

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 29 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2013

課題番号：22246064

研究課題名(和文)地盤工学を軸とした異分野連携による自立支援型砂漠化防止技術とその国際的展開

研究課題名(英文)A Geotechnical Challenge for Combating Desertification -Application of Self-Watering Greening System in Unsaturated Arid Ground-

研究代表者

安福 規之(Yasufuku, Noriyuki)

九州大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：20166523

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 30,900,000円、(間接経費) 9,270,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、乾燥地に自生する貴重種である薬用植物甘草(カンゾウ)を活かした「付加価値の高い地域に根差した砂漠化対策技術」の確立を目指した取り組みである。

具体的には、まず、薬用植物「カンゾウ」が自生するモンゴル南部乾燥地において地盤環境調査を行い、土地劣化が進行し、カンゾウの植生が減退している乾燥地の物理・化学的特性を考察し、カンゾウの生育に適した地盤環境を明らかにした。その上で、現地の地盤環境に適合した、保水性・保肥性に優れた筒状構造の「緑化土質材料」を提示し、それを活かした緑化システムを提案した。そのシステムの効果的な適用手法をモンゴルのカンゾウ非自生地での生育実験を通して検証した。

研究成果の概要(英文)：Development of technique which can restrain the progress of desertification sustainably and voluntarily was taken place by using valuable herbal plant licorice (*Glycyrrhiza uralensis*). Firstly, proper prehension about geo-environment included weather condition around the semi-desert areas in Mongolia is needed. Based on the field investigation, the real environmental situations of desertification area are found out. The natural conditions that suitable for the growth of licorice are also understood. Then, following the findings in the field, the self-watering system has been proposed as one of the effective tools for controlling the water contents of soils in semi-arid ground, which is easy to use sustainably and environmental friendly.

This greening system works under the condition of no extra energy input. The system can absorb and store some quantity of water. The simplified system proposed was verified by the field vegetation tests to minimize the quantity of evaporation.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：砂漠化防止・適応策 国際研究者交流(モンゴル) カンゾウ グリチルリチン 現地地盤調査 不飽和地盤 緑化土質材料 保水・保肥性

1. 研究開始当初の背景

(1) 砂漠化の定義と現状：砂漠化とは、乾燥、半乾燥、乾燥半湿潤地域における自然由来の事象や人間活動に起因する土地の劣化の問題であると国際砂漠化防止会議（1992年）において定義されている。自然由来には気候変動によるもの、人間由来には貴重植物の乱獲や過放牧などが挙げられている。

土地の劣化には、場そのものが劣化していくという問題とその場が不連続に広がっていくといった二つの側面がある。特にアジア地域においては、中国の北東部やモンゴルの南部など広範囲な領域で、砂漠化の進行が顕在化しており、1990年代には、毎年、九州と四国を合わせた面積の土地が砂漠化しているとの報告がなされている。このような状況の中でそれぞれの地域の気象条件、地形・地質特性を活かし、生態系に配慮した砂漠化防止技術としての効果的な適応策の確立が求められている。

(2) 異分野連携による新しい取り組み：薬用植物は、乾燥地に自生するものが多く、その乱獲が砂漠化の一要因として影響を及ぼすことが懸念されている。一方、乾燥地のような痩せた土地に甘草のような生薬としての商品価値の高い薬草が育つことに鑑みると、薬用植物を“うまく”栽培することによって、砂漠緑化のみならず、安定的な地域経済・産業開発を展開できる可能性を見出すことができる。すなわち、「砂漠化防止」という地盤工学的モチベーションと「生薬の安定供給」という薬学的モチベーションを「甘草」というキーワードのもとに連携させることで、これまでにない付加価値の高い砂漠化防止技術および生薬安定供給問題に取り組むことが可能であると考えた。

(3) 着想に至った経緯と動機：平成18年度、半砂漠地帯である中国、寧夏回族自治区の銀川周辺において甘草の自生と砂漠化の状況を視察する機会が与えられ、その視察・簡易調査を通して、半砂漠地帯においても、地下水面は、地表から5-10m程度であることを確認できた。5m程度の深さの地下水位であれば、地盤工学的な視点、つまり不飽和土の水分特性に関する知識を活かして、複数の技術を組み合わせれば、低コストの草の根的な技術で地下水を有効に利用した無灌水での甘草の自生に適した地盤内水分特性の改善が、所要の要求を満足した形で合理的に図れるはずであるとの着想を持った。

地下水を効果的に利用して、甘草の自生に適した地盤内水分特性の改善が図れば、優良な品質の甘草の自生（所定のグリチルリチンの含有）を増進し、結果として効果的な砂漠化対策につながり、目に見える形での国際貢献が可能となると考えた。

2. 研究の目的

本研究の申請時における目的は、地盤工学を軸とした薬用植物学や土壌学との異分野連携により、自立支援型の「付加価値の高い砂漠化対策技術」と「乾燥地に自生する貴重種である薬用植物『甘草（カンゾウ）』の安定供給のための技術」を確立し、それらの技術を通して砂漠地帯への栽培化を促進し、砂漠化防止に貢献することである。本研究ではこれらの技術の確立に不可欠な基盤的取り組みとして、4年間の研究期間に、以下を目的として研究を進めた。

(1) 砂漠地帯の地盤調査と土地劣化メカニズムの解明：乾燥地の土質力学体系を整備し、土質力学的な観点からモデル地区における土地劣化のメカニズムを明らかにするとともに、土壌学と地盤工学の融合による対処地域の塩分集積メカニズムを検討し、緑化最適解の導出を行う。

(2) 薬用植物が芽吹くための表層地盤改良および無灌水地盤内水分制御システムの開発：地盤内の水分を制御するための素材（サクシンドレーン材）開発、地下水の吸水・分配メカニズムの把握、地盤内水分の予測・制御システムの開発、及び保水性と侵食抵抗を高めるための表層改良手法の開発を行う。

(3) 甘草の高品質化のための育種・地盤環境の最適化技術の提案：土壌、灌水、施肥条件に着目した高品質甘草の選抜・大量育種技術と根の成長促進のための技術開発を行う。

(4) 薬草を活かした砂漠化防止技術の現地検証実験と技術移転に向けた国際展開：モンゴルを対象とした実証フィールド実験を行い、甘草栽培法や無灌水緑化システムの技術移転を国際的に展開する。

これらの異分野連携による研究を通して、基礎学理としての「砂漠地の地盤学の体系的構築」に繋げる。



写真-1. 薬用植物カンゾウ

3. 研究の方法

本研究では、以下の方法でかかる目的の達成を目指した。

(1) 不飽和地盤の水分特性と無灌水緑化技術に関する取り組み：① 砂漠化が顕在化する乾燥地を不飽和地盤と捉えて、カラム状の

土質材料（サクションドレーン材）を地盤内に設置することで、地下水を適切に活用し、無灌水で地盤内水分を制御できるシステム（セルフウォータリングシステム）の開発とそのシステムの最適な設置条件を評価する手法を検討した。② 不飽和砂質土の水分特性を精度よく求めるための試験装置の開発、粒度分布と水分特性の情報から簡便に地盤内水分の上昇高さを評価する手法の提案、粒度の異なる均質な砂質地盤といくつかのタイプの互層砂質地盤における毛管特性に関する基礎的検討を行った。③ サクションドレーン材として利用可能な砂質系の粒状材料および粒子内部に空隙を有する粒状材料、特に、自然由来の珪藻土とゼオライトに焦点をあて、それらの不飽和状態での水理特性を実験および解析的に詳細に検討した。④ セルフウォータリングシステムを最適化し適正に機能させるためには、土中、特に表層における不飽和帯での蒸発特性を精度よく把握し、それを評価することが必要となる。このため、蒸発過程に焦点をあて、土質特性と気象条件の違いに着目して、飽和・不飽和帯での土と大気との相互作用、特に土中水分の蒸発特性を実験と解析を通して詳細に検討した。

(2) モンゴル乾燥地地盤環境調査に関する取り組み：モンゴル南部乾燥地において、甘草自生地とその植生が減退している非自生地の地盤環境の差異を把握するために、現地での地盤調査を系統立てて行い、カンゾウ定植のために重要である地盤の物理・化学的環境を調べた。

(3) 甘草の高品質化のための育種技術に関する取り組み：① 甘草生育に適切な保水・保肥力を有する筒状構造の「緑化土質材料」を新たに検討した。日本国内において乾燥地を模擬した地盤による甘草生育実験を通して、提案する緑化土質材料の機能と効果を検証した。② 免疫化学的分析手法に基づいてグリチルリチン高含有品種を効率的に選抜する手法を検討した。また、ストロン培養による大量育苗法の開発を目指した。

(4) モンゴル乾燥地での砂漠化防止技術の実装化に関する取り組み：乾燥地の砂質土と培養土、及び動物性肥料分を混合した筒状構造の緑化土質材料を現地で作製し、モンゴル南部の甘草非自生地での生育実験を通して、無灌水を想定したその効果的な地盤内設置条件を検証した。

4. 研究成果

(1) 不飽和地盤の水分特性と無灌水緑化技術に関する主な研究成果：

① 不飽和状態にある砂質土の水分特性を精度よく評価するための自動制御・計測が可能な室内試験装置を開発し、その装置の有用性

を明らかにした。また、粒度分布と水分特性の情報から簡便に地盤内水分の上昇高さを予測できるモデルを新たに提案し、得られる情報量に応じたユーザーの視点に立ったモデルの使用法を示した。そして、カラム状の土質材料（サクションドレーン材）を地盤内に設置することで、地下水を適切に活用して無灌水で地盤内水分を制御可能な、砂漠地緑化に寄与できるシステム（セルフウォータリングシステムと称する）の開発とそのシステムの最適な設置条件を不飽和地盤の初期条件と境界条件を考慮して評価する地盤工学的手法をあわせて提案した。

提案したシステムの特徴は、地下水と地盤内の水分を適切に活用することで、地表面から灌水することなく長期間安定的に地盤内の水分を制御し、管理することができ、また、塩類集積が顕在化しないための設置条件をシステムとして評価できることが挙げられる。また、本システムは地表面からの浸透水を保水し、長時間保持することが可能であり、気候変動に対する耐性が高く、柔軟性に優れた技術と言える。

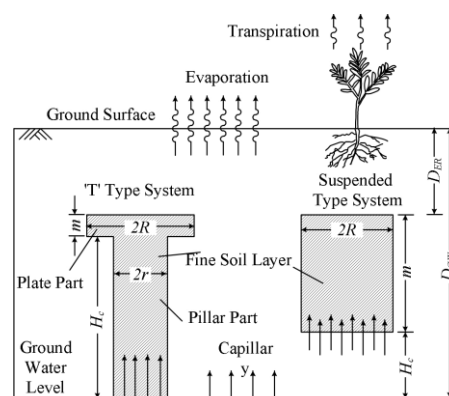


図-2. Self-Watering system の概念図

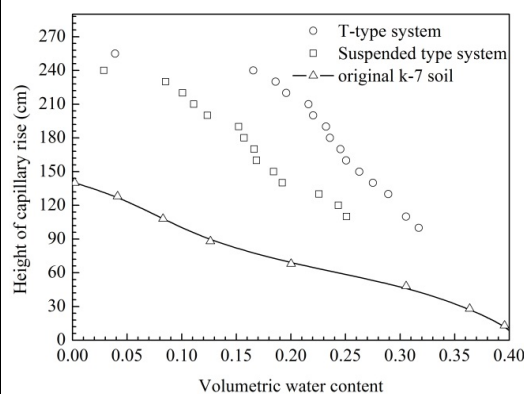


図-3. Self-Watering system の効果

② 砂質系の粒状材料と粒子内部に空隙を有する粒状材料の水分特性曲線と保水性を実験的に調べ、それらが間隙径の分布特性に大きく依存することを明らかにした。その知見に基づいて、確率統計的な手法を用いて間隙径分布特性を反映した水分特性曲線と不飽和透水係数の算定モデルを導き、その妥当性

と汎用性を、国際標準化されたデータベースにより検証した。

本モデルの特色は、間隙径密度の分布特性を具体的に求めることによって、直接的に水分特性を評価できることである。したがって、間隙密度のピーク値が複数存在する材料の水分特性曲線の算定が比較的容易に行えることになる。

③ 大気と接している土の飽和・不飽和帯での蒸発特性を実験的に把握するために、相対湿度、風速、気温を所定の精度で制御可能なプレート型とカラム型の実験装置および計測システムを新たに開発した。この実験装置を用いて、蒸発過程における土の飽和・不飽和帯での蒸発特性を詳細に調べ、表層土中の水分の蒸発速度が相対湿度、風速に大きく依存することを砂質土の平均粒径と関連付けて明らかにした。その上で実際の蒸発量と表層土の潜在的な蒸発量の関連性を規定する新たな指標（限界体積含水率）を導入して、表層土中の蒸発速度を簡易に評価する手法を提示した。また、飽和土中の蒸発過程での含水状態の変化を任意の時間、任意の深さで予測できる解析モデルを提案し、その妥当性を地下水の位置に着目したカラム実験を通して検証した。さらに、ライシメータ試験を通して、現地での蒸発特性を把握するための実験を約 80 日間連続して行い、蒸発の影響を顕著に受けるのは、表層から 30cm 程度であることや蒸発および降雨浸透過程での土中の温度勾配および含水比の変動勾配の特

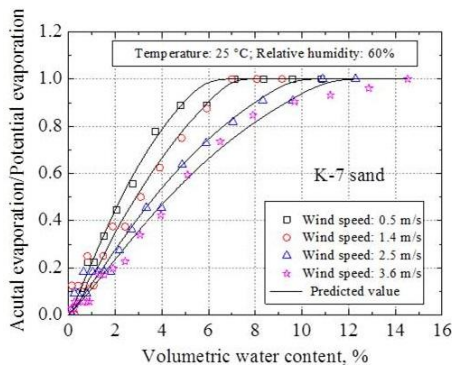


図-4. 土質表面の蒸発率の実測値と予測結果の比較

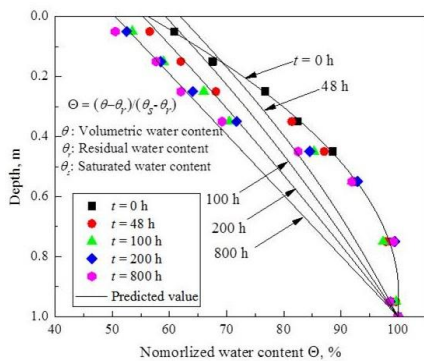


図-5. カラム試験による実測値と予測結果の比較

性を実験的に明らかにした。その上で、セルフウォータリングシステムを適正に評価するために必要な表層処理に関する知見をまとめた。

(2) モンゴル乾燥地地盤環境調査に関する主な研究成果：

① 甘草自生地とその植生が減退している非自生地の地盤環境の差異を把握するために、現地での地盤調査を系統立てて行い、甘草定植のために重要である地盤の物理・化学的環境を明確にした。具体的には、甘草が自生できる境界の含水比は3%程度であることを示し、定植を行う際の地盤内水分量の保持環境を明らかにした。また、自生地のEC(電気伝導度)や炭酸カルシウム・交換性陽イオンは非自生地と比較して高く、特に炭酸カルシウム含有量においては土壌の10%以上を占める箇所も存在すること、その自生地において健全に生育している甘草根は、日本国内で生育した甘草の2~3倍のカルシウム分を有していることなどを実験的に示し、地盤内のカルシウム分は甘草を健全に生育させる際に重要な因子であることに明らかにした。

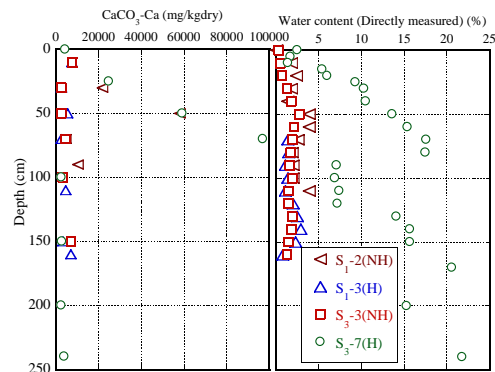


図-6. モンゴル乾燥地の深さごとの含水比・カルシウム含有量分布

(3) 甘草の高品質化のための育種技術に関する主な研究成果：

① 甘草生育に適切な保水・保肥力を有する筒状構造の「緑化土質材料」を新たに提示した。緑化土質材料は、甘草幼苗を健全に生育させるための初期水分・栄養分を確保することを目的としたもので、乾燥地地盤より約1.5~2.5倍の有効水分量、約10~20倍の陽イオン交換容量を有する堆肥及び培養土等の材料から構成されている。この材料を乾燥地模擬地盤内に筒状の構造で設置し、カンゾウ生育実験を行った結果、生育1年の範囲内では、材料が有する保水・保肥力により、無処理区と比較して根長が平均で1.4倍、根に含まれる有効成分含有率が平均で3.3倍程度高まることを明らかにした。

提案する緑化土質材料は、現地で容易に調達できるものであり、自立性の高い簡易型のセルフウォータリングシステムのひとつとして位置づけられる。

② 抗グリチルリチンモノクローナル抗体を作製し、甘草のグリチルリチン高含有品質選抜に有用な免疫化学的分析手法を開発した。本手法は、簡便・高感度であり、多検体同時分析可能なスクリーニング手法として高品質甘草の選抜、育成に活かせる可能性を示した。

(4) モンゴル乾燥地での砂漠化防止技術の実装化に関する主な研究成果：

① モンゴル南部の甘草非自生地での生育実験では、緑化土質材料の初期含水比、設置深さ、設置形式及び表層処理に着目した各種条件を設定し、無灌水条件で約4ヶ月間の甘草の生存率を比較し、緑化土質材料の地盤内設置条件を詳細に分析した。その結果、初期含水比を高めた筒状構造の緑化土質材料を地表面下10cm程度の深さに水平に設置し、表層処理としてマルチングを併用した条件において、材料内の含水比が効果的に保持されることを示し、この条件が最も高い生存率を与え、無処理区と比較して3倍以上の生存率であることを明らかにした。

現在、この検証実験を現地で継続中であり、今後得られた結果を踏まえ、この地域において砂漠化防止に向けた技術提案、技術協力を推進することとしている。

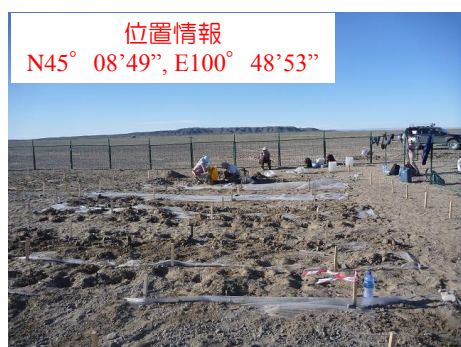


写真-2. 砂漠化防止技術実験サイト

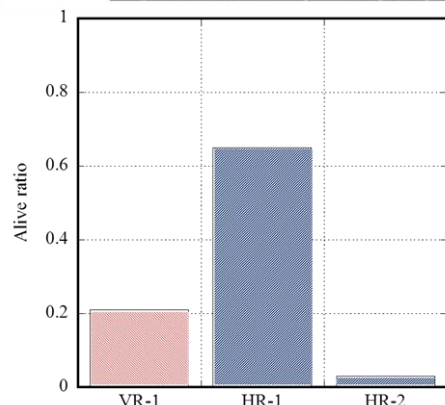
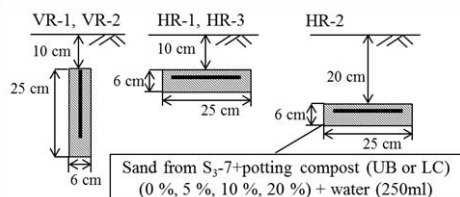


図-7. 緑化土質材料と生存率の関係

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 27 件)

- ① Ren Kameoka, Zentaro Furukawa, Noriyuki Yasufuku, Omine Kiyoshi, Atsushi Marui, Geo-environmental field survey with cultivation of licorice in Mongolian arid land for combating desertification, Proc. of JS-Okinawa, Peer-reviewed, Vol.1, pp.75-80, 2013
- ② Masataka Iwasaki, Noriyuki Yasufuku, Evaporation Behavior of Sandy Soil Layer Focusing on Grain Size and Depth from Surface, Proc. of JS-Okinawa, Peer-reviewed, Vol.1, pp.71-74, 2013
- ③ 古川全太郎, 安福規之, 大嶺 聖, 丸居 篤, 砂漠化対策に向けたモンゴル乾燥地における薬用植物「カンゾウ」自生地の地盤環境特性, 土木学会論文集 C 分冊 Vol. 69, (社) 土木学会, pp. 417~431, 2013
- ④ 安福規之・古川全太郎・大嶺 聖・丸居 篤, モンゴルにおける「カンゾウ」自生地の地盤環境調査とその国内栽培に向けた評価, 第6回甘草に関するシンポジウム論文集, 査読有, 第1巻, 2013年7月, 13-22
- ⑤ 大嶺 聖・安福規之・古川全太郎・丸居 篤, 甘草栽培における土壌および施肥条件の影響, 第6回甘草に関するシンポジウム論文集, 査読有, 第1巻, 2013年7月, 35-40
- ⑥ Jidong Teng, Noriyuki Yasufuku, Qiang Liu, Analytical solution for soil water redistribution during evaporation process, Water Science and Technology, Peer-reviewed, Vol.68, No.12, pp.2545-2551, 2013
- ⑦ Shiyu Liu, Noriyuki Yasufuku, Qiang Liu, Bimodal and multimodal descriptions of soil-water characteristic curves for structural soils, Water science and technology, Peer-reviewed, Vol. 67, No.8, pp.328-334, 2013
- ⑧ Noriyuki Yasufuku, Quiang Liu, Zentaro Furukawa, A Geotechnical Challenges for Combating Desertification -Application of Self-Waterig System in Unsaturated Arid Ground-, Proceedings of JS Seoul 2012, Peer-reviewed, No.1, pp.7-23, 2012
- ⑨ A. MARUI, T. NAGAFUCHI, Y. SHINOGLI, N. YASUFUKU, K. OMINE, T. KOBAYASHI and A. SHINKAI, Soil physical properties to grow the wild Licorice at semi-arid area in Mongolia, Journal of Arid Land Studies, Peer-reviewed, Vol.22, No.1, pp.33-36, 2012
- ⑩ Qiang Liu, Noriyuki Yasufuku, Omine

Kiyoshi, Hementa Hazarika, Automatic soil water retention test system with volume change measurement for sandy and silty soils, *Soils and Foundations*, Peer-reviewed, Vol.52, No.2, pp.368-380, 2012

- ⑪ 宮本裕二, 山田満秀, 荒木功平, 酒匂一成, 北村良介, 不飽和土の熱現象の数値力学モデル, 応用力学論文集, 査読有, Vol.14, pp.417-426, 2011

[学会発表] (計 32 件)

- ① 三根達也, 安福規之, LukyHandoko: 土の微視的及び巨視的な間隙構造に着目した水分保持特性に関する実験的研究, 平成 25 年度土木学会西部支部研究発表会, 2014 年 3 月, 福岡大学
- ② 古川全太郎, 大嶺 聖, 安福規之, モンゴル南部乾燥地地盤調査における地盤内塩類環境に関する考察, 第 57 回地盤工学シンポジウム, 2012 年 11 月, 東京都地盤工学会
- ③ 古川全太郎, 安福規之, 大嶺 聖, 砂漠化防止に向けた地盤内のカルシウム環境と薬用植物「カンゾウ」の生育の関連性評価, 土木学会第 68 回年次学術講演会, 2013 年 9 月, 千葉県習志野市

[その他]

- ① ホームページ等
<http://www7.civil.kyushu-u.ac.jp/geotech/>
- ② 報道関連情報:
「甘草で砂漠緑化」2012 年 11 月 13 日 (火) 夕刊読売新聞
- ③ 九州大学 PRESS RELEASE :
(2012 年 6 月 20 日 (水))
「モンゴルにおける薬用植物「甘草」を活用した砂漠化対策－国内栽培に向けた地盤環境調査－」
- ④ セミナー講演 (情報機構主催: 3 回):
/甘草の栽培技術の現状と高品質, 高効率化への取り組み (2012. 4. 19), (2012. 10. 5), (2013. 12. 12)
- ⑤ 九州エコフェア講演 (2013. 7. 10)
/モンゴルにおける「甘草」を活かした自立支援型の砂漠化対策

6. 研究組織

(1) 研究代表者

安福 規之 (YASUFUKU, Noriyuki)
九州大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号: 20166523

(2) 研究分担者

大嶺 聖 (OMINE, Kiyoshi)
長崎大学・工学(系)研究科・教授
研究者番号: 60248474

田中 宏幸 (TANAKA, Hiroyuki)
九州大学・大学院薬学研究院・准教授

研究者番号: 20166523

丸居 篤 (MARUI, Atushi)
弘前大学・農学生命科学部・准教授
研究者番号: 80412451

和田 信一郎 (WADA, Shinichiro)
九州大学・(連合)農学研究科・教授
研究者番号: 60108678

石蔵 良平 (ISHIKURA, Ryohei)
九州大学・工学(系)研究科・助授
研究者番号: 90510222

ヘマンタ ハザリカ (HEMANTA, Hazarika)
九州大学・工学(系)研究科・教授
研究者番号: 78943934

酒匂 一成 (SAKO, Kazunari)
鹿児島大学・理工学研究科・准教授
研究者番号: 20388143

北村 良介 (KITAMURA, Ryosuke)
鹿児島大学・理工学研究科・教授
研究者番号: 70111979

小林 泰三 (KOBAYASHI, Taizo)
福井大学・工学(系)研究科・准教授
研究者番号: 10380578

(3) 研究協力者

LIU Qiang
(九州大学・工学府・博士後期課程)

LIU Shiyu
(九州大学・工学府・博士後期課程)

TENG Jidong
(九州大学・工学府・博士後期課程)

古川 全太郎 (FURUKAWA, Zentaro)
(九州大学・工学府・博士後期課程)

清塘 悠 (KIYOTOMO, Haruka)
(九州大学・工学府・博士前期課程)

岩崎 正隆 (IWASAKI, Masataka)
(九州大学・工学府・博士前期課程)

亀岡 廉 (KAMEOKA, Ren)
(九州大学・工学府・博士前期課程)

Indree Tuvshintogtokh
(Institute of Botany, Mongolian Academy of Sciences)

Bayart Mandakh
(Institute of Botany, Mongolian Academy of Sciences)