三次元レーザ加工機の実用化

坂井　則夫*、小杉　拓也*、吉原　英雄**、丸山　英彰***、長谷川　雅人***、平田　康一***

Improvement for Practical Use of Precision 3-D Laser Cutting System

SAKAI Norio*, KOSUGI Takuya*,YOSHIHARA Hideo** MARUYAMA Hideaki***,
HASEGAWA Masato*** and HIRATA Kouichi***

抄　　録

現在多くの金型を使用して行っている精密プレス製品のトリミング加工を、戦略研究で開発した高精度三次元レーザ加工システム[7) 8) 9) 10) 11)]で代替することを目的に実用技術開発を行った。パルスＹＡＧレーザ発振器の導入、高精度三次元レーザ加工機の高速化、CAM システムの改良等によって、加工サイクルタイムの短縮、切断精度の向上、切断面の外観向上を達成し、高精度三次元レーザ加工機を実用化することができた。

１．緒　　言

従来、高精度なプレス部品の製造にはプレス成形金型の他、穴開けやトリミングなど切断のための多くの金型が必要であり、このことが納期の短縮を阻み、コスト削減の阻害要因となっていた。そこで本研究では戦略研究の成果である高精度三次元レーザ切断加工システムを実用化し、精密プレス製品の切断行程を高精度な三次元レーザ切断加工に代替することを目的に研究を行った。

２．実用化の問題点と解決の方策

戦略研究で開発した高精度三次元レーザ切断加工システムは、量産を目的として実用化しようとすると以下のような課題を解決する必要があった。

ア）レーザ加工機の運動精度に対し、できあがった加工品の切断寸法精度が良くない。

イ）切断面にドロスの付着があり、外観品質上問題がある。

ウ）量産のためには加工サイクルタイムの短縮が必要である。

＊　株式会社東陽理化学研究所

＊＊　倉敷機械株式会社

＊＊＊新潟県工業技術総合研究所研究開発センター

ア）については切断部周囲の温度上昇による熱変形が原因ではないかと考えられた。イ）についても切断部周囲温度が上昇することによりドロスとの親和性が増したことが原因と推測された。そこで、切断部周辺の温度上昇を抑えるため、PW（パルス波）レーザを適用してその効果を検討した。ウ）については加工機の高速化を図ると共に、ＮＣプログラム上の動きの無駄を省くためＣＡＭシステムの改良を行った。

３．パルスレーザの効果[2) 3)]

３．１　実験方法

PW（パルス波）レーザを用いることの有効性を推測するため、有限要素法を用いて熱伝導解析を行った。

また、実際のレーザ切断における変形を調べるため、切断実験を行った。切断実験の供試材には公称板厚 0.5mm の工業用純チタン一種を使用し

表１　純チタン板の化学組成

Material	O	N	Fe	H	Ti
CPTi	0.04	0.01	0.03	0.003	bal.

(mass%)

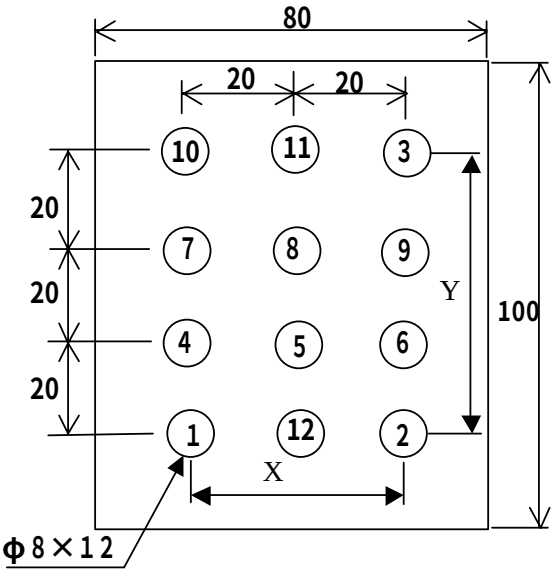


図１ Ti 板の切断寸法と加工順序

表２　CPTi 切断加工条件

	CW レーザ加工機	PW レーザ加工機
定格出力(W)	500	150
周波数(Hz)	--	500
デューティー(%)	--	15
アシストガス	Ar	Ar
ガス圧力(MPa)	0.8MPa	0.6MPa

た。その化学組成を表１に示す。供試材を縦 100mm、横 80mm にシャーリングで切断して試験片とした。試験片の両端を拘束し、CWレーザまたはPWレーザを用いて、図１に示すような直径 8mm の 12 個の穴を番号順に切断加工した後、板の変形を測定した。レーザ切断加工条件を表 2 に示す。熱変形の測定にはモアレ式非接触３次元測定機サーフタイザーS シリーズ（株式会社オプトン製）を使用した。

３．２　実験結果

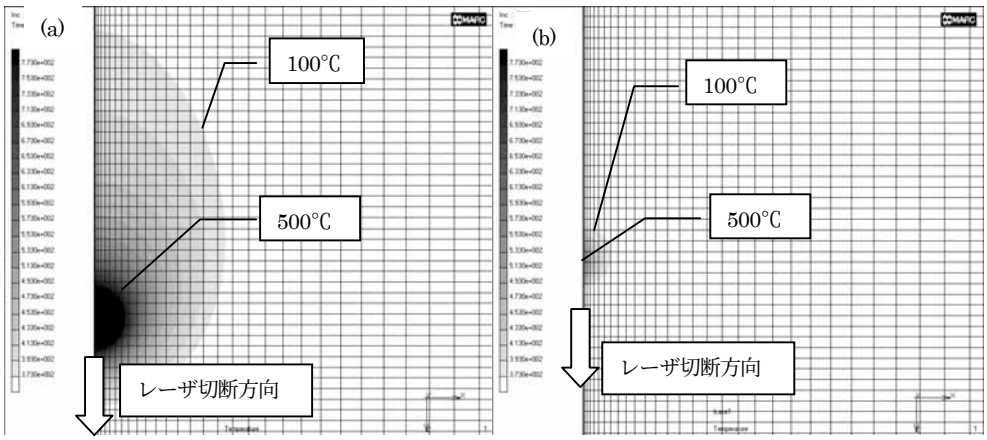
３．２．１　有限要素法による熱伝導解析 [1) 4) 5)]

チタン平板の直線切断加工をCWレーザおよびPWレーザで行った場合を想定し、有限要素法で熱伝導解析を行った結果を図２に示す。解析ではレーザ光の吸収率を 35%とし、アシストガスによる放熱、切断に伴う要素の変化は無視した。

解析の結果、CWレーザを用いた場合には切断面から約 1.0mm の部分まで１００℃以上となり、約 0.2mm の部分までは５００℃以上まで温度上昇することがわかった。これに対し、PWレーザの場合は１００℃以上まで上昇するのは切断面からわずか 0.2mm の部分までで、５００℃以上にまで上昇する部分はほとんどないという結果となった。これらのことから、PWレーザを適用することによりレーザ切断時の切断部周辺温度の上昇を劇的に低減できることが期待された。

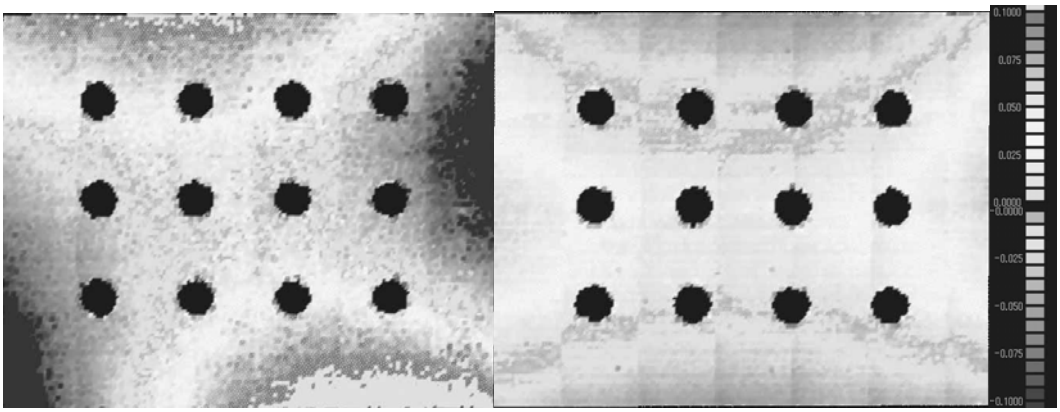
３．２．２　レーザ切断による熱変形

チタン板を切断したときの熱変形を測定した結果を図３に示す。CWレーザで加工した場合、板の反りの大きさは 0.2mm 以上であった。これに



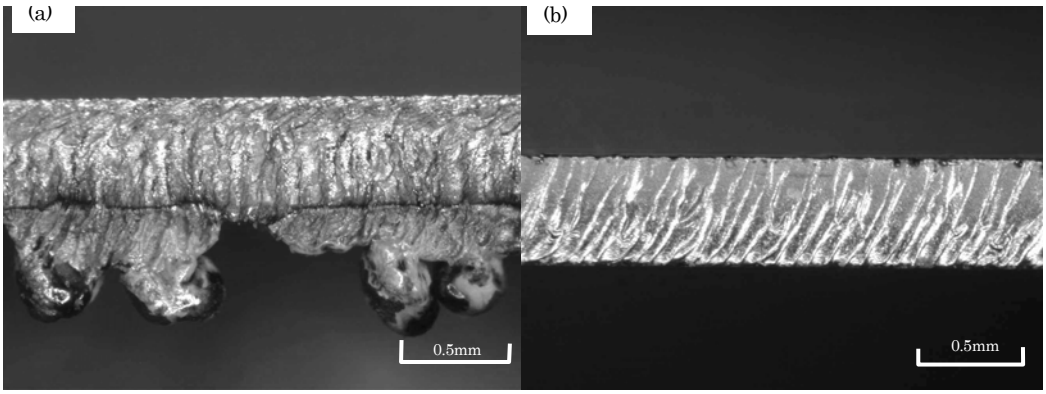
(a) CWレーザを使用した場合　　(b) PWレーザを使用した場合

図２　有限要素法による熱伝導解析結果



(a) CWレーザ加工による熱変形　　（b） PWレーザ加工による熱変形

図３　純 Ti 板レーザ切断加工後の熱変形測定結果



(a) CWレーザによる切断面　　(b) PWレーザによる切断面

図４　レーザ切断加工面写真

対し、PWレーザで加工した場合の反りの大きさは０．１mm 以下のわずかなものであった。これらのことから、PWレーザを用いることにより熱変形の少ないレーザ切断加工が実現できることが実証された。

３．２．３　レーザ切断におけるドロス付着

図４にCWレーザおよびPWレーザで切断加工を行った試験片の切断面の写真を示す。CWレーザで切断した切断面には、レーザ光で溶かされたドロスと称される溶融金属が付着し、そのまま残って凝固したものが多々見受けられる。それに対し、PWレーザで加工した切断面にはドロスの付着は全く認められない。また、外観も優れていた。この実験結果から、PWレーザは切断面のドロス付着防止および切断面の品質向上に効果があることが実証された。

４．加工機の高速化

戦略研究で開発した加工機のC軸およびα軸の回転速度は 180°／sec であったが、加工サイクルタイム短縮のため、これを 360°／sec に高速化した。また、C軸に対するα軸のオフセット角を、一般的に採用されている 45°から 55°に変更した（図５参照）。ノズル方向のZ軸に対する角度（天頂角）θを０°から 90°まで一定角速度Vθで変化させるのに必要なα軸の回転角速度をVαとしたとき、θをパラメータとし、縦軸に速度比（Vθに対するVαの比）をとって示したものが図６である。α軸のオフセット角が 45°の場合、θが 90°近く、つまりノズルの向きが水平に近いとき、速度比が無限大に近づく。このような時にθの角度変化がある場合、実質的にα軸の回転が追従できなくなるため、ノズルの速度はそれに連

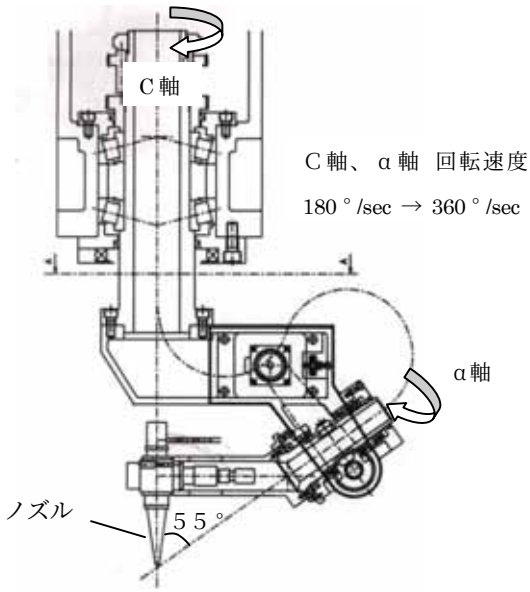


図５　加工機回転軸周りの構成

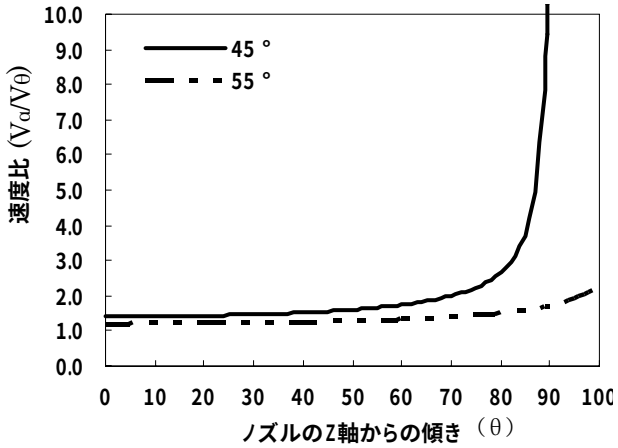


図６　ノズルのＺ軸からの傾き（天頂角θ）

動して急激に減速することになる。これに対し、オフセット角を55°に変更することによって、ノズル向きが水平付近であっても速度比が２程度におさまり、加工速度の低下は限定的なものとなる。したがって、ノズルの天頂角θが大きく変化する指令が出た場合でも、回転軸の高速化と相まって、高速での追従が可能となり、ノズル速度が大きく減速することはない。このように、回転軸の高速化とオフセット角の変更により、加工機の高速化を図ることができた。

５．ＣＡＭシステムの改良

加工サイクルタイムの短縮には３次元レーザ加工機の高速化のみならず、合理的なＮＣプログラムの提供が必要である。そこで、戦略技術研究で開発した切断線補正データ作成システム（ＣＡＭシステム）の改良を行った。従来はノズルがワークと干渉するのを避けるため、一つの切断線の加工が終了するたびに必ず所定の高さまで待避することにしていた。しかし同一平面上に複数の切断線が存在する場合には、次の切断線の加工開始位置まで直線的に移動しても干渉の恐れがないため、待避動作を省くように改良した。

またＮＣプログラム作成までの負荷を低減し、リードタイム短縮を図るための機能付加も行った。一旦データを作ってしまえば、次回にワーク位置をずらして設置しても、前に作ったデータをその位置に合わせて使えるようにするため、座標変換機能を付加した。また複数の切断線のグループ処理機能や法線ベクトル処理機能などを付加し、機能の充実と処理能率の向上を図った。

６．高精度三次元レーザ加工システムの実用化

以上の検討を重ねた結果、戦略研究で開発した高精度三次元レーザ切断加工システムを企業が実用的に使えるレベルまで改良することができた。図７に県内企業に導入され実用化された高精度三次元レーザ加工機の写真を示す。

実用化した三次元レーザ加工システムを利用することにより、精密プレス製品の高精度三次元切断加工が従来のプレス金型加工からレーザ加工に代替され、低コスト、多品種、短納期に対応した生産を実現できる可能性があることを実際に示すことができた。

７．結　　言

精密プレス部品の切断行程を高精度な三次元レーザ切断加工に代替することを目的に研究を行った。得られた結果は大要以下の通りである。

（1）パルスレーザ発振器を導入することにより、切断の際に生じる熱変形を低減し、同時にド

図７　実用化された高精度三次元レーザ加工システム

ロス付着のない外観の良好な切断面が得られた。

（２）Ｃ軸及びα軸の回転角速度を２倍に高速化し、Ｃ軸とα軸のオフセット角を５５°に変更することにより、三次元レーザ加工機の高速化を図った。

（３）ＣＡＭシステムに対し合理的NCデータ作成機能、座標変換機能の付加などの改良を加えることにより、加工サイクルタイム及びリードタイムの短縮を図った。

（４）これらにより高精度三次元レーザ加工システムを実用化することができた。

８．謝　　辞

本研究を遂行するに当り、ＣＡＭシステムの改良で（財）機械振興協会技術研究所 小西部長に尽力頂いたことに対し、心より感謝申し上げます。

参考文献

１）Kezhun LI and Paul heng
“ COMPUTATIONAL MODEL FOR LASER CUTTING OF STEEL PLATES”
MED-Vol.2-1/MH-Vol.3-1, *Manufacturing Science and Engineering ASME*, p3-14(1995)

２）下楠善昭　他 ”パルス化高出力 YAG レーザの厚板溶接への適用” 溶接学会論文集, Vo.20, No.4, p477-483(2002)

３）舟田義則　他 “パルス YAG レーザによる超精密切断技術の開発” 石川県工業試験場研究報告, No.50, p1-6(2001)

４）菊池正夫　他 “レーザ熱処理の品質特性と熱伝導解析” 小松技報, Vol.26, No.2, p24-32(1980)

５）Andreas Hillebrand et al “ Temperature modeling and in-process quality inspection in laser beam cutting of contour elements” *SPIE* / Vol.2007, p414-425(1994)

６）高橋和久　他 “ＹＡＧレーザによる Al-Si-Mg 合金の表面改質と熱伝導解析” 軽金属学会第９８回春季大会講演概要, p85-86(2000)

７）吉野, 吉田, 平石, 板垣, 佐々木, 野村 “３次元レーザー加工機の高精度、短時間加工” 新潟県工業技術総合研究所　工業技術研究報告書, NO.28, p.31(1999)

８）吉野, 長谷川, 斉藤 “高精度三次元レーザ切断加工システムの開発（第１報）” 新潟県工業技術総合研究所　工業技術研究報告書, NO.30, p.16(2001)

９）丸山, 長谷川, 斉藤, 三村, 田村 “高精度三次元レーザ切断加工システムの開発（第２報）” 新潟県工業技術総合研究所　工業技術研究報告書, NO.31, p.9(2002)

10）丸山, 長谷川, 斉藤, 三村, 田村 “高精度三次元レーザ切断加工システムの開発（第３報）” 新潟県工業技術総合研究所　工業技術研究報告書, NO.32, p.3-8(2003)

11）丸山, 長谷川, 斉藤, 三村, 田村 “高精度三次元レーザ切断加工システムの開発（第４報）” 新潟県工業技術総合研究所　工業技術研究報告書, NO.32, p.9-14(2003)