

# 國際推動機場智慧化趨勢及我國發展課題探討

## Exploration of International Trends in Promoting Airport Smart Transformation and Development Issues in Taiwan

運輸工程及海空運組 呂蕙美

研究期間：民國113年2~12月

### 摘 要

近年來航空服務需求日益增加，加上科技的進步，均促使各大機場積極朝智慧化轉型，以強化旅客服務與設施競爭力，提供更即時、快速與便利的服務，俾提升機場營運效率與旅客服務滿意度。盱衡國際間機場已擘劃智慧發展策略及陸續導入新技術，我國機場亦亟待擘劃智慧化發展政策與藍圖，以利提升航空服務水準和營運效率，進而鞏固樞紐地位及提升國際競爭力。

另一方面，我國人口數近年呈負成長趨勢，預計未來基礎勞動力將持續縮減，進而影響到機場及航空產業所需人力。我國地方核心機場、離島基本運輸機場，在有限資源下如何維持穩定營運，並以智慧轉型策略減緩人力需求、補足人力缺口，也是未來發展重要課題。

本研究為本所後續將進行之機場智慧化系列研究計畫之先期研究，以國際發展趨勢、標竿機場發展經驗與我國各級機場推動狀況為研究對象，蒐整相關資料，並透由民航主管機關(構)及專家學者訪談，經評估後建議後續本所可進行之研究方向與項目，並綜合提出結論與建議，俾提供交通部、民航局及桃園機場公司後續參考應用。

### 關鍵詞：

智慧、機場、數位化

# 國際推動機場智慧化趨勢及我國發展課題探討

## 一、緒論

隨著機場與航空公司運能逐漸復甦，國際樞紐機場間之競爭已然重新開始。在 5G、AI、雲端、IoT 等科技技術發展日趨成熟下，加上國際航空組織如國際航空組織如國際航空運輸協會(IATA)、國際機場協會(ACI)、國際民航組織(ICAO)等積極倡導機場朝智慧化方向發展，主要國際機場已擘劃智慧發展策略及陸續導入新技術，期許提升航空服務水準和營運效率，以鞏固樞紐地位及提升國際競爭力。

近年航空服務需求持續升級，透過導入新興技術，以智慧轉型進一步強化旅客服務與設施競爭力，提供更即時、快速與便利的服務，成為我國各級機場未來重要發展關鍵。另一方面，我國人口數近年呈負成長趨勢，預計未來基礎勞動力將持續縮減，進而影響到機場及航空產業所需人力。而我國地方核心機場、離島基本運輸機場，在有限資源下如何維持穩定營運，並以智慧轉型策略減緩人力需求、補足人力缺口，也是未來機場維持競爭力並持續發展的重要課題。

本研究為本所後續擬進行之機場智慧化研究計畫之先期研究，以國際發展趨勢、標竿機場發展經驗與我國各級機場推動狀況為研究對象，蒐整相關資料，並透由民航主管機關(構)及專家學者訪談，經評估後建議後續本所可進行之研究方向與項目，並綜合提出結論與建議，俾提供交通部、民航局及桃園機場公司後續參考應用。

## 二、機場智慧化涵義及技術

### (一)機場智慧化發展階段

智慧機場(Smart Airport)係指機場導入智慧化科技，整合機場資通訊服務所需各項應用功能，如大數據(Big Data)、人工智慧(Artificial Intelligence, AI)、邊緣雲(Edge Cloud)、數位分身(Digital Twin)、生物辨識(Biometric)及機場協調整合決策(Airport Collaborative Decision Making, A-CDM)系統等，實現一鍵式線上服務，並同時擴充、改善、整合資料庫，將機場所有利益相關者進行充分連結，實現不同領域資訊共享，使資訊系統與作業流程均能協同合作，方便即時調度人力與設備，以即時

回應及處理營運及旅客需求，俾達到機場資源配置最佳化，為旅客提供最佳服務品質與旅遊體驗，同時降低機場成本及增加收入。

Arthur D. Little<sup>[1]</sup> 依照機場在數位化技術應用的程度，將機場智慧化程度分為 4 個等級：機場 1.0、機場 2.0、機場 3.0 與機場 4.0，如圖 1。大部分先進機場目前已經可以實施機場 2.0 數位解決方案，並預期在未來 10-15 年內提升數位化技術應用，以實現機場 4.0。



資料來源：〔1,2〕。

圖 1 機場智慧化發展各階段意涵

## 1. 機場 1.0 (Airport 1.0)

典型的「傳統」機場，所有流程都是手動操作，僅於某些解決方案使用 IT，例如 CUTE (Common User Terminal Equipment, 共同櫃檯系統) 或基本的資源管理解決方案。通常缺乏先進科技與數據應用，可能仍然依賴手工操作與傳統機場管理方式，缺乏自動化設備，如自動報到機、自動行李處理系統等；安全檢查和登機流程主要依賴人工操作，缺乏智慧化的安全措施，需長時間的資源安排及反應。但 Airport 1.0 階段不必然代表效率差。這類機場通常進行 B2B 業務，而不直接向旅客進行營銷服務<sup>[1,2]</sup>。

## 2. 機場 2.0 (Airport 2.0)

特徵為大規模部署 CUTE 及部分應用自助服務，主要限於自助報到系統(Common Use Self-service Check-in Kiosk, CUSS)，通常已部署 Wi-Fi 技術。已開始引入一些現代化的技術和設備，例如自助報到機、自動行李處理系統等，但其覆蓋範圍可能有限。雖引入了一些安全檢

查設備和流程，像是 X 光掃描，但主要還是由人工檢視，在自動化和智慧化方面仍然有大幅改進空間<sup>[1,2]</sup>。

### 3.機場 3.0 (Airport 3.0)

在旅客旅程的各個層面上均應用自助服務，營運管理自動化並具有預測性。移動通訊方案(Mobility Solution)廣泛使用於航廈與空側，尤其是在停機坪區域。機場擁有先進科技及數據應用，營運管理與旅客體驗更高效。引入了全面的自動化設備和系統，例如自助報到、自動行李處理、智慧安全檢查、自助登機等，提高了效率、便利性及機場容量。機場藉由大數據分析和預測技術優化營運計畫，可更滿足旅客需求及因應預測流量變化。此外，提供多項流程自動化，以數位化優勢提升流程監控及實現營運最佳化<sup>[1,2]</sup>。

### 4.機場 4.0 (Airport 4.0)

特徵為利用大數據與開放數據強化創新能力。機場營運單位可從數據中了解即時客流量及提前預見情況，可更了解客戶需求。這類業務模式明顯從 B2B 向 B2C 轉變，著重於提供更加個性化與無縫的旅客服務。引入了最先進的技術和數據應用，例如人工智慧、物聯網與機器學習等，大幅提升了機場的營運效率與旅客體驗。此外，安全系統和設備全面智慧化，能迅速識別及應對安全威脅，以保障機場營運和旅客安全。注重各權益關係人之間的充分連結和協作，以利為旅客提供無縫且個性化的服務。此外，具有優越的預測和應變能力，能及時應對機場營運需求的變化，確保機場高效運作<sup>[1,2]</sup>。

## (二)機場旅客服務數位化成熟度評估

Nigel Halpern 等人提出了綜合機場數位化成熟度模式 (ADMM)，將機場數位轉型視為一種持續改進的過程，認為數位轉型並非靜態，而是技術轉型和組織轉型的動態過程。該研究以前述 Arthur D. Little 機場智慧化演進 4 階段類型為基礎，列出各階段旅客服務使用技術示範類型，可用以評估旅客服務面向機場數位化成熟度<sup>[3]</sup>，詳如表 1。

表 1 機場數位化各階段在旅客服務部署技術範例

旅客服務 \ 階段	Airport 1.0	Airport 2.0	Airport 3.0	Airport 4.0
停車場	可透過電話預訂，並於抵達或離開時付款	可線上預訂，並於抵達或離開時付款	可線上預訂及付款	可線上預訂，並藉由車牌辨識付款
報到	由櫃台人員辦理	線上報到或使用專用Kiosk	線上報到或使用通用Kiosk	於報到時或抵達機場前，登錄生物識別及旅行詳細資訊
行李託運	由櫃台人員辦理	於Kiosk列印行李標籤，再由櫃台人員辦理	自助完成行李託運	永久數位行李標籤，可透過APP進行旅行追蹤
安檢	金屬探測及拍打	X光掃描	人體掃描儀、手提/託運行李CT掃描儀器	藉由生物識別掃描，不需移除物品即可通過
登機門	由人員檢查紙本登機證	由人員檢查電子登機證	自助掃描電子登機證	單次生物識別登機
商業	機場提供現場服務及資訊	在機場內提供數位訊息服務	提供電子化商業服務	個人化/情境化商品服務
服務資訊及導引	紙本摺頁、類比指示牌及服務櫃台詢問處	數位告示板及指示牌	提供數位自助服務及行動定位服務	增強虛擬實境輔助導引及個人化通知
聯繫機場	藉由電話及信件	電子郵件及線上表單	APP或其他即時服務系統	AI人工智慧(如聊天機器人)

資料來源：〔3〕。

### (三)機場未來具潛力關鍵科技技術

機場世界雜誌(Airports World)於 2024 年訪談機場領導者，詢問在 15 種科技技術選項中，在 2024 年以及未來 5 年可能產生最大影響之科技技術<sup>〔4〕</sup>，分別依序為機器學習(Machine Learning)、生成式人工智慧(Generative AI)、雲端運算(Cloud Computing)、擴增實境(Extended Reality，或稱元宇宙 Metaverse)及行動支付(Digital Payments)。

機器學習技術部分，可應用於搭配機場營運技術套件，處理大數據並提供建議，例如，推薦最佳飛機起飛順序；協助複雜決策擇選最佳方案，例如，登機門指派；可虛擬機場營運系統，輕鬆分享營運計畫與績效指標；可預測公共交通需求高峰，提前佈署服務設施與人員。

生成式人工智慧技術部分，可用於機場的互動虛擬化身，可以使用多種語言與旅客交流、聊天，為旅客提供航班資訊或機場服務建議；數位助理可轉移到旅客的行動裝置，使旅客在航廈內移動持續獲得建議。

雲端運算技術部分，已轉向高度可擴展的公共雲端，使機場擺脫過去分散且獨立的傳統技術限制，使各應用程式與技術更快整合。

擴增實境技術部分，在機場中最常與「數位分身(Digital Twins)」相關聯，透過即時數據回饋支援操作，可更快速反應，也可用來幫助旅客在購物過程中體驗產品

### 三、國際組織對機場智慧化相關理念

#### (一)新旅行體驗與技術(NEXTT)

IATA 與 ACI 於 2017 年發布了「新旅行體驗與技術(New Experience in Travel and Technologies, NEXTT)」<sup>[5]</sup>願景，藉由重新設計旅客的旅程及對未來技術的應用，並聚焦在機場外的活動、先進流程和交互式決策等 3 方面的智慧化發展，提供各機場做為智慧化策略建議，可以使機場朝智慧化發展。

NEXTT 構建一個使機場、航空公司與政府管理部門合作的架構，聯手打造旅客身分認證與客流管理的關鍵數據，以減少旅客在機場報到與安檢的停留時間。不僅考慮到航廈內空間，同時還包括多種類型的地面交通運輸，以及考慮到將部分旅客活動移到機場外進行的可能性。ACI 也強調 NEXTT 項目的靈活性，因為可在一段時期內滿足不同機場的需求。

#### (二)智慧機場 4 大目標

ICAO 將智慧機場視為一個生態系統，認為應達到環境永續、安全與保安、營運最佳化、財務解決方案等 4 大目標<sup>[6]</sup>，如圖 2 所示。

在環境永續方面，包括實施 LED 照明、智慧路燈照明、綠建築以及對空氣、聲音、影響、燈光等監測；在安全與保安方面，包括實施影像情境分析、智慧彈性計畫、防洪措施、智慧健康服務等，其中，智慧彈性計畫是為了應對突發事件，如自然災害、恐怖襲擊等所做的準備和規劃，可以確保機場能夠在緊急情況下迅速恢復營運，減少對旅客和貨運的影響。防洪措施是針對地勢較低或容易受暴雨影響的機場所設立，包括建立防洪系統、排水系統和其他基礎設施，以防止洪水對機場營運造成的損害；在營運最佳化方面，包括發展智慧停車、先進航路架構、個人化導航、中央營運管理平台、重要基礎建設監控、即時回報及分析等；在財務解決方案方面，可嘗試減少支出並增加附加收入等。



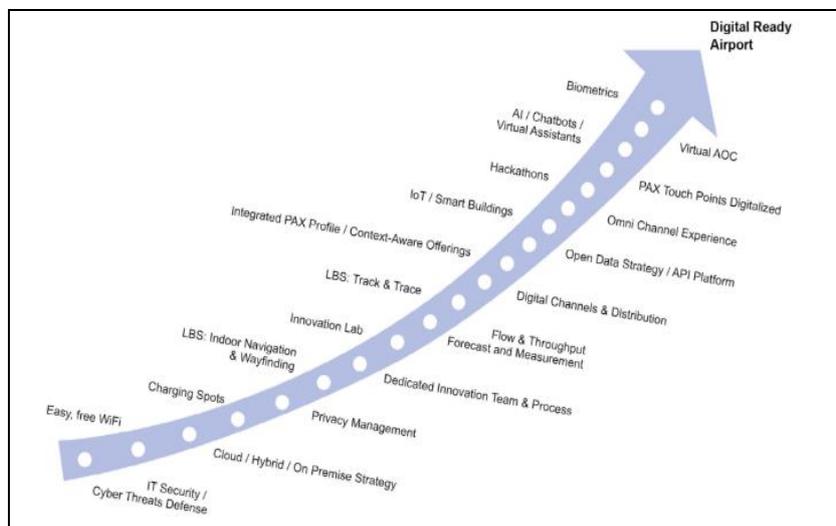
資料來源：〔6〕。

圖 2 智慧機場生態系統之 4 大目標

### (三) 推動機場智慧化之考量要項

ACI 在 2017 年「機場數位轉型最佳實踐」<sup>〔7〕</sup> 建議推動機場智慧化之考量要項，包括技術支援、數位轉型步驟、專注發展最有前景領域及可能面臨之挑戰等。

技術支援部分，ACI 建議機場應先確認可使機場達到真正智慧化的技術，然後建構發展模式，進而確認智慧化技術發展順序。ACI 提供典型、合理的引進技術發展順序(如圖 3)做為參考，但強調需視機場主客觀發展條件而有所不同；另外，ACI 也提供「智慧機場自我評估調查表」(如表 2，欄位包括基礎設施、開放資料、個人經驗、生物辨識技術及物聯網等)，使機場數位轉型工作小組可辨識轉型過程中的智慧化程度。



資料來源：〔7〕。

圖 3 機場智慧化發展各階段典型引進之技術類型

表 2 智慧機場自我評估調查表

III PERSONAL EXPERIENCE							
1a	Do you have digital channels available (web, app etc) and teams to support these?		Passenger Journey, Commercial Benefits	Digitally enabled	yes	no, not planned	planned for 2017, 2018... <comment>
1b	Have you secured that you offer an "omni channel experience with consistent message" across digital & physical channels to the passenger?		Passenger Journey, Commercial Benefits	Full digital	yes	no, not planned	planned for 2017, 2018... <comment>
1c	Is customer care delivered on digital channels, such as website and social media?		Passenger Journey, Commercial Benefits	Full digital	yes	no, not planned	planned for 2017, 2018... <comment>
1d	Which digital channels do you provide for consumers (B2C)?		Passenger Journey, Commercial Benefits	Full digital	Please list in comments		

資料來源：〔7〕。

ACI 建議數位轉型的步驟如下：

1. 優先考慮並制定具體的數位轉型計畫。
2. 進行機場環境評估：對機場特徵進行多面向審視，至少需包括機場物理、旅客、市場、當地社區、經濟特徵及社會政治影響。
3. 確認機場策略計畫與目標。
4. 進行內部組織審查與要求：評估數位轉型過程仍保持靈活性與敏捷性所需的能力。
5. 每隔幾年重新進行以上步驟的審查作業：確保採用正確的解決方案來提供最佳結果（財務、業務、營運、旅客服務等）。

## 四、國際樞紐機場智慧化發展案例

### (一)新加坡樟宜機場 (Changi International Airport)

#### 1.發展目標

發展成為全自動化智慧機場。

#### 2.發展歷程

2020 年樟宜機場公司結合自動化、高效率等議題，宣布打造「全自動化智慧機場」，提出「讓機場不只是旅行的一部份，而是讓機場變成旅行的目的地」之願景。

#### 3.發展策略

- (1)引進全自動機器人為關鍵角色，以解決未來可能無人力進行勞力密

集型工作（如地勤作業）之挑戰。

(2)在推動 One ID 部分，自助通關推動及參與單位，主要係由新加坡內政部(Ministry of Home Affairs)提出「無護照通關」新概念，交由新加坡移民暨關卡局(Immigration and Checkpoints Authority；ICA)負責編列預算與推動；此外，由於護照涉及個資議題，新加坡議會即針對護照資料如何授權 One ID 合理使用等，先完成法規調適，再由樟宜機場集團(Changi Airport Group)營運單位負責建置與日常維護管理，經過招標引進法國生物辨識大廠 Idemia 之技術；新加坡科技局 (Agency for Science, Technology and Research)也針對 One ID 通關上之特點，與 Idemia 在生物辨識上進行測試合作，在這些單位共同努力下，促成了新加坡 One ID 能夠順利推動及落地應用。

(3)樟宜機場集團(CAG)在對旅客的行銷操作上，有幾項核心手段，包括樟宜獎勵積分(Changi Rewards)、折價券、免費購物金、免費停車等優惠回饋，藉以刺激將旅客流量轉變成財務效益。由於樟宜機場可以開立發票，金流掌控在自己手上，加上樟宜支付，品牌可以利用樟宜的行銷活動，藉由向旅客提供數位折扣券及獨家優惠，加強與旅客的互動，對機場集團而言能創造旅客、機場與商家之三贏局面。

#### 4.引進技術

包括生物辨識、One ID、自動化、機器人、數位分身、大數據等。

#### 5.推動成果

樟宜機場於 2019 年啟用第四航廈後，即開始進行各項自動化測試<sup>[8]</sup>，如自動餐具包裝系統、自動登機橋、無人載具等。目前樟宜機場正在興建第五航廈，預計將於 2030 年前啟用全球最初全自動化航廈，逐步朝「全自動化智慧機場」方向邁進。

新加坡民用航空局(Civil Aviation Authority of Singapore，CAAS)採用全自動機器人做為全自動化智慧機場運作之關鍵角色，與航空地勤服務業者合作，引進各種全自動機器人進行自動化運作測試，以解決未來可能無人力進行勞力密集型工作(如地勤作業)之挑戰。應用項目說明如下：

- (1)自動登機橋：利用配備雷達感測器與攝影鏡頭的登機橋，自動連接飛機門，提升登機橋與飛機門連接之精準度，減少人力操作登機橋的時間、失誤及碰撞風險。
- (2)智慧機器人：該機器人可配合無人牽引車（Driverless Tractor）及自動行李處理系統，協助地勤人員行李卸載、運輸、分揀等作業。
- (3)無人牽引車(Driverless Tractor)：可自動運輸空運貨櫃及行李往來倉儲與停機坪，提升地勤作業效率(如圖 4)。
- (4)無人電動堆高機（Driverless Pure Electric Forklift）：可自動搬運貨物，並配備雷達感測器，自動迴避障礙物，及選擇最佳行車路線。除樟宜機場外，目前亦於港口碼頭、工廠倉庫等不同情境中進行該車自動運作測試。
- (5)機器手臂、自動貨物處理系統、自動貨物傳輸帶系統：可協助倉儲作業人員進行貨物築打、拆理等作業。

樟宜機場亦與新加坡民用航空局共同打造智慧塔台(Smart Tower)<sup>[9]</sup>，透過數位化的機場即時影像，飛航管制員可不受日夜或氣象影響，提供更精確飛航業務，以增加飛航管制員的視線範圍、狀況知覺、機場整體營運效率及航空交通安全。



資料來源：〔8〕。

圖 4 樟宜機場進行無人牽引車測試

## (二)日本東京成田國際機場 (Narita International Airport)

### 1.發展目標

整體政策的 3 個核心要素，包括成田機場業務、系統和組織的活化、創新和革新，智慧化共同的目標為機場自動化及人力效率<sup>[10]</sup>。

### 2.發展歷程

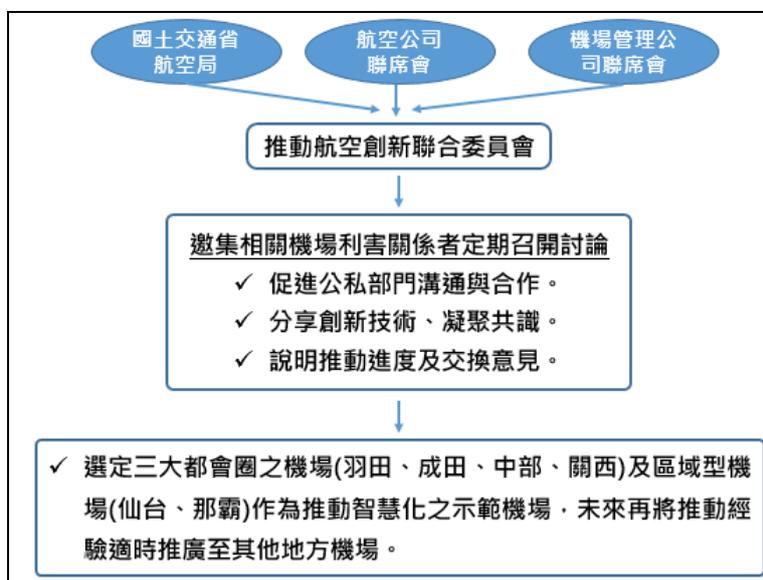
日本在 2019 年下半導入生物辨識整合成 ONE ID，以提高效率

避免重複身分確認(護照、登機證)。

### 3.發展策略

- (1) 從既有實體(護照、登機證)轉變為生物資訊，使機場、政府機關(海關、移民署、檢疫單位)及航空公司之間大幅降低比對時間、提高比對準確率及達到無紙化。
- (2) 個人資料僅用於登機手續。登記於 Face Express 的人臉圖像等識別個人的資料，在 24 小時以內自動刪除。
- (3) 選定智慧化示範機場加以推動。

日本機場為推動智慧化，已成立推動航空創新聯合委員會(如圖 5)，由國土交通省航空局主導，並邀集航空公司聯席會及機場管理公司聯席會，協助提供機場引入先進技術之專業意見及作為技術意見平台，制訂未來科技發展藍圖，確立發展智慧機場所採用的重點科技、應用範疇及時間表，選定三大都會圈之機場-羽田、成田、中部、關西及區域型機場做為智慧化示範機場，並訂下未來 5 年及 10 年推行的措施和計畫<sup>[11]</sup>。



資料來源：〔11〕。

圖 5 日本成立推動航空創新聯合委員會推動機場智慧化

### 4.引進技術

日本東京成田國際機場引進智慧技術多達 22 項，包括 One ID 臉部辨識技術、BHS(行李處理系統)、車輛自動駕駛技術、PBB(旅客登機橋)、掃地機器人 Egrobo、傳染病控制解決方案、多語

言翻譯智慧口罩 C-FACE、機場路面檢查系統、光纖感測及 SAR 衛星監測服務等<sup>[12]</sup>。其中該機場預測未來 2~4 年內將對機場領域產生最大改變的技術是人工智慧。

## 5.推動成果

日本東京成田國際機場於 2021 年 7 月啟動實施 One ID 人臉辨識系統 Face Express，旅客在報到時於 OneID 機台完成臉孔與護照辨識登錄，透過 One ID 人臉辨識系統，靠「刷臉」完成所有流程；並透過旅客 CUSS(自助報到設備)、CUBD 與 SBD(自助行李託運設備)的應用，進入管制區，證照查驗、安全檢查、登機也都引入 Face ID 應用技術，不需出示護照或登機證；未來所有機場相關設施，如貴賓室、免稅商品購買等都能使用 One ID 系統，可精簡人力與紙張成本，節省旅客排隊等待時間，讓搭乘飛機流程更便利、順暢，並有效提升機場服務品質與旅客滿意度。

### (三)香港赤鱘角國際機場 (HongKong International Airport)

#### 1.發展目標

香港赤鱘角國際機場預計到 2035 年的機場客運量將超過 1.2 億人次，貨運量約 1,000 萬公噸，並由「城市機場」發展為「機場城市」，鞏固做為領先國際航空樞紐；同時發展及推行科技和創新方案，成為領先機場<sup>[13]</sup>。

#### 2.發展歷程

2015 年成立香港國際機場科技創新委員會，2 年後發表《香港國際機場科技發展藍圖》，以推動機場數位轉型，並列出 5 項重點科技，以利實踐目標<sup>[13]</sup>。

#### 3.發展策略

香港國際機場引進 5 項重點科技推動機場數位轉型方案<sup>[13]</sup>，說明如後：

- (1) 應用以容貌辨識為主的生物特徵識別技術，讓旅客在機場建立單一旅程身分認證，藉此通過機場內各個檢查點，無須排隊等候檢查旅遊證件。
- (2) 利用流動科技，例如「我的航班」流動應用程式，為旅客提供個人化功能及資訊，包括實時航班資料更新、登機提示、機場指示標誌

翻譯、行李送達通知等，與旅客保持聯繫。

- (3) 於重要運作範疇使用自動化及機械人技術，例如行李及貨物運送、飛行區及大樓運作等，將有助提高效率，協助我們滿足日益增加的航空交通需求，減少運能限制。
- (4) 建立「數位分身」，即利用虛擬技術複製航廈結構及設施的三維模型，協助加強機場整體管理、預測性決策及維修能力。此項技術將應用於機場建築物由設計、建造、營運以至維修階段的整個生命週期。
- (5) 大數據為以上所有技術的骨幹，讓機場管理單位獲取實用的分析數據，進一步優化機場營運。

#### 4. 引進技術

包括生物辨識、One ID、流動科技、自動化、機器人、數位分身、大數據及無人駕駛技術。

#### 5. 推動成果

- (1) 推出官方行動應用程式「My HKG」<sup>[13]</sup>，主要功能條列如下：

##### A. 航班及行李送達狀況

- 即時航班資料更新
- 已追蹤航班的登機提示
- 行李送達通知（使用「行李通」）
- 行李相關服務預約（例如：行李遞送及搬運服務）

##### B. 路向指示協助

- 機場指示標誌翻譯、交通資訊更新
- 機場設施、商店位置及聯絡資料
- 利用機場室內地圖獲取路線
- 擴增實景路向指示

##### C. 機場服務預約及餐飲預訂

- 停車位預約、機場停車費網上付款
- 餐飲預訂、聊天機械人回應查詢

- (2) 生物辨識技術

- 第一航廈安裝 44 部容貌辨識技術的自助保安閘口

- (3) 多功能機器人

- 監控航廈氣溫及 Wi-Fi 訊號

- 進行深層消毒工作

#### (4) 無人駕駛拖車

- 在飛行區運作中率先採用無人駕駛技術，2019 年 3 月完成測試後，已將此技術應用於電動拖車，在停機坪上運送行李及貨物
- 提高拖車司機的安全及改善工作環境
- 更有效運送行李及貨物

### (四) 巴黎機場集團

巴黎機場集團(Groupe ADP，以下簡稱 ADP) 營運管理巴黎 20 多座機場，以經營方式制定各機場一致性轉型行動機制，使智慧轉型有效率<sup>[14]</sup>。

#### 1. 發展目標

智慧轉型之主要目標為強化旅客體驗、優化機場營運、成為機場數位化的引領者、改善機場管理並影響機場航網，同時達成即時數據處理和快速回應提高營運效率，並提高運作和設施維護的可靠性，以利降低營運成本、提高生產力。

#### 2. 發展行動

ADP 提出 5 大面向行動<sup>[13]</sup>，包含無縫健康旅行、營運監控、通用旅客體驗、空側管理、創新與綠色移動，並分別提出具體導入項目，詳如表 3 所示。智慧化進程分類為 4 階段，分別為數位初階、數位友善、全數位化、數位領航。數位初階即少部分導入數位設施，如 WiFi、登機證掃描等；數位友善為大部分處理設施數位化；全數位化更搭配即時監測、端點間數位及自動化程序；數位領航則進一步結合臉部辨識和個人化旅客體驗，如圖 6。

表 3 法國 ADP 集團智慧轉型行動面向

行動面向	行動方案
無縫健康旅行	流程身分管理與健康協議
營運監控	營運虛擬監視器與機場規劃、智慧安全監管、網路與設施管理
通用客戶體驗	自助支付、尋路、數位追蹤、排隊管理、上門服務
空側管理	飛機起降管理、AI與綠色機坪、地勤互聯網絡、強化空側安全管理
創新與綠色移動	自主出行、共享出行、綠色出行、UAM

資料來源：〔14〕。



資料來源：〔14〕。

圖 6 法國 ADP 集團智慧轉型推動進程

各機場在營運需求、規模條件等皆不同，因此需針對各機場之營運條件進行評估，以界定各機場應發展之智慧化程度。評估方式係結合當地經營團隊及外部支援團隊，先行就機場現況智慧化發展成熟度等級進行評估，評估完成後，聯合關係人舉辦工作坊，以共同界定機場現況與目標，並制定發展路徑圖與行動專案實施時間軸，再創造可滾動檢討之 KPI，以利落實推動，同時可作為其他相似專案之參考。

ADP 集團以 2025 年在巴黎營運之機場有 3 座達全數位化等級為目標，其餘機場則預計達數位友善等級，未來再隨技術發展及營運需求進行滾動檢討與調整。

### (五)國際樞紐機場智慧化發展可參考作法

綜整及評估前述國際樞紐機場智慧化發展成果與經驗，我國後續可參考之作法如下：

1. 在推動 One ID 部分，因涉及個資議題，新加坡政府先針對護照資料授權合理使用先完成法規調適，透過招標引進適合之生物辨識技術，並先進行測試合作，因而促成 One ID 順利推動及落地應用。
2. 樟宜機場集團對旅客的行銷操作上，設計獎勵積分、折價券、免費購物金、免費停車等優惠回饋，以刺激旅客消費，再配合樟宜支付；機場免稅店可以利用樟宜機場的行銷活動，向旅客提供數位折扣券及獨家優惠，加強與旅客的互動，對機場、商店、旅客而言可創造三贏局面，進而提高非航空收入。
3. 日本機場為推動智慧化成立推動委員會，由國土交通省航空局主導，並邀集航空公司聯席會及機場管理公司聯席會，協助提供機場引入先進技術之專業意見及做為技術意見平台，制訂未來科技

發展藍圖，確立發展智慧機場所採用的重點科技，應用範疇及時間表，並選定三大都會圈之機場-羽田、成田、中部、關西及區域型機場做為智慧化示範機場，訂下未來 5 年及 10 年推行的措施和計畫，可做為我國機場智慧化推動指引之參考。

4. 香港國際機場先確立引進 5 項重點科技推動機場數位轉型方案，並以大數據技術為所有技術的骨幹，讓機場管理單位獲取實用的分析數據，以利進一步優化機場營運。
5. 巴黎集團針對各機場之營運條件進行評估，界定各機場應發展之智慧化程度。評估方式係結合當地經營團隊及外部支援團隊，先行就機場現況智慧化發展成熟度等級進行評估，評估完成後，再聯合關係人舉辦工作坊，共同界定機場現況與目標，並制定發展路徑圖與行動專案實施時間軸，再創造可滾動檢討之 KPI，以利落實推動。

## 五、我國機場智慧化發展現況與未來規劃

交通部有關智慧機場之政策，於「運輸政策白皮書(2020 年版)」空運分冊<sup>[15]</sup>揭示為：「政策二：營造良好營運環境，提供智慧便捷效率服務」、「策略七：持續推動機場智慧化與資訊化」，各項行動方案與主、協辦機關如表 4，均已於 109 年以前(含)啟動。

表 4 交通部機場智慧化相關政策、策略與行動方案

政策	策略	行動方案	主辦機關	協辦機關	啟動年期		
					~109 年	~111 年	111 年~
政策二：營造良好營運環境，提供智慧便捷效率服務	策略七：持續推動機場智慧化與資訊化	辦理智慧機場發展先期規劃	民航局		√		
		場站設施新建，更新與維護，導入智慧化設計概念	民航局 桃園機場公司	各航空站	√		
		擇定試辦機場建構智慧化搭機環境	民航局	臺北站	√		

資料來源：[15]。

本研究於 113 年 11~12 月訪談民航局、桃園機場公司智慧化相關單位及蒐整相關資料，各單位推動概況如述如後：

### (一) 民航局

#### 1. 資訊系統發展現況

民航局現有資訊化發展，主要為航班資訊顯示系統(Flight

Information Display System, 以下簡稱 FIDS)與機場營運資料庫 (Airport Operational Data Base, 以下簡稱 AODB) [16]。FIDS 係提供機場作業單位了解即時航班資訊與狀態，航班資訊與動態亦可透過機場看板、廣播通知旅客；AODB 則以滿足各項航務需求為考量，提供機場作業單位航務放行、機坪調度管理、空橋管理、計費會計、運量統計等功能。FIDS 管理網頁與 AODB 畫面詳如圖 7、圖 8。



資料來源：[ 15 ]。

圖 7 FIDS 管理網頁(金門航空站)



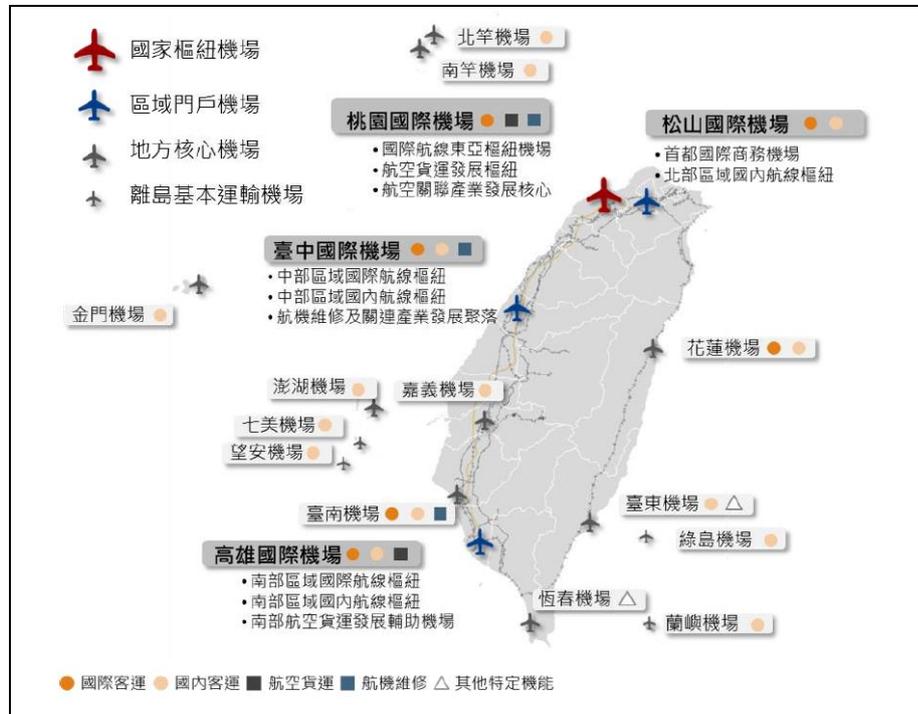
資料來源：[ 15 ]。

圖 8 AODB 畫面(臺中航空站)

## 2.智慧機場推動藍圖

民航局於 110 年發布「智慧機場推動藍圖」[2]，係依據 Arthur D. Little [1] 所定義智慧機場演進 4 階段(Airport 1.0~ Airport 4.0)研擬推動構想，並依據「臺灣地區民用機場 2040 年(目標年)整體規劃成果報告」[17] 對各機場發展之定位(如圖 9)，訂定機場智慧化之執行目標如下：

- (1) 區域門戶機場(松山、高雄及臺中機場)以發展 Airport 3.0 為目標。
- (2) 其餘地方核心機場、離島基本運輸機場以 Airport 2.0 普及化為目標，適時設置及優化自助化設施，提升旅客體驗。



資料來源：〔17〕。

圖 9 我國各級機場發展定位

該藍圖將機場智慧化重點應用分為「旅客服務」及「經營管理」等兩大面向。「旅客服務」面向包括智慧停車、自助報到與託運、尋人系統、自動查驗通關系統(e-Gate)、智慧接機；「經營管理」面向包括設施維護、安全管理、智能監控、空間管理系統、空側管理、清潔管理、機場營運資料庫(AODB)及機場協調整合決策(Airport-Collaborative Decision Making, A-CDM)系統。

其中 AODB 係為整合機場營運相關資料(陸側資料、空側資料、保安資料、設施資料、營運資料等)之儲存、分享及查詢的中心，可在單一框架內為各應用功能共用，以利掌握即時飛航資訊及監控系統資訊，並分析資源使用率、資源不足等事件；而 A-CDM 則為一套管理系統，起源於 ACI EUROPE(國際機場協會 Airports Council International, ACI)、歐洲航空安全組織 EUROCONTROL 及民用飛航服務組織(CANSO)合作推動，以資源共享與資訊交流為基礎加以建立，透過機場管理者、航管單位、地勤業者及航空公司等機場夥伴合

作與協調，可優化時間資源使用，減少資訊傳遞延誤及決策延遲，藉以提升事件之可預測性與改善不準確性，進而提升機場營運效率、運能及服務水準。A-CDM 適用於一定規模之機場，且通常需先建置 AODB 之後，A-CDM 才能充分發揮效用。

民航局智慧機場推動藍圖<sup>[2]</sup>分為以下 3 期推動：

#### **第 1 期：臺北松山機場**

民航局於 107 年擇定臺北松山機場做為推動智慧機場之示範機場，陸續進行各項智慧化措施，並參考使用者經驗回饋與精進。預計於 2026 年前陸續完成智慧尋人、物聯網應用、財產壽年到期警告系統等，並建置 AODB 及達成 Airport 3.0 為目標。

#### **第 2 期：高雄、臺中機場**

臺中機場未來將於改善既有國內航廈及擴建第三航廈時，導入智慧化思維與概念；高雄機場則將於新航廈設計及綜合規劃階段，將智慧化概念納入。以上二處機場均以 Airport 3.0 為目標。

#### **第 3 期：其他機場**

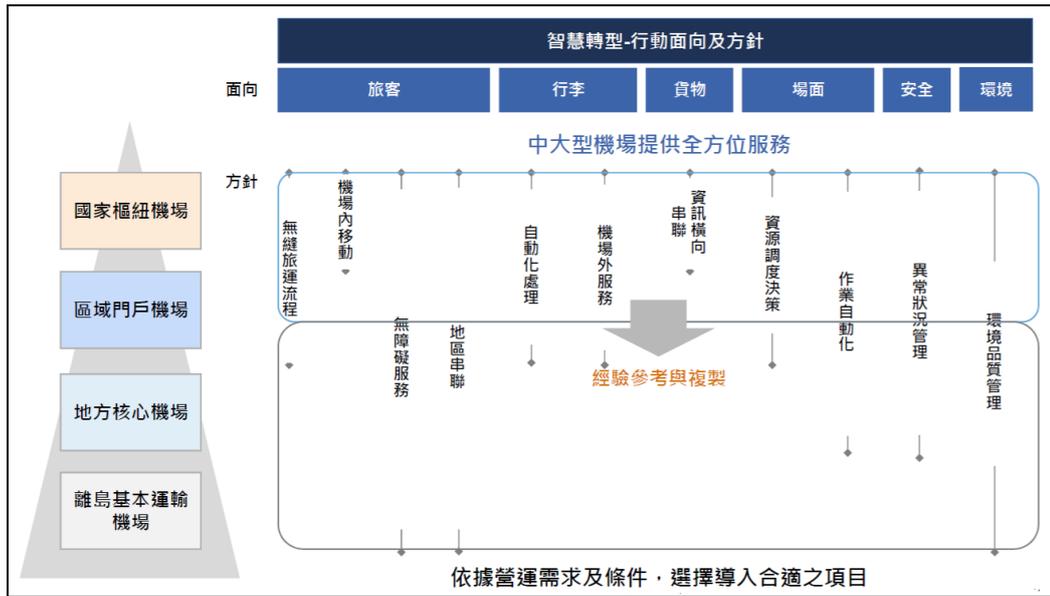
現況部分機場的某些服務已達 Airport 2.0 (例如：設置自助報到設施)，並持續以 Airport 2.0 普及化為目標，於每年編列施政先期計畫時，適時檢討將相關旅客服務自助化、經營管理系統化等概念納入規劃。

### **3.臺灣地區民用機場 2045 年系統規劃**

民航局於 113 年啟動「臺灣地區民用機場 2045 年系統規劃」<sup>[14]</sup>，其中有關機場智慧化部分，已盤點目前我國機場執行中之智慧初步行動，並建議智慧行動可分為旅客、行李、貨物、場面、安全與環境等 6 面向進行，並建議各面向之行動方針如圖 10；未來智慧化行動將採 3 項策略：朝系統與制度建立、外部協調與合作、研發投資或預算評估等進行推動，以落實所屬機場之智慧轉型發展，詳如圖 11。

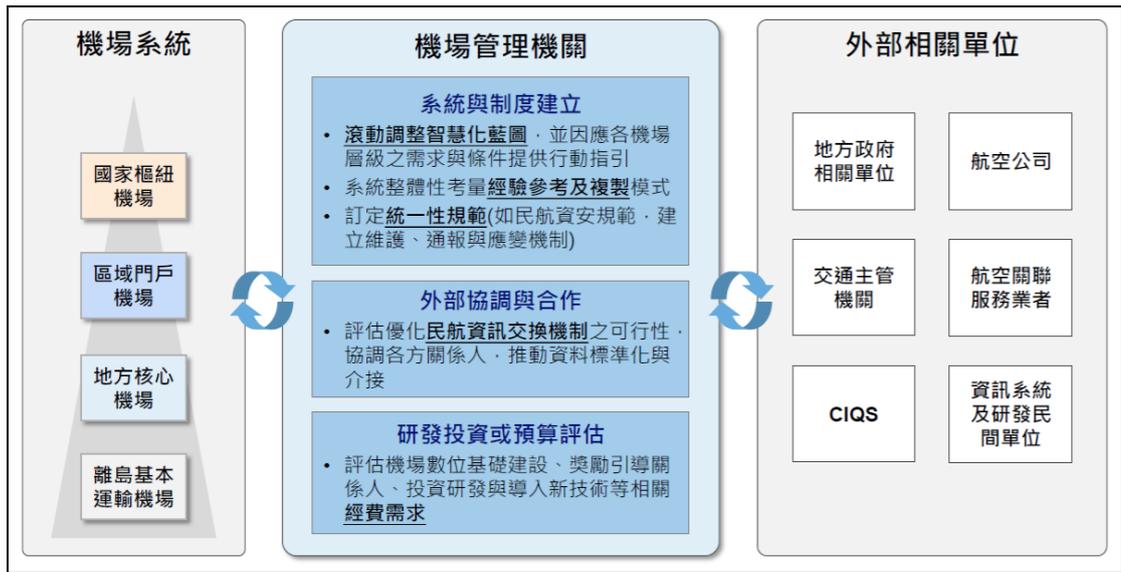
該規劃並指出民航局雖已規劃智慧機場推動藍圖，惟為因應各級機場之需求與條件落實推動，尚有待明確之行動指引。爰建議先由中大型機場(國家樞紐機場、區域門戶機場)提供全方位服務，地方核心機場與離島基本運輸機場可依據營運需求及條件，參考前述經驗酌予

複製，適時導入合適之智慧化項目加以推動。



資料來源：〔14〕。

圖 10 我國各級機場智慧轉型-行動面向及方針



資料來源：〔14〕。

圖 11 民航局智慧轉型行動策略

## (二)桃園國際機場

### 1.智慧化發展現況

「臺灣桃園機場園區綱要計畫(第二版)」<sup>〔18〕</sup>於 2020 年 12 月奉核，規劃目標年為 2040 年，該計畫發展目標之一為「前瞻·智慧機場」，發展策略包括：善用智慧機場物聯網、人工智慧及大數據技術趨勢、建置機場營運整合決策中心、確保機場安全與保安；近年執行之行動方案包括：(1)以智慧機場專案辦公室持續推動試驗場域及雛型

驗證方案；(2)推動智慧機場，包括研擬機場公司智慧機場發展藍圖、推廣自動化旅客報到服務等。

本研究以 Nigel Halpern 等人提出之機場數位化成熟度(旅客服務面向)評估，目前桃園機場旅客服務智慧化發展現況如表 5，大部分處於 Airport 3.0 階段。桃機公司曾於 2022 年 12 月 15 日試辦「One ID 臉部辨識系統」，並通過 One ID POC 驗證，預計於第三航廈優先導入該技術，並預計於第三航廈正式啟用時同步完成。

表 5 桃園國際機場旅客服務智慧化發展現況

階段 旅客服務	Airport 1.0	Airport 2.0	Airport 3.0	Airport 4.0
停車場	可透過電話預訂，並於抵達或離開時付款	可線上預訂，並於抵達或離開時付款	可線上預訂及付款	尚無線上預訂，但可藉由車牌辨識付款
報到	由櫃台人員辦理	線上報到或使用專用Kiosk	線上報到或使用通用Kiosk	於報到時或抵達機場前，登錄生物識別及旅行詳細資訊
行李託運	由櫃台人員辦理	於Kiosk列印行李標籤，再由櫃台人員辦理	自助完成行李託運	永久數位行李標籤，可透過APP進行旅行追蹤
安檢	金屬探測及拍打	X光掃描	人體掃描儀、手提/託運行李CT掃描儀器	藉由生物識別掃描，不需移除物品即可通過
登機門	由人員檢查紙本登機證	由人員檢查電子登機證	自助掃描電子登機證	單次生物識別登機
商業	機場提供現場服務及資訊	在機場內提供數位訊息服務	提供電子化商業服務	個人化/情境化商品服務
服務資訊及導引	紙本摺頁、類比指示牌及服務櫃台詢問處	數位告示板及指示牌	提供數位自助服務及行動定位服務	增強虛擬實境輔助導引及個人化通知
聯繫機場	藉由電話及信件	電子郵件及線上表單	APP或其他即時服務系統	AI人工智慧(如聊天機器人)

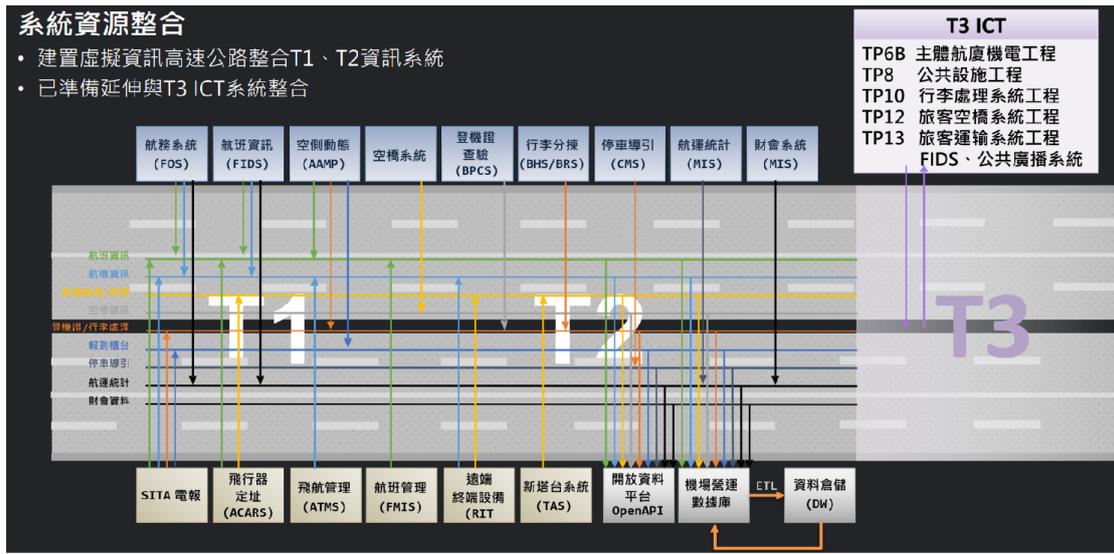
註：粗黑框□係本研究諮詢桃園機場公司目前達成之智慧化階段。

## 2. 推動成果

### (1) 建立數位共享資訊平臺

桃機公司為了打破以往封閉的資訊煙囪問題，建置數位共享資訊平臺(Airport Digital Integration Platform, ADIP)<sup>[19]</sup>，將桃機公司內部散布於 21 個異質網路，約有 58 個主系統，計約 300 條交互連接的資訊流整合對接，進而有效串接公司內外部系統的人(旅客)、機(航班)、貨(行李/貨物)資料，實現跨系統間資料源一致，數據即時共享，提高各部門協同作業效率，確保資料正確性，並為機場管理者提供決策支持，如圖 12。

112 年則進一步利用營運資料搭配 AI 深度學習技術，建立「國籍航班入境延遲時間」及「出境安檢通關人流」2 項大數據預測模型。前者模型在航班抵達前 3~10 小時就能預測飛機抵達時間，有助航務處預留機坪調度的緩衝時間；後者模型則是可預測次日各小時出境安檢人數及建議 X 光安檢開台數，提供給營運控制中心及航警局參考，以利提前調度人力紓解出境人潮。



資料來源：桃園機場公司。

圖 12 桃園機場公司機場數位整合平台(ADIP)

## (2) 旅客服務數位化

透過導入自助報到、自助託運、自助通關系統等服務，使旅客可自助完成相關手續，節省排隊時間；透過桃園國際機場 APP 服務，提供旅客即時航班、交通及購物資訊，提升旅客服務體驗。

## (3) 營運管理智慧化

該公司於 2022 年將機場協調整合決策系統 (Airport-Collaborative Decision Making, A-CDM) 上線。依照國際作業標準，將飛機動態從入境到出境分為 16 個里程碑<sup>[20]</sup> (如圖 13)，包括外站起飛時間、航機降落、航機上輪擋、地勤開始作業、航機撤輪擋、航機起飛等等，蒐集各階段的資料呈現航機動態。透過這套系統整合飛機不同階段的進度，使塔臺、航空公司、地勤公司能夠根據飛機動態，決定停機坪的使用安排、機組人員調動、地勤人員待命等各項決策。未來將統一藉由 ADIP 取得航機各階段資料，確保資料來

源單一化，同時透過監控機制，倘發現取得資料有缺漏，將向資料來源確認原因，以提高取得資料的完整性。

航班編號	目的地	班機類別	註冊號	機型	停機位	候機室資訊	開始登機時間	表訂開始登機時間	實際開始登機時間	目標開始登機時間	運行時間	ADRT	ASRT	TSAT	ASAT	起飛
BR217	KUL	PAX	B16726	B773	C6			06:25	06:31	06:25	13			06:27	06:33	06:45
CI833	BKK	PAX		A330				07:05	07:08	07:05				07:07	07:09	07:28
CI701	PHL	PAX	B18311	A330	A2			07:15	07:11	07:15	13	07:06	07:07	07:17	07:12	07:30
CI781	SGH	PAX	B18003	B773	A8			07:15	07:16	07:15	13	07:07	07:08	07:17	07:17	07:32
BR225	SIN	PAX	B16728	B773	C5		07:12	07:35	07:40	07:35	12	07:31	07:32	07:37	07:44	07:54
KE868	ICN	PAX	HL7782	A330	A5			07:35	07:14	07:35	12			07:37	07:13	07:26
CI511	PEK	PAX	B18352	A330	D4			07:35	07:12	07:35	12			07:37	07:14	07:23
CI168	ICN	PAX	B18801	B773	B5			07:35	07:31	07:35	14			07:37	07:38	07:43

ACDM 里程碑 航班綜合資訊 出境資訊

飛機啟動 行李裝卸 外場配對 飛機拖行 登機橋 飛機上橋 拖吊機操作 確認登機 許可引擎啟動時間 開始登機 飛機準備 航機請求 許可引擎啟動時間 飛機離地 飛機起飛

07:35 07:37 07:40  
07:35 07:37 07:12 07:31 07:32 07:44 07:40 07:54

表定後推時間 (SOBT)	預計後推時間 (EOBT)	目標離輪時間 (TOBR)	開始登機時間	最後呼叫時間 (FCAL)	離地時間 (AOBT)	實際飛行時間 (AXOT)	航機預備完畢時間 (ARDT)	航機請求引擎啟動時間 (ASRT)
2022-05-04T07:40:00	2022-05-04T07:40:00	2022-05-04T07:35:00	2022-05-04T07:12:02		2022-05-04T07:40:00	UNJOINED	2022-05-04T07:31:32	2022-05-04T07:32:32

出境資訊

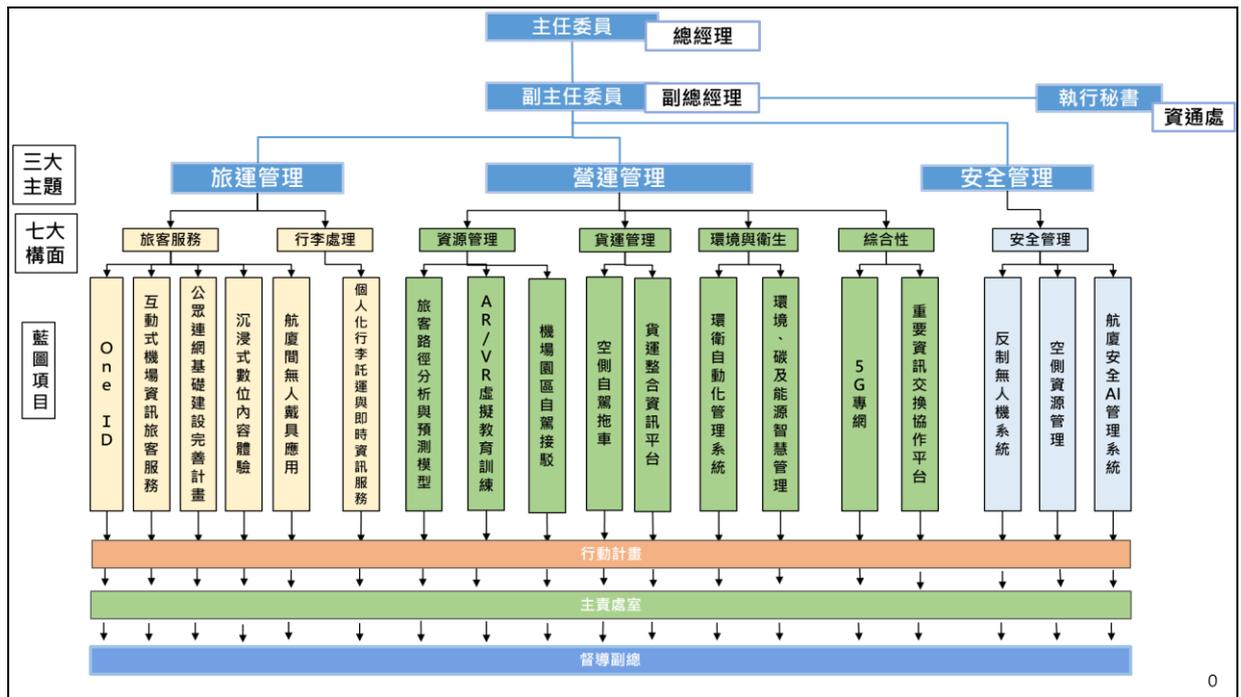
資料來源：〔20〕。

圖 13 桃園機場公司 A-CDM 系統 16 個里程碑

### 3.未來規劃

桃園機場的智慧化發展願景為「更快(Faster)、更好(Better)、更聰明(Smarter)」。經歷新冠肺炎疫情後，自 2023 年起，桃園機場旅運量顯著提升，該公司為逐步達到 ACI、IATA 等國際航空組織於疫情前提倡之「off Airport」概念，即旅客或貨物在「還沒抵達機場前，就能先處理各種登機前手續」，確認其推動關鍵在於資訊共享、異地處理，以利提高旅客旅程便利性、減輕機場現場處理壓力及有效提升既有機場場域服務能力。爰設置推動委員會及擬定 3 大主題、7 大構面及 18 項智慧化藍圖推動項目(如圖 14)，並制定了短、中長期發展規劃，期許達成提升旅客旅程體驗、提高機場營運效率及保障機場整體安全等 3 大目標。

18 項部分藍圖項目涉及利害關係溝通、法規修正等議題者，短期內該公司將先溝通、規劃；另將在短期內導入已通過 POC 驗證，或業界技術已行之有年之藍圖項目加以推動。



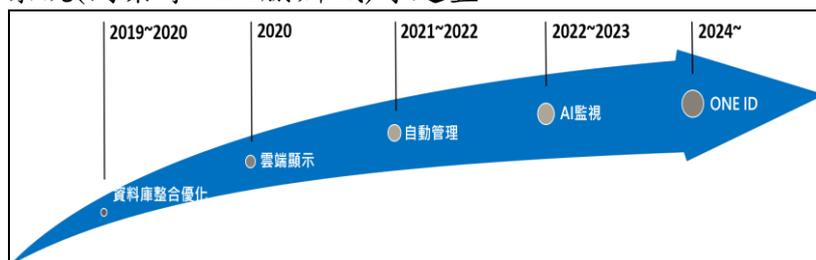
資料來源：桃園機場公司。

圖 14 桃園機場智慧化推動藍圖

### (三)高雄國際機場

#### 1.發展現況

高雄國際航空站於 108 年起開始研提機場智慧化推動步驟及期程，並由該航空站同仁自行開發系統，迄今已陸續完成多項智慧化計畫(如圖 15)，包括：建置運用物聯網(IOT)傳輸資訊設備巡檢紀錄、停機坪航機進出監控紀錄、廁所滿意度意見推播及回覆，並完成國際線飛航資訊、行李提領、登機看板系統改版及整合公路、捷運與氣象(含災害)資訊，以及完成電子艙單平台(為國內桃園機場後第 2 座建置此平台之機場)相關作業、看板雲端顯示管理系統(大眾運輸資訊揭露、指標系統輔助辨識)、旅客自動作業輔助系統(智慧停車場車牌辨識系統)、場站管理作業輔助系統(空、陸側智慧巡檢系統)及人工智慧營運管理系統(門禁導入人臉辨識)等建置。





資料來源：高雄國際航空站。

圖 15 高雄國際機場智慧化發展計畫

本研究以 Nigel Halpern 等人提出之機場數位化成熟度(旅客服務面向)評估，目前高雄機場旅客服務智慧化發展現況如表 6，大部分處於 Airport 2.0 階段。

表 6 高雄國際機場旅客服務智慧化發展現況

階段 旅客服務	Airport 1.0	Airport 2.0	Airport 3.0	Airport 4.0
停車場	可透過電話預訂，並於抵達或離開時付款	可線上預訂，並於抵達或離開時付款	可線上預訂及付款	尚無線上預訂，但可藉由車牌辨識付款
報到	由櫃台人員辦理	線上報到或使用專用Kiosk	線上報到或使用通用Kiosk	於報到時或抵達機場前，登錄生物識別及旅行詳細資訊
行李託運	由櫃台人員辦理	於Kiosk列印行李標籤，再由櫃台人員辦理	自助完成行李託運	永久數位行李標籤，可透過APP進行旅行追蹤
安檢	金屬探測及拍打	X光掃描	人體掃描儀、手提/託運行李CT掃描儀器	藉由生物識別掃描，不需移除物品即可通過
登機門	由人員檢查紙本登機證	由人員檢查電子登機證	自助掃描電子登機證	單次生物識別登機
商業	機場提供現場服務及資訊	在機場內提供數位訊息服務	提供電子化商業服務	個人化/情境化商品服務
服務資訊及導引	紙本摺頁、類比指示牌及服務櫃台詢問處	數位告示板及指示牌	提供數位自助服務及行動定位服務	增強虛擬實境輔助導引及個人化通知
聯繫機場	藉由電話及信件	電子郵件及線上表單	APP或其他即時服務系統	AI人工智慧(如聊天機器人)

註：粗黑框□係本研究諮詢高雄國際航空站目前達成之智慧化階段。

## 2. 推動成果

高雄機場近幾年已完成 AODB 建置、多元顯示創新運用等智慧化計畫，計畫建置項目明細及進行年期如表 7 所示：

表 7 高雄國際機場旅客服務智慧化計畫建置項目

<p>已完成建置項目 (含完成建置期程)</p>	<p>執行中建置項目 (含預定規劃完成期程)</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>●自助報到系統 (103/01)</li> <li>●大眾運輸資訊 (看板雲端顯示管理系統)：航班資訊看板及整合公路捷運氣象資訊 (建置期程 108/02~110/05)</li> <li>●指標系統輔助辨識 (看板雲端顯示管理系統)：行李託運、行李提領增加航班、氣象及轉盤方向等資訊 (109/04~111/11)</li> <li>●數位化監控及整合流程 (各系統資料庫整合優化、旅客自動作業輔助系統)：既有資料庫整合與移轉建置 AODB (108/11)、國際線靠橋機坪辨識系統及國內線機坪光達偵測系統 (111/11)</li> <li>●智慧巡檢 (場站管理作業輔助系統)：空、陸側地理資訊巡檢系統 (111/12~112/07)</li> <li>●智慧停車場 (旅客自動作業輔助系統)：停車場車牌辨識系統 (112/09~112/12)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●經濟部「產業升級創新平台輔導計畫」項下主題式研發計畫「智慧生活顯示科技與應用產業補助計畫」(113/01~114/6)</li> <li>●指標系統輔助辨識：出境大廳綜合資訊看板實證(國際線服務台)</li> <li>●創新直覺化登機引導實證(國內線登機長廊)</li> </ul>

資料來源：高雄國際航空站。

### 3.未來規劃

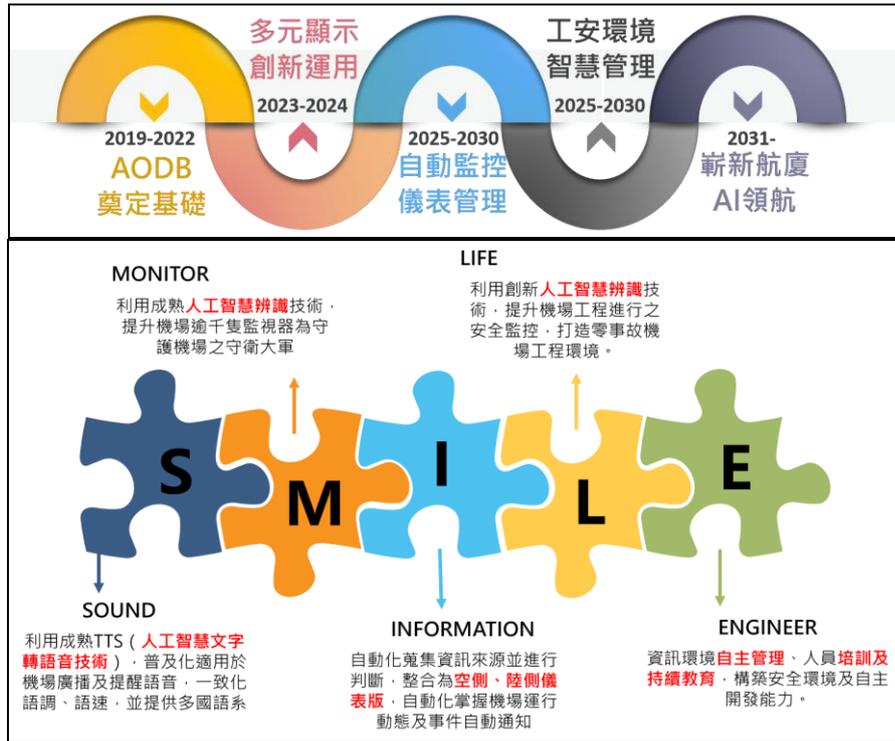
高雄國際航空站未來將推動自動監控儀表管理、工安環境智慧管理及嶄新航廈 AI 領航，係以疫情期間建構之數據基礎，導入人工智慧之運用情境。原 113 至 115 年所規劃之行李自動分揀及 ONE ID 等方向，係搭配新航廈建設所預排，惟後續新航廈規劃之建設設期程較長，113 年先改以推動多元顯示之創新運用(即國內國際線之透明顯示 LED)為主體，爰調整推動路徑並搭配新航廈工程，重新規劃至 120 年之發展路徑及結合 AI 科技運用規劃智慧化發展面，詳如圖 16。

依據前述調整後智慧化發展路徑，高雄國際機場未來短中長期智慧化推動項目如下：

短期(5 年內)除將運用文字轉語音技術普及化機場廣播及提醒語音，並自動化蒐集資訊來源並學習判斷以深化整合空側及陸側儀表版，與配合新航廈先期作業之新立體停車場導入智慧停車系統。

中期(6-10 年)將利用成熟人工智慧辨識技術提升機場逾千支監視器運用，以及提升機場工程進行之安全監控打造零事故機場工程環境，並同時繼續推動資訊環境自主管理、人員培訓及持續教育。

長期(願景)亦配合新航廈導入智慧能源管理、智慧交通接駁、智慧旅客服務等科技運用，著眼未來新航廈與 AI、新能源雙軸轉型之願景，詳如表 8。



資料來源：高雄國際航空站。

圖 16 高雄國際機場未來智慧化發展路徑

表 8 高雄國際機場未來短中長期智慧化推動項目

期程 項目	短期 2024-2029 (5年內規劃/預計建置)	中期 2030-2034 (6至10年規劃)	長期 2035- (智慧機場發展願景)
智慧化推動項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>● TTS (Text to Speech) 文字轉語音技術普及化機場廣播及提醒語音               <ul style="list-style-type: none"> <li>● 確保所有廣播和提醒語音的一致性，提升乘客體驗。</li> <li>● 提供統一的語調和語速，減少語音差異帶來的困擾。</li> <li>● 提供多語言支持，方便國際旅客。</li> </ul> </li> <li>● 自動化蒐集資訊空側、陸側儀表板</li> <li>● 即時顯示機場運行狀態，提升管理效率               <ul style="list-style-type: none"> <li>● 自動化掌握機場運行動態及事件自動通知，快速反應突發事件，保障機場運行順暢。</li> </ul> </li> <li>● 智慧停車系統自動化停車管理               <ul style="list-style-type: none"> <li>● 利用感應器和 AI 技術，實現自動化停車位分配和導航，減少尋找停車位的時間。</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 人工智慧辨識技術               <ul style="list-style-type: none"> <li>● 提升機場監視器的守護能力，利用 AI 技術監控機場內外，提升安全性。</li> <li>● 即時發現並報告異常情況，自動化事件檢測和報告，減少人力監控壓力。</li> </ul> </li> <li>● 提升機場工程進行的安全監控               <ul style="list-style-type: none"> <li>● 監視：利用高解析度攝像頭和 AI 技術，實時監控工地情況。</li> <li>● 異常偵測：通過 AI 技術自動偵測異常行為或狀況，並及時通知相關人員。</li> <li>● 工地事件預警：建立預警系統，提前識別潛在風險，並採取預防措施。</li> <li>● 紀錄：自動化記錄工地事件，提供詳細的事件報告，便於後續分析和改進。</li> </ul> </li> <li>● 資訊環境自主管理               <ul style="list-style-type: none"> <li>● 建立自主開發能力，培養內部技術團隊，減少對外部供應商的依賴。</li> <li>● 持續人員培訓，提升技術水準，確保技術更新和應用。</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 智慧能源管理               <ul style="list-style-type: none"> <li>● 機場使用太陽能可再生能源，降低碳排放。</li> <li>● 建立智能電網系統，實現能源的高效管理和分配。</li> </ul> </li> <li>● 智慧交通接駁               <ul style="list-style-type: none"> <li>● 引入自動駕駛技術，提供機場內外的接駁服務，提升交通便利性。</li> <li>● 整合捷運、公路客運、計程車等多種交通方式，提供無縫銜接的交通服務。</li> </ul> </li> <li>● 智慧旅客服務               <ul style="list-style-type: none"> <li>● 利用大數據和 AI 技術，提供個性化的旅客服務，如推薦餐飲、購物和娛樂選項。</li> <li>● 設置 AI 助理，提供即時的資訊查詢和服務指引。</li> </ul> </li> </ul>

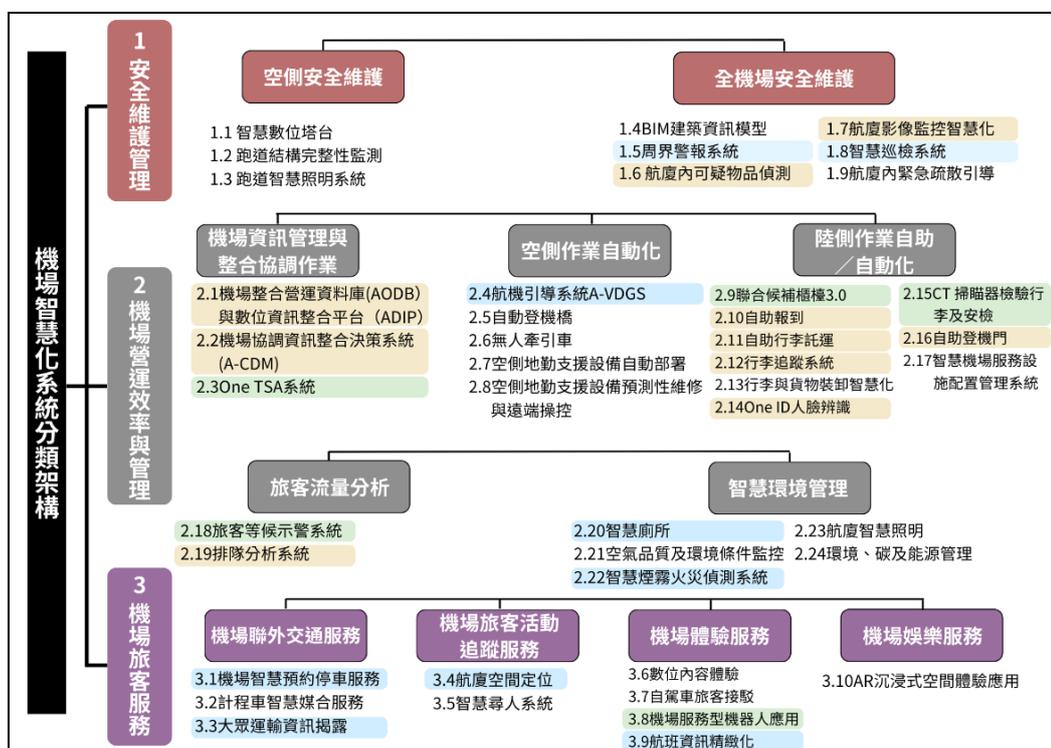
資料來源：高雄國際航空站。

## (四)臺北松山機場

本研究於 113 年 11 月訪談臺北國際航空站智慧化相關單位及蒐整相關資料，重點說明如後：

### 1.發展現況

民航局 107 年已擇定松山機場做為推動智慧機場之示範機場，陸續進行各項智慧化措施。臺北松山機場智慧化系統分類架構共分 3 個層面，包括安全維護管理層面、機場營運效率與管理層面、機場旅客服務層面，其下共 11 項分類、43 項建議優先發展項目，其中藍色底項目是該機場已建設項目，綠色底是建設中項目，黃色底是已規劃建設項目，未標註顏色者為尚未規劃項目，詳如圖 17。



註：藍色底是已推動項目；綠色底是推動中項目；黃色底是規劃推動項目；未標註顏色者為尚未規劃項目。

資料來源：〔21〕。

圖 17 松山機場智慧化分類項目與推動現況

本研究以 Nigel Halpern 等人提出之機場數位化成熟度(旅客服務面向)評估，目前臺北松山機場旅客服務智慧化發展現況如表 9，大部分處於 Airport 3.0 階段。

表 9 臺北松山機場旅客服務智慧化發展現況

階段 旅客服務	Airport 1.0	Airport 2.0	Airport 3.0	Airport 4.0
停車場	可透過電話預訂，並於抵達或離開時付款	可線上預訂，並於抵達或離開時付款	可線上預訂及付款	可線上預訂，並藉由車牌辨識付款 (E-Tag扣款)
報到	由櫃台人員辦理	線上報到或使用專用Kiosk	線上報到或使用通用Kiosk	於報到時或抵達機場前，登錄生物識別及旅行詳細資訊
行李託運	由櫃台人員辦理	於Kiosk列印行李標籤，再由櫃台人員辦理	自助完成行李託運	永久數位行李標籤，可透過APP進行旅行追蹤
安檢	金屬探測及拍打	X光掃描	人體掃描儀、手提/託運行李CT掃描儀器	藉由生物識別掃描，不需移除物品即可通過
登機門	由人員檢查紙本登機證	由人員檢查電子登機證	自助掃描電子登機證(試辦)	單次生物識別登機(試辦)
商業	機場提供現場服務及資訊	在機場內提供數位訊息服務	提供電子化商業服務	個人化/情境化商品服務
服務資訊及導引	紙本摺頁、類比指示牌及服務櫃台詢問處	數位告示板及指示牌	提供數位自助服務及行動定位服務	增強虛擬實境輔助導引及個人化通知
聯繫機場	藉由電話及信件	電子郵件及線上表單	APP或其他即時服務系統	AI人工智慧(如聊天機器人)

註：粗黑框□係本研究諮詢臺北國際航空站目前達成之智慧化階段。

## 2.推動成果

臺北松山機場的智慧化願景在利用先進技術創造一個無縫、有效率及安全的旅行體驗，並達到提高營運效率、增強旅客體驗、確保高安全標準、推動永續發展等目標。目前在航廈部分已有相當水準之基礎建設，包括 Beacon、網路通訊、CCTV 等系統設備；也已發展或曾實施多項關於提升旅客體驗的智慧機場計畫，例如 One ID (屬於智慧通關分階段計畫之一，完整 4 階段內容詳如圖 18)、智慧巡檢、聯合候補等，在陸側部分已達一定服務水準。而近期亦持續發展如排隊警示、計程車媒合服務等計畫，可進一步提升旅客服務水準。



資料來源：〔21〕。

圖 18 臺北松山機場智慧通關分階段計畫

臺北松山機場目前正發展 ONE TSA 決策系統，可提供各種面向的資訊，包含營運管理、旅客服務與交通工具整合，具有預報運量、實際運量與即時(異常)通報功能，未來將會介接人流、車流、行李資訊、共用報到櫃檯系統資訊等部份，透過大數據資料庫與系統性分析，給予相關營運管理單位預報分析、即時告警與實時數據；系統亦會將相數據透過 Line、官網與現場看板等方式公告給旅客。此外，亦將即時航班動態與旅客動態以 Line 通知計程車排班自律委員會，使計程車自律會能夠即早預排車輛。透過資料整合、大數據預測與分析、提供預報與實時資料三大部份，提升旅客服務水準。

### 3.未來規劃

臺北國際航空站已委託評估未來智慧發展項目，分為「規劃中或可發展項目」及「已建設或建設中項目」2類<sup>[22]</sup>，如圖 19 所示。此二維矩陣縱軸代表智慧機場的資訊系統層級架構，包括中間的平台層，餵入平台資料的感知層以及使用平台產出結果的應用層。其中黑字為專家調查結果認為重要或/及有共識項目，灰字為調查結果認為不重要且無共識項目，說明如下：

	規劃中或可發展項目	已建設或建設中項目
應用層	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 空側：航機引導系統A-VDGS、智慧數位塔台、自動登機橋、空側設備預測性維修與遠端操控、空側設備自動部署、無人牽引車、跑道智慧照明系統</li> <li>- 陸側：航廈內影像監控智慧化、航廈內緊急疏散引導、航廈智慧照明、計程車智慧媒合服務、數位內容體驗、服務型機器人、自駕車接駁、AR應用</li> <li>- 全機場：能源管理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 空側：NA</li> <li>- 陸側：智慧廁所、聯合候補櫃檯、行李貨物裝卸智慧化、機場智慧預約停車服務、大眾運輸資訊導引、航廈空間定位、智慧尋人系統、航班資訊精緻化</li> <li>- 全機場：NA</li> </ul>
平台層	A-CDM + ADIP + AODB、BIM建築資訊模型	One TSA
感知層	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 空側：跑道結構完整性檢測</li> <li>- 陸側：旅客等候警示系統、排隊分析系統、CT掃瞄、自助報到、e-Gates、自助行李託運、行李貨物裝卸自動化、行李追蹤及處理系統、服務設施配置管理系統</li> <li>- 全機場：周界警報系統、智慧煙霧火災偵測系統、航廈內可疑物品偵測、空氣品質及環境條件監控</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 空側：NA</li> <li>- 陸側：旅客等候警示系統</li> <li>- 全機場：智慧巡檢系統</li> </ul>
	黑字為調查結果認為重要或/及有共識項目；灰底為調查結果不重要且無共識項目。	NA 為該類別無相關項目

資料來源：[22]。

圖 19 臺北國際機場智慧化發展規劃

#### (1)平台層

平台層為智慧機場最重要的基礎建設之一，目前臺北松山機場

已初步建置 One TSA 決策系統，亦規劃建置數位資訊整合平台(ADIP)、機場整合營運資料庫(AODB)以及機場協調資訊整合決策系統(A-CDM)。由專家問卷調查結果可知，AODB 與 ADIP 為重要且具共識應優先發展的項目，然目前決策系統有 One TSA 及 A-CDM 兩個發展方向，其中 One TSA 著重在旅客服務作業決策，包括聯合候補系統、聯外大眾運輸資訊服務系統以及人流分析等，而 A-CDM 則相對著重在空側，包括航機到達、起飛、地面作業等。臺北松山機場未來將持續發展 ADIP 與 AODB 資料平台，並整合 One TSA 與 A-CDM，以優化機場整體運作。

## (2) 感知層

臺北松山機場在感知層目前已建設有智慧巡檢系統，亦在發展旅客等候系統，與空側運作相關的智慧化設備較少。由專家問卷分析結果可知，與安全相關的跑道結構完整性檢測系統、周界警報系統以及智慧煙霧火災偵測系統，是應優先發展項目；可疑物品偵測與空氣品質及環境條件監控系統則是專家認為急迫性較低之系統。

陸側部分，專家認為可優先發展的項目包括旅客等候警示系統以及排隊分析系統，其次為 CT 掃瞄、自助報到、自助登機門以及自助行李託運，餘為相對不重要且無共識之系統項目。

## (3) 應用層

臺北松山機場在應用層已發展許多陸側部分智慧系統設備，包括智慧廁所、聯合候補櫃檯、行李貨物裝卸智慧化、機場智慧預約停車服務、大眾運輸資訊導引、航廈空間定位、航班資訊精緻化等。該航空站評估航機引導系統 A-VDGS 是空側建議優先發展項目，國外有許多機場(包含鄰近的香港及樟宜機場)亦已引進此系統，以提升航機及機場地面車輛的運作效率與安全。

陸側的部分，建議優先發展項目是航廈內影像監控智慧化及航廈內緊急疏散引導<sup>1</sup>。

# (五) 臺中國際機場

## 1. 發展現況

依據「臺中國際機場 2040 年整體規劃」成果報告運量預測，臺中機場未來數年內將面臨航廈樓地板面積與設施容量不足問題，未來

民航局將配合臺中機場發展趨勢，導入智慧機場建設布局，以解決尖峰時間陸側設施容量不足問題。

本研究以 Nigel Halpern 等人提出之機場數位化成熟度(旅客服務面向)評估，目前臺中國際機場旅客服務智慧化發展現況如表 10，大部分處於 Airport 2.0 階段。

表 10 臺中國際機場旅客服務智慧化發展現況

階段 旅客服務	Airport 1.0	Airport 2.0	Airport 3.0	Airport 4.0
停車場	可透過電話預訂，並於抵達或離開時付款	可線上預訂，並於抵達或離開時付款	可線上預訂及付款	線上預訂部分，宥於停車格有限，尚無法實施；惟可藉由車牌辨識付款
報到	由櫃台人員辦理	線上報到或使用專用Kiosk(國際線因使用人數過少，後續將撤除；僅提供國內線使用)	線上報到或使用通用Kiosk	於報到時或抵達機場前，登錄生物識別及旅行詳細資訊
行李託運	由櫃台人員辦理	於Kiosk列印行李標籤，再由櫃台人員辦理	自助完成行李託運	永久數位行李標籤，可透過APP進行旅行追蹤
安檢	金屬探測及拍打	X光掃描	人體掃描儀、手提/託運行李CT掃描儀器	藉由生物識別掃描，不需移除物品即可通過
登機門	由人員檢查紙本登機證	由人員檢查電子登機證	自助掃描電子登機證	單次生物識別登機
商業	機場提供現場服務及資訊	在機場內提供數位訊息服務	提供電子化商業服務	個人化/情境化商品服務
服務資訊及導引	紙本摺頁、類比指示牌及服務櫃台詢問處	數位告示板及指示牌	提供數位自助服務及行動定位服務	增強虛擬實境輔助導引及個人化通知
聯繫機場	藉由電話及信件	電子郵件及線上表單	APP或其他即時服務系統	AI人工智慧(如聊天機器人)

註：粗黑框□係本研究諮詢臺中國際航空站目前達成之智慧化階段。

## 2.未來規劃

臺中國際機場未來智慧化推動項目較為有限，大部分為短期計畫；中期則是配合第三航廈工程建置；長期則配合陽西區整體開發設計畫建置，詳如表 11。

表 11 臺中國際機場未來短中長期智慧化推動項目

期程 項目	短期 2024-2029 (5年內規劃/預計建置)	中期 2030-2034 (6至10年規劃)	長期 2035- (智慧機場發展願景)
智慧化項目	設置自助掃描電子登機證系統、智慧巡檢系統、自動引導停機系統、智慧導覽服務機器人、智慧清潔機器人、建築資訊管理系統、智能監控等。	配合第三航廈工程建置停車場線上預訂功能、自助完成行李託運等。	配合陽西區整體開發建設計畫建置相關系統設備。

資料來源：臺中國際航空站。

## (六)其他民用機場

依據訪談民航局所提供之資料顯示，地方核心機場與離島基本運輸機場智慧化推動項目大部分為短期 5 年內計畫，計畫項目相對較少，部分計畫甚至似乎非屬智慧化計畫，詳如表 12。

表 12 其他民用機場未來短中長期智慧化推動項目

機場名稱	已完成項目	5年內規劃/預計建置項目
花蓮機場		智慧停車整合控制服務
臺東機場		1. 航務管理放行及收費系統 2. 飛航資訊顯示及語音撥放系統 3. 機場門禁系統相關設備 4. 監視系統汰換
臺南機場	1. 自動報到櫃台 2. 車牌辨識系統 3. 人流、異味偵測 4. FIDS航班即時動態	
嘉義機場		導入人臉偵測、物體位移偵測、區域入侵及電子圍籬之鏡頭，實現即時威脅預警與精準定位，增強航廈及周邊區域的安全監控
金門尚義機場		1. FIDS飛航顯示系統 2. FOS航務管理系統汰換
澎湖馬公機場	智慧停車場(含攝影機車牌辨識車位在席偵測)建置	1. 監視(含車流、人流偵測，影像分析等智慧監測)及門禁(含生物辨識功能)管理系統建置(預計114年12月前完成) 2. 科技執法設備建置
馬祖南竿機場		智慧停車場管理：使用停車場攝影機進行車位偵測及車牌辨識，計算停車費用，採電子支付及現金付款等多功能方式
馬祖北竿機場		智慧停車場管理：使用停車場攝影機進行車位偵測及車牌辨識，計算停車費用，採電子支付及現金付款等多功能方式

資料來源：民航局。

## 六、我國推動機場智慧化面臨課題

本研究於 113 年 10~12 月訪談民航局、桃機公司、高雄國際航空站、臺北國際航空站、臺中國際航空站之智慧化相關單位及所外專家學者，彙整機場推動智慧化所面臨課題如下：

### 1. 機場智慧化推動需要具體發展路徑之行動指引，以落實執行

- (1) 民航局雖已規劃智慧機場推動藍圖(Airport 1.0~Airport 4.0)，惟各級機場之需求與條件各有不同，藍圖僅建議中小型機場可參考已導入智慧化之機場經驗加以複製，卻未必可以一體適用。
- (2) 桃園機場已定位以發展 Airport 4.0 為目標；藍圖已定位區域門戶機場(松山、高雄及臺中機場)以發展 Airport 3.0 為目標；其餘地方核心機場、離島基本運輸機場以 Airport 2.0 普及化為目標，惟各機場業務分為旅客服務(流程、移動、行李、無障礙、聯外)、營運管理(貨物、場面、安全、環境、人力)、資訊系統與平台，每一面向均涵蓋許多項目，似無必要均達到齊頭式智慧化目標(Airport 2.0~Airport 4.0)。
- (3) 每一機場智慧化重點不同，各機場發展重點業務各有不同，在經費限制下，應朝最需要智慧化的面向發展。
- (4) 民航局與受訪航空站主辦人員均建議需明確定位該機場智慧化之願景、目標、面向、項目、技術、程度、時程、機制，以及建議建立智慧化衡量指標、事前事後量化與質化效益評估方式等。因此，若要落實執行，各航空站期待建立明確之智慧化行動指引。

### 2. 推動 One ID 無縫旅行，有待處理法規調適、系統與資料介接問題

目前桃園機場、臺北松山機場的 One ID，在短期內只能做到讓旅客於登機證、護照檢查時，透過生物辨識方式通行；但涉及政府不同機關業務，如移民審查作業時，仍無法整合使用；此外若要在登機門也使用 One ID 通行，也需要與航空公司、地勤的旅客系統進行整合、資料串接，這些都需要在法規調適、系統與資料介接上進一步溝通、整合，並評估優化民航資訊交換機制之可行性。

### 3. 各資訊系統與數據標準不一，有待整合及標準化，以利共享

機場單位表示，智慧化推動過程中面臨多重課題，其中以系統整合與數據共享是首要瓶頸。不同利害關係人(如航空公司、地勤、服

務營運商、貨運業者等)使用各自的系統，標準不一，導致數據難以即時整合，影響智慧化營運成效。機場單位雖已著手建立跨系統標準協議，但仍期待由交通部統籌制定標準，並協助跨機關協調，以利促進不同系統間的無縫對接。

#### **4.有待訂定資安制度規範，並建立維護與應變機制**

在資訊系統方面，建議重新檢討民航資訊系統使用現況，以及航空站使用需求，並評估建置資訊系統或雲端服務，供航空站使用。另外，智慧化面臨資安與個資外洩風險，建議參考國際標準，檢討與訂定民航資安規範，建立我國機場系統之資安維護、韌性、通報與應變機制。

#### **5.人力資源面臨不足問題，需透過人員培訓搭配人工智慧使機場自動化**

我國人口數近年呈負成長趨勢，預計未來基礎勞動力將持續縮減，進而影響到機場及航空產業就業人口。各航空站目前均意識到人力不足問題，尤其是青年人力呈現缺口，有待建立人員培訓及持續教育，使資訊環境可以自主管理，構築安全環境及自主開發能力，並利用創新人工智慧辨識技術，提升機場工程進行之安全監控，使機場業務儘量達到自動化，旅客服務項目儘量達到自助服務，以減緩人力需求及維持應有之服務水準。

## **七、結論與建議**

### **(一)結論**

1.經蒐整回顧新加坡、日本、香港及法國巴黎國際樞紐機場智慧化發展成果與經驗，可做為我國機場智慧化推動指引之參考，需留意面向及可參考作法如下：

- (1) 法規調適部分：推動 One ID 部分涉及個資議題，新加坡先完成法規調適，再透過招標引進適合技術，以利推動及落地應用。
- (2) 行銷操作部分：新加坡透過獎勵積分、折價券、免費購物金、免費停車等優惠回饋，刺激旅客消費，再配合支付機制與行銷活動，加強與旅客的互動，以利創造機場、商店、旅客三贏局面，進而提高非航空收入。
- (3) 組織及步驟部分：日本先成立推動委員會，由國土交通省航空

局主導，並邀集航空公司聯席會及機場管理公司聯席會提供專業意見及做為技術意見平台，制訂未來科技發展藍圖，確立重點科技、應用範疇及時間表，並選定智慧化示範機場，訂下未來推行措施與計畫。

- (4) 應用大數據部分：香港先確立引進 5 項重點科技推動機場數位轉型方案，並以大數據技術為所有技術的骨幹，讓機場管理單位獲取實用的分析數據，以利進一步優化機場營運。
- (5) 推動藍圖制定部分：巴黎集團先界定各機場應發展之智慧化程度與設定目標，並制定發展路徑圖與行動專案實施時間軸，再創造可滾動檢討之 KPI，以利落實推動。

2. 我國各機場已陸續進行智慧化相關計畫，已有初步發展成果，目前共同面臨法規調適、資訊系統與數據介接整合及標準化、資安制度規範與應變機制、人力資源不足與培訓等問題，並亟需具體發展路徑之智慧化行動指引，明確定位各機場智慧化願景、目標、面向、項目、技術、程度、時程、機制，並建立智慧化衡量指標、事前事後量化與質化效益評估方式等，以利落實推動。

3. 本研究以 Nigel Halpern 等人提出之機場數位化成熟度(旅客服務面向)進行評估，目前桃園機場、臺北松山機場旅客服務大部分位於 Airport 3.0 階段，高雄機場、臺中機場旅客服務則大部分位於 Airport 2.0 階段。各機場因智慧化目標與重點業務各有不同，在經費限制下，係先朝最需要智慧化的面向加以發展。

4. 本研究為本所後續擬進行之機場智慧化研究計畫之先期研究，經評估後，後續可研究項目如下：

(1) 行動指引擬定前之資料蒐整

A. 國際發展現況與趨勢蒐整

宜蒐整國際組織(如 ICAO、IATA、ACI 等)在機場智慧化相關法規、規範、目標、機制與措施，並蒐整其背景內涵與考量基礎，以利研擬時可斟酌考量，以符我國所需。

B. 蒐整國際標竿機場、地方機場、離島機場智慧化成功經驗。

C. 我國法規與機場發展現況盤點

蒐整機場智慧化面臨之相關法規、資安、資料介接、系統介

接等問題；並盤點民航局與各機場相關執行現況與未來規劃。

(2) 建立我國機場智慧化發展路徑之行動指引

- A. 訂定各機場智慧化發展定位、優先發展要項、智慧化成熟等級及實施時間表。
- B. 就機場利害關係人、專家學者、機場單位主管進行問卷調查及會議討論，釐清及研訂我國各機場未來智慧化發展定位、優先發展分類之要項，以及需達到之智慧化程度(以二維方式進行每一項目評估)及時程規劃。
- C. 建立機場智慧化發展評估指標及量化、質化衡量方式，以及可滾動檢討之 KPI。
- D. 智慧化之經費與財源評估。

**(二)建議**

1. 為能有效評估機場智慧化成熟度指標與引進技術，建議可建立適合於我國不同級別之機場智慧化成熟度指標與引進技術，以利後續推動參用。
2. 引入資源挹注與民間資源，為未來發展智慧化之重要關鍵。研發投資或預算評估機場系統之智慧化發展，仰賴完善之數位基礎建設、資訊化串連與自動化導入。而僅以航空站資源較難以獨立推動各類措施。建議可透過盤點機場數位基礎建設、導入新技術等經費需求進行估算，評估各機場所需預算；以及思考如何透過獎勵、投資研發等措施，引導民間資源促進智慧化技術發展。
3. 建議應鼓勵機場夥伴對關鍵資訊進行交換共享，形成策略夥伴合作共享。機場未來因智慧化也將扮演平台角色，鼓勵機場夥伴針對關鍵資訊進行交換共享，以強化商業零售或服務加值，營造共好的機場生態系統。惟其基礎仍是需先就法規調適、系統與資料介接與資安應變問題，進行完善處理與整合。
4. 智慧機場仰賴數據管理分析，建議從各種來源收集數據，並利用人工智慧與機器學習分析數據做出決策；另在與其他利害關係人數據共享時過程中，也可能面臨資安風險問題，建議應訂定資安制度規範，並建立維護與應變機制。

## 參考文獻

- 1.Arthur D. Little, Airports 4.0: Impact of Digital Transformation on Airport Economics, May, 2015.
- 2.交通部民用航空局，智慧機場推動藍圖，110年6月。
- 3.Nigel Halpern et al., Conceptualising Airport Digital Maturity and Dimensions of Technological and Organisational Transformation, Journal of Airport Management, Volume 15 Issue 2, 182-203, 2021.
- 4.Rudy Daniello, Top Technology Priorities, Airports World, Volume 29 – Issue 3, 2024.
- 5.Stephen Saunders, ACI and IATA’s NEXTT Vision: Building the Journey of the Future, Oct. 2018.
- 6.Narula, V. (2019, February 28). Smart Airports Presentation by OST in ICAO. <https://www.icao.int/Pages/Default.aspx>.  
<https://www.icao.int/safety/iStars/Documents/IUG%20Meeting%201/Presentations/Smart%20Airports%20-%20Vijay%20Narula.pdf>
- 7.ACI，Airport Digital Transformation BEST PRACTICE，2017.
- 8.彭義禎，智慧空港發展方向介紹－以新加坡樟宜國際機場為例，交通部 5G 帶動智慧交通技術與服務創新推動網頁，2022。  
<https://5gsmart-trans.org.tw/index.php/article/readfull/6/17>
- 9.新加坡樟宜國際機場官網  
<https://www.changiairport.com/zh.html>
- 10.日本東京成田國際機場官網  
<https://www.narita-airport.jp/zh-tc/>
- 11.交通部民用航空局，民航局智慧機場推動策略簡報，民國 108 年 12 月 12 日。
- 12.Council for International Development of Aviation Infrastructure, Introduction of Japanese Technology in Airports, January 2023.
- 13.香港赤鱗角國際機場官網  
<https://www.hongkongairport.com/tc/>
- 14.交通部民用航空局，臺灣地區民用機場 2045 年系統規劃(期中報告書修正一版)，113 年 7 月。
- 15.交通部，2020 年版運輸政策白皮書-空運分冊，108 年 12 月。
- 16.交通部民用航空局，民航資訊資源整合與共享之研究，103 年 6 月。
- 17.交通部民用航空局，臺灣地區民用機場 2040 年(目標年)整體規劃成果報告(核定本)，110 年 2 月。
- 18.桃園國際機場有限公司，臺灣桃園國際機場園區綱要計畫(第二版)

- 核定本，109 年 12 月。
- 19.余崇立，桃園機場數位整合平台開發與挑戰簡報，桃園機場公司，113 年 8 月。
  - 20.中時新聞網，桃機建置 A-CDM 系統 更完整即時資訊分享，111 年 5 月。
  - 21.臺北國際航空站，松山機場智慧化發展說明，113 年 6 月。
  - 22.國立陽明交通大學運輸研究中心，臺北國際航空站智慧機場發展藍圖規劃，113 年 8 月。