

## 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 24 年 4 月 1 日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21510079

研究課題名（和文） ネイチャー・テクノロジーを援用した持続可能な環境空間の構築と総合評価

研究課題名（英文） Construction and comprehensive evaluation of sustainable environmental space based on the Nature technology

研究代表者

稲垣 照美（INAGAKI Terumi）

茨城大学・工学部・教授

研究者番号：90184712

研究成果の概要（和文）：

本研究は、福祉施設や病院などの医療施設・ホスピス等の福祉住環境の構築へ向けて、提唱した要素技術（マイクロバブルと多孔性媒体によるホタル水圏環境の改善技術、遮熱塗料を施工した通気層制御型外断熱技術、色香と人の感性に関する評価技術）を個別に検証するとともに、これら要素技術群を試験的に構築したネイチャー・テクノロジーに基づいたサステイナブルな模擬環境空間へ取り込んでその効果を総合的に評価したものである。

研究成果の概要（英文）：

This research verifies the advocated component engineering individually towards construction of welfare living environments, such as various medical facilities, hospices, etc. These component engineerings were introduced in a sustainable imitation environmental space built in a tentative way, and evaluated those effects synthetically. Component engineerings means the improvement technology of water area environment by microbubble, the external heat insulation technology by combining heat insulating paint with aeration layer control, and the evaluation technology about the sensitivity of color, perfume, and a person.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2010年度	400,000	120,000	520,000
2011年度	200,000	60,000	260,000
総計	3,900,000	1,170,000	5,070,000

研究分野：環境熱流体エネルギー工学

科研費の分科・細目：環境学・環境技術・環境材料

キーワード：サステイナブル，ネイチャー・テクノロジー，癒し，環境，エネルギー

## 1. 研究開始当初の背景

報告者らは、平成 19・20 年度に科学研究費（基盤研究（C）、課題番号：19510080、研究題目：ネイチャー・テクノロジーを援用した持続可能な環境空間の設計指針の確立）の補助を受けた。この結果、平成 19 年度には、住空間あるいは福祉施設や病院などの医療施設・ホスピス等に自然や生物情報

に基づいたサステイナブルかつ省エネルギーな快適空間の設計指針を提供する一環として、まず脳波計測及びポストプロセッシング法を構築した。ここでは、脳波計の導入と同時に、生物活動や自然現象に見られる「ゆらぎ」を対象に感性評価をより定量的に定義・同定するため、 $\alpha$  波の動的な挙動だけではなく脳波のウェーブレット解析・フラクタ

ル解析・カオス解析法を構築した。平成 20 年度には、サステイナブルな環境空間に関わる様々な要素技術について検討を進めた。まず、スズムシなど鳴く虫が創造した音に関する解析や脳波計測を実施して感性の定量評価を行い、虫の音には 1/f ゆらぎの成分が含まれ、音を鑑賞した被験者の脳波には  $\alpha$  波が増大した。ここでは、環境と音について人に快適感を与える音に関する指針を提示した。次いで、和色・洋色・原色など色彩に対する感性評価を行い、環境空間の色彩が人の感性に及ぼす影響を調査するとともに、人に快適感を与える色彩に関する指針を提示した。また、外断熱技術や遮熱塗料について新たな提案（通気層の通風制御法と遮熱塗料による遠赤外線抑止効果の解明）を行い、それらの環境負荷低減技術としての有効性を実験室規模で確認した。さらに、マイクロバブルによるホテル水圏環境の水質改善へ向けてマイクロバブル発生装置の開発を行い、その第一段階として微細気泡の発生に成功し、マイクロバブルが水質改善に有効であることを実験室規模で確認した。これらの知見は、ネイチャー・テクノロジーを援用したサステイナブルな環境空間の構築に付随する基盤的な要素技術に関する内容と計測法に関する内容が中心である。

以上のことから、平成 21 年度の申請時点では、平成 19 年度と平成 20 年度に採択された科学研究費（基盤研究（C）、課題番号：19510080、研究題目：ネイチャー・テクノロジーを援用したサステイナブルな環境空間の設計指針の確立）に関する当初計画のほぼ 70% 程度（主に要素技術）が達成できたものと考えた。しかしながら、実用化へ向けたさらなる実証や検証が是非にも必要な事柄であり、一連の研究を通じて新たに解明せざるを得ない幾つかの課題も派生した。したがって、報告者らは、当該研究の完成へ向けたさらなる継続的な取り組みとして、平成 21 年度の新たな取り組み「ネイチャー・テクノロジーを援用したサステイナブルな環境空間の構築と総合評価」を計画した。

## 2. 研究の目的

研究開始当初の背景とした研究の全体構想および目的を以下に示す。これらの概念は、日本や世界各国でも報告がなされておらず、応募研究課題に独創的なものである。

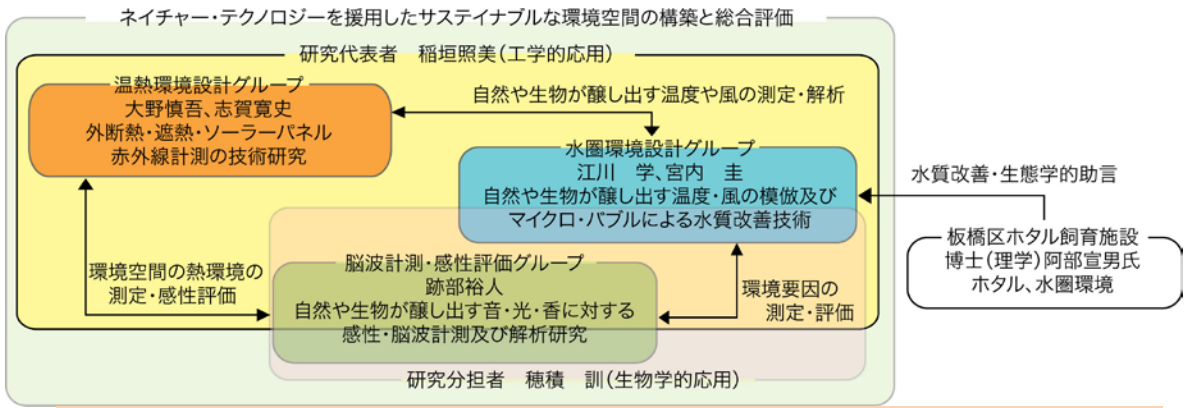
(1) マイクロバブルと多孔性媒体によるホテル水圏環境の改善技術の開発と評価、すなわち、物理・化学・生物学的な複合作用による水環境の改善を図り、ホテル生態系の復元を目的とする。まず、微細気泡による物理・化学的な水質浄化では、ホテルが生息する実際の水圏環境を模した水槽モデルを構築して発生した気泡の径や量に影響するパラメ

ータを調査するとともに、弱アルカリ状態で高溶存酸素量を保持する機構を明らかにする（申請者らは、ホテルの生態系に最適な水とは、「弱アルカリ・高溶存酸素・無アンモニウム性イオン」であることを明らかにしている。）。次いで、硝化細菌による生物学的な水質浄化を検証し、多孔質性媒体の形状・寸法・種類をパラメータとして生物濾過に最適な環境とその配置法を検討する。これらによって、今回の研究報告課題である「ネイチャー・テクノロジーを援用したサステイナブルな環境空間の構築と総合評価」に備える。ホテルが生息可能な環境は、人にも優しく、かつ快適な環境空間と捉えた。

(2) 遮熱塗料を施工した通気層制御型外断熱建築構造物の評価、すなわち、外断熱構造に付随する遮熱塗料による近赤外線抑止効果の解明を行い、それらの環境負荷低減技術としての有効性を遠赤外線抑止効果に加えて検証する。このため、放射率を正確に校正・同定する標準黒体炉（ジャパンセンサー IRTS-45F-500）を購入する。また、実験規模の通気層制御型外断熱建築構造物を製作し、今回の研究報告課題である「ネイチャー・テクノロジーを援用したサステイナブルな環境空間の構築と総合評価」に備える。省エネルギーな環境は、人にも優しく、かつ快適な環境空間と捉えた。

(3) 色香と人の感性に関する評価、すなわち、自然が創造する様々な色香環境に対する人の嗜好に関して、感性評価や因子分析を加えるとともに、これらの嗜好に関する脳波解析を実施して「感性の定量評価」を実施する。さらに、古来より人々の精神を魅了してきた曼荼羅等の図柄（色彩と模様）を感性工学的に解析する。これらは、医療・福祉空間を構築する際の重要な視覚的要素と考えている研究内容であり、これにより今回の研究報告課題である「ネイチャー・テクノロジーを援用したサステイナブルな環境空間の構築と総合評価」に備える。このため、色彩輝度計（トプコン色彩輝度計 BM-7A）と色相色差計（日本電色工業 NF333）を購入する。一方、これまで前例のない桜花や梅花からエッセンシャルオイルを抽出し、福祉施設などにおける生活環境の向上を試みる。一連の研究は、国内外でも全く研究報告がなされていないものである。感性工学的に優れたデザインや芳香は、人にも優しく、かつ快適な環境空間と捉えた。

(4) ネイチャー・テクノロジーを援用したサステイナブルな環境空間の構築と総合評価、すなわち、申請者が要素技術として確立した知識を総合的に融合して、福祉施設や病院などの医療施設・ホスピス等に自然や生物情報に基づいた（模した）サステイナブルかつ省エネルギーな快適（癒し）空間を構築

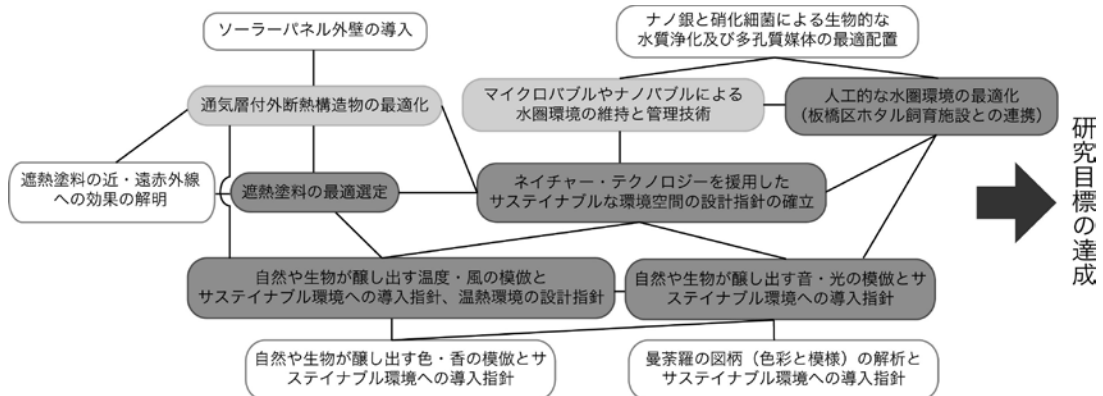


し、総合的な評価を行う。

### 3. 研究の方法

申請課題では、(1) マイクロバブルと多孔性媒体によるホテル水圏環境の改善技術の開発と評価、(2) 遮熱塗料を施工した通気層制御型外断熱建築構造物の評価、(3) 色香と人の感性に関する評価、(4) ネイチャー・テクノロジーを援用したサステイナブルな環境空間の構築と総合評価、を計画し、これまで研究室で培ってきた官能評価などの統計解析、スペクトル解析、ウェーブレット解析、フラクタル解析、脳波解析、カオス解析、因子分析などの感性工学的手法、さらにはホテル生態系に最適な水質に関する知見を「ネイチャー・テクノロジーを援用したサステイナブルな環境空間の構築と総合評価」に応用する(図1、図2参照)。なお、図1に示した研究分担者:穂積訓氏は平成21年度の科学研究費申請時点で報告者の研究室に在籍していたポスドク研究員であり、

ネイチャー・テクノロジーに基づいたサステイナブルかつ省エネルギーな快適空間の総合的な設計指針を確立し、提唱した要素技術も含めてその効果を実験的に検証することを意図したものである。平成23年度は、研究開始からの当該年度までに提唱した要素技術(マイクロバブルによるホテル水圏環境の改善技術、遮熱塗料を施工した通気層制御型外断熱技術、色香と人の感性に関する評価技術)を個別に検証するとともに、これら要素技術群を試験的に構築したネイチャー・テクノロジーに基づいたサステイナブルな模擬環境空間へ取り込んでその効果を総合的に評価した。ここでは、本研究で昨年度までに独自にアルゴリズム化した感性の因子分析・脳波計測・脳血流計測及びそれらのポストプロセッシング法を援用しながら検証を実施している。その結果、自然から抽出した色香に関して構築したデータベースは、ビジュアル面で人に快適な住環境の設計に有効であることを確認した。通気層制御型外断



平成21年4月1日に高等学校理科教員へ転出後も報告者との間で共同研究を継続している。

### 4. 研究成果

本研究は、福祉施設や病院などの医療施設・ホスピス等の福祉住環境の構築へ向けて、

熱技術は、省エネルギー面で自然エネルギー有効利用法の一つであることを確認した。加圧溶解方式、気液二相回転せん断方式、キャビテーション方式で作成したマイクロバブルは、溶存酸素量の増大や弱アルカリ化など人間環境に身近な水圏環境の生態系改善に有効であることを確認した。この際、農業

用水路向けに設計・設置したマイクロ・ナノ水車による自然エネルギー発電を補助的に活用した。大型風力発電に由来する極低周波騒音が人の感性に及ぼす影響を検証し、自然に優しいと考えられる技術であっても静かな日常に悪影響を及ぼす生活環境騒音の一つになり得ることを検証した。最後に、これら要素技術を可能な限り一つの模擬的空間へアセンブルして評価した結果、快適空間の総合的な設計指針を確立した。

本研究では、サステイナブルかつ省エネルギーな快適空間の設計には、人の温感や五感に作用する快適な刺激を随所に織り込む（あるいは防止する）ことが重要で、これにはネイチャー・テクノロジーに基づいて自然から採取する情報が必要不可欠であることを解明した。すなわち、日本古来から独自に発達してきた暮らしに関わる伝統や文化そのものがサステイナブルかつ省エネルギーな快適空間の設計には有効であることを改めて明らかにした。成果として公開した内容には、設計に必要な一連の要求項目（要素技術）をネイチャー・テクノロジーに基づいて明らかにした内容を網羅することができた。今後は、昨年3月11日に発生した東日本大震災とそれに付随した福島第一原子力発電所の事故を受けて、非常時にも有効に機能し、かつ再生可能性のある分散型エネルギー源の再評価と再構築が、「ネイチャー・テクノロジーを援用したサステイナブルな環境空間の構築」には欠かせない課題となるであろう。緊急時・非常時のエネルギー・通信ステーションとしての自然エネルギー源の開発である。したがって、農業用水路を活用したマイクロ・ナノ水車や大型風車の新技術開発や、それに付随する環境問題のクリアが今後の重要な研究課題となると同時に、自然流体エネルギーの活用が緊急時対応のカギとなるであろう。また、同時に派生した放射能汚染問題も、低線量被曝による人体や精神への医学的・生物学的影響に関する論旨が諸説展開されている現状を鑑みれば、緊急時に利用可能な分散型エネルギー源を活用した継続的な環境モニタリングの継続・確立も今後の重要な研究課題となる。

ネイチャー・テクノロジーを援用したサステイナブルな環境空間設計に必要な要件は、桜花や梅花から抽出した色香であり、生物による環境制御を模した快適空調制御システムを具備した通気層付外断熱建築構造物であり、その周辺や内部にホテルの水圏環境を人工的に導入した庭園である。これらが相互に有機的に作用することで福祉空間向けの快適環境の実現が可能である。

##### 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 18 件)

- ① T. Nakasato and T. Inagaki, Analysis of Plant Function as Bio-Thermal-Conditioner Using Pothos (*Epipremnum aureum*), *Thermochimica Acta*, Vol. 532, No. 20, 49-55 (2012) 査読有り
- ② S. Hozumi, T. Inagaki, K. Kudo, M. Sidnei and R. Zucchi, Thermal Characteristics of Polybia Scutellaris Nests (Hymenoptera: Vespidae) Using Computational Fluid Dynamics: A Possible Adaptation to Tropical Climates, *International Journal of Sociobiology*, Vol. 57-1, pp. 1-19 (2011) 査読有り
- ③ T. Nakasato, T. Inagaki and H. Hoshiba, Thermal Regulating Effect of Miniature Paddy Field as Bio-air-conditioner, *Biogeography*, Vol. 13, pp. 89-99 (2011) 査読有り
- ④ 西泰行, 稲垣照美, 近江谷亮太, 立川力, 福富純一郎, 開水路に設置したクロスフロー水車に関する研究, ターボ機械協会誌, 39 巻 8 号, pp. 19-26 (2011) 査読有り
- ⑤ 西泰行, 稲垣照美, 小寺正雄, 実学連結型学習プログラムにおける流体力学教材の開発と実践, 日本工学教育協会「工学教育」, 59 巻 4 号, pp. 85-91 (2011) 査読有り
- ⑥ 稲垣照美, 白土哲郎, 岡部太郎, 加熱平板間に発達する自然対流熱伝達, 化学工学論文集, 37 巻 3・4 号, pp. 327-337 (2011) 査読有り
- ⑦ 稲垣照美, 北澤元気, 相変化蓄熱媒体の熱物性と水平密閉矩形容器内の自然対流熱伝達 — 酢酸ナトリウム 3 水和物 —, 化学工学論文集, 37 巻 3 号, pp. 261-270 (2011) 査読有り
- ⑧ 稲垣照美, 遠藤諒太, 自然の芳香と人の感性に関する基礎的研究, アロマリサーチ (フレグランスジャーナル), 12 巻 1 号, pp. 146-153 (2011) 査読有り
- ⑨ A. B. Sulaiman and T. Inagaki, Human Kansei on Nature Colors, *Proceedings of the 7th International Student Conference at Ibaraki University*, (2011) 査読有り
- ⑩ 稲垣照美, 渡邊直哉, 赤外線分光放射温度計の一提案とその評価, 化学工学論文集, 37 巻 1 号, pp. 28-37 (2011) 査読有り
- ⑪ S. Hozumi and T. Inagaki, A Long Slit-like Entrance Promotes Ventilation in the Mud Nesting Social Wasp, *Polybia Spinifex*: Visualization of Nest Microclimates Using Computational Fluid Dynamics, *International Journal of Insect Science*, Vol. 10, pp. 1-12 (2011) 査読有り

⑫ T. Nakasato and T. Inagaki, Analysis of Plant Function as Bio-Thermal-Conditioner Using Pothos, Proceedings of 21st International Conference on Chemical Thermodynamics, CD-ROM (EN-2P-0) (2011) 査読有り

⑬ T. Inagaki, K. Miyauchi, Nur AKMAL, Aerodynamic Noise Analysis of Large-scale Wind Turbine, Proceedings of Renewable Energy 2010, CD-ROM (P-Wd-58) (2010) 査読有り

⑭ 稲垣照美, 志賀寛史, 遠藤広樹, 遮熱塗料を施工した通気層付き外断熱建築構造物の評価と赤外線計測, 化学工学論文集, 35 巻 5 号, pp. 472-479 (2009) 査読有り

⑮ 稲垣照美, 大野慎吾, 白土哲郎, 通気層付き外断熱建築構造物における熱流体力学特性の解明, 化学工学論文集, 35 巻 5 号, pp. 480-487 (2009) 査読有り

⑯ 櫻田将至, 福澤公夫, 沼尾達弥, 稲垣照美, 日射透過率および下層反射を考慮した太陽熱高反射率塗料の日射反射率, 日本材料学会誌, 58 巻 9 号, pp. 729-734 (2009) 査読有り

⑰ 穂積訓, 稲垣照美, 福田幸輔, 虫の音が人の感性に及ぼす影響—コオロギ類の音の音響的特徴と脳波との関係—, 日本感性工学会和文誌論文集, 8 巻 4 号, pp. 1137-1144 (2009) 査読有り

⑱ T. Inagaki, Nur AKMAL, Aerodynamic Noise Analysis of Large-scale Wind Turbine, Proceedings of the 6th International Symposium Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, CD-ROM (ST1-1M-2) (2009) 査読有り

[学会発表] (計 25 件)

① 西泰行, 稲垣照美, 立川力, 小寺正雄, 福富純一郎, 下掛け式クロスフロー水車の内部流れに関する研究, 日本機械学会関東支部第 18 期総会講演会, 日本大学(津田沼) 2012 年 3 月 10 日

② 稲垣照美, Adilah Binti Sulaiman, 遠藤諒太, 佐藤智洋, 自然が有する色香と人の感性に関する研究, 第 13 回日本感性工学会大会, 工学院大学(新宿) 2011 年 9 月 4 日

③ 稲垣照美, 渡邊愛理, 宮内圭, 大型商用風車に由来する極低周波空力騒音の解析と感性評価, 第 13 回日本感性工学会大会, 工学院大学(新宿) 2011 年 9 月 3 日

④ 稲垣照美, 上江洲智政, 北澤元氣, 相変化蓄熱媒体の熱物性と水平密閉矩形容器内の自然対流熱伝達—エリスリトール—, 日本機械学会関東支部茨城講演会, 茨城大学(日立) 2011 年 8 月 26 日

⑤ 稲垣照美, 岡部太郎, 白土哲郎, 平板間に発達する自然対流熱伝達に関する研究, 日

本機械学会関東支部茨城講演会, 茨城大学(日立) 2011 年 8 月 26 日

⑥ 稲垣照美, 鈴木慎太郎, 藤田和生, マイクロバブルによる水圏環境改善に関する研究, 日本機械学会関東支部茨城講演会, 茨城大学(日立) 2011 年 8 月 26 日

⑦ 中里直, 稲垣照美, 小淵直樹, 小石裕之, 干場英弘, バイオエアコンとしてはたらく水田の冷房効果の研究, 日本ヒートアイランド学会第 6 回全国大会, 筑波大学(つくば) 2011 年 7 月 23 日

⑧ 稲垣照美, 横江晴住, 垂直な平板に沿って発達する遷移域自然対流, 第 39 回可視化情報シンポジウム, 工学院大学(新宿) 2011 年 7 月 18 日

⑨ 稲垣照美, 北澤元氣, 上江洲智政, 相変化蓄熱媒体の熱物性と水平密閉矩形容器内の自然対流熱伝達—酢酸ナトリウム 3 水和物—, 第 48 回日本伝熱シンポジウム, 岡山コンベンションセンター(岡山) 2011 年 6 月 3 日

⑩ 上江洲智政, 北澤元氣, 稲垣照美, 相変化蓄熱媒体の熱物性と水平密閉矩形容器内の自然対流熱伝達—エリスリトール—, 第 48 回日本伝熱シンポジウム, 岡山コンベンションセンター(岡山) 2011 年 6 月 1 日

⑪ 西泰行, 稲垣照美, 祖父江亮太, 立川力, 小寺正雄, 福富純一郎, 開水路に設置したクロスフロー水車に関する研究, ターボ機械協会第 65 回総会講演会, 東京大学(駒場) 2011 年 5 月 20 日

⑫ 中里直, 稲垣照美, 小淵直樹, 小石裕之, 干場英弘, 水田のバイオエアコンとしてはたらく～温度調節効果の解析～, 第 66 回日本生物地理学会年次大会, 立教大学(豊島) 2011 年 4 月 9 日

⑬ 小淵直樹, 中里直, 小石裕之, 稲垣照美, 干場英弘, ESD に向けた水田の温度調節効果の研究, 日本生物教育学会第 90 回全国大会, 埼玉大学(さいたま) 2011 年 1 月 9 日

⑭ 稲垣照美, 遠藤諒太, 自然の色彩と人の感性に関する基礎的研究, 第 20 回日本 MRS 学術シンポジウム「エコイノベーションを切り拓く先進材料研究 II」, 横浜市開港記念会館(横浜) 2010 年 12 月 20 日

⑮ 稲垣照美, 遠藤諒太, 園部亜由美, 自然の色彩と人の感性に関する基礎的研究, 第 12 回日本感性工学会大会, 東京工業大学(目黒) 2010 年 9 月 11 日

⑯ 稲垣照美, 遠藤諒太, 渡邊恵美, 自然の芳香と人の感性に関する基礎的研究, 第 12 回日本感性工学会大会, 東京工業大学(目黒) 2010 年 9 月 11 日

⑰ 北澤元氣, 稲垣照美, 液相状態における相変化蓄熱媒体の熱流動特性に関する研究, 日本機械学会関東支部茨城講演会, 茨城大学(水戸) 2010 年 8 月 27 日

⑱ 白土哲郎, 稲垣照美, 平板間に発達する

自然対流熱伝達に関する研究，日本機械学会  
関東支部茨城講演会，茨城大学（水戸） 2010  
年 8 月 27 日

⑱ 黒崎亘，立川力，松本隆夫，杉山忠夫，  
稲垣照美，農業用水路を活用した環境重視型  
マイクロ水車発電の開発と応用，日本機械学  
会環境工学部門第 20 回環境工学総合シンポ  
ジウム 2010，パシフィコ横浜（横浜） 2010  
年 6 月 28 日

⑳ 稲垣照美，鈴木慎太郎，遠藤広樹，遮熱  
塗料を施工した通気層付き外断熱建築構造  
物の評価と赤外線計測，日本機械学会環境工  
学部門第 20 回環境工学総合シンポジウム  
2010，パシフィコ横浜（横浜） 2010 年 6 月  
28 日

㉑ 中里直，稲垣照美，植物の環境へのはた  
らきに注目した ESD 実践，第 65 回日本生  
物地理学会年次大会，立教大学（豊島） 2010  
年 4 月 4 日

㉒ 中里直，稲垣照美，学校農園の環境を調  
べよう！，日本動物学会関東支部第 62 回大  
会およびシンポジウム，筑波大学（つくば）  
2010 年 4 月 4 日

㉓ 杉森健志，北澤元気，稲垣照美，渦輪運  
動と流れ，日本機械学会流体工学部門第 87  
回講演会第 9 回流れの夢コンテスト，名古屋  
工業大学（名古屋） 2009 年 11 月 7 日

㉔ 白土哲郎，稲垣照美，平行平板間におけ  
る自然対流熱伝達について，日本機械学会関  
東支部茨城講演会，筑波大学（つくば） 2009  
年 8 月 25 日

㉕ 遠藤諒太，稲垣照美，自然が有する色香  
と人の感性について，日本機械学会関東支部  
茨城講演会，筑波大学（つくば） 2009 年 8  
月 25 日

〔その他〕

ホームページ等

茨城大学研究者情報総覧 <http://info.ibaraki.ac.jp/scripts/websearch/index.htm>

茨城大学工学部機械工学科稲垣研究室  
<http://www.mech.ibaraki.ac.jp/~hotaru/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

稲垣 照美 (INAGAKI Terumi)

茨城大学・工学部・教授

研究者番号：90184712