

出國報告（出國類別：實習）

「國際民航組織導航性能需求儀航 程序設計」出國報告書

服務機關： 民用航空局
姓名職稱： 黃群堯 技士
派赴國家： 新加坡
出國期間： 112 年 7 月 16 日 至 8 月 5 日
報告日期： 112 年 10 月 19 日

目 錄

壹、目的	1
貳、過程	1
參、學習內容	4
一、GNSS 基本概念	4
二、PBN 基本概念	7
三、RNP APCH 設計準則	15
四、BARO - VNAV 進場程序	18
五、RNP AR 程序	25
肆、心得與建議事項	30

壹、目的

基於性能導航(Performance Based Navigation, PBN)儀航程序設計為國際民航組織(ICAO)儀航程序設計初訓之延續，其初訓部分在於建立儀航程序設計人員對「傳統導航(Conventional)」之儀航程序設計之訓練，內容包含儀航程序之基本共通概念，以及利用地面助導航設施進行儀器飛航之程序設計，而進階之導航性能需求儀航程序設計，則是針對國際民航組織推動之以機載設備作為導航依據之儀航程序設計(即 PBN)。

國際民航組織提出基於性能導航概念，整合區域航行(RNAV)和導航性能需求(RNP)運行和技術標準建立 PBN 之相關作業標準。我國雖非國際民航組織會員國，本局仍遵循其推動計畫，於民國 107 年訂定臺北飛航情報區性能導航(PBN)實施計畫，並持續關注國際發展之項目。本局近年陸續規劃性能導航之各類儀航程序，且基於原有的傳統儀航程序架構下尋找以性能導航技術優化之調整，參與本課程有助於未來執行 PBN 儀航程序設計之業務。

貳、過程

本次研習課程共計 3 週，於 7 月 16 日搭乘長榮航空 215 班機前往新加坡，8 月 5 日搭乘長榮航空 215 班機返國。課程地點為位於新加坡樟宜村附近之新加坡民航學院(SAA, Singapore Aviation Academy)。課程內容除了儀航程序設計規範文件講授外，另包含 1 次實作課程(程序設計與成果簡報)、1 次期中測驗及 1 次期末測驗，實作課程及測驗成績皆達 70 分以上者才可取得結業證書。本次講師為宏都拉斯籍 Antonio Locandro 君，該師於 SAA 授課儀航程序設計課程近十年，教學經驗相當豐富。表 2.1 為本次課程表。

表 2.1 2023 年國際民航組織導航性能需求儀航程序設計課程表

日期	課程內容
7 月 17 日	開訓報到、環境介紹、師資及學員自我介紹 Performance Based Navigation 概念 PBN Airspace Concept General Principles

	Geodesy GNSS
7月18日	GNSS Geodetic calculation System Performance RNP APCH Initial/ Intermediate Segment
7月19日	RNP APCH Final Segment Area Construction Missed Approach RNP APCH(VNAV)
7月20日	RNP APCH Exercise Barometric Vertical Navigation Missed Approach
7月21日	Barometric Vertical Navigation Exercise Departures
7月24日	RNP APCH Procedure Design Lab
7月25日	RNP APCH Procedure Design Lab
7月26日	期中測驗 RNP APCH Procedure Design Lab
7月27日	RNP APCH Procedure Design Lab SBAS CAT I/APV I OAS
7月28日	SBAS Missed Approach SBAS Exercise SBAS NPA

	PBN RNP AR
7月31日	RNP AR Wind Application to RF Legs VEB Concept
8月1日	RNP AR General Criteria RF Segment VEB Calculations
8月2日	RNP AR RNP AR Final Segment/Missed Approach RNP AR Obstacle Calculation
8月3日	RNP AR Establishing OCA/H and DA/H 期末測驗 RNP VPT
8月4日	綜合討論 課程意見調查 結業式



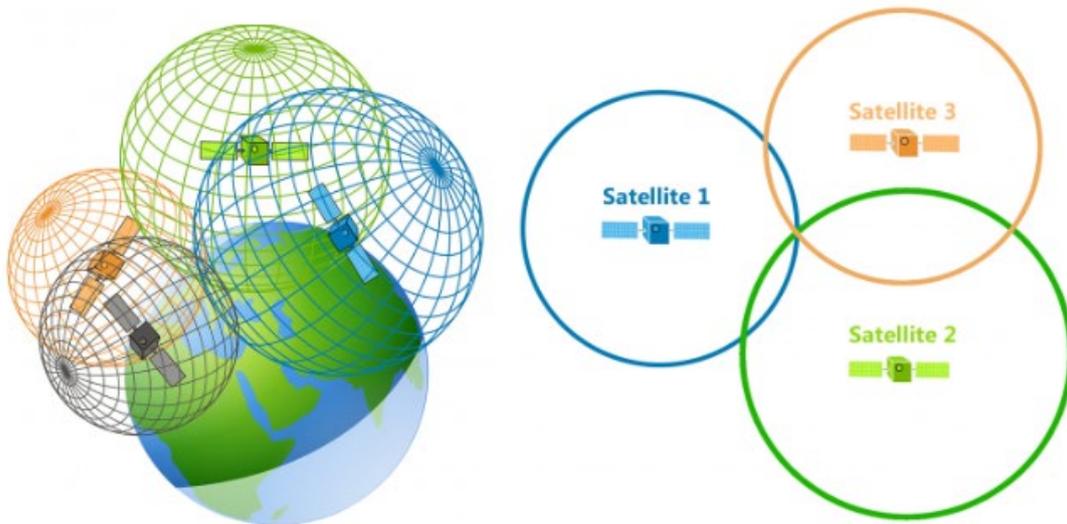
本梯次同學及講師合影

參、學習內容

一、GNSS 基本概念

傳統導航係以地面助導航設施提供航機無線電訊號進而完成導航作業。而 PBN 作業之概念係以「導航衛星系統(GNSS, Global Navigation Satellite System)」，如全球衛星系統之美國 GPS、俄國 GLONASS、中國 BEIDOU、歐洲 GALILEO，或區域型之印度 RNSS、日本 QZSS 系統等。

要使用衛星系統定位，需由三個部分配合，第一個是衛星網絡，廣播無線電訊號；第二個是衛星控制端(Control and monitor station)，負責監控衛星位置及時間校正；第三個是使用者端的訊號接收器，接收來自衛星的訊號並計算相對衛星的位置及距離，若同時接收到四個以上的衛星訊號，可推算出接收器在空間中的三維坐標(含高度，如下圖所示)。

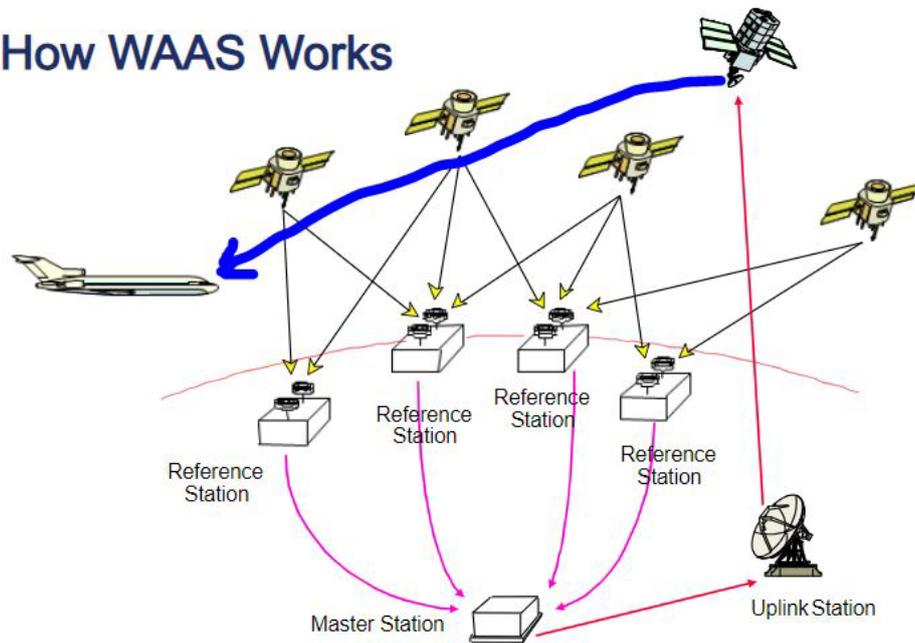


衛星訊號會受到大氣狀態、物體反射等影響而影響定位準確性，而不同衛星位置分布情況亦會影響定位準確性。為符合 PBN 作業的可得性(Availability)及持續性(Continuity)，發展出 GPS 增強性系統(Augmentation System)，分別有星基增強系統(SBAS)及陸基增強系統(GBAS)。

星基增強系統(Satellite Based Augmentation System, SBAS)：

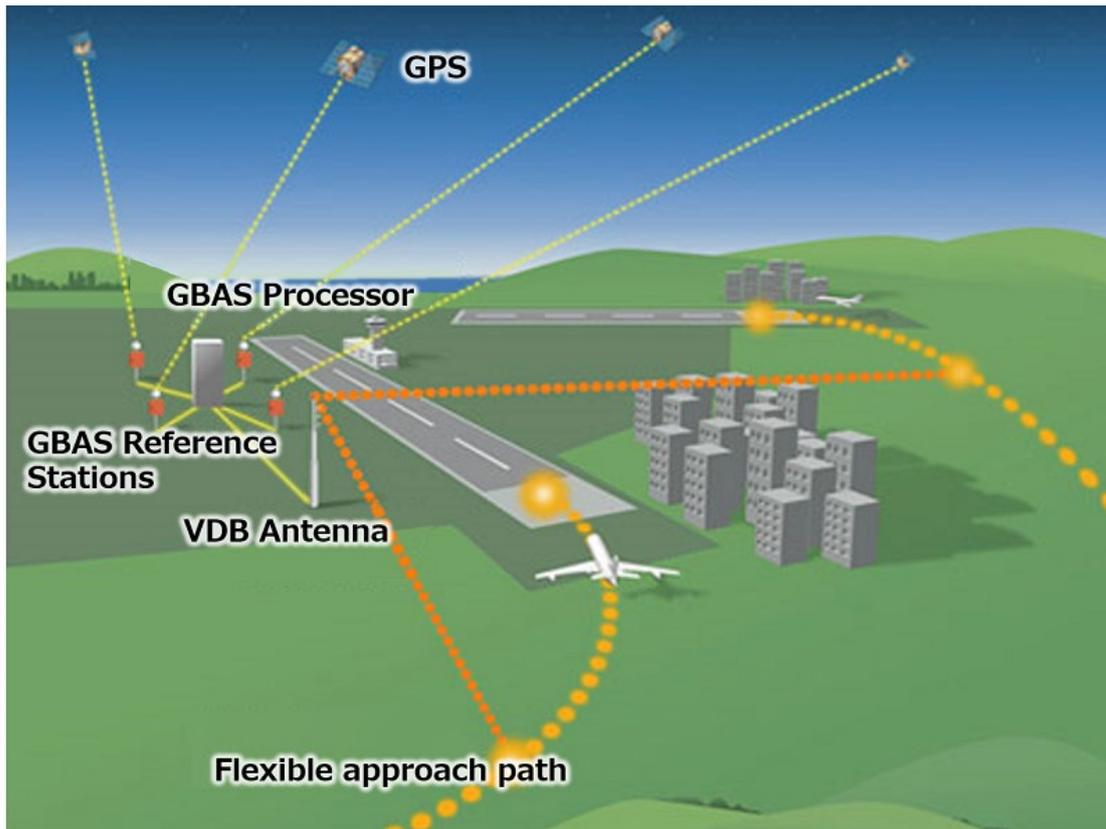
星基增強系統主要有美國的 WAAS(Wide Area Augmentation System)及歐洲的 EGNOS(European Geostationary Navigation Overlay Service)。利用地面參考站臺量測 GPS 衛星訊號誤差與電離層延遲效應等，並由地面控制端站臺處理後，將誤差訊號上傳至同步衛星，再由同步衛星廣播與 GPS 相同頻率的修正訊號。由於星基增強系統依靠同步衛星廣播修正訊號，因此 SBAS 系統之精確性與同步衛星所能涵蓋的範圍有密切關係，另外航空器所在位置的 GPS 衛星誤差與地面參考站臺的 GPS 衛星誤差實際上可能不同。WAAS 系統示意圖如下

How WAAS Works



陸基增強系統(Ground Based Augmentation System, GBAS)

陸基增強系統主要為 LAAS(Local Area Augmentation System)，利用一個或數個已知三維座標的陸基監控站臺(Ground-based monitor stations)，計算 GPS 衛星訊號與實際位置的差異，並透過資料連結，於陸基監控站臺 25 至 30 哩範圍內傳送差分修正訊號給航空器。LAAS 系統示意圖如下



二、PBN 基本概念

基於性能導航(Performance-Based Navigation, PBN)為航空器於特定飛航服務航線、儀器進場程序或指定之空域內運作時，指定其導航性能規格(Navigation Specification)之區域航行(Area Navigation, RNAV)。ICAO 在 9613 號文件 (PBN Manual)中將 PBN 主要運用的幾種導航性能規格列出，而相對應的儀航程序設計規範則分別置於 ICAO 8168 號文件第 2 卷第 3 部以及 9905 號文件 RNP AR(須經授權的 RNP 程序)設計手冊中。

區域航行(RNAV)為航空器於所參考之助導航電臺涵蓋範圍內，或在其機載裝備之能力限度內，或兩者合用情形下，飛航於任何所欲飛行路徑之導航方法。區域航行儀航程序是由以經緯度所定義的航點(Waypoint)所構成，原則上航點可設於任何地球投影位置，且任何兩個航點相連即可構成其飛行路線，其所能設置之飛行路線與傳統儀航程序相較之下，除無法利用訊號的狀況之外，可說是幾乎沒有限制。

導航性能需求評估 4 個項目：精確度(Accuracy)、整合度(Integrity)、持續性(Continuity)、可獲得性(Availability)。精確性(Accuracy)為航機本身於飛航操作中定

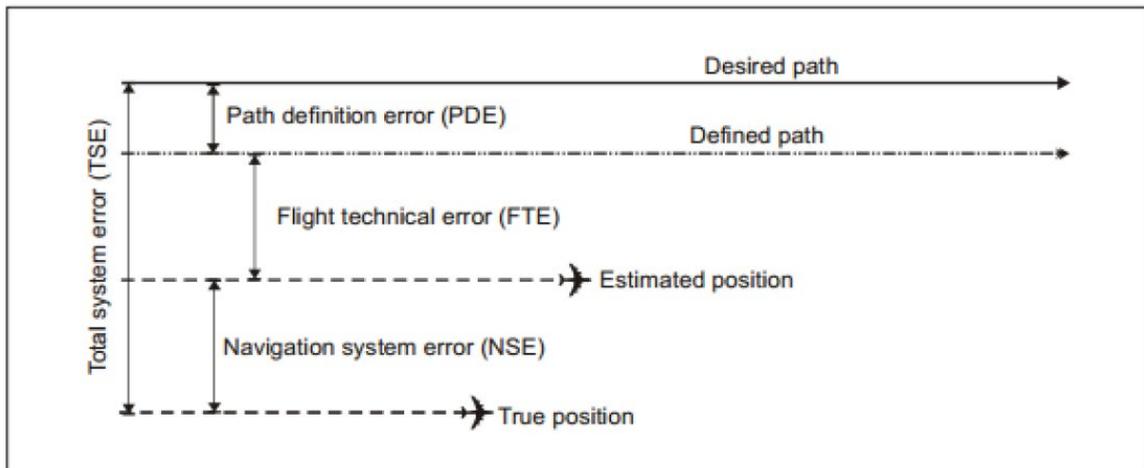
位的精準程度；整合度(Integrity)為確保整體計算結果正確性的保障，可確保系統正確產生告警；持續性(Continuity)為開始進行某一 PBN 飛航操作後，中途不至失去導引訊號的可能性。可獲得性(Availability)為航機要進行某一 PBN 飛航階段前可確信衛星定位系統(或地面助導航設施)將正常提供服務的可能。

PBN 架構下的導航性能規格(NAV SPEC, navigation specification)分為 RNAV 及 RNP 規格 2 大類，兩者差異在於是否有機載監視及告警系統(On-Board Performance Monitoring and Alerting, OBPMA)。RNAV 規格無 OBPMA，RNP 規格則要求具 OBPMA。具 RNAV 認證之航機亦可能具有機載監視及告警能力，但僅限於監視導航裝備本身運作狀況是否正常，不包含監視「整體系統性能(Total System Performance)」部分。導航規格可加上一數值指定其導航精確程度(Specification)，例如 RNAV5、RNAV2、RNP APCH 等實際運用之規格。下表為 8168 號文件所載不同飛航階段可用之導航規格。

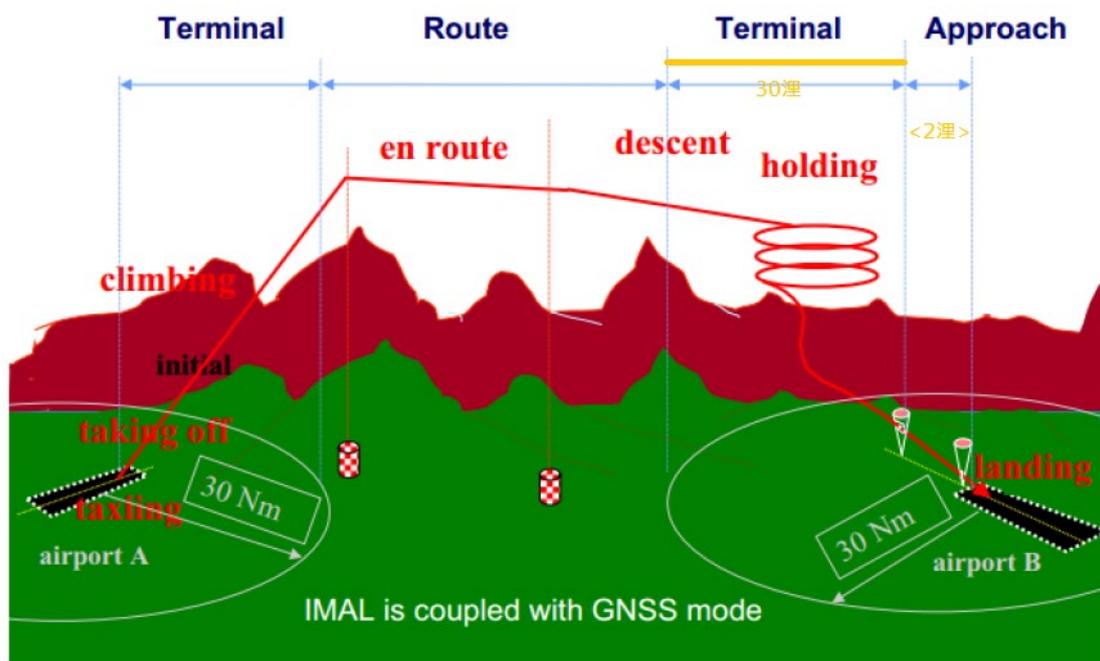
Table III-1-1-1. Navigation specification per flight phase

	<i>Flight Phase</i>							
	<i>Oceanic/Remote</i>	<i>En-route</i>	<i>Arrival</i>	<i>Approach</i>				<i>Departure</i>
				<i>Initial</i>	<i>Intermediate</i>	<i>Final</i>	<i>Missed¹</i>	
RNAV 10	10							
RNAV 5		5	5 ²					
RNP 4	4							
RNP 2	2	2						
RNAV 2		2	2					2
Advanced RNP ³	2	2 or 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) ⁴				1	1	0.3	1	
RNP APCH (Part B) ⁴				1	1	Angular	1 or 0.3 (initial straight MISAP)	
RNP AR APCH				1-0.1	1-0.1	0.3-0.1	1-0.1	

影響導航精確性的誤差分為三類，分別是飛航軌跡誤差(Path Definition Error, PDE)、飛行技術誤差(Flight Technical Error, FTE)及導航系統誤差(Navigation System Error, NSE)，示意圖如下：



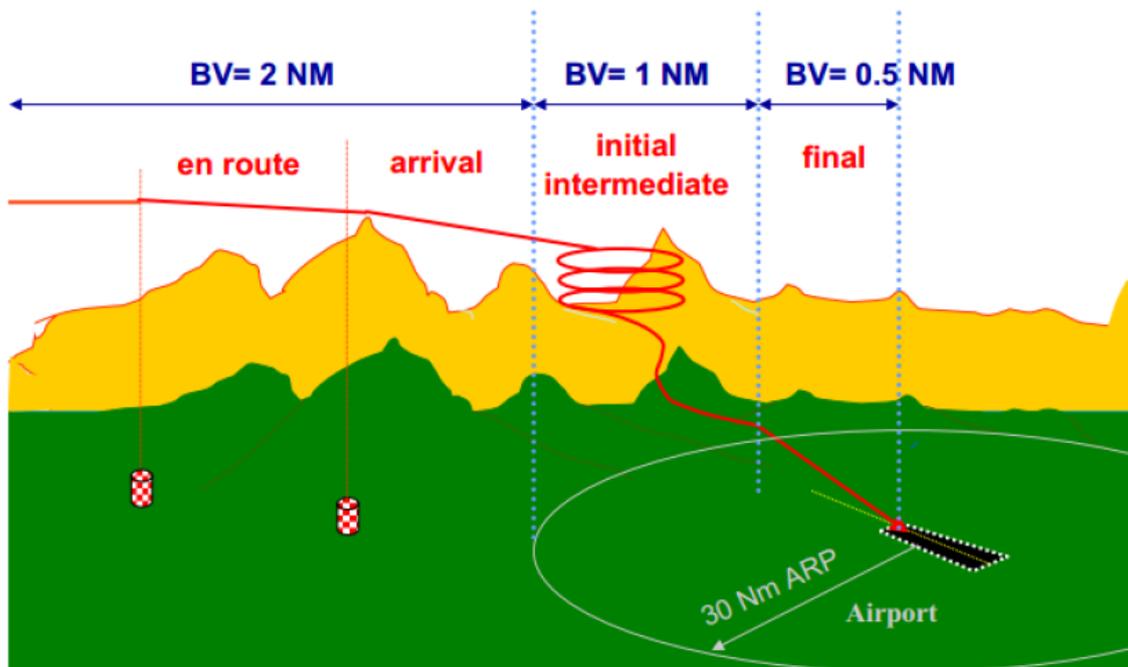
航空器於飛行過程中，依機載設備之作業模式可區分為以下 3 種：航路模式 (En-Route Mode)：以機場參考點(ARP)為中心超過 30 哩半徑範圍；終端模式 (Terminal Mode)：以機場參考點(ARP)為中心 30 哩半徑範圍至最後進場點 (FAF) 前 2 哩；進場模式(Approach Mode)：最後進場點至誤失進場點之間。前述模式示意圖如下：



PBN 架構下的橫向航跡容差(Cross Track Tolerance, XTT) ,基本上就是整體系統誤差(Total System Error, TSE) ,其中包含了飛行技術誤差(Flight Technical Error, FTE)及導航系統誤差(Nav System Error, NSE) 。而沿航跡容差(Along Track Tolerance, ATT) 即為 XTT 之 80%。各飛航階段的緩衝值(BV, Buffer Value)如下表及示意圖 :

Table III-1-1-3. Buffer values

<i>Phase of flight</i>	<i>BV for CAT A-E</i>	<i>BV for CAT H</i>
En-route, SIDs and STARs (greater than or equal to 56 km (30 NM) from departure or destination ARP)	3 704 m (2.0 NM)	1 852 m (1.0 NM)
Terminal (STARs, initial and intermediate approaches less than 56 km (30 NM) of the ARP; and SIDs and missed approaches less than 56 km (30 NM) of the ARP but more than 28 km (15 NM) from the ARP)	1 852 m (1.0 NM)	1 296 m (0.7 NM)
Final approach	926 m (0.5 NM)	648 m (0.35 NM)
Missed approaches and SIDs up to 28 km (15 NM) from the ARP	926 m (0.5 NM)	648 m (0.35 NM)



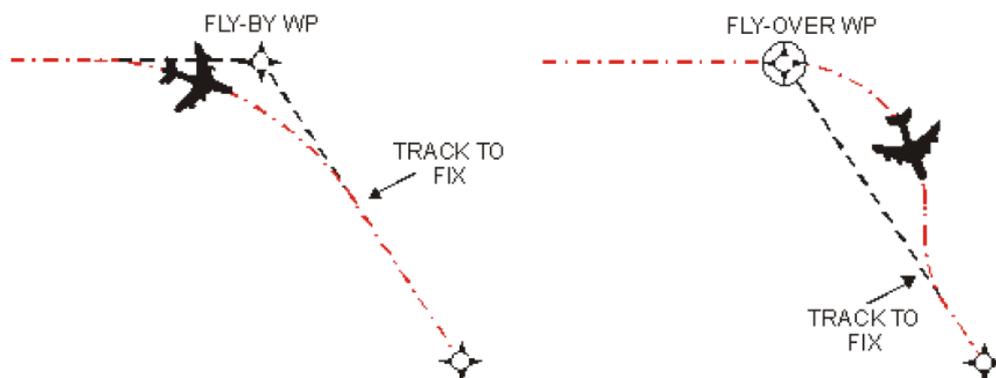
不同飛航階段之飛行技術誤差(Flight Technical Error, FTE)如下表 :

Table III-1-1-2. FTE as a function of PBN navigation specification

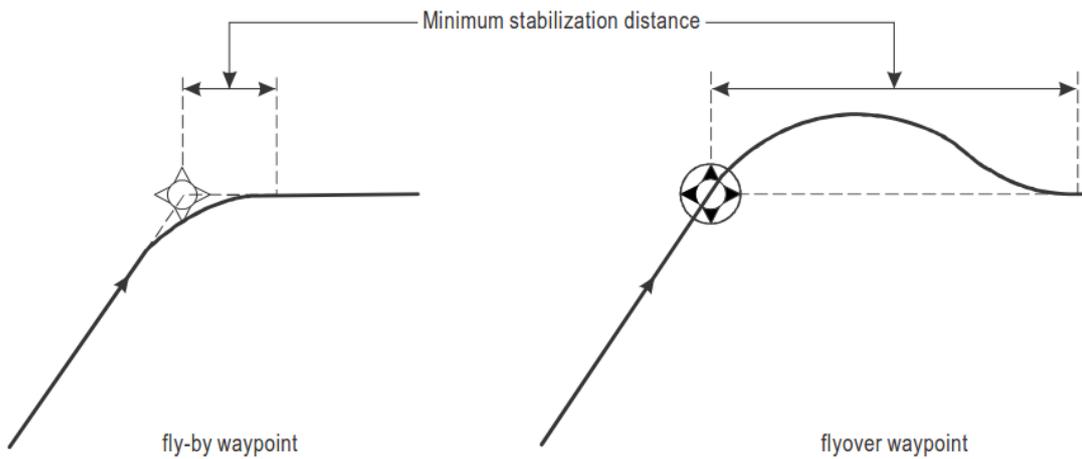
<i>Phase of flight</i>	<i>FTE (95 per cent) Specific to required navigation specification</i>
En route (greater than or equal to 56 km (30 NM) from departure or destination ARP)	RNAV 5 – 4 630 m (2.5 NM) RNP 4 – 3 704 m (2 NM) RNAV 2 – 1 852 m (1 NM) RNAV 1 – 926 m (0.5 NM) RNP-1 – 926 m (0.5 NM)
Terminal (SIDs, STARs, initial and intermediate approaches less than 56 km (30 NM) of the ARP)	RNAV 2 – 1 852 m (1 NM) RNAV 1 – 926 m (0.5 NM) RNP-1 – 926 m (0.5 NM) RNP APCH – 926 m (0.5 NM)
Final approach	RNP APCH – 463 m (0.25 NM)
Missed approach	RNP APCH – 926 m (0.5 NM)

轉彎模式

區域航行點對點飛行之基本轉彎模式分為 Fly-By 航點轉彎及 Fly-Over 航點轉彎，Fly-By 轉彎模式於到達航點前即開始執行轉彎，以「側過」方式轉彎通過航點，Fly-Over 轉彎模式必須通過航點之後才開始執行轉彎。程序的轉彎路徑即由這 2 種模式之組合，共可組合出 4 種模式：2 個 Fly-By 航點相連、2 個 Fly-Over 航點相連、先 Fly-By 航點再 Fly-Over 航點及先 Fly-Over 航點再 Fly-By 航點。下圖分別為 Fly-By 航點及 Fly-Over 航點轉彎模式的示意圖：



評估程序的路徑時，需計算轉彎的最短穩定距離(MSD, Minimum Stabilizing Distance)，以下分別說明 Fly-By 航點轉彎及 Fly-Over 航點轉彎的 MSD 計算公式。

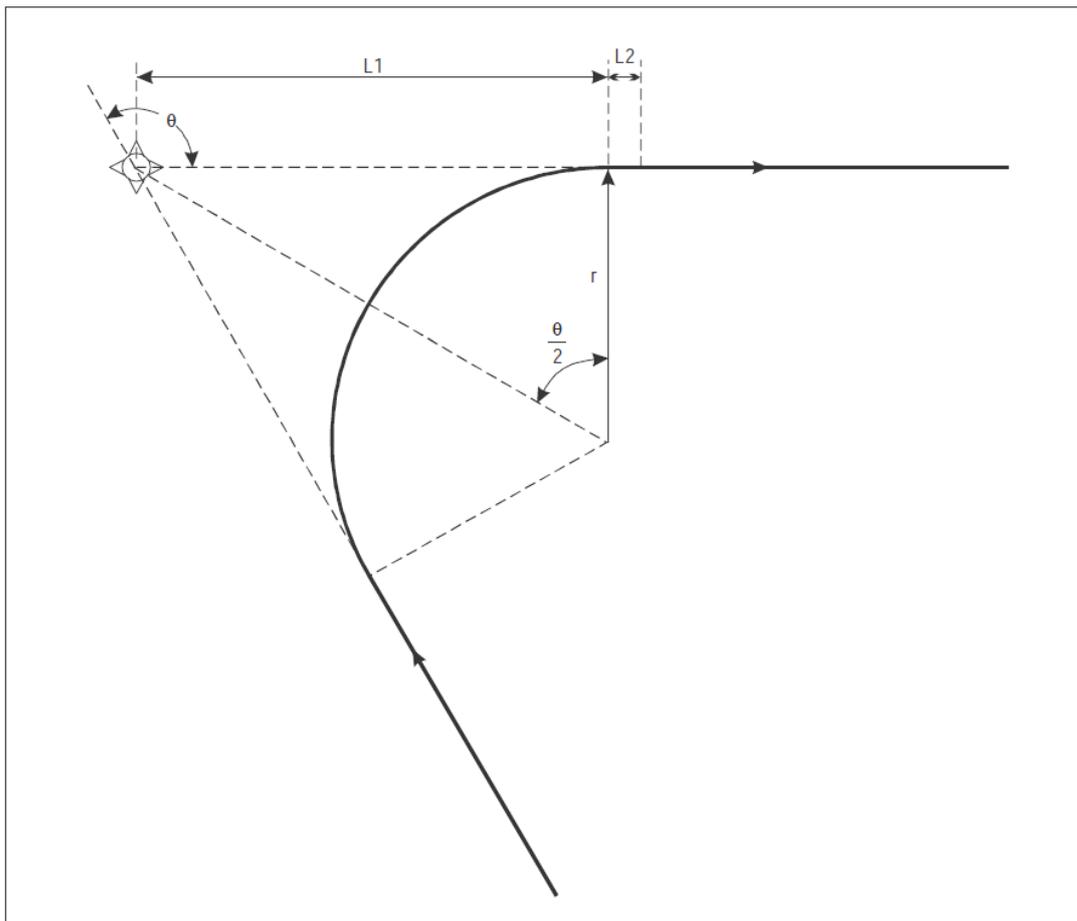


Fly-By 航點之 MSD = L1+L2(如下圖)，其中：

$$L1 = r \times \tan(\theta / 2)$$

$$L2 = c \times V/3600$$

c = 5 second bank establishment time



由上述計算公式以及圖示可以發現，PBN 相關參數計算可以說是相當複雜的，所幸於 ICAO 8168 號文件中，將相關的數值計算成表，多數的狀況下儀航程

序設計人員以查表方式即可得到相關數值，減少人工數學計算的工作量，亦減少計算過程中發生的可能性。以下表為例，查表即可得知 MSD 數值，可以說是相當方便，相關表格亦說明相關適用條件，例如 MSD 數值轉彎角度最少適用 50 度，若轉彎角度小於 50 度，仍使用 50 度數值。下表為 Fly-By 15 度 Bank Angle 情況下的 MSD 表格。

**Table III-2-1-7. Minimum stabilization distance between fly-by waypoints
(Non-SI units, 15° bank angle)**

Course change* (Degrees)	True airspeed (kt)														
	< or = 130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	240	260	280	300	340
50	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.4
55	0.7	0.7	0.8	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.7	2.0	2.3	2.6	3.0	3.7
60	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.3	1.4	1.5	1.7	1.8	2.1	2.5	2.9	3.2	4.1
65	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5	1.7	1.8	2.0	2.3	2.7	3.1	3.5	4.5
70	0.8	0.9	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.1	2.5	2.9	3.4	3.8	4.9
75	0.9	1.0	1.1	1.3	1.4	1.6	1.8	1.9	2.1	2.3	2.7	3.2	3.7	4.2	5.3
80	1.0	1.1	1.2	1.4	1.6	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	3.0	3.4	4.0	4.5	5.7
85	1.0	1.2	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	3.2	3.7	4.3	4.9	6.2
90	1.1	1.3	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	2.7	2.9	3.5	4.0	4.7	5.3	6.8
95	1.2	1.4	1.5	1.7	2.0	2.2	2.4	2.7	2.9	3.2	3.8	4.4	5.0	5.8	7.3
100	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.6	2.9	3.1	3.4	4.1	4.7	5.5	6.2	8.0
105	1.4	1.6	1.8	2.0	2.3	2.5	2.8	3.1	3.4	3.7	4.4	5.2	5.9	6.8	8.7
110	1.5	1.7	2.0	2.2	2.5	2.8	3.1	3.4	3.7	4.1	4.8	5.6	6.5	7.4	9.5
115	1.6	1.9	2.1	2.4	2.7	3.0	3.3	3.7	4.1	4.4	5.3	6.1	7.1	8.1	10.3
120	1.8	2.0	2.3	2.6	3.0	3.3	3.7	4.0	4.4	4.9	5.8	6.7	7.8	8.9	11.4

* Use the value of 50° for course changes lower than 50°.

Fly-Over 航點之 MSD = L1+L2+L3+L4+L5(如下圖)，其中：

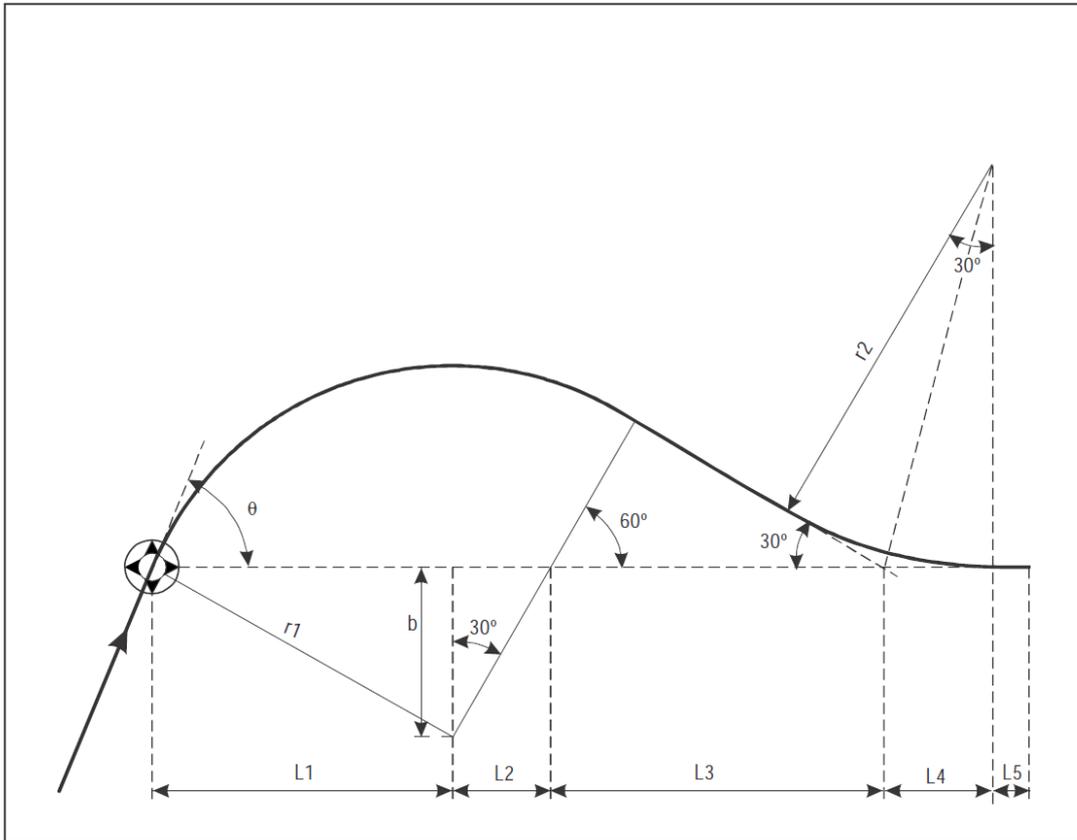
$$L1 = r1 \times \sin \theta$$

$$L2 = r1 \times \cos \theta \times \tan \alpha$$

$$L3 = r1 (1/\sin \alpha - 2 \cos \theta / \sin (90^\circ - \alpha))$$

$$L4 = r2 \tan (\alpha / 2)$$

$$L5 = c \times V/3600$$



Fly-Over 航點同樣可查表得知 MSD 數值。轉彎角度最少適用 50 度，若轉彎角度小於 50 度，仍使用 50 度數值。下表為 Fly-Over 15 度 Bank Angle 情況下的 MSD 表格。

Table III-2-1-10. Minimum stabilization distance between flyover waypoints (Non-SI units, 15° bank angle)

Course change* (Degrees)	True airspeed (kt)															
	< or = 130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	240	260	280	300	340	
50	2.1	2.4	2.8	3.1	3.5	3.9	4.3	4.7	5.2	5.7	6.7	7.8	9.0	10.2	13.0	
55	2.3	2.6	3.0	3.4	3.8	4.2	4.6	5.1	5.6	6.1	7.2	8.4	9.7	11.1	14.1	
60	2.4	2.8	3.2	3.6	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.6	7.8	9.1	10.4	11.9	15.2	
65	2.6	3.0	3.4	3.8	4.3	4.8	5.3	5.9	6.4	7.0	8.3	9.7	11.2	12.8	16.3	
70	2.8	3.2	3.6	4.1	4.6	5.1	5.7	6.2	6.9	7.5	8.9	10.3	11.9	13.6	17.4	
75	2.9	3.4	3.8	4.3	4.8	5.4	6.0	6.6	7.3	7.9	9.4	11.0	12.7	14.5	18.5	
80	3.1	3.5	4.0	4.6	5.1	5.7	6.3	7.0	7.7	8.4	9.9	11.6	13.4	15.3	19.5	
85	3.2	3.7	4.2	4.8	5.4	6.0	6.6	7.3	8.0	8.8	10.4	12.2	14.1	16.1	20.5	
90	3.4	3.9	4.4	5.0	5.6	6.3	6.9	7.7	8.4	9.2	10.9	12.7	14.7	16.8	21.5	
95	3.5	4.0	4.6	5.2	5.8	6.5	7.2	8.0	8.8	9.6	11.4	13.3	15.3	17.5	22.4	
100	3.6	4.2	4.8	5.4	6.1	6.8	7.5	8.3	9.1	10.0	11.8	13.8	15.9	18.2	23.3	
105	3.7	4.3	4.9	5.6	6.3	7.0	7.8	8.6	9.4	10.3	12.2	14.3	16.5	18.9	24.1	
110	3.9	4.4	5.1	5.7	6.4	7.2	8.0	8.8	9.7	10.6	12.6	14.7	17.0	19.4	24.8	
115	4.0	4.6	5.2	5.9	6.6	7.4	8.2	9.1	10.0	10.9	12.9	15.1	17.4	20.0	25.5	
120	4.0	4.7	5.3	6.0	6.8	7.5	8.4	9.3	10.2	11.1	13.2	15.4	17.8	20.4	26.1	

* Use the value of 50° for course changes lower than 50°.

三、RNP APCH 設計準則

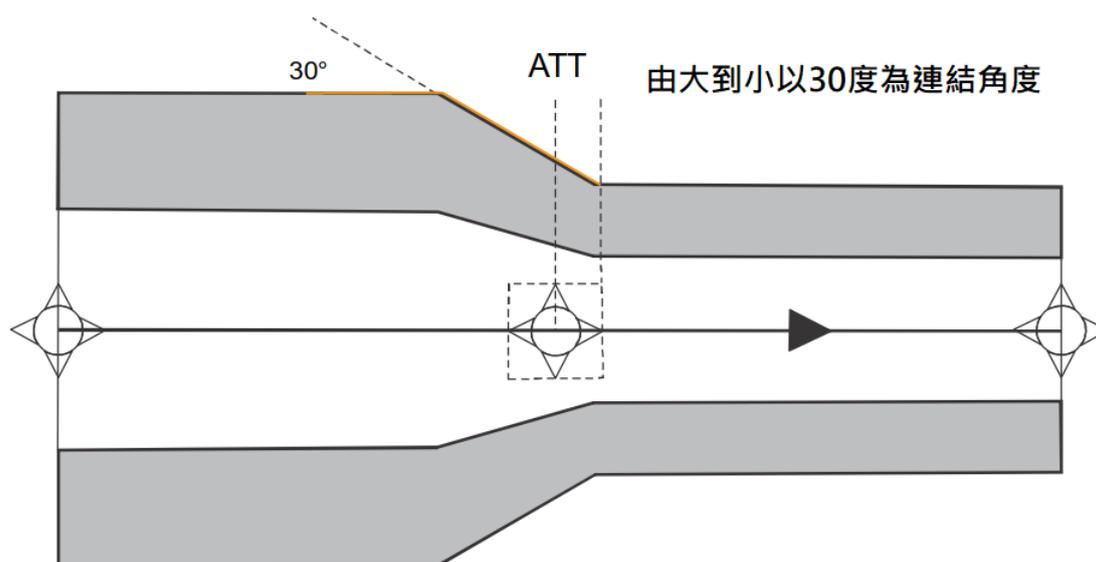
保護區域寬度：

RNP APCH 導航性能規格之數值與儀航程序保護區域寬度並非完全直接對應，導航性能儀航程序障礙物評估所需的保護區域半寬(1/2 AW or semi-area width) 為 $1.5 * XTT + BV$ ，如下表所示：

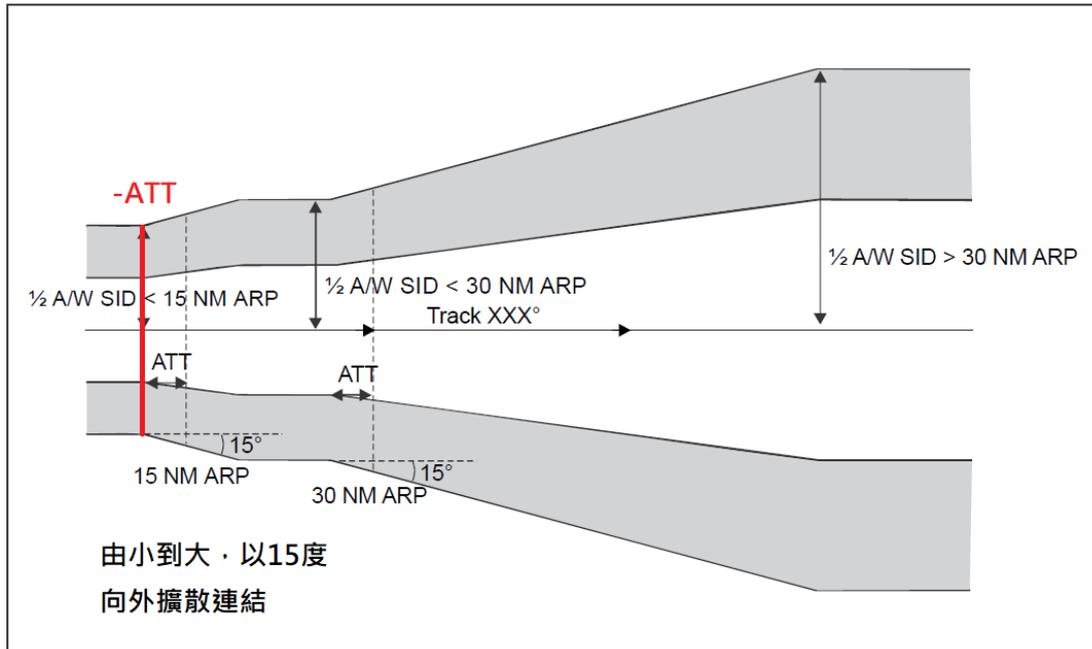
Table III-1-2-14. XTT and ATT, area semi-width for RNP APCH (airplane) in initial/intermediate/final approach and missed approach phases of flight (NM)

<i>IF/IAF/missed approach (<30 NM ARP)</i>			<i>FAF</i>			<i>MAPt/Initial Straight Missed Approach (LP/LPV only)</i>			<i>Missed approach (<15 NM ARP)</i>		
<i>XTT</i>	<i>ATT</i>	<i>1/2 A/W</i>	<i>XTT</i>	<i>ATT</i>	<i>1/2 A/W</i>	<i>XTT</i>	<i>ATT</i>	<i>1/2 A/W</i>	<i>XTT</i>	<i>ATT</i>	<i>1/2 A/W</i>
1.00	0.80	2.50	0.30	0.24	1.45	0.30	0.24	0.95	1.00	0.80	2.00

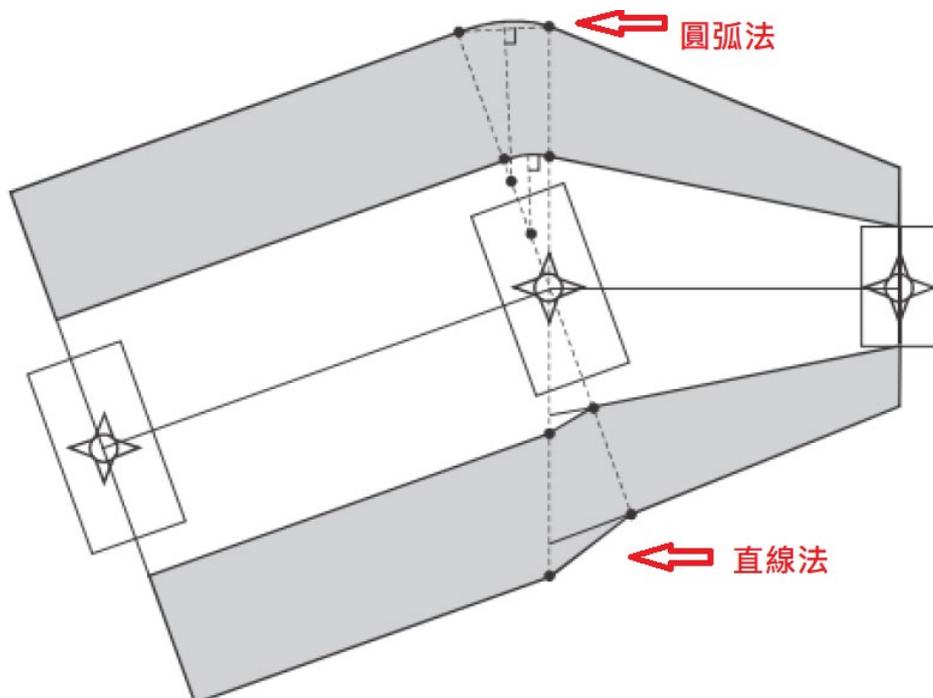
當橫向航跡容差(XTT)或緩衝值(Buffer Value)有變動時，不同保護區域寬度間需使用合併(merge)方式將前後二段的保護區域相連。保護區域寬度由大到小時，以 30 度角向內合併：



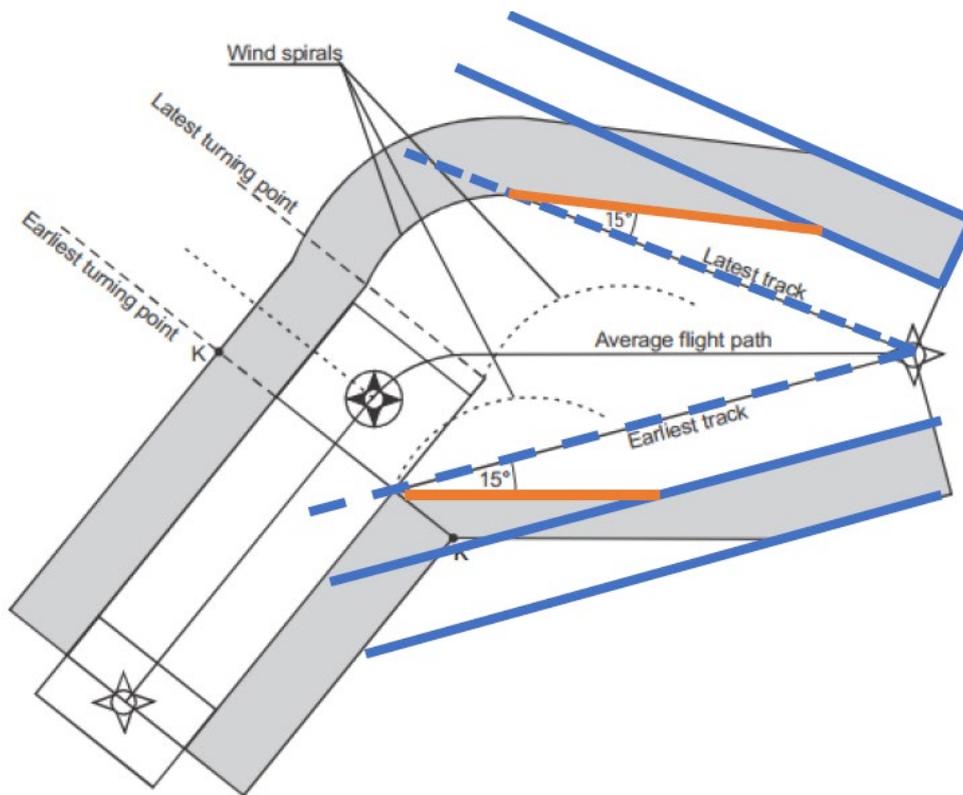
保護區域寬度由小到大時，由-ATT(Along Track Tolerance)位置以 15 度角向外合併。合併方式示意圖如下：



對於轉彎路徑的保護區域合併方式，當於 Fly-By 點轉彎時，可使用圓弧法 (circular arc method) 轉彎點的外緣部份，以圓弧分別將前後的主要區域及次要區域相連；轉彎點的內緣部份，則以直線相連。連接方式示意圖如下：



當於 Fly-Over 點轉彎後再定向下一航點，其保護區域外緣使用風螺旋(Wind Spiral)與下一航點的主要區域交點，再向外擴展 15°。內緣部份則由最早轉彎點與下一航點連線再向外擴展 15°。保護區域示意圖如下：



程序設計參數

RNP APCH 進場程序各階段如同傳統儀器進場程序中非精確程序各個階段，皆須考量 5 項參數(Parameters)包括：

1. 路徑走向(Alignment)
2. 路徑長度(Length)
3. 下降梯度(Descent Gradient)
4. 保護區域(Area)
5. 最低障礙物隔離(Minimum Obstacle Clearance, MOC)

最初進場階段(Initial Approach Segment)：

1. 路徑走向：於 IAF 點最大轉彎角度為 90 度。
2. 路徑長度：無最大值限制，最佳長度為 5 浬；若包含轉彎時，最小長度至少需符合短穩定距離(MSD)長度要求。
3. 下降梯度：最佳為 4%，最大值為 8%。
4. 保護區域：保護區域半寬(semi-width)為 $1.5 * XTT + BV$ ，使用合併法與下一階段的保護區域相連。

5. 最低障礙物隔離：主要區域為 300 公尺(984 呎)，次要區域由內側向外側自 300 公尺線性遞減至 0 公尺。

中間進場階段(Intermediate Approach Segment)：

1. 路徑走向：於 IF 點最大轉彎角度為 90 度。
2. 路徑長度：最少需最短穩定距離(MSD)加 2 哩。
3. 下降梯度：最大下降梯度 5.2%，最佳為平飛(0%)。
4. 保護區域：保護區域半寬為 $1.5 * XTT + BV$ 。
5. 最低障礙物隔離：主要區域為 150 公尺，次要區域由內側向外側自 150 公尺線性遞減至 0 公尺。

最後進場階段(Final Approach Segment)：

1. 路徑走向：最後進場航道最佳為對正跑道，若有轉彎設置，則 CAT A/B 攔截角度須小於 30° ，CAT C/D 攔截角度須小於 15° ，最後進場航道與跑道中心線交點與跑道頭需至少 1400 公尺。
2. 路徑長度：最佳長度為 5 哩，最長不超過 10 哩，FAF 點至跑道頭至少為 3 哩。
3. 下降梯度：最佳為 5.2%，CAT A/B 最大下降率為 6.5%，CAT C/D 最大下降率為 6.1%。
4. 保護區域：保護區域半寬為 $1.5 * XTT + BV$ ，使用合併法與前後階段的保護區域相連。
5. 最低障礙物隔離：主要區域為 75 公尺，次要區域由內側向外側自 75 公尺線性遞減至 0 公尺。

四、BARO - VNAV 進場程序

RNAV 或 RNP 程序僅指定水平導航規格，進場程序若無垂直導引裝備，即為 2D 儀器進場。若具有垂直導引進場(Approach with vertical guidance, APV)能力，則屬 3D 儀器進場。Baro-VNAV(Barometric Vertical NAVigation)程序使用氣壓高度為垂直導引，屬於前述 3D 儀器進場類別，由於使用氣壓高度為進場高度導引，因此不可使用遠端站臺的高度表撥定值(Remote altimeter setting)。Baro-VNAV 程序之垂直下滑角(Vertical Path Angle, VPA) 所參考之水平基準為大地水準面或等重

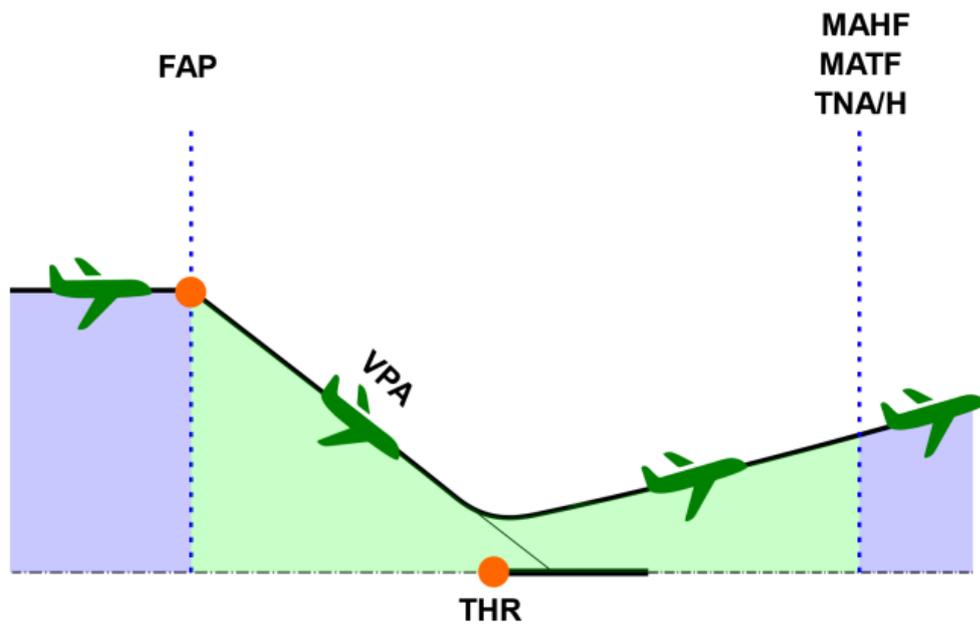
力面(Geoid)，最佳下滑角度為 3.0°。

下滑角度受溫度影響，於氣溫愈低之機場，其 VPA 角度愈小，反之則愈大。VPA 亦隨機場海拔高度不同而異，在相同溫度下，海拔愈高的機場，其 VPA 愈大。下表為公告之標準 VPA 於不同機場溫度及海拔高度之實際 VPA 數值，表中綠色區域為最佳 VPA 情況，黃色區域為非標準 VPA，其下降角度較大，影響航空器操作，但無與障礙物隔離不足之疑慮。橘色區域為禁止使用之 VPA 條件，因可能與障礙物間隔離不足。

Temp (C°)	Promulgated VPA 2.8°			Promulgated VPA 3.0°			Promulgated VPA 3.2°		
	Aerodrome elevation			Aerodrome elevation			Aerodrome elevation		
	MSL	3 000 ft	6 000 ft	MSL	3 000 ft	6 000 ft	MSL	3 000 ft	6 000 ft
50	3.14	3.21	3.28	3.37	3.44	3.51	3.59	3.67	3.75
40	3.05	3.11	3.18	3.26	3.33	3.40	3.48	3.55	3.63
30	2.95	3.01	3.07	3.16	3.22	3.29	3.37	3.44	3.51
20	2.85	2.91	2.97	3.05	3.12	3.18	3.26	3.32	3.40
10	2.75	2.81	2.87	2.95	3.01	3.07	3.14	3.21	3.28
0	2.65	2.71	2.77	2.84	2.90	2.96	3.03	3.10	3.16
-10	2.55	2.61	2.66	2.74	2.79	2.85	2.92	2.98	3.04
-20	2.46	2.51	2.56	2.63	2.69	2.74	2.81	2.87	2.93
-30	2.36	2.41	2.46	2.53	2.58	2.63	2.70	2.75	2.81
-40	2.26	2.31	2.36	2.42	2.47	2.53	2.58	2.64	2.70
-50	2.16	2.21	2.26	2.32	2.36	2.42	2.47	2.52	2.58

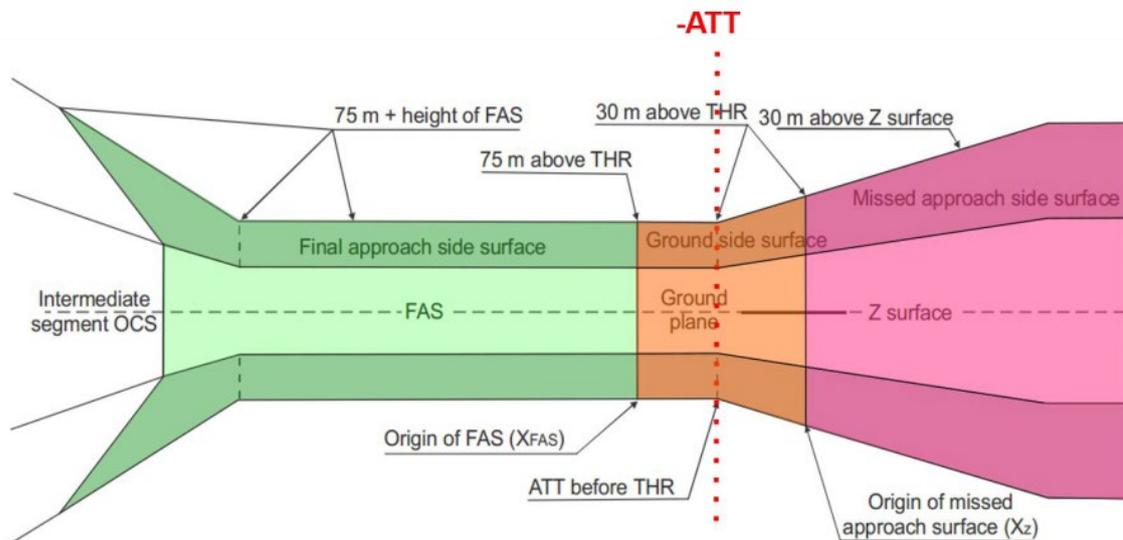
Baro-VNAV 程序圖上應依機場氣候資料，公告該程序最低可用溫度，低於此溫度時，實際 VPA 將低於 2.5°，與地障隔離可能不足。例如某機場標高為海平面，Baro-VNAV 程序航圖公告的標準 VPA 為 3.0°，則應公告此程序最低可用溫度為-30° C，當溫度低於-30° C 時，實際 VPA 將低於 2.5°。另在高溫情況時，實際 VPA 不宜超過 3.5°。

Baro-VNAV 進場程序之 APV Segment 由最後進場階段的 FAP 點開始至中間誤失進場階段結束為止(如圖綠色顯示階段)。

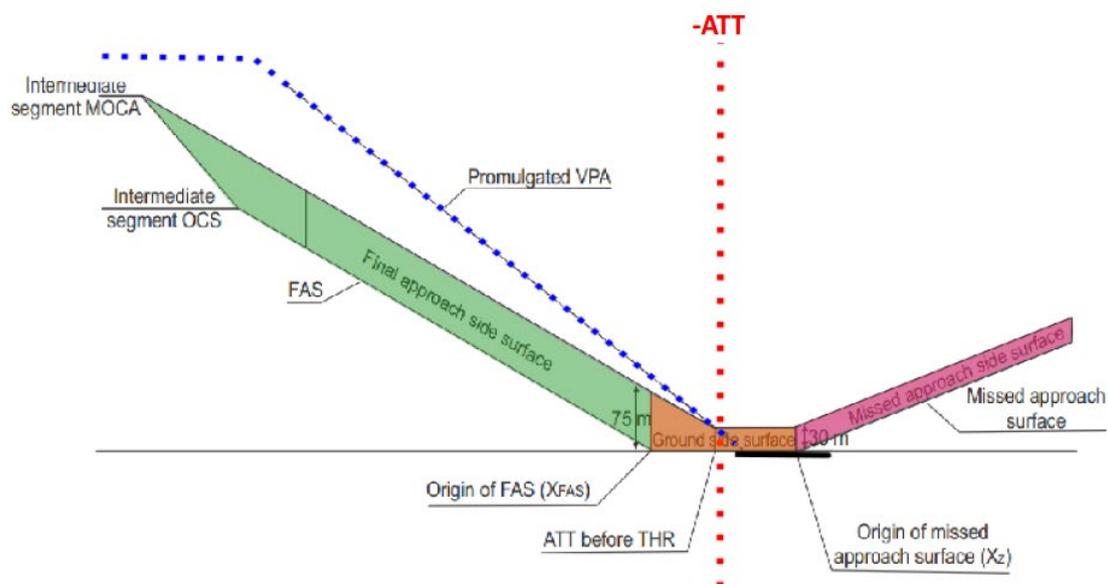


在前述階段所採用之保護模型 APV OAS 與 ILS 之 OAS 相似，但仍有些微不同。APV OAS 主要由 3 個部分構成，APV OAS 俯視圖如下：

- 最後進場保護面(Final Approach Surface，FAS，如圖綠色部分)
- 地面(Ground Surface，如圖橘色部分)
- 誤失進場保護面(Z Surface，如圖粉紅色部分)



APV OAS 垂直剖面圖如下：



最後進場保護面(FAS)

最後進場保護面(FAS)為保護航空器於最後進場階段與地障有足夠安全隔離，亦即所有在該範圍內之障礙物均不得突出於 FAS 保護面。

最後進場保護面(FAS)的起始位置計算方式為：

$$X_{FAS} = ATT + \frac{H_i - RDH}{\tan(VPA)}$$

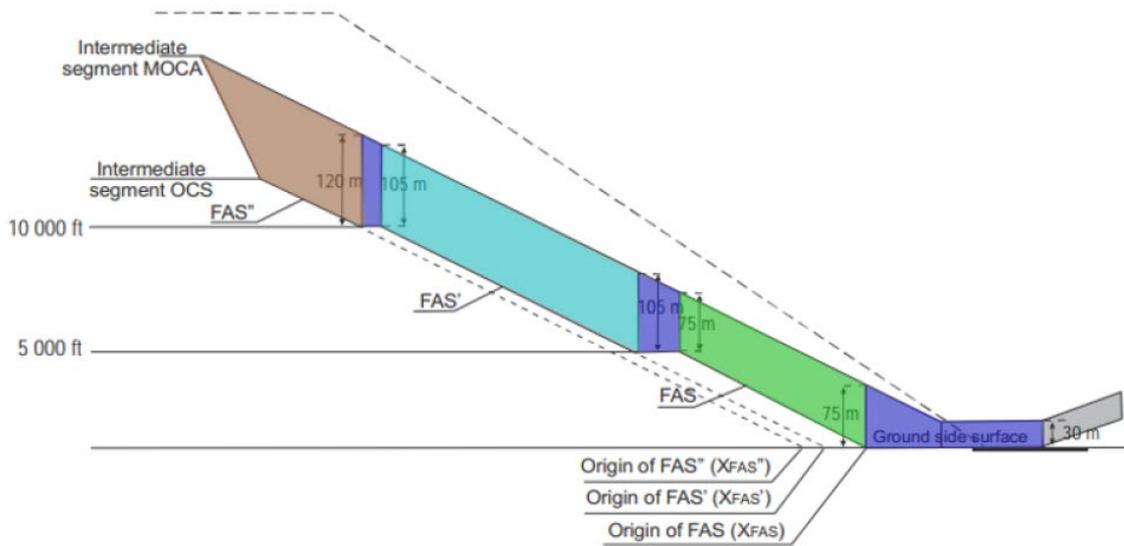
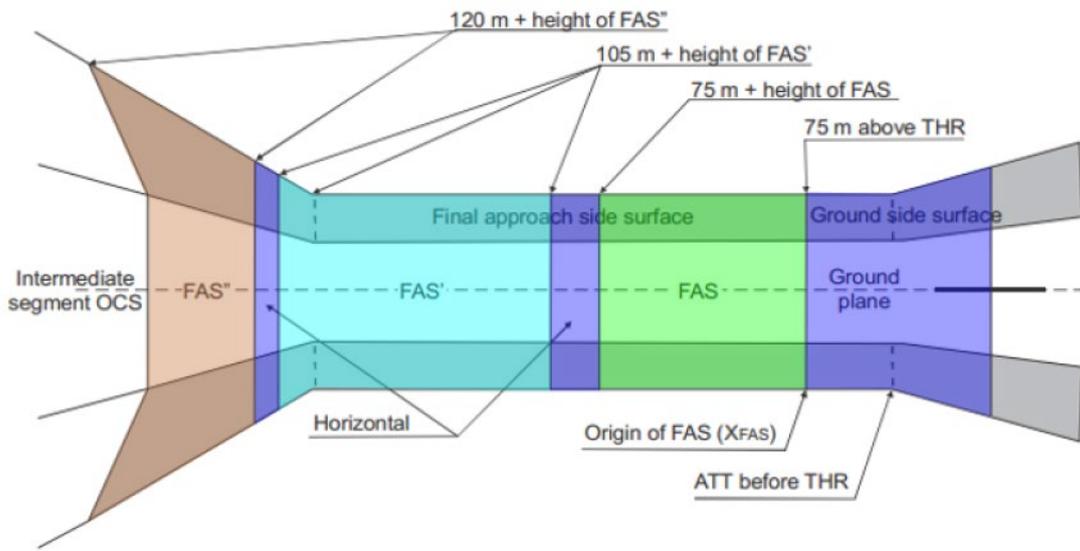
其中，ATT(Along Track Tolerance)為最後進場段之沿航跡誤差 0.24NM(445m)，RDH(Reference Datum Height)為航機過跑道頭之參考高程 50ft(15m)，VPA 垂直導引下滑角為 3 度。Hi 為 FAS 之主要保護區(Primary Area)與次要保護區(Secondary Area)最外側邊界之垂直高度差值，依機場海拔高度區間有固定的使用值：

Hi0 = 75 m (機場海拔高度 5000 呎以下)

Hi5 000 = 105 m (機場海拔高度介於 5000 呎至 10000 呎之間)

Hi10000 = 120 m (機場海拔高度 10000 呎以上)

Hi 與 FAS 之關係，圖示如下



FAS 的角度可由下列公式推算

$$\tan \alpha_{FAS} = \frac{(\text{height at FAP} - \text{Temperature Correction} - H_i) \tan VPA}{(\text{height at FAP} - H_i)}$$

其中溫度校正(Temperature Correction)可由 8168 號文件附表查得：

跑道頭高程為海平面

<i>Aerodrome temperature (°C)</i>	<i>Height of FAP above threshold at sea level (ft)</i>								
	<i>1 000</i>	<i>1 500</i>	<i>2 000</i>	<i>2 500</i>	<i>3 000</i>	<i>3 500</i>	<i>4 000</i>	<i>4 500</i>	<i>5 000</i>
50	-122	-183	-245	-306	-368	-430	-493	-555	-618
40	-87	-131	-175	-219	-263	-307	-352	-397	-441
30	-52	-78	-105	-131	-158	-184	-211	-238	-265
20	-17	-26	-35	-44	-53	-61	-70	-79	-88
10	17	26	35	44	53	61	70	79	88
0	52	78	105	131	158	184	211	238	265
-10	87	131	175	219	263	307	352	397	441
-20	122	183	245	306	368	430	493	555	618
-30	157	235	315	394	473	553	633	714	795
-40	192	288	384	481	579	676	774	872	971
-50	226	340	454	569	684	799	915	1031	1148

跑道頭高程為 3000 呎

<i>Aerodrome temperature (°C)</i>	<i>Height of FAP above threshold at 3 000 ft AMSL (ft)</i>								
	<i>1 000</i>	<i>1 500</i>	<i>2 000</i>	<i>2 500</i>	<i>3 000</i>	<i>3 500</i>	<i>4 000</i>	<i>4 500</i>	<i>5 000</i>
50	-146	-219	-292	-366	-440	-514	-589	-663	-738
40	-110	-165	-221	-277	-332	-389	-445	-501	-558
30	-74	-112	-149	-187	-225	-263	-301	-339	-378
20	-39	-58	-78	-98	-118	-137	-157	-177	-197
10	-3	-5	-7	-8	-10	-12	-14	-15	-17
0	32	48	65	81	97	114	130	147	163
-10	68	102	136	170	205	239	274	309	344
-20	103	155	207	260	312	365	418	471	524
-30	139	209	279	349	420	490	562	633	704
-40	174	262	350	438	527	616	705	795	885
-50	210	316	421	528	635	742	849	957	1065

跑道頭高程為 6000 呎

Aerodrome temperature (°C)	Height of FAP above threshold at 6 000 ft AMSL (ft)								
	1 000	1 500	2 000	2 500	3 000	3 500	4 000	4 500	5 000
50	-170	-256	-342	-428	-515	-602	-689	-776	-864
40	-134	-201	-269	-337	-405	-473	-542	-611	-680
30	-98	-147	-196	-246	-295	-345	-395	-445	-496
20	-61	-92	-123	-154	-185	-217	-248	-280	-311
10	-25	-38	-50	-63	-76	-88	-101	-114	-127
0	11	17	23	28	34	40	46	52	57
-10	48	72	96	120	144	168	193	217	242
-20	84	126	169	211	254	297	340	383	426
-30	120	181	241	302	364	425	486	548	610
-40	157	235	314	394	473	553	633	714	795
-50	193	290	387	485	583	681	780	879	979

由上述表格查得溫度校正之後，可用下列公式計算最小的 VPA 角度，惟最小 VPA 角度不可小於 2.5°。

$$\tan_{\min} \text{VPA} = \frac{\text{Intermediate Altitude} - \text{THR}_{\text{ELEV}} - \text{RDH} - \text{Temperature Correction}}{X_{\text{FAP}}}$$

地面(Ground Plane)

地面的範圍係由前述之 FAS 面開始的位置，向跑道頭方向延伸至 Z surface 起始位置，之間所含區域即為地面部分。地面的側面(Ground Plane Side Surface)範圍是由最後進場階段次要保護區之外緣邊界（垂直高度為 Hi），延伸至-ATT 位置（距跑道頭+445m）後，垂直高度降為 30 公尺，銜接誤失進場階段之次要保護區之外緣邊界（垂直高度仍為 30 公尺），直至 X of Z surface 位置。

誤失進場保護面(Z surface)

在誤失進場保護面範圍內之障礙物均不得突出於該保護面。誤失進場保護面起始位置依不同航空器進場速度類別而異，跑道高程小於 900m 時，使用下列數值：

Aircraft Category	Xz
CAT A and B	- 900 m
CAT C	- 1100 m
CAT D	- 1400 m

跑道高程超過 900 公尺時，需使用以下公式求得：

$$Xz = \text{Tabulated Value} \quad \text{or} \quad \frac{(\text{HL}-\text{RDH})}{\tan \text{VPA}} - (\text{ATT} + 2\text{TAS} \frac{\sin(\text{VPA})}{\gamma}) (\text{TAS} + \text{Vw})$$

其中，

- VPA = 垂直導引下滑角（正常為 3°）
- TAS = Maximum true airspeed based on the highest final approach speed for each aircraft category at the aerodrome elevation with a temperature of ISA + 15°C
- γ = Vertical deceleration [0.08g (2.56 ft/sec²)], g=9.80665 m/sec²
- Vw = 10 kt（Tailwind，跑道風速最大限制）
- HL = 高度損失（Height Loss），依航空器進場速度分類如下表：

Aircraft category (V_{at})	Margin using radio altimeter ¹		Margin using barometric altimeter	
	Metres	Feet	Metres	Feet
A - 169 km/h (90 kt)	13	42	40	130
B - 223 km/h (120 kt)	18	59	43	142
C - 260 km/h (140 kt)	22	71	46	150
D - 306 km/h (165 kt)	26	85	49	161

1. The radio altimeter margins are reproduced for the corrections to steep angles and high airports only and not for the derivation of the OCH.

五、RNP AR 程序

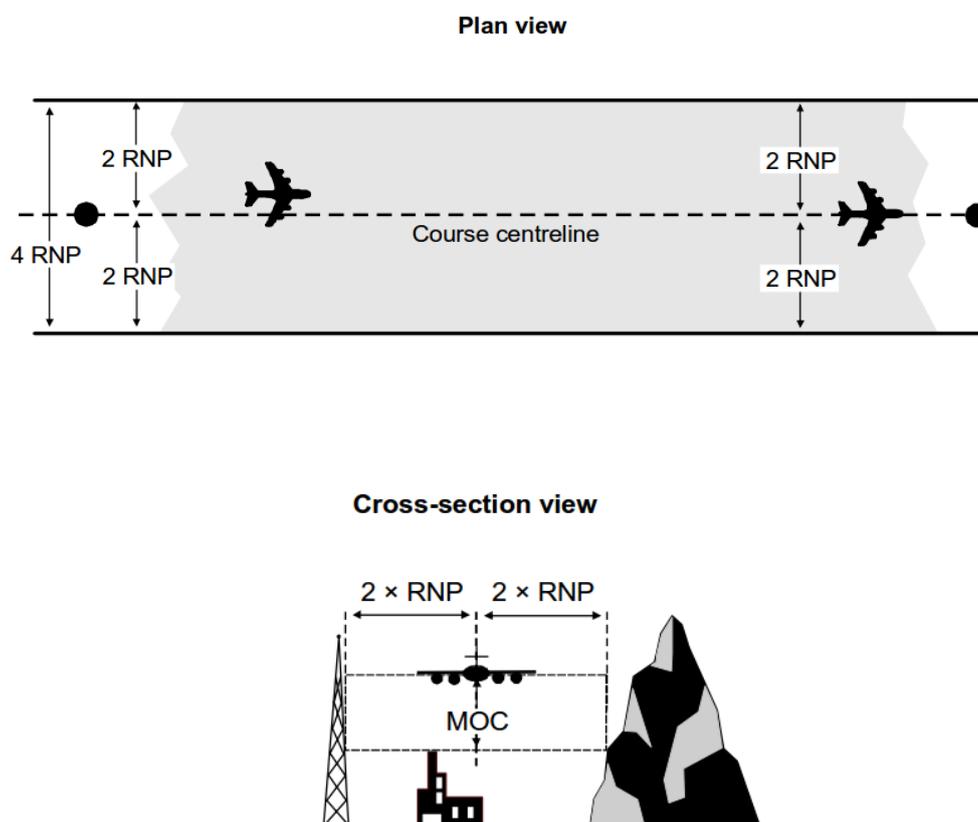
須經授權的 RNP 程序(Required Navigation Performance Authorization Required, RNP AR)，程序設計規範與 ICAO 8168 號文件所列之 PBN 程序不同，RNP AR 程

序另以 ICAO 9905 號文件規範設計參數。

建立 RNP AR 程序的三個要素為：

- (1) 航空器適航認證(Aircraft Certification)
- (2) 飛行組員授權(Crew Authorization)
- (3) 儀航程序規範(Instrument Procedure Criteria)

RNP AR 程序為 3D 儀航程序，須具有垂直導引裝備，且其垂直導引參考僅可為「氣壓高度(Pressure Altimeter)」，即為 Baro-VNAV 程序。RNP AR 程序的水平保護範圍為左右各 2 倍 RNP 數值，範圍內皆為主要區域(Primary Area)，無設置「次要區域(Secondary Area)」，此為與傳統程序或一般 RNP 程序最大的差異。以下簡摘 RNP AR 程序對於航空器速度、導航精準度、評估區域及下降梯度等限制。



RNP AR 僅以 2 倍 RNP 值為寬度，且無設置 Secondary Area。

若因空域及障礙物等因素的限制，RNP AR 程序必須規定速度限制時，在程

序各階段的最大速度限制如下表：

Table 3-1 b). IAS (kt)

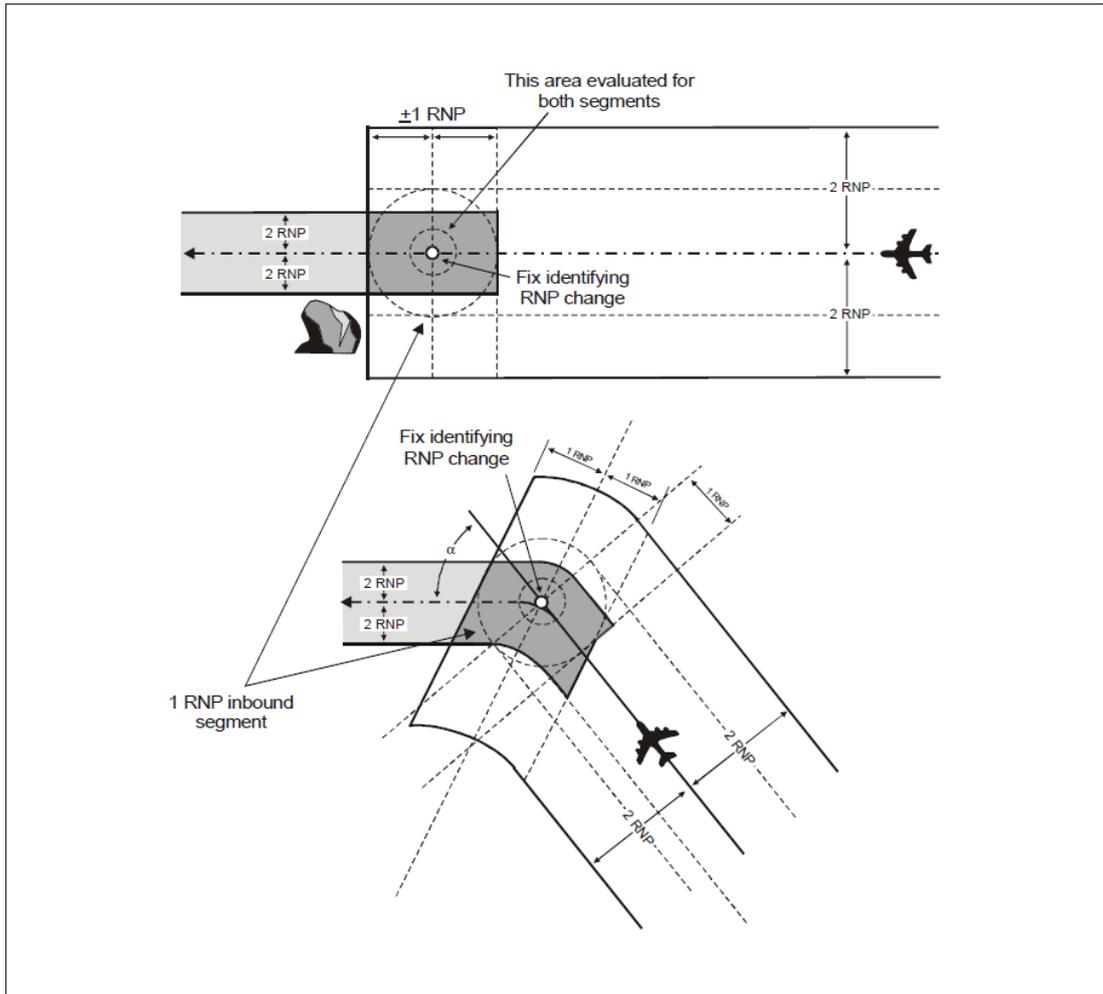
Segment		IAS by aircraft category (CAT)				
		CAT A	CAT B	CAT C	CAT D	CAT E
Initial, intermediate		150	180	240	250	250
Final		100	130	160	185	As specified
Missed approach		110	150	240	265	As specified
Minimum airspeed restriction	Initial	110	140	210	210	As specified
	Final	100	120	140	165	As specified
	Intermediate	110	140	180	180	As specified
	Missed	100	130	165	185	As specified

RNP AP 程序各階段要求達到的導航精準度如下：

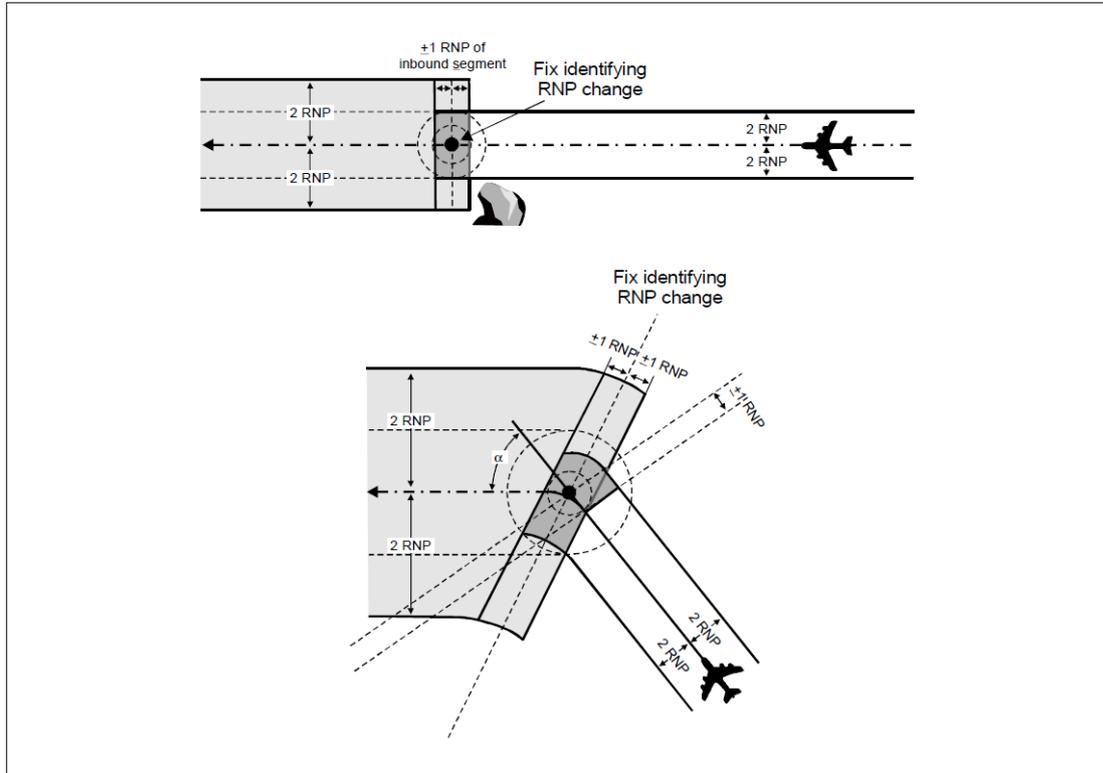
Table 4-1. RNP navigation accuracy requirements

Segment	RNP NAVIGATION ACCURACY REQUIREMENTS		
	Maximum	Standard	Minimum
Initial	1	1	0.1
Intermediate	1	1	0.1
Final	0.5	0.3	0.1
Missed approach	1	1	0.1*
* Used only with the provisions for minimum, straight final segment as specified in the missed approach section. Refer to section 4.6.			

當 RNP AR 程序各階段的導航精確度數值有變更的情況下，對於前後二個階段皆應增加評估前後 1 個 RNP 數值區域。RNP 數值減少及 RNP 數值增加的情況分別圖示如下：



圖：數值減少之連結法



圖：數值增加之連結法

RNP AP 程序各階段下降率限制：

Table 4-2. Descent gradient constraints

<i>Segment</i>	<i>Descent gradient</i>	
	<i>Standard</i>	<i>Maximum</i>
Arrival	4% (2.4°)	8% (4.7°)
Initial	4% (2.4°)	8% (4.7°)
Intermediate	≤2.5% (1.4°)	Equal to final segment gradient
Final	5.2% (3°)	See Table 4-3

RNP AP 程序中，不同航空器類型(速度)的最大下滑角限制：

Table 4-3. Maximum VPA

<i>Aircraft Category</i>	<i>VPA θ</i>	<i>Gradient %</i>	<i>Ft/NM</i>
A < 150 km/h (80 kt)	6.4	11.2	682
150 km/h \leq A < 167 km/h (80 kt \leq A < 90 kt)	5.7	9.9	606
B	4.2	7.3	446
C	3.6	6.3	382
D	3.1	5.4	329

肆、心得與建議事項

心得：

儀航程序設計是一門融合各領域之航空專門技術，其中包含數學、大地測量、航行學、航空電子等，從事儀航程序設計之人員，通常需要有專業航空相關背景，例如飛航管制員、飛行員或飛航工程師等。本人係飛航管制員出身，對於數學、工程等知識相對薄弱，所幸現在儀航程序設計多以電腦軟體進行，省去了大多數的數學計算，減少人為的錯誤，藉由軟體自動化功能，也可以增加儀航程序產製的品質。當今儀航程序設計人員對於背景之要求可謂相對降低，惟須對相關規範條文有良好的掌握及運用，對該領域有興趣之成員不分背景，皆可在此領域中有不錯的工作表現。

建議：

一、持續派員至國外受儀航程序設計訓練

PBN 係 ICAO 近年推動之導航技術，尚屬發展中之項目，許多規範及標準每年仍持續更新及修訂，目前我國內尚不具自我訓練之能力，參加國外機構提供之課程可謂唯一也是最適合的訓練管道。尤其以實體課程方式進行，以面對面及現場手繪之實作進行相關知識學習，可達最佳學習效率，另儀航程序設計在民航領域屬小眾市場，全球從事相關工作人員數量非常稀少，藉由國外參訓亦可建立國際相關從業人員之聯絡管道以互相交流儀航程序設計業務之訊息。

二、規劃參加儀航程序設計相關領域進階課程

儀航程序設計人員除了設計規範之訓練外，其他相關知識對於執行業務也是相當必要的，例如 ARINC424 航空資料庫編碼、空域規劃之訓練，前者係因現行儀航程序設計出產之航圖，須由坊間航圖公司或航空電子公司將其資料轉至飛行電腦可用之資料格式，設計人員設計時必須考量編碼之邏輯及意義，方能以正確地設計儀航程序，以避免於轉換時造成錯誤；另空域規劃部分，當 PBN 導航概念廣泛運用，天空能夠飛行的路線更加有彈性，但在全球航情量漸增的今日，整體規劃即變得相當重要，空域使用者日漸增多，除了民用航空器、軍用航空器，當今更有無人機、一般航空器等，使用狀況日益複雜，所以如何規劃出有效率且能維持飛航安全的空域使用，是儀航程序設計人員必須熟悉的知識。

三、增進與儀航程序設計相關領域之國際交流

雖說儀航程序設計在航空領域算是冷門項目，從事相關工作之人口不多，但執行設計業務涉及之領域仍相當廣泛，例如衛星導航、航空電子、飛行驗證、航圖繪製、航空情報等，各領域皆與儀航程序設計關係密切，建議積極參與相關儀航程序設計研討會議，增進與他國儀航程序設計相關人員之交流，以了解規範的修訂情況及其他國家之實務作業方式。