

ジェットエンジン・タービン翼のエロージョン (物理的摩耗) の予測

研究・開発機関 : 株式会社 IHI 技術開発本部
 利用施設 : 自社設備
 計算規模 : PCサーバー
 利用ソフトウェア : STAR-CCM+

Before

- 近年、砂塵地域での航空機運用における耐久性上の懸念が高まっています。その代表例として、ジェットエンジンの翼部品等におけるエロージョン損傷が挙げられます。
- エロージョンは、エンジン内の微粒子の振る舞いや、それによる材料の壊食メカニズムが関わる複雑な現象で、従来は経験的な評価以外の適切な手法がありませんでした。

After

- CFD(数値流体力学)を用いた微粒子の軌道解析と基礎試験でキャリブレーションしたエロージョン物理モデルを組み合わせることにより、エンジン内の部品のエロージョン削れ量を予測することが可能になりました。
- この予測技術を活用することにより、より耐久性の高いエンジン設計や信頼性の高いメンテナンス技術の確立が可能となります。

背景と目的

近年、アフリカや中東地域の航空旅客数・貨物量が著しく増加し、これに伴い、航空機における新たな問題がクローズアップされています。図1中に緑色で示された地域は、大気中の砂塵濃度が極めて高いという特徴があり、こうした地域で航空機を長期間運用すると、エンジン内に吸い込まれた砂塵が、耐久性上の問題を引き起こす場合があります。

その代表例が、図2に示すタービン翼表面のコーティングの損傷です。これはエロージョンと呼ばれる現象で、砂塵のような微粒子が高速で衝突することで、表面を削ってしまう作用です。従来は経験的にしか評価できなかった現象ですが、近年、数値シミュレーションを活用することで、例えば、翼のどの部分がどれくらいのスピードで削れていくかの予測が可能になりつつあります。



図1 砂塵の分布地図^[1]



図2 タービン翼表面コーティングのエロージョンによる損傷例^[2]

利用成果

数値シミュレーションによるタービン翼のエロージョン予測は、大きく分けて3つのプロセスから構成されます。

最初のステップは、タービン翼まわりの流れ場を明らかにすることであり、これには一般的なCFDを適用します。図3の左図は、汎用CFDソフト(STAR-CCM+)を利用して、タービン翼列の流れ場を解析した結果の流れ線です。適切に設計された翼列では、剥離などを伴わず、空気はスムーズに翼面に沿って流れ、入口から出口に向かって加速されます。

第2ステップでは、エンジンに吸い込まれた砂塵の軌道を求めます。図3の右図は、タービン翼流れの中に、50 μ mの珪砂を投入した際の軌道を解析した結果です。粒子は大きな慣性を有するため、翼列での流れの転向には追従せず、直進して翼の前縁または腹側(正圧面)に衝突します。衝突した粒子は反発しますが、衝突で運動エネルギーを失っているため、流れに押し戻されて再衝突と反発を繰り返します。一方、翼の背側(負圧面)にはほとんど粒子が衝突しません。

最後に、エロージョンによる翼面の削れ量(エロージョンレート)を求めます。粒子衝突によるエロージョンの物理モデルとして、ここではNeilson-Gilchristモデル^[4]を適用します。予め、単純な系で図4のような試験片を用い、対象のタービン翼材料のエロージョン特性データを取得し、モデルをキャリブレーションしておきます。これに第2ステップで求めた粒子の衝突頻度や衝突速度、衝突角度を適用することで、翼面の削れ量の分布が図5のように求まります。

翼の背側は粒子が衝突しないので全く削れません。一方で前縁部は高速度で衝突するため、非常に削れ量が多くなります。最も広範に削れるのは翼の腹側で、これは腹側の衝突頻度がきわめて高いためです。

このようにタービン翼のエロージョン予測ができるようになることで、今後この技術を活用した、より耐久性の高いエンジン設計や、信頼性のあるメンテナンス技術が可能となります。

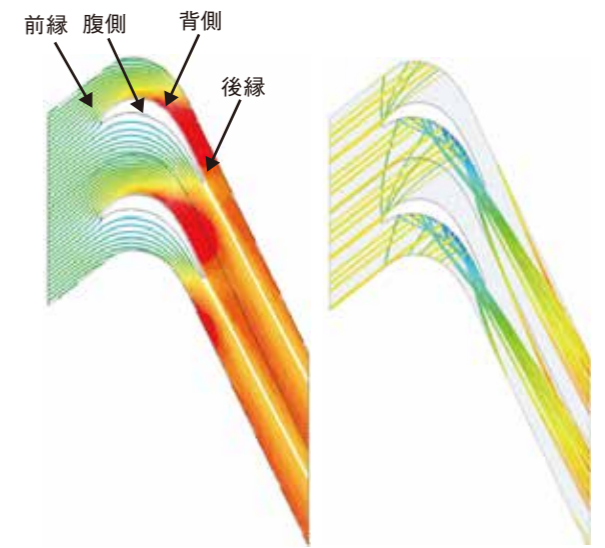


図3 翼周りの流れ場^[3]
(左: 流れ線 右: 粒子軌道)



図4 エロージョン試験片^[3]
(左: 試験前 右: 試験後)

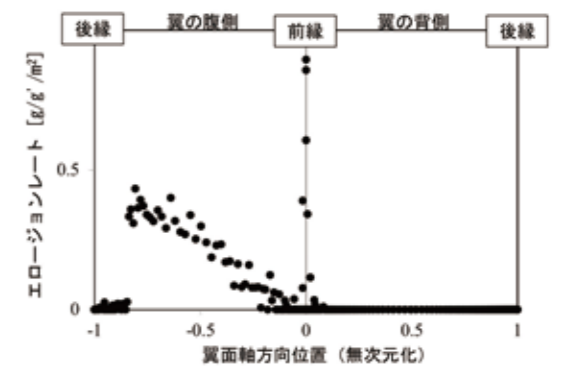


図5 翼周りのエロージョン削れ量分布^[3]

出典: [1] Wensky, T., et al., ASME paper GT2010-22748 (2010)
 [2] Darolia, R., Int. Mater., 58, pp.315-348 (2013)
 [3] Okita, Y., et al., J. Eng. Gas Turbines Power, 141, p. 031013 (2018)
 [4] Neilson, J.H., and Gilchrist, A., Wear, 11, pp.111-122 (1968)