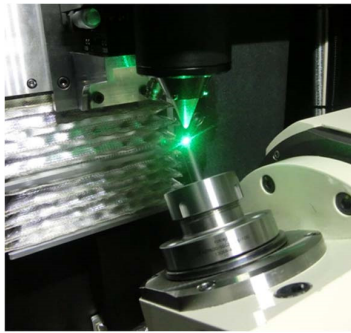


微細レーザ加工機“ABLASER”を適用した 微細穴加工技術の開発

Microdrilling Technology Using Ultrashort Pulsed-laser



中川 清隆^{*1}
Kiyotaka Nakagawa

山下 貢丸^{*2}
Tsugumaru Yamashita

藤田 善仁^{*3}
Yoshihito Fujita

二井谷 春彦^{*4}
Haruhiko Niitani

近年レーザ加工は、機械加工や放電加工の代替技術として期待されている。その理由として、非接触加工のため工具摩耗がなく、金属材料に限らず非導電性の硬脆材料から樹脂に至るまで幅広い材種に適用可能なことが挙げられる。短パルスレーザ加工は、より微細で高品質な加工面が得られるため、様々な産業分野や部品加工への適用ニーズが高い。しかし、能率と品質の両立が難しく、広く普及する上での課題となっている。そこで当社では、短パルスレーザにおける加工方法の違いにより加工能力に優位差があることを明らかにし、これを適用した微細穴加工の事例を報告する。

1. はじめに

レーザ加工は、被加工材に対して適切な光源を選択することにより、金属材料だけでなく脆性材料などの非金属材料にも幅広く適応可能なことから、様々な分野で応用が試みられている。特に近年、高精度で高品位な微細穴加工ニーズの高まりから、従来のレーザ穴あけ加工では材料への熱影響が大きく、穴径精度や加工面性状など品質を満たすことができなかったが、ピコ秒などの短パルスレーザを用いることで、アブレーション(Ablation:蒸発、昇華)加工により高精度で高品位な加工が可能となっている。しかし、高能率化と高精度・高品位化の両者には二律背反の問題が指摘されており、生産へ適応するためにはこの課題の解決が求められている。当社はヘリカルドリリング加工法を採用した微細レーザ加工機を開発しこの課題解決に取り組んでいる⁽¹⁾。

本稿では、微細穴加工の代表的な加工方法であるパーカッション加工とヘリカルドリリング加工の加工能力と加工品質を比較することで、ヘリカルドリリング加工の優位性を明らかとし、これを用いた微細穴加工の事例と、当社が開発した微細レーザ加工機“ABLASER(アブレーザ)”を紹介する。

2. 短パルスレーザ加工方法の比較

2.1 加工方法の特徴と課題

各種レーザ加工方法の概略を図1、図2に、その特徴を表1に示す。パーカッション加工はレーザビームを移動、回転させず同一の場所でパルスレーザを照射する加工方法である(図1)。現在微細穴加工の方法として採用されているが、レンズによる集光で生じる拡がりが増大するため切断面がテーパ形状になってしまう。一方、ヘリカルドリリング加工は、レーザビームを任意の穴径に調整し高速に回転させながらパルスレーザを照射し加工する(図2)。

*1 機械・設備システムドメイン工作機械事業部ソリューション技術センター

*2 機械・設備システムドメイン工作機械事業部ソリューション技術センター 主席技師

*3 機械・設備システムドメイン工作機械事業部技術部 主席技師

*4 機械・設備システムドメイン工作機械事業部ソリューション技術センター センター長

従来、単位面積あたり同一のエネルギーを持つレーザービームであれば1パルスあたりの加工能率は一定であると考えられており、パーカッション加工とヘリカルドリリング加工の差は無いと推測されてきた。また加工品質面での優位差を定量的に比較した事例は少なく、最適な加工法を検討することが困難であった。

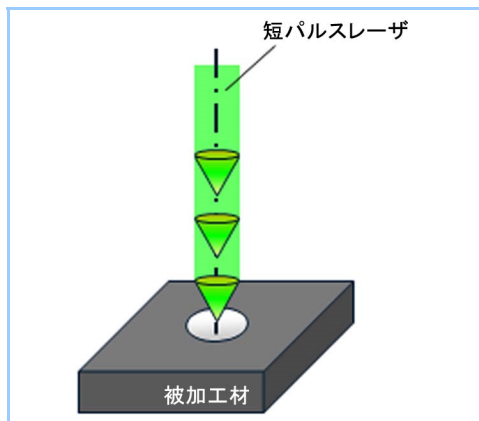


図1 パーカッション加工方法

パーカッション加工はレーザービームを移動、回転させず同一の場所でパルスレーザーを照射。

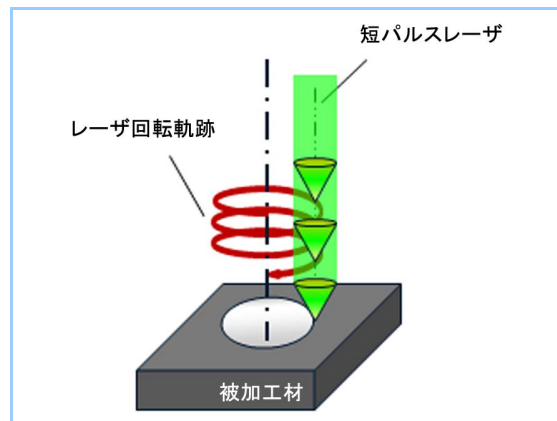


図2 ヘリカルドリリング加工方法

ヘリカルドリリング加工はレーザービームを任意の穴径に調整して高速に回転させながらパルスレーザーを照射。

表1 各種加工方法の特徴

	パーカッション加工	ヘリカルドリリング加工
穴径精度	劣る	優位
テーパ形状制御	不可	可能
加工能率	低	高
加工品質	劣る	優位

2.2 パーカッション加工とヘリカルドリリング加工の比較

加工能率及び加工品質に関してパーカッション加工とヘリカルドリリング加工の比較を行った。被加工材は金属材料の SUS420 と脆性材料の単結晶シリコンの2種を用いた。

(1) 加工能率評価試験

加工能率試験は図3(a)に示すように、被加工材に対して1パルス当たりのエネルギー量を一定として単位時間当たりのパルス数を変化させてレーザーを照射し、その除去体積を比較した。1パルス当たりのエネルギーは熱影響の少ないアブレーション加工が実現できる値に設定した。ヘリカルドリリング加工は単位面積当たりのエネルギー量がパーカッション加工と同一となるように、ビーム巡回径を調整した。

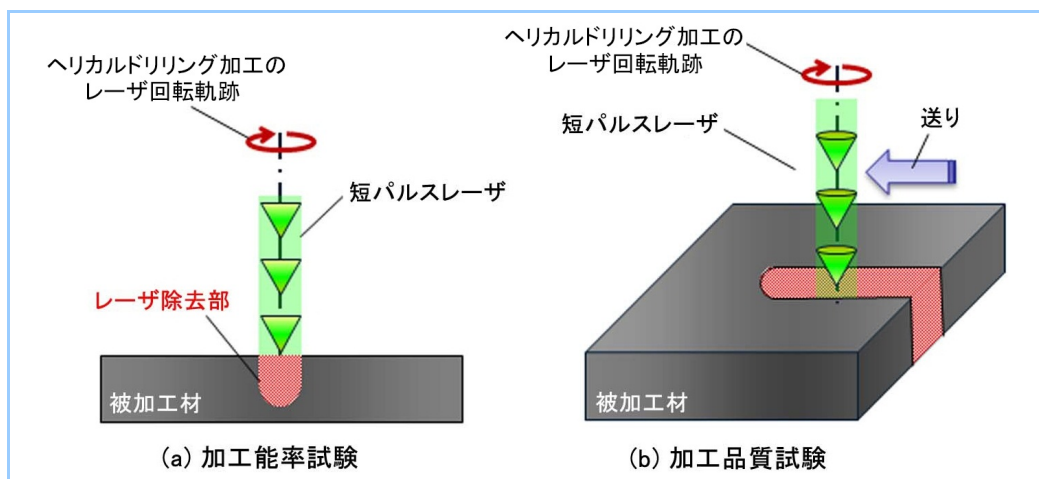


図3 短パルスレーザー加工方法比較試験模式図

- (a) 加工能率比較試験では、レーザー照射し除去部の体積を加工能率として比較。
 (b) 加工品質比較試験では、レーザーにて切断しその加工面を SEM 観察し比較。

図4に試験結果を示す。縦軸に単位時間当たりの除去体積として加工能率、横軸に単位時間当たりのパルス数を表した。ヘリカルドリリング加工はパーカッション加工に比べ、SUS420 で6倍、単結晶シリコンで 1.8 倍加工能率が高いことが分かった。ヘリカルドリリング加工では、SUS420 及び単結晶シリコン共に単位時間当たりのパルス数の増加に伴い加工能率が增加するが、ある一定数以上のパルス数になると低下している。これは、ある領域までアブレーション加工として推移しているが、照射するエネルギー量が過大になると熱として伝播するため、アブレーションによる加工能率が低下したと推測される。

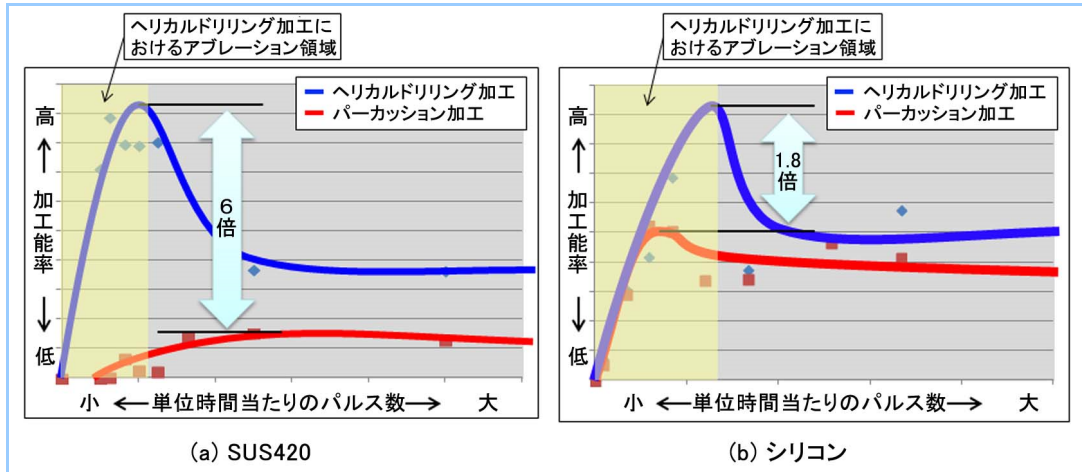


図4 加工能率試験結果

ヘリカルドリリング加工は、(a)SUS420 において6倍、(b)シリコンにおいて 1.8 倍 加工能率が高い。

上記より、短パルスレーザによるヘリカルドリリング加工では、最適加工条件が存在することが分かった。その最適加工条件は被加工材によって異なるため、ヘリカルドリリング加工で高能率に加工を行うためには、加工ノウハウの蓄積が重要となる。

(2) 加工品質評価試験

パーカッション加工とヘリカルドリリング加工に送り速度を与えることで、切断加工を行い切断面の加工品質を比較した(図3(b))。照射するレーザのエネルギーやパルス周波数など切断加工条件はパーカッション加工、ヘリカルドリリング加工共に同じとした。

それぞれの切断面を SEM で観察した結果を図5に示す。SUS420、単結晶シリコン共にヘリカルドリリング加工の方が面性状の良い切断面を得られた。切断面を観察すると、パーカッション加工はレーザの熱影響と思われる再溶融物が見られるのに対して、ヘリカルドリリング加工は再溶融物の無い平滑な切断面で、良好なアブレーション加工となっていることが分かった。前記加工能率試験結果と同様にヘリカルドリリング加工はパーカッション加工と比較して、同じ条件で加工しても、熱による被加工材の溶融が起きにくいことが分かった。

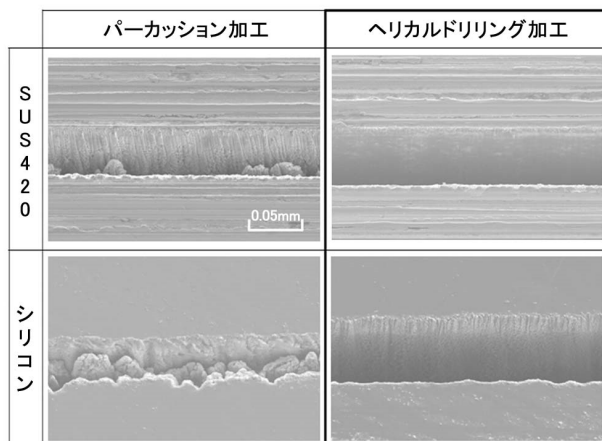


図5 同一加工条件で加工した切断面 SEM 観察結果

(3) 比較試験結果

以上の試験結果より、短パルスレーザを用いて、微細穴を高能率、高精度に加工するためには、パーカッション加工よりヘリカルドリリング加工が優れていることが分かった。さらに主要な金属材料、脆性材料を高能率・高品質に加工するためには、被加工材ごとに最も高能率に加工できる最適な加工条件に設定することが必要と分かった。

3. ヘリカルドリリング加工による微細穴加工事例

3.1 微細穴加工事例(被加工材:SUS420, シリコンウェハ)

図6は SUS420 (t0.3mm) の板材に $\phi 0.12\text{mm}$ の穴加工事例を示す。平滑な加工内面であり鋭利なエッジ部となっていることから、アブレーションにより熱影響が少ない穴加工であることが分かる。図7にシリコンウェハ (t0.5mm) に $\phi 0.15\text{mm}$ の穴加工事例を示す。SUS420 と同様に脆性材料であるシリコンに対しても、熱影響の少ない加工ができた。

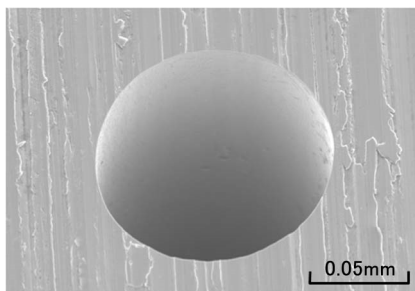


図6 SUS420 微細穴加工

材質:SUS420, 厚み:t0.3mm, 穴径: $\phi 0.12\text{mm}$

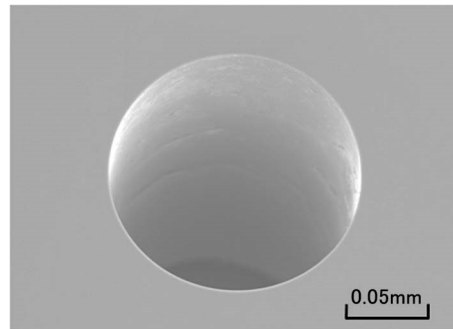


図7 シリコンウェハ微細穴加工

材質:シリコンウェハ, 厚み:t0.5mm, 穴径: $\phi 0.15\text{mm}$

3.2 各種穴形状加工事例(被加工材:SCM420 焼入れ)

SCM420 焼入れ材 (t0.8mm) に最小部 $\phi 0.1\text{mm}$ のストレート穴、逆テーパ穴、鼓穴に加工した断面の SEM 観察写真と粗さ測定結果を図8に示す。ビームの入射角を制御することにより、任意のテーパ形状に加工が可能であり、その加工面粗さはいずれも $Ra0.1\mu\text{m}$ 以下である。ストレート穴、逆テーパ穴には異物の付着が見られるが、加工後に付着したものであり洗浄方法等を工夫することで鼓穴(形状)加工では付着物のない平滑な加工面を達成した。図9は、異形状加工の SEM 観察写真を示す。穴あけ加工だけでなく、任意の形状に切断可能で、その切断面に熱影響は少ない。

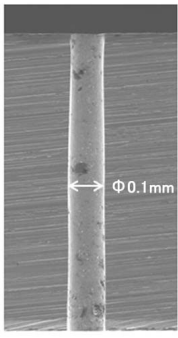
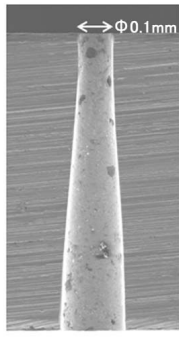
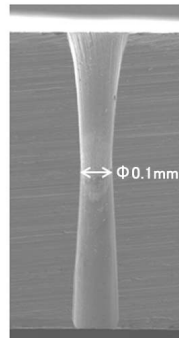
ストレート穴	逆テーパ穴	鼓穴
		
粗さ $Ra: 0.09\mu\text{m}$	$0.08\mu\text{m}$	$0.07\mu\text{m}$

図8 各種穴形状加工事例

SCM420 焼入れ材, 厚み:t0.8mm, 最小部穴径: $\phi 0.1\text{mm}$
任意のテーパ形状に加工可能で、加工面粗さ $Ra0.1\mu\text{m}$ 以下。



図9 異形穴加工事例

材質:SCM420 焼入れ, 厚み:t0.8mm

4. 微細レーザ加工機 “ABLASER”

当社ではヘリカルドリリング方式を採用した、微細レーザ加工機“ABLASER”を開発し、“第 27 回日本国際工作機械見本市(JIMTOF2014)”に参考出品した。外観写真を図 10 に、設備仕様を表 2 に示す。主要構造物にグラナイト(花崗岩)を使用し、位置決め機構に精密スケールを設置することで、従来のレーザ加工機を超える加工精度(加工誤差 $\pm 0.002\text{mm}$ 以下)を達成した。5軸制御装置を搭載し、曲面や複雑形状の加工を可能とした。

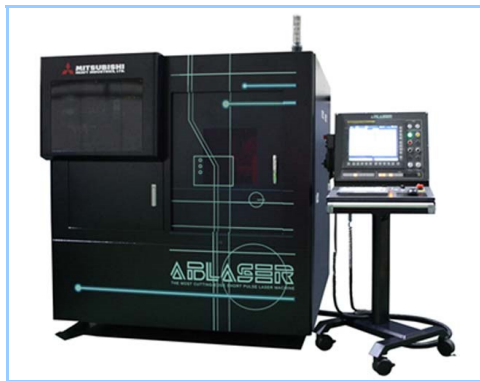


図 10 ABLASER 外観

表2 ABLASER 設備仕様

X 軸 (mm)	100～
Y 軸 (mm)	100～
Z 軸 (mm)	100～
C 軸 (°)	360
A 軸 (°)	-20～120
位置決め精度 (mm)	0.001
NC 装置	FANUC30iLB
レーザ光学系	三菱重工製
テーパ穴制御	順テーパ／逆テーパ
アシストガス	被加工材で選定
幅×奥行×高さ (mm)	1850×1850×1900

5. まとめ

短パルスレーザによる微細穴加工において、高能率かつ高品位に加工するためにはヘリカルドリリング加工が優位であることを明らかにし、熱影響が少なく高品位な微細穴加工事例を紹介した。今後は、この技術の適用が期待されている、エンジンの燃料噴射ノズルや半導体プロセスだけでなく、様々な産業分野で適用される為にも更なる技術開発を推進し、お客様のニーズにマッチした最適なレーザ加工ソリューションを提案していく。

参考文献

- (1) 渡辺俊哉ほか、プリズムローテータを用いた高速高品質レーザ穴あけ加工技術、第 82 回レーザ加工学会講演論文集(2015-1)p.79