

解 説

航空機運航と大気環境*

橋本 弘樹**

はじめに

地球上では自動車や工場の排ガスに伴う大気汚染、光化学反応により起きる光化学スモッグ、オゾン層の破壊や地球温暖化といった様々な大気環境問題がある。

航空機は車などと同様に化石燃料を燃焼して運航されていることから、空港周辺に大気汚染物質を排出するため空港周辺の大気環境問題があげられる。一方、航空機は自動車などと異なり高度13kmの上空を飛行し、その際も大気汚染物質を排出するため高高度の上空で大気汚染物質を排出する唯一の存在である（宇宙ロケットを除く）。その他、化石燃料の燃焼により気候変動の原因物質である二酸化炭素（CO₂）も発生する問題があげられる。

本解説では航空機の運航に伴う排ガスは地上3000フィート（915m）までは、空港周辺の大気汚染に係る地域環境問題として取り扱い、3000フィート以上で排出されるものは気候変動、地球温暖化の地球環境問題として取り扱うことにした。

また、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の影響により2020年から航空需要が大きく減少していることから本報告では航空需要に影響がない2019年までのデータを用いて解説を行った。

図1に国土交通省の「交通関連統計資料集」¹⁾を基に作成した日本国内の輸送機関別のエネルギー消費割合を示す。エネルギーの消費割合の約92%を乗用車、貨物車などの車が占めているが、航空機はジェット燃料として原油換算で5.1%消費しており、これが燃焼されると（エンジンや燃料により異なるものの）生成される大気汚染物質も概ねこれに相当する排出割合を占めることが推定される。



注：海運外航、航空国際線は除く
(合計 原油換算78,839千kl)

図1 輸送機関別エネルギー消費割合(平成30年度)

表1 航空機から排出される大気汚染物質と健康影響

大気汚染物質	地域環境(空港周辺)への影響	
	健康影響	ICAO規制
窒素酸化物(NOx)	呼吸器障害、発がん	あり
炭化水素(HC)	目、呼吸器障害、発がん	あり
一酸化炭素(CO)	めまい、吐き気、酸欠	あり
PM10、PM2.5 (PM2.5よりも粒径が小さいPMの健康影響懸念)	呼吸器障害、発ガン	あり
硫酸酸化物(SOx)	呼吸器障害	なし
VOCs(揮発性有機化合物) ベンゼン等	呼吸器障害、発ガン	なし

1 地域環境問題(空港周辺)

1.1 航空機から排出される大気汚染物質と健康影響

航空機は化石燃料を燃焼させることから排出される大気汚染物質は車と同様な健康に影響がある物質となる。

表1に航空機から排出される大気汚染物質と健康への影響及びICAO(国際民間航空機関)による規制状況をまとめた。ICAOでは、一部の物質において航空機エンジン排出物の規制を行っている。

空港周辺における大気汚染は、空港のそばにあるからと言って特別な規制は行っておらず、人の健康を保護するうえで維持することが望ましい基準として定められている大気汚染に係る環境基準²⁾が適用される。大気汚染に係る環境基準を表2に示す。

* Aircraft Operation and Atmospheric Environment

** 航空環境研究センター 調査研究部 主任研究員

表2 大気汚染に係る環境基準

大気汚染物質		環境上の条件	
二酸化窒素	NO ₂	1時間値の1日平均値が0.04 ppmから0.06 ppmのゾーン内またはそれ以下であること。(S53.7.11告示)	0.04～0.06ppm
一酸化炭素	CO	1時間値の1日平均値が10 ppm以下でありかつ、1時間値の8時間平均が20 ppm以下であること。(S48.5.8告示)	10ppm
浮遊粒子状物質	SPM	1時間値の1日平均値が0.10 mg/m ³ 以下でありかつ、1時間値が0.20 mg/m ³ 以下であること。(S48.5.8告示)	0.1mg/m ³
微小粒子状物質	PM2.5	1年平均値が15 μg/m ³ 以下であり、かつ、1日平均値が35 μg/m ³ 以下であること。(H21.9.9告示)	15 μg/m ³
光化学オキシダント	Ox	1時間値が0.06 ppm以下であること。(S48.5.8告示)	0.06ppm
二酸化硫黄	SO ₂	1時間値の1日平均値が0.04 ppm以下でありかつ、1時間値が0.1 ppm以下であること。(S48.5.16告示)	0.04ppm
ベンゼン	VOCs 揮発性有機化合物	年平均値が3 μg/m ³ 以下であること。(H9.2.4告示)	3 μg/m ³
ジクロロメタン		年平均値が0.15 mg/m ³ 以下であること。(H13.4.20告示)	0.15 mg/m ³
トリクロロエチレン		年平均値が0.13 mg/m ³ 以下であること。(H30.11.19告示)	0.13 mg/m ³
テトラクロロエチレン		年平均値が0.20 mg/m ³ 以下であること。(H9.2.4告示)	0.20 mg/m ³
ダイオキシン	Dioxine	年平均値が0.6 pg-TEQ/m ³ 以下であること。(H11.12.27告示)	0.6 pg-TEQ/m ³

1.2 航空機から排出される大気汚染物質の算出方法

空港周辺に影響する高度3000フィート以下で排出される航空機エンジン排出量の算出方法の一例を示す。図2にICAOで規定されている航空機の運航モード(LTOサイクル)を示す。LTOサイクルでは航空機の運航モードをアプローチ(着陸)、テイク・オフ(離陸)、クライム(上昇)、タキシング・アイドル(地上走行)の4つに定義し、それぞれエンジンパワーを30%、100%、85%、7%としている。ICAOの運航モードの時間を表3に示す。

ICAOではNO_x、HC、COについて航空機エンジン排出規制を行っており、エンジンごとのLTOサイクル当たりの排出量をまとめたデータベースを作成している³⁾。このデータベースからB777-300などに搭載されているプラット・アンド・ホイットニー社製のPW4000型のLTOサイクル当たりの汚染物質の排出量が記載された部分を表4に示す。B777-300は2機のエンジンを搭載しているため1回着陸し、1回離陸するとNO_xは63.3kg排出されたことになる。空港全体からの排出量は様々な機種の航空機1機あたりの排出量を求めて運航回数を掛け合わせると算出できる。

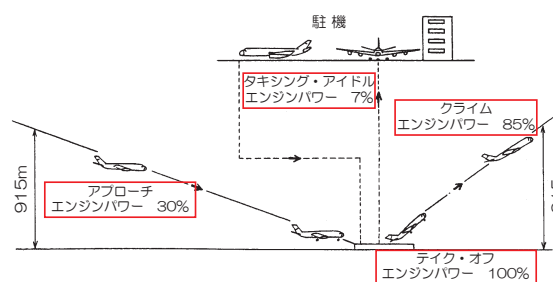


図2 航空機の運航モード(LTOサイクル)

表3 ICAOにおけるLTOサイクル時間(分)

テイク・オフ	0.7
クライム	2.2
アプローチ	4.0
タキシング・アイドル	26.0

表4 航空機エンジンからの排出量

運航モード	エンジンパワー 設定(%F _{oo})	時間 (分)	燃料流量 (kg/s)	排出原単位(g/kg)		
				HC	CO	NO _x
テイク・オフ	100	0.7	3.898	0.03	0.19	61
クライム	85	2.2	2.977	0.03	0.23	42.8
アプローチ	30	4.0	0.957	0.06	0.44	13.19
アイドル	7	26.0	0.268	2.3	20.63	4.29
LTOサイクルあたりの燃料(kg)と排出量(g)			1,204	992	8,848	31,629

1.3 国内空港の大気汚染状況

国内空港周辺の大気汚染状況を調査するにあたって調査期間によって2つに大別される。

1つ目は、環境省や自治体が行っているのと同様に24時間、365日連続で空気をサンプリングし

て自動分析機で測定を行うもので、空港周辺では成田国際空港株式会社（NAA）で実施されている。もう1つは国土交通省航空局が空港の大気汚染状況を把握するために7日間の短期連続測定を行っている。この測定は年間の大気汚染状況を把握できないものの、コストを抑えてある程度、空港周辺の大気汚染状況を把握することができる。

(1) 成田国際空港の常時監視測定結果

成田国際空港の常時監視測定結果の経年変化を図3に示す。すべての汚染物質も長期的傾向は減少傾向にあり、環境基準に適合していた。

(2) 航空局実施の短期測定結果

航空局はこれまで羽田空港を含め6空港で連続した7日間の短期調査を行ってきている。直近は令和3年12月17日～12月24日に羽田空港で行われた⁴⁾。図4に調査地点を示す。調査項目は環境基準が定められているSO₂、CO、SPM、NO₂、PM2.5の5種類と臭気を測定した。

大気汚染に係る環境基準では「工業専用地域、車道その他一般公衆が通常生活していない地域または場所」は適用外であり、羽田空港内は対象外であるが、測定した5種類の大気汚染物質についてすべての地点で環境基準以下であった。

臭気についても悪臭防止法では、自動車・航空機等の移動発生源は規制の対象外であるが、臭気指数の規制基準以下であった。

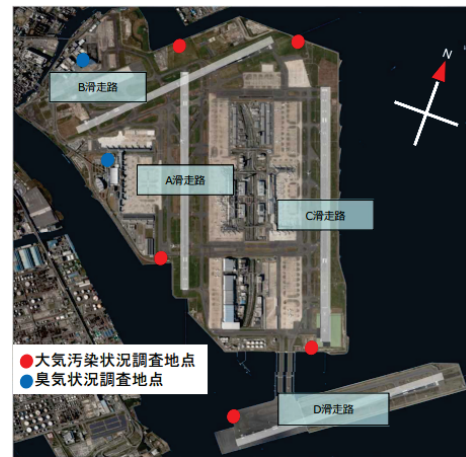


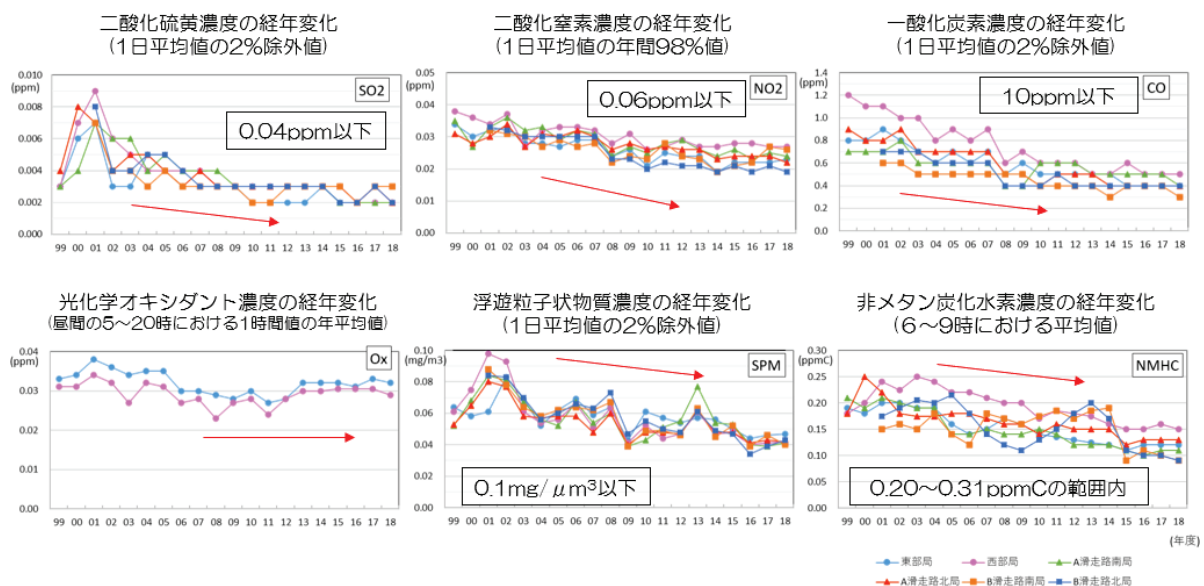
図4 羽田空港の調査地点

1.4 海外空港の地域環境問題

海外空港周辺の大気汚染状況の一例としてイギリスロンドンヒースロー空港の事例を示す⁵⁾。

図5にヒースロー空港周辺のNO₂濃度の経年変化を調査地点とともに示す。空港周辺にこれだけ多くの大気測定局を設置していることは空港の大気環境に関心が高いことの現れかもしれない。

EU及びUKの基準は日本と同程度であるが、空港周辺のNO₂濃度は、基準値を超えている測定局がある。London Hillingdon局やHayes局では、道路のそばの測定局で自動車の影響が大きいと思われるが、空港内に設置しているHeathrow LHR2局で基準を超えていること及びすぐ近くの



□ に示した数値は長期的評価の基準である。光化学オキシダントには長期的評価値はない。

図3 成田国際空港の常時監視結果

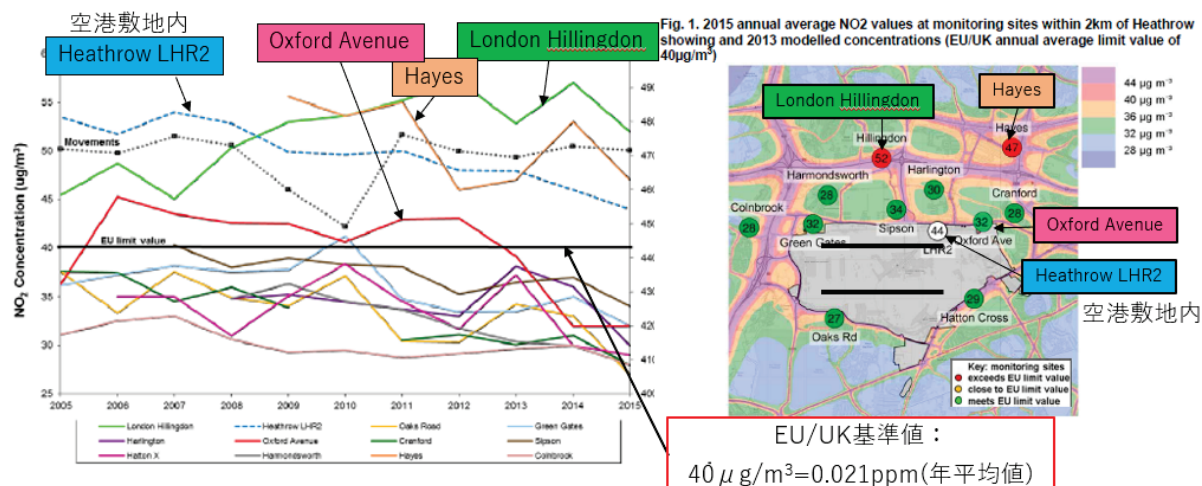


図5 ヒースロー空港周辺のNO₂濃度の経年変化

Oxford Avenue局より濃度が高いことは、航空機排出物の影響も無視できないと考えられる。

1.5 地域環境問題に対する対策

日本の空港では空港周辺環境基準が定められた大気汚染物質は環境基準以下で問題がみられていない。一方、海外では、ヒースロー空港のNO₂濃度のように基準超過しており、航空機からのNO_x排出を削減する必要がある。そこで、ICAOでは、図6に示すように航空機エンジンからのNO_x排出物規制を1981年に導入し、それ以降4回にわたり規制を強化している⁶⁾。

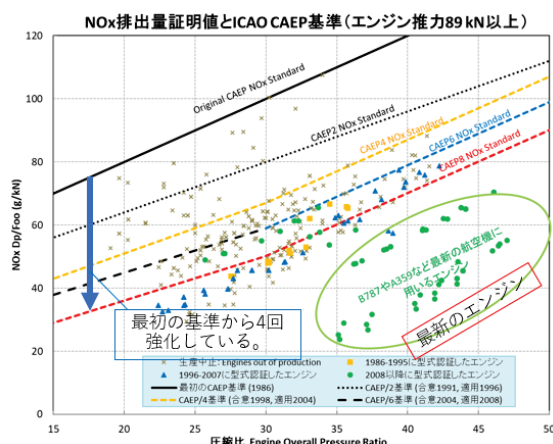


図6 ICAOによるNO_x基準強化の状況

2 地球環境問題

2.1 航空機が占めるCO₂排出割合

図7に日本の運輸部門におけるCO₂排出量を示す。航空機からのCO₂排出量は1,054万トンで運輸部門の排出量の5.0%を占め、全国の排出量の0.93%を占めている。運輸部門の排出量は1990年度(2億600万トン)から2018年度(2億1000万

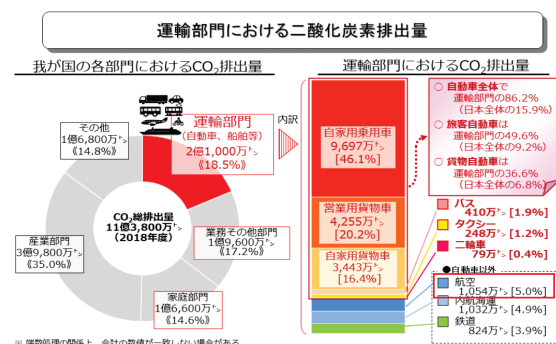


図7 運輸部門におけるCO₂排出量 (航空は国内線のみ)

ン)に1.9%増加していた。それに対し航空機からの排出量は1990年度(716万トン)から2018年度(1054万トン)に47%増加しており、航空需要の増加が著しい。

2.2 国際的なCO₂削減対策

国際航空からのCO₂排出量抑制・削減対策は、国際的な枠組み(京都議定書)の中でICAOに任されている。

ICAOでは、2010年及び2013年に開催されたICAO総会において国際航空からのCO₂排出削減に係る目標を以下のとおり決定し、具体的対策を検討していくことになった。

- ①燃料効率を毎年2%向上させること。
- ②2020年以降総排出量を増加させない。

図8に国際航空からのCO₂排出量予測と排出削減イメージを示す。対策を全くとらない場合は、航空需要の増加によりCO₂排出量は増加してしまう。2020年以降にCO₂排出量を増加させないという目標を達成するためには1つの手法だけでは困難で様々な手法を活用する必要がある。そこで、ICAOでは、①運航方式の改善、②新型機材等の新技術の導入、③代替燃料の活用、及び④経済的手法の活用の4つの対策手法を取り入れることを検討した。将来的には、コストが低い代替燃料が大量に手に入れることが可能になるかもしれないが、当面①から③だけでは目標を達成することは困難なため経済的手法の排出権取引を利用することで実質的にCO₂を削減していくことにし、2016年のICAO総会で採択された。採択された排出権取引の詳細は、航空環境研究No.21（2017年）に解説記事を掲載しているので参照されたい⁷⁾。

3 まとめ

日本の空港周辺の大気汚染の状況は、成田空港の常時監視測定結果から汚染物質濃度の推移を

みると長期間のトレンドとして光化学オキシダントを除いてすべての汚染物質で低下傾向がみられ、すべての物質で環境基準を達成していた。また、航空局が実施している短期間の観測結果から、全国の主な空港の大気汚染物質濃度は、環境基準に対して適合していた。国内空港周辺では航空機の影響があまり見られていない。一方、海外の空港ではヒースロー空港のようにNO₂濃度が基準値を超過している例がみられ航空機の影響が考えられる。このため、ICAOではNO_x排出量削減のために航空機エンジンからのNO_x排出量の基準を段階的に4回も強化している。

地球環境問題の観点から、航空機からのCO₂排出削減に向けたICAOの取り組みは将来の代替燃料活用までは、経済的手法（排出権取引）を活用して行くことになっている。

参考文献

- 1) <https://www.mlit.go.jp/k-toukei/kotsukanrensiryo.html> (2022年10月6日閲覧)
- 2) <https://www.env.go.jp/kijun/taiki.html> (2022年10月6日閲覧)
- 3) <https://www.easa.europa.eu/en/domains/environment/icao-aircraft-engine-emissions-databank> (2022年10月6日閲覧)
- 4) https://www.cab.mlit.go.jp/tcab/haneda/post_329.html (2022年10月6日閲覧)
- 5) UK Aviation and Air Quality Report (www.sustainableaviation.co.uk) (2022年10月6日閲覧)
- 6) European Aviation Environmental Report 2016
- 7) 航空環境研究 No.21 (2017)

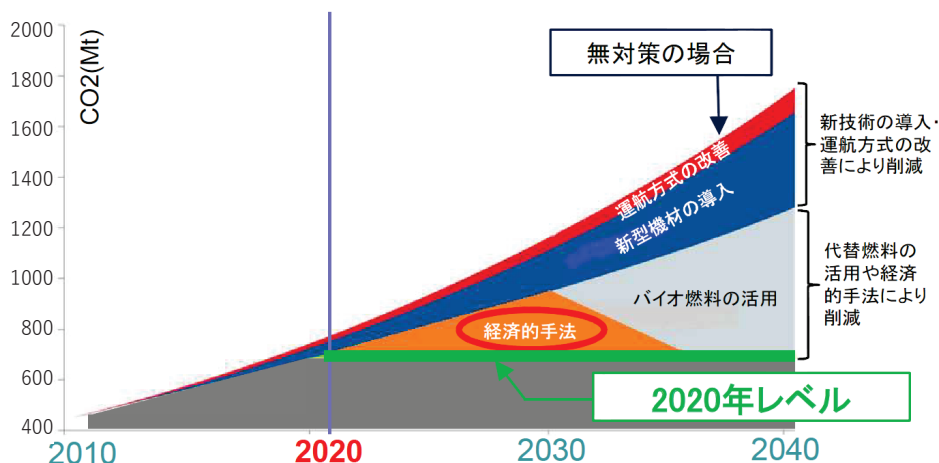


図8 国際航空からのCO₂排出量予測と排出削減目標のイメージ