

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 8 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22360304

研究課題名（和文）非接触超音波 3 次元サーモメトリーの創製とその高温材料加工プロセスへの適用

研究課題名（英文）Development of Noncontact Ultrasonic 3D Thermometry and Its Application to High Temperature Material Processes

研究代表者

井原 郁夫 (IHARA IKUO)

長岡技術科学大学・工学部・教授

研究者番号：80203280

研究成果の概要（和文）： 高温に加熱されている物体内部の 3 次元温度プロファイルを計測・モニタリングするための新しい超音波手法（超音波サーモメトリー）を創製し、この手法を高温場の材料加工プロセスに適用し、その有効性を実証することを目的とした開発研究を行った。まず、開発した超音波サーモメトリーの有用性を検証するために 1 次元温度プロファイリングにおける同定精度を理論的、定量的に明らかにし、それらを実験により検証した。次いで、同定精度の向上の方策として横波計測の使用について検討し、その有効性を実証した。さらに、汎用性の高い温度分布モニタリングを実現するために、回転体の内部および表面の温度プロファイリングについて検討した。最後に、本手法の実用化の観点から、鋳造プロセスモニタリングへの適用について検討した。

研究成果の概要（英文）： A new noncontact ultrasonic method for monitoring 3-D temperature profiles of heated materials has been developed and its feasibility in materials process monitoring at high temperatures has been demonstrated. At first, the accuracy in temperature determination using the developed thermometry is examined theoretically and experimentally. The use of a shear wave is then proposed to improve the measurement accuracy in the ultrasonic thermometry and its effectiveness of using shear wave in the ultrasonic thermometry is successfully demonstrated. Furthermore, a laser-ultrasound method for monitoring temperature distributions of rotating objects has been proposed and the feasibility of the method for monitoring both surface and internal temperature distributions of a rotating steel cylinder during heating are demonstrated. In addition, casting process monitoring using the ultrasonic thermometry is examined experimentally. Thus, it is highly expected that the ultrasonic thermometry is a promising means for on-line temperature profiling of industrial materials processed at elevated temperatures.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	11,000,000	3,300,000	14,300,000
2011 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2012 年度	2,100,000	630,000	2,730,000
年度			
年度			
総計	15,100,000	4,530,000	19,630,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・材料加工・処理

キーワード：非破壊検査、超音波、温度計測、材料加工・処理、モニタリング

1. 研究開始当初の背景

(1) 国内外の動向と本研究の位置付け

工学、工業の幅広い分野において、物体内の温度プロファイルを非破壊・非接触で測定したいというニーズは多数ある。例えば、金属、プラスチック、セラミックなどの製造・加工プロセスの多くは高温場で行われているが、その品質管理のためには高精度の温度計測とそれに基づくプロセス制御が不可欠である。特に、アルミニウムのダイカストプロセスのように液相/固相プロセスが混在する高温成形加工においては、加工物（アルミニウム）はもちろんのこと型材（合金鋼）の内表面温度やその近傍の温度分布を定量的に把握することが、そのプロセスの最適制御を実現するためのキーポイントとなる。しかし、現状の温度計測手法（熱電対法、赤外線サーモグラフィ）では、加工物や型材内部の温度プロファイルをモニタリングすることは不可能であり、型材内壁面の温度分布の測定でさえも非常に困難な状況である。現在、それを可能にするような新しい温度計測法の実用化が切望されている。本研究はこのニーズに応えるもので、非接触超音波法を用いた革新的な温度計測手法を開発し、その実用化をはかるものである。

超音波を用いた温度計測については既にいくつか検討されている。それらは媒体中の超音波伝播速度の温度依存性を利用したもので、固体材料への適用についても基礎実験がなされている。しかし、材料内部の温度分布、特に3次元温度プロファイリングについては全く検討されておらず、未開拓の領域である。本研究はこれを実施するもので世界に例を見ない先駆的研究である。

(2) これまでの研究成果と着想への経緯

研究代表者は約2年間カナダの National Research Council of Canada (NRC) に滞在し、新規なバッファロードセンサーを用いた熔融金属の超音波モニタリングに関する基礎技術を修得した。これを基に各種補助金を受けて高温超音波センサーを開発しその有効性を実証した。さらに、別の補助金を受けて超音波による温度プロファイル計測の基礎実験を行い、低温域ではあるがその可能性を確認した。本研究計画はこの延長に位置するものであり、研究代表者が培ってきた高温超音波センシング技術と逆解析手法とを効果的に組み合わせることで、超音波温度計測の基盤技術を発展させ、非接触3次元温度プロファイリング手法を創製し、その材料加工プロセスモニタリングへの展開をはかる。

2. 研究の目的

本研究は、高温に加熱されている物体内部

の3次元温度プロファイルを計測・モニタリングするための新しい超音波手法（超音波サーモメトリ）を創製・実用化するとともに、この手法を高温場の材料加工プロセスに適用し、その有効性を実証することを目的とする。このような革新的計測手法を開発することで、従来技術では成し得なかった高温材料の3次元温度分布の定量的オンラインモニタリングを実現し、当該分野のグレイゾーンに一石を投じる。具体的には次の2つを課題に取り組む：(i) 非接触超音波法を駆使した3次元温度プロファイルの定量的モニタリング手法の開発、(ii) 同手法の高温材料加工プロセス（鋳造や焼結）への適用。

期間内に明らかにする事項として、次の3点が挙げられる：

① 急激な温度勾配（片面が700～1000℃に加熱）をもつ鋼厚板および熔融金属をモデルとした逆問題を設定し、それらの3次元温度プロファイルを効率的に同定するための最適な解析手法を選定するとともに、解析条件、必要な既知情報および境界条件を明らかにする。

② 高温材料の非接触超音波計測を行うためにレーザー超音波援用2次元スキヤニングシステムを構築し、縦波と表面波による3次元空間（材料表面と内部）のリアルタイムモニタリングを具現化する。

③ 上記モニタリングシステムと逆解析手法を組み合わせた新規な3次元サーモメトリを構築し、これを溶湯金属（アルミニウム）の鋳造プロセスに適用し、超音波3次元サーモメトリの実用性と適用限界を見極める。

3. 研究の方法

(1) 22年度

初年度は3次元温度分布同定のため逆問題解析のモデル構築とその妥当性検証を行う。

まず、物体中の超音波速度を指標とした3次元温度プロファイル同定の逆問題モデルを構築し、その解の一意性および安定性を詳細に調べ、適切な解を得るための最適化手法について検討する。具体的には、片側加熱された不均一温度分布を有する材料を想定し、これに縦波、横波、および表面波を種々の方向に伝搬させたときのパルスエコー信号を指標とした3次元温度プロファイル同定の逆問題モデルを設定し、精度と演算時間の観点から効果的な解析法を検討する。

上の結果を踏まえて片面加熱材を用いたモデル実験を行い、超音波パルスエコー法による音速測定結果を指標とした逆解析により温度プロファイルを同定する。この実験において、バルク波（縦波、横波）および表面

波の非接触計測を行うために非接触超音波高速スキャンシステムを購入する。ここで、レーザー超音波および空気超音波の二つを活用する。なお、この段階での超音波実験には現有設備も併用する。

次いで、同定結果の妥当性を検証するために、上記加熱材中に埋設した複数個の熱電対（熱電対アレイ）や赤外線法による実測値、および数値解析による推定値を参照値とし、超音波法による同定結果と比較する。このようなクロスチェックにより解析手法および測定手法の有効性を確認する。

(2) 23年度

まず、より汎用性の高い温度分布モニタリングを実現するために、内部に加熱源を有する場合の温度プロファイリングについて検討する。固体材料内部の熱源による不均一温度分布を有する材料を想定し、これに縦波、横波、および表面波を温度勾配方向に伝搬させたときのパルスエコー信号を指標とした1次元温度プロファイル同定の逆問題モデルを設定し、精度と演算時間の観点から効果的な解析法を検討する。

次いで、本手法の有用性を把握するために超音波温度同定の精度を検証するとともに、精度向上に対する方策を検討する。具体的には、上記加熱材中に埋設した複数個の熱電対（熱電対アレイ）や赤外線法による実測値、および数値解析による推定値を参照値とし、超音波法による同定結果と比較する。超音波法による温度同定精度の向上には音速の遅い横波の活用が効果的であると期待される。そこで、接触探触子およびレーザー超音波法による横波計測について検討し、その効果を実験的に検証する。

(3) 24年度

本研究で開発した超音波サーモメトリーの有用性を検証するために1次元温度プロファイリングにおける同定精度（測定値のばらつきと系統的誤差）を理論的、定量的に明らかにし、それらを実験により検証する。さらに、温度同定精度を向上させるための方策を検討する。

次いで、より汎用性の高い温度分布モニタリングを実現するために、振動体または回転体の内部および表面の温度プロファイリングについて検討する。ここでは材料加工中の工具または被加工材料の温度プロファイリングを想定し、非接触超音波法を活用するが、特に超音波検出には被測定物の振動やミスアライメントにロバストであるレーザードップラー法の使用を試みる。回転体の温度プロファイリングにはこれまでに開発した逆解析法を援用した円柱モデル解析法を創成する。実験に先立って数値シミュレーションによる検討を行うために3次元波動解析を行うためのソフトウェアを購入する。

さらに、本手法の実用化の観点から、鑄造プロセスモニタリングへの適用について検討する。具体的にはダイキャストリングマシンに用いられる金型の温度プロファイリングに、本研究で開発した超音波サーモメトリーを適用する。その場合、温度勾配方向と超音波伝搬方向が平行でない場合の影響が問題となるため、それを理論的に検討する。

研究成果の一部を公表するために国際会議での発表（ASMP2012、ICST2012）を予定する。

4. 研究成果

(1) 22年度

①解析モデルの構築と解析手法の検討

物体中の超音波速度を指標とした2次元温度プロファイル同定の逆問題モデルを構築し、その解の一意性および安定性を詳細に調べ、適切な解を得るための最適化手法について検討した。具体的には、片側加熱された不均一温度分布を有する材料を想定し、これに縦波、横波、および表面波を種々の方向に伝搬させたときのパルスエコー信号を指標とした温度プロファイル同定の逆問題モデルを設定し、精度と演算時間の観点から効果的な解析法を開発した。

②非接触超音波2次元スキャンシステムの構築

加熱材料の超音波計測を実現するには非接触超音波計測手法の使用が効果的である。この点を考慮し、レーザー超音波パルスによる2次元スキャンを用いた材料表面の2次元温度分布計測システムを構築した。さらに、空気超音波の利用も想定し、その2次元ピッチキャッチ計測システムを構築した。これらのシステムを用いた加熱材料の超音波パルス計測に関する実験を行い、その有効性を検証した。

(2) 23年度

①温度同定精度の検証とその向上方策の検討

本研究により開発している超音波サーモメトリーの測定精度を定量的に把握するために、測定値のばらつきと系統誤差を検討した。表面および内部温度について超音波信号の統計変動に基づく測定値のばらつき（標準偏差）を実験的に明らかにした（最大で $\pm 4^{\circ}\text{C}$ ）。また、音速の温度依存性、熱拡散率および伝播時間のそれぞれの変動に基づく温度測定値の系統誤差を理論的に明らかにした。さらに、精度向上の方策として横波超音波の活用について理論的、実験的に検討し、その有効性を実証した。

②温度プロファイリング手法の汎用化と簡便化の検討

次いで、現状の超音波サーモメトリー（超音波パルスエコー計測と差分解析を組合せた

逆解析法)の短所を補うために、レーザースキャニングを援用したステップ超音波励起法を提案した。この手法は現状の手法に比べて簡便かつ汎用的であるという特徴を有しており、加熱金属材料を用いた実験によりその有用性を実証した。

③ 3次元温度プロファイリングの基礎的検討

表面と内部の同時温度プロファイリングを実現するためのレーザースキャニングに関する基礎的検討を行なった。パルスレーザー照射条件を精査するとともに、レーザードップラー法による非接触超音波計測について実験を交えてその有用性を確認した。

(3) 24年度

① 動体の非接触計測の試み

汎用性の高い温度分布モニタリングを実現するために、回転体の内部および表面の温度プロファイリングについて検討した。被測定物の振動やミスアライメントにロバストであるレーザードップラー法を使用し、回転体の温度プロファイリングに関する基礎実験を行い、その有効性を検証した。

③ 鋳造プロセスの内部温度プロファイリング

本手法の実用化の観点から、鋳造プロセスモニタリングへの適用について検討した。具体的にはダイキャストマシンに用いられる金型の温度プロファイリングに、本研究で開発した超音波サーモメトリーを適用した。低融点合金を用いた鋳造モニタリングの内部温度プロファイリングを試み、本手法の有効性を実証した。さらに、同手法の実機鋳造への適用について着手している。

以上のように、所期の目的はほぼ達成された。現在、本研究成果を基に、その実用化に向けた新たな展開をはかっている。

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 16件)

- ① Akira Kosugi, Ikuo Ihara, and Iwao Matsuya, Accuracy Evaluation of Surface Temperature Profiling by a Laser Ultrasonic Method, *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol.51, No.7, 07GB01-1-8, (2012). 査読有
- ② Iwao Matsuya, Randy Gui Guan Fatt, and Ikuo Ihara, Quantitative Evaluation of Stress-Strain Curves by Spherical-Tip Nanoindentation with Variable Radius Method, *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering*, Vol.7 No. 2, pp.155-162 (2012). 査読有
- ③ A. Roshanghias, A. H. Kokabi, Y. Miyashita, Y. Mutoh, I. Ihara, R. G. Guan Fatt, H. R.

Madaah-Hosseini, Nanoindentation Creep Behavior of Nanocomposite Sn-Ag-Cu Solders, *Journal of Electronic Materials*, Vol.41, No.8., pp.2057-2064(2012).

DOI: 10.1007/s11664-012-2086-6 (2012)
査読有

- ④ Moriyasu Kanari, Takashi Wakamatsu, Randy Gui Guan Fatt, and Ikuo Ihara Improved Density and Mechanical Properties of a Porous Metal-Free Phthalocyanine Thin Film Isotropically Pressed with Pressure Exceeding the Yield Strength *Applied Physics Express*, Vol.4 (2011) pp. 111603-1-3 査読有
- ⑤ Akira Kosugi and Ikuo Ihara A Simple Method for Profiling Surface Temperature Distributions by Laser-ultrasound *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering*, Vol.5, No.12, pp.705-708 (2011) 査読有
- ⑥ Hirokazu Kamada, Ikuo Ihara, Hong Dae Kim, Tadachika Nakayama, Munehiro Kimura, and Tadashi Akahane Alignment Film Abrasion Caused by Rubbing *Journal of Information Display*, Vol. 12, No. 4, pp.179-183(2011). 査読有
- ⑦ Hiroyuki Yamada, Akira Kosugi and Ikuo Ihara Non-Contact Monitoring of Surface Temperature Distribution by Laser Ultrasound Scanning *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol.50, No.7, 07HC06, pp.1-5, (2011). 査読有
- ⑧ Chenyan XU, Ikuo IHARA, Kohmei KENZAKI, and Manabu TAKAHASHI Non-contact Measurement of Nugget Size of Spot Welding Using Focused Air-coupled Ultrasound *Applied Mechanics and Materials*, Vol.83, pp.151-156(2011). 査読有
- ⑨ 徐 晨艷、高橋 学、井原 郁夫 空気超音波によるスポット溶接ナゲット径の定量評価法の検討 日本機械学会論文集 A、Vol. 77, No. 777, pp.745-748 (2011). 査読有
- ⑩ L.F. He, J. Shirahata, T. Nakayama, T. Suzuki, H. Suematsu, I. Ihara, Y.W. Bao, T. Komatsu, and K. Niihara Mechanical properties of $Y_2Ti_2O_7$ *Scripta Materialia*, Vol.64, Issue 6 (2011) 548-551. 査読有
- ⑪ 徐 晨艷、高橋 学、井原 郁夫

集束空気超音波によるスポット溶接部の非接触評価に関する検討
日本機械学会論文集 A, Vol. 76, No. 766, pp. 714-715(2010). 査読有

- ⑫ M.Kanari, M.Kunimoto, T.Wakamatsu, and I.Ihara, Critical Bending Radius and Electrical Behaviors of Organic Field Effect Transistors under Elastoplastic Bending Strain
Thin Solid Films, Vol.518, pp.2764-2768(2010). 査読有
- ⑬ 井原郁夫, 現場適用を目指した空気超音波センシング、プラントエンジニアリング、Vol. 44, No. 6, pp. 10-16, 2012. 査読無
- ⑭ 井原郁夫, 超音波を用いた非接触センシングの新展開、ケミカルエンジニアリング、Vol. 57, No. 1(2012. 1. 1), pp. 59-65, 2012. 査読無
- ⑮ 井原郁夫, 山田浩之、高橋学、非接触温度モニタリングへのレーザー超音波法の適用、超音波 TECHNO, 23-4(2011. 8. 1), pp. 18-22, 2011. 査読無
- ⑯ 井原郁夫, 超音波を用いた新しい温度プロファイリング手法とその応用、ケミカルエンジニアリング、Vol. 56, No. 2, pp. 1-8, 2011. 査読無

[学会発表] (計 50 件)

- ① Akira Kosugi, Iwao Matsuya, and Ikuo Ihara, Feasibility Study on Noncontact Monitoring of Temperature Distribution of Rotating Tool, The 2nd International Conference on Advanced Materials Design and Mechanics (ICAMDM2013), May 17-18, 2013, Kuala Lumpur, Malaysia, p.13.
- ② Koki Okada, Manabu Takahashi, Ikuo Ihara, Study on the use of ultrasonic trailing echoes for measuring temperature distributions in aluminum plates, The Second International Symposium on Technology for Sustainability (ISTS2012), November 21-24, 2012, Bangkok, Thailand, pp.1-4 (PID0079). (Reviewed)
- ③ Ikuo Ihara, Akira Kosugi, Yasuhiro Ono, and Iwao Matsuya, New Application of Ultrasound to Temperature Profiling of Industrial Processes and Heated Materials, Abstracts book of the 3rd UKN-NUT Joint Seminar 2012, 13 October 2012, Bangi, Malaysia, pp.10-11.
- ④ Akira Kosugi, Yuya Yoshihara, Iwao Matsuya, and Ikuo Ihara, Noncontact Monitoring Of Temperature Distributions of Rotating Objects Using A Laser Ultrasonic Technique, Proceeding of the 3rd Asian Symposium on Materials and Processing (ASMP2012), August 30-31, 2012, Chennai, India, (pp.1-2). (Reviewed)
- ⑤ Iwao Matsuya, Randy Gui Guan Fatt, and Ikuo Ihara, Quantitative Evaluation of Stress-Strain Curves at Local Area by Spherical-Tip Nanoindentation, Proceeding of the 3rd Asian Symposium on Materials and Processing (ASMP2012), August 30-31, 2012, Chennai, India, (pp.1-2). (Reviewed)
- ⑥ Moriyasu Kanari, Takashi Wakamatsu, Ikuo Ihara, Nanoindentation behaviours of Low Molecular Weight Organic Semiconducting Films: Fundamentals and Practical Applications for The Materials Design, Proceeding of the 3rd Asian Symposium on Materials and Processing (ASMP2012), August 30-31, 2012, Chennai, India, (pp.1-2). (Reviewed)
- ⑦ Ikuo Ihara, Hiroyuki Yamada, Akira, Kosugi, and Manabu Takahashi, New Ultrasonic Thermometry and Its Applications to Temperature Profiling of Heated Materials, Proc. The 5th International Conference on Sensing Technology (ICST 2011), (Edited by: S. C. Mukhopadhyay, A. Fuchs, and K. P. Jayasundera), Palmerston North, New Zealand, Nov 28-Dec 1, pp.65-70, 2011. (Abstract, pp.56) (Reviewed)(Invited)
- ⑧ Ikuo Ihara, Recent Advances in Ultrasonic Techniques for Materials Evaluation and Monitoring, 韓国産業団地公団海外専門家招聘技術講演会, Proceedings, pp. 24-47, October, 28-29, 2011, Ulsan, Korea (Abstract, pp.24-46) (Invited)
- ⑨ Randy Gui Guan Fatt, Ikuo Ihara, Takahiro Yodate, Masatoshi Ichimura, Jun-ichi Uegaki, and Yoshikazu Shima, Microscopic Determination of Stress-strain Relationship by Continuous Multiple Nano-indentation Technique, Proceeding of the 3rd JSME/ASME International Conference on Materials and Processing (ICM&P2011), June 13-17, 2011, Corvallis, Oregon, USA, ICMP2011-51147(pp.1-5)., (Reviewed)
- ⑩ Akira Kosugi and Ikuo Ihara, Non-contact Techniques of Profiling Surface Temperature Distributions by Laser-ultrasound, Proceeding of the 3rd JSME/ASME International Conference on Materials and Processing (ICM&P2011), June 13-17, 2011, Corvallis, Oregon, USA, ICMP2011-51148(pp.1-4). (Abstract, pp.209), (Reviewed)
- ⑪ Ikuo Ihara, R. Guan Fatt, Takahiro Yodate, Jun-ichi Uegaki, and Yoshikazu Shima, Microscopic Determination of Stress-Strain Curves by Nanoindentation With A Spherical Tip, The 2nd International Symposium on Hybrid Materials and Processing (HyMaP

2011), October 27-29, 2011, Busan, Korea, abstract, p.38.

- ⑫ Chenyan XU, Ikuo IHARA, Kohmei KENZAKI, and Manabu TAKAHASHI, Non-contact Measurement of Nugget Size of Spot Welding Using Focused Air-coupled Ultrasound, The International Conference on Experimental Mechanics 2010 (ICEM2010), 29 November - 1 December 2010, Kuala Lumpur, Malaysia, p.89. (Reviewed)
- ⑬ I. Ihara, M. Takahashi, and H. Yamada, New Ultrasonic Methodology for Determining Temperature Gradient and its application to Heated Materials Monitoring, NDTMS-2011 International Symposium on Nondestructive Testing of Materials and Structures, May 15-18, 2011, Istanbul, Turkey (Reviewed)

[図書] (計 3 件)

- ① Ikuo Ihara, Takuya Tomomatsu, Manabu Takahashi, Akira Kosugi, Iwao Matsuya, and Hiroyuki Yamada, Ultrasonic Thermometry for Temperature Profiling of Heated Materials in “Advancement in Sensing Technology, New Developments and Practical Applications”, (Smart Sensors, Measurement and Instrumentation 1) edited by S.C. Mukhopadhyay et al., Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2012), pp. 211-236. (分担執筆)
- ② I. Ihara, M. Takahashi, and H. Yamada, New Ultrasonic Methodology for Determining Temperature Gradient and its application to Heated Materials Monitoring, Nondestructive Testing of Materials and Structures, RILEM Bookseries, Vol.6, Büyüköztürk, Oral, Taşdemir, Mehmet Ali Güneş, Oğuz; Akkaya, Yılmaz (Eds.), pp.531-537, Springer, 2012. Hardcover version ISBN 978-94-007-0722-1, Due: October 31, 2012 (分担執筆)
- ③ Subhas Chandra Mukhopadhyay and Ikuo Ihara, Sensors and Technologies for Structural Health Monitoring: A Review in “New Developments in Sensing Technology for Structural Health Monitoring” (Lecture Notes in Electrical Engineering, Volume 96) edited by S. C. Mukhopadhyay, Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2011), pp.1- 14. (分担執筆) (426 pages in total)

[産業財産権]

○出願状況 (計 3 件)

①名称：液面位置検出装置及び液面位置検出方法

発明者：井原郁夫、市村政稔、島崎義之
権利者：長岡技術科学大学、日本精機(株)

種類：特許

番号：特願 2013-085096

出願年月日：平成 25 年 4 月 15 日

国内外の別：国内

②名称：空気超音波センサー及び空気超音波センサーの整合層の形状決定方法

発明者：井原郁夫、監崎孔明、高橋学、徐晨艷

権利者：長岡技術科学大学、日本精機(株)

種類：特許

番号：特願 2010-197190

出願年月日：平成 22 年 9 月 2 日

国内外の別：国内

③名称：Ultrasonic measurement waveguide rod and ultrasonic measurement instrument

発明者：Ikuo Ihara, and Motonori Kawasaki

権利者：長岡技術科学大学

種類：欧州特許

番号：EP2221615A1

出願年月日：平成 22 年 8 月 25 日

国内外の別：外国

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井原 郁夫 (IHARA IKUO)

長岡技術科学大学・工学部・教授

研究者番号：80203280

(2) 研究分担者

鎌土 重晴 (KAMADO SHIGEHARU)

長岡技術科学大学・工学部・教授

研究者番号：30152846

(3) 研究協力者

Subhas Chandra Mukhopadhyay

Professor, School of Engineering and Advanced Technology,

Massey University,

New Zealand