

含水モニタリング技術を利用した 高精度レーザー木材加工システム

報告者 大学院総合理工学研究科東大阪モノづくり専攻
助教授 橋新裕一
共同研究者 株式会社レザック 代表取締役 柳本忠二

1. 背景

現在、抜型加工の基板の一つとして、合板が用いられている。合板とは、湿気による反り返りをなくし、また強度を向上させるため、木目が垂直になるように奇数枚重ねられた木材を指す。株式会社レザックでは、抜型の基板に合板を使用している。抜型用刃物（トムソン刃と呼ばれる長尺の1枚刃）をこの合板に取り付けるため、CW-CO₂レーザーによって合板の溝加工（貫通）を行っている。レーザー加工には高精度・高品質な加工が行える、非接触な加工のため工具の磨耗がない、大気中で行える、などの利点がある。一方、CW-CO₂レーザーの照射波長である 10.6 μm は水の分子振動に一致する波長であるため、レーザーエネルギーは水に強く吸収される。そのため、合板に含まれる水分量によって加工精度（溝断面の形状や溝幅）が異なるという問題がある。とくに表裏の溝幅が異なると、基板の反り返りや破損が生じてしまう。加工精度が異なると、トムソン刃をしっかりと固定することができない。現状では、加工前に合板の重量を計測し、あらかじめ試行して、レーザー照射条件を見出してからレーザー加工を行っている。しかしながら、この場合でも合板の部位によって水分量が異なるので、部位によって加工精度が異なる。水分量の分布を事前に、あるいは実時間で知ることができれば、その水分量に見合った最適なレーザー照射条件で高精度な加工ができると考えられる。

2. 目的

合板の水分量のモニタリング方法として、レーザー照射中に発生する加工音に着目した。レーザー照射中に発生する加工音は材料の水分量、吸収係数、分子配列などによって変化する。したがって、レーザー加工音から材料の特性や状態を判別することが可能であると考えられる。そこで、本研究では加工精度を向上させるため、この加工音を解析して、その情報から水分量をモニタリングし、レーザーの照射パラメーターを制御できるレーザー加工システムの開発を目的とした。

レーザー加工音から材料の状態を判別するためには、レーザー加工音が変化する原因を詳しく調べる必要がある。そこで、今年度はレーザーの照射部位、レーザーの照射エネル

ギー、合板の水分量とレーザー加工音特性との関係を調べ、加工音を利用した水分量のモニタリングの可能性を実験によって検討した。

3. 研究組織

近畿大学：橋新裕一、佐野 秀 (D 2)、宇野晴木 (M 1)

レザック：柳本忠二、清水隆司

4. 研究方法

実際のレーザー加工では CW-CO₂ レーザーが用いられているが、第一段階としてパルス CO₂ レーザー (TEA 型、照射波長 10.6 μm、パルス幅 80 nsec) を用いた。実験配置図を図 1 に示す。レーザーは焦点距離 10cm の ZeSe 平凸円レンズで集光し、試料に垂直照射した。

レーザー照射により発生する加工音の測定には、超音波音圧計 (測定範囲 20Hz~70 kHz、無指向性) を用いた。音圧計は非接触・空気中に配置して受音し、デジタルオシロスコープにより加工音波形を観測した。

試料には厚さ 18mm の合板 (シナ材、9 層) を用いた。24 時間水に浸漬させた吸湿合板、自然乾燥させた自然乾燥合板、100 °C の電気炉により十分に乾燥させた乾燥合板 (重量が減少しない状態まで乾燥、約 3 時間) の 3 種類を用いた。

加工音実験は合板の照射部位による違い、照射エネルギーによる違い、故意に合板に水分を含ませ、その含ませた部位による違いについて調べた。

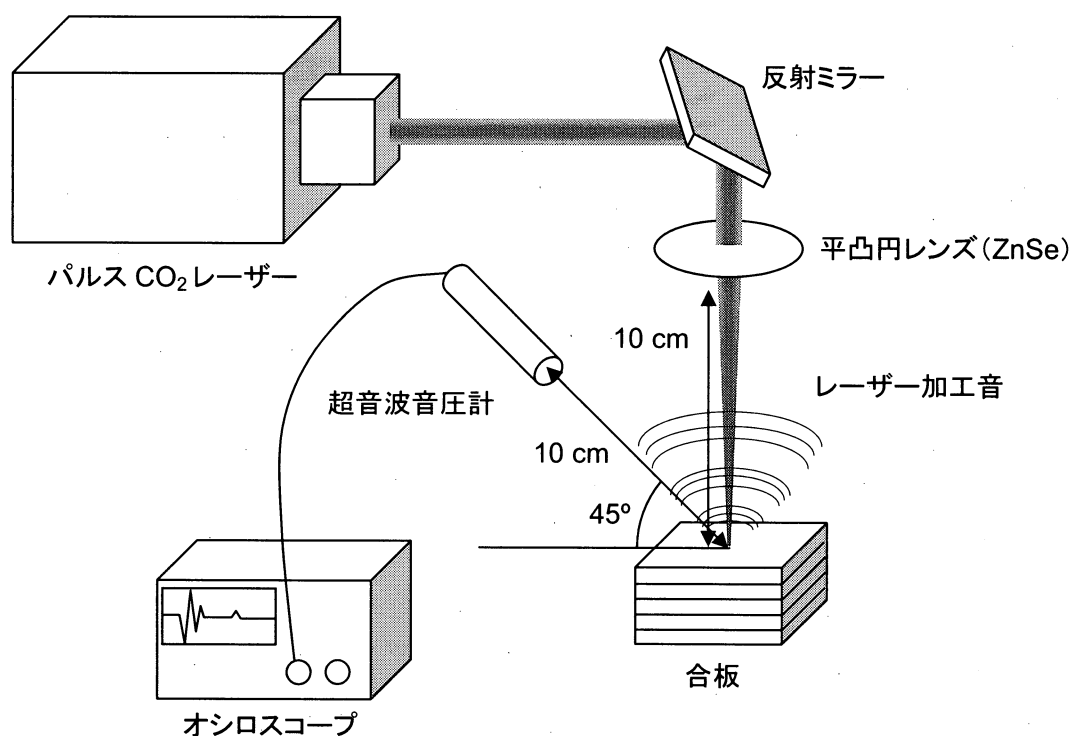


図 1 実験配置図

5. 研究成果

本研究では、レーザーの照射条件および合板の状態を変化させ、レーザー照射によって発生する加工音がどのように変化するかを調べた。

5-1. 照射部位による違い（吸湿合板と自然乾燥合板との比較）

合板の照射部位によるレーザー加工音の違いを調べた。吸湿合板と自然乾燥合板との比較を行った。レーザーの照射条件は照射エネルギー50 mJ、照射面積 0.75 mm²、照射エネルギー密度 6.67 J/cm² とし、無垢の試料に1パルス照射した。合板の大きさは、210^h×297^w×18^t mm とした。

発生したレーザー加工音波形の第1ピークから第2ピークまでを加工音の最大振幅とする。図2(a)に示す20点にレーザー照射を行い、加工音がどのように変化するかを観測した。図2(a)で示した20点の照射点の内、①～⑤を下端、⑥～⑩を上端、⑪～⑳を中央部として照射部位の区分を行った。図2(b)より、各照射部位において自然乾燥合板に比べ、吸湿合板の場合に加工音の最大振幅が大きい。すなわち、合板の水分量が多い場合に、加工音は大きくなることが確かめられた。また、吸湿合板の場合に比べて、自然乾燥合板では照射部位による加工音の最大振幅に大きなバラつきが見られた。これは照射部位によって乾燥の程度にバラつきがあるためと考えられる。すなわち、水分の多い部位では加工音が大きく、乾燥している部位では加工音が小さいためである。

5-2. 照射部位による違い（十分に乾燥させた合板の場合）

十分に乾燥させた合板の場合についても、前項と同様に、照射部位による加工音特性の違いを調べた。照射部位による加工音波形を図3に示す。合板の大きさは、30^h×30^w×18^t mm とした。図のように、十分に乾燥させた合板の場合の加工音の最大振幅は、照射部位に依らずほぼ一定であった。このことから、表面の水分量がほぼ一定であれば、加工音の最大振幅は照射部位に依らずほぼ一定となることが分かった。また、それぞれの照射部位において加工音波形の比較を行うと、加工音発生から 0.03-0.05 msec と 0.08-0.11 msec の2箇所の波形にわずかな変化が観測されたが、他の部分には大きな加工音波形の違いは観測

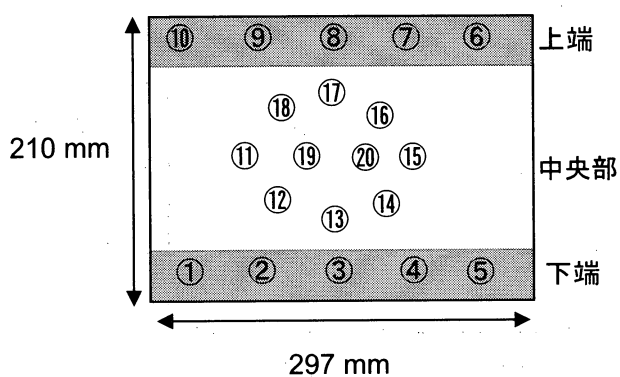


図 2(a) 合板照射部位

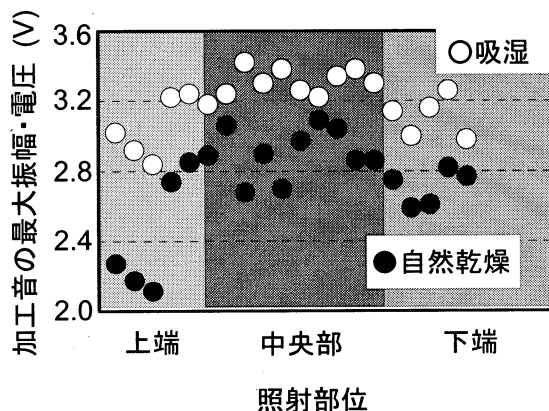


図 2(b) 照射部位と加工音の最大振幅

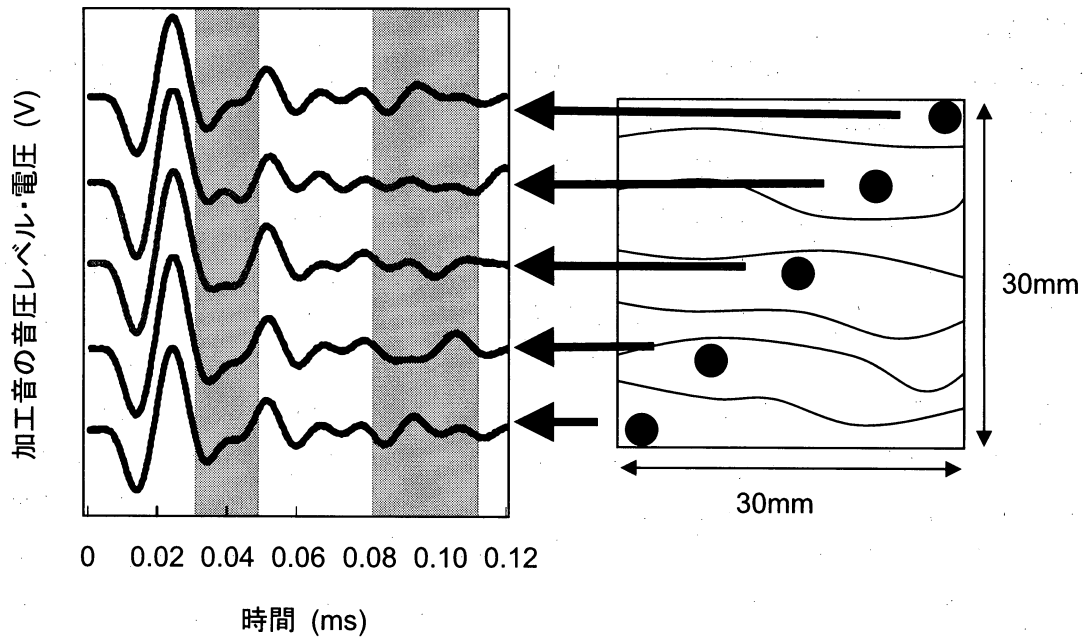


図 3 照射部位による加工音波形

されなかった。したがって、発生するレーザー加工音の最大振幅および波形は、照射部位に依らずほぼ一定となることが分かった。

5-3. 照射エネルギーによる違い

乾燥合板を用いて、レーザー照射エネルギーによる加工音特性の違いを調べた。合板の大きさは $30^h \times 30^w \times 18^t$ mm とした。実験の結果、図 4 に示すように、レーザーの照射エ

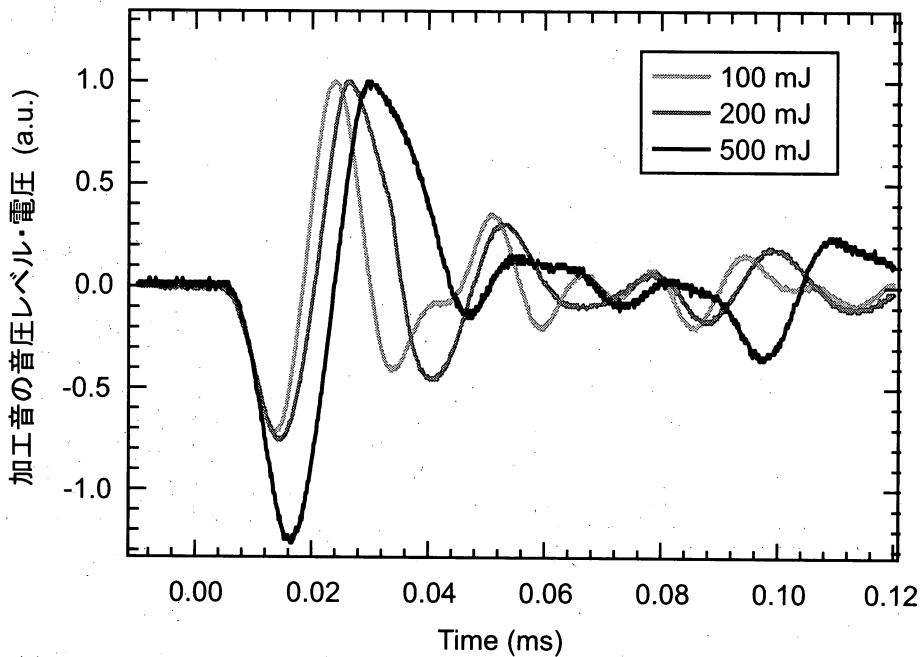


図 4 照射エネルギーによる加工音波形の違い

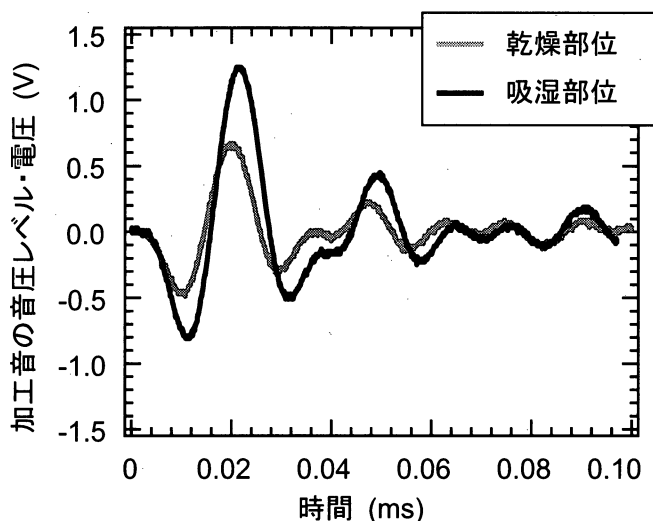


図 5(a) 乾燥部位および吸湿(表面)部位における加工音波形の比較

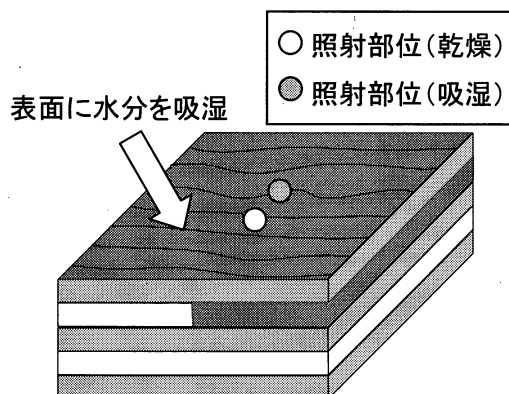


図 5(b) 照射部位および吸湿部分

エネルギーの増加に伴い、発生する加工音の最大振幅は大きくなった。加工音の波形を比較すると、発生する加工音の位相が大きく変化し、照射エネルギーの増加に伴い第 2 ピーク以降の位相のずれが長くなることが分かった。これは照射エネルギーが大きくなると、蒸発気化させる水分量が増加するためと考えられる。

5-4. 合板に含ませる水分の部位による違い

乾燥合板を用いて、故意に水分を含ませて、水分を含ませる合板の部位による加工音の違いを調べた。合板の大きさは、 $30^h \times 30^w \times 18^t$ mm とした。水分を合板の表面に含ませた場合および内部に含ませた場合の加工音波形を観測した。

5-4-1. 合板表面に水分を含ませた場合

図 5 (b) に示すように、合板表面に水分を含ませた場合のレーザー加工音波形を調べた。合板が乾燥している場合と合板表面に水分を含ませた場合の加工音波形の比較を図 5 (a) に示す。合板表面に水分を含ませた場合、加工音の最大振幅は乾燥合板に比べて大きくなった。また、合板表面に水分が含まれている場合、わずかではあるが乾燥合板に比べて位相のずれが観測され、水分を含んだ合板の方が乾燥合板に比べて位相のずれが長くなっていた。その理由として、合板中を伝わる音速約 3,000m/sec と水を伝わる音速約 1,500m/s が違うためと考えられる。

5-4-2. 合板内部に水分を含ませた場合

合板表面は乾燥させたままで、合板内部のみに水分を含ませた場合の加工音波形を調べた。水分は図 6 (b) に示すように、合板の表面から第 2 層目に含ませた。合板が乾燥している場合と合板内部に水分を含ませた場合における加工音波形の比較を図 6 (a) に示す。合板内部に水分を含ませた場合、合板表面に水分を含ませた場合と同様に、乾燥合板に比べ加工音の最大振幅が大きくなった。また、合板内部に水分を含ませた場合、第 2 ピーク

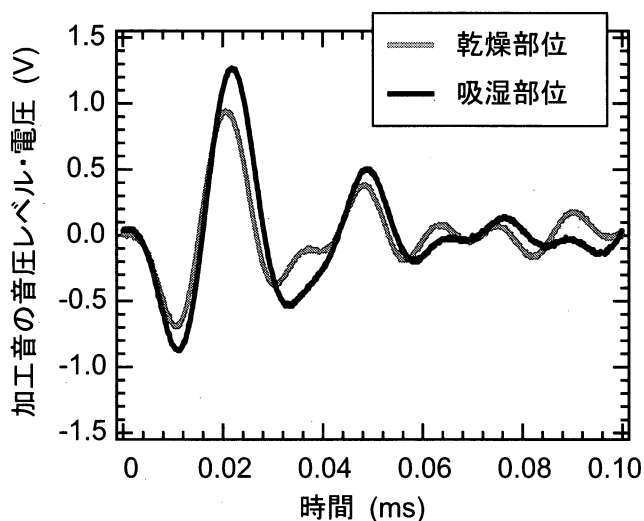


図 6(a) 乾燥部位および吸湿(内部)部位における加工音波形の比較

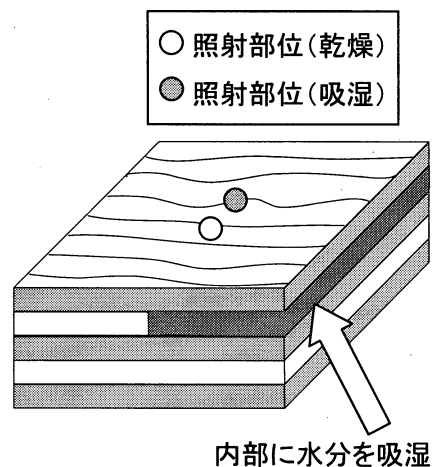


図 6(b) 照射部位および吸湿部分

にわずかな位相のずれが観測された。

5-5. 研究成果まとめ

本研究は、CW-CO₂ レーザーを用いた合板加工の精度および品質を向上させることを目的として研究を行っている。CW-CO₂ レーザーの発振波長である 10.6 μm は、水の分子振動に一致する照射波長のため、レーザーエネルギーは水分に吸収されやすい。加工対象である合板は水分を含みやすいため、加工の精度が照射部位の水分に左右される。そこで、照射部位の水分量やその分布をレーザー照射中に発生するレーザー加工音から判別することを目的として研究を行った。

実際のレーザー加工では CW-CO₂ レーザーが用いられているが、今年度はレーザー照射中のレーザー加工音を捉えやすくするため、パルス CO₂ レーザーを用いた。レーザー加工音から水分の判別を行うには、レーザー加工音がどのような原因で変化するかを調べる必要がある。そこで、レーザーの照射部位、照射エネルギー、合板の水分含有部位による加工音特性(大きさと波形)の違いを調べた。

自然乾燥させた合板にレーザー照射を行った場合、レーザーの照射部位を変えただけで加工音の最大振幅が大きく変化した。この場合、照射部位の含水量がそれぞれ異なっていたのか、含水量は一定であるが照射部位によって加工音が変化するのか、それらを区別することが困難であった。そこで、合板を電気炉により加熱し、十分に乾燥させた合板を用いて加工音の測定を行った。その結果、照射部位を変えてレーザー照射を行っても、レーザー加工音にはほとんど変化のないことが分かった。

レーザーの照射エネルギーを変えて加工音の測定を行った場合、加工音の最大振幅はレーザーの照射エネルギーの増加に伴い大きくなった。また、加工音波形の比較を行った場

合、照射エネルギーの増加に伴い位相のずれが長くなることが分かった。

合板表面に水分を含ませた場合、乾燥合板に比べ加工音の最大振幅が大きくなった。また、合板と水で音速が変化するため、合板表面に水分を含ませた場合、乾燥合板に比べわずかながら位相が長くなっていた。

合板内部に水分を含ませた場合は、合板表面に水分を含ませた場合と同様に加工音の最大振幅が大きくなっていた。しかし、位相のずれはほとんど観測されず、乾燥合板との加工音の違いは、最大振幅のみであった。

以上のことから、レーザー加工中の加工音を測定することにより、どのような原因で加工音が増加するかを判別することが可能であると考えられる。まず、レーザーの照射部位を変えても加工音はほとんど変化しないので、加工音特性が変化した場合その原因として、レーザーの照射エネルギーによるものか、照射部位の水分によるものかの2点に絞られる。レーザーの照射エネルギーが変化した場合、照射エネルギーが変化することで加工音の最大振幅と加工音波形の位相が変化しているはずである。一方、照射部位の水分が変化した場合、加工音の最大振幅は変化するが、加工音波形の位相はほとんど変化していないはずである。そのため、加工音の最大振幅と加工音波形の位相を観測することで、加工音波形が変化した原因がレーザーの照射エネルギーの変化によるものか、照射部位の水分によるものかを判別することが可能であると考えられる。

本研究により、レーザーの照射エネルギーが変化した場合と合板の水分量が変化した場合にレーザー加工音特性が変化することが明らかとなった。また、加工音の最大振幅と加工音波形の位相から、合板の水分量をモニタリングすることが可能であることが明らかとなった。

6. 今後の展開

レーザー照射中の加工音特性を測定することで、合板の水分量をモニタリングすることが可能となったが、定量化がなされていない。今後の展開として、レーザーの照射エネルギーおよび合板の水分量を定量的に変化させ、それに伴う加工音特性の変化を測定したいと考えている。続いて、今年度はパルス CO₂ レーザーの加工音特性を調べたが、実際の加工では CW-CO₂ レーザーが用いられているので、次年度は CW-CO₂ レーザーの加工音特性を調べる。また、加工音情報から水分量をモニタリングして、その水分量に見合った最適なレーザー照射条件を制御するシステムを構築するため、レーザー照射条件の制御方法を検討する。