

氏名	いいむら たかし 飯村 崇
本籍（国籍）	岩手県
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	工博 第243号
学位授与年月日	平成26年 3月24日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当 課程博士
研究科及び専攻	工学研究科機械・社会環境システム工学専攻
学位論文 題目	精密はさみの高付加価値化技術に関する研究
学位審査委員	主査 教授 井山 俊郎 副査 教授 水野 雅裕 副査 准教授 吉原 信人

論文内容の要旨

高い商品価値を持った精密切断はさみを製造し続けていくには、理容・美容におけるカット技法や、医療における術式の新しいスタイルに適応したはさみ形状を提案していく必要がある。そのためには、精密切断はさみの持つ形状がはさみの切断能力に及ぼす影響について正確に把握し、解析によってはさみの形状を決定する方法について研究する必要がある。そこで本研究では、必要な切断能力に合わせたはさみ形状を設計するために、特におがみ形状に着目し、おがみ形状とはさみを切断無しに開閉する際の荷重である空切り荷重や、はさみで切断するときの荷重である切断荷重、切断時に刃と刃の間に被切断物を挟み込んでしまい切断できない状態である挟み込み状態の発生などとの関係を明らかにするとともに、これらの関係を用いて、切断対象に応じて挟み込みを抑制しつつ切断を行うための適切なおがみ形状を、解析的に求める方法を確立することを目的としている。

目的達成のために実施した内容は次の4点である。

1. 初めに、精密切断はさみを対象に空切り荷重の推定方法を提案し、推定方法の検証とはさみの開閉時の挙動解析を行い、以下のことが明らかとなった。

- (1) 精密切断はさみの空切り荷重を推定する場合、従来の“刃と触点の摩擦”・“動刃の自重”に加え、新たに“ネジ部の摩擦”を考慮する必要がある。
- (2) 刃・触点・ネジ部で発生する摩擦力を生み出す垂直荷重は、“刃の変形によるたわみ”および“ワッシャの変形によるたわみ”により発生し、これらの垂直荷重は刃のおがみ量から推定できる。
- (3) 提案した空切り荷重の推定方法を用いることで、“刃のおがみ量”から精密切断はさみの空切り荷重が推定できる。また、設定された空切り荷重や垂直荷重から、それらの荷重を生み出すおがみ量が推定できる。

2. 次に、精密切断はさみにより円形断面を持つ糸状の切断対象を切断する際の切断荷重の推定方法を提案し、提案した推定方法の検証を行った結果、以下のことが明らかとな

った。

- (1) はさみにより円形断面を持つ糸状の切断対象を切断する際の切断荷重は、刃を切断対象に押し込む際に、押し込まれた刃が材料を圧縮変形させる力に起因するもので、最大値は、切断対象の近傍で刃と刃が交差して、交差部分で引張切断が発生する直前の状態において発生する値である。
 - (2) 切断荷重は、刃が切断対象を圧縮変形させる際のひずみ量と切断対象のヤング率から、解析的に推定できる。
3. また、精密切断はさみにおける切断対象とはさみの挙動から、挟み込みの発生プロセスを明らかにし、垂直荷重 f_i' の解析値と、挟み込み発生との関係を調査した結果、以下のことが明らかとなった。
- (1) 垂直荷重 f_i' ・押し込み荷重 f_i とはさみの挙動の関係は、以下のように表すことができる。ただし、 a は切断対象の変形に関する補正值、 γ は刃角度である。
 - (a) f_i が小さく、切断対象の傾き β が $\beta = \gamma/2$ を維持し、 $f_i' \cos(\beta) \geq af_i \sin(\beta)$ が成立する場合、対象を切断できる。
 - (b) f_i が大きく、切断対象の傾きは $\beta > \gamma/2$ となるが、 $f_i' \cos(\beta) \geq af_i \sin(\beta)$ が成立する場合、刃と刃の間に隙間を生じ良好ではないが、対象を切断できる。
 - (c) f_i が大きく、切断対象の傾きが $\beta > \gamma/2$ となり、 $f_i' \cos(\beta) < af_i \sin(\beta)$ が成立する場合、挟み込みが発生し対象が切断できない。
 - (2) 条件 $f_i' \geq af_i \tan(\gamma/2)$ を満たすはさみを設計することで、挟み込みを抑制する精密切断はさみとなる。
4. 最後に、ここまでの結果である、おがみ形状と垂直荷重・切断荷重・挟み込みに関する解析方法を、はさみの設計に応用する方法を提案し、実際に設計したはさみを試作して切断実験を行い、その有効性を調べた結果、以下のことが明らかとなった。
- (1) 挟み込みと垂直荷重の関係から、切断対象に対し挟み込みを発生させずに切断するために必要な垂直荷重を求め、垂直荷重とおがみ量との関係を用いることで、切断に必要なおがみ形状を求めることができる。ただし、現在の加工法では複数の半径を組み合わせたおがみ形状を加工するのは困難であることから、実際は切断に必要な刃先端でのおがみ量を計算により求め、そこから CAD 等を用いて半径一定となるおがみ量を求める方法が現実的である。
 - (2) (1)により求めた設計値を満足するはさみは、目標とする切断対象を切断できる。

以上のことから本研究では、おがみ形状と、空切り荷重との関係について、おがみ形状を元に刃やワッシャの変形から垂直荷重を計算により求め、垂直荷重より求める摩擦力の釣り合いから空切り荷重を解析的に求める方法を提案した。また、円形断面を持つ糸状の切断対象を切断する際、刃が切断対象に及ぼす影響を観察により推定し、単純なモデル化を通して切断荷重を解析的に求める方法を提案した。さらに、切断が難しく切断対象を刃と刃の間に挟み込んでしまう挟み込み現象の発生条件を明らかにした。これらの成果を元に、切断の難しい例として天然ゴムの挟み込みを抑制可能なはさみの設

計を行い、本研究での解析方法を実際にはさみ設計に応用する方法を示すとともに、試作したはさみの切断評価から、提案する設計方法が正しいことを示した。

論文審査結果の要旨

理美容用あるいは医療用精密切断はさみは、2枚の刃・ネジおよびワッシャで構成され、単純な構造だが微細な切断作業を行う重要な工具であり、確実な切断を行うため、刃には高精度な曲線状の形状（おがみ形状）が要求される。また、裁ちばさみなど金属のワッシャが挿入されたはさみと異なり、開閉の滑らかさを追求する過程で樹脂ワッシャを導入し、ワッシャの変形を積極的に利用することで、開閉荷重を小さく抑えかつ安定した切断能力を実現させている。このような精密切断はさみは、理美容や医療の現場で重要な工具としての役割を果たしており、今後、高い製品価値を持ったはさみの需要がますます高まると考えられる。しかし、中東や中国で安価なはさみが製造され海外で使用されるはさみが中東や中国製の安価なはさみにシフトしていく中、日本の精密切断はさみ製造企業が生き残り続けていくには、今後要求される理容・美容における新しいカット技法や、医療における新しい術式に適応した新しい精密切断はさみを提案し製造していく必要がある。そのため、はさみの持つ形状がはさみの切断能力に及ぼす影響を明らかにし、要求される切断能力を持つはさみ形状を設計可能な方法を研究する必要がある。しかし、理容・美容や医療で用いられる精密切断はさみの形状は、形状の複雑さや変形の測定技術の難しさからこれまで研究がほとんど行われていない。したがって、精密切断はさみが持つ刃のおがみ形状と刃の変形やワッシャ・ネジなどの変形の関係から精密切断はさみの形状を解析的に推定する手法はこれまで提案されていない。

そこで本研究では、要求される切断能力を持つはさみ形状を設計するため、特に、おがみ形状に着目し、空切り荷重、切断荷重および挟み込み（切断時に刃と刃の間に切断対象を挟み込み切断できない状態）の発生とおがみ形状との関係を明らかにしている。また、これらの関係を用いて、切断対象に応じて挟み込みを抑制しつつ切断を行うための適切なおがみ形状を解析的に求める方法を提案している。

本論文の第1章では、本研究の背景と目的が述べられている。

第2章では、精密切断はさみが持つ重要な性能の1つである空切り荷重の推定方法を提案し、推定方法の検証とはさみの開閉時の挙動解析を行っている。その結果、精密切断はさみの空切り荷重を推定する場合、従来の“刃と触点の摩擦”と“動刃の自重”に加え、新たに“ネジ部の摩擦”を考慮する必要がある。刃、触点およびネジ部で発生する摩擦力を生み出す垂直荷重は、“刃の変形によるたわみ”と“ワッシャの変形によるたわみ”により発生し、これらの垂直荷重は刃のおがみ量から推定できることを示している。また、提案した空切り荷重の推定方法を用いて、“刃のおがみ量”から精密切断はさみの空切り荷重が推定でき、設定された空切り荷重や垂直荷重からそれらの荷重を生み出すおがみ量が推定できることを示している。

第3章では、切断対象を切断する際の切断荷重の推定方法を提案し、提案した推定方法を検証している。その結果、円形断面を持つ糸状の切断対象を切断する際の切断荷重は、刃を切断対象に押し込む際に、押し込まれた刃が材料を圧縮変形させる力に起因するもので、その最大値は、切断対象の近傍で刃と刃が交差し、交差部分で引張切断が発生する直前の状態で発生することを示している。また、切断荷重は、刃が切断対象を圧縮変形させる際のひずみ量と切断対象のヤング率から、解析的に推定できることを明らかにしている。

第4章では、切断時に発生する挟み込みの発生プロセスを推定し、垂直荷重 f_i' と挟み込み状態発生との関係を明らかにしている。その結果、垂直荷重 f_i' 、押し込み荷重 f_i 、切断対象の変形に関する補正值 a 、刃角度 γ を用いて、設計条件： $f_i' \geq af_i \tan(\gamma/2)$ を満たすはさみを設計することで、挟み込みが抑制可能であることを明らかにしている。また、補正值 a は、 r_t (引張強さ/ヤング率)を用いて、実験式 $a = 0.4247r_t^2 + 0.0552r_t + 1.1421$ で与えられることを示している。

第5章では、第2～4章で明らかにした垂直荷重、切断荷重および挟み込みの発生とおがみ形状との関係をはさみの設計に応用する方法を提案し、実際に設計したはさみを試作し切断実験を行い、その有用性を調べている。その結果、挟み込みと垂直荷重の関係から、挟み込みを発生させず切断対象を高精度に切断可能なおがみ形状を設計可能であることを示している。

以上の様に本論文は、新たな精密切断はさみを設計するために必要なおがみ形状と空切り荷重との関係を解析的に求める方法と切断対象を切断するための切断荷重を解析的に求める方法を提案した。また、切断が難しく切断対象を刃と刃の間に挟み込む挟み込み状態の発生条件を明らかにした。さらに、これらの結果を基に、挟み込みを抑制可能な精密切断はさみの設計方法を示し、設計・試作したはさみの切断実験から、提案する設計方法の有用性を示した。したがって、本論文で得られた成果は、工学特に設計工学に寄与するところが大きい。

よって、本論文は、博士(工学)の学位論文として合格と認める。

原著論文名（1編を記載）

精密切断はさみの空切り荷重の推定，飯村 崇，井山俊郎，井上研司，日本設計工学会誌，Vol. 48, No. 5, pp. 233-241, 2013年5月