

## 省エネルギー その2－航空機用材料（炭素繊維複合材料）－

### 1. 調査の目的

航空機用材料としての炭素繊維複合材料は、航空機の様々な箇所に使用されている。炭素繊維複合材料を用いることにより、従来と同じ強度・安全性を保ちつつ航空機の軽量化が可能となる。CFRP 航空機は、機体の 50%以上に炭素繊維複合材料を使用しても、従来機以上の強度を発揮することができ、さらに炭素繊維複合材料を使用することによって機体の重量を低減、運航時に消費されるジェット燃料の消費量を削減することができる。

本事例は、炭素繊維複合材料を導入した場合における従来型航空機からの燃費削減による CO<sub>2</sub> 排出削減を定量的に把握するために cLCA による評価を行った<sup>15)</sup>。

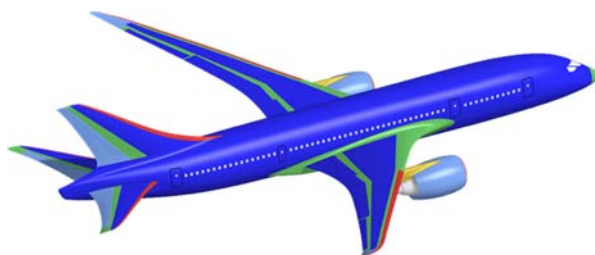


図 10. 航空機向け炭素繊維複合材料

#### ①CO<sub>2</sub> 排出削減貢献の内容

軽量化により燃費が向上し、燃料消費量が削減される。

#### ②航空機に使用される化学製品

- ・ 炭素繊維
- ・ エポキシ樹脂

### 2. バリューチェーンにおけるレベル

本事例は航空機を対象としたものであり、そのバリューチェーンを下図に示す。

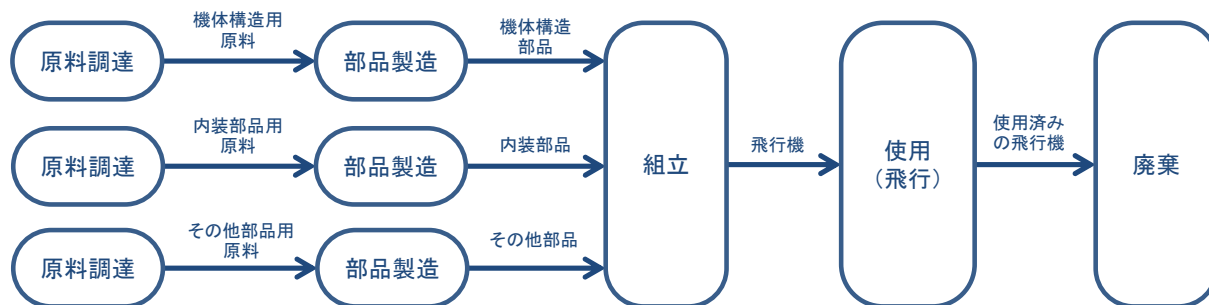


図 11. 本事例のバリューチェーン

### 3. 製品の比較

本事例は、機体構造の50%にCFRPを適用した機体（CFRP航空機）と機体構造の3%にCFRPを適用した機体（従来航空機）を対象としたものである。

2009年における評価対象製品（CFRP航空機）のシェアはほとんどないが、2020年においては大型商用航空機の中の1～2割程度を予想する。

表 9. 評価対象製品と比較製品

評価対象製品	比較製品
CFRP航空機 (機体構造の50%にCFRPを適用した機体)	従来航空機 (機体構造の3%にCFRPを適用した機体)

### 4. 機能単位

#### 4.1 機能及び機能単位の詳細

本事例は異なる素材を用いて製造した航空機の比較であり、評価対象製品と比較製品の機体重量に違いがあるため、運航時のジェット燃料消費量に差が生じる。どちらの製品も同一の期間に同一の距離を飛行する機能を持つ。機能単位は航空機1機とした。

CFRP航空機を使用するによって便益を受けるユーザーは航空機の利用者である。

- ・機能  
乗客および貨物の航空輸送
- ・機能単位  
航空機1機
- ・便益を受けるユーザー  
航空機の利用者

#### 4.2 品質要件

CFRP航空機は、機体の50%以上にCFRPを使用することによって、従来機と同じ強度・安全性を保ちつつ機体の重量を低減し、運航時に消費されるジェット燃料の消費量を削減することができる。

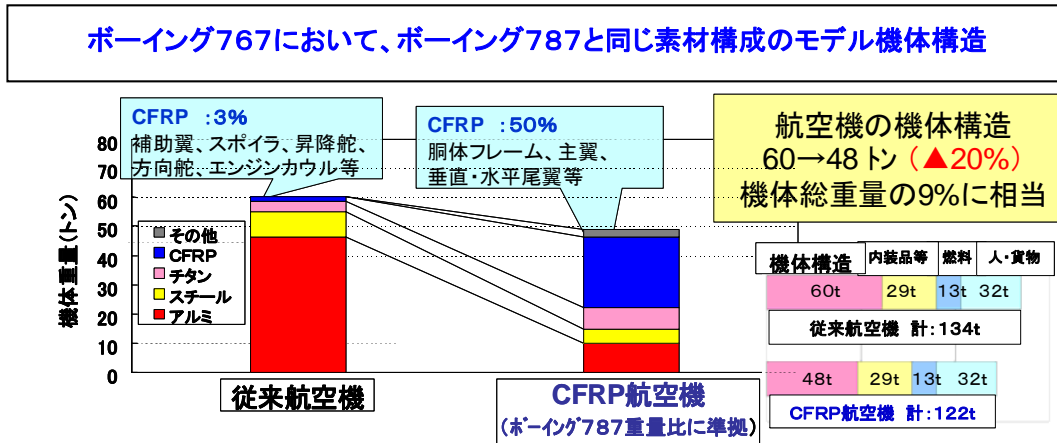


図 12. 航空機の機体構造と炭素繊維複合材料（CFRP）の使用量

#### 4.3 製品のサービス寿命

本事例では減価償却資産の耐用年数等に関する省令 別表第一飛行機 最大離陸重量が 130t を超えるもの(財務省)を参考に 10 年と設定した。

#### 4.4 時間的基準と地理的基準

CO<sub>2</sub> 排出量の算定に用いたデータは 2007 年のデータを使用し、2020 年の需要予測は 2007 年実績をベースに予想した。

CO<sub>2</sub> 排出削減貢献量は、対象年(2020 年) 1 年間に製造された製品をライフエンドまで使用した際の CO<sub>2</sub> 排出削減貢献量として算定されている。

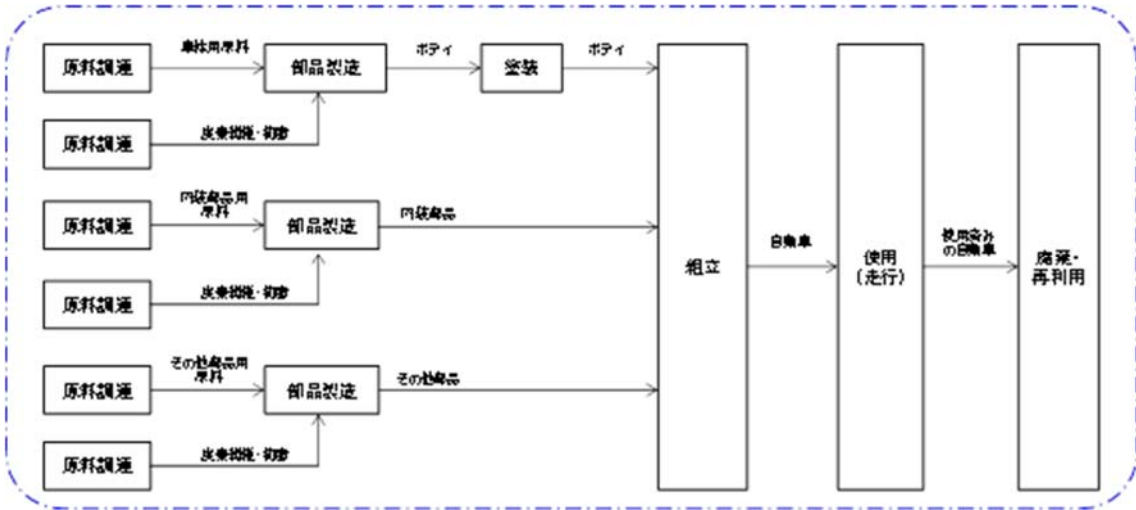
対象地域は日本と世界（日本を含む）とした。今後の予測に用いた世界の需要は炭素繊維の用途に関する情報から推定した。航空機の運航時における燃費は、日本と世界で同じデータを用いた。

### 5. 算定の方法論

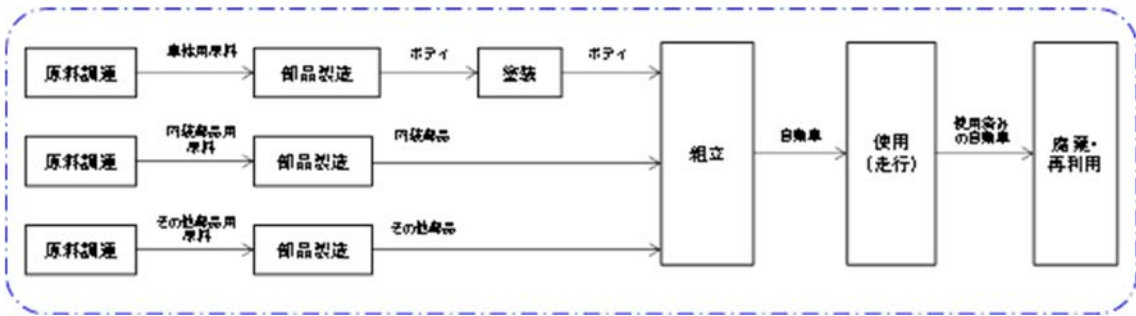
#### 5.1 システム境界

原料の製造から部品製造・航空機組立、使用（飛行）の段階を、CFRP 航空機と従来航空機のそれぞれについて評価を実施した。廃棄については実績がないため計算の対象外とした。

【評価対象製品のシステム境界】



【比較製品のシステム境界】



注：本図ではプロセス間の輸送を省略している。

- CO<sub>2</sub>排出量を考慮しているプロセス
- CO<sub>2</sub>排出量を考慮していないプロセス
- システム境界

図 13. システム境界

5.2 前提条件

・機体重量

従来航空機の機体重量は 60 トン/機 (CFRP 使用割合 3%)、CFRP 航空機 48 トン/機 (CFRP 使用割合 50%) であり、CFRP 航空機は従来機よりも機体重量が 20%少ない。

・燃費

従来航空機はジェット燃料1キロリットルあたり 103km、CFRP 航空機は 110km 飛行するとした。

・使用（運航）段階

羽田空港から千歳空港間（片道 500 マイル）を年間 2,000 便飛行するとした。

### 5.3 主要パラメータ

CO<sub>2</sub>排出量全体に与える影響が大きいパラメータは飛行距離、離着陸回数などが考えられる。

### 5.4 不確実性と将来的進展シナリオの統合

シナリオ分析：将来何の変化も起こらないと想定(2007年時のCO<sub>2</sub>削減貢献量を使用)した2020年のCO<sub>2</sub>排出量の算定をベースケースとして行った。

## 6. 貢献の度合い(重要性)

評価対象製品を使用することによって機体構造材を軽量化し、運航時に消費されるジェット燃料を削減することができる。軽量化は燃費向上の重要な要素の一部であり、CO<sub>2</sub>排出削減に貢献している。ただし、CO<sub>2</sub>排出削減貢献量は、化学産業だけに帰属しておらず、貢献に寄与する製品の資源・原材料から製造、使用、廃棄に至るまでのバリューチェーン全体に帰属している。

## 7. CO<sub>2</sub>排出量の算定結果

評価対象製品と比較製品のCO<sub>2</sub>排出量を以下に示す。

評価対象製品のCO<sub>2</sub>排出量は368kt-CO<sub>2</sub>/機、比較製品のCO<sub>2</sub>排出量は395kt-CO<sub>2</sub>/機である。

### ●原料調達～組立段階のCO<sub>2</sub>排出量

評価対象製品の原料調達段階のCO<sub>2</sub>排出量は0.9kt-CO<sub>2</sub>/機、組立段階3.0kt-CO<sub>2</sub>/機である。

比較製品のCO<sub>2</sub>排出量は原料調達段階が0.7kt-CO<sub>2</sub>/機、組立段階が3.8kt-CO<sub>2</sub>/機である。

### ●使用段階のCO<sub>2</sub>排出量

評価対象製品の使用段階におけるCO<sub>2</sub>排出量は364kt-CO<sub>2</sub>/機、比較製品は390kt-CO<sub>2</sub>である。

### ・航空機1機当たりのCO<sub>2</sub>排出削減貢献量

評価対象製品と比較製品のCO<sub>2</sub>排出量の差から算出したCO<sub>2</sub>排出削減貢献量は10年間で27kt-CO<sub>2</sub>/機となる。

表 10. 航空機 1 機当たりの CO<sub>2</sub> 排出量と CO<sub>2</sub> 排出削減貢献量

		CFRP 航空機	従来航空機
原料～材料製造段階 CO <sub>2</sub> 排出量 (kt-CO <sub>2</sub> /機)		0.9	0.7
航空機組立段階 CO <sub>2</sub> 排出量 (kt-CO <sub>2</sub> /機)		3.0	3.8
航空機 使用 段階	実走行燃費 (km/kl-ジェット燃料油)	110	103
	生涯走行距離 (マイル)	500 マイル×20,000 便	
	生涯ジェット燃料油使用量 (kl/機)	145,500	155,300
	ジェット燃料燃焼時の CO <sub>2</sub> 排出量 <sup>16)</sup> (kg-CO <sub>2</sub> /ℓ)	2.5	
	使用段階 CO <sub>2</sub> 排出量 (kt-CO <sub>2</sub> /機・10 年)	364	390
廃棄段階 CO <sub>2</sub> 排出量 (kt-CO <sub>2</sub> /機)		No Data	No Data
ライフサイクル全体の CO <sub>2</sub> 排出量 (kt-CO <sub>2</sub> /機・10 年)		368	395
CO <sub>2</sub> 排出削減貢献量 (kt-CO <sub>2</sub> /機・10 年)		▲27	

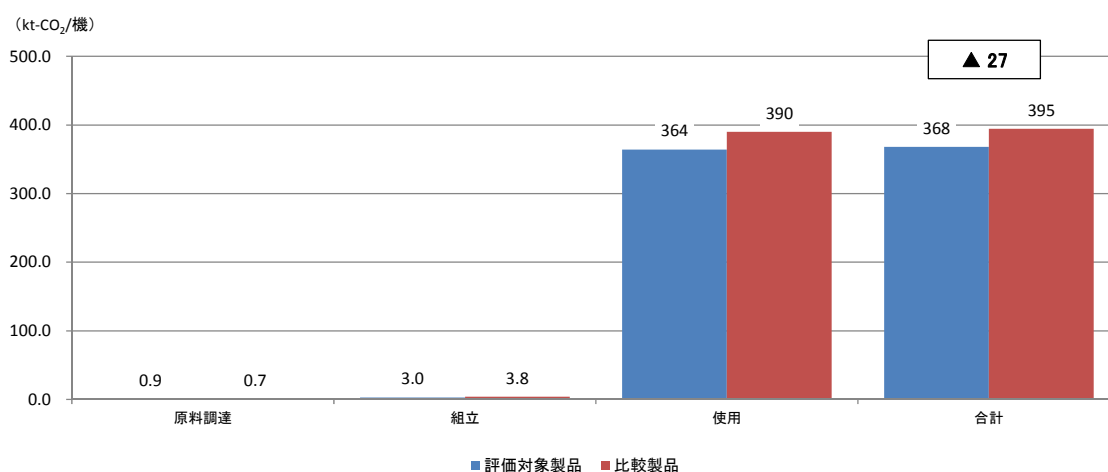


図 14. 航空機 1 機当たりの CO<sub>2</sub> 排出量と CO<sub>2</sub> 排出削減貢献量

## 8. 今後の予測

### (1) 日本での導入効果

日本の 2020 年における CO<sub>2</sub> 排出削減貢献量は、以下の設定に基づいて算定した。

#### ① 予想機数 2020 年 45 機

国内メーカーによる航空機用途の炭素繊維使用量の推計値<sup>17)</sup>は 900 トン(世界の約 5%)であり、1 機当たり 20 トン使用されるものと仮定し、導入機数を 45 機と推計した。

#### ② CFRP 航空機 1 機当たりの CO<sub>2</sub> 排出削減貢献量 27 kt-CO<sub>2</sub>/機

#### ③ CO<sub>2</sub> 排出削減貢献量

$$\begin{aligned} & \text{CFRP 航空機 1 機当たりの CO}_2 \text{ 排出削減貢献量} \times \text{導入予想機数} \\ & = 27\text{kt}\cdot\text{CO}_2/\text{機} \times 45 \text{ 機} \\ & = 1,215 \text{ kt}\cdot\text{CO}_2 \end{aligned}$$

**表 11. 2020 年に日本に導入される CFRP 航空機による CO<sub>2</sub> 排出削減貢献量**

1) 2020 年の導入量	日本
・ 2020 年の航空機用途炭素繊維使用量 (トン)	900
・ 炭素繊維複合材料使用航空機の導入機数 (機)	45
2) CO <sub>2</sub> 排出削減貢献量	
・ 1 機あたりのライフサイクル CO <sub>2</sub> 排出削減貢献量 (kt-CO <sub>2</sub> /機・10 年)	▲27
・ 2020 年の CFRP 航空機 (炭素繊維複合材料利用) による CO <sub>2</sub> 排出削減貢献量 (万トン-CO <sub>2</sub> /10 年)	▲122

評価対象製品 1 機当たりの CO<sub>2</sub> 排出量は 368 kt-CO<sub>2</sub> であり、導入予想機数は 45 機であることから、評価対象製品の CO<sub>2</sub> 総排出量は 1,656 万 t-CO<sub>2</sub> (368kt-CO<sub>2</sub>/機×45 機=16,560 kt-CO<sub>2</sub>) となる。

## (2) 世界での導入効果

世界の 2020 年における CO<sub>2</sub> 排出削減貢献量は、以下の設定に基づいて算定した。

### ①導入予想機数 2020 年 900 機

国内メーカーによる航空機用途の炭素繊維使用量の推計値<sup>17)</sup>は 1.8 万トンであり、1 機当たり 20 トン使用されるものと仮定し、導入機数を 900 機と推計した。

### ②CFRP 航空機 1 機当たりの CO<sub>2</sub> 排出削減貢献量 27 kt-CO<sub>2</sub>/機

### ③CO<sub>2</sub> 排出削減貢献量

$$\begin{aligned} & \text{CFRP 航空機 1 機当たりの CO}_2 \text{ 排出削減貢献量} \times \text{導入予想機数} \\ & = 27\text{kt}\cdot\text{CO}_2/\text{機} \times 900 \text{ 機} \\ & = 24,300 \text{ kt}\cdot\text{CO}_2 \end{aligned}$$

**表 12. 2020 年に世界に導入される CFRP 航空機による CO<sub>2</sub> 排出削減貢献量**

1) 2020 年の導入量	世界
・ 2020 年の航空機用途炭素繊維使用量 (トン)	18,000
・ 炭素繊維使用航空機の導入機数 (機)	900
2) 導入シナリオに基づく CO <sub>2</sub> 排出削減貢献量	
・ 1 機あたりのライフサイクル CO <sub>2</sub> 排出削減貢献量 (kt-CO <sub>2</sub> /機・10 年)	▲27
・ 2020 年の CFRP 航空機による CO <sub>2</sub> 排出削減貢献量 (万トン-CO <sub>2</sub> /10 年)	▲2,430

評価対象製品 1 機当たり CO<sub>2</sub> 排出量は 368 kt-CO<sub>2</sub> であり、導入予想機数は 900 機であることから、評価対象製品の CO<sub>2</sub> 総排出量は 33,120 万 t-CO<sub>2</sub> (368kt-CO<sub>2</sub>/機×900 機=331,200 kt-CO<sub>2</sub>) となる。

## 9. 調査の限界と将来に向けた提言

本事例は機体構造の 50%に CFRP を適用した機体 (CFRP 航空機) と機体構造の 3%に CFRP を適用した機体 (従来航空機) を評価しており、今後の予測は 2020 年の需要予測に基づいて CO<sub>2</sub> 排出削減貢献量を算定したものである。したがって前提条件に示した機体の重量、燃費、運航頻度が大幅に異なる場合は個別の評価が必要であり、その結果によっては CO<sub>2</sub> 排出削減貢献量の算定結果が異なる。

### 【参考文献】

- 15) 炭素繊維協会 ウェブサイト <http://www.carbonfiber.gr.jp/>
- 16) 航空会社の情報をもとに設定
- 17) 炭素繊維協会推定