

CO₂レーザ加工機

CO₂ Laser Processing Machine

従来、ターレットパンチなどの機械的切断法が主体であった板金加工業界で、キロワット級CO₂レーザ加工機の出現によって、急速にレーザ加工が普及してきている。これは主に、非接触加工で振動騒音もなく精密微細加工ができること、金型など特殊治具を必要としないこと、などの理由によるものであるが、ここ数年来、切断だけでなく溶接・熱処理加工といった分野にも導入され、その発振器出力も0.5～5 kWクラスと広範囲で、加工機としてのニーズも多種多様になってきている。従来、コンパクトで操作性・保守性重視の単機能形から、最近では複合機能化・システム化の傾向にあり、一部実用化されてきている。ここでは日立製作所CO₂レーザ加工機の製品シリーズの内容とシステム事例を中心に紹介する。

橋浦雅義* Masayoshi Hashiura
塩野繁男* Shigeo Shiono
坂井実* Minoru Sakai
市川三知男* Michio Ichikawa
西橋淳一** Jun'ichi Nishihashi

1 緒言

米国では十数年前から、キロワット級CO₂レーザ加工機の導入が盛んに行なわれ、特に、自動車業界で切断・溶接作業を中心にその生産性、品質向上に大きく寄与してきたことは一般によく知られている。一方、国内でも昭和51年ごろからキロワット級CO₂レーザ発振器の国産化気運が高まり、通商産業省大型プロジェクトを中心にその開発が進められてきた。日立製作所でも、この開発計画とあいまって独自の技術により、昭和56年3月、通商産業省工業技術院四国工業技術試験所に国産第1号の5 kW CO₂レーザ加工機を納入して以来、高速軸流形及び直交形レーザ発振器のそれぞれの特徴を生かし、0.5～5 kW級発振器の製品化を行なってきた。

また、CO₂レーザ加工は図1¹⁾に示すように、金属材料の切断加工の需要が多く、昭和60年以降年率30%以上の伸びが予想されているところから、板金加工を対象としてCO₂レーザ加工機のシリーズ化、システム化を行ない、多くのユーザーに納入してきた。以下、日立製作所CO₂レーザ加工機の概要とシステム事例を中心に紹介する。

2 レーザ加工の概要

2.1 概要

レーザ発振器から気中発振されたレーザビームのパワー密度は、10～10³W/cm²と低く直接加工に利用できないため、図2²⁾に示すように、ビームガイドを通して切断などの目的に応じてレンズで集光し、照射部のパワー密度が図3²⁾になるように選択して利用されている。また、レンズによる集光スポット径 d_0 と焦点深度 S はそれぞれ次式³⁾で表わされる。

$$d_0 = 2f\theta + K\frac{D^3}{f^2} \dots\dots\dots(1)$$

$$S = 2d_0\frac{f}{D} \dots\dots\dots(2)$$

ここに f : レンズ焦点距離 (mm)
 θ : ビーム広がり角 (rad)
 K : レンズの球面収差係数
 D : ビーム径 (mm)

レーザ切断では、どのように d_0 を小さくして加工するかがポイントになるため、 f の短いレンズが用いられているが、 S も比

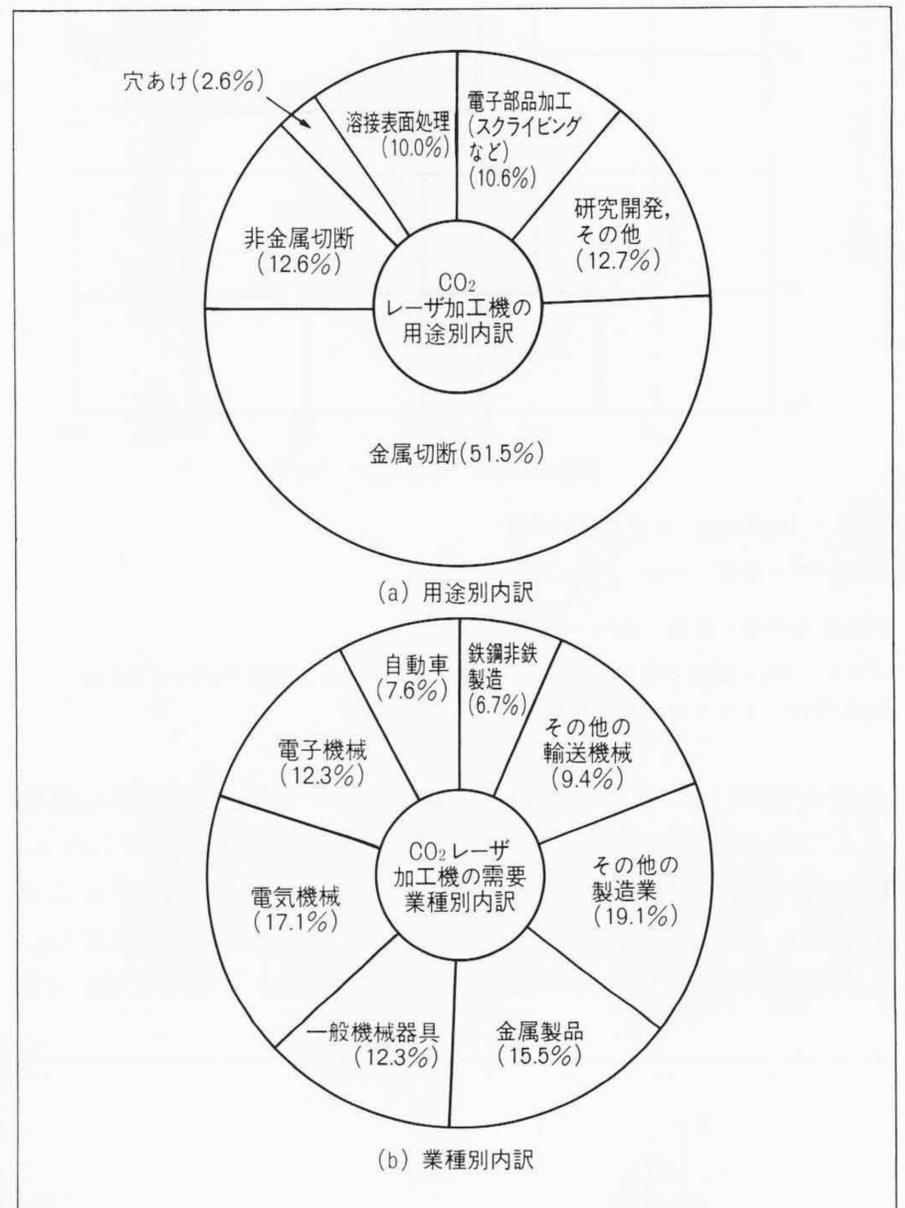


図1 CO₂レーザ加工機の使用別・業種別需要内訳 金属材料を主体とした切断加工の需要が多い。

例して小さくなるため対象板厚が限定されてくることを念頭に置く必要がある。

2.2 切断加工

金属材料の切断加工では、図2に示すようにO₂ガスを吹き付けて切断する方法が一般に行なわれており、レーザガス切断とも呼ばれている。このO₂ガスの吹き付け量によって加工

* 日立製作所国分工場 ** 日立製作所システム事業部

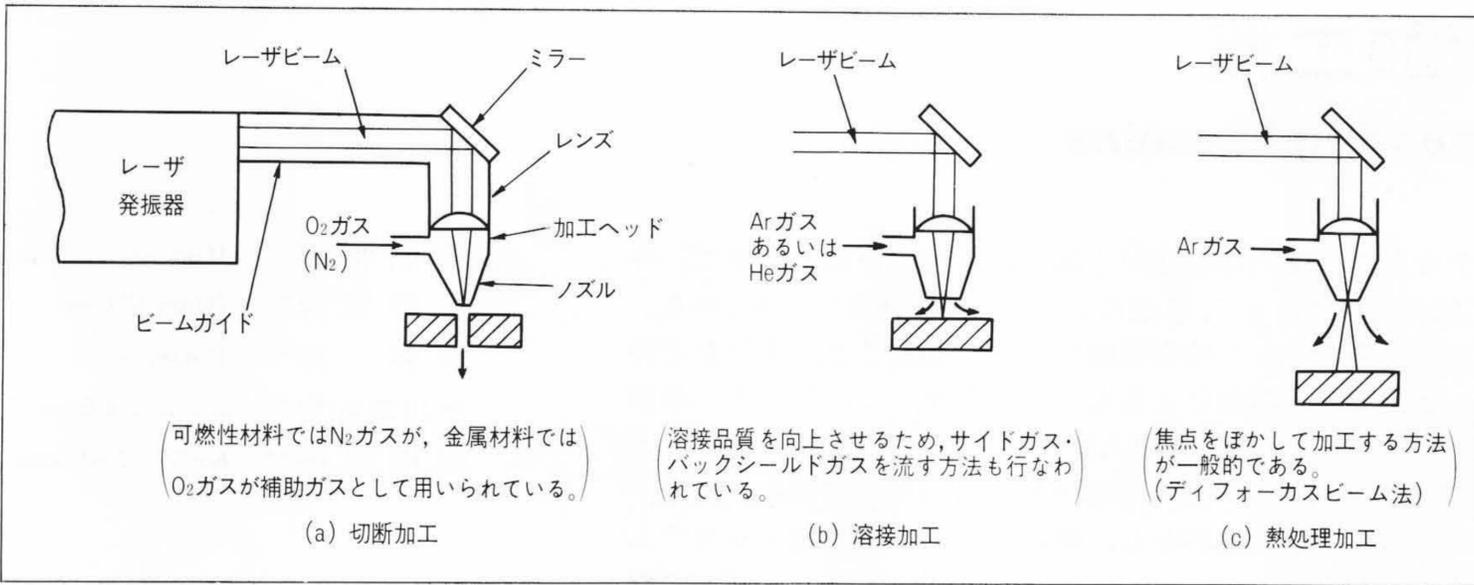


図2 レーザ加工概念図
用途により焦点位置、補助ガスなどが異なるので、それぞれの用途にあった加工ヘッドとすることが望ましい。

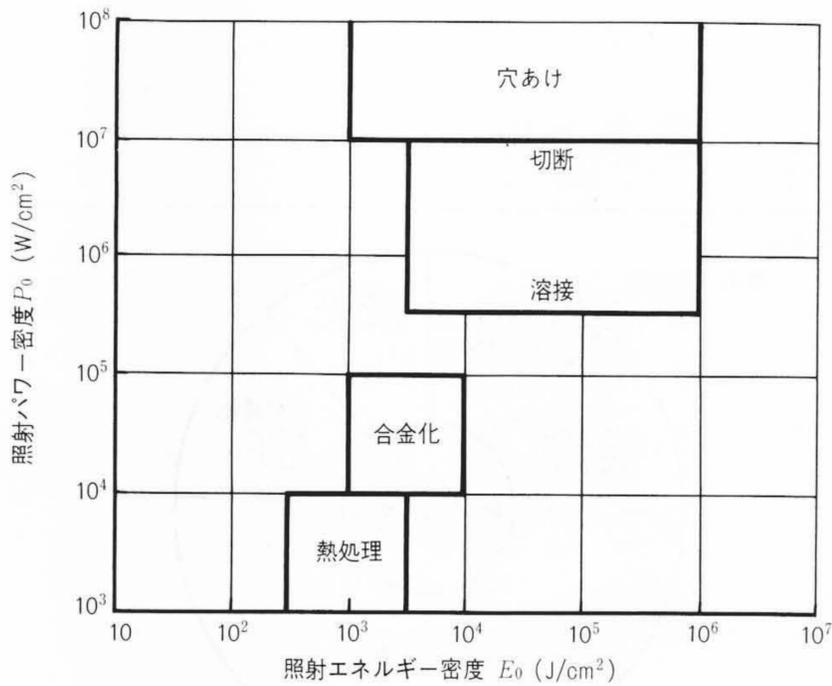


図3 加工別レーザ照射条件

$$\text{照射パワー密度 } P_0 = \frac{4P_1}{\pi d_0^2} \text{ (W/cm}^2\text{)}$$

$$\text{照射エネルギー密度 } E_0 = \frac{P_1}{vd_0} \text{ (J/cm}^2\text{)}$$

ここに P_1 : 照射パワー(W), v : 速度(cm/s), d_0 : 照射スポット径(cm)
加工内容によって加工条件が異なってくる。

品質が変動してくることは周知のとおりであるが、特に影響をもつ因子としては、レーザ出力 P_0 、切断速度 v が挙げられる。図4に一般鋼材の切断データ例を示すが、 P_0 を大にすることにより、ほぼ比例して v を早くできることが分かる。ただし、実用的には複雑形状品の場合加工精度を向上させるため、 v を

3 m/min以下の速度としなければならないことなどから、逆にレーザ出力が制限されてくること、また、同図に示すように9 mm以上の厚板では、レーザでないとな面の滑らかな切断が困難になることを念頭におく必要がある。

2.3 溶接加工

鉄鋼材料の溶接性能に及ぼす因子は、基本的には切断の場合と同じであるが、図2に示すようにArガスなどの不活性ガスを吹き付ける方法が行なわれている。図5にSUS304材の溶接データ例を示す。

照射パワー密度によって変動するが、SUS304材の突合せ溶接では、溶接速度 $v=0.5\sim 1$ m/minの範囲ではほぼ次式⁴⁾の関係が成り立つ。

$$h_p \approx 2.1 \times P_0^{0.78} \text{ (mm)} \dots\dots\dots(3)$$

ここに h_p : 溶込み深さ (mm)

P_0 : レーザ出力 (kW)

また、レーザ溶接で最も効果を発揮するのは突合せ溶接であるが、この場合に要求される継手精度は概略下記のとおりである。

$$g \leq \frac{1}{10} t \text{ 又は } \frac{1}{2} d_0 \text{ (mm)} \dots\dots\dots(4)$$

$$\sigma \leq \frac{1}{5} t$$

ここに g : ギャップ (mm)

σ : 目違い (mm)

t : 板厚 (mm)

d_0 : スポット径 (mm)

2.4 熱処理加工

レーザによる熱処理加工の場合、図2に示すようにArガス

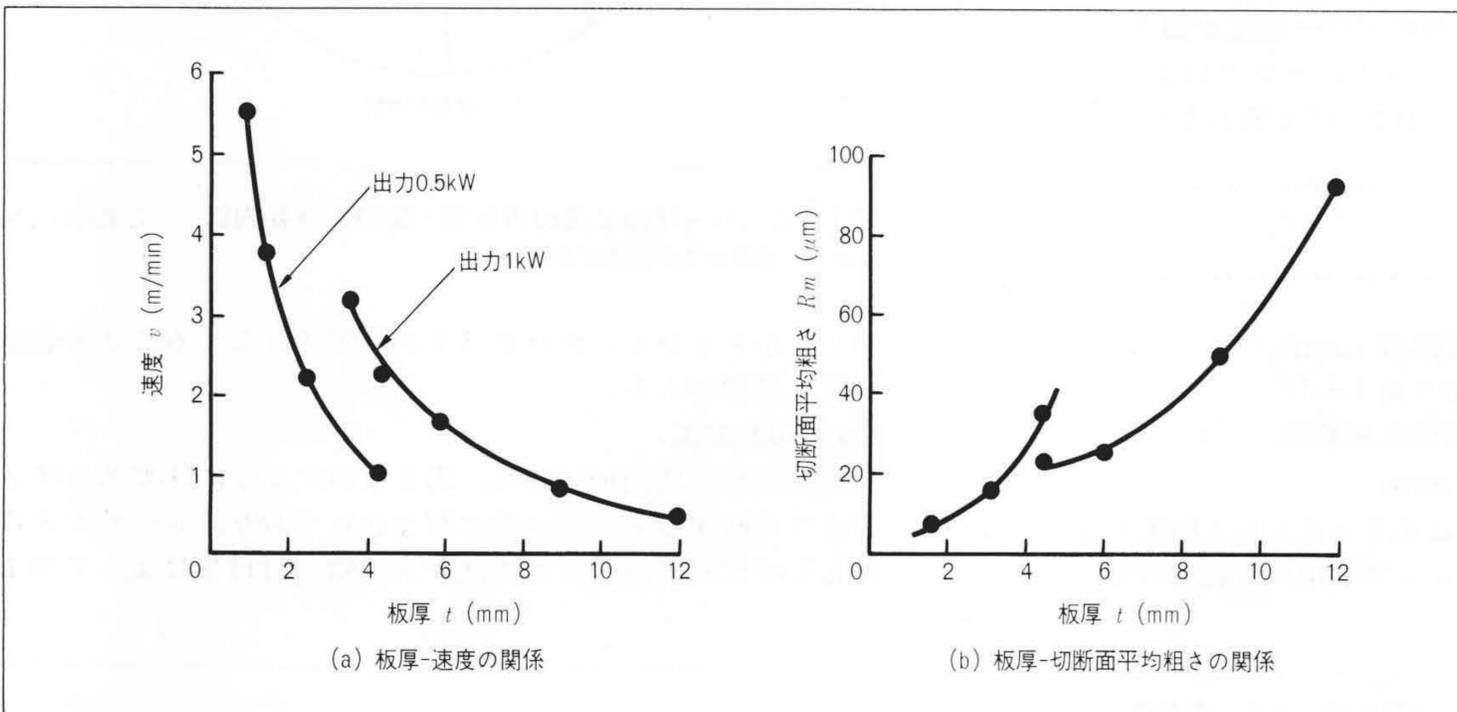


図4 切断板厚-速度-切断面平均粗さの関係
板厚が厚くなると焦点深度、パワー密度の関係で切断面が粗くなっていく。

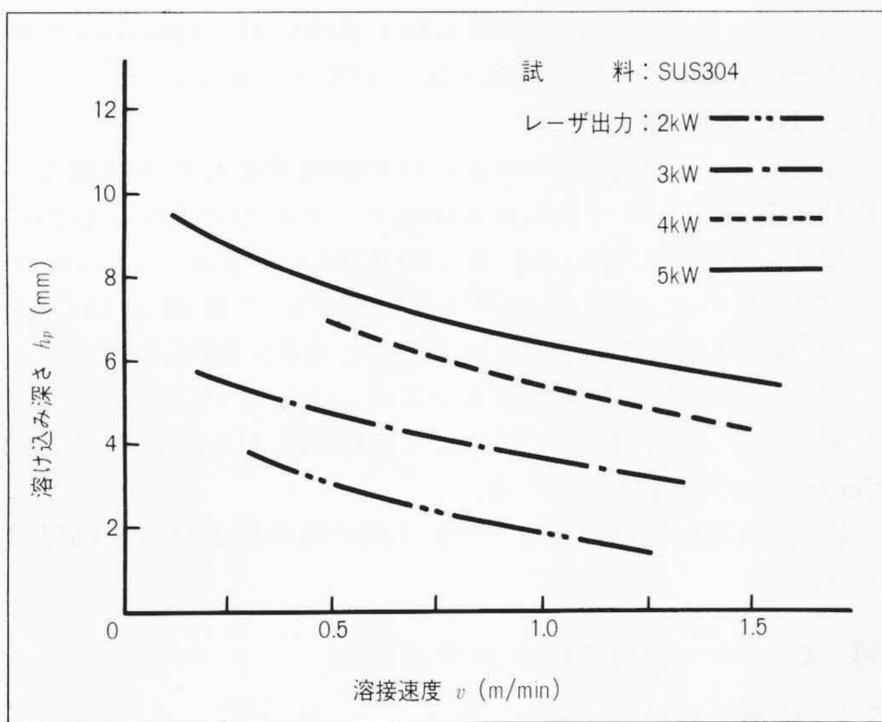


図5 SUS304のビードオンプレート試験によるレーザー出力 P_0 と溶け込み深さ h_p の関係 溶接速度 $v=0.5\sim 1\text{m/min}$ の範囲では、 $h_p \approx 2.1 \times P_0^{0.78}$ の関係が成り立つ。

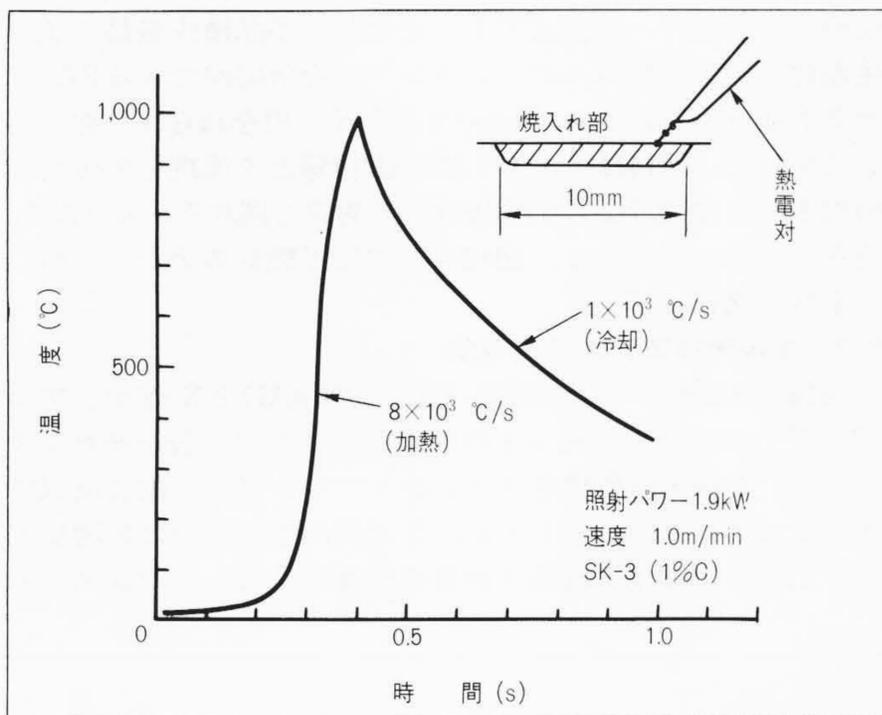


図6 レーザ焼入れによる温度履歴 熱伝導による自己冷却だけで焼入れができる。

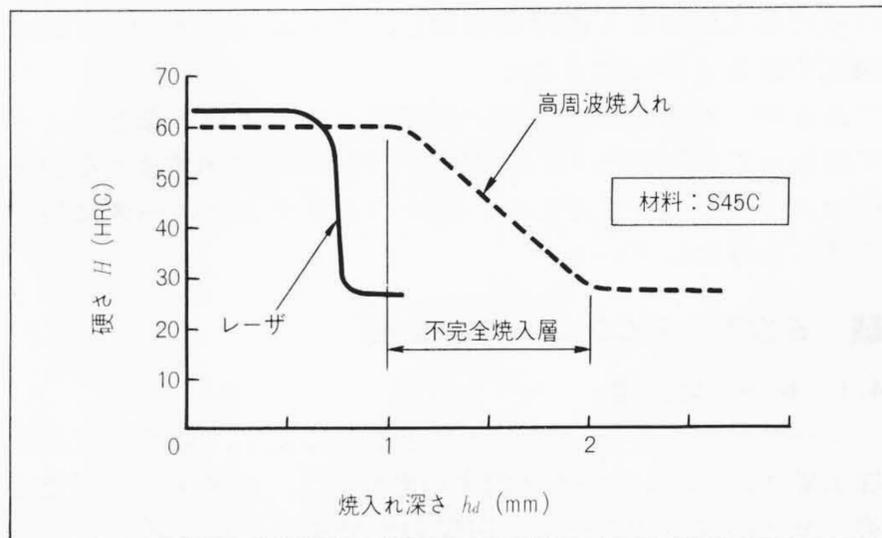


図7 高周波焼入れ法との硬さの比較 不完全焼入れ層の少ない良好な焼入れができる。

などの不活性ガスを、吹き付けレンズの焦点位置を外して加工する方法が一般に行なわれている。図6に示すように急速加熱冷却であるので、図7に示すように、不完全焼入れ層の少ない良好な焼入れができる。ただし図2からも分かるように、スポット照射加熱による方法であるため、局部又は部分焼入れには最適であるが、全体焼入れについては従来の高周波焼入れ法などのほうが生産効率の面で有利である。

3 CO₂レーザー加工機の基本構成と加工機システム

3.1 基本構成

図8にCO₂レーザー加工機の基本構成を示す。レーザー発振器(本体冷却用ユニットを含む)、加工ヘッド、加工テーブル及びNC(数値制御)装置(操作盤を含む)から構成され、一般の工作機械同様NC制御方式を採用している。

3.2 加工機システム

CO₂レーザーは集光技術を駆使することにより、あらゆる加工分野に応用できることから加工装置として導入する場合、段取りなどの付加価値ゼロ作業を排除できるシステム化をねらうことが必要になってくる。すなわち、

- (1) 少種多量生産の場合は、単一工程の高生産性、高能率化を図ること。
- (2) 多種少量生産の場合は、切断・穴あけ・溶接・熱処理と

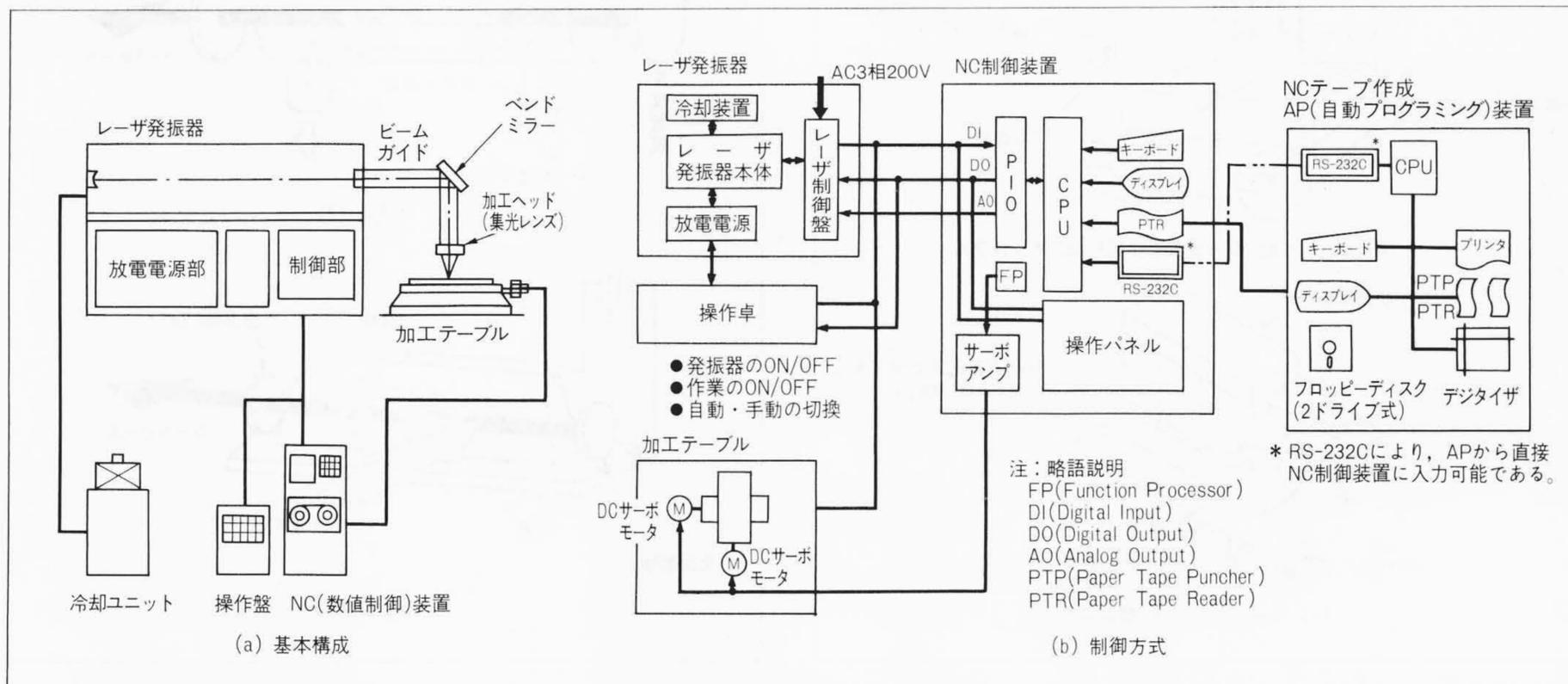


図8 CO₂レーザー加工機の基本構成と制御方式 他の工作機械同様にNC制御方式が採用されている。

いった多工程品を1箇所に集約し、タイムシェアリング的に加工できるようにすること。

であるが、対象品形状寸法、生産量、レイアウトなどによって変わってくるので、日立製作所では図9³⁾に示すような加工機システムをベースとして、種々のシステム化ニーズに対応できるようにしている。

4 日立製作所CO₂レーザ加工機

4.1 レーザ発振器

レーザビームのモード(出力分布)により、切断・穴あけ加工ではシングルモード(円すい形分布)、溶接・熱処理では均一分布のマルチモード(円筒台形分布)が適することなどから、それぞれ目的に合わせた発振器性能が必要になってくる。日立製作所ではこれらに対応するため、図10に示すように発振効率の優れた高速軸流形を、コンパクト化に優れた3軸直交形発振器を独自の技術で開発し、0.5~5kW⁵⁾までの製品化を行なっている。また穴あけ・精密切断加工用としてのパルス出力も、標準装備又はオプションで対応できるようにしている。

4.2 加工テーブル

一般圧延鋼材の定尺材の範囲(1,500mm×3,000mm以下)が加工できるように、X-Yテーブル方式(タイプTMT)及び光走査併用テーブル方式(タイプBMT)を採用し、それぞれ定尺材の範囲で図9に示す加工機システムを自由に選定できるよ

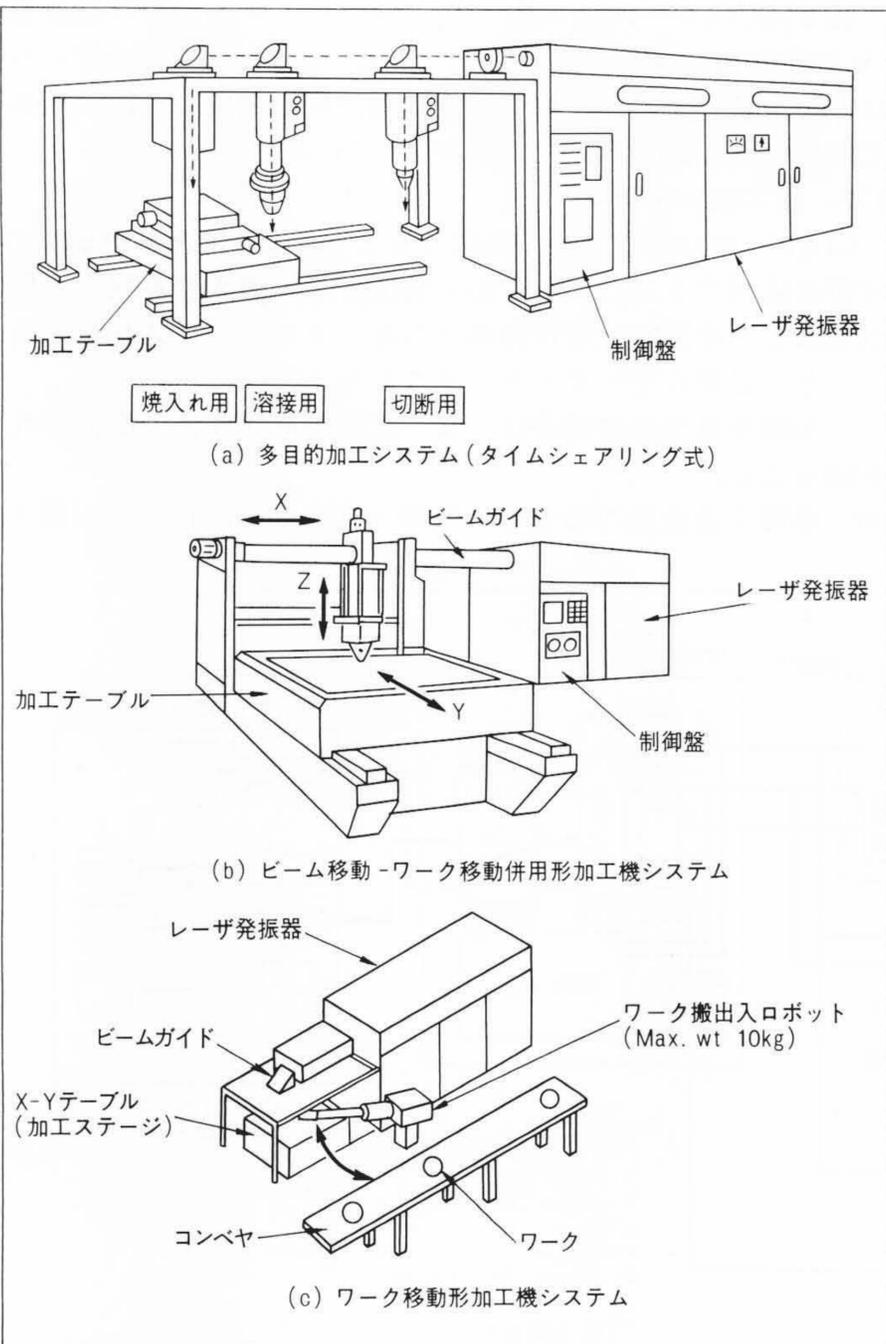


図9 CO₂レーザ加工機システムの考え方 用途に応じたシステムとする必要がある。

うにしている。いずれの機種も加工速度0.01~10m/minの範囲で±0.1mm以内と高精度の加工が可能である。

4.3 NC装置

加工テーブルを任意の形状に移動制御するための装置で、移動指令はキーボード入力又は紙テープ入力により、自由に行なえるようにしている。また図8(b)に示すように、NCテープ作成のための自動プログラミング装置又はCAD(Computer Aided Design)システムともRS-232Cなどのインタフェースにより直結できるシステムとしている。これらの制御システムは、独自に開発してHINAS(Hitachi NC and Sequencer)と名付けている。

以上、日立製作所CO₂レーザ加工機の標準機器仕様を図11に示す。

5 CO₂レーザ加工機システム実例

5.1 切断システム事例

図12は1kWレーザ発振器(HIL-1000CSP)とストローク1,200mm^x×2,400mm^yの加工テーブル(BMT2400)を組み合わせたシステムで、図13に示すように素材供給から切断加工・仕分け・折曲げ・搬出までを一元化し、多品種少量品の流し生産化と突発作業時へのフレキシブルな対応ができるFA(ファクトリーオートメーション)生産ライン用をねらった加工機システムで、図14に示すようにCAD情報との連携を生産現場の端末で自由に行なえるFMS化への対応も図れるシステムで、現在フル稼動中である。図12に示す加工機システムで切断した事例を図15に示す。

5.2 マルチ加工システム事例

図16は5kWレーザ発振器(HIL-5000AM)とX-Yテーブル(TMT-1000)及び2セットの加工ヘッドを組み合わせたシステムで、溶接・熱処理をタイムシェアリングで自由に選択できるシステムとした例である。2工程品を1箇所に集約加工し、工程の短縮化と段取り作業の低減化をねらったシステム

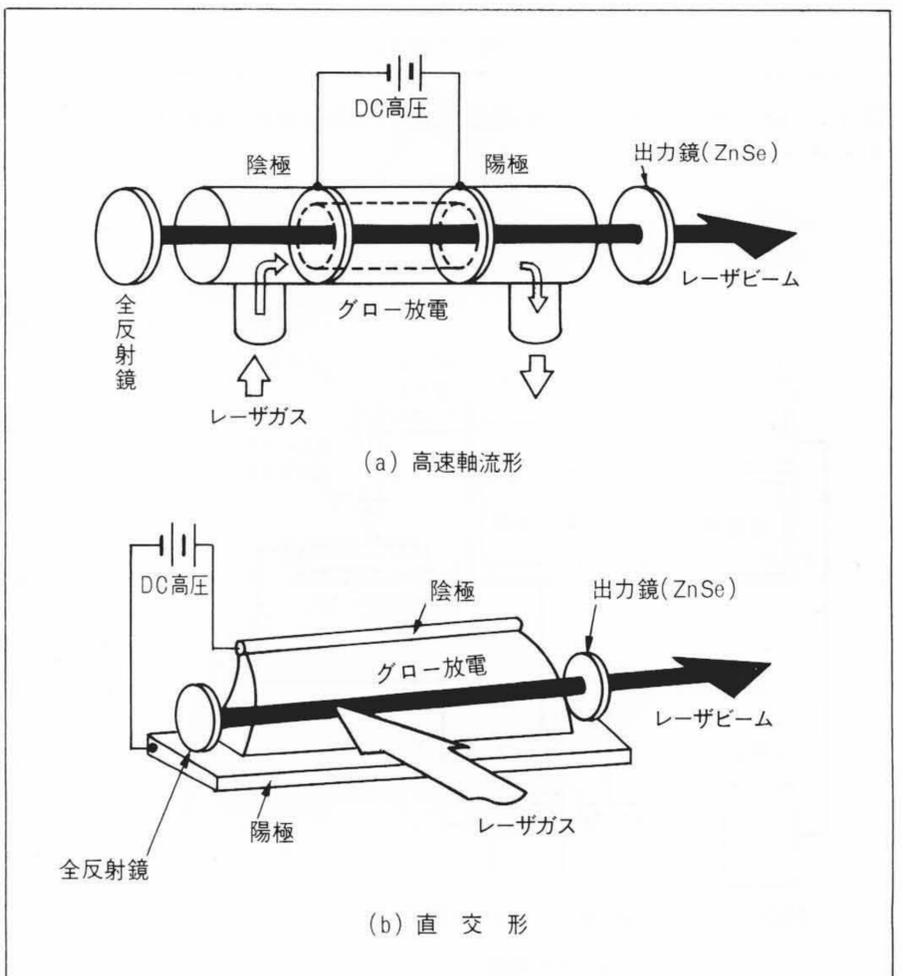


図10 CO₂レーザ発振器方式 いずれも放電励起系、光学共振系、ガス循環系から構成されている。

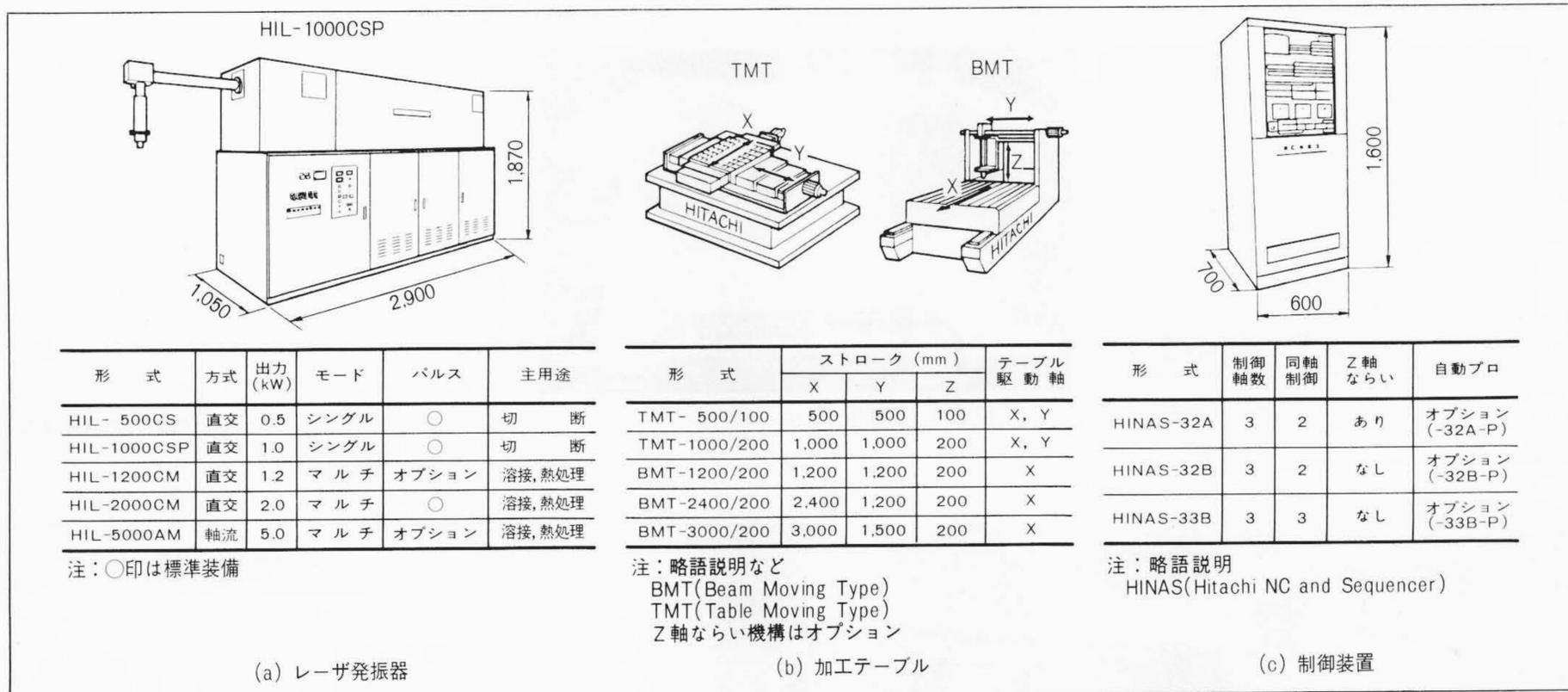


図11 日立CO₂レーザー加工機の標準機器仕様 各種ニーズに対応できる機器のシリーズ化を図っている。

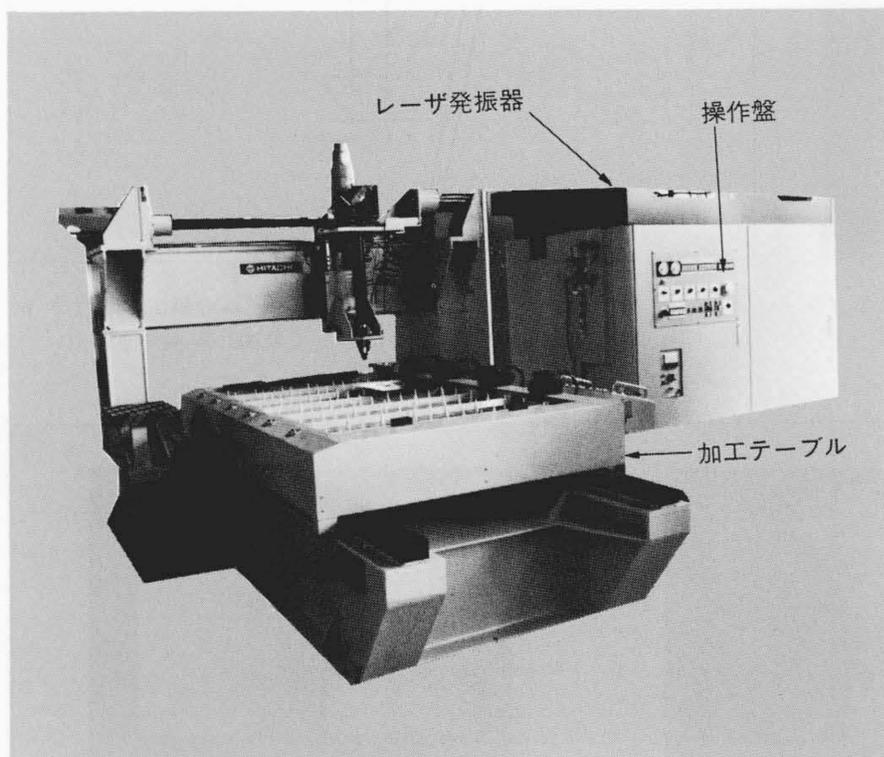
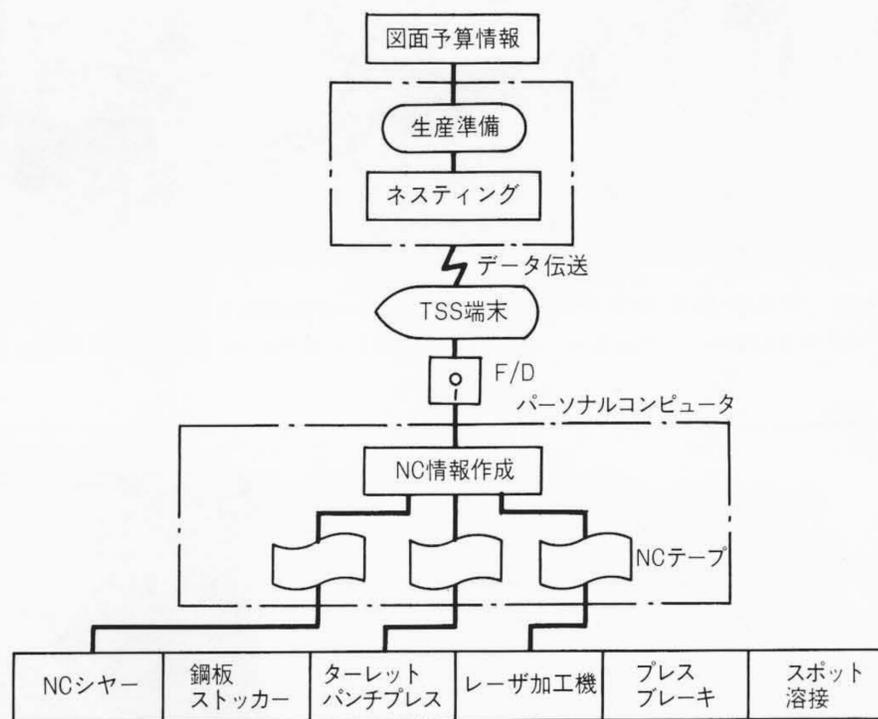


図12 切断システム事例 1 kW CO₂レーザー発振器と1,200mm^X×2,400mm^Yの加工テーブルを組み合わせたシステムで、切断用として一般的によく用いられている。



注：略語説明 F/D(フロッピーディスク)

図14 CAM[Computer Aided Manufacturing(FMS)]システム例 突発作業時へのフレキシブルな対応が、生産現場で自由に行なえるシステムとなっている(図13のシステムに対応)。

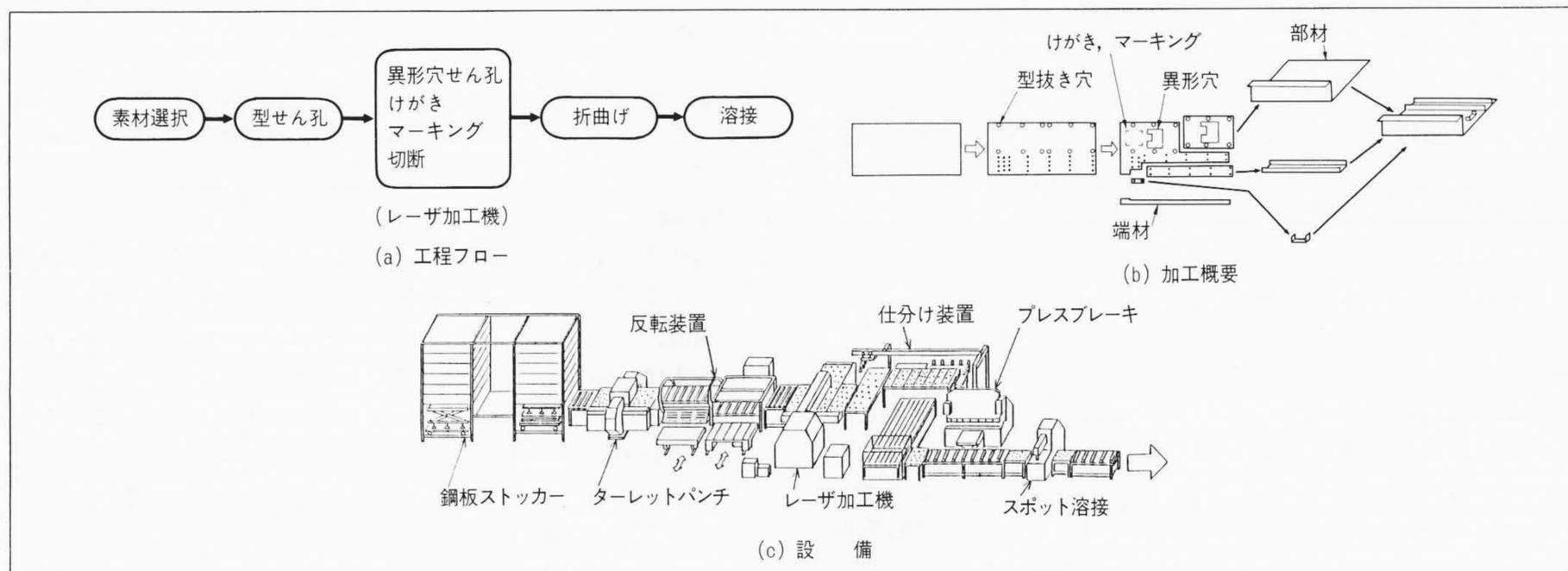


図13 薄板板金FAライン例 ターレットパンチ、レーザー加工機のそれぞれの得意な分野を生かした生産システムとなっている。

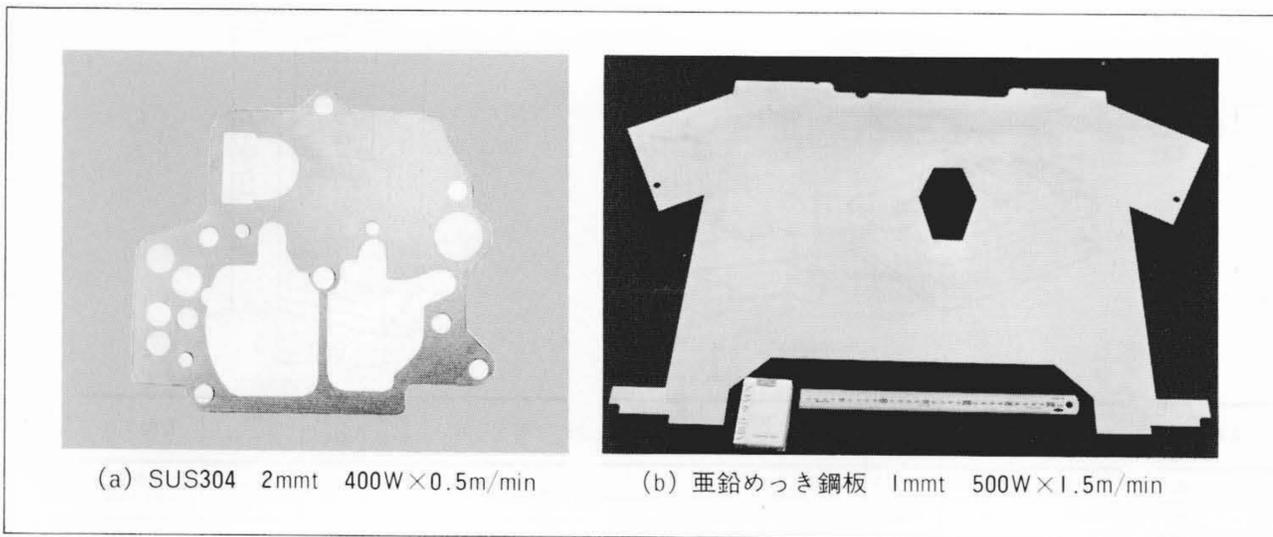


図15 切断加工事例 材料、形状寸法によって加工条件が異なる。

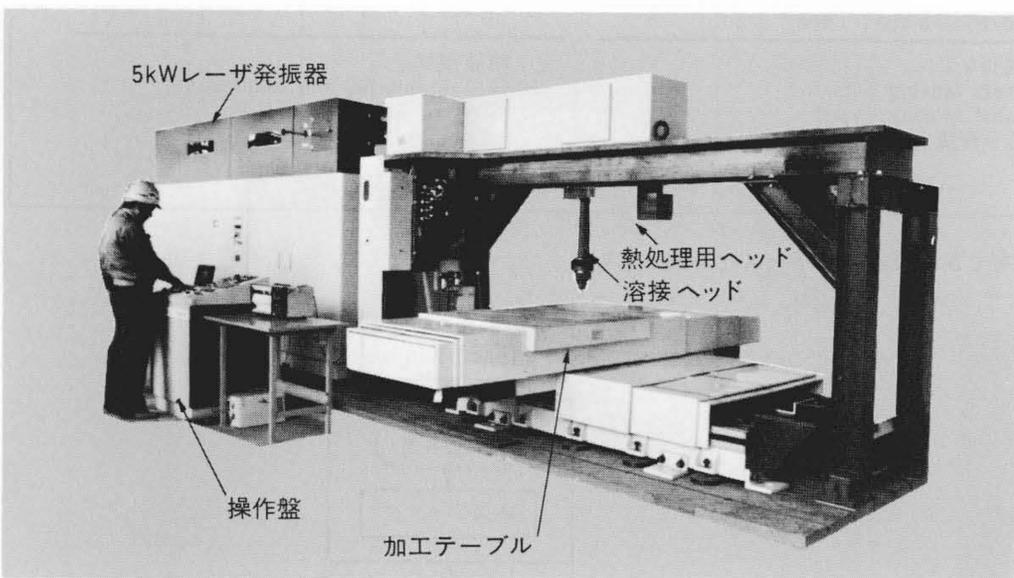


図16 マルチ加工システム事例 5kWレーザー発振器と1,000mm^x×1,000mm^yのX-Yテーブル及び2セットの加工ヘッドを組み合わせたシステムで、多目的加工に適している。

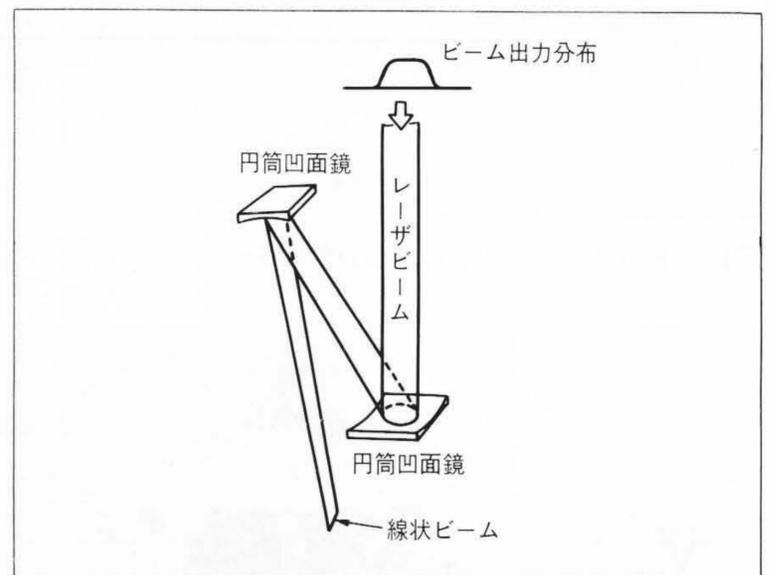


図17 日立式線状ビーム法 線状ビームの幅 b 、奥行き w は、円筒凹面鏡の曲率 R の組合せによって自由に可変できる。

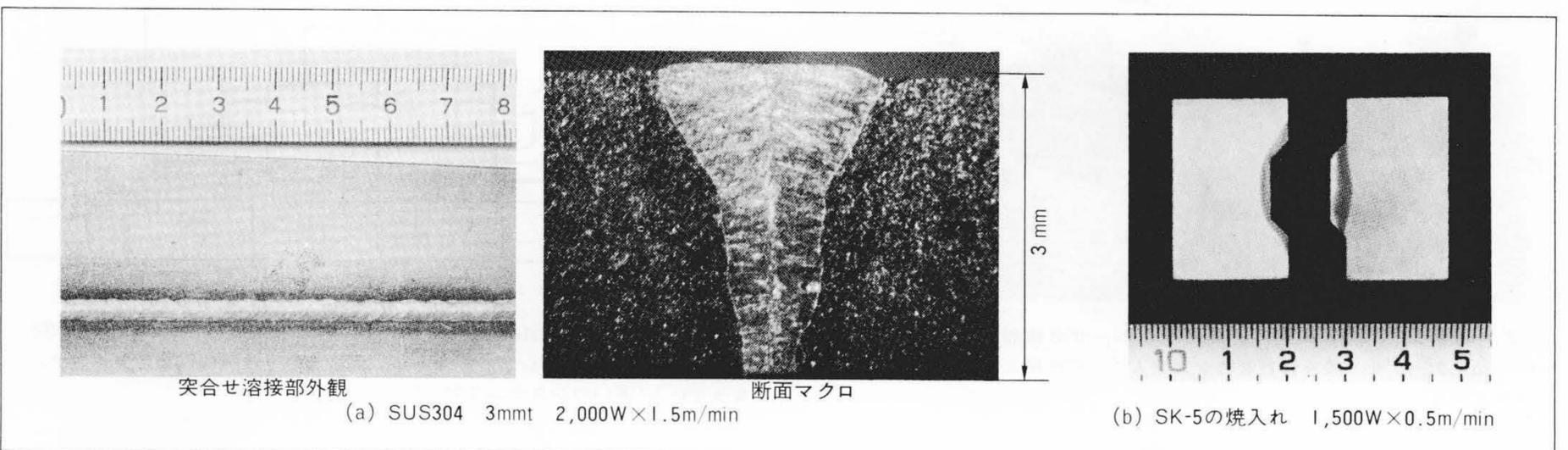


図18 溶接・焼入れ加工事例 SUS304薄板材の突合せ溶接、局部焼入れ加工などに効果がある。

で、稼働率向上施策としても有効である。また、本事例の特徴として、図17⁵⁾に示すような光学ユニット(日立式線状ビームヘッドと呼称している。)を使用し、広幅で均一なビームに変換して効率良く焼入れ作業を行なえるようにしている点が挙げられる。

本装置により加工した事例を図18に示す。

6 結 言

現状、CO₂レーザー加工機のはほとんどは、板金加工を対象とした金属材料加工の分野であるが、セラミック・複合材料加工などの分野にも盛んに導入が行なわれるようになってきている。加工機システムとしては、対象作業・対象物の材質形状及び生産現場の制約条件により大幅に変わってくるが、日立製作所CO₂レーザー加工機の内容とシステム事例について紹介し

た。レーザーは集光技術の工夫により、あらゆる産業分野に適用できることから、今後更にレーザー発振器技術の進歩とあいまって、「レーザー時代」のくることが期待される。

参考文献

- 1) 通産省レーザー加工機分科会編：レーザー金属加工機の安全化に関する報告書，33～35(昭59-3)
- 2) 橋浦，外：CO₂レーザーによる切断・穴あけ加工，金属プレス，Vol.15，No.10，88～94(昭58-10)
- 3) 橋浦，外：日立CO₂レーザー加工機，機械と工具，Vol.28，No.4，55～61(昭59-4)
- 4) 橋浦：レーザーによる溶接技術，日本機械学会講習会テキスト，111～126(昭59-11)
- 5) 岩木，外：5 kW CO₂レーザー装置の開発，日立評論，64，11，835～840(昭57-11)