

発展する航空輸送と航空機の環境保全対策

1. 概 要

国際交流が進む昨今、航空機の利用が増大している。その現状と利便性を左右する空港利用の実態、更に航空機利用増大で懸念される環境への影響とその技術的対応、それに今後私どもが努力していかなければならない事項などについて、出来るだけ多くの人に理解していただけるよう記述してみた。

内容の概略は、まず、利用されている航空機と航空輸送の現状およびその発展について概観する。次に、その航空機の利便性を最大限に発揮するためのわが国の空港の現状とその特徴を述べる。都市近郊の空港では騒音や排出物に関する環境問題が論議の的となる。航空機の騒音低減技術の発展、それに利便性向上に向けての今後の空港環境についての課題、将来へ期待する改善方向などを探る。

また、航空機エンジンは炭化水素化合物である石油燃料を燃焼させて推進力を得るため、必然的に温室効果ガスである炭酸ガスと水を排出する。同時に付随的に微量大気汚染物質を排出し、空港周辺および航空機特有の高空での大気環境汚染が懸念されている。航空機による大気汚染を他の汚染源と対比しながらその影響、程度などについて考察する。

最後に、環境に優しく安全なエンジンを実現するための規制のあり方と、航空機やエンジン設計と改良の方向、それに航空輸送大国としてわが国が推し進めるべき課題などを考察する。

2. 航空輸送の現状

航空輸送は少なくとも 5 ～7%の成長率で伸張の一途をたどっている¹⁾。最近の 2001 年から 2003 年にかけてのデータはテロやサース(SARS: 重症急性呼吸器症候群)などの影響でやや異常な傾向を示しているが、種々の調査機関や航空機メーカーでも同様な伸びを予測している。

(1) 世界と日本の航空機の数

2000 年末における ICAO(International Civil Aviation Organization: 国際民間航空機構)加盟国(188 カ国)の保有民間機数は、ヘリコプタも含めると 86,558 機(54 カ国統計、ただし米国は事業用のみ)である²⁾。その機種による内訳と、わが国のものとを比較して図 1 に示す。これらのうち、ターボジェット機とターボプロップ機は共にターボエンジンと呼ばれる。このエンジンは膨張させたガスを噴出して推進動力とし、またそのガスの一部を水車のように回転羽根に当てて圧縮機用などの回転動力を取り出すものである。ターボエンジンは軽量・大出力に特徴があり、現在、大型の航空エンジンはすべてこれである。この種のエンジンを備えた航空機は ICAO 加盟国全体でいまや 2 万機を超えている²⁾。ヘリコプタのエンジンもレシプロ(reciprocating engine: 自動車エンジンと同じくピストンの

往復動から回転動力を取り出すもの)から比較的振動が少ないターボエンジンに変わってきているが、この分類内では区別しなかった。ターボ系エンジンの燃焼器は連続燃焼を行い、レシプロは間欠燃焼であるが、排出特性上はほぼ同様である。

なお、わが国の航空機の現状は、図1でもわかるようにヘリコプタの比率が他諸国と比べて飛びぬけて多い傾向がみられる。2003年における資料³⁾でも、わが国の民間航空機登録機数は2,048機で、その内訳はプロペラ機30%、ターボプロップ機が6%、ジェット機が23%、ヘリコプタが40%である。

やや古い別の統計(1995年末)¹⁾によると単発や双発プロペラ機のいわゆる汎用航空機(*general aviation*)として分類される小型航空機は、世界中で約35万機という圧倒的な数である。そのうち米国は67.2%に相当する23万機を保有している。ちなみにこの分類の飛行機のわが国の保有は千機にも満たない²⁾。

このように世界的に見て機数として汎用航空機は多いものの、燃料消費量としてみると民間航空機全体の3.2%を占めるに過ぎない(文献⁴⁾中のNASA調査1992年データ)。またIEA(International Energy Agency; 国際エネルギー機構)の統計によっても、航空用ガソリンの需要はジェット燃料の百分の一にも達しない⁵⁾。米国における航空用ガソリンの生産量をみてもタービンエンジン燃料の百分の一、自動車用ガソリンの500分の一に過ぎない⁶⁾。したがって後述の排気等が環境に及ぼす影響としては、タービンエンジンによるものが主で、この種の航空機の影響は微小であると考えてよいであろう。

また、軍用機の民間機と対比した比率は、燃料消費から見て1992年に18:82、2015年に7:93と1999年時点で予測されている⁴⁾。この傾向から今後、格段の緊張状態が生起しない限り、航空輸送量の大部分は民間航空機によるものと考えてよいようである。

(2) 航空輸送の実態

わが国は多くの物資を輸出入することによって経済が成り立っている。物資の航空輸送に依存している割合を航空化率と呼ぶ。わが国の物質輸送の85%以上の航空化率のものは、半導体等電子部品、電気計測機器、航空機航空エンジン、生きた動物、真珠やダイヤモンドなどであって、付加価値の高い主要輸出入物品がほとんどを占めている²⁾。

日本の2001年度の輸送実績²⁾は

外側: ICAO加盟国(総数: 86,558機)
内側: 日本(総数: 2,177機)

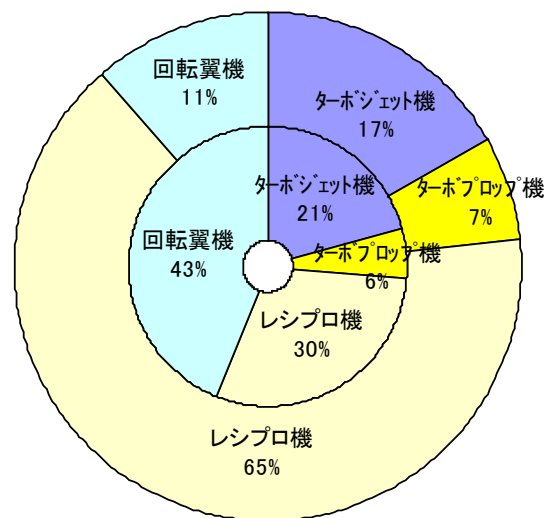


図1 ICAO加盟54ヶ国とわが国の民間機機種別保有比率
(ICAO 2000年資料、米国は事業用機のみ)

- ・ 旅客: 162,290 百万人キロ(188 カ国総計の 5.5%)
- ・ 貨物: 7,614 百万トンキロで(188 カ国総計の 6.8%)

いずれも世界第 2 位である。ただし、1 位の米国は上記輸送量で、それぞれ日本の 6.5 倍および 3.7 倍とダントツのトップである。2001 年度 ICAO 加盟 188 カ国の合計旅客輸送実績は 2929,850 百万人・キロである。ちなみに、この量は 400 人乗りのジャンボ機がロンドンと東京間(約 1 万 km)を毎日 1,000 往復することに相当する。

(3) 航空輸送の発展

航空旅客の伸び率は、世界的に 2004～2023 年の平均として 5.0%と予測されている^{1,4)}。同じく貨物輸送量は 2003～2022 年で 5.9%と予測されている¹⁾。航空輸送の伸びは GDP(Gross Domestic Product; 国内総生産)の伸びよりも大きい。特に最近発展の著しい東アジアの伸びは大きい。最近のニュースでも中国は B787 を 42 機(2005 年 8 月中国情報局)、B737 を 70 機(2005 年 11 月新華社電)、エアバスより A320 を 150 機(2005 年 12 月ロイター)を購入するという。アジア諸国の大規模空港整備と相俟ってこの地域の大きな伸びが予想される。ただし、石油燃料価格の高騰がこれらの伸びにブレーキをかける可能性も予測される。

3. 航空輸送のインフラ(Infrastructure)と利便性

前章で述べた航空輸送の発展を支える一因は、経済発展の傍ら航空機利用の利便性が増大している点がある。特に最近、表 1 に示すように、アジア各国は競って 2～4 本の滑走路を備え、

羽田空港の 3 倍近い面積の 3,000 ha を超える大規模空港の建設・整備に力をいれている。翻ってわが国の空港の現状を

3. 1 わが国の空港・飛行場

表 1 アジア諸国の国際空港建設動向(国土交通省データより抜粋)

開港年	国	空港名	面積(ha)	滑走路 (m)
1998	マレーシア	クアラルンプール国際空港	3,000	4,000 × 2
(全体計画)			10,000	4,000 × 4)
1998	中国	香港国際空港	1,248	3,800×1
(全体計画)			〃	3,800×2)
1999 年	中国	上海浦東国際空港	1,252	4,000×1
(全体計画)			3,200	4,000×4)
2001 年	韓国	仁川国際空港	1,174	3,750×2
(全体計画)			4,744	4,000 級×4)
2003 年	タイ	第 2 バンコク国際空港	3,200	3,700×1
(全体計画)			〃	3,700×4)
2004 年	シンガポール	チャンギ国際空港	1,663	4,000×2

わが国には 100 を超える飛行場がある。しかし、一般の旅客が利用できるいわゆる民間の空港や飛行場は設置者や管理者の違いによって次のように分類されている²⁾。

(1) 空港・飛行場の種類:

第一種空港: 国際航空路線に必要な飛行場、具体的には成田空港(正式には新東京国際空港、以下同)、羽田(東京国際)空港、大阪(大阪国際)空港、関空(関西国際)空港および中部(中部国際)空港(2005年2月開港済み)の5つである。

第二種空港: 主要な国内航空路線に必要な26の飛行場で、例としては新千歳、仙台、福岡などの空港。

第三種空港: 地方的な航空運送を確保するため必要な55の飛行場で、女満別や福島などと離島空港のほとんど。

共用飛行場: 防衛庁や米軍によって設置、管理されている6つの飛行場、例えば、札幌、小松、三沢など。

その他の飛行場: 地方公共団体や民間で設置・管理されている15の飛行場、例えば、調布やホンダエアポートなど。

以上のように建設中の2空港も含めて全国で107の空港・飛行場がある。上の飛行場の種類別の数を示すと図2のようである。半数以上が地方の第三種空港であることがわかる。そのほか、ヘリポートが116ある。

総数 107 (建設中を含む)

(2) 空港の利用状況

2002年度における国内旅客数は、羽田、成田、関空、大阪の4空港のみで全体の44%(8,618万人)に達し、それら4空港で国内・国際便を合わせた一日の乗降客数は34万人で、一空港平均にして8万人余りにも達する。一方、第三種空港と、共用およびその他の飛行場64のうち66%の42では、一日あたりの平均乗降客数が千人にも達しない。また、同年の統計によると一日あたりの着陸回数が

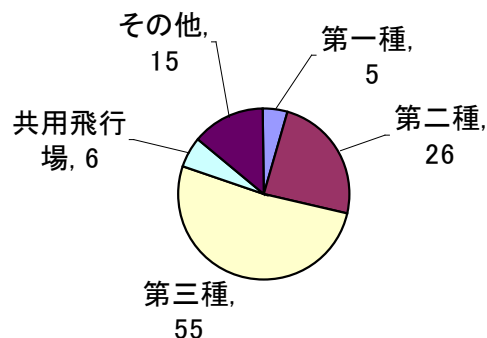


図2 わが国の飛行場・空港の数(2004年)²⁾

400回近くもある羽田に対し、一日あたり10回に満たない空港が、稼働空港92のうち52%の48もある²⁾。20回未満の空港と合わせると70%を超える比率である。その状況を図3に示す。地方への工場移転など、経済活動の分散が進んでいる割には地方経済の未発達を示しているのであろうか。逆に、空路の利便性が確保できれば地方発展の機運が開けるのであろうか。

2002年度一日あたりの着陸回数

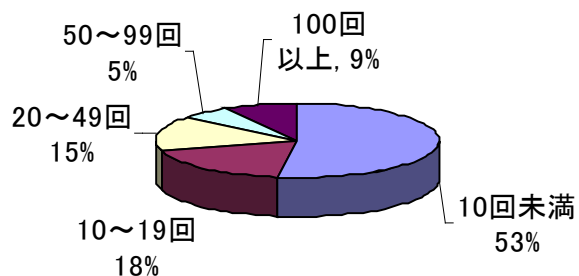


図3 わが国の各空港への着陸回数割合²⁾

(3) 滑走路

ロンドンには周囲に5つの空港を持ち、合計8本の滑走路がある。ニューヨークは3つの空港、9本の滑走路、ワシントンは3つの空

港、10本の滑走路を持っている。それら各都市と比べて人口も経済規模も引けをとらない東京では、羽田と成田の2つの空港で5本の滑走路しかない。

それがために、空港の利用乗降客ランキングから言えば6～8千万人規模のアトランタ・ガーフィールド、シカゴ・オヘア、ロンドン・ヒースローに次ぐ世界第4位の羽田でも、飛行機の発着回数は極端に小さい。乗降客数は同等の6千万人規模(2002年)であるが、年間着陸回数はこのクラスの空港が60万～90万回に対し、羽田はその数分の一(2002年実績14万回)程度である²⁾。

国内の飛行場の滑走路長を見てみると図4のようなのである。ジェット機が離発着できる長さ2,000m級以上の滑走路をもつ空港は全国で60程度に留まっている。

(4) 小型航空機用空港整備

前述の35万機を超えるという小型航空機数によっても推察できるように、世界中のビジネスマンやセレブが自家用機などを利用している。日本の大都市ではビジネス機で来日しても、仕事を早く済ませることが可能な都市近隣に離着陸できないのではないかと懸念する。ビジネス機が東京近郊の空港を利用できない原因は駐機可能な広さを持った空港や飛行場の滑走路の数にあると思われる。

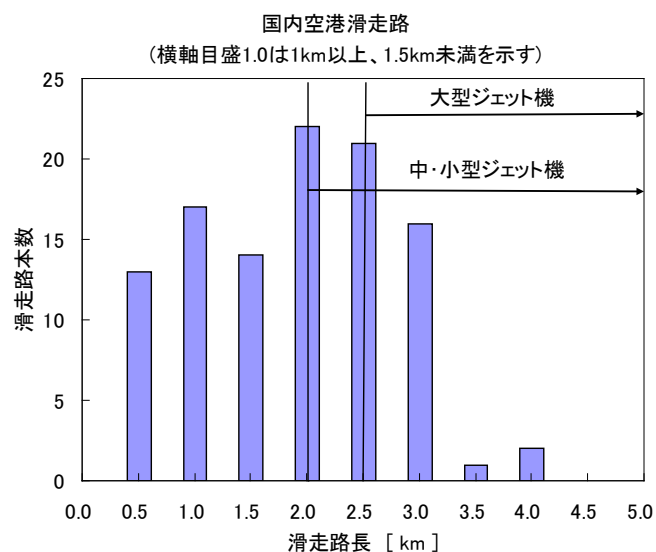


図4 わが国の空港の滑走路長(2002年²⁾)

小型航空機の利用は数少ない金持ちの便宜・趣味ばかりではなく、世界各地を飛び回って活躍する音楽家や、ゴルファーのようなスポーツマンがベストの体調で実力を発揮し、われわれを楽しませてくれることによるわれわれ庶民へのフィードバックもある。もう少し国内、特に大都市近郊の飛行場がビジネスマンや個人のための小型機で容易に利用できるようにならないものであろうか。一般の人でも手軽に利用できる小型機による近距離便エアコミューターや個人チャーター形のエアタクシーのような構想もあるので発展を期待したい。

品質、使いやすさなどの点で世界を席巻した精密機器や自動車のような日本製品は一般の人々が使うことによって品質向上が成し遂げられたことを忘れてはならない。前述のように発展するアジア諸国は近年空港整備に力を入れているが、アジア諸国との交流が頻繁になっている昨今、わが国の国際競争力が損なわれないためにも、身近に飛行機を利用できる環境として第1種空港以外の空港の今一層の整備・拡充を期待したい。

3. 2 経済・文化圏への空港整備

今、北九州や静岡あるいはこの2月に開港した神戸などの新空港建設でその地域の、より一層の活性化が期待されている。首都圏でも横田、厚木などの空港が民間利用できれば、

格段の利便性が確保できると考えられる。同じ関東地区でも自衛隊占有下にあった茨城県の百里空港は 2009 年には民間共用化事業による開港が予定されている。それらの空港は表 2 に示すようにジェット化時代に対応する十分な長さの滑走路と関西や中部の国際空港にひけをとらない飛行場面積を有している。首都圏の経済・社会を支える第三、第四の空港として機能することを期待したい。

素人考えではあるが、いまだき首都防衛の必要を唱えるなら、住宅地の真っ只中に軍用空港を置くよりも、長大な滑走路を要しない迎撃ミサイル配備か、首都圏近隣の基地から飛行することでも 10 分と変わらない防衛ができよう。防衛専門家の検討を期待したい。

もうひとつ、米軍の占領時代の遺物的なものに「空域」

がある。現在、関東地域の東は三浦半島、西は茅野市付近、北は長岡市の近くまでの広大な地域が横田空域として米軍の管理となっている⁷⁾。このため民間航空機がこの地域を通過するには特別な許可をとるか、迂回せざるを得ない。沖縄などの基地周辺も同様であろうが、年々厳しくなる燃料経済性と排出低減のためにも早急にこのような領域の返還をはかり迂回航路を廃す必要があろう。

表 2 首都圏米軍/自衛隊使用飛行場(各空港 HP より)

種別	空港	滑走路長(m)	面積(ha)
軍用	厚木	2,438	506
	横田	3,350	714
	百里*	2,700×2	460
(参考)	東京国際(羽田)	{ 3,500×2 2,500 }	{ 1,100 }
	関西国際	3,500	470
	中部国際	3,500	540

* 2009 年 民間共用化空港として開港予定

4. 航空機に関連する環境問題

空港を整備・拡充するにあたってしばしば問題となるのが航空機に関する環境問題、なかでもエミッション(emission)問題がある。英語で emission とは「物質や放射などを出す、発する」という意味で、騒音も排出物もひっくるめてエミッションと言っている。しかし航空機に関するそれらに対応も規制も別種なのでここでは分けて記述する。

4. 1 環境問題に関する国際機関と規制

航空機の騒音や排出物の規制を検討する国際機関として前出 ICAO があり、特にエミッション問題についてはその委員会のひとつである CAEP(Committee on Aviation Environmental Protection: 航空環境保全委員会)が担当している。その 2004 年 2 月の会合で、それまでの 6 つのワーキンググループ(Working Group: WG と略)を 3 つに統合して 2004 年から 2007 年までの ICAO/CAEP/第 7 期に向けての活動を行っている。それらの WG によって、航空機騒音(WG 1)、ポリシーガイダンス(Policy guidance)と運航(WG 2)、および排出ガス(WG 3)などが検討されている。WG2 の課題は空路や管制の最適化によって空港周辺への騒音被害や排出影響の低減を図るものである。後述のように、この国際組織は環境の改善に役立ってきたことはあるものの、組織の存続が長いせいか、最近では必要以上に規制を強化、複雑化させているようにも感じられる。

4. 2 騒音

空港問題というと、まず近隣住民への騒音が問題となる。騒音の評価スケール、原因、低減法などについて略述し、最近の航空機は格段の騒音低減を実現していることを紹介する。

(1) 騒音のスケール

一般に、騒音はその空気が振動する圧力変動であり、人間の聞くことができる範囲は数十 μPa (マイクロパスカル) から数十 Pa に到る広範囲のものである。図 5 にそのスケールと具体例を示す。エンジン近傍で耳を聳するような 20Pa の音圧と言ってもこの圧力変動の大きさは台風などを生ずる低気圧などの気圧変化と比べれば、その 0.2% にも達しない圧力差である。音圧の表示では可聴範囲が極めて広いため、通常音圧の対数値をとって dB (デシベル) 値として表す。 $80\sim 90\text{dB}$ は真夏のセミの声や鉄道ガード下の騒音に相当し、十分騒がしい騒音であるが、ガード下の店舗でも商売での利益が十分に上がれば耐えられないことはない音圧である。機能的都市計画の推進が望まれる。

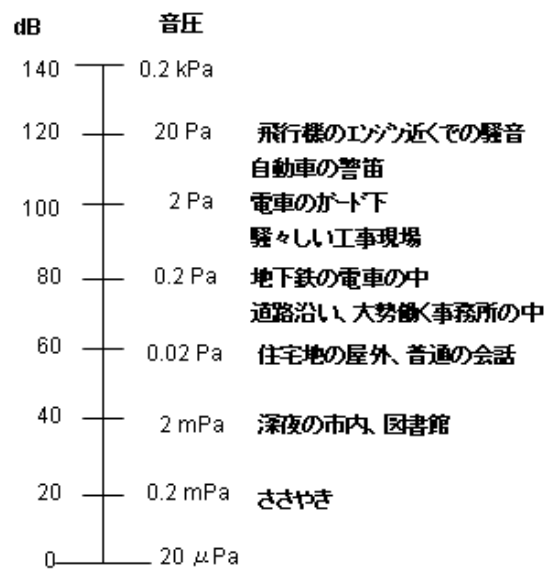


図 5 騒音のスケール

(2) 航空機騒音

航空機による騒音は機体形状等による空気力学的な原因による騒音と、エンジンからによるものとに大別できる。前者は最近エンジン騒音が低下してきたために際立ってきたもので、スラット(slat; 主翼に付けた副次的翼)などの高揚力装置や車輪等が気流に渦を生じさせて発生する騒音である。それらに対して最新の機体では対策が講じられている。

コンコルド機のように超音速飛行を行う場合には、超音速巡航時に発生するソニックブーム(sonic boom)のような衝撃波が地上に到達するときに生ずる爆発音が問題となるが、今は超音速で飛ぶ民間航空機は無いのでこの問題は割愛する。

騒音に対する国際的な規制は前出 ICAO/CAEP によって強化がはかられてきた。ジェットエンジンによる旅客機が出現した 1950 年代半ばからの航空機騒音は図 6 に示すように格段に低減が図られている。航空機離着陸時の騒音は一過性のものであるため、国際的に航空機からの測定位置や時間に重みをつけたいくつかのスケールで評価される。この図の場合、たて軸スケールは滑走路の側面 500 m 離れた位置で計測し、時間的補正を加味した次の定義による実効騒音レベル EPNL(Effective Perceived Noise Level)である。

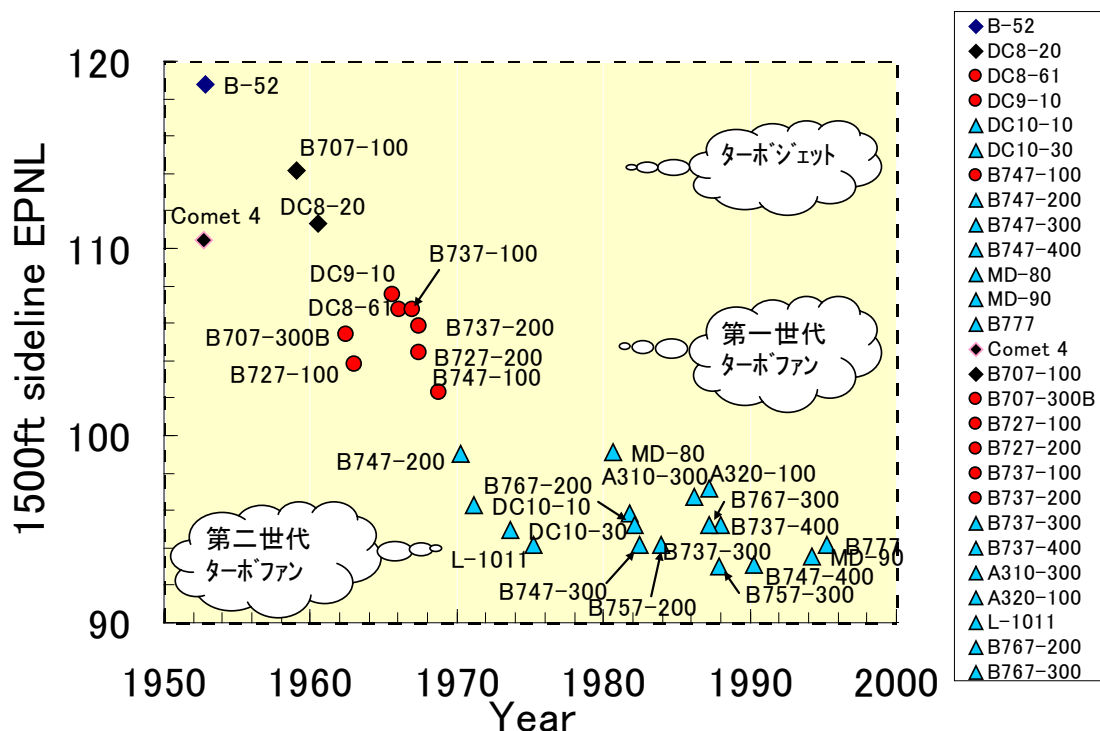


図6 航空機騒音低減の進展

$$EPNL = L_A + 13 + 10 \log_{10} d / 20$$

ここで、 L_A は、一機の航空機が通過したときの最大騒音レベル(dB 値)、 d は騒音継続時間補正のため、最大値より 10 dB 低い騒音の継続時間長さ[秒]である。なお、わが国で空港等の騒音評価に採用している WECPNL(Weighted Equivalent Continuous Perceived Noise Level: 荷重等価平均感覚騒音レベル)は一日 4 区分の時間帯における発生頻度(すなわち発着回数)を勘案して定めたものである。この WECPNL は初め ICAO の推奨するものであったが、今では世界的にわが国とイタリアぐらいしか用いていないため ICAO 議定書から削除されている。現在、わが国では初期の WECPNL の定義を変更した独自式を用いている。

(3) エンジン騒音低減技術

エンジンは騒音低減化が進められ、図 6 に示すように現在の航空機は初期のものよりほぼ 20 dB 以上の騒音低下が実現している。10 dB の騒音の低下は発生源の全騒音エネルギーが十分の一になったことを意味し、感覚としては騒音が半分になったと感じられる音量である。

技術的にはエンジン内張りのような防音・吸音材料の適用とターボエンジンのバイパス比(エンジン内部を流れる空気のうち、燃焼器部分を通過した空気量でその周囲を流れる空気量を除した値、次段落で説明)の増大が大きく騒音低減に寄与している。防音・吸音材による方法は、ある程度以上となるとエンジン重量が増し、かえって出力の大きなエンジン

を要するので効果が少なくなる。

エンジン騒音の発生源は主として高速の排気にある。ところがエンジンの推力はガスを高速で排出する反動により生じている。すなわち図 7 に示すようにジェットエンジンではエンジンを通過する質量 m のガスを高速の V の速度で排出し、 mV の反動力(推力)を得る。騒音は排出速度 V の 7 乗にも比例するといわれ、騒音低減には V の低下が最も有効である。そこで最近

では高速で排気する代わりにエンジン前面に付けた直径の大きいファン(扇風機の羽根のようなもの)により低速 V_0 で大量の気体(多くは空気)質量 m_0 を排出することにより同等の推力(mV)を得て低騒音化をはかるようになってきている。

$$\text{排気騒音} \propto (\text{排気流速} V)^7$$

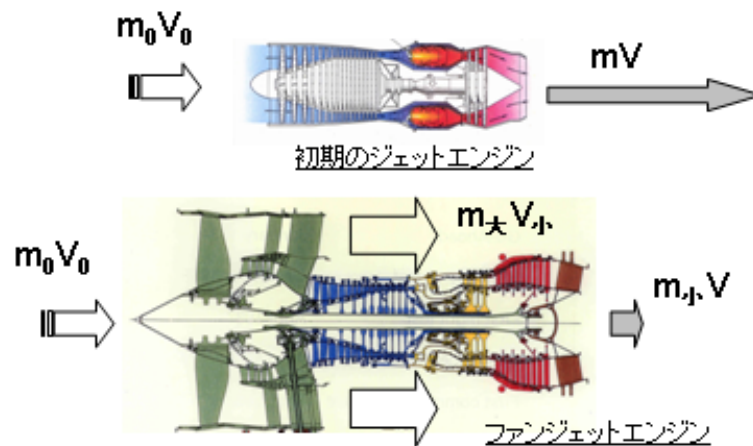


図 7 バイパス比向上による騒音の低減

ファンを通過する

空気の大部分は燃焼器などのあるエンジン動力発生部(コアエンジン, core-engine という)を通過しないのでバイパス(bypass)空気と呼ばれる。バイパス空気量をコアエンジン通過空気量で除した比率(すなわち m_0/m_1)をバイパス比という。図 6 に示した第一世代ターボファンエンジンはバイパス比が比較的小さく、第二世代のものはそれが大きい。

このバイパス比を大きくする方法は、騒音低減のほかに燃料経済性の向上にも役立つ。水面に浮かぶボートなどの推進の際に竹竿で必死に水をかくより、幅広のオールなどでゆっくり多量の水を押しやるようにすると効果的な推進が可能になるようなものである。専門的に言えばバイパス比の増大によって「推進効率」を向上できる。

(4) 最新エンジン

2008 年就航予定のボーイング社(Boeing Co.)の新鋭機 B787(図 8)は全日空がローンチカスタマー(Launch customer; 開発の先導役となった顧客)となったが、全日空が採用することになったロールスロイス社(Rolls-Royce Plc)のエンジン Trent

1000 ではバイパス比が 11 である。日

本航空が同機に採用する予定のゼネラルエレクトリック社(General Electric Co.)の GENx



図 8 全日空が採用予定の B787⁸⁾

エンジンもバイパス比が 10 である。ちなみに A300 シリーズや B747, B767 などに現在広く用いられている CF6 エンジン(大型エンジン中約 4 割の使用率)のバイパス比は 5 前後である。Trent 1000 と CF6 エンジンの概観を比較して図 9 に示す。



Trent 1000
Thrust=236-311 kN,
Bypass ratio=11.0

参考: CF6エンジン
Thrust=150-330kN
Bypass ratio=4.6-5.3

図 9 ターボファンエンジン外観 (出典：各メーカーHP)

Trent 1000 搭載 B787 では離着陸の際に及ぼす地上への 85 dB の音響範囲は従来機の数分の一で、英国のヒースロー空港(広さ 1,320 ha)などではその範囲が空港境界を越えない程度にまで縮小していると見積もられている⁸⁾。

今年就航が予定されている世界最大の旅客機 A380 用エンジンの GR7200 や Trent900 でもバイパス比は 8.7 と報告されている。

4. 3 エンジン排出物

もうひとつのエミッション問題である航空機エンジン排出物質の影響は、その排出する場所によって大きく異なる。この場合、大別して離着陸時と巡航時に分けることが出来る。前者は当然、空港周辺であり、後者は高度 8～13 km の対流圏上部ないし成層圏下層部で、地域としては北緯 30 度から 60 度の範囲が主である。概略、航空機はその排出の 20～40% を成層圏に、残りを対流圏に出すと見積もられている^{4,9)}。対流圏とは一般に上に行くほど気温が下がり、気流の変動が著しい特徴がある。成層圏は地上 10～50 km の高度の気流の安定した領域を言う。対流圏と成層圏との境界を圏界面ともいう。圏界面は地球の極近くで 8 km 程度と低く、低緯度地域では高い傾向がある。それは季節によっても変動する。

(1) 排出物質の種類

エンジンから排出される物質としては排煙(固体粒子の煤)とガス成分がある。ガス(気体)としては、

燃焼主要生成物質： 二酸化炭素(炭酸ガスともいう) [CO₂]、水分[H₂O]、
微量排出物質： 窒素酸化物[NO_x]、一酸化炭素[CO]、未燃焼炭化水素[HC] (全

炭化水素[THC]ともいう)、および硫黄酸化物[SO_x]などがある。ここで窒素酸化物は一般に NO_x と表記され、「ノックス」と呼称されるが、これは高温の燃焼反応などにより生成する一酸化窒素[NO]と周囲の空気中の酸素により酸化されてできる亜酸化窒素[NO₂]とを総称したものである。ガス分析技術上、NO と NO₂ とを厳密に分ける常時高精度の計測はやや困難である上、周囲環境により NO は容易に酸化されたりして変化するので、厳密な区別があまり意味をなさないため、それらをひと括りに NO_x という。なお、強い温室効果をもつ N₂O も排出されるが、極めて微量なので航空機排出物としては問題にされていない。SO_x も同様に SO₂、SO₃ などがあるので、代表的に SO_x と記す。

CO₂ と水分は燃料の燃焼反応による主要生成成分で、現在の燃料を使用している限り、エンジンが稼動している限り、出力と時間にほぼ比例して排出され、燃料節減以外の低減は不可能である。排気中で数%の濃度である(図 10 参照)。HC、CO、NO_x および SO_x は一般に排気ガス中で 0.1%以下の濃度で排出される微量排出成分である。これらのガスは燃料から熱エネルギーを取り出す上で生成が不可避というわけではなく、技術的には低減が可能である。排煙と HC、CO、および NO_x は、後述のように離着陸時の排出が ICAO による規制対象となっている。

ここで「濃度」という言葉は、工学系技術者が当該物質の全体量に対する比率として用いているが、大気中のガスでは全体量が把握しにくいので理学系研究者は分子の数の比として「混合比(mixture ratio)」という言葉を用いている。どちらも微量ガスの場合、数値的には差が無く、一般的には「濃度」のほうが一般の方にとって理解しやすい語彙と思われるので以降それを用いる。

(2) 排出物質に対する規制

航空機が巡航時に自然界に存在する大気の組成に対して、どのような濃度のガスを排出するかを示したものが図 10 である。同図のスケールで ppm, ppb および ppt はそれぞれ体積濃度にして百万分の一、十億分の一および一兆分の一を示す単位である。NO_x は自然界

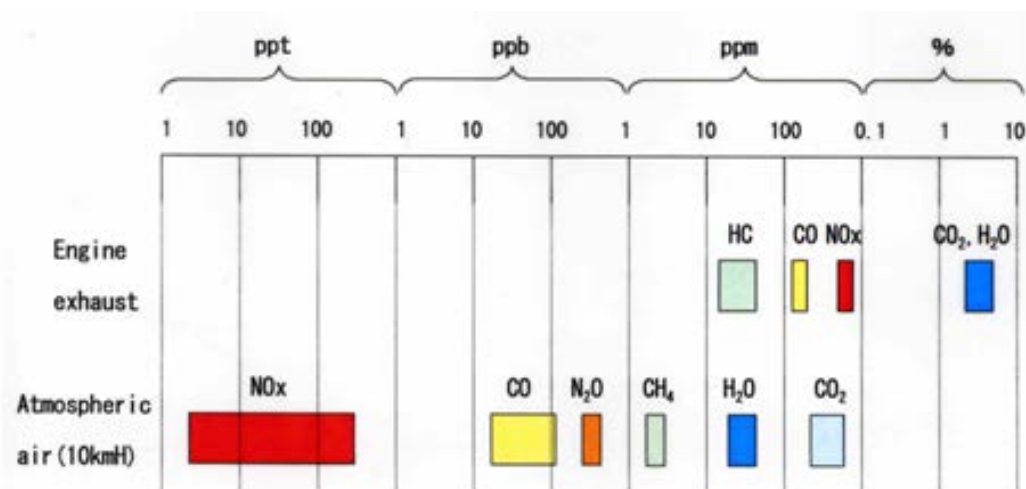


図 10 エンジン排気と清浄大気各組成濃度

で雷などによっても生成するが平均的には極めて低濃度である。20 ppt の濃度とは概略 50 メートルプールの水中に一滴のインクを落とした時の濃度に相当する。

CO₂ は長寿命(20～200 年ともいわれる)のため地球全体の大気中でほぼ均一濃度であるが、他のガスは局所的にかなりの濃度変化がある。

ICAO は排煙、HC、CO、および NO_x に対して 1981 年より排出規制を行っている。航空機の飛行高度 915 m 以下の地上アイドル／タキシング、離陸、上昇およびアプローチの 4 モードを表 3 に示すように出力割合と時間を LTO (Landing and Take-Off) サイクルとして想定し、各成分につき排出の総量を規制している。タキシング(taxing)とは移動する際の地上滑走などをさす。

最近是个々の排出成分に対する ICAO の規制のほかに、スイスやスウェーデンなどでは HC と NO_x を合計した排出量によってエンジンをランク付けし、着陸の度に課徴金をとる例も出ている¹⁰⁾。

表 3 ICAO による LTO サイクル

作動条件	推力[%]	時間[分]
離陸	100	0.7
上昇	85	2.2
アプローチ	35	4
地上アイドル／タキシング	7	26

ICAO による現規制には巡航モードが含まれていないが、人の居住環境へ及ぼ

標準大気条件は地上での ISA 条件
(絶対湿度 6.29 g/kg_{dry air})

す影響が少ないためと思われる。しかし排出絶対量が比較的多く、地球全体的気候への影響懸念から、巡航モードでの規制も設けるべきという議論もでてきており、2003 年までの ICAO/CAEP の第 6 期で検討が始まり、2004 年から 2007 年までの第 7 期でも引き続き WG 3 で検討されている。

(3) 排出物の特性、規制および現状

以降、エンジン各排出物について、その特性、排出状況、規制、影響、低減法などについて略述する。

① 二酸化炭素 CO₂

CO₂ そのものは健康に有害ではない。しかし地球的規模で気候に対する温室ガス効果が懸念されている¹¹⁾。航空燃料は炭化水素なので、燃焼反応により 1kg の燃料より 3kg あまりの CO₂ と 1.3kg ほどの水が生成する。燃料の 3 倍もの質量(重量)の CO₂ が生成されるのは、結合する酸素の分子量が大きいからである。

航空機による CO₂ の排出量を見ても。石油連盟の最新データ¹²⁾によるとわが国の 2004 年度の燃料油需要は 2 億 3 千 7 百万キロリットル(237,205 千 kl)である。燃料油は発電所、各種産業および家庭の暖房などにも使用されるが、自動車、船舶および航空機などの運輸分野で使用される割合はその燃料油の約 39%である¹²⁾。燃料組成からは航空用も自動車用もあまり変わらない炭化水素なので、排気として同様に CO₂ と水分を排出する。図 11 に示すように、2004 年度に販売された燃料油のうち航空用ジェット燃料は 2.1%で

あって、自動車用燃料(ガソリンと軽油)量と比較して 20 分の一程度である¹³⁾。世界的に見ても、同様の比率である。したがって航空機が排出する CO₂ の燃焼による全体排出量に対する寄与は大きくなく、数%以下である。

航空機が石油製品を燃料として自力飛行をする限り、CO₂ 排出を回避できない。そこでエンジンの「熱効率(燃料のエネルギーが仕事に変換された割合)」と「推進効率」を向上させ、機体の

空気抵抗を低減させ、運航ルートを最適化して燃料消費低減を図る努力が各運航会社によってなされている。

2004年度燃料油の需要
合計 237,205千kl

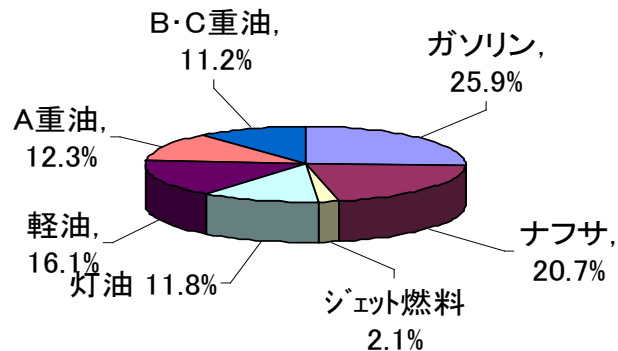


図 11 燃料油に占めるジェット燃料の割合¹²⁾

② 水分 H₂O

燃料である炭化水素を燃焼させると前述のように燃料よりやや多い質量の水分が生成する。水分そのものは有害ではないが、水分が数十 ppm しかない成層圏にその千倍もの濃度のオーダーで航空機から排出される。成層圏下層部気温は-60℃程度と低いため水分は凝固して航跡雲などを生じ、地球に対する輻射環境に影響を与えるとして懸念されている。航空機排気中の水分は量的には少ないが一般に成層圏の H₂O はアセトン[(CH₃)₂CO]などにより分解し、活性の高い HO₂などを形成し他の微量成分との複雑な化学反応に関与する。凍結した微細粒子もその固体表面で微量気体と反応したり分子を取り込んだりすることが知られている⁹⁾。その影響の定量的なことはあまりわかっていない。

③ 酸化硫黄 SO_x

硫黄酸化物 SO_x は燃料中に微量に含まれる硫黄分が燃焼により酸化され排出するもので、航跡雲や成層圏の巻層雲形成の原因になるといわれる。形成される雲の量は 1992 年時点で 0.1 %、2050 年では 0.5 %と予想されている⁹⁾。この雲の地球温暖化に対する影響は CO₂や O₃と同等、あるいはそれ以上とも予想されている⁴⁾。

ジェット燃料規格の許容硫黄分含有割合は質量割合にして 0.3 %(3,000 ppm)以下とされているが、その規格は従来タービン腐食防止の意味合いが強かった。現在の市販ジェット燃料では 0.01% (100ppm) 以下となっている。同様の性状である自動車用市販軽油では硫黄分が世界的に 50 ppm に向けて規制が進んでおり、実験室的には 1 ppm 程度への低減も技術的に可能であるという¹⁴⁾。燃料中質量割合で 50 ppm の硫黄分は排気中で体積濃度にして 0.8 ppm 程度となる。このように硫黄分の低減は、コスト上昇を厭わなければ、燃料の前処理で可能となる。

④ 排煙

エンジンからの排煙は出力最大の際に出やすい。離陸が頻繁な空港などで視界が悪くなることから他の排出物が問題になる前の1950年代に改良が要望された。軍用機の場合、赤外線追尾ミサイルなどの餌食になりやすいとの理由もあった。技術的には1960年代に燃焼器一次燃焼領域混合気を希薄化することによって解決できた。燃焼反応としては炭化水素燃料の当量比（混合気中に理論混合比の何倍の燃料があるかを示す尺度）が1.5～2、かつ圧力が20気圧以上の条件で遊離炭素、すなわちすす(煤)が発生しやすいことがわかっている。最近ではエンジンが高圧比となっているが、NO_x 排出低減のため、燃焼領域を希薄混合気にする傾向があり、排煙の発生はそれほど懸念する状況にはない。

排煙に対するICAOの規制値と現用主要エンジンの適合状況を図12に示す¹⁵⁾。縦軸には排気をフィルターに通したときの黒さを示すスケール、横軸はエンジン定格出力(単位はキロニュートン;kN)である。同図に見るようにほとんどのエンジンが規制をクリアしている。

一方、最近では眼に見えないほど小さな排出微粒子(寸法 0.1 μm 以下)が健康に影響し、また成層圏での航跡雲形成の原因になっているかも知れないという懸念があつて、影響と計測法等について研究がなされている⁹⁾。

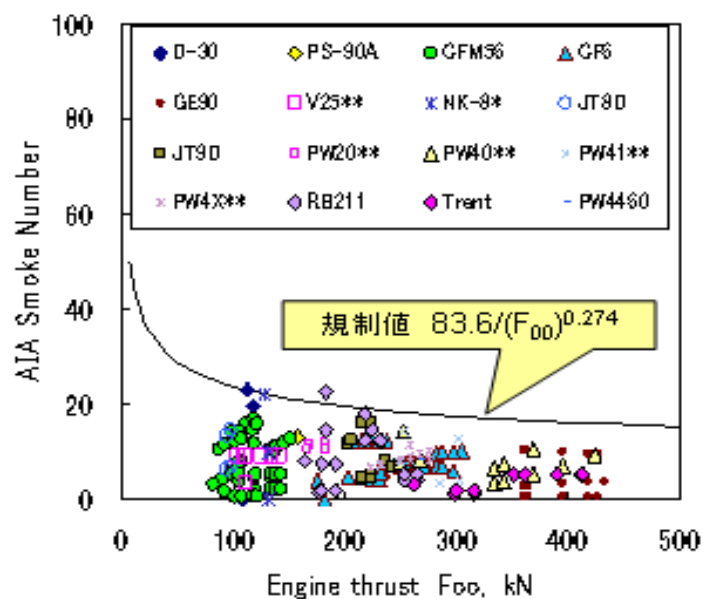


図12 ICAOによる排煙規制と現用主要エンジンの適合状況¹⁵⁾ (エンジンデータは1983年1月1日以降のもの。図13～15も同じ)

⑤未燃焼炭化水素 HC

未燃焼炭化水素 HC は燃焼が不完全の時にしやすい。一般に燃焼器の設計は最大出力の離陸条件を主としている。その条件では高圧の圧縮機から送ら

れる比較的高温の空气中で燃料が燃焼するため、燃料はほぼ完全に燃焼する。ところが地上で移動、離陸待ちなどを行っているアイドル/タキシング条件では圧縮機からの空気が比較的低温であるため燃焼反応速度が遅く、また燃焼器壁（正確には燃焼器ライナ）が十分温まっていないため、完全燃焼することが出来ずに、一部未燃焼のままの混合気が排出されてしまう。これがHCの排出原因である。

HCに対するICAOの規制値と現用エンジンの適合状況を図13に示す¹⁵⁾。縦軸はICAOのLTOサイクル(表3)で排出されたHC積算量(D_p)をそのエンジンの定格推力(F₀₀)で除したものである。図13と14は対数スケールであることに注意されたい。以降、図14と15の縦軸も同様に排出積算量 D_p を F₀₀ で除したものである。小型のエンジンほどエンジン圧力比が低いため燃焼温度が上がりにくく、加えて冷却を要する燃焼器ライナの比表面積が大きいので規制適合への対応が困難である。

⑥ 一酸化炭素 CO

一酸化炭素 CO は HC と同様、不完全燃焼の産物である。すなわち空港でのアイドル条件などエンジンが冷えている時や低負荷の時に多く排出される。特に最近燃焼ガスの燃焼器滞留時間が長くなることによって発生が増大する NO_x 対策として、寸法の短い燃焼器や混合気を希薄とした燃焼器が使われる。CO の酸化は比較的長い反応時間を要し、特に混合気希薄のときは火炎温度も低くなるため、更に長い反応時間を要する。このように短縮型の燃焼器を用いたエンジンでは CO が排出しやすい。

ICAO の CO に対する規制値と現用エンジンの適合状況を 図 14 に示す¹⁵⁾。

一方、国内主要 8 空港で排出された CO 量をエンジンが LTO サイクルに従って稼動したものと積算すると 2002 年度には 10,280 トンの排出量であった¹⁶⁾。

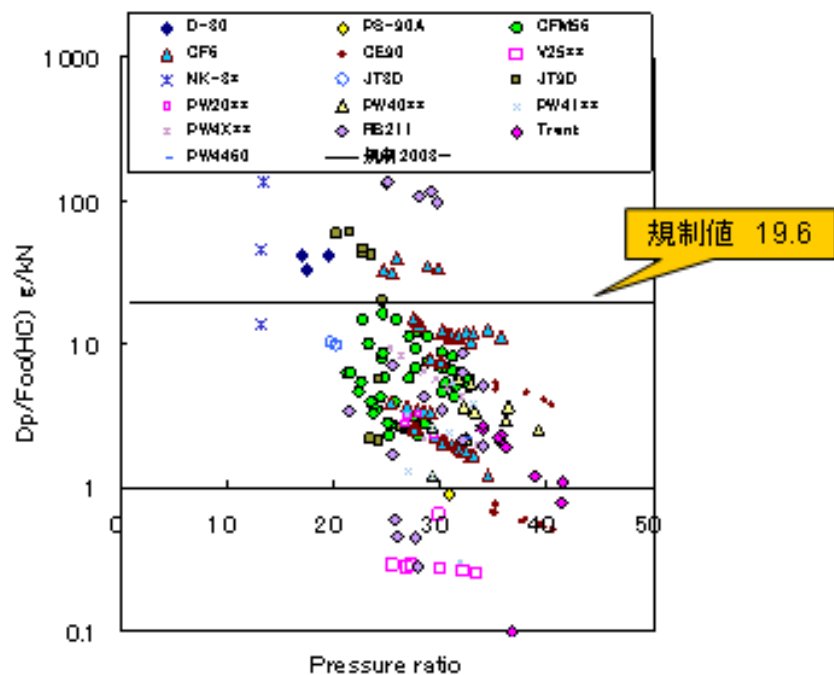


図 13 ICAO による HC 規制値と現用主要エンジンの適合状況¹⁵⁾

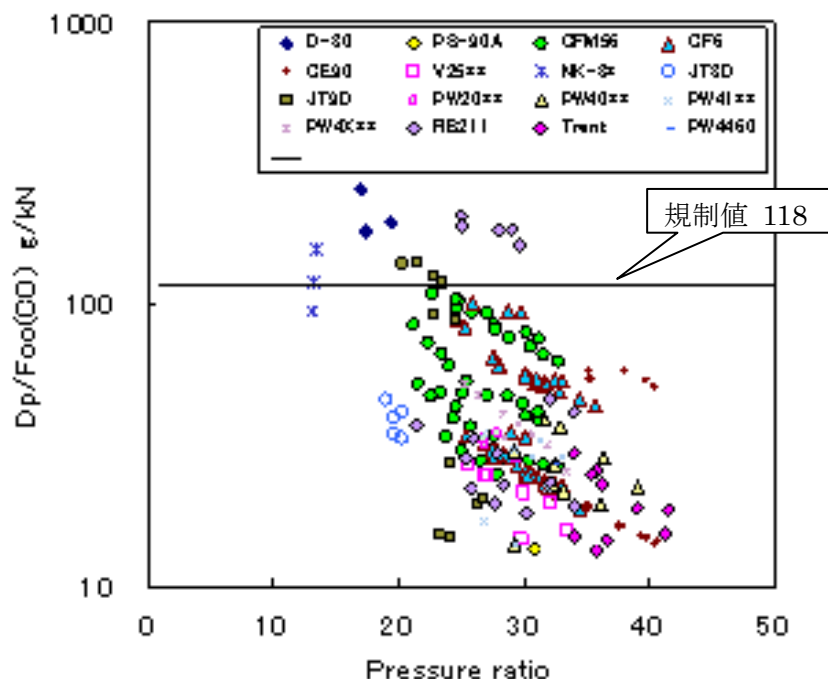


図 14 ICAO による CO 規制値と現用主要エンジンの適合状況¹⁵⁾

⑦ 窒素酸化物 NO_x

図 10 にも示したように、NO_x は清浄な大気中には非常に微量にしか存在しない。以下に、NO_x の影響と ICAO による排出規制について記すが、排出される NO_x の影響としては、地上でのものと、巡航高度におけるものとに大別できる。特に後者は他の燃焼排出源と大きく異なる航空機特有のものとしてオゾン層への関与がある。オゾン層についてはその役割、影響などについて複雑な現象があるので、節を改めて 4.4 で記述する。

健康への影響 地上での排出は住民の健康等に影響する。一般にある濃度以上の NO_x を吸入すると肺水腫などの呼吸器系の疾患の原因になるといわれる。また NO₂ は水に溶けやすいため、大気中の NO_x が雨水に溶け込み酸性雨の原因となる。酸性雨は良く知られているように、植物や湖沼などの生物環境に悪影響を及ぼす。このため、地上付近で排出される NO_x は健康上、居住環境上の理由から規制されている。

排気の拡散 大気環境規準では住宅環境などで 0.06 ppm 程度の濃度しか許容していないが、ジェットエンジンの排気として出る NO_x 濃度は最大出力時に数百 ppm の濃度である。ただしこの濃度で排出するのは表 3 からわかるように離陸時の数十秒間だけで、次の航空機が離陸するまで、時間的にも空間的にもこの高濃度の NO_x は拡散し希薄化する。計算機模擬した結果では、空港境界付近では 0.1 ppm 以下にまで薄まる¹⁷⁾。

余談ではあるが、たばこの「一服」に含まれる NO_x の濃度は 100～200 ppm と計測されている。兎などの小動物が死んでしまうようなこの濃度の NO_x も愛煙家にとっては屁とも思わないようである。慢性的に吸引すると頭も身体も麻痺してしまうということであろうか。なお、N₂O は麻酔効果があるので古くから歯科医などで用いられている。

エンジンからの排出 現在、ICAO/CAEP による航空機エンジンからの NO_x 排出規制と現用主要エンジンの適合状況は 図 15 に示すようである¹⁵⁾。現在 2004 年の規制に適合してい

ない比較的古いエンジンも使用することはできるが、新規に型式承認をとるエンジン(新規に設計・製作するエンジン)は規制に適合していなければならない。

ICAO で規定している離着陸モードの時に各エンジンからどの程

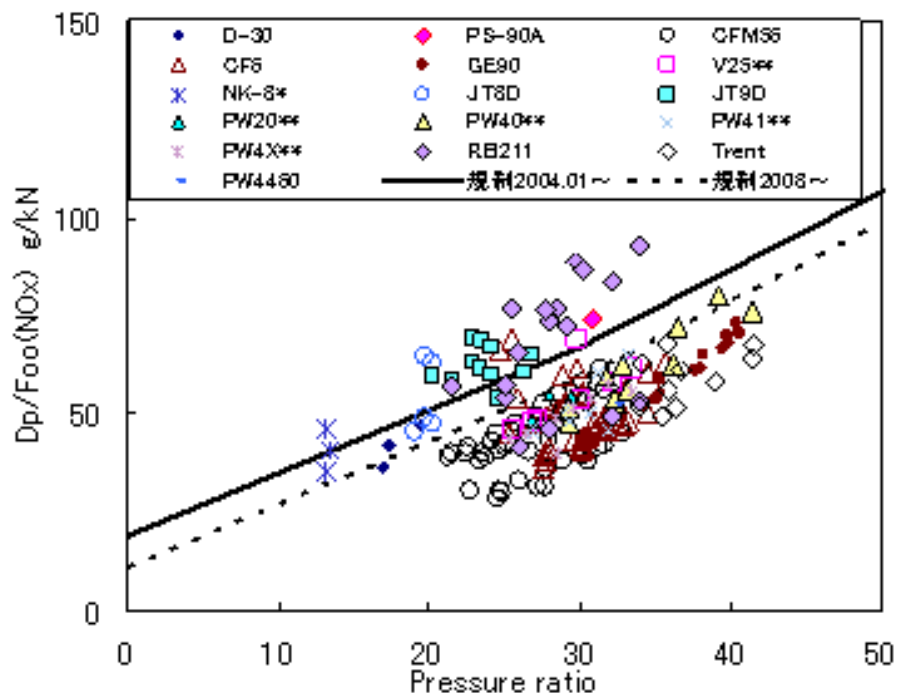
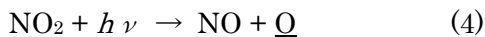
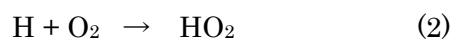
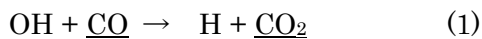


図 15 ICAO による NO_x 規制値と現用エンジンの適合状況¹⁵⁾

度の NO_x が排出されるかを、国内主要 8 空港で積算したものが 図 16 である(原データは¹⁶⁾)。 同図によるとこれらの空港で 2002 年度合計 1 万 3 千トンを超える NO_x を排出している。

これらの空港での同年度の総離陸回数は約 57 万 5 千回なので単純平均すると一機が一回の離陸に約 20 kg の NO_x を空港に置いていく勘定になる。20 kg の質量と言え、スーパーなどに売っている米の大袋が 10 kg であるから持ってみれば相当のものであることが実感できよう。一方、航空機からの年間総排出量が 1 万 3 千トンとは大変な量とも考えられるが、自動車から排出される NO_x の総量は全国で 64 万トン(2000 年 環境省データ¹⁷⁾)にも達している、それと比べればはるかに少ない。

巡航高度大気への影響 航空機が巡航飛行中に排出した NO_x は成層圏下層部ないし対流圏上部で微量に存在する他の元素と複雑な化学反応をする。特に、次のような反応によって排気中やバックグラウンドとして微量に存在する CO の酸化過程で触媒的役割を果たし、温室効果のあるオゾン[O₃]を生成する。これが地球規模の気候変動に影響を与えることが懸念されている。



ここで $h\nu$ は太陽紫外線のエネルギーを示す。(1)～(4)式で下線の組成以外は両辺に存在し、実質的に NO も NO₂ も消費することなく式(5)のように大気中の酸素からオゾンが生成されることがわかる。数百 ppt の NO_x の存在によってオゾン生産は最大となる⁴⁾。

1990 年代に欧米の研究グループは最も航路の密集している北大西洋航空機幹線航路を中心とした観測プロジェクトを実施した。そこは幅 1000 km、高さ 2 km の空間断面を毎日 600～900 機が行き来するいわば「航空銀座」である。しかし航空機の影響が大気に深刻な影響を与えている確証は得られなかった^{4, 19, 20)}。結局、航空機排出は自然界の NO_x 存在量、移動・変動量とオーダー的には大差無く、実害を特定するなら雷起源の NO_x、地上からの対流による混合、成層圏との交流、他の微量物質との反応など、複雑な要因を明らかにしていく必要があることがわかった。

しかし種々の機関で行われた 2 次元、3 次元の大気数値模擬計算によると、いずれの場合も成層圏下部／対流圏上部での NO_x 排出によるオゾン生成・増加を予測している。一例として、航空機排気の約 20% が北半球中緯度の成層圏下層部に排出されると考えると、局所的に数百 ppt の NO_x が増加し、オゾンが 10 ppb ほど増えると推算されている。それはオゾン濃度にして 2～14% の増加に相当する。大気数値模擬は、広大な地球大気(解析網単位は 10～100 km のオーダー)に対して排気の影響する気体層は薄く(数十ないし数百 m のオーダー)、十分な精度で計算することは未だに困難である。また、こういった結果には

NO_x 総量 13,488トン/年

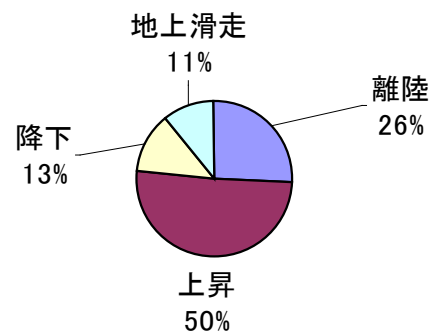


図 16 国内主要 8 空港から NO_x 排出 (2002 年度)¹⁶⁾

種々の仮定があり季節や時間、各関与反応物質の寿命などにも依存して複雑である。分析や予測の詳細については文献^{4,19)}などを参照されたい。

なお、NO_xはオゾンを増加させ温室効果を増進させる効果がある一方、やはり温室効果ガスとして増加が懸念されているメタン[CH₄]と反応し、温室効果を抑制する作用もある¹¹⁾。

4. 4 オゾン層と航空機の影響

騒音の場合には空港周辺の住民に迷惑がられるが、次世代以降にまで後遺症が残るわけではない。一方、大気汚染、特にオゾン層が変化をきたした場合は、気候変動などとして深刻な影響が広範に幾世代にも及ぶ可能性もある。地上における発電所や自動車などからも航空機排気と同様の燃焼排出物質が多量に放出されているが、それらの多くは雨に流され、海などに吸収されたりして影響が緩和される。航空機の場合、成層圏などに直接排出するため、オゾン層に影響を及ぼす可能性が懸念されている。

地上からオゾン量を観測する場合、鉛直の気柱にはフロンにより減少したオゾンと航空機排出により増加したオゾンが合算されることになる。オゾンが破壊されたため1970～1992年において紫外線の照射量が北緯45度の地域の7月に4%増加したが、1992年には航空機によるオゾン形成により0.5%の低下(対流圏0.4%、成層圏0.1%)となったとの報告もある⁴⁾。次にオゾン層の役割とNO_xの影響について略述する。

(1) オゾン層

数億年来、植物の発生した酸素を太陽光紫外線が分解し、オゾンを生成し、オゾン層を形成してきた。またその際のエネルギーが成層圏の温度環境を形成している。オゾンは常に光化学反応などにより、生成、消滅または対流圏への移動などが起きている。オゾン濃度のピークは高度20～40 kmの成層圏で、航空機の飛ぶ10 km程度の高度よりは上にある。

オゾン層のある場所は気圧が低いので高度分布としては数10 kmにわたる広範囲なものであるが、オゾン層を大気圧換算すると数mm程度の厚みにしかない。オゾンは太陽光度の強い低緯度地域で多く生成するが大気移動により両極域に流れるため、赤道近くで薄く、極域で厚い。大気圧換算すると地域によっても異なるが、低緯度で2～2.5 mm、極域で3～4 mmといった厚みである(2005年12月のNASA AURA衛星によるデータ)。

(2) オゾンと健康との関係

太陽光の紫外部分は生物に有害であるが、オゾンがその紫外部分を吸収してくれるため、いまの地球上の生態環境が保たれている。UV-Bと呼ばれる波長帯 $\lambda=280\sim315$ nmの紫外線は成層圏オゾンの変動によって地上での照射量が影響を受ける。これより短い波長のものはオゾン層などによって完全に吸収される。

低緯度地方では太陽光度の強さと相俟って紫外線照射量は強い。気象庁の2005年のデータによると札幌と那覇のオゾン層はそれぞれ大気圧換算で3～4 mmと2.3～3 mmと沖縄のほうがやや薄い程度であるが、紫外線UV-Bの照射量は、沖縄は北海道の2倍にもなることが報告されている(気象庁、オゾン層観測年報)。

オゾンの減少による紫外線の増加により皮膚ガンの発生率が高くなると言われているが、もともと照射量の多い低緯度の地方に数千年も住んでいる”原住民”はメラニン色素などにより防御機能が備わっているので、さしたる心配はないようである。紫外線照射量は少ないが、近年になってオゾンの急減した地域での懸念が広がっている。

(3) オゾン層と NO_x

オゾンは温室効果ガスであるため、この増減は成層圏の温度を変化させ、地球的気候変動の要因となることが懸念されている。もともと 1960 年代の後半に成層圏を飛行する予定であった超音速機から排出される NO_x が成層圏中でオゾンを分解することが懸念されて成層圏のオゾンやその他の微量ガスの影響研究が盛んになった。

成層圏の NO_x は主に 300 ppb ほどのバックグラウンド値で存在する亜酸化窒素[N₂O]の酸化によって生成される。この結果、高度 20 km 付近の NO_x は 3 ppb ほどの濃度で存在する³⁾。これと当時想定されていた超音速機排気の NO_x がオゾンを破壊する原因として懸念された。しかし実際に成層圏のオゾンを大量に破壊していたのは、人為的に製造・放出されたフロン(Chlorofluoro Carbon; CFC)やハロン(halon)であった。

実際にオゾンはフロンやハロンなどのガスによって南極域で 10 %/10 年、北半球でも数%/10 年程度の減少傾向が見られる²⁰⁾(また、気象庁ホームページ)。しかし、それらのガスは 1987 年のモントリオール条約によって生産が禁止されたので、今以上に影響が深刻化することはないと考えられている。

一方、NO_x はオゾン破壊を抑制する働きもしている。フロンが変化して出来る酸化塩素 ClO は活性が強くオゾンを連鎖反的に破壊する。しかし NO_x の存在により塩化物 ClONO₂ を形成してその連鎖反応を抑止する働きもする。また成層圏下部では NO_x が比較的多いことによってハロゲンや HO_x、H などの活性基によるオゾン破壊が抑制されるともいわれている⁴⁾。

4. 5 エンジン排出 NO_x 低減法

上述のようにエンジン排出 NO_x の大気環境へ影響は現在深刻な状況ではないが、ICAO/CAEP は 図 17 に示すような NO_x 排出規制強化を計画している。2008 年以降は現在の規制値の 60%にまで低減させようとしている。同図の規制は離着陸時の排出抑制を目的としたものだが、前述のように現在、巡航時の排出規制も検討中である。これまで記したように、航空機排出は多少なりとも自然界に影響を与える点で好ましくはないが、下記のように、規制強化は、エンジンのライフサイクルコストの上昇、安全性への危惧など重大な影響も生じる。真の影響を勘案して適正な規制を期待したい。

(1) NO_x 排出低減法 NO_x は燃料が高温燃焼することによって、空気中の窒素と酸素が結合して生成される。したがって NO_x 生成を抑制する方法として、燃焼器において燃料と空気の理論混合比よりも燃料割合を少なくして、比較的燃焼温度の上がない状態で燃焼させる手法が用いられる。図 18 で横軸は混合気濃度を示すが当量比 1 は空気と燃料が過不足なく、すなわち理論混合比である状態である。

その際に火炎温度は最高となり NO_x の発生が最大となる。その当量比 1 よりも小さい状態で燃焼させる場合、これを「希薄燃焼」といってほとんどのエンジンの NO_x 低減手法として用い

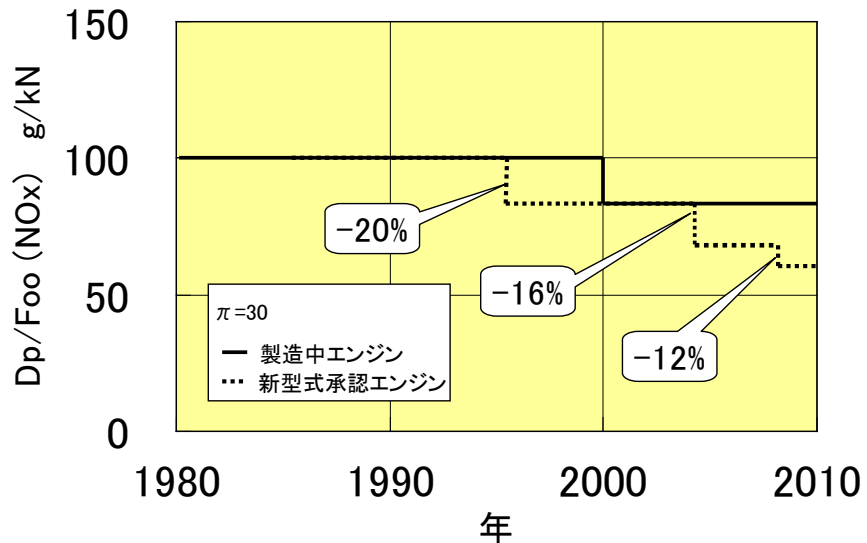


図 17 ICAO による今後の NO_x 規制の強化予定
(図中 π は圧力比)

られている。あまり当量比が小さいと燃焼不良となり HC や CO を排出する。

(2) エンジン信頼性に対する危惧

一般に燃焼器は航空用エンジンで最も耐久性の短い部品のひとつである。NO_x 排出規制が厳しくなるほど、微妙な制御を要求され、故障の確率も高くなり燃焼器の耐久性はさらに低下する。

局所火炎温度を高くせず、HC や CO の排出しない希薄混合比を、必要なエンジン作動モードで燃焼領域に形成させるためには、燃焼器に導入する燃料を予め空気と均質に混合する高度な技術が必要である。一般にこの部位の空気は高温であるため、条件によっては逆火したり、燃料と混ぜただけでも発火する危険性もある。希薄燃焼の場合、エンジンにとって致命的な火炎の吹き消え、再着火困難などが空気の低温・希薄な高空や雨雲中などで起きる可能性もある。規制強化と共に現実のエンジン作動範囲全体にわたって安定

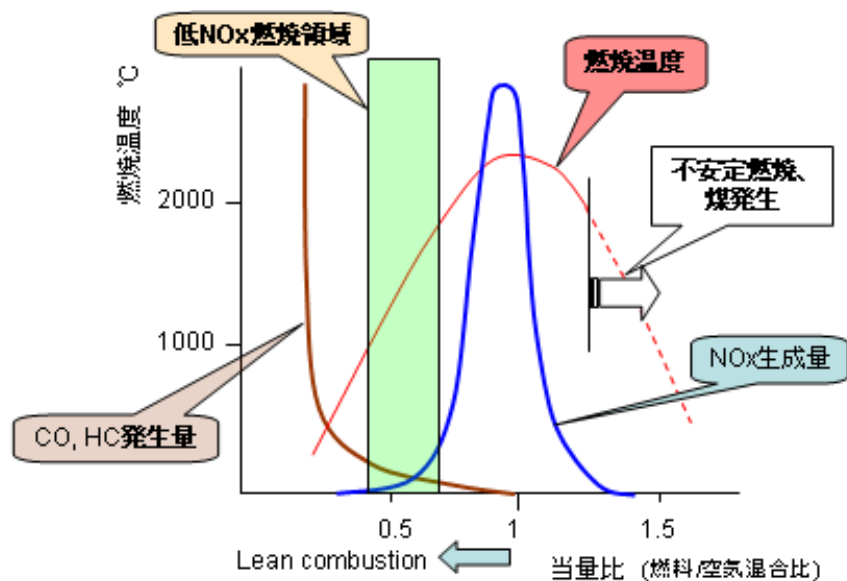


図 18 エンジン燃焼器における NO_x 低減手法

で信頼性の高い低排出燃焼器を作ることは現在極めて困難になってきている。燃焼器の機能低下は排出の劣化のみに留まらず、その生成高温ガスによって駆動するタービンの耐久性にも致命的な影響を及ぼす。これは重大なエンジン故障の原因にも直結し、安全性への脅威となる。

(3) 航空機排出低減の代償

エンジンが故障すると着陸の安全のため、燃料を空中投棄して緊急着陸することがある。航空運航会社のホームページによると同一年度のデータは見つからなかったが、日本航空で2004年376トン(470kl)、全日空で2003年268トン(335kl)の燃料を空中投棄している。それらの量は年によってまちまちではあるが、2002年度における主要8空港のLTOサイクルによる排出HC量は2,014トン¹⁰⁾と集計されているから、上記の場合、両者合わせて排出HCの1/4に相当する量を大気に放出したことになる。エンジン故障などが生じた際の重大な代償と考えられる。

本当のNOxによる大気環境への影響を適確に把握し、環境保護を理由に必要以上に強化したNOx排出規制がなされることのないよう、監視していきたい。NOx規制が既存エンジンメーカーの技術力を誇示するため、あるいは新規参入メーカーを蹴落とす利益確保バリアー(防御壁)としてのみ機能することのないようにも注意したい。

航空機からの排出低減はエンジンの未踏領域の設計にチャレンジする開発を伴った高価な投資が必要である。航空機排出に起因する温暖化効果はせいぜい3.5%とみている⁴⁾ように、他の排出源、影響の大きさ、対策の容易さ、経済性、安全性などを十分に勘案し、大局的な観点から対策を講ずることが必要である。

5. まとめ

航空機輸送の実態と航空機が環境に及ぼす影響、またそれを軽減させる方策について概観した。今後、以下の事柄が重要と考えられる。

- (1) 航空輸送は世界の交流が進むにつれますます重要となり拡大している。東アジア地域では空港などの新設・整備などの動きが著しい。
- (2) わが国は主要都市周辺にビジネス機等の小型民間機の離発着できる空港が極めて少なく、今後の経済、文化活動発展にブレーキとなることが懸念される。特に東京周辺に都市機能向上のための小型機用空港を整備すべきである。横田、厚木などの民間利用化を更に強力に働きかける必要が感じられる。
- (3) 航空機の低騒音化およびCO₂排出低減にもつながるエンジンの高バイパス化が驚異的に進んでいる。航空機排出ガスは他の排出源と比べて量的に軽微で、必要以上の規制は資源保護、経済性および安全性に懸念をきたす。空港近辺の環境改善に騒音影響を緩和する都市計画の推進が望まれる。
- (4) 自動車等や他の汚染源と比較した場合、航空機の大気汚染はそう深刻な現状ではない。年間、自動車による交通事故死亡は少なくないが、航空機の安全運航を危うくするまでの環境保全対応規制の強化は避けたい。航空機の改良は長期の研究、技術的立証および安全性の確認を伴う認証など膨大な資金を要する。規制強化の際にはその環境影響へ科学的根拠を得るための研究投資も十分に行う価値がある。

- (5) 航空エンジン等の規制強化には環境影響への十分な科学的検証による検討が必須で、わが国は世界第二の航空輸送大国としてこの方面で貢献する責務があろう。オゾン層などへの影響はすぐには、直接には実感できないが、影響が出ると気候変動など回復しがたい事態が起きる可能性もある。わが国も独自に研究した科学的根拠に立脚して国際組織での発言力を確保していくことが期待される。

本原稿を書くにあたって参考とした環境関係の文献や原典の多くは欧米の研究者による成果に基づくものであった。航空輸送が 7% の伸びを続ければ、10 年で排出総量が倍増することは金融関係の人ならずとも明白である。最近、わが国の独自の大気環境研究も増加してきたが、上記(5)に挙げたような貢献が今後最も重要と考える。

参考文献

- 1) 「世界の航空宇宙工業」(財)日本航空宇宙工業会、平成 17 年 3 月
- 2) 「数字でみる航空 2004」, 航空振興財団発行、国土交通省航空局監修, 2004 年 5 月
- 3) 「日本の航空宇宙工業」(財)日本航空宇宙工業会、平成 17 年 3 月
- 4) IPCC, Aviation and the Global Atmosphere, edited by J.E. Penner, et al., Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge Univ. Press, N. Y., 1999
- 5) IEA homepage; Oil in IEA total in 2002
- 6) “aviation fuel”, Chevron 社 Homepage
- 7) 東京都発行パンフレット、登録番号(13)32、またはそのコピーが空港環境保全対策調査報告書、平成 13 年度、(株)三菱総合研究所, 2002.03 に資料添付
- 8) ボーイング資料
- 9) European Commission(EC), Air pollution research report 74, Aviation, aerosols, contrails and cirrus clouds (A2C3), Proc. of a European workshop, EUR 19428, 10 to 12 July 2000
- 10) Proc. Conference on Good Practice in Integration of Environment into Transport Policy, Brussels, 2002
- 11) 地球温暖化の実態と見通し、IPCC 第二次報告書、気象庁編、1996.10
- 12) 「今日の石油産業データ集」石油連盟、2005 年 4 月発行
- 13) 「エネルギー生産・統計年報」経済産業省ホームページ
- 14) 「軽油の今後の深度脱硫技術の動向」日本エネルギー学会誌、Vol.78, No.865 & 866, 1999
- 15) ICAO Engine Exhaust Emissions Data Bank, July 2002
- 16) 空港環境保全対策調査報告書、平成 15 年度、(株)三菱総合研究所, 2004.03, pp.89-
- 17) 空港環境保全対策調査報告書、平成 12 年度、(株)三菱総合研究所, 2001.03, p.81
- 18) 「自動車排出ガス原単位および総量に関する調査」環境省、2001
- 19) Pollution from aircraft emissions in the North Atlantic flight corridor(POLINAT 2) EC, EUR 18877, 1998
- 20) AERONOX, The Impact of NO_x Emissions from Aircraft upon the Atmosphere at Flight Altitude 8-15 km, U. Schumann, ed., 1995
- 21) European research in the stratosphere 1999-2000, EC, EUR 19867, 2001

KEIRIN



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。