

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 近畿大学大学院総合理工学研究科東大阪モノづくり専攻
准教授 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、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である。株式会社レザックでは、抜型用刃物（トムソン刃）を合板に取り付けるための溝を、1 kW-CW-CO₂ レーザーを用いて作製している。レーザー加工の利点としては、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、などが挙げられる。しかし、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照射波長であるため、レーザーパワーは水に強く吸収されてしまい、合板に含まれる水分量によって切断面の形状や切断幅が変わってしまい、加工精度が悪くなるという問題点がある。この問題を解決するためには、合板の水分量をモニタリングし、水分量に適したレーザーパワーで加工すればよいと考えられる。そこで、水分量のモニタリング手法として、レーザー加工中に発生する加工音に着目した。これまでに、レーザー加工音特性には、照射対象の種類や状態および水分量などの情報が含まれていることを確認してきた。その結果、レーザー加工音から合板の水分量をモニタリングできると確信した。

2. 目的

レーザー照射中に発生するレーザー加工音は、材料の水分量、吸収係数により変化する。そのため、レーザー加工音から材料の水分量をモニタリングすることが可能であると考えられる。そこで、本研究ではレーザー加工の精度を向上させるため、レーザー照射時に発生するレーザー加工音をリアルタイムで解析し、レーザー加工中に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ている。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。一般に、音響測定では環境ノイズ (N) と信号 (S) とをいかに区別し、S/N 比を向上できるかが問われる。平成 18 年度はこの S/N 比向上を目的に、レーザー照射時に発生する加工音の周波数解析を行い、レーザーの照射形態および合板の水分量により、どのような違いが生じるかを調べた。また、モニタリング情報を元に、レーザーパワーを微調整するパ

ワー減衰器の試作も行った。

3. 研究組織

研究代表者：本学大学院総合理工学研究科・准教授・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

研究協力者：本学大学院総合理工学研究科

大学院生・佐野 秀、宇野晴木、村松博則

4. 研究方法

1 kW-CW-CO₂ レーザーでの実験配置図を、図 1 に示す。照射レーザーには 1 kW-CW-CO₂ レーザーを用い、加工対象には合板（大きさ 915^h×1820^w×18^t mm、重さ 16.2 kg、シナ材、9 層）を用いた。1 kW-CW-CO₂ レーザーは直線偏光（出射直後）であるが、円偏光ミラー（①）を用いて円偏光とした。可動ミラーは③、④、⑥、⑦となっている。⑥、⑦のミラーによりレーザーヘッドが前後左右に動き、光路長が変化した分を③、④のミラーを動かすことで調整している

（③、④のミラーは連動）。集光ユニット内部集光レンズ（集光距離：177.8 mm）を設置し、合板に集光照射を行った。レーザーの照射部位にはレーザー照射により発生するデブリを除去するため、レーザー照射と同時に一定のガス圧でエアを吹き付けている。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 20 Hz - 70 kHz、無指向性）

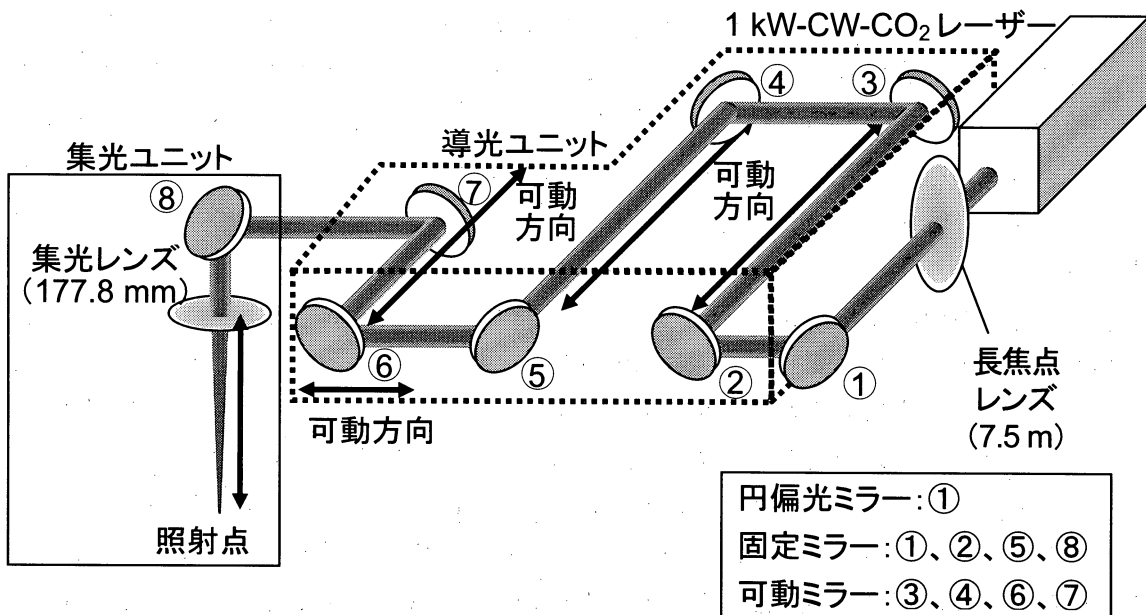


図1 1 kW-CW-CO₂レーザーの光学系配置

を用い、オシロスコープにより波形の観測を行った。加工音の周波数解析には、解析ソフト TDS ウェーブフォームユーティリティーII を用いた。

4-1. 切断加工時の加工音特性

CAD によってプログラミングされた図形 (図 2) に沿ってレーザー走査照射を行い、切断加工時に発生する加工音の測定を行った。切断幅は 0.7 mm とした。図 2 に示す番号は走査の順番を示しており、照射開始箇所が① ~ ⑦、照射終了箇所が①' ~ ⑦' とした。周波数解析は、加工音が発生する前の区間および加工音が発生している区間で行い、解析区間は 10 msec とした。

4-2. 穿孔加工時の加工音波形

1 kW-CW-CO₂ レーザーの照射時間を変化させてパルス状にレーザー照射を行い、穿孔加工時に発生する加工音の測定を行った。合板の水分量が加工音にどのような影響を与えるかを調べるため、表面を自然乾燥させた合板 (乾燥合板) および表面に水分を吸湿させた合板 (吸湿合板) を用い、加工音特性がどのように変化するかを観測した。周波数解析は、加工音発生から加工音が終了するまでの間を 10 msec 間隔で分割し、それぞれの周波数解析を行った。

5. 研究成果

切断加工中の加工音波形および穿孔加工中の加工音特性を示す。以降に示す加工音波形において、加工音が発生する時間は図中の 0 sec の位置である。

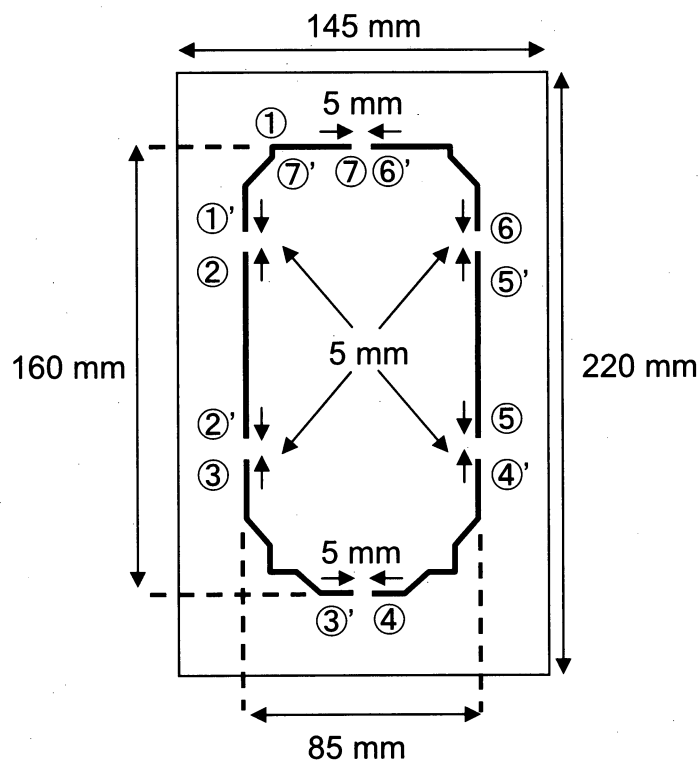


図 2 レーザー走査用図形

5-1. 切断加工時の加工音特性

切断加工時に発生する加工音波形を、図 3 に示す。図 3 (a) は加工音波形を、図 3 (b) は図 3 (a) 100 msec までの拡大図を示す。レーザーの照射条件は、照射パワー800 W、走査速度 900 mm/min とし、エアのガス圧は 0.5 MPa とした。切断距離は 60 mm であった。走査速度 900 mm/min、切断距離 60 mm であるためレーザーを照射している時間は約 4 sec であったが、加工音はレーザー照射直後の 100 msec 間しか発生しなかった。また、100 msec 間に加工音は断続的に発生しており、加工音の間隔は約 10 msec であった

切断加工時に発生する加工音波形の周波数解析結果を、図 3 (b) に示す区間①および②において行った。その結果を図 4 (a)、(b) に示す。図 4 (a) にはレーザー照射をしてお

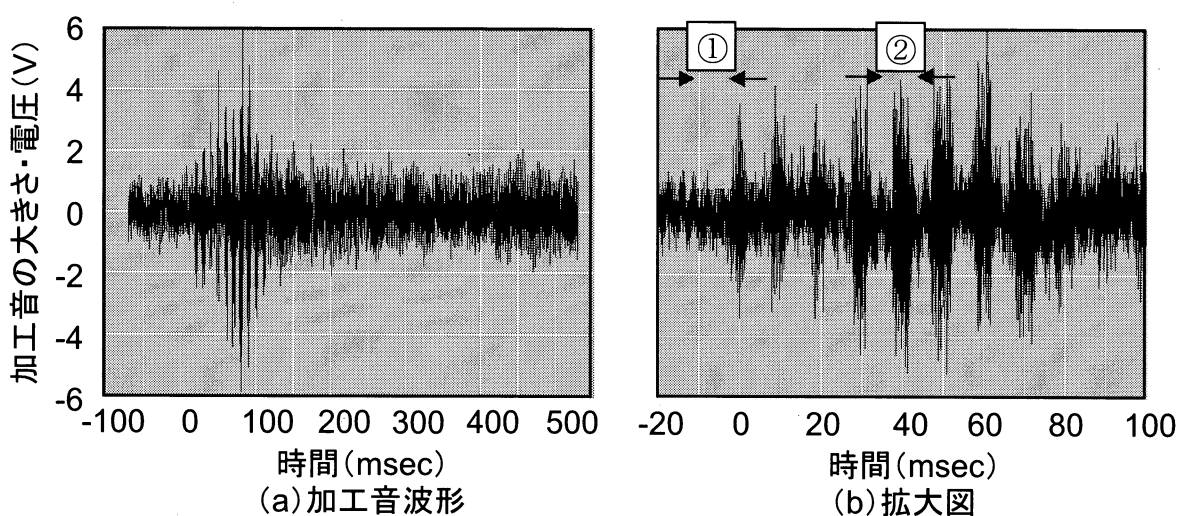


図 3 切断加工時の加工音波形

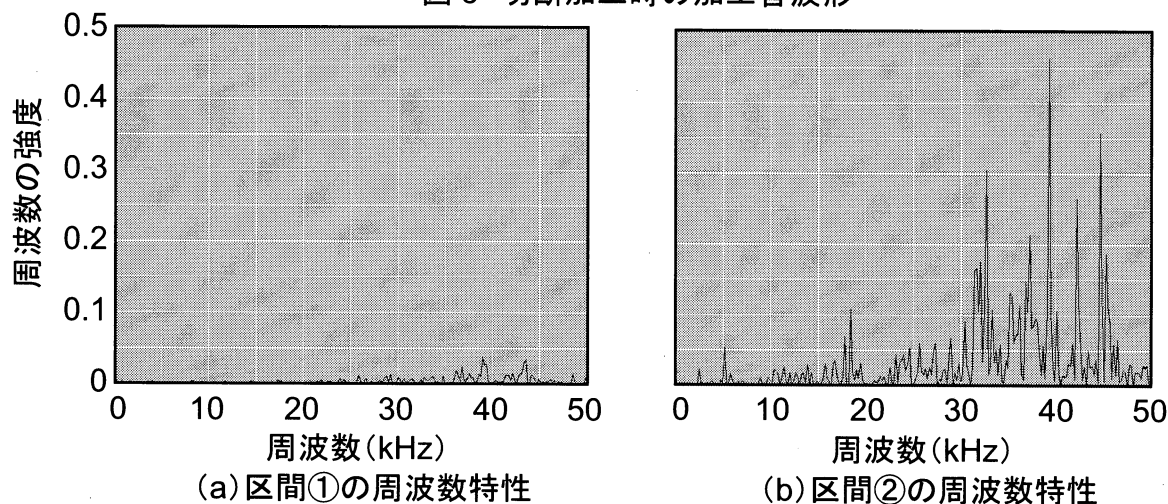


図 4 切断加工時に発生する加工音の周波数特性

らず、エアのみ合板に吹き付けている区間①の周波数解析を、図 4 (b) にはレーザー照射を行っている区間②の周波数解析結果を示す。加工音が発生する前は、図 4 (a) に示すようにノイズ成分がほとんど観測されなかった。加工音が発生している区間においては、30 kHz 以上の高周波成分が強く発生すること分かった。

5-2. 穿孔加工時の加工音特性

乾燥合板および吸湿合板の穿孔加工時の加工音波形を、図 5 (a)、(b) に示す。乾燥合板の加工音波形を図 5 (a) に、吸湿合板の加工音波形を図 5 (b) に示した。レーザーの照射条件は、照射パワー800 W、照射時間 100 msec とし、エアのガス圧は 0.5 MPa とした。照射時間が 100 msec であったが、加工音の発生時間は乾燥・吸湿どちらの場合も約 60 msec 程度であった。これは、合板の貫通と同時に加工音の発生が終了しているからであると考えられる。加工音の大きさは、吸湿合板に比べ乾燥合板の方が大きくなっていった。この理由については、現在検討中である。

図 5 に示した区間①における周波数解析結果を、図 6 に示す。乾燥合板の周波数解析結果を図 6 (a) に、吸湿合板の周波数解析結果を図 6 (b) に示す。乾燥合板は 21 kHz および 35 kHz の周波数成分が大きく発生しており、吸湿合板は 28 kHz 付近の周波数成分が強く発生していることが分かった。そこで、図 5 (a)、(b) に示した区間①～⑦において、21 kHz、28 kHz、35 kHz の周波数成分に着目して周波数解析を行った。得られた結果を図 7 に示す。図 7 (a) には乾燥合板の周波数解析結果を、図 7 (b) には吸湿合板の周波数解析結果を示す。乾燥合板において、ほとんどの区間において 35 kHz の周波数成分が最も強く発生しているが、区間④においては 28 kHz の周波数成分が強く発生していた。また、21 kHz の周波数成分はほとんど発生していなかった。吸湿合板においては、区間②において 35 kHz

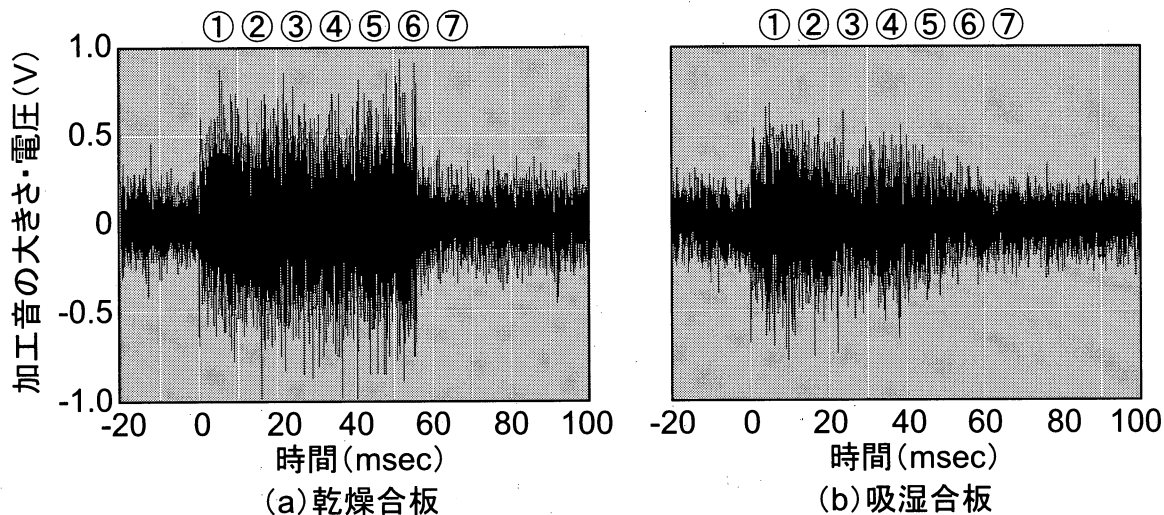


図 5 穿孔加工時の加工音波形

の周波数成分が強く発生していたが、他の区間においてはほとんど発生していなかった。28 kHz の周波数成分は、どの区間においても発生していなかった。また、乾燥合板と違い 21 kHz の周波数成分が区間③～⑤において強く発生していた。このように、加工音は一定の周波数で発生しているわけではなく、穿孔加工中に周波数成分が変化していることが明らかになった。

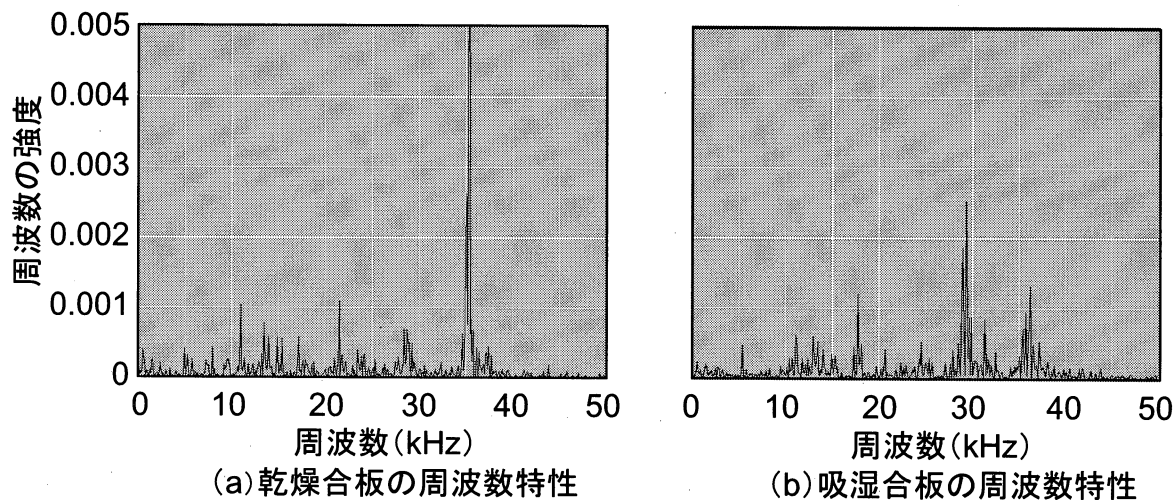


図 6 区間①の周波数解析

乾燥合板の場合、加工音発生から 40 msec 付近において 28 kHz の周波数成分が強く発生した。吸湿合板の場合は、加工音発生から 40 msec 付近において 21 kHz の周波数成分が強く発生していた。加工音発生後 40 msec において、21 kHz、28 kHz、35 kHz の発生周波数に着目して乾燥合板および吸湿合板の周波数特性の違いを図 8 に示す。

加工音発生後 40 msec において、乾燥合板は 21 kHz 付近の周波数成分はほとんど観測されておらず 28 kHz の周波数成分が最も強く発生している。吸湿合板においては、28 kHz、

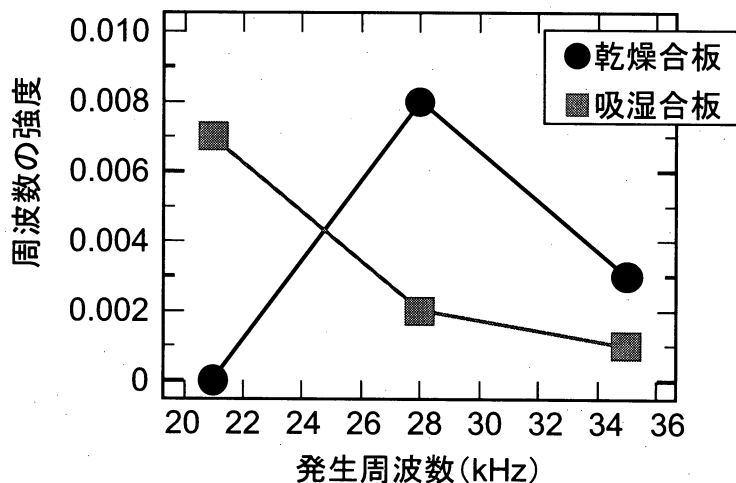


図 8 加工音発生後 40 msec における周波数特性

35 kHz の周波数成分はほとんど観測されなかったが 21 kHz の周波数成分が最も強く発生していた。このような明確な違いが乾燥合板と吸湿合板に表れることから、周波数解析を行うことで合板に水分が含まれているかどうかを判断することが可能であると考えられる。

5-3. レーザーパワー減衰器の試作

本研究において、乾燥および吸湿合板において加工音特性に違いが生じることが明らかになった。これをレーザー加工の高精度化につなげるため、現在 CO₂ レーザーパワー減衰器を併用したフィードバックシステムを構築中である。これは、レーザー照射により発生した加工音から合板の情報をリアルタイムに測定し、レーザーの照射パワーを変化させ最適な照射条件でレーザー加工を行えるようにするためのシステムである。本研究で試作した CO₂ レーザーパワー減衰器を、図 9 に示す。パワー減衰には偏光子を用いている。素子には ZnSe を使用し、レーザーの有効径は 22 mm Φ 、最大 CW パワーは 1 kW である。光学素子を冷却するため、冷却水を用いている。加工音により得られた合板の情報からモーター駆動により偏光子を回転し、最適な加工を行えるようにレーザーの照射パワーの調整を行うことが可能となる。偏光子は最大約 65 度回転させることが可能で、初期位置での透過率は約 97 %、65 度での透過率は、約 5 % である。

6. まとめと今後の展開

本研究は、抜き型加工の基板となる合板を作成する際、加工の精度を向上させることを目的として研究を行っている。合板の加工には、1 kW-CW-CO₂ レーザーを使用している。CO₂ レーザーは水分に強く吸収されるため、合板に含まれる水分量によって加工の精度が変わ

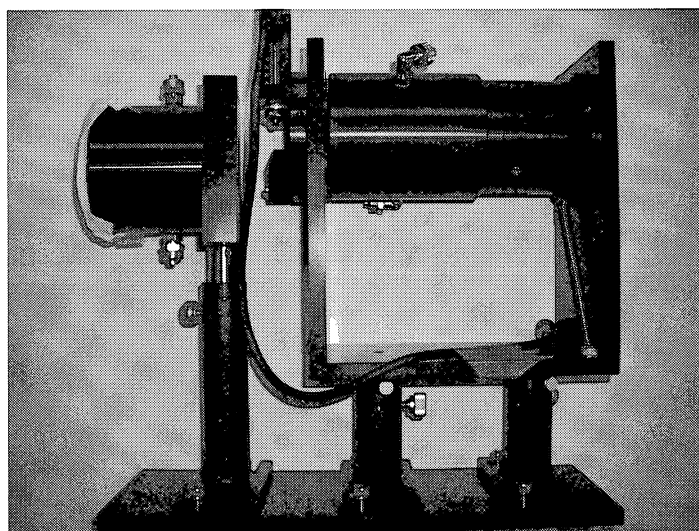


図 9 CO₂レーザーパワー減衰器

るという問題点がある。本研究では、加工の精度を向上させるため、レーザー加工中に合板の情報を取得できる加工音に着目した。加工音には、照射対象物の情報が含まれており、それを解析することで合板の水分量を調べることが可能であると考えられる。

実際の照射方法である切断加工において、加工音は連続的ではなく、断続的に発生した。これは、切断加工中に照射部近傍の水分が蒸発するためであると考えられる。そのため、合板の水分量を測定するためには、ある一点のみを加工する穿孔加工時に発生する加工音

から判断するほうがよいと考えられる。

穿孔加工時に発生する加工音は、照射時間に関わらず、穿孔終了時に発生しなくなることが分かった。周波数解析を行った結果、発生する周波数成分は一定ではなく穿孔加工中に変化していることが分かった。また、乾燥合板と吸湿合板では発生する周波数に違いが生じており、乾燥合板の方が吸湿合板に比べて高周波成分が発生していた。以上のことから、合板の水分量を測定するためには、穿孔加工時の周波数成分を測定することが有効であると考えられる。

今回、実際のレーザー加工の照射パワーである 800 W を用いて加工音特性の測定を行ったが、加工音特性を調べるだけなら低パワー照射により発生する加工音でも可能である。そこで、照射レーザーとして 50 W-CW-CO₂ レーザーを用い、低パワー照射における加工音特性の測定も行っている。低パワー照射の場合、合板を貫通させず、表面付近を穿孔する程度で加工音の測定が可能である。現在、周波数特性の測定には至っていないが、加工音波形には乾燥合板と吸湿合板で明確な違いが生じることが明らかになっている。今後は、低パワー照射による加工音特性の違いもさらに明確にする予定である。