

機関番号：	32665
研究種目：	基盤研究 (C)
研究期間：	2008 ~ 2010
課題番号：	20560337
研究課題名 (和文)	近接場アンテナとパルス磁界によるハイブリッド記録の基礎特性
研究課題名 (英文)	Fundamental properties of hybrid recording by a near-field antenna and a pulse magnetic field
研究代表者	
	中川 活二 (NAKAGAWA KATSUJI)
	日本大学・理工学部・教授
	研究者番号： 20221442

研究成果の概要 (和文)：

近接場利用微小光スポットによる局所的な温度上昇を充分生かし、かつヘッドの作製が容易な光スポットに比べ磁界勾配の小さなヘッドによる磁界を加える方式を検討した。シミュレーション解析により、近接場アンテナと記録媒体構造との対応を調べ、光強度分布に加え温度上昇解析も行った。さらに、記録媒体を試作し、近接場アンテナを記録媒体状に直接積層し、媒体とアンテナのギャップを精度良く制御して熱アシストの効果解析する新たな実験手法を提案・実証した。

研究成果の概要 (英文)：

Hybrid recording was investigated by simulations and experiments. Relations between a near-field plasmon antenna and a recording medium on electrical intensity and temperature distributions were simulated. Plasmon antennas and recording media for thermally assisted magnetic recording were fabricated, and hybrid recording was demonstrated using the antennas and media by our proposed evaluation method.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成20年度	1,900,000	570,000	2,470,000
平成21年度	1,000,000	300,000	1,300,000
平成22年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野： 工学

科研費の分科・細目： 電気電子工学 ・ 電子デバイス・電子機器

キーワード： 記憶・記録, 近接場光

1. 研究開始当初の背景

従来の磁気記録では、磁気記録ヘッドからの高磁界勾配を利用して狭い磁気遷移幅を得ており、保磁力 H_C と磁化反転開始磁界 H_N が異なる材料が適している。一方、本ハイブリッド記録では、FePt 等の高い垂直磁気異方性を有する記録材料を用い、 H_C と H_N をほぼ同程度の値にすることができ、熱磁気記録のように高い温度勾配での記録に適

している。すなわち、温度上昇に依存して、同じ角形比を保ちながら H_C と H_N が低下するため、温度分布を急峻にすることで、急峻な磁化遷移幅が得られる。実際に、光熱磁気記録では印加磁場領域より 2~3 桁小さいレーザー加熱領域のサイズで磁区の記録が実現された。これは、高い角形比を保ったままキュリー温度に達するためであり、温度分布に対して急峻な閾値を持って記録が行われる

ことに起因する。これを、キュリー温度を制御した高 K_u 微粒子媒体に適用することで、低磁界勾配での高密度記録が実現できる。

2. 研究の目的

記録密度 1 平方インチ当り 1 テラビット (1Tb/in²) 以上の情報記録装置の一つとして光・磁気ハイブリッド記録があるが、主として光ヘッドに磁気ヘッドを混在させる困難さから待望されながらも、未だに実用化の目処を得るに至っていない。本研究では、その現状を打破するため、近接場利用微小光スポットによる局所的な温度上昇を充分生かし、かつヘッドの作製が容易な光スポットに比べ範囲の広い磁界すなわち磁界勾配の小さなヘッドによる磁界を加える方式を検討する。一般には磁界勾配が高くないと不利とされるが、それは実際のハイブリッド記録で実証はされていない。本研究では、記録時に両極性の磁界と、その印加位相制御を積極的に利用する方法ならびに媒体を急速降溫構造としたときの効果についても議論する、これにより光・磁気ハイブリッド記録方式の基盤を明確にする。

具体的な研究目標は、以下の通りである。

- 1) プラズモン共鳴を利用した近接場光ヘッドの作製
- 2) 上記ヘッドと磁界勾配の低い磁界ヘッドによる高 K_u 微小粒媒体への記録実験
- 3) 上記への第 3 元素添加による K_u の温度特性、キュリー温度制御による記録特性変化
- 4) 本方法に適した高 K_u 微粒子媒体への連続膜積層タイプの複合膜作製

これらにより、光磁気記録で挑戦された、いわゆる筆先記録の高度な制御方法を追求することにより、より簡易なヘッドによる、超高密度光磁気ハイブリッド記録の可能性を追求する。

3. 研究の方法

本研究では、複合磁気ヘッドとして比較的实现が容易な低磁界勾配の条件で、光・磁気ハイブリッド記録を実現するために、以下の事項を進める。

- 1) プラズモン共鳴を利用した近接場光ヘッドの作製 (従来研究を発展し、分解能、光利用効率を向上する。)
- 2) 低磁界勾配の磁界ヘッドによる高 K_u 微小粒媒体への記録実験 (シミュレーションと静的記録実験による検討を行い、記録実証する。)
- 3) 高 K_u 微粒子媒体の第 3 元素添加による K_u 、キュリー温度の制御 (キュリー温度制御によりハイブリッド記録に適した媒体熱特性検討を行う。)
- 4) ハイブリッド記録用の高 K_u 微粒子・連続膜の積層型複合膜検討 (高 K_u 粒子微粒子上に

連続膜を積層し、優れたハイブリッド記録媒体を得る。)

以上のアプローチにより、低い磁界勾配で 1Tb/in² を越える光・磁気ハイブリッド記録実現を行う。

4. 研究成果

(1) 近接場光加熱時の記録媒体の温度解析

Finite-Difference Time-Domain (FDTD) 法による近接場光の電界強度解析結果を基に、記録媒体の温度の昇降溫過程と空間分布を熱拡散方程式に基づくシミュレーションにより解析した。記録媒体形状が孤立円柱形状の場合には、媒体部分のみが選択的に加熱されることを明らかとし、その結果、連続薄膜形状の場合に比べ、周辺部との高い温度勾配を形成可能であることを明らかにした (図 1)。

粒子状媒体では金属粒子を局所的に加熱できる反面、特定の粒子を選択的に加熱する事が重要となる。隣接磁区の情報を書き消さないためには、加熱したい目標粒子と非目標粒子の温度差が十分に大きく、かつ昇降溫が短時間に終了する必要がある。そこで、加熱する目標粒子とその最隣接粒子の昇溫・降溫特性及び、アンテナの位置をトラック方向に走査

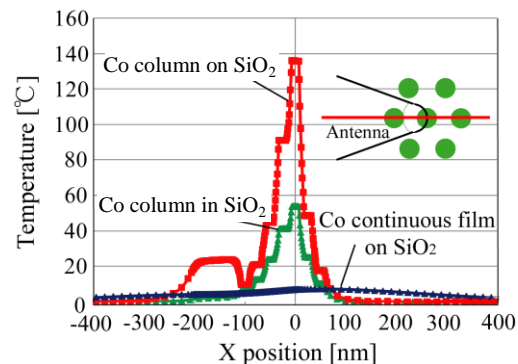


図 1 粒子状媒体および連続薄膜媒体における空間温度分布。

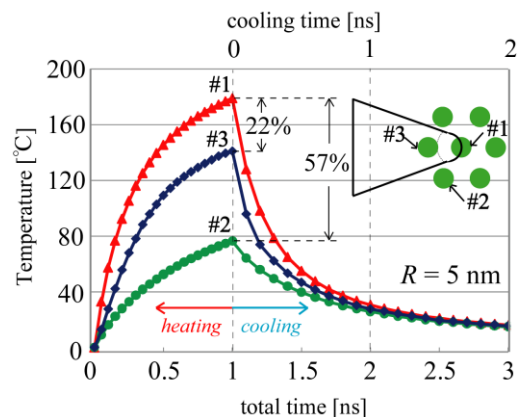


図 2 先端曲率半径 5 nm のアンテナ使用時における目標粒子及び隣接粒子の加熱・冷却過程。

した際の解析を行った。アンテナ先端部形状、孤立粒子配列、及び、アンテナと孤立微粒子の相対位置関係について詳細に解析を行った。アンテナ先端部と粒子とが重畳する場合には、アンテナ-粒子間における電界増強効果及び加熱効果が著しく増大することを明らかにし、粒子配列及びアンテナ先端部構造、ポジショニングにより周辺部の加熱を抑制可能であることを示した。先端曲率半径 R を 5 nm と小さくし、隣接粒子とアンテナとの重畳を無くすことで、目標粒子と隣接粒子 (#2) の温度差を 57% まで拡大させた結果を図 2 に示す。さらに、 R を小さくすることが近接場光の増強効果を高め、加熱目標粒子の到達温度を向上させる効果があることが分かった。

(2) 近接場光発生プラズモンアンテナの作製

収束イオンビーム加工装置 (FIB) を用いて、近接場光形成に必要なプラズモンアンテナ電極を作製した。FIB 装置の加工条件の最適化を行うことにより、FDTD シミュレーションにより得られている表面プラズモンの共鳴条件に適したアンテナ長さ実現と選択的加熱領域の縮小のためのアンテナ先端部曲率半径のさらなる縮小に成功した。また ICP エッチング法を用いた埋設型構造を有する耐消耗性の高いプラズモンアンテナ構造の作製、及び、電子線リソグラフィ法を用いたリフトオフ法による近接場光形成に必要なプラズモンアンテナの作製を行った。

また、同時に大量のアンテナを作製することが可能な電子線リソグラフィを用いたリフトオフ法によるプラズモンアンテナ作製手法の検討も行った。誘電体層でキャップした記録媒体上に作製したプラズモンアンテナの走査電子顕微鏡 (SEM) 像を図 3 に示す。アンテナ長手方向長さ $L = 320\text{ nm}$ 、アンテナ先端曲率半径 $R = 28\text{ nm}$ のアンテナが得られた。

(3) ハイブリッド記録用媒体の作製

HDD に用いられる垂直媒体を基にハイブリッド記録に適する媒体の検討を行った。積層

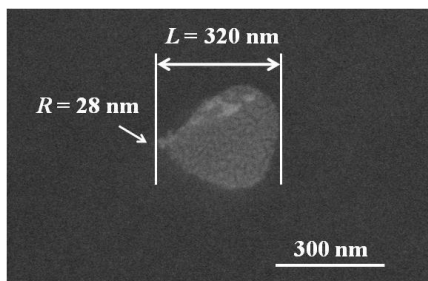


図 3 電子線リソグラフィ法を用いてリフト法により作製したプラズモンアンテナの走査電子顕微鏡写真。アンテナ長手方向長さ $L = 320\text{ nm}$ 、アンテナ先端曲率半径 $R = 28\text{ nm}$ 。

構造を用いることで材料組成を変化させた媒体を作製し、記録実証実験が可能な CoPtCr-SiO₂ 基媒体の作製に成功した。

熱アシスト磁気記録用媒体には、室温において角型比 (M_r/M_s) が 1 でかつ反転核生成磁界 H_n が大きいこと、及び 200°C 程度の高温において飽和磁界 H_s が小さいことが求められる。これら条件を満たす記録層の組成を CoPtCr 合金の磁気特性を参照して決定した。試料は DC マグネトロンスパッタ法を用い 2.5 インチ ガラス基板上に室温成膜した。試料は、組成の異なる 2 種類の CoPtCr-SiO₂ 層を繰り返して積層した構造とし、試料全体の組成を各層の体積比を変えることにより調整した。作製した CoPtCr 薄膜は、熱磁気記録および熱アシスト磁気記録用として H_s の温度依存性を磁気光学 Kerr 効果により評価した。

Co₅₅Pt₃₀Cr₁₅ 薄膜の磁気特性の温度依存性を図 4 に示す。室温で媒体の飽和磁界 ($H_s = 3.9\text{ kOe}$) 以上の磁界 10 kOe を膜面垂直方向に印加して磁化を飽和させた。その後、静的記録実験装置下で初期化磁界と逆方向の磁界を媒体に印加した状態で波長 λ が 780 nm の半導体レーザを照射した。印加磁界は、室温における H_n より小さくする必要があるため 700 Oe とした。レーザスポットは約 $1\text{ }\mu\text{m}$ で、パルス幅を $10\text{ }\mu\text{s}$ 、パワーを 1 mW から 30 mW までの条件で照射した。レーザ照射後の磁気力顕微鏡 (MFM) による磁気像を図 5 に示す。レーザパワー 5 mW では記録できず、 10 mW 以

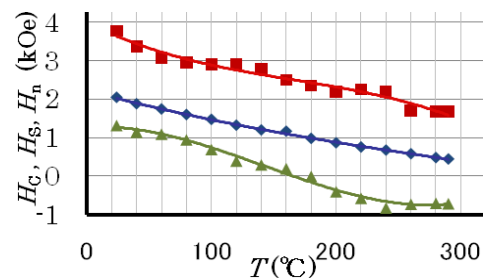


図 4 Co₅₅Pt₃₀Cr₁₅ 薄膜における保磁力 H_c 、飽和磁界 H_s 、および反転核生成磁界 H_n の温度依存性。

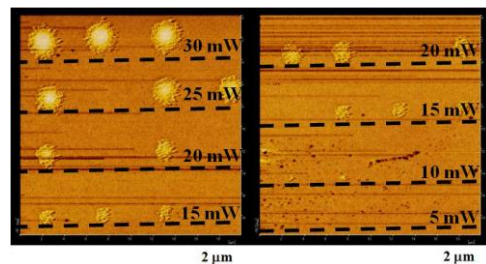


図 5 熱磁気記録を行った後の Co₅₅Pt₃₀Cr₁₅ 薄膜の表面磁気観察像。印加磁界 700 Oe 、記録用レーザパワー $1\text{--}30\text{ mW}$ 、レーザ照射時間 $10\text{ }\mu\text{s}$ 。

上で直径 2~4 μm の磁化反転領域が観察でき、熱磁気記録におけるレーザパワーのしきい値を確認した。

(4) アンテナ積層構造における熱アシスト磁気記録評価方法

記録したプラズモンアンテナの形状とその磁区形状との評価を行うことが可能であり、かつ、アンテナ-媒体間距離を誘電体層厚として制御して記録を行うことが可能な熱アシスト磁気記録評価方法を提案した。さらに本構造では、媒体損傷やプラズモンアンテナ剥離を回避できる。記録媒体上にプラズモンアンテナを積層する薄膜構成を図 6 に示す。記録媒体上に誘電体層 (Si_3N_4) を積層し、その上にプラズモンアンテナ (Au) を作製する。誘電体層の厚さは 3 nm とした。記録した磁区は MFM を用いて観察する。MFM では記録媒体の磁区から発生する漏れ磁界を検出するため、作製したプラズモンアンテナの上からの観察が原理的に可能だと考えられる。そこで、磁区が記録されている磁気ディスク上にアンテナを積層し、検証実験を行った。磁気ディスク上に作製したアンテナ下の磁区観察像を図 7 に示す。図中のストライプ状の黒白のコントラストは、記録された媒体の磁化の向きに対応し、中央の楕円形状の像はプラズモンアンテナに対応する。プラズモンアンテナ構造部分にも、ストライプ状の黒白のコントラストを確認でき、プラズモンアンテナ下の記録マークを観察できることが示された。

前述の CoPtCr-SiO_2 媒体上に複数のプラズ

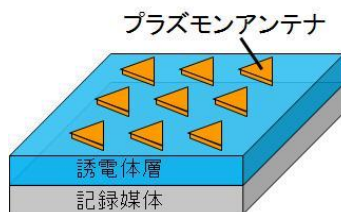


図 6 提案したプラズモンアンテナを磁気記録媒体上に積層する熱アシスト磁気記録評価用試料構成。一度の記録プロセスで複数の近接場記録が可能。

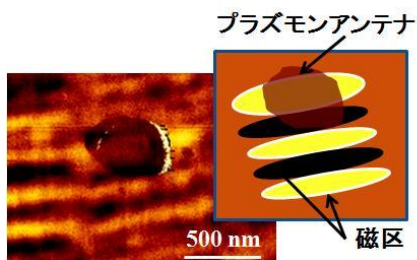


図 7 磁気ディスク上に作製したプラズモンアンテナの直下の磁区観察像。

モンアンテナを作製し、700 Oe を媒体に印加した状態で、記録パワー 7.5 mW、9.4 mW、パルス幅 10 μs の条件で、レーザスポットを媒体上に隙間無くスキャンして媒体全面に熱アシスト磁気記録を行った。その結果、アンテナの無い部分では記録閾値以下でレーザ照射しているので記録が行われず、記録パワー 9.4 mW ではアンテナ周辺部に記録磁区に相当する白いコントラストが確認された。この結果は、アンテナで発生した表面プラズモンによる光エネルギー増強効果で記録が行われたと考えられる。また、記録パワー 7.5 mW では照射パワーが小さいため、プラズモン共鳴が発生しても記録ができなかった。

(5) 記録媒体加熱時の記録ヘッドの温度上昇
熱伝導シミュレーションにより記録媒体を加熱する際のヘッドの温度上昇を解析し、適切な材料を選択することによりヘッドの温度上昇を孤立微粒子媒体の温度上昇よりも十分に低くできることを示した。

(6) 円偏光発生近接場アンテナ

磁極を用いずに光のみを用いて磁化を高速で反転させる新たな記録方式の実現のため、局所領域に円偏光を生成するための近接場発生プラズモンアンテナを設計した。計算モデルを図 8 に示す。FDTD 法を用いて 4 回対称性の開口型アンテナについて検討を行った結果を図 9 に示す。十字型開口アンテナを

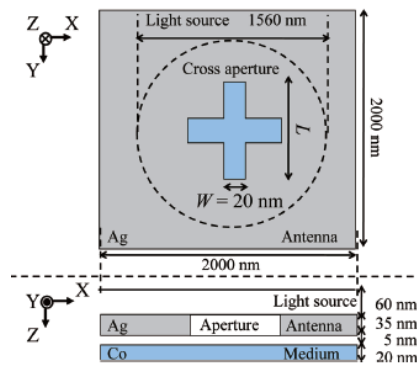


図 8 円偏光生成用 4 回対称性十字型開口アンテナの計算モデル。

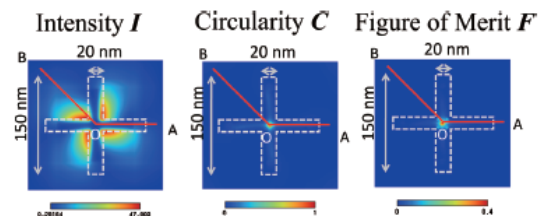


図 9 十字型開口アンテナにおいて生成した円偏光の強度 I 、円偏光度 C 、および高い強度の円偏光度の指標 F 。アンテナ中心部にも高い円偏光が形成される。

用いることにより、記録媒体表面に入射光の波長以下の直径 10 nm の局所的な円偏光を形成可能である。さらに、粒子状媒体と組み合わせることにより、媒体内部に均一に円偏光を伝搬可能であること(図 10(a))、十字型形状をクローバ形状にしてアンテナと粒子との重畳を回避することで、目標粒子と隣接粒子との強度比を増大できること(図 10(b))を示した。

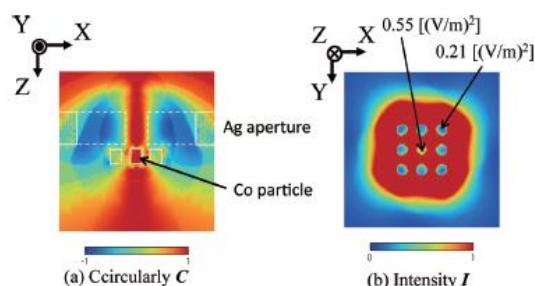


図 10 近接場生成用開口アンテナと粒子媒体とを組み合わせたときの円偏光度 C (a) および電界強度 I (b)。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① K. Nakagawa, Y. Ashizawa, S. Ohnuki, A. Itoh, and A. Tsukamoto, “Confined Circularly Polarized Light Generated by Nano-size Aperture for High Density All-Optical Magnetic Recording”, *J. Appl. Phys.*, 査読有, Vol. 109, 2011, pp. 07B735-1-07B735-3.
- ② Y. Moriyama, Y. Ashizawa, K. Nakagawa, T. Sako, A. Tsukamoto, and A. Itoh, “Heat Conduction Analysis of Magnetic Recording Media for Thermally Assisted Magnetic Recording”, *J. Magn. Soc. Jpn.*, 査読有, Vol. 33, No. 6-2, 2009, pp. 517-520.
- ③ Yuichi Moriyama, Kojun Ogasawara, Yoshito Ashizawa, Katsuji Nakagawa, and Akiyoshi Itoh, “Heat Conduction Analysis of Magnetic Recording Media in Optical Near-Field for Thermally Assisted Magnetic Recording”, *Special Issue of Nihon University CST 2008 Annual Conference -Report of RISTNU-*, 査読有, Vol. 54, No. 3, 2009, pp. 47-50.

[学会発表] (計 17 件)

- ① Takeshi Ota, Yoshito Ashizawa, Katsuji Nakagawa, and Akiyoshi Itoh, “Near-field Intensity Analysis with Inclined Plasmon Antenna for High Density Thermally Assisted Magnetic Recording”, *International Conference*

of AUMS 2010, Dec. 8, 2010, Jeju Island, Korea.

- ② Yoshito Ashizawa, Takeshi Ota, and Katsuji Nakagawa, “Temperature Analysis of Magnetic Head with Near-Field Antenna for Thermally Assisted Magnetic Recording”, *International Conference of AUMS 2010*, Dec. 8, 2010, Jeju Island, Korea.
- ③ Y. Ashizawa, S. Saito, Y. Osa, A. Tajiri, K. Inoue, M. Takahashi, and K. Nakagawa, “CoPtCr-based Granular Films for Thermally Assisted Magnetic Recording”, *International Conference of AUMS 2010*, Dec. 8, 2010, Jeju Island, Korea.
- ④ Katsuji Nakagawa, Yoshito Ashizawa, Shinichiro Ohnuki, Akiyoshi Itoh, and Arata Tsukamoto, “Confined Circularly Polarized Light Generated by Nano-size Aperture for High Density All-Optical Magnetic Recording”, *55th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials*, Nov. 18, 2010, Atlanta, GA, USA.
- ⑤ Katsuji Nakagawa and Yoshito Ashizawa, “Thermally Assisted Magnetic Recording on Patterned Media”, *Asia-Pacific Data Storage Conference 2010*, Oct. 28, 2010, Hualien, Taiwan.
- ⑥ Y. Moriyama, Y. Ashizawa, K. Nakagawa, A. Itoh, “Heat Conduction Analysis of Magnetic Recording Media for Thermally Assisted Magnetic Recording”, *MORIS2009 (Magnetics and Optics Research International Symposium for New Storage Technology)*, Jun. 16, 2009, Awaji Yumebutai International Conference Center, Hyogo, Japan.
- ⑦ Katsuji Nakagawa, “Surface Plasmon Antenna for Thermal Assisted Magnetic Recording”, *3rd International Symposium on Atomic Technology (ISAT-3) / 3rd Polyscale Technology Workshop (PTW-3)*, Mar. 6, 2009, Tokyo International Exchange Center, Tokyo.
- ⑧ Katsuji Nakagawa, “Thermally Assisted Magnetic Recording and Surface Plasmon Antenna”, *The 5th ASIA FORUM ON MAGNETICS*, Oct. 17, 2008, BEIJING, CHINA.
- ⑨ K. Nakagawa, Y. Ashizawa, and A. Itoh, “Temperature Distribution and Response to Heat Pulse for Thermally Assisted Recording for Particle Recording Media with Surface Plasmon Antenna”, *53rd Annual Conference on*

Magnetism and Magnetic Materials, Oct.
13, 2008, Austin, Texas, USA.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 1 件)

名称： 情報記録ヘッド、情報記録装置、情報記録方法及び光デバイス

発明者： 中川活二, 芦澤好人, 大貫進一郎,
伊藤彰義, 塚本新

権利者： 日本大学

種類： 特許権

番号： 特願 2010-161996

出願年月日： 平成 22 年 7 月 16 日

国内外の別： 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中川 活二 (NAKAGAWA KATSUJI)

日本大学・理工学部・教授

研究者番号： 2 0 2 2 1 4 4 2

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

伊藤 彰義 (ITOH AKIYOSHI)

日本大学・理工学部・教授

研究者番号： 6 0 0 5 9 9 6 2

塚本 新 (TSUKAMOTO ARATA)

日本大学・理工学部・講師

研究者番号： 3 0 3 1 8 3 6 5

芦澤 好人 (ASHIZAWA YOSHITO)

日本大学・理工学部・助手

研究者番号： 1 0 4 5 3 9 1 1

高橋 慎吾 (TAKAHASHI SHINGO)

秋田県産業技術総合センター・秋田県高度
技術研究所・上席研究員

研究者番号： 7 0 3 7 0 2 2 8