

第2章 空気静圧軸受け設計のための基礎知識

空気静圧軸受けの仕様を決めるには、軸受けに要求されているすべての情報を集めることが最初の作業になる。すなわち、

- ① **軸受け剛性** (単位: Kg/cm。Kg/cmを使うと大きな数値となり違和感が生じるので、表示するときはKg/ μm を使うことが多い。軸受けを1 cmあるいは1 μm 変位させる外力の大きさ)
 - ② **軸受け負荷能力** (単位: Kg。何Kgの外力に耐えられるか。軸受け剛性のある一定区間の軸受け隙間で積分したもの)
 - ③ 供給可能な**空気圧力** (単位: Kg/cm²。MPaを使って計算することはできない。MPaは必ずKg/cm²に換算してから計算に用いる)
 - ④ **軸受け直径** (単位: cm。リング型スラスト < thrust : 軸に平行に働く外力に対抗するための > 軸受けなら外周および内周寸法。円板型スラスト軸受けなら直径。ラジアル < radial : 軸の半径方向に働く外力に対抗するための > 軸受けでは外周)
 - ⑤ **軸受け長さ** (単位: cm。スラスト軸受けでは不要) …などの情報を集める。
- 次に、これらの情報と

⑥ 「圧縮性流体についての非定常のレイノルズ方程式 (Reynolds equation)」

を連立させて解を求めることにより、軸受け表面の単位面積当たりの圧力分布を求め、これを軸受け面全体で積分して軸受け負荷能力 (Kg) を算出する。その計算結果が、要求されている軸受け負荷能力 (Kg) を満たしているかどうかを確認する。満たしていれば、さらに外力に対する圧力の摂動 (せつどう: 力学系における主要な力の作用によって生じる運動が、他の副次的な力の影響によって攪乱されること) より軸受け剛性 (Kg/ μm) を求め、この値が要求されている軸受け剛性 (Kg/ μm) を満たしているかどうかを確認する、というのが正式な方法になる。

しかし、この方法で軸受けの仕様を決めることは、大変煩雑でありかつ厄介な作業となる。幸いにも、アメリカ合衆国マサチューセッツ工科大学の研究チームなどが、さまざまな設計図表を40数年前から発表してきており、これらの設計図表 (たとえばRPI-MTI: Design of Gas Bearing - 1967年に発表されたものなど。これらの設計図表を以後**MTI設計図表**と呼ぶことにする) を利用することで、①から⑤までの情報を集めるところまでは同じ作業を行うことになるが、そのあとの複雑な連立方程式を解く作業を省いて、空気静圧軸受けの設計諸元を容易に決めることができるようになった。MTI設計図表を用いて予測した軸受け特性と、製作した軸受けから得られる検証データは驚くほど一致する。本稿でも、このMTI設計図表を使って軸受け特性を求める方法を解説するが、若干の制約がある。

具体的には、ラジアル軸受けの設計において軸受け長さを L (cm)、軸受け直径を D (cm) としたときの比を L/D 比と呼んでいる。 $L/D = 1$ に関する MTI 設計図表は十分公開されているのだが、 $L/D = 1$ 以外、例えば $L/D = 1.5$ 、 $L/D = 2$ などについての MTI 設計図表は、多少入手はできるものの、十分に公開されているとは言いがたい。

したがって、本書で扱うラジアル空気静圧軸受けの L/D 比はすべて 1 である。ただし、 $L/D = 0.8 \sim 1.2$ の範囲では、本稿で解説する計算が適用できることを実機で確認している。図1に参考資料として $L/D = 1$ 以外 ($L/D = 1.5$) の MTI 設計図表を示した。

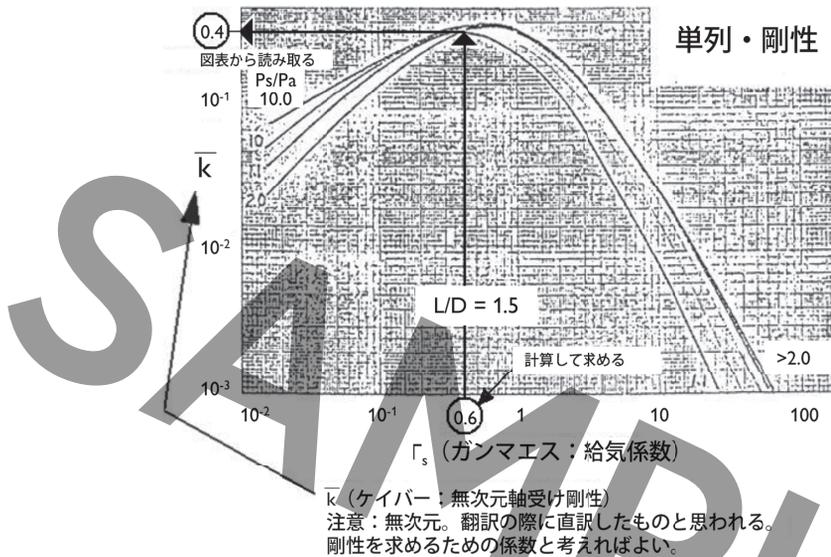


図1 公開されている $L/D = 1.5$ の設計図表

この MTI 図表は、「自成絞リ（後述）1列（図中では単列）給気」と呼ばれるタイプのラジアル軸受け剛性 ($\text{Kg}/\mu\text{m}$) を求めるためのものである。

MTI 設計図表の使い方は、まず軸受け直径 (cm)、軸受け長さ (cm)、給気圧力 (Kg/cm^2) などをもとに「給気係数（研究グループによって、 Γ_s や Y_s と書いた記号が使われる）」を求める。給気係数を求める式は、それぞれの MTI 設計図表に添えられているのでその式を使う。

次に、計算によって得られた給気係数の値をもとに、MTI 設計図表から「無次元軸受け剛性」の値を読み取る。「無次元軸受け剛性」（図1では \bar{k} 。バーが付いた記号は MTI 設計図表ではすべて無次元を表す。読み方は本稿ではケイバーのように読むことにする）は、文献を翻訳する際に、原文がどうなっていたかは不明であるが、おそらく **Non-dimensional** となっていたものを「無次元～」と訳したものである。「無次元軸受け剛性」は「軸受け剛性を求めるための係数」と考えて差し支えない。

Γ_s (ガンマエス) 給気係数 (原文は **feeding gas parameter** であることが分かっている) の「係数」は **parameter** を「係数」と訳したものである。しかし、**parameter** の本来の意

味は「補助変数」あるいは「媒介変数」であるから、 Γ_s 給気係数は、「 \bar{k} をMTI設計図表から読み取るための補助変数」という意味になる。なお、MTI設計図表は、両対数グラフまたは片対数グラフで表されている。

MTI設計図表には、それぞれ軸受け剛性 ($\text{Kg}/\mu\text{m}$)、軸受け負荷能力 (Kg)、軸受け流量 (liters/min 。ときに m^3/hr) を求めるための式が添付されているので、軸受け剛性 ($\text{Kg}/\mu\text{m}$) を求めるための式に \bar{k} を代入すれば予測される軸受け剛性 ($\text{Kg}/\mu\text{m}$) が求められる。

ラジアル軸受けでは、給気の方法に、「1列 (図1では単列) 給気」、「2列給気」、「多孔質給気」など、さまざまな方法があるが、「1列給気」は剛性、負荷能力が低過ぎて実用には適さないので本稿では取り上げない。すなわち図1の図表は使わない。スラスト軸受けでは、多孔質給気を除いて、すべて「1列給気」となっているが、ラジアル軸受けでは、2列給気にすると性能が向上することが知られているので、スラスト軸受けでも2列給気法を新たに開発すれば、性能が向上するのではないかと期待される。これについては、章を改めて詳しく触れることにする。

1 空気静圧軸受けの種類

空気静圧軸受けということばは、現在では既に市民権を得ており、ほとんどの方がどのような軸受けなのかを理解していると思われる。

しかし、静圧とは風船の中に閉じ込められているような空気を指すことばであって、流れを伴ったような状態の空気には使われない。空気静圧軸受けでは空気がゆっくり消費されて行く (すなわち空気がゆっくり流れている) ので、厳密な意味では静圧とは呼べないはずであるが、空気静圧軸受け内部ではタービン機関のような激しい気体の流れは起こっておらず、きわめて静的な空気の流れが生じている。したがって、空気静圧軸受けを正確に表現するならば「静的な空気圧によって軸が浮上し、その軸がハウジング (housing: 収納器) と接触しない軸受け」ということになる。

静的圧力を伴った空気 (以後、静圧空気と呼ぶ) によって軸を浮上させるには、「絞り」と呼ばれる技術が必要になる。いくつかの方法が知られているので、主なものを次に挙げる。絞りはラジアル軸受け、スラスト軸受けに共通して使われる技術である。そのうちのいくつかをラジアル軸受けを例にして、図2に詳細を記載した。

- ① 自成絞り (1列給気と2列給気の2種類。スラスト軸受けでは1列給気のみ。図2参照)
- ② 表面絞り (1列給気と2列給気の2種類。スラスト軸受けでは1列給気のみ。図2参照)
- ③ 多孔質絞り (たくさんの小さな孔が開いた素材を使って給気する方法)
- ④ オリフィス絞り (給気孔の一部を狭くするもの。1列給気と2列給気の2種類。スラスト軸受けでは1列給気のみ。図2参照)
- ⑤ スロット絞り (細長い隙間、特に硬貨などの投入口のような断面を持った隙間から給気する方法)
- ⑥ 毛細管絞り (細長い孔から給気する方法。剛性が高く、軸の安定性が良い。給気孔