

回転翼にまつわる最新技術動向



山本 誠

翼は、流れの方向を変えることによる運動量変化を力、特に揚力として利用する流体機械要素である（ベルヌーイの定理を用い、翼表面の圧力分布から揚力を説明することも可能）。翼の性能は、翼の寸法（翼弦長、最大翼厚、スパン長）、断面形状（キャンバ線、翼厚分布、前縁・後縁半径、表面粗さ）、流れ状態（主流流速、迎角、圧力勾配、境界層遷移、境界層はく離、衝撃波、主流乱れ）など多くの因子によって影響を受けることが知られている。一般に、これらの影響を組み合わせた無次元パラメータであるレイノルズ数（ $=$ 主流流速 \times 翼弦長 $/$ 動粘性係数）とマッハ数（ $=$ 主流流速 $/$ 音速）を固定したうえで、翼に作用する揚力、抗力、モーメントを主流動圧と翼面積で無次元化した揚力係数 C_L 、抗力係数 C_D 、モーメント係数 C_M を求め、迎角に対するこれらパラメータの特性を用いて翼性能が評価されている。迎角を大きくしていくと、ある角度で翼の背面（負圧面）が大規模なはく離を起こし、揚力性能が急減する現象が生じる。この現象を失速、このときの迎角を失速角という。また、翼を一枚だけ用いるものを単独翼、複数枚用いるものを翼列と呼び、静止して使うものを静翼、回転させて使うものを動翼あるいは回転翼と呼んで区別している。回転翼は揚力を回転軸に対するモーメントとして用いており、一般に回転軸周りに複数の翼が配置される。回転翼の場合、ソリディティ（ $=$ 翼弦長 $/$ 翼間距離）が十分小さければ、それぞれの翼を単独翼と見なして評価することができるが、ソリディティが大きい場合には隣接翼からの影響を無視することができず、翼列として性能を評価しなければならない。また、回転翼上の境界層を考えると、見かけ上、回転による遠心力とコリオリ力が作用するため、これらの効果についても考慮する必要がある。

翼の研究開発には長い歴史がある。揚力を積極的に利用するオランダの灌漑用風車は、すでに13世紀から実用に供されていた。19世紀からは風洞を用いた翼の性能測定が始まっており、ライト兄弟も1901年に自作の風洞で実験をおこなっている。また、20世紀半ばの航空機の発達とともに、航空先進国において、翼形状と性能の系統的な実験調査がおこなわれ、アメリカのNACA（NASAの前身）、ドイツのゲッチンゲン大学、イギリスの王立空軍（RAF）などが膨大な実験データをまとめている（興味のある読者は、翼に関するバイブルとなっている“Theory of Wing Sections”¹⁾などの専門

Recent Development of Rotor Blades and Related Technology

Makoto YAMAMOTO

1987年 東京大学大学院工学系研究科博士課程単位取得退学

1987年 石川島播磨重工業(株)入社

1988年 工学博士(東京大学)

1990年 東京理科大学工学部第一部(現工学部) 講師

2004年 東京理科大学工学部第一部 教授

2009年 東京理科大学工学部第一部 学部長兼研究科長

2010年 東京理科大学情報教育研究機構 機構長

2011年 東京理科大学教育開発センター センター長

2014年 東京理科大学 副学長

現在に至る

連絡先: 〒125-8585 東京都葛飾区新宿 6-3-1

書を参照していただきたい)。このように長い歴史を持つ翼ではあるが、現在でも、低抵抗な層流翼の開発、UAVやドローンのような低レイノルズ数飛行における翼性能の解明、プラズマアクチュエータなどの制御デバイスによる翼性能の向上、超音速航空機に欠かせないソニックブームの低減、キャビテーション・エロージョンやサンド・エロージョンによる翼の機械的損傷と性能低下の予測など、より高性能、低騒音、高い安全性、長寿命な翼あるいは翼を用いた機械の開発を目指して、実験と数値シミュレーションを駆使した様々な努力が世界中で続けられている。

本特集では、化学工学分野においても頻繁に使用されている回転翼を用いる機械に焦点を当てている。再生可能エネルギーとして近年注目が集まっている風車および水車、自動運転や自動搬送などへの将来的な利用が期待されるドローンおよびヘリコプター、高性能化が絶え間なく続いている発電用の蒸気タービンおよびガスタービン、大量輸送の主役となっている船舶の推進用プロペラがテーマとして取り上げられ、それぞれの最先端技術や研究開発動向が紹介される。これらの機械では、空気、水、海水、蒸気、燃焼ガスというように特性が大きく異なる流体を用いてはいるが、根本的な機械要素として見ればすべて回転翼が用いられており、共通して考えられる部分や相互にヒントを与える部分が多いものと思われる。

最後に、本特集によって提供される回転翼を用いる様々な機械の最新技術や研究開発の動向が読者の今後の研究や業務の参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) Abbott, I. H. and A. E. von Doenhof: Theory of Wing Sections, Dover Publication Inc. (2016)