

## 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 4 月 30 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2010～2012

課題番号：22241021

研究課題名（和文） 食を基盤としたナノマクロハイブリッド多孔体を用いたゲートマテリアルの基礎研究

研究課題名（英文） Development of the gate-materials for foods growing using nano-macro hybrid porous materials

研究代表者

石田 秀輝（ISHIDA HIDEKI）

東北大学・大学院環境科学研究科・教授

研究者番号：10396468

研究成果の概要（和文）：喫緊の課題である食料問題を解決する 1 つの方法として、家庭農場（インハウス・ファーム）という新しい概念を提案し、その実現に必要な人工土壌となり得るゲートマテリアルの開発を行った。孔径、孔隙率などを制御して無機／有機のナノマクロ多孔体を生成することで、吸水性や浸透性、微生物多様性を備えた、農業への利用可能性のあるゲートマテリアルを創出することができた。

研究成果の概要（英文）：A new concept of 'In-house Farm' was proposed as a solution for food issue. The gate-materials applied as artificial earth needed for In-house Farm was developed in this study. Controlling porosity and sizes of porous materials, nano-macro hybrid porous materials with possible permeability and micro-bio variety for agricultures, were obtained.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	13,500,000	4,050,000	17,550,000
2011 年度	14,700,000	4,410,000	19,110,000
2012 年度	8,500,000	2,550,000	11,050,000
年度			
年度			
総計	36,700,000	11,010,000	47,710,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境技術・環境材料

キーワード：ナノマクロ多孔体、無機／有機多孔体、ゲートマテリアル、微生物多様性

### 1. 研究開始当初の背景

我が国は、世界的に見ても水資源に恵まれた国土を有し、太古の時代より、水田による米作などの農業と、多種豊富なり漁場の水産業による食料資源を、自然との共存の中で育み、享受してきた長い歴史をもっている。しかし、19 世紀以降の近代化がもたらした工業技術発展重視の社会進展の影で、今や食料自給率は約 41% となり、水および食料資源に恵まれた豊かな国土が多くの方で疲弊している。

例えば、かつて日本最大の穀倉地帯であっ

た関東平野では、すでに農地の大半を工場用地、ビル、住宅地に変えてしまった。また、かつては多種多様な魚貝類が豊富に生息していた近海では、水産資源量が年々減少の一途を辿る状況になっている。このような我が国の食料問題の深刻化は、同時に我が国の自然環境の劣化、とくに水資源の劣化と深く連動していると言ってよい。

日本の食料生産と環境との関係には以下のような数字も見逃すことができない。食料自給率は 41%（カロリーベース）、100% 自給できるのは 4 県 1 道のみ、フードマイル

ージ(食料の輸送距離)は7000kmを超えた。海洋漁獲量は2000年の9660万トンピークに減少が続き、特に日本近海では急激な漁獲量の低下が顕著で、養殖に大きく頼らざるを得ない。畜産(食肉)は、日本人の消費では、年間45kg/人程度で微増であるものの、途上国の伸びは急速で、中国では1990年の約28kg/人から2000年には50kg/人を超えその勢いは衰えていない。日本の食肉自給率は50%程度であり、今後輸入を増加するには大きな問題がある。一方、牧畜面積の増加は畜産の問題をさらに悪化させ、現在、すでに産業廃棄物の2割を占める畜産処理の問題はコスト的にも大きな制約となる。また、食料輸入に伴う水の問題も大きい。現在、使用している水は700t/人であり、これにバーチャルウォーター530t/人が加わって、1230t/人の水を使用している。食料の自給率をあげた場合、新たに必要な水の確保と循環も同時に考慮する必要がある。

現在、そのような食料・環境に関わる大問題を一挙に解決する方策を見出すことは容易ではないが、自然環境の破壊を食い止めながら、食料自給率を少しずつ増加の傾向に転換することは、今後の我が国の国民生活維持にとっての最大の課題であると考えられる。その一つの解決法として、地産地消型ライフスタイルへの移行は不可避であり、その予兆として家庭菜園や屋上を利用した菜園などがある。今後は家庭内の壁を利用した菜園(家庭農場)などの必要性も考えられ、場合によっては意匠性までの備えた人工土壌が求められる。また、湾や入り江などの近海あるいは湖沼河川での広範囲な魚貝類養殖などが考えられる。これら、食物栽培や魚貝類養殖のためには共通して、細菌発生・増殖等による水の劣化を防ぐための、薬剤等ができるだけ使わない技術(殺菌・抗菌技術)の開発が必要不可欠である、と同時に細菌の多様性を有した人工土壌のような制御も合わせて求められている。

## 2. 研究の目的

我が国の環境問題と食料生産問題を解決する方法論として、①家庭農場の構築、②淡水・海水養殖の推進、③低コスト畜産処理、④水浄化循環の項目が特に重要となる。そして、これらを実現する具体的な基盤技術として最近発展の著しい無機物あるいは有機物よりなる多孔体技術が注目される。物質(無機か有機かなど)と構造(大きな孔や小さな孔など)の最適複合化(ハイブリッド化)によって、環境問題と食料生産問題を解決する上記4つの方法論に対して十分に対応できる可能性がある。

本研究の開発ターゲットは、有機のメリットと無機のメリットを活かしたメゾマク

ロ多孔体によって、農・水・畜用途別に組み合わせることができるフレキシブル素材を開発することにある。例えば、ハイブリッド多孔体を用いて人工土壌の創生を行うことにより、水の保存、水の移動、空気の保存、酵素/バクテリアの保持、滅菌を同時に行うことが可能である。種々の孔を有する有機/無機のハイブリッド化によって、水の滅菌に必要な孔のサイズは、提案者らの研究で1ミクロン程度だと明らかになりつつある。またハイブリッド土壌の利用により、養殖や畜産で共通の問題となっている窒素の固定が可能であり、かつ農業に必要な窒素を循環利用することも可能となる。窒素循環にはイオン交換基が必要であり、提案者らが開発したポリマー内にはアンモニウム基を存在させることができるため、アニオン交換により水質劣化の最も重要な問題となっている硝酸イオンを捕捉可能であることが分かっている。

水を介して植物や魚貝類に害を及ぼす細菌の大きさは1ミクロン以上である。一方、水分子の大きさは10nm程度である。したがって、非常に単純な発想をすれば10nm以上のナノオーダーの孔を作って、その中に水を浸み込ませれば、細菌は発生しない、あるいは増殖しない水環境ができることになる。また、孔径がナノオーダーの多孔体をフィルターとして水を通過させれば、細菌は通らないことになる。すなわち、ナノ多孔体を用いれば、大量の農薬などを使わずに、殺菌あるいは抗菌の作用が実現できる可能性がある。

本研究では、最近技術進展が著しい無機/有機の多孔体を利用して、栽培・養殖用の水の殺菌・抗菌システムを開発するための基礎研究を行う。シリカ、アルミナ、ガラス系などの種々の無機系、有機系またはハイブリッド系の多孔体を合成し、その孔径、気孔率、孔表面などの多孔構造を明らかにすると共に、それらを変化させた多孔体への水の浸透性(疎水性または親水性)の評価を行う。そして、ナノサイズあるいはミクロンサイズに精密に制御された孔を持つ多孔体の水環境浄化の評価試験として、細菌を含む水を浸透させたときの殺菌・抗菌機能などを評価する。また、ナノマクロ多孔体では細菌の多様性評価を行う。適用研究としては、農業用に利用する多孔体として、植物の水耕栽培の苗床、人工土壌としての評価を行う予定である。

## 3. 研究の方法

無機物、有機物およびそれらの複合体(ハイブリッド材)よりなる多孔質材料における孔をナノサイズで精密に制御できる技術を開発し、かつ、それらの多孔質材料を用いて、水の中で発生する細菌に対しての殺菌あるいは抗菌の機能発現を明らかにし、さらには農業用への適用研究、家庭農場への実用化に

向けてナノ・マクロ多孔体のデザインを行う。多孔体合成と評価・解析をファインセラミックスセンターおよび京都府立大学、農業への適用可能性評価を中央農業総合研究センター、家庭農場への多孔体デザインおよび普及のための社会実証試験を福井工業大学および東北大学が担当する。

#### (1) 多孔体の合成と評価・解析

様々な無機/有機材料から、超臨界乾燥法や重合条件の制御などの方法を用いて、孔径、気孔率等を種々変化させた多孔体を合成する。合成した多孔体について、走査型電子顕微鏡等を用いて孔径、気孔率などの多孔体構造を解析・評価する。また、このような多孔体構造を計算機シミュレーションによる構造解析を行い、各種構造因子を明らかにする。

多孔体について水を浸透させる実験を行う。この時、材質、孔径、気孔率、気孔表面構造（修飾物質）などによっては、水が浸透できる場合と浸透できない場合がある可能性があることを踏まえて評価・解析を行う。多孔体に細菌を含む水を浸透させたときの細菌の繁殖試験を行い、繁殖状況を調査する。また、多孔体をフィルターとして細菌を含む水を通過させたときの殺菌・抗菌機能、逆に多孔体の生きた多様な細菌群集保持機能などを評価する。

#### (2) 農業への適用可能性評価

合成された多孔体について、農業用に利用することを考え、作物の水耕栽培の苗床としての評価を行う。多孔体を用いることによって殺菌あるいは抗菌の効果が生じ、作物の生育が促進される（病気になりにくい）という結果が得られるかどうか、あるいは全く逆方向に、多様な細菌群集を保持する支持体として、生きた人工土壌（生物を内部に取り込んだ複合材料）として機能し得るかどうかを明らかにする。ただし、作物の生育には多くの要因が関わるはずであり、この点に関してはあくまで基礎検討を行う。

人工土壌として合成された多孔体基材に、実際の農地土壌から採取したモデル土壌微生物群集を懸濁液にして導入し、数種類の野菜を播種して栽培実験を行う。細菌群集の状態の良否を調査するために、Biolog社製細菌有機物分解機能解析ロボット Omnilog システムを用いて、基材から回収した細菌懸濁液の有機物分解機能の多様性・活性値として測定する。更に、懸濁液中の細菌群集内の構成バランスを解析する新たな技術を開発し、同程度の多様性・活性値を示した細菌群集間で比較することで、人工土壌の細菌群集に及ぼす影響の違いを評価する。

#### (3) 家庭農場への多孔体デザインおよび普及のための社会実証試験

家庭農場の実用化に向けて、多孔体にデザイン性を取り入れる。多孔体の着色性や成形性を活かし、景観、審美性、使用感等を考慮することにより、インテリアとして農業を生活の一部に取り入れることを検討する。具体的には、多孔体ゲートマテリアル普及のために、ゲートマテリアルの物理的性質を活用することでどのようなライフスタイルが実現できるのかを検討し、10年、20年後の実現を含め、多様な視点からのアイデア展開を行いCGによる再現を行う。さらに、新しいライフスタイルを提案するための試作物を制作し、社会実証試験を行う。

#### 4. 研究成果

##### (1) 多孔体の合成と解析・評価

無機材料からなる多孔質体のサンプルとして、アルコキンドなどの有機原料と超臨界乾燥法などを用いてシリカの透明多孔質体（エアロゲル）を合成し、電子顕微鏡等を用いて孔径、気孔率などの多孔体構造を明らかにした（図1左）。計算機シミュレーション手法を用いて、多孔体構造の三次元構造解析を行い、気効率、孔径、骨格太さなどの各種構造因子を定量化（変化）させる設計技術を開発することができた。さらに、三次元多孔体構造下で各種の構造因子を変化させるシミュレーション研究を進め、骨格太さを可変にすることで気孔率と気孔径を独立に変化させた多孔構造を設計することができるようになり、それらを用いて伝導性（固体）および透過性（空間）などを予測できる材料設計シミュレーションに発展させた。

シリカエアロゲルを合成する途中段階で得られる湿潤ゲルを用いて、水を含ませた材料（透明な土）を作製した。そのような土を用いて、切り花の寿命実験およびカイワレ等の種子での発芽・栽培実験を行った（図1右）。その結果、水分湿潤ゲルを用いても切り花の寿命延長は確認できなかったが、各種の種子は通常の土と変わることなく発芽・栽培できることを確認した。シリカを主成分とする湿潤ゲルを用いて、水を含ませた材料（透明な土）を作製し、そのような人工土壌を用いて、細菌の繁殖状況を評価した。その結果、シリカ湿潤ゲルは多様な細菌群集保持機能を有することが明らかとなり、食物栽培用人工土壌としての期待度が高まった。今回作製したシリカ湿潤ゲルの孔径は約20nmと考えられるが、そのような小さな孔径では水の流入・流出が起こりくいと判断された。そして、従来よりも細孔径の大きなシリカ湿潤ゲルを作製することができるようになり、透水実験、栽培実験、細菌実験などを進め、人工土壌としての応用可能性や課題を明らかにした。

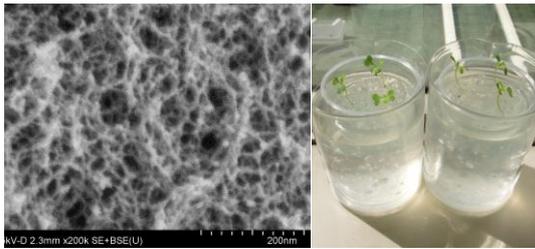


図1. シリカ系多孔体（左：合成したシリカゲルの電子顕微鏡写真、右：湿潤シリカゲルを用いたカイワレの栽培実験）

有機材料からなる多孔体（有機高分子ハイブリッド型ゲートマテリアル）のサンプルとして、変性ポリオールやジイソシアネートなどからウレタンポリマー多孔体を作成した。発泡体の合成条件の検討、および、合成時に加える粒子の特性および発泡体への含有率を変化させることにより、粒子の含有率が低いほど、発泡体の吸水量は増すが、吸水の高さは減少する傾向があること、粒子の含有率が高いほど、発泡体の吸水量自体は減少するが、一方で吸水高さが上昇することを明らかとした。また、粒子に関しては、その親水性が高く、また、粒子の細孔径が小さいほど、さらに粒子自体の粒子径が大きいほど母体の発泡体の吸水特性が向上することが分かった。さらに、ゲートマテリアル合成時に加えるハイブリッド粒子の種類、粒径、粒度分布、粒形を変化させ、さらに、ポロシティの制御を行うことで、種子が発芽し、その根が十分に貫通できる硬度を有するゲートマテリアルを得る事に成功した。

有機高分子ハイブリッド型ゲートマテリアル作成において、実証栽培で問題になった、発芽から、根の伸張を妨げるゲートマテリアルの硬さ、表面のスキン層（無孔の部分）を改善するために、ハイブリッド条件、発泡条件、また、バルクでの作成方法を再検討し、最適化を行った。その結果、微生物多様性がある程度維持し、また、種の播種から発芽、根の伸張を可能にするゲートマテリアルの作成条件を確立した（図2）。

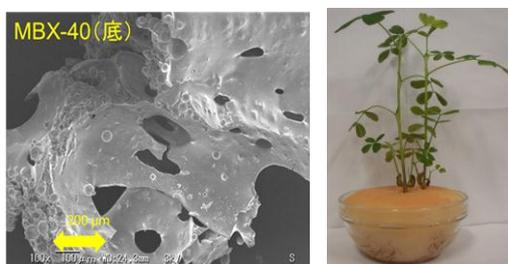


図2. ハイブリッドウレタンポリマー多孔体（左：電子顕微鏡写真、右：栽培実験）

(2) 農業への適用可能性評価  
人工土壌として、合成されたシリカ系およ

びポリマー系基材を容器に充填し、それぞれに実際の農地土壌から採取したモデル土壌微生物群集（多様性・活性値：約190万）を15mMリン酸緩衝液(pH7.0)によって1000倍希釈した懸濁液として導入し、数種類の野菜を播種して栽培試験した。温室内自然光下でキュウリおよび小松菜の短期栽培試験（約30日間）、および、LED人工照明下でグリーンレタスの長期栽培試験（30日間以上）を行い、Omnilogシステムを用いた細菌群集の有機物分解過程の時系列解析により、新に開発された人工土壌基材の微生物群集構成への影響の定性的評価した。

シリカ系基材では、微小粒シリカ(図3：シリカ①)ならびに粒状シリカ(図3：シリカ④)では、良好に植物が生育し、同時に微生物の多様性、活性の双方を維持できたことから、シリカ系基材で人工土壌作出の可能性が高い。また、ポリマー系基材では、複数の孔サイズ(図3：40@、60@、SSX)何れの場合も、微生物群集が良好に維持され、基材の乾燥防止など長期の栽培管理が正常に行われた場合は、植物の生育も良好であったことから、人工土壌の有望な候補となり得ると評価された。

作製した人工土壌に関して、多孔体(基材)、植物、細菌群集の三者が相互作用する系について、長期の植物栽培の後、導入された細菌の群集構造が良好に維持されるかどうかを評価する新たな解析方法を開発した。細菌群集の多様性と活性を測定する際の炭素源資化パターンを経時的に測定し、96種類の炭素源毎の資化トレンドを多次元尺度構成法によって二次元空間に図示することにより、導入直後の細菌群集構造をどの程度維持しているかを評価することが可能になった。開発された新技術は、人工土壌系のみならず、広く農耕土壌ならびに自然土壌の微生物群集内の構造バランスの解析に使用できることが、茨城県、千葉県の大規模野菜栽培地帯、熊本県、鳥取県、山梨県の森林を材料として実証されたことから、今後はこの技術を用いた農耕地ならびに自然土壌生態系の正常性診断技術として産業利用が進められることになった。

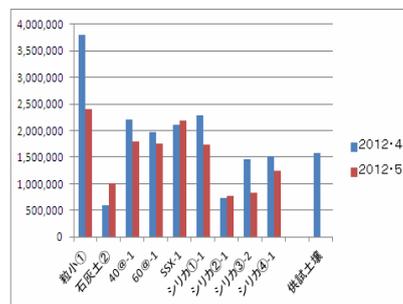


図3. 人工土壌に導入された土壌微生物群集構造（多様性・活性値）変化

(3) 家庭農場への多孔体デザインおよび普及のための社会実証試験

多孔体マテリアル普及のために、現在から数十年後の未来における多孔体マテリアルの利用方法、製品開発、ライフスタイルの変遷を検討しアイデアを展開した。飛行船型農業や高層住宅による水田、屋内農園のシステムなどのアイデアが創出され、よりリアルな表現を実現するために3DCGによってビジュアル化した(図4左)。また、「食育」をテーマとした多孔体マテリアルの試作システムに取り組み、「子どもといっしょに育てる家屋農園」をテーマにライフスタイルと育成方法を検討し3つのコンセプトを構築した(図4右)。成長の過程を感じながら育成するプランターをコンセプトとして提案し、高分子ポリマー系の多孔体マテリアルを用いた鋳型成型により、評価モデルを制作した。

本研究で提案する家庭農場(インハウス・ファーム)が世の中にどのように受け止められるのかを実証するために、本研究で開発およびデザインしたインハウス・ファームをハウスメーカーのコミュニティー・センターに設置し、半年に渡って植物の生育状況、人工土壌の状況、来場者による印象評価などの社会実証試験を行うことができた(図5)。



図4. 多孔体マテリアル利用のデザイン(左: 屋内農園の3DCG、右: 高分子ポリマー系多孔体のデザイン)



図5. インハウス・ファーム(家庭農場)の社会実証試験

## 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9件)

- ① Kazunari Yokoyama and Y-h. Taguchi, *Microbiology and biodiversity-based*

modeling of suppression of cottony leak of scarlet runner bean in soils with diverse and uniform ecology, *Journal of Agricultural Science and Application*, 査読有, 2(1), 2013, 35-44. URL: [www.j-asa.org](http://www.j-asa.org)

- ② 横山和成、櫻本直美、渡邊健、町田暢久、田口善弘、土壌病害の総合防除対策が土壌微生物生態系に及ぼす影響 I: 観測、*日本物理学会講演概要集*、査読無、67(1)、2012、295
- ③ 田口善弘、横山和成、土壌病害の総合防除対策が土壌微生物生態系に及ぼす影響 II: 理論、*日本物理学会講演概要集*、査読無、67(1)、2012、296
- ④ Y-h.Taguchi and Kazunari Yokoyama, Disease suppressive soil has both diverse and uniform ecology: Modeling and characterization from the viewpoint of microbiology and biodiversity. *IPJS SIG Technical Report*, 査読無, 2012-BIO-28(10), 2012, 1-6
- ⑤ 石田秀輝、ものづくりと暮らし方の潮流を創る、*静岡県環境保全協会 環境保全*、査読無、96、2012、33-37
- ⑥ Hideaki Matsubara, *Computer Simulation Studies on Sintering and Grain Growth for Microstructure Design of Sintered Materials*, *Proceedings of the 2012 Powder Metallurgy World Congress & Exhibition*, 査読有, 2012, 16D-T3-9
- ⑦ Kodai. Otsu, Hideaki. Matsubara, Masayuki. Nogami, *Computational Modeling for Porous Structure of Aerogel Using the Grain Growth Simulation*, *Proceedings of the 2012 Powder Metallurgy World Congress & Exhibition*, 査読有, 2012, 16D-T3-11
- ⑧ 町田暢久、渡邊 健、増村弘明、櫻本直美、横山和成、輪作や微生物資材を組み合わせた総合防除対策がベニバナインゲン綿腐病の発生と土壌微生物多様性・活性に及ぼす影響、*土と微生物*、査読無、65、2012、153
- ⑨ Hiroataka Maeda, Emile Hideki Ishida, *Hydrothermal preparation of diatomaceous earth combined with calcium silicate hydrates gels.*, *J. Hazardous Materials*, 査読有, 185, 2011, 858-861. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.09.099

[学会発表](計10件)

- ① 大津広大、松原秀彰、シリカエアロゲルの構造と特性の解析、*日本セラミックス協会セラミックス基礎科学討論会*、2013年1月9日~10日、*仙台国際センター*
- ② 谷口亜紀、伊藤晴香、大泉百合香、久保拓也、細矢 憲、石田秀輝、ナノマクロハイブリッド多孔体を用いたゲートマ

テリアルの開発、第 21 回ポリマー材料フォーラム、2012 年 11 月 1 日～2 日、北九州国際会議場

- ③ 大津広大、野村浩、松原秀彰、シリカエアロゲルの多孔質構造を模擬したシミュレーション解析、日本セラミックス協会秋季シンポジウム、2012 年 9 月 19 日～21 日、名古屋大学
- ④ 高橋誠二、大川元、小川光恵、水田安俊、奥原芳樹、松原秀彰、エマルジョン法による断熱用シリカナノ粒子の合成とその特性、日本セラミックス協会秋季シンポジウム、2012 年 9 月 19 日～21 日、名古屋大学
- ⑤ 谷口亜紀、久保拓也、細矢 憲、多孔質ポリマーの自然給水特性とハイブリッド化、第 19 回クロマトグラフィーシンポジウム、2012 年 5 月 23 日～25 日 八王子学園都市センター
- ⑥ 横山和成、櫻本直美、猪股敏郎、篠原茂夫、田口善弘、土壌微生物情報に着目した連作障害の総合防除 1：スイカのしおれ症、農業情報学会 2012 年度年次大会、2012 年 5 月 16 日～17 日、東京大学
- ⑦ 大津広大、松原秀彰、シリカエアロゲルの三次元多孔構造と熱伝導のシミュレーション、日本セラミックス協会年会、2012 年 3 月 19 日、北海道大学
- ⑧ 西尾浩一、吉川由希子、石田千晃、細矢憲、松原秀彰、櫻本直美、横山和成、石田秀輝、多孔体ゲートマテリアルを用いた新しい農業のデザイン、日本デザイン学会第三支部研究発表会、2012 年 3 月 18 日、椛山女学園大学
- ⑨ Emile H. Ishida, Time Has Begun that Technology Shall Take Responsible for a Lifestyle -Nature Technology-, Eco Design 2011, 2011 年 12 月 1 日、京都
- ⑩ Hideaki Matsubara, Microstructure and strength change in HIP treatment for cermet and cemented carbide fabricated by liquid phase sintering, International Conference on Hot Isostatic Pressing, 2011 年 4 月 13 日、神戸国際会議場

[図書] (計 3 件)

- ① 石田秀輝、古川柳蔵、シーエムシー出版、次世代バイオメテイクス研究の最前線--生物多様性に学ぶ--、第 1 章 4 節：自然のすごさを賢く活かすものづくりと暮らしのかたのか・た・ち・ネイチャー・テクノロジー、2011, 29-34.
- ② 横山和成、櫻本直美、アスキー新書 192、明日の日本をつくる復興提言 10、提言 4: 低エネルギー型新農業ライフスタイルへの変革、2011, 64-85.
- ③ Emile H. Ishida, Tohoku Univ. Press,

Channeling the Forces of Nature, 2010, 144.

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

名称：多孔質シリカ粒子の製造方法及び真空断熱用多孔質シリカ粒子

発明者：高橋誠二、松原秀彰 他

権利者：同上

種類：特許

番号：2012-199531

出願年月日：2012 年 09 月 11 日

国内外の別：国内

名称：真空断熱材

発明者：奥原芳樹、松原秀彰 他

権利者：同上

種類：特許

番号：2012-199530

出願年月日：2012 年 09 月 11 日

国内外の別：国内

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

石田 秀輝 (ISHIDA HIDEKI)

東北大学・大学院環境科学研究科・教授

研究者番号：10396468

### (2) 研究分担者

細矢 憲 (HOSOYA KEN)

京都府立大学

・大学院生命環境科学研究科・教授

研究者番号：00209248

西尾 浩一 (NISHIO KOICHI)

福井工業大学・工学部・准教授

研究者番号：30550561

横山 和成 (YOKOYAMA KAZUNARI)

独立行政法人

・農業・食品産業技術総合研究機構

・中央農業総合研究センター・上席研究員

研究者番号：40191514

櫻本 直美 (SAKURAMOTO NAOMI)

独立行政法人

・農業・食品産業技術総合研究機構

・中央農業総合研究センター・契約研究員

研究者番号：30353098

松原 秀彰 (MATSUBARA HIDEAKI)

財団法人・ファイナセラミックスセンター

・主席研究員

研究者番号：90167651