

モーターサイクルにおけるレーザ応用技術

The Application of Laser Technology in Motorcycle

高橋尚久 Naohisa Takahashi 栗田洋敬 Hirotaka Kurita

技術本部 基盤技術研究室

要旨

レーザ光線は、SF小説や映画の世界から急速に身近な技術へと変わりつつある。初めて発振に成功してから40年近くなるが、今ではほとんどすべての領域における科学技術の向上に貢献してきた。自動車業界では、トヨタ・日産を中心にCO₂やYAGレーザの導入が進められているが、当社でもかなり早い時期にレーザ溶接を生産に導入している。また、鋼管の切断やAl-Si合金の表面改質といった、高エネルギーによる局部加工について研究してきたので、ここではそれぞれのレーザ加工技術のポイントに絞り紹介する。

1 はじめに

モーターサイクル（以下、M/Cという）は、エンジンと車体で構成され、これらに使われる材料は、図1に示すように、鉄鋼およびアルミニウム合金で全体の約80%を占める。エンジン部品に使用される金属材料は、主に铸造・鍛造・機械加工により製造され、車体部品ではプレス・溶接により製造される。

これらの部品に対する要求機能は、軽量・高強度であるが、M/C生産の特性上、多品種少量生産に対応できることが望まれる。

近年自動車業界では、レーザ装置の進歩と低価格化に伴い、レーザ切断やレーザ溶接が生産に導入されるようになってきた。しかし、従来の装置に比べ比較的高価なレーザを応用するには、かなりの高機能化あるいは精密化などのメリットが必要となる。

ここでは、ヤマハ発動機（株）（以下、当社という）でYAGレーザ溶接を使用して生産展開している部品の開発事例と、CO₂レーザ切断技術、およびYAGレーザによるアルミ合金の表面改質技術について紹介する。

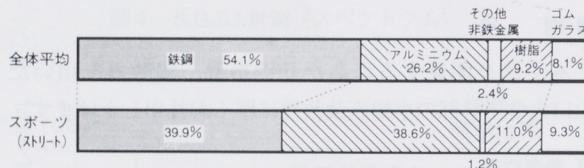


図1 モーターサイクルの使用材料比率

2 YAGレーザによる軽量化排気チャンバーの溶接

スポーツ系モデルに採用されている可変排気バルブシステム（以下、EXUPという）は、図2に示すように、高温の排気ガスをバルブの開閉により流量制御し、高トルク・高馬力を発揮させる⁽¹⁾。この排気チャンバーは、約600°Cの高温に耐えられる高剛性と高精度が要求されるため、当初ステンレス铸造品を機械加工することで製造していた。しかしこの方法は、円弧状の

バルブに相対する合面の機械加工が難しく、重量・コストとも増大する一因となっていた。そこで、軽量化とコスト低減の両立を目指し、図3に示したようなステンレス板金の溶接構造とし、機械加工並の寸法精度を達成するため、溶接組み立てにレーザ溶接を採用した⁽²⁾。

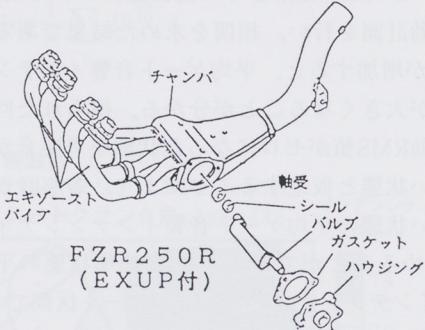


図2 EXUPの構成(Assy)

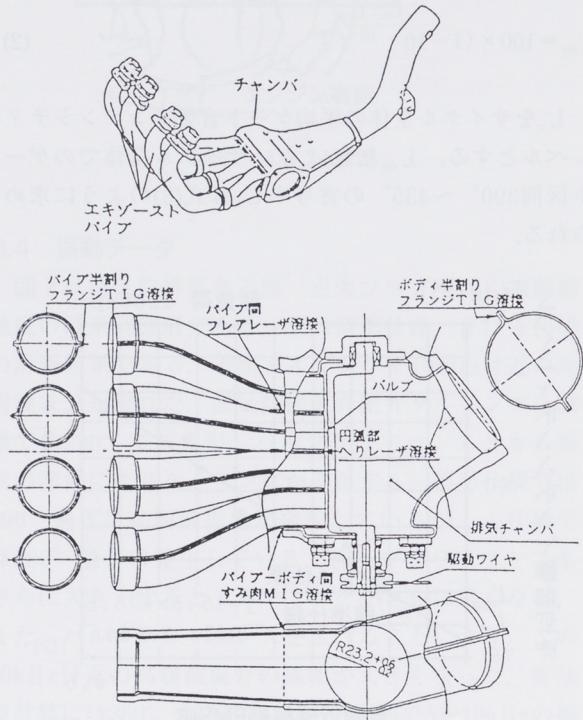


図3 レーザ溶接を用いた板金構造

2.1 レーザ溶接条件の設定

EXUPでは、4本の排気管が集合する部分に可変バルブがセットされるため、パイプ同士の溶接部には排気ガスのシール性、円弧形状の寸法精度、および高温・高振動に耐えうる溶接強度が必要である。そのため、深い溶け込みを得ることや生産ラインに導入しやすいことを考慮し、パルスYAGレーザによる溶接を選んだ。その装置の仕様および溶接条件を表1に示す。

表1 溶接条件

装置	YAGレーザ ML-2600B 時間二分岐
レンズ	焦点距離 $f = 70\text{mm}$
ファイバー	S I型 $\phi = 0.8\text{mm}$
デフォーカス	$+0.5\text{~}+1.0\text{mm}$
電圧	500~520V
パワー	12~13J/P
パルス数	5~5.5msec
パルス幅	15~17pps

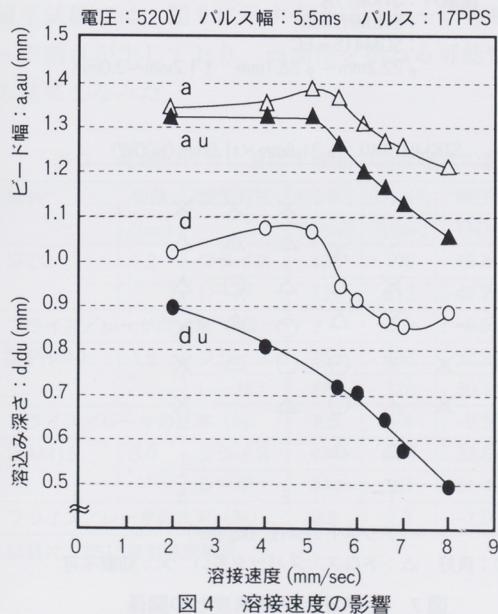
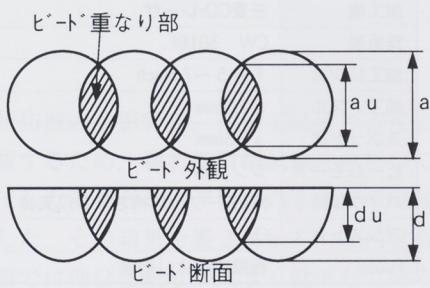


図4 溶接速度の影響

溶接条件は、パワー・レンズ・ファイバー径などを先に選定し、できるだけ溶接速度が上げられるように設定した。溶接速度を決める検討の一例として、溶け込み深さおよびビード幅との関係を図4に示した。溶接速度が速くなるとビード幅が急激に減少し、溶け込み深さも浅くなるため、パイプ間のクリアランスが広い場合、シール不良が発生する。よって速度は5mm/sec以下に設定した。パワーやパルス数は溶接速度とランプ寿命に関係が深いため、パルスの重なりにより溶け込みが深く、しかもコスト負担の少ない条件を選定した。

2.2 レーザ溶接導入の効果

EXUPチャンバー全体の溶接をレーザで行うにはコストがかかりすぎるため、4本の排気管の集合部を組み立てる部分のみに採用し、その他の溶接は、図3に示したように、安価なMIGおよびTIG溶接の併用とした。

実際の生産では、レーザビームと溶接線との誤差を極力減らすための工夫や、高精度のプレスとの組み付け技術を開発した。これにより機械加工並の精度を得ると共に、チャンバーの重量を30%，コストを20%減らすことができた。

3 レーザ切断の応用

M/Cのフレームやマフラーは、鋼管の成形加工と溶接で構成されている。これらの鋼管を定尺管から一定の長さに切り出すには、パイト切断やロール切断などが用いられている。当社が調達している切断パイプの年間本数は約4,000万本であり、この内切断長さ30mm以下のものは25%を占め、また1ロット200本~500本のものが約半分を占めるという状況にある。切断を行う協力企業は年々減少し、加えて一段と進む多品種少量生産化により、切断パイプの低コスト安定調達が難しくなってきている。

これを達成する手段の一つとして、レーザ切断が有望視される。従来の切断法では、パイプ径の違いによりパイト位置調整やチャック部の交換など、段取り替えにかなりの時間を費やしていた。そこでNCを組んだレーザ切断により、これらの合理化が可能かどうか検討した。

3.1 切断パイプの要求機能

切断されたパイプは、図5に示したような後加工が行われる。そのため、切断パイプは、拡管やつぶしなどの時に端面が割れないこと、曲げ加工時に芯金が入りやすいことなど、以下の項目を満足する必要がある。

- (1)寸法精度（径、板厚、長さ）
- (2)端面加工（面取り、バリ・ドロス・スパッタなどなし）
- (3)外観（傷なし、焼けなし）

レーザ切断においては、熱影響による加工性の低下が考えられ、特に端面の品質が重要課題となる。

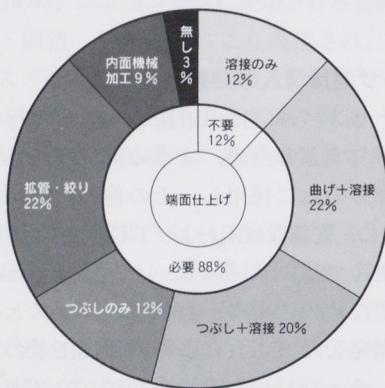


図5 パイプの端面の後工程

3.2 レーザ切断

切断に使うレーザは、図6に示したように切断形状が単純なこと、ライン化の必要がないことから、高パワーが得られるCO₂レーザとした。切断工程は、パイプが移動・回転し、レーザヘッドは昇降・ピアシング・切断のみの動きである。切断能力は、レーザビームのモードや品質などに大きく左右される⁽³⁾が、ここでは表2に示した条件でテストした。用いた鋼管は、当社で使用量の多い外径 ϕ 22.2mm～38.1mmの5種類とした。アシストガスには酸素を用いており、ドロス・スパッタの付着が大きく、実用可能となる条件は得られなかった。

外径 ϕ 25.4mm以上では良好な切断条件が得られたが、小径厚肉パイプ（一例： ϕ 22.2mm×t3.2mm）ではスパッタの付着が大きく、実用可能となる条件は得られなかった。

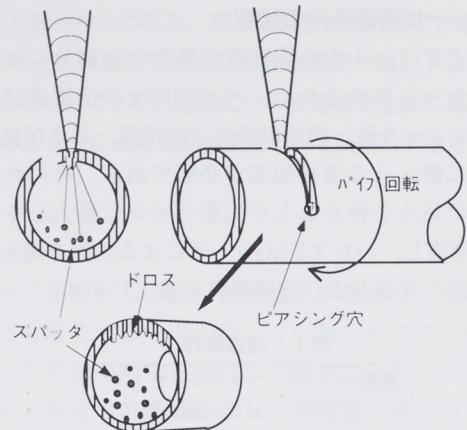


図6 パイプのレーザ切断工程

表2 切断条件

加工機	三菱CO ₂ レーザ
発振器	CW 3016F
加工レンズ	$f = 5 \sim 7.5\text{inch}$
加工ノズル	$\phi 2.0\text{mm}$
スポット径	$\phi 0.3\text{mm}$
ビームモード	シングル
パイプ保持	NCテーブル片持ち3つ爪支持
アシストガス	O ₂
Foucs	板厚中心より前後

試験片：STKM11A
：STKMHT440
：SCM415-EC
 $\phi 22.2\text{mm} \sim \phi 38.1\text{mm}$ t 1.2mm～3.0mm

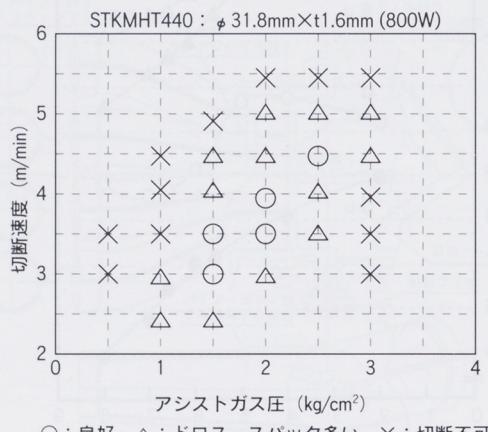


図7 ガス圧と切断速度との関係

3.3 切断後の端面の性質

切断パイプの材質は、機械構造用鋼管と合金鋼管がそれぞれ全体の約4割を占めている。良好な切断条件でも、端面にはレーザの熱影響が生じ、図8に示すように、高張力鋼管や合金鋼管では、面取りが困難な硬さまで表面が硬化していた。

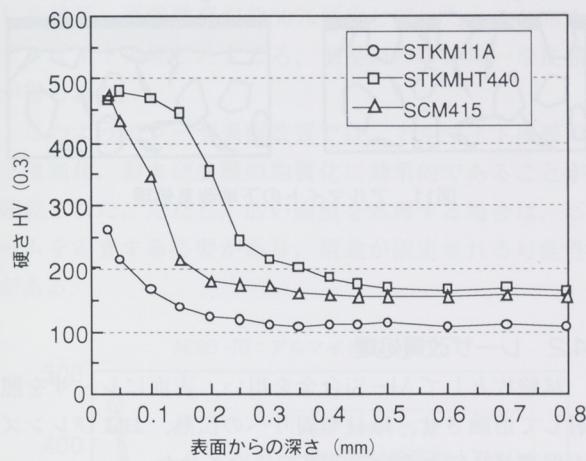


図8 レーザ切断による表面硬化

レーザ切断の熱影響が、後加工にどの程度影響するかを判断するため、鋼板の引張試験片を用いて、フライス加工した場合とレーザ切断のまでの機械的性質を調査した。その結果を表3に示す。どの材質でもレーザ切断では伸びと絞りが大きく低下している。密着扁平試験では、図9に示すように、レーザ切断品でエッチ割れが生じており、商品性を損ねる可能性が生じる結果となった。

表3 機械的性質に及ぼす端面の表面硬化の影響

試料	板厚 (mm)	加工方法	引張強さ (N/mm ²)	0.2%耐力 (N/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)
SPCC	1.2	フライス	325	199	45.8	38.0
		レーザ	331	213	42.2	34.4
フライス/レーザの比率 (%)	2.1	6.5	-8.5	-10.5		
SAPH440	1.6	フライス	465	308	32.9	30.6
		レーザ	477	326	30.1	26.0
フライス/レーザの比率 (%)	2.5	5.4	-9.3	-17.7		
SCM415	3.0	フライス	431	294	33.6	30.2
		レーザ	444	301	31.4	28.3
フライス/レーザの比率 (%)	2.9	2.3	-7.0	-6.7		

試験片: JIS13号引張試験片

STKMHT440: $\phi 31.8\text{mm} \times t 1.6\text{mm}$ [800W, v=4.5/m/min, O₂ガス圧 2.5kg/cm²]

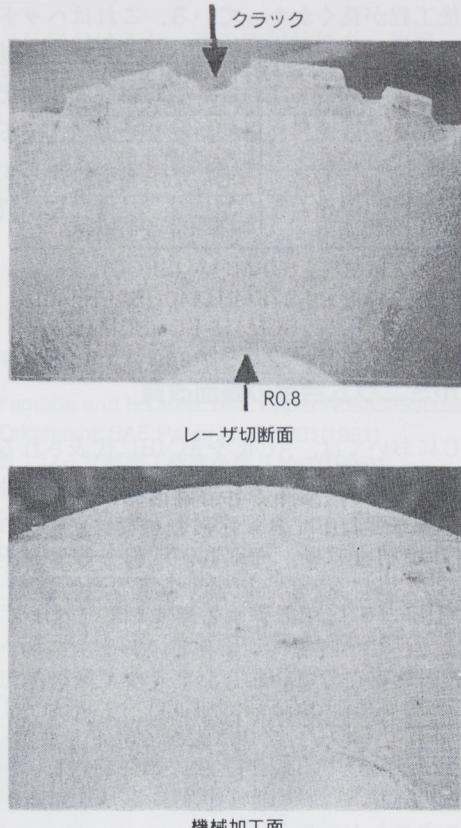


図9 加工方法の違いによる端面の割れ性

3.4 レーザ切断の生産性

パイプのレーザ切断は、パイト切断に比べパイプ径の変更対応や角パイプの切断などに有望とされるが、実際に生産性の違いを比較してみた。各切断方法で同じサイズのパイプを繰り返し切断し、それぞれの平均工程時間を比較したものを図10に示す。パイト切断機は切断・面取りが同時に行われる装置であり、レーザ切断では後工程に面取りを別の機械で行った。

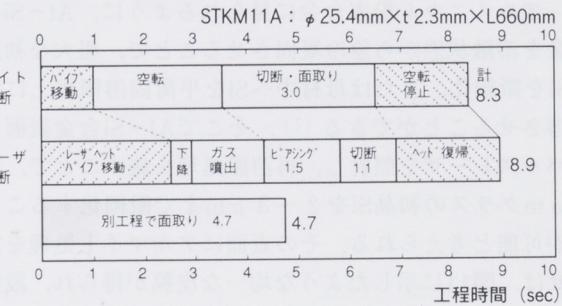


図10 各切断方法における工程時間の比較

レーザ切断は、ピアシング・切断の時間は短いが、その前後工程が長くかかっている。これはヘッドの移動などと短縮できるため、バイト切断より効率的になると考えられる。問題は、切断面の表面硬化部をいかに少なくするか、または面取りを合理化するかである。面取り工程をレーザ切断機に組み込む必要があるが、工程時間が長くなることや、設備投資に負担がかかるなど解決すべき課題が多い。

4 アルミニウム合金の表面改質

M/Cにおいては、AC4CやAC4Bに代表されるアルミニウム鋳造合金が多く使用され、中でも耐焼き付き性・耐摩耗性を要求されるピストンにおいては、AC8AまたはAC9Bの高Si合金が多く使われている⁽⁴⁾。近年、さらに耐摩耗性向上のため、部分的に陽極酸化皮膜（以下、アルマイトという）を施している。しかし、粗大な初晶Siが表面に存在していると、アルマイトがAl母材部のみ成長し、初晶Siの上には成長しにくいため、皮膜厚さが不均一となる。その結果、露出している初晶Siが運転時に欠落し、研磨粉の役目となって異常摩耗を引き起こすことがある。

鉄鋼材料程度の硬さや耐摩耗性が要求される場合、アルマイトやめっき処理などでは皮膜が薄く十分対応できないことから、ミリオーダーの表面硬化層を得るためのCO₂レーザによる合金化研究⁽⁵⁾や、電子ビームを用いたAl-Si合金の表面改質が発表されているが、まだ研究開発段階である⁽⁶⁾。

ここではYAGレーザを用いて、アルマイトの下地改質処理を狙った研究例を示す。

4.1 急冷凝固法

アルミニウム粉末合金に見られるように、Al-Si合金を溶融状態から急冷凝固させることで、粗大な初晶Siを微細化、または母材中へSiを平衡固溶限以上に固溶させることができる⁽⁷⁾。そこでAl-Si合金表面にパルスレーザを照射し、再溶融処理を施すことで、50 μm クラスの初晶Siを2~3 μm まで微細化することが可能と考えられる。その表面にアルマイト処理を施せば、図11に示したような均一な皮膜が得られ、段階的な硬度分布を持つ材料となるはずである。

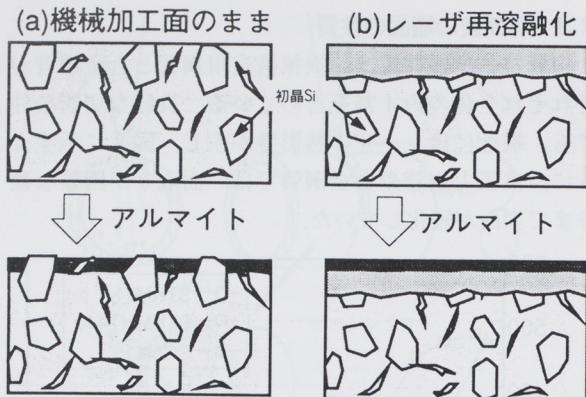


図11 アルマイトの下地改良処理

4.2 レーザ改質処理

試験片としてAl-Si合金を用い、表面にレーザを照射して溶融させ、母材や周囲への伝熱、およびレンズの保護ガスによる冷却効果で急冷させた。

一般的にアルミニウムはレーザ光を反射しやすいため、吸収剤を塗布することが多いが、生産性を考慮すると不利なため今回は使用していない。アルミに対しYAGレーザの方がCO₂レーザよりも光吸収率が高いことや、部品に対し局部的に照射しやすいことを考慮してYAGレーザを用いた。

再溶融処理の条件を表4に示す。処理条件の中で特徴的なのは、ビームの焦点位置を表面から大きくずらしたことである。焦点位置を表面上に合わせると、処理面積が狭く、表面肌が荒れてしまうため、焦点をぼかすことでエネルギー分布を均一化し、処理面積を広げる効果を狙った。

表4 レーザ処理条件

装置	パルスYAGレーザ
送り速度	6mm/sec
レンズ	焦点距離 f 70mm
ファイバー	Si型 $\phi 0.8\text{mm}$
デフォーカス	+ 7 mm
電圧	520 V
パワー	15J/P
パルス数	4 msec
パルス幅	20pps

4.3 結果

照射後の表面からの硬さ分布を図12に示す。またAC9Bヘビームを直線に走査した時の、再溶融処理の断面組織を図13に示す。再溶融部の深さは0.2mmに達し、ここには粗大な初晶Siが見られず、硬さは母材に比べ約40%向上していた。同様にAC8Aを再溶融処理した結果、再溶融部が約30%硬化していた。これらをアルマイト処理したところ、初晶Siのない均一な皮膜が得られた。

このようにレーザ表面改質では、アルマイト皮膜の下地強化、および皮膜の均質化に効果的であることが確認された。ただし、広い面積を処理する場合は、ビームを走査する必要があり、用途が限定される可能性がある。

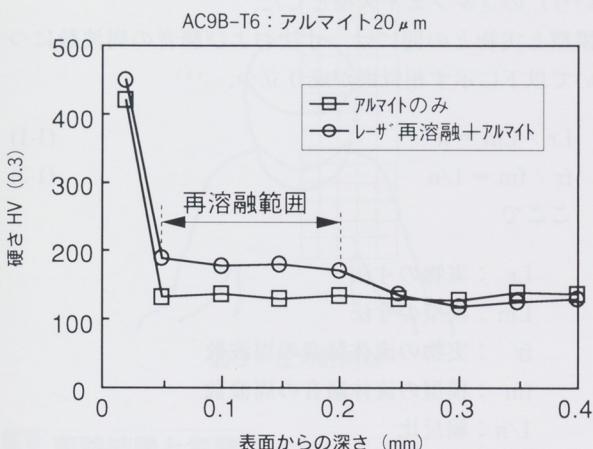


図12 再溶融処理における表面硬化

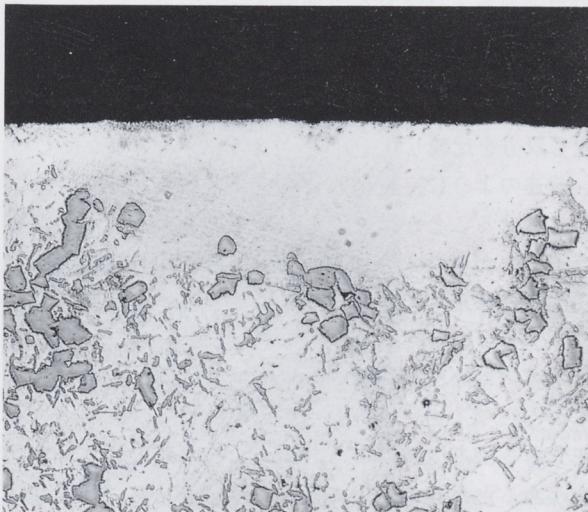


図13 AC9Bの再溶融組織

4 おわりに

M/Cにおけるレーザの応用技術を、溶接・切断・表面改質の3通りについて紹介してきたが、どの方法においてもレーザの果たす機能は高いと思われる。しかし、コスト・生産性を考慮すると、まだまだ一部の導入にとどまっているのみであり、今後の普及を考えると、レーザ装置の一層の進歩や低コスト化が望まれる。

■ 参考文献

- (1) K Yamabe and H Ueda: SAE Paper No880269(1988)
- (2) N Takahashi: SAE Paper No911301(1991)
- (3) 水野：レーザ熱加工研究会誌,3, No1(1996)1
- (4) 山縣：Boundary,11,4(1995)2
- (5) 中田、富田：軽金属, 45,10(1995)578
- (6) Sohi M H and T Bell: Power Beam Technology, Sept(1990)286
- (7) Metal Powder Report, Oct(1985)541

著者



高橋尚久

栗田洋敬