

深紫外ピコ秒レーザーによる軟磁性材の アブレーション加工

河野 健太¹⁾ 丸山 裕樹²⁾ 折井 庸亮³⁾

1. はじめに

(1) 背景

近年、省エネルギー化はますます重要になっており、中でも世界中の発電所で発電した電力量の過半数を消費していると言われているモータ、変圧器、リアクトルなどの電気機器は更なる高効率化に向けた研究開発が取り組まれている。モータをはじめとする電気機器は電磁鋼板などの軟磁性の金属材料が鉄心に用いられ磁気回路が構成されている。一般に鉄心の形成には薄い軟磁性材料の打ち抜き加工が用いられており、試作検討や少量生産においては、ワイヤ放電加工やレーザー加工による軟磁性材の切断加工が用いられている。レーザー加工は試作検討や少量生産の場面において、CAD データを変更するだけで加工形状が容易に変更でき、加工精度も高いといった様々なメリットがある。しかし、高効率化が求められる電気機器の鉄心の形成において、レーザー加工は致命的ともいえる欠点があることが知られている。それはレーザー光により、材料が加熱されることによって生じる鉄心の鉄損増加である⁽¹⁾。一般に、レーザー加工では材料を加熱し熔融させるため、加工部周辺に熱の影響が残り、鉄心の磁気特性が劣化する。そのため、鉄心の形成にレーザー加工を用いると、電気機器のエネルギー効率が大きく低下してしまう。そのため、高効率化が望まれる電気機器の鉄心の形成にはワイヤ放電加工が用いられることが多い。

(2) 深紫外ピコ秒レーザー加工の原理

近年、従来の熔融を伴うレーザー加工とは異なるメカニズ

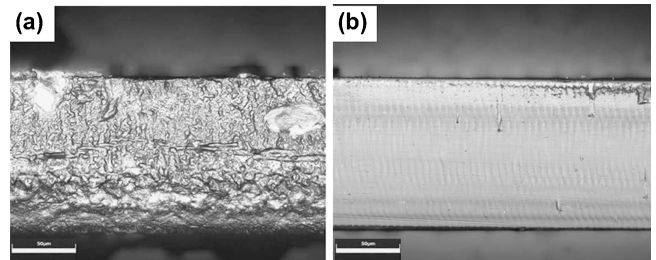


図1 レーザーのパルス幅による熔融加工とアブレーション加工の違い。
(a) ナノ秒レーザーで熱的に熔融切断したポリイミドフィルム断面
(b) ピコ秒レーザーでアブレーション加工したポリイミドフィルム断面

ムである超短パルスレーザーを用いたアブレーション加工の産業応用が進んできた。これは光のパルス幅がピコ秒(ピコ秒は10のマイナス12乗)オーダーの非常に短い時間幅のパルスレーザーを用いることによって、瞬間的に材料を蒸発・昇華させる加工方法である。この技術を用いるとレーザー光が材料に照射されてから加工部周辺にエネルギーが熱として拡散しはじめる時間(数10ピコ秒)より先にレーザー加工が完了するため、加工部周辺への熱の影響が非常に少なく、高品質な加工が実現できる(図1)。ナノ秒レーザーでは加工部周辺に熱が拡散するため樹脂が溶けているが、ピコ秒レーザーでは加工部周辺に熱の拡散がないため断面が非常に平坦である。今回、電磁鋼板に対して、深紫外ピコ秒レーザーによる切断検証を行い、その優位性を確認したので報告する。

2. 深紫外ピコ秒レーザー

当社(スペクトロニクス)では独自のレーザー技術による国産ピコ秒パルスレーザーを開発し事業を展開してきた。特に、世界でも唯一当社が商品化に成功している波長が深紫外領域(波長 266 nm)のピコ秒レーザーは2013年に発表後⁽²⁾、産業用途に高出力化、高品質化、長期安定動作への改良を進めてきた⁽³⁾。深紫外ピコ秒レーザーはパルス幅が短く、非熱

* スペクトロニクス株式会社; 1) 研究開発 Gr. 研究開発 Tm. リーダー 2) 営業 Gr. ソリューション Tm. 3) 研究開発 Gr. マネージャー
Ablation Processing on Electric Steel Sheets by DUV Picosecond Laser; Kenta Kohno, Yuki Maruyama and Yosuke Orii, (Spectronix Corporation)
kohno@spectronix.co.jp
2021年10月30日受理[doi:10.2320/materia.61.109]

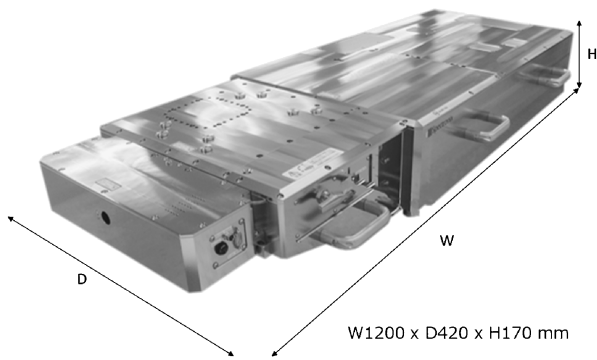


図2 商品化が完了した深紫外ピコ秒レーザー。
(スペック：波長 266 nm, パルス幅 15 ps, 平均出力 8 W@200 kHz)

的加工が行えるだけでなく、波長が短いことによる利点があり、従来の可視・近赤外レーザーが苦手としていたガラスや樹脂などの透明材料や、金属材料などの高反射材料も効率よく加工することができる。従来、産業用途で用いられてきた深紫外光を発生するエキシマレーザーは装置が大型であり、メンテナンス等のランニングコストも大きかったが、深紫外ピコ秒レーザーはテーブルトップサイズであり、特殊な定期メンテナンスも一切不要である(図2)。

近年、レーザーによる金属の切断加工では、出力が数 kW 級のファイバーレーザーの応用が進んでおり、厚さが数 10 mm 程度の金属材料に対しての高速切断技術が取り組まれている。このような比較的厚い鉄板等の切断に対しては、残念ながら当社のピコ秒レーザーの出力はまだ不十分である。一方で、幸いにも電磁鋼鉄をはじめとする軟磁性金属材料は低鉄損化に向けた薄帯化が進んできており、厚さが 100 μm を切るような非常に薄い材料が電気機器へ利用されはじめている。そのため、薄いガラスやセラミックプレートの微

細加工を行っていた既存のレーザー微細加工用設備とのサイズの親和性が良く、加工に必要なレーザーの出力も小さく済むため、アブレーション加工の早期適応が期待できる。

3. 電磁鋼鉄の切断検証

深紫外ピコ秒レーザーによる切断実証のため、一般的にモータの鉄心の切断加工に用いられるワイヤ放電加工、 CO_2 レーザー加工、そして、深紫外ピコ秒レーザー加工による切断の比較を行った。材料は一般的なモータに用いられている 0.35 mm 厚さの無方向性電磁鋼鉄 35A360 を選定した。なお、磁気特性測定には幅 10 mm、長さ 60 mm の試料を用い、測定は励磁周数 50 Hz、磁束密度 0.1~1.5 T で行った。

(1) 切断部の性状

切断部の性状は図3の通りとなった。ワイヤ放電加工では、サンプルを加工液中で加工するため、経時的な酸化の影響で断面にわずかに錆が生じていることが分かる。 CO_2 レーザーでの切断では、バリが発生している上、加工部周辺への熱の影響による変色が確認できる。一方、深紫外ピコ秒レーザーを用いた場合では、加工部周辺にバリや熱による変色がない高品質な切断加工が行えている上、切断面に金属光沢が残っており、酸化等の影響が少ないことが分かる。また、ワイヤ放電加工、 CO_2 レーザー加工を用いる場合、材料を切断する際にスタート穴を用意する必要があるが、深紫外ピコ秒レーザーでの加工では、スタート穴が不要であるなど、加工品質以外での面でのメリットも大きい。

(2) 磁気特性測定

磁気特性を測定して得られた結果を得た図4に示す。

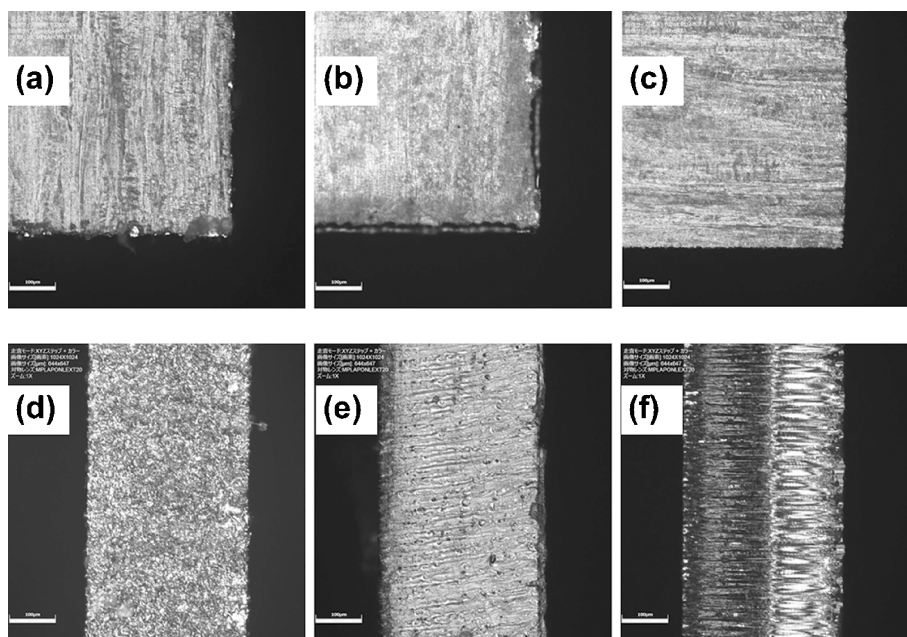


図3 切断方法による切断部の性状の違い。(ワイヤ放電加工で切断したサンプルの表面(a)と断面(d)。 CO_2 レーザー加工で切断したサンプルの表面(b)と断面(e)。深紫外ピコ秒レーザーで切断したサンプルの表面(c)と断面(f)。

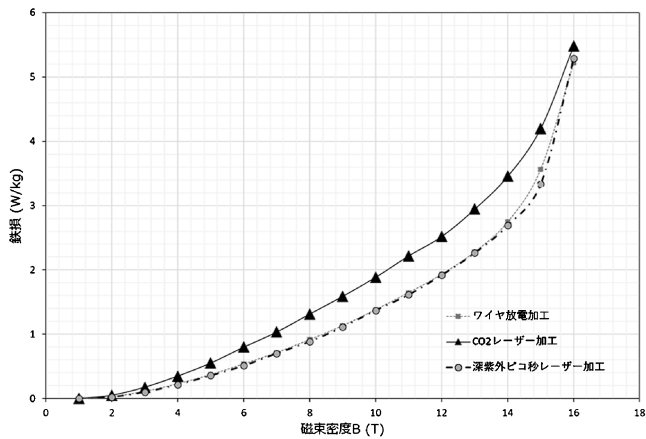


図4 加工方法の違いによる鉄損量の変化.

CO₂レーザーによる切断加工では、ワイヤ放電加工に比べて鉄損が大きいたことが分かる。これは先行研究で報告されている通りの傾向である。一方で、深紫外ピコ秒レーザーを用いた切断では、ワイヤ放電加工と同等の鉄損量であり、レーザー照射による材料への熱の影響が大幅に低減されていることが分かる。この結果から深紫外ピコ秒レーザーを用いて切断することにより、従来のレーザーを用いた熱的な溶融による加工ではなく、アブレーション加工が行えていると判断できる。筆者の知る限り、超短パルスレーザーによる軟磁性材料へのアブレーション加工を磁気特性の計測による効果確認を含めて報告された例は本報告が初めてである。

4. 現在までの実績・特許

深紫外ピコ秒レーザーでの金属へのアブレーション加工は既に複数のユーザによって、超硬合金製金型など加工が困難な材料への適用が検討されており、今回報告した軟磁性材料の加工に対してもすでに電気機器への利用検討が始まっている。深紫外ピコ秒レーザーに関しては、国内特許第6571943号、国内特許第6903325号を取得している。

5. ま と め

従来、レーザーを用いて軟磁性材料を切断すると加工部の熱による磁気特性の悪化(鉄損増加)が課題となっていたが、深紫外短パルスレーザーによるアブレーション加工を適応することで切断による磁気特性の劣化を低減できることを確認した。近い将来に試作検討や少量生産の場面で、深紫外ピコ秒レーザーをはじめとした超短パルスレーザーによる軟磁性体への非熱的加工の適応が進むと考えている。比較的新しい概念である超短パルスレーザーによる加工が電気機器へ応用されることで、従来の加工工法の制約に縛られない形状の機器の発展や打ち抜き加工が困難であったナノ結晶軟磁性体などの応用が進み、更なる省エネルギー社会の実現が進展することが期待される。

6. 謝 辞

本研究に用いた深紫外ピコ秒レーザーは国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託事業として開発された。また、検証にあたり磁気特性の評価にご協力頂きました大分県産業科学技術センター様に厚く御礼申し上げます。

文 献

- (1) 轅立祐希, 佐藤 尊, 戸高 孝, 下地広泰: 電気学会全国大会, (2020).
- (2) Y. Orii, Y. Takushima, M. Yamagaki, A. Higashitani, S. Matsubara, S. Murayama, T. Manabe, I. Utsumi, D. Okuyama and G. Okada: Tech. Digest of CLEO (2013), paper JTh2A.64.
- (3) K. Kohno, Y. Orii, H. Sawada, D. Okuyama, K. Shibuya, S. Shimizu, M. Yoshimura, Y. Mori, J. Nishimae and G. Okada: Opt. Lett., 45(2020), 2351-2354.