

スクリー圧縮機ロータ用歯切り工具に関する研究\*  
(組立ホブ)金子 克<sup>\*1</sup>, 川崎 一正<sup>\*2</sup>, 田村 久司<sup>\*2</sup>Gear-Cutting Tool for Screw-Compressor Rotors  
(Built-up Hob)Katsumi KANEKO, Kazumasa KAWASAKI<sup>\*3</sup> and Hisashi TAMURA<sup>\*3</sup> Niigata University, Dept. of Mechanical and Production Engineering,  
8050 Ikarashi 2-nocho, Niigata, 950-2181 Japan

A built-up hob for a screw-compressor rotor is proposed. The hob is composed of cutter blades and a hob head. The blade is cut out from a tempering planar plate of high speed tool steel by wire-cut electric discharge machining. During the wire cutting process, the wire electrode has a fixed angle to ensure both the side and the end relief angle of the cutting edge, so that the rake face regrinding sharpens the cutting edge without changing the profile of the rake face. The formulae of rack tooth profile are derived from the female rotor tooth profile expressed by numerical formulae. Then, the fundamental helicoid of the hob and the profile of the cutting edge of the blade are calculated. The hob was made and the rotor hobbing was carried out.

**Key Words:** Machine Element, Gear, Tool, Hob, Screw Compressor, Tooth Profile, Wire-Cut EDM, Built-up Hob, Regrind

## 1. 緒 言

スクリー圧縮機ロータ歯形は普通6~7本の曲(直)線を順次滑らかに接続した構成になっており、複雑な形状をしている。しかし、既報<sup>(1)</sup>では、このような歯形構成は原理的に確定していることを示した。

ところで、ロータはねじ形状をしており、そのねじは大モジュール、小歯数、大ねじれ角のはずば歯車と考えることもできるし、また、大径、大ピッチ、多条のねじと考えることもできる。よって、それらに対応する加工機として専用のホブ盤あるいはねじフライス盤がある。近年、これらの加工機は高精度、高剛性、高速化し、一応は満足すべき状態にあるとしてよいようである。残る問題はロータ加工に必要な高精度な工具をいかに安価に製作するかということである。

一般に、ロータ歯切り工具の切れ刃は複雑な形状の総形切れ刃になる。すなわち、切れ刃曲線に沿って切れ刃圧力角(傾き角)が約0°から±90°まで大きく変化する。この圧力角変化は切れ刃二番面加工を経験と

勘に頼る試行錯誤的作業にするとともに、すくい面(切れ刃面)研ぎ直しによる切れ刃形状精度劣化を促進させ、結果として工具を高価なものにしてしまう。また、工具外周切れ刃二番面は研ぎ直しにより工具径を減少させ、これが精度劣化に拍車をかける。このようにロータ歯切り工具では切れ刃に必要な不可欠な二番面が皮肉にも研ぎ直し後の切れ刃形状精度を急激に劣化させている。

そこで本研究は、このような不具合の生じないロータ歯切り工具を得る目的で、まずホブについて考察したものである。本研究で提案するホブは、組立ホブで、任意の切れ刃形状に簡単に対応でき、切れ刃二番面加工も簡単にできる。さらに、すくい面研ぎ直し後も原理的に切れ刃形状精度劣化とホブ外径減少のないホブである。

このホブは製作が簡単で、砥ぎ直しも可能であるから、スクリー圧縮機ロータのホブ切りが高精度でしかも安価にできるものと考えられる。

## 2. 組立ホブ

本研究で提案するホブの概要を図1に示す。ホブ本体、与えられた切れ刃形状をもつ多数のブレード、それにブレード固定具が示されている。ブレードは工具

\* 原稿受付 1999年3月31日。

<sup>\*1</sup> 正員, 新潟大学大学院(〒950-2181 新潟市五十嵐二の町8050)。<sup>\*2</sup> 正員, 新潟大学工学部。

E-mail: kawasaki@eng.niigata-u.ac.jp

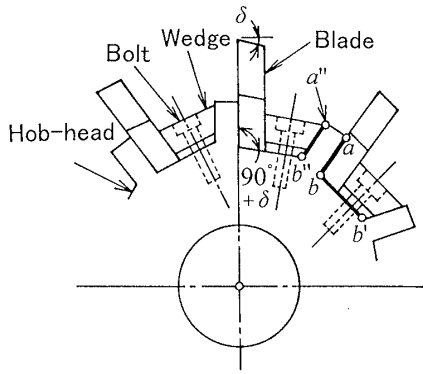


Fig. 1 Built-up hob

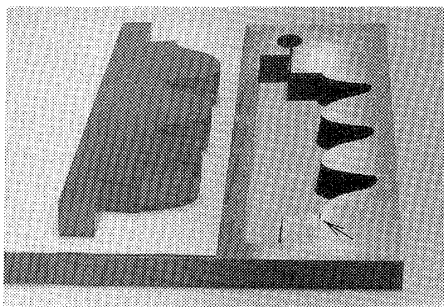


Fig. 2 Blades

として十分な硬さの材料からワイヤカット放電加工によって切り出す。そして、切れ刃が摩耗したとき、平面研削盤で切れ刃すくい面を研削して再度使用する。

**2.1 ブレード** 図2に雌ロータ歯切り用ブレードと雄ロータ用のそれ(切り抜き後)を示す。ここではブレードの構造を説明し、切れ刃形状については後述する。

まず、与えられた切れ刃形状をその一部とする図3(a)に示す輪郭  $A-B-C-D$  をもつ多数枚の薄膜を積み上げた状態を考える。次に、この薄膜を上から順番に図示の矢印方向に単位厚さ当たり  $\eta$  mm の位相差が生じるように1枚ずつ移動すると図3(b)に示した状態になる。そして、これを一つのブロックと考え、かつ、 $[ABCD]$  で囲まれた最上層の薄膜表面を切れ刃すくい面に対応させたものが本研究で提案するブレードである。最下層薄膜  $[A'B'C'D']$  はブレード背面になる。図3(c)はブレード平面図である。曲線  $A-D$  を切れ刃とすると、 $[ADD'A']$  は逃げ面、 $[ABB'A']$  と  $[DCC'D']$  はブレードの側面(平面)、そして  $[BCC'B']$  はブレード底面(平面)になる。図3(b), (c)より、切削方向をすくい面垂直方向(紙面垂直方向)とすると切れ刃  $A-D$  には逃げ角の生じることがわかる。切れ刃曲線の傾き角(圧力角)を  $\alpha$  とすると、切れ刃前逃げ角  $\delta$ 、横逃げ角  $\Delta$  は

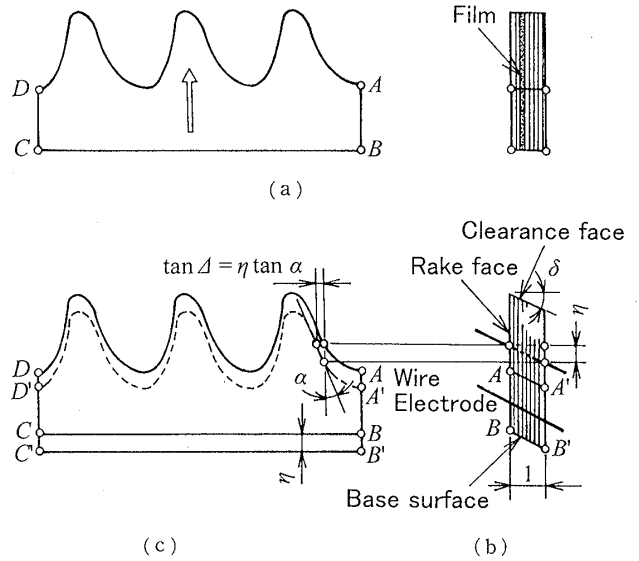


Fig. 3 Blade for the built-up hob

$$\left. \begin{aligned} \tan \delta &= \eta \\ \tan \Delta &= \tan \delta \tan \alpha \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (1)$$

また、すくい面とブレード底面とのなす角は  $90^\circ + \delta$  である。

図3(b), (c)に示すブレードはワイヤカット放電加工(Wire-cut EDM)により簡単に製作できる。すなわち、すくい面に垂直な電極ワイヤをブレード側面  $[ABB'A']$  内で角度  $\delta$  だけ傾け、その状態のワイヤをブレード輪郭  $A-B-C-D$  に沿って動かすだけでよい。

ところで、図1に示すようにホブ本体に組み付けられたブレードの切れ刃はホブ基礎ねじ面<sup>(2)</sup>といわれるねじ面上になければならない。そして、このねじ面を形成しているねじ線の接線方向が切削方向になる。具体的にはホブピッチ円筒上のねじ線のリード角を  $\gamma$  とすると、後述するようにすくい面リードを  $\infty$  とする本研究の場合、切削方向はすくい面垂直方向ではなく、すくい面とブレード側面の両面に垂直な平面内ですくい面垂直方向から  $\gamma$  だけ傾いた方向になる。この実際の切削方向は切れ刃横逃げ角を式(1)のそれとは異なったものとし、 $\Delta \pm \gamma$  にする。複号は、圧力角  $90^\circ$  の切れ刃上の点を境に切れ刃を左・右に分けて考えたとき、左側切れ刃横逃げ角が  $\Delta + \gamma$  ならば右側のそれは  $\Delta - \gamma$  になることを意味する。 $\Delta - \gamma$  が負になることは許されない。そこで実際の切削方向に対して式(1)で与えられる横逃げ角  $\Delta$  を確保するために、切れ刃曲線  $A-D$  を加工するときのみ電極ワイヤの傾き角を変えて、角度  $\delta$  のほかにその傾け方向と直角方向に角度  $\gamma$  だけ傾ける。図2の矢印はワイヤを角度  $\gamma$  傾けた痕跡を指している。

**2.2 ホブ本体とブレード固定具** 図1に示すようにホブ本体はブレード形状に対応して特殊な形状になっている。本体には二つの重要な平面がある。一つはブレードすくい面[ $ABCD$ ]と接触する平面[ $ab$ ]で、ほかはブレード底面[ $BCC'B'$ ]と接触する平面[ $bb'$ ]である。そしてこれらの平面は、ブレードに対応して、 $90^\circ + \delta$ の角をなす。また、平面[ $ab$ ]とそれに平行な平面[ $a''b''$ ]とで本体に突起を作る。これによって先行するブレードの背面[ $A'B'C'D'$ ]と面[ $a''b''$ ]とで1本のV溝を作るから、それに応じた形の「くさび型固定具」によってブレードを本体に固定することができる。一方、ブレードはすくい面研ぎ直しによってその厚さを変えるが、くさび型固定具はそれにも対応できる。

ホブ本体にはブレード抜け止め用ねじが設けられている。また、本体両端にはブレード軸方向位相の微調整用ねじがある。

**2.3 ブレード再研削** スクリューロータは多くの場合歯切りしたままの状態で使用するから、研ぎ直しによる工具切れ刃形状精度の管理が必要になる。スクリーウロータホブおよびそのほかのほとんどの総形工具ではすくい面研ぎ直しによって工具径が減少するが、減少した工具径に対応する理論切れ刃形状と研ぎ直し後のそれとの差が大きく、刃形修正を必要とする。

さて、提案のホブにおける研ぎ直しはブレードすくい面を平面研削することであり、それは図3(b)で明らかのように積層薄膜を1枚ずつはぎ取る現象とみなせる。よって研ぎ直しを繰り返しても新しく現れるすくい面輪郭は変わらない。ブレード厚さが薄くなるだけである。この薄くなったブレードをホブ本体に組み付けたとき、新しく現れたすくい面と面積の小きくなっただけのブレード底面が、それぞれホブ本体の[ $ab$ ]、[ $bb'$ ]と接触するから、すくい面輪郭は研ぎ直し前のそれと全く変わらず、またホブ外径も変わらない。よって提案のホブは原理的に研ぎ直しによる刃形精度劣化が生じないことがわかる。

### 3. ロータ歯形

本研究ではこれまでどおりあらかじめロータ軸直角断面歯形が与えられているものとする。

ロータ歯形は軸直角断面で点列表示される場合<sup>(3)(4)</sup>と数式表示される場合とがあるが、ここではロータ歯形は数式で表示されるものと考え、その数式表示を行う。

ロータ軸直角断面歯形は図4に示すように7本の曲

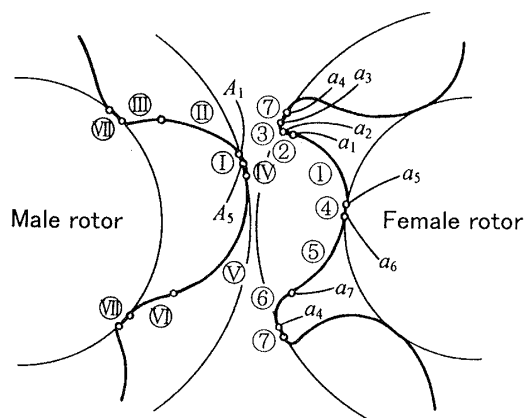


Fig. 4 Rotor tooth profiles

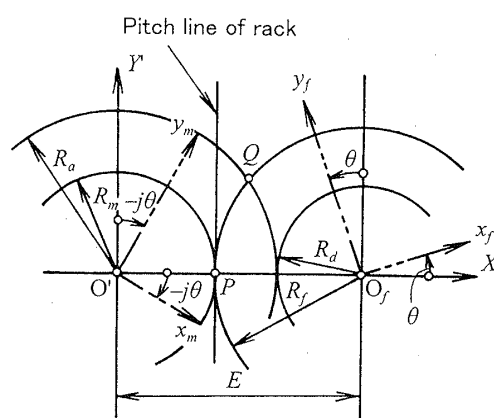


Fig. 5 Relationship between coordinate systems

(直)線から成立しているとする。そしてそれらは以下の順序で構成されているものとする。まず、雄ロータ歯形①に曲率半径  $r_1$  の円弧を与える。これは雌ロータ歯形①を包絡する。歯形①に点  $a_1$  で滑らかに接続する②はブローホールを小さくするために直線とし、この直線は点  $a_2$  で曲率半径  $r_2$  の円弧③に接続する。③は点  $a_3$  で半径  $R_f$  の雌ロータピッチ円(歯先円)⑦に接続する。一方、雌ロータ歯形①は半径  $R_d$  の歯底円④に点  $a_5$  で接し、④は点  $a_6$  で内転トロコイド曲線⑤に接続する。このトロコイド曲線は任意の適当な曲線に置き換えることができる。さて、⑤は曲率半径  $r_6$  の円弧⑥に点  $a_7$  で接続、⑥は点  $a_4$  で⑦に接続する。このようにして雌ロータ歯形が構成される。歯先円半径  $R_a$ 、ピッチ円半径  $R_m$  の雄ロータの歯形①～⑦は雌ロータ歯形②～⑦の共役な歯形曲線として決まる。

ロータ歯形を数式表示するために静止座標系  $O'-X'Y'$ 、雄ロータに固着した座標系  $O'-x_my_m$ 、雌ロータに固着した座標系  $O_f-x_fy_f$  を図5に示すように設定する。 $O'$ 、 $O_f$  はそれぞれ雄、雌ロータの軸である。図5で、 $E$  はロータ軸間距離、点  $P$  はピッチ点、点  $Q$  は尖点(cusp)といわれている点である。雄ロータ歯

数を  $N_m$ , 雌ロータ歯数を  $N_f$  とすると, 歯数比  $j = N_f/N_m$  として,

$$\left. \begin{aligned} R_m &= E/(j+1) \\ R_f &= jE/(j+1) \\ R_a &= E - R_a \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

また, 雌ロータが自身の軸  $O_f$  のまわりに角度  $\theta$  だけ回転すると, 雄ロータは軸  $O'$  のまわりを角度  $-j\theta$  だけ回転する. ここに,  $\theta$  は反時計方向回転を正とする.

雄ロータ歯形①を図6に示すように与える. すなわち,  $\overline{PQ}$  に垂直な直線  $\overline{QT}$  を考え, 雄ロータ歯先円と  $\overline{QT}$  の両方に接する半径  $r_1$  の円を定める. そして, それぞれの接点を  $A_1, A_5$  とすると, 円弧  $\widehat{A_1A_5}$  が歯形①になる. いま  $\widehat{A_1A_5}$  上の任意の一点  $M_0$  を選び, その点における歯形法線と雄ロータピッチ円との交点を  $P_0$  とする. 点  $P_0$  が軸  $O'$  まわりに角度  $-j\theta$  だけ回転してピッチ点  $P$  に達したとき, 歯形のかみあい条件「歯形の接触点において立てたそれらの共通法線はピッチ点を通る」より, 点  $M_0$  は雌ロータ歯形とかみあう. すなわち, 角度  $-j\theta$  だけ回転した瞬間の点  $M_0$  は雌ロータ歯形上の点でもあると考えることによって雌ロータ歯形①を求めることができる.

図6で, 角度  $\psi_m$  は既知であることを考慮に入れて,  $i$  を虚数単位, 点  $M_0$  の座標を複素平面上<sup>(5)</sup>のそれと考えると  $M_0$  とすると,

$$\left. \begin{aligned} M_0(\theta) &= (R_a - r_1)e^{i\psi_m} + r_1e^{i(\psi_m + \psi_1)} \\ \tan \psi_1(\theta) &= \frac{\overline{P_0P'}}{(O'A_5 - O_cA_5) - O'P'} \\ &= \frac{R_m \sin(\psi_m - j\theta)}{(R_a - r_1) - R_m \cos(\psi_m - j\theta)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

$O'-x_my_m$  上の点  $M_0$  がその座標系とともに軸  $O'$  のまわりを角度  $-j\theta$  だけ回転したとき, その座標  $M_0$  を軸  $O_f$  のまわりに角度  $\theta$  だけ回転している  $O_f-x_fy_f$  で表したものが雌ロータ歯形①の式  $M_1$  になる.

$$M_1(\theta) = \{M_0(\theta)e^{i(-j\theta)} - E\}e^{i(\theta)} \dots\dots\dots (4)$$

同じような考え方で残りの歯形②~⑦の数式表示が

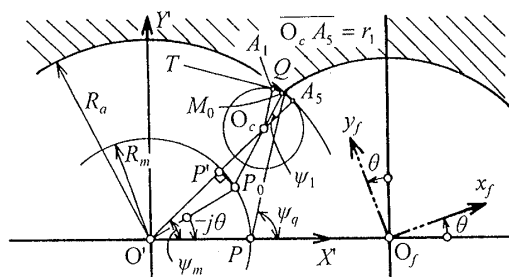


Fig. 6 Expression of circular arc

できる.

4. 仮想はすばラック

雌ロータ歯形を構成する7本の曲(直)線を  $O_f-x_fy_f$  でまとめて  $M$  で表す. ラック歯形はロータ歯形  $M$  とかみあうから, 歯形のかみあい条件と  $M$  とからラック歯形を求めることができる. すなわち, 図7に示してあるラック基準ピッチ線上を雌ロータピッチ円が転がるとき, ピッチ線とピッチ円の接点  $P_r$  がその瞬間のピッチ点(瞬間中心)になるから, 点  $P_r$  の  $M$  への垂足  $R$  がラック歯形との接触点になる.

点  $R$  はラック歯形上の点でもある. よって, その座標をピッチ線に固着した座標系  $O-xy$  で表せば, それがラック歯形の式  $R(\theta)$  になる.

$$R(\theta) \equiv x(\theta) + iy(\theta) = M(\theta)e^{i(\theta - \pi/2)} + R_f\theta - iR_f \dots\dots\dots (5)$$

このラック歯形  $R(\theta)$  は当然のことながら雄ロータ歯形ともかみあう.

さて, 図8に示すようにラック歯形  $R(\theta)$  が表示されている  $O-xy$  において奥行き  $z$  を与えた座標系  $O-xyz$  を設定する.  $xz$  平面はラックピッチ平面になる.

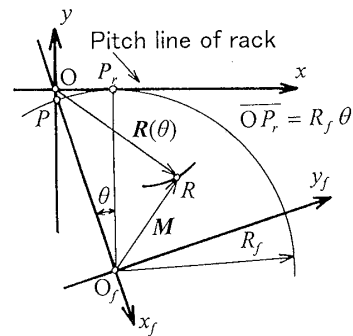


Fig. 7 Expression of the rack tooth profile

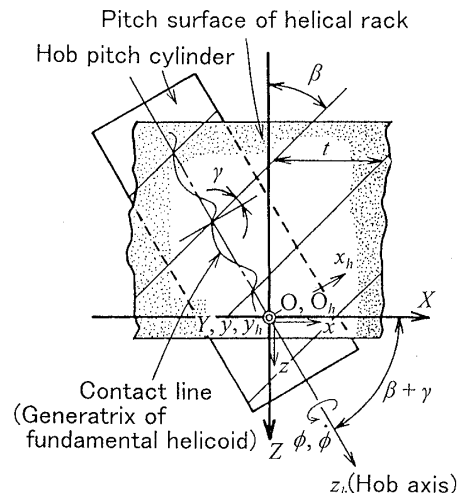


Fig. 8 Relationship between rack and hob

そして、 $\mathbf{R}(\theta)$  を用いてロータピッチ円筒上のねじれ角に相当する角度  $\beta$  をねじれ角とする仮想はすばラック歯面を作る。これを列ベクトル  $\mathbf{R}(\theta, z)$  で表せば

$$\mathbf{R}(\theta, z) = \begin{bmatrix} x(\theta) - z \tan \beta \\ y(\theta) \\ z \end{bmatrix} \dots\dots\dots (6)$$

図8には静止座標系 O-XYZ, ラックピッチ平面, ピッチ平面に接している半径  $H$  のホブピッチ円筒, さらにホブに固着した座標系  $O_h-x_h y_h z_h$  などが示してある。 $z_h$  軸はホブ軸である。 $y_h$  軸はホブ回転角が零のとき Y 軸に一致している。原点  $O_h$  は O-XYZ で  $(0, -H, 0)$  にある。

ねじれ角  $\beta$  は、雌ロータのリードを  $L$  とすれば  $\tan \beta = 2\pi R_f / L \dots\dots\dots (7)$

5. ホブ基礎ねじ面

各ロータに対するホブ基礎ねじ面は仮想はすばラック歯面から求められる。ここでは雄ロータ用ホブ基礎ねじ面について述べる。

雄ロータ用ホブのピッチ円は歯先円に一致している。ピッチ円筒上のリード角は  $\gamma$  であることはすでに述べた。このホブを仮想はすばラックに対して図8に示すように設定する。すなわち、ホブ軸と  $x$  軸とのなす角を  $(\beta + \gamma)$  とする。この状態でホブピッチ円筒はラックピッチ平面と、ホブ基礎ねじ面はラック歯面  $\mathbf{R}(\theta, z)$  とそれぞれ線接触している。

いま、ホブ基礎ねじ面をホブ軸まわりに回転させるとラック歯面は、ホブ基礎ねじ面との接触線位置を変えるが、その形状を変えずに、かみあいながら X 軸方向に移動する。したがって、ホブ基礎ねじ面はラック歯面上に現れるある瞬間の接触線形状から求められる。ラック歯形の X 方向ピッチを  $t$  とし、ホブ基礎ねじ面が角度  $\phi$  (radian) だけその軸まわりに回転したときのラック歯面  $\mathbf{R}(\theta, z)$  を図8の静止座標系 O-XYZ で示すと

$$\mathbf{R}(\theta, z; \phi) = \begin{bmatrix} x(\theta) - z \tan \beta - t\phi/2\pi \\ y(\theta) \\ z \end{bmatrix} \dots\dots\dots (8)$$

ホブがその軸まわりに角速度  $\dot{\phi}$  で回転しているとき、接触線上の点ではラックの速度  $\mathbf{V}_r$  とホブの速度  $\mathbf{V}_h(\theta, z; \phi, \dot{\phi})$  との相対速度はその点におけるラック歯面法線  $\mathbf{N}$  と直交している。すなわち、食違い軸歯車のかみあい条件式である次式を得る。

$$\left. \begin{aligned} & \{ \mathbf{V}_h(\theta, z; \phi, \dot{\phi}) - \mathbf{V}_r \} \cdot \mathbf{N}(\theta) = 0 \\ & \mathbf{V}_h = \dot{\phi} \begin{pmatrix} \cos(\beta + \gamma) \\ 0 \\ \sin(\beta + \gamma) \end{pmatrix} \times \left\{ \mathbf{R}(\theta, z; \phi) - \begin{pmatrix} 0 \\ -H \\ 0 \end{pmatrix} \right\} \\ & \mathbf{V}_r = -\dot{\phi} \begin{pmatrix} t/2\pi \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \\ & \mathbf{N}(\theta) = \frac{\partial \mathbf{R}}{\partial \theta} \times \frac{\partial \mathbf{R}}{\partial z} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (9)$$

これより、かみあい条件を満たす  $z$  が  $z = z(\theta; \phi)$  で求められ、これを式(8)に代入することによって静止座標系 O-XYZ での接触線  $\mathbf{L}$  の式が求められる。

$$\mathbf{L}(\theta; \phi) = \begin{bmatrix} x(\theta) - z(\theta; \phi) \tan \beta - t\phi/2\pi \\ y(\theta) \\ z(\theta; \phi) \end{bmatrix} \dots\dots\dots (10)$$

さて、図8に示したように、ホブにはその軸を  $z_h$  軸とするホブ固着の座標系  $O_h-x_h y_h z_h$  が設定してある。O-XYZ において  $\mathbf{L}(\theta; \phi)$  で示される接触線が現れた瞬間には  $O_h-x_h y_h z_h$  は基準の位置から角度  $\phi$  だけ回転している。さらに  $\mathbf{L}(\theta; \phi)$  はホブ基礎曲面上の線でもある。よって、この  $\mathbf{L}(\theta; \phi)$  を  $O_h-x_h y_h z_h$  で表現すれば、それはその瞬間のホブ基礎ねじ面創成母線  $\mathbf{L}_h$  を示す式となる。

$$\left. \begin{aligned} & \mathbf{L}_h(\theta; \phi) = \begin{bmatrix} \cos \phi & \sin \phi & 0 \\ -\sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ & \times \left\{ \begin{bmatrix} \cos \lambda & 0 & -\sin \lambda \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \lambda & 0 & \cos \lambda \end{bmatrix} \mathbf{L}(\theta; \phi) + \begin{bmatrix} 0 \\ H \\ 0 \end{bmatrix} \right\} \\ & \lambda = \pi/2 - (\beta + \gamma) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

この  $\mathbf{L}_h(\theta; \phi)$  の  $\phi$  を曲面表示パラメータとすると、それはホブ基礎ねじ面の式  $\mathbf{L}_h(\theta, \phi)$  を与える。

6. ホブ切れ刃曲線とブレード加工

ブレードの切れ刃曲線はホブ基礎ねじ面とすくい面との交線として決まる。すくい面(切れ刃面)として含軸断面を選ぶ。これによりすくい面リードは  $\infty$  になる。含軸断面  $\mathbf{S}$  は、 $u, v$  をパラメータとして

$$\mathbf{S}(u, v) = \begin{bmatrix} 0 \\ u \\ v \end{bmatrix} \dots\dots\dots (12)$$

これと  $\mathbf{L}_h(\theta, \phi)$  を等しくおき、 $\mathbf{L}_h(\theta, \phi) - \mathbf{S}(u, v) = 0 \dots\dots\dots (13)$

式(13)より  $u, v, \phi$  を  $\theta$  の関数として求めれば、断面  $S$  上の切れ刃曲線のパラメータ表示式  $\{u(\theta), v(\theta)\}$  を得る。

ブレードの加工には日立精工 [現日立ビアメカニクス(株)] 製 H-CUT 203 Q ワイヤカット放電加工機を用い、切れ刃曲線上の点の座標  $(u, v)$  を入力した。ロータ諸元を表 1 に、ブレードとその加工条件を表 2 に示す。表 2 中の S 29, S 100, S 103 は加工速度、加工面粗さなどを定める使用放電加工機の加工条件記号である。

ところで、2 章で述べたように切れ刃には前逃げ角  $\delta$  と横逃げ角  $\Delta$  が必要であるから、それらを確保するためにワイヤを傾けた。その傾け角は  $\delta=10^\circ$  とした。また、ホブピッチ円筒上のリード角に相当する角度  $\gamma$  は  $2^\circ 16' 52''$  でこれは試作ホブ外径  $2H=250$  mm として次式で計算される。

$$\sin \gamma = R_f \cos \beta / N_f H \dots\dots\dots (14)$$

試作ホブは条数 1 の右ねじれで切れ刃溝数は 10 である。雄ロータ用ホブと雌ロータ用ホブの外径は同じでありブレードの切れ刃形状のみが異なる。ホブ本体は雌・雄ロータ共用できるようにした。10 枚のブレードをホブ本体に組み付けるとき、切れ刃曲線が 1/10 ピッチずつ相対的に位相差が生じるようにした。

試作した雌ロータ用ホブを図 9 に示す。歯切りしたロータを図 10 に示す。雌ロータの材質は FCD 500、雄ロータのそれは S 45 C である。この歯切りにおいては雌・雄ロータとも荒加工したねじ溝をホブ切りで仕上げ加工する要領で行った。ホブのロータ軸方向送

りは 1.5 mm/rev とした。雄ロータホブ切り中「ひびり」の発生はなかったが、比較的大きな切くずが混在していた。切削は異常なく行われた。

歯切りした雌・雄ロータを三次元座標測定機で測定し、その測定値群からロータの割り出し誤差、歯形誤差を検出した<sup>(6)</sup>。その結果、割り出し誤差、歯形誤差は両ロータともそれぞれ最大 10  $\mu$ m,  $\pm 20$   $\mu$ m 程度であった。ホブ切りであるにもかかわらず割り出し誤差が大きかったのは、ブレード刃形誤差および各ブレードの位相差誤差が原因と考えている。

7. 結 言

スクリー圧縮機ロータの歯形設計は、とりもなおさず歯切り工具の設計・製作であるとの観点から、本研究は、まずホブについて考察したものである。

ホブは組立ホブとした。ホブ本体の構造とブレード加工法とに検討を加えた結果、このホブは、ホブ切れ刃面の研ぎ直し後も原理的に切れ刃形状精度が劣化せず、かつホブ外径も変わらないようになっている。次にブレード切れ刃形状を求めるために雌ロータ歯形を数式表示し、ラック歯形、ラック歯面、ホブ基礎ねじ面を求めた。そして、ホブ切れ刃面(すくい面)として含軸断面を選び、切れ刃形状を求めた。また、その形状をもつカット・ブレードをワイヤカット放電加工機で製作し、これをホブ本体に組み付ける形式の組立ホ

Table 1 Dimensions of screw rotor and hob (mm)

	Male	Female
[Rotor]		
Center distance $E$	87.5	
Number of teeth $N_m, N_f$	4	6
Outer dia. $2R_m, 2R_f$	113.8	105.0
Lead $L$	152.0	228.0
[Hob]		
Pitch dia. $2H$	250.0	
Lead angle $\gamma$	2.28100° (2° 17')	
Number of starts	1	
Number of gashes	10	
Gash lead	$\infty$	
End clearance angle $\delta$	10°	

Table 2 Conditions of electric discharge machining

Radius of wire	0.125 mm	
Condition of machining	1st	S29
	2nd	S100
	3rd	S103
Material of blade	SKH55	
Hardness	H <sub>v</sub> 1000	

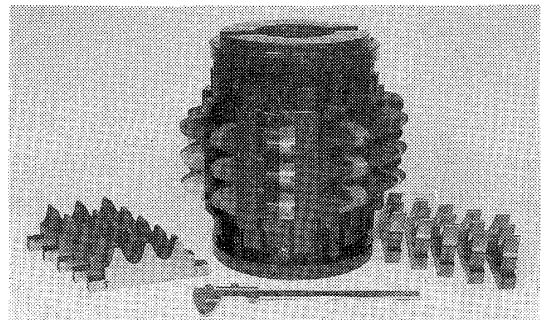


Fig. 9 Trial products of the hob

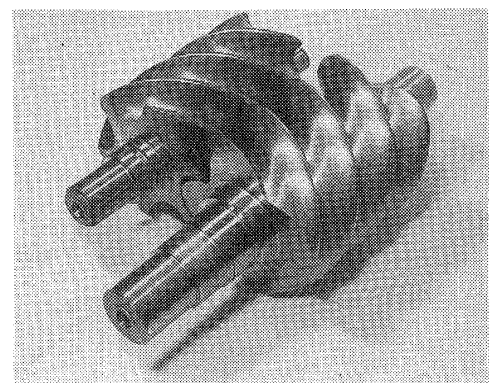


Fig. 10 Rotors made by hobbing

ブを試作した。さらに試作ホブでロータを歯切りし、提案のホブの実用性を確認した。

### 文 献

- (1) 田村久司・ほか3名, 機論, 62-597, C(1996), 2005-2011.
- (2) 両角宗晴, ねじ解析理論とその応用, (1985), 110, 信教印
- (3) 中野嘉邦・ほか3名, 精密機械, 47-5 (1981), 579-584.
- (4) 西田知照・ほか2名, 精密工学会誌, 52-6 (1986), 1061-1067.
- (5) 酒井高男, 機構学大要, (1973), 16-17, 養賢堂.
- (6) 劉宗先・ほか2名, 機論, 掲載予定(論文 No. 99-0432).