

知能化された畑と農作業者の意図伝達・連携による能動的スマート農業

代表研究者

村松 聡

東海大学 情報理工学部コンピュータ応用工学科 准教授

1 はじめに

近年、我が国の農業は深刻な高齢化を抱えており、農業人口は年々減少の一途にある。農業従事者の高齢化や人口減少の原因のひとつは農業における後継者不足であり、我が国の農業における労働者の統計として全体の7割が70歳前後となっている。このことから農地の縮小や農地を手放すなどの状況にあるのが現状である。各自治体もこのような状況で新たに農業に従事してくれる人材の確保に乗り出しているが、トラクタや耕運機、ビニールハウスや軽トラックなどの各種農業機械・設備の導入にかかる初期費用が高いことも新規の農業就業の障壁となっている。さらに農業従事者の高齢化と後継者不足に伴い、彼ら/彼女らの持てるノウハウを次世代に継承することも難しく、たとえ若い人材が農業に就農したとしても農作物に関する知識やノウハウが不足していることから、ベテランの農業従事者のように農作物を安定に栽培できるまで多くの時間を要してしまう。

近年では、このような問題を解決するひとつの手段、トレンドとしてスマート農業が提唱されている。スマート農業とはロボット技術やICTを活用して農業をより効果的に実現することを目指した新たな農業の形態であり、コストと労働力に問題がある我が国の農業の現場でこれを活用することで種々の問題を解決することが期待されている。

スマート農業はR-CNNによる果物検出システムや作物収穫ロボット、ドローンによるモニタリング、自動灌漑システム、自動トラクタなど農業における各種作業支援の実現を目指して近年盛んに研究開発がなされているもののまだまだ実際の農業の現場に広く普及しているとは言い難い。

これはまだ技術的に解決すべき問題があることとともに我が国におけるIT技術に関する意識も関係してると言える。日本政策金融公庫における農業経営者に関するITサービスの利用状況の調査によれば、ITサービスを活用している農業従事者は活用していない場合に比べ売り上げ増加率が高いという結果が得られているものの、残念ながらIT技術に対する親しみが薄いことがありこれらのシステムを導入したとしても各種センサの計測データ（数値やグラフ）を十分に理解し活用していくことが困難であることがわかる。

そこで本研究では、各種センサで取得したデータを従来のスマート農業のように数値やグラフで表示、管理するのではなく、これらのデータから次にどのような作業を行うべきを提示することでより直感的にスマート農業のシステムを活用して効果的な農作業が実現できると考えた。またこれにおいては農作業が直接作業を遂行することでシステムが必要とするリソースを最小化し、コスト面での問題も解決できると考えた。本研究は、農作地である畑に各種センサやIoTシステムを実装することで畑を知能化し、知能化された畑（インテリジェント畑）からの指示に従って農作業者が作業を遂行する、すなわちインテリジェント畑の農作業への意図伝達と連携による能動的なスマート農業システムを提案するものである。

インテリジェント畑はベテランの農作業者が持ち得るノウハウなどを畑に実装し、各種データに基づいて最適な農作業行動を農作業者に指示し、農作物の欲求を自ら能動的に満たすことでより効果的な農業の実現を実現するとともに、ノウハウを持たない就農したばかりの初心者であっても十分な農作業を遂行することができることを目標とする。

2 インテリジェント畑による農業支援システム

2-1 支援システム

Sonamらは気象観測所を枝豆農場に設置し、農場の気象を監視することで気候条件に基づいた農作物の適切な管理を通して農業生産を最大化することを目的とした気候スマート農業を提案している。

Kaewmardらはスマートフォンを用いた自動灌漑制御システムを提案している。収集した灌漑データと灌漑システムの制御を行うワイヤレスセンサネットワークを構築し、これをスマートフォンで灌漑システムを制御することで従来の農作業よりも効率的に灌漑を実施することが可能とした。

Sudheer らは GSM と ARM プロセッサによる完全自動化された点滴灌漑システムを提案している。このシステムでは ARM で構築されたコンピュータが灌漑システムを制御監視し、GSM を介して SMS によって水分量の減少や温度上昇などの異常をユーザに通知し、同時にバルブを自動開閉することで水分量を自動調整するなど農作業の軽労化を実現している。

本研究ではこれらの研究手法とは異なり、農業のノウハウがない新規就農者やコストやリソースの問題を抱えている就農者、IT サービスを活用しようとしている高齢就農者でもこれらの技術を問題なく使用可能とすることを目指す。

本研究はすでに存在している畑のリソースを活用し、植物工場のような完全自動化を志向するのではなく、就農者もシステムの一部として活用することで、大規模なシステムを要しないスマート農業を実現する。

ここでは農作業を行う際に次にどのような作業を行うべきなのかということを作業指示を畑自身が判断し、農作業従事者および畑自身の手足となるロボットシステムを行うことでこれらのシステム同士が相互に連携作用し、より少ないリソースでより効果的な作物の育成を行う。ベテラン農家の作物の育て方や知識など目に見えないノウハウや熟練の勘のような感覚的な情報を畑自身に保持させ、これらを畑が自ら畑の周辺の情報などと合わせて活用することでより効果的な農業が実現できると考えた。

インテリジェント畑はこれらの情報を取得するために土壌水分センサや EC センサ、温湿度センサ、照度センサや天候や降雨量を取得するためのインターネット機器を保持し、作物周辺の情報やスクレイピングにより気象情報を取得する。これらのデータをこれまでのスマート農業のシステムのようにただグラフや数値として可視化したとしても IT や数値に疎い利用者においてはこれらの情報を理解し、活用するのは難しく、仮に IT や数値に強い利用者であっても農業などの知識が豊富でなければ、そのデータから最適な農作業を導き出すことや現在の農作物の状態がどのようになっているかを正確に分析することは難しい。

本研究で提案するインテリジェント畑においては情報をグラフなどで可視化するのではなく、例えば「水を与えてください」「もっと日光をあててください」などのような簡潔な言葉による作業指示の形にまで落とし込むことでだれでも容易にかつ直感的に理解でき、畑の意図をくみ取って連携できる形に実装を行った。

以上まとめると、本研究における支援とは植物工場や関連研究にあるように完全に自動化などを志向するものではなく、農作業における作業行動の意思決定という就農初心者などにおける障壁に対する問題を円滑に解決することができるように畑自身が各種情報から農作業の計画立案を行い、農作物に日宇町な各種の作業をユーザに提示する（意図伝達）することで、情動的なサポートを実施することと定義する。

本研究における畑とユーザの意図伝達のイメージは Fig. 1 に示されるように各種センサ情報などをシステムがかみ砕いてユーザに情報端末などを介して農作物に必要な作業を提案されるものである。

本システムを活用することで農業経験のない就農初心者であっても、水やりや間引き、適切な収穫タイミングなどシステムを通じて把握することで平均水準の農家が作る作物と同等あるいはそれ以上の品質で安定して栽培を可能とすることが期待できる。



Fig. 1 本研究におけるインテリジェント畑とユーザ間の意図伝達概念

2-2 システム構成

本研究で提案したシステムを構築するための各種システム構成について各節にて示す。

(1) ハードウェア

本システムは作物周辺の環境情報（温湿度、照度、水分量、養分）および天候情報を取得し、これを管理するためのコンピュータシステムおよびこれらを駆動させるためのバッテリーシステムから構築される。

温湿度を計測するための温湿度センサとしてはNTCサーミスタで構築される温度センサと可変抵抗型の湿度センサを備えるDHT11を採用した。本センサは直接コンピュータに接続され、シリアル通信を通じてデジタル値によって周辺の温湿度の値をコンピュータに渡す。

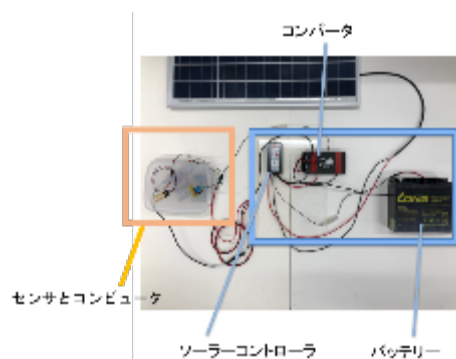
照度を計測するための光センサとしてはCdSで構築された光導電セルを採用した。本センサは光が照射されると内部の抵抗値が変化する一種の可変抵抗のようなものであり、照度によって構成する回路から出力される電圧の値が変化する。本センサはこのアナログ値を10bit、1chのADCを通じてデジタル値に変換にされコンピュータに照度の値を渡す。

水分量を計測するための水分センサとしてはキャパシタンス式の水分センサであるSEN014を採用した。本センサは水分量を計測したい土壤に差し込む形で使用され、土壤内部の水分量によってこのセンサを構成するキャパシタの誘電率が変化するため、その比誘電率を測定する。照度センサと同様にこのセンサの値もアナログ値であるため同様に10bit、1chのADCを通じてデジタル値に変換され。測定した水分量をコンピュータに渡す。

養分を計測するセンサとしては土壤中の電離度から、土壤水分に溶け込んでいる有機物の割合が測定できると考え、ECセンサを採用した。しかしながら、本センサによって土壤のリンや窒素などの含有量が測定できると見込んでいたが、これらの物質は原子として同族に属するため、そのふるまいが非常に似通っておりリアルタイムでの計測が非常に困難であるということが事前の動作検証実験によって明らかになった。このことから本研究では一旦養分を直接計測することを見送り、上記に述べた温湿度、照度、水分量を環境情報として計測し扱うこととした。養分の測定については作物の見た目や土壤の固さなどの間接情報によって推定できる可能性があることが、農家へのヒアリングによって分かったため本件については今後の課題とした。

以上のセンサやインターネットからのスクレイピングを管理するインテリジェント畑の中核をなすコンピュータとして本研究ではSBCのひとつであるRaspberry Pi 3B+を採用し、Fig. 2 (a) に示すように各種センサやこれを動作させるためのバッテリーと一緒にケースに納められる。

Raspberry Piは電源管理・死活監視モジュールであるSlee-Piを用いて間欠動作が管理されており、指定日時に起動、10分間隔で起動、計測、終了という動作を行う。Raspberry Piを起動しない状態における本システムの消費電力は1mA以下であり、乾電池での長時間運用も可能と思われる、本研究では太陽光発電システムと12V 20Ahの鉛蓄電池、ソーラーチャージャーコントローラで構築された電源を使用しており、低消費電力の間欠動作と合わせて長時間の使用を可能としている。これらを310mm×340mm×500mmの防水ケース内に納め、太陽光発電パネルと組み合わせてインテリジェント畑の中核システムとした(Fig. 2(b))。これをFig. 3に示すように畑に設置することでインテリジェント畑を構築する。



(a)



(b)

Fig. 2 インテリジェント畑のシステム



Fig. 3 インテリジェント畑外観

(2) ソフトウェア

本システムの構成図はFig.4となっており、各種センサの計測情報（温度、湿度、照度、水分量）やインターネットからスクレイピングした天候情報、紫外線情報がインテリジェント畑の基幹部を構成するコンピュータ（Raspberry Pi）に集約される。これらのデータはコンピュータを介して外部に構築されたWEBサーバに書き込まれる。

ユーザが情報端末で実行されるアプリケーションの“何をするか”ボタンを押すと、WEBサーバ上に書き込まれたセンサの情報とスクレイピングによる気象情報をアプリケーションに読み込むと同時に、それらの情報から立案された作業指示の情報が画面上に表示される。本研究ではWEBサーバの構築は導入の容易さや利用事例の多さからApacheを使用した。

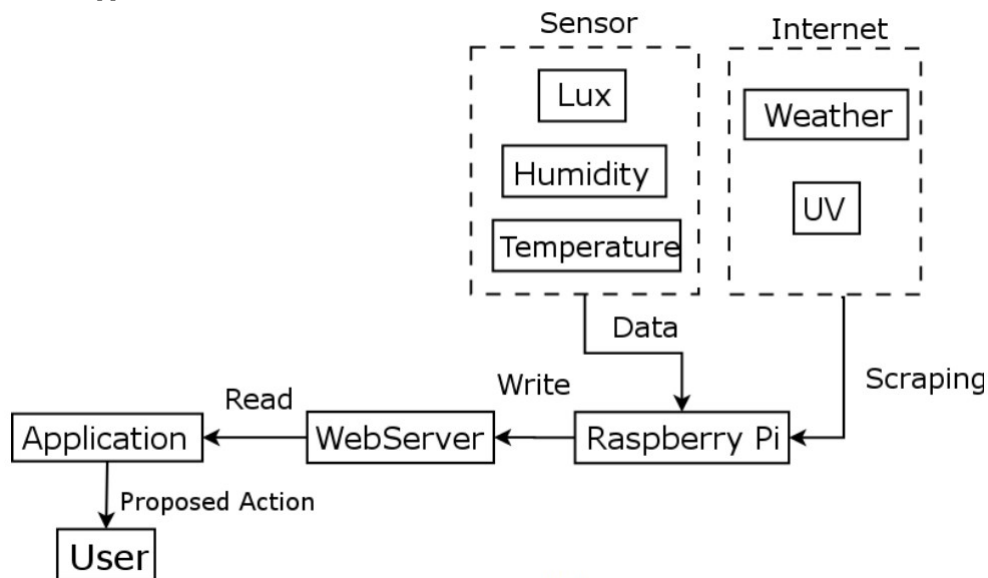


Fig.4 システム構成図

ユーザが畑と意思疎通を行うためのアプリケーションはFig.5に示すように3つの画面で構成される。それぞれの画面端に表示されているアイコンを押すと、対応した画面に移動する。

(A) の画面は使用者に対して処理された値から提案行動を表示する画面である。画面下の“何をするか”ボタンを押すとWEBサーバ上から各種データを読みこみ、システムが立案した行動がユーザに対して表示される。(B) の画面はセンサで計測した水分量や照度、天気の情報など作物周辺の環境情報を表示する画面である。(C) の画面は過去24時間の水分量などのセンサデータの推移が確認できる画面である。ここでは温湿度、水分量の割合が確認でき、円グラフで表示される。

なお、本アプリケーションは本研究においてはiosの環境を想定して開発してxcodeを用いて作成しており、使用言語はSwiftである。

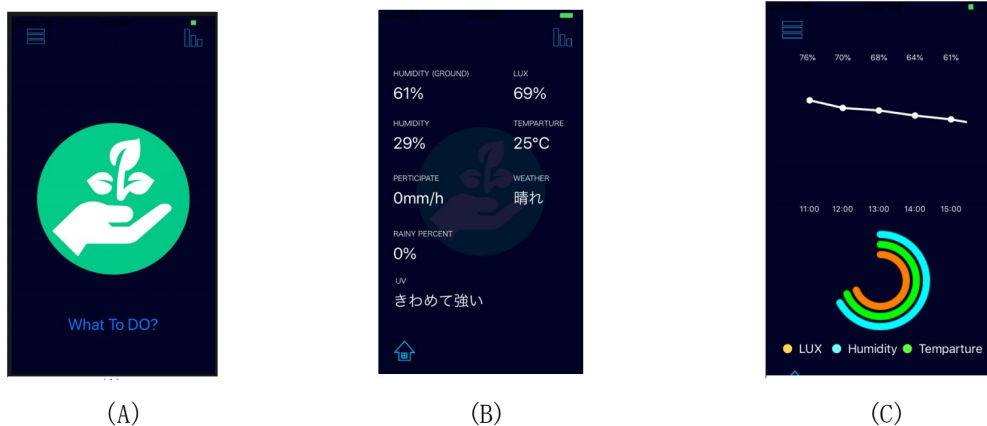


Fig.5 アプリケーション動作画面

(3) アバターの作成

本研究のシステムにおいてはインテリジェント畑からの作業指示に従って農作業に従事しているユーザがその手足となって行動を実施するが、これ以外に本研究では畑自身が自ら各種作業を遂行するためのアバターとなるロボットシステムも連携させることを考える。

アバターで必要となる機能としては、畑内を自由に走行可能であること、水やりなど各種道具を把持して操作可能な自由度を有したマニピュレータを備えていることである。本研究ではFig. 6 に示す移動台車として自律走行機能を有した独立2輪操舵機構による移動ロボットを作成した。このロボットは90Wの出力を持つDCモータを2発を駆動源としており、時速4Km/hの速度で60Kgまでの重さの物体をけん引もしくは運搬できる能力を有する。筐体の縦横寸法は畑における畝と畝の間を走行可能なサイズとした。本ロボットの自律走行制御の手法は筆者らがこれまで提案してきた動的環境におけるナビゲーション手法を採用した。

この移動台車の上面に配置する形で作業を行うためのマニピュレータを搭載する。本研究ではFig. 7 に示すロボットアームを作成し、これをFig. 6の移動台車と組み合わせることで畑のアバターとなるロボットシステムを構築した。本マニピュレータは6個のステッピングモータを各関節に備えた6自由度を有するアームであり、その外装は3Dプリンタ製のパーツで構成されている。リーチ半径は約500mmでありペイロードはおおよそ1Kgである。

当初は本ロボットをアバターとして活用する予定であったが、畑における走行実験により独立2輪操舵機構では接地圧力が大きく十分に移動できないことが判明した。またマニピュレータにおいてもナビゲーションにおける位置決め誤差などを考慮するとリーチ半径が100mmほど足らず延伸する必要があることが分かった。このためアバターシステムを改良し、最終的にFig. 8 に示すものを作成した。本ロボットは移動台車として先の2輪駆動方式を改め、60Wモータ4発を駆動源とする4輪駆動方式のものへ変更した。移動速度やけん引重量はおおむね先の試作機と同様である。またマニピュレータも6自由度の産業ロボット用のものに変更した。本マニピュレータのリーチ半径は700mmと先のものより十分に長く、そのペイロードも5Kgと必要十分な性能を有している。本研究では以後、このロボットシステムを畑自身のアバターとして活用し農作業に従事しているユーザと連携させることでより効果的な農業を実現することを目指す。



Fig. 6 移動台車試作機



Fig. 7 アーム試作機



Fig. 8 アバター改良版

2-3 作業提案

各種センサの計測情報（温湿度、照度、水分量）やスクレイピングより取得した天候データを参照することでユーザに対して各種作業の提案を行う。温度に関しては、育成している作物の種類に応じて規定値を超えているかどうかで“温度を上げてください”、“温度を下げてください”という作業提案をユーザに提示する。照度に関しては、規定の照度がどの程度の時間継続していたかで“もっと日光をあててください”、“特に必要ありません”という作業提案を提示する。

水分に関しては、天候や土壌水分量、温湿度などが関係するためより複雑な判断基準が必要である。まず天候の情報に基づいて、前日が雨であるか、翌日が雨であるかの2パターンについて判定を行い、さらに周辺の空間における飽差を利用して水分を与えるかどうかを判定する。飽差とはある温度、湿度の空気に対してあとどの程度水蒸気が含まれる余地があるかどうかを示す指標であり、空気当たりの水蒸気の空き容量をグラム数 g/m^3 で表される。

植物の水分状態は相対湿度よりもこの飽差に強く影響を受け、植物の育成に最適な飽差は $3\sim6\text{g}/\text{m}^3$ であるとされる。飽差が $6\text{g}/\text{m}^3$ より大きい場合は水分欠乏の危険を察知して気孔を閉じ、蒸散を停止する。逆に $3\text{g}/\text{m}^3$ 未満の場合は空気が湿っているため、植物と空気に水蒸気圧差がなくなり、気孔が開いていても蒸散は起こらない。本研究ではこの飽差の値と土壌の水分量に基づいて水分を与えるかどうかの判定を行い、ユーザに“水をあたえてください”、“何も必要ありません”という作業提案を提示する。

この飽差は飽和水蒸気圧、飽和水蒸気量によって求めることができる。飽和水蒸気圧と温度の関係を表す Tetens の式より空気中の飽和水蒸気圧 $E(t)$ は空間中の温度を t より以下の式で求まる。

$$E(t) = 6.1078 \times 10^{\frac{7.5t}{t+237.3}}$$

飽和水蒸気量 $a(t)$ は 1 m^3 の空間に存在できる水蒸気の質量 g であり、温度 t が小さくなるとそれにならい小さくなる。飽和水蒸気量 $a(t)$ は飽和水蒸気圧 $E(t)$ 、温度 t より以下の式で求まる。

$$a(t) = 217 \times \frac{E(t)}{t+273.15}$$

最後に飽和水蒸気量 $a(t)$ と湿度 RH より飽差 HD が以下の式で求まる。

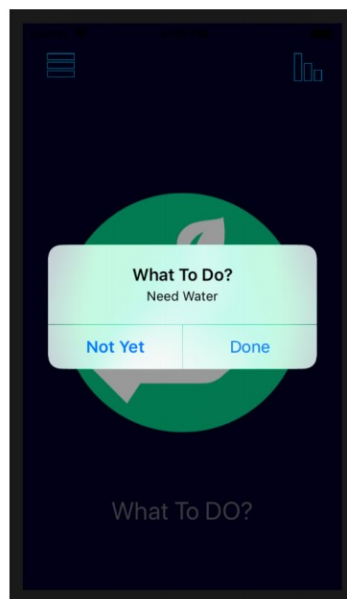
$$HD = (100 - RH) \times \frac{a(t)}{100}$$

このように求めた飽差を温度と湿度の表にまとめたものが Table1 である。この表中の水色で表示されている範囲は適正飽差と呼ばれており、植物の育成に最適な空間水蒸気量であるといえる。オレンジ色の範囲は飽差が $6\text{g}/\text{m}^3$ よりも大きく乾燥した状態であり、この状態でかつ土壌水分量が規定値を下回った場合、水を与えるようにユーザに提案指示を行う。

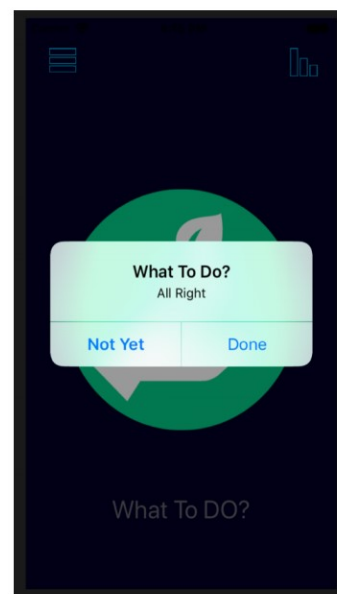
飽差が適正值から外れており、かつ水分センサの値が規定値を下回った場合、土壌が乾燥していると判断してシステムは水を与えるようにユーザに提案する。規定値を上回った場合は飽差が適正であり、かつ土壌の水分量も十分であると判断し、適正であることをユーザに提示する。実際にアプリケーションによってユーザに提示している様子を Fig. 9 に示す。

Table 1 空間温湿度に対する飽差

		[湿度 (相对湿度)]											
		40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
[温度]	8℃	5	4.6	4.1	3.7	3.3	2.9	2.5	2.1	1.7	1.2	0.8	0.4
	9℃	5.3	4.9	4.4	4	3.5	3.1	2.6	2.2	1.8	1.3	0.9	0.4
	10℃	5.6	5.2	4.7	4.2	3.8	3.3	2.8	2.4	1.9	1.4	0.9	0.5
	11℃	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1	0.5
	12℃	6.4	5.9	5.3	4.8	4.3	3.7	3.2	2.7	2.1	1.6	1.1	0.5
	13℃	6.8	6.2	5.7	5.1	4.5	4	3.4	2.8	2.3	1.7	1.1	0.6
	14℃	7.2	6.6	6	5.4	4.8	4.2	3.6	3	2.4	1.8	1.2	0.6
	15℃	7.7	7.1	6.4	5.8	5.1	4.5	3.9	3.2	2.6	1.9	1.3	0.6
	16℃	8.2	7.5	6.8	6.1	5.5	4.8	4.1	3.4	2.7	2	1.4	0.7
	17℃	8.7	8	7.2	6.5	5.8	5.1	4.3	3.6	2.9	2.2	1.4	0.7
	18℃	9.2	8.5	7.7	6.9	6.2	5.4	4.6	3.8	3.1	2.3	1.5	0.8
	19℃	9.8	9	8.2	7.3	6.5	5.7	4.9	4.1	3.3	2.4	1.6	0.8
	20℃	10.4	9.5	8.7	7.8	6.9	6.1	5.2	4.3	3.5	2.6	1.7	0.9
	21℃	11	10.1	9.2	8.3	7.3	6.4	5.5	4.6	3.7	2.8	1.8	0.9
	22℃	11.7	10.7	9.7	8.7	7.8	6.8	5.8	4.9	3.9	2.9	1.9	1
23℃	12.4	11.3	10.3	9.3	8.2	7.2	6.2	5.1	4.1	3.1	2.1	1	
24℃	13.1	12	10.9	9.8	8.7	7.6	6.5	5.4	4.4	3.3	2.2	1.1	
25℃	13.8	12.7	11.5	10.4	9.2	8.1	6.9	5.8	4.6	3.5	2.3	1.2	
26℃	14.6	13.4	12.2	11	9.8	8.5	7.3	6.1	4.9	3.7	2.4	1.2	
27℃	15.5	14.2	12.9	11.6	10.3	9	7.7	6.4	5.2	3.9	2.6	1.3	
28℃	16.3	15	13.6	12.3	10.9	9.5	8.2	6.8	5.4	4.1	2.7	1.4	
29℃	17.3	15.8	14.4	12.9	11.5	10.1	8.6	7.2	5.8	4.3	2.9	1.4	
30℃	18.2	16.7	15.2	13.7	12.1	10.6	9.1	7.6	6.1	4.6	3	1.5	



(A)



(B)

Fig.9 ユーザへの作業提案提示例

3 評価実験

提案したインテリジェント畑の有効性を検証するために、実際の畑に対してインテリジェント畑と連携した場合と連携しなかった場合とで作物の育成にどのような違いがあるのかを検証した。

3-1 セットアップ

Fig. 10 に示すように畑において作物の育成を行い、その違いやシステムに対するアンケートを課すことで提案したシステムの有効性を検証した。

被験者4名に対して2名ずつのグループに分け、片方のグループにはインテリジェント畑からの指示に従って作業を行い、もう片方のグループはインテリジェント畑との連携は行わず、自らの判断に従って水やりを行うものとした。4名の被験者用にそれぞれ畝を用意し、各自の担当する畝に対して作物（はつか大根）の育成を行う。

実験期間は2か月であり、14時から16時の間に1週間おきに各自で農作業を実施してもらった。実験の準備として種植えの2週間前と間引き後に化学肥料をそれぞれの畝に50gずつ与えた。耕作はそれぞれ30cmの深さで耕し、畝の高さは約10cmである。種を植える位置は1.5cmほどの深さに5、6粒ほどまいたあと、1cmほど覆土した。間引きタイミングはそれぞれの畝で6つの大根を育成し、4、5週目にそれぞれから不具合のある個体（茎が極端に細い個体、茎が黒い個体、育成の悪い個体や虫に食われていた個体）を間引いた。最後の週に収穫を行い、それぞれの畝で育成した大根の大きさを比較することで有効性を検証した。

また、被験者にアンケート調査として5つの項目について回答してもらい、それぞれの項目の点数の違いを検証した。質問項目は「水分を十分に与えられたか」「適切な温度を保てたか」「適切な湿度を保てたか」「十分な日照時間があったか」「無駄な行動がないと感じたか」の5つであり、それぞれの項目を6段階での一対比較法により評価した。



Fig. 10 実験環境

3-2 実験結果

実験結果を Fig. 11 および Fig. 12 に示す。育成の過程においては第2週目まではどの畝においても育成の度合いに違いは見られなかったが、3、4週目からインテリジェント畑と連携しないグループにおいては水やりの量などの違いから成長具合の悪い個体現れたり、葉っぱが枯れ始める個体などが見受けられるようになり、収穫前の6、7週目にはそれぞれの違いが顕著に見受けられるようになった。Fig. 11 は収穫したはつか大根であり、(A) (B) がインテリジェント畑と連携せずに被験者の判断のみで育成したものであり、(C) (D) がインテリジェント畑からの指示に従って育成されたものである。

これを見ると、連携したものはどの大根も大きく育っているが、連携しないものは小ぶりなものが多くうまく育成できたものとできないものの違いが一目瞭然であることがわかる。



Fig. 11 収穫後のはつか大根の育成結果

アンケートの結果を Fig. 12 に示す。これはインテリジェント畑と連携した場合のグループについての得点の平均をオレンジ色で、インテリジェント畑と連携しなかったグループの得点の平均を青色で表しており、得点が低いほどそれぞれの項目について有効であると感じられたことを表している。なお、本実験における結果は t 検定による有意水準 5 % をみたしていることを確認し、回答に有意差があることを検証済みである。

本結果より本研究で提案したインテリジェント畑と農作業の従事者との連携が有効に作用にしていることが実証できた。

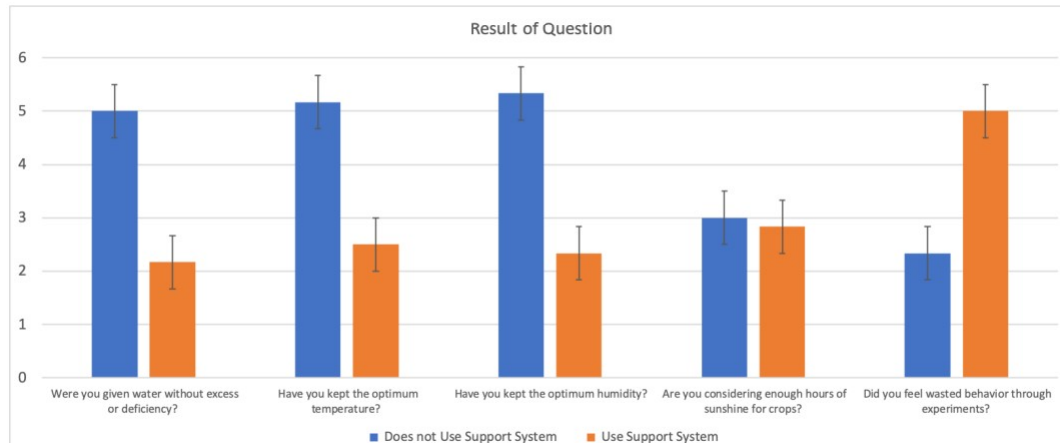


Fig. 12 アンケート結果

4 おわりに

本研究では畑自身を智能化し、各種センサ情報やスクレイピングによるインターネット上の情報から畑自身が農作業を立案し提案することで農作業者に意図を伝達し、連携可能な新しいコンセプトのスマート農業を実現するシステムを提案した。

提案したインテリジェント畑を実現するために各種センサの制御やインターネットにアクセス可能なコンピュータを中核とするシステムを作成し、農作業者とコミュニケーションを行うためのアプリケーションの開発、および畑自身の手足となるアバターロボットの開発を行った。

本システムは各種センサ情報やインターネットから取得した天候情報に基づいて畑に必要な作業を提案提示することで農業のノウハウを持たない初心者であっても安定した農作物の育成を可能とする。実証実験として実際に作成したインテリジェント畑と農作業者の連携に関する実験を行い、本システムと連携しない場合に比べてより効果的に作物の育成が可能であることが示され、その有効性を明らかにすることができた。

今後は養分の測定やアバターロボットとの連携など今回の研究開発で明らかになった問題に取り組み。より完成度をあげることで当初のコンセプトであった畑とロボット、人間の相互連携によるより効率的、効果的なスマート農業の実現を目指していく。

【参考文献】

農林水産省 荒廃農地の現状と対策について

農林水産省 平成30年 食料・農業・農村の動向

農林水産省 平成 28 年度 新規就農者の就農実態に関する調査結果

農林水産省 平成 29 年 上半期農業景況調査関連

Suchet Bargoti, et al "Deep Fruit Detection in Orchards"(2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA))

Christopher Lehnert et al "Autonomous Sweet Pepper Harvesting for Protected Cropping Systems" (IEEE ROBOTICS AND AUTOMATION LETTERS, VOL. 2, NO. 2, APRIL 2017)

Deepak Murugan, et al "Development of an Adaptive Approach for Precision Agriculture Monitoring with

Drone and Satellite Data” (IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN APPLIED EARTH OBSERVATIONS AND REMOTE SENSING, VOL. 10, NO. 12, DECEMBER 2017)

Kavianand G, et al “Smart Drip Irrigation System for sustainable Agriculture” (2016 IEEE International Conference on Technological Innovations in ICT For Agriculture and Rural Development (TIAR2016))

Liangliang, et al “Evaluation of the Accuracy of an Auto-navigation System for a Tractor in Mountain areas”(2017 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII))

Yuanyue Ge, et al “Fruit Localization and Environment Perception for Strawberry Harvesting Robots” (IEEE Access (VOL. 7))

Sonam Tenzin, et al ”Low Cost Weather Station for Climate-Smart Agriculture” (2017 9th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST))

Nattapol Kaewmard, et al ”Sensor Data Collection and Irrigation Control on Vegetable Crop Using Smart Phone and Wireless Sensor Networks for Smart Farm”(2014 IEEE Conference on Wireless Sensors(ICWiSE))

Sudheer Kumar Nagothu ”Wether based on smart watering system using sensor and GSM”(2016 World Conference on Futuristic Trends in Research and Innovation for Social Welfare (Startup Conclave))

Tetens, O. 1930. “Über einige meteorologische Begriffe.” Z. Geophys.. 6. 297–309.

Hirohumi Sugawara “Errors In Calculation of Satulation Vapor Pressure.” J. Japan Soc. Hydrol & Water Resour. Vol. 7, No.1(1994)

〈発 表 資 料〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月