

106-054-2298
MOTC-IOT-105-EAA011

國內外空域模擬相關研究之 回顧與評析



交通部運輸研究所

中華民國 106 年 5 月

106-054-2298
MOTC-IOT-105-EAA011

國內外空域模擬相關研究之 回顧與評析

著者：許書耕、胡智超

交通部運輸研究所

中華民國 106 年 5"月

國內外空域模擬相關研究之回顧與評析

著　　者：許書耕、胡智超

出版機關：交通部運輸研究所

地　　址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網　　址：www.iot.gov.tw (中文版>圖書服務>本所出版品)

電　　話：(02)23496789

出版年月：中華民國 106 年 5 月

印 刷 者：全凱數位資訊有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 10 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定　　價：非賣品

GPN : ISBN : ----(平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸
研究所書面授權。

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：國內外空域模擬相關研究之回顧與評析			
國際標準書號（或叢刊號）	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號	計畫編號
		106-054-2298	MOTC-IOT-10 5-EAA011
主辦單位：運輸工程組 主管：許書耕 計畫主持人：許書耕 研究人員：胡智超 聯絡電話：(02)2349-6821 傳真號碼：(02)2545-0427	研究期間 自 105 年 1 月 至 105 年 12 月		
關鍵詞：空域容量、空域模擬			
摘要： <p>近年來我國國際航空交通需求量大幅成長，大量的航機飛航於有限的空域，造成國內飛航空域擁擠及航空交通管制不易，以 104 年桃園國際機場為例，當年度起降架次即達到 20 多萬架次，而松山機場也有近 6 萬多架次，顯示近幾年空域擁擠程度持續增加，另主要機場在尖峰時段起降航班過多，也容易造成離到場航機地面與空中的延誤。如何在有限的空域容量中，增加空域流量的利用率以滿足空中交通的需求，是值得深入研究之議題。</p> <p>空域容量有效運用為提升我國機場容量重要因素之一，為此須有一專門工具進行分析，然而國外現有套裝軟體如 SIMMOD、TAAM (Total Airspace and Airport Modeller) 等，動輒需數十萬至上百萬美元費用才能購得，且系統功能未必完全符合我國空域管理需求。因此本研究主要蒐集國內外空域模擬發展現況資料，以作為 106 年度深入研究參考之用。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
106 年 5 月	124		凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 (解密條件： <input type="checkbox"/> 年 月 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密) <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

目錄

第一章 前言	1
1.1 計畫緣由	1
1.2 研究範圍與內容	1
1.3 研究方法	2
第二章 國內外空域模擬研究現況.....	3
2.1 國外空域模擬模式概述	4
2.2 國內空域模擬模式概述	30
第三章 臺北空域現況及飛航服務概述.....	39
3.1 臺北飛航情報區現況	39
3.2 空域分類	40
3.3 臺北飛航服務空域	44
3.4 儀器飛航程序	54
3.5 隔離標準	66
3.6 飛航管制服務	69
第四章 國內外空域模擬模式差異分析	73
4.1 國內外空域模擬軟體差異性	73
4.2 數學規劃模擬方式	76
第五章 後續研究推動規劃構想	87
5.1 國內空域模擬挑戰	87
5.2 後續執行之建議內容	90
第六章 結論與建議	91
6.1 結論	91
6.2 建議	92
參考文獻	93
附件、簡報資料	95

圖目錄

圖 2.1 系統模擬指標對應相關量度準則	7
圖 2.2 TAAM 系統首頁畫面	8
圖 2.3 TAAM 系統操作畫面	8
圖 2.4 TAAM 3D 操作輸入畫面	9
圖 2.5 航機模擬遵循標準進場航路(STAR).....	9
圖 2.6 TAAM 報告輸出畫面	10
圖 2.7 地形及地理位置 3D 展示畫面.....	10
圖 2.8 航機滑行、降落 3D 展示畫面 (1).....	11
圖 2.9 航機滑行、降落 3D 展示畫面(2).....	11
圖 2.10 空域節線路網	13
圖 2.11 席位 (SECTOR) 區分範圍	13
圖 2.12 空側節線路網	14
圖 2.13 等候策略示意圖	16
圖 2.14 QFIFO 策略示意圖	17
圖 2.15 SPEEDFIT 策略示意圖	17
圖 2.16 MULTIFIT 策略示意圖	17
圖 2.17 芝加哥地區現存機場與規劃機場位置圖	21
圖 2.18 SDAT-3D 立體之管制區圖像(1).....	24
圖 2.19 SDAT-3D 立體之管制區圖像(2).....	25
圖 2.20 SDAT 展示管制區 3D 圖像及航行量	25
圖 2.21 TARGETS 系統顯示範例(1)	26
圖 2.22 TARGETS 系統顯示範例(2)	27
圖 2.23 TARGETS 系統顯示範例(3)	27
圖 2.24 空域網路架構	31
圖 2.25 節點與節線示意圖	31
圖 2.26 席位示意圖	31
圖 2.27 空側網路架構	32
圖 3.1 臺北飛航情報區範圍	40
圖 3.2 臺北飛航情報區空域分類示意圖	41
圖 3.3 臺北飛航情報區航路圖	44
圖 3.4 終端管制區域圖	46
圖 3.5 離場程序(AJ1G、AJ1M)圖	57
圖 3.6 離場程序(NP2G、NP2M、NP2R、NP2T)圖	59
圖 3.7 到場程序(BK1A、BK1B、DR1A、DR1B、GR1A、GR1B)圖	61
圖 3.8 到場程序(SA1A、SA1B、TG1A、TG1B)圖	63
圖 3.9 進場程序(ILS OR LOC RWY05L)圖	64
圖 3.10 進場程序(ILS OR LOC RWY23L)圖	65

圖 3.11 雷達隔離運用示意圖.....	68
圖 3.12 高度隔離運用示意圖	69
圖 3.12 高度隔離運用示意圖	69
圖 4.1 ROISSY 機場配置及航機最短與替代路徑	76
圖 4.2 ORLY 機場配置及航機最短與替代路徑	77
圖 4.3 航機平均延遲時間與移動架次數的關係	78
圖 4.4 航機移動架次數與時間的關係	78
圖 4.5 基因演算法效率與時間的關係	79
圖 4.6 義大利 MALPENSA 機場布設圖	80
圖 4.7 平均延遲(隨機路徑與指定路徑).....	80
圖 4.8 航機等待時間(引擎發動中狀態).....	81
圖 4.9 航機排續案例	82
圖 4.10 軌跡區段樹	82
圖 4.11 航機衝突狀況.....	83
圖 4.12 跑道分配流程	84
圖 5.1 桃園機場配置圖	87

表目錄

表 2-1 模擬模式分類(ATM)	3
表 2-2 TAAM 模擬模式效益	6
表 2-3 輸入資料彙整	18
表 2-4 芝加哥地區機場、營運與容量	20
表 3-1 各類空域之服務及限制	42
表 3-2 臺北飛航情報區空域內容	45
表 3-2 終端管制區域內容	47
表 3-3 機場空域內容	49
表 3-4 桃園機場儀器飛航程序列表	55
表 4-1 國內外空域模擬差異性分析(1)	74
表 4-2 國內外空域模擬差異性分析(2)	75
表 4-3 航機隔離標準	83
表 4-4 分析模式文獻彙整	84
表 5-1 桃園機場跑道、滑行道與停機坪資料	87
表 5-2 桃園機場所屬終端管制區域及機場空域	88

第一章 前言

1.1 計畫緣由

近年來我國國際航空交通需求量大幅成長，大量的航機飛航於有限的空域，造成國內飛航空域擁擠及航空交通管制不易，以 104 年桃園國際機場為例，當年度起降架次即達到 20 多萬架次，而松山機場也有近 6 萬多架次，顯示近幾年空域擁擠程度持續增加，另主要機場在尖峰時段起降航班過多，也容易造成離到場航機地面與空中的延誤。如何在有限的空域容量中，滿足航機流量的需求，以增加空域流量的利用率，是值得深入研究之議題。

空域容量為掌握我國機場容量提升之重要要素之一，為此須有一專門工具進行分析，然而國外現有套裝軟體如 SIMMOD、TAAM 等，動輒需數十萬至上百萬元費用才能購得，且系統功能未必完全符合我國空域特性。為探討及分析我國空域容量，需建置符合我國空域特性之模擬模式，以模擬空域航機運作模式，同時提升我國自主分析民航空域容量之研究能量。

1.2 研究範圍與內容

目前國際上空域分析模式依特性可分為三種，第一為機場空域巨觀分析模式，包括 SDAT 模式等，第二為機場空域及空側的巨觀模擬模式，其中包括 TMAC 與 FLOWSIM 模式等，第三為機場空域及空側微觀模擬模式，其中包括 TAAM 與 SIMMOD、ANS 模式等。由於國際上多數分析模式軟體須付費才能使用，相關資訊取得較為困難，且分析較深入通常為微觀模擬模式，因此將本研究將以 SIMMOD、TAAM、ANS 等模擬模式進行深入瞭解分析。

1.3 研究方法

蒐集國內外相關空域模擬之研究或現有應用軟體功能資料，其中以 SIMMOD、TAAM、ANS 為主。分析空域模擬之研究或現有應用軟體功能資料，以瞭解各模擬模式間之差異性。

初步評估適合臺灣空域模擬之發展架構，並研擬 106 年度「構建空域模擬模式之研究-以臺北終端管制區域為例」研究主題與重點。

第二章 國內外空域模擬研究現況

依據美國麻省理工國際航空運輸學院 1997 年所進行現存空域模式的研究報告 ”Existing and Required Modeling Capabilities for Evaluating ATM Systems and Concepts”^[1] 將空域模式類型矩陣化，其中模式的範疇可分為 4 類，分別為：1.停機坪與跑滑道、2.跑道與最後近場、3.終端管制區域、4.航路；另詳細程度則可分為：1.巨觀、2.中觀、3.微觀，其中巨觀用於政策分析、成本效益研究，中觀則用於流量分析、成本效益分析，而微觀則是用於詳細分析、初步設計等，詳表 2-1。另本研究同時將國內成功大學自行發展的「空中網路模擬(ANS)模式」放入該分類表中，以供後續研究分析之用。由於微觀模擬模式分析較為深入，因此將本研究將以 SIMMOD、TAAM、ANS 等模擬模式進行深入瞭解。

表 2-1 模擬模式分類(ATM)

Scope of Model				
Level of Detail (type of study)	Aprons and Taxiways(1)	Runways and final Approaches(2)	Terminal area Airspace(3)	En route Airspace(4)
Macroscopic (Policy analysis, cost-benefit studies)		1. LMI Runway Capacity Model 2. FAA Airfield Capacity Model 3. DELAYS 4. AND 5. FAST		1. ASIM(Node-Link) 2. SDAT 3. DORATASK
Mesoscopic (Traffic flow analysis, cost-benefit analysis)		1.NASPAC 2.TMAC(3D) 3.FLOWSIM(Node-Link) 4.ASCENT		
Microscopic (Detailed analysis and preliminary design)	1.TAA M(3D) 2.SIMMOD(Node-Link) 3.ANS2.0(Node-Link)成大戴佐敏教授			

本研究自行整理。

資料來源：“Existing and Required Modeling Capabilities for Evaluating ATM Systems and Concepts”。

2.1 國外空域模擬模式概述

2.1.1 TAAM (Total Airspace & Airport Modeller)^{[1][2][3][4][5][6][7]}

TAAM(Total Airspace & Airport Modeller) 一開始是由 The Preston Group 與 Australian Civil Aviation Authority (CAA) 與 Quantas Airlines 共同發展，後來被波音公司收購成為 Boeing-Jeppesen。

TAAM 為模擬機場空域及空側之一套完整程式，以數學函數模擬飛機在空域和地面的性能，並以 4D 模擬方式展現(3D 加上時間)。此模式可模擬由起飛登機門至降落登機門整個飛行之過程，為現有模擬模式中最為詳細者。其主要特色有二：一為極佳之使用者介面，提供良好之 3D 圖形；二為在一定之邏輯下可提供使用者許多的選擇與彈性。惟其需輸入相當詳細之資料，且使用者需經過相當的訓練才能上手；缺點在於價格昂貴，約 300,000 美金(per copy)。

TAAM 主要有 4 個模組:1. 交互式數據輸入系統 (Interactive Data Input System, IDIS) , 2. 模擬引擎 (Simulation Engine, SIM) , 3. 報告輸出呈現設備(Report Presentation Facility, RPF), 4. 輸入映射程式(Gtool)；其輸入資料及輸出結果如下所示。

1. 此模式之輸入資料包含九大項目。
 - (1) 機場特性(Airport Descriptions)
 - (2) 空域航路與布置(Airspace Route and Sector Layouts)
 - (3) 地形資料(Geographical Features)
 - (4) 飛航管理程序(Air Traffic Control Rules)
 - (5) 機場使用規則(Airport Usage Rules)
 - 尾流與其他標準(wake turbulence and other standards)
 - 標準儀器離場，標準終端到場(SIDs/STARs/route selections etc.)
 - (6) 航班行程(Traffic Timetables)
 - (7) 航機軌跡與路線(Aircraft Trajectories and Routes)

- (8) 航機特性(Aircraft Performance Characteristics)
 - (9) 航機衝突偵測與解決策略(Conflict Detection and Resolution strategies)
2. 而其輸出資料則包含十三大項目。
- (1) 延滯時間(System delays)
 - (2) 衝突程度(Conflicts: counts by degree of severity, whether successfully resolved or not)
 - (3) 航機架次、延遲、滑行與跑道占用時間(Airport movements, delays, operations on taxiways and runways, runway occupancy)
 - (4) 空域管理指標(Airspace operation metrics such as usage of routes, sectors, fixes and coordination)
 - (5) 噪音等值線(Noise contours)
 - (6) 航機耗油量(Total fuel burn)
 - (7) 成本:包含燃料及非燃料部份(Costs: aggregate, fuel, non-fuel)
 - (8) 航管人員工作量(Controller workloads)
 - (9) 各型航機飛航紀錄(Individual Aircraft flight profiles)
 - (10) 情境模擬產生(Scenario generation e.g. for real-time ATC simulators or other playback)
 - (11) 「展示邏輯」讓操作者了解決策製作過程("Show Logic" diagnostics which gives the operator an insight into TAAM's decision making process)
 - (12) 文字訊息包含TAAM所有事件(Text messages (extent and content user selectable) which contain further details of TAAM events)
 - (13) 錯誤(Errors)

TAAM 效益的對象可分為 3 類，航管單位、機場管理單位及航空公司，其相關效益內容如表 2-2 所示，此外 TAAM 也提出系統模擬指標對應相關量度準則，以作為新規劃空域之比較，如圖 2.1 所示，另 TAAM 相關操作畫面及 3D 圖形展示畫面如下圖 2.2~2.9 所示。

表 2-2 TAAM 模擬模式效益

航管單位	機場管理單位	航空公司
<ol style="list-style-type: none"> 1. 分析全球航空運量增長對空域影響。 2. 增加流量和空域利用率，並同時保持飛航安全。 3. 針對現在與未來的運量水準分析航線運能。 4. 重新分類制度和空域分類。 5. 評估縮小垂直間隔離標準的益處。 6. 評估引入新的航路和終端程序的影響。 7. 評估交通量增長、新的空域設計與程序對管制員的工作量的影響。 8. 管理不良氣候所造成的影响。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 降低因壅塞與延誤所造成的損失，並維持飛航安全。 2. 較佳利用機場設施與資源，同時增加降落費的收益。 3. 評估計畫引進新的大型飛機。 4. 評估未來基礎設施投資的財務影響，包括新的航廈、登機門、滑行道與跑道。 5. 增進非常態狀況下的營運能力。 6. 評估中斷影響，例如跑道工程對航班及營運上的影響。 7. 評估策略順序和間隔標準變化的影響 8. 以最具成本效益的方式削減飛機噪音、除冰等操作。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 以最具成本效益的方式操作計畫，包括機隊的變化，飛機的替換，除冰等程序。 2. 藉由減少燃料的使用，縮短延遲，以提升競爭力和盈利能力。 3. 從早期階段不斷調整，到優化時間表設計。 4. 管理及引進區域型機型，同時瞭解機隊混合變化的影響。 5. 訓練操作人員可以更高效率地處理突發情況。 6. 分析國際與地方航管服務對公司營運的影響。

本研究自行整理。

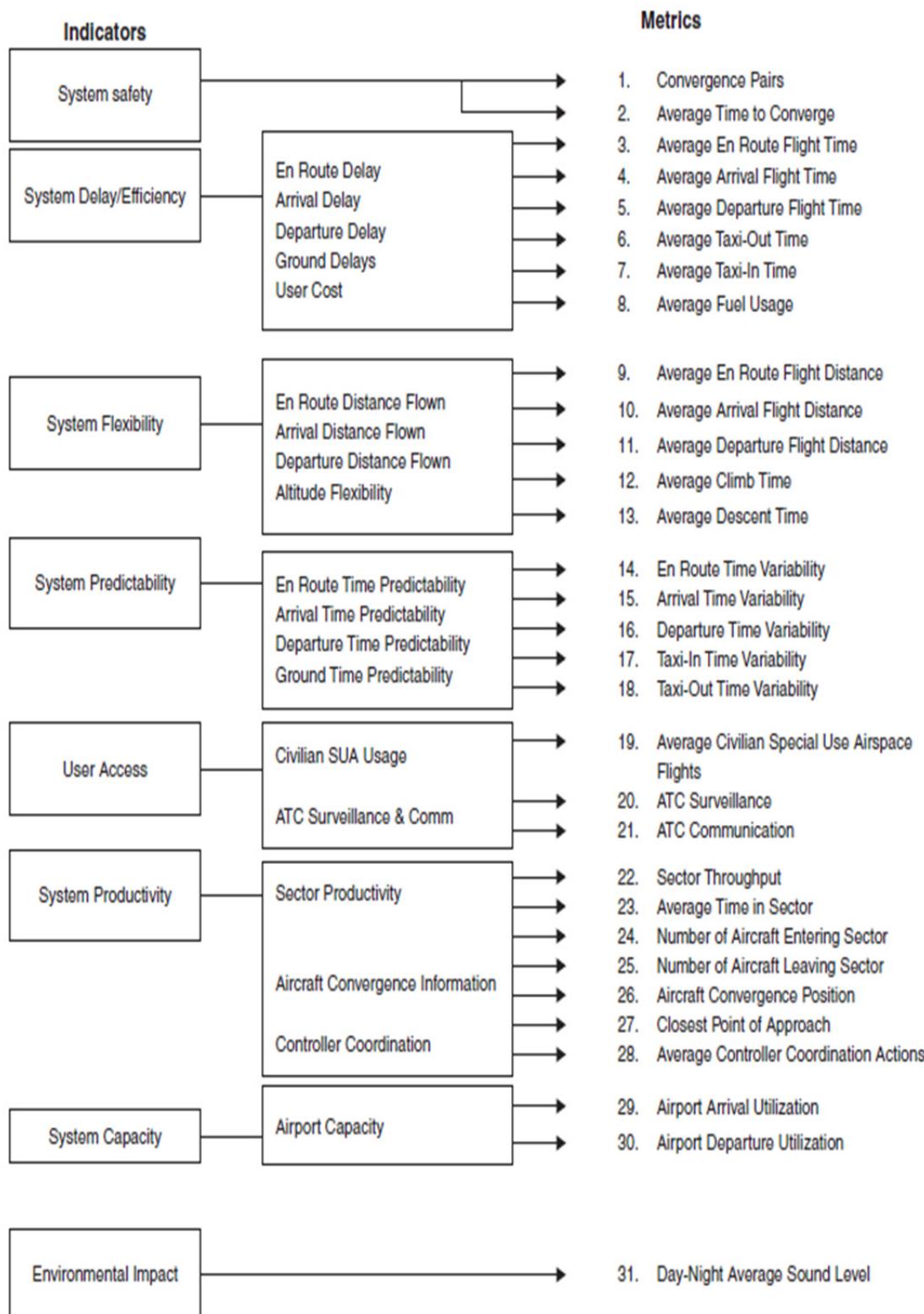


圖 2.1 系統模擬指標對應相關量度準則

資料來源: Airport Modeling and Simulation

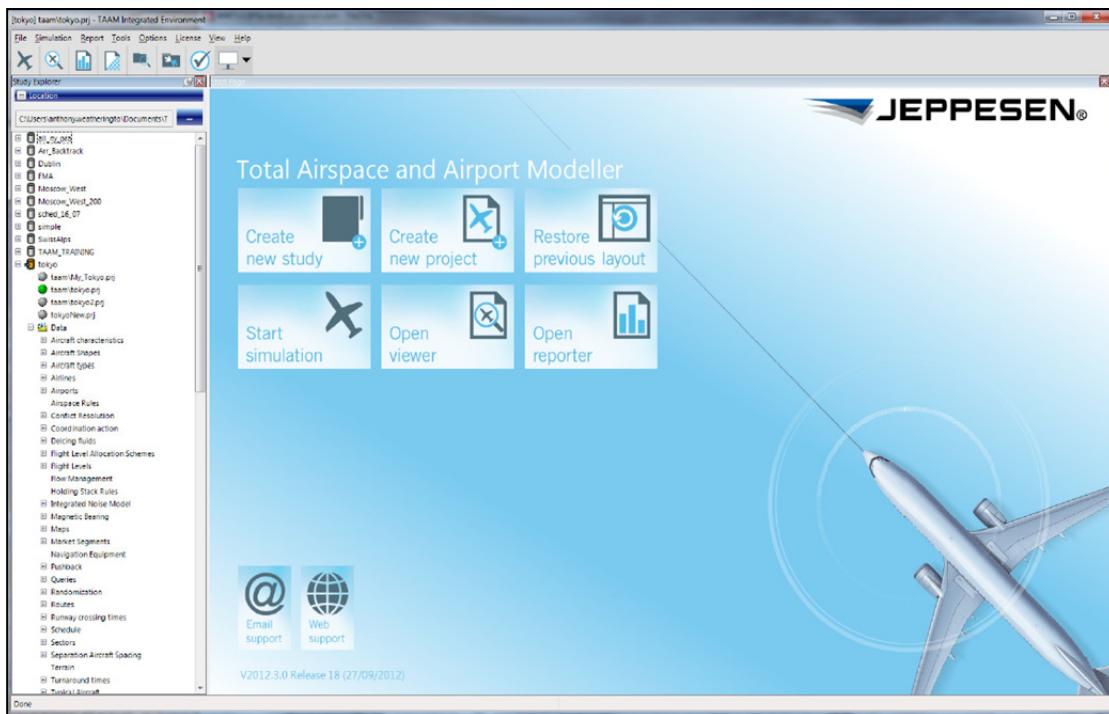


圖 2.2 TAAM 系統首頁畫面

資料來源: <http://www.jeppesen.com/documents/aviation/government/TAAM-FactSheet.pdf>

資料來源: Airport Modeling and Simulation

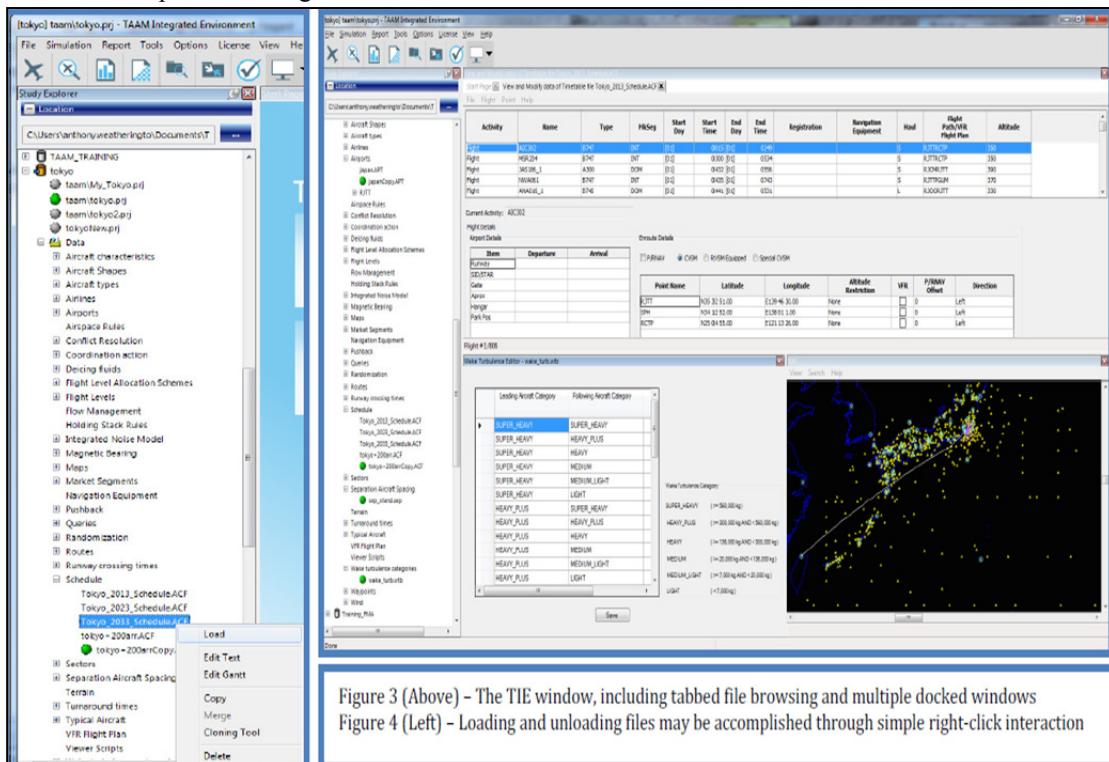


Figure 3 (Above) - The TIE window, including tabbed file browsing and multiple docked windows
Figure 4 (Left) - Loading and unloading files may be accomplished through simple right-click interaction

圖 2.3 TAAM 系統操作畫面

資料來源: <http://www.jeppesen.com/documents/aviation/government/TAAM-FactSheet.pdf>

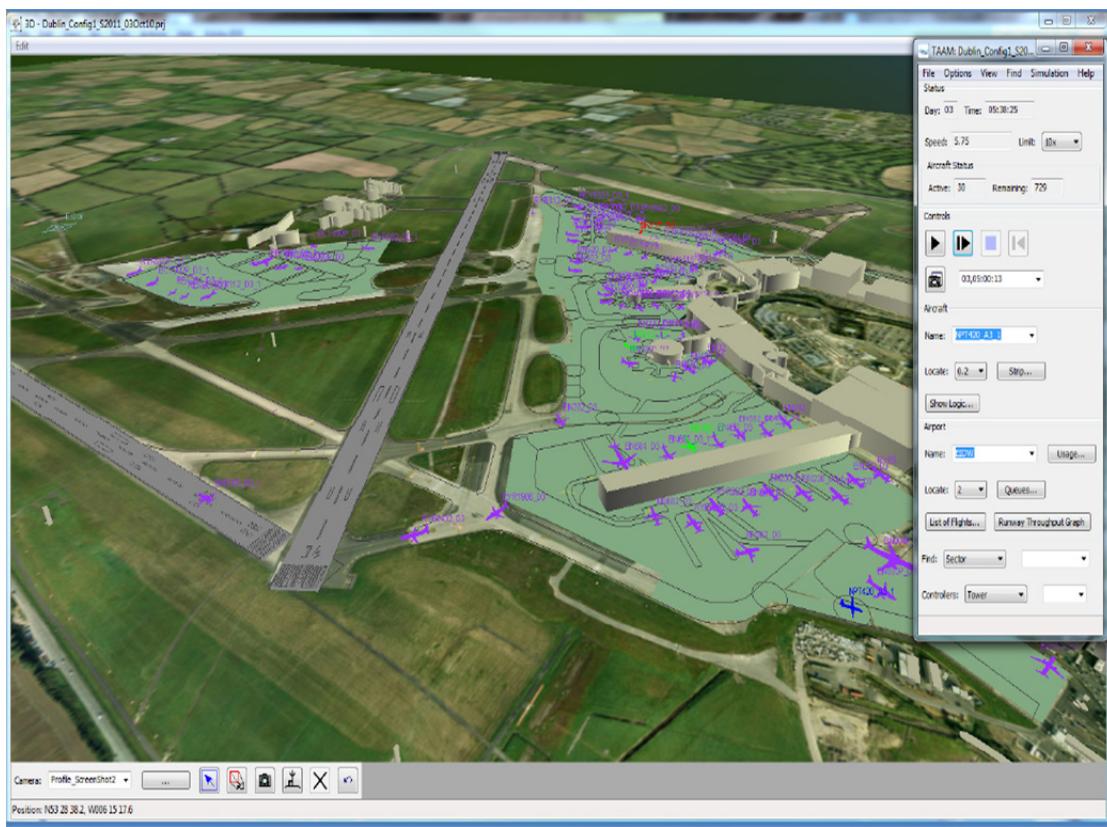


圖 2.4 TAAM 3D 操作輸入畫面

資料來源: <http://www.jeppesen.com/documents/aviation/government/TAAM-FactSheet.pdf>

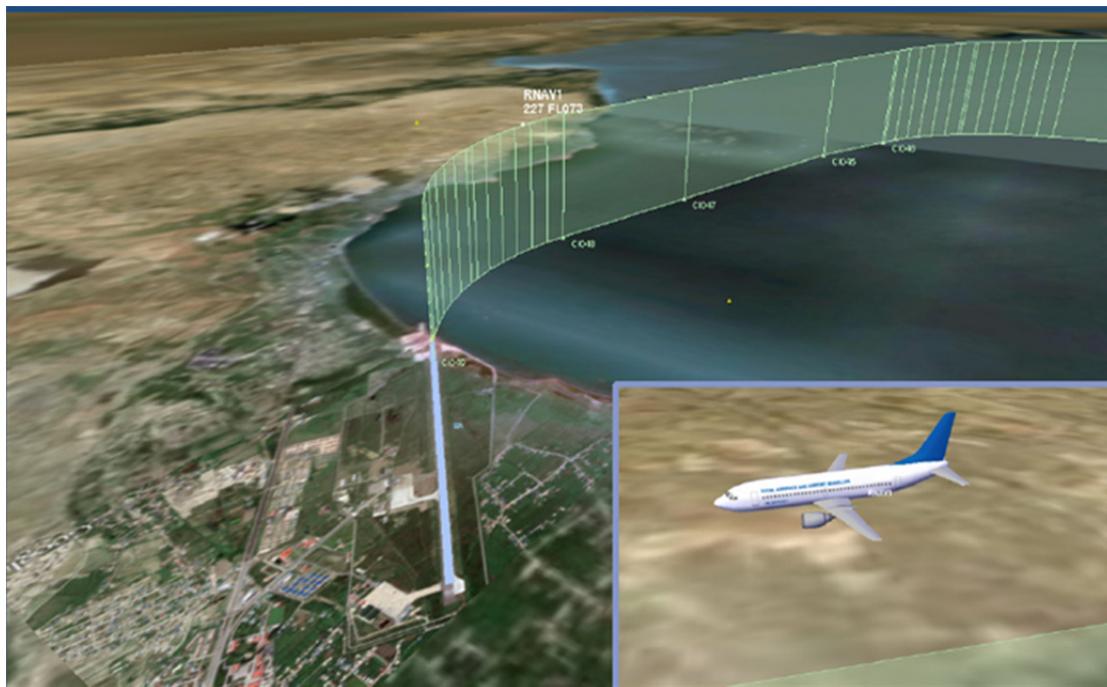


圖 2.5 航機模擬遵循標準進場航路(STAR)

資料來源: <http://www.jeppesen.com/documents/aviation/government/TAAM-FactSheet.pdf>

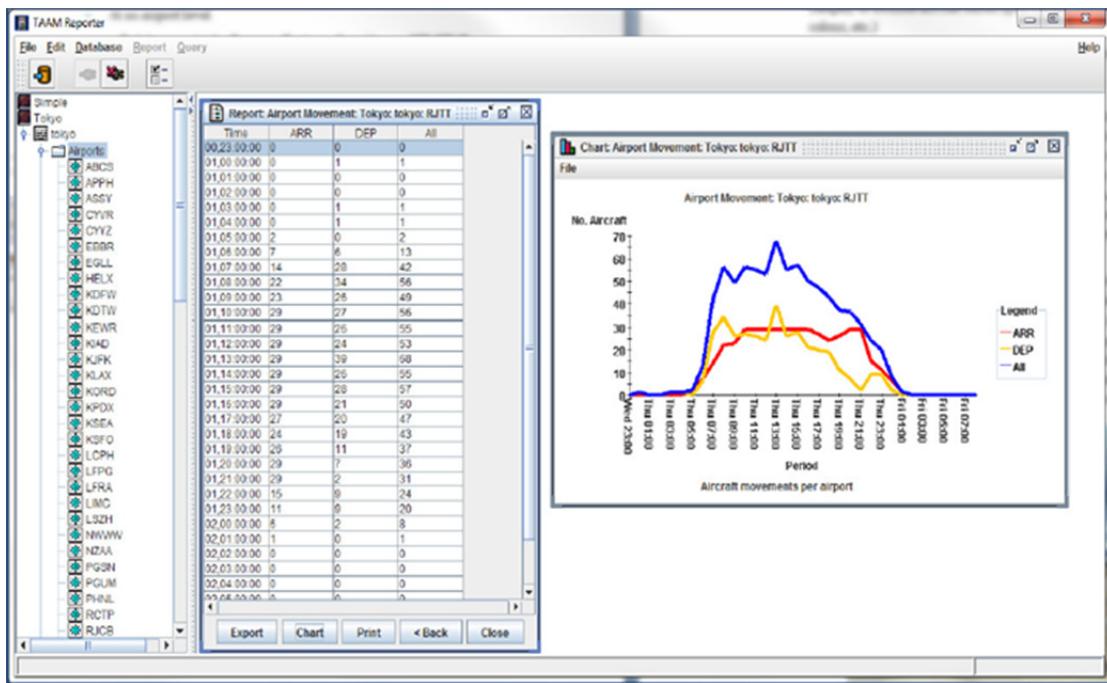


圖 2.6 TAAM 報告輸出畫面

資料來源: <http://ww1.jeppesen.com/documents/aviation/government/TAAM-product-profile.pdf>

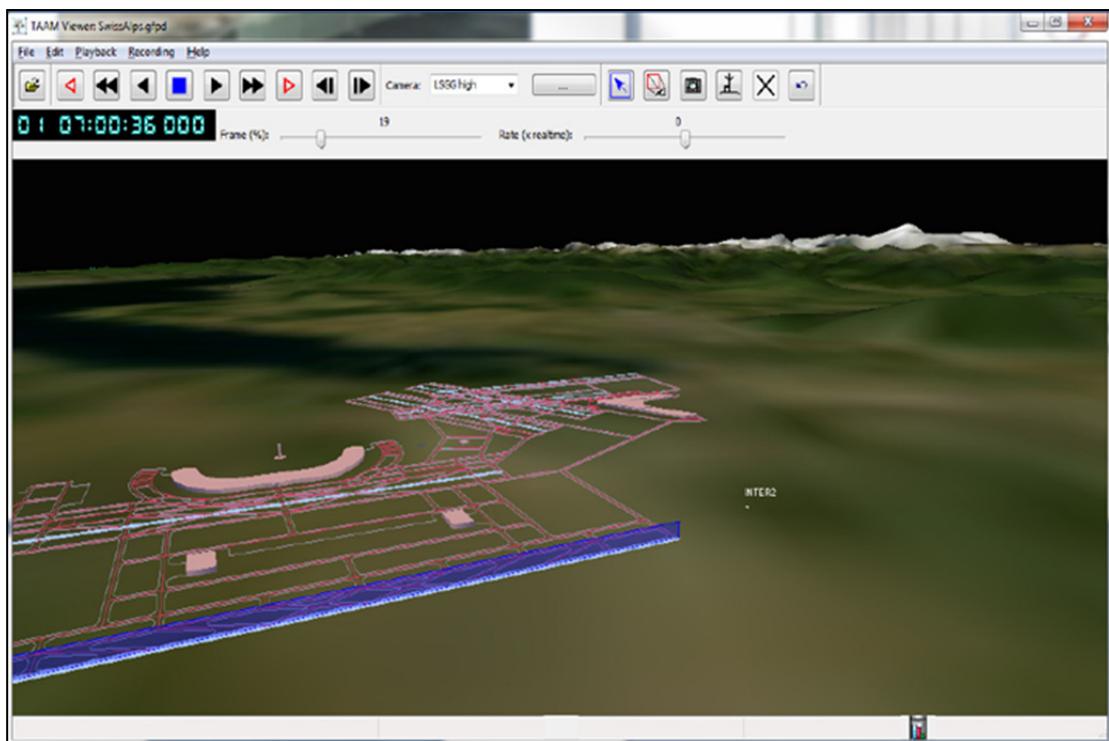


圖 2.7 地形及地理位置 3D 展示畫面

資料來源: <http://ww1.jeppesen.com/documents/aviation/government/TAAM-product-profile.pdf>



Figure 9 – TAAM screen shots depicting aircraft at various stages

Top left – aircraft taxiing and awaiting takeoff clearance.

Top Right – Aircraft in the enroute phase

Bottom Left – Aircraft landing

圖 2.8 航機滑行、降落 3D 展示畫面 (1)

資料來源: <http://ww1.jeppesen.com/documents/aviation/government/TAAM-product-profile.pdf>



圖 2.9 航機滑行、降落 3D 展示畫面(2)

資料來源: <http://ww1.jeppesen.com/documents/aviation/government/TAAM-product-profile.pdf>

2.1.2 SIMMOD [1][2][3][4][5][8][13][17][18]

1.SIMMOD模擬模式簡介

SIMMOD為70年代由美國聯邦航空總署（Federal Aviation Administration,簡稱FAA）所發展，運用此套模擬模式，可以有效且完整地分析機場與空域相關之政策與課題。SIMMOD模擬模式為以事件導向方式模擬空域運作，採用節點節線方式構建空域飛航路網，每一個節點或節線具有各自的屬性，節點具有高度屬性，因此航機在節線上的推進僅需考慮前後航機隔離，並以停留在節點上作為模擬航機於空中等候的方式。此外SIMMOD可對於班表中的每一架航空器的行進路程，或是航行及滑行路徑的每一個階段，進行時間和油料消耗的追蹤，甚至對航機未來出現衝突點之預測。

2.運作模式說明

SIMMOD 是屬於離散事件(Discrete-Event)導向型之模擬模式，模式藉由資料輸入後之初始化步驟，隨機性(Stochastic)的進行事件表(Event List)之安排，接著系統依據所安排的事件，進行時間的推進與各項變數的演算，最後將模擬結果輸出以供分析使用，其相關處理原則如下。

(1)路網結構

SIMMOD模擬模式在路網架構上係採用節點節線(Nodes-Links)互相串連的方式，空域部分包含不同空層空域節點串連成之空域節線路網、空域交管點、空中等候線等(如圖2.10)，並以鄰近節點所組成之席位(Sector)區分範圍(如圖2.11)，而空側部分包含跑道、滑行道、登機門、離場等候線等節點所組成之空側路網(如圖2.12)。

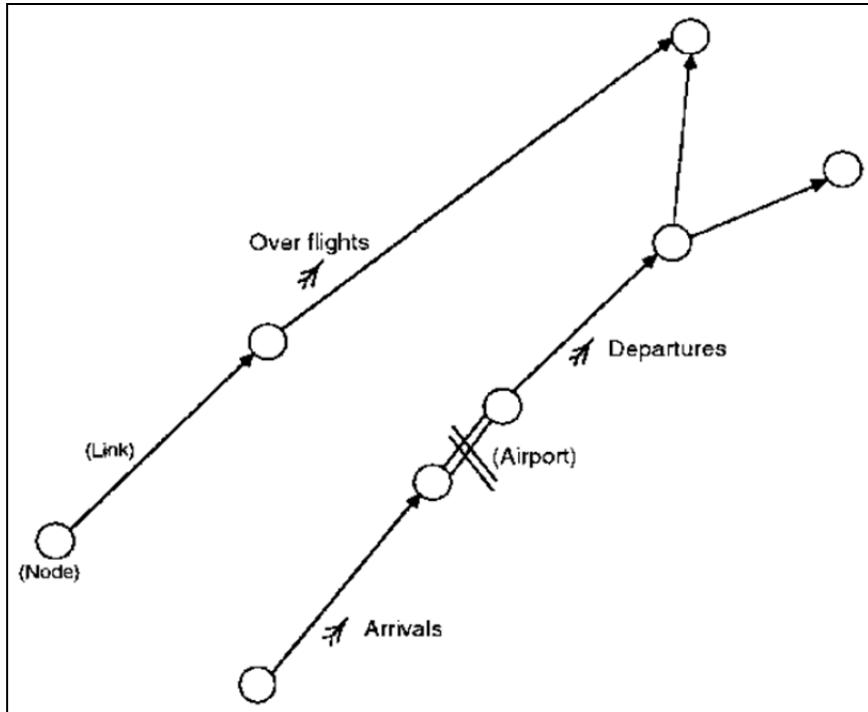


圖 2.10 空域節線路網

資料來源: http://www.tc.faa.gov/acb300/how_simmod_works.pdf

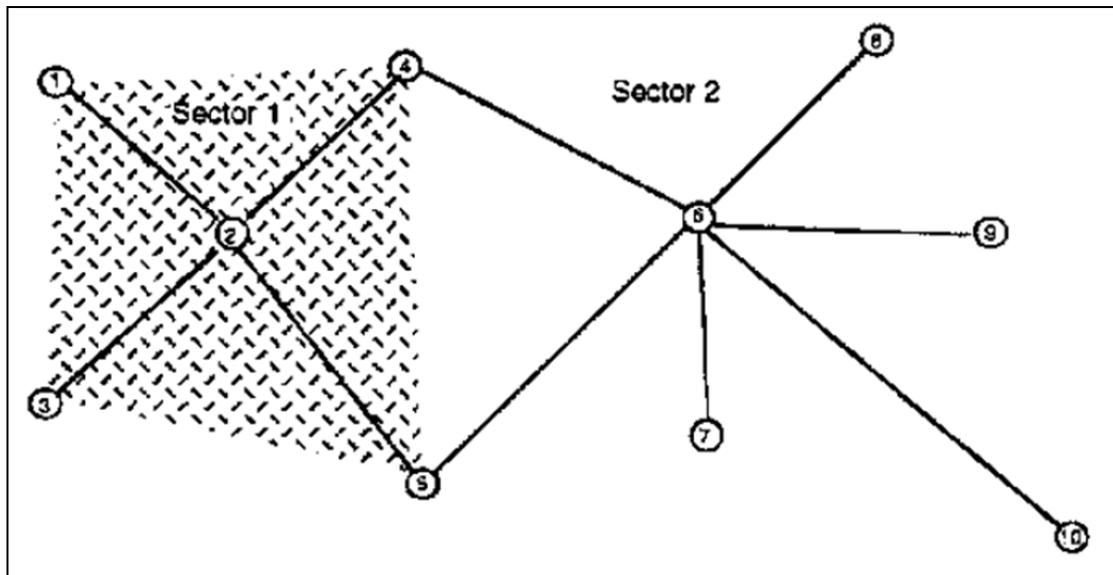


圖 2.11 席位 (Sector) 區分範圍

資料來源: http://www.tc.faa.gov/acb300/how_simmod_works.pdf

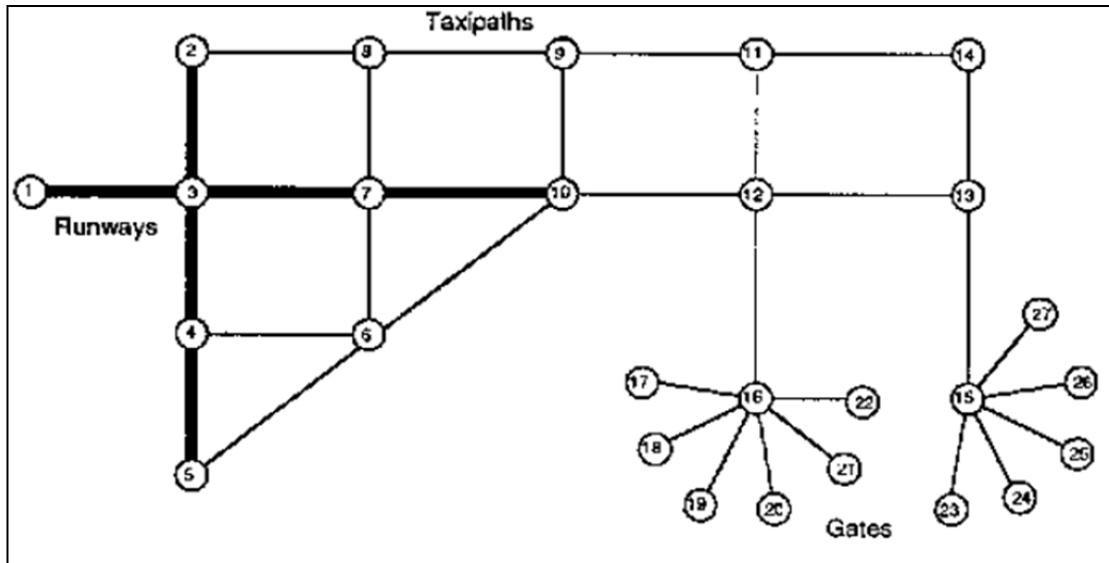


圖 2.12 空側節線路網

資料來源: http://www.tc.faa.gov/acb300/how_simmod_works.pdf

(2) 空側運作邏輯

空側部分即機場，主要由跑道、滑行道、離場等候與登機門所組成，為一個二度之平面空間。其中1.登機門部分，分為單一登機門與登機門群組，登機門可指定給特定之航空公司所使用，空側上的航機則透過登機門進行上下旅客與裝卸貨物的動作，而其所需時間使用定義為登機門佔用時間，這段時間通常為所設定之時間分佈型態來產生。2.跑道部分，跑道由一連串之節點節線所構成，而每個節點皆能被定義為跑道出口。當某一航空器於跑道上進行起飛或降落時，其它航空器則禁止使用跑道，如此稱為跑道封閉，而封閉時間之長短則依據使用跑道的航空器種類、天候狀況與使用類型等，而有不同之時間規定。3.滑行道部分，定義為登機門至跑道之連結路徑，亦為一連串之節點節線所構成。模擬時，航機必須選擇滑行路徑，SIMMOD提供兩種主要方法，一為使用者自訂之滑行路徑，另一為最佳化滑行路徑 (Optimized Taxi-paths)。其中，最佳化滑行路徑則由電腦依據其節線特性、滑行時間成本與壅塞狀況等因素，以決定最佳化滑行路徑。4.離場等候部分，對於離場航機而言，通常在

跑道端點設置一個離場等候區，以控制離場航機離場，而SIMMOD提供之離場等候策略主要有兩種，一為先進先出(Fist In First Out，FIFO)，後面航機無法超越前面航機；另一種則在情況允許下，准許後者航機先行離場。

(3) 空域運作邏輯

SIMMOD模擬模式的空域邏輯負責處理航機於空域路徑上的推進與其他航機的互動，決定航機是否續進、飛行速度、等候時間、隔離時間、航機抵達的順序等。SIMMOD模擬模式並在每個節點中以預計抵達佇列(Arrival Queue)儲存預計抵達該節點之航機，以等候佇列(Holding Queue)儲存已於該節點實際等候之航機。各節點、節線以及席位皆有其容量限制，超過容量限制，則無法續進。邏輯歸納如下：

a. 航機於節線上的推進規則

航機於節線上的飛行時間首先以正常速度(Nominal Speed)來決定，並視相關航情在給定的最大值與最小值之間調整。當最小速度無法符合隔離要求時，可加上雷達引導時間，最後的手段則是空中等候。節線上的航機飛航順序除了基本的先進先出，也可以設定成允許速度較快的後機超越速度較慢的前機。

b. 航機於節點上的推進規則

航機抵達節點後，是否可以續進至下一節點，取決於下列條件：航機所在節點無航機等候，並且符合節點等候策略(Holding Strategy)(如圖2.13)，且下一節線航機數未達該節線容量，最後進入下一席位時，下一席位管制量未達該席位容量。另外節點等候策略有下列三種，擇其一種判斷：1. 下一節點有航機等候時，不得續進。2. 下一節點等候量已達容量時，不得續進。3. 下一節點等候量加上預計到達數超過容量時，不得續進。

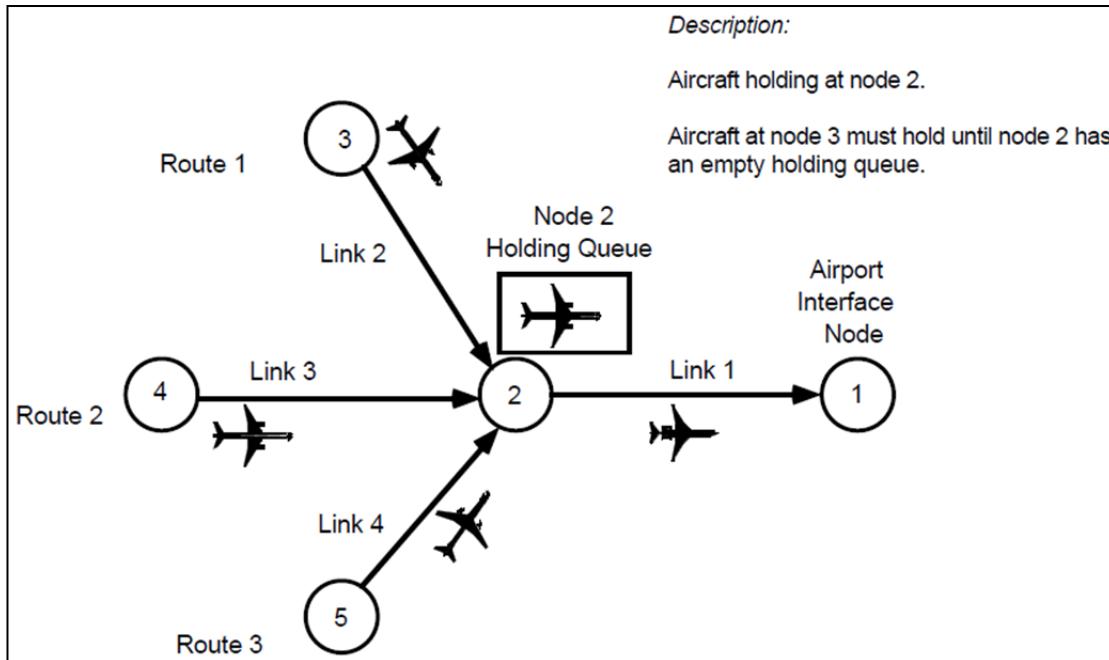


圖 2.13 等候策略示意圖

資料來源: http://www.tc.faa.gov/acb300/how_simmod_works.pdf

c. 航機推進管制策略

除了上述的推進規則之外，任一航機在預計抵達下一節點時，模式必須計算該航機與其他預計抵達該節點航機之間的到達時間、到達隔離與到達順序。此一新到航機完成此一最後步驟後，才能續進下一節點，加入下一節點預計抵達佇列中，否則就必須進入航機所在節點等候佇列中等候。

推進管制策略包括 QFIFO、SpeedFit、MultiFit 三種。其中第一種QFIFO，是以先到先服務的方式決定新到航機抵達節點時的優先次序(如圖2.14)。第二種SpeedFit，新到航機可以較其他前機提早或稍晚，不一定只能排在最後一個位置，同時，可調整此一航機速度以達到保持隔離之要求(如圖2.15)。第三種 MultiFit 與SpeedFit 類似，MultiFit 除了可調整此一新到航機速度外，還可嘗試調整排序中的前後各一架航機的抵達時間，使新到航機能符合隔離要求而能安插於其中(如圖2.16)。

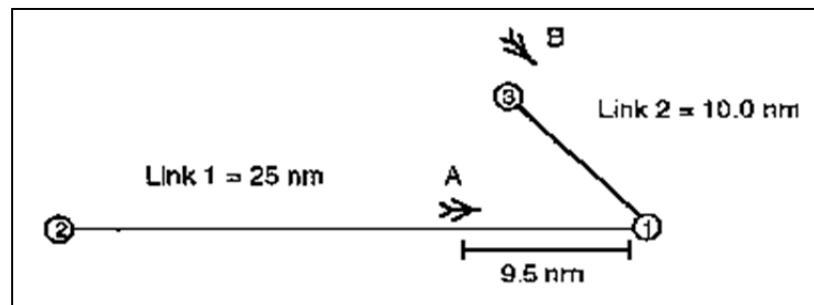


圖 2.14 QFIFO 策略示意圖

資料來源: http://www.tc.faa.gov/acb300/how_simmod_works.pdf

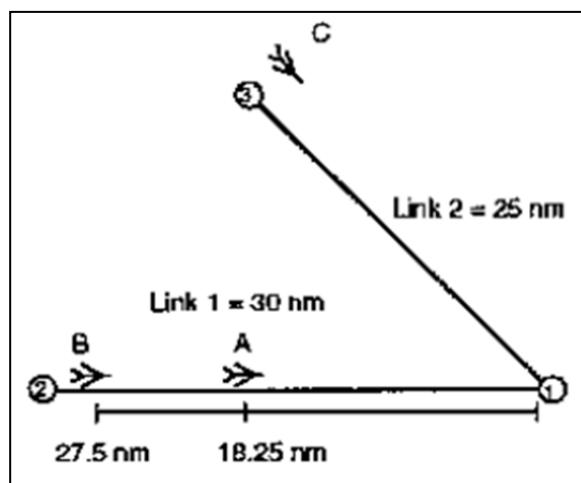


圖 2.15 SpeedFit 策略示意圖

資料來源: http://www.tc.faa.gov/acb300/how_simmod_works.pdf

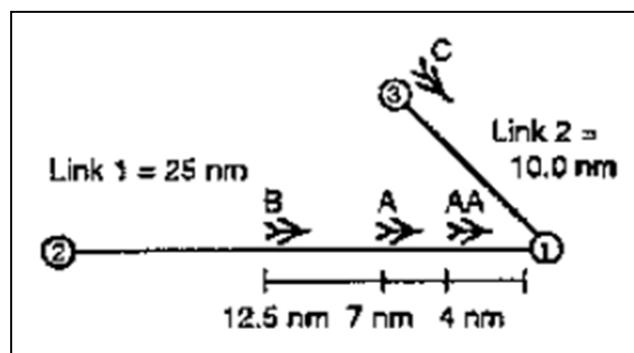


圖 2.16 MultiFit 策略示意圖

資料來源: http://www.tc.faa.gov/acb300/how_simmod_works.pdf

(4) 輸入資料

構建 SIMMOD 模擬模式而需輸入編輯器的資料，主要可分為空側資料（Airfield）、空域資料（Airspace）、事件資料（Events）與連結資料（Banks）等四類。

表 2-3 輸入資料彙整

項目	內容
空側資料	<ol style="list-style-type: none">空側節點(node):各跑道、滑行道銜接點及停機位。空側節線(link):滑行速度、容量及行進方向。指派(assignment):航空公司、航機特性（降落滑行距離、起飛滑行距離、上/下客貨時間）及離開停機位方式。滑行設定(taxiing):滑行計畫、滑行路徑、等候區設定及跑道頭等待策略。地面設施特性(structure):離場等候、登機門特性、跑道滑行速度及跑道著陸點。
空域資料	<ol style="list-style-type: none">空域航點:高度、隔離距離及容量。空域航段:容量及類別。航空器特性:空速設定、空域隔離、渦流隔離及機型。航路設定:到、離場航路建立。其他設定:延遲分配(metering)、航區(sector)設定及風向風速設定。策略設定:流量管理、衝突處理、跑道使用計畫及起降隔離程序。機場特性:相關運作模式設定。
事件資料	主要用以設定航機之起降班表。
連結資料	模擬表現出軸輻機場的航班運作狀況。

本研究自行整理。

3. 模式應用案例

最早應用SIMMOD進行分析案例是在1990~1995年間，兩階段分析芝加哥地區新增第三機場對於整體空域的影響，表2-4為當時芝加哥地區所有機場資料，包括營運類型與容量，圖2.17則為預訂規劃機場的位置，其分析結果簡要摘述如下。

- (1) 基線模擬：在沒有新增機場情境下，現存2個商業機場(O'Hare and Midway)與其他衛星機場，到2020年前每年延誤情形將增加22%。其中O'Hare與Midway機場航機起降量將在2010年分別增加8%及11%，而整體航機起降量將從1989年的1,068,000架次成長至2010年1,164,000架次。
- (2) 新增第三機場情境模擬：整個地區需求在2010年將超過1,700,000架次，而第三機場容量可以達到530,000架次，而預測2020年需求將達到665,000架次。由於在整個區域空域和機場系統內存在強烈直接的相互作用，模擬顯示整個系統的總延遲和每次航機操作的平均延遲將大大增加。在空域有限情況下，3個近距離機場相互作用影響在終端空域內造成重大問題，而這個問題原因在於這3個城市機場的跑道（O'Hare、Midway機場與Lake Calumet新增站點）不協調一致，將使航機在終端空域到達-離開過程過於複雜化。
- (3) 為了解決機場間衝突問題，因此模擬Midway機場關閉與開放對空域的影響，結果顯示如下。
- Midway機場開放情境，Lake Calumet新增站點每架航機平均延遲在2010年為45分鐘，2020年則達到61分鐘。
 - Midway機場關閉情境，Lake Calumet新增站點每架航機平均延遲在2010年為21分鐘，2020年則達到20分鐘。
- (4) Gary新增站點雖然比Lake Calumet好，但仍然會導致延遲狀況，主要原因仍是離Midway機場過近，模擬顯示每架航機平均延遲在2010年為11分鐘，2020年則達到15分鐘。

- (5) 離Midway機場南方35miles的3個新增站點分別為Bi-state、Kankakee與Peotone，雖然距離較遠，但空域仍與Midway機場有相互影響，不過較Lake Calumet與Gary新增站點來的輕微，模擬顯示每架航機平均延遲在2010年為9.6~9.8分鐘，2020年則達到11.2~11.4分鐘。
- (6) 研究顯示O'Hare與Midway機場複雜的跑道配置也是造成這個地區空域延遲程度的影響因素，不過O'Hare機場近期進行的跑道平行整建計畫，將可有效減小該地區延遲程度。

表 2-4 芝加哥地區機場、營運與容量

Airport	Classification ^a	Based GA aircraft	Demand, aircraft operations	Nominal capacity (ASV ^b)
Chicago O'Hare International ^c	PR_L	2	797,000	841,000
Chicago Midway ^c	PR_L	292	257,000	330,000
Lake in the Hills ^c	RL_BU	136	94,000	108,000
Waukeegan Regional ^c	RL_TR	261	131,000	220,000
Palwaukee ^c	RL_TR	460	207,000	275,000
Aurora Municipal ^c	RL_TR	276	146,000	160,000
DuPage County ^c	RL_GU	470	217,000	160,000
Lewis University (Romeoville) ^c	RL_BU	243	74,000	155,000
Lansing Municipal	RL_BU	158	39,000	155,000
Gary Regional ^c	RL_TR	115	106,000	220,000
Chicago Meigs Field ^c	CR_S	4	6,000	240,000
Clow (Plainfield)	GA_BU	141	37,000	150,000
Schaumburg ^c	GA_BU	141	83,000	215,000
Campbell (Round Lake Park) ^c	GA_GU	90	18,000	220,000
Joliet Park ^c	GA_BU	81	59,000	215,000
Frankfort	GA_BU	162	38,000	150,000

^aP = commercial service-primary (L = long-haul, M = medium-haul, S = short-haul).
CM = commercial service-other, CR = reliever airport with commercial service.
RL = reliever (GU = general utility, TR = transport, BU = basic utility).
GA = general aviation.

^bAnnual Service Volume, in terms of aircraft operations.

^cAirports included in FAA terminal area forecasts.

資料來源: Airport Modeling and Simulation

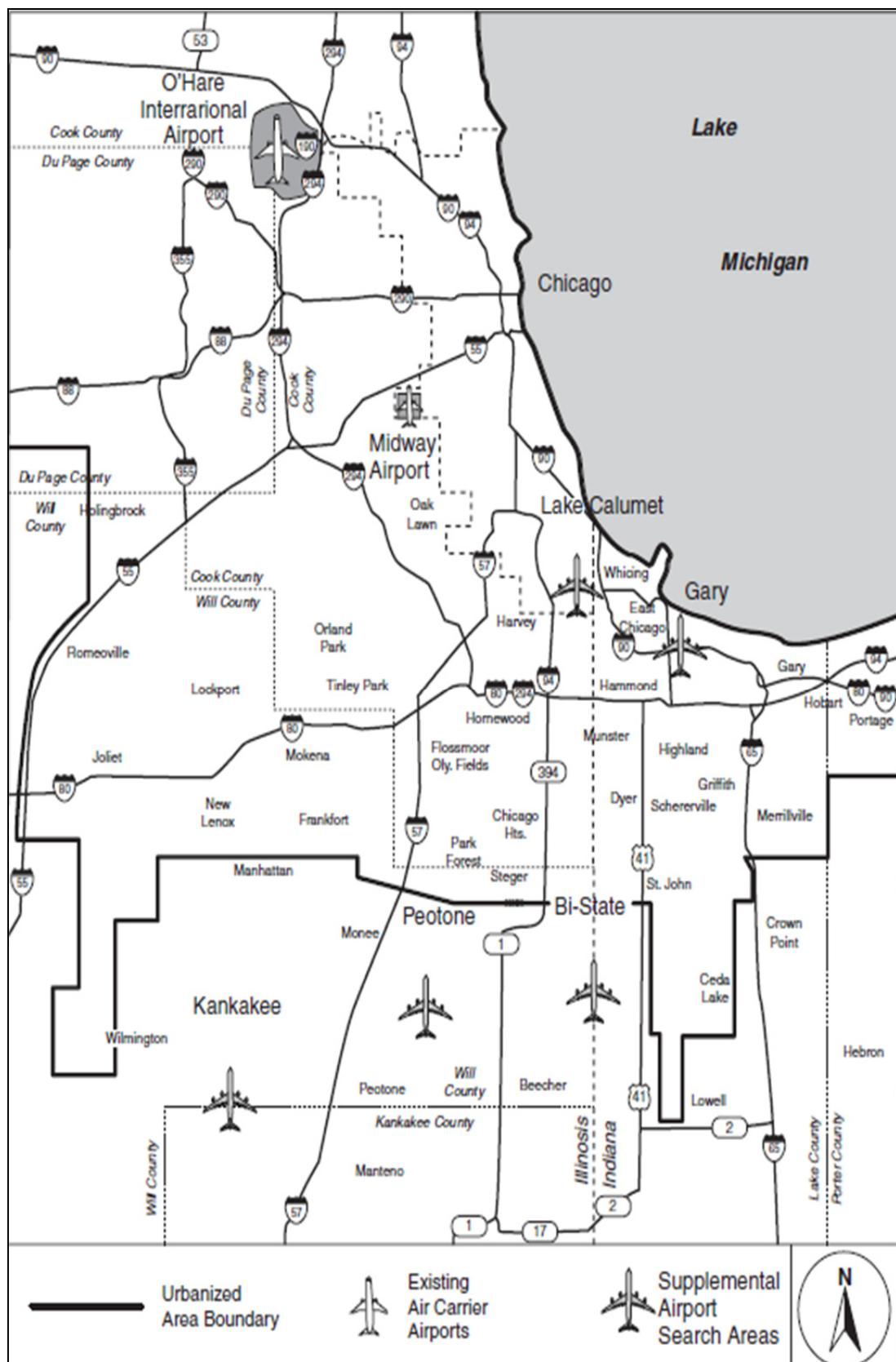


圖 2.17 芝加哥地區現存機場與規劃機場位置圖

資料來源: Airport Modeling and Simulation

4.TAAM與SIMMOD的差異比較

SIMMOD可分析機場及空域整體系統之運作，並提供多種功能與彈性，但此模式為一隨機、事件掃描之模擬模式，所有的處理都是依據事件排程表(Event Schedule List)來進行，利用一些使用者定義的隨機變數來表現出現實世界中航班間的各種操作作業，因此模擬產生之結果應為實際(Realistic)而非最佳(Not Ideal)之結果；且每次模擬結果不盡相同，故應以多次的模擬結果平均作為參考。惟其所需輸入之資料量相當龐大，故在資料蒐集與輸入需要花費相當多的人力與時間，加上SIMMOD模式相當敏感，前一步驟發生錯誤則影響下一步驟的進行；即倘若發生無法執行模擬時，可能由許多因素所造成的，包含輸入格式有誤、資料項目不合理、未修改電腦內部設定等，使用者必須逐一檢查錯誤。

TAAM邏輯較符合ATC實際狀況，在終端管制空域與航路的模擬功能更為強大，且TAAM為3D模擬方式(航機移動在x-y-z空間)，因此航機隔離考慮所有衝突(垂直和側向)，並將其視為真正的衝突。另外由於SIMMOD在2D空間中使用節點-線的結構，所以僅考慮沿著線的縱向隔離，因此它可能將某些交叉視為衝突。

2.1.3 國際其他模式概述【1】【2】【3】【12】

由於國際間其他模式較不成熟，或模擬範圍只限定部分空域區間、資料蒐集不易等因素下，因此只概略說明如下：

1.LMI Runway Capacity Model

LMI跑道容量模式是一個廣義分析和隨機模型，主要用來計算單一跑道使用作為離場、到場或離到場混合時的跑道容量。該模型被設計來計算所謂的「跑道容量曲線」，即定義在單個跑道可以實現最大容量的包絡線。

(1) 輸入值：混合機型的種類與數量、進場路線的長度、每種機型進場

速度的平均值和標準偏差、到場與離場占用時間的平均值和標準偏差、各種機型的最小間隔、風速等。

(2) 輸出值：單一跑道營運容量。

2.FAA Airfield Capacity Model

FAA機場容量模式亦為一計算機場跑道最大容量(每小時)之分析模式，其不僅可以處理單一跑道之情形，最多可以處理達四條跑道之架構。該模型最初是在1970年代開發，並由Peat, Marwick, Mitchell, Company和McDonnell Douglas Automation組成的聯盟共同開發，而後FAA在麥特公司(MITRE)的支持下進一步修改。其分析方式為依據離到場比例(0%離場/100%到場遞增/遞減至100%離場/0%到場)，計算最大容量，其分析結果也類似「跑道容量曲線」。

(1) 輸入值：跑道配置及營運型態(到場、離場、兩者都有)、最大營運機型、ATC間隔要求、航機特性(最後進場速度、離到場占用跑道時間、最後進場長度)、依據天氣狀況(雲幕高與可見度)決定航行規定等。

(2) 輸出值：每小時跑道營運容量。

3.Approximate Network Delays(AND)

AND模型是由MIT Operations Research Center所發展，但軟體發展與資料提供則是由麥特公司(MITRE)所負責。AND模式為一網路等候模式(network queuing model)，用以分析當班機發生延誤後，對航空公司班表、空中流量及機場容量所產生之衝擊及改變。

AND同時使用DELAYS模型作為其運算引擎，用於解決模擬實務操作的數學微分方程，其包括機場網絡上的延遲分佈，給定航班時刻表，航空器行程和機場容量。然而本模式僅處理區域性終端地區所造成之延誤，而不處理跨區域的航路部分所造成之延誤。

(1) 輸入值：每個機場的容量配置文件、航班完整資料等。

(2)輸出值:每個機場的預期等候長度、每個機場操作的預期等待時間、每個機場飛機遭受的總延誤。

4.Sector Design and Analysis Tool(SDAT)

「管制區設計及分析工具」(Sector Design and Analysis Tool ,SDAT)是由FAA開發出來的空域設計工具，可顯示圖像化之具體航情資訊，以供變更空域及航路設計之用，主要用於航路部分之評估與分析。SDAT可運用現有空域及航情資訊，亦可自行選擇增加或修改所顯示之資訊。它有一套內建之程式，可自行設計空域範圍，亦可模擬航機間之衝突、高航行量對作業之衝擊，或管制員在管制區之工作負荷等。

由圖2.18~2.20可知SDAT可顯示3D立體之管制區圖像，亦可將航機雷達資料置於其中。使用者可從工具列中選擇顯示何種資料，以及如何顯示，亦可改變空域及航機資料以供前後互相比對，此外SDAT也能測量某一管制區或某一定位點之航行負荷。

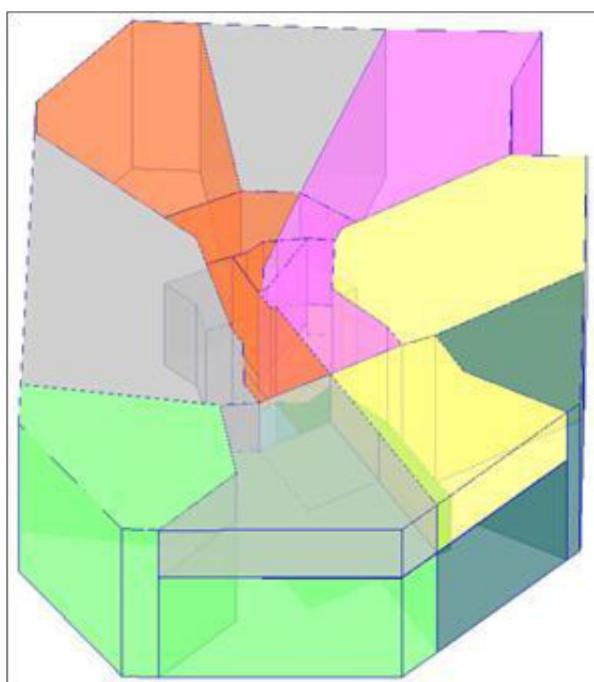


圖 2.18 SDAT-3D 立體之管制區圖像(1)

資料來源:交通部民用航空局，「臺北飛航情報區空域及航路結構整體規劃案」，民國 101 年。

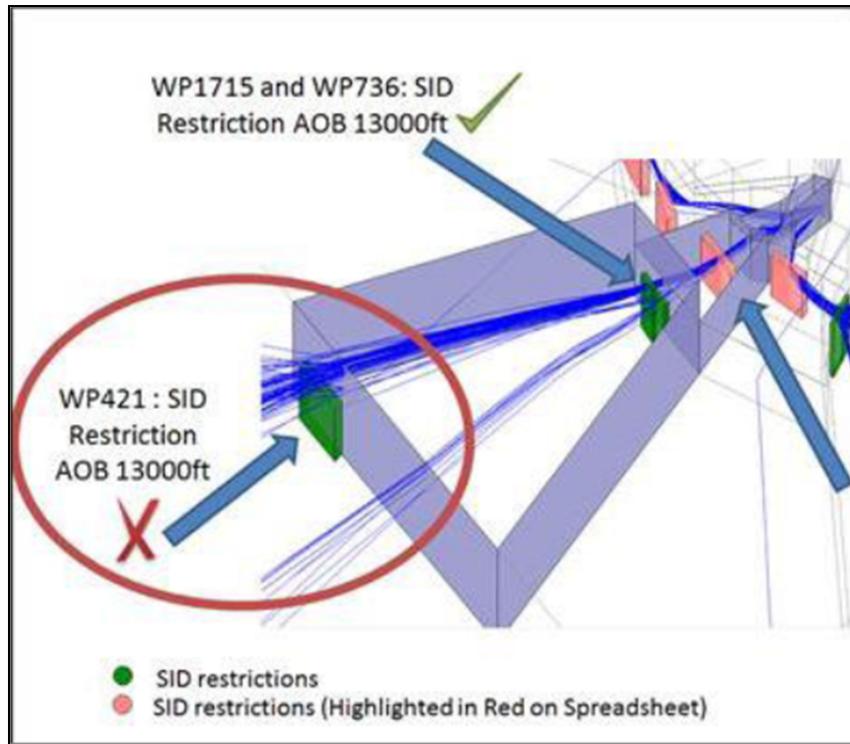


圖 2.19 SDAT-3D 立體之管制區圖像(2)

資料來源:交通部民用航空局,「臺北飛航情報區空域及航路結構整體規劃案」,民國 101 年。

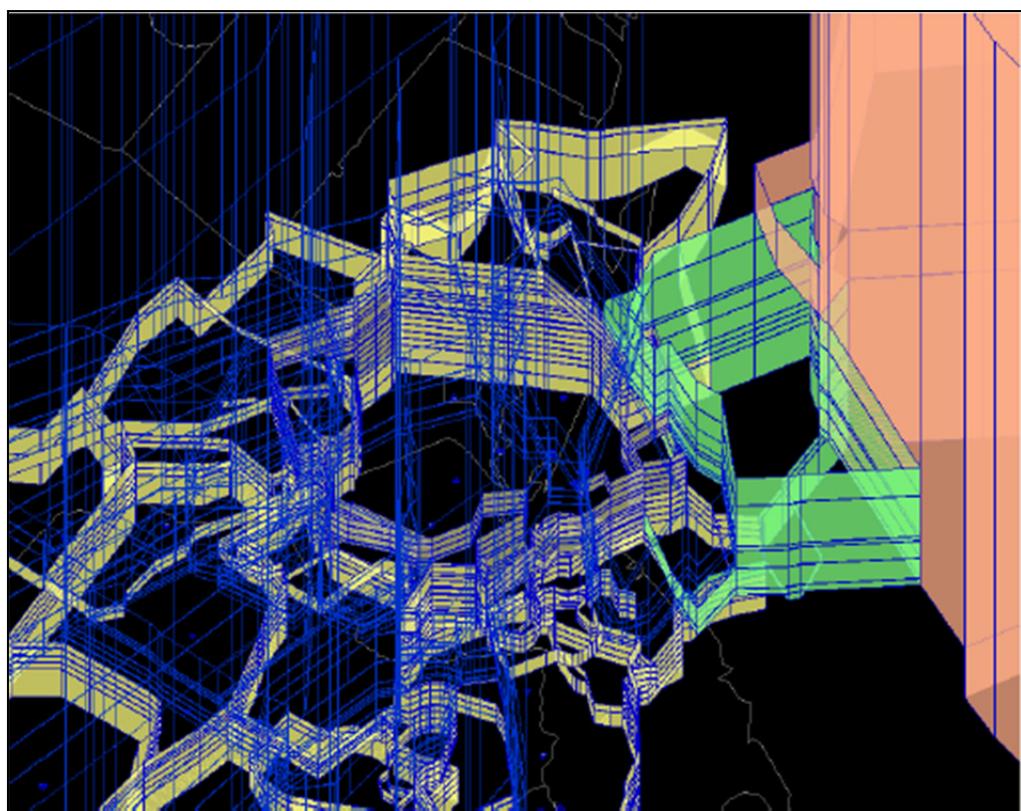


圖 2.20 SDAT 展示管制區 3D 圖像及航行量

資料來源:交通部民用航空局,「臺北飛航情報區空域及航路結構整體規劃案」,民國 101 年。

5. TARGETS

「終端區域航情模擬器」(TARGETS)是由麥特公司自行發展出來的空域管理工具，具空域設計及分析能力，亦可針對空域及程序實施作業評估。當初主要目的是支援FAA製作RNAV、標準儀器到場航線(STAR)、標準儀器離場航線(SID)等程序。後來被FAA及麥特公司廣泛用於發展RNAV及RNP程序，以及空域設計專案。

如圖2.21~2.23所示，TARGETS結合資料顯示能力及內建之設計元件，讓程序設計者能很快速且簡易地發展先進程序。TARGETS的整合能力能快速評估不同的設計理念，以找出完善的解決方案，滿足作業需求，更具有RNAV程序設計能力。

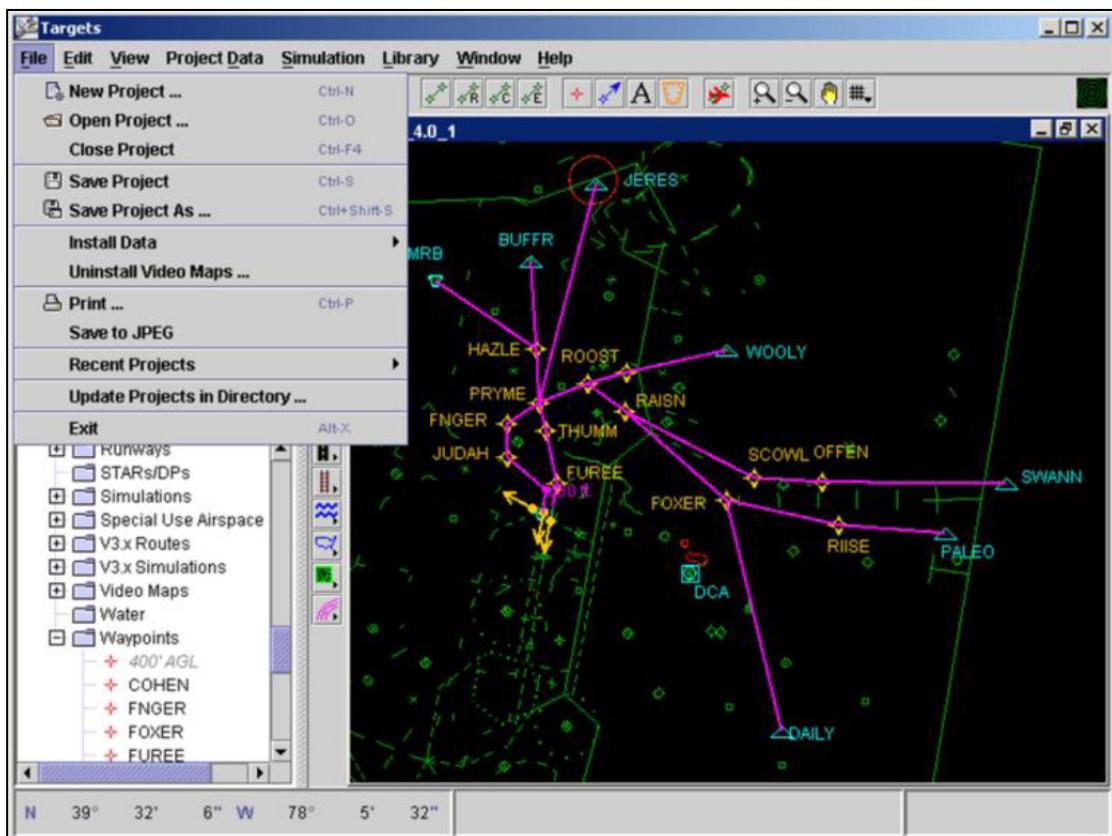


圖 2.21 TARGETS 系統顯示範例(1)

資料來源：交通部民用航空局，「臺北飛航情報區空域及航路結構整體規劃案」，民國 101 年。

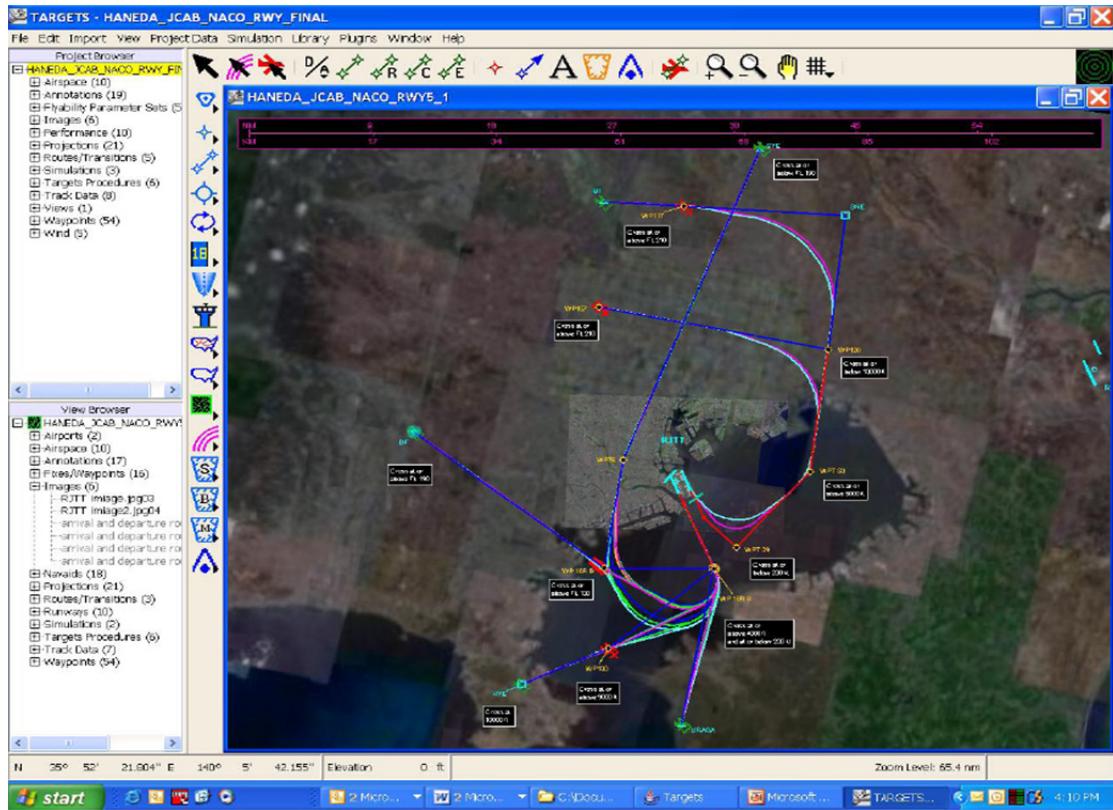


圖 2.22 TARGETS 系統顯示範例(2)

資料來源：交通部民用航空局，「臺北飛航情報區空域及航路結構整體規劃案」，民國 101 年。

Aircraft Performance : Heavy Jet

Performance Name : Heavy Jet

<input type="radio"/> S	<input type="radio"/> Piston	<input type="radio"/> RNAV
<input type="radio"/> L	<input type="radio"/> Jet/Turboprop	<input type="radio"/> NON-RNAV
<input checked="" type="radio"/> H	<input type="radio"/> Jet	<input type="radio"/> Database default

Cruise Altitude (ft) 35000.00	Max Takeoff Weight (kbs) 870.00	Takeoff Speed (kts) 185.00	Takeoff Acceleration (kts/min) 300.00
Cruise Speed (kts) 299.00	Max Landing Weight (kbs) 630.00	Landing Speed (kts) 158.00	Roll Rate (deg/sec) 3.00

Values by Altitude

<input type="radio"/> Gradient	<input type="radio"/> Rate	Altitude Increment: 10000
Temp (deg F) 59.00	Pressure (in Hg) 29.92	Apply

Values at Standard Temp and Pressure Values at Temp and Pressure

Max Alt MSL (ft)	Climb Grad (k/nm)	ESF (Climb/Decal)	Accel Rate (kts/min)	Descent Grad (k/nm)	ESF (Descent/Decal)	Decel Rate (kts/min)
0.00	850.00	60/40	70.00	475.00	80/20	30.00
10000.00	700.00	60/40	50.00	450.00	80/20	25.00
20000.00	588.00	70/30	25.00	405.00	80/20	20.00
30000.00	436.00	70/30	20.00	380.00	80/20	20.00
40000.00	100.00	90/10	15.00	350.00	80/20	10.00

Values by Speed

<input type="radio"/> Bank Angle	<input type="radio"/> Turn Rate	Speed Increment: 500
Speed (kts)	Bank Angle (deg)	
0.00	23.00	
500.00	23.00	

NOTE : All speeds are indicated airspeeds.

OK Apply Copy Export Reset Cancel

圖 2.23 TARGETS 系統顯示範例(3)

資料來源：交通部民用航空局，「臺北飛航情報區空域及航路結構整體規劃案」，民國 101 年。

6.National Airspace System Performance Capability (NASPAC)

NASPAC是一種fast-time模擬模型，可以涵蓋大面積的空域和多數量的機場，且可以模擬個別航機每日的行程，並提供統計報告，其中包括延遲、流量等。本模型後續已由多家公司持續延用發展，例如麥塔公司，另外法國CENA也發展另一個版本F-NASPAC，並也應用於歐洲ATM環境中。

- (1) 輸入值:需求、完整的航班行程、機場容量、航路管制、機型特性等。
- (2) 輸出值:延滯時間、流量。

7.TMAC

TMAC是由數個模式所組成，利用飛行計畫、動力學與流量管理策略來確認衝突與延滯。同時系統內建有航機飛航軌跡資料，但TMAC目前僅供美國MITRE公司內部使用，因此相關資料取得不易。

- (1) 輸入值:航路、飛航計畫、地面延遲、管理邏輯等。
- (2) 輸出值:航行時間、延滯時間、衝突等。

8.FLOWSIM

FLOWSIM模式主要模擬各主要機場間的流量，並分析因機場容量限制對航機所造成的連鎖性延誤，但不考慮空域及航路區域的問題。本模式仍為發展中之原型(prototype)，其與實際運用階段仍有差距。

- (1) 輸入值:飛航計畫、機場容量等。
- (2) 輸出值:延遲指標等。

9.ATFM System Concept Evaluator for New Technologies(ASCENT)

ASCENT模式為評量依現行作業或未來新觀念所實施之飛航流量管理(ATFM)策略，瞭解其實施結果將對整個區域性或全國性的飛

航系統造成怎樣的衝擊，其可依不同的情境設定(scenario)評估各種情境下之結果。

本模式可研究各種系統參數變化對ATFM性能的影響性，例如機場容量，飛機間隔可變性，飛行排序優先順序等。

2.2 國內空域模擬模式概述

由於國內空域狹小、機場數量頗多、管制區域容量不足且航路與各種標準離到場程序間關係錯綜複雜，因此國立成功大學戴佐敏教授等人於民國88年開始進行相關空域模擬模式之建立，而此模式也是國內唯一自行建立，其相關內容說明如后。

2.2.1 ANS(2.0)概述 【17】【19】【20】【21】【22】

ANS(Air Net Simulation)是屬於微觀模擬模式的一種，並且為一隨機、事件掃描之模擬模式，以物件導向之程式語言Visual C++撰寫主體程式，並採視窗化之輸出入使用者介面，以方便使用者操作，相關運作邏輯詳述如下。

1. 空域網路結構

空域路網由節點與節線組成，如圖2.24所示，其中節點控制航機是否續進，當航機無法續進至下一航路節線時，航機在節點進行空中等候。節點有最小等候時間、容量、等候策略、抵達節點次序等屬性。節線連結節點，具有速率限制、飛航空層限制、容量限制、雷達引導時間、是否允許超越前機等屬性。

由節點、節線組成的航路可包含數個空層，在建立空域路網時較簡易，不需每一個飛航空層都建立一條節點與節線，如圖2.25。

席位由數個節點節線所構成，如圖2.26有2個席位，席位內各節點節線上的航機數目之和，即為該席位的總管制航機數，席位的最大容許管制航機數，稱為席位容量。當航機由任一席位飛航至另一席位前，必須確定該席位的總航機數仍在容量限制之內，否則航機就必須進行空中等候。

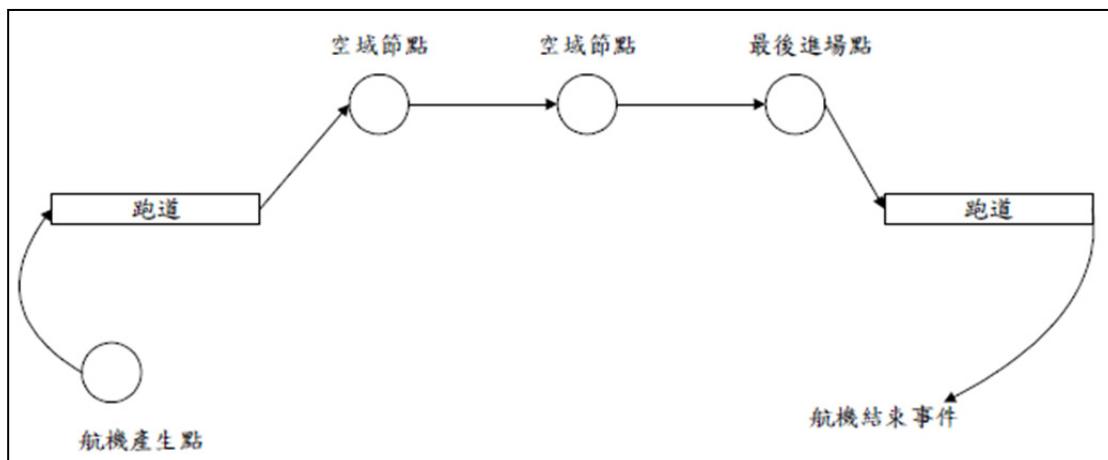


圖 2.24 空域網路架構

資料來源:俞瑞華,「飛航管制策略在空域模擬模式上之應用」,國立成功大學碩士論文。

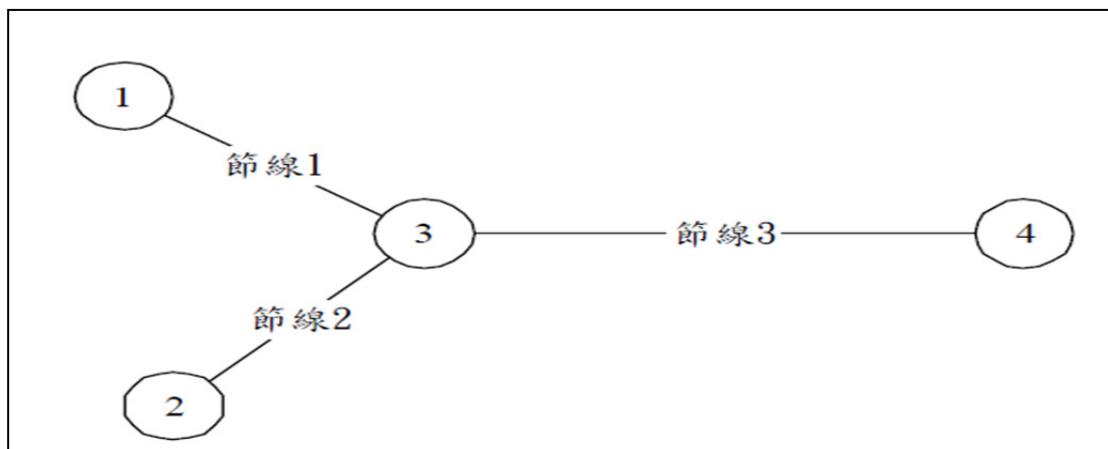


圖 2.25 節點與節線示意圖

資料來源:俞瑞華,「飛航管制策略在空域模擬模式上之應用」,國立成功大學碩士論文。

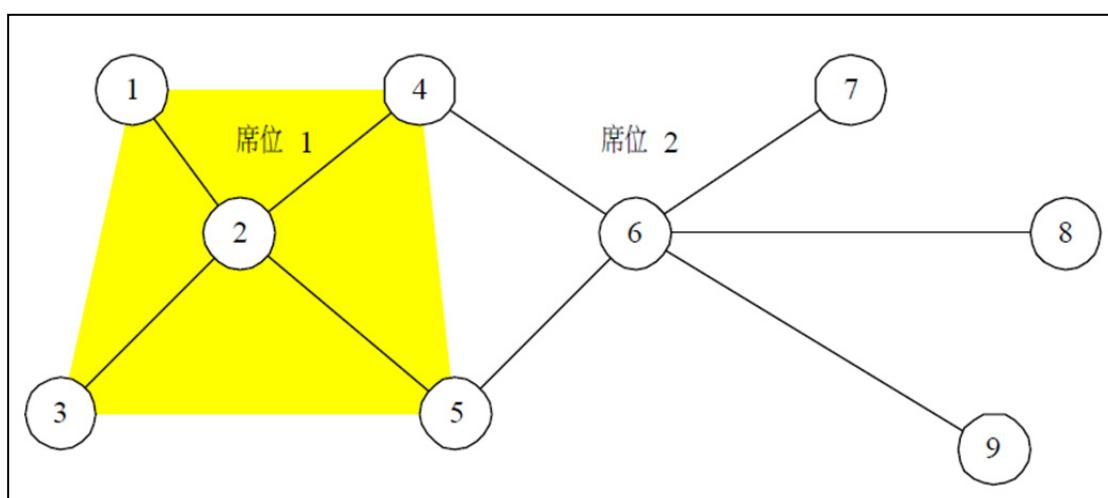


圖 2.26 席位示意圖

資料來源:俞瑞華,「飛航管制策略在空域模擬模式上之應用」,國立成功大學碩士論文。

2. 空側網路結構

空側以節線、節點之網路型態表示，如圖2.27所示，並作為空間之處理方式，其中機場節點包括停機坪節點、跑道入口點、跑道出口點等。

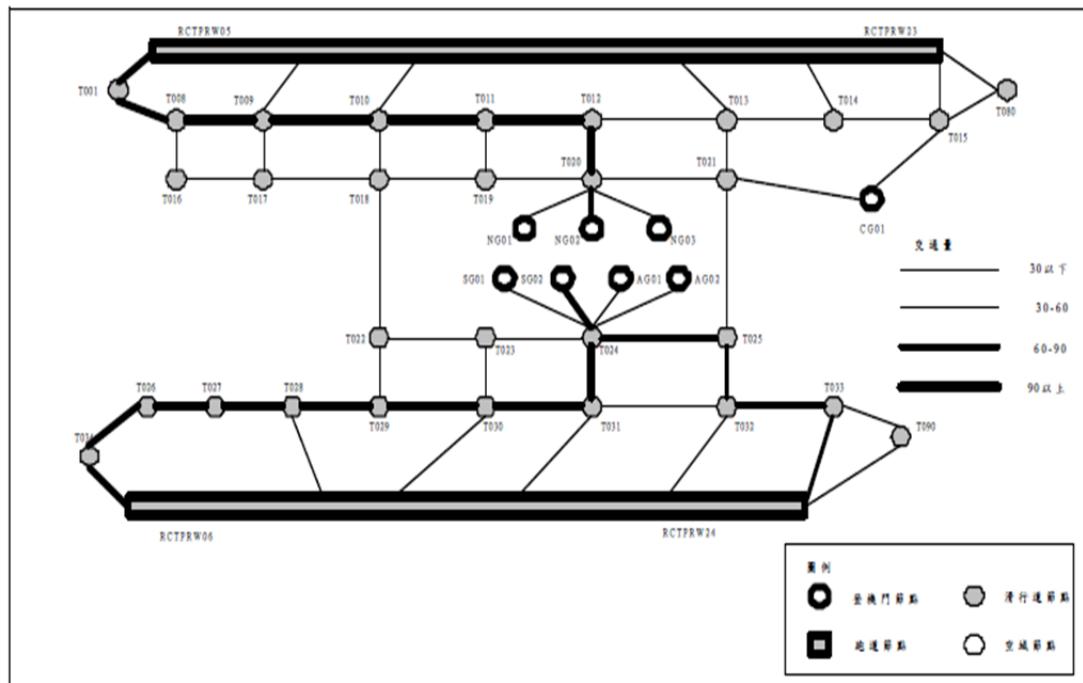


圖 2.27 空側網路架構

資料來源:周立偉,「平行獨立跑道機場模擬模式之構建」,國立成功大學碩士論文,民國 88 年。

3. 空域運作邏輯

(1) 航機推進邏輯:

航機脫離跑道後即進入空域上的第一個節點，為空域邏輯的開始。

空域上之推進過程如下：

- 航機依據所設定的飛航路徑，由空域節點續進至下一空域節點，一直到達飛航路徑的最後一個空域節點(例如落地)後結束。飛航路徑為節點與節線組成。
- 航機於航路節線上之飛航時間主要是以節線距離除以航機平均飛航速度計算而得，若前方交通量擁擠，可以調整航機速度或以雷達引導方式改變航機於節線上之飛航時間。

- c. 航機於航路節線上飛航時，與前後機之間至少需保持最小安全距離。
- d. 航機抵達任一空域節點時，由空域節點控制模組進行邏輯運算，判斷是否續進至下一節點或空中等候。
- e. 當航機於空域節點作空中等候時，具有續進至下一節點的高優先權。

(2) 空域節點控制邏輯：

航機抵達空域節點時，產生抵達空域節點事件，主要目的在判斷航機是否可以續進至下一節點或需空中等候，若下述條件均符合，則航機獲得續進許可。

- a. 航機所在節點無航機等候。
- b. 符合下一節點等候策略。
- c. 下一節線航機數未達容量。
- d. 下一席位管制量未達容量。

(3) 空域節點等候策略：

航機抵達空域節點時，依據下一節點等候策略，判斷航機是否可以續進，而節點等候策略有下列3種。

- a. 目前節點有航機等候時，其他節點不得續進至目前節點。
- b. 目前節點等候量已達容量時，其他節點不得續進至目前節點。
- c. 目前節點等候量加上預計到達數超過容量時，其他節點不得續進至目前節點。

(4) 空域節點抵達次序之決定：

航機獲得續進許可之後，模擬程式接著決定航機抵達下一節點的次序。第一步驟是計算航機抵達下一節點的預計時間，並在下一節點的預計抵達佇列內，以抵達時間先後作為排序。初步完成的排序位置，還必須考慮前後航機的最短時間隔離，若時間隔離足夠，就算完成抵達時間的排序，即可開始續進並加入事件表，否則就必須調

整飛航速度以改變抵達時間，然後重新考慮排序的位置，並以3種節點抵達排序方式，即QFIFO、 SpeedFit 、MultiFit 來模擬。

a.QFIFO

QFIFO是以先到先服務的方式決定新到航機抵達節點時的優先次序。亦即，先加入節點預計抵達佇列的航機優先續進至下一節點，後續抵達的航機則一律排在最後一個位置抵達。

b.SpeedFit

SpeedFit異於先到先服務的方式，新到航機可以較其他前機提早或稍晚，不一定只能排在最後一個位置，同時可調整此一航機速度以達到保持隔離之要求。首先，嘗試正常位置是否可以安插一架新到航機；若不行，則調高速度向前尋找可行位置；若調整到最高速度仍不行，則調低速度向後尋找可行位置，最後才考慮安排在最後一個位置。

c.MultiFit

MultiFit方式與SpeedFit相似，差別在於MultiFit可以嘗試調整排序中的前後各一架航機的速度與抵達時間，使新到航機符合隔離要求而能安插於其中。

4. 空側運作邏輯

機場空側包含跑道與停機坪2個部份，另航機從停機坪滑行至跑到過程也需考慮，分述如下。

(1) 跑道部分：

分為跑道出口與入口點，其跑道使用原則為FIFO(First In First Out)，且到場航機優先於離場航機。當跑道被使用，其他航機禁止進入跑道；而航機於跑道滾行時間則自使用者設定之時間分佈中得知。

(2) 停機坪部分：

即登機門，本身無容量限制且不考慮航機指派使用停機坪與等候問題。離場航機在停機坪取得後推許可後，離開停機坪推進至跑道入口點；到場航機至跑道出口離開跑道推進至停機坪，若該航機仍有下一飛行任務，則加上地勤作業時間(Turn Around Time)，排定下次任務並將之推進至停機坪等候點。

(3) 滑行部分：

此模式僅以一滑行時間表示，而滑行時間則由設定之時間分佈中得知。

5. 資料庫架構

其程式資料庫主要分為五大部分：(1)網路節點資料庫：參考民用航空局飛航指南(AIP)所發佈之儀器飛航離到場程序及航路架構所建立之資料庫。(2)隔離時間資料庫：參考民用航空局頒佈之飛航管制程序(ATP)對航機間隔離之時間標準所建立之資料庫。(3)班表資料庫：依國內及國際班機時刻表所建立之資料庫。(4)節線運行時間資料庫：利用航管自動化系統資料庫(SAR Tape)，推算各機型航機於不同航線所需之在空時間；另利用實地觀察統計，獲得各機型在不同機場地面滑行所需之時間。(5)機型資料庫：參考FAA對機型之分類，將機型依重量概分為A、B、C、D四類所建立之資料庫。

6. 模式應用案例

戴佐敏教授等人於建立完成ANS(Air Net Simulation)模擬模式後，驗證探討於不同進場隔離下，松山機場與桃園機場之運作容量，以總延滯成本最小為評估指標探討最佳進場航機隔離策略。其結果為松山機場以採3分鐘進場隔離間格為最佳，跑道容量可達40架次/小時；

桃園機場則以採4分鐘進場隔離間隔為最佳，跑道容量可達60架次/小時。

後李昀諭【20】運用ANS模擬模式為基礎，修正節線運行時間模組之運作邏輯，並加入可探討天候條件改變之功能，以便於分析除一般正常情形之運作外，諸如跑道方向變換、跑道或機場臨時關閉等不同情境下航機之運作情形，並藉此評估機場容量和因應對策。在應用分析時，以桃園機場為例，在2條跑道為獨立運作的前提下，獲得的跑道容量最高可達90架次/小時之理想值，如以現行將兩條跑道視為一條跑道的情形下，獲得的跑道容量最高為77架次/小時。但這兩項結果都明顯遠高於實際桃園機場跑道運作情形。

俞瑞華【22】亦運用ANS模擬模式為基礎，討論3種策略對航機擁擠情形的改善績效：(1)總量控制策略(metering)：採預測某時段進入某一空域之航機數量將超過其空域容量時，則於空域入口(meter node)採數量管制方式，控制進入航機數量。(2)流量管制策略(flow control)：透過針對空域邊界節點(flow node)，調整通過航機之間的距離與速度，以達到限制進入擁擠空域航機流量之目的。(3)近場台管制策略：為以航管人員依其所受訓練，調整到場航機的速度與空中等待時間，並合理安排離到場順序，以消化空域內之擁擠。研究結果認為近場台管制策略對降低擁擠航情之實施績效優於採取流量管制策略，亦優於採取交通量控制策略。

由於ANS模擬模式主要模擬範圍為終端空域，對航路部分則著墨不多，對大區域之模擬較無適用之能力。張仁達【21】遂以參考SIMMOD的節點節線模擬模式為主架構，納入ANS模擬模式所考量臺北飛航情報區之特性，重新撰寫程式為ANS2.0(Air Net Simulation version 2.0)模擬模式。其輸出結果為節點、節線，席位與航機模擬結果資料，

可用以評估空域績效。節點輸出資料包括航機到達數、航機延滯時間與機場起降架次；節線輸出資料包含單位時間內之航機離到數、最高通過架次與平均每分鐘通過架次；席位輸出資料包含單位時間內之航機離到達數，最高管制架次與平均每分鐘管制架次；航機輸出資料包含各航機的飛行時間、空中等候時間。

第三章 臺北空域現況及飛航服務概述

由於臺北飛航服務區內航路與各種標準離到場程序間關係錯綜複雜，如要進行相關模式分析時，勢必須先對臺北飛航服務區內的空域結構、儀器飛航離到場程序、航空器隔離標準、飛航管制作業等進行瞭解後，方能建立相關模擬模式。

3.1 臺北飛航情報區現況

ICAO於民國42年3月26日劃定「臺灣飛航情報區」(Flight Information Region,FIR)，並由我民航局管轄，另於民國42年8月16日更名為「臺北飛航情報區」(如圖3.1)，且於民國44年10月27日修訂東緣至東經124度，而飛航情報區之劃定涵蓋該區所有提供服務之飛航航路結構（飛航服務規範2.9.2）。

臺北飛航情報區包括以直線順序連接下列6點所成區域內之全部空域：北緯 $21^{\circ}00'$ 東經 $117^{\circ}30'$ 、北緯 $21^{\circ}00'$ 東經 $121^{\circ}30'$ 、北緯 $23^{\circ}30'$ 東經 $124^{\circ}00'$ 、北緯 $29^{\circ}00'$ 東經 $124^{\circ}00'$ 、北緯 $29^{\circ}00'$ 東經 $117^{\circ}30'$ 、北緯 $21^{\circ}00'$ 東經 $117^{\circ}30'$ 。高度從地面或海面開始，上至無限。

本區共計有A1、A577、B576、B591、G581、G86、G587、M646、N892、R583、R595、M750、R596、R200等14條國際線儀器航路（其中R596、R200及部分B591航路僅供兩岸航班使用），W2、W4、W6、W8等4條國內線儀器航路，總計有18條儀器航路。

為便利直昇機等輕型航空器之目視飛航作業，及維護本區目視飛航之安全，另訂定有21條小型航空器目視走廊及H1/H2等2條直昇機目視航線。



圖 3.1 臺北飛航情報區範圍

資料來源：馮英彬，「台北空域簡介與北部空域容量飽和及挑戰」，民航局飛航服務總台。

3.2 空域分類

在航管應用上，空域可區分為2類，一為管制空域（Controlled Airspace），另一為非管制空域（Uncontrolled Airspace）。管制空域是指對儀器飛航及依空域分類對目視飛行提供航管服務所劃定之空域，包含A類空域、B類空域、C類空域、D類空域及E類地表空域、管制空域以外之空域（非管制空域）G類空域，而臺北飛航情報區空域分類如圖3.2所示。

台北飛航情報區空域分類示意圖

90.02.07

「A」類空域，FL201至FL600。

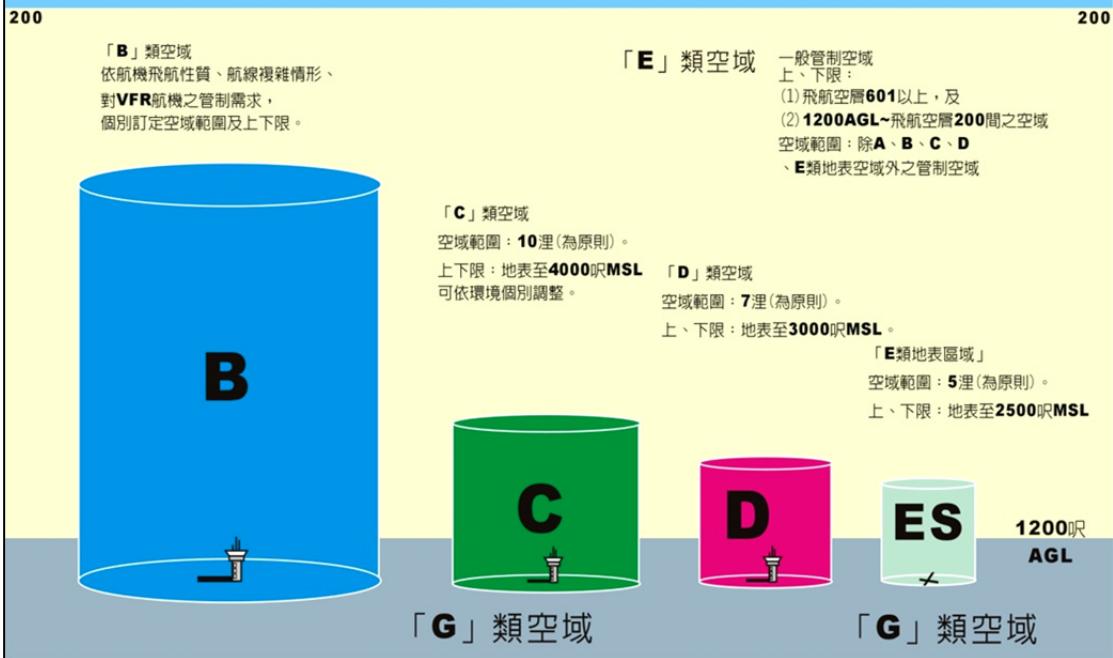


圖 3.2 臺北飛航情報區空域分類示意圖

資料來源：馮英彬，「台北空域簡介與北部空域容量飽和及挑戰」，民航局飛航服務總台。

臺北飛航情報區各類空域內容說明如下，另相關服務及限制如表3-1所示。

1. A類空域：僅允許儀器飛航航空器飛航。所有航空器接受飛航管制及隔離服務。
2. B類空域：允許儀器及目視飛航航空器飛航。所有航空器接受飛航管制及隔離服務。
3. C類空域：允許儀器及目視飛航航空器飛航。所有航空器接受飛航管制服務。航管提供儀器與儀器飛航航空器間，以及儀器與目視飛航航空器間之隔離服務。航管提供目視與目視飛航航空器間之航情諮詢服務。
4. D類空域：允許儀器及目視飛航航空器飛航。所有航空器接受飛航管制服務。航管提供儀器與儀器飛航航空器間之隔離服務。航管

提供儀器飛航航空器有關目視飛航之航情諮詢，以及目視與目視飛航航空器間之航情諮詢服務。

5. E類空域：允許儀器及目視飛航航空器飛航。儀器飛航航空器接受飛航管制服務。航管提供儀器與儀器飛航航空器間之隔離服務。航管對所有航空器提供航情諮詢服務。
6. E類地表空域：允許儀器及目視飛航航空器飛航。儀器飛航航空器接受飛航管制服務。航管提供儀器與儀器飛航航空器間之隔離服務。航管對所有航空器提供航情諮詢服務。
7. G類空域：管制空域外之空域。飛航管制服務僅於駕駛員請求，並經管制員協調相關單位同意後提供。

表 3-1 各類空域之服務及限制

空域 類別	飛航種類	隔離服務	服務種類	目視天氣 能見度及 距雲距離	空速限制	無線電 通信需求	需要 航管 許可
A	僅限 儀器飛航	所有航空器	航管服務	不適用	不適用	持續、雙向 無線電通信	是
B	儀器飛航	所有航空器	航管服務	不適用	低於10000FT不 得超過250KT	持續、雙向 無線電通信	是
	目視飛航	所有航空器	航管服務	依飛航規 則規定之 標準實施	低於10000FT不 得超過250KT	持續、雙向 無線電通信	是
C	儀器飛航	IFR與IFR航空器 IFR與VFR航空器	航管服務	不適用	低於10000FT不 得超過250KT	持續、雙向 無線電通信	是
	目視飛航	VFR與IFR航空器	1. 航管提供與儀器 飛航航空器之隔 離 2. 目視飛航與目視 飛航航空器間，航 管提供相關航情 (如目視航空器要 求，航管提供航情 避讓建議)	依飛航規 則規定之 標準實施	低於10000FT不 得超過250KT	持續、雙向 無線電通信	是
D	儀器飛航	IFR與IFR航空器	航管服務，包括目視	不適用	低於 10000FT	持續、雙向	是

			飛航航空器之相關航情(如航空器要求，航管提供航情避讓建議)		不得超過 250KT	無線電通信	
	目視飛航	無	儀器飛航與目視飛航之相關航情諮詢(如目視航空器要求，航管提供航情避讓建議)	依飛航規則規定之標準實施	低於 10000FT 不得超過 250KT	持續、雙向無線電通信	是
E	儀器飛航	IFR與IFR航空器	航管服務，如工作量許可，包括目視飛航航空器之相關航情	不適用	低於 10000FT 不得超過 250KT	持續、雙向無線電通信	是
	目視飛航	無	通信追蹤服務如工作量許可，航管提供相關航情	依飛航規則規定之標準實施	低於 10000FT 不得超過 250KT	持續、雙向無線電通信	否
E類地表	儀器飛航	IFR與IFR航空器	航管服務，包括目視飛航航空器之相關航情(如航空器要求，航管提供航情避讓建議)	不適用	低於 10000FT 不得超過 250KT	持續、雙向無線電通信	是
	目視飛航	無	儀器飛航與目視飛航之相關航情諮詢(如目視航空器要求，航管提供航情避讓建議)	依飛航規則規定之標準實施	低於 10000FT 不得超過 250KT	持續、雙向無線電通信	是
G	儀器飛航	無	僅於駕駛員請求，並經管制員同意後提供相關航情	不適用	不適用	持續、雙向無線電通信	否
	目視飛航	無	通信追蹤服務	依飛航規則規定之標準實施	不適用	雙向無線電通信	否

資料來源：<http://www.caa.gov.tw/APFile/big5/files/RC-ENR-1.4-zh-TW.pdf>

3.3 臺北飛航服務空域

1. 臺北飛航情報區

臺北飛航情報區的範圍如圖3.3所示，並扣除各終端管制區域、各機場空域，而空域分類包含A類、E類及G類，其詳細資料如表3-2所示。

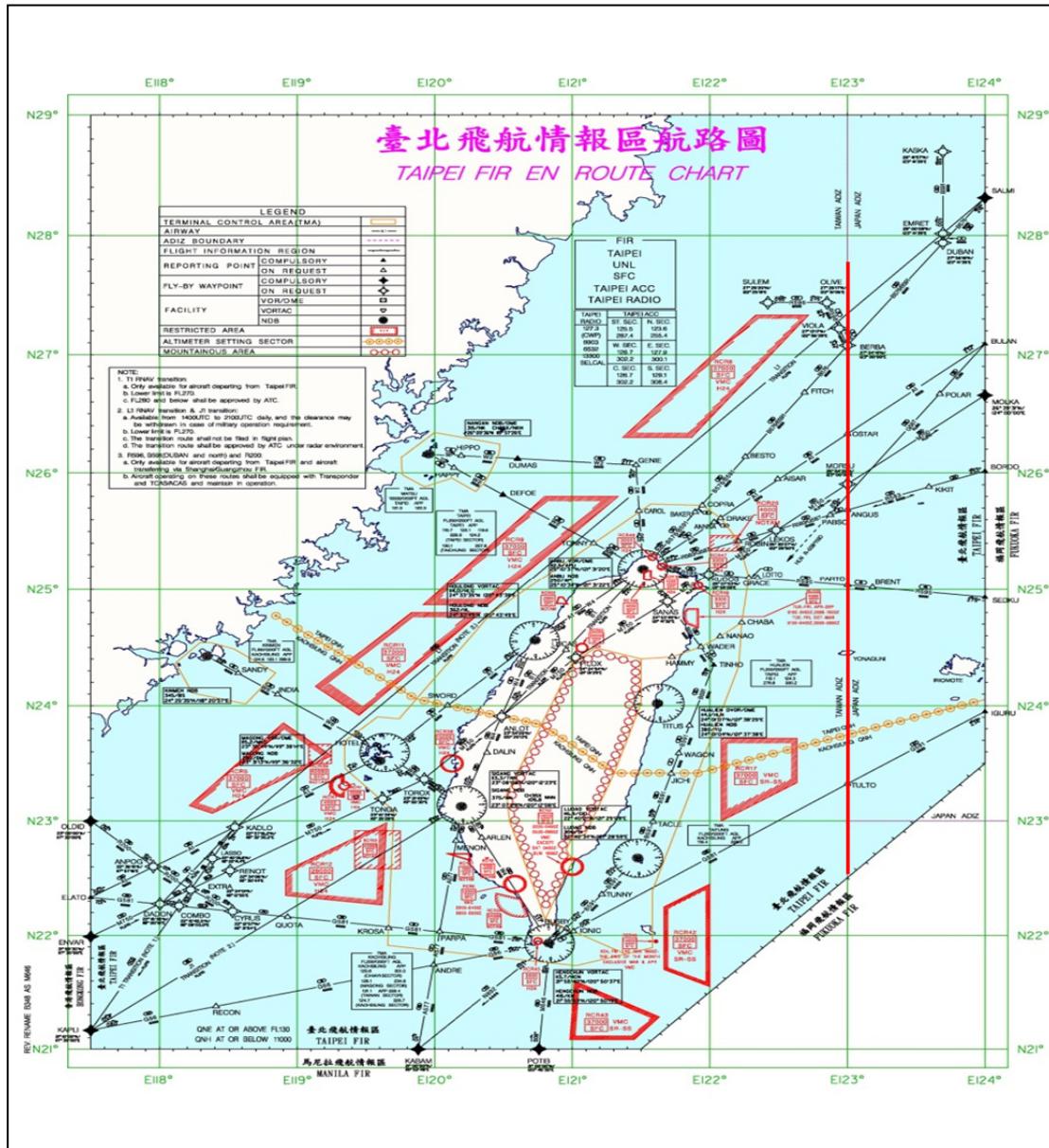


圖 3.3 臺北飛航情報區航路圖

資料來源：<http://eaip.caa.gov.tw/eaip/disclaimer.faces>

表 3-2 臺北飛航情報區空域內容

名稱範圍空域上下限空域類別	提供服務單位	呼號使用語言區域及條件作業時間	頻率(MHz)/用途	備註
1	2	3	4	5
臺北飛航情報區 臺北飛航情報區包括以直線順序連接下列各點所成全區域內之全部空域： 2100N 11730E - 2100N 12130E - 2330N 12400E - 2900N 12400E - 2900N 11730E - 2100N 11730E UNL / GND 空域分類： A: FL600 / FL201 E: FL200 / 1200FT AGL 及 UNL / FL601 G: 管制空域外之空域	臺北區域管制中心	TAIPEI CONTROL Chinese , English H24	125.5 123.6 255.4 126.7 302.2 129.1 308.4 127.9 300.1 126.9 121.5 243 備用頻率 125.8 126.91 128.7 130.3 130.6 283.7 287.4	臺北區域管制中心管制區劃分及高度(上／下限), 請參閱航路 2.1-10-11。
上層飛航情報區：無	臺北航空通信中心	TAIPEI RADIO Chinese , English H24	127.3 一般用途 8903KHz 13300KHz 6532KHz 中西太平洋 通信網	

資料來源：<http://eaip.caa.gov.tw/eaip/disclaimer.faces>

2. 終端管制區域

目前臺北飛航情報區內共有6個終端管制區域，分別為1. 臺北終端管制區域、2. 高雄終端管制區域、3. 花蓮終端管制區域、4. 臺東終端管制區域、5. 金門終端管制區域、6. 馬祖終端管制區域，各自有其服務範圍，如圖3.4及表3-3所示。

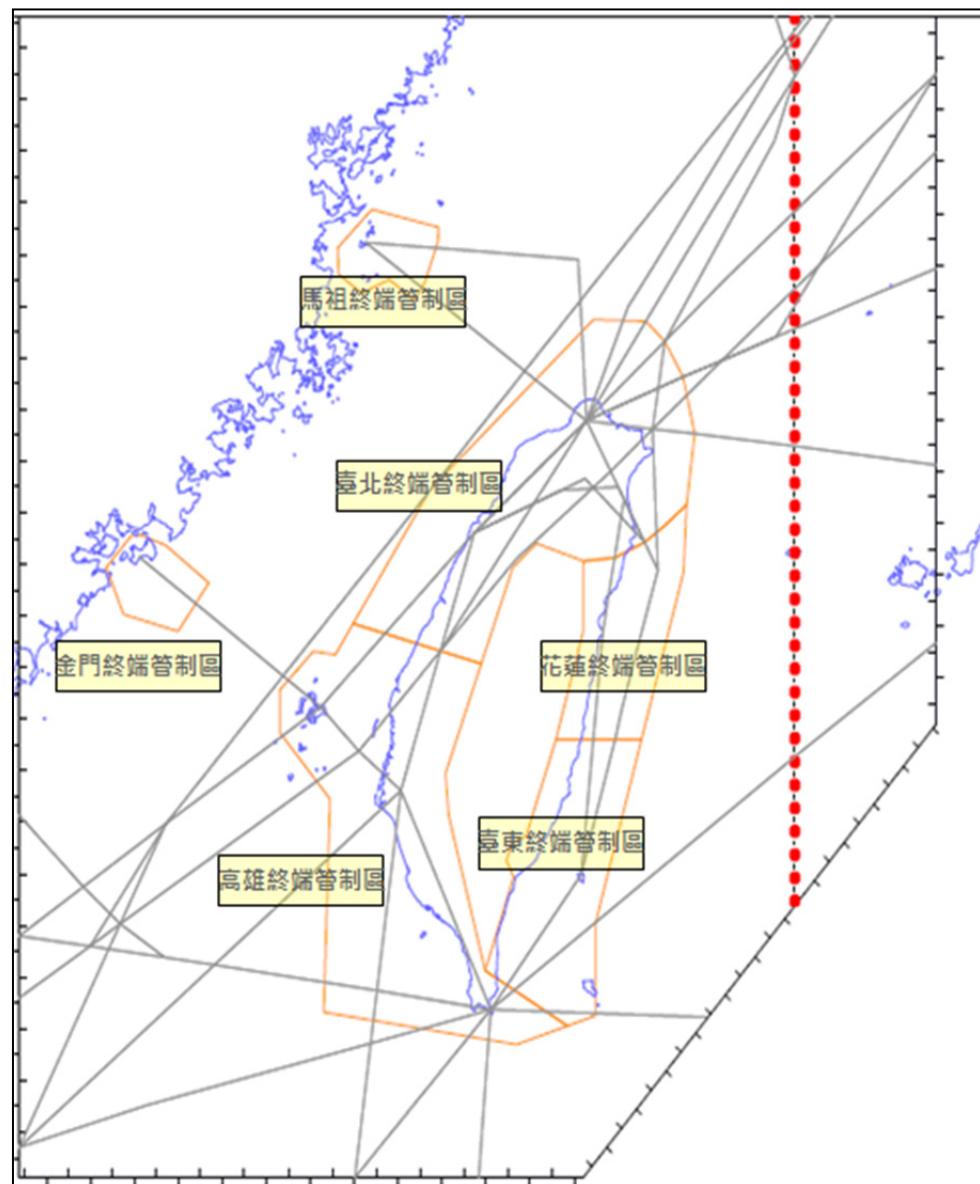


圖 3.4 終端管制區域圖

資料來源：<http://eaip.caa.gov.tw/eaip/disclaimer.faces>

表 3-2 終端管制區域內容

名稱範圍空域上下限空域 類別	提供服務 單位	呼號使用語言 區域及條件作 業時間	頻率 (MHz)/用途	備註
1	2	3	4	5
臺北終端管制區域 以下各點之連線範圍： 254407.33N 1213417.35E 254332.06N 1215636.06E 253656.02N 1220440.61E 252509.00N 1221228.00E 250622.00N 1221723.00E 244248.31N 1221356.42E 243543.75N 1220427.66E 243023.00N 1215605.00E 242511.14N 1214331.59E 242408.00N 1213002.00E 242958.51N 1211007.12E 242200.00N 1210000.00E 235010.83N 1204634.06E 240325.23N 1195202.28E 244800.00N 1202500.00E FL200 / 1200FT AGL 空域分類:E	臺北近場 管制塔臺	TAIPEI APPROACH Chinese , English H24	119.6 119.7 123.5 130.1 257.8 301.5 129.6 370.05 251.3 228 125.1 121.5 243 128.5 預防干擾備用頻 率 124.2 306.6 330.9 120.4 300.6 318.2 125.6 目視飛航通訊追 蹤 119.5 135.8 329.5	
高雄終端管制區域 以下各點之連線範圍： 240325.23N 1195202.28E 235010.83N 1204634.06E 231345.00N 1203120.00E 230000.00N 1203240.00E 220830.00N 1204815.00E 215014.28N 1212317.52E 214405.29N 1210138.82E 215447.16N 1193931.68E 230517.88N 1194213.32E 232720.47N 1192054.43E 234134.03N 1192052.23E 235413.05N 1193506.12E	高雄近場 管制塔臺	KAOHSIUNG APPROACH Chinese , English H24	121.1 124.7 120.6 301 370.05 228.4 324.8 328.7 363.8 121.5 243 預防干擾 備用頻率 120.7 125.7 232.2 120.4 300.6 318.2 目視飛航 通訊追蹤 119.5 135.8 329.5	

235310.58N 1194431.81E FL200 / 1200FT AGL 空域分類:E				
花蓮終端管制區域 以下各點之連線範圍： 242408.00N 1213002.00E 242511.14N 1214331.59E 243023.00N 1215605.00E 243543.75N 1220427.66E 244248.31N 1221356.42E 242029.00N 1221238.74E 232500.00N 1215442.95E 232500.00N 1211818.00E 240100.00N 1213000.00E FL200 / 1200FT AGL 空域分類:E	臺北近場 管制塔臺	TAIPEI APPROACH Chinese , English H24	124 276.8 330.2 247.95 121.5 243 預防干擾 備用頻率 119.1 目視飛航 通訊追蹤 135.8 329.5	
臺東終端管制區域 以下各點之連線範圍， RCR41限航區除外： 232500.00N 1211818.00E 232500.00N 1215442.95E 222352.63N 1213506.66E 215337.32N 1213507.08E 215014.28N 1212317.52E 220830.00N 1204815.00E 223932.76N 1210020.88E 224456.04N 1205717.28E 225040.20N 1205934.08E 225305.64N 1210540.56E FL200 / 1200FT AGL 空域分類:E	高雄近場 管制塔臺	KAOHSIUNG APPROACH Chinese , English H24	119.4 228.2 123.1 235.1 121.5 243 目視飛航通訊追蹤 119.5 329.5	
金門終端管制區域 自243226.88N 1181731.56E，經 243237.68N 1182206.96E，242921.80N 1183222.40E，241656.20N 1185038.50E，240051.20N	高雄近場 管制塔臺	KAOHSIUNG APPROACH Chinese , English H24	124.6 299.6 預防干擾備用頻率 133.1	

1183734.00E, 240632.20N 1181420.30E, 242206.37N 1180701.16E至開始點之連線範圍。 FL160 / 1200FT AGL 空域分類:E				
馬祖終端管制區域 自262036.00N 1200000.00E, 經 261439.00N 1202830.00E, 260939.00N 1202801.00E, 255614.00N 1202227.00E, 255031.00N 1201755.00E, 255720.37N 1200731.92E, 255255.20N 1195537.20E, 255903.16N 1194555.38E, 260750.00N 1194526.00E至開始點之連線範圍。 10000FT / 1200FT AGL 空域分類:E	臺北近場 管制塔臺	TAIPEI APPROACH Chinese , English H24	121 122.3	

資料來源: <http://eaip.caa.gov.tw/eaip/disclaimer.faces>

3. 機場空域

機場空域範圍係以主要機場之參考點為中心，劃設一半徑為範圍，並依個別需求訂定高度上下限，以臺北C類空域為例，即以桃園國機場中心參考點(250449N 1211356E)劃設半徑10NM的圓形，高度從地面算起至7000FT，此圓柱體內的空間即為臺北C類空域。目前臺灣共有21個民用及軍用機場，相關機場空域資料如表3-3所示。

表 3-3 機場空域內容

名稱 範圍 空域 類別	提供服務 單位	呼號 使用語言 區域及條件作 業時間	頻率 (MHz)/用途	備註
1	2	3	4	5
臺北C類空域	臺北近場	TAIPEI		相關塔臺:臺北塔

以臺灣桃園國際機場參考點(250449N 1211356E)中心,10NM半徑所劃圓周以內之範圍，與松山C類空域及龍潭E類地表空域重疊部分為臺北C類空域。 7000FT / GND	管制塔臺	APPROACH Chinese , English H24		臺
高雄D類空域 以高雄國際機場參考點(223437N 1202101E)為中心，7NM半徑所畫圓周以內之範圍，除去2236N以北之部分。 5000FT / GND	高雄近場 管制塔臺	KAOHSIUNG APPROACH Chinese , English H24		相關塔臺：高雄塔臺
松山C類空域 以松山機場參考點(250411N 1213309E)為中心,10NM半徑所畫圓周以內之範圍，除去與臺北C類空域重疊部分。 7000FT / GND	臺北近場 管制塔臺	TAIPEI APPROACH Chinese , English H24		相關塔臺：松山塔臺
嘉義D類空域 以嘉義機場參考點(232716N 1202412E)為中心，7NM為半徑所畫之圓弧以內之範圍。 3000FT / GND	高雄近場 管制塔臺	KAOHSIUNG APPROACH Chinese , English H24		相關塔臺：嘉義塔臺
臺東D類空域 以志航、豐年機場跑道中心點為中心，7NM為半徑所畫兩圓周，並連接兩圓周切線以內之範圍。(臺東／豐年機場參考點：224519N 1210601E) 3000FT / GND	高雄近場 管制塔臺	KAOHSIUNG APPROACH Chinese , English H24		相關塔臺：豐年塔臺 志航塔臺頻率 126.18 236.6 275.8 121.5 234 313.6
金門D類空域 自243031.3N 1182721.5E開始，順時針沿金門機場參	高雄近場 管制塔臺	KAOHSIUNG APPROACH Chinese,		相關塔臺：金門塔臺

考點 (242544N 1182140E)為中心，7NM半徑圓弧至242420.0N 1181405.7E，至開始點之連線範圍。 3000FT / GND		English H24		
花蓮D類空域 以花蓮機場參考點(240124N 1213636E)為中心，7NM為半徑所畫圓周以內之範圍。 3000FT / GND	臺北近場管制塔臺	TAIPEI APPROACH Chinese , English H24		相關塔臺:花蓮塔臺
新竹D類空域 以新竹機場參考點(244900N 1205600E)為中心，7NM為半徑所畫圓周以內之範圍。 3000FT / GND	臺北近場管制塔臺	TAIPEI APPROACH Chinese , English H24		相關塔臺:新竹塔臺頻率 118.4 121.2 126.18 236.6 275.8 243
岡山D類空域 以岡山機場參考點(224720N 1201542E)為中心，7NM半徑所畫圓周以內範圍，除去12014E以西之範圍。 3000FT / GND	高雄近場管制塔臺	KAOHSIUNG APPROACH Chinese , English H24		相關塔臺:岡山塔臺頻率 236.6 126.18 121.5 243
馬公D類空域 以馬公機場參考點(233407N 1193742E)為中心，7NM圓弧半徑所畫圓周以內之範圍。 3000FT / GND	高雄近場管制塔臺	KAOHSIUNG APPROACH Chinese , English H24		相關塔臺:馬公塔臺
屏東D類空域 以屏東南、北機場之間座標224130N 1202730E為中心，7NM半徑所畫圓周以內範圍，除去2236N以南之範圍及與岡山D類空域重疊之範圍。 3000FT / GND	高雄近場管制塔臺	KAOHSIUNG APPROACH Chinese , English H24		相關塔臺:屏東北場塔臺屏東南場塔臺頻率 126.18 236.6

臺中D類空域 以臺中/清泉崗機場參考點 (241554N 1203715E)為中 心，7NM半徑所畫圓周以內 之範圍。 3500FT / GND	臺北近場 管制塔臺	TAIPEI APPROACH Chinese , English H24		相關塔臺：清泉崗 塔臺
臺南D類空域 以臺南機場參考點 (225657N 1201240E)為中 心，7NM半徑所畫圓周以內 範圍，除去12014E以東之範 圍。 3000FT / GND	高雄近場 管制塔臺	KAOHSIUNG APPROACH Chinese , English H24		相關塔臺：臺南塔 臺
馬祖D類空域 自262036N 1200000E開 始，順時針沿馬祖/北竿機 場參考點(261327N 1200010E)為中心，7NM半 徑圓弧，至260945N 1200647E，至260553N 1200407E，順時針沿馬祖/ 南竿機場參考點(260935N 1195730E)為中心，7NM半徑 圓弧，至261202N 1195013E，至開始點連線範 圍 3000FT / GND	臺北近場 管制塔臺	TAIPEI APPROACH Chinese , English H24		相關塔臺：馬祖/ 南竿塔臺馬祖/北 竿塔臺
綠島E類地表空域 以綠島機場參考點 (224024N 1212758E)為中 心，5NM為半徑所畫圓周以 內之範圍。 2500FT / GND	綠島塔臺	LUDAO TOWER Chinese, English 00:00-09:00 (UTC)		
蘭嶼E類地表空域 以蘭嶼機場參考點 (220140N 1213205E)為中 心，5NM為半徑所畫圓周以 內之範圍。	蘭嶼塔臺	LANYU TOWER Chinese , English 00:00-09:00 (UTC)		

2500FT / GND				
龍潭E類地表空域 以龍潭機場參考點 (245106N 1211405E)為中心，5NM半徑所畫圓周以內範圍，除去與臺北C類空域重疊部分。 2500FT / GND	龍潭塔臺	LONGTAN TOWER Chinese, English 23:30-13:30 (UTC)	135.1 135.3 135.5 241.8 242 (286)	
新社E類地表空域 以新社機場參考點 (241350.4N 1204854.5E) 為中心，5NM半徑所畫圓周以內範圍，除去與臺中D類空域重疊部分。 3000FT / GND	新社塔臺	SINSHE TOWER Chinese, English 23:30-13:30(U TC)	135.1 135.3 135.5 241.8 242 (286)	新社機場使用東航線。
歸仁E類地表空域 以歸仁機場參考點 (225853.8N 1201703.8E) 為中心，5NM半徑所畫圓周，自臺南D類空域東邊界至岡山D類空域北邊界以內範圍。 2500FT / GND	歸仁塔臺	GUEIREN TOWER Chinese , English 23:30-13:30(U TC)	135.1 135.3 135.5 241.8 242 (286)	歸仁機場使用東航線。
恆春E類地表空域 係以恆春機場參考點 (220227N 1204349E)為中心，5NM半徑所劃圓周以內之範圍，除去與RCR45限航區重疊部分。 2500FT / GND	恆春塔臺	HENGCHUN TOWER Chinese , English 02:30-07:30(U TC)		
左營機場航線 以224215N 1201623E為中心，2.6NM半徑所畫圓周以內範圍。 1000FT / GND	左營塔臺	左營塔臺 國語 23:30-13:30(U TC)	320 (324) (325)	左營塔臺負責該機場航線區域內之機場管制。 塔臺工作特性：塔臺依航空器任務派遣或接獲要求開放之通報後執行機場管制。

				CGT太康臺 頻率：波道121X 224231.17N 1201646.83E
--	--	--	--	--

資料來源：<http://eaip.caa.gov.tw/eaip/disclaimer.faces>

3.4 儀器飛航程序

「儀器飛航程序」是一系列預設且有順序性之飛航程序與航線，以供航空器自起飛機場飛航至目的地機場。儀器飛航程序依導航特性區分，可分為2種：

1. 參考無線電台設計的「傳統導航設施程序」。
2. 點對點(Point to Point)飛行的「區域航行(RNAV, Area Navigation)程序」。

儀器飛航程序依飛行階段區分，主要包括4種程序，以構築航空器自起飛機場飛航至目的地機場之飛行路線，此4種程序依飛航順序為：

3. 標準儀器離場(SID, Standard instrument Departure)：自終端(起飛機場)起飛爬升至加入航路之轉換程序(飛行路徑)。
4. 航路(Airway)：通道式之管制區域，為航空器巡航飛行之主要幹道，為點與點間連接所組成。
5. 標準終端到場(STAR, Standard Terminal Arrival Route)：自航路脫離下降至終端區域內目的地機場之儀器進場定位點的過渡程序(飛行路徑)。
6. 標準儀器進場程序(SIAP, Standard Instrument Approach Procedure)：最初進場定位點至落地之飛航程序，主要目的為能精準導引航空器飛航下降至目的地機場跑道。

本組預定於106年開始辦理建置空域模擬模式的研究，因此將以桃園機場為案例進行評估，目前桃園國際機場儀器飛航程序包括離、

到場航線部分，計有13個離場程序(SID)、10個到場程序(STAR)及12個進場程序(SIAP)，但是實際作業的SID與STAR是以RNAV為主，SIAP則以ILS為主。

表 3-4 桃園機場儀器飛航程序列表

離場程序(SID)
1. SPRAY ONE RADAR DEPARTURE (SP1) 2. AJENT ONE GOLF RNAV DEPARTURE (AJ1G) 3. AJENT ONE MIKE RNAV DEPARTURE (AJ1M) 4. NEPAS TWO GOLF RNAV DEPARTURE (NP2G) 5. NEPAS TWO MIKE RNAV DEPARTURE (NP2M) 6. NEPAS TWO ROMEO RNAV DEPARTURE (NP2R) 7. NEPAS TWO TANGO RNAV DEPARTURE (NP2T) 8. OCTAN TWO GOLF RNAV DEPARTURE (OT2G) 9. OCTAN TWO MIKE RNAV DEPARTURE (OT2M) 10. OCTAN TWO ROMEO RNAV DEPARTURE (OT2R) 11. OCTAN TWO TANGO RNAV DEPARTURE (OT2T) 12. PIANO ONE ALFA RNAV DEPARTURE (PA1A) 13. PIANO ONE BRAVO RNAV DEPARTURE (PA1B)
到場程序(STAR)
1. BAKER ONE ALFA RNAV ARR (BK1A) 2. BAKER ONE BRAVO RNAV ARR (BK1B) 3. DRAKE ONE ALFA RNAV ARR (DR1A) 4. DRAKE ONE BRAVO RNAV ARR (DR1B) 5. GRACE ONE ALFA RNAV ARR (GR1A) 6. GRACE ONE BRAVO RNAV ARR (GR1B) 7. SIGANG ONE ALFA RNAV ARR (SA1A) 8. SIGANG ONE BRAVO RNAV ARR (SA1B) 9. TONGA ONE ALFA RNAV ARR (TG1A) 10. TONGA ONE BRAVO RNAV ARR (TG1B)
進場程序(SIAP)
1. ILS or LOC RWY05L 2. ILS RWY05L (CAT II) 3. ILS or LOC RWY05R 4. ILS RWY05R (CAT II) 5. ILS or LOC RWY23L 6. ILS RWY23L (CAT II) 7. ILS or LOC RWY23R

8. ILS RWY23R (CAT II)
9. RNAV (GNSS) RWY05L
10. RNAV (GNSS) RWY05R
11. RNAV (GNSS) RWY23L
12. RNAV (GNSS) RWY23R

本研究整理

資料來源：<http://eaip.caa.gov.tw/eaip/disclaimer.faces>

1.離場程序(SID)

(1)AJ1G、AJ1M離場程序(如圖3.5)

以離場程序AJENT ONE GOLF RNAV DEPARTURE (AJ1G)為例，航機從跑道RWY05L/05R離場後，沿著航路HDG持續爬升至600ft，直行至TP050/TP060點位後，左彎至NOVAS點位後，再延西南方向依序航行至DECOY、SUMER、CHALI、CANDY、AJENT、CABBY、PARPA點位後，加入後續航路；其中經過SUMER點位時，航高至少須達到4,000ft，而經過GABBY點位時，航高至少須達到FL300。若航機從跑道RWY23R/23L離場後，沿著航路HDG持續爬升至600ft，直行至TP230/TP240點位後，向右至SUMER點位後，再延西南方向依序航行至CHALI、CANDY、AJENT、CABBY、PARPA點位後，加入後續航路；其中經過SUMER點位時，航高至少須達到4,000ft，而經過GABBY點位時，航高至少須達到FL300。

另離場程序AJENT ONE MIKE RNAV DEPARTURE (AJ1M)，航機從跑道RWY05L/05R離場後，沿著航路HDG持續爬升至600ft，直行至TP050/TP060點位後，左彎至NOVAS點位，再延西南方向依序航行至DECOY、SUMER、CHALI、CANDY、AJENT、MKG點位後，加入後續航路；其中經過SUMER點位時，航高至少須達到4,000ft。若航機從跑道RWY23R/23L離場後，沿著航路HDG持續爬升至600ft，直行至TP230/TP240點位後，向右至SUMER點位，再延西南方向依序航行至CHALI、CANDY、AJENT、MKG點位後，

加入後續航路；其中經過SUMER點位時，航高至少須達到4,000ft。

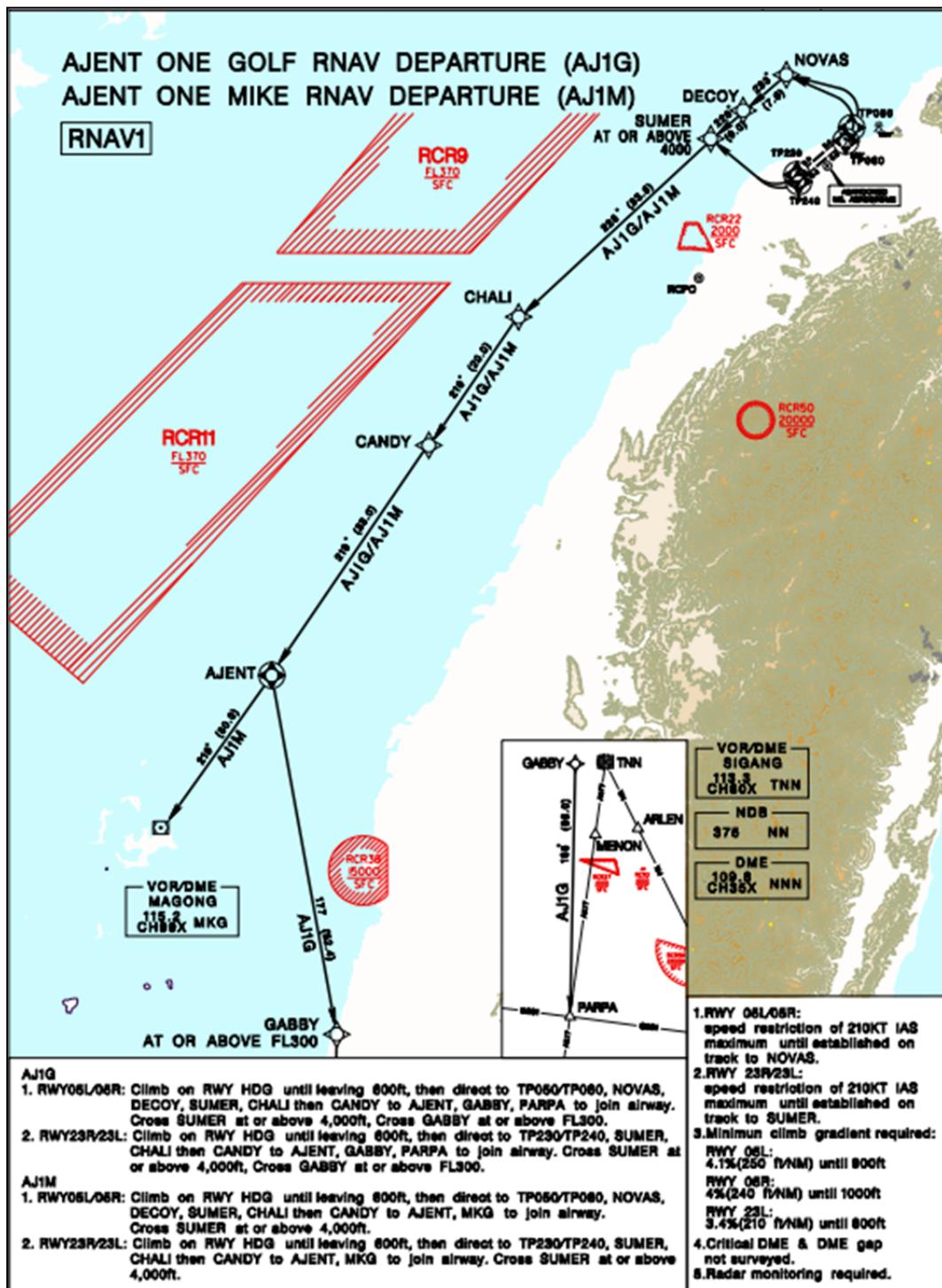


圖 3.5 離場程序(AJ1G、AJ1M)圖

資料來源：<http://eaip.caa.gov.tw/eaip/disclaimer.faces>

(2)NP2G、NP2M、NP2R、NP2T離場程序(如圖3.6)

以RWY05L離場而言，沿著航路HDG持續爬升至600ft，直行至TP050、NEPAS點位後，再依不同離場程序續進。

- a. NEPAS TWO GOLF RNAV DEPARTURE(NP2G)離場程序:離開
NEPAS點位後續進到KUDOS點位，其中經過NEPAS點位時，高度至少須高於4,500ft。
- b. NEPAS TWO MIKE RNAV DEPARTURE(NP2M)離場程序:離開
NEPAS點位後續進到ROBIN、PABSO、KIKIT與MOLKA點位。
- c. NEPAS TWO ROMEO RNAV DEPARTURE(NP2R)離場程序:離開
NEPAS點位後續進到ROBIN點位。
- d. NEPAS TWO TANGO RNAV DEPARTURE(NP2T)離場程序:離開
NEPAS點位後續進到TINHO點位，其中經過NEPAS點位時，高度至少須高於4,500ft。

以RWY05R離場而言，沿著航路HDG持續爬升至600ft，直行至TP064、NEPAS點位後，再依不同離場程序續進。

- a. NEPAS TWO GOLF RNAV DEPARTURE(NP2G)離場程序:離開
NEPAS點位後續進到KUDOS點位，其中經過NEPAS點位時，高度至少須高於4,500ft。
- b. NEPAS TWO MIKE RNAV DEPARTURE(NP2M)離場程序:離開
NEPAS點位後續進到ROBIN、PABSO、KIKIT與MOLKA點位。
- c. NEPAS TWO ROMEO RNAV DEPARTURE(NP2R)離場程序:離開
NEPAS點位後續進到ROBIN點位。
- d. NEPAS TWO TANGO RNAV DEPARTURE(NP2T)離場程序:離開
NEPAS點位後續進到TINHO點位，其中經過NEPAS點位時，高度至少須高於4,500ft。

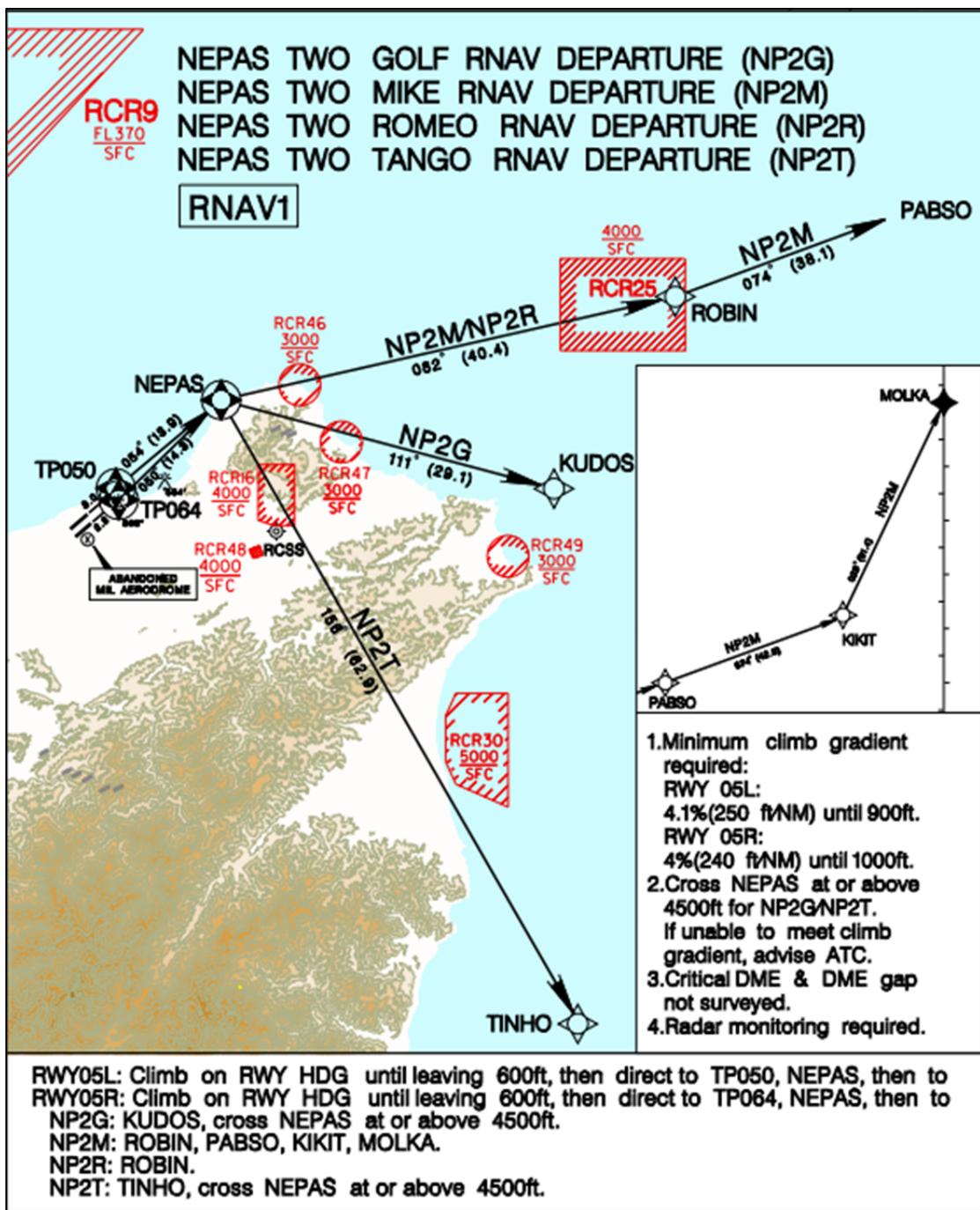


圖 3.6 離場程序(NP2G、NP2M、NP2R、NP2T)圖

資料來源：<http://eaip.caa.gov.tw/eaip/disclaimer.faces>

2. 到場程序(STAR)

(1) BK1A、BK1B、DR1A、DR1B、GR1A、GR1B到場程序(如圖3.7)

以RWY05L/05R為降落方向時，相關程序如下。

a. BAKER ONE ALFA RNAV ARR (BK1A)到場程序是從航路B576飛來，並依序至BAKER、SEPIA、AUGUR、APRIL、MARCH、FETUS與JAMMY點位。

b. DRAKE ONE ALFA RNAV ARR (DR1A)到場程序是從航路A1飛來，並依序至DRAKE、SEPIA、AUGUR、APRIL、MARCH、FETUS與JAMMY點位。

c. GRACE ONE ALFA RNAV ARR (GR1A) 到場程序是從航路R595飛來，並依序至GRACE、SEPIA、AUGUR、APRIL、MARCH、FETUS與JAMMY點位。

以RWY23R/23L為降落方向時，相關程序如下。

a. BAKER ONE ALFA RNAV ARR (BK1B) 到場程序是從航路B576飛來，並依序至BAKER、SEPIA與AUGUR點位。

b. DRAKE ONE ALFA RNAV ARR (DR1B) 到場程序是從航路A1飛來，並依序至DRAKE、SEPIA與AUGUR點位。

c. GRACE ONE ALFA RNAV ARR (GR1B)到場程序是從航路R595飛來，並依序至GRACE、SEPIA、AUGUR與APRIL點位。

航機下降規定部分，以RWY05L/05R為降落方向時，經過COPRA、DRAKE或GRACE時，高度必須維持FL200；另以RWY23R/23L為降落方向時，經過COPRA、DRAKE或GRACE時，高度必須低於FL140。

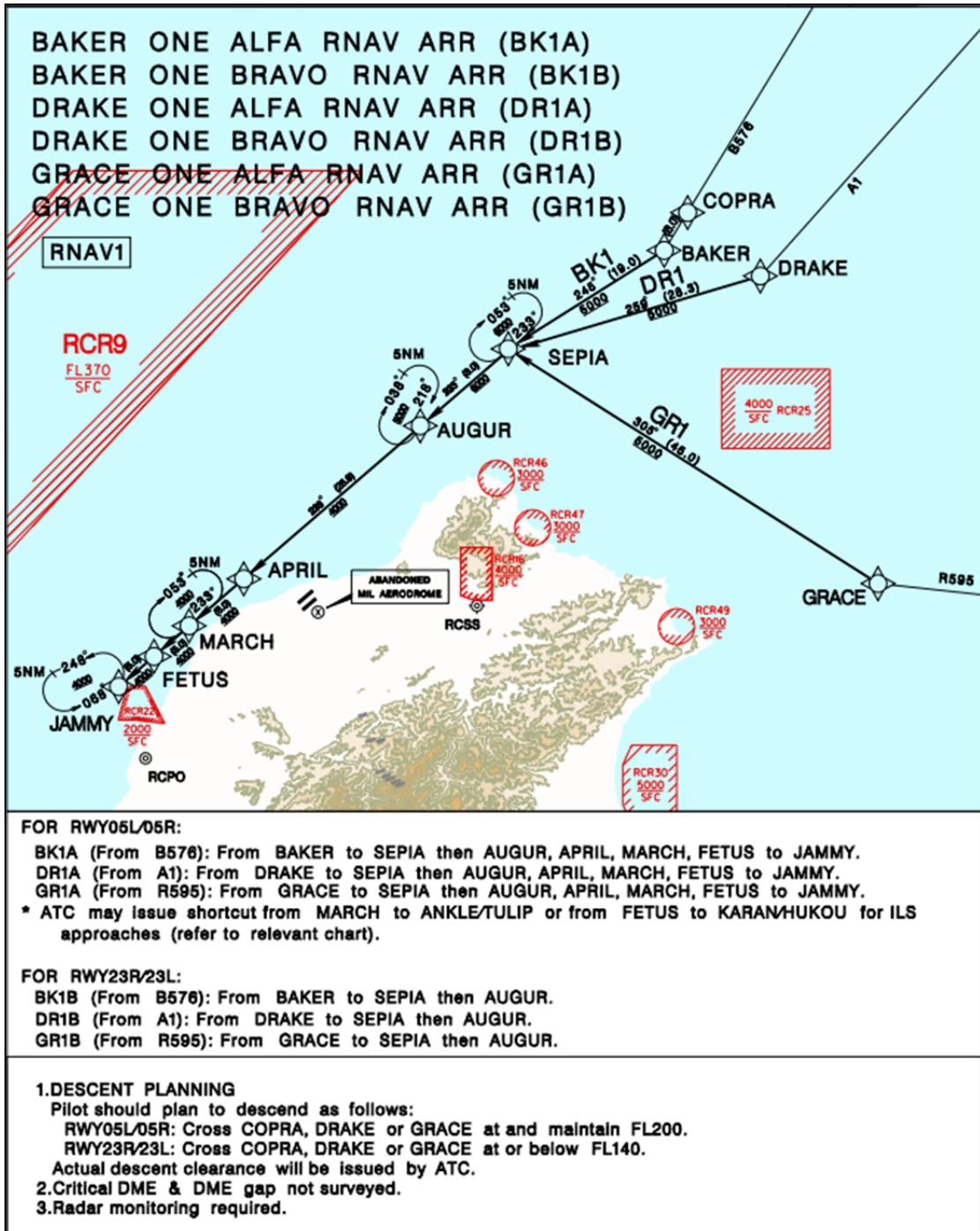


圖 3.7 到場程序(BK1A、BK1B、DR1A、DR1B、GR1A、GR1B)圖

資料來源：<http://eaip.caa.gov.tw/eaip/disclaimer.faces>

(2) SA1A、SA1B、TG1A、TG1B到場程序(如圖3.8)

以RWY05L/05R為降落方向時，相關程序如下。

- a. SIGANG ONE ALFA RNAV ARR (SA1A)到場程序是從航路W4/A577飛至TNN/NN點位後，依序至MEICH、BRAVO與JAMMY點位。
- b. TONGA ONE ALFA RNAV ARR (TG1A)到場程序是從航路M750飛至TONGA點位後，依序至BOCCA、ELBER與JAMMY點位。

以RWY23R/23L為降落方向時，相關程序如下。

- a. SIGANG ONE BRAVO RNAV ARR (SA1B)到場程序是從航路W4/A577飛至TNN/NN點位後，依序至MEICH、BRAVO、JAMMY、MAYOR、JUNTA、JUROR與AUGUR點位。
- b. TONGA ONE BRAVO RNAV ARR (TG1B)到場程序是從航路M750飛至TONGA點位後，依序至BOCCA、ELBER、JAMMY、MAYOR、JUNTA、JUROR與AUGUR點位。

航機下降規定部分，經過BOCCA/MENON/ARLEN時，高度必須維持FL290，但航管人員仍可依實際狀況人工管制。

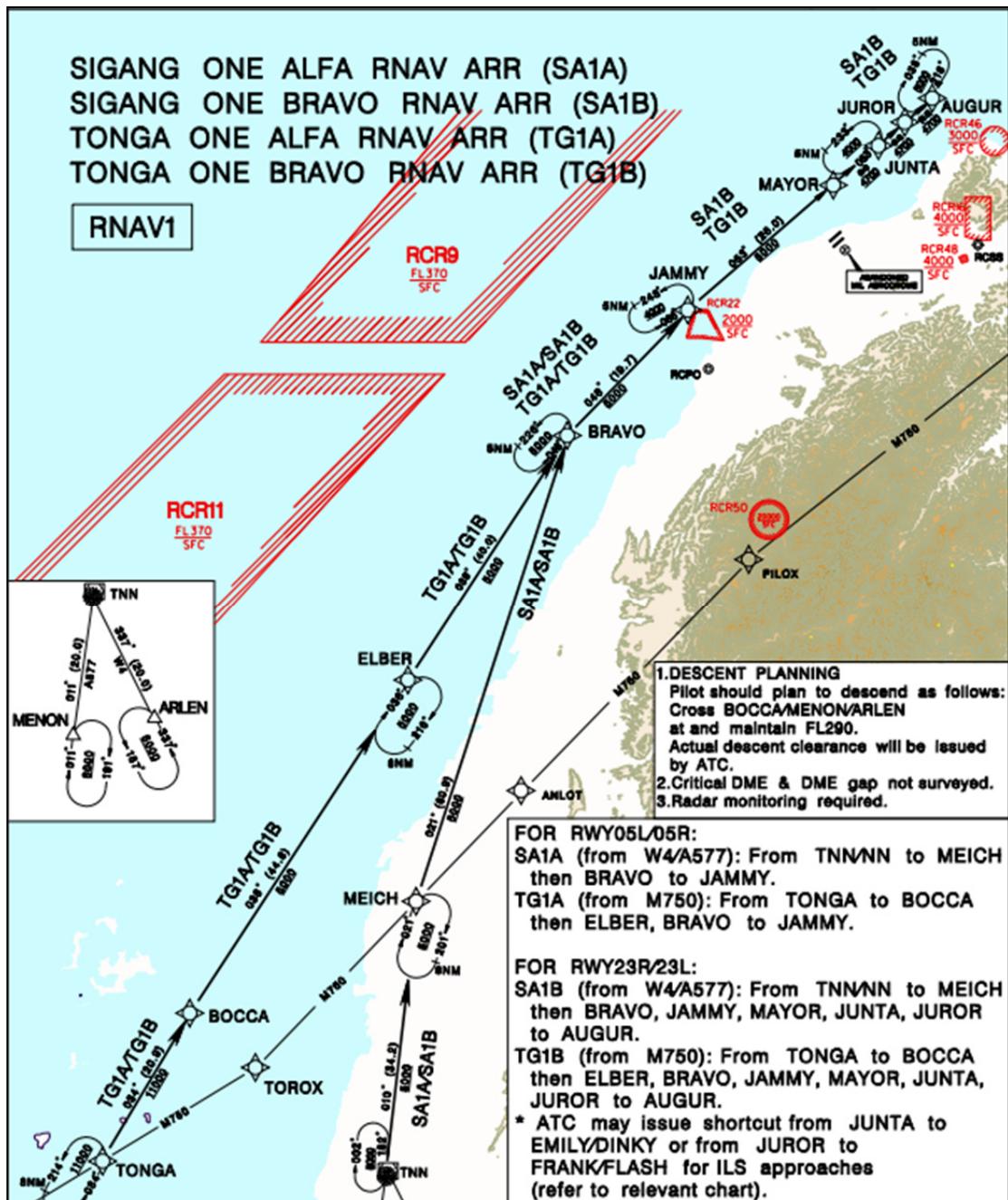


圖 3.8 到場程序(SA1A、SA1B、TG1A、TG1B)圖

資料來源: <http://eaip.caa.gov.tw/eaip/disclaimer.faces>

2.進場程序(SIAP)

(1) ILS or LOC RWY05L進場程序(如圖3.9)

航機到達進場程序時便是準備降落(Lading)，以ILS or LOC RWY05進場程序為例，航機到KARAN點位時高度降至4,000ft，以53度角方向前進ANKLE點位，高度降至2,500ft，再持續以53度角方向前

進FAP/FAF點位，高度降至1,400ft，隨後航機以俯衝3度角降落RWY05L跑道。

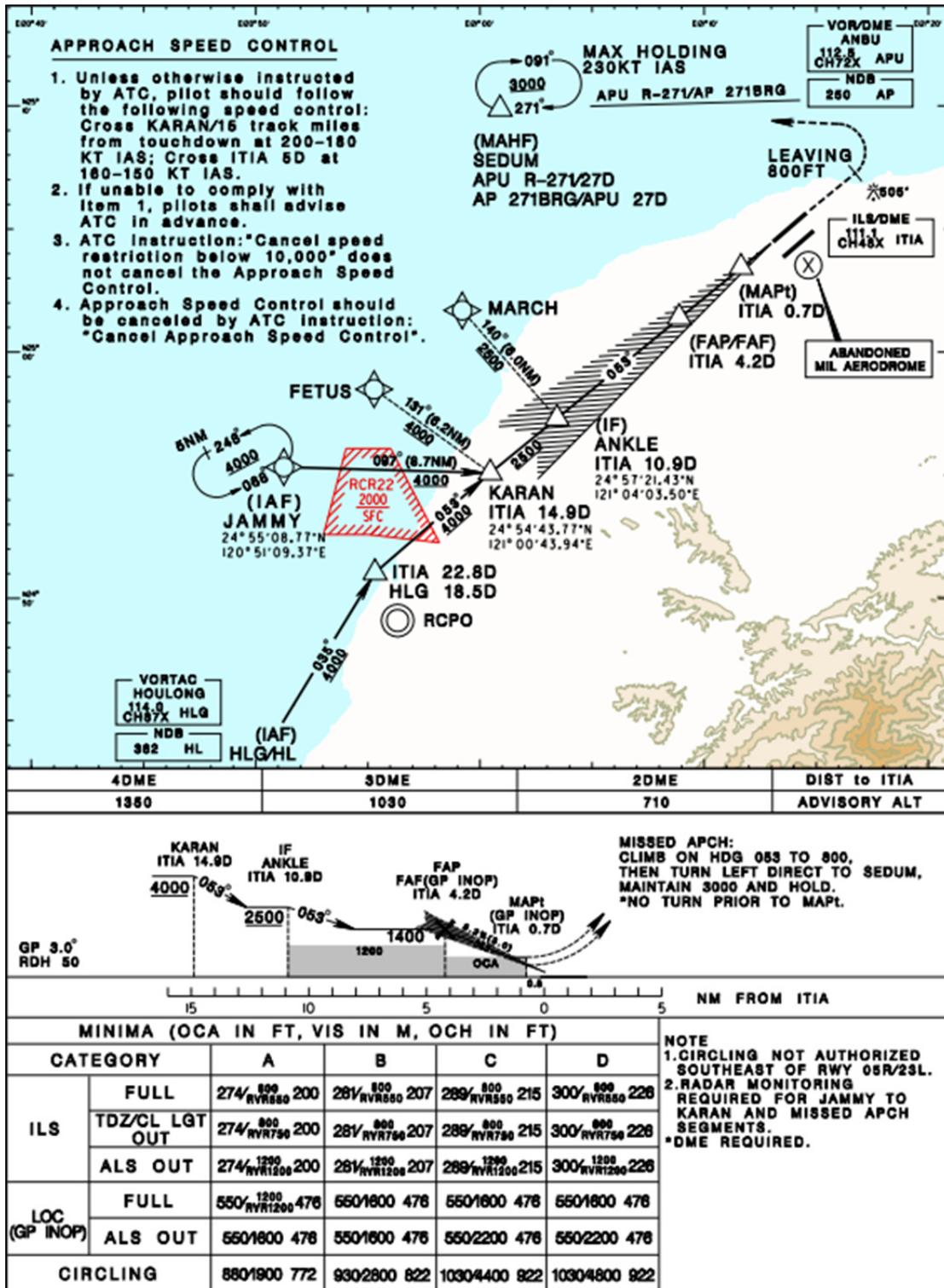


圖 3.9 進場程序(ILS or LOC RWY05L)圖

資料來源: <http://eaip.caa.gov.tw/eaip/disclaimer.faces>

(2) ILS or LOC RWY23L進場程序(如圖3.10)

ILS or LOC RWY23L進場程序則是準備降落跑道23L，航機到DINKY點位時高度降至3,500ft，後以233度角方向前進FAP/FAF點位，此時高度降至2,000ft，隨後航機以俯衝3度角降落RWY23L跑道。

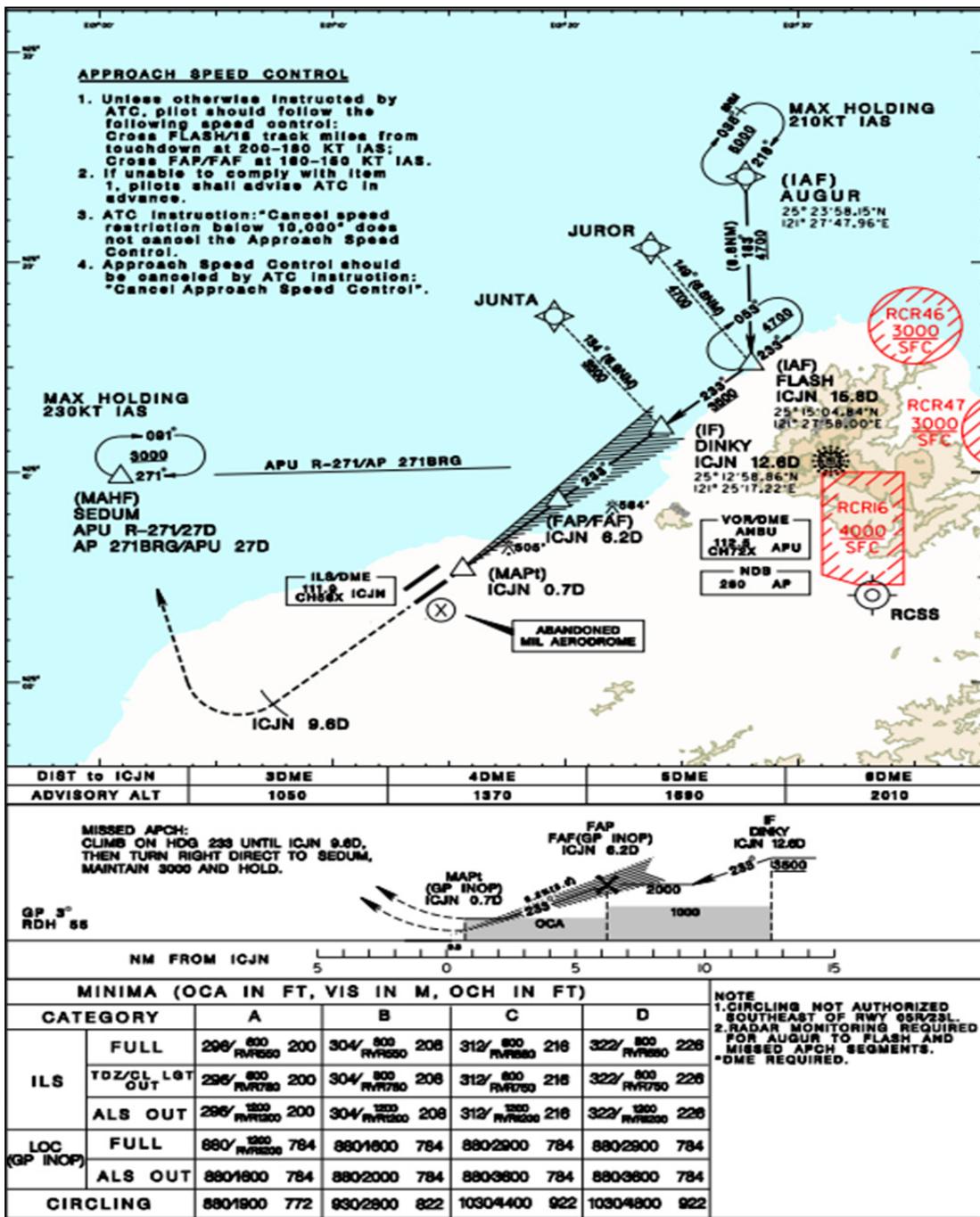


圖 3.10 進場程序(ILS or LOC RWY23L)圖

資料來源: <http://eaip.caa.gov.tw/eaip/disclaimer.faces>

3.5 隔離標準

依據交通部民用航空局與空軍司令部2013年公布的「飛航管理程序(ATMP)」規定，飛行中航空器間的最低隔離標準，視飛航管制所擁有的裝備而不同，一般分為「非雷達隔離標準」與「雷達隔離標準」，而在運用效率上採用「雷達隔離標準」明顯比「非雷達隔離標準」較佳，目前民航局飛航服務總臺係採用「雷達隔離標準」，因此只針對該項隔離標準規定進行說明。

- 管制員在下列航空器間提供雷達隔離：
- 1.已雷達識別之航空器。
 - 2.起飛之航空器與已雷達識別之航空器間，如起飛之航空器將在跑道末端1浬內被雷達識別。
 - 3.已雷達識別之航空器與未雷達識別之航空器間，且當許可其中之一爬升/下降穿越另一航空器之空層時，需合於下列條件：
 - 1.雷達系統性能良好，至少初級雷達目標可顯示於航情顯示器上，且在提供雷達隔離之空域內，且
 - 2.未雷達識別航空器之飛航資料顯示，在提供隔離之空域內預期有良好之初級雷達目標迴波顯示，且
 - 3.航管自動化系統作業時，在提供雷達隔離之空域，距離航情顯示器邊緣應不小於10浬：且顯示器範圍可依作業需求調整，於完成調整後提供距顯示器邊緣10浬之雷達隔離。
 - 4.已雷達識別之航空器與所有觀察到的初級雷達及次級雷達目標間，應保持雷達隔離直至與未雷達識別航空器間建立非雷達隔離為止，且
 - 5.當航空器間航向相近時，於頒發爬升／下降許可前，應引導已雷達識別之航空器與未雷達識別航空器之航線保持足夠之距離，以避免目標重疊。

隔離最低標準除飛航服務主管機關另行規定，使用雷達及/或ADS-B時航空器之最低水平隔離為5浬。

1. 使用單一雷達信號源時，航空器隔離之最低標準：

- (1) 距雷達天線小於40浬-3浬。
- (2) 距雷達天線40浬或以外-5浬。

2. 終端：航管單位提報並經民航局個案核准後得應用3浬隔離。

3. 由前述區域進入航路管制區域，隔離由3浬隔離漸增為5浬或以上時，需符合下列條件：

- (1) 兩航空器在分歧之航線／航道，及／或
- (2) 前一航空器保持較快之空速，及
- (3) 兩航空器間之隔離持續增加，第一位航路管制員在航空器離開其管制區前，將建立5浬或其他適當隔離，及
- (4) 本程序已納入相關單位間之協議書內，並限制於特定航線及／或管制區／管制席間始可實施。

4. 機尾亂流程序在一航空器之後，或在一航空器之後且空層在其下方不足1,000呎時，或跟隨實施儀器進場之航空器時，採下列隔離：(由於機尾亂流之影響，兩平行跑道間之距離少於760公尺/2,500呎時應視為同一跑道。)

- (1) 重型跟隨重型-4浬。
- (2) 中型跟隨重型-5浬。
- (3) 輕型跟隨重型-6浬。
- (4) 輕型跟隨中型-5浬。

5. 終端：除4項次之外，若使用同一跑道兩前後進場之航空器，或一架實施連續起降、落地後起飛或低空通過，在前一航空器通過跑道頭時，另需確定有以下最低隔離：(由於機尾亂流之影響，兩平行跑道間之距離少於760公尺/2,500呎時應視為同一跑道。)

- (1) 輕型跟隨中型-5浬。

(2)輕型跟隨重型-6浬。

6.航空器間沒有左右隔離時，應提供垂直隔離，並且須隨時監視到有效之高度資料，並確保有適當之隔離標準時，才指定空層給航空器。

雷達隔離的3~5浬的前後隔離與左右隔離，都是屬於同一平面(2D)上的水平隔離，然而天空是屬於三度(3D)空間，水平隔離加上高度隔離的搭配運用才能發揮三度(3D)空間的效能。因此，雷達隔離與高度隔離搭配運用是航管人員在確保航機間安全隔離時最常使用的方式，不需要同時保持雷達隔離與高度隔離，只要同一時間有任何一種隔離存在，即代表航機間有足夠的安全距離。圖3.11表示兩航空器間高度雖不足1000呎，但兩航機間之水平距離已大於雷達隔離所需之3或5浬隔離，兩航機間有足夠之安全距離。圖3.12表示兩航空器間水平距離雖不足雷達隔離所需之3或5浬隔離，但兩航機間之高度差已大於1000呎，因此兩航機間也有足夠之安全距離。

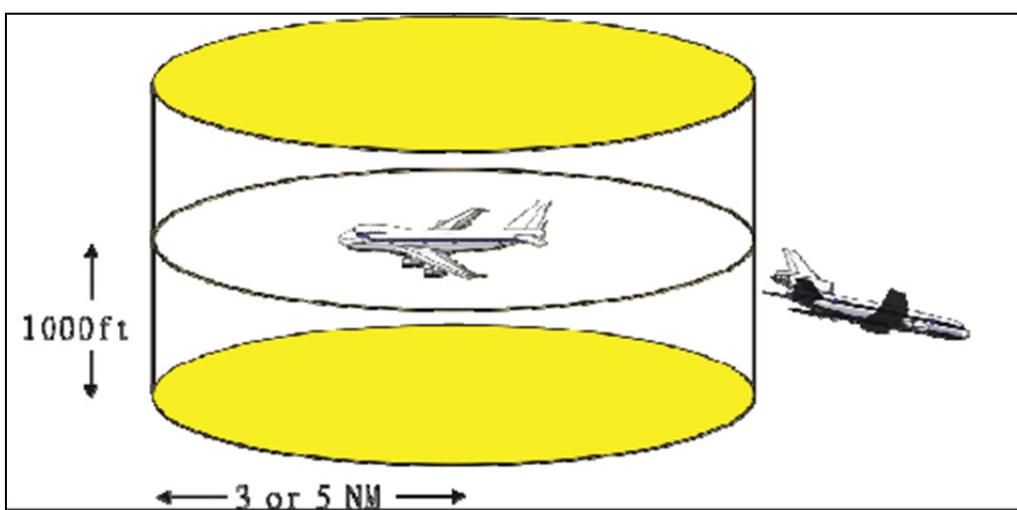


圖 3.11 雷達隔離運用示意圖

資料來源：董吉利，「台北終端管制區國際線離/到場航空器垂直飛航軌跡之探討」。

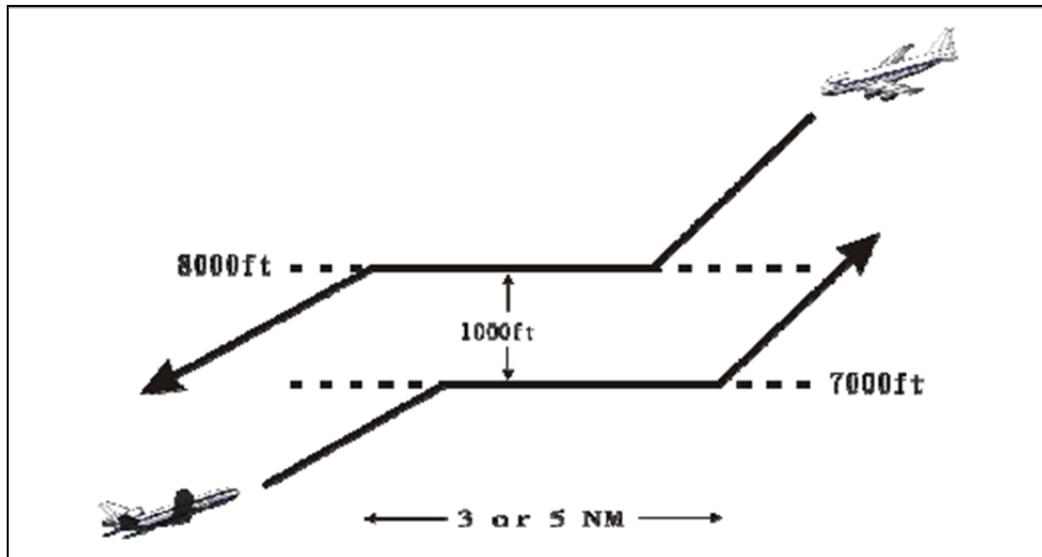


圖 3.12 高度隔離運用示意圖

資料來源：董吉利，「台北終端管制區國際線離/到場航空器垂直飛航軌跡之探討」。

3.6 飛航管制服務

飛航管制分為區域管制、近場管制及機場管制3個部份(如圖3.13)，主要係對儀器飛航之航空器提供隔離服務，並對目視飛航之小型航空器提供目視通信追蹤服務。目的是為防止航空器間、航空器與障礙物間於航空站跑、滑道滑行時之碰撞及加速飛航流量並保持有序飛航(飛航規則第2條第1項第16款)。

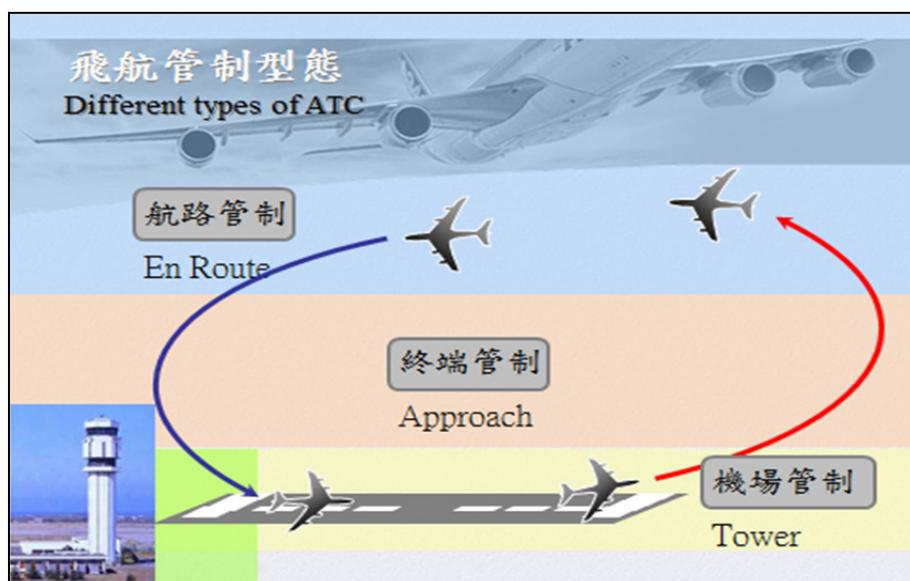


圖 3.12 高度隔離運用示意圖

資料來源：馮英彬，「台北空域簡介與北部空域容量飽和及挑戰」，民航局飛航服務總台。

為了達到飛航管制的目標，航管人員會利用4種飛航管制作業技巧來提供飛航管制服務，說明如下。

1.高度指定

離場的航機起飛後便是希望能儘速爬升到最適當省油的巡航空層，然後以該空層飛往目的地；到場的航機在到達目的地前，最理想的狀態便是於距目的地機場適當距離外，離開巡航空層，開始引擎怠速以平穩的角度，持續下降至降落在跑道上。

實際情形是有太多的因素無法讓飛機如前述理想狀況般一路爬升或下降，相關例外情形如下所示。

- (1) 儀器飛航程序設有高度限制，或兩個飛航管制單位訂有固定交接管高度協議等情形。
- (2) 兩架航空器間會有水平隔離不足最低雷達隔離的3或5浬情形，航管為確保航機間之安全距離，因此介入指定兩架航機分別保持有1,000呎隔離以上之高度，等兩架航機間取得水平隔離後，再讓航機繼續爬升或下降。
- (3) 航管對於離場爬升或到場下降的航機進行高度指定，造成航機的垂直飛航軌跡呈現階梯式的爬升或下降情形。

2.雷達引導

一般而言，儀器飛航航機皆按照儀器飛航程序所訂定的固定路線飛航。但航管運用雷達引導頒發航機航向指示時，便可以取代儀器飛航程序中的標準儀器離場程序、航路、及標準終端到場程序。

航管會採取以雷達引導航機方式來介入取代航機之飛航路線時機點，包括：

- (1) 當航機間飛航路線交錯時，若僅採取高度隔離可能造成航機保持固定高度過久。
- (2) 為了安排離到場航機之飛航順序以加速流量。

雷達引導的優點：

- (3)可以有效的縮短航機間的水平距離，對狹小的空域是增加容量與效率的有效方法。
- (4)航管容易掌握航機的飛航動態。
- (5)航管容易安排航機順序。
- (6)取得航機間安全隔離的最快速方法。

雷達引導的缺點：

- (1)航管需耗費大量精神於航情警覺(Situation Awareness)上，航管人員工作負擔大，且增加無線電通話量。
- (2)駕駛員不易掌握所需飛行距離。
- (3)額外的雷達引導可能增加航機飛行距離。
- (4)額外的雷達引導可能增加航機平飛保持高度之情形。

3. 空速調整

空速調整在飛航管制上主要的作用為安排航機間的順序。飛航管制程序對空速調整的規定為：「儘量少用速度調整以取得或保持所需之隔離」。「避免加速與減速交替並用。如先前指定之速度調整不需時，應同意駕駛員恢復正常空速」。「駕駛員認為速度調整超出或違反航空器之操作規定時，有責任及權利加以拒絕」。

當運用速度調整時應考慮決定所需之間隔及達到該間隔之定點，實施空速之調整應基於下列原則：

- (1)調整空速之前應先考慮相對速度，相關航情之位置及隔離之需求。
- (2)空速之調整並非一蹴可及，達成速度調整所需之時間、距離與航空器之外形、高度及速度有關。

4. 等待

在航路或儀器離到場程序的航點上，會設計等待點與等待航線，目的為供航機因任何因素無法繼續往前飛行時，可以在等待點上空等待。等待會大幅增加航機到場的飛行距離(Flying Miles)，而且等待時為了取得與其它在相同等待點等待的航機間之高度隔離，會指定固定高度等待。因此，等待會影響航空器的垂直飛航軌跡。

航管頒發等待指示時機包括：

- (1) 航空器通常因機場或跑道關閉航機無法落地時。
- (2) 因為航機太多，已無多於空域實施雷達引導。
- (3) 即使實施雷達引導也只是會成為過度引導時。

第四章 國內外空域模擬模式差異分析

目前國際上空域模擬模式依據分析範圍(詳細程度)大致可分為3類，1.巨觀模擬模式，其中包括SDAT模式等，2.中觀模擬模式，包括TMAC與FLOWSIM模式等，3.微觀模擬模式，包括TAAM 模式、SIMMOD模式。而國內目前主要以成功大學(戴佐敏教授等人)發展之ANS模式為主，為一事件掃描且屬於微觀之模擬模式，所有事件之處理，均以事件排程表（EventSchedule List）為依據。

4.1 國內外空域模擬軟體差異性

以模式範圍(詳細度)區分為3類，1.巨觀模擬模式、2.中觀模擬模式、3.微觀模擬模式，其中巨觀是用於政策分析與成本效益，中觀則是用於運量分析與成本效益分析，而微觀則是用於細部分析，因此微觀的用途較為廣泛且能較貼近實際情況，所以本研究針對TAAM、SIMMOD與ANS進行分析比較，其結果如表4-1、4-2所示。

回顧國內外對於空域模擬之相關研究，以功能而言，該3個模式皆涵蓋從停機坪、滑行道、跑道至航路間的過程，輸入資料部分則包含機場與航路布置、航管管理程序、離到場程序等，而輸出資料部分則包括延滯時間、起降架次等，不過TAAM模式則是另外包括噪音、航機油耗量等資料。

整體優缺點而言，TAAM使用數學規劃模擬並以3D圖形展示結果，其結果較貼近實際狀況，但費用相當昂貴(1套約1,000萬臺幣)。SIMMOD模擬模式可作偵測飛航衝突點的模擬，但該模式之架構為節點-節線(Node-Link)，運作邏輯為事件掃描(Event Scanning)，因此所能偵測到的衝突點為2架航空器同時通過兩(多)節線相交節點事件的發生，並不考慮航空器間相互之高度關係，與真實情形中航機間產生衝突為同時水平距離及高度距離皆低於規定之最低標準之條件不符。ANS模式驗證後雖可適切反映臺北終端管制區域之航機運作，但模式

對航機於地面運作之模擬相當簡略，並未考慮航機動線及與其他航機或車輛之互動。

表 4-1 國內外空域模擬差異性分析(1)

	模式	功能	輸入資料	輸出資料
微觀	TAAM (3D)	模擬起飛登機門至降落登機門整個飛行過程	1. 機場特性 2. 空域航路與布置 3. 地形資料 4. 航管管理程序 5. 機場使用規則 6. 航班行程 7. 航機軌跡與路線 8. 航機特性 9. 航機衝突發生時之解決策略	1. 延滯時間 2. 衝突程度 3. 航機架次、延遲、滑行與跑道占用時間 4. 空域航線 5. 噪音等值線 6. 航機耗油量 7. 飛航費用 8. 航管人員工作量 9. 各型航機飛航紀錄 10. 情境模擬產生
	SIMMOD (Node-Link)	分析機場及空域整體系統之運作	1. 空域資料—空域航點、空域航段、航空器特性、航路設定、策略設定等 2. 空側資料—空側節點、空側節線、指派、滑行設定地面設施特性等 3. 事件資料—主要用以設定航機之起降班表	1. 地面延滯 2. 地面旅行時間 3. 空中延滯 4. 空中旅行時間 5. 空側衝突點 6. 機場起降架次
	ANS2.0 (Node-Link)	分析機場及空域整體系統之運作	1. 航路區域路網結構 2. 機型資料 3. 定期航線班表 4. 航機離到場程序 5. 航機運行時間資料 6. 隔離時間資料 7. 地面航機數量資料	1. 航機延滯時間 2. 機場起降架次 3. 航機飛行時間 4. 空中等候時間

本研究整理

表 4-2 國內外空域模擬差異性分析(2)

	模式	優點	缺點
微觀	TAAM (3D)	1. 極佳之使用者介面，提供良好之3D圖形 2. 在一定之邏輯下可提供使用者許多的選擇與彈性	1. 需輸入相當詳細之資料 2. 使用者需經過相當的訓練才能上手 3. Cost: ~\$300,000 per copy(約1千萬臺幣)
	SIMMOD (Node-Link)	1. 可提供使用者多種輸出結果以便進行各項分析 2. 提供新機場興建的預測評估 3. 提供良好之動畫圖形	1. 輸入資料相當龐大，屬於勞力密集的工作 2. 使用者需經過相當的訓練才能上手 3. 以隨機變數模擬，因此須對同一情境作多次重複的模擬才有辦法建立統計上顯著趨勢 4. 航機高度及水平隔離不被模擬
	ANS2.0 (Node-Link)	1. 可提供使用者多種輸出結果以便進行各項分析 2. 針對臺灣飛航特性(參數)所建立之微觀模擬模式	1. 模擬邏輯與SIMMOD類似，故也有相似缺點 2. 曾模擬桃園機場跑道容量，其結果高於實際運作狀況，故成果與實際應用似乎仍有一段差距

本研究整理

4.2 數學規劃模擬方式

由國外文獻可知，Odoni^[1]等人評估TAAM為現今最全方位之飛航管理模擬模式，可以詳盡的模擬整體飛航系統，從停機坪離開後，起飛至目的地降落，再進入停機坪(gate to gate)，所有飛航階段皆在其模擬分析範圍內，但其使用價格過高，且相關網站並無詳細說明，因此很難深入探究其系統操作方式，不過由該公司網站提供介紹內容可略知其係採用數學函數模擬方式分析，並以事件情境輸入進行分析。

本研究為規劃後續106年委外研究執行之內容，另再蒐集國外文獻有關機場及空域容量數學規劃模擬方式之資料。

1. Aircraft ground traffic optimization^[9]

本研究利用基因演算法(Genetic algorithms)進行分析，以評估從停機坪至起飛或降落後至停機坪所花費最少的時間，同時考慮航機隔離與跑道容量等問題，報告中並以法國Roissy Charles De Gaulle與Orly幾場為分析案例。

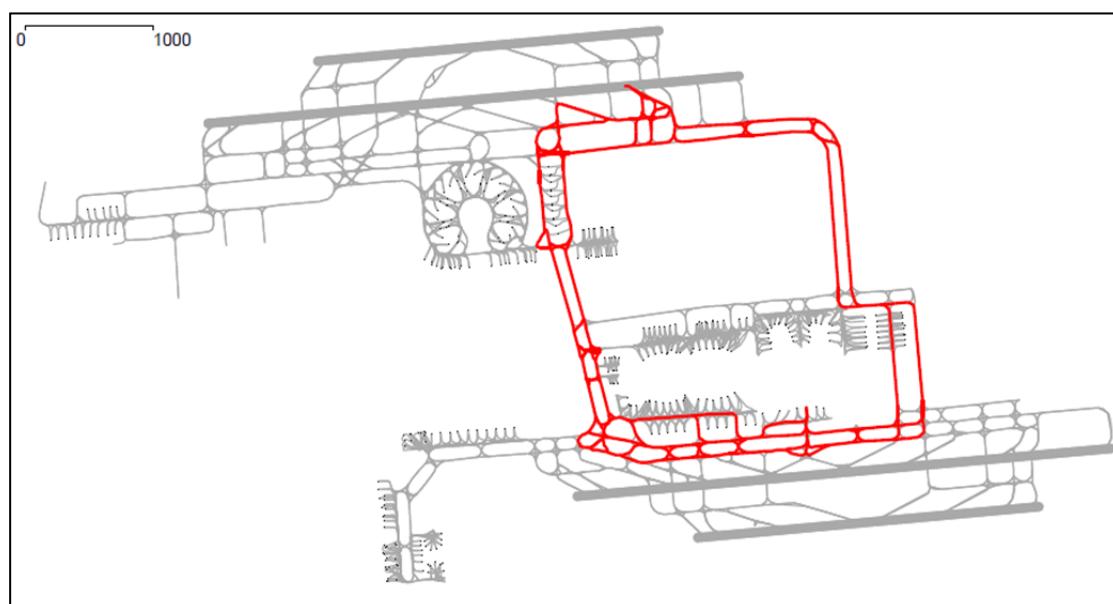


圖 4.1 Roissy 機場配置及航機最短與替代路徑

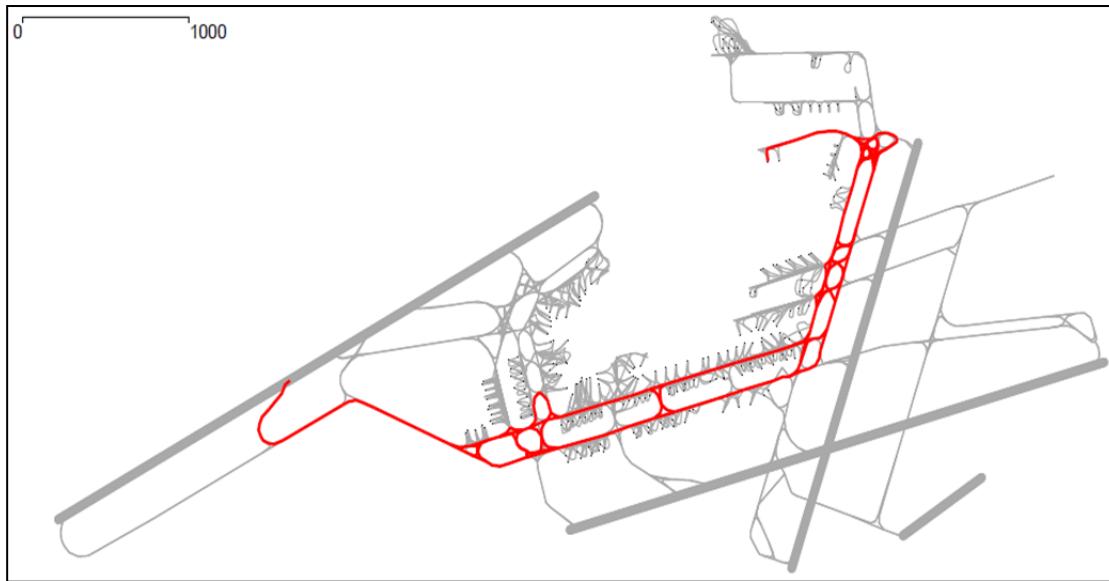


圖 4.2 Orly 機場配置及航機最短與替代路徑

報告中以3種策略進行比較，分別為1-to-n method、Global method、Mixed global method。

- (1) 1-to-n method: 在模擬中所有航機都有相同的優先等級，而最簡單的方式就是依照飛行計畫中的時間進行安排，另外降落的航機在離開跑道前是不能保持位置(holding position)，且優先順序是必須高於起飛航機，而跑道上排隊的航機必須依照原有的順序進行。
- (2) Global method: 利用基因演算法尋找每架航機適當路徑與保持點(holding position)，以得到最少的滾滑時間(包含等待時間)。
- (3) Mixed global method: 同時利用基因演算法與優先等級順序進行分析。

圖4.3結果顯示，當航機數量增加時，Mixed global method有較佳之成效，平均延遲時間較低。圖4.4可知當尖峰時段時，Mixed global method有較低的航機移動架次，顯示航機遭遇衝突時，較佳的解決方案可以減少延遲，並減少航機移動量。圖4.5為兩個基因演算效率的比較，以Global method計算時，尖峰時段出現在早上7點、10點，與下午1點、7點；而以Mixed global method計算時，尖峰時段遠比Global method不明顯。

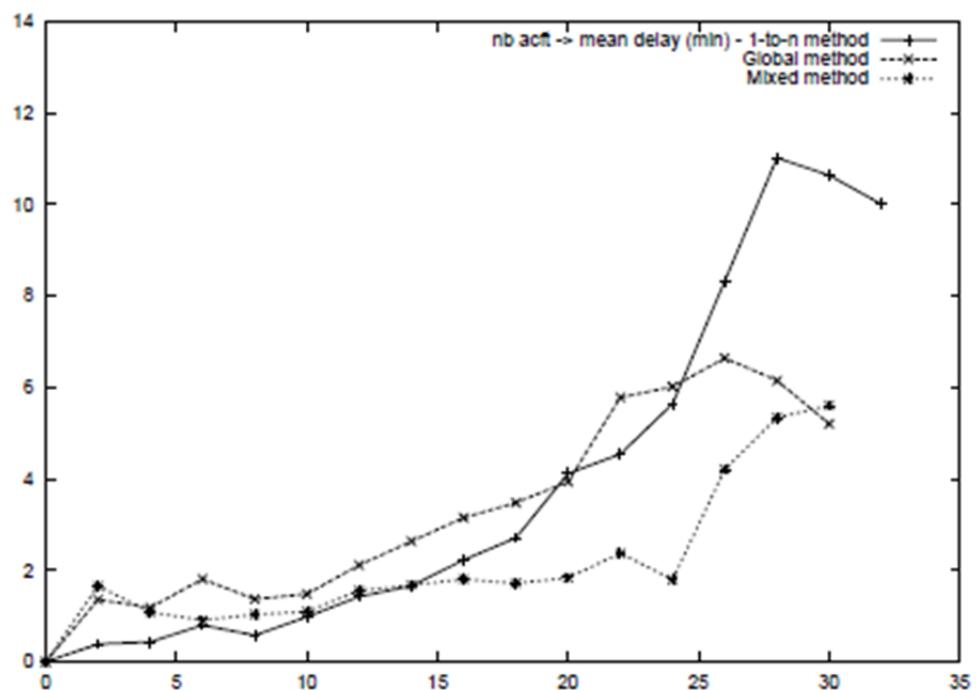


圖 4.3 航機平均延遲時間與移動架次數的關係

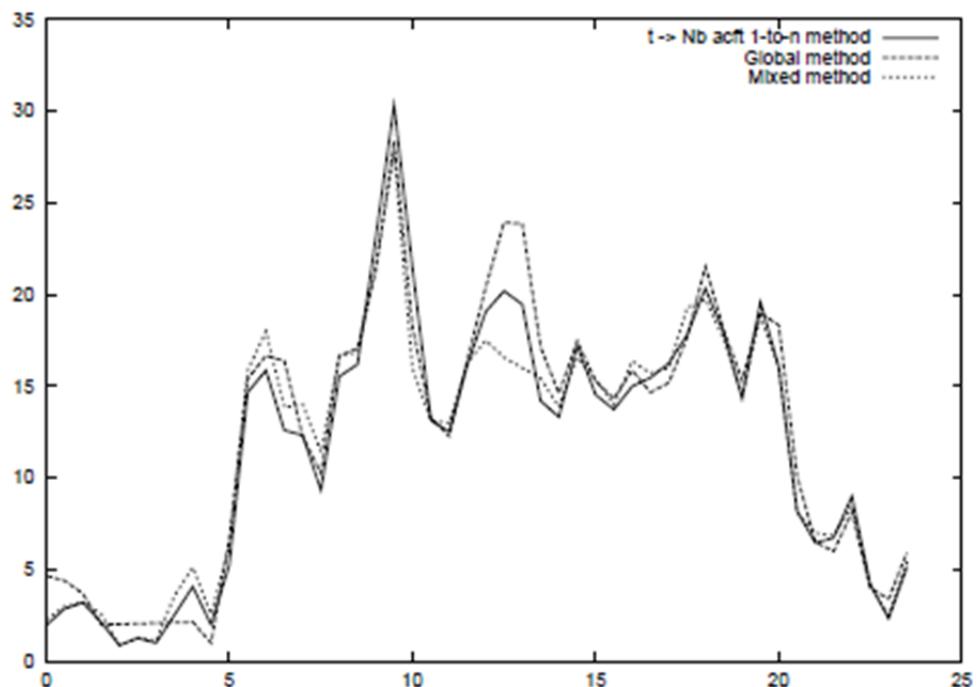


圖 4.4 航機移動架次數與時間的關係

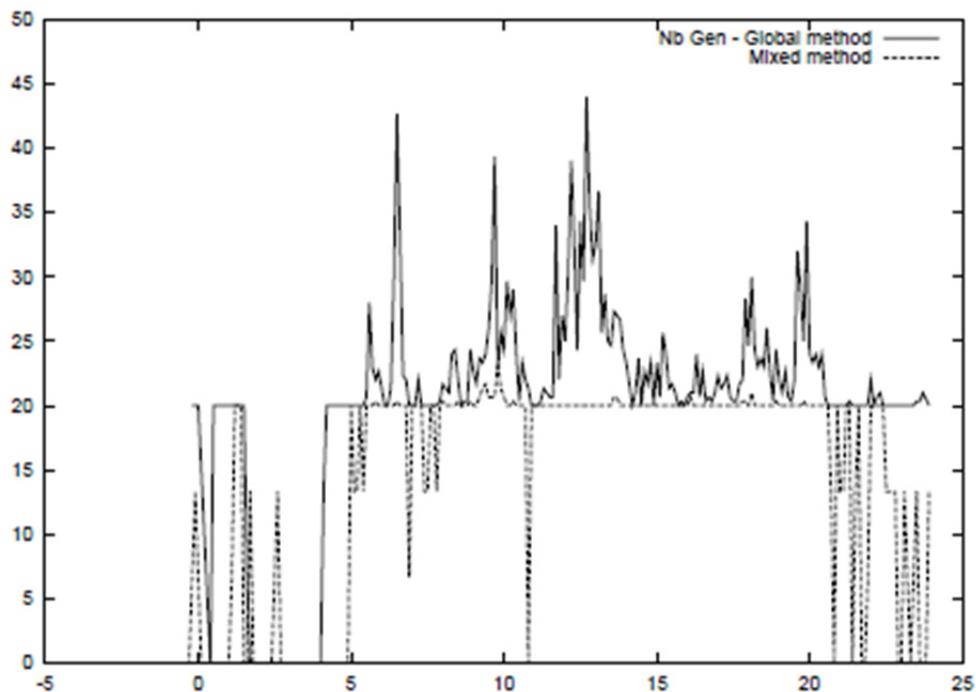


圖 4.5 基因演算法效率與時間的關係

2. Aircraft Ground Routing and Scheduling Optimization [10]

本研究利用啟發式演算法(heuristic algorithms)進行分析，目標函數為航機最少延遲時間，報告中並以義大利Malpensa機場(圖4.6)為分析案例。研究方法分為兩階段，第一階段為了解決航機地面滑行路徑問題，因此安排每架航機之路徑，以Malpensa機場為例，降落滑行至停機坪共有160條路徑組合，而起飛滑行則有54條路徑；第二階段利用演算法考量衝突及資源，解決地面航機調度及排程問題。

分析結果如圖4.7、圖4.8所示，以航機平均延遲而言，隨機路徑採用ET (Heuristic ET,earliness-tardiness)演算法所得之平均延遲較佳，在航機降落與起飛不同組合中，皆低於其他方法；而航機等待時間則以指定路徑採用AGH(Arc Greedy Heuristic) 演算法所得等待時間較佳，在航機降落與起飛不同組合中，皆低於隨機採用AGH及ET演算的結果。

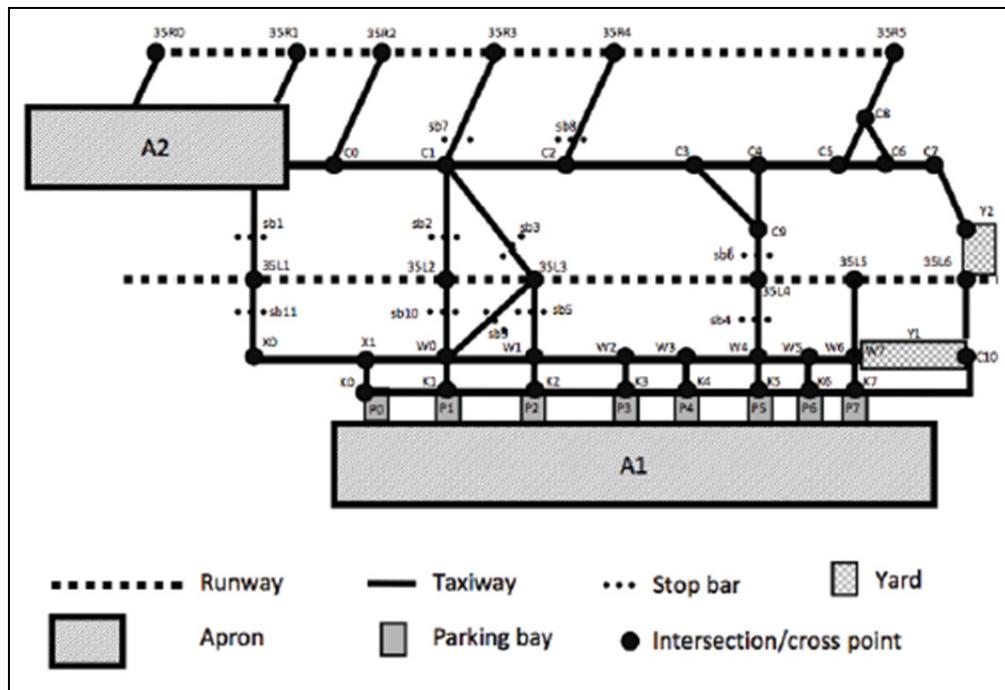


圖 4.6 義大利 Malpensa 機場布設圖

Class	stochastic routing		static routing AGH
	AGH	ET	
4_4_4_4	54	41	45
4_4_4_8	91	74	92
5_5_5_5	79	76	73
5_5_5_10	161	140	146
6_4_4_6	128	115	110
4_6_4_6	191	178	185
6_6_6_6	236	207	225
6_6_6_12	372	370	380
8_4_4_8	91	83	82
4_8_4_8	96	82	88
10_5_5_8	128	108	108
5_10_5_8	139	130	124
10_5_3_8	145	130	132
5_10_3_8	156	139	148
10_10_5_10	149	133	131
10_10_5_20	180	165	174

圖 4.7 平均延遲(隨機路徑與指定路徑)

Class	stochastic routing		static routing AGH
	AGH	ET	
4_4_4_4	698	523	432
4_4_4_8	1401	1171	622
5_5_5_5	1419	1341	630
5_5_5_10	2331	2069	841
6_4_4_6	2090	1799	853
4_6_4_6	3247	3011	1203
6_6_6_6	5517	5211	3069
6_6_6_12	7876	7877	4538
8_4_4_8	1584	1491	752
4_8_4_8	1594	1303	615
10_5_5_8	2271	1814	1012
5_10_5_8	2312	1955	811
10_5_3_8	3110	2629	1319
5_10_3_8	3279	2954	2165
10_10_5_10	3042	2566	1259
10_10_5_20	3444	3090	2177

圖 4.8 航機等待時間(引擎發動中狀態)

3. THE FINAL APPROACH SPACING TOOL [11]

本研究主要說明最後進場分析工具FAST的運算邏輯，FAST為美國NASA Ames Research Center與FAA共同研發的分析軟體，主要組成包括路徑分析與軌跡合成、排序與調度、衝突解決，跑道分配等4大功能，並曾經分析過美國達拉斯機場空域的問題，相關功能說明如下：

(1) 路徑分析與軌跡合成(Route Analysis and Trajectory Synthesis)

本項功能主要是在預測航機可能之路徑後，計算可能抵達時間的範圍，考慮的因素包括速度、水平與垂直位置。另外航機從巡航高度下降時，必須考慮飛機狀態、高空風、溫度、壓力等因素，而高度與速度限制也必須一併考量。

(2) 排序與調度(Sequencer and Scheduler)

由於機場在尖峰時段時，航機降落架次大增，因此必須進行相關

排序以利進場。以圖4.9為例，共有6架航機準備進場，包括 LONG_LEFT 區段有航機A與B，DOWNWIND_LEFT 區段有航機C，BASE_LEFT 區段有航機E與F，FINAL 區段則有航機D，而排序方式可利用軌跡區段樹(如圖4.10)進行評估，排序方式是從最底部開始再合併至最頂層，而航機間隔必須符合隔離標準如表4-3所示，例如重型航機在前時，小型航機則必須維持6海浬的距離，避免尾流的影響造成飛安事件。

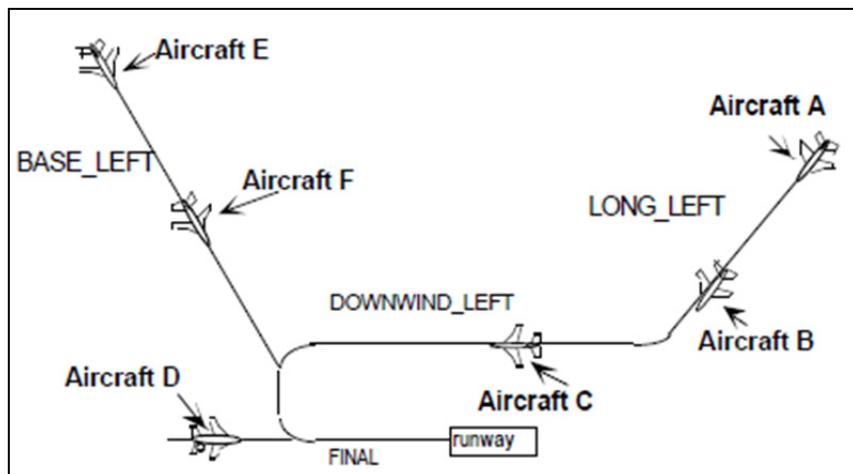


圖 4.9 航機排續案例

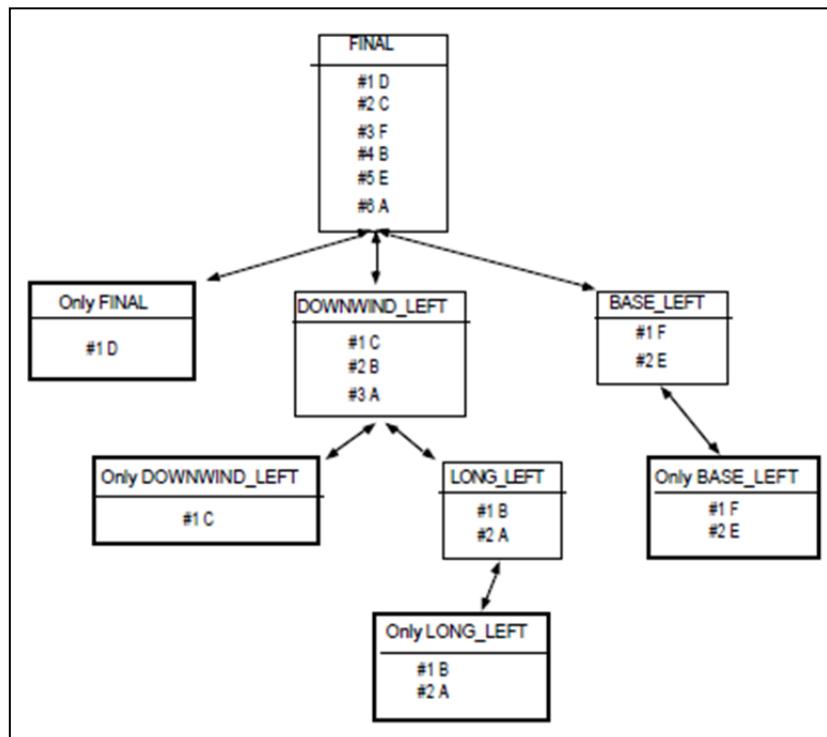


圖 4.10 軌跡區段樹

表 4-3 航機隔離標準

Leading Aircraft Type	Trailing Aircraft Type		
	Heavy	Large	Small
Heavy	4	5	6
Large	3	3	4
Small	3	3	3

單位:海浬

(3)衝突解決(Conflict Resolution)

當航機衝突被預測時，航機的軌跡就必須被操縱，並利用數學演算延遲航機到達時間。以圖4.11為例，航機A與B將匯合於DOQNWIND_LEFT上，因此將會產生衝突點，系統就必須依照規劃，重新安排航機到達時間。

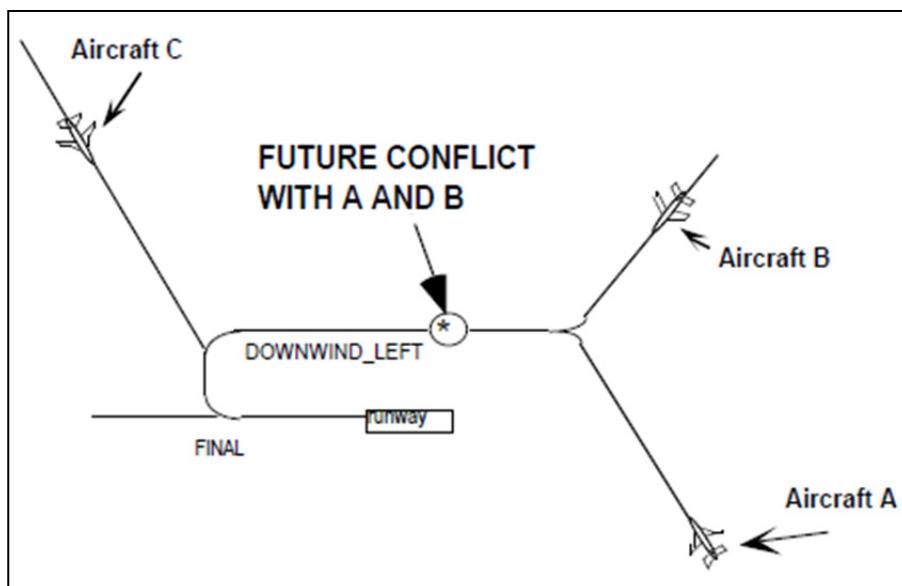


圖 4.11 航機衝突狀況

(4)跑道分配(Runway Allocation)

分配的原則有3項，1.提早作出準確的決定，2.減少整體系統的延遲，3.維持管理者的可接受性；相關流程如圖4.12所示。

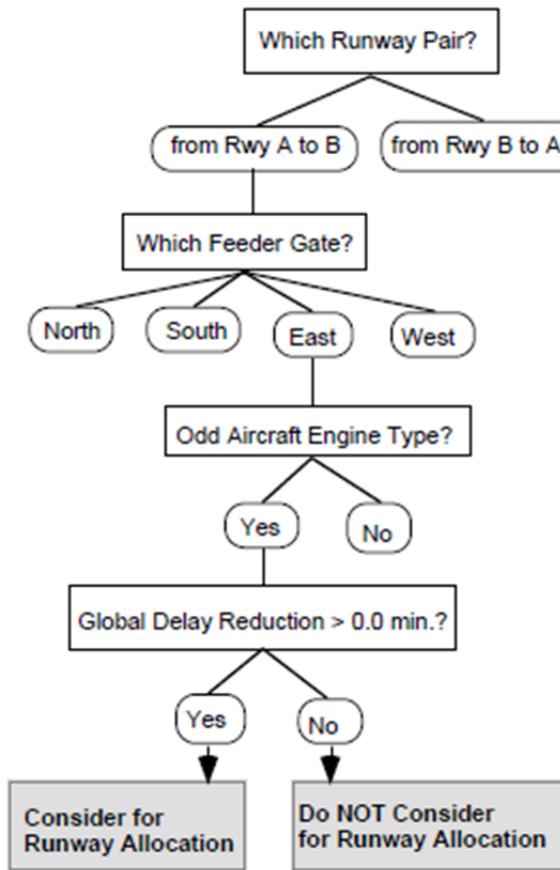


圖 4.12 跑道分配流程

4.小結

由數學規劃文獻可知，已有相當多之研究應用於空域模擬之中，因此後續在實際模擬模式建置時，相關數學模式即可採用，以求得符合實際之航機運作情形，並求得航機之適當、無衝突的軌跡，另表4-4為其他文獻整理摘要。

表 4-4 分析模式文獻彙整

論文名稱	內容	出處
“Aircraft ground traffic optimization”	利用基因演算法(Genetic Algorithm) 計算，使飛機從登機門至起飛或飛機降落至登機門花費最少的滑行時間。	https://hal-enac.archives-ouvertes.fr/hal-00938013 , 2014
“Genetic Algorithms	利用基因演算法(Genetic	IEEE TRANSACTIONS

Applied to Airport Ground Traffic Optimization”	Algorithm) 計算，找出最佳軌跡及飛機滑行的控制點。	ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY,2003
“Aircraft Ground Routing and Scheduling Optimization”	地面運行最佳化的問題在於航機路徑與調度的安排，因此本研究利用 Alternative Graph model 以解決地面運行最佳化。	UKSim-AMSS 16th International Conference on Computer Modelling and Simulation, 2014
“TRAJECTORY BASED GROUND MOVEMENTS AND THEIR COORDINATION WITH DEPARTURE MANAGEMENT”	將航機地面軌跡與起飛管理結合，以有效提升跑道排序最佳化。	IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY,2013
“Trajectory Design for Aircraft Taxi Automation to Benefit Trajectory-Based Operations”	探討航機滑行軌跡規劃不彈性的問題，並以燃料消耗，碳排放和噪音三個面向進行分析。	Proceedings of the 7th Asian Control Conference,2009
“Optimizing Airport Capacity Utilization in Air Traffic Flow Management Subject to Constraints at Arrival and Departure Fixes”	利用 Airport arrival–departure capacity curves 計算跑道容量，但不考慮空域因素。	IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY,1997
“Time-Space Analysis Airport Runway Capacity”	利用「跑道容量曲線」計算最大容量，分析方式為依據離到場比例(0%離場/100%到場遞增/遞減至 100%離場/0%到場)。	Virginia Tech, 2012
“THE FINAL APPROACH SPACING TOOL”	本研究介紹 FAST 軟體演算法、人機界面和案例模擬的結果。	13th IFAC Symposium on Automatic Control in Aerospace,1994

本研究整理

第五章 後續研究推動規劃構想

本所預計於106年辦理「構建空域模擬模式之研究-以臺北終端管制區域為例」合辦研究，經過蒐集國內外文獻資料及瞭解目前國內空域狀況後，已初步瞭解整體空域運作情況，對於後續研究重點將有很大助益。

5.1 國內空域模擬挑戰

「臺北飛航情報區」幅員狹窄，航路密布，基於國防安全，軍方會實施戰、演、訓各項任務，其所需之空域遭航路切割，無法整體運用，因此本區目前區域管制僅有軌道型的航路空域可以運用，超出此一範圍，航管即須協調軍方同意。

空域模擬不像一般道路模擬，為平面規劃(二維)且有實體隔離，航路在天空中為三維且為虛擬的，因此模擬上較陸運更為困難且複雜。整體空域模擬的範圍包括機場與空中兩個部份，在機場部分可分為空側與陸側兩單元，陸側為航廈等設施，不在本次研究範圍內，空側則包含停機坪、滑行道與跑道；天空則是空域部分，依據第三章說明可知，管制部分可分為航路管制、終端管制與機場管制，不過航路管制範圍過廣，因此暫不納入討論，後續研究範圍將以臺北終端管制區域為邊界，並以桃園機場為主，相關資料如圖5.1、表5-1及表5-2所示。

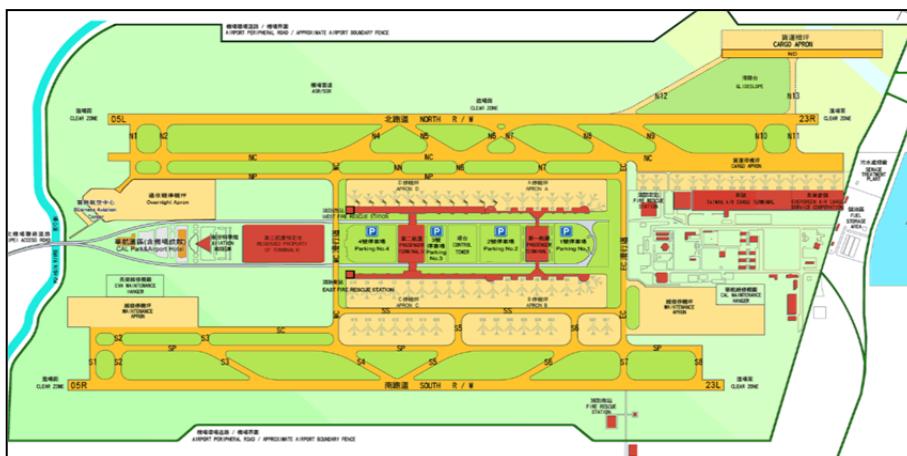


圖 5.1 桃園機場配置圖
表 5-1 桃園機場跑道、滑行道與停機坪資料

項目	內容
跑道	北跑道(05L/23R)3,660M 南跑道(05R/23L)3,800M
滑行道	北滑行道：21條 南滑行道：21條 聯絡南、北滑行道：2條
停機坪	客運停機坪：38個 貨運停機坪：25個 商務中心停機坪：3個 遠端停機坪：15個

本研究整理

表 5-2 桃園機場所屬終端管制區域及機場空域

名稱範圍空域上下限空域類別	提供服務單位	空域類型
臺北終端管制區域 以下各點之連線範圍： 254407. 33N 1213417. 35E 254332. 06N 1215636. 06E 253656. 02N 1220440. 61E 252509. 00N 1221228. 00E 250622. 00N 1221723. 00E 244248. 31N 1221356. 42E 243543. 75N 1220427. 66E 243023. 00N 1215605. 00E 242511. 14N 1214331. 59E 242408. 00N 1213002. 00E 242958. 51N 1211007. 12E 242200. 00N 1210000. 00E 235010. 83N 1204634. 06E 240325. 23N 1195202. 28E 244800. 00N 1202500. 00E FL200 / 1200FT AGL 空域分類:E	臺北近場管制塔臺	終端管制區域

臺北C類空域 以臺灣桃園國際機場參考點(250449N 1211356E)中心,10NM半徑所劃圓周以內之 範圍，與松山C類空域及龍潭E類地表空域 重疊部分為臺北C類空域。 7000FT / GND	臺北近場管制塔 臺	機場空域
---	----------------------------	-------------

資料來源：<http://eaip.caa.gov.tw/eaip/disclaimer.faces>

本計畫後續擬建立之空域模擬模式，目的在以數學模型描述航機在空域與地面之移動狀況，在適度簡化之狀況下，構建臺北終端管制區域之空域模擬模式雛型，用於後續相關分析時，可瞭解不同作業內容或硬體設施改變後，對於空域容量之影響。實務上航機進行起降作業時，須視其所使用之跑道、離場或到場方向以及其他因素(如航機大小、速度等)，採用不同離到場程序，而航機在起降作業過程中，其採用之離到場程序即基本上決定該航機在三維空間中之移動狀況，因此管制員管的管制行為即會影響飛航路徑，因此構建模式時必須將相關人為因素加入考慮。

在機場方面，後續計畫之主軸亦在以數學模式描述航機由進場降落乃至於再度起飛過程中，在三維空間中之移動狀況以及時間之調配。桃園機場目前配置南、北二條平行跑道以及53處停機坪(客運機坪加遠端停機坪)，其間則以滑行道系統連接之。航機於指定之跑道降落後，必須沿滑行道移動至指定之停機坪，完成地停程序後，再沿滑行道移動至指定之跑道離場。在此過程中，航機之移動軌跡亦非任意為之，而是有限的組合，而軌跡之決定，則受到許多因素之共同影響，主要包括：起、降跑道之指定、航機降落時脫離跑道之位置、與停機坪之分配，其中航機降落時脫離跑道之位置受到機型大小、航機速度、駕駛員操作行為等因素影響，事前可能無法完全確定，因此構建模式時必須將相關因素一併加入考慮。

5.2 後續執行之建議內容

由文獻與參考資料得知，相關商用軟體之核心技術均屬各公司之商業機密，並不易取得。衡量於一般狀況下，即便購買軟體，或直接與公司接洽，亦無法取得核心技術資訊。而本計畫長遠目標之一即在建立本國自有之相關技術，因此後續擬與國內大學相關系所共同發展模擬模式。初步分析看來，機場空側屬於二維狀態，因此分析上較無問題，而空域分析屬於三度空間，因此模擬較為困難，後續研究建議採用以網路為基礎之數學函數模式分析，106年度研究主題與重點內容初步規劃5項重點，如下所示。

1. 文獻回顧：蒐集國內外相關空域模擬之研究或現有國際應用軟體功能，作為模式架構之參考，包括探討運作原理、空域模擬邏輯、空域結構等。
2. 辦理產官學座談會及訪談，釐清空域模擬運用情形、重要關鍵參數及建置過程中可能所遭遇之問題。
3. 資料蒐集：蒐集桃園機場、終端管制區域實際航機作業情形資料，其中包括飛航管理程序作業、終端管制區域相關資料、機場跑滑道佈設與停機坪管理等現況資料，並蒐集航機運轉相關資料（研究範圍以臺北終端管制區域為邊界，並以臺北進場管制塔臺-臺北塔臺為主）。
4. 建置空域模擬模式雛型，至少包含終端管制、跑滑道、停機坪管理等三個子單元。
5. 運用歷史或現況資料進行參數校正，並進行初步模擬分析比對。

第六章 結論與建議

近年來我國國際航空交通需求量大幅成長，大量的航機飛航於有限的空域，造成國內飛航空域擁擠及航空交通管制不易，以 104 年桃園國際機場為例，當年度起降架次即達到 20 多萬架次，而松山機場也有近 6 萬多架次，顯示近幾年空域擁擠程度持續增加，另主要機場在尖峰時段起降航班過多，也容易造成離到場航機地面與空中的延誤。如何在有限的空域容量中，滿足航機流量的需求，以增加空域流量的利用率，是值得深入研究之議題。

空域容量為掌握我國機場容量提升之重要要素之一，為此須有一專門工具進行分析，然而國外現有套裝軟體如 SIMMOD、TAAM 等，動輒需數十萬至上百萬元費用才能購得，且系統功能未必完全符合我國空域特性。為探討及分析我國空域容量，需建置符合我國空域特性之模擬模式，以模擬空域航機運作模式，同時提升我國自主分析民航空域容量之研究能量。

6.1 結論

1. 本研究已完整及詳細蒐集國內外空域模擬模式發展之相關資料，106 年「構建空域模擬模式之研究-以臺北終端管制區域為例」研究案將以國內外發展經驗，積極與國內大學相關科系合作共同發展。
2. 在空間、設施等均擴充不易，而需求持續成長之狀況下，如何提升空域容量運用效率便成為最值得探討之課題。然而航機使用空域容量資源，受到許多複雜因素之限制，因此欲達到高效率運用空域容量的目的，須利用空域模擬模式的分析，方能實際瞭解我國空域容量瓶頸點，進而提出相關改善策略，而模式中微觀模擬的用途較為廣泛且能較貼近實際情況，因此後續將朝此方向發展，並以 TAAM 為範例。

3. 雖然目前市面上已有具備類似功能之商用套裝軟體，然而此類軟體之費用甚高，而系統功能常不易客製化以符合我國需求，且核心技術全然掌握於各開發單位。我國在此類軟體所需之數學規劃、數據處理、資訊等技術方面實具有國際競爭力，而本計畫正可整合並開發我國自主擁有之相關技術，逐步開發我國分析民航空域容量之研究及實作能量。

6.2 建議

1. 106 年度以合作研究方式辦理「構建空域模擬模式之研究-以臺北終端管制區域為例」，在執行前揭計畫召開相關工作會議時，將邀請民航局航管組與飛航服務總臺一同參與討論，讓理論分析更能貼近實務運作狀況。
2. 本計畫未來應構建具 3D 空間數學函數之空域模擬模式，方能利用電腦之強大運算能力，求解出充份利用空域容量之方案，據以推論如何增加空域利用率以滿足空中交通的需求。而所建立之模型，必須能描述航機在空域與地面狀態(在三維空間與時間所構成之四維空間中之移動狀況)符合航機實際運作狀況。

參考文獻

1. Amedeo R. Odoni., et al., "Existing and Required Modeling Capabilities for Evaluating ATM Systems and Concepts", INTERNATIONAL CENTER FOR AIR TRANSPORTATION MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY,1997.
2. Airport Modeling and Simulation,
[http://ebooks.narotama.ac.id/files/Airport%20Engineering-Planning,%20Design,%20and%20Development%20of%2021st%20Century%20Airports%20\(4th%20Edition\)/Chapter%2015%20Airport%20Modeling%20and%20Simulation.pdf](http://ebooks.narotama.ac.id/files/Airport%20Engineering-Planning,%20Design,%20and%20Development%20of%2021st%20Century%20Airports%20(4th%20Edition)/Chapter%2015%20Airport%20Modeling%20and%20Simulation.pdf)
3. Jasenka Rakas., et al., "Airport-Airspace Simulations -A New Outlook", TRB 81st Annual Meeting Workshop,2002.
4. Antonio A. Trani ,,"Descriptions of Airport and Airspace Simulation Models", Civil and Environmental Engineering Virginia Polytechnic Institute and State University,2008.
5. <http://ww1.jeppesen.com/industry-solutions/aviation/government/total-airspace-a-airport-modeler.jsp>
6. <http://ww1.jeppesen.com/documents/aviation/government/TAAM-FactSheet.pdf>
7. <http://ww1.jeppesen.com/documents/aviation/government/TAAM-product-profile.pdf>
8. http://www.tc.faa.gov/acb300/how_simmod_works.pdf
9. Jean-Baptiste Gotteland., et al., "Aircraft ground traffic optimization", ATM 2001, 4th USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar, Dec 2001.
10. Ludovica Adacher., et al., "Aircraft Ground Routing and Scheduling Optimization", UKSim-AMSS 16th International Conference on Computer Modelling and Simulation,2014.
11. T. J. DAVIS., et al., "THE FINAL APPROACH SPACING TOOL", 13th IFAC Symposium on Automatic Control in Aerospace, Palo Alto, California, Sept., 1994.
12. <http://www.caa.gov.tw/APFile/big5/files/RC-ENR-1.4-zh-TW.pdf>
13. <http://eaip.caa.gov.tw/eaip/disclaimer.faces>
14. 交通部民用航空局官網，<http://www.caa.gov.tw/big5/index.asp>
15. 交通部民用航空局，「臺北飛航情報區空域及航路結構整體規劃案」，民國 101 年。

16. 郭權鋒，「台灣地區機場與空域系統模擬模式分析-以北高空運走廊為例」，國立交通大學碩士論文，民國 88 年。
17. 吳世偉，「航機延誤擴散之預測-SIMMOD 模擬模式之應用分析」，國立交通大學碩士論文，民國 93 年。
18. 臺灣世曦股份有限公司中華技術期刊專題報導，「機場場面運作模擬程式 SIMMOD 於施工營運維持之應用—以馬公機場道面整建案為例」，民國 100 年。
19. 周立偉，「平行獨立跑道機場模擬模式之構建」，國立成功大學碩士論文，民國 88 年。
20. 李昀諭，「空邊模擬模式之研究」，國立成功大學碩士論文，民國 89 年。
21. 張仁達，「台北飛航情報區空域模擬模式之建立」，國立成功大學碩士論文，民國 89 年。
22. 俞瑞華，「飛航管制策略在空域模擬模式上之應用」，國立成功大學碩士論文，民國 91 年。
23. 董吉利，「台北終端管制區國際線離/到場航空器垂直飛航軌跡之探討」，國立交通大學碩士論文，民國 94 年。
24. 馮英彬，「台北空域簡介與北部空域容量飽和及挑戰」，民航局飛航服務總台，民國 102 年。
25. 民用航空局、空軍司令部，「飛航管理程序(ATMP)」，民國 102 年。

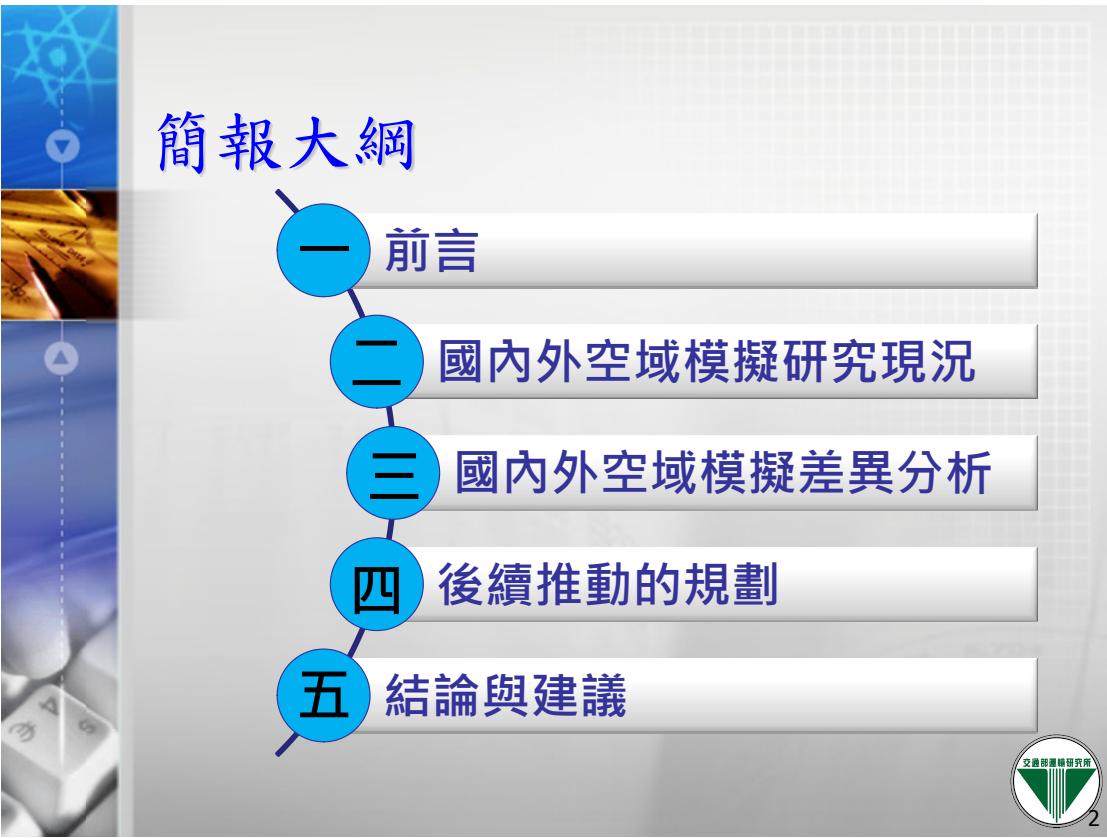
附件、簡報資料



國內外空域模擬相關 研究之回顧與評析

工作會議

2016.12.21



簡報大綱

- 一 前言
- 二 國內外空域模擬研究現況
- 三 國內外空域模擬差異分析
- 四 後續推動的規劃
- 五 結論與建議



一、前言

□面臨問題？

- ▶近年來我國國際航空交通需求量大幅成長，104年桃園機場即達到22多萬起降架次，[造成國內飛航空域擁擠及飛航管制不易](#)。
- ▶未來將有第三跑道及新的滑行道佈設，如何有效率的使用，尚需一套模擬分析工具，並藉模式應用，據以掌握[機場容量瓶頸](#)，研提[改善策略](#)。

□研究目的

- ▶蒐集國內外空域模擬模式資料，並作為106年度[「構建空域模擬模式之研究-以臺北終端管制區域為例」](#)之先期研究，以擬定妥適研究主題與重點內容。



二、國內外空域模擬研究現況

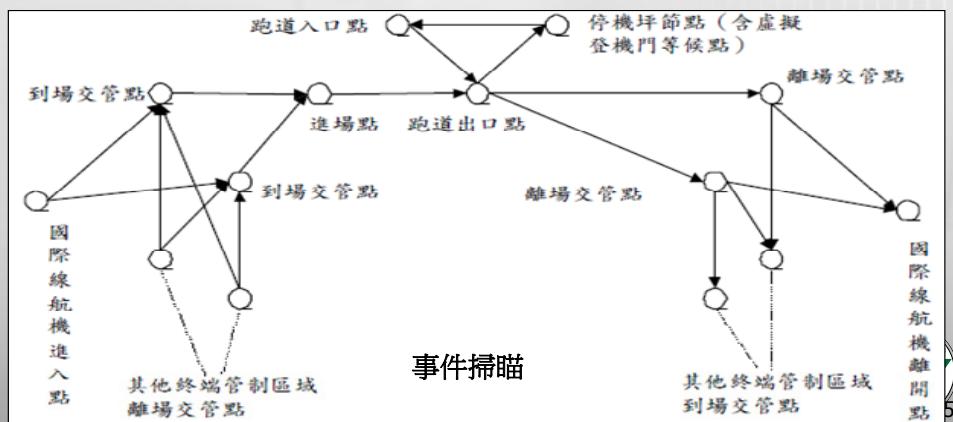
- 依據[Existing and Required Modeling Capabilities for Evaluating ATM Systems and Concepts-INTERNATIONAL CENTER FOR AIR TRANSPORTATION MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY\(1997\)](#)

Level of Detail (type of study)	Scope of Model			
	Aprons and Taxiways(1)	Runways and final Approaches(2)	Terminal area Airspace(3)	En route Airspace(4)
Macroscopic (Policy analysis, cost-benefit studies)		1. LMI Runway Capacity Model 2. FAA Airfield Capacity Model 3. DELAYS 4. AND 5. FAST		1.ASIM(Node-Link) 2.SDAT 3.DORATASK
Mesoscopic (Traffic flow analysis, cost-benefit analysis)		1.NASPAC 2.TMAC(3D) 3.FLOWSIM(Node-Link) 4.ASCENT		
Microscopic (Detailed analysis and preliminary design)	1.TAA M(3D) 2.SIMMOD(Node-Link) 3.ANS(Node-Link) 成大戴佐敏教授			



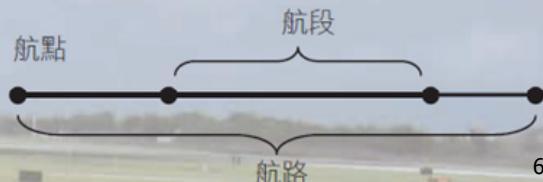
□ ANS2.0(Air Net Simulation 2.0,成大)

- ▶ 模式係以節線、節點之網路型態，作為空間之處理方式。所定義之節點包括：機場節點與空域節點。
- ▶ 機場節點包括停機坪節點、跑道入口點、跑道出口點等。
- ▶ 空域節點則包括離場交管點、到場交管點、進場點、國際線航機進入點以及國際線航機離開點等。



□ SIMMOD

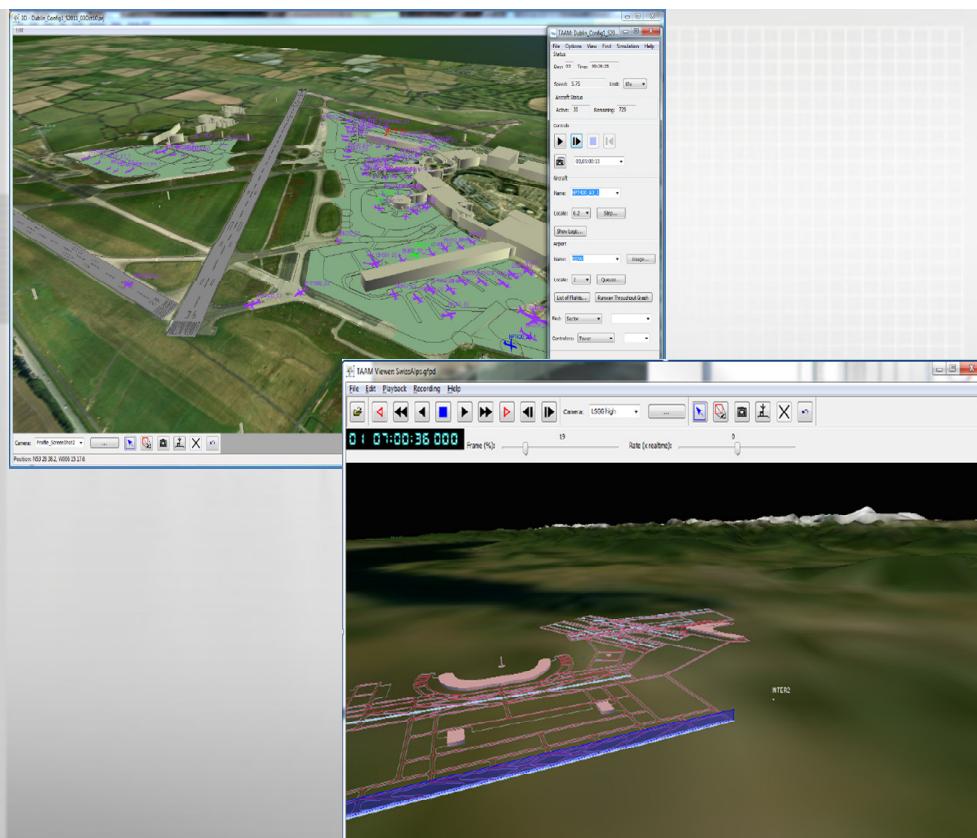
- ▶ SIMMOD程式為FAA所開發之機場場面與空域之模擬模型，可模擬機場內各航機由登機門後推、滑行、起飛至降落之動態過程，以便估算出航機延滯、油耗及衝突等情況。
- ▶ SIMMOD為隨機模擬之模式，主要係藉由使用者定義之隨機變數，反映出現實中航班之操作特性，進而預測出任何空中作業改變對機場營運所造成之影響，目前該程式廣泛地被運用在主計畫、分期規劃及整建期間或動線調整時之營運模擬，以協助使用者進行空側或空域系統運作之決策分析。
- ▶ SIMMOD程式以航段(link)及航點(node)代表航機之操作，航段、航點可連結成航路(route)。航段、航點及航路各有其容量，藉由指定航行速度及等待(holding)等策略，使航段上航行之航機與前、後航機保持安全間距，並調整安排航機之進場順序。





□ TAAM (TOTAL AIRSPACE & AIRPORT MODELLER)

- ▶ TAAM一開始是由[The Preston Group](#)與[Australian Civil Aviation Authority \(CAA\)](#) 與[Quantas Airlines](#)共同發展，後來被波音公司收購成為[Boeing-Jeppesen](#)。
- ▶ TAAM為一套完整模擬機場空域與空側之程式，且為4D模擬方式(3D加上時間)。此模式可模擬由起飛登機門至降落登機門整個飛行之過程。
 - ✓ 機場起飛:包括後推、滑行、標準儀降離場程序(Standard Instrument Departures, SIDs)。
 - ✓ 航行:適當爬升率、航行高度、速度、間隔標準。
 - ✓ 降落機場:標準進場航路(Standard Arrival Routes, STARs)、降落、滑行、抵達停機坪。





三、國內外空域模擬差異分析

	模式	功能	輸入資料	輸出資料	優點	缺點
微觀	TAAM (3D)	模擬起飛登機門至降落登機門整個飛行過程	1.機場特性 2.空域航路與布置 3.地形資料 4.航管管理程序 5.機場使用規則 6.航班行程 7.航機軌跡與路線 8.航機特性 9.航機衝突發生時之解決策略 10.情境模擬產生	1.延滯時間 2.衝突程度 3.機場架次、延遲、滑行與跑道占用時間 4.空域航線 5.噪音等值線 6.航機耗油量 7.飛航費用 8.航管人員工作量 9.各型航機飛航紀錄 10.情境模擬產生	1.極佳之使用者介面，提供良好之3D圖形 2.在一定之邏輯下可提供使用者許多的選擇與彈性	1.需輸入相當詳細之資料 2.使用者需經過相當的訓練才能上手 3.Cost: ~\$300,000 per copy(約1千萬臺幣)
	SIMMOD (Node-Link)	分析機場及空域整體系統之運作	1.空域資料—空域航點、空域航段、航空器特性、航路設定、策略設定等 2.空側資料—空側節點、空側節線、指派、滑行設定地面設施特性等 3.事件資料—主要用以設定航機之起降班表	1.地面延滯 2.地面旅行時間 3.空中延滯 4.空中旅行時間 5.空側衝突點 6.機場起降架次	1.可提供使用者多種輸出結果以便進行各項分析 2.提供新機場興建的預測評估 3.提供良好之動畫圖形	1.輸入資料相當龐大，屬於勞力密集的工作 2.使用者需經過相當的訓練才能上手
	ANS2.0 (Node-Link)	分析機場及空域整體系統之運作	1.航路區域路網結構 2.機型資料 3.定期航線班表 4.航機離到場程序 5.航機運行時間資料 6.隔離時間資料 7.地面航機數量資料	1.航機延滯時間 2.機場起降架次 3.航機飛行時間 4.空中等候時間	1.可提供使用者多種輸出結果以便進行各項分析 2.針對臺灣飛航特性所建立之微觀模擬模式	成果與實際應用仍有一段差距





四、後續推動的規劃

□範圍界定

- 機場容量影響因素(硬體面)
 - ✓ 航廈
 - ✓ 跑道
 - ✓ 滑行道
 - ✓ 停機坪
 - ✓ 空域





● 106年度研究案範圍

- ✓ 只包含桃園機場空側(跑道、滑行道、停機坪)、空域。





□空域範圍說明



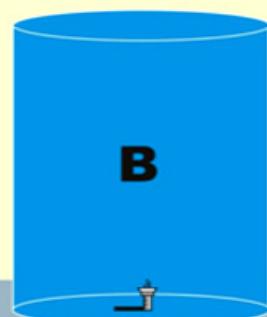
台北飛航情報區空域分類示意圖

90.02.07

「A」類空域，FL201至FL600。

200

「B」類空域
依航機飛航性質、航線複雜情形、
對VFR航機之管制需求，
個別訂定空域範圍及上下限。



「G」類空域

「E」類空域

一般管製空域
上、下限：
(1) 飛航空域601以上，及
(2) 1200AGL~飛航空域200間之空域
空域範圍：該A、B、C、D
· E類地表空域外之管制空域

「C」類空域
空域範圍：10度(為原則)。
上下限：地表至4000呎MSL
可依據環境個別調整。



「D」類空域

空域範圍：7度(為原則)。
上、下限：地表至3000呎MSL。



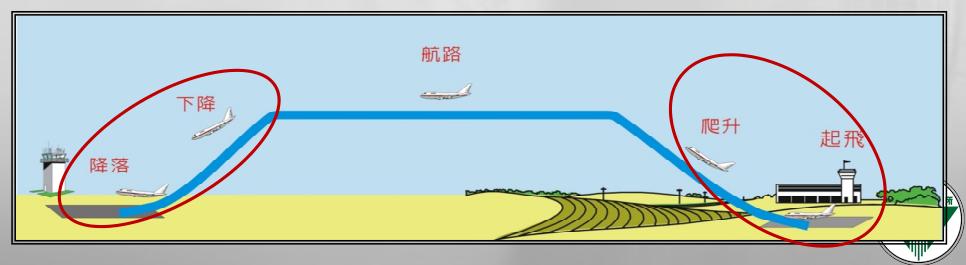
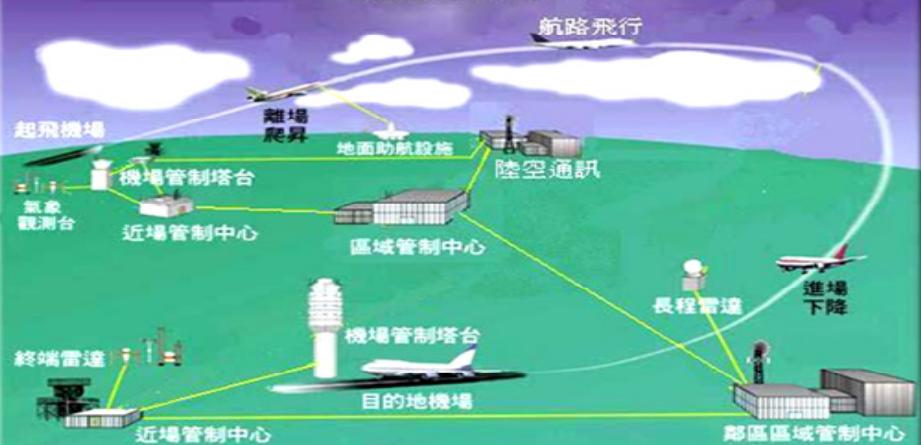
「G」類空域

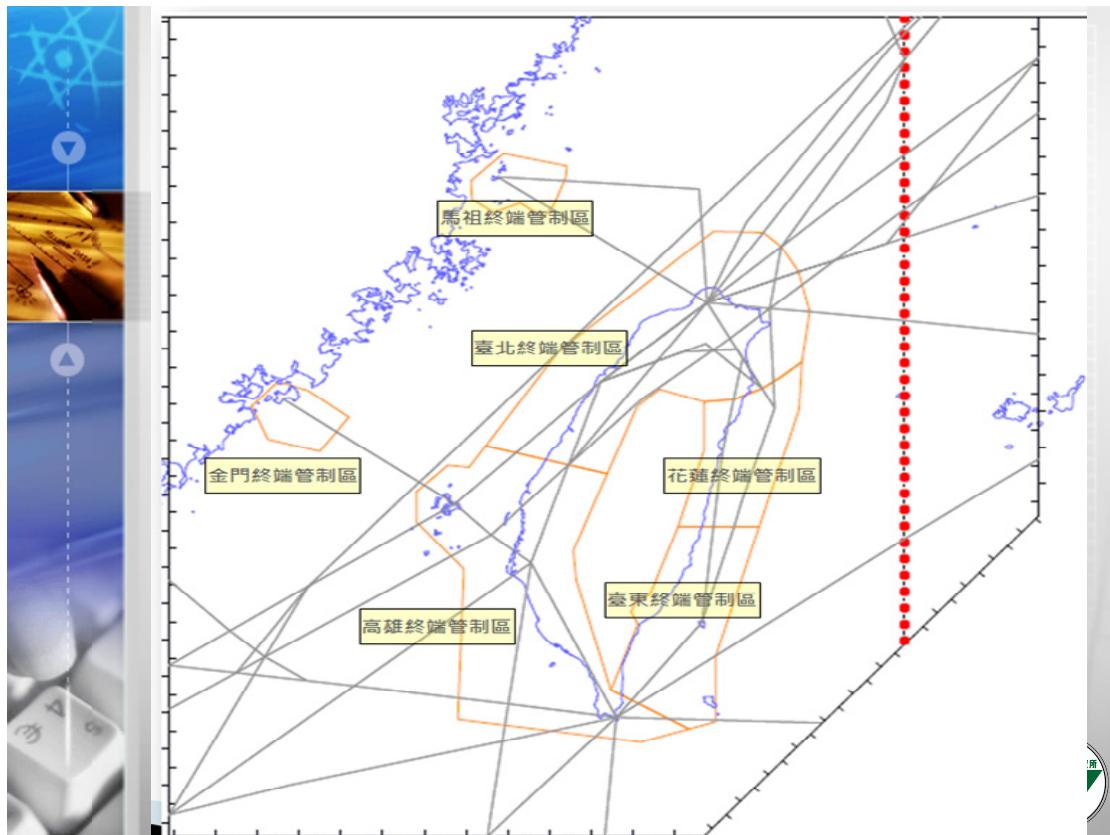
「E」類地表區域
空域範圍：5度(為原則)。
上、下限：地表至2500呎MSL



41

飛航管制系統





臺北飛航情報區	終端管制區域	業務負責單位與管制空層		空域分類
	臺北近場管制塔臺			
臺北區域管制中心	臺北終端管制區域 FL200/1200FT AGL	臺北塔臺	(7000FT , 10NM)	C
		松山塔臺	(7000FT , 10NM)	C
		新竹塔臺	(3000FT , 7NM)	D
		清泉崙塔臺	(3500FT , 7NM)	D
臺北區域管制中心	花蓮終端管制區域 FL200/1200FT AGL	臺北近場管制塔臺		
		花蓮塔臺	(3000FT , 7NM)	D
	馬祖終端管制區域 10000FT/1200FT AGL	臺北近場管制塔臺		
		南、北竿塔臺	(3000FT , 7NM)	D
臺北區域管制中心	高雄終端管制區域 FL200/1200FT AGL	高雄近場管制塔臺		
		高雄塔臺	(5000FT , 7NM)	D
		嘉義塔臺	(3000FT , 7NM)	D
		臺南塔臺	(3000FT , 7NM)	D
		岡山塔臺	(3000FT , 7NM)	D
		馬公塔臺	(3000FT , 7NM)	D
		屏東南、北塔臺	(3000FT , 7NM)	D
臺北區域管制中心	臺東終端管制區域 FL200/1200FT AGL	高雄近場管制塔臺		
		豐年塔臺	(3000FT , 7NM)	D
		綠島塔臺	(2500FT , 5NM)	E
		蘭嶼塔臺	(2500FT , 5NM)	E
臺北區域管制中心	金門終端管制區域 FL160/1200FT AGL	高雄近場管制塔臺		
		金門塔臺	(3000FT , 7NM)	D

□ 跑道、滑行道、停機坪範圍說明

► 以桃園機場為分析目標

✓ 跑道

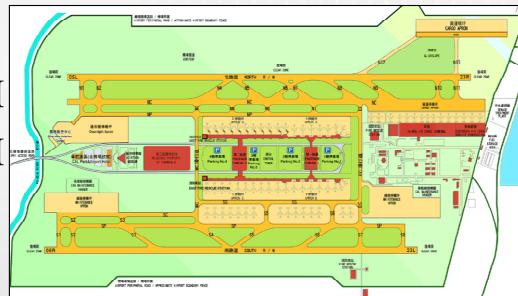
- 北跑道(05L/23R)3,660M
- 南跑道(05R/23L)3,800M

✓ 滑行道

- 北滑行道：21條
- 南滑行道：21條
- 聯絡南、北滑行道：2條

✓ 停機坪

- 客運停機坪：38個
- 貨運停機坪：25個
- 商務中心停機坪：3個
- 遠端停機坪：15個



□ 未來挑戰

► 空側分析-較易

► 空域分析-較難(3度空間，非實體隔離，**如何模擬???**)

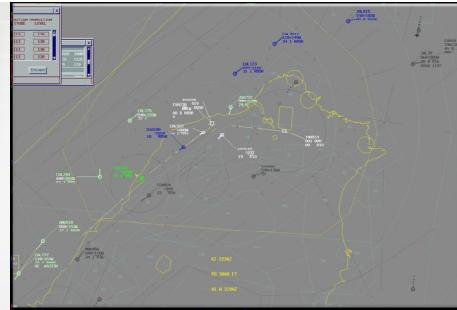


Figure 6 TAAM Aircraft following a real-world STAR



□準備工作

► 什麼是儀器飛航程序?



- ✓ 「儀器飛航程序」是一系列預設且有順序性之飛航程序與航線，以供航空器自起飛機場飛航至目的地機場。
- ✓ 儀器飛航程序依導航特性區分，可分為兩種：
 - 參考無線電台設計的「傳統導航設施程序」。
 - 點對點(Point to Point)飛行的「區域航行(RNAV, Area Navigation)程序」。



17



► 儀器飛航程序依飛行階段區分，主要包括四種程序，以構築航空器自起飛機場飛航至目的地機場之飛行路線，此四種程序依飛航順序為：

- ✓ 標準儀器離場(SID, Standard instrument Departure)：自終端(起飛機場)起飛爬升至加入航路之轉換程序(飛行路徑)。
- ✓ 航路(Airway)：通道式之管制區域，為航空器巡航飛行之主要幹道，為點與點間連接所組成。
- ✓ 標準終端到場(STAR, Standard Terminal Arrival Route)：自航路脫離下降至終端區域內目的地機場之儀器進場定位點的過渡程序(飛行路徑)。
- ✓ 標準儀器進場程序(SIAP, Standard Instrument Approach Procedure)：最初進場定位點至落地之飛航程序，主要目的為能精準導引航空器飛航下降至目的地機場跑道。



18

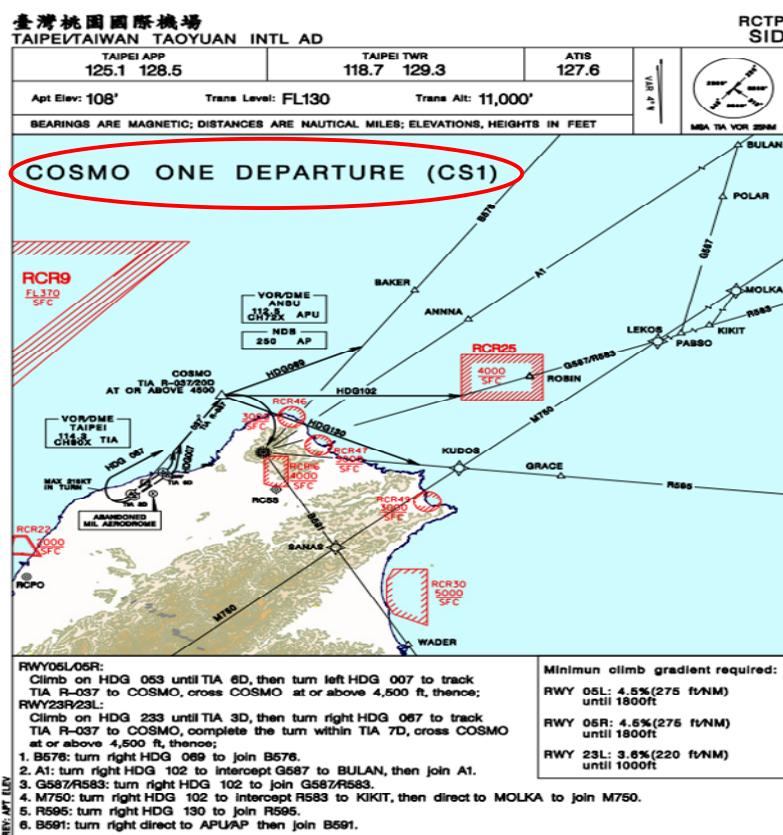


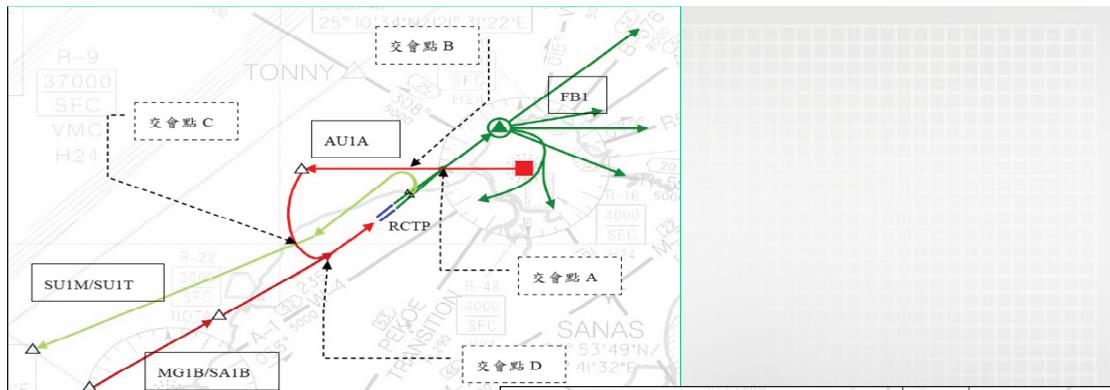
► 桃園國際機場儀器飛航程序

- ✓ 桃園國際機場的離、到場航線計有16個離場程序(SID)、21個到場程序(STAR)及14種進場程序(SIAP)，但是實際作業的SID與STAR是以RNAV為主，SIAP則以ILS為主。
- ✓ 桃園國際機場的離、到場，主要以東北、西南向為主，東南向加入B591航路主要是往紐、澳及關島等少數航線。
- ✓ 雖然桃園國際機場頒布的到場航線很多，但是約有80%以上的航機於接近機場30浬範圍內就會改變為管制員的雷達引導。

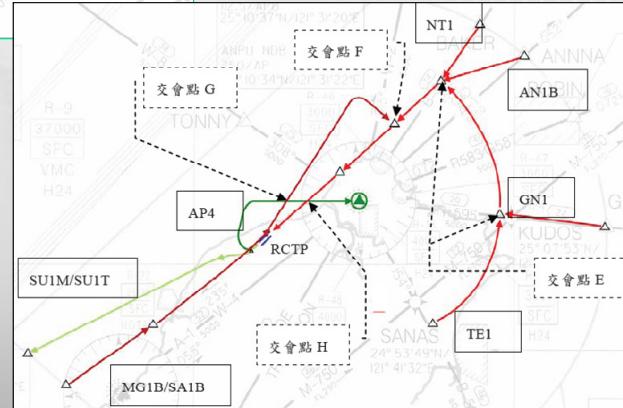


19

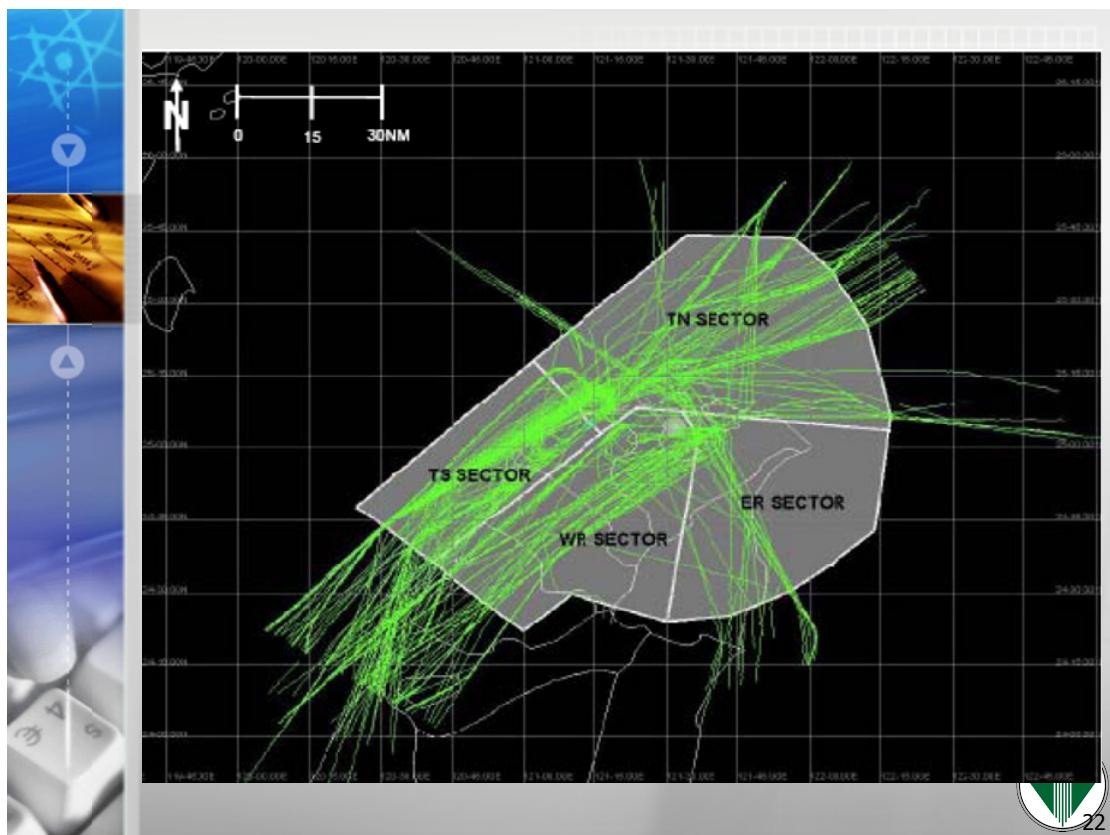




使用05L/05R 跑道之離到場程序投影示意圖



使用23R/23L 跑道之離到場程序投影示意圖

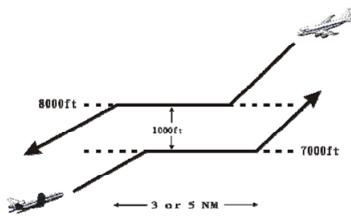




□管制作業技巧(航管人員)

► 1.高度指定

- ✓ 離場的航機起飛後便是希望能儘速爬升到最適當省油的巡航層，然後以該空層飛往目的地；到場的航機在到達目的地前，最理想的狀態便是於距目的地機場適當距離外，離開巡航層，開始引擎怠速以平穩的角度，持續下降至降落在跑道上。
- ✓ 實際情形是有太多的因素無法讓飛機如前述理想狀況般一路爬升或下降；例如：儀器飛航程序設有高度限制，兩個飛航管制單位訂有固定交接高度協議等情形。例如常見兩架航空器間會有水平隔離不足最低雷達隔離的3或5浬情形，航管為確保航機間之安全距離，因此介入指定兩架航機分別保持有1000呎隔離以上之高度，等兩架航機間取得水平隔離後，再讓航機繼續爬升或下降。航管對於離場爬升或到場下降的航機進行高度指定，便有可能造成航機的垂直飛航軌跡呈現階梯式的爬升或下降情形。



23



► 2.雷達引導

- ✓ 一般而言，儀器飛航航機皆按照儀器飛航程序所訂定的固定路線飛航。但航管運用雷達引導頒發航機航向指示，可以取代儀器飛航程序中的標準儀器離場程序、航路、及標準終端到場程序。
 - 航管會採取以雷達引導航機方式來介入取代航機之飛航路線時機點-例如當航機間飛航路線交錯時，若僅採取高度隔離可能造成航機保持固定高度過久，或為了安排離到場航機之飛航順序以加速流量。
- ✓ 雷達引導的優點是：1.可以有效的縮短航機間的水平距離，對狹小的空域是增加容量與效率的有效方法。2.航管容易掌握航機的飛航動態。3.航管容易安排航機順序。4.取得航機間安全隔離的最快速方法。
- ✓ 雷達引導的缺點是：1.航管需耗費大量精神於航情警覺(Situation Awareness)上，航管人員工作負擔大，且增加無線電通話量。2.駕駛員不易掌握所需飛行距離。3.額外的雷達引導可能增加航機飛行距離。4.額外的雷達引導可能增加航機平飛保持高度之情形。



24



► 3.空速調整

- ✓ 空速調整在飛航管制上主要的作用為安排航機間的順序。飛航管制程序對空速調整的規定為：「儘量少用速度調整以取得或保持所需之隔離」。「避免加速與減速交替並用。如先前指定之速度調整不需時，應同意駕駛員恢復正常空速」。「駕駛員認為速度調整超出或違反航空器之操作規定時，有責任及權利加以拒絕」。
- ✓ 當運用速度調整時應考慮決定所需之間隔及達到該間隔之定點。實施空速之調整應基於下列原則：
 - 1.調整空速之前應先考慮相對速度，相關航情之位置及隔離之需求。
 - 2.空速之調整並非一蹴可及，達成速度調整所需之時間、距離與航空器之外形、高度及速度有關。



25



- ✓ 運用下列技巧實施速度管制：

- 1.對前後航空器之速度調整，應運用下列技巧之一：
 - (1)先對後一航空器減速。
 - (2)先對前面之航空器加速。
 - (3)為保持隔離，指定一特定空速。
- 2.在下列情況下，應增加時間和距離，以達成速度調整之目的：
 - (1)較高之高度。
 - (2)較大之空速。
 - (3)外形完全收起。
 - (4)航情許可時，儘可能允許航空器收起外形操作。
 - (5)儘可能將要求航空器速度調整之次數減至最少。

航空器的爬升下降率依照空氣動力特性而言，與航空器的速度有關，空速的調整可能影響航空器垂直飛航軌跡。

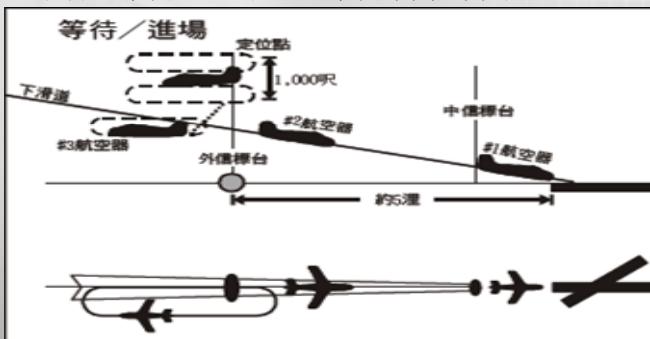


26



4. 等待

- ✓ 在航路或儀器離到場程序的航點上，會設計等待點與等待航線，目的為供航機因任何因素無法繼續往前飛行時，可以在等待點上空等待。
- 航管頒發等待指示時機，航空器通常因機場或跑道關閉航機無法落地時，或因為航機太多，已無多於空域實施雷達引導，抑或即使實施雷達引導也只是會成為過度引導時。
- ✓ 等待會大幅增加航機到場的飛行距離(Flying Miles)，而且等待時為了取得與其它在相同等待點等待的航機間之高度隔離，會指定固定高度等待。因此，等待會影響航空器的垂直飛航軌跡。



27

□ 分析模式彙整(8篇)

論文名稱	內容	出處
“Aircraft ground traffic optimization”	利用基因演算法(Genetic Algorithm)計算，使飛機從登機門至起飛或飛機降落至登機門花費最少的 <u>滑行時間</u> 。	https://hal-enac.archives-ouvertes.fr/hal-00938013,2014
“Genetic Algorithms Applied to Airport Ground Traffic Optimization”	利用基因演算法(Genetic Algorithm)計算，找出 <u>最佳軌跡</u> 及 <u>飛機滑行的控制點</u> 。	IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY,2003
“Aircraft Ground Routing and Scheduling Optimization”	地面運行最佳化的問題在於 <u>航機路徑與調度的安排</u> ，因此本研究利用Alternative Graph model以解決地面運行最佳化。	UKSim-AMSS 16th International Conference on Computer Modelling and Simulation, 2014



28



名稱	內容	出處
“TRAJECTORY BASED GROUND MOVEMENTS AND THEIR COORDINATION WITH DEPARTURE MANAGEMENT”	將航機 <u>地面軌跡</u> 與 <u>起飛管理</u> 結合，以有效提升跑道排序最佳化。	IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY,2013
“Trajectory Design for Aircraft Taxi Automation to Benefit Trajectory-Based Operations”	探討航機滑行軌跡規劃 <u>不彈性的問題</u> ，並以燃料消耗，碳排放和噪音三個面向進行分析。	Proceedings of the 7th Asian Control Conference,2009



名稱	內容	出處
“Optimizing Airport Capacity Utilization in Air Traffic Flow Management Subject to Constraints at Arrival and Departure Fixes”	利用Airport arrival - departure capacity curves 計算跑道容量，但不考慮空域因素。	IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY,1997
“Time-Space Analysis Airport Runway Capacity”	利用「跑道容量曲線」計算最大容量，分析方式為依據離到場比例(0%離場/100%到場遞增/遞減至100%離場/0%到場)。	Virginia Tech, 2012
“THE FINAL APPROACH SPACING TOOL”	本研究介紹FAST軟體演算法、人機界面和案例模擬的結果。	13th IFAC Symposium on Automatic Control in Aerospace,1994





五、結論與建議

□ 結論

- ▶ 空域容量為掌握我國機場容量提升之重要要素之一，為此須有一專門工具進行分析，然而國外現有套裝軟體如SIMMOD、TAAM等，動輒需數十萬至近千萬費用才能購得，且系統功能未必完全符合我國空域特性。
- ▶ 建置符合我國空域特性之模擬模式，以模擬空域航機運作，並探討及分析我國空域容量，在技術上應是可行。



□ 建議

- ▶ 明年度委辦研究將以數學模式3D模擬為主，並不採用Node-Link模擬方式。
- ▶ 未來可能遇到之瓶頸點為空域模擬部分，因此須針對桃園國際機場儀器飛航程序(離到場)進行深入瞭解，並藉由與民航局飛航服務總台訪談，瞭解航管人員實務運作方式，後續模擬結果方能與實際結果貼近。





簡報結束
恭請裁示

33