

令和 4 年 8 月 25 日現在

機関番号：80122

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K06176

研究課題名（和文）ガスセンサを用いた匂い識別手法による新規腐朽判定方法の実用化に向けた研究

研究課題名（英文）A study for the practical application of a new decay detection method using an electronic nose

研究代表者

鈴木 昌樹（Masaki, Suzuki）

地方独立行政法人北海道立総合研究機構・森林研究本部 林産試験場・主査

研究者番号：00446311

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：木造建築物の新たな腐朽検出法を提供するために、ガスセンサを用いた匂い識別手法の検討を行った。既存の半導体式ガスセンサに加えて、水晶振動子式センサを導入し、センサ表面に形成する感応膜に用いる物質の組み合わせを得た。腐朽初期と1年経過後の試験片の測定を行った。実験期間中に匂いの変化を検出できず、本手法による腐朽段階の判定は困難であると結論付けた。木材腐朽菌とカビとの判定では、数種類の組み合わせにおいて一定の成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ガスセンサアレイを用いた腐朽検出手法について、学術論文1報での公表を行った。本手法による腐朽段階の判別については、困難であることが明らかになった。一方で、本研究で用いた半導体式ガスセンサの経時変化が腐朽の有無の判別には影響しないことを明らかにした。また木材腐朽菌とカビに識別についても一定の成果を得た。本研究の成果は、木造建築物の壁体内や床下など直接観察しづらい場所での木材腐朽菌の検出において強力な手段を提供する。

研究成果の概要（英文）：In this study, we investigated an odor recognition method to test a new decay detection method for wooden buildings. In addition to semiconductor gas sensors, a quartz crystal microbalance sensor method was introduced. A combination of materials used for the sensitive film formed on quartz crystal sensor surfaces was obtained. Measurements were made on the specimens at the initial stage of decay and after one year. No changes in odor were detected during the experimental period, and it was concluded that it was difficult to determine the decay stage using this method. Discrimination between wood-decay fungi and molds was also studied.

研究分野：木質科学

キーワード：木材腐朽菌 ガスセンサ 腐朽診断 Electronic Nose Machine Olfaction 匂い識別

00 様 式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

現在の腐朽診断では、目視・触診による一次診断、ピン打ち込み深さ測定などの器具を用いた二次診断、試料を採集して生物学的な分析を行う精密診断が行われている。しかし、これらの手段では、診断者が直接観察できない壁体内などに存在する木材腐朽菌の活動を検出することは困難である。そこで、木材腐朽菌由来の気体を媒介として、非破壊的に腐朽を検出する複数の試みが行われてきた。小沼ら¹⁾はある種の揮発性有機化合物(VOC)を、築瀬ら²⁾は水素と一酸化炭素を、木材腐朽菌の活動の指標とすることを提案している。しかしながら、これらの先行研究はガスクロマトグラフ(GC)やガス分析機などの高価な装置を必要とする上、結果の解釈に濃度等の客観的な基準を設けるには至っていない。また、先行研究は、木材腐朽菌の活動の有無を検出することは可能だが、直接の観察を行えない箇所を対象とするため、どの程度腐朽が進行しているかを知ることが困難であるという課題がある。また、木材腐朽菌が活動する環境下では、カビも同様に活動可能である可能性が大きい。これに関する検討はまだ行われていない。一方、食品科学分野では、機器分析や官能検査に加えて、検出対象気体が異なる複数のガスセンサ(ガスセンサアレイ)を用い、統計的手法により対象気体のおいでの識別を行う **electronic nose** と呼ばれる手法³⁾が用いられている。筆者ら⁴⁾は、この **electronic nose** を用いて健全材と腐朽材が判別可能であることを明らかにした。本手法は、壁体内等の直接観察しにくい箇所での木材腐朽を非破壊的かつ客観的な基準のもと検出する新たな手法をもたらす可能性が高い。また、直接の観察をせずに的確な判定を行うには、腐朽段階の推定や木材腐朽菌と同様の環境を好むカビとの識別を検討する必要がある。

2. 研究の目的

本研究は、壁体内などの直接観察できない箇所での腐朽をガスセンサと統計的手法を用いて自動的に判定する手法の実用化を目的とする。そのために、1) ガスセンサアレイの作製と改良、2) 腐朽段階の判別可能性の評価、3) 木材腐朽菌とカビとの判別可能性の評価を行うことを目的とした。

3. 研究の方法

1) ガスセンサアレイの作製と改良

新たに水晶振動子式ガスセンサを用いたガスセンサアレイによる測定装置を作製した。感応膜の候補とした物質を溶剤で希釈し、市販水晶振動子の表面に滴下した。その後、溶剤を揮発させることにより振動子表面に感応膜を形成しセンサを作製した。エタノール等の試薬を希釈した空気をセンサに暴露し、感応膜へ試薬の吸着により発振周波数の低下を示したものを使用するセンサの候補とした。これらのセンサを作製したガスセンサアレイに設置した。オオウズラタケ(*Fomitopsis palustris*)に55週間暴露したスギ(*Cryptomeria japonica*)辺材試験片(調製方法は次項に記載)を封入した容器内の空気をポンプを用いてガスセンサアレイを通過させ、各センサの周波数変動を記録した。

2) 腐朽段階の判別可能性の評価

培地の匂いの経時変化の影響を避けるため、試験片と培地が直接接触しない腐朽源ユニット法⁵⁾を用いて試験体を作製した。滅菌処理済みのポリプロピレン製容器に充填したPDA(バレイショ-ブドウ糖-寒天)培地上にオオウズラタケを接種し、温度26℃で培地表面に十分蔓延させた。腐朽源ユニットをスギ辺材の試験片に密着させ、ポリエチレン製のストレッチフィルムを巻きつけて固定した。これを温度26℃条件下で、2週間、4週間、55週間に渡って培養した。また、試験片に腐朽源ユニットを取り付けることなくフィルムを巻きつけたものを対照群として同条件で保管した。

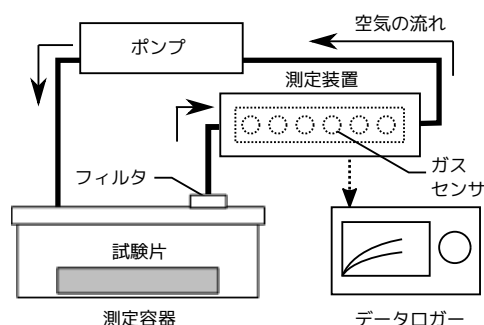


図1 測定の概要

アルミニウム製のフローセル内に6種類の市販の半導体式ガスセンサを設置したガスセンサアレイによる測定装置を用いて測定を行った。試験片を格納した測定容器にガスセンサを用いた測定装置と定量ポンプを接続した。測定容器内部の空気を測定装置へ導入し、その間のセンサ出力をデータロガーで記録した。フローセルとポンプを通過した空気は、外気による希釈を防ぐために容器内に戻した。測定の概要を図1に示す。

3) 木材腐朽菌とカビとの判別可能性の評価

ポリスチレン樹脂製シャーレに充填したPDA培地上に、た木材腐朽菌3種とカビ6種を温度26℃で8週間培養した。ただし、一部の木材腐朽菌とカビは、成長が旺盛であったため培養後1週間後から7週間目にかけて気温10℃の条件で保管した後、26℃の条件へ戻した。測定容器にシャーレを収納し、半導体式ガスセンサアレイと1)ガスセンサ例の作成と改良で作製した水晶振動子式ガスセンサアレイを用いて測定した。半導体式ガスセンサアレイによる測定は図1

と同様に、水晶振動子式ガスセンサアレイは、ガスセンサに周波数カウンタを接続してその周波数変動を記録して測定を行った。

4. 研究成果

1) ガスセンサアレイの作製と改良

水晶振動子発振回路を 6 個用いたガスセンサアレイと市販 6 チャンネル周波数カウンタからなる測定装置を作製した (図 2)。水晶振動子はポリ乳酸樹脂製のフローセル内に設置した。定量サンプリングポンプを用いてフローセル内に試料空気を流通させることにより、水晶振動子を試料空気に暴露する。水晶振動子表面の感応膜へにおいて物質の吸着により生じた周波数変動を周波数カウンタを用いて計測し、USB ケーブルでパーソナルコンピュータへ接続し、制御・記録する機構とした。また、周波数カウンタの制御と周波数変動の収集・記録を行うソフトウェアを作成した。

水晶振動子表面に感応膜を形成する物質の探索の結果、木材腐朽菌や木材由来の匂いに対して感度を持つ物質を見出した。これらの物質群から、これらの匂いに対して比較的周波数変動が大きい (感度が高い) 6 種類の組み合わせを選抜した。

上記の物質群をそれぞれコーティングした水晶振動子 6 種を用いてガスセンサアレイを構成した。オオウズラタケに暴露したスギ辺材を試験片に用いた測定の結果、健全材と腐朽材由来の匂いは主成分得点散布図上で分離可能であり、本手法を用いた腐朽識別の可能性が示された (図 3)。

2) 腐朽段階の判別可能性の評価

試験体の質量減少率を表 1 に、測定結果に対する主成分分析の結果を図 4 に示す。主成分得点散布図上において、各暴露期間の対照群と腐朽群の測定結果は、それぞれ独立したグループを形成した。一方、第 2 週と第 4 週の腐朽群の測定結果のグループは一部で重なりを生じた。この結果は、腐朽初期において、腐朽進行度の判別をガスセンサによる匂い測定で行うことが困難であることを示唆している。また、第 55 週の腐朽群は、第 2 週、第 4 週のグループとはほぼ独立したグループを形成した。しかしながら、対照群に注目すると、本来ならば対照第 2 週、第 4 週のグループと重なって出現するはずの対照第 55 週のグループが、y 軸方向に移動して出現した。

第 55 週の対照群と腐朽群の双方のグループが、y 軸方向にほぼ同程度に移動したことから、第 2 主成分得点は、腐朽の進行度合いではなく、センサの経時変化を反映していると解釈できる。このことから、散布図上における、腐朽第 55 週グループの初期腐朽群からの分離は、測定上生じたバイアスによる見かけ上のものであると推定するのが妥当であると結論付けた。以上のことから、腐朽が進行し、質量が大きく減少した場合においても、本手法を用いて腐朽の程度を推定することは困難であると考えられる。また、本手法による腐朽の検出は、残存強度を反映しないことが明らかになった。一方で、本研究で用いたセンサの経時変化は、1 年間程度の期間においては、対照群と腐朽群の分離には影響を及ぼさないと考えられる。

3) 木材腐朽菌とカビとの判別可能性の評価

木材腐朽菌とカビとの組み合わせ数種において一定の成果を得た。詳細は、公表見合わせ期間終了後に公開する。

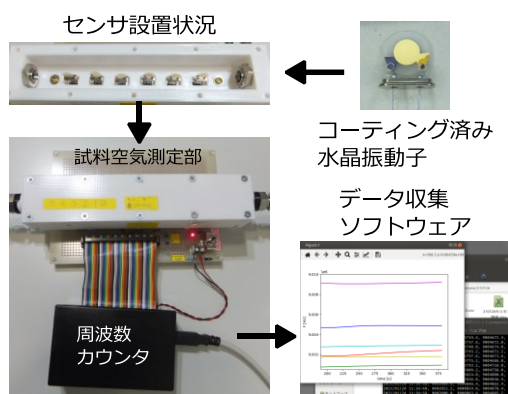


図 2 作製した水晶振動子式ガスセンサアレイとデータ収集ソフトウェア

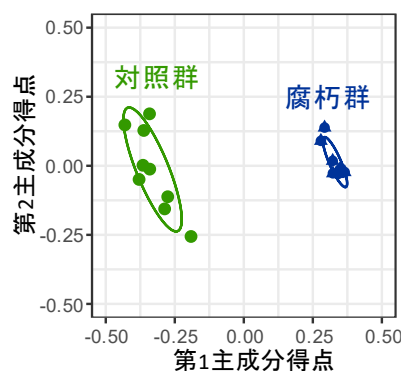


図 3 水晶振動子式ガスセンサアレイによる腐朽群の分離

表 1 試験片の質量減少率

暴露期間 (週)	質量減少率 (%)			
	1	2	3	平均
2	0	0	0	0
4	4	5	5	5
55	35	39	35	36

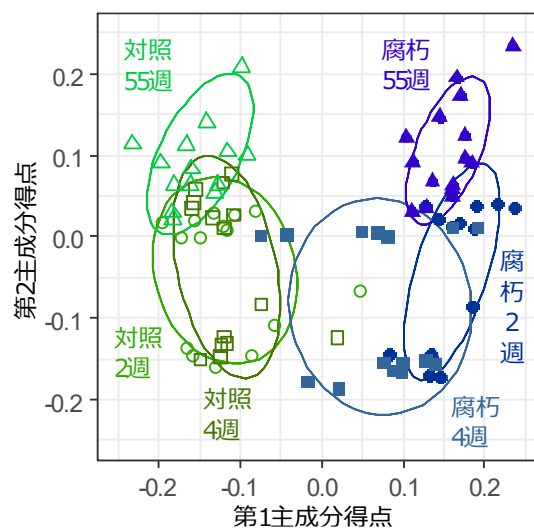


図 4 異なる暴露期間の試験片の測定結果の主成分得点散布図

<文献>

- 1) 小沼ルミ ほか 2015. 木材保存 41:108-118
- 2) 築瀬佳之 ほか 2009. 第 59 回日本木材学会大会研究発表要旨集
- 3) Peris and Escuder-Gilabert. 2009. Analytica Chimica Acta 638:1-15
- 4) 鈴木昌樹 ほか 2019. 日本木材保存協会年次大会研究発表論文集
- 5) 森拓郎 ほか 2013. 第 63 回日本木材学会大会研究発表要旨集

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Suzuki Masaki, Miyauchi Teruhisa, Isaji Shinichi, Hirabayashi Yasushi, Naganawa Ryuichi	4. 巻 67
2. 論文標題 Decay detection of constructional softwoods using machine olfaction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Wood Science	6. 最初と最後の頁 0-0
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s10086-021-01995-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 鈴木昌樹, 宮内輝久, 平林靖, 伊佐治信一, 長縄竜一
2. 発表標題 半導体式ガスセンサを用いた木材腐朽自動判定の検討
3. 学会等名 第71回日本木材学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木昌樹, 宮内輝久, 平林靖, 伊佐治信一, 長縄竜一
2. 発表標題 ガスセンサと空気採取による新規腐朽判別手法の検討
3. 学会等名 第70回日本木材学会大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	宮内 輝久 (Miyauchi Teruhisa) (20446339)	地方独立行政法人北海道立総合研究機構・森林研究本部 林産試験場・主査 (80122)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	長縄 竜一 (Naganawa Ryuichi) (40357637)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・環境創生研究部門・主任研究員 (82626)	
研究協力者	伊佐治 信一 (Isaji Shinichi) (60446284)	地方独立行政法人北海道立総合研究機構・森林研究本部 林産試験場・主査 (80122)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関