

## 〈5〉ロシアの航空系要素技術 タービブレード用単結晶合金

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

ロシアの航空工業のレベルの評価は難しい。第五世代戦闘機 Su-57 を自力開発するくらいだから、ハイレベルであることは確かである。一方、米国、欧州の航空産業と比較すれば劣勢である。また、製品の技術レベルも総合的には低いと看做されている。

開戦前、筆者はロシアの民間航空機工業の調査を行った。確かに、一部でハイレベルな技術開発をしている例はあった。しかし、だからといって、将来がバラ色というほど旅客機製造の世界は甘くない。ポテンシャルはあるが、ポテンシャルを発揮できるかは不透明な状態だった。

炭素繊維や単結晶合金等、一部の要素技術の状況を紹介することで、ロシア航空工業の微妙なレベルが見えてくると思う。本稿は、ジェットエンジンのタービブレードに用いる単結晶合金について書く。

タービブレードの耐熱性は、ジェットエンジンの効率に直結する。高温の酸化雰囲気下で、強い遠心力に耐える必要があるため、タービブレードは技術的に極めて高度である。航空機部品の中で、最も難しいものの一つとされる。

タービブレードの要素技術は単結晶合金だけではないが、材質の耐熱性は重要である。ジェットエンジンの性能を高める最重要の要素技術として、より耐熱性の高い合金の開発が進められてきた。現在、

公開されている情報では、第六世代までのタービブレード用単結晶合金が開発されている。しかし、世界で広く使用されているのは第二世代までの単結晶合金である。第三世代単結晶合金、第四世代単結晶合金は実用例がないわけではないが、技術的問題を克服できず、普及しなかった。

そんな中、ロシアの新型ジェットエンジン PD-14 には、第四世代の単結晶合金が使用されるという。仮に実用化に成功し、“安定して使用が続けば”、世界初の快挙となり得る。本稿では、PD-14 エンジンの第四世代単結晶合金がどのようなものかを紹介し、ロシアの航空技術の技術力と限界を論じていく。

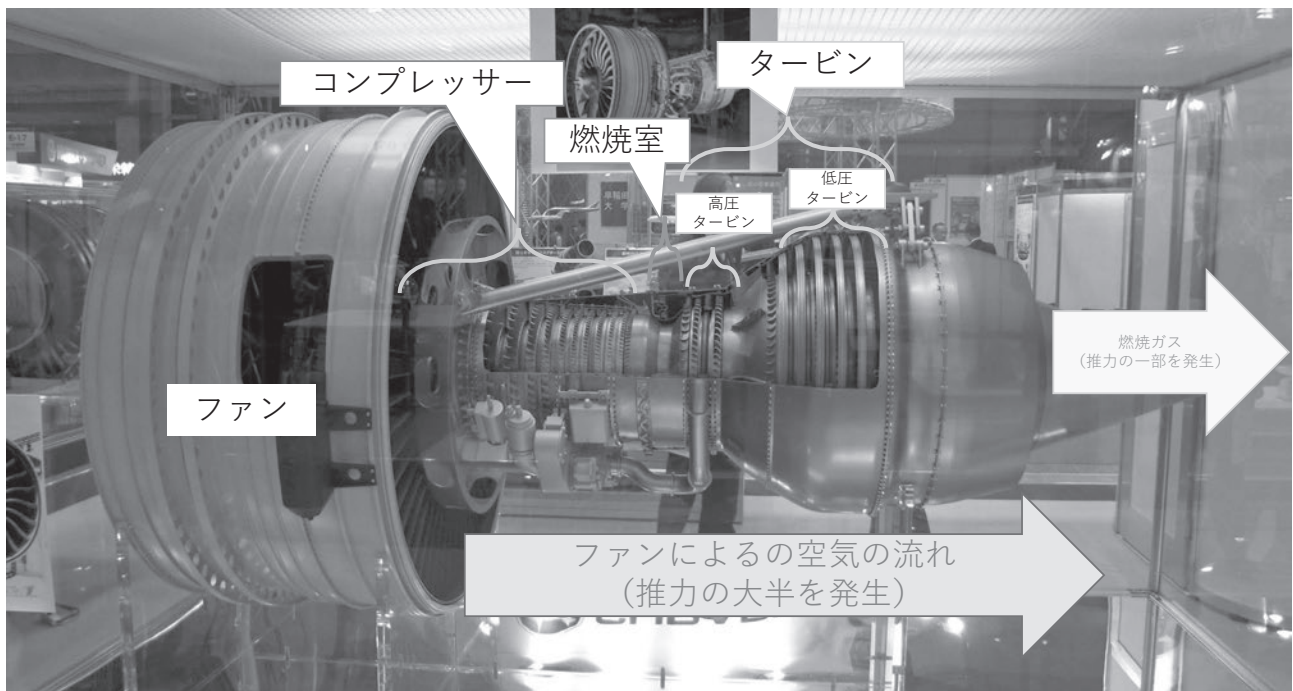
### タービブレードについて

#### (1) ジェットエンジンの基本原理

ジェットエンジンは後方に高圧の排気ガスを噴き出し、反作用を推進力とする。高圧の排気ガスは、圧縮された空気を用いて燃料を燃焼させて作る。ジェットエンジンの前部には、空気を吸い込み圧縮空気を作るコンプレッサーがある。コンプレッサーの動力は、排気ガスをタービンに吹き付けて発生させる。タービンは風車に似る。タービンの回転は軸を通じて、コンプレッサーに伝えられ、コンプレッサーが回転する。(図表1)

タービンは燃焼室からの排気ガスの直撃を受ける。排気ガスは 1,500°C 以上で、更に高圧タービンは

図表1 ジェットエンジンの構造



分速1万回転以上で回る。ハードディスクより回転数は大きい。サイズも大きく、重量も重い。タービンの1枚1枚の羽根であるタービブレードは、高温だけではなく大きな遠心力を受ける。個々のタービブレードは数百グラムだが、遠心力によってトンレベルの力で引っ張られる。高温で炙られながら、強く引き千切ろうとする力がかかり続ける。地獄のような使用環境である。それでも、壊れてはならない。タービブレードは、最も過酷な環境で使用される機械部品とも評される。本稿の主役であるタービブレードが、技術的に高度にならざるを得ない理由である。

なお、ジェットエンジンの基本原理は上記のとおりであるが、実際はもう少し複雑である。タービンもコンプレッサーも、羽根車を何重にも重ねている。(図表2) これらは1段、2段と数えられる。最近のエンジンでは、コンプレッサーは20段近く、タービンは10段近くある。また、コンプレッサーとタービンがセットになったものは、最適な回転数を得るため、高圧軸と低圧軸に分かれている。高圧軸のほうが、過酷な環境になる。高圧コンプレッサーは低圧コンプレッサーで圧縮された空気をさらに圧縮するし、高圧タービンは燃焼器からの高温・高圧の排気ガスを受ける。低圧コンプレッサーは常温・常圧から圧縮をスタートするし、低圧タービンは温度・圧

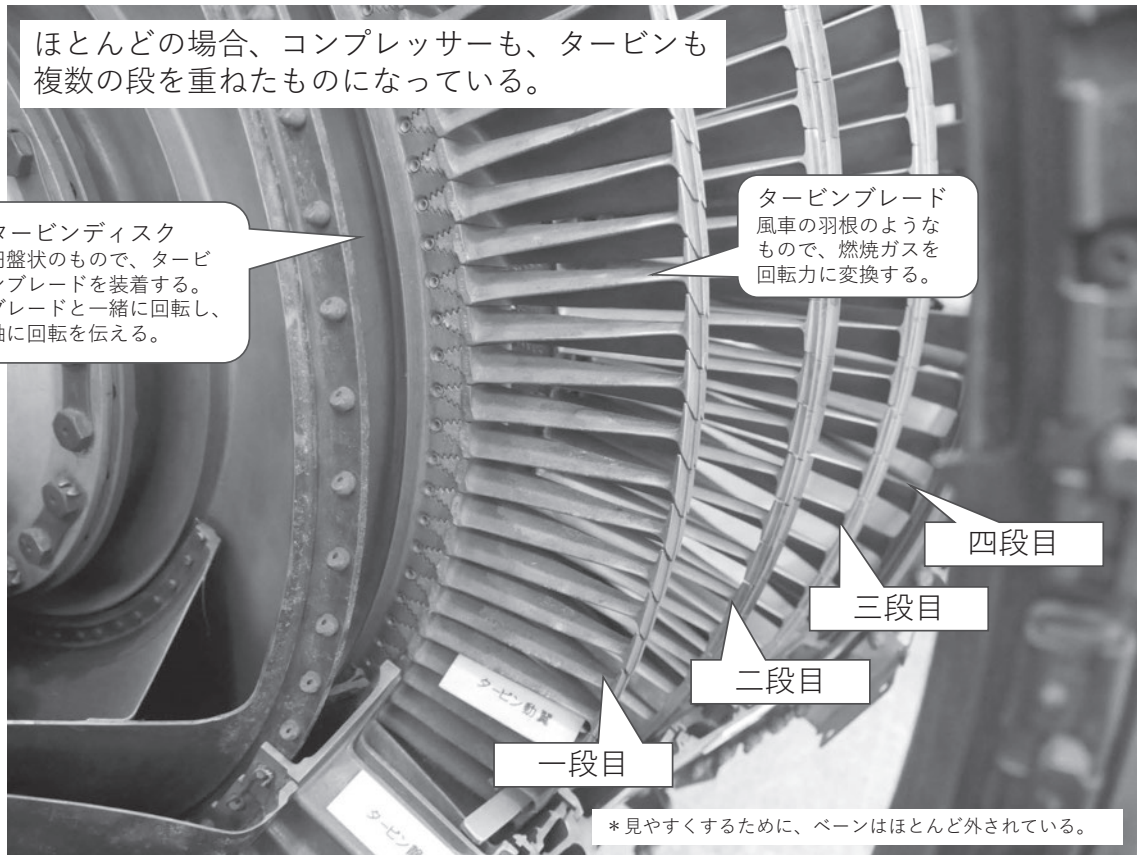
力が下がった排気ガスが通る。なお、中圧軸を持つ三軸のエンジンもある。ややこしくて恐縮だが、本稿の主題である第四世代単結晶合金と関わるので、中圧タービンについて後で触れる。

現在の主流は単純なジェットエンジン(ターボジェットエンジンと呼ばれる)ではなく、ターボファンエンジンと呼ばれるものである。ファンは低圧コンプレッサーの一部を巨大化させたもので、発生させた圧縮空気を燃焼室に送らず、そのまま排出する。この大量の比較的低速の空気の流れも、推進力を作る。戦闘機では燃焼ガスで発生させる推力のほうが大きい。旅客機ではファンが推力の8割以上を発生させる。旅客機のファンを駆動する低圧タービンは、排気ガスのエネルギーの余すことなく吸収することを目指す。近年の旅客機のジェットエンジンは巨大なファンを備える。ファンに応じて低圧タービンも巨大になる。一方、戦闘機用ジェットエンジンのファンは小さく、低圧タービンも小さい。この差はエンジンの径になって現れるため、両者の外観は大きく異なる。(図表3)

## (2) 高圧一段目のタービブレードの重要性

タービンは前述のように、高圧タービン、低圧タービンに分かれる。高圧タービンは燃焼室から出た高温、高圧の燃焼ガスを受ける。下流に行くに従い、温度も圧力も下がる。低圧タービンを流れる燃焼ガ

図表2 実際のタービン



図表3 旅客機用エンジンと戦闘機用エンジンの比較

