

目 錄

第三章 導航 (NAVIGATION) 基礎建設	3-1
3.1 簡介.....	3-1
3.2 國際航空導航基礎建設之發展趨勢.....	3-4
3.2.1 CNS/ATM 架構下的航空導航.....	3-5
3.2.1.1 越洋航路.....	3-5
3.2.1.2 陸地航路.....	3-6
3.2.1.3 進場航路.....	3-7
3.2.2 主要定位衛星發展概要.....	3-8
3.2.2.1 Navstar/GPS.....	3-9
3.2.2.2 GLONASS	3-11
3.2.2.3 Galileo	3-11
3.2.2.4 Beidou	3-16
3.2.3 主要導航衛星擴增系統架構.....	3-17
3.2.3.1 Waas	3-19
3.2.3.2 Egonos.....	3-21
3.2.3.3 Msas	3-22
3.2.3.4 GRAS	3-25
3.2.3.5 LAAS	3-25
3.2.4 國際衛星導航建置趨勢.....	3-27
3.2.4.1 美加地區.....	3-28
3.2.4.2 歐洲大陸.....	3-32
3.2.4.3 東北亞地區.....	3-32
3.2.4.5 其它地區.....	3-33
3.2.4.5.1 中國大陸.....	3-33
3.2.4.5.2 印度.....	3-34
3.2.4.5.3 馬來西亞.....	3-35
3.2.4.5.4 南韓.....	3-35
3.2.4.5.5 印尼.....	3-36
3.3 我國導航基礎建設建置策略.....	3-37

3.3.1 導航系統的演進趨勢.....	3-37
3.3.2 台北飛航情報區助航設施現況.....	3-38
3.3.2.1 主要助航設施之系統特性.....	3-39
3.3.2.2 台北飛航情報區主要助航設施建置現況.....	3-40
3.3.3 衛星定位系統建置分析.....	3-41
3.3.4 航空導航基礎建設建置策略.....	3-45
3.3.4.1 GNSS 星基擴增系統選定的考量	3-45
3.3.4.2 配合 CNS/ATM 導航系統建置具體作法	3-47
3.4 結 論	3-48
3.5 參考文獻.....	3-50

圖 目 錄

圖 3-1: GNSS 導航作業需求標準.....	3-3
圖 3-2: GNSS 航空導航運用狀況.....	3-3
圖 3-3: CNS/ATM 環境下航空導航的架構及運作.....	3-4
圖 3-4: GNSS 飛航信號擴增.....	3-5
圖 3-5: 越洋航路之差異比較.....	3-6
圖 3-6: 陸地航路之差異比較.....	3-7
圖 3-7: 近場航路之差異比較.....	3-8
圖 3-8: 現行 GNSS 核心系統比較.....	3-8
圖 3-9: 未來 GNSS 核心系統比較.....	3-9
圖 3-10: Navstar/GPS 定位衛星性能提昇概況.....	3-10
圖 3-11: 新一代 GPS 信號演進.....	3-10
圖 3-12: GNSS 頻率分配.....	3-11
圖 3-13: 中軌道(MEO)衛星佈置示意圖.....	3-12
圖 3-14: 中軌道(MEO)衛星提供之垂直精確性(2-5 公尺).....	3-13
圖 3-15: GALILEO 系統架構.....	3-13
圖 3-16: GALILEO 地面控制設施.....	3-14
圖 3-17: GALILEO 計畫時程.....	3-15
圖 3-18: GALILEO 提供之服務種類.....	3-16
圖 3-19: GNSS 擴增系統概況.....	3-19
圖 3-20: WAAS 系統架構.....	3-20
圖 3-21: WAAS 系統建置現況.....	3-20
圖 3-22: EGNOS 系統架構.....	3-21
圖 3-23: EGNOS 系統組織.....	3-22
圖 3-24: MSAS 系統架構.....	3-23
圖 3-25: MSAS 建置概況.....	3-24
圖 3-26: MTSAT 提供服務的範圍.....	3-24
圖 3-27: Australia GRAS 系統建置現況.....	3-25
圖 3-28: LAAS 系統架構.....	3-26

圖 3-29: FAA LAAS 發展時程	3-27
圖 3-30: FAA NAS 4.0 導航能力改善進程示意圖	3-28
圖 3-31: FAA NAS 4.0 導航能力提昇順序示意圖	3-28
圖 3-32: WAAS 地面導航站台設置時間	3-31
圖 3-33: MSAS 系統作業方式	3-32
圖 3-34: MSAS 運作階段區分	3-33
圖 3-35: GPS 接收機設置位置研究	3-35
圖 3-36: DGPS 於 ULSAN Airport 進行飛行測試	3-36
圖 3-37: 台北飛航情報區示意圖	3-39
圖 3-38: 台北飛航情報區助航設施一覽表	3-40
圖 3-39: 台北飛航情報區通訊衛星訊號涵蓋範圍	3-46
圖 3-40: MSAS 系統涵蓋圖	3-47
圖 3-41: 導航基礎建設之技術趨勢	3-49

表 目 録

第三章 導航 (NAVIGATION) 基礎建設

本章主要研討在 CNS/ATM 環境下，航空導航的技術趨勢和我國建置策略。首先針對航空導航的方式和作業需求作一簡單的介紹；其次說明衛星導航技術、擴增系統技術、及技術發展趨勢；接下來說明我國航空導航現況和未來建置策略；最後對相關議題作一彙總和整理，並提出結論。

3.1 簡介

航空導航主要的目的是讓航機知道自己的位置。由於飛機飛行速度快、高度高、日夜都需飛行、加上氣候的影響，所以傳統地面、海面運輸所用的導航技術，如：路標、燈塔、星辰等，均不適用於航空導航。

在過去 30 年的航空導航發展歷程中，主要是利用地面上的導航設施，發射無線電訊號，航機接收這些信號，用它作為參考點，據以計算航機本身的位置和航向。航機在越洋航路中先是依靠短波通訊的 Omega、Loran-C，隨後又進展到使用自含式(Self Contained)的慣性導航系統(Inertial Navigation System, INS)。陸地航路上航機多依靠無線電定向、定位的 VOR/DME、TACAN、NDB 來標定所在位置。進場航路則是靠指引下滑航路偏差量的儀器降落系統(Instrument Landing System, ILS)，乃至於微波降落系統(Microwave Landing System, MLS)來操作。

由於航空運輸快、高、廣的特性，航空導航的作業需求標準與裝備規格十分嚴謹，並且具有國際通用的特性。國際民航組織(ICAO)因此定義航空導航四點基本性能項目：

1. 準確性(Accuracy)：對某特定飛行階段，所能容忍的上限(upper limits that can be tolerated for a given phase of flight)。
2. 完整性(Integrity)：當系統超出準確性限制時，能對機師提出示警的特性(the feature that warns the pilot when the system exceeds accuracy limits)。
3. 連續性(Continuity)：在某特定操作下(例如進場)，喪失服務能力的機率(the probability of losing service during a given operation, such as during an approach)。

4. 可用性(Availability)：系統得以支援所需要的飛行階段的時間百分比(the percentage of time that the system can support the desired phase of flight)。

由於傳統導航方式須於地面上架設導航設施，對於廣大的海洋、偏遠的山區、或沙漠地區等無法架設導航設施的地區，僅能使用較不精確的慣性導航系統。但隨著空中運輸需求的不斷提昇，有限的空域便顯得愈發的擁擠。如何在飛行安全至上，以及任何變革都不得對傳統的導航作業方式造成影響的原則下，藉改進助導航設施來增加空域使用的有效性，便成為各國政府交通建設的重大議題。

衛星導航與精確定位是衛星科技應用的新興趨勢，其中美國的 GPS (Global Positioning System) 與俄羅斯的 GLONASS (Global Navigation Satellite System)是兩個運轉中的衛星導航系統。這類系統除了提供精度在數十公尺之內的定位資訊外，也提供傳送精準度達幾十奈秒 (nano-seconds)以內的的時間同步資訊。

然而現行的 GPS 和 GLONASS 系統雖可提供導航與定位方面廣泛的應用，卻無法滿足民用航空用於第一類精確進場標準在垂直方向的需求。至於系統的完整性(integrity)更是此類安全具備高度關鍵性的系統應用方面所極需加強的。為符合這些新增的系統需求，GPS 與 GLONASS 都需要藉助地球同步軌道 (geostationary)衛星來架構一套信號擴增(augmentation)系統，以滿足航空導航的基本性能需求。

依照 ICAO 的構想，提供全球精確定位服務的導航衛星系統，即是以美國的 NavStar/GPS 與俄羅斯的 GLONASS 兩大系統為主。至於 GNSS 信號擴增 (Augmentation)的達成，則需依靠以下三個部分的配合；

1. 機載擴增系統(ABAS; Aircraft Based Augmentation System)；包括有接收機完整性獨立監測(RAIM; Receiver Autonomous Integrity Monitoring)、機載系統完整性獨立監測 (AAIM; Aircraft Autonomous Integrity Monitoring)。
2. 星基擴增系統(SBAS; Satellite Based Augmentation System)或陸基區域擴增系統(GRAS; Ground Based Regional Augmentation System)。
3. 陸基擴增系統(GBAS; Ground Based Augmentation System)。

目前美國的 WAAS (Wide Area Augmentation System)，歐洲的 EGNOS

(European Geostationary Navigation Overlay System)，以及日本的 MSAS (MTSAT Satellite-Based Augmentation System)等，都可被視為將足以提供類似功能的第一代 GNSS 系統。

國際民航組織(ICAO)根據四項航空導航的基本性能，針對衛星導航及其擴增系統，提出了導航作業需求標準(Required Navigation Performance, RNP)，其內容請參閱圖 3-1。

	Oceanic	En-Route	Terminal	Non Precision	CAT-I Landing	CAT-II Landing	CAT-III Landing
Operational System	GNSS & RAIM	SBAS/GRAS	SBAS/GRAS	SBAS/GRAS	GBAS	GBAS	GBAS
Augmentation Broadcast Media	None	SatCom/VHF	SatCom/VHF	SatCom/VHF	VHF	VHF	VHF
Vertical Accuracy (95%)	12.4 NM	2.0 NM	0.4 NM	220 m	7.6 m	2.0 m	2.0 m
Lateral Accuracy (95%)	12.4 NM	2.0 NM	0.4 NM	220 m	16.0 m	6.9 m	6.1 m
Time-to-Alert	120 sec	60 sec	30 sec	10 sec	6 sec	2 sec	2 sec
Alert Limit	H=12.4NM	H=2.0NM	H=1.0NM	H=0.3NM	H=40m V=10-15m	H=17.3m V=5.3m	H=15.5m V=5.3m
Integrity	$10^{-5}/\text{hr}$	$10^{-7}/\text{hr}$	$10^{-7}/\text{hr}$	$10^{-7}/\text{hr}$	$2 \times 10^{-7}/\text{app}$	$2 \times 10^{-9}/\text{app}$	$2 \times 10^{-9}/\text{app}$
Continuity	$1 \times 10^{-5}/\text{hr}$	$1 \times 10^{-6}/\text{hr}$	$1 \times 10^{-6}/\text{hr}$	$1 \times 10^{-6}/\text{hr}$	$5 \times 10^{-5}/\text{app}$	$4 \times 10^{-6}/15\text{s}$	$2 \times 10^{-6}/15\text{s}$
Availability*	0.99-0.99999	0.999-0.99999		0.99-0.99999			

* 0.99=4days/year, 0.999=9hour/year, 0.99999=5min/year

圖 3-1: GNSS 導航作業需求標準

根據 RNP 的要求，不同的衛星導航及其擴增系統適用於不同的飛行階段，其可運用的狀況，請參閱圖 3-2。

Phases of Flight		Primary Means of Navigation		
		Integrity	Availability	Accuracy
En-Route	RNP 10-20	Green	Green	Green
	RNP 2-5	Yellow	Yellow	Green
Approach & Landing	Non-Precision Approaches	Yellow	Yellow	Green
	CAT-I Precision Approaches	Red	Yellow	Yellow
	CAT-II & III Precision Approaches	Red	Red	Red
Surface	Ground Movement	Yellow	Yellow	Yellow

GPS & RAIM
 SBAS or GRAS
 GBAS

圖 3-2: GNSS 航空導航運用狀況

在美國早自 1960 年代末期，即開始思考衛星科技在民用航空上的用途。相關的研究也都持續在進行。一直到 FAA 開始推動 NAS (National Airspace System)，才正式將衛星定位的技術應用在航空導航。此種趨勢隨著 CNS/ATM 觀念的推廣，正式被納入在未來國際航空導航的需求之中。

在 CNS/ATM 架構下，國際航空導航的整體目標為：單一航電設備，可進行越洋航路、陸地航路、到精確進場航路之高精度導航。為達成此一目標，航空衛星導航系統 GNSS (Global Navigation Satellite System)，便透過定位衛星系統，結合星基擴增系統 SBAS (Space Based Augmentation System) 與陸基擴增系統 GBAS (Ground Based Augmentation System) 形成一個整合式的導航架構。

CNS/ATM 環境下，航空導航的架構及運作，請參閱圖 3-3。

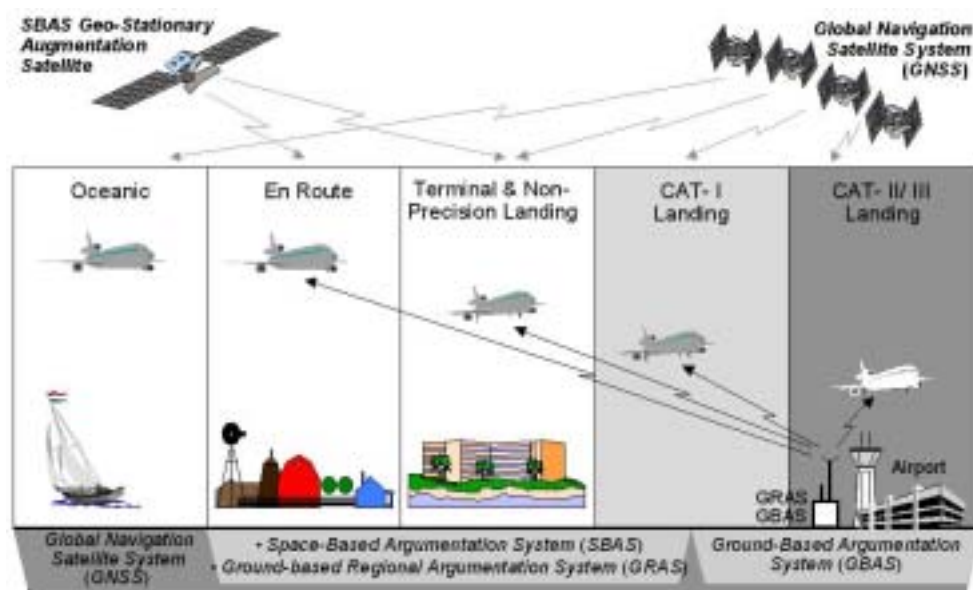


圖 3-3: CNS/ATM 環境下航空導航的架構及運作

3.2 國際航空導航基礎建設之發展趨勢

由於衛星導航與通訊技術的大量運用，毫無疑問的，未來十五年將是國際航空導航發展，面臨極快速演進的時代。面對 CNS/ATM 航管概念的來臨，GNSS 已經成為國際航空導航的共同趨勢。此種結合通訊技術與資訊整合的大型系統架構，毫無疑問地將展現強大的市場魅力，也必然增長國與國之間技術交流與觀念融合的快速發展情勢。

3.2.1 CNS/ATM 架構下的航空導航

CNS/ATM 架構下的航空導航，以使用導航衛星的定位資訊，結合通訊衛星或 VHF 通訊網路的擴增信號廣播來提昇精確性，請參閱圖 3-4。依此構想，航路上的航機除接收 GNSS 所提供的定位服務外，也接收同步軌道通訊衛星對外廣播星基擴增系統的資訊。這些資訊是星基擴增系統地面站上鏈至通訊衛星的，內容包括 GNSS 的完整性及提供差分式定位運算的虛擬衛星(pseudolite)訊號等。透過此一架構的充分應用，未來航空導航的作業標準：準確性、完整性、連續性、可用性得以達成，既有的航管與操作概念也因此有了顯著的差異。

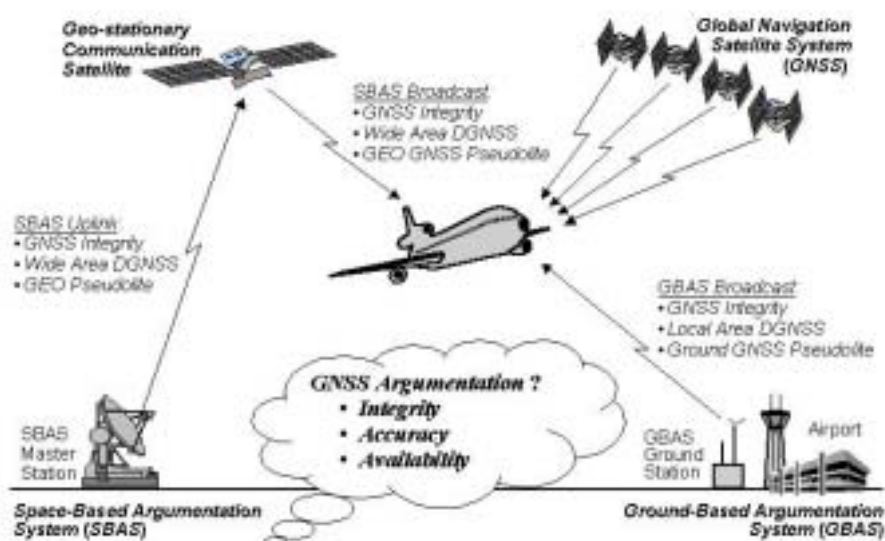
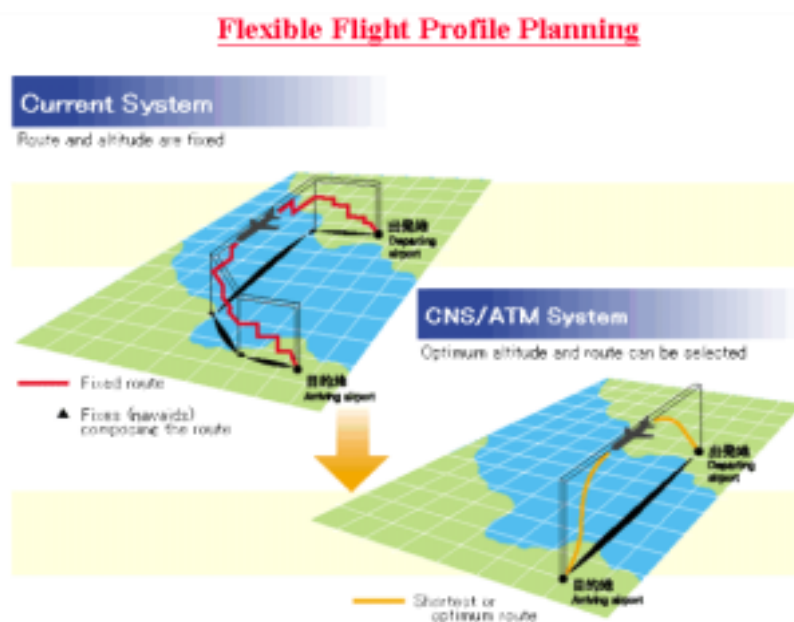


圖 3-4: GNSS 飛航信號擴增

3.2.1.1 越洋航路

傳統的航空導航，在越洋航路中從短波無線電導航的 Omega Loran-C (Long Range Navigation - C)系統到近二十餘年來全面普及的慣性導航系統(INS; Inertia Navigation System)。前者需依賴地面中繼電台的信號提供，後者雖稱之為自含式(self-contained)系統，但為有效控制系統慣性元件的累計誤差量，也需靠地面參考信號的輔助修正。因此在越洋航路的規劃上需配合地面站台的建立，因而無法推行航路最佳化的制訂。CNS/ATM 架構下的 GNSS 取代了 Omega、Loran-C、INS。透過星基系統的服務，越洋航路最佳化不但縮短了飛行時間，也降低了燃

油與機件的耗損，最佳航路的達成必然帶來可觀的經濟效益，請參閱圖 3-5。



資料來源：[3-9]

圖 3-5: 越洋航路之差異比較

3.2.1.2 陸地航路

長久以來，航空導航在陸地航路上多依賴平面定位的無線電定向系統 VOR/DME (VHF Omni-Range/Distance Measurement Equipment)、TACAN (軍用 TACTical Air Navigation)、NDB (Non-Directional Beacon) 等裝備，結合機載氣壓式高度計來進行三度空間的導航定位。此類系統精確性較差且易受天候影響，雖然機上 INS 也提供了一定程度的導航資訊，但為了安全考量，飛航管制只能以加大空域區隔來確保不致發生空中接近的情況。對於二十一世紀國際航空流量的必然大幅提昇，空域的擁擠必定形成空中交通的瓶頸，因而牽動影響國家經濟的大眾運輸。CNS/ATM 架構下的陸地航路上，定位精確性高的 GNSS 搭配 SBAS 取代了 VOR/DME、TACAN、NDB 等系統，空域區隔的減少將可有效提高既有航路的容量，增加航空運輸在社會經濟方面的價值，請參閱圖 3-6。

Reduction of Separation Minima

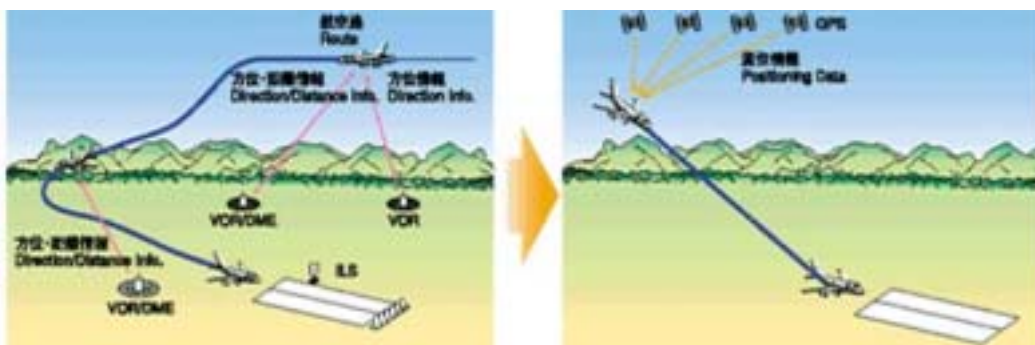


資料來源：[3-9]

圖 3-6: 陸地航路之差異比較

3.2.1.3 進場航路

目前全球大多數具備儀器降落設備的機場，多採用 ILS (Instrument Landing System) 系統，這是一種在跑道附近架設無線電發射裝置 GP/LOC (Glide slope/Localizer) 天線，航機經由接收無線電參考信號，來獲取進場時的下滑角與左右定位角的偏差量以執行進場修正。在這種作法下，進場航機必須透過航管指揮依序進入落地航路的五邊，除了機場設置頗受地形影響外，氣候因素與航空交通尖峰時期，也都造成機場空域交通管理的沈重負荷。另一種原來可能被用來改善 ILS 缺失的 MLS (Microwave Landing System) 系統，雖然具有曲線(curved)進場功能，但其設備昂貴且仍無法避免天候因素，所以未能普及。CNS/ATM 架構下的進場航路的導航設施是以 GNSS 透過 SBAS 與 GBAS 的信號修正取代 ILS、MLS，使得精確進場變得可行，並可大幅降低氣候對飛航造成的影響，請參閱圖 3-7。



資料來源：[3-9]

圖 3-7: 進場航路之差異比較

3.2.2 主要定位衛星發展概要

Navstar/GPS 與 GLONASS 是第一代 GNSS 架構下的兩個主要衛星定位系統，分別由美、俄兩國建置，且均已服役多年，其架構、性能、精確性等的比較，請參閱圖 3-8。但為迎合 CNS/ATM 概念下的國際航空導航新趨勢，歐盟國家即將推出的伽利略(Galileo)定位衛星與中國發展中的北斗(Beidou)導航衛星，也有機會在下一代的 GNSS 架構中扮演一定的角色，請參閱圖 3-9。

	GPS (Global Positioning System)	GLONASS (Global Navigation Satellite System)
No. of Satellites	21+3(Operational+Spare)	21+3(Operational+Spare)
No. of Orbital Planes	6	3
Satellites per Plane	4 (uneven)	8 (even)
Orbital Inclination	55 degrees	64.8 degrees
Orbital Radius	26,560 km	25,510 km
Orbital Period	11H58M	11H15M
Time Reference	UTC	UTC(SU)
Geodetic Datum	WGS-84	PZ-90
Signal Separation Technique	CDMA	FDMA
Carrier Frequency	L1: 1575.42MHz(P,C/A) L2: 1227.60 MHz(P,C/A) L5: 1176.45MHz(P,C/A)	L1: 1602.5~1615.5MHz(P,C/A) L2: 1246.4~1256.5 MHz(P)
Time Accuracy	PPS:200, SPS:340 nsec	1 μ sec
Horizontal Position Accuracy	PPS:17.8m, SPS:100m	100m
Vertical Position Accuracy	PPS:27.7m, SPS:156m	150m
Velocity Accuracy	20 cm/sec	15 cm/sec

資料來源：[3-10]

圖 3-8: 現行 GNSS 核心系統比較

System	Country	No. of Satellites	No. of Orbital Planes	Orbital Radius	Orbital Inclination	Orbital Period
Navstar/GPS	USA	24 (21+3 Spares)	6	26,560 km	55 deg	11Hr 58Min
GLONASS	Russia	24 (21+3 Spares)	3	25,510 km	64.8 deg	11Hr 15 Min
Galileo	European Union	30 (27+3 Spares)	3	24,000 km	56 deg	13Hr 55 Min
Beidou (北斗)	China	4 (2+2 Spares)	1 (Geostationary over 140° E)	?	?	?

圖 3-9: 未來 GNSS 核心系統比較

3.2.2.1 NAVSTAR/GPS

Navstar/GPS (Navigation Signal Time and Range / Global Positioning System) 是由美國軍方所開發與維護的，自 1995 年 7 月開始正式運作。GPS 提供兩種導航定位服務：SPS (Standard Positioning Services) 與 PPS (Precision Positioning Services)。其中 PPS 是保留給軍事等特定使用者，而 SPS 則可提供誤差範圍水平方向在 100 公尺，垂直方向在 156 公尺以內的定位服務。

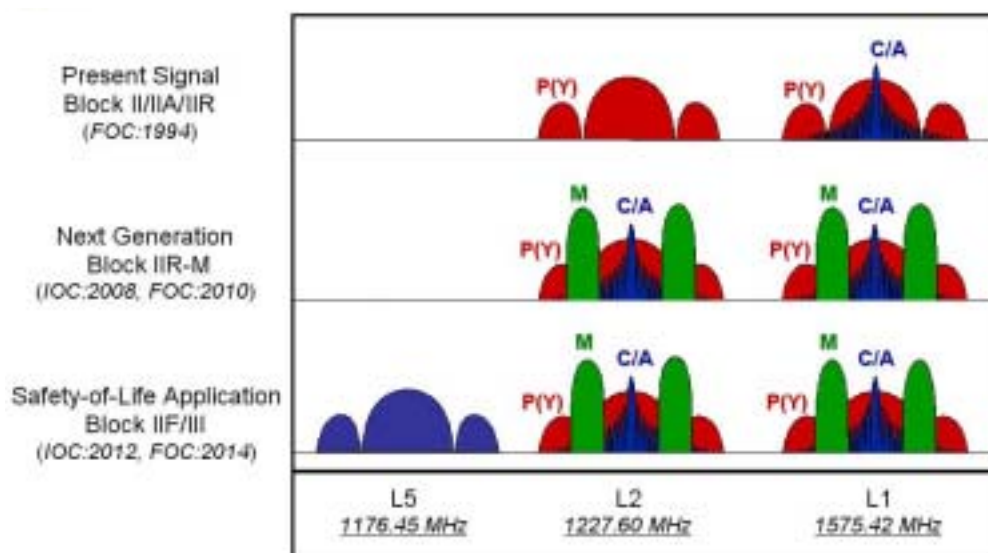
Navstar/GPS 的性能預計將於 2003 年 2 月在 Lockheed Martin 的第一枚 Block IIR-M 衛星佈署後得到大幅的改善 [3-1]。此舉將有效提昇 GPS 用在衛星導航上的能力。這是首度得以讓民用衛星定位系統，能同時收取兩個頻率(L1/L2)的信號，並據以進行大氣誤差的修正來提昇性能。原使用此種技術的軍用系統，將改採增加 M Code 信號的方式，來增加干擾與抗干擾的功能。

事實上，在 2000 年 5 月 2 日 S/A (Selective Availability) 信號被關閉前，民用 GPS 之精確度已可由定位誤差 100 公尺(95%)改善到 45 公尺(95%)。隨著 S/A 信號的關閉，精確度已再度被提昇達 3 至 10 公尺(95%)的誤差半徑之內。後續的更新動作也將於 2005 年隨著 Boeing 的 Block IIF 衛星升空而展開。透過此階段的提昇，民用 GPS 將可再增加使用 L5 頻率(1,176.45MHz)的信號，請參閱圖 3-10、圖 3-11。



資料來源：[3-10]

圖 3-10: Navstar/GPS 定位衛星性能提昇概況



資料來源：[3-10]

圖 3-11: 新一代 GPS 信號演進

在傳統 GPS 使用上, GPS 衛星發送兩種 Code: C/A (Coarse Acquisition) Code 與 P (Precision) Code, 而後者僅限於特定使用者收取。這兩種 Code 經由 Spread-Spectrum 調變成為兩種頻率。其中 L1 以 1,575.42MHz 發送 C/A Code 及 P Code; 而 L2 則以 1,227.6MHz 發送 P Code。也正是利用比較這兩種工作頻率的傳送延遲, 信號使用者得以進行大氣誤差修正, 並因此提昇定位精確度。

根據衛星佈署的時程規劃, 民用 GPS 的 L2 信號將至 2007 年才能全面使用, 而 L5 信號的使用, 則最快需至 2011 年達成。

3.2.2.2 GLONASS

GLONASS (Global Navigation Satellite System)是俄羅斯所發展的衛星定位系統，從 1993 年 9 月開始服役。它的標準精確導航信號(SP)持續提供給全球的民間使用者定位及對時的服務。

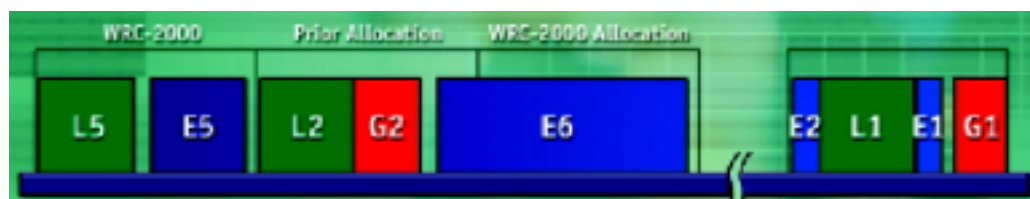
GLONASS 的系統精確度可達：水平定位在 57 至 70 公尺誤差範圍以內(99.7%)，垂直定位在 70 公尺誤差範圍以內(99.7%)，速度向量各分量的量測誤差範圍在 15 公分/秒以內(99.7%)，對時精確度則在 1 微秒(Micro-Second) 以內(99.7%)。

在未來十年間 GLONASS 也將啟動一連串的更新計畫，配合 GLONASS-M 及 GLONASS-K 衛星的發射，將導航信號的工作頻率轉換為 F1 與 F2 兩個新頻率。

3.2.2.3 GALILEO

Galileo 是歐盟規劃中的衛星導航系統，由 EC (European Commission)及 ESA (European Space Agency)共同開發。其中 EC 主導政策方面如系統架構、系統效益及使用者需求等範疇，而 ESA 則負責聯合歐洲相關產業，以開發導航訊號產生器、高精確衛星自動計時器及效能模擬工具等核心技術。兩者相互配合目的是建構一套屬於歐陸國家專有的定位衛星系統，以確保航空導航服務的可用性與連續性不致受制於美、俄兩國的 GPS 與 GLONASS。

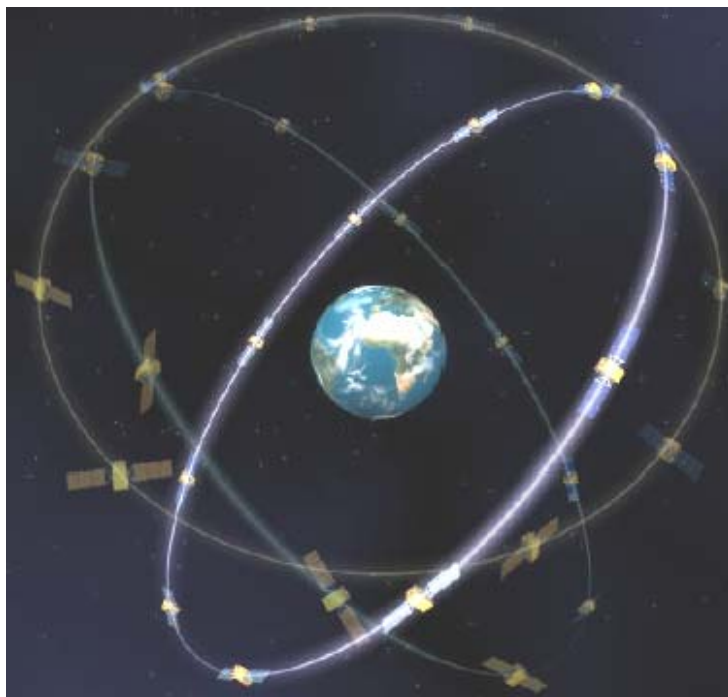
雖然 Galileo 在系統架構上具備完全的獨立性，但其運作方式與前述兩大系統頗為類似，未來在佈署上，Galileo 通訊可支援現 RNSS(Radio Navigation Satellite Service)分配的四個 L-Band 載波(E1、E2、E5 及 E6)，其中包含 WRC-2000 波段；或是與 GPS(L1、L2 及 L5)及 GLONASS (G1&G2)分享波段，各系統波段分配，如圖 3-12。



資料來源：[3-11]

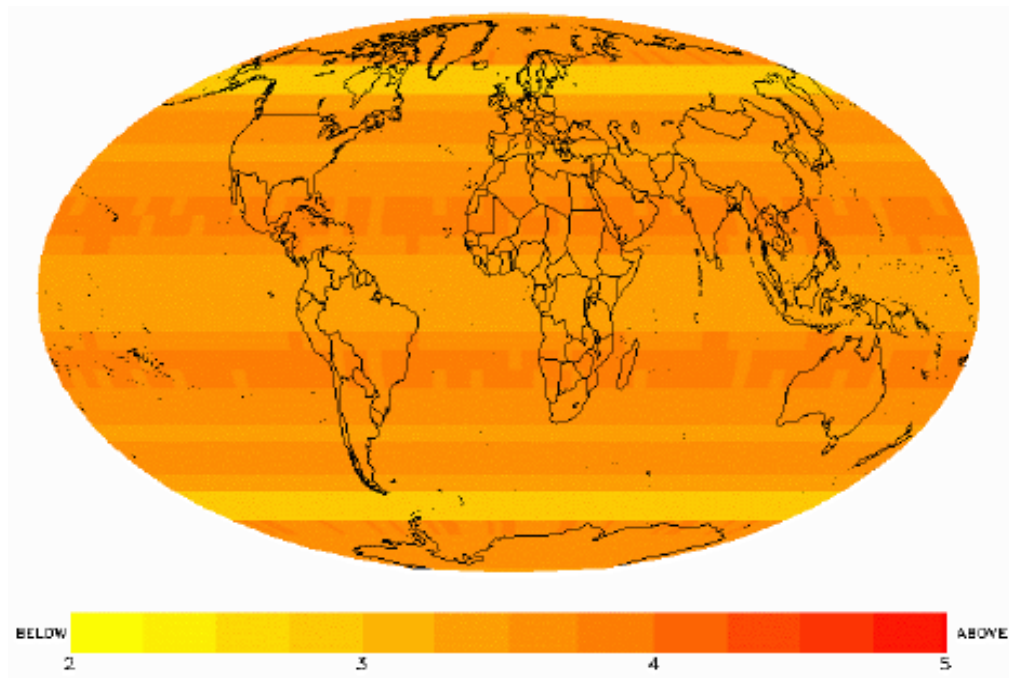
圖 3-12: GNSS 頻率分配

未來在佈署上，Galileo 預計將放置 30 枚中軌道高度(MEO, Medium Earth Orbit)衛星，其中 27 枚保持運轉，另 3 枚擔任備運轉。其軌道高度距地面 24,000 公里，並與赤道成 56 度夾角，可提供僅 2~5 公尺的定位誤差，較現行系統更為精確；此外，除少數極端的環境外，其服務可涵蓋所有範圍，當有任一衛星無法正常運作時，並能在 6 秒內告知使用者，此一特性更能滿足對安全嚴酷需求。中軌道衛星佈置示意及垂直準確性，分別如圖 3-13、圖 3-14。整體佈署行動預計將在 2008 年完成，屆時目前配合 GPS 與 GLONASS 使用的 EGNOS 將整合納入 Galileo 成為歐盟完整的航空導航衛星系統，請參閱圖 3-15。



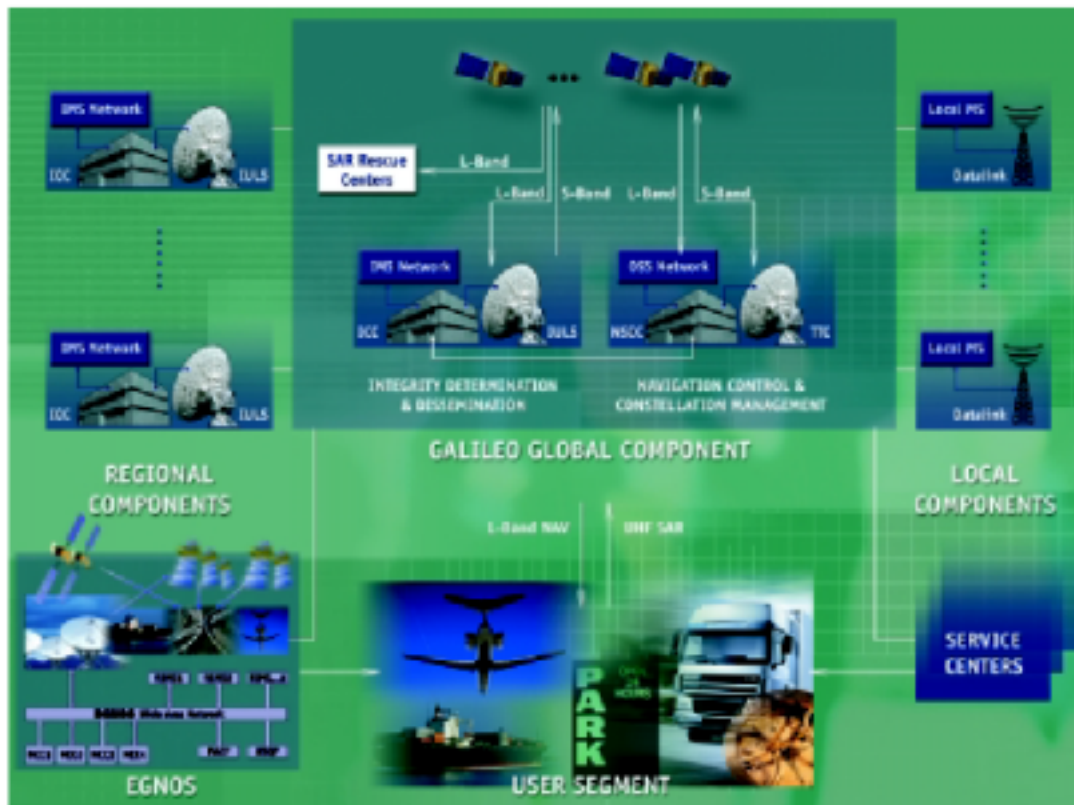
資料來源：[3-12]

圖 3-13: 中軌道(MEO)衛星佈置示意圖



資料來源：[3-12]

圖 3-14: 中軌道(MEO)衛星提供之垂直精確性(2-5 公尺)



Overall GALILEO Architecture

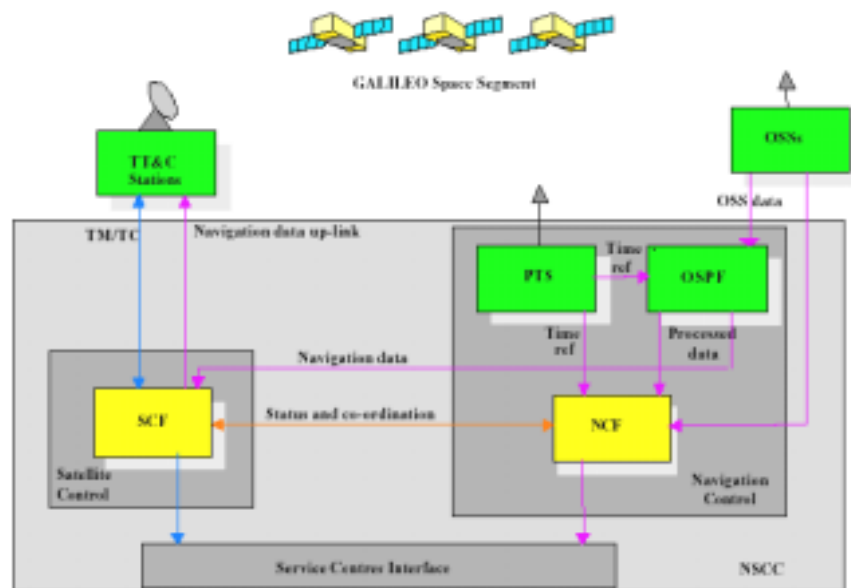
資料來源：[3-13]

圖 3-15: GALILEO 系統架構

Galileo 地面控制系統是由一個 NSCC (Navigation System Control Centre)、數個 OSS (Orbitography & Synchronisation Station)及 TT&C (Tracking, Telemetry & Command)所組成。每一 OSS 傳送至 NSCC 資料，包含該站原子鐘時間、所接收 Galileo 衛星導航訊息及該區之氣象資料，以進行同步時間的校正；在 NSCC 則透過 TT&C 站，進行衛星追蹤、軌跡控制、遙測數據及控制。

NSCC 導航部份的設施包含三個部分，請參閱圖 3-16。

1. 精密時間站(PTS, Precision Timing Station)：包含一高效能原子鐘，作為 Galileo 系統時間(GST, Galileo System Time)，並為位於 NSCC 的 OSS 站參考時間。而一特定設定的 OSS 可據此決定 GST 與 UTC(Coordinated Universal Time)時間之間偏差值，並可依此將 GST 轉為 TAI(International Atomic Time)時間。
2. 軌跡記錄及時間同步處理設施(OSPF, Orbitography & Synchronisation Processing Facility)：週期性地處理 OSSs 所傳進之訊號，計算每一衛星之星曆資料及衛星機載時鐘偏移量，並預估每一衛星時間函數之 SISA(Signal-in-space accuracy)參數值。
3. 導航控制設施(NCF, Navigation Control Facility)：提供對 OSPF、OSS、PTS 及 NCF 全面的監視、控制及管理。



資料來源：[3-12]

圖 3-16: GALILEO 地面控制設施

Galileo 系統預計於 2004 年佈署第一顆衛星，於 2006 年開始提供初步的使用者服務，整體佈署行動則預計將在 2008 年完成，其計畫的時程，如圖 3-17。



資料來源：[3-12]

圖 3-17: GALILEO 計畫時程

為符合各種不同的服務需求，並面對商業及安全的考量，Galileo 的服務區分為以下三類，請參閱圖 3-18。

1. 一般服務(General Purpose Services)：提供較現行系統較佳之導航及對時，並可應用於一般航空、海運、陸運、企業及個人使用，在有 Galileo 接收器下即可使用，不需經過任何批准。
2. 商業服務(Commercial Services)：透過需付費的服務，可依不同等級獲得不同程度加密導航訊號，此外並包含服務保證 Galileo 與 GPS 完整警告、提供精確時間、電離層延緩模組及不同區域訊號校正等加值服務。
3. 公共服務(Public-Utility Services)：提供攸關生命或緊急應用時，高度安全整合與認證的服務。

GALILEO Service	General-Purpose Service	Commerical Service		Public-Utility Service	
Coverage	Global	Global	Local	Global	Local
Accuracy	15-30 m (Single Frequency) 5-10 m (Dual Frequency)	5-10 m (Dual Frequency)	<10cm-1m (Local Augmentation Signals)	4-6 m (Dual Frequency)	1m (Local Augmentation Signals)
Availability	99%	99%	99%	99-99.9%*	99-99.9%*
Integrity	Not Generally Required	Value-Added Service		Mandatory Requirement	
Alert Limit	-	20-45m	2-3m	<15m	3-5m
Time to Alert	-	10 Seconds	1 Second	6 Seconds	1 Second
Integrity Risk	-	1e-7/Hour	1e-7/Hour	2e-7/150 Seconds	2e-9/150 Seconds
Continuity Risk	-	1e-4/Hour	1e-4/Hour	8e-6/15 Seconds	5e-6/15 Seconds
Timing Accuracy	50 nseconds	<50 nseconds		50 nseconds	
Access Control	Free Open Access	Controlled Access (Value-added Data)	Controlled Access (Local Correction Data)	Controlled Access (Navigation Data and/or Value-added Data)	Controlled Access (Local Correction Data)
Certification and Service Guarantees	No	Guarantee of Service Possible		Build for Certification, Guarantee of Service Possible	

資料來源：[3-13]; *：可靠度上限尚未實證。

圖 3-18: GALILEO 提供之服務種類

3.2.2.4 BEIDOU

近年來中國的航太工業除在運用美蘇兩國的衛星定位系統(GPS/GLONASS)方面，著力頗深外，也積極致力於自有導航衛星系統的開發。目前正建構中的系統，是一套名為「北斗(Beidou)」的雙衛星定位系統(BNS; Beidou Navigation System)。

Beidou 導航衛星是中國為建置其國內導航基礎架構所部署的定位衛星系統，第一枚衛星 BNTS-1 (Beidou Navigation Test Satellite)於 2000 年 10 月 31 日由長征三 A 運載火箭發射升空。根據新聞報導[3-21]，但未經中國官方證實，這枚屬於同步軌道衛星的導航定位衛星位於東經 140 度的赤道上空，軌道半徑 35772×35803 公里。隨後於同年的 12 月 20 日，第二枚衛星 BNTS-1B 也成功佈署完成，同樣根據新聞報導[3-21]，但未經中國官方證實，其位置在東經 80 度赤道上空的同步衛星軌道，半徑 35776×35797 公里。兩枚衛星軌道面均呈 0.1 度傾角，繞地週期 1,436.1 分鐘（約為 24 小時）。

這套系統提供中國大陸及其週邊海域全天候的導航及時訊服務，但由於其僅屬於初期的衛星導航系統，預期功能僅限於鐵、公路及船舶導航為主。規劃中下一階段的精進系統，將由四枚同步軌道衛星所構成，但也僅止於區域性的導航定位服務。

3.2.3 主要導航衛星擴增系統架構

決定 GNSS 定位的正確性主要包括三個因素：

1. 定位衛星本身各項功能、運行軌道是否正常。
2. 觀測位置所能接收定位衛星信號的個數。
3. 定位衛星系統本身的誤差。

現有 GNSS 主要定位衛星系統，在考量上述因素下，均不能達到導航作業需求標準 RNP，其主要的缺失包括：

1. 「完整性」無法達成：
 - 無法全天候的監視所有定位衛星，因此定位衛星有故障時，不一定知道而無法通知使用者。
 - 定位衛星故障時，需耗費幾分鐘到幾小時的時間通知相關使用者，不符 RNP 的要求。
2. 定位的精確度不能完全滿足 RNP 的需求，特別在垂直精確度方面。
3. 「連續性」、「可用性」上無法滿足 RNP 的要求。

為解決影響 GNSS 定位正確性的三個因素，航空業界採用一種信號擴增技術，以提昇 GNSS 的「準確性」、「完整性」、「連續性」以及「可用性」，滿足 RNP 的要求。

導航衛星擴增系統主要是運用下列方式，解決影響 GNSS 定位正確性的三個因素：

1. 在地面上建立許多衛星運作監視站，隨時監視衛星的運作狀況。當衛星運作不正常時，立即提出警告，以滿足 RNP 中「完整性」的需求。
2. 當某一地區所能接收之定位衛星信號少於四個時，產生、發送一個定位衛星信號，以滿足 RNP 中「連續性」、「可用性」的需求。
3. 針對定位衛星系統本身的誤差，產生、發送一個修正用的位置差分信號，以滿足 RNP 中「準確性」的需求。
4. 為傳送上述作業所產生的衛星運作訊息、定位衛星信號、以及位置差分信號，導航衛星擴增系統必須有可靠的通訊媒介，以滿足 RNP 中「準確性」、「完整性」、「連續性」、「可用性」的需求。

導航衛星擴增系統，依據其應用範圍不同可以分為下列不同的系統：

1. 星基擴增系統(Satellite Based Augmentation System, SBAS)：

星基擴增系統主要是為廣大的地區提供正確衛星導航，其涵蓋範圍可達到數千公里。它在廣大的地區建立許多衛星運作監視站，並利用通訊衛星發送各項訊息和信號。由於 SBAS 涵蓋範圍廣大，因此定位精確性會較差；運用通訊衛星，因此通訊傳輸的時間較久，完整性、可用性較低。

2. 陸基區域擴增系統 (Ground Based Regional Augmentation System, GRAS)：

陸基區域擴增系統主要是也為廣大的地區提供正確衛星導航，它和星基擴增系統主要的差異在不使用通訊衛星，而在地面上建立特高頻(VHF)通訊網路，以發送各項訊息和信號。由於 GRAS 定位精確性一樣較差；但運用特高頻通訊網路，因此通訊傳輸的時間較短，完整性、可用性比 SBAS 高。

3. 陸基擴增系統(Ground Based Augmentation System, GBAS)：

陸基擴增系統主要是為機場地區提供精確的衛星導航，其涵蓋範圍僅有 45 公里。它在機場附近建立數個衛星運作監視站，並利用特高頻通訊站發送各項訊息和信號。由於 GBAS 涵蓋範圍廣小，因此定位精確性會較高；運用特高頻通訊站，因此通訊傳輸的時間較短，完整性、可用性比較高。

目前 WAAS、EGNOS 與 MSAS 都是為求符合 CNS/ATM 所要求的導航標準，並採用差分式衛星定位系統架構的星基擴增系統。其中 WAAS 是由美國所建置，EGNOS 是歐盟國家所主導，而 MSAS 則是由日本負責開發。雖然各系統由不同國家主導，但是他們的通訊訊息和信號卻是相容的，也就是只要一套機載衛星擴增系統就可以接收三種系統的資料；同時這三套系統訊號的涵蓋範圍也有部分重疊，可以增強各系統的可用性。WAAS、EGNOS 與 MSAS 的涵蓋範圍和所使用的通訊衛星，請參閱圖 3-19。

除星基擴增系統之外，陸基擴增系統方面以美國研發的 LAAS 為代表，陸基區域擴增系統以澳洲的 GRAS 為代表。後續章節將針對這些衛星導航擴增系統作一簡單的說明。



圖 3-19: GNSS 擴增系統概況

3.2.3.1 WAAS

基本的 GPS 服務，並無法完全達到航空導航所要求的準確性、完整性以及可用性。為了彌補 GPS 所無法達到的三項要求，FAA 發展了 WAAS 系統，一個完全達到安全需求，且覆蓋範圍極大的精確定位系統。WAAS 全名為 Wide Area Augmentation System (廣域擴增系統)，可以使飛機從起飛開始，以 GPS 做為主要的導航依據，並希望在 ILS 設備為第一級標準的機場 (Decision Height 為 200 feet)，可以做精準的滑降。WAAS 可以說是 FAA 發展民航用無縫隙衛星導航系統的關鍵要素，這套系統能提升精準度、有效性，並可大幅增加目前 GPS 所能提供的導航容量和安全性。

如同其字面上的解釋，這是一套利用地面和衛星設備來增加傳統 GPS 系統的精確性。透過這套系統，GPS 將可被允許作為航路導航以及非精確進場的主要工具，在所選定的機場中，希望能夠提供第一類精確進場(Category I)之用。

WAAS 可以比傳統的地面導航站台涵蓋更廣闊的面積。廣域地面參考站台 (WRSs, Wide Area Ground Reference Stations) 可接收由 GPS 衛星所傳送的訊號，並可判斷和計算訊號的錯誤。WRSs 透過美國 WAAS 網路連結及傳送資料到廣域主要站台(WMS, Wide Area Master Station)。WMS 藉由特定地區的地理位置計算來修正所得的資訊，校正後的訊息由地面上傳站台(GES, Ground-Earth Station)連結傳送至固定的通訊衛星(GEO)。這些訊息接著以和 GPS 相同的頻率 (L1, 1575.42MHz) 廣播給飛行經 WAAS 所涵蓋的範圍，且裝有 GPS/WAAS 接收器的民航機。在 WAAS 系統涵蓋範圍內的航機將可透過機載設備，接收這些精

確的衛星訊號，並用來作為導航資料位置校正的參考。初步估計，WAAS 所修正後的資訊，相較於 GPS，可使精確度由 100 公尺提升至接近 7 公尺。

這套系統的實用範圍除了整個美國之外，還包含了墨西哥和加拿大地區。透過 25 個 WRS 所構成的 WAAS 系統網路，幾乎已經涵蓋了整個服務區域。WAAS 系統架構，請參閱圖 3-20；而其建置狀況，請參閱圖 3-21。

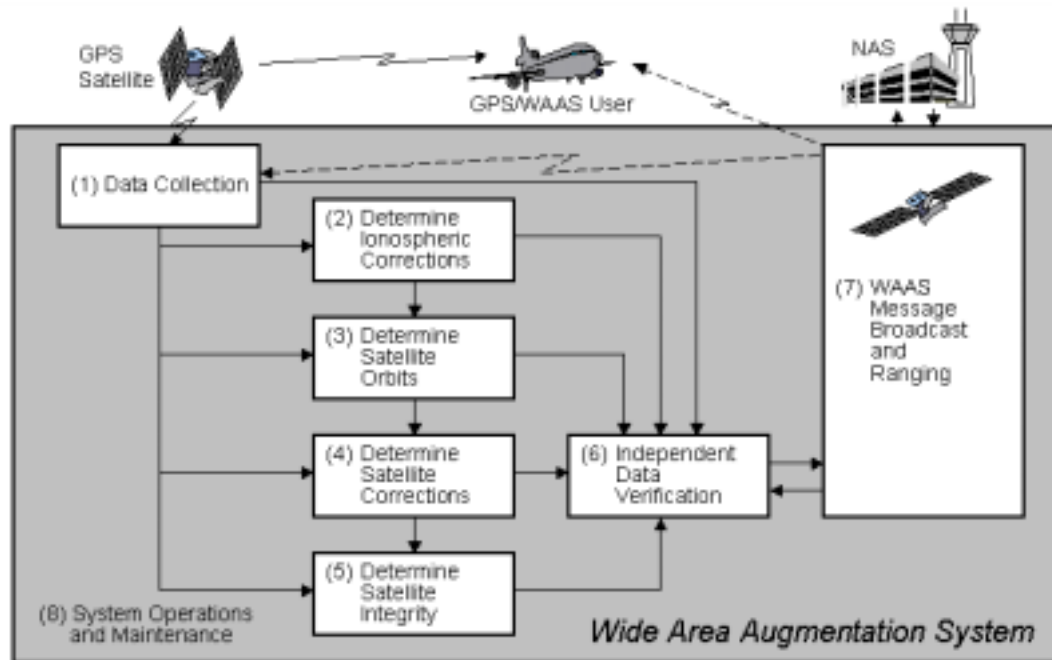
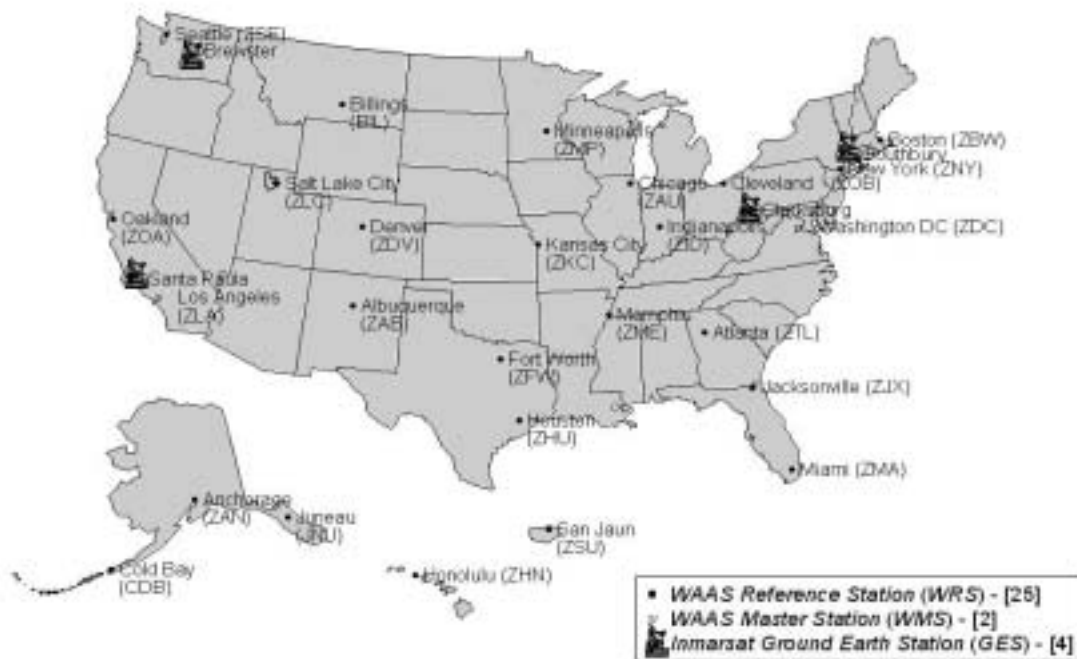


圖 3-20: WAAS 系統架構



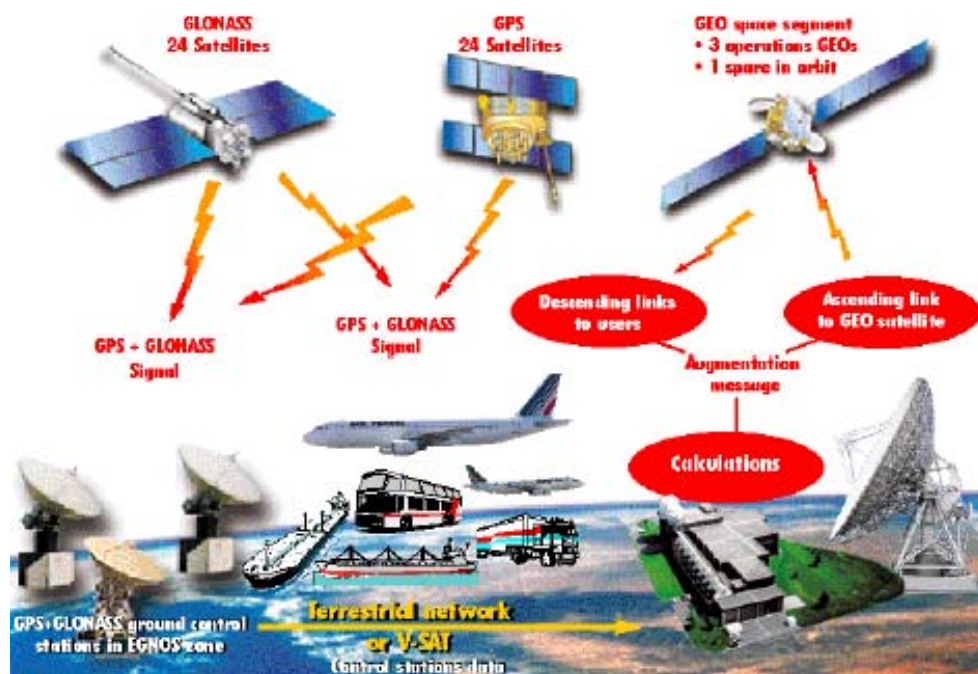
資料來源：[3-14]

圖 3-21: WAAS 系統建置現況

3.2.3.2 EGNOS

EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System)與 WAAS、MSAS 是三個針對現今 GPS 與 GLONASS 系統進行區域性改善的星基擴增(SBAS)系統之一。係由歐盟飛航管制組織(Eurocontrol)、EC (European Commission)、ESA (European Space Agency)三方協定，交由 ESA 進行發展。EGNOS 訊號以 GPS 的 L1 波段傳送，提供 GPS 及 GLONASS 即時的校正訊號，以提高精確度從 20 公尺至 5 公尺，且可告知使用者位置的測定錯誤，並於 6 秒內通告衛星訊號的消失，服務範圍涵蓋整個 ECAC 區域，其系統架構，如圖 3-22。

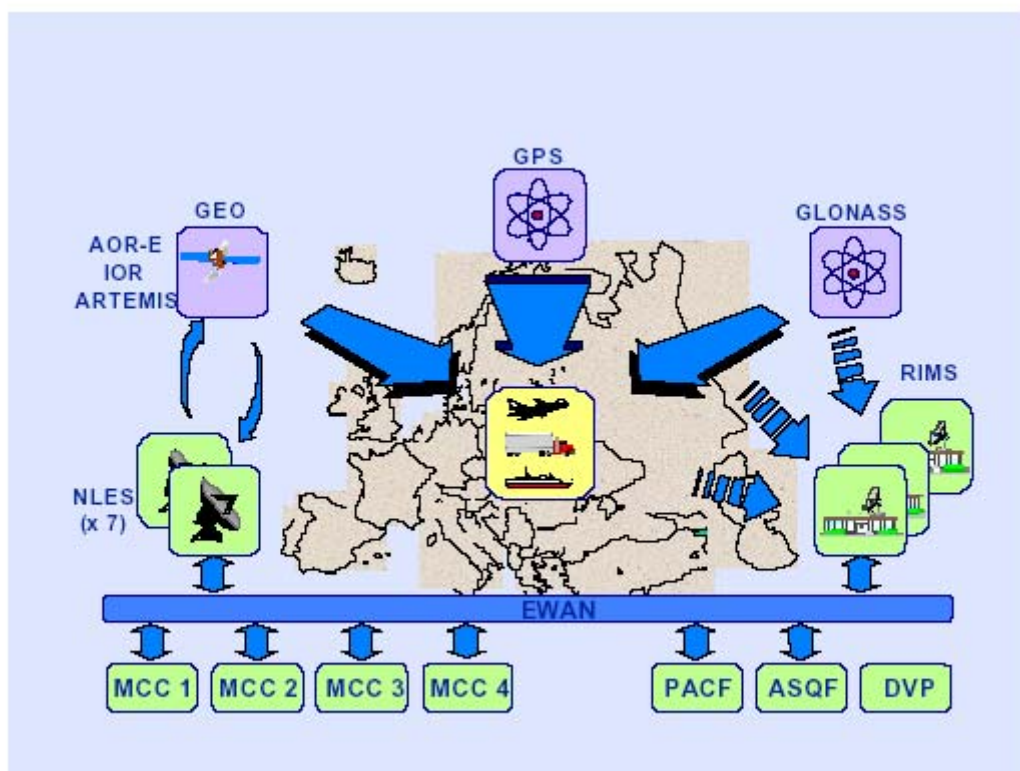
EGNOS 為歐洲衛星導航的第一階段發展，並為 Galileo 計劃之前導，它將扮演歐洲衛星導航的基礎架構。其設計除可應用於航海及陸運外，尚可應用於民航機巡航、近場及精確進場等各階段。自 1999 發展迄今，已完成許多計劃，其測試平台於 2000 年二月開始運作，透過 Inmarsat III AOR-E(西歐)及 IOR(中歐)衛星提供完整、常久 EGNOS 標準訊號給使用者，整合 Euridis 之前從 Inmarsat III AOR-E 所提供的虛擬距離定位訊號，新增差分及完整資訊，可將精確度提高到 2.2 公尺。EGNOS 預計於 2004 年完全展開運作。



資料來源：[3-15]

圖 3-22: EGNOS 系統架構

EGNOS 係由三顆同步衛星及複雜的地面站所組成，第三顆衛星”Artemis”預計於 2003 年於非洲上空開始服役，地面站由 34 個 RIMS(Ranging & Integrity Station)、4 個主控制中心及 6 個訊號上載站所組成，其中 RIMS 主要在測量每一 EGNOS 衛星之位置，及衡量與 GPS/GLONASS 訊號所計算之位置之差距，後將所得之資料透過通訊網路傳送至主控制中心。主控制中心則計算每一接收站所接收之 GPS/GLONASS 精確度及電離層所導致之位置偏差量，並將所有偏差值藉由訊號上傳給 EGNOS 的同步衛星。同步衛星接收由地面傳送之資料加以處理，再以廣播方式傳送給航機，其系統組成，如圖 3-23。



資料來源：[3-11]

圖 3-23: EGNOS 系統組織

3.2.3.3 MSAS

MTSAT (Multifunctional Transport Satellite)是日本運輸省因應亞太地區日益增加的空中交通負荷，並改善美、日之間北太平洋空域的航管操作限制，所提出的導航衛星計畫。規劃中將利用兩枚同步衛星搭配地面通訊設施來共同運作。

MSAS (MTSAT Space-Based Augmentation System)則是以 MTSAT 為基礎所構建的廣域擴增系統，此一星基擴增系統計畫提供日本空域內的航機自陸地航路

至精確進場的導航服務，其系統架構請參閱圖 3-24。其中主要的系統設施及其功能包括：

1. 衛星中心(Master Control Station, MCS)：負責衛星的監視、控制；地面設施所收集資料的計算、整理；系統完整性的監督和維護。
2. 地面監測站(Ground Monitor Station, GMS)：負責衛星信號的接收、異常處理、以及將資料傳送給 MCS。
3. 軌道監測站(MRS, Monitoring and Ranging Stations)：負責衛星軌道及其運動狀況的監視。
4. 通訊系統(NCS, Network Communication System)：負責連接 MSAS 系統地面設施，而形成一個網路架構。

類同於美國的 WAAS 系統及歐洲的 EGNOS 系統，MSAS 也是將 GPS 擴增資訊提供給航機以滿足其完整性、連續性及可用性等導航性能需求的星基擴增系統。

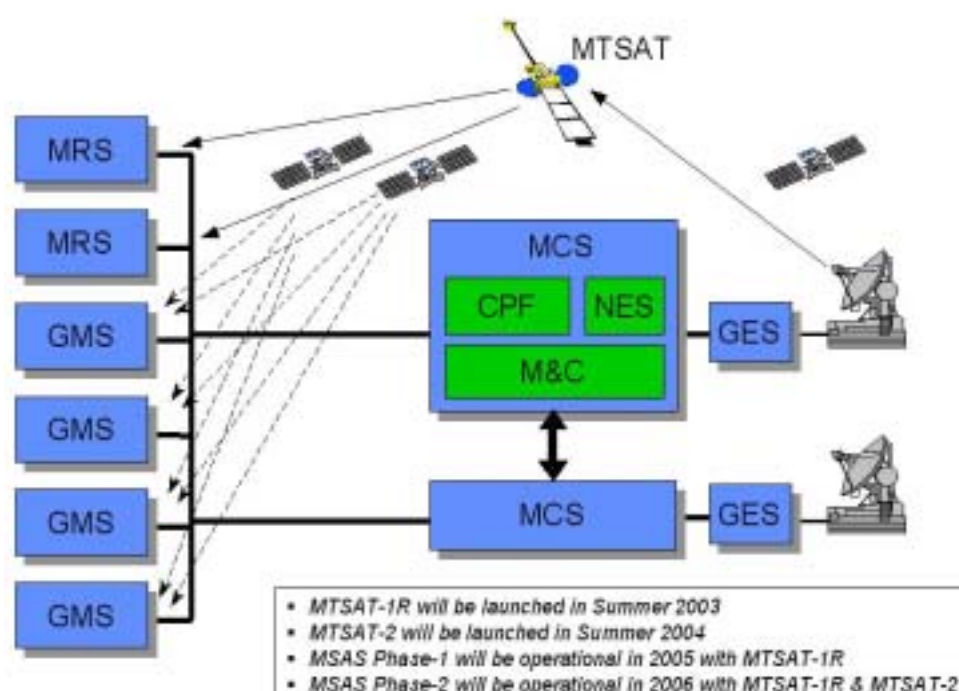


圖 3-24: MSAS 系統架構

MTSAT 的主管單位日本民航局(JCAB, Japan Civil Aviation Bureau)為使相關服務得以持續提供，縱使在天然災害發生時也不致中斷，因此將兩個衛星中心(MCS)分別設置在日本兩個不同的所在：一在東京以西約 500 公里的 Kobe，另

一在東京東北方 100 公里附近的 Hitachi-Ota。同樣的，配合 MSAS 的運作，也需設置幾個地面監測站(GMS)，而 GMS 設置的數目與地點的選擇，決定於對導航服務需求的層級與對 GPS 信號收取的情況。此外還有軌道監測站(MRS)分別選擇設在澳洲與夏威夷。MSAS 系統整體配置狀況，請參閱圖 3-25。依此安排，亞太區域的大部分地區都可被兩枚 MTSAT 的信號所覆蓋，請參閱圖 3-26。

由於 JCAB 已經加入了 IWG (SBAS Technical Interoperability Working Group) 組織，因此 MSAS 的信號將與 WAAS 及 EGNOS 系統間存在著共通性，也就是說未來機載航電設備將可同時配合三個星基擴增系統使用。

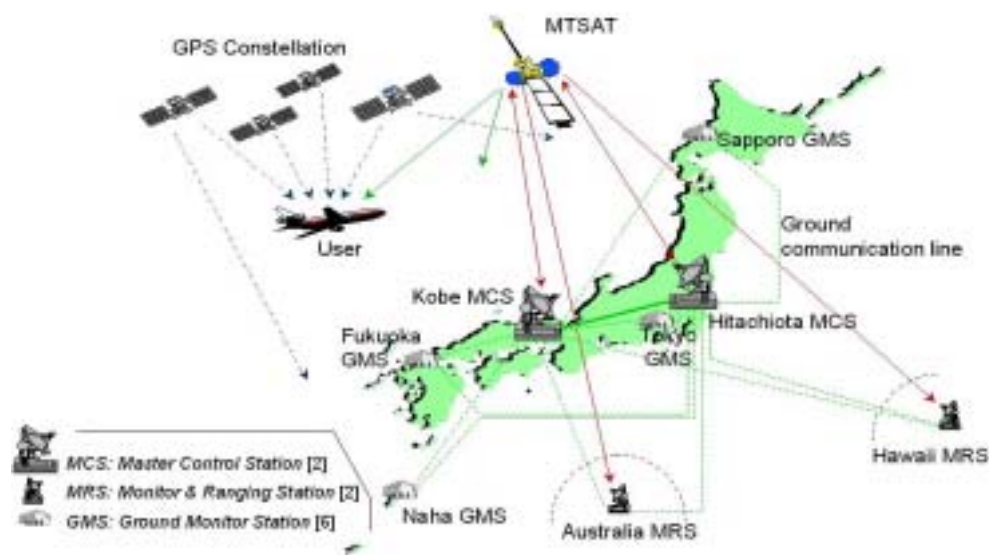
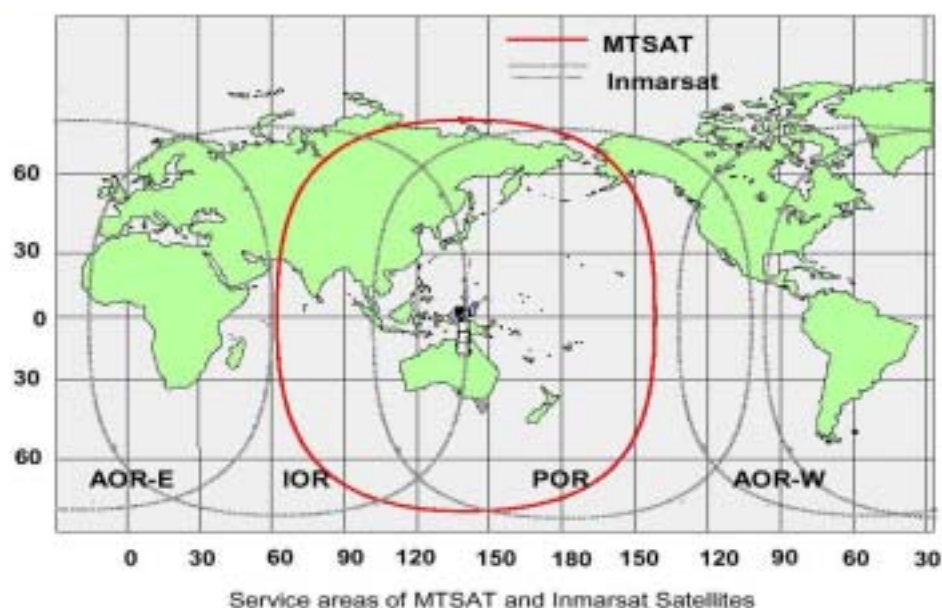


圖 3-25: MSAS 建置概況



資料來源：[3-16]

圖 3-26: MTSAT 提供服務的範圍

3.2.3.4 GRAS

相較於世界上的主要系統，澳洲採行較為不同的信號擴增方式，稱之為陸基區域擴增系統(GRAS; Ground Based Regional Augmentation System)。GRAS 的架構和星基擴增系統相似，只是它的擴增信號是以 VHF 通訊網路發送，而不是透過衛星來傳遞，如此可以大幅減低通訊傳輸時間，以提昇整體系統的完整性。

這種使用 VHF 作為通訊方式的架構，對澳洲的地理環境而言，不但可以涵蓋整個陸地，而且系統的機制可以避免單一失效造成全系統癱瘓，價格相對於 WAAS 來得低廉更是受到重視，GRAS 系統建置現況，請參閱圖 3-27。

此一系統正進行測試，初步已獲 ICAO 認可。



資料來源：[3-17]

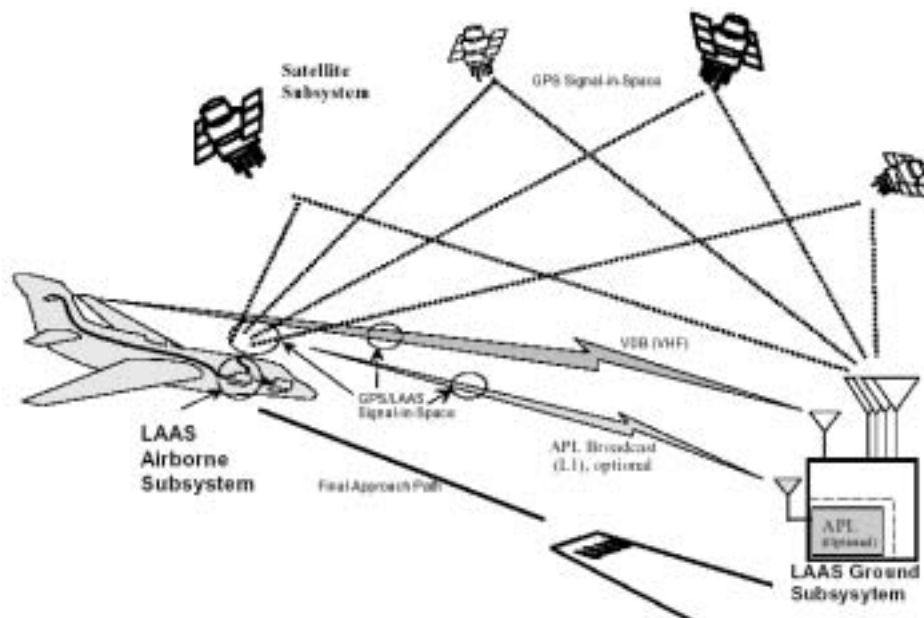
圖 3-27: Australia GRAS 系統建置現況

3.2.3.5 LAAS

雖然星基擴增(SBAS)系統可以提高GPS系統的精確度及有效性，然尚不足以滿足航機在精確進場及降落時之導航要求，為了達到上述進場之需求，就必需在機場建置區域擴增系統(Local Area Augmentation System, LAAS)。LAAS系統架構，由地面子系統、太空子系統及機載子系統所組成，請參閱圖3-28。其中太空子系統由GPS衛星、GLONASS衛星和廣域擴增系統(WAAS)之同步衛星組成，用

來提供測距的信號，使航機及地面接收器能測量出和衛星的之間的距離來作定位計算；地面子系統以特高頻資料廣播(VHF Data Broadcast, VDB)方式，提供航機精確進場時之GPS定位差分訊息、校正參數及精確進場參考路徑。地面子系統亦可能建置有機場虛擬衛星(Airport Pseudolites, APLs)，能夠回播複製衛星訊號從地面已知的位置反射衛星訊號給航機。機載子系統則以地面站VDB廣播資料，修正衛星定位的觀測量，建構適合的進場路徑，並且評估系統的連續性和完整性。

LAAS的所能提供服務範圍以VDB訊號涵蓋區域為限，約可到達20~25海浬，對於多跑道機場而言，單一LAAS地面子系統，即可提供航機於各跑道的精確近場服務，對於已往需於各跑道架設儀器降落系統(ILS)而言，LAAS無論在成本節省及提供航機精確進場能力皆有相當大的優勢。

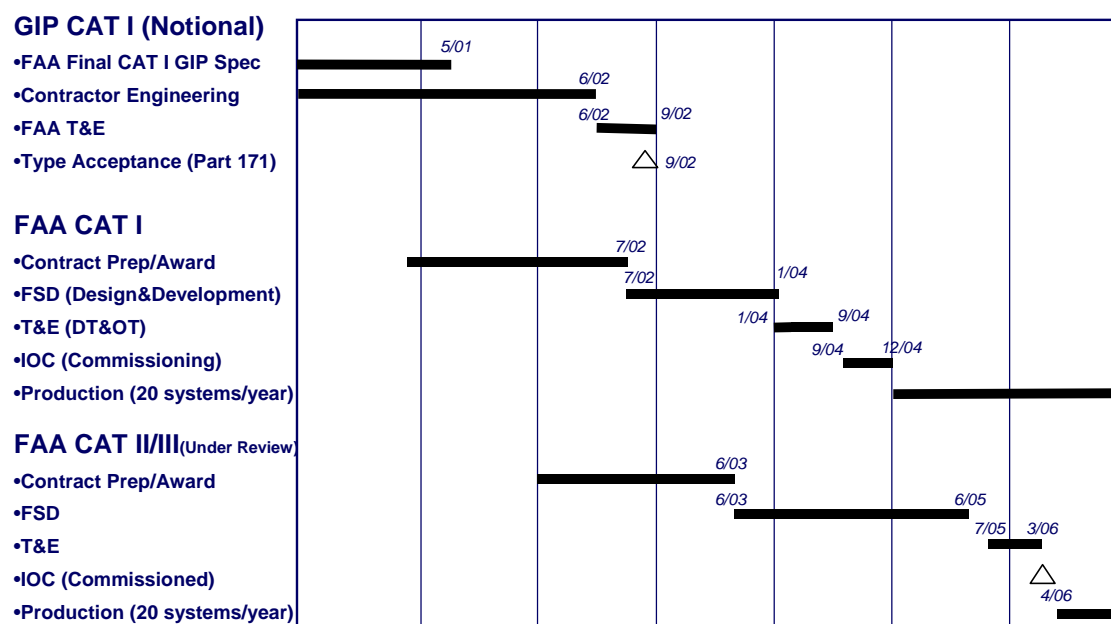


資料來源：[3-20]

圖 3-28: LAAS 系統架構

美國 FAA 已成功驗證 GPS 第三類精確進場之可行性及提出 LAAS 系統建議架構，此架構在國際民航組織(ICAO)全球衛星導航系統小組(GNSS-P)於 1997 年所認可。GNSS-P 並於 2001 提出 LAAS 第一類精確進場標準及建議措施 (SARPS)。美國 FAA 則於 1999 年分別與 Honeywell 及 Raytheon 合組二個發展聯盟(Government/Industry partnerships, GIP)，協力發展 LAAS 第一類精確進場系統，預計於 2003 年 9 月開始運作，LAAS 第二及第三類精確進場接續其後續發

展，並預計於 2006 年開始運作，其相關時程請參閱圖 3-29。



資料來源：[3-20]

圖 3-29: FAA LAAS 發展時程

3.2.4 國際衛星導航建置趨勢

美國 WAAS 的連結網路未來計畫將範圍擴大，使之能涵蓋加拿大、冰島、墨西哥等，並能逐步擴展到其他國家。而日本的 MSAS 和歐洲的 EGNOS 與 WAAS 屬於類似的系統，彼此之間本已具備相互共容及連結的能力。這些系統完成整合之後，全球的航空導航必將由衛星導航系統構築的網路所覆蓋，因此能提供更為準確和有效的服務。依照 FAA 的評估，對於民用航空，衛星導航系統所帶來效益至少包括有：

1. 增加跑道容量。
2. 降低隔離標準，直接增加空域容量。
3. 直線航路的增加。
4. 新的精確進場服務。
5. 減少並簡化機載設備。
6. 政府單位將可減少以往龐大的地面端助導航設施的維修費用。

3.2.4.1 美加地區

FAA 於 NAS 4.0 現代化計劃中，已明確規劃導航能力之改善進程，主要分為三個階段四個步驟來改善陸基助導航設施（Ground-Based Nav aids）、GPS/WAAS、精確進場助導航設施（Precision Approach Nav aids）GPS/LAAS 以及進場燈號（Approach Lighting）等，請參閱圖 3-30。其中提昇的順序，以發展 GPS 程序為第一優先，後逐步建置 WAAS 系統。當 WAAS 系統發展完全後，再進行 LAAS CAT I、CAT II/III 能力的發展，而後再汰換老舊的陸基助導航設施，請參閱圖 3-31。

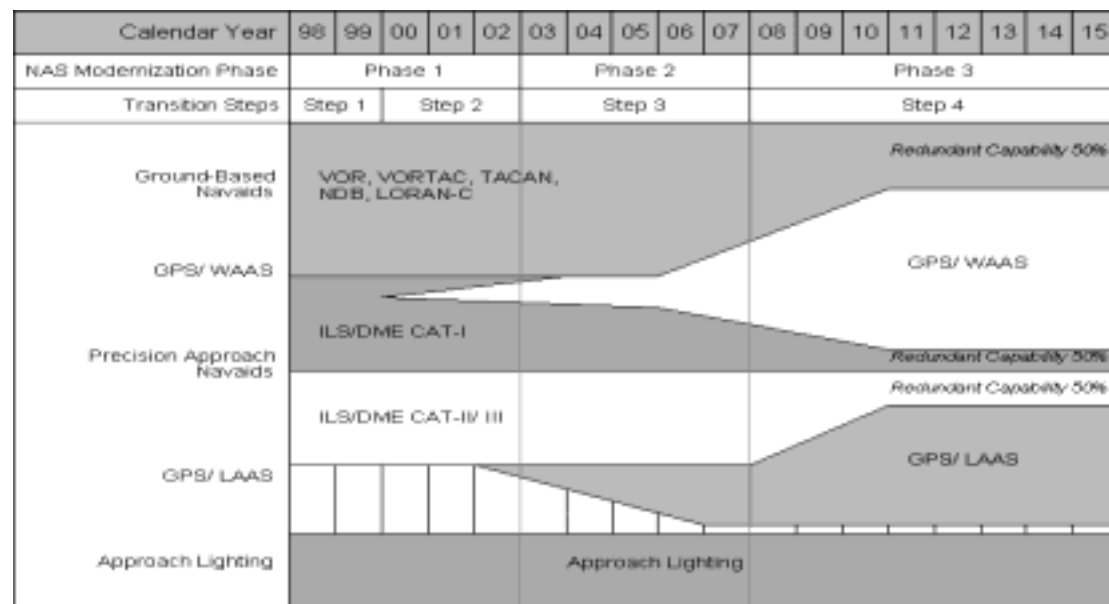


圖 3-30: FAA NAS 4.0 導航能力改善進程示意圖

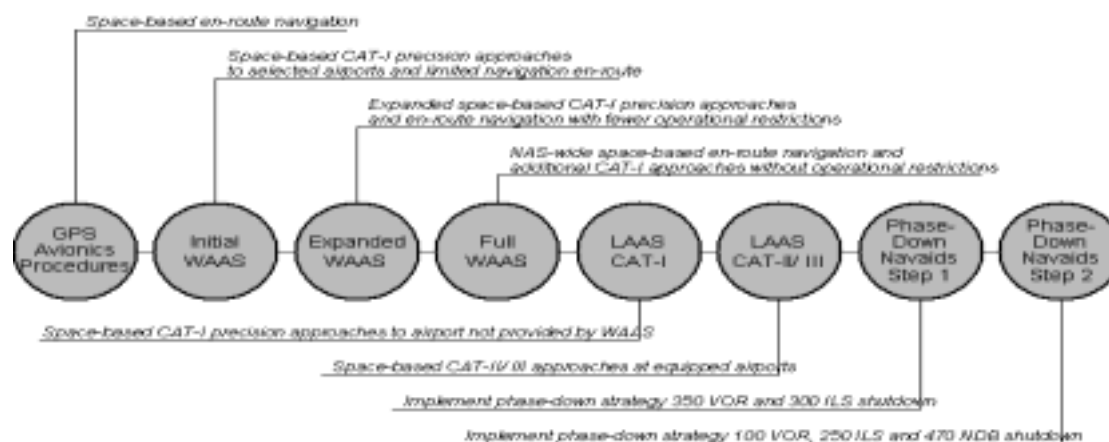


圖 3-31: FAA NAS 4.0 導航能力提昇順序示意圖

導航能力之改善之三個階段分別簡述如下：

1. 第一階段(1998-2002)：

為強化 GPS 的功能，FAA 分三期建構 WAAS 系統。在 NAS 現代化的第一階段中，FAA 將會完成前二期的建構工作。第一期除了有 25 個地面輔助站和 2 個地面主站外，還包括了與衛星傳遞資料的地面聯絡站的架設。這些地面設施已建構完成，目前正在進行測試與連線，2000 年後期已開始提供初步運作能力（Initial Operational Capability, IOC）。IOC 主要提供美國境內的導航，以及終端區域內非精確和精確近場服務，然而在少部分涵蓋區域內，仍然有操作上的限制。第二期的建構計劃則以增建地面監控站來擴大涵蓋範圍為主。

2. 第二階段(2003-2007)：

由於擁有足夠的地面監控和人造衛星，最後一期的 WAAS 完成後，原本的操作限制將能夠完全解決，涵蓋範圍也會更大。基於發揮 GPS/WAAS 的最大效用，每年將頒布 500 個精確近場程序，直到滿足所有的需求。另一方面，近 150 個機場將會建構 LAAS，以提供有需要 CAT I/II/III 精確近場服務的跑道。除此之外，LAAS 系統在低能見度的情況下，也能夠提供地面滑行導航，建構的地點除了在起降密集的機場外與 WAAS 系統無法涵蓋的區域外，還包括地勢崎嶇且起降量不低的機場。

在 NAS 現代化的第二階段裡，FAA 與相關航空組織會考量衛星導航與航電系統的效能、機載配備以及使用者接受程度的情況下，訂定出地面的助導航設施的除役時間表。然而在初期，配備衛星導航設備的航空器仍能使用傳統地面助導航設備。

無線電頻率干擾是使用 GPS 導航所必須承受的風險。一般而言，GPS 訊號會受到電離層和一些預期性或非預期性的無線電頻率干擾，而為了避免這些問題的發生，預計在 2005 年更換 GPS 衛星時，將加入第二民用 GPS 頻率。

3. 第三階段(2008-2015)：

第三階段的工作主要是衡量已建構完成的 WAAS 與 LAAS 航電系統的績效，以持續替換舊有的傳統助導航系統，因此評估是否要淘汰所有的

地面助導航系統將是本階段的重點。此外，加入第二民用 GPS 頻率的衛星替換亦將在本階段完成。

FAA 於公元 2000 年秋季，將 WAAS 整合在美國國家航空系統 NAS (National Airspace System) 中，並第一次使用。這次使用的主要目的是希望能增進美國國內導航能力，擴大導航的空域，在 ILS 設備不完善的機場，或無法靠儀器準確滑降的地區，能夠彌補不足之處。

1998 年 6 月已完成 25 處 WRSs，2 處 WMS，4 處 GES 的架設，因此美國國內 WAAS 網路已大致成型，請參閱圖 3-32。在 2000 年首次使用前，從 1997 年開始，FAA 開始進行了一連串的測試與評估，包括系統發展和執行所可能遭遇的問題，FAA 希望能提前對 VFR (Visual Flight Rule) 的飛機提供幫助。

FAA 目前努力將 WAAS 的能力應用在水平導航和垂直導航(LNAV/VNAV)，希望使得能夠提供儀器進場中垂直滑降路徑導引的機場數增加。此一目標預計在 2003 年將可實現，同時 FAA 將評估 GNSS 降落系統(GLS)實現的可行性。為了推展這項系統，FAA 召集了衛星導航領域的專家來支援這項計劃，成立了 WAAS 完整性和性能小組 (WIPP; WAAS Integrity and Performance Panel)，提供 FAA 最合乎成本效益上的建議。

WAAS 計劃同時也支援於 NAS 系統中操作標準、認證、設備和操作程序上的發展。它包括 GPS 的使用程序、不同地區的進場程序、航空器隔離標準等。而推展 WAAS 計劃的另一部分還有 NSTB (National Satellite Test Bed) 計劃的實施，主要是負責 GPS 擴增系統的研究、發展和建立，同時也評估透過 WAAS 系統來加強 GPS 系統的準確性 完整性以及可用性，支援國際性無隙縫式(seamless) WAAS 系統概念的可行測試，以及支援地面與航機測試，用以評估操作標準和程序的發展。NSTB 參考站在 1996 年 9 月完成，並且在 1997 年 1 月已完成了參考站間的通信網路。NSTB 並從 1997 年 10 月以來就一直在空中廣播一種類似 WAAS 系統的信號，以進行測試。

Site Location	Component Type	Start Date	End Date	Site Acceptance Test
Oakland ARTCC	WRS	13 January 1998	21 January 1998	21 January 1998
Jacksonville ARTCC	WRS	27 January 1998	4 February 1998	4 February 1998
Houston ARTCC	WRS	3 February 1998	11 February 1998	11 February 1998
Miami ARTCC	WRS	3 February 1998	11 February 1998	11 February 1998
Fort Worth ARTCC	WRS	10 February 1998	18 February 1998	18 February 1998
Albuquerque ARTCC	WRS	24 February 1998	4 March 1998	4 March 1998
Puerto Rico CERAP	WRS	24 February 1998	4 March 1998	4 March 1998
Los Angeles ARTCC	WMS/WRS	3 March 1998	11 March 1998	11 March 1998
Chicago ARTCC	WRS	10 March 1998	18 March 1998	18 March 1998
Denver ARTCC	WRS	17 March 1998	25 March 1998	25 March 1998
Washington ARTCC	WMS/WRS	17 March 1998	25 March 1998	25 March 1998
Salt Lake City ARTCC	WRS	24 March 1998	1 April 1998	1 April 1998
Atlanta ARTCC	WRS	31 March 1998	8 April 1998	8 April 1998
Seattle ARTCC	WRS	7 April 1998	15 April 1998	15 April 1998
Memphis ARTCC	WRS	7 April 1998	15 April 1998	15 April 1998
Honolulu AFSS	WRS	14 April 1998	22 April 1998	22 April 1998
New York ARTCC	WRS	21 April 1998	29 April 1998	29 April 1998
Billings TRACON	WRS	27 April 1998	6 May 1998	6 May 1998
Boston ARTCC	WRS	28 April 1998	6 May 1998	6 May 1998
Anchorage ARTCC	WRS	12 May 1998	20 May 1998	20 May 1998
Cleveland ARTCC	WRS	12 May 1998	20 May 1998	20 May 1998
Cold Bay FSS	WRS	19 May 1998	27 May 1998	27 May 1998
Minneapolis ARTCC	WRS	19 May 1998	27 May 1998	27 May 1998
Juneau AFSS	WRS	26 May 1998	3 June 1998	3 June 1998
Kansas City ARTCC	WRS	26 May 1998	3 June 1998	3 June 1998

資料來源：[3-14]

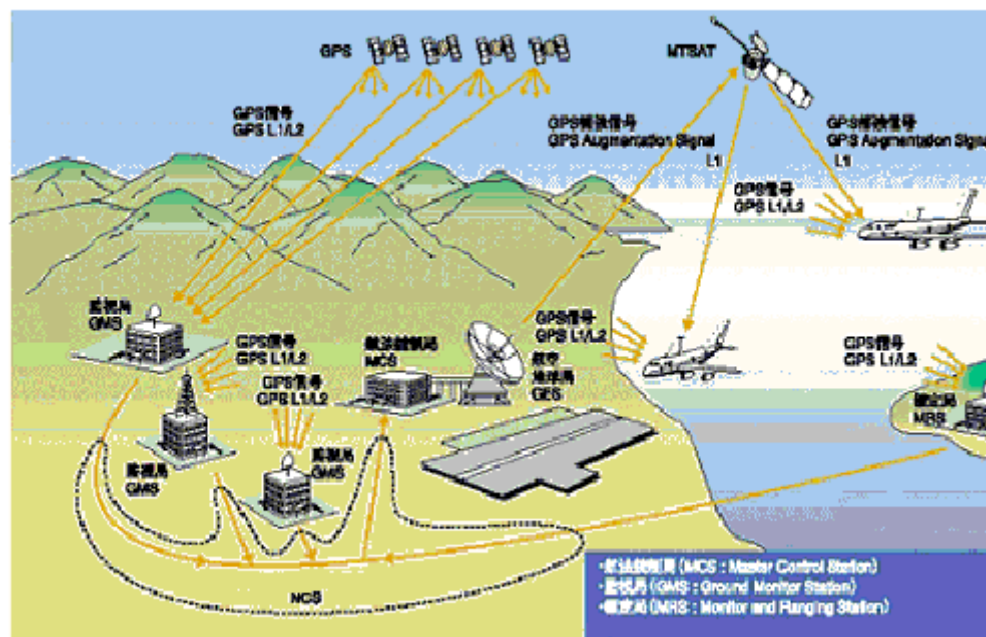
圖 3-32: WAAS 地面導航站台設置時間

3.2.4.2 歐洲大陸

Galileo 是歐盟規劃中的衛星導航系統,由 ESA (European Space Agency)主導開發。目的是建構一套屬於歐陸國家專有的定位衛星系統,以確保航空導航服務的可用性與連續性不致受制於美、俄兩國的 GPS 與 GLONASS。

3.2.4.3 東北亞地區

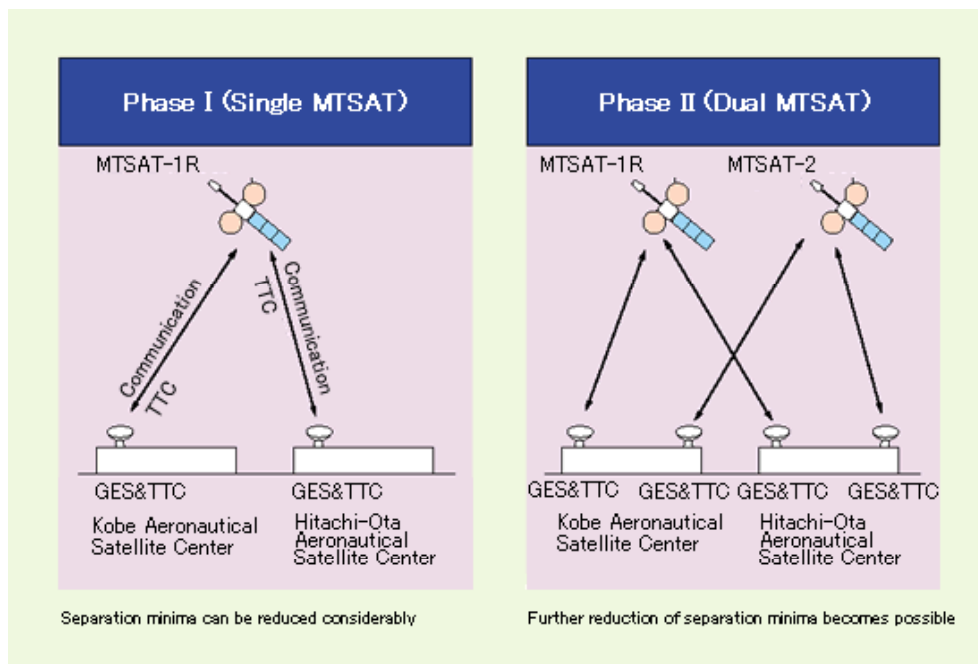
日本利用 MTSAT 衛星,結合地面信號監視站構成 MSAS 系統。如圖 3-33,其中 L1/L2 即為 GPS 的信號頻率,地面信號監視站利用 KU 頻率來上鏈擴增信號給 MTSAT,MTSAT 再利用 L1 頻率來廣播 GPS 擴增信號給航機。



資料來源：[3-16]

圖 3-33: MSAS 系統作業方式

MSAS 的太空部門由 MTSAT-1R 與 MTSAT-2 兩枚衛星所構成,MTSAT-1R 預計於 2003 年發射,MTSAT-2 則在 2004 年升空。位在 Kobe 與 Hitachi-Ota 的控制中心已準備開始運作,請參閱圖 3-34。



資料來源：[3-10]

圖 3-34: MSAS 運作階段區分

3.2.4.5 其它地區

依據 2001 年八月於馬來西亞 Workshop on The Use of Global Navigation Satellite Systems (Organized in cooperation with and hosted by the Government of Malaysia, Kuala Lumpur, Malaysia, 20- 24 August, 2001) 與會人員所提出的資料 [3-1]，可以深切瞭解到亞洲一些開發中國家，或多或少的都已經在 CNS/ATM 的建置上做了一些起步的準備工作。

3.2.4.5.1 中國大陸

2000 年 12 月隨著第二枚定位衛星的佈署成功，中國已經完成了第一代雙衛星導航定位系統 BNS (Beidou Navigation System) 的建立。該系統服務範圍可涵蓋中國全境，初期用於公路、鐵道及船舶導航。下一代的 BNS 將由更多枚衛星構成，雖然目前資訊不明，預期將涵蓋更大的區域，整個系統的功能也將包括類同於 MTSAT 的擴增系統。

根據報導 [3-22]，NovAtel Inc. 已經獲得合約為中國提供 34 具 WAAS/mini-WAAS 接收機，以作為建造其衛星導航擴增系統(SBAS)之用。所有裝備已在 2000 年底運交。依照規劃，這一期的工程是在北京附近建造 11 個信號

參考站(WRS)，每站配備三具接收機。這些接收機的功能與美國的 WAAS 系統日本的 MSAS 系統一致。

3.2.4.5.2 印度

印度地處亞洲通往歐陸的要衝地帶，因此未來也將迫切需要建置類似 WAAS 或 EGNOS 的系統來協助空域的規劃與管理。基於現行印度的航管系統與籌畫中的 CNS/ATM 計畫，都是依循 ICAO 的規範與標準，因此也屬意於以使用 GPS 與 GLONASS 的星基擴增系統(SBAS)，來建構無縫式的(seamless)導航基礎架構。並積極透過機制與 FAA、ETG、MSAS 等組織內對 GNSS 技術較先進的成員展開技術與資訊交流 [3-2]。

印度本身的太空研究機構(Indian Space Research Organization)現正配合 AAI (Airport Authority of India)共同推動一項在印度空域建置使用 GPS/GLONASS 的星基擴增系統的聯合計畫。他們採取的策略是由建置與 GPS 相匹配的 TDS 系統(Technology Demonstration System)著手，漸次轉換為實驗型的操作系統(Initial Experimental Operational System)，最終是以全功能的星基擴增系統為目標。

建置 TDS 的主要目的有三：(1)對與 GPS 相匹配的星基擴增系統，進行功能展示。(2)在其國內建立自主性的星基擴增系統開發能力，並於亞太地區在星基擴增系統上扮演具建設性的角色。(3)朝向第二代的 GNSS 推展。

依據以上目標，所訂定的研發方向為(1)向 AAI 展示在有限的空域內，透過星基擴增系統的功能將航機自陸地航路引導至完成第一類進場著路的能力。(2)完成 TDS 陸、空部門(segment)的建置。(3)視需要，與諸多航太科技機構建立合作關係；如 AAI、FAA、ETG (ESA, EUROCONTROL 及 EU)、MSAS 等。

這項在印度空域建置星基擴增系統的計畫區分為以下三個階段：

1. A SATNAV Technology Demonstration System (TDS): 3 years (2001 - 2003 / 2004).
2. An Initial Experimental Phase (IEP): 1 year (2004 / 2005).
3. A Final Operational Phase (FOP): 1 year (2005 / 2006).

根據以上時程，星基擴增系統將在 2005 年底開始運作。

3.2.4.5.3 馬來西亞

面對 GNSS 趨勢的到來，馬來西亞仿照澳洲的 AGCC (Australasian GNSS Coordination Committee)組織，設立了一個國家級的指導委員會，成員均來自政府部會的代表。該委員會負責規劃國家針對 GNSS 所應採行的政策及執行方案，例如：

1. 是否需獨立建置符合馬國需要的信號擴增系統，以及應與該地區的那些週邊國家進行資訊交換等議題。
2. 與全球主要導航衛星系統進行資訊交換。

3.2.4.5.4 南韓

韓國 GNSS 計畫的執行是由 KARI(Korea Aerospace Research Institute)的 Flight Control & Guidance Department 負責 [3-3]，目前正進行星基擴增系統建置的各項初步實驗。目標著重於 LAAS 系統，也曾在 Ulsan 機場進行過一些小型實驗，請參閱圖 3-35、3-36。



資料來源：[3-18]

圖 3-35: GPS 接收機設置位置研究



資料來源：[3-18]

圖 3-36: DGPS 於 ULSAN Airport 進行飛行測試

整個國家的主管機關是 Ministry of Construction and Transportation, 另外還有一個設立於 1994 年的民間組織 GNSS Technology Council, 在 Ministry of Information and Communication 的支持下, 負責推動相關的學術研究與技術交流。

KARI 早在 1997 年即開始著手為韓國國內機場發展 LAAS 的系統雛型。並在 1998 年完成相關軟體演算法的驗證, 以證實具備獨力建置 LAAS 系統的能力與可行性。依照 KARI 的自我評估, 自 1999 年起即已在工程技術、系統構型、開發製作以及相關系統的陸空測試等各方面, 達到成熟的階段。

3.2.4.5.5 印尼

印尼國土涵蓋 17,500 個島嶼, 現行空中導航多使用無線電式的 VOR、DME 及 NDB 等設施, 境內僅有 19 個機場具備符合第一類進場標準的儀降系統(ILS)。

印尼在 1992 年即預見衛星導航在飛航上應用的必要性, 並自 1996 年起陸續與國際知名的航太系統公司如 DASA、Dornier 及 Hughes 等展開技術合作 [3-4]。雖然相關活動曾在 1998 年終止過一段時間, 但自 2000 年起已在 DEPANRI (National Council for Aeronautics and Space of the Republic of Indonesia) 及 Department of Transportation and Communication 支持下再度展開。並於同年五月由 BPPT (Badan Penerapan dan Pengembangan Teknologi Indonesia) 與 Alcatel Space 公司簽訂合作協議, 針對印尼的 CNS/ATM 進行系統開發研究。

依照印尼政府所制訂的策略, 整體目標設定在定義一個宏觀且符合全球化趨

勢的航空導航衛星系統概念，並積極建立此方面的人力資源、技術以及商機。根據評估的結果，印尼籌畫中的 GNSS 系統架構為：

1. 太空部門：使用日本 MTSAT 所提供的航空及氣象服務。
2. 地面部門：建置 Master Control Station、5 個 Monitor Station 以及 3 個 Ground Antenna。配合區域擴增系統，在機場附近設置 Pseudolite (Pseudo Satellite)，並透過航機與地面站間的資料鏈路，達到精確進場操作的目標

印尼的 National Research Council 更選定了以下幾個與衛星導航技術開發息息相關的議題，作為重點研究的項目：

1. GPS Parameter Correction for Positioning Accuracy Enhancement using GPS Differential for accuracy up to 1 meter.
2. Ionospheric Delay Correction Using Multiple Frequency GPS Receiver.
3. GPS Pseudorange Error Prediction by Selective Availability using Neural Network.
4. Multi-Channel GPS Data Processor using DSP.

目前除 LAPAN (Indonesian national Aeronautics and Space Institute)及 Institute of Technology in Bandung 的研究人員，正針對 Pseudo-Satellite Navigation System 進行實驗性研究外，ASSI (Indonesian Satellite Association)長期以來也著重於衛星技術，特別是在 HAPS (High Altitude Platform System)方面的開發。

3.3 我國導航基礎建設建置策略

依據 ICAO 在 1999 年的研究顯示，亞太地區的空中交通在過去十年間成長了 10.1%，預估未來十年的成長也可達 7.4%，且到 2010 年時將佔整個世界空中交通的 51%。台灣位居亞太營運的樞紐地帶，加上兩岸航路可能直接通航的考量，未來面臨國內外航路的高度壅塞，將是不可避免的事實。

3.3.1 導航系統的演進趨勢

傳統的助航設施在航路上以多向導航台(VOR)及歸航台(NDB)為主，在終端及機場上則以儀降系統(ILS)或微波儀降系統(MLS)為主。在 CNS/ATM 架構下的航空導航，將從以陸地為基礎的傳統助航設施，過渡到以衛星為基礎並包含全球定位系統(GPS)之全球衛星導航系統(GNSS)，為航機提供航路飛行及精確或非精

確進場的導引訊號。

現行的各種助航設施與機載導航裝備，由於其精確性各自差異頗大，因此針對各個飛航階段均需訂定不同的空域區隔的標準。加以多套不同系統並存，部分系統不但價格昂貴，且維護與操作均十分繁雜。

近來由於星基導航系統技術的漸次成熟，形成了各項導航系統與助航設施的快速演進：

1. 在越洋航路方面：

傳統導航使用慣性導航系統或以無線電台構成的 OMEGA 導航裝備。而在 CNS/ATM 架構下，則以全球衛星導航系統 GNSS 為主。

2. 在陸地航路及終端航路方面：

傳統導航使用特高頻多向導航台/測距台(VOR/DME)、太康導航台(TACAN)、多向導航太康台(VORTAC)、歸航台或定位台(NDB)等助航設施。而在 CNS/ATM 架構下，則以全球衛星導航系統 GNSS 為主，並結合星基擴增系統 SBAS 或陸基區域擴增系統 GRAS。

3. 在進場航路方面：

傳統導航以儀器降落系統(ILS)配合跑道燈光指示為主，並於滑行時參考機場地面燈光設備指引。在 CNS/ATM 架構下，則以全球衛星導航系統 GNSS，配合機場附近的陸基擴增系統及機場地面燈光設備來提供精確進場操作。

3.3.2 台北飛航情報區助航設施現況

現行民用航空之導航系統係由裝設於地面之助航與降落系統組成，其功能在提供航機航路飛行或終端離到場階段所需之導引訊號。助航系統設施包括：歸航台(NDB)、特高頻多向導航台(VOR)、測距儀(DME)及太康台(TACAN)；降落系統設施包括：特高頻多向導航台(VOR)、測距儀(DME)、儀器降落系統(ILS)及微波降落系統(MLS)。依據[3-6]之資料指出台北飛航情報區之助航設施數量龐大，分別由民航局及空軍所管理。然由於受電子裝備特性及本島地形所限，現有助航系統仍難以滿足台北飛航情報區全部空域與機場運作所需，請參閱圖 3-37。

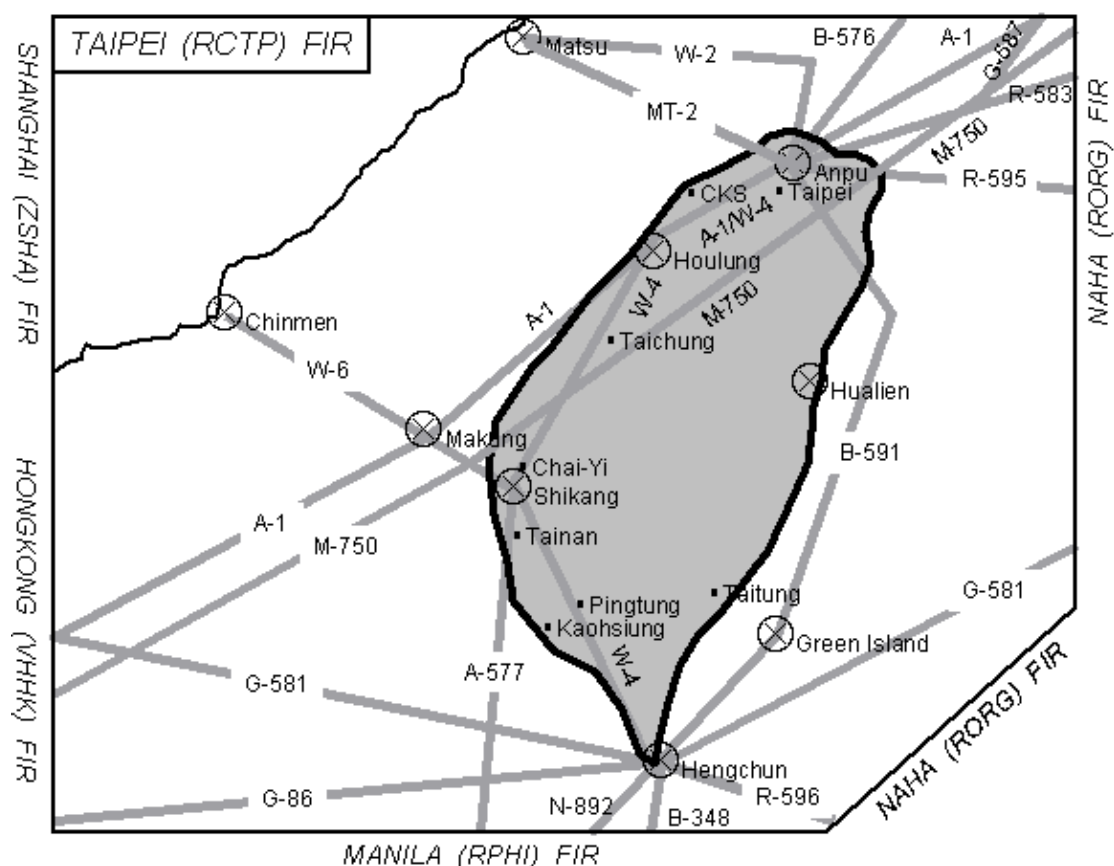


圖 3-37: 台北飛航情報區示意圖

3.3.2.1 主要助航設施之系統特性

有關現行用於航路及終端之主要助航設施，特性說明如下：

1. 低頻/中頻歸航台或定位台(NDB)：係一種低/中頻的無線電台，可提供航路導航及航機歸航之參考；如設置於機場週邊，亦可用於非精確進場。
2. 特高頻多向導航台/測距台(VOR/DME)：提供 VHF 波段訊號 (108~118 兆赫)，以供航路導航使用。一般均與測距儀(DME)合併以同時提供較精確的方位與距離資料；亦可用於非精確進場。
3. 多向導航太康台(VORTAC)：可同時提供 VOR 之方位及 TACAN 的距離資料供航機使用。一般均架設於航路上，供軍機及民航機航路導航使用。
4. 儀器降落系統(ILS)：為導引航機進行精確儀器進場之系統，可同時提供航機與跑道中心線相關之左/右偏離資訊，及下滑道至著陸點間高度修正資料，以供航機精確進場之用。
5. 微波降落系統(MLS)：是一種可用於山區或多障礙的特殊機場之精確進場系統，擔任航機於 120 度或 80 度方位角(Azimuth)以內及 20,000 英呎高

度(Elevation)以下特殊地形之精確進場的助航系統。

6. 左右定位輔助台(LDA)：是一種僅提供航機進場時與機場中心線左/右偏離相關參考資訊，而無下滑道高度資料的非精確進場裝備。

3.3.2.2 台北飛航情報區主要助航設施建置現況

台北飛航情報區的航路大多數由多向導航太康台(VORTAC)或多向導航台(VOR)及歸航台(NDB)所組成，以構成嚴密的航空助航網路，分別由民航局及空軍所管理。一般而言，主要助航設施在使用區分上，可概分為使用於航路中的NDB、VOR/DME 及終端進場的 ILS (或 MLS) 等三類，請參閱圖 3-38。

En-Route NDB	En-Route VOR/DME	Airport ILS, MLS	
<ul style="list-style-type: none"> • NDB [9] <ul style="list-style-type: none"> - Anpu (AP) - Houlung (HL) - Makung (BM) - Shikang (NN) - Hengchun (KW) - Hualien (YU) - Green Island (GI) - Matsu (MT) - Chinmen (BS) 	<ul style="list-style-type: none"> • VOR/DME [3] <ul style="list-style-type: none"> - Anpu (APU) - Makung (MKG) - Hualien (YLN) • VORTAC [4] <ul style="list-style-type: none"> - Houlung (HLG) - Shikang (TNN) - Hengchun (HCN) - Green Island (GID) • DME [1] <ul style="list-style-type: none"> - Matsu (MTS) 	<ul style="list-style-type: none"> • ILS CAT-II <ul style="list-style-type: none"> - Taipei CKS RCTP (CKS) 05 - Taipei CKS RCTP (CKS) 23 • ILS CAT-I <ul style="list-style-type: none"> - Taipei Sungshan RCSS (TSA) 10 - Taipei Sungshan RCSS (TSA) 28 - Taipei CKS RCTP (CKS) 06 - Taipei CKS RCTP (CKS) 24 - Chia-Yi RCKU (CYI) 36 - Tainan RCNN (TNN) 36R - Kaohsiung RCKH (KHH) 09L - Kaohsiung RCKH (KHH) 27R - Pingtung RCDC (PIF) 09 - Makung RCQC (MZG) 02 • MLS <ul style="list-style-type: none"> - Taichung RCLG (TXG) 36 - Hualien RCYU (HUN) 03 - Taitung RCFN (TTT) 04 	

圖 3-38: 台北飛航情報區助航設施一覽表

各助航設施的設置地點，整理如下：

1. NDB 電台的設置地點在鞍部、後龍、馬公、西港、恆春、花蓮、綠島、馬祖、金門等九處。
2. VOR/DME 電台的設置地點在鞍部、馬公、花蓮等三處。另於後龍、西港、恆春、綠島等四地設置 VORTAC 電台，而馬祖則為 DME 電台。
3. 在 ILS 設施方面，中正機場的 05/23 跑道為國內唯一符合第二級精確進場標準的儀降系統。而符合第一級進場標準的機場則有中正機場的

06/24 跑道、松山、嘉義、台南、高雄、屏東、馬公等機場。至於台中、花蓮、台東等三處國內機場則配備 MLS 系統。

若以各主要機場使用的進場裝備類別區分，則可歸納如下 [3-7]。

1. 松山機場裝有 NDB 及 ILS，可執行 NDB-RWY10 及 ILS-RWY10 精確進場。
2. 中正機場裝有 NDB、VOR/DME 及 ILS，可執行 NDB、VOR/DME-RWY05L，ILS/DME-RWY05L、23R、06、24 進場及 ILS/DME-RWY05L、23R 之 ILS 第二類精確進場。
3. 台中機場裝有 NDB/DME 及 MLS，可執行 NDB/DME-RWY18 及 MLS-RWY36 精確進場，以及 NDB-B、NDB/DME-C 繞場進場。
4. 嘉義機場裝有 ILS/DME，可執行 ILS/DME-RWY36 精確進場。
5. 台南機場裝有 NDB/DME、VOR/DME 及 ILS，可執行 NDB/DME-RWY18L，VOR/DME-RWY36R、18L 及 ILS/DME-RWY36R 精確進場。
6. 高雄機場裝有 NDB 及 ILS/DME，可執行 NDB-RWY09L 及 ILS/DME-RWY09L 精確進場。
7. 馬公機場裝有 NDB、VOR/DME 及 ILS，可執行 NDB-RWY02，VOR/DME-RWY20，VOR-RWY02 及 ILS/DME-RWY02 精確進場。
8. 花蓮機場裝有 NDB/DME、LDA 及 MLS，可執行 NDB/DME-A 繞場進場，LDA/DME-RWY21 進場及 MLS-RWY03 精確進場。
9. 台東/豐年機場裝有 NDB/DME、VOR 及 MLS，可執行 NDB/DME-A，VOR/DME-B 及 VOR/DME-C 繞場進場，以及 MLS-RWY04 精確進場。

3.3.3 衛星定位系統建置分析

透過 3.2.4 節中所提到澳洲及印度、馬來西亞、韓國與印尼等開發中國家，目前關於衛星導航建置上所採行的一些作法，可以初步的看出推動此項工作的大致規劃方向，也深深值得我們借鏡。

以澳洲為例，這項工作是由 GIT (Australian GNSS Implementation Team)所主導。除了透過國際組織交流及技術研討會積極與各國間交換資訊外，更早在 1996

年起即制訂了以下發展策略，並依序推動。

1. 釐訂澳洲未來 GNSS 擴增系統的作業需求，及現行導航基本要求的規範。
2. 依據作業需求，推動各種擴增技術方案開發的工作。
3. 針對各種擴增技術方案進行成本 / 效益評比，對象包括：服務提供者、管理者、機場作業員及航空業者。
4. 建立成本 / 效益評比模式，並針對各擴增技術方案進行敏感度 (sensitivity) 分析。
5. 依經濟、技術、制度等因素的順序，列出各種擴增系統技術方案的優先序，以對政府提出制訂建置策略的建議。

事實上，雖然澳洲已經透過研究選訂了其中一種的擴增技術方案，但仍然決定保持對其它方案的持續關注，以便配合國際趨勢，適時加以調整。

整體工作的進行始自 1998 年一月使用 GPS 進行越洋、離島航線及非精確進場的作業規定的建置，並在 1998 年中完成接收機完整性獨立監測(RAIM)的架設，以加強短期之內的作業安全性。隨後也展開了擴增系統測試站台(ASTB, Augmentation System Test Bed)建立的工作，並先後於莫爾本及坎培拉機場分別對 Honeywell/Pelous 及 Raytheon 公司的 LAAS 系統，成功的進行了多次的飛行測試

以下引述 ICAO Fifth Meeting of CNS/MET Sub-Group of APANPIRG (Bangkok, Thailand, 16-21 July, 2001) WP34 文件中的 GNSS 系統建置工作清單，作為我國建置時的參考。

☐ **Define and Confirm State Operational Requirements**

En route, NPA/APV, GPS Arrivals, PA at selected airports

Basic constellation augmentation requirements

☐ **WGS-84 Implementation**

Ensure State is WGS-84 compliant

Ensure database vendors provide WGS-84 data

☐ **Define Operations and ATS Requirements**

Use NPA Procedure Design Criteria - PANS OPS

Determine standard and publish GPS Arrival Procedures

Prepare AIP Supplements

Determine Operation Use Policy

☐ **Determine and Implement Receiver Standard**

Equipment Fit Policy – Supplemental Type Certificate or equivalent
Conduct Airworthiness Training and approvals
Establish standard for GPS for terrestrial navigation aid substitution
Changes to equipment carriage requirements
Establish ATC GNSS use standards

☐ **Produce Orders, AIPS SUPS, MATS amendments etc**

☐ **En route Domestic/Oceanic & Remote Standards**

Define and publish borders between standards
Education on standards and differences

☐ **NPAs**

Locations selection
WGS – 84 survey
Obstacle survey
Airfield status

☐ **Airport standard**

Upgrade to instrument runway
Obstacle Limit Surface (OLS)
Suitability for straight in approach
Maintenance of OLS
Windsock and supporting requirements
Altimeter setting availability
Lighting

☐ **Licencing**

Draft and publish Advisory Circulars/AIPs Supplements
Pilot instrument rating requirements
En route use
NPAs

☐ **Approach Inspection and Validation Policy (ICAO Doc 8071)**

Selection of suitable aircraft for validation
Transit times/low/slow flying capability
Fuel reserves/Communications requirements
Proper avionics

☐ **Crew training and approval**

Aircraft endorsement
Validation training
GNSS training and approval

☐ **Establish design confirmation procedures with database providers**

Approach Publication

Implementation

Operational Testing

Training

Flight Operations Inspectors

Air Traffic Controllers

Airworthiness

Pilots and check pilots

☐ **Implement NOTAM System**

For GPS, use Status message from US

RAIM Prediction System (RPS)

LONGER TERM

☐ **Post Implementation Review**

Compliance Procedures

Revision of Documentation

Incorporation of AIP Supplements into AIP

Maintenance of approach

Obstacle Limit Surfaces

Airfield status

Conventional Navigation Aid Policy

Consolidation Policy – navigation aid withdrawal

☐ **CNS/ATM Plan**

Determine Augmentation Policy

SBAS

GBAS

ABAS

☐ **Implementation Requirements**

GBAS Project Implementation

Implementation Plan

International Standards

Cost Benefit Study

Location selection

☐ **Transition to GNSS Based Infrastructure**

Navigation aid decommissioning policy

Avionics carriage requirements

3.3.4 航空導航基礎建設建置策略

衡諸現勢，美加、俄羅斯、歐盟乃至於日本等航太科技先進國家，固然早已分別發展其星基定位導航與信號擴增系統。但即使如中國大陸、印度、馬來西亞、韓國與印尼等開發中國家，也都已經針對此一發展趨勢投入相當規模的研究與試驗，進行系統建置的先期準備。以台灣位處西太平洋航路要衝，實在不能沒有更積極的推展行動。

3.3.4.1 GNSS 星基擴增系統選定的考量

為積極配合全球衛星導航系統 GNSS 的建置，應及早選定機場展開運用 GPS、SBAS 以改善航路導航及終端進場服務的各項可行性研究。

依目前全球 SBAS 服務系統之現況，台北飛航情報區位於美國 WAAS 系統的 POR 衛星涵蓋區、歐洲 EGNOS 系統的 IOR 衛星涵蓋區及日本 MSAS 系統的 MTSAT 衛星涵蓋區內，請參閱圖 3-39。針對國際上現有之廣域擴增系統，其對我國台北飛航情報區之優缺點分析如下：

1. WAAS：

- 優點：系統精確性相當好。
- 缺點：首先需花費大筆經費新增通訊衛星，以提昇整體系統的完整性和可用性；其次是系統邊緣地區所用之定位衛星無法被 WAAS 系統監視，造成系統完整性降低；最主要的是現行系統架構無法提供 CAT I 降落服務。

2. 加入 MSAS：

- 優點：由於 MSAS 系統架構和 WAAS 相同，因此系統精確性應該相當好；同時多顆通訊衛星涵蓋本區，整體系統完整性和可用性比 WAAS 佳；此外，由於日本已完成大部分系統建置，系統建置費用可望相當低的；如果鄰近地區已加入 MSAS，本區甚至可以免費使用 MSAS。
- 缺點：由於整個系統由他國控制(日本)，風險較高；其次是系統邊緣地區所用之定位衛星無法被 MSAS 系統監視，造成系統完整性降低；同時由於現行系統架構和 WAAS 相同，所以可能無法提供 CAT I 降落服務。

3. 自有 GRAS：

- 優點：由於基本原理和 WAAS 相似，所以系統精確性應該相當好；特別是運用特高頻(VHF)通訊系統，整體系統完整性和可用性應該比 WAAS 佳；同時 GRAS 是一個完全自主的系統，也可以和其他的 SBAS 和 GRAS 系統分享信號和資訊。
- 缺點：系統邊緣地區所用之定位衛星無法被 GRAS 系統監視，造成系統完整性降低；同時現行系統正在發展、認證，並無法確定可以提供 CAT I 降落服務。

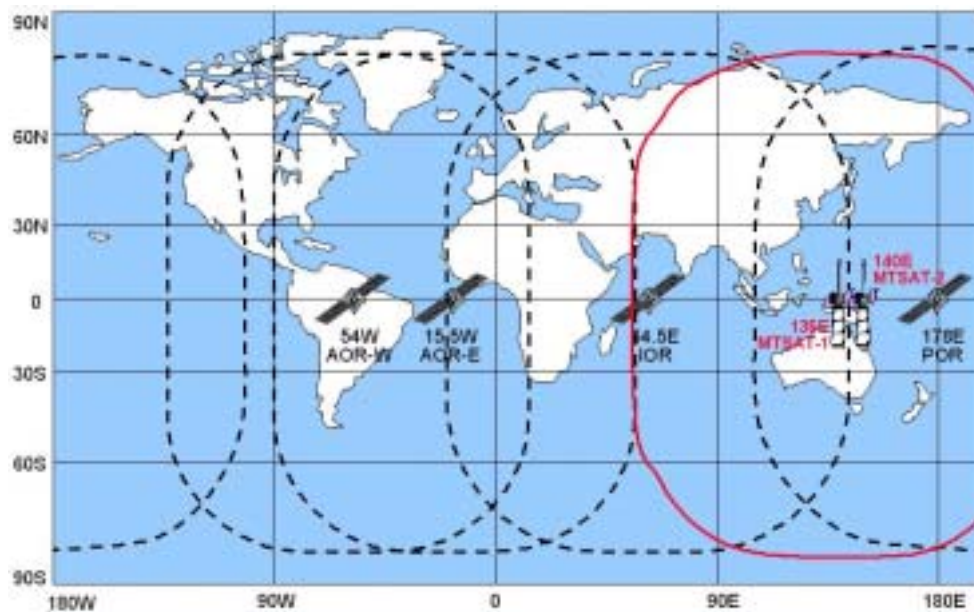
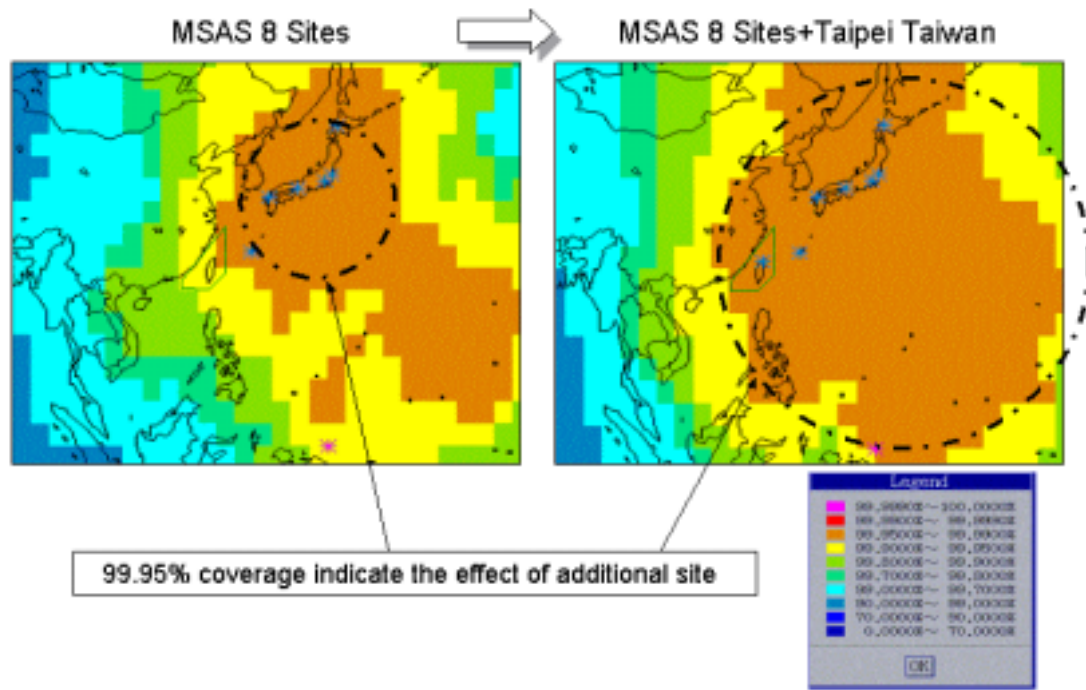


圖 3-39: 台北飛航情報區通訊衛星訊號涵蓋範圍

相較之下，由於本區現行位處歐洲系統訊號範圍的邊緣地帶，若需進行相關評估工作，初期選擇美、日系統將是較適宜的作法。而美、日系統間，基於以下觀點又以日本的 MSAS 系統更為適當。

1. MTSAT 衛星位於太平洋上空，台灣位處其訊號涵蓋面的中心地帶，且相較於週邊國家，與日本間之地理位置接近。若使用 MSAS 系統必然較使用 WAAS 系統，更可降低對地面站台 GMS(Ground Monitor Station)的依存度。
2. 日本將於兩年內開始 MTSAT-2 衛星的運轉，未來此一區域內的訊號品質及系統可靠度，也將大幅提昇，請參閱圖 3-40。
3. 亞太地區 MSAS 地面信號監視站很多，甚至本區可以不必建立監視站就

可以獲得良好的整體系統精確性、完整性、以及可用性，請參閱圖 3-40。



資料來源：[3-23]

圖 3-40: MSAS 系統涵蓋圖

3.3.4.2 配合 CNS/ATM 導航系統建置具體作法

未來台北飛航情報區為使導航系統訊號涵蓋能夠遍及全區，應積極考慮使用衛星導航系統，並經由地面的監視站台與擴增系統提供航路導航及終端精確與非精確進場之服務，以降低對於傳統導航系統的依存度。

1. 台北飛航情報區內許多機場跑道因地形條件所限，無法架設 ILS 或 MLS，甚至部分離島機場完全無法架設任何導航設施，致使航機起降作業常受到天候因素的嚴重影響。
2. 傳統之導航設施受限於電波之發射不宜受遮蔽的特性，使得電台之選址條件極為嚴苛，以致遷建或增設助航設施時，工程難度極高。加以本島地狹人稠，電台的設置所形成的限建或禁建區域，不但妨礙區域發展且容易引發民怨。

當由傳統導航方式過渡成為以衛星為主的導航方式之後，將可大幅的增進航路導航與終端進場的性能。除可提昇飛行安全外，並可增加空域的有效使用率。此外對於精簡機載航電的數量、免除地面老舊系統汰換的支出及簡化進場程序等，都有一定的價值。由傳統助航設施過渡成為以衛星為主的導航系統時，可考慮以下的配合做法：

1. 採用全球定位系統(GPS)於航路導航及非精確進場，而將原配屬之助航設施列為備援系統，以提高可靠度。
2. 現行台北飛航情報區內的機場，透過星基擴增系統(SBAS)地面站台的設置，希望能達到 CAT I 精確進場的要求。
3. 若建置陸基擴增系統(GBAS)並配合機場虛擬衛星 (APL, Airport Pseudo-Lite)的訊號修正，將可提供 CAT II 及 CAT III 精確進場的能力。

3.4 結 論

根據以上分析顯示，基於衛星導航與通訊技術的大量運用，毫無疑問的，未來十五年將是國際航空導航發展，面臨極快速演進的時代。

面對 CNS/ATM 航管概念的來臨，GNSS 已經成為國際航空導航的共同趨勢。此種結合通訊技術與資訊整合的大型系統架構，毫無疑問地將展現強大的市場魅力，也必然增長國與國之間技術交流與觀念融合的快速發展情勢。

衡諸現勢，美加、俄羅斯、歐盟乃至於日本等航太科技先進國家，固然早已分別發展其星基定位導航與信號擴增系統。但即使如中國大陸、印度、馬來西亞、韓國與印尼等開發中國家，也都已經針對此一發展趨勢投入相當規模的研究與試驗，進行系統建置的先期準備。以台灣位處西太平洋航路要衝，實在不能沒有更積極的推展行動。

總結導航基礎建設之技術趨勢，會根據航機各飛航階段而有所不同，其主要趨勢，請參閱圖 3-41。

飛航階段	目前航空導航系統	下一代航空導航系統
越洋	<ul style="list-style-type: none"> •慣性導航系統 •亞米茄導航系統 	<ul style="list-style-type: none"> •全球導航衛星系統
航路	<ul style="list-style-type: none"> •多向導航台/測距儀 •大康導航台 •多向導航大康台 •歸航台 	<ul style="list-style-type: none"> •全球導航衛星系統 •星基擴增系統 •陸基區域擴增系統
終端		
起降	<ul style="list-style-type: none"> •儀器降落系統 •跑道燈光設備 	<ul style="list-style-type: none"> •全球導航衛星系統 •陸基擴增系統 •機場地面燈光設備
機場地面	<ul style="list-style-type: none"> •機場地面燈光設備 	

圖 3-41: 導航基礎建設之技術趨勢

總結台北飛航情報區導航基礎建設建置策略包括下列各項：

1. 在傳統地面導航方面，在航路上，台北飛航情報區目前已有非常完整之傳統地面航空助導航服務，現階段並無擴建的必要。
2. 另一方面，台北飛航情報區內許多機場跑道因地形條件所限，無法架設完整的助導航設施，致使航機起降作業常受到天候因素的嚴重影響；同時，助導航設施的設置所形成的限建或禁建區域，不但妨礙區域發展且容易引發民怨。因此需引進衛星導航技術解決此項問題。
3. 在衛星導航方面，民航局已對台北飛航情報區內的八個機場頒佈廿個全球衛星定位系統區域導航及非精確進場之程序。但民航局目前對該項導航服務之精確性、連續性、可用性及完整性並無保證。因此需建立一個航空導航評估系統，評估在台北飛航情報區建立衛星導航擴增系統之必要性，並決定最合適之擴增系統架構：
 - 在台北飛航情報區重要助導航點收集全球衛星定位系統之資料。
 - 建立衛星導航系統之數學模式，對台北飛航情報區各種可能之擴增系統架構，進行精確性、連續性、可用性及完整性之分析。
 - 決定最適合本區之衛星導航擴增系統架構。
 - 對選定之擴增系統，訂定後續技術規格、建置計畫及相關之法規與

作業程序。

4. 在航路及終端助航服務方面，根據上述分析結論，建立本區自主之陸基區域擴增系統，或加入日本之星基運輸多目的衛星擴增系統。
5. 在精確進場助航服務方面，於中正國際機場開始進行 CAT I/CAT II 陸基擴增系統之建置計畫，如有需要再於其他機場進行建置。

3.5 參考文獻

- [3-1] Proceedings, UN/USA/MALAYSIA Workshop on the Use of GNSS, 20-24 August 2001, Kuala Lumpur, Malaysia.
- [3-2] S. Pal Dr., Deputy Director, Proceedings, “Indian SBAS Programme: SATNAV – Technology Demonstration System and Beyond”, ISRO Satellite Centre, Bangalore, India.
- [3-3] Sang Jeong Lee, “Current Status and Future Development of GNSS Applications in Korea”, Chungnam National University.
- [3-4] Harijono Djodihardjo Professor, “Aeronautical Navigation Satellite System Development in Indonesia: Efforts, Requirements, Concepts and Development”, Department of Aeronautics and Astronautics, Institute of Technology Bandung.
- [3-5] Bruce D. Nordwall, “Major Upgrades on the Way for Civil, Military GPS Users”, Aviation Weeks & Space Technology, Sep. 10, 2001.
- [3-6] 「台北飛航情報區通訊、導航、監視與飛航管理(CNS/ATM)」發展建置計畫書，交通部民用航空局，91年3月。
- [3-7] 「台北飛航情報區飛航管制系統作業及需求現況分析報告」CNS/ATM十五年規劃案，MITRE Corporation，1998年10月。
- [3-8] FANS IS Ltd. : ATN 2001 Conference Material – 09/2001.
- [3-9] Proceedings, UN/USA/MALAYSIA Workshop on the Use of GNSS, 20-24 August 2001, Kuala Lumpur, Malaysia.
- [3-10] US Department of Defense, GPS Status and GPS Modernization.
- [3-11] European Space Agency.
- [3-12] GALILEO :Satellite System Design and Technology Developments *ESA, 2000*
- [3-13] GALILEO Definition Studies Summary - European Commission.
- [3-14] FAA Web Site - <http://gps.faa.gov/Programs/WAAS/waas.htm>

- [3-15] Alcatel Space.
- [3-16] The 4th Meeting of The Allpirg Advisory Group, Montreal, 6 - 8 February, 2001.
- [3-17] GNSS Activities - Airservices Australia
- [3-18] KARI LAAS Implementation Efforts
- [3-19] "LAAS Concept of Operations", Satellite Operational Implementation Team, Nov. 17, 1999.
- [3-20] Dan Salvano, "WAAS/LAAS Update", FAA Office of Communications, Navigation, and Surveillance Systems, Jan. 15, 2002.
- [3-21] <http://www.astronautix.com/craft/beidou.htm>
- [3-22] <http://www.novatel.ca/Documents/Press/2000/chinawaas.pdf>
- [3-23] Naoto Oshida, "The MSAS System Architecture and Program Status", The 7th CNS/ATM International Conference, April 2002.

