

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2008

課題番号：19560124

研究課題名（和文） 表面微細構造のマイクロ加工による付着性・撥水性制御

研究課題名（英文） CONTROL OF WETTABILITY AND ADHESION WITH SURFACE TOPOGRAPHY

研究代表者

松村 隆 (MATSUMURA TAKASHI)

東京電機大学・工学部・教授

研究者番号：20199855

研究成果の概要：表面機能を制御するために、微細構造を有する固体表面の機械加工法を提案した。この工程では、集束イオンビームによるストラクチャ工具製作、インクリメンタルスタンピングによる微細構造を有する金型製作、プラスチック成形による微細構造の転写で構成されている。この工程により表面の微細構造を任意に加工し、微細構造が液体のぬれ性や物質の付着性に及ぼす影響を明らかにし、提案した加工法により表面機能が制御できることを示した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：微細加工，表面機能，撥水性，付着性，集束イオンビーム，金型，プラスチック

## 1. 研究開始当初の背景

表面の微細構造により、その表面と接触する物質との物理的および化学的性質を制御する機能表面は、今日多くの工業製品に応用されている。その多くは、化学的な処理によって加工された一様な微細構造により、単一の機能を有している。しかし、このような処理では、その微細構造を任意に加工できないため、その機能性を制御することは困難である。一方、エネルギービーム加工では、スパッタリングや蒸着によって表面の微細構造を制御できる。また、最近では切削や塑性加工でも微細加工技術が進み、微細構造の制御性ととも高い生産効率が期待されている。

## 2. 研究の目的

本研究では、エネルギービームの一つである集束イオンビームと機械加工とを併用して、マイクロオーダーの微細構造を有する表面を製作し、その機能を所定の仕様に応じて制御することを目的とする。

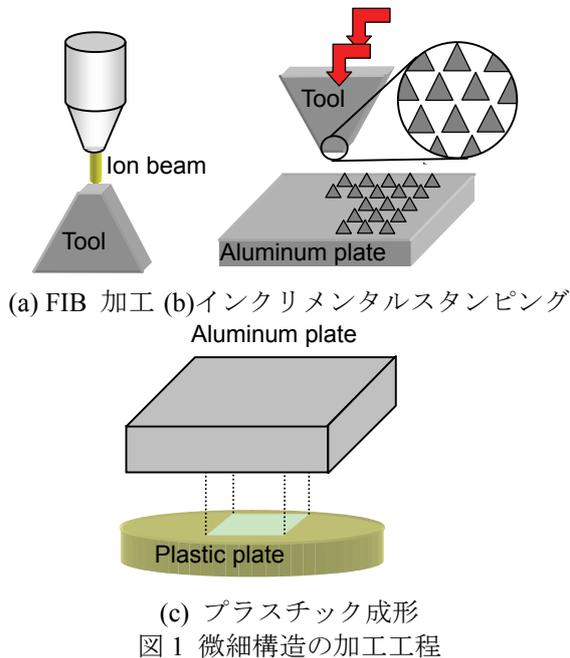
## 3. 研究の方法

- (1) 大表面に微細構造を高効率に加工できる工程を示し、その形状精度を明らかにする。
- (2) 微細突起を有する表面によってぬれ性が変化することを示し、突起の形状や配列が及ぼす影響を議論する。
- (3) 微細突起が付着性に及ぼす影響を、ぬれ

性と流体力学的な観点から議論し、その効果を実験的に示す。

#### 4. 研究成果

##### (1) 機能表面の機械加工



集束イオンビームの照射によるスパッタリングや蒸着による加工は微細性に優れているものの、加工速度がきわめて遅いため、大きな表面に対して微細構造を加工することは時間的に困難である。そこで、図1の工程により広い領域に微細構造を効率的に加工する。この加工法は以下のプロセスで構成されている。

- ① 集束イオンビーム (Focused Ion Beam)によって、工具先端に微細構造を加工する。以後、この工具をストラクチャ工具と呼ぶ。
- ② 図2のインクリメンタルスタンピング加工機によって、数値制御(Numerical Control)でストラクチャ工具を一定間隔で移動させながら、微細構造を金属板に押し込んで金型を

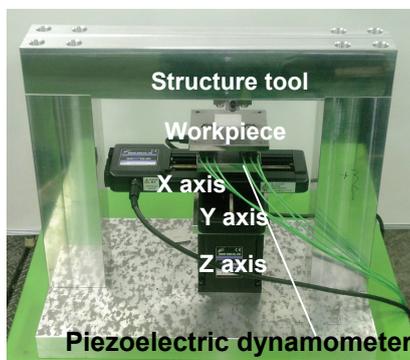
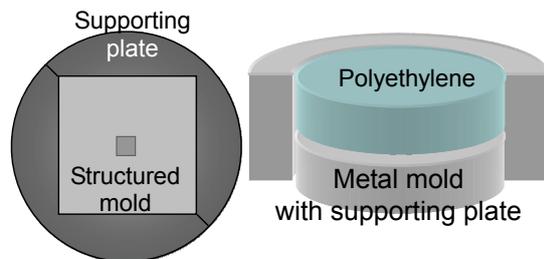


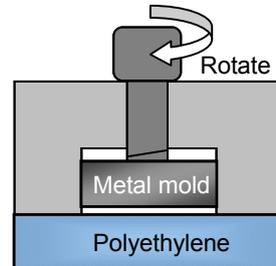
図2 インクリメンタル加工機

加工する。同機は機械上部にストラクチャ工具を固定し、被削材を固定したテーブルの上昇と下降を繰り返しながら微細構造を有する金型を製作する。各軸はステッピングモータで駆動し、位置決め分解能は X, Y 軸が 25nm, Z 軸が 2.5nm である。また、テーブル下部には圧電型動力計が取り付けられ、ストラクチャ工具の接触と荷重を監視する。

③ 前工程で加工した金型を用い、プラスチック成形により、ストラクチャ工具と同様の微細構造をプラスチックに転写する。ここでは走査型顕微鏡の試料作成用埋込み機を使用し、温度 180°C, 圧力 180KPa, 加熱時間 20 分, 冷却時間 20 分の条件で加工した。なお離型時のプラスチックに対する曲げは微細構造を破損させるため、図3のように離型する。まず、金型外周部にプラスチックが充填されないように補助プレートをつけて成形し、成形後に金型を残してプレートを取り外す。次に、金型と同形状の中空部を有する離型装置により、中空部内面をガイドとして、ねじ機構により金型をひき抜く。



(a) ストラクチャ金型と補助プレート



(b) 離型

図3 離型作業

この一連の加工工程は、第一工程のストラクチャ工具の製作により微細構造を作り、第二工程のインクリメンタルスタンピングにより微細構造の表面を拡張させ、第三工程のプラスチック成形で生産効率を向上させている。

図4は、集束イオンビームで製作したストラクチャ工具の一例である。同図は一辺 140 $\mu$ m の正方領域に直径 18 $\mu$ m, 高さ 18 $\mu$ m の微細円柱をピッチ 60 $\mu$ m の間隔で加工したものである。

図5は一辺 2mm の正方領域に対し、図4のストラクチャ工具を用い、インクリメンタ

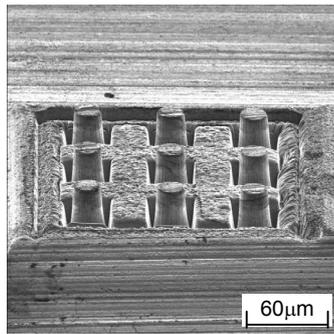


図4 ストラクチャ工具

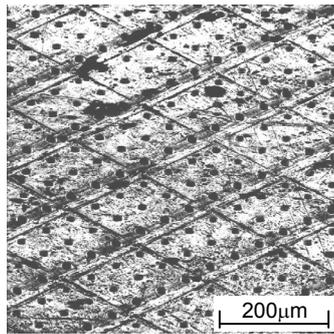


図5 微細構造金型

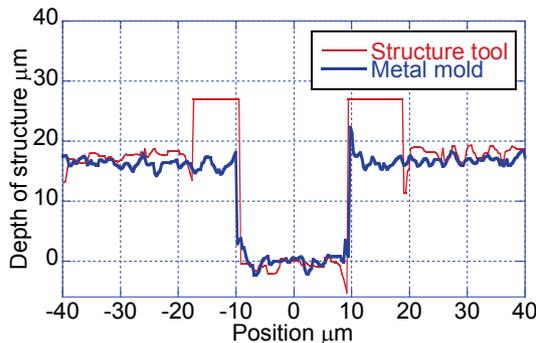


図6 金型とストラクチャ工具(反転)の形状

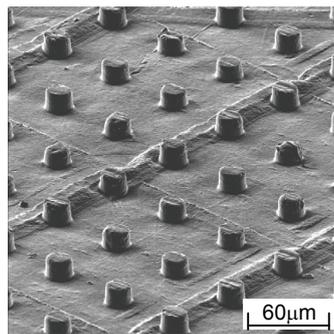


図7 微細構造を有するプラスチック表面

ルスタンピングで加工した金型である。加工時は潤滑剤として灯油を用い、摩擦による形状精度の劣化と材料の付着を抑制している。図6はストラクチャ工具の突起部と金型の押し込み部の形状を比較したものである。金型の微細構造部は、図4のストラクチャが反転した形状であり、深さ18μmのくぼみが転写されている。転写時の弾性変形により、同図で

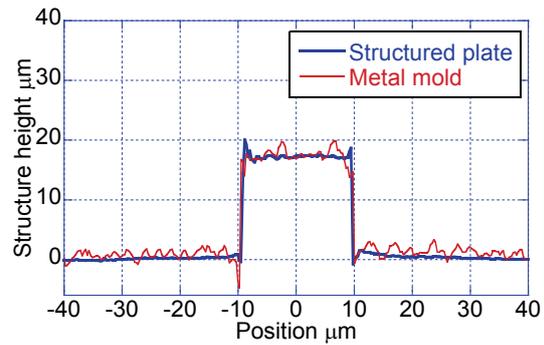


図8 プラスチックの微細構造と金型(反転)の形状

は若干の誤差が生じているものの、ほぼ同様のプロファイルで高精度な押し込みが確認できる。

図7はプラスチック成形した表面の微細構造部であり、図8は金型と成形したプラスチック表面の形状とを比較したものである。プラスチック成形における微細構造は、反転した金型形状と同様であり、十分に高い精度が得られている。

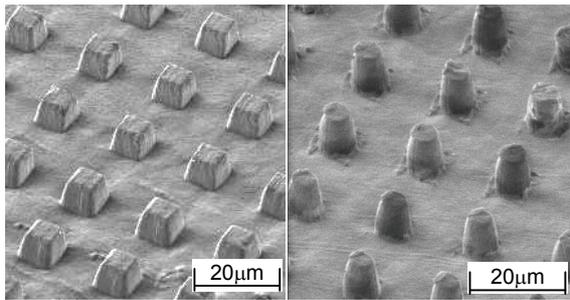
## (2) 微細構造を有する表面のぬれ性

Cassie-Baxterのモデルによれば、撥水性を有する表面の微細構造に水を滴下すると、それぞれの突起の隙間に空気が入り込み、液体と固体の接触が限定され、撥水性がさらに大きくなる。一般に、ぬれ性は液適法により液体と固体の接触角で定量的に評価されており、このモデルによれば、微細構造を有する表面の見かけ上の接触角は、以下の式で表される。

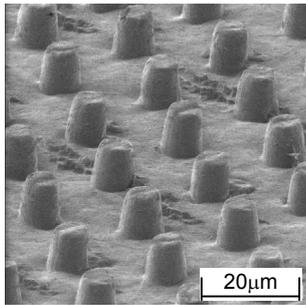
$$\cos \theta_r^c = \phi_s \cos \theta_e + \phi_v - 1$$

ただし、 $\phi_s$ は表面全体の面積に対する突起先端部分の面積の割合である。また $\theta_e$ は平坦な面における接触角であり、ポリエチレン樹脂における水の接触角では $92^\circ$ である。

表面の微細構造が撥水性に及ぼす影響は、これまでにも多くの報告がなされている。微細構造はいずれもエッチングによる化学的な処理によって製作されたものであり、突起の形状や配列に対する制御が困難である。これに対して本研究で示した加工法は機械的な工程に基づいているため、任意の微細構造を容易に作成できる。ここでは本研究で提案する加工工程によりいくつかの微細構造を製作し、突起形状と配列における等方性と異方性が、水滴のぬれ性に及ぼす影響を調べた。図9はポリエチレン樹脂に微細構造を作成した例である。同図(a)は、一辺 $6\mu\text{m}$ 、高さ $10\mu\text{m}$ 、突起間隔 $20\mu\text{m}$ の正方形突起を格子状に配列した微細構造である。これは突起および配列の対角方向と縦横方向の大きさと距離が異

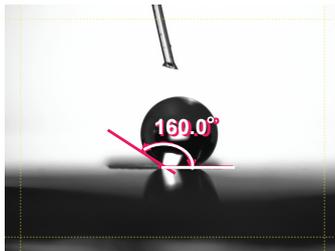


(a) 正方突起, 正方配列 (b) 円形突起, 正方配列

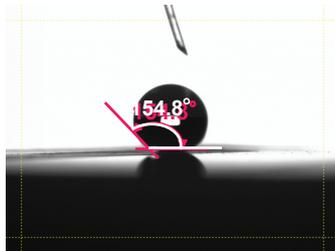


(c) 円形突起, 六方配列

図9 ポリエチレンの微細構造表面



(a) 縦横方向



(b) 対角方向

図10 異方性配列の水形状

なり, 両者に対して異方性のある構造となっている. 同図(b)は, 直径  $6\mu\text{m}$ , 高さ  $10\mu\text{m}$ , 突起間隔  $20\mu\text{m}$  の円形突起を格子状に配列した微細構造であり, 配列に対して異方性を有している. 同図(c)は, 直径  $6\mu\text{m}$ , 高さ  $10\mu\text{m}$ , 突起間隔  $20\mu\text{m}$  の円形突起を六方向に配列した構造であり, 形状および配列に対して等方性がある.

図10は配列異方性のある微細構造のポリエチレン樹脂表面における水滴形状である. 同図は, 正方配列の縦横方向と対角方向から観察した場合を比較したものであり, 突起間

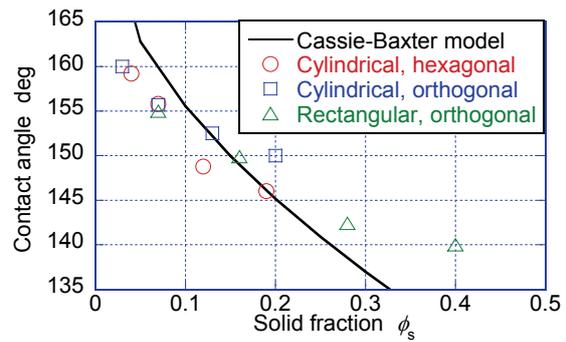
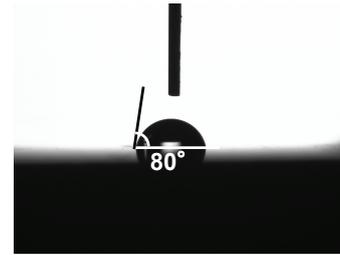
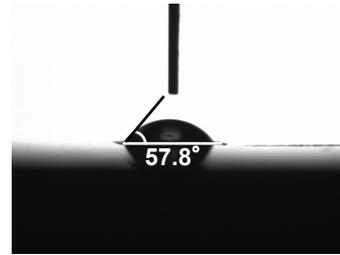


図11 突起先端面積率とポリエチレンの接触角



(a) 平坦部



(b) 微細構造部

図12 金薄膜上の水滴形状

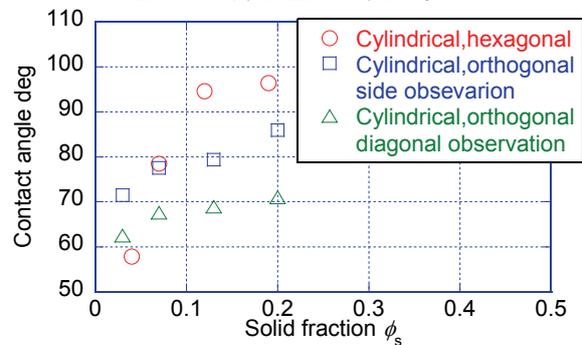


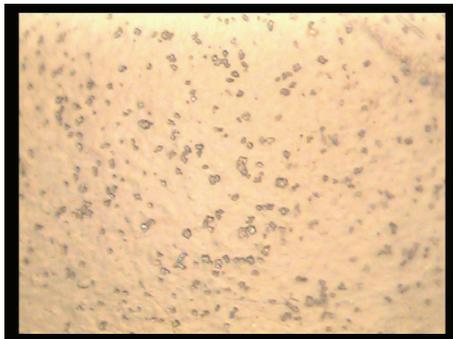
図13 突起先端面積率に対する金薄膜の接触角

の距離の違いによって接触角が異なり, ぬれ性に対して異方性を有している. 図11は接触角と $\phi_s$ の関係を示したものである. ポリエチレン樹脂に対する水のぬれ性は撥水性を示し, その傾向はCassie-Baxterのモデルと同様に,  $\phi_s$ の減少に伴い接触角が増加している. さらに突起の形状および配列が等方的な場合は, モデルに最も近い特性を示している. また, 接触角に対する突起形状の影響は大きくないが, 配列における異方性は,  $\phi_s$ に対する接触角の変化率を下げる効果がある.

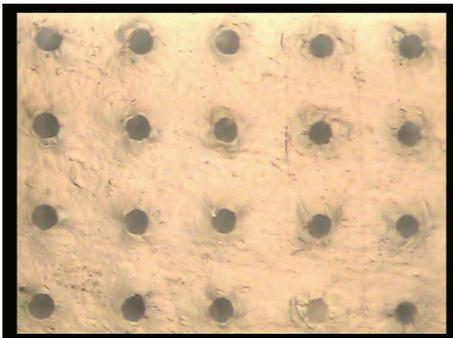
図 12(a)は平坦なポリエチレン樹脂に金を1000Å蒸着させた水滴形状である。表面は撥水性から親水性に変化し、接触角は $80^\circ$ となっている。同図(b)は金薄膜を有する図. 9(c)の微細構造に対して、水滴形状を示したものである。図 12(a)と比較すると、さらに接触角が減少し微細構造によって接触角が変化している。図 13 は、金薄膜を蒸着したポリエチレン樹脂における接触角と $\phi$ の関係を示したものである。親水性のある表面における $\phi$ の影響は、撥水性のそれと逆の効果を持ち、 $\phi$ が小さくなるほど接触角が減少する。

(3) 微細構造を有する表面の付着性

図 14 は、0.2%に希釈した乳酸菌 LG21 の溶液を、ポリエチレン樹脂に流速 0.1m/s で流した後、表面に付着した乳酸菌を観察したものである。ただし表面を乾燥させて乳酸菌を固定し、レーザ顕微鏡で付着状況を観察している。黒点が乳酸菌であり、同図(a)の平坦部では乳酸菌の付着が観察できる。一方、同図



(a) 平坦部



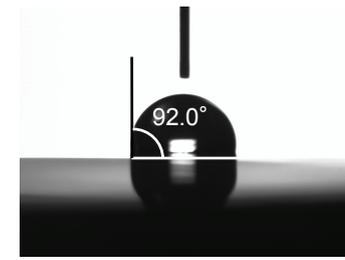
(b) 微細構造部  
突起間隔, 30 $\mu$ m

図 14 乳酸菌の付着性

(b)の微細構造を有する表面には乳酸菌の付着が観察されていない。

図 15 は図 14 に示した平坦な試験片と微細構造部を有する試験片における水滴形状を示したものである。微細構造を有する表面の水滴の接触角が大きいことから、付着性の抑制は表面の撥水性と関連づけられる。

微細構造部と平坦部の表面近傍の流速を



(a) 平坦部



(b) 微細構造部

図 15 試験片の水滴形状

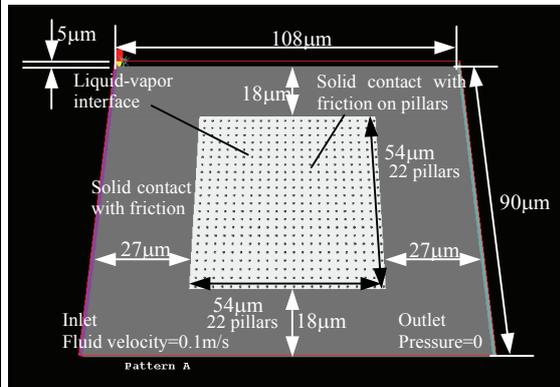


図 16 CFD 解析モデル

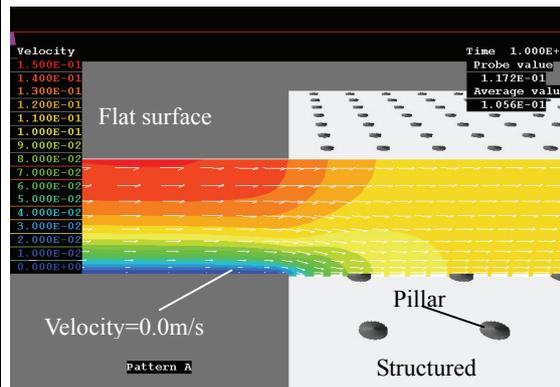


図 17 平坦部と微細構造部における流速分布

CFD によって解析し、比較する。図 16 に解析モデルを示す。この解析では、図 15 の液滴試験の結果と Cassie-Baxter のモデルに基づき、突起間を気相と液相との接触として扱い、突起先端および平坦部は固相と液相との接触として解析している。図 17 は左側より流速 0.1m/s で水が流れる場合を想定し、図 16

の解析モデル左側の定常流れにおける流速分布を示したものである。平坦部では固相付近における流速は低いが、微細構造部の突起近傍では固体接触部が小さいため流速の低下が少ない。そのため液体を媒体とする物質の付着は、流速の小さい平坦部に多く、一定の流速を有する微細構造部では少なくなることが考えられる。本解析により、表面の微細構造部は微細突起間の気相の存在により、媒体として作用する液体がある程度の流速を有しているため、物質の付着が抑制できることがわかる。

#### (4) まとめ

- ① 集束イオンビームによる微細構造を有するストラクチャ工具の製作、インクリメンタルスタンピングによる金型の成形、プラスチックへの転写によって、微細構造を有する表面を精度良く加工できる。なお、プラスチック成形においては、離型時の曲げが微細構造を破損するため、表面に対して垂直に離型できる装置を作成し、その妥当性を明らかにした。
- ② 微細構造によって表面の撥水性が制御でき、表面全体に対して突起先端の面積が占める割合が小さくなるほど、撥水性が向上する。微細構造の形状および配列が等方的な表面では、その撥水性は Cassie-Baxter のモデルに最も近い特性となる。接触角に対して突起形状の影響は大きくないが、配列における異方性と等方性の差は大きい。プラスチックに金属薄膜を蒸着すると接触角が下がり親水性となり、微細構造によって接触角が変化する。
- ③ 表面の付着性は、微細構造によって制御できる。平坦な表面の近傍は流速が低下し、液中の物質が固体表面に付着しやすい。一方、微細構造によって撥水性が大きい表面では、微細突起間の気相により液相の固体接触部が少なくなり、微細構造部での流速の低下が抑えられる。そのため微細構造部における液中の物質の付着が抑制される。

#### 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 2件)

- (1) Matsumura, T., Ogasawara, R. and Iida, F.: Control of Liquid Flow in The Volatilization Process, Proceedings of the 11th International Conference on Metrology and Properties of Engineering Surfaces, pp.381-385, 2007,査読有.
- (2) Matsumura, T., Yoshino, M, Umehara N, and Iida, F.: Control of Surface Functions with Micro-Scale Structures, Proceedings of The 3<sup>rd</sup> International Conference on Tribology in Manufacturing Processes, pp.315-320, 2007,査読

有.

[学会発表] (計 2件)

- (1) 松村 隆, 広瀬琢也, 笹嶋佳奈枝: 表面の微細構造が撥水性に及ぼす影響, 日本機械学会 2008 年度年次大会講演論文集, pp. 143-144, 2008.
- (2) 松村 隆, 広瀬琢也, 吉野雅彦, 梅原徳次: 機械加工による表面のぬれ性制御, 第7回日本機械学会生産加工・工作機械部門講演会論文集, pp.49-50, 2008.

[図書] (計 0件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0件)
- 取得状況 (計 0件)

[その他] なし

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

松村 隆 (MATSUMURA TAKASHI)

東京電機大学・工学部・教授

研究者番号: 20199855

##### (2) 研究分担者 なし

##### (3) 連携研究者 なし