

退役航空機を取り巻く現状と課題

本稿では、航空機の残存率曲線を用いて今後の退役機の動向、特に騒音や温室効果ガスの排出に対する規制が機材保有に与える影響と、退役機から発生する複合材料の増加について考察した。国際化による輸送需要の増加、環境面からの規制の強化、レアメタルの確保、複合材料のリサイクルの必要性を受け、増加する退役機のリサイクルに関して組織化・効率化を目指す動きが生じている。我が国の航空機部品メーカーは多面的に生産段階で大きな役割を果たしているが、日本企業のこれらの組織への参画はない。今後の動向を考えると退役機の処理への参画が期待される。

キーワード **退役航空機, ELA, リサイクル, 複合材料**

寺崎 淳也
TERASAKI, Junya

修(工) (株)日本航空インターナショナル整備本部

鹿島 茂
KASHIMA, Shigeru

工博 中央大学理工学部都市環境学科教授

大根田 洋祐
ONEDA, Yosuke

博(工) (株)シー・エス・ジャパン 代表取締役

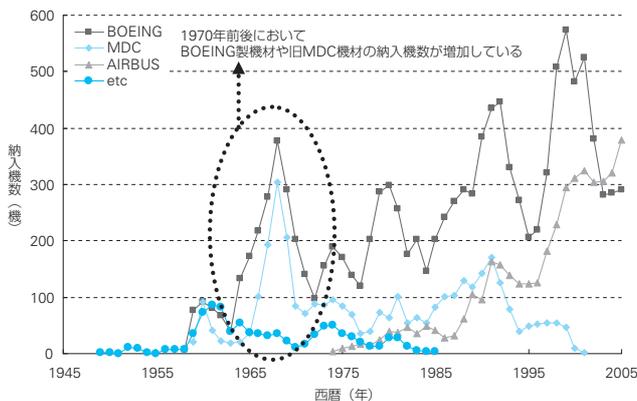
1 はじめに

1.1 背景

近年、欧米を中心にして航空機のリサイクルが注目を集めている。この背景には以下のような要因がある。

1点目は、退役機数の増加傾向である。

この1つの要因は、1970年前後におけるB747の生産開始による大量輸送時代の幕開けに代表される航空機のジェット化の進展にある。これにより、納入機数が一時的に増加した(図—1参照)。航空機の平均耐久年数は約20~30年といわれているため、1970年前後に生産された多くの航空機がほぼ耐久年数(生産から退役までの年数)を迎えているためである。



■図—1 民間ジェット輸送機のメーカー別納入機数¹⁾

また、近年における原油価格の高騰に伴う航空機燃料価格の上昇による経営コストの上昇を背景として、航空会

社は燃費の良い最新機種への機材の更新を促進しつつある。さらに、騒音や温室効果ガスの排出に対する規制の導入は、規制の内容によっては運航可能な航空機を制限することがあり、機材の更新が余儀なくされる可能性も考えられる。

2点目は、航空機を構成するアルミニウムや鉄鋼などのベースメタル、チタニウムなどのレアメタルの確保が世界的に難しくなるのではとの見通しがあることである。

従来型の航空機では約70%(重量比)をアルミニウムが占める。LMEアルミニウム(3ヶ月物)は、2003年末頃には1トン1,500ドル前後で取引されていたが、2008年4月現在では1トン3,000ドル前後になり約2倍に価格が上昇している²⁾。同様に、重量比で約10%を占める鉄鋼やチタニウムについても価格上昇の傾向が見受けられる^{3),4)}。これらの価格の上昇は、中国やインドの新興工業国における消費量の増加による資源の枯渇に対する不安や、アジアを中心とした航空旅客や航空貨物輸送の普及に伴う新造の航空機の需要の増加も要因と考えられている。そして、材料調達コストが膨らんだことを受けて、2007年6月にBOEING社は、B787について、2006年当時のリスト価格の1億3,800~8,800万ドルを1億4,600万~2億ドルへと引き上げた。他の機種についても、航空機の大きさや内装および電子機器の装備状況などによって値上げ幅は異なるものの、平均で約6%引き上げることを発表した⁵⁾。

1.2 目的と構成

本稿では、航空機の生産・保有・運航・退役を既存資料

を基に整理し、既存統計からは直接的には得られない退役機数の推計を自動車等の分野で用いられている残存率の考え方をを用いて行い、今後の退役機数の予測を試みる。さらに、航空機に関して実施された騒音規制について、この規制が生産・保有・運航・退役に与えた影響を残存率の変化から明らかにすることを試み、残存率を用いることが規制の影響を分析する1つの方法として利用できることを示す。さらに、こうした航空機の退役がリサイクルや廃棄物に与える影響を検討することを目的としている。退役機数の推計及びこれに規制等が与える影響を分析した点に本研究の新規性があると考えている。

本稿の構成は、以下の通りである。第2章では、航空機の生産から退役までに関する知見の整理を行い、航空機メーカーによる退役機のリサイクルに関する新組織に関して言及する。第3章では、退役機の今後の動向に関して予測を行った結果について考察を加える。第4章では、前章の退役機の予測結果を踏まえて、その動向に影響を与える騒音基準に対する運航制限について、過去および今後の運航制限導入の効果について述べる。第5章では、予測結果を踏まえて、退役機から発生する複合材料に焦点をあてて、リサイクル技術の確立の必要性に関して述べる。

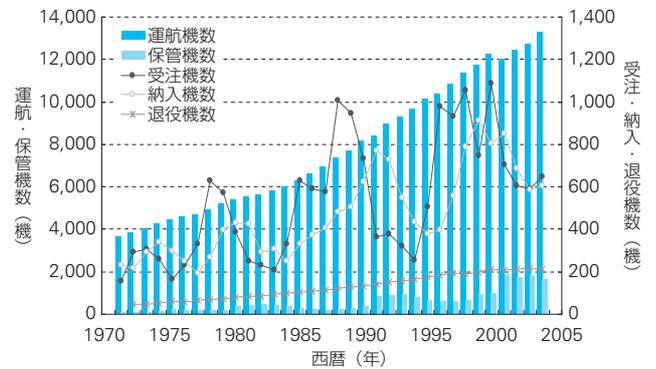
2——航空機が生産・保有・運航・退役

2.1 生産・保有・運航・退役における知見の整理

本稿では、航空機が生産・保有・運航・退役を既存資料⁶⁾を参考に図一2のように整理した。

本稿において特に断らない限り、生産段階の受注・納入機数・保有、運航段階の運航・保管機数には、参考文献1)からの集計値を用いる。退役機数については、現在の統計では毎年の運航機数が示されているのみであり、図一2で示した意味での退役機数は統計からは得られないため、注3)に示した方法を用いて推計する。

民間ジェット輸送機の運航・保管機数^{注1)}および受注・納入・退役機数^{注2), 注3)}の推移を図一3に示す¹⁾。



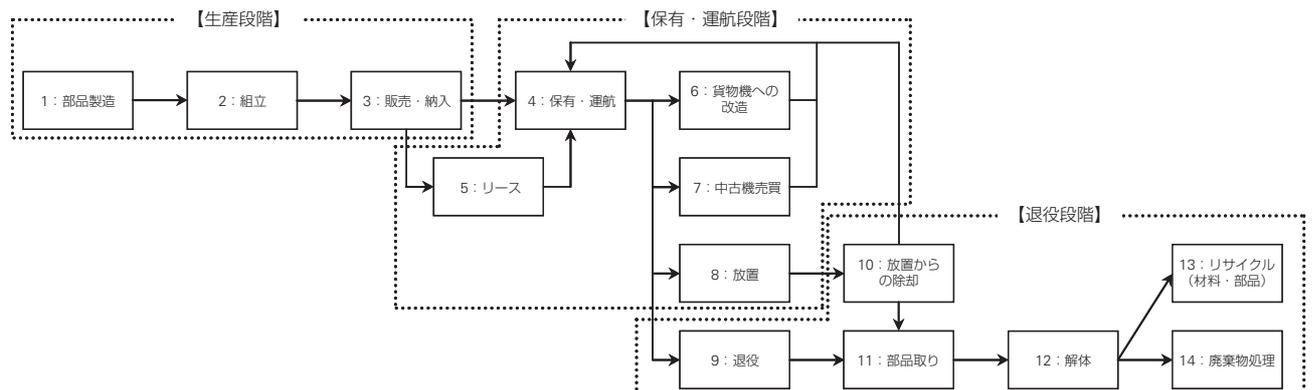
■図一3 民間ジェット輸送機の運航・保管機数^{注1)}および受注・納入・退役機数^{注2), 注3)}の推移¹⁾

受注機数は、航空旅客や航空貨物の需要量などの経済状況に影響を受ける。2000年の受注機数は、当時過去最高の1,087機を記録した。しかし、2001年9月11日に発生した米同時多発テロの影響を受け、航空旅客が一時的に減少したことから、2001年には前年比で35%減の705機まで減少した。2001～2004年までは、世界で続発したテロ、SARS(重症急性呼吸器症候群)や鳥インフルエンザの疫病の拡大の影響を受け航空旅客が伸び悩み、受注機数も600～700機の水準で推移していた。しかし、2005年は2,140機、2006年は2005年比で約4%増加し、2年連続で過去最高を更新するなど2001年以前の水準をはるかに超える水準に回復している。

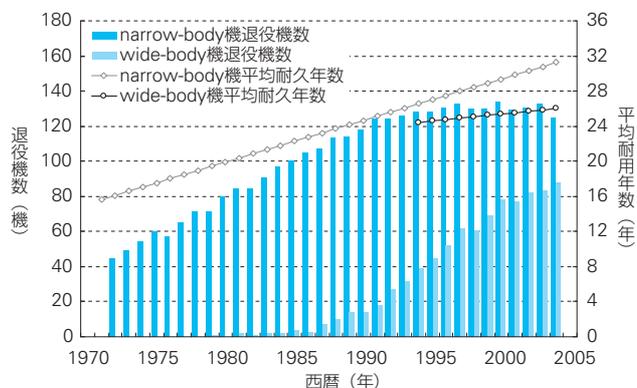
一方、納入機数は受注機数を2～3年ずらしたものと高い相関を示す^{注4)}。このことから航空機は、受注してから約2～3年程度で納入されていることが考えられる。

世界で運航されている航空機の数、2004年で13,293機であり、図一3からも分かるように前述の米同時多発テロの影響から2001年に若干の減少(前年比で約2%減)が見られるものの、概ね単調に増加してきている。保有機数に占める保管機数の割合も、2001年以前は約5%であったのに対し、2001年以降は10%超と高い水準になっている。

航空機には経済的な耐久年数が存在することは前述の通りである。図一4に機体分類別の平均耐久年数と退役機数の推計結果を示す。



■図一2 航空機が生産・保有・運航・退役

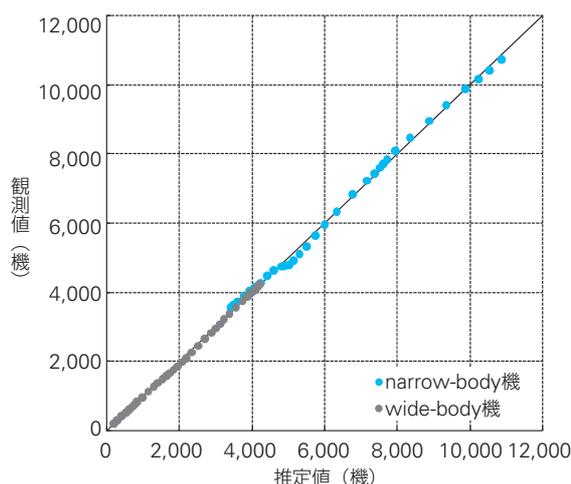


■図—4 機体分類別の平均耐久年数と退役機数の推移

2004年における退役機数はnarrow-body機が125機、wide-body機が88機であり、合計213機であった。保有機数に対して約1.5%が退役機となったことになる。2004年以前も年平均約130機、保有機数に対して約1.5%が毎年退役してきた。

また、航空機の平均耐久年数はどちらの機体分類においても毎年延びていることが見て取れる。推計によると、2004年におけるwide-body機の平均耐久年数は26.0年であり、narrow-body機のそれは31.3年であり、約5年の違いが見られる。一般的にwide-body機の代表機種であるB747やDC-10などの大型機は、運航に掛かる費用がnarrow-body機に比べ高く、長距離路線に投入される場合が多いため、narrow-body機に比べて中古機売買が敬遠されがちである、との指摘がある⁶⁾。その結果としてwide-body機の平均耐久年数の方が短くなっていると考えられる。

なお、航空機の退役機数を推計するために、残存率を用いるものであるが、その妥当性を検証するために、運航機数に関する現況再現を行なった^{注3)}。その結果は図—5のとおりであり、どちらの機体分類においても適合度が0.95~1.05と高く、航空機の退役機数を推計するために残存率を用いることの妥当性を示すものであると考えられる。



■図—5 運航機数に関する現況再現性

2.2 退役機を取り巻く環境

本節では、特に退役機の今後の動向や退役機を取り巻く環境に関する知見を整理する。

従来、退役機の処理はアメリカを中心にして、保管・解体・部品回収・廃棄などを関係各社ごとに独自に行ってきた。しかし、近年では退役機の今後の動向や航空機を構成する材料の原料価格の上昇を踏まえ、大手航空機メーカーのBOEING社とAIRBUS社の両社がそれぞれ、AFRA (Aircraft Fleet Recycling Association)、PAMELA (Process for Advanced Management of End-of-Life of Aircraft)と呼ばれる航空機の解体およびリサイクルに関する組織を設立するなど組織的かつ効率的な解体およびリサイクルを目指す動きが生じている。生産段階において、日本企業は機体構造や機体内部の装備品、航空機を構成する材料など多くの面で参画を果たしており、技術は高い水準にあると考えられるものの現時点で著者の知る限り上記の組織に参加する日本企業はない。

AFRAとPAMELA両組織の2008年時点での概要を表—1に整理した。

■表—1 AFRAとPAMELAの概要^{7),8)}

	AFRA	PAMELA
設立年次	2006年	2005年
設立目的	航空機の処分を望む顧客への対応の改善	リサイクル技術の情報網の発展
設立企業	Adherent Technologies Air Salvage International Bartin Recycling Group Boeing Chateauroux Air Center Evergreen Air Center Europe Aviation Huron Valley Fritz West Milled Carbon, Ltd Rolls Royce WINGNet	EADS CCR Sogerma SITA Hautes-Pyrenees県
工場	Château-roux (仏) Evergreen (米)	Tarbes Airport (仏)
処理能力	・150機/年の処理 ・年間25,000tのアルミニウムをリサイクル	・2007～2010年は、年間10機の処理 ・最終的には軍用機も含め年間300機の処理
備考	参画企業数は設立時の11社から12社増え23社となっている。(2007年7月3日現在)	European Commission's LIFE Programの一環として約300万ユーロ規模で開始。

European Commission's LIFE Programの一環として開始されたPAMELAの計画において、AIRBUS社は航空機のリサイクルに直接かかわっており、機体部品の85%から95%をリサイクル・リユース・リカバー(3R)することを目的としている。

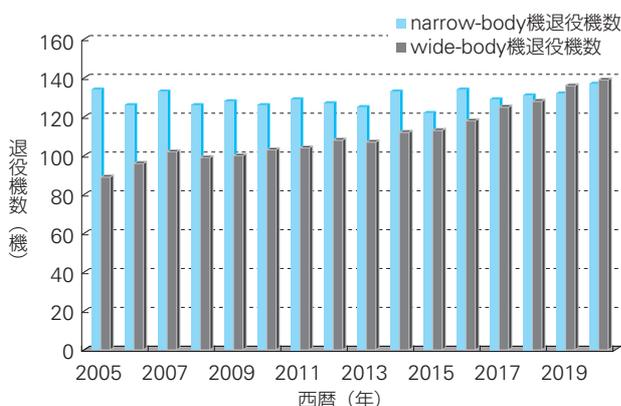
BOEING社のAFRAの計画は、BOEING社自らが航空機のリサイクルを行うわけではないことがPAMELAとの大

きな違いである。これまで、退役機の保管・解体・部品回収・廃棄などは関係各社ごとに独自に行っていたことを受けて、プロセス全体をカバーするための各社の協力を支援することを目標に掲げている。そのため、この計画の主目的は航空機を処分したい顧客への対応の改善である。

3——退役機数の予測

本章では、今後の退役機数の動向に関して予測を行う。

図—6に2005年から2020年までの機体分類別の退役機数の予測結果^{注4)}を示す。



■図—6 退役機数の推移(2005年～2020年)

予測結果によると、1989～2004年の16年間における退役機数の合計は、narrow-body機が2,038機、wide-body機が816機であり、合計2,854機、年平均で約180機であったのに対し、2005～2020年の同16年間でnarrow-body機が2,072機、wide-body機が1,779機であり、合計3,851機、年平均で約240機が退役となると予測される。2005～2020年の間では、2004年以前の同期間に比べて、退役機数の合計が約35%増加し、特にwide-body機の退役機数の増加(約2倍)が著しいことが考えられる。

航空機メーカーなどが行った予測でも、BOEING社の予測では、2006～2025年の20年間で8,570機の退役を予測している⁹⁾。財団法人日本航空機開発協会(jadc)の予測でも、同期間で8,003機の退役を予測している¹⁰⁾。また、AIRBUS社の予測では、BOEING社やjadcによる予測よりも少なく5,561機の退役を予測している¹¹⁾。

これらの予測では、年平均で約280～430機の退役が予測されることになる。これらの予測は、小型機も含めた全商用ジェット機についての退役予測であるが、新造機の需要の増加と退役機数の増加傾向という予測がなされている。このように、1970年前後のジェット化の進展以降も続いた航空産業および航空機産業の拡大により、退役機数の増加傾向が加速されることが予測される。

4——騒音や温室効果ガスが退役機数へ与える影響

前章において退役機数の増加が予測されることを示した。本章では、退役機数の動向に影響を与えると考えられる、騒音や温室効果ガスの排出に対する規制に焦点をあてる。そして、過去に導入された規制が退役機数に与えた影響を分析し、これを基に将来規制が導入された場合の考察を行う。

4.1 騒音および温室効果ガスの排出に対する規制

本研究で整理したICAO(International Civil Aviation Organization:国際民間航空機関)による騒音及び温室効果ガスに対する規制を図—7に示す。



■図—7 ICAOによる騒音および温室効果ガスの規制^{注5)}

ICAO理事会で採択された一連の騒音基準は、航空機が開発された時期に応じて基準を強くすることで機材の騒音低下を図るものであり、経年の航空機の運航を制限するものではない。さらに、これらは法的拘束力を有するものではないため、運航はICAO総会の決議により各締約国の法律により制限され、これにより騒音基準の実効が図られるという仕組みになっている。

具体的に経年機の運航を制限した例を挙げると、1971年に騒音基準が設定されたChapter2基準は、B727やB737、DC-9を対象とし、一部の締約国(米国、欧州、オーストラリア、日本、カナダ、ニュージーランド、香港、その他)において各国の法律により、1995年から条件付で運航が制

限されたことで一定の実効が図られた^{注6)}。また、Chapter4基準は、運航制限も含めた「バランス・アプローチ」^{注7)}の考え方のもと実効を図ることが決められている。

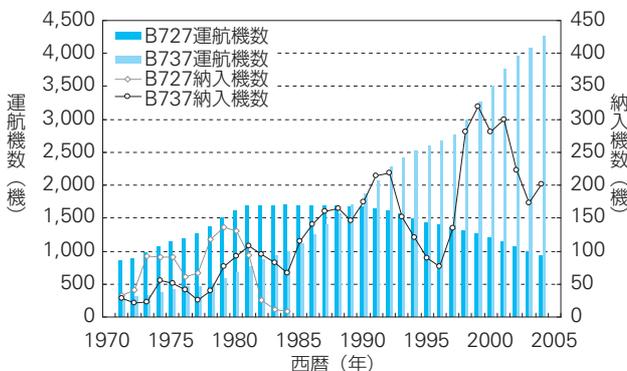
温室効果ガスの排出に対する規制は、自主的な取り組みや排ガス課金、排出権取引を中心として、ICAOでも活発に議論されているテーマである。

EUでは、2005年からすでに実施されているEU ETS^{1),12)}(Emission Trading System)^{注8)}に航空会社を含めるということが発表されている。しかし、EU内に乗り入れるEU域外の航空会社に対しても2012年から取引の対象となるため、日・中・韓と米国が反対の意思を表明するなどICAOの外においても議論が進展している¹³⁾。

4.2 騒音基準に対する運航制限導入の影響

本節では、推計結果から得られた知見を踏まえて、騒音規制の影響としてChapter2の騒音基準に対する運航制限による影響と、Chapter3の騒音基準に対する運航制限の導入による影響を考察する。

まず、図一8にChapter2該当機種であるB727およびB737の納入機数と運航機数の推移を示した¹⁾。



■図一8 B727およびB737の納入機数と運航機数の推移¹⁾

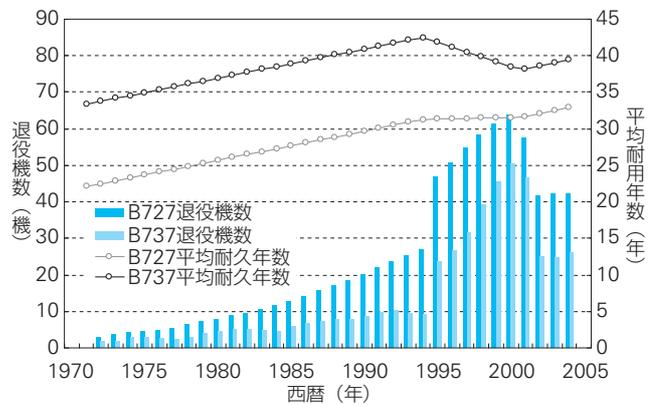
B727は1984年に生産が終了しており、運航機数が年々減少しており、2004年の運航機数は936機であった。またB737は、最新型のB737-900に至るまで多くの派生型の開発もあり世界で最も運航されている機材であり、2004年の運航機数は4,257機であった。

次に、図一9ではChapter2該当機種である、B727およびB737の退役機数および平均耐久年数の推計結果^{注3), 注4)}を示した。

図一9より、運航制限が導入されることでB727およびB737の平均耐久年数の推移の仕方に変化している。

1995年以前の水準で推移した場合と比較すると、2004年においてB727で約2.5年、B737でも約7.2年平均耐久年数が短縮されたと考えられる。

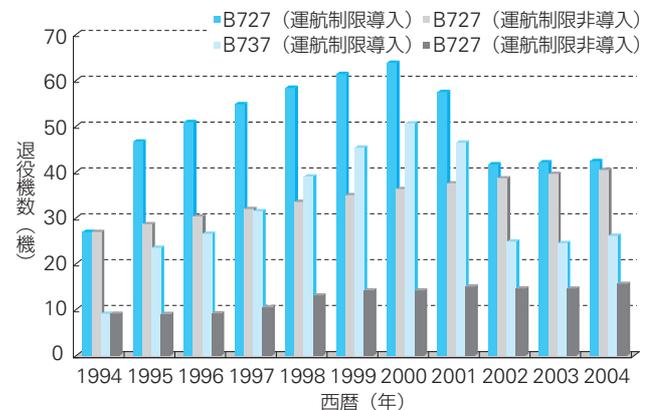
これらの影響の違いは、B727については、ハシユキッと呼ばれる消音装置を装備することで運航制限へ対応し



■図一9 B727とB737における退役機数および平均耐久年数の推移^{注3)}

たケースが多いのに対し、B737は、一部ハシユキッで対応したもの、新たに開発された派生型への機材更新により対応したため、B737の方が、B727に比べてChapter2の騒音基準に対する運航制限の導入により平均耐久年数が短くなったと考えられる。

図一10は、Chapter2の騒音基準に対する運航制限の導入による退役機数への影響を示した。



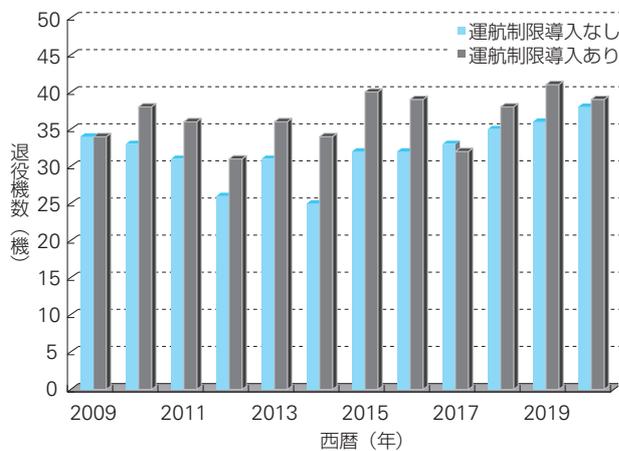
■図一10 運航制限が退役機数に与えた影響^{注9)}

Chapter2の騒音基準に対する運航制限が導入されたことで、1995～2004年における年平均の退役機数が、B727は約1.5倍に増加した。一方B737は、退役機数ではB727の方が多量のものの、運航制限の有無での比率では約2.5倍と大幅に増加している。

1995年から退役が促進された航空機は、納入されてから年月が経過した経年機と推量される。これらの退役が騒音基準に対する運航制限が導入されたことで、平均耐久年数の延びの鈍化や減少および退役機数の増加につながったと考えられる。

さらに、図一11ではChapter3の騒音基準に対する運航制限の導入を想定し、退役機数の動向に与える影響をシミュレーションした結果を示す。

該当機種をB747とし、2010年以降にB727がChapter2の騒音基準に対する運航制限により受けた影響と同程度



■図—11 Chapter3の運航制限導入の影響^{注10)}

の運航制限が導入される場合を想定した^{注10)}。

シミュレーションの結果から、Chapter3の騒音基準に対する運航制限の導入によりB747の年平均の退役機数が、約9%増加することが考えられる。

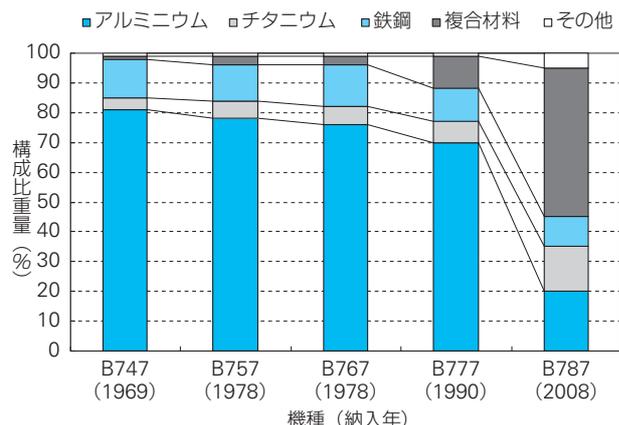
以上のことから、Chapter2基準の設定とそれに伴う運航制限は、退役機数を増加させると考えられる。

温室効果ガスの排出に対する規制に関する運航制限は現在まで行われていないが、原油価格の高騰に伴う航空機燃料価格の上昇を受けた燃費効率の良い機種への機材更新の促進や、ICAOやEUで議論されている自主的な取り組みや排ガス課金、排出権取引などの制度の導入により、燃費効率の劣る機材の退役がより促進されることが考えられ、これらも今後の退役機数の増加に無視できない影響を与えるものと考えられる。

4.3 航空機を構成する材料の変遷

本節では、退役機をリサイクル可能な資源という視点から捉え、主にリサイクル技術の確立されていない複合材料に焦点をあて考察を行う。

図—12に、BOEING製機材における構成材料の構成比重量を示す¹⁴⁾。



■図—12 BOEING製機材における構成材料の構成比重量¹⁴⁾

ここで着目すべきことは、1970年代から複合材料は航空機に採用されていた。BOEING社の最新機種であるB787において、複合材料が重量比で50%を占めていることである。技術の蓄積および向上により、耐衝撃性の問題が徐々に解決され、初めてキャビン(胴体部)や主翼に複合材料が使用されたことで複合材料がこれだけ多用された。この複合材料の多用により強度の増大だけでなく、軽量化が図られ最大旅客数も増加し、燃費も同メーカー同クラスのB767に比べ約20%向上したといわれている。

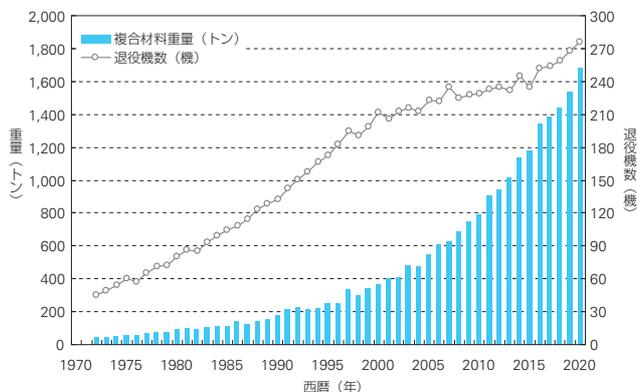
AIRBUS製の機材では、B787と同クラスの航空機のA350では、胴体などの基幹材料としては新開発の合金であるアルミニウム合金が使用されているものの、主翼に複合材料が使用されており、アルミニウムが32%、チタニウムと鉄鋼で計23%、複合材料が39%、その他が6%という構成になっている¹⁵⁾。また、最新の超大型機であるA380は、A350同様基幹材料はアルミ合金であり約60%を占めているが、次いで複合材料が多く22%占めており、複合材料を多用した航空機が今後も多く生産されることが考えられる。

アルミニウムや複合材料のリサイクルに関する主な特徴は以下の通りである^{16), 17)}。アルミニウムなど合金の場合は、同じ組成の合金へのリサイクルは、新たに合金を作る必要がなくなるため、積極的に行われている。しかし、複合材料は現在の技術では材料分離の面で困難であるといわれており、使用済み複合材料の処理は埋め立てが一般的である。複合材料を多用した航空機が今後保有・運航され、将来耐久年数を迎え退役機となるときまでに効率的なリサイクル技術を開発する必要がある。複合材料のリサイクル技術に関しては、航空機のリサイクルに限らず、自動車などの他の輸送機器や精密機械部品、電子機器部品でも複合材料が使用され、リサイクル技術が未成熟であることから、これらの分野においても重要かつ注目を集める話題である。

図—13では、退役機数の推移と退役機から発生する複合材料の量の推移を示した。図—13より退役機から発生する複合材料の量は、退役機数の増加に伴い、2020年には約1,700トンとなることが推計される。これは、2004年に比べ約4倍に相当する量である。

近年複合材料の価格も上昇傾向にあることも勘案するとコストパフォーマンスや環境負荷の観点から実用的なリサイクル技術の確立が急がれる。

航空機には、チタニウムなどの希少金属(レアメタル)も使用されている。退役機数の増加に伴いこれらが発生する量も増加することが考えられ、今後のリサイクルにおいて注目すべき事柄であると考えられる。



■図—13 BOEING製機材の退役機数および複合材料量の推移^{注11)}

5—おわりに

本稿では、既存統計からは直接的には捉えられない退役機数を残存率を用いて推計し、これを用いての平均耐久年数が年々増加していること、規制の影響が平均耐久年数の変化に見られることを示した。さらに、今後の退役機数の推計を行い、退役機数の増加が今後も継続するのに加え、退役機の処理時に複合材料が急激に増加する可能性を示した。

こうした退役機数の増加を受けて、AFRAやPAMELAの組織設立から組織的かつ効率的な解体およびリサイクルを目指す動きが生じている。しかし、航空機の生産・保有・運航・退役で生産段階において機体構造や機体内部の装備品、航空機を構成する材料など技術面での貢献度の高い日本企業のAFRAやPAMELAへの参画は見られない。

座席やアビオニクス(コックピット内の電子機器)などの装備品のリサイクルに関連して、航空機のMRO (Maintenance Repair Overhaul)市場は、航空需要の増大に伴い拡大の方向にあり、これらの市場規模も企業体として成立可能性がある¹⁷⁾とされている。また、近年におけるMRJやHonda jetの開発に見られるように、我が国でもYS-11以来の国産航空機の開発が進展していることから、航空機の生産・保有・運航・退役において生産段階や保有・運航段階への積極的な参画にとどまらず、退役後の航空機の処理についての研究が進められることが期待される。

注

注1) 保管機数は、日本航空機開発協会が発行する民間航空機関連データ集において、平成10年度版～平成16年度版は、各年12月31日時点における対象航空機の運航機数としてIn Service+Storedの抽出データを掲載し、平成17年度版以降は、各年12月31日時点における対象航空機の運航機数としてIn Serviceの抽出データを掲載しているため、各年両者(In service+storedの抽出データとIn serviceの抽出データ)の差をとり計算をした。

本稿では、In serviceを運航機数、Storedを保管機数とし、両者の和を保有機数と定義して用いている。

注2) 本稿では、日本航空機開発協会が発行する民間航空機関連データ集において民間ジェット輸送機に分類されている機種を対象とした。ただし、派生型

は考慮していない。

注3) 本稿における退役機数および平均耐久年数とは、以下に述べる方法により推計した値を指す。

残存率とは退役されず保有され残存している確率である。西暦*t*年において機齢(納入からの経過年数)*i*年の航空機*j*の残存率を $F_{j,t}(i)$ とする。本稿では残存率 $F_{j,t}(i)$ に下式のロジスティック曲線を仮定して定式化した。

$$F_{j,t}(i) = \frac{1}{1 + \exp(\alpha_{j,1} + \alpha_{j,2} \times i + \alpha_{j,3} \times i + \alpha_{j,4} \times \text{Dammy}_j)}$$

Dammy_j : 規制の対象であるかのダミー変数

$\alpha_{j,1}, \alpha_{j,2}, \alpha_{j,3}, \alpha_{j,4}$: パラメータ

また、騒音や温室効果ガスの排出に対する規制の導入が与える影響を考慮するため、航空機が規制の対象となる場合はダミー変数を導入し下式のように設定した。

西暦*t*年における航空機*j*の保有機数を $S_{j,t}$ 、納入機数を $D_{j,t}$ とおくと、残存率 $F_{j,t}(i)$ との関係は下式のようになる。

$$S_{j,t} = \sum_{i=0}^{t-T_j} F_{j,t}(i) \times D_{j,t-i}$$

T_j : 航空機*j*が初めて納入された西暦年

西暦*t*年における航空機*j*の退役機数を $R_{j,t}$ とすると、下式のから算出した。

$$R_{j,t} = \sum_{i=0} (1 - F_{j,t-i}(i)) \times D_{j,t-i} - \sum_{i=0} (1 - F_{j,t-1-i}(i)) \times D_{j,t-1-i}$$

つまり、本稿における退役機数とは、エアラインなどの保有・運航主体から外れた航空機を意味する。

また、西暦*t*年における航空機*j*の平均耐久年数 $Y_{j,t}$ は、 $F_{j,t}(i) = 0.5$ を満たす機齢*i*とし、

$$Y_{j,t} = -\frac{\alpha_{j,1} + \alpha_{j,2} \times i + \alpha_{j,4} \times \text{Dammy}_j}{\alpha_{j,3}}$$

により評価する。

各々のパラメータは、機齢別の運航機数という既存の統計データは手に入れることが困難であるため、下式のように毎年の航空機*j*の保有機数 $S_{j,t}$ に関する誤差の二乗和を最小にするようにパラメータを推定した。

$$\min_{\alpha_{j,1}, \alpha_{j,2}, \alpha_{j,3}, \alpha_{j,4}} \sum_{t=1971}^{2004} (\hat{S}_{j,t} - S_{j,t})^2 = \sum_{t=1971}^{2004} \epsilon_{j,t}^2$$

ここで、 $\hat{S}_{j,t}$ は西暦*t*年における航空機*j*の既存統計より得られる実績値の保有機数とする。

下表—2に本稿で用いた分析のパラメータの推定結果を示す。

■表—2 パラメータ推定結果

パラメータ	$\alpha_{j,1}$	$\alpha_{j,2}$	$\alpha_{j,3}$	$\alpha_{j,4}$	適合度
航空機分類 <i>j</i>					
narrow-body機	-3.443	-1.073 $\times 10^{-1}$	2.268 $\times 10^{-1}$	-	0.96~ 1.05
wide-body機	-8.107	-6.255 $\times 10^{-2}$	3.932 $\times 10^{-1}$	-	0.99~ 1.05
B727	-4.573	-8.441 $\times 10^{-2}$	2.109 $\times 10^{-1}$	5.064 $\times 10^{-1}$	0.97~ 1.03
B737	-3.143	-3.787 $\times 10^{-3}$	9.533 $\times 10^{-1}$	6.746 $\times 10^{-1}$	0.96~ 1.01
B747	-1.031 $\times 10^{+1}$	-7.214 $\times 10^{-2}$	4.627 $\times 10^{-1}$	-	0.99~ 1.05

適合度とは毎年の推定運航機数と実績運航機数の比を指す。

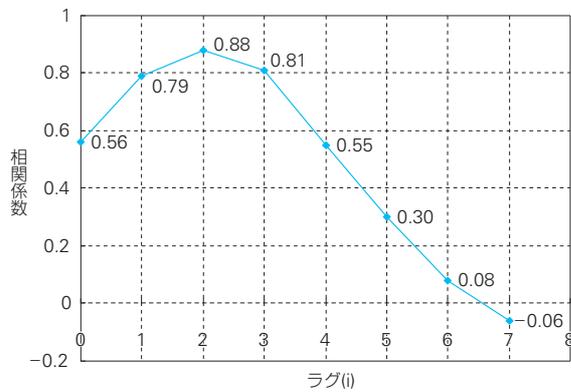
B727およびB737のChapter2の騒音基準に対する運航制限の影響分析に用いたダミー変数は、注7)に記したように、運航制限が1995年3月31日以降7年間の猶予が設けられているため、1994年以前は0、2002年以降を1、1995～2001年の間は線形的に増加する関数値をダミー変数として与え分析を行った。

注4) 受注から納入までに要すタイムラグの推計方法は、西暦*t*年における航空機*j*の受注機数 $O_{j,t}$ 、納入機数を $D_{j,t}$ とすると、両者の相関係数は以下の式より算出可能である。

$$R_{O_{j,t}, D_{j,t}} = \frac{\sum (O_{j,t} - \bar{O}_j)(D_{j,t} - \bar{D}_j)}{\sqrt{\sum (O_{j,t} - \bar{O}_j)^2} \sqrt{\sum (D_{j,t} - \bar{D}_j)^2}}$$

$D_{j,t}$ を $D_{j,t+i}$ (ただし、 $i=1, 2, 3, \dots$)として、相関係数の値が最大となる*i*を受注から納入までに要するタイムラグとして評価した。

下図—14にその結果を示す。



■図—14 ラグと相関係数の関係

注5) 温室効果ガスに対する規制の動きにおける、NOx削減の基準に示されている百分率は、LTO (Landing/Take-Off) サイクルの単位推力あたりの排出量 (g/kN)である。LTOサイクルとは、高度3,000ftからの着陸を含めた、次の離陸後高度3,000ftまでの上昇を1サイクルとしたものを指す。本論文は2008年現在を基本としているため温暖化をめぐる近年の動向は別の機会に述べる。

注6) Chapter2の適合機の運航制限は、1995年4月1日から2002年3月31日までの猶予が設定され進められた。ただし、機齢が25年未満の航空機や広胴機、バイパス比が2を超える高バイパス比のエンジンを搭載する機材については、2002年3月31日以前に運航制限は設定しないという条件が付けられた。

注7) バランス・アプローチとは、ある空港に特定し、最も費用対効果の高い方法により騒音問題に取り組むことを目標とする考え方。航空機自体の騒音軽減・空港周辺の土地利用計画・管理・騒音軽減運航方式・運航規制の4つの主要要素を組み合わせ、可能な方策を検討する。

注8) EU ETSでは、CO₂のみを対象とし、欧州域内の路線を運航する航空機は2011年から適用予定。欧州域内と域外を結ぶ路線の航空機は2012年から適用予定。2004年から2006年までの平均排出量を目標値とする。

注9) 運航制限が導入されなかったケースは、Chapter2の騒音基準に対する運航制限の導入を考慮した1995年以降のダミー変数をすべて0とおいて分析した。

注10) Chapter3の騒音基準に対する運航制限の導入のシミュレーションは、2010年以降に運航制限が導入された場合を想定し、2005～2009年の間は0、2010年以降に7年間の猶予を想定した線形的に増加する関数値をダミー変数(ただし、2016年以降はすべて1)として導入し、ダミー変数にかかるパラメータにはB727と同様 5.064×10^{-1} の値を用いて分析を行った。

注11) 1980年までに生産された機材の構成比重量(%)を、アルミニウム、チタニウム、鉄鋼、複合材料、その他をそれぞれ、81%、4%、13%、1%、1%とし、1981年から1990年の機材は、78%、6%、11%、3%、1%、1990年から2000年の機材は、

70%、7%、12%、11%、1%として推計を行った。また、機材の重量は100tとした。
注12) 本論文は2008年現在を基本としているため、温暖化をめぐる近年の動向は別の機会に述べる。

参考文献

- 1) 財団法人日本航空機開発協会[2006], “平成17年度版民間航空機関連データ集”。
- 2) ジフューチャーズ[2008], “Venus Online Trade System”, (オンライン), http://www.fuji-ft.co.jp/newspaper/frame_pura.htm, 09/05/08.
- 3) 日本政策投資銀行[2004], “素材産業における価格上昇とその影響”, 「今月のトピックス」, No. 066-1.
- 4) 社団法人日本航空宇宙工業会 工業会活動[2007], “航空機用材料としてのチタンの現状と課題”, 第641号, pp. 21-33.
- 5) IBTimes[2007], “米ボーイング、航空機価格を引き上げ”, (オンライン), <http://jp.ibtimes.com/article/biznews/070626/9059.html>
- 6) 溝田誠吾[2005], “民間航空機産業のグローバル「多層」ネットワーク”, 「専修大学社会科学研究所月報」, No. 499.
- 7) Engineering and Physical Sciences Research Council[2007], “The Aircraft at End of Life Sector: a Preliminary Study”.
- 8) A|D|S[2008], “SBAC Aviation and Environment Briefing Papers, End of Aircraft Life Initiatives”.
- 9) BOEING[2006], “Worldwide Market Forecast for Commercial Air Transport 2006-2025”.
- 10) 財団法人日本航空機開発協会[2006], “平成17年度 民間輸送機に関する調査研究”。
- 11) AIRBUS[2006], “Airbus Global Market Forecast 2006-2025”.
- 12) EU[2007], “Emission Trading System (EU ETS)”, <http://ec.europa.eu/environment/climat/emission/>
- 13) 財団法人空港環境整備協会・財団法人運輸政策研究機構 国際問題研究所 [2007], “国際航空からのCO₂排出抑制策に関する報告書”。
- 14) 財団法人日本航空機開発協会[2004], “平成15年度 民間航空機および関連産業に関する調査研究”。
- 15) 社団法人日本航空宇宙工業会[2006], “航空機用構造材料技術の進捗(その1) - 航空機素材産業を更に大きく発展するために -”, 工業会活動, 第627号, pp. 11-20.
- 16) 平博仁[2006], “航空機へのアルミニウム合金適用の現状と今後の課題”, 軽金属, 第56巻, 第11号, pp. 588-591.
- 17) 財団法人日本航空機開発協会[2007], “航空機装備品海外市場参入シナリオ案について”, 工業会活動, 第644号, pp. 26-30.

(原稿受付 2009年12月8日)

The Current Issue on the End-of-Life Aircraft (ELA)

By Junya TERASAKI, Shigeru KASHIMA and Yosuke ONEDA

This paper studies the Influence on fleet status of regulation for the aircraft noise and the emission of greenhouse gases, and argues the necessity of the recycling process of composite material generated from End-of-Life Aircraft (ELA). Lately, there have been movements aim to systematize the recycling process of ELA. Aircraft part manufacturers in Japan play an important role at a stage of production. Nevertheless, those manufacturers have not taken part in such movements. It is predicted that market about the ELA spreads in future. Consequently, the participation of the Japanese company with superior technology in Processing of ELA is strongly expected.

Key Words : *End-of-Life Aircraft, ELA, Aircraft Recycling, Composite materials*