CNC 歯車測定機によるインボリュートピニオンカッタの歯面測定法*

大町 竜哉^{*1}, 三留 謙一^{*1}Tooth Surface Measurement of Involute Pinion-Type Cutter
by CNC Gear-Measuring Machine

Tatsuya OHMACHI and Ken-ichi MITOME

The measurement of an involute pinion-type cutter by CNC gear-measuring machine is newly developed. In this method, a pinion-type cutter is regarded as a conical involute gear. The conical involute gear can be measured as a helical involute gear by introducing "equivalent helical gear" concept. Thus, the tooth surface of the involute pinion-type cutter can be measured as the tooth surface of the helical involute gear by CNC gear-measuring machine. Experiments demonstrate that this method gives accurate results and has practical utility. Finally, tooth surface analysis of the pinion-type cutter is also presented.

Key Words: Involute Pinion-Type Cutter, Tooth Surface Measurement, Conical Involute Gear, CNC Gear-Measuring Machine, Equivalent Helical Gear, Gear, Machine Element

1. 緒 言

ピニオンカッタの基本歯形は厳密にはインボリュートヘリコイドではない。しかし一般には、製作しにくい基本歯形の代わりに、製作しやすいインボリュートヘリコイドを近似基本歯形として採用し、ピニオンカッタを設計製作している。そこで著者の一人は、ピニオンカッタを円すい形インボリュート歯車として扱うことにより、このカッタの容易な設計製作システムを提案した⁽¹⁾。

ピニオンカッタの歯面測定は、これまで機械創成運動方式の歯車測定機によってのみなされており、現在多用されている CNC 歯車測定機では不可能であった。しかし、CNC 歯車測定機でこの歯面を測定できれば、ピニオンカッタの設計・製作の過程を著しく短縮できる。そこで著者らはピニオンカッタを CNC 歯車測定機で測定する新しい方法を開発した。この新しい測定法は著者らが提案した円すい形インボリュート歯車の測定システム⁽²⁾を応用したものである。本測定法はピニオンカッタの歯面測定を短時間でこなせる

ばかりでなく、ピニオンカッタが設計どおりに製作されていない場合の製作諸元の修正をも可能にする。

なお、以下では円すい形インボリュート歯車を簡略に円すい形歯車と呼ぶ。

2. 歯面測定の概要

CNC 歯車測定機によってピニオンカッタの歯面を測定する方法の概要を図 1 に示す。図 1 中の矢印は測

Fig. 1 Outline of measurement

* 原稿受付 1998 年 6 月 22 日。

^{*1} 正員, 山形大学工学部 (☎ 992-8510 米沢市城南 4-3-16).
E-mail: ohmachi@mitdes.yz.yamagata-u.ac.jp

定手順を示している。

ピニオンカッタの近似基本歯形は円すい形歯車の歯形とみなされる⁽¹⁾。まず、手順1においてピニオンカッタの設計諸元から円すい形歯車としてのピニオンカッタの諸元を得る。ところで、円すい形歯車の歯面はインボリュートヘリコイドであり、この歯面と同じインボリュートヘリコイドをもつはすば歯車を相当はすば歯車と呼ぶ⁽⁹⁾。手順2ではピニオンカッタの相当はすば歯車の基本諸元を求める。こうすることにより、手順3においてピニオンカッタの歯面をはすば歯車の歯面としてCNC歯車測定機で測定することができる。

3. 円すい形歯車としてのピニオンカッタ

図2にピニオンカッタによる歯切りを示す⁽⁶⁾。歯車

Fig. 2 Gear cutting by pinion-type cutter

Fig. 3 Rack to generate conical involute gear

Fig. 4 Tooth surfaces of conical involute gear

1は歯切りされる歯車、歯車2はピニオンカッタによって実現される仮想創成歯車である。

前報⁽¹⁾で述べたとおり、ピニオンカッタの近似基本歯形は円すい形歯車の歯形とみなされる。円すい形歯車は図3に示すように、ラックの中心面が歯車軸に対して角 δ だけ傾けられたラックによって創成された歯車である。図4にこの歯車の歯面を拡大して示す。円すい形歯車は左右の歯面ともインボリュートヘリコイドであるが、一般に右歯面は左歯面と異なっている⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

円すい形歯車としてのピニオンカッタ歯面の設計では、まず被削歯車1の諸元を以下のとおり与える。

歯数 : z_1
 歯直角モジュール : m_n
 歯直角圧力角 : α_n
 ピッチ円筒ねじれ角 : β_1

仮想創成歯車2の諸元は以下のとおり得られる。

歯数
 (ピニオンカッタ歯数) : z_2
 歯直角モジュール : m_n (歯車1のそれと同じ)
 歯直角圧力角 : α_n (歯車1のそれと同じ)
 ピッチ円筒ねじれ角 : $\beta_2 = -\beta_1$
 正面モジュール : $m_s = m_n \sec \beta_2$
 正面圧力角 : $\alpha_s (\tan \alpha_s = \tan \alpha_n \sec \beta_2)$
 ピッチ直径 : $d_2 = z_2 m_2$
 基礎円直径 : $d_{g2} = z_2 m_2 \cos \alpha_s$

ピニオンカッタの設計パラメータを以下のとおり与える。

右歯面ピッチ円筒側逃げ角 : $\varepsilon_r, (\varepsilon_r > 0)$
 左歯面ピッチ円筒側逃げ角 : $\varepsilon_\ell, (\varepsilon_\ell > 0)$
 歯直角方向すくい角 : $\gamma, (\gamma > 0)$
 刃付き角 : $\sigma, (\beta_2 > 0; \sigma > 0, \beta_2 < 0; \sigma < 0)$

これより、ピニオンカッタの円すい形歯車としての歯車諸元は以下のように求められる。

正面モジュール : $m_s = m_n \sec \beta_2$
 右歯面正面圧力角 : α_{cr}
 左歯面正面圧力角 : α_{cl}
 右歯面ピッチ円筒ねじれ角 : $\beta_r = \beta_2 - \varepsilon_r$
 左歯面ピッチ円筒ねじれ角 : $\beta_\ell = \beta_2 + \varepsilon_\ell$
 歯数 : z_2

ただし、 α_{cr} 、 α_{cl} は次式で与えられる⁽⁷⁾。

$$\tan \alpha_{cr} = \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta_2} + \left\{ \tan \gamma \cos \sigma - \frac{\tan \alpha_n \sin \sigma}{\cos (\beta_2 - \sigma)} - \tan \gamma \sin \sigma \tan (\beta_2 - \sigma) \right\} (\tan \beta_2 - \tan \beta_r)$$

$$\dots\dots\dots(1)$$

$$\tan \alpha_{cl} = \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta_2} + \left\{ \tan \gamma \cos \sigma - \frac{\tan \alpha_n \sin \sigma}{\cos (\beta_2 - \sigma)} \right. \\ \left. - \tan \gamma \sin \sigma \tan (\beta_2 - \sigma) \right\} (\tan \beta_e - \tan \beta_2) \\ \dots\dots\dots(2)$$

4. ピニオンカッタを創成する ラックの基本諸元

3章では、ピニオンカッタの円すい形歯車としての諸元を得た。本章ではこのピニオンカッタを創成するラックの基本諸元を求める。

図5に円すい形歯車を創成するラックと歯車のピッチ円筒を示す⁽⁴⁾。ラックは歯直角歯形とラック中心面によって構成される。このラックの諸元を、歯直角モジュール m_c 、および圧力角 α_{0r} 、 α_{0l} 、ラック中心面のねじれ角 ψ 、および創成円すい角 δ とする。また $t_c = \pi m_c$ とする。

このラックによって創成される円すい形歯車の歯車諸元は次式によって求められる⁽⁴⁾。

$$\tan \alpha_{cr} = \tan \alpha_{0r} \cos \delta \sec \psi + \sin \delta \tan \psi \\ \dots\dots\dots(3)$$

$$\tan \alpha_{cl} = \tan \alpha_{0l} \cos \delta \sec \psi - \sin \delta \tan \psi \\ \dots\dots\dots(4)$$

$$\tan \beta_r = \tan \psi \cos \delta - \tan \alpha_{0r} \sin \delta \sec \psi \\ \dots\dots\dots(5)$$

$$\tan \beta_l = \tan \psi \cos \delta + \tan \alpha_{0l} \sin \delta \sec \psi \dots\dots(6)$$

Fig. 5 Generating rolling cylinder of involute pinion-type cutter and generating rack

$$m_s = m_c \sec \psi \dots\dots\dots(7)$$

また、ピッチ円筒直径 d_b および基礎円筒直径 d_{gr} 、 d_{gl} は次式のとおり求められる。

$$d_b = m_s z = m_c z \sec \psi \dots\dots\dots(8)$$

$$d_{gr} = m_s z \cos \alpha_{cr} = m_c z \cos \alpha_{cl} \sec \psi \dots\dots(9)$$

$$d_{gl} = m_s z \cos \alpha_{cl} = m_c z \cos \alpha_{cl} \sec \psi \dots\dots(10)$$

式(3)～(7)においては、角 α_{cr} 、 α_{cl} 、 β_r 、 β_l および正面モジュール m_s は3章で求められており、ラックの基本諸元 m_c 、 α_{0r} 、 α_{0l} 、 ψ 、 δ が未知数である。これらは五元連立方程式を解くことにより、次式として求められる。

$$\left. \begin{aligned} \tan \psi &= \frac{\tan \alpha_{cr} \tan \beta_l + \tan \alpha_{cl} \tan \beta_r}{\sqrt{(\tan \alpha_{cr} + \tan \alpha_{cl})^2 + (\tan \beta_l - \tan \beta_r)^2}} \\ \tan \delta &= (\tan \beta_l - \tan \beta_r) / (\tan \alpha_{cr} + \tan \alpha_{cl}) \\ \tan \alpha_{0r} &= \tan \alpha_{cr} \sec \delta \cos \psi - \sin \psi \tan \delta \\ \tan \alpha_{0l} &= \tan \alpha_{cl} \sec \delta \cos \psi + \sin \psi \tan \delta \\ m_c &= m_n \cos \psi / \cos \beta_2 \end{aligned} \right\} \\ \dots\dots\dots(11)$$

以上によりピニオンカッタを創成するラックの基本諸元 m_c 、 α_{0r} 、 α_{0l} 、 ψ 、 δ 、 z を得た。

5. 相当はすば歯車としての ピニオンカッタ

円すい形歯車の右歯面と同じインポリュートヘリコイドをもつはすば歯車を考え、これを右歯面相当はすば歯車と呼ぶ(図6)。そしてこのはすば歯車の基本諸元を求める。こうすることにより、ピニオンカッタの近似基本歯形の右歯面を、はすば歯車の歯面としてCNC歯車測定機で測定することができる。左歯面も同じようにして測定できる。

5・1 円すい形歯車としてのピニオンカッタの右歯面相当はすば歯車の基本諸元 はすば歯車を創成するラックの創成円すい角 δ は $\delta = 0$ である。以降、添字 ER をもって右歯面相当はすば歯車を意味するも

Fig. 6 Equivalent helical gears

のとする。右歯面相当はすば歯車を創成するラックの歯直角モジュール m_{ER} 、歯直角圧力角を α_{ER} 、ラック中心面における歯すじのねじれ角を ϕ_{ER} およびこの歯車の歯数を z_{ER} とする。以下、これらを求める。

右歯面相当はすば歯車の諸元は、4章において $\delta=0$ 、 $m_c=m_{ER}$ 、 $\phi=\phi_{ER}$ および $z_2=z_{ER}$ とおいて得られる。正面圧力角を α_{SER} 、ピッチ円筒ねじれ角を β_{ER} 、基礎円筒ねじれ角を β_{GER} 、ピッチ円筒直径を d_{ER} 、基礎円筒直径を d_{GER} とおくと、これらはそれぞれ次式のとおりに求められる。

$$\tan \alpha_{SER} = \tan \alpha_{ER} \sec \phi_{ER} \quad \cdots \cdots (12)$$

$$\tan \beta_{ER} = \tan \phi_{ER}, \beta_{ER} = \phi_{ER} \quad \cdots \cdots (13)$$

$$\tan \beta_{GER} = \tan \phi_{ER} \cos \alpha_{SER} \quad \cdots \cdots (14)$$

$$d_{ER} = m_{ER} z_{ER} \sec \phi_{ER} \quad \cdots \cdots (15)$$

$$d_{GER} = d_{ER} \cos \alpha_{SER} \quad \cdots \cdots (16)$$

図6に示す相当はすば歯車の右歯面が、円すい形歯車としてのピニオンカッタの右歯面と同じインポリュートヘリコイドになためには、それぞれの基礎円筒直径および基礎円筒ねじれ角が等しくなければならない。すなわち、以下の条件式を満たすことである。

$$d_{GER} = d_{gr} \quad \cdots \cdots (17)$$

$$\beta_{GER} = \beta_{gr} \quad \cdots \cdots (18)$$

式(17)に式(9)および(16)を代入して次式を得る。

$$m_{ER} z_{ER} \cos \alpha_{SER} \sec \phi_{ER} = m_c z_2 \cos \alpha_{cr} \sec \phi \quad \cdots \cdots (19)$$

また、式(18)と(14)より次式を得る。

$$\tan \phi_{ER} \cos \alpha_{SER} = \tan \beta_{gr} \cos \alpha_{cr} \quad \cdots \cdots (20)$$

式(19)と(20)より、未知数 m_{ER} 、 α_{ER} 、 ϕ_{ER} および z_{ER} を決定する。ここでは、以下の条件を与える。

$$m_{ER} = m_c \quad \cdots \cdots (21)$$

$$z_{ER} = z_2 \quad \cdots \cdots (22)$$

これらと式(19)、(20)より、角 ϕ_{ER} 、 α_{ER} は次のように求められる。

$$\sin \phi_{ER} = \sin \phi \cos \delta - \tan \alpha_{0r} \sin \delta \quad \cdots \cdots (23)$$

$$\alpha_{ER} = \alpha_{0r} \quad \cdots \cdots (24)$$

以上により、円すい形歯車としてのピニオンカッタの右歯面相当はすば歯車の基本諸元 m_{ER} 、 α_{ER} 、 ϕ_{ER} および z_{ER} を得た。

5・2 円すい形歯車としてのピニオンカッタの左歯面相当はすば歯車の基本諸元 添字 EL をもって左歯面相当はすば歯車を意味するものとする。左歯面相当はすば歯車を創成するラックの歯直角モジュール m_{EL} 、歯直角圧力角を α_{EL} 、ラック中心面における歯すじのねじれ角を ϕ_{EL} およびこの歯車の歯数を z_{EL} とする。これらは5・1節と同様にして以下のように求められる。

Table 1 Dimensions of imaginary generating gear 2

No.	m_n	α_n	β_2	z_2
1	3	20°	0°	42
2	3	20°	20.45°	28
3	3	20°	29.94°	40
4	3	20°	29.94°	40

Table 2 Design parameters of pinion-type cutters

No.	ε_r	ε_ℓ	γ	σ
1	2°	2°	5°	0°
2	2°	2°	5°	20.45°
3	2°	2°	5°	29.95°
4	2°	2°	5°	22.00°

Table 3 Dimensions of pinion-type cutters as conical involute gears

No.	m_s	α_{cr}	α_{cl}	β_r	β_ℓ	z_2
1	3	20.15°	20.15°	-2°	2°	42
2	3.202	21.14°	21.65°	18.45°	22.45°	28
3	3.462	22.55°	23.38°	27.94°	31.94°	40
4	3.462	22.65°	23.28°	27.94°	31.94°	40

Table 4 Basic dimensions of pinion-type cutters as conical involute gears

No.	m_c	α_{0r}	$\alpha_{0\ell}$	ψ	δ	z_2
1	3	20.24°	20.24°	0°	5.435°	42
2	3.002	18.22°	22.26°	20.36°	5.798°	28
3	3.004	17.11°	23.36°	29.80°	6.266°	40
4	3.004	17.21°	23.27°	29.81°	6.266°	40

$$m_{EL} = m_c \quad \cdots \cdots (25)$$

$$\alpha_{EL} = \alpha_{0\ell} \quad \cdots \cdots (26)$$

$$\sin \phi_{EL} = \sin \phi \cos \delta + \tan \alpha_{0\ell} \sin \delta \quad \cdots \cdots (27)$$

$$z_{EL} = z_2 \quad \cdots \cdots (28)$$

6. ピニオンカッタの歯面測定

相当はすば歯車の諸元をもとにして、CNC歯車測定機によりピニオンカッタの円すい形歯車としての歯形誤差曲線、歯すじ方向誤差曲線を求める。

表1に試験ピニオンカッタによって実現される仮想創成歯車2の諸元を示す。また、表2に試験ピニオンカッタの設計パラメータを示す。

表3に試験ピニオンカッタの円すい形歯車としての歯車諸元を、表4にピニオンカッタの円すい形歯車としての基本諸元を示す。

表5、6に表4から計算したピニオンカッタの右歯面および左歯面相当はすば歯車の基本諸元を示す。

図7に試験ピニオンカッタ1、3～5の歯形誤差曲線および歯すじ方向誤差曲線を示す。これらは表5、6

Table 5 Basic dimensions of equivalent helical gear for right tooth surface

No.	m_{ER}	α_{ER}	ψ_{ER}	z_{ER}
1	3	20.24°	-2.001°	42
2	3.002	18.22°	18.23°	28
3	3.004	17.12°	27.41°	40
4	3.004	17.21°	27.41°	40

Table 6 Basic dimensions of equivalent helical gear for left tooth surface

No.	m_{EL}	α_{EL}	ψ_{EL}	z_{EL}
1	3	20.24°	2.001°	42
2	3.002	22.26°	22.79°	28
3	3.004	23.36°	32.76°	40
4	3.004	23.27°	32.75°	40

の値を入力し、ピニオンカッタをはずば歯車として測定したものである。

7. ピニオンカッタの歯面解析

図7のデータはピニオンカッタが設計どおりには製作されていないことを示している。その理由は実際にピニオンカッタを創成した仮想創成ラックの諸元が、円すい形歯車としてピニオンカッタを創成するラックの諸元の設計値と一致していないためである。以下、円すい形歯車としてのピニオンカッタを創成する仮想創成ラックの諸元、すなわちピニオンカッタの創成ラックの製作値を求める方法を提示する。

7.1 相当はずば歯車の歯面解析 歯形誤差曲線および歯すじ方向誤差曲線の傾斜は、それぞれ基礎円筒直径および基礎円筒ねじれ角に誤差があることを示している。これは相当はずば歯車の基本諸元に誤差があるためである。

相当はずば歯車を一般的に論ずるために、右および左歯面を示す添字 R および L をここでは省略する。相当はずば歯車の基本諸元 m_E , α_E , ψ_E , z_E において、 $m_E = m_c$ であり、工具に与えられるので誤差は少ない。 z_E は $z_E = z_2$ であり、整数である。ゆえに、基礎円筒直径 d_{gE} および基礎円筒ねじれ角 β_{gE} の誤差 Δd_{gE} および $\Delta \beta_{gE}$ は以下のように導出される。

式(12)および(16)より、次式を得る。

$$d_{gE} = \frac{m_c z_2}{\sqrt{\cos^2 \psi_E + \tan^2 \alpha_E}} = f_1(m_c, \alpha_E, \psi_E, z_2) \quad (29)$$

$$\Delta d_{gE} = \frac{\partial f_1}{\partial \alpha_E} \Delta \alpha_E + \frac{\partial f_1}{\partial \psi_E} \Delta \psi_E \quad (30)$$

ここに

Fig. 7 Profile and lead errors of test pinion-type cutters

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial f_1}{\partial \alpha_E} &= \frac{-m_c z_2 \tan \alpha_E (1 + \tan^2 \alpha_E)}{\sqrt{(\cos^2 \psi_E + \tan^2 \alpha_E)^3}} \\ \frac{\partial f_1}{\partial \psi_E} &= \frac{m_c z_2 \sin \psi_E \cos \psi_E}{\sqrt{(\cos^2 \psi_E + \tan^2 \alpha_E)^3}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (31)$$

角 β_{gE} は次式で表される。

$$\beta_{gE} = \tan^{-1} \left(\frac{\sin \psi_E}{\sqrt{\cos^2 \psi_E + \tan^2 \alpha_E}} \right) = f_2(\alpha_E, \psi_E) \quad (32)$$

$$\Delta\beta_{gE} = \frac{\partial f_2}{\partial \alpha_E} \Delta\alpha_E + \frac{\partial f_2}{\partial \phi_E} \Delta\phi_E \dots\dots\dots (33)$$

ここに

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial f_2}{\partial \alpha_E} &= \frac{-\sin \phi_E \tan \alpha_E}{\sqrt{\cos^2 \phi_E + \tan^2 \alpha_E}} \\ \frac{\partial f_2}{\partial \phi_E} &= \frac{\cos \phi_E}{\sqrt{\cos^2 \phi_E + \tan^2 \alpha_E}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (34)$$

上式において右歯面の場合には $\alpha_E = \alpha_{0r}$, $\phi_E = \phi_{Er}$, 左歯面の場合には $\alpha_E = \alpha_{0l}$, $\phi_E = \phi_{El}$ である。

例として試験ピニオンカッタ 4 の右歯面について Δd_{gE} と $\Delta\beta_{gE}$ を計算してみると次式のようになる。

$$\Delta d_{gEr} = -56.54 \Delta\alpha_{Er} + 68.08 \Delta\phi_{Er} \dots\dots\dots (35)$$

$$\Delta\beta_{gEr} = -0.1516 \Delta\alpha_{Er} + 0.9442 \Delta\phi_{Er} \dots\dots\dots (36)$$

式(36)によれば $\Delta\beta_{gEr}$ に支配的影響を与えるのは $\Delta\phi_{Er}$ である。そこではじめに、角 α_{Er} と ϕ_{Er} の設計値を測定機に与えて測定する。このとき歯すじ方向誤差曲線が傾斜しているならば、角 ϕ_{Er} だけを設計値から少しずつ変えて行き、歯すじ方向誤差曲線が水平になる ϕ_{Er} を求める。次に ϕ_{Er} はこの値に固定し、角 α_{Er} だけを少しずつ変えて再度測定する。そして歯形誤差曲線が水平になる α_{Er} を求める。このとき歯すじ方向誤差曲線が傾斜してくるならば、以上の測定手順を再度繰返す。そして最終的に、歯形および歯すじ方向誤差曲線がともに水平になる角 α_{Er} と ϕ_{Er} を決定する。図 8 にこうして得られた歯形および歯すじ方向誤差曲線を示す。左歯面も同様に測定して α_{El} と ϕ_{El} を求めることができる。

7.2 仮想創成ラックの基本諸元の決定 相当はすば歯車の基本諸元の測定値 m_{Er} , α_{Er} , ϕ_{Er} , m_{El} , α_{El} , ϕ_{El} を用いて、ピニオンカッタを創成した実際のラックの基本諸元 m_c , α_{0r} , α_{0l} , ϕ , δ を求める。式(21), (24)~(26)によって, m_c , α_{0r} , α_{0l} を

$$\left. \begin{aligned} m_c &= m_{Er} = m_{El} \\ \alpha_{0r} &= \alpha_{Er} \\ \alpha_{0l} &= \alpha_{El} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (37)$$

として決定する。次に角 ϕ と δ は式(23)と(27)より次式として求められる。

$$\sin \delta = \frac{\sin \phi_{El} - \sin \phi_{Er}}{\tan \alpha_{0r} + \tan \alpha_{0l}} \dots\dots\dots (38)$$

$$\sin \phi = \sin \phi_{Er} \sec \delta + \tan \alpha_{0r} \tan \delta \dots\dots\dots (39)$$

ピニオンカッタ 5 を創成したラックの基本諸元は次のとおりである。

$$m_c = 3.004, \alpha_{0r} = 17.1895^\circ, \alpha_{0l} = 23.1335^\circ$$

$$\phi = 29.7712^\circ, \delta = 6.2721^\circ$$

以上により、歯車研削盤上に実現された仮想創成ラックの諸元を得た。この結果、歯車研削盤上の製作諸元をすみやかに修正して設計諸元に一致させることが

Fig. 8 Profile and lead errors of equivalent helical gears for test pinion-type cutters

可能となった。

8. 結 言

(1) CNC 歯車測定機による円すい形インポリュート歯車の測定法を応用して、ピニオンカッタの測定法を開発した。これにより、はすば歯車の測定と同程度の迅速さで、ピニオンカッタの歯面を測定することが可能となった。

(2) さらに、この測定法に基づくピニオンカッタの歯面解析法をも開発した。これによりピニオンカッタが設計どおりに製作されていない場合の製作諸元の修正をも可能にした。

(3) ピニオンカッタの設計・製作システムはカッタの形状設計、歯切り法、研削法、および測定法から構成されているが、本研究はこのシステムを完結させるものである。

なお、本研究には本学の石毛厚史卒業研究生が参加した。また実験には太陽機械製作所の協力をいただいた。記して感謝の意を表する。

文 献

- (1) 三留謙一, 円すい形インボリュート歯車の研究 (第2報,

インボリュートピニオンカッタの設計・製作システム), 機論, **48**-430, C(1982), 860-867.

- (2) 三留謙一・藤田剛, すぐばインボリュートピニオンカッタのオーバーボール法の開発, 機論, **60**-569, C(1994), 291-296.
- (3) 三留謙一・後藤徹・上田武司, CNC 歯車測定機による円すい形インボリュート歯車の歯面測定法, 機論, **62**-595, C(1996), 1087-1092.
- (4) Mitome, K., Table Sliding Taper Hobbing of Conical Gear Using Cylindrical Hob. Part 2: Hobbing Of Conical Involute Gear, *Trans. ASME, J. Mech. Des.*, **103**-4(1981), 452-455.
- (5) 三留謙一, 円すい形インボリュート歯車の研究 (第1報, 設計および製作法), 機論, **48**-430, C(1982), 852-859.
- (6) 新莊謹一・藤井康治, はすば歯車型カッタ (歯車型カッタ歯形の研究, 第3報), *8*(1942)32, N-185.
- (7) 歯車便覧編集委員会, 歯車便覧, (1962), 939, 日刊工業新聞社.