

108-068-2310

MOTC-IOT-107-EDB002

空域模擬模式功能擴充之研究



交通部運輸研究所

中華民國 108 年 6 月

ISBN - 978-986-05-9279- (平)



GPN : 1010800889

定價 200 元

108-068-2310

MOTC-IOT-107-EDB002

空域模擬模式功能擴充之研究

著者：許書耕、賴威伸、胡智超、李宇欣、陳春益、

林東盈、陳佑麟、袁永偉

交通部運輸研究所

中華民國 108 年 6 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

空域模擬模式功能擴充之研究 / 許書耕等著.
-- 初版. -- 臺北市 : 交通部運研所, 民
108. 06
面 ; 公分
ISBN 978-986-05-9279-5(平裝)

1. 航空運輸管理

557

108008275

空域模擬模式功能擴充之研究

著 者：許書耕、賴威伸、胡智超、李宇欣、陳春益、林東盈、陳佑麟、
袁永偉

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>數位典藏>本所出版品)

電 話：(02)23496789

出版年月：中華民國 108 年 6 月

印 刷 者：盈濤印刷品有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 63 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：200 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組 • 電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號•電話：(02)25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1010800889 ISBN：978-986-05-9279-5 (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。

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：空域模擬模式功能擴充之研究			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-05-9279-5（平裝）	政府出版品統一編號 1010800889	運輸研究所出版品編號 108-068-2310	計畫編號 107-EDB002
本所主辦單位：運輸工程組 主管：許書耕 計畫主持人：許書耕 研究人員：賴威伸、胡智超 聯絡電話：02-23496821 傳真號碼：02-25450427	合作研究單位：財團法人成大研究發展基金會 計畫主持人：李宇欣 研究人員：陳春益、林東盈、陳佑麟、袁永偉 地址：臺南市大學路1號 聯絡電話：(06)2757575		研究期間 自 107 年 2 月 至 107 年 12 月
關鍵詞：飛航管制、模擬模式			
摘要： 最近數年來我國國際航空交通需求持續成長，已經形成國內飛航空域擁擠以及造成飛航管制不易，使得如何提升空域容量以及機場之地面設施運用效率成為重要課題。此課題涉及許多複雜因素，需要利用專門工具方能進行分析與規劃，國際上雖有現成的套裝軟體，但價格昂貴且不易客製化，而我國在開發此類軟體所需之數學規劃、數據處理、資訊等核心技術均具有國際競爭力，可完全自主研究開發。 本計畫在前期成果基礎上持續研發，已經成功開發我國完全自主之關鍵技術，據以發展可用之模擬模式。本計畫接續完成模擬模式軟體之實作以及桃園國際機場、松山機場相關基本資料之建置，並利用該軟體進行相關情境主題模擬(包括新建第3條跑道等情境)。未來可利用本模擬模式解決桃園機場近期課題，包括機場跑滑道、衛星廊廳等計畫方案評估，同時也可針對現況及未來營運影響層面進行評估，而分析結果可供相關單位參考應用。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
108 年 6 月	182	200	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： ☐ 密 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 （解密條件： ☐ 年 月 日解密， ☐ 公布後解密， ☐ 附件抽存後解密， ☐ 工作完成或會議終了時解密， ☐ 另行檢討後辦理解密） ☒ 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

PUBLICATION OF COOPERATIVE RESEARCH PROJECT ABSTRACTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: A study on the expansion of aviation simulation model function			
ISBN(OR ISSN) ISBN 978-986-05-9279-5(pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010800889	IOT SERIAL NUMBER 108-068-2310	PROJECT NUMBER 107-EDB002
DIVISION: Transportation Engineering Division DIVISION DIRECTOR: Shu-Keng Hsu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Shu-Keng Hsu PROJECT STAFF: Wei-Shen Lai, Chih-Chao Hu TELEPHONE: 02-23496821 FAX: DIVISION: 02-25450427			PROJECT PERIOD FROM February 2018 TO December 2018
COOPERATIVE RESEARCH AGENCY: NCKU Research and Development Foundation (NCKURDF) PRINCIPAL INVESTIGATOR: Yusin Lee PROJECT STAFF: Chuen-Yih Chen, Dung-Ying Lin, Ju-Lin Chen, Yune-Wei Yuan ADDRESS: No.1, University Road, Tainan, Taiwan (R.O.C.) PHONE: (06)2757575			
KEY WORDS: Air Traffic Control; Simulation Model			
ABSTRACT: In recent years, demand for air travel has continued to grow, causing air space to become very crowded. and increasinglt the complexity of flight control. How to improve airspace capacity and the efficiency of ground facilities in airports has become an important issue. This topic involves many complicated factors, and it needs special tools to analyze and plan. Although there are many good software solutions available worldwide, they are very expensive and not easy to customize. We have core technologies such as mathematical programming, data and information processing, so the software can be developed completely independently by ourselves . This project builds on previous results, such as proven simulation models and basic data collected from the operations of Taoyuan International Airport and Songshan Airport. This software has been used to build scenario models (including the construction of a third runway, etc.). In future, this this simulation model can be used to solve issues at Taoyuan International Airport, including airport runways, satellite corridors, and other project evaluations. It can also assess the current situation and future operational impact levels. Finally the results will be made available to the relevant units for reference.			
DATE OF PUBLICATION June 2019	NUMBER OF PAGES 182	PRICE 200	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目錄

第一章 緒論.....	1
1.1 計畫緣起.....	1
1.2 研究對象與範圍.....	1
1.3 研究內容.....	1
1.4 工作流程.....	2
第二章 文獻回顧.....	3
2.1 前期計畫研究成果.....	3
2.2 國內參考文獻.....	5
2.3 國際商用軟體使用現況.....	9
2.4 其他參考資料.....	10
第三章 模擬模式內容及架構.....	13
3.1 概述.....	13
3.2 事件模擬.....	14
3.3 角色設計.....	16
3.4 決策之形成架構.....	18
3.5 重要基本假設.....	21
3.6 空域網路模型.....	26
3.7 空側模型.....	28
3.8 停機位分配模型.....	30
第四章 模擬軟體架構及功能說明.....	35
4.1 軟體架構.....	35
4.2 輸入參數.....	36
4.3 視覺呈現.....	40
第五章 確認流程與驗證方式.....	51
5.1 確認流程.....	51
5.2 驗證方式.....	59
第六章 特定情境主題模擬.....	61
6.1 桃園國際機場第3跑道.....	61
6.2 桃園國際機場排除地面影響之模擬.....	63
第七章 結論與建議.....	67
7.1 結論.....	67
7.2 建議.....	69
附錄一：期中報告審查意見處理情形表.....	75
附錄二：期末報告審查意見處理情形表.....	93
附錄三：訪談紀錄.....	109

附錄四：起降程序資料.....	119
附錄五：桃園國際機場航機停靠機坪原則.....	139
附錄六：期末簡報.....	147

圖目錄

圖 1.1 工作流程圖	2
圖 2.1 前期成果模組架構	4
圖 2.1 ANS 網路架構示意圖	7
圖 2.2 ANS 機場空邊路網結構示意圖	7
圖 2.4 桃園國際機場場面圖	10
圖 2.3 RCTP 及 RCSS 儀器離場程序航圖示例	12
圖 3.1 模擬事件架構示意圖	16
圖 3.2 轉換跑道時序示意圖	23
圖 3.3 空域網路示意圖	27
圖 3.4 地面網路示意圖	29
圖 4.1 軟體模組架構圖	36
圖 4.2 模擬軟體登入畫面	40
圖 4.3 軟體使用說明畫面	40
圖 4.4 參數編輯畫面	41
圖 4.5 專案資料編輯區域	42
圖 4.6 班表資料以公司欄群組之畫面	42
圖 4.7 班表資料依公司群組後再展開之畫面	43
圖 4.8 滑行道關閉設定畫面	43
圖 4.9 跑道運轉模式設定畫面	44
圖 4.10 模擬結果動畫播放主畫面	44
圖 4.11 播放專案選擇畫面	45
圖 4.12 播放遙控器畫面	46
圖 4.13 模擬結果統計圖畫面	47
圖 4.14 播放倍率與播放時間控制區	47
圖 4.15 圖例區畫面	48
圖 4.16 動畫顯示區-場面動畫示例	49
圖 4.17 動畫顯示區-空中動畫示例	49
圖 5.1 桃園國際機場 6 月 30 日每小時離到場航空器數量統計	60
圖 6.1 桃園國際機場擴建第 3 跑道後場面圖	61
圖 6.2 桃園國際機場擴建後模擬統計（混合起降）	62
圖 6.3 桃園國際機場擴建後模擬統計（中央跑道降落）	63
圖 6.4 排除地面影響之模擬停機位配置	64
圖 6.5 桃園國際機場排除地面影響模擬畫面	64
圖 6.6 桃園國際機場排除地面影響之模擬統計（一起一落）	65
圖 6.7 桃園國際機場排除地面影響之模擬統計（混合起降）	65
圖 7.1 本研究各界合作模式	67
圖 7.2 本研究所結合之技術	67

附圖 4.1 RCTP 雷達引導離場程序 SP1 航圖	119
附圖 4.2 RCTP 儀器離場程序 AJ1G/AJ1M 航圖	120
附圖 4.3 RCTP 儀器離場程序 NP2G/NP2M/NP2R/NP2T 航圖.....	121
附圖 4.4 RCTP 儀器離場程序 OT2G/OT2M/OT2R/OT2T 航圖.....	122
附圖 4.5 RCTP 儀器離場程序 PA1A/PA1B 航圖.....	123
附圖 4.6 RCTP 儀器到場程序 BK1A/BK1B/DR1A/DR1B/GR1A/GR1B 航圖	124
附圖 4.7 RCTP 儀器到場程序 SA1A/SA1B/TG1A/TG1B 航圖.....	125
附圖 4.8 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY05L 航圖	126
附圖 4.9 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY05L(CAT II)航圖.....	127
附圖 4.10 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY05R 航圖	128
附圖 4.11 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY05R(CAT II)航圖	129
附圖 4.12 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY23L 航圖	130
附圖 4.13 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY23L(CAT II)航圖.....	131
附圖 4.14 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY23R 航圖	132
附圖 4.15 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY23R(CAT II)航圖	133
附圖 4.16 RCTP 儀器進場程序 RNAV RWY05L 航圖.....	134
附圖 4.17 RCTP 儀器進場程序 RNAV RWY05R 航圖	135
附圖 4.18 RCTP 儀器進場程序 RNAV RWY23L 航圖.....	136
附圖 4.19 RCTP 儀器進場程序 RNAV RWY23R 航圖	137

表目錄

表 2-1 桃園國際機場相關航點.....	11
表 2-2 臺北松山機場相關航點.....	12
附表 5-1.....	140
附表 5-2.....	140
附表 5-3.....	141
附表 5-4.....	141
附表 5-5.....	142
附表 5-6.....	144
附表 5-7.....	145
附表 5-8.....	145
附表 5-9.....	145

第一章 緒論

1.1 計畫緣起

國際航空交通需求量持續成長為近年來之全球趨勢，而我國國際航空交通需求量亦隨之大幅成長。以 107 年桃園國際機場為例，當年度起降架次即超過 24 萬架次，大量的航機飛航於有限的空域，造成空域擁擠程度持續增加、飛航管制不易；且在機場空間與設施均擴充不易，而運量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。

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，需要利用專門工具進行分析與規劃。國外現有套裝軟體如 SIMMOD、TAAM (Total Airspace and Airport Modeller) 等，其價格高昂，且系統功能未必完全符合我國空域管理需求。而我國目前在此類軟體所需之數學規劃、數據處理、資訊等技術方面具有國際競爭力，可完全自主研究與開發。

1.2 研究對象與範圍

本研究之主要研究對象與範圍是以前期（106 年）之研究成果及模擬模式雛型為基礎，將松山機場納入研究範圍，並針對桃園機場新增第 3 條跑道進行研究，持續擴充模擬功能、改善及優化人機介面，以可方便建入相關參數為目標，用以模擬空域航機的運作，同時提升我國自主分析民航空域容量之研究能量。

1.3 研究內容

隨著我國國際航空交通多年之持續成長，已使得我國發生空域擁擠之現象，而桃園國際機場亦出現容量不足狀況。為此我國在可見之未來將進行多項重大工程以擴增桃園國際機場容量。然而如何有效運用寶貴的空間與時間資源以提供最大量的服務，仍為重要課題。

在此需求下，我國開發一套可自主掌握核心技術的本土化模擬系統，有其重要性，因此本研究內容有兩項重點：1. 本研究將延續前期計畫之成果，以前期所開發之軟體雛型為基礎，開發較前期更為成熟之模擬軟體，使我國進一步掌握核心技術。2. 本研究可利用所開發之軟體，進行桃園國際機場新增第 3 跑道後

對機場整體運作之影響、臺北松山機場航班加入桃園國際機場現有航班中對桃園國際機場容量及運作之影響與變化，以及桃園國際機場與松山機場間空域衝突狀況之模擬分析。而這些分析結果對政策形成應具有相當重要之參考價值。

1.4 工作流程

本研究之工作流程如圖 1.1 所示，其中在資料蒐集與實務訪談後，再進行介面設計與軟體開發，最後針對特定主題進行模擬。

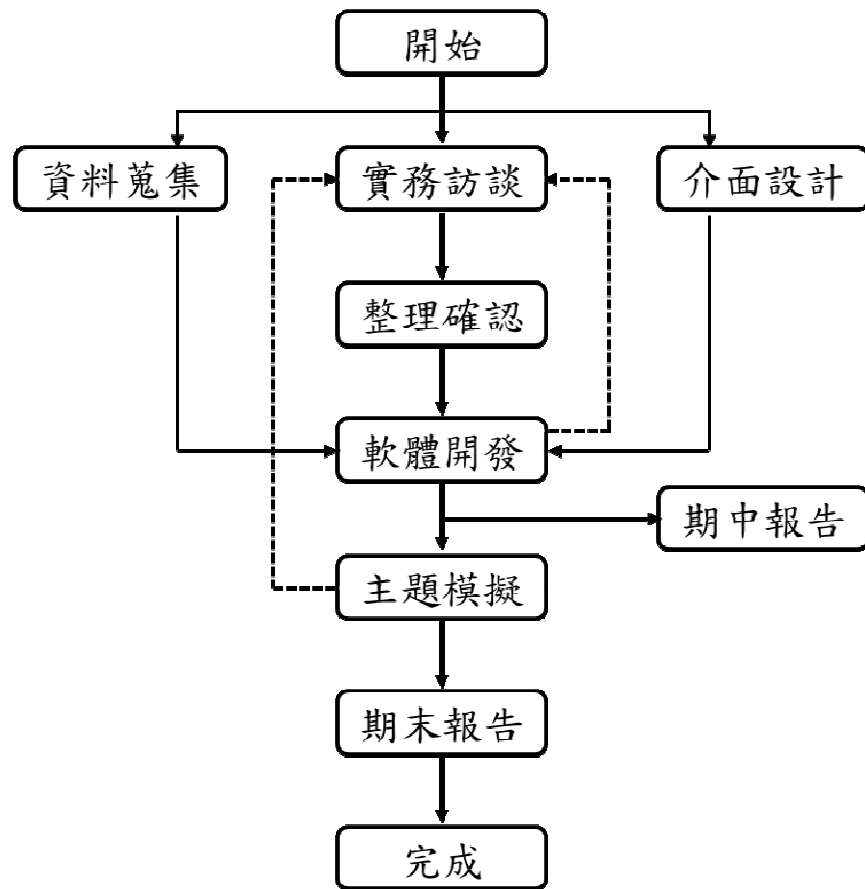


圖 1.1 工作流程圖

第二章 文獻回顧

2.1 前期計畫研究成果

本所 106 年度完成「構建空域模擬模式之研究-以臺北終端管制區域為例」^[1]，為本研究之前期計畫，亦為本研究最重要之基礎。該計畫之主要目的在掌握民航空域容量分析之重要組成單元與關鍵參數，據以構建臺北終端管制區域之空域模擬模式雛型，協助後續相關情境分析，並做為民航局及機場公司在空域容量改善之參據。

前期計畫之範圍跨越了空域與地面，在空域部份為臺北終端管制區域，而在地面部份則為桃園國際機場空側，而模擬模式則包含了終端管制、跑滑道、停機位管理等主要單元；其中計畫重要成果有兩項：

1. 確立模擬模式實應給予管制員以及停機位指派人員最重要之地位，亦即模式以管制員以及停機位指派人員之決策思考為實際模擬對象，而航空器在空中或地面之移動，則視為表現管制員與停機位指派人員意志之方法。在此大原則下，前期之模擬模式乃依循不同席位管制員以及停機位指派人員所能掌握之資訊，以及其決策思考方式，開發不同方法以模擬之。
2. 開發了具有動畫視覺呈現功能之雛型軟體，該軟體的動畫功能有助使用者有效觀察模擬所產生之大量數據，從而確認模擬模式正確的部份，並指認不足之部份，此外該軟體所採用之架構亦具有相當之參考價值。

該模式在空域與地面各構建網路模型以呈現航空器在時間與空間中之移動狀況，這兩組網路大抵相互獨立，但於代表跑道之節點則相互連接。此種結構亦符合跑道位居空中與地面交界之真實情況，而所開發之演算法則依所模擬之對象分為 3 項：

1. 空域網路演算法

本演算法之目的在模擬近場臺各席管制員於引導航空器飛行時之意志。在完成構建空域網路之後，演算法於網路中全面檢視所引導之航空器可納入考慮使用之多條可能飛行路線，並為每一個可能飛行路線計算適當之飛行高度與速度。在此過程中，同時逐一檢視每一可能飛行路線，在飛行過程中與其他在空中到離場航空器之間的隔離是否滿足所有的規定。最後對每一可能飛行路線進行計算，再選取最早降落時間之飛行路線，指派予航空器。

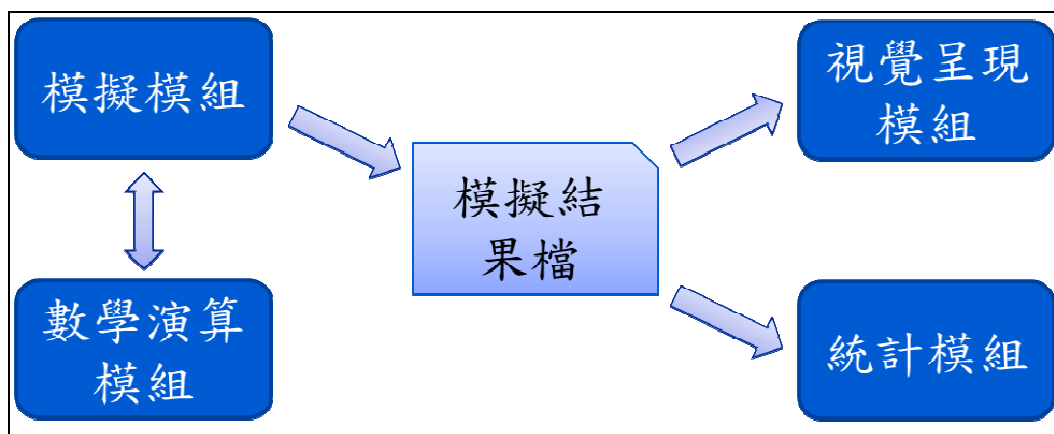
2. 地面網路演算法

本演算法之目的在模擬塔臺各席管制員引導航空器於地面滑行時之思考邏輯，主要功能為規劃航空器於地面之滑行路徑。當演算法為某一航空器規劃滑行路線時，會考慮機場場面上所有其他滑行中之航空器之滑行路線以及各自預定佔用與釋放網路中節線之時間，再依所指定之滑行路線起點、滑行路線終點，以及最早可開始滑行之時間，利用深度優先搜尋法求解依時最短路徑（Time-Dependent Shortest Path）作為滑行路線。

3. 停機位指派演算法

本演算法之主要目的在模擬桃園機場公司航務處人員將可用停機位指派予有需求之航空器之過程。在訪談過程中發現實務上人員於指派停機位時，擁有當天所有需求之完整資訊，並依此資訊通盤考慮停機位之指派方式。為配合此種實務狀況，前期研究在此部份開發線性整數規劃模式以求解停機位之分配，而該模式可應用於次日停機位之指派，亦可用於當天停機位之調度。

前期所開發之軟體雛型係以 C++ 以及 C# 二種程式語言開發成，其架構計分為模擬、數學演算、視覺呈現、與統計 4 個主要模組，其間以模擬結果檔串聯之，如圖 2.1 所示。其中模擬模組之主要功能在執行事件模擬、數學演算模組之主要功能在提供執行各種演算法之能力、視覺顯示模組用以將模擬結果以動畫方式呈現予操作人員觀察，而統計模組則由模擬結果檔中萃取資訊並統計之。



資料來源：^[1]

圖 2.1 前期成果模組架構

前期成果之軟體雖為雛型，但已掌握模擬範圍內航空器運作之主要元素，因此有能力以動畫方式呈現航空器於空中及地面移動之狀況。除了核心技術之開發以及軟體實作外，前期計畫已廣為蒐整我國空域與桃園國際機場空側，以及我國航管與航務之相關規章，並有系統整理與本模擬直接相關之部份，其主要項目包含如下：

1. 臺北終端管制區域

臺北終端管制區域之地理位置及其範圍。

2. 桃園機場空側

機場位置、塔臺概況、跑道參數、滑行道概況、停機位清單與參數等。

3. 飛航管制服務

水平與垂直隔離標準、其他規定等。

4. 近場管制服務

相關航點名稱與經緯度、桃園國際機場離場、到場、進場儀器飛航程序。

5. 機場管制服務

跑道隔離標準、航空器於滑行道之活動分類。

6. 停機位指派

作業分類及流程、航機停靠機坪原則。

2.2 國內參考文獻

目前國內對於空域模擬之研究以碩士論文為多。這些論文均有其特定之分析主題。其中張仁達(2000)^[2]為自行開發軟體，以離散事件模擬方式進行臺北飛航情報區之空域模擬，同時並探討其餘各終端管制區域之模擬架構；郭權鋒(2000)^[3]使用 SIMMOD 軟體模擬北高空運走廊之運作；彭冠儒(2014)^[4]使用 SIMMOD 進行桃園機場與松山機場之多機場模擬，用以分析臺北終端管制區之離到場隔離標準；周立偉(2000)^[5]使用 ANS (Air Net Simulation)以建立平行獨立跑道運作之微觀模擬模式；李昀諭(2001)^[6]使用 ANS 為基礎，進一步納入天候之考量；俞瑞華(2003)^[7]使用 ANS 探討三種飛航管制策略之績效；吳世偉(2004)^[8]則使用 SIMMOD 商用軟體以進行延誤在航機之間擴散之現象。

上述論文中，以使用商業套裝軟體者為多，這些套裝軟體，其內部所使用

之模式等核心技術，則各屬商業機密，並不公開。於開放參考資料之領域僅能取得有限之使用方法說明（例如教學手冊^[9]等），或使用經驗（例如^[10]等），而有關商業軟體部份將於第 2.3 小節介紹之。

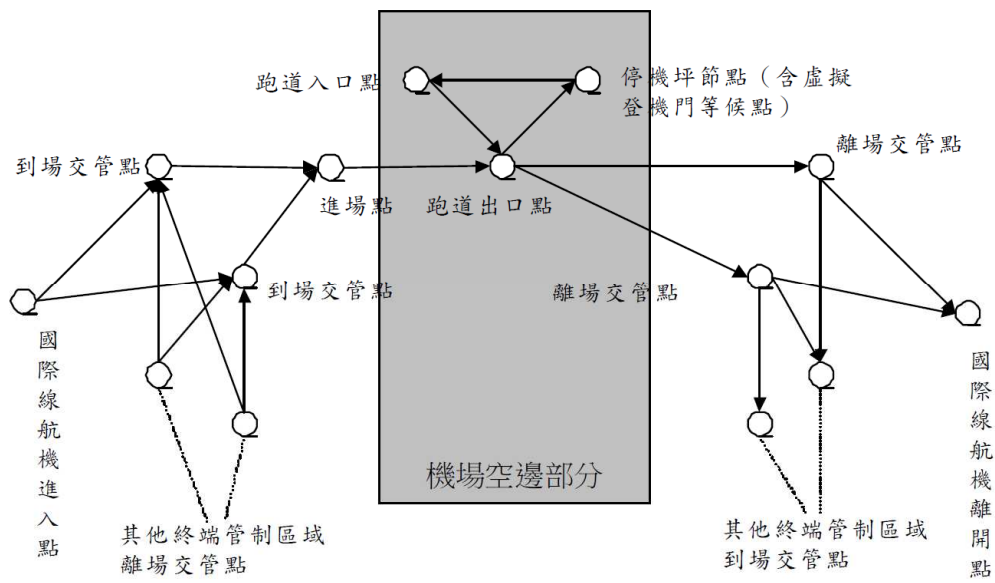
另國內亦有研究開發本土模擬模式 ANS (Air Net Simulation)^[5-7]，並使用於臺北飛航情報區與終端管制區域之模擬^[11]，此模擬模式採事件模擬方式進行，為微觀之模擬模式，並於執行模擬時，系統維持一「事件排程表」，據以管理過程中所使用之各事件。

其軟體分為資料庫模組、網路模組，以及模擬模組等 3 個主要模組^[11]。系統在模擬模組下，再建有 7 個模組，包含航機產生模組、起飛等候模組、跑道管理模組、脫離跑道模組、離到場模組、進場模組，以及接續班機模組。

該系統有能力模擬由航空器之起飛機場停機坪，直至降落機場停機坪間之飛航過程^[5, 11]；而此一過程，則由航空器在節點到節點之間，沿節線推進之過程描述之，其網路架構如圖 2.1 所示意。本模式後續並針對機場空側之模擬而擴充^[5]，增加最後進場點、跑道節點、橫越跑道等候點、滑行道節點節線、登機門節點、停機坪節點，以及離場等候點節點等元件，其網路架構如圖 2.2 所示。在圖 2.1 中，有「停機坪節點」、「跑道入口點」、「跑道出口點」、「進場點」等節點，其間並有節線相連，其模擬進行內容說明如下：

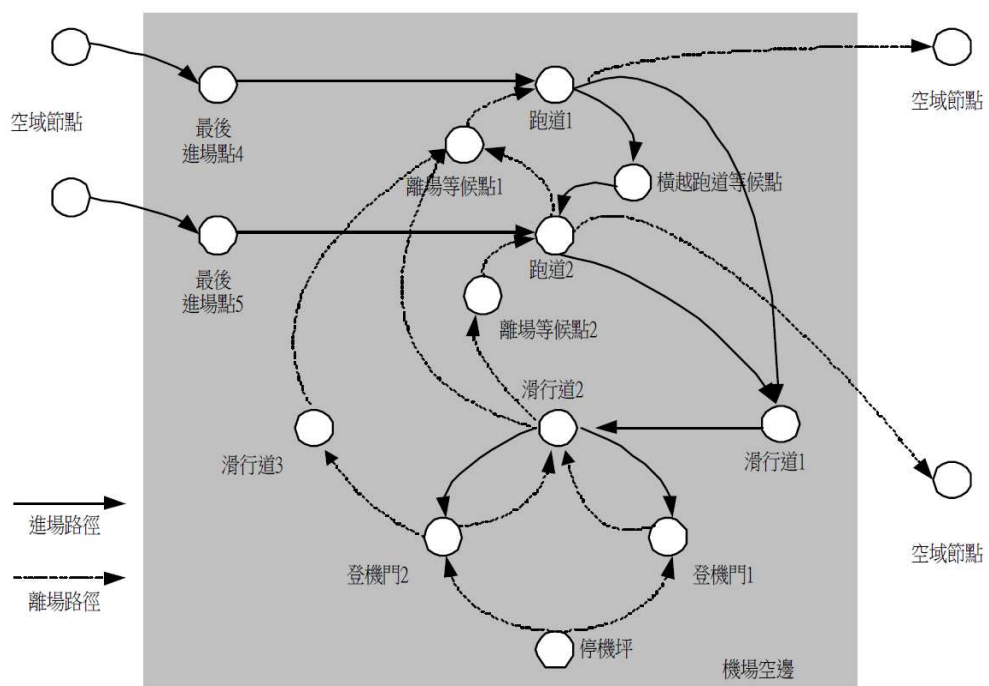
1. 航空器位在「停機坪節點」代表該航空器正處於地停作業之狀態。
2. 位在「跑道入口點」代表該航空器正處於抵達跑道頭等待起飛之狀態。
3. 航空器位在「進場點」節點，則代表該航空器之狀態為進場中，已攔截五邊但尚未接觸跑道。
4. 連接「停機坪節點」與「跑道入口點」之節線，代表航空器之狀態可以由地停作業之狀態，直接轉換為在跑道頭等待起飛之狀態。

圖 2.1 之網路中並無「進場點」連接至「停機坪節點」之節線，代表航空器不可在攔截五邊之後直接變換到地停作業之狀態。



資料來源：[5]

圖 2.1 ANS 網路架構示意圖



資料來源：[5]

圖 2.2 ANS 機場空邊路網結構示意圖

對國內航線與國際航線之模擬，ANS 分別採用了 2 種不同之規則^[11]。在國內航線部份，其規則包括^[11]：

1. 其他機場起飛之航機於離場交管點後，即依估計之時間推進至到場交管點。
2. 目的機場之跑道空閒時，航機即取得落地許可而獲得跑道使用權，再將之推進至進場點。
3. 航機隨後推進至跑道出口點再至停機坪，並釋放出跑道使用權。
4. 若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登機門等候點。
5. 航機取得後推許可後，即可離開登機門等候點而推進至跑道入口點。
6. 於跑道空閒且隔離足夠時，等候起飛之航機即取得跑道使用權，而推進至跑道出口點。
7. 航機離開跑道後即放出跑道使用權，並推進至離交管點。
8. 離開離場交管點之航機經過一段飛行時間後推進至其他終端管制區域之到場交管點。

國際航線之規則摘錄如下^[11]：

1. 國際航線到場航機為由一國際線航機進入點產生，再推進至到場交管等候點。
2. 國際線航機在起飛至離場交管點後即離開本系統，而國際航線於終端管制區域內之運作方式與國內航線相同。

機場空側模擬軟體^[2, 6]係以前述 ANS 軟體為基礎，予以擴充而成。該軟體由 6 個模組所組成，分別為航機產生模組、登機門模組、後推模組、滑行道模組、跑道管理模組，以及到場等候模組。

另一方面，亦有學術論文探討與飛航模擬相關之核心模式，如開發數學模式以求解多數航機相互間無衝突之滑行路線^[12]、提出數學模式以規劃航機在三維空間與時間中之移動航跡^[13]，這些基本學理雖各有其重要性，但與實際應用模擬模式之建立，仍有相當之距離。

2.3 國際商用軟體使用現況

商用模擬軟體雖多為公開發售，但其核心技術均為各自開發之商業機密，於公開領域並無法取得深入說明之技術文件，且通常即使付費購買，亦無法取得關鍵技術。在 SIMMOD 方面，文獻^[10]以 Denver International Airport (DIA) 為例，說明該機場使用 SIMMOD 分析、規劃航機自停機坪後推、進入除冰區執行除冰任務、起飛過程等之效率。而文獻^[9]則以使用手冊之方式大要說明如何使用 SIMMOD 軟體，近年來該軟體則持續更新而成為 SIMMOD PLUS! 軟體，專供美國與加拿大境外使用，而 SIMMOD PRO! 軟體則專供美國與加拿大境內空域及機場模擬之用。

使用 SIMMOD 執行模擬時可經由參數之設定，達到模擬空中超越、變更起飛順序，以及其他航管作為之效果^[14]。然而 SIMMOD 僅有沿航空器運行方向之一維隔離檢查^[15]，亦即僅檢查前後之隔離而無側向之水平隔離檢查，亦無高度隔離之檢查；且因為所有航空器於空中及地面之路徑均為模擬前事先設定，該軟體並無法模擬航管人員配合航情而採取雷達引導等機動調整航路作為之狀況。

國際上另一個廣為使用的軟體為 TAAM，該軟體為美國波音集團所屬之 Jeppesen 公司所開發銷售。在為數不多的公開文件中，文獻^[16]對該軟體作了基本之說明，而文獻^[17]則先說明整個軟體之功能，之後再說明該軟體之正確使用方式以及預期可得到之成果。本軟體之主要功能為模擬航機由起飛機場之停機坪開始後推，經歷起飛、飛行、降落，以及至目的機場後進入停機坪之過程，其模擬範圍涵蓋了機場、終端管制區域，以及飛航路徑。

TAAM 為「縮時模擬」(Fast-Time Simulation) 之工具，其目的在評估各種情境下，系統運作之狀況，多使用於規劃輔助之目的，其功能可整理如下：

1. 評估選擇替選方案

利用系統模擬，可在較短工作時間內，以相對低廉之成本評估各種替選方案。例如規劃機場改善時，停機坪設置、滑行道佈設等，可能均有數種不同方案，而 TAAM 即可利用模擬之方式提供數學化之評估。

2. 操控時間

縮時模擬使得規劃人員得以在相對很短之時間內觀察某方案於全日、全月、甚至全年之運轉狀況。同時，TAAM 亦可反向操作，以慢動作之方式使規劃人員能夠詳細觀察快速發生之事件。

航點為本模擬軟體在空域部份之重要基本資料，本項資料亦取自臺北飛航情報區飛航指南^[18]，其中與桃園國際機場相關之航點整理於表 2-1，而與臺北松山機場相關之航點則整理於表 2-2。

表 2-1 桃園國際機場相關航點

名稱	緯度	經度	名稱	緯度	經度
AJENT	240018.00N	1195706.00E	ROBIN	252509.00N	1221228.00E
APRIL	250657.86N	1210608.29E	RW05L	250422.42N	1211257.55E
AUGUR	252358.15N	1212747.96E	RW05R	250341.15N	1211327.29E
BAGEL	250145.34N	1210937.62E	RW23L	250452.33N	1211457.73E
BAKER	253836.00N	1215248.00E	RW23R	250540.19N	1211436.39E
BOCCA	232846.24N	1194652.90E	SEPIA	252913.05N	1213431.73E
BRAVO	244027.24N	1203641.87E	SHAFU	250809.36N	1211907.93E
CANDY	242718.00N	1201800.00E	SUMER	250800.00N	1205630.00E
CHALI	244348.00N	1203030.00E	TINFU	250857.18N	1211846.62E
COPRA	254332.06N	1215636.06E	TINHO	242109.00N	1220143.00E
DECOY	251218.00N	1210106.00E	TNN	230807.10N	1201222.30E
DRAKE	253656.02N	1220440.61E	TONGA	231038.65N	1193527.96E
ELBER	240641.81N	1201305.84E	TP050	250742.00N	1211712.00E
FETUS	245825.89N	1205518.78E	TP051	245709.68N	1210348.01E
GABBY	230807.00N	1200342.00E	TP052	245352.53N	1205938.68E
GRACE	250621.55N	1221722.88E	TP053	245035.33N	1205529.49E
JAMMY	245508.77N	1205109.37E	TP060	250654.00N	1211736.00E
JUNTA	251726.34N	1211927.85E	TP061	245628.40N	1210417.81E
JUROR	252041.88N	1212337.15E	TP062	245311.25N	1210008.50E
KIKIT	255255.83N	1233531.91E	TP063	244954.06N	1205559.32E
KUDOS	250753.00N	1215928.00E	TP064	250648.00N	1211730.00E
MARCH	250142.90N	1205928.42E	TP065	251006.62N	1212137.65E
MAYOR	251211.75N	1211247.06E	TP230	250218.00N	1211018.00E
MEICH	234216.31N	1201627.02E	TP231	251253.01N	1212347.16E
MKG	233543.57N	1193814.15E	TP232	251609.41N	1212757.86E
MOLKA	263931.00N	1240000.00E	TP233	251925.68N	1213208.78E
NEPAS	251642.00N	1212854.00E	TP240	250136.00N	1211048.00E
NOVAS	251730.00N	1210742.00E	TP241	251205.14N	1212408.46E
OCTAN	252318.00N	1211654.00E	TP242	251521.54N	1212819.13E
PABSO	253820.80N	1225157.70E	TP243	251837.82N	1213230.02E
PARPA	220156.00N	1200211.00E	TP246	245826.34N	1210648.22E
PIANO	254822.91N	1214902.84E	YUPPY	250104.06N	1211007.38E

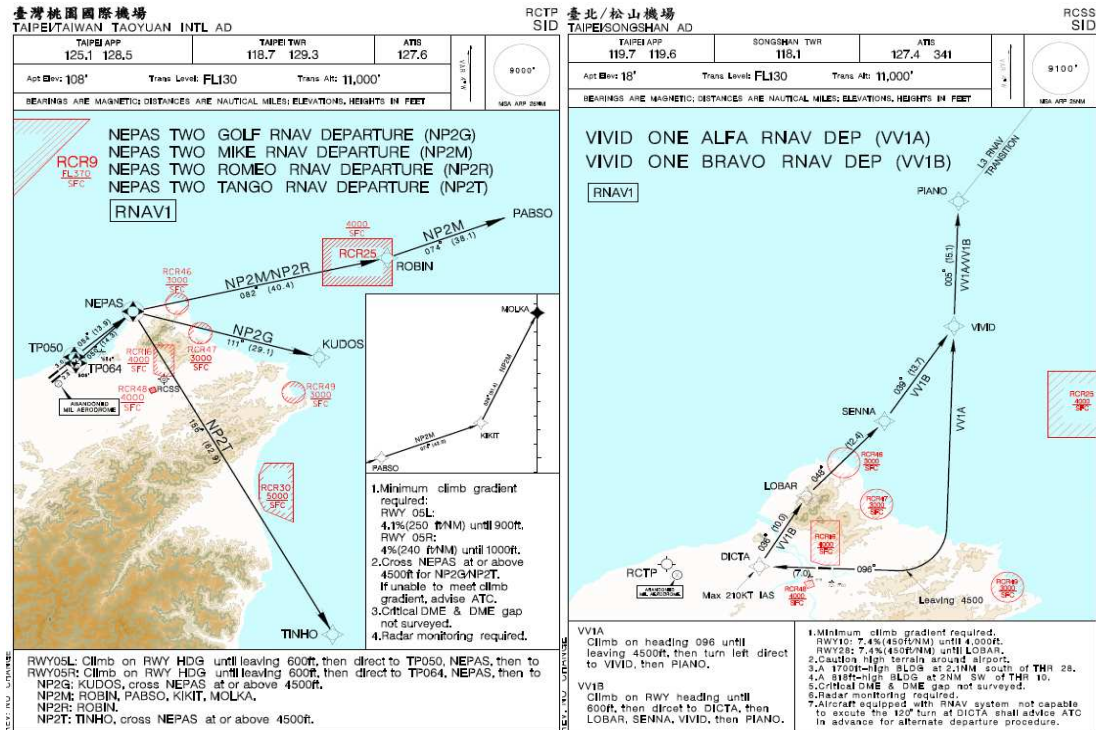
資料來源：^[18]

表 2-2 臺北松山機場相關航點

名稱	緯度	經度	名稱	緯度	經度
DICTA	250428.35	1212440.40	KILON	250822.00	1214803.00
LOBAR	251259.76	1213029.03	PINSI	250233.10	1215018.19
SENNA	252157.26	1214000.16	THEOD	251117.17	1214539.48
VIVID	253315.39	1214840.73	DAVIE	250630.17	1214718.93
PIANO	254822.91	1214902.84	DF5.0	250553.62	1214512.98
SALUN	250937.90	1212036.60	DF2.0	250458.74	1214204.08
ZONLI	245738.30	1211223.68	JOHNT	250422.12	1213958.17
FUTER	245936.45	1212011.81	DF3.8	250419.19	1213857.11
KIRIN	250435.25	1212029.73	VANES	250407.12	1213445.44
LUCHO	250423.10	1212703.86	RWY28	250408.89	1213355.53
RWY10	250412.18	1213222.64	DENIS	250421.70	1212751.94
OSCAR	250355.40	1213755.30	BERES	245852.04	1214749.68

資料來源：[18]

臺北飛航情報區飛航指南^[18]亦含有詳細而完整之航圖，其中圖 2.3 左所示為桃園國際機場其中之一的航圖，而圖右則為臺北松山機場多數航圖之一，另完整的起降程序及其航圖整理於附錄 D。



資料來源：[18]

圖 2.3 RCTP 及 RCSS 儀器離場程序航圖示例

第三章 模擬模式內容及架構

3.1 概述

以前期成果為基礎擴充模擬系統之能力為本研究之核心目標。模擬系統所使用之各種模式為其核心技術，同時將模擬模式實作成為操作軟體，並以資訊技術建立完整系統，即成為模擬軟體。最後模擬對象所涵蓋之範圍包含 3 項，分別為空域、空側及停機坪，並在這三方面功能均有所擴充，並增加多項考慮因素及參數，以使軟體更為細緻而成熟；各項擴充分別說明如下：

1. 模擬模式之擴充

前期成果開發了空域模型、空側模型與停機位分配模型 3 個核心模式，成功描述了模擬範圍內 3 種主要角色之決策過程。本研究對 3 個核心模式均作功能擴充，主要之核心技術擴充項目大概說明如下，其詳細說明則於後續章節陸續說明之。

- (1) 空域模型：改善空中航空器之間水平隔離與垂直隔離之演算，提高模擬效率。同時模擬與近場臺管制員一樣，能夠在航空器出現交管點之前適當時間即得知該航空器即將抵達資訊，以更貼切模擬真實管制員由雷達觀察臺北飛航情報區航情之真實狀況。
- (2) 空側模型：重新設計航空器在空側滑行路線之求解演算法，將「滑行路線之決定」與「航空器之移動」二者作更明確之切割。其目的在更細膩模擬塔臺管制員引導航空器之滑行路線，駕駛員自主決定滑行速率以及前方遇到障礙時之停等。
- (3) 停機位分配模型：調整數學模式，以更精準描述航空器使用停機位之限制與規則。

2. 模擬軟體架構擴充

配合模擬模式之擴充，本研究亦以前期成果所累積之經驗為基礎，大幅提升模擬軟體之能力，其中最主要之變動為模擬軟體架構之重新設計。本研究之模擬軟體加入使用者操作控制之機制，以提供更方便的模擬操作；但本系統並未納入真人參與模擬之機制，因此使用者僅能從旁觀察模擬之結果，而無法在模擬進行之過程中，以其中某角色之身份（例如扮演某管制席或某班航班之駕駛員）參與模擬之進行。

此外，本軟體以資料庫作為各模組間之資訊交換中心，取代前期所開發軟體離型之靜態模擬結果檔案。這種設計大幅提升了各模組間傳遞複雜數據之能力與效率，並且利用資料庫之功能縮短模擬軟體開發期程，而重新設計的軟體架構亦有能力在系統中容納 1 座以上之機場，並且強化軟體內部之資料流，以納入更多的考慮因素。由於架構擴充之幅度大而廣，因此本研究重新開發全部之模擬軟體，而非利用前期軟體作修補，以達到更佳之軟體運算效果。

3. 模擬範圍擴充

本研究利用上述所擴充之軟體能力，再配合蒐集、整理更多資料，將模擬之範圍由前期之桃園國際機場單一機場模擬，擴充到容納臺北松山機場，以及桃園國際機場第 3 跑道。

4. 細緻化

本研究以前期成果為基礎，納入更多考量，包括航空器於地面活動時跨越跑道之處理、風向風速之影響、管制員之寬裕量、機尾亂流、換跑道、起降跑道之選擇、航空器滑行速率、滑行路徑之指派、後推操作、降落後脫離跑道出口之選擇等，均有更為細緻之設計。此外同時增加空域模型與空側模型間有關跑道使用之資訊交換，以更貼切模擬塔臺與近場臺間之密切協調狀況。

5. 人機介面功能提升

本模擬系統有能力以圖像展現的方式呈現模擬結果，同時亦建有修改或自行建入參數的介面，可供使用者方便操作。

3.2 事件模擬

本軟體採用事件模擬，以離散之事件呈現航空器在網路中之推進狀況。所謂「事件」定義為模擬過程中瞬間發生，並足以改變某種狀態之現象，例如有 1 架航空器抵達跑道頭加入等待起飛之佇列，此時該航空器由「滑行中」之狀態，在抵達跑道頭之瞬間轉變為「等候起飛」之狀態，即為 1 個事件。每個事件除了有其種類、參數等屬性外，並均有預定發生時間之屬性。在模擬過程中，系統即將所有事件收納於可插隊佇列中，並依預定發生時間排序，當時間推進至某事件的發生時間，系統便依據既定之規則執行該事件，並計算此一事件所帶來之影響，據以更新系統狀態，而大部份的事件在執行之過程中，會產生其他的新事件，並加入事件佇列中。

本模擬系統定義有許多種事件，其中主要事件有 7 種，各事件間之關係架構示於圖 3.1，並分別說明如下：

1. 航空器進入模擬

此為航空器之第 1 個事件，於模擬起始之前，系統即依據各航空器之預定抵達交管點時間，為所有參與模擬之航空器各產生 1 個本類事件，並依其預定時間存入事件佇列中。模擬軟體執行本事件時，即模擬機場公司航務處人員檢視調整其停機位，以及模擬近場臺管制員與塔臺協調並為該航空器規劃航路，最後產生進場事件。

2. 航空器進場

模擬系統執行進場事件時，將依既定之邏輯決定該航空器之脫離跑道位置，再模擬塔臺管制員指派其前往停機位之滑行路線，最後產生滑行事件。

3. 降落後滑行

模擬系統執行某項滑行事件時，若判斷其係為降落後之滑行，則將在完成滑行之後使該航空器進入其停機位，並且依預設之地停時間產生請求後推事件。至於地停過程之加油、加水、清艙及其他所有操作則均不在本模擬範圍內。

4. 請求後推

模擬系統執行某航空器之請求後推事件時，模擬塔臺管制員指派其由停機位前往跑道頭之滑行路線，並依預計抵達跑道頭之時刻規劃其起飛順序。完成後即產生滑行事件。

5. 起飛前滑行

模擬系統執行某項滑行事件時，若判斷其係為起飛前之滑行，則將在開始滑行之時即釋出停機位，並依其滑行路線執行模擬。航空器完成滑行抵達跑道頭時，即產生等候起飛之事件。

6. 航空器起飛

航空器於執行本項事件時進入跑道並起飛，在此之前模擬系統即模擬近場臺管制員為航空器規劃航路，並於完成所有起飛程序之模擬後即產生航空器完成模擬之事件。

7. 航空器完成模擬

本事件為航空器所經歷之最後 1 個事件，模擬系統於存檔紀錄後即使該航空器消失，不再為其產生其他新事件。

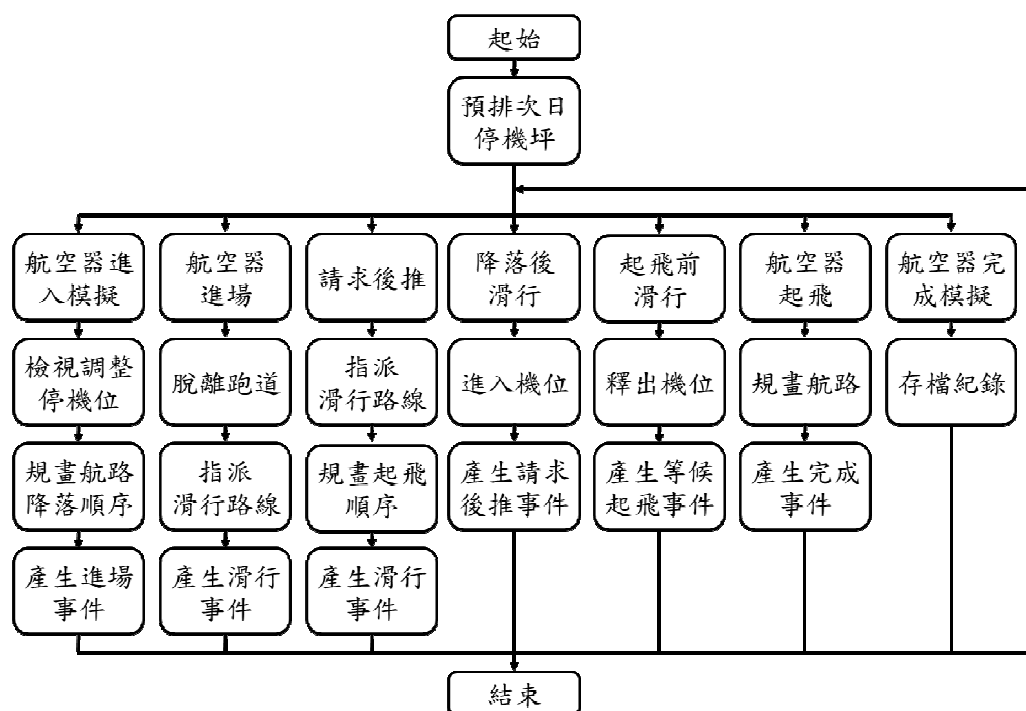


圖 3.1 模擬事件架構示意圖

3.3 角色設計

前期研究成果指出管制員與停機位指派人員實為系統之實際主導者，而駕駛員則為管制員意志之執行者。在真實世界中這些參與之人員各有其職守、各自擁有不同之資訊、各以不同方式形成其意志決策，以及常相互協調交換意見。如何在模擬模式中貼切捕捉這些實際現象，即為模擬模式之重要精髓，上述原則經過前期開發軟體雛型之測試，成效良好，因此本研究亦沿用此原則進行技術開發。模擬系統之主要實際主導角色有 3，分別說明如下：

1. 近場臺管制員

在真實世界中，近場臺管制員之任務為對在終端管制區域飛行之航空器提供飛航管制服務，以達到空中交通之安全、有序、暢通^[20]。其管制高度原則上為空層 FL200 以下至距地面 1200 呎（約 366 公尺）之間。

模擬系統所模擬近場臺管制員之主要任務在安排到場航空器之降落順序，並據以引導其安全、滿足各種隔離規定、接近實況之飛行路徑，以及指示飛行高度與速

率。

2. 塔臺管制員

真實之塔臺管制員對機場交通提供之飛航管制服務^[20]，在一般狀況下，到場航空器完成攔截左右定位臺時，該航空器之管制權即由近場管制塔臺移交至塔臺，其位置接近中間進場定位點(Intermediate Fix, IF)。而航空器通過最後進場進定位點(Final Approach Fix, FAF)後即進入最後進場階段(Final Approach Segment)；於離場時，航空器在起飛離地之後，於目視消失或距跑道 0.5 哩時，其管制權由塔臺移交至近場管制塔臺。

依據以上原則，模擬系統所模擬塔臺管制員之主要任務在引導進場航空器於脫離跑道之後移動到其停機位之滑行路線、引導離場航空器於後推之後移動到跑道頭之滑行路線，以及拖機時之移動路線。於引導某航空器之滑行路線時，模擬之塔臺管制員會利用演算法同時考慮場面上其他活動中航空器之狀態，為該航空器決定其適當之滑行路線；若該航空器係由停機位經後推移動至跑道頭，則該航空器抵達跑道頭之時間點亦自然形成起飛順序。

3. 停機位指派人員

在桃園國際機場，停機位之指派係由機場公司航務處負責，目前航務處係以人工作業方式，由專責人員執行本項工作，其主要內容有 2 項，包括指派次日停機位，以及指派當日停機位。所謂指派次日停機位，係指各航空公司或其代理人於每日下午 14 時之前向航務處登錄次日之停機位需求後，由航務處人員統籌指派各班之停機位，依一般作法，本項作業須在 20:00 之前完成，再提供予各航空公司複核確認；若有須要則提出變更指派之申請，而所有作業必須在 23:59 之前全部定案並正式發佈。

在上線運轉時，不可能所有航空器均依前一日之規劃時間到離場，因此每日均有相當比例之航空器因為種種因素而無法停靠於前一日所指派之停機位(通常最常見之原因為前一架停靠於該停機位之航空器未能依時離去)，此時即須由航務處人員機動調整停機位之指派，即為指派當日停機位之工作。

配合此種作業模式，模擬系統亦設計有指派次日停機位及指派當日停機位之功能，用以模擬航務處人員之決策。本模擬系統之模擬時間為一日共 24 小時，因此系統於啟動時，先行進行指派次日停機位之模擬運算，之後再於模擬進行過程中，隨時依需要調整停機位之指派。

3.4 決策之形成架構

在真實世界中，前節所述近場臺管制員、塔臺管制員與停機位指派人員各自依其所獲得之資訊，循其專業知識與經驗作出決策，而這些決策之形成方式，正為本模擬模式所須要模擬的。具體剖析，各種角色人員形成決策之主要元素有 3 項，分別說明如下：

1. 規則與限制

此為 3 種角色人員執行任務時所應遵循之規則、規章、標準、習慣等。前期成果所蒐集整理之各種飛航管制相關規定（例如隔離標準、各種起降程序等）、物理定律及限制（例如任一滑行道之任一位置，在同一時間僅能存在 1 架航空器、或航空器在依自身動力滑行時不可後退等）、停機位使用規則等均屬之。這些是真實人員所必須遵守之規則與限制，亦為模擬模式所需要遵守。

2. 目標與偏好

本項為 3 種角色人員在權衡取捨時之價值取向，真實人員於執行任務過程中，均各有其決策之彈性空間，例如在滿足隔離標準、符合各種起降程序及其他所有規定之條件下，近場臺管制員仍有相當之彈性可引導航空器到場路徑，其中路徑之水平投影部份可採雷達引導，而在垂直高度亦有一定之彈性空間可引導飛行員之飛行高度。另又如塔臺管制員在引導場面航空器滑行路徑時，亦可依其專業判斷作不同路徑之引導，而所有不同之路徑均符合所有規定與物理定律。在停機位指派方面，執行之人員亦有其彈性空間可對航空器作不同組合之安排。

由此可見上述各種角色於執行任務時，在大部份之狀況下可滿足前項規則與限制之決策方案並非唯一，因此有多種完全滿足所有規則之決策方案，然而這些方案各有其優劣，在各真實人員於執行任務時，必須由滿足所有規章要求之可能方案所成之集合中，選擇其中之一作為其決策，而選擇之過程常為比較、權衡與取捨。由多數方案中作出選擇之過程中，最重要之影響因子即為相關人員之目標與偏好，例如塔臺管制員在決定航空器之滑行路徑時，會考慮滑行所需時間、路徑之順暢程度，以及該航空器與其他航空器之相互影響等諸多因素，經權衡取捨而由許多不同的可能路徑中選擇其中之一，作為給航空器駕駛員之指示。其餘 2 種角色人員亦有類似之決策過程，因此模擬模式亦必須納入真實人員之價值取向，所得到之模擬結果方有可能接近真實。

3 種角色人員之目標與偏好，與前項之規則與限制不同，後者常為明確、成文或

公認的客觀元素；然前者則常為不明確、主觀，甚至因人而異的，且多數均無系統化之整理，因此須要藉由深入訪談方式，以探究及推敲人員之價值取向。

3. 可用資訊

真實世界中，這3角色之人員於形成決策時，均須要獲得一定之資訊，例如近場臺管制員於引導1架到場航空器時，須要瞭解空中其他在空機之狀況，亦須要瞭解一部份跑道之狀況；而塔臺管制員在引導降落航空器滑行時，必須明確掌握該航空器之停機位；另停機位指派人員則必須瞭解每一使用停機位之航空器預計抵達與離開之時間等。

這些資訊有2個方面對相關人員形成重大影響，分別為資訊內容，以及資訊精準程度。

- (1) 在資訊內容方面，雖然原則上擁有之資訊愈多，愈有可能做出良好決策，但真實人員接收資訊之速度有限，而處理資訊之能力亦有限，因此在真實體系中，3種角色人員應該接收何種資訊與不接收何種資訊，均有其案例與章法。例如近場臺管制員於引導到場航空器時必須瞭解當時可用之降落跑道及其使用方向，亦須要參考該航空器降落後所分配之停機位，但不必瞭解該航空器於某一跑道降落後，其滑行過程中是否有可能受到某一其他航空器在後推時之干擾。在另一方面，獲取資訊之時間點亦有重大影響，雖然原則上資訊愈早獲得，愈有可能做出良好決策，但在真實世界中，重要資訊之獲得時間常不受控制，例如塔臺管制員常須配合進場航空器脫離跑道之時間點及位置而引導其滑行路線，而塔臺管制員亦能在航空器降落之後，精準掌握其脫離跑道之時間點及位置，但卻無法提前得知。然而真實人員亦常設法在某種程度得到未來資訊，例如塔臺管制員可能詢問機場公司人員有關某一架已停放在停機位中之航空器何時將離開之資訊，或依其經驗判斷下一架待起飛之航空器，在未來起飛時可能佔用跑道之時間長度等。

- (2) 資訊精準程度亦為真實人員常須面對之課題，例如停機位指派人員於指派次日停機位之工作過程中，擁有所有航空器之預定進入與離開停機位之時間，但隔日執行時，真正抵達及離開之時間經常與預定時間有相當之出入，因此停機位指派人員於前一日指派停機位時，必須使用不精準之資訊作出其決策。

由上述分析可以發現，可用資訊對這3種角色人員之決策形成有其重大影響，而且不必接收之資訊、不精準之資訊與無法及早得到之資訊對其決定可能有所影

響，但可能受到人員處理資訊能力限制或實際環境之限制，真實人員必須在其可接收之資訊項目及精準度之限制下作出決策，而此亦為模擬模式所須納入之考量。

在以上 3 項元素中，以第 1 項規則與限制最為顯而易見，第 2 項目標與偏好次之，至於第 3 項之可用資訊，則位居核心地位，支持決策之形成。因此在模擬模式中，資訊之產生及流動對於模式具有重大影響。以下分為 2 個極端狀況分別剖析，之後再論述其重要性。

1. 極端一：資訊高度受限

第 1 種極端狀況是在模擬模式中，資訊近乎不流通，亦即模式中近場臺管制員並無其他在空機之位置、高度等資訊；塔臺管制員並無場面上航空器活動之資訊，甚至可能沒有滑行道佈設方式資訊；而停機位指派人員則無次日各航空器到離之預定時間，甚至可能沒有機場中停機位之位置資訊等。在此一極端狀況下，模擬系統將趨向於有限狀態機 (Finite-State Machine)，亦即模擬模式中大部份航空器均以其狀態作為最主要之屬性，例如航空器抵達交管點、進場中、滑行中、佔用跑道等個別狀態，而模擬過程之主要部份，即在描述各別航空器由一個狀態轉換到下一個狀態之過程。

2. 極端二：資訊完全流通

另一種極端狀況是在模擬模式中，所有資訊在角色之間、甚至在時間軸均自由流動，亦即模擬系統中之每一角色在形成決策時，均可使用所有資訊，甚至包括未來資訊在內。這將對各種模擬角色之決策形成帶來相當之影響，例如模擬之近場臺管制員可能考慮減少航空器於降落後滑行之過程中受到某一其他航空器後推之干擾而影響其降落跑道之指派；模擬之停機位指派人員可能因為預知原本預定數小時之後抵達之航班將發生之延誤量而影響其對停機位之調度決策；而模擬之塔臺管制員可能因為預知 12 分鐘之後，將有降落之航空器由某出口脫離跑道而影響對其他航空器滑行路線之決策。在此一極端狀況下，模擬系統將趨向於最佳運轉之求解器，亦即系統綜合運用所有可能之資訊，以跨越時空之方式達到預設目標之最佳化。然而在時間之不可逆性消失下，而模擬之呈現則將僅為最佳化結果沿時間軸展開而已。

如果模擬模式之構建目標在希望在設定的範圍內儘量接近真實狀況，則顯然上述 2 種極端狀況均不理想，而較為理想之模擬模式應在 2 種極端之間取得適當之位置。因此，模擬模式對各種角色人員形成決策之 3 種主要元素之處理，應以下述方式為原則。

1. 規則與限制

由於此元素常為具體、明確且有系統整理，因此模擬模式應在適用範圍內蒐集、整理並納入之。

2. 目標與偏好

如前所剖析，3 種角色真實人員之價值取向常無法以明確之規則描述，且方案之優劣比較常非完全客觀，而是具有相當之主觀成份；再者其比較基準亦常非固定，因此本項元素僅藉由深入訪談與討論中進行歸納整理，再納入模擬模式中，以使模擬之各種角色，其價值取向能儘量接近真實人員之偏好。

3. 資訊控制

雖然大部份資訊項目均可明確定義，但真實人員常在不同狀況下取用不同資訊，亦常以不同之方法，依其知識與經驗取得或推估尚未發生之未來資訊。這些複雜的資訊流通現象不但將對模擬模式之設計帶來相當之影響，甚至將影響將模擬模式實作成為模擬軟體時，軟體內部之資料結構與模組架構。

3.5 重要基本假設

所有模擬均必然有其假設。本模擬之主要假設說明如下：

1. 模擬時間

執行模擬之時間區間為 1 天之 0 時至 23 時 59 分 59 秒，共 24 小時。

2. 勤務車輛

本模擬系統之模擬著眼以航空器之活動為主，而勤務車輛於機場內移動時所使用之勤務道路與航空器活動之跑滑道並不相同，所遵循之管制標準亦不相同，且勤務車輛與航空器之活動有所衝突時，係以航空器為優先，因此本系統模擬時並不納入勤務車輛之活動。依此，系統不納入其他勤務車輛之活動，但因拖車拖拉航機時會影響其他航機運作，因此須將拖機活動納入考量，但不把空拖車之移動納入。未來若須納入勤務車輛於模擬中，則應一併考量勤務車輛之調度方有意義。

3. 拖車供應

本模擬模式假設拖車供應充裕，亦即無待拖機之航空器等待拖車之狀況，本項假設之主要考量在排除拖車調度之因素，有助聚焦於航空器活動之模擬。

4. 停機位

停機位之分配，除了考慮基本之機型大小限制、相鄰航空器限制之外，並考慮各航次之目的機場、習慣等因素，且於模擬模式中保留參數設定之彈性。在模擬過程中，若發生航空器無法依規劃時間抵達、無法依規劃時間離開其停機位，或抵達時其停機位被佔用等與規劃不同之狀況，則模式將配合當時狀況進行調整。

5. 跨越跑道

桃園國際機場長期以來存在航空器跨越跑道之問題，未來建置第 3 跑道之後，本問題將更形重要。本模式假設所有航空器於跨越跑道之前，即便跑道上並無起降之航空器，仍然一律先停等，而停等之時間長度則為可設定之參數，預設為 30 秒。

6. 風向風速之影響

風向與風速對航空器之飛行具有相當之影響，然而風向與風速為大氣現象，其對航空器之影響則屬空氣動力學之領域，二者均不屬本模擬之範疇。為了避免模擬失焦，本模擬系統假設模擬範圍內各處之風向與風速為均質，因此在風向與風速對航空器之影響方面，亦不模擬其微觀之力學現象（例如航空器外形對空氣阻力之影響等），而是僅以地速等於空速加風速之基本向量關係模擬之。

在上述原則下，本模擬模式亦不考慮桃園國際機場區域中，高低層風向風速有時不同之現象，依經驗出現此現象時，其風向轉換層之高度多在 3,000 呎至 6,000 呎之間，雖然對於管制員以及駕駛人員均帶來技術上之挑戰，但對模擬結果應無重大影響。

7. 寬裕量

於實務運轉時，管制員對航空器間之水平隔離、垂直隔離、時間間隔等，除依相關法令規章執行外，並均留有寬裕量，為此本模擬模式亦容許使用者以參數設定其寬裕量。

8. 前後隔離

本模擬模式考慮機尾亂流所須之時間隔離，依據我國飛航管理程序^[19]5-5-4 規定：「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：1. 重型跟隨重型—4 哩。2. 中型跟隨重型—5 哩。3. 輕型跟隨重型—6 哩。4. 輕型跟隨中型—5 哩。」

9. 松山機場

本模擬模式將松山機場空側視為一個點，亦即航空器於松山機場進場後，即不再模擬其於跑道與滑行道上之活動過程，而離場航空器亦依相同原則處理之，然空域中之相關航點及起降程序仍有充份考慮之。

10. 跑道變更

真實機場常因風向之轉變而須改換起降跑道，為此本模擬模式亦納入轉換跑道過程之模擬。轉換跑道之時機示意於圖 3.2，該圖橫軸為時間，縱軸為在某機場觀測所得之風速，圖中上半部代表逆風，下半部代表順風。

依圖示之情境說明如下，所觀測之逆風風速有持續減小之趨勢，且氣象預報顯示即將轉為順風，為此機場塔臺於圖示之換跑道啟動時間決定轉換跑道，並與近場臺進行協調。氣象預報所預估，順風將超出可起降標準之時間為圖示之「換跑道最晚完成時間」，而機場塔臺與近場臺協調之後，決定轉換跑道之時間點為圖示之「實際換跑道時間」。

於模擬模式中，換跑道啟動時間與換跑道最晚完成時間為外部參數，而塔臺與近場臺之協調則為模擬過程之一部份。在模擬過程中，於決定轉換跑道之後，系統將允許已經完成攔截左右定位臺之航空器由原跑道降落，而其他之到場航空器若無法由原跑道降落，則將經雷達引道改用轉換過後之跑道進場。在地面之離場航空器若已經抵達跑道頭，則仍由原跑道起飛，而其他之航空器若無法由原跑道起飛，則將變更滑行路線，改滑行到跑道另一端起飛。

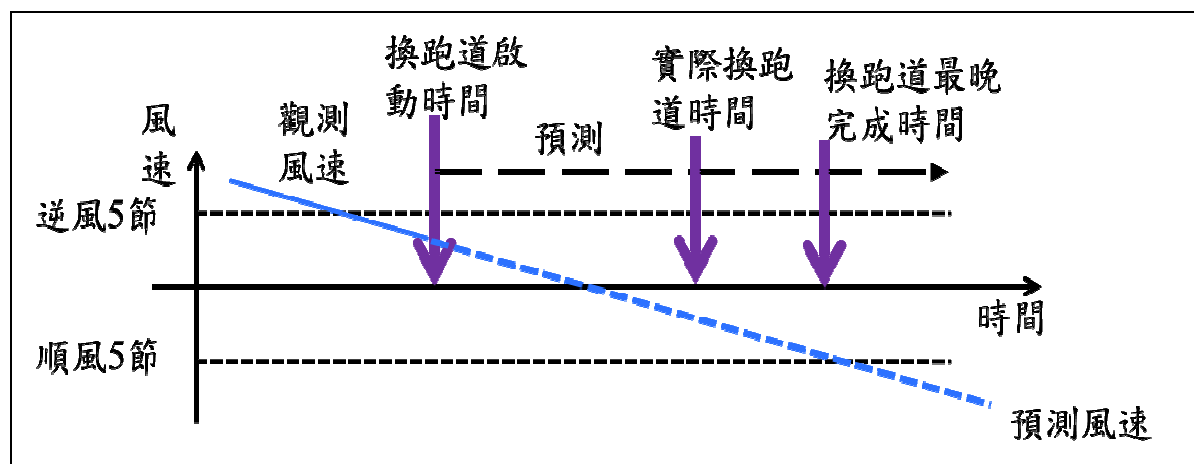


圖 3.2 轉換跑道時序示意圖

11.跑道選擇

模擬系統可為每一跑道個別設定為單起、單降或混合方式，且可設定在不同之時段採用不同之模式。到場航空器對降落跑道之指派可設定為依停機位指派、依出現之交管點指派，或隨機指派等 3 種模式其中之一。在模擬進行之過程中不允許變更模式，當機場有 1 條以上之跑道可供起飛時，各航空器起飛跑道之指派，固定為依停機位擇其近者。

12.地面滑行

航空器在地面滑行速率為可設定之參數，預設為 26.7 節，相當於運行北跑道之長度費時 4.5 分鐘。拖機速率為可設定之參數，預設為 9 節。轉向操作損失時間為可設定之參數，預設為 30 秒。

模擬模式假設塔管制員引導滑行時，係給予可行與時間最節省之路徑，但同時亦考慮轉彎之不便性，其中轉彎不便對路徑選擇之重要性為可設定之參數。

13.滑行道

模擬模式允許獨立設定各滑行道之關閉與開放時間。

14.航空器進場

進場航空器最晚對正跑道點為跑道頭外 5 哩，高度為 1,500 呎處，航空器降落於跑道時，高度為可設定之參數，預設為海面以上 100 呎（桃園國際機場高程為海面以上 108 呎）。另航空器降落接觸跑道時之速率為可設定之參數，預設為 140 節。

15.後推及起飛

航空器於後推之後，須先等待再開始滑行，等待時間為可設定之參數，預設為 4 分鐘，不同屬性之航空器可個別設定。航空器起飛時速率為可設定之參數，預設為 170 節。

16.脫離跑道

進場航空器跑完跑道全長之 A 之後，以 $(1 - B)^{n-1}B$ 之機率於第 n 個出口脫離跑道，至於使用最後出口 k 以脫離跑道之機率則為 $(1 - B)^k$ 。A 與 B 為可設定之參數，預設為 0.5 與 0.8，不同屬性之航空器可個別設定。

以桃園國際機場 05L 跑道進場為例，在上列 A=0.5、B=0.8 之參數設定下，航空器進場時，將在跑完跑道全長之半後，以 $(1 - 0.8)^{1-1} \times 0.8 = 0.8$ 之機率由 N7 滑行道脫離跑道、以 $(1 - 0.8)^{2-1} \times 0.8 = 0.16$ 之機率由 N8 滑行道脫離跑道、

以 $(1 - 0.8)^{3-1} \times 0.8 = 0.032$ 之機率由 N9 滑行道脫離跑道、以 $(1 - 0.8)^{4-1} \times 0.8 = 0.0064$ 之機率由 N10 滑行道脫離跑道、最後以 $(1 - 0.8)^4 = 0.0016$ 之機率由 N11 滑行道脫離跑道。

航空器使用快速滑行道脫離跑道時，其出口速率為可設定之參數，預設為 30 節。

使用非快速滑行道脫離跑道時，其出口速率固定為 10 節。

當跑道兩側均有出口時，航空器對出口方向之選擇係配合其停機位。

17. 機械性能

變換飛行速率時，假設為等加速率運動，其加速度絕對值之上限為可設定之參數，預設為不超過每秒每秒 1 公尺。航空器飛行高度變換率不超過每哩 300 呎，同時亦有不超過每分鐘 1,500 呎之限制。

18. 航空器到場

本模式假設所有航空器均具有相同之性質，所有到場航空器進入模擬範圍之位置均在交管點，但模擬模式假設管制員在此之前已能由雷達得到航空器資訊，且模式假設近場臺管制員引導到場航空器時，大部份採用雷達引導之方式，同時亦假設管制員對到場航空器不給予爬升高度之引導，亦不給予加速之引導。

真實狀況下，到場航空器所出現之交管點依其使用之到場航路而定，然飛航情報區並不在本模擬系統範圍內，因此在模擬系統中，到場航空器所出現之交管點依其前一機場而定，而模擬系統中航空器出現於交管點之時間設定，則依各航空器之預定抵達時間推算。

所有航空器出現於交管點時，其高度預設為海面以上 20,000 呎，但模式可依交管點與使用跑道而個別設定，另出現於交管點時速率為可設定參數，預設為 280 節。

19. 空中等待

當桃園國際機場之到場航空器須要空中等待時，若使用 05 跑道進場，大部份以 JAMMY 為空中等待點，其次是使用 BRAVO；若使用 23 跑道進場，大部份以 SEPIA 為空中等待點，其次是用 AUGUR。然依來自南、北不同方向之航情，JAMMY、AUGUR、SEPIA 均可能同時使用。

3.6 空域網路模型

本系統之空域模型主要目的在模擬近場臺管制員引導航空器之過程，真實之到場航空器抵達交管點時，管制權由近場臺管制員接手，直至航空器抵達最後進場定位點時，交接予塔臺；而離場航空器則在起飛脫離跑道之後交由近場臺管制員接手，直至航空器進入航路為止。本模擬模式並未納入誤失進場之狀況，因此航空器由最後進場定位點至接觸跑道之過程較為固定而少變化，且為了方便構建模型，模擬系統之空域模型乃涵蓋了航空器出現在交管點直接接觸跑道之飛行過程。

空域模型之基礎為節點與節線所構成之網路，用以描述航空器在空中飛行之軌跡，網路之節點具有經度、緯度、高度與速率等 4 種屬性，而模擬進行時，系統為每 1 架到場航空器產生其網路，其中到場的部份較為複雜，主要步驟說明如下：

1. 航空器即將抵達

真實近場臺管制員於航空器抵達交管點之前，即能先行由雷達觀察到航空器即將抵達之狀況，並預為準備，為配合此種真實現象，本模擬模式亦在航空器實際抵達交管點之前數分鐘，依跑道擁擠狀況先為其找出數個不同的可能降落順序與降落時間。

2. 計算基本飛行時間

依據航空器出現在交管點時之飛行速率，以及接觸跑道時之速率，並在等加速度運動之假設下，可依牛頓公式計算該航空器依標準程序到場時所須之基本飛行時間。

3. 產生飛行路徑

由可能的降落時間中，選擇其中 3 個最適當者，並將每個降落時間與基本飛行時間相比較，據以決定雷達引導的飛行路徑應比標準程序為長或短。

4. 構建網路

本步驟為每個飛行路徑構建 1 個網路以連結交管點與跑道，網路結構示意如圖 3.3，其中圖之橫軸為飛行之距離，而縱軸為高度，而網路之每一節點均對應一組可計算得到的經度、緯度、高度及飛行速率，藉由這些屬性資訊，可計算導出每一節點所對應之時間，利用上述資訊，再比對所有其他在空機於時間-空間中之軌跡，即可判斷這個空域網路每一節線與其他在空機之衝突狀況。這些資訊可供軟體用以由網路中去除發生衝突之節線，最後再依偏好設定所有節線之優先順序。

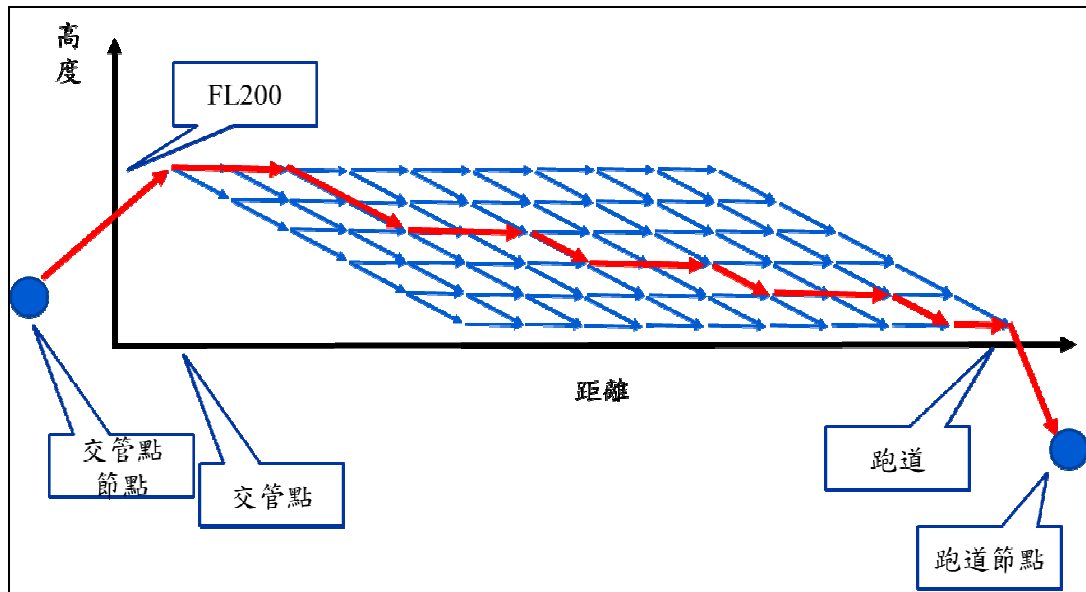


圖 3.3 空域網路示意圖

5. 求解最短路徑

經由以上步驟所產生之網路，其每一個由交管點節點至跑道節點之路徑，均對應一條航空器由交管點至降落於跑道之可行航跡，因此可使用標籤設定法（Dijkstra's Algorithm）或其他最短路徑演算法求解最佳之路徑，即為模擬系統指派予該到場航空器之飛行路徑。

6. 跑道變更

在模擬過程中遇到跑道變更時，已經通過最後進場點之到場航空器將不受影響，持續依其既定路徑飛行。在空之離場航空器亦不受影響，其餘之在空到場航空器則依前述相同之演算法，由模擬系統重新產生空中網路、求解其由當時所在之位置飛行至變更後之跑道降落之路徑。離場部份則較單純，其基本原則與上述相同，然而對離場航空器而言，並無上述「航空器即將抵達」之部份，亦無須如到場航空器般計算未來抵達跑道之基本飛行時間，而對於已經進入離場程序之航空器而言，亦無跑道變更之考量。

3.7 空側模型

本模擬模式設計空側模型以模擬塔臺管制員引導航空器活動之決策，在航空器進場、地停與直至再度離場之過程中，真實塔臺管制員之管制範圍始於進場航空器抵達最後進場定位點，而終於再度起飛後管制權交接予近場臺管制員為止，而其中航空器關車進行地停作業或停留之期間，亦不屬塔臺管制員之管制範圍。本模擬模式並不考慮誤失進場及其他異常狀況，在此考量下，模擬模式之地面模型所涵蓋之範圍，乃設定在航空器進場接觸跑道，至離場脫離跑道之區間。至於航空器關車期間之卸載、補給、裝載及其他各種活動，除拖機外，亦均不在模擬範圍內；對模擬模式而言，關車期間之航空器僅有佔用停機位靜止不動，以及拖機移動 2 種可能的狀態。

在前述設定下，空側模型之最主要功能是在模擬塔臺管制員引導進場航空器由跑道至其停機位之滑行，而離場則由停機位至跑道準備起飛之滑行，以及拖機時之滑行。模擬模式在求解過程中經由衝突規避機制使得所模擬之航空器在地面活動之過程中不產生碰撞現象，而在衝突規避過程中即產生航空器相互等待之時間推移現象。然而等待並不全然等同於延誤，而等待之原因歸屬則更形複雜，亦不在本研究探討之範疇內，至於起飛順序之安排，則在模型中由離場航空器抵達跑道之先後順序自然形成。

1. 地面網路

模擬模式之空側模型以節點與節線所形成之地面網路為其基礎，基本上此一網路用以描述航空器之移動方式，其幾何形狀依循機場場面佈設而定，圖 3.4 為桃機地面路網其中之一部份，取自桃園國際機場之 A 與 D 停機坪至北跑道間之區域。圖中以正方形代表地面網路之停機位節點，以圓形代表網路之其他節點，並以連接節點之節線代表航空器之可能動線，另在網路中並以單一節點代表每一實體跑道，於圖中以長橢圓形表示之。

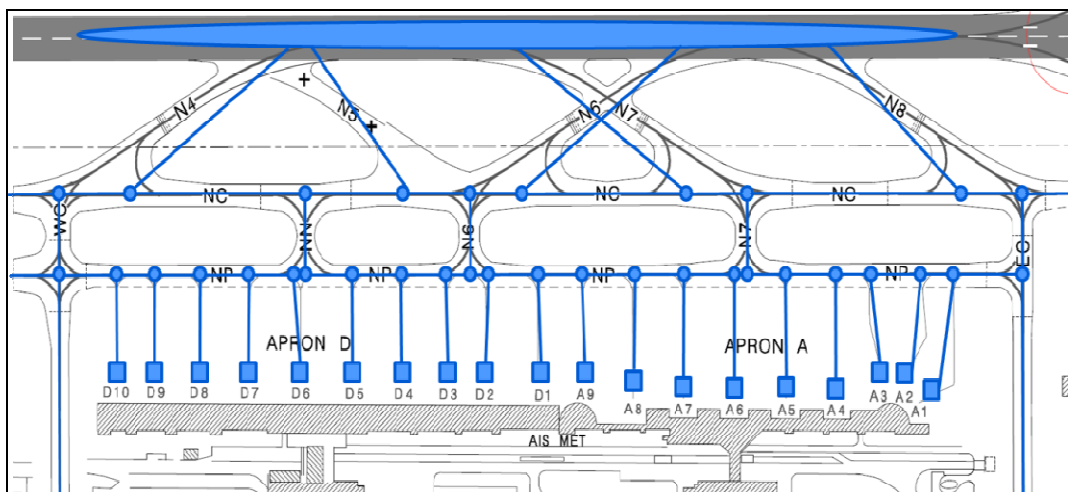


圖 3.4 地面網路示意圖

2. 時空路徑

地面模式之主要功能之一為模擬塔臺管制員之決策，求解所有航空器每次滑行或拖機之路徑。由於在求解 1 架航空器之移動路徑時，必須同時考慮場面上其他航空器在時間與空間中之活動，因此本問題同時具有時間及空間之性質。

真實之塔臺管制員於引導航空器滑行或拖機移動時，會給予路徑之指示，但並不會規定航空器抵達某位置之精準時刻；因此如果航空器或拖車之駕駛人員於接受塔臺管制員之路徑指示後，便會依其自身之主觀判斷，而行駛該路徑，若途中遭遇其他航空器，則由駕駛人員依規則避讓，但不會任意變更管制員所指示之路徑。綜上所述，可發現航空器在地面滑行或拖機移動時，大體上由塔臺管制員決定其空間之路徑，而由駕駛員決定時間維度之變動，然而塔臺管制員以其知識與經驗引導，在思考航空器滑行或拖機移動之路徑時，除了考慮路徑之合理與順暢外，亦會全盤考慮整個場面之狀況，研判航空器或拖車在依路徑移動之過程中可能遭遇之其他地面活動。在另一方面，航空器或拖車之駕駛人員則僅考慮自身之狀況作出適當之避讓行為，並不參考機場場面之整體狀況。

配合此種性質，本模擬模式亦將塔臺管制員及駕駛員之決策內容，以適當安排可予兩者所使用之資訊。模式會依據地面網路，並考慮航空器在地面移動過程中轉向之不便性，而求解適當之路徑；之後再依場面上之所有活動中之航空器之狀況，估計依該路徑進行滑行或拖機時，過程中可能發生之避讓行為，若因為避讓而損失過久之時間，或致使其他航空器損失過久之時間，則重新求解不同之路徑，直至得到較佳之滑行或拖機路徑為止。

3. 跑道變更

在模擬過程中遇跑道變更之狀況時，模式會檢視所有前往跑道頭準備離場的航空器，而在當時尚未抵達之航空器，則依其當時所在位置重新求解前往跑道另一端之滑行路徑。由於在跑道變更當時已經抵達跑道頭之航空器將全數放飛，因此這些航空器並不須配合跑道變更而重新移動。

3.8 停機位分配模型

本模型之主要功能在模擬機場公司航務處人員為所有航空器指派停機位。指派停機位之工作內容可區分為指派次日停機位，以及指派當日停機位二大項，其中指派次日停機位之工作於執行之前一日進行，於蒐集次日所有停機位需求之後，統籌指派之；而指派當日停機位之工作，則於當日執行前一日之計畫的同時，依實際發生之狀況，通盤考慮場面當時之航情，以及當日後續之需求，有必要時隨時調整航空器之停機位分配。

觀察上述停機位分配工作之性質可以發現，不論是指派次日或當日停機位，進行分配工作之人員均可掌握整體狀況，且擁有未來之預估資訊。在指派次日停機位時可掌握次日全日之需求，而指派當日停機位時則可掌握當時之航情以及當日後續時間之未來需求。然而工作人員在思考停機位分配方式時，除了須遵守各種規定之外，尚須考慮所有航空器預定進入及離開停機位之時間，以及調整其中少數航空器之停機位時所可能引發之連鎖效應。在另一方面，雖然機場之狀況具高度變動性，於分配停機位時不可能完全精準預估未來，但停機位需求資訊，已經具有相當之參考價值，為停機位指派人員之重要資訊。

停機位之分配方式將影響停機位容量，但其間關係相當複雜，主要關鍵為停機位之使用，且在空間與時間均具有離散性質。在空間方面，每架航機必須使用單一停機位，不可能以 0.4 與 0.6 或其他比例將航機所需要之停機空間分散到多處位置；在時間方面，每架航機自進入某處停機位之時間點，至離開該處停機位之間，必須連續佔用該停機位，而不可能與其他航機穿插使用。這樣使得問題更為複雜的是諸多規章與習慣所帶來之限制，而這些因素便為工作人員以人工作業方式分配停機位時困難的根本來源，亦為任何自動化方法所必須克服的挑戰。目前桃園國際機場存在嚴重的停機位不足問題，因此必須運用停機位分配方法以提供更高之容量，服務

更多之航機，然而機場停機位容量並非固定值，而是與服務水準有關；質化來說，通常可接受之服務水準愈低，相同時間內可服務之航機數量將愈高。而由停機位分配之觀點，服務水準主要亦反映在時間及空間維度中，航機進入停機位之前的等待時間、航機進入停機位之後可用的停機時間長度，以及航機所分配到停機位之偏好程度。因此，任何量化之停機位容量評估準則，均必須以量化方式定義時間、空間與服務水準間之關係，而目前我國在此尚無共同認可之準則。

配合此種性質，本模擬模式使用線性整數規劃模式，以模擬航務處停機位指派人員於思考及決策時所能掌握之資訊、思考邏輯，以及偏好影響之現象，分項說明如下。

1. 所掌握之資訊

在停機位指派人員所掌握之諸多資訊中，與本模擬主題最為相關者除了各停機位之位置、使用規定，以及習慣等靜態資訊外，尚有各航班對於停機位之需求。此部份又可分為空間與時間二方面觀之，在空間方面，各航班大都具有對停機位之位置需求，例如某些航班應安排在 A 停機坪、某些應安排於 D 停機坪等；在時間方面則所有航班均有擬使用停機位之時間，以及預定離開之時間等資訊。因此在進行指派次日停機位之任務時，負責之人員均可掌握次日之完整資訊。

2. 思考之邏輯

停機位指派人員在符合規章、規定、習慣之同時，必須作深入之思考，例如於安排某翼展較小航空器之停機位時，雖亦可將其安排於較寬大之停機位，但必須考慮因而造成翼展較大航空器是否順利停靠之後續骨牌效應。

3. 偏好之影響

訪談結果發現各航班之營運者對於所分配之停機位常有其偏好，而非將所有可用停機位同等視之，因而停機位指派人員亦在可能範圍內儘量配合。

模擬模式所使用之數學模式說明如下。

集合與常數

AC 所有航空器之集合

A_i 航空器 i 預定開始佔用停機位之時間

D_i 航空器 i 預定結束佔用停機位之時間

T_i 航空器 i 需佔用停機位之最小時間

W_{ik} 航空器 i 指派使用停機位之偏好權重，值愈小愈偏好

α_i 航空器 i 可開始佔用停機位之時間延遲量懲罰權重

P 所有停機位之集合

H_{km}^{ij} (i,j,k,m) 所成之集合，其中 i 與 j 為不可同時分別停靠於 k 、 m 停機位之航空器，而 k 與 m 可能相同，亦可能不同

M 很大的正值常數

決策變數

a_i 分配結果，航空器 i 可開始佔用停機位之時間

d_i 分配結果，航空器 i 應結束佔用停機位之時間

p_{ik} =1 航空器 i 指派使用停機位 k ，0 表示航空器 i 不指派使用停機位 k

x_{ij} 當航空器 i 結束佔用停機位之時間晚於航空器 j 開始佔用停機位之時間時，本變數之值為 1

y_i 航空器 i 可開始佔用停機位之時間延遲量

$$\text{Minimize } \sum_{i \in AC, k \in P} W_{ik} p_{ik} + \sum_{i \in AC} \alpha_i y_i \quad (1)$$

$$a_i = A_i + y_i \quad \forall i \in AC \quad (2)$$

$$d_i \geq a_i + T_i \quad \forall i \in AC \quad (3)$$

$$d_i - a_j \leq Mx_{ij} \quad \forall i, j \in AC \quad (4)$$

$$x_{ij} + x_{ji} + p_{ik} + p_{jm} \leq 3 \quad \forall (i, j, k, m) \in H_{km}^{ij} \quad (5)$$

$$p_{ik} = 0 \quad \forall i \text{ not allowed to use } k \quad (6)$$

$$\sum_{k \in P} p_{ik} = 1 \quad (7)$$

$$a_i \geq 0 \quad \forall i \in AC \quad (8)$$

$$d_i \geq 0 \quad \forall i \in AC \quad (9)$$

$$y_i \geq 0 \quad \forall i \in AC \quad (10)$$

$$p_{jk} \in \{0,1\} \quad \forall i \in AC \quad \forall k \in P \quad (11)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in AC \quad (12)$$

在本模式中，式(1)為目標函數，追求延滯時間與停機位偏好權重總和最小。此處

之延滯時間指預定開始佔用時間 A_i 與分配結果可開始佔用停機位時間 a_i 之間的差異，與航空器是否準點並無直接關係，與航空器降落後是否可直接進入停機位亦無必然關係。而停機位偏好權重之設計，即在提供模式反映各航班之營運者對於所分配停機位之偏好的機制。式(2)建立各航空器可開始佔用停機位時間、預定開始佔用時間、與延滯時間三者之關係。其中預定開始佔用時間為所申請之時間，而可開始佔用時間為分配結果，該航空器可進駐停放之時間。當停機位擁擠時，二者不必然相同。式(3)確保各航空器能分配到足夠的佔用停機位時間。式(4)之目的在建立二航空器之時間先後關係。當航空器 i 結束佔用停機位之時間晚於航空器 j 開始佔用停機位之時間時，此限制式使得變數 x_{ij} 之值必須為 1。需要注意的是，航空器 i 結束佔用停機位之時間不晚於航空器 j 開始佔用停機位之時間時，本限制式並不控制變數 x_{ij} 之值。式(5)之作用在對於 H_{km}^{ij} 所列舉之組合，當航空器 i 與航空器 j 之佔用時間有重疊時，禁止將航空器 i 安排於停機位 k ，同時又將航空器 j 安排於停機位 m 。式(6)則為某些航空器禁止停放於某些停機位之禁制條件。式(7)要求每一航空器均被分配到恰好一個停機位。最後之式(8)至式(10)為非整數決策變數之非負限制式，而式(11)與式(12)則為雙元整數決策變數之雙元限制式。

第四章 模擬軟體架構及功能說明

模擬軟體依據前述模擬模式及各相關演算法，以程式語言實作而成軟體系統，本章將分節說明本研究所開發軟體系統之架構，以及其視覺呈現之設計。

4.1 軟體架構

1. 操作環境

本軟體於 64 位元 Windows 平台執行，並建議採用之硬體規格為 Core i5 之 CPU、8GB 隨機存取記憶體，或更高之規格。於執行模擬時，停機位分配模型及空側模型之求解均使用到 Gurobi®數學求解引擎，因此需要先安裝該軟體方能進行模擬。由於本軟體採模擬與播放分離之設計，因此使用者可選擇僅播放已完成之模擬結果而不進程式模擬，此時即不須 Gurobi®數學求解引擎亦可執行。

2. 模組架構

本軟體由 7 個模組所構成，分別說明如下(如圖 4.1):

- (1) 操作控制模組：為軟體之進入點，供使用者選擇所欲進行之任務。
- (2) 參數編輯模組：用以供使用者編輯進行模擬時之參數設定。
- (3) 模擬模組：進行模擬、控制及協調整個模擬過程之推進。
- (4) 數學演算模組：本模組由模擬模組所控制，使用者並無法直接控制之，其功能在執行前述各項數學模型之演算。
- (5) 統計模組：本模組亦由模擬模組所控制，其功能在由模擬之結果取得各種所需要之統計及紀錄。
- (6) 視覺呈現模組：本模組與使用者密切互動，主要功能在以動畫方式播放模擬結果，以利使用者經由視覺畫影像觀察模擬之過程及結果。
- (7) 資料中心模組：本模組之主要部份為資料庫，用以作為整個模擬系統之資料交換及儲存中心。模擬模組於完成一個專案之模擬後，將其過程完整存放於本模組，而視覺呈現模組亦由此取得播放模擬結果時所需要之資訊。

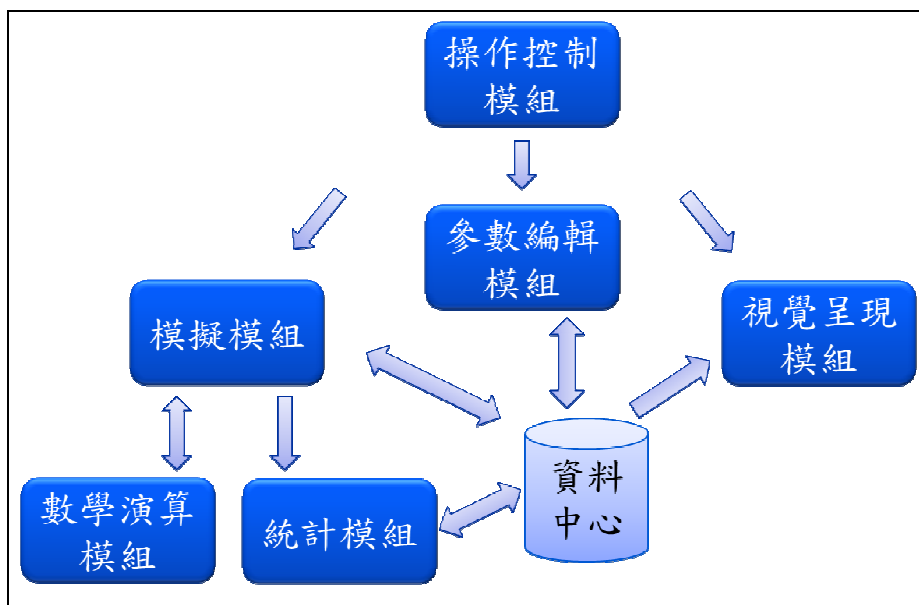


圖 4.1 軟體模組架構圖

4.2 輸入參數

本模擬軟體由一組檔案取得輸入資料，所需之輸入資料包括跨專案適用之環境參數、因模擬個案而異之專案參數，以及模擬進行時之運轉控制參數共計 3 類，分別說明如下：

1. 環境參數

此類參數主要在描述相關規章的基本限制，與模擬系統所需的整體參數等，較偏靜態之背景資料，本軟體所需之環境參數說明如下：

- (1) 風速(節)：模擬時之風速。
- (2) 滑行速率(節)：航空器於地面以自身動力滑行時之速率。
- (3) 拖機速率(節)：航空器使用拖車於地面移動時之速率。
- (4) 高度變換限制(呎/哩)：航空器於飛行過程中最大的高度變換率。
- (5) 落地速率(節)：進場航空器接觸跑道時之速率。
- (6) 起飛速率(節)：離場航空器離開地面時之速率。
- (7) 交管點速率(節)：航空器出現於交管點時之速率。
- (8) 交管點高度(呎)：航空器出現於交管點時之高度。
- (9) 跨越跑道停等(秒)：航空器在地面上跨越跑道之前應停等的秒數。

- (10) 水平隔離(呎)：航空器在飛行過程中應保持的最小水平隔離。
- (11) 垂直隔離(呎)：航空器在飛行過程中應保持的最小垂直隔離。
- (12) 降落跑道指派：指派跑道予進場航空器的規則，1=指派最靠近其停機位之跑道，2=依據其出現之交管點指派跑道，3=隨機指派跑道。
- (13) 滑行轉向時間損失(秒)：航空器於地面滑行過程中，每次轉向所損失之時間。
- (14) 滑行轉向權重(秒)：管制員於設計航空器於地面滑行路徑時，認定之轉向不便性。
- (15) 機場高程(呎)：機場距海平面之高程。
- (16) 輕型後推等待(秒)：輕型航空器於後推之後，開始以自身動力滑行之前所須等待之時間長度。
- (17) 中型後推等待(秒)：中型航空器於後推之後，開始以自身動力滑行之前所須等待之時間長度。
- (18) 重型後推等待(秒)：重型航空器於後推之後，開始以自身動力滑行之前所須等待之時間長度。
- (19) 快速出口速率(節)：進場航空器由快速滑行道脫離跑道時之速率。
- (20) 一般出口速率(節)：進場航空器由一般非快速滑行道脫離跑道時之速率。
- (21) 降落飛機之間隔(秒)：先後在同一跑道降落之航空器，其最小時間之間隔。

2. 專案資料

此類資料以描述模擬專案為主，在數據與軟體儘量分離之原則下，空中、地面與航班等模擬時所需之專案資料儘量以資料檔描述之，而軟體則作為資料處理系統之用，本軟體所需要之專案資料分類說明如下：

(1) 模擬邊界

本項資訊在定義模擬範圍之邊界，亦即航空器進入本模擬系統之入口，以及航空器自模擬系統中消失之出口。其中之資訊項目包括到場或離場航空器之外站機場、可能出現到場航空器之交管點，以及離場航空器消失之航點。

(2) 班表

本項資訊定義了模擬專案中所含有之航班，其中之資訊項目包括各航空器所屬之公司、公司 IATA 名稱、航空器之尾號與機型、航空器降落與起飛之預定時間、到場時之外站機場、離場後之外站機場、航空器之類型（是否為貨機）、航空器之翼展長度、航空器之分類等。

(3) 允許使用停機位

本模擬系統為了達到最大之彈性，對於各航空器允許使用之停機位採用正面表列，每一個別航空器均可以獨立設定一或多個允許使用之停機位，而本項資訊之項目包括航空器之尾號、允許使用之停機位，以及權重係數等，若本項係數值愈低者，代表該航空器愈偏好使用該停機位。

(4) 機位禁止相鄰

真實機場中有複雜的規則以規範 2 架航空器是否允許同時停靠於相鄰之停機位，因此為了達到最高之彈性，模擬軟體使用完全表列之方式定義本項禁止規則，其中所含有之資訊項目包括航空器 A 之尾號與停機位 A，以及航空器 B 之尾號與停機位 B，其意義為當航空器 A 停靠於停機位 A 時，航空器 B 不可以同時停靠於停機位 B，此種設計不但能夠規範相鄰停機位之分配使用方式，亦可以規範不相鄰之停機位同時使用之方式，應足以容納絕大多數之機場對停機位使用之相關規範。

(5) 停機位設定

本資訊用以定義機場中各停機位，其中所含的資訊項目包括機位名稱、所容許之最大翼展，以及是否為過夜機位。有時機場中有特定航空公司的專用停機位，亦可於此設定；此外為了達到最大的軟體彈性，並留有特殊規則欄位，未來若出現上述通用規則所無法描述之停機位運用指派規則，可利用此欄位設定之。

(6) 脫離跑道點

本項資訊的功能在定義航空器脫離跑道時之行為，此處之資訊項目包括跑道、各跑道上航空器可使用之跑道出口節點、貨機是否優先選用該出口，以及是否為快速滑行道出口等。

(7) 地面網路節線

本資訊定義了地面網路所含有的節線，由於每 1 節線均可由其兩端之節點定義之，因此所含有之資訊項目為每 1 節線之前節點、後節點，以及節線之長度。

(8) 地面網路節點

本資訊為地面網路所含有的節點之清單，這些資訊除了具有定義網路節點之功能外，並會影響動畫之呈現效果；所含有之資訊項目包括了各節點的名稱、X 座標，以及 Y 座標，其中 X 座標與 Y 座標均為 0 到 1 之間的值，用以描述該

節點在場面圖中，與左上角及右下角之相對位置。

(9) 跑道設定

跑道為空中網路與地面網路之交界，亦為整個模擬模式中最複雜之處。本資訊之功能在界定各跑道之基本框架，其資訊項目包括各跑道於空中網路中，到場航空器路徑之終點節點、進場航空器於地面網路的路徑的起點節點、離場航空器在空中網路中路徑之起點節點。此外並定義各跑道是否可起飛與是否可降落，而每一實體跑道均可對其 2 個方向作個別之獨立設定。

(10) 跑道節點群組

原則上同一實體跑道在同一時間僅能容許 1 架航空器使用，然而在地面網路中，為了允許在地面活動之航空器在數個不同的位置跨越跑道，可能需要在同一實體跑道上佈設數個節點，本項資訊之作用即在定義每一實體跑道含有哪些地面網路的節點，並以群組之方式組織之，因此其資訊項目包括節點名稱與所屬群組。

(11) 交管點跑道偏好

本資訊之目的在描述交管點與跑道之對應關係，模擬軟體可利用此項關係以建立依交管指派進場跑道之能力，其中之資訊項目包括交管點、所對應之跑道，以及偏好之權重，若同一交管點對應多數跑道時，模式將優先指派權重值較低之跑道。

(12) 程序

本資訊定義了模擬過程中，航空器在飛行時所使用的離到場程序，所含有的資訊項目包括各程序之名稱、各程序所經過之航點及其順序、各航點的高度限制、速率限制等。

(13) 航點

本資訊為整個模擬系統中所有的航點清單，所含有之資訊項目包含了各航點的名稱、經度、緯度，以及該航點是否允許航空器進行空中等待。

3. 控制參數

本類參數之功能在控制模擬進行過程中之設定變更，其中包含以下 3 項。

- (1) 滑行道關閉：可設定起點、終點、關閉時間、開放時間。
- (2) 跑道運轉模式：可設定跑道、生效時間、可起飛、可降落。
- (3) 換跑道：可設定生效時間。

4.3 視覺呈現

以視覺動畫方式呈現模擬結果，為本軟體重要功能之一，雖然視覺呈現模組並未真正參與模擬之過程，但模擬之結果足以支持動畫之呈現，且視覺動畫對於模擬結果的展現有一定的幫助，可協助顯示整個模擬模式所涵括的元素的完整性是否足夠。

雖然本模擬模式核心之模擬對象為管制員與停機位指派人員之意志，但視覺動畫呈現的是各航空器在整個 24 小時的模擬時間範圍內，於空間各處之移動運行狀況。

模擬軟體之登入畫面如圖 4.2 所示，有 4 個選項如圖 4.2 所示，其中右下之 Doc 選項為說明，按下後所出現之畫面如圖 4.3 所示，畫面之內容顯示本模擬模式之重要基本假設，其內容可依需要置換而不需要修正軟體程式。另圖 4.2 右上標示 run 之按鈕可啟動模擬，而左上標示 config 之按鈕在按下後可進入參數編輯頁面，如圖 4.4 所示。

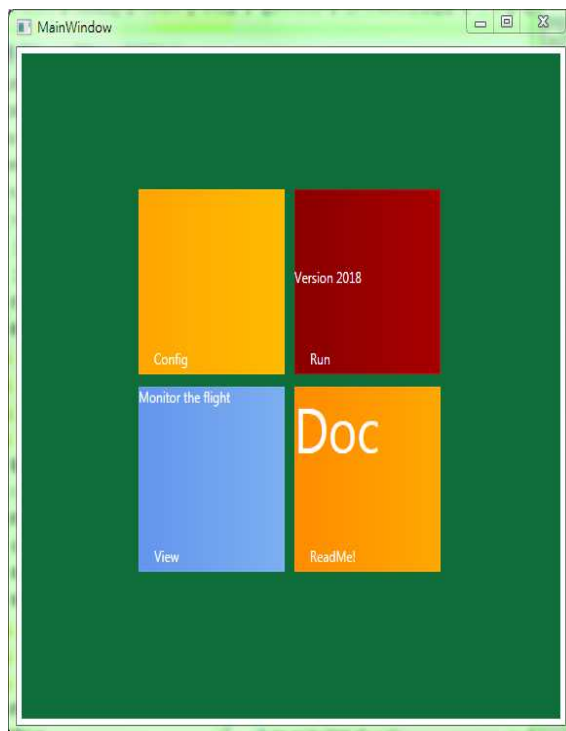


圖 4.2 模擬軟體登入畫面

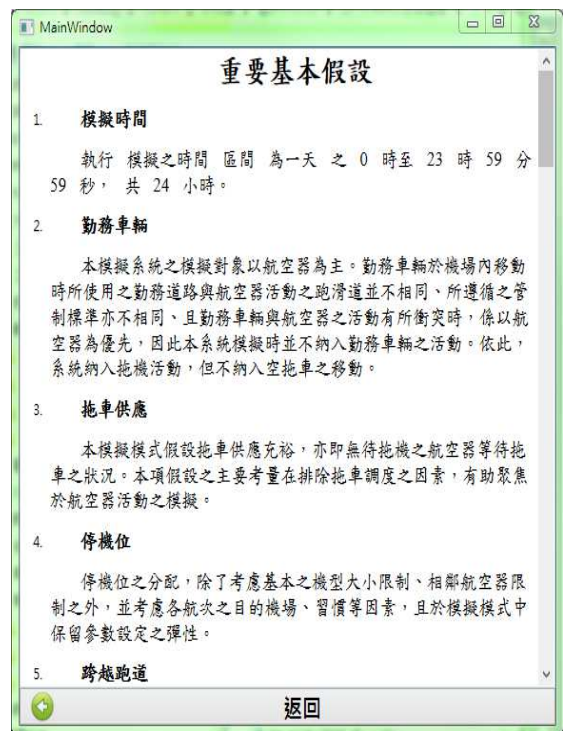


圖 4.3 軟體使用說明畫面

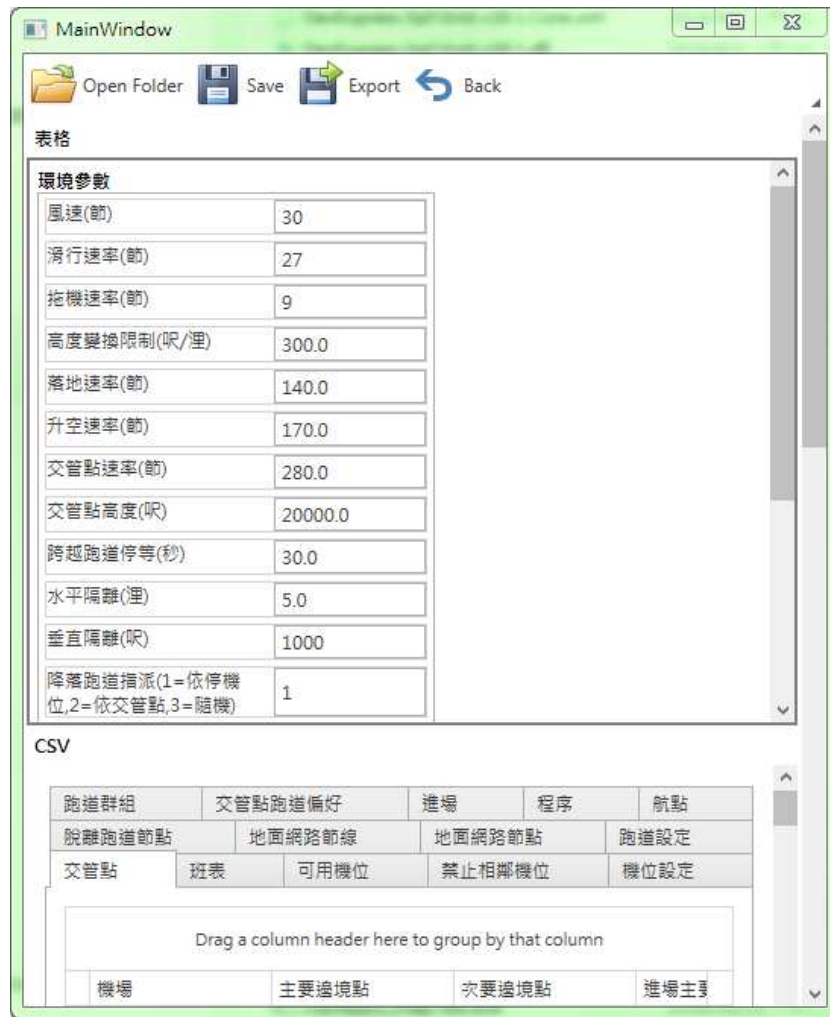


圖 4.4 參數編輯畫面

上述圖 4.4 所示之畫面，頂上有 4 個按鈕，由左至右依序說明如下：

1. Open folder

用以開啟另一組參數，之前儲存的參數資料，可藉由本功能重新開啟。

2. Save

將本組參數存檔，新建完成的新參數，便可藉由本功能儲存。

3. Export

將本組參數匯出成為新參數組。

4. Back

回到主畫面。

在圖 4.4 之頂上 4 個控制按鈕的下方為編輯環境參數的區域；再下方為編輯專案資料之區域，圖 4.5 所示為本區之放大圖。

跑道群組	交管點跑道偏好	進場	程序	航點
脫離跑道節點	地面網路節線	地面網路節點	跑道設定	
交管點	班表	可用機位	禁止相鄰機位	機位設定

Drag a column header here to group by that column									
	班機日期	公司	入境	出境	機號	機型	ETA	ETD	A
*	Click here to add a new row								
▶	2017/6/30	SCO		215	9V-OFA	B787-8	0	00:10:00	C
	2017/6/30	TTW		216	B50006	A320-232	0	00:20:00	C
	2017/6/30	EVA		6537D	B16407	B747-400	0	00:40:00	C
	2017/6/30	CAL		73	B18905	A350-900	0	00:35:00	C
	2017/6/30	ANA		8430	JA8286	B767-300	0	00:25:00	C
	2017/6/30	JJP		92	JA09JJ	A320-232	0	01:25:00	C
	2017/6/30	CAL		5398	B18725	B747-400	0	01:40:00	C
	2017/6/30	JJA		2654	HL8062	B737-800	0	02:50:00	C
	2017/6/30	CAL		5322	B18701	B747-400	0	02:30:00	C

圖 4.5 專案資料編輯區域

於圖 4.5 可看到上方有多數頁籤，每一頁籤均對應一組專案資料之資訊，所有資訊均以表格方式呈現。以圖 4.5 所示為例，選按「班表」所出現之畫面後，使用者可看到班表相關資訊，並可編輯，亦可以拖曳方式自由調整欄位順序，而每一欄位亦均可作為排序之用；另圖 4.6 所示表格則以「公司」欄群組之結果。

公司 ▲

班機日期	入境	出境	機號	機型	ETA	ETD	AT
*	Click here to add a new row						
▶	▶ 公司: ABL						
	▶ 公司: AMU						
	▶ 公司: ANA						
	▶ 公司: CAL						
	▶ 公司: CLX						
	▶ 公司: CPA						
	▶ 公司: EVA						
	▶ 公司: JJA						
	▶ 公司: JJP						

圖 4.6 班表資料以公司欄群組之畫面

經過群組之資料，使用者亦可依需要展開任何群組，如圖 4.7 所示為展開全日空（ANA）資料之畫面，可以看到模擬資料中屬於該公司之航班資料。

公司 ▲								
班機日期	入境	出境	機號	機型	ETA	ETD	AT	
* Click here to add a new row								
▶ 公司: ABL								
▶ 公司: AMU								
▶ ▲ 公司: ANA								
2017/6/30		8430	JA8286	B767-300	0	00:25:00	0	
2017/6/30	8441		JA605F	B767-300	22:34:00	0	01:	
▶ 公司: CAL								
▶ 公司: CLX								
▶ 公司: CPA								
▶ 公司: EVA								
▶ 公司: JJA								

圖 4.7 班表資料依公司群組後再展開之畫面

將圖 4.4 所示之畫面右側捲軸拉至最下方，可看到編輯模擬控制參數之區域，局部放大如圖 4.8 與圖 4.9 所示，其操作方式與編輯環境參數的方式類似。

滑行道關閉

跑道運轉模式

Drag a column header here to group by that column

	起點	終點	關閉時間(秒)	開放時間(秒)	
▶	NCN5	NCN6	00:00:00	00:00:00	⬆
	SN4	NCN7	00:00:00	00:00:00	⬇
< >					

圖 4.8 滑行道關閉設定畫面

滑行道關閉

跑道運轉模式

Drag a column header here to group by that column

	跑道	生效時間	可起飛	可降落	
▶	RWG05R	06:00:00	N	N	⬆
	RWG05L	06:00:00	Y	Y	
	RWYG10	06:00:00	N	N	
	RWG23R	06:00:00	N	N	
	RWG23L	06:00:00	N	N	
	RWYG28	06:00:00	N	N	⬇
	<				>

圖 4.9 跑道運轉模式設定畫面

圖 4.2 左下方標示 View 之按鈕即為播放動畫之入口，按鈕進入後所顯示之主畫面如圖 4.10 所示，即為模擬結果之展現初始畫面。

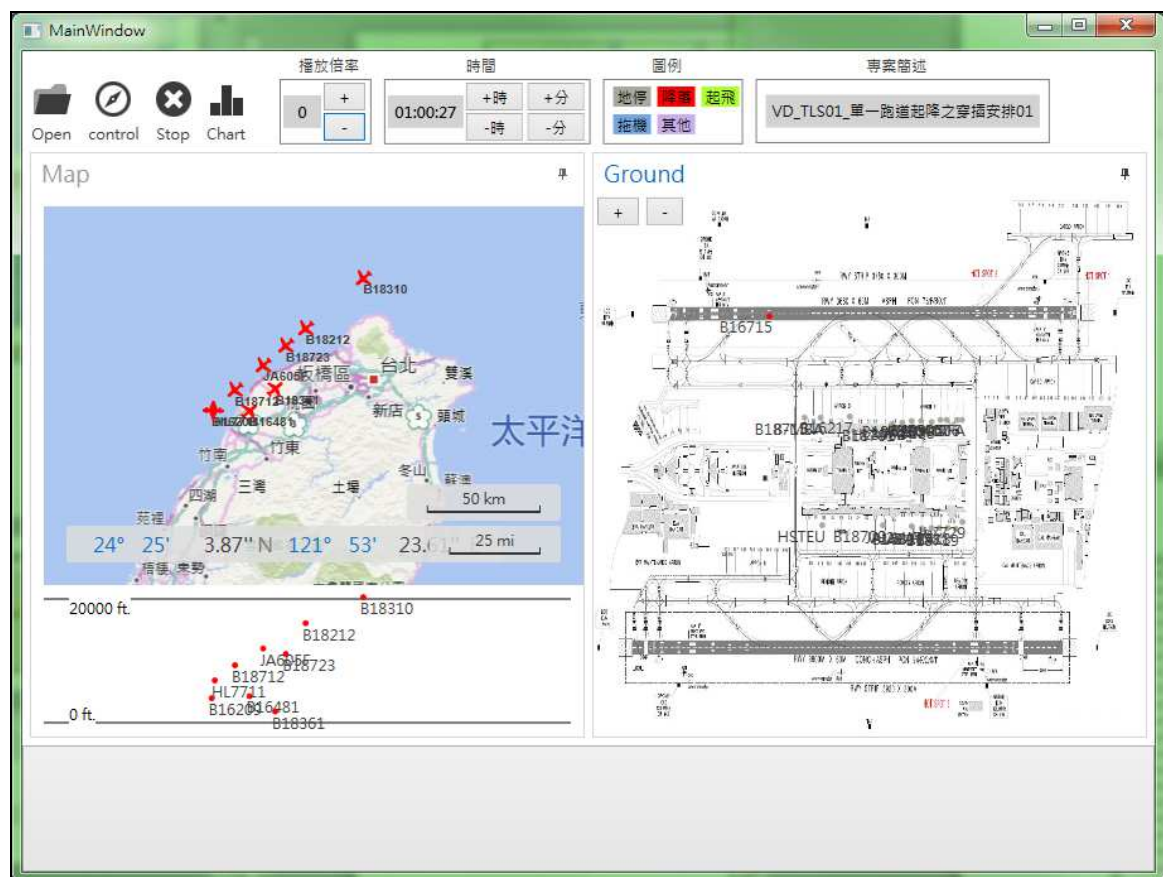


圖 4.10 模擬結果動畫播放主畫面

依圖 4.10 所示之動畫播放主畫面，可分上方之功能區與下方之動畫顯示區二大區塊，以下將先說明功能區所提供之多種控制功能，之後再說明動畫顯示區，其中功能區由左至右各項功能說明如下。

1. Open 按鈕

本按鈕之功能在允許使用者由資料庫中選擇欲播放之專案，點選進入後所顯示之畫面如圖 4.11 所示。所顯示之資訊包括專案名稱、簡述、專案創建日期、該專案所擁有之航空器數量、模擬過程中第一次有航空器出現之時間，以及模擬過程中最後一架航空器消失之時間。其中簡述欄允許使用者編修，與前述表格相同，本畫面允許使用者依任何欄位排序、自由以任何方式調整欄位之順序，及依指定的欄位群組與展開。

專案名稱	簡述	創建日期	TailNumber...	起始時間	結束時間
Project_SIN_2018-10-26_14:27:01	debug	2018/10/26	0		
Project_SIN_2018-10-24_22:23:54	debug	2018/10/24	60		上午 12:01
Project_SIN_2018-10-24_21:34:35	VR_TWA01_滑行道關閉後	2018/10/24	1	上午 12:43	上午 12:00
Project_SIN_2018-10-24_21:18:51	debug	2018/10/24	1	上午 12:43	上午 12:00
Project_SIN_2018-10-24_21:12:15	debug	2018/10/24	1	上午 12:43	上午 12:00
Project_SIN_2018-10-24_21:10:07	VR_VEV01_變換高度參數	2018/10/24	9		上午 12:00
Project_SIN_2018-10-24_21:09:12	debug	2018/10/24	9		上午 12:00
Project_SIN_2018-10-24_21:09:08	debug	2018/10/24	1		上午 01:19
Project_SIN_2018-10-24_21:01:02	VR_PBW01_後推後等待時間	2018/10/24	3		上午 02:00
Project_SIN_2018-10-24_20:55:13	VR_FAF01_進場最後通過點	2018/10/24	7	上午 12:23	上午 12:00
Project_SIN_2018-10-24_20:48:07	debug	2018/10/24	7	上午 12:23	上午 12:00
Project_SIN_2018-10-24_20:33:54	VR_TWA01_滑行道關閉前	2018/10/24	1	上午 12:23	上午 12:00
Project_SIN_2018-10-24_20:29:59	debug	2018/10/24	1		上午 01:58
Project_SIN_2018-10-24_20:10:38	VR_RWT01_VR_RWL01_起飛、降落跑道選擇	2018/10/24	2	上午 12:30	上午 02:19
Project_SIN_2018-10-24_13:58:38	VR_RWM08_跑道運轉模式08	2018/10/24	2		上午 12:00
Project_SIN_2018-10-24_13:56:10	VR_RWM07_跑道運轉模式07	2018/10/24	2		上午 12:00
Project_SIN_2018-10-24_13:53:33	VR_RWM06_跑道運轉模式06	2018/10/24	2		上午 12:00
Project_SIN_2018-10-24_13:50:46	VR_RWM05_跑道運轉模式05	2018/10/24	2		上午 12:00
Project_SIN_2018-10-24_13:47:38	VR_RWM04_跑道運轉模式04	2018/10/24	2		上午 12:00
Project_SIN_2018-10-24_13:44:56	VR_RWM03_跑道運轉模式03	2018/10/24	2		上午 12:00
Project_SIN_2018-10-24_13:40:59	VR_RWM02_跑道運轉模式02	2018/10/24	2		上午 12:00
Project_SIN_2018-10-24_13:37:56	VR_RWM01_跑道運轉模式01	2018/10/24	2		上午 12:00

圖 4.11 播放專案選擇畫面

2. Control 按鈕

按下本按鈕將開啟播放遙控器，其畫面如圖 4.12 所示，使用者可以用遙控器中選擇一天 24 小中之任何時間點，直接跳至該時間觀看動畫，亦可控制播放倍速。當倍率值為 1 時動畫之時間推進速度與真實時間相同，倍率值為 2 時，每真實之 1 秒將播放 2 秒之模擬結果，其餘類推。本軟體亦允許設定負值之播放倍率，當播放倍率為負值時，所呈現之動畫將為時間倒轉，此一設計有助使用者用來反覆觀看同一段模擬過程。本遙控器所允許之播放倍率範圍在正負 60 之間，當設定播放倍率為正或負 60 時，相當於真實之 1 秒將播放 1 分鐘之模擬過程。

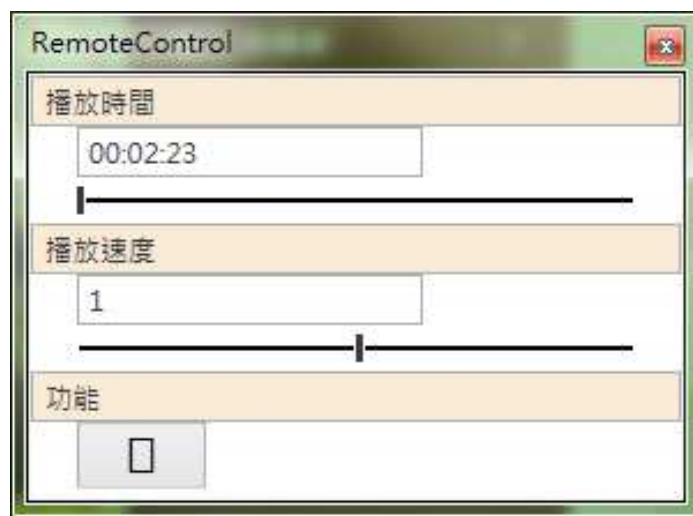


圖 4.12 播放遙控器畫面

3. Stop 按鈕

終止動畫播放。

4. Chart 按鈕

按下此按鈕將跳出統計圖，如圖 4.13 所示，此畫面含有 8 個頁籤，分別對應到 8 種不同之統計圖。這些統計圖分別為：平均飛行時間、平均飛行距離、平均滑行時間、平均滑行距離、平均等候機位時間、桃機北跑道小時起降數、桃機南跑道小時起降數、與桃機小時起降數。當按下在此畫面上方之「匯出」鈕可將所有 8 種統計之數據資料，以 excel 表格之方式匯出至指定的目錄。



圖 4.13 模擬結果統計圖畫面

5. 播放倍率控制區

此區可供使用者直接控制播放倍率，如圖 4.14 所示，其功能與圖 4.12 所示之遙控器類似，但操作方式較為直接，而此處可設定之播放倍率範圍不受遙控器正負 60 之限制。

6. 播放時間控制區

本區可供使用者以加減小時及加減分鐘的方式，快速移動到所欲觀看之時間點，其操控面板如圖 4.14 所示。



圖 4.14 播放倍率與播放時間控制區

7. 圖例區

本區在顯示各種航空器狀態之顏色設定，如圖 4.15 所示，本軟體將所有航空器區分為 5 種狀態，說明如下：

- (1) 地停：停放於停機位之航空器。
- (2) 降落：到場航空器在出現於交管點，經進場、降落、滑行後直至進入其停機位之過程中均屬於此狀態。
- (3) 起飛：離場航空器由後推開始，經滑行、起飛後直至消失於交管點之過程中均屬於此狀態。
- (4) 拖機：場面上之航空器不以自身動力，於一處停機位移動至另一停機位之過程屬於此狀態。
- (5) 其他：所有不屬於以上狀態之航空器均屬之，目前本軟體並未使用此狀態。

本區之功用除了可作為圖例，方便使用者參考之外，用滑鼠點選圖中某一種狀態時，將跳出色盤供使用者自由設定其顏色。

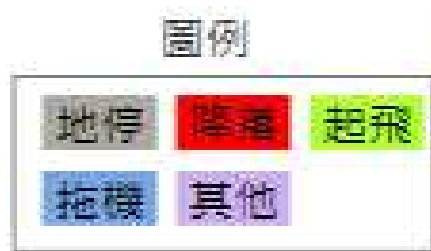


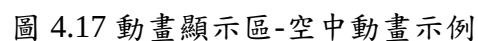
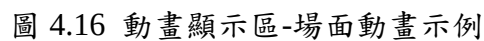
圖 4.15 圖例區畫面

圖 4.10 所示之動畫播放主畫面之下方為動畫顯示區，本區以不同之畫面分別顯示空中之狀況以及桃園國際機場場面之狀況。軟體啟動時會將二者合併於同一框架中，左方為空中狀況，而右方則顯示場面狀況，使用者可用滑鼠將右方之場面圖拖出成為獨立之畫面，如圖 4.16 所示，當拖出後此獨立畫面可隨意調整其大小以及長寬比例，亦可以滑鼠拖曳嵌回主畫面中。嵌回時亦可選擇嵌於上、下、左、右，或佔滿整個主畫面，當場面之畫面佔滿整個主畫面時，下方會出現頁籤供使用者在空中畫面與場面畫面之間切換，而使用雙螢幕時可將場面圖單獨置於一個螢幕並放到最大，方便觀看與簡報。

在場面動畫之畫面左上角有加號「+」及減號「-」按鈕各 1 個，用以調整場面上代表航空器之圓點之大小。

圖 4.17 所示為佔滿整個主畫面之空中動畫畫面，在其左下角可看到上述頁籤，

航空器之顏色係依照圖 4.15 之圖例而顯示。本地圖可用滑鼠拖曳之方式調整其顯示範圍，亦可調整顯示之比例。在縮放地圖時，航空器之小圖示維持固定之大小不變。空中動畫畫面之下半部為立面圖，顯示各航空器之高程。同一架航空器於上半部與下半部之顯示位置維持一致，以方便使用者觀察。



第五章 確認流程與驗證方式

5.1 確認流程

所謂確認，指對模擬軟體進行測試，以複核軟體之邏輯及行為是否符合設計，此為本研究後續重要工作項目之一，而主要之確認項目將包含 2 大類，說明如下：

1. 基本物理定律確認

本項目之確認，指複核在模擬之過程中所有航空器之行為符合基本物理定律，例如不可有 2 架航空器於同一時間處於同一位置、航空器於進入模擬系統直至離開系統之間必須連續存在、航空器於時空中移動之過程必須滿足運動學及基本力學之定律等，而這些項目之複核，可利用本軟體之視覺呈現功能，以觀察之方式達成之。

2. 軟體能力確認

本項目之目的在經由測試以確認軟體具有設計出應有之基本能力，相關所進行之各測試項目說明於以下各表中。

表 5-1 停機位分配功能測試

編號		VR_BAY
項目		停機位分配
內容		模式僅將航空器分配至允許之停機位並且遵守偏好設定
確認方法		建立僅有 1 班到場航班之專案，並設定該航空器僅有 2 處允許停靠之停機位，觀察模式分配結果。
測試 1	專案	VR_BAY01
	說明	航空器允許停靠 A5 及 D5 停機位，且較偏好 A5。
	結果	確認通過。
測試 2	專案	VR_BAY02
	說明	航空器允許停靠 A5 及 D5 停機位，且較偏好 D5。
	結果	確認通過。
測試 3	專案	VR_BAY03
	說明	航空器允許停靠 B5 及 C5 停機位，且較偏好 B5。
	結果	確認通過。
測試 4	專案	VR_BAY04
	說明	航空器允許停靠 B5 及 C5 停機位，且較偏好 C5。
	結果	確認通過。

表 5-2 停機位相鄰限制功能測試

編號	VR_NBB	
項目	停機位相鄰限制	
內容	模式遵守航空器禁止分配至相鄰停機位之限制	
確認方法	建立僅有 2 班到場航班之專案，並設定禁止相鄰。同時設定後抵達之航空器較偏好相鄰之停機位，觀察模式分配結果。	
測試 1	專案	VR_NBB01
	說明	航空器 1 允許停靠 A3 及 A4 停機位，且較偏好 A3。 航空器 2 允許停靠 A2 及 A5 停機位，且較偏好 A2。 二航空器禁止相鄰。
	結果	航空器 1 分配 A3 停機位、航空器 2 分配 A5 停機位。 確認通過。

表 5-3 跨越跑道停等功能測試

編號	VR_RWW	
項目	跨越跑道停等	
內容	模擬過程中航空器在跨越跑道之前依設定之時間長度停等	
確認方法	建立僅有 1 班到場航班之專案，並使其降落後滑行過程須跨越跑道。觀察模擬過程。	
測試 1	專案	VR_RWW01
	說明	設定航空器僅可使用 05 右跑道降落，且僅可使用 520 停機位。此時航空器必須跨越北跑道。
	結果	航空器確有跨越北跑道，並確有停等。確認通過。

表 5-4 空中隔離功能測試

編號	VR_ASP	
項目	空中隔離	
內容	設定參數，使模擬過程中航空器在飛行過程中至少保持 5 哩之水平隔離，或 1000 呎之垂直隔離。	
確認方法	建立含有多數密集到場航班之專案，由數據中抽樣核算隔離距離。	
測試 1	專案	VR_ASP01
	說明	設計在 7 分鐘內連續 7 班航班出現在交管點，並抽樣核算其隔離距離。
	結果	確認通過。

表 5-5 跑道運轉模式功能測試

編號	VR_RWM	
項目	跑道運轉模式	
內容	模式可依各跑道之起飛或降落之設定而進行模擬。	
確認方法	建立到場與離場各 1 班航班之專案，並設定各種跑道起降模式，觀察模擬結果。	
測試 1	專案	VR_RWM01
	說明	設定起飛僅可使用 05L 跑道，降落僅可使用 05R 跑道。 設定到場與離場航班各 1 班。
	結果	航空器確依跑道設定而起飛或降落。確認通過。
測試 2	專案	VR_RWM02
	說明	設定起飛僅可使用 05R 跑道，降落僅可使用 05L 跑道。 設定到場與離場航班各 1 班。
	結果	航空器確依跑道設定而起飛或降落。確認通過。
測試 3	專案	VR_RWM03
	說明	設定起飛僅可使用 23L 跑道，降落僅可使用 23R 跑道。 設定到場與離場航班各 1 班。
	結果	航空器確依跑道設定而起飛或降落。確認通過。
測試 4	專案	VR_RWM04
	說明	設定起飛僅可使用 23R 跑道，降落僅可使用 23L 跑道。 設定到場與離場航班各 1 班。
	結果	航空器確依跑道設定而起飛或降落。確認通過。
測試 5	專案	VR_RWM05
	說明	設定起飛與降落均僅可使用 05L 跑道。 設定到場與離場航班各 1 班。
	結果	航空器確依跑道設定而起飛或降落。確認通過。
測試 6	專案	VR_RWM06
	說明	設定起飛與降落均僅可使用 05R 跑道。 設定到場與離場航班各 1 班。
	結果	航空器確依跑道設定而起飛或降落。確認通過。
測試 7	專案	VR_RWM07
	說明	設定起飛與降落均僅可使用 23L 跑道。 設定到場與離場航班各 1 班。
	結果	航空器確依跑道設定而起飛或降落。確認通過。
測試 8	專案	VR_RWM08
	說明	設定起飛與降落均僅可使用 23R 跑道。 設定到場與離場航班各 1 班。
	結果	航空器確依跑道設定而起飛或降落。確認通過。

表 5-6 起飛跑道選擇功能測試

編號	VR_RWT	
項目	起飛跑道選擇	
內容	設定多於一條跑道可供起飛時，模式選擇距停機位較近之跑道。	
確認方法	設定南北跑道均可起飛，觀察模擬結果。	
測試 1	專案	VR_RWT01
	說明	建立含有 2 班起飛航班之專案，將其停機位分別設定於 A5 與 B5。設定二條跑道均可供起飛之用。
	結果	模式將起飛航班各自分配到較接近之跑道。確認通過。

表 5-7 降落跑道選擇功能測試

編號	VR_RWL	
項目	降落跑道選擇	
內容	設定依停機位選擇降落跑道，且多於一條跑道可供降落時，模式選擇距停機位較近之跑道降落。	
確認方法	設定南北跑道均可降落，觀察模擬結果。	
測試 1	專案	VR_RWL01
	說明	建立含有 2 班到場航班之專案，將其停機位分別設定於 A5 與 B5。設定二條跑道均可供降落之用。
	結果	模式將航班各自分配到較接近之跑道降落。確認通過。

表 5-8 滑行及拖機速率功能測試

編號	VR_TXV	
項目	滑行及拖機速率	
內容	模擬過程中航空器於地面滑行以及拖機均依設定之速率運行。	
確認方法	以僅有少數航班之專案，觀察模擬結果。	
測試 1	專案	VR_TXV01
	說明	建立僅含有 1 班離場航班之專案，設定其先由過夜機坪拖到 A5 停機位，之後再由 05R 跑道起飛。觀察模擬結果。
	結果	確認通過。

表 5-9 滑行道開放與關閉功能測試

編號	VR_TWA	
項目	滑行道開放與關閉	
內容	模式在求解滑行路線及拖機路線時將滑行道之開放與否納入考慮。	
確認方法	建立僅有 1 班航班之專案，設定不同的滑行道開放與關閉狀態，觀察模擬結果。	
測試 1	專案	VR_TWA01
	說明	建立含有 1 班到場航班之專案。 設定所有滑行道均開放，觀察模擬結果。之後設定關閉其中一條滑行道，重新模擬，觀察模擬結果並與第一次比較。
	結果	滑行道關閉前後，滑行路線確有不同，且正確配合滑行道之關閉。確認通過。

表 5-10 進場最後通過點功能測試

編號	VR_FAF	
項目	進場最後通過點	
內容	在模擬中所有航空器在進場前共同必須通過跑道延伸線外 5 哩，高度 1500 呎之點。	
確認方法	建立含有多數進場航班之專案，觀察模擬結果。	
測試 1	專案	VR_FAF01
	說明	建立含有 7 班到場航班之專案，觀察模擬結果。
	結果	確認通過。

表 5-11 後推後等待時間功能測試

編號	VR_PBW	
項目	後推後等待時間	
內容	模擬過程中，航空器在後推之後，以自身動力滑行之前須有等待時間。	
確認方法	建立含有少數起飛航班之專案，觀察模擬結果。	
測試 1	專案	VR_PBW01
	說明	建立含有 3 班起飛航班之專案，觀察模擬結果。
	結果	確認通過。

表 5-12 變換高度參數功能測試

編號	VR_VEV	
項目	變換高度參數	
內容	模式所計算之飛行路線，其斜率應在每哩 300 呎以內，而垂直方向之速率應在每分鐘 1500 呎以內。	
確認方法	建立含有多數起降航班之專案，觀察模擬結果。	
測試 1	專案	VR_VEV01
	說明	建立含有 7 班起飛航班與 2 班降落航班之專案，觀察模擬結果。
	結果	確認通過。

表 5-13 松山機場功能測試

編號	VR_RSS	
項目	松山機場	
內容	確認軟體可模擬松山機場之起降。	
確認方法	建立含有起降於松山機場之專案，觀察模擬結果。	
測試 1	專案	VR_RSS01
	說明	1. 建立含有 5 班由松山起飛航班與 5 班在松山降落航班之專案，觀察模擬結果。 2. 所測試之航班要含有日本、澎湖、臺東的班機。 3. 使用 10 跑道。
	結果	確認通過。
測試 2	專案	VR_RSS02
	說明	1. 同上。 2. 同上。 3. 使用 28 跑道。
	結果	確認通過。
測試 3	專案	VR_RSS03
	說明	1. 建立含有松山/桃園，起飛/降落各 5 航班之專案，共計 20 航班，觀察模擬結果。 2. 所測試之松山航班要含有日本、澎湖、臺東的班機。 3. 松山使用 10 跑道，桃園使用 05 跑道，所有跑道均可起可降。
	結果	確認通過。
測試 4	專案	VR_RSS04
	說明	1. 同上。 2. 同上。 3. 松山使用 28 跑道，桃園使用 23 跑道，所有跑道均可起可降。
	結果	確認通過。

表 5-14 桃園國際機場第 3 跑道功能測試

編號	VR_3RW	
項目	桃園國際機場第 3 跑道	
內容	確認軟體可模擬具有 3 跑道桃園機場之起降。	
確認方法	1. 建立含有起降於松山機場之專案，觀察模擬結果。 2. 松山機場之地面高程為 18 呎。	
測試 1	專案	VR_3RW01
	說明	1. 建立含有起降各 2 班之專案，觀察模擬結果。 2. 使用 05L 跑道。
	結果	確認通過。
測試 2	專案	VR_3RW02
	說明	1. 建立含有起降各 2 班之專案，觀察模擬結果。 2. 使用 05C 跑道。
	結果	確認通過。
測試 3	專案	VR_3RW03
	說明	1. 建立含有起降各 2 班之專案，觀察模擬結果。 2. 使用 05R 跑道。
	結果	確認通過。
測試 4	專案	VR_3RW04
	說明	1. 建立含有起降各 2 班之專案，觀察模擬結果。 2. 使用 23L 跑道。
	結果	確認通過。
測試 5	專案	VR_3RW05
	說明	1. 建立含有起降各 2 班之專案，觀察模擬結果。 2. 使用 23C 跑道。
	結果	確認通過。
測試 6	專案	VR_3RW06
	說明	1. 建立含有起降各 2 班之專案，觀察模擬結果。 2. 使用 23R 跑道。
	結果	確認通過。
測試 7	專案	VR_3RW07
	說明	1. 建立含有起降各 6 班之專案，觀察模擬結果。 2. 使用 05R、05C、05L 跑道。 3. 儘量使各航班平均使用各跑道。
	結果	確認通過。
測試 8	專案	VR_3RW08
	說明	1. 建立含有起降各 2 班之專案，觀察模擬結果。 2. 使用 05R、05C、05L 跑道。 3. 儘量使各航班平均使用各跑道。
	結果	確認通過。

表 5-15 單一跑道穿插起降能力測試

編號	VD_TLS	
項目	單一跑道起降之穿插安排	
內容	模擬軟體對同一跑道密集起降之安排。	
確認方法	建立含有多數起降航班之專案，並設定僅開放一條跑道，觀察模擬結果。	
測試 1	專案	VD_TLS01
	說明	1. 建立含有 15 班起飛航班與 25 班降落航班之專案，隨機混合於 1 小時中。 2. 設定僅可使用 05L 跑道起降。 3. 觀察模擬結果。
	結果	目視觀察結果合理。
測試 2	專案	VD_TLS02
	說明	1. 建立含有 15 班起飛航班與 25 班降落航班之專案，隨機混合於 1 小時中。 2. 設定僅可使用 23L 跑道起降。 3. 觀察模擬結果。
	結果	目視觀察結果合理。

表 5-16 多跑道穿插起降能力測試

編號	VD_TLM	
項目	多數跑道混合起降之穿插安排	
內容	模擬軟體對多數跑道、混合起降之安排。	
確認方法	建立含有多數起降航班之專案，並設定二條跑道均為起降混合，觀察模擬結果。	
測試 1	專案	VD_TLM01
	說明	1. 建立含有 25 班起飛航班與 35 班降落航班之專案，隨機混合於 1 小時中。 2. 設定使用 05 跑道。 3. 觀察模擬結果。
	結果	目視觀察結果合理。
測試 2	專案	VD_TLM02
	說明	1. 建立含有 25 班起飛航班與 35 班降落航班之專案，隨機混合於 1 小時中。 2. 設定使用 23 跑道。 3. 觀察模擬結果。
	結果	目視觀察結果合理。

5.2 驗證方式

驗證的目的在檢驗模擬軟體所產出之結果，與真實系統接近的程度是否足以達到模擬的目的，本研究所進行之驗證說明如下：

1. 基本設定驗證

本項驗證為文獻^[17]之建議，其目的在檢視機場之跑滑道、停機位等設施、空域各航點位置等設定之正確性，經過測試後已完成本項驗證及所需之修正。

2. 專家檢視驗證

此類驗證亦為文獻^[17]所建議，包括航空器在地面滑行與拖機移動過程之合理性、場面忙碌狀況及停機位擁擠狀況與一般經驗符合之程度、跑道頭排隊等候起飛狀況與一般經驗符合之程度等。本研究於開發過程中與實務專家持續互動，除討論實務之領域知識外並以動畫呈現模擬結果，在可能範圍內儘量納入專家檢視時所提供之改進意見。

3. 統計驗證

本項驗證之目的在檢定真實統計數據與模擬所得之相對應數據間之接近程度，一般狀況下真實數據之取得常有其難度，而由模擬系統中取得觀測數據較為容易。在另一方面，絕大多數之真實數據均含有相當之雜訊，其原因不一定是由於數據品質不良，較常見之原因是緣自於該真實數據之原始目的不一定與後續取得使用目的一致。即便是相同的資料項目，為不同目的而收納紀錄與整理時，亦常有不同的取捨、插補、過濾標準及原則。

考量實際紀錄資料取得及清洗不易，本研究參考前期研究成果^[1]桃園國際機場於 106 年 6 月 30 日之起降時間紀錄，當天各小時離到場航空器數量統計示如圖 5.1 所示，全日當中，進場架次數最高的 1 小時有 29 架次，而離場架次數最高的 1 小時則有 30 架次，離到場兩者合計時，全日當中最高的 1 小時為 43 架次。

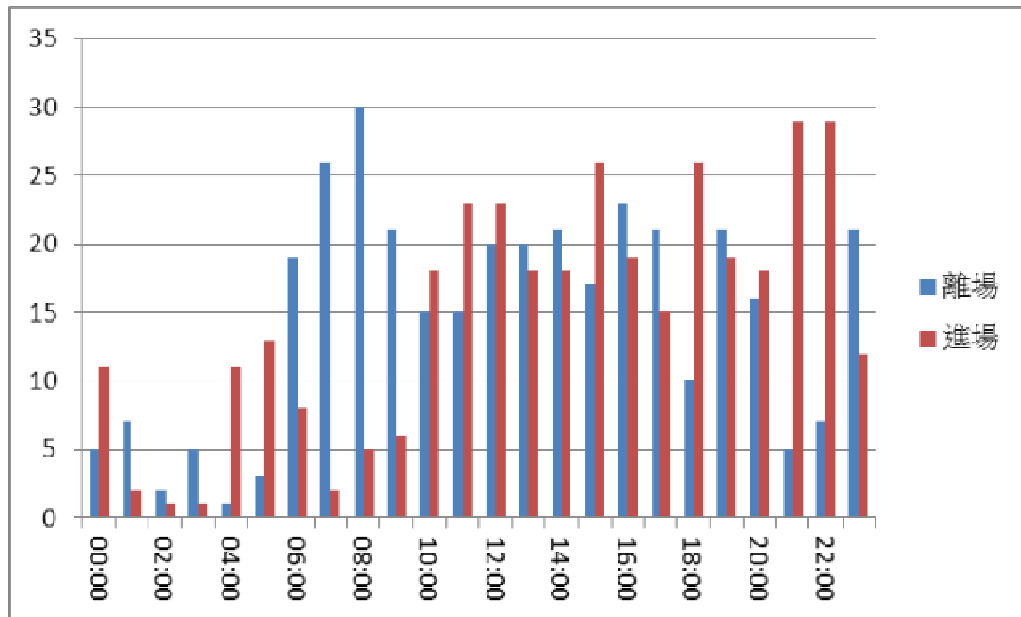


圖 5.1 桃園國際機場 6 月 30 日每小時離到場航空器數量統計

經以當天班表進行模擬，並在模擬之設定為以 05L 跑道降落、05R 跑道起飛下，所能夠達到之最高小時架次數為每小時 44 架次，與實際紀錄相接近。

此外，觀察模擬過程亦可發現航空器於起飛或降落時，所佔用之跑道資源並不全然相同，而是常以進場時所佔用之資源較高，這種現象可能與起降航空器使用時間窗之性質差異有關。當跑道繁忙時，起飛之航空器經常在跑道頭等待，一旦適當之時間空檔現，可快速掌握時間起飛；然而降落之航空器則不可能如此等待，因而較難以充份利用所有跑道之時間窗，本現象為觀察多次模擬結果之發現，在形成定論之前尚有待未來之深入探討，並與實際數據作比對。

第六章 特定情境主題模擬

6.1 桃園國際機場第3跑道

本項須進行模擬分析桃園國際機場新增第3條跑道後，新規劃航機到離場程序對於桃園機場整體運作的影響。為此需要為第3跑道建立相關的離到場飛航程序，然而飛航程序之設計本身即相當繁複而專業，非本研究所能容納，因此本研究使用既有之起降程序，沿用於新設置之北跑道，此與未來真正上線使用之程序可能並不相同。圖 6.1 為本研究進行桃園國際機場擴建第3跑道後，相關模擬時所使用之場面圖，目前該機場擴建之方案尚未完全定案，未來若欲探討不同之跑道、滑行道、停機位佈設方案，則須另行設定後再進行模擬。

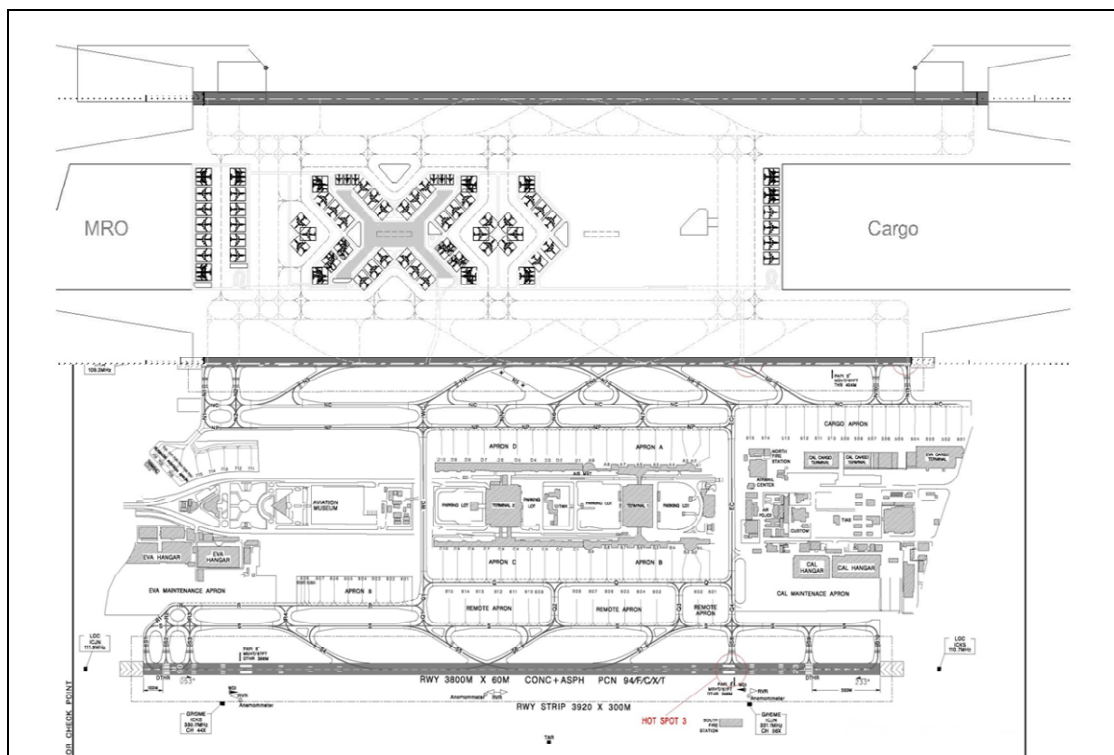


圖 6.1 桃園國際機場擴建第3跑道後場面圖

本研究進行本項模擬時，均假設桃園國際機場於擴建之後，所有圖 6.1 所示之跑道、滑行道、停機位均已完工啟用。由於本模擬並不包含陸側，因此對於航站大廈內部之設施並無任何假設，另在停機位之使用方面，目前該機場亦未完全確定未來擴建完工後停機位之使用分配規則，因此模擬時以隨機方式設定各航空器可使用

之停機位及其偏好程度。

在空域方面，未來桃園國際機場於擴建之後，民航局必將配合大幅度調整該機場之標準起降程序，由於調整方式目前均尚未定案，因此本研究進行模擬時則假設所有標準起降程序均與現況相同。

為了瞭解桃園國際機場於擴建之後可能之最大起降能力，本研究以高需求密度之虛擬班表進行模擬，所有虛擬班表均以等間距產生起飛與降落之需求，例如，若虛擬班表中間隔 70 秒有起飛與降落各一架次，則相當於每小時有 51.4 架次之起飛需求，以及相同數量之降落需求，兩者合計約相當於每小時 103 架次之起降需求。模擬結果發現設定 3 條跑道均為混合起降，或中央跑道專供降落之用，而南、北跑道專供起飛之用時，可達到之最高小時起降數為 59 架次。其中 3 條跑道均為混合起降之模擬結果示於圖 6.2，而中央跑道專供降落之用而南、北跑道專供起飛之模擬結果示於圖 6.3。

如前所述，本項模擬並未配合跑道、滑行道之擴建而調整起降程序，因此本項模擬可視為在空域條件大致不變之條件下測試跑道擴充之影響，其結果可合理推測未來各起降程序配合調整之後，模擬所得容量應比上述模擬所見更高，待未來相關單位規劃調整起降程序時，亦可以各種不同考量之情境，使用本系統進行模擬。

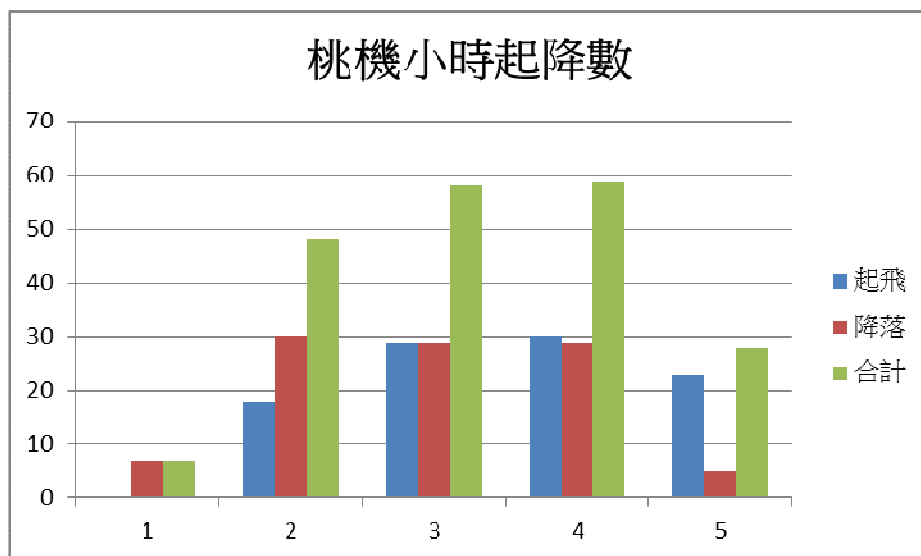


圖 6.2 桃園國際機場擴建後模擬統計（混合起降）

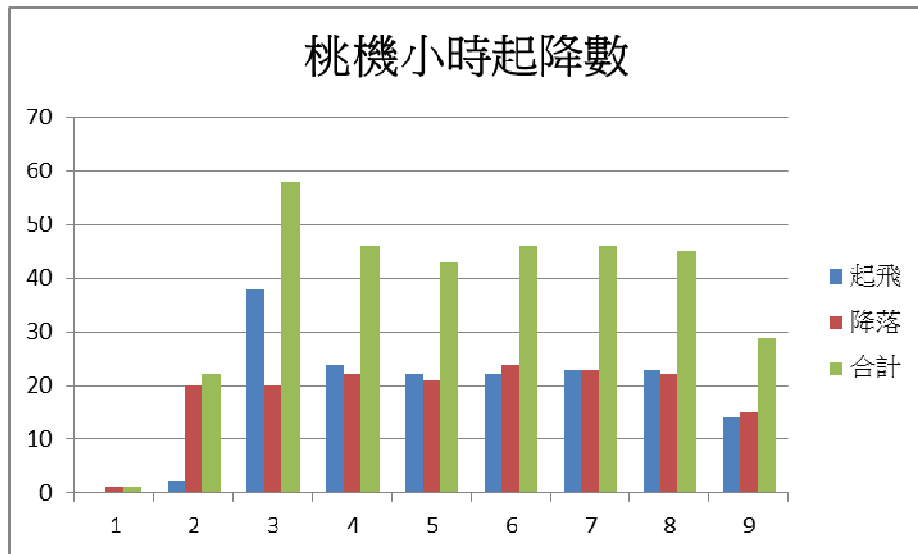


圖 6.3 桃園國際機場擴建後模擬統計（中央跑道降落）

桃園國際機場之運轉型態需要相當大量之長時間停留停機位，在觀察模擬過程亦可發現該機場於擴建時必須增設可供航空器過夜之停機位，否則運轉時仍將有所不足。此外亦可觀察到桃園國際機場經擴建之後幅員擴大而停機位亦增多，增加了停機位分配工作之複雜性，而擴建後之機場將有 3 條跑道，使得停機位之指派必須充份考量起飛或降落之跑道，否則將會增加航空器跨越中央跑道之需求，以及增加滑行距離，這兩者均會增加航空器於活動過程中所佔用之滑行道資源，使得場面更形擁擠。桃園國際機場在 1 日之不同時段，其起飛與降落需求之比例相差甚大，因此常需配合起降需求之比例而調整跑道之起降運轉模式，以充份運用跑道之容量，而模擬結果顯示未來擴建之後，此種跑道運轉模式之調整必須更精準考慮航空器之停機位分配狀態，以縮短航空器之平均滑行距離，並減少跨越中央跑道之需求。

6.2 桃園國際機場排除地面影響之模擬

本項模擬測試之目的在瞭解無地面運轉影響之狀況下，桃園國際機場之可能運轉狀況。本項模擬設定航空器於進場後全數進入同一停機位停放，而所有離場航空器則分散停放於其他位置，如圖 6.4 所示，同時並設定模擬過程中，同一停機位可停放多數航空器，這種設定之目的在儘量單純化場面航情，避免各航空器間之相互干擾，以排除地面運轉影響。至於起降之需求，則以各種起降間距之虛擬班表測試

之，所測試之虛擬班表包括每 3 分鐘、2.5 分鐘、2 分鐘，起飛與降落各有 1 架次之需求，依序相當於每小時 40、48、60 架次之起降需求。於虛擬班表中總共設置降落航空器 100 架次，起飛航空器 99 架次，合計 199 架次。跑道運轉模式則設定為起降分流，並且分別測試使用 05 方向與 23 方向起降之狀況，不論使用何方向，均設定以北跑道作為降落之用、以南跑道作為起飛之用。

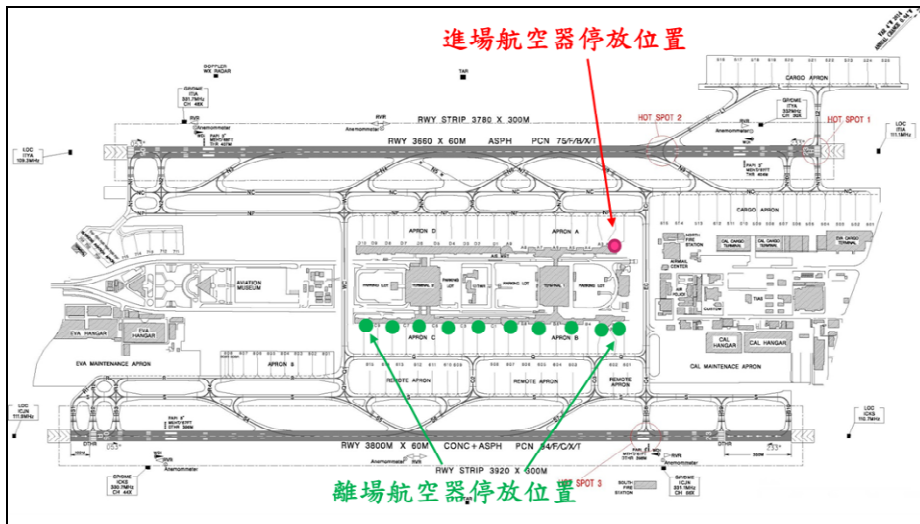


圖 6.4 排除地面影響之模擬停機位配置

模擬結果之動畫畫面顯示所有起降航空器依設定之方式運行，並可明確觀察到起飛航空器於跑道頭排隊等候起飛之狀況，下圖 6.5 為其中一個模擬畫面。

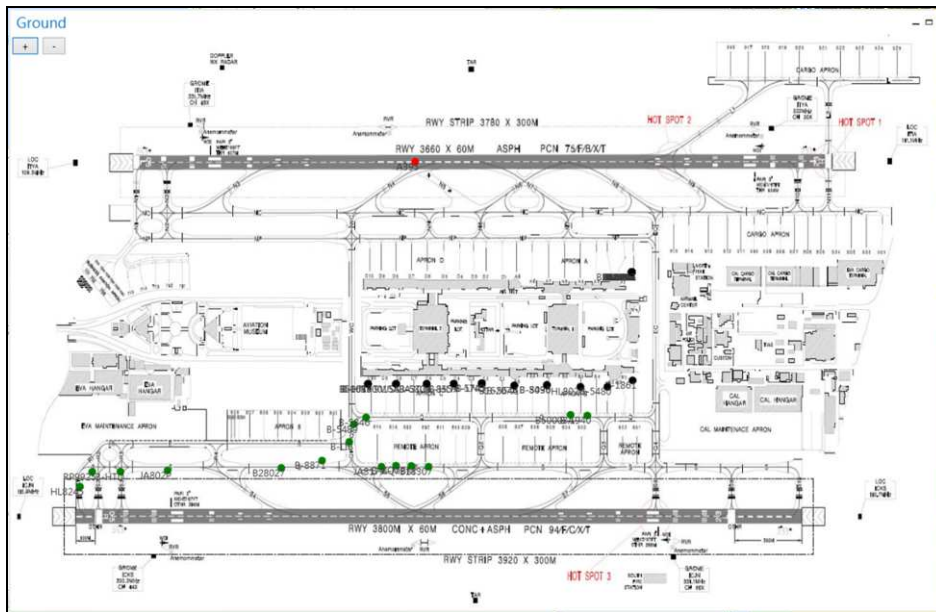


圖 6.5 桃園國際機場排除地面影響模擬畫面

模擬之設定為以 05L 跑道降落與 05R 跑道起飛，而使用虛擬班表進行模擬時，設定每 2 分鐘有起飛及降落各 1 架次之需求、以 05L 跑道降落、05R 跑道起飛，同時排除地面航情之影響，可達到的最高 1 小時起降架次數量為 48 架次，與一般公認之容量 50 架次相接近。模擬結果之統計圖示如圖 6.6，若設定 05R 與 05L 跑道均為混合起降，則可達到的最高 1 小時起降架次數量為 45 架次，其統計圖示如圖 6.7。

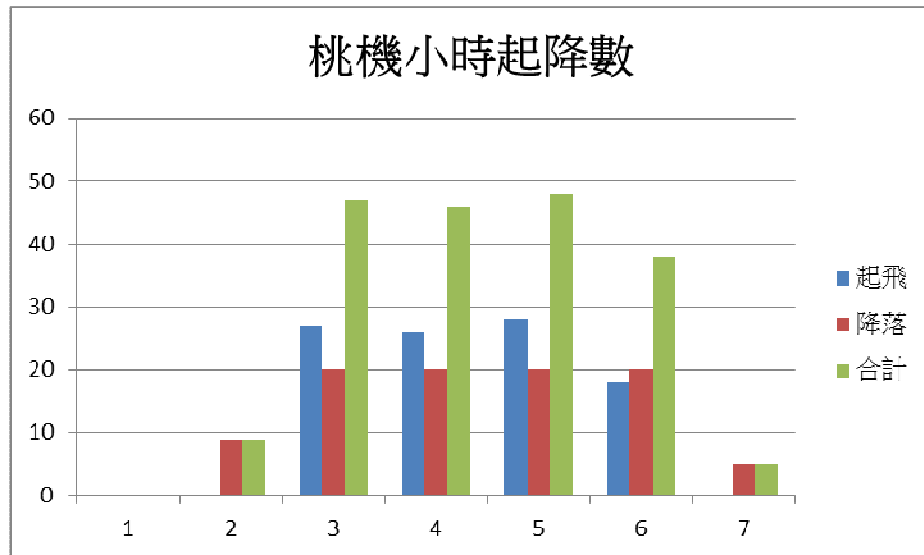


圖 6.6 桃園國際機場排除地面影響之模擬統計（一起一落）

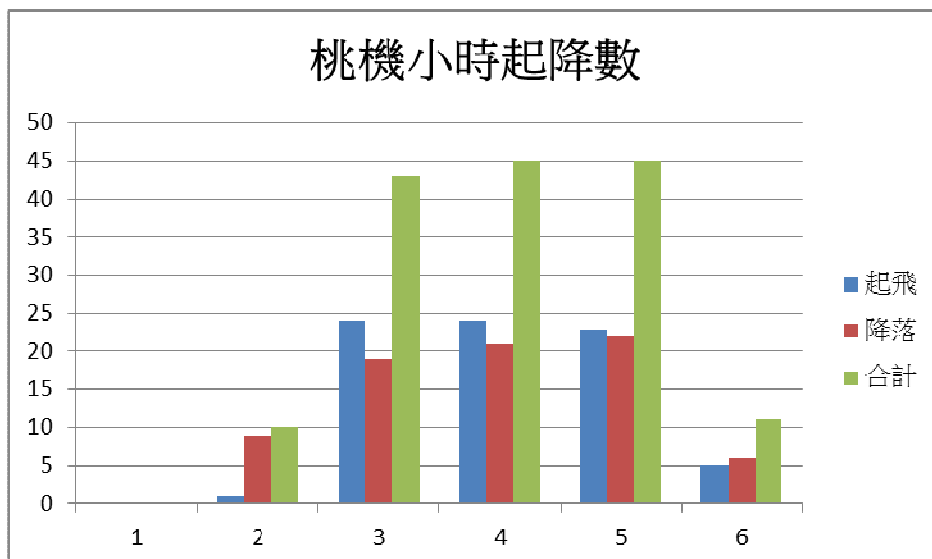


圖 6.7 桃園國際機場排除地面影響之模擬統計（混合起降）

第七章 結論與建議

最近數年來我國國際航空交通需求持續成長，已經造成國內飛航空域及機場擁擠，因此如何提升空域容量以及機場之地面設施運用效率成為重要課題，然而此課題涉及許多複雜因素，需要利用專門工具方能進行分析與規劃，本研究在 106 年前期成果基礎上持續研發，已經成功開發我國完全自主之關鍵技術，據以發展可用之模擬模式。本研究接續完成模擬模式軟體之實作以及桃園國際機場、松山機場相關基本資料之建置，且利用該軟體所進行之主題模擬，分析結果可供相關單位參考應用。

7.1 結論

本研究連同前期研究，2 年的研究開發了我國在空域模擬領域具有完全自主能力的技術，涵蓋範圍包括終端管制區域及機場空側，其中跑道、滑行道、停機位等重要設施均在模擬範圍內，且模擬具有足以支持動畫呈現之完整性，以下整理本研究重要結論：

1. 結合各界及技術能力

本研究採產官學合作模式，在本所主導下結合了民航局、飛航服務總臺、桃機公司，以及成功大學共同推動，此一合作模式示意於圖 7.1，此種合作模式有效結合了專業領域知識、數學技術與資訊技術 3 種開發空域模擬系統所需要的技術，如圖 7.2 所示，成為本研究得以順利推動之重要關鍵。

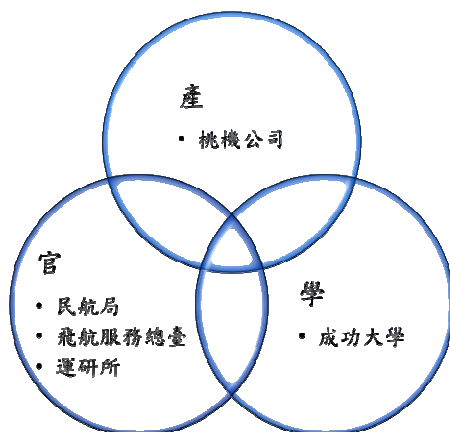


圖 7.1 本研究各界合作模式

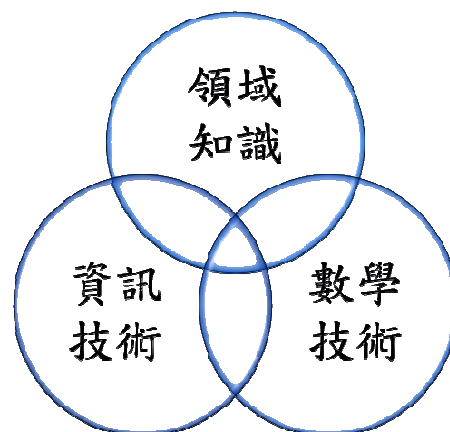


圖 7.2 本研究所結合之技術

2. 關鍵技術開發

本研究已經成功開發空域模擬模式所需要的重要關鍵技術，前期最重要之發現為模擬模式應以 3 種主要角色人員之決策為主要模擬對象，而非以航空器為模擬對象。本研究則進一步釐清模擬 3 種主要角色人員之決策形成過程時，有 3 項主要核心元：即各角色人員所應遵守之規則與限制、價值取向，以及其可用資訊，其中又以第 3 項不但影響模擬模式之設計，而且將影響實作模擬軟體時軟體之內部架構，而這些發現也成為後續持續開發與實用化之重要基石。

3. 模擬軟體開發

本研究已依所發展之模擬模式，完成模擬軟體之開發，該軟體之架構設計儘量區隔了邏輯與數據，使得軟體能夠以數據表現機場場面佈設、各種參數、甚至多個機場，而這種設計使得軟體具有足夠的彈性，能夠在不修改程式碼之狀況下進行各種不同情境之模擬。

4. 使用者操作介面開發

本研究已經設計並實作使用者操作介面，以方便使用者之操作，然而實用化之套裝軟體需要更多之操作功能測試回饋、資料匯入匯出，以及專案管理功能等，仍有待後續開發。

5. 基本實務資料建置

本研究在開發過程中已蒐集並建置桃園國際機場與松山機場之相關基本實務資料。

6. 初步模擬結果

經利用本軟體針對數種不同情境進行模擬，初步發現整理如下：

- (1) 未來桃園國際機場擴建之後，停機位之指派將對機場運轉效率產生更大之影響。
- (2) 未來桃園國際機場擴建之後，供過夜機停放長時間之機位仍然不足。
- (3) 若將松山機場之運量加入桃園國際機場之運量中，每小時最大起降架次數仍然不變，而停機位將無法負荷。

綜合以上結論，可以發現我國已經具備開發自有空域模擬系統之基本能力，且模擬軟體架構已經成形。

7.2 建議

1. 持續開發成為成熟軟體

軟體需要累積應用經驗才能成熟，而所有複雜軟體均必然存有若干程式錯誤，在其初始設計與後續應用亦不一定完全相符。再者，新工具的出現亦會影響、改變相關工作人員之工作方式，因此軟體的成熟必須在實際應用過程中，經由一再地修訂、改版，並與使用者共同成長。實戰歷練不足為本軟體之弱點，但也是優勢，成熟之軟體常失去大部分的彈性，這即是國際成熟的商用軟體常不願為使用者客製化之原因，亦造成許多使用之限制與困擾；反之，本軟體在整個生命週期中尚處於快速成長期，具有高度彈性較易量身訂做，為其重要優勢，因此建議我國利用此一優勢，開發適合我國使用之模擬軟體。

2. 開發決策輔助系統

本研究在建立對3種主要角色人員能力進行模擬，並開發了3種自動化技術，分別為考慮到離場航空器飛行路徑、航機滑行或拖機路線，以及停機位分配。這些自動化技術同時亦具有自動化決策輔助之功能，可作為未來開發決策輔助系統之核心技術，尤其停機位指派自動化最具有潛力。惟在將模擬模式之技術進一步開發成為上線系統時，必須補足所有模擬系統所簡化之考量，例如旅客轉機步行距離、變更停機位時地勤配合移動之可能性及不便性、貨機裝卸貨物機具之操作空間等，皆為上線系統所不可忽略，建議於後續相關研究能補足。

3. 資源運用最佳化之探討

上述自動化技術除可用於開發決策輔助系統外，並可用以探討空域與空側資源運用優化之方式，例如可研析如何利用滑行道之增設或調整以增加機場容量等。

4. 建置航空運轉資料庫

本研究開發過程中，深深感到目前我國在飛航相關運轉紀錄之留存，尚有相當大之改善空間，建議未來宜有系統留存全國空域與各機場地面各種相關運轉紀錄。同時，各種原始資料（例如雷達航跡紀錄、停機位使用紀錄等）各有其設置之初始目的，並不一定可直接供其他用途之使用，因此亦建議在留存運轉資料之外，並由適當單位予以有系統整理、清分並組織成為易於使用之航空運轉資料庫。經過一段時間累積之後，必將對未來之空域管理、機場營運，甚至政策形成具有相當之助益。

5. 建立服務水準評估準則

本模擬軟體未來重要應用之一，為協助評估各種情境下機場空側及空域之容量，亦即在單位時間內可服務之航空器數量。然而不論是空域或空側，其容量均非固定值，而係與服務水準密切相關。以質化論之，在某範圍內，通常可接受之服務水準愈低時，可提供之容量愈高。然而我國尚無共同認可以服務水準評估準則，建議未來我國可建立一致性、可量化之空域、空側之服務水準評估準則，再配合本模擬軟體之功能，預期將可對政策擬定產生具體而有用之參考價值。

6. 建立衝突評估準則

於本研究進行過程中可發現衝突之分析與評估是實務單位亟需之工具。除了空中衝突外，機場空側亦需要評估衝突點、衝突方式等，對於機場建設之規劃以及日常營運策略等均有相當之價值。然而不論在實務運轉，或在本模擬過程中，均不會產生空中隔離不足、地面碰撞等真正的衝突。因此進行衝突評估之目的並不在觀察真正的衝突，而是在觀察航空器在空中或空側活動的過程中相互的影響，以及為了避免發生真正的衝突而付出的時間延滯等代價。因此未來在能夠利用模擬軟體進行衝突分析之前，建議必須先深入研析衝突分析之準則與觀察之指標，方有可能據以納入模擬模式中。

7. 本研究成果之未來應用，可分技術面與實用面分別說明如下：

(1)技術面應用

本研究所開發之技術為我國完全自主，可供未來適合我國空域等使用之相關模擬軟體，可避免受到國際大廠之技術牽制。

(2)實用面應用

本研究所開發之模擬軟體，經適當擴展之後可作為策略評估之有力工具，未來桃園國際機場擴建後運轉將更形複雜，本軟體可用於未來規劃桃園國際機場擴建時之衛星廊廳停機坪配置、平行滑行道增設、跑道位置移設等方案之評估比較，亦可用於機場營運管理如跑道與滑行道管理，停機位管理等策略評估比較之用，而模擬結果亦可作為具體討論之基礎。

8. 關鍵技術開發

經過2年之研發，目前成果在空域模擬領域關鍵技術發展已經形成明確的方向，具體而言，如何有效控制模擬系統中各角色間資訊流動之時間與空間為後續技術開發之重點。至於各角色之偏好與價值取向，則應在模擬模式與模擬軟體中留下

最大之彈性，後續之開發建議找出真實人員相互間差異性之合理範圍，而非以訂下特定偏好為目標。

9. 模式細緻化

本模擬模式雖然已具基本功能，建議仍需進一步精緻化以達到更真實之模擬效果，例如本模式僅允許航空器於進場、離場，以及跨越時進入跑道，這使得變更跑道時，在某些狀況下難以使已經在等候起飛之航空器滑行到另一跑道頭等待離場。為此後續宜在地面模式將此問題納入，以期系統能更細緻化，另地面網路之設置及求解演算法亦須深入檢視模擬結果是否貼近實務常用之滑行路線衝突規避法則；此外包括航速、最後對正跑道點之高度與位置等之機型差異、風場之差異、進場順序安排、雷達引導、空中等待條件等項目，亦須設計更細緻化之確認方法。

10. 模擬參數真實化

本模擬模式設計了多項可供使用者設定調整之參數，後續建議須與航管及機場公司等實務單位進一步研討以瞭解各參數對模擬之影響，以及律定適當之參數值。

11. 工作平台開發

若以商業套裝軟體之標準衡量，目前本軟體雖具有使用者界面，但僅有基本功能而未達到應有之成熟度。軟體成熟化之必經過程，是提升使用者操作介面之功能，成為工作平台，未來若有更為明確之使用者，建議軟體開發團隊應深入瞭解該使用者之可能操作模式，以配合開發貼近需求之使用者介面，與模擬核心結合而成為成熟之套裝軟體。

12. 更多之驗證

未來本軟體進行後續研究開發時，建議須要進行更多之驗證以確保其有效性，例如由塔臺管制員，依其經驗觀察以實際航班模擬結果，即為良好之方式。

參考文獻

1. 許書耕, 賴威伸, 胡智超, 陳春益, 林東盈, 袁永偉, 陳佑麟, 許乃云, 李宇欣, 「構建空域模擬模式之研究-以臺北終端管制區域為例」, 交通部運輸研究所, 2017.
2. 張仁達, 台北飛航情報區空域模擬模式之建立, 國立成功大學交通管理科學研究所, 2001.
3. 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, 國立交通大學運輸工程與管理系, 2000.
4. 彭冠儒, 運用 SIMMOD 分析台北終端管制區離到場隔離, 國立成功大學民航研究所, 2014.
5. 周立偉, 平行獨立跑道機場模擬模式之構建, 國立成功大學交通管理科學研究所, 2000.
6. 李昀諭, 空邊模擬模式之研究, 國立成功大學交通管理科學研究所, 2001.
7. 俞瑞華, 飛航管制策略在空域模擬模式上之應用, 國立成功大學交通管理科學研究所, 2003.
8. 吳世偉, 航機延誤擴散之預測--SIMMOD 模擬模式之應用分析, 國立交通大學交通運輸研究所, 2004.
9. AirportTools, 「Basic SIMMOD Study Creation Tutorial Featuring Visual SIMMOD」, 2005.
10. Bertino, J., Boyajian, E. and Johnson, N., 「21st Century, Fast-time Airport and Airspace Modeling Analysis with Simmod」, FAA Managers Association, 2011.
11. 張淳智, 戴佐敏, 「台北飛航情報區模擬模式之建立-各終端管制區域模擬架構之建立」, 交通部科技顧問室, 2000.
12. Zhang, T., Ding, M., Wang, B. and Chen, Q., "Conflict-free time-based trajectory planning for aircraft taxi automation with refined taxiway modeling", Journal of Advanced Transportation, 2015.
13. Ramasamy, S., Sabatini, R., Gardi, A. and Liu, Y., "Novel flight management system for real-time 4-dimensional trajectory based operations", proceedings of AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, 2013.
14. Eurocontrol, 「TAAM Operational Evaluation」, 2000.
15. Odoni, A. R., Bowman, J., Delahaye, D., Deyst, J. J., Feron, E., Hansman, R. J., Khan, K., Kuchar, J. K., Pujet, N. and Simpson, R. W., "Existing and required modeling capabilities for evaluating ATM systems and concepts", 1997.
16. Jeppesen, 「Total Airspace and Airport Modeller (TAAM), Product Profile」, Jeppesen, 2015.
17. Boesel, J., Gladstone, C., Hoffman, J., Massimini, P., Shiotsuki, C. and Simmons, B., 「TAAM Best Practices Guidelines」, MITRE, 2001.

18. 交通部民用航空局,「臺北飛航情報區飛航指南(20181206 有效)」,2017.
19. 「飛航管理程序」,交通部民用航空局,空軍司令部,2017.
20. 民用航空局,「飛航規則」,民用航空局,2014.

附錄一：期中報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫

☒期中 ☐期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：「空域模擬模式功能擴充之研究」

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承 辦單位審查 意見
民航局：(現場+書面資料)		
1.後續應有識別 KPI 以作為效益或作業瓶頸的量化評估，因此可針對 3 個核心技術分別制訂，其中空域 KPI 的部分主要是空域容量，代表性指標包括飛行時間、飛行時距離、延滯狀況等；地面 KPI 的部分主要是跑道或滑行道容量，代表性指標包括滑行時間、滑行距離等；停機坪 KPI 的部分主要是停機坪容量，代表性指標包括準點率、後推等待時間、等待空機坪時間等。	此為重要項目，謝謝建議。	同意辦理。
2.報告第 21~22 頁，各事件關係架構：本研究架構係以主要(7 種)單一事件進行鋪陳說明，惟各事件之間的時序及因果關係較不明顯。舉例而言，「2.航空器進場」之後應接續「4.降落後滑行」；「3.請求後推」之後應接續「5.起飛前滑行」。建議該 7 種事件依離、到場區隔為兩部分，並建立時序因果關係，較易理解。	謝謝指正，後續將以聚焦為重要考量。	同意辦理。
3.承上，文中多次出現「…管制員為航空器規劃航路…」，建議調整為「…管制員引導航空器依規劃航路飛行…」，以符實際。	經查該文句在第 3.2 節，全文為「航空器於執行本項事件時進入跑道並起飛。在此之前模擬系統即模擬近場臺管制員為航空	同意辦理。

	器規劃航路」。而文中「本項事件」係指航空器起飛之事件。其原意係在說明：模擬系統在執行航空器起飛事件之前，會先模管制員之動作，為待起飛之航空器規劃其航路，而非在沒有規劃航路之前即先放飛。此處係在說明模擬軟體之動作，並非在說明真實管制員之動作。	
4.承報告第 23 頁,2.塔臺管制員「到場航空器通過最後進場定位點 (Final Approach Fix, FAF) 後即進入最後進場階段 (Final Approach)，此時該航空器之管制權即由近場管制塔臺移交至塔臺。」：一般而言，近場管制移交至塔臺之時機，係航管引導到場航空器完成攔截左右定位臺 (Established Localizer)，其位置較接近 IF 點，而非 FAF 位置。(第 30 頁亦同)	謝謝指正，已依此修正第 3.3 節相關文句。	同意辦理。
5.報告第 24 頁，本模式假設所有航空器於跨越跑道之前，即便跑道上並無起降之航空器，仍然一律先停等：實務上，仍視落地(在空)或離場(地面)航情決定是否快速通過跑道或需停等。另航機如非起降狀態，進入跑道後，一律快速脫離，以盡可能縮減佔用跑道時間為原則。	此處「於跨越跑道之前，即便跑道上並無起降之航空器，仍然一律先停等」即為此意。其本意為：若跑道有落地或離場航情則配合該航情，由落地或離場之航空器優先使用跑道，若跑道無落地亦無離場航情，則仍然先做短暫之停等動作，故使用「即便」之用語。至於此處所謂「於跨越跑道之前...先停等」，意指停等發生在進入跑道執行跨越跑道動作之前，亦即執行跨越跑道動作係在停等之後；至於進入跑道執行跨越跑道動作之後則直接脫離，在模擬過程中並未加入停等動作。	同意辦理。

6.報告第 24 頁，8.前後隔離…本模擬模式考慮機尾亂流所須之時間隔離：除機尾亂流隔離外，尚須考慮單、雙跑道起降隔離及在空之水平/垂直隔離等，均係本研究之重要基本(隔離)假設，建議參考飛航管理程序相關章節後予以補充。	此處之目的在說明本模擬模式有將機尾亂流所須之時間隔離納入模式中，並無意指其他因素都不考慮。	同意辦理。
7.報告第 24 頁，10.跑道變更…系統將允許已經抵達或超過最後進場定位點（Final Approach Fix, FAF）之航空器由原跑道降落：實務上，航管將以航機是否已完成攔截左右定位臺(Localizer)作為更換跑道方向時機之判斷依據，其位置約在中間進場點(IF)處。	謝謝，已配合修正第 3.5 節文句。	同意辦理。
8.報告第 27 頁，15.後推及起飛…航空器起飛時速率為可設定之參數，預設為 140 節：一般而言，航空器起飛速度應較落地速度快，故起飛速度預設為 160~180 節應較為合理。	謝謝，已將模擬軟體預設值修正為 170 節，同時修正報告書。在本模擬系統之軟體設計中，這些速率為使用者可調整之參數，並非固定不可變動之值。	同意辦理。
9.報告第 27 頁，16.脫離跑道…航空器使用快速滑行道脫離跑道時，其出口速率為可設定之參數，預設為 10 節。使用非快速滑行道脫離跑道時，其出口速率固定為 0：如前所述，脫離跑道以縮減佔用跑道時間為原則，故航機使用快速滑行道脫離跑道之出口速率，建議預設為 30~50 節；使用非快速滑行道脫離跑道之出口速率則預設為 10 節較為合理。	謝謝，已將模擬軟體預設之快速滑行道出口速率修正為 30 節、將非快速滑行道出口速率修正為 10 節。報告書亦配合修正。在本模擬系統之軟體設計中，這些速率為使用者可調整之參數，並非固定不可變動之值。	同意辦理。
10.報告第 27 頁，17.機械性能：建議調整為「變換飛行速率時，假設為等加或等減速率運動」。本研究之基本假設如何描述到場航機由交管點 280 節至落地 140 節之等減	所謂「等加速率運動」為物理名詞，意指加速度向量不變之運動，與物體速率增加或速率減少並無必然關係。例如在均質重力場中之向上拋體，在運動過程中	同意辦理。

速過程?建議補充。	自始至終均為等加速率運動，但其速率卻先逐步減少，之後逐步增加。又如做等速圓周運動屬變加速運動，但物體之速率卻無變化。而航空器由交管點之 280 節速率至落地之 140 節速率之減速過程，即為加速度值等於-1 之等加速率運動。	
11.報告第 28 頁，18.航空器到場…到場航空器所出現之交管點依其前一機場而定：建議調整為「到場航空器所出現之交管點依其使用之到場航路而定」。	此處在描述製備模擬軟體所須之資料之方法，而非在描述真實航空器之狀態。由於可取得各到場航空器之前一機場，但取得完整之到場航空使用航路資料有困難，因此於輸入模擬軟體之資料中，依其前一機場設定航空器所出現在交管點。於報告書第 3.5 節相關處已加強說明作此假設之原因。	同意辦理。
12.報告第 28 頁，19.空中等待：依來自南、北不同方向之航情，JAMMY、AUGUR、SEPIA 均可能同時使用，建議調整本段文字。	已於報告書第 3.5 節相關處依本意見加強說明。	同意辦理。
民航局飛航服務總臺：(現場+書面資料)		
1.報告第 15 頁，以及民航局與空軍司令部所共同頒發之飛航管理程序民用航空局 and 空軍司令部(2016):建議修正為「以及民航局與空軍司令部所共同頒發之飛航管理程序 (2017) 」。	已修正，謝謝。	同意辦理。
2.報告第 15、16、18 頁，臺北飛航情報區飛航指南交通部民用航空局(2017):建議修正為「臺北飛航情報區飛航指南交通部民用航空局」。	已修正，謝謝。	同意辦理。
3.報告圖 2-4 建議使用臺北飛航情報區飛航指南最新刊載之版本。	本圖擬於報告書最後定稿前再依當時最新版本一次修訂。	同意辦理。
4.報告第 22 頁，其管制範圍原則上	已將「範圍」更正為「高度」。	同意辦理。

為空層 FL200 以下至距地面 1200 呎（約 366 公尺）之間:建議修正為「其管制高度原則上為空層 FL200 以下至距地面 1200 呎（約 366 公尺）之間」。		
5.報告第 23 頁，在一般狀況下，到場航空器通過最後進場定位點（Final Approach Fix,FAF）後即進入最後進場程序（Final Approach）……:建議修正為「在一般狀況下，到場航空器通過最後進場定位點（Final Approach Fix,FAF）後即進入最後進場階段（Final Approach Segment）……」。	謝謝指正，已依此修正第 3.3 節相關文句。	同意辦理。
6.報告第 25 頁，8.前後隔離，本模擬模式考慮機尾亂流所須之時間隔離:建議參閱飛航管理程序相關章節之隔離運用程序。	已在第 3.5 節加強飛航管理程序引用之說明。	同意辦理。
7.報告第 25 頁，有關 10.跑道變更規劃「已經抵達或超過最後進場地位點之航空器由原跑道落地，而地面之離場航空器若已經抵達跑道頭，則仍由原跑道起飛」，惟此規劃將造成到場航機延誤。	在真實世界中跑道變更原本即有造成到場航空器延誤之可能性。本模擬系統之目的在模擬各相關角色之決策，而不在尋求儘量不造成延誤之最佳運轉模式。	同意辦理。
8.報告第 27 頁，有關「16.脫離跑道」之速度建議調整約 20-30 哩/小時，以符合實際情況。	已依本項意見修正報告書以及模擬軟體之預設值。惟在本模擬系統之軟體設計中，脫離跑道之速率為使用者可調整之參數，並非固定不可變動之值。	同意辦理。
9.報告第 27 頁，有關「19.空中等待」空中待命航點 05 跑道雖以 JAMMY 為主，北面到場航機仍可安排至 SEPIA 待命；另 23 跑道空中待命航點雖以 SEPIA 為主，然南面到場航機仍可安排至 JAMMY 待命。	此處所說明者為模擬模式優先選用之空中待命點。以某待命點為主，並未完全排除其他待命點之選用。	同意辦理。
10.報告第 30 頁，6.跑道變更跑道	審查意見所述為實際發生之狀	同意辦理。

變更在模擬過程中遇到跑道變更時，已經通過最後進場點之到場航空器將不受影響，持續依其既定路徑飛行:建議修正為「6.跑道變更跑道:在模擬過程中遇到跑道變更時，已經通過最初進場點之到場航空器將不受影響，持續依其既定路徑飛行，但仍要考量順風向量及駕駛員意向」。	況，而報告書此處則在說明空域模型之邏輯。模擬模式之整體架構中並未納入航空器駕駛員之角色，因此在空域模型中自然並無駕駛員意向之模擬。	
11.報告圖 4-3 建議使用臺北飛航情報區飛航指南最新刊載之版本。	本圖擬於報告書最後定稿前再依當時最新版本一次修訂。	同意辦理。
12.報告第 48 頁，對桃機第 3 條跑道的看法部分，因非屬訪談瞭解技術性之目的範疇，建請全段刪除。	該段已作適當修正，以保留與本計畫相關，具有參考價值之部份。	同意辦理。
13.報告第 52 頁參考文獻建議參考使用 106 年 11 月 30 日頒布之飛航管理程序(第 11 版)。	已修正，謝謝。	同意辦理。
14.報告第 43~50 頁，訪談紀錄內容建請勿列受訪人名及聯絡方式。	已修正，謝謝。	同意辦理。
陳委員志嘉		
1.報告第 26 頁，跑道目前實際運作是每日 10:00~21:00 實施起降分流，希望未來本模擬系統可以提供有實施及未實施起降分流之空中盤旋及地面等待資料，以瞭解兩者效益的差異性。	本模擬系統有能力依各種不同情境設定各跑道之運作模式，而探討各種設定下統計參數之差異亦為模擬系統之重要功能。本項審查意見所提之分析確在本模擬系統能力範圍內，後續將在優先完成契約工作項目之前提下儘量進行之。	同意辦理。
2.報告第 27 頁，16.脫離跑道是否可以加入天候模式，在不同天候下應有不同參數。	天候對航空器之各種運轉均有影響，但天候等複雜之大氣現象以及大氣現象經由物理定律而影響航空器運轉之過程並不屬本模擬模式之範疇。	同意辦理。
3.系統若能模擬滑行道或跑道關閉施工、整修時之狀況，將提供航管及機場管理者在關閉跑滑道位置、數量及時段所產生之影響，以	本模擬系統有能力供使用者設定滑行道或跑道關閉與開放之狀況。	同意辦理。

利機場決策取得運作平衡點，甚至能釐清對影響準點率之差異化分析。		
4.未來機場公司可以提供所有航機在桃園機場跑道、滑行道與停機坪停留時間及路徑資料，則可供模擬系統比對實際運作狀況及相關參數校正。	感謝協助。	同意辦理。
盧委員衍良：(現場+書面資料)		
1.報告書中，所有「規劃」一詞，請更正為「規畫」。	依據國家教育研究院之「教育部重編國語辭典修訂本」，「規劃」也作「規畫」，而「規畫」也作「規劃」。該辭典亦說明「畫」字之義為：「設計、籌謀。通『劃』」。因此二者應屬相通，並無正誤之慮。	同意辦理。
2.本研究報告中，目錄與本文之頁碼編碼方式應有區隔，不宜直接以流水號標註，建請修正為一般研究報告應有之隔式架構。	運研所對報告書定稿版之格式有其嚴謹之統一規定，對初稿則無。未來本計畫於完成期末報告書之審查及內容修訂之後，將於編纂正式定稿版時依規定修訂之。	同意辦理。
3.請檢視報告書中所使用之括弧格式，並請統一使用單一格式，避免全形與半形符號混用。	本報告書對括弧格式之統一原則說明如下： 於以中文字為主之文句中，使用全形括弧，以求標點符號與鄰近文字一致。 於以半形英文或數字為主之文句中，使用半形括弧，以求標點符號與鄰近文字一致。	同意辦理。
4.請檢視報告書中所使用之標點符號格式，並請統一使用單一格式，避免全形與半形符號以及中英文逗點與句點混用。	本報告書對逗點、句點之全形或半形之統一原則說明如下： 於以中文字為主之文句中，使用全形逗點、句點，以求標點符號與鄰近文字一致。例如，使用「文字，文字。」而非「文字，文字.」。於以半形英文或數字為主之文	同意辦理。

	句中，使用半形逗點、句點，以求標點符號與鄰近文字一致。例如，使用「123,456.00」而非「123, 456.00」；又例如，使用「Yes, sir.」而非「Yes, sir。」	
5.請檢視報告書中各項文獻引用之標註格式正確性，避免括弧僅有單邊，或是中文內夾雜英文等不合規範情況。	謝謝，已檢視修正。	同意辦理。
6.計畫背景部分		同意辦理。
(1)本計畫實施期程隸屬 107 年度，文中所舉 105 年桃園國際機場起降架次已有更新資料，請查閱交通部民航局民航統計年報（107 年 6 月出版）資訊並作修正，俾使本報告書更趨精確性，未來報告公開後亦可避免民眾誤解。另本計畫已執行近半期程，計畫緣起部分應有相對充分資料可資應用，強化本報告書之撰寫，本報告書僅引述招標文件中之「合作研究計畫第 2 類之研究主題與重點」內容，並無較新補強說明，建請加強描述，俾使本報告書之陳述輪廓更趨完整	經查該年度桃園國際機場總起降民航機架次為 244,464 次，已據此將原「20 多萬架次」修正為「超過 20 萬架次」。 本計畫為交通部運輸研究所提出，而計畫緣起係在說明提出本計畫之背景及其必要性，自始即已具有相當之完整性。	同意辦理。
(2)本報告書僅引用招標文件中之「合作研究計畫第 2 類之研究主題與重點」內容，並無就執行後之實際情況略作文字調整，考量計畫執行期間已有多次工作會議進行，應有相當程度之新增議題或討論項目呈現，建請審酌加強文字內容之必要性。	本計畫之三項議題係契約書之一部份，其增減或調整均須審慎為之。而三項議題於期中報告階段均尚無成果，工作會議亦尚未深入討論，因此列於期中報告書之後續研究項目中，未有成果之呈現。	同意辦理。
(3)本報告書目前陳述之文字內容，尚無法與本計畫執行之需求性與重要性作充分連結，建請加強論述，尤其說明鄰近各國或地區，例如香港、新加坡、日本、韓國等，	本計畫經「107 年度海空運綱要計畫需求研商會議」及其他多次會議慎重審查與研商，咸認為規劃建置我國民航空域模擬模式系統，提升我國自主分析民航空	同意辦理。

其各自之研究與軟體開發情況，藉此強化本計畫執行之重要性。倘若其他各國並無自行開發軟體之作爲，我國自行開發之必要性與前瞻性考量，建請多予論述，俾使公帑發揮其最大效益。	域容量之研究能量，作為空域相關課題規劃分析的工具確有其必要性。目前在此領域居國際先地位者並非港、新、日、韓等鄰國，而我國在此類軟體所需之數學規劃、數據處理、資訊等技術方面亦具有國際競爭力，因此可完全自主研究與開發，目前尚無仰賴他國技術之需求。	
7.文獻回顧部分		同意辦理。
(1)前期成果內容豐富，未見描述於本報告中，建請多予統整其重要貢獻並適度呈現於本報告中，俾使本研究內容可以有較為明確之因果脈絡依循，目前本報告書所陳甚少，無法建立相關之連結。	本報告書於第 2.1 節以專節回顧前期成果。該節之撰寫原則為說明前期專案「達成了什麼」，但不說明「達成的方法」。此原則之目的在協助本報告書之讀者以精簡之方式瞭解前期成果之全貌，但又不被諸多細節模糊焦點。在本原則下，該節說前期專案之範疇、二項最重要成果，以及模擬模式之佈局。	同意辦理。
(2)本報告書中對於前期成果之「空域網路演算法」、「地面網路演算法」，以及「停機位指派演算法」之說明誠屬薄弱，尚無法建立閱讀端或使用端之相關專業連結，亦無法使讀者從中洞悉其後續應用之關連性，建請加強陳述。	本報告書對前期成果之回顧原則為說明前期專案「達成了什麼」，但不說明「達成的方法」，協助本報告書之讀者以精簡之方式瞭解前期成果之全貌，但又不被諸多細節模糊焦點。此外，前期專案所開發之三項模式，其主要架構設計方向均正確並可延續應用於本研究。因此本報告書分別於第 3.6、3.7、3.8 各節之模式說明，已充份說明各模式之內涵。	同意辦理。
(3)報告書中指陳前期成果模組仍有尚待後續加強之處，建請明確將其列舉陳述於本報告書中，俾使本研究有其前後期因果關係之連結。	此處亦為文獻回顧之一部份，其意在說明，前期之報告書中亦有指出尚待後續研究之處。	同意辦理。
(4)報告書對於有關文獻之具體內	文獻蒐集發現國內對於空域模	同意辦理。

容尚欠缺描述，僅有簡略提及，並無各文獻具體貢獻之充分描述，鑒於本報告書日後須上網公開，建請補強。	擬之研究以碩士論文為多，然而並無研究成果達到本計畫所需要之完整性（指涵蓋航空器於空中、跑道、滑行道、停機位等主要設施之活動並整合於同一模式中），因此對於本計畫開發我國自主核心技術之參考性並不高。在聚焦於本研究主題之原則下，乃對各論文之具體貢獻作摘要式之描述。所有這些論文均取自公開領域，與本報告書日後公開之程度相同。	
(5)本報告描述薄弱，宜有較為詳細之介紹與說明，參見 Jeppesen 官方網站即可取得 TAAM 之介紹，而 ATAC 官方網站，亦可取得 SIMMOD/SIMMOD PRO 之介紹，建請補強。	本計畫之主軸在開發我國自主之核心技術。而國際上之商用相關軟體均未公開揭露其核心技術，應屬事實。經查 Jeppesen 網站對 TAAM 之介紹，以及 ATAC 網站對 SIMMOD 之介紹，均有甚為濃厚之商業行銷成份。考量本計畫以及報告書之屬性，仍以適當擷取引用為宜。	同意辦理。
(6)本報告僅列出 AIP 與 ATMP 兩文件，並無國際有關文件，例如 ICAO DOC 4444 之檢索與參照，然相關文件上實有相互對應之因果關係，資料引述上建請補充，本研究既與其有相關聯，應適度解釋說明較佳。	本計畫係針對我國之需求而量身開發，以避免國際套裝軟體不完全符合我國空域管理需求之現象。故以我國之相關法規為主要參考資料。而我國之法規相當成熟，需要與國際接軌之部份亦已完備。	同意辦理。
(7) AIP 為密集不定時更新之文件，當月份即可能有兩三次更新，本報告列出 2017 年卻未說明版本別，考量本研究期程內，AIP 亦有多次修正版本，建議更新至計畫執行年度之資料較妥；另請增加 AIP 之內容描述，尤其是其 AIP 內容與本計畫執行所需應用之項目究竟為何，目前欠缺具體明確之描述，	配合本項資料密集不定時更新之性質，擬於報告書最後定稿前再依當時最新版本一次修訂參考出處。	同意辦理。

應予適度說明，俾利相關研究作業規劃之理解；而相關航點列表建議置於附錄。		
8. 模擬模式部分。		
(1)報告中遇有「詳細說明則列於後續章節中」之文字，建請明確說明後續列舉之章節所在，俾利讀者前後對照之便。	謝謝，將儘量配合辦理。	同意辦理。
(2)相關內容陳述仍屬薄弱，建議能多所著墨補強。	已於報告中找尋薄弱之處予以補強。	同意辦理。
(3)請說明特定作業中，不同程序之界定依據。例如同一跑道先後起飛之航機依循不同之離場程序在本研究中之界定準則。	本系統對於離場航空器之離場程序之選定係依據該航空器之目的機場。	同意辦理。
(4)請說明報告中「航空器進場（第21頁）」之定義與實務上「航空器進場」之差異緣由。	模擬與實務差異之主要原因於所有模擬系統均有其目的，而目的較不相關之項目必須予以適當簡化以聚焦於模擬之目的。	同意辦理。
(5)近年鄰近空域常有流量管制問題，請說明艙門已關但尚未後推（Gate Hold）之情況應如何界定事件。	航空器之艙門以及其他地停過程均不在本模擬系統範圍內。	同意辦理。
(6)請說明圖 3-1 中，預排次日停機坪與本報告所擬 7 種事件之關連。	預排次日停機位與模擬過程中之各種事件並無直接關聯。於真實系統中，機場公司人員於預排次日停機位時，次日之航空器亦均尚未請求後推，亦未有進場及其他活動。	同意辦理。
(7)本報告中，對於近場台管制員與塔台管制員（航路許可、滑行許可、起降許可）之職掌與分工文字著墨不多，建請加強說明。	管制員之職掌相當複雜，其中與本模擬系統較相關之部份已說明於前期報告中，而飛航管制服務之詳細資料則說明於「飛航管理程序」及「飛航規則」中。已在期末報告書之文獻回顧中說明可參考之文獻。	同意辦理。
(8)建請重新檢視本研究之基本假設合理性，例如是否已充分考量	Runway incursion 可分為航空器入侵、車輛入侵、及人員入侵等	同意辦理。

Runway Incursion 發生之可能性；航空器起飛離場與進場落地之速度均需依據機載重量、環境溫濕度、風速條件、是否使用減推力起飛等參數計算，不同航空器均有不同，本研究如何模擬不同條件之情況，未見說明於報告中，如需界定在同一空速數值，顯與實際情況不符。	三類。其中車輛與人員之活動均不在本計畫範圍內，而航空器之入侵亦不在模擬範圍內。 本模擬系統之目的並不在模擬大氣現象及空氣動力學等微觀現象，因此亦不在報告書內論述之。	
(9)3.5 空域模型、3.6 地面模型部分與 3.7 停機位分配模型部分建議本報告對於各種狀態之描述說明能更強化，諸如到場程序的型樣與組合等。且目前本報告未見起飛離場之模擬說明，對於地面滑行與機位分配之邏輯論述亦未見於本報告中，建請補強。	本模擬軟體之架構設計，係將模式與數據完全分離。例如，未來若新增到場程序，將完全不必修改程式，僅補充輸入數據即可達成。這種設計雖增加系統設計及開發之難度，但可大幅提高應用彈性。在此原則下，第 3.6、3.7、3.8 各節如其小節標題所示，聚焦於模型之描述。至於到場程序中，與本模擬系統直接相關部份則已完整整理於前期報告書中，並於本報告書第 2.4 節大略說明其主要項目。 本模式所開發之空域模型，其主要目的在模擬近場臺管制員引導航空器之過程，對於到場與離場航空器均適用。已於第 3.6 節中補強對於離場部份之說明。 在地面模型之部份，主要是以地面網路中之時空路徑描述所有同時在場面活動航空器之時間空間位置，再考慮航空器在地面移動過程中轉向之不便性，而求解適當之路徑，用以模擬塔臺管制員之決策思考。 而在停機位分配模型部份，則考慮真實分配工作之人員均可掌握整體狀況，且擁有未來之預估	同意辦理。

	資訊，故開發第 3.8 節所述之數學模式，於模式之可行解區間容納上述資訊所描述之所有可能性，再經由模式之求解，模擬工作人員之思考尋優過程。	
9.總體報告審查意見		
(1)建請補充說明本報告書所提之後續工作與委託單位之期望內容是否相符？	本計畫執行過程均依契約之規定每月辦理工作會議，而期中報告書之內容亦經充份討論，合作研究雙方對於後續工作之期望應屬一致。	同意辦理。
(2)本研究成果最重要之貢獻應建立在未來使用單位的實際應用便利性，因此，建議報告書撰寫應以能夠便利使用端閱讀與操作之考量基礎上較妥？	在模擬模式周延性、模擬軟體能力，以及模擬數據正確性之外，使用便利性確是對未來使用者有所助益。於軟體開發完成之後將撰寫方便閱讀之軟體操作手冊以助使用者。	同意辦理。
(3)總體而言，本報告書內容文字可再多所強化，即使考量關鍵技術性內容應予適度隱藏，其有關之基礎性內容仍不宜在報告中缺席，目前研究單位所提期中報告書內容尚屬薄弱，無法與所對應之預算金額相互匹配，建議酌予改善，於期末報告時亦能有所對應，俾使本研究之具體成果與貢獻得以彰顯？	本計畫之目的在以前期成果以及雛型為基礎，擴充其模擬功能及改善人機介面。報告書之功能則在對成果提供說明。至於數萬行之程式碼雖為成果之主要部份，但並不宜、亦無必要納入報告書中。	同意辦理。
盧委員華安		
1.建議多蒐集國外在機場空側管理及空域管制策略等文獻與作法，以釐清後續應用面之效益。	謝謝指正。	同意辦理。
2.後續研究應要能說明模擬與實務狀況驗證與較估結果，另建議評估ATC的鏈結資料是否可供使用。	謝謝。	同意辦理。
3.空域規劃未來重點應在機流匯聚時使用空域的縱深規劃，在未來第三跑道完成後，應同時評估抵達與起飛混合機流，才能將空域使用完	謝謝，已遵照修正。	同意辦理。

整考量。		
4.區管引導航機分流、會合進入近場管制，都會影響空域使用狀況，建議本研應納入考量，另管制策略應參考航管單位實務之原則。	區管並不在本計畫範圍內，其管制策略亦不在本計畫考量範圍內。	同意辦理。
航政司:(現場+書面意見)		
1.以實務面觀之，空域模型與地面模型具高度相關性，航機起降之順序，除須考量航機在空位置、高度、速度及風切因素(如桃機西面3000-6000呎)外，亦須評估地面航機與停機坪之距離、跑道位置，及航機之離到程序(含 Spray One Radar Departure)之設計等，爰建議研究團隊於後續測試驗證時，可洽實務單位提供實際雷達軌跡進行比對，倘資料量過大，可擷取具指標性之時點(如早上 8-10 點之離場尖峰時間、下午 3-5 點平均離到時間、晚上 9-11 點之到場尖峰時間等)，以貼近實務。	桃園國際機場高低層風向不同之現象，經工作會議詳細討論認為可暫不納入本模式中。其餘各項因素均以各種程度納入考量。雷達航跡經適當資料處理之後可顯現各航機之實際航行軌跡。然而模型驗證之目的並不在進行個別航機之軌跡之比對。模型驗證所需要者，為利用大量數據進行統計檢定。然而由雷達航跡整理大量數據供統計檢定，其工作量並非本計畫所能容納。	同意辦理。
2.有關本研究之驗證方式，係引用文獻 Boesel, Gladston et al.(2001)之建議對基本設定及專家檢視驗證，惟案內對該引用之邏輯未予論述，建議再予補充完備。	本計畫將於後續工作會議中充份討論驗證方法。後續將依討論結果參考審查意見補充於期末報告書中。	同意辦理。
3.本案在主題模擬部分，有關研究團隊擬以松山機場運量加入桃園機場進行模擬一節，考量航機離到順序，除考量時間帶調配外，仍應考慮到航空器機型(快慢機差異)及其相對應之隔離標準，建議研究團隊於報告內再予相關補充論述；至研究團隊擬以桃園機場第三跑道進行模擬部分，考量除滑行道及機坪之設置位置外，貨運站區等位置，均可能提高滑行動線複雜度，	時間帶之調配屬機場營運策略範疇，並不在本計畫範圍內。而在模擬系統中係依相關規章之規定設定航空器之隔離。而本模擬模式具有基本之完整性，因此於桃園國際機場第三跑道之模擬，必然考慮滑行道與機坪之佈設。	同意辦理。

或導致航空器跨越跑道機率升高，進而影響空側容量，爰此部分建議亦應一併納入考量。		
4.考量本研究係為了解桃園國際機場新增第三跑道對機場整體運作影響，及探討松山機場航班加入桃園機場現有航班，對桃機容量及運作之影響變化，均屬重大課題，爰針對後續將如何運用該研究成果，以及對相關單位有何建議等，建議於報告內補充說明，以便未來可提供民航局與機場公司參考。	謝謝，將參考辦理。	同意辦理。
許書耕組長		
1.下一階段將進行議題模擬，因此將在後續工作會議與民航局、總臺、機場公司討論機場未來的配置(包括第3跑道、滑行道、停機坪等)及客運量分派，以作為分析的基本資料。	謝謝，將於後續階段依此辦理。	同意辦理。
2.請研究團隊規劃後續的教育訓練，並預計邀請民航局、桃機公司及本所同仁共同參與，讓本研究能發揮更大效益。	配合辦理。	同意辦理。
本所運工組:(現場+書面意見書面意見)		
1.目前停機位指派、空域模型、地面模型等三項核心模式均已個別開發完成，刻正在進行整合中，其中地面模型與空域模型於跑道有相當複雜之相互影響，為模式整合之關鍵部份，因此須先進行模擬系統測試，並由視覺動畫檢視是否有不合理之處。	將於後續階段對各模型之各種應有功能逐一進行確認，其中除了數據之檢視外，亦包含動畫檢視。	同意辦理。
2.報告第25頁，松山機場模擬部分只針對空域網路，空側陸側容量則視為足夠，並不影響整體模擬結果，同時可減少系統運算負荷，因此以單一點作為機場模擬方式較	遵照辦理。	同意辦理。

為合適。		
3.後續須完成初步驗證，方能進行議題式模擬，而報告書 P40~41 初步規劃驗證方式有 3 類，基本設定驗證、專家檢視驗證、統計檢定驗證，建議評估確認採用何種認證較為適宜，且標準為何。	將於充份構思後於工作會議中進行報告並討論。	同意辦理。
4.報告第 36 頁，輸入資料包括 2 種，背景資料主要在描述空中航點的分佈、各種起降程序、場面上跑道、滑行道、停機位的位置、停機位屬性資料，而動態資料主要包含航班資訊等。建議輸入介面仍須簡易、方便，以利本所後續針對機場配置或航路改變時之設定。	本模擬軟體之架構設計，係完全分離模式與數據。因此起降程序、跑道滑行道位置、航班資訊等靜態與動態資料之變更，均可利用編修數據之方式達成，不須修改軟體程式。後續亦將妥為設計操作介面以供使用者方便進行數據之編修。	同意辦理。
5.航機起飛速率實際上應比降落時高，建議 160~180 節；快速滑行道出口速率應為 30~50 節；非快速滑行道出口速率應為 10 節。跑道變更時，應以空中航空器應先降落，地面航機則視狀況須評估是否重新調換跑道頭。另應一併將桃園機場停機坪分配原則及規定詳述於報告中。	本模擬軟體之架構完全分離模式與數據，因此起飛速率、脫離跑道速率等在模擬系統中均非固定值。 另「桃園國際機場航機停靠機坪原則」已詳述於前期報告書中，於本報告書擬列入第 2.1 節對於前期成果之回顧中。	同意辦理。
6.實務操作時，雖然同一跑道在同一時間僅可供一架航空器使用，但在二架航空器之活動不相互干擾之前提下，當一架航空器跨越跑道時，可允許另一架航空器同時跨越跑道，另穿越跑道後航機不須再停等；由於第三條跑道完成後，航機穿越跑道頻率架次將會提高，因此該項參數必須納入考量。	謝謝提醒，這些因素均已納入模擬模式中。	同意辦理。
陳副所長天賜		
1.模擬模式需求真、求善、求美，其中求真最為重要，而 rule 反映實際航管、機坪指派人員的管理行	本報告書第 3.5 節「重要基本假設」即已具備說明模擬規則之功能。後續將於工作會議中進一步	同意辦理。

為，建議研究團隊將規則詳列後，再請相關單位協助審視，以確認模擬之完整性及正確性。	討論強化該節並轉化為模擬規則說明之妥適性。	
2.模式驗證部分請研究團隊再思考要引用何種指標及流程較為合適。	模式之驗證並無唯一之公認方法，將於後續工作會議中提出討論。	同意辦理。
3.假設情境模擬部分，目前以協助桃機公司問題為原則，後續可思考未來決策性問題，如 WC、EC 滑行道對機場營運效率、時間帶問題等，並於後續報告中闡述可應用之方向。	遵照辦理。	同意辦理。

附錄二：期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫

☐期中 ☒期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：「空域模擬模式功能擴充之研究」

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承 辦單位審查 意見
民航局：(現場+書面資料)		
1.整體而言，模擬模式基本功能已具型式，成果部分在機場空側面較佳，而空域方面則可再加強。	謝謝建議。	同意辦理。
2.本案預期完成的工作項目中，有關桃機與松山空域衝突、松山航班加入桃機之影響、桃機第3條跑道離到場程序等部分，於現階段對本軟體之要求可能稍高。	謝謝指正。	同意辦理。
3.支持本軟體持續擴充研究，以臻完善。	謝謝建議，本報告書第七章亦作此建議。	同意辦理。
民航局飛航服務總臺：(現場+書面資料)		
1.本總臺於期中報告審查會中就「跑道變更當時已經抵達跑道頭之航空器將全數放飛」之規劃，將造成在空機之延誤提出相關建議(第90頁第7項)，另航管之跑道變更實際作業，並無離場航機優先起飛之規定，塔臺亦可指示離場航機至另一跑道頭等待離場，建議後續研究可予考量，以增加模擬真實度。	目前本模擬模式確無指示離場航機至另一跑道頭等待離場之機制。其原因在於在某些狀況下，航機進行上述操作時必須進入跑道，而本模擬模式僅允許航機於起飛、降落、或跨越時進入跑道。本項考量已納入報告書第7.2節。	同意辦理。
2.報告第72頁，(1)現況場面佈設：兩跑道之運作模式均為起降混合時，最高1小時之起降數合計約在31至33架次之間，(2)未來3跑道場面佈設：本項測試以每200秒、	原報告書初稿之模擬數字確為低估。經查其原因在於模擬時所設定之最小水平隔離過大。經修正後重新模擬，已得到較為接近實況之數字。	同意辦理。

150 秒、120 秒起降需求各 1 次等設定進行模擬。3 跑道之運作模式均為起降混合時，最高 1 小時之起降數合計約在 37 至 40 架次之間。此等數字係單跑道模擬之數字或多跑道之數字，若為多跑道則似乎低估，請再評估		
3.報告第 75 頁，跑道運用模式:比較 3 條跑道均混合起降、南北跑道起飛中央跑道降落，以及南北跑道降落中央跑道起飛 3 種跑道運轉模式，模擬結果顯示以南北跑道降落中央跑道起飛之模式容量最高，可達每小時 42 至 44 架次之起降。而南北跑道起飛中央跑道降落之模式容量最低，僅可達到每小時約 36 架次之起降。此模擬結果所得之數字為單條跑道或 3 條跑道合計，請再釐清。	原報告書初稿之模擬數字確為低估。經查其原因在於模擬時所設定之最小水平隔離過大。經修正後重新模擬，已得到較為接近實況之數字。	同意辦理。
4.報告第 76 頁，本項模擬之內容在將松山機場航班資料加入桃園國際機場現有航班中，分析其對桃園國際機場容量及運作之影響與變化。然表 6-1「松山機場 10 月 30 日到場航班」、表 6-2「松山機場 10 月 30 日離場航班」所列皆為國際航班，惟松山機場尚有國內及目視航班，此等航情未納入本模擬情境，將致觀察結論偏離實際狀況。	謝謝指正，已重新於松山機場之網站下載公開航班資料，並補充國內航班之部份。	同意辦理。
5.報告第 79 頁中敘述，「真實狀況中，航空器因為管制員之引導而完全避免產生衝突，而本模擬軟體亦模擬管制員之作業，因此不論空域如何擁擠，模擬結果航空器間均不會發生隔離不足而導致衝突之現象。經過模擬測試，本模擬軟體於同時模擬航空器於桃園國際機場	謝謝指正，已配合調整報告書。	同意辦理。

與松山機場起降時，亦未見空中衝突」。然而空域內航行量增加，其相關航情之衝突或隔離不足之機率亦隨之攀高，係為航管作業之共識，因此前述結論與現行作業認知有異，建議再行檢視及調整。另表 5-13「松山機場功能測試」未納入松山使用 28 跑道/桃園使用 05 跑道，及松山使用 10 跑道/桃園使用 23 跑道之組合，另測試 1-測試 4 之航情略為偏少，建議提升模擬航班。		
6.報告第 84 頁中敘述，「各種原始資料（例如雷達航跡紀錄、停機位使用紀錄等）各有其設置之初始目的，並不一定可直接供其他用途之使用。因此亦建議在留存運轉資料之同時，並予有系統整理、清分並組織成為易於使用之航空運轉資料庫」。由於航管系統紀錄為航管作業完整之紀錄留存，外部研究應依其研究目的整理資料，而非建議資料產生及保存單位整理為易於研究使用之資料庫。	本項建議之本意在於提出建置專業資料庫之構想。至於由何單位執行並無建議，亦非報告書本意。報告書第 7.2 節已作適當之語句調整以避免誤解。	同意辦理。
董委員吉利: (現場+書面資料)		
1.本計畫重要性述及可利用所開發之軟體進行桃園國際機場與松山機場間空域衝突狀況之模擬分析，其目的應該是研究分析桃園機場航班與松山機場航班間在空域運用下之相互影響性，以及是否有相關方式可以改善彼此之影響。而報告書研究內容 6.3，有關兩機場間之研究分析結論為，模擬不論空域如何擁擠航空器間均不會發生隔離不足而導致衝突之現象，似與原將松山機場加入研究對象之目	謝謝建議，此部份已作修正並補充於技術報告中。	同意辦理。

的有差異，建議再針對此一部分補充。		
2.本研究列出許多基本假設，也列出基本參數，然而最主要的研究主體應該是針對空域、跑道、地面動線、機坪指派等四大面向之分析，當任何一個面向投入變化(例如:離到場程序調整、跑滑道關閉施工、機坪增加或減少)時，對整體運作效益的影響。這些可投入的變化如何由使用者進行調整，方有可能作為實務運用之參考。本研究若後續將持續開發，建議應增加使用者可清楚認知並進行調整之變化項目。	委員所指出之四大面向確為最重要之主體。模擬軟體中這些面向之資料均定義於輸入參數中，使用者均可設定、調整而不必修改軟體。報告書說明於第4.2節，專案資料相關說明中。	同意辦理。
3.空域之研究模型以網路節點節線方式模擬，與第一線航管實務經驗難以連結及驗證；另第5章軟體確認測試並未包括航機衝突處理(僅作隔離測試)、進場順序安排、雷達引導、空中等待條件等有關空域運用之測試，未來如欲開發為成熟產品則須有效檢驗之作法。	任何模擬模式內部底層必有數值模型，其功能在以結構化的方式將模擬對象之關鍵邏輯予以組織化。而模擬軟體即依循其結構而設計開發。而網路為常用的數值模型之一。模擬軟體之驗證並非針對數值模型本身，而是在檢驗模擬軟體所產出之結果，與真實系統接近的程度是否足以達到模擬的目的。至於空中隔離功能測試，即在測試軟體處理可能的空中衝突，達到參數所設定之隔離標準。其餘各項亦具有其重要性，已納入報告書第7.2節說明之。	同意辦理。
4.表5-16多跑道穿插起降能力測試為模擬多跑道均為混合起降模式之作法，因此情況涉及雙跑道是否可以平行離場及平行進場之條件，結果可能有明顯差異，建議予以詳加說明。	本項測試之目的在瞭解軟體對使用者是否提供足夠之控制與設定能力，並不在嚐試重現真實運轉狀況。	同意辦理。
5.報告書第72頁，有關現況兩條跑道起降混合合計最高1小時為	經查原報告書初稿之模擬，其設定之最小水平隔離過大。經修正	同意辦理。

31~33 架之間，一起一降為 29~30 架左右，與簡報 34 頁兩條跑道起降混合最高 45 架及一起一降 48 架次似有明顯落差。另報告書第 73 頁，有關模擬現象可解釋混合模式較起落區隔(一起一落)之起降數高之原因乙節，建議再予檢視。	後重新模擬，已得到較為接近實況之數字。	
6.報告書第 75 頁，有關 3 條跑道起降混合合計最高 1 小時為 37~40 架之間，南北跑降落中央起飛為 42~44 架左右，與簡報 36 頁 3 條跑道起降混合及南北跑降落中央起飛最高 59 架次亦有落差。	經查原報告書初稿之模擬，其設定之最小水平隔離過大。經修正後重新模擬，已得到較為接近實況之數字。	同意辦理。
7.報告書第 81 頁，機場無法合理容納如此密集之降落需求，模擬軟體自動刪除部分航班以避免不合理的模擬結果，惟若依圖 6-5 所述，該 100 降落航班是模擬分布於 6 小時內，為何會有超過機場所能容納之密集降落需求，建議再予說明。	模擬軟體發現無法容納降落需求時，將自動刪除部份到場航班。報告書初稿圖 6.5 於 6 小時中之降落航班合計未達 100 班，即為刪除部份航班之結果。該圖於定稿版中已修正為圖 6.6 以及圖 6.7。	同意辦理。
陳委員志嘉:(現場+書面資料)		
1.本案空域模擬模式功能及整體架構已相當完整，考量層面亦面面俱到，未來如能推廣至第一線實際作業單位繼續發展研究，應可對未來機場發展之規劃大有助益。	謝謝肯定，此亦為未來努力之方向。	同意辦理。
2.報告書 5.2 驗證以靠退橋架次佐證部分，建議應可藉由本公司實際每日離到場班機統計資料，而得到更正確之分析驗證。	報告書定稿版已援引桃園機場公司所提供之離到場統計資料並呈現於圖 5.1。	同意辦理。
3.後續建議可與辦理桃園機場實施計畫之顧問公司交流，讓未來發展方向更明確。	謝謝建議，將配合辦理。	同意辦理。
李委員建國:(現場+書面資料)		
1.研究團隊能將儀航程序、航機操作、ATC 決策、航機滑行及停機位分配等不同技術領域結合，確屬不	謝謝肯定。	同意辦理。

易，值得讚許。		
2.模式有3個自動化技術，其中離到場飛行路徑仍須與ATC進一步進行參數調整；另地面滑行路線仍須強化航情衝突規避法則之建立。	本模式之地面模型有考慮衝突規避，已加強說明於報告書第3.7節，並於第7.4節說明待加強之處。	同意辦理。
3.有關停機位分配與容量間之關係為何，報告應再予補充。	機場之停機位容量並無固定值，而是與可接受之服務水準有關。但我國尚無共同認可之服務水準評估準則。對此已加強論述於報告書第3.8節，並納入第7.2節中。	同意辦理。
4.建議應將航機延誤納入基本假設或主要參數，以瞭解機場或民眾可容忍的程度。	本模擬模擬並未將延誤量作為外部設定之參數。在模擬過程中，經由各相關模式之運算，使得航空器因為相互之影響、或等待使用跑道、停機位等設施而自然產生時間推移之現象。然而等待並不全然等同於延誤，而等待之原因歸屬則更形複雜。相關論述已加強論述於報告書第3.7節，並納入第7.2節中。	同意辦理。
5.後續可研議如何利用滑行道之增設或調整，減少機場整體運作延誤並增加機場容量。	此為本計畫所開發核心技術之重要應用，已納入第7.2節中。	同意辦理。
葉委員協隆:(現場+書面意見)		
1.桃園機場周邊空域，除松山機場之松山C類空域外，尚包括龍潭陸軍航空基地的龍潭E類地表空域、新竹空軍基地的新竹D類空域，以及西側海域軍方管控之H、I空域與RCR9限航區，對桃園機場空域之使用均造成相當程度之影響，為使本案模擬模式更接近實際，建議研究單位考量將前述鄰近空域於空域模型設計，以及主題模擬時納入考量。	本模擬模式，以及模擬軟體之設計，均有能力納入一座以上之機場同時模擬。惟本計畫並未蒐集整龍潭陸軍航空基地、新竹空軍基地、限航區等之參數，合併模擬有其實質上之困難。而本研究結果基本上對外公開，是否納入上述內容可能亦需要斟酌。	同意辦理。
2.驗證為確保模式正確可行之重要	本計畫於開發過程中與實務專	同意辦理。

程序，惟本節所提專家檢視驗證並未說明驗證情形，建請補充；另第 72 頁說明依現況場面佈設之模擬，兩跑道混合起降最高 1 小時介於 31 至 33 架次間，以及一起一降則在 29 或 30 架次左右，與目前桃園機場兩跑道每小時起降約 42 架次有相當程度差距，另依未來 3 跑道場面佈設模擬，最高起降架次約介於 42 至 44 架次間，與民航局預估之跑道容量 90 架次有明顯差異，均建請釐清。	家持續互動，並儘量納入專家檢視時所提供之改進意見。已補充於第 5.2 節之相關說明中。另模擬結果目前二跑道可達到之起降能力偏低，經查原報告書初稿之模擬，其設定之最小水平隔離過大。經修正後重新模擬，所得每小時 44 架次之模擬結果已較為接近實況紀錄。本項已說明於第 5.2 節。至於未來 3 跑道之模擬，經上述修正後所得之起降能力為每小時約 59 架次，已說明於第 6.1 節。	
3.第 3 跑道情境模擬結果僅簡略提及停機位之運用影響力增大，以及長時間停留機位仍不足，未有量化分析亦未能得知如何獲此結果；考量本案研究目的既為提升空域容量運用效率，建議可參考民航局於期中報告所提建議，針對空域容量、地面運作及停機坪使用等三大核心項目擬定相對應之 KPI，並於主題模擬時分析對各項 KPI 之影響，且據以提出相對應之建議，應更具參考價值，其他主題亦同。另據機場公司最新提出之實施計畫，未來擴建第 3 跑道後，停機位亦將一併擴充，並無不足情形，建議洽該公司再行檢視釐清。	擴建後之機場將有三條跑道，使得停機位之指派必須充份考量起飛或降落之跑道，否則將會增加航空器跨越中央跑道之需求，以及增加滑行距離。此部份已說明於第 6.1 節。而對本情境之模擬，以及長時間停留機位之運用等，均係以報告書圖 6.1 所示之場面圖為準。另民航局於期中報告所提之 KPI 確為重要項目，惟其中所使用之飛行過程之延滯、滑行時間距離與容量之關係、準點率、等待時間等，多尚未有明確、普遍接受之量化計算標準。有鑑於其重要性，對此已納入報告書第 7.2 節說明之。另機場公司最新提出之實施計畫可能與報告書圖 6.1 所示之場面圖不全然一致，本研究並未進行比對，亦未對其進行模擬或評估停機位充裕之程度。	同意辦理。
4.松機運量遷移情境模擬結果亦僅簡略提及桃園機場每小時起降次數並未隨需求提高而提高，以及現	謝謝，有關松機之議題已另外呈現於技術報告中。	同意辦理。

有停機位無法容納新增航機需求。考量受跑道容量限制，機場起降次數本不應隨需求增加，建議研究團隊再檢視確認本項分析之必要性。另鑑於機場公司及民航局近年已陸續完成「桃園機場空陸側設施容量檢視」及「北部區域機場區位及功能探討」等相關研究，對松山機場併入桃園機場設施面之影響均有深入探討分析，建議研究單位可蒐集並比對本案模擬結果，提出更深入具體有效之建議。		
5.松機空域衝突情境僅說明係運用歷史資料進行模擬，真實情況中，管制員本會引導航空器避免衝突產生，模擬結果亦未見空中衝突，本項建請釐清委託單位設定模擬本主題之原意及目的，否則本項模擬結果似不具意義。	謝謝建議，有關松機之議題已另外呈現於技術報告中。	同意辦理。
邱委員裕鈞：(現場+書面資料)		
1.建議將模擬模式的假設前提說明清楚，例如：有無考量風速影響、航速的變異、臨時調度等因素。	謝謝指正，已加強第 3.5 節對此之說明。	同意辦理。
2.報告書第 38 頁，有關機門指派模式為何有預定及實際占用之延遲參數，另外機門與機型間是否有相容問題，有無需要在限制式中反映，而權重參數如何設定也須再行補充。	謝謝指正，已修正第 3.8 節，改用「分配結果，可開始佔用」以及「分配結果，應結束佔用」等用語，以與申請使用之時間相混淆。至於停機位與機型間之相容性，則以正面表列之方式，可對每一個別航班設定之，如第 4.2 節所說明。而權重參數則影響模式對停機位分配之優先選用方式，用以反映實務人員之偏好取向。其影響力論述於第 3.4 節。至於適當之權重則為未來律定適當參數之一部份，如第 7.2 節所說明。	同意辦理。

3.請研究團隊補充說明，Gurobi 與模擬模式軟體間之關係，本系統是否須要內建 Gurobi 求解軟體，因 Gurobi 為付費軟體，後續該如何處理，請補充說明。	模擬軟體中，停機位分配模型以及地面模型之求解均使用到 Gurobi®數學求解引擎，如第 4.1 節所說明。該引擎確為付費軟體，未來若開發成為商用套裝軟體時必須購買使用權。	同意辦理。
顏委員進儒:(現場+書面資料)		
1.報告書第 23 頁，有關模擬事件的說明，建議依照航空器「後推到離場」或「進場到停靠」依序說明。	已遵照建議於第 3.2 節將「降落後滑行」由第 5 項提前為第 3 項，成為「航空器進入模擬」、「航空器進場」、「降落後滑行」、「請求後推」、「起飛前滑行」、「航空器起飛」、「航空器完成模擬」之順序。	同意辦理。
2.報告書第 29 頁，未將勤務車輛納入模擬系統中，另外對於機場空側地面系統的作業稍嫌不足。	由於勤務車輛於空側活動時其優先低於航空器，且若須納入勤務車輛於模擬中，則應一併考量勤務車輛之調度方有意義，因此現階段並未納入勤務車輛之模擬。已補充說明於第 3.5 節。	同意辦理。
3.報告書第 30 頁，實務上機場空側任何車輛或航空器在跨越跑道前，無論跑道有無起降的航空器本來就必須暫停，並請求塔臺通過跑道的許可，目前的寫法似乎與事實不一致。	本模擬系統中所有航空器於跨越跑道之前均一律先停等。至於請求塔臺許可之無線電通話過程則未納入模式中（模式並未模擬任何無線電通話）。而於模擬模式中，請求許可之過程以及其他操作所需要之時間則為可設定之參數。	同意辦理。
4.報告書第 30~31 頁，過去松山機場擁擠時，曾經將前後隔離縮短為(3 哩)，請再確認。	此處所描述者為考慮機尾亂流時，前後航空器若為重型跟隨重型、輕型跟隨重型等等各種組合下，模擬時應保持之前後隔離。目前之軟體設計並未提供使用者設定本項隔離標準之機制，而是採固定方式於軟體內部設定之。未來若有縮短或其他模擬時調整隔離標準之需求，可修改軟	同意辦理。

	體，提供使用者自行設定之機制，並無技術困難。	
5.報告書第 32 頁，航空器最後對正跑道點高度訂為 3,000 呎，實務上可能因機型而異，請再確認。	本模式已將此部份修正為「進場航空器最晚對正跑道點為跑道頭外 5 哩，高度為 1500 呎處」，已配合修正第 3.5 節。目前軟體對此並未對不同機型作區分，但確為未來細緻化所需。已將本項納入第 7.2 節中。	同意辦理。
6.建議模擬模式若能加入更多機型參數與風速，可以讓模擬結果更符合實務。	本模式假設風場單純，且對所有航空器飛行之影響一致。未來若將風之影響納入模擬中，將須要考慮風對不同航空器之差異影響。已將本項納入第 7.2 節中。	同意辦理。
7.建議有更多的驗證資料，以確認模擬軟體的有效性。	謝謝建議，已將本項納入第 7.2 節中。	同意辦理。
8.報告書第 74 頁，圖 6-1 有關第 3 跑道完成後的分析，似乎未包含第 3 航廈本體建物的停機坪，請再確認。另外在案例指派結果時，有些停在 T3 衛星廊廳停機坪的航空器被指派到南跑道起飛，似乎不太合理，也請確認。	對桃園國際機場建設第三跑道之情境模擬，係以報告書毒 6.1 所示之場面圖為準。未來若有增設停機坪或其他調整，亦可於修改輸入參數後進行模擬。另模擬模式對於航空器起飛跑道之指派，係選擇距停機位較近之跑道，如表 5-6 所說明。惟若設定僅有一條跑道可供起飛之用，則不論停機位之距離如何，模擬模式均使航空器滑行到該跑道起飛。	同意辦理。
航政司:(現場+書面意見)		
1.本次空域模擬模式功能擴充報告，主要是對決策角色(近場管制員、塔臺管制員及停機位指派人員)進行決策模擬，並以視覺系統進行演示；然系統開發過程中，尚有部分變項被排除，該變項對模擬結果或許會造成影響，建議宜以完善系統之角度為出發點，於第 7 章之結	任何模擬模式都有其目的，而在該目的下，以及考量實際限制，對於納入之考慮因素必有所取捨。已於第七章各節補充說明未來須加強納入之考慮項目。	同意辦理。

論或建議內補充說明。		
2.報告 3.5 節重要基本假設與 4.2 節相關參數並未完全對應，且參數數值區間亦未描述，建議補充敘明；另部分重要影響因素(如同跑道起降隔離，及停等區間均設定 30 秒等)其與實務運作恐有未符，倘礙於系統規劃之限制而無法納入，也建議一併於報告中完整敘明。	雖有部份基本假設有其參數對應，但亦有部份基本假設並無參數對應。前者例如「停機位」之假設，即對應「允許使用機位」、「機位禁止相鄰」、及「機位設定」三項參數；又如「跨越跑道」之假設，即對應「跨越跑道停等」之參數。而後者則例如「模擬時間」之假設，將模擬時間固定於一日 24 小時，因此並無參數可設定之。而「勤務車輛」之假設則於模擬系統中排除勤務車輛之影響，亦無對應之參數。另前後航空器若為重型跟隨重型、輕型跟隨重型等等各種組合下，模擬時應保持之前後隔離。目前之軟體設計並未提供使用者設定本項隔離標準之機制，而是採固定方式於軟體內部設定之。未來若有縮短或其他模擬時調整隔離標準之需求，可修改軟體，提供使用者自行設定之機制，並無技術困難。而跨越跑道之前停等之時間長度為可由使用者自由設定之參數，30 秒僅為本報告進行模擬時之預設值。若實務運作有不同之時間長度，均可自由設定之。	同意辦理。
3.報告 3.5.9 節松山機場之假設變數，3.6 節及 3.7 節之空域模型及地面模型之決策形成過程似未敘明，為提供相關單位了解其決策形成之過程，對相關變項之確認及相關模型建置及運算過程宜有完整說明 (或以附錄方式補充)。	對松山機場之相關議題另外呈現於技術報告中。	同意辦理。
4.針對第 5 章之邏輯確認與驗證之	有關基本物理定律之確認包括	同意辦理。

階段，其 5.1.1 以基本物理定律確認過程共包含哪些項目，以及 5.2 驗證階段之驗證過程與結果建議完整敘明（如 5.2.1 及 5.2.2 係確認哪些項目，及研究團隊改變哪些參數以符合實際情況）。	不可有二架航空器於同一時間處於同一位置、航空器於進入模擬系統直至離開系統之間必須連續存在、航空器於時空中移動之過程必須滿足運動學及基本力學之定律等，已加強說明於第 5.1 節。在 5.2 節第 1 項則驗證機場之跑滑道、停機位等設施、空域各航點位置等設定之正確性。其過程中所修正之參數包括發現停機位之位置設定不正確時之修正、航點經緯度設定不正確時之修正等等。	
5.研究團隊摒除以實際雷達軌跡資料進行比對，採取統計檢定驗證之方法，惟案內僅有採取桃園機場靠（退）橋數據，及目前起降架次進行比對，稍嫌不足；另第 72 頁之驗證結果與跑道運作現況具有極大落差，雖經團隊於簡報內容修正為 48 架次，惟有關參數設定似仍有疑慮(如除空中隔離 3 哩外，尚未考量同跑道隔離標準恐影響架次結果、另起降需求 200 秒、150 秒及 120 秒等參數設定是否合理)建議於報告內表達清楚。	已補充桃園國際機場起降架次統計資料如圖 5.1 所示。至於雷達軌跡之真實資料過於龐大，並非本計畫所能容納，且模擬軌跡與真實軌跡相似程度之認定方式並未有一致性之標準。而模擬過程中確有考慮同跑道之隔離，如第 3.5 節有關前後隔離之說明。而起降需求 200 秒、120 秒等，則在說明虛擬班表之設定方式，其目的在測試機場之最大起降能力。此部份已加強說明於第 6.1 節。	同意辦理。
6.報告 6.1 節未來第 3 跑道的模擬過程，建議研究團隊可洽航管單位先了解未來航線規劃方向(如為提升容量及減少噪音影響，航機起飛後即可能立即引導飛往外海)，另在參數設定上以每 200 秒、150 秒、120 秒起降需求為基準，其採用之基準為何，亦請補充說明。	本計畫並未配合桃園國際機場跑道、滑行道之擴建而調整起降程序。未來相關單位規劃調整起降程序時，亦可以各種不同考量之情境，使用本系統進行模擬。本項已加強說明於第 6.1 節。另起降需求 200 秒、120 秒等，則在說明虛擬班表之設定方式，其目的在測試機場之最大起降能力。	同意辦理。
7.報告 6.3 節松山機場與桃園機場	有關松山機場之內容將呈現於	同意辦理。

空中衝突一節，考量桃園與松山機場之航線設計，與空中隔離標準，在原本設計上就具備安全隔離，爰經模擬系統獲得之不具衝突之結果，僅能確認系統導入既有參數後不具衝突，不能表示系統能分析兩者之航情及管制作業之複雜度，只是研究團隊尚無法進行模擬(快慢機或許會有決定性之影響)，爰建議就本項模擬議題在基本假設、參數設定、模擬過程與結果，與未來建議等章節建議宜有相關論述(如未來或許得以該工具為基礎，發展具備可模擬管制作業複雜度之系統)。	技術報告。至於快慢機之模擬，確未納入本模式中。此點已依建議納入報告書第 7.2 節。	
許組長書耕		
1.松山機場的問題必須有新的標準程序，同時還必須有新的航廈使用規劃，而這些是模擬模式的輸入資料，因此無現成可用的資料時，將無法進行模擬。	此確為本計畫進行相關模擬時之障礙。	
2.驗證的目的在檢驗模擬軟體所產出之結果，並瞭解與真實系統接近的程度。實際上航空器軌跡資料比對雖是最佳方式，但資料量過於龐大，且必須先針對資料進行篩檢確認，在本案時間、人力、經費有限下，難以就此項資料進行驗證。	雷達航跡之整理與比對有其複雜性與專業性，必須開發相對應之軟體方能進行。衡量本計畫之時間與可用資源，進行上述軟體開發將相當程度排擠可用於模擬模式、模擬軟體開發之資源。	
陳副所長天賜		
1.感謝各實務單位的參與及協助，才能讓本研究有豐富的成果。	謝謝建議。	同意辦理。
2.有關近場、塔臺管制員訪談的結果，以及模擬模式中使用的相關規則、規章，建議仍應詳述於報告中，供後續研究之用。	遵照辦理。	同意辦理。
3.停機位指派部分，相關規則可再詳述於報告中，並針對未來如何優化支援決策的部分也可加以闡述。	有關停機位指派部份之相關說明及模式考量，已加強說明於第 3.8 節。而未來持續開發成為上	同意辦理。

	線之決策輔助系統時之考量，亦加強說明於第 7.2 節。	
4.驗證除了利用統計資料確認外，建議未來可輸入實際航班，其結果可交由塔臺管制員依其經驗確認。	謝謝，已納入第 7.4 節中。	同意辦理。
5.有關 KPI 部分，延誤及可容忍服務水準，未來或許可嘗試評估。	延誤及可容忍服務水準確為重要評估項目。惟其中所使用之飛行過程之延滯、滑行時間距離與容量之關係、準點率、等待時間等，多尚未有明確、普遍接受之量化計算標準。有鑑於其重要性，對此已納入報告書第 7.2 節說明之。	同意辦理。
6.模擬模式在規劃階段能處理何種問題，建議於報告中補充，例如衛星廊廳停機坪配置、平行滑行道增設等議題。	謝謝建議，已補充於第 7.3 節。	同意辦理。
7.Operation 是否可藉由壓力測試以瞭解機場衝突點、衝突方式等，建議可補充於報告中。	衝突之分析與評估有其重要性，而未來在能夠利用模擬軟體進行衝突分析之前，必須先深入研析衝突分析之準則與觀察之指標，方有可能據以納入模擬模式中。此部份已論述於第 7.2 節。	同意辦理。
8.報告中敘述松機議題或許會衍生其他不必要之困擾，建議在合約的規定下，可採用技術報告方式另外呈現，而不在主報告中展現。	遵照辦理。	同意辦理。
本所運安組：(書面資料)		
1.報告書第 12 頁，引用格式有誤，請修正。	已全面修正，謝謝。	同意辦理。
2.報告書第 30 頁，跨越跑道停等是否符合現況?為何無起降仍須停等 30 秒，是否恰當?實際運作經驗為何?	實務上機場空側任何車輛或航空器在跨越跑道前，無論跑道有無起降的航空器本來就必須暫停。而等待時間之長度則為使用者可自由設定之數值，並非模擬軟體之硬性設定值。	同意辦理。
3.報告書第 32 頁，轉彎不便參數如	此即為第 4.2 節所述之「滑行轉	同意辦理。

何設定?建議以航機種類補充說明設定方式。	向權重」參數，用以作為使用者控制模擬管制員對於滑行路徑轉彎重視程度之機制。本參數對所有航空器均一體適用，並未提供對不同航機種類設定不同參數值之機制。	
4.模擬軟體部分，在本期係採「重新設計」方式進行，但在長期發展前提下，系統是否應維持一定的擴充性，以利長期發展。	如第 7.2 節之說明，本軟體在整個生命週期中尚處於快速成長期，具有高度彈性可針對需求量身訂做。而此種高度彈性之部份來源，即在於尚未累積大量之程式量體，以及牽一髮動全身之複雜架構。因此本計畫選擇重新設計並重新開發，以完全避免遷就前期所開發軟體模組所帶來之限制。依本團隊開發軟體之經驗，在真實使用者配合使用之前提下，此種複雜程度之軟體長期發展時，可能在經歷二至三次之重新設計並重新開發大改版（本計畫為第一次大改版）之後，即可進入較穩定之階段，在大改版之間以小改版達到新功能之要求。之後再經歷一至二次大改版，即可進入成熟期。本團隊期許此軟體能在各界努力下達到成熟階段。	同意辦理。
本所運工組: (書面資料)		
1.報告整體而言，內容及架構必須重新檢視修正，相關引用資料仍必須置於附錄，供閱讀者查閱，例如起降程序、停機位停靠規定等。	遵照辦理，起降程序置於附錄 D、桃園國際機場航機停靠機坪原則整理於附錄 E。	同意辦理。
2.松機議題上，建議可將國內線小型機(ATR72)參數納入模擬，以瞭解大小型機混合後，跑道容量減少多少。	遵照辦理，並呈現於技術報告中。	同意辦理。
3.跑道均為起降混合，或南北起飛	本差異之原因，確實無法排除本	同意辦理。

中間降落時，最高 1 小時之起降數合計約 59 架次，此值似乎與民航局委外研究資料不同，是否因模擬未設計新起降程序，而是沿用即有兩跑道起降程序，造成跑道容量未大幅提升，建議與民航局再行討論。	模擬未設計新起降程序之影響。本項可於瞭解民航局委外研究時，其評估方式、是否設計新起降程序、模擬設定等之後分析之。	
4.報告中利用靠橋架次資料進行統計驗證，建議仍須以桃園機場實際航機每小時起降架次比較為佳；另專家檢視驗證，建議須由航管人員及停機坪管理員確認。	報告書已援引桃園機場公司所提供之離到場統計資料並呈現於圖 5.1。後續亦將尋求適當機會請航管人員及停機坪管理員協助檢視驗證。	同意辦理。
5.報告 P72 模擬兩跑道運作情況，每小最高起降架次平均為 30 架，明顯較桃園機場跑道容量 50 架次/小時偏低，其推究其原因，應是水平隔離過大，報告 P63 設定參數為 5 哩，建議在雷達引導下，修正為最小 3 哩。報告 P74 模擬第 3 跑道，跑道容量明顯不符，建議與第 3 項一樣，修訂水平隔離為最小 3 哩。	本軟體可由使用者設定最小水平隔標準。經設定最小水平隔離標準為 3 哩並重新模擬後，所得之最大起降能力為每小時 48 架次，說明於第 6.2 節。桃園國際機場具有 3 條跑道情境之模擬結果則整理於第 6.1 節。另報告書初稿第 63 頁表 5-4 係呈現將最小水平隔離標準設定為 5 哩時之觀察結果，其目的在測試軟體依據所設定之值進行模擬之能力，並非用以測試機場在該設定下之起降能力。	同意辦理。

附錄三：訪談紀錄

訪談對象：民航局航管組

日期：107 年 4 月 26 日下午 15:50-17:00

地點：民航局航管組

主要議題

1. 本模擬軟體未來的應用及發展方向建議。

我國空域狹小，且民航可用空域受到國安需求之限縮，以及噪音環保之需求，可用之空域彈性甚小。因此即便有很好的模擬軟體，可能亦難以對空域容量之提升產生貢獻。在另一方面，桃園機場空側持續整修中，而未來擴建後停機位與跑道、滑行道之最佳運用方式仍有待探討，可能為本軟體理想的應用領域。

2. 為配合模擬情境而需要新增程序，或修訂現有程序時之處理方式。

設計或修訂程序為高度專業而複雜之工作，非一般人所能完成。國外顧問模擬分析時對此之處理，亦未真正設計程序，而是以簡化之方式大略設計，再與業主討論確認。

3. 桃園國際機場配合第三跑道而新增之端繞滑行道。

端繞滑行道雖有減少航空器及車輛跨越跑道之效果，但 D 及 E 型航空器高度較高，在端繞滑行道仍然會與跑道衝突。

訪談對象：桃園機場公司航務處

日期：107 年 4 月 24 日下午 15:30-18:20

地點：桃園機場公司航務處

主要議題

1. 目前停機位之分配使用有考慮航線，其原則如何。

並無強制的規定，但有習慣做法。將另外提供資料供參考。

2. 發生佔用停機位無法依時離開時之常用處置方式。

變更停機位，對到場旅客影響較小，對離場旅客影響較大。因此單到航機經常改停機位，尤其是深夜，單到航機較多而機位擁擠時。

桃園機場機位嚴重不足，因此並未規定起降前多久不可變更停機位。但如果離場航機的旅客已經開始在報到，通常就不太變更其機位。

已經變更過停機位的航機，若須再變更，並不會優先考慮回到原本的機位。

3. 未來配合 T3 及衛星廊廳而新增停機位後，其使用原則。

建議本案參酌顧問所建議的使用方式。

未來 T3 北機坪會先開放使用，有 8 個 380 級的機位。但因為沒有航廈，會先作為接駁坪或過夜坪。

討論中的停機位分配使用方式有：依聯盟區分、或依航空公司區分等等。至於衛星廊廳之機位則尚未有明確的規劃。

4. 決定停機位變動之原則。

目前設定所有航機使用機坪的時間均為 60 分鐘，前後機之間要隔 15 分鐘（以前為 30 分鐘），但有時不得已仍須更壓縮。

決定是否變動機位，主要考慮等待時間。目前航務處均可掌握航機是否已降落。若前機尚未離去，則考慮後機之等待時間。通常可接受 10 分鐘等待，但 20 分鐘就有一點長了。如果無法進機坪是因為後機提早到就比較可使它等待。

航機通過交管點之後才換機坪，有時會造成由北跑道降落後滑行到南方

機坪，或反之。但此種狀況並不多，發生亦能處理。

有時駕駛在得知無法立即進機坪之後，會減慢滑行速度，以減少機上旅客停等之不良感受。

5. 當日停機位有所變動時，其啟動與資訊傳遞實務。

航務處決定變更機位後會輸入 FOS，之後地勤會收到通知（經傳真機），塔台亦可查看。

6. 其他。

長榮在夜間於 516/517 停放 6 架航機，而華航則用 525 停 2 架過夜。但由於這些航空器均需要拖機跨過跑道，因此長榮多用以停放深夜到場，隔日下午才飛的航機，以利有充份的時間拖出來。

訪談對象：臺北機場管制臺

日期：107 年 4 月 20 日下午 13:30-15:50

地點：臺北機場管制臺

主要議題

1. 慣用滑行路線。

管制員於頒發離場航空器之地面滑行指示時，原則上係帶到跑道端點，並不使用交叉口起飛。而滑行路線之規劃，除了考慮效率（時間最短）外，亦考慮順暢性。例如減少滑行過程中之轉彎次數即為重要考量。因此由 D1 機位到 05 跑道頭會優先考慮使用 NP 滑行道，而由貨機坪前往時則優先考慮 NC 滑行道。若有可能，亦會考慮先叫先飛之原則。

所有滑行道均不容許方向相反之航空器交會。

2. 脫離跑道點之決定。

降落航空器原則上由機長決定脫離跑道之點，但管制員通常瞭解其慣常作法。例如 05L 跑道最常使用 N7 脫離跑道，N8 次之；23R 最常使用 N4，N3 次之；05R 最常使用 S6，S7 次之，而 23L 最常使用 S5，S4 次之。

3. 第三跑道啟用後，三條跑道之運轉模式。

目前桃機第三跑道之運轉模式、滑行道佈設、新起降程序之設計、既有程序之調整等均尚未確定。未來是否佈設跑道末端滑行道將影響航空器是否須常跨越 C 跑道，但佈設與否亦尚未確定。先前曾經委託國外公司進行研究，歸納出 9 大種跑道運轉模式。但因不確定性仍多，尚未有明確結論。

4. 跑道方向變更實務，以及與近場臺間協調模式。

跑道方向主要取決於地面風之狀況，而塔臺最能掌握地面風速與風向。因此換跑道之程序係由塔臺啟動。塔臺依據未來一段時間內之氣象狀況，決定是否換跑道、何時換跑道。啟動後即由塔臺的協調員與近場臺進行協調執行換跑道的時機。

協調時會考慮地面以及空中之航情，以及氣象變化的狀況。大部份狀況下，由決定換跑道到真正執行之間均有 10 分鐘以上之時間。

塔臺與近場塔協調之內容，主要在決定：執行換跑道之前，地面還要放飛幾架，空中還要降落幾架。在可能的範圍內，雙方儘量切齊時間。

塔臺的主要考量在於如何引導地面航空器換跑道。通常均會儘量允許已經在跑道頭等待，以及已經很接近跑道頭的航空器由原跑道起飛。其餘滑行中的航空器則引導改變滑行路線。這種過程亦有可能導致起飛順序的改變。在空機則由近場臺以雷達引導繞到另一端降落。

如果天候變化很快，原跑道已經達不到標準，則可能會「立即換跑道」。此時空中已經進入五邊之航空器重飛，地面已經在跑道頭的航空器則先進入跑道，再由最近的出口離開進行迴轉。

在桃園國際機場，冬季幾乎都是使用 05 跑道，少有換跑道之狀況。夏季則換跑道機會較多。有時亦偶會受到上午海風下午陸風之影響而換跑道。

5. 風向風速對飛行之影響，以及桃園國際機場常見風場。

桃園國際機場有一較特殊之現象，即在約 3000 呎至 6000 呎之間會有「轉換風層」之現象。在該高度以下為東北風，而以上則為西南風。高空風與地面風之風速大約相同，多為 10 節至 15 節之間，但方向相反。這種現象對塔臺之影響並不大。

6. 停機位擁擠時，進場航空器之暫時停等處置作業模式。

佔用停機位狀況嚴重時，航空器降落後塔臺管制員會先引導到不會擋路的地方，通常暫停約 10 至 15 分鐘，之後再視其停機位之狀況再行引導。例：使用 05 跑道時，NC 滑行道之 N3 至 N5 間路段較少使用，因此由 05L 降落之航空器常用此區域停等。有時停等之航空器數量較多，亦有可能為配合停機位空出之進度，或為讓路予其他航空器，而需要停等之航空器繞行一段迴圈之後再回來停等。一般而言同一時間少有超過 10 架停等中之航空器。

7. 跨越跑道之模式。

實務上車輛或航空器於跨越跑道之前均會先停。跑道繁忙時經常需要等候較長之時間。

8. 起飛航空器脫離跑道時間之定義。

定義起飛航空器之地面投影離開跑道時。而航空器離地後並不可立刻轉向，而是必須先飛完跑道長度之後，再依規定（例如直飛 800 呎，或 4 哩等等）轉向。

9. 過夜停機位不足之問題。

目前 517 及 518 停機位由長榮航空停放過夜機、524 及 525 停機位由華航使用。另外過夜機位不足時，夜間關閉 R 滑行道，R3 到 R4 間之路段作為停放過夜機之用。有時亦利用 NP 滑行道 W2 至 WC 間之路段。

訪談對象：臺北近場管制塔臺

日期：107 年 4 月 20 日上午 9:00-10:08

地點：臺北近場管制塔臺

主要議題

1. 變更跑道方向時，如何引導空中航空器。

近場臺配合塔臺之通知而進行變換跑道。協調時塔臺會告知由哪一架開始使用另一端跑道起飛，以及在換跑道之前將由原跑道再放飛幾架。近場臺則依時間切齊之原則，配合調整在空機之飛行路線，並進行雷達引導。

2. 風向風速對飛行之影響，以及臺北終端管制區域常見風場。

桃園國際機場之高層長年為西南風，但地面風則在冬季常為東北風，二者方向相反。轉換風層之高度約在 4000 尺至 5000 呎之間。冬季風強時，高層風與地面風速有時均會達到 20 節或甚至 30 節。

由於高層長年為西南風，因此風向反轉之現象僅在使用 05 跑道時才會發生。

此種現象會使得前後航空器間之距離，於前機跨過轉換風層時，由 8 哩縮短為 5 哩甚至更低，待後機亦跨過轉換風層之後即穩定不再縮短。管制員均須注意此種現象，甚至進一步利用這種現象協助航管。

3. 機場決定變動停機位時，其影響與協調模式。

近場臺於在接到航空器時會查閱看其停機位，配合指派其使用之跑道。若之後再變換停機位則通常不再配合修正跑道指派，以免對駕駛造成干擾。

4. 末端滑行道之操作。

若在跑道末端佈設滑行道將可有效減少航空器跨越中央跑道之需求。但因為在空航空器不可飛越末端滑行道上之地面航空器，每次均僅可使用一側之末端滑行道。例如，若使用 05 跑道起降，則不可使用西側末端滑行道。若無末端滑行道則配合跨越跑道之需要，中央跑道之利用效率可能不高，相當於仍然使用二條跑道。但應可改善目前脫離跑道立刻擋到停機位後推之現象。

5. 其他。

航空器進入 FIR 之後，近場臺管制員即可由雷達看到，實務上亦會在交接管制權之前先大概瞭解航情，有需要時亦會與區管協調。

若航空器降落後因為有其他滑行中之航空器而無法由某些出口脫離跑道，塔臺會提醒駕駛應由其他出口脫離跑道。

訪談對象：松山機場管制臺

日期：107 年 4 月 16 日上午 09:00 至 10:00

地點：松山機場管制臺

訪談內容：

1. 慣用滑行路線。

松山機場滑行路線之選定，以使用 taxi way 為主，亦可用 taxi lane(N2)。主要考量在於二者之燈光、標示等標準不同。此外航空器若翼展較大，亦無法使用 taxi lane。

2. 風向風速對飛行之影響。

風速與風向對機場之影響主要在跑道之選擇。松山機場以使用 10 跑道為主，但若達到順風 10 節則改用 28 跑道。

3. 跑道方向變更實務，以及塔臺與相關單位間協調模式。

塔臺對當地風速風向最能掌握，因此換跑道基本上由塔臺啟動，再通知近場臺配合。空中的航空器由近場臺安排變更飛行路線，而地面之航空器則由塔臺安排。

松山機場有時會有風向風速快速變化的現象，例如夏季午後雷陣雨時。若變換跑道前置時間過短，進場航空器可能會重飛。若地面已有航空器在跑道頭，則可先暫停進場，引導待起飛的航空器利用跑道滑行到另一端，再重新安排起飛。

4. 停機位擁擠時，進場航空器之暫時停等處置作業模式。

松山機場停機位足供使用，並無這種狀況。

5. 航空器進入與脫離跑道位置之決定。

航空器可使用「交叉口起飛」，通常是由駕駛員請求，或由管制員要求並經過駕駛員同意。通常以駕駛員的意見為準。脫離跑道的位置由駕駛員決定，但管制員亦可引導。

6. 停機位使用原則及相關規定。

原則上國際線、大型機使用 Apron 1，這些停機位有空橋。而國內線則多使用 Apron 2 及 3。這些停機位沒有空橋，要用車輛接駁。

7. 航班概況、尖離峰分佈、國內國際航班分佈等。

離峰分佈大略與桃機類似，但松山機場有國內線，其航程多在 1 小時以內，因此有時航空器於離場後 2 小時會再回到松山機場。

8. 過夜機概況。

松山機場亦有過夜機，但數量不多，停機位均足夠使用。

9. 是否可取得一日航班及停機位指派、調整之紀錄。

應與機場航務單位聯繫。

10. 其他

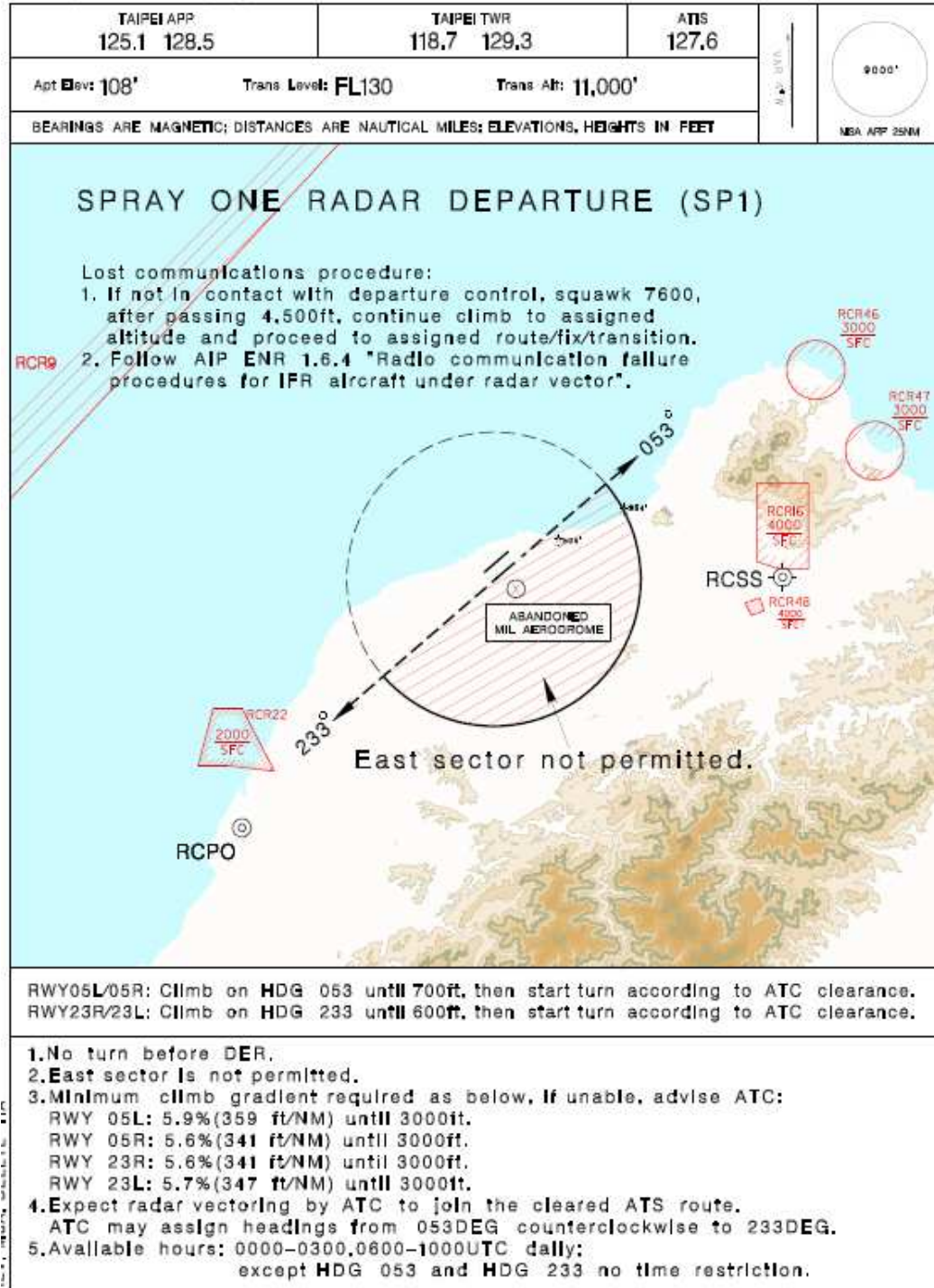
訪談當時機場使用 10 跑道。風速 13 節。等待起飛航空器數量最高為 3 架。

附錄四：起降程序資料

臺灣桃園國際機場

TAIPEI/TAIWAN TAOYUAN INTL AD

RCTP
SID

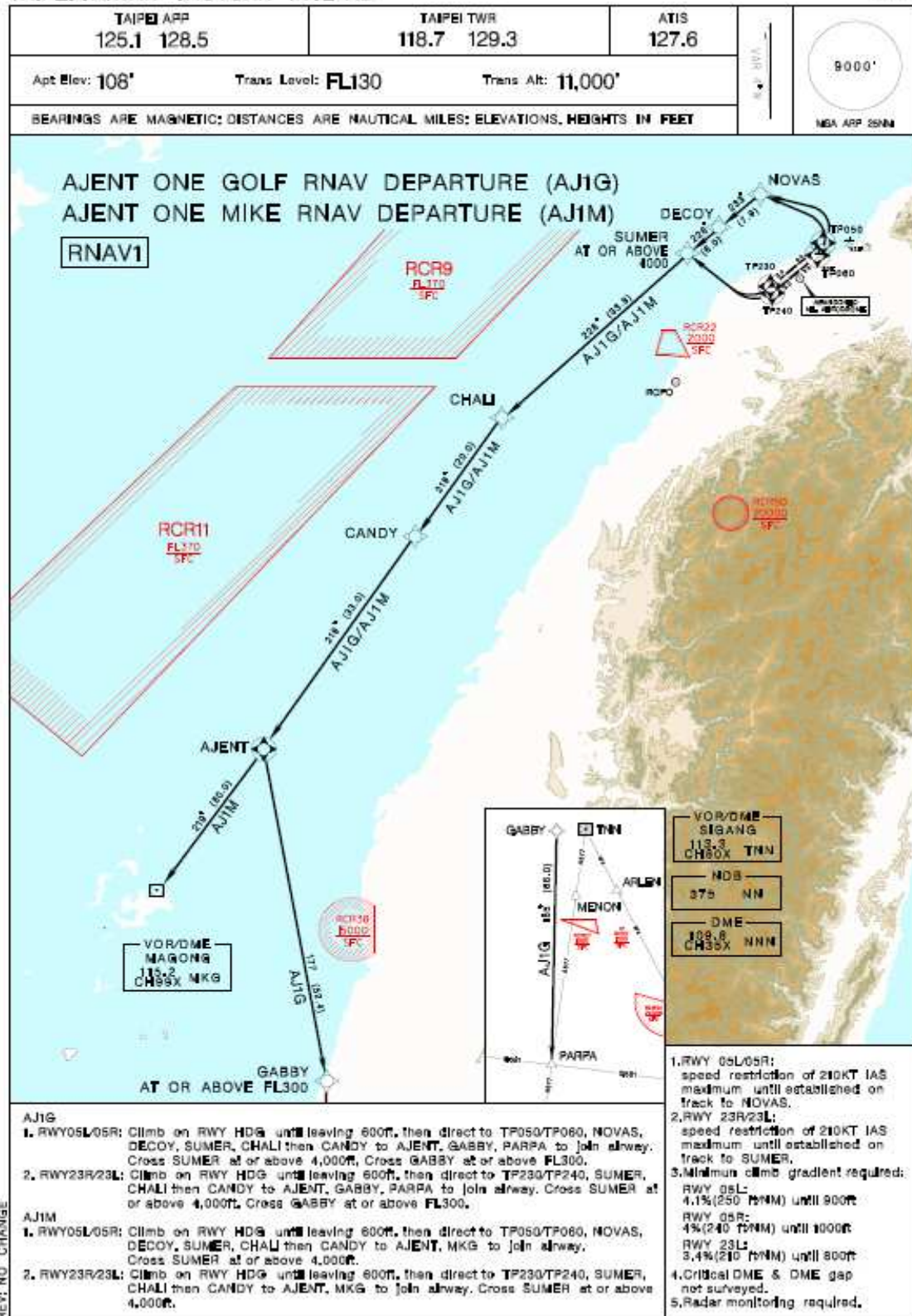


資料來源：[18]

附圖 4.1 RCTP 雷達引導離場程序 SP1 航圖

臺灣桃園國際機場
TAIPEI/TAIWAN TAOYUAN INTL AD

RCTP
SID

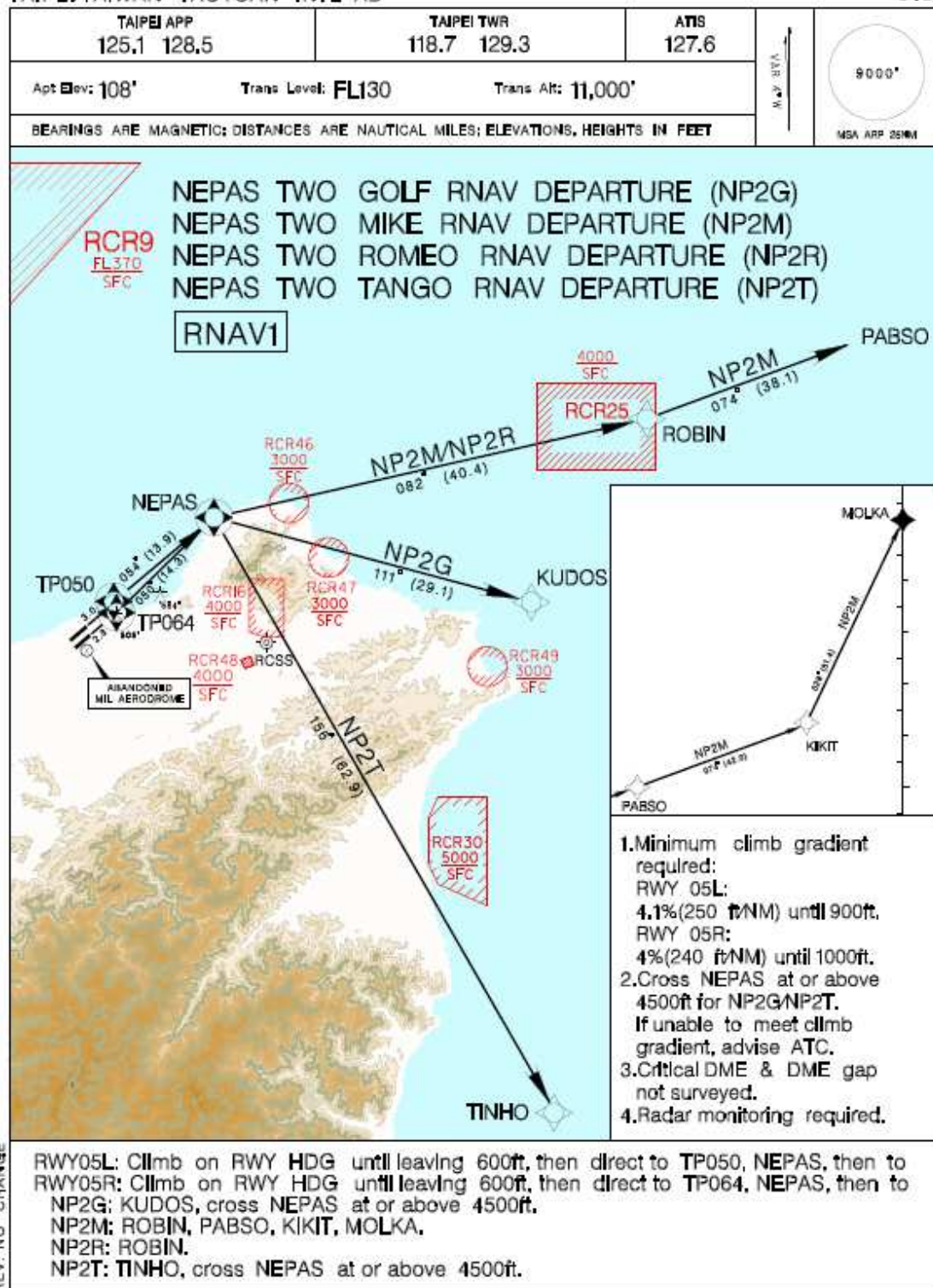


資料來源：[18]

附圖 4.1 RCTP 儀器離場程序 AJ1G/AJ1M 航圖

臺灣桃園國際機場
TAIPEI/TAIWAN TAOYUAN INTL AD

RCTP
SID

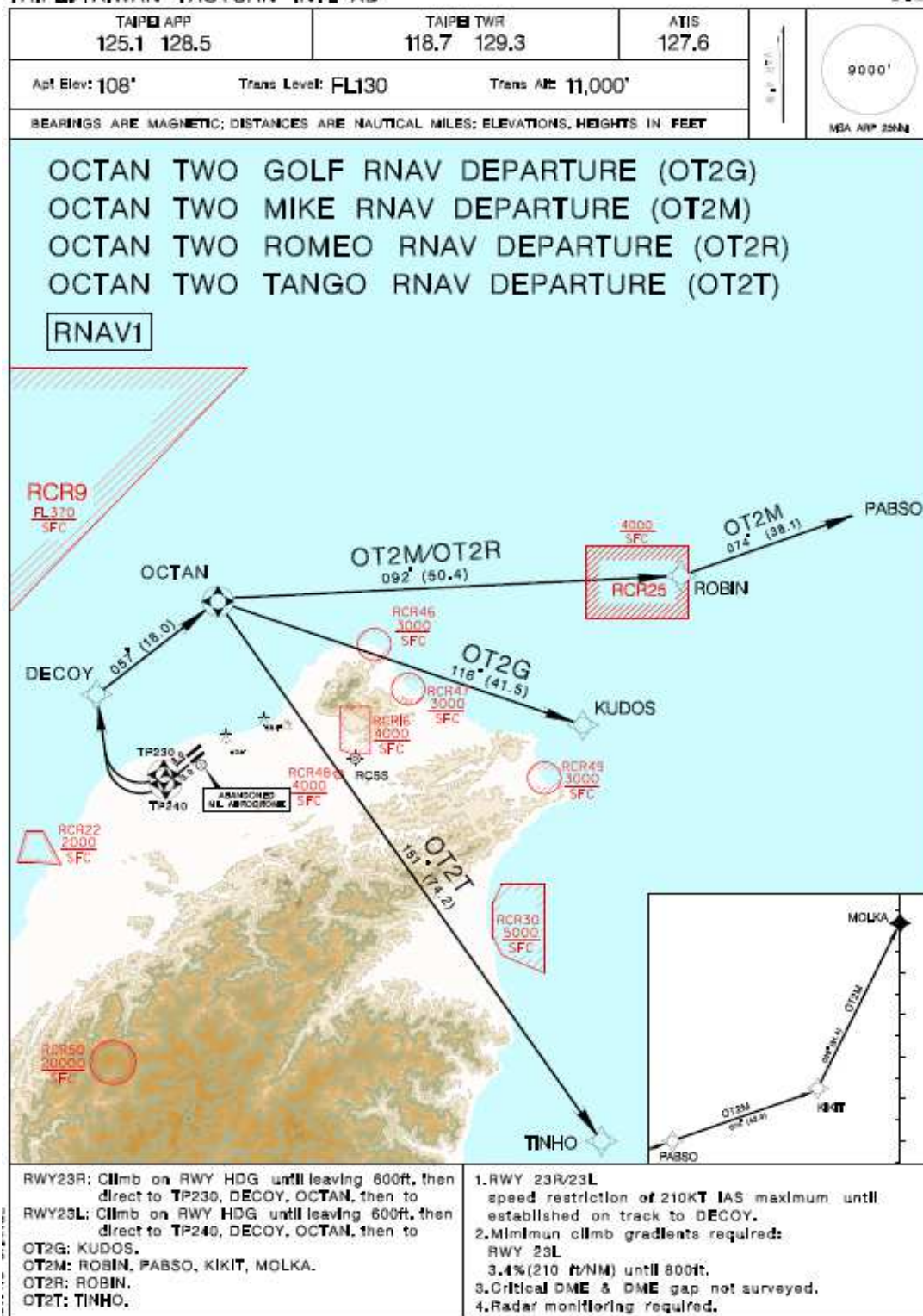


資料來源：[18]

附圖 4.2 RCTP 儀器離場程序 NP2G/NP2M/NP2R/NP2T 航圖

臺灣桃園國際機場
TAIPEI/TAIWAN TAOYUAN INTL AD

RCTP
SID

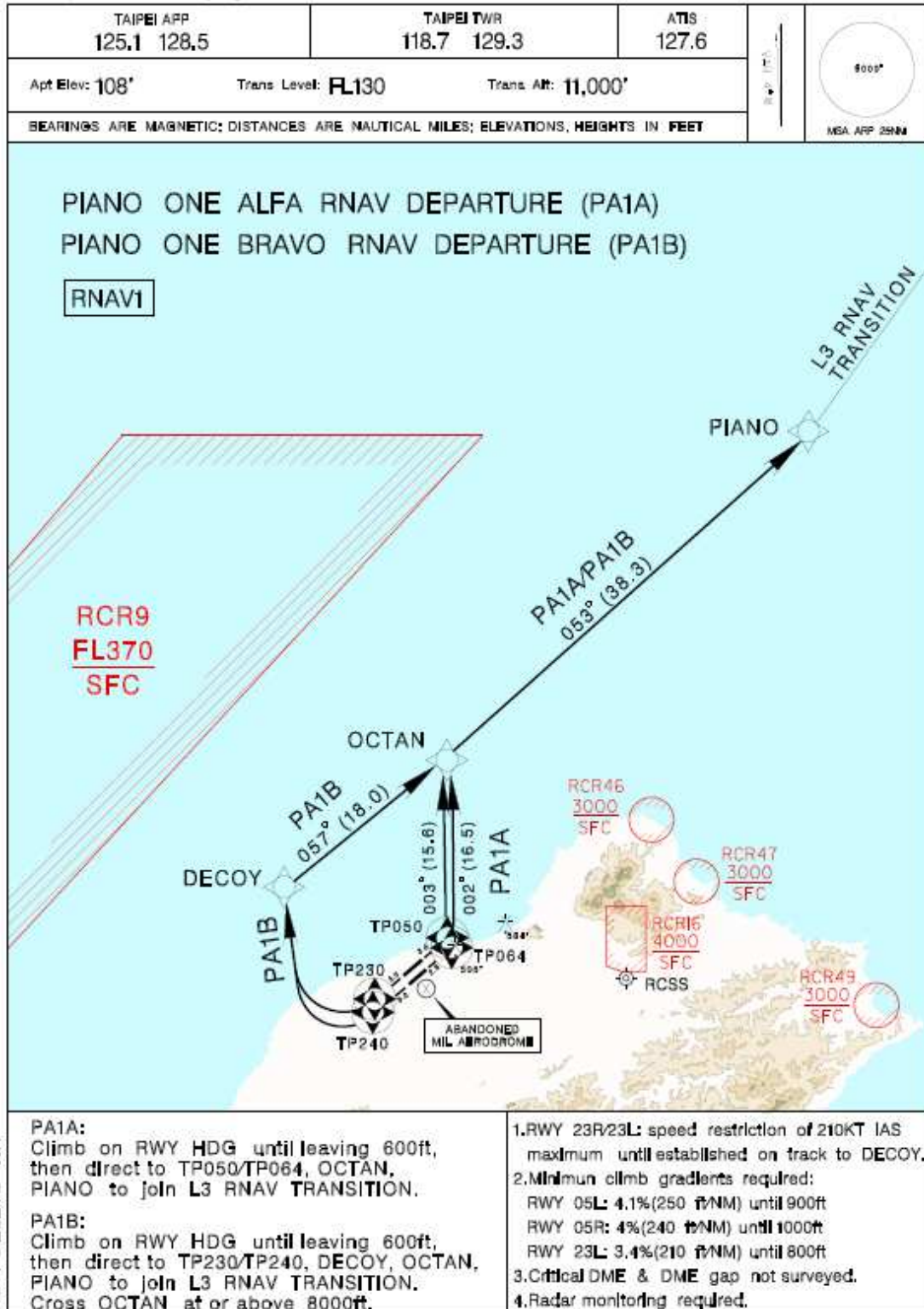


資料來源：[18]

附圖 4.3 RCTP 儀器離場程序 OT2G/OT2M/OT2R/OT2T 航圖

臺灣桃園國際機場
TAIPEI/TAIWAN TAOYUAN INTL AD

RCTP
SID



資料來源：[18]

附圖 4.4 RCTP 儀器離場程序 PA1A/PA1B 航圖

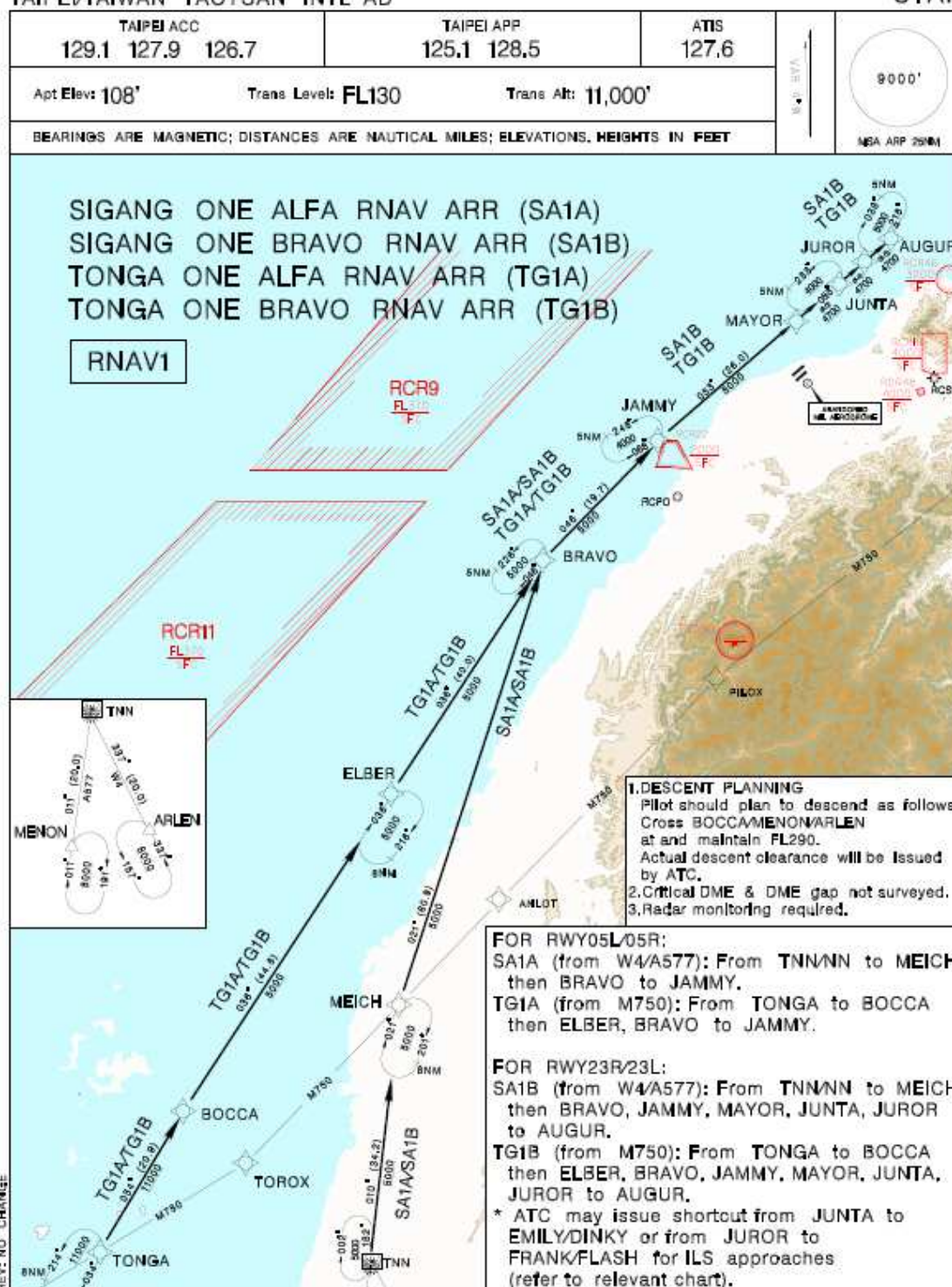
RCTP
STAR

資料來源：[18]

附圖 4.5 RCTP 儀器到場程序 BK1A/BK1B/DR1A/DR1B/GR1A/GR1B 航圖

臺灣桃園國際機場
TAIPEI/TAIWAN TAOYUAN INTL AD

RCTP
STAR



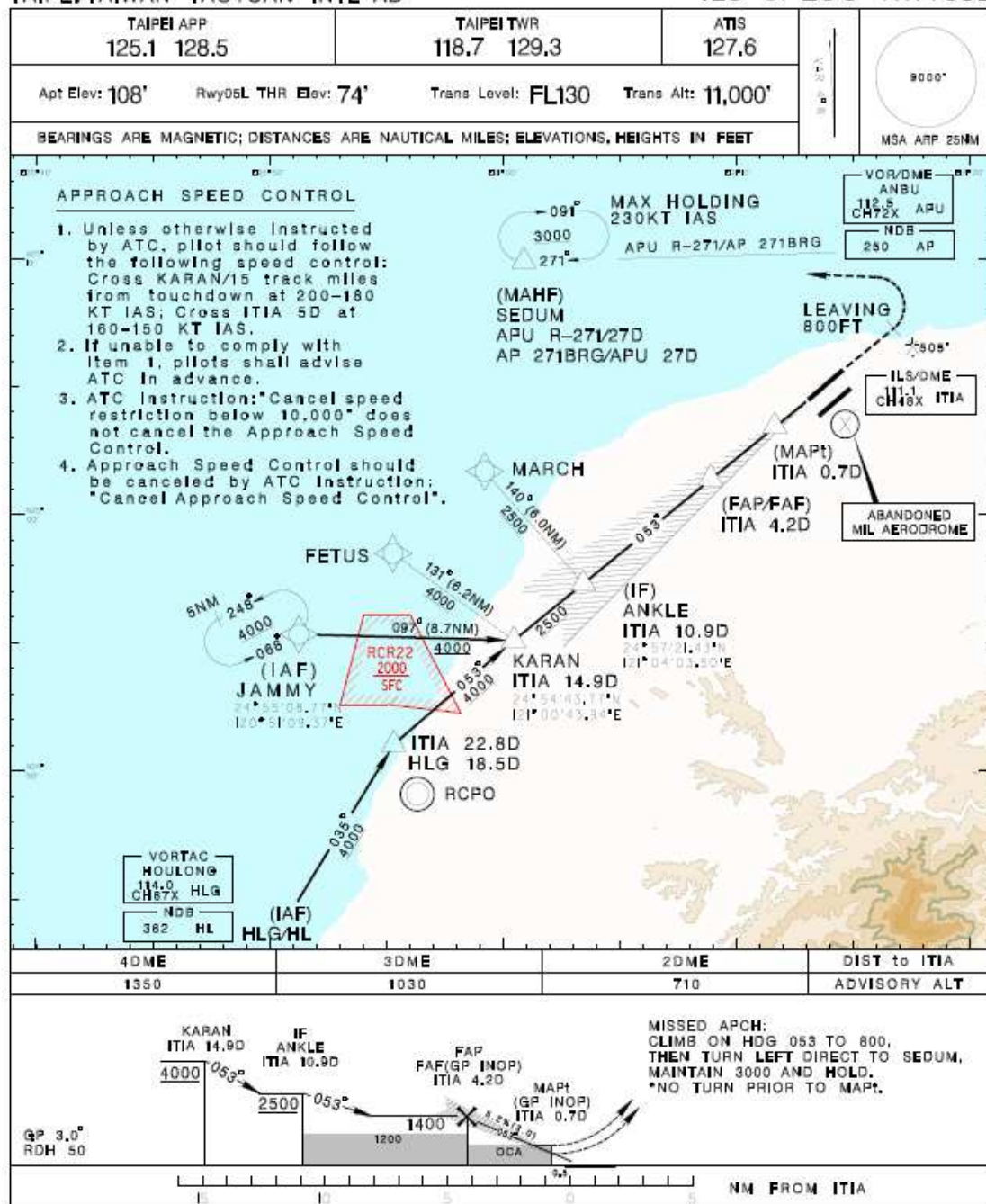
資料來源：[18]

附圖 4.6 RCTP 儀器到場程序 SA1A/SA1B/TG1A/TG1B 航圖

臺灣桃園國際機場

TAIPEI/TAIWAN TAOYUAN INTL AD

RCTP
ILS or LOC RWY05L

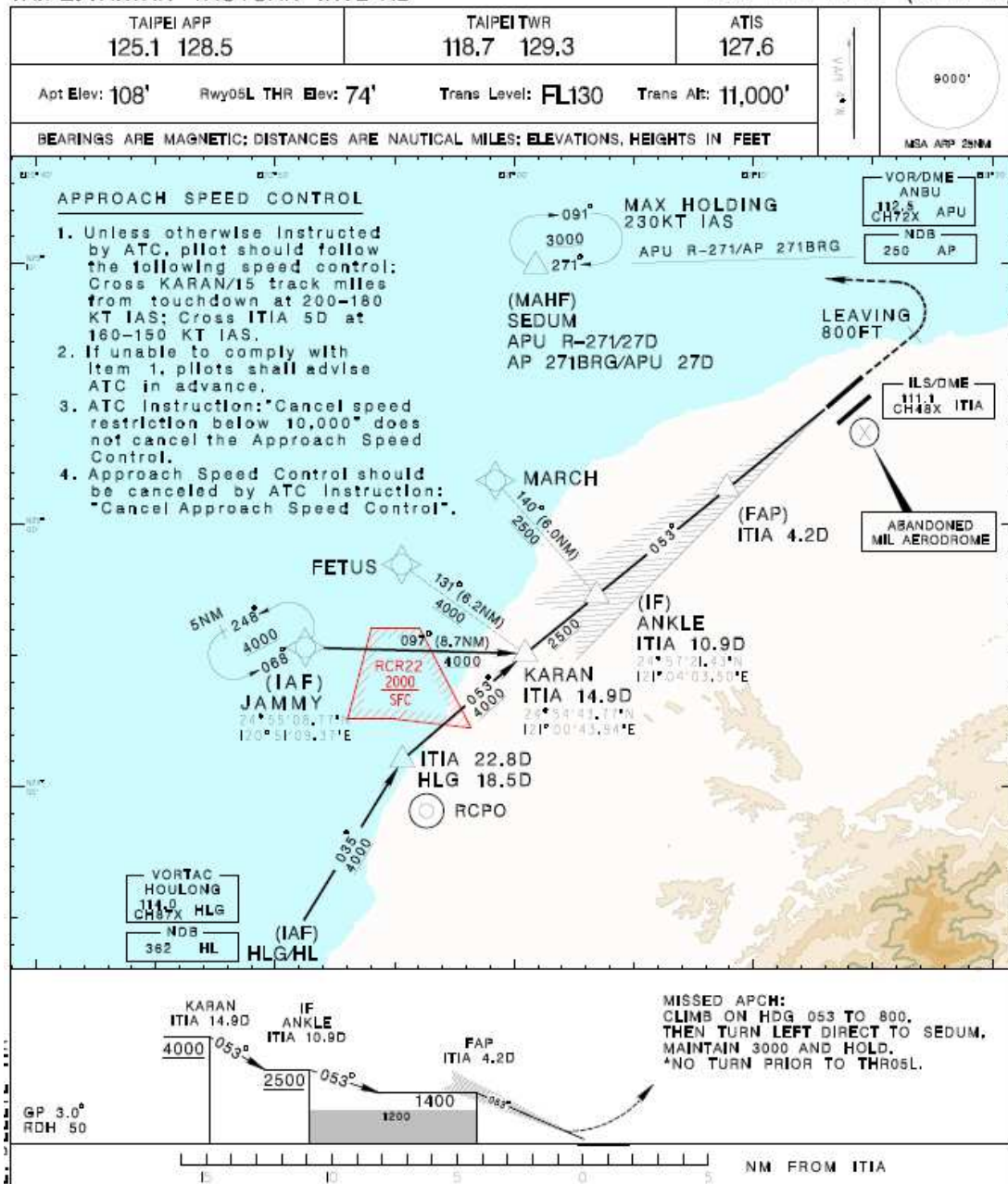


資料來源：[18]

附圖 4.7 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY05L 航圖

臺灣桃園國際機場
TAIPEI/TAIWAN TAOYUAN INTL AD

RCTP
ILS RWY05L (CAT II)



資料來源：[18]

附圖 4.8 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY05L(CAT II)航圖

ILS or LOC RWY05R RCTP

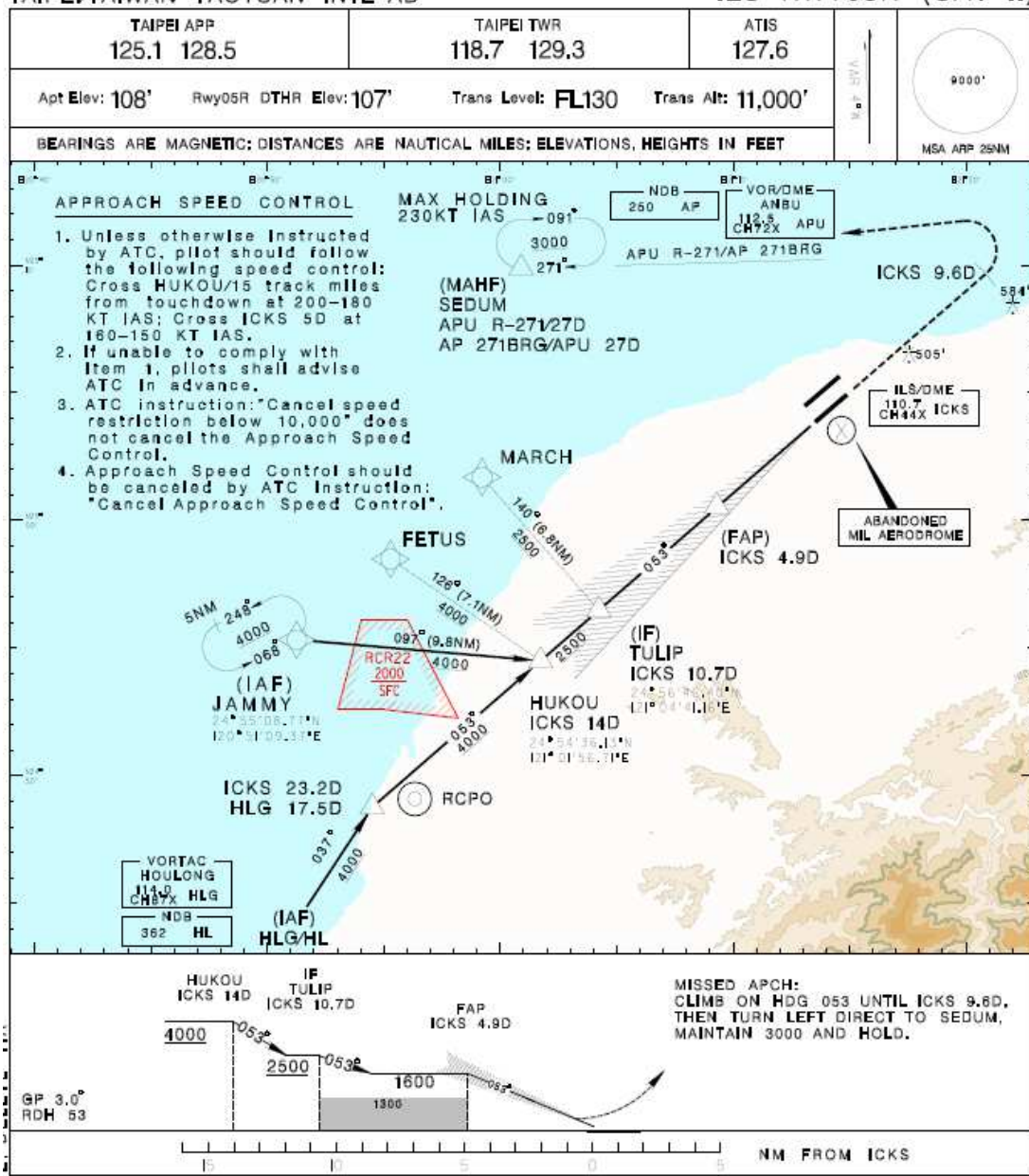


附圖 4.9 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY05R 航圖

臺灣桃園國際機場

TAIPEI/TAIWAN TAOYUAN INTL AD

RCTP
ILS RWY05R (CAT II)



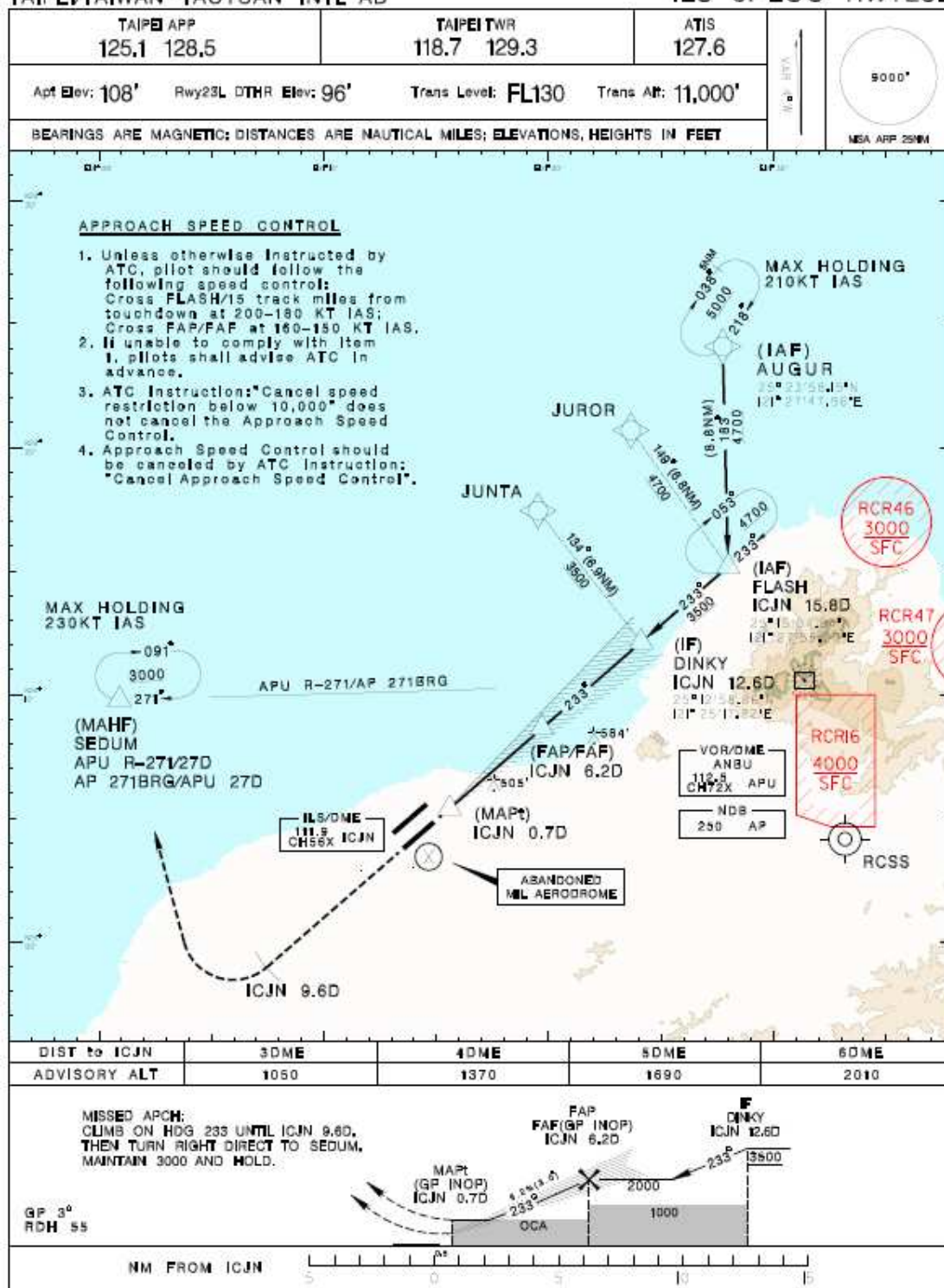
資料來源：[18]

附圖 4.10 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY05R(CAT II)航圖

臺灣桃園國際機場

TAIPEI/TAIWAN TAOYUAN INTL AD

RCTP
ILS or LOC RWY23L

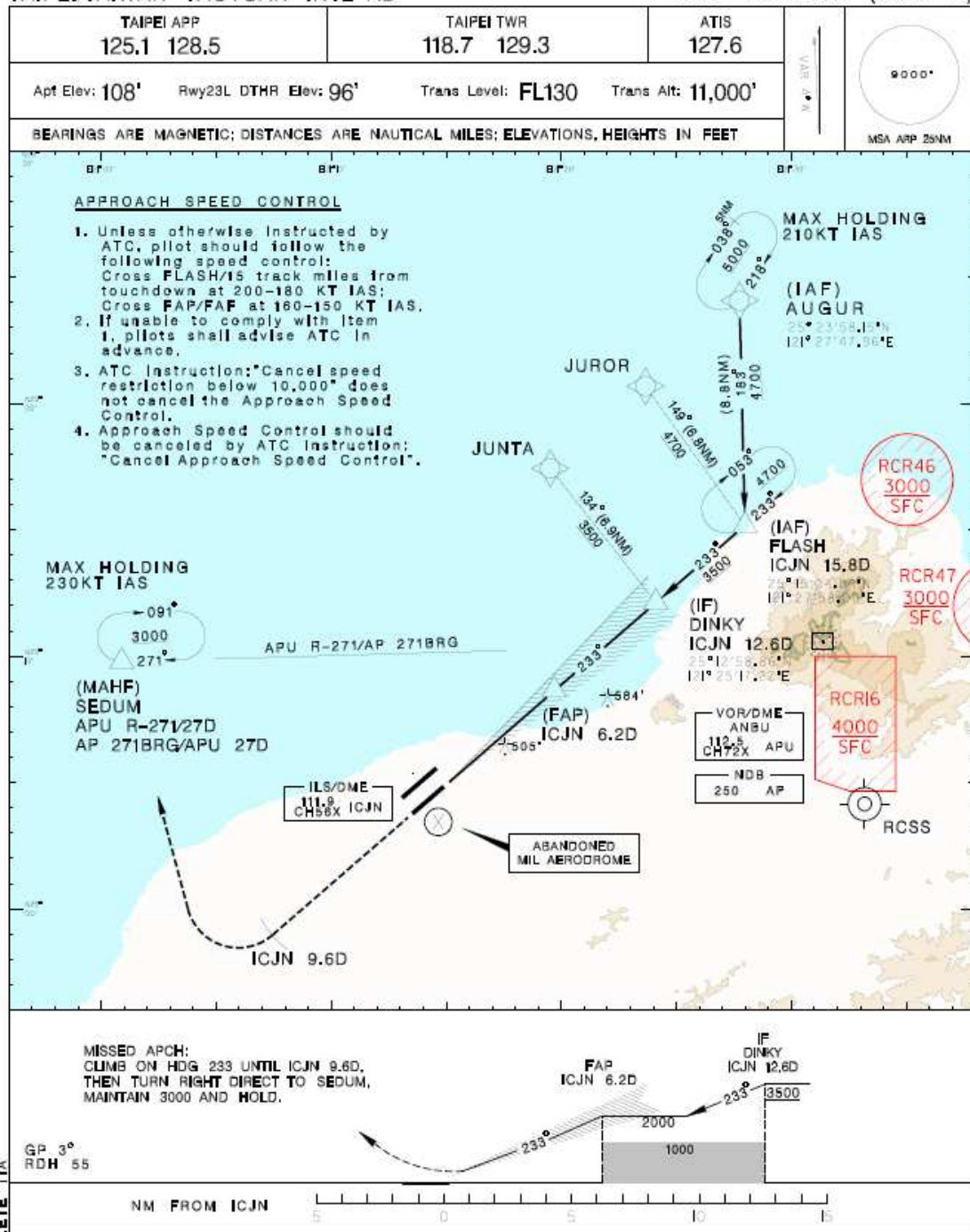


資料來源：[18]

附圖 4.11 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY23L 航圖

臺灣桃園國際機場
TAIPEI/TAIWAN TAOYUAN INTL AD

RCTP
ILS RWY23L (CAT II)

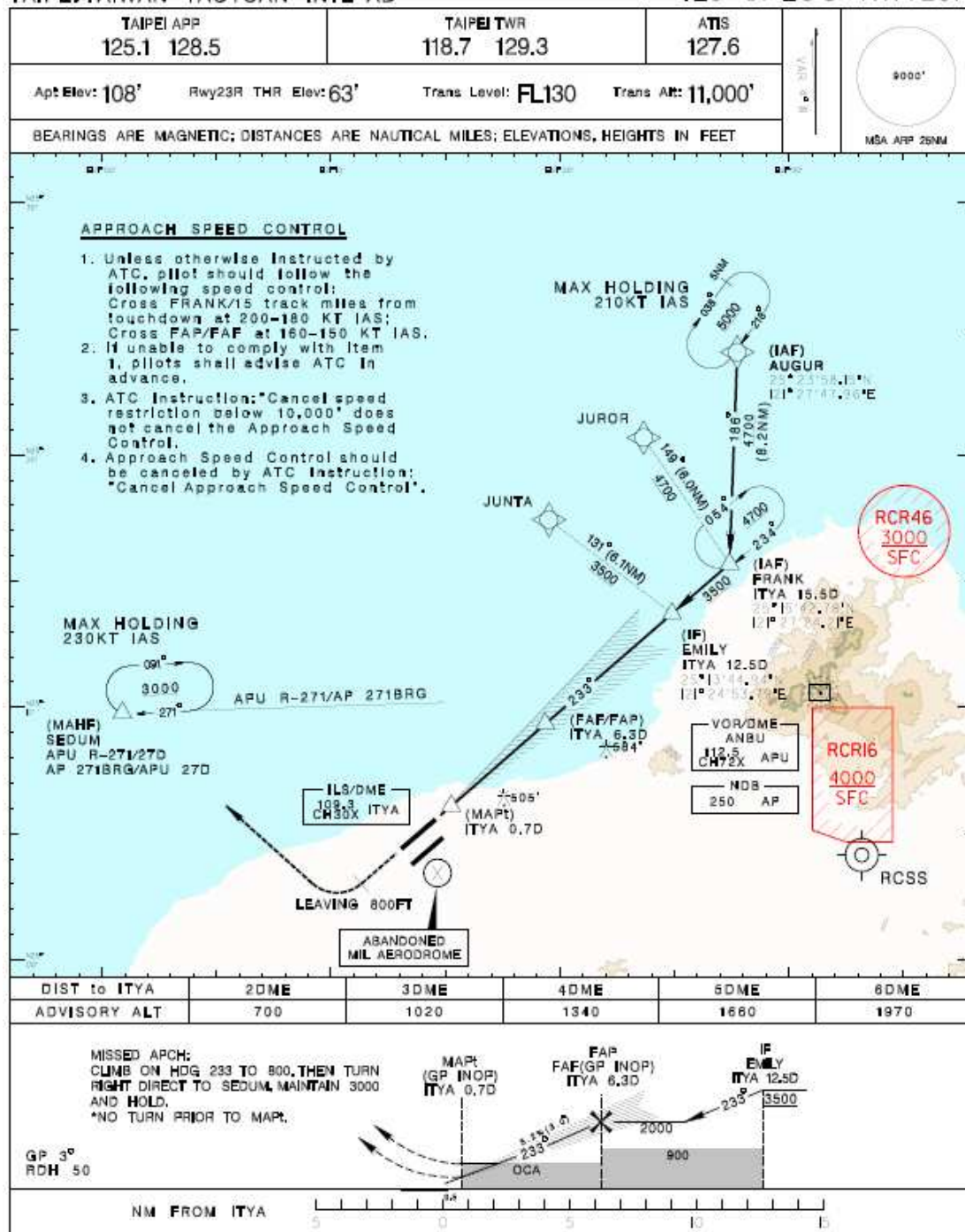


資料來源：[18]

附圖 4.12 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY23L(CAT II)航圖

臺灣桃園國際機場
TAIPEI/TAIWAN TAOYUAN INTL AD

RCTP
ILS or LOC RWY23R

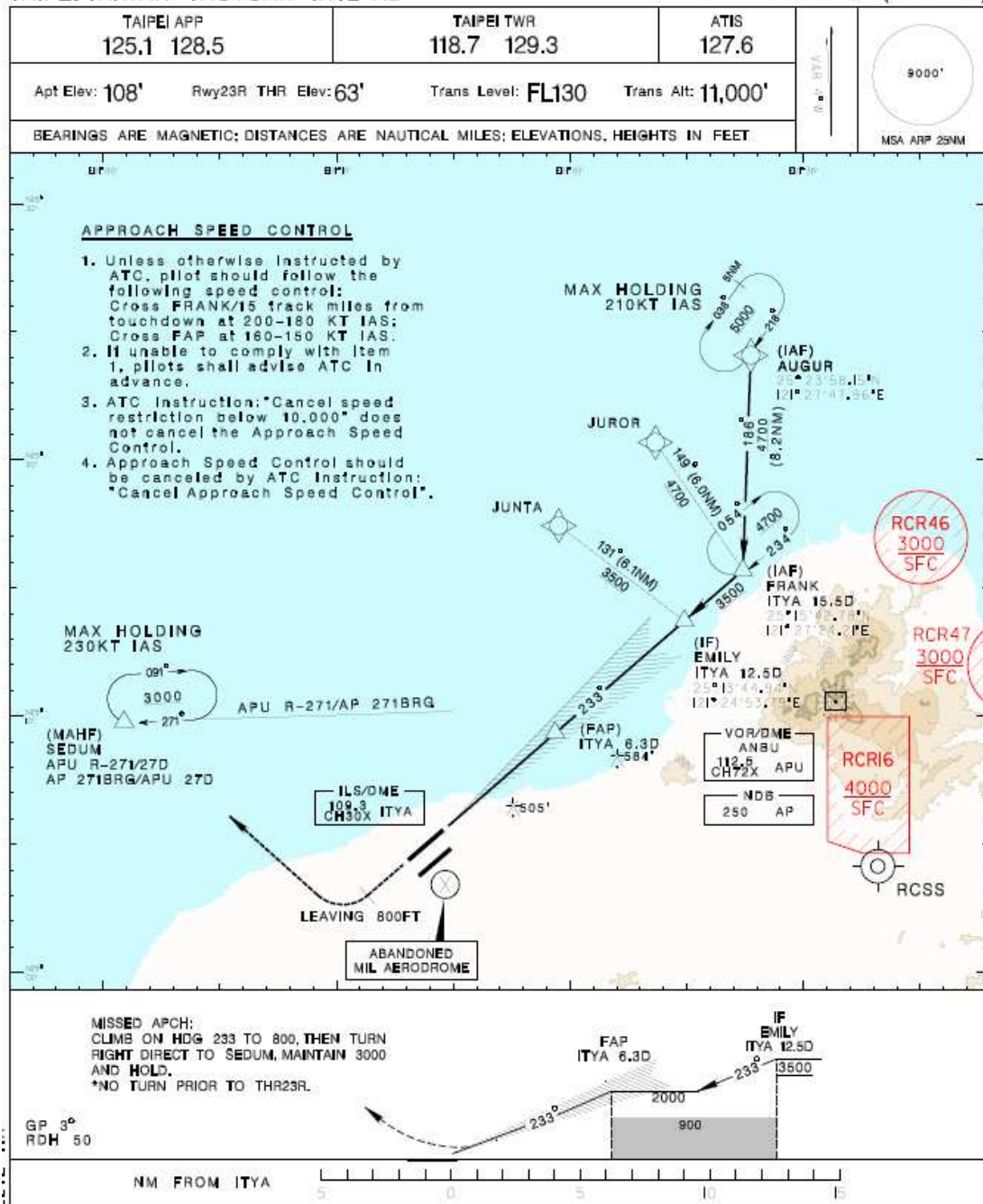


資料來源：[18]

附圖 4.13 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY23R 航圖

臺灣桃園國際機場
TAIPEI/TAIWAN TAOYUAN INTL AD

RCTP
ILS RWY23R (CAT II)

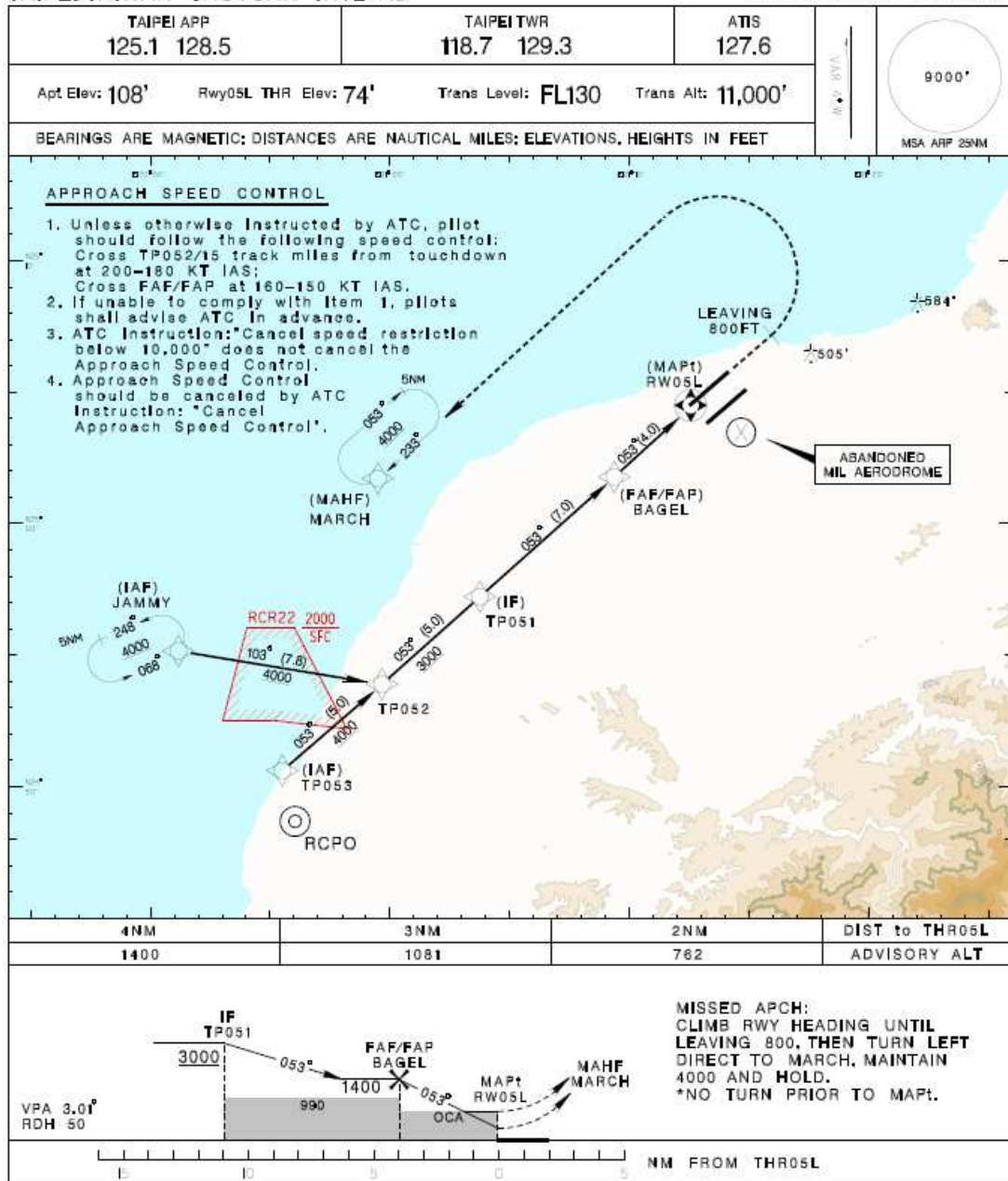


資料來源：[18]

附圖 4.14 RCTP 儀器進場程序 ILS RWY23R(CAT II)航圖

臺灣桃園國際機場
TAIPEI/TAIWAN TAOYUAN INTL AD

RCTP
RNAV(GNSS) RWY05L

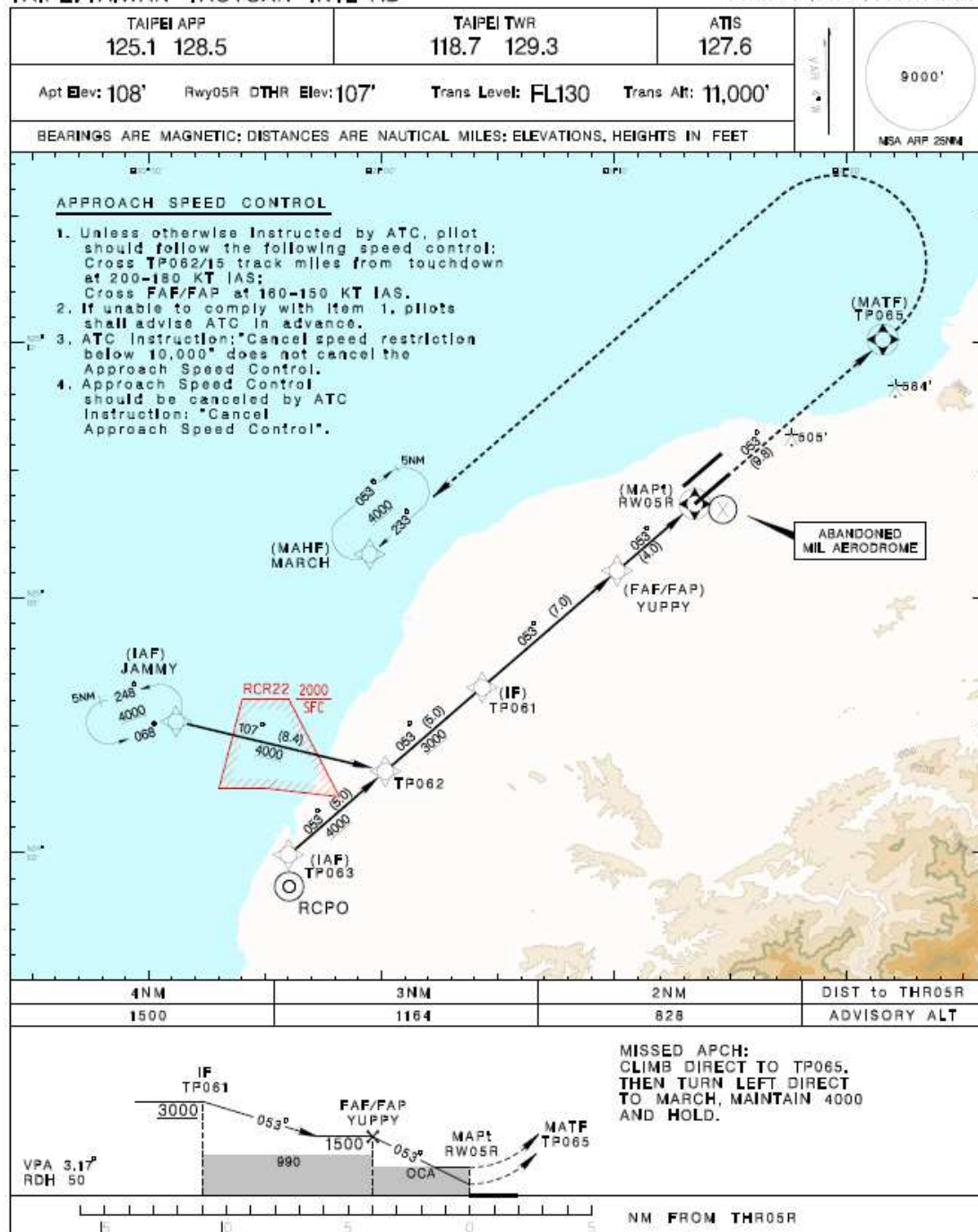


資料來源：[18]

附圖 4.15 RCTP 儀器進場程序 RNAV RWY05L 航圖

臺灣桃園國際機場
TAIPEI/TAIWAN TAOYUAN INTL AD

RCTP
RNAV (GNSS) RWY05R

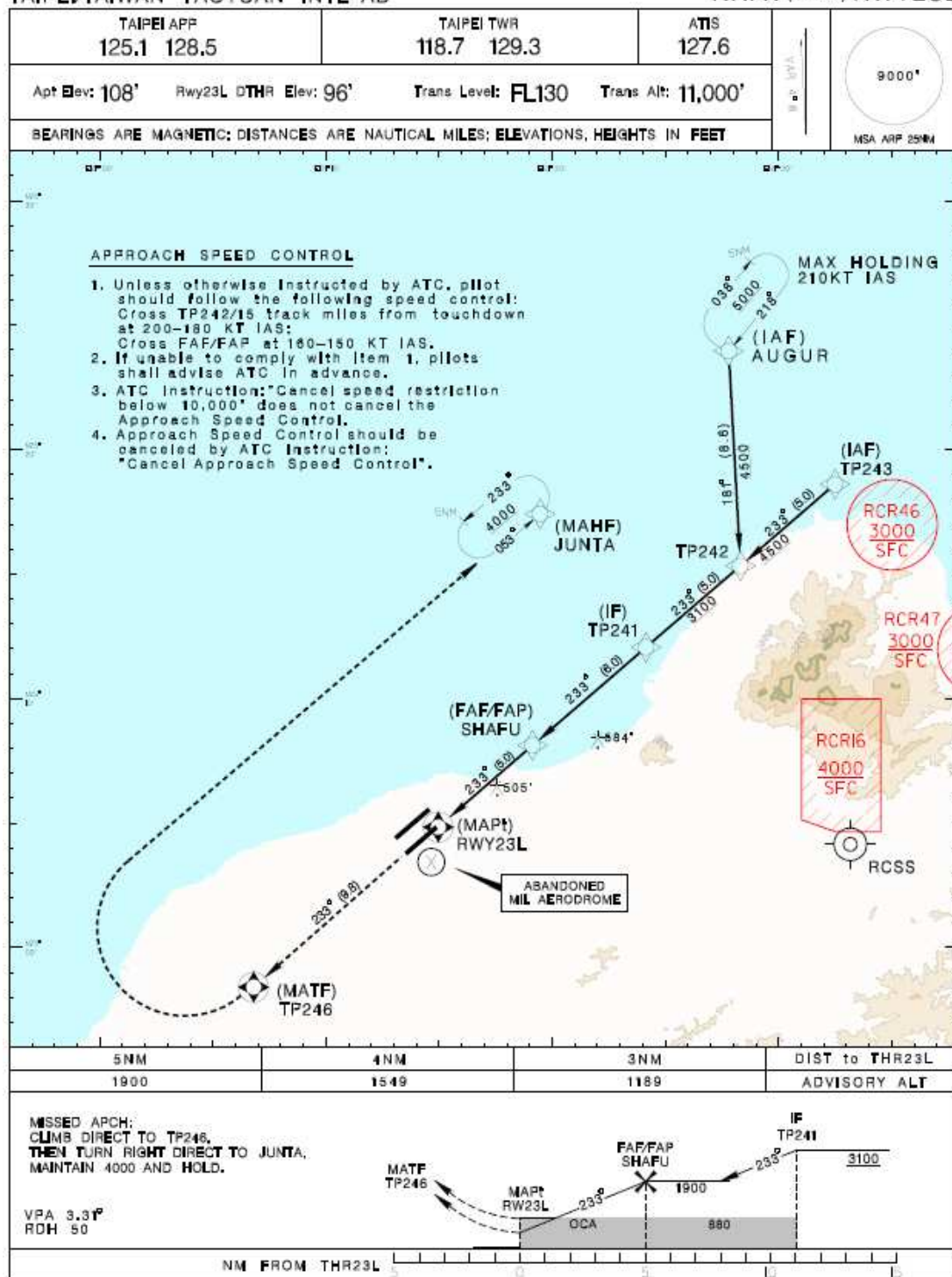


資料來源：[18]

附圖 4.16 RCTP 儀器進場程序 RNAV RWY05R 航圖

臺灣桃園國際機場
TAIPEI/TAIWAN TAOYUAN INTL AD

RCTP
RNAV (GNSS) RWY23L

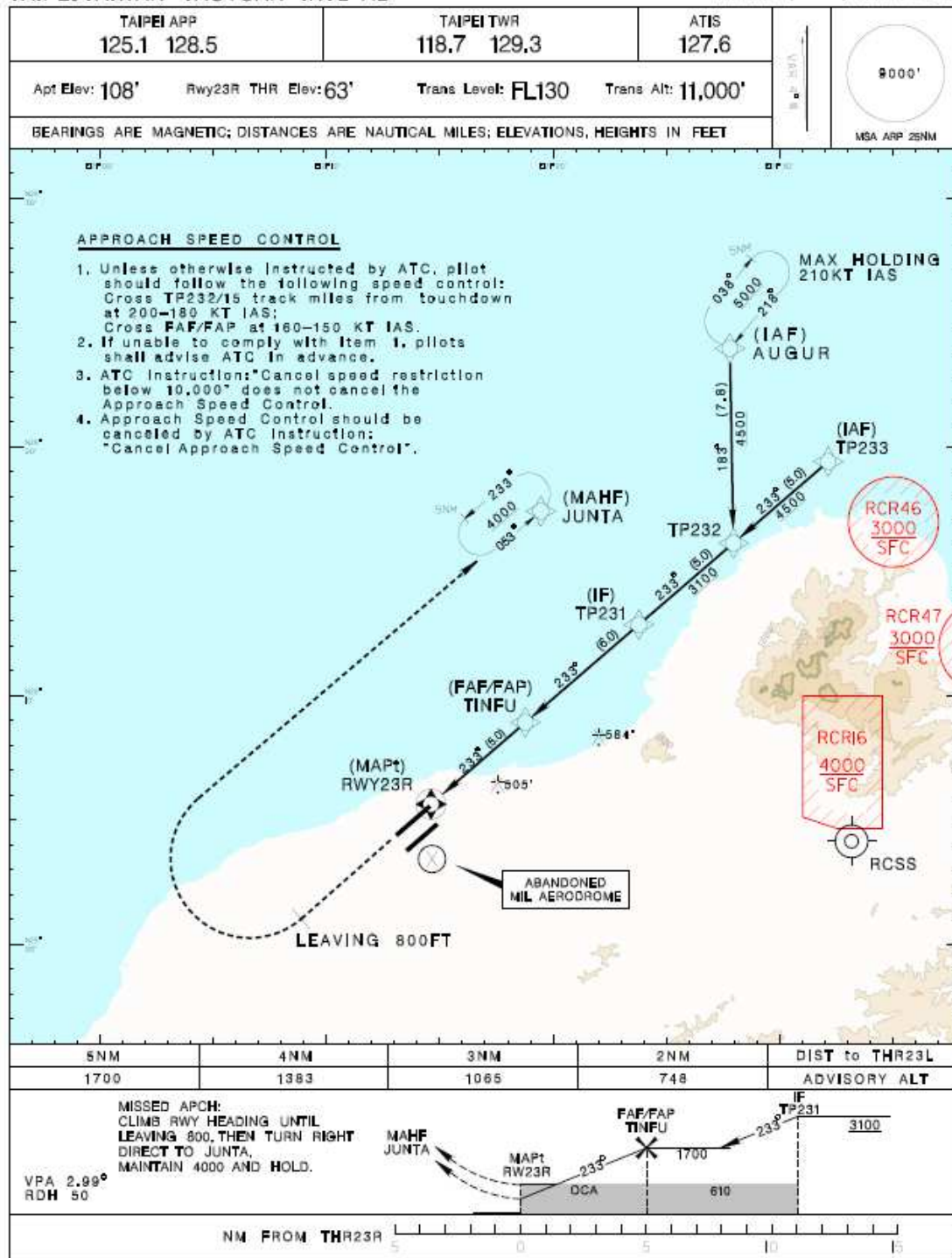


資料來源：[18]

附圖 4.17 RCTP 儀器進場程序 RNAV RWY23L 航圖

臺灣桃園國際機場
TAIPEI/TAIWAN TAOYUAN INTL AD

RCTP
RNAV (GNSS) RWY23R



資料來源：[18]

附圖 4.19 RCTP 儀器進場程序 RNAV RWY23R 航圖

附錄五：桃園國際機場航機停靠機坪原則

1. 客運停機坪:

1.1 原則依據航空公司報到櫃台安排停機位。

1.1.1 第一航廈進出航班原則安排 A 和 B 機坪，第二航廈進出航班原則安排 C 與 D 機坪。

1.1.2 跨航廈航班以安排 D3 至 A7 與 B7 至 C3，共 12 個停機位為原則。

1.2 當空橋定期及不定期維修或保養影響停機位時，由航務處統籌管理，並依規定發布飛航公告。

1.3 圓堡停機位(第一航廈:A1、A2、A3 及 A9，第二航廈: B1、B2、B3 及 B9):

1.3.1 A2 及 B2 停機位停放 A330 機型時，A3 及 B3 停機位可同時停放 A330 機型；A2 及 B2 停機位亦可停放 B747-400 機型，惟停放此機型時，相鄰停機位 A1、A3 及 B1、B3 僅停放 C 類(含)以下航機。

1.3.2 A3、B3 停機位不排 B747-400 機型(因與鄰近機坪衝突)。

1.3.3 A9 及 B9 停機位不排 A340-600 型(因其為圓堡停機位其縱深不足支應 A346 機型)。

1.4 廣體型 E 類航機(B747、B777、B787、A330、A340、A350): 優先停放 A4-A9，B4-B9、C1-C9 及 D1-D2、D4-D9 等停機位。

1.5 在空橋汰換完成前 MD 類航機禁止停放 A1、B1 及 D1-D10 停機位。

1.6 B787 機型不安排 A1-A3、A7、A9、B1-B3、D3、D10、C5 及 C10 停機位。

1.7 A380 機型停機位作業限制:

1.7.1 營運航機安排 C2 停機位。

1.7.2 C2 停機位安排 A380 機型離場時，C3 停機位僅安排到場 C 類(含)以下機型；C1 停機位正常運作。

1.7.3 使用 C3 備用停機位時，C2 及 C4 停機位限制 C 類(含)以下機型

停放，且 C2 停機位僅安排到場航機。

1.8 B747-8 營運客機安排 A5-A8 停機位。

附表 5-1

客運停機坪		
停機位編號	最大機型	備註
A1	A300	C 類(含)航機以下，禁停 MD 機型
A2	B744	C 類航機為主 *若停 B744 機型則 A3 最大停 C 類機型 禁停 B787 機型
A3	A330	C 類航機為主
A4	B77W	
A5	B748	
A6	B748	
A7	B748	禁停 B787
A8	B748	
A9	B77W	禁停 ERJ、MD、A346 機型

附表 5-2

客運停機坪		
停機位編號	最大機型	備註
B1	A300	C 類(含)航機以下，禁停 MD 機型 禁停 B787 機型
B2	B744	C 類航機為主 *若停 B744 機型則 A3 最大停 C 類機型 禁停 B787 機型
B3	A330	C 類航機為主 禁停 B787 機型 與鄰近機坪衝突，禁停 B744 機型
B4	B77W	
B5	B77W	
B6	B77W	

附表 5-2

客運停機坪		
停機位編號	最大機型	備註
B7	B77W	
B8	B77W	
B9	B77W	因縱深不足禁停 A346 機型

附表 5-3

客運停機坪		
停機位編號	最大機型	備註
C1	B77W	禁停 MD
C2	A380	禁停 MD A380 使用 C3 備用停機位時，僅限 C 類(含)以下機型停放，且 C2 停機位僅安排到場航機
C3	A380	C2 有 A380 機型停駐時，僅安排單獨到場 C 類(含)以下機型。
C4	B77W	禁停 MD A380 機型使用 C3 備用停機位時，僅限 C 類(含)以下機型停放
C5	B77W	禁停 B787 機型
C6	B77W	禁停 MD
C7	B77W	禁停 MD
C8	B77W	禁停 MD
C9	B77W	禁停 MD
C10	B77W	禁停 MD 禁停 B787 機型

附表 5-4

客運停機坪		
停機位編號	最大機型	備註
D1	B77W	禁停 MD 機型
D2	B77W	禁停 MD 機型
D3	B763	C 類航機為主

附表 5-4

客運停機坪		
停機位編號	最大機型	備註
		禁停 B787 機型 禁停 MD 機型
D4	B77W	禁停 MD 機型
D5	B77W	禁停 MD 機型
D6	A380	禁停 MD 機型
D7	B77W	禁停 MD 機型
D8	B77W	禁停 MD 機型
D9	B77W	禁停 MD 機型
D10	B763	D 類航機為主 禁停 B787 機型 禁停 MD 機型

2. 遠端停機坪之安排:

2.1 601 及 602 停機位限停 A330(含)以下航機。

2.2 609、610 及 615 停機位限停 D 類(含)以下航機。

2.3 603-608 及 611-614 停機位可停放各型航機。

2.4 A380 機型使用 607 為技(轉)降停機位時,608 僅安排 C 類(含)以下機型, 606 停機位不受影響。

附表 5-5

遠端停機坪		
停機位編號	最大機型	備註
601	A330	
602	A330	
603	B77W	
604	B77W	
605	B77W	
606	B77W	
607	A380	A380 機型技降停機位

附表 5-5

遠端停機坪		
停機位編號	最大機型	備註
608	B77W	607 有 A380 機型停駐時，僅安排 B738(含)以下機型
609	B763	限停 D 類(含)以下航機
610	B763	限停 D 類(含)以下航機
611	B77W	
612	B77W	
613	B77W	
614	B77W	
615	B763	限停 D 類(含)以下航機

3. 貨運停機坪:

3.1 506、508、510 及 512 停機位僅安排 D 類(含)以下機型。

3.2 503 及 504 停機位加油栓口與 B767 航機加油口距離太短不易操作，故不排放 B767 航機。

3.3 可停靠 B747-8F 機型停機位為 507、513、515 及東北角 516 至 525 停機位。

3.3.1 B748F 機型停放於 507 停機位時，506 與 508 停機位間裝備區僅可放空盤車，由航機所屬航空公司協調之。

3.3.2 B748F 機型載運精密儀器貨物停放 507 停機位時，506 停機位淨空，作業時間以 2 小時為限。

3.4 航機須開鼻頭進行裝(卸)載作業以 514 及 515 停機位為優先。

附表 5-6

貨運停機坪		
停機位編號	最大機型	備註
501	B744	
502	B744	
503	B744	加油栓口與 B767 航機加油口距離太短不易操作，故不排放 B767 航機
504	B744	加油栓口與 B767 航機加油口距離太短不易操作，故不排放 B767 航機
505	B744	
506	MD11	僅安排 D 類(含)以下機型
507	B748	B748 停放期間，506 及 508 間裝備區限放空盤車。
508	MD11	僅安排 D 類(含)以下機型
509	B744	
510	MD11	僅安排 D 類(含)以下機型
511	B744	
512	MD11	僅安排 D 類(含)以下機型
513	B748	
514	B744	可開鼻頭
515	B748	可開鼻頭
516	B748	可開鼻頭
517	B748	可開鼻頭
518	B748	可開鼻頭
519	B748	可開鼻頭
520	B748	可開鼻頭
521	B748	可開鼻頭
522	A380	可開鼻頭 臺北飛航情報區飛航指南 ^[18] 目前最大機型為 B748，將於下次修訂時變更為 A380
523	A380	可開鼻頭
524	A380	可開鼻頭
525	B748	可開鼻頭

4. 客機地面作業時間:

附表 5-7

	單獨離場航班	單獨到場航班	前後航班隔離
E 類以上航機	70-90 分鐘	60 分鐘	15 分鐘以上
D 類以下航機	60 分鐘	60 分鐘	15 分鐘以上

5. 貨機地面作業時間:

附表 5-8

	單獨離場航班	單獨到場航班	前後航班隔離
貨機	120 分鐘	120 分鐘	60 分鐘以上

6. 夜駐機停機坪

- 6.1 兩架 C 類航機同時停放於遠端過夜接駁坪作業時，因航機左右翼加油孔之限制，進行加油作業時，仍須參照遵守油公司之相關作業程序。
- 6.2 兩架 C 類航機停放於同一停機位時，僅限拖車拖進、拖出機坪，航機不得自滑進停機位。
- 6.3 航機進、出 801 至 808 停機位時，須由航機拖車執行拖曳作業，航機不得自滑進入停機位。

附表 5-9

夜駐機停機坪		
停機位編號	最大機型	備註
603	B77W	可同時停兩架 C 類
604	B77W	可同時停兩架 C 類
605	B77W	可同時停兩架 C 類
606	B77W	可同時停兩架 C 類
607	A380	可同時停兩架 C 類
608	B77W	可同時停兩架 C 類
611	B77W	可同時停兩架 C 類
612	B77W	可同時停兩架 C 類
613	B77W	可同時停兩架 C 類

附表 5-9

夜駐機停機坪		
停機位編號	最大機型	備註
614	B77W	可同時停兩架 C 類
停機位編號	最大機型	備註
516	B748	可同時停兩架 C 類
517	B748	可同時停兩架 C 類
518	B748	可同時停兩架 C 類
519	B748	可同時停兩架 C 類
520	B748	可同時停兩架 C 類
521	B748	可同時停兩架 C 類
522	A380	可同時停兩架 C 類
523	A380	可同時停兩架 C 類
524	A380	可同時停兩架 C 類
停機位編號	最大機型	備註
801	B744	802 有 A380 機型停駐時，僅安排 C 類(含)以下機型。
802	A380	A380 過夜停機位
803	B744	802 有 A380 機型停駐時，僅安排 C 類(含)以下機型。
804	B744	
805	B744	
806	B744	
807	B744	
808	B744	亦可同時停兩架 C 類

備註:

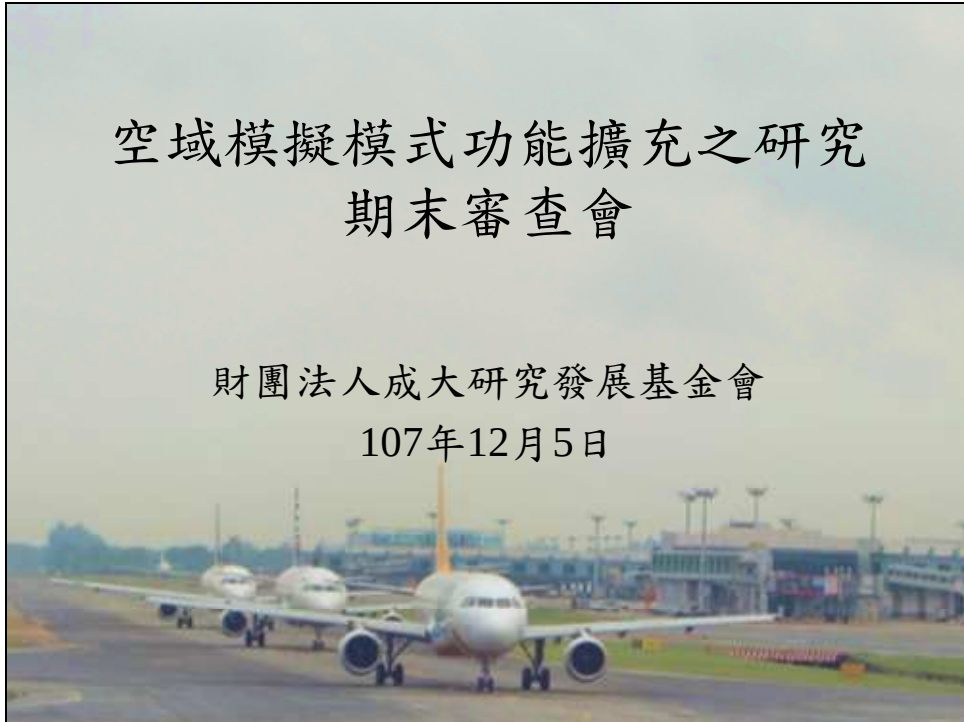
1. 桃園國際機場停機坪最大機型限制請參照 Taipei FIR AIP。
2. 桃園國際機場持續進行機坪空橋汰換計畫，航機停靠機坪原則將有所變動，以公告為主。

附錄六：期末簡報

空域模擬模式功能擴充之研究 期末審查會

財團法人成大研究發展基金會

107年12月5日



簡報大綱

一、計畫背景

二、文獻回顧

三、模擬模式

四、模擬軟體

五、確認與驗證

六、主題模擬

七、結論建議與後續研究

附錄

一、計畫背景

1.1 計畫緣起

- 我國亟需專門工具進行航空分析與規劃
- 我國具有自主研發之能力

1.2 計畫目的

- 以前期研究成果及模擬模式雛型為基礎，納入松山機場、桃園機場新增第三跑道、持續擴充模擬功能、改善及優化人機介面
- 模擬空域航機的運作，提升我國自主分析民航空域容量之研究能量

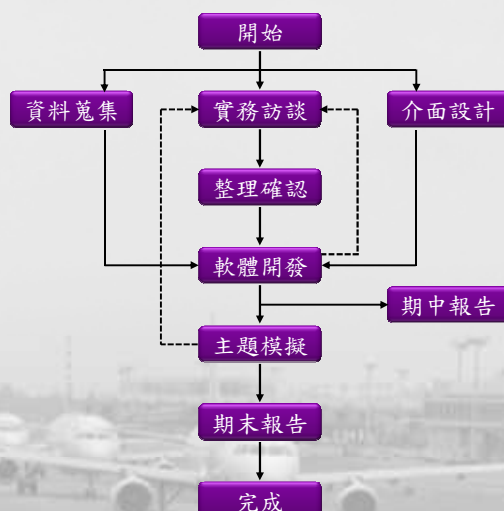
1.3 計畫重要性

- 開發較前期更為成熟之模擬軟體，使我國進一步掌握核心技術
- 利用所開發之軟體，進行桃園國際機場新增第三跑道後對機場整體運作之影響、臺北松山機場航班加入桃園國際機場現有航班中對桃園國際機場容量及運作之影響與變化、以及桃園國際機場與松山機場間空域衝突狀況之模擬分析
- 這些分析結果對政策形成應具有相當重要之參考價值

1.4 工作流程

3

1.4 工作流程



4

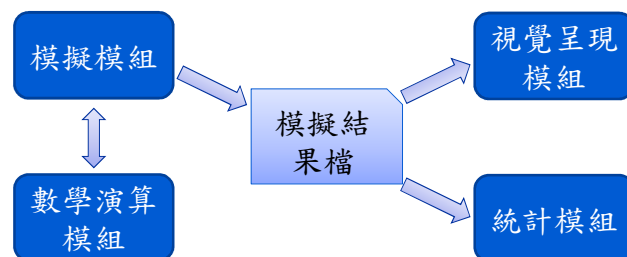
二、文獻回顧

2.1 前期成果

- 運研所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」
- 確立模擬模式應以管制員及停機位指派人員之決策思考為實際模擬對象
- 開發具有動畫視覺呈現功能之離型軟體。其動畫功能有助使用者有效觀察模擬所產生之大量數據，從而確認模擬模式正確的部份，並指認不足之部份

前期核心技術

- 空域網路演算法
- 地面網路演算法
- 停機位指派演算法

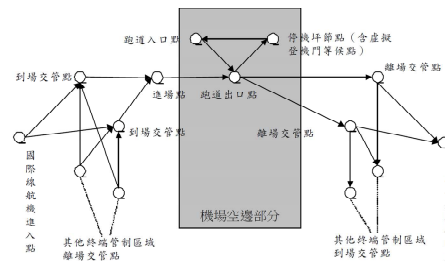
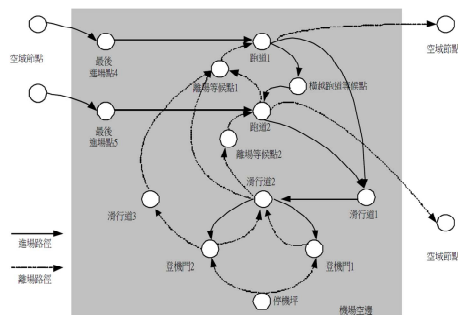


5

二、文獻回顧

2.2 文獻

- 國內文獻以碩士論文居多
- 使用套裝軟體SIMMOD
- 國內開發ANS模擬模式



2.3 商用軟體

- SIMMOD
- TAAM

2.4 主要參考資料

- 臺北飛航情報區飛航指南
- 飛航管理程序

6

三、模擬模式

3.1 概述

3.2 事件模擬

3.3 角色設計

3.4 決策之形成

3.5 重要基本假設

3.6 空域模型

3.7 地面模型

3.8 停機位分配模型

7

3.1 模擬模式概述_(1/2)

模擬模式之擴充

- 空域模型：提高模擬效率、使模擬之近場臺管制員能夠在航空器出現在交管點之前適當時間即得知該航空器即將抵達
- 地面模型：明確切割「滑行路線之決定」與「航空器之移動」，以更細膩模擬：塔臺管制員引導航空器之滑行路線，駕駛員自主決定滑行速率以及前方遇到障礙時之停等
- 停機位分配模型：建立更精準描述航空器使用停機位之限制與規則之能力

模擬軟體架構擴充

- 加入使用者操作控制之機制，但不允許以角色扮演方式參與模擬
- 以資料庫作為各模組間之資訊交換中心，取代前期所開發軟體雛型之靜態檔案
- 有能力在系統中容納一座以上之機場
- 本專案重新開發全部之模擬軟體，而非利用前期軟體作修補，以達到更佳軟體效果

8

3.1 模擬模式概述_(2/2)

模擬範圍擴充

- 由前期之桃園國際機場單一機場模擬，擴充到容納臺北松山機場，以及桃園國際機場第三跑道

細緻化

- 納入更多考量：跨越跑道、風向風速之影響、管制員之寬裕量、機尾亂流、換跑道、起降跑道之選擇、航空器滑行速率、滑行路徑之指派、後推操作、降落後脫離跑道出口之選擇等，均有更為細緻之設計
- 此外並增加空域模型與地面模型間有關跑道使用之資訊交換，以更貼切模擬塔臺與近場臺間之密切協調狀況。

人機介面功能提升

- 本模擬系統有能力以圖像展現的方式呈現模擬結果，同時亦建有修改或自行建入參數的介面，可供使用者方便操作

9

3.2 事件模擬

3.2 事件模擬

- 以離散之事件呈現航空器在網路中之推進狀況
- 所謂「事件」，定義為模擬過程中在瞬間發生，足以改變某種狀態之現象
- 例如有一架航空器抵達跑道頭加入等待起飛之佇列，此時該航空器由「滑行中」之狀態，在抵達跑道頭之瞬間轉變為「等候起飛」之狀態，即為一個事件
- 模擬過程中，系統將所有事件收納於一可插隊佇列中，並依預定發生時間排序。當時間推進至某事件的發生時間，系統便依據既定之規則執行該事件，並計算此一事件所帶來之影響，據以更新系統狀態。大部份的事件在執行之過程中，會產生其他的新事件，並加入事件佇列中

10

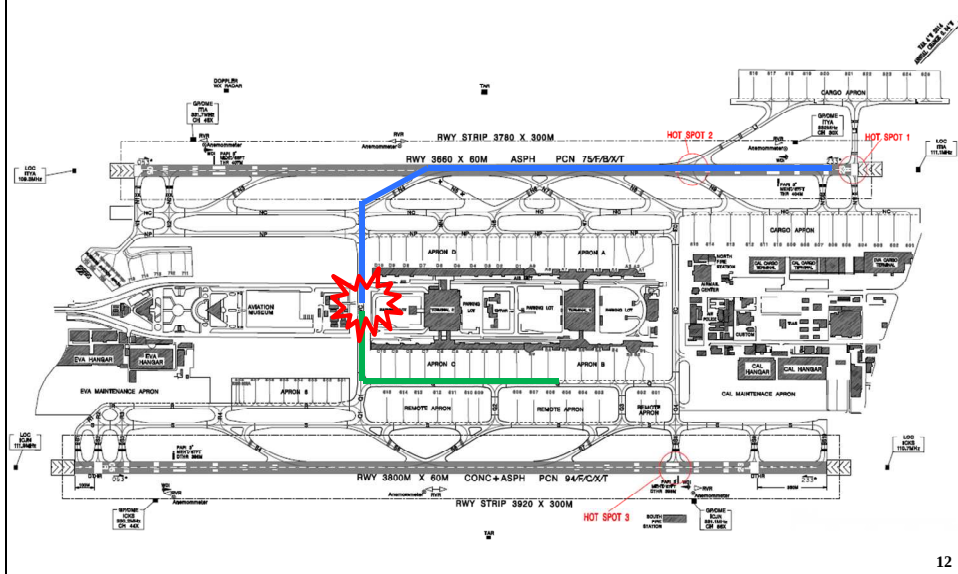
3.3 角色設計_(1/3)

3.3 角色設計

- 前期研究成果指出管制員與停機位指派人員實為系統之實際主導者，而駕駛員則為管制員意志之執行者
- 真實人員各有其職守、各自擁有不同之資訊、各以不同方式形成其意志決策、且常相互協調交換意見
- 在模擬模式中貼切捕捉這些實際現象，為模擬模式之重要精髓

11

3.3 角色設計_(2/3)



12

3.3 角色設計 (3/3)

近場臺管制員

- 模擬管制員安排到場航空器之降落順序，並引導其安全、滿足各種隔離規定、而接近實況之飛行路徑、飛行高度與速率

塔臺管制員

- 模擬管制員引導進場航空器於脫離跑道之後移動到其停機位、離場航空器於後推後移動到跑道頭、以及拖機之移動路線
- 演算法同時考慮場面上其他活動中航空器之狀態，為航空器決定適當滑行路線
- 起飛航空器抵達跑道頭之時間點自然形成起飛順序

停機位指派人員

- 桃園國際機場停機位指派係由機場公司航務處負責
- 目前航務處係以人工作業方式，由專責人員執行本項工作。其主要內容包括指派次日停機位，以及指派當日停機位二大項
- 模擬系統亦設計有指派次日停機位以及指派當日停機位之功能，用以模擬航務處人員之決策

13

3.4 決策之形成：三項基本元素 (1/2)

規則與限制

- 三種角色人員執行任務時所應遵循之規則、規章、標準、習慣等
- 隔離標準、各種起降程序、物理定律及限制、停機位使用規則等
- 為真實人員所必須遵守之規則與限制，亦為模擬模式所需要遵守。

目標與偏好

- 為三種角色在權衡取捨時之價值取向
- 真實人員於執行任務過程中各有其決策之彈性空間
- 例如雷達引導、滑行路徑、停機位指派方面，執行之人員亦均有其彈性空間可作不同組合之安排
- 各方案各有其優劣，真實人員由其中，選擇其中之一作為其決策
- 選擇過程之比較、權衡、取捨，最重要影響因子為相關人員之目標與偏好
- 模擬模式必須納入真實人員之價值取向，模擬結果方有可能接近真實
- 人員之目標與偏好常為不明確、主觀、甚至因人而異的，且多數均無系統化之整理。因此須要經由訪談以探究、推敲人員之價值取向

14

3.4 決策之形成：三項基本元素 (2/2)

可用資訊

- 真實人員於形成決策時，均須要獲得一定之資訊
- 例如近場臺管制員於引導一架到場航空器時，須要瞭解空中其他在空機之狀況，亦須要瞭解一部份跑道之狀況
- 原則上擁有之資訊愈多，愈有可能做出良好決策，但真實人員接收資訊之速度有限，而處理資訊之能力亦有限
- 真實人員應該接收何種資訊、不必接收何種資訊，均有其章法
- 獲取資訊之時間點亦有重大影響。雖然原則上資訊愈早獲得，愈有可能做出良好決策，但在真實世界中，重要資訊之獲得時間常不受控制
- 資訊精準程度亦為真實人員常須面對之課題
- 由上述分析可以發現，可用資訊對這三種角色人員之決策形成有其重大影響，而且不必接收、不精準、或無法及早得到之資訊，對其決定仍可能有所影響
- 真實人員必須在其可接收之資訊項目及精準度之限制下作出決策。而此亦為模擬模式所須納入之考量

15

3.4 決策之形成：資訊流動之影響

極端一：資訊高度受限

- 在模擬模式中，資訊近乎不流通，亦即模式中近場臺管制員並無其他在空機之位置、高度等資訊；塔臺管制員並無場面上航空器活動之資訊等
- 模擬系統將趨向於有限狀態機，亦即模擬模式中大部份航空器均以其狀態作為最主要之屬性，例如航空器抵達交管點、進場中、滑行中、佔用跑道等個別狀態
- 模擬過程之主要部份，即在描述各別航空器由一個狀態轉換到下一個狀態之過程

極端二：資訊完全流通

- 在模擬模式中，所有資訊在角色之間、甚至在時間軸均自由流動
- 每一模擬角色形成決策時，均可使用所有資訊。甚至包括未來資訊
- 例如，模擬之停機位指派人員可能因為預知原本預定數小時之後抵達之航班將發生之延誤量而影響其對停機位之調度決策
- 在此一極端狀況下，模擬系統將趨向於最佳運轉之求解器，亦即系統綜合運用所有可能之資訊，以跨越時空之方式達到預設目標之最佳化。時間之不可逆性將消失
- 模擬之顯現，僅為最佳化結果沿時間軸展開而已

16

3.4 決策之形成：三元素之模擬

規則與限制

- 由於此元素常為具體、明確、經有系統整理，因此模擬模式應在適用範圍內收集、整理並納入之

目標與偏好

- 真實人員之價值取向常無法以明確之規則描述，且方案之優劣比較常非完全客觀
- 比較基準亦常非固定
- 本項元素僅能由訪談、討論中進行歸納整理，再納入模擬模式中，以使模擬之各種角色，其價值取向能儘量接近真實人員之偏好

資訊控制

- 真實人員常在不同狀況下取用不同資訊，亦常以不同之方法，依其知識與經驗取得或推估尚未發生之未來資訊
- 這些複雜的資訊流通現象不但將對模擬模式之設計帶來相當之影響，甚至將影響將模擬模式實作成為模擬軟體時，軟體內部之資料結構與模組架構

17

3.5 重要基本假設_(1/6)

模擬時間

- 0時至23:59:59，共24小時

勤務車輛

- 本模擬系統模擬對象以航空器為主
- 勤務道路與航空器活動之跑滑道、管制標準均不同，且勤務車輛與航空器活動有衝突時，以航空器優先
- 納入拖機，但不納入空拖車移動

拖車供應

- 假設拖車供應充裕，亦即無航空器等待拖車之狀況
- 可排除拖車調度之因素，有助聚焦於航空器活動之模擬

停機位

- 除了考慮機型大小限制、相鄰航空器等基本限制外，並考慮各航次之目的機場、習慣等因素，且於模擬模式中保留參數設定之彈性

跨越跑道

- 桃園國際機場長期以來存在航空器跨越跑道之問題。未來建置第三跑道之後，本問題將更形重要
- 假設所有航空器於跨越跑道之前，即便跑道上並無起降之航空器，仍然一律先停等。而停等之時間長度則為可設定之參數，預設為30秒

18

3.5 重要基本假設_(2/6)

風向風速之影響

- 假設各處風向與風速為均質
- 不模擬其微觀之力學現象，而是僅以地速等於空速加風速之基本向量關係模擬之
- 不考慮桃園國際機場區域中，高低層風向風速有時不同之現象

寬裕量

- 真實管制員對航空器間之隔離均留有寬裕量。為此本模擬模式亦容許使用者以參數設定其寬裕量

前後隔離

- 考慮機尾亂流所須之時間隔離

松山機場

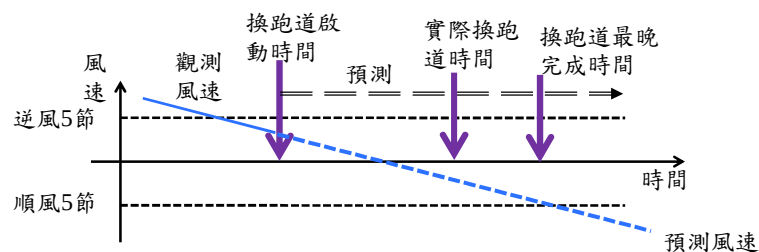
- 不模擬到離場航空器於跑滑道之活動過程
- 空域中之航點及起降程序仍充份考慮

19

3.5 重要基本假設_(3/6)

跑道變更

- 換跑道啟動時間為外部參數，塔臺與近場臺之協調則屬模擬過程
- 決定轉換跑道後，已經抵達或超過最後進場定位點之航空器由原跑道降落，其他航空器經雷達引道改用轉換過後之跑道進場
- 已抵達跑道頭之離場航空器，由原跑道起飛。其他航空器變更滑行路線，改滑行到跑道另一端起飛



20

3.5 重要基本假設_(4/6)

跑道選擇

- 每一跑道可個別設定為單起、單降、或混合，且可設定在不同之時段採用不同之模式
- 降落跑道之指派可設定為依停機位指派、依出現之交管點指派、或隨機指派等三種模式其中之一。在模擬進行過程中不允許變更模式
- 有一條以上之跑道可供起飛時，各航空器起飛跑道之指派，固定為依停機位擇其近者

地面滑行

- 航空器在地面滑行速率為可設定之參數，預設為26.7節，相當於運行北跑道長度費時4.5分鐘
- 拖機速率為可設定之參數，預設為9節。轉向操作損失時間為可設定之參數，預設為30秒
- 模擬模式假設塔管制員引導滑行時，係給予可行、時間最節省之路徑，但同時亦考慮轉彎之不便性。轉彎不便對路徑選擇之重要性為可設定之參數

滑行道

- 模擬模式允許獨立設定各滑行道之關閉與開放時間

21

3.5 重要基本假設_(5/6)

航空器進場

- 進場航空器最晚對正跑道點為跑道頭外10哩，高度為3000呎處
- 航空器降落於跑道時，高度為可設定之參數，預設為海面以上100呎
- 航空器降落接觸跑道時之速率為可設定之參數，預設為140節

後推及起飛

- 航空器於後推之後，須先等待再開始滑行。等待時間為可設定之參數，預設為4分鐘，不同屬性之航空器可個別設定
- 航空器起飛時速率為可設定之參數，預設為140節

脫離跑道

- 進場航空器跑完跑道全長之A後，以 $(1-B)^{(n-1)}B$ 之機率於第n出口脫離跑道。使用最後出口k之機率為 $(1-B)^k$
- A與B可設定，預設為0.5與0.8，不同屬性之航空器可個別設定
- 快速滑行道出口速率可設定，預設為10節。非快速滑行道出口速率固定為0
- 跑道兩側均有出口時，航空器配合停機位選擇出口方向

機械性能

- 變換飛行速率時，假設為等加速率運動，加速度絕對值上限可設定，預設為不超過每秒每秒1公尺
- 飛行高度變換率不超過每哩300呎，同時不超過每分鐘1500呎

22

3.5 重要基本假設_(6/6)

航空器到場

- 所有到場航空器進入模擬範圍之位置均在交管點
- 模擬模式假設管制員在此之前已能由雷達得到航空器資訊
- 模式假設近場臺管制員引導到場航空器時，大部份採用雷達引導之方式
- 管制員對到場航空器不給予爬升高度之引導，亦不給予加速之引導
- 到場航空器所出現之交管點依其前一機場而定
- 模擬時航空器出現於交管點之時間設定，依其預定抵達時間推算
- 所有航空器出現於交管點時，其高度預設為海面以上20,000呎，但模式可依交管點、使用跑道而個別設定
- 出現於交管點時速率為可設定參數，預設為280節

空中等待

- 當桃園國際機場之到場航空器須要空中等待時，若使用05跑道進場，大部份以JAMMY為空中等待點，其次是使用BRAVO
- 若使用23跑道進場，大部份以SEPIA為空中等待點，其次是用AUGUR

23

3.6 空域模型_(1/3)

航空器即將抵達

- 真實近場臺管制員於航空器抵達交管點之前，即能先行由雷達觀察到航空器即將抵達之狀況，並預為準備
- 配合此種真實現象，本模擬模式亦在航空器實際抵達交管點之前數分鐘，依跑道擁擠狀況先為其找出數個不同的可能降落順序與降落時間

計算基本飛行時間

- 依據航空器出現在交管點時之飛行速率，以及接觸跑道時之速率，並在等加速度運動之假設下，可依牛頓公式計算該航空器依標準程序到場時所須之基本飛行時間

產生飛行路徑

- 由可能的降落時間中，選擇其中三個最適當者。將每個降落時間與基本飛行時間相比較，據以決定雷達引導的飛行路徑應比標準程序為長或短

構建網路

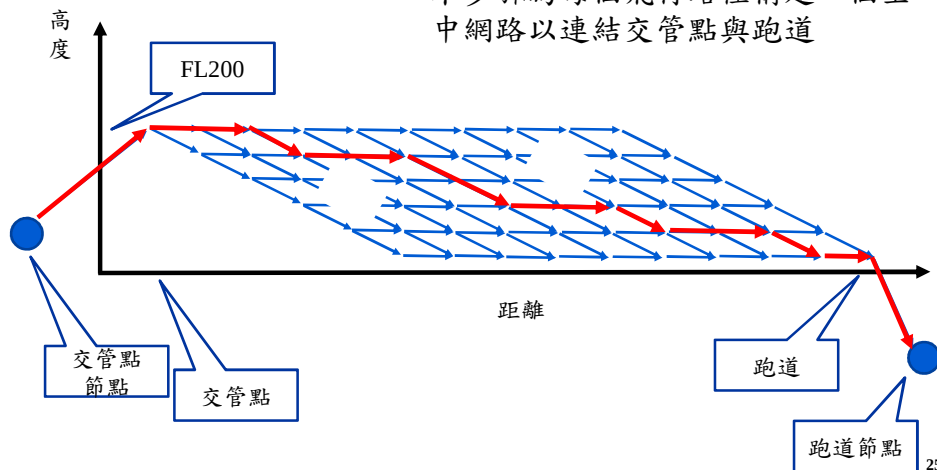
- 本步驟為每個飛行路徑構建一個空中網路以連結交管點與跑道

24

3.6 空域模型_(2/3)

構建網路

- 本步驟為每個飛行路徑構建一個空中網路以連結交管點與跑道



3.6 空域模型_(3/3)

求解最短路徑

- 網路中每一個由交管點節點至跑道節點之路徑，均對應一條航空器由交管點至降落於跑道之可行航跡，最短路徑即為模擬系統指派之飛行路徑

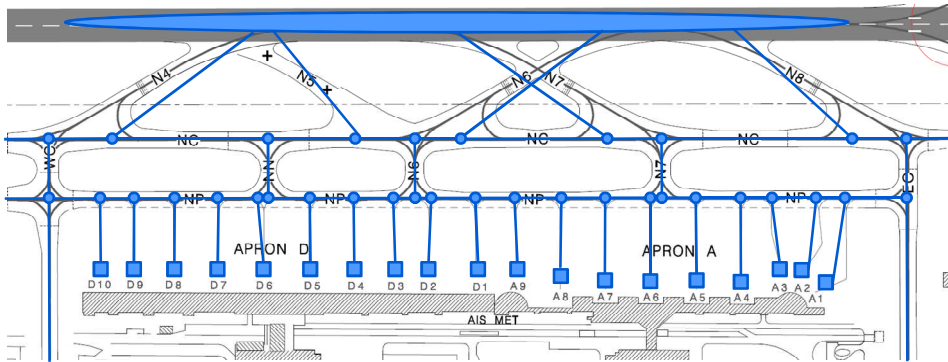
跑道變更

- 在模擬過程中遇到跑道變更時，已經通過最後進場點之到場航空器持續依既定路徑飛行
- 在空之離場航空器不受影響
- 其餘之在空到場航空器則依前述相同之演算法，由模擬系統重新產生空中網路、求解其由當時所在之位置飛行至變更後之跑道降落之路徑

3.7 地面模型 (1/2)

地面網路

- 模擬模式之地面模型以節點與節線所形成之地面網路為其基礎，用以描述航空器之移動方式，其幾何形狀依循機場場面佈設



27

3.7 地面模型 (2/2)

時空路徑

- 地面模式之主要功能之一為模擬塔臺管制員之決策，求解所有航空器每次滑行或拖機之路徑。由於在求解一架航空器之移動路徑時，必須同時考慮場面上其他航空器在時間與空間中之活動，因此本問題同時具有時間及空間之性質
- 航空器在地面滑行或拖機移動時，塔臺管制員全盤考慮整個場面之狀況決定其空間之路徑
- 航空器或拖車之駕駛員考慮自身之狀況（並不參考機場場面之整體狀況）作出適當之避讓行為決定時間維度之變動
- 模式依地面網路，並考慮航空器在移動過程中轉向之不便性，求解適當之路徑
- 之後再依場面上之所有活動中之航空器之狀況，估計依該路徑進行滑行或拖機時，過程中可能發生之避讓行為及所損失之時間

跑道變更

- 滑行中而尚未抵達跑道頭之離場航空器，依其當時所在位置為每一架航空器重新求解前往跑道另一端之滑行路徑
- 已經抵達跑道頭之航空器全數放飛

28

3.8 停機位分配模型

3.8 停機位分配模型

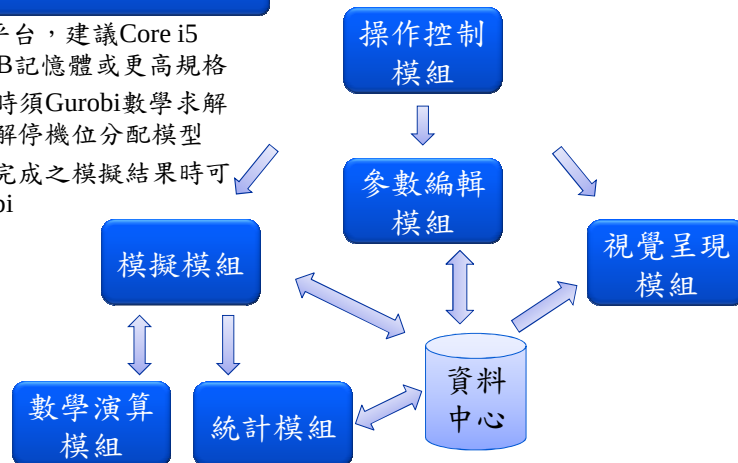
- 模擬機場公司航務處人員，為所有航空器指派停機位
- 工作內容可分為指派次日停機位，以及指派當日停機位二項
- 觀察可發現進行分配工作之人員均可掌握整體狀況，且擁有未來之預估資訊
- 人員在思考停機位分配方式時，除了須遵守各種規定之外，尚須考慮所有航空器預定進入及離開停機位之時間，以及調整其中少數航空器之停機位時所可能引發之連鎖效應
- 在另一方面，雖然機場之狀況具高度動態性，於分配停機位時不可能完全精準預估未來，但可使用之未來需求，已具有相當參考價值，為停機位指派人員之重要資訊

29

四、模擬軟體(1/2)

操作環境

- Windows平台，建議Core i5 CPU、8GB記憶體或更高規格
- 執行模擬時須Gurobi數學求解引擎以求解停機位分配模型
- 僅播放已完成之模擬結果時可不須Gurobi



30

四、模擬軟體(2/2)

4.2 輸入資料

- 本模擬軟體由檔案取得輸入資料
- 背景資料：空中航點、起降程序、跑滑道、停機位等較偏靜態之背景資料
- 專案資料：以航班資訊為主，描述了各航班之前後機場、使用之航空器、預定起降之時間、可停靠之停機位等

4.3 視覺呈現

- 以視覺動畫之方式呈現模擬結果，為本軟體重要功能之一
- 雖然視覺動畫之主要功能僅在於呈現模擬結果；視覺呈現模組並未真正參與模擬之過程，但模擬之結果足以支持動畫之呈現，顯示整個模擬模式所涵括的元素已經具有基本的完整性

31

五、確認與驗證

5.1 確認

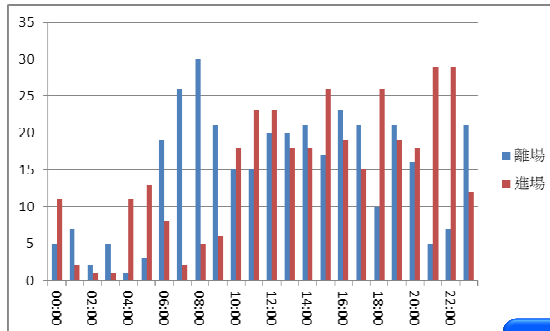
- 基本物理定律確認：複核在模擬之過程中所有航空器之行為符合基本物理定律，例如不可有二架航空器於同一時間處於同一位置、航空器於進入模擬系統直至離開系統之間必須連續存在等
- 利用本軟體之視覺呈現功能，以觀察之方式達成之
- 軟體能力確認：整理於表5-1至5-16

5.2 驗證

- 基本設定驗證
- 專家檢視驗證
- 統計驗證

32

桃園國際機場106年6月30起降統計



起降統計

- 進場最高一小時為29架次
- 離場最高一小時為30架次
- 起降合計最高的一小時為43架次

33

桃園國際機場起降能力模擬

現況場面佈設

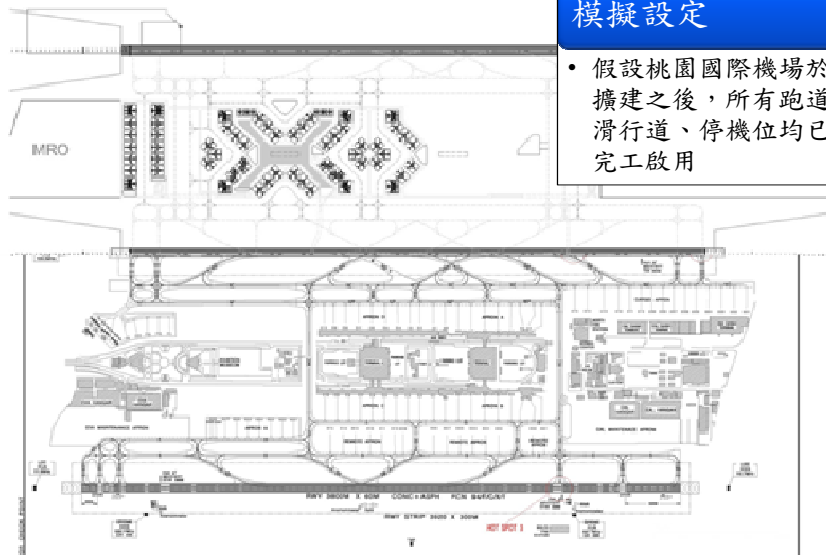
- 以桃機現況班表、桃機現況再加上松機架次數、以及高密度虛擬班表等狀況進行模擬
- 模擬結果，使用虛擬表時兩跑道均起降混合時，最高一小時之起降合計約45架次。一起一降時，約48架次
- 使用真實班表起降分流時，最高一小時之起降合計44架次

觀察

- 動畫觀察似有到場降落佔用之跑道資源略高於起飛離場之現象
- 可能與時間窗性質差異有關。跑道繁忙時，起飛者在跑道頭等待，適當時間窗出現時可快速掌握時間起飛
- 降落時不可能如此等待，因而較難以充份利用所有跑道之時間窗
- 起飛速率略高於降落速率，亦使得起飛能以較短時間拉開距離
- 此現象為觀察模擬動畫之發現，並未與管制員深入研討；在尚未釐清其確為實際現象，或僅為模擬某種設定之副作用前宜審慎引用

34

6.1 桃園國際機場第三跑道



模擬設定

- 假設桃園國際機場於擴建之後，所有跑道、滑行道、停機位均已完工啟用

35

模擬結果

停機位運用影響力增大

- 桃園國際機場擴建後幅員擴大，因此航空器之滑行距離亦有可能隨之增長
- 跨越中央跑道之需求，使得停機位之安排對於機場運轉效率之影響變大

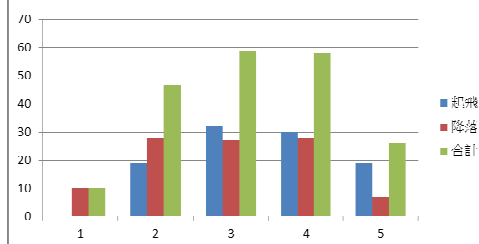
長時間停留機位仍然不足

- 供過夜機停放之長時間停留機位仍然不足

起降能力

- 以每200、150、120、100、70秒起降需求各一次等不同情境進行模擬
- 未設計新起降程序
- 三跑道均為起降混合，或南北起飛中間降落時，最高一小時之起降數合計約59架次

桃機小時起降數



測試編號：1.3.915-6

機場：桃園國際機場三跑道佈設

起降方向：05

跑道運用：混合起降

需求：每100秒起降各一次（每小時72次起降）

36

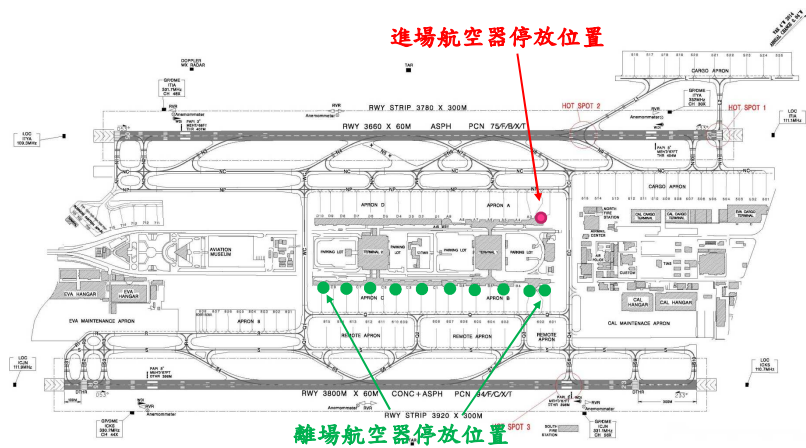
6.4 桃園國際機場排除地面影響之模擬

模擬設定

- 目的在瞭解無地面運轉影響之狀況下，桃園國際機場之可能運轉狀況
- 設定航空器於進場後全數進入同一停機位停放，離場航空器則分散停放於其他位置
- 設定同一停機位可停放多數航空器
- 測試三種情境：每3分鐘、2.5分鐘、2分鐘，起飛與降落各有一架次之需求
- 均設置降落航空器100架，起飛航空器99架
- 跑道運轉模式設定為起降分流，並且分別測試使用05方向與23方向起降之狀況
- 不論使用何方向，均設定以北跑道作為降落之用、以南跑道作為起飛之用

37

停機位安排

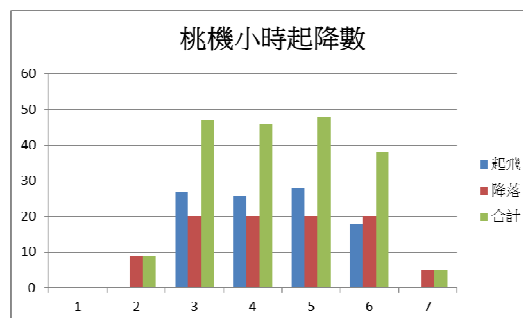


38

6.4 桃園國際機場排除地面影響之模擬

模擬結果

- 起降分流時一小時最高之起降數約為48架次
- 個別觀察起飛與降落，則一小時中最高之起飛架次數約為28次，而最高之降落次數約為20次。跑道方向影響不大
- 起降混合時一小時最高之起降數約為45架次



測試編號：1.3.906-6

機場：桃園國際機場二跑道佈設

起降方向：05

跑道運用：南(起)北(降)

需求：每120秒起降各一次(每小時60架次)

特殊設定：停機位可重複停放

39

七、結論建議與後續研究

7.1 結論

7.2 建議

7.3 未來應用

7.4 後續研究及開發

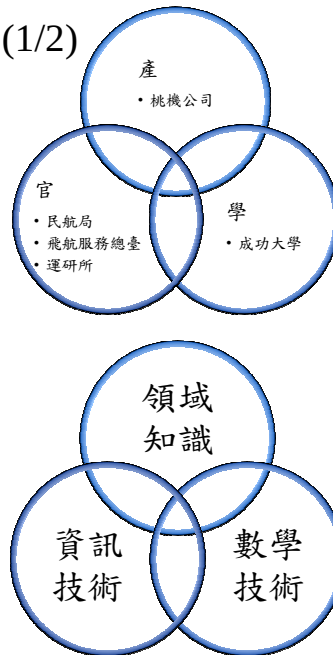
7.1 結論^(1/2)

結合各界及技術能力

- 本專案產官學合作模式有效結合專業領域知識、數學技術、與資訊技術三種開發空域模擬系統所需要的技術，成為順利推動之重要關鍵

關鍵技術開發

- 前期最重要發現為模擬模式應以三種主要角色人員之決策為主要模擬對象，而非以航空器為模擬對象
- 本專案進一步釐清：模擬三種主要角色人員之決策形成過程時，三項主要核心元素為各角色人員所應遵守之規則與限制、價值取向、以及其可用資訊
- 其中又以第三項不但影響模擬模式之設計，且影響實作模擬軟體時軟體之內部架構。這些發現將成為後續持續開發、實用化重要基石



41

7.1 結論^(2/2)

模擬軟體開發

- 軟體架構儘量區隔邏輯與數據，使得軟體能夠以數據表現機場場面佈設、各種參數、甚至多個機場
- 這種設計使得軟體具有足夠的彈性，能夠在不修改程式碼之狀況下進行各種不同情境之模擬

使用者操作介面開發

- 已設計並實作使用者操作介面，以方便使用者之操作
- 然而實用化之套裝軟體需要更多功能，仍有待後續開發

基本實務資料建置

- 初步建置了桃園國際機場以及松山機場之相關基本實務資料

初步模擬結果

- 未來桃園國際機場擴建之後，停機位之指派將對機場運轉效率產生較目前更大之影響
- 未來桃園國際機場擴建之後，供過夜機停放之長時間停留機位仍然不足
- 若將松山機場之運量加入桃園國際機場之運量中，每小時最大起降架次數仍然不變，而停機位將無法負荷

綜合結論

- 我國已具備開發自有空域模擬系統之關鍵能力，架構已成形，方向明確

42

7.2 建議

持續開發成為成熟軟體

- 軟體需要累積應用經驗才能成熟
- 實戰歷練不足為本軟體之弱點，但也因而具有高度客製化彈性之優勢
- 建議我國利用此一優勢，開發適合我國使用之模擬軟體

開發決策輔助系統

- 本專案開發三種自動化技術：求解到離場航空器飛行路徑、求解滑行或拖機路線、求解停機位分配
- 這些自動化之技術同時亦具有自動化決策輔助之功能，可作為未來開發決策輔助系統之核心技術
- 尤其最具有潛力者為停機位指派自動化，未來桃機之停機位指派將趨於複雜化，建議及早開發相關系統

建置航空運轉資料庫

- 我國飛航相關運轉紀錄之留存，尚有相當大之改善空間
- 建議未來宜有系統留存全國空域與各機場地面各種相關運轉紀錄
- 建議予有系統整理、清分並組織成為易於使用之航空運轉資料庫。經過一段時間累積之後，必將對未來之空域管理、機場營運、甚至政策形成具有相當之助益

43

7.3 未來應用

技術面應用

- 本專案所開發之技術為我國完全自主，可供未來適合我國使用之相關模擬軟體，避免受到國際大廠之技術牽制

實用面應用

- 本專案所開發之模擬軟體，經適當擴展之後可作為策略評估之有力工具
- 未來桃園國際機場擴建之後運轉將更形複雜，本軟體可作為機場營運管理如跑道與滑行道管理，停機位管理等策略評估比較之用，而模擬結果亦可作為具體討論之基礎

44

7.4 後續研究及開發

關鍵技術開發

- 目前成果在空域模擬領域關鍵技術發展已經形成明確的方向
- 如何有效控制模擬系統中各角色間資訊流動之時間與空間為後續技術開發之重點
- 各角色之偏好與價值取向，則應在模擬模式與模擬軟體中留下最大之彈性；後續應以找出真實人員相互間差異性之合理範圍，而非以訂下特定偏好為目標

工作平台開發

- 若以商業套裝軟體之標準衡量之，目前本軟體使用者界面未達成熟
- 未來應提升功能成為工作平台
- 未來若有明確之使用者，軟體開發團隊應深入瞭解該使用者之可能操作模式，以配合開發貼近需求之使用者界面，與模擬核心結合而成為成熟之套裝軟體

模擬核心軟體開發

- 模擬軟體已具有有效而完整之架構
- 對於數學模式與模擬推進之區隔尚有不足，後續持續開發時應強化

45

附錄A、訪談紀錄

民航局航管組

- 107年4月26日下午

桃園機場公司航務處

- 107年4月24日下午

臺北機場管制臺

- 107年4月20日下午

臺北近場管制塔臺

- 107年4月20日上午

松山機場管制臺

- 107年4月16日上午