

レーザー加工機へのAI適用と最新加工技術

Application of Machine Learning to Laser Processing System and Latest Processing Technique

要 旨

レーザー加工機は、多くの産業分野に適用されている。また、近年では省エネルギーや生産性向上の観点から、ファイバレーザー加工機が注目を集めている。一方で、労働人口が減少する中、製造業としても加工作業の省人化と工程の自動化が求められており、周辺システムとの連携でも継続運転と安定加工の維持が重要になる。

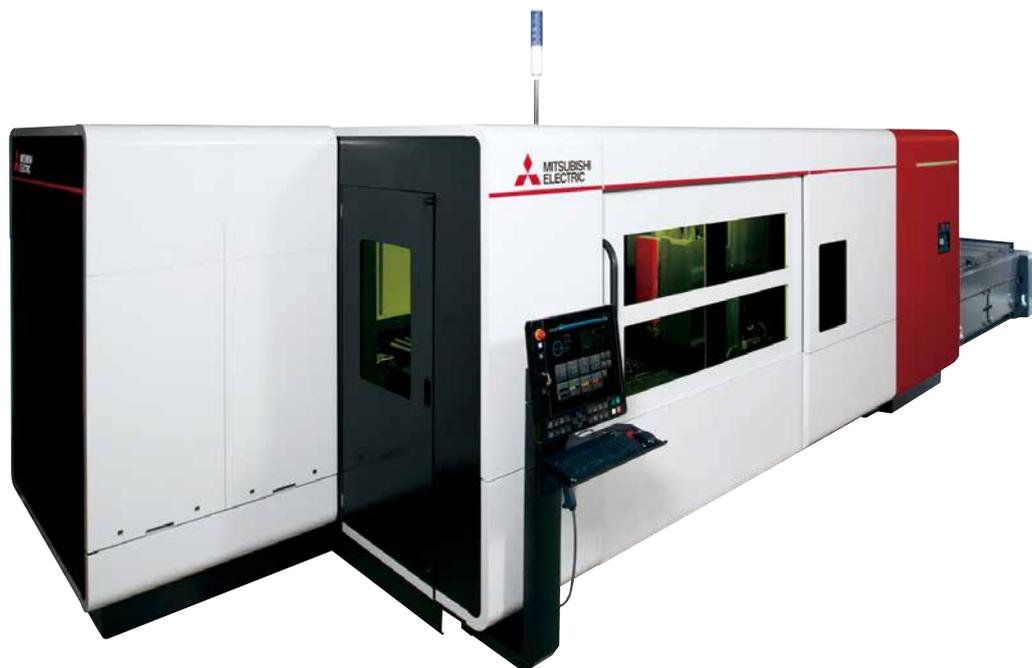
このような市場背景の中、三菱電機は“止まらない加工機”をコンセプトにした新型二次元ファイバレーザー加工機“ML3015GX-Fシリーズ”(以下“GX-F”という。)を開発した。GX-Fでは、AI技術、新型発振器、ガス流制御技術を差別化技術の三本柱としている。

一つ目のAI技術では“高い加工安定性と信頼性”を実現

するため、加工の良否判定を自動で実施し、その結果に合わせて加工条件を自動修正するAIアシスト機能を開発した。また、加工不良が発生した場合に加工ノズルを観測し、ノズル起因の不良を早期に取り除くAIノズルモニタ機能を開発した。

二つ目の技術の柱である新型発振器は、ズーム光学系を内蔵した加工ヘッドと併用することで、最適なビームを提供し、GX-Fの加工性能を支えている。

三つ目のガス流制御技術では“AGR(Advanced Gas Reduction)-eco”を開発し、加工で必要になるガスの消費量を抑え、ランニングコストを低減する技術を搭載した。



ML3015GX-Fシリーズ

新型二次元ファイバレーザー加工機GX-F

“止まらない加工機”をコンセプトにした新型二次元ファイバレーザー加工機GX-Fを開発した。GX-Fでは①高い加工安定性と信頼性、②高速加工・低ランニングコスト、③省人化と加工の自動化を開発重点項目とし、加工安定性と生産性の向上を実現した。

1. ま え が き

二次元レーザ加工機は飛躍的な技術進歩によって、製造現場に不可欠な工作機械としての地位を確立するに至った。さらに加工技術の急速な進歩によって、切断適用範囲が拡大している。

一方、ユーザー環境下では、使用材料の品質差異や消耗品の劣化等によって加工停止が発生する場合があります。レーザ加工機の稼働率を下げる要因になっている。また、近年は労働人口の減少や高齢化に伴い、加工機の操作方法やレーザ加工に精通した熟練工も減少している。そのため、レーザ加工機の生産性を向上させつつ、熟練工に頼らずにその生産性を安定して提供できるレーザ加工機が求められている。

これらの市場要求に対して、当社は高次元な自動化ソリューションの提供を実現する二次元ファイバレーザ加工機GX-Fを開発した。

本稿では、GX-Fに搭載したAI技術、及び新型発振器とAGR-ecoで実現した最新加工技術について述べる。

2. GX-Fシリーズの主な仕様と開発コンセプト

GX-Fの主な仕様を表1に示す。GX-Fでは、“止まらない加工機”をコンセプトに、従来機の“ML3015eX-Fシリーズ”にはなかったAI機能による稼働率向上、新型発振器とAGR-ecoによる生産性向上とランニングコスト低減を実現した。

3. レーザ加工機へのAI適用

レーザ加工は、レーザ発振器から射出された光を加工ヘッドで集光し、加工対象に照射することで行われる。レーザ光を加工対象である金属に照射する際に、加工ヘッドの先端に取り付けられているノズルからアシストガスを吹き付け、速度を一定に保ちながら加工を実施する。切断加工は、様々なパラメータによって設定された加工条件にのっとり実施される。加工機には、材質や板厚に適応した標準的な加工条件が設定されているが、加工中の材料へ

表1. ML3015GX-Fの主な仕様

項目	新機種ML3015GX-F	従来機ML3015eX-F
移動方式	光走査方式	
早送り速度(m/min)	合成170	合成140
加速度	XY : 1.5G Z : 1.5G	XY : 1.0G Z : 1.5G
ストローク(mm)	X軸	3,100
	Y軸	1,550
	Z軸	120

の蓄熱によって加工条件が加工対象物に適合しなくなる場合や加工中にノズルがスパッタ等によってダメージを受けた場合に加工不良が発生する。そのため、作業者は加工中の様子を確認し、知識と経験から適宜加工条件を修正して、定期的にノズルを目視確認し、交換することによって生産性を保っていた。

GX-Fでは、加工の良否判定と加工条件の自動修正を行うAIアシスト機能と、加工ノズルの状態判定とノズルの自動交換を行うAIノズルモニタ機能を開発した。

3.1 AIアシスト機能

AIアシスト機能は、加工中に発生する光と音から加工良否判定及び加工条件の自動修正をする機能である。この機能を使用中に良加工と判定された場合、生産性を上げるように加工速度を修正する。一方で、加工不良と判定された場合は、自動的にノズルの清掃や交換処理、加工条件へのフィードバックを実施し、加工不良及び加工停止を抑制する(図1)。

AIアシスト機能には、機械学習技術の“教師あり学習”を採用している。加工板厚ごとに良加工と様々な不良加工のデータをあらかじめ大量に取得し、AIに学習させている。AIアシスト機能では、加工中の発光から良否を判定するAIと発生音から良否を判定するAIの二つのAIを搭載しており、判定結果を複合させて、最終的な評価値として出力する。光から判別するAIの判別器は、ディープラーニングを使用しており、音から判別するAIの判別器は混合ガウスモデルを使用している(図2)。

3.2 AIノズルモニタ機能

AIノズルモニタ機能は、ノズルの状態判定を自動で行い、加工に影響あるダメージが発生した場合はノズル交換を自動で行う機能である。ノズル交換や検査を行うことで加工不良を低減すると同時に、作業者の段取り時間を短縮させる。この機能が動作すると、①加工機内のカメラでノズルを撮影し、②撮影画像の切り出し(加工)を行い、③学習済みモデルを読み出してAIによるノズル診断を行うという処理フローで診断を実施する。

AIノズルモニタ機能には、機械学習技術の“教師あり学習(分類)”を採用している。良状態のノズルと傷が入った

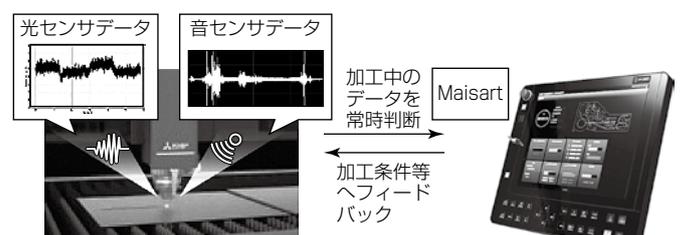


図1. AIを活用した加工良否判定技術

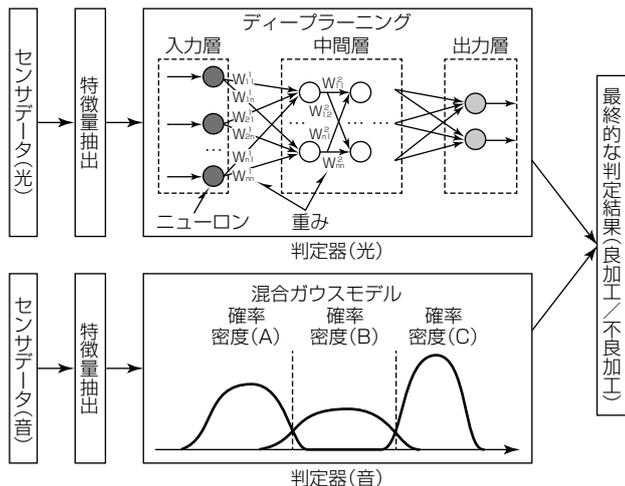


図2. センサデータによる良否判定フロー

不良ノズルの写真を取得し、AIに学習させた。判別するAIの判別器は、画像に特化したニューラルネットワークである畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を使用している。診断結果は0~1(0:正常, 1:異常)として出力される。

図3はCNNがスコア算出時に重要視した箇所(判断根拠)をGrad-CAM(Gradient-weighted Class Activation Mapping)によるヒートマップ形式で可視化したものである。白く“もや”がかかっている部分がCNN側で重要だと判定している箇所である。人間との判断箇所と乖離(かいり)しないように判別器の調整やデータ増しを実施しながら製品化を実現した。

3.3 AI技術適用による加工安定性向上効果

材料表面状態が悪くて加工不良が発生しやすい素材を加工した際には、加工不良が高頻度で発生して加工後の手直し工程に多くの時間を割かなければならない。さらに加工中にノズルが損傷する可能性もあり、加工不良の割合が更に上昇する。

図4はAI技術を適用した場合とそうでない場合の加工安定性向上効果を試算したシミュレーション結果である。時間は加工時間の見積りから算出している。AI技術を適用した場合は、材料表面状態が悪い場合にもAIアシスト機能によって加工速度を低下させ、加工不良発生率を大幅に低減可能になる。加工速度を低下させることで切断時間

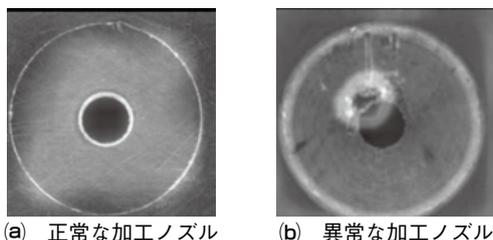


図3. ノズル良否判定の重要箇所の可視化

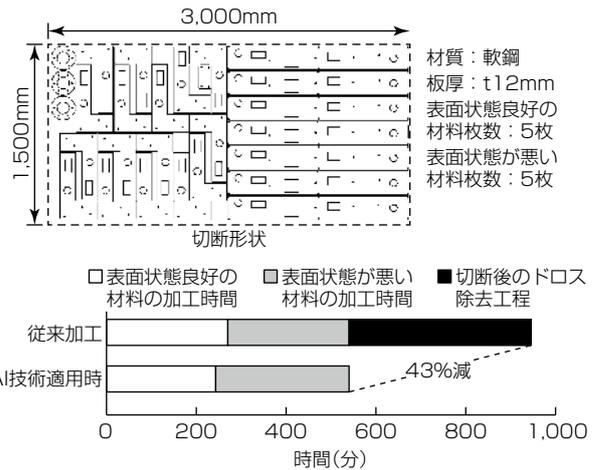


図4. AI技術適用による加工安定性向上効果

は延びるものの後処理が不要になり、トータルでの生産性は向上する。さらに、ノズル損傷による加工不良発生時にもAIアシスト機能による加工不良の検知とAIノズルモニタ機能によってノズルの自動交換が可能になり、加工安定性を大幅に向上させることが可能になる。

4. 最新加工技術

ここまでGX-Fに搭載したAI技術について重点的に述べたが、GX-Fでは、加工安定性の向上だけではなく、新型発振器とガス流制御技術AGR-ecoによってレーザ加工機の加工能力向上も実現した。この章ではそれら最新の加工技術について具体的に述べる⁽¹⁾。

4.1 軟鋼厚板の高速ピアス

中厚板以上の軟鋼酸素加工では、ピアス(切断開始前の穴加工)の時間が長く、総加工時間に占めるピアス時間の割合が大きくなる。特に穴加工が多くピアス回数が多い場合にはその割合が更に増加する。つまり、生産性を向上させるためにはピアス時間の短縮が重要になる。

GX-Fでは新型発振器の高速応答性、ズームヘッドによる高速ビーム制御技術によって、ピアス時間を大幅に短縮した。軟鋼t25mmではピアス時間を従来比77%減の0.8秒まで短縮した(図5)。

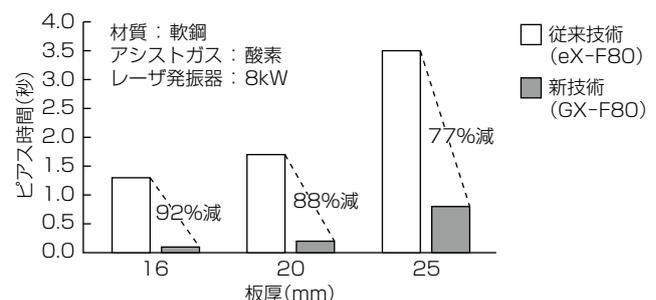


図5. 軟鋼厚板のピアス時間

4.2 小穴加工性能の向上

厚板の加工では、レーザ加工機以外にプラズマ切断機とガス切断機が使用されることが一般的である。しかし、プラズマ切断機とガス切断機は切断幅が大きく、切断材料の板厚が最小加工穴直径の目安になる。例えば板厚25mmの軟鋼の場合には最小加工穴直径は25mm程度になる。そこで小穴加工については切断工程後に機械加工による穴加工が必要になる。一方、レーザ加工は集光されたレーザを用いて加工するため小穴加工が可能であるが、加工部近傍にピアス時の溶融物が堆積し、さらに加工時の入熱によって異常燃焼が発生するため、板厚の約1/2以下の小穴加工は困難であった。GX-Fではプラズマ切断機とガス切断機を凌駕(りょうが)するために、小穴加工性能の更なる向上を図った。軟鋼厚板の高速ピアスによって加工点の入熱量を低減させるだけでなく、小穴加工に最適なビーム成形技術とガス流制御技術によって、軟鋼t25mmで板厚の1/8以下となる直径3mmの小穴加工が可能になった(図6)。

4.3 ランニングコスト削減技術

レーザ加工中は、アシストガスをレーザ光と同軸方向に噴射する。アシストガスは加熱・溶融させた材料を切断溝から排出するために使用され、加工の目的や用途によって酸素や窒素などを使い分ける。

近年、ファイバレーザの高出力化が著しく進んでおり、高出力ファイバレーザを用いた上でアシストガスに窒素を使用することで加工速度を大幅に向上させることが可能になった。しかし、窒素を用いた加工ではガス代がランニングコストに占める割合が高く、生産コストを増大させてしまうことが課題であった。GX-Fでは、図7に示すように、

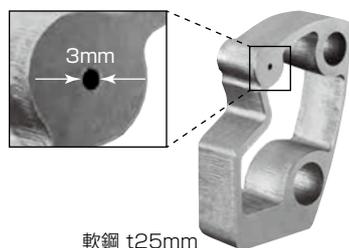


図6. 軟鋼t25mmの小穴加工

加工点のシールドに必要な領域だけ窒素を供給し、それ以外の部分を安価なエアに置き換えた。溶融物の除去に必要なアシストガスの機能を確保しつつ、窒素ガスの消費量を大幅

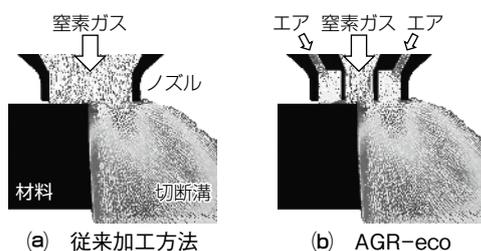


図7. AGR-ecoによる窒素ガス削減方法

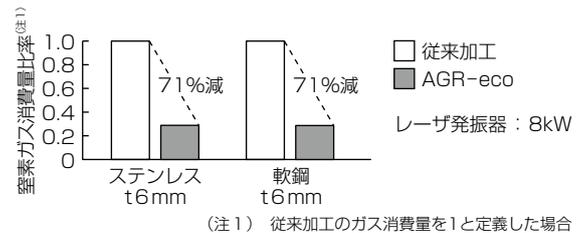


図8. AGR-ecoによる窒素ガス消費量削減効果

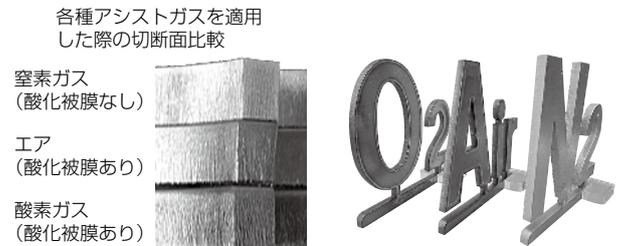


図9. 新型発振器による純銅の窒素切断

に削減可能なガス流制御技術AGR-ecoを開発した。

AGR-ecoはステンレスや軟鋼の窒素切断に適用可能であり、通常のレーザ加工と同様に、薄板から厚板まで適用が可能である。図8にAGR-ecoによる窒素ガス消費量削減効果を示す。軟鋼t6mm、ステンレスt6mmで従来加工と比較して窒素消費量を71%削減可能になった。

4.4 純銅の窒素切断

ファイバレーザで高反射材の銅の切断時には一般的に、アシストガスに酸素やエアを使用する必要がある。一方で銅の切断部品は電気部品等に使用されることが多く、その場合、切断後に酸化被膜を除去する必要がある。窒素を使用することで切断面の酸化を抑制可能だが、加工点からの反射光によって、加工中に加工ヘッドやレーザ発振器が損傷するという課題がある。GX-Fでは反射光除去装置を持つ新型発振器を開発し、さらにノズルの冷却制御も開発することで、純銅の窒素切断を可能にし、レーザ加工の適用範囲拡大を実現した(図9)。

5. む す び

新型ファイバレーザ加工機“ML3015GX-Fシリーズ”に搭載したAI技術と最新の加工技術について述べた。ファイバレーザ加工機の技術の進歩は著しく、今後も更なる技術革新が進んでいくものと思われる。加工機性能の向上だけでなくユーザーのフレキシブル生産をサポートするために、段取りや仕分などの非加工時間の削減にも着目し、様々な生産現場のニーズに積極的に応えていく。

参 考 文 献

- (1) 齊藤善夫：三菱電機における最新レーザ加工技術，第84回レーザ加工学会講演論文集(2016.1)，139~144 (2016)