

レーザー加工機取扱作業用安全講習テキスト

一般社団法人 日本鍛圧機械工業会

レーザー加工機取扱作業安全講習

	目次	ページ
1.	本書のねらいと構成	1
1.1	レーザープラズマ専門部会の活動	1
1.2	レーザー加工機安全の現状	1
1.3	レーザー取扱作業用テキストの対象製品とテキスト構成	1
2.	レーザー加工機の原理と構成	3
2.1	レーザー加工の基礎	3
2.1.1	レーザー加工とは	3
2.1.2	レーザー切断のメカニズム	3
2.1.3	アシストガスの役割	4
2.1.4	金属材料の切断	5
2.1.5	非金属材料の切断	13
2.2	レーザー発振器	15
2.2.1	炭酸ガス(CO ₂)レーザー	15
2.2.2	YAGレーザー	16
2.2.3	ファイバレーザー	18
2.2.4	炭酸ガスレーザー加工機とYAGレーザー加工機の安全面からの比較	18
2.3	レーザー加工機システムの種類と構成	20
2.3.1	炭酸ガスレーザー加工機	20
2.3.2	YAGレーザー加工機	26
2.4	材料・ワーク搬出入系システム	27
2.4.1	薄板対応システム	27
2.4.2	中厚板対応システム	28
2.5	光学部品の種類と材質	28
2.5.1	レンズ	29
2.5.2	ミラー	29
2.5.3	光ファイバ(レーザー伝送ケーブル)	31
2.6	ヒューム処理装置	33
2.6.1	集塵装置	33
2.6.2	脱臭装置	35
2.6.3	粉塵固形化装置	35
2.7	レーザー加工機用エア・ガス配管および機器	37
2.7.1	レーザー加工機エア・ガス設備概要	37
2.7.2	レーザー加工機駆動用エア配管、設備	37
2.7.3	レーザーガス配管	38
2.7.4	アシストガス用配管設備	38
2.7.5	配管機器・配管材の選定と取り扱い	40
3.	レーザー加工機に起因する危険と対応方法	43
3.1	レーザー光	43
3.1.1	レーザー光による人体への危険	43
3.1.2	レーザー管理区域の設定	43

3.1.3 レーザ管理区域の防護	43
3.1.4 レーザ用保護眼鏡	44
3.1.5 レーザ光の注意点	44
3.2 スパッタ	44
3.3 酸素ガス	45
3.3.1 危険源としての酸素	45
3.3.2 酸素容器貯蔵上の注意事項	45
3.3.3 使用上の注意事項	45
3.3.4 防火対策	46
3.4 高圧ガス	46
3.4.1 圧力の危険性	46
3.4.2 燃焼・爆発の危険	46
3.4.3 有害性の危険	47
3.4.4 超低音の危険性	47
3.5 ヒューム、粉塵	48
3.6 コート材の毒性	49
3.7 光学部品の毒性	50
3.8 高温火傷	51
3.9 高電圧	51
3.10 電磁波、磁界	52
4. レーザ加工機運転時の安全チェック項目	54
4.1 作業前点検	54
4.2 電源投入後の確認	54
4.3 運転中の注意事項	55
4.4 作業終了後の確認事項	56
4.5 安全装置の取り扱い	56
4.6 火災防止上の注意事項	57
5. レーザ加工機での事故事例	58
6. 事業者・管理者の安全管理責任	69
6.1 事業主責任	69
6.2 安全衛生教育の実施	69
6.3 レーザ機器管理者の選任	69
6.4 レーザ機器管理者が行う業務	69
6.5 レーザ取扱作業者の選任	70
6.6 健康管理	70
6.7 改造禁止	70
6.8 用途限定	70
6.9 2人作業時の注意事項	70
6.10 レーザ取扱作業者の衣類・装身具等	70
6.11 作業台・工具等	71
6.12 雷雨・停電	71
6.13 可燃物の保管	71
6.14 レーザ加工機の故障、保守、事故の記録	71
6.15 医療用器具の誤動作、故障の防止	71

6.16 機械稼働部の防護	71
7. 用語集	73
8. 警告銘板集	76
9. 関係法令	78
9.1 JIS C6802 レーザ製品の安全基準	78
9.2 労働安全衛生法	78
第 10 条（総括安全衛生管理者の選任）	78
第 20 条（危険防止措置）	78
第 22 条（事業者の講ずべき措置等）	78
第 59 条、（事業者の安全衛生教育の義務）	78
第 60 条（同上）	79
第 60 条の 2	79
第 66 条（健康診断）	79
9.3 労働安全衛生規則	79
第 35 条（事業者の雇入れ時等の教育）	79
第 263 条（ガス等の容器の取扱—高圧ガス容器取扱）	80
第 267 条（油等の浸染したボロ等の処理）	80
第 279 条（危険物等がある場所における火気等の使用禁止）	80
第 285 条（油類等の存在する配管又は容器の溶接等）	80
第 313 条（ガス集合溶接装置の管理等）	81
第 325 条（強烈な光線を発散する場所）	81
第 329 条（電気機械器具の囲い等）	81
第 335 条（電気機械器具の操作部分の照度）	81
第 353 条（電気機械器具の囲い等の点検等）	81
第 576 条（有害原因の除去）	81
第 577 条（ガス等の発散の抑制）	82
第 579 条（排気の処理）	82
第 583 条の 2（騒音を発する場所の明示等）	82
第 584 条（騒音の伝播の防止）	82
第 585 条（立入禁止等）	82
第 593 条（呼吸器用保護具等）	82
第 597 条（労働者の使用義務）	82
9.4 粉じん障害防止規則（S54 年労働省令第 18 号）	82
第 5 条（換気の実施等）	82
第 6 条（換気の実施等）	82
第 27 条（呼吸用保護具の使用）	82
9.5 高圧ガス保安法	82
第 5 条（製造の許可等）	82
第 15 条（貯蔵）	82
第 16 条（貯蔵所）	82
第 17 条の 2（貯蔵所）	83
9.6 高圧ガス保安法施行令	83
第 3、4、5 条（制令で定めるガスの種類等）	83
9.7 一般ガス高圧ガス保安規則	83

第 18 条 (貯蔵の方法に係る技術上の基準)	83
第 19 条 (貯蔵の規則を受けない容積)	83
第 55 条 (特定高圧ガスの消費者に係る技術上の基準)	83
第 60 条 (その他消費に係る技術上の基準)	83
第 102 条 (第一種貯蔵所に係る貯蔵容積の算定方法)	83
9.8 労働省労働基準局長通達第 39 号	83
基発第 39 号(S61 年 1 月 27 日)「レーザ光線による障害の防止対策要綱」 及び基発第 0325002 号(H17 年 3 月 25 日)「レーザ光線による障害の防止 対策について」改正	
9.9 電波法	88
第 100 条 (高周波利用の設備)	
9.10 毒物及び劇物取締法	88
第 2 条別表第 1 第 28 号(制令で定めるもので規定される毒物— セレン化亜鉛(ZnSe)	
第 11 条 (毒物又は劇物のと取扱)	
第 15 条の 2 (廃棄)	
9.11 毒物及び劇物取締法施行令(H9 年 3 月 24 日制令第 57 号)	88
第 40 条 (不要レンズ、破損レンズの廃棄)	
9.12 関係法規類(保護帽、防塵マスク、防毒マスク、遮光保護具等)	89
保護帽の規格 —労働省告示第 66 号	
防塵マスクの規格 — 労働省告示第 19 号 (S63. 3. 30)	
防毒マスクの規格—労働省告示第 68 号 (H2. 9. 26)	
防塵マスクの選択、使用—基発第 0207006 号 (H17. 2. 7)	
防毒マスクの選択、使用—基発0207007号(H17. 2. 7)	
遮光保護具の使用—基発第 773 号 (S56. 12. 16)	
騒音障害防止のためのガイドラインの策定について— 基発第 546 号 (H4. 10. 1)	
9.13 「機械の包括的な安全基準に関する指針」の改正について(H19 年 7 月 31 日)	89
9.14 消防法可燃性材料と液体の保管 第3章(危険物)第 10 条	90

1. 本書のねらいと構成

1-1 レーザ・プラズマ専門部会の活動

レーザー加工機は日本では 1980 年代はじめより産業界で切断加工がまず実用化され、鍛圧機械工業会メンバにおいても、従来のブランキングやパンチングに代わり、レーザー切断機を導入する事例が多くなっている。

一般社団法人 日本鍛圧機械工業会においても、このような業界の変貌に対応するため、2008 年にレーザー・プラズマ専門部会を設置した。部会ではレーザー・プラズマ導入の課題を抽出して工業会として対応することを目的とし、初年度は最も普及しているレーザー切断機について課題を抽出して課題解決に向けた活動を実施した。

1.2 レーザ加工機安全の現状

レーザー加工機は一般的には不可視(見えない)レーザー光を利用して、切断、溶接などの作業を行うものであり、レーザー光を取り扱う必要がある場合には細心の注意が必要である。レーザー光の危険性については従来から認知されており、適正な安全措置を講じなければ、人体に重大な損傷を与えることになる。

通商産業省(現経済産業省)はこの点を重視し、財団法人光産業技術振興協会にレーザーの安全性について日本工業規格(JIS)の調査研究を委託し、昭和 63 年 11 月に JIS C6802 「レーザー製品の放射安全基準」が制定された。

その後、レーザーの応用範囲が広がったことに伴い、レーザーの安全基準を見直す必要性が高まってきた。そのため、平成 9 年 12 月に JIS C6802 「レーザー製品の安全基準」として改定され、数回の追補改正後現在に至り、これがレーザー機器の安全設計、取り扱いに関する公的基準となっている。

JIS 制定後各メーカーから出荷されるレーザー加工機は本基準に従って設計、製作されるようになり、安全性は飛躍的に向上した。その反面、レーザーの特性、危険性を知らなくても比較的安全な作業が可能となり、現場での取扱作業にはレーザー取り扱い上の危険度が高いことへの認識の甘さに起因する事故が散見される。

又、レーザー加工機を実際に操作して、材料を加工する際にはレーザーに対する安全知識ばかりでなく、高圧ガス、有毒ガス、粉塵および集光レンズなどの取り扱い上の注意事項や、ワーク、スクラップ等の高温による火災防止やレーザー反射光による火災防止、スパッタによる火災防止などへの複合した安全知識が要求される。

更に、最近のレーザー発振器の高出力化に伴い、今まで加工できなかった材料や厚板が加工できるようになり、特殊材料加工時の安全知識、新アプリケーション開発による新たな知識、(たとえば高圧窒素を使ったステンレス加工)、自動化設備の安全上の知識など、更に注意をはらわなければならないものが増している。

1.3 レーザ取扱作業用対象製品とテキスト構成

このような状況の中で、レーザー加工機の安全対策関連講習はいくつか用意されているが、講習対象者が幅広くとらえられ、設計者向けが中心であり、実際の作業現場での取扱作業者に焦点をあてて分かりやすく取り扱いの注意点を説明するテキストや講習会が用意されているとは言い難いのが実情である。

そこで、本書では、実際作業をする取扱作業者の安全確保の観点からレーザー加工機取り扱いに必要なこれらの複合安全知識を実作業に即して記載する。メンテナンスに関しては高度な専門的な

知識が必要であり、本書の範囲を超えるので、保守、メンテナンス時の安全については本書から除外する。保守、メンテナンスが必要な場合には、メーカーに依頼するか、メーカー主催のメンテナンス教育を受講することを薦める。

対象製品としては、「板金加工現場におけるレーザー切断機」とし、第2章で作業者が安全上知っておくべきレーザー加工の原理、レーザー加工機の構成について炭酸ガスレーザー切断機を中心に解説し、YAGレーザーの安全についても述べている。

第3章、第4章、第5章、並びに第6章が本書の中心部分で、日本鍛圧機械工業会会員のレーザー加工機メーカーが使用している取扱説明書の安全に関する部分を抽出し、それを項目ごとにまとめて、レーザー加工機の注意すべき危険源について述べ、つづいて取り扱い上の注意事項について全般、個別項目の順に解説している。特に第5章では、取扱作業者の安全確保の重要性をよく認識していただき事故防止に最善の注意を払っていただく為に、起こった、あるいは起こりうるヒヤリハット事例について、出来るだけ具体的に例示し、説明することによって注意喚起を促すようにしている。尚、記載に当っては事故当事者、メーカーの特定は避けて、編集を行っている。第6章では、事業者・管理責任者が守らなくてはならない法令や遵守事項を記載し、レーザー機器管理者の選任、レーザー取扱作業者の選任を含めた事業主の義務、責任について説明している。

第7章では、専門的な用語、板金業界特有の用語や省略頭文字について、捕足説明を記載した。

第8章では主要な警告銘板のロゴマークを列挙し、それらについての一般的な意味と、それらがレーザー加工機に使用された場合の意味を併記した。加えて「危険」、「警告」、「注意」の3つの危険レベルの違いについても解説した。

最後に第9章ではレーザー加工機の安全に関連する法令についても、参考に記載した。

2. レーザ加工機の原理と構成

2.1 レーザ加工の基礎

2.1.1 レーザ加工とは

レーザ加工とはレーザ発振器で発振されたレーザ光をミラーやレンズを使って各種材料に照射し、その熱エネルギーによって材料を溶融または分解・蒸発させる加工方法である。

本編では、板金加工現場で最も利用されている各種金属材料のレーザ切断加工について述べる。

レーザ切断は材料の除去形態によって、図1に示すように溶融切断、蒸発切断および割断の3つに大別される。さらに、溶融切断ではアシストガスに酸素ガスを使用して、材料との酸化反応熱を利用して切断する反応切断とアシストガスにアルゴンガスや窒素ガス等を用いて切断する無酸化切断がある。

反応切断(酸素切断)では酸化反応熱を使うので、厚板の切断が可能であるが、切断面が酸化してしまう欠点がある。酸化を嫌う部品では無酸化切断が利用される。

有機材料では一般的に炭酸ガスレーザの波長($\lambda = 10.6 \mu\text{m}$)の吸収率が高く、瞬時に熱分解及び劣化を伴う蒸発現象によって切断される。

割断はガラスなどの熱伝導性が悪い材料にレーザを照射したときに生じるクラックを積極的に利用するものである。溶融や蒸発による切断と異なり、小出力のレーザで行われている。

一般板金向けレーザ切断機の対象材料は軟鋼やステンレス鋼などの金属材料であるため、溶融切断を中心に説明する。

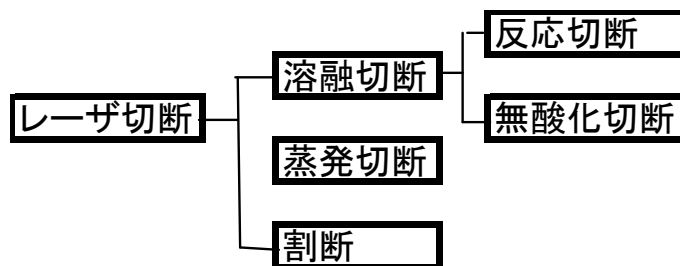


図 1. レーザ切断分類【1】

2.1.2 レーザ切断のメカニズム

鉄は燃えやすい材料でいったん燃え始めると、大量の反応熱を発生し燃え続け、消火しないと燃焼は止まらない。この現象を利用したのがガス切断である。

レーザ切断はレーザ熱源による酸化反応作用及びアシストガスによって材料を強制的に除去する加工方法である。図2にレーザ切断モデルを示す。

軟鋼の切断では、ミラーにより加工点まで伝送されたレーザビームをレンズまたはミラーにより集光し照射すると、材料の表面は急激に発熱し発火点以上に温度が上昇する。その結果溶融池が形成され、この状態でアシストガス(酸素ガス)を噴射すると、酸化反応により穴が形成される。レーザビームを移動すると、アシストガスの噴射ガスの運動エネルギーと、酸素ガスとの酸化反応により次々と深さ方向に強制除去されて、連続的な切断溝が形成される。レーザ切断はこの原理を利用したものである。

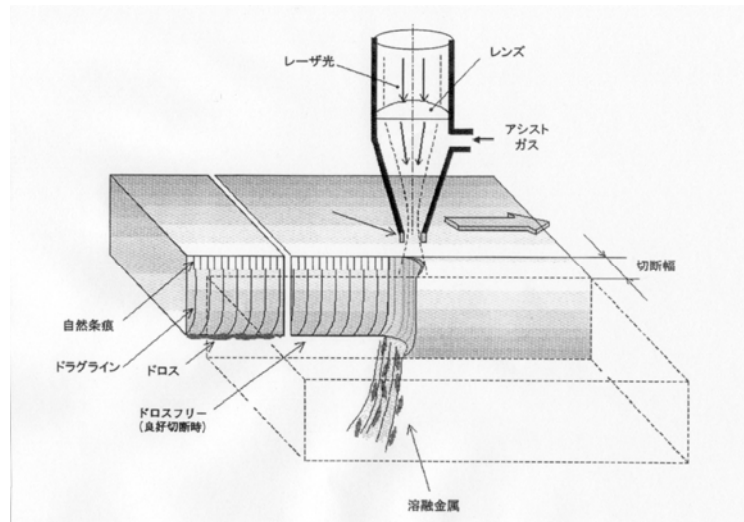


図 2. レーザ切断モデル【2】

図 3 に示すようにレーザー切断では、レーザー光のエネルギーの寄与度が高く、材料に直接作用して第一条痕が形成される領域と、上部の溶融金属を熱源として、酸素ガスとの酸化反応が作用して形成される第二条痕の領域とからなる【3】。第一条痕は切断面上部の約 2mm 程度であり、レーザー光のエネルギーで加工できる板厚はこの程度であり、レーザー切断と言われながら、酸素ガスが寄与する部分が多い。レーザー切断で良好な切断品質を達成するには、レーザービーム品質の管理と合わせて、アシストガス(酸素ガス)のコントロールも重要である。

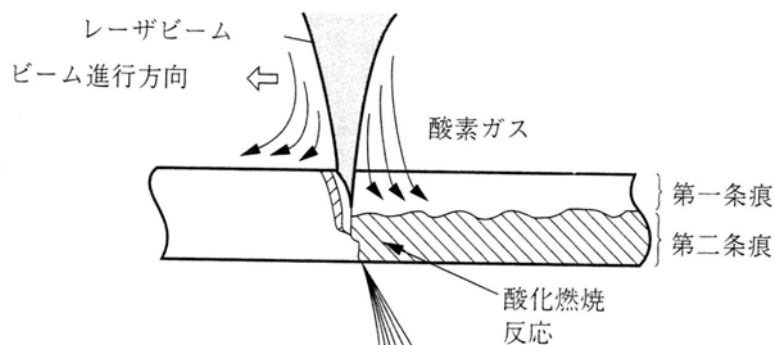


図 3. レーザガス切断模式図【3】

2.1.3 アシストガスの役割

アシストガスは酸化反応熱の生成や溶融金属を切断溝(カーフ)から排出させる役割があるが、そのほかに加工レンズの汚染防止や冷却の働きもある。

図 4 に示すように、加工レンズにスパッタ(溶融部から高速で飛散する金属の粒子)やヒューム(金属蒸気)が付着すると、その部分を通るレーザー光がその汚れ部分で吸収され、加工レンズの温度が上昇し、レンズ屈折率が変化してレーザーの集光特性が変化する。この現状を熱レンズ効果と言って、加工不良の大きな原因となっている。さらに汚染が進むと急激にレンズの温度が上昇し、それがまたレンズのレーザー吸収係数を押し上げ、さらに吸収を増加させ、最終的にはレンズに損傷を与えたり、熱応力で破損したりする。この現象を熱暴走という。

熱暴走を抑えるためにはレンズを清潔に保つことが最も重要であるが、冷却方法も重要である。冷却方法としては液体での水冷が最も効果的であるが、レンズの周囲のみ水冷は可能であっても、

レーザを透過する中心部分は水冷できないためアシストガスによって空冷している。

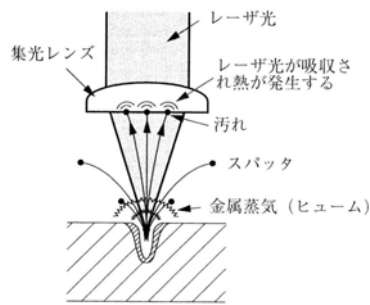


図 4. 熱レンズ効果【4】

2.1.4 金属材料の切断

金属材料はレーザの吸収率により切断の難易度が大きく異なる。比較的吸収率の高い鋼、チタン合金などと、極めて吸収率の低い、銅、アルミニウムなどである。実際のレーザ加工では材料の温度上昇による吸収率の増大が加工を促進させる。図 5 に各種金属の吸収率の温度依存性を示す。

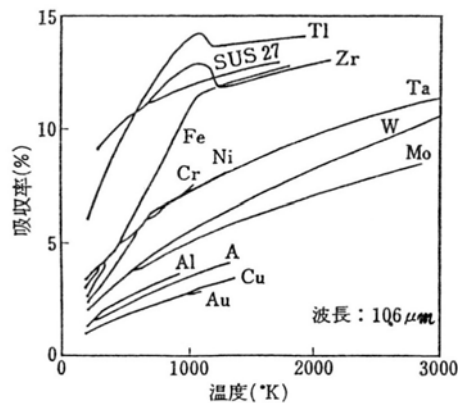


図 5. 各種金属の吸収率の温度依存性【5】

また、アシストガスとの反応により生成される生成物の特性により加工の難易度が異なる。酸素と反応して融点の高い酸化物が生成されると、熔融物の排出性が悪くなり、ドロスと呼ばれる固形物(ガス切断ではスラグと呼ばれる)として付着する。表 1 に示すように、金属に比べて酸化化合物の表面張力はかなり小さい。(表面張力が小さいほど流動性が良い。)また、図 6 のように、温度が低いときは鉄よりも酸化鉄のほうが粘性は小さいが、1700℃以上の高温になると逆転し、酸化鉄の流動性が極めて良くなる。このため、適切な酸素ガスを吹き付けて切断すると、ドロスフリー(ドロスの付着していない状態)になる。

表 1. 各種材料の表面張力【6】

	温 度 (°C)	表面張力 (dyn/cm)
Fe	1,570	1,700-1,800
Cu	1,083	1,350
Al ₂ O ₃	2,050-2,400	360-570
Cr ₂ O ₃	2,350-2,500	810
FeO		580

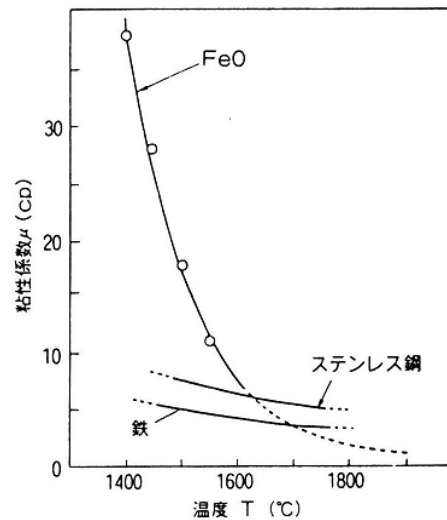


図 6. 粘性係数の温度依存性【6】

2.1.4.1 軟鋼の切断

軟鋼の切断では切断する板厚によってその加工メカニズムが異なる。比較的薄板の切断では酸化反応による寄与よりも、レーザービームによる直接的な寄与が大きく、レーザー光の集光特性が重要である。

図 7 は SPCC 板厚 2mm を切断した場合の材料表面に対する焦点位置 Z とカーフ幅 (切断幅) との関係を示す。カーフ幅 (表面側) は焦点位置 Z=0 (材料表面) で最小となる。このときのカーフ幅は 0.12mm となっている。ただし、切断速度は焦点位置を材料内に設定した方が最大となっている。これは焦点深度の効果が有効に働き、材料内部まで高密度のレーザービームが保たれるためと考えられる。

一方、中厚板 (板厚で約 9mm 以上) では、切断現象は酸化反応が支配的になり、アシストガス (酸素ガス) を下面まで誘導して、酸化反応による溶融金属をいかに排出するかが重要な加工技術上のポイントである。

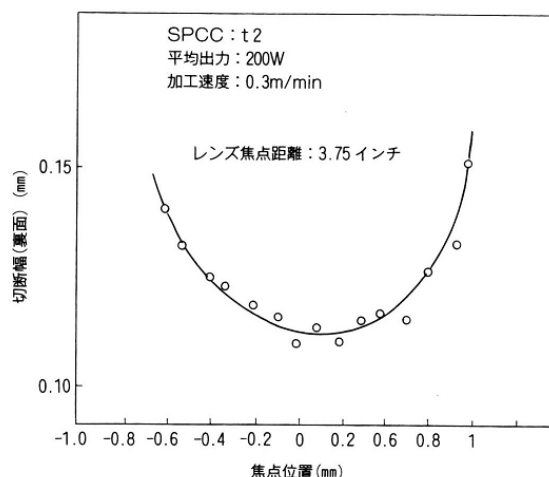
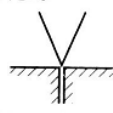
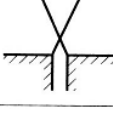
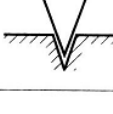


図 7. 焦点位置と切断幅の関係【7】

溶融物を効率よく排出するためには、カーフ幅 (切断幅) が狭いと溶融物を排出できないため、カーフ幅を広げて切断を行う必要がある。そのため、長焦点レンズを用いたり、焦点位置の設定

を材料の上側に設定することが行われる。表 2 は焦点位置と主な加工適用例の関係を示す。

表 2. 焦点位置とその加工への適用例【8】

焦点位置	特 徴	適 用
(a) $Z=0$ 	切断溝幅が最も狭く、精度の高い加工が可能である	<ul style="list-style-type: none"> ・テーパ度を少なくする加工 ・面粗度を良好にする加工 ・高速度加工 ・熱影響を少なくする加工 ・微細加工
(b) $Z>0$ 	切断溝下部の幅を広げ、ガスの流れや溶融物の流動性をよくする	<ul style="list-style-type: none"> ・厚板のCW、高周波パルス加工 ・アクリルの加工 ・ダイボードの加工 ・タイルの加工
(c) $Z<0$ 	切断溝上部の幅を広げ、ガスの流れや溶融物の流動性をよくする	<ul style="list-style-type: none"> ・Alのエアー切断 ・Alの窒素切断 ・ステンレスのエアー切断 ・ステンレスの窒素切断 ・亜鉛めっき鋼板のエアー切断

(1)薄板の切断

①箔の切断

薄板の中でも板厚 0.5mm 以下の超薄板を切断する場合には、特殊な切断技術が必要となり、現在、フォトリソグラフィの代替技術として開発が進んでいる。板厚が薄い分だけ、出力を抑えて、ビームをいかに絞り込むかが重要である。

YAGレーザーでの薄板切断は炭酸ガスレーザーよりも波長が短く理論的なスポット径は小さく、炭酸ガスレーザーより優位であるが、まだまだ課題は多く、量産向けの技術とはなっていない。

図 8 にYAGでの箔切断の実施例を示す。

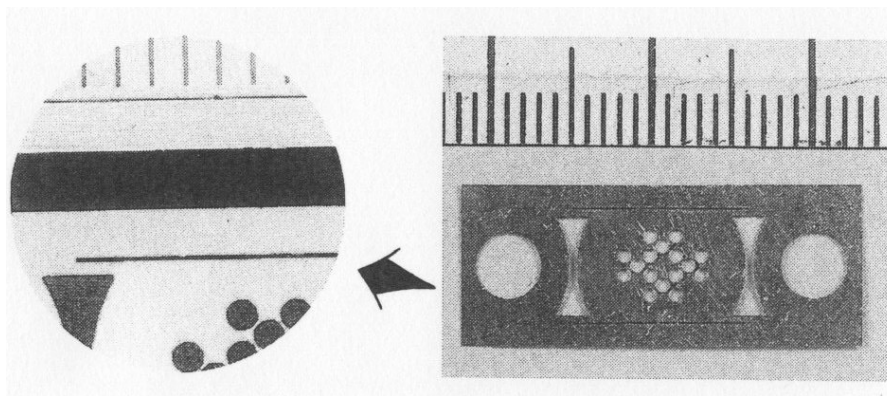


図 8. YAGレーザーによる箔の加工 (SUS403 板厚 0.1mm)【9】

②シートメタル切断

板厚 1mm 程度以上のシートメタル切断は最もレーザー切断が普及している分野である。加工条件が適正であれば、ドロスの発生もなく、滑らかな切断面が得られる。

シートメタル加工においては、レーザー出力の増大に伴い、最大切断速度は速くなり、最大切断速度近傍での切断が最も切断品質(切断面粗さ)が向上する。図 9 にレーザー出力を変化させた場合の良好切断が得られる領域を示す。レーザー出力の増大に伴い良好切断を示す高速度側の限界は、より高速度側へ移行する。しかし、低速度側の限界はレーザー出力を変化させても変化はない。

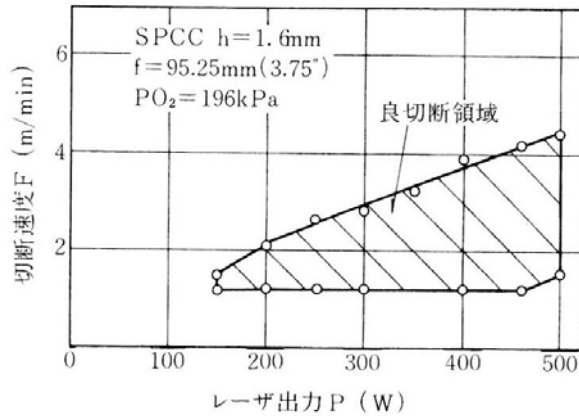


図 9. レーザ出力の影響【10】

レーザ出力をその加工機の最大値で切断すれば、最も切断速度は向上する。しかし、レーザ加工機の軌跡精度(動的精度)は切断速度が速くなるほど悪くなり、高精度な加工を実施するには、切断速度を落とした加工が必要である。図 10 に加工機の動特性の例を円加工時のオフセット(指令値と実軌跡との差)と加工速度の関係で示す。加工速度の増加とともに真円度は悪化し、その悪化の度合いは穴径により異なる。そのため、メーカーの自動プログラミング装置では形状に合わせて切断速度を設定している。図 11 に加工速度の設定例を示す。

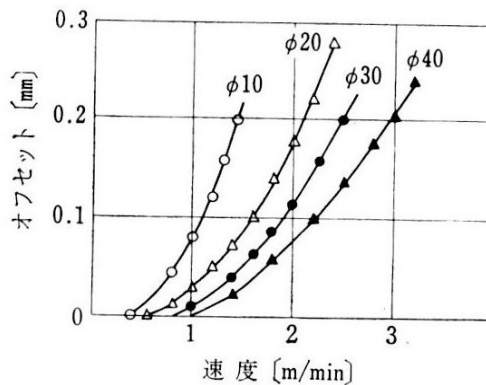


図 10. 加工速度とオフセット量【11】

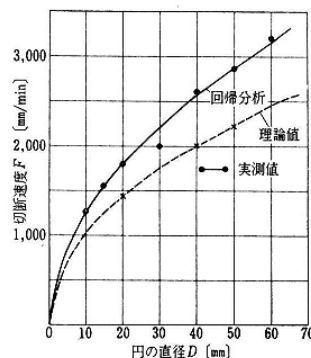


図 11. 円加工時の切断速度設定例【11】

切断速度を落として切断する場合、出力をそのままにしては入熱量が過多となり、切断面が悪化し、セルフバーニング(自己燃焼現象)が発生するので、出力を低下させる必要がある。しかし、出力を低下させても良好切断が得られる最低切断速度は出力によらずほぼ一定であり、そ

れ以下の切断速度で切断するには、レーザ発振を周期的に ON、OFF させたパルス出力での加工が行われる。パルス発振のデューティ(ON 時間の割合)と周波数を加工速度に合わせて設定することにより、低速での切断が可能となる。図 12 にパルス切断時の良好切断条件を示す。パルス発振のON時間を固定してOFF時間を変更した場合の良好切断領域を破線で示す。連続(CW)発振による切断では低速度側に限界があるが、パルス切断の場合には条件をコントロールすることによって、低速であっても良好切断が得られる。【12】

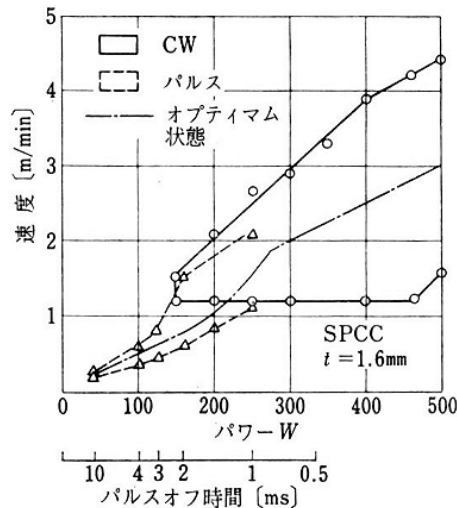


図 12. パルス切断時の良好切断領域【11】

③亜鉛めっき鋼板

亜鉛めっき鋼板は自動車パネルの切断で実用化されているが、表面に亜鉛がめっきされており、切断時に亜鉛が溶融・蒸発すると同時に、ドロスとして材料裏面に付着する頻度が高く、良好切断が可能な加工条件範囲が狭い。めっきの量の多い材料ほど、板厚の厚い材料ほどドロス量は増加する。

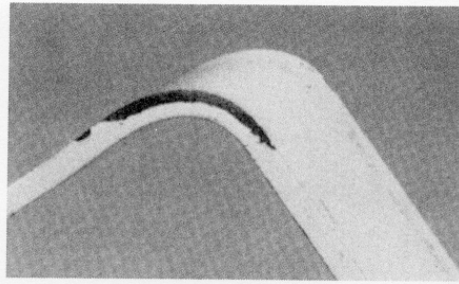
SECC や SGCC などの切断ではパルス発振を用いて、長焦点レンジでカーフ幅を広げ、アシストガス圧力を高めにしてドロスを吹き飛ばすようにして切断する。高出力レーザではアシストガスに窒素かエアを使って、アシストガス圧力を高圧にして加工することにより、ドロス量を減少させることも試みられている。

アシストガスにエアを使用する場合には、鉄の酸化反応が少なく、溶融物の流動性が悪いいため、アシストガスの圧力を高圧(800KPa 程度)に設定して、溶融物を吹き飛ばす必要がある。高圧コンプレッサが必要ではあるが、他のガスと比較して安価なガスであり、ランニングコストの低減が可能である。エアには約 20%の酸素を含有しているが、酸化反応による効果はほとんどなく切断能力はアシストガスに窒素を使った場合とほぼ同程度である。

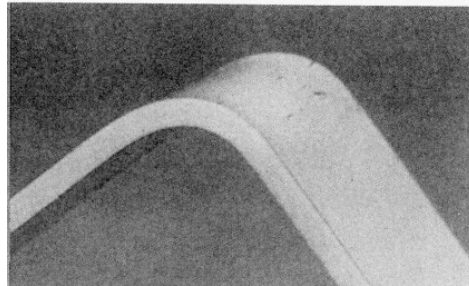
切断面にはわずかな酸化膜の発生はあるが、母材との付着は強固であり、その上に直接塗装を行っても塗装膜の剥離はない。

図 13 はアシストガスにエアと酸素ガスを使用して切断した切断面に塗装を行い、塗装剥離の有無を確認した結果である。アシストガスにエアを使用した場合には塗装膜の剥離はないが、酸素ガスの場合には塗装面が剥離している。

コンプレッサで圧縮したエアを使用する場合、エアの水分やオイルミストを除去したクリーンで乾燥したエアを使う必要がある。アシストガスにオイルミストや水分が含まれると、加工レンズが汚染され、上述の熱レンズ効果が発生する。



(a) アシストガスに酸素を使用(塗装膜に剥離発生)



(b)アシストガスにエア使用(塗装膜に剥離発生せず)

図 13. アシストガスに酸素またはエアを使用した場合の塗装膜の剥離状態【12】

(2)中厚板の切断

①軟鋼厚板切断

レーザ発振器の増加に伴い切断可能な板厚が増大し、ガス切断、プラズマ切断とともに厚板切断技術では重要な位置を占めるようになってきた。一般にレーザ切断はガス切断より加工速度が速く、プラズマ切断より遅い、しかしスポット径が小さく、パワー密度が高いため、最適な加工条件を設定すれば良好な切断品質が得られる。

厚板切断のパラメータは多くあり、作業員自身でコントロールできないパラメータもあるが、日常メンテナンスにより良好切断を維持することは可能である。特にレーザビーム品質を維持するためには、集光レンズと光学系(出力鏡、リターダ、全反射ミラー等)の定期的クリーニングは必須である。ただし、発振器内部の光学系メンテナンスは専門の知識が必要であり、クリーニングはメーカ技術者に依頼しなければならない。外部光学系のメンテナンスについても、メーカのメンテナンス教育を受けた専任技術者が実施しなければならない。

厚板の切断は酸化反応が支配的であり、アシストガスの抜けを良くするために、板厚が厚くなるにつれて焦点位置を外した、いわゆるデフォーカスした状態で切断すると、良好な切断が得られやすい。アシストガスは 50kPa程度の低圧で切断を行うことが多い。

②塗装鋼板の切断

図 14 に鋼板の表面の種類を示す。ここでプライマ材が塗装鋼板と呼ばれているもので、プライマとはペンキの下塗りのいわゆる錆止め塗装を言う。

塗装鋼板の切断では表面の塗装を同時に切断することになるため、塗装中の成分が蒸発してアシストガスの酸素純度が低下して、切断能力が低下する。

この対策として「先行焼き」と称して、切断線をあらかじめ出力調整したビームで垂鉛の膜を除去することが行われている。

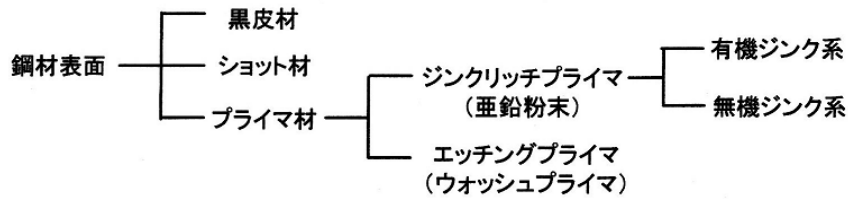


図 14. 鋼材表面の種類【13】

③ピアッシング時のスパッタ

切断の開始時にスタート穴をあけることをピアッシングと言う。厚板になるほどピアッシングは不安定になる。加工不良の半分以上の要因はピアッシングにあると言っても過言ではない。ピアッシングに失敗したり、ピアッシングが完了しないまま切断を開始すると、溶融物(スパッタ)が吹き上がり、ノズル、レンズを損傷したり、加工機の周りに可燃物があると引火して火災の危険性があり、注意が必要である。

最近ではピアッシング時間を短縮するためにCW条件によるピアッシングが行われているが、多量の溶融物が発生するため、パルス条件でのピアッシング以上にスパッタによる火災や火傷に留意すべきである。

2.1.4.2 ステンレス鋼の切断

ステンレス鋼はクロムを約 13%~25%含む鉄の合金である。アシストガスに酸素を用いて切断すると、クロム酸化物が生成する。このクロム酸化物は融点が高くまた粘性も高いため容易に排出されない。また付着したドロスは強固なため容易に除去できない。このため薄板のステンレスではアシストガスにエア又は窒素を用いた切断が行われている。

ステンレスの厚板は、従来は酸化反応も併用しないと切断できず、高圧酸素による低速パルス切断が行われていたが、レーザの高出力化に伴い、薄板同様の無酸化切断が可能になってきた。無酸化切断では高圧の窒素ガスを使うため、ランニングコストが高くなるので、薄板加工で切断面の多少の酸化が問題にならない場合には、高圧エアで切断する場合もある。

最近では軟鋼板でも後工程に溶接や塗装がある場合、この切断方法を行うようになってきた。この切断方法では、レーザで溶融した部分に高圧窒素を吹き付けて吹き飛ばすことになるが、加工機の耐圧以上の圧力をかけてはならない。

図 15 にアシストガスに窒素を用いてステンレス鋼を切断した場合のドロスフリーとなる窒素ガス圧の関係を示す。板厚の増加につれて高圧窒素が必要となる。ただし、日本国内では、高圧窒素の使用に関して、高圧ガス保安法の規制があり、1MPa以上のガス圧を使用するには高圧ガス保安法の手続きを行う必要がある。

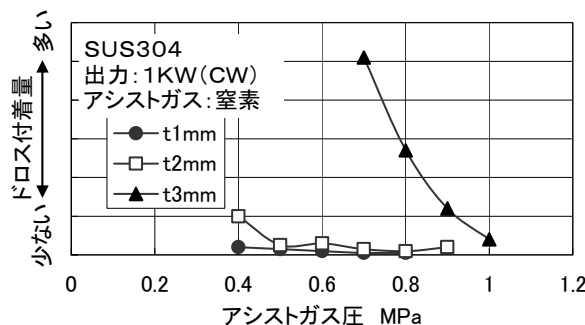


図 15. アシストガス圧力とドロス付着との関係【14】

2.1.4.3 アルミニウムの切断

レーザービームを切断材に照射するとレーザービームは反射する。入射ビームの出力に対して反射するレーザービームの出力の比を反射率と言う。この反射率はレーザービームの波長、入射角、材料の種類や表面状態、表面温度によって変化する。図 16 に室温にて鏡面研磨された材料の各波長における反射率を示す。

波長が長いほど反射率は高い。炭酸ガスレーザーの場合の反射率はいずれの材料でも 90%以上あり、このままでは加工は困難である。しかし、実際には加工に難易度の差はあるが、加工は可能である。理由としてはビームの吸収率(反射率)は材料の表面状態(酸化膜厚さ、表面粗さ、温度など)によって変化するからである。つまり、スポットに集光されたビームが照射されると、ビームの一部が吸収され、その部分の温度が急上昇し、その結果、表面状態が変化して、吸収率が高くなり、金属が溶融する。金属が溶融するとビームの吸収も増加する。

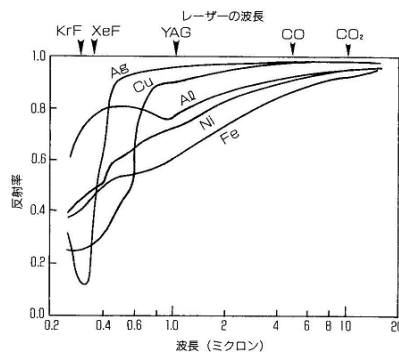


図 16. レーザ波長と反射率の関係【15】

反射率の高いアルミニウムにおいても、一定出力以上のスポットを照射すれば穴あけは可能であり、穴あけができれば切断も可能である。ただし、純アルミニウムでは反射率が高く、高出力のレーザースポットを照射しても、材料の融点まで温度を上昇させることができないので、ピアッシング開始点であるピアス点にビーム吸収材を塗布する必要がある。ピアスができれば切断は可能であるが、切断に寄与していない部分のレーザーは反射していると考えて良い。

図 17 に純アルミニウムを切断した場合の反射光の状態を示す。良好切断中、反射光は少ないが、切断不良が発生した場合、異常光線が発振器内に戻る。材料が傾斜している場合は、作業側側に反射光が戻る危険性があるため、安全対策、火災対策は軟鋼切断時以上に注意が必要である。

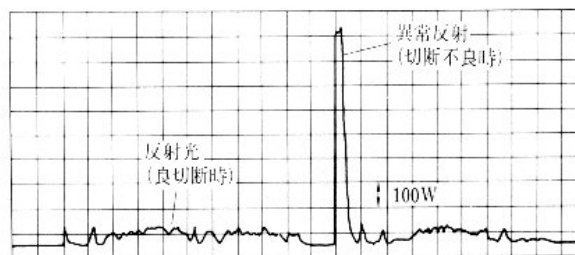




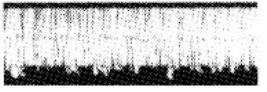
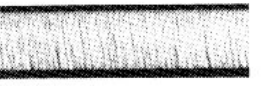


図 17. 純アルミニウム(A1050, 板厚 2mm)の反射光モニター【16】

合金アルミニウム A5052 板厚 3mm に対して、アシストガスに窒素とエアを使用した場合の切断面の相違を表 3 に示す。窒素の場合、周期的なドロスの流れを示すドラッグラインの湾曲はアシストガス圧 0.4MPa 以上でほぼ垂直であるが、0.8MPa でもドロスはわずかに付着している。エアの場合、0.4MPa では裏面側でドラッグラインが湾曲し、それに引き続いてドロスが付着している。し

かし、0.8MPa ではドラッグラインの湾曲もなく、ドロスの付着もない。

表 3. アシストガス種類による切断面の相違 (A5052、板厚 3mm)【17】

アシストガス圧 MPa	窒素	空気
0.05		
0.4		
0.8		

アシストガスに窒素を使用して切断すると、切断面の酸化がなくなるので付着したドロスは軟らかく、簡単に指で取れ、しかも切断面は非常に美しい。しかし、高圧のアシストガスを使用するためガスの使用量が非常に多く、実用上はランニングコストにおいて大きな問題となる。エアで切断する場合、エア圧は 0.8MPa 以上としてもドロスの付着は変わらない(図 18)。むやみに高圧ガスを使用するのではなく、最適条件で切断すれば、低ランニングコストでの切断が可能である。

また、アルミニウム材を購入すると、キズ防止のためにビニールを貼って納入されることが多い。このビニールを裏面にして切断するとドロス付着防止に効果があるが、切断時有害ガスが発生するため、排気には充分注意が必要である。

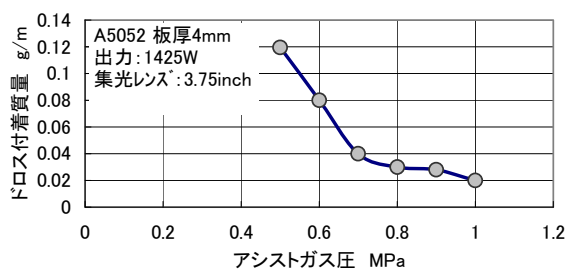


図 18. ドロス付着に及ぼすアシストガス圧の影響【18】

2.1.5 非金属材料の切断

非金属材料は炭酸ガスレーザーの波長 $10.6 \mu\text{m}$ の吸収率が高く、融点が金属材料に比べて低く比較的容易に切断できる。YAG レーザの波長 $1.06 \mu\text{m}$ は透過する材料(ガラスや石英など)もあるので、注意が必要である。

2.1.5.1 有機材料の切断

有機材料の内、高分子材料は分解温度や融点が 300°C 以下と低く、レーザーの吸収率も高いので、低出力のレーザー加工機でも高速切断が可能である。

しかし、高分子材料は分解すると人体に有害なガスを発生させたり、加工機に錆を発生させたりするので、加工ポイントから有害ガスを吸引し、ガスを処理するシステムが必要である。

有機材料の内、木材(ダイボード)、洋服地などの切断が炭酸ガスレーザーで実用化されているが、これらの材料を切断する場合にも、多量の有害ガス、煙を発生するので、排気を充分に行う必要がある。

紙やフィルム切断を行うための木型ダイボードの加工例を図 19 に示す。板厚 18mm の合板に 0.4~1.2mm のスリットを 0.01mm の精度で加工できる。この技術は日本国内にレーザーが普及した直後から適用されている。

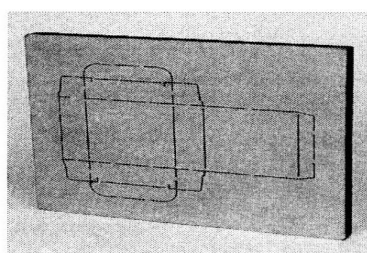


図 19 ダイボード加工の例【19】

また、有機材料は燃えやすい材料であり、金属材料を混合して切断する場合には、金属のスパッタによる火災にも注意が必要である。加工機内に有機材料のスクラップが残っているとそれに引火する場合もある。有機材料切断後、加工機内の清掃を充分に行ってから金属の切断を行う必要がある。

2.1.5.2 無機材料の切断

ガラスや石英の切断にはレーザービームの透過率が 99%以上の YAG レーザを使うことはできない。通常炭酸ガスレーザーを用いて切断する。ただしガラスは熱衝撃に弱いので、パルス発振で入熱をコントロールして切断する必要がある。

2.1章 参考文献

- 【1】宮本、第30回レーザー熱加工研究会論文集(1993年7月)、レーザー切断のメカニズム
- 【2】新井、高出力レーザープロセス技術、マシニスト出版、P.113
- 【3】金岡、レーザー切断、日刊工業新聞社、(1999年5月)、P.22
- 【4】金岡、レーザー切断、日刊工業新聞社、(1999年5月)、P.23
- 【5】久田秀夫、レーザープロセス技術ハンドブック、(1992)233、朝倉書店
- 【6】宮本、レーザー切断のメカニズム、第2回レーザー熱加工研究会WG資料、1996年7月15日
- 【7】新井、沓名、宮本、レーザー切断加工(1994年)P.35
- 【8】金岡、レーザー加工、(1999年)、日刊工業新聞社、P.58
- 【9】新井、沓名、宮本、レーザー切断加工、(1994年)、P.82
- 【10】林、村田;CO₂レーザーによる切断技術の研究、小松技報、第30巻、第3号。P.10
- 【11】林、村田、三代;レーザー加工システムとソフトウェア技術、自動化技術、第18巻第11号(1986)、P.25
- 【12】木谷;炭酸ガスレーザーの新応用、ツールエンジニア、1990年7月号、P.92
- 【13】要説 熱切断加工の“Q & A”、(社)日本溶接協会 ガス溶断部会技術委員会 溶断小委員会、P.117
- 【14】林、三代;CO₂レーザーによる最新のアルミ・ステンレス切断技術、MACHINIST(1989-7)、P62

- 【15】新井、沓名、宮本；レーザー加工の基礎(下巻)、マシニスト出版(1993年)P.31
- 【16】林、三代；Al合金のレーザー切断システム、自動化技術、第21巻第5号(1989)P.43
- 【17】林、三代；アルミニウムのレーザー切断技術、金属、1989年12月号、P.8
- 【18】林、三代；アルミニウム合金のレーザー切断に関する研究、1989年度精密工学会秋季大会学術講演会論文集、P.415
- 【19】金岡、レーザー加工、日刊工業新聞社(1999年)P131

2.2 レーザ発振器

レーザー(LASER)は Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation の頭文字をとって作られた単語で、「放射の誘導放出による光増幅」という意味である。

レーザー発振器にはいくつかの種類があり、レーザーの媒質で分類するとガスレーザー、固体レーザーおよび半導体レーザーに分類できる。それぞれの特長とメリット、デメリットがあるが、金属加工分野の発振器としては炭酸ガスレーザー、YAGレーザーが広く実用化されている。最近では溶接分野を中心にファイバーレーザーの導入が始まった。

発振器の修理メンテナンスは専門知識、技術、作業によっては専門資格を持ったメーカーの技術者が行うことが基本であるため、本章ではレーザー加工作業者が最低限知っておくべき発振器の構造、発振原理及び安全上の基本事項について記載する。

2.2.1 炭酸ガス(CO₂)レーザー

炭酸ガスレーザーの基本構造を図20に示す。共振器を構成する対向する2枚の鏡の間にある放電管の中にレーザー媒質となる混合ガス(CO₂、N₂、He)を注入し、放電によってガス分子を励起する。鏡の間で光は共振し、増幅された光は一部の光を透過できるようにした(一般的に透過率35~60%)部分透過鏡から取り出される。

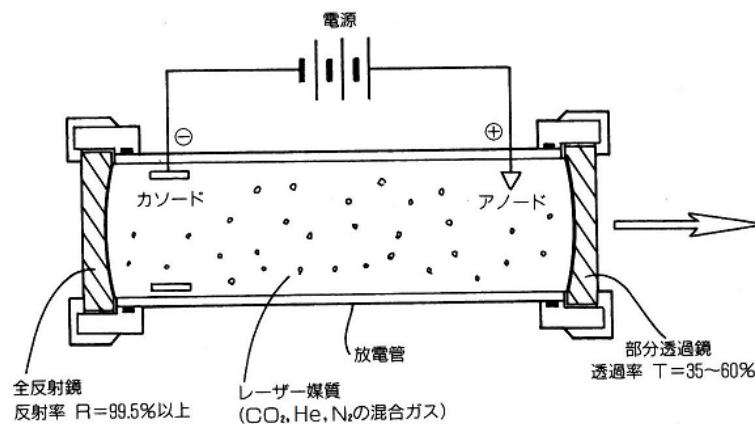


図 20. 炭酸ガスレーザー共振器の基本構造例【20】

共振器内で光が増幅され、一定の値を超えた光が外部に取り出される。これが炭酸ガスレーザーの基本的な構造である。放電励起の型式により連続発振(CW: Continuous Wave)とパルス(Pulse)発振ができる。

炭酸ガス発振器は放電の方向、ガス流の方向、光の取り出す方向の組み合わせによって共振器が構成されている。図21に放電の方向、ガス流の方向、光の取り出す方向の組み合わせによる発振器の分類を示す。

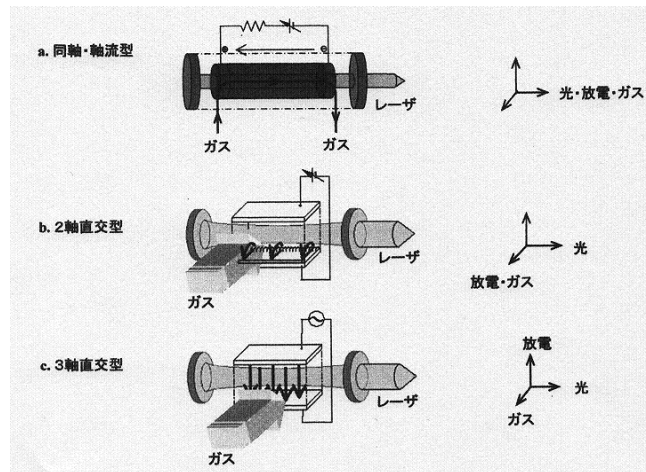


図 21. 炭酸ガスレーザー発振器の分類【21】

2.2.1.1 同軸型レーザー発振器

①放電方向 ②ガス流方向 ③光の取り出す方向が同一である方式を同軸型レーザー発振器という。またガスの流し方から、最初から封入しているタイプ(封じ切り型)、ガスを流入して循環させる(軸流型)に分けられ、軸流型はガスの速度により低速軸流型と高速軸流型に分けることができる。

封じ切り型は比較的低出力で用いられていたが、最近では 3kWクラスまで封じ切り型が開発されている。封じ切り型はガス流れがないため、レーザー光のブレが少なく安定したモードの光を取り出すことができる。しかし、ガスを入れ替えることがないため、ガス劣化に伴い性能が低下するため、定期的にガスチャンバの交換が必要である。その寿命は数千時間とされている。

封じ切り型に対して、軸流型では共振器の光の方向にガスを強制的に循環させる。低速軸流型は放電やガスに乱れが少ないことから封じ切り型に似てレーザービームが安定していて、モードも安定している。低速軸流型で出力を向上させるには共振器の長さを長くしてトータルでの出力をアップしている。共振器の長さを確保する方法としては共振器を折り返して距離を稼いでいる。

これに対して高速軸流型ではガスを高速で流すことによって放電管の単位長さ当りの出力をアップしている。しかし、ブロワーなどによりガスを強制循環するため、ガス流れが振動するためビームの安定性は低速軸流型に比べて劣る。

2.2.1.2 直交型レーザー発振器

直交型レーザー発振器には 2 軸直交型と 3 軸直交型がある。共振器の放電方向とガスの流れが同じで光の取り出し方向がそれらと直交している方式を 2 軸直交型という。それに対して全ての方法が互いに直交するものを 3 軸直交型という。直交型はガスの流れる断面積を大きくして、冷却能率を高めることができるため比較的大出力レーザーで用いられている。

放電励起の方式は従来 DC 放電励起が採用されていたが、最近ではラジオ周波数(RF)放電励起、すなわち数MHzの高周波(HF)電源を利用した放電励起の方法が採用されている。これにより電極の劣化によるガスの汚染が少なくなった。

2.2.2 YAGレーザー

YAG とは正式にはイットリウム・アルミニウム・ガーネット(Yttrium・Aluminum・Garnet)である。イットリウムとアルミニウムの複合酸化物($Y_3Al_5O_{12}$)から成るガーネット構造の結晶であり、YAG とはそれぞれの頭文字を取った略称である。図 22-1 に YAG 発振器の構成例を示す。

産業用に多く用いられる YAG レーザは、YAG 結晶に微量(1%程度)のネオジウム(Nd)を添加した結晶を使用し、結晶へ強い励起光(ランプや LD 等)を照射してレーザ光を発振させる。また、ネオジウム(Nd)を添加することから、Nd:YAG ともいう。

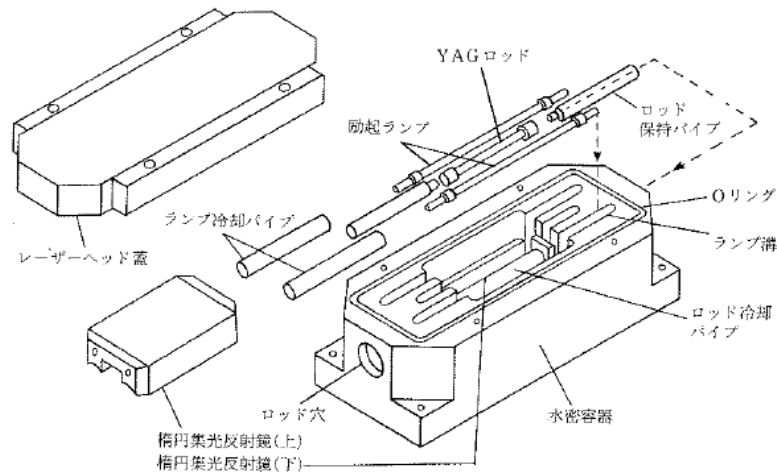


図 22-1. YAG 発振器の構成(ランプ励起)【22】

YAG レーザ光は光の波長が $1.064 \mu\text{m}$ の赤外光で、人間の目では見ることが出来ない。また CO_2 レーザの波長、 $10.6 \mu\text{m}$ に比べて約 10 分の 1 の波長なためレーザ光を非常に小さく絞ることが出来るので、微細な材料加工に適している。

YAG レーザ光は、光ファイバによって伝送することができる。図 22-2 にシステム例を示す。

光ファイバをつなげば離れたところでの加工が容易に行えるので、装置構成を簡単に行うことができる。

これらの特性に加え、YAG 結晶は多様な発振形態が得られるほか光学特性に優れており、レーザ用として最も優れた結晶と言われている。

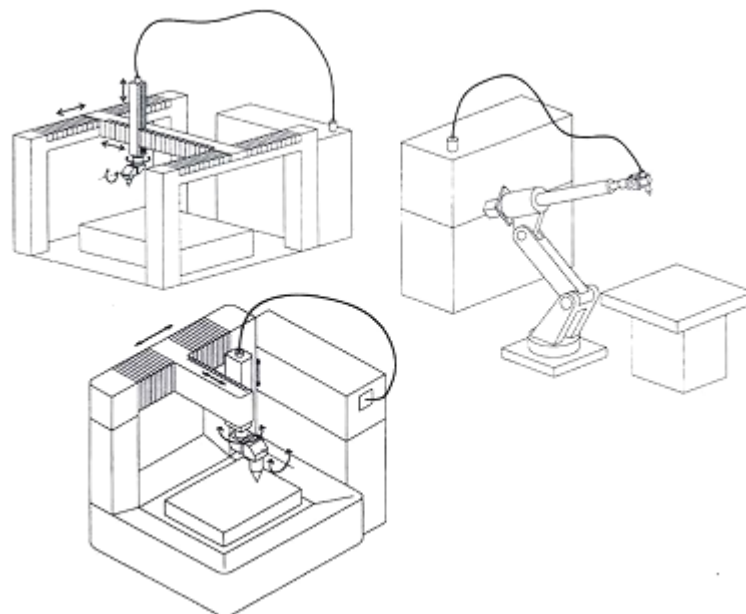


図 22-2. ファイバケーブルを用いた YAG レーザ加工機【23】

2.2.3 ファイバレーザ

ファイバレーザは信号増幅用のファイバ増幅器を加工用高出力レーザに改良したもので、文字通りファイバ(導波路)をレーザ発振器としたレーザである。図 23 に概念構想図を示す。

一般に普及しているYAGレーザのレーザ媒質(YAG結晶)を細く長くファイバにしたものと考えればよい。ファイバレーザはミラーを使用せず、ファイバブラッググレーティング(FBG: Fiber Bragg Grating)と呼ばれる回折格子を形成し、特定の波長だけ反射して、共振器ミラーと同じ働きを持たせている。このように光学系を用いていないため、アラインメント不良や光学系の汚れによるビームモードの乱れはない。励起は通常、半導体レーザを使用し、発振効率も非常に高くなっている。

- ① ビーム品質が良い
- ② 効率が高い(ランニングコストが安い)
- ③ メンテナンスが容易。消耗品が少ない
- ④ 小型軽量である
- ⑤ 高出力化が容易である。

などの特長があり、初期費用の低下とともに普及が期待されている。

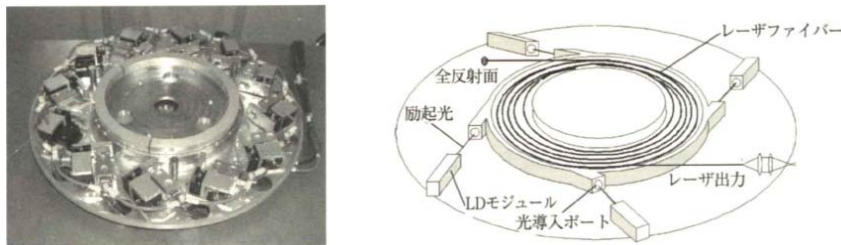


図 23. ファイバレーザの概念構想図【24】

2.2.4 炭酸ガスレーザ加工機とYAGレーザ加工機の安全面からの比較

一般的に材料加工に使用される炭酸ガスレーザ、YAGレーザは不可視光線であるため、レーザ取扱作業者の危険に対する意識が高いとは言えない。レーザ光によりレーザ取扱作業者に大きなダメージを与える危険があるため安全対策は十分に講じなければならない。

レーザ光による危険は大きく2つに分けられる。1つは、レーザ光が身体に直接照射された場合の危険であり、一方は、レーザ散乱光による眼に対する危険である。前者の場合は加工機インターロックを無効にして使用しない限り、直接作業者にレーザ光が照射されることはまずないと考えられるが、インターロックを外しての保守作業時には十分な注意が必要である。通常保守作業は専門知識、技術を持ったメカサービス員のみが行う。

眼に対する危険に対しては、レーザ光保護めがねの装着が重要であり、レーザ取扱作業者の意識が重要である。

表 4 に炭酸ガスレーザとYAGレーザの安全面からの比較を示す。炭酸ガスレーザとYAGレーザの取り扱い上最も大きな違いはガスレーザと固体レーザとの違いである。炭酸ガスレーザの場合、レーザ媒質であるガスの劣化により、出力が変動するので、常に新鮮なガスを供給する必要があり、作業者はアシストガスと合わせて、レーザガスボンベも定期的に交換する必要がある。YAGの場合にはレーザ媒質がYAG結晶であり、作業者が交換することはない。取り扱い上はガスの取り扱い程度の差であるが、作業者が最も注意しなければならないのはレーザの波長の違いによる安全上の差である。

表 4. 炭酸ガスレーザーとYAGレーザーの安全面からの比較

	炭酸ガスレーザー発振器	YAGレーザー発振器
レーザー媒質	混合気体(CO ₂ , N ₂ , He, 機種によってCO)	YAG結晶
放電方式	放電励起 (DC励起、RF励起)	光励起 (フラッシュランプ、LD励起)
波長	10.6 μm	1.06 μm
光伝送方式	ミラー伝送	ファイバー伝送
電源	DC電源 RF電源	大容量コンデンサ
目に対する危険	角膜障害	網膜障害
皮膚障害	表面火傷	深部火傷
透過部材	ほとんどの部材が透過しない	ガラス アクリル

炭酸ガスレーザーの波長 10.6 μm はほとんどの部材に吸収されるか反射される。一方 YAG の波長 1.06 μm はガラスやアクリルは透過する。このことは安全上大きな相違であり、一般の眼鏡を着用していれば炭酸ガスレーザーは眼鏡ガラスに吸収されるが、YAG レーザでは透過して目に達してしまう。YAG レーザ加工では特に意識して専用の安全眼鏡を着用する必要がある。炭酸ガスレーザーの遮蔽板は可視性を考慮してアクリル板で構成されることが多いが、YAG では YAG レーザそのものが透過して遮蔽版の意味を成さない。可視性はなくなるが、YAG の場合は鉄製の遮蔽版が必要である。

波長からくる性質から、火傷の程度も異なる。皮膚を損傷することには変わりはないが、YAG の方がより深部に火傷の程度が広がる。

火災に対する注意事項は炭酸ガスレーザー、YAG レーザ共通である。レーザー加工機の普及とともに、スパッタやレーザー光による火災が増加してきていることは否めない。加工の原理上、熔融金属を扱うため火災の根本原因を排除することはできないが、やはり未然に火災防止に対して対策を講じる必要がある。図 24 に火災の発生条件を示す。火災は図に示す条件が全て揃って始めて発生するものである。この条件の中で熱源はレーザー切断による熔融スパッタやレーザー光自体であり、酸素はアシストガスとして使用するため排除することはできない。したがって可燃物をなくす努力が必要である。

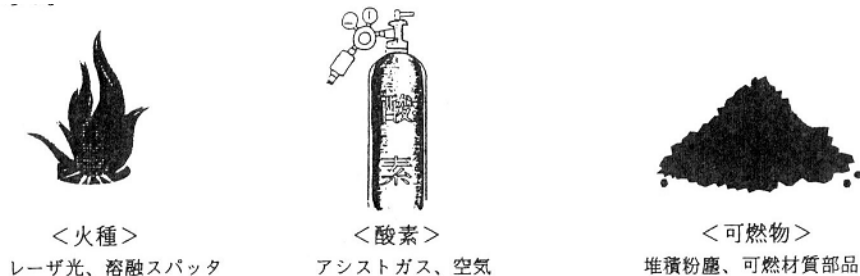


図 24. 火災の発生条件

2.2 章 参考文献

- 【20】新井、宮本：レーザー加工の基礎(上巻)、P67、マシニスト出版(株)(1993年)
- 【21】新井；高出力レーザープロセス技術(2004)マシニスト出版 P26
- 【22】レーザープロセッシング/日経技術図書(株)P.107
- 【23】新井；高出力レーザープロセス技術(2004)マシニスト出版 P54

2.3 レーザ加工機システムの種類と構成

2.3.1 炭酸ガスレーザー加工機

レーザー切断は従来特殊加工の一部として捉えられていたが、近年の急速な技術進歩により、特に板金業界の分野において、一般的な生産技術として完全に定着した加工方法となった。

レーザー切断機の誕生は、レーザージョブショップなるレーザー加工業を生み出し成長させた。また、製品の多品種少量生産の時流にマッチし市場に急速に浸透していった。しかし、近年では景気後退による仕事量の減少により、競争原理も作用して加工単価が大幅に下落している。

また、レーザー切断機誕生時はいかに高品質で切断するかが、レーザー加工機開発の中心であった。しかし切断可能な板厚が厚くなるに従い、いかに安定して切断するかに中心が移ってきている。

一方、レーザー切断加工が安定した加工方法として認識されるに従って、切断加工をジョブショップに出すよりも、設備を社内に導入し、内製化を進める企業も多くなってきた。

このような背景のもと、レーザー加工機メーカーは板金業界において主流である薄板板金切断用を中心として、廉価タイプの加工機を開発すると共に、高生産性、省人化をねらったシステムを提案している。また、近年ではレーザー発振器の高出力化が進み、課題であった品質の安定と低価格化により、厚板の分野にまでその域を広げており、中厚板をターゲットとしたシステムも普及してきている。

レーザー加工機のシステム構成を図 25 に示す。レーザー加工機システムは主に、レーザー発振器、加工機制御部、狭義の加工機から構成される。レーザー加工機はこれから分かるように多くの関連技術から成り立っており、加工作業者も多くの技術、知識が要求される。

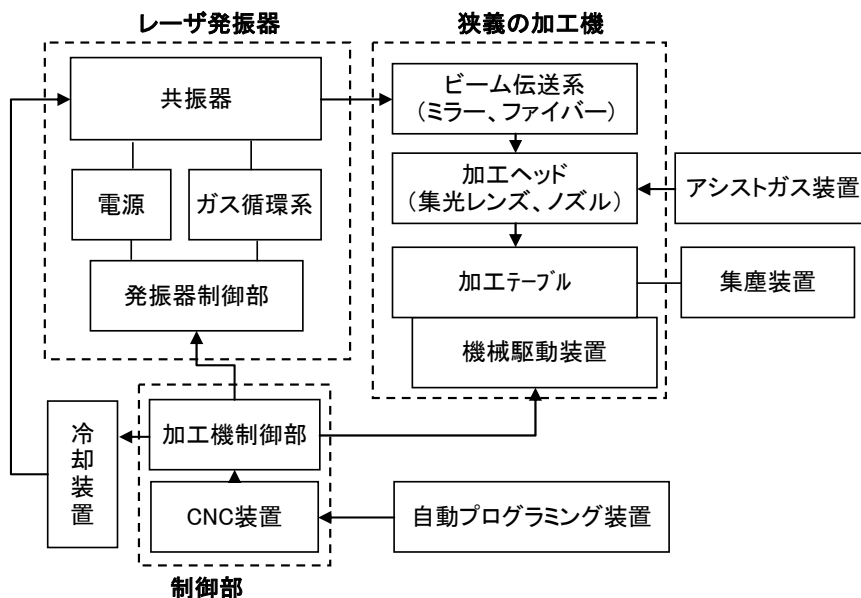


図 25. レーザ加工機のシステム構成

2.3.1.1 2次元加工機

2次元(平面加工用)加工機のシステム移動方法には光とワーク(材料)の相対的移動によって表 5 のように分類することができる。

表 5 2次元レーザ加工機の種類

方式	相対的移動【名称】
ワーク(テーブル)移動方式	光固定、テーブル移動 【X・Yテーブルタイプ】
	光固定、ワーク移動 【タレパンタイプ】
光走査(移動)方式	ワーク(テーブル)固定 【フライングオブティックス】
併用方式	1軸光走査、1軸ワーク移動 【ハイブリッド式】
	1軸光走査、1軸テーブル移動 【ハイブリッド式】
	1軸光走査、1軸発振器移動(ワーク固定) 【ガントリータイプ】

(1)ワーク(テーブル)移動方式

ワーク(テーブル)移動方式とはレーザビームは移動せず固定位置で集光され、ワーク(テーブル)がXY軸に移動するタイプで、発振器から加工位置までの距離が一定であるため、光固定式と言われている。光固定式の内、テーブルが移動する方式では、重量のあるテーブルをXYに移動させるために、高速移動には不向きであり、テーブルサイズも1m x 1m程度の小型サイズである。ビームを固定しているため、試験研究用テスト用としては使い勝手が良くテスト部門で使用されている。図 26 にテーブル移動型加工機の例を示す。

ワークがXYに移動するタイプはタレパンタイプと呼ばれており、フリーベアリングで支持された材料をクランプで材料をクランプしてXYに移動する。発振器から出たレーザ光は最少数の反射ミラーと集光レンズで加工ポイントに集光されるため、光の安定性がよく、外部光学系の保守は容易である。また、テーブル内での加工位置が固定であるため、ライン化が容易であり、集塵性能も良い。材料を掴み替えることでテーブルサイズ以上の長さのワークを加工することができるが、ワークをクランプして移動するため厚板の加工には不向きである。また、機械構成がパンチプレスと同じことから、パンチ加工との複合加工が容易に行えることが特長で、主に精密薄板板金市場で広く使用されている。



図 26. テーブル移動型加工機の例

(2)光走査方式

光走査方式または光移動方式は、ワークは移動せずミラーをX,Yに同時に移動することにより加工するタイプであり「フライングオプティックス」と呼ばれている。このタイプでは発振器から加工点までの距離(光路長)が変化する。光路長が変化するとビーム径が変化する。ビーム径が変化すると、集光スポット径が変化して切断性能が変わり、加工位置によっては良好切断が得られない。このタイプでは光路長が変化してもビーム径が変化しないしくみが採用されている。ビーム径の変動を少なくするしくみ(ビーム径補償システム)はメーカーによって異なっており、詳細はメーカーの取扱説明書を参照して頂きたい。

フライングオプティックスでは光を移動させるため最も高速での移動が可能である。プログラム運転中に加工機内に入ることは非常に危険であり、通常はインタロックを設けた加工室で覆われている。加工中はテーブルに近づくことはできないため、このタイプではシャトル方式のテーブル入れ替え方式が採用されており。加工後シャトルテーブルを入れ替え、加工室外での段取り作業(ワークの取り出し、材料のセット)ができるようになっている。最近高速化により採用が増えてきている。図 27 にフライングオプティックス型加工機の例を示す。



図 27. フライングオプティックス型加工機

(3)併用方式(ハイブリッド式)

併用方式は光移動とワーク(テーブル)移動を組み合わせたタイプでハイブリッドタイプと呼ばれている。ハイブリッドタイプには①光移動+ワーク移動②光移動+テーブル移動の2つの方式がある。加工機への接近性がよく作業性が良い。また1軸のみ光移動のためビーム径の変動が少なく安定した加工が可能である。一般的には材料の定尺寸法である4フィート×8フィート(1,219×2,438mm)、5フィート×10フィート(1,524×3,048mm)が加工できるタイプであり、国内でもっとも普及している。図 28、29 にハイブリッド型加工機の例を示す。



図 28. ハイブリッド型加工機
(光移動+ワーク移動式)



図 29. ハイブリッド型加工機
(光移動+テーブル移動式)

(4) 併用方式(ガントリー式)

ガントリータイプは大物材料の加工に適している。ガントリーに発振器を搭載し長手方向(通常 X 軸)に移動し、1軸(通常 Y 軸)は光移動により加工するものである。ハイブリッドタイプ加工機の定尺加工機と異なり、対象とする材料が大板であり、Y 軸ストロークは 2~4m あり、ビーム径補正装置が装備されている。X 軸方向は発振器を搭載して移動するため、どの位置でも切断品質は一定である。このタイプはテーブルの上に乗って作業するため、テーブルに足を挟まれないようにすること。加工中にはガントリーに近づかないことが安全上注意すべきことである。図 30 にガントリー型加工機の例を示す。



図 30 ガントリー型加工機

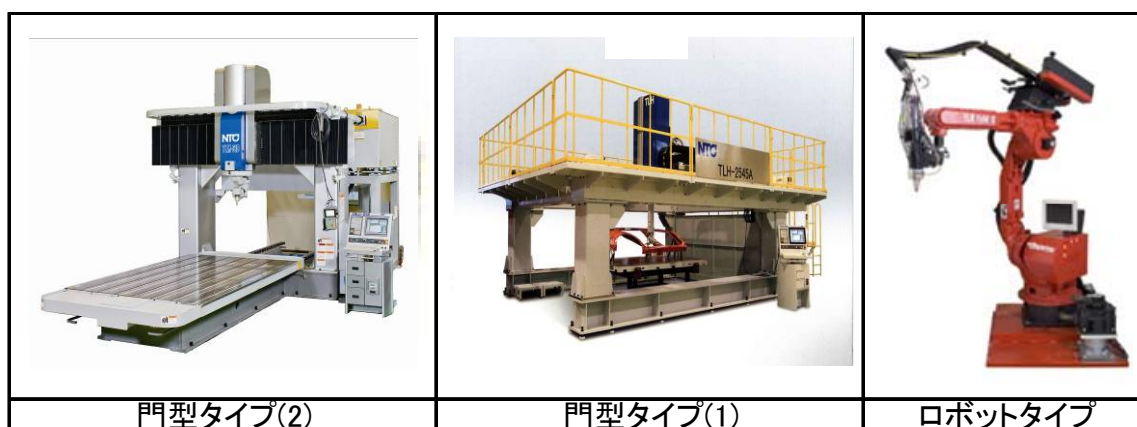
2.3.1.2 3次元加工機

3次元加工機とは2次元レーザ加工機のように、縦方向 Y 軸、横方向 X 軸と高さ方向の Z 軸にヘッドを傾けるための回転機構に C 軸、A 軸を追加した 5 軸同時駆動で加工できるシステムである。

C 軸は Z 軸周りの回転軸で、A 軸はノズルの首振りを示している。これにより、プレス成型された加工品のトリミングや穴あけが容易に出来、金型の寿命も大幅に伸ばすことが出来た。また、プレス成型品だけでなく、平板加工における開先加工も近年行われるようになった。移動方式には、2次元加工機同様、テーブル移動方式、光走査方式、併用方式がある。

表 6 に代表的な加工システムを示す。

表 6. 3次元レーザ加工機の例



門型タイプ(1)は、光走査方式で、光を移動させるため最も高速での移動が可能である。プログラム運転中に加工機内に入ることは非常に危険であり、通常はインタロックを設けた加工室で覆われている。加工中はテーブルに近づくことはできないため、このタイプではシャトル方式によ

るテーブル入れ替えにより、加工室外での段取り作業(ワークの取り出し、材料のセット)が出来る方法や自動ラインの一工程に組み込まれる方法がある。

門型タイプ(2)は、併用方式で、光移動とワーク(テーブル)移動を組み合わせたタイプ(ハイブリッドタイプと呼ばれる)がある。主に、試作品加工や、多品種少量の加工に使用されている。

炭酸ガスレーザの場合、ロボットの応用は限定されている。炭酸ガスレーザでは光伝送は基本的にはミラー伝送であり、ロボットの動きに合わせてミラー駆動を設計する必要がある。実際には直角座標系ロボットが一部に使われているに過ぎず、表6の写真のロボットはYAG溶接用ロボットである。

ロボットはポイントとポイント位置決め精度は高いが、ポイントとポイントを通過する軌跡精度は高くない。切断では高速移動が多いため、加工速度の遅い溶接加工で用いられることが多い。

2.3.1.3 レーザパンチ複合機

レーザパンチ複合機とは、板金加工におけるブランク加工機のひとつで、主にプレス機構を使って定型金型(パンチ)による穴抜きや成形加工、タッピングや簡単な曲げ加工を行い、複雑な形状等はレーザで切断する加工機である。図31にレーザパンチ複合機の例を示す。加工機内にレーザ加工ヘッドとパンチヘッドを備えている。図32にヘッド部の拡大を示す。通常プレス機構はマシン本体に固定されるので、レーザ加工はワーク移動方式となる。人件費やスペース効率を最も要求される日本の板金業界、特に精密板金業界において普及している。



図 31. レーザパンチ複合機



図 32. レーザ、パンチ部分拡大図

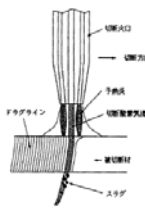
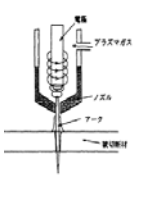
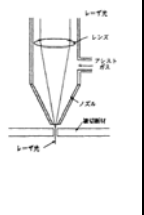
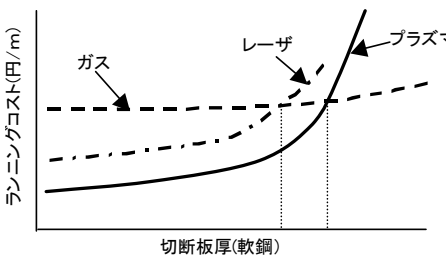
レーザ・パンチ複合機を取扱う場合は、プレス機構を理解すると共に、本書で解説するレーザ加工機取扱いの安全だけでなく、プレス加工機取扱いの安全知識が必要になる。また、金型を交換する場合には金型交換に関する特別教育を受講する必要がある。

2.3.1.4 レーザプラズマ複合機

熱切断は主にガス切断、プラズマ切断、レーザ切断の3種類に分類され、それぞれ酸化反応を利用した切断方法である。それぞれの特長を表7に示す。

表 7. 熱切断の特長比較

【軟鋼6mm厚以上での比較】

	ガス切断	プラズマ切断	レーザ切断
原理			
切断精度	0.5~1mm	0.2~0.8mm	0.05~0.2mm
対象板厚	~1m	~40mm	~25mm
熱影響	大きい	少ない	少ない
中厚板切断速度	遅い	速い	遅い
薄板切断速度	遅い	速い	速い
無監視化	不可	→	可能
ランニングコスト			
イニシャルコスト	安い	→	高い

レーザ切断はその切断精度、段取り性の良さから多く利用されているが、導入コストや厚板加工の生産性に課題がある。

一方、プラズマ加工機は従来の弱点であった(1)切断速度は速いが精度が悪い、(2)製品裏面のドロスが多く後処理が大変、(3)消耗品の寿命が短く段取りが多い、(4)ヒュームが多く作業環境が悪いなどの課題があったが、改良した高精度プラズマが開発され、厚板切断では高精度プラズマ加工の低コスト、高生産性、高精度が高く評価され、各種分野、特に建設機械、産業機械、建築部材の切断分野で非常に多く導入されている。

プラズマ加工の高精度加工により今までレーザ加工で加工していた部品もプラズマで加工されるようになってきた。しかし、プラズマで穴加工等の高精度加工は困難であり、高精度加工が可能でしかも低ランニングコストで加工できる加工機がレーザプラズマ複合機でレーザ加工とプラズマ加工の良いところ取りをした加工機である。

プラズマとレーザを組み合わせる事により、それぞれの使分け、あるいは穴をレーザ、外周をプラズマで加工するような複合加工が可能である。ユーザが製品精度や形状に応じて柔軟に加工方法を選択できる。

プラズマ電源は 60kW ハイパワー電源を搭載しており、軟鋼で 36mmまで切断可能である。

図 33 にレーザプラズマ複合機の例を示す。

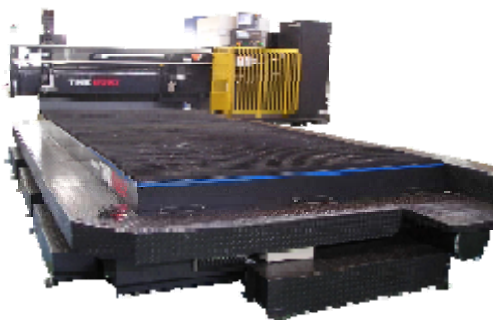


図 33. レーザプラズマ複合機

プラズマ加工ではレーザー切断以上に多量のヒュームが発生するので、ヒュームの処理は定期的に行う必要がある。また、大出力のプラズマでピアッシングを行うため、ピアッシング時のスパッタの飛び散りも多く、加工機の周りに可燃物は絶対置かないことがレーザー加工以上に重要である。

2.3.2 YAGレーザー加工機

YAGを用いたレーザー加工機は工業用から医療用まで幅広く使用されている。

レーザー光をファイバケーブルで送ることが出来るため、伝播経路の自由度が大きい。ただし、光ファイバケーブルの曲げ半径はあまり小さくできないので、無理に曲げると、破損して光が漏れるため危険である。このため、断線を検出して保護する必要がある。

YAGレーザーの波長は炭酸ガスレーザーに比べ、 $1.064\mu\text{m}$ と短くレーザー光を細く小さく絞ることが出来るため、周囲への熱影響が少ない。この特性からマーキング、トリミング、溶接の用途で使用されることが多い。

YAGレーザーは目に見えず、人体に与える影響が大きい。そのため、多関節ロボットを使用した加工機が多く用いられているが、様々な方向に向けて出射される光に対する保護と、作業者がロボットの動作領域に入らないようにする目的で、窓材にYAG専用の遮光材を用いた防護囲いが必要となる。図 34 はその一例である。

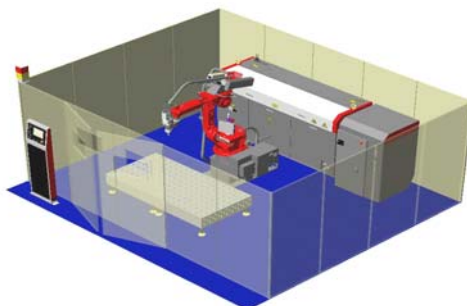


図 34. YAGレーザー防護囲いの例

また、仮付けの工程などではTIG溶接のようにトーチを手を持って操作できる加工機もあり、この場合、YAG専用の保護面(フルフェイスシールド)や保護具の着用等の安全対策が特に必要となる。又、この場合も作業員以外がレーザー光にさらされないよう、窓材にYAG専用の遮光材を用いた防護囲いが必要となる。

2.4 材料、ワーク搬出入系システム

レーザ切断の自動化を進めて行くとき、切断現象が安定している場合には、切断工程そのものより、切断工程の前後工程の自動化が重要である。そのため、材料1枚当りの加工時間が短く、切断現象が安定している、薄板の切断システムでは材料の搬入、ワークの取り出しが生産性向上のために重要な工程となる。

一方厚板の自動化システムでは材料、ワークのハンドリングも重要であるが、切断現象が薄板に比べて安定していないこともあり、切断現象のモニタリングとフィードバックの重要性が増す。レーザ切断システム構成を図 35 に示す。

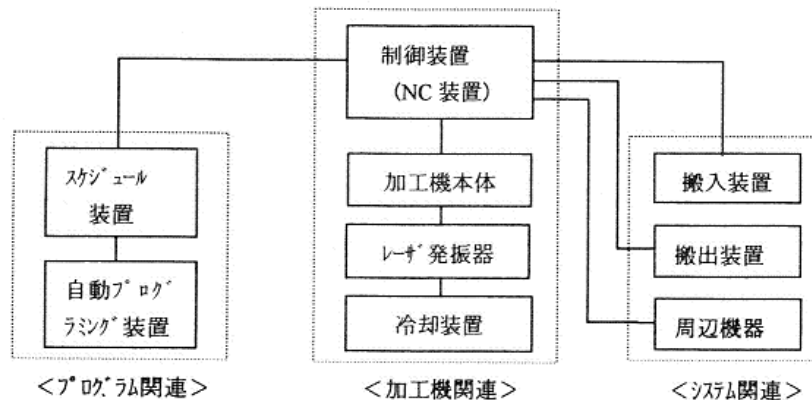


図 35. レーザ切断システム構成

一般的に、薄板対応システムと中厚板対応システムとでは、加工機を含めたシステムの構成が異なる。薄板対応システムでは、ストックに積載された材料から1枚ずつ加工機に供給する方式が一般的である。一方、中厚板切断システムでは材料をパレット上に積載し、パレットごと入れ替えるパレットチェンジ式が主流となっている。各メーカーとも加工機の特性を生かしたシステムを構築している。

2.4.1 薄板対応システム

図 36 にレーザ加工機の薄板加工システム例を示す(図 36 はレーザ・パンチ複合機の一例)。薄板レーザ加工の高速化に伴い、材料搬入・搬出装置が付加されたレーザ加工システムの需要が高まっている。これにより、レーザ加工においてもロットサイズの大きな製品加工を自動で行うことができる。また、マイクロジョイントばらしや製品仕分けなど、従来、作業者に依存していた作業を自動化した、製品搬出・仕分け装置付きのシステムも構築されている。

図 37 に製品搬出仕分け装置の写真を示す。

自動化システムは、一般的には加工機稼動中においても柵装置側で素材段取りや製品取り出しを行えるように加工機側と防護エリアを区分している事が多いため、二人作業になる場合は、相互に十分注意して作業を行う必要がある。

また、レーザ加工が停止していても材料搬入出装置が動いている場合があり、装置内に立ち入る場合は、システム全体が完全に停止してから、非常停止ボタンを押すかシステムの動力を切ること。

自動運転を開始する前には、システムの周りや防護囲いの内側の安全性を十分に確認する必要がある。また、どのようなレーザ加工システムでも無人での長時間運転は避け、一定時間毎に巡回するなど、稼動状態を監視できる体制下で自動運転を行う必要がある。



図 36. 薄板加工システム
(レーザパンチ複合機)

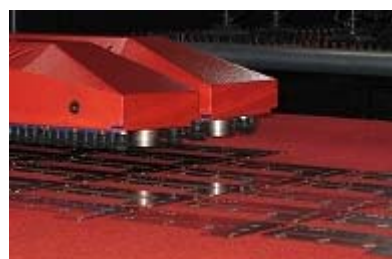


図 37. 製品搬出仕分け装置

2.4.2 中厚板対応システム

図 38 に中・厚板切断システムの一例を示す。



図 38. 中厚板対応システム

光走査(移動)式レーザ加工機は材料を積載・加工するためのパレットを有しており、加工機に接続した棚(ストック)には、このパレットを複数枚収納できる。加工スケジュールに応じた材料を各パレットに1枚ずつ積載した状態で、棚ー加工機間で順次パレットのやり取りを行い、自動運転を行うレーザ加工システムである。

薄板連続加工の自動運転を行う目的で、棚(ストック)に材料一枚供給装置とパレット上からの材料(製品)取出し装置を内蔵したレーザ加工システムも構築されている。このシステムでは、棚(ストック)内に上記中厚板加工用パレットとの混載が可能であり、多目的な用途に使用されている。

中厚板対応システムにおける安全に関する注意事項は薄板対応システムと同様であるが、取り扱う材料の質量が大きいため更なる注意が必要である。

2.5 光学部品の種類と材質

レーザ設備の光学系は、発振器の内部(発振器系)、発振器から加工ヘッドまでのレーザ光の伝送(伝送系)、加工ヘッド内の集光(集光系)の3系統に大きく分類され、これらの光学系に円偏光ミラー(リターダ)、反射鏡、部分反射鏡、コリメータ、集光レンズといった光学部品が数多く使用されている。炭酸ガスレーザの場合には伝送系にファイバを使うことはできないので、光学系の組み合わせによってビームを加工点まで伝送している。YAG 加工機では一般的に伝送系に光ファイバが使用されている。

本書では代表的なレンズ、ミラー、光ファイバの種類について記載する。

2.5.1 レンズ

レンズは透過型の光学部品として加工ヘッド内に配置され、レーザ光を集光して実際にレーザ加工を行うためのもので一般的に集光レンズや加工レンズと呼ばれている。

2.5.1.1 種類

レンズは光を集める凸レンズと発散する凹レンズに分けられ、単体レンズでは図 39 に示す 6 種類がある。炭酸ガスレーザ加工機では主に平凸レンズ、凸メニスカスレンズが使用されている。

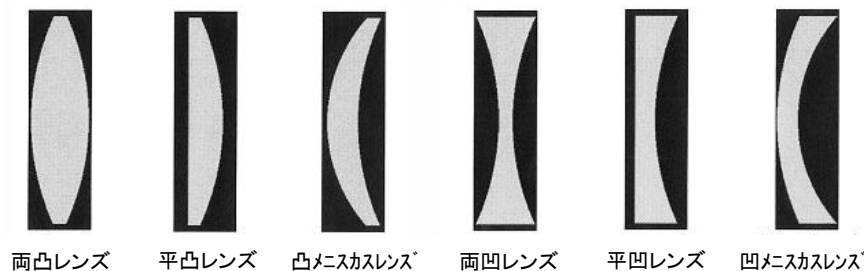


図 39. 単体レンズの種類

一般的な加工機の集光レンズは単体レンズを用いているが、微細加工や特殊な加工を行う場合には、これらのレンズを 1 個あるいは数個の単体レンズを組み合わせた複数レンズとする場合がある。

図 40 に加工ヘッド内の集光用焦点レンズの組合せの事例を示す。

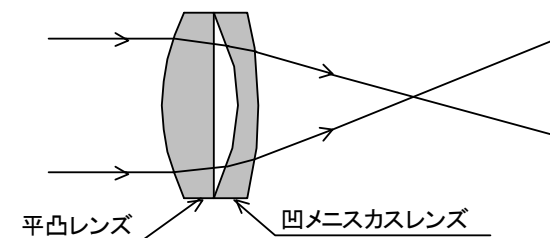


図 40. 組合せレンズ

2.5.1.2 材質

炭酸ガスおよびYAGレーザ加工機の加工ヘッドに使用されるレンズは虫眼鏡等の光学レンズとは異なり使用する発振器の波長により、それに適した素材のレンズが選択される。炭酸ガスレーザ用レンズでは ZnSe(セレン化亜鉛)、GaAs(ガリウム砒素)、Ge(ゲルマニウム)などの素材を使用する。また、YAGレーザ用レンズではガラスの一種である熔融石英(SiO₂)やBK7(Borosilicate Crown Glass)等が用いられる。このうち ZnSe は毒物および劇物取締り法第2条別表第1第 28 号(政令:毒物及び劇物指定令 18 号セレン化合物及びこれを含有する製剤)で規定される毒物に該当する。日常のレンズの取扱いおよび廃棄に注意する必要がある。万が一熱暴走によりレンズが破損した場合には、多量のガスと粉末が発生するが、絶対に素手で触ったり、発生した蒸気や粉末を吸引してはならない。詳細は各レーザ加工機メーカーの取扱説明書の指示に従うこと。

2.5.2 ミラー

ミラーは発振器内でのレーザ発振および加工ヘッドまでのレーザ光の伝送と加工ヘッド内の集光を行うための光学部品である。

2.5.2.1 種類

ミラーの種類は発振器内ではレーザ発振用として全反射鏡(TRミラー)と部分反射鏡(PRミラー)の2種類の出カミラーがある。発振器出口には直線偏光のレーザ光を円偏光のレーザ光に変換するための円偏光ミラー(リターダ)が設けられている。

また炭酸ガスレーザは波長が $10.6\ \mu\text{m}$ と長いのでファイバ伝送ができず、ミラー伝送の手段が利用されている。このミラー伝送のために発振器からヘッドまで目的に応じて複数の全反射鏡(ベントミラー:BM)が伝送ミラーとして配置される。

図 41 に代表的なミラー配置を示す。

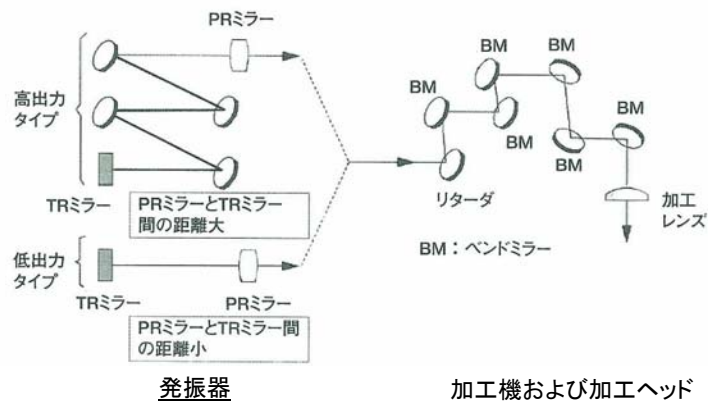


図 41. ミラー配置例【25】

2.5.2.2 材質

ミラーは一般的に基板に銅を用い表面に金または銀をメッキしているが近年ではシリコンに金または銀をメッキし、さらに ZnSe(セレン化亜鉛)と ThF₄(四フッ化トリウム)を交互に蒸着した誘電体多層膜により 99.6%の反射率を得ている。このようにミラーに対しても ZnSe(セレン化亜鉛)や ThF₄(四フッ化トリウム)が含有されている可能性があることから 2.5.1.2 項と同様にミラーの日常的な取り扱いおよび破棄に注意する必要がある。

図 42 に多層コートミラーの構造例を示す。基板に Si または Cu を用いて、誘電体の多層コーティングを実施している。

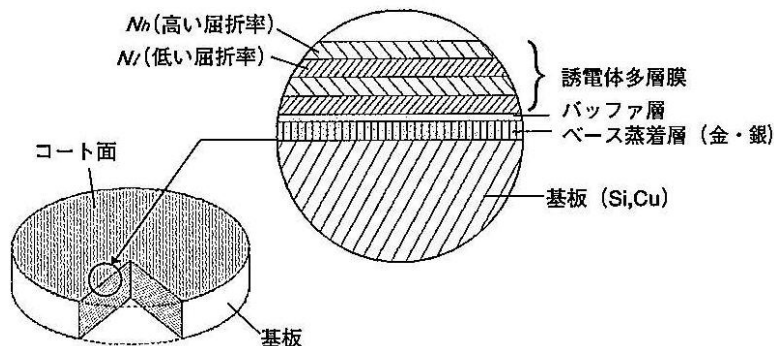


図 42. ミラー(反射型)の構造【26】

2.5.3 光ファイバ(レーザ伝送ケーブル)

1)種類

レーザ加工機に使用される光ファイバは通常は単芯コードであり、光を伝送する部分はコアと呼ばれYAGレーザ加工では通常 $100\mu\text{m}$ から $1000\mu\text{m}$ の径が使用されている。

コア径の選定は加工内容、透過させるエネルギーの大きさ、屈曲性を考慮して決定される。

光ファイバはコアに純粋石英を使用してコア全体の屈折率を同一にしているステップインデックス(SI)型と、コアに Ge ドープ石英を使用してコアの中心部の屈折率を高くしているグレーティングインデックス(GI)型の2種類の形式がある。

ステップインデックス(SI)型はレーザ加工機に広く使われているタイプである。このタイプはレーザ光がケーブル内で反射しながら進む為に入射角が違くとレーザ光の伝播速度が変わってしまうという特性を持っている。この為、長距離の伝送には向いていないがグレーティングインデックス(GI)型と比べ構造が単純で安価で製造できるので短距離での伝送用として一般的に使用されている。

一方グレーティングインデックス(GI)型はコアの中心部の屈折率を高くして屈折率分布を放射線状にしている。これによりコアを伝播するレーザ光は中心部を通るときは遅く周辺部を通るときは速く進むため、レーザ光の伝播速度の違いを抑えられる。この特性を生かし長距離の伝送や精密にレーザ光のパルス进行管理する場合に用いられる。

図 43 に光ファイバの構造を示す。

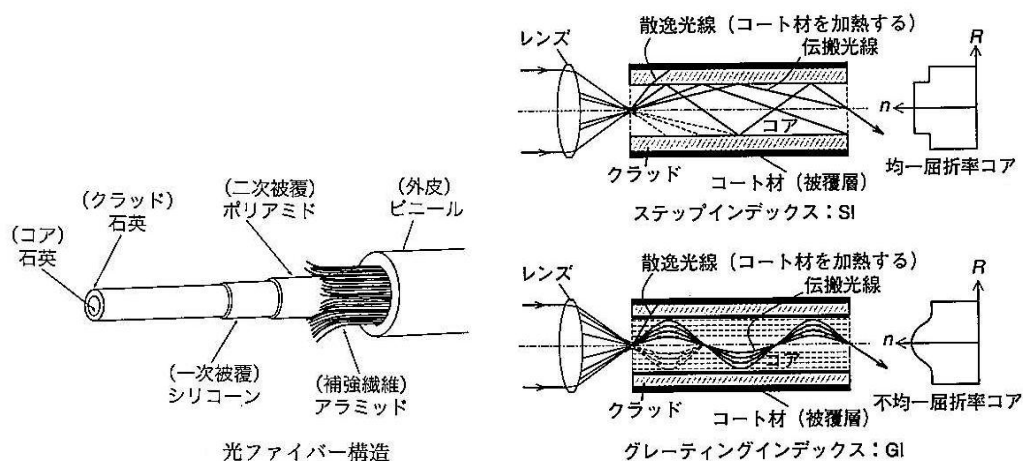


図 43. 光ファイバ構造【27】

2)安全性

① 構造欠陥

ファイバケーブルの構造欠陥はパワー伝送において、微小なものでも安全上問題である。レーザ光伝送途中に欠陥部分があると散乱を起こしコアで反射せず外部へ漏れ、レーザ光により被覆の燃焼が起こり最悪の場合レーザ光がファイバケーブルの外に漏れ出してしまい大変危険である。(この漏光の状態は被覆の燃焼が起こる前でも赤外線スコープで欠陥部を輝点として観察することができる。)したがってファイバケーブルの取り扱いには下記で述べる項目に注意して行わなければならない。

② 曲げ半径

光ファイバはコア、クラッドとも石英ガラスであり、過度に曲げれば折損、または折損しても伝送損失を増大させる。したがって許容曲げ半径を厳守しなければならない。

表 8 に各クラッド径における許容曲げ半径を示す。

表 8. 曲げ半径 許容曲半径【28】

許容曲半径 (mm)	
コア径/クラッド径 (単位) μm	許容曲半径 (単位) mm
200/250	50~65
400/500	100~130
600/700	150~190
800/1000	200~250
1000/1250	250

③出射端面

パワー伝送において最も問題となる点が入射および出射端面の損傷である。工学的に研磨され清浄に保たれているファイバ端面では耐光強度が非常に大きい。が端面に微細なチリ、ホコリ金属粉等が付着するとレーザー光によりそれらが焼損し、その結果端面がダメージを受ける。これらを防止するためにファイバ保持金具に数々の工夫を施している。また外部からの塵埃やミストを進入させないことも重要である。

④切断

光ファイバはレーザー光伝送中に破断するとSI型は破断部からレーザー光が放射する状態となり外皮は溶融し、保護チューブがない場合は空間へ放射される。また、保護チューブ内にあるときはチューブ内へ放射されるため、温度上昇を招き、まず保護チューブの外皮が溶融、発煙、さらに放射が続くと保護チューブの金属が溶融し、空間へ放射されることになる。

GI型は入射側に向けて溶融していくため、入射結合部でレーザー光エネルギーが蓄積され、入射部口金や結合レンズを損傷するとともに温度上昇による発煙に至る。これらを防止するためにレーザー発振器には切断検知とともに瞬時にレーザー発振を止める(シャッタ閉または電源OFF)ためのインターロック装置が義務付けられている。

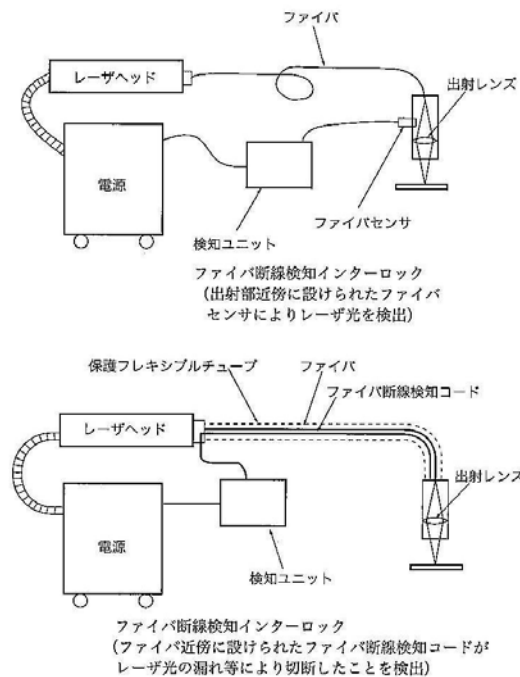


図 44. ファイバーインターロック【29】

2.5 章 参考文献

- 【25】金岡 優、レーザ加工基礎の実務、日刊工業新聞社(2007年10月)P49
- 【26】新井武二、レーザ加工基礎のきそ、日刊工業新聞社(2007年6月)P66
- 【27】新井武二、レーザ加工基礎のきそ、日刊工業新聞社(2007年6月)P67
- 【28】レーザ安全ガイドブック、ひかり産業技術振興会(2000年、4月)P226
- 【29】レーザ安全ガイドブック、ひかり産業技術振興協会(2000年、4月)P227

2.6 ヒューム処理装置

2.6.1 集塵装置

レーザ切断では強力な熱源を金属の溶融に用いるため、金属の溶融ならびに蒸発による粉塵及びヒューム(金属蒸気が凝固し、 $1\mu\text{m}$ 以下の粒子となったものをヒュームと言う)が発生する。粉塵は粒径が $10\mu\text{m}$ 以上のものは痰とともに排出されるが、 $10\mu\text{m}$ 以下のものは、長時間大気中を浮遊することから、浮遊粒子状物質と呼ばれ、じん肺、気管支炎、肺水腫、ぜんそくなどの原因になるとされている。特に、粒径 $2.5\mu\text{m}$ 以下の粉塵はPM2.5と呼ばれ、人体に対する影響が特に大きい。

レーザ切断の場合、プラズマ切断やガス切断に比較して粉塵(ヒューム)は少ないため、作業環境に関する調査や研究は、レーザ光の安全性を除き進んでいない。レーザ切断時に発生するヒュームの粒径に関して詳しい調査はないが、作業環境を損なう物質として換気対策を取る必要がある。

図 45 は各種材料をレーザ切断した場合の発生粉塵量を示したものである。

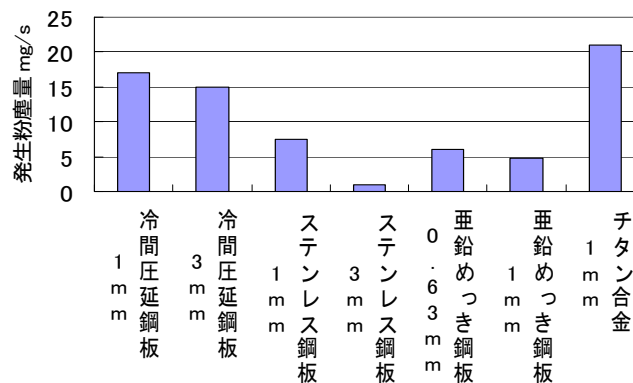


図 45. レーザ切断時の発生粉塵量【30】

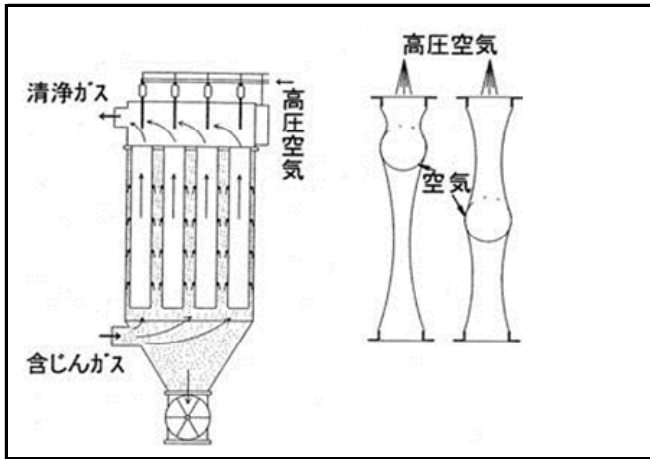
切断速度が速い薄板の方が厚板に比べて、発生粉塵量が多くなっている。

粉塵の対策は、粉塵を作業環境から除去すれば、作業環境の環境改善は達成されるが、除去された粉塵の処理をしないと、最終的な対策とはならないので、通常は適切な集塵装置を設置することが対策となる。

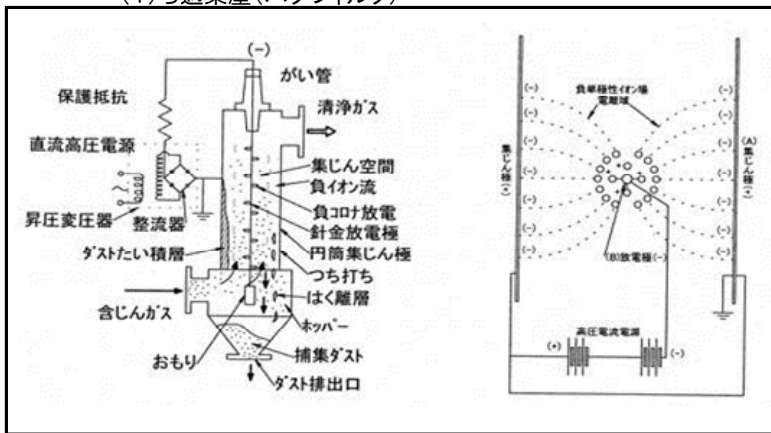
切断される材料が金属の場合、瞬間的に沸点を超える温度に曝され気体となり、その後、空气中で急冷却凝固されることで固体粒子となる。この粒子を集塵装置により回収する。

従って、集塵装置は排煙回収の為に設置しているケースが多い。

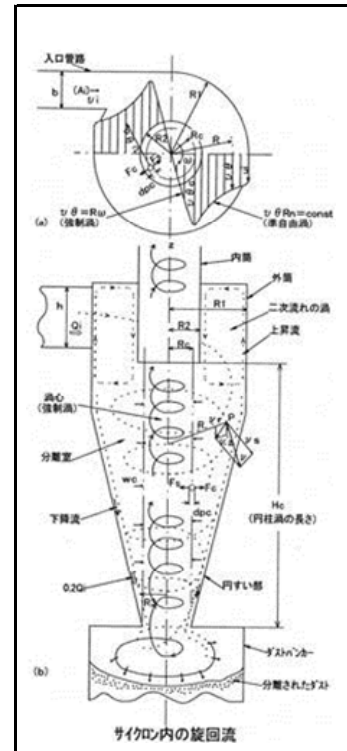
集塵装置は集塵方式により①ろ過集塵(バグフィルタ)②サイクロン集塵③電気集塵に大別できる。図 46 に集塵方式による集塵装置の相違を示す。



(1)ろ過集塵(バグフィルタ)



(2)電機集塵



(3)サイクロン集塵

図 46. 集塵方式による集塵装置の分類【31】

ろ過集塵方式はフィルタにより粉塵をろ過する方式で、比較的安価であるため、レーザ加工機用集塵装置として最も普及している方式である。ただし、フィルタを定期的に清掃しないと、フィルタが目詰まりして集塵能力が低下する。

電機集塵方式はコロナ放電により粉塵をイオン化し、電極板に吸着させる。粉塵濃度が大きいところには不向きであり、レーザ加工機用としては使用されていない。

サイクロン集塵方式は遠心力に粗い粒子を除去するもので、ヒュームなどの微粉末には不向きであるが、ろ過集塵機の一次集塵に使用されるケースがある。

レーザ加工機用として普及している、ろ過集塵方式のフィルタは適用範囲が広く、ろ過面積を大きく取ることができるため、ポリエステル製ろ布を使用している。ポリエステルはスパッタ(火の粉)が堆積すると発火し、火災の原因となる。また、ヒュームも可燃物であり、スパッタが堆積すると発火する。ろ過集塵装置の一次側(吸引側)には集塵装置本体にスパッタが入り込まないように、火の粉落とし装置あるいは火の粉消火装置を必ず装着しなければならない。また、集塵装置内に溜まった粉塵は定期的に廃棄して、火災のリスクを少なくすることも必要である。

金属の酸化物とアルミニウムの粉末混合物に何らかの要因で着火すると、アルミニウムは高温を発生する。この化学反応はテルミット反応と呼ばれ多量の熱を発生し、火災等の危険性を伴う。集塵装置を取扱う際は、特に鉄やステンレスを加工した後アルミ材を加工する(又はその逆)時に、集塵装置に備わるバケツ等の粉塵受けはその都度交換し、酸化鉄とアルミニウムの粉塵が混合

しないようにするなどの注意が必要である。

2.6.2 脱臭装置

レーザ加工時の照射部はかなりの高温となるので、非金属(有機材料)を切断すると被加工物が分解または酸化したガスが発生する。

プラスチック類は炭酸ガスレーザのビーム吸収性の良さから、高速での加工が可能なことより、初期の段階からレーザ加工の応用が進んでいる。しかし、切断時に発生するガスは加工対象のプラスチックより分子量が小さく、毒性が大きい場合が多い。

レーザ加工での切断が進んでいる、アクリル、塩化ビニール及び ABC 樹脂について発生するガスとその濃度について表8に示す。

表 9. 排ガス濃度と許容値【32】

加工物	発生ガス	発生ガス濃度 ppm	許容濃度 ppm
塩化ビニール	塩化ビニール	500 ≤	2.9
	塩化水素	20 <	5
アクリル樹脂	アクリル酸エチル	200	5
	アクリル酸メチル	30	10
	オゾン	1.5	0.1
ABC樹脂	アクリル酸メチル・ブチル	50	10

各樹脂の切断時には許容濃度を大きく超えるガスが発生していることがわかる。特に塩化ビニールは常温では耐酸化材料であるが、高温でガス化されると塩素系ガスが大量に発生し、大気中の水分を吸収し、塩酸水分として加工機を腐食させる恐れがある。【32】

発生した有毒ガスは加工点から排気するだけでなく、無害化して大気中に放出する必要がある。図 47 に脱臭装置の例を示す。発生する有毒ガスは被加工材によって異なるので、メーカーに相談して排気システムから脱臭装置の仕様を決める必要がある。

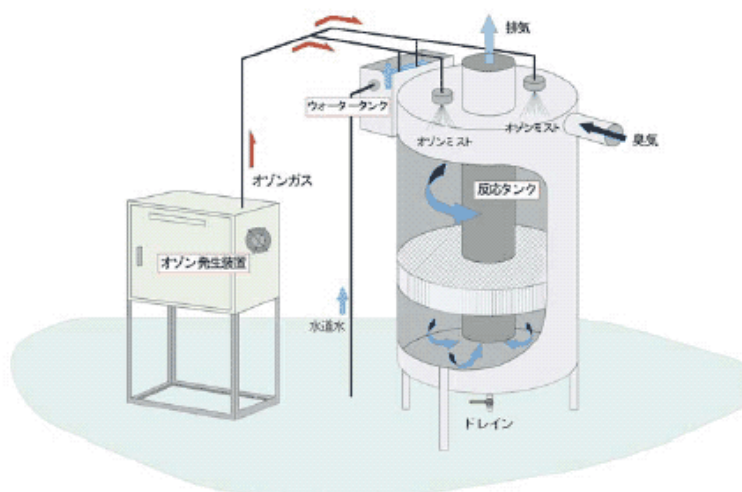


図 47. 脱臭装置の例【33】

2.6.3 粉塵固形化装置

ヒュームの処理については地域によってさまざまだが多くは産業廃棄物として取り扱われている。産廃の取扱いが厳しくなる中、産廃以外で取り扱っている地域においても今後どうなっていくかはわか

らない。

産廃として処理するとなると、ヒュームは捨てるだけで費用が発生してしまう。また、ヒュームを捨てる際も舞い上がりやすいため、工場内作業環境が悪化するとともに作業員へはじん肺の恐れもあることから、ただ“ヒュームを捨てる”だけでも苦渋作業として嫌がられる作業のひとつとなってしまう。

最近では、ヒューム(粉塵)を固形化する処理装置を集塵装置に組み込むケースが見られる。粉体であるヒュームを加圧することにより圧縮・固形化し、体積を 1/5 から 1/10 とすることで産業廃棄物を低減でき、それに伴い、産廃処理費用の削減も可能となる。その上、自動排出される固化ヒュームは舞い上がらないため、処理作業の改善に加え作業環境の悪化も防ぐことが可能となる。

図 48 に圧縮前後のヒュームの状態を示す。

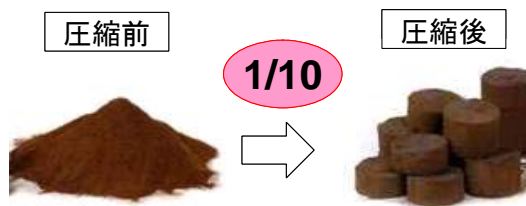


図 48. ヒューム圧縮による体積変化【34】

2.6 章 参考文献

【30】最新レーザ加工技術総覧、(株)産業技術サービスセンター、1994年5月、P436

【31】山口、溶接協会第二回溶断小委員会資料、2005年11月23日

【32】伊藤、岩田；高温光加工機の環境汚染と防止対策、WELTEC VOL.3 NO.10 44-50

【33】環境工学株式会社インターネットホームページ <http://www.k-kagaku.co.jp>

【34】加端、畑、溶接技術、第55巻第5号、p91(2007年5月)

2.7 レーザ加工機用エア・ガス配管および機器

ここでは、レーザ加工機を設備するためのエア、ガス配管と装置について述べる。

レーザ加工機には駆動用エア、レーザガス、アシストガスが必要である。それぞれに機器選定・配管工事・取扱い上の注意事項があるので、ここでは、レーザ加工機を安全に安定稼働させるために最低限遵守すべき内容を記述する。

実際はレーザ加工機メーカーの工事図を元に配管工事専門業者が実施することが多いが、詳細の工事・保守内容については各関連法規を確認いただきたい。

2.7.1 レーザ加工機エア・ガス設備概要

図 49 にレーザ加工機の一般的なエア・ガス設備、配管方法と機器配置を示す。

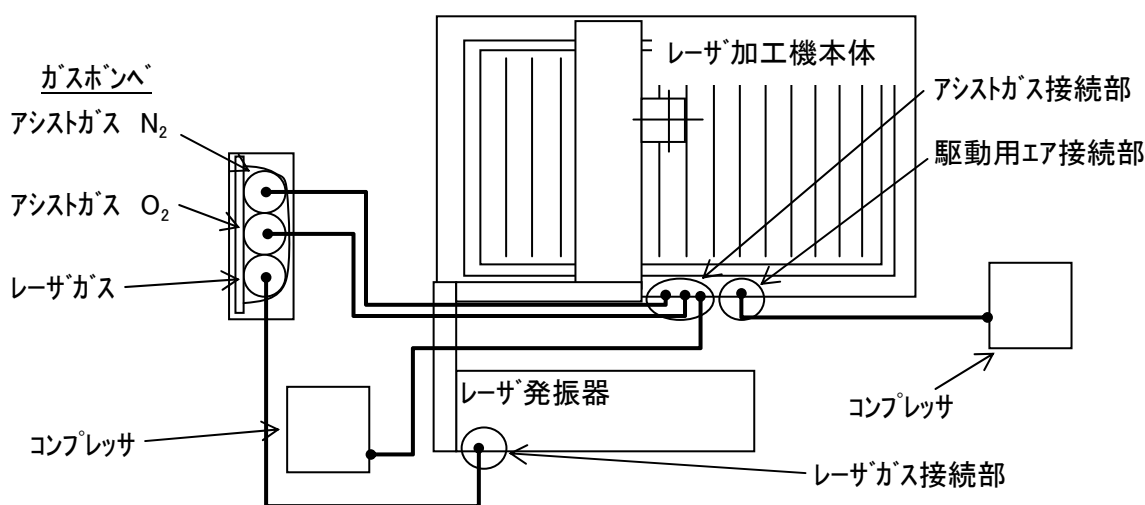


図 49. レーザ加工機の一般的なエア・ガス設備、配管方法と機器配置

- ・使用する配管材質、配管口径はガスの種類や使用量、圧力などにより決められている。レーザ加工機メーカーの提示する工事図の注意事項を良く読み、正しく理解した上で設備することが必要となる。レーザ加工機メーカーの供給する配管類が有る場合にはこれを使用し、変更する場合はメーカーに確認する。
- ・ガス配管の損傷、破裂は大きな事故につながる恐れがある。ゴムホースを使用した配管は火花がかからないよう配管経路に配慮する。また歩行中にホースを引っ掛けたり、物の下敷きになったりしないよう、カバー等で保護する。
- ・レーザ加工機に繋ぎこむ配管は、加工機側の配管接続部の形状、ガス供給側の配管接続部形状に合ったメーカー指定の継ぎ手と配管を用意し、配管内部を窒素またはフィルタを通したエアで繋ぎこむ前に必ずフラッシングを行うか洗浄してから、繋ぎこみを行う。油分、水分、切粉が加工機側の配管に入ると機器の損傷・動作不良を引き起こす可能性がある。

2.7.2 レーザ加工機駆動用エア配管、設備

レーザ加工機は一般的にビームシャッタ開閉や材料クランプ等に駆動用エアを使用する。

これらの駆動用エアに対して、圧力、流量、湿度(露点)、残留油分などの仕様がメーカーから提示される場合には、これを遵守した品質のエアを供給する。

駆動用エアに油分や水分などが含まれていると、駆動機器に障害が発生する。このため加工機繋ぎこみ口にエアフィルタが設けられているが、外部配管内の異物やコンプレッサの故障などによる

多量の油分水分の混入を防止するため、管路に一次フィルタを設けると良い。

加工機のフィルタおよび管路の一次フィルタはエア品質を維持するために消耗部品の定期交換を実施すること。

自動排出器付きフィルタからの油水分排出量の急激な変化が無いかを定期的に点検し、エア品質の管理を行うこと。

2.7.3 レーザガス配管

炭酸ガスレーザーに使用されるレーザーガスは通常ボンベより供給される。

レーザー光線は、レーザーガスにより生成されるので、不純物や有機溶剤などが混入するとレーザー光自体が安定せず、加工不良などの原因になる。そのため、各レーザー加工機メーカーから支給される専用ホースや、推奨品を使用する事が望ましい。

指定以外のゴムホースや樹脂系ホースを使用すると、経年変化によりエアの混入やガスの浸透などにより、レーザーガスの混合比の変化・純度の劣化が発生するためトラブルの原因になる。

CO₂レーザー発振器ガスは、一般的にCO₂、He、N₂をある割合で混合したものであるが、それぞれのガスを別々のボンベで設備してレーザー発振器内で必要な割合に混合するシステムや、予め混合されたボンベ(プレミックスガス)を使用するものがある。

ガスの混合比は各レーザー加工機メーカーにより異なるので、レーザーガスを注文する際には混合比を間違えないように注意する。同一工場に複数メーカーの発振器が設置されている場合には特に注意が必要である。

また、発振器によっては上記3種類のガスにCOを含むものがあるので、ボンベ設置場所やレーザー加工システムの設置場所の換気に十分注意すること。

レーザーガスはボンベ単位での交換が必要となる。通常は予備のボンベを準備しておくが、交換の際にはガス漏れなど発生しないように注意する。

レーザーガスボンベの交換による停止時間をなくすため、近年では図 50 に示すようなガスボンベ自動切換装置が商品化されている。



図 50. ガスボンベ自動切換装置

2.7.4 アシストガス用配管設備

アシストガス圧は設定した圧力で安定して加工機に供給される事が望ましいが、安定しない場合の原因として、アシストガス配管の口径不足や圧力調整器選定ミス等がある。配管による圧力損失は配管口径が同じでも配管長や配管経路で変化するため、最大使用流量と設定圧力を元に配管工事専門業者と相談して決めることが望ましい。

2.7.4.1 アシストガスエア配管

アシストガスにエアを使用する場合は、供給圧力、流量、湿度(露点)、残留油分など、メーカーから提示され品質を遵守したエアを供給すること。品質の悪いアシストガスエアの使用は、集光レン

ズの早期劣化や加工不良の原因の一つである。アシストガスエアは駆動用エアと同一のエア源から分岐するか、独立したコンプレッサを設置して供給する。
配管の口径や耐圧仕様などはメーカーの工事図と実際の配管長や配管経路を元に配管工事専門業者と相談して決めることが望ましい。

2.7.4.2 酸素ガス配管

油、錆、ゴミ又は油気を含む圧縮空気に使用した配管を酸素配管として利用すると、静電気により発火する可能性があるため危険である。バルブ、圧力調整器及びその他の器具は、禁油処理されたものを使用し、可燃性のものを除去して配管を行うこと。

また、接続部からの漏れが無いが定期的に確認を行い、劣化したパッキン類はメーカー指定の酸素用の新品に交換すること。ホースの傷やヒビ割れ等の劣化についても定期的にチェックし、必要に応じて新品に交換すること。

2.7.4.3 窒素ガス設備

2.7.4.3.1 窒素ガス配管

窒素ガスの取扱では特に酸欠に注意が必要である。また使用する圧力や供給設備の内容によっては高圧ガス保安法を遵守して使用することが必要となる。

アシストガスとして使用する消費量も酸素に比べ多くなる傾向があるので、密閉された場所で加工機を使用しないよう、十分な換気を行うことが必要である。

2.7.4.3.2 高圧窒素ガス設備

ステンレス無酸化切断において、窒素ガス圧力を上げて加工可能板厚拡大を図る方策が一部で取られている。これまでは、高圧ガス保安法規制外の1MPa未満の圧力での使用が一般的であったが、2MPa程度までガス圧を高めて使用することにより、同レーザ出力で従来の2倍程度の厚さまで無酸化ドロスフリー切断が可能となっている。この動きは、1MPa以上のガス圧を扱う際に適用を受ける高圧ガス保安法の改正による規制緩和によるところも大きい。ただし、処理量やガス源、または都道府県により対応が異なるため注意が必要である。

図 51 に高圧窒素ガス供給設備の一例を示す。この場合は、低圧ガスを一度圧縮機にて圧縮させ、再度減圧させて加工機に供給する方式となっている。

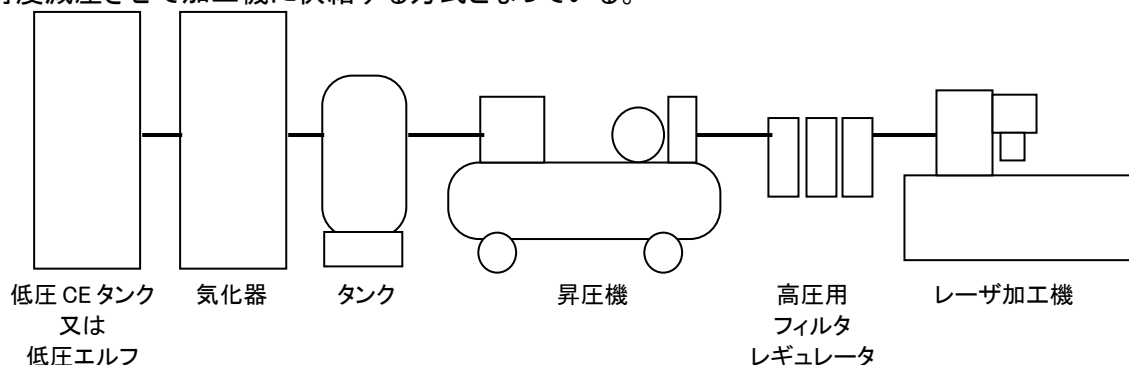


図 51. 高圧窒素ガス供給設備の一例

最近では、この低圧ガス源を後述の窒素ガス分離装置に置き換える設備も提案されている。

2.7.4.3.3 窒素ガス分離装置

ステンレス無酸化切断では、高圧窒素をアシストガスとして使用するため、通常のボンベから

のガス供給での運用では頻繁なボンベ交換が必要となる。液体窒素やカードルで供給すれば交換頻度はかなり減少するが、自動化システムを考えた場合、そのシステムの信頼性、生産性の低下につながる。

そこで、最近では空気中から窒素ボンベ並みである 99.9% 以上の高純度窒素を分離し、加工機へ供給するレーザ加工機用窒素分離装置が開発され市場に導入されている。窒素ガス分離装置の構成を図 52 に示す。窒素ガス分離装置は常圧空気を圧縮空気に変換するコンプレッサ部と空気中の不純物や水分を除去し、窒素を濾過層で分離する窒素分離装置部から構成される。

設備内容によっては高圧ガス保安法に基づく設備の管理、届出や許認可が必要となる。

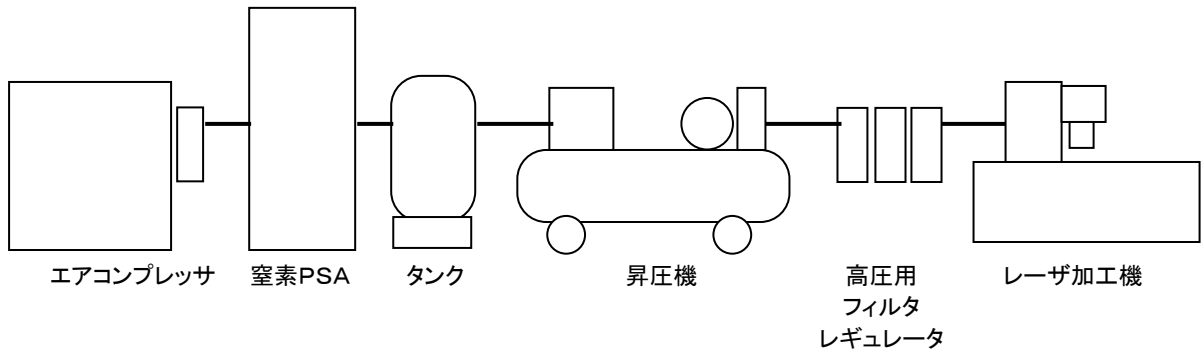


図 52. 窒素ガス分離装置の構成

2.7.5 配管機器・配管材の選定と取り扱い

2.7.5.1 エアコンプレッサ

レーザ加工機用エアコンプレッサ選定にあたっては、エア流量がコンディションにより変化することを考慮して、メーカーが提示する工事図記載の必要流量よりも20%程度製造エア流量の多いコンプレッサを選定すると良い。

また、圧縮エアから水分を除去するドライヤにはコンプレッサ内蔵型または別置き型があるが、ドライヤが故障すると管路内に水分が入り込み、故障の原因となる。ドライヤ付属の水分排出器の水分排出頻度および排出量は定期的に監視すること。

エアコンプレッサは内部圧縮過程で潤滑油を使用し、油分分離器を介して清浄なエアを供給するため、メンテナンスを怠ると管路内に油分が入り込むので注意が必要である。

最近ではオイルフリーコンプレッサも市販されているので、リスクと価格、メンテナンス費用を総合的に判断して選定するとよい。

2.7.5.2 配管材

配管は流すガスの圧力にあった耐圧性能と、流量に見合った口径が必要となる。

特に口径が細すぎると、加工機の性能を十分引き出せなくなる恐れがあるので注意する。

配管径についてはメーカーの提示する工事図に記載された口径またはそれ以上の口径を使用すること。

高圧ガス保安法により届出、もしくは許認可が必要となる場合には、配管材に材料証明書などのデータ付きのものを使用する。

2.7.5.3 ホース

ゴムホースによる配管は鋼配管よりも施工が簡単であるが、その取り扱いには鋼配管とは別の注意が必要となる。また、高圧窒素用導管としてはリスクが大きいため使用を避けたほうがよ

い。

以下を使用する場合の注意事項を列記する。

- 1)新しいゴムホースは窒素でブローし、内部のゴミなどを吹き飛ばしてから使用する。
この場合、決して酸素を使用しないこと。
- 2)ゴムホースは適切な長さのものを使用し、使用ガスにより色分けされたホースを使用する。
- 3)ゴムホースは古くなるにつれ硬化して割れが生じたり、ガス漏れを引き起こす危険があるので、常に検査し不良品は速やかに交換すること。
- 4)圧力調整器、ホース相互の連結には、ホースバンド等で確実に締め付け、ガス漏れがないかチェックすること。
- 5)ゴムホースを取り付ける時に、孔を大きくするために削らないこと。締め付け口からガスが漏れたり、削り粉が装置に混入する原因となる。
- 6)ホースの連結部に油やグリースを塗って、ゴムホースを締め付けないこと。
- 7)ホースの接続部は、石鹼水又はガス検知器を用いて定期的にガス漏れのチェックを行うこと。
- 8)ホースのガス漏れの検査は、ホースを水中に入れるか、石鹼水を塗って行なうとよい。
- 9)ホースに漏れがあった場合、漏れが発生する箇所をテープで巻いて補修せず、必ず新しいホースに交換すること。
- 10)歩行中にホースを引っ掛けたり、物の下敷きになったりしないよう、カバー等で保護すること。
- 11)ホースを容器に掛けたり巻きつけたり、肩に掛けて作業をしないこと。
- 12)ホースに着火した場合は、素早く容器バルブを閉じて、ガスの供給を止めること。
尚、酸素ホースの場合は、表面より内面の方が火の廻りが速いので注意する。
- 13)ゴムホースは、使用圧力・消費量・ガスの種類に応じたものを使用すること。
- 14)ホースに無理な曲げ、ねじれ、引っ張り、折れ等が加わることをしないよう注意する。
- 15)ホース接続部には必ずホースバンドで抜け止めを行うこと。
エア・ガスリークによる稼働障害を引き起こしたり、抜けたホースが暴れて怪我をする可能性がある。

2.7.5.4 ガスボンベ

ガスボンベの設置や取扱いについては安全確保のための法規や規制があるためガス供給会社に相談し、その指示に従うことが望ましい。使用量、使用頻度等により適切な供給設備と在庫量を決定、維持して、ガス切れによる加工停止にならない様にする。

また、ガスボンベは取り扱いを間違えると破裂する危険性があるので、十分注意すること。

以下に一般的な注意事項を列記する。

- 1)ガスボンベにはチェーン等で転倒防止措置を講じること。
- 2)直射日光が当たる場所や高温になる設備付近にガスボンベを置かないこと。
直射日光にさらされる場所では日よけを設置すること。
- 3)特に酸素ボンベに切削油など油脂がついたりしたら脱脂洗浄する。

2.7.5.5 圧力調整器

圧力調整器は、ガスの種類と最大流量、1次側最高圧力、2次側最大設定圧力、最大流量が圧力調整器に流れたときに発生する圧力損失値等により選定する。

ボンベ用の圧力調整器は2次圧力計の最高表示圧力の80%程度で安全弁が吹くようになっており、実際には2次圧力計最高表示圧力の60%以下で常用することが望ましい。

圧力調整器にごみ等が入ると、「出流れ」(ガスの消費がない状態で2次側設定圧力が上昇してしまう)故障となる。圧力調整器内にごみが入らないようボンベ交換時は細心の注意を払うこ

と。また、出流れのある圧力調整器は危険なので、すぐに修理または交換すること。

以下に注意事項を列記する。

- 1) 公的機関の適合品を使用すること。
- 2) 圧力調整器は、ガスの種類により専用の圧力調整器が用意されている。
決して使用するガス以外の圧力調整器は使用しないこと。
- 3) 使用しない時は、圧力調整ハンドルを常に反時計方向(左)に回し、ゆるめておくこと。
- 4) 調整器の各部に油等を用いたり、油脂等の付着した素手や手袋で取扱わないようにすること。特に酸素は、油分に接触すると急激に燃焼することがあるので十分に注意する。
- 5) バルブの取付ネジが変形して、調整器が取付けにくい時は、無理に取り付けない。
- 6) 容器に取付ける時は、容器内のガスを少量づつ数回に分けて噴出させ、バルブ充填口のまわりに付着している水分、ホコリを吹き飛ばして除去する。このとき放射口を身体の方に向けないようにする。
- 7) 圧力計は、見えやすい位置に来るよう取り付ける。
取付けが終わったら、調整ハンドルを反時計方向(左)に回して緩め、静かに容器バルブを開く。このとき、身体は調整器に対して斜めに位置し、特に圧力計には正対しないように注意する。
- 8) 容器弁、入口弁を急激に開く(急加圧)と圧力調整器の二次側に高圧のガスが入り、カバーが飛んだり二次側の機器が破損する可能性がある。又、断熱圧縮の温度の急上昇により弁部の故障や圧力計の破損、事故が起こる可能性がある。
- 9) 酸素用の圧力計は、必ず禁油のものを使用する。
- 10) 圧力調整器の圧力調整ハンドルは、二次側最高使用圧力以上回さないこと。
又、一次側圧力が0MPaの状態では圧力調整ハンドルの操作はしないこと。
- 11) 容器に調整器をとりつけたままで、容器を移動させないこと。
- 12) 作業を中止する時はバルブを閉じ、調整ハンドルを緩めておくこと。
- 13) 調整器及び圧力計は、みだりに分解・修理しないこと。

3. レーザ加工に起因する危険と対応方法

3.1 レーザ光

レーザ光の危険としては人体への危険として失明と火傷の危険がある。火傷に対しては不燃性作業着の着用が必要。また反射光による火災の危険もある。

一般的なレーザ加工機はレーザ加工時に発生する反射光や散乱光を遮蔽する防護措置が施されているが、作業内容によってはレーザ取扱作業者が反射光や散乱光に曝される危険性がある。レーザ管理区域を設定し、レーザ加工機の取扱注意事項を厳守して、安全な運用を心がけること。

3.1.1 レーザ光による人体への危険

- ・加工用として使用しているCO₂レーザ光やYAGレーザ光は、放出レベルのクラス分けの中で最も危険とされるクラス4が使われている。眼には見えず、金属を焼き溶かす高エネルギーの光線であり、直接身体に照射されると重度の火傷を負うことになり、目に照射されると失明する。また照射された光が材料などに反射した散乱光でも失明や火傷に至る可能性がある。身体のだの部分もレーザ光に近づけないこと。
- ・半導体レーザやHe-Neレーザ等のターゲットポインタ用レーザ光(可視赤色光)は加工用レーザに比べて低エネルギーであるが、目に照射すると失明する可能性があるため、直接目には照射しないこと。

3.1.2 レーザ管理区域の設定

次に挙げる場所がレーザ光により危険に曝される場所である。

- ・レーザ取扱作業者が常時レーザ光を用いて作業する場所
- ・レーザ光が通過している場所(レーザ光路)
- ・レーザ発振器の設置場所
- ・レーザ光が誤操作などにより照射される可能性のある場所
- ・レーザ光が反射する可能性がある場所

レーザ機器管理者はレーザ光により危険に曝される場所をレーザ管理区域に設定して管理を行うこと。

3.1.3 レーザ管理区域の防護

- ・レーザ管理区域はカバーやパーテーションなどの防護囲いを設置して、ドアや必要なカバーなどにインターロックスイッチの取り付けを行うこと。
- ・レーザ管理区域の出入り口にはレーザの警告標識、レーザ機器管理者、レーザ取扱作業員、入室許可条件などの注意事項を掲示し、選任されたもの以外の一般部外者の立入を禁止すること。



レーザ警告標識

- ・レーザ管理区域の防護囲いは、レーザ光、散乱光、スバッタの飛散が防止でき、加工状況が確認できる窓を設けたパーテーションが推奨される。なお窓に使用する部材はレーザ光の種類に応じた遮光性が高い材質のものや、板厚を選定する必要があるため、加工機メーカーに確認すること。
- ・レーザ光を真下以外に放射することが可能なハンディートーチやロボットによる加工では、レーザ管理区域をロープや鎖により防護することができない。レーザ管理区域外にレーザ光

が放射されないように、必ずパーテーションを設置すること。

- ・防護囲いの部材にレーザー光を反射させてしまうものを採用すると、高いエネルギーの反射光に曝される危険がある。このため金属をメッキしたものや何も処理していない銅板、アルミ板、鋼板を用いないこと。また床面はコンクリートを用いること。やむを得ず部材に鋼板を使うときは、レーザー光の反射を防止するための処置を施すこと。
- ・レーザー加工機は火災の危険があるので、防護囲いや、周りの床、天井、壁、柱に可燃性の部材を用いていないこと。
- ・レーザー管理区域での安全方策として、照明装置、換気装置、集塵装置、脱臭装置、排気装置設置、エアコン設置、酸素濃度計などの取り付けを加工内容などにより検討する必要がある。

3.1.4 レーザ用保護眼鏡

- ・加工用のレーザー光の反射光を目に受ける可能性がある作業では、レーザー光の種類に応じて有効な保護眼鏡を着用すること。保護眼鏡を装着していても、レーザー光を直接受けると保護眼鏡が破壊され遮光できなくなる。
- ・保護眼鏡には対象としている波長と、その波長に対する光学濃度($OD = \log T_0 / T_1$ 、 T_0 : 入射光量、 T_1 : 透過光量)が表示されており、その OD 値が大きくなると遮光性が高くなる。メーカー推奨のものを使用すること。
- ・レーザー用保護眼鏡には一般のメガネ形式のものと、あらゆる方向から来る乱反射光を防護できるゴーグル形式などがあるので、作業内容によって使い分けること。
- ・半導体レーザーやHe-Neレーザー等ターゲットポイント用レーザー光(可視赤色光)を使用する時も、保護眼鏡を装着し、直接眼に当たらないよう注意すること。



レーザー用保護メガネ

3.1.5 レーザ光の注意点

- ・レーザー光を人体に向けて照射しない。火傷など身体に重大な損傷を招き危険である。
- ・レーザー光を直接見たり、触れたりしない。失明や火傷など重大な損傷を招き危険である。
- ・工業用レーザー光は出力が大きく、人体に照射された場合、火傷や失明の恐れがある。さらに、物体に反射してどちらの方向に進むか予測できないので、レーザー光の発射時には、周囲の者に合図をし、危険区域内には立ち入らないこと。

3.2 スパッタ

レーザー切断において鉄を溶かして吹き飛ばしたものを『スパッタ』と呼んでいる。一般的には溶接などで、飛散した微粒子のことを示しているが、レーザー切断では、吹き飛ばした熔融物が、非常に小さくなることからこの様と呼んでいる。

また中には、『スラグ』とも呼ばれる場合がある。『スラグ』とは、熔融分離したものであり、レーザーで溶かした物を吹き飛ばす(分離する)ことからこの様に言われる場合がある。他にも同様な意味で、大和言葉で『のろ』とも言う。

スパッタに起因する火災を防止するため、注意点を以下に示す。

- a. 可燃物放置禁止

- ・可燃物(代表的なものとしてオイルフリース、アセトン、プラスチック、ウエス、木、紙など)をレーザー管理区域内(レーザー加工機の周り数メートルの範囲)に放置すると火災の危険がある。
- ・引火点の低い材料(木材や紙)を加工する時には、発火に十分注意すること。

b. 消火器設置

レーザーの反射光や加工中に発生するスパッタ(溶融金属が飛び散ったもの)が可燃物に当たると、着火して火災となる危険性があるので、近くに消火器を設置すること。

c. 作業後の監視

・スパッタや切断直後の熱い材料が冷える迄時間がかかり、場合により火災の原因になるので、材料の移動には作業終了後 30 分以上は注意が必要である。

d. 監視者の設置(無人運転禁止)

・作業時、何らかの原因で異常が生じた場合や火災等の重大な災害につながる危険性がある場合は、速やかに非常停止をかける様に監視者を配置する必要がある。

e. スクラップの処理

・アクリルやベニヤなど可燃物を加工する時は、スクラップボックスにたまったスクラップを小まめに取り除くこと。スクラップボックスに可燃物がたまっていると、火災や爆発の危険がある。

3.3 酸素ガス

3.3.1 危険源としての酸素

酸素は人間の呼吸にはなくてはならないものであり、安全な物質であると認識されているが、これは空気中の酸素濃度が約 21%(容積比)であるがために安全であるとされている【35】。高濃度酸素環境内で呼吸をすると、けいれん、めまい、嫌悪、錯乱などの酸素中毒症状が現れる。また、空気中で燃焼しない物質でも酸素中では激しく燃焼する。高濃度酸素を使用し、高温の熱源を取り扱うレーザー切断にとっては非常に危険な雰囲気である。酸素機器の取り扱いには充分注意する必要がある。スパッタによる火災や作業服への着火事例がある。

3.3.2 酸素容器貯蔵上の注意事項【36】

- ・容器置き場の周囲 2m 以内は火気厳禁とし、引火性、発火性のものは置かない。
- ・容器は温度を 40℃以下に保ち、直射日光を避け、通気性の良い所に保管する。
- ・大半の酸素容器は高圧(14.7MPa=大気圧の 150 倍)で充填されており、万が一破裂すると大きな災害を引き起こす恐れがあるので、地震などに備えてチェーン等で転倒防止措置を講じること。
- ・防食のため、湿気、水滴を避けること。特に容器底部が腐食しないように注意すること。
- ・必要以上の数量の酸素容器を保管しないこと。



3.3.3 使用上の注意事項【36】

- ・酸素容器のバルブを急激に開くと断熱圧縮(急激に酸素が圧縮され瞬間的に高温になる)や摩擦等により熱が発生し発火の危険性が増す。使用時は十分注意して静かにバルブを開くこと。

- ・高濃度の酸素中では金属(粉)ホコリ炭化水素類(石油類、グリス、油脂、皮脂等)は容易に発火する危険性がある。
レーザ加工設備の周囲5m以内の火気は避け、発火性、引火性のものを設置しない。
また、酸素の消費施設(レーザ加工装置)の近くに消火器を設置すること。
- ・その他、高圧ガス保安法等関係法令を遵守して運用すること。

3.3.4 防火対策

一般高圧ガス保安規則第 60 条では酸素ガス消費設備から 5m 以内には、引火物、発火性物質を置かないことと消火設備の設置を想定している。レーザ加工機においても準ずると考えて安全処置を施すべきと考える。また、万が一の火災事故に備えて、酸素ガス供給設備に逆火防止弁を装着することを推奨する。

配管の下流側で火災が発生した場合、燃焼速度がガスの噴出速度を上回ると、火災がガス供給側に戻ってくる。これを逆火と呼んでいるが、ガス上流に向う火炎の流れを止める為の装置が逆火防止弁(あるいは逆止弁)である。逆火防止弁を装着することで火災事故拡大のリスクを低減できる。

3.3章 参考文献

【35】要説 熱切断加工の“Q & A”、(社)日本溶接協会 ガス溶断部会 技術委員会 溶断小委員会、P.18

【36】高圧ガス保安協会『酸素の取扱について』から引用

3.4 高圧ガス

高圧ガスは、高圧ガス保安法では「常用の温度において圧力が 1MPa 以上となる圧縮ガスで、現にその圧力が 1MPa 以上であるもの」又は、「温度 35 度において圧力が 1MPa 以上となる圧縮ガス」、或いは「常用の温度において圧力が 0.2MPa 以上となる液化ガスで、現にその圧力が 0.2MPa 以上であるもの」、又は「圧力が 0.2MPa となる場合の温度が 35 度以下である液化ガス」と定義されている。

レーザ加工機には、炭酸ガスレーザの源になるレーザガスや、被加工物の燃焼促す効果や溶融金属を排出する為のアシストガスは必要不可欠であり、これらレーザ加工に使用するガスは何れの供給方式も高圧ガスに相当する。高圧ガスは、その定義からも圧力が高く、容器や配管などの内部では常に外に押し広がる力がかかっている上に、ガスの種類によっては爆発や火災、ガス中毒等の危険性を伴うので、取扱いには十分注意しなければならない。運用の際は必ず、高圧ガス保安法等のガス取扱い関係法令を順守すること。

3.4.1 圧力の危険性

レーザ加工機で使用するガスは、一般的なガスボトルは 14.7MPa の圧力で充填されており高圧な圧縮ガスである。このエネルギーが何らかの形で外部に短時間で放出されると危害を与える。一例では、液体窒素の安全弁を人為的に閉止したことで内部の圧力が 7MPa を超え、容器が破裂しその飛散物は最大約 350m にも到達した事故例がある。

3.4.2 燃焼・爆発の危険

高圧ガスの分類の 1 つに、燃焼性を示すものがある。自ら燃焼する可燃性ガス、自らは燃焼しないが燃焼を助ける支燃性ガス、自らは燃焼することがなくまた、燃焼も助けられない不燃性ガスに

区分される。

一般的にレーザ加工に必要なガスの中で可燃性ガスは無いが、特に取り扱いに注意しなければならぬガスは、支燃性ガスの酸素がある。酸素自体は燃焼しないが可燃性物質と化合して燃焼させる。燃焼に必要な条件は、燃焼するものと酸素、それに着火源(熱)であり、酸素中では金属を含むほとんどの物質が燃焼する。着火源には摩擦熱、静電気、衝撃波等があり、容器弁などのバルブを急激に開くとガスとバルブの摩擦で着火することもある。また、空気中にも約21%の酸素が含まれており、5MPaを超える圧縮空気は $5\text{MPa} \times 0.21 = 1.05\text{MPa}$ となり、高圧ガス保安法では高圧ガスとして定義される。5MPa以上の圧縮空気は1MPaの酸素とほぼ同程度の支燃性を有しており、酸素同様の取り扱い注意が必要である。

3.4.3 有害性の危険

毒ガスであれば、それを吸引すると中毒事故を起こすが、窒素やアルゴン等の不活性ガスも、雰囲気中に高濃度で存在する場合、特別の生理作用を及ぼさずに単純窒息性ガスとして酸素欠乏事故を引き起こすこともある。この場合に危険性の判断の基準は残存酸素濃度となる。この単純窒息性に対しては許容濃度は決められていないが、雰囲気中の確保すべき最低酸素濃度は最低18%である。酸素が欠乏した空気は何らかの警告的作用を与えないし、単純窒息性ガスのほとんどのものが無味無臭である。

万が一に備えレーザ加工で取扱うガスは、容器を交換したときや配管などから漏れがないか漏洩試験を行って確認しなければならない。換気のない室内で液体窒素が漏れ、窒素が室内に充満して窒息した例もある。狭い室内や密閉された空間では、十分換気できる設備の元で作業しなければならない。

表 10. 酸素欠乏症の症状

空気中の酸素濃度	酸素欠乏症の症状など
21%	通常空気中の酸素濃度
18%	安全下限値。作業環境内の連続換気、酸素濃度測定が必要。
16～12%	脈拍・呼吸数増加。集中力低下、筋力低下、頭痛・吐気 の症状
14～9%	判断力低下、酩酊状態、全身脱力、体温上昇、記憶障害。
10～6%	虚脱、吐気、幻覚、意識喪失、中枢神経障害、昏倒、死の 危険
6%以下	数回のあえぎ呼吸で失神、昏倒、呼吸・心臓停止、死亡。

3.4.4 超低温の危険性

液化ガスには、常温で液状となっているLPガス等の他に、レーザ加工機で取扱う液化窒素や液化酸素は、マイナス200度近い超低温の状態に保たれている。その為、ガス容器から液化ガスが取り出された直後の配管は凍結する(図53)。これら温度の低い液化ガスを取扱う場合は、以下の点にも留意が必要である。

- ・配管等は低温脆性を起こさない材料を使用すること。
- ・配管、機器に液化ガスを注入するときは、徐々に予冷しながら行う。
- ・低温の金属部分に触れる場合は、凍傷を避けるため革製の手袋(軍手不可)を使用する。

また、液配管の前後のバルブを閉めて、液化ガスを配管内に封じ込めてはならない。液化ガスの体積膨張係数は水に比べてはるかに大きいため、液化酸素・窒素・アルゴンなどの超低温液化ガスの場合、液体が気化すると数百倍にも膨張する。配管内に封じ込めた場合、温度上昇による圧力の上昇が大きくなり、配管を破壊する可能性がある。この為、液配管に残った液化ガスは空出しする等、使い切らなければならない。その際も、換気を十分に行い酸素欠乏に注意する。



図 53. 凍結した配管・バルブ

3.5 ヒューム、粉塵

レーザーで種々の材料を加工する場合、材料によっては、加工時に発生する粉塵、ヒューム、ガスなど発ガン物質や、有毒ガスが発生する場合がある。ここでは、それら材料の安全な取扱と対応装置について説明する。

a. 発生物質

レーザーで金属板を加工すると以下の物質が発生する。

- ・粉塵(1 μ m 以上)
- ・ヒューム(1 μ m 未満)
- ・ガス

粉塵とヒュームの違いは一般的に粒子の大きさにより定義され、1 μ m 以上を粉塵、1 μ m 未満をヒュームと言う。

b. ヒューム、粉塵の害

加工時のヒューム、粉塵の排気量は、切断速度及び切断ガス圧によって決まる。

軟鋼切断時の排気量は、クロムニッケル合金もしくは亜鉛メッキされたスチール切断時の排気量よりかなり少なくなる。

レーザー切断時に発生するヒューム及び粉塵の 97%は 5.7 μ m 未満の粒子になる。

10 μ m 未満の粒子の場合、じん肺、気管支炎、肺水腫、ぜんそくなどの原因になるとされ人体に対する影響が大きい。

加工材料によっては、発ガン性物質に分類される有害物質が発生する恐れがある。

金属に含まれる発ガン物質には以下が揚げられる。

- ・ベリリウム化合物
- ・クロムニッケル化合物
- ・亜鉛黄 等

発ガン性を含む有害物質が発生する恐れがある場合は、適切は対応策を取ること。

健康を保護するため、防塵マスク等適切な予防措置を取ること。

c. 集塵機清掃時のマスク着用

集塵装置のダストボックスやフィルタを清掃するときは、ヒューム、粉塵を吸い込まないよう防塵マスクを着用のこと。

d. 火災、爆発の可能性

加工材料によっては、加工時に火災や爆発等の危険がないかを材料メーカーに確認すること。金属酸化物と金属アルミニウムとの粉末混合物に着火すると、アルミニウムは金属酸化物を還元しながら高温を発生する。(テルミット反応)

e. 材料混在禁止

・アルミニウムと鉄などのヒューム、粉塵が混ざると、高熱を発生して爆発を起こす危険がある
加工する前後にスクラップボックス、コンベア、集塵装置のダストボックスを完全に掃除すること。

f. ヒューム、粉塵の処理

- ・加工時発生し堆積した粉塵は可燃物で、着火すると火災の原因となり危険である。
粉塵処理を行う時には火気を厳禁し、他の廃棄物とは区別すること。
- ・加工により発生したヒューム、粉塵と、加工端材、切断直後の熱いものを混ぜて廃棄すると火災になり危険である。
- ・集塵機の内部に集塵を多量にためたまま使用すると、スパッタにより着火し危険である。
- ・たばこの吸い殻や可燃性物質を加工範囲内に投げ込まない。
入るとサクシオンチャンネルからダストリムーバーに入り火災が発生し危険である。
- ・アルミ/アルミ合金から亜鉛メッキしたシート、軟鋼、もしくはステンレスに材料を交換した後(又はその反対)は、次の安全対策を実施して下さい。
ープログラムが終了したら、サクシオンユニットのラグタイムが経過するのを待ちます。
ーダストリムーバーの中の廃棄コンテナを交換します。材料毎に個別のコンテナを使用し、間違えないようにラベルを貼る事をお薦めする。

g. 集塵機火災の処置

ダストリムーバーに火災が発生した場合、次のステップで消火に当たって下さい。

- ア メインスイッチをオフにする。
- イ 可能であれば、カバー上部排出口を閉じる。
- ウ 消火器を準備する。(二酸化炭素火災消火器)
- エ 消火剤を開口部に噴射します。
- オ 火災を消火出来る場合のみ、カバーのドアを開きます。
- カ 可能であれば、完全に消火します。

3.6 コート材の毒性

レーザで種々の材料を加工する場合、材料のコート材によっては加工の際に加えられた熱によって有毒ガスが発生する場合がありますので十分に注意して作業を行うこと。

a. オイルコート

・材料表面にコートされているポリ塩化ビニール、ポリカーボネート、ファイバークラス等は熱を加えることにより有毒ガスが発生する。十分に換気、集塵、排気をしながら作業を行うこと。

b. PEコート材

・耐久性を上げるために材料表面にポリエチレンでコーティングをしたものをPEコート材と呼ぶが、これらには加工時に有毒ガスが発生させるものがある。
(ポリ塩化ビニール、ポリカーボネート、各種ファイバークラス複合体などは、熱を加える

事により有毒ガスが発生する。)

危険な煙霧・蒸気を出す材料を加工する時は、必要な換気・集塵・排気装置を取り付けてから作業を行うこと。

c. 加工時の有毒蒸気発生

・加工する材料によってはそこから発生する蒸気が有毒なもの(銅など)がある。したがって、加工する前に有毒な蒸気が発生しないかを材料メーカー等に確認のこと。

3.7 光学部品の毒性

炭酸ガス(CO₂)レーザ加工機の光学系に使用される ZnSe(セレン化亜鉛)製の集光レンズや出力、伝送ミラー類にはそこに使われている ZnSe(セレン化亜鉛)が 2.5.1.2 で説明されているとおり、毒物として規定されている為、取扱と廃棄については、以下の点に注意して管理すること。(YAG レーザおよびファイバレーザ加工機のレンズは毒性のない人口水晶レンズを使用しているので除外とする。)

a. レンズおよびミラーの廃棄

集光レンズおよび出力、伝送ミラー類は中に含まれるセレン化亜鉛が毒物に該当するため、不法に投棄すると法律により罰せられる。廃棄する場合は専門業者に依頼するか、メーカーのサービスマンに連絡すること。

b. レンズおよびミラーの保管と管理

集光レンズおよび出力、伝送ミラー類は、素手で触ると危険であるため、関係者以外(特に幼児や子供など)が容易に触れることのないよう、厳重に保管・管理をすること。

c. レンズおよびミラーの素材

- ・集光レンズの素材である ZnSe(セレン化亜鉛)は単結晶では 0.5 μm ~ 22 μm の可視光線から遠赤外線まで対応し赤外線に高い透過率を示すことから、CO₂レーザに代表される赤外レーザ用レンズ等の赤外光学材料に幅広く利用されている。
- ・ZnSe 自体は毒物に指定されているが、光学部品として使用する場合は法律的には毒物として取り扱う必要はない。但し、粉末を吸い込むと呼吸困難になる恐れがあるため本書に記載されている注意事項は必ず守ること。
- ・出力、伝送ミラー類についても表面に ZnSe と ThF₄ の誘電体多層膜をコーティングしているので集光レンズと同様の注意が必要である。

d. 熱作用

熱作用はレーザビームが吸収されることによって起こる。この場合、レンズ上の不純物もしくは燃焼が原因である。熱作用が起こると以下の毒物が発生する。

(熱作用により発生する副産物)

亜鉛酸化物、亜鉛水化物、セレン、セレン酸化物、セレン化水素(H₂Se)、トリウム
(副産物中の毒性物質)

・セレンおよびセレン化合物

セレンおよびセレン化合物は、熱作用により毒性を含む副産物を発生する。これらの化合物は、人体内でセレンから硫黄物質に変わる、健康に危害を与える物質である。セレン化水素は特殊な臭気を持ち、室内温度では無色である。微量(MAK 値、低毒性限界値 0.2mg/m³)でも、鼻や目の粘膜組織に悪影響を与える。(“セレン風”の発生)

・トリウム

トリウムは放射性物質である為、危険である。この化合物は絶対に吸引しないようにすること。

e. 人体への影響

ZnSe(セレン化亜鉛)の粉末を吸収すると呼吸困難を生じたり、呼吸が停止する危険があるので素手で触れた場合は水でよく洗い、万一、粉末や破片を吸入した場合には、ただちに医師の診察を受けること。

保守説明書の手順、方法を遵守して作業を行い、少しでも疑問や質問があればただちにメーカーに問い合わせることを。

f. 事故発生時の処置

レーザ加工中にレンズが燃えて発生するセレン化水素等の蒸気も有毒である。

レンズが燃えた場合は、吸引もしくは接触すると身体に悪い影響を与える。「非常停止」ボタンを押してレーザ光を止め、窓を開ける等して部屋の空気を入れ換え、蒸気の発生が収まったから燃えた部品を保護グローブとしっかり密着したダストマスクを着用し、手で直接触れないようにしながら、密閉出来る容器に回収のこと。

3.8 高温火傷

一般に言われている『やけど』のことで、熱傷とも言う。やけどの種類に『低温火傷』があり違いがわかる様になっている。

『低温火傷』は料理で例えると“弱火でじっくり火を通す”タイプで、中の組織を破壊する重症なもの『高温火傷』は同じく例えると“強火でカラット”になり、表面の裂傷を起こすものである。

レーザによる障害は現在使用されている加工機の全てが遠赤外線領域の特性をもつため、熱傷になる。レーザの出力と露光時間により、軽い痛みを感じるものから皮膚の炭化にいたるまでさまざまな状態が見られる。高出力になれば熱エネルギーも大きくなり皮膚深部まで障害を引き起こす。(レーザの波長、出力、パワー密度などの発振条件と、皮膚の色、皮膚の厚さ、血管の有無等、人体の状態により障害発生の様子が異なるため、量的に論ずることは出来ない)

また、切断直後の材料(製品ワーク、端材など)は切断部分が高温になっている場合があるので、素手で触ると火傷をするので注意が必要である。

その他にも、通常触ることがないが、メンテナンスなどで、発振器内部や、制御装置内部を確認する場合、場所により高温になる部分もあるので、注意が必要である。

3.9 高電圧

レーザ加工機内では電源制御装置やレーザ発振器の本体で高電圧を使用している部分がある。電源を入れた状態で、又は電源を切った直後に帯電中のレーザ発振器の扉を開け、高電圧部に触れると、感電して火傷や死亡に至る場合がある。又、高電圧電源がオフになっていても、コンデンサ等の一部が帯電していることがある。従って、電気工事に関する有資格者がメンテナンス作業に携わる以外は決して触れてはいけない。

下記の図 54 は一般的なレーザ加工機の構成である。感電の危険性がある箇所は警告記号が表示されている。特にレーザ発振器及び電源・制御装置内部は 10kV 以上の高電圧がかかっており、レーザ光照射時には 2 倍以上の高電圧が発生することがある。

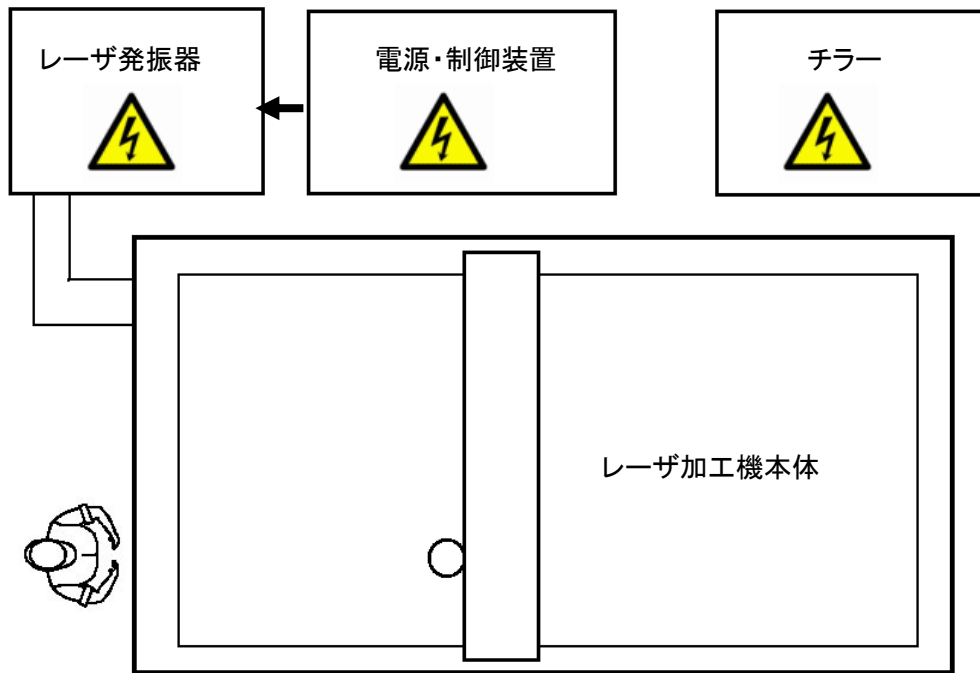


図 54. レーザ加工機の構成例

レーザー発振器内の電極、放電経路、または電源装置内のコンデンサ、抵抗器、電源ケーブルや真空管は、電源を OFF にしても残留電圧がかかっており、接触すると感電する。この場合、電源装置内に装備されているアース棒等を使って、確実に放電する必要がある。アース棒を取扱う場合は、残留電圧がかかっている部分と、身体とは十分な安全距離を保ち、アース棒の取手以外のケーブル等はもたないで放電すること。このように、レーザー発振器内又は電源装置内の作業は感電の危険性が大きいので、必ずレーザー加工機メーカーのトレーニングを受けた作業員或いは作業管理者が行うようにすること。

その他、チラーなど周辺装置にも高電圧箇所があり、警告記号が表示されている。通常は感電の可能性がある箇所はカバー類で保護されており、感電の危険性を防止しているが、メンテナンス等でカバーを外し高電圧箇所付近に近付く場合は、必ず電源をオフまたはブレーカーを遮断した状態で作業する。その際は、作業中に作業員以外が電源をオンしないように措置を講じ、作業員以外は安全距離を保つために、むやみに作業員や作業エリアに近付かない。

日常点検においても、被覆が傷ついたケーブルや電線は、漏電、感電の危険があるため、電源投入前に傷が無いかどうかよく確認すること。傷や断線の恐れが見つかった場合は、電源をオンにせず、ただちに電気工事の有資格者に適切な措置を依頼すること。

又、取扱説明書に対処方法が書かれていないトラブルが発生した時は触らず、必ずレーザー加工機メーカーのサービス担当に連絡すること。

3.10 電磁波、磁界

レーザー発振器の電源装置は強力な電磁波を発生するタイプのものがある。通常は保護カバーなどで発生源は遮蔽されており、電磁波による身体への影響はない。しかし、電源装置内の保護カバーを外したり安全装置を遮断した状態でレーザー発振器を操作すると放射電磁波による人体や電気機器に影響を及ぼす危険がある。電磁波を発生する部分には図 55 のような警告記号が表示されている。特に、心臓ペースメーカーが誤動作を起こす危険があるので、心臓ペースメーカーを装着した人

は、下記の図 56 の危険記号が表示されたエリアには近づかないようにすること。



図 55. 電磁波警告



図 56. ペースメーカー警告

最近では軸の駆動にリニアモータを採用するレーザー加工機がある。リニアドライブを駆動方式とするレーザー加工機は、その動力源である強力な磁力と磁界により、人体への影響や負傷する危険がある。例としてリニアドライブの近くで強磁性部品（材料、工具など）を扱うと、身体の一部がリニアドライブと強磁性部品の間に挟まれる危険性がある。また、心臓ペースメーカーが誤動作を起こす危険がある。リニアドライブは一般的に強力な永久磁石を使用するので、電源がオフの状態でもリニアドライブ付近での作業は危険性を伴う。万一リニアドライブと磁性部品との間に身体の一部が挟まれた場合、非磁性体（アルミ、プラスチックなど）でくさび形状のもので押し出すか、くさびを非磁性体のハンマーで打ち込んで外す。また、人体以外にもリニアドライブ周辺に電子機器、時計及び磁気メモリー媒体（フロッピーディスク、ハードディスク、クレジットカードなど）を近付けると、故障やメモリーが消去される可能性があるため、身につけたり近付けたりしないこと。

磁力を示す磁束密度は、リニアモータの表面で最大になる。磁束密度は距離が大きくなるに従って減少する。10cm 離れると約 300 分の 1 以下、30cm 離れると約 10000 分の 1 まで磁力は低下する。一般的に磁束密度は 100 μ T（マイクロテラス）未満であれば健康な人が恒常的にさらされても、身体には無害とされている。また、磁気による引力は接近すると急に大きくなる。小さな磁性体部品でも数百キロの高引力になることがある。これらのことから、リニアモータ機構付近での作業、特に磁性体を持って作業する場合は十分な注意が必要である。

図 58 のような強磁界であるリニアドライブ機構付近には図 57 の警告記号が表示されている。



図 57. 強磁界警告

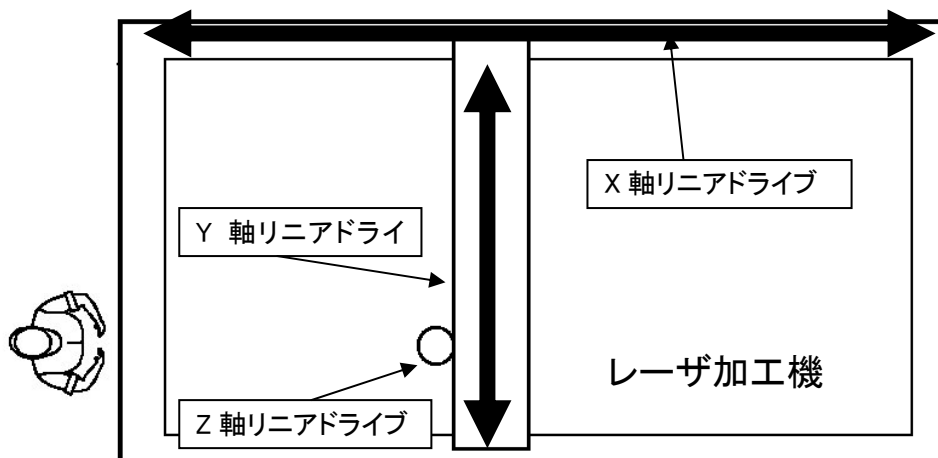


図 58 レーザ加工機のリニアドライブ

4. レーザ加工機運転時の安全チェック項目

使用するレーザ加工機により詳細は異なるが、レーザ加工機を安全に正しく操作するにあたり、危険防止の為に注意しなければならない点を作業前点検から始まる一連の作業の流れに従ってここで説明する。チェック項目が多岐にわたるが、全チェック項目をリストアップするなどして、チェック項目を見落とさない工夫をし、全項目の注意事項を遵守して安全に加工作業を行うことを推奨する。

4.1 作業前点検

自社の規定に基づき、レーザ機器管理者/レーザ取扱作業者による作業開始前の次の点検を必ず実施すること。

- ・作業エリアに作業の支障となる障害物(含む工具や部品)が置かれていないことを確認すること。
- ・転倒事故を防ぐ為、床面に油や水がこぼれていないことを確認すること。
- ・加工機のベッド、発振器の架台はクランパにて地面に固定されているので、クランパにつまつかないように注意すること。
- ・レーザ光を防ぐ為、扉やカバーが全てしっかり閉じられている事を確認すること。
- ・全てのカバー類・ジャバラ類・ダクト類に破損や不都合のないことを確認すること。
- ・電源の投入及び切断手順は取扱説明書に記載されている手順を厳守すること。
- ・レギュレータを閉じてからガスポンペを開栓すること。
- ・ポンペ開栓後、設定圧力にレギュレータの設定を行うこと。
- ・ポンペ開栓後、継ぎ手、配管に漏れがないか確認すること。
- ・使用中のポンペには使用中が分かる表示をする事。
- ・加工機の周りに爆発物、可燃物がないことを確認すること。
- ・油量計の油量が適正であること。
- ・加工機の周りに可燃物を置かないこと。
- ・加工機テーブル内に可燃物(菓子袋、タバコの残りなど)を投げ込まないこと。
- ・ヒュームの入った容器を加工機のそばに置かないこと。

4.2 電源投入後の確認

電源投入後、次の事項を確認すること。

- ・各部の潤滑が正常であり、操作画面上に不具合を示すメッセージ、あるいはアラームの表示が出ていないこと。
- ・エア圧力が適正であること。
- ・モータ部、ギヤ部などより異常音のないこと。
- ・保護装置が正常に機能しているかどうか確認すること。
- ・防護装置、進入危険防止柵、カバーなどを取り外したり、その取り付け位置を変更したりしないこと。又、各種インターロックを取り外して、レーザ加工機を運転しないこと。
また、これらの安全装置が正常に機能していること。
安全装置については『5.5 安全装置の取り扱い』に詳細を別記した。
- ・機械の保護装置やインターロックを損傷させたり、取り外したり移動させたりしないこと。

4.3 運転中の注意事項

a. 運転全般

- ・加工製品及び残材の取り出しなどで、一時停止中に加工機に近づく時は操作可能キースイッチを“切”にし、レーザ取扱作業員自身がキーを抜き取り保持することで、第三者による誤操作を防ぐこと。
- ・運転中は加工機の可動範囲に身体を近づけないこと。
- ・運転中は加工テーブルの上に乗らないこと。保守作業など運転中以外で加工テーブルの上に乗る時は足元に十分注意すること。
- ・電源に関する安全カバー、安全装置を一部でも取り外し、危険電圧の端子を露出させて運転しないこと。
- ・防護装置、進入危険防止柵、カバーなどを取り外したり、その取付位置を変更したりしないこと。又、各種インターロックを取り外して、レーザ加工機を運転しないこと。

b. レーザ光に関する注意事項

- ・加工用として使用しているCO₂レーザ光が直接目に当たった場合はもちろん、加工物の表面に当たって反射した散乱光が当たった場合も、失明の危険性がある。
ビームプロテクタが備わっていない場合に操作する時は、CO₂レーザ用保護眼鏡を装着すること。ただし、この保護眼鏡を装着していても、レーザ光線を直接受けると遮光できないので、絶対にレーザビームを直接のぞき込まないよう注意すること。
- ・加工位置確認用として使用している可視レーザ光線を使用する時も、保護眼鏡を装着し、直接眼に当たらないよう注意すること。
- ・レーザ加工中、加工点から可視光や紫外光が発生する。これらの光は保護眼鏡も透過するので、レーザ加工中は加工点を見ないこと。

c. 許可された材料以外は加工しないこと。

d. 粉塵、有毒ガスに関する注意事項

- ・加工時の粉塵、有毒ガスにより喉又は肺を痛める事のない様、加工時には必ず集塵機・排気装置を作動させること。有機材料を切断する場合には脱臭装置にて脱臭を行い、加工室の換気を充分に行うこと。

e. 製品取り出し時の注意事項

- ・レーザ加工後、被加工材料は高温になっている場合があり、触ると火傷の恐れがある。製品を加工直後に素手で触らないこと。(保護手袋使用等)
- ・バリ、返りに注意。素手で触らないこと。(保護手袋使用等)

f. ガスの取り扱い

- ・指定された圧力以上にガス圧を上げて加工しないこと。
- ・定期的に加工作業室の換気を行うこと。

g. エアガン使用

- ・掃除の際に粉塵、切屑などが吹き飛ぶ恐れがある場合には、エアガンを使用すると、それらが目に入ったり、体を傷つけるおそれがあるので、使用はしないこと。掃除箇所により、扱いに注意が必要である。

- ・圧縮空気で清掃する場合は、ホースが暴れて人に当たり怪我をする恐れがあるので、ホースノズルをしっかりと保持してエアを出すこと。
- ・エアガンを使用する場合は、粉塵、切粉が吹き飛ぶ恐れがあるので、保護メガネを着用すること。

4.4 作業終了後の確認事項

- ・作業終了後、作業場、テーブル内に火種が残っていないか確認すること。
- ・ガスボンベ栓を閉じる。

4.5 安全装置の取り扱い

a. 非常時の措置

- ・レーザ取扱作業員以外の者が非常停止装置を押す場合に備えて、非常措置に関する社内の連絡手順をあらかじめ制定しておくこと。
 ※レーザ取扱作業員以外が非常停止を押す場合に備え、社内での緊急対応法の教育(非常停止の場所と押し方)及び状況報告等のため、連絡網(レーザ取扱作業員にするのかレーザ機器管理者とするのか)を決めておく必要がある。

b. 非常停止ボタン

- ・身体に危険が及びそうな時、あるいはレーザ加工機の異常を感じたときは、即座に非常停止ボタンを押して運転を停止させること。

c. 非常停止ボタンの機能理解

- ・非常停止ボタンはレーザ取扱作業員を含め作業員全員がその機能を理解し、非常時にはすぐ押せるように周知徹底すること。

d. キースイッチの保持

- ・メンテナンス時は他人が誤作動させるのを防ぐ為、操作可能キースイッチを“切”にし、操作可能キースイッチのキーを抜き取り作業員自身が保持すること。

e. キースイッチの管理

- ・作業終了後には、必ず主操作パネルの下記のキーを抜き取り、レーザ機器管理者が管理すること。
 - －操作電源キースイッチのキー
 - －操作可能キースイッチのキー
 - －レーザ運転キースイッチのキー

f. 衝突防止装置

- ・衝突防止装置は加工テーブル上、又はX軸ベース上で、レーザ取扱作業員が駆動部と衝突したり挟まれたりすることを防止するための装置です。Y軸キャリッジの前後には光線式安全装置が取り付けられ、Y軸キャリッジの先端及びX軸台車の前後にはテープスイッチを取り付けられています。レーザ取扱作業員が光線式安全装置の検出エリアに入ったり、テープスイッチに触れると、駆動部を停止させる。
- ・衝突防止装置が装備されていることで、加工機が稼働中に加工テーブル上及びX軸ベースに乗ることが可能になるわけではない。
 加工機稼働中は加工テーブル上及びX軸ベース上に乗ることは危険な為乗らないで下さい。

g. 安全扉

- ・自動運転中、原点復帰中などの軸移動中に、操作ステップ上からテーブル上に取扱作業員が降りることは非常に危険である。この危険作業を禁止するため安全扉を設置しているの

がある。自動運転、(MDI運転、テストサイクル運転含)、原点復帰、手動送りを行う場合は、必ず扉を閉めて下さい。

- ・安全扉を閉めないで自動運転、原点復帰、手動送りは出来ない。
- ・自動運転中、原点復帰中、安全扉を開くと運転は中断される。

h. レーザ保護設備

レーザ発振器及びレーザ発振器からレーザカッティングヘッドの照射開口部までのレーザ光路は、レーザの露光を防ぐため、全てレーザ保護カバーで覆われている。レーザ保護カバーを外して稼働させないこと。中には、レーザ保護カバーに安全スイッチが取り付けられているものもある。レーザ保護カバーを外した状態ではレーザ光が出射できないか、レーザ準備完了の状態ではレーザ保護カバーを開こうとすると、レーザ発振器が自動的に停止する。

4.6 火災防止上の注意事項

- ・加工機の周りに可燃物を置かないこと。
- ・加工機テーブル内に可燃物(菓子袋、たばこの残りなど)を投げ込まないこと。
- ・ヒュームの入った容器を加工機のそばに置かないこと。

6.レーザ加工機での事故事例

レーザ加工機での具体的事故事例を記載し、作業者への注意喚起を促したい。

例 1 (安全作業を怠った挟まれ事故)

1. 事故概要

加工機が運転中に安全カバーを外し加工機内へ入り機械に挟まれた。

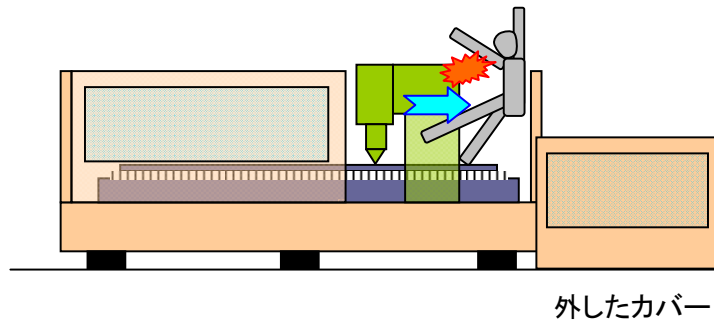
2. けがの状況

幸いかすり傷程度

3. 事故の原因

- ・加工中であるが、加工機を停止せずに安全カバーを外した。
- ・何度か加工中に引っ掛かりがあり、加工機を止めての手直しが大変だったためカバーのセンサーを切って加工中でも加工機の中に入れるようにしていた。
- ・生産を止めることが出来ず無理をした。

4. 状況イラスト



5. 事故への対応

- ・安全に対する再教育と間違った操作方法をしないよう再教育を実施した。
- ・また、取扱説明書の注意事項を守り、間違った操作をしないよう誓約書を提出させ、正しい操作を徹底させた。

例 2 (足の剣山突き刺し事故)

1. 事故概要

剣山台(作業台)に登り作業中、安全靴がぬげ、剣山に足を刺した。

2. けがの状況

全治3週間のけが。

3. 事故の原因

- ・剣山台(作業台)の上に板を引かず登っていた。
- ・剣山の間には靴を入れていたが、靴が挟まってしまった。

4. 状況写真



5. 事故への対応

- ・必要により剣山台に登る時は、必ず板を上に乗せ、その旨 作業手順書に記載し徹底した。
- ・持ち運び可能な板を作成し、作業者に配布した。

例 3 (レーザー光による指先の火傷)

1. 事故概要

焦点確認中にレーザーを照射したが、停止したつもりで、ノズルチェックのため手をかざした所、レーザー光が指先に当り火傷した。

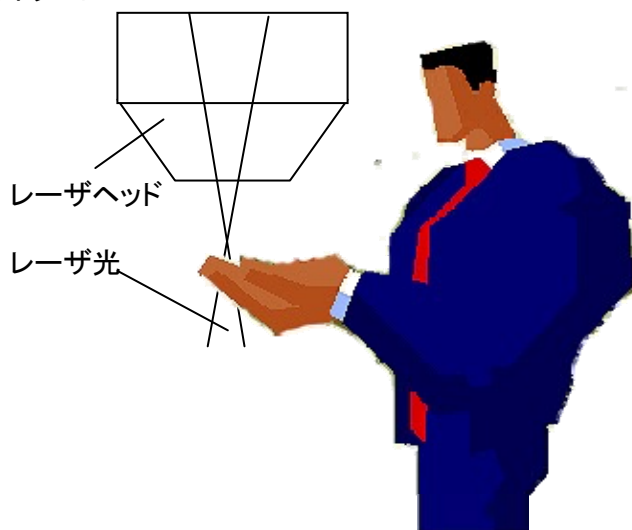
2. けがの状況

全治1週間のけが。

3. 事故の原因

- ・焦点確認で、レーザーを照射していたが、停止を忘れていた。
- ・レーザーを停止していると思い込み、ノズルチェックのため手を差し出した。

4. 状況イラスト



5. 事故への対応

- ・作業手順の再指導を実施した。
- ・作業手順書への記載実施した。

例 4 (ウエスによる出火事故)

1. 事故概要

材料の清掃にウエスを使用した後、そのまま加工テーブル内に置き忘れ加工開始した。そのため、加工による火花がウエスに付着し燃り出し出火した。作業者が直にウエスを取り出し揉消した。

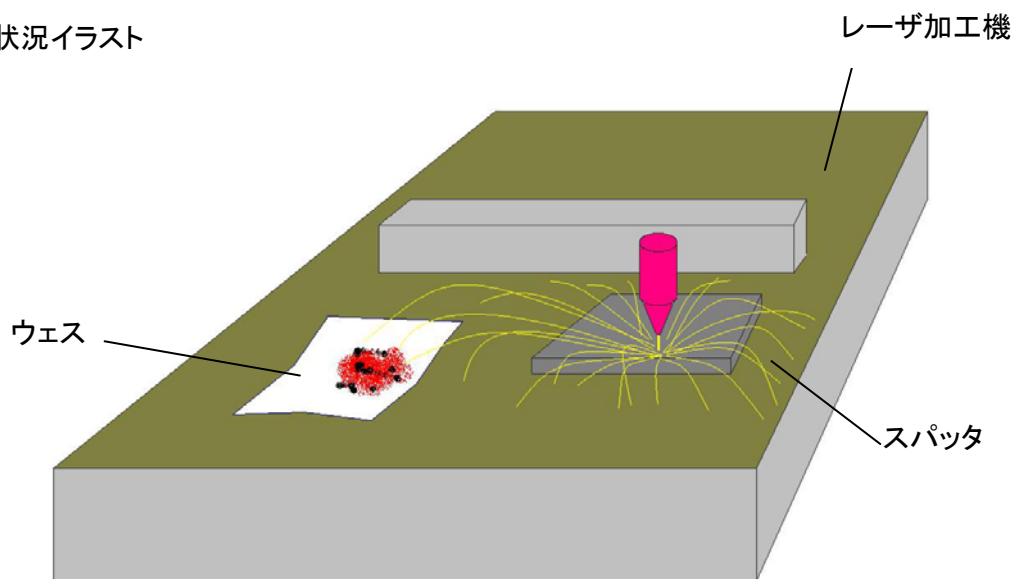
2. けがの状況

なし

3. 事故の原因

- ・材料の油分、汚れ掃除のためウエスを使用しそのまま、加工機テーブル上に置き忘れた。
- ・テーブル内のウエスに気がつかずに加工を開始した。

4. 状況イラスト



5. 事故への対応

- ・清掃で使用したウエスは所定の場所に入れることとした。
- ・作業開始前に加工機テーブルにウエスなどがいないことを確認することとし、それを作業手順書に記載し、徹底した。

例 5 (作業服への着火事故)

1. 事故概要

加工中の確認のためそばにより状況確認したところ
加工中の火粉が裾に房の付いたズボンに入り着火した。

2. けがの状況

なし

3. 事故の原因

- ・裾に房付きのズボンを着用していた。
- ・火花の近くにいた。

4. 状況イラスト



5. 事故への対応

- ・作業に関する服装の確認など、基本部分の再指導を実施した。
- ・裾に房のないズボン及び長袖の作業服着用を徹底した。

例 6 (加工機本体焼損)

1. 事故概要

レーザ加工を行っている時に、加工機本体スクラップ受けと、その周囲にあった配線やチューブを焼損した。

2. けがの状況

作業者に怪我はなかった。

3. 事故の原因

アルミ切断と軟鋼板切断を頻繁に行った場合、加工機本体内にアルミ粉体と酸化鉄粉塵が混ざった状態で蓄積される。レーザ加工時に発生するスパッタ熱を引き金とし、酸化鉄の還元・アルミの酸化反応により、高温となって粉塵の周囲が溶融した。(テルミット反応と推定される)

4. 状況写真



レーザ加工機内に置かれていたスクラップ受けが熱で変形し、溶けた状態



スクラップ受け内で溶融して塊りになった粉塵

5. 事故への対応

- ・レーザ加工機内のスクラップ受けは定期的な清掃を行う。
- ・アルミ材と軟鋼材を混在して加工する場合は、異種材加工の前後で集塵機のダストボックスや加工機内スクラップ受けを清掃する。
- ・レーザ加工機、集塵機付近に消火器を設置する。

例7 (集塵機焼損)

1. 事故概要

集塵機内フィルタより発火した。

2. けがの状況

集塵機フィルタ焼損、集塵機内チューブ・ケーブル類の焼損
作業者に怪我はなかった。

3. 事故の原因

ダンボールやベニヤ板をレーザ切断した際、集塵機が可燃物を吸引した。次に軟鋼板を加工した時に集塵機排気側から煙が出た。フィルタに可燃物あるいは可燃物の燃えカスが付着した状態で、更に加工を継続したことにより、集塵機内に酸素が供給されて発火したと思われる。

4. 状況写真



焼損後の集塵機内部状態



加工材料(ベニヤ板)

5. 事故への対応

- ・可燃物加工を行わない。
- ・加工する場合は専用の集塵機を準備する。集塵機内に溜まった粉塵や可燃物をこまめに除去し、フィルタの保守も怠らない事。
- ・集塵機付近に消火器を設置する。

例 8 (加工機周辺の焼損)

1. 事故概要

レーザ加工中、加工機周辺置いた書類や加工機の付属品が焼損した。

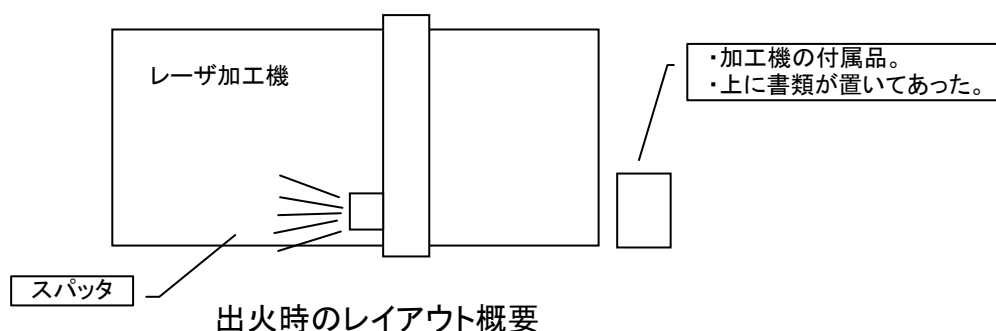
2. けがの状況

焼損部近くの配線が燃えて地絡し、加工停止していた。
作業者に怪我はなかった。

3. 事故の原因

レーザ加工により発生したスパッタが飛散し、加工機周辺に置いた可燃物に当たったことで、可燃物が焼損したと考えられる。
(加工位置からは、離れていた)

4. 状況写真／イラスト



5. 事故への対応

- ・レーザ加工機周辺に可燃物を置かない。
- ・加工位置から離れていてもスパッタが飛散する可能性があることを認識する。
- ・無人運転を行うことは避け、作業者が定期的に監視する。
- ・加工機の近くに消火器を設置する。

例9（材料を扱い中に手首に裂傷）

1. 事故概要

レーザー溶接トライ時に薄板材料を手作業で1枚ずつ供給していて、けがをした。

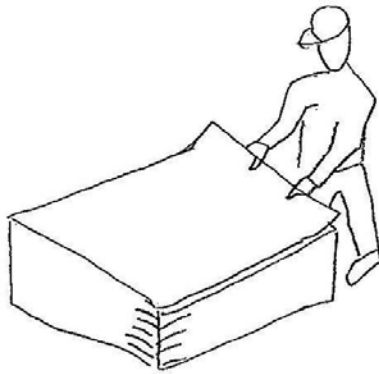
2. けがの状況

手袋と作業服袖のすき間に材料が入り込み、手首を切った。

3. 事故の原因

- ・普通の手袋を付けており、手首がむき出しになっていた。
- ・手袋が薄く、材料で破損していた。

4. 状況写真／イラスト



5. 事故への対応

- ・鋭利な端面を持つ材料を扱う場合、鋭利な材料端面の接触にも強く手首まで覆う『アラミド繊維製手袋』の使用を義務付けた。



アラミド保護具シリーズ
アラミド手袋 切創対策

ガラス・金属片などでの切傷防止に!!

特長

- 1 引っ張り強度……ナイロンやポリエステルなどに比べ、2〜3倍。
- 2 引っ張り弾性……ナイロンやポリエステルなどに比べ、5〜10倍。
- 3 ソフトな質感で軽量……ソフトな感触のしなやかな製品で、皮革にみられるような経時変化もありません。

用途

- 建設・ガラス・鉄鋼・造船・自動車・機械・プレス・食肉等の作業による切傷防止。

アラミドといっても「点」での刺しには弱い、しかし「線」での切創には強いです。

アラミド繊維100% 使用

●ご使用前に必ず本紙裏面の注意事項をよく読み、正しくお使いください。 日本製

例 10 (ガス接続作業時の事故)

1. 事故概要

レーザー加工機の切断ガスを作業員2名で交換中の事故。
作業員Aがガスボンベにホースを接続、作業員Bがホースの反対側をレーザー加工機に接続している時に、作業員Aがガスボンベのバルブを開放。作業員B側の固定していないホースに高圧ガスが流れて暴れだし、ホース先端の金属製フィッティングが作業員Bに直撃して目を負傷した。

2. けがの状況

右目眉上部打撲。右目眼底出血。

3. 事故の原因

- ・2名で作業しており、お互いの作業状況を確認していなかった。
- ・高圧ガスの取扱いに対する知識が不足していた。

4. 状況写真



作業員A側のガスボンベ接続(例)



作業員B側のホース先端(例)

5. 事故への対応

- ・複数名で作業する際は、お互いの作業状況を認識し、危険が伴う作業については必ず相手側の承認を得てから作業を続ける。
- ・高圧ガス取り扱いの知識を身につける。

例 1 1 (レーザー光反射の事故)

1. 事故概要

レーザー加工機で純銅の材料を切断中、レーザー光が材料に貫通せず反射。加工機の光学系を焼損し、安全壁に囲われていない天井部分の一部が焦げた。火災には至っていない。

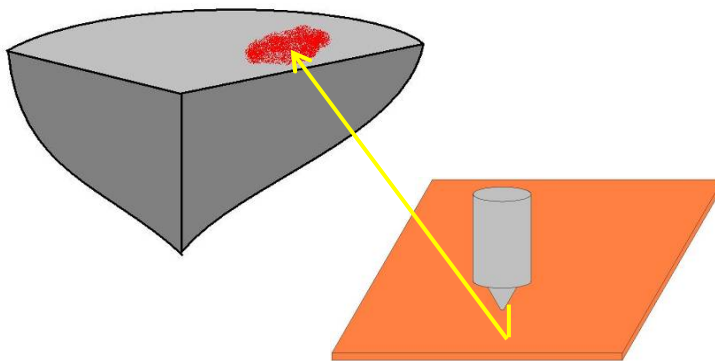
2. けがの状況

安全壁の外にいたレーザー加工機の作業員、及び周囲の作業員には被害は及ばなかった。

3. 事故の原因

レーザー加工機の作業員が、反射率の高い銅の加工の知識を持っていなかった。反射した際にレーザー加工機を即停止できる状態で作業していなかった。

4. 状況イラスト



5. 事故への対応

特殊材や反射率の高い材料をレーザー加工機で切断する場合は、切断の知識をもった作業員が行う。万が一反射した場合を考慮して、加工点の周辺に可燃物を放置せず、加工機を即停止できる状態で作業する。

6. 事業者・管理者の安全管理責任

各レーザー装置の取説には『安全作業のための厳守事項』が記載されている。内容を良く理解し、レーザー加工機の設置や取扱いを行うこと。

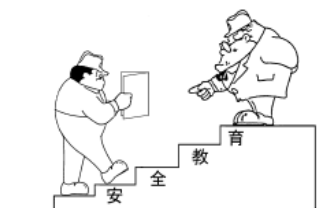
6.1 事業主責任

レーザー加工機は、労働安全衛生法及び労働安全衛生規則、電波法により設備の使用者である事業主への義務が課せられている。また、レーザー機器を取り扱う業務、またはレーザー光に曝される恐れのある業務に、常時従事する労働者の障害を防止することを目的に、昭和61年1月27日に労働省労働基準局長通達による基発第39号で「レーザー光線による障害の防止対策要綱」が策定され、その後、平成17年3月25日基発第0325002号で改正された。この中で、労働者の障害を防止するための細かな指導がなされている。

6.2 安全衛生教育の実施

レーザー業務に従事する労働者を雇い入れ、もしくは労働者の作業内容を変更して当該業務につかせ、または使用するレーザー機器を変更したときは、労働安全衛生法第59条第1項又は第2項、労働安全衛生規則第35条に基づく教育を行うこと。この場合、特に次の事項が含まれるよう留意すること。

- ・レーザー光の性質、危険性及び有害性
- ・レーザー加工機の原理及び構造
- ・レーザー加工機の取扱い方法
- ・安全装置と保護具の性能並びに取扱方法
- ・緊急時の措置及び退避



6.3 レーザー機器管理者の選任

労働安全衛生法の規定による労働衛生管理体制の整備を図るほか、クラス3R(400nm～700nmの波長域外のレーザー光を放出するレーザー機器に限る)、クラス3B及びクラス4のレーザー機器(レーザー加工機ではクラス4が使われている)については、レーザー機器の取扱い及びレーザー光による障害の防止について十分な知識と経験を有する者のうちからレーザー機器管理者を選任することと、その役割について、労働省労働基準局長通達による「レーザー光線による障害の防止対策要綱」の中で指導がされている。

6.4 レーザー機器管理者が行う業務

- ・レーザー光による障害防止対策に関する計画の作成および実施
- ・レーザー管理区域(レーザー機器から発生するレーザー光に曝される恐れのある区域をいう。以下同じ。)の設定および管理
- ・レーザー機器を作動させるためのキーなどの管理
- ・レーザー機器の点検、整備およびそれらの記録の保存
- ・保護具の点検、整備およびその使用状況の監視
- ・労働衛生教育の実施およびその記録の保存
- ・その他レーザー光による障害を防止するために必要な事項

なお、衛生管理者を選任すべき事業場にあつては、上記のレーザー機器管理者が行う業務は、衛生管理者の指揮のもとで行わせるものとする。

対象キー:「レーザー」キー、「メモリプロテクト」キー、「シャッター可動」キー、「ジョグ切断」キー、「ラインコントロール」キーなどがある。



6.5 レーザ取扱作業者の選任

- ・前記 4.2 によるレーザ加工機の安全衛生教育を実施したものの中から、レーザ取扱作業者を選任すること。
- ・指名されたレーザ取扱作業者およびレーザ機器管理者以外は、操作盤のキーの操作を行わないこと。また段取りや、保守作業についても同様である。
- ・レーザ加工機の取扱には、機械に付属した取扱説明書の注意事項と手順を守ること。
- ・取扱説明書に記載されていない据付・修理作業には潜在的な危険がある可能性があるので思い込みで行わないこと。これらの作業はレーザ機器管理者に報告して、特別に教育・訓練を受けたエキスパートが行うか、加工機メーカーに依頼すること。

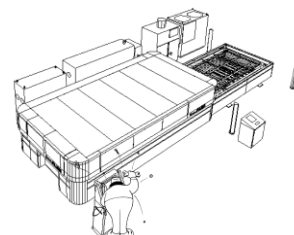
6.6 健康管理

レーザ業務に常時従事する者については、雇い入れ又は配置換えの際に、視力検査に併せて前眼部（角膜、水晶体）検査及び眼底検査を行うこと。レーザ光による障害の疑いのある者については、速やかに医師による診察又は処置を受けること。



6.7 改造禁止

- ・安全装置やカバーを取外したり、取り付け位置を変更しないこと。
- ・機械や制御回路の改造は行わないこと。
- ・レーザ加工機にはパソコンCNC装置で制御しているものが多くある。ソフトウェアやハードウェアに変更を加えると、誤作動が発生し重大な事故につながるおそれがあるので、ソフトウェアの変更、追加、消去、移動やハードウェアの追加、交換などは行わないこと。

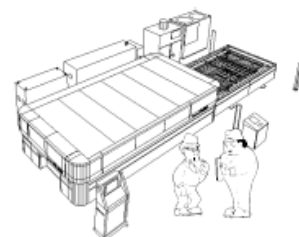


6.8 用途限定

- ・レーザ加工機は主に板金の切断、マーキング、溶接の用途に設計されている。メーカーが機械個別で許可している用途以外の目的には使用しないこと。

6.9 2人作業時の注意事項

- ・レーザ加工機の操作は、指名されたレーザ取扱作業者が単独で行うこと。複数の作業員で材料の搬入・搬出をするときは、常にお互いの作業状況を確認し合いながら行うこと。



6.10 レーザ取扱作業者の衣類・装身具等

- ・機械に引っかかり大怪我をすることがあるので、レーザ取扱作業時、ダブダブの衣類や装身具等は着用しないこと。
- ・レーザ取扱作業者は作業内容により安全帽、保護眼鏡、マスク、手袋、耳等



の保護具を着用すること。

- ・できるだけ皮膚の露出が少なく、燃えにくい素材を用いた衣服及び手袋を着用すること。特に溶融して玉状になる化学繊維の衣服は、好ましくない。

6.11 作業台・工具等

- ・数値制御装置、操作パネル、電源制御装置には強いショックを与えないこと。
- ・工具、材料などは常に整理整頓し、下記事項を厳守すること。
 - ア. 落下の恐れのないところに置くこと。
 - イ. 工具部品などを立てたり立てかけたりするときは転倒防止策を施すこと。
 - ウ. 積み重ねる必要があるときは、くずれ防止対策をすること。
- ・作業台を使用するときは、十分な強度があり、物品を置く面は滑落防止の措置を講じること。

6.12 雷雨・停電

- ・激しい落雷や頻繁に停電するときは、電源異常による事故を防ぐため、機械の運転を中止して工場側元電源を切ること。



6.13 可燃物の保管

- ・油類が染込んだボロ、紙くずおよび粉塵等の可燃物は、フタのある不燃性容器に収めたり火災の恐れのない場所に保管する等、火災防止のための措置を講じること。
(労働安全衛生規則 第2編第4章 第267条、第279条、第285条)
また、危険物(ここでは、主に石油類)は、消防法第3章第10条または市町村条例で定められた方法により保管すること。



6.14 レーザ加工機の故障、保守、事故の記録

- ・保守作業者は実施した保守作業の内容と結果を必ず記録用紙に記録し、レーザ機器管理者に報告して下さい。レーザ加工機の故障(事故)記録は一定期間保管すること。

6.15 医療用器具の誤動作、故障の防止

- ・ペースメーカーなどの医療用器具を使用している人が、レーザ加工機に近づかないようにすること。
レーザ加工機から発生する電磁波で医療用器具が誤動作したり、故障したりする可能性がある。



ペースメーカー使用者の接近禁止

6.16 機械可動部の防護

- ・レーザ加工機及びその周辺装置には各軸の可動部があり、触れたり、可動域へ接近したりすると、機械に巻き込まれたり挟まれる危険がある。機械可動部から身体を防護できるように、可動域の周りにカバー、光線式防護装置、安全マット、柵などを設置すること。

- ・レーザ加工機及びその周辺装置を設置する時には、機械可動部の移動端から、柱、壁、棚など障害物までの隙間は最小でも 500mm 以上を確保し、挟まれの人身事故を防止すること。
- ・材料の段取り、治具の交換、調整、保守点検目的などで可動域に近づく必要があるときは必ず所定の手順により動力を遮断し、動作部分が完全に停止したことを確認してから作業を行うこと。

7. 用語集

レーザー切断機取扱作業用安全講習会テキスト用語集

用語	意味
MAK値と低毒性 限界値	MAK 値とは、ドイツ語で最大許容労働場所濃度 (Maximale Arbeitsplatz-Konzentration) のことで、作業者が有害物質にさらされる場合に、空気中の濃度がこの数値以下であれば、ほとんど全ての作業者に健康上悪影響が見られないと判断される労働環境での許容最大濃度のことである。毒性として人体に被害を与えない限界を示すことから、低毒性限界値とも呼ばれる。
PEコート材	PE コート材とは耐久性を上げるため、ポリエチレンでコーティングされた材料のこと。屋外で使用されるものや塗装の代わりに用いられます。
SECC SGCC SPCC	板金加工に用いられる材料の種類で通常の鉄板は「冷間圧延鋼板」(SPCC)といい、正確には用途により一般用を SPCC、絞り用は SPCD、深絞り用は SPCE としている。冷延鋼板の両面に電気亜鉛メッキを行い、そのうえに燐酸溶液中で鋼板と浸漬加熱し鋼板表面に不溶解性皮膜を生成させたものが電気亜鉛めっき鋼板 (SECC) になる。加工性が良い、メッキ層は薄いですが室内で使う機器では錆の心配はいらない等の特徴がある。これも正確には一般用が SECC、絞り用が SECD、深絞り用が SECE となる。また、質量百分率で、97%以上の亜鉛を含むめっき鋼板において両面等厚の溶融亜鉛めっき鋼板を SGCC と言う。なかなか錆が生じない、耐食・耐久性に優れる等の特徴がある。(薄板の種類別分類と名称と記号の意味については JIS ハンドブック 2002 年度版にある。 (http://www.steel-union.com/database/jiskikaku.htm) SPCC: Steel, Plate, Cold, Commercial SECC: Steel, Electrolytic, Cold, Commercial SGCC: Steel, Galvanized, Cold, Commercial
ZnSe (セレン化亜鉛)	ZnSe (セレン化亜鉛) 単結晶は $0.5 \mu\text{m} \sim 22 \mu\text{m}$ の可視光から遠赤外まで対応し、赤外に高い透過率を示すことから、CO ₂ レーザに代表される赤外レーザー用のレンズなど幅広く利用されているが、粉末を吸い込む呼吸困難になるため取扱いに注意が必要。
アセトン (Acetone) (可燃材)	有機溶媒として広く用いられる有機化合物で、水、アルコール類、クロロホルム、エーテル類、ほとんどの油脂をよく溶かすので、汚れを落とす素材としてよく使われる。常温で高い揮発性を有し、強い引火性があるため、取扱い時には火気に厳重な注意が必要。
ウェス (可燃材)	機械類の油を拭き取ったり、汚れ・不純物などを拭き取ってきれいにするために用いる布のこと。Waste (英語ウエスト: 無駄・くず・ぼろ・廃棄物) から、訛ってウェスと呼ばれるようになった。精密機械や光学機器を拭く場合には繊維クズが出るとこれら機器に悪影響があるため、この繊維クズ

	が出ることを避けるため、パルプでできたウエスや不織布も見られる。
オイルフリース(可燃材)	オイルがついたフリース(ペットボトルから作られたポリエステル製の布)のこと。
カーフ幅	カーフとはレーザーによる切断で出来る溝のことでこの溝の幅をカーフ幅といい、スポットサイズとトリミングされる材料により、カーフ幅が決まる。
サクシヨユニット	何かを吸い込む為の装置のこと。
スパークキャッチャー	何かから出た火花が別のものに引火しないように火花を受けるもの。
スパッタ (Spatter)	ガス溶接、アーク溶接、或いはレーザー溶接及び切断時などに溶融部から飛散する微粒子。粒径は、約 1 μm ~ 数 mm。塗装欠陥などの原因になり品質に悪影響を与える。
スラグ	金属の切断時に、溶融した金属から分離して出る金属のかすのこと。(主にガス切断時にスラグと呼ぶ。)
セレン風	レーザー加工機に使われる集光レンズはセレンか亜鉛でできているが、これがレーザービームを吸収し、熱作用で毒性のあるセレン化合物を発生する。この中でセレン化水素の蒸気が熱作用で舞う事をセレン風と呼ぶ。微量でも鼻や目の粘膜組織に悪影響を与えるため、風下の作業者は避難させる必要がある。
ダイボード	木型のベースとなるものを「ダイボード」と言い、ベニヤ板が主流だが、アクリル・ABSなどの樹脂板や、アルミ・鉄といった精度を要求される場合の金属ベースもある。
テルミット反応	金属酸化物と金属アルミニウムとの粉末混合物にスパッタなどにより着火すると、アルミニウムは金属酸化物を還元しながら高温を発生する。すなわち、高温の光を発生する。これをテルミット反応という。
ドロス	酸化燃焼された材料のこと(酸化物)をドロスと言う。主にレーザー加工の場合切断の溶融物が素材に付着し、玉状や、つらら状に付着したものを示す。ドロスが付着していない状態をドロスフリーという。
ピアッシング	切断の開始時にスタート穴を開けることをピアッシングという。ピアッシングが完了していないままで切断を開始するとスパッタが吹き上がるなどの危険がある。
ヒヤリハット事例	事故には至らないが、ひやりとしたことあるいはハットとした事例など。
ヒューム (Fume)	ヒュームとは溶接作業などで発生した金属蒸気が凝集して微細な粒子となったもの。
溶融	物が熱を受けて液体になること。(レーザー光により材料が溶かされることを示す)

リターダ	フェイズリターダ(Phase Retarder)のことで、光の偏光状態を変換するミラー。レーザ加工機においては、直線偏光のレーザビームを円偏光のレーザビームに変換する目的で使用される。(円偏光ミラー)
励起 (Excitation)	電子が、光、熱、電場、磁場などの影響によって引き起こされることで、最小エネルギー状態(基底状態)から、高エネルギー状態になること。(エネルギー放出前状態になること。)
レーザ (Laser)	レーザ(Laser)とは、光(電磁波)を増幅し、コヒーレントな光を発生させる装置(レーザ装置)またはその光(レーザ光)をさす。レーザ光は指向性や収束性に優れており、また、発生する電磁波の波長を一定に保つことができる。レーザの名は、Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation(輻射の誘導放出による光増幅)の頭字語(アクロニム)から名付けられた。レーザ光は、可視光領域の電磁波であるとは限らない。紫外線やX線などのより短い波長、また赤外線のようなより長い波長のレーザ光を発生させる装置もある。ミリ波より波長の長い電磁波のものはメーザーと呼ぶ。
ワーク	ワークとは加工機で加工作業をする材料のこと。ワークを乗せる作業台をワークテーブルと呼ぶ。

8. 警告銘板集

【主要警告銘板一覧】

ほとんどの事故は安全規則を守らない事から発生します。ここでは、レーザー加工機メーカーが使用する各種の警告銘板についてその一般的な意味とそれらがレーザー加工機で使用された場合の意味の両方を理解して頂くために、主要なものを一覧表にしました。

それらの銘板には危険のレベルに応じて、3つの分類がされています。









まずは3つに危険のレベルを使い分けていることを理解して頂き、その上でご覧ください。

「**危険**」: その危険が回避されなかった場合、死亡又は重度の障害を負うことになる切迫した潜在的な危険状況を示します。

「**警告**」: その危険が回避されなかった場合、死亡又は重度の障害を負う可能性がある潜在的な危険状況を示します。

「**注意**」: その危険が回避されなかった場合、中程度または軽度の障害を負う可能性がある潜在的な危険状況を示します。

ロゴ	ロゴの一般的意味	禁止事項(レーザー加工機での意味)
	危険のシンボルマーク	危険のシンボルマーク
	電磁界あり。	電磁界への警告シンボルマーク
	危険	危険のシンボルマーク
	警告	警告のシンボルマーク
	注意	注意のシンボルマーク
	感電の危険あり。注意下さい。	これは受電部分に貼られています。触ると感電し、火傷や死亡の恐れがありますので、触らないで下さい。
	高温の部分です。注意下さい。	レーザー加工材は加工時に高温になっています。すぐ触ると火傷の恐れがありますので、作業直後は触らないで下さい。
	回転する物があります。注意下さい。	これは、チラーキャビネットに貼られています。チラー内部にあるファンが冷却の為、回転します。ケガや骨折になる恐れがありますので、作業時にはチラー部は絶対開けないで下さい。
	挟まれたり、踏まれたりしないように注意下さい。	これはスライド式可動部分に貼られています。動作部分で挟まれるとケガや骨折の恐れがありますので、動作中は近づかないで下さい。
	手や腕が巻き込まれない様注意下さい。	これは回転可動部の近くに貼られています。回転部に巻き込まれるとケガや骨折の恐れがありますので、触らないで下さい。
	指が切断される恐れがありますので、注意下さい。	これはレーザーの照射部分近くに貼られています。レーザー光により手や指を切断する恐れがありますので、動作中は手を近づけないで下さい。
	頭上に注意下さい。	これは頭上の可動部付近に貼られています。可動部に立ち入ると、ケガや死亡の恐れがありますので、動作中は立ち入りしないで下さい。
	足下に注意下さい。	この銘板が貼ってある付近の床は、つまづいて転倒する可能性があります。足元に注意してください。
	引火の恐れ有り。火気厳禁です。	これは付近に引火の可能性があるものがある場合に貼られているものです。絶対に火は近づけないようにして下さい。
	開口部に注意して下さい。	これは加工機の開口部カバーに貼られているものです。運転中は開口部にはたたないよう、また安全運転扉も開けないようにして下さい。

	取扱説明書を良く読んで下さい。	使用前に必ず取扱説明書を読むようにして下さい。
	高電圧に注意して下さい。	これは高電圧がかかっている部分に貼られているものです。保守点検の時は必ず電源を切ってください。
	手を入れないように注意下さい。	開閉式カバーに貼ってあるものです。開閉時に手を入れないようにして下さい。
	手が巻き込まれないよう注意下さい。	ベルト伝導部近くに貼ってあるものです。安全カバーをあけたままで動くベルトに手を近づけないようにして下さい。
	手を近づけないよう注意下さい。	加工機のアームの付近に貼ってあるものです。運転中はアームの可動域に近づくと危険ですので近づかないようにして下さい。
	上に乗らないように注意下さい。	作業台の上に貼ってあります。ここに乗ると落下、踏み外し等の恐れがありますので、乗らないようにして下さい。
	強力な磁界に注意下さい。	加工機の磁石機能のある付近に貼ってあります。この付近は強力磁界があるので、ペースメーカーを埋め込んだ人や時計など磁力の影響を受けるものは近づけないで下さい。
	光に注意下さい。 (眼鏡を付けるように)	有害なUV光が当たるところやその付近に貼ってあります。有害UV光が直接眼や皮膚に当たると障害を受けます。保護眼鏡や手袋の着用をして下さい。
	爆発や火災に注意下さい。	加工機あるいは加工機周囲の火災注意を喚起する銘板。加工機周辺への可燃物設置の禁止、油分を含んだ圧縮空気の使用禁止、発火し易いレーザー粉塵の清掃と分別廃棄等を促しています。
	粉塵・ガスなどが有るので、吸わないよう注意下さい。	粉塵がたまりやすいところに貼ってあります。粉塵により喉や肺を痛める恐れがありますので、加工時には作業場の換気を行って下さい。
	手が巻き込まれないよう注意下さい。	加工機のノズルやフレームのある近くに貼ってあります。ノズルやフレームに手を挟まれると、怪我をするおそれがありますので、手を近づけないで下さい。
	液の飛び出しなどに注意下さい。	タンクに貼ってあります。タンクよりキャップ、フィルターノンスパッタ液が飛び出す恐れがありますので、タンク注入口やフィルタを取り外す時は液圧を抜いてから、キャップを開けて下さい。
	近づけると手を怪我するから注意下さい。	ATC(自動工具交換装置)付近に貼ってあります。運転中は怪我をするおそれがありますので、ATC運転可動域に入らないで下さい。
	滑って転ばぬよう注意下さい。	滑りやすい箇所に貼ってあります。転倒事故を防ぐため、床面に油や水がこぼれていないことを確認して注意して下さい。

9. 関係法令

レーザ加工機の取扱作業者が実作業をするにあたり、危険回避の為の注意、禁止事項を列挙してきたが、ここではそれらの諸注意、禁止事項の基となっている関連法令・通達等をリストアップした。

9.1 JISC6802 レーザ製品の安全基準

レーザ製品に対する安全基準が JIS で定められている。この詳細情報については、直接(財)日本規格協会に照会ください。(JIS は著作権法により無断での複製、転載等を禁止している。)

9.2 労働安全衛生法

第10条 (総括安全衛生管理者)

事業者は、政令で定める規模の事業場ごとに、厚生労働省令で定めるところにより、総括安全衛生管理者を選任し、その者に安全管理者、衛生管理者又は第25条の2第二項の規定により技術的事項を管理する者の指揮をさせるとともに、次の業務を統括管理させなければならない。

- 一 労働者の危険又は健康障害を防止するための措置に関すること。
- 二 労働者の安全又は衛生のための教育の実施に関すること。
- 三 健康診断の実施その他健康の保持増進のための措置に関すること。
- 四 労働災害の原因の調査及び再発防止対策に関すること。
- 五 前各号に掲げるもののほか、労働災害を防止するため必要な業務で、厚生労働省令で定めるもの。

2 総括安全衛生管理者は、当該事業場においてその事業の実施を統括管理する者をもつて充てなければならない。

3 都道府県労働局長は、労働災害を防止するため必要があると認めるときは、総括安全衛生管理者の業務の執行について事業者に勧告することができる。

第20条 (危険防止措置)

事業者は、次の危険を防止するため必要な措置を講じなければならない。

- 一 機械、器具その他の設備(以下「機械等」という。)による危険
- 二 爆発性の物、発火性の物、引火性の物等による危険
- 三 電気、熱その他のエネルギーによる危険

第22条 (事業者の講ずべき措置等)

事業者は、次の健康障害を防止するため必要な措置を講じなければならない。

- 一 原材料、ガス、蒸気、粉じん、酸素欠乏空気、病原体等による健康障害
- 二 放射線、高温、低温、超音波、騒音、振動、異常気圧等による健康障害
- 三 計器監視、精密工作等の作業による健康障害
- 四 排気、排液又は残さい物による健康障害

第59条、(事業者の安全衛生教育の義務)

事業者は、労働者を雇い入れたときは、当該労働者に対し、厚生労働省令で定めるところにより、その従事する業務に関する安全又は衛生のための教育を行なわなければならない。

2 前項の規定は、労働者の作業内容を変更したときについて準用する。

3 事業者は、危険又は有害な業務で、厚生労働省令で定めるものに労働者をつかせるときは、厚生労働省令で定めるところにより、当該業務に関する安全又は衛生のための特別の教育を行わなければならない。

第60条（事業者の安全衛生教育の義務）

事業者は、その事業場の業種が政令で定めるものに該当するときは、新たに職務につくこととなつた職長その他の作業中の労働者を直接指導又は監督する者（作業主任者を除く。）に対し、次の事項について、厚生労働省令で定めるところにより、安全又は衛生のための教育を行わなければならない。

- 一 作業方法の決定及び労働者の配置に関すること。
- 二 労働者に対する指導又は監督の方法に関すること。
- 三 前二号に掲げるもののほか、労働災害を防止するため必要な事項で、厚生労働省令で定めるもの

第60条の2

事業者は、前二条に定めるもののほか、その事業場における安全衛生の水準の向上を図るため、危険又は有害な業務に現に就いている者に対し、その従事する業務に関する安全又は衛生のための教育を行うように努めなければならない。

2 厚生労働大臣は、前項の教育の適切かつ有効な実施を図るため必要な指針を公表するものとする。

3 厚生労働大臣は、前項の指針に従い、事業者又はその団体に対し、必要な指導等を行うことができる。

第66条（健康診断）

事業者は、労働者に対し、厚生労働省令で定めるところにより、医師による健康診断を行わなければならない。

2 事業者は、有害な業務で、政令で定めるものに従事する労働者に対し、厚生労働省令で定めるところにより、医師による特別の項目についての健康診断を行わなければならない。有害な業務で、政令で定めるものに従事させたことのある労働者で、現に使用しているものについても、同様とする。

3 事業者は、有害な業務で、政令で定めるものに従事する労働者に対し、厚生労働省令で定めるところにより、歯科医師による健康診断を行わなければならない。

4 都道府県労働局長は、労働者の健康を保持するため必要があると認めるときは、労働衛生指導医の意見に基づき、厚生労働省令で定めるところにより、事業者に対し、臨時の健康診断の実施その他必要な事項を指示することができる。

5 労働者は、前各項の規定により事業者が行なう健康診断を受けなければならない。ただし、事業者の指定した医師又は歯科医師が行なう健康診断を受けることを希望しない場合において、他の医師又は歯科医師が行なうこれらの規定による健康診断に相当する健康診断を受け、その結果を証明する書面を事業者に提出したときは、この限りでない。

9.3 労働安全衛生規則

第35条（事業者の雇入れ時等の教育）

事業者は、労働者を雇入れ、又は労働者の作業内容を変更したときは、当該労働者に対し、遅滞なく、次の事項のうち当該労働者が従事する業務に関する安全又は衛生のため必要な事項について、教育を行わなければならない。ただし、令第2条第三号に掲げる業種の事業場の労働者については、

第一号から第四号までの事項についての教育を省略することができる。

- 一 機械等、原材料等の危険性又は有害性及びこれらの取扱い方法に関すること。
- 二 安全装置、有害物抑制装置又は保護具の性能及びこれらの取扱い方法に関すること。
- 三 作業手順に関すること。
- 四 作業開始時の点検に関すること。
- 五 当該業務に関して発生するおそれのある疾病の原因及び予防に関すること。
- 六 整理、整頓(とん)及び清潔の保持に関すること。
- 七 事故時等における応急措置及び退避に関すること。
- 八 前各号に掲げるもののほか、当該業務に関する安全又は衛生のために必要な事項

2 事業者は、前項各号に掲げる事項の全部又は一部に関し十分な知識及び技能を有していると認められる労働者については、当該事項についての教育を省略することができる。

第263条（ガス等の容器の取扱—高圧ガス容器取扱）

事業者は、ガス溶接等の業務(令第20条第十号(可燃性ガス及び酸素を用いて行なう金属の溶接、溶断又は加熱の業務。))以下同じ。)に使用するガス等の容器については、次に定めるところによらなければならない。

- 一 次の場所においては、設置し、使用し、貯蔵し、又は放置しないこと。
 - イ 通風又は換気の不十分な場所
 - ロ 火気を使用する場所及びその附近
 - ハ 火薬類、危険物その他爆発性若しくは発火性の物又は多量の易燃性の物を製造し、又は取り扱う場所及びその附近
- 二 容器の温度を四十度以下に保つこと。
- 三 転倒のおそれがないように保持すること。
- 四 衝撃を与えないこと。
- 五 運搬するときは、キヤツプを施すこと。
- 六 使用するときは、容器の口金に付着している油類及びじんあいを除去すること。
- 七 バルブの開閉は、静かに行なうこと。
- 八 溶解アセチレンの容器は、立てて置くこと。
- 九 使用前又は使用中の容器とこれら以外の容器との区別を明らかにしておくこと。

第267条（油等の浸染したボロ等の処理）

事業者は、油又は印刷用インキ類によつて浸染したボロ、紙くず等については、不燃性の有がい容器に収める等火災防止のための措置を講じなければならない

第279条（危険物等がある場所における火気等の使用禁止）

事業者は、危険物以外の可燃性の粉じん、火薬類、多量の易燃性の物又は危険物が存在して爆発又は火災が生ずるおそれのある場所においては、火花若しくはアークを発生し、若しくは高温となつて点火源となるおそれのある機械等又は火気を使用してはならない。

2 労働者は、前項の場所においては、同項の点火源となるおそれのある機械等又は火気を使用してはならない。

第285条（油類等の存在する配管又は容器の溶接等）

事業者は、危険物以外の引火性の油類若しくは可燃性の粉じん又は危険物が存在するおそれのある配管又はタンク、ドラムかん等の容器については、あらかじめ、これらの危険物以外の引火性の油類若しくは可燃性の粉じん又は危険物を除去する等爆発又は火

災の防止のための措置を講じた後でなければ、溶接、溶断その他火気を使用する作業又は火花を発生おそれのある作業をさせてはならない。

2 労働者は、前項の措置が講じられた後でなければ、同項の作業をしてはならない。

第313条（ガス集合溶接装置の管理等）

事業者は、ガス集合溶接装置を用いて金属の溶接、溶断又は加熱の作業を行なうときは、次に定めるところによらなければならない。

- 一 使用するガスの名称及び最大ガス貯蔵量を、ガス装置室の見やすい箇所に掲示すること。
- 二 ガスの容器を取り替えるときは、ガス溶接作業主任者に立ち合わせる事。
- 三 ガス装置室には、係員のほかみだりに立ち入ることを禁止し、かつ、その旨を見やすい箇所に掲示すること。
- 四 ガス集合装置から五メートル以内の場所では、喫煙、火気の使用又は火花を発生おそれのある行為を禁止し、かつ、その旨を見やすい箇所に掲示すること。
- 五 バルブ、コック等の操作要領及び点検要領をガス装置室の見やすい箇所に掲示すること。
- 六 導管には、酸素用とガス用との混同を防止するための措置を講ずること。
- 七 ガス集合装置の設置場所に適当な消火設備を設けること。
- 八 当該作業を行なう者に保護眼鏡及び保護手袋を着用させること。

第325条（強烈な光線を発散する場所）

事業者は、アーク溶接のアークその他強烈な光線を発散して危険のおそれのある場所については、これを区画しなければならない。ただし、作業上やむを得ないときは、この限りでない。

2 事業者は、前項の場所については、適当な保護具を備えなければならない。

第329条（電気機械器具の囲い等）

事業者は、電気機械器具の充電部分（電熱器の発熱体の部分、抵抗溶接機の電極の部分等電気機械器具の使用の目的により露出することがやむを得ない充電部分を除く。）で、労働者が作業中又は通行の際に、接触（導電体を介する接触を含む。以下この章において同じ。）し、又は接近することにより感電の危険を生ずるおそれのあるものについては、感電を防止するための囲い又は絶縁覆（おおい）を設けなければならない。ただし、配電盤室、変電室等区画された場所で、事業者が第36条第四号の業務に就いている者（以下「電気取扱者」という。）以外の者の立入りを禁止したところに設置し、又は電柱上、塔上等隔離された場所で、電気取扱者以外の者が接近するおそれのないところに設置する電気機械器具については、この限りでない。

第335条（電気機械器具の操作部分の照度）

事業者は、電気機械器具の操作の際に、感電の危険又は誤操作による危険を防止するため、当該電気機械器具の操作部分について必要な照度を保持しなければならない。

第353条（電気機械器具の囲い等の点検等）

事業者は、第329条の囲い及び絶縁覆（おおい）について、毎月一回以上、その損傷の有無を点検し、異常を認めるときは、直ちに補修しなければならない。

第576条（有害原因の除去）

事業者は、有害物を取り扱い、ガス、蒸気又は粉じんを発生し、有害な光線又は超音波にさらされ、騒音又は振動を発生し、病原体によつて汚染される等有害な作業場においては、その原因を除去するため、代替物の使用、作業の方法又は機械等の改善等必要な措置を講じなければならない。

第577条（ガス等の発散の抑制）

事業者は、ガス、蒸気又は粉じんを発散する屋内作業場においては、当該屋内作業場における空気中のガス、蒸気又は粉じんの含有濃度が有害な程度にならないようするため、発散源を密閉する設備、局所排気装置又は全体換気装置を設ける等必要な措置を講じなければならない。

第579条（排気の処理）

事業者は、有害物を含む排気を排出する局所排気装置その他の設備については、当該有害物の種類に応じて、吸収、燃焼、集じんその他の有効な方式による排気処理装置を設けなければならない。

第583条の2（騒音を発する場所の明示等）

事業者は、強烈な騒音を発する屋内作業場における業務に労働者を従事させるときは、当該屋内作業場が強烈な騒音を発する場所であることを労働者が容易に知ることができるよう、標識によつて明示する等の措置を講ずるものとする。

第584条（騒音の伝播の防止）

事業者は、強烈な騒音を発する屋内作業場においては、その伝ばを防ぐため、隔壁を設ける等必要な措置を講じなければならない。

第585条（立入禁止等）

事業者は、次の場所には、関係者以外の者が立ち入ることを禁止し、かつ、その旨を見やすい箇所に表示しなければならない。

- 一 多量の高熱物体を取り扱う場所又は著しく暑熱な場所
- 三 有害な光線又は超音波にさらされる場所
- 五 ガス、蒸気又は粉じんを発散する有害な場所
- 六 有害物を取り扱う場所

2 労働者は、前項の規定により立入りを禁止された場所には、みだりに立ち入ってはならない。

第593条（呼吸用保護具等）

事業者は、著しく暑熱又は寒冷な場所における業務、多量の高熱物体、低温物体又は有害物を取り扱う業務、有害な光線にさらされる業務、ガス、蒸気又は粉じんを発散する有害な場所における業務、病原体による汚染のおそれの著しい業務その他有害な業務においては、当該業務に従事する労働者に使用させるために、保護衣、保護眼鏡、呼吸用保護具等適切な保護具を備えなければならない。

第597条（労働者の使用義務）

第593条から第595条までに規定する業務に従事する労働者は、事業者から当該業務に必要な保護具の使用を命じられたときは、当該保護具を使用しなければならない。

9.4 粉じん障害防止規則（S54年労働省令第18号）

第5条（換気の実施等）

第6条（換気の実施等）

第27条（呼吸用保護具の使用）

9.5 高圧ガス保安法

第5条（製造の許可等）

第15条（貯蔵）

第16条（貯蔵所）

第17条の2（貯蔵所）

9.6 高圧ガス保安法施行令

第3条（制令で定めるガスの種類等）

第4条（制令で定めるガスの種類等）

第5条（制令で定めるガスの種類等）

9.7 一般高圧ガス保安規則

第18条（貯蔵の方法に係る技術上の基準）

第19条（貯蔵の規則を受けない容積）

第55条（特定高圧ガスの消費者に係る技術上の基準）

第60条の10（その他消費に係わる技術上の基準）

可燃性ガス又は酸素の消費に使用する設備（家庭用設備を除く。）から五メートル以内においては、喫煙及び火気（当該設備内のものを除く。）の使用を禁じ、かつ、引火性又は発火性の物を置かないこと。ただし、火気等を使用する場所との間に当該設備から漏えいしたガスに係る流動防止措置又は可燃性ガス若しくは酸素が漏えいしたときに連動装置により直ちに使用中の火気を消すための措置を講じた場合は、この限りでない。

第102条（第一種貯蔵所に係わる貯蔵容積の算定方法）

9.8 基発第39号（61年1月27日）「レーザ光線による障害の防止対策要綱」、

基発第0325002号（H17年3月25日）「レーザ光線による障害の防止対策について」改正

この章では基発第39号に基発第0325002号の改正箇所を反映し、クラス4のレーザ機器に係る内容を記載した。

レーザ光線は、高密度のエネルギーとして切断、開孔、溶接等各種材料の加工に、また均質な電磁波として計測、通信、情報処理等に、さらに医療等にも利用されており、今後においてもその利用分野は一層拡大していくものと予想されるが、特に、レーザ加工等の分野においては、レーザ光線は、大量のエネルギーを小さな面積に集中させて高密度のエネルギーを利用するものであるため、レーザ光線に対する労働衛生上の配慮が十分でないと、眼障害、皮膚障害等の発生が懸念される状況となってきたところである。

今般、労働省においては、レーザ光線の使用実態、各種調査研究結果等を踏まえ、レーザ光線にさらされるおそれのある業務における障害を防止するため、別紙のとおり「レーザ光線による障害防止対策要綱」を策定したので、これにより関係事業者等を指導されたい。

なお、レーザ光線の利用に関する技術が急速に進展している状況にあることに鑑み、本要綱に従って指導する際に疑義が生じた場合には、その旨を本省あて報告されたい。

おって、わが国におけるレーザ光線の主要な応用技術一覧（参考1）、レーザ光線の人体に与える影響（参考2）及びレーザ光線の安全衛生基準に関する各国の動向（参考3）を添付するので、業務の参考とされたい。

別 紙

レーザー光線による障害防止対策要綱

1. 目 的

この要綱は、レーザー機器を取扱う業務又はレーザー光線にさらされるおそれのある業務（以下「レーザー業務」という。）に常時従事する労働者（以下「レーザー業務従事者」という。）の障害を防止することを目的とする。

2. 用 語

本要綱において用いる用語の意味は、次のとおりとする。

- (1) レーザー(LASER : Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)光線特定の物質に人工的に光や放電などの強いエネルギーを与えて励起させ、それが元の状態に戻るときに発生する電磁波を制御された誘導放射の過程により増幅させたものをいう。レーザー光線は、180nmから1mm(注)までの波長域にあり、単一波長で位相のそろった指向性の強いものである。

注)nm:ナノメートル=10⁻⁹m

- (2) レーザー発振器
レーザー光線を生成し、又は増幅することができる機器をいう。
- (3) レーザー機器
レーザー光線を計測、通信、加工等に利用するための機器をいう。レーザー機器は、レーザー発振器、レーザー光路、加工テーブル、制御装置、電源装置等から構成される。
- (4) 被ばく放出限界(AEL : Accessible Emission Limits)
レーザー光線の波長と放射持続時間に応じて、人体に許容されるレーザー光線の最大被ばく放出レベルをいう。
- (5) レーザー機器のクラス
レーザー機器のクラス分けは、日本工業規格 C6802「レーザ製品の安全基準」の「8.クラス分け」によるものとする。
各等級(クラス)の意義は、以下の通りである。
クラス1 : 人体に障害を与えない低出力(おおむね 0.39 μW以下(注))の下)のもの。
クラス2 : 可視光(波長 400nm~700nm)で、人体の防御反応により障害を回避し得る程度の出力以下(おおむね1mW以下)のもの。
クラス1M、クラス2M、クラス3R: 光学的手段でのビーム内観察は危険で、放出レベルがクラス2の出力の5倍以下(おおむね5mW以下)のもの。
クラス3B: 直接又は鏡面反射によるレーザー光線のばく露により眼の障害を生じる可能性があるが、拡散反射によるレーザー光線にばく露しても眼の障害を生じる可能性のない出力(おおむね 0.5W以下)のもの。
クラス4 : 拡散反射によるレーザー光線のばく露でも眼に障害を与える可能性のある出力(おおむね 0.5Wを超える)のもの。

注)1W=10³mW=10⁶μW

3. 適用範囲

この要綱は、クラス1M、クラス2M、クラス3R、クラス3B 及びクラス4のレーザー機器を用いて行うレーザー業務について適用する。

ただし、当分の間、医療用及び教育研究機関における教育研究用のレーザー機器を用いて行うレーザー業務については適用しない。

4. レーザー光線による障害を防止するための措置

- (1) 労働衛生管理体制の整備

労働安全衛生法の規定による労働衛生管理体制の整備を図るほか、クラス 3R(400nm～700nm の波長域外のレーザー光線を放出するレーザー機器に限る。)、クラス 3B 及びクラス 4 のレーザー機器については、レーザー機器の取扱い及びレーザー光線による障害の防止について十分な知識と経験を有する者のうちからレーザー機器管理者を選任し、次に掲げる事項を行わせること。

- イ レーザー光線による障害防止対策に関する計画の作成及び実施
 - ロ レーザー管理区域(レーザー機器から発生するレーザー光線にさらされるおそれのある区域をいう。以下同じ。)の設定及び管理
 - ハ レーザー機器を作動させるためのキー等の管理
 - ニ レーザー機器の点検、整備及びそれらの記録の保存
 - ホ 保護具の点検、整備及びその使用状況の監視
 - ヘ 労働衛生教育の実施及びその記録の保存
 - ト その他レーザー光線による障害を防止するために必要な事項
- なお、衛生管理者を選任すべき事業場にあつては、上記のレーザー機器管理者が行う業務は、衛生管理者の指揮のもとで行わせるものとする。
- (2) レーザー機器のクラス別措置基準
- レーザー機器のクラス分けに応じ、別紙1に掲げる「レーザー機器のクラス別措置基準」に基づいて必要な措置を講じること。

別紙 1

レーザー機器のクラス別措置基準

I クラス4のレーザー機器に係る措置

1. レーザー管理区域

- (1) レーザー管理区域を囲い等により、他の区域と区画し、標識等によって明示すること。
- (2) レーザー管理区域は、関係者以外の者の立入りを禁止し、その出入口には必要に応じ、自動ロック等の措置を講じること。
- (3) 関係者以外の者がレーザー管理区域に立入る必要が生じた場合は、レーザー機器管理者の指揮のもとに行動させること。

2. レーザー機器

(1) レーザー光路に対する措置

- イ レーザー光路は、作業者の目の高さを避けて設置すること。
- ロ レーザー光路は、可能な限り短く、折れ曲がる数を最小にし、歩行路その他の通路と交差しないようにするとともに、可能な限り遮へいすること。
- ハ レーザー光路の末端は、適切な反射率及び耐熱性を持つ拡散反射体又は吸収体とすること。

(2) キー・コントロール

レーザー機器は、キー等により作動する構造とすること。

(3) 緊急停止スイッチ等

レーザー機器には、次に掲げる緊急停止スイッチ等を設けること。

イ 緊急停止スイッチ

レーザー光線の放出を直ちに停止させることができる非常停止スイッチを操作部及び必要な箇所に設けること。

ロ 警報装置

レーザー光線を放出中であること又は放出可能な状態であることが容易に確認できる

自動表示灯等の警報装置を設けること。

ハ シャッター

レーザー機器のレーザー光線の放出口には、不意にレーザー光線が放出されることを防止するためのシャッターを設けること。

(4) インターロックシステム等

レーザー管理区域の囲いを開け、又はレーザー光路のしゃへいを解除した場合には、インターロック機能等によりレーザー光線の放出が行われないようにすること。

(5) レーザー光線の放出口には、その旨の表示を行うこと。

3. 作業管理・健康管理等

(1) レーザー機器の操作

レーザー機器の操作は、レーザー光路からできるだけ離れた位置で行うこと。

(2) 光学系調整時の措置

レーザー光線により光学系の調整を行う場合は、調整に必要な最小の出力のレーザー光線により行うこと。

(3) 保護具等の使用

- イ レーザー光線の種類に応じた有効な保護眼鏡(注)を作業者に着用させること。
ただし、眼に障害を及ぼさないための措置が講じられている場合はこの限りではない。
注)レーザー用保護眼鏡(メガネ形式とゴーグル形式がある。)を用いること。
- ロ できるだけ皮膚の露出が少なく、燃えにくい素材を用いた衣服を作業者に着用させること。特に溶融して玉状になる化学繊維の衣服は、好ましくないこと。

(4) 点検・整備

イ 作業開始前に、レーザー機器管理者にレーザー光路、インターロック機能等及び保護具の点検を行わせること。

ロ 一定期間以内ごとに、レーザー機器について専門的知識を有する者に次の項目を中心にレーザー機器を点検させ、必要な整備を行わせること。

- [1] レーザー光線の出力、モード、ビーム径、広がり角、発振波長等の異常の有無
- [2] 入力電力、励起電圧・電流、絶縁、接地等の異常の有無
- [3] 安全装置、自動表示灯、シャッター、インターロック機能等の作動状態の異常の有無
- [4] パワーメーター、パワーモニター等の異常の有無
- [5] ファン、シャッターその他の可動部分の異常の有無
- [6] 冷却装置、ガス供給装置、有害ガス除去装置、粉じん除去装置等の異常の有無

(5) 安全衛生教育

レーザー業務に従事する労働者を雇い入れ、若しくは労働者の作業内容を変更して当該業務につかせ、又は使用するレーザー機器を変更したときは、労働安全衛生法第59条第1項又は第2項

に基づく教育を行うこと。この場合、特に次の事項が含まれるよう留意すること。

- [1] レーザー光線の性質、危険性及び有害性
- [2] レーザー機器の原理及び構造
- [3] レーザー機器の取扱い方法
- [4] 安全装置及び保護具の性能並びにこれらの取扱い方法
- [5] 緊急時の措置及び退避

(6) 健康管理

レーザー業務従事者については、雇い入れ又は配置替えの際に視力検査に併せて前

眼部(角膜、水晶体)検査及び眼底検査行うこと。

4. その他

- (1) レーザー管理区域の出入口等の見やすい箇所に次の事項を掲示すること。
 - イ レーザー機器管理者の氏名
 - ロ レーザー光線の危険性、有害性及びレーザー機器取扱い上注意すべき事項
 - ハ レーザー機器の設置を示す表示
- (2) レーザー機器の高電圧部分には、その旨を表示するとともに、当該部分に接触することによる感電の危険を防止するための措置を講じること。
- (3) レーザー管理区域内には、爆発性の物、引火性の物等を持ち込まないこと。
- (4) レーザー業務を行う際、有害ガス、粉じん等が発生する場合には、これらによる健康障害を防止するため、密閉設備、局所排気装置等の設置、防毒マスク、防じんマスクの使用等労働安全衛生法令所定の措置を講じること。
- (5) レーザー光線による障害の疑いのある者については、速やかに医師による診察又は処置を受けさせること。

レーザー機器のクラス別措置基準一覧表

措置内容(項目のみ)			レーザー機器のクラス			
			4	3B	3R	2M 1M
レーザー機器管理者の選任			○	○	○※1	
管理区域(標識、立入禁止)			○	○		
レーザー機器	レーザー光路	光路の位置	○	○	○	○
		光路の適切な設計・遮へい	○	○	○※1	
		適切な終端	○	○	○※1	○※2
	キーコントロール		○	○		
	緊急停止スイッチ等	緊急停止スイッチ	○	○		
		警報装置	○	○	○※1	
		シャッター	○	○		
	インターロックシステム等		○	○		
	放出口の表示		○	○	○	
	作業管理・健康管理等	操作位置		○		
光学系調整時の措置		○	○	○	○	
保護具		保護眼鏡	○	○	○※1	
		皮膚の露出の少ない作業衣	○	○		
		難燃性素材の使用	○			
点検・整備		○	○	○	○	
安全衛生教育		○	○	○	○	
健康管理	前眼部(角膜、水晶体)検査	○	○	○※1		

		眼底検査	○			
その他	掲示	レーザー機器管理者	○	○	○ ^{※1}	
		危険性・有害性、取扱注意事項	○	○	○	○
		レーザー機器の設置の表示	○	○		
		レーザー機器の高電圧部分の表示	○	○	○	○
		危険物の持ち込み禁止	○	○		
		有害ガス、粉じん等への措置	○	○		
		レーザー光線による障害の疑いのある者に対する医師の診察、処置	○	○	○	○

○印は、措置が必要なことを示す。

※1 400nm～700nmの波長域外のレーザー光線を放出するレーザー機器について措置が必要である。

※2 JIS規格10.6に掲げるレーザー機器にあつては、レーザー光路の末端について措置が必要である。

9.9 電波法第100条

発振器の種類により申請の必要なものがある。

電波法第100条で規定する高周波利用設備に該当するものが対象となる。

9.10 毒物及び劇物取締法

第2条別表第1第28号(制令で定めるもので規定される毒物)

セレン化亜鉛(ZnSe)は毒物に該当する。

第11条(毒物及び劇物の取扱)

毒物劇物営業者及び特定毒物研究者は、毒物又は劇物が盗難にあい、又は紛失することを防ぐのに必要な措置を講じなければならない。

2 毒物劇物営業者及び特定毒物研究者は、毒物若しくは劇物又は毒物若しくは劇物を含有する物であつて政令で定めるものがその製造所、営業所若しくは店舗又は研究所の外に飛散し、漏れ、流れ出、若しくはしみ出、又はこれらの施設の地下にしみ込むことを防ぐのに必要な措置を講じなければならない。

3 毒物劇物営業者及び特定毒物研究者は、その製造所、営業所若しくは店舗又は研究所の外において毒物若しくは劇物又は前項の政令で定める物を運搬する場合には、これらの物が飛散し、漏れ、流れ出、又はしみ出ることを防ぐのに必要な措置を講じなければならない。

4 毒物劇物営業者及び特定毒物研究者は、毒物又は厚生労働省令で定める劇物については、その容器として、飲食物の容器として通常使用される物を使用してはならない。

第15条の2(廃棄)

毒物若しくは劇物又は第十一条第二項に規定する政令で定める物は、廃棄の方法について政令で定める技術上の基準に従わなければ、廃棄してはならない。

9.11 毒物及び劇物取締法施行令(H9年3月24日制令第57号)

第40条(不要レンズ、破損レンズの廃棄)

法第15条の二の規定により、毒物若しくは劇物又は法第11条第二項に規定する政令で定める物の廃棄の方法に関する技術上の基準を次のように定める。

- 一 中和、加水分解、酸化、還元、稀釈その他の方法により、毒物及び劇物並びに法第11条第二項に規定する政令で定める物のいずれにも該当しない物とすること。
- 二 ガス体又は揮発性の毒物又は劇物は、保健衛生上危害を生ずるおそれがない場所で、少量ずつ放出し、又は揮発させること。
- 三 可燃性の毒物又は劇物は、保健衛生上危害を生ずるおそれがない場所で、少量ずつ燃焼させること。
- 四 前各号により難しい場合には、地下一メートル以上で、かつ、地下水を汚染するおそれがない地中に確実に埋め、海面上に引き上げられ、若しくは浮き上がるおそれがない方法で海水中に沈め、又は保健衛生上危害を生ずるおそれがないその他の方法で処理すること。

9.12 関係法規類(保護帽、防塵マスク、防毒マスク、遮光保護具等)

9.12.1 保護帽の規格

労働省告示第66号 (S50年)

附 則 (平三・六・五 労働省告示第三九号)

附 則 (平成一二・一一・二五 労働省告示第百二十号)

関連通達

基発第 746 号 昭和 50 年 12 月 17 日

基発第 474 号 平成 3 年 7 月 30 日

9.12.2 防じんマスクの規格

労働省告示第19号 (S63. 3. 30)

関連通達

基発第 686 号 平成 12 年 11 月 15 日

基発第 0207006 号 平成 17 年 2 月 7 日

9.12.3 防毒マスクの規格

労働省告示第68号 (H2. 9. 26)

関連通達

基発第 686 号 平成 12 年 11 月 15 日

基発第 831 号 平成 13 年 9 月 18 日

基発第 0207006 号 平成 17 年 2 月 7 日

9.12.4 防塵マスクの選択、使用

基発第 0207006 号 (平成 17 年 2 月 7 日)

9.12.5 防毒マスクの選択、使用

基発第 0207007 号 (平成 17 年 2 月 7 日)

9.12.6 遮光保護具の使用

基発第 773 号 (昭和 56 年 12 月 16 日)

9.12.7 騒音障害防止のためのガイドラインの策定について

基発第 546 号 (平成 4 年 10 月 1 日)

9.13 「機械の包括的な安全基準に関する指針」の改正について

基発第 0731001 号 平成 19 年 7 月 31 日

基発第 0731002 号 平成 19 年 7 月 31 日

9.14 消防法可燃性材料と液体の保管 第3章第10条 危険物

第10条 指定数量以上の危険物は、貯蔵所(車両に固定されたタンクにおいて危険物を貯蔵し、又は取り扱う貯蔵所(以下「移動タンク貯蔵所」という。)を含む。以下同じ。)以外の場所でこれを貯蔵し、又は製造所、貯蔵所及び取扱所以外の場所でこれを取り扱ってはならない。ただし、所轄消防長又は消防署長の承認を受けて指定数量以上の危険物を、十日以内の期間、仮に貯蔵し、又は取り扱う場合は、この限りでない。

○2 別表第一に掲げる品名(第十一条の四第一項において単に「品名」という。)又は指定数量を異にする二以上の危険物を同一の場所で貯蔵し、又は取り扱う場合において、当該貯蔵又は取扱いに係るそれぞれの危険物の数量を当該危険物の指定数量で除し、その商の和が一以上となるときは、当該場所は、指定数量以上の危険物を貯蔵し、又は取り扱っているものとみなす。

○3 製造所、貯蔵所又は取扱所においてする危険物の貯蔵又は取扱は、政令で定める技術上の基準に従ってこれをしなければならない。

○4 製造所、貯蔵所及び取扱所の位置、構造及び設備の技術上の基準は、政令でこれを定める。

おわりに

レーザー加工機の取扱作業用安全講習教材は意外と普及しておらず、設計者向の教材が主体となっている。レーザー光を用いたレーザー加工機を駆使して実際に切断作業を行う取扱作業用安全講習テキストは大変貴重なものであり、特に一般社団法人 日本鍛圧機械工業会のレーザー・プラズマ専門部会においては、レーザー加工機の基本構成を分かり易く体系的にまとめることに注力した。また具体的事故事例、警告銘板も掲載し、取扱作業者の現場・現物・現実に目線を合せた内容に編集することを目指した。

このテキストを活用し、多くのレーザー加工機の取扱作業者が安全講習セミナーを受講されることにより、レーザー加工における不慮の事故に遭うことを極力無くすことができれば、テキストの作成に尽力した関係者一同この上の喜びはありません。

改めてこのテキストの作成に多大なるご尽力を頂いた一般社団法人 日本鍛圧機械工業会レーザー・プラズマ専門部会の皆様へ深く感謝申し上げます。

一般社団法人 日本鍛圧機械工業会
事務局

2008年度 社団法人 日本鍛圧機械工業会 レーザー・プラズマ専門部会（法人格略）

部会長	小松製作所	鈴木 康夫
委員	アマダ	内野 幸雄
委員	エイチアンドエフ	武田 清
委員	向洋技研	橋爪 和裕
委員	小松製作所	林 清一
委員	トルンプ	岡 寛幸
委員	コマツ NTC	森 康之
委員	コータキ精機	本山 知義
事務局	日本鍛圧機械工業会	松本 憲治
事務局	日本鍛圧機械工業会	小島 眞一

2009～10年度 一般社団法人 日本鍛圧機械工業会 レーザー・プラズマ専門部会（法人格略）

部会長	アマダ	岡本 満夫
副部会長	アマダ	末岡 慎弘
委員	エイチアンドエフ	武田 清
委員	向洋技研	橋爪 和裕
委員	小松製作所	林 清一
委員	トルンプ	岡 寛幸
委員	コマツ NTC	森 康之
委員	コータキ精機	本山 知義
委員	中田製作所	佐藤 剛之
事務局	日本鍛圧機械工業会	松本 憲治
事務局	日本鍛圧機械工業会	楠田 富士盛

レーザ加工機取扱作業用安全講習テキスト 執筆者（法人格略）

章番号	会社	執筆者	タイトル
1	日本鍛圧機械工業会	事務局	本書のねらいと構成
2.1	コマツ産機	林 清一	レーザ加工の基礎
2.2	コマツ産機	林 清一	レーザ発振器
2.3	コマツ産機	林 清一	レーザ加工機システムの種類と構成
2.4	コマツ産機	林 清一	材料、ワーク搬出入系システム
2.5.1-2.5.2	エイチアンドエフ	武田 清	光学部品
2.5.3	向洋技研	橋爪 和裕	光ファイバ
2.6	アマダ	内野 幸雄	ヒューム処理装置
2.7	アマダ	内野 幸雄	エアガス配管および機器
2.7.4	コマツNTC	森 康之	レーザガス配管
2.7.5.5	コータキ精機	本山 知義	圧力調整器
3.1	アマダ	内野 幸雄	レーザ光
3.2	コマツNTC	森 康之	スパッタ
3.3	アマダ	内野 幸雄	酸素ガス
3.4	トルンプ	岡 寛幸	高圧ガス
3.5	コータキ精機	本山 知義	ヒューム、粉塵
3.6-3.7	エイチアンドエフ	武田 清	コート材の毒性/光学部品の毒性
3.8	コマツNTC	森 康之	高温火傷
3.9-3.10	トルンプ	岡 寛幸	高電圧、電磁波、磁界
4	アマダ	内野 幸雄	レーザの安全管理
5	アマダ	内野 幸雄	レーザ加工機運転時の安全チェック項目
	コマツ産機	林 清一	
	日本鍛圧機械工業会	事務局	
6	委員各社	全員	事故事例
7	委員各社	全員	用語集
8	委員各社	全員	警告銘板集
9	日本鍛圧機械工業会	事務局	関係法令

レーザー加工機取扱作業用安全講習テキスト

＝禁無断転載＝

2010年7月23日 初版発行
2010年11月18日 改訂版発行

制作・発行：一般社団法人 日本鍛圧機械工業会
レーザー・プラズマ専門部会
〒105-0011 東京都港区芝公園3丁目5番8号
機械振興会館 308号

電話：03-3432-4579

Fax：03-3432-4804

