

## 審査の結果の要旨

論文題目：透明体電極を用いた放電加工現象の解明

氏名 北村 朋生

本論文は、放電加工の加工現象を透明体電極を通して直接観察し、放電加工の加工特性の向上に資する重要な知見を得ている。放電加工の加工間隙は数十 $\mu\text{m}$ と狭く、毎秒数万回以上の頻度でパルス放電が生じ、しかも加工液中の放電であるため、直接観察が困難であった。従って、加工現象には未解明な部分が多く、間違った認識も少なくなかった。本研究は、導電性があり、かつ可視光領域で透明である単結晶  $\text{SiC}$ 、あるいは  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  の半導体を陽極、あるいは陰極の片方、あるいは両方に用いて、高速度ビデオカメラを用いて加工間隙を観察し、従来困難であった加工液中の加工現象の直接観察を、世界で初めて可能にしている新規性の高い研究である。

本論文で明らかにしている主な内容は、連続放電現象、単発放電現象、加工液が水と油の場合の加工現象の違いの3つであり、その結果はそれぞれ第2章、第3章、第4章に記述されている。そして、第1章は序論、第5章が結論である。

まず、第2章では、連続放電の観察結果について述べている。最も基本的な成果は、加工間隙のほとんどは気泡で満たされていることを実証したことにあつた。これは、従来も指摘されていたことであるが、可視化して実証した意味は大きい。また、次の研究成果は放電位置についてである。先行研究において、電氣的に放電位置を検出する方法は提案されていたが、位置の検出精度が高くなく、放電が気泡中で生じるか、液中で生じるかなどの情報は得られていなかった。よって、本研究によって放電が生じる確率が気液境界で最も高く、残りは液中でも気中でも生じ得ることを明らかにした意味は大きい。また、これに関連して、前の放電位置と次の放電位置との相関について調べている。その結果、放電点の発生位置はランダムではなく、直前の放電によって発生した気泡の境界で発生する確率が高いことを示している。これらの従来常識を覆す新しい知見は、放電加工の加工特性の向上のための重要な情報であり、放電加工技術の発展に大きく貢献するものである。さらに、工具電極に設けた穴からの加工液の噴流、工具電極の周期的なジャンプ動作、加工間隙の外に設けたノズルからの加工液噴流などが、加工間隙の気泡や加工屑の排出に及ぼす影響や、放電位置の分布の均一性に及ぼす影響を調べ、加工技術に資する多くの知見を

得ている。

また、第 3 章では、単発放電現象について観察している。特にアーク柱直径を測定し、その値に基づいて行った熱伝導解析と、実際に得られた放電痕直径とを比較して、アーク放電にともなう熱源直径の時間変化を推定している。放電加工の除去メカニズムを解明する上で、熱源直径は最も重要な境界条件の一つであるが、従来は推定するに留まっていた。特に、液中放電については、熱源直径の時間変化を正確に求めた成果は大きい。これにより、正しい熱伝導解析が行えるようになり、放電痕の形成や除去のシミュレーションが定量的にも精確に行えるようになる点で、工学的に大きな貢献をしていると評価できる。また、陽極点と陰極点の放電痕の違いについても観察しており、実際の加工で得られる陽極と陰極の表面性状の違いを説明していることも評価に値する。

第 4 章では、放電加工に用いられる主な加工液である脱イオン水と放電加工油について、加工間隙現象の違いを観察している。そして、水加工液の方が油加工液よりも加工速度が大きい実験結果の原因を明らかにしている。従来、水と油の加工特性の違いの原因については、様々な説が提唱されてきたが、本研究は可視化により、水中の加工の方が気泡の発生体積が少ないことを明らかにした。また、放電点での急激な気泡膨張と、その後続く気泡の振動が、加工面全体に伝播するとき、水加工液の方がより遠方まで振動が減衰せずに伝わることを明らかにした。これは、油の粘性が水よりも大きく、運動エネルギーが熱エネルギーに変換する割合が大きいからであり、圧縮性流体中の気泡の生成をモデル化した非定常流体解析から、振動の減衰の違いが粘性の違いで説明できることを明らかにしている。よって、放電点で形成されたプラズマが流体の運動により吹き飛ばされ、昇温した放電点が加工液にさらされて冷却される確率が油より水の方が高く、放電頻度を高くできることが水中での加工の方が加工速度が高い理由のひとつであることを証明している。この結果は、放電加工における加工液の開発にとって重要な指針を与えるものである。

以上のように、本論文では放電加工現象の可視化によって、放電位置、連続放電加工における放電位置の相関、加工間隙のフラッシング、放電による熱源直径、加工液の役割などについて、従来の学説を改める知見や、まったく新しい知見を多く見出しており、放電加工現象の理解と放電加工技術の発展に大きく貢献している。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。