

プロペラの働き

— 船の前進から後進まで —

巨大なタンカーからレジャーボートまで、ほとんどの船舶の推進器として、プロペラが使用されていることは多くの人に知られている。しかし、実際の船につけられたプロペラが意識されることはほとんどないのでは……。

船用プロペラは、船の動きに併せて色々な働きをしている。ここでは、停止中の船がエンジンを始動させ、加速、定速航行、急速停止、そして後進開始から後進停止までの過程を、プロペラ側から見てみることにする。

図-1は、ある半径位置の翼の働きが幾何学的流入角 β_r によってどのように変化するかを示した図である。上半分がプロペラが前進している場合、下半分が後進している場合である。右半分はプロペラが正転している場合、左半分は逆転している場合である。

船の停止時にエンジンを始動させると、始動直後には①の位置にいる。加速中に①から②の方向に徐々に作動状態が移動していく。加速が終わって定速で航行しているときは①と②の間にいる。

エンジンに対する燃料供給を停止するとプロペラは遊転を開始し、②から一寸③寄りに急速に移動する。

遊転のまましていると、遊転抵抗のために徐々に船速が落ちていき、限り無く③に近づいていく。

急速停止の場合は、③にいく前にエンジンを逆転させるので、②と③の間の状態から、短時間で、③と④の間の状態に移動する。そのため、③付近が使用されることは少ない。停止した瞬間は④の位置にいる。そのままプロペラを逆転させておくと、船は後進し始

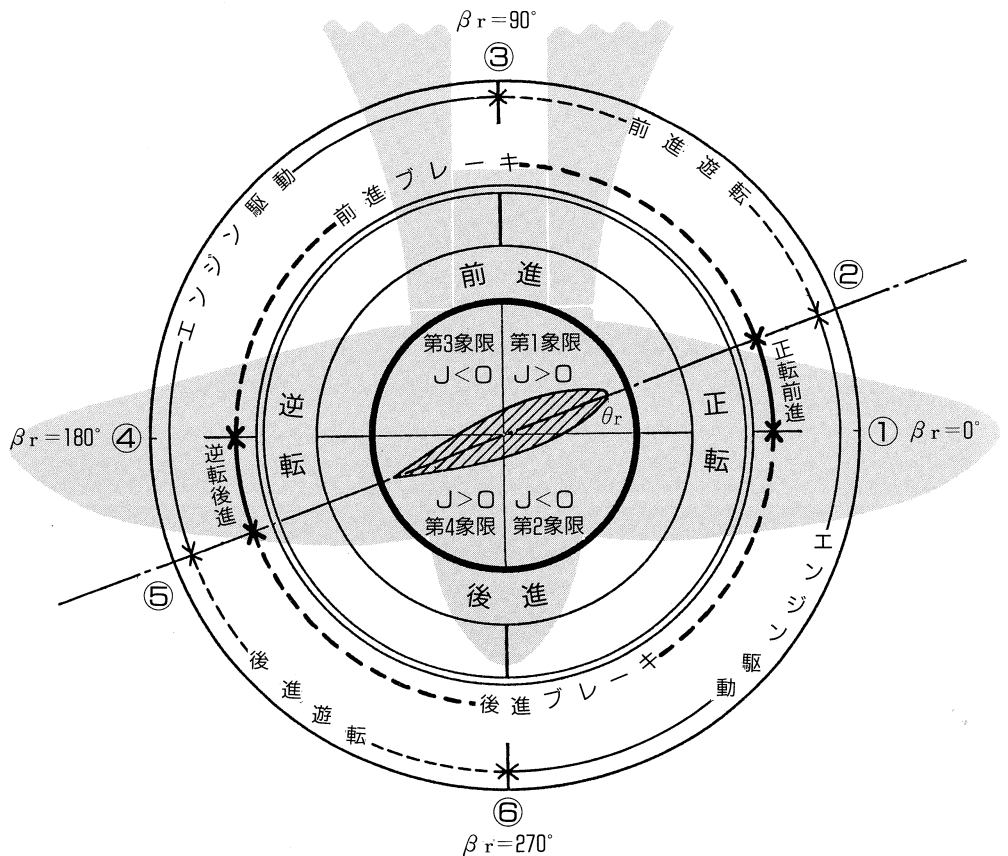


図-1 流入角の変化によるプロペラの働き

めるが、これは④から④と⑤の間への移動に対応する。あとは、前進時と逆になるだけである。

⑥~①~②と③~④~⑤が、エンジンで発生したエネルギーがプロペラを介して流体に流れていく範囲である。②~③と⑤~⑥の範囲は、逆に、エネルギーが流体からプロペラ（この場合はプロペラとは言わないが）の方向に流れる範囲で、風車やタービンでは、②と③の中間あたりが作動状態となる。

前述したように、定速で航行しているときは①と②の中間付近にいるので、通常、プロペラ性能はこの付近で評価される。近年のプロペラ理論の実用化の進歩は著しいものがあり、プロペラ性能向

上に果たした役割は大きなものがあるが、その適用範囲は、①と②の中間付近に限られた範囲である。残りの流入角における特性は、実験等で求める必要がある。

図-2に、ピッチ比が約1.0のプロペラのスラスト係数 K_T の例を示す。翼型はキャンバーが無いものと仮定している。スラストの向きは、船首方向をプラスとっている。横軸はプロペラ前進係数 J とプロペラ半径の70%の半径位置の翼型に対する幾何学的流入角 $\beta_{0.7R}$ である。プロペラ特性は、流入角ベースでは1価関数であるが、プロペラ前進係数ベースでは2価関数となる。本図には同じ翼型に対する幾何学的迎角 $\alpha_{0.7R}$ も示してある。

プロペラ性能に関するプロペラ単独性能試験は、通常、①～②の範囲で実施される。図-2に示すように、この範囲は第1象限に在るので、これを第1象限の試験という。急速停止時のブレーキとしての性能を調べるときは第3象限の試験を行う。第2、4象限は、港湾内の操船に必要な後進性能を調べるときに実施する。ただし、③付近、⑥付近は余り使用されないので、対費用効果を考えて、通常は点線の範囲を試験する。

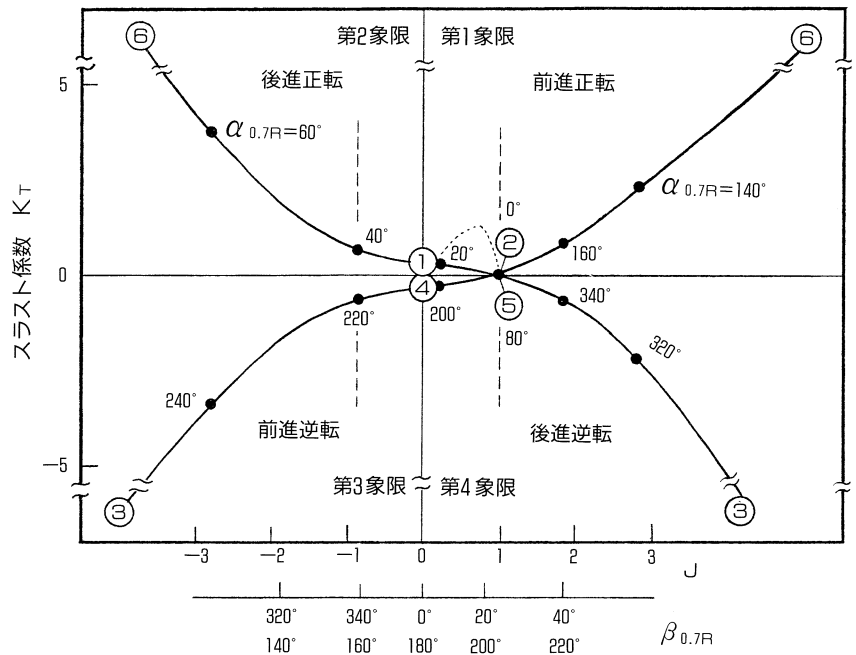
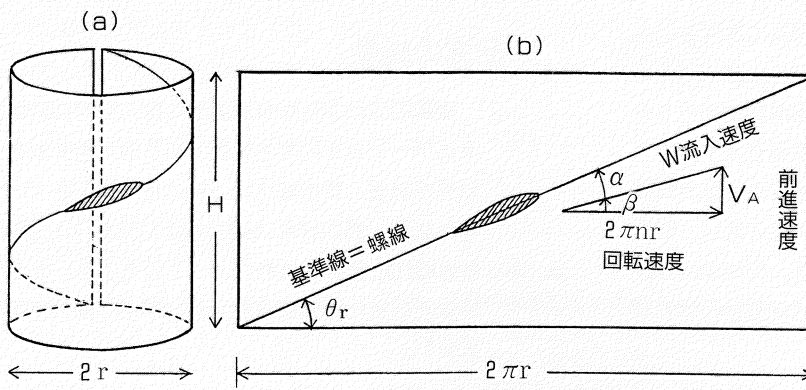


図-2 プロペラの作動状態と推力

● ピッチ角

プロペラの基準面は螺旋面になっている。(a)に示すように、一つのプロペラ翼を、プロペラ軸と同軸で半径 r の高さ H (ピッチ) の円筒で切り、この円筒を平面に広げると、(b)のように、幅が $2\pi r$ の長方形になる。基準面=螺旋面は直線(基準線)になる。基準線の傾き θ_r をピッチ角と呼ぶ。ピッチ H が半径方向に一定でも、各半径位置でピッチ角は異なる。



● 流入角

各半径位置の幾何学的流入角 β_r はプロペラの前進速度 V_A と回転速度 $2\pi nr$ の比で決まる。回転速度は半径 r に比例するので、プロペラが均一な流れの中を進む場合でも、流入角は半径位置で異なる。

プロペラなどの3次元的な翼型の場合、翼の後流に渦を伴うので、前進速度と回転速度以外に、渦によって誘導される速度を合成する必要がある。これがプロペラ効率が1.0より小さくなる大きな要因の一つになっている。合成された速度の方向を流力的流入角という。

● 迎角

ピッチ角と幾何学的流入角の差を幾何学的迎角 α_r という。

ピッチ角と流入角は半径位置によって同じように変化するので、迎角は半径位置によって大幅に異なるということはない。平板をそのままプロペラボスに植え付けると、ピッチ角は半径方向にほぼ一定となるので、半径が大きい位置では迎角が大きくなり大きな揚力を発生する。他方、ボス付近では、定速航走時でも、迎角がマイナスになってしまい、後ろ向きのスラストを発生し、性能が良いプロペラとはならない。

$$\tan \beta_r = \frac{V_A}{2\pi nr}$$

$$\tan \theta_r = \frac{H}{2\pi r}$$

$$\alpha_r = \theta_r - \beta_r$$