

《H28 様式 甲2の1 / Style Kou 2-1》

## 学位論文の要旨

## Abstract of Thesis

研究科 School	自然科学研究科
専攻 Division	産業創成工学専攻
学生番号 Student No.	51426312
氏名 Name	山口 篤

学位論文題目 Title of Thesis (学位論文題目が英語の場合は和訳を付記)

つり下げ電極による曲がり穴放電加工法の開発

## 学位論文の要旨 Abstract of Thesis

加工技術の高度化は著しく、細穴、深穴、難加工材料への加工など、種々の工作物材質に対して様々な形状を付与する技術が開発され、ものづくりの基盤技術として活用されている。しかしながら、金属材料の内部で屈折・屈曲する曲がり穴は、機械部品の高性能化に必要と分かりつつも、その加工技術は未だに確立されていない。本研究では、独自に考案したつり下げ電極と称する柔軟構造の放電加工用電極と、工作物の傾斜制御を組み合わせて、工作物の内部で屈折・屈曲するような曲がり穴を形成する加工法の開発を行った。

第1章では、曲がり穴加工技術の背景や必要性を述べるとともに、考案した曲がり穴加工法の基本的な原理や優位性を提唱した。除去加工によって曲がり穴を加工するには、工具電極が加工経路に沿って柔軟に変形しなければならないため、金属球を細い導線でつり下げた構造の電極を使用する。このような柔軟な構造の電極に関する先行研究は報告されていないため、基礎的な加工特性を解明する必要がある。そこで第2章では、比較的安定した加工状態が得やすい亜鉛合金の工作物に対して、電極構造の最適化と曲がり穴加工の可否の検討を行った。直径5.5mmの電極球をワイヤ、箔、チェーンでつり下げた構造の電極は、加工条件を適切に設定することで放電加工が可能であり、特に銅箔は曲がり穴加工に必要な柔軟性と放電加工に必要な電流を許容できる性能を有していた。また、加工の最中に工作物の傾斜させる方法によって、種々の形状の曲がり穴が形成できることを確認した。

つり下げ電極は、加工反力によって揺れ動きながら加工が進行する。これは、電極球の質量が小さくなるとその影響を受けやすくなることを示唆している。そこで第3章では、より小さな電極球に対する加工特性を調べた。その結果、電極球の質量が小さくなるにつれ、加工可能な放電加工条件が限定されるようになり、さらには加工不可能になった。これは、電極球の質量が小さくなると加工反力や気泡の浮力の影響を受けやすくなり、短絡が頻発して適正な極間が維持できなくなるためである。亜鉛合金の工作物に対しては、直径3mmの電極球による小径曲がり穴加工が可能であった。

ここまでの検討は電極構造の最適化に主眼をおいていたため、工作物には比較的加工しやすい亜鉛合金を使用していたが、他の工作物材質に対する加工可否や加工特性は未知である。第4章では、実用化を見据えて工作物材質を展開することにした。その結果、比較的大きな7mmの電極球を使用することで、炭素鋼、合金工具鋼、ステンレス鋼、ニッケル合金、アルミニウム合金、マグネシウム合金等の様々な工作物材質に対して曲がり穴を加工できることが分かった。

さらに第 5 章では、それらの工作物材質に対する加工穴の小径化を進めた。アルミニウム合金や合金工具鋼などの工作物に対しては、電極球の直径が 6 mm 以上の場合は加工条件の最適化で安定した加工状態が得られる。一方で、それ未満になると電極球が大きく揺れ動いて短絡が頻発し、加工が不安定になった。この場合は、強制的に電極と工作物の極間を与えるため、工作物に振動を付与する方法が有効であり、加工を安定させる効果があることを明らかにした。これにより、直径 4 mm の電極球を用いて、穴径が 5 mm 以下の小径穴加工が可能であった。

ここまでの検討により、様々な工作物材質に対して、穴径、曲率、屈折角度を組み合わせた種々の形状の曲がり穴を加工できることを示した。最後の第 6 章では、本法を実用技術として活用するために必要な要素技術の検討を行った。1 つは、工作物の振動特性が加工特性に与える影響の解明である。振幅の異なる振動を工作物に付与して加工特性を調べたところ、加工速度と穴径の変化は僅かであった。つまり、形状や質量が様々な実用工作物には、小さな振幅でも振動を付与さえすれば、安定した加工状態を得られることが分かった。もう 1 つは、非破壊による加工穴形状の観察方法の確立である。複雑な形状の曲がり穴を加工する際には、工作物を切断せずに穴形状を評価する技術が必須である。超音波探傷法、放射線透過法の比較検討を行ったところ、非接触式の液中探触子を用いた超音波探傷法は、放電加工機の加工液中で、工作物を加工用治具から取外すことなく計測を行うことができ、曲がり穴の計測方法に最適であった。

以上のように、つり下げ電極の設計から実用化に必要な周辺技術の検討に至るまでの体系的な検討を通じて、本法の高い可能性を示した。また、曲がり穴加工の実現と同時に、低剛性のつり下げ電極を放電加工に使用できることも明らかになった。つり下げ電極は、加工反力等によって揺れ動きながら安定した加工状態が得られ、特有の加工特性を示すなど、新たな放電加工用電極としての可能性を有している。本研究は曲がり穴加工技術の提案に留まらず、放電加工法の高性能化に寄与することが期待できる。