

基板穴あけ用レーザ加工機向け レーザ走査の高速化技術

High-Speed Galvano Scanners for Laser Drilling Machines

中筋淑江*
Toshie Nakasuji
船岡幸治†
Koji Funaoka
内山研吾‡
Kengo Uchiyama

高橋尚弘‡
Naohiro Takahashi

*生産技術センター(工博)
†同センター
‡産業メカトロニクス製作所

要 旨

電子機器の小型・高機能化を支えるプリント基板穴あけ用レーザ加工機は、生産性を高めるため、レーザ光を走査するガルバノスキャナ(以下,“スキャナ”という。)を高速に駆動することが求められている。スキャナはエンコーダを用いてミラーの角度を検出し、ミラーを目的角まで回転させて位置決め制御する。三菱電機は、このエンコーダに注目して高速化技術を開発した。まず、エンコーダを小型・軽量化することでスキャナを高剛性化し、応答周波数を高めた。さらにエンコーダ受光部で複数のセンサ配置によって不要な信号歪(ひず)み成分を相殺し、併せて受光部内に多くのセンサを配列することでS/N比(信号とノイズの比率)を高めて、分解能を向上させた。これらの高速化技術を新型スキャナに内蔵し、加工速度の向上に貢献した。

1. ま え が き

自動車、家電、データセンター、生成AI等、あらゆる電子機器にプリント基板が搭載されて、現代のデジタル社会の基盤を支えている。この基板には層間接続用の穴が必要であり、生産性と品質の面からレーザによるミクロン単位の微細な穴あけ加工が標準的な加工方法として適用されている。近年は電子機器の小型・高性能化が進んで、微細加工や多層構造による高密度化が進展しており、生産性が高い加工機の市場ニーズが高まっている。

本稿では、レーザ光を走査するスキャナの高速化技術と基板穴あけ用レーザ加工機の実産性向上について述べる。

2. プリント基板穴あけ加工技術

この章では、プリント基板穴あけ加工技術について述べる。

2.1 レーザビアとその動向

プリント基板は、図1のマザーボード基板やパッケージ基板等に適用されており、配線を立体的に引き回す多層構造で実装密度を上げている。図2に示すレーザビアの工法では、絶縁層である樹脂にレーザを照射し、除去した後、めっきを施して、最後に表面をエッチングすることで回路パターンを形成する。レーザビアの穴数の推移を図3に示す。基板1層当たりの穴数が2010年では50万穴程度であったが、今では500万穴を超えて、指数関数的に増加している⁽¹⁾。

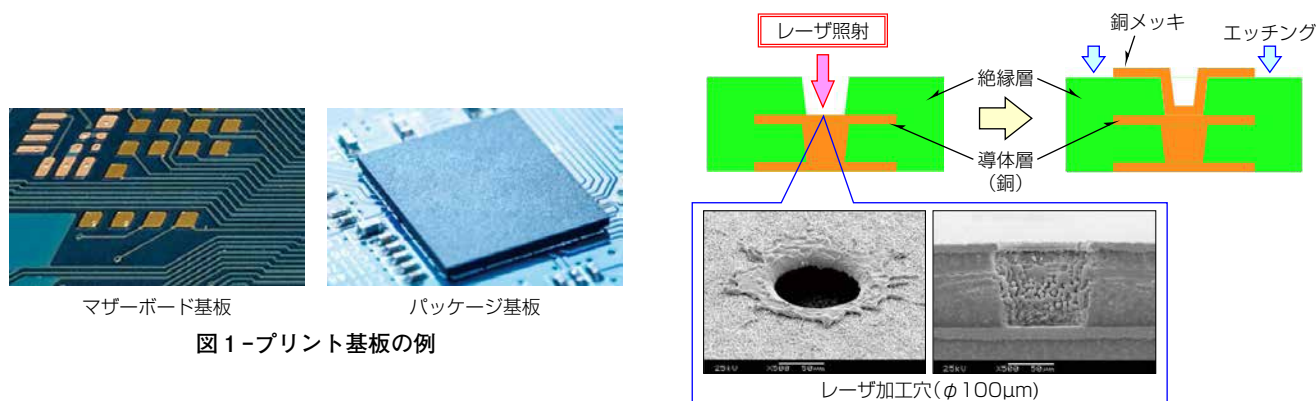


図1-プリント基板の例

図2-レーザビアの工法

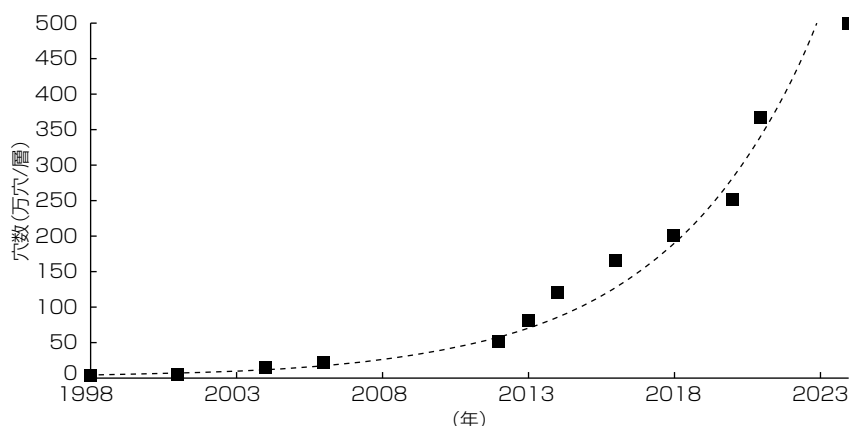


図3-レーザビアの穴数の推移

2.2 加工機の構成と開発方針

基板穴あけ用レーザ加工機の構成を図4に示す。レーザ光の加工穴間の移動にスキャナを用いている。スキャナはエンコーダを搭載しており、モータの回転軸に取り付けられたミラーの回転角度を検出している。そして、ミラーを目的角まで回転させて、レーザ光の光路を狙いの穴位置に向ける。ミラー位置決め後、レーザパルスを発振して穴を加工する。スキャナは1秒間に数千か所もの位置決め(加速・減速・停止)をして、高速加工している。穴あけ加工時間は、スキャナの位置決め時間の占める割合が大きく、加工時間短縮のボトルネックになっている。スキャナの更なる高速の位置決め制御を目指して、スキャナの位置決め応答周波数を高めるとともに、エンコーダの分解能を向上させる。

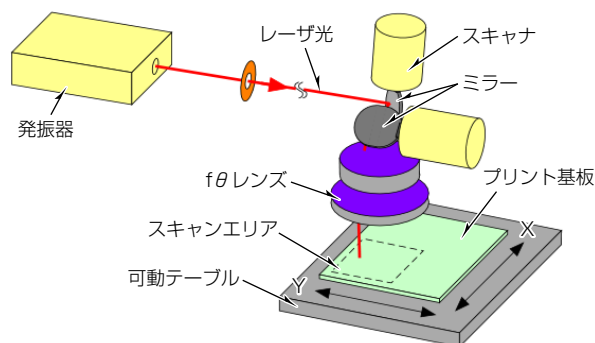


図4-基板穴あけ用レーザ加工機の構成

ここで位置決め応答周波数とは、指令値に対して安定して追従できる周波数の最高値である。位置決め応答周波数が機械共振周波数に近づくと、制御系の不安定化を引き起こす。位置決め応答周波数を拡大するために、スキャナの剛性を高めてその機械共振周波数を高い領域へ引き上げる。また、エンコーダの分解能向上には、角度誤差の低減が求められる。エンコーダ信号には、光学的・電氣的なノイズ成分が含まれる。そこで、まず光学的ノイズ成分を減らした上で、必要な信号を強めることで相対的に電氣的なノイズ成分を低減する。

3. スキャナの位置決め応答周波数の向上

この章では、スキャナの位置決め応答周波数の向上について述べる。

3.1 課題

スキャナに搭載される反射型エンコーダは、図5に示すように、主に光源、スケール板、受光部から構成され、スケール板には目盛りとなるスリットパターンが設けられている。光源から射出された測定光をスケール板に照射し、反射した光を受光部で検出することで、スケール板と受光部との相対角度を測定する。ロータリ型のスケール板は円盤形状をしており、スキャナの剛性を高めるために、スケール板を小径・軽量化する。

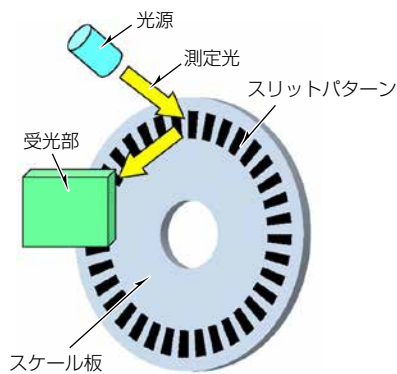


図5-反射型エンコーダの構成

3.2 スケール板の小径・軽量化

スキャナはミラーをある一定の角度範囲内で揺動させる。スケール板の小径化のため、円盤形状から、円盤の走査角度部分を切り出したセグメント形状にする(図6左と中央)。ハブを介してスケール板をモータの回転軸に固定する。スケール板を径方向に小さくするには、ハブとスリットパターンを重ねるとともに、ハブで反射した光がノイズ光になって受光部に届くのを防止する必要がある。そこで、スケール板のスリットパターンの裏面に光吸収膜を設けた(図6右の側面図)。光吸収膜によってハブの反射光の影響をなくして、スケール板の光学半径を小径・軽量化した。これによって、エンコーダの慣性モーメントを低減し、スキャナの剛性を高めることで、位置決め応答周波数を向上させた。

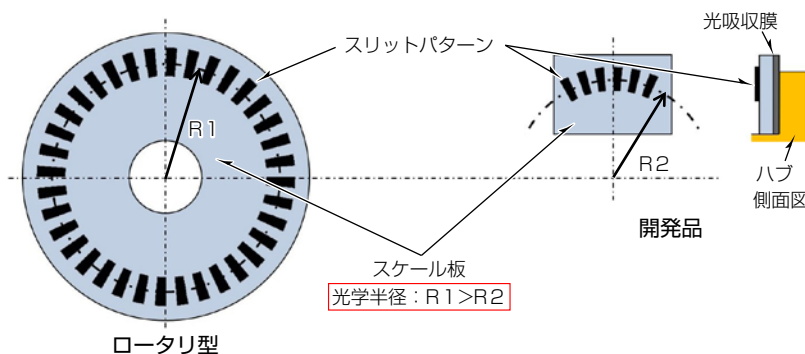


図6-スケール板の小径・軽量化

4. エンコーダの高分解能化

エンコーダ光学系の概略図を図7に示す。エンコーダでは、スリットパターンで回折された光が受光部上に干渉縞(じま)を形成する。ここでTalbot効果⁽²⁾を利用し、受光部上にスリットパターンと相似の干渉縞を形成する。スケール板の回転移動に伴って、受光部上を干渉縞が移動する。受光部は、アレイ状に配置した複数のセンサで構成し、各センサで入射光強度の変動を抽出する。入射光の強度分布から、正弦波信号と余弦波信号で成る角度検出信号を生成し、信号を内挿処理することによって、高い分解能で回転角度を検出する。

4.1 課題

製作上の制限から、スリットパターンの周期を変えずにスケール板を小径化する。図8に示すように、光学半径を $R1$ から $R2$ に小さくすると、周期 P が同じであるため、同じ走査角度の範囲内でスリット数が少なくなる。その結果、受光部上の干渉縞の移動量が減る。従来よりも高い分解能を得るには、角度誤差を低減し、内挿分割数を増やす必要がある。一方、スリットパターンから不要な高次の回折光が発生しているため、理想的な角度検出信号に歪みが生じている。また角度検出信号には、受光部のセンサ自身等から発生するノイズが含まれている。内挿分割数を増やすことでエンコーダの分解能を高めるため、角度検出信号の歪みを抑えとともに、信号の強度を高めることで、S/N比を向上させる。

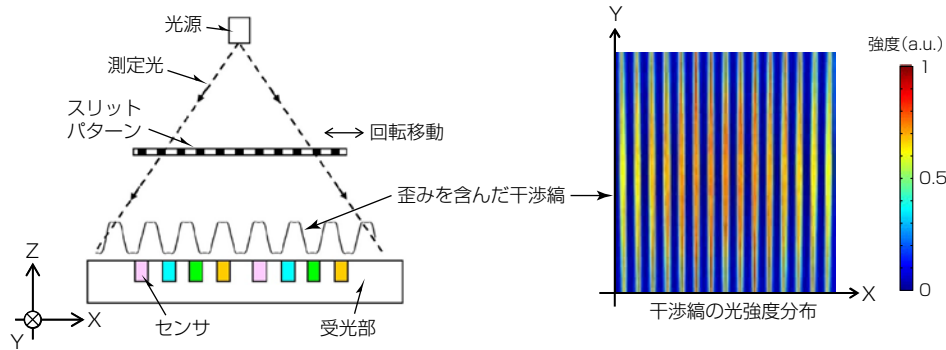


図7-エンコーダ光学系の概略図

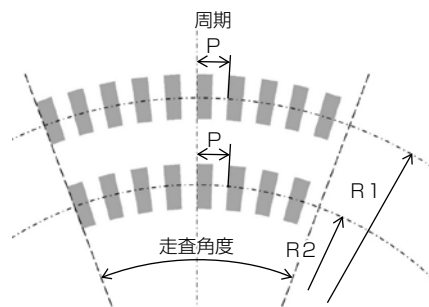


図8-光学半径の小径化

4.2 受光部の角度誤差低減

受光部では、角度検出信号として理想的な正弦波の基準位相信号S1、及び位相差90度、180度、270度の信号S2、S3、S4を生成する。図9に示すように、干渉縞の理想的な正弦波の光強度波形を黒字細線で示している。この理想的な正弦波の90度ピッチに相当する位置に複数のセンサを配置している。

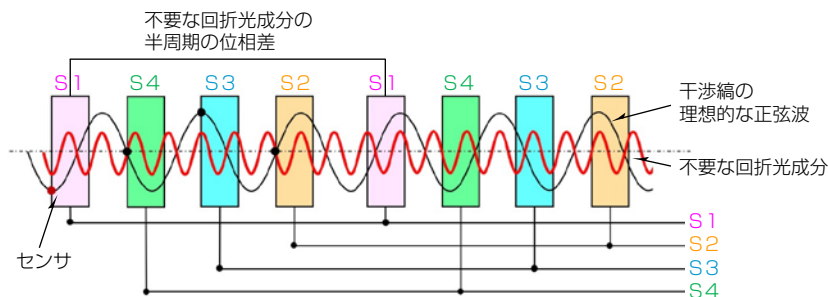


図9-干渉縞とセンサの配置

4.2.1 光学的ノイズの低減

角度検出信号が歪む要因になる不要な回折光成分の周期に着目した。アレイ状に配置したセンサのうち、一部のセンサを不要な回折光成分の半周期分に相当する距離だけずらすことで、不要な回折光成分を相殺する。具体的には図9の赤字太線が不要な回折光成分の光強度波形である。一番左のS1と左から2番目のS1で赤線の波が反転しており、これらを重ね合わせて不要な回折光成分を精度高く相殺する。

4.2.2 電氣的ノイズの相対的な低減

角度検出信号の強度を高めるためには、受光部内で光を検出する領域を増やすことが有効である。図10①に示すセンサ配列のグループ1の隣に同じ配列のグループ1を並べる場合、2番目のグループ1の一番左のS1は、クロストーク等を考慮するとAの位置になる。ここで、図10②のように、グループ2としてセンサS1～S4の並びを変える。グループ2

の一番左をS3とするとBの位置に設置できて、グループ1とグループ2の間隔を狭くできる。この結果、受光部内に多くのセンサを配列することが可能になり、信号強度を高めてS/N比を向上させた。

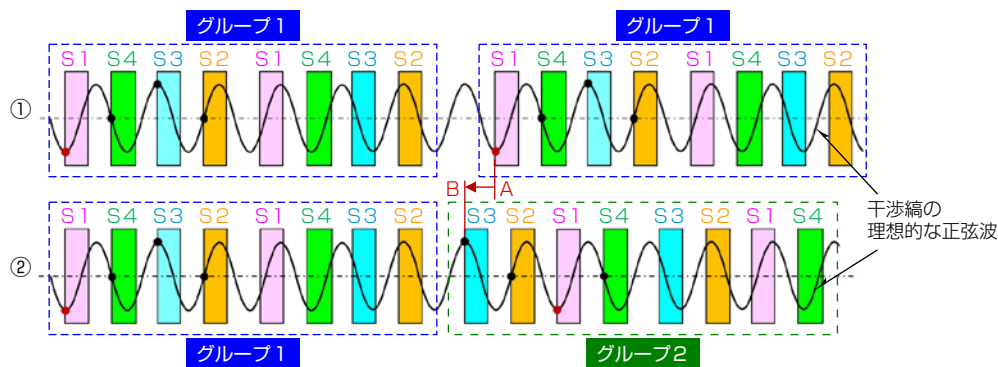


図10-受光部のセンサ配列

5. 生産性向上

スケール板を小径・軽量化することでスキャナの位置決め応答周波数を向上させた。また、光学的・電気的ノイズを低減することでエンコーダの分解能を向上させた。これらの高速化技術を、他の高速化技術と併せて新型スキャナ“3200GL”に内蔵し、スキャナ的高速駆動に貢献した。高速スキャナ3200GLを搭載した基板穴あけ用レーザ加工機のラインアップを表1に、GTW6シリーズの外観を図11に示す。当社独自の発振器と高速スキャナ3200GLの搭載によって毎秒7,000穴^(注1)の超高速・高精度加工を実現し、従来比25～30%の生産性向上^(注1)を達成した。

(注1) 生産性は機種や加工内容によって異なる。

表1-高速スキャナ3200GLを搭載した基板穴あけ用レーザ加工機

シリーズ	GTW6	GTF6	GTF5-UVP
レーザの種類	クロスフローレーザ	クロスフローレーザ	UVレーザ
発振器の出力(W)	540	315	26
構成	2ワーク2ビーム	2ワーク4ビーム	2ワーク4ビーム
特徴	次世代に対応するグローバルスタンダード機	高速高精度を追い求めたハイパフォーマンス機	当社のレーザ技術を結集したUVレーザ加工機

UV：Ultraviolet



図11-GTW6シリーズの外観

6. む す び

基板穴あけ用レーザー加工機のキーテクノロジーの一つであるスキャナの高速度化技術を述べた。今後も、電子機器の市場拡大を背景に、プリント基板の小型・高性能化が進むと考えられる。それに伴って基板の穴数もますます増加し、更なるレーザー穴あけ加工の生産性向上が求められる。これに応じて、スキャナをはじめレーザー発振器やf θ レンズ、制御機器等のキーテクノロジーを継続的に開発することで、高い製品性能と品質を提供していく。

参 考 文 献

- (1) 小林信高, ほか: レーザ穴あけ加工の品質を向上させるミラーの発明, 三菱電機技報, **92**, No.4, 257~260 (2018)
- (2) Bryngdahl, O.: Image formation using self-imaging techniques, Journal of the Optical Society of America, **63**, No.4, 416~419 (1973)

