

## No.14 ー航空機用材料(炭素繊維複合材料)ー

一般社団法人 日本化学工業協会

### 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>1)</sup>。温暖化領域に対する評価のみを行い、他の影響領域は対象範囲外とした。

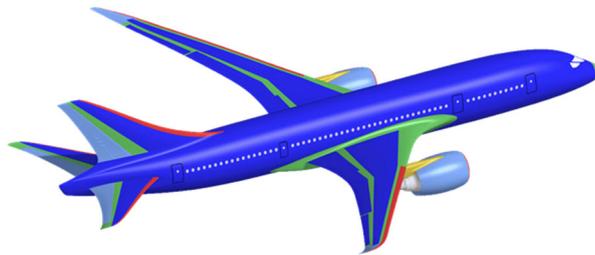


図 14- 1. 航空機向け炭素繊維複合材料

#### 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。

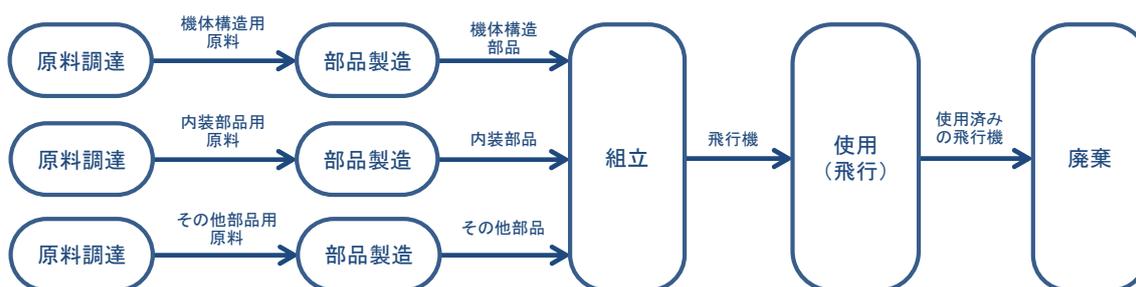


図 14- 2. 本事例のバリューチェーン

### 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。

2018年における評価対象製品(CFRP航空機)のシェアは約15%であり、2030年においては20%前後のシェアを見込んでいる。(「8. 今後の予測」を参照)

表 14- 1. 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

本事例によるGHG排出削減貢献量は、評価対象製品が存在しなければ比較製品を使い続けていたとみなし、「評価対象製品が普及したことによって、比較製品を使い続けた場合よりも削減されたGHG排出量」を表現している。

### 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。

従来航空機(CFRP 使用割合 3%)はボーイング767をモデル機とし、CFRP 航空機(CFRP 使用割合 50%)はボーイング767において、ボーイング787(CFRP 使用割合 50%)と同じ素材構成のモデル機体構造とした。

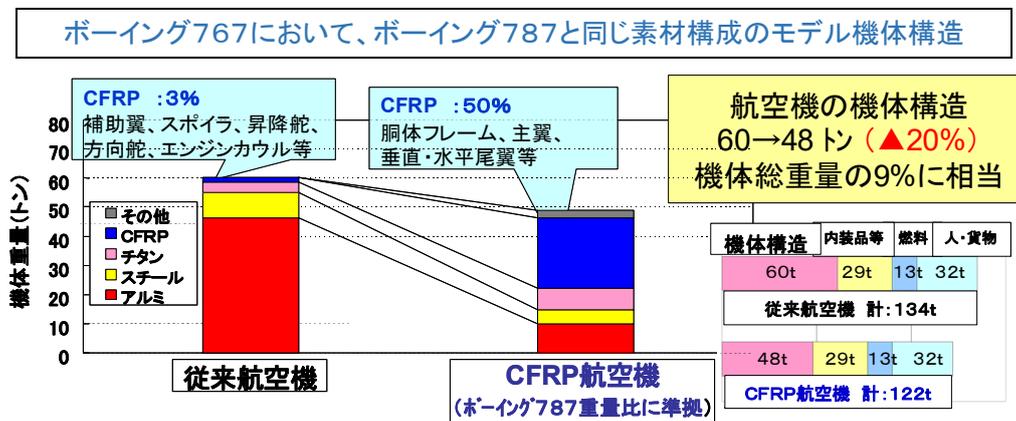


図 14- 3. 航空機の機体構造と炭素繊維複合材料(CFRP)の使用量

### 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た。

CO<sub>2</sub> 排出削減貢献量は、対象年(2030 年)1年間に製造された製品をライフエンドまで(10 年間)使用した際のフローベースでの CO<sub>2</sub> 排出削減貢献量として算定されている。

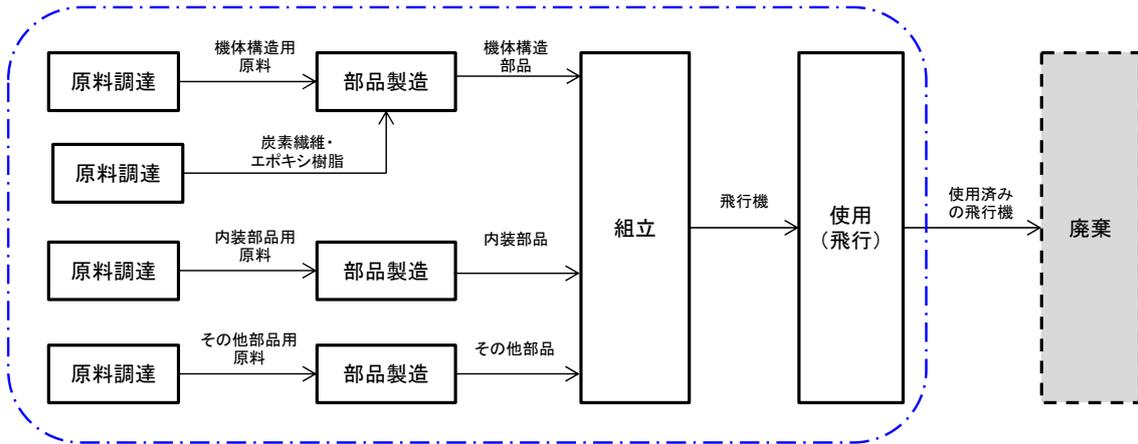
対象地域は世界とした。

## 5. 算定の方法論

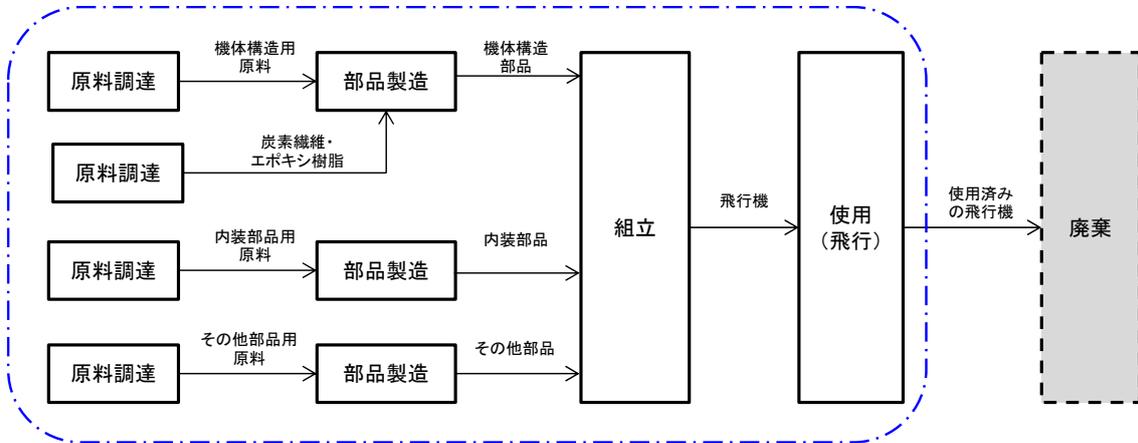
### 5.1 境界の設定

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 14- 4. 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(500 マイル)を年 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

将来何の変化も起こらないと想定(2007 年のデータを使用)した 2030 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。

貢献度合い		化学製品と最終製品の関係
	基本的 (Fundamental)	その化学製品は、最終製品を用いて GHG 削減貢献を可能にする上で重要な要素である。
○	必要不可欠 (Extensive)	その化学製品は重要な要素の一部であるとともに、最終製品を用いて GHG 削減貢献を可能にするためにその化学製品の特性・機能が必要不可欠である。
	実質的 (Substantial)	その化学製品は GHG 削減貢献に直接的な貢献をしていないが、最終製品による削減貢献量に影響なく容易に置き換えられるものではない。
	間接貢献 (Minor)	その化学製品は GHG 削減貢献に直接的な貢献をしていないが、基本的又は広範囲に貢献している製品の製造プロセスで用いられている。
	貢献対象外 (Too small to communicate)	その化学製品は、最終製品を用いた GHG 削減貢献量に変化を及ぼさずに置き換えが可能である。

## 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 364 kt-CO<sub>2</sub>/機、比較製品は 390kt-CO<sub>2</sub>/機である。

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

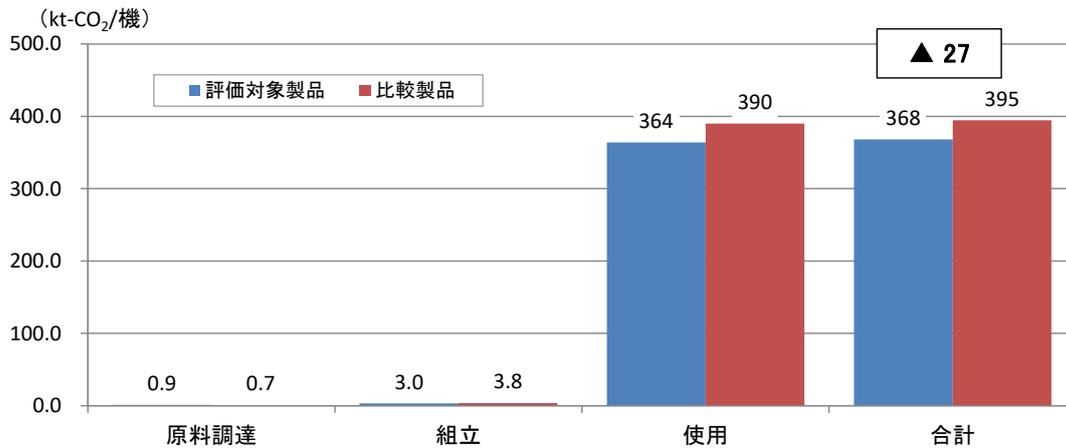


図 14-5. 航空機 1 機当たりの CO<sub>2</sub> 排出量と CO<sub>2</sub> 排出削減貢献量

## 8. 今後の予測

世界の 2030 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フローベースで算定した。

### ①導入予想機数 2030 年 300 機

2030 年における機種別の導入規模に関する客観的な資料がないため、2018 年の機種別割合を 2030 年予測に用いた。

CFRP 航空機の基数は、機体構造の 50% に CFRP を適用しているボーイング 787 とエアバス A350 の基数で予測を行った。エアバス A350 はエアバス A330 の後継機の位置付け<sup>3)</sup>であるため、2030 年までにエアバス A330 はエアバス A350 に置き換わると仮定して、CFRP 航空機ではないエアバス A330 の機数もエアバス A350 に含めて考え、2030 年のジェット機全体に占める CFRP 航空機の割合を 18% とした ((ボーイング 787:145 機 + エアバス A350:93 機 + エアバス A330:49 機) ÷ 2018 年ジェット機全体納入機数:1619 機 × 100 ≒ 18%)<sup>4)</sup>。

2030 年の CFRP 航空機を含むジェット機全体の納入機数は、2018 年から 2038 年の予測累計納入機数 35,312 機<sup>5)</sup>を単純平均した 1680 機とした。

2030 年における CFRP 航空機の割合から、2030 年に導入される CFRP 航空機を 300 機と推計した (1680 機 × 18% ≒ 300 機)。

なお、本事例では、CFRP 航空機を機体構造の 50% に CFRP を適用した機体と定義しているため、例えば CFRP 使用割合 15% の航空機は、CFRP 航空機の機数には含めていない。

### 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

$$\begin{aligned} & \text{CFRP 航空機 1 機当たりの CO}_2 \text{ 排出削減貢献量} \times \text{導入予想機数} \\ & = 27 \text{ kt-CO}_2 / \text{機} \times 300 \text{ 機} \\ & = 8,100 \text{ kt-CO}_2 \end{aligned}$$

表 14- 3. 2030 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)2030 年の導入量	世界	単位
・炭素繊維使用航空機の導入機数	300	機
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	▲27	kt-CO <sub>2</sub> /機・10 年
・2030 年の CFRP 航空機による CO <sub>2</sub> 排出削減貢献量	▲810	万トン-CO <sub>2</sub> /10 年

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 300 機であることから、評価対象製品の CO<sub>2</sub> 総排出量は 11,040 万 t-CO<sub>2</sub>(368kt-CO<sub>2</sub>/機 × 300 機 = 110,400 kt-CO<sub>2</sub>)となる。

## 9. 事例(調査)の限界、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 2030 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。将来、航空機においてエンジンの高効率化、バイオ燃料使用の実現により、本調査の結果とは異なる CO<sub>2</sub> 排出削減貢献量となる可能性がある。また、炭素繊維製造時に使われる電力の電源構成(再生可能エネルギー、火力等)によっても本調査の結果は影響を受け、CO<sub>2</sub> 排出量が異なる。このような変化があった場合は、本評価の結果を適用することはできない。

### 参考文献

1)炭素繊維協会モデルを使用。

<https://www.carbonfiber.gr.jp/pdf/lca.pdf>

2)航空会社の情報をもとに設定

3)経済産業省 製造産業局 航空機武器宇宙産業課「我が国航空機産業の現状と課題」(平成 25 年 3 月)、資料番号 3

[https://www.meti.go.jp/committee/summary/0001640/pdf/059\\_h02\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/committee/summary/0001640/pdf/059_h02_00.pdf)

- 4) 一般財団法人 日本航空機開発協会「平成30年度版 民間航空機関連データ集 第Ⅱ章 民間航空機材の推移と現状」(平成31年3月)をもとに算出。

[http://www.jadc.jp/files/topics/39\\_ext\\_01\\_0.pdf](http://www.jadc.jp/files/topics/39_ext_01_0.pdf)

- 5) 一般財団法人 日本航空機開発協会「平成30年度版 民間航空機関連データ集 第Ⅲ章 需要予測」(平成31年3月)

[http://www.jadc.jp/files/topics/85\\_ext\\_01\\_0.pdf](http://www.jadc.jp/files/topics/85_ext_01_0.pdf)

※著作権の帰属について

本著作物の著作権は著作者に帰属し、著作物の一部または全部を無断で複写・複製・転載することを禁じる。なお本著作物の著作者は一般社団法人日本化学工業協会とする。