

スマート都市農業に向けた小型水耕栽培システムの開発

佐藤証¹

概要：これまでの都市農業は都市周辺の農地をどう守り活用していくかに焦点があてられているのに対し、都市に暮らす人々がビルの屋上やベランダ等の空きスペースを利用し、日常の暮らしの中で栽培と収穫を楽しむ新たな都市農業の実現を目指している。様々な果菜類の同時栽培を可能とする小型水耕栽培装置には、センサや無線通信等の IoT 技術を導入しており、管理サーバを経由してスマートフォンなどで遠隔モニタと制御が行える。栽培実験とユーザ評価を通じて改良を繰り返しながら、製品化・事業化への準備を進めている。

Development of Compact Hydroponic Culture System for Smart Urban Agriculture

AKASHI SATOH¹

1. 都市農業の現状

平成 27 年の「都市農業振興基本法」[1]に基づく「都市農業振興基本計画」[2]では、都市農地はそれまでの「宅地化すべきもの」から都市に「あるべきもの」へと施策が転換され、平成 29 年の「都市緑地法」の改正[3]において、法における「緑地」の定義に農地が含まれることが明記された。また同年の「生産緑地法」改定[4]では、市街化区域内の農地である生産緑地に、農産物などの加工施設、直売所、レストランなどの施設が設置可能となり、平成 30 年には、生産緑地の貸借を安心して行える仕組みとして「都市農地の貸借の円滑化に関する法律」[5]が制定された。これらの法整備により、新規就農者や企業や市民団体による都市農業への参入が可能となった。また、東京都の令和 2 年の「緑確保の総合的な方針」[6]の中では、農地、屋敷林、樹林地などの緑地・農地と市街地が一体となった良質な住環境を再整備する「緑農住」まちづくりが提案されている。

このような背景から、都市農地は農作物の供給という従来の目的に加えて、やすらぎや潤いをもたらす良好な景観の形成と環境保全、災害時の防災空間の確保、農作業体験・交流や食育・教育の場、メンタルヘルス対策や農福連携、地産地消による 6 次産業化による地域の活性化、など多様な役割が与えられるようになった。また、コロナ禍によるライフスタイルの変化により、都市住民の間では屋外で体を動かし農産物を栽培・収穫できる家庭菜園や市民農園に人気が集まり、人と人とのつながりの重要性が再認識される中、地域住民の交流の場を提供し、身近な場所での新鮮

な農産物栽培という安心感を与える都市農業への関心と評価が高まっている。

しかし東京 23 区のうち農地があるのは、葛飾区、江戸川区、足立区、北区、世田谷区、大田区、目黒区、杉並区、中野区、練馬区、板橋区の 11 区のみで、都の総面積 627.6km² に対して耕地面積はわずか 0.053 km²[7]と 1%にも満たない。既に宅地化、商工業地化された土地を農地に戻すことはできないため、都心部に暮らす人々が都市農業の様々な恩恵に預かる機会は限定的である。

その一方で、コロナ禍の外出自粛に伴い自宅時間が増えたことで、家庭菜園に取り組む人が増えている。経済産業省の商業動態統計「ホームセンター商品別販売額等及び前年（度、同期、同月）比」[8]によると、2015 年度の 4,953 億円から 2019 年度の 4,778 億円まで減収の一途であった「園芸・エクステリア」部門であるが、2020 年度は前年比 628 億円増の 5,406 億円と突出して伸びている。また、月毎の対前年比で見ると、直近の 2020 年 10～2021 年 3 月の半年間の伸びは 13.8～22.1%とさらに好調を維持している。

財団法人社会経済生産性本部の「レジャー白書 2017」[9]によると、「日曜大工」「園芸、庭いじり」の参加人口は、2016 年で 2,660 万人とされており、身近な創作系レジャーの人気は高い。また、「レジャー白書 2008」[10]によると、2007 年の貸農園や市民農園などの参加人口は 200 万人で、参加希望者人口は 4 倍の 820 万人で（市場規模は 350 億円、潜在市場規模 1,450 億円）であったが、「レジャー白書 2019」[11]では 2018 年に 360 万人と倍増している。その一方で、農林水産省によると、農業就業人口は 2007 年の 312 万人

¹ 電気通信大学
University of Electro-Communications

から2018年の175万人へと半減しており、さらに2020年は136万人と減少に歯止めがかからない。このように貸農園等を利用する人は農家の3倍近くに達している。平成30年の「都市農地の貸借の円滑化に関する法律」[5]により、農家から土地の利用を委託した民間企業による貸農園事業が拡大し、利用者はますます増える傾向にある。最大手企業が運営する都内の農地利用による貸農園の月額利用料は7,000~14,000円/3m²程度で(別途入会金が必要)と、地方自治体が運営する市民農園の年間数千円に対して1桁高いものの、専門家の指導や道具の貸し出し等のサービスもあるため人気は高い。

都市部の商業施設の屋上を利用した土耕による菜園の利用料は都心施設で、概ね年間10万円/3m²程度で、募集直後に締め切られるほどの人気である。しかしながら保水率の高い土は非常に重く、普通の建造物であれば10cm程度の厚さが耐荷重の限度である。そのため、どこでも屋上農園を始めるといふわけにはいかず、その施設数は数えるほどしかない。

2. 新たな都市農業

これまでの都市農業は都市周辺に残る農地をどう守り、どう活用していくかに議論が集まっていた。それに対して我々は、土を使わずに本格的な果菜類の栽培が可能な水耕栽培システムを開発し、図1の様にビルの屋上や住宅のベランダといった都市の空きスペースで栽培実験を行いながら、課題の洗い出しと改善を進めてきた[12][13]。水耕栽培装置は風による土の飛散や防水や防根対策が不要で、軽量なためどこにでも設置可能で、屋上菜園化による都市の潜在的な需要を大きく喚起することができる。また、頭上に枝を誘引するため、その下をイベントスペースとしても活用できる。これまで、学校、病院、商業施設などに試験導入を起さない、食育授業や子ども食堂、図2に示したバーベキューや栽培・収穫体験などのイベントを実施している。商業施設などで収穫した野菜や果物は、レストランでのメニューや加工商品に利用しており、また大量生産にはできない少量多品種栽培の強みを生かした、地域ブランド化や特産品の開発といった6次産業化も検討している。さらにビルの屋上の観光農園化やレンタルファーム化など、“都市部”での都市農業の実現により高い収益性が期

待される。

インターネットの普及により対面でないコミュニケーションが可能となり、昨今のコロナ禍でリモートワークやネットショッピングが拡大し、家を出なくても生活が可能になってきている。都市の集合住宅では隣人の顔すら知らないことも多く、周囲の人が気づかないために増加する高齢者の孤独死などが大きな社会問題となっている。大人から子供まで分け隔てなく楽しめる緑の交流スペースを設けることは、これらの問題の一つの解決策となる。また大規模災害時に通信手段が絶たれたときの安否確認や情報交換、日常においても顔の知らない不審者を遠ざけるといふ防犯対策にもなる。

現在の都市農業では農家の高齢化と後継者不足が大きな問題となっているが、都市の子供たちは動植物に触れる機会が極めて少なく、農業を身近に感じられないこともその大きな要因である。子供たちに栽培・収穫の楽しさを伝える農体験は後継者問題の解決だけでなく、コンピュータゲームのように一つの正解が存在しない「自然の摂理」を通じ、考える力を養う上でも大変有意義である。また高齢者施設や作業所への導入により、メンタル・ヘルスケアのみならず、健康な高齢者や障害者の労働力活用の場も提供できる。

以下では、このように様々な大きなメリットを有する新しい都市農業を実現するための、IoT技術を導入した水耕栽培システムについて述べる。



図1 屋上やベランダを利用した水耕栽培



図2 大学屋上でのバーベキューと洋菓子店屋上でのいちご狩り

3. 水耕栽培装置の概要

図3に開発した水耕栽培装置の外観を、表1にその諸元を示す。装置本体は原型を3Dプリンタで製作し、厚さ5mmのABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene)樹脂を簡易金型で抜いている。一方で図1の試作装置は、下部のタンクは原型の木型から凹型を作成して、FRP(Fiber Reinforced Plastic: 繊維強化プラスチック)のガラス繊維を手で貼り付けて製作し、苗を挿すパイプ部は市販の水道用の塩ビ管やジョイントを手作業で加工・接着している。そのため非常に手間がかかり、量産には向かない。そこで型抜きによる量産化を進めることで、筐体コストを1/10程度に削減することを目指している。

表1 水耕栽培装置の諸元

サイズ	36.2cm(縦)×57cm(横)×99.6cm(高)
重量	約5kg, 満水時約40kg
素材	ABS
電源	直流12V(最大22V)3A
ポンプ寿命	約2年(15秒オン10分オフ間欠使用時)
栽培面積	最大4m×4m(トマト・ウリ類栽培時)
設置場所	屋外(防水仕様)
動作温度	0~40℃
センサ	温湿度, 液肥濃度, 水位, 水温, ポンプ電流
通信	2.4GHz Wi-Fi
機能	自動ポンプ制御
	自動注水
	自動追肥
	異常通知
	(ポンプ停止, 通信停止, 高水温, 低水位)

図4は装置の基本構造で、下部のタンクに6個のポットを持つ2本のパイプを立て、パイプ内のホースに水中ポンプでタンク内の液肥を汲み上げ、ポットに挿した苗の根にシャワーを降らせている。培地は使わないため根が長く伸び、呼吸も十分できることから、土耕に比べて非常に成長が早い。なお、ポンプは常時駆動しているわけではなく、10分間隔で15秒~1分程度動かす間欠動作としている。そのため消費電力は小さく、20W程度の小型のソーラーパネルでも駆動可能である。装置は集合住宅のベランダでも使用できるように、手すりの高さよりも低い1mに抑えている。また輸送に便利のようにパイプは3分割し、他のパーツもネジや接着剤を使用せずに組み立て・分解ができるようにしている。

装置後部の防水ボックスには、図5のように各種センサと通信・制御用のマイコンを実装したセンサモジュールが入っている。ここからタンク内へは、水中ポンプ、水温測定用サーミスタ、水位測定用電極、そして液肥濃度測定用電極の各ケーブルが延びている。また外部からボックス内へは12V直流電源ケーブルを引き入れ、図6の追肥機構のエアポンプを動かすための5VのUSB電源ケーブルを引き出している。5Vが印加されてエアポンプが動作すると、肥料の原液を充填したボトル内に空気が送り込まれ、原液が



図3 水耕栽培装置の外観

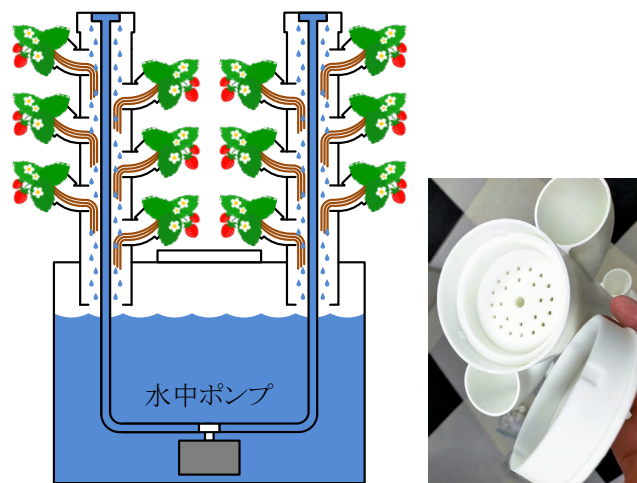


図4 水耕栽培装置の基本構造とシャワー部

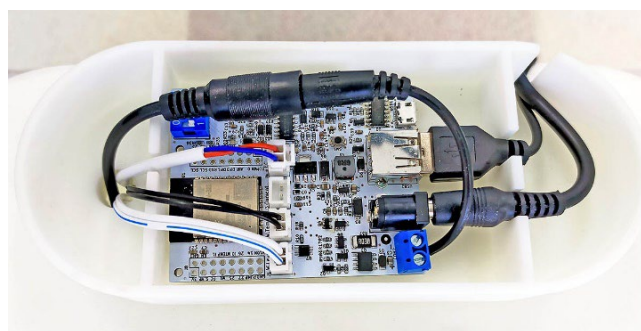


図5 水耕栽培装置後部のボックス内のセンサモジュール

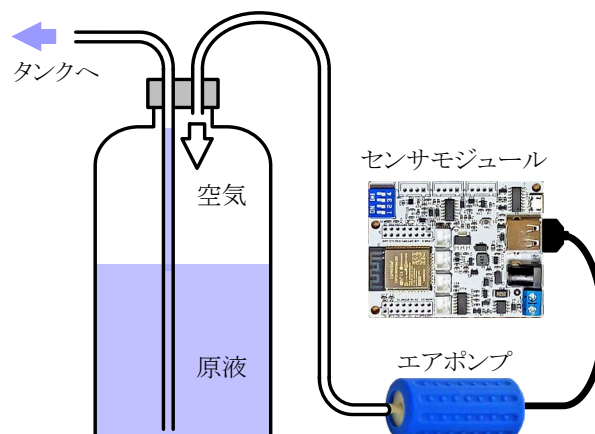


図6 追肥機構

押し出されて水耕栽培装置のタンクに注入される[14]。ポールタップも具備しており、水道ホースをつなぐことで水も使用された分だけ自動的に補充される。

装置の重量は約 5kg で、液肥が満タン時でも総重量は 40kg と子供一人分程度でしかないが、この装置一台でトマトやウリを栽培した場合、最大で 4m×4m 程度の広さをカバーすることができる。

4. センサモジュール

図7に水耕栽培装置用センサモジュールの基板表側の写真を示す。FR4の2層基板で、サイズは56mm×71mmである。制御用マイコンにはESP32-WROOM-32E(以下ESP32)[15]を搭載し、外部との入出力端子として、液肥濃度/水温/水位/外部ポンプ電流検出の各センサ用の2ピンXHコネクタ×4、拡張用4ピンI2Cコネクタ×3(未実装)、デバッグ用16ピンヘッダ×2(未実装)、モード切り替え用4接点DIPスイッチ、12V直流電源入力、12V水中ポンプ駆動出力、micro USBコネクタ、エアポンプ駆動用USB Type Bコネクタを持つ。なおType Bコネクタは、通信や電源入力用としては使えない。基板上に実装した温湿度センサは、その周辺の値を測定するので参考程度であり、外気を正しく測定したい場合はI2Cコネクタに別途センサを接続する必要がある。

図8はセンサモジュール上の、液肥濃度センサ部の回路図である。液肥濃度で決まる抵抗 R_4 によって、増幅率が変化する反転増幅回路を構成している。液肥中の電極に一方方向の電流が流れると、肥料が析出したり電極の劣化が早まるので、小振幅の交流信号を生成する。これにはまず、ESP32のPWMで周波数5KHz、Duty比50%の振幅0~3.3Vの方形波を作り、コンデンサ C_1 によるACカップリングで±1.65Vの交流信号に変換する。これをオペアンプOP1の反転増幅回路に通して、振幅を $1/8.25(=R_3/R_2)$ 倍の±0.2Vに減衰する。

この信号を液肥に流して電気伝導率を測定したとき、室内の100V交流電源からACアダプタを通じてセンサモジュールに直流12Vを供給した場合は正常に動作した。しかし、屋外のソーラーパネルで充電する12.6V出力の鉛蓄電池(カーバッテリー)に接続したところ、伝導率が急激に低下するという問題が生じた。電極の表面を拭くと伝導率はすぐ初期の値を示し、また一日放置すると図9のような表面に白い小さな結晶ができていた。一方向に大きな電流が流れていると考えられたため、鉛電池のGNDを基準としてタンクの液肥の電圧を測定したところ、約5Vも高くなっていた。つまり図9の回路で電極に電流を流しているか否かに関わらず、液肥から電極に向かって電流が流れ続け、肥料が電極表面に析出して電極間の伝導率が下がって(抵抗 R_4 が上がって)いた。100V交流電源の0Vレベルと自然界のGNDレベルは近く、また水道からホースで注水し

ているタンク内の溶液も同様である。これに対して、ソーラーパネルで充電する鉛蓄電池は外界と絶縁されているため、GNDレベルに大きな電位差が生じてしまったと考えられる。そこで、液肥から回路に電流が流れるのを防ぐために、電極の両端に2つのコンデンサ C_2 と C_3 を付加した。

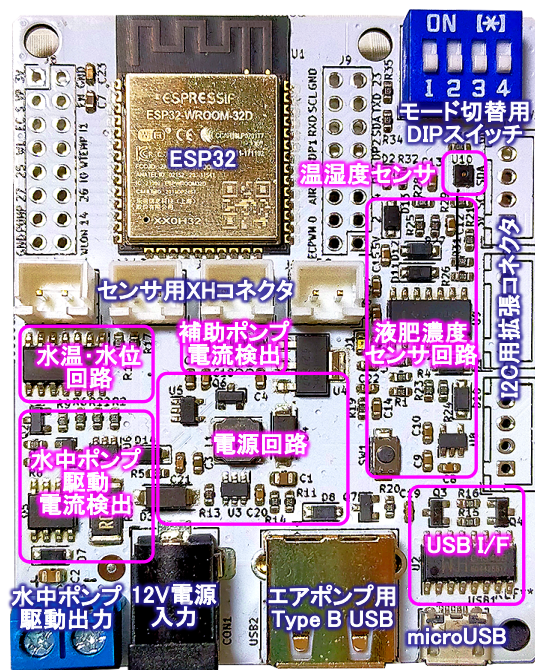


図7 センサモジュール

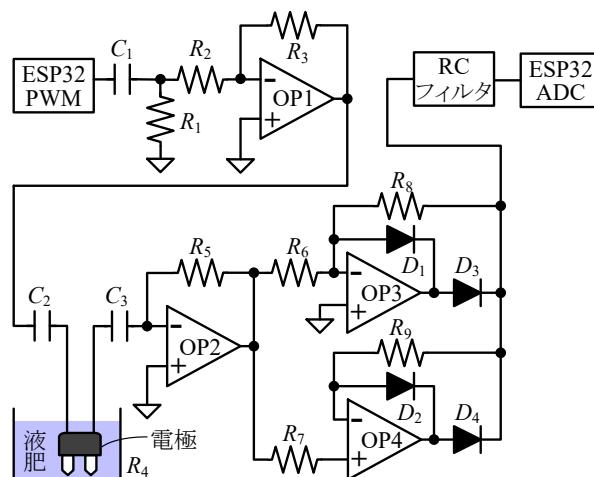


図8 液肥濃度センサ回路



図9 電極に析出した肥料の結晶

液肥中の電極間を通して減衰（液肥濃度に依存）した信号は、オペアンプ OP2 で R_3/R_4 倍に増幅される。液肥濃度が高ければ R_4 が下がってオペアンプ出力は大きく、逆に濃度が低ければ R_4 が上がってオペアンプ出力は小さくなる。OP2 出力の交流信号は、OP3 と OP4 による 2 つの理想ダイオード回路（半端整流回路）により、マイナス側の信号が反転されてプラス側に加算される。単純な整流であればダイオードだけでも構成できるが、微小な信号変化を検出するため、入力に対して出力がリニアに変化する理想ダイオード回路を用いた。整流後の信号は最後に RC ローパスフィルタを通して平滑化された後、ESP32 のアナログ-デジタル変換器 ADC で電圧が測定される。

大学の水耕栽培施設では主電源にソーラー発電を用い、DC 12V のポンプで灌水を行っている。しかし日照の悪い日が続いて十分な発電ができず、バッテリーが上がってポンプが停止するトラブルがあったため、商用電源を使った AC 100V の補助ポンプも併用している。補助ポンプはセンサモジュールではなく外部のタイマーでオン/オフを制御している。その動作をモニタするために、図 10 のように AC 電源コードを剥いて 2 本のうち一方の線を電流プローブでクランプしている。電流プローブはセンサモジュールの XH コネクタに接続し、電磁誘導によって流れる電流を図 11 の回路の抵抗に生じる起電力として、ESP32 の ADC で測定している。部品点数を減らすため、ポンプの交流電流（50Hz）の片側の波形をダイオードでクリップするだけの簡単な半端整流回路である。しかし、ポンプ動作中であっても半分の時間は電圧が 0 となってしまうため、1 サイクル中（1/50 秒）に 10 回電圧を測定して、その最大値を求めるようにした。

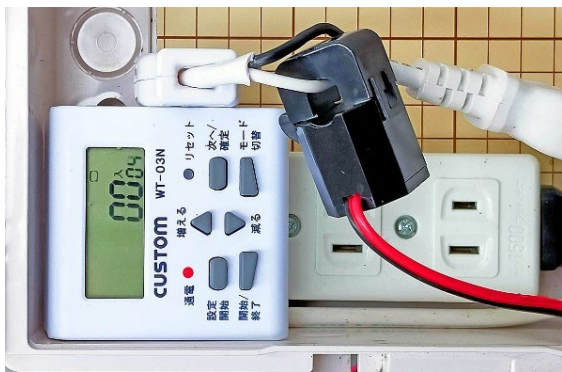


図 10 補助ポンプ用電流プローブ

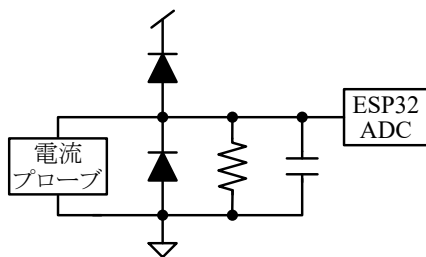


図 11 電流検出回路

5. 栽培管理システム

図 12 に大学施設における水耕栽培システムの全体構成を示す。6 台の水耕栽培装置とスマートスイッチ制御の LED 照明は、モバイルルータでインターネットを経由して Raspberry Pi サーバに接続される。このサーバにはオープンソースのスマートホーム環境 Home Assistant [16] をインストールしており、その上でシステムの管理を行うフローベースのプログラムプラットフォーム Node-RED [17]、IoT 向け通信規格の MQTT サーバ Mosquitto [18]、時系列データベース InfluxDB [19] とその可視化を行う Grafana [20] 等を動かしている。また、スマートフォン等で遠隔制御できるネットワークカメラも設置した。

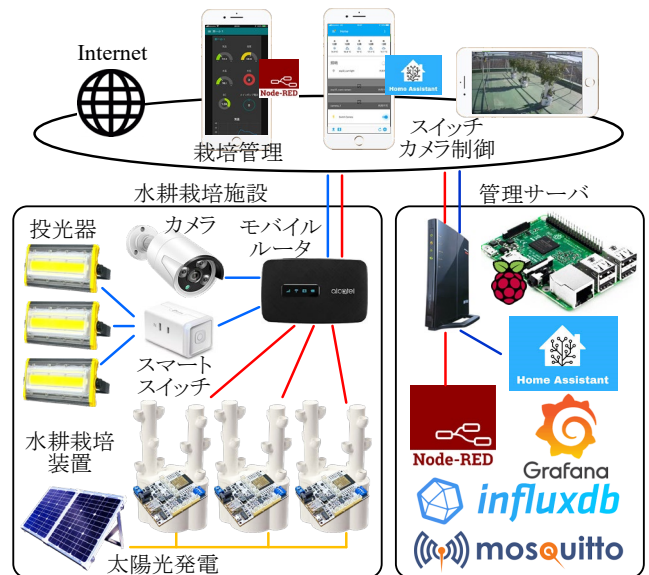


図 12 水耕栽培システムの全体構成

図 13 と図 14 に、6 台の水耕栽培装置のうちの 1 台“HP_UEC01”の管理と制御を行うメインフローとサブフローを示す。メインフロー左上の紫のボックスで示された入力ノードは“HP_UEC01”からデータを受信し、サブフロー“Sensor Flow”で処理を行い、右側の 16 個の水色の出力ノードを通じて図 15 の管理画面にグラフ表示を行う。また、メインフロー左側の 7 個の水色のノードは管理画面上の操作ボタンやスイッチからの入力で、ポンプの動作頻度や液肥濃度、異常検知時のメール通知等の設定に用いる。管理画面でポンプの動作状態は即時更新されるが、その他のデータは 10 分に 1 回となる。また管理画面で「データ更新」ボタンを押すと、水耕栽培装置にセンサデータの計測と送信がリクエストされる。ポンプの電流値は単に動作しているタイミングだけでなく、その値が不安定であればポンプが劣化していたり、通常動作時よりも著しく低くければシャワーのホースが外れて負荷が下がっていたり、といった異常を知ることもできる。

先に述べたように、データの自動更新は 10 分に 1 回であるが、屋外で雨などによる一時的な通信の不調によりた

またデータが抜けることがある。また、センサモジュールの故障や電源が落ちるなどで完全に止まり、データが送信されない場合もある。これらを区別して異常をいち早く検知するために、モジュールはセンサデータとは別にサーバに通信状態を知らせるデータを毎分送信している。管理画面で「ネットワーク」と記されているのがその通信状態で、良好ならば緑、通信が切れていれば灰色で表示される。サーバはこの他にも、ポンプ停止、水位低下、35℃を超える水温上昇などの異常状態を監視しており、「エラー通知」スイッチをオンにすることで、あらかじめ設定したアドレスにメールを送信する。

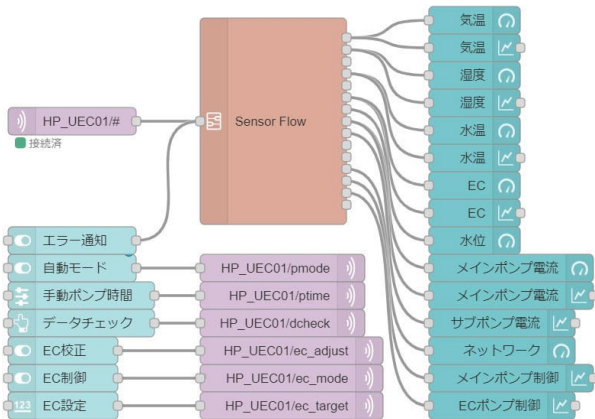


図 13 栽培管理の Node-RED メインフロー

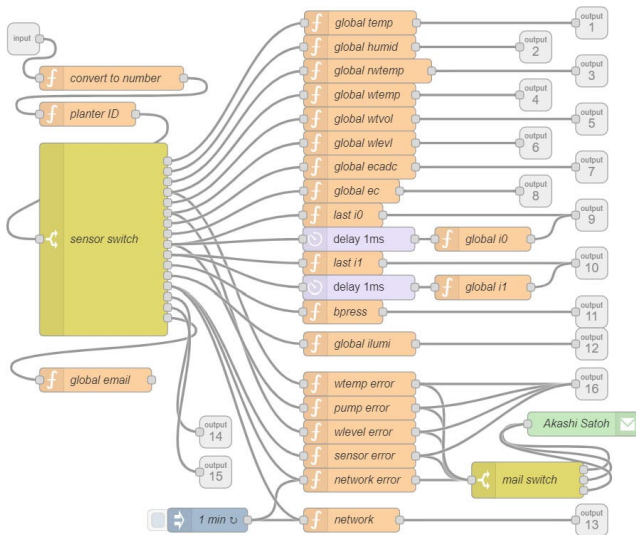


図 14 栽培管理の Node-RED サブフロー

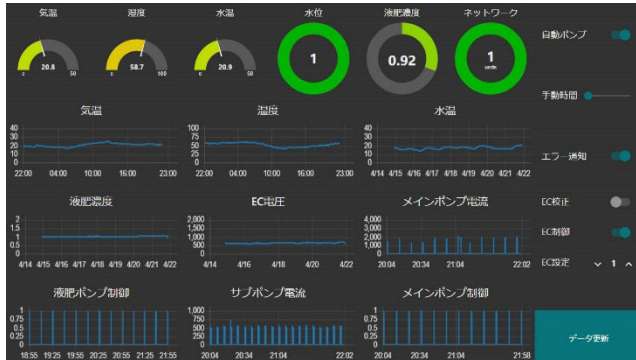


図 15 耕栽培装置管理画面

現在はデータが届かないときにその原因が、ネットワークの不具合か、センサモジュールの故障か、あるいは電源が落ちているのか等を区別することができない。そこでメイン電源のソーラー発電用に、ESP32 を実装し、発電量と消費電力を送信する図 16 のソーラーチャージコントローラの開発を進めている。これにより、チャージコントローラと水耕栽培装置の通信が両方とも止まっているとき、バッテリー残量が十分であったならば通信障害が、少なかったならば電源トラブルが考えられる。またコントローラの通信が生きていてセンサモジュールが止まっている場合はセンサモジュールの不具合が、逆の場合はチャージコントローラの無線の不具合が推定されるなど、障害が急を要するものか判断できる。

大学施設では 100W のソーラーパネルで 6 台を駆動しているため、雨天が続くと夜間にバッテリーが上がることもある。しかし植物は雨天に晴天時ほど水を必要とせず、また夜間も光合成を行わないため水中ポンプを頻繁に動かす必要はない。そこで天候と発電量をモニタしながらポンプの制御を行えば、バッテリーが上がるトラブルを回避することも可能である。大学施設では図 17 の市販の気象センサに ESP32 を実装して、水耕栽培施設の天気の情報サーバに送信しており、環境データに応じたポンプや液肥濃度の自動制御などについても研究を進めてく予定である。

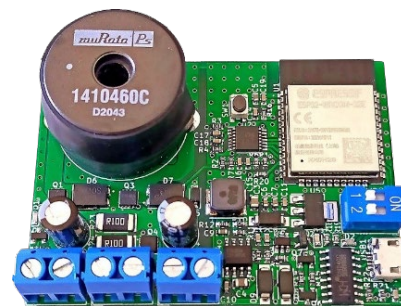


図 16 ソーラーチャージコントローラ



図 17 気象センサ

6. むすび

本稿では、農地の代わりにビルの屋上や住宅のベランダ等の空きスペースを利用し、栽培と収穫を楽しみとして提供する新たな都市農業の実現に向け、IoT 技術を導入して本格的な果菜類の栽培が個人でも可能な水耕栽培システムの開発について述べた。

現在、量産・製品化に向けたプロトタイプ機でのユーザ評価を行いながら、図 18 の Amazon Web Service の仮想サー



図 18 スマートフォンアプリ

バを利用したスマートフォンアプリを開発している。また、本格的な事業化に向け、展示会にも出展している(図19)。



図19 展示会への出展

小型水耕栽培装置は個人をターゲットとしたものであるが、農作物の生産を目的とした事業も展開している。図20はシンガポールで起業し[21]、集合住宅の屋上に建設中の大規模水耕栽培施設である。同国は東京都23区とほぼ同じ国土に570万人が暮らし、その8割以上が政府所有の集合住宅に住んでいる。農地や水源に乏しいため、農作物の9割以上、水の6割以上を輸入に頼っている。このような状況において、都市の屋上を農地化して食料自給率を向上させ、水を完全循環させて無駄にしない水耕栽培システムは、持続可能な都市の実現に大きく貢献するものである。また同国は環境に対する個人の意識も高く、小型水耕栽培システムの普及にも力を入れていく予定である。



図20 シンガポールの大規模水耕栽培施設

参考文献

- [1] 農林水産省: 都市農業振興基本法とは, 入手先 <https://www.maff.go.jp/j/nousin/kouryu/tosi_nougyo/kihon.html> (参照 2022-05-01).
- [2] 農林水産省: 都市農業振興基本計画 平成28年5月, 入手先 <https://www.maff.go.jp/j/nousin/kouryu/tosi_nougyo/pdf/kihon_keikaku.pdf> (参照 2022-05-01).
- [3] 国土交通省: 都市緑地法等の一部を改正する法律が施行されました, 入手先 <https://www.mlit.go.jp/toshi/park/toshi_parkgreen_tk_000073.html> (参照 2022-05-01).
- [4] 国土交通省: 生産緑地制度, 入手先 <<https://www.mlit.go.jp/>>

- <https://www.mlit.go.jp/toshi/park/toshi_city_plan_tk_000041.html> (参照 2022-05-01).
- [5] 農林水産省: -都市農地貸借法(正式名: 都市農地の貸借の円滑化に関する法律)の概要-, 入手先 <https://www.maff.go.jp/j/nousin/kouryu/tosi_nougyo/taishaku/tosi_taisyaku.html> (参照 2022-05-01).
- [6] 東京都都市整備局: 緑確保の総合的な方針(改定)令和2年7月, 入手先 <https://www.toshiseibi.metro.tokyo.lg.jp/seisaku/midori_kakuho/index.html> (参照 2022-05-01).
- [7] 東京都農業振興事務所: 管内農業の概要(2020年12月編集), 入手先 <<https://www.agri.metro.tokyo.lg.jp/kannai/index.html>> (参照 2022-05-01).
- [8] 経済産業省: 商業動態統計 時系列データ, 入手先 <<https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/syoudou/result-2/index.html>> (参照 2022-05-01).
- [9] 公益財団法人日本生産性本部: レジャー白書2017 ~余暇市場70兆9,940億円、前年比2.0%減~, 入手先 <<https://www.jpc-net.jp/research/detail/002780.html>> (参照 2022-05-01).
- [10] 公益財団法人日本生産性本部: レジャー白書2008 ~「選択投資型余暇」の時代~, 入手先 <<https://www.jpc-net.jp/research/detail/002968.html>> (参照 2022-05-01).
- [11] 公益財団法人日本生産性本部: レジャー白書2019 ~市場規模71兆9,140億円、前年比0.1%増~, 入手先 <<https://www.jpc-net.jp/research/detail/002739.html>> (参照 2022-05-01).
- [12] A. Satoh: A Hydroponic Planter System to Enable an Urban Agriculture Service Industry, IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2018), OS-ICE(1)-1, Oct. 2018.
- [13] 佐藤研究室: スマート都市農業, 入手先 <<https://satoh.cs.ucc.ac.jp/ja/research/hydroponics/index.html>> (参照 2022-05-01).
- [14] K. Uehara, H. Ikeda, and A. Satoh: Fertilizer Management System for A Compact Hydroponic Planter, IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2019), REM-4, October 2019.
- [15] Espressif Systems: ESP32, 入手先 <<https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>> (参照 2022-05-01).
- [16] Home Assistant, 入手先 <<https://www.home-assistant.io/>> (参照 2022-05-01).
- [17] OpenJS Foundation: Node-RED, 入手先 <<https://nodered.org/>> (参照 2022-05-01).
- [18] Eclipse Foundation: Eclipse Mosquitto An open source MQTT broker, 入手先 <<https://mosquitto.org/>> (参照 2022-05-01).
- [19] InfluxData Inc.: InfluxDB Purpose-Built Open Source Time Series Database, 入手先 <<https://www.influxdata.com/>> (参照 2022-05-01).
- [20] Grafana Labs: Grafana The open observability platform, 入手先 <<https://grafana.com/>> (参照 2022-05-01).
- [21] TOMATO TOWN, 入手先 <<https://thetomatotown.com/>> (参照 2022-05-01).