

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2008

課題番号：18560110

研究課題名（和文）

ナノ炭素高速噴射によるインサイチュー金型表面創製技術の研究

研究課題名（英文）

In-situ die coatings by nanocarbon shot coating

研究代表者

佐野 利男（SANO TOSHIO）

千葉工業大学・社会システム科学部・教授

研究者番号：60337699

研究成果の概要：

本研究では、In-Situ 生成あるいはエアロゾル化したナノ炭素を直ちに 10～100 気圧の高速ガス噴流に乗せて噴射する技術、および大面積かつ均一に処理する噴射システムを開発した。そして、In-Situ 生成あるいはエアロゾル化したナノ炭素（グラファイトナノファイバー、カーボンナノ粒子、ナノダイヤモンドなど）を工具鋼（SKD61）表面に高速噴射し、摩擦試験及び Al 合金の鍛造性試験を行い、最適な噴射条件（噴射圧力、噴射時間、噴射距離）について検討し、耐摩耗性、潤滑性、高熱伝導性を有する高性能加工金型の開発を行った。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	1,500,000	0	1,500,000
2007 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2008 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	3,500,000	600,000	4,100,000

研究分野：

科研費の分科・細目：

キーワード：ナノ炭素、高速噴射、インサイチュー、金型、熱間加工

1. 研究開始当初の背景

ダイカストや熱間鍛造等のアルミニウム熱間加工において、加工用金型の寿命は一般的に 1000～3000 ショットとされており、従来のプレス加工用金型の寿命が数万ショット以上であるのを考えれば、その寿命の短さは際立っている。ダイカスト用金型は溶損（アルミ溶湯との接触により溶融拡散し破損すること）により、熱間鍛造用金型は被加工材との間で生じる摩損（摩擦により摩耗すること）、凝着、かじりなどによってダメージを受ける。通常、金型にはこれらダメージを減らすために TiN などの表面処理を施し潤

滑剤を塗布して使用するが、金型の寿命を大幅に改善するには至っていない。また、熱間加工用金型には金型強度を保ち、かつ潤滑剤を固定化するため金型表面を冷却しなければならないが、水冷後に潤滑剤を塗布する現状行われている方式では潤滑剤を均一に固定化するのは非常に難しいとされている。これら問題を解決し、金型寿命を大幅に改善するには自己潤滑性、高熱伝導性の特性を併せ持つ表面被膜及びそのコーティング技術の開発が必要不可欠となる。

ショットピーニングを応用した固体潤滑噴射法（ショットコーティング）は、ミクロ

ンサイズの固体潤滑材を 10 気圧以下のガス噴流にのせて噴射し、室温でバインダーを使用せず直接基板にコーティングする手法である。これまでの研究で、二硫化モリブデン粉末やグラファイト粉末を噴射した工具鋼は、潤滑剤を塗布処理した工具鋼の 40 倍以上の潤滑寿命を有することが明らかとなっている。本手法を熱間加工用金型の表面改質方法として応用し、さらに、分散性、潤滑性、熱伝導性等に優れたナノ炭素材料を固体潤滑材として使用することによって、寿命を大幅に改善した高性能金型の作製が期待できる。しかしながら、ナノ炭素材料は、比重が小さいため基板への衝突エネルギーがミクロン粒子に比べ極めて小さく、また著しく凝集しやすいことから、従来の高速噴射装置を用いて緻密かつ密着性のある機能性被膜を形成することは困難である。そのため、これら技術課題を克服する新しいナノ粒子噴射技術の開発が求められている。

2. 研究の目的

本研究では、In-Situ 生成あるいはエアロゾル化したナノ炭素材料を直ちに 10~100 気圧の高速ガス噴流に乗せて噴射する技術を開発するとともに、大面積かつ均一に処理する噴射システムを構築する。そして、In-Situ 生成あるいはエアロゾル化したナノ炭素材料を工具鋼 (SKD61) 表面にショットコーティングし、摩擦試験及びアルミニウム材料の熱間加工試験を行い、最適な噴射条件について検討するとともに、自己潤滑性、高熱伝導性を有する高性能加工金型の開発を目指す。

3. 研究の方法

(1) ナノ炭素高速噴射技術の開発

ナノ炭素を高压高速ガス噴流に乗せて噴射する技術の開発とナノ炭素からなる自己潤滑被膜の創製を行う。

A. ナノ炭素高速噴射装置の作製

高速噴射ノズル、ナノ炭素 In-Situ 生成チャンバー、エアロゾル化室、噴射チャンバー、駆動ステージ、高压ガス供給部からなるナノ炭素高速噴射装置を作製する (図 1)。作製した噴射装置を用いて、ミクロンサイズのグラファイト粒子をショットコーティングし、最適なノズル形状、噴射条件について検討し、コーティングに最適なノズルの試作を行う。

B. ナノ炭素被膜の創製

作製したナノ炭素高速噴射装置を用いて、In-Situ 生成あるいはエアロゾル化したナノ炭素を工具鋼 (SKD61) 基板表面にショットコーティングし、ナノ炭素被膜の創製を行う。作製したナノ炭素被膜はピン・オン・ディスク摩擦試験装置により潤滑特性を、透過電子顕微鏡、走査電子顕微鏡、ラマン分析などにより被膜組織を評価する。

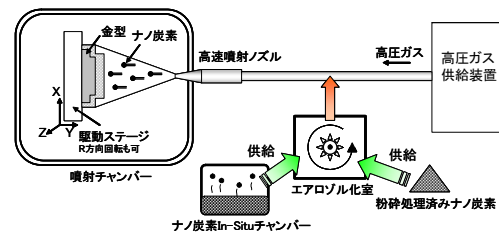


図 1 ナノ炭素高速噴射装置イメージ図

(2) 熱間加工用高性能金型の開発

A. ナノ炭素コーティング金型の作製

ナノ炭素をダイカスト用金型、熱間成形用金型にショットコーティングし、ナノ炭素被膜を形成した高性能金型を作製する。

B. 金型の性能評価

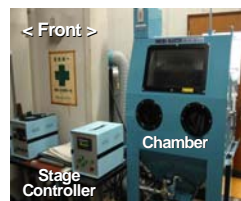
開発したナノ炭素コーティング金型を用いて、アルミダイカスト試験、アルミ熱間成形試験 (熱間据え込み、熱間押し出し) を行い、金型性能 (潤滑性、寿命、加工精度) について検討するとともに、熱間加工に最適なナノ炭素材料の探索を行う。そして、従来の潤滑剤を用いた成形と比較し、ナノ炭素コーティングの有効性について検討する。

4. 研究成果

4-1. ナノ炭素高速噴射技術の開発

(1) ナノ炭素高速噴射装置の作製及び最適化

図 2 に作製したナノ炭素高速噴射装置の外観写真及び装置仕様を示す。本装置は、噴射ノズル、チャンバー、粉体容器、高压配管、ガス供給源、流量制御バルブ、圧力バルブ、駆動ステージ、排気装置から構成される。ノズルより高压ガスが噴射される際、ノズル内部で発生する負圧により粉体容器内に充填された固体潤滑材が吸引され、高压ガス噴流と共に噴射される仕組みであり、固体潤滑材を直接加圧することなく連続噴射と供給量の制御が可能である。また、本装置は最大 10MPa の高速噴射が可能であり、比重の軽いナノ炭素を容易に基板にコーティングできると考えられる。さらに、駆動ステージは自動的に XY 方向へ駆動できるタイプと回転するタイプの 2 種類があり、コーティング範囲や用途によって使い分けができる。本駆動ステージを用いることにより最大 200x100mm の面積を均一にショットコーティングすることが可能である。



【装置仕様】

使用可能ガス : N₂, Air, Ar
 噴射速度 (m/s) : 87~419
 XY ステージ : 駆動範囲
 X0~200 mm, Y0~100 mm
 駆動速度
 0.4~10 mm/s
 回転ステージ : 回転速度
 0~15rpm

図 2 ナノ炭素高速噴射装置の外観写真及び装置仕様

ナノ炭素コーティングを行う前にコーティングパラメータ（ノズル内径、ノズル距離、噴射速度）を最適化しなければならない。そこで、冷間金型材であるSKD11基板（φ20x5mm、HRC45程度）にグラファイト粉末（>99%、平均粒径約56μm）をショットコーティングし、得られる皮膜の組織、厚さ、表面粗さ、摩擦特性を調べ、コーティングパラメータの影響について検討した。なお、ショットコーティングは、噴射ガスとして窒素ガス（99.99%）を使用し、基板を固定したステージを一定速度（15rpm）で回転させ、20秒間行った。また、ノズルは内径7mm、内径先端部R2mmのものを使用した。摩擦試験条件は、負荷荷重5.0N（ヘルツ圧1.0GPa）、すべり速度31.4mm/s、相手材SUS304ボールφ4mmとした

皮膜厚さ及び潤滑寿命は、本実験における噴射速度下においてノズル距離20mmが良好な結果を示していた。一方、皮膜の表面粗さは本実験においてコーティングパラメータに依存していないことが分かった。次に、噴射速度、ノズル距離をそれぞれ87m/s、20mm一定とし、同様にSKD11基板にノズル内径先端部のRを変えてグラファイト粉末をショットコーティングし、ノズル内径先端部のRが皮膜厚さ、表面粗さ、摩擦係数、潤滑寿命に与える影響について調べた。その結果、ノズル内径先端部のRが大きくなるにつれ、得られる皮膜厚さは減少し、特にR5mmとなると90nmとなり、十分な皮膜厚さを得ることができなかった。潤滑寿命はR2mmが最も良く、1877回であった。また、噴射条件を窒素ガス流量2000l/min、ノズル距離20mm、ノズル内径先端部R2mmとし、ノズル内径を変えてSKD11基板にグラファイト粉末をショットコーティングし、ノズル内径が皮膜厚さ、表面粗さ、摩擦係数、潤滑寿命に与える影響についても同様に調べた。その結果、ノズル内径が7mm→5mm→4.5mmとなるに従い、ノズルから噴射される窒素ガスの速度も87m/s→170m/s→210m/sと増加した。表面粗さ、摩擦係数は、ノズル内径の減少、つまり噴射速度の増加とともに減少する傾向にあった。皮膜厚さもわずかであるが減少する傾向にあった。一方、潤滑寿命は内径4.5でもっとも長い2666回が得られた。以上のコーティングパラメータ及び噴射ノズル形状の検討を行った結果、本実験条件下において最適なコーティングパラメータはノズル距離20mm、噴射速度210mm（ノズル内径4.5mm）、最適な噴射ノズル形状は内径4.5mm、内径先端部R2mmであることが分かった。図3に最適条件下のショットコーティングによる得られたグラファイト皮膜の走査電子顕微鏡（SEM）写真を示す。連続的で均一なグラファイト皮膜が得られているが、グラファイト粒子衝突によるクレーターも確認された。ラマン分光分析の

結果、原料粉末の結晶性に比べ得られた皮膜の結晶性は低く、グラファイト衝突により欠陥が多く導入された皮膜であることが明らかとなった。以下、ナノ炭素材料のショットコーティングは上記の最適な条件で全て行うこととした。

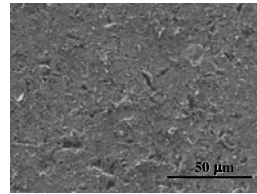


図3 最適条件下のショットコーティングにより得られたグラファイト皮膜のSEM写真

(2) ナノ炭素被膜の創製及び評価

予め用意したナノ炭素材料を前項で明らかにした最適な条件でSKD11基板表面にショットコーティングし、得られたナノ炭素皮膜の特性評価を行った。実験には、ナノ炭素材料としてカーボンブラック、ナノダイヤモンド、グラファイトナノダイヤモンド、フラーレンを使用した。また、グラファイトにナノダイヤモンドあるいはフラーレンを1体積%添加した複合体も原材料として使用し、ナノ炭素材料単体の場合と比較した。

ショットコーティングにより得られたナノ炭素及びナノ炭素複合皮膜のSEM写真を図4に示す。カーボンブラックのコーティング皮膜は、連続した皮膜にならず、粒子が基板上にまばらに堆積したものであった。一方、ナノダイヤモンド、グラファイトナノダイヤモンドのコーティング皮膜は、連続した皮膜であるが、堆積したナノ粒子であることが分かった。さらに、フラーレン、グラファイト/1%グラファイトナノダイヤモンド、グラファイト/1%フラーレンは、他のコーティング皮膜とは異なり、緻密で連続した皮膜であった。ラマン分光分析の結果、ショットコーティングしたナノ炭素皮膜は、マイクロサイズのグラファイト粉末の場合と異なり、コーティング材料とほぼ同じ構造であった。ナノ炭素材料の比重は小さいため、衝突エネルギーが小さく、材料の構

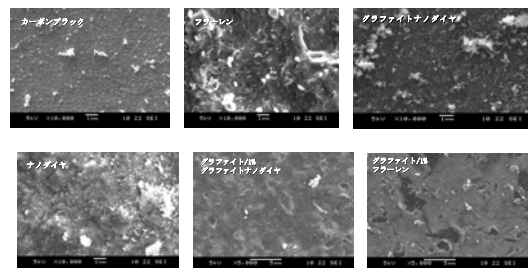


図4 ナノ炭素ショットコーティング皮膜のSEM写真

造を破壊するまでには至っていないと考えられる。ショットコーティングにより得られたナノ炭素及びナノ炭素複合皮膜の特性を表1に示す。フラーレン、ナノダイヤモンド、グラファイトナノダイヤモンドのコーティング皮膜は、十分な皮膜厚さであるが、表面粗さが大きく、期待した摩擦特性を得ることができなかった。また、フラーレン、グラファイト/1%グラファイトナノダイヤモンドのコーティング皮膜については、皮膜厚さが極めて薄いため表面粗さは小さいが、他のナノ炭素皮膜と同様の摩擦特性であった。一方、グラファイト/1%フラーレン皮膜は、スピコーティングにより得られたグラファイト皮膜と比べ若干表面粗さは大きい、皮膜厚さ、摩擦係数はほぼ同じであり、さらに摩擦回数、比摩擦量が2574回、 $2.3 \times 10^{-8} \text{mm}^2/\text{N}$ と著しく向上していることが明らかとなった。

次に、今までナノ炭素粉末を原料とし、これをエアロゾル化してショットコーティングしていたが、ここではIn-situでナノカーボンを生成し、直ちにショットコーティングにより成膜を行うシステムを開発した。図5に示すようにカーボンソースを熱プラズマにより分解、ナノ炭素を生成し、これをガス気流に乗せて噴射ノズルに送るシステムを高速噴射装置に付加した。カーボンソースにはアセチレンガス(C_2H_2)を使用し、プラズマ電流300Aの条件でナノカーボンを生成し、SKD11基板上にショットコーティング(成膜条件:室温、210m/s、60秒、5mm)した。ショットコーティング後の基板には、アセチレンガスが熱プラズマによって分解して生成したIn-situ数十nm~数 μm のナノ炭素粒子が堆積していたが、本実験条件下では連続した皮膜を得ることはできなかった。摩擦試験の結果、得られた皮膜に摩擦低減効果は認められなかった。以上の結果、アセチレンガス

のカーボンソースを用いたIn-situナノショットコーティングは成膜効率が極めて悪く、金型潤滑への適用は困難であることが明らかとなった。

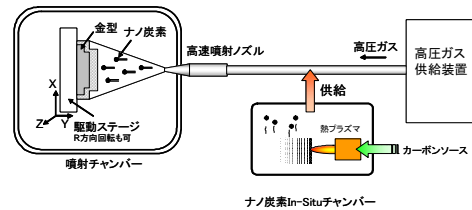


図5 In-situショットコーティングシステムの概略図

4-2. 熱間加工用高性能金型の開発

(1) 熱間押し出し

ナノ炭素コーティングを施した熱間押し出し成形用金型ダイスを用いて純アルミの熱間押し出し成形を行った。熱間押し出し試験は、押し出し用ピレットを挿入したコンテナを773Kまで加熱した後、油圧式200tプレス装置により押し出し速度50mm/minの条件で行った。押し出し用ピレットは、純アルミを $\phi 38 \times 30\text{mm}$ の形状に加工して使用した。使用する押し出しダイス(SKD61、焼き入れ焼き戻し処理済)は、押し出し比20、開き角 90° のものを用意し、グラファイトやグラファイト/1%フラーレンをショットコーティング(室温、噴射速度210m/s、噴射時間20秒、ノズル距離5mm)した。また、比較として従来潤滑で使用している黒鉛潤滑剤を塗布した押し出しダイスも用意した。以下、グラファイト、グラファイト/1%フラーレンをショットコーティングした押し出しダイスにより得られたものをそれぞれグラファイト材、フラーレン複合材とし、従来黒鉛潤滑により得られたものを従来潤滑材とした。

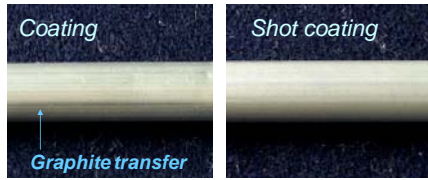
図6に純アルミ熱間押し出し材の外観を示す。従来潤滑材の表面には、押し出しの際に金型から移着したグラファイト潤滑剤や焼き付きによる線状欠陥(スクラッチ痕)が多く観察された。一方、グラファイト材の表面には、従来潤滑剤に観察された潤滑剤の移着は無く、大きなスクラッチ痕も極めて少ないことが分かった。押し出し材の軸(L)方向、円周(θ)方向の表面粗さをそれぞれ測定した結果を図7に示す。L方向の表面粗さは、従来潤滑材($Ry3.87 \mu\text{m}$)、グラファ

表1 ショットコーティングにより得られたナノ炭素皮膜及びナノ炭素複合皮膜の特性

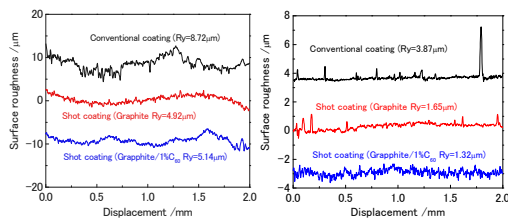
材料	膜厚さ / μm	表面粗さ R_z / μm	摩擦係数 μ	摩擦回数	S.W.R. ^b / $\text{mm}^2 \cdot \text{N}^{-1}$
カーボンブラック	0.062	0.257	0.21	233	9.3×10^{-8}
フラーレン	1.994	3.768	0.49	182	2.4×10^{-5}
ナノダイヤモンド	3.844	5.292	0.47	132	3.5×10^{-5}
グラファイトナノダイヤモンド	3.734	5.299	0.20	589	9.5×10^{-7}
グラファイト/1% グラファイトナノダイヤモンド	0.185	0.408	0.33	200	2.9×10^{-6}
グラファイト/1% フラーレン	0.133	0.977	0.11	2574	2.3×10^{-8}
スピコート ^a	0.104	0.476	0.08	1649	N.A. ^c
無潤滑	-	-	0.44	200	N.A.

a-スピコートしたグラファイト皮膜、b-比摩擦量、c-測定不能

イト材 (Ry1.65 μm)、フラーレン材 (Ry1.32 μm) の順で小さく、また、 θ 方向の表面粗さは、従来潤滑材が Ry8.72 μm と著しく大きく、グラファイト材 (Ry4.92 μm) とフラーレン複合材 (Ry5.14 μm) においてはほぼ同じであった。



(a) 従来潤滑剤 (b) グラファイト材
図 6 アルミ熱間押し材の外観写真



(a) 円周方向 (b) 押し出し方向
図 7 純アルミ熱間押し材の表面粗さ

(2) 熱間据え込み

ナノ炭素コーティングを施した熱間据え込み用金型プレートを用いて純アルミの熱間据え込み試験を行った。熱間据え込み試験は、ピレットを電気炉で 773K (大気中) に加熱した後、20t メカニカルプレスを用いて圧下率 50%まで直ちに圧縮した。据え込み速度は 59mm/min とした。据え込み用ピレットは、純アルミとし、 $\phi 10 \times 10\text{mm}$ の形状に加工して使用した。使用する据え込みプレートは、 $\phi 20 \times 5\text{mm}$ の SKD11 焼き入れ材を鏡面仕上げしたものを用意し、グラファイト/1%フラーレンをショットコーティング (室温、噴射速度 210m/s、噴射時間 20 秒、ノズル距離 5mm) した。また、比較として、従来潤滑剤として使用している黒鉛潤滑剤を塗布した据え込みプレートも用意した。以下、グラファイト/1%フラーレンをショットコーティングした据え込みプレートにより得られたものをフラーレン複合材とし、従来黒鉛潤滑剤により得られたものを従来潤滑材とした。

従来潤滑材の外観表面は、据え込みの際に金型から移着したグラファイト潤滑剤や焼き付きによる線状痕が多く観察された。特に、潤滑剤の移着は初期の成形に多く、成形回数と共に線状痕が多く観察されるようになった。一方、フラーレン複合材の外観表面は、従来潤滑材表面に観察された潤滑剤の移着も無く、スクラッチ痕もほとんど見受けられなかった。図 8 に据え込み材の表面粗さを示す。従来潤滑材に比べ、フラーレン複合材の

表面粗さは小さく、成形回数にもほとんど依存していないことが明らかとなった。図 9 に 50 ショット後の据え込みプレートの外観及び表面粗さの結果を示す。50 ショット後の据え込みプレートの表面は、従来潤滑の場合、潤滑皮膜は剥離し、著しいアルミの凝着が確認された。一方、ショットコーティング皮膜の場合、アルミの凝着は無く、皮膜も保持されていた。50 ショット後の据え込みプレートは、従来潤滑に比べ (表面粗さ Ry3.3 μm)、ショットコーティング皮膜への被加工材の凝着がほとんどないため、表面粗さが Ry1.6 μm と小さく、なめらかな表面であった。

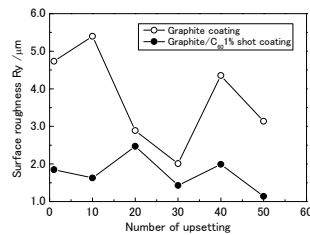


図 8 純アルミ熱間据え込み材の表面粗さ

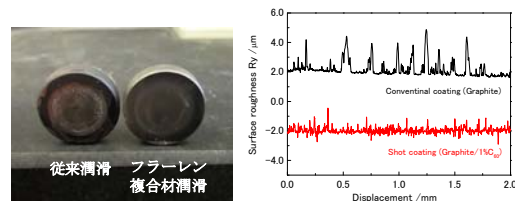


図 9 純アルミの熱間据え込み成形 (50 ショット) 後の金型表面外観及び表面粗さ

(3) アルミダイカスト

ナノ炭素コーティングを施したアルミダイカスト用ピンを用いてアルミダイカスト試験を行い、成形体の耐かじり性能について評価した。アルミダイカストピンには SKD61 焼き入れ材で $\phi 5 \times 50\text{mm}$ のものを用意し、グラファイト、フラーレン、グラファイト/1% ナノダイヤモンドをショットコーティング (室温、噴射速度 210m/s、噴射時間 20 秒、ノズル距離 5mm) したものを実験に供した。アルミダイカスト試験は、135t のダイカスト試験機を用いてピン内冷、離型剤なし、エアブローのみの条件で行い、低速で 2 ショット後、高速 9 ショットしたときの成形体表面を観察した。以下、グラファイト、フラーレン、グラファイト/1% ナノダイヤモンドをショットコーティングしたダイカスト用ピンを用いて得られたダイカスト成形体をそれぞれグラファイト材、フラーレン材、ナノダイヤモンド複合材とした。

試験の結果、アルミダイカストの耐かじり性においては若干改善が見受けられるものの熱間押し、熱間据え込みに比べナノ炭素コーティングの効果はさほど得られないことが明らかとなった。また、グラファイト材、

フラーレン材、ナノダイヤモンド複合材のいずれにおいても耐かじり性に大きな差異は見受けられなかった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計6件)

- ① Kotaro Hanada, Kan-ichi Hatsukano, Hiroyuku Takeishi, Toshio Sano, Shot Coating of Graphite Powder at Room Temperature, AIP Conference Proceedings, 2009、査読有 (アクセプト済)
 - ② Kotaro Hanada, Kaoru Kikuchi, Hiroyuku Takeishi, Toshio Sano, Shot coating of carbon materials for die lubrication, Proceedings of 3rd Tsukuba International Coating Symposium, Vol. 21, 43-44, 2008、査読無
 - ③ Kotaro Hanada, Kaoru Kikuchi, Hiroyuku Takeishi, Toshio Sano, Shot coating of fine graphite powder for dry lubrication, Materials Processing for Properties and Performance, Vol. 7, 7039-7041, 2008、査読無
 - ④ Kotaro Hanada, Kan-ichi Hatsukano, Hiroyuku Takeishi, Toshio Sano, Shot Coating of Carbon Materials and Its Application to Hot Upsetting, Surface Modification Technologies, Vol. 21, 216-226, 2008、査読有
 - ⑤ Kotaro Hanada, Kan-ichi Hatsukano, Kunio Matsuzaki, Toshio Sano, Influence of Processing Parameters on Shot Coating of Graphite Powder, Surface Modification Technologies, Vol. 20, 44-48, 2007、査読有
 - ⑥ Kotaro Hanada, Kan-ichi Hatsukano, Kunio Matsuzaki, Hiroyuku Takeishi, Toshio Sano, Deposition of solid lubricants by shot coating, Materials Processing for Properties and Performance, Vol. 5, 260-262, 2006、査読無
- [学会発表] (計6件)
- ① Kotaro Hanada, Kaoru Kikuchi, Hiroyuku Takeishi, Toshio Sano, Shot Coating of Carbon Materials for Die Lubrication, 3rd Tsukuba International Coating Symposium, 2008.10.31, Tsukuba.
 - ② Kotaro Hanada, Kaoru Kikuchi, Hiroyuku Takeishi, Toshio Sano, Shot coating of fine graphite powder for dry lubrication, 7th International Conference on Materials Processing for Properties and Performance (MP3 2008), 2008.11.5, Singapore. (Invited)

- ③ Kotaro Hanada, Kan-ichi Hatsukano, Hiroyuku Takeishi, Toshio Sano, Shot Coating of Carbon Materials onto Tool Steel, 21th International Conference on Surface Modification Technologies (SMT21), 2007.9.24, Paris. (Invited)
- ④ Kotaro Hanada, Kan-ichi Hatsukano, Hiroyuku Takeishi, Toshio Sano, Shot Coating of Graphite Powder at Room Temperature, International Conference on Advanced Materials and Nanotechnology ICAMN2007), 2007.5.30, Malaysia. (Invited)
- ⑤ Kotaro Hanada, Kan-ichi Hatsukano, Kunio Matsuzaki, Hiroyuku Takeishi, Toshio Sano, Deposition of solid lubricants by shot coating, Materials Processing for Properties and Performance (MP3 2006), 2006.12.13, Singapore.
- ⑥ Kotaro Hanada, Kan-ichi Hatsukano, Kunio Matsuzaki, Toshio Sano, Influence of Processing Parameters on Shot Coating of Graphite Powder, Surface Modification Technologies, 2006.9.26, Vienna.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐野 利男 (SANO TOSHIO)

千葉工業大学・社会システム科学部・教授

研究者番号：60337699

(2) 研究分担者

武石 洋征 (TAKEISHI HIROYUKU)

千葉工業大学・工学部・教授

研究者番号：20083909

松崎 邦男 (MATSUZAKI KUNIO)

産業技術総合研究所・先進製造プロセス研究部門・グループ長

研究者番号：20181711

花田 幸太郎 (HANADA KOTARO)

産業技術総合研究所・先進製造プロセス研究部門・主任研究員

研究者番号：00357790

初鹿野 寛一 (HATSUKANO KAN-ICHI)

産業技術総合研究所・先進製造プロセス研究部門・主任研究員

研究者番号：00357782

菊地 薫 (KIKUCHI KAORU)

産業技術総合研究所・先進製造プロセス研究部門・主任研究員

研究者番号：80356865

(3) 連携研究者

なし