

航空による CO₂ 排出削減に関する基礎的研究

東京工業大学大学院 学生員 ○馬場健太郎

東京工業大学大学院 正会員 室町 泰徳

1. はじめに

現在、日本では航空による CO₂ 排出量は全体の排出量の約 1%であり、その割合はとても小さい。しかし、1970 年代以来、航空需要と航空による CO₂ 排出量は増加しており、将来的にもこの傾向は続くことが予想される。一方、地球規模では航空による CO₂ 排出量は 1 年につき 1.8～3.2%の割合で増加し、2050 年には 1990 年代の CO₂ 排出量の 3～7 倍になることが IPCC（気候変動に関する政府間パネル）や DTI（イギリスの貿易産業省）などによって推定されている。また 1997 年には地球温暖化を防止する目的で京都議定書が採択され、日本は 2008～2012 年までに 1990 年を基準として温室効果ガスを 6%削減するという目標を掲げている。

2. 既往研究と本研究の位置付け

Greene, D.L. (1992) は航空のエネルギー効率改善の要因としてロードファクターの増加と航空機自体が大きくなったこと、航空機の運航改善を挙げている。三菱総合研究所は 1995 年に ICAO（国際民間航空機関）の排出原単位と年間運航時間を用いて、日本の航空機ガス排出量の算出を行った。

そこで本研究では、まず 2002 年度の国内線航空の運航データを用いて航空による CO₂ 排出量の算出を行う。次に巡航高度、巡航速度、航空機の更新についてシミュレーションを行い、航空による CO₂ 排出の削減可能性の検討を行う。

3. 国内線航空による CO₂ 排出の現状

京都議定書には国際線航空による CO₂ 排出が含まれていないため、本研究では国内線航空による CO₂ 排出を扱う。CO₂ 排出量の算出は航空機の運航モ

ドを巡航中と LT0 サイクルの 2 つの運航モードに分けて行う。

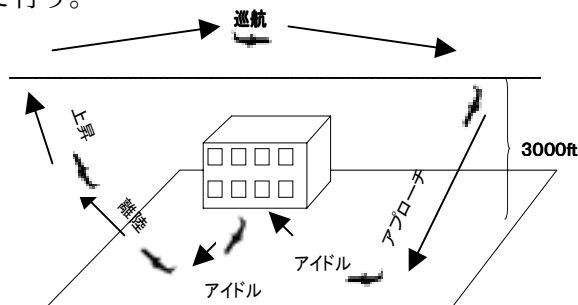


図1 LT0 サイクル

LT0 サイクルとはアプローチ、アイドル、離陸、上昇からなる高度 3000ft 以下の運航モードを指す。巡航中と LT0 サイクルの両方の運航モードについて CO₂ 排出量の算出は式(1)を用いる。

$$Q = \sum (t_{i,k} \times w_{i,j} \times n_j) \times f \quad (1)$$

Q : CO₂ 排出量 (kg) t : 運航時間 (h)

w : 燃料流量 (燃料 kg/h) n : エンジン基数

f : CO₂ 排出係数 (3.15(CO₂kg/燃料kg))

i : 運航モード j : 航空機種 k : 路線

本研究では LT0 サイクル時の各航空機種の燃料流量と運航時間に関して ICAO の値を用いる。ただし、国内主要 4 空港（羽田空港、成田空港、伊丹空港、関西空港）の LT0 サイクルの運航時間は実測値を用いる。巡航中の運航時間は航空輸送統計と JTB 時刻表を用いる。また、各航空機種の巡航中燃料流量は実測値を欠いているために、ボーイング 747-300 の実測値（巡航高度－燃料流量）をもとにロードファクターと巡航高度を考慮して算出する。その際に区

表1 区間距離と巡航高度

区間距離 (km)	巡航高度 (ft)
～200	10000
200～400	18000
400～600	25000
600～800	30000
800～1000	35000
1000～	36000

キーワード CO₂ 排出 航空

連絡先：〒226-8503 横浜市緑区長津田町 4259

東京工業大学大学院総合理工学研究科 人間環境システム専攻 E-mail: babak@enveng.titech.ac.jp

間距離と巡航高度の関係を表1のように想定し、これらの関係を用いる。2002年度の国内線航空によるCO₂排出量算出結果を表2に示す。その他1、2は、それぞれ1フライトの運航時間が0.54時間以上、以下の路線を指す。2002年度のジェット燃料消費量より算出した航空によるCO₂排出量は1033万トンと推定されている。誤差の原因として本研究では各航空機種の巡航中燃料流量の実測値を用いなかった点が挙げられる。

表2 2002年度国内線航空によるCO₂排出量

運航モード	羽田空港	成田空港	伊丹空港	関西空港	その他1	その他2	合計
36000ft	327.3	3.9	38.6	41.5	77.8	0.0	489.1
35000ft	172.6	3.8	9.6	2.3	13.9	0.0	202.2
30000ft	108.5	0.0	23.1	2.2	24.9	0.0	158.7
25000ft	75.6	4.0	16.7	7.2	18.5	0.0	122.0
18000ft	1.7	0.0	9.1	1.8	16.1	3.2	31.9
10000ft	0.1	0.0	2.7	0.0	1.4	12.9	17.1
巡航中	685.8	11.7	99.8	55.1	152.5	16.1	1021.0
LTOサイクル	112.5	2.4	23.0	9.8	64.6	0.0	212.2
合計	798.3	14.1	122.8	64.8	217.1	16.1	1233.2

(万トン)

4. CO₂排出削減のためのシミュレーション

4. 1 巡航高度の変化

各路線の航空機の巡航高度が10000～36000ftの範囲で現状よりも2000ft高い、1000ft高い、1000ft低い、2000ft低い場合を想定し、それらの場合の国内線航空によるCO₂排出量を算出した。その結果を図2に示す。巡航高度が低いほどCO₂排出量は増加し、CO₂排出量は巡航高度が現状よりも2000ft高い場合で1.5%減少する。その理由として航空機エンジンは流入空気重量に見合った燃料流量を消費するが、高高度になるほど空気密度が小さくなる点が挙げられる。

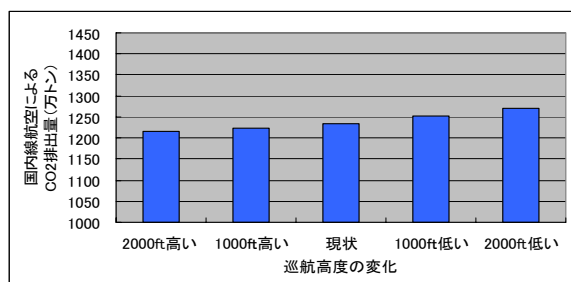


図2 巡航高度を変化させたときのCO₂排出量

4. 2 巡航速度の変化

本研究では巡航速度を考慮した各航空機種の巡航中燃料流量をボーイング747-300の実測値（巡航速度－燃料流量）をもとに算出した。巡航速度が現状よりも10%速い、5%速い、5%遅い、10%遅い場

合の国内線航空によるCO₂排出量を図3に示す。速度変化の範囲は最大巡航速度と経済巡航速度を考慮し±10%とした。

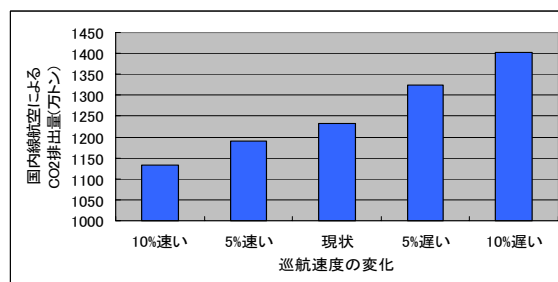


図3 巡航速度を変化させたときのCO₂排出量

巡航速度が速いほどCO₂排出量は減少し、巡航速度が10%速い場合ではCO₂排出量は8.1%減少する。これは巡航速度が速くなると航空機が受ける空気抵抗が増加し燃料流量も増加するが、それ以上に運航時間の短縮の影響が大きいためである。

4. 3 航空機の更新

2006年までに退役が決定している機種を新たに導入される機種に変えたときの国内線航空によるCO₂排出量を算出した。その結果を表3に示す。航空機の更新では主に高高度の路線でCO₂排出量が改善され、全体ではCO₂排出量は5.3%の減少となる。

表3 航空機を更新したときのCO₂排出量

運航モード	羽田空港	成田空港	伊丹空港	関西空港	その他1	その他2	合計
36000ft	297.3	3.9	33.6	38.2	77.5	0.0	450.5
35000ft	162.0	3.8	9.8	1.8	13.8	0.0	191.2
30000ft	104.2	0.0	25.2	2.3	24.6	0.0	156.3
25000ft	67.8	4.0	16.7	6.4	17.5	0.0	112.4
18000ft	1.7	0.0	9.3	1.8	16.1	3.1	32.0
10000ft	0.1	0.0	2.7	0.0	1.3	13.1	17.2
巡航中	633.1	11.7	97.3	50.5	150.8	16.2	959.6
LTOサイクル	109.3	2.4	22.5	9.3	64.8	0.0	208.3
合計	742.4	14.1	119.8	59.8	215.6	16.2	1167.9

(万トン)

5. まとめ

シミュレーションの結果より巡航速度が最もCO₂排出量に影響を及ぼすことが分かった。運航の改善も重要であるが、巡航速度に直接関わってくる航空機エンジンや機体などの技術的改善もCO₂排出量削減のために重要であることが確かめられた。

参考文献

- 1) Greene, D.L.: Energy-Efficiency Improvement Potential of Commercial Aircraft, Annual Review of Energy and Environment, 17, pp.537-573, 1992
- 2) 株式会社三菱総合研究所：航空機排出大気汚染物質削減手法検討調査報告書, 1995