



分野: 工学系

キーワード: センサ、IoT、スマート農業、セルロースナノファイバー、SDGs

## 「ばらまけるセンサ」実現へ。 「土に還る」土壤含水率センサを実証！

### 【研究成果のポイント】

- ◆ 環境に配慮した材料(紙、天然ワックス、<sup>ます</sup>錫、炭、他)のみを用いた土壤含水率センサ及びセンシング<sup>※1</sup>システムの開発に成功
- ◆ 石油由来の非分解性プラスチックや有害金属が多用される既存のセンサと異なり土に還るため、ばらまくように設置ができ、「センシングもできる肥料」としての応用も可能
- ◆ 本成果により、環境に優しい、持続可能なセンシングシステムやスマート農業の発展に期待

### ❖ 概要

大阪大学 産業科学研究所 春日貴章助教らの研究グループは、紙、天然ワックス、錫など環境に配慮した材料のみで構成された土壤含水率センサの開発に成功しました(図 1a)。開発したセンサは、検出した土壌の水分量を熱として発信し、その熱をサーマルカメラを用いて撮影することで、センサの設置位置と土壤含水率を遠隔から同時に取得することが可能です(図 1b)。これまで生分解性<sup>※2</sup> プラスチックなどを用いた環境に優しい電子材料に関する研究は数多く行われてきましたが、性能や安定性に課題があり、分解性とセンサとしての必須機能(センシング・データ発信・設置位置情報発信)を両立することが困難でした。

今回、春日貴章助教らの研究グループは、ごく単純な構造のセンサと無線給電、そしてサーマルカメラを組み合わせることで、センサ自体の分解性と必須機能を両立した新しいコンセプトのセンシングシステムを実証することに成功しました。これにより、環境に優しい、持続可能なセンサ技術の発展や、「センシングできる肥料(図 1c)」などの新技術の開拓が期待されます。

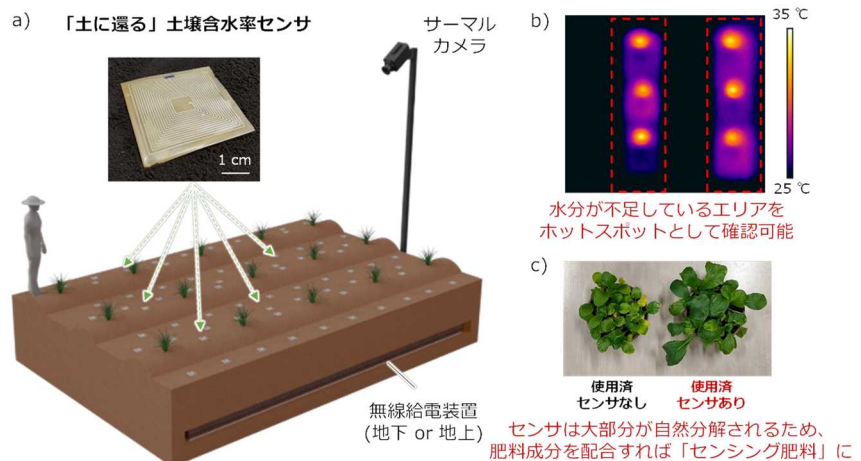


図 1 a)開発したセンサ及びセンシングシステムの概要図 b)サーマルカメラ画像  
c)肥料含有センサデバイスを用いた生育試験結果

本研究成果は、米国科学誌「Advanced Sustainable Systems」に、10月17日(火)14時(日本時間)／午前0時(米国東部時間)に公開されました。

## Press Release

### ❖ 研究の背景

センサは温度、湿度、含水率、光など様々な環境情報をデジタル信号に変換できる、いわば現実空間とデジタル空間の窓口のような存在です。センサの設置数が増えるほど、得られる環境情報の質と量は増大します。収集した環境情報は AI や機械学習など最新の情報技術で処理され、天気予報や農業の効率化、災害対策などに活用されます。最近では IoT(モノのインターネット)などの言葉も普通に使われていますが、センサをあらゆる場所に設置することで豊かな生活の実現を目指すトレンドは、今後も続いていきます。しかし一方で、センサの生産数、設置数が増えるほど、環境への負荷が問題となります。特に重要となるのが使用済みセンサの回収・処分の問題です。屋外環境で大量にセンサを設置した場合、その全てを回収することは容易ではありません。既存のセンサは植害を起しやすいため銅や非分解性の石油由来プラスチックを多用しており、環境中に残留した場合、様々な悪影響を引き起こします。このような背景から、近年、環境に優しい電子デバイスの開発が盛んに行われています。生分解性プラや植物繊維、たんぱく質など、生物由来の材料を用いた電子回路基板やトランジスタなどの素子が開発されています。

屋外で使用するセンサには、必須となる 3 機能が存在します。それは、①環境情報収集(センシング)、②センシングしたデータの発信、③設置位置情報の発信の 3 つです。つまり、屋外で使用可能な「環境に優しいセンサ」を作りたい場合、この 3 機能を環境に配慮した材料だけを用いて実現する必要があります。生分解性材料は安定性や性能に課題があることが多く、単一素子としては十分な性能でも、必須 3 機能と分解性を両立することは困難でした。

### ❖ 研究の内容

春日貴章助教らの研究グループでは、**単純化したセンサ本体と無線給電、サーマルカメラによる画像認識を組み合わせることで、センサ本体の分解性とセンシング、データ/位置情報発信の機能を両立することに成功しました。**センサ本体は木材由来の微細繊維<sup>※3</sup>で作られた紙基板、錫配線、カーボンヒーター、天然ワックス<sup>※4</sup>コーティングで構成されています(図 2a)。紙基板及び天然ワックスは微生物によって分解されます。残留する錫も、銅や銀と異なり、植害を引き起こしにくい材料として知られています(図 2b)。

センサは受信コイル<sup>※5</sup>を備えており、無線給電で電力が供給され、電力供給によりセンサに搭載されたヒーターが加熱されます。センサを設置した土壌の含水率によって受信電力が変化する設計となっており、土壌含水率が変化すると、ヒーターの温度が変化します(図 3a, b)。つまり、設置した土壌が乾いているほど、ヒーターが熱くなります。そのため、センサを設置した領域をサーマルカメラで撮影すれば、熱源位置からセンサの設置位置が、熱源温度から土壌含水率が推定できます。センサを大量に地面に設置した場合でも、カメラで撮影するだけで土壌含水率の情報をマッピングすることが可能です。例えば、土壌の水分が不足している部分をすぐに発見できます(図 3c)。

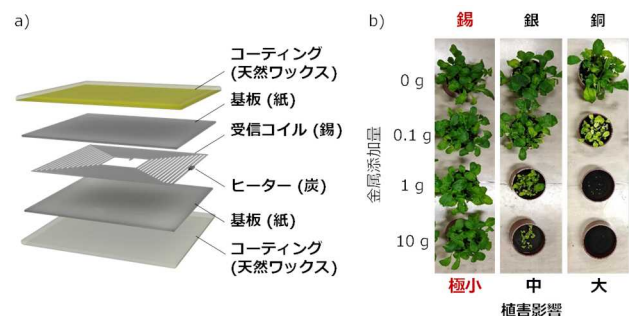


図 2 a)開発したセンサの構造 b)植害試験結果。センサに使用した錫は、銅、銀など一般的な配線材料と比べて植害を引き起こしにくい。

## Press Release

開発したセンサは、最終的には環境中で微生物によって大部分が分解され(図 4a)、残留する成分も環境に悪影響を与えにくいものとなっています。そのため必ずしも回収の必要がなく、ばらまくように高密度に設置することが可能です。センサに肥料成分も配合しておけば、「センシングもできる肥料」のような、新たなタイプのセンサとしての応用も期待できます(図 4b)。

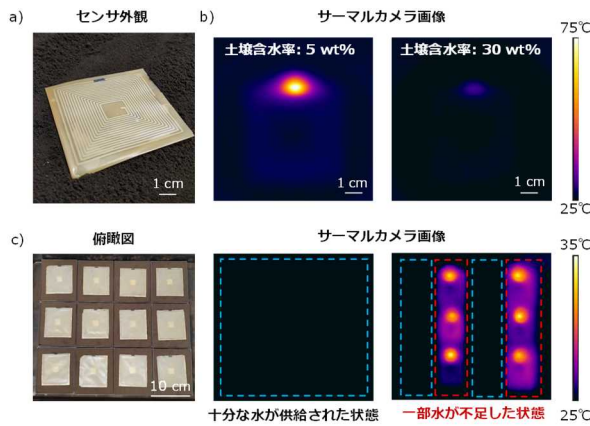


図 3 a)開発したセンサの外観 b)土壌含水率に応じて、搭載されたヒーターの温度が変化 c)複数のセンサを用いたデモンストレーション。マッピングにより、土壌含水率が低い領域を瞬時に発見することが可能。

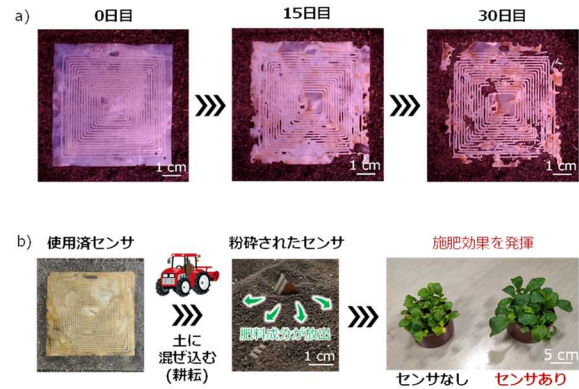


図 4 a)ダンゴムシなどによる使用済センサ分解の様子 b)回収の必要がないことを活かし、肥料成分を配合することで「センシングもできる肥料」としての応用も可能。

### ❖ 本研究成果が社会に与える影響(本研究成果の意義)

本研究成果により、環境に優しい、持続可能な電子産業の発展や、分解性センサを用いた新たなセンシングシステムの開発が期待されます。本成果はコンセプト実証の段階であり、実用化にはまだまだ多数の課題が存在しています。しかし、本成果で示した単純化されたセンサ設計及び複合的なセンシングシステムは、土壌含水率センサ以外の様々なセンサにも応用が可能です。人にも環境にも優しい未来の実現に向けて、より高性能な「土に還る」センサの実現・社会実装の加速が期待できます。

### ❖ 特記事項

本研究成果は、2023年10月17日(火)(米国東部時間)に米国科学誌「Advanced Sustainable Systems」(オンライン)に掲載されました。

タイトル: “Wirelessly powered sensing fertilizer for precision and sustainable agriculture”

著者名: Takaaki Kasuga\*, Ami Mizui, Hiroataka Koga and Masaya Nogi

DOI: <https://doi.org/10.1002/adsu.202300314>

なお、本研究は、JST 戦略的創造研究推進事業 ACT-X (JPMJAX21K3) 及び CREST (JPMJCR22L3)、松籟科学技術振興財団研究助成金、JSPS 科学研究費助成事業研究(22K20592)の一環として行われました。

### ❖ 用語説明

#### ※1 センシング

センサを用いて、温度や湿度、土壌含水率などの環境情報を、デジタル信号に変換する技術を指します。

## Press Release

### ※2 生分解性

環境中に存在する微生物(虫、菌類など)の働きによって分解される性質を指します。

### ※3 木材由来の微細繊維

木材を構成するナノサイズの極細繊維で、ナノセルロース、セルロースナノファイバーとも呼ばれます。太さは 3-15 nm で、髪の毛の 1000 分の1以下の太さです。軽量、高強度、高耐熱、高透明かつ持続可能な新材料であり、実用化が進められています。

### ※4 天然ワックス

カルナバ蠟<sup>ろう</sup>、米糠蠟<sup>ぬか</sup>、蜜蠟など、生物由来のワックスのことを指します。

### ※5 受信コイル

無線給電された電力を受信するためのアンテナのような働きをするコイルです。

#### 【春日貴章助教のコメント】

センサを含む電子デバイスはこれまで、いかに分解せず、安定的に動作するか、という点を重視して何十年も開発が進められてきました。そのため、分解性センサデバイスに関する研究は未だ発展途上です。今回の成果は、過去に発表した「土に還る」湿度センサの発展型であり、電源や配線材料、位置情報取得などの課題の解決を目指しました。現時点ではコンセプト実証の段階であり、実用化には様々な障害がありますが、今後も土に還るセンサの実用性向上に向けて、更なる研究に取り組みます。

#### ❖ SDGs目標



#### ❖ 参考 URL

春日貴章助教 HP <https://tkasuga.com>





国立大学法人 大阪大学

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-1

TEL: 06-6877-5111 (代)

www.osaka-u.ac.jp

## Press Release

❖ 本件に関する問い合わせ先

<研究に関すること>

大阪大学 産業科学研究所 助教

春日 貴章(かすが たかあき)

TEL:06-6879-8443 FAX:06-6879-8444

E-mail:tkasuga[at]eco.sanken.osaka-u.ac.jp

<JST 事業に関すること >

科学技術振興機構 戦略研究推進部 先進融合研究グループ

宇佐見 健(うさみ たけし)

TEL:03-6380-9130 FAX:03-3222-2066

E-mail:act-x[at]jst.go.jp

<広報・報道に関すること>

大阪大学 産業科学研究所 広報室

TEL:06-6879-8524 FAX:06-6879-8524

E-mail:kouhou-staff[at]sanken.osaka-u.ac.jp

科学技術振興機構 広報課

TEL:03-5214-8404 FAX:03-5214-8432

E-mail:jstkoho[at]jst.go.jp