

平成 30 年 5 月 16 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H04528

研究課題名(和文)ケミカルフリー工法による木材食害性昆虫類の持続的管理

研究課題名(英文) Sustainable management of wood-destroying insects with chemical-free strategies

研究代表者

吉村 剛 (Yoshimura, Tsuyoshi)

京都大学・生存圏研究所・教授

研究者番号：40230809

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、シロアリやその他の甲虫類による木材の食害について、薬剤に依存しない新しいケミカルフリーな効率的駆除法の開発を目指したものである。

高周波発生装置による高温スポット処理、ドライアイスを用いた低温バンデージ処理、および天敵微生物を用いた生物学的処理について検討を行った結果、実用材中のアメリカカンザイシロアリ、アフリカヒラタキクイムシ、ホソナガシンクイおよびケブカシバンムシに対して応用可能な高周波処理および低温処理の条件を決定することができた。また、シロアリの外部寄生菌として2種類の菌類を日本で初めて記載し、その効率的検出法の開発に成功した。

研究成果の概要(英文)： The aim of this research was to develop chemical-free strategies against wood-destroying insects, termites and beetles.

The high-frequency heating treatment (HF-treatment), the freezing treatment with dry-ice (FD-treatment), and the biological treatment with parasitic fungi (BF-treatment) were investigated against wood-destroying insects: *Incisitermes minor*, *Lyctus africanus*, *Heterobostrychus aequalis* and *Nicobium hirtum*.

We have found the optimal treating conditions for HF-treatment to eradicate the test insects: 20-sec-single treatment for <20mm-thick lumbers/plywood, and 20-sec-triple treatments or 10-sec-10 times treatments for 50mm-thick lumbers. The FD-treatment was also applicable to eradicate the dry-wood termite inside the 100 mm-thick lumbers with 1.2 kg dry-ice. Two ectoparasitic fungi were newly recorded from *Reticulitermes* spp. all through Japan, and the multiple-nested PCR method for detecting the fungal infestation was successfully developed.

研究分野：木質劣化生物学

キーワード：木材食害性昆虫 ケミカルフリー-工法 シロアリ ナガシンクイムシ シバンムシ ヒラタキクイムシ  
高周波 天敵微生物

### 1. 研究開始当初の背景

住宅の木質系部材というものは、常にシロアリを含む昆虫類や菌類による劣化のリスクに曝されており、建築基準法においても、地面から 1m までの構造部材の対生物劣化処理が求められている。現在、対生物劣化処理としては、合成系化学薬剤による予防・駆除処理が最も信頼性の高い方法として採用されている。しかしながら、こういった化学薬剤による処理が、常に従事者や居住者に対する化学物質汚染のリスクを抱えていることもまた事実である。

つまり、環境や人に対する負荷を減らし、信頼性高く持続的な住宅の維持管理を達成するためには、現状の合成系化学薬剤による処理体系を根本的に変革することが求められているのである。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、「ケミカルフリー工法による木材食害性昆虫類の持続的管理」であり、具体的には、木質系住宅の構造性能と耐久性を損なう最も重要な因子であるシロアリやその他の甲虫類による食害について、薬剤に依存しない新しいケミカルフリーな効率的駆除法の開発と持続的な管理システムの構築を目指すものである。

### 3. 研究の方法

(1) 木材食害性昆虫類に対する高温スポット処理機器を用いた効率的な現場処理方法の確立

木材食害性昆虫類のマス・カルチャーの確立

生物試験のためには、まずマス・カルチャーの確立が必須である。しかしながら、ヒラタキクイムシ類以外の木材食害性昆虫類については、これまで大量の供試虫を入手する方法がなかった。

タケの重要害虫であるチビタケナガシクイについては、屋外に設置したモウソウチク材から加害虫の採取とマス・カルチャーへの展開を試みた。また、最近海外からの輸入材で被害が増加しているホソナガシクイについては食害材から発生した成虫をヒラタキクイムシ類用人工飼料（以下、人工飼料と略）とともに飼育し、人工飼育を試みた。さらに、木製文化財の最重要害虫であるケブカシバンムシについては、食害材の周囲に人工飼料を多数設置して飼育し、脱出成虫の人工飼料への産卵と幼虫の食入を図った。

木材食害性昆虫類の真空低温熱処理の可能性に関する検討

実験にはアフリカヒラタキクイムシ幼虫を用いた。円筒真空チャンバー内に供試虫を入れ、高真空条件下(0.0011 MPa)と低真空条件下(0.04 MPa)に置き、容器全体を 20、25、40 で保持することによって、一定時間毎の供試虫の死亡率を測定した。

ドライアイスを用いた低温スポット処理

の可能性に関する検討

図 1 に示したようなバンデージ処理を構想し、必要とされる寒剤について検討を行った。具体的には、パウダー状のドライアイス挿入して実大材中心部に生息するアメリカカンザイシロアリの駆除を試みた。



図 1 バンデージ低温処理システム

高周波スポット処理装置を用いた効率的な現場処理方法の確立

実験には、アフリカヒラタキクイムシ・ホソナガシクイ・ケブカシバンムシ幼虫およびアメリカカンザイシロアリ職蟻を用いた。

山本ピニター（株）製の高周波スポット処理装置（試作品、図 2）を用いて、スギ板材（20 mm 厚、造作材）、5 層広葉樹合板（16 mm 厚、下地合板）、表層シート貼フローリング材（厚さ 12 mm のシートフロー + 28 mm の合板）およびスギ角材（50 mm x 50 mm サイズ、タルキ材）に対して 5~30 秒の照射時間と最大 20 回までの処理回数で処理を行った。供試虫は材の中央部に開けた直径 6 mm、深さ 25~100 mm の穴に入れ、高周波照射部位が供試虫の真上にくるようにして処理を行った。なお、処理時の出力は 400W である。



図 2 高周波スポット処理装置（試作品）

(2) シロアリに対する天敵微生物を用いた効率的な現場処理方法の確立

日本でのシロアリ体外寄生菌類の調査

北海道から沖縄まで計 17 箇所からヤマトシロアリ属 63 コロニーを採集し、各コロニーの職蟻 500 頭、兵蟻 20 頭を冷凍庫で死亡させ、光学顕微鏡によって感染の有無および菌体数、ならびに感染部位を調査した。

分子生物学的手法を用いたシロアリ体外寄生菌による感染の検出

ヤマトシロアリを対象とし、ユニバーサルプライマーを用いて得た 2 種の菌の 18s rRNA 塩基配列をもとに種特異的なプライマーペアを調製し、multiplex nested PCR 法への適用を試みた。

#### 4. 研究成果

##### (1) 木材食害性昆虫類のマス・カルチャーの確立

###### チビタケナガシンクイ

チビタケナガシンクイについては、屋外暴露のモウソウチク材から発生した成虫をもとにマス・カルチャーの確立に成功した。

###### ホソナガシンクイ

食害中の材料から発生した成虫からマス・カルチャーの確立に成功した。これは日本で初めて、かつ唯一のマス・カルチャーであると考えられる。図3にマス・カルチャーから得た成熟幼虫と成虫を示す。

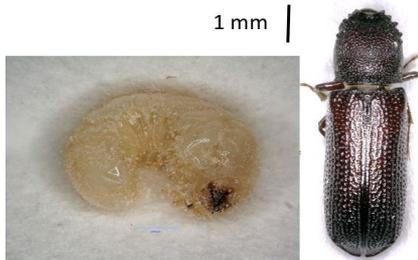


図3 マス・カルチャーから得られたホソナガシンクイ幼虫と成虫

###### ケブカシバンムシ

約2年後に人工飼料からの成虫の発生が観察され、この成虫を出発虫としてマス・カルチャーを確立することに成功した。これも日本で初めての成果である。現在多数の3世代目幼虫が育成中である。図4にマス・カルチャーから得た成熟幼虫と成虫を示す。

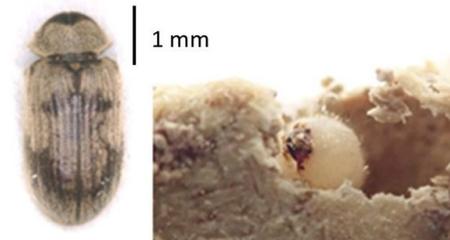


図4 マス・カルチャーから得られたケブカシバンムシ幼虫と成虫

##### (2) 木材食害性昆虫類の真空低温熱処理

###### 高真空条件下

高真空(0.0011 MPa) - 25 環境下で12時間以上保持した場合、死虫率が100%となった。一方、40 環境下で4時間保持することによって、25 の場合と比較して大幅に短い時間で高い死虫率が得られた(図5)。

###### 低真空条件下

低真空(0.04 MPa)の場合、25 x 48 時間保持と40 x 16時間保持の2条件において体重減少率がほぼ同等の10%であったにもかかわらず、40 x 16 時間保持の場合に有意に高い死虫率(約30%)となった。また、二酸化炭素雰囲気下では有意に高い死亡率を与えた。

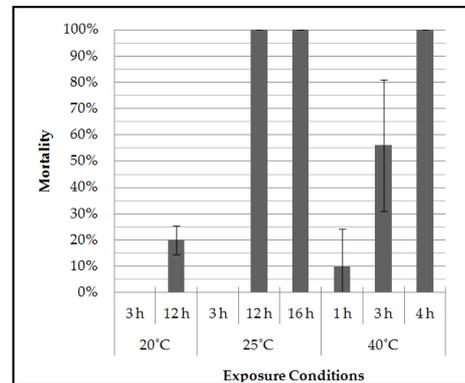


図5 高真空条件下でのアフリカヒラタキウムシ幼虫の死虫率

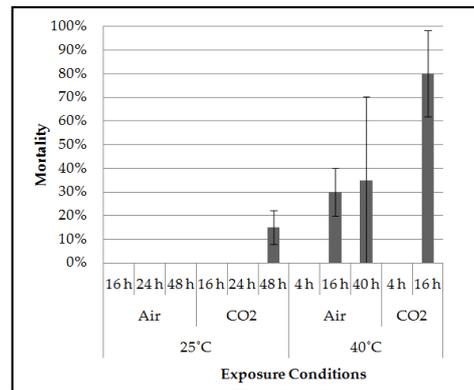


図6 低真空条件下でのアフリカヒラタキウムシの死虫率

##### (3) ドライアイスを用いた低温スポット処理の可能性に関する検討

試作したバンデージ低温処理装置を用いて、検討した結果、1.2 kgのドライアイスを導入した場合に、実大材中心部のシロアリを完全に駆除しうることが明らかとなった。

##### (4) 高周波加熱装置を用いた効率的な現場処理方法の確立

###### 住宅のフローリング材を想定した処理

予備試験より、シート貼フローリング材への連続照射は10秒間が限界であることが明らかになった。したがって、12 mmシートフロアーと28 mmの合板の間に加害が想定されるアフリカヒラタキウムシ幼虫を入れ、照射5秒間 - 10~20秒のインターバル - 5秒間の照射、というサイクルを繰り返すことによって処理を行った。

その結果、12回以上のサイクル処理によって内部温度が70~100に到達することが明らかになり、この時幼虫は死滅した。

###### 住宅の造作材を想定したスギ板材

針葉樹への加害虫としてはアメリカカンザイシロアリとケブカシバンムシが想定され、試験の結果、両供試虫とも、以下の照射条件で全個体が死亡した。

- ・10秒照射 - 10秒インターバル - 2回以上
- ・20秒照射 - 1回

・30秒照射 - 1回  
壁下地材としての合板  
壁下地材としての広葉樹合板に対しては、アフリカヒラタキクイムシ、ホソナガシクイおよびアメリカカンザイシロアリの加害が想定され、以下の照射条件で全個体が死亡した。

- ・10秒照射 - 10秒インターバル - 5回以上
- ・20秒照射 - 1回
- ・30秒照射 - 1回

タルキ材としてのスギ角材

針葉樹タルキ材ではアメリカカンザイシロアリとケブカシバンムシの加害が想定され、以下の照射条件で全個体が死亡した。

- ・10秒照射 - 10秒インターバル - 10回以上

まとめ

上記の結果から、試作品である高周波スポット処理装置を使用した場合、

- ・シート貼フローリングでは「5秒照射 - 10秒インターバル」のサイクルを12回以上

・厚さ20mm程度までの素材・合板では20秒照射1回

・50mm角程度の角材では「10秒照射 - 10秒インターバル」のサイクルを10回以上

という処理を行うことによって乾材害虫類を駆除できることが明らかになった。

#### (5) 日本でのシロアリ体外寄生菌類の調査

京都府宇治市より採取したヤマトシロアリから以下の2種のシロアリ体外寄生菌を初めて記録した。

・*Laboulbeniopsis termitarius* Thaxt. (図7): 感染率は職蟻で0.6~3.6%

・*Antennopsis gallica* Buchli & Heim (図8): 感染率は職蟻で17.8~25.0%



図7 *Laboulbeniopsis termitarius* Thaxt.。  
菌体の長さは約0.1mm。



図8 *Antennopsis gallica* Buchli & Heim。  
菌体の長さは約0.1mm。

*Laboulbeniopsis termitarius*は17箇所すべてにおいてその感染が観察されたが、一方、*A. gallica*はそのうち5箇所を確認できなかった。職蟻の感染率は採集場所によって大きく異なり、*L. termitarius*で0.1-16.1%、*A. gallica*で0-66.4%であった。兵蟻の感染はすべてのコロニーで認められなかった。気温と感染率との間に負の相関関係があることが認められ、さらに、長期間飼育が高感染率につながる可能性が示唆された。両菌は体表のすべての部分で観察され、職蟻1頭における菌体数は両菌とも1~10個の場合が大半であったが、室内長期飼育コロニーである北海道と沖縄のコロニーでは*A. gallica*において16個以上が多くなっていった。なお、8種類の培地を用いて両菌の培養試験を行ったが、どの培地においても生育は認められなかった。

#### (6) 分子生物学的手法を用いたシロアリ体外寄生菌による感染の検出

Multiplex nested PCR法により両菌の検出に成功し、シロアリ1頭に1菌体が存在していれば検出が可能であった。本方法は、簡便かつ特異的、そして高感度であり、省力化という点からもこれら2種の体外寄生菌を用いた今後の研究への応用が推奨される。

#### 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14件)

吉村 剛、侵入害虫アメリカカンザイシロアリの生態と防除、昆虫と自然、査読無、53巻、2018、17-20

Ikhsan Guswenrivo、Shu-Ping Tseng、Chin-Cheng Scotty Yang、Tsuyoshi Yoshimura、Molecular Detection of Ectoparasitic Fungi *Laboulbeniopsis termitarius* Thaxt. and *Antennopsis gallica* Buchli & Heim on Termite Colonies、Proceedings of the 12<sup>th</sup> Conference of Pacific-Rim Termite Research Group、査読無、2018、111

Ikhsan Guswenrivo、Shu-Ping Tseng、Chin-Cheng Scotty Yang、Tsuyoshi Yoshimura、Development of the Multiplex Nested PCR for Simultaneous Detection of Ectoparasitic Fungi *Laboulbeniopsis termitarius* and *Antennopsis gallica* on *Reticulitermes speratus* [Isoptera: Rhinotermitidae]、J. Econ. Entomol.、査読有、doi.10.1093/jee/toy091.

Ikhsan Guswenrivo、Hiroki Sato、Izumi Fujimoto、Tsuyoshi Yoshimura、First record of the termite ectoparasite *Laboulbeniopsis termitarius* Taxter in Japan、Mycosecience、査読有、59巻、2018、247-251

吉村 剛、生物資源・有用生物としてのシロアリ、生物資源、査読無、2017、10巻、10-20

Ikhsan Guswenrivo, Hiroki Sato, Izumi Fujimoto, Tsuyoshi Yoshimura, The first record of *Antennopsis gallica* Buchli & Heim, an ectoparasitic fungus on the termite *Reticulitermes speratus* (Kolbe) in Japan, *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.*、査読有、28巻、2号、2017、71-77

Baek-Yong Choi, Tsuyoshi Yoshimura, Investigation of thermal conductive properties of structural timbers at low temperature region using solid carbon dioxide as a chilling agent, *J. Wood Sci.*、査読有、62巻、2016、356-362

Kazushi Nakai, Tatsuya Hiraku, Izumi Fujimoto, Tsuyoshi Yoshimura, Effects of decompression treatment for controlling the powderpost beetle, *Lyctus africanus* Lesne (Coleoptera: Lyctinae), *Insects*、査読有、2016、7、36、doi:10.3390/insects7030036

S. Khoirul Himmi, Tsuyoshi Yoshimura, Yoshiyuki Yanase, Masao Oya, Toshiyuki Torigoe, Masanori Akada, Setsuo Imazu, Nest gallery development and caste composition of isolated foraging groups of the drywood termite, *Incisitermes minor* (Isoptera: Kalotermitidae), *Insects*、査読有、2016、7、38、doi:10.3390/insects7030038

Baek-Yong Choi, Tsuyoshi Yoshimura, Effects of induced high carbon dioxide and desiccated atmospheres on the water loss and survival of subterranean and invading drywood Termites, *J. Econ. Entomol.*、査読有、2016、109巻、2号、753-761

S. Khoirul Himmi, Tsuyoshi Yoshimura, Yoshiyuki Yanase, Takuro Mori, Toshiyuki Torigoe, Setsuo Imazu, Wood anatomical selectivity of drywood termite in the nest-gallery establishment revealed by X-ray tomography, *Wood Sci. Technol.*、査読有、2016、50巻、3号、631-643

Titik Kartika, Tsuyoshi Yoshimura, Evaluation of Wood and Cellulosic Materials as Fillers in Artificial Diets for *Lyctus africanus* Lesne (Coleoptera: Bostrichidae), *Insects*、査読有、2015、6、696-703、doi:10.3390/insects6030696

Titik Kartika, Nobuhiro Shimizu, Tsuyoshi Yoshimura, Identification of esters as novel aggregation pheromone components produced by the male powder-post beetle, *Lyctus africanus* Lesne (Coleoptera: Lyctinae), *PLOS ONE*、

査読有、2015、November 6、DOI: 10.1371/journal.pone.0141799

Aya Yanagawa, Tomoya Imai, Toshiharu Akino, Yoshihiro Toh, Tsuyoshi Yoshimura, Olfactory cues from pathogenic fungus affect the direction of motion of termites, *Coptotermes formosanus*, *J. Chem. Ecol.*、査読有、2015、DOI 10.1007/s10886-015-0649-8

[学会発表](計19件)

Ikhsan Guswenrivo, Shu-Ping Tseng, Chin-Cheng Scotty Yang, Tsuyoshi Yoshimura, Molecular Detection of Ectoparasitic Fungi *Laboulbeniopsis termitarius* Tahaxt. and *Antennopsis gallica* Buchli & Heim on Termite Colonies, The 12<sup>th</sup> Conference of Pacific-Rim Termite Research Group, 2018.3.21~22、111

藤本いずみ、乾材害虫の人工飼育における最近の知見、第68回日本木材学会・春期生物劣化研究会(講演会)招待講演、2018.3.14~16、京都

S. Khoirul Himmi, Tsuyoshi Yoshimura, Masao Oya, Timber preference of the drywood termite, *Incisitermes minor* (Hagen) in founding a colony following the nuptial flight, 第67回日本木材学会大会、2017.3.17~19、福岡

Ikhsan Guswenrivo, Hiroki Sato, Izumi Fujimoto, Tsuyoshi Yoshimura, An ectoparasitic fungus *Antennopsis gallica* found on *Reticulitermes* spp. in Japan, 第28回日本環境動物昆虫学会大会、2017.11.12~13、上田

S. Khoirul Himmi, Tsuyoshi Yoshimura, Yoshiyuki Yanase, Masao Oya, Toshiaki Torigoe, Setsuo Imazu, Masanori Akada, Colony founding from nuptial flight of the drywood termite, *Incisitermes minor*, 第28回日本環境動物昆虫学会大会、2017.11.12~13、上田

Tsuyoshi Yoshimura, Termite researches in Japan: from biodiversity to control, 2016 Taiwan Entomological Society Meeting, 招待講演、2016.10.14~16、台北、台湾

Tsuyoshi Yoshimura, Noriko Furukawa, Lee-Jin Bong, Dry-wood insect pests: as Asian perspective, The XXV International Congress of Entomology, 招待講演、2016.9.25~30、Orland, USA

S. Khoirul Himmi, Tsuyoshi Yoshimura, Yoshiyuki Yanase, Masao Oya, Toshiaki Torigoe, Masanori Akada, Setsuo Imazu, The fusion of incipient colonies in the drywood termite, *Incisitermes minor*, The XXV International Congress of Entomology, 招待講演、2016.9.25~30、

Orland, USA

Ikhsan Guswenrivo, Hiroki Sato, Izumi Fujimoto, Tsuyoshi Yoshimura, Surveillance of Ectoparasitic Fungus *Laboulbeniopsis termitarius* Thaxt. On *Reticulitermes* spp. in Japan, The XXV International Congress of Entomology, 招待講演, 2016.9.25~30, Orland, USA  
柳川 綾, 今井友也, 秋野順治, 畑 俊充, 吉村 剛, 藤 義博, 糸状菌揮発性物質によりイエシロアリ病気感染抵抗グルーミング行動が受ける影響, 第 12 回昆虫病理研究会シンポジウム, 2016.9.15~17, 岩沼

Ikhsan Guswenrivo, Hiroki Sato, Izumi Fujimoto, Tsuyoshi Yoshimura, Morphological identification of an ectoparasitic fungus grown on a subterranean termite *Reticulitermes speratus*, The 12<sup>th</sup> Insect Pathology Symposium 2016, 2016.9.15~17, 岩沼  
橋本 茂, 吉村 剛, 藤本登留, 人工乾燥における各工程が木材の耐シロアリ性に及ぼす影響, 日本木材学会中国・四国支部第 28 回研究発表会, 2016.9.12, 松山  
Aya Yanagawa, Tomoya Imai, Toshiharu Akino, Toshimitsu Hata, Tsuyoshi Yoshimura, Fumio Yokohari, Yoshihiro Toh, Termite choice of direction to pathogenodor related with nestmate olfactory signals, The 2016 International Congress on Invertebrate Pathology and Microbial Control & the 49<sup>th</sup> Annual Meeting of the Society for Invertebrate Pathology, 2016.8.24~28, Tours, France

S. Khoirul Himmi, Masao Oya, Tsuyoshi Yoshimura, Nest-site preference and founding success of the western drywood termite, *Incisitermes minor* in six commercial timbers, The 11<sup>th</sup> Conference of the Pacific-Rim Termite Research Group, 2016.4.18~19, 昆明, 中国

Ikhsan Guswenrivo, Hiroki Sato, Tsuyoshi Yoshimura, Ectoparasite Fungi Species Found on Subterranean Termites *Reticulitermes* spp. In Japan, The 11<sup>th</sup> Conference of the Pacific-Rim Termite Research Group, 2016.4.18~19, 昆明, 中国

柳川 綾, 今井友也, 秋野順治, 畑 俊充, 吉村 剛, 藤 義博, 病原微生物由来揮発性シグナルがイエシロアリ歩行進行方向の選択に与える影響, 第 60 回日本応用動物昆虫学会大会, 2016.3.26~28, 藤井寺

築瀬佳之, 渡辺祐基, 藤井義久, 藤本いずみ, 吉村 剛, マイクロフォーカス X 線 CT を用いた木材穿孔昆虫の摂食過程の可視化, 第 66 回日本木材学会大会、

2016.3.27~29, 名古屋

仲井一志, 吉村 剛, 減圧処理によるアフリカヒラタキクイムシの駆除, 第 66 回日本木材学会大会, 2016.3.27~29, 名古屋

築瀬佳之, 渡辺祐基, 藤井義久, 藤本いずみ, 吉村 剛, マイクロフォーカス X 線 CT による木材中のヒラタキクイムシおよびアフリカヒラタキクイムシ幼虫の摂食過程の可視化, 第 27 回日本環境動物昆虫学大会, 2015.11.28~29, 吹田

〔図書〕(計 4 件)

吉村 剛, 他, (公社) 日本しろあり対策協会, シロアリ及び腐朽防除施工の基礎知識 - 新版 -, 2018, 225

吉村 剛, 他, (公社) 日本しろあり対策協会, 蟻害及び腐朽の検査診断手法, 2018, 120

吉村 剛, 他, (公社) 日本しろあり対策協会, シロアリ及び腐朽防除施工の基礎知識 - 新版 -, 2017, 225

吉村 剛, 他, (公社) 日本しろあり対策協会, 蟻害及び腐朽の検査診断手法, 2018, 132

〔その他〕

ホームページ等

[http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/mission/mission\\_report\\_29\\_4/](http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/mission/mission_report_29_4/)

[http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/lih/?page\\_id=72](http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/lih/?page_id=72)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉村 剛 (YOSHIMURA Tsuyoshi)

京都大学・生存圏研究所・教授

研究者番号: 40230809

(2) 研究分担者

柳川 綾 (YANAGAWA Aya)

京都大学・生存圏研究所・助教

研究者番号: 70628700

(3) 研究協力者

飯田高雄 (IIDA Takao)

滋賀環境衛生(株)・代表取締役

藤本いずみ (FUJIMOTO Izumi)

京都大学生存圏研究所・研究員

KARTIKA Titik

京都大学大学院農学研究科・博士課程学生

CHOI Baek-Yong

京都大学大学院農学研究科・博士課程学生

GUSWENRIVO Ikhsan

京都大学大学院農学研究科・博士課程学生

仲井一志 (NAKAI Kazushi)

京都大学大学院農学研究科・博士課程学生