

航空機ができるまで 世界の天空へ 軽くて強いチタン



航空機の低燃費化ニーズに伴い、機体やエンジンの材料として、軽くて強いチタンが使われている。では航空機は一体どのようにつくられているのだろうか。そしてチタンがどこに使われているのか。航空機ができるまでを追ってみよう。

(掲載写真：一部を除き写真はすべて © AIRBUS)

国境を越えた連携

航空機メーカーは、航空機のすべてを自社で製造しているわけではない。必要な部品の大部分を外部企業に製造発注している。エアバス社では世界20カ国以上約2000社にのぼるサプライヤー（部品・部材製造者）ネットワークを構築している。1機の航空機をつくるため、国境を越えて数多くの企業が連携しているのだ。例えば、これまで100億人の乗客を運んでいるベストセラー機のA320や、総2階建てで従来に比べ約50%も広い床面積を持つ最新鋭超大型機のA380といった旅客機の製造には、新日鉄住金をはじめとする日本企業20社が参画している。イギリス、ドイツ、フランス、スペイン、日本などでつくられた部品が、フランスのトゥールーズ工場に集められ、旅客機に組み立てられている。「設計したとおりの性能を発揮するため、当社は部品や部材に高い技術力や精密さを求め、その分野で優秀な企業に発注しています。新日鉄住金は20年間にわたり当社にチタンを供給しています。品質と納期管理に優れ、大変信頼できるパートナーであると評価しています。航空機の製品ライフサイクルは短く、絶え間ない技術革新が求められています。未来に向けて環境にやさしい航空機づくりが大きなテーマになっています。CO₂排出量を低減するため、機体の軽量化は欠かせ





エアバス社トゥールーズ工場(フランス)

エアバス社

航空機を設計・製造する欧州の航空機メーカー。本社はフランスのトゥールーズ。従業員数は約5万9,000人。最終組立工場はトゥールーズのほか、ドイツのハンブルク、中国の天津、アメリカのアラバマがある。



エアバス・グループ社
オリヴィエ・コーキール 材料部門会長

新日鉄住金(株)チタン・特殊ステンレス事業部
松木 教彰 事業部長

ません。そこでCFRP(炭素繊維強化プラスチック)が使われるようになりました。CFRPはチタンと大変相性がいい材料です。航空機のCFRP適用が増えるほど、さらに多くのチタンが必要になります。これからも新日鉄住金とのビジネスを広げ、研究活動を促進していきたいと考えています(エアバス・グループ社オリヴィエ・コーキール材料部門会長)





400万点超の部品を組み立てる

1. 世界各地から部品を輸送し、
2. 最終組立工場で主翼と中央胴体、
3. 尾翼と後部胴体、
4. そして胴体各部を接合する。
5. ほぼ機体ができ上がるとエンジンを取り付ける。
6. 完成機は各種試験で性能確認した上で、航空機の顔となる塗装が行われ、航空会社に納品される。



軽量化を極限まで追求

1機の航空機は400万点以上の部品が組み合わさってできている。エアバス社トゥールーズ工場では、世界各地でつくられた胴体や翼、エンジンなどが、ミクロン単位まで正確に誤差のないよう取り付けられている。結合部にすき間ができると、雨水が入ったり、燃料が漏れるなど重大事故の原因となる。したがって航空機製造には高い寸法精度が要求される。また燃費向上による環境性能を高めるため、最先端の航空機は部材の適材適所・最適な形状を徹底し、極限までの軽量化が追求されている。たとえ部品1点数グラムの軽量化であっても、400万点を超える部品が組み立てられると、最終的に大幅な重量削減が可能になるからだ。

航空機に使われる材料は布や木材から始まり、鉄、アルミニウム合金、そして現在ではCFRPへと変遷してきた。機体の軽量化を図るため、さまざまな材料が使われるようになった。そのとき課題となるのが接合部の設計だ。異なる種類の材料が雨水や結露などで濡れると、材料同士がお互いに影響し合って、どちらか一方の金属が急速に腐食することがある。この現象は電位差腐食と呼ばれており、CFRPと組み合わせる金属の種類によって、電位差腐食の進行が大きく異なる。したがって材料の選定が重要になる。高い強度が求められる骨材や接合部には、これまで鋼系材料が使われてきたが、さら

なる軽量化を図るため、チタンに置き換わっている。例えばCFRPを多く使用しているエアバス社A350XWB機のチタン使用量は、従来機に比べて2倍以上に増えた。なぜチタンが選ばれたのか。

「チタンはもともと耐食性が高いためにCFRPと締結しても電位差腐食が生じにくいからです。さらに飛行中は地上との温度差が最大で100℃近くに達するため、これを繰り返すと熱膨張（※1）率の差が大きいアルミニウム合金とCFRPではズレや緩みなどが生じやすくなります。しかしチタンはCFRPと物理的性質が近いので、温度変化による歪みも抑えることができます」（新日鉄住金・相馬研一主幹）



新日鉄住金(株)
チタン・特殊ステンレス事業部
チタン商品技術室 黒田 篤彦 上席主幹



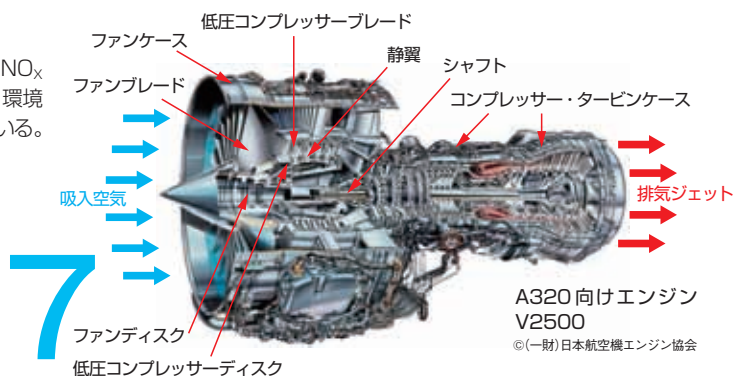
新日鉄住金(株)
チタン・特殊ステンレス事業部
チタン第二室 相馬 研一 主幹

※1 熱膨張：温度の上昇によって物体の長さが変化すること



■ ジェットエンジンに使われているチタン

7. エンジンではCO₂やNO_xの排出量を抑えるなど、環境に配慮した設計になっている。



新素材で燃費性能を向上

8

■ 機体に使われているチタン

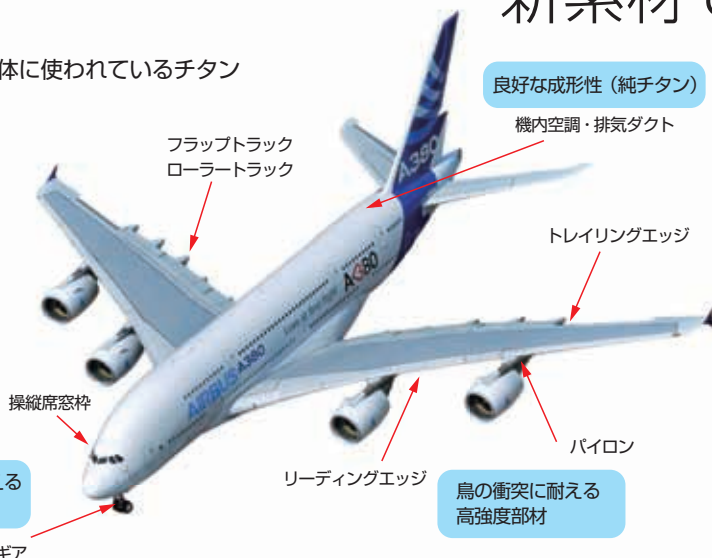
ファスナー

CFRPを締結
・異種金属電位差
・熱膨張の相性

鳥の衝突に耐える高強度
海上の塩分からの耐食性

着陸時の安全を支える
高強度部材

ランディングギア



8. A350XWBのような最新機ではCFRP(炭素繊維強化プラスチック)、チタン、アルミ・リチウム合金などの新素材が機体の70%を占め、軽量化が図られ、燃費向上に貢献している。チタンは軽くて強く、優れた耐食性や成形性、CFRPとの相性が良いという特長を持つことから、さまざまな部品に使われている。

70%削減 エンジンの燃費と騒音を

胴体と主翼、尾翼など機体の主要部分が組み立てられると、主翼に巨大なジェットエンジンが取り付けられる。エンジンは航空機の心臓部にあたる重要な部品だ。高度1万メートル、十数時間で数千回もの連続飛行に耐える性能、そして低燃費化による環境性能の向上が求められている。

航空機のエンジンにはターボファンエンジンが多く採用されている。空気をジェットエンジンの前面に取り付けたファンで取り込み、コンプレッサーで圧縮して燃焼させ、タービンを回転させたあと、排気口から勢いよく噴射させるとともに、一部はファンだけを通過させ、コンプレッサーをバイパスすることで推進力として利用している。従来のエンジンより燃費が良く、騒音を抑えることができるため、エアバス社製の航空機は過去40年で燃費と騒音の70%削減を実現した。

ターボファンエンジンの各部位に使われている材料は、ファンとコンプレッサーにチタン合金、燃焼器やタービンにニッケル基合金※2や鉄基合金※3が用いられている。またコンプレッサーでは入口から燃焼器に向けて使用温度が高まるが、500〜600℃程度までの低温側はチタン合金、高温側はニッケル基合金が使われている。エアバスA320などに使われているV2500エンジンは、日本・イギリス・アメリカ・ドイツ・イタリアの5カ国

による共同開発であるが、新日鉄住金は1985年以来チタン合金を供給している。

新日鉄住金は航空宇宙品質マネジメントシステム認証や、エアバス社、ロールス・ロイス社および国内重工メーカーから認定を取得し、安定した品質管理で納期厳守に努めている。さらに2016年1月、世界有数の航空機ジェットエンジンメーカーであるフランスのスネクマ社を傘下に持つサフラングループとの間で、チタン合金ビレット※4の新たな長期供給について合意した。スネクマ社がゼネラルエレクトリック社との合弁で開発した新型エンジンは、エアバス320NEOなどに搭載されることが決まっているが、新日鉄住金はチタン合金ビレットの供給に関するスネクマ社の認定を取得し、すでに供給を開始している。エンジン用材料としても、チタンの需要は高まっている。

「当社の強みは溶解から鍛造、圧延、最終製品まで、鉄鋼技術の知見や設備を活かして、高品質で競争力のあるチタンを供給できることです。チタン合金は温度などを精密に制御した鍛造が求められますが、そこに当社が持つ鉄道車輪や輪軸などの鍛造技術が応用されています。また多くの専門研究者が研究開発に取り組んでいることも強みで、製造現場と緊密に連携を取りつつ徹底した品質管理に努めています。これからもお客様と一体となったソリューションを提案していきたいと考えています」(新日鉄住金・黒田篤彦 主席主幹)

※2 ニッケル基合金：ニッケル量が50%以上の合金

※3 鉄基合金：鉄を主体とした合金

※4 ビレット：加工用に最適な寸法につくられた金属塊



気圧や寒暖から機内を守る

- 9. 機体胴体は筒状をした外板の内側に格子状の骨組みを組み合わせた構造になっている。
- 10. 安全で快適な飛行に欠かせない電気系統や与圧・空調系統などを機内に設置したあと、
- 11. 内装を整えていく。



10

9



快適な機内空間づくり

航空機が飛ぶ上空1万メートルの気温は、マイナス50℃の極寒の世界。気圧も地上の5分の1にまで下がる。しかし客室内は24℃くらい、約0・8気圧に保たれ、地上と変わらない快適な環境で過ごせるように設定されている。

急激な寒暖や気圧の変化から機内を守るため、与圧・空調系統が設置されている。例えば機内の冷暖房は、エンジンで発生する熱い空気と機外の冷たい空気を混ぜて、適度な温度の空気をつくっている。また新鮮な空気は客室天井のダクトを通して客室内に送り込まれ、循環して床下から圧力調整弁を通して機外に排出されている。こうした与圧・空調系統のダクトや配管などには、耐食性や加工性が求められ、チタンが使われている。また客室内では座席固定用レールなどにも使われており、チタンは快適な機内空間づくりに欠かせない。





より快適で安全な空の旅のために

エアバス社は100座席から500座席以上まで幅広い航空機群を供給し、より快適で安全な空の旅を支えている。



内装、機体の塗装を終え完成すると、設計どおりの性能や安全性を発揮できるかどうか、強度を判断する荷重試験や金属疲労試験が行われる。そして数千回数千時間に及ぶ飛行試験では、機体の性能や機能を検査するだけでなく、実際のフライトと同じように機内食を持ち込み、機内清掃、給油作業、乗客の避難試験など、さまざまなデータが採られる。こうした試験を経て航空法規の定める性能が認められた航空機だけが、航空会社に納品されている。

伸びゆく需要に応える

航空機のサイズは1980年代に比べると46%も大きくなっている。大型化による大量輸送の実現は、乗客1人当たりの輸送コストを引き下げた。さらに近年、世界各地で格安航空会社(LCC)が誕生し、空の旅がますます身近になった。

「航空機輸送量は今後20年間で年間平均4・6%ずつ増加し、約3万1800機の旅客機(100座席以上)と800機の貨物機(10トン以上)が新たに必要になります。現在1万9000機の航空機が世界中を飛んでいます、2034年までには2倍の3万8500機に増え、既存の約1万3100機がより燃費のいい航空機に入れ替えられるものと予測しています」(エアバス・グループ社オリヴィエ・コークール材料部門会長)

航空機需要が伸びていくなか、エアバス社と新日鉄住金は2015年8月、チタンと鉄鋼製品における協力関係拡大に向けた覚書を締結した。

「新日鉄住金は1997年以来、鉄鋼メーカーとして蓄積した技術や知見を活かし、常に高品質な製品を供給し続け、信頼性のあるサプライヤーとして当社は長年高く評価しています」(エアバス・グループ社オリヴィエ・コークール材料部門会長)。覚書締結は両社のチタンと鉄鋼製品の開発と供給に関係する長期的なビジネスの展開をさらに深めていく狙いがある。

「チタンはものづくり立国・日本の心臓部とも言える、技術先進性を後押しする素材として、航空機分野を中心とする用途の広がりが期待されています。それを実現するためには当社の製造技術・製造プロセスの革新や新商品開発はもとより、素材から最終製品に至るサプライチェーンの一貫最適化を図る必要があります。こうした部分にも我々の手腕が求められています。チタン供給を通じて、航空機産業のさらなる成長をサポートできる努力を重ねていく所存です」(新日鉄住金・松本教彰事業部長)

より安全で快適な空の旅を実現するため、これからもチタンは優れた特性を活かして、航空機材料として活躍の場を広げていく。