

氏 名	こ じま まさ かず 小 島 昌 一
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭 和 5 0 年 6 月 4 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 4 4 年 3 月 金沢大学大学院工学研究科機械工学専攻修士課程 修了
学 位 論 文 題 目	ギヤスカイピングに関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 酒井 高男    東北大学教授 藤井 康治 東北大学教授 戸部 俊美    東北大学教授 高梨 三郎 東北大学教授 植川 武男

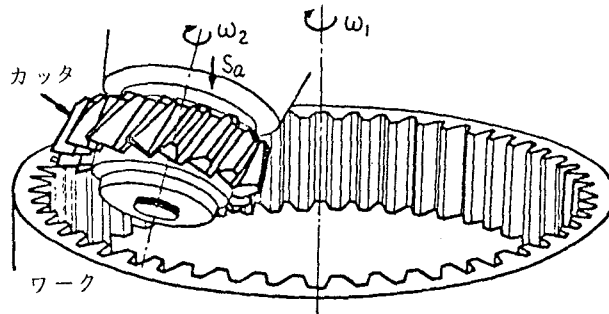
## 論 文 内 容 要 旨

### 1 緒 論

ギヤスカイピングは図に示すように、カッタ軸と被削歯車軸が交らず、さらに平行でない状態で加工する歯切法である。カッタと被削ブランクをおのおのの軸のまわりに回転させカッタを被削歯車軸方向に送り、歯車を削り出すことができる。舞工具の 2 径数的運動による空間歯切法と考えることができる。カッタヘリコイド上の切刃線は空間トロコイドを描き運動するので、カッタと被削歯形の幾何学的な関係について直観的な見通しは得難い。

ギヤスカイピングでは、歯車形削法と同じようにピニオン型工具を用いているが、ホブ切りに似た連続切削が行われ、高い加工能率が得られる。歯車形削法のピニオン型工具が往復動型切削

であることとくらべ，ギヤスカイピングは衝撃の少い加工法といえよう。ピニオン型工具を用いることで，ホブにくらべ工具の製造が容易かつ安価である。また歯車形削法の場合と異り，カッタのネジレ角は被削ネジレ角とは独立に決定することができ，はずば歯車の加工でもヘリカルガ



ギヤスカイピング

イドを必要としない。ここ数年来，内歯歯車生産で高能率な加工法として利用が始まったものである。

しかし，ギヤスカイピングは空間歯切法に属し，カッタと被削歯車の歯形の関係は簡単でなく，ギヤスカイピング実施上での障害となってきた。従来は実機を用いた試削をもとに試行錯誤によりカッタ設計や加工条件の決定が行われてきた。

ギヤスカイピングは歯車歯形論の立場から見ると，直接創成法ではない，かつ歯車形削法の場合と異り媒介歯面の存在を考慮することができないので間接創成法に属するわけでもなく，2径数曲面のフライス切りの性格をもつ成形加工に近いものと考えねばならない。カッタ設計のむづかしさはここに根源を有し，厳密な歯形幾何に基いた計算が必要である。本研究ではギヤスカイピングのカッタ歯形と被削歯形の関係について，実機を用いた実験結果を踏まえ歯車歯形論に基き解析を実施した。

## 2 ネジ曲面のスカイピングに関する基礎解析

本研究の歯形解析はカッタ設計過程と被削歯形解析過程との2過程よりなる。

カッタ設計過程では，カッタと被削歯車の相対運動と被削歯車歯面の幾何形状とを与えて定まる工具系の曲面を仮想歯車歯面と名づける。工具切刃線はこの仮想歯車歯面上に定義する。ついで工具の製作容易の条件を考慮してカッタの最適設計諸元を決定する。被削歯形解析過程はカッタ設計過程の逆行程である。カッタ切刃線の形状がわかっている場合にスカイピングを実施して求まる被削歯形を算出し，被削歯形の精度評価を行う。

さて被削歯面と仮想歯車歯面との接触点を  $p \{ r_1 \}$  とする。各歯面上の点  $p$  における速度を  $v_1$ ，

$v_2$  とする。相対速度は  $w = v_2 - v_1$  である。接触点における 2 歯面の共通法線ベクトル  $n$  は次式を満足する。

$$w \cdot n = 0 \quad (1)$$

一方、被削ネジ曲面のネジ速度場による表示を  $w_1$  (換算刻ミ  $h_1$ ) とすれば次式が成立っている。

$$w_1 \cdot n = 0$$

そこで共通法線は次式をもって定義される。

$$n = w_1 \times w / \sqrt{(w_1 \times w)^2} \quad \text{ここに} \quad w_1 \times w \neq 0$$

さらに接触点を通る歯面上の任意の線素について、その接線ベクトルを  $dr$  として次式が成立っている。

$$n \cdot dr = 0$$

そこでギヤスカイピングの機構学的必要条件式は次の様にも表現できる。

$$[w_1 \ w \ dr] = 0 \quad (2)$$

カッタ設計過程では、与えられた被削歯面について式 (1) を満足するカッタ系内の曲面が仮想歯車歯面である。この仮想歯車を面工具として用いれば、カッタを被削歯スジ方向の送りと与えれば被削歯面の加工が可能となる。すなわち、工具切刃線は被削空間に切刃軌跡面を形成する。この軌跡面を被削ネジレに沿って移動させたときの特性線は被削歯面上にある。被削歯形解析過程では工具切刃線が既知であるから、切刃線の接線ベクトルを  $dr$  にとり、式 (2) を用いる。

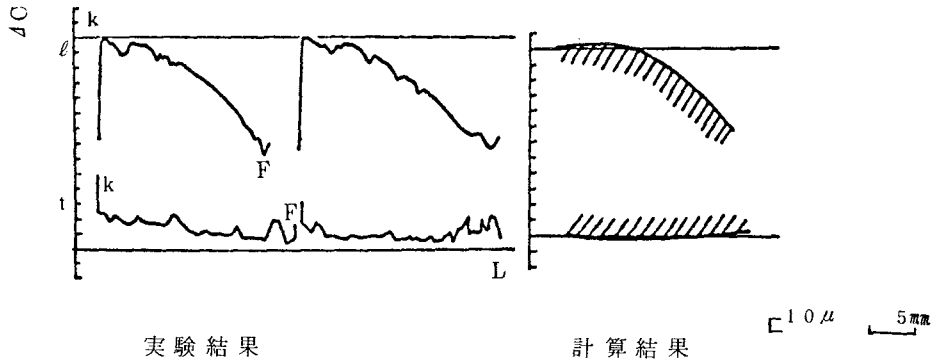
その他ギヤスカイピングのカッタ設計で基本的な問題を扱う。これが本論文第 2 章にあたる。

### 3 インボリュート内歯平歯車加工への適用

現在用いられているギヤスカイピング法はほとんどがインボリュート内歯平歯車の生産である。このインボリュート内歯平歯車スカイピングについてカッタ切刃線の決定とインボリュートヘリコイドによるカッタの最適設計、およびそのカッタを用いた場合に得られる被削歯形の精度の評価を実施する。

図に例示のごとく、計算を実施して求まる歯形とスカイピングの実験により得られた歯形とはよい一致をみた。またインボリュートヘリコイドを用いた最適仕様のカッタにより高い被削歯形精度を保証し得る。その際従来の実機を用いた試行錯誤によるカッタ設計に代り、厳密な歯形幾何に基く計算が有用である。さらに設計の基準点をオフセットすることにより、前逃角が横逃角をわずかかあるいは全然与えないギヤ型のカッタの利用が可能である。

これが本論文、第 3 章の部分に相当する。



実験結果	計算結果
$\Delta C$ : インボリュート歯形誤差 $\ell$ : リーディング側 $k$ : 歯先 被削歯車仕様 : m 3, 歯数 72	$L$ : 弧長 $t$ : トレーリング側 $F$ : 歯元

被削歯形測定例

#### 4 インボリュート内歯はすば歯車加工への適用

円すいすくい面のスカイピングカッタを用いるインボリュート内歯はすば歯車スカイピングにつきカッタの最適設計とそのカッタを用いた場合に得られる被削歯形につき解析を実施した。これが本論文第4章の部分に相当する。

#### 5 歯形計算のアルゴリズムとその構成

第3, 4章の歯形幾何の取扱いをコンピュータ・ソフトウェアシステムに構成し, FORTRAN IVによりプログラムを作成した。その構成と具体的な適用例につき第5章で述べた。

#### 6 ギヤスカイピングの工業的問題について

実機を用い内歯平歯車スカイピングを実施し, 従来の歯車形削法との対比を含め, ギヤスカイピングの工業的な問題につき考えた。これが本論文, 第5章の部分に相当する。

#### 7 結 論

以上, 本論文の要旨を述べたが, この研究の主なる結果を列举すれば次のとおりである。

- (1) 食違いかみあいをなす歯車歯形の理論を基礎に, ギヤスカイピングのカッタ設計と被削歯形の算出過程につき論じた。
- (2) 歯形計算結果と現用のギヤスカイピング機による試削結果が良い一致をみることを示した。

このことより、加工中の弾性変形、熱変形などの及ぼす誤差は2次的微小量と考えられる。

(3) ギヤスカイピングは自由度の高い空間歯切法であるが、本研究で示した厳密な歯形計算に基きカッタの最適設計が最適セッティング条件を決定することにより、十分高い精度を有する被削歯車を加工することが可能である。このためのコンピュータ・ソフトウェアシステムの構成につき述べた。

(4) 食違いかみあいの自由度の中で現用形式のギヤスカイピングがその特別な場合 ( $B_s = 0$ ) であることを示し、カッタのオフセット点において逃角の無いあるいはわずかな逃げ角を有するカッタの設計と使用が可能であることを述べた。逃げ角のないギヤ型カッタの場合、すくい面再研削後も切刃形状は変化しない。

(5) インボリュート内歯歯車スカイピングに用いるカッタをインボリュートヘリコイドで最適設計するためのコンピュータプログラムを作成し、被削歯形精度につき検討を加えた。従来の実機を用いた試行錯誤によるカッタ設計や、修正インボリュートヘリコイドを用いるカッタ製法に代り本研究で示した方法は極めて有効な手段である。

(6) スカイピングカッタの切刃線は舞工具として被削空間内を運動する。このカッタの実効の逃角とカッタに与えるべき前2番角を算出した。カッタの設計条件、加工時のセッティング条件を変更することでカッタの逃角を調整することが可能である。

(7) 現用のスカイピング機を用い内歯歯車スカイピングを実施し、加工精度や工具の耐久性、経済性につき検討を加えた結果、この方法が内歯歯車の生産に用いて仕上加工も可能な高効率加工法であることを述べた。

これらの考察より、ギヤスカイピングのカッタと被削歯車の歯形の関係が明らかとなり、従来の実機による試行錯誤に代って、歯形計算をもとにカッタ設計とセッティング条件との最適化を実施することで、高効率なスカイピングを十分に高精度な歯切法として利用していくことができると結論する。

御指導賜った酒井高男教授ならびに御助言いただきました藤井康治教授、戸部俊美教授、高梨三郎教授、植川武男教授に深甚なる謝意を表します。また本研究を進める機会を与えられ御指導賜った横田晃博士ならびに有益なる討論を得た西ドイツのDr. Eggert, Dr. Faulstich, Dr. WeigelならびにDr. Looman, Dipl. Clarenbachにお礼申し上げます。

## 審査結果の要旨

コンパクトで速比の大きな歯車装置には、内歯歯車をもつ差動歯車が有効なことは知られているが、内歯歯車を能率よく加工することが一つの問題として残されていた。

本論文は外歯歯車の生産に現在もっともよく用いられ能率のよい加工法として知られているホブ切り法に匹敵できる内歯歯車加工法を、近年主として西独で着目されつつあるギヤスカイピングに求め、従来の試行錯誤的な扱い方から脱却し、歯車歯形論の基礎に立ってこの加工法を論じたもので、ギヤスカイピングの特徴をまず明確にした上で、その理論式を導き、さらに理論の適用に当っては、生産現場の実情にあわせるべく、工具再研削後の歯形精度の管理等を、コンピューターソフトウェアの形で処理する方法を開発し、実験結果との対比を行ったもので、7章よりなっている。

第1章では、ギヤスカイピングが歯車加工の諸法の中で占める位置と意味を論じ、本論文の立場を明らかにしている。

第2章では、ギヤスカイピングを一般ネジ面に適用する場合の理論式を導き、工具切刃線のギヤスカイピングにおける運動の特徴を明確にし、その結果えられる被削歯面について論じている。

第3章では、前章で述べた一般論を、実用的なインボリュート内歯平歯車の加工へ適用した場合の諸問題を論じている。すなわち工具の切刃線と被削歯形の関係を、歯形精度とか工具の各種逃角、セッティング条件などとの関連で論じている。本章で取り上げたギヤ型カッタなどは、本研究の工業的有用性を示す好例といえる。

第4章は、前章と類似の手法によってインボリュート内歯はすば歯車の加工における諸問題を扱ったものである。

第5章では、インボリュート内歯歯車スカイピング用カッタを、実用的見地から、製作し易いインボリュートヘリコイドを歯面とするカッタに求め、これをコンピューターソフトウェアの形で処理する方法を与えている。これは従来の実機による試行錯誤的カッタ設計や、修正インボリュートヘリコイドによるカッタ設計にくらべ、はるかに有効な方法である。

第6章では、著者の理論によるギヤスカイピングの有用性を、実機による試削歯形精度との関連で論じ、加工精度や工具の耐久性、経済性につき検討し、著者の方法の実用的有用性を示したものである。

第7章は結論である。

以上要するに、本論文は、開発途上にある内歯歯車用ギヤスカイピングにつき、これを歯車歯形基礎理論の立場から扱ったもので、これまでの試行錯誤的方法に代わる系統だった手法を与え、また製作容易なインボリュートヘリコイドによる工具を有効に使うためのコンピューターソフトウェアを開発するなど、精密工学および歯車工学の発展に寄与するところ少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。