航空環境研究 No.24（2020）, PP.1 − 8

研究報告

航空機の二酸化炭素排出量推計の空港間比較 *

橋本　弘樹（航空環境研究センター 主任研究員）

ICAO（International Civil Aviation Organization：国際民間航空機関）では、2010年の第37回総会で①燃料効率を2050年まで毎年2%ずつ改善すること、②2020年以降はCO_2の総排出量を増加させない（CNG2020：Carbon Neutral Growth 2020）ことをグローバルなCO_2削減目標として採択した。

この目標を達成するためには、一つの方策では不十分であり、複数の方策を組み合わせて総合的に実施していくことになった。その方策は、①新技術の導入（新型機材等）、②運航方式の改善、③バイオ燃料の導入、④経済的手法の活用（排出権取引）である。

また、機体及びエンジンメーカーは、これまでも燃料効率の良い航空機を開発するために努力を重ねてきているが、2016年の第39回総会で航空機の技術的な効率化を促進するためにCO_2の排出基準が決められた。

航空関連のCO_2は航空機以外にも空港内の地上支援機材（GSE：Ground Support Equipment）や空港施設等からも排出されているが、本報告では、時刻表やインターネット等で収集した運航情報を基に国内外の空港における航空機主エンジンからのCO_2排出量を推計した。

まず、航空機の機種別の1機当たりのCO_2排出量を比較するとともに、機体サイズで基準化するために最大離陸重量（MTOW）1t当たりのCO_2排出量を求め比較した。次に、国内空港の長期間にわたるCO_2排出量の推移とその変動要因を探った。

また、海外の主要な空港の近年のCO_2排出量を推計し、国内空港の状況と比較を行うとともに、1機当たりのCO_2排出量を機種別に空港間で比較を行い空港の特性の検討を行った。

1. 機種別CO_2排出量

1.1 機種別CO_2排出量の算出方法

航空機から排出される大気汚染物質は、空港近くで地上への影響が大きい考えられることから、高度3000ft（915m）以下に発生した航空機排出物の量を推計して影響を評価する手法がある。ICAOでは、空港離着陸に関する航空機の運航モードを図1に示すLTO（Landing and Take-off）サイクルと呼び、表1に示す運航モードごとに時間設定とエンジン推力設定を決めている。また、航空機エンジン種別ごとの運航モードに応じた単位時間当たりの燃料流量がICAOエミッションデータバンク[1)]にまとめられている。但し、ターボプロップ機のエンジンはICAOで規制していない小型エンジンのためICAOエミッションデータバンクに排出データが記載されていない。このため、ターボプロップ機の排出量は、RJ機で排出量が一番少ない機種を適用した。

航空機1機当たりのCO_2排出量は、航空機に装着されているエンジン種別を特定し、その排出原単位とエンジン基数を合わせることで求めることができる。同じ機種でも異なるエンジン種別を装着できる航空機があるが、本稿では、航空機種別は特定できたが装着しているエンジン種別までは特定できなかったことから、当該航空機機種に装着可能なエンジンの単位時間当たりの燃料流量を平均して用いて算出した。空港全体からの

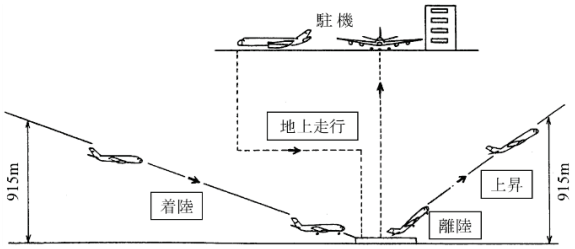

図1　LTOサイクル

* Comparison between airports of estimated CO_2 emissions from aircraft

航空機のCO_2排出量は、機種別CO_2排出量と空港の機種別LTOサイクル回数(離着陸回数の半分：以下運航回数とする)を掛け合わせることで推計できる。

1.2 機種別CO_2排出量の比較

図2に推計した機種別の1LTOサイクル当たりのCO_2排出量(上図)及びMTOW1t当たりのCO_2排出量(下図)を示した。MTOWを基準として機体サイズを超大型機(360t以上)、大型機(200～360t)、中型機(100～200t)、小型機(60～100t)及びリージョナルジェット機(RJ機)(60t以下)に分けて示した。さらにそれぞれの機体サイズごとに就航年が古い順から並べた。

この結果を見ると機体サイズが大きいほど1LTOサイクル当たりのCO_2排出量が多いことが分かる。また、航空機の大きさを基準化するために示したMTOW1t当たりのCO_2排出量を見ると、近年就航した航空機は同じ機体サイズ同士で見比べると1LTOサイクル当たりのCO_2排出量は少なく燃費が良いことが分かった。特に新し

表1 ICAOにおけるLTOサイクル時間(分)とエンジン推力設定

運航モード	時間(分)	エンジン推力設定
離陸	0.7	100%
上昇	2.2	85%
着陸	4	30%
地上走行	26	7%

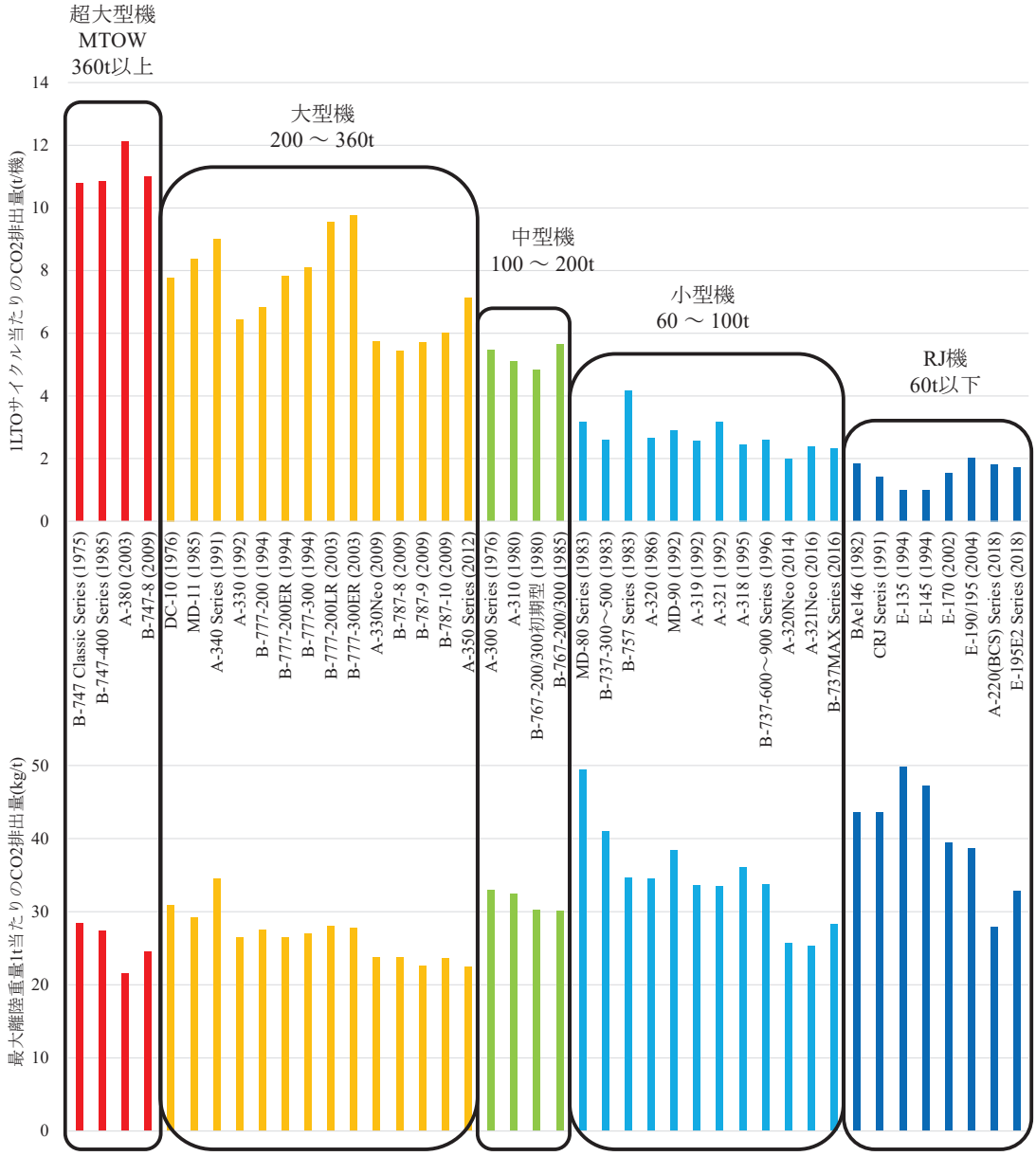

図2　LTOサイクル当たり及びMTOW1t当たりの機種別CO2排出量

く開発されたエンジンを搭載したエアバス社のA320/321/330neoシリーズやA350シリーズ及びボーイング社のB737MAXやB787シリーズは、同じ機体サイズの中で他の機種に比べてCO_2排出量が少ないことが分かる。CO_2排出量が少ないということは燃料消費量が少ないことを意味するため、航空会社からの要求もありエンジンメーカーは燃料消費量ができるだけ少ない燃費の良いエンジンを開発してきている。

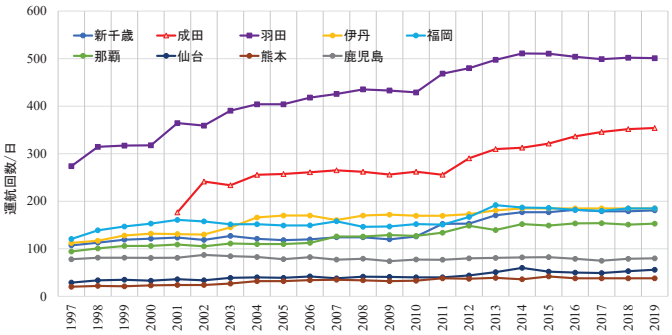

図3　運航回数の年次変化

2.国内空港における長期間にわたるCO_2排出量の推移と要因分析

2.1 運航状況

当センターでは、航空機の騒音暴露量の経年的な変化を調査するため、日本国内の主要な空港の国内定期便の機種別・運航回数を4月1日の時刻表ダイヤを読み取って分析対象とした。また、成田空港は年度ごとの機種別・運航回数を「成田国際空港航空機騒音測定結果(年報)」[2)]から取得して機種別の日平均運航回数を求めた。時刻表ダイヤから国内定期便の運航情報を取得した空港は、8空港(羽田空港、新千歳空港、伊丹空港、福岡空港、那覇空港、鹿児島空港、仙台空港、熊本空港)である。成田空港以外は国内定期便のみの運航情報であることに留意する必要がある。

1997年度～2019年度までの1日当たりの着陸回数の経年変化を図3に示す。空港の規模により運航回数に大きな差がみられていることが分かる。ずっと横ばい傾向にある鹿児島空港を除き2002年度以降は増加傾向にあったが、近年は横ばい傾向で推移している。

2.2 CO_2排出量の推計結果

国内空港9空港(羽田空港、成田空港、新千歳空港、伊丹空港、福岡空港、那覇空港、鹿児島空港、仙台空港、熊本空港)の機種別・運航回数から1.1項の方法により1日当たりのCO_2排出量を推計した結果を図4に示す。当然のことであるが運航回数の多寡により1日当たりのCO_2排出量が左右されていることが分かる。このため運航回数に左右されないように1機当たりのCO_2排出量を算出した結果を図5に示す。1機当たりのCO_2排出量も空港により異なることが分かる。これは、空港ごとに機種構成が異なり、成田空港や羽田空港のように比較的機体サイズの大きな機種の運航が多い空港では1機当たりのCO_2排出量が多く、小型機やRJ機、ターボプロップ機が中心となる仙台空港や鹿児島空港では少ない傾向がある。

鹿児島空港では基準年の平成14年度～平成21年度までは横ばい、そこから平成24年度まで減少傾向でその後は再び横ばい傾向を示している。

那覇空港では平成18年まで増加傾向、その後平

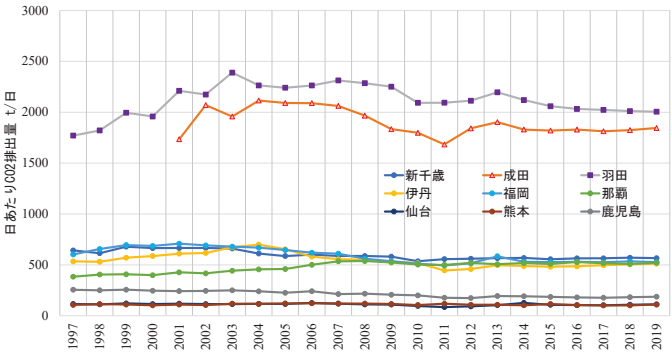

図4　1日当たりのCO_2排出量の年次変化

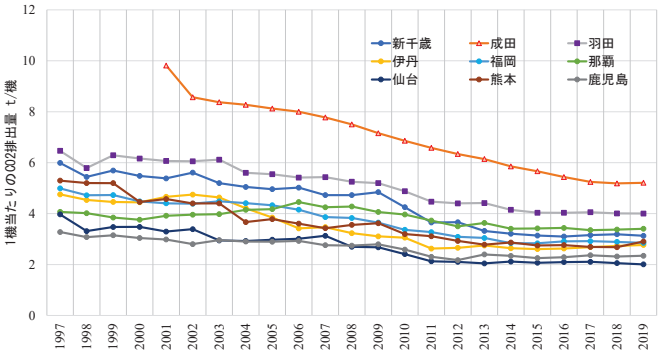

図5　1機当たりのCO_2排出量の年次変化

成26年度まで減少傾向でその後横ばい傾向を示している。

その他の空港は、平成26年度までは減少傾向でその後横ばい傾向を示している。

2.3 国内空港CO_2排出量の変動要因分析

空港によって1日当たり及び1機当たりのCO_2排出量の推移が異なることから、その要因を検討するため図6～図8に運航回数や1機当たりのCO_2排出量の年次変化に特徴が見られた鹿児島空港、那覇空港及び羽田空港の運航回数と1日当たり及び1機当たりのCO_2排出量の推移を機種別に色分けして示す。

図6に鹿児島空港の運航回数と1日当たり及び1機当たりのCO_2排出量の推移を示す。1日当たりのCO_2排出量は、1997年から2002年にかけてやや減少している。その後2009年までは横ばい傾向で推移し、2012年まで減少傾向を示し、近年は横ばい傾向を示している。この変動傾向は、1機当たりのCO_2排出量の変動と同じ傾向を示している。これは、鹿児島空港の運航回数が1997年以降横ばい傾向にあるためである。

1機当たりのCO_2排出量の変動要因を分析すると1997年から2002年までの減少傾向は、B747の運航が少なくなった結果である。2002年から2009年までの横ばい傾向は、機種構成に大きな変化がみられないためである。2009年から2012年までの減少傾向は、MD80の退役に伴い1機当たりのCO_2排出量が少ないB738の運航回数の増加が寄

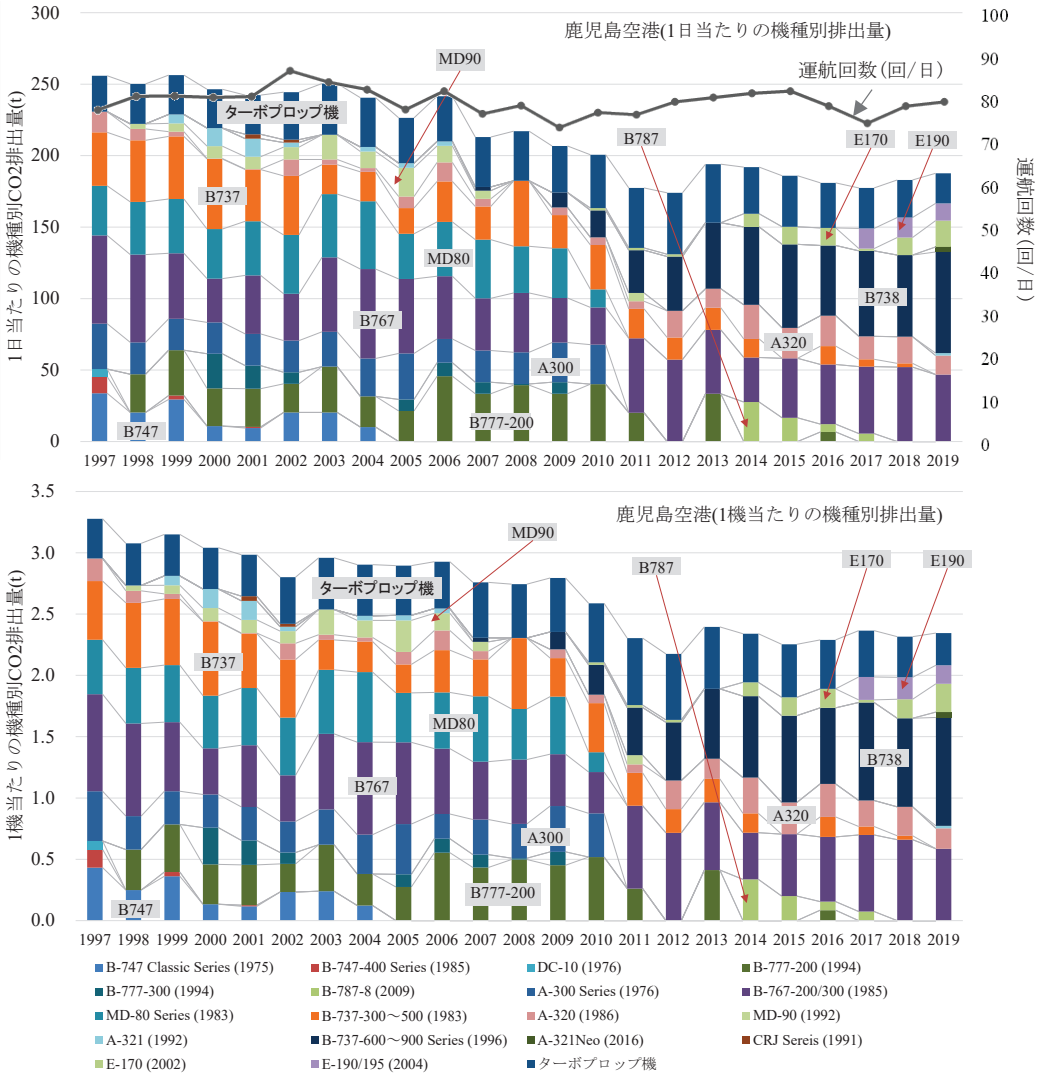

図6　鹿児島空港の1日当たり及び1機当たりの機種別CO_2排出量の推移

与している。その後横ばい傾向で推移している。

図7に那覇空港の運航回数と1日当たり及び1機当たりのCO_2排出量の推移を示す。1日当たりのCO_2排出量は、1997年から2007年までは増加傾向にあったが、その後はほぼ横ばい傾向にあった。この変動要因は、B744の運航回数の増加が寄与している。その後も運航回数が増加しているが1機当たりのCO_2排出量が減少しているため横ばい傾向を示している。

1機当たりのCO_2排出量の変動要因を分析すると1997年から2000年までの減少傾向は、ジャンボジェット機(B747,B744)の減少が寄与している。2000年から2006年までジャンボジェット機の運航回数の増加が大きく寄与している。2006年から2014年までの減少傾向もジャンボジェット機の運航回数の減少が寄与している。近年の横ばい傾向の要因はB737-300～500（B737)がB737-600～900（B738)に置き換わっているものの両機の1機当たりのCO_2排出量はほぼ同程度のためである。

図8に羽田空港の運航回数と1日当たり及び1機当たりのCO_2排出量の推移を示す。1日当たりのCO_2排出量は、1997年から2003年まで増加傾向にあったが、これは運航回数の増加によるものである。その後2012年ごろまで運航回数は増加していたが、1機当たりのCO_2排出量の減少により横ばいからやや減少していた。近年は運航回数も横ばい傾向で1機当たりのCO_2排出量も横ばい傾

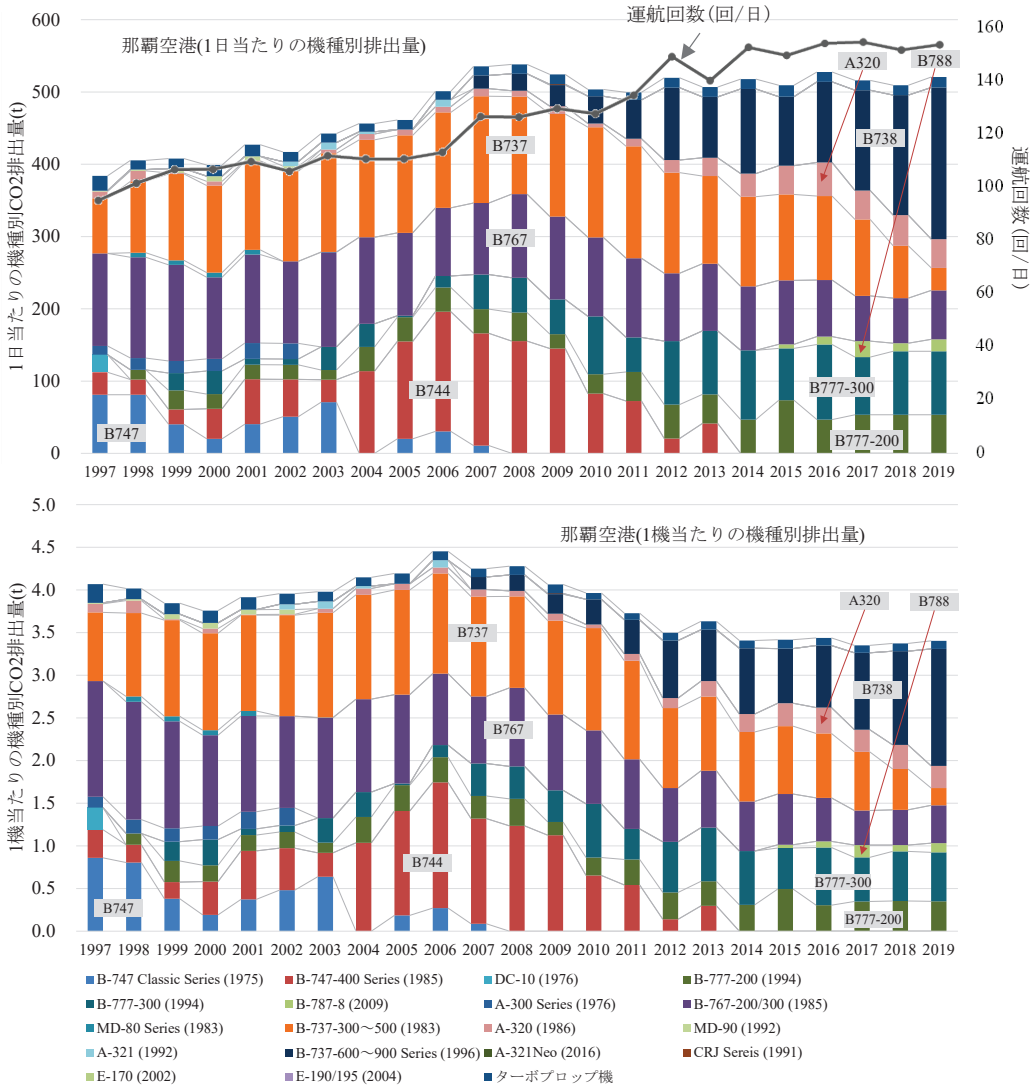

図7　那覇空港の1日当たり及び1機当たりの機種別CO_2排出量の推移

向のため1日当たりのCO_2排出量も横ばい傾向となっている。

1機当たりのCO_2排出量の変動要因を分析すると1997年から2003年までの横ばい傾向は、ジャンボジェット機の運航が少なくなっている一方で、B777-200,300の運航が増加しているためである。2003年から2013年までの減少傾向は、ジャンボジェット機の運航回数の減少が寄与している。近年は機種構成に大きな変化がみられないため横ばい傾向を示している。

このように、1日当たり及び1機当たりのCO_2排出量の長期間の変動は空港ごとにその要因が異なることが分かった。

3. 海外空港を含めたCO_2排出量の比較

3.1 運航状況

国内の空港では、すべての空港において近年は1機当たりのCO_2排出量は横ばい傾向にあることが分かった。そこで海外空港ではどうなっているかを確認するために、各空港の2017年2月23日、2018年12月13日及び2020年2月6日に運航された航空機の機種及び離着陸時刻の運航情報をflightradar24.comから取得し、検討した。運航情報を取得した空港(18空港)の一覧をIATA(International Air Transport Association:国際航空運送協会)の3レターコードも併せて表2に示す。

各空港の3年間の着陸回数を図9に示す。国内の空港と同様に空港の規模により空港の着陸回数は大きな違いがみられている。

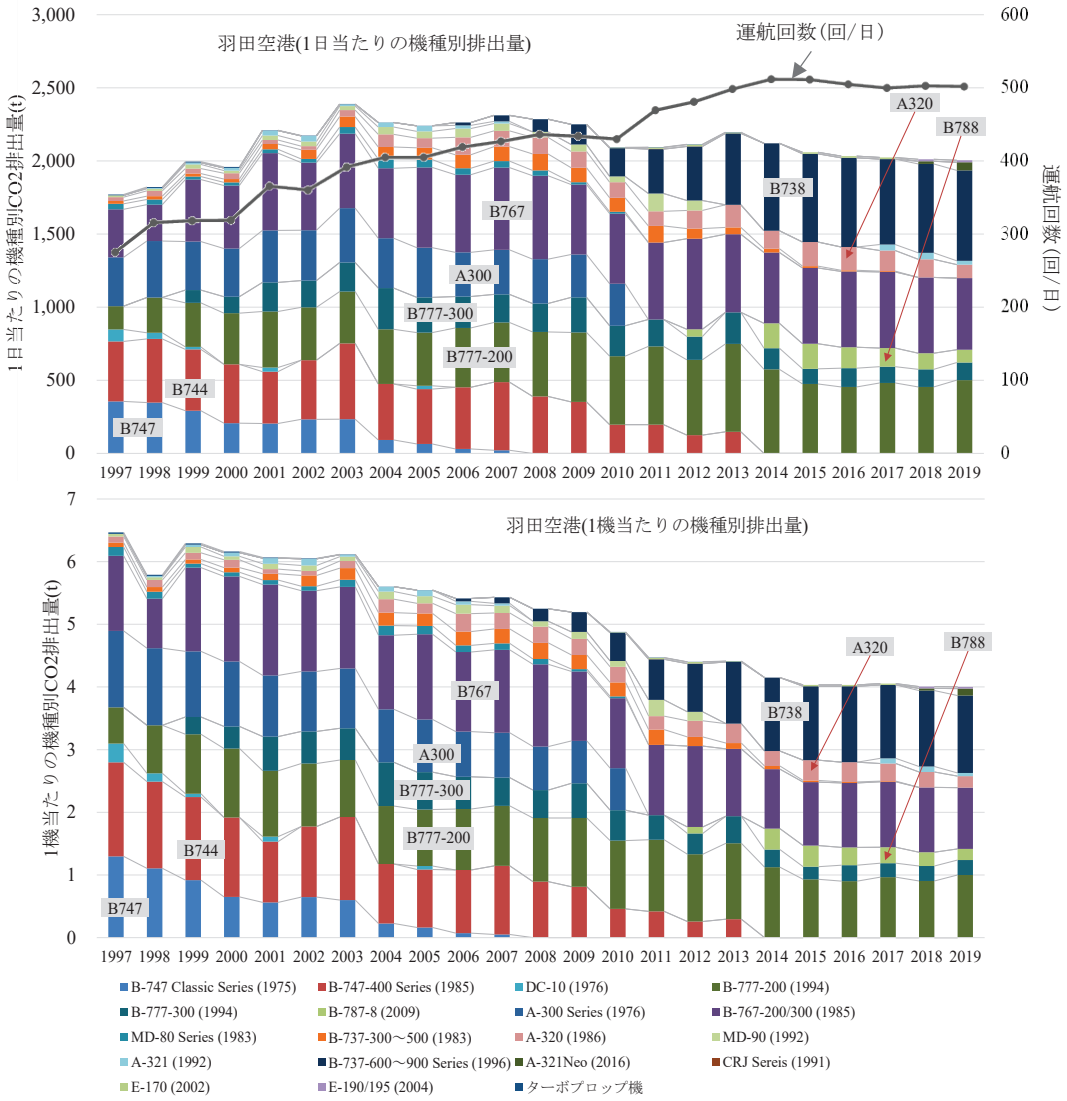

図8　羽田空港の1日当たり及び1機当たりの機種別CO_2排出量の推移

3.2 CO_2排出量の推計結果

取得した18空港の機種別・運航回数から1.1項の方法により1日当たりのCO_2排出量を推計した結果を図10に示す。国内の空港と同様に、当然のことであるが運航回数の多寡によりCO_2排出量が左右されていることが分かる。また国内空港と同様に1機当たりのCO_2排出量を算出した結果を図11に示す。これも国内空港と同様に1機当たりのCO_2排出量も空港により異なることが分かる。

3.3 海外空港CO_2排出量の空港間比較

1機当たりの排出量が空港間で異なることからその要因を探るため運航回数が同程度の4空港(LHR, FRA, JFK, ICN)を選び2019年の1機当たりの機種別排出量を比較したものを図12に示す。

ICN空港は他の3空港に比べて超大型機の寄与が大きく、大型機の中でも比較的1機当たりのCO_2排出量が多いB777シリーズの寄与も大きいことから1機当たりのCO_2排出量が他の3空港よりも大きい結果となっている。この要因として、韓国は、国土が狭いため国内線需要が極めて少なく、国際線が多いという特徴が挙げられる。特に欧米路線では航続距離が長い機種を使う必要があることや需要があれば運航の頻度より1回あたりの旅客や貨物を多く運ぶ方が経済的と考えられるため超大型機の運航が多いと考えられる。

LHR空港の超大型機の寄与はFRA空港と同程度であるが、B777シリーズの寄与が大きいため1機当たりのCO_2排出量が多くなっている。これは、LHR空港は混雑空港で運航回数が制限されていることもあり需要が高い長距離路線は大型機を使用しているためと考えられる。

JFK空港は、1機当たりのCO_2排出量がFRA空港と同程度であるが、国際線に用いられる機種として超大型機の寄与は小さく大型機の寄与が比較的大きいことが分かる。

表2　運航情報取得空港リスト

空港	IATAコード
ヒースロー空港	LHR
フランクフルト空港	FRA
ブリュッセル空港	BRU
スキポール空港	AMS
シャルル・ド・ゴール空港	CDG
チューリッヒ空港	ZRH
フィウミチーノ空港	FCO
ヘルシンキ空港	HEL
ジョン・F・ケネディ空港	JFK
ミネアポリス空港	MSP
ロサンゼルス空港	LAX
サンフランシスコ空港	SFO
仁川空港	ICN
北京首都空港	PEK
ドバイ空港	DXB
成田国際空港	NRT
東京国際空港	HND
関西国際空港	KIX

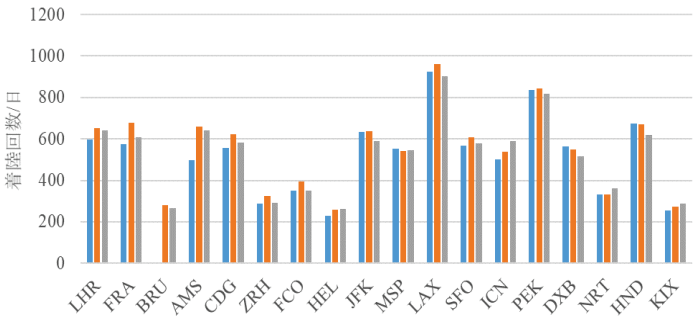

図9　運航回数

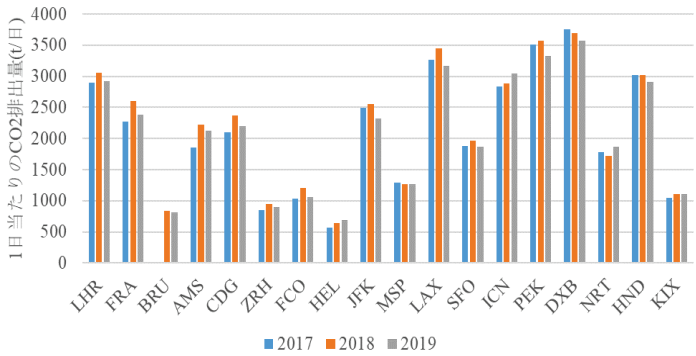

図10　1日当たりのCO2排出量

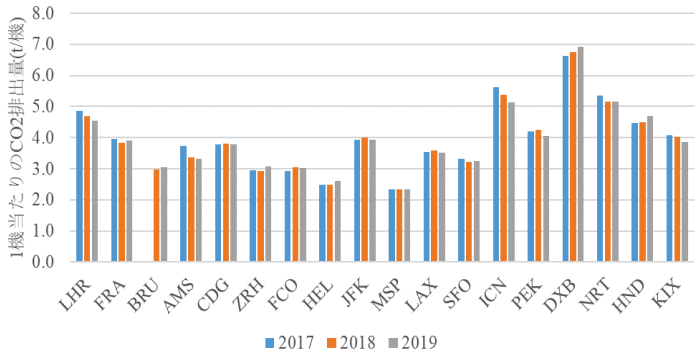

図11　1機当たりのCO2排出量

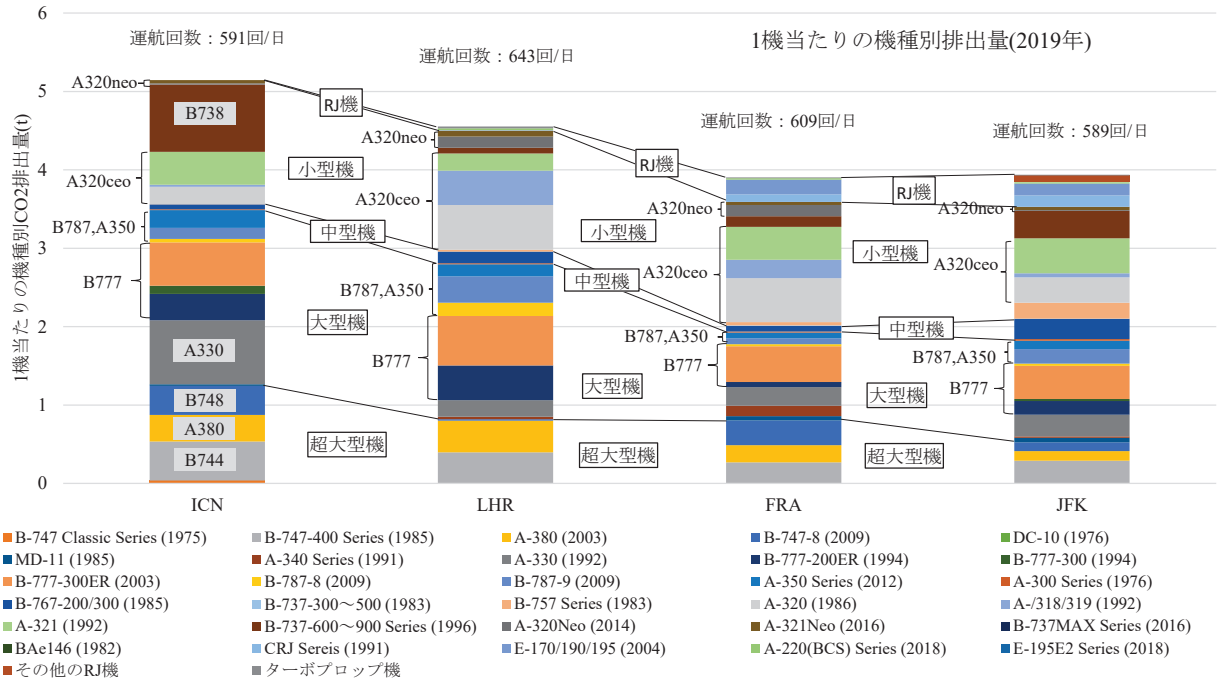

図12　海外空港の１機当たりの機種別CO_2排出量(2019年)

4. まとめ

本報告では、取得した国内及び海外空港の機種別の運航回数からICAOの方法により空港ごとの航空機からのCO_2排出量を推計し分析を行った結果、空港の規模や運航される機種構成によって空港のCO_2排出量は異なることが分かった。また、国内空港の長期間のCO_2排出量の変動要因として、ジャンボジェット機の運航の減少や小型機の増加などの機種構成の変化によって要因が異なることが分かった。特に鹿児島空港において同じ機体サイズの航空機であるMD80の運航がB738に置き換わることで1機当たりのCO_2排出量が減少していることが確認された。このことは、同じ機体サイズの航空機の中で1機当たりのCO_2排出量が多い機種から少ない機種への転換が進むことで運航回数、旅客数や貨物量を減少させることなく空港のCO_2排出量を減少させることが可能になることを示している。

海外空港においては、空港の機種構成に特徴がみられ、これによって1機当たりのCO_2排出量に影響を与えていることが分かった。

新しいエンジンを搭載した1機当たりのCO_2排出量が少ない航空機はまだ運航される回数が少ないが、今後これらの航空機の導入が進むことで空港のCO_2排出量を減少させることが可能になる。これらの航空機の導入促進のために航空機のCO_2排出量に着目した課金などの経済的手法も有効となる可能性があると考える。

また、本推計では、LTOサイクルの運航モードごとの時間にICAOが示す標準時間を用いたが、実際には空港ごとに異なると考えられる。特に、地上走行時間は、空港の混雑状況によって大きく異なることが予想され、CO_2排出量にも大きな影響を与える。地上走行時間の短縮など空港が行なえる方策もあると考えるが、海外空港の地上走行時間を把握することは困難であり、今後検討していく課題と考える。

参考文献

1）ICAO Aircraft Engine Emissions Databank,
（https://www.easa.europa.eu/document-library/icao-aircraft-engine-emissions-databank）
2）（公財）成田空港周辺地域共生財団　成田国際空港航空機騒音測定結果（年報）