

# Frictional Characteristics of the Surface Formed by Machining Combined with Laser Heat Treatment: Efficient for Static Frictional Characteristics

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.24517/00008949">https://doi.org/10.24517/00008949</a>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



# レーザ熱処理と切削の複合加工による創生面の摩擦特性\*

## (静止摩擦特性へおよぼす影響)

田中 隆太郎<sup>\*1</sup>, 井上 豪<sup>\*2</sup>, 細川 晃<sup>\*1</sup>  
上田 隆司<sup>\*1</sup>, 古本 達明<sup>\*1</sup>

### Frictional Characteristics of the Surface Formed by Machining Combined with Laser Heat Treatment (Efficient for Static Frictional Characteristics)

Ryutaro TANAKA<sup>\*3</sup>, Takeshi INOUE, Akira HOSOKAWA,  
Takashi UEDA and Tatsuaki FURUMOTO

<sup>\*3</sup> Institute of Science and Engineering, Kanazawa University,  
Kakuma-machi, Kanazawa-shi, Ishikawa, 920-1192 Japan

High coefficient of friction and wear resistance are required for a mechanical brake. Especially in a wet type brake, a rotor has necessary to contact with a pad directly to acquire high frictional force. This research is carried out to investigate the surface property with high friction coefficient of force in wet condition. The micro wavy and high hardness surface combined machining laser heat treated carbon steel. Laser heat treatment on the surface is undertaken by carbon dioxide laser. The characteristic of friction of this micro wavy surface is investigated to compare with the surface finished. The surface finished by cutting after laser heat treatment have higher static coefficient of friction compared with the surface finished by polishing or cutting. The smaller laser scan pitch becomes, the larger static coefficient of friction is obtained. When the angle between friction direction and laser scan direction is 45°, the largest static coefficient of friction is obtained.

**Key Words:** Laser Heat Treatment, Cutting, Static Coefficient of Friction, Wet Type Brake, Laser Scan direction

## 1. 緒 言

近年、精密機器にはその性能の向上とともに小型化への要求の高まりがある。機器自体の小型化のために、部品の小型化および集約化が図られている。したがって、小型で複雑な形状の部品の加工の要求が増加することが考えられる。

切削加工においては複雑な形状を加工する用途で5軸加工機のような高性能工作機械が用いられるが、これらの加工機では多様な加工姿勢を実現するため並進とともに回転による姿勢制御も採用されており、位置決め後の加工時において高い保持力が必要である。そのため、位置決めブレーキには高い静摩擦係数が求められる。特に湿式ブレーキにおいては、接触圧力が低いと接触面内からの油膜の排出性が効率よく行われず所定の摩擦力が得られにくい。

一般的に、機械加工面の摩擦特性を制御する目的で加工表面にパターンニングを行う方法としては、ホーニング加工やきさげ加工などの方法が知られている。ホーニン

グによる細かいクロスハッチ状の溝が湿式ではオイルの保持力を高め、製品の耐摩耗性を向上させる。また、工作機械の摺動面にはきさげ加工により、平面度を上げるとともに油だまりと呼ばれる微小な凹みが形成され潤滑特性が向上される。しかし、ホーニング加工には専用のホーニング盤やマシニングセンタなどの設備が必要であり、きさげ加工については熟練者の技能に負うところが大きく、能率の点から大量生産には適していない。これ以外にも、レーザによる微小除去加工によるマイクロパターンニングによる表面摩擦特性の向上に関する研究もなされているが、エネルギー効率が低く広範囲へ適用するには多大な時間を要する。また、切削加工による表面パターンニング加工法も考えられるが小径の工具が必要であること、切り込みの制御により仕上げ面の高低差を形成するため複雑なプログラムを組まなければならない能率の低下につながるといった課題も存在する。

これまでに著者らは、レーザ加工機により表面に熱処理を行った鋼材の切削加工において切り込みを一定として切削しても除去部分の硬度差により仕上げ面の形状が影響を受けることを明らかにしている。<sup>(1)</sup>レーザによる熱処理は除去加工と比べ低い出力でもおこなえることから工作機械に組み込み可能な小型のレーザで行なえることも利点である。

\* 原稿受付 2009年6月22日。

<sup>\*1</sup> 正員、金沢大学理工研究域(〒920-1192 金沢市角間町)。

<sup>\*2</sup> 金沢大学大学院自然科学研究科。

E-mail: r-tanaka@t.kanazawa-u.ac.jp

そこで、本研究では表面へレーザを走査することで部分的に熱処理を行い、意図的に表面の機械的性質を不均一にした炭素鋼を切削加工することで高能率に創生された微小なうねりを有する表面について摩擦特性を評価することを目的に実験を行った。切削前におけるレーザ熱処理の際の照射パターンの違いが静止摩擦特性へおよぼす影響について、湿式位置決めブレーキを想定した、マシン油による湿式状態において実験を行いその効果について検討を行った。

## 2. 実験方法

静止摩擦特性の評価は、マシン油(ISO VG100 相当)による湿式潤滑状態にて行った。レーザ熱処理後に切削加工した試料と比較の対象として切削加工、研磨加工により表面を仕上げた試料を摩擦実験に使用した。炭素鋼 S45C の表面への熱処理は炭酸ガスレーザ加工機によりレーザビームを重複させて照射することにより行った。レーザ熱処理後に切削加工した試料については、レーザ走査ピッチおよび角度の違いによる摩擦係数への影響についても検討を行った。

表 1 にレーザ照射条件を示す。レーザ出力 500W、スポット径 1.0mm、走査速度 10mm/s で炭素鋼 S45C の表面に照射を行った。ビームモードはシングルモードの TEM<sub>00</sub> である。炭素鋼の炭酸ガスレーザに対する吸収率が低いことから、レーザビームの吸収率を高めるために炭素鋼の表面にはカーボン系吸収剤((UNICON レーザーノンドロス 371))を塗布している。

図 1 にレーザ熱処理を行った炭素鋼の断面写真を示す。レーザの走査方向に垂直な面を示している。レーザを出力 500W、走査速度 10mm/s で照射すると、深さ 5mm、幅 1mm の半円状に母材と異なる組織が観察できる。半円状の内部のほとんどが Hv700 程度の硬さであることがわかった。レーザビームを一部重複するように左から順に照射すると、最終照射により熱処理された半円状の領域の外側に焼き戻しにより幅 0.15mm の範囲で Hv500 程度まで硬さが低下している部分が認められた。

表 2 に切削条件を示す。切削加工およびレーザ熱処理と切削の複合加工においての S45 の正面フライス加工は、サーメット工具を用いて切削速度 78.5m/min、切込み 0.2m、 $f=0.1\text{mm/rev}$  で行なった。

図 2 に試料表面の形状を示す。研磨加工により仕上げられた表面は粗さが切削加工の場合と比べるとかなり小さくその最大高さ Rz は  $0.1\mu\text{m}$  である。切削加工により仕上げられた表面においては切削送り(0.1mm)に対応した周期的なピークが確認できる。最

大高さ粗さは  $3\mu\text{m}$  である。切削加工や研磨加工に比べレーザ熱処理後に切削加工した試料はレーザ走査ピッチ(0.6mm)に対応した緩やかなうねりが形成されていることがわかる。このうねりの最大高低差は  $6\mu\text{m}$  となっている。また切削後における凸部の硬度は Hv485 である。

図 3 に往復式摩擦試験装置の概略図を示す。<sup>(2)</sup> 試料は専用のホルダを介し板ばねを組み込んだ保持部に取り付けている。試料の形状は 10mm 角、場合によって直径 10mm とした。垂直荷重はおもりにより負荷した。1 軸移動ステージに取り付けた相手材(SCM435、研磨仕上げ)へ直線運動をあたえることにより試料と相手材の間に相対運動を付与した。試料と相手材の間に生じる摩擦力は試料保持治具に取り付けた板ばねに貼り付けた歪みゲージにより測定した。摩擦試験は、移動速度: 1mm/s、垂直荷重: 24N で、切削加工面・研磨加工面およびレーザ熱処理と切削の複合加工面に対しておこなった。

図 4 に摩擦力測定における出力波形の一例を示す。移動ステージの送りが開始されると板ばねがたわみ摩擦力が上昇する。さらに送りが進むと試料の相手材に対して移動を開始し摩擦力が低下し、その後粗一定の値を示す。この送り開始直後に見られるピークの値を静止摩擦力として摩擦係数の算出を行なった。以後示す静摩擦係数の値は 10 回測定を行った結果の平均値である。

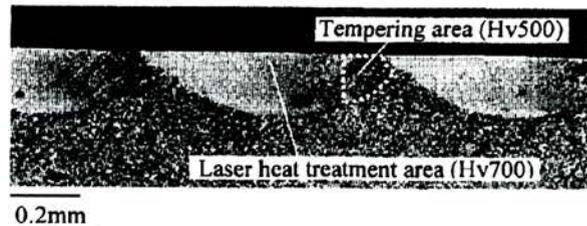


Fig. 1 Photograph of Laser heat treatment area

Table 1 Laser irradiation conditions

Work piece	S45C
Absorbent	Carbon powder
Laser power	500 (W)
Spot diameter	1.0 (mm)
Scan rate	10.0 (mm/s)

Table 2 Cutting conditions

Tool	Cermet (SECN1203AFTN1)
Workpiece	S45C (Annealed)
Cutting speed	78.5 (m/min)
Depth of cut	0.2 (mm)
Feed rate	65 (m/min)
Coolant	dry

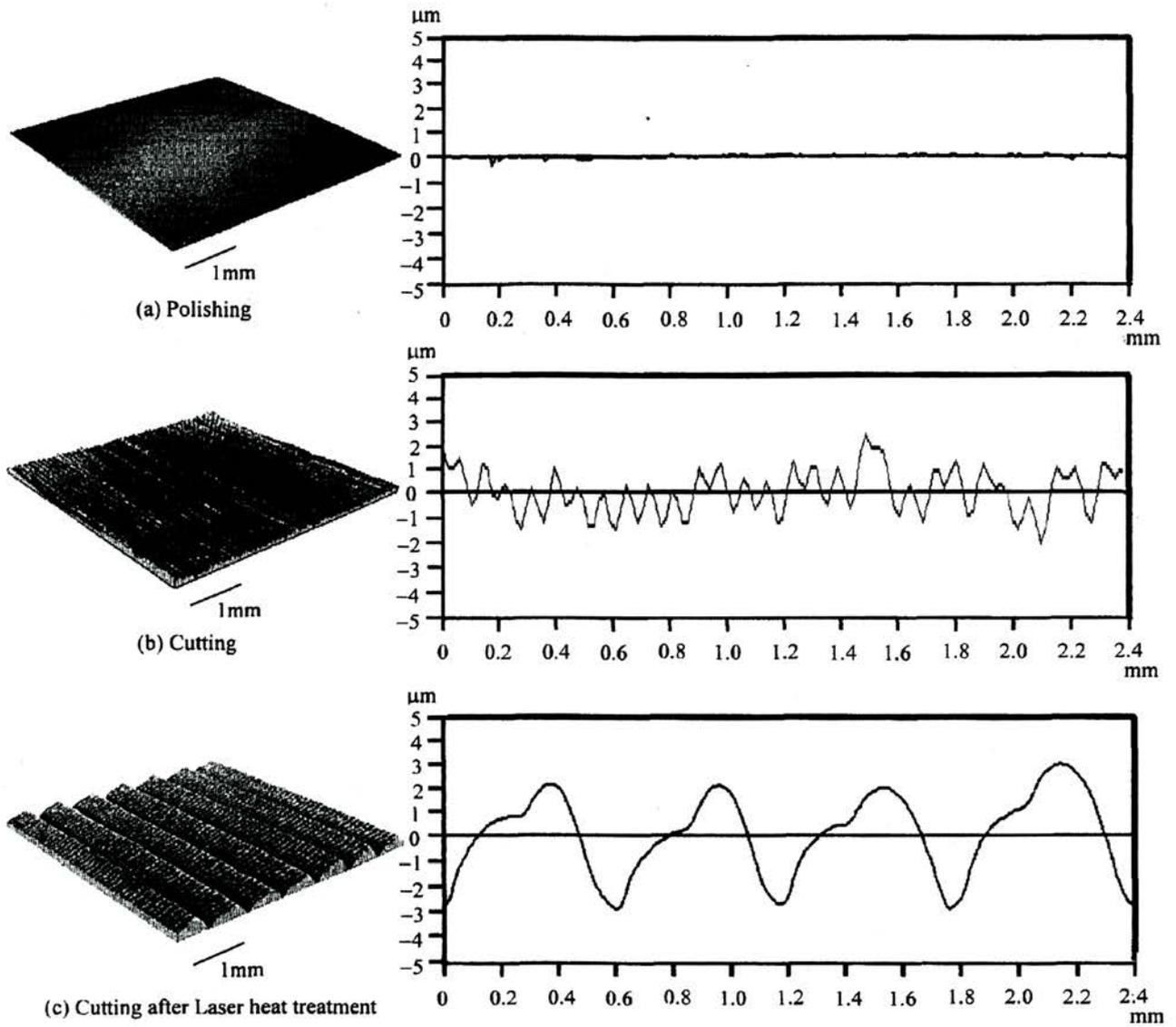


Fig.2 Shape and profile curve of the specimen

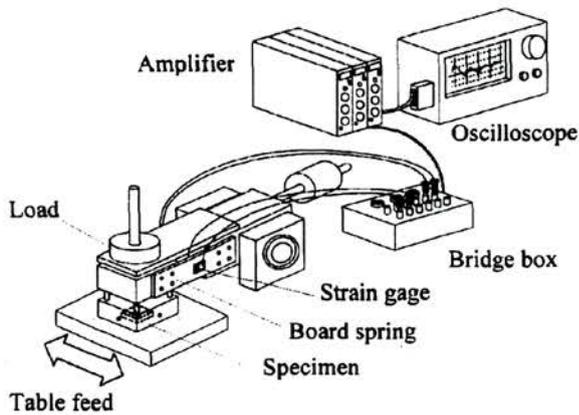


Fig.3 Experimental setup for friction test

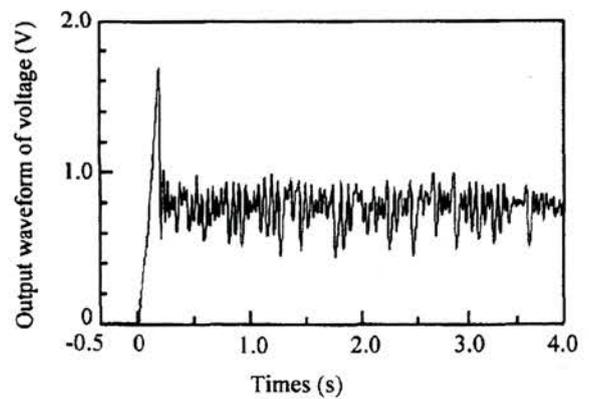


Fig. 4 Output signal in friction test

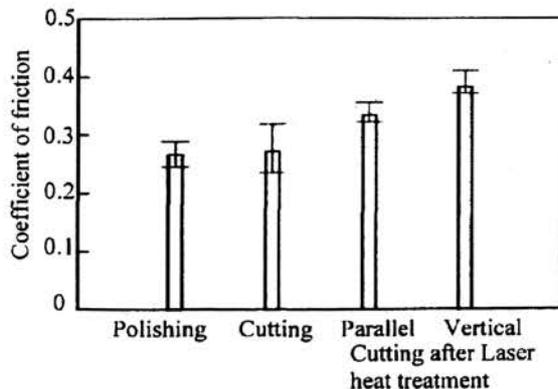


Fig. 5 Influence of finishing process on the static coefficient of friction

### 3. 実験結果および考察

#### 3-1 レーザ熱処理と切削の複合加工による創生面の摩擦特性

図5に研磨加工，切削加工およびレーザ熱処理と切削の複合加工により仕上げた表面の研磨仕上げた表面に対する静摩擦係数を示す。静摩擦係数を算出すると，レーザ熱処理と切削の複合加工>切削加工≒研磨加工という関係があることがわかった。湿式環境下であることと3種類の試料の表面形状からこの結果について検討を行う。

研磨加工した試料は3種類の試料の中で粗さがもっとも小さいため接触面間からの油膜の排出が良好でなく流体潤滑状態に近い状態であったために静摩擦係数が最も小さかったと考えられる。

切削加工については，研磨加工の試料と比べわずかに高い静摩擦係数を示した。切削加工についても研磨加工場合と同じようにピークの高低差や周期が小さく余分な油剤の排出性が低いことや凸部それぞれの接触面積もレーザ熱処理後に切削加工した場合と比較すると小さく，その静摩擦係数は研磨加工時の値に近くなったと考えられる。なお，切削仕上げにおける送り方向による摩擦係数への影響はほとんど見られなかった。

レーザ熱処理と切削の複合加工をした試料に対しての摩擦実験では，切削加工や研磨加工の試料に比べ，水平・垂直方向ともに静摩擦係数が高くなった。レーザ熱処理と切削の複合加工によって創生された微小なうねりは周期0.6mm，高低差6μm程度であることから，接触している2面間から余分な油剤の排出性が効率よく行われ，接触部の大きさが比較的大きいことから接触面内に油膜が破断された領域が形

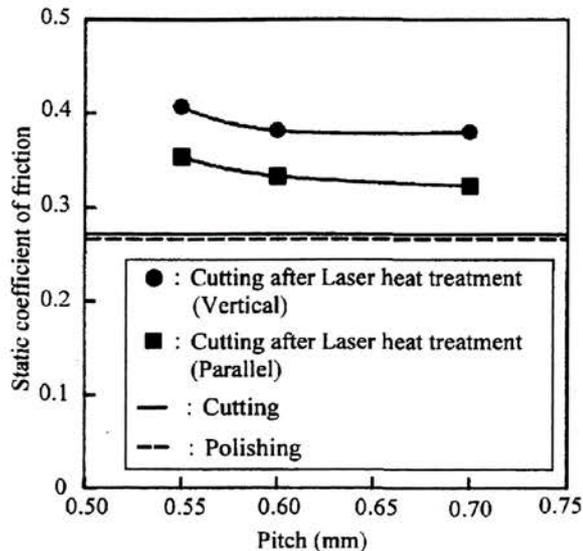


Fig. 6 Influence of Laser pitch on the static coefficient of friction

成され直接接触が生じていることから最も高い摩擦力が得られたと考えられる。(3)(4)

#### 3-2 レーザ照射パターンが静摩擦係数へおよぼす影響

さらに，本実験では，より高い摩擦力を得るためにレーザ熱処理時のレーザ走査ピッチを変化させ静摩擦係数へおよぼす影響について調査した。

図6にレーザ走査ピッチが静摩擦係数へおよぼす影響について示す。熱処理時のレーザ照射ピッチが0.55mmから0.70mmの範囲で変化しても切削加工や研磨加工と比べるとレーザ熱処理と切削の複合加工が安定して高い静摩擦係数を示した。また，ピッチが小さいほど高い静摩擦係数となることがわかった。

図7に凹凸を有する表面と平面の接触部の概念図を示す。ピッチ $p$ を0.55mmから0.70mmまでの範囲で変化させても凸部の先端形状や最大高度差 $h$ はほとんど影響を受けないことを測定により確認していることから，熱処理のピッチが密になるほど単位幅当たりのレーザ照射本数が増加することで接触面積が増加して摩擦力が大きくなったと考えられる。ただし，ピッチ $P$ が小さくなると単位面積を処理するのに要する時間が増加することや，図1に重複照射によって約0.15mmの幅が焼き戻されることを示したが，この幅よりもピッチが小さくなるとほとんどの部分が焼き戻され切削した後の表面硬度が低下することや凹凸が形成されにくい可能性がある。また，

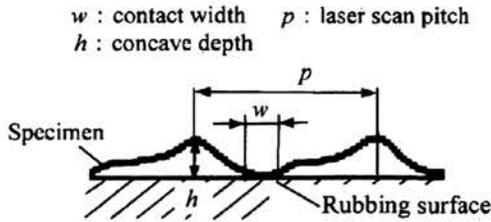


Fig. 7 Mechanism of alter on the static coefficient of friction

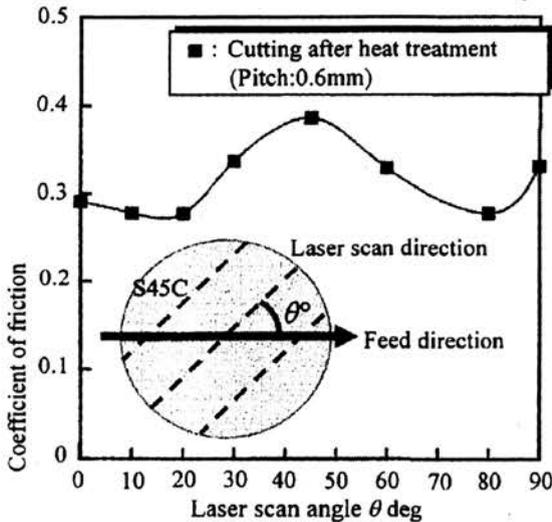


Fig. 8 Influence of Laser scan angle on the static coefficient of friction

レーザ径よりもピッチを大きくすると母材と同じ硬度の部分が表面に露出することになる。

図 8 にレーザ走査角が静摩擦係数へおよぼす影響について示す。摩擦方向に対してレーザ走査角を大きくしていくと静摩擦係数は増加し、レーザ走査角が  $45^\circ$  の場合に最大値をとり、さらに増加すると減少することがわかった。

レーザ走査角度による静摩擦係数の変化については、図 9 に示す①摩擦方向に対する凸部の接触領域の投影長さ  $l_r$ 、②摩擦方向における凸部の接触長さ  $w_f$  が影響をあたえていることが考えられる。レーザ走査方向が  $0^\circ$  から増加すると摩擦方向に対する凸部の投影長さ(レーザ走査角を  $\theta$ 、接触長さ  $l$  とすると投影長さは  $l \sin \theta$  と表される。)が増加するが、摩擦方向における凸部と相手材の接触長さ(レーザ走査角  $\theta$ 、接触幅  $w$  とすると接触長さは  $w \cos \theta$  と表される。)が減少する。これらレーザ走査角の増加にともない相反する挙動を示す 2 つの要因から、レーザ走査角の変化に対し静摩擦係数はピーク値を示し、結果的に本実験においてはレーザ走査角が  $45^\circ$  の場

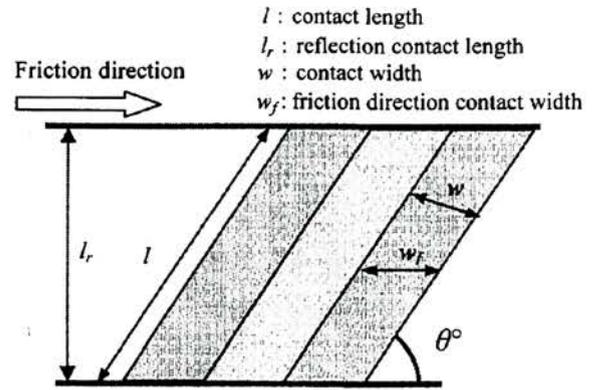


Fig. 9 Mechanism of alter on the static coefficient of friction

合に静摩擦係数が最も大きくなったことが考えられる。

#### 4. 結 言

本研究では、仕上げ加工の違いが静摩擦係数へおよぼす影響について調べるために、研磨加工、切削加工およびレーザ熱処理と切削の複合加工により仕上げた炭素鋼表面の研磨仕上げした炭素鋼表面に対する静摩擦特性へおよぼす影響について検討を行った。レーザ熱処理と切削の複合加工についてはレーザ照射パターンの違いの影響について調査した。実験は湿式ブレーキを想定しマシン油による湿式状態において行い、以下の結論が得られた。

- (1) レーザ熱処理後に切削すると、レーザの走査ピッチに対応した緩やかなうねりが形成される。
- (2) レーザ熱処理した炭素鋼を切削加工した表面は、レーザ照射パターンによらず切削加工や研磨加工の場合と比べ高い静摩擦係数を示した。
- (3) レーザ熱処理した炭素鋼を切削加工した表面ではレーザ走査ピッチが小さいほど高い静摩擦係数が得られ、摩擦方向に対してレーザ走査角を  $45^\circ$  にすることで最も高い静摩擦係数が得られた。

#### 謝 辞

本研究に多大な支援をいただいた松本機械工業株式会社 に記して謝辞を表します。

#### 文 献

- (1) Tanaka, R., Hosokawa, A., Ueda, T. and Furumoto, T., Machinability of Steels After Heat Treatment with CO<sub>2</sub> Laser and Its Improvement, *Transactions of*

*the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C,*  
Vol.73, No.727 (2007), pp.879-884.

- (2) Tanaka, K., *Story of Tribology*, (1984), p.137, Japan Standards Association.
- (3) Yamamoto, Y. and Kaneda, M., *Tribology*, (1998), p.48.172, Rikogakusya Publishing Co Ltd.
- (4) Muraki, M., *Diagram Tribology*, (2007), p.79, The Nikkan Kogyo Shimbun Ltd.