

微細レーザ加工機 ABLASER[®]による最先端加工技術の開発 -モビリティ・エレクトロニクス分野におけるレーザソリューションを目指して-

Advanced Processing Technology using Micro-Laser Process Machine "ABLASER[®]"
- Aiming to Laser Solutions in Mobility Electronics -



中川 清隆*¹
Nakagawa Kiyotaka

赤間 知*²
Akama Satoru

近年、レーザ加工は半導体業界をはじめさまざまな分野の製品に適用されている。しかし、部品の小型化・高性能化に伴う高精度・高品位な微細加工ニーズに対して、従来のレーザ加工方法では被削材への熱影響などにより応えることが困難になっている。そこで三菱重工工作機械(株)(以下、当社)では、短パルスレーザを採用しレーザヘッドや制御機構など独自技術を融合することで、微細レーザ加工機 ABLASER[®]を開発し高精度、高品位な微細加工を長時間、安定して実現することを可能にした。また、金属材料だけでなくセラミックスやガラスなどの脆性材料に対してもレーザによる微細加工が可能であることを明らかにしている。

1. はじめに

1960年代にレーザ加工が登場して以来、今日まで目覚ましい発展を遂げ幅広く産業界に普及してきた。レーザ加工は金属材料だけでなく脆性材料などの非金属材料にも適用可能であり、さまざまな分野で活用されてきた。一方で、自動車や半導体業界をはじめ、あらゆる業界で製品の小型化や高機能化が進み、高精度かつ高品位な微細加工のニーズが高まるにつれ、従来のレーザ加工では被削材への熱影響により穴径精度、加工面性状など、製品に求められる品質を満たすことができなくなってきた。さらに、長時間運転における量産加工では、1/1000mm レベルで位置精度を確保することが非常に困難であった。

そこで当社は、これまで重工業分野で培ってきたレーザ技術をベースに短パルスレーザを採用し、さらに高精度化への適応を可能とする工作機械のノウハウを融合させることで、高精度かつ高品位な加工を長時間、安定して実現する微細レーザ加工機 ABLASER[®]を開発した。本報では、開発した ABLASER[®]を用いたさまざまな材料に対する微細加工技術について紹介する。

2. 微細レーザ加工機 ABLASER[®]の特徴

2.1 微細レーザ加工機 ABLASER[®]の特徴

ABLASER[®]の特徴3点を図1に示す。1点目の“アブレーション加工”では、短パルスレーザを搭載することで、材料を昇華(アブレーション)させ周囲への熱影響を最小限に抑制できる加工を可能とした。短パルスレーザの特徴を図2に示す。パルス幅がより短くなることで、熱による被削材へのダメージ(熱影響層やマイクロクラック)や加工時に発生する残骸(ドロス)など周囲への付着物を低減することができる。2点目の“高精密・高安定性”は、主要構造物に熱変位が少なく防振効果の高いグラナイトを使用し、位置決め機構には精密スケールを採用することで実現した。これにより、位置決め精度だけでなく、長時間運転における位置精度変化も抑制でき、従来のレーザ

*1 三菱重工工作機械株式会社技術本部

*2 三菱重工工作機械株式会社技術本部 主席技師

加工機を超える加工精度を達成した。3点目の穴加工の際に精度や品質に優れる“ヘリカル加工”では、レーザ光学系とそれらを精密に同期制御する制御機構を応用することで、ヘリカル加工を可能とする独自の光学系ヘッドを開発した。

上記3点の技術により高精度かつ高品質なレーザ加工に加え、長時間の連続運転における安定性も確保し、これまで実用困難であった量産加工でも適用可能な微細レーザ加工機とした。

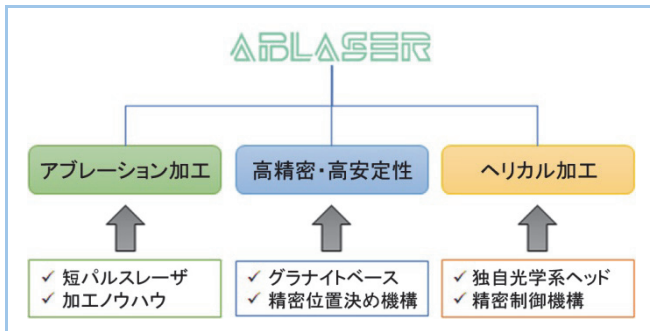


図1 微細レーザ加工機 ABLASER®の特徴

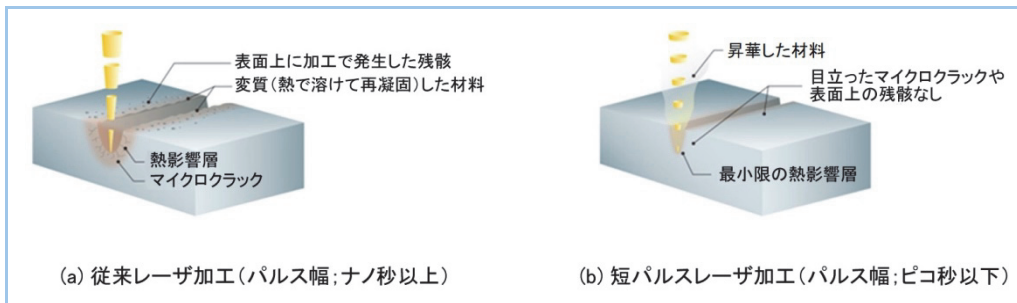


図2 短パルスレーザ加工の特徴

2.2 ヘリカルドリリング加工の特徴

一般的にレーザによる穴加工方法として図3に示すように、(a)パーカッション加工方法と(b)ヘリカルドリリング加工方法があげられる。

パーカッション加工はレーザを移動、回転させず同一の場所で照射し加工する方法で、最も小径、微細な加工が可能である反面、精度良い穴形状を得ることができず、またレンズによる集光で生じる拡がりや転写されるため穴断面が意図せずテーパ形状になってしまう。

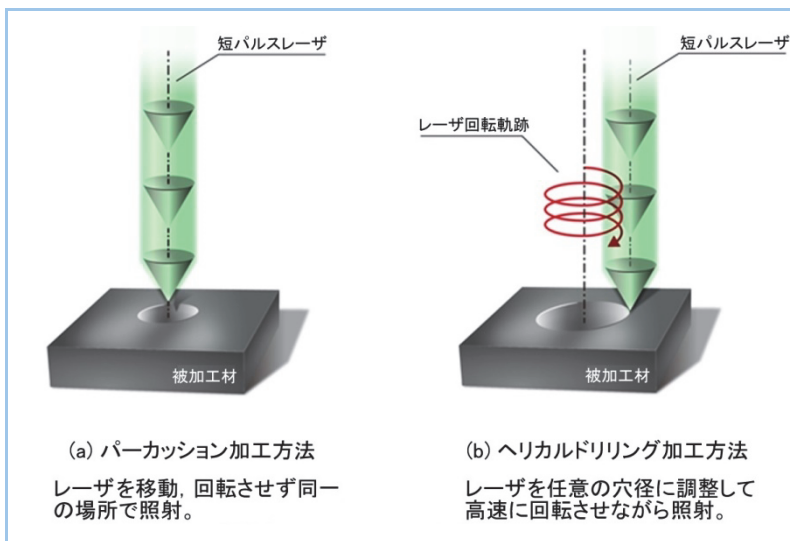


図3 レーザによる穴加工方法

一方、ヘリカルドリリング加工は、レーザを任意の穴径に調整し高速に回転させながら照射し加

工する。独自開発したレーザ光学系のビーム旋回機構は、工作機械用精密軸受を用いたスピンドル構造を採用することで、レーザの旋回直径を精密に制御できる。さらに、**図4**に示すようにレーザの入射角度も調整可能なシステムとしている。このシステムにより、任意の穴径と断面形状に加工が可能である。

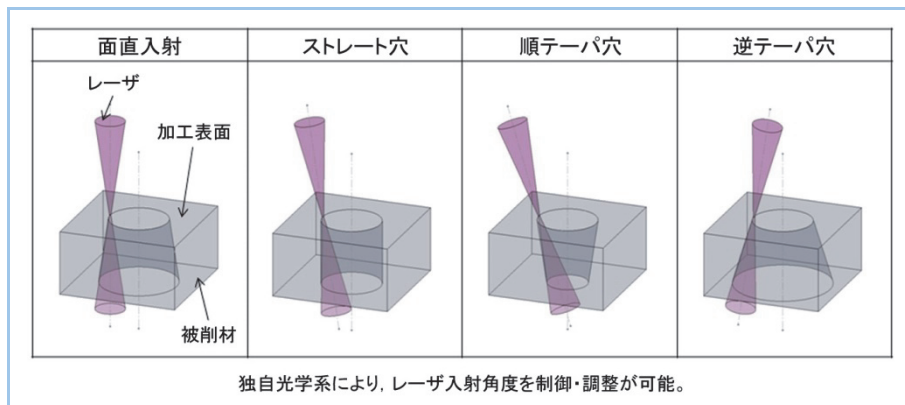


図4 レーザ入射角度制御による穴断面形状例

3. 細穴放電加工機と ABLASER®による加工穴の比較

微細穴加工方法として、レーザ加工以外には機械加工や放電加工などが挙げられる。いずれの加工方法も、一般的には穴径が小さくなるほど加工時間が延びる傾向にある。しかし、レーザ加工の場合は微小な領域にエネルギーを集中させ加工することで、穴径が小さくなるほどエネルギーに対する除去体積が少なくなるため加工時間が短くなる。

また、機械加工や放電加工は微細で高精度な加工を行うには、相応の小径工具や電極を使用するが、加工によって消耗するため交換の必要があり長時間の連続加工は困難であった。ABLASER®はレーザを用いることで工具や電極の交換が不要となり、微細で高精度な長時間の連続加工が可能である。

図5に金型などの微細穴加工で使用される細穴放電加工機と ABLASER®で加工した穴を比較した事例を示す。細穴放電加工機では板厚 t1.1mm の超硬合金に穴径 $\phi 0.12\text{mm}$ の穴を1万個加工するのに 290 時間要し、その間電極の交換も度々必要であった。また、エッジは微小なバリがあり加工内面は放電による改質層がみられる。一方 ABLASER®は 44 時間と加工効率は放電加工の6倍以上であることに加え、加工開始から終了までノンストップで加工できる。また、エッジのバリはなく、加工内面は超硬合金の組成であるコバルトやタングステンも確認できるほど平滑に加工できる。

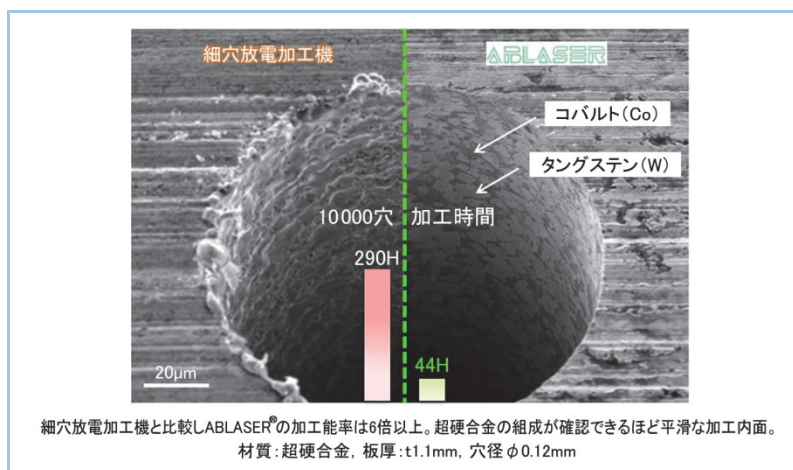


図5 放電加工と ABLASER®で加工した穴の比較

4. ABLASER[®]による加工事例の紹介

4.1 高精度・高安定性加工事例

(1) 高精度穴加工事例(被削材;ステンレス鋼 SUS304)

図6に板厚 $t0.05\text{mm}$ のステンレス鋼 SUS304 に穴径 $\phi 0.04\text{mm}$ の高精度穴加工事例を示す。独自レーザヘッドによるヘリカルドリリング加工により真円度 $0.2\mu\text{m}$ の穴形状を実現した。

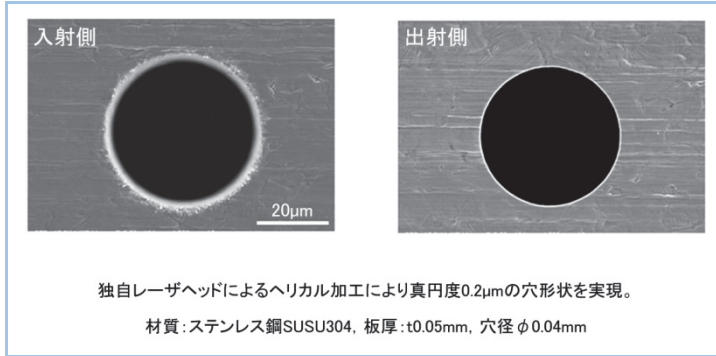


図6 高精度穴加工事例

(2) 高安定性穴加工事例(被削材;タングステン)

図7(a)に板厚 $t0.1\text{mm}$ のタングステンに穴径 $\phi 0.025\text{mm}$ を9穴加工した時の外観写真, (b)にその穴径測定推移を示す。9穴の連続加工においても、図6と同レベルの穴形状であり、その穴径バラつきは $0.3\mu\text{m}$ 以内であった。高精度かつ優れた安定性を有しており、半導体製造装置向けの部品加工などへ適用が期待できる。

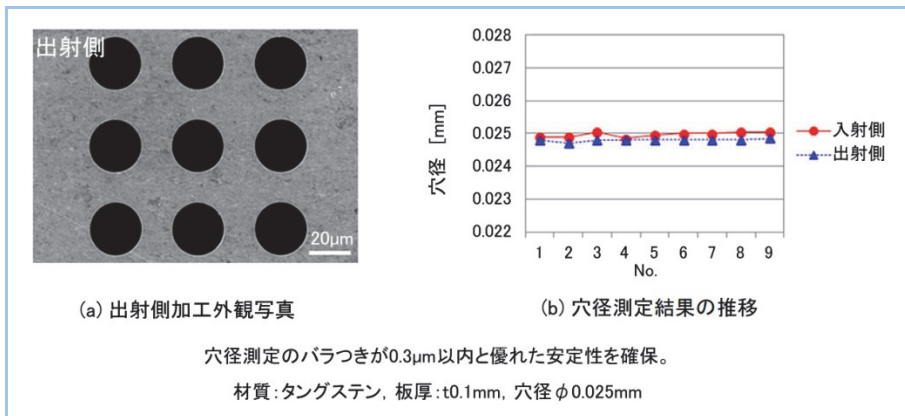


図7 高安定性穴加工事例

4.2 高アスペクト比加工(被削材;焼入れ鋼 SKD11)

図8に板厚 $t0.8\text{mm}$ の焼入れ鋼 SKD11 に穴径 $\phi 0.05\text{mm}$ の高アスペクト比加工事例を示す。加工条件を最適化することでアスペクト比 16 の加工ができた。さらに平滑な加工内面となっていることから、熱影響が少ない加工が実現できていることが分かる。これは、半導体製品のセラミック基板の製造に用いられる、グリーンシートプレス金型の加工に適用されている。

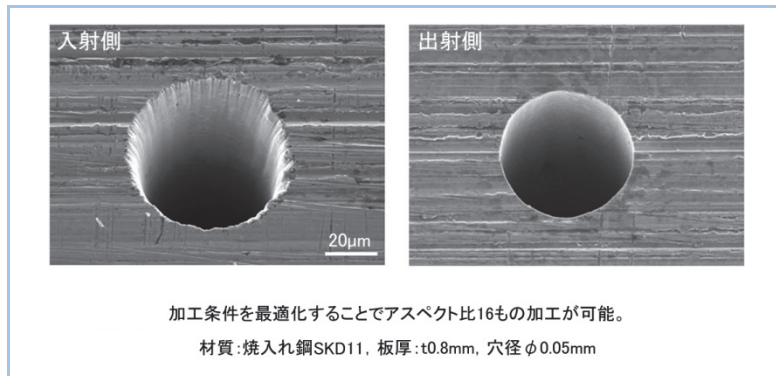


図8 高アスペクト比加工事例(アスペクト比:16)

4.3 セラミックス材料への多数穴加工事例

図9にセラミックス材料である板厚 t0.4mm のアルミナに穴径 φ0.02mm, 穴間ピッチ 0.06mm で 25600 穴加工した多数穴加工事例を示す。金属材料に限らず脆性材料であるアルミナに対しても、小径かつアスペクト比 20 の加工が可能であった。工具による機械加工では、穴エッジ部が欠けたり穴間で割れたりするなど、狭ピッチ加工は非常に困難である。さらに、工具の消耗が激しくコスト面でも大きな負担を抱える。これらの問題に対して ABLASER®は、熱影響の少ないアブレーション加工と、高精度なヘリカルドリリング加工の組み合わせにより、欠けのないエッジで、ピッチ間での割れもない加工を実現できた。これに加え高アスペクト比で 25600 穴の微細加工において、約 60 時間連続加工したにもかかわらず、工具など消耗品交換に伴う機械の停止がなく加工を完了できた。上記のようにセラミックス材料への加工が可能となることで、半導体製品の検査治具や精密部品など、絶縁を必要とする部品や摩耗耐性が必要な部品の加工に適用が期待できる。

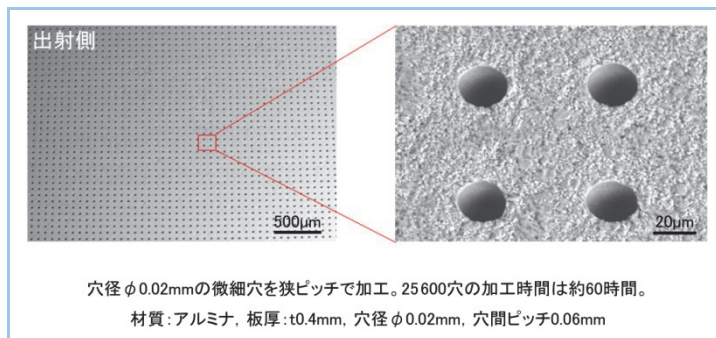


図9 アルミナへの多数穴加工事例

4.4 ガラス系材料への穴加工事例

図10に板厚 t0.2mm の石英ガラスに直接レーザを照射し穴径 φ0.185mm の加工事例を示す。大きなクラックやえぐれ等はなく、良好な穴形状かつ安定して加工することができた。また、従来のレーザ加工ではガラス系材料の穴径及びテーパ角を任意に制御することは非常に困難であったが、ABLASER®では可能である。

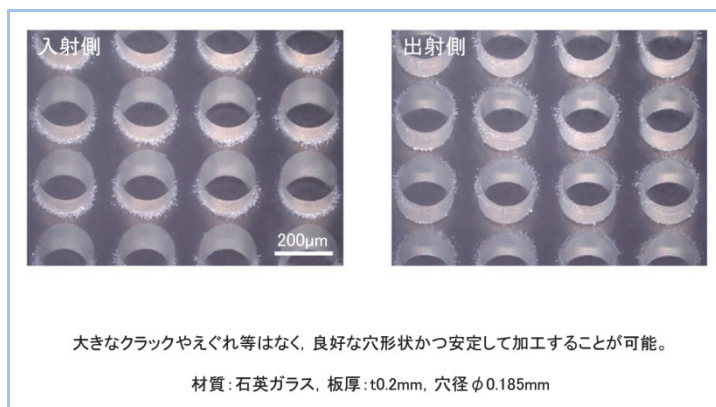


図10 石英ガラスへの加工事例

4.5 複層材(タンタル酸リチウム&シリコン)への穴加工事例

図 11 に電子デバイスで使用されるタンタル酸リチウムとシリコンの複層材(厚み t0.2mm)に ϕ 0.015mm の順テーパ穴を加工した断面写真を示す。従来はエッチングにより材料毎に異なる工程で加工していたが、ABLASER®は最適加工条件の選定により異種材を同時に加工することができる。これは、コストやサイクルタイムの短縮に大きなメリットを有する。

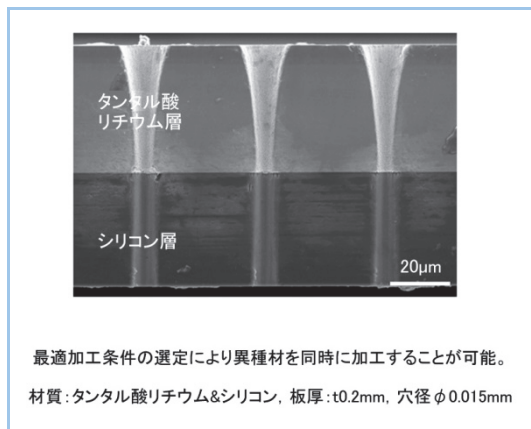


図 11 複層材への穴加工断面写真

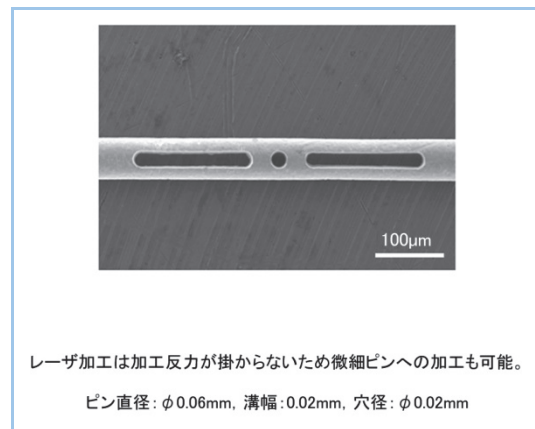


図 12 微細ピンへの溝及び穴加工

4.6 微細ピンへの加工事例

図 12 にピン直径 ϕ 0.06mm の鋼に対して溝幅 0.02mm, 穴径 ϕ 0.02mm を加工した事例を示す。機械加工などの接触加工では加工反力が掛かるため微細ピンなどへの加工は困難であった。しかし、レーザ加工は加工反力が掛からないため、微細ピンへの加工も可能となる。これは、医療分野で使用されるステントや注射針などに適用できる。

このように、ABLASER®は穴加工だけでなく様々な形状の部品へ微細加工が可能である。

5. まとめ

当社の独自技術により開発した微細レーザ加工機 ABLASER®は、従来のレーザ加工方法と比較し高精度かつ高品質な加工を実現した。さらに長時間運転における安定性も確保した。本報では、加工事例を交え ABLASER®が高精度かつ優れた安定性を有するレーザ加工機であることを示した。また、金属材料だけでなくセラミックスやガラスなどの脆性材料に対する微細加工事例を紹介した。今後、自動運転など電動化技術がますます進歩するモビリティ分野や、IoT や 5G などのエレクトロニクス分野を中心として、幅広い分野で製品の小型化や高機能化が進むことが予想される。その中で、当社は今後もお客様ニーズを満足する微細レーザ加工ソリューションを提供していく。

“ABLASER”は、三菱重工工作機械(株)の登録商標です。

参考文献

- (1) 中川清隆ほか, 微細レーザ加工機“ABLASER®”を適用した微細穴加工技術の開発, 三菱重工技報 Vol.52 no.3 (2015) 工作機械特集
- (2) 今宮悠治ほか, DUV レーザによる微細加工技術開発, 三菱重工技報 Vol.53 No.4 (2016) 新製品・新技術特集