

107-006-2304

MOTC-IOT-106-EAA007

# 國際航空碳排管制發展初析



交通部運輸研究所

中華民國 107 年 3 月



107-006-2304

MOTC-IOT-106-EAA007

# 國際航空碳排管制發展初析

著者：許書耕、胡智超

交通部運輸研究所

中華民國 107 年 3 月

國際航空碳排管制發展初析

著 者：許書耕、胡智超

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網 址：[www.iot.gov.tw](http://www.iot.gov.tw) (中文版>數位典藏>本所出版品)

電 話：(02)23496789

出版年月：中華民國 107 年 3 月

印 刷 者：盈濤印刷品有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 10 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：非賣品

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

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

## 交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：國際航空碳排管制發展初析			
國際標準書號（或叢刊號）	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號 107-006-2304	計畫編號 106-EAA007
主辦單位：運輸工程組 主管：許書耕 計畫主持人：許書耕 研究人員：胡智超 聯絡電話：(02)2349-6821 傳真號碼：(02)2545-0427			研究期間 自 106 年 1 月 至 106 年 12 月
關鍵詞：溫室氣體減量措施、國際航空碳排放			
摘要： 近年來航空市場快速成長，全球旅客量從 1960 年 1 億人次，至 1987 年突破 10 億人次，而 2016 年已達到 37 億人次。而航空旅客量快速成長下，相對地飛機起降及飛航所排放的溫室氣體，卻未隨著經濟成長而採行更有效的管理。依據聯合國「政府間氣候變遷委員會」(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)資料顯示，航空產業碳排放量約占溫室氣體總量的 2%，並預估在無任何作為下，民用航空 CO <sub>2</sub> 排放量在 1992~2050 年間會成長 60%~1,000%。  本研究為了解全球航空運輸溫室氣體之減量措施現況與最新發展，須蒐集國際二氧化碳管制發展趨勢，與 ICAO 所訂定之規範，並初步探討其可能所造成之影響及研擬我國可行之因應策略，做為政府未來研訂相關管制作為之參考。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
107 年 3 月	106	非賣品	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 （解密條件： <input type="checkbox"/> 年 月 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密） <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

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

TITLE: Preliminary Study on the Domestic and Foreign Airspace Simulation Research			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER 107-006-2304	PROJECT NUMBER 106-EAA007
DIVISION: Engineering Division DIVISION DIRECTOR: Hsu, Shu-Keng PRINCIPAL INVESTIGATOR: Hsu, Shu-Keng PROJECT STAFF: Hu, Chih Chao PHONE: (02)2349-6821 FAX: (02)2545-0427			PROJECT PERIOD FROM January 2017 TO December 2017
KEY WORDS: greenhouse gases, mitigation measures			
<b>ABSTRACT:</b> <p>In recent years, the rapid growth in the aviation market and the number of global travelers surpassed 100 million in 1960 and over 1 billion in 1987, while reaching 3.7 billion in 2016. However, with the rapid growth in the number of air travelers, the greenhouse gases emitted by aircraft during take-off and landing does not take more effective management. According to the United Nations "Intergovernmental Panel on Climate Change" (IPCC) data, the carbon emissions of the aviation industry account for about 2% of the total greenhouse gas emissions and it is estimated that without any action, the CO<sub>2</sub> emissions of civil aviation will grow by 60% to 1,000% between 1992 and 2050.</p> <p>In order to understand the current global greenhouse gas mitigation measures and emissions situation, the study needs to collect information on the development trend of international carbon dioxide regulation, in particular the norms set by ICAO, and discuss its possible impact and develop a feasible strategy. The result can be as a reference for the government to control emissions in the future.</p>			
DATE OF PUBLICATION March 2018	NUMBER OF PAGES 106	PRICE Not for sale	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

## 目錄

<b>第一章 前言</b> .....	<b>1</b>
1.1 計畫緣由 .....	1
1.2 研究範圍與內容 .....	2
1.3 研究方法 .....	2
<b>第二章 文獻回顧</b> .....	<b>3</b>
2.1 調查歐盟內航空運輸和二氧化碳排放量 [1] .....	3
2.2 利用碳足跡方法評估機場碳排放 [2] .....	6
2.3 分析澳洲國際航空市場溫室氣體排放情況 [3] .....	7
2.4 分析歐盟六大國家航空市場二氧化碳排放量和機隊利用情況 [4] .....	11
2.5 航空生質燃料的市場發展：驅動和限制因素 [5] .....	13
<b>第三章 全球氣候變遷議題發展現況</b> .....	<b>17</b>
3.1 國際航空碳排管制之背景發展 .....	17
3.2 國際相關組織航空碳排管理策略概況 .....	19
<b>第四章 國際民航組織減碳措施發展狀況</b> .....	<b>25</b>
4.1 國際民航組織環境保護小組運作機制 .....	25
4.2 全球市場措施機制(GMBM)發展歷程 .....	29
4.3 全球市場措施機制(GMBM)發展內容 .....	33
<b>五、國際民航組織其他減碳措施技術發展狀況</b> .....	<b>39</b>
5.1 航空器技術的改進 .....	39
5.2 航空器航行最佳化 .....	43
5.3 航空器替代燃油的發展 .....	51
<b>第六章 減碳措施發展對我國影響初析</b> .....	<b>55</b>
6.1 全球市場措施機制(GMBM)對我國影響初析 .....	55
6.2 國籍航空公司各航線機隊碳排狀況探討 .....	56
6.3 碳排費用對航空公司航線營運影響探討 .....	60
6.4 國內飛航管制相關技術發展狀況 .....	67
6.5 國內航空替代燃料相關技術發展現況 .....	68
<b>第七章 結論與建議</b> .....	<b>69</b>
7.1 結論 .....	69

7.2 建議 .....	70
<b>參考文獻 .....</b>	<b>71</b>
<b>附件:簡報資料 .....</b>	<b>73</b>

## 圖目錄

圖 2.1 單位碳排狀況.....	5
圖 2.2 歐盟地區 2030 年預估碳排放量.....	5
圖 2.3 機場營運碳排範圍邊界.....	7
圖 2.4 計算方法及流程.....	8
圖 2.5 各航線及機型碳排狀況(1).....	9
圖 2.6 各航線及機型碳排狀況(2).....	9
圖 2.7 澳洲-馬來西亞航線碳排狀況.....	10
圖 3.1 各種運輸工具的碳排比例(黃色為國際航空、深綠色為國內航空)....	19
圖 3.2 IATA減碳目標及策略.....	23
圖 3.3 IATA減碳管理策略架構.....	23
圖 4.1 CAEP組織成員.....	25
圖 4.2 CAEP任務編組.....	27
圖 4.3 預估 2025~2040 年航空碳排所需抵銷量.....	28
圖 4.4 不同情境下預估航空碳排所需抵銷金額.....	28
圖 4.5 全球航空座談(GLOBAL AVIATION DIALOGUES, GLADS).....	30
圖 4.6 全球市場措施機制( GMBM)發展流程圖.....	31
圖 4.7 國際民航組織公布之重要文件(1).....	31
圖 4.7 國際民航組織公布之重要文件(2).....	32
圖 4.8 抵換量計算方式示意圖.....	35
圖 4.9 參與CORSIA計畫國家摘要(1).....	37
圖 4.9 參與CORSIA計畫國家摘要(2).....	37
圖 4.9 參與CORSIA計畫國家摘要(3).....	38
圖 5.1 AIRBUS A380 機體構造示意圖.....	40
圖 5.2 BOEING 787 機體構造示意圖.....	40
圖 5.3 AIRBUS A350 XWB機體構造示意圖.....	41
圖 5.4 ASBU關係架構及改善時間表.....	44
圖 5.5 ICAO推動航空替代燃料歷程.....	52

圖 6.1 臺北-香港航線各機型單位碳排放量 .....	58
圖 6.2 臺北-成田航線各機型單位碳排放量 .....	59
圖 6.3 臺北-新加坡航線各機型單位碳排放量 .....	59
圖 6.4 臺北-洛杉磯航線各機型單位碳排放量 .....	59
圖 6.5 機型BOEING 777-300ER 不同距離下碳排放量 .....	60
圖 6.6 機型AIRBUS A330-300 不同距離下碳排放量 .....	60
圖 6.7 臺北-香港航線BOEING 777-300ER機型碳排放所需費用 .....	62
圖 6.8 臺北-香港航線AIRBUS A321 機型碳排放所需費用 .....	62
圖 6.9 臺北-香港航線AIRBUS A330-200 機型碳排放所需費用 .....	63
圖 6.10 臺北-香港航線AIRBUS A330-300 機型碳排放所需費用 .....	63
圖 6.11 臺北-成田航線AIRBUS A321 機型碳排放所需費用 .....	64
圖 6.12 臺北-成田航線AIRBUS A330-300 機型碳排放所需費用 .....	65
圖 6.13 臺北-新加坡航線BOEING 777-300ER 機型碳排放所需費用 .....	65
圖 6.14 臺北-洛杉磯航線BOEING 777-300ER 機型碳排放所需費用 .....	66
圖 6.15 機型BOEING 777-300ER 占營運成本比例(不同距離下) .....	67

## 表目錄

表 2-1 碳排放量資料.....	4
表 2-2 國泰航空與AIRASIA X之比較.....	11
表 2-3 歐盟各國航空碳排狀況.....	12
表 2-4 航空碳排與行行距離的關係.....	12
表 2-5 歐盟 6 大市場國家燃油效率.....	13
表 4-1 範例碳排放量.....	36
表 5-1 機場運作(AIRPORT OPERATIONS).....	44
表 5-2 全球互通的系統與資料(GLOBALLY INTEROPERABLE SYSTEMS AND DATA) .....	45
表 5-3 最佳容量和彈性飛航(OPTIMUM CAPACITY AND FLEXIBLE FLIGHTS)...	46
表 5-4 高效率飛行路徑(EFFICIENT FLIGHT PATH).....	47
表 5-5 亞太地區ASBU組塊 0 內施行優先順序.....	47
表 6-1 臺北-香港航線基本資料.....	56
表 6-2 臺北-成田航線基本資料.....	56
表 6-3 臺北-新加坡航線基本資料.....	56
表 6-4 臺北-洛杉磯航線基本資料.....	57
表 6-5 ICAO預測碳交易金額(2020~2035 年).....	61



# 第一章 前言

## 1.1 計畫緣由

近年來全球航空旅運量每年均以 5~6% 之平均速度成長，且未來二十年更以亞洲航空運量成長幅度最大，根據國際機場協會(Airports Council International, ACI)的統計，2015 年全球機場旅客數排名前 30 名中有 10 個機場位於亞太地區，其中包含北京首都(8,993 萬人，第 2 名)、上海浦東(6,005 萬人，第 13 名)、廣州白雲(5,520 萬人，第 17 名)；但若僅以國際旅客作為排名基準，則 2015 年資料顯示前 30 大機場中有 9 座位於亞太地區，且大部分皆在前 20 名之內，依序為香港赤鱗角、新加坡樟宜、韓國仁川、泰國曼谷、臺灣桃園、馬來西亞吉隆坡、馬德里、日本成田與大陸虹橋機場。對於亞洲航空市場的快速成長，相對的隨著飛機起降飛航所排放的溫室氣體，卻未隨著經濟成長而採行更有效的管理。

溫室氣體的減量已經獲得大多數國家的認同，為了保護唯一的地球，許多國家已經開始制定減量政策，在京都議定書中，特別規定對 CO<sub>2</sub> 的減量計畫，但對於其他的氣體並沒有詳細的管制計畫。在國際航空運輸方面，國際民航組織(International Civil Aviation Organization, ICAO)針對飛機飛航之排放污染物，在附約 16 中已明訂未來飛機在各種污染物(包括 CO<sub>2</sub>，NO<sub>x</sub> 等)之排污係數標準，另外全球主要之飛機製造商如 Boeing 和 Airbus 均針對此相關規定製造研發更環保之飛機。除此之外，歐盟(European Union)為有效抑制航空運輸所造成之全球氣候變化與溫室效應，近幾年已考慮將航空運輸納入歐盟國家現有之碳交易市場中，且已於 2008 年通過此法案，並於 2012 年開始實行，不過由於美國及大陸等其他亞洲各國反對，因此目前只適用歐盟國家。

航空運輸是各國經濟發展的重要基石，近年來亞洲地區的經濟成長快速，航空產業也是蓄勢待發，面對目前亞洲市場的快速成長，航

航空公司也紛紛投入亞洲這個競爭激烈的市場，而所帶來的不僅是經濟效益，相對的對於環境的衝擊也是隨之而來；因此了解全球航空運輸溫室氣體之減量措施與排放現況，尤其是 ICAO 相關規範所造成之影響及研擬我國可行之因應策略，乃是當前我國航空運輸所須正視之重要課題之一。

## 1.2 研究範圍與內容

為因應近來氣候變遷問題，2006~2008 年間之 APEC 運輸工作會議及 IATA 組織相繼針對航空器溫室氣體排放所造成之氣候變遷問題，召開研討會進行討論，尤其京都議定書在 2005 年 2 月 16 日通過生效後，各國同意且承諾在 2008 年至 2012 年間將其溫室氣體排放量降至 1990 年排放水準平均之 95% 以下，對此歐盟執委會更針對民航業溫室氣體排放之管制進行立法，並自 2012 年將民航業納入歐盟排放交易機制之範圍內，所有往來歐盟機場之航空運輸業均須符合此法案；不過由於各國的反對，2013 年 1 月起歐盟氣候執委 Connie Hedegaard 緊急對外宣布，暫緩執行飛機排放納入歐盟機制，並希望經過一段時間的緩衝，在 2016 年之前將由國際民航組織（International Civil Aviation Organization, ICAO）擬定飛機排放減量的管制策略。

本研究蒐集全球航空運輸碳排減量措施之最新發展，主要以 ICAO 最新發展目標、策略及措施為主，檢討未來碳排管制對我國國籍航空及其他之影響，並研析相關碳排減量策略與措施。

## 1.3 研究方法

蒐集 ICAO 全球航空運輸碳排減量措施之最新發展，包括未來目標、策略及措施，進一步了解其後續發展方向，並初步檢討未來 ICAO 碳排管制對我國航空發展之影響。

## 第二章 文獻回顧

為了瞭解航空碳排在國際間的相關研究，因此本研究蒐集了 5 篇國際學術相關論文，資料來源為 2014 年~2016 年 Journal of Air Transport Management 期刊資料，其論文名稱及重點結論摘錄如下：

### 2.1 調查歐盟內航空運輸和二氧化碳排放量<sup>[1]</sup>

依 Air Transport Action Group (ATAG)2012 數據顯示，空運運送貨物的價值占所有國際貿易總額 35%，另有 51%的國際旅客搭乘飛機當作交通工具，因此全球有 30 億人及 6,700 億噸公里(RTKS)貨物使用空運來運輸。空運產業對歐盟 GDP 直接貢獻為 1,100 億歐元，若包含間接、附屬等效益則達 4,750 億歐元。空運產業對歐盟創造 780 萬工作機會，對全球則創造出 5,660 萬個工作機會。

空運排放之CO<sub>2</sub>已在 2012 年被歐盟列入碳排放交易系統中。依據 (ICAO,2010)資料顯示，在 27 個歐盟國中，交通運輸所排放之CO<sub>2</sub>量占所有排放的 23%，其中空運排放占了 3.5%。Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC,1999)政府間氣候變化專門委員會預估民用航空CO<sub>2</sub>排放量在 1992~2050 年間會成長 60%~1000%。ICAO(2009)更預測在 2050 年航空CO<sub>2</sub>排放量將會成長 300%~700%間。

歐盟減量目標為在 2020 年CO<sub>2</sub>總排放量降至 1990 年的 80%。IATA(2009)也設定一目標，在 2020 年以後航空CO<sub>2</sub>排放量能達到一穩定狀況，藉由機隊更新、操作與基礎設施改善措施、改造、抵銷機制、替代能源等來達成目標。其中生質燃油未來將扮演重要角色，目前已有 1,500 個航班使用過生質燃油，以生命週期碳儲存而言，使用生質燃油可以達到 80%以上減碳量。Sgouridis(2011)指出 2009 年航空使用生質燃油只有 0.5%，並預測到 2024 年將達到 15.5%~30.5%。歐盟與飛機製造商、營運者、生質燃油製造者保持密切關係，並開始執行”European Advanced Biofuels Flightpath”計畫，預定到 2020 年時達

到每年生產 200 萬噸生質燃油供航空使用。

本篇論文調查 2010 年歐盟地區航空碳排放量並進行研究(如表 2-1 所示)，其中 2010 年CO<sub>2</sub>總排放量為 216 百萬噸，而航程距離 2,500km以上，碳排就占了 67.5%(載運旅客量 20%)，航程距離 1,000km 以內，碳排則占了 13%(載運旅客量 46%)。就整體RTK來看，航程距離 2,500km以上占 68%，500km以內只占 2.6%。

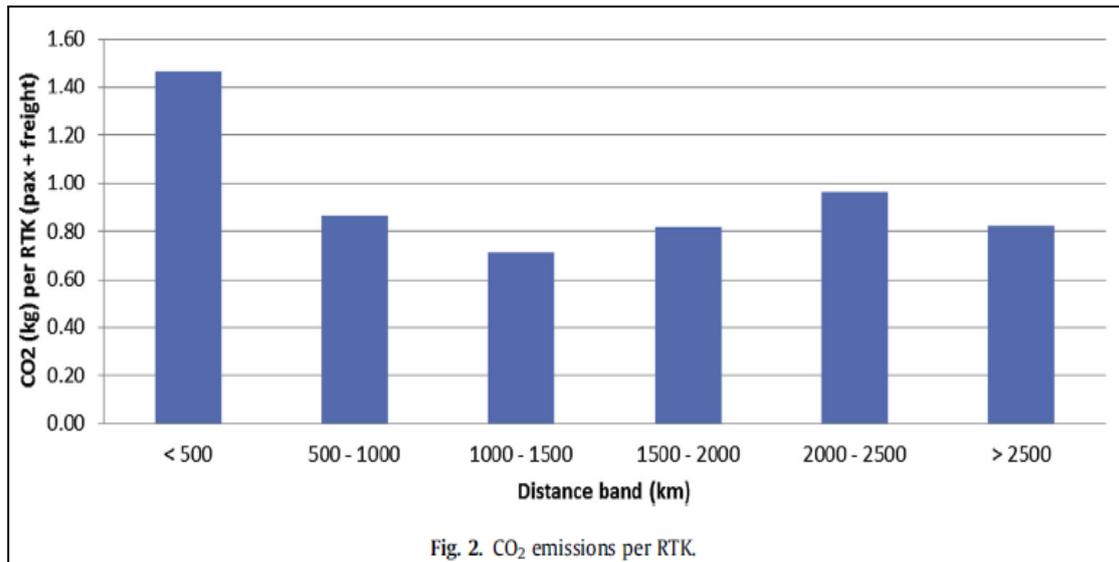
另從每單位RTK所排放之CO<sub>2</sub>可知(如圖 2.1)，航程距離 500km 以內，碳排放量為最大，達到 1.47kg/RTK，航程距離 1,000~1,500km 以內，碳排放量為最小，達到 0.71kg/RTK。航程距離 1,500~2,500km 之間，由於燃油效能降低，碳排放量增加，推估其原因為，該航段使用混合機隊，包含寬體噴射機，而寬體噴射機一般在航程距離 2,500km 以上較為省油。

本篇研究也預估歐盟地區 2030 年碳排放量(如圖 2.2)，基本情境:293 百萬噸，悲觀情境:207 百萬噸，樂觀情境:334 百萬噸。

表 2-1 碳排放量資料

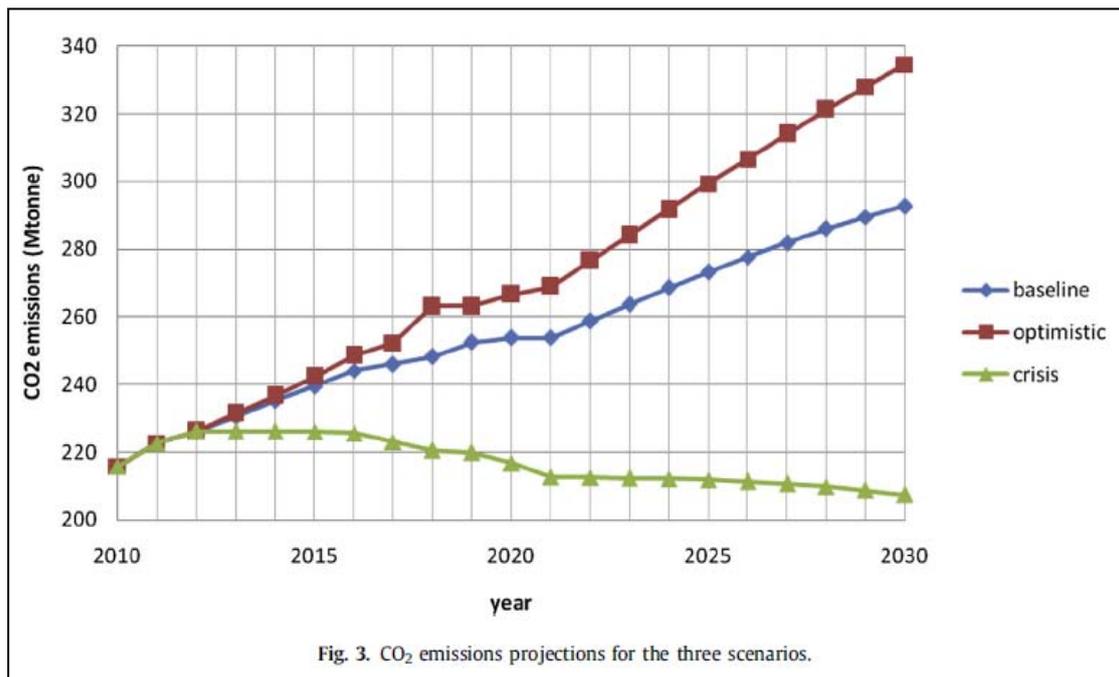
Distance band (km)	CO <sub>2</sub> total (Mtons)				Total RTK (passengers + cargo)		
	Aircraft type (MTOW range in tons)				Total band		
	<7	7-136		>136			
		Turboprop	Jet				
<500	0	1.2	8.3	286.3	9.9	4.6%	2.6%
500-1000	0	0.6	17.0	507.4	18.1	8.4%	8.1%
1000-1500	0	0	15.4	665.3	16.2	7.5%	8.8%
1500-2000	0	0	14.7	679.3	15.4	7.1%	7.3%
2000-2500	-	0	9.6	975.1	10.6	4.9%	4.3%
>2500	-	0	16.1	129.4	145.6	67.5%	68.7%
Total type	0	2.0	81.2	132.5	215.8	100.0%	100%
	0.0%	0.9%	37.6%	61.4%	100.0%		

資料來源：“Investigations on the distribution of air transport traffic and CO<sub>2</sub> emissions within the European Union” ,Journal of Air Transport Management ,Volume 36, April 2014



資料來源:“Investigations on the distribution of air transport traffic and CO<sub>2</sub> emissions within the European Union” ,Journal of Air Transport Management ,Volume 36, April 2014

圖 2.1 單位碳排狀況



資料來源:“Investigations on the distribution of air transport traffic and CO<sub>2</sub> emissions within the European Union” ,Journal of Air Transport Management ,Volume 36, April 2014

圖 2.2 歐盟地區 2030 年預估碳排放量

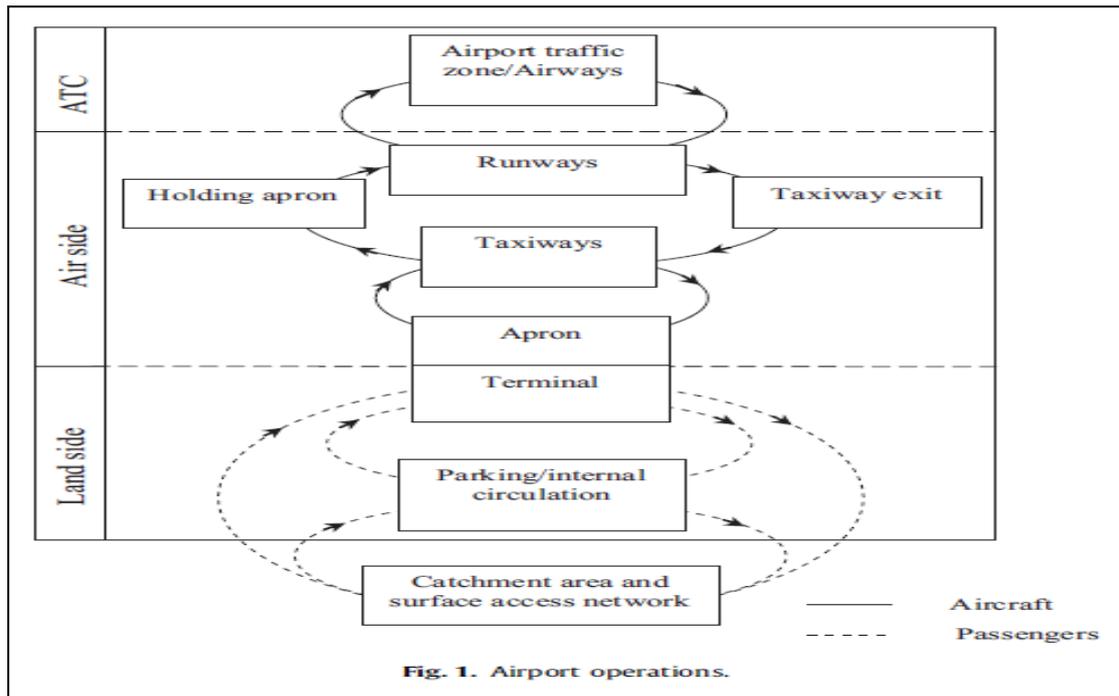
## 2.2 利用碳足跡方法評估機場碳排放<sup>[2]</sup>

根據最近數據顯示(IEA,2009)，交通運輸的碳排放量占人類活動排放的 26.4%，航空運輸碳排放量占全球的 2%，其中更占交通運輸部分 12%(ICAO,2010)，而 ACI 在 2009 年歐洲推出機場碳排認證計劃，目的為減少機場的碳排放量，並最終抵消自己的碳足跡(碳中和)為目標。

本篇論文利用 Transport Carbon Footprint(TCF)方法可以宏觀瞭解二氧化碳排放量。依據碳排範疇，訂出機場四項主要碳排源(如圖 2.3)分別為:

1. 機場道路連接模式所產生之碳排。
2. 航廈活動所造成的能源產生與消耗。
3. 飛機降落、起飛所產生之碳排。
4. 裝卸車輛與機場設施所產生之碳排。

由數據顯示機場聯絡交通的碳排占極大比例，因此建立大眾運輸工具可以減少碳排放量，提升飛機引擎燃油效率，不過更有效的方法則是使用替能源-生質燃油。鼓勵航空公司使用較新機隊並提高乘載率，以降低起降班次，另機場配置應以減少滑行距離並降低航站壅擠，其中滑行道距離與登機門配置有關。



資料來源：“A transport carbon footprint methodology to assess airport carbon” ,Journal of Air Transport Management ,Volume 37, May 2014

圖 2.3 機場營運碳排範圍邊界

### 2.3 分析澳洲國際航空市場溫室氣體排放情況<sup>[3]</sup>

依據聯合國政府間氣候變化專業委員會(IPCC)表示，航空產業碳排放量約占溫室氣體總量的 2%，未來 20 年空運客貨運量將持續每年成長 4.5~5% (Airbus, Boeing)，而碳排放量則每年持續成長 3~4%(ICAO)，另有學者 Owen et al.(2010)則預估在 2050 年前，航空碳排將成長 2.4~4.1%。

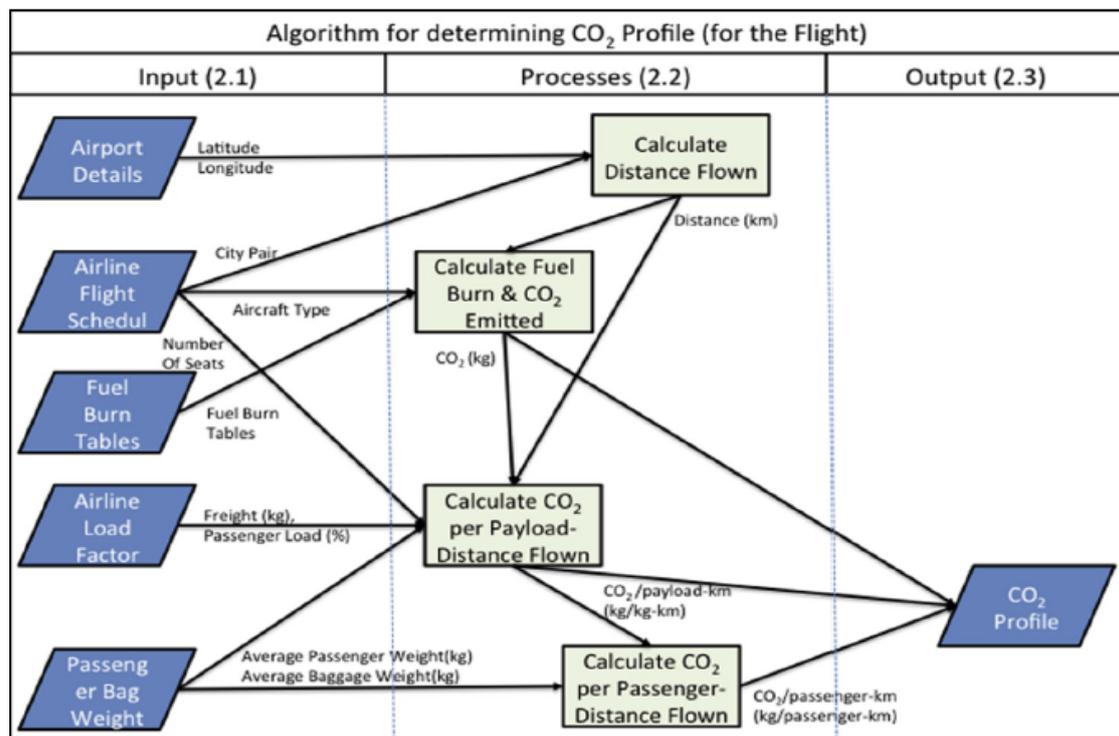
國際航班由於牽涉多國與司法管轄等問題，因此較其他產業複雜，所以航空碳排並不包含於京都議定書中。不過在附約則通過由 ICAO 執行限制與減少空運碳排工作，在 2013 年 ICAO 第 38 屆大會中，會員國同意發展全球市場機制措施(Market Based Measure, MBM)以減少碳排，並希望於 2016 年 ICAO 第 39 屆大會中討論。

本篇論文使用 ICAO 計算修改版本，並利用 2012 年飛機機型、旅客及貨物承載率等資料，計算飛航澳洲國際航班的碳排放量，其中

須輸入 5 個參數條件，包括機場基本資料、航班、燃油消耗、載客率、旅客或行李重量，分析流程如圖 2.4 所示

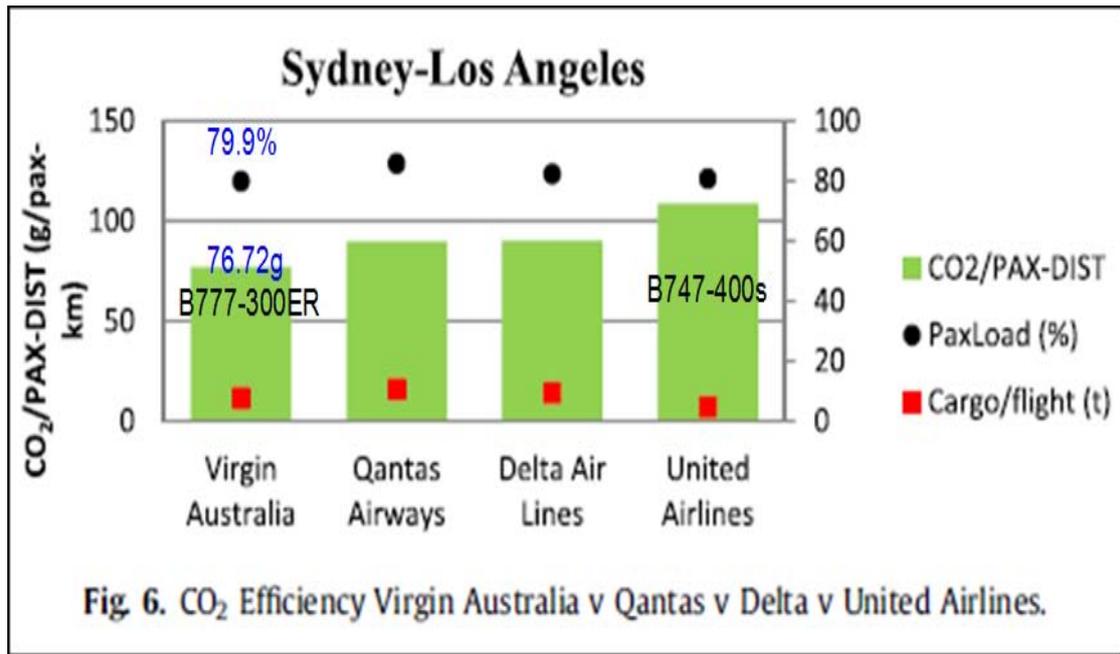
研究結果重點摘述如下：

1. 由圖 2.5、圖 2.6 可知，長程航線機型的選擇影響碳排極大，本研究案例澳洲與美國航線，新舊的廣體機都有在使用，Qantas(QF) 在此航線市占最大，採用的機型有舊的 B747-400 與新的 A380 並混合使用。Virgin(VA)則是採用新的 B777-300ER，United Airlines 則是採用舊的 B747-400，Delta 則是採用 B777-200LR。而澳洲與中東航線，Emirates 使用 A380 與 B777-300ER，Etihad 使用 A340-500/600，Virgin 則使用 B777-300ER，由排放數據可知，選擇對的機型將可以減少大量二氧化碳的產生。



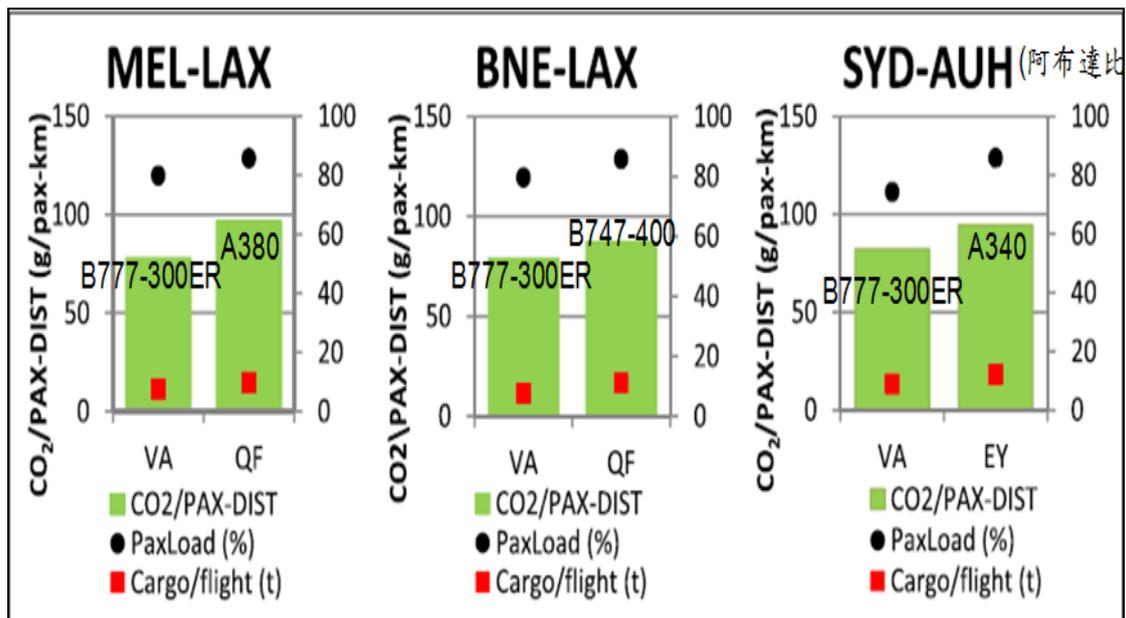
資料來源：“An analysis of the greenhouse gas emissions profile of airlines flying the Australian international market” ,Journal of Air Transport Management ,Volume 47,2015

圖 2.4 計算方法及流程



資料來源：“An analysis of the greenhouse gas emissions profile of airlines flying the Australian international market”, Journal of Air Transport Management, Volume 47, 2015

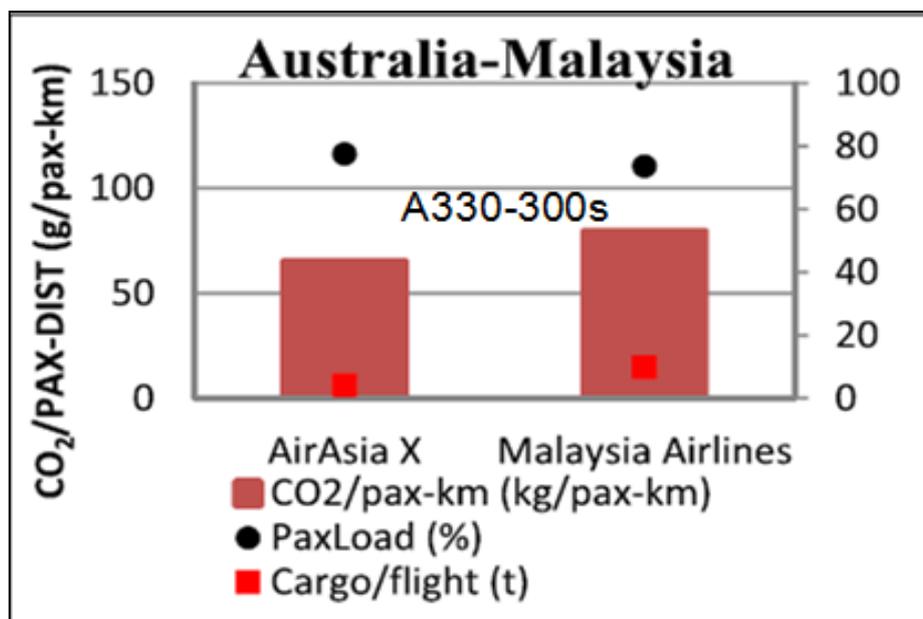
圖 2.5 各航線及機型碳排狀況(1)



資料來源：“An analysis of the greenhouse gas emissions profile of airlines flying the Australian international market”, Journal of Air Transport Management, Volume 47, 2015

圖 2.6 各航線及機型碳排狀況(2)

2. 座位密度與載客率也會對碳排產生影響，一架班機載運的旅客量是依據座位密度與載客率而定，以澳洲至馬來西亞航線為例(圖 2.7)，AirAsia X 採用較多座位數，因此在載客率相當時，AirAsia X 相對載運人數較多，因此每 pax-km 產生之二氧化碳也較少。
3. 貨物量對碳排產生之影響部分，航空公司可以藉由增加貨物量來折抵載客率不足的情況，以表 2-2 為例，國泰航空座位數較 AirAsia X 少，在乘載率相近之下，AirAsia X 載運旅客數量明顯高於國泰航空，不過國泰航空藉由提高貨運乘載率下，使得單位碳排量與 AirAsia X 相差不多。



資料來源：“An analysis of the greenhouse gas emissions profile of airlines flying the Australian international market”, Journal of Air Transport Management, Volume 47, 2015

圖 2.7 澳洲-馬來西亞航線碳排狀況

表 2-2 國泰航空與 AirAsia X 之比較

	AirAsiaX	Cathay Pacific
CO2/pax-km (g/pax-km)	64.86	65.79
Number of Flights	2719	7233
Avg Distance/Flight (km)	5855.35	7165.27
Number of Seats/flight	377–401	311–314
Paxload/Flight (%)	77.53	77.4
Num of Passengers/Flight	292–311	241–243
Avg Cargo/Flight (t)	4.18	10.82
Payload/Flight (t)	36.3–38.4	37.3–37.5

資料來源:“An analysis of the greenhouse gas emissions profile of airlines flying the Australian international market” ,Journal of Air Transport Management ,Volume 47,2015

#### 2.4 分析歐盟六大國家航空市場二氧化碳排放量和機隊利用情況<sup>[4]</sup>

航空碳排占全球碳排約 3%，並占交通領域碳排的 12%，不過比起其他來源，航空碳排成長是快速的。航空碳排主要來自國際航線，有學者指出即使燃油效率每年提升 2%，到 2020 年整個國際航空碳排仍比 2005 年高出 70%。ICAO(2013)曾預測到 2050 年航空碳排會成長 300~700%，雖然可以利用經濟手段與技術方法減少碳排，但有學者指出到 2020 年仍無法達到 ICAO 碳中和的目標

本篇論文主要是評估歐盟各國航空碳排情況，利用 EUROCONTROL Data Demand Repository (DDR)蒐集相關飛航計畫，包括機型、距離等，並利用 Corinair Database 計算航機燃油消耗，研究評估 29 個歐盟國家排碳量，計算時間為 2013 年、2010 年與 2005 年。

結果顯示(如表 2-3、表 2-4)，整體碳排放量 2013 年比 2010 年減少 3.1%，平均 1 年減少 1%，而 2010 年比 2005 年增加 10%，平均 1

年增加 2%。歐洲 6 大市場碳排量占全體 29 個國家的 76.8%，其中英國最高，占 22.5%。而從飛航距離分布得知，距離小於 500km，排碳量減少幅度最大，達到 20.2%，而距離大於 2,500km 則是主要碳排放來源，占所有排碳量 68%。

在燃油效率部分(燃油效率=碳排放量/RTK)，整體而言，2013 年比 2010 年碳排放量減少 4.3%，而 RTK 同時減少 0.8%，燃油效率則是提升 3.5%(如表 2-5 所示)。其中以法國燃油效率提升最多，達到 10.4%，其次為西班牙與德國，而義大利與荷蘭則是降低最多，分別為 11.8%及 9.1%。

表 2-3 歐盟各國航空碳排狀況

Ranking	Country	CO <sub>2</sub> emissions (Mton)	Change w.r.t. 2010 (%)
1	UK	47.36	-2.6%
2	Germany	37.62	-4.2%
3	France	26.92	-4.3%
4	Spain	17.49	-11.5%
5	The Netherlands	16.12	-0.6%
6	Italy	15.05	-4.3%
7	Switzerland	6.56	9.0%
8	Belgium	5.38	-4.9%
9	Greece	4.69	0.6%
10	Portugal	4.21	0.0%
11	Denmark	3.44	5.5%
12	Norway	3.26	18.5%
13	Sweden	3.16	2.6%
14	Austria	2.99	-9.7%
15	Ireland	2.85	9.2%
16	Finland	2.56	5.8%
17	Poland	2.07	-8.4%
18	Czech Republic	1.30	-4.4%
19	Cyprus	1.14	2.7%
20	Bulgaria	1.03	19.8%
21	Luxembourg	0.90	-30.2%
22	Romania	0.84	-10.6%
23	Hungary	0.59	-32.2%
24	Latvia	0.46	9.5%
25	Malta	0.37	12.1%
26	Lithuania	0.24	20.0%
27	Estonia	0.17	41.7%
28	Slovakia	0.17	-15.0%
29	Slovenia	0.14	-12.5%
Total		209.1	-3.1%

資料來源:“Analysis of the recent evolution of commercial air traffic CO<sub>2</sub>emissions and fleet utilization in the six largest national markets of the European Union” ,Journal of Air Transport Management ,Volume 55,2016

表 2-4 航空碳排與行行距離的關係

Distance band (km)	CO <sub>2</sub> 2013		CO <sub>2</sub> 2010		2013 w.r.t 2010 (%)
	Mtons	% Of total	Mtons	% Of total	
<500	7.9	3.8	9.9	2.6	-20.2
500-1000	16.3	7.8	18.1	8.1	-9.2
1000-1500	15.7	7.5	16.2	8.8	-3.1
1500-2000	15.5	7.4	15.4	7.3	0.6
2000-2500	11.3	5.4	10.6	4.3	6.6
>2500	142.3	68.1	145.6	68.7	-2.3
Total	209.1		215.8		-3.1%

資料來源:“Analysis of the recent evolution of commercial air traffic CO<sub>2</sub>emissions and fleet utilization in the six largest national markets of the European Union” ,Journal of Air Transport Management ,Volume 55,2016

表 2-5 歐盟 6 大市場國家燃油效率

Country	RTK (millions, passengers + cargo)			CO <sub>2</sub> (Mtons)			kg CO <sub>2</sub> /RTK		
	2013	2010	Var. (%)	2013	2010	Var. (%)	2013	2010	Var. (%)
Germany	50,235	47,842	+5.0	37.62	39.25	-4.2	0.75	0.82	-8.7
Spain	25,584	26,373	-3.0	17.49	19.76	-11.5	0.68	0.75	-8.8
France	36,401	34,089	+6.8	26.92	28.14	-4.3	0.74	0.83	-10.4
Italy	14,865	17,367	-14.4	15.05	17.73	-4.3	1.01	0.91	11.8
The Netherlands	21,210	23,342	-9.4	16.12	16.21	-0.6	0.76	0.69	9.1
United Kingdom	56,474	57,382	-1.6	47.36	48.6	-2.6	0.84	0.85	-1.0
Total 6	204,769	206,395	-0.8	160.56	167.69	-4.3	0.78	0.81	-3.5

資料來源:“Analysis of the recent evolution of commercial air traffic CO<sub>2</sub>emissions and fleet utilization in the six largest national markets of the European Union” ,Journal of Air Transport Management ,Volume 55,2016

## 2.5 航空生質燃料的市場發展：驅動和限制因素<sup>[5]</sup>

空運生質燃料有兩種基本形式:主要(Primary)和次要(Secondary)生質燃料。主要生質燃料以木屑與農業廢棄物為生物能源的最基本的形式，不需要額外的處理。次要生質燃料主要來自生物質，必須經過特定程序以改變其化學組成。程序包含發酵醱類農作物成乙醇、壓製富油質農作物產生植物油、加熱生物質產生可燃氣體，並組合不同類型液體或氣體生物燃料。

為了製造生質燃料並符合化學及流動特性給飛機引擎使用，因此更進一步先進的製程技術必須發展，目前常用的是 Hydrotreated Esters and Fatty Acids(HEFA)與 Fischer-Tropsch(FT)法。利用 HEFA 或 FT 法

產生的 Bio-SPK 在低溫下，與標準商業用航空燃料(A/A1)相似，擁有相近的化學性質與流動特性，且不含水、金屬顆粒或其它污染物。

American Society for Testing and Materials(ASTM)在 2011 年認證 HEFA 生物燃料可以用於航空商業燃料中，但混合比例不可超過 50%。制訂 50% 的混合物的限制是為了確保「芳烴 (Aromatics)」的含量，因為其是在發動機燃料有效運作不可少的，但它不存在於生質燃料中。

本篇論文利用半結構式法(Semistructured Interviews)進行訪談，包含 4 個議題:1.航空生質燃料的發展歷史、2.商業化面臨的當代挑戰、3.利益相關者對政策和立法的支持意見、4.需要進一步研究的領域，而訪談對象包含 25 個單位，有航空公司、環境顧問公司、飛機製造商、燃料公司、政府等，其結果摘述如下:

1. 25 個受訪者都同意航空產業必須減少碳排放；除了來自政治與公眾壓力外，環境法規也越來越嚴格。
2. 不過在美國與歐洲的受訪者反應有些微妙不同，歐洲認為減少碳排放是出於環境立法和產業自願的目標；非歐盟國家的受訪者則承認主要是環境立法所起的作用。
3. 過半數受訪者都認為航空產業在生質燃料上的確扮演重要角色，並建議三個方向。
  - (1) 鼓勵政府與相關利益團體對話，以增加對技術的投資。
  - (2) 建立航空公司與燃料生產商夥伴關係(合作投資協議)，如英國航空(British Airways)與美國 Solena 公司合作，計畫生產英航專屬燃料。
  - (3) 最後建立可持續供應鏈集團，包括航空公司、燃料生產商、原料種植者，以簡化新燃料開發階段。
4. 25 個受訪者皆認為能源安全是航空生質燃料的潛在驅動力，其中

最為明顯的受訪者是美國與巴西。另美國也談論到能源安全利益與避免石油進口等議題，且從軍事角度，能源安全也是生物燃料發展重要觸媒。

5. 部分受訪者表示減少石油進口，則可以創造額外的勞動力需求，以生產國內生質燃料，對於國家經濟是有利益的。
6. 受訪者普遍認為油價的上漲與變動對於長期發展生質燃料是有驅動力。
7. 部分航空公司表示，航空生質燃料製造商將尋求與航空煤油相同的價格，同時未來將附加碳稅在燃料中，因此認為沒有價格誘因而使用航空生質燃料(除非價格比石油更低)；而另一方面則表示航空生質燃料可能更具價格穩定性。
8. 大部分受訪者普遍認為法規規範是一個很重要的驅動力，尤其來自歐盟的 ETS 規定與 ICAO 決議。有 20 個受訪者提及歐盟 ETS 是一個重要趨動力，並且有兩個影響層面，第一是威脅到航空產業利益部分，第二是減少航空產業碳排放的機會。
9. 有關立法補貼措施，部分政府也宣示再生能源政策是有發展潛力，並利用補貼方式進行，但目前效果看起來並不顯著。
10. 有一位學者指出，ICAO 最近發表一項決議，指出每個成員國必須提供一個行動計畫，概述預計減少航空排放的方式。到現在為止，國際民航組織在環境問題上的影響力是欠缺，但這是一個重要議題，表示國際民航組織可能開始要求會員國家利用適當的措施以減少排放。
11. 有 10 個受訪者承認，航空產業缺乏替代技術，以解碳問題。另外受訪者表示，航空產業有一個嚴重的長期問題，那就是沒有太多的替代技術以提供相同的性能，如噴射客機。
12. 受訪者也強調兩家引擎製造商與飛機製造商必須發展多元化推進

技術或者使用較低碳的燃料，不過後者是比較可行的選擇。

13. 未來 40 年最有成本效益解決方式就是使用航空生質燃料，其它燃料技術如氫氣與電動並不可行且成本效益不佳。
14. 航空生質燃料有可能產生新的商業機會，雖然目前生質燃料經濟效益不大，但在未來絕對有龐大經濟效益。
15. 雖然目前生質燃料的產量仍然很小，但未來市場仍充滿商業機會，將會需要大量投資與努力來增加替代能源生產。

### 第三章 全球氣候變遷議題發展現況

#### 3.1 國際航空碳排管制之背景發展

聯合國 1992 年 5 月通過了「聯合國氣候變化綱要公約 (UNFCCC)」，並對「人為溫室氣體」排放做出全球性管制的宣示，同年 6 月在巴西里約舉辦的「聯合國環境與發展大會」中，共有 155 個國家簽署該公約。1997 年 12 月第 3 次締約國大會於日本通過具約束力的京都議定書 (Kyoto Protocol)，以規範工業國家未來溫室氣體減量責任。聯合國京都議定書的減量原則是「全球總量管制、國家各別目標」，目前以國家為減量單位；但就議題而論，全球減量的範圍可依農業、林業、交通運輸等部門看待，也可依石化、鋼鐵、水泥等產業別分類，然而國際航空與海運到目前為止，並不在京都議定書減量範圍之內，不過在京都議定書第 2 條第 2 項指出，附錄 1 之會員國應透過 ICAO 作出努力，謀求限制或減少航空產生之非為蒙特婁議定書 (Montreal Protocol) 所管制的溫室氣體排放。

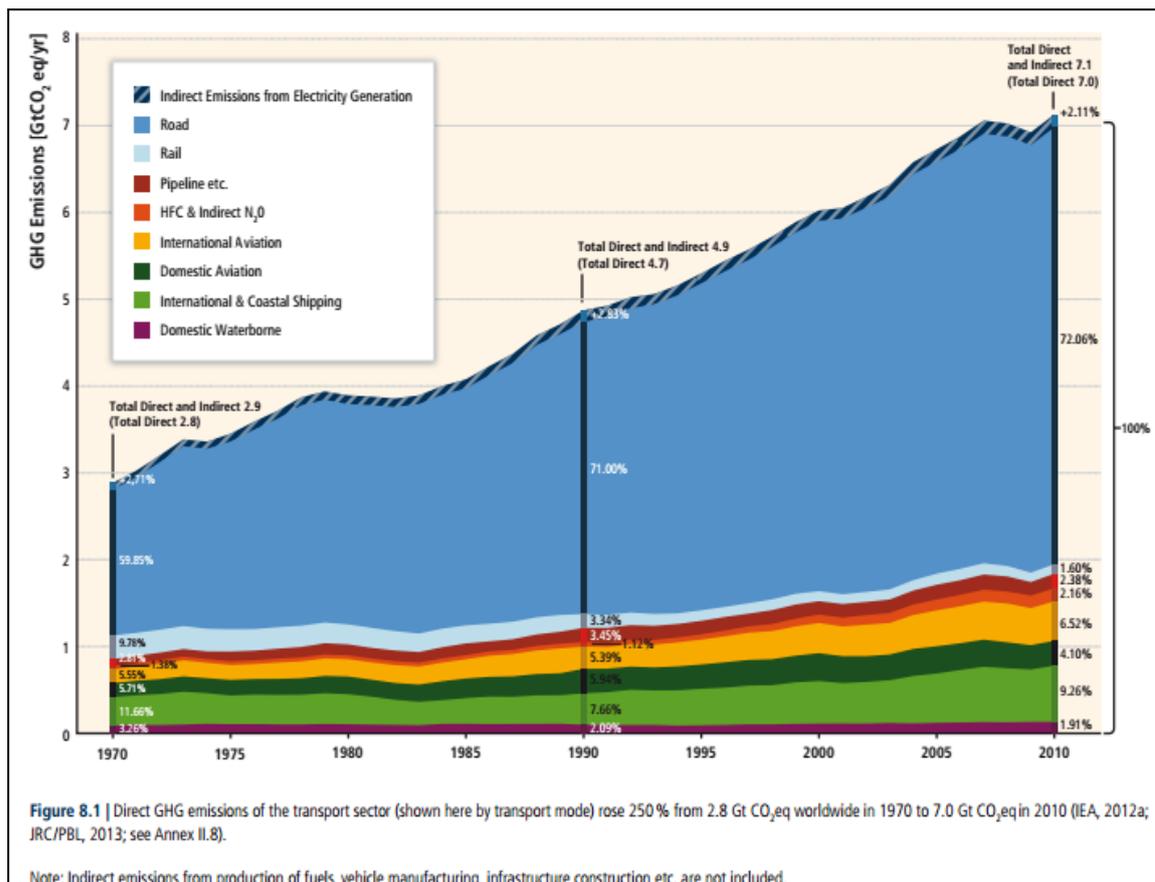
聯合國「政府間氣候變遷委員會」在 2014 年的報告資料指出，全球溫室氣體排放量中，交通運輸業便占了 14.40%，而航空業又為整個交通運輸業約 10.62%，換算可知道航空運輸產業占全球溫室氣體排放量約 2% (如圖 3.1)。近年來隨著航空運輸產業持續成長，預計 2050 年時，將達到全球 4% 的溫室氣體排放量。而目前國際上能源排放統計資料是以國別呈現，其中各國公路鐵路等排放資料都列入其國內交通運輸部門的數據，唯獨國際航空與海運排放則以「International Bunker Fuels」項目獨立出現在國際能源統計數據，所以說，國際航空與海運成了氣候談判的遺漏項目。為了減緩航空運輸碳排造成環境不利的影響，2016 年 10 月第 39 屆 ICAO 大會通過最新的國際航空碳抵換及減量計畫 (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation, CORSIA) 協議，透過引入市場機制，正式解決航空碳排 10 年來不被重視的狀況，此一項協議具有里程碑意義，係

對全球民航的永續及未來環境的保護作出堅定的承諾及切實行動。

相較於 ICAO 對於氣候變遷問題的拖延，歐盟很早就注意到飛機碳排放對大氣的影響。為減緩航空業的碳排放量，歐盟 2005 年便率先推動以歐盟為主體的「排放權交易制度」(EU Emission Trading Scheme, EU ETS)，認為議定書到期的 2012 年是擴大實施創新管制工具的好時機，因此歐洲執委會在 2006 年 12 月 20 日針對民航業溫室氣體排放管制進行立法提案，積極規劃將飛機碳排放納入管制中；並於 2012 年起，歐盟正式將飛機碳排放納入其「排放權交易制度」。

2012 年 1 月 1 日歐盟依照原先的規劃，將飛機碳排放納入 EU ETS 管制範圍，規定所有起降於歐盟境內的民航班機繳付碳稅。由於美國、中國大陸、印度、俄羅斯為首之全球 23 國於 2012 年 2 月 21 日發表聯合宣言，反對歐盟將航空業納入碳排放權交易制度，終使歐盟發布暫停 EU ETS 對航空業管制之決議，於 2014 年 4 月頒布修正規章 (Regulation No.421/2014)，規定在 2013 年 1 月 1 日至 2016 年 12 月 31 日期間排除國際航班適用 EU ETS。

隨後 2013 年 10 月 ICAO 第 38 次大會決議後，各國同意為航空業碳排放制定全球市場機制，且須於 2016 年通過、2020 年開始實施。歐盟雖對多邊機制與各國表示尊重，但其亦表示若 ICAO 在 2017 年前無法達成全球航空減量協議，將不排除再度將國際航空納管於 EU ETS，以此督促各國持續推動對於國際航空的碳排管制。



資料來源:IPCC第5次評估報告

圖 3.1 各種運輸工具的碳排比例(黃色為國際航空、深綠色為國內航空)

### 3.2 國際相關組織航空碳排管理策略概況

國際上目前也有多個國家及組織針對航空器所帶來的污染及影響進行研究及管理，希望藉由相關措施及策略，以期能減少污染。

#### 1.美國聯邦航空署(FAA)

提出航空運輸與環境國家願景宣言，目標至 2025 年航空運輸所帶來之噪音與影響區域空氣品質污染物，將會降低至一定值以下；而氣候變遷影響亦將控制至一定水平。同時提出新世代航空運輸系統 (Next Generation Air Transportation System, NGATS) 主要之發展重點:(1)更深入進行科學研究；(2)提升飛航交通管理之現代化；(3)鼓勵新航空器科技研發；(4)發展替代燃料；(5)考量市場經濟措施之成本效益等。

## 2.英國運輸部

提出航空運輸未來發展方向，明訂未來 30 年英國民航發展策略架構，考量經濟、社會與環境影響下平衡發展，而目標與作法包括：

### (1)達成航空運輸有關環境保護之策略

- ① 制訂更嚴格之飛機噪音與污染物排放標準。
- ② 鼓勵機場營運者、航空公司與飛航服務提供者採行更環保之飛機操作方式。
- ③ 汰換舊式機型之使用，改以環保績效良好之機型。
- ④ 使用經濟誘因，鼓勵新式技術使用，降低噪音與污染物。
- ⑤ 與產業界或學術單位合作，進行有關新式科技之發展與研究。
- ⑥ 機場週邊使用土地規劃或管理措施。

### (2)氣候變遷可採行之措施

- ① 機場、航空公司與飛航服務提供者(包括EUROCONTROL)，共同合作減少氣候變遷污染物排放。
- ② 飛機與引擎製造商等投入研發新式環保機型。
- ③ 航空公司、機場與航太工業廠商自願控制減少溫室氣體排放量，並發展永續策略，提交公司污染物報告與目標。

### (3)低碳航空運輸策略

英國運輸部更進一步於 2009 年 9 月發表低碳運輸(Lowcarbon Transport)策略，其中於航空運輸產業部分，目標為 2050 年污染物排放量能低於 2005 年之水準(UK Department for Transport, 2009)。為達到此目標，可採行之措施分為兩大類，包括：

- ① 市場經濟措施，如建立交易市場與徵收環境稅、徵收乘客稅等。

- ② 技術面相關措施，如飛機引擎與機身技術提升燃油效率、有效率之飛機操作方式等。

### 3. 歐盟執委會

歐盟執委會 (European Commission, EC) 在飛機引擎污染物管制方面，研擬 3 種管制措施，包括(1)透過先進科技之研發；(2)透過單一歐洲天空整合歐盟空域之 ATM 系統；(3)將航空運輸納入現有之歐盟碳排放交易機制，其內容摘述如下：

#### (1) 透過先進科技之研發

- ① 乾淨天空之聯合科技行動(“Clean Sky” Joint Technology Initiative, Clean Sky JTI)為一政府與民間合作夥伴之計畫，主要透過民間與政府合作研發，利用先進科技，降低航空運輸之污染物排放量。計畫將持續執行至2017 年底，目標希望至2020年能減少50%之每人公里之CO<sub>2</sub>排放量。

#### (2) 透過單一歐洲天空整合歐盟空域之 ATM 系統

- ① 歐盟估算因航管系統缺乏效率、天候不佳與機場運作問題，造成航空公司每年損失之延誤成本高達13至19億歐元之多。
- ② Single European Sky ATM Research, SESAR 主要為將歐洲空域 ATM 系統現代化，並加以整合，以提升飛機燃油效率與飛航服務績效，目標之一為至2020年平均每航班降低10%之 CO<sub>2</sub>排放量。

#### (3) 將航空運輸納入現有之歐盟碳排放交易機制

- ① 歐盟已進一步針對民航業溫室氣體排放之管制採取市場機制，於2009年1月13日正式立法，確定自2012年起，將所有於歐盟機場起降之民航航班，納入歐盟現有之EU ETS。但由於ICAO MBM之發展，目前僅包括歐盟境內航班。
- ② 針對航空部門所設定之CO<sub>2</sub>管制總量，設定至2012年為部門

歷史排放量(2004至2006年平均)之97%；之後逐年總量額度將遞減。

#### 4.國際航空運輸協會(IATA)

IATA 減碳目標為(1)2020年時航空業之碳排放不再成長；(2)2009年至2020年每年之平均燃油效率提升1.5%；(3)至2050年時碳排放可達到2005年水準的一半(如圖3.2)。同時提出4個管理策略以輔助，包括(1)科技；(2)營運；(3)基礎建設；(4)經濟措施(如圖3.3)。

##### (1)科技:新式機型與替代油料之研發

- ① 新式機型：主要透過機翼、引擎、機身材料等改進，達到提升油耗，減少排放之目的。
- ② 替代油料：目前已將生質油料與現有航空用油混和，在不改變任何目前飛機引擎之情況下測試成功之多起個案，長期則朝向燃料電池之目標發展。

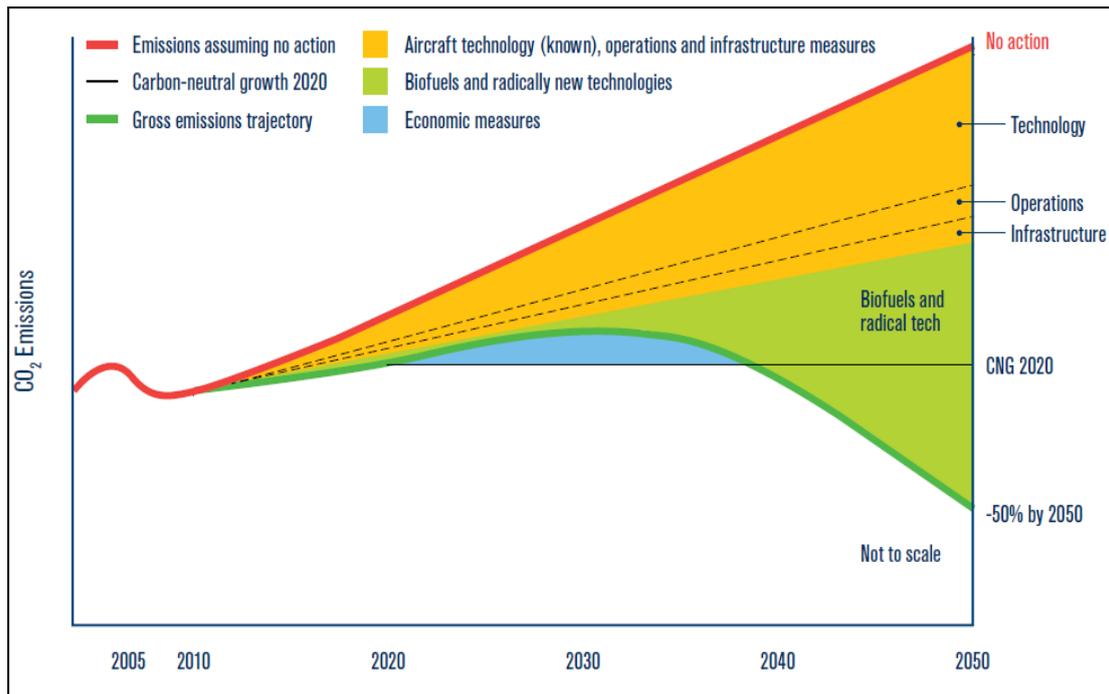
##### (2)營運:飛機營運與操作效率

- ① 建議航空公司可透過飛機重量減少、具效率的飛航操作、減少輔助動力系統(APU)的使用等，希望至2020年能減少3%的碳排放。

##### (3)基礎建設:機場基礎建設、空域與ATM整合

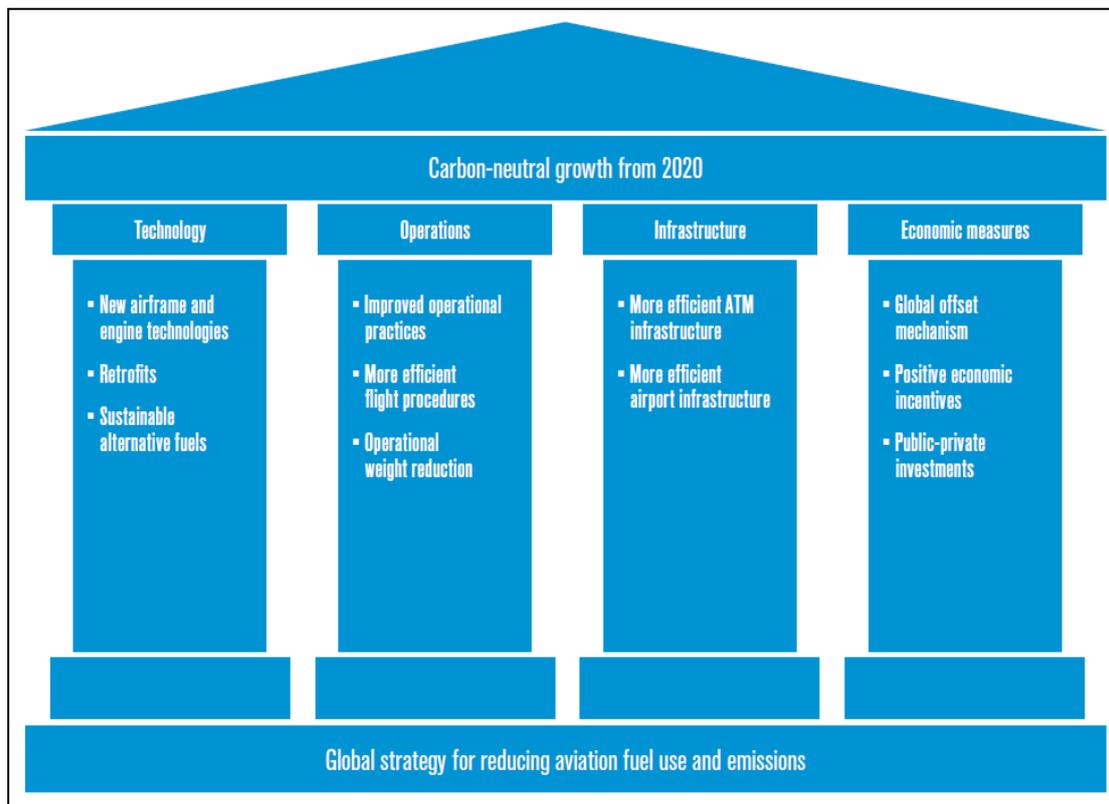
- ① 預計透過ATM效率提升以及機場之基礎建設，至2020年可減少4%的碳排放；例如歐洲單一天空下之SESAR計畫整合歐洲空域，美國的NextGen計畫採用新式飛航導航設施，以及俄羅斯空域之縮減垂直隔離(Reduced vertical separation minimum, RVSM)等相關計畫與措施。

##### (4)經濟措施:包括碳交易與碳抵換等，可補助上述措施之不足



資料來源: IATA Technology Roadmap

圖 3.2 IATA 減碳目標及策略



資料來源: IATA Technology Roadmap

圖 3.3 IATA 減碳管理策略架構

## 5.歐洲國際機場協會（ACI Europe）

ACI 於 2007 年 3 月發表之機場與環境政策宣言，機場可採行之相關節能減碳措施。為降低航空業排放，除針對航行部份進行減量外，地面航站減量也不可或缺，有鑒於此，歐洲各國機場於 2008 年決定要將機場減量作為目標，並將遠程最終目標設為達成碳中和。

## 第四章 國際民航組織減碳措施發展狀況

### 4.1 國際民航組織環境保護小組運作機制

航空環境保護委員會(Committee on Aviation Environmental Protection, CAEP)是ICAO 底下的一個委員會，成立於1983年，取代原航空器噪音委員會和航空器發動機排放委員會，主要目的為研究並製定減少航空對環境影響的建議；目前CAEP由24個會員國與15個觀察員所組成，超過600位知名專家共同合作(如圖4.1)。

Members (24 States)		
Argentina	Australia	Brazil
Canada	China	Egypt
France	Germany	India
Indonesia	Italy	Japan
Netherlands	Poland	Russian Federation
Singapore	South Africa	Spain
Sweden	Switzerland	Ukraine
United Arab Emirates	United Kingdom	United States
Observers (5 States and 10 Organizations)		
Greece	Norway	Peru
Saudi Arabia	Turkey	ACAC
ACI	CANSO	EU
IATA	IBAC	ICCAIA
ICSA	IFALPA	UNFCCC

Table 1. CAEP Member States and Observer States and Organizations.

資料來源:ICAO Environmental Report 2016

圖 4.1 CAEP 組織成員

CAEP 為了應付航空產業所帶來的環境影響，因此設置9個小組，分別處理相關航空議題，同時各組可相互合作及討論，各小組任務描述如下(如圖4.2)。

#### 1. 影響和科學小組(Impacts and Science Group, ISG)

研究有關飛機排放顆粒物與氣體對氣候的影響，並評估將全球平均氣溫的增長比工業化前降低2°時，屆時對航空發展的限制及影響。

#### 2. 模式與數據小組(Modelling and Databases Group, MDG)

建立模式以支持其他CAEP團體的活動，並維護各種數據庫，如航

機起降、機隊和人口數據等資料。

3.航空碳排計算支援小組(Aviation Carbon Calculator Support Group, ACCS)

ACCS 團隊成功開發與更新了一種公正、透明的方法，可以計算旅客航空旅行所造成的二氧化碳排放量。

4.預測與經濟分析支援小組(Forecasting and Economic Analysis Support Group, FESG)

主要的工作是開發和維護必要的數據資料庫，同時提供經濟分析和機隊成長預測。它同時為 CAEP 內的其他團隊提供協助，包括牽涉多個工作團隊數據上合作的問題。

5.工作小組 1:航空器噪音技術議題(Working group 1, WG1:Aircraft Noise Technical Issues)

WG1 主要目的是維持國際航空器噪音認證標準更新與有效期( ICAO 附件 16, 第 1 卷), 同時確保認證程序盡可能簡單和便宜。

6.工作小組 2:機場與營運操作(Working group 2, WG2: Airports and Operations)

WG2 主要目的是解決機場和運營相關的飛機噪音和污染物排放問題。

7.工作小組 3:排放技術議題(Working group 3, WG3:Emissions Technical Issues)

WG3 主要目的是處理航空器性能和排放技術事項，包括更新 ICAO 附件 16 第 2 卷，與制定新的航空器二氧化碳排放標準，ICAO 附件 16 第 3 卷。

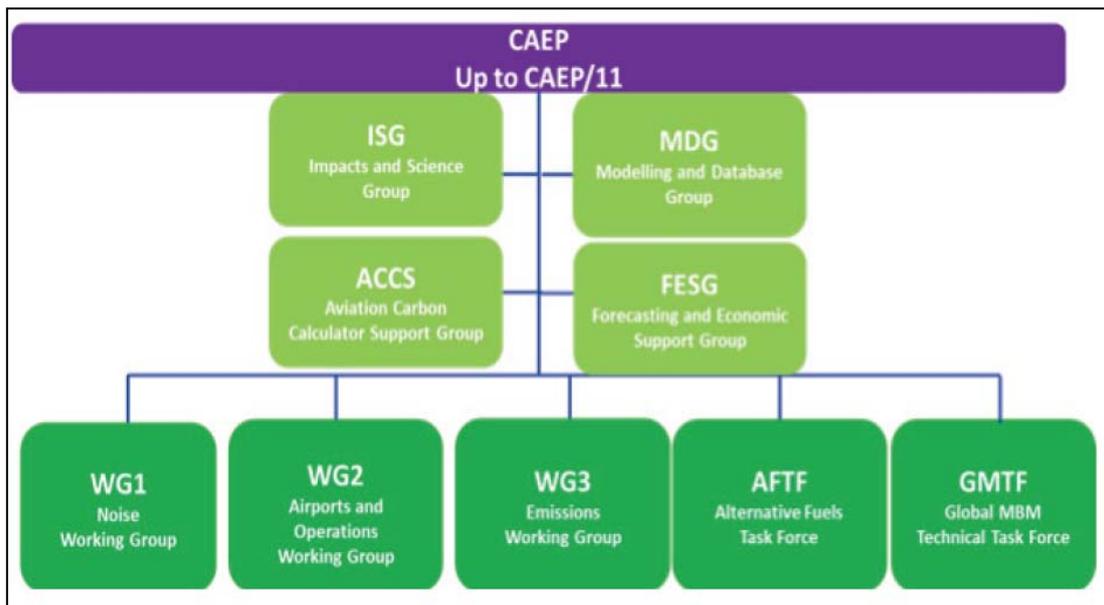
8.替代燃料工作小組(Alternative Fuels Task Force, AFTF)

AFTF 被授權評估在 2050 年之前，航空中使用替代燃料而減少排放

的潛在趨勢量。

#### 9. 全球市場機制技術工作小組 (Global Market Based Measure Technical Task Force, GMTF)

GMT 負責制定國際航空排放監測、報告和核查 (Monitoring, Reporting, Verification, MRV 系統) 的建議，以及用於國際航空全球市場措施的抵銷量 (Quality of Offset Remits)。

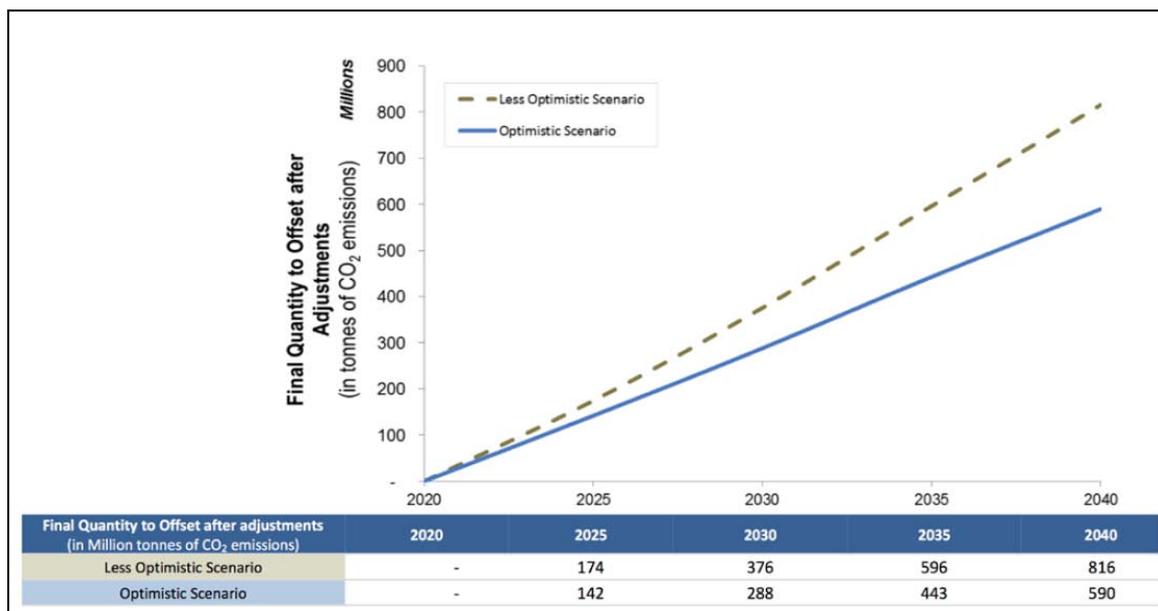


資料來源:ICAO Environmental Report 2016

圖 4.2 CAEP 任務編組

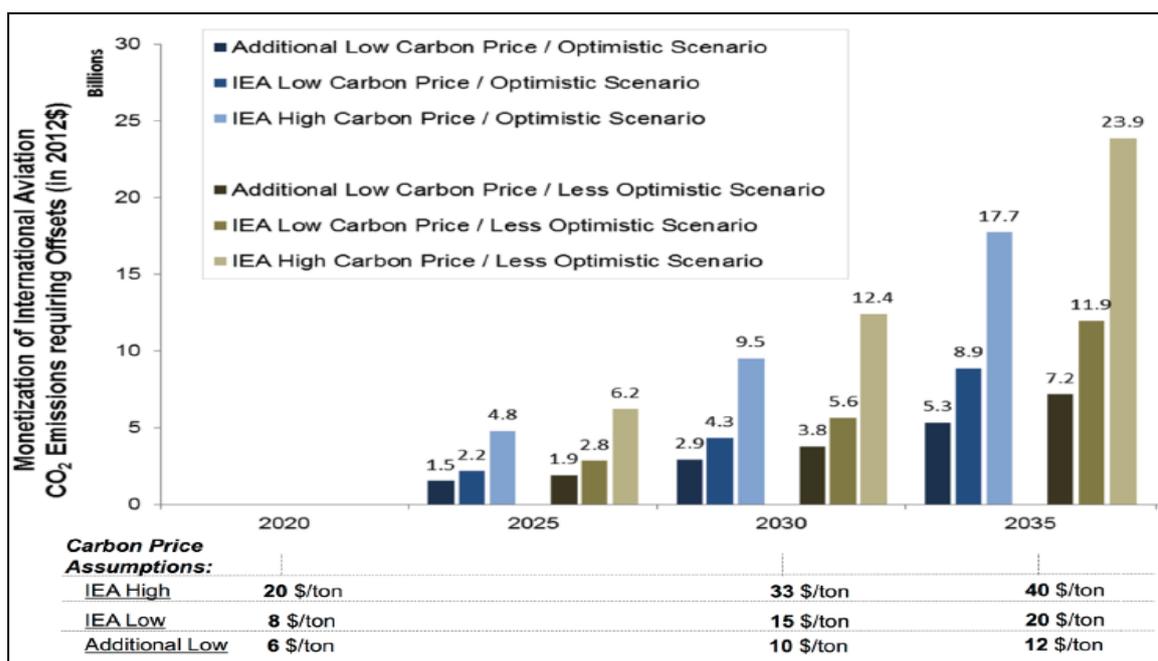
CAEP 同時預估未來 2025~2040 年航空碳排所需抵銷量(如圖 4.3)，其中 2025 年在較佳的情境下，排碳量為 142 百萬噸，較差的情境下，排碳量為 172 百萬噸；另 2035 年則為 443~596 百萬噸。

而碳抵銷成本因碳交易價格變動而調整，2025 年預計達到 15~62 億美金，估計占航空收益 0.2~0.6%，2035 年達到 53~239 億美金，估計占航空收益 0.5~1.4%(如圖 4.4)。



資料來源:ICAO Environmental Report 2016

圖 4.3 預估 2025~2040 年航空碳排所需抵銷量



資料來源:ICAO Environmental Report 2016

圖 4.4 不同情境下預估航空碳排所需抵銷金額

## 4.2 全球市場措施機制(GMBM)發展歷程

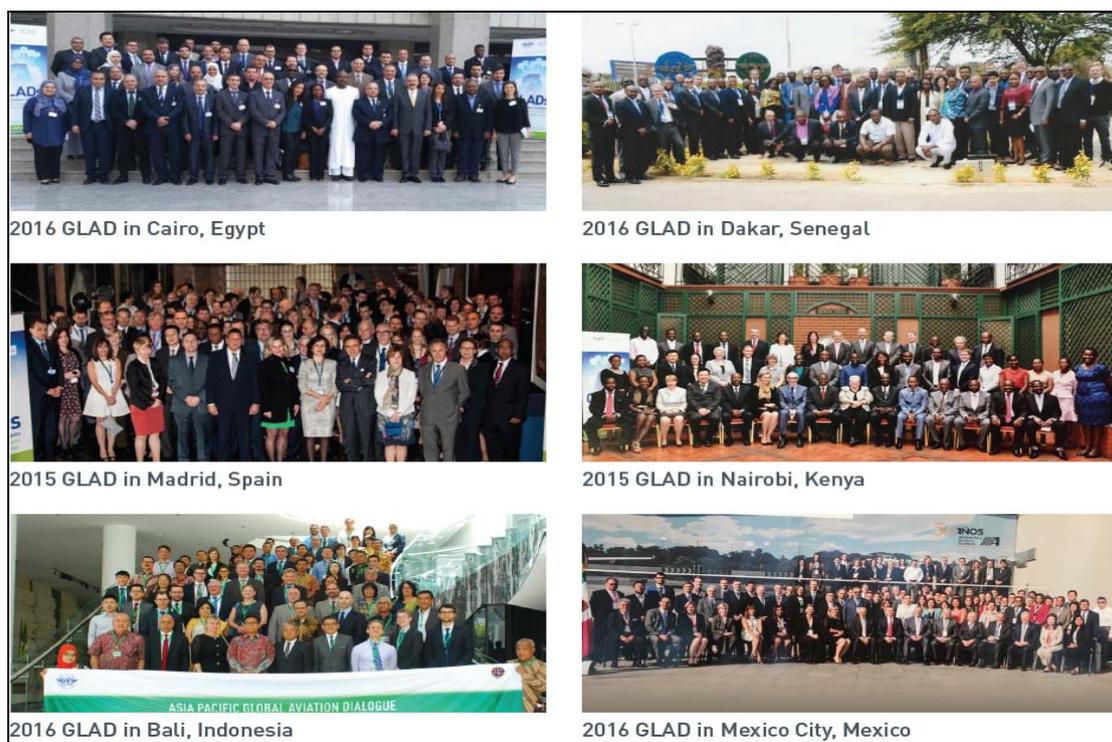
第 38 屆 ICAO 大會為了發展全球市場措施(Market Based Measure, MBM)方案，因此在 2014 年成立環境諮詢小組(Environment Advisory Group, EAG)，由 17 個理事會代表組成，期間召開 15 次會議，主要目的地為監督與製定全球 MBM 計畫相關的所有工作，並向理事會提出建議。同時 EAG 也會討論 CAEP 提出技術層面問題，如 1. 監控、報告、驗證(Monitoring, Reporting and Verification, MRV)，2. 排放單位標準(Emissions Unit Criteria, EUC)，3. 註冊管理(Registries)。

在這之後，ICAO 於 2015 年舉辦兩輪全球航空座談(Global Aviation Dialogues, GLADs)，第 1 輪在 2015 年 4 月份，分別在秘魯，肯尼亞，埃及，新加坡和西班牙舉行，共有 362 位參與者來自 72 個會員國及 22 國際組織；第 2 輪則在 2016 年 3~4 月份，分別在埃及，塞內加爾，印尼，荷蘭和墨西哥舉行，共有 390 位參與者來自 60 個會員國及 20 國際組織(如圖 4.5)。GLADs 是一個資訊分享和互相交流的論壇，而不是決策論壇，參與座談的單位也都同意全球 MBM 計畫放入 ICAO 第 39 屆大會中審議。

CAEP 於 2016 年 2 月召開第 10 次會議，檢視 GMBM 計畫與技術工作，同時提供 ICAO 第 39 次大會相關建議，而 CAEP 底下 GMTF 工作小組預定 2016~2019 年持續提供後續技術建議以實施全球 MBM 計畫。另外於 2016 年 1 月理事會成立了一個全球市場措施機制計畫更高層級的小組，以促進對全球 MBM 計畫提案意見的收斂，這個小組考慮到區域代表公平性，因此由理事會中 18 個會員國選出高層級航空公司或運輸代表來組成，而該小組於 2016 年 2 月和 4 月舉行會議，並在提案收斂方面取得進展；為了進一步推展全球 MBM 計畫，於 2016 年 5 月在蒙特利爾舉行了全球 MBM 計畫高層級會議，目的是促進各方能對全球 MBM 提案有更深入的討論。

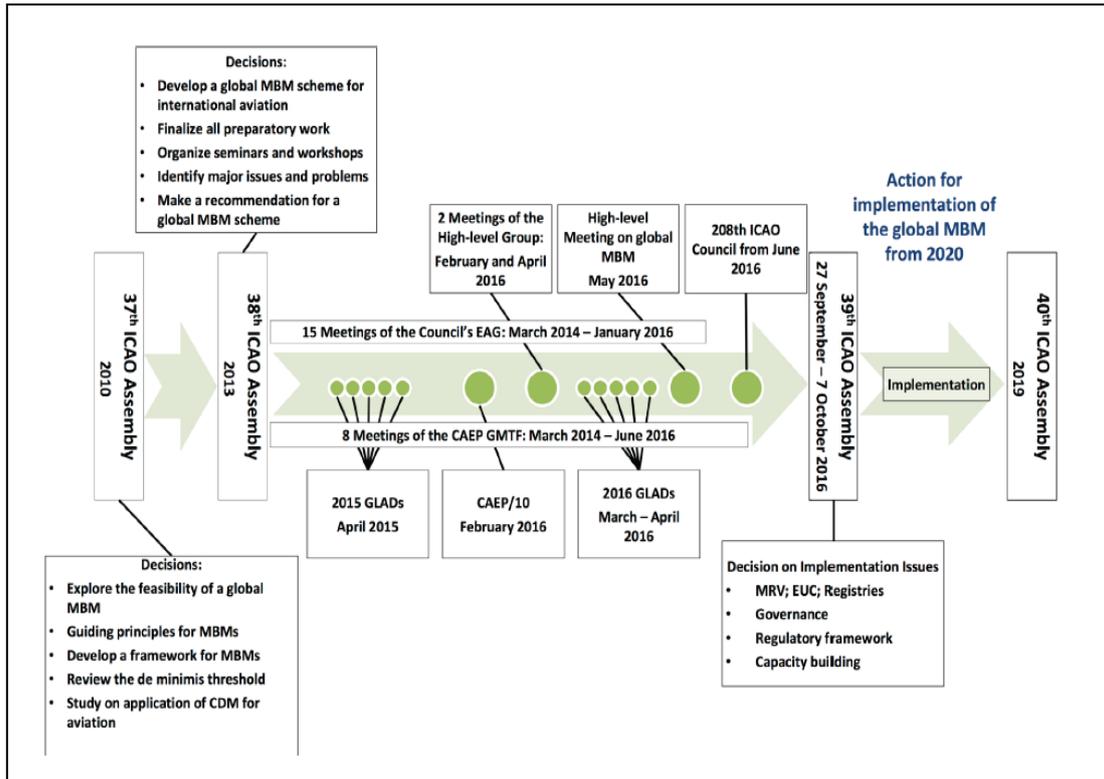
會議成果由國際民航組織理事會於 6 月份審議，之後理事會請各國就大會決議全球 MBM 計畫草案進行雙邊和多邊協商。“Friends of the President”非正式小組會議於 2016 年 8 月 22 日至 23 日在加拿大蒙特利爾舉行，以評估磋商結果，並製定妥協案文供理事會審議，隨後提交給第 39 屆國際民航組織大會，整體流程如圖 4.6 所示。

2016 年 10 月 6 日國際民航組織第 39 屆大會通過了「國際民航組織關於環境保護的持續政策和做法的綜合聲明—氣候變化」和「國際民航組織關於環境保護的持續政策和做法的綜合聲明—全球市場措施機制」兩份重要文件，建立了第一個全球性行業減排市場機制(如圖 4.7)。



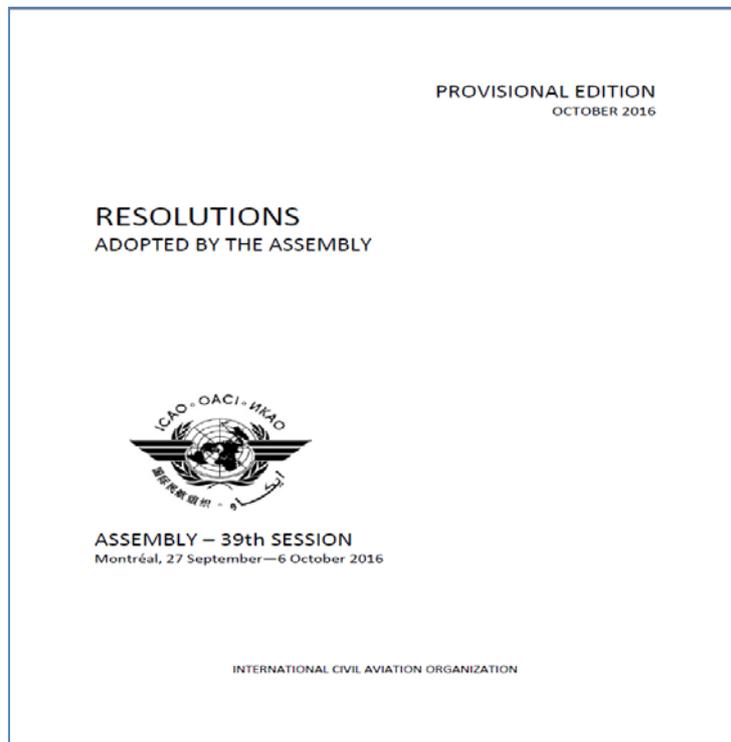
資料來源:ICAO Environmental Report 2016

圖 4.5 全球航空座談(Global Aviation Dialogues, GLADs)



資料來源:ICAO Environmental Report 2016

圖 4.6 全球市場措施機制(GMBM)發展流程圖



資料來源: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/market-based-measures.aspx>

圖 4.7 國際民航組織公布之重要文件(1)

**A39-3: Consolidated statement of continuing ICAO policies and practices related to environmental protection – Global Market-based Measure (MBM) scheme**

*Whereas* Assembly Resolution A38-18 decided to develop a global market-based measure (GMBM) scheme for international aviation, for decision by the 39th Session of the Assembly;

*Recalling* that Assembly Resolution A38-18 requested the Council, with the support of Member States, to finalize the work on the technical aspects, environmental and economic impacts and modalities of the possible options for a GMBM scheme, including on its feasibility and practicability, taking into account the need for development of international aviation, the proposal of the aviation industry and other international developments, as appropriate, and without prejudice to the negotiations under the UNFCCC;

*Also recalling* that Assembly Resolution A38-18 requested the Council, with the support of Member States, to identify the major issues and problems, including for Member States, and make a recommendation on a GMBM scheme that appropriately addresses them and key design elements, including a means to take into account special circumstances and respective capabilities, and the mechanisms for the implementation of the scheme from 2020 as part of a basket of measures which also include technologies, operational improvements and sustainable alternative fuels to achieve ICAO's global aspirational goals;

*Recognizing* that ICAO is the appropriate forum to address emissions from international aviation, and the significant amount of work undertaken by the Council, its Environment Advisory Group (EAG) and its Committee on Aviation Environmental Protection (CAEP) to develop a recommendation for a GMBM scheme and its design elements and implementation mechanisms, including the analyses of various approaches for distribution of obligations;

*Further recalling* that Assembly Resolution A38-18 requested the Council, with the support of Member States, to organize seminars, workshops on a GMBM scheme for international aviation participated by officials and experts of Member States as well as relevant organizations;

*Recognizing* the convening of two rounds of Global Aviation Dialogues (GLADs) seminars held in 2015 and 2016 for all regions;

*Noting* the support of the aviation industry for a single global carbon offsetting scheme, as opposed to a patchwork of State and regional MBMs, as a cost effective measure to complement a broader package of measures including technology, operations and infrastructure measures;

*Recognizing* that MBMs should not be duplicative and international aviation CO<sub>2</sub> emissions should be accounted for only once;

*Emphasizing* that the decision by the 38th Session of the Assembly to develop a global MBM scheme for international aviation reflects the strong support of Member States for a global solution for the international aviation industry, as opposed to a possible patchwork of State and regional MBMs;

*Reaffirming* the concern with the use of international civil aviation as a potential source for the mobilization of revenue for climate finance to the other sectors, and that MBMs should ensure the fair treatment of the international aviation sector in relation to other sectors;

資料來源: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/market-based-measures.aspx>

## 圖 4.7 國際民航組織公布之重要文件(2)

### 4.3 全球市場措施機制(GMBM)發展內容

本研究依據 ICAO 第 39 屆大會公布的決議文及通過的國際航空碳抵換及減量計畫(Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation, CORSIA)，重點摘錄國際航空碳排管理後續發展的最新情況如下。

#### 1.CORSIA 實施期程及實施對象

整個計畫的實施期程可分為 3 個階段，規範對象僅有國際航線，並由各航空業者負責其增加碳排放量的抵銷；此外，CORSIA 僅涵蓋出發地和目的地所在國家都有參加計畫的國際航線。

- (1) 示範階段(Pilot phase): 2021~2023 年，實施對象為 ICAO 會員國，屬自願參加；
- (2) 第一階段(First phase): 2024~2026 年，實施對象為 ICAO 會員國，屬自願參加；
- (3) 第二階段(Second phase)：2027~2035 年，實施對象為符合以下條件之一者：
  - ① 2018年其國際航空客貨運量占全球總RTKs 0.5%以上的國家；
  - ② RTKs由高至低排序，包含於累計前90%的國家。

#### 2.CORSIA 豁免及排除條件

通過的 CORSIA 計畫中並有條列其豁免與排除條件，分述如下：

- (1) 豁免條件：有下列情況時，該國家可免於參加 CORSIA 計畫。
  - ① 最低度開發國家(Least Developed Countries ,LDCs)；
  - ② 小島嶼開發中國家(Small Island Developing States ,SIDS)；
  - ③ 內陸開發中國家(Landlocked Developing Countries ,LLDCs)。
- (2) 排除條件：有下列情況時，該航空公司可免於參加 CORSIA 計

畫。

- ① 新成立的航空公司前3年免責，但排放量如超過2020年總排放量的0.1% 時，將直接納入管制；
- ② 航空公司每年產生的排放量不到10,000公噸；
- ③ 航空器最大起飛重量(MTOM)小於5,700公斤；
- ④ 進行人道主義、醫療、消防作業。

### 3.CORSIA 抵換量計算方式

CORSIA 計畫係採 5 階段(每階段 3 年期)實施(如圖 4.8)，前 3 期採平均產業(Sectoral)責任，後 2 期逐步加重個體(Individual)責任，其抵換量的計算方式分述如下：

- (1)航空器營運者抵換要求=[產業部分百分比×(特定年份 CORSIA 所涵蓋的航空器營運者排放量×既定年份產業的增長因子)]+[個別部分百分比×(特定年份 CORSIA 所涵蓋的航空器營運者排放量×既定年份航空器營運者的增長因子)]；
- (2)產業的增長因子=(特定年份 CORSIA 所涵蓋的總排放量-2019 至 2020 年所涵蓋的平均總排放量)/特定年份 CORSIA 所涵蓋的總排放量；
- (3)航空器營運者的增長因子=(特定年份 CORSIA 所涵蓋的航空器營運者總排放量-2019 至 2020 年所涵蓋的航空器營運者平均總排放量)/特定年份 CORSIA 所涵蓋的航空器營運者總排放量；
- (4)產業部分百分比=(100%-個別部分百分比)；
- (5)產業部分百分比與個別部分百分比適用下列情況：
  - ① 2021~2023年，產業部分百分比為100%與個別部分百分比為0%；
  - ② 2024~2026年，產業部分百分比100%與個別部分百分比為

0%；

- ③ 2027~2029年，產業部分百分比100%與個別部分百分比為0%；
- ④ 2030~2032年，理事會將在2028年向大會建議是否對個別部分百分比作調整，至少為20%；
- ⑤ 2033~2035年，理事會將在2028年向大會建議是否對個別部分百分比作調整，至少為70%。

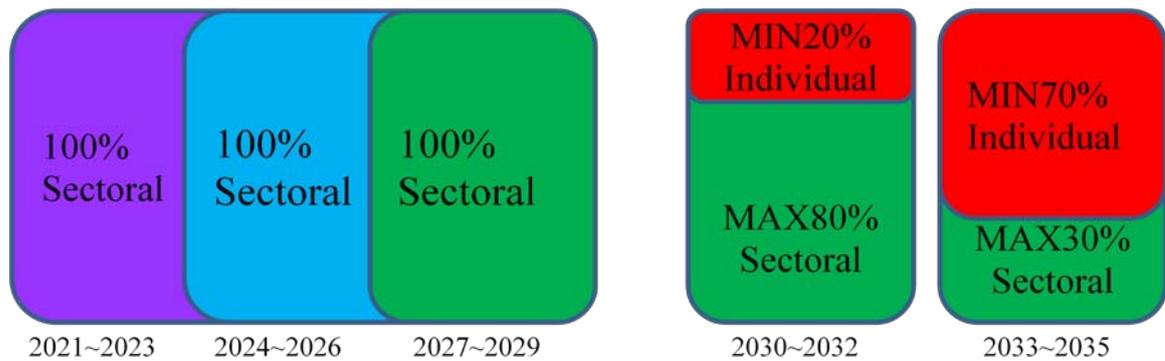


圖 4.8 抵換量計算方式示意圖

#### 4.CORSIA 抵換量計算範例說明

某國航空產業中有 3 家航空公司(A、B、C)在經營，各年碳排情形假設如表 1 所示，而航空公司 A 於 2022 年及 2033 年須抵換的碳量計算如下：

(1)2022 年航空公司 A 的抵換要求

$$=348 \times (728 - 671.5) / 728 \times 100\% = 27 \text{ (萬公噸)}。$$

(2)2033 年航空公司 A 的抵換要求

$$=420 \times (837 - 671.5) / 837 \times 30\% + 420 \times (420 - 325) / 420 \times 70\% = 91.4 \text{ (萬公噸)}。$$

表 4-1 範例碳排放量

年份	2019~2020 年 平均排放量	2022 年 排放量	2033 年 排放量
某國航空產業	671.5	728	837
該國航空公司 A	325.0	348	420
該國航空公司 B	282.5	303	322
該國航空公司 C	64.0	77	95

單位：萬公噸。  
本研究計算。

## 5. CORSIA 數據提報方式

CORSIA 計畫亦規定數據提報的方式：

- (1) 航空器營運者向航空器登記國指定的註冊處報告所需的資料。
- (2) ICAO 會設立一個統一的中央註冊處，並於 2021 年 1 月 1 日之前開始運作。
- (3) 各國(會員國)按照 ICAO 的指導，設立國內註冊處或集體(聯合)註冊處，制定必要的安排，或為參加其他註冊處作出安排。

## 6. 國際間參與 CORSIA 計畫現況

CORSIA 將分 3 階段實施，試辦階段（2021 年~2023 年）和第一階段（2024 年~2026 年）可自願參加，目前已有 72 國簽署(如圖 4.9，截至 2017.8)。目前參與 CORSIA 的多為已開發國家（約占 2/3），雖然中國大陸、印尼、土耳其和阿拉伯聯合大公國都已加入，但快速成長的開發中國家目前仍僅占 1/3。

As of 23 August 2017, 72 States, representing 87.7% of international aviation activity, intend to voluntarily participate in the global MBM scheme from its outset.

State	Response to SL ENV 6/1-16/87*	Other Sources
1 Albania		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414
2 Armenia		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414
3 Australia	27/09/2016	
4 Austria		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414; High Ambition Coalition
5 Azerbaijan		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414
6 Belgium		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414; High Ambition Coalition
7 Bosnia and Herzegovina		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414
8 Botswana		Government of Botswana
9 Bulgaria		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414; High Ambition Coalition
10 Burkina Faso		Statement at ICAO 39th Assembly
11 Canada	16/09/2016	Canada, Mexico & U.S. Leaders' Joint Statement; G7 Transport Minister's Joint Statement
12 China		China & U.S. Leaders' Joint Statement (ch); China & U.S. Leaders' Joint Statement; U.S.-China Climate Change Cooperation Outcomes
13 Costa Rica	10/10/2016	Government of Costa Rica (es)
14 Croatia		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414; High Ambition Coalition
15 Cyprus		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414; High Ambition Coalition
16 Czech Republic	27/09/2016	Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414; High Ambition Coalition
17 Denmark		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414; High Ambition Coalition
18 El Salvador		Government of El Salvador (es)
19 Estonia		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414; High Ambition Coalition
20 Finland		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414; High Ambition Coalition
21 France		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414; High Ambition Coalition; G7 Transport Minister's Joint Statement
22 Gabon		Government of Gabon (fr)
23 Georgia		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414
24 Germany	20/09/2016	Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414; High Ambition Coalition; G7 Transport Minister's Joint Statement
25 Greece		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414; High Ambition Coalition
26 Guatemala		Government of Guatemala (es)
27 Hungary		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414; High Ambition Coalition
28 Iceland		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414
29 Indonesia		ICAO A39-WP/211
30 Ireland		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414; High Ambition Coalition
31 Israel		Statement at ICAO 39th Assembly
32 Italy	23/09/2016	Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414; High Ambition Coalition

資料來源: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/market-based-measures.aspx>

圖 4.9 參與 CORSIA 計畫國家摘要(1)

33 Jamaica	20/06/2017	Official communication to the President of the ICAO Council	46 New Zealand	23/09/2016	Government of New Zealand
34 Japan	20/09/2016	Government of Japan; G7 Transport Minister's Joint Statement	47 Nigeria		Government of Nigeria
35 Kenya	16/09/2016		48 Norway		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414
36 Latvia		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414; High Ambition Coalition	49 Papua New Guinea		Statement at ICAO 39th Assembly
37 Lithuania		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414; High Ambition Coalition	50 Poland		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414; High Ambition Coalition
38 Luxembourg		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414; High Ambition Coalition	51 Portugal		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414; High Ambition Coalition
39 Malaysia	16/09/2016		52 Qatar		Government of Qatar
40 Malta		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414; High Ambition Coalition	53 Republic of Korea	23/09/2016	
41 Marshall Islands		Government of the Marshall Islands; High Ambition Coalition	54 Republic of Moldova		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414
42 Mexico		Canada, Mexico & U.S. Leaders' Joint Statement (es); Canada, Mexico & U.S. Leaders' Joint Statement; High Ambition Coalition; Government of Mexico (es)	55 Romania		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414; High Ambition Coalition
43 Monaco		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414	56 San Marino		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414
44 Montenegro		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414	57 Saudi Arabia		Official communication to the President of the ICAO Council
45 Netherlands		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414; High Ambition Coalition	58 Serbia		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414
			59 Singapore		Government of Singapore
			60 Slovakia		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414; High Ambition Coalition
			61 Slovenia		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414; High Ambition Coalition
			62 Spain		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414; High Ambition Coalition

資料來源: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/market-based-measures.aspx>

圖 4.9 參與 CORSIA 計畫國家摘要(2)

63	Sweden		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414; High Ambition Coalition
64	Switzerland	16/09/2016	Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414
65	Thailand		Statement at ICAO 39th Assembly
66	The former Yugoslav Republic of Macedonia		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414
67	Turkey		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414
68	Ukraine		Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414
69	United Arab Emirates	22/09/2016	
70	United Kingdom	19/09/2016	Bratislava Declaration; ICAO A39- WP/414; High Ambition Coalition; G7 Transport Minister's Joint Statement
71	United States	03/11/2016	Canada, Mexico & U.S. Leaders' Joint Statement; China & U.S. Leaders' Joint Statement; G7 Transport Minister's Joint Statement
72	Zambia	07/10/2016	

資料來源: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/market-based-measures.aspx>

圖 4.9 參與 CORSIA 計畫國家摘要(3)

## 五、國際民航組織其他減碳措施技術發展狀況

國際民航組織除了積極推動 CORSIA 計畫外，也針對其他可以減少航空器碳排的方式持續研究發展中，其中包括：1.航空器技術的改進、2.航空器運行最佳化 3.替代燃油的發展，相關內容分別摘述如下。

### 5.1 航空器技術的改進

航空產業主要是提供旅客及貨物安全服務為主，不過也開始重視減少營運對環境的衝擊，而為了達成這個目標，航空器機體、引擎與系統製造商持續努力發展創新技術，其中現代化的機體設計與高效率引擎將是減少碳排重要的項目，因此新的引擎技術與機體設計將可有效減少燃油消耗，並且達成 2020 年碳中和目標的工具，不過仍有許多的挑戰包括技術方面、經濟議題等，但是航空安全還是最重要的。

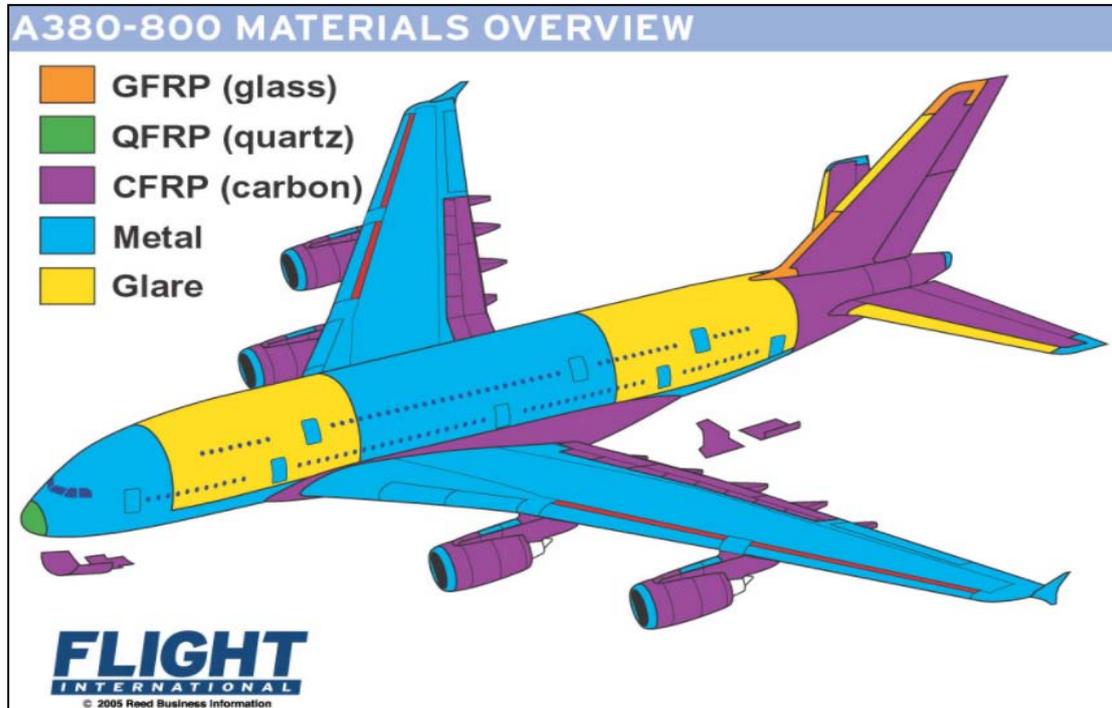
#### 1.機體與引擎改善

減少機體重量是一個減少燃油消耗的方式，航空器空重越輕時，燃油效率也更好，而高旁通比(High ByPass Ratio, BPR) 的發動機由於提高了推進效率，因此提供更低的油耗，有助於提高碳排效率。其中新一代機型包括 A380、Boeing787、Airbus A350、Bombardier's C 系列，都是提高燃油效率系列，另外同時這些機型機體的共通特性就是以複合材料取代傳統鐵鋁材料。

A380 是較早使用複合材料的案例(如圖 5.1)，整個機體約有 25% 的量，另外 Bombardier C 系列則有 20% 使用的量，大部分使用的地方在航機中間與後面的部分，包括機身、機尾、尾翼與兩翼。

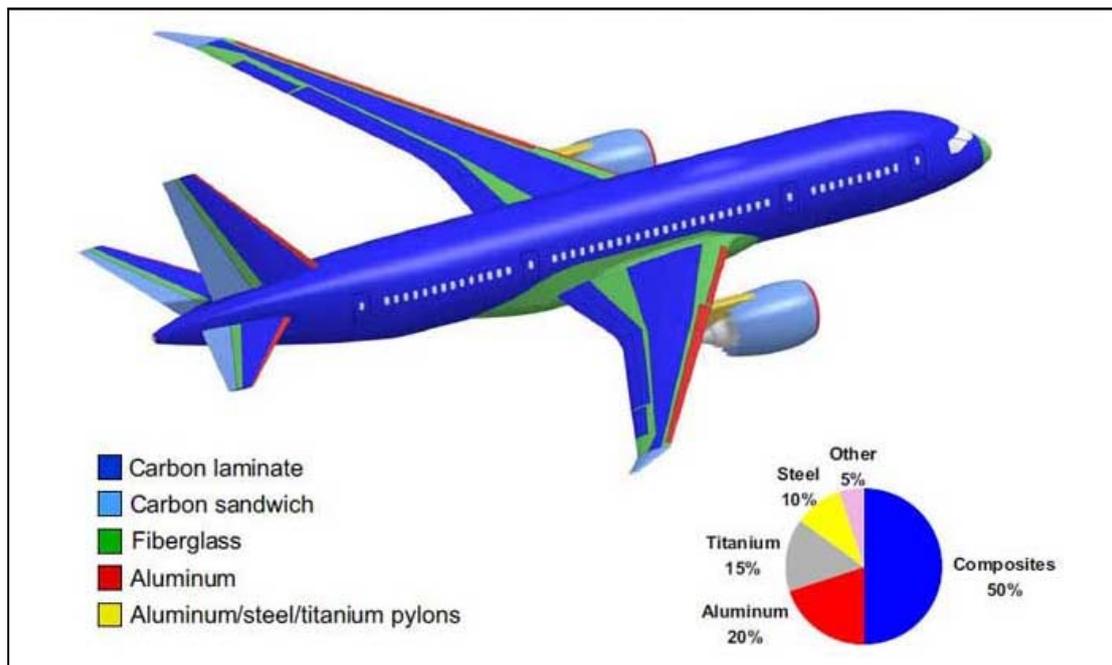
最近推展碳纖維增強塑料簡稱碳纖塑料(Carbon Fibre Reinforced Plastic, CFRP)技術，機體使用也達 50% 以上；另外同時也使用先進材料如鈦與鋁合金，這些材料的結合減輕了機體的重量，因此燃油消耗也降低。以 Boeing 787 為例(如圖 5.2)，機體組成中複合材料使

用已占 50%，鈦與鋁合金材料也占 35%，有效減輕機身重量；另 Airbus A350XWB 機體組成如圖 5.3 所示，複合材料使用也已達到 52%，鈦與鋁合金材料也有占 34%。



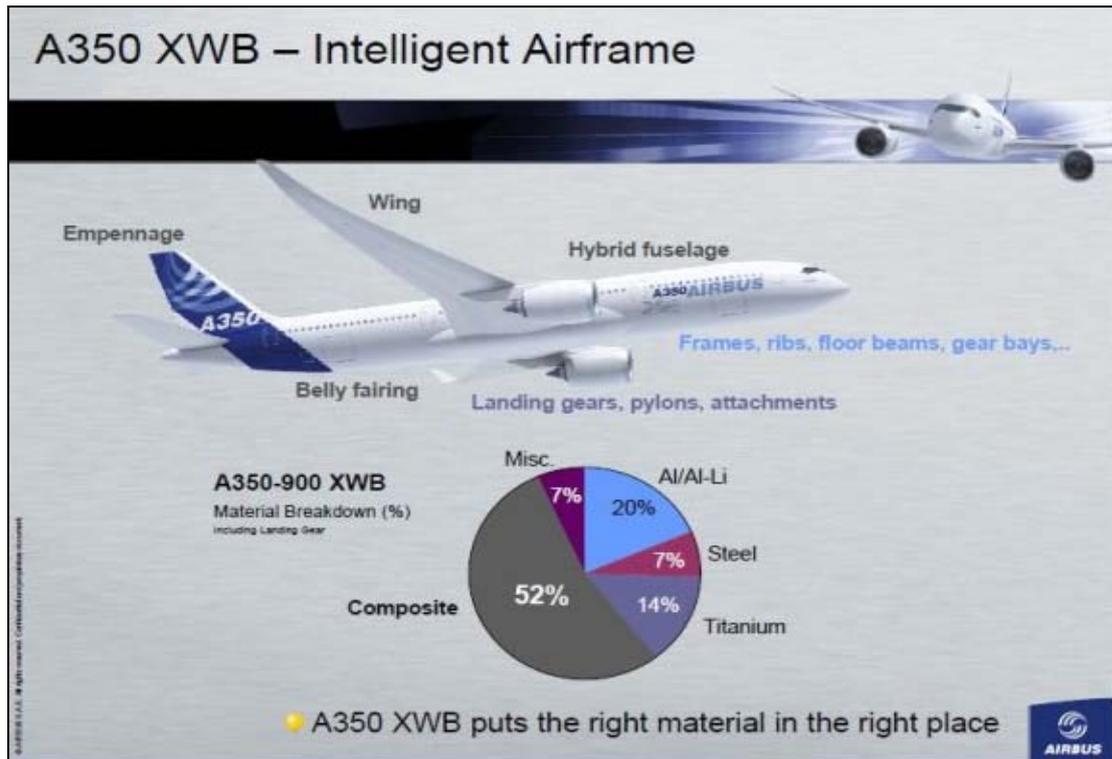
資料來源: <https://leehamnews.com/2017/01/18/filling-middle-market-gap/>

圖 5.1 Airbus A380 機體構造示意圖



資料來源: <http://www.1001crash.com/index-page-composite-1g-2.html>

圖 5.2 Boeing 787 機體構造示意圖



資料來源: <http://scribol.com/technology/aviation/airbus-a350-composites-on-trial-part-i/>

圖 5.3 Airbus A350 XWB 機體構造示意圖

## 2. 國際間航空器相關發展及管制計畫

(1) 美國國家航空暨太空總署 (National Aeronautics and Space Administration, NASA) 航空環境責任計畫 (Environmentally Responsible Aviation, ERA)，主要是研究先進機體的外型布置，以減少阻力，並希望在 2025 年提供服務，預期成果將可飛機阻力減少 8%，機體重量減少 10%，引擎能源消耗減少 15%，NO<sub>x</sub> 減少 75%，噪音減少 1/8。

(2) 歐盟提出的 CleanSky 主要是發展一系列提升燃油效率，並減低排放的系統，其目標是達到歐洲航空研究顧問委員會 (Advisory Council for Aeronautics Research in Europe's, ACARE) 2020 年要求，減少燃油消耗，並降低碳排 50% (以 2000 年基準)，降低噪音 50%，降低 NO<sub>x</sub> 80%。另 2050 年的策略目標則是希望碳排減少 75%，NO<sub>x</sub> 減少 90%，噪音減少 65% (與 2000 年相比)。

(3)美國聯邦航空總署(Federal Aviation Administration, FAA)進行持續降低能源、排放和噪音計畫(Continuous Lower Energy, Emissions and Noise ,CLEEN) ，主要是加速飛機技術在環境承諾的發展與商業布置，目標包含減少噪音 32dB、減少飛機起飛與降落 60% 的 NOx 排放量，並低於 2004 ICAO 的標準、減少燃油消耗 33%、使用替代能源等。CLEEN 將協助達成 2020 年碳中合的目標(2005 為基準) ，因此將加速協助現有的商業機隊使用新的技術在引擎與飛機改造上。其中有些開發成熟的技術，包括噪音降低發動機噴嘴，更輕及更高效率的燃油渦輪發動機零件，先進的機翼後緣，使用機載飛行管理系統優化飛行軌跡及傳動渦輪風扇發動機等。

(3)ICAO 理事會通過新的航空器二氧化碳排放標準，2017 年 3 月 6 日在 ICAO 蒙特婁總部，36 個理事國組成的 ICAO 理事會，正式通過一項特別決議-新航空器二氧化碳排放標準，該標準將減少航空溫室氣體排放對全球氣候影響。目的是藉由鼓勵飛機設計及開發過程中採用節油新技術，確保老舊飛機儘快更新，被更高效的飛機取代，從而降低整個航空業的二氧化碳排放量。該標準適用於 2020 年以前新型航空器機型設計與 2023 年以前生產之機型設計，另外已經投產航空器則須於 2028 年前達到標準。

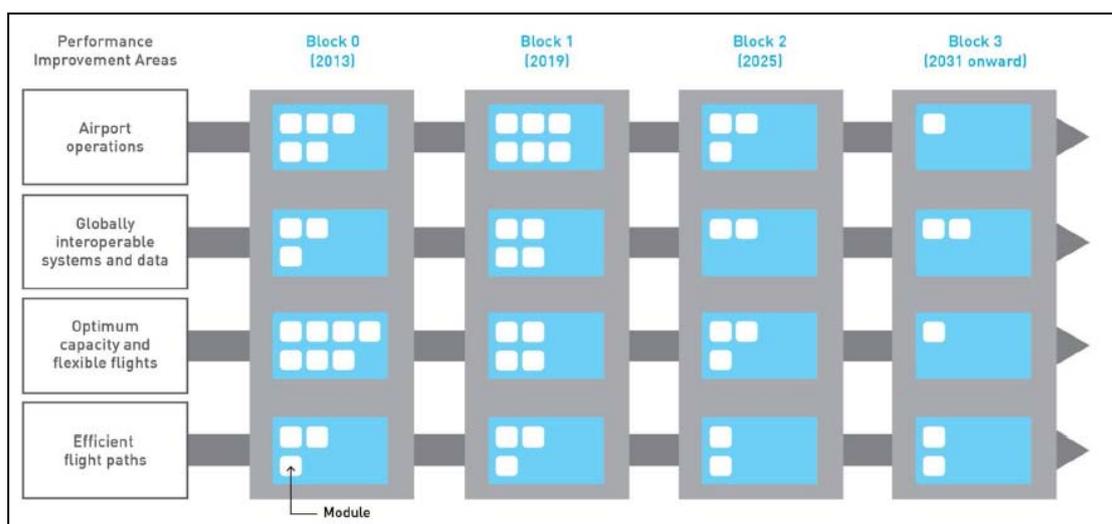
## 5.2 航空器航行最佳化

ICAO 為提升航空器航行效率及持續提升全球航網安全，遂以全球策略層次提出第「全球空中航行計畫 (Global Air Navigation Plan, GANP)」，用以整合未來 20 年航電裝備性能、飛航服務地面基礎設施、自動化等面向及其共同推動進度，進而促進全球飛航系統的容量與效率，並同時保持或增進飛行安全。

ICAO 之飛航會議(Air Navigation Conference, ANC)，約每隔 10 年舉辦，其中第 12 次飛航會議於 2012 年 11 月舉行，ANC 提出第 4 版 Doc 9750 全球空中航行計畫草案，經理事會核可，並於 2013 年 9 月召開之 ICAO 第 38 次會員大會(Assembly)採納，第 4 版 GANP 主要納入飛航系統提升(Aviation System Block Upgrades, ASBU)，而 GANP 平均每 3 年修訂並提交 ICAO 會員大會。

第 5 版 GANP 連同 ASBU 文件已由 ANC 遞交 ICAO Council 核可，並提交 2016 年 9 月召開之 ICAO 第 39 次會員大會討論，其中小幅度修正，包括將各區段時程由 5 年調整為 6 年，而第 6 版 GANP 預計 2019 年發布，適為 Block 1 啟始年，預期將較大幅度修訂，而藉由 ASBU 相關措施將可有效提升航空器運行效率，以節省燃油消耗。

1. ASBU 計有 51 個改善項目(Module)，依執行之時間，分於 4 個區段(Block)，依執行之範疇，分為 4 個改善區域(Performance Improvement Area, PIA)，相關架構及期程如圖 5.4 所示。



資料來源：ICAO Environmental Report 2016

圖 5.4 ASBU 關係架構及改善時間表

2.2013 年起，分為 4 個區段(Block)，Block 0 至 Block 3，每個區段期程為 6 年，區段(Block)表示各個 Module 建議推行時間，Block 0 之項目為當前已可推行，即已有可支援之科技，ICAO 已有相關標準，且已有國家或地區推行，後續 Block 階段屆時應可有所需之支援科技與標準。

3.Module 依執行之範疇，分為 4 個改善區域(Performance Improvement Area, PIA)，相關改善措施如表 5-1~表 5-4 所示。

表 5-1 機場運作(Airport Operations)

	Block 0	Block 1	Block 2	Block 3
機場接近性 (Airport Accessibility, APTA)	B0-APTA 進場程序之最佳化，包含垂直引導。	B1-APTA 進場程序之最佳化，包含垂直引導。		
機尾亂流隔離 Wake Turbulence Separation (WAKE)	B0-WAKE 增加跑道容量-考慮機尾亂流之隔離最佳化。	B1-WAKE 增加跑道流量-考慮動態機尾亂流之隔離。	B2-WAKE 進階機尾亂流隔離。	
跑道排序(Runway Sequencing) (RSEQ)	B0-RSEQ 藉由航機跑道排序功能，增進空中交通流量 (AMAN/DMAN)。	B1-RSEQ 離到場管理之改善。	B2-RSEQ 連結 AMAN/DMAN。	B3-RSEQ 整合 AMAN/DMAN/SMA N。
地面操作 Surface Operations (SURF)	B0-SURF 改善跑道操作安全與效率。	B1-SURF 強化道面操作安全與效率。	B2-SURF 道面路徑最佳化與安全效益。	

機場協調整合決策 (Airport Collaborative Decision-Making, ACDM)	B0-ACDM 藉由A-CDM增進機場作業效率。	B1-ACDM 藉由A-CDM機場管理優化機場作業。		
遠端空中交通服務 (Remote Air Traffic services ,RATS)		B1-RATS 遠端塔臺控制。		

本研究整理。

表 5-2 全球互通的系統與資料(Globally Interoperable Systems and Data)

	Block 0	Block 1	Block 2	Block 3
FF/ICE (FICE)	B0-FICE 增加地對地系統互通能力「空中交通服務設施間數據通訊(ATC Interfacility Data Communications ,AIDC)」。	B1-FICE 透過AIDC及FF-ICE/1, 增加地對地系統互通能力, 其中FF-ICE為所有地面及空中之資料訊息均透過泛領域資訊管理(SWIM)進行交換及運算。	B2-FICE 地對地系統整合(FF-ICE/1 and Flight Object, SWIM)。	B3-FICE 藉由全面應用FF-ICE改善操作性能。
數位ATM訊息 (Digital ATM Information ,DATM)	B0-DATM 數位航空訊息管理服務改善。	B1-DATM 整合全部數位ATM訊息服務。		
泛領域資訊管理 (System-Wide Information Management, SWIM)		透過泛領域資訊管理(SWIM)改善效能。	B2-SWIM 藉由SWIM實現機上參與ATM協調整合。	
先進的氣象資訊 (Advanced Meteorological Information, AMET)	B0-AMET 氣象資訊增進操作效率與安全。	B1-AMET 藉由整合氣象資訊增進操作決策。		B3-AMET 藉由整合氣象資訊增進操作決策。

本研究整理。

表 5-3 最佳容量和彈性飛航(Optimum Capacity and Flexible Flights)

	Block 0	Block 1	Block 2	Block 3
自由航路操作 Free-Route Operations (FRTO)	B0-FRTO 強化航路軌跡運算。	B1-FRTO 最佳化ATS航路計算。		
網路操作(Network Operations ,NOPS)	B0-NOPS 透過網路作業計畫，改善 流管能力。	B1-NOPS 透過網路作業計畫，增 強流管效果。	B2-NOPS 使用者利用動態 網 路安排優先順序。	B3-NOPS 航情複雜度管理。
替代監控 (Alternative Surveillance, ASUR)	B0-ASUR 初步的地面監視能力。			
空降隔離(Airborne Separation, ASEP)	B0-ASEP 空中航情告知。	B1-ASEP 透過航機隔離管理，提 高容量和效率。	B2-ASEP 空中隔離。	
最佳飛行高度 (Optimum Flight Levels, OPFL)	B0-OPFL 使用ADS-B改善爬升/下 降程序以獲得最佳飛行路 徑。			
機載避撞系統 (Airborne Collision Avoidance Systems, ACAS)	B0-ACAS ACAS改善。		B2-ACAS 新避撞系統。	
安全網(Safety Nets,SNET)	B0-SNET 提高地面安全網的效能 (Increased effectiveness of ground-based safety nets)	B1-SNET 進場地面安全網 (Ground-based safety nets on approach)		

本研究整理。

表 5-4 高效率飛行路徑(Efficient Flight Path)

	Block 0	Block 1	Block 2	Block 3
持續下降操作 (Continuous Descent Operations, CDO)	B0-CDO 以不中斷下降方式，增進彈性與效率	B1-CDO 使用VNAV在下降階段增進彈性與效率	B2-CDO 使用VNAV在下降階段增進彈性與效率	
基於軌跡的操作 (Trajectory- Based Operations ,TBO)	B0-TBO 透過航路資料鏈結改善安全與增進效率。	B1-TBO 透過初始軌跡運算，改善航情量同步化。		B3-TBO 4維度軌跡運算作業。
連續爬升操作 (Continuous Climb Operations ,CCO)	B0-CCO 以不中斷爬升方式，增進彈性與效率			
無人機遠端遙控系統(Remotely Piloted Aircraft Systems, RPAS)		B1-RPAS 整合無人機遠端遙控系統在非隔離空域。	B2-RPAS 無人機遠端遙控系統交通整合。	B3-RPAS 無人機遠端遙控系統透明管理。

本研究整理。

4.ICAO 亞太區辦公室於 2016 年 9 月發佈之第 2.0 版 Asia/Pacific Seamless ATM Plan(APSAP)中，已完成對於亞太區之「組塊 0 (2013 至 2019 年)」規劃。其中將各效能改善項目排定施行優先順序，分為關鍵更新項目（第 1 優先）、建議更新項目（第 2 優先）及視需要施行項目（第 3 優先），詳如附表 5-5 所示。

表 5-5 亞太地區 ASBU 組塊 0 內施行優先順序

PIA	Element	Economic Analysis	Priority
PIA 1	B0-APTA Optimization Of Approach Procedures Including Vertical Guidance	-	1
	B0-ACDM Improved Airport Operations Through Airport-Collaborative Decision-Making (A-CDM)	-	2
	B0-RSEQ Improve Traffic Flow Through Runway Sequencing (AMAN/DMAN)	-	2
	B0-SURF Safety and Efficiency Of Surface Operations (A-SMGCS)	Yes	3

	B0-WAKE Increased Runway Throughput Through Optimized Wake Turbulence Separation	-	3
PIA 2	B0-FICE Increased Interoperability, Efficiency And Capacity Through Ground-Ground Integration (AIDC)	-	1
	B0-DATM Service Improvement Through Digital Aeronautical Information Management	-	1
PIA 3	B0-FRTO Improved Operations Through Enhanced En-Route Trajectories (CDM, FUA)	-	1
	B0-NOPS Improved Flow Performance Through Planning Based On A Network-Wide View	-	1
	B0-ASUR Initial Capability For Ground Surveillance	Yes	1
	B0-ACAS ACAS Improvements	Yes	1
	B0-SNET Increased Effectiveness Of Ground-based Safety Nets	-	1
	B0-AMET Meteorological Information Supporting Enhanced Operational Efficiency and Safety	-	1
	B0- ASEP Air Traffic Situational Awareness (ATSA)	-	2
	B0-OPFL Improved Access To Optimum Flight Levels Through Climb/Descent Procedures Using Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B)	-	3
PIA 4	B0-TBO Improved Safety And Efficiency Through The Initial Application Of Data Link En-Route	-	1
	B0-CDO Improved Flexibility And Efficiency In Descent Profiles (Continuous Descent Operations - CDO)	-	2
	B0-CCO Improved Flexibility And Efficiency Departure Profiles - Continuous Climb Operations (CCO)	-	2

資料來源: Asia/Pacific Seamless ATM Plan V2.0。

### 關鍵更新項目（第1優先）：

- (1) B0-APTA: 優化進近程序，包括使用性能導航、陸基增強系統與垂直引導程序，可以增進跑道的可靠性與預測性，進而提升安全性與效率。
- (2) B0-FICE: 整合地對地數據通信，提高互用性、效率和能力；利用「空中交通服務設施間數據通訊(AIDC)」界面，使航管單位之間

可交換重要資料，以提高運作效率。資料包括：航班抵達飛行航情報區邊界通報、協調航機越過飛行航情報區邊界時的航班移交。實施 AIDC 可減少航管人員工作量，提高相關資料準確性與完整性，提升航管系統整體安全性與航管處理能力。

- (3) B0-DATM: 為符合融合性及互通性，傳統以紙張產品為主的航空情報服務必須改以數據為主。航空數據資料可指定格式進行管理，並採用標準化航行情報交換模式分發數據，以便自動化處理。
- (4) B0-FRTO: 提升航路軌跡規畫：包括彈性使用空域、始用者優先選擇路徑、動態機載航線重劃及協同決策之利用，俾能使用原被隔離之空域(一般因軍用空域所致)，並能更彈性規劃飛行路徑、縮減飛時及減少油耗。
- (5) B0-AMET: 提供氣象預報、告警與警示，以及機場風切告警等資訊。
- (6) B0-NOPS: 同時運用「空中交通流量管理」及「協同決策」概念，在不同航管單位間建立聯貫且一致性的網絡管理方式，以改善交通流。「空中交通流量管理」是以平衡交通流量供需的管理方法與方案，尤其在影響容量的突發情況(如：惡劣天氣、跑道運作受阻)下，減少延誤情況和善用空域資源；而「協同決策」則是讓各參與者(包括航管單位、航空公司等)能及早掌握及實行整套方案。
- (7) B0-ASUR: 建立地面監視的初始能力。ADS-B 可令飛機定時向外「廣播」，並透過衛星得知位置及航速等數據。地面航管單位可接收資料作為支援航管監察之用，減少依賴傳統雷達及有限的雷達碼。其他飛機亦可接收 ADS-B 廣播資料和數據，有助飛行員進一步掌握航機附近情況。在空域中使用 ADS-B 有利於建構無縫監察環境，並提高地面及空中監控水平，同時使空中運輸更

靈活。

- (8) B0-ACAS: 機載避撞系統(ACAS)改善(7.1 版 TCAS)，從 2014 年 1 月 1 日起開始改進機載避撞系統，最晚於 2017 年 1 月 1 日須進行全面安裝。
- (9) B0-SNET: 陸基安全網，利用短期衝突警示、近地告警（及最低安全高度告警（MSAW）構成。
- (10) B0-TBO: 無線電(話音)與雷達分別是空中交通管制的主要通信及監控方式，但在海洋或偏遠地區則有一定限制。採用數據鏈可提升在海上與偏遠地區的監控能力，並提高數據準確性與可靠性，從而縮減航管使用間距，令航道使用更靈活，同時減少話音通訊量，提升航管系統整體處理能力。

#### **建議更新項目（第2優先）：**

- (1) B0-ACDM: 機場 CDM，藉由共享最新相關資訊，並將機場運作關聯方之優先順序、可用資源及需求等納入考量，達成最佳決策。
- (2) B0-RSEQ: 跑道使用排序，利用到場管理（AMAN）及離場管理（DMAN）程序，自動支援同步進行到場排序、離場排序及機場場面資訊整合。
- (3) B0-ASEP: 瞭解航情，利用 ADS-B 提升對航機位置之監視。
- (4) B0-CDO: 改善下降彈性與效率，ICAO 設定連續下降操作(CDO) 為高度優先施行項目，藉此提昇與操控下撞擊地障（CFIT）有關之安全，並減少油耗與廢氣排放。
- (5) B0-CCO: 改善離場彈性與效率，ICAO 設定連續爬升操作(CCO) 為高度優先施行項目，藉此減少油耗與廢氣排放。

### 視需要施行項目（第3優先）：

- (1) B0-WAKE: 透過優化航機尾流隔離最小值，並修正航機尾流隔離分類與程序，以提升跑道起飛與降落的容量。
- (2) B0-SURF: 提升跑道安全。
- (3) B0-OPFL: 使用 ADS-B 改善爬升/下降程序以獲得最佳飛行路徑。

## 5.3 航空器替代燃油的發展

### 1. ICAO 推動航空替代燃料現況

ICAO 在 2009 年舉行第 1 次有關替代能源的研討會，開始了全球航空替代燃料架構(ICAO Global Framework on Aviation Alternative Fuels ,GFAAF)，並於 2009 年公布有關合成碳氫化合物作為航空渦輪燃料的標準規範(ASTM D7566-Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons)，在 2010 年起第 1 架單引擎螺旋槳機使用生物燃料，從加拿大橫跨大西洋飛往德國，隨後在 2011 年第 1 架商業客機使用生物燃料，2013 年有定期航班(紐約-阿姆斯特丹)使用替代燃料，2014 年有 21 家航空公司商業客機中加入替代燃料，另在 2016 年有 5 個途徑通過 ASTM D7566 驗證，提供替代燃料，並且有 2 個機場提供生質燃料，分別為挪威奧斯陸機場、美國洛杉磯機場(相關發展經過如圖 5.5 所示)。另根據國際再生能源機構(International Renewable Energy Agency, IRENA)報告，全球 59 個國家(航空運量占 79%)表示將會投資永續替代燃料，另外 37 個國家(航空運量占 35%)打算在機場從事清潔和可再生能源的使用。

2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ASTM D7566 Approved</li> <li>• ICAO GFAAF Launched</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• First single-engine propeller transatlantic flight from Canada to Germany powered on biofuel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• First commercial flights operated using biofuel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flightpath to a Sustainable Future, an ICAO special Rio+20 global initiative, the first-ever series of connecting flights powered by sustainable alternative fuels, on which the ICAO Secretary General, travelled from Montréal to Rio de Janeiro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• First regular flight operations using alternative fuel began between New York, United States and Amsterdam, Netherlands</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 21 airlines used alternative fuel on commercial flights</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oslo Airport in Norway became the world's first "bioport" by offering 2.5 million litres of aviation biofuel annually to its users</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fifth pathway for alternative jet fuel approved on 14 April 2016 and Los Angeles international airport in the United States, will have more than 56.8 million litres of aviation biofuel available over a 3-year period</li> </ul>

資料來源:ICAO Environmental Report 2016

圖 5.5 ICAO 推動航空替代燃料歷程

SkyNRG 公司成立於 2010 年，並於 2011 年提供第 1 架商業航空(荷蘭皇家航空)最早使用生質燃料。SkyNRG 的客戶包括芬蘭航空、阿拉斯加航空、阿提哈德航空、澳大利亞航空、智利航空和加拿大航空等。2012 年 SkyNRG 與 KLM 合作，提出一個成功企業生質燃料計劃案例(KLM Corporate BioFuel Programme)，結合 ABN AMRO，Nike 與 Accenture 等企業夥伴，透過搭乘永續生質燃料航班降低這些企業產生的碳足跡，並藉由這個計畫使 KLM 開闢紐約-阿姆斯特丹每週生質燃料的定期航班。

2015 年 SkyNRG 在北歐開始執行一個較小的合作計畫「飛綠基金(Fly Green Fund)」，這個基金會是由 NISA 與 Karlstad 機場共同創立，其中還包括 Swedavia, SAS, KLM, Braathens 等，其主要成立重點是獲得必要的資金，以增加對可持續發展燃料的需求。飛綠基金不同於世界各地航空公司運營的碳抵銷計畫，該基金不是補償二氧化碳排放，而是幫助航空業本身更具可持續性，因此這個產業需要所有關鍵利益相關者共同努力建立，這就是為什麼 Fly Green 基金不僅

限於一個機場或航空公司，而且歡迎所有致力於使可持續燃料在瑞典成為現實成為合作夥伴。

## 2. 國際間推動航空替代燃料狀況

(1) 2016年3月，美國聯合航空公司開始在洛杉磯國際機場使用派拉蒙石油煉廠提供的生物燃料，這種燃料利用提取自牛油和豬油以及農業廢物的酯類和脂肪酸經過加氫處理後製成。從2018年開始，內華達州法克羅姆生物能源公司將利用城市垃圾生產生物燃料，並提供給美國聯合航空公司與國泰航空公司。

(2) 澳洲維珍航空2017年宣布計畫試用生物燃料飛行，布里斯本機場將成為世界上率先使用生物燃料的機場之一。維珍航空已與美國可再生燃料供應商Gevco Inc展開合作，在今後2年內讓其飛離布里斯本的飛機使用「生物噴氣燃料」。同時維珍航空的總裁John Borghetti表示，維珍航空公司想測試可再生燃料是否能替代直流式噴氣機燃料，並且測試澳洲的燃料供應鏈基礎設施是否充分準備，而生物燃料的可再生成分將來自當地的生物燃料供應商，這些供應商主要從甘蔗產品和龍舌蘭中提取成分製造燃料。

(3) 致力於降低全球國際航空排放的新加坡航空宣布與新加坡民航局(CAAS)合作，雙方自2017年5月1日開始在新航從舊金山飛往新加坡的不中停直飛航線上，於3個月期間內營運一系列共12個「綠色套裝航班」(Green Package Flight)。「綠色套裝航班」以新航最新一代且最燃油效率的空中巴士A350-900執飛，是全球首創結合使用生質燃料、節能機型與優化航班運作的航班，SQ31航班使用氫化酯及脂肪酸(HEFA；一種從使用過之食用油製成之永續生質燃料)與傳統航空燃油混合的燃料。

(4) 由AltAir燃料公司生產的此生質燃料，將由SkyNRG與協同北美燃料公司(NAFCO；中國航油(新加坡)百分之百擁有之子公司)

及 EPIC 燃料公司合作運送至舊金山。

- (5) 根據國際航空運輸協會(IATA)，永續生質燃料是一種相當被看好的技術解決方案，可以降低航空業的碳排放。2011年起它已取得認證，確定可在民航界安全使用，並且已經在全球其它地區獲得航空公司的採用。

## 第六章 減碳措施發展對我國影響初析

### 6.1 全球市場措施機制(GMBM)對我國影響初析

我國兩大航空公司(華航、長榮)所造成的碳排放量已超過 A39-3 中 1.(3)規定，因此屬於受管制對象。我國雖非 ICAO 會員，但如果被動不參與，可能受國際壓力造成形象受損，並遭受他國抵制，而後續 CORSIA 計畫制訂裁罰條款後，可能面臨相關裁罰風險。

ICAO 預訂於 2017 年底完成監測、報告與查證(Monitoring, Reporting and Verification, MRV)作業準則，2018 年通過理事會核可，2019 年執行。其中 MRV 可分為 3 大部分：

1. 監測是對於航空器的燃油使用、資料搜集，和計算碳排量之監測機制。
2. 報告則是對上述碳排數據與相關資料的回報，是用於計算業者的每年所需負擔之基礎。
3. 查核則是確保監測和報告數據正確性的檢驗。

MRV 是 CORSIA 實施的重要基礎，同時也能確保航空業者得到平等待遇，因此國際航空運輸協會在工作報告書中提到，MRV 的設計應遵守簡單、透明、保密等原則，使業者跨國呈報、取得數據等能更有效率且有保障。而為求各國的 MRV 能符合業者的期待與協調各國實施的措施，ICAO 理事會將提出草案，授權理事會發展相關標準和建議措施。

針對此議題，我國宜依 CORSIA MRV 要求，須建立國內相關作業準則及規範，並建置註冊系統。基於此，國內相關作業可提前準備，以與國際接軌，對於後續提報作業亦需研擬其相關因應對策。

## 6.2 國籍航空公司各航線機隊碳排狀況探討

為瞭解目前國籍航空機隊碳排狀況，因此本研究利用 Eurcontrol(Small Emitters Tool)提供之軟體計算航空器之碳排放量，本次計算以航程距離來區分，分為短程（1,000 公里以下）、中程(2,000 公里以上)、長程(8,000 公里以上)，因此選擇 4 條航線進行分析(如表 6-1~6-4)，分別為臺北-香港(短程)、臺北-成田(中程)、臺北-新加坡(中程)、臺北-洛杉磯(長程)。

表 6-1 臺北-香港航線基本資料

機型	ICAO Code	距離(Km)	座位數	ASK
Boeing 777-300ER(1)	B77W	805	330	265,650
Boeing 777-300ER(2)	B77W		358	288,190
Airbus A321	A321		184	148,120
Airbus A330-200	A332		252	202,860
Airbus A330-300	A333		309	248,745
Boeing 737-800	B738		158	127,190
Airbus A350-900	A359		306	246,330
Boeing 747-400	B744		384	309,120

本研究整理。

表 6-2 臺北-成田航線基本資料

機型	ICAO Code	距離(Km)	座位數	ASK
Airbus A330-300	A333	2,181	309	673,929
Airbus A321	A321		184	401,304
Airbus A350-900	A359		306	667,386
Boeing 747-400	B744		384	837,504

本研究整理。

表 6-3 臺北-新加坡航線基本資料

機型	ICAO Code	距離(Km)	座位數	ASK
Boeing 777-300ER(1)	B77W	3,219	330	1,062,270

Boeing 777-300ER(2)	B77W		358	1,152,402
Airbus A350-900	A359		306	985,014
Airbus A330-300	A333		309	994,671

本研究整理。

表 6-4 臺北-洛杉磯航線基本資料

機型	ICAO Code	距離(Km)	座位數	ASK
Boeing 777-300ER(1)	B77W	10,919	330	3,603,270
Boeing 777-300ER(2)	B77W		358	3,909,002

本研究整理。

圖 6.1 為短程航線(臺北-香港)，服務的機型有 7 種，各機型中以 Boeing 747-400 排碳量最高為 125.1(g/pax-km)，而最低則為 Airbus A321 與 Boeing 737-800，其排碳量分別為 80.2(g/pax-km) 與 80.4(g/pax-km)。由於 Boeing 747-400 為較早研發的機型，而現今 Boeing 公司已停產該機型飛機，因此該型飛機不論在機體設計或在引擎效能上，都無法與近期研發之機型相比，所以在碳排放量上遠高於 Airbus A321 與 Boeing 737-800，達到 1.6 倍之多。另外值得注意的是短程航線中，所有雙走道客機所造成的碳排量都超過 100(g/pax-km)，其中只有 Airbus A330-300 例外，該機型排碳量只有 88.8(g/pax-km)，整體而言單走道客機在短程航線中有較佳減碳效果。

圖 6.2 為中程航線(臺北-成田)，服務的機型有 4 種，各機型中以 Boeing 747-400 排碳量最高為 105.1(g/pax-km)，而最低則為 Airbus A321 與 Airbus A330-300，其排碳量分別為 66.6(g/pax-km) 與 75.6(g/pax-km)，而該航線碳排量超過 100(g/pax-km)，只有 Boeing 747-400。另圖 6.3 為中程航線(臺北-新加坡)，服務的機型有 3 種，各機型中以 Boeing 777-300ER(1)排碳量最高為 94.5(g/pax-km)，不過另一家航空供將座位數提高至 358 個時，排碳量則降為為 87.1(g/pax-km)，本航線較佳碳排機型仍為 Airbus A330-300，其排碳量分別為 73.1(g/pax-km)。

圖 6.4 為長程航線(臺北-洛杉磯)，服務的機型只有 1 種，但航空公司提供的座位數有 2 種，分別為 330 個與 358 個座位數，Boeing 777-300ER(1)排碳量最高為 88.9(g/pax-km)，然而當另一家航空供將座位數提高至 358 個時，排碳量則降為為 81.9(g/pax-km)，不過兩者差距不大。另由圖 6.5~圖 6.6 可以發現，當航空器飛行距離越長時，單位(g/pax-km)所排放之碳量將持續減少。

整體而言，國籍航空公司已逐漸淘汰舊有機型而更換新型的機隊，不過仍有部分機型如 Boeing 747-400 燃油效率明顯偏差，建議後續仍須規劃新機更新計畫，以符合國際碳排標準，並減少碳的排放量。

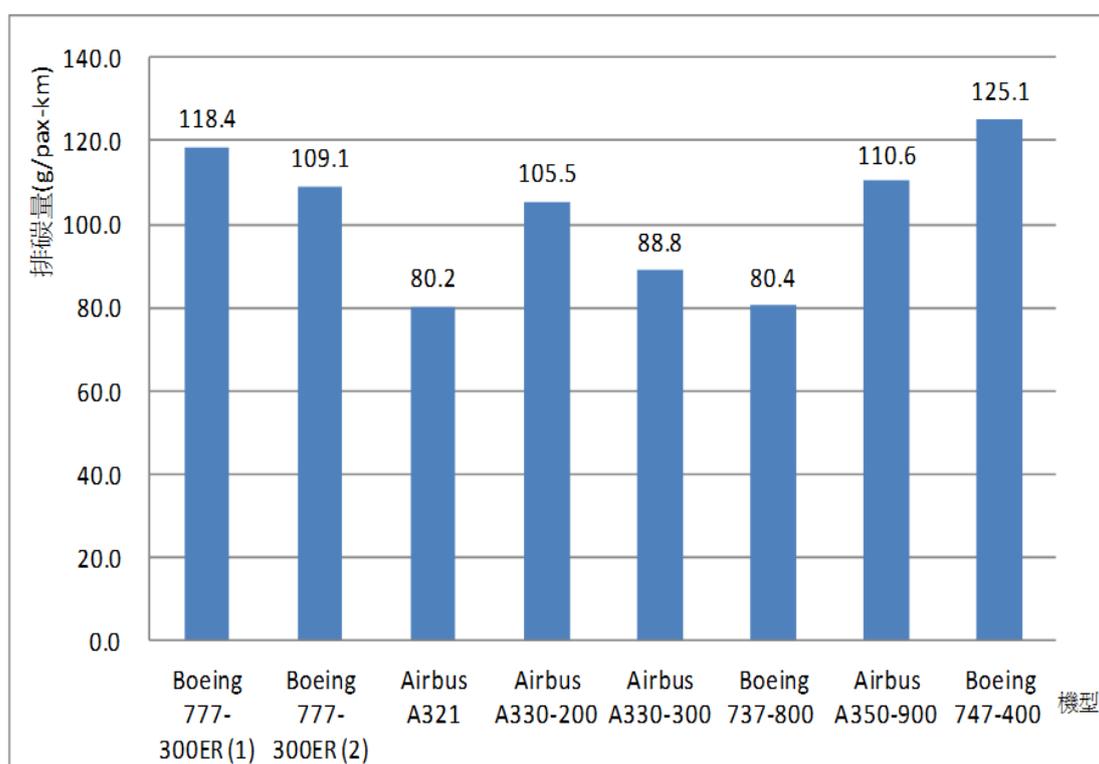


圖 6.1 臺北-香港航線各機型單位碳排放量

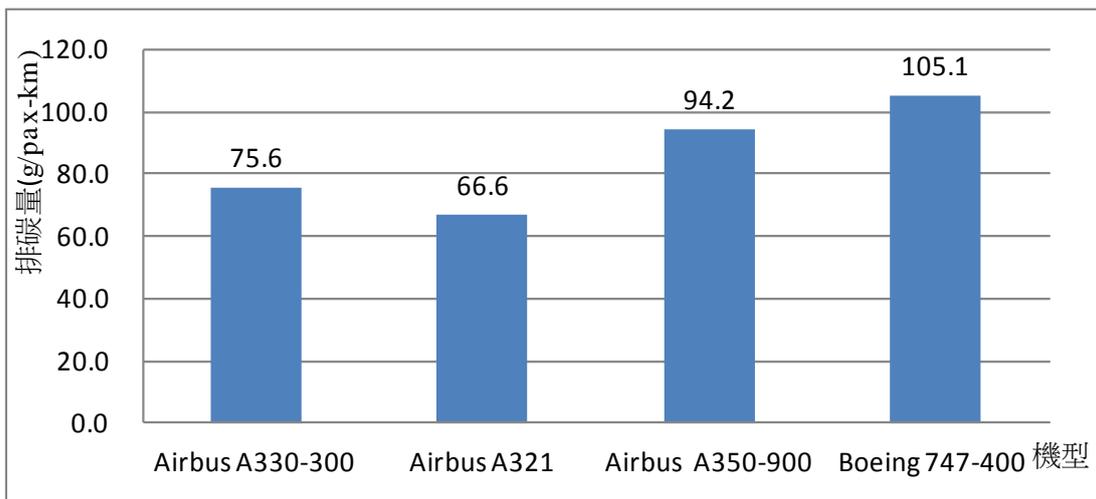


圖 6.2 臺北-成田航線各機型單位碳排放量

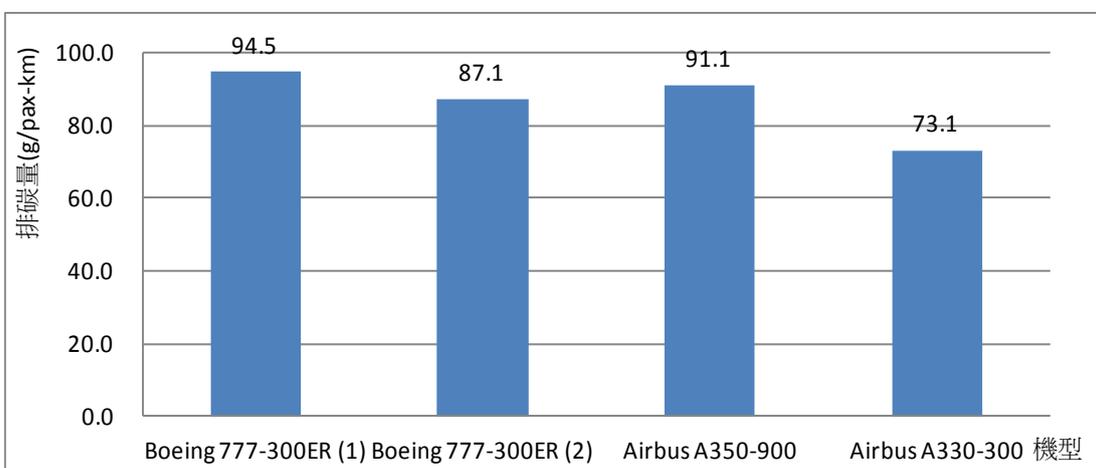


圖 6.3 臺北-新加坡航線各機型單位碳排放量

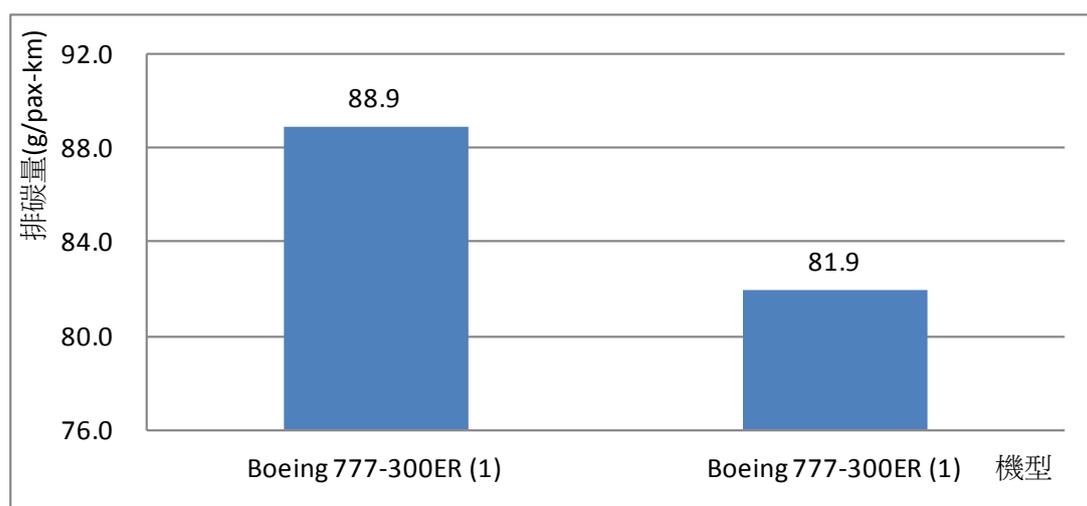


圖 6.4 臺北-洛杉磯航線各機型單位碳排放量

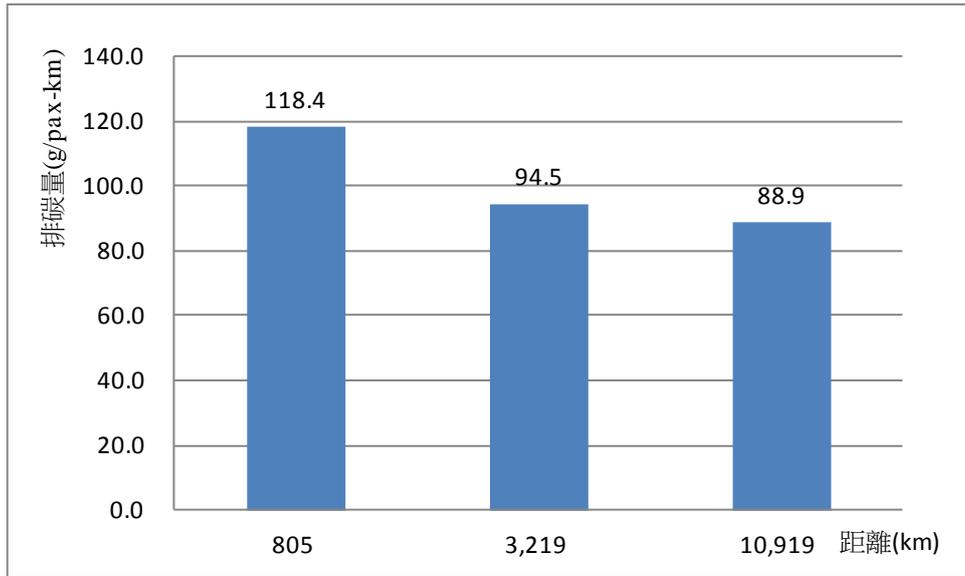


圖 6.5 機型 Boeing 777-300ER 不同距離下碳排放量

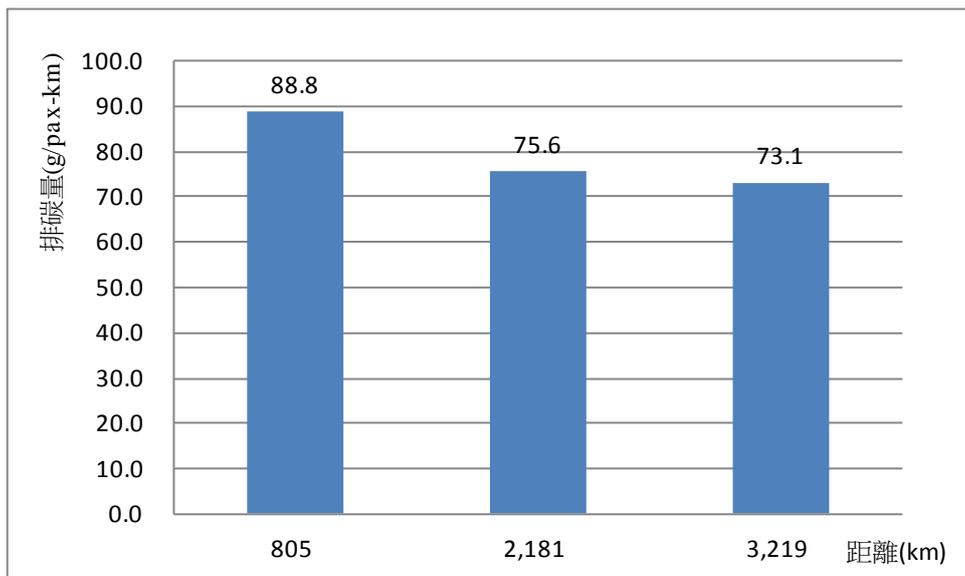


圖 6.6 機型 Airbus A330-300 不同距離下碳排放量

### 6.3 碳排費用對航空公司航線營運影響探討

為瞭解未來新增碳排費用對國籍航空營運成本影響，因此選定國內 1 家國籍航空進行初步分析，分析仍以短、中、長程航線分別討論，因此選擇 4 條航線進行分析，分別為臺北-香港(短程)、臺北-成

田(中程)、臺北-新加坡(中程)、臺北-洛杉磯(長程)，其中碳的交易價格則是依據 ICAO 的預測資料進行計算(如表 6-5)。

表 6-5 ICAO 預測碳交易金額(2020~2035 年)

碳交易金額/每噸	2020 年	2030 年	2035 年
基本價	8	15	20
悲觀情境(高價)	20	33	40

單位：美元。

本研究整理。

### 1. 臺北-香港航線

以臺北-香港航線為例，該公司共有 4 種機型營運，分別為 Boeing 777-300ER、Airbus A321、Airbus A330-200、Airbus A330-300。以 Boeing 777-300ER 為例(如圖 6.7)，2020 年~2035 年在基本情境下，碳排交易費用約占營運成本 0.8%~2.1%，而在悲觀情境下，碳排交易費用約占營運成本 2.1%~4.2%；以 Airbus A321 為例(如圖 6.8)，2020 年~2035 年在基本情境下，碳排交易費用約占營運成本 0.6%~1.5%，而在悲觀情境下，碳排交易費用約占營運成本 1.5%~3.0%；以 Airbus A330-200 為例(如圖 6.9)，2020 年~2035 年在基本情境下，碳排交易費用約占營運成本 0.8%~1.9%，而在悲觀情境下，碳排交易費用約占營運成本 1.9%~3.8%；以 Airbus A330-300 為例(如圖 6.10)，在基本情境下，碳排交易費用約占營運成本 0.7%~1.6%，而在悲觀情境下，碳排交易費用約占營運成本 1.6%~3.3%。就本航線而言，未來碳排交易費用預估在 5%之內。

由 4 種營運機型分析，單走道 Airbus A321 碳排交易費用約占營運成本最低，而雙走道客機碳排交易費用占營運成本明顯較高，其中以 Boeing 777-300ER 機型為最，而 Airbus A330-200 明顯比 Airbus

A330-300 高，其主要原因為 Airbus A330-300 為較新型之客機。

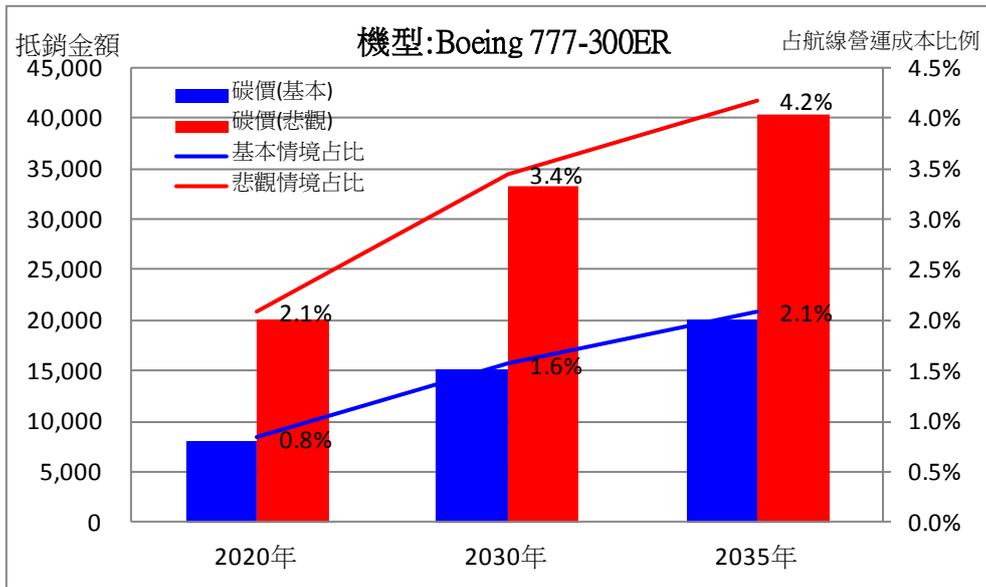


圖 6.7 臺北-香港航線 Boeing 777-300ER 機型碳排放所需費用

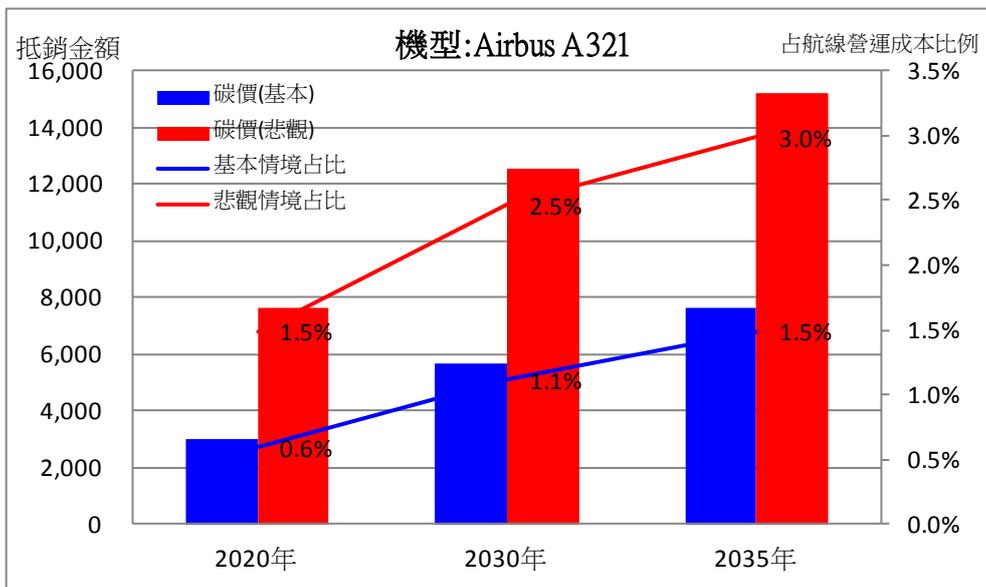


圖 6.8 臺北-香港航線 Airbus A321 機型碳排放所需費用

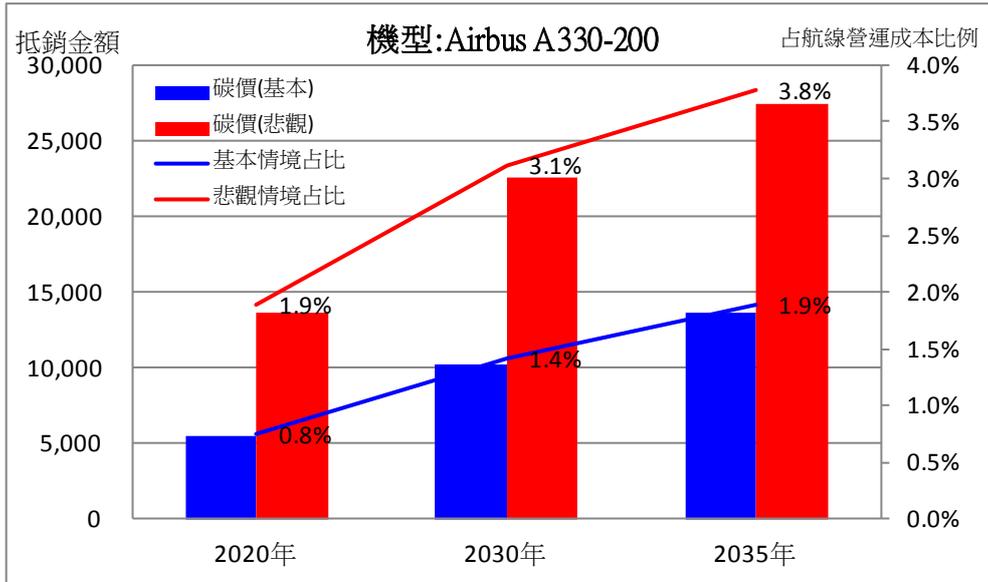


圖 6.9 臺北-香港航線 Airbus A330-200 機型碳排放所需費用

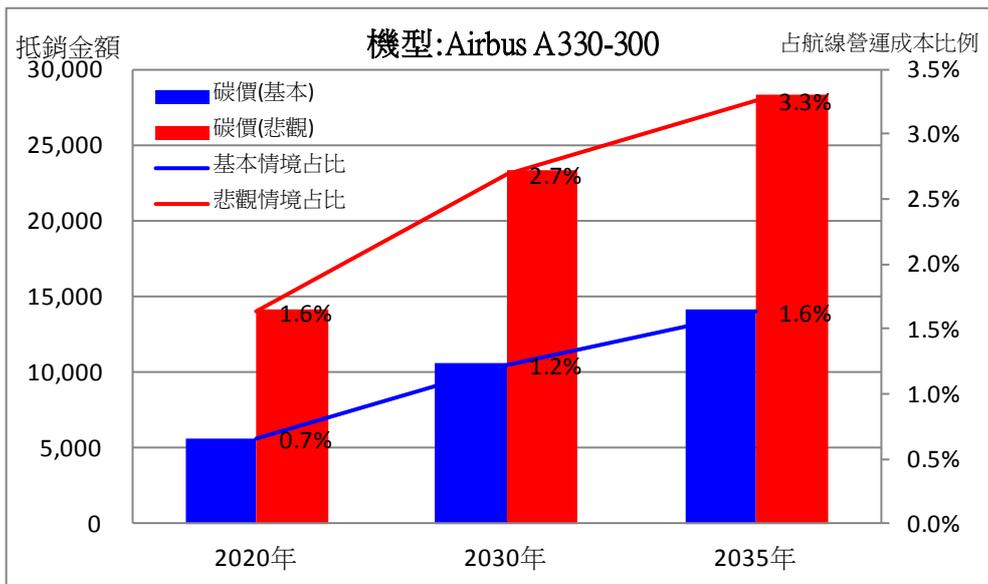


圖 6.10 臺北-香港航線 Airbus A330-300 機型碳排放所需費用

## 2. 臺北-成田航線

以臺北-成田航線為例，該公司共有 2 種機型營運，分別為 Airbus A321、Airbus A330-300。以 Airbus A321 為例(如圖 6.11)，2020 年~2035 年在基本情境下，碳排交易費用約占營運成本 0.9%~2.2%，

而在悲觀情境下，碳排交易費用約占營運成本 2.2%~4.4%；以 Airbus A330-300 為例(如圖 6.12)，2020 年~2035 年在基本情境下，碳排交易費用約占營運成本 0.9%~2.3%，而在悲觀情境下，碳排交易費用約占營運成本 2.3%~4.6%。就本航線而言，未來碳排交易費用預估在 5%之內。

由 2 種營運機型分析，在碳排交易費用占營運成本比例中，單走道 Airbus A321 與雙走道 Airbus A330-300 客機無明顯差異，顯示單走道 Airbus A321 與 Airbus A330-300 客機在燃油效率方面相當。

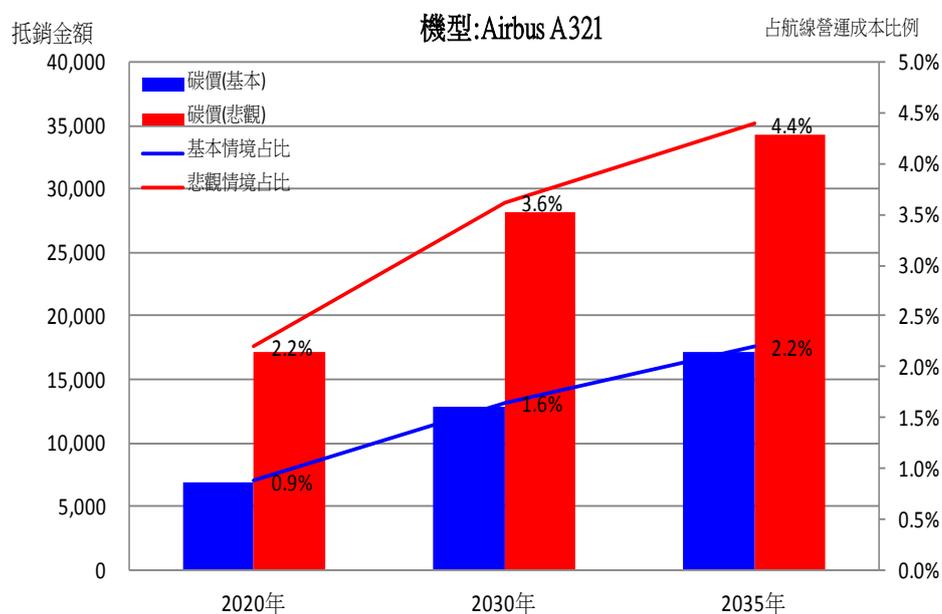


圖 6.11 臺北-成田航線 Airbus A321 機型碳排放所需費用

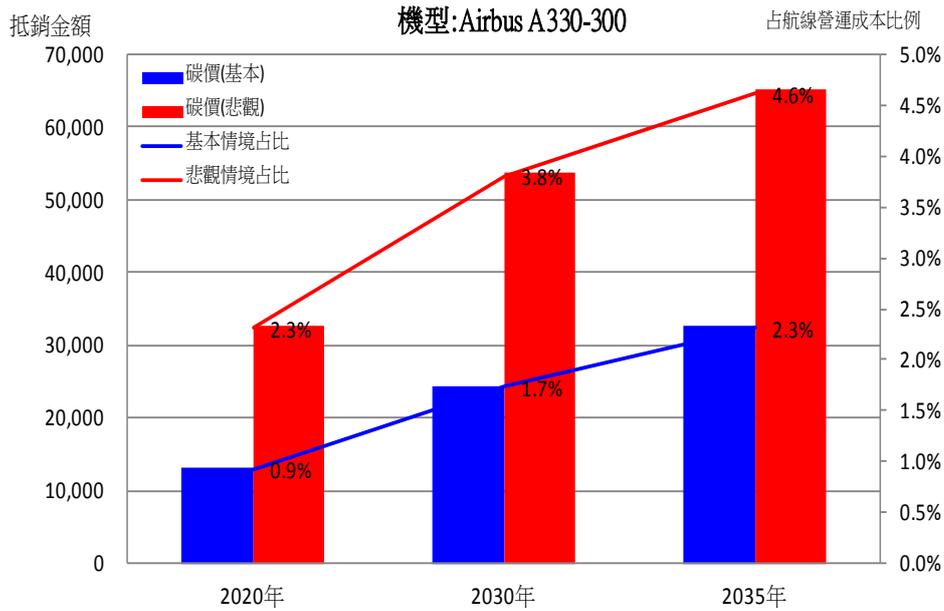


圖 6.12 臺北-成田航線 Airbus A330-300 機型碳排放所需費用

### 3. 臺北-新加坡航線

以臺北-新加坡航線為例，該公司共有 1 種機型營運，為 Boeing 777-300ER。以 Boeing 777-300ER 為例(如圖 6.13)，2020 年~2035 年在基本情境下，碳排交易費用約占營運成本 1.3%~3.3%，而在悲觀情境下，碳排交易費用約占營運成本 3.3%~6.7%。

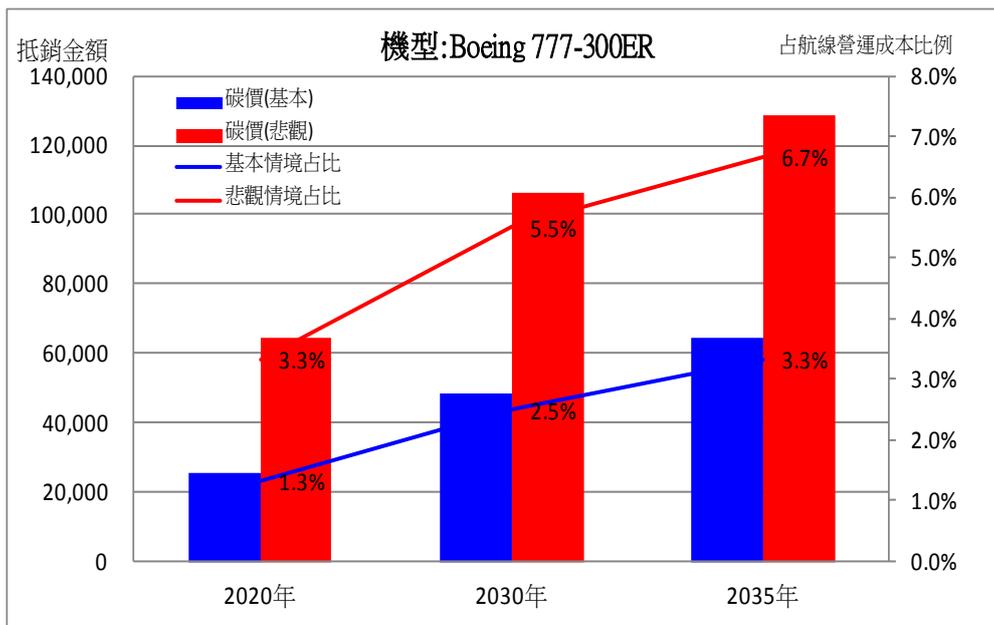


圖 6.13 臺北-新加坡航線 Boeing 777-300ER 機型碳排放所需費用

#### 4. 臺北-洛杉磯航線

以臺北-洛杉磯航線為例，該公司共有 1 種機型營運，為 Boeing 777-300ER。以 Boeing 777-300ER 為例(如圖 6.14)，2020 年~2035 年在基本情境下，碳排交易費用約占營運成本 1.6%~4.1%，而在悲觀情境下，碳排交易費用約占營運成本 4.1%~8.2%。

另由 Boeing 777-300ER 各營運航線觀察(如圖 6.15)，同一機型在不同距離下，當航行距離越長時，碳排交易費用所占營運成本比例將會持續增加。

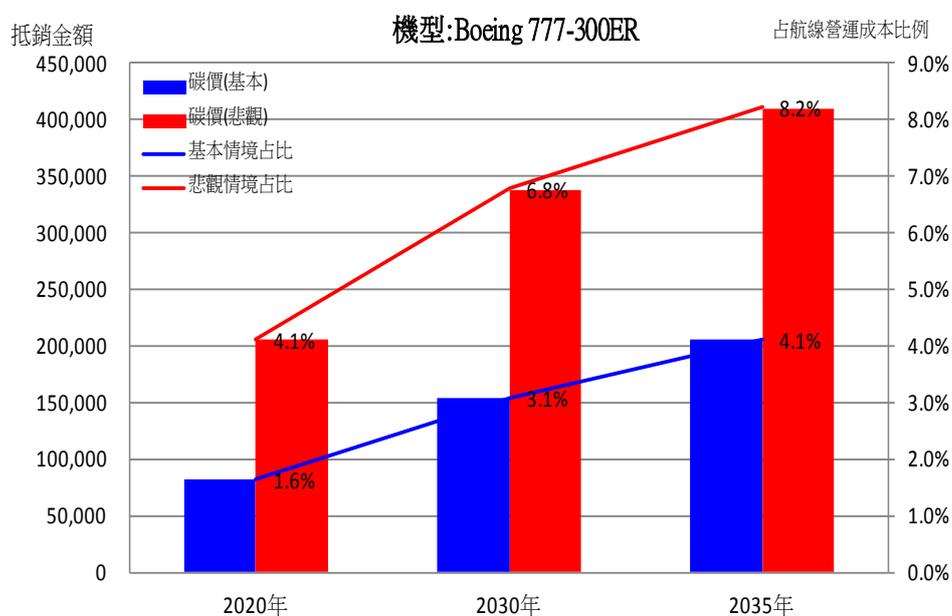


圖 6.14 臺北-洛杉磯航線 Boeing 777-300ER 機型碳排放所需費用

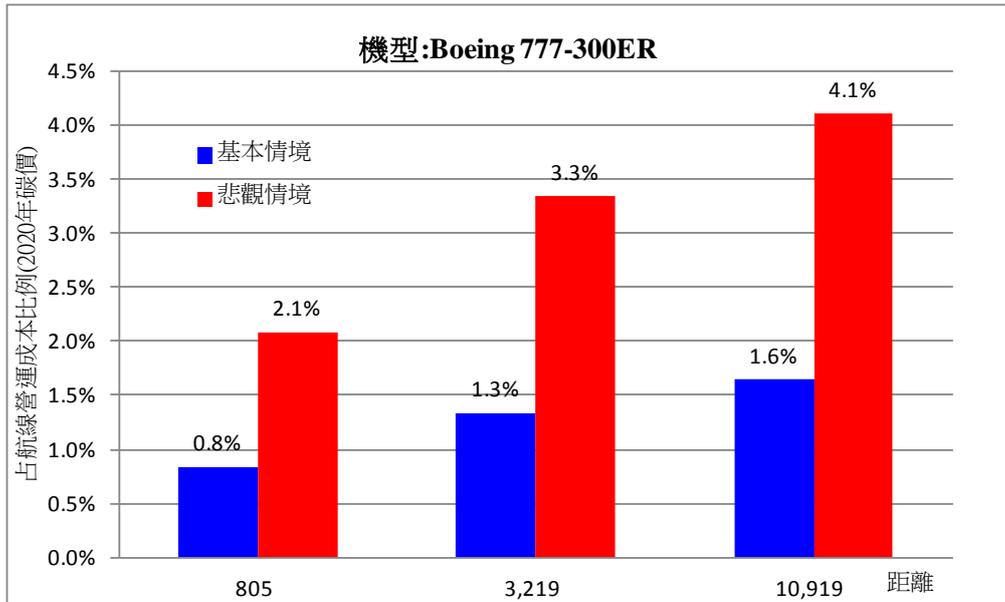


圖 6.15 機型 Boeing 777-300ER 占營運成本比例(不同距離下)

#### 6.4 國內飛航管制相關技術發展狀況

1. 民航局所辦「臺北飛航情報區通訊、導航、監視與飛航管理系統 (CNS/ATM)」將自 2019~2020 年進行期中升級，並已針對其部分子系統進行設施汰換，如飛航管理系統、飛航訊息處理系統，及備援系統等，惟考量該方案尚涉及各軟硬體之升級，是否已進行整體檢視與規劃，其後續各介面上是否會有銜接問題，應就相關可能造成之影響預先因應準備。
2. ICAO 為促進全球飛航系統的偕同化，提升容量及環境效率，規劃出航空系統提升策略方案(ASBU)，依時間點循序進行效能改善，明確規劃 4 個改善區域及 4 個執行區段，並依執行時間(每 6 年)分為 4 個區段(Block0-3)，目前我國 CNS/ATM 系統均達 Block0 階段，只需針對調整之模組進行強化，然而每個國家對於空域環境均有其獨特需求，我國與鄰區航管系統整合或界接上具有很大影響，應持續追蹤目前鄰區作法及其相關進度，且對相關設備之提升應有整體之規劃方略。

3.民航局應參照 ASBU 所規劃之相關內容，檢視目前所提助導航設施之短中長期規劃是否符合未來需求，同時持續滾動檢討並與國際無縫接軌。

## 6.5 國內航空替代燃料相關技術發展現況

1.工研院及中油公司曾表示技術原則可行，惟供應鏈端尚有疑慮如下：

(1)需採用何種原物料來源尚待評估，如地溝油或植物（藻類、亞麻、麻風樹...等）。

(2)國內尚缺乏製造生質燃油的公司及工廠。

(3)生質燃油製造成本比石化燃油製造成本高出許多。

2.生質燃油可否用在國內航空器，民航局標準組未來需經過測試，預計參考美國材料試驗協會 ASTM D7566 測試標準，俟國內廠商製造出生質燃油後，先以幾條國內線測試減碳成效及有無安全疑慮。

3.即使幾條國內線測試結果無安全疑慮，因生質燃油價格比石化燃油高出許多，如何鼓勵航空公司使用生質燃油亦是一大課題。

## 第七章 結論與建議

近年來航空市場快速成長，全球旅客量從 1960 年 1 億人次，至 1987 年突破 10 億人次，而 2016 年以達到 37 億人次。而航空旅客量快速成長下，相對地飛機起降及飛航所排放的溫室氣體，卻未隨著經濟成長而採行更有效的管理。依據聯合國「政府間氣候變遷委員會」(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)資料顯示，航空產業碳排放量約占溫室氣體總量的 2%，並預估在無任何作為下，民用航空CO<sub>2</sub>排放量在 1992~2050 年間會成長 60%~1,000%。

航空運輸所帶來的不僅是經濟效益，相對的對於環境的衝擊也是隨之而來；因此了解全球航空運輸溫室氣體之減量措施與排放現況，尤其是 ICAO 相關規範所造成之影響及研擬我國可行之因應策略，乃是當前我國航空運輸所須正視之重要課題之一。

### 7.1 結論

1. 航空運輸的二氧化碳排放管制已成趨勢，ICAO 也從全球市場措施機制(GMBM)、航空器技術的改進、航空器航行最佳化、航空器替代燃料的發展等 4 個面向，積極發展新技術及輔導新規則，以降低航空碳排放量；後續仍應持續關注碳排議題發展，尤以全球市場措施機制(GMBM)最為重要。
2. 由分析數據可知，新機型航空器與舊機型航空器之單位(g/pax-km)排碳量可相差 1.6 倍以上，且短程航線中單走道客機有較佳減碳效果，另當航空器飛行距離越長時，單位(g/pax-km)排碳量將減少。
3. 碳排費用占航線營運成本比例依不同航程距離分析可知，當距離越長，碳排費用占航線營運成本比例預計也將提高。
4. ICAO 為促進全球飛航系統的偕同化，提升容量及環境效率，規劃出航空系統提升策略方案(ASBU)，依時間點循序進行效能改善，明確規劃 4 個改善區域及 4 個執行區段，並依執行時間(每 6 年)分

為 4 個區段(Block0-3)，目前我國 CNS/ATM 系統均達 Block0 階段，只需針對調整之模組進行強化。

5. 國際間已開始推動航空替代燃料，並制定相關規範，如 ASTM D7566 驗證，且有多條商業航空航線已使用中，但國內要如何推動仍須考慮產業供應鏈及安全驗證無虞後，方能正式推廣。

## 7.2 建議

1. 針對全球市場措施機制(GMBM)議題，建議我國宜依 CORSIA MRV 要求，須建立國內相關作業準則及規範，並建置註冊系統。
2. 建議國內相關作業可提前準備，以與國際接軌，對於後續提報作業亦需研擬其相關因應對策。
3. 建議隨著新航空器的研發，引擎燃油效率也更好，排碳量也較低，因此需輔導國籍航空更換新型機隊以減少碳排。
4. 航管單位應繼續關注 ASBU 相關措施發展，尤其 2019 年開始推動 Block1 階段，建議應持續更新系統與設備，以期能與國際接軌。
5. 替代燃料仍是初步發展階段，且由於成本仍較傳統石油較高，因此要如何輔導建立相關產業及供應鏈，建議仍需進一步研究。

## 參考文獻

1. “Investigations on the distribution of air transport traffic and CO<sub>2</sub> emissions within the European Union” ,Journal of Air Transport Management ,Volume 36, April 2014
2. “A transport carbon footprint methodology to assess airport carbon” ,Journal of Air Transport Management ,Volume 37, May 2014
3. “An analysis of the greenhouse gas emissions profile of airlines flying the Australian international market” ,Journal of Air Transport Management ,Volume 47,2015
4. “Analysis of the recent evolution of commercial air traffic CO<sub>2</sub>emissions and fleet utilization in the six largest national markets of the European Union” ,Journal of Air Transport Management ,Volume 55,2016
5. “The market development of aviation biofuel : Drivers and constraints” ,Journal of Air Transport Management ,Volume 39,2014
6. <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/ENV2016.aspx>
7. IATA Technology Roadmap,4th Edition, June 2013
8. ICAO Environmental Report 2016
9. ICAO Asia/Pacific Seamless ATM Plan V2.0
10. <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/Tools.aspx>
11. <http://www.iata.org/whatwedo/environment/Pages/environmental-assessment.aspx>
12. <https://www.easa.europa.eu/document-library/icao-aircraft-engine-emissions-databank#6>
13. <http://www.eurocontrol.int/small-emitters-tool>
14. <https://contentzone.eurocontrol.int/aircraftperformance/default.aspx?GroupFilter=3&NameFilter=br#>
15. <http://www.eurocontrol.int/environment-modelling-tools>
16. <https://centreforaviation.com/>
17. [http://www.evaair.com/images/zhtw/presentations-20160414-one-on-one-meeting-zh\\_tcm27-48063.pdf](http://www.evaair.com/images/zhtw/presentations-20160414-one-on-one-meeting-zh_tcm27-48063.pdf)
18. <https://kknews.cc/zh-tw/news/b2kema.html>
19. 李建歡、吳建緯，「評析國際空運碳抵銷與減排計畫之進展與爭議」，經貿法訊第 206 期（2017.01.10）
20. 黃建元、曾郁雯、馮英哲，「我國民航局歷年推動溫室氣體減量成果及未來展望」，航空業因應氣候變遷國際研討會，2015
21. 陳恩崧，「航空器引擎排放成本對航空公司航線營運之影響」，長榮大學碩士論文，民國 97 年

22. 大紀元新聞網-<https://www.epochtimes.com/b5/>

## 附件:簡報資料

# 國際航空碳排管制發展初析



106年12月4日

1

## 簡報大綱

- 一. 前言
- 二. 全球氣候變遷議題發展重點
- 三. 國際民航組織減碳措施(CORSIA)發展狀況
- 四. 其他減碳措施技術發展狀況
- 五. 減碳措施發展對我國影響初析
- 六. 結論與建議

2

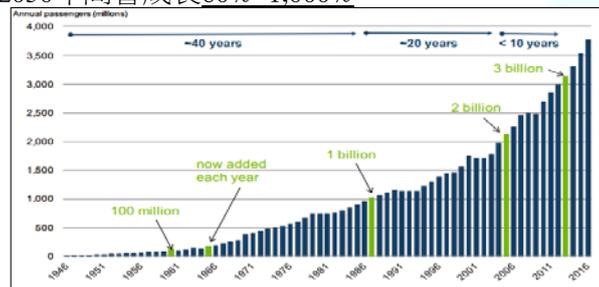
# 一、前言

## ■ 航空市場快速成長

- 全球旅客量從1960年1億人次，至1987年突破10億人次，而2016年以達到37億人次。

## ■ 航空旅客量快速成長，相對的飛機起降及飛航所排放的溫室氣體，卻未隨著經濟成長而採行更有效的管理。

- 聯合國「政府間氣候變遷委員會」(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)表示，航空產業碳排放量約占溫室氣體總量的2%，並預估在無任何作為下，民用航空CO<sub>2</sub>排放量在1992~2050年間會成長60%~1,000%。



3

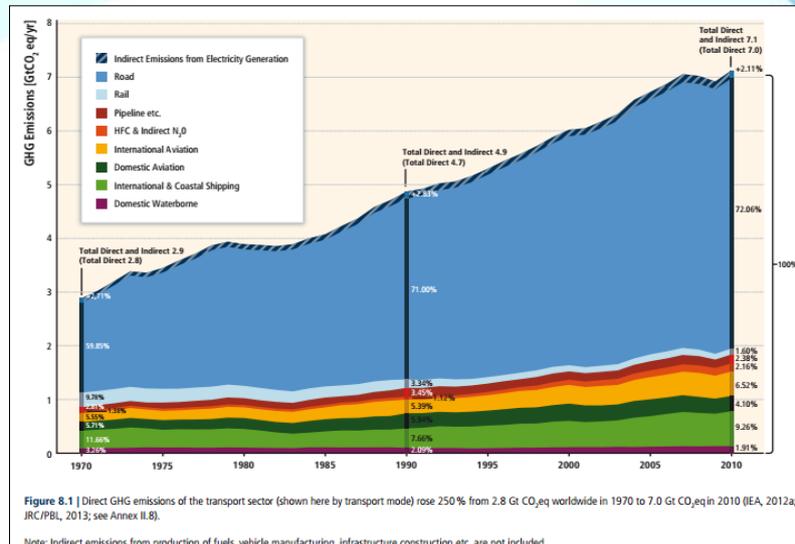


Figure 8.1 | Direct GHG emissions of the transport sector (shown here by transport mode) rose 250% from 2.8 Gt CO<sub>2</sub>eq worldwide in 1970 to 7.0 Gt CO<sub>2</sub>eq in 2010 (IEA, 2012a; JRC/PBL, 2013; see Annex II.8).

Note: Indirect emissions from production of fuels, vehicle manufacturing, infrastructure construction etc. are not included.

各種運輸工具的碳排比例(黃色為國際航空、深綠色為國內航空)

4

## 二、全球氣候變遷議題發展重點

### ■ 京都議定書 (Kyoto Protocol)

- 1997年12月第3次締約國大會於日本通過具約束力的條約，以規範工業國家未來溫室氣體減量責任。
- 國際航空與海運排放並不在京都議定書減量範圍之內，不過在京都議定書第2條第2項指出，附錄1之會員國應透過ICAO作出努力，謀求限制或減少航空產生之溫室氣體。

### ■ 第39屆ICAO大會

- 2016年10月第39屆ICAO大會通過最新的國際航空碳抵換及減量計畫(Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation, CORSIA)協議，透過引入市場機制，正式解決航空碳排10年來不被重視的狀況，此一項協議具有里程碑意義，係對全球民航的永續及未來環境的保護作出堅定的承諾及切實行動。

5

## 三、國際民航組織減碳措施發展狀況

### ■ 國際民航組織環境保護小組運作機制

- 航空環境保護委員會(Committee on Aviation Environmental Protection, CAEP)是ICAO底下的一個委員會，成立於1983年，取代原航空器噪音委員會和航空器發動機排放委員會，主要目的為研究並製定減少航空對環境影響的建議；目前CAEP由24個會員國與15個觀察員所組成，超過600位知名專家共同合作。

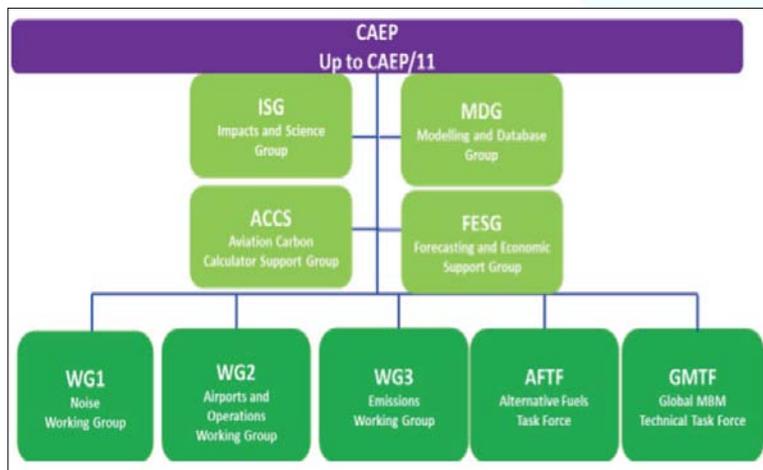
Members (24 States)		
Argentina	Australia	Brazil
Canada	China	Egypt
France	Germany	India
Indonesia	Italy	Japan
Netherlands	Poland	Russian Federation
Singapore	South Africa	Spain
Sweden	Switzerland	Ukraine
United Arab Emirates	United Kingdom	United States
Observers (5 States and 10 Organizations)		
Greece	Norway	Peru
Saudi Arabia	Turkey	ACAC
ACI	CANSO	EU
IATA	IBAC	ICCAIA
ICSA	IFALPA	UNFCCC

Table 1. CAEP Member States and Observer States and Organizations.

6

- CAEP為了應付航空產業所帶來的環境影響，因此設置9個小組，分別處理相關航空議題，同時各組可相互合作及討論。
  - 影響和科學小組(Impacts and Science Group, ISG)
  - 模式與數據小組(Aviation Carbon Calculator Support Group, ACCS)
  - 航空碳排計算支援小組(Forecasting and Economic Analysis Support Group, FESG)
  - 工作小組1:航空器噪音技術議題(Working group 1, WG1:Aircraft Noise Technical Issues)
  - 工作小組2:機場與營運操作(Working group 2, WG2: Airports and Operations)
  - 工作小組3:排放技術議題(Working group 3, WG3:Emissions Technical Issues)
  - 替代燃料工作小組(Alternative Fuels Task Force, AFTF)
  - 全球市場機制技術工作小組(Global Market Based Measure Technical Task Force, GMTF)

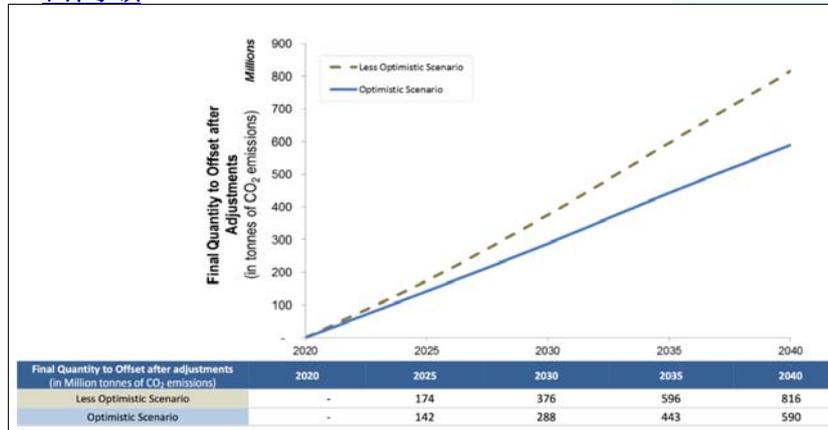
7



CAEP任務編組

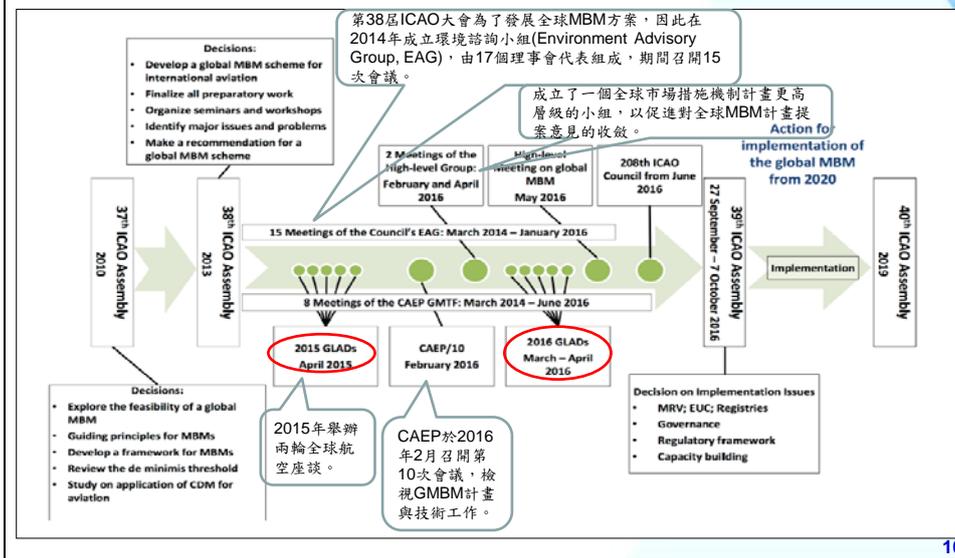
8

- CAEP同時預估未來2025~2040年航空碳排所需抵銷量，其中2025年在較佳的情境下，排碳量為142百萬噸，較差的情境下，排碳量為172百萬噸；另2035年則成長為443~596百萬噸。



9

## ■ 全球市場措施機制(GMBM)發展歷程



10

## ■ 全球市場措施機制(GMBM)發展內容

### -CORSA實施期程-A39-3\_(9)

- 示範階段(Pilot phase):[2021~2023年](#)。
- 第一階段(First phase):[2024~2026年](#)。
- 第二階段(Second phase):[2027~2035年](#)。

### -CORSA實施對象-A39-3\_(9)

- 示範階段與第一階段皆屬於[自願參加](#)。
- 第二階段對象符合以下條件之一者，及[受管制](#)。
  - ✓ 2018年其國際航空客貨運量占[全球總RTKs0.5%以上](#)的國家。
  - ✓ RTKs由高至低排序，累計前[90%的國家](#)。

11

### -CORSA豁免-A39-3\_(9)

- 最低度開發國家(Least Developed Countries ,LDCs)
- 小島嶼開發中國家(Small Island Developing States ,SIDS)
- 內陸開發中國家(Landlocked Developing Countries ,LLDCs)

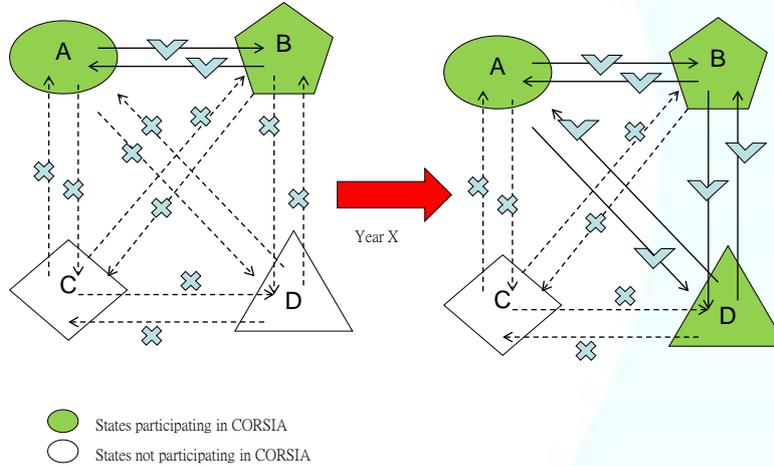
### -CORSA排除條件-A39-3\_(12)、(13)

- 新成立的航空公司前3年免責，但排放量如超過2020年總排放量的0.1%時，將直接納入管制。
- 航空公司每年產生的排放量不到10,000公噸。
- 航空器最大起飛重量(MTOM)小於5,700公斤。
- 進行人道主義、醫療、消防作業。

12

### -CORSlA航線計算範圍-A39-3\_(10)

- 只涵蓋國際線範圍，國內線不包含在CORSlA範圍內。



13

### CORSIA抵換量計算方式-A39-3\_(11)

- An aircraft operator's offset requirement = [%Sectoral × (an aircraft operator's emissions covered by CORSIA in a given year × the sector's growth factor in the given year)] + [%Individual × (an aircraft operator's emissions covered by CORSIA in a given year × that aircraft operator's growth factor in the given year)];
- 航空器營運者抵換要求=[產業部分百分比×(特定年份CORSlA所涵蓋的航空器營運者排放量×既定年份產業的增長因子)]+[個別部分百分比×(特定年份CORSlA所涵蓋的航空器營運者排放量×既定年份航空器營運者的增長因子)]
- where the sector's growth factor = (total emissions covered by CORSIA in the given year – average of total emissions covered by CORSIA between 2019 and 2020) / total emissions covered by CORSIA in the given year;
- 產業的增長因子=(特定年份CORSlA所涵蓋的總排放量-2019至2020年所涵蓋的平均總排放量)/特定年份CORSlA所涵蓋的總排放量
- where the aircraft operator's growth factor = (the aircraft operator's total emissions covered by CORSIA in the given year – average of the aircraft operator's emissions covered by CORSIA between 2019 and 2020) / the aircraft operator's total emissions covered by CORSIA in the given year;
- 航空器營運者的增長因子=(特定年份CORSlA所涵蓋的航空器營運者總排放量-2019至2020年所涵蓋的航空器營運者平均總排放量)/特定年份CORSlA所涵蓋的航空器營運者總排放量
- where the % Sectoral = (100% – % Individual)
- 產業部分百分比=(100%-個別部分百分比)

14

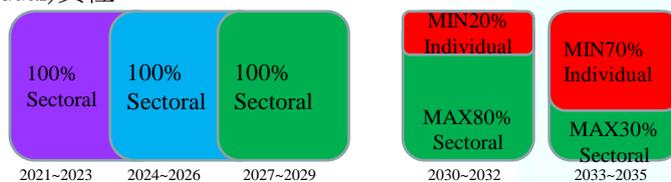
- where the % Sectoral and % Individual will be applied as follows:
  - 產業部分百分比與個別部分百分比適用下列情況
    - i) from 2021 through 2023, 100% sectoral and 0% individual, though each participating State may choose during this pilot phase whether to apply this to:
      - 2021~2023年，產業部分百分比為100%與個別部分百分比為0%，不過每個參加國家可選擇適用方式:
        - a) an aircraft operator's emissions covered by CORSIA in a given year, as stated above, or  
特定年份CORSIA所涵蓋的航空器營運者排放量
        - b) an aircraft operator's emissions covered by CORSIA in 2020;  
2020年CORSIA所涵蓋的航空器營運者排放量
    - ii) from 2024 through 2026, 100 % sectoral and 0% individual;  
2024~2026年，產業部分百分比100%與個別部分百分比為0%
    - iii) from 2027 through 2029, 100 % sectoral and 0% individual;  
2027~2029年，產業部分百分比100%與個別部分百分比為0%
    - iv) from 2030 through 2032, at least 20% individual, with the Council recommending to the Assembly in 2028 whether and to what extent to adjust the individual percentage;  
2030~2032年，理事會將在2028年向大會建議是否對個別部分百分比作調整，至少為20%
    - v) from 2033 through 2035, at least 70% individual, with the Council recommending to the Assembly in 2028 whether and to what extent to adjust the individual percentage;  
2033~2035年，理事會將在2028年向大會建議是否對個別部分百分比作調整，至少為70%

15

### -抵換量計算方式

- 採5階段(每階段3年期)

前3期採平均產業(Sectoral)責任，後2期逐步加重個體(Individual)責任



- 計算公式

✓ 基準年:2019~2020年之平均排放量

✓ 2021~2029年:

航空公司抵換責任=航空公司Y年於CORSIA管制內之排放量×  $\frac{\text{產業Y年於CORSIA之排放量} - \text{基準年排放量}}{\text{產業Y年於CORSIA之排放量}}$

✓ 2030~2032年:

航空公司抵換責任=0.8 ×平均分攤航空產業之排放量+0.2 ×個別航空公司之排放

✓ 2033~2035年:

航空公司抵換責任=0.3 ×平均分攤航空產業之排放量+0.7 ×個別航空公司之排放

16

### -案例說明

年份	2019~2020年 平均排放量	2022年 排放量	2033年 排放量
A國航空產業	820	860	890
該國航空公司A	70	85	100

單位:萬公噸

- 2022年航空公司A的抵換要求=  
 $\checkmark 85 \times (860-820)/860 \times 100\% = 3.95$ (萬公噸)
- 2033年航空公司A的抵換要求=  
 $\checkmark 100 \times (890-820)/890 \times 30\% +$   
 $100 \times (100-70)/100 \times 70\% = 23.36$ (萬公噸)
- 假如不考慮個體(Individual)責任，2033年航空公司A的抵換要求=  
 $\checkmark 100 \times (890-820)/890 \times 100\% = 7.87$ (萬公噸)

兩者相差  
15.5萬公噸

17

### -CORSA數據提報方式-A39-3\_(16)、(20)

- 航空器營運者向航空器登記國指定的註冊處報告所需的資料。
- ICAO會設立一個統一的中央註冊處，於2021年1月1日之前開始運作。
- 各國(會員國)按照ICAO的指導，設立國內註冊處或集體(聯合)註冊處制定必要的安排，或為參加其他註冊處作出安排。

18

## 四、其他減碳措施技術發展狀況

### ■ 航空器技術的改進

—航空器現代化的機體與引擎將是減少環境碳排重要的項目，因此新的引擎技術與機體設計將是減少燃油消耗，並且達成2020年碳中和目標的工具。

—機體與引擎改善

- 減少機體重量是一個減少燃油消耗的方式，飛機空重越小時，燃油效率也更好。
- 高旁通比(High ByPass Ratio,BPR) 的發動機由於提高了推進效率，因此提供更低的油耗，有助於提高碳排效率。
  - ✓新一代機型包括A380、Boeing787、Airbus A350、Bombardier's C系列，都是提高燃油效率系列。
  - ✓另外同時這些機型機體的共通特性就是以複合材料取代傳統鋁材料。

19

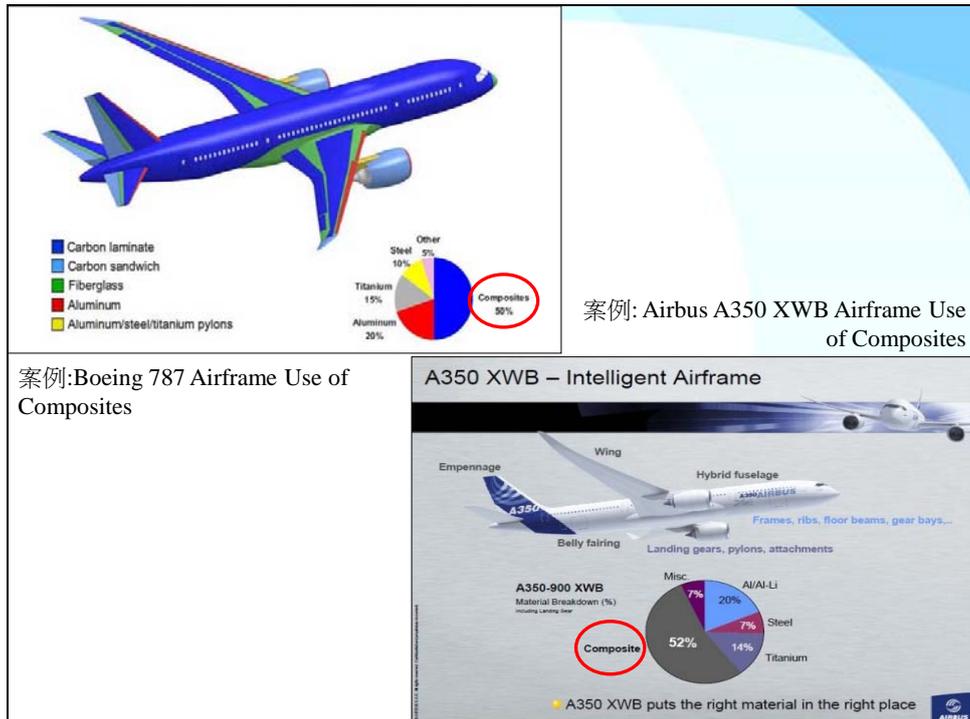
- A380是較早使用複合材料的案例，整個機體約有25%的量，另外Bombardier C系列則有20%使用的量，大部分使用的地方在航機中間與後面的部分，包括機身、機尾、尾翼與兩翼。
- 最近推展碳纖維增強塑料簡稱碳纖塑料(Carbon Fibre Reinforced Plastic,CFRP)技術，機體使用也達50%以上；另外也使用先進材料如鈦與鋁合金，這些材料的結合減輕了機體的重量，因此燃油消耗也降低。
- 另外新的機型也採用高水準的電子系統，並且控制及降低飛機的操作重量，有助於提升飛機的操作效率。

20

-ICAO理事會通過新的航空器二氧化碳排放標準

- 2017年3月6日在ICAO蒙特婁總部，36個理事國組成的ICAO理事會，正式通過一項特別決議-新航空器二氧化碳排放標準，該標準將減少航空溫室氣體排放對全球氣候影響。
- 目的是藉由鼓勵飛機設計及開發過程中採用節油新技術，確保老舊飛機儘快更新，被更高效的飛機取代，從而降低整個航空業的二氧化碳排放量。
- 該標準適用於2020年以前新型航空器機型設計，與2023年以前生產之機型設計，另外已經投產航空器則須於2028年前達到標準。

21

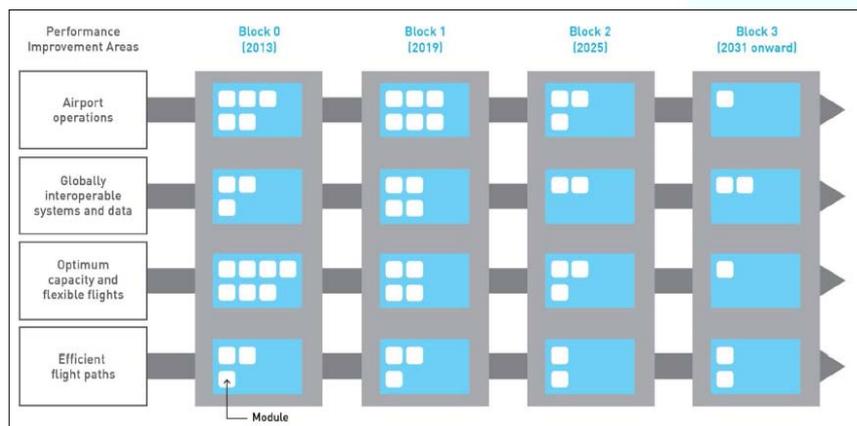


## ■ 航空器航行最佳化

- ICAO為提升航空器航行效率及持續提升全球航網安全，遂以全球策略層次提出第「全球空中航行計畫 (Global Air Navigation Plan, GANP)」，用以整合未來20年航電裝備性能、飛航服務地面基礎設施、自動化等面向及其共同推動進度，進而促進全球飛航系統的容量與效率，並同時保持或增進飛行安全。
- ICAO之飛航會議(Air Navigation Conference, ANC)，約每隔10年舉辦，其中第12次飛航會議於2012年11月舉行，ANC提出第4版Doc 9750全球空中航行計畫草案，經理事會核可，並於2013年9月召開之ICAO第38次會員大會(Assembly)採納，第4版GANP主要納入飛航系統提升(ASBU, Aviation System Block Upgrades)，而GANP平均每3年修訂並提交ICAO會員大會。

23

- 第5版GANP連同ASBU文件已由ANC遞交ICAO Council核可，並提交2016年9月召開之ICAO第39次會員大會討論，其中小幅度修正，包括將各區段時程由5年調整為6年，而第6版GANP預計2019年發布，適為Block 1啟始年，預期將較大幅度修訂，而藉由ASBU相關措施將可有效提升航空器運行效率，以節省燃油消耗。

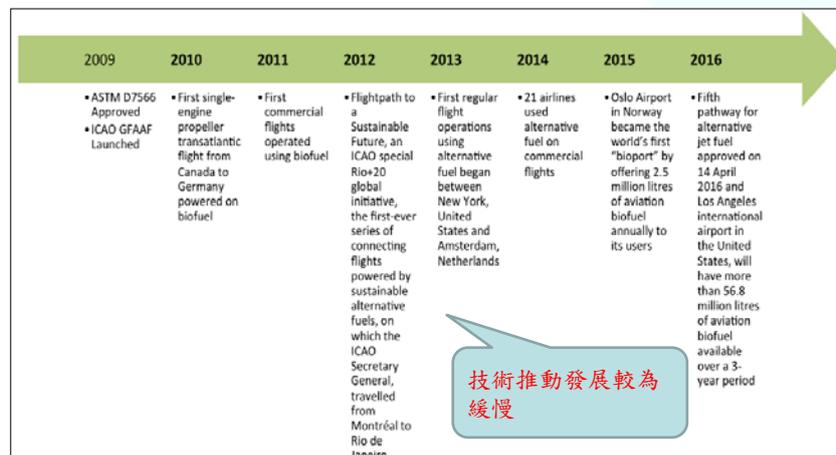


24

## ■ 航空器替代燃料發展

- ICAO在2009年舉行第1次有關替代能源的研討會，開始了全球航空替代燃料架構( ICAO Global Framework on Aviation Alternative Fuels ,GFAAF)，並於2009年公布有關合成碳氫化合物作為航空渦輪燃料的標準規範( ASTM D7566)。
- 2010年第1架單引擎螺旋槳機使用生物燃料，從加拿大橫跨大西洋飛往德國，隨後在2011年第1架商業客機使用生物燃料，2013年有定期航班(紐約-阿姆斯特丹)使用替代燃料，2014年有21家航空公司商業客機中加入替代燃料。
- 2016年有5個途徑通過ASTM D7566驗證，提供替代燃料，並且有2個機場提供生質燃料，分別為挪威奧斯陸機場、美國洛杉磯機場。
- 根據國際再生能源機構( International Renewable Energy Agency, IRENA)報告，全球59個國家(航空運量占79%)表示將會投資永續替代燃料，另外37個國家(航空運量占35%)打算在機場從事清潔和可再生能源的使用。

25



ICAO推動航空替代燃料歷程

26

## 五、減碳措施發展對我國影響初析

### ■ 全球市場措施機制(GMBM)對我國民航影響

- 我國兩大航空公司(華航、長榮)所造成的碳排放量已超過A39-3中1.(3)規定，因此屬於受管制對象。
- 我國雖非ICAO會員，但如果被動不參與，可能受國際壓力造成形象受損，並遭受他國抵制，而後續CORSIA計畫制訂裁罰條款後，可能面臨相關裁罰風險。
- ICAO預訂於2017年底完成監測、報告與查證(Monitoring, Reporting and Verification, MRV)作業準則，2018年通過理事會核可，2019年執行。其中MRV可分為3大部分：
  - 監測是對於航空器的燃油使用、資料搜集，和計算碳排放量之監測機制；
  - 報告則是對上述碳排數據與相關資料的回報，是用於計算業者的每年所需負擔之基礎；
  - 查核則是確保監測和報告數據正確性的檢驗。

27

### ■ 航空公司各航線機隊碳排狀況探討

- 為瞭解目前國籍航空機隊碳排狀況，因此本研究利用Eurcontrol(Small Emitters Tool)提供之軟體計算航空器之碳排放量。
- 本次計算以航程距離來區分，分為短程(1,000公里以下)、中程(2,000公里以上)、長程(8,000公里以上)，因此選擇4條航線進行分析，分別為臺北-香港(短程)、臺北-成田(中程)、臺北-新加坡(中程)、臺北-洛杉磯(長程)。

28

### 臺北-香港航線基本資料

機型	ICAO Code	距離(Km)	座位數	ASK
Boeing 777-300ER(1)	B77W	805	330	265,650
Boeing 777-300ER(2)	B77W		358	288,190
Airbus A321	A321		184	148,120
Airbus A330-200	A332		252	202,860
Airbus A330-300	A333		309	248,745
Boeing 737-800	B738		158	127,190
Airbus A350-900	A359		306	246,330
Boeing 747-400	B744		384	309,120

### 臺北-成田航線基本資料

機型	ICAO Code	距離(Km)	座位數	ASK
Airbus A330-300	A333	2,181	309	673,929
Airbus A321	A321		184	401,304
Airbus A350-900	A359		306	667,386
Boeing 747-400	B744		384	837,504

29

### 臺北-新加坡航線基本資料

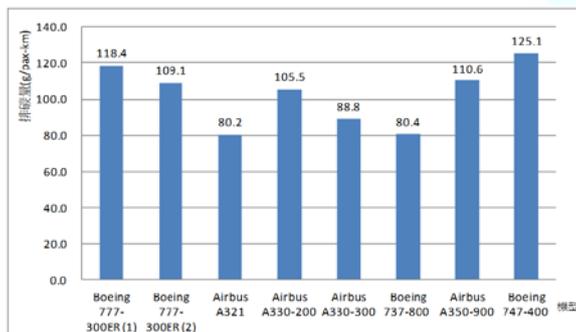
機型	ICAO Code	距離(Km)	座位數	ASK
Boeing 777-300ER(1)	B77W	3,219	330	1,062,270
Boeing 777-300ER(2)	B77W		358	1,152,402
Airbus A350-900	A359		306	985,014
Airbus A330-300	A333		309	994,671

### 臺北-洛杉磯航線基本資料

機型	ICAO Code	距離(Km)	座位數	ASK
Boeing 777-300ER(1)	B77W	10,919	330	3,603,270
Boeing 777-300ER(2)	B77W		358	3,909,002

30

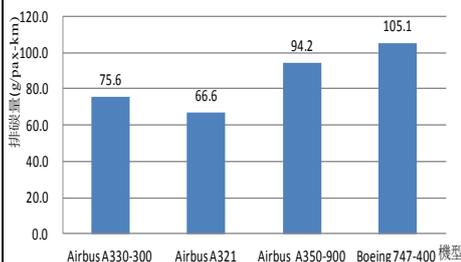
- 目前短程航線(臺北-香港)服務的機型有7種，各機型中以Boeing 747-400排碳量最高為125.1(g/pax-km)，而最低則為Airbus A321與Boeing 737-800，其排碳量分別為80.2(g/pax-km)與80.4(g/pax-km)。
- 由於Boeing 747-400為較早研發的機型，而現今Boeing公司已停產該機型飛機，因此該型飛機不論在機體設計或在引擎效能上，都無法與近期研發之機型相比，所以在碳排放量上遠高於Airbus A321與Boeing 737-800，達到1.6倍之多。
- 另外值得注意的是短程航線中，所有雙走道客機所造成的碳排量都超過100(g/pax-km)，其中只有Airbus A330-300例外，該機型排碳量只有88.8(g/pax-km)，整體而言單走道飛機在短程航線中有較佳減碳效果。



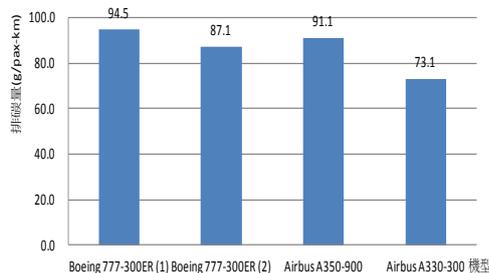
臺北-香港航線各機型單位碳排放量

31

- 中程航線(臺北-成田)服務的機型有4種，各機型中以Boeing 747-400排碳量最高為105.1(g/pax-km)，而最低則為Airbus A321與Airbus A330-300，其排碳量分別為66.6(g/pax-km)與75.6(g/pax-km)，而該航線碳排量超過100(g/pax-km)，只有Boeing 747-400。
- 中程航線(臺北-新加坡)服務的機型有3種，各機型中以Boeing 777-300ER(1)排碳量最高為94.5(g/pax-km)，不過另一家航空供將座位數提高至358個時，排碳量則降為為87.1(g/pax-km)，本航線較佳碳排機型仍為Airbus A330-300，其排碳量分別為73.1(g/pax-km)。



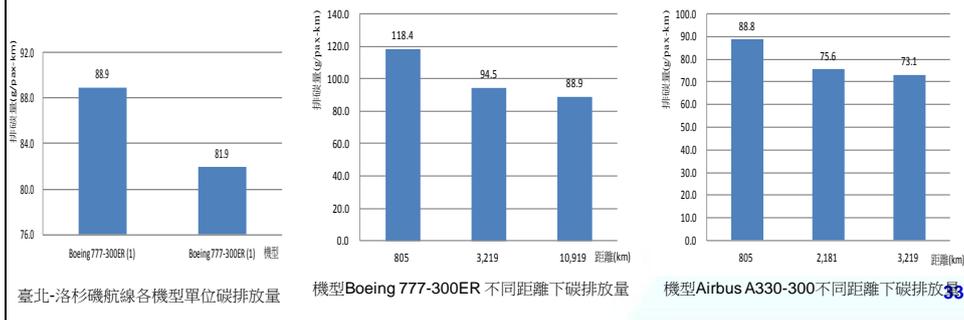
臺北-成田航線各機型單位碳排放量



臺北-新加坡航線各機型單位碳排放量

32

- 長程航線(臺北-洛杉磯)服務的機型只有1種，但航空公司提供的座位數有2種，分別為330個與358個座位數，Boeing 777-300ER(1)排碳量為88.9(g/pax-km)，然而當另一家航空供將座位數提高至358個時，排碳量則降為為81.9(g/pax-km)，不過兩者差距不大。
- 由中、右圖則可以發現，當航空器飛行距離越長時，單位(g/pax-km)所排放之碳量將持續減少。
- 整體而言，國籍航空公司已逐漸淘汰舊有機型而更換新型的機隊，不過仍有部分機型如Boeing 747-400燃油效率明顯偏差，建議後續仍須規劃新機更新計畫，以符合國際碳排標準，並減少碳的排放量。



### ■ 碳排費用對航空公司航線營運影響探討

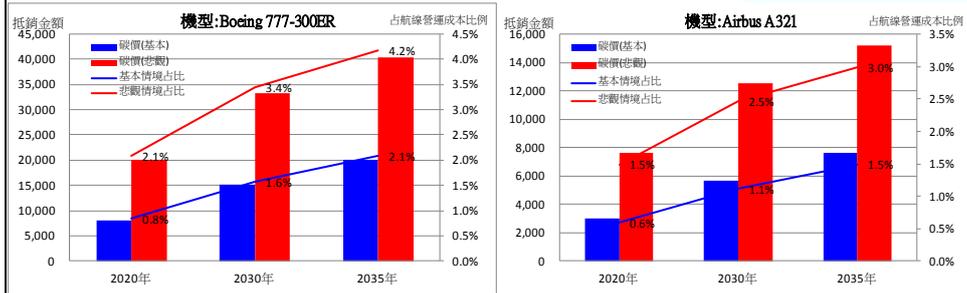
- 為瞭解未來新增碳排費用可能對國籍航空營運成本影響，因此選定國內1家國籍航空進行初步分析，分析仍以短、中、長程航線分別討論，因此選擇4條航線進行分析，分別為臺北-香港(短程)、臺北-成田(中程)、臺北-新加坡(中程)、臺北-洛杉磯(長程)，其中碳的交易價格則是依據ICAO的預測資料進行計算。

碳交易金額/每噸	2020年	2030年	2035年
基本價	8	15	20
悲觀情境 (高價)	20	33	40

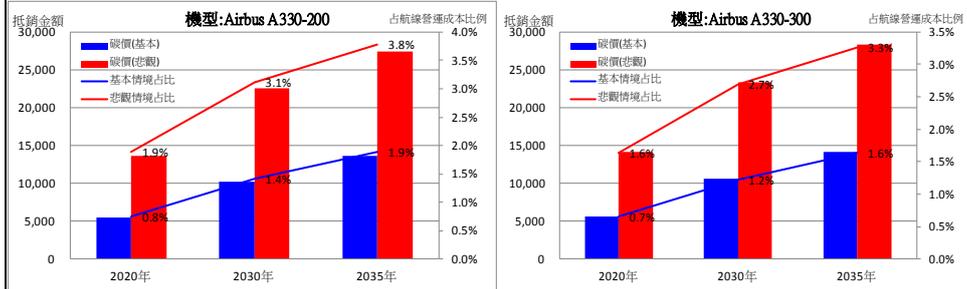
單位：美元。

### —臺北-香港航線

- 以臺北-香港航線為例，該公司共有4種機型營運，分別為Boeing 777-300ER、Airbus A321、Airbus A330-200、Airbus A330-300。
- 以Boeing 777-300ER為例，在基本情境下，碳排交易費用約占營運成本0.8%~2.1%，而在悲觀情境下，碳排交易費用約占營運成本2.1%~4.2%。
- 以Airbus A321為例，在基本情境下，碳排交易費用約占營運成本0.6%~1.5%，而在悲觀情境下，碳排交易費用約占營運成本1.5%~3.0%。

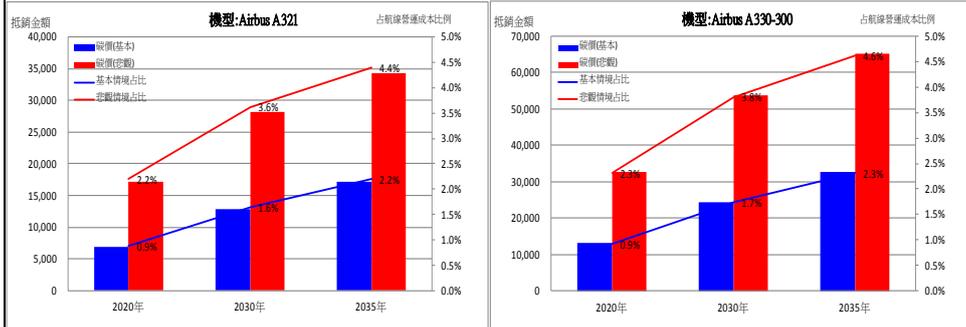


- 以Airbus A330-200為例，在基本情境下，碳排交易費用約占營運成本0.8%~1.9%，而在悲觀情境下，碳排交易費用約占營運成本1.9%~3.8%。
- 以Airbus A330-300為例，在基本情境下，碳排交易費用約占營運成本0.7%~1.6%，而在悲觀情境下，碳排交易費用約占營運成本1.6%~3.3%。
- 由4種營運機型分析，單走道Airbus A321碳排交易費用約占營運成本最低，而雙走道客機碳排交易費用占營運成本明顯較高，其中以Boeing 777-300ER機型為最，而Airbus A330-200明顯比Airbus A330-300高，其主要原因為Airbus A330-300為較新型之客機。



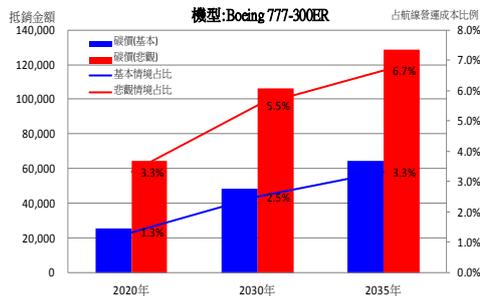
### -臺北-成田航線

- 以臺北-成田航線為例，該公司共有2種機型營運，分別為Airbus A321、Airbus A330-300。
- 以Airbus A321為例，在基本情境下，碳排交易費用約占營運成本0.9%~2.2%，而在悲觀情境下，碳排交易費用約占營運成本2.2%~4.4%；以Airbus A330-300為例，在基本情境下，碳排交易費用約占營運成本0.9%~2.3%，而在悲觀情境下，碳排交易費用約占營運成本2.3%~4.6%。
- 由2種營運機型分析，在碳排交易費用占營運成本比例中，單走道Airbus A321與雙走道Airbus A330-300客機差異性不大，顯示單走道Airbus A321與雙走道Airbus A330-300客機在燃油效率方面相當。



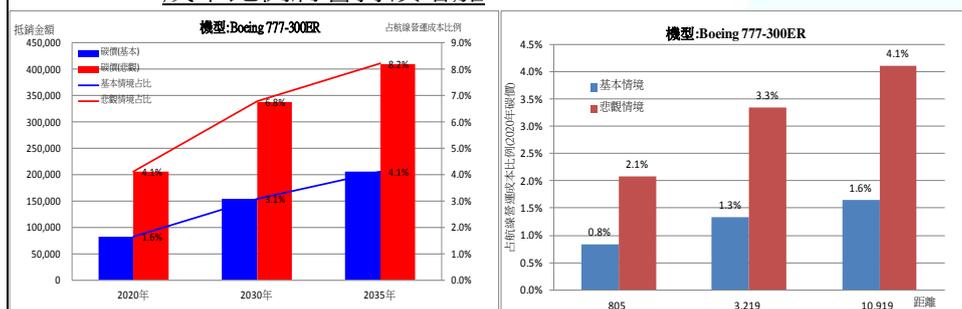
### -臺北-新加坡航線

- 以臺北-新加坡航線為例，該公司共有1種機型營運，為Boeing 777-300ER。
- 以Boeing 777-300ER為例，在基本情境下，碳排交易費用約占營運成本1.3%~3.3%，而在悲觀情境下，碳排交易費用約占營運成本3.3%~6.7%。



### 一、臺北-洛杉磯航線

- 以臺北-洛杉磯航線為例，該公司共有1種機型營運，為Boeing 777-300ER。
- 以Boeing 777-300ER為例，在基本情境下，碳排交易費用約占營運成本1.6%~4.1%，而在悲觀情境下，碳排交易費用約占營運成本4.1%~8.2%。
- 由Boeing 777-300ER各營運航線觀察，同一機型在不同距離下，當航行距離越長時，碳排交易費用所占營運成本比例將會持續增加。



### ■ 國內飛航管制相關技術發展因應狀況

- ICAO為促進全球飛航系統的偕同化，提升容量及環境效率，規劃出航空系統提升策略方案(ASBU)，依時間點循序進行效能改善，明確規劃4個改善區域及4個執行區段，並依執行時間(每6年)分為4個區段(Block0-3)，目前我國CNS/ATM系統均達Block0階段，只需針對調整之模組進行強化。
- 民航局應參照ASBU未來所規劃之相關內容，檢視目前所提助導航設施之短中長期規劃是否符合未來需求，同時持續滾動檢討並與國際技術標準無縫接軌。

## ■ 國內航空替代燃料相關技術發展因應狀況

- 工研院及中油公司曾表示技術原則可行，惟供應鏈端尚有疑慮如下：
  - 需採用何種原物料來源尚待評估，如地溝油或植物（藻類、亞麻、麻風樹…等）。
  - 國內尚缺乏製造生質燃油的公司及工廠。
  - 生質燃油製造成本比石化燃油製造成本高出許多。
- 生質燃油可否用在國內航空器，民航局標準組未來需經過測試，預計參考美國材料試驗協會ASTM D7566測試標準，俟國內廠商製造出生質燃油後，先以幾條國內線測試減碳成效及有無安全疑慮。
- 即使幾條國內線測試結果無安全疑慮，因生質燃油價格比石化燃油高出許多，如何鼓勵航空公司使用生質燃油亦是一大課題。

41

## 六、結論與建議

### ■ 結論

- 航空二氧化碳排放管制已成趨勢，ICAO也從全球市場措施機制(GMBM)、航空器技術的改進、航空器航行最佳化、航空器替代燃料的發展等4個面向，積極發展新技術及輔導新規則，以降低航空碳排放量；後續仍應持續關注本議題。

### ■ 建議

- 針對全球市場措施機制(GMBM)議題，我國宜依CORSIA MRV要求，須建立國內相關作業準則及規範，並建置註冊系統。基於此，國內相關作業可提前準備，以與國際接軌，對於後續提報作業亦需研擬其相關因應對策。
- 隨者新航空器的研發，引擎燃油效率也更好，因此需輔導國籍航空更換新型機隊以減少碳排。
- 航管單位應繼續關注ASBU相關措施發展，並持續更新系統與設備，以期能與國際接軌。
- 替代燃料仍是初步展階段，且由於成本仍較傳統石油較高，因此要如何輔導建立相關產業及供應鏈，仍需進一步研究。

42



43