

# 解説5 静圧ガイドを用いた位置決め機構の設計ポイント

東京理科大学 宮武 正明\*

\*みやたけ まさあき：工学部機械工学科 准教授

## はじめに

静圧軸受は、外部の加圧源により加圧された流体を微小な軸受すきまに供給し、回転軸や案内面を支持する軸受である。静圧ガイドは、この静圧軸受を、案内面を支持する軸受として用いたものであり、低摩擦で高い運動精度を持つことから、超精密加工機や測定器で使用されている。

静圧ガイドには、潤滑流体として、空気を用いた空気静圧ガイド、油や水などの非圧縮性流体を用いた油静圧ガイドや水静圧ガイドがあるが、本稿においては、油や水などの非圧縮性流体を用いた静圧ガイドに関して解説を行う。空気静圧ガイドを用いた位置決め機構に関しては、前報<sup>1)2)</sup>を参照されたい。また、静圧軸受には、定流量ポンプを用いた定流量型静圧軸受と、絞りと定圧ポンプを用いた定圧型静圧軸受があるが、以降においては、一般的に使用されている定圧型静圧軸受を取り扱う。

## 静圧案内の設計

図1に示すように、静圧ガイドは、ガイドウェイ、テーブル(静圧軸受およびそのハウジング)、配管、加圧源(ポンプなど)などによって構成される。一般的なのが要素を用いた案内では、ルール、ブロックともに、さまざまなサイズにて標準化・規格化されており、設計者が使用用途や使用条件に適するものをメーカーのカタログから選

定すれば良いが、静圧案内に関して標準品はほとんど存在しないため、設計者自身がガイドウェイと軸受部の両方を設計する必要がある。そのため、静圧ガイドの設計においては、設計者自身が、静圧軸受の基本的特性について十分に把握している必要がある。以下においては、静圧軸受の設計のポイントを簡単に解説する。

### (1) ポケット型静圧軸受および静圧軸受の絞りについて

静圧軸受は、加圧流体膜により案内面を支持しているが、比較的簡単なメカニズムで、軸受負荷の変動に対する軸受流体膜(軸受すきま)の変化のしにくさ(=軸受剛性)を得ている。図2に、案内面用の静圧軸受の代表的な構造である絞り(主に毛細管)とポケットを組み合わせたポケット型静圧軸受の概略図を示す。

この静圧軸受は、ポンプにより加圧した流体を、絞りを通して軸受面に設けたポケットおよび軸受すきまに供給し、案内面を支持しているが、軸受に流入・流出する流体の圧力変化は、流体抵抗や流量と密接に関係し、圧力差=電位差、流量=電流値、流体抵抗=電気抵抗と考え、電気回路とのアナロジーを利用して、図3のように記述することができる。したがって、絞り通過流量および軸受通過流量は、オームの法則(電流 $I$ =電位差 $V$ /抵抗値 $R$ )により、

$$q_r = \frac{(p_s - p_o)}{R_r}$$

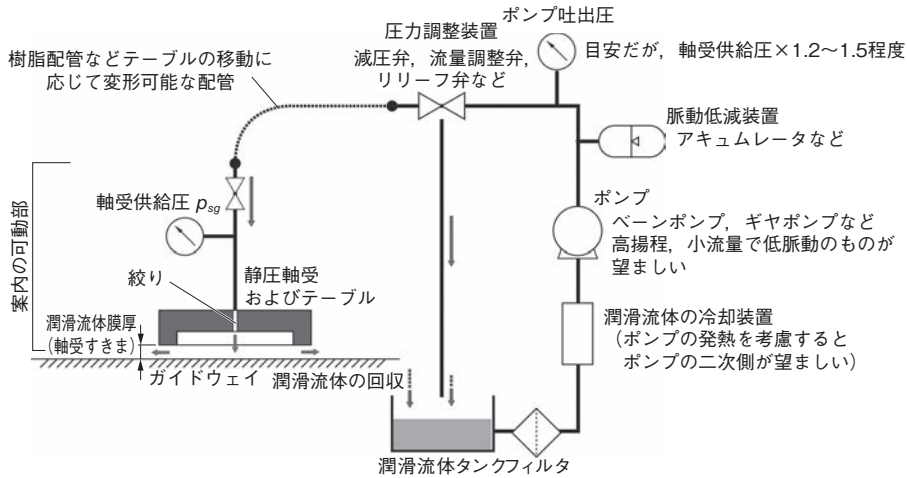


図1 静圧軸受の構成例

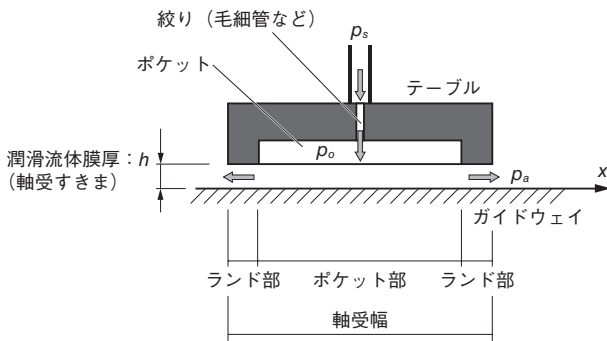


図2 ポケット型静圧軸受

$$q_h = \frac{(p_o - p_a)}{R_h}$$

となる。毛細管溝を用いた場合、流体抵抗 $R_r$ は一定値であるが、軸受すきまが小さく粘性(粘性係数を $\eta$ とする)が支配的な場合、軸受すきまの流体抵抗 $R_h$ は、

$$R_h \propto \frac{12\eta}{h^3}$$

であり、軸受すきま $h$ に応じて変化する。そのため、軸受すきま $h$ が変化して $R_h$ が変化すると、ポケット圧 $p_o$ が変化する。より具体的には、図4に示すように、軸受すきま $h$ が減少し $R_h$ が大きくなると $p_o \rightarrow p_s$ 、軸受すきま $h$ が増加し $R_h$ が小さくなると、 $p_o \rightarrow p_a$ となる。このように、静圧軸受は、軸受すきまの増減に対して、ポケット内圧力や軸

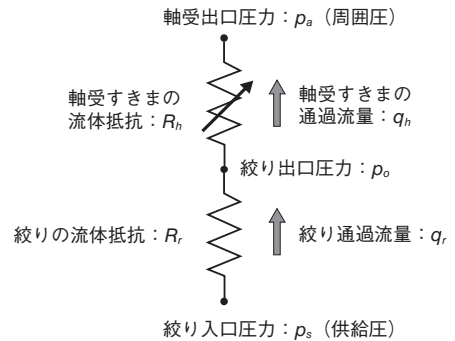


図3 静圧軸受 電気回路とのアナロジー

受すきま内圧力が受動的に変化する。その結果、図5に示すように、軸受すきまの変化のしにくさ(=軸受剛性)が得られる。

なお、溝を通過する体積流量は、毛細管(直径 $d$ 、長さ $l$ )を用いた場合、以下の式により求められる、

$$q_r = \frac{\pi d^4}{128\eta l} (p_s - p_o)$$

ポケットから軸受すきまに流入する流量は、

$$q_h \propto \frac{h^3}{12\eta}$$

である。 $q_r = q_h$ より、式中から $\eta$ が消えるため、ポケット内圧力およびすきま内圧力は、使用する流体の粘度によって変化しない。つまり、毛細管を使用した静圧軸受においては、静的な負荷能力

は流体の種類(粘度)によらないことがわかる。このように、毛細管を用いた静圧軸受においては、流体の粘度は、負荷能力に影響しないが、テーブルの移動時の流体膜の摩擦抵抗やポンプの消費動

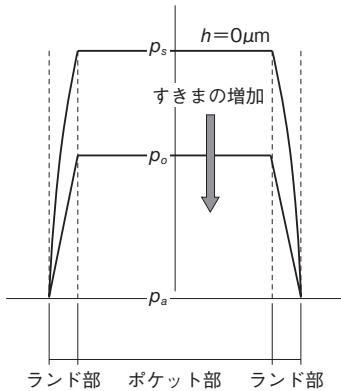


図4 ポケット内圧力および軸受すきま内圧力のイメージ

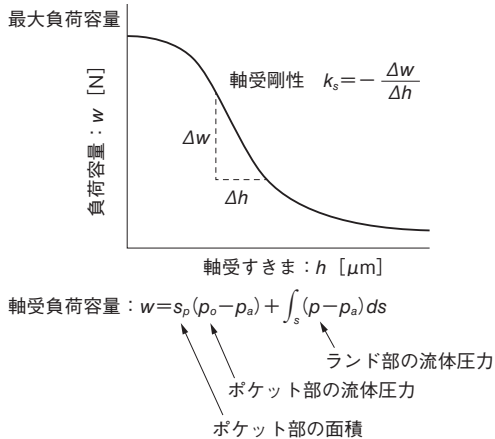


図5 軸受すきまと負荷容量の関係

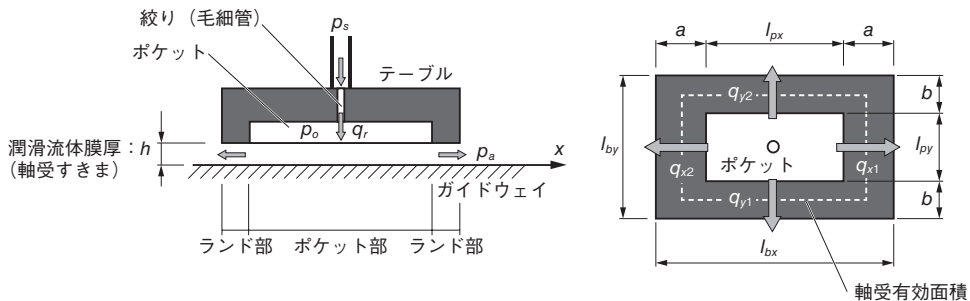


図6 矩形ポケット型静圧軸受

力は、使用する流体粘度が高いほうが大きくなる。一方、軸受の動特性に関しては、流体粘度が高いほうが、ランド部におけるスクイズの効果が高くなり、高い減衰性が得られる。案内面用の静圧軸受の潤滑流体としては、ISO VG10~68程度の工業用潤滑油が用いられることが多いが、テーブルの移動速度、ポンプ能力、冷却能力などに応じて、潤滑油の粘度を選定するのが望ましい。

なお、潤滑流体として水やISO VG2程度の低粘度の潤滑油を用いる場合もあるが、このような場合は、毛細管絞りの入口部、ポケットから軸受すきまの流入部にて、オリフィス効果による圧力の減少が大きくなる。そのため、低粘度流体を用いる際には、オリフィス絞りの影響を考慮した設計が必要となる<sup>3)4)</sup>。

## (2) 軸受形状、絞りの寸法、軸受すきまなどの設計について

前節においては、静圧軸受における絞りの効果について説明を行ったが、本節においては、簡単な例を使って、静圧軸受の軸受形状、絞り形状、軸受すきま、供給圧などの決定方法を説明する。今回対象とするのは、図6のようにテーブルの1面を、毛細管絞りをを用いた矩形ポケット型静圧軸受で支持した案内である。本形式は、テーブルの自重、永久磁石による吸引力、真空吸引によりテーブルにプリロードを与える。この型式ではプリロードと流体膜反力(負荷容量)が釣り合うように、軸受すきまが決まる。

さて、静圧軸受の設計パラメータは、  
・潤滑流体供給圧