

日本農業工学会賞2026 受賞講演会

講演要旨集

主催：日本農業工学会

JAICABE: The Japan Association of International
Commission of Agricultural and Biosystems Engineering

日時：2026年5月9日(土) 14:00－16:45

場所：東京大学弥生キャンパス 中島ホール(フードサイエンス棟)

目次

正会員	1
日本農業工学会賞2026受賞者	2
【講演】	
谷 晃 氏(静岡県立大学食品栄養科学部・教授) 植物の微量気体交換に関する生態工学的研究	5
大橋(兼子) 敬子 氏(玉川大学農学部・教授) 光環境制御による付加価値植物の高効率生産	9
平野 高司 氏(北海道大学大学院農学研究院・教授) 森林の二酸化炭素収支の定量化と環境応答の解明	13
宮竹 史仁 氏(帯広畜産大学・教授) 環境低負荷型堆肥化の機構解明と自動化技術の開発	17
岡安 崇史 氏(九州大学・教授) 農業情報の計測・評価・利用に関する研究	21
海津 裕 氏(東京大学大学院農学生命科学研究科・准教授) 低コスト RTK-GNSS による小型農業ロボットの自律走行制御	25
森 充広 氏(農研機構 農村工学研究部門・研究領域長) 農業水利施設の調査・点検及び性能評価に関する一連の研究	29
日本農業工学会賞受賞者(2014 年度～2026 年度)	33
2026 年度日本農業工学会フェロー受賞者	37
日本農業工学会フェロー(1999 年度～2025 年度)	38
日本農業工学会功績賞受賞者(2003 年度～2025 年度)	42
会則	44

日本農業工学会正会員

正会員 10 学協会 総会員数:14,952 名(農業電化協会 100 団体)
(令和 7 年 4 月 7 日現在:9 学会、1 協会)

生態工学会(平成 6 年～現在) (会長:船田 良、会員数 404 名)
(平成 13 年 9 月に CELSS 学会より名称変更)
The Society of Eco-Engineering (SEE) (略記:生態)

日本生物環境工学会(平成 19 年～現在) (会長:後藤 英司、会員数:686 名)
(平成 19 年 1 月 1 日より日本生物環境調節学会と日本植物工場学会の合併)
Japanese Society of Agricultural, Biological and Environmental Engineers and Scientists
(JSABEES) (略記:生工)

日本農業気象学会(昭和 59 年～現在) (会長:富士原 和宏、会員数:522 名)
Society of Agricultural Meteorology of Japan(SAMJ) (略記:気象)

日本農作業学会(昭和 59 年～現在) (会長:長崎 裕司、会員数:340 名)
Japanese Society of Farm Work Research(JSFWR) (略記:作業)

農業施設学会(昭和 59 年～現在) (会長:小川 幸春、会員数:281 名)
Society of Agricultural Structures, Japan (SASJ) (略記:施設)

農業情報学会(平成 9 年～現在) (会長:星 岳彦、会員数:509 名)
(平成 14 年 8 月農業情報利用研究会より名称変更)
Japanese Society of Agricultural Informatics (JSAI) (略記:情報)

農業食料工学会(昭和 59 年～現在) (会長:飯田 訓久、会員数:967 名)
(平成 25 年 10 月農業機械学会より名称変更)
Japanese Society of Agricultural Machinery and Food Engineers (JSAM) (略記:機械)

農業電化協会(昭和 59 年～現在) (会長:田澤信二、会員数:100 団体)
Japanese Association of Agricultural Electrification (JAAE) (略記:電化)

農業農村工学会(昭和 59 年～現在) (会長:西村 拓、会員数:10,370 名)
(平成 19 年 6 月 29 日に農業土木学会より名称変更)
Japanese Society of Irrigation, Drainage and Rural Engineering (JSIDRE) (略記:農工)

農村計画学会(平成 2 年～現在) (会長:斎尾 直子、会員数:787 名)
The Association of Rural Planning (ARP) (略記:計画)

日本農業工学会賞 2026 受賞者

谷 晃(たに あきら)

学歴・職歴

- 1991 年 大阪府立大学大学院農学研究科農業工学専攻博士課程中退。
- 1991 年～1997 年 大阪府立大学農学部助手
- 1996 年 博士(農学)
- 1997 年～2004 年 東海大学開発工学部講師
- 2001 年～2002 年 英国ランカスター大学環境科学部客員研究員
- 2005 年～2006 年 東海大学開発工学部助教授
- 2007 年～2014 年 静岡県立大学准教授
- 2015 年～現在 静岡県立大学食品栄養科学部教授。

受賞歴

- 1998 年 CELSS 学会論文賞
- 1997 年 日本生物環境調節学会奨励賞
- 1999 年 日本植物工場学会奨励賞
- 2007 年 生態工学会学術賞
- 2017 年 日本農業気象学会学術賞
- 2023 年 日本農業工学会フェロー

大橋(兼子) 敬子(おおはし けいこ)

学歴・職歴

- 2000 年 東北大学大学院農学研究科博士後期課程修了 博士(農学)
- 2000 年 東京大学大学院農学生命科学研究科助手
- 2007 年 東京大学大学院農学生命科学研究科助手
- 2009 年 玉川大学学術研究所准教授
- 2015 年 玉川大学学術研究所教授
- 2016 年 玉川大学農学部教授

受賞歴

- 2015 年 学術振興会表彰(科研費審査員)
- 2019 年 日本生物環境工学会学術賞
- 2022 年 日本農業工学会フェロー

平野 高司(ひらの たかし)

学歴・職歴

- 1986 年 北海道大学大学院農学研究科修士課程修了
- 1992 年 博士(農学)(大阪府立大学)
- 1986 年 (財)日本気象協会(技師)
- 1986 年 大阪府立大学農学部(助手, 講師, 助教授)
- 1998 年 北海道大学大学院農学研究院(准教授, 教授)

受賞歴

- 2010 年 日本農業気象学会学術賞
- 2016 年 尾瀬賞

宮竹 史仁(みやたけ ふみひと)

学歴・職歴

- 2003 年 岩手大学大学院連合農学研究科博士課程修了 博士(農学)
- 2003 年 独立行政法人食品総合研究所 特別研究員
- 2004 年 宇都宮大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー 講師(中核的研究機関研究員)
- 2006 年 独立行政法人日本学術振興会 特別研究員
- 2006 年 独立行政法人農業・食品産業技術研究機構 畜産草地研究所 研究員
- 2008 年 帯広畜産大学 地域環境学研究部門 講師
- 2012 年 帯広畜産大学 地域環境学研究部門 准教授
- 2023 年 帯広畜産大学 環境農学研究部門 教授

受賞歴

- 2006 年 農業機械学会関東支部年次大会 ベストペーパー奨励賞
- 2008 年 NARO Research Prize 2007 NARO 畜産大賞 研究開発部門優秀賞
- 2013 年 農業施設学会賞 奨励賞
- 2017 年 北海道科学技術 奨励賞
- 2019 年 北海道地方発明表彰 北海道発明協会会長賞
- 2024 年 農業施設学会 学術賞

岡安 崇史(おかやす たかし)

学歴・職歴

- 1999年 九州大学大学院農学研究科 博士後期課程修了(博士(農学)取得)
- 1999年 九州大学ベンチャービジネスラボラトリー 非常勤講師
- 2001年 九州大学大学院農学研究院 学術特定研究者
- 2002年 九州大学大学院農学研究院 助教授
- 2007年 九州大学大学院農学研究院 准教授
- 2022年 九州大学大学院農学研究院 教授

受賞歴

- 2004年 農業機械学会 研究奨励賞
- 2014年 農業情報学会 学術奨励賞
- 2019年 農業情報学会 特別貢献賞
- 2019年 農業情報学会 学術普及賞
- 2019年 農業情報学会 学術普及賞
- 2021年 農業情報学会 功績賞
- 2022年 農業情報学会 フェロー
- 2024年 日本農業工学会 フェロー
- 2025年 農業情報学会 特別貢献賞

海津 裕(かいず ゆたか)

学歴・職歴

- 1997年 年東京大学大学院農学研究科農業工学専攻修了
- 1997年 株式会社クボタ
- 1999年 東京大学助手
- 2006年 北海道大学准教授
- 2012年 東京大学大学院農学生命科学研究科 准教授

受賞歴

- 2023年 (-社)農業食料工学会 学術賞

森 充広(もり みつひろ)

学歴・職歴

- 1994年 農業 工学研究所, 造構部 土木地質研究室 研究員
- 2011年 (独)農研機構 農村工学研究所 主任研究員
- 2016年 (国研)農研機構 農村工学研究部門 上級研究員
- 2018年 (国研)農研機構 農村工学研究部門 研究推進部 行政連携調整役
- 2020年 (国研)農研機構 農村工学研究部門 施設保全ユニット長
- 2023年 (国研)農研機構 農村工学研究部門 施設工学研究領域, 研究領域長

受賞歴

- 2018年 農業農村工学会学会賞(研究奨励賞)
- 2021年 インフラメンテナンス大賞
- 2024年 日本農業工学会フェロー

植物の微量気体交換に関する生態工学的研究

谷 晃

静岡県立大学食品栄養科学部

要旨

著者は 30 年以上にわたり植物の揮発性有機化合物 (VOC) の交換に関する研究に取り組んできた。植物が放出する VOC の一種であるテルペン類は、大気中での反応性が高いため光化学オキシダントやエアロゾルの生成に関与する重要な物質である。これまで、農業工学的なセンサ技術と先端の分析技術を用いた計測システムを確立し、イネ、日本産主要樹木および都市緑化樹木のテルペン類放出特性と、それに及ぼす光、温度、水ストレス、オゾンや CO₂ の濃度などの環境要因や接触刺激の影響を明らかにしてきた。また、植物の大気浄化機能を明らかにするため、植物が吸収する人為起源 VOC に関して網羅的に解析し、吸収される物質種、されない物質種を明らかにし、気孔開度と代謝活性が吸収を律速する重要な因子であることを示した。

キーワード

テルペン類、VOC、大気浄化、オゾン、無放出変異体

植物によるテルペン類放出

植物は二次代謝物としてテルペン類を合成し大気に放出する。揮発性のテルペン類には、5 個の炭素原子から成るイソプレン (C₅H₈) と 10 個の炭素原子から成るモノテルペン (C₁₀H₁₆) がある。また、半揮発性であるがセスキテルペン (C₁₅H₂₄) やジテルペン (C₂₀H₃₂) を放出する植物もある。テルペン類は概して大気中での反応性が高く、一連の光化学反応による O₃ 生成能が高い。著者はフィールドでの実測に基づき日本の主要植物について、テルペン類放出植物を分類してきた (表 1) (Tani *et al.*, 2024; Tani and Mochizuki 2021)。イソプレンを放出する植物には、コナラ、ミズナラ、ポプラ、ミツマタなどの落葉広葉樹の一部が含まれる。モノテルペンを放出する植物は、貯蔵型と非貯蔵型に分けられる。貯蔵型には、スギ、ヒノキ、アカマツ、カラマツ、トウヒなどのほとんどの針葉樹が含まれる。非貯蔵型には、ウバメガシ、スタジイなどがある。イソプレンを放出する植物には、同時にモノテルペンを少量放出する植物種や、その逆のタイプもあるが、それらもここではそれぞれイソプレン放出種、モノテルペン放出種として分類する。通常、テルペン類を放出しない植物でも、昆虫による食害など外的ストレスによって代謝経路を活性化させ、テルペン類を生

産し放出し始める場合がある。

フィトンチッドと香りの人への効果

森の香りはフィトンチッドと呼ばれるが、主成分はモノテルペン類である。モノテルペンは園芸療法の場においても香りとして嗅覚に影響する。アロマセラピーで使われる植物オイルも主成分はモノテルペン類である。著者はプログラミング機能のあるデータロガーと電磁弁やミニポンプを用いて自動ガス採取装置を自作し、温室の中のテルペン類の動態を調べた。ローズマリーを育てている温室内で、鉢移動、挿し穂採取、灌水をした際のモノテルペン濃度は、作業前後と比べ、いずれの作業でも上昇している (図 1) (Tani *et al.*, 2012)。温室内の濃度は ppbv レベルであるので、人に対してプラスの効果があると思われる。ただし、人の鼻の位置で採取したモノテルペン濃度は、これらの 3 倍程度高く、作業内容によっては、逆に強すぎる濃度になりうる。香りの受容感度に個人差がある点も注意を要する。

表 1 揮発性テルペン類を日中恒常的に放出する植物の分類

分類	貯蔵・非貯蔵の別	植物の分類	代表植物
イソプレン放出種	非貯蔵	多くの広葉樹や草本	コナラ、ミズナラ、ガシワ、ナラガシワ、ミツマタ、クス、モミジバフウ、ホルトノキなど
モノテルペン放出種	貯蔵	ほとんどの針葉樹や一部の広葉樹、ハーブ植物	スギ、ヒノキ、アカマツ、モミ、トウヒ、クスノキ、ユーカリ、ハッカ、ローズマリーなど
	非貯蔵	一部の広葉樹	ウバメガシ、シラカシ、スタジイなど
無放出種		上記以外の広葉樹、針葉樹	フナ、クスギ、イチヨウ、サクラ、アベマキ、ハナミズキ、クロガネモチ、サルスベリ、キョウチクトウ、ケヤキ、ユリノキなど

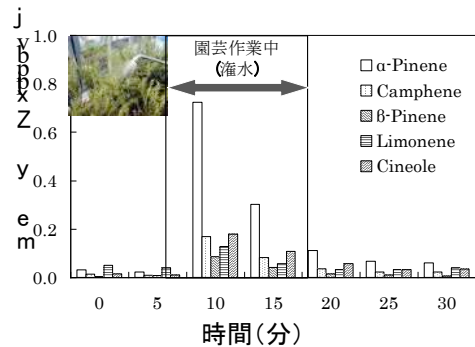


図 1 ローズマリー温室内で、じょうろを用いて灌水した際のモノテルペン濃度

テルペン類が誘導する光化学オキシダント生成の抑制策

光化学オキシダントは大気中の VOC と二酸化窒素 (NOx) との一連の反応で生成される。テルペン類の多くは大気中の反応種である OH ラジカルと反応性が極めて高いため (Atkinson and Arey, 2003)、VOC の中でも強く光化学オキシダントの生成に関与する。

著者は、植物のテルペン類放出速度を測定する手法として携帯用光合成測定装置を用いたリーフキュベット法を開発した (谷・伏見, 2005; Tani and Kawawata, 2008)。この装置の分析部に、陽子移動反応質量分析計 (PTR-MS) を接続し、植物によるテルペン類放出をリアルタイムでモニタリングできる測定系を確立した。また、タワーを用いた群落からのテルペン類放出量を、傾度法を用いてアカマツ林で (Tani *et al.*, 2002)、簡易渦集積法を用いてカラマツ林 (Mochizuki *et al.*, 2017) や水田 (Tani *et al.*, 2023) で測定し、放出されるテルペン量と環境要因との関係を明らかにした。さらに、モノテルペンを放出する樹木種の種内変動を調べるため、バイアルに葉切片を入れて測定する方法 (バイアル法) を開発した (Chang *et al.*, 2022)。バイアル内部のガス測定には、高速測定質量分析計を適用し、より迅速に測定する方法を確立した。このように著者は、農業環境工学的手法を用いて植物のテルペン類放出速度を測定するさまざまな方法を開発してきた。これらの成果をまとめて、レビュー論文を複数執筆した (Tani and Mochizuki, 2021; Tani *et al.*, 2024 など)。

このバイアル法を用いた迅速スクリーニングにより、放出能力の種内変動が大きい樹種があることがわかってきた。特に、テルペン類放出種の中に無放出や極低放出の変異体を発見した (Chang *et al.*, 2024; 2026)。これら変異体は

オゾンや SOA の生成にほとんど関与しないため、大気に悪影響を及ぼさない。図2は、シラカシに対してこの方法を用いてスクリーニング測定した結果である。シラカシはモノテルペン非貯蔵タイプに分類されるが、放出されるモノテルペンの種類と放出速度に大きな個体間差が認められる。その中で、モノテルペンをほとんど放出しない2個体を選別した。これらを挿し木によってクローン増殖したが、その個体群もモノテルペンをトレース程度しか放出しない (Chang *et al.*, 2026)。ウバメガシでは、完全に無放出の個体を複数選別し、それらのクローンを得ている (Chang *et al.*, 2024)。東南アジアを中心に大規模植林されているアプラヤシにおいてもイソプレン放出速度に大きな個体間差があることも明らかにした (Chang *et al.*, 2025)。このような方法で、無放出や極低放出の変異体を増殖し都市緑化や植林に用いれば、種の多様性を維持しつつオゾン生成を抑えられると考えている。

大気浄化に貢献する植物の高い汚染ガス吸収能力

本研究を実施するにあたり、ppbv レベルの低濃度 VOC を曝露する装置を開発した。これまでの VOC 曝露実験は、環境濃度とはかけ離れた高濃度 (ppmv) で行われることがほとんどであった。これは、ppbv レベルの濃度を小さい誤差範囲で測定することが難しかったためである。しかし、近年ではこのような高濃度での実験結果を、実際の大气環境へ外挿することは、多くの権威ある科学論文では認められていない。著者は、この測定に PTR-MS を世界ではじめて適用し、ppbv レベルの VOC 濃度のリアルタイムモニタリングに成功した。

植物は葉の気孔から二酸化炭素以外に様々な大気中

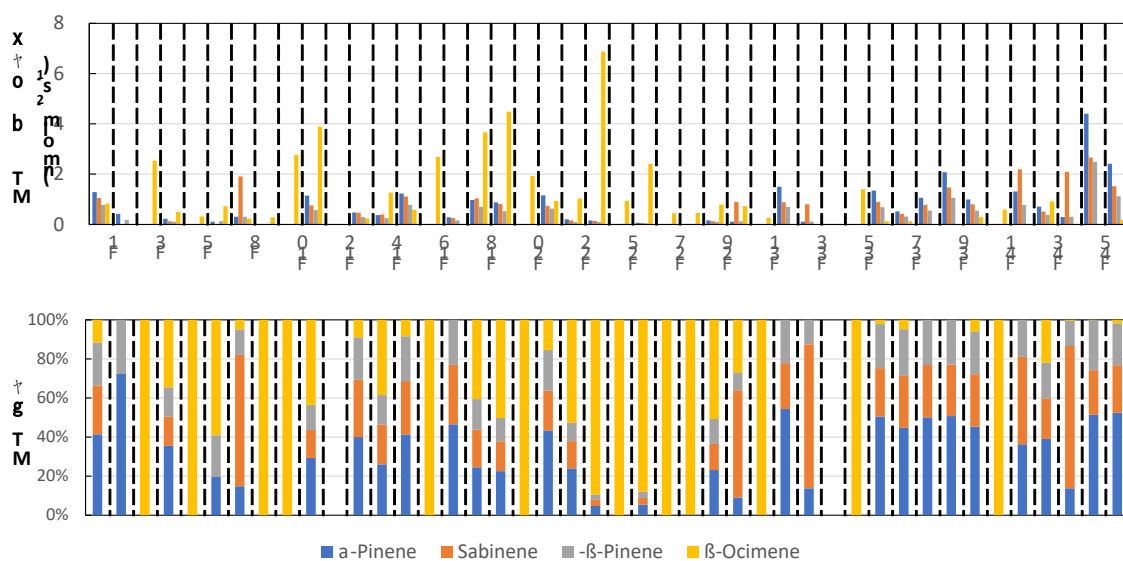


図2 バイアル法によって求めたシラカシのモノテルペン (MT) 放出速度と組成比
放出されるモノテルペン類には、 α ピネン、サビネン、 β ピネン、 β オシメンがある。

F12 と F34 では放出が認められなかった。

のガスを吸収する。吸収されるガスとして、二酸化窒素、二酸化硫黄、オゾンなどの無機ガスが知られているが、著者らは植物が有機ガスの中で含酸素 VOC を吸収出来ることを明らかにしてきた。吸収される含酸素 VOC には、低分子のアルデヒド、ケトン (Tani *et al.*, 2007; 2010; 2014, Tani and Hewitt, 2009) およびアルコール、含酸素単環芳香族炭化水素 (フェノール、ベンズアルデヒド) (Tani *et al.*, 2022) などがある。これらはすべて、気孔を介した吸収であることを明らかにしてきた (Tani and Hewitt, 2009; Tani *et al.*, 2010; 2014)。また、吸収を律速する原因を物質ごとに明らかにするため、フィックの法則に基づき大気から葉内部の代謝場所までの濃度や抵抗を用いて説明するモデルを開発した (Yamane and Tani, 2024)。著者らのグループによる研究で、メタクロレインの一部がアルコールに還元され葉から再揮発するとともに、別の代謝系にてグルタチオンによる抱合化を受けセルロースやリグニンに取り込まれることを明らかにした (Muramoto *et al.*, 2015)。また、葉に吸収されたメチルビニルケトンは、メチルエチルケトン、さらには 1-ブタノールへ還元され、葉から放出される (図3) (Tani *et al.*, 2020) ことや、含酸素単環芳香族のフェノールは葉に吸収された後に、ヒドロキシ基がメキシ化されアニソールとして葉から放出される (Tani *et al.*, 2022) ことを明らかにしてきた。このような、大気化学反応や葉内部の代謝反応にともなう物質の双方向交換も起こっている。

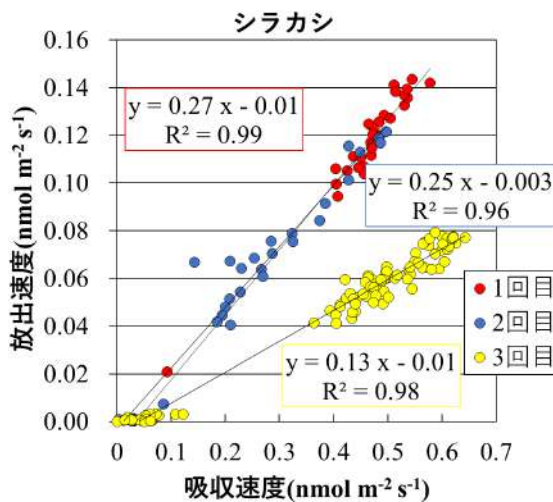


図3 メチルビニルケトンの吸収速度とその代謝変換物メチルエチルケトンの放出速度の関係

なお、植物がほんのわずかな量しか取り込まない VOC も多くあり、これらには酸素原子を含まないという特徴がある。脂肪族炭化水素、ベンゼンやトルエンなどの芳香族炭化水素などが該当する。もちろん、葉内の脂質への分配や分子レベルでわずかに細胞内に入り込みシグナル伝達に作用する場合があるようだが、大気浄化という観点では、これら物質に対する植物の吸収機能は期待できない。

今後の展望

著者は学位論文の研究時代から現在に至るまで 30 年間以上、生態工学的手法を用いて微量気体、特に VOC の研究に取り組んできた。VOC の問題は閉鎖性の高い植物栽培施設内でも顕在化しており、現在研究を進めている。VOC は農業工学を含む農学分野に係わる様々な場で重要な物質であるため、今後も先導してこの研究を推進する。

謝辞

農業工学会賞にご推薦いただいた生態工学会長 船田良先生および理事の皆様様に感謝いたします。

引用文献

- Chang T-W, Mochizuki H, Masui N, Tani A, 2026: Identification of extremely low-terpene-emitting variants from an urban greening tree species *Quercus myrsinifolia*. *Science of The Total Environment*, 1013, 20, 181321.
- Chang T-W, Masui N, Hirano T, Nyawai TN, Rahman M, Abdullah MO, Tani A, 2025: Intraspecific variability in isoprene emission rate of oil palm (*Elaeis guineensis*). *Atmos Environ* 361, 121469
- Chang T-W, Tokiwa S, Masui N, Tani A, 2024: Quantifying variabilities in monoterpene emission among natural individuals of an urban-greening species (*Quercus phylliraeoides*) using a rapid measuring method. *Urban Forestry & Urban Greening*, 94, 128245.
- Chang T-W, Okamoto H, Tani A. 2022: Rapid Sampling Protocol of Isoprene Emission Rate of Palm (*Arecaceae*) Species Using Excised Leaves. *Atmosphere* 13(5), 778.
- Mochizuki T, Tani A, Takahashi Y, Saigusa N, Ueyama M, 2014: Long-term measurement of terpenoid flux above a *Larix kaempferi* forest using a relaxed eddy accumulation method, *Atmospheric Environment* 83, 53–61.
- Muramoto S, Matsubara S, Mwenda CM, Koeduka T, Sakami T, Tani A, Matsui K, 2015: Glutathionylation and reduction of methacrolein in tomato plants account for its absorption from the vapor phase. *Plant Physiology* 169(3), 1744-1754
- Tani A, Masui N, Chang TW, Kokubu Y, Okumura M. 2024: Basal emission rates of isoprene and monoterpenes from major tree species in Japan: interspecies and intraspecies variabilities. *Prog Earth Planet Sci* 11, 42
- Tani A, Sakami T, Yoshida M, Yonemura S, Ono K, 2023: Emission of terpenoid compounds from rice plants. *Environments* 10(3), 49.
- Tani A, Koike M, Mochizuki T, Yamane M, 2022: Leaf uptake of atmospheric monocyclic aromatic hydrocarbons depends on plant species and compounds. *Ecotoxicol Environ Saf* 236:113433
- Tani A, Mochizuki T, 2021: Review: Exchanges of volatile organic

- compounds between terrestrial ecosystems and the atmosphere. *J Agric Meteorol* 77, 66-80
- Tani A, Muramatsu K, Mochizuki T, 2020: Emission of methyl ethyl ketone and 2-butanol converted from methyl vinyl ketone in plant leaves. *Atmosphere* 11, 793
- Tani A, Nozoe S, 2012: Workplace concentrations and exposure assessment of monoterpenes in rosemary- and lavender-growing greenhouses. *J. Occupational health* 54, 459-468
- Tani A, Bobe S, Shimizu S, 2010: Uptake of methacrolein and methyl vinyl ketone by tree saplings and implications for forest atmosphere. *Environ Sci Technol* 44, 7096–7101
- Tani A, Hewitt CN, 2009: Uptake of aldehydes and ketones at typical indoor concentrations by houseplants. *Environ Sci Technol* 43 (21), 8338–8343
- Tani A, Kawawata Y, 2008: Isoprene emission from native deciduous *Quercus* spp. in Japan. *Atmospheric Environment* 42, 4540-4550.
- 谷 晃, 伏見 嘉津裕, 2005. 温度と光強度がミツマタのイソプレン放出におよぼす影響, *農業気象*, 61, 113-122
- Tani A, Nozoe S, Aoki M, Hewitt CN, 2002: Monoterpene fluxes measured above a Japanese red pine forest at Oshiba plateau, Japan. *Atmospheric Environment* 36, 3391-3402.
- Yamane M, Tani T, 2024: An absorption model of volatile organic compound by plant leaf: The most influential site in the absorption pathway. *Atmos Environ X* 23, 100274.

光環境制御による付加価値植物の高効率生産

大橋（兼子）敬子

玉川大学 農学部

要旨

発光ダイオード(LED)を栽培光源とする植物工場において、野菜および高付加価値植物の生産性向上を目的とした研究を行ってきた。赤色 LED 単独では白色蛍光灯に比べ生育が劣るが、赤色光に青色光を補光することで同等の生育が得られることは先行研究で報告されていた。本研究では、青色光が気孔開口や窒素吸収を促進し、葉身の光合成速度および光合成関連因子を増加させることが生育向上の要因であることを明らかにした。さらに、緑色光補光が葉の老化を遅延させ、植物工場における歩留まり向上に寄与することを示した。加えて、得られた植物体については機能性成分の定量だけでなく、有害成分が含まれないことを確認する詳細な化学分析も実施し、安全性と品質の両面から評価した点も高く評価された。また最近では、UV-A 照射により抗酸化物質を高効率に蓄積させる技術の開発に取り組み、ニチニチソウでは抗がん剤成分の増加に成功した。

キーワード

機能性成分、光質、光合成、植物栄養、植物工場

緒言

人工光のみを栽培光源とした植物工場は天候に左右されることなく植物生産を行うことができる施設である。今ではスーパーマーケットに割と普通に植物工場野菜が陳列されており、消費者の認知度も上がってきたように感じる。しかしながら、建設コストや維持コストの高さが今でも問題となっており植物工場を普及させるボトルネックとなっている。この問題を解消するための一つの策として付加価値植物の生産が挙げられる。付加価値植物とは、ビタミンやカロテンなどの抗酸化物質、精油や薬効成分などの二次代謝産物の濃度を向上させた植物のことを指している。また消費者に人気が高いイチゴを夏秋生産することや、日本の露地で栽培することが難しい香料作物を生産することも付加価値植物の生産として捉えることができる。

有用成分の濃度を向上させるには、遺伝子組換えあるいはゲノム編集などの遺伝子操作による方法がある。薬効成分濃度を向上させて精製薬剤を生産する場合には光環境や温度環境を調節するなどの環境制御による方法よりも断然効率が良い。植物工場は密閉度を容易に高めることができるため花粉の飛散防止にも貢献する他、一定の環境がターゲット遺伝子の安定的な発現を可能にする。しかし遺伝子組換え食品やゲノム編集食品は消費者に敬遠されており、環境制御による有用成分濃度を高める技術は必要不可欠なものとなっている。本稿では、発光ダイオード(LED)を用いた光環境制御、特に光質制御による付加価値植物の生産に焦点をあてて議論を展開する。

LED 光源とした植物生産。なぜ赤色光に青

色光を補うと成育が良くなるのか

赤色 LED を用いた植物栽培は米国を中心として行われ、リーフレタスや数種植物の栽培事例があったが、それらの成育は白色蛍光灯の成育にはやや劣るものであった。のちに、赤色光に青色蛍光灯で補光すると赤単色光の栽培よりも成育は旺盛となり、白色蛍光灯を利用して栽培した時の成育に匹敵することが報告された。赤色光に比べて青色光では葉の吸収光あたりの光合成利用効率は低いが、青色光には気孔の開口を促進する作用がある。当時はこの気孔の開口促進が植物の成長を促進する要因と考えられていた。私はこの解釈に疑問を持っていた。青色光が気孔開口を促進する反応は、前歴として白色光で栽培された植物に対して、青色光を短時間(秒から分)植物に照射したときに認められた応答だからである。光質環境が変化した中で何週も育った植物はその環境に対して順化している。短期間で認められた応答が長く続くとは限らない。そこで私は、赤色光に比べて赤青混合光で植物の成育が促進した理由について葉の光合成の生化学、栄養塩の吸収と利用の面から解析を試みてきた。

イネを材料として赤単色光照射に比べて赤青混合光照射が植物の成育を促進させる要因を解析した。栽培光源に LED を使い、総光合成有効放射束密度(PPFD)を $240 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ として赤単色区と赤青混合色区(赤:青=4:1)を設けて約 1 か月間水耕栽培を行った(図1)。光飽和下($1600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)でも成育環境とほぼ同じ $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 下でも若い葉の光合成速度は、赤青混合色区において高く、また光合成速度の増加は葉身の窒素濃度の増加

を伴うものであった。葉の光合成関連因子である、CO₂ 固定の鍵酵素 ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase oxygenase, 光合成色素クロロフィル, 電子伝達因子チトクロム *f* および集光性クロロフィルタンパク質複合体 II のいずれの濃度も葉身窒素濃度の増加に伴って増加していた (Matsuda et al. 2004, 2007)。他方、成長解析の結果はこの環境下で育成したイネの相対成長率は葉面積比よりも純同化率に依存することを示した。したがって、青色光の混合によって葉身および個体の窒素濃度が向上することが育成促進の鍵となっていることが分かった (Ohashi et al. 2006)。

このことから青色光が窒素の取り込み、還元、同化を促進することがポイントになっていると考えられたため、それらについて調査を開始した。硝酸イオンは硝酸トランスポーターを介して体内に取り込まれた後、細胞質で硝酸還元酵素 (NR) により亜硝酸に還元され、さらに葉緑体に取り込まれた後、亜硝酸還元酵素により亜硝酸からアンモニアに還元されてアミノ酸へと同化される。この過程において、赤単色光に比べて赤青混合光では NR 活性の全活性と活性化率の両方が増加していた (Ohashi et al. 2006)。NR 活性の向上は基質である硝酸濃度の向上に負うところが大きい。そこで現在は、青色光照射下における硝酸トランスポーターの機能解析を行っている。



図1 赤単色光 (右) および赤青混合光 (左) で栽培中のイネの様子

光質制御による葉菜類の品質制御

弱光下でも光質変化は植物に様々な反応を誘導する。例えば、青色光照射は光形態形成や花芽形成を誘導し、ビタミン C (アスコルビン酸) 濃度やアントシアニンなどの抗酸化成分濃度を向上させる。ところが、ビタミン C はさらに代謝されるとシュウ酸となる。シュウ酸は腎臓結石の原因物質となるため、ビタミン C 濃度を増やすための環境制御がシュウ酸の合成につながるのであれば本末転倒である。そこでリーフレタス、コマツナおよびホウレンソウを用いて、カラー蛍光灯による光質 (白、赤、青、赤青混合光) が機能性成分と有害成分に及ぼす影響について同時に調査を行った。

植物種によって光質に対する応答が異なった。抗酸化成分であるカロテノイド濃度はリーフレタスでは青色光で低く、ホウレンソウでは青色光で高くなった。コマツナは光質に対して大きな変化はなかった。ビタミン C 濃度についてはリーフレタスとコマツナでは青色光で高く、ホウレンソウでは

光質に対して大きな変化はなかった。硝酸濃度についてはいずれの植物種でも光質による変化は認められず、濃度も低く抑えられており、EU 諸国で規制されている濃度よりも 1/10 以下と非常に小さい値であった (図2)。シュウ酸については、ホウレンソウのみ検出された。青色光でビタミン C 濃度が向上するが、特にシュウ酸濃度が高まることは認められなかった。このように光質に対する反応は植物種によって異なるため、新しく取り扱う生産品目ごとに調査をする必要がある (Ohashi et al. 2007, 2010)。

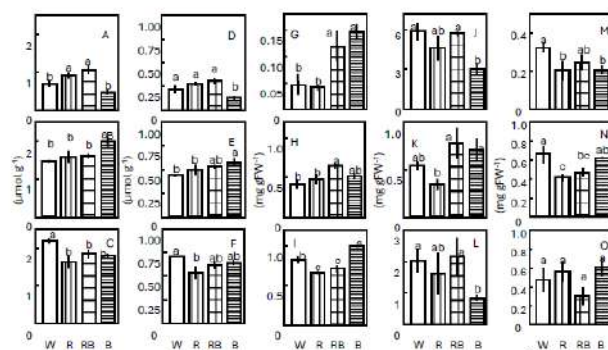


図2 異なる光質で育ったリーフレタス (A, D, G, J, M)、ホウレンソウ (B, E, H, K, N) およびコマツナ (C, F, I, L, O) 中のクロロフィル濃度 (A, B, C)、総カロテノイド濃度 (D, E, F)、ビタミン C 濃度 (G, H, I)、可溶性糖濃度 (J, K, L)、硝酸濃度 (M, N, O) (Ohashi et al. 2007 より)

LED 植物工場における高付加価値植物の生産

玉川大学 Future Sci Tech Lab は 2010 年に竣工し、栽培光源として LED を備えた 5 段式の Nutrient film technique 水耕栽培装置を装備した施設である。栽培装置 1 段の栽培面積は 5000 mm × 120 mm である。当時国内に普及していた植物工場のほとんどは白色蛍光灯を栽培光源としたものであったため、国内でもかなり珍しい大規模な LED 植物工場であった。赤系リーフレタス‘レッドファイヤー’の生産のための環境最適化を検討した。赤色光と青色光を様々な組み合わせ、30 処理区設定し、新鮮重および葉面積を測定した。青色光はレッドファイヤーにとって光ストレスを誘発させやすく、50 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以上の青色光で著しい生育抑制が起こることが分かった。他方、抗酸化成分であるアントシアニンやアスコルビン酸の濃度を露地産レタスと同程度にするには少なくとも 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以上は必要であることも判明した。すなわち、株重量と株の機能性の両方を確保することはかなり難しいことを意味する。そのため、株重量を確保することを優先したい場合には、青色光割合を 10 % 未満に抑え、株の機能性、品質を優先したい場合には青色光割合を 20 % 程度に混合すればよいと判断している (大嶋ら 2015)。

植物工場における緑色光の有用性

境制御技術の開発

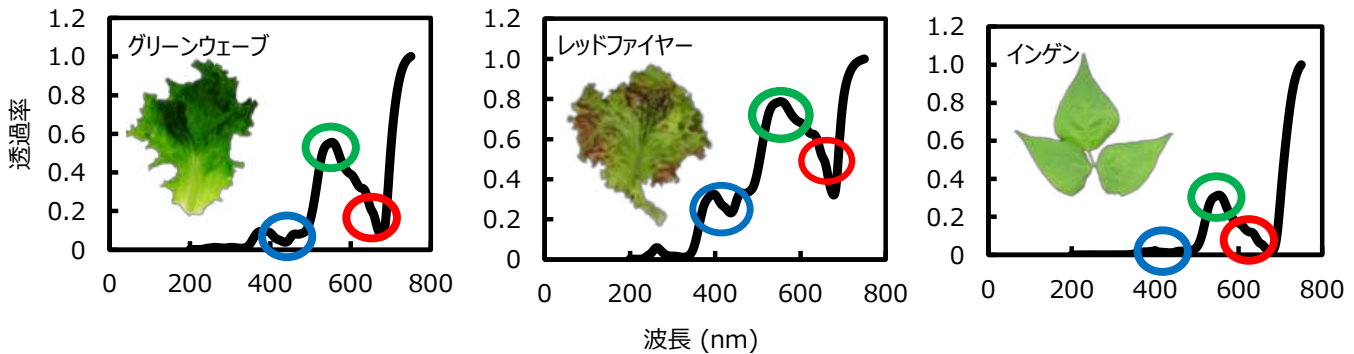
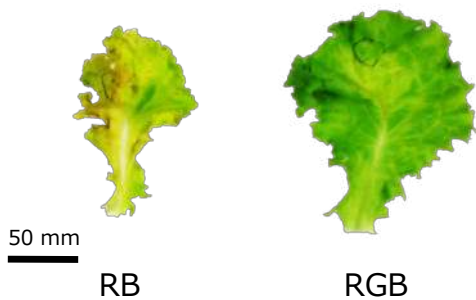


図3 上段:リーフレタスおよびインゲンの葉身の透過スペク



トル. 緑色光は透過性が高い. 下段: 赤青 (RB) 混合光および赤青緑 (RGB) 混合光で栽培された収穫期におけるリーフレタスの第4葉 (下位葉) (大橋 2025 より).

植物工場では高い栽植密度により群落内の光環境が悪化するため、下層部の慢性的な光不足を改善する手段として、透過性の高い緑色光が有効だと考えた(図3)。そこで、異なる栽植密度を設定し、総光強度と青色光強度を一定に保ったうえで、赤青混合光区と赤青緑混合光区を設け、緑色光の有無がリーフレタスの成長に及ぼす影響を調査した。

栽植密度は 33、44 および 55 株/m²としてそれぞれの光質処理区にて栽培を行い、収穫日において上位葉と下位葉の光合成関連タンパク質濃度を測定した。その結果、赤青緑混合区において栽植密度が高いほど、リーフレタス株の草姿がよく、かつ葉色が濃いことが観察された(図3)。特に下位葉のクロロフィル濃度と ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (rubisco) 濃度が赤青混合区よりも高く維持されていることが分かった。このことは緑色光の照射は葉の老化進行を遅延させる効果があることを示唆するものである。老化で茶色くなってきた葉身は出荷時にトリミングで除去するため、緑色光の利用は廃棄量の削減に効果があると評価することができた(Ohashi and Isaki 2021)。

薬用植物の薬効成分を高効率に生産する光環

ニチニチソウ (*Catharanthus roseus*) はキョウチクトウ科の1年生草本植物であり、全草に 200 種類ほどのアルカロイドを蓄積する。そのうち、ビンブラスチンは悪性リンパ腫などの抗悪性腫瘍薬として利用されている。葉身中の濃度は極めて低く、乾物で 0.5~10 g/t 程度でしかない。ニチニチソウは植栽で頻繁に利用される人気の高い園芸作物であり、公園や歩道の花壇に植わっているが、その植え込みから抽出を行ってもビンブラスチンを検出することは相当難しい。植物工場内で白色蛍光灯、赤色および青色 LED を用いて栽培したニチニチソウからもビンブラスチンを検出することはできなかった。ビンブラスチンは微小管の形成を阻害することで細胞分裂を抑制する。植物にとっても危険な成分であるため、半減期が短いと理解されている。そこでビンブラスチンをターゲットとするのではなく、前駆物質であるカタランチンとビンドリリンに的を絞り、これらのアルカロイド濃度を向上させる試みを行った。これら前駆物質からビンブラスチンを半合成することができるため、利用価値はあると考えたからである。総 PPFD 150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 一定の下、赤単色光、青単色光、赤青混合色光(赤:青=1:1)および白色光(蛍光灯)で 28 日間栽培したところ、赤単色光が最もアルカロイド収量を高めること、最適な赤色光強度は 150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ から 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ であった(福山ら 2013, Ohashi et al. 2013, Fukuyama et al. 2015)。

近紫外光(ピーク波長 370 nm)から青色光領域の短波長光をニチニチソウ組織培養苗や切離葉に照射すると、ビンドリリンとカタランチンの縮合反応が促進して 3',4'-アンヒドロビンブラスチンとビンブラスチンの合成が促進されることが報告されていた。そこでニチニチソウに UV-A 光を照射し、ビンブラスチンの生産を行うことを試みた。UV-A 蛍光灯(380 nm)を用いて、UV-A 光の強度を 0, 1, 5 および 10 W m^{-2} に設定し、リーフレタスに 5 日間照射した実験では 10 W m^{-2} で最も高いビンブラスチン濃度 500 $\mu\text{g gDW}$ が示された(Fukuyama et al. 2017, 2023)。この論文をきっかけに日亜化学工業株式会社の協力を得られることができた。UV-LED を借りて最適波長と強度を探索したところ、360 nm と 380 nm において最もビンブラスチンが生産され、照

射強度は 25 W m^{-2} であることが分かった (Fukuyama et al. 2025)。ビンブラスチンはビンドリンとカタランチンの縮合による産物であるが、この縮合反応はカタランチンの酸化から始まり、そしてこの酸化はフラビンモノヌクレオチド (FMN) が UV を吸収して酸化されることで開始する。この FMN の光吸収ピークとビンブラスチン生産の最適波長が一致していることも確認できた。このようにビンブラスチンを短時間で効率よく生産する環境を見出すことができた。

今後の展望

今後は、ゲノム編集を含む分子生理学的手法と環境制御技術を組み合わせることで、より効率的に高付加価値成分を生産していく取り組みが重要になると考えられる。また、ゲノム編集植物の安全性に関する科学的な情報については、消費者の理解が深まるよう、丁寧に提供していきたいと考えている。

謝辞

今回の受賞に際し、日本生物環境工学会羽藤堅治会長をはじめ、推薦に関わってくださった先生方に心より御礼申し上げます。また、一連の研究を進めるにあたり、玉川大学、東京大学、東北大学、そして北海道大学の皆様から多くのご指導とご協力をいただきましたことに、深く感謝申し上げます。

引用文献

- 福山太郎, 大橋(兼子)敬子, 大野英一, 渡邊博之. (2013) LED を用いた赤色光と青色光照射下で栽培されたニチニチソウの成長とアルカロイド収量. 植物環境工学, 25(4), pp175-182.
- Fukuyama, T., Ohashi-Kaneko, K., Watanebe, H. (2015) Estimation of optimal red light intensity for production of the pharmaceutical drug components, vindoline and catharanthine, contained in *Catharanthus roseus* (L.) G. Don. Environ. Control Biol., 53(4), 217-220.
- Fukuyama, T., Ohashi-Kaneko, K., Hirata, K., Muraoka, M. and Watanabe, H. (2017) Effects of ultraviolet A supplemented with red light irradiation on vinblastine production in *Catharanthus roseus*. Environ. Control Biol., 55(2), 65-69.
- Fukuyama T., Hannyu T., Saito R., Fujikawa Y., Tsurumoto T. and Ohashi-Kaneko K. (2025) Effect of wavelength and light intensity from ultraviolet and violet light-emitting diodes for optimizing vinblastine production in the leaves of Madagascar Periwinkle. Horttechnology 35(6), 896-902.
- Matsuda, R., Ohashi-Kaneko, K., Fujiwara, K., Goto, E. and Kurata, K. (2004) Photosynthetic characteristics in leaves of rice grown under red light or a mixture of red and blue light. Plant and Cell Physiology 45: 1870-1874.
- Matsuda, R., Ohashi-Kaneko, K., Fujiwara, K. and Kurata, K. (2007) Analysis of the relationship between blue-light photon flux density and the

photosynthetic properties of spinach (*Spinacia Oleracea* L.) leaves with regard to the acclimation of photosynthesis to growth irradiance. Soil Sci. Plant Nutr. 53: 459-465.

大嶋泰平, 大橋(兼子)敬子, 大野英一, 渡邊博之 (2015) レッドリーフレタス生産に適した赤色と青色発光ダイオードの光混合条件の検討, 植物環境工学, 27(1), 32-40.

Ohashi-Kaneko, K., Matsuda, R., Goto, E., Fujiwara, K. and Kurata, K. (2006) Growth of rice plants under red light with or without supplemental blue light. Soil Sci. Plant Nutr. 52: 444-452.

Ohashi-Kaneko, K., Goji, K., Matsuda, R., Fujiwara, K. and Kurata, K. (2006) Effects of blue light supplementation to red light on nitrate reductase activity in leaves of rice seedlings. Acta Horticulturae 711: 351-355.

Ohashi-Kaneko, K., Takase, M., Kon, N., Fujiwara, K. and Kurata, K. (2007) Effect of light quality on growth and vegetable quality in leaf lettuce, spinach and komatsuna. Environ. Control Biol. 45: 189-198.

Ohashi-Kaneko, K., Takase, M. and Kurata, K. (2010) Low-light irradiation at the beginning or the end of the daily dark period accelerates leaf expansion and growth in *Spinacia oleracea* L. Environ. Control Biol., 48 (4) 161-173.

Ohashi, K. K., Fukuyama, T., Nakai, A., Usami, H., Ono, E. and Watanabe, H. (2013) Growth and alkaloids production in Madagascar periwinkle plants grown under the red LED. The 2013 IFAC Bio-Robotics Conference, March 27-29, 2013, Osaka, Japan. Proceedings.

Ohashi-Kaneko K., Isaki Y. (2021) Effects of green light supplementation to a mixture of red and blue light on chlorophyll and ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase contents and growth in leaf lettuce. Eco-Engineering, 33 (4), 101-107.

大橋(兼子)敬子 (2025) 完全人工光によるリーフレタス栽培における緑色光の利用について. 光技術コンタクト. 63 (10), 19-23.

森林の二酸化炭素収支の定量化と環境応答の解明

平野高司

北海道大学大学院農学研究院

要旨

森林生態系は、光合成によって吸収した二酸化炭素(CO₂)をバイオマスとして固定することで大気 CO₂ 濃度の上昇を緩和する機能(生態系機能)を有する。しかし、CO₂ やメタン(CH₄)などの温室効果気体の増加にともなう気候変動や人間活動にともなう環境攪乱によって森林の生態系機能は変化するため、将来の大気 CO₂ 濃度を精度良く予測するには、CO₂ 収支の実測データに基づいて生態系機能の環境応答特性を明らかにする必要がある。そこで、熱帯林を含む国内外の森林生態系において微気象学的方法(渦相関法)を用いた長期の観測研究を行ってきた。脆弱な巨大炭素貯蔵庫として世界的に注目されている東南アジアの熱帯泥炭林では、環境攪乱の程度が異なる 3 サイトで長期連続観測を行い、CO₂ 収支に与える気候変動(干ばつ)と人為攪乱(排水)の影響を定量評価した。また、観測ネットワークのデータを統合的に解析することで、熱帯泥炭地の温室効果気体(CO₂とCH₄)の正味排出量の時空間変動を定量化し、干ばつと排水の影響を広域評価した。

キーワード

渦相関法, エルニーニョ現象, 温室効果気体, 地下水位, フラックス

緒言

陸域生態系による正味の二酸化炭素(CO₂)吸収量(正味生態系生産:NEP(≒正味生態系交換:NEE))は、比較的高精度で推定できる人為排出量、海洋による吸収量、大気中での貯留変化量がわかれば、全球 CO₂ 収支の残差として求めることができる。しかし、NEE は非常に大きな量である光合成による CO₂ 吸収(総一次生産:GPP)と呼吸による CO₂ 放出(生態系呼吸:RE)のわずかな差であり、大きく季節変動する。また、GPP と RE の環境応答特性は異なり、森林タイプによる違いも考慮する必要がある。したがって、温暖化にともなう将来の NEE を予測するには、様々な森林タイプにおいて CO₂ 収支・炭素循環に関する長期の連続観測と、高い時間分解能を持つ連続データに基づいた CO₂ 収支の広域化や生態系機能のモデル化が不可欠である。そのため、実測データが極端に不足している熱帯林を含む国内外の森林において微気象学的方法(渦相関法)による CO₂ フラックスの長期連続観測を行い、森林生態系の CO₂ 収支(NEE)に及ぼす気候変動や人間活動の影響を定量評価した。

渦相関法は、陸域生態系と大気との間のガス状物質やエネルギー(熱)の交換速度を連続観測する標準的な方法である。渦相関法では、観測タワーを用いて、森林や草地などの生態系の上空で鉛直風速、気温、水蒸気密度、CO₂ 密度などを高速(10~20 Hz)で連続測定し(図 1)、鉛直風速と気温、鉛直風速と水蒸気密度、鉛直風速と CO₂ 密度の共分散を計算することで、それぞれ熱(顕熱)、水蒸気(潜熱)、CO₂ の単位水平面積あたりの鉛直輸送速度(フ

ラックス)を求める方法である。群落上の 1 高度での測定で、風上側の数百 m²~数 ha 程度の面積(フットプリント)の空間平均値を 30 分平均で得ることができる。CO₂ フラックスに観測高度以下の空間の CO₂ 貯留変化速度を加えることで NEE が得られ、経験的なモデルによって NEE を GPP と RE に分離することができる。渦相関法によるフラックス観測は、GPP と RE という異なる生物反応の環境応答を、群落スケールにおいて高時間分解能で測定できる唯一の方法といえる(平野高司, 2021)。

ここでは、東南アジアの熱帯泥炭林を対象とした研究を紹介したい。



図 1. インドネシア・中部カリマンタン州の観測サイト(UF)におけるフラックス観測の様子

インドネシアの熱帯泥炭林での長期観測

東南アジアの島嶼部(主にインドネシアとマレーシア)

には 25 万 km² に及ぶ熱帯泥炭地(湿地)が広がり、泥炭湿地林と共存して膨大な量の炭素を、土壌有機物(泥炭)として数千年にわたり蓄積してきた(66~70 Gt)。しかし、近年、森林伐採や排水をともなう大規模農園(プランテーション)の開発により乾燥化が進み、泥炭の好氣的分解(CO₂放出)の促進(Itoh et al., 2017)と野火に由来する泥炭火災が増加し、巨大な泥炭炭素の脆弱性が急速に高まってきた。また、数年おきに発生するエルニーニョ現象は干ばつを引き起こし、未排水の泥炭地においても地下水位の大きな低下をもたらす。そのため、干ばつは泥炭の分解を促進するとともに、泥炭火災のリスクを高める。火災時に大量に放出される煙は煙霧(ヘイズ)となって広がり、日射を減衰するとともに散乱日射の割合を増大させ、GPP に影響を与える(Ohkubo et al., 2021b)。そこで、観測データを用い地下水位低下や火災による放射環境の変化の影響を明らかにするために、インドネシア・中部カリマンタン州の未排水の泥炭林(UF)、大規模な水路によって排水された泥炭林(DF)、複数回の火災被害を受けた疎林(DB)の 3 サイトで、渦相関法を用いて CO₂ フラックスの連続観測を行った。2009 年までの 4~6 年間の観測データを用いて、環境攪乱(排水、火災)が NEE に及ぼす影響を定量化し

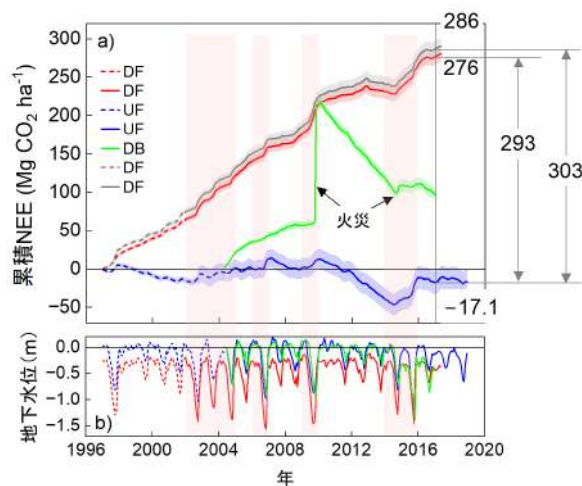


図 2. UF および DF における水路掘削(1997 年 1 月)からの NEE の累積変化と DB における観測開始(2004 年 4 月)からの NEE の累積変化(a)、および地下水位の変動(b) (Hirano et al., 2024)。UF と DF の破線は推定値。DB では、2009 年のバイオマス燃焼による CO₂ 排出量(158 Mg CO₂ ha⁻¹)を含んでいる。影は 95%信頼区間、ピンクの矩形は干ばつ年を示す。DF では、水路掘削直後の初期排出量を別途推定した(灰色の線)。2016 年までの 20 年間における DF からの累積 CO₂ 排出量は、排水直後の大量排出を考慮した場合と考慮しない場合でそれぞれ 276、286 Mg CO₂ ha⁻¹であった。一方、UF からの排出量は-17.1 Mg CO₂ ha⁻¹(小さな CO₂ 吸収源)であり、DF における累積 NEE は UF よりも 293~303 Mg CO₂ ha⁻¹ 大きかった。

た(Hirano et al., 2012)。しかし、排水の長期的な影響を検出し、干ばつの影響を定量化するためには、より長期の観測データに基づく検討が必要である。したがって、野外観測を継続し、得られた 12~15 年間にわたる長期データを用いて、1) エルニーニョ現象にともなう干ばつによる地下水位低下、2) 煙霧による放射環境の変化、3) 排水による継続的な地下水位低下、4) 複数回の火災、が NEE の年間値に与える影響を定量化した(Hirano et al., 2024)。その結果、未排水の UF は通常年では CO₂ 吸収源であったが、干ばつ年には大きな排出源へと変化することがわかった。通常年と干ばつ年の間の NEE の差(22.6 Mg CO₂ ha⁻¹ yr⁻¹)は、地下水位の低下による泥炭分解の促進が RE を増加させ、乾燥ストレスによる気孔閉鎖と煙霧による日射減衰が GPP を減少させたことが原因であった。なお、乾燥ストレスよりも日射減衰の方が GPP 減少への寄与が大きかった。また、排水による継続的な地下水位の低下のため、DF は通常年でも CO₂ 発生源であった。さらに、DF と UF の年間 NEE の差から、水路掘削後 20 年間の排水による年間 CO₂ 放出量が 15.2 ± 6.43 Mg CO₂ ha⁻¹ yr⁻¹ であると推定された。通常年と干ばつ年の発生頻度を考慮(加重平均)すると、排水による CO₂ 放出量は干ばつによる放出量増加の 1.6 倍大きいことがわかった。DB では、2009 年の火災によるバイオマス燃焼によって大量の CO₂ が突発的に放出された(Ohkubo et al., 2021a)。DB と UF の年間 NEE の差として推定された火災にともなう CO₂ 放出量は、排水による放出量と同程度であった(図 2)。

東南アジアの泥炭地における広域評価

排水や干ばつによる地下水位の低下は泥炭分解を促進して CO₂ 放出量を増加させるが、CO₂ に次いで重要な温室効果気体であるメタン(CH₄)の放出量を減少させる。熱帯泥炭地における CO₂ と CH₄ の放出量に関する先行研究はいくつかあるが、それらは IPCC(気候変動に関する政府間パネル)が定めた土地被覆ごとの排出係数(単位面積当たりの年間放出量)を用いて年間値を推定したもので、泥炭からの放出量のみを対象にしているため、光合成による CO₂ 吸収や樹木幹からの CH₄ 放出などは含まれていない。なお、温度の季節変化が小さい熱帯泥炭地では、CO₂ と CH₄ の排出量は主に地下水位に依存することが知られている(Hirano et al., 2009; Hirano et al., 2014; Ishikura et al., 2019; Wakhid et al., 2017)が、これまでの研究では対象地域全体で同じ排出係数を適用しており、降水量の地域的な変化に伴う地下水位の変動が考慮されていなかった。本研究では、生態系スケールでの CO₂ と CH₄ の正味の放出量を、地下水位の空間的、また時間的な変動を考慮して推定することに世界で初めて成功した(Hirano et al., 2025)。

研究エリア(スマトラ島、ボルネオ島、マレー半島;泥炭地の総面積は 18 万 km²)にある観測ネットワーク(11 地点)

で観測された地下水位と、渦相関法で観測された生態系と大気間のCO₂とCH₄の正味の交換量(NEE)のデータを利用した(Deshmukh et al., 2023; Hirano et al., 2024; Kiew et al., 2018; Kiew et al., 2020; Sakabe et al., 2018; Wong et al., 2020)。生態系スケールでの観測結果なので、樹木の光合成なども含まれている。まず、公開されているデータを

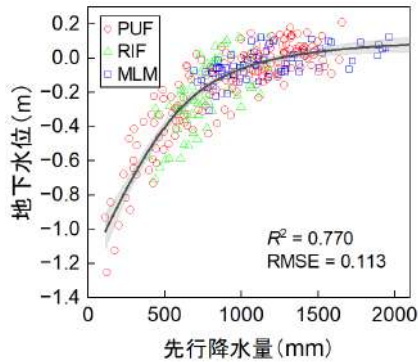


図 3. 先行降水量と月平均地下水位の関係(未排水の泥炭林, 当該付も含む 4 か月間の先行降水量)。近似曲線は非直角双曲線 ($P < 0.0001$) (Hirano et al., 2025)

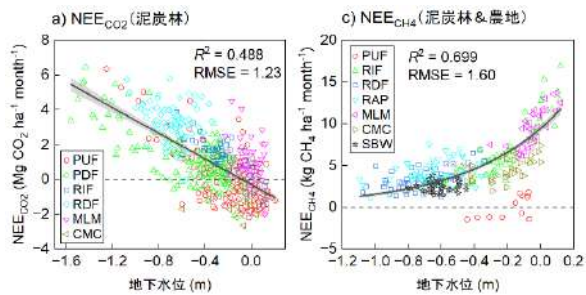


図 4. 月平均地下水位と正味生態系交換(NEE)の関係。a) CO₂(泥炭林), 直線で近似。b) CH₄(泥炭林+農地), 指数関数で近似。(Hirano et al., 2025)

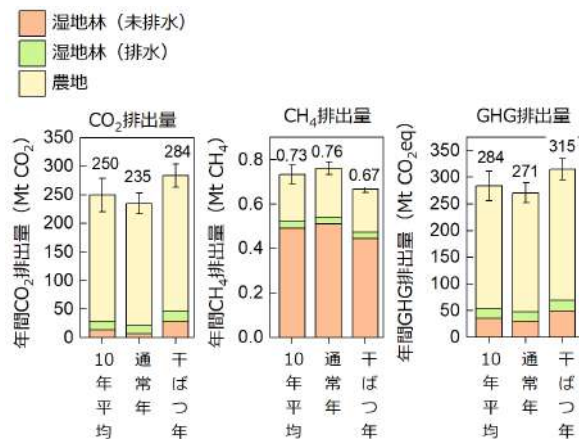


図 5. 研究対象エリアからの CO₂, CH₄, GHG(CO₂換算)の年間排出量の比較: 10年平均, 通常年の平均(7年間), 干ばつ年の平均(3年間)。(Hirano et al., 2025)

用いて研究エリア内の泥炭地をマップ化し、さらに独自に作成した各年の土地被覆図(森林, 大規模農地など)(Shiraishi et al., 2023)と公開されている排水路マップを用いて、泥炭地を未排水の泥炭湿地林, 排水された泥炭湿地林, 農地(プランテーション+小規模農地)に分類した。土地被覆ごとに、先行降水量と地下水位の関係をモデル化し(図 3), JAXA が公開している降水量マップ(GSMaP)から 2011~2020 年の各月の地下水位マップを作成した。さらに、地下水位と温室効果気体(GHG)放出量の関係をモデル化し(図 4), 地下水位マップから GHG 放出量マップを作成し、地域別, 土地被覆別, 干ばつの有無などで放出量を集計した。10 年間の推定結果から、1) 泥炭の分解により、総面積 12 万 km²の湿地林と農地から日本の年間排出量の約 30%に相当する大量の GHG が排出されていること(図 5), 2) 未排水の湿地林が排水され、さらに農地に転換されることで、GHG の排出量(CO₂換算)がそれぞれ 2.8 倍, 6.4 倍に増加すること, 3) エルニーニョ現象によって生じる干ばつにより排出量が 16%増加すること(図 5)が明らかになった。

まとめと今後の展望

本研究(Hirano et al., 2025)で開発された手法は、降水量の時間的, 空間的変動を反映したものであり、土地被覆ごとに固定された排出係数を用いる従来の方法に比べて推定結果の信頼性は高いと考えられる。また、10 年間の結果を用いて、インドネシアとマレーシアの州ごとに生態系スケールの正味 GHG 放出量の 1) 10 年間の平均値, 2) 通常年(7 年間)の平均値, および 3) 干ばつ年(3 年間)の平均値を示しており、これらは GHG 放出量の見積もりにおける信頼性の高い排出係数として利用可能である。したがって、本研究の成果は、土地利用や農地管理の適正化を促進し、GHG 放出量削減に貢献することが期待される。なお、東南アジアの泥炭地では干ばつ年に大規模な火災が発生し、大量の GHG が放出される。本研究では火災などにもなう直接的な放出は対象にしていないが、森林伐採によるバイオマス減少や火災によるバイオマスと泥炭の燃焼にもなう GHG 放出量の推定にも取り組んでいる。

謝辞

今回の受賞に際し、日本農業工学会にご推薦いただいた日本農業気象学会の関係者の皆さまに深く感謝申し上げます。また、インドネシアでの観測研究にお誘いいただいた北海道大学名誉教授である大崎満先生、北海道・苫小牧での観測研究にご協力いただいた国立環境研究所の皆さま、さらには論文発表の共著者の皆さまに心からお礼申し上げます。

引用文献

- Deshmukh, C.S. et al., 2023. Net greenhouse gas balance of fibre wood plantation on peat in Indonesia. *Nature*, 616(7958): 740-746.
- Hirano, T., Jauhainen, J., Inoue, T. and Takahashi, H., 2009. Controls on the Carbon Balance of Tropical Peatlands. *Ecosystems*, 12(6): 873-887.
- Hirano, T., Kusin, K., Limin, S. and Osaki, M., 2014. Carbon dioxide emissions through oxidative peat decomposition on a burnt tropical peatland. *Global Change Biology*, 20(2): 555-565.
- Hirano, T. et al., 2024. Large variation in carbon dioxide emissions from tropical peat swamp forests due to disturbances. *Communications Earth & Environment*, 5(1).
- Hirano, T. et al., 2012. Effects of disturbances on the carbon balance of tropical peat swamp forests. *Global Change Biology*, 18(11): 3410-3422.
- Hirano, T. et al., 2025. Impact of Land Use Change and Drought on the Net Emissions of Carbon Dioxide and Methane From Tropical Peatlands in Southeast Asia. *AGU Advances*, 6(6).
- Ishikura, K. et al., 2019. Carbon Dioxide and Methane Emissions from Peat Soil in an Undrained Tropical Peat Swamp Forest. *Ecosystems*, 22(8): 1852-1868.
- Itoh, M., Okimoto, Y., Hirano, T. and Kusin, K., 2017. Factors affecting oxidative peat decomposition due to land use in tropical peat swamp forests in Indonesia. *Science of the Total Environment*, 609: 906-915.
- Kiew, F. et al., 2018. CO₂ balance of a secondary tropical peat swamp forest in Sarawak, Malaysia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 248: 494-501.
- Kiew, F. et al., 2020. Carbon dioxide balance of an oil palm plantation established on tropical peat. *Agricultural and Forest Meteorology*, 295.
- Ohkubo, S., Hirano, T. and Kusin, K., 2021a. Assessing the carbon dioxide balance of a degraded tropical peat swamp forest following multiple fire events of different intensities. *Agricultural and Forest Meteorology*, 306.
- Ohkubo, S., Hirano, T. and Kusin, K., 2021b. Influence of disturbances and environmental changes on albedo in tropical peat ecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology*, 301-302.
- Sakabe, A., Itoh, M., Hirano, T. and Kusin, K., 2018. Ecosystem-scale methane flux in tropical peat swamp forest in Indonesia. *Global Change Biology*, 24(11): 5123-5136.
- Shiraishi, T., Hirata, R., Hayashi, M. and Hirano, T., 2023. Carbon dioxide emissions through land use change, fire, and oxidative peat decomposition in Borneo. *Sci Rep*, 13(1): 13067.
- Wakhid, N., Hirano, T., Okimoto, Y., Nurzakiah, S. and Nursyamsi, D., 2017. Soil carbon dioxide emissions from a rubber plantation on tropical peat. *Science of the Total Environment*, 581: 857-865.
- Wong, G.X. et al., 2020. How do land use practices affect methane emissions from tropical peat ecosystems? *Agricultural and Forest Meteorology*, 282-283.
- 平野高司, 2021. 森林生態系における炭素循環観測. *地球環境*, 26(1&2): 57-68.

環境低負荷型堆肥化の機構解明と自動化技術の開発

宮竹 史仁

国立大学法人北海道国立大学機構 帯広畜産大学 環境農学研究部門

要旨

本稿では、環境負荷を低減しつつ良質な堆肥を安定生産する「環境低負荷型堆肥化」の研究成果を総括する。堆肥化過程では温室効果ガスやアンモニアの排出が課題となるため、ガス発生機構の解明を進め、副資材条件の最適化やバイオ炭混合による排出抑制効果を明らかにした。さらに、通気量の自動制御技術を開発し、好気条件の維持によるガス排出抑制と省エネルギー化を両立させた。これらの知見を基盤として、繰り返し・通気・加温・発酵診断を統合した堆肥化ロボット・システムを開発し、堆肥化が困難な寒冷地においても省人化と安定生産を実現した。現在は内閣府プロジェクトのもと、自律型堆肥化ロボットの実用化に向けた研究を進めており、持続可能な資源循環型農業への展開が期待される。

キーワード

堆肥化、温室効果ガス、アンモニア、バイオ炭、堆肥化ロボット

緒言

畜産業の発展に伴い、家畜ふん尿などのバイオマスを適切に資源化し、有効に活用することは、持続可能な農業を実現するうえで重要な課題となっている。堆肥化は、これらの有機資源を好気性微生物の働きによって分解・安定化し、農業に再利用できる資材へと変換する代表的な技術である。堆肥化の過程では、微生物が有機物を分解する際に代謝熱が発生し、堆肥の温度は 70°C 以上に達する。この高温環境は、病原性微生物の死滅や雑草種子の不活性化をもたらす、安全で衛生的な堆肥の生産に寄与する。完成した堆肥は、有機肥料や土壌改良資材として利用されるだけでなく、畜舎の敷料として再利用することも可能である。良質な堆肥の施用は、土壌有機物の増加や微生物活性の向上を通じて土壌の健全性を高め、作物生産の安定化や化学肥料使用量の削減に貢献する。また、敷料としての再利用はカウコンフォートの向上や資材費の削減につながり、畜産経営のコスト低減にも寄与する。このように堆肥化は、廃棄物処理にとどまらず、地域内で資源を循環させる循環型農業の基盤を支える重要な技術である。

一方で、堆肥化反応の過程では、一酸化二窒素 (N_2O) やメタン (CH_4) といった温室効果ガス、さらにアンモニア (NH_3) などの悪臭ガスの発生が懸念されている。これらは地球温暖化や周辺環境への悪影響をもたらすだけでなく、 N_2O や NH_3 による窒素の損失によって堆肥の肥料価値を低下させる要因にもなる。そのため、資源循環と環境保全を両立する堆肥化技術の確立が強く求められている。

さらに近年、畜産経営の大規模化に伴い、家畜ふん尿が集中的かつ大量に発生するようになり、従来の経験や勘に頼った堆肥化では対応が難しくなっている。発酵環境を適切に維持できない場合、堆肥品質の低下や未熟堆肥の発生を招く恐れがある。特に北海道のような寒冷地では、冬季の低温により発酵が進みにくく、分解の遅延や環境負荷ガスの増加といった問題が生じやすい。また、農家の高齢化や人手不足の進行により、繰り返しや通気管理、水分調整などの継続的な作業に十分な労力を割くことが困難になっている。これらの要因が重なり、安定した良質堆肥の生産は従来にも増して難しい課題となっている。

このような背景を踏まえ、本稿では、環境への負荷を抑えながら良質な堆肥を安定的に生産する「環境低負荷型堆肥化」の方法や技術を紹介する。具体的には、堆肥化過程で発生する温室効果ガスや臭気の排出を抑制するための技術的アプローチ、さらに人手不足の現場においても安定した堆肥づくりを可能とする堆肥化ロボット・システムの開発成果を総括する。これらの研究成果は、環境負荷の低減と堆肥品質の向上を同時に実現する新たな堆肥化技術の方向性を示すとともに、大規模化が進む畜産現場においても持続的に運用できる資源循環型農業の実現に向けた展望を述べる。

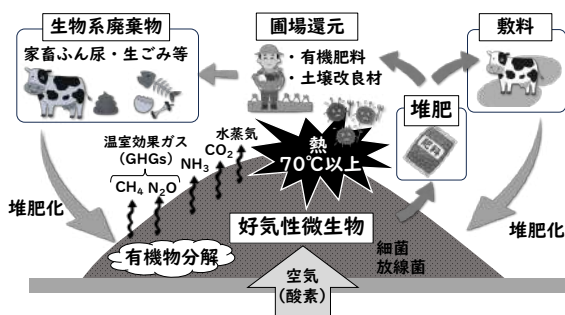


図1 堆肥化と堆肥利用

堆肥化からの環境負荷ガス排出と抑制技術

堆肥化は、家畜ふん尿などの有機資源を再利用可能な資材へと転換する有効な技術である一方、その過程で CH_4 、 N_2O 、 NH_3 などの環境負荷ガスが発生する。これらのガスは、微生物による有機物分解や窒素変換に伴う生物化学反応によって生成される。例えば、酸素供給が不足すると堆肥内部が嫌気状態となり、メタン生成菌の働きによって CH_4 が発生する。また、窒素の硝化・脱窒過程では N_2O が生成され、とくに堆肥化初期や後熟過程に排出が増加する傾向がある。さらに、タンパク質などの分解に伴って NH_3 が発生し、悪臭の原因となるとともに窒素資源の損失につながる。このように、堆肥化条件によって環境負荷ガスの排出量は大きく変動することから排出機構の解明と最適化が重要な課題となる。そこで著者らは、副資材の種類(宮竹ら, 2010;2012)や含水率(宮竹ら, 2011)などの条件がガス排出量に及ぼす影響を検討し、これらの要因が排出量を左右する重要な制御因子であることを示してきた。

こうした知見を踏まえ、ガス排出抑制の手法として注目してきたのが、バイオ炭を混合する「共堆肥化 (co-composting)」である。バイオ炭は、バイオマスを酸素制御下で熱分解して得られる多孔質の炭化物で、ガス吸着性や微生物の生息場としての機能を有する。乳牛ふんに複数種類のバイオ炭を混合した試験では、バイオ炭の種類によって抑制効果が異なることが確認された(渡邊・宮竹, 2023)。とくに、もみ殻くん炭の混合により NH_3 排出量は約 60% 削減され、竹炭でも一定の効果が認められた(図 2 上)。また、温室効果ガス(N_2O および CH_4)の総排出量はすべてのバイオ炭区で約 45~63% 減少し、竹炭で高い抑制効果が示された(図 2 下)。このように、バイオ炭混合は環境負荷低減に極めて有効な手法として、世界的にも注目されている。

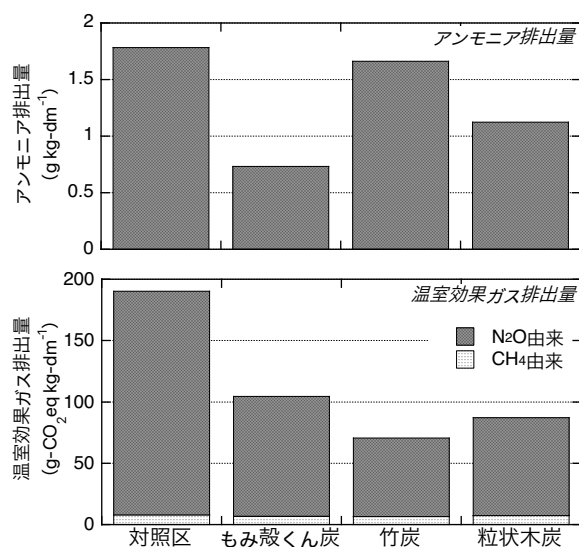


図 2 バイオ炭混合によるアンモニアと温室効果ガスの削減効果

一方、資材の添加とは別のアプローチとして、機械制御により発酵状態を最適化し、ガス排出を抑制する技術の開発も進めてきた。堆肥化では、通気量が適切に保たれることで好気性微生物の活動が維持され、嫌気状態の発生を防ぐことができる。そこで、発酵の進行状況に応じて通気条件を自動調整するシステムを開発し、環境負荷ガスの抑制と省エネルギー化の両立を図った。開発したシステムは、①インバーター制御による通気量自動制御システムと、②時間変動型 ON/OFF 制御による間欠通気システムの 2 種類である。いずれも堆肥の発酵状況(堆肥温度)を温度センサーで監視し、発酵状態に応じて必要最小限の空気を供給することで、好気発酵を維持しつつエネルギー消費を削減し、環境負荷ガスの排出抑制と送風機の消費電力削減による間接的二氧化碳排出低減を実現する。

インバーター制御方式では、送風機の回転数を発酵状態に併せて連続的に必要最小限に自動調整することで通気量を最適化する(図 3; 特許第 5565773 号)。従来の連続通気方式と比較しても電力使用量を約 62% 削減するとともに、温室効果ガスの総排出量を約 64% 抑制できることを確認した(宮竹, 2015)。

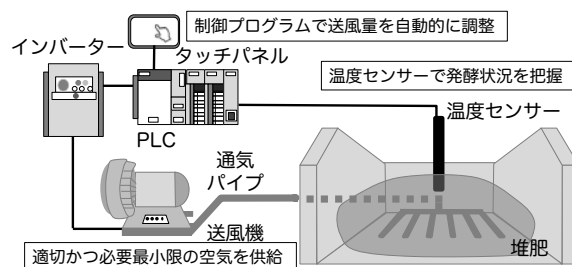


図 3 インバーター制御式通気量自動制御システム

一方、時間変動型 ON/OFF 制御方式では、送風機の運転時間と停止時間の比率を自動的に可変調整することで通気時間を制御する(図 4; 特許第 6889933 号)。電力使用量を約 60% 削減するとともに、温室効果ガスを約 58%、 NH_3 排出量を約 86% 抑制できることが示された(宮竹, 2022a, 2022b)。

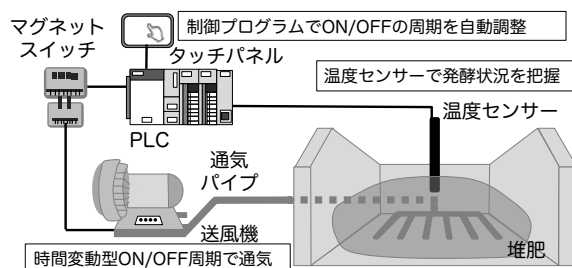


図 4 時間変動型 ON/OFF 制御の間欠通気システム

このように、通気制御による運転管理の高度化は、バイオ炭混合などの資材的対策と並ぶ有効な手段であり、両者を組み合わせることで、堆肥化プロセス全体の環境負荷低減と安定した堆肥品質の確保が可能になると考えられる。

堆肥化ロボットの開発 — 良質堆肥の安定生産と省人化の実現 —

近年、化学肥料や敷料の価格高騰と高止まりを背景に、堆肥の需要は急速に高まっており、良質な堆肥の安定生産が求められている。堆肥化に関する学術研究は1970年代以降数多く蓄積され、適切な含水率や通気量などの最適条件はほぼ明らかにされているもの(宮竹ら, 2003, 2005a, 2005b, 2007, 2008a, 2008b, 2018)、堆肥生産現場では、「堆肥化がうまく進まない」という問題が依然として多く見受けられている。その主な要因として、1戸当たりの家畜頭数の増加で大量の家畜ふん尿が集中的に排出される様になり、伝統的に培った堆肥作りの経験では対応が難しくなっていること、さらに高齢化や慢性的な人手不足により、水分調整や切り返し、通気管理といった重要な作業に十分な時間と労力を割けないことが挙げられる。これらの課題を解決し、年間を通じて安定した良質堆肥の生産を実現するためには、作業の省力化と管理の自動化を両立する新たな技術の導入が不可欠である。

このような背景のもと、筆者らは「省人化」「省エネルギー化」「良質堆肥の安定生産」「環境負荷低減」を同時に実現することを目的として、有限会社岡本製作所(栃木県)と共同で堆肥化工程を自動化する堆肥化ロボット・システムを開発した(図5)。本システムは、①堆肥を自動で切り返しと搬送を行う堆肥クレーン、②発酵状態に応じて通気量を調整する通気量自動制御システム、③発酵状態を監視する温度測定システム、④寒冷環境下でも発酵を促進する堆肥加温システム、⑤堆肥化の良否を判定する発酵診断システム、の五つの要素から構成される。これらを統合することで、堆肥化管理を発酵状態に基づいて自動的に最適化することを可能にした。

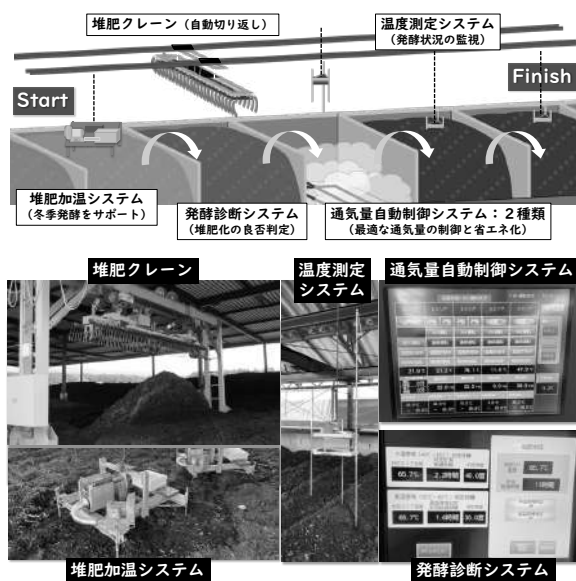


図5 堆肥化ロボット・システム

自動切り返しを担う堆肥クレーン(特開 2023-037265[自走式堆肥クレーン]など)は、自動で堆肥を把持して移送しながら天地返しを行い、発酵のばらつきを抑制する。これにより、均一で安定した堆肥品質を確保できるとともに、ホイールローダー等による人的作業を大幅に削減できる。

通気量自動制御システム(特許第 5565773 号, 第 6889933 号)は、堆肥温度を指標として微生物の活動状態を推定し、必要最小限の通気を行うことで好気条件を維持する。これにより、有機物分解を促進するとともに、過剰通気によるNH₃揮散や送風機の電力消費を抑制できる。

堆肥加温システム(特開 2023-183933)は、寒冷地の冬季においても、発酵を促進させるシステムである。堆肥内部に直接 70 °C 以上の熱風を供給し、微生物活性を刺激する。氷点下 20 °C 以下の環境でも発酵の停滞を防ぎ、年間を通じて安定した堆肥生産を可能にする。筆者らの導入試験(宮竹ら, 2025)では、初期発酵に要する日数が 23 日間から 6 日間に短縮され(図 6)、寒冷地域における堆肥化管理の大幅な効率化が示確認された。

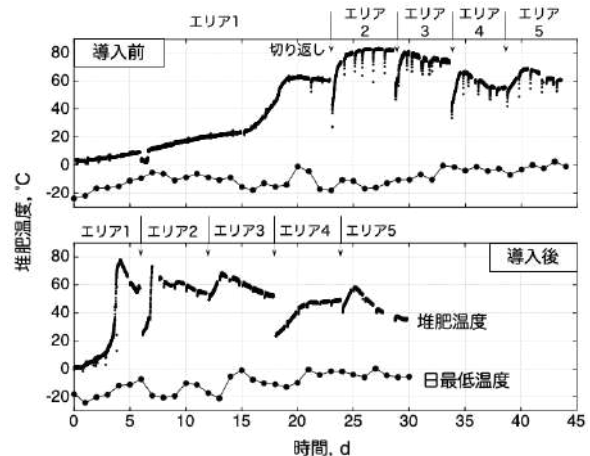


図6 堆肥加温システムの導入前後の堆肥温度

発酵診断システム(特願 2024-047576)は、堆肥化の初期発酵の良否を自動的に評価・判定する。水分過多や通気不足、発酵停滞といった問題を早期に検出し、管理者に対して具体的な対応指針を提示することで、作業者の経験や勘に頼らなくても、誰でも良質な堆肥を安定して生産をできる管理を可能にする。

温度測定システム(特許第 6910606 号)は、堆肥内部の温度を連続的に測定し、発酵の進行状況を客観的に把握するための基礎データを提供します。これらのデータは、通気量自動制御システムや発酵診断システムにも活用され、システム全体の高度な自動制御を支えています。

このように、堆肥化ロボットは、研究で明らかにされた最適条件を現場で再現し、職人的な経験や勘に依存しない堆肥生産を可能にする技術である。すでに国内複数の施設で稼働しており、良質堆肥の安定供給、環境負荷の低減、作業負担の軽減を同時に達成する中核技術として、今後の持続可能な畜産・農業を支える役割が期待される。

今後の展望

今後は、熟練者の経験や勘に依存しない「自律型堆肥化システム」の実現を目指している。現在、内閣府「地方大学・地域産業創生交付金」(十勝型フードシステムの形成-農畜産と食品加工の連携による価値創出-)の一環として、家畜ふん尿を対象に、リアルタイムモニタリングと自動制御を組み合わせた次世代堆肥化ロボットの研究開発を進めており、本研究は現在も継続中である。

本システムは、温度センサや発酵診断技術により堆肥内部の状態を常時監視し、そのデータに基づく制御アルゴリズムによって繰り返し、通気量制御、堆肥加温を自動実行することを目指している。自律型堆肥化ロボット・システムの実用化が進めば、人手不足への対応や作業負担の大幅な軽減に加え、地域差や熟練度に左右されない安定した良質堆肥の生産が可能となり、持続可能な畜産・農業を支える基盤技術としての展開が期待される。今後は実証試験と地域展開を通じて社会実装を加速させるとともに、データの蓄積により制御の高度化を進め、より高精度で自律的な堆肥化システムの確立を目指す。

謝辞

この度の日本農業工学会賞の受賞に際し、格別のご高配を賜りました農業施設学会会長の田中史彦先生をはじめ、学会役員および関係者の皆様に謹んで御礼申し上げます。また、研究の遂行にあたり、終始ご指導とご支援を賜りました諸先生方・研究者の皆様、ならびに研究室の卒業生・在学生の皆様に深く感謝申し上げます。さらに、システム開発および実証試験の実施において多大なるご協力をいただいた共同研究者の有限会社岡本製作所、十勝農協連湧洞牧場をはじめ、多くの牧場・農場関係者の皆様に心より御礼申し上げます。

引用文献

- 宮竹史仁・岩渕和則(2003):牛ふん堆肥化反応に関わる微生物群の活性化温度-比増殖速度の温度依存性-, 農業機械学会誌, 65(2), 101-105.
- Mityatake, F. and Iwabuchi, K. (2005a): Effect of high compost temperature on enzymatic activity and species diversity of culturable bacteria in cattle manure compost, *Bioresource Technology*, 96(16), 1821-1825.
- Mityatake, F. and Iwabuchi, K. (2005b): Effect of compost temperature on oxygen uptake rate, specific growth rate and enzymatic activity of microorganisms in dairy cattle manure, *Bioresource Technology*, 97(7), 961-965.
- 宮竹史仁・岩渕和則・阿部佳之・本田善文(2007):高い材料水分が堆肥温度および微生物活性に及ぼす影響, 農業機械学会誌, 69(2), 48-54.

- 宮竹史仁・岩渕和則・阿部佳之・本田善文(2008a):種堆肥の混合が家畜ふん堆肥化の初期過程に及ぼす影響-温度上昇に関わる微生物活性と材料 pH の検討-, 農業機械学会誌, 70(2), 97-103.
- 宮竹史仁・阿部佳之・本田善文・岩渕和則(2008b):吸引通気式堆肥化の初期反応特性-通気量, 含水率が微生物活性に及ぼす影響-, 農業施設, 39(1), 33-40.
- 宮竹史仁・阿部佳之・本田善文・岩渕和則・谷昌幸・加藤拓(2010):異なる副資材の混合が乳牛ふん堆肥化の温度、酸素消費速度、アンモニアガス濃度および堆肥成分に及ぼす影響, 農業施設, 41(3), 111-117.
- 宮竹史仁・久保田峻野・谷昌幸・加藤拓・岩渕和則・前田武己・前田高輝(2011):乳牛ふんの含水率が堆肥化初期過程の一酸化二窒素およびメタンの排出速度に及ぼす影響, 農業施設, 42(1), 18-25.
- 宮竹史仁・鈴木康浩・谷昌幸・加藤拓・前田高輝・前田武己・岩渕和則(2012):戻し堆肥の混合が堆肥化初期過程の一酸化二窒素(N₂O)排出速度に及ぼす影響, 農業施設, 43(1・2), 41-48.
- 宮竹史仁(2015):堆肥化施設の苦悩と現場ニーズに対応したシステム開発, 環境バイオテクノロジー学会誌, 15(1), 9-16.
- 宮竹史仁・時久夏実・小野武仁(2018):戻し堆肥の混合量が豚ふんの堆肥化反応、堆肥品質および施設運営に及ぼす影響, 農業施設, 49(3), 127-135.
- 宮竹史仁(2022a):時間変動型 ON/OFF 制御による間欠通気式の堆肥化技術の開発(第1報)-乳牛ふん堆肥化の初期過程における温度変化とメタン, 一酸化二窒素, アンモニア排出に及ぼす影響-, 農業施設, 53(3), 57-66.
- 宮竹史仁(2022b):時間変動型 ON/OFF 制御による間欠通気式の堆肥化技術の開発(第2報)-実証試験におけるシステムの有効性と消費電力量の削減効果-, 農業施設, 53(4)号, 100-104.
- 渡邊琴羽・宮竹史仁(2023):バイオ炭を混合した乳牛ふんの堆肥化反応特性-国内で市販されている「もみ殻くん炭」, 「竹炭」, 「粒状木炭」の混合が一酸化二窒素, メタン, アンモニア排出に及ぼす影響-, 農業施設, 54(3), 70-80.
- 宮竹史仁・倉富彩南・岡本壮一(2025):冬季の堆肥化を支援する堆肥加温システムの開発, 農業施設, 56(1), 1-6.

[特許]

- 宮竹史仁(2014):堆肥製造方法および装置, 特許第 5565773 号.
- 宮竹史仁(2021):堆肥製造装置、堆肥製造方法、及びプログラム, 特許第 6889933 号.
- 宮竹史仁, 岡本壮一(2021):温度測定装置及び堆肥製造装置, 特許第 6910606 号.
- 宮竹史仁, 岡本壮一(2023):粒状物運搬用クレーン, 特開 2023-037265.
- 岡本壮一, 宮竹史仁(2023):堆肥加温装置および堆肥加温システム, 特開 2023-183933.
- 宮竹史仁, 岡本壮一(2024):堆肥化診断装置、堆肥化診断システム、堆肥化診断方法及びプログラム, 特願 2024-047576.

農業情報の計測・評価・利用に関する研究

岡安 崇史

九州大学大学院農学研究院

要旨

著者らは、我が国の農業が抱える課題を解決するため、ICT や AI を駆使したデータ駆動型農業に関する研究に取り組んできた。具体的には、環境情報の計測から植物フェノタイピング、植物の生育状態を反映した環境制御システムの開発、さらには技術の社会実装を担う人材育成に至るまで、包括的な研究を展開している。まず、簡易圃場環境計測装置を開発し、計測した環境データの栽培管理への利用はもとより、同データへ変化点分析を適用することで、農作業や装置の動作履歴に伴う環境変化を自動的に抽出する手法を確立した。次に、インターネットを介した環境制御システムを構築し、遠隔制御の実用性を実証した。また、植物フェノタイピング用の計測ロボットを開発し、深層学習や 3D 再構成技術を用いて、対象植物の生育特徴量を高精度に抽出することに成功している。今後は、抽出した植物の生育情報を環境制御に統合可能な UECS プラットフォームを活用し、より自律的な環境制御の実現を目指す。併せて、これらの技術を広く普及拡大させるべく、プログラミングやロボット製作などの実践的なハンズオン教育を通じ、次世代の専門人材育成にも注力していく。

キーワード

緒言

我が国農業は農家の高齢化や担い手の不足、猛暑や豪雨などの異常気象への対応など等の様々な課題に直面している。これらの課題解決のため、国は農業の大規模化や省力化を目的に、ICT や AI などを駆使したデータ駆動型農業への大転換を進めている。最終的には、農業生産から農産物の流通さらには消費に至るまでの工程を情報で繋ぐデータ駆動型フードサプライシステムの構築を目指している。

一方、植物の成長には遺伝子が大きく関与している。遺伝子型が同じでも、植物の形態的形質下、形質と略称)は、栽培環境や農作業などによって多様に変化する。植物形質の環境応答性を計測・定量化する技術や研究を植物フェノタイピングと称する。植物形質の計測はこれまでは人手によって行われてきたが、近年ではコンピュータ技術や AI など著しい発展を背景に、高速かつ網羅的に行うための技術も国内外で精力的に研究されている(例えば、Costa et al., 2019; 伊藤ら, 2021)。同技術はデータ駆動型農業の実践や普及・拡大にも不可欠である。

他方、施設園芸では、施設内環境や植物の成長に合わせた適時かつ適当な栽培管理の実施が求められる。植物の生育状態を適切に評価できれば、環境調節の高度化や栽培管理の改善に繋がる。ICT の発展はその実現に寄与するものと期待される。

著者らは、上述のようなデータ駆動型農業に利用可能な技術ならびに理論的設計・開発に加えて、これらの利用や普及拡大を担う専門人材の育成に資する教育研究を行ってきた。本稿では、その一端を紹介させていただく。

環境情報の計測・解析・利用

図 1 に著者らが開発した簡易圃場環境計測装置(岡安ら, 2013; Okayasu et al., 2017)の構成を示す。本装置は、温湿度、日射量、二酸化炭素濃度(以下、CO₂濃度と略称)等の各種センサ、計測通信ボックスから構成された。同装置を園芸施設内外に各 1 台ずつ設置後、インターネットに接続した。環境の計測は一定時間間隔で行い、計測デー

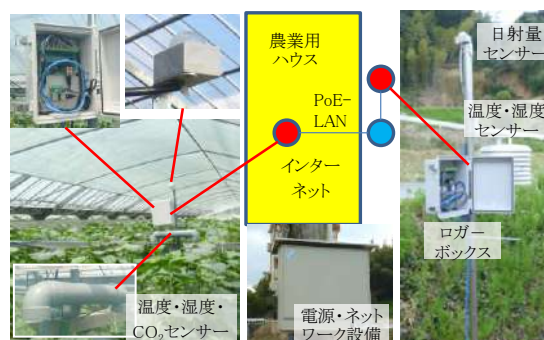


図 1 簡易圃場環境計測装置

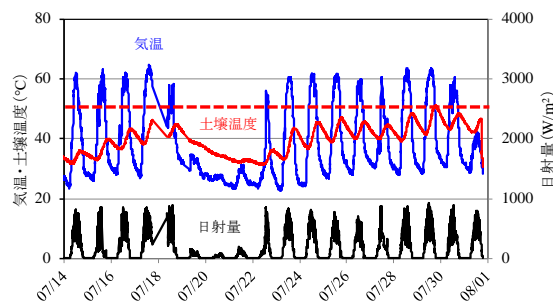


図 2 土壌消毒への応用

タはサーバ上のデータベースに保存されるようにした。同データはPCやスマホなどで参照可能で、日々の栽培管理に利用できるようにした。図2は土壌熱消毒への応用の一例で、土中温度を確認しながら、土壌の消毒完了時期の判断が適切に行えている様子を示した。

一方、栽培期間中の環境は、大気の状態、植物の生理生態的反応、機械の故障や人為的ミスによる装置の誤動作、農作業の実施等によって絶えず変化している。このような環境の変動要因を自動的に抽出することができれば、栽培環境の評価や装置・機械の異常診断などへの応用が可能である。そこで、計測した環境データに対して変化点分析法を適用し、環境変化の原因特定がどの程度可能かを調べた(岡安ら, 2013)。

図3に施設内で計測されたCO₂濃度に対する変化点分析の結果と、表1にその期間内の農作業履歴を示す。本図から、日中は植物の光合成や窓の換気動作によって、夜間は植物、微生物等の呼吸や暖房の動作によって、施設内のCO₂濃度が周期的に変動する様子が確認できた一

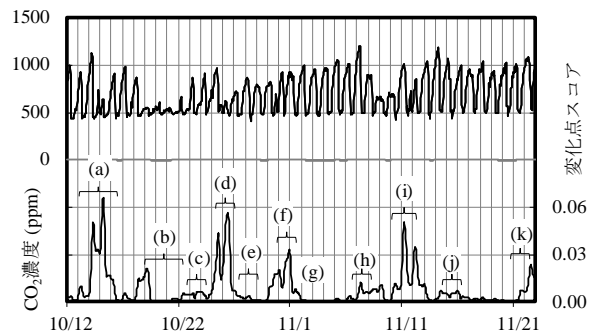


図3 CO₂濃度に対する変化点分析の結果
(上段: CO₂濃度, 下段: 変化点スコア)

表1 園芸施設内での農作業履歴

日付	作業内容	備考
10/13	葉面散布, 摘芯	(a)
10/19	窓開閉装置電源 OFF	(b)
10/22	葉面散布, 誘引	(c)
10/26	摘葉, 摘芯, 追肥	(d)
10/27	液肥灌水	(e)
10/29	液肥灌水	(f)
11/02	収穫開始, 摘芯	(g)
11/06	葉面散布	(h)
11/11	暖房開始	(i)
11/15	農作業記録無	(j)
11/22	農作業記録無	(k)

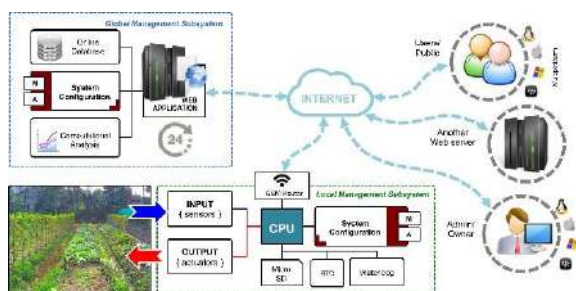


図4 簡易環境計測制御システムの一例

方、CO₂濃度の高低やグラフの形状は日々異なっていた。変化点分析法の適用により複数の変化点が自動検出されており、それらの多くは農作業の内容や装置の動作履歴などに関連している事実を明らかにした。このことは、変化点分析法が環境データの評価や異常値診断に利用できる可能性を示した。

環境計測から環境計測制御へ

図4に開発した簡易環境計測制御システム(Nugroho et al., 2016)を示す。本システムは圃場内(ローカル)とサーバ内(グローバル)の2つのサブシステムに大別される。ローカルシステムは、マイコンボード(Arduino UNO)、各種センサ、ネットワーク機器およびリレーユニットから構成された。センサで計測した環境データによってリレーユニットを動作させることで、環境制御装置を行う仕組みとした。

一方、グローバルシステムは、データベースとWebアプリから構成された。ローカルシステムの設定は全てデータベース上に保存され、それらを変更するとローカルシステムの設定条件を変更できるようにした。実証実験を行った結果、インターネットを介して環境制御が可能であることを示した。本システムは、Nugroho氏を中心にインドネシアで

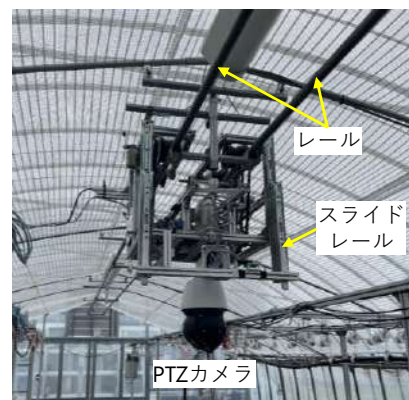


図5 植物フェノタイピングロボット

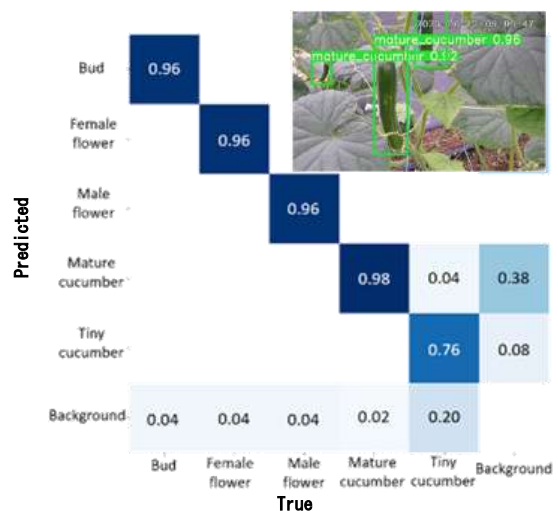


図6 深層学習によるキュウリ植物の生育特徴量の抽出

の実用化研究にも活用されている。また、本研究の経験と成果は、後述する国産・オープンソースのユビキタス環境制御システム(Ubiquitous Environment Control System, 以下 UECS と略称)の有用性や拡張性の理解にも大いに役立つものとなった。

植物フェノタイピングの導入

図 5 は植物フェノタイピング用に開発した計測ロボットを(Pham at al., 2024a, b)示す。本ロボットは、レール上に複数配置したマーカをカメラで読み取ることによって計測位置の特定と画像撮影方法の変更が可能で、定時刻計測と常時計測の2つのモードで比較的長期間(成長診断)と短期間(萎れ等の異常診断)の植物形質を計測・評価する機能を有する。

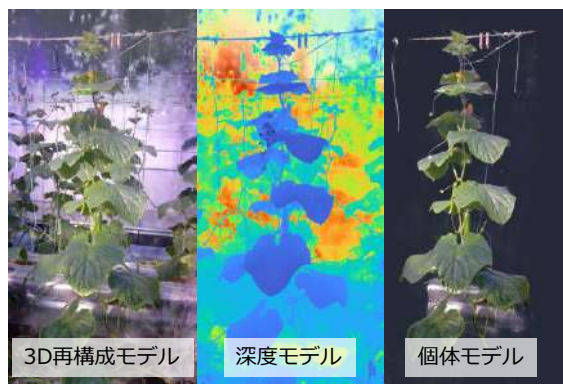
図 6 に深層学習を用いたキュウリ植物の生育特徴量の検出結果を示す。生育特徴量の検出には物体検出モデルとして広く利用されているYOLOv8s(現在はYOLOv11を利用)を用いた。本結果から、PTZ(パン・チルト・ズーム)カメラを用いた画像解像度の自動調節によって、成長点、花、果実等の植物部位が概ね検出できることを示した(Pham at al., 2024a)。

図 7 に多視点画像を用いた3D再構成モデル(Pham at al., 2025)を示す。本結果は3D Gaussian Splatting と呼ば

れる3Dモデル再構成手法を用いて生成した。具体的には、SfM(Structure from Motion)によりカメラ撮影の位置と角度を取得し、その情報と撮影画像を用いて、機械学習により入力画像との誤差を最小化するように各画像を合成し、高精度な3Dモデルを再構成した。同モデルは深度情報を含むため、背景除去による対象植物個体のみを取得や各種生育特徴量(節間長、果実や葉の大きさ等)の抽出が可能であった。特に、生育特徴量の抽出精度は、基準マーカによるスケール変換を行うことで、人手による計測とほぼ同程度の精度であることを明らかにした。

データ駆動型施設園芸への展開

図 8 は植物センシング情報を導入したUECSプラットフォームの概要を示す。UECSにおいては、環境計測・制御装置(ノードと称する)はいずれもネットワークで相互に接続される。各ノードは、互いにUECS-CCM(Common Correspondence Message)と称される共通プロトコルを使って通信することで、複雑な条件下での環境制御が行える特徴がある。これだけでは既存の複合環境制御システムと同等の機能であるが、UECSでは新たなノードを同一ネットワーク上に適宜追加できる特徴がある。筆者らは、この特徴を用いて、植物生育フェノタイピングで得られた生育特徴量を定期的に発信する植物生育状態観測ノードの開発を進めている。同ノードからの植物生育情報に基づいて環



(a) 3D Gaussian Splatting で再構成された3Dモデル



(b) 3Dモデルからの特徴量抽出

図7 多視点画像を用いた3Dモデルの生成

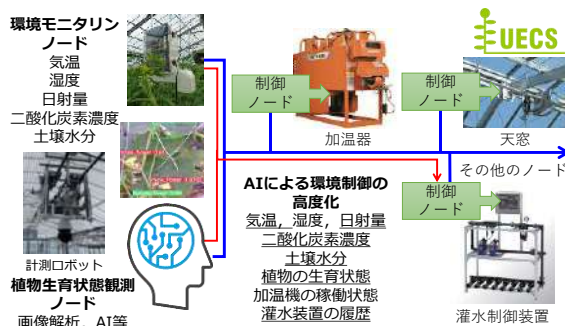


図8 UECS環境制御プラットフォームの概要

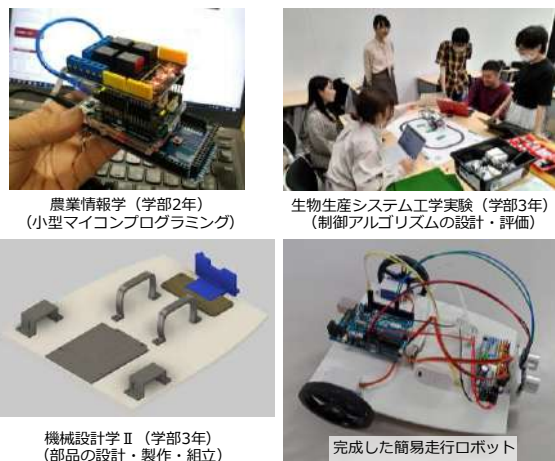


図9

境制御ノードの設定パラメータが自動調整されるようになれば、条件入力作業の省力化が実現されるはずである。現状では、花数、着果数、葉の萎れ等、葉面積等を発報できるノード開発を進めている。これらの情報は灌水装置やカーテンなどの制御に利用可能である。

データ駆動型農業の社会実装・普及を担う人材の育成

前述した技術が完成すれば、園芸施設内の環境調整の高度化や栽培管理の改善が実現されると考える。しかし、たとえ良い技術が開発できたとしても、それらを適切に利用できなければ意味をなさない。したがって、技術の利用・普及には、情報を適切にハンドリング(計測・処理、評価・解析、可視化等)するための知識や技術も必要となる。

筆者らは、データ駆動型施設園芸(農業)の社会実装・普及を担う人材の育成のため、当該分野の教育内容を改訂した(岡安, 2022)。農業情報学(学部 2 年)では、農業生産に関わる情報の計測、収集および利用方法を学ぶことを目的に、センサや機器制御などの小型コンピュータプログラミングをハンズオン学習できるようにした。受講生からは計測や制御などの仕組みの理解が深まったとの感想が得られた一方、プログラミングが難しいといった意見もあった。機械設計学(学部 3 年)では、3D CAD を用いた機械部品の設計から簡易走行ロボットの製作までの一連の流れを体験・学習できる講義内容とした。ロボットの設計・製作では、材料力学の内容も意識させることで、モノづくりのプロセスを理解できたと同時に、発想力や応用力の向上にも一定の効果があったと考える。AI をはじめとするデジタル技術の発展によって、これまでの知識詰め込み型の教育はオンデマンド方式に移行する意見も出始めている。それに代わって、上記のような学生が体験をしながら学習するハンズオン型の教育を増やす動きも始まっているように感じる。両者の利点を生かした教育の改善に取り組んでいきたいと考える。

今後の展望

本稿では、著者らが取り組んできた一連のデータ駆動型農業研究の内容について紹介させていただいた。農業におけるデジタル技術の活用は、農業特有の「不確実性」を定量化し、生産コストの削減や生産性の向上に一定の効果をもたせると判断される。このような DX(デジタルトランスフォーメーション)の農業への実装は、生産現場の改革に留まらず、流通・加工、そして消費市場に至るフードシステム全体の最適化に繋がっていくものと予想される。我々のデータ駆動型農業に関わる研究の実践が、持続可能な農業生産システムの実現、ひいては強靱な社会システムの構築に資する一助となれば幸いである。今後も微力ながら、次世代農業の発展に貢献するべく、教育研究に尽力し

たいと考えている。

謝辞

今回の受賞に際し、格別のご配慮を賜りました農業情報学会会長の星 岳彦先生をはじめ、副会長ならびに役員の方々に厚く感謝の意を表します。関連研究の実施に際しても、国内外の研究者、技術者、さらには、研究室の皆さまや卒業生に多大なご協力をいただきました。ここに記して、改めまして厚く御礼申し上げます。

引用文献

- Costa C, Ulrich S, Francesco L, Paolo M, Sebastien C (2019) Plant phenotyping research trends, a science mapping approach. *frontiers in plant science*. 9-1933: doi:10.3389/fpls.2018.01933.
- 伊藤次郎, 岡安崇史, 野村浩一, 安武大輔, 岩尾忠重, 尾崎行生, 井上英二, 平井康丸, 光岡宗司(2021)低コスト IoT デバイスを用いた植物フェノタイピングロボットの開発とその性能評価. *農業情報研究*. 30:13-23.
- Nugroho AP, Okayasu T, Hoshi T, Inoue E, Hirai Y, Mitsuoka M, Sutiarsa L (2016) Development of a remote environmental monitoring and control framework for tropical horticulture and verification of its validity under unstable network connection in rural area. *Computers and Electronics in Agriculture*. 124: 325-339.
- 岡安崇史(2022)スマート農業の研究事例からみる数理・データサイエンス教育の必要性. *オペレーションズリサーチ*. 67:586-593.
- Okayasu T, Nugroho AP, Arita D, Yoshinaga T, Hashimoto Y, Taniguchi R. (2017) Sensing and visualization in agriculture with affordable smart devices. *Smart Sensors at the IoT Frontier*. Springer. doi.org/10.1007/978-3-319-55345-0_12
- 岡安崇史, Nugroho AP, 尾崎彰則, 光岡宗司, 南石晃明, 井上英二, 平井康丸(2013)変化点分析法を用いた圃場環境情報の特徴量抽出とその妥当性の検証. *農業情報研究*. 22: 174-182.
- Pham DT, Amin NA, Yasutake D, Hirai Y, Ozaki T, Koga M, Hidaka K, Kitano M, Vo HB, Okayasu T (2024a) Development of plant phenotyping system using Pan Tilt Zoom camera and verification of its validity. *Computers and Electronics in Agriculture*. 227: 109579.
- Pham, DT, Iwakuma T, Jiang Z, Sar S, Yasutake D, Ozaki T, Koga M, Hirai Y, Mitsuoka M, Mamun MRA, Nomura K, Vo HB, Okayasu T (2025) High-throughput 3D reconstruction of plants and its application to plant feature segmentation. *Smart Agricultural Technology*. 12: 101063.
- Pham DT, Okayasu T, Yasutake D, Hirai Y, Ozaki T, Koga M, Hidaka K, Nomura K, Vo HB (2024b) Enhancing image quality Assessment in Plant Phenotyping Robots. *Agricultural Information Research*. 33: 97-108.

低コスト RTK-GNSS による小型農業ロボットの自律走行制御

海津 裕

東京大学大学院農学生命科学研究科

要旨

低コスト RTK-GNSS と IMU を用いた小型農業ロボットの自律走行技術について述べる。近年、安価な GNSS 受信機の普及により、従来は高価であった高精度測位が容易に利用可能となり、自動運転技術の小型農業ロボットへの実装が現実的となった。本研究では、この技術を草刈機および水草刈りロボットに適用し、数 cm レベルの位置精度と安定した方位推定を実現した。特に、複数 GNSS を用いた方位推定により IMU のドリフト問題を抑制した。また、傾斜地や水草が高密度に繁茂した環境においても安定した走行が可能であり、低コストで高精度な自律作業システムの有効性を示した。さらに、本手法は農業分野のみならず自然環境管理分野への応用可能性も有する。

キーワード

低コスト GNSS, RTK, 繰り返し作業, 雑草, 水草

緒言

GPS(Global Positioning System: 全地球測位システム)もしくは GNSS(Global Navigation Satellite System)による位置計測手法は標高や地理座標の測量のような静的な計測のみならず、車両や飛行体の動的な位置計測や制御にも広く用いられるようになった。特に屋外における RTK(Real Time Kinematic)測位は、数 cm の精度でリアルタイムでの計測が行えるため、精密な制御が要求される自動運転の分野において、キーテクノロジーの一つとされている。従来は、受信機の価格が1台数百万円と高価であり、ロボットのセンサーとしての利用は研究レベルにとどまっていた。その一方で、ここ数年の間に、従来の受信機とほぼ同様な性能を有する数千円から数万円で入手可能な RTK-GNSS 受信機が各社より販売されている。これによりドローンや農業機械への実装が現実のものとなった。また、RTK-GNSS の特徴として、複数台を移動体に取り付けることで、機体の方位を地磁気と比較して安定的に計測できるというものがある。移動体の自動制御において、方位(ヘディング)の精度は非常に重要である。しかし、これは、GNSS 受信機が安価でないことと実現しにくい機能である。以下に我々が取り組んでいる小型屋外用ロボットについて紹介する。

各種の GNSS について

一般的に、GPS として知られる、衛星測位システムが、農業機械の自動走行に多く用いられている(海津, 2025)。GPS は、米国によって開発されたシステムであり、それ以外に、ロシアの GLONASS、欧州のガリレオ、中国の Beidou(北斗)、日本の準天頂衛星システムであるみちびきなどを総称して、GNSS と呼ぶ。通常販売されている GNSS 受信機は、これらの複数の衛星システムに対応しており、ユーザーがその違いを意識することはない。衛星は地上高度 2 万 km 前後に配置されている。

GNSS を用いた測位は、基本的に、時々刻々変化する複数の衛星の位置と、距離から、受信機の位置を推定す

る。その方法には大きく分けて、単独測位と相対測位がある。表 1 に、GNSS の測位方式やユーザーが基準局を準備する必要があるか、そしてそれぞれの方式の測位精度の違いを示す。単独測位は、1 か所のみで測定を行う方式で、基準局が不要だが精度が低い。そのため自動走行に用いられることはない。それに対して、相対測位と呼ばれる方式では、地上の場所がわかっている場所で同時に計測を行い、GNSS 電波の誤差の推定を行う。これにより得られた各衛星からの誤差情報を使用者の受信機に送信することで、測位精度を向上させる。その精度は DGPS で、数 m、RTK(リアルタイムキネマティック)で数 cm となっている。以前は、コストの問題で、DGPS を使ったガイダンスシステムも見られたが、現在では RTK を使ったものが主流となっている。

表1 GNSS の測位方法の違い

呼称	測位方式	ユーザー 基準局	測位精度
単独測位	コード位相	不要	5-10m
DGPS(相対測位)	コード位相	不要	50 cm-5m
RTK(リアルタイム キネマティック)	搬送波位相	必要・不 要	2-3 cm
CLAS(センチメータ 級測位補強サ ービス)	搬送波位相	不要	10 cm
PPP(精密単独測 位)	搬送波位相	不要	数cm-数 10 cm

また、今後利用が増えてくると考えられるのが CLAS(センチメータ級測位補強サービス)と PPP(精密単独測位)である。CLAS は、日本のみちびきが提供しているサービスで、衛星から補正データが送信されるものである。日本国内においてはネットワーク環境の無い場所でも 10 cm程度

の精度で使用できることや、ユーザーは基準局を準備する必要がないといった特徴を有している。今後より低価格化が望まれる分野での応用が期待されている。

草刈機の自動走行・水草刈りロボットボートの自動航行

稲の栽培においては、耕起や代掻き、田植、収穫など圃場内の作業は全て乗用の機械によって省力的かつ効率的に行えるようになり、労働時間が劇的に減少した。その一方で、畦畔の草刈りは、刈り払い機や手押し式のモーターがあるものの、シーズン中に複数回行わなければならないこと、特に夏場の作業が重労働であることから、農業者から最も技術革新が望まれている作業と言える。

そこで我々は、水田の周囲の畦畔や、水田を区切る中畔上を走行する、小型自動草刈機の開発研究を民間会社と共同で行ってきた。

さらに、この草刈機の自動走行の技術を利用し、水草の繁茂が問題となっている湖沼での、水草の刈り払いを行うロボットボートの開発を、環境省や地方自治体と共同で行ってきた。

低コスト 1 周波 RTK-GNSS と低コスト IMU による自動走行

研究当初、低コストの RTK 受信機として、入手可能だった 1 周波のタイプを用いた(海津ら, 2018)。1 周波のタイプは、2 周波と比較して、FIX(精度の高い状態)解が得られるまでの時間が長いという欠点があったが、当時、1 周波でも 100 万円程度の価格だったものが数万円で購入できるということで、草刈機の位置センサーとして用いることにした。また、方位を計測するためのセンサーとして、こちらも低価格な MEMS(Microelectromechanical Systems)式の IMU(Inertial Measurement Unit)を採用した。これは、ベースとなる草刈機本体の価格が数十万円から 100 万円程度と大型の農業機械と比べると安価であり、自動制御部分を追加することで大幅な価格上昇を起すことを防ぐためであった。図 1 に、開発した草刈機の外観を示す。

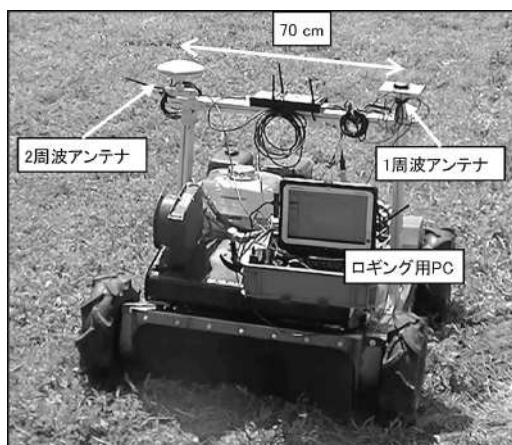


図 1 自動走行草刈機の外観 (海津ら, 2018 より転載)

実験としては、まず、供試受信機の位置測定精度を測量用の 2 周波 RTK 受信機と比較した。その結果、走行中であっても、1 周波 RTK-GNSS 受信機と 2 周波 RTK-GNSS 受信機の測位結果の差は、0.8 cm となり、1 周波受信機の有用性が示された。

次に、これらの低コストセンサーを使って草刈機の自動走行を試みた。IMU によって計測された方位は、振動により誤差が蓄積するため、横方向偏差が増大するという問題がある。そこで、横方向偏差が生じた際に、方位を修正する方法を試み、ドリフト誤差の蓄積を抑えることに成功した。直線の往復刈を自動で行わせた結果、方位計測誤差は、 0.9° 、直線経路に対する横方向偏差と方位角誤差は 2.5 cm と 2.2° となり、草刈り機の自動走行としては十分な精度が得られた。

GNSS コンパスの利用

前述の実験では、低価格の IMU を用いたが、このセンサーは、ヨー方向の測定に角速度を計測するジャイロセンサーを用いていることで、静止していても、徐々に方位の推定値がずれていってしまうという問題がある(ジャイロドリフト)。この問題を解決するための方法としては、地磁気を利用するものや、GNSS による車体の移動情報を利用するものがある(センサーフュージョン)。しかし、地磁気は微弱なため、周囲の磁性体による攪乱が起き、誤差が生じてしまうという問題がある。また、GNSS の情報を使う方法では、動いていないと誤差が補正できないという問題がある。この問題を解決するために、2 個の低価格 1 周波 RTK-GNSS 受信機を用いて、方位を計測し自動走行を行う実験を行った(五十嵐ら, 2020)。

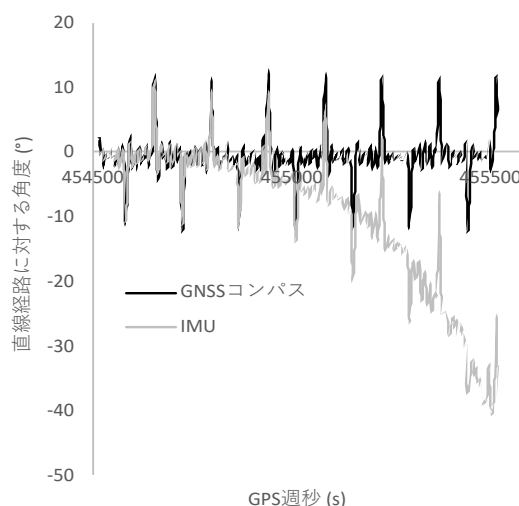


図 2 方位計測値の推移 (五十嵐ら, 2020 より転載)

船舶に用いられる市販の GNSS コンパスとの静止状態での比較を行ったところ、誤差は 0.42° に収まった。自動走行の精度として、設定経路に対する横方向誤差は 2.4 cm,

方位角誤差は 2.1° という結果が得られた。図 2 に、試作した GNSS コンパスと、IMU の方位推定の比較を示す。並行した経路を走行しているが、IMU では徐々にずれていくことがわかる。また、この論文では、走行経路の設定に、ドローンの制御に用いられるオープンソフトウェアの管制ソフトを用い、使い勝手の向上を図った。

傾斜地へ GNSS の対応

これまでの実験では、平地を対象としたが、現場からより望まれているのは、傾斜した畦畔法面における自動走行である。一般に、GNSS アンテナは、水平な状態で使用することが推奨されている。時として、 45° にもなる畦畔法面での、GNSS による測位や方位計測が可能なのかについて検討を行った (Igarashi et al., 2022)。

我々は図 3 のような、実験装置を開発した。この装置では、ロールピッチをそれぞれ 60° まで、ヨーは 360° 任意の角度に自動で設定することができる。これを使い、傾斜に対する方位計測の精度への影響を調べた。

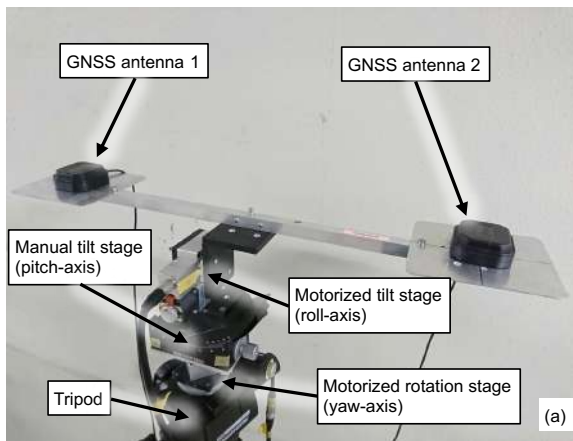


図 3 低コスト 2 周波 RTK-GNSS コンパス評価システム

(Igarashi et al., 2022 より転載)

その結果、図 4 に示すように、ロール、ピッチ角が大きくなるにしたがって、方位計測の誤差が大きくなる傾向がみられたが、それぞれの組み合わせが 45° までは、 1.5° 程度と、一定の精度に収まることがわかった。一方で 60° になると誤差が急に大きくなった。実際の現場では、上空が樹木や建物に覆われていないという条件が必要であるが、草刈機の走行限界とも言える傾斜 45° での、方位計測が可能であることがわかった点は、実用上の意義がある。

また、このシステムを取り付けた草刈機を使って斜面で自動走行させる実験を行なった。傾斜 25° のため池の法面の等高線に沿った自動走行を行った結果、斜面の上から下に走行した場合で 7.2 cm 、下から上に走行した場合でも、 6.6 cm の横方向誤差での走行が可能であることが明らかとなった。

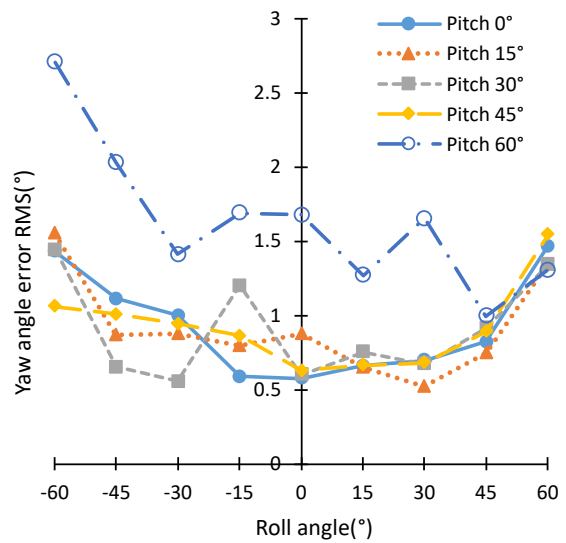


図 4 試作 GNSS コンパスの各傾斜角度における精度

(Igarashi et al., 2022 より転載)

水草刈り払いロボットボートの自動航行

現在、至るところで、湖沼や河川における水草の繁茂が問題となっている。その原因は、外来植物の侵入や富栄養化、農地での除草剤の使用が減っていること、治水により洪水が生じにくくなっていることなどが挙げられる。その対策としては、ボランティアによる手作業での刈り払いや、大型機械による刈り取りといったものがある。しかしながら、前者は重労働かつ非効率的であり、継続的な管理維持が困難である。また、後者は、多額のコストがかかるため限られた場所でしか行えないといった課題がある。そこで、我々はこの間を埋めるべく、小型のボートに刈り払い用のカッターを取り付け、高頻度で自動航行による刈り払いを行う試みを行ってきた (Kaizu et al., 2021)。この自動航行には、これまで草刈機で培った自動走行の技術を応用している。

図 5 に、ロボットボートの外観を示す。ボート前方に取り付けられた横と縦のカッターは刈り払いする時は水中に沈められ、水草の水中の茎を切断する。また、このボートの最も特徴的な点は、その推進機構にある。水草が繁茂している中では、通常の船のプロペラは、水草が絡まってしまい航行不能となるが、このボートは、左右にモーターとリンクによって構成されているパドル駆動装置があり、これによって前進、後進、旋回を可能とする。また、ボートが岸や操縦者から離れて稼働することを想定して、ルート設定や現在位置の把握などは、携帯電話回線で行えるようにした。図 5 では、方位計測と、位置計測用の GNSS アンテナは別になっているが、現在では、2つの低価格 2 周波 RTK-GNSS 受信機によって、方位計測と、位置計測を行なっている。

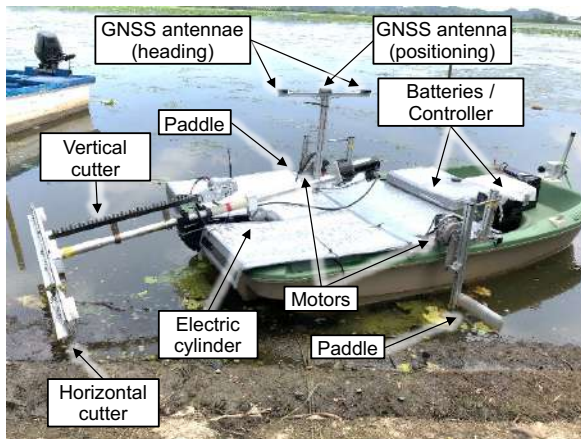


図5 水草刈り払いロボットボートの外観 (Kaizu et al., 2021 より転載)

このロボットボートの開発コンセプトは、1) 水草を初期の成長段階である早い時期に刈り払うことで、繁茂を抑制し、最もコストがかかる回収の手間を省くこと、2) 適期に刈り払うことで、翌年度以降の繁茂を抑えることである。1) を実現するためには、抜けのない正確な航行が求められる。ハスを対象とした実験では、ハスの密度が低い7月では経路に対する誤差が、5.2 cm、密度が最も濃い9月でも9.4 cmとなり、十分な航行精度が得られることがわかった。また、時期については、ハスが翌年度のための根茎(レンコン)を作り出す時期である9月初旬に刈り払うことで、翌年の成長を抑えることが判明した。このように、単に、刈り払いの作業を行うだけではなく、GNSS を用いて正確に一定の領域を精密に自動的に刈り払いできることで、水草の新しい管理手法を提案できたことの意義は大きいと考えている。図6に、時期を変えて自動で刈り払いを行なった後の、衛星写真を示す。各プロットの大きさは20×50 mであり、精密な刈り払いが行えていることがわかる。

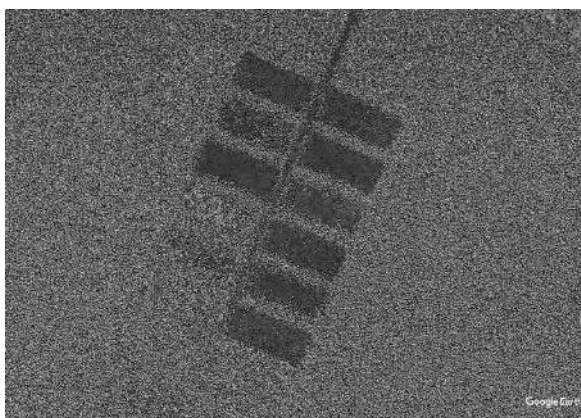


図6 ロボットボートによって正確にハスが刈り払われた宮城県伊豆沼の航空写真 (2018年9月19日 Google Earth Pro を用いて作成, © Google, Landsat/Copernicus)

今後の展望

我々はこれまで、小型農業ロボットや、ロボットボートのナビゲーションに適した、低価格な RTK-GNSS の活用を模索してきた。その一方で、人間に代わって作業することが求められる現場には、森の中や、果樹園、温室など、GNSS が適用できない場所も多数存在する。また、屋外であっても、障害物があると GNSS だけでは対処できない場面も多く存在する。

これらの場所に対しては、マシンビジョンや、LiDAR (Light Detection and Ranging), AI(Artificial Intelligence), SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)といった新しい技術を使うことを試みている。LiDAR-SLAM は、レーザーによって、周囲の対象物までの距離を計測し、マッピングや、自己位置推定を行う技術だが、用いられる 3D-LiDAR は、かつての RTK-GNSS のように、価格が高かった(100 万円超)。一方ここ数年で、急激に価格が低下している(最も安価なもので 10 万円程度)。今後は、これらの技術を取り組みながら、農業工学のさらなる発展に貢献する所存である。

謝辞

今回の受賞に際し、格別のご配慮を賜りました農業食料工学会会長の飯田訓久先生、事務局長の宮原佳彦様、そして研究を支えていただきました、東京大学名誉教授の芋生憲司先生、生物機械工学研究室の古橋賢一先生、五十嵐翔様、三陽機器の堤俊雄様、宮城県伊豆沼・内沼財団の嶋田哲郎様をはじめ関係の皆様様に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 五十嵐翔, 海津裕, 堤俊雄, 芋生 憲司(2020) 低コスト 1 周波 GNSS コンパスと RTK-GNSS を用いたロボット草刈機の自律走行制御システムの開発. 農業食料工学会誌. 82(6): 609-616.
- Igarashi, S., Kaizu, Y., Tsutsumi, T., Furuhashi, K., & Imou, K. (2022). Autonomous Driving Control of a Robotic Mower on Slopes Using a Low-Cost Two-Frequency GNSS Compass and an IMU. *J. of the ASABE*, 65(6): 1179–1189. <https://doi.org/10.13031/JA.15032>
- 海津裕, 堤俊雄, 五十嵐翔, 芋生憲司(2018) 低コスト1周波 RTK-GNSS と低コスト IMU を用いたロボット草刈機の自律走行制御システムの開発. 農業食料工学会誌. 80(5): 280-288.
- Kaizu, Y., Shimada, T., Takahashi, Y., Igarashi, S., Yamada, H., Furuhashi, K., & Imou, K. (2021). Development of a Small Electric Robot Boat for Mowing Aquatic Weeds. *Transactions of the ASABE*, 64(3), 1073–1082. <https://doi.org/10.13031/trans.14295>
- 海津裕(2025) 農業x自動運転の最前線. *アグリバイオ*. 9(14): 1147-1151.

農業水利施設の調査・点検及び性能評価に関する一連の研究

森 充広

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究部門 施設工学研究領域

要旨

農業生産を下支えする多種多様な農業水利施設は、受益面積 100ha 以上の基幹的施設だけでも総数 7,700 箇所以上、基幹的水路の延長は 5 万 km 以上にも及ぶ膨大なストックを形成している。本報では、これらの農業水利施設の機能・性能を維持していくストックマネジメントに関する研究成果を報告する。具体的には、水と長期間接触するという特殊な環境下でのコンクリートの劣化メカニズムの解明、農業水利施設の目視点検を効率化するための技術開発、既存コンクリート構造物を活用した補修・補強工法の開発、補修・補強工法の材料の耐久性を事前に評価するための技術開発に関する研究成果を報告し、重要インフラの老朽化問題に対する今後の戦略的なストックマネジメントへの対応について提起する。

キーワード

農業水利施設, スtockマネジメント, 機能診断, 補修・補強, 性能評価

緒言

農林水産省によると、これまでに整備されてきたダムや頭首工、用排水機場等の基幹的農業水利施設は、全国に 7,700 箇所あり、用排水路の延長は約 5 万 km にも及んでいる(農林水産省, 2025)。さらに、このうちの約 58%の農業水利施設は、既に標準的な耐用年数を経過するなど、老朽化が進行している。近年では、老朽化に起因する突発事故が増加傾向にあり、たとえば農業用パイプラインでは、令和 5 年度に 1,493 件の漏水事故が発生している。加えて、平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震、令和 6 年(2024 年)能登半島地震の巨大地震や、毎年のように発生する集中豪雨等による被災件数も増大している。こうした中、農林水産省では、四半世紀ぶりに食料・農業・農村基本法を制定するとともに、新基本法に基づく食料・農業・農村基本計画を策定した。この中では、農業水利施設の戦略的な保全管理、農業・農村の強靱化に向けた防災・減災対策を進めることとしており、農業水利施設の性能・機能を維持するためのストックマネジメントの重要性はさらに増している。

山陽新幹線で発生したトンネル覆工崩落事故等、重要インフラの老朽化問題を契機として、施設の維持管理に関する諸問題への対応を重点的に進めるため、2001 年に農業工学研究所(当時)は、施設機能研究室を新設した。筆者はその研究室に研究員として配属され、それ以降、行政部局と連携しながら、農業水利施設の調査・点検・耐久性評価等の機能診断技術の開発、さらに農業水利施設の性能を向上させるための補修・補強工法の開発等、施設の維持管理(ストックマネジメント)に関する研究開発を行ってきた。本稿では、これら一連の研究の成果と、現在取り組んでいる研究を紹介する。

水と長期間接触するコンクリート開水路の劣化メカニズム解明と調査技術の開発

コンクリートの劣化には、二酸化炭素による中性化、塩分による塩害、寒冷地における凍害などがあるが、農業水利施設特有の「流水に曝される環境」におけるコンクリートの劣化メカニズムや劣化予測等に関連する研究事例は少なかった。そこで、コンクリート開水路を対象として、長期間水と接触しているコンクリートの劣化メカニズム解明や、コンクリートの摩耗を定量化するための調査技術の開発に取り組んだ。

摩耗量を定量化するための技術として、レーザーを利用したレーザー摩耗測定装置(Fig. 1 左)を開発した。表面の凹凸状況を 0.1mm 間隔、0.01mm の精度で測定できる。また、表面が凹凸したコンクリート板を設置して水理実験を行い、レーザー摩耗測定装置で計測できる凹凸プロファイルのうち、「算術平均粗さ」から水理性能のひとつの指標である「粗度係数」を推定する経験式を求めた。さらに、アンカーピンなど摩耗しない標点を約 100mm 間隔で 2 箇所設置し、経年的にその標点間の凹凸状況を測定することにより、コンクリートや補修材料の経年的な摩耗量を定量的に調査できる技術を確立した。現在は、レーザー摩耗測定装置の代わりに、量販店で市販されている「型取りゲージ」を用い、画像解析によって簡易的に摩耗プロファイルを求め、算術平均粗さ、摩耗量を算定できる画像処理プログラムを公開している。専門的な知識がない方でも簡易に通水性能を評価することができる。さらに、摩耗によるコンクリート表面の凹凸状況を再現する水流摩耗試験機(Fig. 1 右)を開発した(森ら, 2004)。これは、新規開発した補修材料の耐摩耗性を評価する手法としても活用できる。

水と長期間接触するコンクリート開水路の劣化メカニズムを解明するため、EPMA (Electron Probe Micro Analyzer: 電子線マイクロアナライザー) を活用し、長期間供用されたコンクリート開水路から採取したコアの成分分析を行った。結果の一例を Fig. 2 に示す。長期間水と接触するコンクリート開水路では、通水表面から、コンクリート硬化体を形成する主要物質であるカルシウム成分が消失(溶脱)していることを明らかにした(森ら, 2009)。カルシウムが溶脱したモルタル供試体を電気泳動によって人為的に作製し、補修材料との付着強さを測定した結果、補修材料の品質管理として利用されている「付着強さ試験」では、基板コンクリートの溶脱範囲で引張破壊が生じ、みかけ上、付着強さが低下してしまうことを明らかにした。

農業用水路トンネルの調査・点検および補修・補強技術の開発

水路トンネルでは、覆工コンクリートの左右のスプリングラインに縦断方向のひび割れが見られる。ひび割れの発生メカニズムを解明するために、圧縮強度 5N/mm² 程度の低強度モルタルで製作した地盤と、圧縮強度 40N/mm² 程度のモルタルで製作した水路トンネル覆工をモデル化した 600×600×150mm の試験体を作製し、地圧を想定した鉛直荷重を載荷して地盤および覆工の変形をデジタル画像相関法で追跡した (Fig. 3)。その結果、ひび割れの主たる要因として、当時の施工技術上、どうしても施工が困難な覆工コンクリート天端部分に空洞が存在することが、ひび割れ発生に大きな影響があることを実験的に解明した(森ら, 2015, 2021a)。この空洞を充填すれば、水路トンネルスプリングラインのひび割れの進行は抑制できることが分かった。

水路トンネルの調査・点検は、照明設備がない真っ暗な中で行う必要がある。そこで、民間との共同研究により、レーザー光を覆工表面に照射し、覆工からの反射強度をフォトマルで記録することにより、水路トンネル覆工をスキャンする「壁面画像連続撮影装置」(Fig. 4 左)、また、覆工をドリルで削孔し、そこから貫入棒を回転して挿入することにより、覆工背面の地山強度を微破壊で調査する「地山貫入試験装置」を開発した(森ら, 2008)。

一方、水路トンネルの中には、維持管理用水、防火用水、上工水と兼用されており、年中通水されているものも多い。これらの水路トンネルでは、人がトンネル内に入って点検することができない。そこで、通水中の水路トンネルの覆工のひび割れ等を点検するための「壁面自動追尾型水路トンネル撮影装置」(Fig. 4 右)を開発した(森ら, 2012)。通水中の水路トンネル上流坑口から装置を投入し、自然流下させて、覆工の映像をカメラで記録するものである。流下中、流水によって装置が回転しても、左右および真上を撮影するために搭載した 3 台のカメラは、常に水路トンネルの覆工を撮影し続ける自動追尾機能を搭載していることが

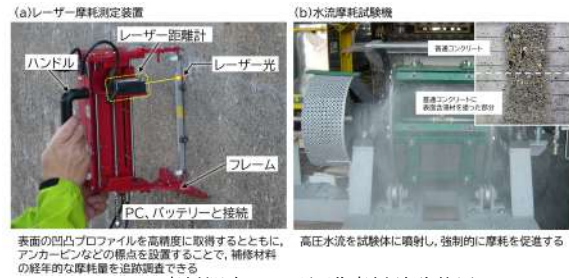


Fig.1 摩耗測定および促進摩耗試験装置

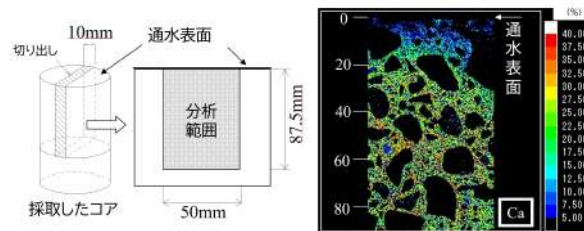


Fig.2 コンクリートコア断面の EPMA 分析結果

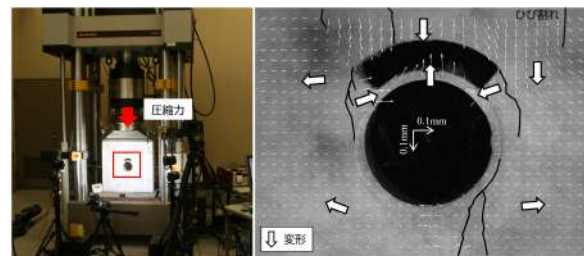


Fig.3 模型実験による水路トンネル周辺の地盤及び覆工変形挙動の解明

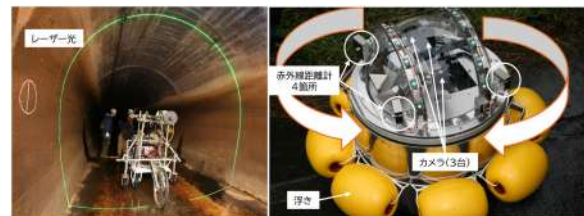


Fig.4 水路トンネルのひび割れ等の変状を記録する 2 種類の撮影装置(左:断水可能な場合, 右:断水できない場合)

特徴である。映像は、壁面に正対した画像となっているため、装置を回収し、データを取り出したあと、簡易な解析を行うだけで、デジタル画像による水路トンネル展開図が完成できる。本技術は、国土交通省インフラメンテナンスグッドプラクティスに選定された。

ひび割れが発見された水路トンネルに対する補修・補強工法としては、これまで、鋼板内巻き、覆工の打ち替えなど、大がかりな補強対策が主流であった。しかし、山岳地帯に多い水路トンネルを対策するためには、資材の搬入のための道路の建設等、仮設工事に費用がかかる。そこで、ひび割れた水路トンネルの覆工を炭素繊維ストランドシートにより鉄筋コンクリート化することにより、耐荷重性能および変形追従性能を向上させる新たな補強工法を開発した。覆工表面に炭素繊維ストランドシートを樹脂モルタルで接着することによって、耐荷重性能、変形性能を補強前の 2 倍

以上に向上できることを内径1.8mの実物大模型実験 (Fig. 5) により実証した (堀越ら, 2022). 炭素繊維ストランドシートは鉄の比重の約 1/5 と軽量であり, 人力で資材をトンネル内に運搬できるメリットがある. 接着材として利用する樹脂モルタルは, 表面保護材としても機能し, わずか 7mm の厚さであるにもかかわらず, モルタルの 14 倍の耐摩耗性を有するため, 流水下でも長期耐久性を発揮する. 本技術は, 第 4 回インフラメンテナンス大賞優秀賞に選定された.

補修・補強材料の性能評価に関する研究

機能低下した農業水利施設の補修・補強工法には, 所定の耐久性が要求される. しかし, 施工時に耐久性を照査することは非常に困難である. そこで, 補修・補強材料の置かれる環境を再現し, 促進試験を行うことによって耐久性をみなし照査するための研究開発を行った.

現地のコンクリート開水路の補修工法として適用された有機系表面被覆材の現地モニタリング調査を約 8 年間継続し, マイクロスコープによる表面観察を行った. 加えて, 同じ有機系表面被覆材を対象としてキセノンランプによる促進耐候性試験を実施し, 有機系表面被覆材に発生している変状の面積率を指標として, 現地の劣化状況と促進試験時間との対比を行った. その結果, 日射の条件により数値は変わるものの, 促進試験 2,000 時間が現地暴露の 20 年相当とみなせることを実証した (森ら, 2021b).

また, 頭首工エプロンの補修・補強材料の耐久性を評価する促進試験として, 掃流力を模擬した回転式水中摩耗試験と, 礫の落下衝撃を模擬した鋼球落下式衝撃摩耗試験の 2 種類を開発した (Fig. 6). 特に, 鋼球落下式衝撃摩耗試験については, 試験条件を設定するため, 鋼球の重量による摩耗量の差, 供試体の設置角度による差を明らかにし, 約 1kg の鋼球を 1m の高さから 10° 傾斜させて設置した試験体に自由落下させることを規定した (森ら 2023). 開発した耐久性照査法は, 農林水産省の「農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル (頭首工編)」に掲載されている.

現在実施している研究

これまで, 主にコンクリート構造物の機能診断, 補修・補強工法の開発等に取り組んできた. 一方で, 突発事故の件数は増加の一途をたどっている. 突発事故が多い農業水利施設は, 人が中に入って点検することが困難なパイプライン, サイホンなどの地中構造物や, ポンプ設備等の機械設備である. 現在, これらの施設群を対象として, 民間企業と連携し, 技術開発と普及に取り組んでいる.

パイプラインに関しては, これまで水張り試験などにより, 漏水している区間を絞り込むことができるものの, その場所をピンポイントで特定することは困難であった. 水道分野では, 管に直接振動センサーを当て, 伝わる弾性波の波形

から漏水位置を特定する相関法などが利用されているが, 農業用パイプラインでは, 管にセンサーを直接設置させる空気弁, 制水弁等の設置数が極端に少なく, かつセンサー間の距離が数百 m となってしまうことから, 漏水に伴って

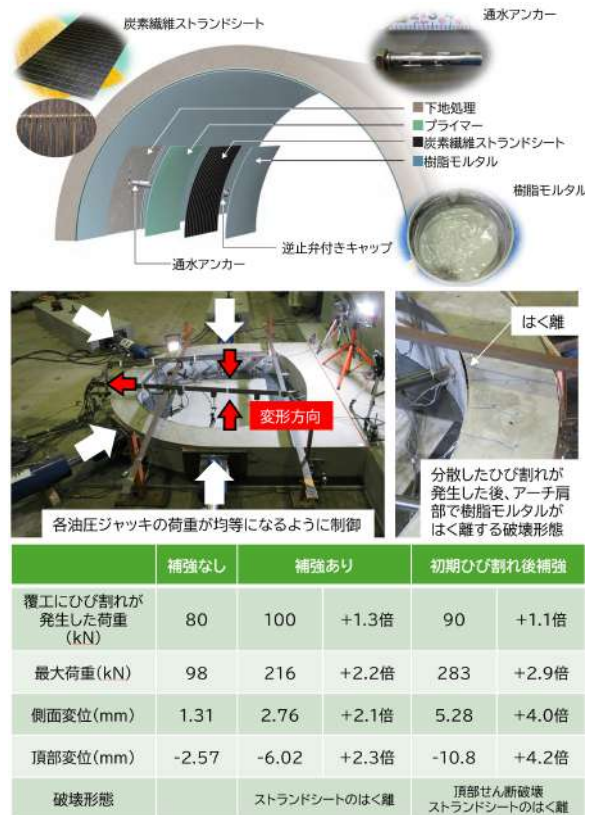


Fig. 5 水路トンネル補強工法の実物大実験



Fig. 6 頭首工エプロンの補修・補強材料の各種促進摩耗試験

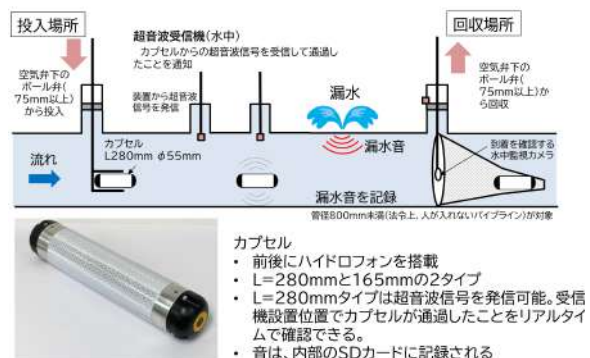


Fig. 7 カプセル型漏水位置特定技術の概要

発生する弾性波を取得することが困難である。

そこで、通水中のパイプライン中に水中マイク(ハイドロフォン)を搭載したカプセルを流下させ、パイプライン内で漏水に起因する音を取得することにより、漏水の有無とその位置を高精度で特定する「カプセル型漏水位置探査技術」を開発(Fig. 7)し、実証試験により性能を評価している(森ら, 2025)。これまでに複数箇所での漏水音の取得に成功している。

ポンプ設備については、回転体に利用されている潤滑油中に含まれる金属摩耗粒子の数や大きさ、形状から劣化の兆候を早期に診断する技術開発に取り組み、実機を用いた過酷摩耗試験による検証を行っている。更新が計画されているポンプ設備において、潤滑油を減らす等を行い、人為的に過酷摩耗状態を発生させ、そのときの温度、振動、アコースティックエミッション(AE)、潤滑油の性状、等を観測し、早期に異常を検出できる観測項目を調べた。その結果、潤滑油中の金属摩耗粒子の数が最も早く異常を捉えること、また、分解点検との比較では、金属摩耗粒子数が常時の値と比較して25%上昇した場合に回転体に異常がみられたことが実証された(森ら, 2025)。

パイプライン、ポンプ設備、いずれも人による点検が困難である施設である。このような施設に関しては、これまでの定期的な維持管理だけでは突発事故を防止できない可能性があり、たとえばセンサーを設置して状態を常時監視したり、機能診断の結果を時系列に比較し、傾向を監視したりする状態監視が必要と考えている。さらに、過去の突発事故事例をAIに学習させ、事故情報から突発事故が発生するリスクが大きい範囲を抽出し、優先的に対策を進めるなど、データの蓄積と活用が必要になると考えている。

おわりに

所属している農研機構農村工学研究部門では、令和8年度から第6期中長期計画に基づく研究開発を進めることにしている。農業水利施設のストックマネジメントにおいては、①不可視部分の機能診断、状態監視技術、②補修・補強された構造物の機能診断技術、③迅速化・省力化技術、④デジタル化・AI活用技術、などの研究に取り組み、安全で安心な農業・農村の実現に向けて尽力したい。

謝辞

今回の受賞に際し、推薦賜りました農業農村工学会および審議いただきました関係者各位に深く感謝いたします。また、これまでストックマネジメントに関する研究をご指導いただきました農研機構農村工学研究部門の皆様、共同研究等でご支援いただいた民間企業の皆様、委員会等で議論した大学の先生方、現地実証等にご協力いただきました農林水産省、土地改良区等の行政部局の関係者に記してお礼申し上げます。

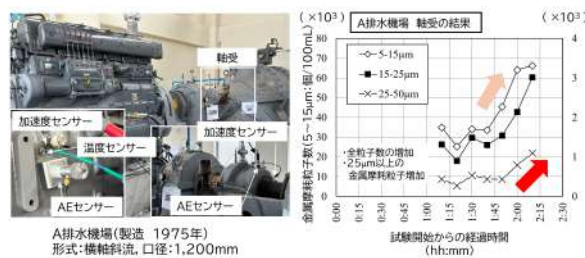


Fig. 8 潤滑油によるポンプ設備の状態監視技術

引用文献

- 堀越直樹, 小森篤也, 鈴木宣暁, 森充広, 石井将幸, 上野和広 (2022): 耐荷性能評価に基づく水路トンネル補強工法の最適化, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), 78(5), II_29-II_41
- 森充広, 浅野勇, 川邊翔平 (2021a): 覆工背面に空洞が存在する馬蹄形水路トンネルの破壊実験, 農業農村工学会論文集, 312, II_17-II_25
- 森充広, 浅野勇, 渡嘉敷勝, 川上昭彦, 川邊翔平 (2015): 覆工背面に空洞を有するトンネル覆工および周辺地盤の変形挙動に関する模型実験, 農業農村工学会論文集, 300, I_195-I_205
- 森充広, 藤原鉄朗, 齋藤豊, 増川晋, 渡嘉敷勝 (2008): 農業用水路変状調査システムの開発, 農業農村工学会論文集, 253, 71-78
- 森充広, 川邊翔平, 金森拓也, 浅野勇 (2023): 鋼球落下式衝撃摩耗試験における鋼球質量及び設置角度の影響, 農業農村工学会論文集, 316, I_11~I_19
- 森充広, 川邊翔平, 木村優世, 金森拓也, 川畑雅彦, 安部田泰 (2025): ポンプ設備の状態監視技術の評価 - 原動機, 減速機およびポンプ軸受を対象とした機場での過酷摩耗試験による検証 -, 農業農村工学会論文集, 320, II_11-II_19
- 森充広, 川邊翔平, 大山幸輝, 金氏眞 (2025): 漏水探査カプセルを用いたパイプライン漏水位置探査技術の実用化に向けた開発, 農業農村工学会大会講演要旨集, 351-352
- 森充広, 川邊翔平, 高橋良次, 金森拓也 (2021b): 現地暴露試験との対比による有機系補修材料の促進耐候性試験の促進倍率, 農業農村工学会論文集, 312, I_71-I_78
- 森充広, 森丈久, 渡嘉敷勝, 中矢哲郎, 藤原鉄朗, 齋藤豊 (2012): 通水状態での農業用水路トンネル調査・点検技術の開発, 農業農村工学会論文集, 278, 9-17
- 森充広, 渡嘉敷勝, 長東勇, 石村英明, 樽屋啓之, 石神暁郎 (2004): 高圧水流によるコンクリート摩耗試験機の開発, 農業農村工学会講演要旨集, 230-231
- 森充広, 渡嘉敷勝, 山崎大輔, 加藤智丈 (2009): 長期供用された農業用水路のコンクリート通水表面の変質, コンクリート工学年次論文集, 31(1), 919-924
- 農林水産省 (2025): 農業水利施設におけるストックマネジメントの取組について, <https://www.maff.go.jp/j/nousin/mizu/sutomane/attach/pdf/index-176.pdf> (2026.3.20 参照)

日本農業工学会賞受賞者

(2014 年 ~ 2026 年) (96 名)

日本農業工学会賞 2014 (第 1 回) 8 名

受賞者	受賞業績
白井 清恒	灌漑方法の理論的研究
中川昭一郎	学会の国内外における地位の確立
田淵 俊男	土壌、水、窒素の動態研究
橋本 康	国際学術振興を目指して
木谷 収	農業工学の国際化
中野 政詩	土壌中の物質移動に関する研究
真木 太一	農業環境工学の研究
町田 武美	農業情報化に関する研究

日本農業工学会賞 2015 (第 2 回) 5 名

受賞者	受賞業績
古在 豊樹	閉鎖型植物生産システムに関する研究
後藤 隆志	水田耕うん整地用機械の高速化に関する研究
田中 忠次	土構造物の構造安定解析の研究
橋口 公一	固体の非可逆力学現象の支配法則: 下負荷面モデルの提案
野口 伸	生物環境情報とロボットによる食料生産システムに関する研究

日本農業工学会賞 2016 (第 3 回) 7 名

受賞者	受賞業績
玉浦 裕	太陽エネルギー利用による生態工学システム
安永 円理子	安全・安心の消費者志向を考慮したプレ・ポストハーベスト技術
鈴木 義則	地形気象ならびに都市熱対策に関する研究
干場 信司	家畜生産システムの総合的評価に関する研究
永木 正和	農業経済学と情報学のリンクした領域を拓く
近藤 直	マニピュレータ、マシンビジョンを有する農業ロボット
青山 咸康	農業水利構造物の地震時挙動の解析と耐震性評価に関する研究

日本農業工学会賞 2017 (第 4 回) 9 名

受賞者	受賞業績
竹内俊郎	閉鎖生態系循環式魚類飼育システムの構築
吉田 敏	植物生産システムにおける制御環境下の根機能
早川誠而	大気中の熱・物質輸送と農業気象災害に関する研究
小松崎将一	カバークロープを利用した農作業システムに関する研究
佐竹隆顕	生物生産・流通プロセスの高度化に関する研究

岸田義典	日本・世界の開発途上国の農業機械化の促進
川村周三	米の収穫後プロセスにおける品質食味向上技術の開発
中 達雄	農業水利システムの性能照査型設計手法の開発
千賀裕太郎	地域資源としての水・土地の特性解明と利用計画手法の構築

日本農業工学会賞 2018（第 5 回）8 名

受賞者	受賞業績
野並 浩	細胞膨圧計測に伴うソフトイオン化細胞分子計測の開発
原菌 芳信	各種生態系における温室効果ガス収支の観測と収支評価
田島 淳	環境保全型農作業システム構築のための局所耕うん栽培技術の開発
中野 和弘	ハウス栽培篤農家のノウハウ抽出に関する研究
亀岡 孝治	農作物・農産物のマルチ分光計測に関する研究
酒井 憲司	カオス理論農学応用の為の頑健カオス解析法
増本 隆夫	流域規模の農地水利用と自然・人為的水循環変化に関する研究
星野 敏	グローバル化時代に対応した新たな農村コミュニティ計画論の確立

日本農業工学会賞 2019（第 6 回）7 名

受賞者	受賞業績
木部 勢至朗	閉鎖生態系生命維持技術を用いた宇宙居住系技術の研究
後藤 英司	植物工場における植物の生育制御に関する研究
小林 和彦	大気環境変化が農業に及ぼす影響の圃場実験による解明
宮崎 昌宏	傾斜地果樹園における機械化作業体系に関する研究
奥島 里美	園芸施設内部の気流と環境制御に関する研究
大政 謙次	植物機能リモートセンシングと空間情報解析に関する先駆的研究
渡邊 紹裕	農業用水管理と地域環境の関係に関する研究

日本農業工学会賞 2020（第 7 回）8 名

受賞者	受賞業績
船田 良	木質バイオマスの形成制御機構に関する研究
田中 道男	洋ランのクローン苗生産に関する先駆的技術の開発
小沢 聖	作物反応を活用した環境制御技術の開発
荒木 肇	カバークロープによる農耕地環境改善と作物生産性向上に関する研究
古野 伸典	積雪寒冷地域における施設園芸の環境制御と強靱化に関する研究
平藤 雅之	農業における IoT、ビッグデータ、AI の研究
飯田 訓久	コンバインの自動化・ロボット化・情報化に関する研究
久保 成隆	開水路用排水路系における流れの解析と制御に関する研究

日本農業工学会賞 2021（第 8 回）9 名

受賞者	受賞業績
皆川 秀夫	耕畜連携による循環型農業システムの構築
伊藤 博通	Speaking Plant Approach による植物の生育制御に関する研究

北宅 善昭	根域ガス環境の植物影響及びその制御
辻 博之	北海道におけるリビングマルチを用いたダイズの保全的栽培に関する研究
阿部 佳之	吸引通気式堆肥化処理による家畜ふん尿の資源化に関する研究
星 岳彦	施設環境計測制御の情報基盤の開発と普及
井上 英二	圃場機械の振動低減化ならびに作業精度向上に関する研究
村上 章	カルマンフィルタによる逆解析法の開発と農業水利施設の保全管理への応用
広田 純一	人口減少下の農山漁村集落の存続・再生

日本農業工学会賞 2022（第9回）8名

受賞者	受賞業績
山路 永司	水田農業地域持続のための農村計画論の確立と国際展開
白石 文秀	数式モデリングを根底に置く化学反応プロセスの開発に関する研究
羽藤 堅治	生物環境工学における ICT に関わる研究
森山 英樹	温室の気象災害低減に関する研究
吉田 智一	分散協調スキームによる営農管理情報システムの開発
森本 英嗣	スマート農業に資する土壌センサ搭載型可変施肥田植機に関する研究
溝口 勝	農業農村地域における DX のための先導的研究
本條 毅	都市緑地の熱的効果およびヒートアイランド現象に関する研究

日本農業工学会賞 2023（第10回）7名

受賞者	受賞業績
渡邊 博之	LED を光源とした植物栽培技術および植物工場の研究
高山弘太郎	施設園芸に実装される高精度生体情報計測技術の開発
富士原 和宏	人工光下の植物栽培・貯蔵に関する環境調節工学的研究
野口 良造	食料生産・生物資源利用のシステム解析と環境影響評価
志藤 博克	青刈りトウモロコシの省力化収穫調製技術の開発
足立 泰久	土・水環境中のコロイド界面工学の創生による環境持続可能性の展開
福与 徳文	地域の内発性を引き出す計画手法に関する研究

日本農業工学会賞 2024（第11回）6名

受賞者	受賞業績
西村 拓	気候変動を考慮した水食予測に関する研究
西津 貴久	ヘルムホルツ共鳴を利用した食品物性評価法の開発
黒瀬 義孝	局地気象の実態解明に関する農業気象学的研究
深見 公一郎	九州・沖縄地域における土地利用型作物の機械化研究
福田 弘和	生物環境工学における概日時計の研究
増田 篤稔	微細藻類大量培養の研究とシステム開発および実証

日本農業工学会賞 2025（第 12 回）7 名

受賞者	受賞業績
齋藤 高弘	閉鎖生態系での廃棄物処理技術と食品の製造工程での機能性や品質変化に関する研究
菅野 洋光	北日本に冷夏をもたらすヤマセの気団気候学的研究
鹿内 健志	沖縄地域における農作業システム開発と農作業解析
池口 厚男	畜舎の空気衛生環境制御とスマート畜産技術の開発
南石 晃明	農業情報マネジメント理論とイノベーションに関する研究
田中 史彦	青果物品質保持についての農産食料工学的研究
藤原 正幸	浅水域の水流・物質輸送・生物移動に関する研究

日本農業工学会賞 2026（第 13 回）7 名

受賞者	受賞業績
谷 晃	植物の微量気体交換に関する生態工学的研究
大橋 敬子	光環境制御による付加価値植物の高効率生産
平野 高司	森林の二酸化炭素収支の定量化と環境応答の解明
宮竹 史仁	環境低負荷型堆肥化の機構解明と自動化技術の開発
岡安 崇史	農業情報の計測・評価・利用に関する研究
海津 裕	低コスト RTK-GNSS による小型農業ロボットの自律走行制御
森 充広	農業水利施設の調査・点検及び性能評価に関する一連の研究

2026 年度日本農業工学会フェロー受賞者

2026 年 5 月 9 日授与

遠藤 雅人	生態工学会	東京海洋大学学術研究院海洋生物資源学部門・准教授
桜井 誠人		宇宙航空研究開発機構(JAXA) 研究開発部門主幹研究員
石郷岡 康史	日本農業気象学会	農研機構 農業環境研究部門 気候変動適応策研究領域 作物影響評価・適応グループ長
佐々木 華織		農研機構 農業環境研究部門 気候変動適応策研究領域 気象・作物モデルグループ 上級研究員
横沢 正幸		早稲田大学 人間科学学術院・教授
菊池 豊	日本農作業学会	農研機構 農業機械研究部門・グループ長
辻 博之		農研機構北海道農業研究センター・研究領域長
福田 直也	農業施設学会	筑波大学生命環境系・教授
小川 幸春		千葉大学園芸学部・教授
大橋 慎太郎	一般社団法人 農業情報学会	新潟大学・准教授
佐藤 正衛		農業・食品産業技術総合研究機構北海道農業研究センター・グループ長補佐
志藤 博克	一般社団法人 農業食料工学会	農研機構 農業機械研究部門 前安全検査部長
張 樹槐		弘前大学 農学生命科学部 国際農芸農学科
長坂 善禎		北里大学 獣医学部 准教授
桐 博英	公益社団法人 農業農村工学会	農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究部門・ 所長
山岡 賢		琉球大学農学部地域農業工学科・教授
緒方 英彦		鳥取大学農学部生命環境農学科・教授
松井 宏之		宇都宮大学農学部農業環境工学科・教授
平松 研		岐阜大学応用生物科学部生物圏環境学科・教授
牧山 正男	農村計画学会	茨城大学 農学部・准教授

日本農業工学会フェロ—受賞者

(平成 11 年度～2024 年度)(合計 501 名)
受賞年度(受賞者数)(総会報告年月日)

平成 11 年度(19 名)	緒形 博之	矢吹 萬壽	浅原 辰夫
平成 12 年 5 月 19	菊岡 武男(辞退)	有馬 博	中島 哲生
日	久保 祐雄	高辻 正基	
岡本 嗣男	沢田 敏男	獅山 慈孝	平成 17 年度(50 名)
角屋 睦	高倉 直	蔵田 憲次	平成 18 年 5 月 12
木谷 収	藤川 武信(辞退)	松井 健	日
久保 七郎	古谷 将(辞退)	宮山平八郎	堀部 和雄
古在 豊樹	松田 良一	坂上 務	大島 泰郎
佐野 文彦	山本 茂	羽生 寿郎	大矢 晴彦
白井 清恒		三原 義秋	須藤 隆一
白石 英彦	平成 14 年度(11 名)	藍 房和	高桑 栄松
須藤 清次	平成 15 年 5 月 16	田中 孝	都留 信也
世良田和寛	日	前田 耕一(辞退)	筑紫 二郎
田淵 俊雄	上森 千秋	増田 正三	内嶋善兵衛
茶谷 仁	岩崎 和巳	三箇山正雄	内島 立郎
中川昭一郎	岸上 定男	山下 律也	小元 敬男
中村 良太	田中 宏平	石光 研二	吉野 正敏
橋本 康	田中弥寿男	小出 進	小中 俊雄
前川 孝昭	長野 敏英	長崎 明	坂井 純
真木 太一	中山 敬一	市村 一男	並河 清
安富 六郎	新田 慶治	村瀬治比古	村田 敏
和田 完司	細川 明	関谷 光博	森嶋 博
	山澤 新吾	中原 通夫	立花 一雄
平成 12 年度(11 名)	米村 純一	穴瀬 真	海老澤 勲
平成 13 年 5 月 18		松下 玄	相原 良安
日	平成 15 年度(11 名)	徳永 光一	内海 修一
近藤 次郎	平成 16 年 5 月 14	河野 洋	今尾 昭夫
塩谷 哲夫	日	渡辺 潔	長堀 金造
庄司 英信	不破敬一郎	石川 明	梅田 安治
杉 二郎	高井 宗宏	田中礼次郎	戸原 義男
鈴木 義則	町田 武美	篠邊 三郎	村上 康蔵
中村 武夫	渡部 一郎	河原田禮次郎	細山田健三
行方 文吾	川村 登	中村 充	酒井 信一
野口 正三(辞退)	堂腰 純	井上 自然	近森 邦英
林 弘宣	清水 邦夫(辞退)	佐藤 晃三(辞退)	浅井喜代治
八幡 敏雄	白滝 山二	難波 直彦(辞退)	須藤良太郎
福田 仁志	長 智男(辞退)	岩田 進午	四方 田穆
	藤田 則之	野村 安治	内藤 克美
平成 13 年度(11 名)	山本 光男	土崎 哲男	吉田 昭治
平成 14 年 5 月 17		岸本良次郎	南 信弘
日	平成 16 年度(45 名)	鈴木 光剛	丸山 利輔
相賀 一郎	平成 17 年 5 月 13	湯川 清光	鈴木 敬
遠藤織太郎	日	中川 稔	佐藤 晃一

大根 義男
仲野 良紀
岡本 雅美
谷山 重孝
翁長 謙良
江崎 要
黒田 正治
長谷川高士
北村貞太郎
川尻裕一郎
富田 正彦
豊田 勝
坂井 直樹

平成 18 年度(19 名)
平成 19 年 5 月 11 日

日
松岡 孝尚
橋口 公一
今井 勝
上村 賢治
山崎 稔
長島 守正
速水 昭彦
多田 敦(辞退)
矢橋 晨吾
藤井 弘章
高山 昌照
笹野 伸治
松田 豊
澁谷勤治郎
河野 広
中野 政詩
飯本 光雄
永田 雅輝
岸田 義典

平成 19 年度(5 名)
平成 20 年 5 月 9 日

堀口 郁夫
谷信 輝
西山 喜雄
上野 久儀
原 道宏

平成 20 年度(12 名)
平成 21 年 5 月 22 日

堀尾 尚志
森泉 昭治
岸田 恭充
泊 功
瀬尾 康久
笹尾 彰
市川 友彦
伊藤 和彦
佐藤 洋平
山本 敏
仁科 弘重
矢澤 進

平成 21 年度(19 名)
平成 22 年 5 月 13 日

日
高山 真策
松山 正彦
高田 吉治
石川 文武
小池 正之
唐橋 需
石橋 憲一
岡太 郎
海田 能宏
辻厚 志
藤居 宏一
藤澤 和
福桜 盛一
矢野 友久
高橋 強
大政 謙次
花形 将司
米川 智司
駒村 正治

平成 22 年度(14 名)
平成 23 年 9 月 12 日

日
林真 紀夫
早川 誠而
中司 敬
伊藤 信孝
梅田 幹雄
園部 和彦
真勢 徹
田中 雅史
松田 誠祐

堤 聰
中野 俊郎
常松 哲
桑原 孝雄
長澤 徹明

平成 23 年度(14 名)
平成 24 年 5 月 15 日

日
位田 晴久
清野 裕
瀧川 具弘
喜多 毅
澁澤 栄
保坂 幸男
三野 徹
今井 敏行
杉山 博信
田中 忠次
青山 咸康
有田 博之
竹内 俊郎
奥島 里美

平成 24 年度(16 名)
平成 25 年 5 月 14 日

日
田中 道男
野並 浩
青木 正敏
小林 恭
大下 誠一
行本 修
相良 泰行
中野 芳輔
宜保 清一
宮崎 毅
河地 利彦
小前 隆美
森 健
千賀裕太郎
平藤 雅之
木部勢至朗

平成 25 年度(13 名)
平成 26 年 5 月 13 日

日
石川 勝美

北野 雅治
岡田 益己
細川 寿氏
近藤 直氏
後藤 隆志
志賀 徹
渡部 良朋
藤井 克己
内田 一徳
竹内 睦雄
亀岡 孝治
玉浦 裕

平成 26 年度(15 名)
平成 27 年 5 月 12 日

日
日平間 淳司
森本 哲夫
大場 和彦
東城 清秀
野口 伸
内野 敏剛
干場 信司
塩沢 昌
石田 朋靖
高橋 順二
石田 憲治
中野 和弘
北宅 善昭
中 達雄
田川 彰男

平成 27 年度(13 名)
平成 28 年 5 月 20 日

日
船田 良
後藤 英司
清水 浩
浦野 慎一
小松崎 将一
山口 智治
永木 正和
小田原 哲一
川村 周三
庄子 和博
小泉 健
春山 成子
平松 和昭

平成 28 年度(21 名)
平成 29 年 5 月 16
日

泉谷 直昭
田澤 信二
星 岳彦
門田 充司
吉田 敏
小林 和彦
小沢 聖
荒木 肇
宮崎 昌宏
佐竹 隆顕
佐瀬 勘紀
二宮 正士
井上 英二
芋生 憲司
杉山 隆夫
森井 俊広
渡邊 紹裕
後藤 章
毛利 栄征
糸長 浩司
山路 永司

平成 29 年度(22 名)
平成 30 年 5 月 15
日

水谷 広
白石 文秀
桶 敏
槐島 芳徳
牧野 義雄
皆川 秀夫
菅野 洋光
富士原 和宏
林 久喜
岩崎 浩一
池口 厚男
五十部 誠一郎
南石 晃明
木下 榮一郎
酒井 憲司
豊田 淨彦
山本 徳司
河端 俊典
溝口 勝
佐々木 長市

廣田 純一
星野 敏

平成 30 年度(21 名)
2019 年 5 月 14 日

多胡 靖宏
大西 充
伊藤 博通
羽藤 堅治
奥田 延幸
山本 晴彦
鮫島 良次
宮田 明
佐藤 禎稔
田島 淳
河野 澄夫
後藤 清和
中村 典裕
滝岸 誠一
飯田 訓久
小竹 一男
久野 貴敬
久保 成隆
白谷 栄作
莊林 幹太郎
中村 和正

2020 年度(22 名)

2020 年 5 月 15 日

渡邊 博之
中林 和重
江口 壽彦
西浦 芳史
村上 克介
本條 毅
青野 靖之
大野 宏之
武田 純一
亀井 雅浩
大森 定夫
豊田 裕道
平石 武
吉田 智一

川越 義則
藤村 博志
坂口 栄一郎
原田 和夫
糸井 和朗
向後 雄二
土居 邦弘
辻 修

2021 年度(22 名)

2021 年 5 月 14 日

増田 篤稔
齋藤 高弘
有馬 誠一
松岡 健
荊木 康臣
黒瀬 義孝
杉浦 俊彦
長崎 裕司
庄司 浩一
石川 豊
北村 豊
野口 良造
山田 優
水野 英則
西村 洋
小林 研
井上 京
藤原 信好
長 裕幸
稲垣 仁根
小林 久
福与 徳文

2022 年度(23 名)

2022 年 5 月 14 日

伊能 利郎
寺添 斉

大橋 敬子
安永 円理子
伊藤 大雄
桑形 恒男
長谷川 利拡
深山 大介
元林 浩太
岩渕 和則
土方 亨
田上 隆一
吉村 秀清
田中 史彦
八谷 満
宮原 佳彦
工藤 りか
成岡 市
北川 巖
松本 伸介
北辻 政文
藤崎 浩幸
柚山 義人

2023 年度(23 名)

2023 年 5 月 13 日

谷 晃
横谷 香織
荒木 卓哉
大上 博基
廣田 知良
脇山 恭行
大森 弘美
帖佐 直
兼崎 雅弘
水谷 孝一
小田 滋晃
清水 庸
岡本 宗治
西津 貴久
松井 正実
守谷 栄樹
進藤 惣治
武田 育郎

取出 伸夫
西村 伸一
西村 拓
上野 裕士
守田 秀則

2024 年度(23 名)

2024 年 5 月 12 日

治多 伸介
森 淳
藤原 正幸
凌 祥之
田中丸治哉
渡嘉敷勝
福高 恭史
大谷 隆二
天羽 弘一
西森 基貴
平野高司
米村正一郎
椎名武夫
田中章浩
鹿内 健志
鈴木 尚俊
岡安 崇史
深津 時広
池田敬
片山直美
重岡 徹
宮嶋宏行
土肥哲哉

2025 年度(26 名)

2025 年 5 月 10 日

細井 文樹
蘆原 昌司
高山弘太郎
彦坂 晶子
吉本真由美
程 為国
渡辺 力
荒木 琢也
澤村 宣志
石井 雅久

鷹尾宏之進
大塚 彰
田中 慶
坂東 茂
山本 二教
海津 裕
梅田 直円
近藤 文義
佐藤 周之
高木 強治
武山 絵美
堀野 治彦
宗岡 寿美
吉田修一郎
遠藤 和子
栗原 伸治

2026 年度(20 名)

2026 年 5 月 9 日

遠藤 雅人
桜井 誠人
石郷岡 康史
佐々木 華織
横沢 正幸
菊池 豊
辻 博之
福田 直也
小川 幸春
大橋 慎太郎
佐藤 正衛
志藤 博克
張 樹槐
長坂 善禎
桐 博英
山岡 賢
緒方 英彦
松井 宏之
平松 研
牧山 正男

日本農業工学会功績賞受賞者
(2003 年度～2025 年度)(合計 4752 名)

創立 20 周年記念功績賞受賞者
平成 15 年度(3 名)
平成 16 年(2004)5 月 14 日
木谷 収
橋本 康

中村 良太
創立 25 周年記念功績賞受賞者
平成 20 年度(1 名)
平成 21 年(2009)5 月 22 日
前川 孝昭

創立 30 周年記念功績賞受賞者
平成 25 年度(28 名)
平成 26 年(2014)5 月 13 日

白井 清恒(第 1 期会長)
中川昭一郎(第 4 期会長)
田淵 俊雄(第 6 期会長)
橋本 康(第 7 期会長
・日本生物環境工学会推薦)
木谷 収(第 8 期会長)
中野 政詩(第 9 期会長
・農業農村工学会推薦)
真木 太一(第 10 期会長)
町田 武美(第 11 期会長)
森嶋 博(第 2 期副会長)
春原 亘(第 4 期副会長)
下田 博之(第 5 期副会長)
中村 良太(第 7 期副会長)
前川 孝昭(第 9 期副会長)

村瀬治比古(第 10 期副会長)
駒村 正治(第 10 期副会長
・農業農村工学会推薦)
中 達雄(第 11 期副会長)
木村 俊範(理事会推薦)
高辻 正基(日本生物環境工学会推薦)
蔵田 憲次(日本農業気象学会推薦)
森泉 昭治(日本農作業学会推薦)
瀬尾 康久(農業食料工学会推薦)
笹尾 彰(農業食料工学会推薦)
志賀 徹(農業施設学会推薦)
伊藤 和彦(農業施設学会推薦)
関山 哲雄(農業電化協会推薦)
富田 正彦(農村計画学会推薦)
岸田 義典(農業情報学会推薦)
新田 慶治(生態工学会推薦)

創立 40 周年記念功績賞受賞者
2025 年度(15 名)
2025 年 5 月 10 日

大政 謙次(第 12 期及び第 13 期会長)
塩澤 昌(第 14 期会長及び第 13 期副会長)
東城 清秀(第 13 期副会長)
野口 伸(第 15 期会長及び第 14 期副会長)
羽藤 堅治(第 15 期副会長)
北宅 善昭(生態工学会推薦)
吉田 敏(日本生物環境工学会推薦)
北野 雅治(日本農業気象学会推薦)
小松崎 将一(日本農作業学会推薦)

北村 豊(農業施設学会推薦)
南石 晃明(農業情報学会推薦)
澁澤 栄(農業食料工学会推薦)
田澤 信二(農業電化協会推薦)
小前 隆美(農業農村工学会推薦)
山路 永司(農村計画学会推薦)

1. 日本農業工学会会則

昭和 59 年 6 月 30 日制定
平成 5 年 5 月 20 日一部改定
平成 20 年 5 月 9 日一部改正
平成 23 年 5 月 11 日一部改正
平成 30 年 5 月 15 日一部改正
2021 年 5 月 14 日一部改正
2023 年 5 月 13 日一部改定
2025 年 5 月 10 日一部改定

第1章 総 則

- 第 1 条 本会は日本農業工学会(Japan Association of International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering)と称する。
- 第 2 条 本会は事務所を東京都内に置く。

第2章 目的及び事業

- 第 3 条 本会は農業工学に関する会員相互の協力により、農業工学及びその技術の進歩発達に資することを目的とする。
- 第 4 条 本会は、その目的を達成するために次の事業を行う。
- (1) 各学会、協会の連絡・協力及びその総合活動
 - (2) 内外の農業工学関係諸機関・団体及び個人との連絡
 - (3) 講演会等の開催
 - (4) 顕彰
 - (5) その他目的を達成するために必要な事業

第3章 会 員

- 第 5 条 会員を分けて、正会員・維持会員及び国際会員とする。
- (1) 正会員は、農業工学に関する学術団体とする。
 - (2) 維持会員は、本会の目的に賛助する団体とする。
 - (3) 国際会員は、正会員に属する個人であって、国際農業工学会に登録したものであるとする。
- 第 6 条 本会に入会しようとするものは、別に定める入会申込書を提出し、理事会の承認を得るものとする。
- 第 7 条 正会員で退会しようとするものは、その旨書面をもって届け出て理事会の承認を得るものとする。
2. 維持会員・国際会員が2年以上会費を滞納した場合は退会したものとみなす。

第4章 役 員

- 第 8 条 本会に次の役員を置く。

会長 1 名 副会長 2 名 理事 若干名 監事 2 名

会長・副会長は理事とする。

- 第 9 条 会長は本会を代表し、会務を統べ、総会及び理事会の議長となる。
- 第 10 条 副会長は会長を補佐し、会長に事故があるとき、または欠けたときはあらかじめ会長が指名した順序で、その職務を代行する。
- 第 11 条 理事は会長を補佐し、会務を処理する。
- 第 12 条 監事は会計の状況及び理事の業務執行を監査する。
- 第 13 条 役員を選任は総会において行う。
- 第 14 条 役員任期は 3 年とし、更任期の定時総会までとする。ただし、辞任又は任期満了の役員は後任者が就任するまではその職務を行うものとする。
- 第 15 条 役員で欠員を生じ、補充の必要があるときは、第 13 条の規定により選任する。後任者の任期は前任者の残存期間とする。ただし、定時総会までの期間は理事会の承認を経て、次回定時総会まで職務を行う者をおくことができる。

第5章 会 議

- 第 16 条 会議を分けて総会・理事会とする。
- 第 17 条 総会は定時総会及び臨時総会の 2 種とする。
- 第 18 条 総会は正会員および維持会員の推薦による代議員をもって組織する。
2. 代議員の定数及び任期は別に定める。
- 第 19 条 定時総会は毎年 1 回会計年度終了後 2 ヶ月以内に会長が招集する。
- 第 20 条 臨時総会は次の場合にこれを開く。
(1) 理事会において必要と認めるとき
(2) 代議員の 5 分の 1 以上から、会議目的である事項を示して請求されたとき
(3) 監事から請求されたとき
- 第 21 条 総会は会長がこれを招集し、少なくとも 14 日前に会議の目的である事項を書面または電磁的方法(電子メール)をもって代議員に通知することを要する。
- 第 22 条 次の事項は総会に提出してその承認を得る。
(1) 当該年度の予算
(2) 貸借対照表・財産目録及び収支決算書
(3) その他理事会において必要と認められた事項
- 第 23 条 次の事項を定時総会に報告する。
(1) 前年度事業報告
(2) 会員の状況
(3) 業務及び会計監査の報告
(4) その他理事会において必要と認められた事項
- 第 24 条 総会は代議員総数の 2 分の 1 以上の出席を必要とする。
ただし、欠席者も書面もしくは電磁的方法(電子メール)により又は委任により表決権を行使することができる。この場合出席者とみなす。
- 第 25 条 総会の議決は出席者の過半数をもつて、これを決する。
2. 可否同数の場合は議長がこれを定める。
- 第 26 条 理事会は会長が必要と認めるとき招集する。

ただし会長は理事現在数の5分の1以上から会議に付議すべき事項を書面または電磁的方法(電子メール)をもって示し、理事会の招集を請求された日から14日以内にこれを招集する。

第27条 理事会の定足数及び議決については第24条及び第25条を準用する。

第6章 会計

第28条 本会の事業年度及び会計年度は毎年4月1日に始まり、翌年3月31日に終わる。

第29条 本会の事業計画及びこれに伴う収支予算は、会長が編成し、毎年会計年度開始前に、理事会及び総会の議決を経て、行使する。

2. 前項の規定に係わらず、やむを得ない事情により同項に規定する総会を開催することができないときは、総会を省略することができる。この場合においては、翌会計年度開始後最初に開催される総会において、これに係わる承認を得なければならない。

第30条 本会の収支決算は、会長が作成し、財産目録、貸借対照表及び収支決算書に監事の意見をつけ理事会の承認を受けて、定時総会に報告する。

2. 本会の収支決算に剰余金のあるときは、理事会の議決及び総会の承認を受けて、その一部、もしくは全部を基本財産に編入し、または、翌年に繰越すものとする。

第31条 基本財産は財産目録の基本財産の部に記載のうえ、確実なる方法により保管し、譲渡・交換または担保に供することはできない。ただし、本会の事業遂行上やむを得ない理由があるときは、理事会及び総会の議決を経て、処分することができる。

第7章 会則の改定及び解散

第32条 この会則の変更は、理事会及び総会において各々の3分の2以上の議決を要する。

第33条 本会の解散は、理事会及び総会の4分の3以上の議決を要する。

付則

1. この会則の施行に必要な細則は、総会の議決で定める。細則には会員の入会・役員を選出・理事の職務分担・役員会の規定・代議員の選任定数・会費の額等を規定する。
2. 本会の所在地を東京都中央区新川2-22-4 新共立ビル2階 株式会社共立内とする。
3. この会則は昭和59年6月30日から施行する。

付記

本会の設立年月日は昭和59年6月30日である。

2. 日本農業工学会細則

昭和 63 年 5 月 6 日一部改定
平成 4 年 5 月 12 日一部改定
平成 6 年 5 月 13 日一部改定
平成 8 年 5 月 10 日一部改定
平成 11 年 5 月 21 日一部改定
平成 13 年 5 月 18 日一部改定
平成 26 年 5 月 13 日一部改定
平成 28 年 5 月 20 日一部改正

第1章 会 員

第 1 条 正会員として入会しようとするものは、所定の入会申込書に次の事項を記入し、又は書類を添付して提出する。

- (1) 団体名
- (2) 本部事務所の所在地及び電話番号
- (3) 定款及び諸規程
- (4) 団体の経歴の概要
- (5) 役員の氏名・主要勤務先及び職務
- (6) 最近における各種別会員の数
- (7) 最近 1 年間の刊行雑誌・図書の表題・発行周期・大きさ・頁数・発行部数

第 2 条 維持会員及び国際会員として入会しようとするものは、所定の入会申込書所要欄に記入して提出する。

第 3 条 入会者は承認通知を受けて後、会費を納めて資格を得る。

第 4 条 会員は、申込書記入事項に変更のあった都度本会に届けなければならない。ただし、正会員にあっては第 1 条第 6 号及び第 7 号は毎年 1 回の届け出とする。

第2章 役員・代議員・委員・名誉顧問・フェロー

第 5 条 理事会は役員候補者を選考し、総会に提出する。

第 6 条 理事会は正会員ごとに各 1 名の役員候補者の推薦を受け、この中から会長・副会長・理事・監事候補を選考し、総会提出案を作成する。

2. 会長は、前項にかかげる理事以外に、理事候補 2 名以内を推薦し、総会の承認を得て、理事とすることができる。

第 7 条 代議員は正会員及び維持会員の推薦によって会長が委嘱し、その任期は 3 年とする。ただし、交替した場合の後任者の任期は残存期間とする。

第 8 条 代議員の数は次を基準とし、理事会で定める数とする。

- (1) 会員 500 名以下の正会員にあっては 1 名
- (2) 会員 500 名を超える正会員にあっては、会員 500 名を超える数につき 2000 名区切り毎に 1 名。但し、人数は正会員からの申請に基づき変更することができる。
- (3) 団体のみで構成される正会員にあっては、構成団体数を会員数とみなす。
- (4) 維持会員にあっては 1 名
- (5) 国際会員にあっては、正会員別に 1 名

第 9 条 理事会は次の区分により会務を分担する。

庶務・会計・国際・事業

2. 会長は理事のうちから事務局長を指名し、会務の円滑な運営及び理事会から委任された事項の処理に当たらせることができる。

第 10 条 本会は必要に応じ各種の委員会を置くことができる。

委員は、理事会の議決を経て会長が委嘱する。

第 11 条 本会に名誉顧問及びフェローを置くことができる。

2. 名誉顧問は理事会の推薦によって会長が委嘱する。名誉顧問は理事会の諮問に応じ、助言することができる。
3. フェローは理事会の議を経て授与される。フェローは役員ではなく、顕著な功績のあった者を顕彰する称号である。日本農業工学会が返還を求めない限りフェローの称号を保持することができる。

第3章 表彰

第 12 条 本会は農業工学分野の学術や事業等に貢献した団体・個人を表彰することができる。表彰は顕彰選考規則により選考し、理事会で審議・決定し、総会で報告する。

- (1) 特に優れた業績を上げた個人(日本農業工学会賞)
- (2) 特に功労のあった個人・団体(功績賞、貢献賞等)
- (3) 本会が主体的に企画・運営した学術的行事における参加学協会等団体(感謝状等)

第4章 会費

第 13 条 会費は予算に基づき、次のとおり分担せしめる。

(1) 正会員

均等割と代議員数割とし、予算作成の際に夫々の額を定める。

(2) 維持会員

年額 2 万円とする。

(3) 国際会員

国際農業工学会への個人当納入額に事務経費を加算した額とする。

第5章 細則の改訂

第 14 条 この細則の変更は理事会の議決を経て、総会の承認を受ける。

付則

1. この細則は、総会の議決のあった日から施行する。

3. 日本農業工学会顕彰選考規則

平成 26 年 5 月 13 日制定

平成 28 年 5 月 20 日改定

2025 年 5 月 10 日改定

(目的)

第1条 本規則は、細則第 12 条に基づき、本会顕彰についての選考の方法を定めるものである。

(方針)

第2条 顕彰は細則 12 条に示す内容について顕彰し、業績、社会貢献、国際性、実用性などの項目を考慮し、特に優れた功績に対して授与することを選考の方針とする。

(推薦)

第3条 日本農業工学会(以下本会という)の正会員は本会顕彰方針に則り、日本農業工学会賞候補者1名を別紙様式 1 による推薦書を毎年理事会で定めた期日までに顕彰選考委員会に提出する。

2. 本会役員は細則 12 条に該当する顕彰に該当者がある場合は、別紙様式 1 による推薦書を理事会で定めた期日までに顕彰選考委員会に提出する。

(顕彰の手続き)

第4条 顕彰は正会員及び本会役員の推薦により、「顕彰選考委員会」の審査を経て理事会で審議・決定し、総会で報告する。

(選考)

第5条 会長は顕彰事業を推進するため、顕彰選考委員会(以下委員会という)を設置する。

2. 委員会の委員は 5 人とし、理事会の議を経て会長が指名する。
3. 委員の候補者及び委員の氏名は公開しない。
4. 委員の任期は 3 年とする。
5. 委員会に委員長及び副委員長をおく、委員長及び副委員長は委員の互選による、委員長は委員会を招集しその議長となる。副委員長は委員長を補佐し、委員長に事項ある時は、その職務を代行する。
6. 委員会は定められた審査基準に基づき、推薦書及び審査結果について審議の上、日本農業工学会賞、その他の顕彰を授与するのが適当と認められた候補者を選考し、その結果を会長に報告する。
7. その他委員会に必要な事項は委員会において定める。
8. 委員会の報告を受けた会長は、理事会で審議し、授与するものを決定する。

(規則改定)

第6条 この規則の変更は理事会で審議し、総会で議決する。

付 則

第7条 この規則は総会で議決した日から施行する。

4. 日本農業工学会賞選考内規

平成 27 年 1 月 24 日理事会承認
平成 27 年 9 月 12 日改正理事会承認

1. 日本農業工学会賞は、加盟正会員の学問分野における優れた研究あるいは技術開発に多大な業績を上げた者を対象とし顕彰する。
2. 業績評価は学術業績、国際性、社会貢献、実用性などの観点から農業工学のパブリシティを高める内容であること。
3. 日本農業工学会賞は加盟正会員各学協会の顕著な賞を授与された個人を選考対象とする。
4. 各学協会の顕彰年度は過去の年度の顕彰も対象とする。
5. 日本農業工学会賞の候補者は本会の指定日に受賞講演することを内諾しているものとする。
6. 受賞者に賞状及び記念楯を授与する。
7. 学会ホームページ上で受賞者氏名、顕彰内容を公告する。

5. フェロー規程

平成 11 年 5 月 21 日制定
平成 13 年 12 月 11 日改定
平成 21 年 5 月 22 日改定
平成 30 年 5 月 15 日改定

(目的)

第1条 管理運営、その他の活動を通じて、日本農業工学会(以下本会という)の関与する分野の学問技術の発展に継続的に顕著な功績のあった者を顕彰するため、フェローの称号を設ける。

(身分)

第2条 フェローは称号であって会員の種別ではない。ただし、フェローの称号を得たものをフェローと呼称することができる。

(資格)

第3条 フェローの称号を授与されるものは傘下の各学協会(以下、推薦者)からの推薦に基づき、フェロー選考委員会及び日本農業工学会理事会の議を経て推薦された者及び日本農業工学会理事会から推薦された者とする。

2. フェローの称号を授与されたものは、日本農業工学会が返還を求めない限りフェローの称号を保持することができる。

(フェローの数) (選考)

第4条 フェローの選考については別に定める。

(顕彰)

第5条 新たにフェローの称号を受けるものには称号授与の証状およびバッジを呈すると共に、その氏名・業績および顕彰理由を総会で告知する。

付 則

第6条 本規定は平成 21 年 5 月 22 日から施行する。

6. フェロー選考規則

平成 11 年 5 月 21 日制定
平成 16 年 5 月 14 日改定
平成 28 年 5 月 20 日改定
平成 30 年 5 月 15 日改定
令和元年 5 月 14 日改定
2025 年 5 月 10 日改定

(目的)

第1条 本規則は、フェロー規程第4条に基づき、フェローの選考の方法を定めるものである。

(方針)

第2条 フェローの称号は、フェロー規程第1条に示す活動項目に関する継続的な功績者に対して授与することを選考の方針とする。

(推薦)

第3条 正会員(以下、推薦者)は、フェロー選考審査基準に則り、代議員数を基準として、理事会で定めた人数までの候補者を推薦することができる。

2. 前項の推薦にあたって、推薦者は別紙様式による推薦書および審査報告書を毎年理事会で定めた期日までにフェロー選考委員会に提出する。
3. 理事会はフェロー選考審査基準に則り、候補者を推薦できる(以下、理事会推薦)。

(審査)

第4条 推薦者は被推薦者について3人の審査員をフェローの中から選定し、審査を依頼する。ただし、審査員には被推薦者と異なる機関に属するものが半数以上含まれているものとする。

2. 審査員は推薦書に基づき被推薦者について審査を行い、その結果を別紙様式2により推薦者に報告する。

(選考)

第5条 会長はフェローを選考するため、フェロー選考委員会(以下委員会という)を設置する。

2. 委員会の委員は5人とし、理事会の議を経て会長が指名する。
3. 委員の候補者及び委員の氏名は公開しない。
4. 委員の任期は3年とする。
5. 委員会に委員長及び副委員長をおく、委員長及び副委員長は委員の互選による、委員長は委員会を招集しその議長となる。副委員長は委員長を補佐し、委員長に事故ある時は、その職務を代行する。
6. 委員会は定められた審査基準に基づき、推薦書及び審査結果について審議の上、フェローの称号を授与するのが適当と認められた候補者を選考し、その結果を会長に報告する。

7. その他委員会に必要な事項は委員会において定める。
8. 委員会の報告を受けた会長は、理事会の議を経て、フェローの称号を授与するものを決定する。

(規則改定)

第6条 この規則の変更は理事会で審議し、総会で議決する。

付 則

第7条 この規則は総会で議決した日から施行する。