

日本農業工学会賞2023 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：2023年5月13日（土） 14:00－16:40

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）
およびリモート参加（ハイブリット開催）

目 次

正会員	1
日本農業工学会賞2023受賞者	2
【講演】	
渡邊 博之（玉川大学 大学院農学研究科・教授） LED を光源とした植物栽培技術および植物工場の研究	6
高山弘太郎（豊橋技術科学大学 大学院工学研究科・教授） 施設園芸に実装される高精度生体情報計測技術の開発	10
富士原和宏（東京大学 大学院農学生命科学研究科・教授） 人工光下の植物栽培・貯蔵に関する環境調節工学的研究	14
野口 良造（京都大学 大学院農学研究科・教授） 食料生産・生物資源利用のシステム解析と環境影響評価	18
志藤 博克（国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 農業機械研究部門 機械化連携推進部 機械化連携推進室・機械化連携調整役） 青刈リトウモロコシの省力化収穫調整技術の開発	22
足立 泰久（筑波大学 生命環境系・教授） 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 ...	26
福与 徳文（茨城大学 農学部・教授） 地域の内発性を引き出す計画手法に関する研究	30
日本農業工学会賞受賞者(2014 年度～2023 年度)	34
2023 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～2023 年度)	38
会則	41

日本農業工学会正会員

正会員 10 学協会 総会員数:15,123 名(農業電化協会 127 団体);14,980 名・団体
(令和 5 年 5 月 13 日現在:9 学会、1 協会) (会員数は令和 3 年度日本農学会登録数)

農業農村工学会(昭和 59 年～現在) (会長:平松 和昭、会員数:10,413 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)

農業食料工学会(昭和 59 年～現在) (会長:井上 英二、会員数:1,017 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)

日本農業気象学会(昭和 59 年～現在) (会長:富士原 和宏、会員数:549 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:大谷 隆二、会員数:356 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:岩淵 和則、会員数:323 名)
Society of Agricultural Structures, Japan (SASJ) (略記:施設)

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)

農村計画学会(平成 2 年～現在) (会長:一ノ瀬 友博、会員数:869 名)
The Association of Rural Planning (ARP) (略記:計画)

生態工学会(平成 6 年～現在) (会長:船田 良、会員数 371 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)

農業情報学会(平成 9 年～現在) (会長:南石 晃明、会員数:343 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)

日本生物環境工学会(平成 19 年～現在) (会長:後藤 英司、会員数:782 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)

日本農業工学会賞 2023 受賞者

渡邊 博之(わたなべ ひろゆき)

学歴・職歴

- 1983 年 名古屋大学農学部農芸化学科 卒業
- 1985 年 筑波大学大学院修士課程環境科学研究科 修了
- 1987 年 三菱化成工業株式会社（現 三菱ケミカル株式会社）入社
- 2003 年 玉川大学農学部応用生物化学科 助教授
- 2008 年 玉川大学農学部生命化学科 教授

受賞歴

- 1995 年 日本植物工場学会 学術奨励賞
- 2019 年 生態工学会 学術賞
- 2019 年 日本生物環境工学会 植物工場貢献賞
- 2020 年 日本農業工学会 フェロー

高山 弘太郎(たかやま こうたろう)

学歴・職歴

- 1999 年 東京大学農学部卒業
- 2001 年 東京大学大学院農学生命科学研究科生物・環境工学専攻修士課程修了
- 2004 年 東京大学大学院農学生命科学研究科生物・環境工学専攻博士課程修了
- 2004 年 愛媛大学農学部助手
- 2013 年 愛媛大学大学院農学研究科准教授
- 2017 年 愛媛大学大学院農学研究科教授
- 2018 年 豊橋技術科学大学先端農業・バイオリサーチセンター特任教授
- 2021 年 豊橋技術科学大学大学院工学研究科教授(クロスアポイントメント)

受賞歴

- 2017 年 日本生物環境工学会学術賞
- 2020 年 日本生物環境工学会パラダイム・シフト賞

富士原 和宏(ふじわら かずひろ)

学歴・職歴

- 1984 年 千葉大学園芸学部園芸学科卒業
- 1989 年 千葉大学大学院自然科学研究科生産科学専攻博士課程修了
- 1989 年 日本学術振興会特別研究員, New Zealand Forest Res. Inst. 客員研究員
- 1991 年 千葉大学園芸学部助手
- 1995 年 千葉大学園芸学部助教授
- 1998 年 東京大学大学院農学生命科学研究科助教授
- 2011 年 東京大学大学院農学生命科学研究科教授

受賞歴

- 1998 年 日本農業気象学会賞 学術賞
- 2004 年 日本生物環境調節学会 学術賞
- 2018 年 日本農業工学会フェロー

野口 良造(のぐち りょうぞう)

学歴・職歴

- 1993 年 九州大学大学院農学研究科農業工学専攻 博士後期課程単位取得退学
- 1993 年 九州大学、博士(農学)
- 1994 年 筑波大学農林工学系助手
- 1999 年 宇都宮大学農学部農業環境工学科助教授
- 2010 年 筑波大学大学院生命環境科学研究科准教授
- 2022 年 京都大学大学院農学研究科地域環境科学専攻教授

受賞歴

- 2009、2015 年 農業情報学会論文賞
- 2015 年 農業情報学会学術賞
- 2017 年 環境技術学会学術賞
- 2021 年 日本農業工学会フェロー

志藤 博克(しとう ひろかつ)

学歴・職歴

- 1990 年 東京農工大学大学院農学研究科修了
- 2005 年 博士(農学)取得
(職歴)
- 1990 年 生研機構(現、農研機構農業機械研究部門)採用 企画部
- 1992 年 評価試験部 安全試験室 配属
- 1997 年 畜産工学研究部 飼料生産工学研究単位 配属
- 2009 年 基礎技術研究部 安全人間工学研究単位 配属
- 2015 年 評価試験部 安全試験室 室長
- 2016 年 総合機械化研究領域 畜産工学ユニット ユニット長
- 2018 年 機械化連携推進部 機械化連携推進室 機械化連携調整役
- 2013 年 安全検査部 部長

受賞歴

- 2002 年 日本草地学会 研究奨励賞
- 2007 年 畜産大賞 研究開発部門 最優秀賞
- 2008 年 農業機械学会 森技術賞
- 2009 年 大日本農会農業技術開発名誉賞状

足立 泰久(あだち やすひさ)

学歴・職歴

- 1981 年 東京大学農学部農業工学科卒業
- 1988 年 東京大学大学院農学系研究科博士課程農業工学専攻修了
- 1988 年 筑波大学農林工学系助手
- 1996 年 筑波大学農林工学系助教授
- 2002 年 筑波大学大学院生命環境科学研究科准教授
- 2008 年 筑波大学大学院生命環境科学研究科教授

受賞歴

- 2000 年 農業土木学会研究奨励賞
- 2014 年 農業農村工学会学術賞

福与 徳文(ふくよ なるふみ)

学歴・職歴

- 1986 年 東京大学文学部第4類行動学社会学専修課程卒業
- 1986 年 農林水産省農業研究センター
- 1996 年 北海道農業試験場
- 2001 年 農業工学研究所
- 2014 年 茨城大学農学部教授

受賞歴

- 1997 年 農村計画学会奨励賞
- 2009 年 農業農村工学会優秀論文賞
- 2013 年 農村計画学会賞
- 2013 年 農業農村工学会著作賞
- 2015 年 農業農村工学会優秀報文賞
- 2021 年 日本農業工学会フェロー

LED を光源とした植物栽培技術および植物工場の研究

渡邊 博之

玉川大学大学院 農学研究科

要旨

1990 年代初めより、アメリカ・ウィスコンシン大学やNASAケネディスペースセンターが中心となり、主に宇宙での食料生産・植物栽培を目的に発光ダイオード(LED)を光源とした植物栽培実験が始まった。当時のLEDは、とても植物栽培用の光源として利用できるようなパフォーマンスではなかったが、我々は 1992 年よりLEDが発する光の単色性に着目して、LED光源による植物栽培の技術開発を開始した。その後、LEDの農業利用を目的に、施設栽培での電照、育苗用の光源利用、苗の貯蔵中の補光、鉢花や切り花の鮮度保持のための補光、そして大規模LED植物工場の開発と、一貫してLEDの特性を生かした植物栽培利用技術について研究を進めた。本稿では、30 年以上にわたって展開したLEDによる植物栽培技術開発の経緯と成果について解説し、LEDを光源とした植物工場の今後について展望したい。

キーワード

光環境制御, 単色性, ダイレクト水冷式ハイパワーLED, 機能性野菜, 味覚向上, 垂直農業

緒言

現在では当たり前のように植物工場で使用しているLED光源だが、その技術開発の歴史はまだ浅い。筆者が民間の化学会社でLED植物工場の研究を始めた1990年代初めは、植物工場の光源としては、高圧ナトリウムランプ、メタルハライドランプと並んで白色蛍光灯が使われ始めた時代であった。1991年に世界で初めてLEDを光源としてレタスの水耕栽培に成功したという研究論文がウィスコンシン大学のグループによってアメリカ園芸学会誌に掲載された¹⁾。さらに、1993年末には、日亜化学工業株式会社により、窒化ガリウムを素子とする青色LEDが開発され、1994年から製造、販売が始まった。この快挙は、2014年のノーベル物理学賞受賞につながり、世界中の照明のLED化をもたらした。植物工場の分野でも、消費電力の小さいLEDは植物工場のランニングコストの大きな部分を占める電力費を抑えるため、積極的に導入され、現在に至っている。

我々は、青色LEDが開発される前の1992年より一貫してLED光源の植物栽培利用、さらにはLED植物工場の開発に取り組んできた。キクの電照栽培への効果²⁾、イチ

ゴの電照栽培や育苗での利用³⁾、ブドウ栽培のLED補光効果⁴⁾、観賞用鉢花の鮮度保持効果、セル成型苗の長期冷蔵保存時の補光など、種々の植物栽培場面を想定し、そこでのLED光源の活用方法について、多面的な技術開発を続けた⁵⁾。さらに1996年からは本格的に大規模LED植物工場の開発に着手し、赤色LEDのみを用いた大規模レタス工場⁶⁾、さらにLEDの照射波長を複雑に組み合わせた光環境による高品質野菜や機能性植物の生産技術の開発に取り組んできた⁷⁾。

本稿では、LEDを植物栽培光源として利用するための技術開発について、これまでの我々の取り組みについて紹介する。

植物栽培光源としてのLEDの特徴

植物栽培光源としてのLEDの特徴は、次の3点に集約される⁸⁾。

(1) 単色光を照射

単色光を組み合わせることにより、植物に対して多種多様な光環境を実現できる。

(2) 省エネルギー

電気から光への変換効率については、蛍光灯や高圧ナトリウム灯と大きな違いのないLEDだが、光の照射範囲を限定することにより効率的に光を植物に当て、栽培に必要な消費電力を抑えることができる。

(3) 耐久性

長寿命で耐久性が高く、使用条件によっては長期間にわたって安定した光環境を維持できる。ただし、微細な



図1 ブドウへのLED電照栽培試験⁴⁾

LED チップに継続的に高出力を要求すると、比較的簡単にチップの劣化、出力低下が生じる。

特に上記の(3)は重要で、比較的高価なLED 照明装置が急速に劣化すると、その交換コストは莫大なものになる。LED ランプを長期間安定して使用し続けるためにどうしてもチップの急速な劣化を防ぐ工夫が必要だった。

ダイレクト水冷式ハイパワーLED の開発

植物栽培光源としてLED を利用することを考えると、どうしても高出力で長時間、連続的な光照射が必要となる。LED に限らず、半導体チップの劣化の最大の要因は、チップの過熱、温度上昇である。LED ランプを植物栽培光源として、高出力、長時間点灯するためには、強力なチップの冷却システムが必要だった。そのために昭和電工アルミ販売株式会社と協力して、LED チップを熱伝導性のよいアルミ基板に接着し、そのアルミ基板をチップの反対側から水冷するという冷却システムを開発した⁹⁾。

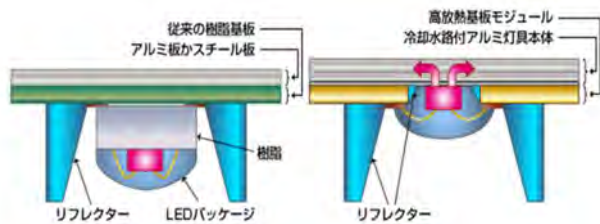


図2 従来型の樹脂パッケージ型LEDパネル(左)と新開発のダイレクト水冷式LEDパネル(右)の模式図¹⁰⁾

「ダイレクト水冷式ハイパワーLED」と呼ばれるこの方式は、LED チップの劣化、出力低下を大幅に改善し、植物栽培光源としてのLED の耐久性を飛躍的に向上させた¹⁰⁾。



図3 試作したダイレクト水冷式ハイパワーLEDパネル¹⁰⁾

赤色 LED を光源とした植物工場の開発

1997 年からコスモプラント株式会社と協力して大規模植物工場の開発に着手した。1994 年より日亜化学工業株式会社から高輝度青色 LED は発売が始まっていたが、それを大規模植物工場で採用するには、あまりにも高価な代物



図4 赤色 LED による大規模植物工場「コスモファーム」の外観(上)と栽培室の内部(下)¹¹⁾

だった。1999 年赤色 LED を用いた大型植物工場「コスモファーム」の1号機が完成し、日産6,000株規模のリーフレタス生産が始まった¹¹⁾。また、光の照射波長と植物の形態形成との関係を調べていく中で、レッドファイヤー (*Lactuca sativa* L. 'Red Fire') など、いわゆるレッド系のリーフレタス品種を、LED を用いて純粋な赤色光下で栽培すると、アントシアニンによる着色が全く起こらず¹²⁾、その代わり本葉が



図5 赤色光(左)と赤+青色光(右)で栽培した赤系リーフレタス (*Lactuca sativa* L. 'Red Fire') ¹³⁾

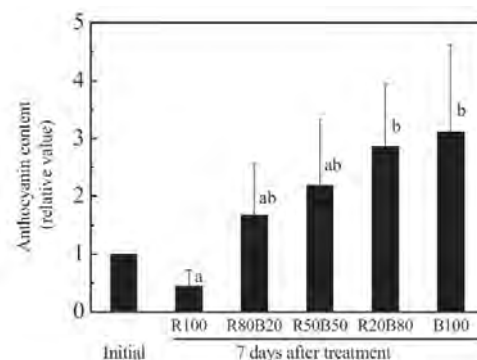


図6 赤色光、青色光の比とレタス中のアントシアニン含量との関係 ¹²⁾

大きく展開して急速に成長することを見出した¹³⁾。この特徴を利用して、赤色 LED だけによるレッド系リーフレタスの大規模植物工場の開発をめざした。コスト的に青色LEDが使えないという理由からの苦肉の策であったが、生産されたライトグリーン系のレッド系リーフレタスは、葉が柔らかく、苦味の少ない、食べやすいレタスに仕上がった¹¹⁾。

玉川大学「LED 農園[®]」での実証研究

2003 年に玉川大学農学部に籍を移し、2010 年には LED 植物工場の研究施設、2014 年には LED 植物工場の実証施設「LED 農園[®]」を開設した¹⁴⁾。

LED 農園[®]では、7 種類のリーフレタスを日々約 3,000 株生産し、品質管理の問題や事業性、収益性について検証している。ここでは白色 LED は一切使わず、LED の単色性を生かしたレタス栽培を行っている。例えば、野菜の栽培終期に青色光を集散的に照射すると野菜に含まれるビタミンやポリフェノールなどの抗酸化成分が増加して、栄養価が高まる。また、遠赤色光を照射光に含ませることにより、野菜の草型を変化させ、生育を促進させるなど、生産効率を上げる試みも行っている¹⁵⁾。



図7 玉川大学 LED 植物工場実証施設「LED 農園[®]」の外観(上)と栽培室内の多段式栽培システム(下)¹⁴⁾

LED 光環境調節による植物の高機能化

LED を用いた光環境調節により植物の高品質化や高機能化への試みも進めた。例として、芳香ハーブの香り成分への向上と薬草に関する研究例を紹介する。

エスニック料理で人気のコリアンダー(シャンツァイ)は、

独特の風味成分として(*E*)-2-decenal や(*E*)-2-dodecenal を含むことが知られている。コリアンダーを LED 光のもとで栽培すると、赤色単色光のもとでこれらの2つの芳香成分が有意に上昇することを明らかにした¹⁶⁾。栽培中の光環境をコントロールすることにより、食事の好みに合うコリアンダーを生産し、料理の種類によって風味の違うコリアンダーを使い分けるなどということが可能になる。

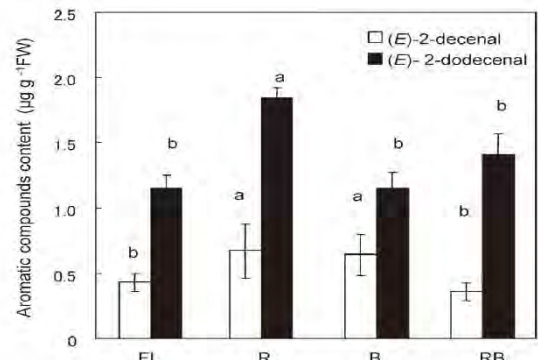


図8 LED 光環境がコリアンダーの芳香成分に与える影響¹⁶⁾

花壇用の園芸作物として知られるニチニチソウは、多種のアルカロイドを葉中に産生する植物として知られ¹⁷⁾、その一部は抗がん剤として商品化されている。悪性リンパ腫の標準薬として使用される vinblastine (商品名エクザール[®]) もこのニチニチソウの仲間の薬草にわずかに含まれる成分を抽出して製品化されている。ニチニチソウの中で vinblastine やその前駆体(vindoline, catharanthine)を比較的多く含む品種を選び、LED 光を照射してその薬効成分の挙動を調べたところ、赤色単色光で vinblastine の前駆体である vindoline や catharanthine が有意に増加していることが判明した¹⁸⁾。さらに、その後 5 日間、ピーク波長 370 nm の UV-A を 5 W/m² の光強度で照射することによってその前駆体がカップリング反応を起こし、急速に vinblastine に変化することが明らかとなった¹⁹⁾。

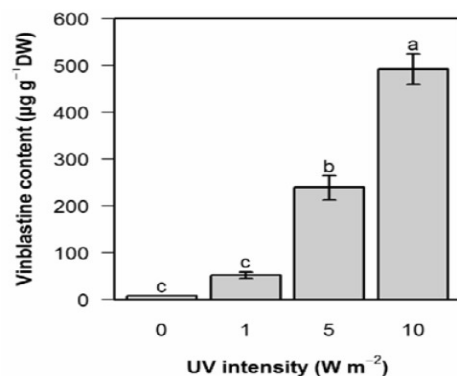


図9 UV-A 照射によるニチニチソウ vinblastine の生成¹⁹⁾

さらに美味しい野菜をめざして

レタスの味の良し悪しに、苦味や塩味の強さが深く関わっていることはすでに知られている²⁰⁾。リーフレタスをLED 単色光のもとで栽培し、レタス体内の硝酸イオン濃度、Brix 値、官能評価の結果と味覚センサーでの結果を比較した。その結果、レタスのような味の薄い野菜の美味しさを向上させるためには、Brix 値に表されるような糖度を上げるよりも、硝酸イオン濃度を下げることによって、苦味や塩味を下げるの方が有効であることが明らかになり、さらに LED で光環境を整えることによって、それが可能であることが示された²¹⁾。

リーフレタスから事業化が始まった植物工場だが、今後リーフレタス以外にも作目を拡大することが予想される。バジル、ルッコラ、コリアンダーなどのハーブ類、イチゴやミニトマトなどの果菜類はすでに開発の成果が出つつあり、一部で事業化が始まっている。LED を光源として用いることによって、精密な光環境調節を行い、かつ栽培ユニットを薄型にすることによって重層し、「垂直農業 (Vertical Farming)」と呼ばれる縦型の栽培システムを構築することによって専有土地面積の小さい都市型の生産システムを実現できる。また、都市に生産施設を設置できることは、流通コストや搬送時間などで事業を進めるうえで大きなメリットとなる。植物工場の特徴である無農薬、清浄栽培で高品質な野菜を安定して生産できることを武器に、そこにさらに LED 光制御を加えることにより、これまでに実現できなかった高機能付加価値植物の生産の可能性も広がっている。

謝辞

今回の受賞に際し、ご推薦をいただきました生態工学会長船田良先生をはじめ、関係の諸先生方に厚くお礼を申し上げます。また、1992 年当時、LED 植物栽培研究を企業内の探索テーマとしてスタートさせてくださった元三菱化学株式会社横浜総合研究所部長研究員遠藤政弘氏に心からの感謝を申し上げます。

引用文献

- 1) R. J. Bula, R. C. Morrow, T. W. Tibbitts, D. J. Barta, R. W. Ignatius, and T. S. Martin (1991) Light-emitting diodes as a radiation source for plants. *HortScience* 26(2), 203-205
- 2) 渡辺博之, 河合成典, 吉野徹, 田中史宏 (1996) LED を光源とした植物栽培(第 5 報)秋ギク電照栽培における遠赤色光の添加効果. *園学雑誌*, 65(別2), 568-569
- 3) Duong Tan Nhut, Takejiro Takamura, Hiroyuki Watanabe, Kensho Okamoto and Michio Tanaka (2003) Responses of strawberry plantlets cultured in vitro under superbright red and blue light-emitting diodes (LEDs). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 73(1), 43-52
- 4) 中里一貴, 森直哉, 渡辺博之 (2017) LED 補光を用いた高品質ブドウ栽培技術の探索. *玉川大学農学部研究教育紀要*, 2, 17-27
- 5) 渡辺博之 (1997) LEDを応用した植物栽培. *ディスプレイ* 3(11), 43-48
- 6) 渡辺博之 (1996) LED光源の植物工場への適用. *SHITA REPORT II*, 31-41
- 7) Hiroyuki Watanabe (2011) Light-controlled plant cultivation system in Japan - Development of a vegetable factory using LEDs as a light source for plants. *Acta Horticulturae* 907, 37-44
- 8) 渡辺博之 (2000) LED利用型野菜工場. *高分子* 49(6), 375-378
- 9) 渡辺博之 (2012) 完全人工光型植物工場の照明技術ーLEDを用いた野菜工場ー. *アグリフォトニクスII* (後藤英司 監修) 第5章, pp.38-46, シーエムシー出版
- 10) 渡辺博之 (2021) LED を利用した高効率植物栽培システムの開発. *アグリバイオ*, 5(3), 228-232
- 11) 渡辺博之, 内山久和, 金原士朗 (2001) LEDを光源とした植物栽培技術. *光技術コンタクト* 39(7), 428-434
- 12) 庄子和博, 後藤英司, 橋田慎之介, 後藤文之, 吉原利一 (2010) 赤色光と青色光がレッドリーフレタスのアントシアニン蓄積と生合成遺伝子の発現に及ぼす影響. *植物環境工学*, 22(2), 107-113
- 13) 大嶋泰平, 大橋(兼子)敬子, 大野英一, 渡辺博之 (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): 24-32
- 14) 渡辺博之 (2011) 玉川大学の植物工場研究の取り組み. *農耕と園芸*, 66(1), 25-28
- 15) 渡辺博之 (2021) LED を用いた植物工場生産および栄養成分改良. *レーザー研究*, 49(10), 566-569
- 16) 大橋(兼子)敬子, 小川瑛利子, 大野英一, 渡辺博之 (2013) 異なる光質環境下で育成したシソ, ルッコラ, およびコリアンダーの成長と精油含有量. *植物環境工学* 25(3), 132-141
- 17) 福山太郎, 大橋(兼子)敬子, 大野英一, 渡辺博之 (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), 175-182
- 18) Taro Fukuyama, Keiko Ohashi-Kaneko and Hiroyuki Watanabe (2015) Estimation of optimal red light intensity for production of pharmaceutical drug components, vindoline and catharanthine, contained in *Catharanthus roseus* (L.) G. Don. *Environ. Control Biol.*, 53(4). 217-220
- 19) Taro Fukuyama, Keiko Ohashi-Kaneko, Kazumasa Hirata, Misa Muraoka and Hiroyuki Watanabe (2017) Effect of ultraviolet A supplemented with red light irradiation on vinblastine production in *Catharanthus roseus*. *Environ. Control Biol.*, 55(2) 65-69
- 20) 堀江秀樹 (2008) レタスに関する官能評価と機器分析の関係. *農林水産省補助事業知識集約型産業創造対策事業「野菜のおいしさ検討委員会」報告書*, pp.42-46
- 21) 渡辺博之 (2022) LED 植物工場-美味しいレタスを作る技術-アグリバイオ, 6(13), 1222-1224

施設園芸に実装される高精度生体情報計測技術の開発

高山 弘太郎

豊橋技術科学大学大学院工学研究科・愛媛大学大学院農学研究科

要旨

太陽光植物工場などの先端的な園芸施設に導入される高度な環境制御技術の性能を十分に発揮させるためには、植物の生育状態に合わせて環境制御の設定値を適切に更新し続ける“スピーキング・プラント・アプローチ (SPA: Speaking Plant Approach)”コンセプトの実装が不可欠であり、その基盤となる技術がオンサイトでの植物生体情報計測技術である。本稿では、筆者らのグループが開発し、商業的太陽光植物工場への実装が進みつつある高精度植物生体情報計測技術である“光合成蒸散リアルタイムモニタリングシステム”と“植物生体画像情報計測ロボット”について概説し、これらの生産現場におけるユースケースを紹介するとともに、今後の SPA 太陽光植物工場のあり方について展望する。

キーワード

スピーキング・プラント・アプローチ, 光合成蒸散計測, 画像計測, 自動化, カーボンニュートラル

緒言

1. 期待される植物工場

わが国の農業生産人口の減少はかつてないスピードで進行しており、今後もこの傾向が続くものと想定される。一方、昨今の世帯構成の変化や女性の労働参加の高まりや中高年層の健康志向を受け、サラダの1人あたり購入金額は飛躍的に増大し、さらに、コロナ禍によって野菜の消費動向が変化し、家庭内調理で使う生鮮野菜、冷凍野菜、野菜惣菜などの購入額が大幅に増加している¹⁾。このような情勢のなか、今後もニーズの拡大が想定される生鮮野菜を安定的に供給する農業生産システムの有力な候補として植物工場に期待が寄せられており、栽培面積の増大も報告されている²⁾。

植物工場は、人間が環境を制御して農作物生産を行うシステムであり、人工光(型)植物工場と太陽光(型)植物工場に大別される。人工光植物工場は、LED等の人工光源を用いて光合成を行わせるため、光の強度やスペクトルを含めた高度な環境制御が可能な生産システムであり、コンビニエンスストアチェーンや外食産業への葉菜類の安定供給源として定着しつつある。一方、太陽光植物工場は、太陽光エネルギーを最大限に活用して大規模な農作物生産を行う施設であり、高度な環境制御技術により、地域における農作物生産の効率を最大化するシステムとして確立されつつある。

2. 環境制御に必須となるスピーキング・プラント・アプローチ

最新の植物工場に導入される高度な環境制御技術の性能を十分に発揮させるためには、植物の生育状態に合わせて環境制御の設定値を適切に更新し続ける必要があり、「植物の生育状態の見極め」能力の高低が生産性の高低に直結することになる。近年のセンシングデバイスの低廉化とIoTの普及により、植物工場に実装可能な植物生

体情報計測(フェノタイピング)技術が提案されつつあり、ビッグデータ解析技術やAI技術との連携を通じて「植物の生育状態の見極めの数値化」が現実味を帯びてきている。

スピーキング・プラント・アプローチ (SPA: Speaking Plant Approach) コンセプトは、様々なセンサを用いて植物生体情報を計測して生育状態を診断し、その診断結果に基づいて栽培環境を適切に制御するというもの³⁻⁵⁾であり、植物工場の生産性を最大化させるための切り札として世界的に注目されている⁶⁾。本稿では、筆者らのグループが行った複数の研究開発プロジェクトの成果物として商業的太陽光植物工場への実装が進みつつある光合成蒸散リアルタイムモニタリングシステムと植物生体画像情報計測ロボットの概略とユースケースを紹介するとともに、今後の SPA 太陽光植物工場の展開について展望する。

生産現場に実装されつつある植物生体情報計測技術

1. 光合成蒸散リアルタイムモニタリングシステム

図1は、筆者らが開発したトマト個体群を対象とした光合成蒸散リアルタイムモニタリングシステム(略称、光合成計測チャンバ)の模式図と写真である⁷⁾。本システムは、下部が開放されているチャンバ(透明なプラスチックバッグ)に、栽培されている状態のトマト2個体を内包する。上部のファンによりチャンバ内空気を継続的に排気し、チャンバ下部の開口部からチャンバ内に流入する空気(Inflow air)とチャンバから排出される空気(Outflow air)のCO₂濃度差およびH₂O濃度差を計測することにより(開放型同化箱法)、光合成速度と蒸散速度のリアルタイムモニタリングを可能にする。なお、本システムは、安価なCO₂濃度センサ・H₂O

濃度センサを用いているにも関わらず高精度な光合成蒸散計測を可能にした画期的なシステムであり、大学発ベンチャーの PLANT DATA (株)と協和(株)ハイポニカが共同で2019年9月に市販化を発表した(2023年4月現在、初期費用無しのサブスクリプションサービスとして提供)。

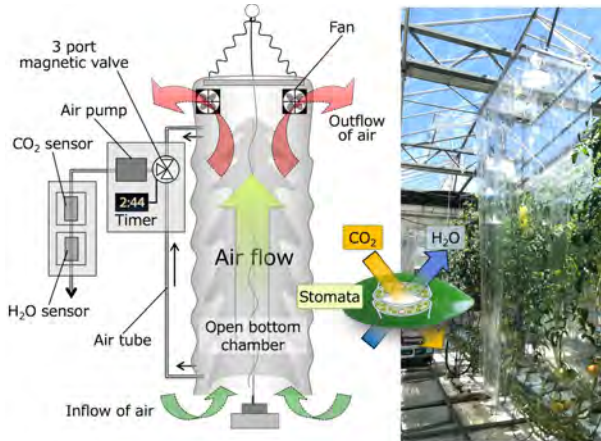


図1 光合成計測チャンバの模式図(左)と写真(右)

図2は、PLANT DATA(株)が開発した光合成蒸散リアルタイムモニタリングシステム専用ウェブアプリのUI例である。約5分間隔で光合成速度・蒸散速度・総コンダクタンスの変化をモニタリングでき、全データをCSV形式でダウンロードすることも可能である。なお、図2のデータ取得日には、しおれなどの目に見える形での異変は認められなかったものの、10:30頃から飽差が継続的に増大(図2-①)したことで水ストレスが生じ、気孔が閉鎖し(図2-②)、光合成速度が大幅に低下(図2-③)していた。このような例からもわかるとおり、1分1秒の光合成を丁寧に積み重ねることで高収量を達成する太陽光植物工場の環境制御においては、光合成と蒸散のリアルタイムモニタリングとそれに基づいた環境制御の最適化は必要不可欠なタスクになるものと予見される。

なお、本システムでは、環境データも同時に取得しているので、ウェブアプリ上で光合成・蒸散・コンダクタンスの環

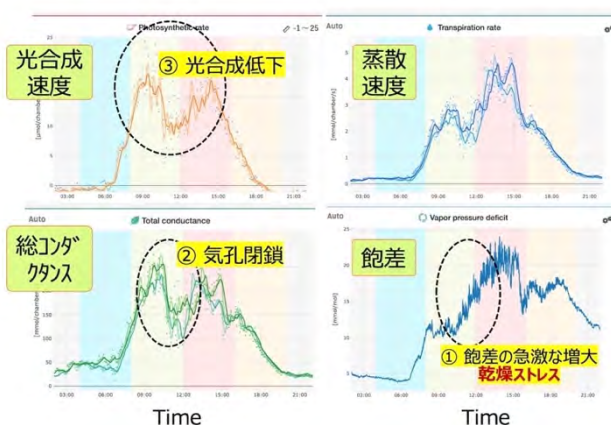


図2 光合成・蒸散・コンダクタンスのリアルタイムモニタリング専用ウェブアプリによる乾燥ストレスの検知例

境応答の解析とモデル化も可能である(図3)。これまでに、国内外にてトマト・キュウリ・パプリカ・ナス・イチゴ・スプレーマムなどを対象として70件以上のユースケースがあり、今後の展開が期待される。

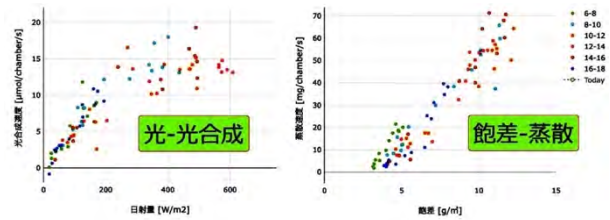


図3 ウェブアプリで提供される個体群の光合成の日射応答(光-光合成曲線)(左)と蒸散の飽差応答(右)の表示例

2. クロロフィル蛍光画像計測ロボット

図4は、筆者らが基盤技術を開発し、井関農機(株)より市販されたクロロフィル(以降、Chl)蛍光画像計測ロボット(PD6C)である。本装置は太陽光植物工場内の1レーンを夜間に自動走行し、トマト個体群のChl蛍光画像を計測する。Chl蛍光は、Chlが吸収した光エネルギーのうちで光合成に使われずに余ったエネルギーの一部が赤色光として捨てられたものである。青色LEDを用いて植物葉に青色光を照射(励起光)すると、植物葉は照射光の反射光と光照射により励起されたChl蛍光を発する。CCDカメラの前方にロングパスフィルタ等を配置して青色の反射光成分を除去することで、Chl蛍光画像の撮像が可能となる⁸⁾。暗条件におかれた植物葉に一定の強さの励起光照射を開始すると、Chl蛍光強度が経時的に変化する現象が確認されるが、この現象はインダクション現象とよばれ、大政謙次東大名誉教授により1987年に世界で初めて画像計測された。なお、インダクション現象中の蛍光強度変化を表す曲線をインダクションカーブとよび、その形状は葉の光合成能力の高低や種々のストレスの影響を受けて変化するため、カーブの形状指標を用いることで光合成機能診断が可能となる⁹⁾。

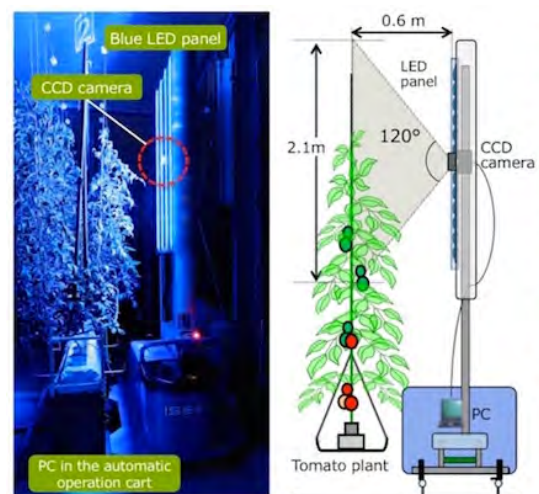


図4 愛媛大学植物工場研究センターの研究成果として市販されたクロロフィル蛍光画像計測ロボット

図 5 は, Chl 蛍光画像計測ロボットを用いて計測した研究用太陽光植物工場(愛媛大学植物工場研究センター)の 1 区画(20 m × 11 m)の光合成機能マップである。中央南側の植物体の光合成電子伝達活性が高いことが分かる。

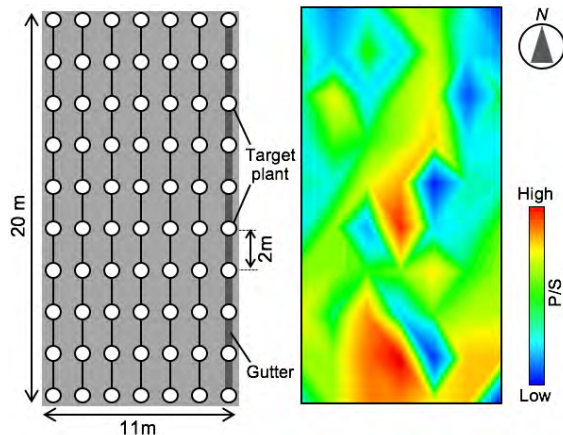


図 5 愛媛大学の実験用太陽光植物工場におけるトマト個体群の光合成機能マップ

3. つり下げ型植物生体画像情報計測ロボットによる高精度生育診断

筆者らの最近の研究開発では, 従来型の小・中規模のビニルハウスにも導入可能な安価かつ小型の“つり下げ型”画像情報計測ロボットを提案している(図 6)。多元的植物生体画像計測ユニットでは, 4 種類(青・白・赤・近赤外)の LED 光源と 2 種類(カラー・赤外)のカメラを組み合わせることで Chl 蛍光画像・カラー画像・NDVI 画像を取得する。この画像計測ユニットは, 太陽光植物工場の天井部に水平に設置されたレールにつり下げられており, レールに沿った水平移動とつり下げ装置の昇降機能による垂直移動を行い, 奥行き約 70m のトマト個体群(140~210 株)の茎頂から果実までの植物体全領域を対象とした画像計測が可能である。なお, 自動充電機能と自動計測機能により,

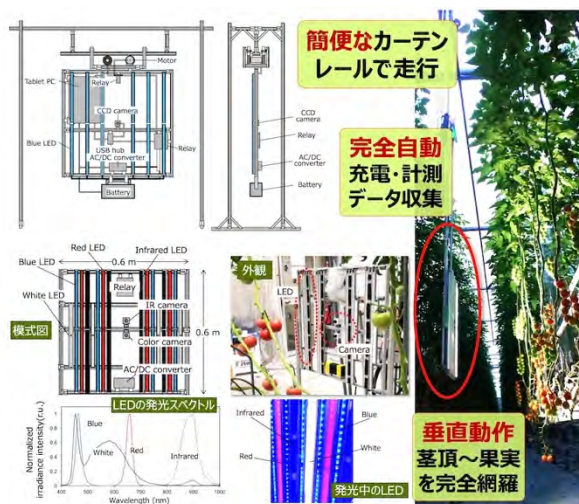


図 6 つり下げ型植物生体画像情報計測ロボットの模式図(左)と大規模トマト生産温室における計測の様子(右)

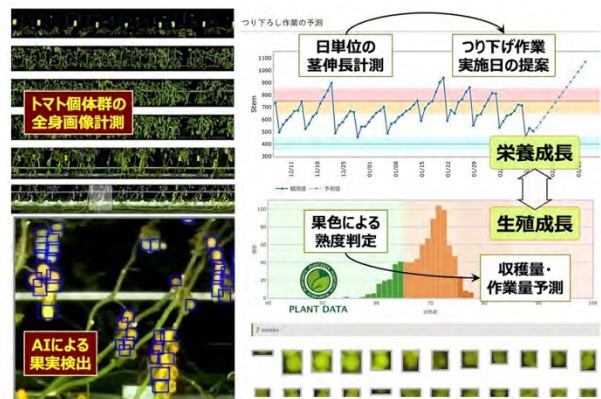


図 7 つり下げ型画像情報計測ロボットが取得したトマト群落のカラー画像(左上), AI 画像解析による果実検出結果(左下), 日単位の茎伸長把握に基づいた作業予測(右上), 果実の熟度判定(右下)

すべての計測プロセスが自動化されており, 取得した画像情報はインターネットを介して専用サーバにアップロードされ, クロロフィル蛍光画像を用いた光合成機能の数値評価, カラー画像の AI(ディープラーニング)による画像解析を通じた果実数等のカウント, NDVI 画像による葉緑素量の評価を行い, 専用のウェブアプリにその結果が表示される。図 7 は, つり下げ型植物生体画像情報計測ロボット専用開発したウェブアプリの UI 例である。高さ約 3m のトマト個体群を垂直方向に 6 分割して取得した画像データに加えて, ディープラーニングによる果実検出と果実毎の着色レベルの分析結果, 茎頂高や植物体領域の変化量に基づいた茎伸長や葉面積拡大の日単位の評価結果を閲覧できる。本ロボットは試験的な商用サービスが始まったばかりの段階にあるが, これまでに 4 圃場(大規模施設: 浅井農園[トマト]・アグリマインド[トマト], 中小規模生産: 下村農園[キュウリ]・三重県農業研究センター[イチゴ])に研究目的で導入され, 生産現場において延べ 300km 以上の画像計測走行実績と延べ 500 日以上稼働実績がある世界で最も生産現場への導入に近い植物画像診断口



図 8 つり下げ型植物生体画像情報計測ロボットの適用事例(上段: キュウリ, 下段: イチゴ)

ボットのひとつである。

なお、軽量化された画像計測ユニットとレールつり下げ方式は、本ロボットの既存温室への導入を容易にし、すでに、中小規模温室における植物診断にも活用され始めた。図8は、キュウリとイチゴの計測例である。キュウリの生殖成長解析では節・花・果実の自動検出(収量予測)、イチゴの栄養成長解析では草高・葉面積密度の数値評価(草勢評価)など、品目毎に必要なとされる画像解析アルゴリズムを新たに開発している。

SPA 太陽光植物工場の実現に向けた展望

セミクローズド温室は太陽光植物工場における環境制御の目指すべき到達点のひとつであり、換気(温室内外の空気の入れ換え)と室内の空気循環をほぼ完全に制御することで、栽培環境の安定化と最適化(高 CO_2 濃度かつ適切湿度)を極めて高いレベルで実現する。わが国においてもセミクローズド温室による2 ha 規模のトマト生産が行われており、 70 kg m^{-2} 超のオランダに匹敵する生産性を達成した例もある。しかしながら、このような極限まで高度化した環境制御技術の性能を十分に発揮させるためには、植物の生育状態に合わせた栽培管理が必須であり、そのためには前述した植物生体情報計測技術が必要不可欠となる。

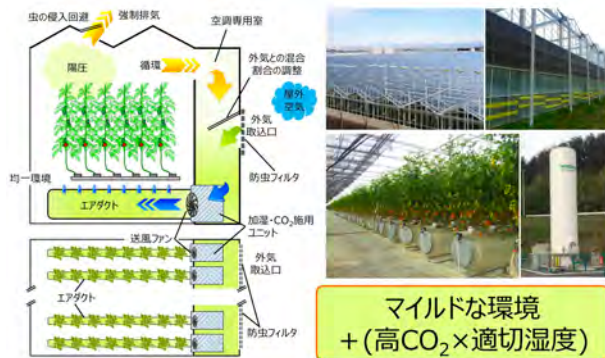


図9 セミクローズド温室の環境制御の特徴

筆者らの研究グループでは、植物生体情報計測機能を組み込んだセミクローズド温室を開発し、環境制御の高度化と安定生産を達成するとともに、他産業が放出する CO_2 を高効率で活用することで地域のカーボンニュートラルに貢献する施設園芸の確立に向けたプロジェクトに着手した。環境省の2022年度地域共創・セクター横断型カーボンニュートラル技術開発・実証事業「スピーキング・プラント・アプローチ型環境制御を組み込んだセミクローズド・電化パイプハウスの開発」(図10)では、2050年までに園芸施設における化石燃料使用量ゼロを達成するために、わが国の園芸施設の約96%を占めるカマボコ型パイプハウス等をターゲットとして、気密性の向上と換気の完全制御を可能にした“セミクローズド・パイプハウス”を新たに開発し、これに電気ヒートポンプ冷暖房と植物生体情報計測技術を連携させた世界初となるスピーキング・プラント・アプローチ

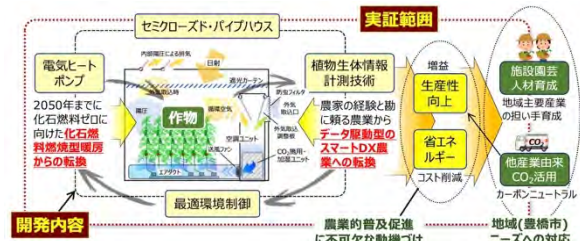


図10 SPA 環境制御システムを組み込んだセミクローズド・電化パイプハウスの開発

型環境制御システムを導入することで、燃焼式暖房で発生する CO_2 の削減と植物生体情報に基づいた最適環境制御による生産性向上(暖房設定気温の最小化による追加的な CO_2 削減、冷房による光合成促進による増収)を同時に達成する。特に、他産業由来の CO_2 を活用した高効率な CO_2 施用と最適温湿度の長時間維持により、高収量・高品質な作物生産と低エミッションかつネットゼロの施設生産を目指す。このようなプロジェクトにおける研究開発を通じて、5～10年後の「植物の声を聴く」SPA技術が人間の代わりに環境制御を行う施設園芸を実現したい。

謝辞

今回の受賞に至るまでに、格別のご指導を賜りました日本生物環境工学会の橋本康名誉会長、野口伸理事長、吉田敏特任名誉会長、仁科弘重名誉会長、後藤英司会長、羽藤堅治副会長、および、多くのご示唆を頂きました諸先生方に厚く感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 農林水産省. 加工・業務用野菜をめぐる状況. 2021.
- 2) 農林水産省. 施設園芸をめぐる情勢. 2022.
- 3) 高山弘太郎: On-site 植物生体情報計測が加速する SPA, 植物環境工学 33(2), 51-53, 2021.
- 4) 橋本康: 太陽光植物工場における俯瞰的科学技術の流れ-植物生体情報(SPA:植物学)と栽培プロセスのシステム制御(工学)-, 植物環境工学, 25, 57-64, 2013.
- 5) 高山弘太郎:第2世代のSPAとその実装, 植物環境工学 25(4), 165-174, 2013.
- 6) van Straten G, van Willigenburg G, van Henten E, van Ooteghem R. Optimal control of greenhouse cultivation. CRC Press, Boca Raton. 1-305. 2010.
- 7) Shimomoto K., Takayama K., Takahashi N., Nishina H., Inaba K., Isoyama Y., Oh S. Real-time monitoring of photosynthesis and transpiration of a fully-grown tomato plant in greenhouse. Environ. Control Biol. 58(3): 65-70. 2020.
- 8) 高山弘太郎, 仁科弘重. 施設園芸における植物診断のためのクロロフィル蛍光画像計測. 植物環境工学. 20: 143-151. 2008.
- 9) Takayama K, Miguchi Y, Manabe Y, Takahashi N, Nishina H. Analysis of ΦPSII and NPQ during the slow phase of the chlorophyll fluorescence induction phenomenon in tomato leaves. Environ. Control Biol. 50: 181-187. 2012.

人工光下の植物栽培・貯蔵に関する環境調節工学的研究

富士原 和宏

東京大学 大学院農学生命科学研究科

要旨

本研究は、人工光下にある植物栽培・貯蔵の系としての植物組織培養器、収穫後葉菜類・移植苗の貯蔵室、および人工光植物栽培室を対象とする環境計測・解析、植物生育制御のための環境調節法の開発・提案、さらには研究用 LED 光源システムの開発を含む環境調節工学的研究である。植物組織培養に関する研究では、培養器内環境の実態を解明するとともに、培養小植物体の生長促進のための環境調節法および光独立栄養培養装置を開発した。収穫後葉菜類・移植苗の貯蔵に関する研究では、貯蔵中の個体群 CO₂ 収支をゼロに維持する LED 弱光照射 CA 貯蔵法という品質維持・生育抑制技術を開発した。人工光植物栽培に関する研究では、地表面における太陽光の分光放射照度の時間変化を精緻に再現できる LED 人工太陽光光源システムの開発や、LED パルス光照射の影響の定量的な解明を行った。

キーワード

LED、植物組織培養、弱光照射 CA 貯蔵、人工太陽光光源、パルス光

緒言

人工光下にある植物の栽培・貯蔵系では、明期および暗期中の放射による外乱が小さい。このため、自然光下のそれと比較して栽培・貯蔵環境の制御が容易となる。そのような系では植物生育制御として理論上有効と想定される環境調節法を実現し易い。植物組織培養器内物理環境の計測と解析 (1) に関する研究、および収穫後葉菜類・移植苗の貯蔵期間延長のための環境調節 (2) に関する研究は、上記の利点を活用したものであり、研究期間はそれぞれ 1995 年および 2005 年頃までのものである。近年は、地表面における太陽光の分光放射照度の時間変化を精緻に再現できる LED 人工太陽光光源システムの開発 (3) や、植物栽培および植物光応答研究への LED 利用を意識しつつ、未だに誤解の多い LED パルス光照射が純光合成速度に及ぼす影響 (4) についての実証的・理論的研究などに注力してきた。

以下では、本研究の概要を、上記の (1)~(4) の 4 つの研究課題に絞って簡単に述べる。つぼみ切り切り花の強制開花に関する研究などの受賞題目に関係する研究は他にもあるが、項立しての記述は割愛した。

研究成果

1. 植物組織培養器内物理環境の計測と解析^{1~9)}

植物組織培養器(以後、単に培養器)内は、微生物汚染を防ぐ目的で無菌化されている。その無菌環境を担保するために、換気が著しく抑制された密閉に近い状態が維持されている。結果的に、培養器内外間の物質交換速度は著しく抑制される。また、炭素源としての糖が培地に添加されているため、植物生育のための炭素源が培地中の糖と培養器内空気中の CO₂ の 2 種類存在することになる。この 2 点が原因となり、温室や圃場における植物の生育環境と大きく異なる生育環境が培養器内に形成される。本研究では、培養器内の水、ガス、および光環境の実態の解明を中心とした複数の課題に取り組み、いくつかの知見を得た。ここでは、培養器内の CO₂ 環境に関する研究に絞って説明する。

観葉植物の培養小植物体を含む 13 本の培養器(試験管)内の CO₂ 濃度の 1 日の時間変化を計測し、すべての培養器内で明期に CO₂ 飢餓に近い状態にあったことを明らかにした (Fig. 1)。このことから、明期の培養器内 CO₂ 濃度を高めることで生長促進が可能と考えた。そこでまずは、この培養器内の CO₂ 濃度の時間変化から、その飽和型の指数関数と仮定した培養小植物体の CO₂ 濃度—純光合成速度曲線を推定することを試みた。暗期の CO₂ 濃度の時間変化と実測した培養器内空気容積から、培養小植物体の暗呼吸速度と培養器の換気回数を

推定した。その培養器内空気容積と換気回数を用いて、上記曲線のパラメータを推定した。これにより、その培養器の換気回数、空気容積、培養器外の CO_2 濃度を変えた場合の任意の時刻の純光合成速度、さらには任意の時間帯の純光合成量を推定可能となった。実用的には、培養器の換気回数をおよそ 1 h^{-1} より大きくする(従来の培養器の換気回数はおよそ 0.1 h^{-1} 以下)ことで、培養小植物体の生長を大幅に促進し得ること、そのような生育ステージであれば、培地に糖を添加しなくても光合成のみで十分な生長速度が得られることを示した。これらの知見は、培養小植物体の光独立栄養培養法の提案と光独立栄養培養装置の開発につながった。

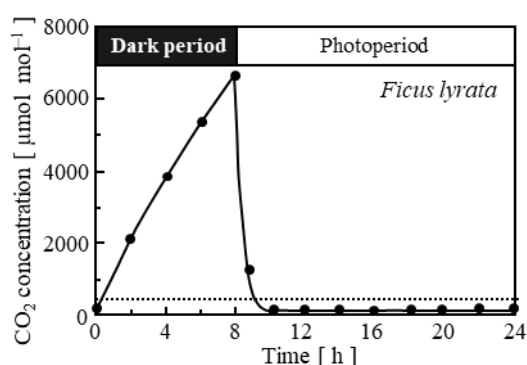


Fig. 1 Diurnal change in CO_2 concentration in a culture vessel containing a *Ficus lyrata* plantlet and MS agar medium. Solid circles and dotted line denote measured CO_2 concentration in the vessel and CO_2 concentration outside the vessel, respectively¹⁾.

2. 収穫後葉菜類・移植苗の貯蔵期間延長のための環境調節^{10~20)}

Heins et al. (1994) は、十数品目の花卉セル成形苗の貯蔵期間延長に、白色蛍光灯による 50 lx 程度の連続した弱光照射が有効であることを実証した。しかしながら、Heins らの関連研究では、そのメカニズムについては明らかにされてはいなかった。そのメカニズムについて考え始めて直ぐに、この弱光の程度は C_3 植物の光補償点に近いことに気がついた。すなわち、貯蔵中の呼吸速度と総光合成速度をバランスさせる、すなわち純光合成速度をゼロに近づけて、植物体内の炭水化物量を維持する(結果的に乾物重を維持する)ことに、 50 lx 程度の弱光が適当であったのであろうとの推察に至った。この推察の正しいことは、当時の所属研究室でのセル成形苗と培養苗を用いた複数の実験により間もなく実証された。

そこで、この弱光照射低温貯蔵による貯蔵期間をさらに延長し、かつその有効性を一層高める新技術の開発を目的として、貯蔵空間の CO_2 濃度を高める CA を組み

合わせた LED 弱光照射 CA 貯蔵法の開発に着手した。具体的には、そのための最適条件を、移植苗としてのトマト接ぎ木セル成形苗、収穫後葉菜類としてのチャービル(香草の一種)について策定した。さらに、この貯蔵法のための環境調節の自動化を目指して、貯蔵期間中の植物体の状態変化によらず、つねに純光合成速度をゼロに維持するように照射光の PPFD を自動制御するシステムも開発した。弱光照射用光源には、当時でも既に実用可能な程度に安価であった赤色 LED を中心的に用いた。その後、とくに苗質への影響等を調査する目的で、青色 LED、蛍光体利用白色 LED なども用いた。なお、2002 年頃には、次項で述べる LED 人工太陽光光源システムの開発にも着手していたため、ピーク波長の異なる数十種類の砲弾型 LED を所有していた。このことは、LED 弱光照射低温貯蔵法における照射光波長の影響を調べたその後の研究への展開を後押しした。

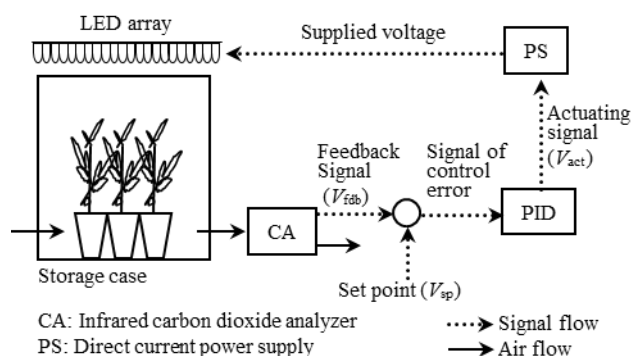


Fig. 2 Schematic diagram of the automatic photosynthetic photon flux density control for the LED-low light irradiation storage system¹⁸⁾.

3. LED 人工太陽光光源システムの開発^{21~24)}

自然環境下での実用的な植物生産あるいは植物利用型の物質生産に応用可能な知見を得ようとする、地表面における太陽光(以後、単に太陽光)に近い分光分布の光を用いた研究が不可欠である。そのためには、種々の分光分布の光を作出可能で、しかも異なる分光分布の光を短い時間間隔で連続して作出可能な光源システムが必要となる。そこで、光植物学研究で取り扱われる波長範囲について太陽光の分光分布に近い光を作出可能であり、また異なる分光分布の光を短い時間間隔で連続して作出可能な LED 人工太陽光光源システムの開発に着手した。2013 年には、直径 30 mm の被照射面積に対して、 $380 \sim 940 \text{ nm}$ の波長範囲について快晴時の太陽光の放射照度(約 750 W m^{-2})を作出可能で、かつ光源システムの操作性および制御性を備えた第 2 世代光源システムを開発した。本光源システムの LED モジュール

は、ピーク波長の異なる 32 種類の LED を総計 625 個有している。2022 年には、作出可能な最大放射照度が 1.5 kW m^{-2} で、分光分布の時間安定性を高度に実現するなどの大幅な改良を施したシステムへとバージョンアップした。

本光源システムは、苗などの小さな植物個体あるいは個葉を対象とすることに限定すれば、光植物学研究に利用可能な光源システムとなっており、自然光の変動光影響解明²⁵⁾、消費電力当たりの純光合成速度の高い LED の探索用プロトコル開発²⁶⁾などに利用されている。また、本光源システムと並行して、ピーク波長 LED の種類は 5 または 6 種類に限定されるが、照射面積が 0.28 m^2 の (セルトレイ栽培中の移植苗なども照射対象にできる) 多波長帯光混合照射 LED 光源システム^{27, 28)}も開発している。

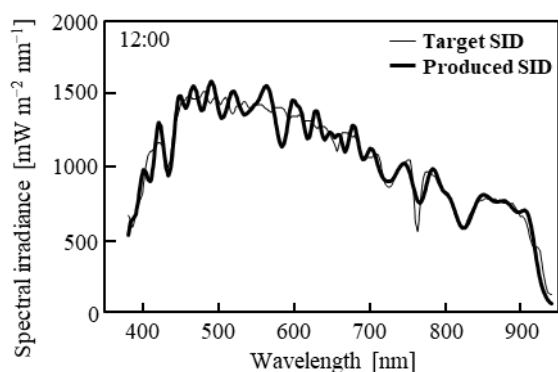


Fig. 3 Spectral irradiance distribution (SID) of ground-level sunlight obtained at 12:00 on a bright, clear September day in Tokyo (target SID), presented along with the best-approximated SID at the light outlet produced with the improved LED artificial sunlight source system for each target SID (produced SID)²⁴⁾.

4. LED パルス光照射が純光合成速度に及ぼす影響^{29~31)}

パルス光 (1 秒程度以下の周期で点滅を繰り返す光) 照射を行うと、照射光の平均 PPFD (点滅中の PPFD 時間平均値) が連続光と同じでも、純光合成速度を増大させることができる、との主張にもつぱら国内で遭遇する。そうはならないことを示している多数の論文・著書の存在は無視されている。例えば、Rabinowitch (1956) は、照射光の平均 PPFD が同じなら、連続光に比較してパルス光照射で光合成速度が増加することは決してなく、むしろ低下するはずであることを単純な思考実験で明快に説明している。

筆者らは、コスレタスを供試植物として、LED パルス光照射の周波数とデューティ比が純光合成速度に及ぼす影響を網羅的に調べ、結論として、「そうはならないこと」および低周波数かつ低デューティ比では、純光合成速度が大

きく低下することを実証した。その後、パルス光照射による純光合成速度低下量の推定などへと発展した。

謝辞: 本研究を遂行するにあたり、ご協力・ご援助いただいた千葉大学園芸環境工学研究室、千葉大学植物生産工学研究室、および東京大学生物環境工学研究室内の教員、学生および研究支援職員の方々にお礼申し上げます。また、本賞への推薦は日本農業気象学会によるものであることを記し、関係各位に感謝の意を表す。

引用文献 (主要な文献のみ記載)

1. 富士原和宏・古在豊樹・渡部一郎 (1987) 植物組織培養器内環境の基礎的研究 (3) 培養小植物体を含む閉栓容器内の炭酸ガス濃度測定と培養小植物体の純光合成速度の推定. *農業気象* 43(1): 21–30.
2. Fujiwara, K., T. Kozai and I. Watanabe (1988) Development of a photoautotrophic tissue culture system for shoots and/or plantlets at rooting and acclimatization stages. *Acta Hort.* 230: 153–158.
3. 富士原和宏・古在豊樹・中條愉利子・渡部一郎 (1989) 植物組織培養器内の光強度に及ぼす栓および容器の影響. *農業気象* 45(3): 143–149.
4. 富士原和宏 (1991) 植物組織培養器内の水環境. *農業気象* 47(2): 101–107.
5. 富士原和宏・吉良修司・古在豊樹 (1992) バレイショ培養体の CO_2 交換量の時間変化に及ぼす培地シヨ糖濃度の影響. *農業気象* 48(1): 49–56.
6. Fujiwara, K., J. Aitken-Christie and T. Kozai (1993) Water potential of *radiata* pine shoots cultured *in vitro* under different relative humidities. *Plant Tissue Cult. Let.* 10(2): 144–150.
7. Fujiwara, K., S. Kira and T. Kozai (1995) Contribution of photosynthesis to dry weight increase of *in vitro* potato cultures under different CO_2 concentrations. *Acta Hort.* 393: 119–126.
8. Fujiwara, K. and T. Kozai (1995) Control of environmental factors for plantlet production – with some mathematical simulations –. *Proc. Ecophysiology and Photosynthetic In Vitro Cultures*, 109–120.
9. Fujiwara, K. and T. Kozai (1995) Physical microenvironment and its effects. In: Aitken-Christie, J. et al. (eds.) *Automation and environmental control in plant tissue culture*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p.319–369.

10. 富士原和宏・高久晃一・飯本光雄 (1997) 収穫後チャービルの低温貯蔵のための赤色発光ダイオードによる弱光照射および養液ゲル利用. *生物環境調節* 35(2): 135–138.
11. 富士原和宏・高久晃一・飯本光雄 (1998) CA, 赤色発光ダイオード弱光照射および養液ゲル利用が低温貯蔵中のチャービルの外観品質に及ぼす影響. *生物環境調節* 36(4): 201–208.
12. 富士原和宏・高久晃一・飯本光雄 (1999) 収穫後チャービルの低温貯蔵に対する弱光照射用光源としての赤色発光ダイオードおよび養液ゲル利用による無機養分供給の有効性. *生物環境調節* 37(2): 137–14.
13. 富士原和宏・磯部佐保子・飯本光雄 (1999) CA および赤色発光ダイオード弱光照射が低温貯蔵中のトマト接ぎ木セル成型苗の外観品質に及ぼす影響. *生物環境調節* 37(3): 185–190.
14. 富士原和宏・高久晃一・飯本光雄 (1999) 収穫後チャービル株の外観品質維持のための弱光照射 CA 貯蔵最適条件. *生物環境調節* 37(3): 203–210.
15. 富士原和宏・磯部佐保子・飯本光雄 (2001) トマト接ぎ木セル成型苗の品質維持のための弱光照射 CA 貯蔵最適条件. *生物環境調節* 39(2): 111–120.
16. 富士原和宏・磯部佐保子・飯本光雄 (2001) 赤色 LED 弱光照射 CA 貯蔵最適条件下でのトマト接ぎ木セル成型苗の最大貯蔵可能期間. *生物環境調節* 39(4): 297–304.
17. 富士原和宏・木村好克・蔵田憲次 (2003) 赤・青色 LED 弱光照射低温貯蔵における青色光 PPFD 比率がトマト接ぎ木セル成型苗の品質に及ぼす影響. *生物環境調節* 41(4): 361–368.
18. Fujiwara, K., T. Sawada, Y. Kimura and K. Kurata (2005) Application of an automatic control system of photosynthetic photon flux density for LED-low light irradiation storage of green plants. *HortTechnol.* 15(4): 781–786.
19. Park, J.-S. and K. Fujiwara (2009) Quality preservation of tomato seedlings affected by different wavelengths of LED-low light during Storage. *Eur. J. Hortic. Sci.* 74(1): 21–23.
20. Park, J.-S. and K. Fujiwara (2015) Storage of grafted-tomato seedling under low-light conditions with light-emitting diodes and an electroluminescent sheet. *Hortic. Environ. Biotech.* 56(4): 472–477.
21. Fujiwara, K. and T. Sawada (2006) Design and development of an LED-artificial sunlight source system prototype capable of controlling relative spectral power distribution. *J. Light Vis. Environ.* 30(3): 170–176.
22. Fujiwara, K. and A. Yano (2011) Controllable spectrum artificial sunlight source system using LEDs with 32 different peak wavelengths of 385–910 nm. *Bioelectromagnetics* 32(3): 243–252.
23. Fujiwara, K., K. Ejima and A. Yano (2013) Second-generation LED-artificial sunlight source system available for light effects research in biological and agricultural sciences. *Proc. 7th LuxPacifica*, 140–145, Bangkok, Thailand.
24. Fujiwara, K., S. Kubo, K. Ejima, R. Matsuda and A. Yano (2022) Improved LED artificial sunlight source system available for sunlight-effect research in plant sciences. *J. Agric. Meteorol.* 78(3): 101–112.
25. Matsuda R., H. Ito and K. Fujiwara (2021) Effects of artificially reproduced fluctuations in sunlight spectral distribution on the net photosynthetic rate of cucumber leaves. *Frontiers in Plant Science* 12: 675810.
26. Chen, Y., R. Matsuda and K. Fujiwara (2022) Rapid and semi-automated leaf net photosynthetic rate determination for numerous phosphor-converted white-LED lights of different spectral distributions. *Journal of Agricultural Meteorology* 78(1): 8–18.
27. Fujiwara, K., A. Yano and K. Ejima (2011) Design and development of a plant-response experimental light-source system with LEDs of five peak wavelengths. *J. Light Vis. Environ.* 35(2): 117–122.
28. Yano, A. and K. Fujiwara (2012) Plant lighting system with five wavelength-band light-emitting diodes providing photon flux density and mixing ratio control. *Plant Methods* 8: 46.
29. Jishi, T., K. Fujiwara, K. Nishino and A. Yano (2012) Pulsed light at lower duty ratios with lower frequencies is less advantageous for CO₂ uptake in cos lettuce compared to continuous light. *J. Light Vis. Environ.* 36(3): 88–93.
30. Jishi, T., R. Matsuda and K. Fujiwara (2015) A kinetic model for estimating net photosynthetic rates of cos lettuce leaves under pulsed light. *Photosynth. Res.* 124: 107–116.
31. Jishi, T., R. Matsuda and K. Fujiwara (2018) Effects of photosynthetic photon flux density, frequency, duty ratio and their interactions on net photosynthetic rate of cos lettuce leaves under pulsed light: Explanation based on photosynthetic-intermediate pool dynamics. *Photosynth. Res.* 136(3): 371–378.

食料生産・生物資源利用のシステム解析と環境影響評価

野口良造

京都大学大学院農学研究科

要旨

日本を含む東南アジアを対象に、将来の食料生産体系やバイオマス利用体系、さらには静脈系とされる廃棄物管理について、「泥炭地利用を含むパームオイル生産」、「籾殻燃焼制御による地域、環境への貢献」、「栄養必要量を考慮した食料生産体系の資源・エネルギー消費と環境影響評価」、「技術者倫理と世代間倫理への展開」を主な研究成果として紹介した。これらの成果をより現実社会への設計へと反映させるためには、従来の技術者倫理の視点から、環境や生物などの視点を加えた農学ならではの技術者倫理の視点を組み込むことが、食料生産・生物資源利用のシステム解析と環境影響評価を通じて、重要であることを明らかにした。

キーワード 泥炭地、パーム、籾殻燃焼、食料生産、栄養、倫理

緒言

農業食料生産やバイオマス利用を行う上で、どのようにエネルギー利用を伴う資源循環を行うべきかを設計し、数量的評価を伴うシナリオを提示することは重要な課題である。環境問題に大きく関与する食料生産や生物資源利用では、エネルギー利用や資源循環を強く意識する必要がある。システム解析による最適化、また、専門家から一般の人にも分かりやすく解析結果を示す環境影響評価を行うことが、今後の多くのプロジェクトには必要不可欠な条件となる。筆者らは、主に日本を含む東南アジアを対象に、将来の食料生産体系やバイオマス利用体系、さらには静脈系とされる廃棄物管理のあるべき姿を提示するために、具体的課題について取組んできた結果を紹介し、技術者倫理の視点による今後の展望を論じた。

泥炭地利用を含むパームオイル生産

カリマンタン島における泥炭地と鉱物地の土地交換

インドネシアやマレーシアでは、大規模なパームオイル生産を行っているが、同時に、多くの環境問題や社会的問題が引き起こされている。インドネシアはパームオイルの最大の生産国であり、そのパームオイル産業の管理は不可欠である。泥炭地(peatland)でのアブラヤシプランテーションを鉱物性土壌(mineral land)の場所へ転換することによる温室効果ガスの排出削減量を求めた。インドネシアのカリマンタン島を対象地として、最新の空間データを採用し、ArcGIS ソフトウェアによって土地交換オプションの候補地を分析し、温室効果ガス排出量の削減を検討した(図1)(Ariesca et al., 2023)。本研究は、インドネシア政府コーディネイト省の協力によって実施された。

泥炭地には 108 万 ha のパーム農園があり、森林を含む

転換可能な鉱物性土壌の面積は 64 万 ha であった。土地交換を行うことで、土地交換開始後 25 年までは、65.43%(979.05 MtCO₂eq から 336.64 MtCO₂eq へ)の削減、50 年後と比較すると 61.19%(2147.81 MtCO₂eq から 833.67 MtCO₂eq へ)の削減が可能であることが示された。土地交換により、パーム果実(FFB)の生産量は泥炭地より鉱物性土壌の方が高く、17.16%となった。なお、土地交換は高コストであることを考慮すると、政策立案者と利害関係者が協力して土地交換を行う必要があることが示された。

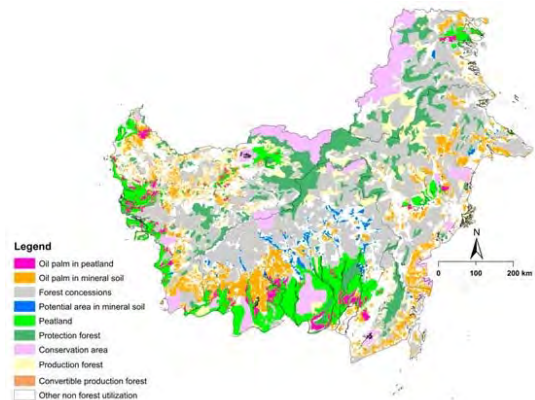


図1 泥炭地パーム農園の土地利用交換シナリオ

輸入パームオイルによる発電効率と CO₂ 排出量

パームオイルはマレーシアやインドネシアにおける重要な輸出品であり、またカーボンニュートラルなバイオ燃料として位置づけられている。一方で、パームオイルからバイオ燃料を生産し利用する場合の環境影響負荷を明らかにすることは、世界でのバイオ燃料の普及の是非を問う上で重要となる。日本に輸入されたパームオイルから発電され

た電力の温室効果ガス(GHG)排出量を明らかにするために、インドネシアのデータセットに基づくマテリアルバランスを用いて、日本における電力生産システム全体のライフサイクルアセスメント(LCA)を実施した。また、パーム農園の泥炭地利用による CO₂ 排出の調査と、地下水位(Ground Water Level)の制御などを考慮した。本研究は、インドネシアオイルパーム研究所の協力によって実施された。

日本でパームオイルから生産されるエネルギーは、681gCO₂eq/kWh の温室効果ガスを排出することが分かった(図2)。これは、輸入パームオイルから発生する GHG 排出量が、石炭や石オイルから発生する GHG 排出量よりも低いことを示した。これらの結果は、インドネシアの泥炭地からパーム農園へ変換する際の N₂O 排出係数の設定、またその取扱いの有無に大きく依存することが明らかとなった。泥炭地からパーム農園へ変更する場合の N₂O 排出量は、0.3tCO₂eq ha⁻¹y⁻¹ や 38.8tCO₂ eq ha⁻¹ y⁻¹ と様々な研究結果が示されているが、CO₂ 排出量は同じ報告書で同様の値が示されていた。

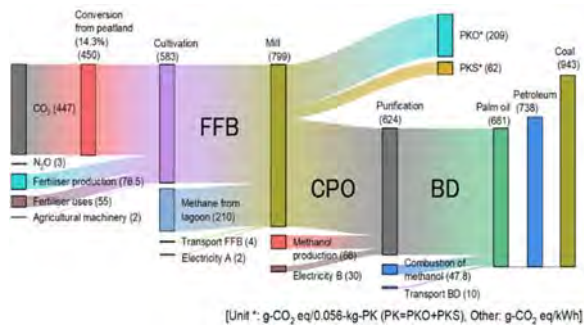


図2 泥炭地管理を考慮したパームオイル発電の CO₂ 排出量

加えて、パームオイル生産では、多くの廃棄物が生じる。なかでも、大きな割合を占めるのが空果房(EFB)とパーム搾オイル廃水(POME)である。これらの処理方法については、微細藻類の利用など、様々な方法が提案され、システム解析、プロセス解析、環境影響評価が実施されている(Agusta et al., 2021; Nasution et al., 2018; Nugroho et al., 2018; Wibawa et al., 2018)。

籾殻燃焼制御による地域、環境への貢献

ナイジェリアにおける籾殻燃焼に起因する健康調査

バイオマスの利用方法として、最も伝統的なのはバイオマスの燃焼であるが、その燃焼は微粒子などの有害汚染物質の大気汚染に関連している。本研究では、ナイジェリア農村部における籾殻の取り扱いと燃焼への曝露に関連する環境および人の健康リスクを評価するため、精米所 4カ所で現地調査を実施した(Abah et al., 2022)。本研究は、ナイジェリア農務省の協力によって実施された。

籾殻を粉砕して呼吸可能な粒子にする非常に古い機械

の使用による籾殻粒子への曝露、野外での籾殻の無秩序な燃焼による汚染物質の排出によって、住民の健康が危険にさらされていることが示された。精米所の労働者や住民は、呼吸困難、目や皮膚の炎症、喉のかゆみなど、頻繁に健康上の問題に遭遇していた。報告された健康症状に対する精米所からの距離の影響を SPSS で評価したところ、頻繁に経験する症状とたまに経験する症状については、 $P < 0.05$ で有意であった。Otukpo 精米所では、PM_{2.5} 濃度が最も高く、これは、より多くの籾殻が発生し、野外で燃やされていることに起因していると考えられる。このように、原始的な燃焼方法、燃焼技術の使用は、籾殻資源の浪費や環境汚染につながっていることが明らかとなった。

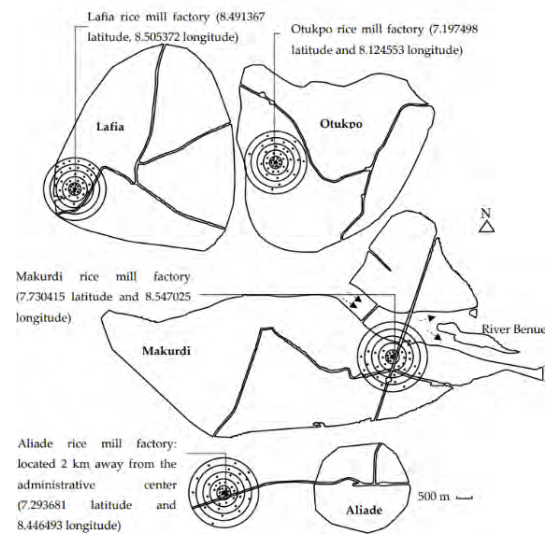


図3 ナイジェリア農村部における籾殻燃焼による健康影響調査

循環型利用を見据えた籾殻燃焼のスマート化

籾殻は、コメ生産におけるポストハーベスト段階の主な副産物であり、固形廃棄物として不適切な管理による環境影響を引き起こす。しかし、籾殻燃焼は、いくつかの産業において、エネルギー生成や非晶質シリカの生産など、経済的な応用の可能性が指摘されている。籾殻の燃焼条件を適切に制御することで、有害なガス排出や結晶性シリカの利用を最小限に抑え、効率的な熱生産も可能となる。本研究では、流動層付きハイブリッド型の籾殻燃焼装置(図4)を用いて、籾殻の温度、風量、燃焼時間、籾殻保持量を異なる条件下で燃焼させた。また、籾殻炭中の結晶性シリカの有無、排ガス中の CO および O₂ 組成をそれぞれ XRD 分析およびガス分析により分析した。さらに、実験用籾殻バーナーを用いて、籾殻燃焼の最適条件となる最も効率の良い燃焼パラメータを求めるために、元素分析および熱重量分析を実施した(Piyathissa et al., 2023)。本研究は、山本製作所(株)の協力によって実施された。

低温・低風量(430°C; 0.8 ms⁻¹)、高嵩密度(175 kgm⁻³, 225 kgm⁻³)、短燃焼時間(30 s)において、CO 排出量が最も

少なく、珪殻炭に結晶性シリカが含まれないという測定結果から、最も効率よく熱エネルギーを得ることができた。また、珪殻燃焼温度、燃焼時間、空気供給量の燃焼制御によって、発熱量、クリストバライトの発生、さらに、排気ガス処理による PM、NO_x、SO_x、CO の発生量の制御の可能性を示し、脱炭素社会に向けた燃焼技術の高度化、可溶性シリカの生成、農地でのバイオ炭素貯留などへつながることが示された。

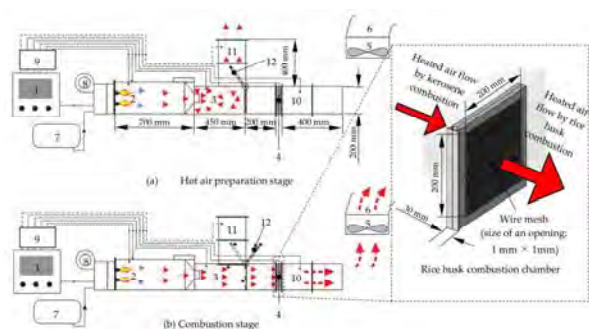


図4 粃殻燃焼装置の灯油燃焼による温風切り替えと燃焼部の拡大図

栄養必要量を考慮した食料生産体系の資源・エネルギー消費と環境影響評価

家畜肉生産と植物肉生産の比較

食品産業は、全世界の人為的な温室効果ガス排出量の 1/3 を占めると推定され、気候変動の大きな要因となっている。食品の消費パターンにおいても、動物性食品の生産は、環境に好ましくない影響を与える主な要因である。なかでも、動物性食品は、植物性食品よりも気候変動への影響が大きいことが指摘されている。動物性食品中心の食生活から植物性食品中心の食生活へと移行することで、環境負荷の低減につながる可能性がある。植物性食品中心の食生活へ移行した場合、消費者の栄養要求を確実に満たす必要がある。そこで、挽肉(GBM)と植物肉(PBM)の製造プロセスの環境影響評価を LCA を用いて行い、環境持続性と栄養面の分析を行った(Jin et al, 2022)。NRF11.3 のスコアを用いて、挽肉と植物肉の健康スコアを算出したところ、試算結果から、GBM は PBM に比べて、地球温暖化に 8.01 倍寄与するとともに、化石燃料の枯渇が 1.56 倍、土地の使用量が 2.87 倍、水の使用量が 1.81 倍になることが明らかとなった。

カンボジアの伝統食生産体系の環境影響評価

カンボジアの伝統食は、従来の食事と比較して栄養バランスが高く、環境面でも持続可能とされている。栄養摂取量と環境負荷の関係は、ライフサイクルアセスメント(LCA)にもとづく農業生産による二酸化炭素(CO₂)排出量を用いて評価することが可能である。本研究の目的は、LCAを用

いて、カンボジアの伝統食から排出される CO₂ 換算(eq)排出量を、各農業生産段階から推定することである。伝統的な食事による 1 年間の食品消費シナリオを設定し、5 つの朝食(BF1-5)と 7 つの昼食・夕食(LD1-7)の食品セットを同じ割合で消費した場合について、LCA を用いて比較した(図5)(Hor et al., 2021)。本研究はカンボジア王立農業大学の協力を得て行われた。

BF1が最も排出量が少なく、LD2が最も排出量が多かった(それぞれ 0.3 Mt CO₂eq/year, 1.2 Mt CO₂eq/year). 食品のカロリー、ミネラル、ビタミンは推奨される食事摂取量を満たしていた。カンボジアの既存の食料生産システムは、9.7 Mt-CO₂eq/year の CO₂を排出している。提案されたシステムでは、CO₂ 排出量を 28.9%削減し、6.9 Mt-CO₂eq/year となった。伝統食にもとづく各食品の変更により、食品の種類や量、特に肉や牛乳の消費量に応じて、排出量を減少させることが可能となった。

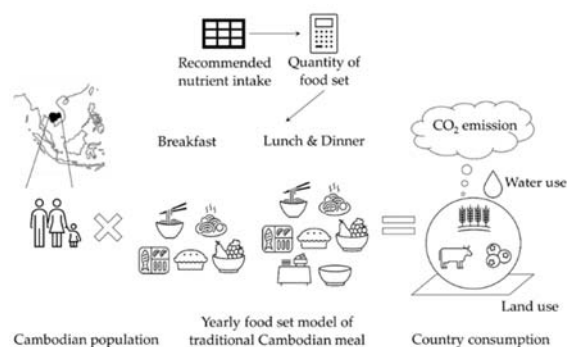


図5 カンボジアでの伝統食を中心とした食料生産と環境影響評価

技術者倫理と世代間倫理への展開

持続的な社会発展を前提としたバイオ燃料生産について、バイオ燃料生産の背景を整理し、人間中心主義と自然共生主義の観点、および三条件(化石燃料の枯渇、CO₂排出による地球温暖化、エネルギーセキュリティ)から、世代間倫理の成立の有無の検討を行うとともに、農地や森林の環境回復の観点から、時間軸における世代間倫理の成立について考察を行った(井山ら, 2014).

3条件のうち一つの条件でも成立し、かつ人間中心主義の立場をとる場合には、バイオ燃料生産の世代間倫理が不成立となり、それ以外では世代間倫理が成立した(図6)。また、人間の労働年齢が15歳から65歳とすると、農地利用のバイオ燃料作物生産において、世代間倫理の成立が弱いことが示された。さらに、バイオマス一次生産量の最も多い熱帯雨林地帯で、農地を放棄した場合に発生する二次林のバイオマスの文献データの調査結果から、50年では二次林のバイオマスが自然林と同程度に回復されないため、約50年以降の世代に対して世代間倫理が成立することが明らかとなった。

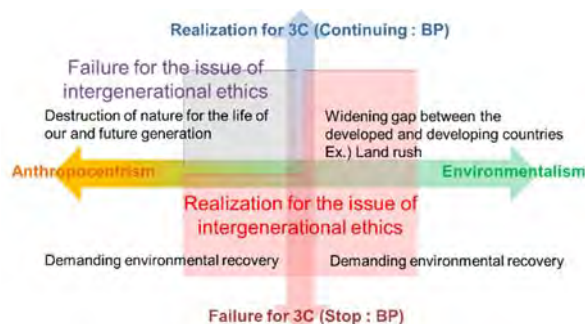


図6 バイオ燃料に関する世代間倫理からの考察

今後の展望

システム解析と環境影響評価を手法として研究を進めると、研究としての「科学」と「設計」の違いを認識する(図7)。「科学」は真理を探究し未来に対しては予測できないが、「設計」は、科学を基礎とする手法を用いて未来を予測し、設計し、シナリオを提示することに用いられる。システム解析と環境影響評価を行うことは、社会や人間に対して責任のある研究であり、これらの成果は技術として人々へ還元される技術者の立場の研究となることから、技術を人々に対して提供するための倫理である「技術者倫理」が重要になる。

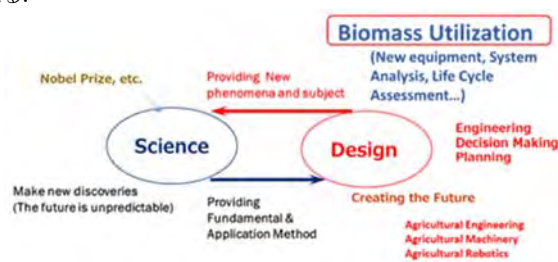


図7 「科学」と「設計」の違いと本研究の位置づけ

「技術者倫理」は、技術者が消費者に対して、いかに安全性を担保しながらコストを削減するかという、トレードオフを有する課題を取り扱うものである。気候変動や地球温暖化といった環境問題は、次世代の人々への倫理を問うものであり、「世代間倫理」として位置づけられる。また、最近の植物肉やビーガン食の拡大や動物福祉を重要視する視点は、技術者倫理の対象が消費者という人間だけでなく、動物や生き物へも拡大している点が注目される。農業分野は、人間の食を中心に構成される世界であり、その中での倫理問題を解決する手法の一つが、資源循環やエネルギー利用、環境影響評価であると考えられる。

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の南石晃明先生、日本農業工学会副会長の羽藤

堅治先生をはじめ、関係の諸先生方、また私の研究を支えていただいた方々に厚く感謝の意を表します。

引用文献

- Abah E O, Inalegwu J, Kumarage T A, Tofael A, Noguchi R (2022) Rice husk Handling and Combustion in Rural Areas: Assessment of Household proximity to Exposure Risk in Nigeria, AMA (Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America), 53(3): 15-23.
- Agusta S P, Noguchi R, Tofael A, Nakagawa-Izumi A, Ohi H (2021) Development of integrated oil palm empty fruit bunches (EFB)-based dissolving pulp and furfural production: a consequential LCA approach, The International Journal of Life Cycle Assessment, 26: 175-188.
- Ariesca R, Sau A A W T, Adinugroho W C, Setiawan A A R, Tofael A, Noguchi R (2023) Land Swap Option for Sustainable Production of Oil Palm Plantations in Kalimantan, Indonesia, Sustainability, 15(3): 2394.
- Hor R, Ly P, Agusta S P, Ishizaki R, Tofael A, Noguchi R (2021) Estimation of Carbon Dioxide Emission from a Traditional Cambodian Food Production System to Adopt a Nutrient Rich Diet Using Life Cycle Assessment, Sustainability, 13(7): 3660.
- 井山佳美, 野口良造, 森田祐介(2014)環境回復の観点によるバイオ燃料生産の世代間倫理からの考察, 農業情報研究, 23(4): 165-174.
- Jin Y, Noguchi R, Tofael A (2022) Life Cycle Assessment of Environmental Sustainability and Nutritional Value of Animal Meat Substitutes, Journal of the Japan Institute of Energy, 101(1): 9-15.
- Nasution M A, Wibawa D S, Tofael T, Noguchi R (2018) Comparative environmental impact evaluation of palm oil mill effluent treatment using a life cycle assessment approach: A case study based on composting and a combination for biogas technologies in North Sumatera of Indonesia, Journal of Cleaner Production, 184(20): 1028-1040.
- Nugroho A S, Noguchi R, Tofael A (2018) Environmental load assessment for an integrated design of microalgae system of palm oil mill in Indonesia, Energy, 159: 1148-1160.
- Piyathissa S D S, Kahandage P D, Namgay, Zhang H, Noguchi R, Tofael A (2023) Introducing a Novel Rice Husk Combustion Technology for Maximizing Energy and Amorphous Silica Production Using a Prototype Hybrid Rice Husk Burner to Minimize Environmental Impacts and Health Risk, Energies, 16(3): 1120.
- Wibawa D S, Nasution M A, Noguchi R, Tofael T, Demura M, Watanabe M M (2018) Microalgae Oil Production: A Downstream Approach to Energy Requirements for the Minamisoma Pilot Plant, Energies, 11(3): 521.

青刈リトウモロコシの省力化収穫調製技術の開発

志藤博克

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 農業機械研究部門

要旨

青刈リトウモロコシは栄養価、収量が高い重要な飼料作物だが、サイロ詰め作業が重労働であり、作付面積は1990年の125,900haをピークに2006年には84,400haまで減少した。一方、牧草生産では人手によるサイロ詰め作業が不要なロールベアラ体系が広く普及しており、青刈リトウモロコシへの応用に対する要望が高まっていた。しかし、高品質なトウモロコシサイレージを作るには、1cm程度に細断して高密度に調製する必要があるが、牧草のように互いに絡みつくことがないため、ロール成形は不可能とされていた。筆者らは、細断材料をこぼさない成形室に高張力ネット結束装置を装備した細断型ロールベアラを開発、全国10ヶ所での現地試験を通して改良を重ねた結果、青刈リトウモロコシを平均ロス1.3%でロール成形することに成功し、延べ労働時間も現行体系の約半分とすることができた。当機は2004年に市販化され、今日までに派生機を含めたシリーズ総計で約2,000台が全国に普及している。

キーワード

青刈リトウモロコシ、サイレージ、省力化、省人化、ロールベアラ

緒言

青刈リトウモロコシは飼料作物の中でも栄養価が高いうえに収量も多く、サイレージの発酵品質も高い(高野ら, 1989)。特に、単位面積当たりから得られるTDN(消化可能な栄養分総量)が高い(農林水産省, 1995)ことから、耕作可能面積が限られる我が国にとって最適な粗飼料であり、飼料自給率向上の鍵と目されている。しかし、1990年には125,900haあった作付面積が2006年には84,400haと33%も減少した(農林水産省, 2021)。その理由として、収穫・調製作業が重労働であること、人手の確保が困難であること、作業者の高齢化等が挙げられる。

青刈リトウモロコシの収穫・調製は、フォレージハーベスタ(以下、ハーベスタ)に伴走するワゴンまたはダンプカーが荷受けしてサイロまで往復運搬し、ホイルローダ等の機械あるいは人力でサイロに詰めるという作業を5~6名が一組となって行うのが一般的である。大規模ほ場においては、大型機械の導入により効率的な作業ができ、収穫から調製まで比較的短時間でできる長所がある。一方、都府県に多く見られる小区画・分散ほ場では、総作業時間に占める回行やほ場間移動にかかる時間の割合が増え、作業効率が大幅に低下する。農道やほ場への出入口が狭く、大型機械が導入できない場合も多い。実際、2001年当時の収量100kgあたりの収穫調製作業時間が北海道では0.04時間であるのに対し、都府県ではその約2.8倍にあたる0.11時間となっていた(農林水産省, 2001)。また、中規模以下の酪農家にとっては、炎天下で行われることも多いサイロ詰め作業等の多くを人力に頼らざるを得ない場合も少なくない。さらに、農家の高齢化と人手不足が深刻化する

状況においては現行の作業体系でのトウモロコシの収穫調製は非常に困難な状態となっていた。こういったことから、青刈リトウモロコシの収穫調製作業の省力化と省人化が特に都府県において急務とされていた。一方、牧草の収穫調製作業については、ロールベアラとベールラップによる作業体系が急速に普及したことによって、作業員1~2名での作業が可能となり、サイロ詰めの重労働からも解放され、大幅な省力化及び省人化が達成された。このロールベアラとベールラップによる作業体系がトウモロコシの収穫調製にも応用できないかとかねてから要望されていたが、細断されたトウモロコシのロール成形は不可能と言われていた。そこで、筆者らは1996年からトウモロコシの細断収穫に対応した「細断型ロールベアラ」の開発に取り組んだ。

試作機1号機の開発

トウモロコシをロール成形する方法には二つの方式が考えられた。一つは、立毛したトウモロコシをモア等で刈り倒し、ほ場で予乾した後に拾い上げて梱包するという方法、あるいは数10cm程度に切断して、拾い上げる方法(北村ら, 1981)である。しかし、茎部が固く、高い梱包密度が望めないこと、土砂が混入する恐れがあること等の難点があった。また、折れた茎によってラップフィルムが破れる恐れがある上に、給飼前に改めて細断する必要もあった。

もう一つは細断して収穫する方法で、切断長が1cm程度と短くなり圧縮密度が高まるため、梱包方法さえ見つければ良質なサイレージへの調製が期待できる。森本ら(1996)は、細断したトウモロコシをフレコンバッグに詰めて

ラップフィルムで密封する技術を開発し、ロスが少なく、開封後も数日は変敗しない良好なサイレージ調製に成功している。しかし、ハーベスタにワゴンが伴走するという既存の機械体系をそのまま用いる上に、フレコンバッグへの詰め込みに人手と時間がかかり、作業工程の簡素化と省人化が問題点として指摘されている。細断されたトウモロコシは圧縮密度が高まる一方、牧草のように互いに絡み付いてベールの形状を保つという作用が期待できないことから、どのようにして成形性を保つかがロールベール化の重要な鍵となる。宮崎ら(1993)は、小規模農家を対象として、成形室の直径が 50cm のミニロールベールによるトウモロコシの収穫技術の開発に成功したが、トウモロコシの切断長が 3 cm 以下になるとワイン(ベール結束用の紐)がけによる結束ではロール形状の維持が困難になり、ベール放出時の衝撃による崩れも合わせてロスの合計が約 10%程度に達したと報告している。

以上を踏まえ、以下の仕様の試作 1 号機を開発した。

- ・対象を都府県の中規模農家とし、成形室直径 900mm、幅 850mm の定径式中型ロールベール(バーチェーン式)をベースに、牧草拾い上げ装置を廃止し、ハーベスタで細断・吹き込まれた材料を受けるためのホッパと、材料を成形室へ送り込む供給コンベアを機体前部に設けた。
- ・材料が成形室に流れ込みやすいように成形室を後方に 30° 傾けて配置した。
- ・バーチェーンのタイトバーにベルトを編むようにして組み合わせることにより、タイトバーの隙間から細断材料をこぼれにくくし、成形室底部を密閉することで、外部へのこぼれを防ぐ構造とした。
- ・ベール放出時の落下衝撃から保護し、放出後の形状を維持するため、結束にはベールの幅よりも広い 1.2m 幅のネットを用い、ベールの肩の部分を含むようにした。
- ・供試トラクタ(44kW)の後部三点リンクヒッチに 1 条刈フォレージハーベスタをオフセット装着し、その後方に試作 1 号機をけん引して行う構成とした(ワンマン作業、図 1)。



図 1 細断型ロールベール試作 1 号機の作業風景

ベール放出時に生じる梱包ロス(崩れた材料の質量がベール質量を含めた全質量に占める割合)を 3%以下とすることを目標に 5 年にわたる試行錯誤を繰り返した結果、設定切断長 12mm で細断されたトウモロコシ(含水率 65～

74%)のロール成形に成功し、梱包ロスを平均 1.6%(0.8～2.9%)に抑えることができた。試作 1 号機の所要動力は 15kW、乾物処理量は 1.9t/h(作業能率約 9a/h に相当)であった。ベールの質量は平均 422kg、乾物密度は平均 208kg/m³ であった。これは垂直式サイロにトウモロコシサイレージを 5～6m 堆積した時の底部の密度に匹敵する。

一方、左右の直径が異なるベールが成形されることがある等、成形が不安定であり、梱包ロスのさらなる低減化とロール成形の安定化を図る必要があった。また、成形されたベールが同じサイズの牧草ベールよりも 100kg 以上重く、強度上の問題が懸念された。さらに、農家現場での収穫調製作業の方法は様々であり、ワンマン作業以外へも対応する必要があった。これらの課題の解決を目指し、農機メーカーとともに実用化に向けた開発に取り組んだ。

試作 2 号機の開発と現地実証試験

1. 試作 2 号機の開発

試作 1 号機の課題を解決するため、以下の仕様の試作 2 号機を開発した。

- ・ロール成形の安定化のため、ネット結束時の張力をネットの剪断限界近くの 590N まで増強した。
- ・成形室の耐久性向上のため、ベルトを廃止し、隙間を詰めて並べた扁平タイトバーによる構造に変更した。また、耐久性効能のため、タイトチェーンをピン径 5.96mm のものから 7.94mm のものに変更した。
- ・都府県で最も多い 30～79 頭規模の牧場の 1 日分をベール 1 個で賄えるように、ベール質量が 350kg 程度となるよう、成形室直径を 800mm、幅 850mm とした。
- ・ハーベスタを装着した他のトラクタとの伴走作業や、ローダーバケット等から荷受けする定置作業に対応するため、ホッパ容量を 0.9m³から 2m³に拡大した。
- ・ホッパは前後部に二分割し、前部ホッパを油圧シリンダで昇降することによって後部ホッパ底部の供給コンベアに材料を順次、供給することとした。また、材料のブリッジ現象を防ぐため、後部ホッパ内にアジテータを設けた。
- ・多様なトラクタへの適応性の向上を図るため、トラクタ外部油圧取り出しの利用を廃止し、PTO 駆動の油圧パッケージを搭載し、操作系を専用のコントロールボックスに統一し、トラクタの違いによらず、同じ操作方法とした。

試作 2 号機の側面図を図 2、主要諸元を表 1 に示す。

表 1 細断型ロールベール試作 2 号機の主要諸元

全 長 (mm)	4,880
全 幅 (mm)	1,905
全 高 (mm)	3,180
質 量 (kg)	1,700
成形室寸法 (mm)	φ 800×850
ホッパ容 量 (m ³)	2
ネ ッ ト 幅 (mm)	1,200 または、1000

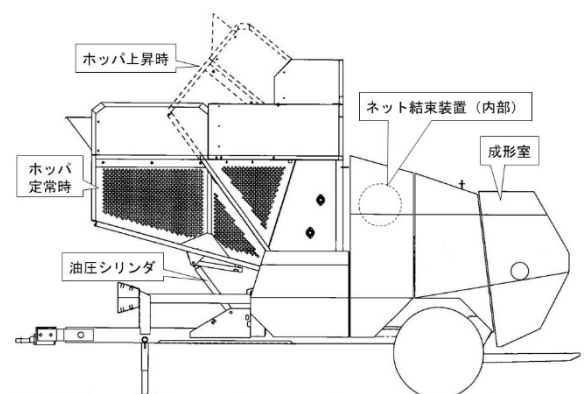


図2 細断型ロールベアラ試作2号機の側面図

2. 試験実施地の選定と試験項目

ほ場規模の大小や、平地/中山間地と条件が異なる全国10箇所の試験地で、試作2号機の現地実証試験を実施した。試験項目は、機械性能、現行体系との作業能率及び延べ労働時間の比較、サイレージの発酵品質とした。機械性能の調査項目は、作業能率、所要動力、梱包ロス、ベールの質量・密度とした。ハーベスタの設定切断長は8～16mmとした。ネットは1.2m幅と1m幅を使用した。なお、作業能率は30a(30m×100m)のほ場で、ワンマン作業で行った。現行体系はタワーサイロ体系、バンカーサイロ体系、スタックサイロ体系で、いずれもハーベスタにワゴンが伴走して荷受けする収穫方法とし、試作2号機(ワンマン作業)と市販の自走式ロールラッパによる体系と比較した。

発酵品質は、放出直後に密封したベールと、密封作業が遅れた場合を想定して2～25時間経ってから密封したベールについて調査した。8月と9月に収穫調製し、調製後2ヵ月が経過した時点で開封し、ベールの上部、中部、下部から採取したサンプルの有機酸組成等を平均して求めた。また、同一ほ場で同時期に収穫した材料をラップサイロ(ベールをラップフィルムで密封したもの)とFRP製タワーサイロ(容量27m³×3)に調製し、3～10ヵ月後にかけて乳牛に給与した時に、サイロからの切り出しから給与までに発生したロスの量を比較した。FRPサイロからはサイレージフォークで取り出し、手押し式の給餌車に積み、飼槽へ配給した。ラップサイロは、飼槽の前で解体して配給した。

3. 現地実証試験の結果

(1) 機械性能

試作2号機は、牧草用ロールベアラと異なり、ベール結束・放出時もホッパに材料を貯留できるため、収穫作業を中断することなく、ノンストップでワンマン作業を行うことができた(図3)。定置作業では、ほ場隅に試作2号機を定置してローダー・バケット等から荷受けしながら、連続的にベール成形を行うことができた(図4)。また、結束時のネット張力の増強により、ベールの側面形状が真円に近い良好な形状で安定して成形できるようになった(図5)。

作業能率は、1条刈ハーベスタを用いた場合で約17a/h、乾物処理量が1.3～2.7t/hであり、それぞれ試作1号機の約1.8倍、0.7～1.4倍となった。2条刈ハーベスタを用いた場合では、作業能率が21～52a/h、乾物処理量は2.8～5.2t/hであり、それぞれ試作1号機の2.3～5.6倍、1.5～2.7倍に向上した。

試作2号機の所要動力は、約15kWと試作1号機と同等であった。

梱包ロスは平均1.2%(0.3～2.6%)と試作1号機より低減し、ネット幅の違いによる差は見られなかった。ベールの平均質量は336kg(平均含水率72%)、平均乾物密度は183kg/m³であり、ほぼねらい通りの質量となった。



図3 細断型ロールベアラ試作2号機のワンマン作業



図4 細断型ロールベアラ試作2号機の定置作業



図5 試作2号機で成形されたベール

タワーサイロ体系の作業能率は15.0a/h、試作2号機による体系は15.1a/hと同等であったが、延べ労働時間ではタワーサイロ体系が3.9h・人/10aであるのに対し、試作2号機による体系が、作業人数が少ない分、1.7h・人/10aと44%に短縮された。また、バンカーサイロ体系の作業能率

が 26.4a/h、試作 2 号機による体系が 22.6a/h と若干低くなったが、延べ労働時間ではそれぞれ 1.2 h・人/10a、0.7 h・人/10a と試作 2 号機による体系がバンカーサイロ体系の 58%に低減された。なお、スタックサイロ体系の延べ労働時間は、ビニールシートで被覆するための人手と時間がかかり、1.5 h・人/10a であった。

(2) 発酵品質と調製ロス

調製 2 ヶ月後の発酵品質は、V-score(発酵品質を 100 点満点で評価する指標)が 90 以上と高品質であった(表 2)。また、1 年後に開封した場合でも同等の品質だった。密封までの時間の違いが発酵品質に及ぼす影響については、pH、V-score とともに 6 時間後までは変化が見られなかった。しかし、24 時間後になると pH の上昇が見られ、V-score が低下する傾向が見られたことから、ロール成形 6 時間後までに密封すれば品質が保たれることが分かった。

表 2 ロールベールサイレージの発酵品質

試験地	含水率 (%)	pH	現物割合 (FM%)			VBN/TN (%)	V-score
			乳酸	酢酸	酪酸		
A	69	4.0	0.78	0.13	0.00	7.1	96
B	72	3.8	1.64	0.38	0.00	5.7	99
C	72	3.8	1.57	0.47	0.00	7.5	93
D	69	3.5	2.30	0.26	0.00	7.8	92
E	74	3.7	1.39	0.23	0.00	4.5	100

サイロからの取り出しから給与までに生じるロスを比較した結果、FRP サイロでは、サイロから取り出す時のこぼれや、変敗した部分の廃棄により約 15%の調製ロスが生じたのに対し、ラップサイロでは 0.03%であった。トウモロコシサイレージの TDN 当たり生産費の都府県平均値が 44.1 円であること(森岡ら, 2019)から、FRP サイロでは TDN1kg 当たりの損失額は 6.6 円となった。一方、ラップサイロの調製ロスは無視できるとして、サイレージ生重 1kg 当たりにかかるネット及びフィルム代は 1.4~1.8 円であり、トウモロコシの TDN が 70.5%(国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構, 2017)であることから TDN1kg 当たりのラップサイロの資材費を換算すると 2.0~2.6 円となり、FRP サイロの損失額の 1/3 程度に抑えられることが明らかとなった。

その後の展開

細断型ロールベアラは 2004 年に市販化され、その後、数度のモデルチェンジを行い、成形室直径 1m の中型や 1.2m の大型、ベールラップとの一体型といったバリエーションも増え、酪農家、コントラクタ、TMR センター等へ、北海道や海外も含めて 2,000 台以上が普及し、現在に到っている。また、飼料イネ専用収穫機への搭載や、自走式の汎用型飼料収穫機(2008 年市販化)へと発展した。

2007 年以降、青刈りトウモロコシの作付面積が増加に転

じたが、当機の普及が我が国の自給飼料増産に多少なりとも貢献できたのだとすれば、この上ない幸いである。

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長の井上英二先生、農業機械研究部門前所長の天羽弘一氏、共同研究者の山名伸樹氏、澁谷幸憲氏、高橋仁康氏、市販化に向けた開発を担っていただいた株式会社タカキタ及び株式会社 IHI アグリテック、現地実証試験にご協力いただいた北海道、岩手、福島、群馬、三重、岡山、愛媛、宮崎、熊本、家畜改良センター本場の関係諸氏に厚く感謝の意を表します。

引用文献

- 北村 誠・山名伸樹・奥井和致, 1981. 青刈りトウモロコシの小型収穫機に関する研究. 農機研研究成績, 55(2), 135-143.
- 高野信雄・佳山良正・川鍋祐夫, 1989. 粗飼料・草地ハンドブック, 養賢堂, 584-585.
- 宮崎昌宏・岡崎絃一郎・長崎裕司, 1993. ミニロールラッピング処理装置の開発(第1報). 農作業研究, 28(2), 109-114.
- 農林水産省農林水産技術会議事務局編, 1995. 年版日本標準飼料成分表, 中央畜産会, 113-170.
- 森本一隆・田中巧・千代隆行・妻由道明・桑田幸人・田川佳男, 1996. トウモロコシのラップサイレージ作業体系. 鳥取畜試研報 25, 1-4.
- 農林水産省統計情報部, 2001. 農業経営統計調査報告平成 12 年畜産物生産費, 農林統計協会, 104-107.
- 志藤博克・山名伸樹, 2002. 青刈りトウモロコシの省力化収穫調製技術の開発(第1報). 農機誌, 64(4), 96-101.
- 農林水産省畜産局自給飼料課, 2003. 草地管理指標. 日本草地畜産種子協会, 24.
- 志藤博克・高橋仁康・山名伸樹・澁谷幸憲・奥村政信・正田幹彦・福森宏一・上村雄二・只野克紀・玉森幸雄・高田雅透・福森 功, 2005a. 青刈りトウモロコシの省力化収穫調製技術の開発(第2報). 農機誌, 67(3), 106-113.
- 志藤博克・高橋仁康・澁谷幸憲・山名伸樹, 2005b. 細断型ロールベアラで調製したサイレージの発酵品質. 日草誌, 51, 87-92.
- 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構, 2017. 日本飼養標準 乳牛(2017 年版), 中央畜産会, 214.
- 森岡昌子・西村和志・恒川磯雄, 2019. トウモロコシサイレージを多給する酪農経営の収益性. 研究成果情報, 農研機構, https://www.naro.go.jp/project/results/4th_laboratory/carc/2019/carc19_s07.html Accessed Mar.13,2023.
- 農林水産省統計部生産流通消費統計課, 2022. 作物統計. <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=2&layout=datalist&toukuei=00500215&xtstat=000001013427&cycle=0&year=20210&month=0&tc1=000001032288&tc2=000001034728&metadata=1&data=1> Accessed Mar.13,2023.

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

足立 泰久

筑波大学 生命環境系

要旨

土壌や水環境中には粘土や有機物など多種多様なコロイド粒子が偏在し、その表面には様々な化学物質を吸着、濃縮している。また、コロイド粒子の力学挙動は化物質の吸着によって大きく影響される。環境中のコロイド粒子の挙動の理解とその制御は、粘土などの微細画分が関わる土砂輸送や水質問題、土壌浸食や塩類集積などの土壌保全、さらには畜産廃水や農村下水道などにおける水処理プロセスなど、農学が対象とする生態系の保全や資源管理を考えていく上での重要課題であるが、その理解は十分進んでない。筆者らは、問題の構造を明らかにする観点から、コロイドの凝集現象(フロッキュレーション)に着目し、モデルコロイド粒子を用いて解析の枠組みを明らかにすると同時に、種々の化学条件、水理学的条件に対応させ、凝集速度、フロックの幾何学的構造、懸濁液の沈降分離や流動などの力学機構の知識体系を構築、整備してきた。今後は得られた一連の成果を個別的な具体事例に適用することによって、温暖化や新しいタイプの汚染問題に対処できる展開が可能と考えられる。

キーワード

土壌, 水環境, コロイド, フロック, 界面動電現象

1. 研究の当初に抱いたスキーム

図1に大学院にて研究を開始した当初に抱いた凝集研究のスキームを示す(足立 1988)。濁水など自然界に形成されるコロイド分散系は熱力学的に不安定であり、系内に存在するコロイド粒子は普遍的なファンデルワールス力によって引力を及ぼし合うため、粒子は次第に集まり、大きな凝集体(フロック)へと成長する。この過程では、物理化学および流体力学的条件によって規定されるコロイド粒子の凝集速度の定量的把握と、凝集の結果形成されるフロックの構造の幾何学的特徴の記述の仕方が重要である。さらにコロイド粒子間の付着力を組み込むことによりフロックの大きさを介して沈降やレオロジー等の移動現象や力学過程が順次を体系づけられる。

土壌にしても水環境にしても自然界に起こる現象は、力学的条件と化学的条件の組み合わせで定まるので、このようなスキームで考えることは、無理のない妥当なアプローチと思われるかもしれないが、自然界や工業プロセスで実際に遭遇する現象は非常に複雑であり、また時系列的にも大きく変化してしまうので、このような単純なスキームでの定量化はあまり顧みられていなかった。単純な発想に基づく理論的な定量化を可能にしたのが、完全球形単分散のPLS粒子を汚泥のモデルとして使うことであった。その発想に至るまで人工汚水としてのカオリナイトなどの分散系を試したが、当時に活発に議論されはじめていたコンピュータシミュレーション(Sutherland et al.,1971)や Ottewill ら(Ottewill et al.,1966)らによって示されていた DLVO 理論

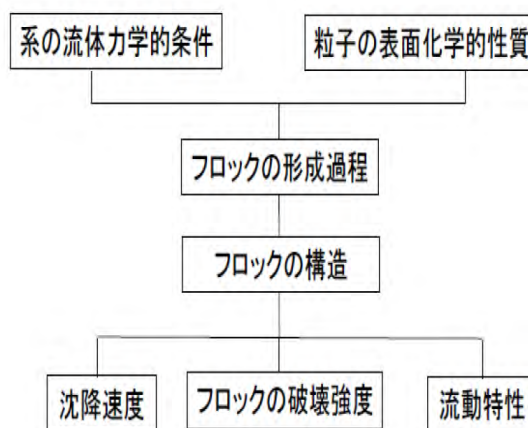


図1 研究当初に抱いた凝集研究のスキーム

(Verwey and Overbeek 1948)の実証の報告に触れ、完全球形で大きさの揃った単分散のポリスチレンラテックス(以下 PSL)標準粒子をモデルとして解析の枠組みを構築することを選択した。この粒子はさらに比重が水に近いため、溶媒の比重を制御することによって、重力の影響についても流体力学的視点の解析を進展させた。

自然界で遭遇するコロイド粒子(足立ら, 2003)は形も大きさも揃いで化学的にも多種多様で不均一であり、モデル球で仮定される理想的なものからは程遠い存在である。しかし、モデル球粒子の導入はフロックの構造の理解に留まらず、様々な条件で解析が行われているコロイド界面化学の有効性を認識する契機となった。以降、研究は具体的な環境問題よりモデルとして取り上げたコロイド粒子の界面科学で仮定される物理学的条件に規定されるフロック形

成の問題にシフトした展開となった。

2. 球形単分散コロイド粒子を用いるメリット

上述したように、理想的な粒子を用いるメリットはフラクタルの考え方に基づくフロク構造の幾何学的の記述と環境コロイドのダイナミクス解析に界面化学の分野で長年培われてきた学術情報の導入に道を開いたが、さらに水理学的な解析においても大きな明確な粒子を用いることによって、理論的視点からの凝集速度論に基づく解析を可能にした。その一つが、アインシュタインが展開した熱の分子運動論の帰結(平均自乗変異位を表すアインシュタインの式と拡散係数を記述するストークス-アインシュタイン式)の活用であるが、その活用によってコロイド粒子の表面に吸着する凝集剤となる高分子電解質分子の形態の変化の実態が明らかできるようになってきた(図2)(Duan et al.,2020)。

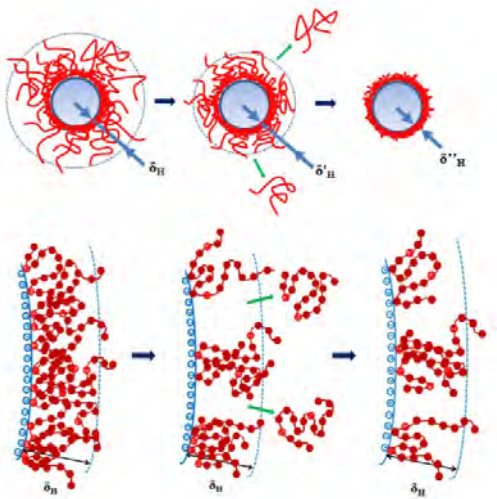


図2 粒子に吸着する高分子の厚さや構造は凝集速度を決定する上で重要であるが、アインシュタインの理論を適用した実験により、上段のように緩和過程に厚さが減少するパターン(低電荷密度高分子)と下段のように密度が減少するパターン(高電荷密度高分子)があることが明らかになった。

凝集速度は乱流強度によって規定され则认为られるが、凝集速度を大きな明確な粒子で測定することによって、未知数である乱流強度を評価し基準化する方法を確立することができた(Adachi, 1995)。さらに、この手法をより複雑な溶存高分子が関与する系に適用したところ、凝集に関与する溶存高分子の形態の重要性やコロイド粒子へ吸着していく高分子のコロイド粒子表面での緩和過程に関する情報が得られ(Adachi et al.,2000)、さらに発展的に解析を進めた結果、腐植物質、高分子イオンコンプレックス(PIC)

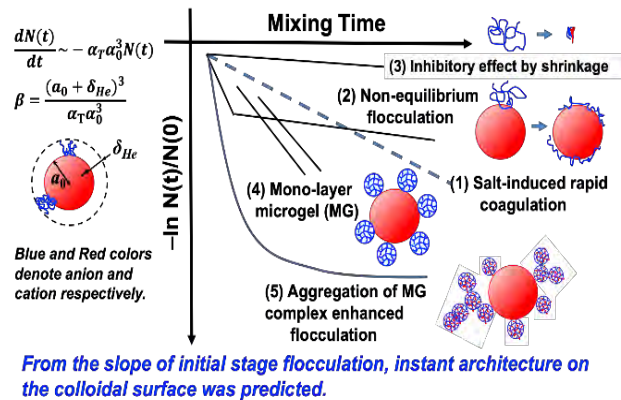


図3 乱流中の凝集速度を用いた攪拌の基準化とこの方法によって明らかになった粒子表面に存在する付着物質や高分子の状態の模式図。乱流中の凝集速度は粒子数濃度 N の時間微分で表されるが大きな特徴として、粒子径の3乗に比例する。従って、粒子に付着した物質があると、凝集速度を表す直線の傾きが増加する。

など、環境中で共存すると考えられる種々の物質の凝集現象への阻害と促進(Lim et al., 2022)(Ilyasov et al., 2020)についての影響の定量化が可能となった(図3)。

以上の述べたように単分散球粒子を用いることにより、解析の枠組みが明らかした意味は大きく、次第にその成果を粘土粒子や微生物など実際の環境中のコロイド粒子拡張し、研究の当初に直面していた現実の問題を解析する指針が明らかになった。研究の第2ステージにおいては、モンモリロナイト、カオリナイト、アロフェンやイモゴライトなど特徴的な粘土鉱物を取りあげ、フロク形成の視点からのデータベースの充実を行った。

3. フロクキュレーション解析に基づく環境界面工学の創生

図4は昨年度より採択を受けている科研費基盤研究(A)のスキームである。一見すると他方面に渡る展開をしているように思われるが、基礎的な底流の部分には当初のスキームが存在し本質は変わらない。しかし、基礎的な概念と応用上の問題をこのような一枚の絵に書いてつないでみることによって、動的な界面現象の理解が応用上の問題にどのように関わるかということを明確にすることができる。特にコロイドの凝集は界面でのナノスケールで生じている微細な現象とマクロな水文現象や力学過程を繋ぐ意味で鍵となる重要な要素であることを改めて意識化することが重要である。

図中の①～⑥に示した各項目の現時点での要点をまとめると以下の通りとなる。

① 凝集のダイナミクス

環境中のコロイドは粘土などの無機ナノ粒子と腐植

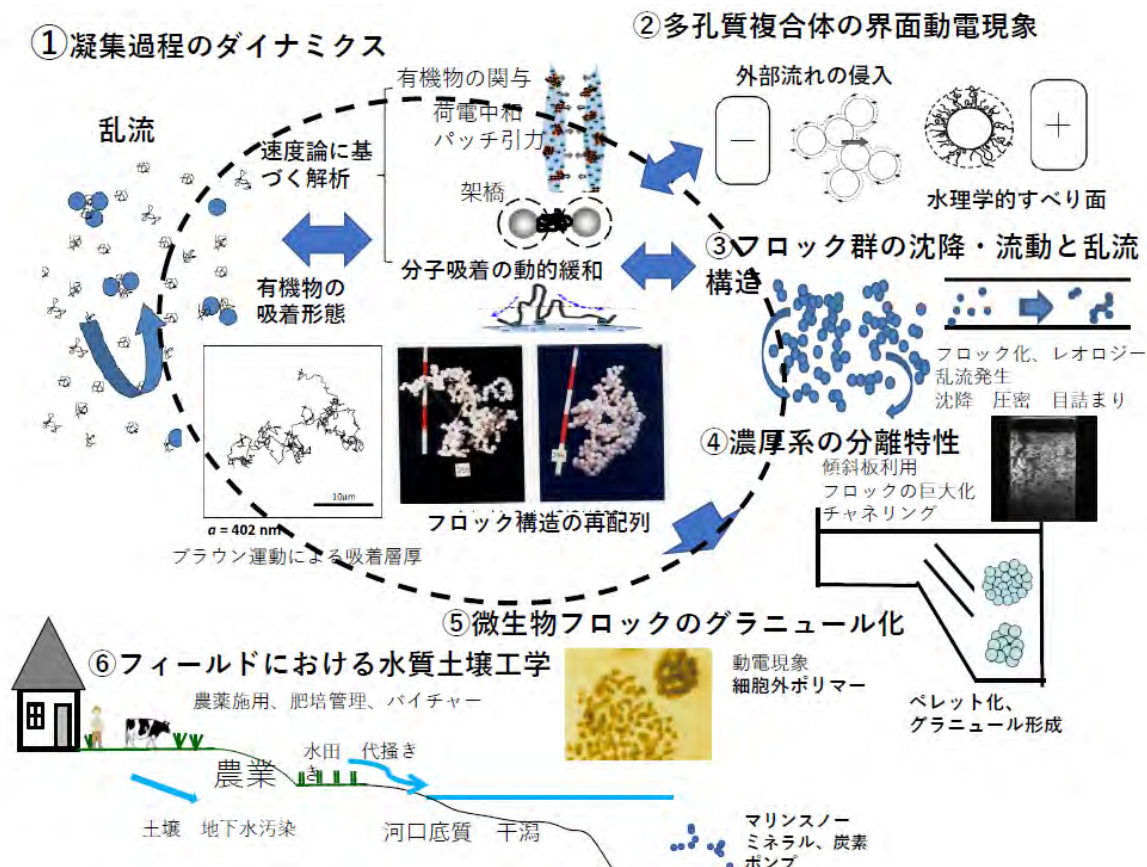


図4 コロイド凝集の解析に基づく土壌・水環境の工学的な展開における研究スキーム

など有機物から構成される。これらのコロイドの凝集に対し、コロイドが乱流条件下にあることを想定し、その作用で衝突をするが、その過程を標準粒子の凝集で基準化することによって、速度論的な解析が可能となった。我々は主として吸着性の溶存高分子の動的作用を解析し、吸着時の界面における緩和過程、PICの形成による凝集促進と阻害効果、粒子表面における階層複合的な作用の存在などを解析した。今後もこれらの複合系のダイナミクスの解析を積み上げていくことが重要であり、とくに生体由来の物質をとりこんで解析対象にすることによって、神秘に包まれる生物系の凝集を考えることができるようになるのではないかと考えている。

② 多孔質複合体の界面動電現象

フロックや高分子吸着層を伴う粒子は高い空隙率を伴うので、多孔質体として扱う必要がある(Adachi 2016)。多孔質体の間隙スケールが小さい場合外部の圧力差で多孔質体内部に発生する流れは余り大きくならないが、フロックや高分子吸着層のように間隙構造に自己相似性があるとその限りではない(Santanu et al. 2022)。一方、多孔質体が帯電しているとき、外部に電位差があると容易に内部に浸透流(電気浸透流)を誘発する。

界面動電現象研究では、この現象の定量化や境界でのすべりが重要である。

③ フロック群の沈降・流動と乱流構造

単一フロックの沈降速度は分離プロセスの設計上の重要項目であり、その正確な把握が求められる。沈降速度とフロック径の関係の統計的性質を明らかにすることによって、その精度の向上が提案できる。一方、味噌汁のような準希薄な系は、フロックが沈降し、他のフロックと接触し成長すると沈降速度がどんどん増加し、ますます頻繁に衝突を引き起こし、その分沈降速度が加速するフィードフォワードな過程と認識でき、凝集を乱流誘発のメカニズムとして認識することができる(Ghazari et al., 2019)。今後は、これらを参考にフロックを含む懸濁液の乱流輸送特性をさらに解析していくこと、沈降したフロックが圧密し固化していく挙動をさらに解析することが重要であると考えられる。

④ 濃厚系分離技術

濃厚なコロイド粒子の凝集分離過程では、分離効率の高いペレット状のフロックが形成される。この過程を構造の再配列、フロック破壊機構、高分子の関与の3点から再検討する必要がある(Kobayashi et al., 1999)。

⑤ 微生物フロックのグラニュール化

微生物を用いた排水処理においてもペレットに類似するグラニュール形成が広い培養条件で形成されることが確認されている。グラニュールが形成される時、主として多糖類からなる高分子が細胞から放出されている。それらは細胞外高分子として総称されるが、フロックが団粒化するときの作用のメカニズム、機能など、科学的にも応用上も非常に重要である。

⑥ フィールドにおける水質土壌工学

公害の原点とされる足尾銅山の鉍毒は、渡良瀬湧水池でトラップされる。このようなトラップは他の貯水池でも報告されている。この機構は、溶解度の低い重金属が粘土などの環境中のコロイド粒子に吸着し、その粒子が沈殿することによって説明される。このような環境中の物質移動における凝集沈殿に関与する機構は、河川河口域の干潟の形成や栄養塩の移動、マリンスノーによる炭素固定、海洋におけるミネラルの鉛直輸送などで報告されている。水域に放出された農薬、抗生物質が生態系の構造に多大な影響を与えるリスクが問題視されているが、その機構の理解や制御にも吸着からコロイドの凝集へ至る関与が重要因子として認識されている。この機構は環境問題の中で中心的課題として認識されるようになりつつある。

3. 今後の展望

環境面におけるコロイド界面の問題は、まだ多くの課題を残している。温暖化に対応する諸課題に加え、マイクロプラスチックや抗生物質による生態系汚染など新しいタイプの環境汚染問題も顕在化している (Fu et al., 2022)。SDGのようなグローバルな視点に立って行動計画を求められることがある半面、ウクライナ情勢のように食糧やエネルギー問題を循環型で持続可能な自国の問題として再構築していく必要もある。広い意味で農業工学の問題が社会の注目を集めるようになっていと考えられる。このような中において、その汎用性から、ミクロな移動現象を司るモデルコロイド粒子を用いた柔軟なアプローチは技術開発において有効ではないかと考えることが出来る。

謝辞

今回の受賞に際し、推薦を賜りました農業農村工学会の執行部にお礼申し上げます。本文にも記載しましたが一連の成果は筆者が大学院の時に思いついた構想を継続する形で筑波大学において実施できたことによって得られたものです。特に研究の構想には、恩師の志村博康教授、大井節男博士に様々なアドバイスをいただきました。また、研究を遂行する過程では筑波大学にて、留学生、多くの

専攻生がそれぞれ卒業論文、修士論文、博士論文に取り組みました。成果はその努力の賜物です。また、研究を支えてくださった多くの皆様に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 足立泰久, 東京大学博士論文 (1988)
- R.H.Ottewill and J.N.Shaw (1966) Stability of Monodisperse Polystyrene Latex Dispersions of Various Sizes, *Disc.Faraday.Soc.*, 42, 154-163.
- D.N.Sutherland and I.Goodarz-Nia (1971) Floc simulation: the effect of collision sequence *Chem.Eng.Sci.* 26, 2071-2085.
- Yasuhisa Adachi and Setsuo Ooi (1990) Geometrical Structure of a Floc", *J.Colloid and Interface Sci.*, vol.135, pp.374-384, 1990
- 足立泰久, 岩田進午編著. (2003) 土のコロイド現象, 学会出版センター, 1-451
- Verwey E.J.W., Overbeek J.Th.G. (1948) Theory of the stability of colloids. Elsevier, Amsterdam
- Hashimoto Y (1989) Recent strategies of optimal growth regulation by the speaking plant concept. *Acta Horticulturae*. 260: 115-121.
- Adachi Y. (1995) Dynamic Aspects of Coagulation and Flocculation. *Adv.Colloid and Interface Sci.* 56, 1-31.
- Kobayashi M, Adachi Y, Ooi S. (1999) Breakup of Fractal Flocs in a Turbulent Flow. *Langmuir* 15: 4351-4356.
- Adachi Y. (2016) Sedimentation and electrophoresis of a porous floc and a colloidal particle coated with polyelectrolytes. *Current Opinion in Colloid & Interface Science* 24: 72-78
- Feng L, Cohen Stuart MA, Adachi Y. (2015) Dynamics of polyelectrolyte adsorption and colloidal flocculation upon mixing studied using mono-dispersed polystyrene latex particles. *Advances in Colloid and Interface Science* 226:101-114.
- Leonid O. Ilyasov, Kazuyoshi Ogawa, Irina G. Panova, Alexander A. Yaroslavov, and Yasuhisa Adachi (2020) Initial-Stage Dynamics of Flocculation of Cationic Colloidal Particles Induced by Negatively Charged Polyelectrolytes, Polyelectrolyte Complexes, and Microgels Studied Using Standardized Colloid Mixing *Langmuir* 36, 8375-8383.
- Voon Huey Lim, Yuji Yamashita, Kazuyoshi Ogawa, Yasuhisa Adachi (2022) The inhibitory effects of synthetic polyacrylic acid and humic substances on the initial stage of colloidal flocculation induced by polycationic flocculant with low charge density *Colloids and Surfaces A* 653, 129930
- Bomin Fu, Chenyang Yu, Jing Sun, Hongtao Wang, Yasuhisa Adachi The influence of humic substances on environmental behavior of antibiotic resistance genes: A mini-review" *J. Hazardous Materials Advances* 8 (2022) 100173

地域の内発性を引き出す計画手法に関する研究

福与 徳文

茨城大学農学部

要旨

農山村を地域資源の保全・活用により活性化するにも、災害に強い地域をつくるにも、「自分たちの地域のことは自分たちで決める」、「自分たちの地域は自分たちで守る」といった地域の内発性は、そこに居住する生活者にとって大切な資産となる。ところが現代社会においては、過疎・高齢化、混住化などにより、放っておいても地域社会が機能するという状況では最早なくなっており、地域の内発性を引き出すための何らかの「仕掛け」が必要となる。その「仕掛け」の一つが「参加学習型の計画づくり」である。そのプロセスの中では、地域住民が共同で「学習」することがとても重要であり、そういった場面での専門家(スペシャリスト、ゼネラリスト)の役割は大きい。

キーワード

農山村の活性化、災害に強い地域づくり、地域の内発性、参加学習型の計画づくり、専門家

はじめに

筆者は、これまで、農山村の地域資源を保全・活用した地域づくりや、東日本大震災の津波被災地域の復興計画づくりにおいて、さまざまな分野の専門家と連携して、住民参加型の計画手法を実践しながらその効果を検証し、その意味を社会学の理論や概念を用いて考察することにより、理論と実践を往還するといった文理融合的な研究を行ってきた(福与 2001、2020)。この中で特に近年では、「災害に強い地域づくり」のための計画手法の研究に注力してきた(福与 2020)。

災害に強い地域をつくるためには、「自分たちの地域は自分たちで守る」、「自分たちの地域のことは自分たちで決める」といった地域の内発性が、そこに居住する生活者にとって自分たちの命を守るための大切な資産となる。しかし現代社会においては、過疎・高齢化、混住化などにより、放っておいても地域社会が機能するという状況では最早なくなっている。そこで地域の内発性を引き出し、育てるための「仕掛け」が必要となる。そうした「仕掛け」の一つが、地域住民が「参加」し、専門家の知見を「学習」しながら話し合っ合意形成をはかる「参加学習型の計画づくり」なのである。

復興計画をつくるにも、避難計画をつくるにも、「参加学習型の計画づくり」の中では、住民が共同で「学習」というプロセスが、とても重要となる。というのは、「堤防の高さをどれくらいにすれば、津波はどこまで到達するのか」とか、「土砂災害が起きやすいエリアはどこなのか」とか、専門家のもつ知見を住民が学びながら話し合い、住民間で情報や認識を共有していくことこそが、災害に強い地域づくりにつながるからである。そして、そうした「参加学習型の計画づくり」の「学習」において効果を発揮するのが、ビジュアル

イズ(見える化)技術である。

筆者は、東日本大震災の復興現場で、さまざまな分野の専門家とともに、フォトモンタージュによる景観シミュレーションや、沿岸農地の氾濫シミュレーションモデルによる津波浸水シミュレーションや、数理計画モデルによる農地利用最適化シミュレーションをビジュアライズしながら被災住民に地域の復興について話し合ってもらおうという、ささやかな支援を行ってきた(福与 2020)。ここでは、フォトモンタージュによる景観シミュレーションにより、被災住民による復興計画づくりを技術的に支援した事例として、岩手県大船渡市吉浜のケースを紹介しておこう。

津波減災空間の創出支援へ

吉浜は、明治三陸津波(1896 年)のとき、海岸近くにあった集落が壊滅的な被害を受けた。当時の新沼武右衛門村長の先導により、低地部にあった住居を高台に移転させ、その後、低地部には決して戻らなかったため、東日本大震災(2011 年)のときにも巨大津波が押し寄せたにも関わらず、他の被災地と比べれば、被害を最小限(犠牲者1名)にとどめたことで大変有名になった地域である。「ラッキービーチ」(USA TODAY)とか、「吉浜の奇跡」(読売新聞)とかいった呼び方で、マスコミにも取り上げられてきた。

この吉浜で、東日本大震災後、「海岸堤防を高くしないかわりに、高台の住宅群と低地部の農地の間に第2堤防兼集落道を整備する」という復興についてのアイデアを、被災住民自身(吉浜農地復興委員会:地域のリーダーたち)が考えていたので、そのイメージ図を筆者ら(外部支援者)がフォトモンタージュにより作成した(山本・福与 2012)。景観シミュレーションは、全部で 27 事例作成し、その内訳は、2次元デジタル画像処理 10 事例、3次元 CG16 事例、



右奥にある住宅の石垣の高さまで津波は押し寄せてきた。



低地部のどこからでも避難できるように第2堤防を階段状にする。

図1 景観シミュレーション事例1



地震によって鳥居が崩壊



神輿がまっすぐ海に

図2 景観シミュレーション事例2

3次元 CG を活用した動画1事例である。その中で図1は、3次元 CG により作成した「第2堤防兼集落道」に関わるシミュレーション事例である。

吉浜住民の話し合いの場(2011年8月)で、これらの景観シミュレーションを映写したところ、「第2堤防の高さが、津波が到達した石垣の高さなので、もう少し高くした方がよいのではないか」とか、「第2堤防の整備が、津波が到達しなかった他のエリアに影響を与えてしまうのではないかと」といった疑問や意見が、その場で出された。景観シミュレーションを提示することによって、話し合いに参加した人たちの計画案に対する理解が促され、話し合いが活性化されたのである。

ビジュアライズの思いがけない効果

さて、ここで特に紹介したいのは、図2のシミュレーション事例である。これは、お祭りの場に関するフォトモンタージュ(2次元デジタル画像処理)なのだが、被災住民(吉浜農地復興委員会)からのリクエストに応じて作成したものである。

図2の左側が、現況図(2011年7月時点)である。吉浜にある新山神社の石段の上から撮影した写真だが、地震により鳥居が倒壊している。この神社の4年に1度の式年大祭では、神輿が漁船に乘せられて「海上渡御」する。震災当時は、木々に塞がれて見通しがきかず、神社からは海が見えない状況であった。昭和三陸津波(1933年)に襲われる前は、現在、木々に覆われている斜面の下に鳥居があり(いまでもその跡は残っている)、神社への参道もあったと聞く。

そして図2の右側が、地元からのリクエストによって作成した景観シミュレーションである。「神社の前面を覆っている木々を切り払って海が見えるようにし、農地の復興時に整備される農道を、神社から真っ直ぐに浜に降りられる道として整備することによって、式年大祭のときには神輿が真っ直ぐ浜に下りられるようにする」という吉浜農地復興委員会のアイデアにもとづいて作成したものである。

さて、このシミュレーションを話し合いの場(2011年8月)で映写したときの住民の反応は、筆者ら(外部支援者)にとって予想外のものだった。被災住民からは、「これを見たら元気が出てきた」、「お祭り広場も整備したらよい」といった発言が相継ぎ、会場全体が大いに活気づいたのである。

お祭りの場の景観シミュレーションの作成を吉浜農地復興委員会から依頼されたとき、津波減災空間の創出とは直接

関係のないシミュレーションを作成することの意義を、当初、筆者らはよく理解できなかった。「なんだかよくわからないけど、被災地からの要望だからやらなければ」という気持ちで作成したものである。しかし会場の盛り上がり方を見て、「なるほど」と思った。地域にとってお祭りの場がいかに大切なのかということと、景観シミュレーションには、復興計画案の理解を促進する効果とともに、復興に向けて被災住民に元気を取り戻してもらうという「思いがけない効果」があることが明確になったのである。

思いがけない効果とは？

「景観シミュレーションを話し合いの場で映写すること」のねらいは、一言でいえば、地域のリーダーたち(吉浜農地復興委員会)が作成した復興計画案に対する一般住民の「理解の促進」である。それは、復興計画案に関する具体的なイメージを、被災後の吉浜の景観に重ね合わせ、それを住民に提示することによって、吉浜農地復興委員会(地域のリーダー)が作成した復興計画案に対する一般住民の理解を促し、話し合いを活発にし、地域の合意形成につなげていくことである。景観シミュレーションを話し合いの場で映写し、それに対する住民の反応を見る限り、役員が作成した復興計画案に対する吉浜住民の理解を促進し、計画案が抱える問題点を浮き彫りにし、参加者間でそれを共有する機能があつたとみてよい。これらが景観シミュレーションの「ねらいどおりの効果」だったということになる。さらに景観シミュレーションには、「復興後の地域の姿を住民に見てもらうことによって、復興にむけての意欲や元気を取り戻してもらう」という被災住民の心理面への「思いがけない

効果」があったということになる。

社会学的にいうと、景観シミュレーションの「潜在的機能」が認められたことになる。「潜在的機能」とは、アメリカの社会学者ロバート・K・マートン(1961)が機能分析の精緻化のために提起した概念である。マートンのいう潜在的機能とは「意図せざる、当事者は認識していないが観察者によりはじめて認識される機能」という意味で、「意図した、当事者が認識している機能」である「顕在的機能」と対比される。「合意形成のための理解促進機能」は、景観シミュレーションの顕在的機能といえるし、「被災住民を元気づける機能」は潜在的機能といえる。

同等の機能を持つもの

復興のアイデアをビジュアライズする方法としては、写真の切り貼りや CG を用いたフォトモンタージュばかりが効果的だというわけではない。建築家などが「模型」をつくり、復興後の「街」の姿を住民に見せている映像を、テレビで見た方々も少なからずいると思う。

テレビで映し出された「模型」が、被災住民の意見によって作り直すことを前提に作られたものなのか、その「模型」が示しているものが復興計画の最終的な姿なのかどうかは、その映像を見ただけではよくわからなかったが、もし作り直すことを前提とするのであれば、「模型」よりも「フォトモンタージュ」のほうが作り直しやすいし、いくつかのヴァージョンを場所もとらずに用意することができる。

また「模型」の多くが、復興後の「街」だったように記憶しているが、建築物群であれば「模型」によるビジュアライズも効果的かもしれないが、農地を含む景観となると、空間の多くを占める農地部分は(建築物と比べれば)凹凸に乏しく、「模型」で示すことによるビジュアライズ効果は小さなものとならざるを得ない。さらに海岸堤防の高さを変えるなどし、ある地点から「海が見えるかどうか」をシミュレーションしようと思えば、「フォトモンタージュ」の方にアドバンテージがある(図3)。

もちろん「模型」には「模型」の良さがあり、「フォトモンタージュ」の方が「模型」より優れている点も少なからず存在する。それぞれ一長一短があるが、復興計画案に対する被災住民の理解を促進し、復興に向けて元気を取り戻し



図3 景観シミュレーション事例3

てもらおうという機能を持っている点では、「模型」も「フォトモンタージュ」も同等と言える。これもマートン流に言えば(マートン 1961)、「フォトモンタージュ」と「模型」は、被災住民の「合意形成のための理解促進機能」と「被災住民を元気づける機能」という点で「機能的に等価である」ということになる。

シミュレーションに近づく現実

図4に並べた2つの写真(①②)は、吉浜の新山神社の鳥居周辺のその後を撮ったものである。①は2013年11月16日に撮影し、②は2015年10月3日に撮影した。これらの写真から吉浜の復興への道のりをたどってみよう。

写真①(2013年11月撮影):石造りの鳥居が再建され、視界を塞いでいた木々は伐採された。「海が見えるように」という構想に基づいて伐採されたというわけではなく、津波の塩分によって枯死したため伐採されたと聞いた。結果として、海が見えるようになったというわけである。農地の復興も半分ほど進んでいる。

写真②(2015年10月撮影):稲穂が黄金色に稔っており、まもなく収穫の日を迎えようとしている。海岸堤防はまだ完成していないが、農地はすっかり復興した。再建された鳥居のすぐ向こうがわに、工事車両が見える。まだ完成していないが、新しく整備された「第2堤防兼集落道」の上に工事車両が乗っている。海にまっすぐ降りていく道の整備こそ叶わなかったが、2011年に吉浜住民自身が構想した復興後の姿(景観シミュレーション)に現実がだんだん近づきつつあることがわかる。



①2013年11月16日撮影



②2015年10月3日撮影

図4 シミュレーションに近づきつつある現実

おわりに-専門家の役割-

本稿の最後に、外部支援者としての専門家の役割を整理しておく。「参加学習型の計画づくり」において果たす専門家の役割としては、以下が挙げられる。

①スペシャリストとして:被災住民の理解促進や共同学習のために、それぞれの専門分野を活かした実態分析や評価・予測などを行い、住

民に提示すること。

②ゼネラリストとして：被災地の状況に応じた計画策定プロセスを設計し、それをコーディネートすること。またプロセス全体を見守り（進行・管理）、記録すること。

筆者らが支援した地域では、スペシャリストとして様々な専門家が、実態分析や評価・予測（シミュレーション）を行った。吉浜においては、この後、沿岸農地の氾濫シミュレーションモデルによる津波浸水シミュレーション結果を提示したし（桐ほか 2012）、宮城県七ヶ浜町では、農地基盤地理情報システム VIMS 上に農地集積の現状（実態調査結果）をビジュアル化し、同時に最適解（数理計画モデルによる農地利用最適化シミュレーション結果）（八木ほか 2019）を提示し、農業復興のあり方について被災農家に話し合ってもらっている（福与 2020）。

そして筆者がゼネラリストとしての専門家の役割を担ったわけなのだが、コーディネータとして筆者に期待された役割（実際にできたかどうかは別にして）を列挙すると、次のようになる。

- ①住民の経験知や将来に対する考えを体系化・整理して復興計画（案）にまとめていく。
 - ②減災対策から地域活性化対策にいたるまでの様々な課題に対する相談役になる。
 - ③住民による復興計画策定の進捗状況に合わせて、どのような支援技術を投入すればよいのかを判断する。
 - ④復興計画（案）の策定から事業実施への流れを見守る。
- 本稿で紹介したフォトモンタージュによる景観シミュレーションは、③の役割の中で投入した支援技術の一つということになる。

そして、これら専門家の役割は、災害に強い地域づくりの場面だけではなく、地域資源を保全・活用した農山村の活性化の場面でも、同様であると考ええる。その場合、保全・活用する地域資源が絶滅危惧種であったり、文化財であったりするわけだが、それぞれの専門家がスペシャリストとして「参加学習型の計画づくり」に参加することとなる。

さて、専門家が「参加学習型の計画づくり」に関わるということは、多かれ少なかれ当該地域に専門家が「介入」することになるが、どこまで介入することが許されるのであろうか。筆者は、地域住民の合意形成の内容にまでは専門家は介入せず、あくまでも合意形成ができるような場や環境を整えることまでが専門家に許される介入だと考える。

専門家による「介入」として筆者の頭にまず浮かぶのが、フランスの社会学者 A. トゥレーヌらの「社会的介入」である。これは反原子力運動や地域闘争といった社会運動に研究者が介入し、仮説を提示し、運動主体の自己分析を促し、運動の水準を押し上げる方法である。複数グループで議論を交わし、研究者がアジテーター役とセクレタリー役に分かれて働きかける。社会運動の活動家を対象とした一種のワークショップである。もちろん筆者らが被災地などで行なった介入の方法と、A. トゥレーヌらの社会運動への

社会的介入の方法とは多くの点で異なる。しかし専門家（研究者）が介入することによって、社会運動の主体である活動家や、地域づくりの主体である地域住民が（つまり当事者が）、自分たちの現状を再認識することを支援する機能を果たすという点では同じである。A. トゥレーヌら（1984）も次のように述べている。

「われわれの介入がめざしたのは、知識をつくりだし、運動の担い手がかれらの行動の性質とその拠って立つ基盤をよりよく理解するように手助けすること、それ以上のことではなかった。その役割は、方向を決定することではなく、人びとが可能なかぎり自分たちの歴史の演じ手となるように手を貸すことなのである。」

「参加学習型の計画づくり」における専門家の役割は、地域住民が決定する内容そのものに介入するのではなく、住民が可能なかぎり自分たちの力で計画を策定していくことに、スペシャリストとゼネラリストの立場から手を貸すことなのではないかと考える。

謝辞

筆者が現場で「参加学習型の計画づくり」を実践しながら研究を進めることができ、このような名誉ある賞を受賞できたのは、さまざまな分野の専門家や、地域に居住する生活者、自治体職員の皆様との連携・協働があったからにはかならない。心より感謝申し上げます。

参考文献

- 福与徳文『地域社会の機能と再生：農村社会計画論』日本経済評論社、2011
- 福与徳文『災害に強い地域づくり：地域社会の内発性と計画』日本経済評論社、2020
- 山本徳司・福与徳文「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震による地域復興計画支援における景観シミュレーションの活用と役割」農工研技報 213、2012、29-38
- ロバート・K・マートン（金沢実訳）「顕在的機能と潜在的機能：社会学における機能分析の系統的整理のために」、（森東吾・森好夫・金沢実・中島竜太郎共訳）『社会理論と社会構造』みすず書房、1961、16-77
- 桐博英・丹治肇・福与徳文・毛利栄征・山本徳司「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震を対象とした減災農地の津波減勢効果の検証」、農村工学研究所技報 213、2012、279-286
- 八木洋憲・福与徳文・幸田和也・重岡徹「津波被災地域における地域農業の展望：宮城県 S 町の大区画基盤整備後における複数主体の農地利用最適化を通じて」農業経済研究 91（2）、2019、317-322
- A. トゥレーヌ著、梶田孝道訳『声とまなざし：社会運動の社会学』新泉社、1983
- A. トゥレーヌほか著、宮島喬訳『現代国家と地域闘争』新泉社、1984、16

日本農業工学会賞受賞者

(2014 年 ～ 2023 年)

日本農業工学会賞 2014 (第 1 回)

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)

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)

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)

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	カバークロッ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）

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 蘭 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）

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）

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	カバークロッ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）

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）

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）

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

2023 年度日本農業工学会フェロー受賞者

2023 年 5 月 13 日授与

谷 晃	生態工学会	静岡県立大学食品栄養科学部・教授
横谷 香織	生態工学会	筑波大学生命環境系・客員研究員
荒木 卓哉	日本生物環境工学会	愛媛大学大学院農学研究科・教授
大上 博基	日本農業気象学会	愛媛大学大学院農学研究科・教授
廣田 知良	日本農業気象学会	九州大学大学院農学研究院・教授
脇山 恭行	日本農業気象学会	農業・食品産業技術総合研究機構 基盤技術研究本部 研究推進室・チーム長
大森 弘美	日本農作業学会	農研機構 農業機械研究部門 機械化連係推進室長
帖佐 直	日本農作業学会	東京農工大学 准教授
兼崎 雅弘	農業施設学会	ヤンマーグリーンシステム(株) 園芸施設部・部長
水谷 孝一	農業施設学会	筑波大学 システム情報系・研究員（常勤）／名誉教授
小田 滋晃	農業情報学会	（公財）レイ・パストゥール医学研究センター・京都大学 名誉教授・主任研究員
清水 庸	農業情報学会	高崎健康福祉大学・教授
岡本 宗治	農業食料工学会	株式会社 クボタ 常務執行役員 研究開発本部副本部長、機械カスタマーファースト品質本部長、研究開発推進ユニット長
西津 貴久	農業食料工学会	岐阜大学 応用生物科学部 教授
松井 正実	農業食料工学会	宇都宮大学 農学部 農業環境工学科 教授
守谷 栄樹	農業電化協会	中部電力株式会社 技術開発本部 電力技術研究所 バイオグループ長 研究主査
進藤 惣治	農業農村工学会	国立研究開発法人 国際農林水産業研究センター 農村開発領域・領域長
武田 育郎	農業農村工学会	島根大学生物資源科学部環境共生学科・教授
取出 伸夫	農業農村工学会	三重大学生物資源学研究科・教授
西村 伸一	農業農村工学会	岡山大学学術研究院 環境生命科学学域・教授
西村 拓	農業農村工学会	東京大学大学院農学生命科学研究科 生物・環境工学専攻・教授
上野 裕士	農村計画学会	内外エンジニアリング株式会社技術本部常務取締役技術本部長
守田 秀則	農村計画学会	岡山大学 学術研究院環境生命科学学域 教授

日本農業工学会フェロー受賞者

(平成 11 年度～2023 年度)(合計 452 名)

受賞年度(受賞者数)(総会報告年月日)

平成 11 年度(19 名)

平成 12 年 5 月 19 日

岡本 嗣男

角屋 睦

木谷 収

久保 七郎

古在 豊樹

佐野 文彦

白井 清恒

白石 英彦

須藤 清次

世良田和寛

田淵 俊雄

茶谷 仁

中川昭一郎

中村 良太

橋本 康

前川 孝昭

真木 太一

安富 六郎

和田 完司

平成 12 年度(11 名)

平成 13 年 5 月 18 日

近藤 次郎

塩谷 哲夫

庄司 英信

杉 二郎

鈴木 義則

中村 武夫

行方 文吾

野口 正三(辞退)

林 弘宣

八幡 敏雄

福田 仁志

平成 13 年度(11 名)

平成 14 年 5 月 17 日

相賀 一郎

遠藤織太郎

緒形 博之

菊岡 武男(辞退)

久保 祐雄

沢田 敏男

高倉 直

藤川 武信(辞退)

古谷 将(辞退)

松田 良一

山本 茂

平成 14 年度(11 名)

平成 15 年 5 月 16 日

上森 千秋

岩崎 和巳

岸上 定男

田中 宏平

田中弥寿男

長野 敏英

中山 敬一

新田 慶治

細川 明

山澤 新吾

米村 純一

平成 15 年度(11 名)

平成 16 年 5 月 14 日

不破敬一郎

高井 宗宏

町田 武美

渡部 一郎

川村 登

堂腰 純

清水 邦夫(辞退)

白滝 山二

長 智男(辞退)

藤田 則之

山本 光男

平成 16 年度(45 名)

平成 17 年 5 月 13 日

矢吹 萬壽

有馬 博

高辻 正基

獅山 慈孝

蔵田 憲次

松井 健

宮山平八郎

坂上 務

羽生 寿郎

三原 義秋

藍 房和

田中 孝

前田 耕一(辞退)

増田 正三

三箇山正雄

山下 律也

石光 研二

小出 進

長崎 明

市村 一男

村瀬治比古

関谷 光博

中原 通夫

穴瀬 真

松下 玄

徳永 光一

河野 洋

渡辺 潔

石川 明

田中礼次郎

篠邊 三郎

河原田禮次郎

中村 充

井上 自然

佐藤 晃三(辞退)

難波 直彦(辞退)

岩田 進午

野村 安治

土崎 哲男

岸本良次郎

鈴木 光剛

湯川 清光

中川 稔

浅原 辰夫

中島 哲生

平成 17 年度(50 名)

平成 18 年 5 月 12 日

堀部 和雄

大島 泰郎

大矢 晴彦

須藤 隆一

高桑 栄松

都留 信也

筑紫 二郎

内嶋善兵衛

内島 立郎

小元 敬男

吉野 正敏

小中 俊雄

坂井 純

並河 清

村田 敏

森嶋 博

立花 一雄

海老澤 勲

相原 良安

内海 修一

今尾 昭夫

長堀 金造

梅田 安治

戸原 義男

村上 康蔵

細山田健三

酒井 信一

近森 邦英

浅井喜代治

須藤良太郎

四方 田穆

内藤 克美

吉田 昭治

南 信弘

丸山 利輔

鈴木 敬

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
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
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
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
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
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
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
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
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
粕井 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

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

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) 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 役員の選任は総会において行う。
- 第 14 条 役員の任期は 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たとき
(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たとき招集する。
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・役員の選出・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品川区西五反田 7-22-17 TOCビル 11 階 34 号 一般財団法人農林統計協会内とする。
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) 国際会員にあつては、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 本会が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

(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. 委員会の議事は公開しない。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

(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. 委員会の議事は公開しない。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。