

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

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おり、抜型用刃物を合板に設置するための溝の作成には CW-CO₂ レーザーを用いている。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、レーザーエネルギーは水に強く吸収されてしまう。そのため、合板に含まれる水分量によって加工の精度（切断面の形状や切断幅）が変わってしまうという問題点が挙げられる。

そこで本研究では、高精度・高品質なレーザー加工を行う為、レーザー加工中に発生する加工音に着目した。レーザー加工音には、照射対象の種類や状態および水分量などが含まれている。そのため、レーザー加工音から合板の水分量をフィードバックしレーザー照射条件を制御することで、高精度・高品質にレーザー加工を行えると考えられる。本稿では、1 kW-CW-CO₂ レーザーを合板に照射したときに発生する加工音を測定し、それぞれ照射条件を変化させたときの合板の加工音特性を調べた。

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。そこで本研究ではレーザー加工の精度を向上させるため、レーザー照射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。そこで、レーザーの照射部位、レーザーの照射エネルギー、合板の水分量を変化させてレーザー照射を行い、それぞれの条件を変化させたとき加工音特

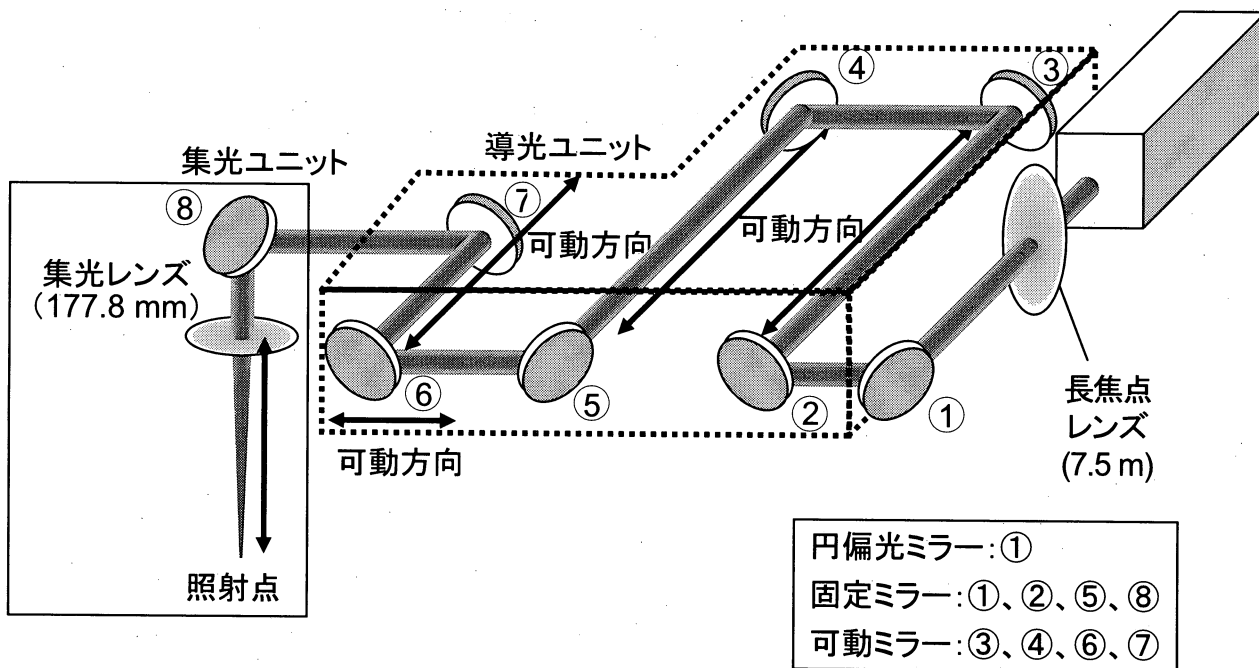


図 1 1 kW-CW-CO₂レーザーの光学系配置図

性がどのような変化するかを調べることを目的とした。

3. 1 kW-CW-CO₂レーザー照射方法および加工音の測定方法

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（シナ材、9 層、厚さ 18 mm）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 - 70 kHz、無指向性）を用い、オシロスコープにより波形の観測を行った。

3-1. 切断加工中の加工音波形

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うとき、発生する加工音の測定を行った。そのとき、レーザーの照射条件（走査速度、レンズから合板までの距離）を変えてレーザー照射を行い、合板の加工音特性にどのような影響が現れるかを観測した。なお、実際にレーザー加工を行なう際、レーザー照射により発生する煙がレンズに悪影響を与えないようにするため、照射部にエアを噴射させている。エアのガス圧は 0.5 MPa 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。また、通常照射と照射の間隔（照射間隔）

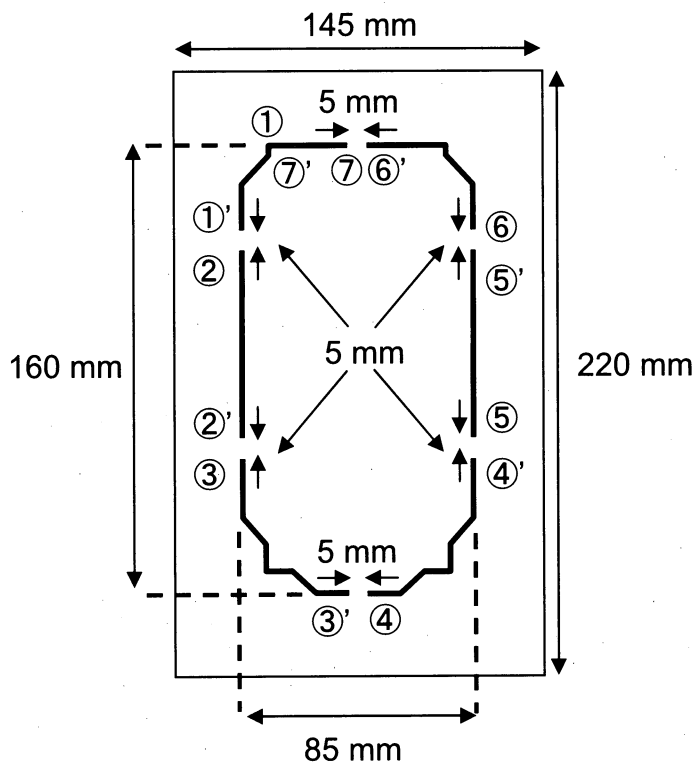


図 2 レーザー走査用図形

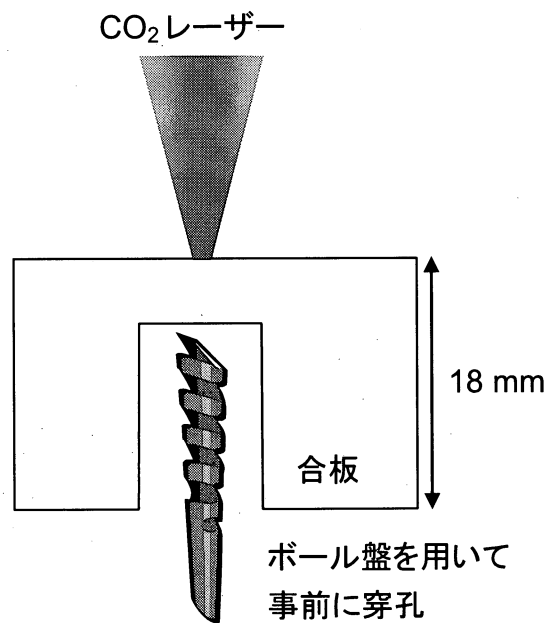


図 3 合板厚さを変える方法

は 5 mm であるが、照射間隔が加工音に与える影響を調べる為、照射間隔を変化させて実験を行った。

3-2. 穿孔加工中の加工音波形

1 kW-CW-CO₂ レーザーは通常 CW 発振であるが、レーザーの照射時間を変化させ、パルス状に照射した場合の加工音の測定を行った。そのとき、レーザーの照射条件（照射時間、照射パワー、レンズから合板までの距離）を変えてレーザー照射を行い、レーザー加工音がどのように変化するかを観測した。また、ボール盤を用いて事前に合板を穿孔し、合板の厚さを変化させた場合に加工音波形がどのように変化するかを観測した。事前に穿孔した合板へのレーザー照射方法を、図 3 に示す。レーザー照射に対して裏側を、ある一定の厚さになるようにボール盤を用いて穿孔した。

4. 実験結果

切断加工中の加工音波形および穿孔加工中の加工音波形をそれぞれ示す。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。

4-1. 切断加工中の加工音波形測定結果

4-1-1. 照射条件依存性

1 kW-CW-CO₂ レーザーを合板に走査照射し、得られた加工音波形を図 4 (a)、(b) に示す。図 4 (a) には、レーザー照射条件を照射パワー800 W、走査時間 900 mm/min、レンズから合板までの距離 183.2 mm、ガス圧 0.5 MPa とした場合の加工音波形を示した。図 4 (b) には、レーザー照射条件を照射パワー800 W、走査時間 1030 mm/min、レンズから合板までの距離 181.0 mm、ガス圧 0.5 MPa とした場合の加工音波形を示した。図 4 (a)、(b) に示すように、レーザー走査照射による加工音波形には、照射条件による変化はほとんど見られ

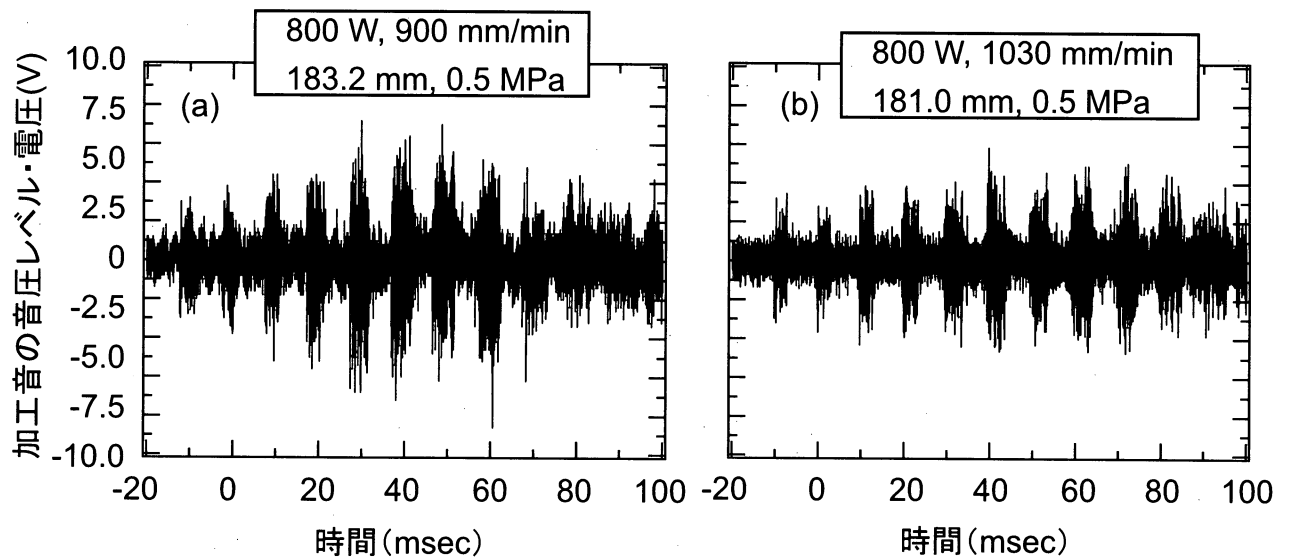


図 4 レーザー走査照射時の加工音波形

なかった。

レーザー走査照射時、発生する加工音は断続的（加工音の発生時間は約 5 msec）となることが分かった。また、加工音は照射開始後 100 msec 程度しか発生せず、レーザー走査中はほとんど加工音が発生していなかった。

4-1-2. 照射間隔依存性

レーザー走査時に加工音が発生しない理由を調べる為、照射と照射の間隔をあけて実験を行い、加工音がどのように変化するかを観測した。レーザーの照射方法を図 5 に示す。

レーザーの走査幅は 1 cm 固定とし、照射間隔を 1 mm~20 mm に変化させて実験を行った。照射間隔 1 mm および 2 mm における加工音波形をそれぞれ、図 6 (a)、(b) に示す。

図 6 (a)、(b) より、照射間隔 1 mm の場合に比べ照射間隔 5 mm の場合において加工音の発生時間が長くなっていたが、加工音の大きさにはほとんど変化は見られなかった。また、

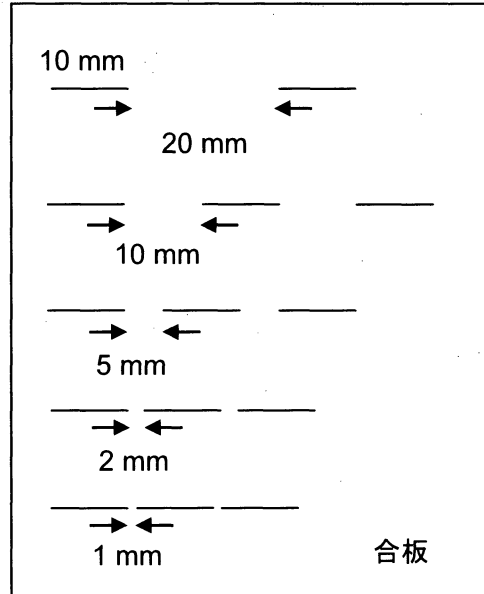


図 5 照射間隔の設定方法

図 6 (c) より、照射間隔が 1 mm から 5 mm にかけて加工音の発生時間は長くなっているが、照射間隔が 5 mm 以上では加工音の発生時間にほとんど変化は見られなかった

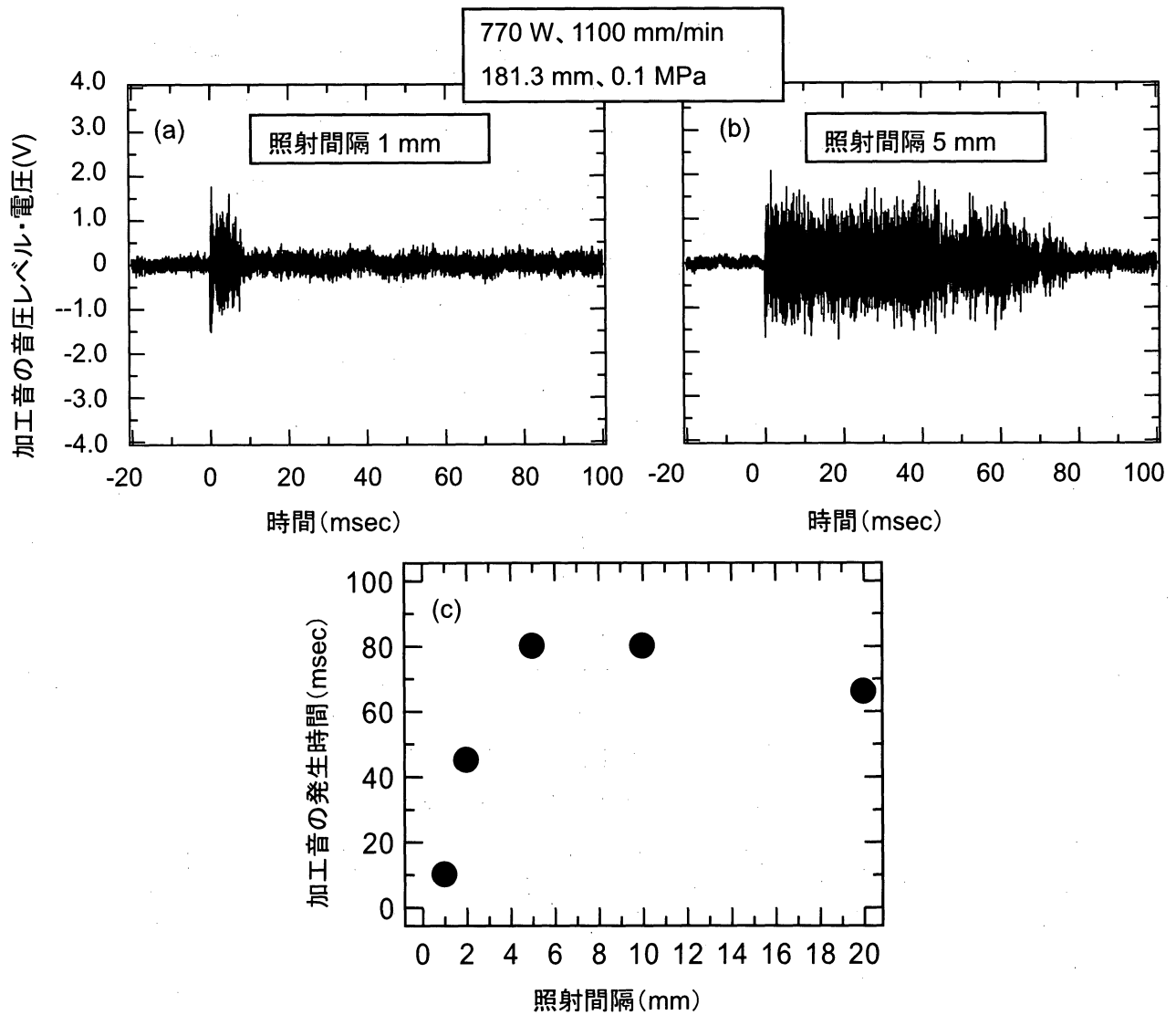


図 6 照射間隔を変えてレーザー照射を行った場合の加工音特性

4-2. 穿孔加工中の加工音波形測定結果

4-2-1. 照射時間依存性

1 kW-CW-CO₂ レーザーを、照射時間を変化させて合板にレーザー照射を行い。得られた加工音波形を図 7 (a) ~ (c) に示す。照射時間は、10 msec~100 msec とした。照射パワー 800 W、レンズから合板までの距離 182.3 mm、ガス圧 0.5 MPa とした。照射時間 10 msec の場合は合板の貫通は見られなかったが、照射時間 50 msec、100 msec の場合は合板の貫通が見られた。照射時間 10 msec の場合、加工音の発生時間は約 15 msec であったが、照射時間が 50 msec の場合加工音の発生時間は約 60 msec となり、照射時間に依存して加工音の発生時間は長くなることが分かった。しかし照射時間 100 msec の場合、加工音の発生時間は約 65 msec となり、照射時間 50 msec の場合とほとんど変化が表れなかった。図 7 (d) には、各照射時間における加工音の発生時間を示した。

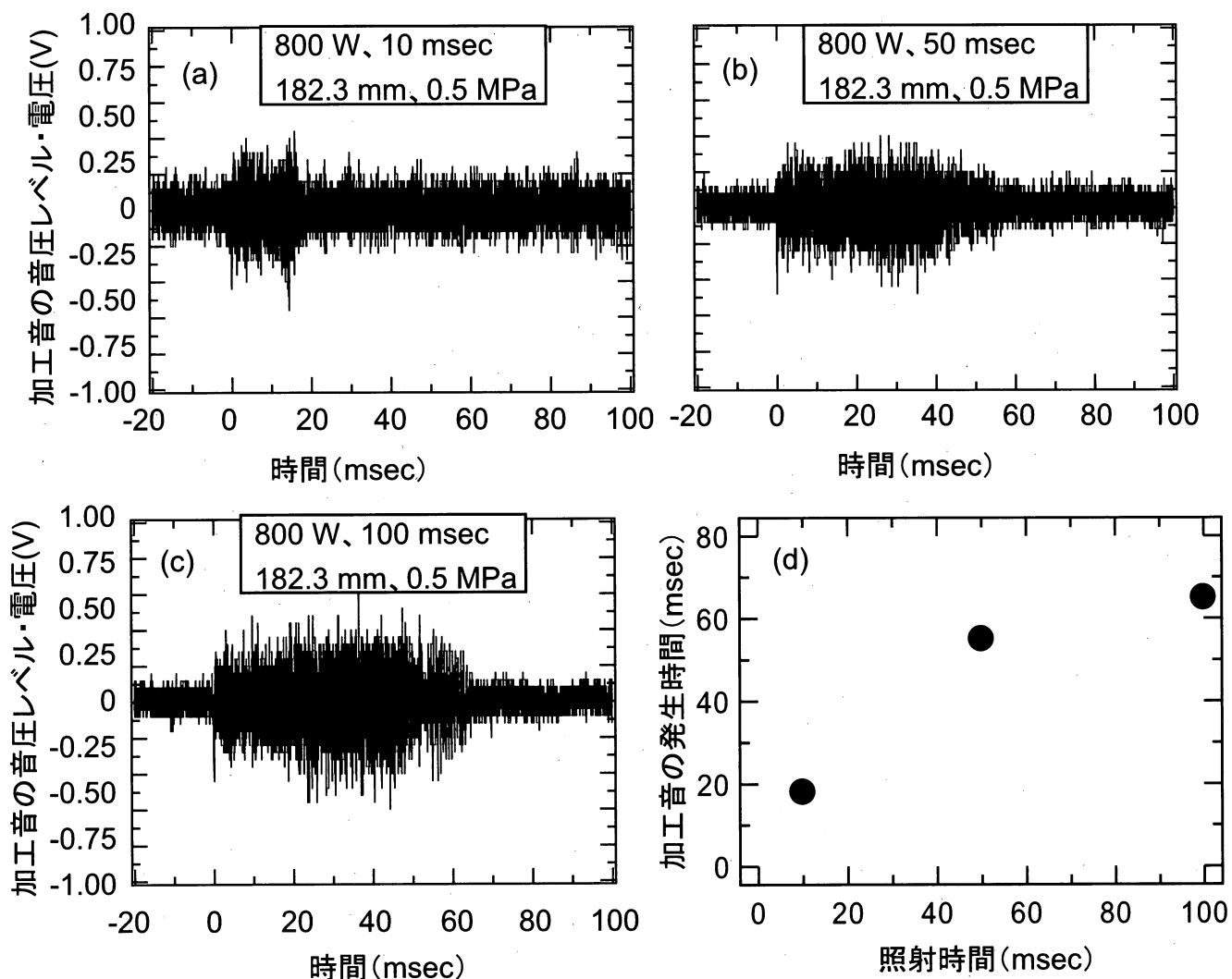


図 7 照射時間の変化した場合の加工音特性

4-2-2. 照射パワー依存性

照射パワーを 500W~1000W まで変化させてレーザー照射を行い、図 8 (a) には加工音の大きさの変化を、図 8 (b) には加工音の発生時間の変化を示す。レーザーの照射条件は、照射時間 100 msec、レンズから合板までの距離 188.3 mm、ガス圧 0.5 MPa とした。図 8 (a)、

(b) より、照射パワーの増加に伴い加工音の大きさが大きくなり、加工音の発生時間が短くなることが分かった。どの照射条件においても、合板の貫通が見られた。

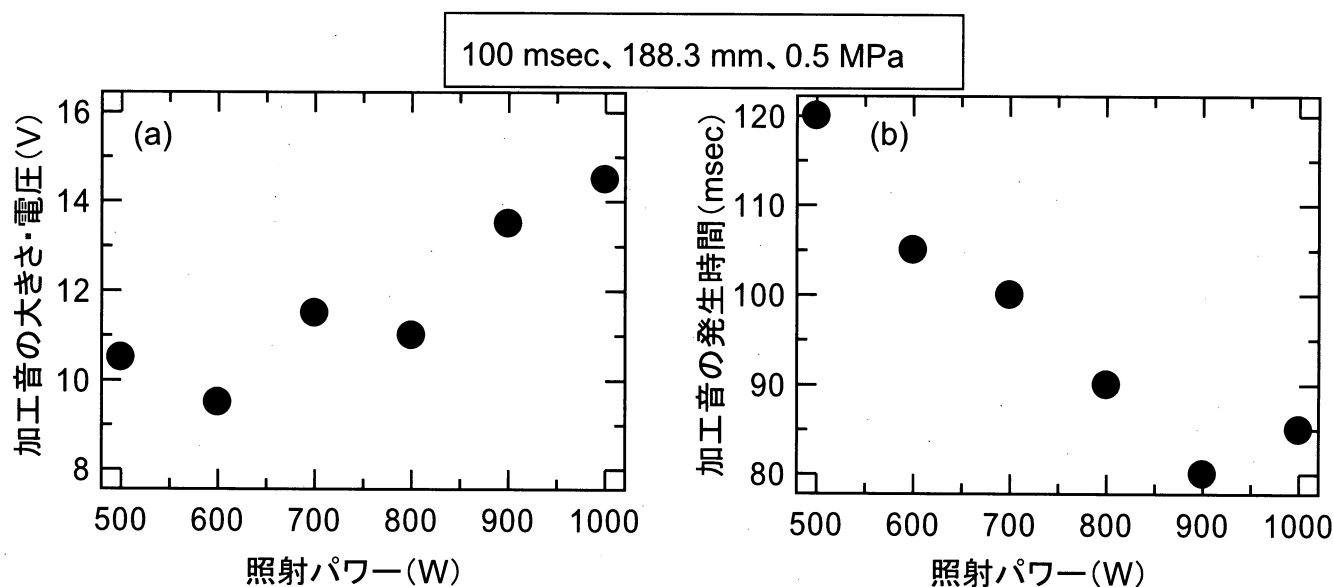


図 8 照射パワーを変化させた場合の加工音特性

4-2-3. 焦点距離依存性

レンズから合板までの距離を 177.8 mm ~ 188.3 mm とし、パルス状にレーザー照射を行った場合の加工音波形を図 9 (a) ~ (d) に示す。図 9 (a)、(b)、(c) にはそれぞれ 177.8 mm、182.3 mm、188.3 mm における加工音波形を示した。図 9 (d) には、それぞれの距離における加工音の発生時間を示した。照射パワーは全て 800 W、照射時間は 100 msec とした。レンズの焦点距離は 177.8 mm である。どの照射条件においても合板の貫通が見られた。集光点に最も近い 178.3 mm の場合、加工音の発生時間は非常に短く、約 750 μ sec であった。また、図 9 (d) に示すように、レンズから合板までの距離が大きくなる（集光径が広がる）とともに、加工音の発生時間が長くなることがわかった。

4-2-4. 合板厚さ依存性

合板の厚さを図 3 に示す方法で 1 mm ~ 3 mm に変化させ、パルス状にレーザー照射を行った場合の加工音波形を図 10 (a) ~ (d) に示す。図 10 (a)、(b)、(c) には、合板の厚さがそれぞれ 1 mm、5 mm、18 mm における加工音波形を示した。図 10 (d) には、それぞれの厚さにおける加工音の発生時間を示した。レーザーの照射条件は、照射パワー 800 W、照射時間 100 msec、レンズから合板までの距離 188.3 mm、ガス圧 0.1 MPa とした。どの厚さにおいても、合板の貫通が見られた。加工音の発生時間は合板の厚さに依存して変化し、合板が厚くなるとともに加工音の発生時間は増加した。また、照射直後に比べ、照射開始から 20 ~ 30 msec において加工音が最も大きくなることがわかった。

5. まとめ

合板のレーザー切断加工中は、切断開始時に加工音が発生し、レーザー走査中には発生しないことが明らかになった。この原因は、照射部位の水分量が切断開始時には多いが、レーザー走査によって、水分が蒸発していくためと考えられる。

合板のレーザー穿孔加工中は、合板貫通中に加工音が発生し、貫通すると加工音は発生しないことが明らかになった。アシストガスを吹き付けながら、加工しているが、このガスによる音響ノイズと加工音は区別できる。

以上のことから、レーザー照射開始時に発生する加工音から、水分量を推定し、この水分量に見合ったレーザーエネルギーで照射すれば、溝幅の一定な加工が可能と考えられる。周波数解析を推し進め、超音波領域のみの音響センサーを用いることで、S/N 比の高い測定が可能となると予想される。