國際鐵道運輸發展議題與政策之探討—以數位轉型發展為例

Study on Develop Policies of Rail Transportation — Issues for Railway Digital Transformation

運輸經營管理組 陳佩棻 陳其華 張贊育

研究期間：民國109年1月至 109年12月

摘　要

隨著少子化趨勢、科技產業進步以及民眾旅運需求改變，各國鐵路運輸政策亦有許多改變，以歐盟來說，近年最核心的政策為「第四鐵路改革方案」，其目的在於推動及完成歐洲鐵路運輸服務之單一市場，以振興鐵路運輸，並使鐵路相對於其他運輸方式更具競爭力，由此延伸 2021 歐洲鐵路年活動。本研究主要聚焦於各國鐵道運輸之基礎設施政策與數位轉型政策。在基礎設施相關政策方面，德國聯邦政府係依據聯邦運輸基礎設施計畫（Federal Transport Infrastructure Plan , FTIP）做為運輸基礎設施規劃工具；而英國對於基礎設施之主要規劃，則見諸於 2017 年所發布之「連結旅客：鐵路戰略願景」(Connecting people: a strategic vision for rail) 」中。在鐵路數位轉型政策方面，歐盟部分主要在其為落實《歐洲綠色協議》，所提出之《永續和智慧移動戰略》；在德國部分主要探討 DB 4.0 計畫；英國部分探討 Network Rail「數位鐵路計畫」；日本部分則以 JR 東日本公司為例，探討該公司智慧列車架構及「中長期技術創新願景」。本研究最後則針對國內智慧鐵道相關政策進行盤點，並對國內推動鐵路數位轉型之核心技術與重要議題提出建議。

關鍵詞：

鐵路、鐵道、數位轉型、智慧鐵道

國際鐵道運輸發展議題與政策之探討—以數位轉型發展為例

一、緒論

隨著少子化趨勢、科技產業進步以及民眾旅運需求改變，鐵道事業所面臨的挑戰將更嚴峻與多元化。以臺鐵為例，高鐵加入市場對臺鐵長短途運輸結構的改變、跨域整合多元化經營需求的迫切、科技時代民眾對運輸服務整合之期待、各鐵路公司朝向智慧化發展以及對鐵路產業發展之願景等，均是國內鐵道機構未來重要的經營管理課題。

以日本為例，由於日本高齡化與少子化情形嚴重，鐵路政策不得不重視此等發展，加上預計 2021 年奧運即將於日本舉行，對於身障者交通權的提升也刻不容緩，此外配合國家觀光立國政策，近年日本鐵路主要課題包括：鐵道安全、優質鐵路服務、無障礙鐵道服務以及配合觀光政策提升服務等，此外對於軌道系統相關產業的海外發展，以擴展產業市場等，亦受到日本政府之關注。

在德鐵方面，現階段面臨許多內、外部的壓力與困境，外部壓力包括客貨競爭壓力與日俱增、人力與資源成本快速成長以及更嚴密的法令與監理；內部壓力包括新的品質提升措施無顯著效果，雖採取數位化措施，但改變速度不如預期，以及企業文化仍需再轉化等[1]。爰此，德鐵進行集團結構的調整，其重點為「精簡、快速、提升效率與更重視顧客需求」。

另在英國方面，則面臨投資不足之問題，英國政府於 2017 年 11 月發布《Strategic vision for rail（鐵路發展戰略新願景）》，該報告以改善乘客旅行體驗為核心，承諾增加投資擴大鐵路路網規模，以鐵路發展推動住房和經濟增長；並提出將引入鐵路數位化新技術，以技術手段降低擁擠及提高列車準時性。此外，由於英國過去推行車、路分離制度所衍生界面問題，在此次戰略新願景部分，也透過提倡工作團隊之方式，消除車、路部門間之阻礙。

由上可發現各國鐵道事業所面臨的環境與挑戰各有不同，所提出的政策重點亦有差異，亦仍有相同的核心價值。為了解國際當前鐵路發展政策走向，本研究首先將從大方向、整體面的角度，蒐集國外鐵路運輸發展之社經背景、重要政策與相關經驗；同時考量少子化社會，鐵路從業人力短缺狀況普遍存在，透過數位轉型提升營運效能是為各國的重點。本研究將以國外鐵路數位轉型相關策略，做為主要探討的重點。

二、國際鐵路運輸發展相關政策

本節主要就主要國家近年鐵路重要政策方向以及鐵路智慧化相關政策加以說明。由於歐盟鐵路政策將影響其會員體國內鐵路政策與投資，因此先針對歐盟相關政策進行說明；其次介紹德國、英國及日本最近鐵路政策與鐵路數位化進展，其中英國業雖已於2020年底正式脫歐，惟鐵路政策部分因配合歐洲市場，因此仍需參考歐盟政策。

2.1 歐盟主要鐵路政策

歐盟委員會於2020年3月提議將2021年定為歐洲鐵路年，其目的主要是支持交通領域實現《歐洲綠色協議》（European Green Deal）目標。根據《歐洲綠色協議》，歐洲鐵路部門承諾到2030年，客、貨運輸二氧化碳排放總量減少30%，以達到1990年之水平。透過鐵路年之倡議，促進鐵路運輸成為永續、創新和安全之運輸方式，並凸顯其對人類、經濟與氣候之助益，同時進一步創建一個無國境限制之單一歐洲鐵路區域。

為落實前述單一歐洲鐵路區域，歐盟委員會其實早於2002年1月即向理事會提出所謂「第二鐵路改革方案」，希望建設單一區域的歐洲鐵路區域；2016年則進一步提出「第四鐵路改革方案」（Fourth Railway Package），該方案目的在於推動及完成歐洲鐵路運輸服務之單一市場，以振興鐵路運輸，並使鐵路相對於其他運輸方式更具競爭力。而2021年是在歐盟範圍內實施「第四鐵路改革方案」相關規定之第一年，此亦為歐盟將2021年定為歐洲鐵路年之原因之一，由此可見第四鐵路方案對歐洲鐵路市場之重要性。

以下將分別針對「第四鐵路改革方案」及《歐洲綠色協議》等分別進行說明。

2.1.1 歐盟「第四鐵路改革方案」

2016年4月19日，歐盟部長理事會和歐洲議會立法通過「第四鐵路改革方案」（The 4th Railway Package）。根據該法，所有歐盟成員國的鐵路公司，無論是公營或民營，皆必須在一定期限內完成改革，以符合歐盟法規。

「第四鐵路改革方案」最主要包括3個支柱(pillar)與6項法令，而其中6項法令共包括3項規章（regulation）以及3項指令（directive），規章係指具有普遍適用性，其規範整體均具有拘束力並直接適用於各會員國；後者「指令」對其下達之會員國，就其要求完成之目的具有拘束力，但其完成的形式和方法之

選擇交由相關會員國當局決定。3 個支柱可歸納為「技術」、「市場開放」與「治理」，其中「市場開放」與「治理」兩項支柱，部分文獻將其合併統稱為「市場」或「政治」支柱，本研究後續統一使用「市場」支柱之文字。三項支柱主要涵蓋法令概述如表 2.1[2] 。

表 2.1 第四鐵路方案三支柱涵蓋法令

<table>
<tr><th>支柱</th><th>說明</th><th>相關法令概述</th></tr>
<tr><td>技術</td><td>針對鐵路營運之互通性與安全建立一致之審核程序</td><td>Regulation (EU) 2016/796 ：有關建立歐盟鐵路局 (ERA)，並廢止 Regulation (EC) n° 881/2004
Directive (EU) 2016/797 ：有關歐盟內鐵路系統之互連操作性(interoperability) (重新修訂 Directive 2008/57/EC)
Directive (EU) 2016/798 ：有關鐵路安全規範 (重新修訂 Directive 2004/49/EC)</td></tr>
<tr><td>市場開放（市場）</td><td>開放歐盟會員體之國內客運市場</td><td rowspan="2">Regulation (EU) 2016/2338 ：修訂 Regulation (EU) 1370/2007 有關授予國內鐵路旅客運輸之公共服務合約 (PSO Regulation)
Directive 2016/2370/EU ：修訂 Directive 2012/34/EU 有關開放國內鐵路運輸服務以及鐵路基礎設施之治理。 (Governance Directive)
Regulation (EU) 2016/2337 ：廢除 Regulation (EEC) 1192/69 有關鐵路企業帳正常化的通用規則。</td></tr>
<tr><td>治理（市場）</td><td>為基礎設施之管理單位創建更好的架構和治理方法</td></tr>
</table>

資料來源：[2]

除了上述 6 項法令外，「第四鐵路改革方案」尚包括 1 項一般通知 (general communication)、3 項報告書、3 項影響評估（為 staff working document/工作文件）等 7 項附件，文件名稱概述如下：

1. 執行委員會針對「第四鐵路方案-促成歐洲單一鐵路區域以強化歐洲競爭力和成長」的通知（註：歐洲執行委員會 European Commission）；
2. 執行委員會針對實現鐵路系統互通性之進展**報告書**；
3. 執行委員會針對其他列車機組人員的概況與任務之**報告書**；
4. 執行委員會指令 2007/58 / EC 針對開放國際鐵路客運市場規定執行情況**報**

告書；

5. 執行委員會工作文件中與歐洲鐵路局(ERA)法規修定相關之**影響評估**；
6. 執行委員會工作文件中針對與鐵路國內客運服務市場開放有關之**影響評估**；
7. 執行委員會工作文件中針對涉及歐洲單一鐵路區域鐵路基礎設施管理之**影響評估**。

技術支柱部分，首先透過 Regulation (EU) 2016/796 之規章，創建歐盟鐵道局(European Union Agency for Railways，簡稱 ERA)，擔任強化 RUs 安全認證以及發行個別車輛授權方面之角色，以避免重複和不透明的國家規定，並引導朝向更快、更便宜和更調和之認證程序。技術支柱之目的在於大幅降低歐洲鐵路營運公司的成本和行政負擔，以提高鐵路部門的競爭力，特別是行駛跨歐洲列車時，營運公司不必重複提出昂貴的申請，歐洲鐵道局將頒發適用於整個市場之車輛授權及鐵路企業之安全認證。到目前為止，鐵路企業和車輛製造商仍須向個別成員國之安全主管機構，分別取得相關認證。

其次，技術支柱朝向創建一個具有便利使用、透明及程序一致的「One-Stop Shop」，以做為所有相關申請應用之單一入口點，同時確保歐洲鐵路交通管理系統(ERTMS)之設備具有營運之互通性。此外，減少大量既存之國內法規，以減少透明度不足所產生之風險，以及對新運營商變相之歧視。

市場支柱旨在逐步推動歐盟鐵路市場開放之目標。近年歐盟會員國國內鐵路客運市場所面臨之經營問題包括：準點性、舒適性、整潔性等服務品質不佳、乘客選擇有限以及公共資金之使用效率不佳等。而造成前述問題的背景原因則是因為部分會員國其國內鐵路內部競爭程度低，營運者缺乏競爭壓力、內部市場較不完整以及成員國之間的營運條件有所差異，而使得鐵路運輸服務品質不佳之情況。另外，依據歐盟第 1008/2008 法案規定，各成員國政府有權對國內偏遠或不發達、或對社會經濟發展具有重要意義等區域，推動「公共服務義務」（PSO, Public Service Obligation），而會員國多會針對前述「公共服務義務」進行補貼，致使資金使用效率不佳。

市場支柱對於國內鐵路客運市場建議包括：市場開放，即所有會員國之國內客運市場，應開放歐盟所有運營者參與經營，並根據經濟平衡測試，於必要時保護公共服務；其次，簽定 PSC（public service contracts），針對一定規模之公共服務合約以強制性競標（Compulsory Competitive Tendering, CCT）處理，並對於現存直接授予之合約，明確訂定截止日期（從現在開始過渡 10 年）。

所謂 CCT 即是將原本由政府所提供的公共服務，改以競標方式向民間購買，但現今各界考量 CCT 的交易成本過高、缺乏彈性、競標者不足、短期契約不穩定、偏遠地區競爭不足、士氣低落等缺點，已朝向改以最佳價值 Best Value 方式取得服務。

在治理支柱方面，主要為基礎設施之管理單位（Infrastructure manager，IM）創建更好的架構和治理方法。由於鐵路運輸系統具自然獨佔特性，基礎設施管理可能較缺乏對客戶需求回應之意願；其次基礎設施管理者亦缺乏降低成本和改善服務的激勵措施，以及缺乏跨境合作之動機。而未來平等市場進入的挑戰包括：如何整合基礎設施管理者的利益衝突，給予新加入者無歧視的市場進入權，同時要考慮到鐵路控股公司的利益，以及提升財務透明度或縮小存在交叉補貼。

本支柱對於治理方案之建議，分為效率措施及平等開放措施，其中效率措施包括：所有基礎設施管理功能都在同一權責單位手中（統一 IM）、建置基礎設施管理者和使用者間之協調機構，以及建立歐盟路網的 IM，以進行國際協調；在平等開放措施方面，透過機構分離以消除利益衝突，其次，在嚴格的獨立性規則下，維護現存整合架構的可能性，以及嚴格的驗證流程協議，俾使會員國得於缺乏公平競爭環境的情況下，保護其市場。

2.1.2《永續和智慧移動戰略》與 2021 歐洲鐵路年

歐盟委員會於 2019 年 12 月為歐盟及其公民制定《歐洲綠色協議》，目標是到 2050 年實現氣候中和，讓歐洲在 2050 年成為「第一個碳中和的大陸」。根據此協議，歐洲「碳中和」是首要目標，預期目標是在 2050 年使溫室氣體淨排放量達到零，此目標將落實於 2020 年 3 月所提出之「氣候法」中，中期目標為 2030 年將溫室氣體排放減少 50~55％（以 1990 年為基期年），以取代目前 40％之目標[3]。

由於交通運輸溫室氣體排放量佔歐盟總排放量約 1/4，因此運輸部門的減量，對於實現上述目標扮演重要角色，因此設定於 2050 年交通部門溫室氣體排放量減少 90％的目標。其中歐洲之鐵路部門承諾於 2030 年時鐵路客、貨運輸的二氧化碳排放總量減少 30%，以達到 1990 年之水平。

爰此，歐洲鐵路與基礎設施公司共同体(CER)、歐洲鐵路基礎設施管理者（EIM）和歐洲鐵路工業聯盟（UNIFE）之聯合聲明中，提出下列與環境政策相關之優先事項[3]：

- 建立無縫、完全（無摩擦）之單一歐洲運輸區域；

- 實施「污染者付費」和「運具移轉」之原則，以實現包括鐵路在內的永續運具；
- 針對零排放車輛（考慮所有運具）及其相關基礎設施，進行財務和立法之支持。

配合《歐洲綠色協議》之頒布，歐盟委員會交通運輸總局（DG MOVE）最近於 2020 年 12 月初發布「永續和智慧移動戰略」，該戰略針對歐盟交通運輸系統實現綠色運輸、數位化轉型以及因應未來危機等議題，提供相關策略基礎，以具體解決所有運輸方式碳排放之問題、落實前述於 2050 年交通相關溫室氣體排放量減少 90%之目標，並達成歐盟成為第一個氣候中和大陸之目標。同時上述「永續和智慧移動戰略」將為相關產業針對綠色與數位轉型建立指引途徑、建立具彈性且預防危機之運輸系統，並加強歐洲運輸單一市場之推動，確保公民和企業之間互聯互通的行動，確立歐洲成為永續和智慧交通領域之領先力量。

根據「永續和智慧移動戰略」，所有運輸方式應朝永續發展，提供更廣泛、可取得之綠色替代方案，並採取適當誘因以推動相關變革。具體發展之里程碑如表 2.2 所示[4]。

表 2.2「永續和智慧移動戰略」推動里程碑

目標年	設 定 目 標
2030	◆ 至少 3000 萬輛零排放汽車。 ◆ 100 個歐洲城市將達成氣候中立。 ◆ 整個歐洲高鐵運輸量將增加 1 倍 ◆ 500 公里以下之預定集體行程應朝碳中和規劃 ◆ 自駕車將大規模部署推動 ◆ 零排放船舶將做好市場準備
2035	◆ 零排放大型飛機將做好市場準備
2050	◆ 幾乎所有汽車、貨車、公車及新重型車輛將實現零排放。 ◆ **鐵路貨運量增加 1 倍。** ◆ **全面營運與複合運具之跨歐洲運輸網絡（TEN-T）**，以連結實現永續與智慧運輸。

資料來源:[4]

而為達成此目標，該戰略提出下列 10 個關鍵行動領域，此外尚有 82 項行動計畫，詳 2.3 所示。

在前述《歐洲綠色協議》發展目標之背景下，歐盟將 2021 年定為歐洲鐵路年，以促進鐵路成為永續、創新和安全的運輸方式，更重要的是配合歐盟政策，創建一個無邊界之單一歐洲鐵路區域。

歐洲鐵路年旨在通過相關的活動及宣傳，以促進鐵路運輸發展，提升鐵路服務之吸引力、安全性以及以永續方式於歐洲行駛。此外，除相關的宣傳行銷外，並著重於提高乘客權利及其權利之認知。而正在進行《鐵路乘客權利條例》的改革是第一個機會。歐洲鐵路年必須考慮歐盟旅客之多元性，包括行動不便旅客、不同年齡層旅客以及居住於農村或周邊地區之旅客，以確保整個歐盟範圍內之服務可及性和覆蓋範圍，必須確保沒有任何人被排除在外，並藉此機會進一步增加鐵路運輸之可及性，並提高旅客權益。

表 2.3「永續和智慧移動戰略」之 10 個行動領域

行動領域	策略
Sustainable **永續**	• **促進零排放車輛、船和飛行器，可再生與低碳燃料及相關基礎設施之普及**，例如於 2030 年設置 300 萬個公共充電站。 • **建立零排放的機場和港口**-例如，透過新倡議促進永續航空與海運燃料的使用。 • **城際和都市移動之健康與永續發展**。例如，在未來 10 年內，將高速鐵路交通量增加一倍，並開發額外的自行車基礎設施。 • **綠色貨運**，如 2050 年鐵路貨運量增加 1 倍。 • **實施碳定價並提供使用者更好的誘因**。如建立整體措施，為所有運輸提供公平且效率之訂價。
Smart 智慧	• **實現不同運具間之連結整合與自動化**。例如，促成乘客能購買多種運具聯運票證以及貨運服務，以達成運具間無縫轉運。 • 強化創新及大數據和人工智慧（AI）的使用，以實現更智慧運輸。例如，大力支援無人機和無人駕駛航空器之部署，以並建立歐洲通用行動數據空間採取進一步行動。
Resilient **適應性**	• **強化歐洲單一市場**。例如，通過加大力度和投資，俾**於 2030 年前完成跨歐洲運輸網絡（TEN-T）**，同時增加公、私部門投資，支持所有運具車隊之現代化。 • **確保交通服務之公平性且所有人都可使用**。例如，使所有地區和所有乘客（包括行動不便的乘客）都可以負擔得起新的運輸方式，並增加運輸事業對從業人員之吸引力。 • **強化所有運具之運輸安全**，包括達成 2050 年時死亡人數接近零之目標。

資料來源:[4]

此外，選擇 2021 年做為「歐洲鐵路年」，除了支持在交通領域實現上述《歐洲綠色協議》目標外，更是考量 2021 年將是在整個歐盟範圍內實施 Fourth Railway Package（第四鐵路方案）規定之第一年，同時，2021 年亦為歐洲鐵路幾項重要的週年紀念，包括：第一鐵路方案（The First Rail Package）20 週年紀念日、2 個歐盟首都（巴黎與魯塞爾）間第一條鐵路連結之 75 週年紀念日，以及 TGV40 年、ICE30 年歷史紀念等。

綜合言之，2021 歐洲鐵路年主要目的在於[5]：

- 協助實現歐洲綠色協議目標；
- 創造魅力與永續鐵路服務以連結人民與商業活動；
- 強化永續與智慧移動之未來戰略；
- 其他關鍵倡議之亮點：
  - 運具移轉至鐵路運輸；
  - 修正 TEN-T 規定；
  - 實施第四鐵路方案。

由上述目的可知，透過提升鐵路運輸之魅力與服務品質，協助歐洲實現綠色協議之目標，同時落實歐盟第四鐵路方案，實現歐洲鐵路單一市場，達成無國界之鐵路服務。

2.2 德國鐵路基礎設施與智慧鐵路發展政策

2.2.1 德鐵(DB)改革歷程概述

1991 年東西德統一後，德國將原東德鐵路（DR）與西德鐵路公司（DB）合併，同時配合歐盟所頒佈 91-440 號歐洲鐵路發展指令，於 1994 年開始進行國鐵改革計畫，並規劃分為三階段進行。

在 1994 年 1 月推動第一階段組織改革，成立「德國鐵路公司」(German Railways, Deutsche Bahn AG , DB AG) 之特殊公司組織，其採用的車路體制即所謂車路分離模式，將基礎設施回歸國家管理，設置聯邦鐵路局(EBA)和聯邦鐵路財產局(BEV)；德國國鐵營運主體改制為國營鐵路公司，由政府掌握全部的股份，公司分為貨運、短程客運及長程客運等三個主要部門，為暫時性過渡組織型態。

1999 年 7 月推動第二階段組織改革，由「德國鐵路公司(DB AG)」成立五家子公司，並持有所有子公司的股權，德國鐵路公司正式由國營鐵路公司轉為國有民營鐵路公司（控股公司），由 DB AG 負責管理所有列車營運公司的執照

核發以及路網運作，列車營運公司經由內部支付支應路線使用費(Track Fees)即可擁有鐵路使用權。

第三階段組織改革原來預定於 2002 年執行，將各個子公司股票上市，並解散控股公司。直至 2008 年 5 月 30 日，德國聯邦議院批准德國鐵路公司部分私有化計畫，即先就德鐵機動物流子集團(DB Mobility Logistics AG, DB MLAG)進行民營化，惟因逢金融海嘯，上市民營計畫已被凍結。目前德鐵公司仍為國有民營鐵路控股公司。

目前 DB 集團旗下共計有 8 個事業單位，詳圖 2.1，共計擁有超過 500 家子公司，集團規模僅次於德國郵政公司，是歐洲最大的鐵路營運及基礎設施維護單位。改革近 20 餘年取得亮眼成績，鐵路基礎設施、車站經營、鐵路貨運、地區性鐵路客運等，均為歐洲第一或第二名，長途鐵路客運亦不遑多讓。

旅客運輸	貨運物流	基礎設施
德國境內及歐洲運輸服務	陸、海、空智慧化物流服務	兼具效率及未來性之鐵路基礎建設
▸DB Long Distance 長程旅客運輸 ▸DB Regional 區域性旅客運輸(德) ▸DB Arriva 都會/區域旅客運輸(歐洲)	▸DB Cargo 歐洲境內鐵路貨運服務 ▸DB Schenker 全球物流服務	▸DB Netze Track 鐵道路網建置 ▸DB Netze Stations 客運車站 ▸DB Netze Energy 運輸系統牽引動力

資料來源：[6]

圖 2.1 德鐵組織架構圖

2.2.2 聯邦基礎設施計畫 (The 2030 Federal Transport Infrastructure Plan，FTIP 2030)

德國運輸系統主要是依據聯邦運輸基礎設施計畫（Federal Transport Infrastructure Plan , FTIP）[7]進行相關建設、可謂為德國聯邦政府最重要的運輸基礎設施規劃工具。FTIP 2030 奠定德國政府規劃至 2030 年期間相關運輸政策基礎。根據《基本法》，聯邦政府負責為聯邦運輸基礎設施之建設和結構維護提供資金，此亦為 FTIP 之重點。提供經費之基礎設施範圍包括：聯邦高速公路和聯邦公路（統稱聯邦主幹路）、聯邦鐵路和聯邦水路（waterway）。至於海、陸港口、機場和物流園區則不屬於聯邦運輸基礎設施範圍。

FTIP 內容包括必要的資本維護投資以及對替代基礎設施升級和新建項目的投資，結構維護和更新之預測需求亦包含在計畫中，作為每種運具的總金額。在評估特定項目的升級和新建工程時，FTIP 將重點放在對大面積區域具有重大

影響並產生顯著的運能提升和(或)品質改善影響的項目上。

考量財政資源有限，同時因應客貨運輸之成長需求，本期 FTIP 之重點原則是「**結構維護優先於新建計畫**」以及「**消除擁擠走廊之瓶頸**」，其次，才是將其他經費用於升級和新建設計劃。為有效配置資源，FTIP 需對計畫進行優先順序之分級，同時相關評估還須反映運輸安全、減緩氣候變化、環境保護和減少噪音等方面之因素。

FTIP 2030 包含以下幾項優先級類別：具有優先等級之第一優先(VB)/消除瓶頸(VB-E)；第二優先等級之第二優先(WB) /計劃優先(WB *)。VB / VB-E 項目將在 FTIP 的有效期內到 2030 年實施或開始。

據估 VB / VB-E 類別的鐵路計畫，預計將可使容量因素造成的瓶頸長度減少共約 800 公里、列車延誤減少約 13%，進而利用鐵路運送更多的乘客和貨物，並減少每年等待時間約 15200 小時。此外亦因容量增加，使每年小客車延車公里數減少 15 億、減少 HGV（重車）72.4 萬旅次數（HGV 延車里則為 5.19 億車公里）。

在經費方面，FTIP 2030 於 2016 年至 2030 年期間共提供之資金總金額約為 2696 億歐元，詳圖 2.2 所示。其中用於道路、鐵路、水路等 3 路網系統之結構維護經費共計約 1416 億歐元，約佔 FTIP 規劃總額之 69%。在運具別部分，各系統預算比例分為：公路 49.3%、鐵路 41.6%，水路 9.1%。鐵路運輸系統金額為 1123 億歐元。在細項部分，結構維修與更新為 584 億歐元、升級與新建項目為 267 億歐元、保留新建項目(含維修)為 197 億歐元、其他投資項目為 74 億歐元。

在聯邦鐵路基礎設施方面，聯邦鐵路網之營運長度約為 33,000 公里。根據聯邦政府《基本法》（即德國憲法）第 87e 條[1]，聯邦政府負責升級和維護網絡，並根據《聯邦鐵路基礎設施升級法》第 8（1）條應為鐵路投資提供資金，包括對替代基礎架構和現有網絡的投資。聯邦鐵路基礎設施公司受在德鐵股份公司（Deutsche Bahn AG）之領導，其中 DB Netz AG，DB Station＆Service AG 和 DB Energie GmbH 為鐵路基礎設施之所有者。根據《股份公司法》規定，雖聯邦政府為德鐵唯一股東，但聯邦政府不得對德鐵路公司之企業決策施進行干預。

[1] 聯邦鐵路之鐵路運輸行政屬聯邦直接行政。鐵路運輸行政之任務得以聯邦法律授權各邦成為其固有事務。

	Total investment (in € bn)	Other investment (2016-2030)	Structural maintenance/ replacement (2016-2030)	Upgrading and new construction (2016 to 2030) (excluding structural maintenance/ replacement share)		Upgrading and new construction "Reserve" (as of 2031)
			Capital maintenance investment/investment in replacement infrastructure (incl. structural maintenance/replacement shares in combined upgrading projects)	Ongoing and definitely planned projects	New projects VB/VB-E	New projects VB/VB-E (with structural maintenance/ replacement share)
Federal trunk roads	132.8	12.0	67.0	15.8	18.3	19.6
Federal railway infrastructure	112.3	7.4	58.4	8.4	18.3	19.7
Federal waterways	24.5	2.2	16.2	0.9	1.8	3.5
All modes of transport	**269.6**	**21.6**	**141.6**	**25.1**	**38.5**	**42.8**

Table 3: **Total level of funding in the FTIP 2030 by mode of transport and type of use**[6]

6 Possible deviations in the totals are due to rounding up or down

資料來源:[7]

圖 2.2 FTIP2030 運具別投資額度統計

聯邦政府經由提供建設補貼，來資助對鐵路基礎設施公司對現有路網的投資，這些補貼通常涵蓋所有建築成本，並且不予償還。 直到 2008 年，相關投資都是在「集體資助協議」（collective funding agreements）範圍內提供。在工作完成後，由德國聯邦鐵路局（Federal Railway Authority）針對資金使用之合宜性進行驗證，以確保資金之有效使用。 在 2009 年，改採用 output control 之方式取代過去之 input control，並做為融資協議（service level and funding agreement，SLFA，德為縮寫為 LuFV）內容之一部分。所謂融資協議是由聯邦政府與 DB 所共同簽署之合約，主要監管現有鐵路路網中之更新與維修等資本支出，並定訂相關品質指標，若業者未能遵守規定時，政府可依合約規定進行對應處分，以確保現存路網應維持雙方所商定之服務品質。新版的 SLFA（SLFA II）則自 2015 年 1 月 1 日起生效，並適用至 2019 年底，而 SLFA 相關規範則為納入前述聯邦運輸基礎設施計畫（FTIP）之內容之一。

透過 SLFA，鐵路基礎設施公司承諾將其鐵路基礎設施保持在高品質的狀態。 為此，它們保證了對更新基礎設施和預防性維護工作的最低投資水平。更新基礎設施是指更換老舊設施，而預防性維護的目的是保持現有設施得以充分運轉。雖更換基礎設施主要由聯邦政府提供投資經費，但是 SLFA 還要求基礎設施公司亦須負責一部分經費。

在 SLFA 的框架內，鐵路基礎設施公司雖可依據自身投資活動和優先順序做出經費決定，但是，仍必須定期依據框架內的相關品質指標，評估基礎設施

的狀況，並制定年度目標，而如未能達到 SLFA 協議中所規範之目標，聯邦政府可以全部或部分收回（reclaim）其基礎設施經費。依據此合約，德鐵公司（Deutsche Bahn AG）會發布年度基礎設施狀況和發展報告，說明鐵路網現況發展以及合約目標執行狀況。

圖 2.3 為品質評估指標之內容，包括理論延滯、基礎設施缺失數量、月台功能性、設施品質之評估、鐵路能源供應之安全性、基礎設施更新最小投資水準以及預防性維修最小投資水準。

對於 DB Netz AG 而言，「基礎設施缺失數量」和「理論延遲」是聯邦政府於制裁處分最主要參考之品質指標。其中「理論延滯」係指列車在具有無限大之加速與煞車能力的前提下，由於設備缺失，而使列車無法依其在完美條件下路線上之速度，在所有路線上行駛所造成的延滯。

對於 DB Station＆Service AG，「平月的功能性」和「評估設備品質」則尤為重要，長途和市區路網以及區域路網均會考量此二指標。對於 DB Energie GmbH 而言，關鍵質量指標則是「鐵路能源供應之安全性」

SLFA (service level and funding agreement) 品質指標

				)10[2]	2011[2]	2012[2]	2013[2]	2014
Theoretical delays [min.]	Overall network (target)	-	2,843	2,841	2,840	2,839	2,645	2,627
	Overall network (actual)	2,845[1]	2,763	2,594	2,601	2,496	2,675	
	LD&CN (target)	-	777	775	774	773	771	731
理論延滯	LD&CN (actual)	779[1]	700	591	565	513	779	
	RN (target)	-	2,076	2,076	2,076	2,076	2,076	2,076
	RN (actual)	2,076[1]	2,073	2,013	2,047	1,993	1,907	
Number of infrastructure deficiencies	基礎設施缺失數	-	-	1,758	1,719	1,677	1,644	1,459
		-	1,778[1]	1,687	1,607	1,515	1,500	
Functionality of platforms [points]	DB St&S (target)		22,328	22,445	22,663	22,829	22,945	23,681
	DB St&S (actual)	22,212[1]	22,426	22,712	22,930	23,216	23,493	
月台的功能性	RNI (target)		397	401	403	407	410	427
	RNI (actual)	395[1]	408	408	413	423	424	
Assessment of quality of facilities [grade]	DB St&S (target)	-	-	3.12	3.10	3.08	3.06	3.01
	DB St&S (actual)	-	3.14[1]	3.13	3.07	3.05	3.03	
設備品質評估	RNI (target)	-	-	3.47	3.41	3.36	3.31	3.20
	RNI (actual)	-	3.52[1]	3.44	3.17	3.28	3.25	
Security of railway energy supply [%]	(Target)	-	99.85	99.85	99.85	99.85	99.85	99.85
鐵路能源供應安全性	(Actual)	-	99.98	99.985	99.912	99.927	99.99	
Minimum level of investment in replacement infrastructure [€ millions]	(Target)	-	2,500	2,500	2,500	2,500	2,750	2,750
	基礎設施更新最小投資水準			2,942	2,904	3,077	3,091	
Minimum level of investment in preventive maintenance [€ millions]	(Target)	-	1,250	1,000	1,000	1,000	1,100	1,100
	預防性維修最小投資水準			1,457	1,436	1,475	1,497	

Table 4: Evolution of quality indicators underpinned by sanctions on the existing rail network since 2008

資料來源:[7]

圖 2.3 鐵路路網品質評估指標

SLFA II 規劃截至 2019 年，平均每年投資 40 億歐元用於更換現有的鐵路基礎設施，其中包括約 33 億歐元的聯邦預算，以及從 2016 年開始向聯邦政府支付的額外股息，這筆費用將全部由聯邦政府提供，用於鐵路基礎設施的投資（詳圖 2.4）。此外，鐵路基礎設施公司按合約規定自付出資總額為 1 億歐元。

	2015	2016	2017	2018	2019	Average (rounded)
Federal Government infrastructure contribution (estimate in the federal budget)	3,350	3,153	3,075	3,500	3,500	3,316
Planned dividend payouts by Deutsche Bahn AG for investment in replacement infrastructure	0	500	600	450	650	440
Investment in requirement plan upgrading projects that is relevant to the existing network	289	114	170	62	85	144
Railway infrastructure companies' own resources	100	100	100	100	100	100
Total: need for replacement/meeting the need	**3,739**	**3,867**	**3,945**	**4,112**	**4,335**	**4,000**

Table 5: **Investment in replacement infrastructure on the rail network in accordance with SLFA II, figures in € millions**

資料來源:[7]

圖 2.4 根據 SLFAII 相關基礎設施更新投資額度

LuFV II 計畫期程於 2019 年 12 月 31 日結束。該計畫自 2015 年至 2019 年達到在現有路網中投資總計 200 億歐元之合約目標，其中包括聯邦政府的基礎設施建設投入，DBAG 和 DB 基金的股利支付。

LuFV III 於 2020 年繼續實施，並大幅增加預算。經過兩年多的談判，由聯邦政府與 DB 集團達成為期十年的協議，該協議於 2020 年 1 月 1 日生效。預計至 2029 年止，預計投資 860 億歐元，用於現有路網之維護和現代化[8]，其中 DB 自有資金為 240 億歐元，與 LuFV II 相比，總計可用於資本支出和維護之資金增加約 54%。此外，鐵路基礎設施公司之稅後收益將分配給聯邦政府，並全額再投資於鐵路基礎設施。

此外，LuFV III 亦設定各個品質指標之年度目標值，以確保基礎設施品質之持續進步，經由 10 年期之協議，將確保為 DB 和國內經濟提供更大的計畫確定性，透與供應商之長期協議，使相關投資更具未來性，同時也激勵鐵路建設領域更大之發展和創新，旅客也將從中受益。

2.2.3 德鐵數位化發展

德國鐵路數位發展係源於工業 4.0。工業 4.0 亦稱為第四次工業革命，係由德國政府所推動之高科技計畫，用來提昇製造業的電腦化、數位化和智慧化。

2006 年德國發布《德國高科技戰略》，但德國政府考量該國在成本上缺乏競爭力，因此期望藉藉由創新，克服成本劣勢，使德國保持全球市場領導者的

地位。2010 年德國又提出《德國高科技創新戰略 2020》，重點關注氣候變化與能源、健康與營養、移動、安全和通信等 5 大領域，並於 2012 年將工業 4.0 納入前述戰略計畫中。在工業 4.0 的浪潮下，德鐵亦引進了 DB 4.0，包括六項 4.0 行動方案[9]：

1. Mobility 4.0，是設計以客戶為中心的商品，並設定不同的數位行動市場（digital mobility markets）發展情境，以調整產品設計方向。主要聚焦在乘客購票、列車資訊、車上資訊、到站服務、物流追蹤等方面，針對不同顧客旅次特性，以打造個人化旅運方案。

2.Logistics 4.0，以大數據及智慧資產等技術與概念，發展一套未來產品組合、數位化的客戶溝通介面，以及以網路為基礎的作業程序。

3. Infrastructure 4.0，關注於基礎設施的數位化，其中包含與客戶連結性、數位化處理程序之提升以及打造全新的商業模式。

4. Production 4.0，生產力 4.0 主要關注於鐵路營運以及維護作業的自動化及數位化。

5. Working Environment 4.0，工作環境 4.0 關注於總體架構的議題，包括員工作業、溝通及學習，具有潛力的未來發展方案，將會被制度於員工守則中。

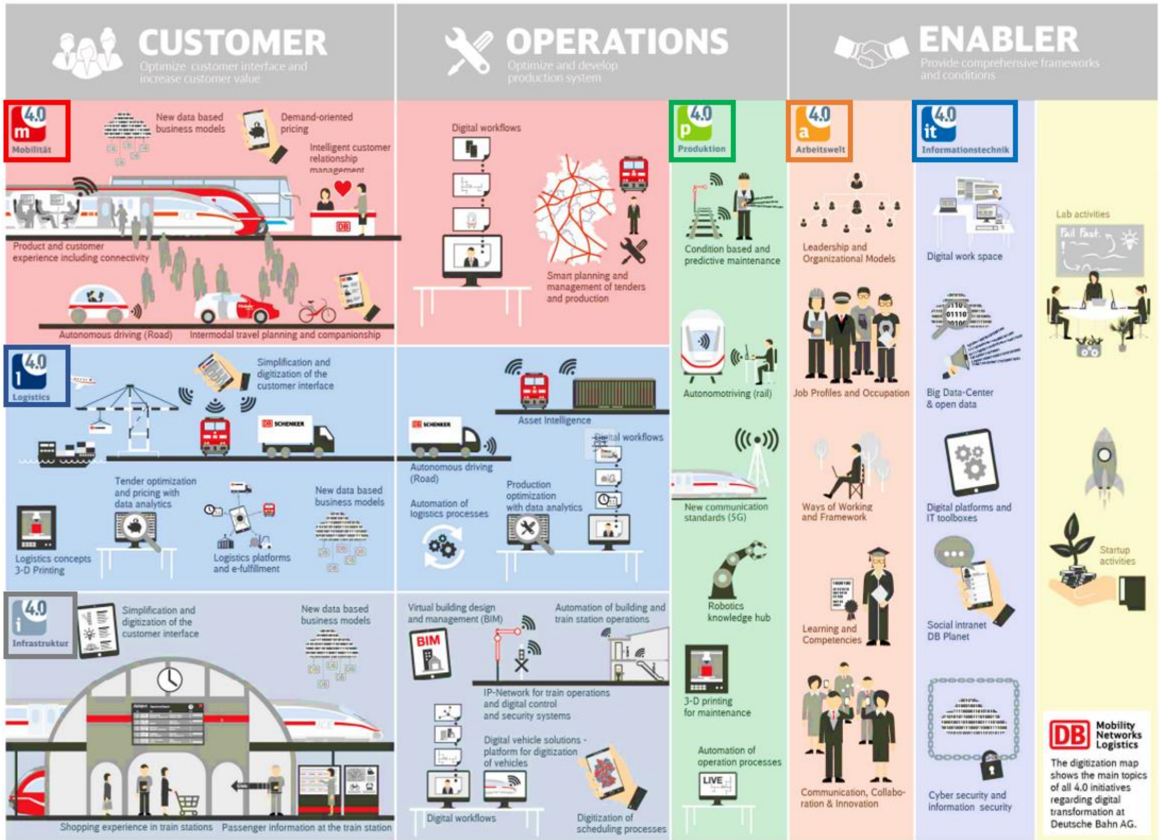
6. IT 4.0 致位協助 DB 發展智慧化，可快速反應、高效率且可靠的資訊系統。

由圖 2.5 可看出 DB 4.0 之架構完整，其核心價值為創造一個非傳統的工作環境，並做為企業文化轉變的象徵。而前述說明可看出，上述六項 4.0 行動方案是從集團整體的改革著眼，包括市場與商品定位戰略、企業環境與員工能力等，而非僅強調業務領域相關技術之數位轉型與創新，亦可做為我國鐵路公司進行數位轉型之參考架構。

至於德鐵智慧化技術面主要之發展與方向如下：

1. ETCS 歐洲列車控制系統（Infrastructure 4.0）

歐洲列車控制系統（ETCS）係整合歐洲鐵路多種鐵路安全系統而開發之列車訊號、控制及防護系統，截至 2010 年止，已有逾 12 個國家的約 18,000 公里鐵路中安裝有 ETCS。ETCS 分為 Level1、Level2 及 Level3，其特徵如表 2.4 所示。



Customer / 顧客 顧客界面最佳化與增進顧客價值		Operation / 營運 最佳化與產品發展系統	Enabler/助力環境 提供整體架構與條件	
Mobility 4.0 • 包括**連結性**在內的產品和客戶體驗 • 以大數據為基礎之商業模式 • 需求導向之訂價策略 • 智慧客戶關係管理	• 招標與生產之智慧化規劃與管理	**Production 4.0** • 設定條件與預測性維修 • 列車自動駕駛 • 5G新的通訊標準 • 機械知識中心 • 3D列印輔助維修 • 操作程序自動化	**Work 4.0** • 領導與組織型態調整 • 工作清單與職務 • 工作方式與架構 • 學習與能力 • 溝通、合作與創造	**IT 4.0** • 數位工作空間 • 大數據中心與開放資料應用 • 數位平台與IT工作盒 • DB之社交內網 • 網路安全與資訊安全
Logistics 4.0 • 客戶介面之簡化與數位化 • 物流概念3D列印 • 以新數據資料為基礎之商業模式 • 物流平台與e化執行 • 以數據分析最佳化採購與訂價	• 以數據分析朝生產最佳化 • 智慧設備 • 物流流程自動化 • 工作流程數位化			
Infrastructure 4.0 • 客戶介面之簡化與數位化 • 以新數據資料為基礎之商業模式	• 導入BIM • 列車營運、數位控制及保安系統網路IP化 • 排班數位化 • 車站營運設備自動化 • 列車數位化方案			

資料來源:[9]，本研究整理

圖 2.5 DB 4.0 之架構與內容

表 2.4 ETCS 之類型與說明

ETCS 類型	說明
Level 1	在傳統號誌系統中(Level 0)之上，於列車上增設符合 ERTMS/ETCS 標準之列車自動防護裝置（ATP），同時於路線設置地上應答器（Eurobalise）。
Level 2	在 Level 1 系統架構上，於列車上增設**鐵路無線通訊系統**（ERTMS/GSM-R）標準設備，並在軌道旁配合安裝同標準之無線基地台。列車移動權或允許移動途徑和距離，非由軌道側號誌顯示，而是來自無線閉塞中心（Radio Block Center，RBC），連結至號誌連鎖系統，並經由無線基地台傳送至列車駕駛室之顯示器，顯示該路段允行速度，實現**車載號誌**（Cab signal）之功能。
Level 3	車上仍裝載鐵路無線通訊系統（ERTMS/GSM-R）標準設備，在地面裝設同樣標準之無線基地台；但不再使用軌道電路或計軸器，列車定位完全由車載系統負責（即 CBTC），以實現移動閉塞。

資料來源:[10]

ETCS（歐洲列車控制系統）是德國數位鐵路的核心。德國已開始全面安裝 ETCS 和無線通訊系統（Global System for Mobile Communications，GSM-R，為一個用於鐵路通訊及應用之國際無線通訊標準，傳輸速度可達 500 公里/小時）。ETCS 的最重要任務是確保列車沿軌道的每個部分以正確的速度行駛。透過設置於軌道側之設備，將相關資訊傳送至駕駛艙的螢幕上，告知最大允許速度及停車點，而無需再使用傳統的紅綠燈號誌，所採用的號誌控制層級為 Level 2，其架構如圖 2.6 所示。

歐洲列車控制系統（ETCS）不僅為德國鐵路運輸提供更安全與高效之服務，而且為歐洲範圍內的跨境互操作性（inter-operational）提供營運條件。ETCS 正朝歐洲經濟中心/走廊發展，至 2022 年，跨歐洲網絡(TEN-T)之路線將擁有 2,000 公里之 ETCS 運轉，其中約 1,450 公里將沿著萊茵-阿爾卑斯山脈走廊安裝。德國 ETCS 走廊 A 項目長約 1600 公里，是跨歐洲萊茵-阿爾卑斯山脈走廊裝備工作中最廣泛的部分。

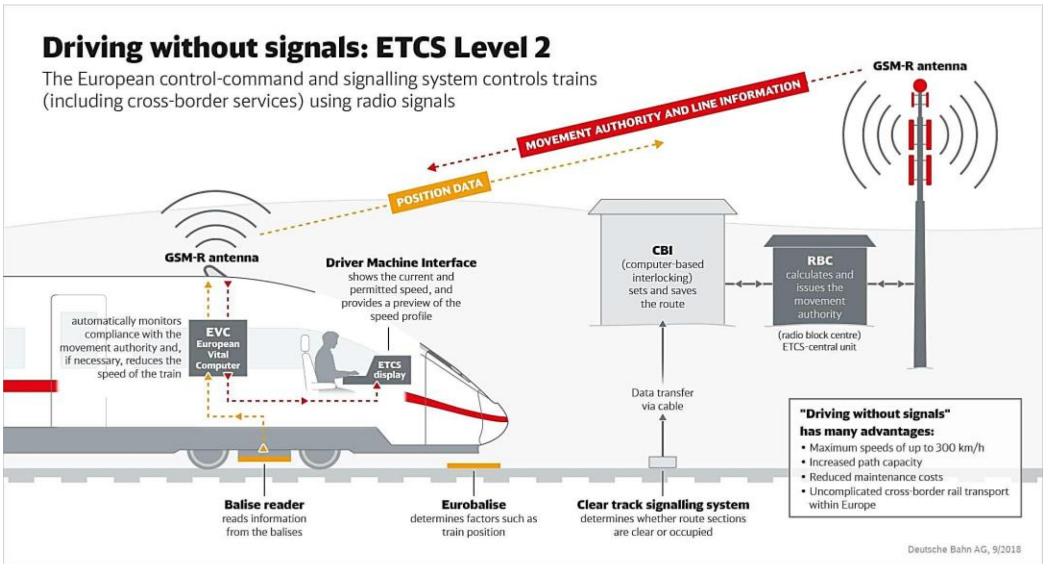


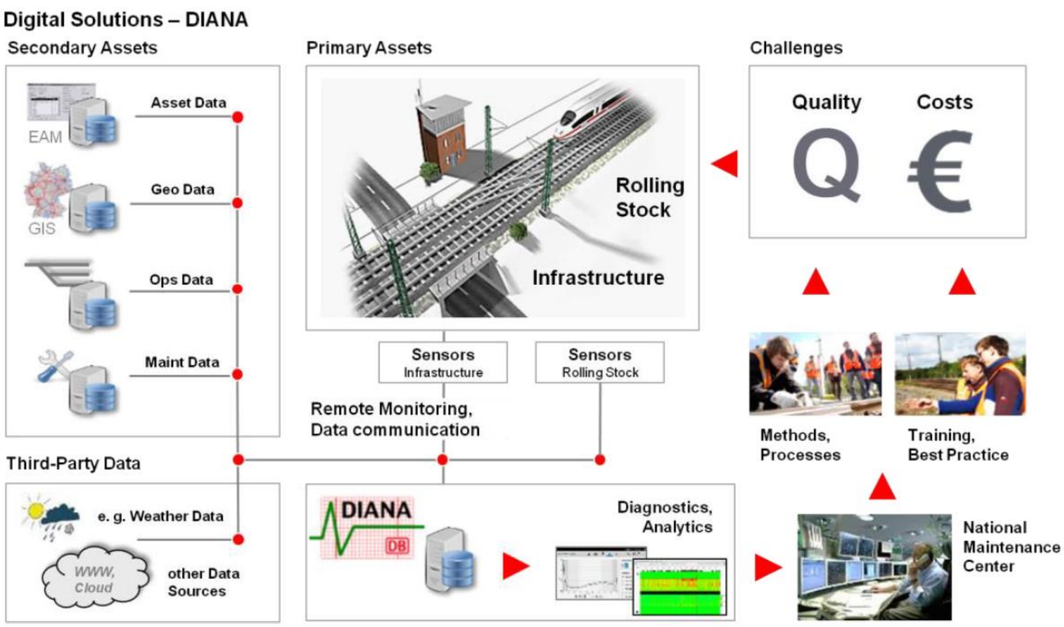
圖 2.6 德國 ETCS Level 2 運作示意圖

2. DIANA 鐵道設施診斷與分析平台

鐵路資產維護之數位化係為德國「Strong Rail」戰略之重點之一，亦為 DB Engineering＆Consulting GmbH 的重要職責範圍。

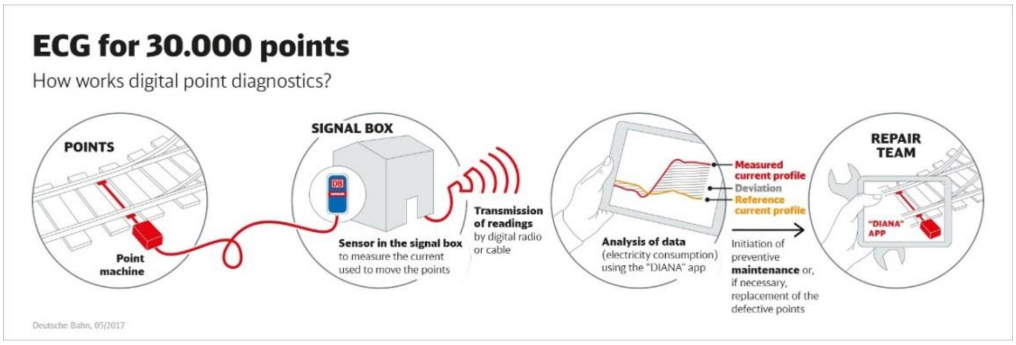
DIANA 平台係採 Web 平台設計，透過將感測器(Sensor)裝設於軌道轉轍器上，以監測該點狀態，並就設備之正常、可能發生故障及已故障等狀態回傳平台。該平台可就診斷資訊加以整合、互連、評估並視覺化處理，以有效對鐵路基礎設施和車輛進行預防性維護，據評估透過提前維修可減少偵測點 50%之故障，進而有效提升鐵路服務品質與準點性。

德鐵計畫於 2020 年安裝 30,000 個點監測設備，並連接到 DIANA 平台。前述監測 Sensor 係為 DB Engineering＆Consulting 自行開發之創新感測器，強化對設備狀態之連續監視，與以往的傳感器相比，創新數位感測器 IDS (Innovative Digital Sensor) 可提供更多測量數據，以鑑別未知之磨損情況，有助於對設備之預防性維護以及長期預測等，提供更具決定性的分析和診斷，提升系統整體可用性並降低成本，而此感測器技術亦是朝向基礎設施 4.0（Infrastructure 4.0）目標邁進之重要里程碑。



資料來源：[9]

圖 2. 7 德鐵-DIANA 鐵道設施診斷示意圖



資料來源：[9]

圖 2.8 德鐵-DIANA 轉轍器診斷示意圖

3.光纖感測 (Fibre optic sensing)

「光纖感測」是利用光訊號感測物理環境之變動，具有衰減率低、敏感度高及不受電磁效應干擾之特性，因此適用於長距離、微弱訊號的偵測。近來已發展出多種光纖感測技術相關儀器，例如位移計、溫度計、加速度計等。

軌道系統對光纖感測之應用，係透過將光纖電纜中的光反射將音訊視覺化，透過將光纜設置於軌道旁，以光速發送有關軌道中噪音資訊，經過分析，獲取基礎設施及車輛之狀況，以及列車定位與速度。目前德鐵之光纖電纜約覆蓋 50％之鐵路路線，除了光纖電纜進行數據傳輸以及操作號誌外，此外尚可進行更

多之應用，例如土石流或落石撞擊路軌時會產生聲波，該聲波會使玻璃纖維電纜短暫變形進而影響通過電纜的光脈衝，透過特殊過濾系統分析相關資訊，可有效定位出岩石之落點。透過光纖設備之多元應用，不僅可以支持預測性維護工作的落實，同時亦透過網路之提供，改善旅客資訊服務之便利性。

4.其他相關技術

德鐵智慧化相關技術與發展狀況如前述圖所示，大致可歸納為顧客服務、維運及助力環境等三個面向，在顧客服務部分，透過 DB Navigator 應用程式，提供旅運資訊服務、建立以大數據為基礎之商業模式等；在營運部分則以基礎設施智慧化為主，除了前述之 ETCS、預防性維修技術(如 DIANA 鐵道設施診斷平台及光纖感測)外，尚有列車自動駕駛、數位排班、BIM、自動化流程以及 3D 列印輔助維修等；最後在整體環境架構部分，包括 work4.0 及 IT4.0，則較偏向企業內部因應數位化發展所配合之領導與組織結構、溝通與合作、職能提升以及網路環境與安全等。

2.3 英國鐵路基礎設施發展策略

2.3.1 英國鐵路組織架構

1992 年 7 月運輸大臣向國會提出英國國鐵民營化之白皮書，以做為國鐵民營化之依據與方向，並開始啟動。為配合歐盟法規，係採用車路分離模式，將軌道和基礎設施於 1994 年 4 月 1 日移交給 Rail Track 鐵路軌道公司，而與旅客與貨物運輸相關之服務，以特許方式，拆分予多家獨立經營之民間營運公司（Train of Operator），其中客運約 25 家公司，貨運則為 6 家。英國車路分離甚為徹底，民營化初期即成立列車租賃公司（ROSCO），提供車輛租賃服務，一方面減少民營列車公司之資本投資，另一方面則活絡資本市場，該單位已於 1996 年出售成為民營機構。

在政府管制面，設立 ORR 與 OPRAF 二個主要權責單位，其中 ORR（鐵路營運管制單位）主要負責相關證照之核發、監督 25 家民營列車營運公司、6 家貨運公司以及 Railtrack，並管制獨佔行為，以確保有效的競爭架構。至於在特許經營權之許可方面，則成立特許經營權決策單位 OPRAF(Office of Passenger Rail Franchising, 簡稱 Franchising Authority)負責特許經營權之授與及服務品質標準之訂定。

民營化後英國鐵路發生數起重大事故，導致 Rail Track 於 2001 年 10 月宣告破產，迫使英國政府重新接管軌道和基礎設施，並重組為新的國營鐵路路網公司（Network Rail）。

英國國鐵自民營化後，相關管理組織多次調整，變更至今，原負責民間公司特許合約的 OPRAF 已不存在，現由 Network Rail 負責民間營運公司（Train of Operators, TOCs）特許權之發放。英國國鐵自 1994 年民營化迄今 20 餘年，民間營運公司更迭，目前約有 29 家特許民營鐵路客運公司。

2.3.2 英國鐵路基礎設施發展策略

英國運輸部國務大臣於 2017 年發佈「連結旅客:鐵路戰略願景」(Connecting people: a strategic vision for rail，以下簡稱「鐵路戰略願景」)，這份文件主要目的在於消除英國鐵路車、路界面間阻礙，並對特許制度進行變革，同時鑑於英國不斷增長的需求，造成鐵路基礎設施負擔巨大壓力，促使政府必須投入龐大經費，以提高基礎設施容量、可靠性並改善旅運品質。近年，英國鐵路基礎計畫除如第 2 高鐵(HS2)，Crossrail 和 Great North Rail Project 等旗艦級計畫，並針對對現有鐵路結構進行現代化改造、車站升級，並引入新的車輛。

「鐵路戰略願景」承諾將透過開放住宅或經濟成長之新計畫以及提供物有所值的服務之新計畫，以恢復 1960、1970 年代畢齊政策[2]和隨後幾年英國鐵路裁撤路網所導致之鐵路路網萎縮困境。

此新戰略之核心目標是致力於改善整個路網之乘客體驗，並利用新技術來改善服務。相關策略包括與旅客權利相關之重大變更，如列車晚點 15 分鐘以上時對旅客之賠償、以及支持引入鐵路監察員制度，以確保公平對待所有乘客。

另外亦導入數位鐵路新技術，以減少擁擠並提高旅客列車準點性，同時加強鐵路貨運之角色，以達成支持英國經濟和環境發展之重要作用。

「鐵路戰略願景」擘劃從 2019 至 2030 年間之鐵路發展方向，以創造更可靠、具競爭力且持續斷發展之鐵路，為旅客提供更好的服務。其主要方向如下[11]：

1. 更具可靠度之鐵路 A more reliable railway

英國現階段許多路線因使用量大、資產設備老舊，致使服務可靠度面臨風險。此外，負責營運軌道與車輛的組織無法有效合作，因此本次改革將確保旅客、貨運客戶和社區從現有路網中獲得最大收益。

[2] 1960~80 年代是英國鐵路歷史衰落時期。1960 年代的「畢齊大斧」政策和隨後幾年等其他裁撤路網，導致鐵路路網的大部分系統關閉，以及主要路線的降級和部分關閉，例如東海岸幹線的運能裁減。由於路網的萎縮，導致鐵路的乘客人數和貨物運送量持續下降。

英國規劃自 2019 年到 2024 年間將斥資 347 億英鎊，對英格蘭(England)和威爾斯(Wales)之鐵路路網進行大規模維修，包括對大量資產進行更新，以提高可靠度並減少營運中斷。同時以鐵路客運為重點，透過聯合小組方式進行軌道及車輛日常營運，並利用特許經營權之管理，支持 Network Rail 轉型改革。另外承諾投入 4.5 億英鎊，透過數位技術管理鐵路，促進路網更佳利用並減少延誤。

2. 路網的擴張 An expanded network

過去 20 年間英國運輸需求激增，促使政府必需投資產能。為了重新平衡經濟發展並創造更多住宅，需在區域間建立新的交通連結，以促進發展和經濟增長。相關策略首先係通勤路線之擴展，包括透過 Crossrail，Thameslink 計畫和大北方鐵道計畫（Great North Rail Project），並提供新車輛及新服務。

其次，透過開闢路線促進住宅之發展，包括建立東西鐵路公司，以恢復 1967 年停止營運的牛津至劍橋的鐵路路線。此外，建設新一代的高鐵系統—HS2，打造變革性之新骨幹，並釋放其他地方的容量。承諾投資 3 億英鎊，將 HS2 與未來的北部發電廠鐵路（Northern Powerhouse Rail）[3]和中部地區之鐵路計畫加以連結。

最後，將導入新的投資決策方法，以使決策點更加明確，並更加關注投資結果之預期，尋求符合長期目標、擬訂物有所值之發展計劃，其中包括恢復容量損失的建議。

3.更優質的客旅體驗 A better deal for passengers

為改善旅客體驗，首先規劃於 2018 年底之前，在所有路網上提供智慧訂票(smart ticketing)，擴大鐵路旅行的折扣，並與鐵路業者合作，以改善賠償制度，設立新的申訴機制處理旅客投訴。此外致力改善無障礙環境，並提供包括 Wi-Fi 和行動網路等科技服務。

其次，根據不同特許經營權之狀況，實施新的旅客服務模式，包括：在車、路之間建立新一代長期整合性的合作夥伴關係，並在區域品牌的支持下，形成「一個團隊(one team)」的文化，在此目標下，列車公司將成為影響基礎設施改

[3] 北部發電廠鐵路（Northern Powerhouse Rail），為規劃中之大型鐵路計劃，被媒體稱為 HS3，為位於利物浦和里茲間之高速鐵路路線，其路網將於 HS2 整合。本路線發展目的在於提高英格蘭北部的經濟潛力，改善英國北部主要城市與交通樞紐之間的交通聯繫，包括利物浦、曼徹斯特、曼徹斯特機場、里茲、布拉德福德、頓卡斯特、哈德斯菲爾德、謝菲爾德、紐卡斯爾和赫爾，及其他重要經濟中心。

善的新角色；針對一些規模較小、更具地區性的列車公司亦依不同需要進行調整。下一代特許合約將英國鐵路路網之營運帶來新的變革。以「東海岸合作夥伴關係」為例，為第一個新一代長期區域合作夥伴關係案例，其將在一個領導者和統一品牌下整合車與路的營運。

在貨運部分則與業界緊密合作落實《鐵路貨運戰略》，包括向監管機構下達明確指導，以支持貨運部門的發展，並致力為 2019-2024 年鐵路貨運路網之改善提供持續的資金支持。

4.更現代化的勞動力 A modern workforce

期望鐵路人力技能、多元化、培訓和發展目標能獲得改善。鼓勵列車營運公司未來能開發有效的方法，有效連結員工報酬與業務成就，以激勵員工從事旅客運送服務，同時確保在關鍵崗位上能夠配備足夠人力。

此外，並支持產業界相關倡議之發展，包括提高技術能力及多元化之《交通基礎設施技能戰略》和《鐵路部門技能執行計劃》。此外透過創設國家高鐵學院（National College for High Speed Rai），以提供員工一流技能，並與產業合作以改善鐵路司機員之培訓和招募。

5.更具生產力與創新之部門(A productive and innovative sector)

打造具生產性及創新性的鐵路產業，對於實現全面鐵路及經濟發展之願景極為重要。英國運輸部與英國創新局(Innovate UK)刻正推動一項為期三年之鐵路創新競賽，投資金額高達 4000 萬英鎊。

透過與產業界及學術界之合作，確保新成立的英國鐵路研究創新路網（UK Rail Research Innovation Network，UKRRIN）能提供更好的績效並對關鍵研究領域提供支持。此外並將產業永續發展原則納入未來的特許經營規範中，並與鐵路公司合作尋求出口機會，並對有興趣在英國投資的海外公司提供支持。

綜觀英國「鐵路戰略願景」，其主要重點包括：(1)更新基礎設施以及建設新路線以提升容量；(2)藉由團隊文化，建立車、路間更密切之合作以及更高度的垂直整合管理，以減少車路部門間之運轉阻礙，同時持續對 Network Rail 進行改革；(3)有效改善特許權相關管理機制，透過新一代的特許經營權機制，獎勵民間投資人與當地鐵路路線間能建立進一步的伙伴關係；(4)引入鐵路數位化新技術，以技術手段降低擁擠及提高列車準時性，並提升旅客服務體驗；(5)增強對旅客權益的保障，增設負責投訴事務的鐵路申訴專員一職，並對晚點 15 分鐘以上的旅客進行補償；(6)提升鐵路從業人員之職能與多元化發展；(7)強化創

新能量並尋求產業出口機會。

有關英國「鐵路戰略願景」各期程目標與推動策略內容如表 2.5 所示。

2.3.3 英國鐵路數位化相關發展

數位科技之使用為鐵路帶來許多創新機會，透過數位技術可協助鐵路產業未來能更有效利用現有的基礎設施和容量，以減少對昂貴且具有破壞性的土木工程計畫之需求，並找到更具可持續性的解決方案，從而降低鐵路使用者和納稅人的成本。投資數位鐵路尚可創造高價值的就業機會，幫助平衡經濟，建立具有全球出口能力之世界級產業。

為資助英國鐵路導入數位科技之應用，以提升旅客服務品質，英國政府已承諾投資 4.5 億英鎊，做為「國家生產力投資基金」（National Productivity Investment Fund）的一部分，其中，8400 萬英鎊將於列車駕駛艙設置先進數位號誌設備，後續亦將繼續與 Network Rail 合作，以尋找更多創新的機會。以下就英國鐵路數位化發展重點進行說明：

1.英國 Network Rail 數位鐵路計畫

Network Rail 數位鐵路計畫[12]是一項由技術驅動之效益導向、跨產業的變革計畫，將透過整合的方式，支持運輸系統、技術、商業及人員進行改革。其將協助數位解決方法之布署，提供鐵路產業最佳策略組合、物有所值最大化以及在效益與可承受性間取得平衡。此項計畫將協調整個產業之活動，提供指導和專業知識，以支持數位鐵路之推動，其所包含的元素如圖 2.9 所示。由圖 2.9 可看出，Network Rail 數位鐵路計畫之主要元素為透過技術與人力成長，提升數位能力；以歐洲列車控制系統（ETCS）為核心，創立安全的列車運行系統；以駕駛輔助系統及自動列車操作系統等，強化列車運轉效能；透過流量管理系統（TM）提升路網容量及列車可靠度；強化通訊網路與數據之連結整合；推動基礎設施智慧化。

表 2.5 英國鐵路運輸發展願景各期程目標與推動策略

英國鐵路運輸發展願景	
近期目標	**推動策略**
近期主要任務係在掌控產業成本前提下，優化旅客服務，並達成計畫升級	◆ 提供旅客現代化服務：智慧票務技術、改善賠償設計、解決糾紛的專責人員，改善 Wi-Fi 和行動通訊服務，及更佳的可及性。 ◆ 承諾路網升級：包括 Thameslink，Crossrail，Great North Rail Project 等路線，透過特許合約進行改善，新車輛、車站更新和新服務。 ◆ 提高效率，增加價值和減少成本。 ◆ 建立鐵路安全及保安紀錄，包括可能風險。
2024 – 2029 年目標	**推動策略**
配合當前改革以及 HS2 之建設，促使鐵路躍升發展，提供更優質的運輸服務並支援經濟發展。	◆ 透過鐵路系統更新重大改變以維護安全並提高可靠度：於日益繁忙之路網進行有效率之資產管理。 ◆ 新一代旅客運輸服務合約：持續商業合約，確保聯合作業及對旅客品質之保障。 ◆ 新一代長期整合性區域鐵路夥伴關係，在共同目標架構下合作，並聚焦旅客需求。 ◆ 新的連結和額外容量，滿足現階段計畫，並推動下階段鐵路計畫。 ◆ 基礎設施開發、設計和運輸之新合作夥伴，並鼓勵和促進市場主導之鐵路改善建議。 ◆ 新的資金及融資來源，以進行相關改善。
2030 年後之目標	**推動策略**
未來願景：世界一流的鐵路，承擔國家整體運輸路網之一部分，創造新機會。	◆ 鐵路系統於運輸部門擔綱引領客戶服務之責，回應旅客需求，提供跨運具整合、無障礙之服務，俾利旅客以最適合的方式完成旅次。 ◆ 針對個別市場和環境，以整合性之工作方式，推動先進的商業、合約及運輸模式。 ◆ 充分發揮鐵路系統貨物運輸之潛力，疏緩道路交通壅塞，並支援低碳經濟。 ◆ 經由完善的 HS2 路網、東西鐵路和其他新路線，創造新連結、運能與旅次，支持住宅開發及帶動經濟增長。

資料來源:[11]，本研究整理

Network Rail 數位鐵路計畫之目標包括: (1)提升容量；(2)建立安全的鐵路環境；(3) 改善列車績效，即可靠度及可用度；(4) 改善生命週期成本及永續商業模式；(5) 擴大社經效益，並分別從短、中、長期目標，研擬主要推動策略，詳如表 2.6 所示。而由表 2.6 中之策略可看出，列車號誌控制之數位發展，為 Network Rail 數位化之重要核心，透過列車號誌控制數位方案，提升路網容量、建立安全的鐵路環境以及改善列車績效。此外，改善設備生命週期成本及創造永續商業模式，亦為此數位計畫之重要目標。其次，以路線為基礎之運作模式，亦為本計畫於執行面之方法。最後，由於英國車、路分離制度，亦使得車、路之間的夥伴關係，以及彼此間之學習與相關訓練，更是推動數位化必須重視之一環。

2.列車駕駛輔助系統（c-DAS）

聯網列車駕駛輔助系統，Connected-Driver Advisory System（c-DAS），主要為駕駛員提供決策支援，以提高列車行駛績效、安全性和燃油效率。其中「connected」係強調提供給駕駛員的資訊是基於交通管理系統（Traffic Management system，TMS）傳送之最新資訊，而非透過時刻表及旅次起始時之內容。換言之，即是在特定的範圍內，聯結 DAS 及 TMS 兩個子系統；其中 TMS 交通管理系統係定義在依據列車班表前提下所應配合之即性時間規範，而 DAS 則是在前述時間要求範圍內，定義最佳駕駛規範。透過 c-DAS 系統可讓列車於正確時間點以最有效率之速度到達給定之位置，避免與其他列車之時間表形成衝突，並且可避免在號誌上剎車之情況，減少列車與軌道之磨損，從而減少能耗以節省成本，並提高列車可靠性。[11]

3.數位號誌系統—歐洲列車控制系統（ETCS）

第 2.3.3 節德國部分，已針對歐洲列車控制系統（ETCS）有相關簡介。而英國為歐洲鐵路路網之一部分，必須遵照歐盟規定，導入 ETCS，否則會受到歐盟罰款之處分。英國 Network Rail 所導入之新一代 ETCS，係將號誌從軌道側轉移到列車駕駛艙中，即 Level 2，並連接前述之列車駕駛輔助系統及自動列車營運（ATO），為駕駛艙內司機員提供決策支援，以提高列車運行績效及安全性。[11]

註:
DRACAS：Data Reporting, Analysis and Corrective Action System ,失效報告、分析及改正措施系統

圖 2.9 Network Rail 數位鐵路計畫涵蓋元素

表 2.6 Network Rail 數位鐵路計畫目標

期程與內容	提升容量	建立安全的鐵路環境	改善列車績效-可靠度及可用度	改善生命週期成本及永續商業模式	擴展大經效益
長期方向 擴大布署範圍	針對整體系統容量之提升，提供能夠符合鐵路計畫需求之數位能力	建立適用於 GB 之號誌及列車控制系統之系統性架構	透過數位列車號誌控制改善營運績效（即可用性和可靠性），以提供旅客更優質之體驗	財務與應付款之選項及其相關之全生命週期成本與收益之設計，以促進數位轉型並提高英國鐵路之承受能力	● 創造就業及倍增收益 ● 減少延誤以提高生產力 ● 擴大鐵路貨運之使用，俾為英國企業帶來經濟利益 ● 成為列車號誌控制專業與創新之英國樞紐，增加出口機會 ● 強化支援住宅計畫之能力
中期方向 目標導向布署	將列車控制及號誌數位解決方案納入整體系統升級之一部分，以滿足計畫性需求	協調整合相關合作團隊、其學習訓練以及已開發之標準化配置系統	展示數位列車號誌控制用於目標計畫於績效、可用性和可靠度方面之效益，以提供旅客更優質之體驗	與合作團隊共同針對目標路線進行調查、探索及開發商業模式，以降低全生命週期之成本	
短期方式 啟始行動	就 Network rail CP6 計畫部署獲得資金，並聚焦針對性的數位列車控制號誌號計畫之初步發展	針對布署標準化配置系統（包括流程、組織、技術、信息）相關之承諾需求	支持目前 Network Rail CP5 之計畫推動，以證明數位鐵路解決方案之能力	協調整合合作團隊及其學習訓練，以路線為基礎，開發及推動商業模式	

資料來源：[12]，本研究整理

2.4 日本鐵路運輸服務之移動革命

2.4.1 日本移動革命發展背景及運輸服務面臨問題

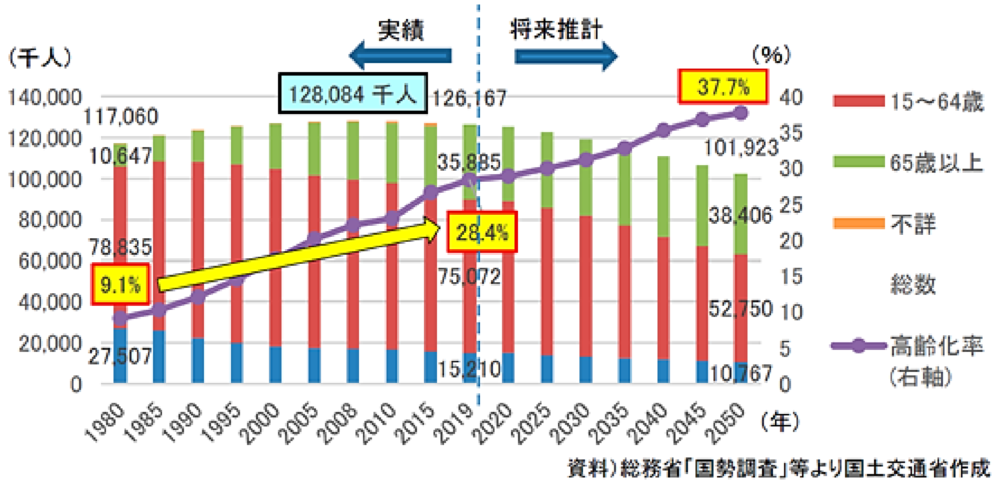
隨著 MaaS 及自動駕駛等新的行動服務之導入，交通領域也開始朝向行動(Mobility)革命之方向發展。日本過去公共交通服務主要是由交通事業單位或地方自治體擔任提供者，但隨著先進技術的導入，汽車製造業或 IT 產業等也開始加入交通服務領域。新的行動服務係實現移動的便利性與經濟性之躍進，日本提出「社會 5.0」（Society 5.0）之倡議，高度融合虛擬與實體空間，解決經濟發展與社會議題，實現以人為本的社會。

「社會 5.0」係日本於 2016 年為兼顧經濟發展與社會課題所提出之倡議，目的在利用科技創新發展，解決日本面臨的少子老齡化、人口結構老化，導致勞動力不足、能源、資源、糧食短缺、環境問題、自然災害、安全保障等社會課題挑戰，透過物聯網、大數據、人工智慧、機器人等第四次工業革命（「工業 4.0」）先進技術發展為基礎，以及跨領域融合擴展應用到所有產業和社會生活中，藉由科技創新政策方向，導引與落實未來社會創造的行動方案，達到日本在產業創造新價值與新服務、生活與生存方式的改變，不僅要提升產業競爭力，還要提升生活的便利性及解決日本當前社會存在的問題，實現以人為本的超智慧社會（社會 5.0）。

在交通部門，國土交通省在「社會 5.0」的架構下，亦開使著手推動相關計畫。最新之國土交通白書(令和 2 年版)第 1 部亦將新技術的活用列入未來發展之方向、第 2 部有關交通行政之動向[13]，則進一步揭示日本 ICT 活用與技術研究開發之動態。

而在說明日本現階段 ICT 技術應用狀況之前，有必要針對日本交通運輸所面臨的背景環境與課題。前已述及「社會 5.0」之倡議，主要希望能解決日本少子高齡化、人口結構老化導致勞動力不足、環境與自然災害以及安全保障等社會課題挑戰，因此以下進一步說明日本交通發展相關背景課題[13]。

1. **人口減少與高齡化問題**：日本總人口自 2008 年高峰之 1.28 億人逐漸減少，而高齡化人口比率則自 1980 年之 9.1%上升至 2019 年之 28.4%。
2. **人口高度集中在東京圈**，東京圈人口除了日本經濟泡沫化一段時間外，持續有人口移入大於移出之狀況。同時，2018 年東京地區出生率為 1.2，為全日本最低，並且由於東京人口的集中，人口有可能進一步減少。



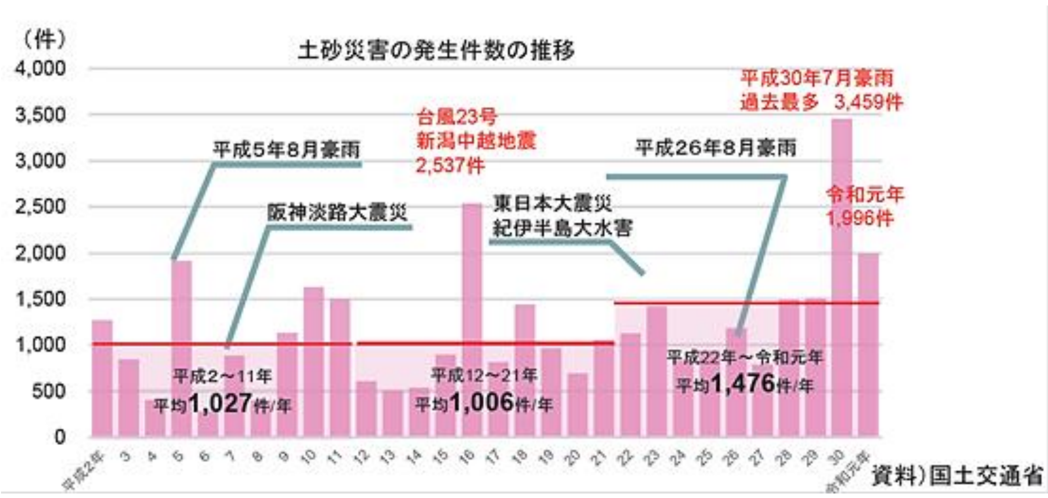
資料來源：[13]

圖 2.10 日本人口年齡變化圖

3.**事求人有效倍率上升**，建設・土木・測量技術者 5.86 倍、職業駕駛為 3.01 倍；勞動年齡人口數自 1995 年高峰之 8716 萬人減少至 2019 年之 7507 萬人（減少 14%），有人力不足之問題。

4.**基礎設施老化問題**：以橋梁為例，橋齡逾 50 年之橋梁比例至 2029 年預將達到 52%。由於在總計約 72 萬座橋梁中，90%以上的橋梁是由地方公共團體負責管理，未來將面對大量基礎設施老化管理之問題。同時由於大量設施之老化以及技術人力之減少，將增加基礎設施管理之困難度。

5.**頻繁且加劇之自然災害**：從 1990 年到 2009 年，與土石相關之災害平均數量約為 1000 次，而自 2010 年以來則大幅增加將近 1500 次，增加約 1.5 倍。在 2018 年更創下了 3459 例的歷史新高。

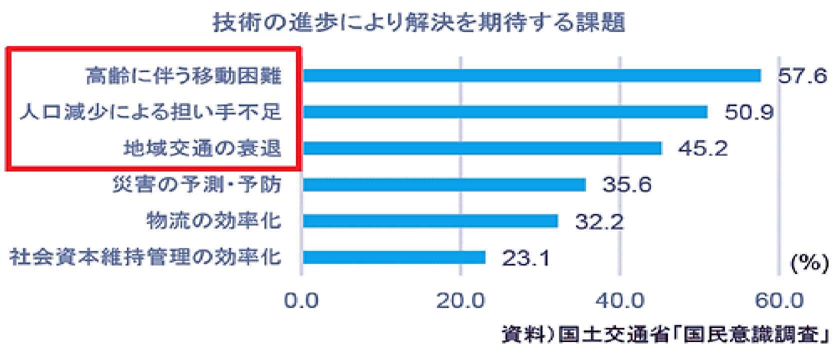


資料來源：[13]

圖 2.11 日本自然災害數量變化圖

6. **地方公共運輸經營日益困難**：人口越少之市區町村地區，人口下降速度就越高，根據估計，人口規模不足 1 萬之地區，至 2050 年時人口將減少一半，也將導致公共交通服務維持困難度增加，業者經營更加困難。伴隨人減少所衍生之問題為運輸從業人員數量之減少，導致約 70%的公共業者（鄉村地區則約 90%）出現虧損，汽車運輸事業人力短缺狀況日益嚴重。

由於公共運輸經營不易，在非都市地區居民對於公共交通之衰退感到擔憂的人很多，因而希望能改善公共交通以維持地方活力。特別是居住在鄉村地區之高齡者，對於無法自行開車而造成移動問題感到不安。根據日本國土交通省之調查，隨著科技進步，民眾希望解決之主要問題，包括高齡化所伴隨的移動不便、人口減少所引致的勞動力不足、地方交通的衰退等，均為前述因人口減少所衍生之交通問題。



資料來源：[13]

圖 2.12 日本國民期待經由科技進步解決之問題調查

上述整體運輸事業所面臨的經營環境問題，鐵路公司亦面對相同的困境，以ＪＲ東日本為例，亦直接面臨人口減少對運量之衝擊，除了人口減少的問題之外，2020 年之後，由於工作方式的變化、網路社會之發展、自動駕駛技術之實際應用等，將可能減少民眾對鐵路運輸之需求，對於高沈沒成本的鐵路業而言，利潤將被大幅壓縮。

2.4.2 日本鐵路運輸智慧化相關發展趨勢

物聯網、大數據及人工智慧等技術之快速發展，為服務業及製造業等帶動「第四次工業革命」之重大變革，而在移動性(Mobility)方面，亦有必要結合最新技術創新創造新價值，以因應人口減少帶來之衝擊。本研究以東日本鐵路公司為例，說明日本軌道智慧化之主要發展方向與策略。

為因應外部社會環境對鐵路運輸事業之衝擊，東日本鐵道公司對此提出該

公司智慧列車之架構如圖 2.13 所示[14]，分別從服務、安全、維修、列車營運及環境等構面推動。在**服務**方面包括推動新世代的訂票系統或非接觸式、無閘門之驗票環境，並開發新的高速列車；在**安全**方面，主要利用感測器提升鐵道之保安性、車站月台及平交道的安全性；在**維修**方面，包括維修作業導入機器人、透過無人機掌握災害及事故現場狀況、對設備與車輛狀態朝向智慧維修發展等；在**列車運行**方面，發展無人駕駛，並活用 ICT 相關技術，處理運輸中斷時之運轉整理，以提早回復列車正常營運；在**環境**方面，開發氫燃料電池之車輛。

圖片來源:[14]

圖 2.13 東日本智慧列車架構構圖

而針對上述智慧化發展相關技術發展政策方面，JR 東日本公司制定了「中長期技術創新願景」，目標期望在 20 年內實現超前之技術創新。JR 東日本對於技術發展中長期之願景重點如下：

1.**安全安心-預測危險並使風險最小化**：現階段JR東日本集團面臨企業內、外部之變化，例如鐵路系統之變革，「水平分工」之深化，以及從業員工世代交替快速變化等，但「提升運輸之安全可靠」仍為重中之重，以主要方向為加強相關設備、安全教育與訓練，並進行必要的研究與開發。此外，為順應未來對安全水準之的期待，將活用物聯網、大數據及人工智慧等技術，掌握事故徵兆，發現不易以經驗判別所產生之風險，並採取積極措施，透過結合 ITS，機器人和人因等技術來追求「究極安全」（「究極の安全」）。

2.**服務與行銷方面，以「Now, Here, Me」為旅客提供價值**：除鐵路服務與列

車或設備資訊外，並連結其他資訊，例如公車和計程車、自動駕駛技術、共享服務等或天氣資訊。通過相關資訊整合串連，為旅客提供個別化資訊需求服務，例如縮短總行程時間，提供旅客「Now, Here, Me」之價值。此部分將透過整合 JR 東日本及其他運具之即時資訊提供旅客所需資訊，以利旅客進行轉乘服務（二次交通），未來目標是配合旅客需求，提高列車調整之彈性，並高度整合轉乘接駁服務，提供順暢的及門移動服務，並將調整人力資源，提供更優質服務。

3.**運營與維護方面，透過工作系統之設立減少 20%勞動年齡人數**：完整及密集進行車輛與設備數據之蒐集與分析，掌握其安全性，並於最佳時間點進行維修，以提高維修作業之效率性。目前 JR 東日本針對山手線最新型的 E235 系列車進行維修變革之實務應用。此外，列車自動運轉技術、機器人以及以 AI 支援業務發展等，亦在推廣應用中。由於預期未來工作人齡人口將逐漸減少，透過前述技術創新改變企業成本結構，並實現「人」與「系統」間最佳組合之工作方式。

4.**在能源及環境方面則建立鐵路能源管理機制**：JR 東日本集團擁有從發電、輸電、配電到利用之綜合能源網路，經由這些技術與可再生能源以及節能和儲能技術相結合。透過鐵路能源管理制度之建立，期於 2030 年（與 2013 年相比）能減少 25%之鐵路能耗以及 40%的二氧化碳排放量。

資料來源:[15]，本研究整理

圖 2.14 JR 東日本中長期願景與と技術革新之方向性示意圖

三、我國鐵道發展重要政策與面臨挑戰

3.1 國內鐵道政策方向議題

我國軌道建設主要見諸於鐵道網、前瞻基礎建設計畫-軌道建設、2046年我國軌道運輸發展願景以及 2020 運輸政策白皮書等內容中。其中鐵道網、前瞻基礎建設計畫-軌道建設主要以路網及基礎設施之規劃或投資計畫為主，而後二項報告則以制度、經營及營運以及長期發展策略為主。經盤點歐盟、英國、德國及日本相關政策之發展趨勢來看，國內鐵道政策可就下列各項議題再予強化。

1.臺鐵基礎設施仍需持續更新

如同歐洲及日本等國家，臺鐵發展歷史已逾 130 年，面臨部分基礎設施老舊及路線容量擴張不易之問題。雖近年有許多基礎設施投資計畫已陸續完成、進行中或待進行，但在運能部分，則受限路線條件、設施狀況等，部分瓶頸路段確實有不易擴充之狀況。國內雖然亦面臨少子化、人口減少之困境，但近年整體軌道運輸需求增加，臺鐵近年運量亦維持在一定的水準，在運能無法提升的狀況下，服務水準的維持亦會面臨一定的困難。

2.鐵路基礎設施投資缺乏完整的評價制度

由於臺鐵為國營鐵路，因此中央政府均持續補助臺鐵相關基礎設施之經費，然相關投資效益之評估以事前之審議為主，以「鐵路立體化建設及周邊土地開發計畫申請與審查作業要點」為例，該要點以計畫內容之事前審查為主，包括下列事項：(1)交通安全及運行效率改善評估分析；(2)都市計畫變更草案；(3)土地開發初步評估分析，包括開發範圍、構想推動方式、實施流程與期程、預估可獲取之效益等；(4)財務規劃；(5)鐵路與其他公共運輸系統整合規劃及相關配套措施之可行性；(6)地方政府承諾事項等。雖該要點規定可行性研究內容應符合「行政院所屬各機關中長程個案計畫編審要點」、「政府公共工程與經費審議作業要點」及「公共建設計畫經濟效益評估及財務計畫作業手冊」等相關規定，但事後之效益評估仍然難以掌握。

又如國家發展委員會（以下簡稱國發會）於 104 年 8 月 17 日第 17 次委員會議決議研議推動中長程個案計畫「全生命週期績效管理機制」，該機制提出應鏈結自計畫立案、規劃、執行、屆期至事後營運各階段之績效評估，然而實務上，有關屆期/營運階段之評價，雖有營運監理等內容，但並無計畫效益之評價，無法進行計畫執行前、後之差異，亦缺乏相關數據之累積，以做為後續研提計畫之基礎。

實務上許多基礎設施之投資，或受限於地方需求、各方干預等因素，投資不僅對容量之增長助益有限，甚至造成部分路網容量減少，較具爭議的如新增車站、捷運化或立體化建設等，或者機廠設置位置之調整，均可能對車輛調度效率造成影響。

3.鐵路數位轉型與智慧化發展有待深化與精進

國內鐵路運輸系統導入資通訊科技雖非近期開始，惟過去有關鐵路智慧化之發展較缺乏整體性架構。爰此，鐵道局已於 109 年初完成「智慧鐵道發展架構及策略研訂」之研究，做為國內未來推動鐵道智慧設備規格化、數據標準化，提高營運及維修效能，並落實執行各項鐵道檢查，提升鐵路行車安全與服務品質之指導方針。前述研究重點較著重設施與產業面發展，而各鐵道公司如何透過大數據進行營運面之創新與市場開發或重新服務定位，以及深化數位轉型等，則仍待更加精進。

4.鐵道產業發展仍需政府扶植

鐵道產業之輸出可謂為各國鐵路近年發展重點之一，國內鐵路系統仍仰賴進口，常面臨零組件取得或維修受制國外廠商之狀況，因此國內近年積極推動軌道國產化政策。交通部除於 108 年邀集逾 60 家產官學研單位，共同組成臺灣鐵道產業聯盟國家隊(R-team)外，109 年初更進一步初由交通部、經濟部及行政院公共工程委員會等組成軌道產業推動會報，以提升本土軌道產業技術及產值並媒合國內廠商投入軌道及相關建設。現階段發展主要重點為持續提升國產化比例，帶動鐵道技術及關聯產業發展。惟目前國內許多技術尚在起步階段，仍需政府協助扶助產業發展，相關人力資源部分，亦需配合產業需求同步培植成長。

5.從業人員工作環境及職能發展應更優化

軌道產業領域極廣，惟過去鐵針對從業人員之工作環境以及職能發展較少從政策面上加以強化。隨著智慧鐵路之發展，鐵路從業人員之職能有必要配合加以提升，以充分掌握新技術所能創造之效能。另外，隨著國內對於職安之重視，並期提供更優質之工作環境，對於鐵路人員之工作環境與安全之保障，應促使各鐵路公司納入公司治理之重點。

6.對於旅客權益提升雖有顧及惟較缺乏具體承諾

我國對於旅客權益多著重於服務品質之提升，以白皮書為例，即揭示「促進鐵公路優質營運整合」策略，具體行動方案包括建立友善無縫運輸服務環境、

精進轉乘機制及優惠、促進電子票證整合、創造一站式便利服務如 MaaS 等，較少直接對旅客服務進行承諾。由英國經驗，該國具有多家民營鐵路公司，管理上亦較為複雜，為確保旅客權益，對於如誤點賠償或客訴機制有較多之承諾，我國雖亦有相關機制，但在政策上較少就此予以承諾，多以現有法律保障旅客。考量國情以及經營環境不同，以從營運面提升旅客服務品質，並導入科技精進服務以及強化鐵路安全，應為現階段之重點。

3.2 我國鐵路智慧化發展現況

3.2.1 高、臺鐵智慧化發展概況

台灣高鐵公司已致力推動智慧化發展多年。該公司智慧鐵道發展政策主軸為提升運能（Capacity）、降低成本（Cost）、節能減碳（Carbon Emission）、提升顧客滿意（Customer Satisfaction）四大面向為發展主軸，目前已累積相當之成果，有關台灣高鐵智慧化現階段成果以及未來規劃如表 3.1 所示。

表 3.1 台灣高鐵智慧化現階段成果以及未來規劃

台灣高鐵	旅客服務	營運維修	安全風險
推動現況	● 智慧訂位購票服務(T-express) ● 對號座剩餘座位顯示資訊 ● 互動式轉乘資訊查詢機 ● 列車 Wifi ● 多元支付應用 ● 顧客關係管理	● 智慧化列車運行管理 ● 智慧化列車長座位資訊查詢系統 ● 電動巡檢機車 ● 軌道線形檢測車 ● 路軌兩用鋼軌超音波探傷車	● 災害告警系統 ● 於既有「地震告警停車系統」架構下，強化「地震告警」功能 ● 整合發展「台灣高鐵防救災應變資訊系統」 ● 開發列車駕駛模擬機 ● 資通安全盤點 ● 推動智慧影像監控應用
未來發展	● 旅客服務升級規劃 ● 車站行動服務 ● 新一代智慧旅客資訊系統 ● 智慧銷售 ● 智慧客服 ● 智慧行銷 ● 旅客服務 App 升級 ● 座位銷售營收管理決策支援系統	● 智慧維修規劃 ● 智慧排班輔助系統 ● 智慧維修 ● 整合資料、建模，以大數據進行營運策略分析 ● 影像分析應用 ● 智慧知識管理	● 光達技術監測邊坡位移 ● 智慧安全

資料來源:[9]，本研究整理

在臺鐵部分，受限於基礎設施現況，臺鐵智慧化發展較慢，近年臺鐵局亦推出臺鐵智慧化 4.0 之倡議，發展方向包括提升行車安全、增進營運效能、強化旅運服務、以及健全資源整合，其未來智慧方向及 4.0 架構如表 3.2 及圖 3.1 所示。

表 3.2 臺鐵智慧 4.0 四大主軸現況與智慧化方向

四大主軸	**現　　況**	**智慧化 4.0**
提升**行車安全**	人工作業監控	自動偵測監控及告警 數位統計分析
增進**營運效能**	人工作擬案	互聯、大數據分析
強化**旅運服務**	固定式資訊 被動式詢問 無旅行規劃建議	客製化服務 主動推播即時資訊 綜合行旅規劃
健全**資源整合**	局內外資料 無法互相連結	整合局內各資料庫及外部公共運輸行動服務網（MaaS）

資料來源:[16]

圖 3.1 臺鐵 4.0 系統架構示意圖

3.2.2 我國鐵路智慧化政策

鐵道局於 109 年 2 月完成「智慧鐵道發展架構及策略研訂」委託專業服務案，透過該研究，框定我國智慧鐵道發展之方向。研究建議，我國智慧鐵道發展之目標與策略，可從政府、鐵道營運機構、系統產業、資通安全以及其他等五個面向加以擘劃，各面向目標如下：

1. **政府單位**：以國家長遠建設為出發點，由交通部及鐵道局為政策推動者角色，透過政府監理功能、法規增修方式，來研擬智慧鐵道整體的策略藍圖。
2. **鐵道營運機構**：依據政府的策略藍圖與規範要求，鐵道營運業者可依循規劃欲投入智慧鐵道之資源配置、建置規劃及所需搭配的行動方案。
3. **系統產業**：在政府主導之策略下，將使產業技術與鐵道營運機構需求進行整合，產業透過實務研發及沙盒實驗，亦可取得相關實績。
4. **資通安全**：確定鐵道使用專用頻譜、資安平台白名單的驗證與部署等，進行資通安全相關策略研擬。
5. **其他**：透過政府與各界之溝通平台，舉辦定期或不定期軌道產業會報，整合 R-Team 鐵道科技產業聯盟以及後續鐵道驗證中心等國內外資源，共同向智慧鐵道目標邁進。

依據上述五個面向之目標所擬定之策略方向與重點則如表 3.3 示。

另根據交通部鐵道對於軌道產業發展相關政策，亦針對鐵道運輸智慧化議題，提出「發展智慧鐵道 4.0 及關聯產業」之策略，透過制定智慧鐵道系統架構及規範，推動鐵道領域知識（Domain Knowledge） 與智慧 4.0 科技之相互學習與整合，逐步將行動及網路通訊、物聯網、雲端運算、大數據、人工智慧等 4.0 科技導入鐵道系統，並爭取鐵道專用頻寬，以及建立智慧鐵道產業發展溝通平台與獎勵措施，具體推動措施為「研訂智慧鐵道系統架構，導入 4.0 科技」，詳細工作內容如表 3.4 所示。

3.2.3 我國鐵路智慧化發展關鍵項目與議題

參考第二節有關國外智慧鐵路發展相關政策方向，提出我國鐵路智慧化發展核心議題如下：

表 3.3 我國智慧鐵道發展之面向與策略

<table>
<tr><th>五大面向</th><th>策略方向</th><th>策略重點</th></tr>
<tr><td rowspan="3">政府</td><td>1.推動政策及智慧平台架構擬定及研擬規章程序之完整性</td><td>• 申請鐵道通訊專用頻段
• 擬定智慧鐵道物聯網平台架構-資訊整合平台營運模式</td></tr>
<tr><td>2.法令、標準及規範之增修訂</td><td>• 交通部鐵道局訂定智慧平台端、網、雲的規範（資料傳輸介面、通訊協定）。
• 交通部規範採購車廂、監視系統等之智慧鐵道相關硬體設備。
• 交通部增修智慧鐵道獎勵辦法，鼓勵鐵路運營商之系統整合。
• 交通部增修智慧鐵道創新型服務之獎勵辦法。</td></tr>
<tr><td>3.發展指標之建立</td><td>• 建立智慧鐵道推動績效指標
• 建立營運機構評量指標</td></tr>
<tr><td rowspan="2">鐵道營運機構</td><td>1. 資訊化程度精進</td><td>• 數位化程度較佳者，根據已經達到智慧化項目的技術，檢視評估其透明度與可整合性，並鼓勵營運機構產業國產化。
• 數位化程度不足者，鼓勵其提升數位化能力，或根據已經研發的智慧鐵道實績，評估推廣至其他業者之可能性。</td></tr>
<tr><td>2. 旅客資訊服務</td><td>• 於列車上、車站內或者行動載具等不同的推播媒介，提供最新的營運資訊及受干擾後之改善建議供旅客採取適合因應措施。</td></tr>
<tr><td>系統產業</td><td>1.媒合所需產品進行開發
2. 產業國產化及 ISO/TS 22163</td><td>• 鼓勵鐵路產業進行所需產品之概念驗證（Proof of concept, POC）。
• 要求產品採購符合國際認可之品質管理。</td></tr>
<tr><td>資通</td><td>1. 網通規格確立
2. 建立資安平台
3. 建立白名單系統</td><td>• 由政府主導獎勵研發軟體工程專案、雲端儲存、運算等資源平台介接，並透過該平台防禦病毒、惡意攻擊及任何可能人為或非人為的入侵程式。
• 完成資安平台弱點評估與測試。並實際部署到相關的實作場域進行測試。</td></tr>
<tr><td>其他</td><td>學研界的發展策略</td><td>隨著短、中、長期各階段的策略發展，營運機構會逐步蒐集到軌道/車輛/電車線等設備的偵測數據，學研界即可根據相關數據，逐步加深研究領域內容。</td></tr>
</table>

資料來源:[9]

表 3.4 鐵道局「研訂智慧鐵道系統架構，導入 4.0 科技」工作內容

措施	期程	工作內容
a. 建立制度	短期	研訂規範及修正相關法規；訂頒端、網、雲之設備與端點介面標準；建立大數據平台，整合通訊協定、傳輸方式與轉換格式；導入鐵道聯網設備資安防護。
b. 發展技術	短期	探尋鐵道安全監控、預警維修、巡檢、旅運服務之智慧化項目；規劃智慧鐵道各階段目標，政策鼓勵鐵道事業機構導入 4.0 科技；建立端、網、雲之設備驗證機制；設置智慧鐵道測試場域（包含資安）。
	中長期	推動臺鐵 TC 4.0， 建立以第五代行動通訊技術(以下簡稱 5G)、多元通訊為架構之全面連續監控列車控制系統；建立維修監控資料庫，進行數據分析及應用回饋。
c. 爭取專用頻譜	短期	盤點智慧鐵道行動通訊之傳輸即時性與穩定性等需求及檢討面臨問題；強化外部訊號通訊，如語音、影像、數據等，並透過車輛設計提升行動通訊接收即時性；研議保留鐵道系統專用頻譜之必要性。
	中長期	鼓勵國內電信業者參與鐵道網路建置與維運。
d. 制定獎勵措施	短期	建立智慧鐵道產官學研溝通平台；制定採購作業指引及獎勵措施，並推動試辦計畫。
	中長期	建立智慧鐵道設備認證標章制度；鼓勵鐵道事業機構與產學研機構合作參與研發、標準制定及產品測試。

資料來源: [17]

1. **發展先進號誌控制技術，提升列車營運安全及可靠度**：由各國數位轉型發展趨勢觀之，先進號誌控制技術可謂為智慧列車之核心。透過提升號誌設備之變革，即時連結軌道與車輛運轉資訊，提供列車運轉之精確度與安全性。
2. **自動列車駕駛**：經由自動列車駕駛，減少司機員壓力並減少勞力需求。
3. **提升維修效率與品質**：現階段各國鐵路數位化過程投注許多研究於預防性維修技術方面，透過感測技術之輔助，掌握設備設施之狀況，大幅提升基礎設施之可靠度，減少因設備故障而使運轉中斷之情況，進而增加路網之路服務品質。
4. **調整營運與行銷模式創造價值**：包括透過大數據設計最佳的服務方式，精確掌控成本與收入關連，創造最佳商業模式；此外利用行動服務如 APP 等，連結不同領域與即時之資訊，協助旅客進行相關旅運決策與提供旅運服務，為旅客創造新價值。

5. **提升組織之數位能力**：為有效達成數位轉型之目標，針對組織數位能力之提升，如員工與旅客對組織數位轉型目標之認識、流程變革、員工職能提升等議題，亦為發展之重點。

參考數位轉型之定義：「數位轉型是一個結合數位科技與既存營運模式的過程，從營運流程、價值主張、顧客體驗、數位文化、到徹底轉型，成為一個極為靈敏，以顧客的價值與體驗為核心，且不斷更新、持續轉型的組織」，由此定義，本研究衍生針對現階段國內鐵路數位轉型相關議題方面，說明如下：

1. 鐵路公司應建立符合經營目標與市場定位之完整之數位轉型架構：目前國內鐵路業者雖已開始投資相關技術與設備，以朝向智慧化發展，惟現階段多從技術導向發展，較缺乏整體性架構。
2. 組織文化配合數位轉型必須調整：進行數位轉型時，必須配合就公司價值願景及目標加以思考，重要核心價值亦應傳達予員工與客戶，以利員工了解數位轉型之目標，打破僵化的組織運作與本位主義，建立良好之溝通模式，配合策略重新界定工作流程與模式，並協助員工提升數位轉型所需之職能技術。組織內部的數位文化與能力培育，為數位轉型過程中非常困難的一環。
3. 配合數位轉型調整商業模式與商品設計：以德鐵為例，其數位化工作重點包括建立以大數據為基礎之商業模式，並從需求導向建立定價策略。透過大數據資料掌握旅運市場營運數據，建立符合市場定位與經營目標之商品及定價，並創造新價值。
4. 新科技引致成本增加，須建立評估機制：數位轉型首先面臨的即是創新技術設備之投資，如自動化號誌系統方面，以臺鐵為例，未來若規劃導入車載號誌相關設備，號誌層級等同從 ETCS Level 1，升級成 ETCS Level 2，所需成本亦相當可觀。從另一個面向來看，相關投資的效益亦必須建立在正確的規劃方向與適宜的評估指標，相關機制亦有待建立。
5. 不同運具之數據資料庫整合困難：雖軌道系統運轉之獨立性高，但為提供旅客更優質服務，不同運具間轉乘所需資訊，仍缺乏即時性資料之支援，提供個別化資訊服務之挑戰性亦有待克服。此外數據之有效性、正確性以及完整性亦為數位發展之重要因素，數據整合管理機制之建立亦有其必要性。
6. 資訊安全之防護不容輕忽：過去鐵路運轉所需數據或指令均在封閉式系統中移動，隨著鐵路網路 IP 化，資訊安全的防護必須加以提升，亦將產生新的成本。

四、結論與建議

4.1 結論

一、歐盟為落實單一歐洲鐵路區域，於 2002 年 1 月即向理事會提出所謂「第二鐵路改革方案」， 2016 年則進一步提出「第四鐵路改革方案」（Fourth Railway Package），該方案目的在於推動及完成歐洲鐵路運輸服務之單一市場，以振興鐵路運輸，進一步開放鐵路市場，並使鐵路相對於其他運輸方式更具競爭力。「第四鐵路改革方案」可謂為歐盟鐵路發展之重要綱領。由於 2021 年為「第四鐵路改革方案」實施之第一年，同時配合《歐盟綠色協議》之推動，爰將 2021 年訂為「歐洲鐵路年」，行銷並協助落實《歐盟綠色協議》之策略目標，創造鐵路運輸魅力與永續服務，俾連結人民與商業活動。值得一提的是，歐盟委員會交通運輸總局（DG MOVE）最近於 2020 年 12 月初發布「永續和智慧移動戰略」，該戰略針對歐盟交通運輸系統實現綠色運輸、數位化轉型以及因應未來危機等，提供相關策略基礎與建立指引途徑。

二、在德國部分，本研究主要就聯邦政府基礎設施發展政策以及德鐵公司 DB 4.0 政策加以探討。德國運輸系統主要是依據聯邦運輸基礎設施計畫（Federal Transport Infrastructure Plan , FTIP）進行相關建設，可謂為德國聯邦政府最重要的運輸基礎設施規劃工具。本期計畫為 FTIP 2030，其奠定德國政府規劃至 2030 年期間相關運輸政策基礎，內容包括必要的資本維護投資以及對替代基礎設施之升級和新建項目的投資，結構維護和更新之預測需求亦包含在計畫中，其中鐵路運輸系統之總經費為 1,123 億歐元，佔總計畫 41.6%。值得關注的是德國聯邦鐵路局（Federal Railway Authority）針對資金使用之合宜性，在 2009 年，改採用產出控制（output control）之方式取代過去之投入控制（input control），並由政府與業者訂定融資協議，協議內容包括投資評估之相關品質指標，若業者未能遵守規定時，政府可依合約規定進行對應處分，以確保現存路網應維持雙方所商定之服務品質。

三、針對德鐵數位發展部分，在工業 4.0 的浪潮下，德鐵於 2012 年引進 DB 4.0，該計畫包括 6 項 4.0 行動方案：(1)Mobility 4.0；(2)Logistics 4.0；(3) Infrastructure 4.0；(4)Production 4.0；(5)Working Environment 4.0；(6)IT 4.0。在此架構下，德鐵已依據不同領域，進行智慧化鐵路技術之開發，包括配合歐洲鐵路號誌系統（ETCS）改善號誌設備、發展 DIANA 鐵道設施診斷與分析平台、發展光纖感測，以精進感測器效果與擴大應用範圍。其他尚有 DB Navigator App、列車自動駕駛、數位排班、建築資訊模型（Building

Information Modeling，BIM）、自動化流程以及 3D 列印輔助維修等。基本上，DB 4.0 之架構較完整，其核心價值為創造一個非傳統的工作環境，並做為企業文化轉變的象徵，相關行動方案是從集團整體的改革著眼，包括市場與商品定位戰略、企業環境與員工能力等，而非僅強調業務領域相關技術之數位轉型與創新。

四、英國鐵路系統受到 1960 年代的「畢齊大斧」政策影響，繼續裁減全國大約 2,050 英里的鐵路服務，之後 70 年代亦裁撤其他路網，導致鐵路路網容量萎縮，近年由於不斷增長的客運需求，導致列車更加擁擠。英國運輸部國務大臣爰於 2017 年發佈「連結旅客:鐵路戰略願景」(Connecting people: a strategic vision for rail，以下簡稱「鐵路戰略願景」)，主要目的在於消除英國鐵路車、路界面間阻礙，並對特許制度進行變革，同時鑑於英國不斷增長的需求，造成鐵路基礎設施負擔巨大壓力，促使政府必須投入龐大經費，以提高基礎設施容量、可靠性及改善旅運品質，並針對現有鐵路結構進行現代化改造、車站升級，以及引入新的車輛。「鐵路戰略願景」並承諾，將透過開放住宅或經濟成長之新計畫，以及提供「物有所值」服務之新計畫，以恢復 1960、1970 年代鐵路路網萎縮所造成之困境，同時致力於改善整個路網之乘客體驗，並將引入數位鐵路新技術以減少擁擠，並提高旅客列車準點性，同時加強鐵路貨運之角色，以達成支持英國經濟和環境發展之重要作用。此願景主要方向為：(1)更具可靠度之鐵路；(2)路網的擴張；(3)更優質的客旅體驗；(4)更現代化的勞動力；(5)更具生產力與創新之部門。

五、針對英國鐵路數位發展部分，本研究主要針對英國 Network Rail「數位鐵路計畫」進行盤點。Network Rail 數位鐵路計畫由技術驅動之效益導向、跨產業的變革計畫，將透過整合的方式，支持運輸系統、技術、商業及人員進行改變，並透過技術與人力成長，提升數位能力。目標包括：(1)提升容量；(2)建立安全的鐵路環境；(3) 改善列車績效，即可靠度及可用度；(4)改善生命週期成本及永續商業模式；(5) 擴大社經效益。計畫主要內容以歐洲列車控制系統（ETCS）為核心，創立安全的列車運行系統；透過駕駛輔助系統及自動列車操作系統等，強化列車運轉效能；透過流量管理系統（TM）提升路網容量及列車可靠度；強化通訊網路與數據之連結整合；推動基礎設施智慧化。在實務技術方面，與德國相同，配合歐盟規定，進行 ETCS 之升級，以及發展列車駕駛輔助系統（c-DAS）等。

六、在日本鐵路政策方面，日本於 2016 年「社會 5.0」之倡議，主要希望能解

決日本少子高齡化、人口結構老化導致勞動力不足、環境與自然災害以及安全保障等社會課題，而前述課題對日本交通發展所產生之影響包括：人口減少與高齡，並集中於首都圈；勞動年齡人口減少，事求人有效倍率上升；交通基礎設施老化；頻繁且加劇之自然災害以及地方公共運輸經營日益困難。根據日本國土交通省之調查，隨著科技進步，民眾希望解決之主要問題包括：高齡化所伴隨的移動不便、人口減少所引致的勞動力不足、地方交通的衰退等，均為前述因人口減少所衍生之交通問題。

七、在鐵路智慧化發展方面，本研究以 JR 東日本鐵道公司為例，說明日本軌道智慧化之主要發展方向與策略。JR 東日本鐵道公司提出智慧列車之架構，該架構分為服務、安全、維修、列車運行以及環境等五個面向。配合此架構，JR 東日本公司制定「中長期技術創新願景」，框定相關技術之發展方向，以期於 20 年內實現超前之技術創新。

八、盤點我國智慧鐵道以及鐵道產業發展相關計畫與政策部分，首先鐵道局於 109 年 2 月完成「智慧鐵道發展架構及策略研訂」委託專業服務案，透過該研究，框定我國智慧鐵道發展之方向。其次鐵道局於 109 年研訂「鐵道科技產業政策」，針對鐵道科技產業發展，提出重要議題、發展策略與重要措施。此外，為提升本土軌道產業技術及產值，媒合國內廠商投入軌道及相關建設，特由交通部、經濟部及行政院公共工程委員會於 107 年 3 月組成「軌道產業推動會報」，108 年 10 月由鐵道局、台灣高鐵公司和臺灣鐵路管理局，邀集國內 60 多家產學研界成立，進一步組成「R-TEAM 鐵道科技產業聯盟」，對我國推動鐵路數位轉型注入能量。

4.2 建議

一、近年政府積極推動國內鐵路基礎設施建設與更新，然而現階段亦值國內發展鐵路智慧化時期，建議鐵路公司應研議智慧化鐵道或數位轉型之整體發展架構，以使基礎設施之更新，能配合整體架構，增加投資之效益。

二、目前國內鐵路智慧化發展仍以技術面及產業機會面為主，惟若從數位轉型的意涵來看，鐵路系統相關營運流程、價值主張、顧客體驗、數位文化等之變革，較屬營運公司組織所須面對之議題，建議未來可協助鐵路公司提升數位能力，並積極解決上述數位轉型相關議題，包括透過數位工具確定商業模式、產品定位等，並配合調整營運流程，與員工建立溝通平台，協助員工了解公司數位轉型之核心價值，並提升員工相關職能。

三、鑑於數位轉型所衍生之高成本，為有效掌握位投資效益，無論是政府或鐵

路業者，建議應建立相關評估指標與評估機制，以確認相關數位投資之效應與數位轉型之目標相符，並了解數位投資所產生之效益，是否物有所值。

參考文獻

1. 「德國鐵路營運策略座談會」簡報資料，臺鐵局，2016.08
2. 歐盟鐵路第四方案，https://unece.org/DAM/trans/doc/2013/sc2/SC2-2013-Pres13e.pdf
3. 歐洲綠色協議，歐盟網頁 https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
4. Strategy for Sustainable and Smart Mobility, 歐盟網頁 https://ec.europa.eu/transport/themes/mobilitystrategy_en
5. 歐洲鐵路年，歐盟網頁 https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_364
6. 德鐵公司，「Rail reform and privatization」簡報資料，107.06
7. FTIP2030，德國聯邦交通和數位基礎設施部網頁 https://www.bmvi.de/SharedDocs/EN/Documents/G/ftip-2030.pdf?__blob=publicationFile
8. Germany approves €86bn rail infrastructure programme, IRJ 網頁 https://www.railjournal.com/financial/germany-approves-e86bn-rail-infrastructure-programme/
9. 智慧鐵道發展架構及策略研討，鐵道局，109 年 2 月
10. 維基百科”ETCS” https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%AD%90%E6%B4%B2%E5%88%97%E8%BB%8A%E6%8E%A7%E5%88%B6%E7%B3%BB%E7%B5%B1
11. Connecting people: a strategic vision for rail，英國運輸部，https://www.gov.uk/government/publications/a-strategic-vision-for-rail，2017.11
12. Digital Railway Strategy，Network Rail 網頁 https://www.networkrail.co.uk/running-the-railway/railway-upgrade-plan/digital-railway/digital-railway-strategy/，2018.04
13. 日本令和 2 年白書，國土交通省網站
14. JR 東日本グループ経営ビジョン「変革 2027」，JR 東日本鐵道公司網頁 https://www.jreast.co.jp/investor/moveup/
15. 技術革新中長期ビジョン，JR 東日本鐵道公司網頁

https://www.jreast.co.jp/development/innovation/
16. 杜微，臺鐵智慧化 4.0，台灣軌道工程學會 108 年年會簡報資料，108.06.21
17. 鐵道科技產業政策(109.07.14)， 鐵道局網站