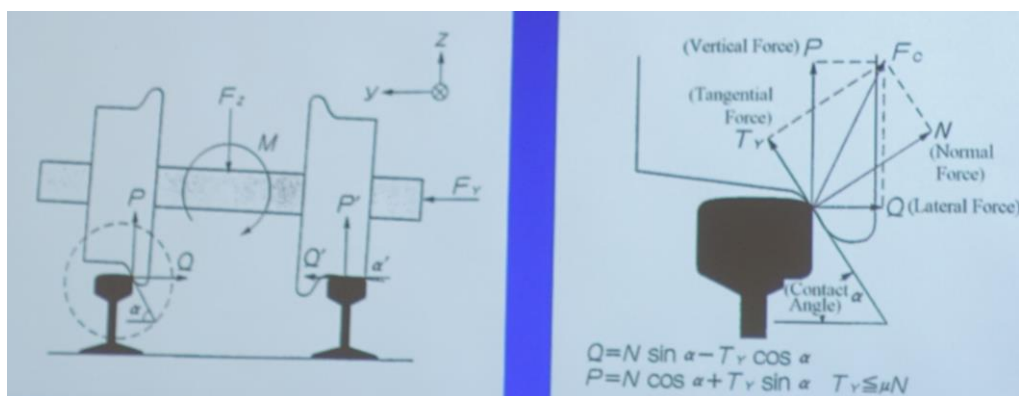


圖39 脫軌係數示意圖

(資料來源: 2023/11/2 Asian Railway Conference 會場簡報)

考量側向力作用時間與脫軌係數之關係，依據脫軌係數應用標準，100%累計次數（Probability of accumulated number）機率之脫軌係數為 0.8；累計次數機率 0.1%之容許脫軌係數為 1.1，如圖 40。

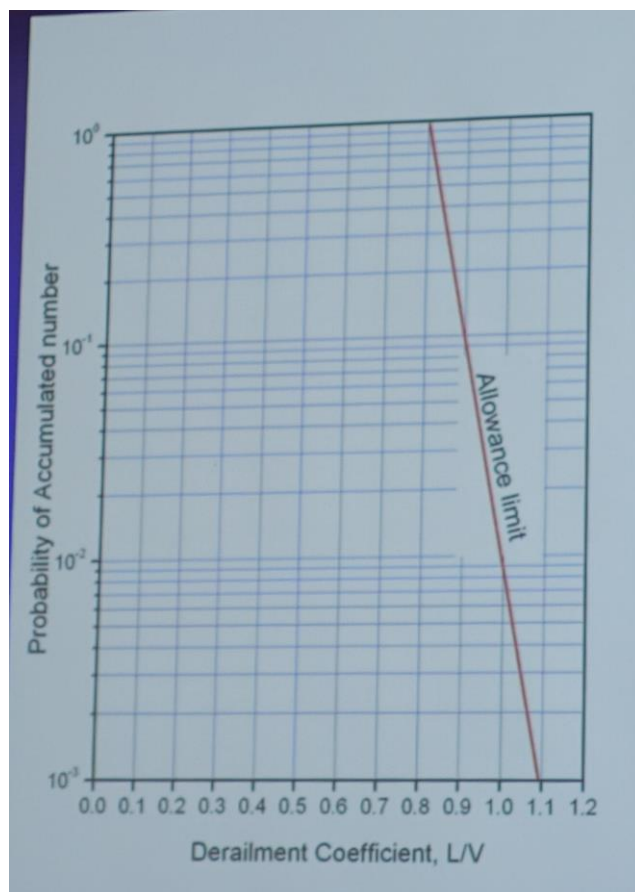


圖40 脫軌係數與累計次數機率關係圖

(資料來源: 2023/11/2 Asian Railway Conference 會場簡報)

列車運轉安全之量測準則包含將應變計（Strain gauges）安裝到車輪上、將負載轉換為輪對（Wheel-sets）之橋式輸出（Bridge output）、訊號從旋轉體傳送到固定體之安裝系統（例如滑環及遙測）及儲存於資料紀錄器，量測系統（Measurement System）方塊圖，如圖 41。

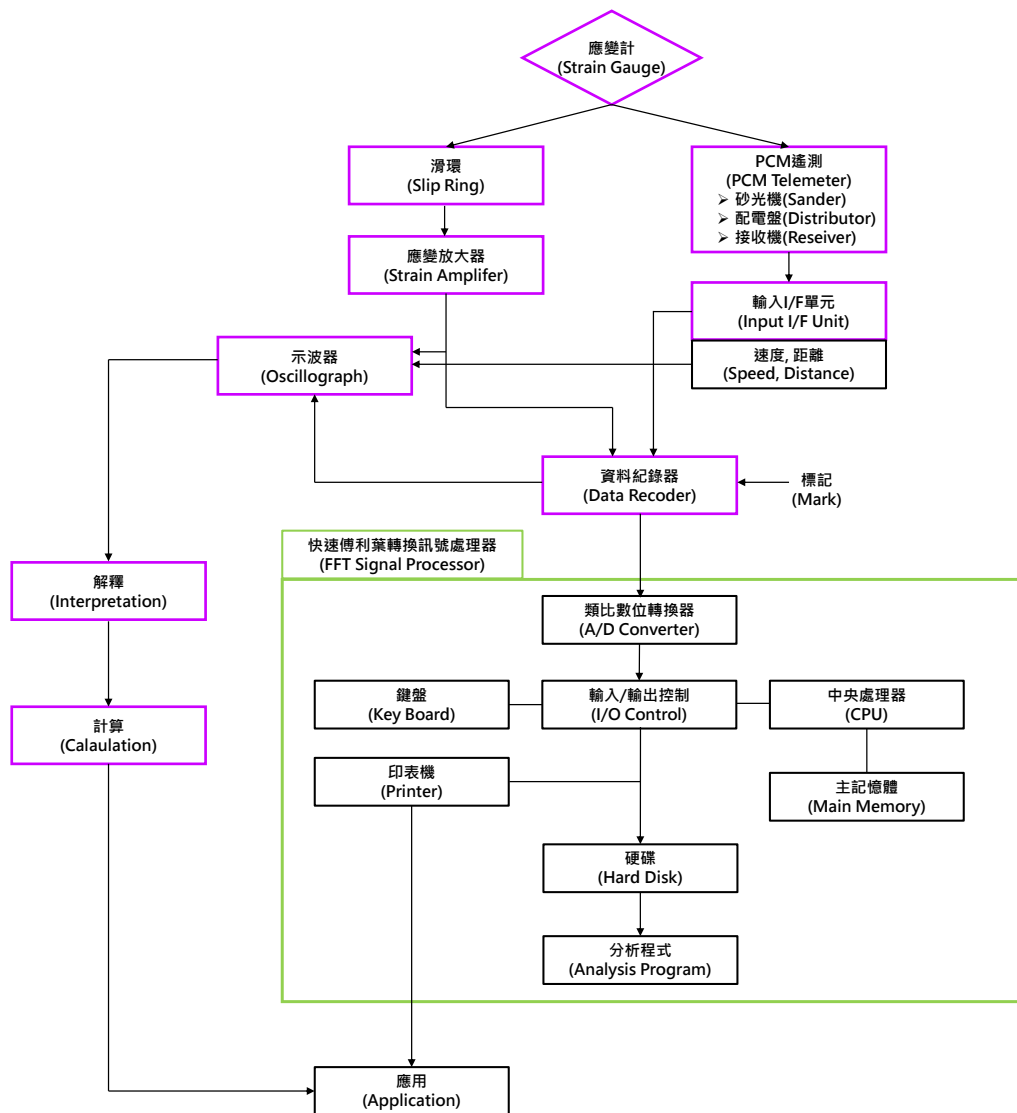


圖41 量測系統方塊圖

(資料來源: 2023/11/2 Asian Railway Conference 會場簡報)

韓國高速鐵路列車運轉安全評估應用歐洲評估方法，由於鐵道之軌道條件不同，仍有許多項目需要持續研究；特別是量測側向力作用時間，應能連續性量測脫軌係數；連續量測之問題為雜訊、訊號間之干擾及輸出靈敏度小等因素；高速鐵路車輛與一般鐵路車輛在評估運行安全性之方法並無區別，應用相同之標準。

## 2. 衝撞安全

本場專題演說由韓國鐵道研究院（Korea Railroad Research Institute, KRRI）之 Hyun-Seung Jung 介紹對於列車衝撞之安全防護研究，內容包含耐撞性標準（Crashworthiness Standards）、鐵道列車結構被動安全準則、鐵道車輛衝撞能量吸收機制及耐撞性評估程序（Crashworthiness Evaluation Procedure）等。韓國鐵道列車耐撞性標準包含 EN 15227、20 CFR 238 及 KRTS-VE，有關鐵道列車結構被動

安全準則包含：

- (1) 降低超載（Overriding）之風險
- (2) 以受控方式（Controlled Manner）吸收衝撞能量
- (3) 保持佔用區域之生存空間及結構完整性
- (4) 限制減速率（Deceleration）
- (5) 降低脫軌風險並限制衝撞軌道障礙物之傷害

歐洲鐵道列車碰撞法規 EN 15227：2008（Railway applications-Crashworthiness requirements for rail vehicle bodies）其特性包含：

- (1) 世界上最有效之鐵道衝撞安全法規
- (2) 其包含3項主要評估項目：超載、生存空間及減速率（Overriding, Survival Space, Deceleration）
- (3) 自立法生效來已成功應用並證明有效性

歐洲鐵道列車碰撞法規 EN 15227：2020（Railway applications-Crashworthiness requirements for rail vehicles）更新版本主要針對減速率評估有部份微調，例如增加7.5 噸障礙物情境及對救生員（Lifeguard）新需求等。

鐵道車輛衝撞能量吸收機制包含針對緊扣、徑向膨脹（或收縮）、撕裂（或斷裂）、液壓、切割、橡膠（黏彈性）及摩擦等特性進行列車衝撞時之能量吸收研析；列車前端設置耦合器及防爬器、車廂間設置車廂間耦合器吸收列車衝撞時之能量；列車外部之軌道區可設置止衝擋吸收列車衝撞時之能量，如圖 42。

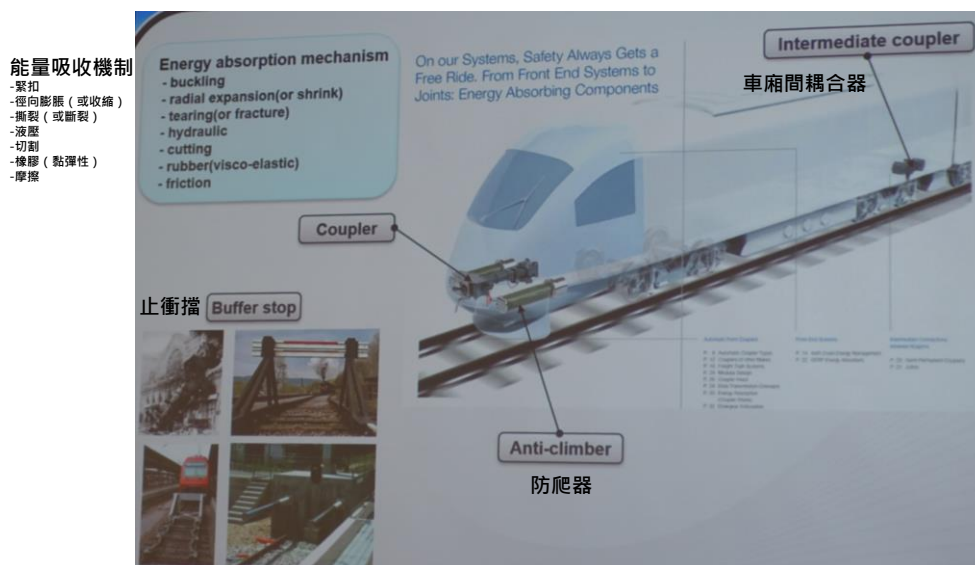


圖42 鐵道車輛衝撞能量吸收機制示意圖

(資料來源: 2023/11/2 Asian Railway Conference 會場簡報)

耐撞性評估程序包含 3 步驟：

(1) 步驟1：1-D 衝撞分析（1-D crash analysis）

決定：

- a. 每輛車廂之能量吸收策略。
- b. 中心/端梁（center/end sill）抗壓強度。
- c. 裝置規範（前/中耦合器、防爬器等）

(2) 步驟2：3-D 衝撞分析（3-D crash analysis）

- a. 評估減速率、生存空間及超載。
- b. 通常是第一輛及第二輛車之完整模型。
- c. 估計約有2~3百萬元件。

(3) 步驟3：有限元素分析（Finite Element Analysis, FEA）與測試驗證（FEAvs TEST validation）

- a. 驗證能量吸收之輸入資料。
- b. 通常為單一零件測試，但有時需要時進行前駕駛室之模組測試。
- c. 估計約有2~3百萬元件。

韓國開始基於人體傷害之碰撞安全研究，首次導入現代化輕軌列車將於行人安全提供貢獻；只要關注輕軌列車，碰撞安全從以列車為導向轉換至以行人為導向；成功應用之實用設計及評估技術包含容易採用基於人之耐撞性規則及韓國國內車廠可高效進行人性化防撞設計；未來將持續進行人員安全之研究。

### 3. 火災安全

本場專題演說由韓國鐵道研究院（Korea Railroad Research Institute, KRRI）之 Duck-Hee Lee 介紹對於列車火災之安全防護研究，內容包含韓國鐵道隧道火災安全相關法規及列車火災相關新發展安全設施等。韓國之長隧道近年來持續增加，因此對於既有之安全技術是否可因應新型式之隧道火災（包含恐怖攻擊）需再行評估，需有新式對策因應新式湮霧及毒氣。

韓國鐵道隧道火災安全相關法規依據韓國國土交通部(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, MOLIT)發布通告 2023-434(Notice No. 2023-434)之韓國鐵道基礎設施技術指引（Technical Guideline of Korean Railway Infrastructure），如表 11、強制性之鐵道隧道防火安全設施，如圖 43、依據定量風險評估（Quantitative Risk

Assessment , QRA ) 設計之鐵道隧道防火安全設施，如圖 44 及圖 45。

表11 韓國鐵道基礎設施技術指引一覽表

項次	設施名稱	技術指引	備註
1	安全分析 (QRA) ( Safety Analysis, QRA )	( 條文 5 ) 對超過 1 公里之主隧道執行 ( 條文 7-2 ) 依據「鐵道隧道火災安全分析 手冊 ( Fire Safety Analysis Manual for Rail Tunnel )」	超過 1 公里
2	軌道逃生路徑 ( Track Escape path )	( 條文 15 ) 逃生步道寬度必須大於 0.7m	強制性
3	安全設施材料 ( Safety Facility Ma- terial )	( 條文 30 ) 隧道設施須由阻燃材料 ( Flame retardant materials ) 製成	強制性
4	隧道入口監視裝置 ( Tunnel Entrance Monitoring Device )	( 條文 32 ) 於監控室或鄰近車站應能遠端 監控	若指定為國 家重要設施 時需要
5	緊急通信設備 ( Emergency Com- munication Equip- ment )	( 條文 33 ) 每間隔 500m 裝設一處	強制性
6	緊急開關 ( Emergency Switch )	( 條文 34 ) 利用前方信號 ( Forward Signal ) 使 列車停車	高速鐵路 強制性
7	逃生燈引導燈照明 及標誌 ( Escape leading light/sign )	( 條文 35 ) 儲存電池電力 60 分鐘以上，每 間隔 100m 裝設一處逃生標誌	強制性
8	逃生照明 ( Emer- gency Light )	( 條文 36 ) 電源雙重化或裝設不斷電系統 ( Uninterruptible Power Supply, UPS )，阻燃 材料	強制性
9	滅火器 ( Extin- guisher )	( 條文 39 ) ABC 乾粉滅火器 ( 18kg ) 或同 等性能以上，滅火器重量 7kg 以下，滅火箱 不妨礙疏散 ( Fire Extinguisher Box )	強制性
10	防煙門 ( Smoke- Proof Door )	( 條文 40 ) 自我關閉功能 ( Self-Closing Function )、防煙捲門 ( Smoke Proof Shutter )、水簾可行 ( Water Curtain Available )、單獨進口門 ( Separate Entrance Door )、列車運行隧道防風設備 ( Train Op- eration Tunnel Wind-Resistant Equipment )	依據定量風 險評估 ( Quantitative Risk Assess- ment , QRA ) 設計
11	火災偵測器 ( Fire Dector )	( 條文 41 ) 對控制車站自動告警、非火災 偵測證明、若裝設有防煙捲門則須裝設視 訊設備	依據定量風 險評估 ( Quantitative



			Risk Assessment, QRA) 設計
12	濃煙控制設施 (Smoke Control Facility)	(條文 42) 兩個或更多反向旋轉鼓風機 (Reverse-Rotating Blowers)、於 250°C 防火達 1 小時	依據定量風險評估 (Quantitative Risk Assessment, QRA) 設計
13	疏散通道連接 (Evacuation Path Connection)	(條文 43) 垂直豎井 (Vertical Shafts), 包含 100m 或以上之豎井 (主線上設置防火門, 門寬 1m 以上、閉塞區域 12m 以上, 氣壓控制風門, 列車輛停止時即可疏散。)	選項
14	逃生通道 (Escape Pathway)	(條文 44) 寬度 0.7m 以上、高度 2.1m 以上	強制性
15	安全手把 (Safety Handle)	(條文 45) 高度 1.2m 以內、電氣接地	強制性
16	逃生 (垂直豎井/斜坑) (Vertical Shafts /Inclined Shaft)	(條文 46) 透過定量風險評估確定其間隔距離、確保防煙設施之安全並確保救援團隊可進入	依據定量風險評估 (Quantitative Risk Assessment, QRA) 設計
17	垂直豎井 (Vertical Shafts)	(條文 47) 若垂直豎井大於 30m, 安裝電梯及安全空間、階梯寬度大於 1.2m、電梯寬度大於 2.5m <sup>2</sup> 、照明/通信設施、30 分鐘防火門	間隔距離 (依據 QRA 設計)
18	斜坑 (Inclined Shaft)	(條文 48) 通道寬度大於 2.25m 及 300m 車輛可供旋轉、每隔 250m 確保雙向通行空間、間隔 100 公尺安裝照明/通訊設施、30 分鐘防火門	間隔距離 (依據 QRA 設計)
19	交岔通道 (Cross Passage)	(條文 49) 寬度及高度 2.25m 或以上、安裝緊急照明	間隔距離 (依據 QRA 設計)
20	緊急照明 (Emergency Light)	(條文 50) 安裝間隔距離 20m、地面照度 1 Lux 以上	強制性
21	斷電及接地裝置 (Disconnection and Electrical Grounding Device)	(條文 51) 於入口及出口設置接地夾 (Ground Hooks)	長度大於 1km 或長隧道需要
22	隧道入口通路 (Access Road of Tunnel Entrance)	(條文 52) 寬度大於 4m、安全交岔空間 150m 以內	強制性
23	救援準備空間	(條文 53) 空置空間大於 400m <sup>2</sup> 、隧道出口	強制性

	(Rescue Preparation Area)	200 公尺以內	
24	輸水管 (Water Pipeline)	(條文 54) 幹管條件下，必須在 30 分鐘內注水、間隔 50m 防水、耐腐蝕鍍鋅、直徑 150mm 以上，水密 65mm，每分鐘排出 2.4 公升以上，噴嘴壓力 0.343MPa 以上	依據定量風險評估 (Quantitative Risk Assessment, QRA) 設計
25	緊急電源插座 (Emergency Power Outlet Plug)	(條文 55) 間隔距離 125m、單相交流 220V、1.5 KVA 以上	強制性
26	其他補充設備 (Emergency Power Outlet Plug)	避難所 (Shelter)、推車 (Trolley)	無需求



圖43 強制性之鐵道隧道防火安全設施示意圖

(資料來源: 2023/11/2 Asian Railway Conference 會場簡報)



圖44 依據定量風險評估（QRA）設計之鐵道隧道防火安全設施（一）  
 （資料來源: 2023/11/2 Asian Railway Conference 會場簡報）



圖45 依據定量風險評估（QRA）設計之鐵道隧道防火安全設施（二）  
 （資料來源: 2023/11/2 Asian Railway Conference 會場簡報）

列車火災相關新發展安全設施包含下列：

- (1) 遠端控制滅火系統（Remote Controlled Fire Suppression System）
  - a. 由 KICT（Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology）開發。
  - b. 由攝影機間監控。

- c. 抑制範圍達25m。
- d. 出口速度30m/s。

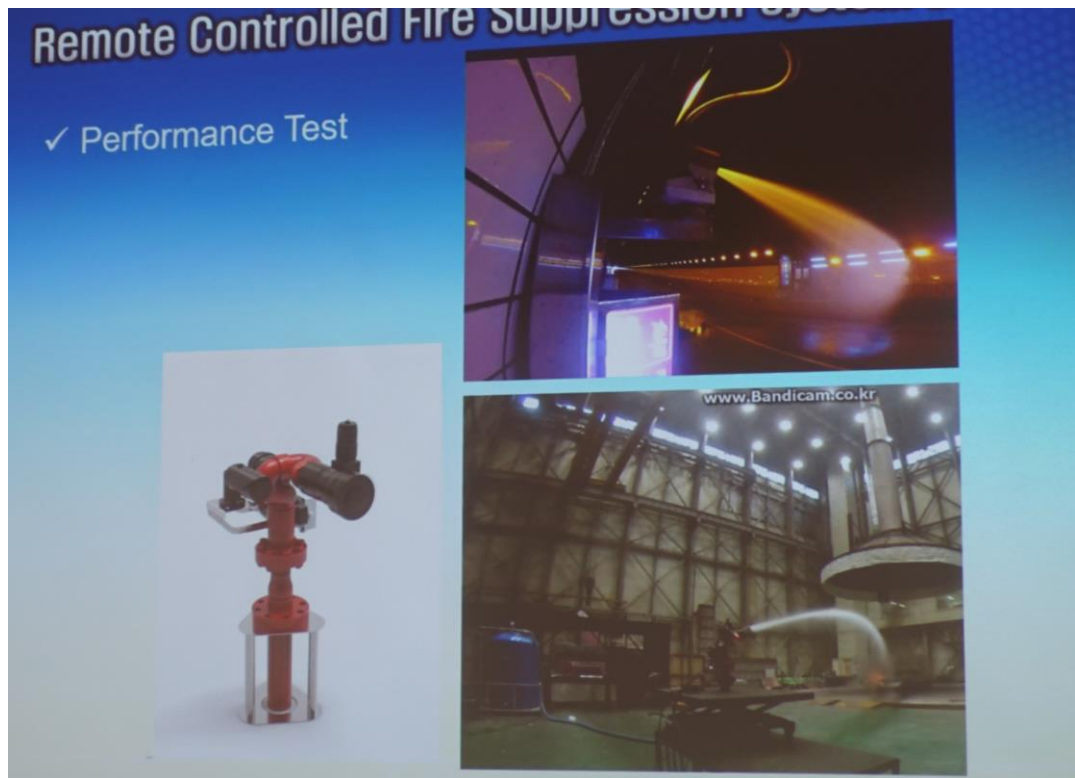


圖46 遠端控制滅火系統示意圖

(資料來源: 2023/11/2 Asian Railway Conference 會場簡報)

(2) 可展開式屏幕通道 (Deployable Screen Pathway)

- a. 由 KRRRI (Korea Railroad Research Institute) 開發。
- b. 非易燃屏幕材料 (Non flammable Screen Material)。
- c. 無施力方式部屬 (Powerless deploying)。
- d. 最少化維修設計 (Minimalized Maintenance Design)。
- e. 通道內的供氣及加壓 (Air Supplying and Rressurizing in the Pathway)。
- f. 防煙門系統 (Smoke Proof Door System)。



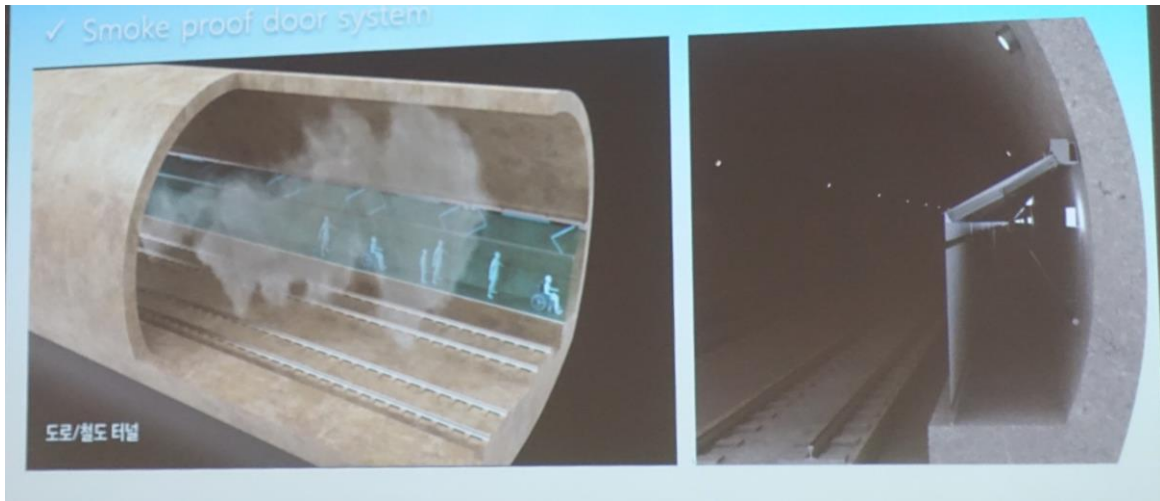


圖47 可展開式屏幕通道示意圖

(資料來源: 2023/11/2 Asian Railway Conference 會場簡報)

(3) 隧道移動式機械人 (Moving Robot in Tunnel)

- a. 由 KRRI (Korea Railroad Research Institute) 開發中。
- b. 5分鐘內從控制中心 (Control Office) 進行現場監控。
- c. 20km/h 速度 (每3km 設置1機械人)。
- d. 利用 AI 進行影像及聲音分析。
- e. 防火設計: 200°C, 30分鐘



圖48 隧道移動式機械人示意圖

(資料來源: 2023/11/2 Asian Railway Conference 會場簡報)

### 三、海報演說（Poster Session）及現場技術展示

海報演說係由學校、研發機構所提出之專題及論文製作成海報並黏貼於展示場所，並由作者或專人在場與來賓進行現場之技術研討；現場技術展示係由來自國際鐵道廠商、學校及研發機構等將其產品、設備及模型等設置於展示場攤位，供來賓參觀與技術研討，分述如下：

#### (一)列車完整性管理系統

本場海報演說介紹有關列車完整性（Train Integrity）監控及自動列車操作發展技術，內容包含列車完整性需求性、韓國列車控制系統（Korean Train Control System, KTCS）、列車完整性管理系統（Train Integrity Management System, TIMS）、列車完整性系統（Train Integrity System, TIS）及列車完整性系統性能等。貨物列車依據其載運貨物需求，列車通常以變動方式進行車廂之編組與連結；在運行過程中有列車分離（Train Separation）事故之風險，目前列車分離係採用側燈方式檢測（Side Light）；列車完整性功能本質上是針對歐洲列車控制系統 Level3（European Train Control System, ETCS Level 3），其隨著列車無線通訊發展及 European Shift2Rail 計畫（2016~2018 年）中基於無線通訊列車分離偵測方法之研究；在韓國於 2021~2024 年正進行 ETCS Level 3 計畫，ETCS Level 3 架構，如圖 49。

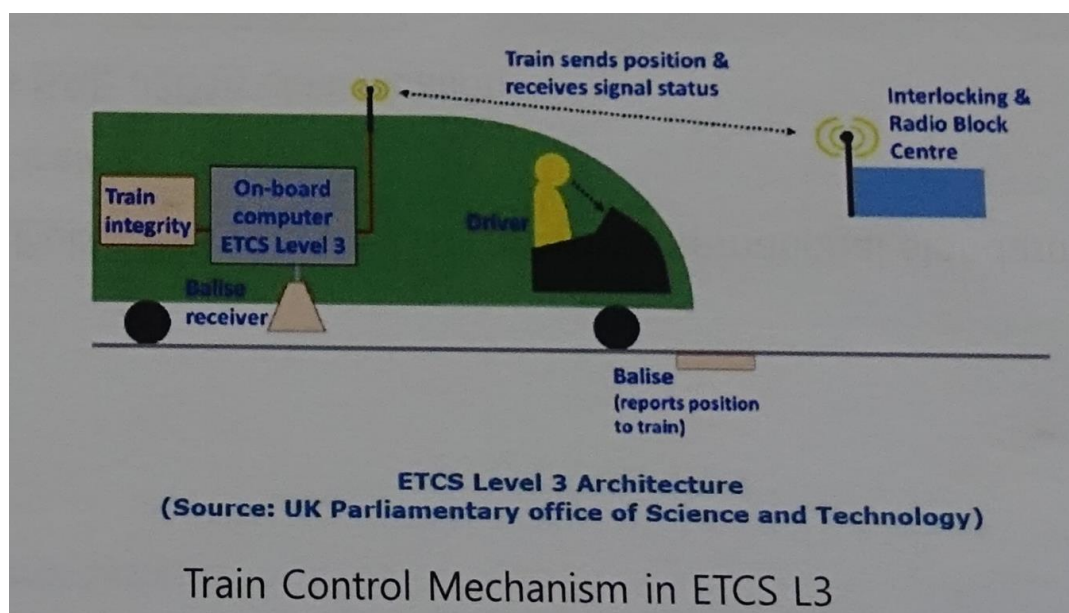


圖49 ETCS Level 3架構示意圖

(資料來源: 2023/11/2 Asian Railway Conference 會場簡報)

韓國列車控制系統（Korean Train Control System, KTCS），共分為 Level 1、



Level 2 及 Level 3 三個等級；其架構，如圖 50。

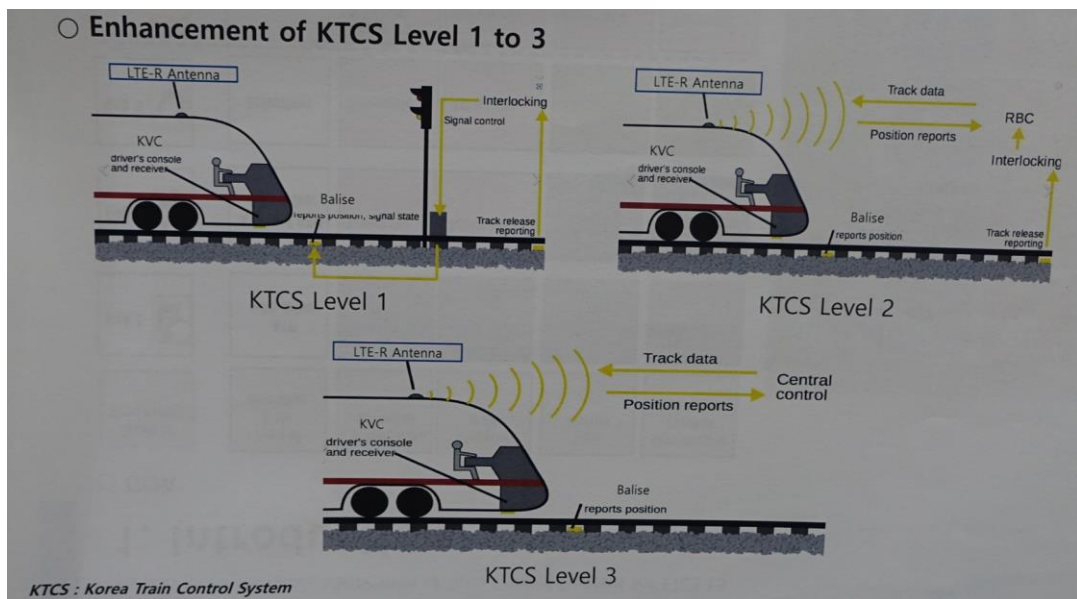


圖50 KTCS 架構示意圖

(資料來源: 2023/11/2 Asian Railway Conference 會場簡報)

列車完整性管理系統 (Train Integrity Management System, TIMS) 之概念及架構如下：

(1) TIMS 概念

a. 無線通信系統

- 列車前後端點位置資訊
- 從始發到終點站持續檢測連線狀態

b. 持續檢測列車長度變動及速度

- 偵測超過臨界值之異常狀態
- 向行控中心發出告警資訊

(2) 以無線通信為基礎之架構

a. 系統架構包含 TIRD、TIFD、TIM Server (如圖51)

b. TIFD 介面：Korean Vital Computer (KVC)

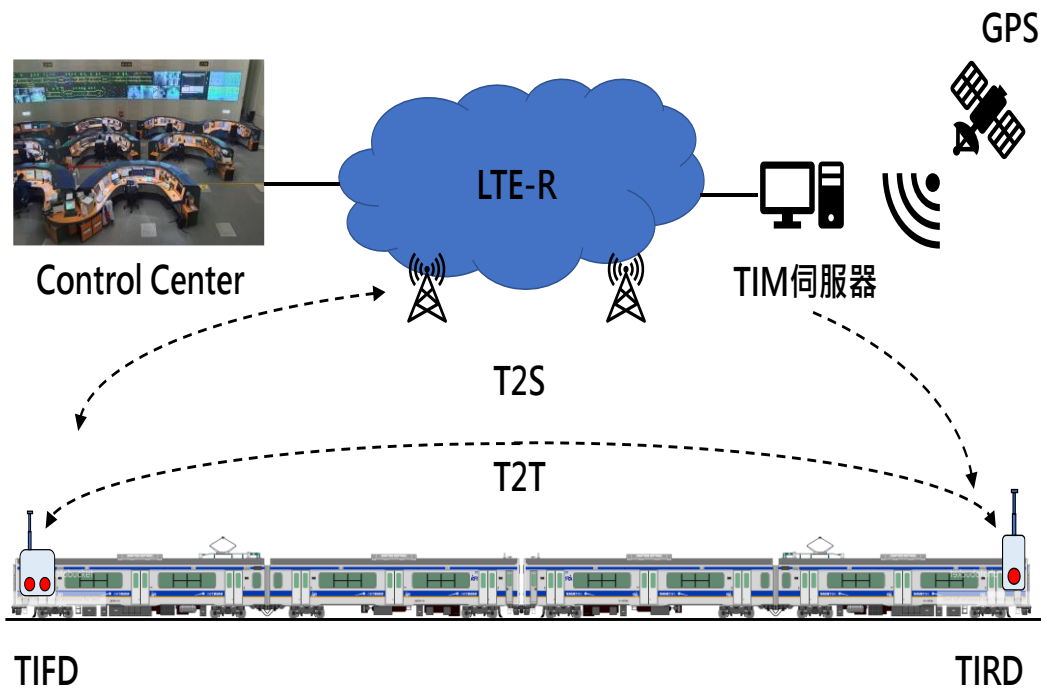


圖51 TIMS 架構示意圖

(資料來源: 2023/11/2 Asian Railway Conference 會場簡報)

列車完整性系統 (Train Integrity System, TIS) 之演算法、運作及列車長度之計算方式如下：

(1) TIS 演算法

- a. 收集列車位置資訊
- b. 每秒鐘計算列車長度
- c. 通報 KVC 列車完整性之異常狀態

(2) TIS 運作

- a. 初始化建立無線電連結：TIRD-TIM 伺服器及 TIFD-TIM 伺服器建立 LTE-R TCP/IP 連結
- b. TIRD 及 TIFD 進行配對：TIRD 位置資訊週期性傳輸及依據列車速度及長度建立與 TIRD-TIFD 配對
- c. 列車完整性之判斷：TIFD 週期性監控 TIRD-TIFD 配對間列車長度之變化
- d. 列車完整性之通報：TIFD 通報 TIM/KVC 列車完整性狀態是否正常

(3) 列車長度之計算方式

- a. 傳送 TIRD 位置資訊：每秒鐘透過 LTE-R 及 LORa 傳送 GPS 資訊
- b. 估算 TIFD 列車長度：TIRD 及本身位置間之差異
- c. 列車長度可靠度：GPS 誤差 ( $\leq 30m$ )；LTE-R 通信延遲 ( $\leq 300ms$ )

列車完整性系統性能係由授權機構進行系統性能測試，列車完整性偵測系統（貨運列車）測試程序係依據韓國（Telecommunications Technology Association，TTA）標準，測試環境於韓國五松（Osong）測試線進行，測試列車為 6 車編組 120m 長（包含 1 柴油車），列車完整性天線安裝於車頂孔天線（TIFD）及模組天線（TIRD），如圖 52；測試項目、準則及結果，如表 12。

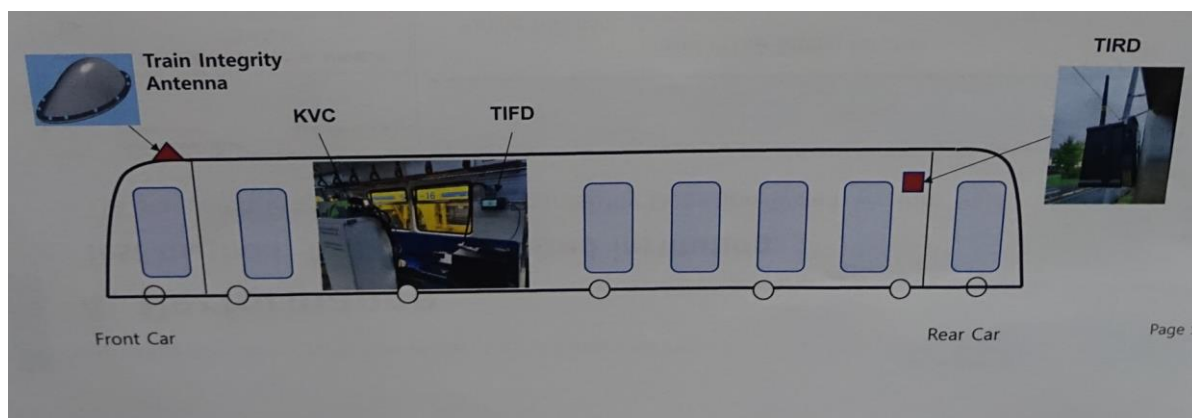


圖52 列車完整性系統測試環境示意圖

(資料來源: 2023/11/2 Asian Railway Conference 會場簡報)

表12 列車完整性系統性能測試結果一覽表

項目	標準	結果
配對功能 (Pairing Function)	初始化 IP 連結設定功能	99%
	TIRD-TIFD 配對功能	99%
通信功能 (Communication Function)	開放區域封包接收成功率	99%
	隧道區域封包接收成功率	99%
分離偵測率 (Separation Detection Rate)	開放區域列車分離偵測率	99%
	隧道區域列車分離偵測率	99%

## (二)次世代輕軌列車

本現場技術展示係由韓國鐵道研究院（Korea Railroad Research Institute, KRRI）所現場展示之次世代輕軌列車，內容包含次世代輕軌列車功能、整合式軌道模型及現場演片展示等。無架空線低底盤輕軌列車（Wireless Low Floor Tram）主要特性如下：

- (1) 環保大眾運輸（Eco-Friendly Public Transportation）
  - a. 無廢氣排放
  - b. 零細塵（Fine Dust）
- (2) 安全無架空線系統（Securing Wireless System）
  - a. 應用車載電池技術
- (3) 基於城市復興政策之主要交通運輸（Urban Regeneration Policy）
- (4) 降低興建成本
  - a. 約傳統輕軌系統之1/3
  - b. 約捷運系統之1/6
- (5) 低底盤應用
  - a. 提升改善行動不便者及乘客方便性

無架空線低底盤輕軌列車採用新科技包含下列：

- (1) 100%車載電池型式無架空線低底盤輕軌列車（100% Battery type Wireless Low-Floor Tram Vehicle）
  - a. 無集電弓
  - b. 改善城市景觀
  - c. 應用電池技術不須包含高壓電纜及變電站等之電力基礎設施，降低建造及營運成本
  - d. 透過展示計畫驗證驗證技術並提出標準
    - 世界一流之高容量效能電池系統（鋰聚合物電池）
    - 透過單元電池之串聯及並聯連接方式最佳化電池系統
    - 單次快速充電，可供列車無架空線運轉約40km（快速充電時間約15分鐘）
- (2) 交通號誌連結輕軌號誌系統（Road-linked Tram Signaling System）

- 基於無線通信路口優先號誌系統（如圖53）
- 基於無線通信之自動或依司機員需求觸發路口優先號誌請求
- 經由交通號誌與鐵路號誌連結支援安全之列車運轉

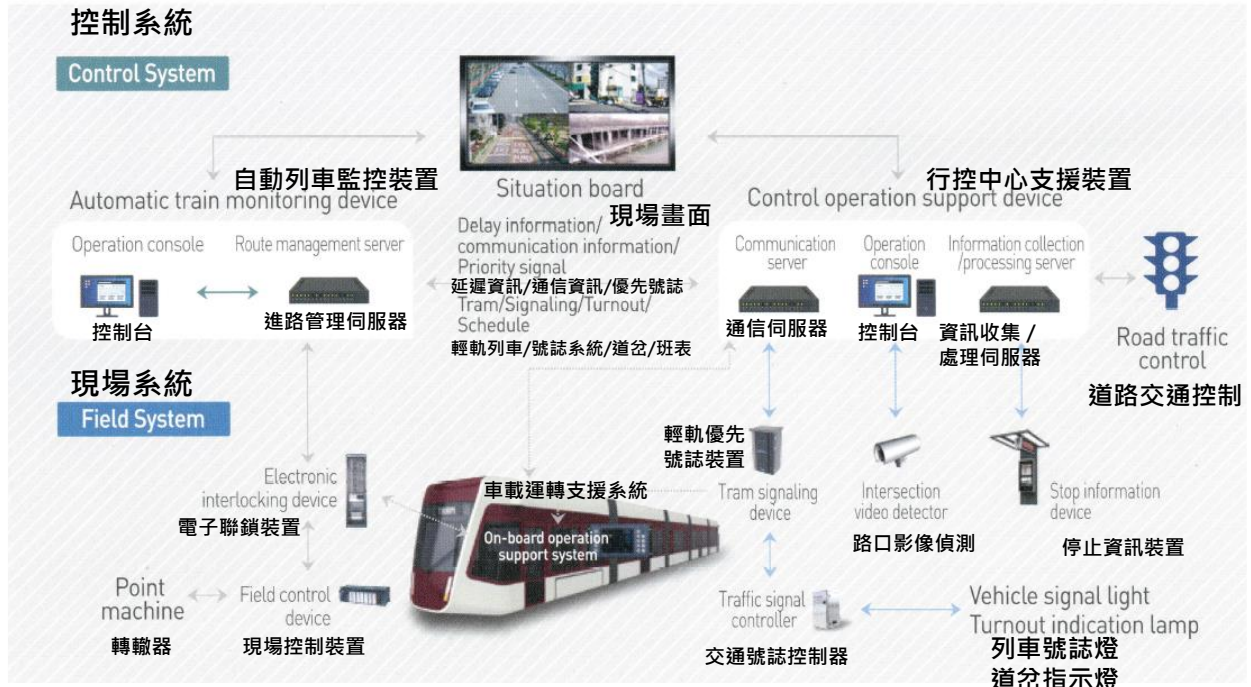


圖53 交通號誌連結輕軌號誌系統架構示意圖

（資料來源: 2023/11/2 Asian Railway Conference 會場簡報）

整合式軌道提供適用於傳統鐵道系統及輕軌系統之列車車輪運行之特殊軌道，透過數值及實驗驗證直接連接兩種不同類型之鋼軌，可提供各種不同型式列車於橫渡現及道岔處之共用路線上可以平順運轉並提高乘客舒適度，現場提供整合式軌道模型，如圖 54。

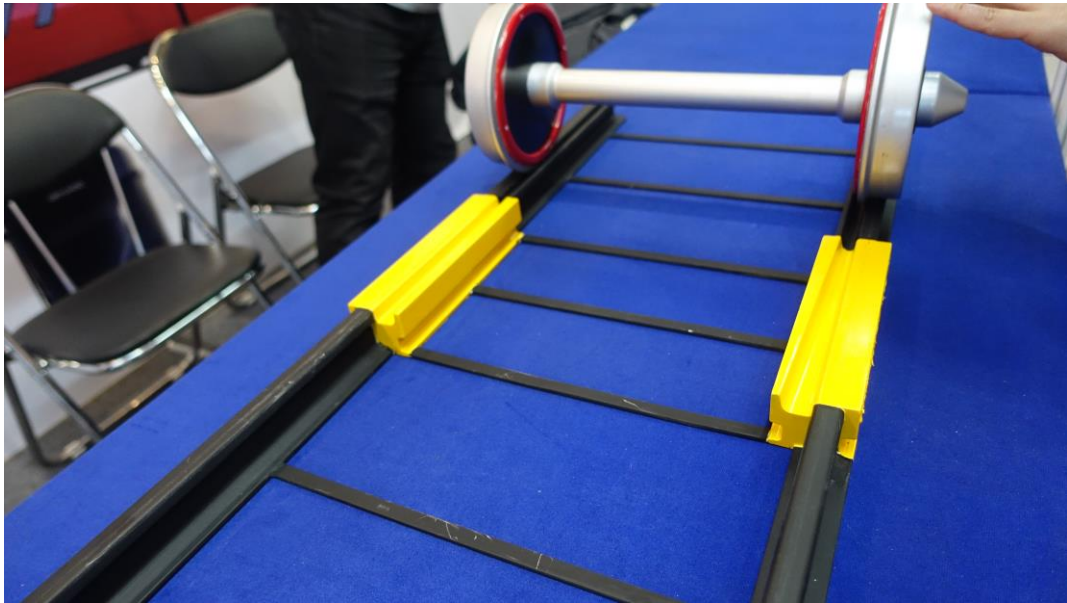


圖54 整合式軌道模型示意圖

(資料來源: 2023/11/2 Asian Railway Conference 會場簡報)

韓國目前正執行規劃無架空線低底盤輕軌列車之發展計畫，利用累積國內輕軌系統之發展技術及實質運轉經驗，包含本地無架空線低底盤輕軌系統展示、依據實際運轉規章之系統運作展示、於所有運轉區間展示無架空線低底盤輕軌系統及復興鐵道工業，並期待將該系統技術於 10 年內導入約 180 個城市。



## 肆、建議

本次 2023 年第 4 屆 Asian Railway Conference，依據參訪內容與心得描述，建議規劃參與國際鐵道之研討會或會議，提升本會能見度及對各國鐵道發展技術、營運維修方式及新應用技術等之瞭解；提升本會對於各國鐵道研發新應用技術相應風險之瞭解，並對新技術應用後（例如 AI、大數據等），相應新型態重大鐵道事故調查有關現場調查作業、事實資料報告及調查報告等之精進。

**參加2023年第4屆亞洲鐵道研討會 (Asian Railway Conference, ARC)**

服 務 機 關：國家運輸安全調查委員會

出 國 人 職 稱：鐵道調查組調查官、運輸工程組助理研究員

姓 名：李坤享、顏怡庭

出 國 地 區：韓國濟州島

出 國 期 間：民國112年10月31日至11月4日

報 告 日 期：民國112年12月25日

建 議 事 項：

項次	建議項目	處理
1	規劃參與國際鐵道之研討會或會議，提升本會能見度及對各國鐵道發展技術、營運維修方式及新應用技術等之瞭解。	<input checked="" type="checkbox"/> 已採行 <input type="checkbox"/> 研議中 <input type="checkbox"/> 未採行
2	提升本會對於各國鐵道研發新應用技術相應風險之瞭解，並對新技術應用後（例如 AI、大數據等），相應新型態重大鐵道事故調查有關現場調查作業、事實資料報告及調查報告等之精進。	<input checked="" type="checkbox"/> 已採行 <input type="checkbox"/> 研議中 <input type="checkbox"/> 未採行