

出國報告（出國類別：進修）

國際民航組織 PBN 儀航程序設計課程

服務機關：交通部民用航空局

姓名職稱：郭國新 技士

派赴國家/地區：澳洲/新南威爾斯州

出國期間：113年8月24日至113年9月8日

報告日期：113年11月21日

空白頁

摘要

本篇報告記述任務承辦人員前往國外進修國際民航組織 PBN 儀航程序設計課程之過程、心得及建議事項，研習課程之英文名稱為「ICAO COMPLIANT ADVANCED PANS-OPS (PBN) COURSE」，其中研習心得依授課主題「PBN Overview」、「Terms & Definitions」、「RNAV General Criteria」、「Non-Precision RNP APCH Procedures」、「RNP APCH Missed Approach」、「APV Baro-VNAV Final」、「SBAS Non-Precision Criteria, APV I and Precision CAT I」、「GLS Precision Criteria」、「RNAV Holding」、「Helicopter Point-in-Space (PinS)」及「RNP AR」之順序簡要陳述。

PBN 即 **performance-based navigation** 的縮寫，是一種基於效能的導航概念，依效能表現而分等級、訂規範，拋開依特定導航應用，如 VOR、NDB、ILS、MLS、RADAR 等，而訂定特定規範的傳統做法。ICAO 為 PBN 訂定了相關儀航程序設計規範，規範內容主要記述於 Doc 8168第二冊第3部分及 Doc 9905，與直昇機有關的 Pins 設計規範記述於 Doc 8168第二冊第4部分，本次課程講述前述規範內容。

目次

目的.....	1
過程.....	2
行程.....	2
課程.....	3
一、PBN Overview.....	4
二、Terms & Definitions.....	6
三、RNAV General Criteria.....	6
四、Non-Precision RNP APCH Procedures.....	15
五、RNP APCH Missed Approach.....	16
六、APV Baro-VNAV Final.....	17
七、SBAS Non-Precision Criteria, APV I and Precision CAT I.....	18
八、GLS Precision Criteria.....	19
九、RNAV Holding.....	20
十、Helicopter Point-in-Space (PinS).....	20
十一、RNP AR.....	22
心得與建議.....	25
參考文獻.....	26

表目錄

表 1- 導航規範精準度.....	5
表 2- PBN 建置指引.....	5
表 3- GNSS RNP APCH (Aeroplane) XTT, ATT, aera semi-width 參數.....	7
表 4- DME/DME (RNAV 1) XTT, ATT, aera semi-width 參數 (2 DMEs).....	8
表 5- DME/DME (RNAV 1) XTT, ATT, aera semi-width 參數 (≥ 2 DMEs).....	9
表 6- DME/DME (RNAV 5) XTT, ATT, aera semi-width 參數.....	9
表 7- VOR/DME RNAV5 XTT、ATT、 $\frac{1}{2}$ A/W 參數表.....	12
表 8- Flyover 航點間 MSD.....	12
表 9- Fly-by 航點間 MSD.....	13
表 10- GNSS RNP APCH (CAT H) XTT, ATT, aera semi-width 參數.....	21
表 11 - RNP 0.3應用 (CAT H) XTT, ATT, aera semi-width 參數.....	21

圖目錄

圖 1- 不同寬度之保護區域的接合.....	8
圖 2- 3個站臺下之最大 DME/DME UPDATE AREA 理論涵蓋範圍.....	10
圖 3- 3個站臺下之最大(優規) DME/DME UPDATE AREA 理論涵蓋範圍.....	11
圖 4- Wind Spiral.....	14
圖 5- RF turn protection (RNAV,RNP).....	14
圖 6- Splay in RF turn.....	15
圖 7- RNP APCH areas.....	16
圖 8- SBAS 直線飛航誤失進場階段.....	16
圖 9- APV OAS in plan view.....	17
圖 10- SBAS APV I OAS.....	19
圖 11- Typical CAT I OAS contour.....	20
圖 12- Pins Manoeuvring-visual segment 之 OIS/OCS 示意圖.....	22
圖 13- RNP AR VS. CAT I 示意圖.....	23
圖 14- RNP AR 誤失進場示意圖.....	24

目的

在國際民航組織(ICAO)儀航程序設計教學領域，一般將 PBN 儀航程序設計視為進階階段課程，而以陸基導航應用為主的傳統儀器儀航程序設計課程則視為初階入門課程。目前本局已自行辦理初階的儀航程序設計訓練課程，進階的 PBN 課程因新興導航應用、程序規範持續發展，部分應用在國內尚無建置經驗，爰有派員赴國外受訓，擴充專業領域人力、吸取經驗、進行國際交流之需，並盼參訓學員學成後回饋所學，協同使本局規劃之 PBN 儀器飛航程序能符國際規範，與國際接軌，維護本區飛航服務水準，確保飛航安全。

過程

行程

此次任務是前往澳洲新南威爾斯州奧爾伯里，參加由 Global Airspace Solutions Pty Ltd 飛航顧問公司，於113年8月26日至9月6日間所開設的 ICAO COMPLIANT ADVANCED PANS-OPS (PBN) COURSE 課程，行程及參訓紀要如下表。

出發前往行程	
8月24日-8月25日	搭乘華航 CI-51 航班(桃園機場-雪梨機場)， 澳航 QF2209 航班(雪梨機場-奧爾伯里機場)。
參訓紀要(研習主題)	
8月26日	Introduction ICAO PBN Overview Terms and Definitions
8月27日	Terms and Definitions Exercise 8 & 9
8月28日	Terms and Definitions RNP APCH Final Exercise 10
8月29日	RNP APCH Final RNP APCH Missed Approach APV Baro-VNAV
8月30日	APV Baro-VNAV
9月 2 日	APV Baro-VNAV Exercise Baro-VNAV SBAS Criteria/GBAS Criteria
9月 3 日	SBAS Criteria/GBAS Criteria RNAV Holding Point-in-Space Approach (Helicopters)
9月 4 日	Point-in-Space Approach (Helicopters) Exercise Pins Approach ICAO PBN (RNP AR) Overview RNP-AR
9月 5 日	RNP-AR
9月 6 日	RNP-AR
返國行程	
9月7日-9月8日	搭乘澳航 QF2206 航班(奧爾伯里機場-雪梨機場)， 澳航 QF546 航班(雪梨機場-布里斯班機場)， 華航 CI-54 航班(布里斯班機場-桃園機場)。

課程

課程講師為荷、澳雙重國籍主設計師(Chief Designer) Bas Smeulders 先生，講師在飛航領域有逾20年的工作經驗，曾參與荷蘭 PBN 任務小組及 PANS-OPS 工作小組、北大西洋公約組織(簡稱北約)儀航程序標準化團隊、FABEC CBA Land/Central West Airspace 跨境空域設計工作小組、EUROCONTROL RNAV 進場建置支援小組 (RAiSG)，曾任北約飛行場及程序專家小組主席等。講師設計發布過的軍、民儀航程序超過100則，包含 APV Baro-VNAV、LPV、LNAV only、Continuous Descent Operations (CDOs)、Continuous Climb Operations (CCOs)、Point-in-Space (PinS)、SIDs、ILS、VOR/DME、NDB、TACAN、SRA 等固定翼及直昇機程序。除荷蘭及澳洲，講師也曾提供過南非、盧安達、阿根廷、印尼及我國等儀航程序諮詢、設計服務。

參與此次課程的學員分別來自澳洲、奧地利、加拿大、印度、馬來西亞、南非及我國等7員，分在飛航管制、儀航程序設計、儀航程序編碼及民航主管機關等領域工作。



Photo: Courtesy of chief designer - Mr. Bas Smeulders
(acknowledged by all to publish)

講師將課程分成11段落講授，包含 PBN Overview、Terms & Definitions、RNAV General Criteria、Non-Precision RNP APCH Procedures、RNP APCH Missed Approach、APV Baro-VNAV Final、SBAS Non-Precision Criteria, APV I and Precision CAT I、GLS Precision Criteria、RNAV Holding、Helicopter Point-in-Space (PinS)、RNP AR 等主題，除 GLS Precision Criteria 部分因與 SBAS 原理相似度高，考量時間寶貴、在權衡課程完整性下捨略，其餘內容均完整講授。以下按講師課程先後次序，簡略說明此次上課心得：

一、PBN Overview

國際民航組織(ICAO)以文件 Doc 9613 Performance-based Navigation (PBN) Manual 闡述 PBN 概念、提供 PBN 建置指引，並訂定 RNAV 及 RNP 導航規範，有關 PBN 的儀航程序設計則闡述於文件 Doc 8168 PROCEDURES FOR AIR NAVIGATION SERVICES Aircraft Operations 的第二冊第3部分及 Doc 9905 Required Navigation Performance Authorization Required (RNP AR) Procedure Design Manual，其中 Doc 9905專為 RNP AR 程序編輯成冊。

有別於以往專為具局地性質的陸基導航設施，如 ILS、MLS、NDB、PAR 等設計的導航運作方式(如 ILS 進場程序)，PBN 已演進為僅視導航應用之性能表現來分門別類，意即不考量係採用陸基或星基之導航系統，只要符合某 PBN 應用所要求的精準度、忠實度、連續性、功能、可用度等性能規格，即可建置該 PBN 應用之飛航階段，如 RNAV 10大洋航路、RNAV 2航路、RNAV1離場及到場、RNP AR 進場等。Doc 8168 (2020年第7版)彙整不同飛航階段相關 PBN 應用之導航精準度規範如下表1。

在 PBN 應用布局策略方面，應視個別空域需求及客觀環境條件而謀定，並非一味地追求最高規格。在空域需求方面可從飛航安全、吞吐量、效率、環境影響、易用性去思考；客觀條件方面，則應務實考量空域內實際具備的通訊、導航、監視及飛航管理系統之效能等級，舉高規格的 RNP-AR 進場導航應用為例，視不同飛航階段，機載導航設備須具備 RNP 1至0.1浬之導航規格，航空器須具備 RF (Constant radius arc to a fix)轉彎航行能力，對於駕駛員飛航操作能力、

管制員飛航管制程序、航空公司飛航操作程序等也有特定要求，增加了整體建置成本。

表 1- 導航規範精準度

Flight Phase 飛航階段 (精準度)單位:浬								
	Oceanic Remote	En-route	Arrival	Approach				Departure
				Initial	Intermediate	Final	Missed	
RNAV 10	10							
RNAV 5		5	5					
RNP 4	4							
RNP 2	2	2						
RNAV 2		2	2					2
Advanced RNP	2	2或1	1-0.3	1-0.3	1-0.3	0.3	1-0.3	1-0.3
RNP 1			1	1	1		1	1
RNAV 1		1	1	1	1		1	1
RNP 0.3 (Cat H)		0.3	0.3	0.3	0.3		0.3	0.3
RNP APCH (Part A)				1	1	0.3	1	
RNP APCH (Part B)				1	1	Angular	1或0.3	
RNP AR APCH				1-0.1	1-0.1	0.3-0.1	1-0.1	

除 ICAO Doc 9613外，ICAO Doc 9992 Manual On The Use Of Performance-Based Navigation (PBN) In Airspace Design 有系統地闡述如何在空域中建置 PBN 應用，分為專案計畫、設計、驗證、建置等四大階段及下表所列17步驟。

表 2- PBN 建置指引

PLAN
1.作業需求之同意 2.空域設計團隊之建立 3.目標、範圍、時間軸之同意 4.參考情境分析 5.安全準則、安全政策、效能準則選定 6.通訊、導航、監視及飛航管理系統效能之假定、實現關鍵及限制
DESIGN
7.航線設計 8.初始程序設計 9.空域範圍、區塊設計 10.導航規格確認
VALIDATE

11.空域運作概念驗證 12.程序設計抵定 13.儀航程序驗證及飛測
IMPLEMENT
14.航管系統整合 15.情境領知及訓練教材發展 16.建置 17.建置後檢討

二、Terms & Definitions

課程擇要講解領域常用語及其定義，包含基本的 PBN (Performance-Based Navigation, 譯作基於性能導航)、RNAV (Area Navigation, 譯作區域航行), RNP (Required Navigation Performance, 譯作導航性能需求)、GNSS (Global Navigation Satellite System, 譯作全球衛星導航系統)、SBAS (Satellite-Based Augmentation System, 譯作星基增強系統)、GBAS (Ground-Based Augmentation System, 譯作陸基增強系統), 及程序設計方面的 ATT (Along-Track Tolerance, 係沿航跡縱向誤差值)、XTT (Cross-Track Tolerance, 係跨航跡橫向誤差值)、Fly-By Waypoint、Flyover Waypoint、LTP (Landing Threshold Point)、FTP (Fiction Threshold Point)、FPAP (Flight Path Alignment Point, 常用於 SBAS、GBAS 程序最後進場階段航徑對齊用途)、VPA (Vertical Path Angle, 最後進場軌跡垂直向剖面與 threshold 點上之切面間的夾角)、OAS (Obstacle Assessment Surface, 譯作障礙物評估面), Navigation Database Coding (指以 ARINC 424或等同規範, 編譯終端空域內之導航資料供予航空器導航資料庫使用)、Path Terminator (以2字元描述特定程序中的航徑(flight path)種類與所對應之終結方式之代碼, 如 IF、TF、RF 等, 指定予航空器導航資料庫處理)等。

三、RNAV General Criteria

課程講解 PBN 相關原則, 簡摘如下- PBN 定義了航機及飛航組員在指定空域內該達到的導航要求, 有 RNAV_x 及 RNP_x 兩大宗導航規格, RNAV 基於「在信號涵蓋範圍內的導航站臺」或「導航能力範疇內之機載裝備」或兩種混用, 可在指定空域內任意選擇飛航途徑, 較傳統僅接收陸基站臺信號之導航方式恣意許多, 可縮減航程、解省燃油。RNP 導航方式與 RNAV 相同, 惟 RNP 多具備了機載導航效

能監控及警示功能，更能確保飛行軌跡精準性。在設計程序方面，講師表示程序應力求簡潔，避免程序中帶有特殊環節而導致無法被編譯於個別機型之導航資料庫，因而降低了程序普及性，應盡可能地發展 PBN 程序而不是傳統程序，應確保「SIDs 與航路」及「STAR 與進場程序」間順遂連接，應避免出現重複航段，如造成某航段屬於 STAR 也屬於進場一部分的情形。

Geodesy(大地測量)，本領域一致採用 WGS-84大地測量基準，確保資料跨介面時的互通性，如對機載 RNAV 航電設備而言，設定的 LTP 點高度係指 WGS84橢球高(HAE, Height Above Ellipsoid)，如以局地海平面高度輸入之就不恰當了。機載 GNSS 作業分 En-route(距目的地機場超過30浬)、Terminal(距目的地機場30浬以內，不含 Approach mode 範圍)、Approach(距 FAF 點2浬外至 MAPt 點間)等3種模式。系統在航機通過 MAPt 點後會轉為 Terminal 模式，沿續最後進場軌跡導航，飛行員如按壓 TOGA 按鈕，導航系統就會轉換至誤失進場模式。

GNSS 導航誤差方面，除導航系統本身，本領域另將飛行員、程序設計者可能導入的誤差一併計入，最終以95%或99%信心區間訂定 XTT, ATT, 及 $\frac{1}{2}$ A/W (Obstacle Clearance Area Semi-Width, 譯作障礙物清除區域半寬)參數，舉 RNP APCH 為例(表3):

表 3- GNSS RNP APCH (Aeroplane) XTT, ATT, aera semi-width 參數

IF/IAF/missed approach (<56 km ARP)			FAF			MAPt/Initial Straight Missed Approach (LP/LPV only)			Missed approach (<28 km ARP)		
XTT	ATT	$\frac{1}{2}$ A/W	XTT	ATT	$\frac{1}{2}$ A/W	XTT	ATT	$\frac{1}{2}$ A/W	XTT	ATT	$\frac{1}{2}$ A/W
1852	1482	4630	556	444	2685	556	444	1759	1852	1482	3704

(單位:公尺)

由上表可知 PBN 程序在不同階段的障礙物清除區域寬度並不相同，所以 Doc 8168規範了相關介接原則，舉下圖(圖1)為例， $\frac{1}{2}$ A/W 寬度由寬至窄以30° 輻合，並在指定點之後1個 ATT 距離位置連接後段；航段寬度由窄至寬以15° 輻散，並在指定點之前1個 ATT 距離位置開始輻散。

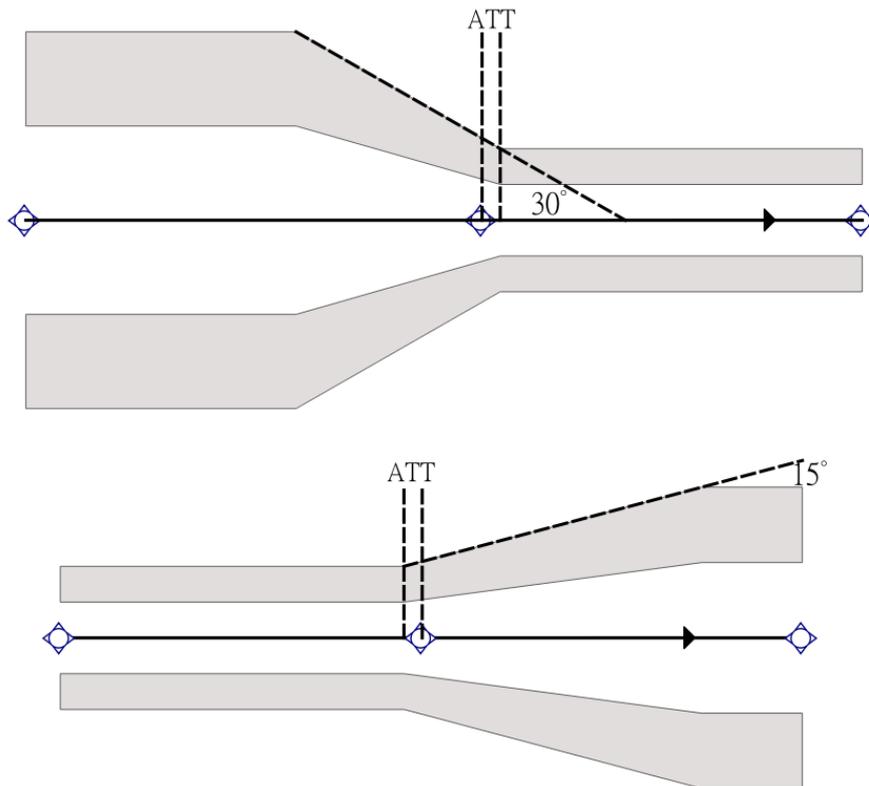


圖 1- 不同寬度之保護區域的接合

在直線航段，航點(waypoints)之設置應盡可能維持在最少數量，額外設置的航點不應超過2個，這些額外點通常用於註記高度、空速限制或位置報告等用途。

DME/DME RNAV 方面，其應用含在陸域的 RNAV 1、RNAV 2及 RNAV 5 導航規格之 SID STAR 或 En-Route 等，參考 Doc 8168可知 RNAV 1與 RNAV2之 XTT、ATT、½ A/W 參數隨高度及可用於定位之 DME/DME 配對組數有關，RNAV 5則不管飛航高度為何採用固定參數值，如表4~6所示。

表 4- DME/DME (RNAV 1) XTT, ATT, aera semi-width 參數 (2 DMEs)

飛行高度(呎)	En-route/STAR/SID (>30 NM ARP)			STAR/IF/IAF (<30 NM ARP)			SID (<15 NM DER)			FAF		
	XTT	ATT	½ A/W	XTT	ATT	½ A/W	XTT	ATT	½ A/W	XTT	ATT	½ A/W
15000	1.24	1.13	3.85	1.24	1.13	2.85	1.24	1.13	2.35			
10000				1.07	0.95	2.61	1.07	0.95	2.11	0.98	0.95	1.97
5000				0.88	0.72	2.32	0.88	0.72	1.82	0.76	0.72	1.65
1000-3000				0.79	0.61	2.18	0.79	0.61	1.68	0.66	0.61	1.49

(註:有2個 DME 站臺可供定位更新，僅取數空層為例，單位:浬。)

表 5- DME/DME (RNAV 1) XTT, ATT, aera semi-width 參數 (≥2 DMEs)

飛行高度(呎)	En-route/STAR/SID (>30 NM ARP)			STAR/IF/IAF (<30 NM ARP)			SID (<15 NM DER)			FAF		
	XTT	ATT	½ A/W	XTT	ATT	½ A/W	XTT	ATT	½ A/W	XTT	ATT	½ A/W
15000	0.78	0.61	3.18	0.78	0.61	2.18	0.78	0.61	1.68			
10000				0.72	0.52	2.08	0.72	0.52	1.58	0.58	0.52	1.37
5000				0.65	0.42	1.98	0.65	0.42	1.48	0.49	0.42	1.23
1000-3000				0.62	0.37	1.94	0.62	0.37	1.44	0.45	0.37	1.18

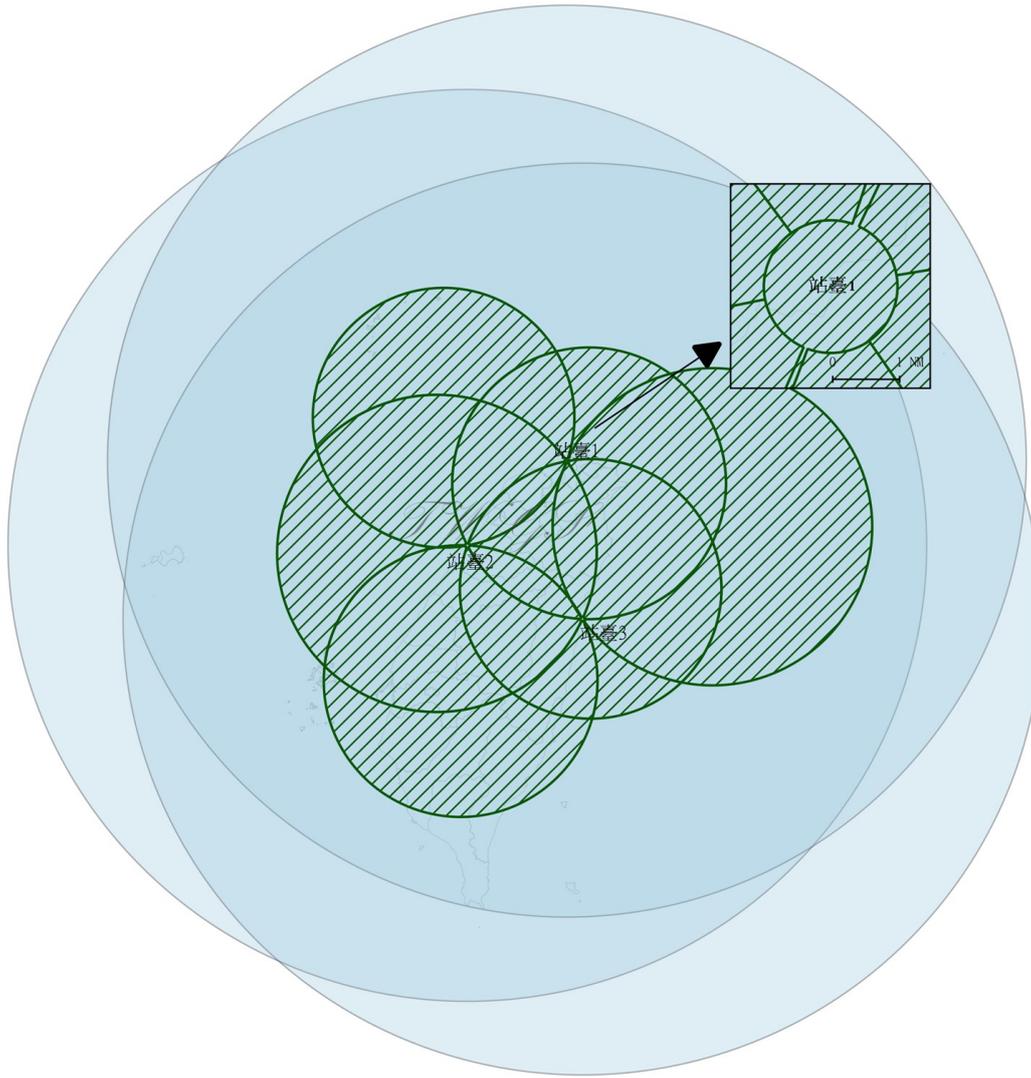
(註:有3個以上 DME 站臺可供定位更新，僅取數空層為例，單位:湮。)

表 6- DME/DME (RNAV 5) XTT, ATT, aera semi-width 參數

En-route/STAR/SID (>30 NM ARP)		
XTT	ATT	½ A/W
3.30	2.15	6.95

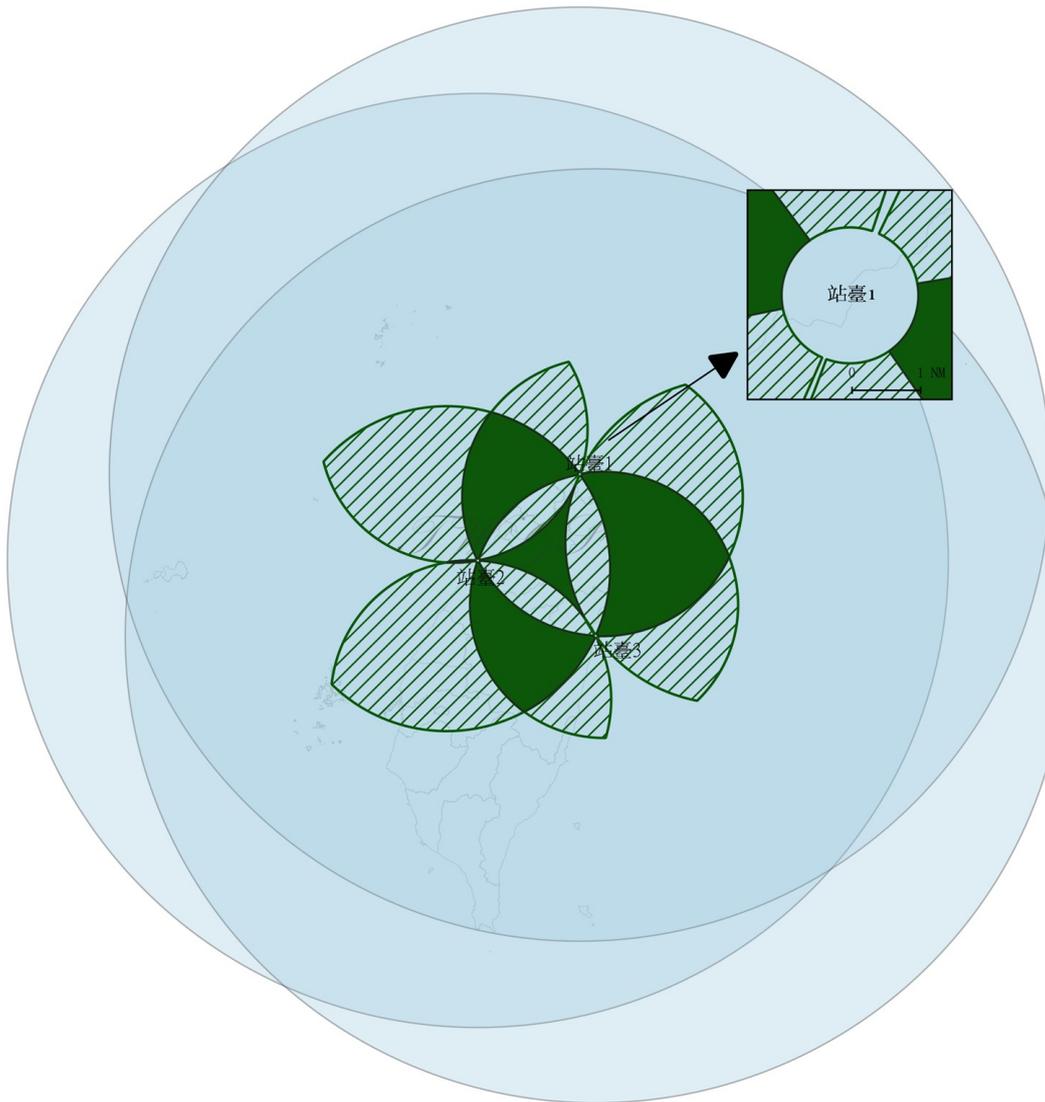
(註:有2個 DME 站臺可供定位更新，單位:湮。)

DME/DME RNAV 導航系統誤差不一定比 GNSS 差，尤其當有3個以上的 DME 站臺可用於定位更新時，系統誤差明顯小於 GNSS，惟 DME 為陸基設備，不免易受地形遮蔽影響，涵蓋不若星基完美。另外，機載設備選用哪些 DME 站臺用在定位更新處理，是無法確認的，惟設計航線時仍須確保至少收得到2站臺的信號，這算是忽略微小項(如計時器誤差)下的最起碼近似，而此時的高度資訊參考氣壓高度計，設計完成後當然也須透過飛測，驗證信號實際接收情形，確保可飛性。



(如深色斜線區域，不考慮地形遮蔽，不計個別站臺精準度)

圖 2- 3個站臺下之最大 DME/DME UPDATE AREA 理論涵蓋範圍



(如深色斜線及實心區域，至少有2種不同站臺配對可用，不考慮地形遮蔽，不計個別站臺精準度)

圖 3- 3個站臺下之最大(優規) DME/DME UPDATE AREA 理論涵蓋範圍

VOR/DME RNAV 方面，其應用含在陸域的 RNAV 5 導航規格之 En-Route 階段，Doc 8168 文件提供簡明公式用以求解 XTT、ATT、 $\frac{1}{2}$ A/W 參數，參數與所在位置距離站臺的距離及方位有關，舉2例如表7所示。

表 7- VOR/DME RNAV5 XTT、ATT、 $\frac{1}{2}$ A/W 參數表

D1=40	D1=80	
D2=40	D2=80	
XTT 4.1 ATT 3.3 $\frac{1}{2}$ A/W 8.2	XTT 7.0 ATT 6.5 $\frac{1}{2}$ A/W 12.5	

(單位:浬)

有關 Waypoints 的最短平衡距離(Minimum Stability Distance, MSD)方面，係依航點屬 fly-by 或 flyover 之不同型態而加總，程序設計時應避免兩航點間距小於 MSD，當給定傾斜角、真空速、航跡轉角後依文件所附公式可算出各類型所需 MSD，舉例如下2表：

表 8- Flyover 航點間 MSD

傾斜角(°)	真空速(knots)	航跡轉角(°)	MSD (浬)
15	150	75	3.825
20	200	90	5.943
25	260	115	9.394

表 9- Fly-by 航點間 MSD

傾斜角(°)	真空速(knots)	航跡轉角(°)	MSD (哩)
15	150	75	1.147
20	200	90	1.879
25	260	115	3.677

Turn Protection and Obstacle Assessment 方面- 儀航程序設計的核心作業之一，係在於繪製程序的保護面及對它進行是否遭到障礙物穿透之評估，在繪製保護面時，則以轉彎階段之繪製較為複雜，依據不同的轉彎機制(如 TP、TA/H turn)、航跡轉彎角度及飛航階段等，文件有諸多規範，如最早及最晚轉彎點、最早及最晚航跡、轉彎後主要(primary)與次要(secondary)保護面界線之指向訂定等，本領域建構轉彎的方法包含有 wind spiral、bounding circles、circular arc 及 radius to fix turn (RF turn)等方法。參照 Doc 8168規範可繪得不同情境下 RF 航段過彎保護面，如圖5、圖6，這與 Doc 9905提出的繪製方法些微不同，不同之處可由繪製相關弧線時規範所定義的半徑取法識別出來，相較之下 Doc 9905所提繪製手法較為簡明。

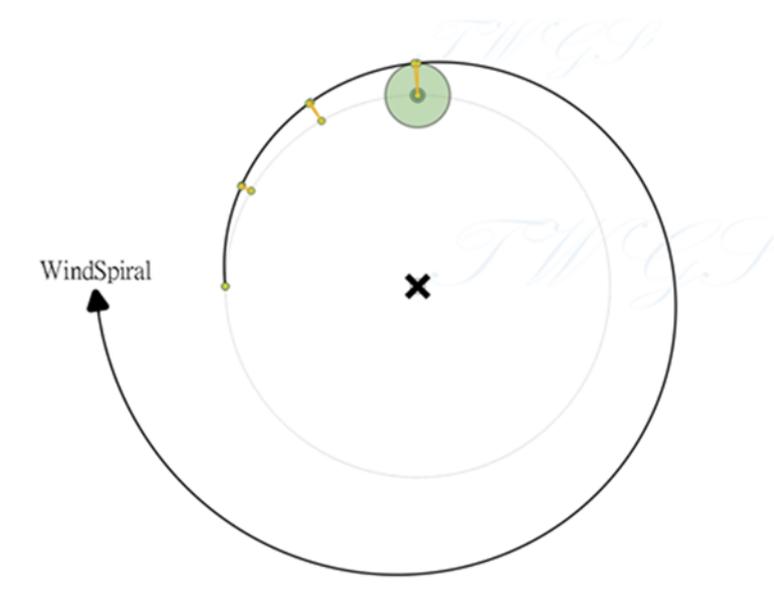


圖 4- Wind Spiral

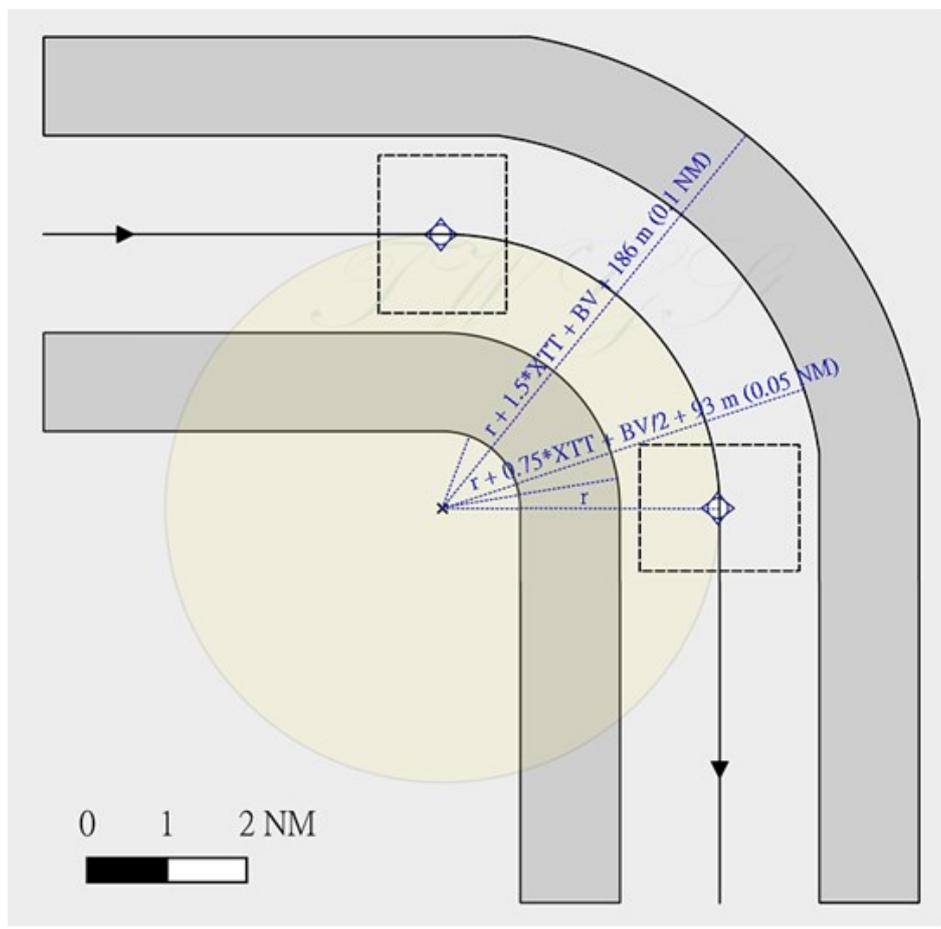


圖 5- RF turn protection (RNAV, RNP)

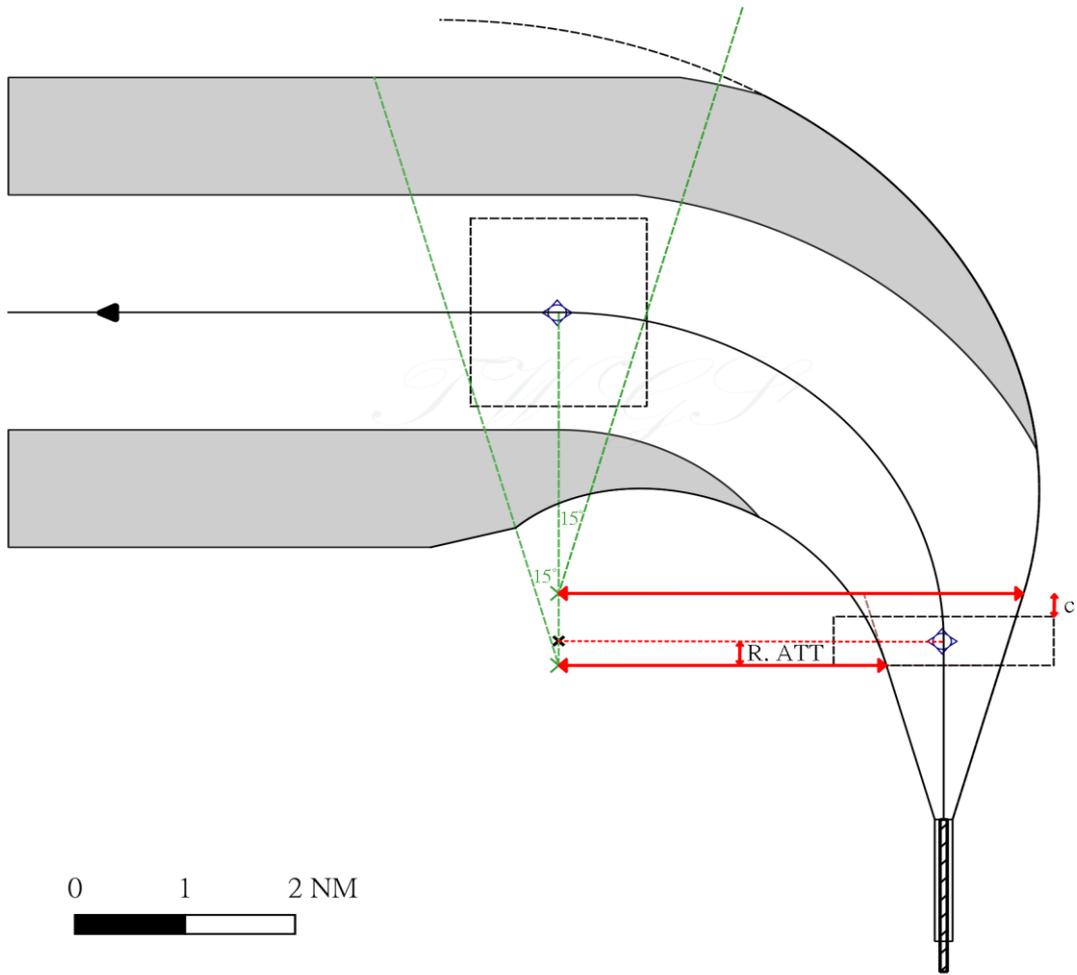


圖 6- Splay in RF turn

四、Non-Precision RNP APCH Procedures

Non-Precision RNP APCH (LNAV) 的一般性設計原則大致遵循傳統儀航程序規範及 PBN 的通用規範，例如最後進場階段影響飛安至關重大，不可僅僅為了噪音防制之目的而偏移最後進場軌跡航向，針對最後進場未對準跑道方向的情形，規範提高了最低允許之 OCH 值以維飛安。依規範可繪製保護面如圖7，此類程序皆設定 FAF，且設皆設定為 fly-by 點。比較特別的是，非精確 SBAS RNP 進場程序 (LP) 的直線誤失進場保護面在 MAPt 點後不需輻散 15° ，如圖8。

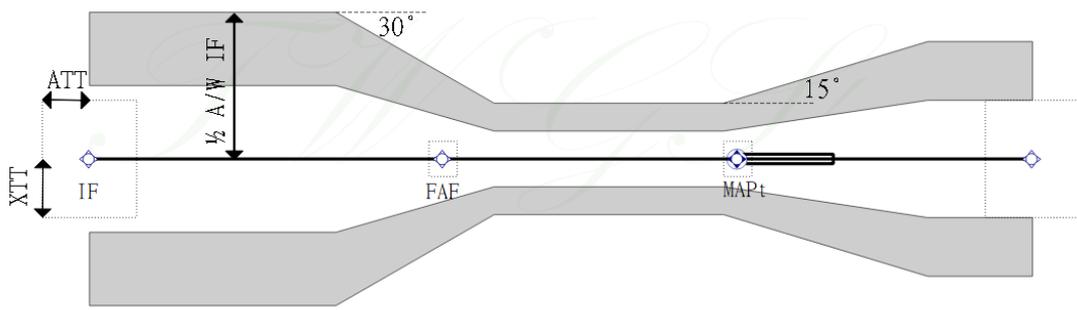


圖 7- RNP APCH areas

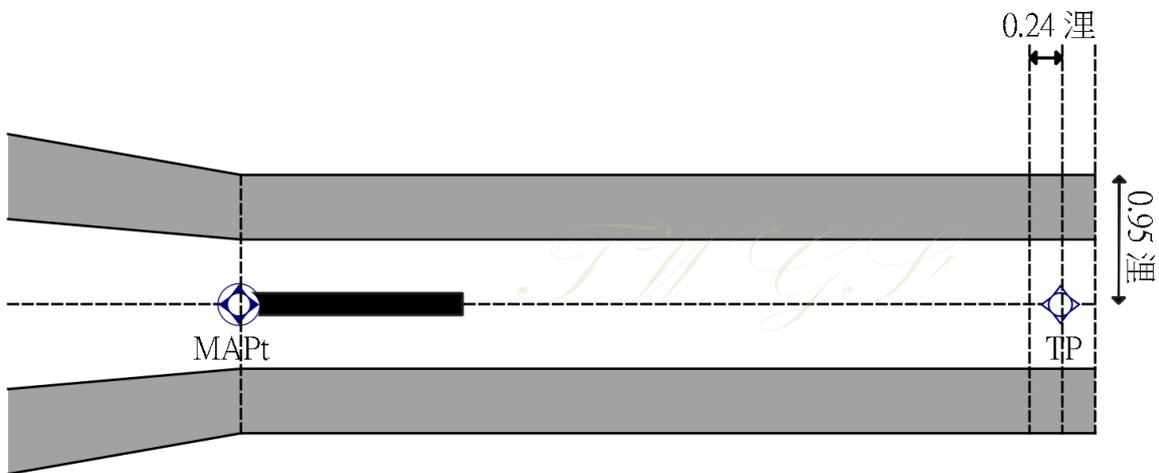


圖 8- SBAS 直線飛航誤失進場階段

五、RNP APCH Missed Approach

RNP APCH 之誤失禁場設計係引用一般原則(Doc 8168 Vol.2, Part I, Sec. 4, Ch. 6)再稍作修改，其導航規格如表3，MAPt 點須設為 flyover 航點，亦分成 Initial、Intermediate 及 Final 等3個誤失進場階段。Initial 階段由最早 MAPt 位置延伸至 SOC (start of climb)點，保持高度並準備後續爬昇操作。標準的 Intermediate 階段保持2.5%爬升梯度，直到航機與所有相關障礙物「達到50公尺以上的高度隔離並能維持」的那一刻出現為止。Final 階段接續前階段的爬升運動，直至與新的進場航線、待命航線或返回航路接連，如需要可在這個階段執行轉彎航線。

六、APV Baro-VNAV Final

Baro-VNAV 進場程序被分類為支援 Type A 3D 作業的 APV (approach procedure with vertical guidance) 程序，即為一種具備垂直導航之應用程序，因為商用航空器多具備 Baro-VNAV 設備，所以本項 PBN 應用之可用性頗高。Baro-VNAV 的保護區域水平範圍與 RNP APCH 非精確進場程序即 LNAV-only procedure 所定義者一致，惟此時的 FAF 及 MAPt 僅用於水平側向而不用於垂直向導航用途。Baro-VNAV 程序顧名思義係基於氣壓高度而建構，因此程序所發布的滑降角度 - Vertical Path Angle (VPA) 值係理想值，設計程序時須確保實際滑降角度 - effective VPA 能符局地飛航作業需求，Doc 8168 規範 effective VPA 之值域限制為 $\{2.5^\circ, 3.5^\circ\}$ ，超出這個範圍將視為違規或須先獲得當局審核同意。

APV/Baro VNAV 包含最後降落前的下降階段及誤失進場的最初及中間階段，APV OAS 之範圍起始於 FAP，而終止於 MAHF、MATF 或到達轉彎高度處等三者中最先抵達者。APV OAS 示意如圖。

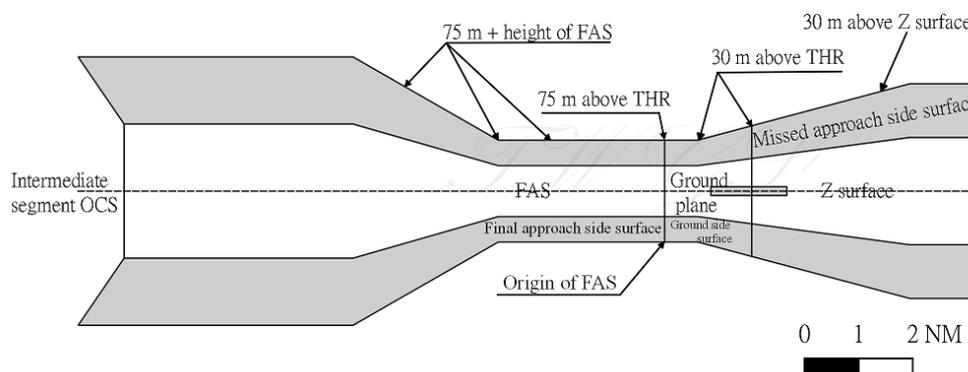


圖 9- APV OAS in plan view

在進行 APV/Baro-VNAV 的障礙物評估時，因 OAS 架構複雜，需分作數個區塊處理，如 Ground Plane(ATT before THR 點往正 x 側)、Ground side surface(ATT before THR 點往正 x 側)、Ground Plane(ATT before THR 點往負 x 側)、Ground side surface(ATT before THR 點往負 x 側)、Z surface (missed approach surface)、Missed approach side surface、FAS (final approach surface)、

Final approach side surface 等，倘 Intermediate segment OCS 面高度超過海拔5000呎或10000呎時，FAS 將視情況再分2至3段，綜合而言較其他程序複雜許多，處理時須多下幾道條件式。

實際應用時，除非機載 FMS 配備有最後進場階段的自動氣溫補償(temperature compensation)機制，否則當溫度低於某 Baro-VNAV 程序所發布的最低限制時，不可使用該程序，此外 Doc 8168指出執行此程序時不允許使用遠端的高度表撥定值(remote altimeter setting)，文件定義的遠端係指距氣壓撥訂值來自距跑道頭「5」哩以外。

七、SBAS Non-Precision Criteria, APV I and Precision CAT I

本章節介紹兩種 SBAS 導航應用- 屬於非精確進場的 SBAS APV I(屬 Type-A 3D) 及精確進場的 SBAS CAT I(屬 Type-B 3D)等，著重在最後進場、誤失進場的 Initial 及 Intermediate 階段，即文件提到的 APV I 及 CAT I segment，領域專用詞包含 DCP (datum crossing point)、FAS (Final approach segment) data block、FPAP (Flight path alignment point)、GARP (GNSS azimuth reference point) 等，其中 FAS data block 為定義 SBAS 航徑有關之參數，將上載至機載設備，影響實際飛航軌跡，故有嚴格之資料完整性處置規範。

設計時所採之標準狀況與其他程序相仿，如標準誤失進場爬升率為2.5%、最佳的 Glide Path Angle 為3°、RDH 為15m (或50呎*)等。進行障礙物評估時，對 SBAS CAT I 可使用 ILS CAT I 的 CRM 及 OAS 來計算 OCA/H，對 APV I 目前只能採用 OAS 方式來進行，其 CRM 還在發展。SBAS APV I 與 CAT I 的 OAS 形狀與 GARP 至 THR 間距離、滑降角、RDH 等有關，OAS 最遠可延伸到 Intermediate 階段，SBAS APV I 之 OAS 包含 W、W'、X、Y 及 Z 等面(如圖10)，Y 面與 Z 面侷限在航跡兩側半寬0.95哩內(針對固定翼航空器)為其一項特色，SBAS CAT I 之 OAS 與 ILS CAT I OAS 一致，包含 W、X、Y 及 Z 等面。此外，SBAS 誤失進場 Z 面位置(X_E)隨滑降角角度改變而變動，而不是固定在跑道頭後900公尺的位置。如同 ILS，SBAS 由中間進場階段轉接至最後進場階段也可以採用 RF 航段設計，相關設計細節、攔截滑降軌跡(glide path)的條件等，文件另有規範，另外 SBAS

得於中間進場階段選用任何導航方式，惟須在到達 FAF 點2哩前，轉換至 SBAS 導航模式。

除了前述 APV I 及 CAT I 程序，文件也針對沒有垂直引導的 SBAS NPA(非精確進場)訂定簡明規範，增添導航應用選擇。

註*:在儀航程序領域領域，相關參數在公制、英制上常獨立運作，常出現所指數量公、英制換算後不全等之特殊現象，設計時常可依制別引用。

勘誤1- Doc 8168 Vol II 第789頁5.4.1提及” ... CAT I segment shall be aligned with the runway centre line ...” 存有誤植，應將句中 shall 字改為 should，實際上存有5°以內的偏移設計是允許的。

勘誤2- Doc 8168 Vol II 第794頁5.5.3.3.1 段提及 ” ... at a distance equivalent to 0.6 km (0.3 NM) plus ...” 存有誤植，應將句中的0.6 km (0.3 NM)改為444 m (0.24 NM)。

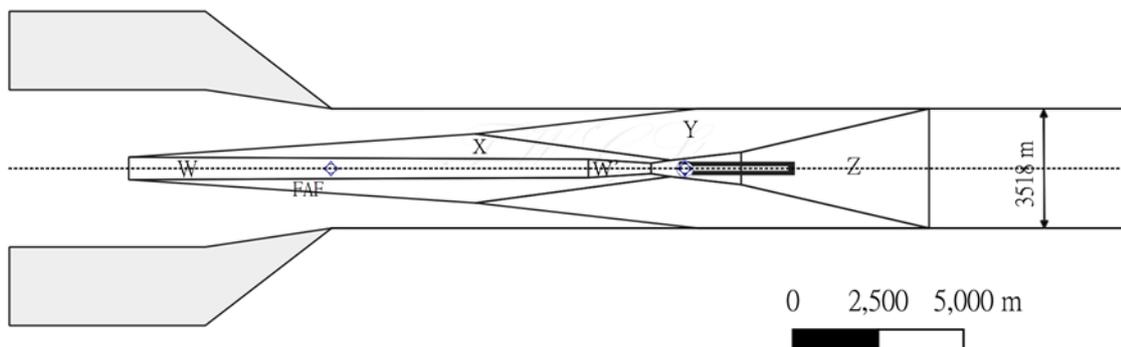


圖 10- SBAS APV I OAS

八、GLS Precision Criteria

檢視教材，GLS 相關論點、原理確實與 SBAS 者相仿，學員應能自行研析。此外，目前在 GLS 設計方面多所引用 ILS 準則，如同文件所述-” While specific GLS criteria are in preparation, the criteria contained in this chapter are based on an ILS equivalency method.” 相呼應，例如 GLS 暫時引用 basic

ILS surfaces、ILS OAS 及 ILS CRM 來計算 OCA/H。值得一提的是，GLS 可以採用指定點(TP)、高度(altitude/height)、或儘早(as soon as possible)等3個方式來設計 Turning Missed Approach，然而目前的 SBAS 僅能以指定點的方式來設計轉彎航徑。

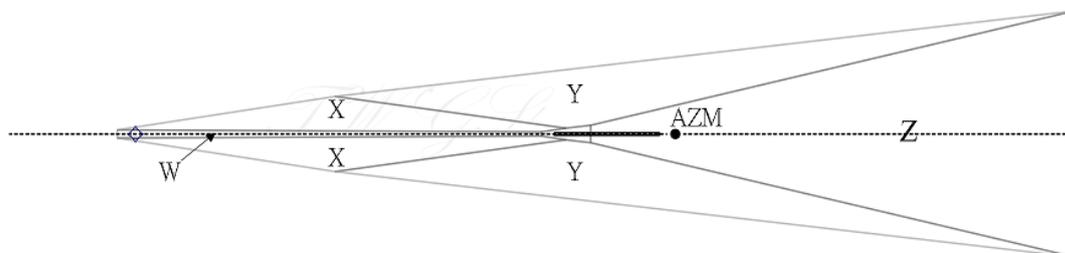


圖 11- Typical CAT I OAS contour

九、RNAV Holding

Doc 8168依「導航規範是否要求 RNAV Holding 功能」來分類待命(holding)航線設計，具有 RNAV Holding 功能者，較可善用空域，並在特定情況下減少待命空域範圍，未具備 RNAV Holding 功能(採手動飛行)者，須以傳統待命航線樣版(template)來逐步建立障礙物隔離區域。目前文件規範的待命區域繪製步驟相當繁雜、耗時，分成建立樣版、建立基本區域及建立進入區域等三大步驟，幸好講師於課堂中透露，ICAO 已著手規劃新一代 RNP Holding 設計程序，其形狀看似大型的 racetrack，繪製步驟應是簡化不少。另外講師也透露，對於「導航規範系統要求機載系統具備 RNP holding 能力」的待命航線設計規範，有可能在2026年發布。

十、Helicopter Point-in-Space (PinS)

在進入目視階段之前，Pins 的設計模式與固定翼航機所採用的無不相同，惟僅將直昇機的飛航乘性特徵(CAT H)帶入其中，在進場程序方面，文件亦訂定各階段的航跡對準、保護區域、軌跡長度、下降梯度、地障隔離等規範，與固定翼航機相比，Pins 進場程序有較大的最佳下降梯度值(6.5%)及標準誤失進場爬升梯度值(4.2%)，最後進場階段則沒有航跡對準要求。90及70浬/時是設計 Pins

程序時常使用的指示空速參數，在無速限要求時，可單以90浬/時進行設計以節省時間耗費。文件規範直昇機 Pins RNP 進場程序及 RNP 0.3作業在各階段採用的 XTT、ATT 及保護區域半寬參數值如表10及11。Pins 進場程序分段情形與一般固定翼航機不同處在於 Pins 多了 MAPt 至直昇機起降參考點 (Helicopter reference point, HRP) 間的目視階段(Direct-Visual Segment)，文件為此目視階段規範相關障礙物清除面(Obstacle Clearance Surface, OCS)及障礙物識別面(Obstacle Identification Surface, OIS)要求，以確保目視階段飛航安全。同樣地，Pins 離場程序與一般固定翼航機不同處，在於多了直昇機起降場至最初離場點(Initial Departure Fix, IDF)間的目視階段，文件亦提出相關障礙物清除面及障礙物識別面規範要求，設計 Pins 離場程序所用的標準爬升梯度為5%，亦較一般固定翼航機所用參數為大。

此外，針對具備 SBAS 導航功能的直昇機，文件提供 Pins RNP APCH 進場下降到 LPV 最低標準(PinS approaches to LPV minima)之規範，其 FAS data block 設定 GARP 到 FHP (fictitious heliport point) 的距離是3000公尺，FHP 方位角半寬為105公尺，Pins 點到 FHP 點距離為800公尺，前述的 FHP 意涵如同一般固定翼航機相關程序之 LTP/FTP 點。對於目視階段有轉彎操作(manoeuvring)或定有 DP 點之直線飛航者，其 OCA/H 值須考量與滑降角度成正比的 add-on 值。

表 10- GNSS RNP APCH (CAT H) XTT, ATT, aera semi-width 參數

IF/IAF/missed approach (<56 km ARP)			FAF			MAPt/Initial Straight Missed Approach (LP/LPV only)			Missed approach (<28 km ARP)		
XTT	ATT	½ A/W	XTT	ATT	½ A/W	XTT	ATT	½ A/W	XTT	ATT	½ A/W
1852	1482	4074	556	444	2130	556	444	1482	1852	1482	3426

(單位:公尺)

表 11 - RNP 0.3應用 (CAT H) XTT, ATT, aera semi-width 參數

En-route/STAR/SID (<56 km ARP)			STAR/SID/IF/IAF/Missed Approach (≤56 km ARP)			SID/Missed approach (<28 km ARP)		
XTT	ATT	½ A/W	XTT	ATT	½ A/W	XTT	ATT	½ A/W
556	444	2685	556	444	2130	556	444	1482

(單位:公尺)

勘誤3- Doc 8168 Vol II 第932頁 2.5.3.2 段提及 ” Area width. See Part III, Section 1, Chapter 2, Tables III-1-2-9 and III-1-2-10.” 存有誤植，應依上下文引用適當之 CAT H 類參數表。

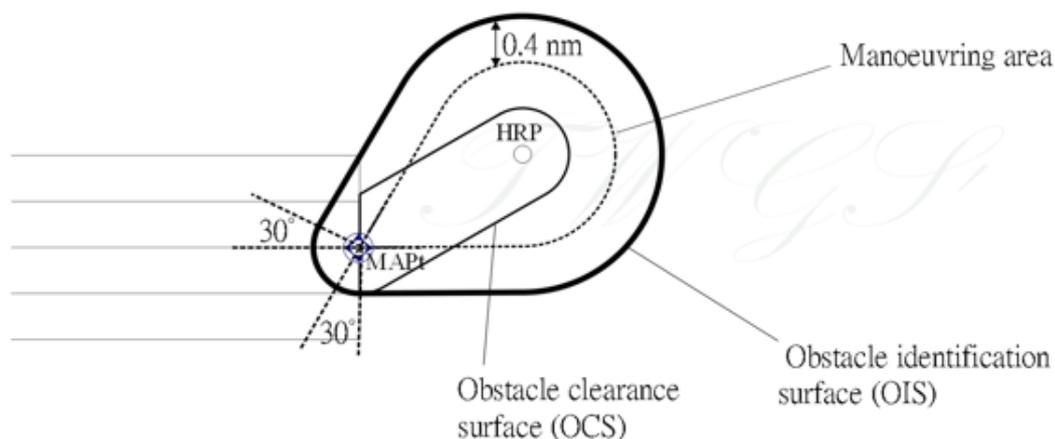


圖 12- Pins Manoeuvring-visual segment 之 OIS/OCS 示意圖

十一、RNP AR

RNP AR 的 OAS 係由依據 VEB 所建構的 FAS、誤失進場 Z 面及前述兩者間的水平面所構成。在最後進場階段，不管採直線或轉彎航行，其 OAS 面之傾斜梯度相同，但考量到轉彎時之機體幾何，在離跑道頭相同距離之處，RF OAS 面會比 TF OAS 面更低，意即對障礙物之高度限制將更為嚴格。此外，航機轉彎傾斜角的改變也會使 RF-OAS 面產生位移，大的傾斜角有更大的(前述)水平面範圍。

RNP AR 之 OAS，與局地氣溫垂直分布有關，而不是由若干固定的斜面所建構而成(如 ILS OAS)，文件提供了明確公式，方便計算機處理。RNP AR 的最佳 VPA 角度還是 3° ，effective VPA 角度同樣限制在 2.5° 至 3.5° 間，在盛行氣溫下，倘 effective VPA 與 VASIS 的 GP 角度差大於 0.2° ，則須在相關航圖上標註提醒。此外，VPA 也是決定 OAS 面的因子，意即變動 VPA 後，障礙物評估作業須重新執行。

應用舉例：

橘色 FAS RNP 0.1

藍色 MA RNP 0.3

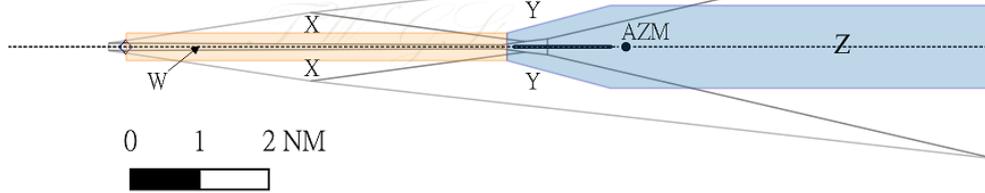


圖 13- RNP AR VS. CAT I 示意圖

RNP AR 之誤失進場的標準導航規格為 RNP 1.0，倘為了躲避航線兩側外緣的障礙物，得引入短暫過渡性質的優規導航規格，但高規格(航機不一定可以配合)易導致程序可用性降低，所以文件指出此時須先以提高爬升梯度或改變航徑的方式來因應，不建議直接以採優規方式處置。建構 RF 誤失進場航徑閃躲障礙物的 trial and error 調校過程算是有趣，可以嘗試調整起始轉彎點位置、轉彎半徑等，設法找到最適當的航跡。

RNP AR 之誤失進場可允許使用 RF、TF、DF、CF、CA 等航段，其中以 RF、TF 較為推薦，惟當 RNP 規格小於1.0(哩)時，依規範不可使用 DF、CF。當設計轉彎型誤失進場程序時，若 RNP 規格小於1.0(哩)時，傾斜角須限制在15° 以內，也只能採 fly-by 或 RF 設計，且當 RNP 規格小於0.3(哩)時，僅允用 RF。由誤失進場障礙物高度(hma)換算至等效進場障礙物高度(ha)時另需考慮轉彎程度，分直線、轉彎角度15° 以內、轉彎角度大於15° 及 RF 等，此時的經典公式多了 MOC 項：

$$ha = [(hma + \mathbf{MOC}) * \cot Z - (Xz - x)] / (\cot VPA + \cot Z)$$

以上公式在直線航行時 MOC 為0，轉彎角在15° 以內時 MOC 為30公尺，轉彎角大於15° 時 MOC 為50公尺，若採 RF 設計 MOC 可以公式- $40 * \sin(\text{design bank angle} + 5^\circ)$ 估算之。當誤失進場係以 RF 航段設計時，計算爬升梯度時所用的旋轉半徑，係採繪製主(nominal)軌跡之半徑再減去0.1哩來計算，此時的 MOC 與航空器機體幾何大小及傾斜角相關，同樣可依前述公式獲取。

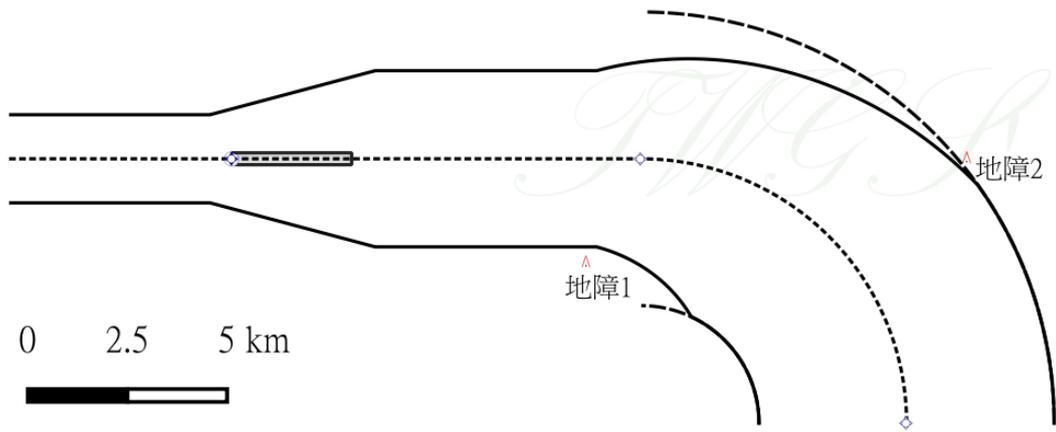


圖 14- RNP AR 誤失進場示意圖

心得與建議

機緣巧合下前往澳洲奧爾伯里 GLOBAL AIRSPACE SOLUTIONS 顧問公司研習 PBN 儀航程序設計課程，算是開拓亞、歐相關學習機構以外，另一條可以達成進修任務的途徑。講師 BAS 先生授課態度認真、教學內容扎實，總是早到、晚退提供學員諮詢機會，在表定課程的最後一天最後一刻，都還堅守崗位克盡教學職責，相當敬業，也由衷感謝 BAS 先生及時提供本人研習進修的機會，完成使命。

新興導航應用持續發展，部分應用在國內尚無建置完成經驗，如 GLS、SBAS 等，倘未來時機成熟、有需求，建置之成本效益可為接受，相關同行(如:陸/空通訊、陸/空導航、飛航作業及管(監)理等各方)應可大顯身手，齊心協力一同促成星基精確進場作業之實現。

本篇依個人修習心得簡摘撰寫，建議對本門學問、技術有興趣的讀者，直接參閱 ICAO 相關文件，以獲得完整資訊，報告倘有疏漏、誤植等未及更正之處，敬請見諒。

建議事項- 如前所述，新興 PBN 導航應用、程序規範持續發展，建議本局持續派員赴國外研習相關儀航程序設計課程，以永續領域人力，推動公務。另外，此係首次於 Global Airspace Solutions Pty Ltd 接受 PBN 儀航程序訓練，授課講師為國際間經驗豐富、卓有聲譽之資深專業人員，將透過組內會議簡報分享、進行成果討論，進一步擴大參訓成效。

參考文獻

Bas Smeulders. (26 Aug. 2024 - 6 Sep. 2024). “ICAO COMPLIANT ADVANCED PANS-OPS (PBN) COURSE- COURSE MATERIAL.” ICAO COMPLIANT ADVANCED PANS-OPS (PBN) COURSE, Albury, NSW, Australia. Lecture.

International Civil Aviation Organization. “Doc 8168, Procedures for Air Navigation Services — Aircraft Operations Volume II, Construction of Visual and Instrument Flight Procedures Seventh Edition, 2020.” (Part III - IV). Montréal, Quebec, Canada.

International Civil Aviation Organization. “Doc 9905 Required Navigation Performance Authorization Required (RNP AR) Procedure Design Manual Third Edition, 2021.” Montréal, Quebec, Canada.