

Ⅲ レーザの過去

(1) レーザ発振器

①黎明期（1960年－1980年）

米国では、1970年までに1kW級のCO₂レーザが開発され、産業用途に使われ始めた。この頃、米国での用途は焼入れや溶接が主体で切断分野への応用事例が少なく、専用機メーカーがレーザ発振器を購入し、システム化して顧客に納入するのが通常であり、レーザ加工機の標準機化は進められなかった。

一方、我国でも1960年台後半からレーザの開発が精力的に進められたが、この時期試作されたレーザは実験室における運用が可能なレベルで、実用に耐える安定性・制御性・操作性等を保有していなかった。また、レーザ加工の用途開拓を進めるも、米国先行の焼入れや溶接も意外と困難であり、切断は紙やプラスチックは切れるが、鋼板は1mm程度の薄板であっても切断面は粗い状態で分断は出来ても使用に耐えない水準であった。当時（1975-1980年）はレーザ自体が目新しく各方面からレーザ加工機メーカーへの加工依頼が殺到した。図3-1に当時の切断加工の事例を示す。例えば冷凍マグロ、玉ねぎ、しいたけ等の切断があったが、耐え難い異臭が発生するだけでなく、また付加価値からみて実用化に程遠いものであった。その中で、樹脂、布、紙、木材などの非金属が切断しやすく、中でもアクリルの切断面が透明であり加工品質も受け入れられ、これら材料に展開していった。

1970-1975年頃の我国レーザメーカーでは、レーザは開発費が掛かり、事業として成り立たないと言われた時代（レーザプレイボーイ説？が華やかな時代）が続いた。開発を中止するメーカーもある状況であったが、国産のレーザ加工機として、1973年に溶接用パルスYAGレーザ加工機を東芝社が、1979年、1980年に切断用CO₂レーザ加工機をそれぞれ三菱電機社、アマダ社が製品出荷を開始した。当時の製品写真がレーザ協会創立40周年記念冊子「レーザ協会の歩み」に掲載されている。

その頃、通産省主導の大型プロジェクト「超高性能レーザー応用複合生産システム」(1977-1984年)がスタートし、その一環として「レーザー応用技術」開発が進められ、当時としては高い目標であった 20kW の CO₂ レーザ、並びに 300W の YAG レーザが計画通りに実現した。この開発において、高出力化に対する漠然とした不安感が払拭されたことが社会的な変化である。

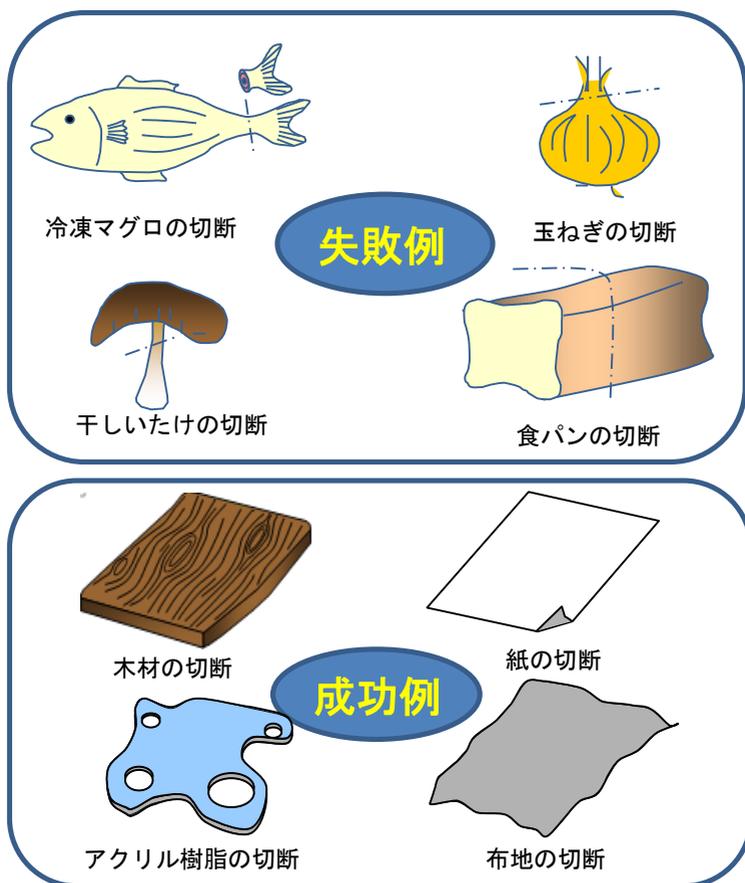


図 3-1 黎明期 [1975 年-1980 年頃] のレーザー切断の事例加工対象

②揺籃期（1980年－1990年）

1980年代に入り、大きな市場が期待できる金属切断分野の開拓に向け、発振効率が高く、集光性の良いCO₂レーザ発振器、加工機、加工技術の開発が本格化した。この時期以降のレーザの変遷を図3-2に示す。レーザ加工機分野に進出するメーカーが多数現れ、1985年当時は用途分野が少ないにも拘わらず、国内で何と50社以上のメーカーが出現した。自動車や複写機等の試作分野、レーザジョブショップ等の市場も確立されてきて、レーザ加工機の生産台数も1991年頃まで右肩上がり増大した。切断分野において、1980年代の我国のレーザ加工機の技術力は世界のトップであった。

発振器に関しては、金属切断には1kW以上の高出力が必要であり、3軸直交型や高速軸流型等の高速ガス循環方式が採用された。励起手段として一般的な直流グロー放電を採用していたが、その安定性（含電極消耗）、均質性、制御性等に課題があった。対策として開発された高周波交流放電のRF放電や無声放電方式は、その後1990年頃までに、世界の多くの発振器が採用した。また、切断向け発振器は高集光性とビームの軸対象性が必須であるが、その高出力化も進められ、1990年頃には2kW級までの製品化がされた。一方、溶接向けは切断ほどの集光性や軸対象性が不要のため、1990年までに10kW級の製品化がされた。

加工機、加工技術に関しては、1980年代初頭は薄板（板厚3.2mm以下）の軟鋼やステンレスの切断加工の開発を進めていた。しかし切断品質は悪く、切断方向により切断溝幅が変化したり、斜めに切れたりした。奇しくも1980年にデンマークのFlemming Olsenがこれらの要因がレーザの偏光にあることを突き止めていた。各メーカーはいち早く発振器ビームを直線偏光化すると共に、外部光学系で円偏光化することにより薄板の良好な切断が可能となった。次に期待されていたのが、中板厚（板厚6-9mm）軟鋼の切断であった。1983年頃、薄板では安定して切れるが、厚くなるとバーニング現象が発生し、安定した加工が困難であった。厚くなると加工裕度が狭くなることが要因であり、レーザビームに加えて加工機構造の安定化により、良好な加工を実現した。レーザ技術が進歩し高精度切断が可能になったが、競合のターレットパンチプレス等と比較すると、高速化が課題

となってきた。高速で加工すると形状精度が悪化する。その主な原因は CNC の演算速度に寄るところが大きく、1989 年頃には 32bitCNC を搭載し、従来に比べ形状精度を維持しながら、2 倍の切断速度を実現した。

また、この当時の溶接分野では、レーザ出力が 10W-500W 級の分野では YAG レーザが主流であったが、1kW 級以上の高出力分野では CO₂ レーザが用いられた。主な用途は自動車部品の量産溶接や鉄鋼ラインでの板継溶接等々の用途分野であった。

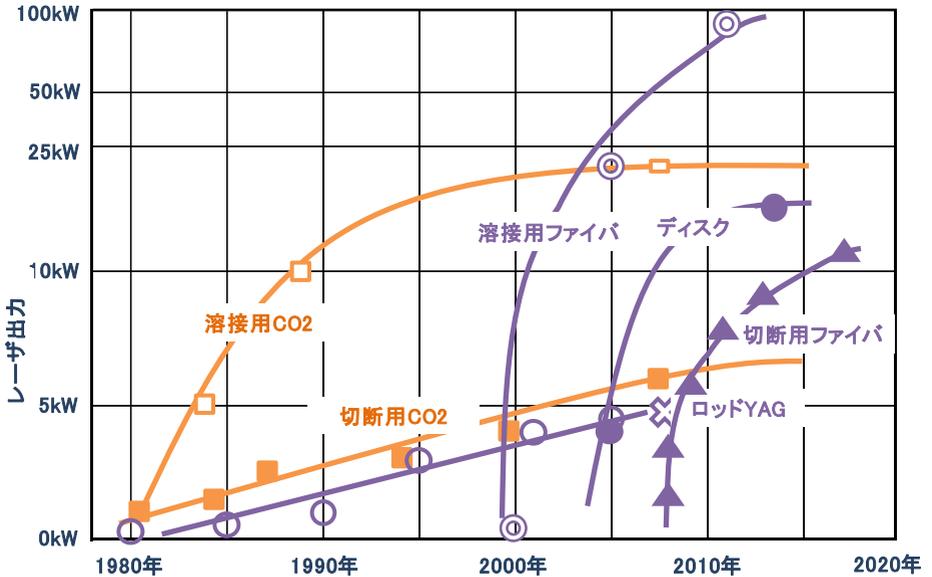


図 3-2 レーザの高出力化の歴史

③成長期（1990年－2005年）

我国のバブル景気崩壊により、1992-1994年頃はレーザ加工機の生産台数が減少したものの、その後の景気回復により再び市場の成長が始まった。1995年頃になると、海外市場では欧州レーザ加工機メーカーが急速に台頭してきた。

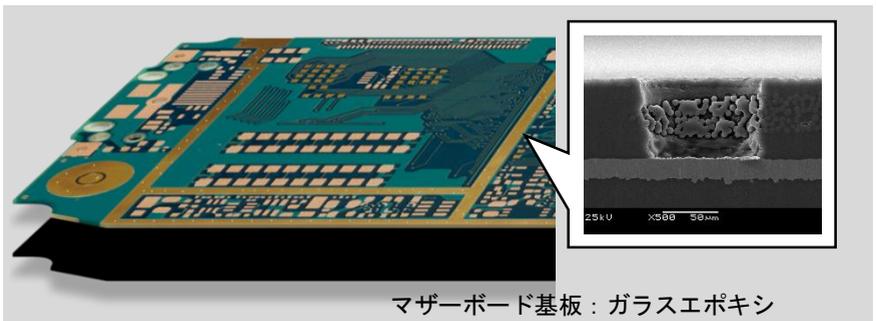
切断用CO₂レーザ発振器に関しては、この期間に出力が4kW級まで増大すると共に、その安定性、制御性などが改善された。1993年には、加工板厚も現在(2020年代)と遜色ない軟鋼板厚25mm（加工ガス：酸素）まで切断可能となった。残された加工課題はステンレス鋼等の無酸化切断（加工ガス：窒素）となった。また、加工機に関しても、高速加工用のXYZ3軸ともレーザ光が移動する光移動型のレーザ加工装置、さらにプレス成型後の板金を切断する5軸のレーザ加工装置も増大してきた（図3-3）。

1992年頃あらたに、モバイル端末向けの多層プリント基板のビアホール向けの用途分野が出現した。当初はエキシマレーザやTEA CO₂レーザが採用されたが、1995年頃からパルスの周波数や幅が可変の通常のパルスCO₂レーザが採用される様になり、現在に至っている。主に携帯電話の普及、高機能化と共に、1996年頃の生産性は毎秒200穴であったが、2004年頃には10倍の毎秒2000穴と大幅な改善がされた(図3-4)。

YAGレーザ分野では、従来のランプ励起式に加え、1999年頃から発振効率や集光性が改善されたkW級の半導体励起YAGレーザが出現した。国内外のメーカーが同レーザを製品化した。その当時としては想定していなかったことであるが、その数年後にkW級で発振効率・集光性ともLD-YAGを大幅に上まわるファイバレーザ（2002年頃）やディスクレーザ（2005年頃）が出現した。従来YAGレーザは集光性が良くないため、その用途は溶接や焼入れ等に限定されていたが、ファイバレーザやディスクレーザにより最大市場である板金切断に使える仕様となった。かつまた、ファイバ導光が可能であることから、レーザ加工機の構成が単純化された。



図 3-3 プレス成型品の切断



マザーボード基板：ガラスエポキシ

図 3-4 多層プリント基板の穴あけ

④変革期（2005年－2020年）

切断用 CO₂ レーザ発振器に関しては、さらに出力が 6kW 級まで増大し、加工課題であったステンレス鋼厚板の高品質の無酸化切断も 2007 年頃可能となった。一番の変革は、切断用のファイバ（含むディスク）レーザ加工機の台頭である。特に CO₂ レーザに比べ電力消費が約 1/3 と省エネであることから、2010 年頃から急速にファイバレーザ比率が増大し、2016 年頃にはグローバル市場で CO₂ レーザを逆転した（台数ベース）。2020 年ではファイバレーザ比率が 70%を上回ったと推定される。

プリント基板穴あけ分野では、スマホの進化と共に、高生産化、高精度化がさらに進められた。今では毎秒 5000 穴を上回る生産性を実現している。この分野での主な加工対象物が主に有機材料であり、材料の吸収率の波長依存性から赤外域又は UV 域のレーザが必要である。現時点でも CO₂ レーザが主流であるが、一部の材料では UV レーザの方が穴の品質が良い場合がある。

レーザ溶接等の分野においても、著しい進歩があった。ファイバレーザやファイバ導光半導体レーザ(DDL)の開発に加え、高出力用スキャナ、スポットの多点化、ビーム成形等の技術進歩により、長年の課題の亜鉛メッキ鋼板の重ねゼロギャップ溶接、アルミ合金（5000,6000 番台）の高品質溶接、高生産性のリモート溶接、高品位レーザブレイジング、高品位焼入れ等が可能となった。同時にインラインセンシング並びにそのフィードバック等による品質管理が可能となってきた。さらに、従来困難とされた高反射材である銅の溶接用に、1kW 級の青色半導体レーザの市場投入が 2019 年から開始された。

上述した内容は主に高出力加工分野の話であったが、レーザ並びにレーザ加工の進歩が著しく、超短パルス（ps, fs）化、短波長化、高効率化、高集光化が進められ、同時に製品として必要な諸要件も逐次改善され、様々な分野でレーザ加工機が使われるようになった。2020 年代の主な加工用レーザの種類を図 3-5 に示すと共に、現状の主な用途分野を図 3-6 に示す。黎明期には想像出来なかった進歩にて、多岐に渡るレーザとその用途分野が生まれ、夢であったグローバル 1 兆円の市場規模を 2012 年に突破し、

さらに拡大が続いている。また最近では、工作機械メーカーがレーザーとの複合機が製品化される時代ともなった。

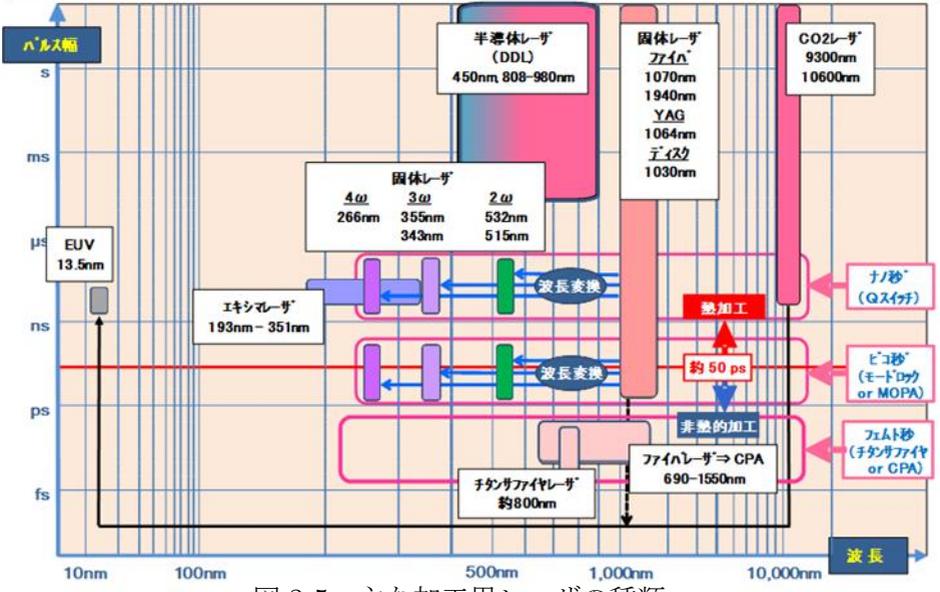


図 3-5 主な加工用レーザーの種類

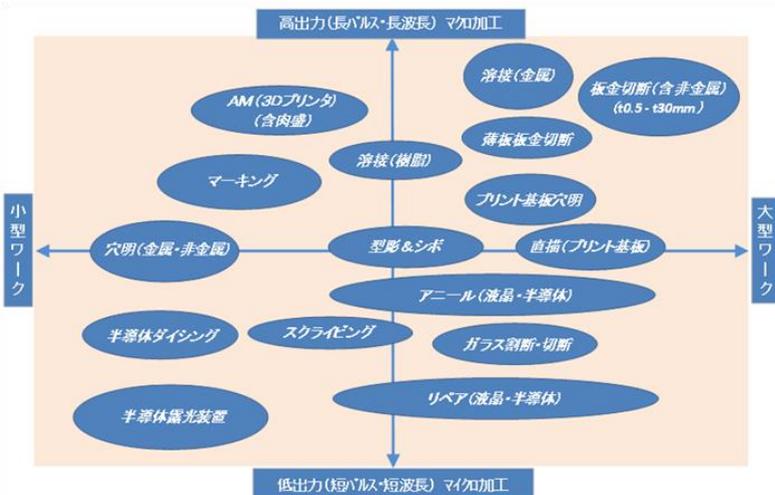


図 3-6 広がる加工分野