

## 〈4〉ロシア航空産業と制裁 航空材料（概論）

一般社団法人ロシア NIS 貿易会 ロシア NIS 経済研究所 研究員 渡邊 光太郎

### はじめに

重力に逆らい空を飛ぶという性質上、航空機は軽さを特に要求される乗り物である。自動車や船舶でも軽量であることが望ましいが、航空機での要求は別次元である。航空機用の材料は軽くなければならない。一方、単に軽量なだけでは必要な強度を発揮できない。軽量・高強度が航空材料の要件となる。

軽量・高強度を高度に両立する必要があるため、航空機用材料は特殊なものになる。輸出管理の対象となるものも多い。本稿では主に機体・エンジンの構造に使用される航空機材料の概要を解説し、読者に大雑把なイメージを持っていただくことを目指す。基本的には旅客機をベースに述べるが、回転翼機や戦闘機でも考え方や傾向の共通性は高い。

航空機はジュラルミンでできている。航空機について最も雑に語るとそうなるし、細かいことを無視すると、7割程度は正しい。しかし、チタン合金のように性格の違う材料も使用され、ジュラルミンが炭素繊維複合材に置き換えられる事例も増えている。また、ジュラルミンという言葉は、実際の航空産業ではあまり使用されない。アルミ合金には複数の種類がある。本稿ではこうしたことを説明していく。

なお、筆者は材料技術者どころか技術者ですらない。高度に専門的な内容を期待される場合は、その道の方の書かれたものをお読み願いたい。また、本

稿は一般論をまとめたものであり、最新の動向や各メーカーの考え方のような話にまでは踏み込まない。

### I . 大雑把に語る航空機材料

大雑把な航空材料の使い分けを図表1に示した。航空機の材料の最大勢力は、一般にジュラルミンと呼ばれる2000系、7000系のアルミ合金である。ほとんどの機種で、機体の構造重量の8割程度が2000系、7000系のアルミ合金で製造されてきた。しかし、最近ではアルミ合金を炭素繊維複合材で置き換える機種も増えてきている。

航空機の大部分は航空機用アルミ合金か炭素繊維複合材でできている。アルミ合金も炭素繊維複合材

図表1 航空材料の大雑把な使い分け



も軽量であり、通常の材料よりは高価であっても航空機材料の中では比較的安価である。航空機の中で一般的な部位はなるべくアルミ合金か炭素繊維複合材で製造し、飛行可能なレベルでの軽量化と工業製品として成り立つコストを目指す。

しかし、航空機の中には特に大きな力がかかる部分や、高温になる部分がある。例えば、エンジンである。アルミ合金はハイテン材に遥かに劣る強度しかないし、炭素繊維複合材もアルミ合金も耐熱性は低い。高強度や耐熱性が要求される例外的な部分には、チタン合金や耐熱合金などのコストや軽さを犠牲にした高強度・高耐熱性の材料を使用する。

以上が航空機材料の極めて雑な概要であるが、本稿ではその詳細を説明していく。

## II . 航空材料概論

航空機の材料は軽量と高強度を両立することが要求される。これが一般原則である。しかし、航空機の部位によって、必要な強度のレベルは異なる。また、耐熱性などの他の性質も要求される場合がある。必要な性格によって、複数の材料が使い分けられている。

### 1. 各種要件

#### (1) 軽量

航空機は主翼の発生させる揚力で飛行する。揚力が機体重量を上回って初めて飛行機は浮く。重くなるとその分、必要な揚力が増える。揚力を増やすべく主翼を拡大すれば、拡大した主翼が重量増となる。また、揚力と比例して主翼の誘導抵抗も増える。重量増は更なる重量増を招き、燃費を悪化させていく。軽量であることは、航空機材料の要件として、基本中の基本である。

程度の差こそあれ、ほとんどの乗り物は軽量であることが要求される。重量が大きくなれば、燃費が悪くなる。また、高速の発揮も難しくなっていく。とはいえ、航空機の軽量化の要求は、他の乗り物とは桁違いである。自動車では多くの場合、ハイテン材を使って軽量化している。一部の高級車ではアルミ合金も使用する。しかし、いずれの場合も航空機と比較すれば、低コストを軽量化より優先しているように見える。自動車では高コストな工法を要求さ

れる航空機用アルミ合金は使用しない。

航空機材料は軽さを他の性質を犠牲にしても優先する。例えば、航空機では伝統的に2000系、7000系のアルミ合金が使用されてきた。アルミ合金は一般的に鉄鋼より特に高価であるが、2000系、7000系の合金はアルミ合金の中でも高価である。また、2000系、7000系アルミ合金は溶接が困難で組立には手間のかかるリベット打ちが必要である。“錆びないアルミの物干し竿”というフレーズがあるが、2000系、7000系のアルミ合金では耐食性も犠牲になっているため、よく錆びる。軽量を実現するため、他の属性が犠牲になっていることが多い。

では、航空機では軽い材料ばかりが使用されるかというと、例外もある。軽量材料では実現困難な耐熱性や強度が必要な場合、ニッケル基合金のような比重が8を超える素材も使用する。

#### (2) 高強度

航空機は軽量であることが必須である。しかし、素材だけ軽ければ軽量の機体可以实现できるわけではない。軽くても強度が低い材料が使用されれば、結局、大きな板厚が必要となり、機体の重量が重くなる。強度を比重で割った比強度という尺度が重視される。

アルミニウムより比重の軽いマグネシウム合金の使用が限定的なのは、マグネシウム合金の強度が低いためである。

一般論としては、頑丈な部品を作るためには強度の高い材料を使用するが、部品として強度を発揮できれば、個々の材料は必ずしも高強度である必要はない。例えば、ハニカムを板状の部材で挟んだハニカムサンドイッチパネルが使用される。パネルになった状態では頑丈であるが、ハニカムそのものは弱い。厚さ方向に均等に加重をかけない限り、強度を発揮できない。パネルになる前の単体のハニカムは、素手でバラバラにできるようなヤワな材料である。

#### (3) 疲労と経年劣化に強い

航空機は長時間使用される。また、飛行中は繰り返し変形させられる。製造時は高強度でも、使用されている内に激しく劣化する材料は使用しにくい。例えば、アルミリチウム合金は軽量・高強度で、夢の合金と呼ばれた。1950年代に実用化されたが、劣化が激しかったため半世紀に渡り普及しなかった(コストも高い)。

#### (4) コスト・その他

確かに、航空機材料は軽量であることを優先し、他の工業用材料より高価である。しかし、その価格は工業材料として常識的な範囲である必要がある。また、技術的に成り立つ範囲で、なるべく低コストな材料を選択しようとする。チタン合金のように、高価な材料は最低限必要な範囲に限定しようとする。

軽量・高強度優先とはいえ、工業的な常識の範囲で優先される。あまりに高価で使いにくい材料は使用しにくい。例えば、人工衛星では比強度に優れるベリリウム合金が使用される。しかし、ベリリウムはアルミ合金を圧倒する価格である上、毒性が高い。当然ながら、極めて特殊な場合以外は、そんな材料は使用しない。

#### (5) 部分的に必要な性質

航空機全体では軽量であることが優先であるが、部分的には優先順位を変えなければならない場所もある。例えば、ランディングギアは、機体に比べれば極限られたサイズであるが、機体全体の重量を支える。アルミ合金より比重が重い強度があるチタン合金や鉄鋼が使用される。また、エンジンの燃焼室周辺のように高温になる部分では、耐熱性が優先される。

## 2. 金属材料と複合材

近年、航空機の材料では複合材の使用が増えている。金属材料については、航空機特有の特殊なものが多い。それでも金属は金属である。金属材料と聞けば、イメージできるものであろう。

一方、複合材は複合材に関わる経験がなければイメージが湧きにくい。また、用語の使われ方も複雑であり、実際の航空機用複合材も複雑である。

複合材の定義は複数の素材を組み合わせた材料である。一般に複合材と呼ばれなくても、複合材の定義を満たすものは多数あろう。鉄筋コンクリートも複合材の範疇に入る。しかし、航空材料の世界で複合材と呼ばれるものは、繊維強化プラスチック（FRP）のことである（以下FRPとする）。場合によっては、FRPと一緒に使用されるハニカム等のコア材も複合材の一部として扱われる。FRPとは、プラスチック（以下、樹脂とする）を繊維状のもので強化したものである。鉄筋コンクリートの鉄筋に相当するものが繊維、樹脂に相当するものがコンクリートであると考えると分かりやすいと思われる。

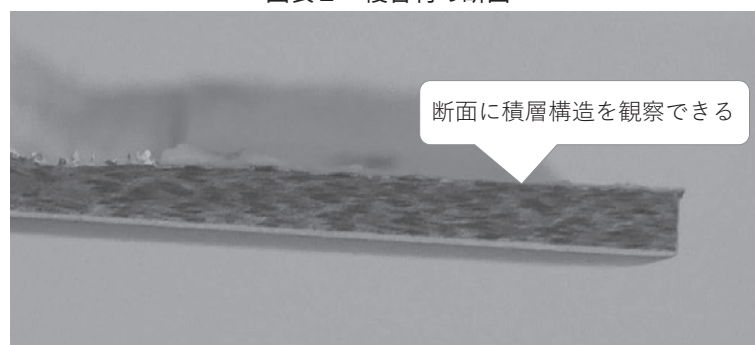
航空機用FRPは層状に繊維を重ねた積層構造になっているものがほとんどである。側面から見ると、層状の構造が見える（図表2）。表面に織った繊維の模様が見える場合があるが、FRPであれば必ずしも表面にそのような模様を成すものではなく、クロス材と呼ばれる繊維を織って布状にしたものから製造したFRPに限定される。

航空機FRPに使用される繊維と樹脂には複数の種類がある。使用実績のあるマイナーなものを数え挙げていくと種類は多いが、メジャーな組み合わせは限られる。

繊維では主に炭素繊維、ガラス繊維、アラミド繊維が使用される。樹脂では、基本的には加熱して硬化させる熱硬化性樹脂であり、エポキシ樹脂が多い。しかし、最近では熱可塑性樹脂であるPEEKが採用されたりしている。

もっとも代表的な航空機用FRPは、炭素繊維強化プラスチック（CFRP）である。そのため、炭素繊維複合材製航空機とか、炭素繊維製航空機とか、カーボン製航空機、複合材製航空機といった表現が使用されることもある。現在のところ最も使用が多い

図表2 複合材の断面



写真は筆者撮影（以下の写真も同様）