

Aerodynamics in Jet Engines

ジェットエンジンの空気力学

平居 珠実

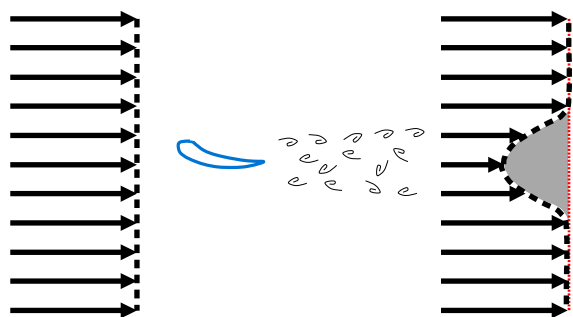
京都女子高等学校 3年

1. 動機・目的・既存の研究等

コンプレッサー中のブレード内において、気流のよみによる運動エネルギーの損失係数を削減するため、2次元でブレードのデザインを改善する。なお、コンプレッサーとはジェットエンジンで空気を圧縮する働きをする部分であり、ブレードと呼ばれる小さな羽で構成されている。

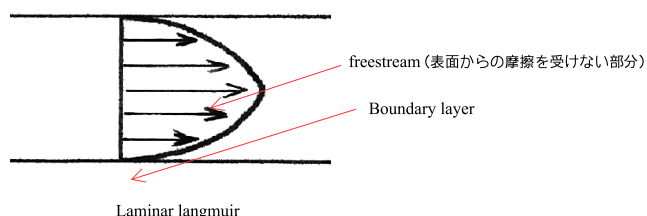
ブレードが引き起こす損失や気流の有効性を予測するため、2次元における数値流体力学 (CFD) を用いてコンプレッサーやタービンをデザインする。気流の乱れが小さく、なるべく気流の流れがブレードの形に沿うようなデザインのブレードを作ることによって、効率性を向上させる。効率性とは総エネルギー投入量に対する、有用なエネルギーの割合である。効率性を上げると少ないエネルギーでジェットエンジンを働かせることができ、燃料の使用量を減らすことができる。これは環境問題やコスト削減にもつながり、昔から人々は効率性を上げることに没頭してきた。

ブレードのデザインは羽の反りや厚みの変化、先頭と尾の部分の形などによって行う。これらをより良い形に改善することで、ブレードの働きが変化したり、気流の乱れや流れに影響したりする。



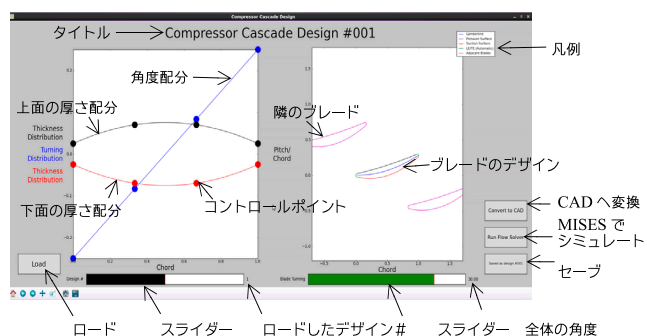
気流がブレードとぶつかった際、ブレードの後ろにはwake (航跡) が発生する。このwakeはform dragと呼ばれるブレードを逆向きに引っ張る摩擦力となり、コンプレッサーの効率を下げる。そのため、効率の良いブレードとは発生するwakeの小さいブレードだと言える。また、気流がブレードとブレードの間を通り抜ける際、ブレードの表面付近にはboundary layerと呼ばれる空気の境界層が発生し、skin-friction dragという摩擦力を生み出す。

このboundary layerが引き起こす乱流にはturbulent langmuirとlaminar langmuirの2種類がある。turbulent langmuirのほうがより大きな摩擦力を引き起こすため、レイノルズ数を調節し、turbulent langmuirの発生を避ける必要がある。なおwakeが引き起こすform dragに対し、laminar langmuirが引き起こすskin-friction dragは微々たるものであるため、デザインする上でskin-friction dragは考えなくてよい。



2. 研究の特徴や工夫及び方法

まず、コンピュータのプログラムを用いて、ブレードのベースラインモデルの曲がり方や厚さを調節し、新たなブレードをデザインした。また、このプログラムではMISES (misis flow solver) と呼ばれるプログラムを使い、2次元上で気流をシミュレーションし、運動エネルギーの損失係数や気流の曲がる角度を算出した。低速度でのレイノルズ数は 9.98×10^4 、気流の曲がる角度は 17.9° である。なお、デザインの調整による角度の誤差は 1° 以内に抑える、つまり $16.9^\circ \sim 18.9^\circ$ の範囲に留める必要がある。



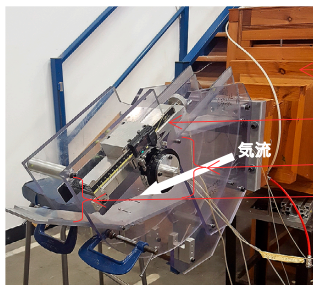
タイトルの番号はデザイン番号、つまり何個目のデザインかを表す。いくつかのコントロールポイントを動かすことでブレードの曲がり方や厚さを調節できる。また、

黒い曲線はブレードの上面、赤は下面の厚さの配分を表しており、青でブレードの角度配分を行う。右側にはデザインしたブレードがどのような形になるのかが表示される。さらに、緑のバーでブレード同士をどの角度で重ねるのか調節する。

デザインしたブレードの縮小を3Dプリンターで試作し、性能を測定、従来品との性能比較をする。性能の測定では、まず、ブレードに気流を流す実験をし、ブレードの様々な地点で

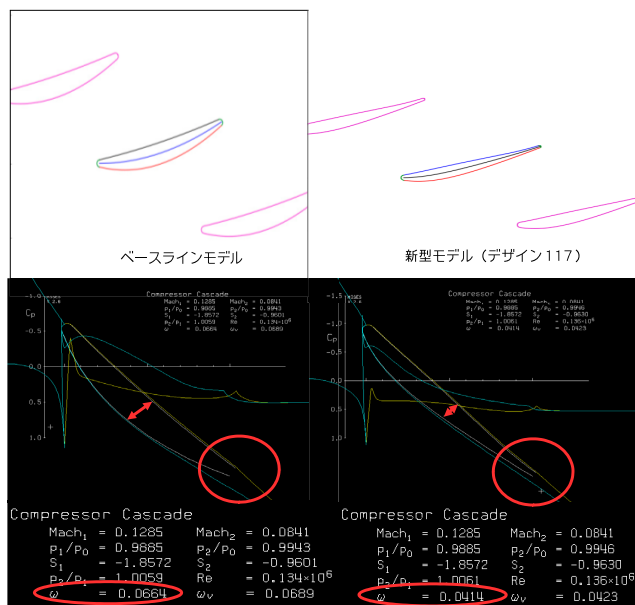
- ・ 気流の曲がった角度
- ・ ブレード入口での動的圧力と静的圧力の差
- ・ ブレード内での圧力損失
- ・ ブレード出口での動的圧力と静的圧力の差

を測定した。なお、ブレードの角度は一定で測定を行った。さらに、ブレードに少し粘り気を加えた蛍光塗料を塗り、気流を実験的に流した後の塗料のたまり方から、どのようにブレードを気流が通ったかを観察した。



気流を流す実験機器

3. 結果・考察

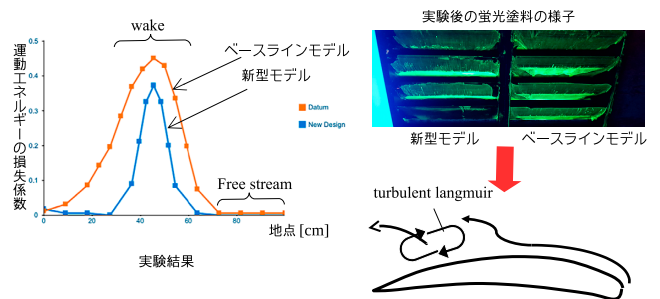


私達が作成したデザイン117の新型モデルはベースラインモデルと比べて上面と下面が近く、より薄いデザインになっている。このことにより、気流がより効率的にブレード間を流れるようになった。また、後端の大きさ

を変えることで尾の部分をもより細くした。その結果、wakeが巻き起こすair separationが小さくなり、form dragが軽減された。さらに、ブレード全体の角度を大きくし、ブレード出口の後端同士の間隔を広げたことで、噴出される空気の流れをより速くすることに成功した。

図に示したように、シミュレーションの結果wakeの大きさが小さくなり、運動エネルギーの損失量も削減された。図のCompressor Cascade結果内の ω は運動エネルギーの損失係数を表しているが、ベースラインモデルの損失係数0.0664に対し、新型モデルは0.0414と大幅な性能の改善が見られる。

また、実験的に気流を流した結果、wakeの広さ、幅が小さくなり、運動エネルギーの損失量も少なくなっていることが数値で示された。解析の結果、新型モデルは運動エネルギーの損失量が62%に改善されていることが明らかになった。実験結果は以下のグラフの通りである。また、塗料を塗って気流を流し、塗料の流れ方をUVライトで観察した結果、以下の写真のように羽の真ん中に塗料が溜まった。これは、羽の上面でturbulent langmuirが発生していたことを示している。このturbulent langmuirがブレードの効率を下げており、turbulent langmuirが発生しないよう改善すれば、さらに効率性は上がるだろうと考えられる。



4. 結論

ブレードをより薄く、尾の部分をもより細くすることで、wakeを小さくし、ブレードの効率を上げることができる。また、気流の曲がる角度を規定内に収めつつもブレードの角度をなるべく大きくすることで効率性をさらに向上させることもできる。しかし、今回私達が新たに作成した新型モデルのブレード内ではturbulent langmuirが発生しており、まだまだ改善の余地があることも明らかになった。

5. 参考文献

- ・ CAMBRIDGE UK-JAPAN YOUNG SCIENCE WORKSHOP WHITTLE LABORATORY COMPRESSOR BLADE DESIGN PROJECT-DESIGN SHEET
- ・ CAMBRIDGE UK-JAPAN YOUNG SCIENCE WORKSHOP WHITTLE LABORATORY COMPRESSOR BLADE DESIGN PROJECT-LAB SHEET