

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 26 日現在

機関番号：12501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23651062

研究課題名(和文) ヒートアイランド現象緩和に係わる建築物全面緑化のための自立型栽培担体の開発

研究課題名(英文) Development of culturing base for wall greening of skyscraper by polymer gel with layer stack structures

研究代表者

小川 幸春 (Ogawa, Yukiharu)

千葉大学・園芸学研究科・准教授

研究者番号：00373126

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：高層建築物の壁面緑化を実現するための植物生育土台となり得る高分子ゲル積層構造体の開発を目的として、寒天を基材とするゲル状物質の機械力学的特性および成分溶出性を検討した。寒天ゲルに高粘性水溶性繊維系物質を添加することでかたさや付着性が変化した。繊維系物質の粘性は寒天ゲルのグルコース溶出率、溶出速度に関連していた。それら繊維系物質の添加によりゲル状物質の微細構造変化が確認された。以上より、高分子ゲル構造体の力学的特性や溶出性は添加物質の粘性により制御可能であることが示された。

研究成果の概要(英文)：To develop culturing base for wall greening of skyscraper by polymer gel with layer stack structures, the mechanical properties and elution characteristics of agarose-base gelatinous material were examined. Hardness and cohesiveness of the agarose-base gel product were varied with addition of high viscosity and soluble fibrous materials. Such fibrous materials were also related to the elution characteristics and elution rate from the gelatinous material. The microstructures of gelatinous material were changed by addition of fibrous additives. As a result, it was thought that the mechanical and elution characteristics of agarose-base gelatinous material would be controlled by the viscosity of additives for the gel.

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：環境技術 環境対応 人間生活環境 建築物緑化 高分子構造・物性

## 1. 研究開始当初の背景

夏場の都市部では直射日光やビル壁面、路面からの照り返しなどで熱が蓄積し周辺気温が極端に上昇するヒートアイランド現象が生じる。その結果、冷房負荷の増大とともにそれらの排熱も周辺気温を上昇させる一因となる。こうしたヒートアイランド現象を緩和するには、植物による「緑化」が有効とされる。ただし、我が国の現状では都市部での緑地帯造成が不可能であるため、建築物の屋上や壁面に植物を繁茂させる屋上緑化や壁面緑化が主として試みられている。建築物の緑化は、例えば屋上緑化によって夏場の消費電力が4割弱低減するなどの報告もあり、ヒートアイランド現象の緩和とともにCO<sub>2</sub>ガス排出削減にも極めて有効である。このため近年ではビル新築などの際に屋上緑化や壁面緑化が採用される傾向にはあるが、既存の高層建築物なども含めた都市全域での実施には至っていない。その主な原因としては、植生土台の限界とともに植物の手入れや維持、冬場の枯死による取扱いの煩雑さなどメンテナンス面での問題が挙げられる。特に壁面緑化の場合はそれらの問題点が顕著となるため有効性が認識されているにもかかわらず大規模かつ実効的な実施には至っていない。

通常、植物は土壌に根付いて生育することが前提となっている。園芸施設では土壌以外に水耕などの栽培法も用いられるが、施肥栄養素は循環水中に順次投入している。ここで植物の生育を物質収支の視点から捉えると、N、P、Kと各種の無機物および水は生育のために根系から吸収される物質である一方、炭素系化合物は空気中のCO<sub>2</sub>から生合成される物質となる。すなわち炭素系化合物は施肥栄養素として必要ではない。植物はその物質構成として水と炭素系化合物で95%を占める。したがって、残り5%の物質を養分として水分とともに根系から与えれば植物体は再構成される。ここで、それら5%の物質を植物の繁茂とともに根系から徐々に吸収できるよう、例えばゲル状の素材で包埋するなど細かな条件を整えることが可能となれば、追加の施肥要素などを必要とせず土壌から離れた環境下でも生育できることになる。これまでカルス栽培や培養などに寒天系の培地を用いた栽培が行われてきているが、本研究では物質浸透性の異なる高分子ゲルの積層構造体を開発することで、単純な栄養分の保持材ではない植物栽培土台の開発を目指す。

## 2. 研究の目的

本研究では植物の生育土台として、土壌の代わりに養分に対する遅延浸透性と吸水性・保水性を併せ持つ積層化した高分子ゲル構造体の開発を目指す。この目的のため予備的な

試験に基づいて検討したところ、まずはゲル状物質の構造体としての機械強度など力学的な特性、およびゲル状物質の成分溶出性、浸透性の検討が重要となることが判明した。このため、代表的な高分子ゲル材料である寒天を基材として用い、水溶性あるいは不溶性物質を添加した際のゲル状物質構造体としての力学的特性や成分溶出性の変化を検討した。

具体的な検討項目は以下の通り。

### (1) ゲル状構造体の力学的特性の検討

寒天ゲルの基材濃度や添加物濃度を段階的に設定し、その際のかたさや付着性など力学的特性値の変化を調査、検討した。これによりゲル状物質構造体の機械力学的特性を評価した。

### (2) ゲル状物質からなる構造体の成分溶出性、浸透性の検討

寒天ゲルに性質の異なる繊維系物質を添加し、得られた高分子ゲルの成分溶出性、浸透性を調査、検討した。これによりゲル状物質の養分保持特性や浸透性を評価した。

以上の基礎的な特性を評価、把握することで高分子ゲルの積層構造体としての特性を把握し、自立した栽培担体としての基礎的な特性評価を試みた。

## 3. 研究の方法

### (1) 供試材料

ゲル化剤には寒天粉末(016-11875, Wako)を用いた。寒天の濃度は1.0% (w/w)を基準とした。

### (2) 試料調製法

寒天粉末に蒸留水を加えて加熱したのち冷蔵庫内で1h静置することでゲル化させた。同様に、粘性の異なるアルギン酸ナトリウム(80-120 cp, 300-400 cp, 500-600 cp)、難消化性デキストリンおよびリグニンを添加剤として混入させた寒天ゲルも作製した。それぞれの添加剤濃度は寒天ゲルの0.3, 0.5, 1.0および1.5% (w/w)となるように設定した。ゲル化した試料は、放冷ののちコルクボーラーによって直径2cm, 高さ1.5cmの円柱状に成形した。

### (3) 力学物性

成形したゲル状物質の力学物性を評価するため、かたさ、凝集性、付着性を測定、評価した。それぞれの測定にはクリープメータ(RE2-33005S, 山電, ロードセル20N)および同解析ソフトウェア(破断強度解析 Windows Ver.2.0, BAS-3305, テクスチャ解析 Windows Ver.2.0, TAS-3305)を用いた。治具には円盤型プランジャ(ポリアセタール樹脂性, 55mm)を適用し、圧縮速度1mm/sで成形後のゲル化試料を縦軸方向に85%圧縮した。試料と治具の接触位置は0.02Nの圧縮抵抗力を感知した位置とした。

#### (4) 添加剤溶液の粘度

アルギン酸ナトリウム (80-120 cp, 300-400 cp, 500-600 cp), 難消化性デキストリンおよびリグニンを蒸留水に 0.3, 0.5, 1.0 および 1.5% (w/w) 添加し, 振動式粘度計 (VM-10A, SEKONIC) を用いて試料温度 60 におけるみかけの粘度を測定した。

#### (5) 添加剤の溶出性

ゲル基材中に D-グルコースあるいはデンプンを添加したゲル状試料を作製し, 蒸留水に浸漬することでその溶出率を評価した。浸漬するための蒸留水は 37 に保持し, 蒸留水 200 mL 当たり 3 個 (約 13 g) の試料を 6 h まで静止状態で保持した。上澄み液中の D-グルコースは Megazyme 社製 D-Glucose Assay Kit を用いて測定した。上澄み液中のデンプン含量を測定するため 0.1 mL の上澄み液にアミログルコシダーゼおよびインベルターゼを混入して 37, 10 min 加熱し, すべての少糖類を加水分解してグルコースに変換した。続いて同キットによりグルコース量を定量し, 変換係数 0.9 をかけデンプン量として算出した。

D-グルコースおよびデンプンの溶出速度を評価するため, 得られた測定値を Igor Pro (ver. 4.01, Tokyo, Japan) を用いて以下の一次反応式に当てはめて近似し, 各パラメータを最小二乗法によって算出した。

$$C = C_0 (1 - e^{-kt})$$

ここで C は時間 t における溶出率, C<sub>0</sub> は平衡溶出率, k は溶出速度定数をそれぞれ示す。

#### (6) 微細構造観察

寒天ゲルおよび添加剤混入ゲルは -18 で予備凍結したのち, 凍結乾燥機 (FDU-1100, EYELA) を用いて 25 で 24 h 減圧乾燥した。得られた乾燥試料の微細構造は, 走査型電子顕微鏡 (SU1510, 日立ハイテクノロジーズ) を用いて観察した。

### 4. 研究成果

#### (1) 寒天濃度とゲル化後の力学的特性の関係

図 1 に, 濃度の異なる寒天ゲルのかたさおよび付着性を示す。図中のバーは標準誤差 (n = 15-30), 図中同項目に示した異なる記号間には Tukey の多重比較検定 (P < 0.05) により有意差があることを示す。寒天濃度の上昇に伴ってかたさは増加する一方, 付着性は減少した。寒天ゲルの強度は濃度との間に直線的な規則性を持つことが知られており, 寒天ゲルのかたさはその傾向を示した。一方, 付着性は逆の傾向を示したことから, 寒天単体によるゲル状物質の力学的特性は濃度の設定によって細かく調整可能であることが示された。ただし, それら調整後の物性値が取り得る範囲に関しては検討を要することが明らか

となった。

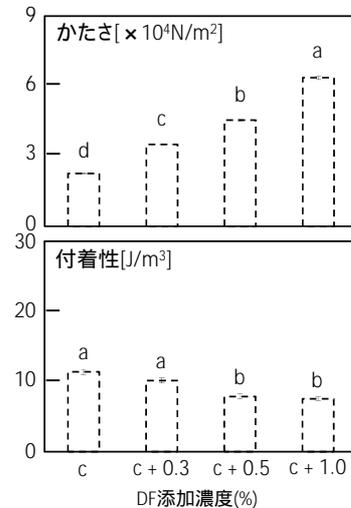


図 1 濃度の異なる寒天ゲルのかたさおよび付着性

#### (2) 添加剤の性質および添加量と寒天ゲルの力学的特性の関係

図 2 に, 性質の異なる食物繊維系物質を添加した寒天ゲルの力学的特性値変化を示す。添加量の増加に伴ってかたさも増加した。不溶性繊維を添加した場合のゲル試料では大きな変化が見られなかった一方で, 水溶性繊維を添加した場合は添加量に伴ってかたさが増加した。しかしその増加程度は, 寒天濃度を同程度高めた場合の力学的特性値の増加と比較すると極めて小さかった。一方でゲル試料の付着性は, 添加する繊維の種類や量によってその変化傾向が異なった。本実験では, 高粘性の水溶性食物繊維として知られるペクチンを添加した場合にゲル試料の付着性増加が確認された。その一方で, 難消化性デキストリンやリグニンを添加してもゲル試料の付着性は変化しなかった。以上の結果より, 高粘性食物繊維の添加は寒天ゲルの付着性に影響を及ぼすことが示された。これに対し, 低粘性食物繊維および不溶性食物繊維を添加したゲル試料の付着性変化は比較的小さかった。

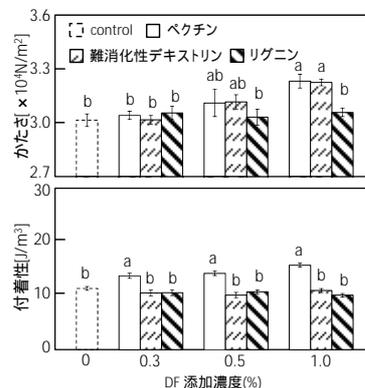


図 2 性質の異なる食物繊維系物質を添加した寒天ゲルの力学的特性値変化

(3) 添加剤の粘性および添加量と寒天ゲルの力学的特性の関係

性質の異なる添加剤が寒天ゲルの力学的特性に及ぼす変化から添加剤の粘性がゲル試料の力学的特性に影響を及ぼす可能性が考えられた。このため分子量によって粘性が異なるアルギン酸ナトリウムをゲル試料に添加し、力学的特性値の変化傾向を調査、検討した。図3に、粘度の異なるアルギン酸ナトリウムを添加した寒天ゲルの力学的特性値変化を示す。アルギン酸ナトリウムの添加量増加に伴ってゲル試料のかたさ、付着性のいずれもが増加し、その増加程度は高粘性のアルギン酸ナトリウムほど大きかった。本実験の結果から、添加剤の粘性が寒天ゲルの力学的特性に関与していると考えられたため、添加剤の粘度と寒天ゲルの力学的特性変化との相関を調査した。表1に各添加剤水溶液の粘度を示す。また図4に添加剤粘度とゲル試料の力学的特性値との関係を示す。かたさは低い添加濃度で粘度との間に0.92および0.93の高い相関係数を示したが、濃度1%では0.58と低くなった。高分子ゲルのかたさは、コラーゲンペプチドや低粘性水溶性食物繊維添加による自由水の減少で変化することが報告されている。本実験でも添加剤濃度が1%の場合に、自由水減少によって相関係数が低下したと考えられる。付着性はいずれの濃度でも添加剤の粘度と高い相関が確認された。

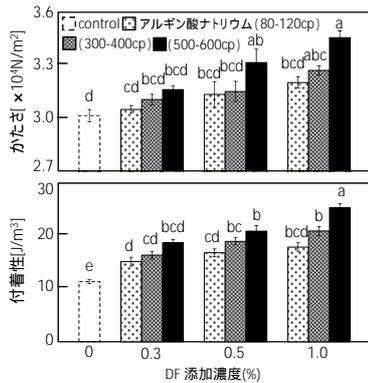


図3 粘度の異なるアルギン酸ナトリウムを添加した寒天ゲルの力学的特性値変化

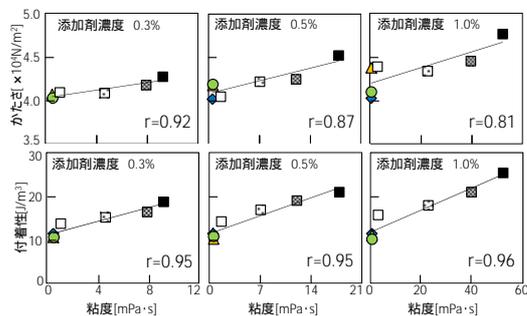


図4 添加剤粘度とゲル試料の力学的特性値との関係

表1 添加剤水溶液の粘度(60)

食物繊維濃度(%w/w)	0.3%	0.5%	1%
アルギン酸ナトリウム80-120cP	4.66	7.38	22.7
300-400cP	7.93	11.3	39.7
500-600cP	9.23	16.6	52.2
ペクチン	1.13	1.67	2.94
難消化性デキストリン	0.58	0.61	0.58
リグニン	0.58	0.60	0.58

(4) 添加剤の混入と寒天ゲルの微細構造の関係

図5に、添加剤の混入による寒天ゲルの微細構造変化を示す。基材の寒天ゲル(control)ではアガロースの網目構造が確認され、図中に濃く示される直径0.2-0.4mm程度の空隙も観察された。アルギン酸ナトリウムを添加した場合はcontrolのような構造は見られず、逆に矢印で示されるような0.05-0.3mm程度の特徴的な空隙が確認された。また難消化性デキストリンを添加した場合はアルギン酸ナトリウム添加時の特徴的な空隙は確認されずに均質な構造のみが確認された。リグニンを添加した場合も特徴的な空隙は確認されなかった。ただしリグニンを添加した場合は寒天ゲル基材の表層に他の添加剤では見られない構造体が確認された。これはリグニンが他の物質との反応性に乏しくアガロースの網目構造を形成する1-3結合や1-4結合などと相互作用を持たないため、不溶性の繊維系物質単体として観察された結果であると考えられた。

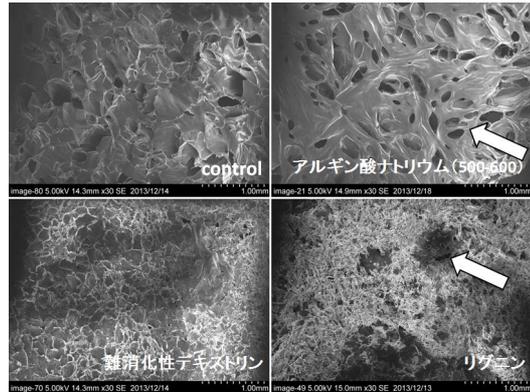


図5 添加剤の種類と寒天ゲルの微細構造

(5) 添加剤の混入が寒天ゲル含有成分の溶出性に及ぼす影響

図6に1%濃度で各材料を添加したゲル試料からのD-グルコースおよびデンプン溶出率変化を示す。浸漬開始後、いずれのゲル試料でもD-グルコースおよびデンプンの溶出率は増加した。D-グルコースの溶出率は、難消化性デキストリン、リグニンではcontrolとほぼ同じであった。一方、アルギン酸ナトリウムを添加した場合の溶出率は低下し、低下の程度はアルギン酸ナトリウムの粘性増加に伴って大きな値を示した。デンプンの溶出もD-グルコースと同様の傾向を示したが溶出率はD-グルコースの半分程度であり、各添

加剤間の差も小さかった。以上の結果から、高粘性水溶性食物繊維の添加は水溶性の D グルコースの溶出を抑制するが、水に溶けにくいデンプンに対する影響は比較的小さいことが示された。表 2 および表 3 に、添加剤添加による平衡溶出率および溶出時の速度定数変化をそれぞれ示す。D グルコースの平衡溶出率および速度定数はアルギン酸ナトリウムを添加した場合に減少し、その減少量は粘性の高いアルギン酸ナトリウムほど大きかった。一方、難消化性デキストリンとリグニンを添加した場合のゲル試料間の平衡溶出率、速度定数に有意差は確認されなかった。デンプンに対してはアルギン酸ナトリウムで平衡溶出率、速度定数いずれも減少する傾向が見られるものの、control との間に有意差は確認されなかった。以上の結果から、添加剤の性質、種類によって含有成分の溶出性は変化することが示された。

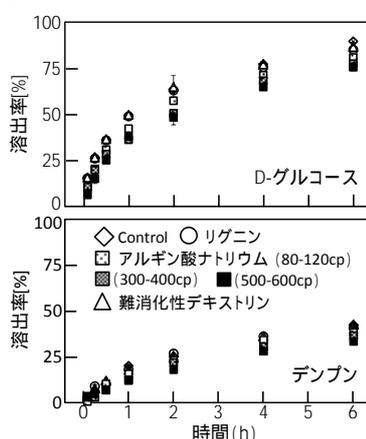


図 6 ゲル試料添加剤と D グルコースおよびデンプンの溶出率

表 2 添加剤の種類と平衡溶出率

食物繊維 (1%w/w)	平衡溶出率 (%)	
	D-グルコース	デンプン
アルギン酸ナトリウム 80-120 cP	76.2 ± 0.4 abc	40.6 ± 1.0 a
300-400 cP	74.1 ± 1.0 bc	38.7 ± 2.1 a
500-600 cP	72.6 ± 0.6 c	36.9 ± 3.1 a
難消化性デキストリン	79.7 ± 3.1 ab	42.1 ± 2.5 a
リグニン	78.3 ± 0.2 abc	41.6 ± 0.9 a

表 3 添加剤の種類と速度定数

食物繊維 (1%w/w)	速度定数 (1/s × 10 <sup>3</sup> )	
	D-グルコース	デンプン
アルギン酸ナトリウム 80-120 cP	14.4 ± 0.5 ab	7.7 ± 0.5 a
300-400 cP	12.2 ± 0.9 b	8.3 ± 1.6 a
500-600 cP	11.6 ± 0.1 b	6.2 ± 0.7 a
難消化性デキストリン	18.8 ± 0.9 a	11.5 ± 2.4 a
リグニン	18.5 ± 0.8 a	9.4 ± 0.5 a

## 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 6 件)

田村匡嗣, 熊谷千敏, 小川幸春, 搦精度の

異なる米飯粒の組織構造と人工消化試験系における消化性の関係, 美味技術学会誌, 12(2), 30-36, 2013. 査読有

長井拓生, 田村正嗣, 日高靖之, 野田崇啓, 横江未央, 小川幸春, 食味に関わるコメの特性と炊飯液粘度の関係, 美味技術学会誌, 12(1), 4-9, 2013. 査読有

大島誉章, 田村匡嗣, 伊坂亜友美, 小川幸春, 炊飯過程における米粒含有成分・含有量の変化, 美味技術学会誌, 11(2), 22-28, 2012. 査読有

Masatsugu Tamura and Yukiharu Ogawa, Visualization of the coated layer at the surface of rice grain cooked with varying amounts of cooking water, Journal of Cereal Science, 56(2), 404-409, 2012. 査読有

小川幸春, 米岡孝輔, 田村匡嗣, 山本奈美, 異なる加水量で炊飯された米飯粒の力学的性質と組織構造, 美味技術学会誌, 11(1), 44-50, 2012. 査読有

Yukiharu Ogawa, Satoshi Taguchi and Nami Yamamoto, Uniaxial compression and structural deformation of fermented soybean seed, Journal of Texture Studies, 42, 435-440, 2011. 査読有

[学会発表](計 14 件)

長井拓生, 田村匡嗣, 大島誉章, 小川幸春, 米粒浸漬液の粘度と米飯の理化学特性の関係, 美味技術学会第 13 回例会資料集, 筑波, 19-20, 2013.11.

大島誉章, 田村匡嗣, 長井拓生, 小川幸春, 食物繊維の添加が寒天ゲルの特性に及ぼす影響, 美味技術学会第 13 回例会資料集, 筑波, 17-18, 2013.11.

長井拓生, 小川幸春, 米粒浸漬液の粘度と食味に関わる理化学特性との関係, 日本食品工学会第 14 回年次大会講演要旨集, 京都, 67, 2013.8.

大島誉章, 小川幸春, 食物繊維の添加が高分子ゲルの力学的特性に及ぼす影響, 日本食品工学会第 14 回年次大会講演要旨集, 京都, 51, 2013.8.

田村匡嗣, 田川彰男, 小川幸春, 炊飯過程における米粒の組織構造変化と硬さの関係, 農業環境工学関連学会 2012 年合同大会講演要旨集, 宇都宮, P51, CDROM, 2012.9.

長井拓生, 田川彰男, 小川幸春, コメの品種と炊飯液粘度の関係, 日本食品工学会第 13 回年次大会講演要旨集, 札幌, 83, 2012.8.

大島誉章, 田川彰男, 小川幸春, 炊飯過程における米粒の成分含有量変化, 日本食品工学会第 13 回年次大会講演要旨集, 札幌, 81, 2012.8.

Tamura, M., T. Nagai, Y. Hidaka, T. Noda, M. Yokoe, Y. Ogawa, Deposition of extracted solubles on surface of cooked rice increases with amount of cooking water, Cereal Foods World, 57(5), Florida, A72, 2012.

Nagai, T., M. Tamura, Y. Hidaka, T. Noda, M. Yokoe, Y. Ogawa, Relationships between variety of rice and apparent viscosity of cooking water, Cereal Foods World, 57(5), Florida, A62, 2012.

小川幸春, 田村匡嗣, 異なる加水量で炊飯された米飯粒の硬さおよび組織構造, 美味技術研究会第11回例会資料集, 富山, 12-13, 2011.11.

田村正嗣, 田川彰男, 小川幸春, 米飯粒の表面付着層可視化, 2011年度農業施設学会大会講演要旨, 高松, 65-66, 2011.8.

小川幸春, 岩川雅昭, 高橋昌弘, 田村匡嗣, 宝楽日其其格, 鈴木悠介, 大島誉章, 田川彰男, 食品素材加工時の物理的特性変化とその活用, FOOMA JAPAN 2011 アカデミックプラザ研究発表要旨集, 東京, Vol.18, 250-253, 2011.6.

Qiqige, B., A. Tagawa and Y. Ogawa, Effect of salts and its concentration during soaking on firmness of steamed soybean, 2011 IFT Annual Meeting & Food Expo, New Orleans, 289-40, 2011.6.

Tamura, M., A. Tagawa and Y. Ogawa, Changes in compound content and physical properties of rice grain during cooking, 2011 IFT Annual Meeting & Food Expo, New Orleans, 290-41, 2011.6.

#### 〔産業財産権〕

出願状況(計1件)

名称: 植物栽培担体

発明者: 小川幸春

権利者: 小川幸春

種類: 特願

番号: 特願 2011-117720 号

出願年月日: 平成 23 年 5 月 26 日

国内外の別: 国内

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

小川 幸春 (OGAWA, YUKIHARU)

千葉大学・大学院園芸学研究科・准教授

研究者番号: 00373126