

PlanT：植物を用いた積算情報可視化ディスプレイ

上田将理¹ 伊藤雄一¹ 藤田和之² 尾上孝雄¹

概要：本稿では、植物の成長を制御することにより、数日から数年程度の中長期的スパンの中で積算されていく情報（例えば、タスクの進捗状況など）を可視化するディスプレイ「PlanT」を提案する。PlanT実現のため、1週間程度で栽培可能なカイワレ大根を対象として、カイワレ大根の成長度合いの再現性およびカイワレ大根に与える水や日光といった成長刺激の量の変化が成長度合いに与える影響について調べた。この結果、カイワレ大根の成長度合いの主観的評価には一定の再現性があることが示唆され、成長刺激の強さに応じて異なる成長度合いの植物を栽培できることがわかった。また、PlanTを実際に研究室内で利用した運用テストの結果、実装したプロトタイプによるPlanTのシステムフローが7日間正常に動作することを確認した。さらに、ユーザへのアンケート結果から、PlanTによる栽培自体にユーザが楽しさを感じるとともにカイワレ大根に愛着を持つことが確認されたが、ユーザのタスク達成率とカイワレ大根の成長度合いの連動性についてはさらなる改善が必要であることがわかった。

1. はじめに

我々の身の回りには、PCやスマートフォン、デジタルサイネージなど様々なディスプレイが存在する。しかし、これらのディスプレイの多くは情報提示面が平面的であるばかりか、情報空間と現実空間との間はガラスにより隔絶されている。したがって、このようなディスプレイでは2次元的な限られた表現のコンテンツを提示できるのみにとどまっており、ユーザは提示された情報に直接的に触れることができない。

このような光学的なディスプレイに対し、様々な実物体を用いて情報を提示するディスプレイに関する研究がなされるようになった。ディスプレイに用いられる実物体として、毛や結露などを用いたものがあり、視覚情報だけでなく触感や質感、温度情報を提示することができるため、情報の直感的な理解を促すことが可能となる [1, 2]。

我々はこのようなディスプレイの構成要素として、植物に着目する。植物は我々の身近に存在し、無機物にはない独特の雰囲気や情緒を感じさせるとともに、成長することによるその姿の変化で我々を楽しませてくれる。さらに、近年では植物のもつ様々な効果を活用するために、植物をオフィス内に意図的に配置するオフィス緑化が注目されている。オフィス緑化は、勤務者のストレス緩和や仕事の意欲向上などに有効であることが報告されている [3, 4]。これらのことから、植物を用いたディスプレイは、様々な環境

に自然に溶け込みながら楽しさや癒しの効果をもたらす、ディスプレイとして利用できるかと期待される。

植物をディスプレイとして用いる研究はこれまでもなされている。特にコンピュータによる制御を伴うものとしては、コケの開閉を制御し情報を提示する研究や、生け花の色を変化させて環境状態を提示する研究などがある [5–10]。しかし、これらの研究は、植物の状態変化の特性を利用したり、既存の植物に対して加工を加えることにより情報を表現するものばかりであり、植物における基本的な特徴の一つである、植物の成長自体を情報の表現に用いているものではない。植物の成長に必要な時間は、その種類や条件によってある程度予測可能であるため、植物の成長を制御することができれば、一般のディスプレイの更新頻度とは異なる、数日から数年程度にわたる中長期的スパンの時間とともに積算されていく情報を表現することができる。さらに、植物の栽培自体に楽しさや達成感を感じることができると考えられる。

そこで、本研究では、植物の成長を制御することにより、中長期的スパンの時間で積算されていく情報（以下、積算情報と呼ぶ）を可視化するディスプレイ「PlanT」を提案する。PlanTでは、植物の栽培に必要な水や日光などの刺激をコンピュータによりユーザの積算情報に応じて制御し、植物の成長度合いを変化させることにより、積算情報を表現する。一定期間内に積算されていく性質を持った情報としては、例えば、タスクの進捗、貯金箱の金額や筋トレの継続日数などが挙げられる。図1に、ミーティングの場面において、PlanTをタスクの進捗管理に利用したイメージ

¹ 大阪大学大学院情報科学研究科

² 東北大学電気通信研究所



図 1 PlanT の利用イメージ

を示す。このように、PlanT をオフィスや研究室に導入することで、ユーザおよび第三者が植物の成長度合いを見るだけでユーザの進捗を直感的に理解することができる。また、PlanT が観葉植物としての役割を果たすだけでなく、植物の成長過程を見続けることや栽培自体が動機付けとなり、ユーザのタスクに対するモチベーション向上も期待される。

本稿では、PlanT のプロトタイプを実装し、植物の成長度合いによる積算情報可視化が可能かどうかを確認するための 2 つの予備実験を行う。まず、植物の成長度合いをディスプレイとして用いるため、植物の成長度合いに再現性があるか主観的に評価する。次に、植物に与える水や日光などの量の変化が植物の成長に与える影響を調査する。最後に、プロトタイプを実際に研究室内で利用した運用テストを行い、動作の確認およびユーザ視点から PlanT の有用性について調査する。

2. 関連研究

2.1 植物を用いたディスプレイ

植物を用いて情報の伝達を行う研究として、佐藤らは、水草シリアが光合成で出す気泡の量によって「にぎわい」を表現する装置である mizukusupli を提案している [5]。また、Kimura らはコケを用いたディスプレイである MOSS-xels を提案している [6]。コケは水を吸収すると開き、乾燥すると閉じるという性質をもっているため、ポンプとファンを用いて水と風を調節することにより、コケをディスプレイとして使用している。蟻浪らは生け花の疑似的な健康状態の変化によって環境の状態を伝達する装置である Sensitivase を提案している [7]。生け花の健康状態を環境状態と見立て、花色を制御することで、見る人の感性に訴えかける形で環境状態を伝達している。さらに、Vito らの Plantxel では、オジギソウに空気刺激を与え、葉の形状および位置を変化させ、ディスプレイのピクセルの一部として用いることで情報を伝達する [8]。

また、本研究と同様に、植物の成長によって情報の伝達を行う研究もある。Treeceable では、一定日数ごとに木の成

長方向を操作することで、その成長方向によりある活動における一定日数ごとの実行日数の割合を表示する装置を提案している [9]。Treeceable では、植物の成長方向により情報を可視化しているが、本研究では植物の葉の大きさや茎の長さなどの成長の度合いを用いて情報を可視化する点で異なる。また、Kuribayashi らは生きている植物が情報を表示する PlantDisplay を提案している [10]。PlantDisplay では情報量の違いによって植物を制御し、植物の有機的な変化によって感覚や感情に訴えかける情報伝達を実現している。しかし、PlantDisplay は成長済みの植物を利用して情報を可視化しており、種子から芽生え成長していく植物の自然な成長を、中長期的な時間とともに積算する情報の可視化に利用している例はない。

2.2 植物を用いたインタラクションシステム

情報技術を活用して、人と植物とのインタラクションを支援する研究も活発になされている。栗林らは、植物と人との汎用的なインタラクションを目的として、植物をセンサとして利用し、様々な I/O デバイスと組み合わせることが出来るツールキット I/O Plant を提案している [11]。Sareen らの Cyborg botany では、植物本来の特性や機能を取り入れるインタラクションデザイン手法を提案している [12]。この研究では、植物の内部に導電性ワイヤを成長させ、生きた植物をアンテナ及びモーションセンサとして用いている。また、西田らは植物への愛着の促進を目的にカメラからの植物の映像に妖精の姿を模したエージェントを重ねて表示する萌え木を提案している [14]。萌え木では、エージェントが植物の現在の状態をより強調表現したり、人間の操作に対するリアクションを高速フィードバックするなどの様々な支援を自然な形で行うことで植物の栽培を支援する。栗原らの Shameplan-pet では、観葉植物であるオジギソウをユーザの音声によって制御することで愛着感を抱かせ、人と機械、植物の共生を目指した発話コミュニケーションシステムを提案している [15]。このように、情報技術を活用することで、人と植物との新たなインタラクションが可能となり、両者間のコミュニケーションを促進したり、植物により大きな愛着感を抱かせたりすることができる。

そこで、本研究では、ユーザのタスクの進捗などの積算情報に応じて成長刺激を制御し植物を栽培することで、その植物に愛着を感じ、積算情報の可視化だけでなく栽培自体が動機付けとなりユーザのタスクに対するモチベーション向上も期待できると考えられる。

3. 積算情報可視化ディスプレイ

3.1 システム概要

PlanT では、種子から芽生え成長していく植物の自然な成長度合いを制御することによって、中長期的な時間とと

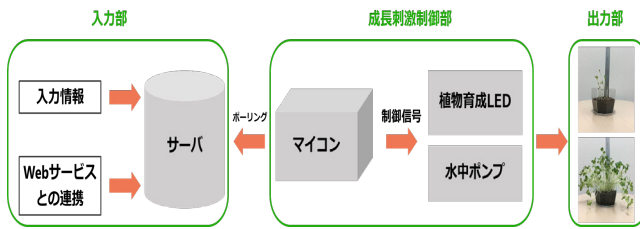


図 2 システム概要

もに積算されていく情報を可視化することを目指す。このため、PlanT では、植物の栽培のための基本的な要素であるとされている、水・日光・肥料などに着目し、これらを成長刺激と呼ぶ。成長刺激の量を変化させることで、植物の成長度合いを制御し、積算情報の増加量を表現する。

また、成長を制御する植物としては様々な種類の植物が考えられるが、本稿では、成長を制御する植物として、カイワレ大根を用いて検討を進める。カイワレ大根は植物の中でも短期間で成長することが知られており、7日～10日程度のスパンを持つ積算情報を可視化することができる。また、カイワレ大根はスプラウトの一種であり、種子から発芽した新芽であるため、成長に対して成長刺激の影響を受けやすく [16, 17]、成長の制御が簡単な植物であると考えられる。さらに、スプラウト栽培は若年者の気分や自我状態に効果があることが示唆されており [18]、栽培によるユーザへの好影響も期待できる。これらの理由から、カイワレ大根は PlanT の利用に適した植物の一種であると考えられる。

3.2 システム構成

図 2 に我々が提案する PlanT のシステムの概要を示す。本システムは、ユーザから直接入力される入力情報、タスク管理ソフトウェアなどの Web サービスとの連携システムおよびサーバから構成される入力部、マイコン、植物育成 LED および水中ポンプから構成される成長刺激制御部、ディスプレイとして用いる植物の出力部によって構成される。入力部では、ユーザから入力された積算情報やタスク管理ソフトウェアなどの Web サービスから自動でアップロードされた情報をコンピュータにより数値化し、サーバに格納する。マイコンはサーバに格納された積算情報を読み込み、その情報に応じて植物に与える成長刺激を制御する。植物に与える成長刺激は、植物の成長に基本的に必要なであるとされる水・日光・肥料が考えられるが、本稿では出力部の植物としてカイワレ大根を用いており、カイワレ大根の栽培には肥料が必要とされていないため、与える成長刺激は水・日光とした。水量の制御には水中ポンプを用いる。日光に関しては、日光の代わりとなる LED 光を使用し、LED 光の制御として植物育成 LED ライトを用いる。



図 3 成長刺激制御部プロトタイプ

入力される積算情報の違いによって、成長刺激を制御することにより、図 2 の出力部のようにディスプレイとして用いる植物の成長度合いが変化する。

3.3 プロトタイプ実装

本節では、PlanT のプロトタイプの実装について述べる。まず、入力部では、ユーザに手軽に積算情報を入力してもらうため、LINE 株式会社 [19] が提供する、LINE のトークルームおよびユーザと双方向コミュニケーションを可能にする Messaging API [20] を使用して、LINE BOT を構築した。構築した LINE BOT では、Messaging API を利用して任意のタイミングでユーザにメッセージを送信することができる。また、LINE でのユーザからの入力があった場合、ユーザの情報を認識しユーザ毎の任意のサーバへ入力情報を送信し格納することができる。なお、本稿で実装した入力部のプロトタイプでは、Web サービスとの連携システムは実装していないが、今後は連携システムを実装し、ユーザに積算情報の入力を意識させずに情報の取得を可能にする。

次に、植物に与える成長刺激を制御する成長刺激制御部の実装について述べる。図 3 に実装した成長刺激制御部のプロトタイプを示す。実装した成長刺激制御部では、植物育成 LED ライト (Amsuns 製)、水中ポンプ (DC30A-1230)、チューブ、霧吹きノズル、Raspberry Pi 3 Model B+およびその制御回路からなる。マイコンである Raspberry Pi が水中ポンプの水量および植物育成 LED ライトの点灯を制御する。また、ポンプに接続されたチューブの先には霧吹きノズルが取り付けられており、出力部の植物のプランター全体に水を十分に散布できるようにした。

4. 予備実験

4.1 実験 1：同一の成長刺激による植物成長の再現性

カイワレ大根の成長度合いを積算情報の可視化に利用す

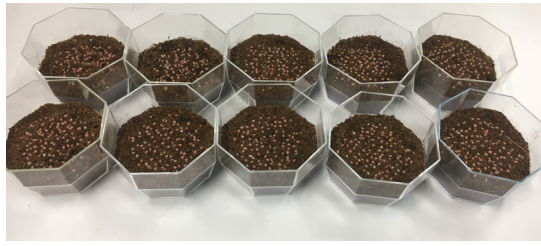


図 4 プランターにカイワレ大根の種を 100 個まいた様子

るためには、成長度合いに再現性がある必要がある。しかし、植物の成長には個体差が存在するため、この個体差が成長度合いに大きな影響がないか調べる必要がある。そこで、与える成長刺激量を同一にした 10 種類のカイワレ大根を用意し、それらの成長度合いを評価する実験を行う。植物の成長度合いに関しては定量的な指標 [16,17] も存在するが、本研究ではユーザから見た成長度合いの主観的評価を制御することが目的であるため、アンケートにより取得された成長度合いの主観的評価を用いることとする。

4.1.1 実験概要

はじめに、実験環境について述べる。本研究では、ユーザが植物を暗室のような実験室環境ではなく、図 1 の利用イメージのように、オフィスや研究室で実際に育て、そのような環境の中で植物を積算情報として可視化することを目的としている。そこで、本実験では、オフィス環境を想定した実験環境を作成し、実験を行った。作成した実験環境では、毎日一般的なオフィスの就業時間である 9 時～18 時の間に蛍光灯を点灯させた。蛍光灯の明るさは光量計 (URCERI) で測定した所、約 600lux であった。これは、JIS 照明基準の会議室・事務室の 500～750lux 以内の値である。なお、育てる植物は直射日光が当たらない場所に置いた。また、温度は職場快適基準の温度 24～27 度 (夏季) 内である 25 度に空調により設定した。

図 4 のように、プランター内に土 150g、土の上にカイワレ大根の種を 100 個まいた 10 種類のカイワレ大根を用意した。また、カイワレ大根に与える成長刺激は 3.3 節で述べた成長刺激制御部を用いて制御した。カイワレ大根に与える同一の成長刺激量は、30ml の水量とした。水量の値は、プランター内の土の表面に土壤湿度センサ (YL-69) を挿し、土壤湿度を測定し土の表面が十分に湿る値を用いた。実験期間は 10 日間で、毎日昼の 12 時に 1 回、水 30ml を 3.3 節で述べた成長刺激制御部のプロトタイプを用いて自動的にすべてのカイワレ大根に与えた。栽培を始めて 10 日後、各カイワレ大根の写真を正面と上方からそれぞれ撮影し、1 枚の紙に印刷した。図 5 に実験 1 で栽培した 10 種類のカイワレ大根の正面の写真を示す、なお、それぞれのカイワレ大根には No.1～No.10 まで番号を割り当てた。アンケート評価では、計 10 枚の紙をランダムに机の上に 1 列に並べ、それぞれのカイワレ大根の成長度合いについて被験

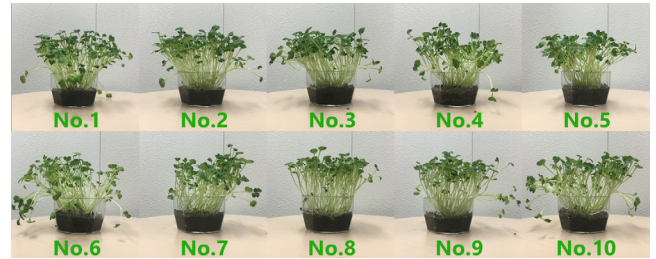


図 5 同一の成長刺激で栽培した 10 種類のカイワレ大根

表 1 成長度合いの評定値

段階	評価
7	とても成長している
6	まあまあ成長している
5	少し成長している
4	成長しているともしていないともいえない
3	あまり成長していない
2	ほとんど成長していない
1	全然成長していない

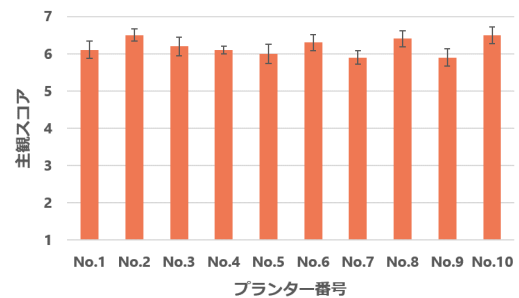


図 6 各番号のカイワレ大根に対する主観評価スコア (エラーバーは主観評価スコアの標準誤差を表している)

者に 7 段階で評価してもらった。評定値 1～7 の意味合いについては表 1 に示す通りである。紙を一枚ずつ提示していく方式では、評定値が提示順序に大きく左右されと考えられたため、被験者には評価の前に全ての写真を見るように教示した。実験参加者は 10 名の大学生または大学院生 (男性 9 名、女性 1 名、平均年齢 23.8±0.9 歳) であった。実験後、得られた評定値のスコアをもとに分析を行った。

4.1.2 実験結果

図 6 に各番号のカイワレ大根に対する主観評価スコアの平均値を示す。図 6 の結果を用いて、すべてのカイワレ大根の主観評価スコア間の差を検定するために、Friedman 検定を行った。検定の結果、すべてのカイワレ大根の主観評価スコア間に有意差は認められなかった ($\chi^2 = 13.28, p = .15$)。これより、少なくともこの実験で試した成長刺激の条件では、カイワレ大根の成長度合いに一定の再現性があることが示唆された。そこで、以下では、成長度合いの制御の可能性について検討していく。

表 2 成長刺激の条件

No.	水量 [ml]	LED 光	No.	水量 [ml]	LED 光
1	6	なし	6	6	あり
2	12	なし	7	12	あり
3	18	なし	8	18	あり
4	24	なし	9	24	あり
5	30	なし	10	30	あり

表 3 主観評価スコアの分散分析表

要因	平方和	自由度	平均平方	F 値
水量	353.06	4	88.26	319.67**
LED 光	13.69	1	13.69	21.21**
水量 × LED 光	9.06	3	2.27	13.73**

4.2 実験 2：成長刺激が植物の成長に与える影響

本節では、カイワレ大根の成長制御実現のため、成長刺激（水・LED 光）の量の変化によって、どのように成長度合いを制御できるかについて検討する。そこで、成長刺激量を様々に変化させた条件を用意し、それぞれの条件に応じた成長刺激量でカイワレ大根を栽培し、栽培後のカイワレ大根の成長度合いを評価する実験を行う。

4.2.1 実験概要

実験に用いる土の量やカイワレ大根の種の数および実験環境は実験 1 と同様にして実験を行った。本実験では、カイワレ大根に与える水量を 5 段階、LED 光をあり・なしの 2 段階で変化させて、計 10 種類のカイワレ大根を栽培した。水量に関しては、実験 1 よりプランター内の土の表面が十分に湿る 30ml を最大の水量として、6ml・12ml・18ml・24ml・30ml の 5 段階とした。また、LED 光ありの条件では、LED ライトを夜 22 時～朝 7 時の間の 9 時間点灯させた。ここで、夜間の時間のみに点灯させる理由としては、PlanT が植物の成長度合いを用いて積算情報を可視化することを目的としているため、LED ライトが日中に点灯していた場合、LED ライトの点灯の有無によって積算情報の増加量を判断できる可能性を防ぐためである。表 2 に各カイワレ大根に与えた成長刺激の条件を示す。また、成長刺激の条件の番号をカイワレ大根の番号として割り当てた。実験期間は 10 日間で、成長刺激制御部のプロトタイプを用いて、各成長刺激条件に応じた水量を毎日昼の 12 時に 1 回与え、LED ライトを夜 22 時～朝 7 時の間点灯させた。栽培を始めて 10 日後、実験 1 と同様にして写真を撮影し、被験者に 7 段階のスコアでそれぞれのカイワレ大根について成長度合いを評価してもらった。図 7 に実験 2 で栽培した 10 種類のカイワレ大根を示す。実験参加者は実験 1 と同様で、10 名の大学生または大学院生（男性 9 名、女性 1 名、平均年齢 23.8±0.9 歳）であった。実験後、得られた評定値のスコアをもとに分析を行った。

4.2.2 実験結果

分散分析

水量・LED 光の 2 要因がアンケートにより得られた主観評



図 7 表 2 の成長刺激条件で栽培した 10 種類のカイワレ大根

表 4 重回帰分析の結果

変数	標準偏回帰係数	F	p	偏相関
葉の面積： a	0.315	36.827	$P < 0.001^{**}$	0.525
新鮮重量： w	0.473	48.160	$P < 0.001^{**}$	0.801

価スコアに与える影響を 2 要因分散分析により分析した結果を表 3 に示す。表 3 より、水量 ($F_{36}^4(0.01) = 3.89, p < .01$) と LED 光 ($F_9^1(0.01) = 10.56, p < .01$) とともに主効果が見られ、水量を多くするほどまたは LED 光を点灯すると主観評価スコアが高くなることが分かった。また、水量 × LED 光 ($F_{36}^4(0.01) = 3.89, p < .01$) で組み合わせ効果が見られたため、単純主効果の検定を行ったところ、LED 光に対する水量の主効果は有意差が認められたが、水量 30ml に対する LED 光の主効果は有意差が認められなかった ($F_{29}^1(0.01) = 0.77, p = 0.39$)。次に、多重比較の Bonferroni 法を行った結果、No.5 (水量 30ml・LED 光：なし) と No.10 (水量 30ml・LED 光：あり) の成長刺激条件の間で弱い有意傾向が認められた ($p = .06$)。それ以外の条件の間ではすべて有意差が認められた ($p < .01$)。

重回帰分析

アンケートにより得られた主観的な成長度合いのスコアを植物の視覚的な特徴から予測できるようにするため、重回帰分析による調査を行った。カイワレ大根において直観的に観測可能な視覚的特徴として、茎の長さ、茎の太さ、葉の面積、新鮮重量、発芽本数が考えられたため、これらをパラメータとして選択した。栽培を始めて 10 日後に、それぞれの条件で育てたカイワレ大根の視覚的特徴の測定を行った。また、新鮮重量はカイワレ大根の根の部分すべてを切り取り、土を払い落としてから重量を測定し、発芽本数は目視で測定した。なお、茎の長さ、茎の太さ、葉の面積は 10 本のカイワレ大根の平均値とした。目的変数 Y を成長スコアと定義し、説明変数 l, t, a, w, n をそれぞれ茎の長さ、茎の太さ、葉の面積、新鮮重量、発芽本数として重回帰分析を行い、各特徴によるスコアへの影響を一元的に表現した。重回帰分析を行うにあたっては、増減法を用いて変数選択を行ったところ、茎の長さ、葉の面積、新鮮重量が選択された。さらに、多重共線性が起こらないために、選択された説明変数の相関を求めた結果、茎の長さとの新鮮重量の相関係数が 0.903 となり、強い相関がみられたため、茎の長さの説明変数を除去し、葉の面積および新鮮重量の

表 5 各成長刺激条件のカイワレ大根に対するスコア視覚的特徴の測定値

成長刺激条件	主観評価スコア	成長スコア	葉の面積 [mm ²]	新鮮重量 [g]	茎の長さ [cm]	茎の太さ [mm]	発芽本数 [本]
No.5 (水 30, LED 光なし)	6.8	6.9	204	32.4	14.2	2.2	100
No.10 (水 30, LED 光あり)	6.6	6.5	232	27.3	12.9	2.4	100
No.9 (水 24, LED 光あり)	6	6.1	233	23.5	12.5	2.5	99
No.4 (水 24, LED 光なし)	5.5	4.6	145	17.4	12.2	2.1	99
No.8 (水 18, LED 光あり)	4.7	4.7	213	13.0	11.0	2.2	92
No.3 (水 18, LED 光なし)	4.0	3.8	159	9.2	10.9	2.0	92
No.7 (水 12, LED 光あり)	3.6	3.7	180	7.1	9.5	2.4	76
No.6 (水 6, LED 光あり)	2.1	2.2	104	0.5	5.1	1.7	23
No.2 (水 12, LED 光なし)	2.0	1.9	55	1.1	6.0	1.8	60
No.1 (水 6, LED 光なし)	1.0	1.3	0	0.1	2.8	1.6	19

2つの説明変数を用いて重回帰分析を行った。重回帰分析の結果を表4に示す。また、偏回帰係数を用いた重回帰式は式(1)のように表せる。

$$\text{成長スコア } Y = 0.0085a + 0.12w + 1.3 \quad (1)$$

修正済み決定係数 (R^2) は 0.903 と当てはまりのよい回帰式が得られた。また、説明変数の p 値は 1% 有意であるためすべて説明力のある変数といえ、葉の面積、新鮮重量といった2つの視覚的特徴から、成長度合いの主観的評価を説明できることがわかった。

次に、被験者から得られた主観評価スコアと成長スコアの値を比較するため、被験者実験により得られた10名の評定値のスコアの平均値を求め、各成長刺激を主観評価スコアの大きい順に並べた。表5に主観評価スコアの平均値、式(1)を用いて求めた成長スコアおよび視覚的特徴の測定値を示す。分散分析の結果からも明らかになったとおり、水量が多く、LED光ありの条件が上位になっていることが分かる。また、表5の主観スコアと成長スコアの相関係数を求めると0.987となり主観スコアと成長スコアの間には非常に強い相関があるといえる。したがって、カイワレ大根の主観的な成長度合いのスコアを視覚的な特徴である葉の面積、新鮮重量で予測可能であることがわかった。

4.3 予備実験の結果のまとめと考察

実験1より、カイワレ大根の成長度合いの主観的評価には一定の再現性があることが示唆された。この理由としては、プランター内にまいたカイワレ大根の種の個数が100個という大きな数であったため、被験者が100本のカイワレ大根を一つの植物として成長度合いを評価する際に、1本毎の成長の個体差が打ち消されたと考えられる。

また、実験2では、水量を増やし、LED光を点灯することで成長度合いの主観的評価を増加させられることがわかり、さらにこの成長度合いの主観的評価は葉の面積、新鮮重量といった視覚的特徴の重回帰式(1)で説明可能であることがわかった。したがって、成長刺激の強さに応じて異なる成長度合いの植物を栽培できることが確認され、植物の成長度合いを制御できる可能性が示唆された。

5. PlanT の運用テスト

本章では、PlanT を研究室内で実際に利用した運用テストの結果について報告する。本運用テストでは、PlanT の実利用における動作を確認すること、ユーザ視点から PlanT の積算情報可視化ディスプレイとしての有用性についてフィードバックを得ることを目的とする。3.3 節で述べたプロトタイプを用いて、実際にユーザにタスクを行ってもらい、タスクの進捗状況に応じて成長刺激を制御することで、ユーザに応じた積算情報をカイワレ大根の成長度合いで可視化する。

5.1 テスト概要

本テストは、情報科学を専攻する研究室の学生6名（男性5名・女性1名）の被験者に協力を得て実施し、テスト期間は2週間とした。テストでは、PlanT の有無によるユーザの反応を調査するため、タスクを行う手法として、PlanT あり（プロトタイプを用いてタスクを行う）と PlanT なし（プロトタイプを用いずにタスクを行う）の2種類を用意した。また、順序効果を考慮して、被験者6人を3人ずつの A, B 2つのグループに分け、A グループでは最初の週に PlanT あり、次の週に PlanT なしとし、B グループでは最初の週に PlanT なし、次の週に PlanT ありとしてテストを行った。また、2週間のテスト終了後、すべての被験者にアンケートに回答してもらった。

5.1.1 タスク

被験者に行ってもらったタスクについて述べる。本テストでは、被験者にタスクに対して意欲的に行ってもらうため、英単語の学習・筋トレ・読書の3つのタスクの中から被験者自身に実験で行うタスクを選んでもらった。被験者6人に好きなタスクを選ばせた結果、英単語の学習が2人・筋トレが2人・読書が2人となった。また、被験者自身に選んだタスクに対する毎日の達成目標を設定してもらい、2週間毎日その目標の達成に向けてタスクを行うように指示した。なお、本テストでは、被験者が設定した毎日の達成目標に対する達成率をタスクの進捗状況、つまり PlanT の積算情報として用いる。表6に各被験者が設定したタス

表 6 各被験者が設定したタスクに対する毎日の達成目標

	毎日の達成目標
被験者 1(英単語)	200 単語学習する
被験者 2(英単語)	50 単語学習する
被験者 3(筋トレ)	腕立て・腹筋を全て合わせて 60 回
被験者 4(筋トレ)	違う部位の腹筋を 45 回
被験者 5(読書)	100 ページ読む
被験者 6(読書)	40 ページ読む

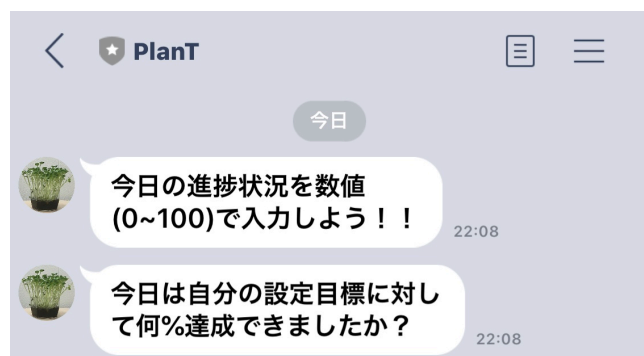


図 8 LINE BOT による通知画面

クに対する毎日の達成目標を示す。なお、英単語の学習では、被験者の英語の習熟度を考慮して、「TOEIC L & R TEST 出る単特急 金のフレーズ」(朝日新聞出版)を使用して、英単語を学習してもらった。筋トレでは、被験者自身で毎日のトレーニング内容を設定し、設定したトレーニングを行ってもらった。読書では、被験者自身で好きな本を選び、選んだ本を読んでもらった。

5.1.2 PlanT ありと PlanT なし

本テストの PlanT ありと PlanT なしの 2 種類のタスクを行う手法について述べる。PlanT ありでは、被験者に毎日の達成目標に対する達成率を入力してもらうため、入力部の LINE BOT から毎日夜 22 時に、被験者の LINE に通知を送信する。図 8 に実際に被験者の LINE に送信される LINE BOT からの通知画面を示す。被験者がこの LINE BOT に毎日の目標に対する達成率を 0~100 で入力すると、LINE BOT は各被験者毎のサーバに、被験者によって入力された達成率を格納する。格納された達成率を、次の日の 12 時に、成長刺激制御部のマイコンが読み込み、達成率に応じて成長刺激を制御し、被験者毎のカイワレ大根に与える。なお、LED 光は実験 2 と同様に、マイコンが達成率を読み込んだ日の夜 22 時~朝 7 時に点灯するように制御した。成長刺激の制御は、実験 2 の表 5 の主観評価スコアの大きい順に並べた成長刺激の条件の結果を利用し、達成率に応じて 10 段階で制御した。表 7 に達成率に対する成長刺激を示す。また、PlanT ありで用いるプロトタイプは、各被験者が独自に専有する研究室のデスクの端にそれぞれ配置した。なお、PlanT ありでタスクを行う週の 1 日目には、被験者に「今日から 1 週間、毎日の目標の達成率に応じてカイワレ大根に与える成長刺激 (水・LED 光)

表 7 タスクの達成率に対する成長刺激

達成率	成長刺激
91~100	No.5 (水: 30ml, LED 光: なし)
81~90	No.10 (水: 30ml, LED 光: あり)
71~80	No.9 (水: 24ml, LED 光: あり)
61~70	No.4 (水: 24ml, LED 光: なし)
51~60	No.8 (水: 18ml, LED 光: あり)
41~50	No.3 (水: 18ml, LED 光: なし)
31~40	No.7 (水: 12ml, LED 光: あり)
21~30	No.6 (水: 6ml, LED 光: あり)
11~20	No.2 (水: 12ml, LED 光: なし)
0~10	No.1 (水: 6ml, LED 光: なし)

が制御されます」と教示した。

PlanT なしでは、プロトタイプを用いないでタスクを行ってもらうが、LINE BOT によるタスクの達成率の回答が被験者に及ぼす効果を同じにするため、LINE BOT によるタスクの達成率の回答のみ行うようにした。

5.1.3 アンケート項目

テスト終了後に被験者に回答してもらうアンケートの項目について述べる。ユーザ視点による PlanT について分析するため、PlanT を利用した印象や意見を記述する自由回答欄を設けて、感想を自由に記述してもらった。さらに、アンケート項目として「PlanT によるカイワレ大根の栽培は楽しかったか」(質問 a) および「栽培したカイワレ大根に対して愛着を感じたか」(質問 b) という 7 段階評価 (1: 全然楽しくなかった・全然感じなかった, 4: どちらともいえない, 7: とても楽しかった・とても感じた) の項目を設けた。

また、ユーザが実際に PlanT によるカイワレ大根の成長度合いをユーザ自身の積算情報と連動して感じているかを評価するため、「カイワレ大根の成長度合いは、自分のタスクの達成率の積算情報と連動しているように感じたか」(質問 c) という 7 段階評価 (1: 全然感じなかった, 4: どちらともいえない, 7: とても感じた) の項目も設けた。

5.2 テスト結果

本運用テストにおいて実装した PlanT のプロトタイプを実際に研究室内で 7 日間ずつ動作させた結果、ユーザのタスクの達成率を水・光の成長刺激としてカイワレ大根に与えて成長させるという 3.2 節で述べたシステムフローが正常に動作したことを確認できた。次に、表 8 に各被験者毎の質問 a~c のアンケート回答結果を示す。また、図 9 に PlanT ありで栽培したそれぞれのグループにおける各被験者の 7 日目のカイワレ大根の写真を示し、表 9 に PlanT ありの週における被験者毎の毎日の達成目標に対する達成率の合計 (最大は 700) および 7 日目のカイワレ大根の成長スコアを示す。なお、各被験者毎のカイワレ大根の成長スコアは実験 2 と同様にして葉の面積および新鮮重量を測定

表 8 アンケート結果

	質問項目	各被験者の回答						平均値	標準偏差
		被験者 1	被験者 2	被験者 3	被験者 4	被験者 5	被験者 6		
a	PlanT によるカイワレ大根の栽培は楽しかったか	6	5	5	7	5	4	5.3	0.9
b	栽培したカイワレ大根に愛着は感じたか	6	6	5	7	6	3	5.6	1.2
c	タスクの達成率の積算情報と連動しているように感じたか	6	4	4	6	6	3	4.9	1.1

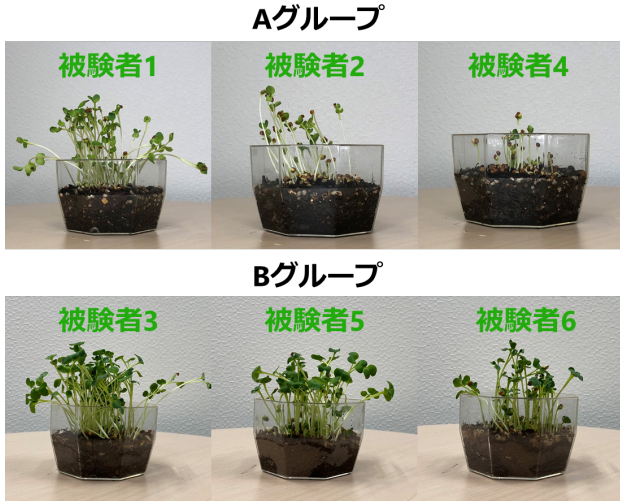


図 9 各被験者の 7 日目のカイワレ大根の写真

表 9 PlanT ありの週の達成率の合計および成長スコア

	PlanT ありの週の達成率の合計	成長スコア
被験者 1	650	3.4
被験者 2	600	2.3
被験者 4	380	1.8
被験者 3	680	4.6
被験者 5	640	4.1
被験者 6	450	3.2

し、式 (1) により求めた。

5.3 考察

5.3.1 PlanT によるカイワレ大根の栽培

表 8 より、質問 a の「カイワレ大根の栽培の楽しさ」については、平均値 5.3、標準偏差 0.9 となり、質問 b の「カイワレ大根に対する愛着」については平均値 5.6、標準偏差 1.2 となっており、どちらの項目も高い評価を得た。アンケートの自由記述でも、「カイワレ大根が成長する様子を見ることが楽しく、楽しみながらタスクに取り組むことができた」や「植物を実際に毎日見てタスクを達成することが楽しかった」という回答が得られた。これより、PlanT によるカイワレ大根の成長を見続けることでユーザーが栽培自体に楽しさを感じるとともに植物に愛着を持つことができると考えられる。

また、今回の調査では、栽培したカイワレ大根を食品として被験者に食べてもらわなかったが、朴らの研究では、栽培したスプラウトを食品として食べることで、栽培による自己評価および満足度がより高くなることが報告されて

いる [18]。したがって、今後は PlanT による栽培したカイワレ大根をユーザに食べてもらい、栽培による満足感をより高めることで、PlanT によるタスクのモチベーション向上に対してより大きな効果が期待できると考えられる。

5.3.2 タスク達成率とカイワレ大根の成長度合いの連動性

表 8 の質問 c の評価の分布より、被験者がカイワレ大根の成長度合いを被験者自身のタスクの達成率と連動していると感じたかについては平均値 4.9、標準偏差 1.1 となり、比較的高い評価であった。一方で、「カイワレ大根が発芽するまで成長度合いがわかりにくかった」という意見が複数見られた。このことから、ユーザの感じるタスクの達成率と積算情報との連動性を高めるためには、ユーザの毎日のタスクの達成率がカイワレ大根の成長度合いに反映されるまでの時間を短くすることやポンプによる植物への給水などの成長刺激を与えている過程をユーザに見せることが改善案として挙げられる。ここで、予備実験より、カイワレ大根は、完全に発芽するまでに 2 日間要するが、発芽後は実験 1 と同様の環境で水 30ml を与えた場合、茎の長さが 12 時間で 1cm 以上伸びることが確認されている。したがって、今後は同一の成長刺激で発芽させた状態後のカイワレ大根を使用することや成長刺激を与えている過程を見せることでユーザが栽培に関わる部分を増やすなどの方法を検討していきたい。

さらに、図 9・表 9 より、達成率の合計および成長スコアに着目すると、各グループ毎では達成率の合計が大きいほど成長スコアも大きくなっている。しかし、A グループと B グループの成長スコアの平均値はそれぞれ 2.7、4.0 であり、B グループの方が達成率の合計に対して成長スコアおよびカイワレ大根の成長度合いが大きくなってしまっている。これは、A グループと B グループでは、カイワレ大根を栽培した日程が異なったため、本実験で利用した研究室の蛍光灯の点灯時間などの栽培環境が A グループと B グループで異なったためであると考えられる。

また、被験者 1 と被験者 2 の達成率の合計には 50 の差しかないが、成長スコアでは 1.1 という比較的大きな差があり、図 9 のカイワレ大根の成長度合いにも達成率の差以上の差が生じているように見受けられる。この原因を考察するため、図 10 に各被験者毎の PlanT ありの週および PlanT なしの週のタスク達成率の遷移を示す。図 10(b) より、被験者 2 では、カイワレ大根の発芽段階である 1 日目と 3 日目の達成率が低くなっている。一方、図 10(a) より、被験者 1 では PlanT ありの週の最終日である 7 日目のみ

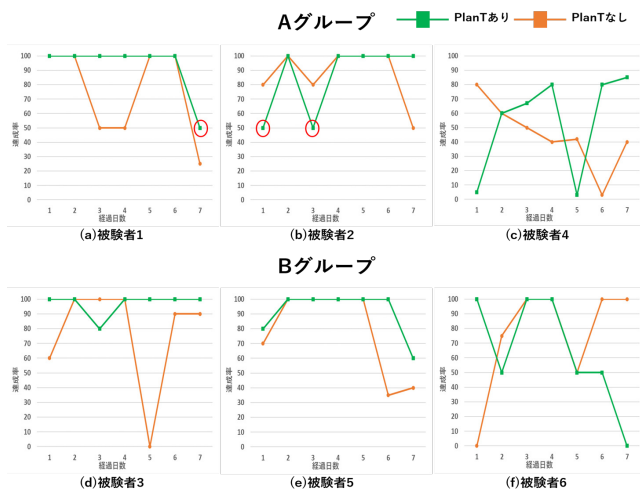


図 10 各被験者毎の PlanT ありの週および PlanT なしの週のタスク達成率の遷移

達成率が低くなっており、7日目の被験者1のカイワレ大根から算出した成長スコアには低くなった達成率が反映されていないと考えられる。また、カイワレ大根は水が十分に与えられないと発芽しないため、被験者2のように発芽段階で成長刺激である水の量が少ない場合、発芽までの日数が遅れ、最終的な達成率の合計に差がない場合でも大きく成長スコアとして差が生じてしまうと考えられる。したがって、現在の運用の場合、週の初めの達成率の差が大きく成長スコアに反映されてしまうため、成長段階ごとの成長刺激の影響について調査する必要がある。

6. 議論

6.1 今後のユーザスタディ

今回の PlanT 運用テストより、多くの被験者は高いモチベーションを保ちながらタスクに取り組めたことが明らかになったが、他の可視化手法やディスプレイとの比較は行っていない。したがって、今後は一般的なディスプレイにユーザの進捗状況をグラフで可視化するなどの可視化手法と比較することで、PlanT がユーザのタスクに対するモチベーションを向上可能なシステムであるかを評価する。また、一般的な可視化手法との比較だけでなく、PC やスマートフォン上でのイラストなどを利用して仮想的に植物を栽培する育成ゲームやアプリとの比較を行うことで、PlanT による実物の植物の栽培がユーザのタスク遂行に及ぼす効果についても検証していく。

6.2 成長刺激の途中変化による成長度合いの制御

本稿では、4章の実験2より、一定の成長刺激によるカイワレ大根の成長度合いの制御について検討したが、PlanT では、ユーザの毎日の積算情報に応じて植物に与える成長刺激を変化させるため、成長刺激を途中で変化させた場合の成長度合いの制御についても検討する必要がある。成長

刺激の途中変化による成長度合いの制御に関して、カイワレ大根は種子から発芽した新芽であり、成長刺激の影響を受けやすい植物であるため、成長刺激の途中変化により成長度合いを制御することが可能であると考えられる。また、カイワレ大根の水量を途中で変更し10日間栽培した予備実験においても、水量を5日目以降減らした条件では、一日ごとの成長スコアの増加率が5日目以降低くなったことが確認されている。ただし、この結果は、本稿で述べた環境とは異なり、蛍光灯が存在しない実験室環境で栽培した予備実験で得られたものであり、今後オフィス環境での検証が必要である。したがって、今後オフィス環境において、成長刺激の量を途中で変化させた条件を様々な用意し、その条件で栽培したカイワレ大根の成長スコアを毎日記録する。そして、成長刺激の途中変化による成長度合いを評価することで、成長スコアにより正確な制御が可能になる知見を得ることができると見込まれる。

6.3 積算情報以外の情報提示

本稿では、植物における基本的な特徴の一つである、植物の成長自体に着目し、植物の成長度合いを用いた積算情報可視化ディスプレイの実現について述べたが、植物の様々な特性を利用することで、積算情報以外の情報提示が可能であると考えられる。植物は屈折という性質により、茎が光の刺激方向に伸びる。この性質を利用するため、LED ライトの照射方向を制御し、ユーザがタスクに苦勞しているときや困っているときに茎を絡ませたりすることでタスクの状況を提示することも可能となる。したがって、今後はタスクの状況などの積算情報以外の情報提示手法についても検討していく。

6.4 カイワレ大根以外の植物を用いた情報提示

本稿では、出力部の植物としてカイワレ大根を用いて検討を進めてきたが、カイワレ大根の成長度合いを積算情報として利用する場合、7~10日間以内の積算情報のみ提示可能である。したがって、それ以上の期間にわたる積算情報を表現する場合、カイワレ大根以外の植物の利用を検討する必要がある。さらに、5章で行ったアンケートの自由記述では、「花が咲くなどの植物の方が成長度合いの変化がわかりやすいのではないか」という意見もあり、花が咲くなどの明確にわかりやすい成長度合いを持つ植物を利用することで、タスク遂行における達成感をユーザがより多く感じると考えられる。

しかし、他の植物の利用を検討する場合、4章の実験1および実験2の結果は、栽培時に成長刺激の影響を受けやすいカイワレ大根に対する結果であり、他の植物に対しても同様に適用できるかどうかは明らかではないため、他の植物に対しても同様の検討を行うことで成長制御が可能であるか調査する必要がある。また、カイワレ大根の成長度

合いの主観的評価には一定の再現性が示唆されたが、一般的に一つの苗から育てる植物などでは、成長度合いの主観的評価の再現性を保つため、成長の個体差を吸収する必要がある。これに対しては、植物の成長度合いをリアルタイムに計測しながら、与える成長刺激を変化させていくフィードバック制御を行うことで、再現性を保つことが可能であると考えられる。

7. おわりに

本稿では、植物の成長を制御することにより、積算されていく情報を可視化するディスプレイ PlanT を提案し、プロトタイプを実装した。次に、カイワレ大根を対象とした2つの予備実験により、植物の成長度合いによる積算情報可視化の可能性を検討した。この結果、カイワレ大根の成長度合いの主観的評価には一定の再現性があることが示唆され、成長刺激の強さに応じて異なる成長度合いの植物を栽培できることが確認された。さらに、PlanT 運用テストの結果、プロトタイプによる PlanT のシステムフローが7日間正常に動作することを確認した。また、ユーザによるアンケートから PlanT の有用性についてフィードバックを得た結果、ユーザが PlanT による栽培自体に楽しさを感じるとともにカイワレ大根に愛着を持つことが確認された。一方、ユーザの感じるタスク達成率と積算情報との連動性を高めるためには、発芽後のカイワレ大根の状態からの使用の検討や成長刺激が成長度合いに反映されるまでの時間の短縮などのさらなる改善が必要であることがわかった。

今後は、PlanT がユーザのタスクへのモチベーションを向上可能なシステムであるかを評価するための他手法との比較実験や成長刺激の途中変化による成長度合いの制御の評価を行う。さらに、積算情報以外の情報提示やカイワレ大根以外の植物の利用についても検討していく。

参考文献

- [1] Nakajima, K., Itoh, Y., Tsukitani, T., Fujita, K., Takashima, K. and Kitamura, Yoshifumi, a. K. F.: FuSA Touch Display: A Furry and Scalable Multi-touch Display, *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, ITS '11, pp. 35–44 (2011).
- [2] Tsujimoto, Y. and Itoh, Yuichi, a. O. T.: Ketsuro-Graffiti: An Interactive Display with Water Condensation, *Proceedings of the 2016 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces*, ISS '16, pp. 49–55 (2016).
- [3] 矢動丸琴子, 大塚芳嵩, 中村勝, 岩崎寛: オフィス緑化が勤務者に与える心理的效果に関する研究, 日本緑化工学会誌, Vol. 42, No. 1, pp. 56–61 (2016).
- [4] 矢動丸琴子, 中村勝, 岩崎寛: オフィス緑化が勤務者に与える影響に関する研究—業種・職種別による考察—, 日本緑化工学会誌, Vol. 43, No. 1, pp. 86–91 (2017).
- [5] 佐藤李子, 宇野瑞穂子, 外池千尋: mizukusupli:にぎわいを感知・記録・表現する装置, 情報処理学会研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), pp. 45–51 (2016).
- [6] Kimura, T. and Kakehi, Y.: MOSS-xels: Slow Changing Pixels Using the Shape of *Racomitrium Canescens*, *ACM SIGGRAPH 2014 Posters*, SIGGRAPH '14, p. 20:1 (2014).
- [7] 蟻浪 卓, 鈴木 優: Sensitivase:花の疑似的な健康状態の変化によって環境の状態を伝達する装置, *Information Proceeding Society of Japan*, EC2018, pp. 36–38 (2018).
- [8] Gentile, V., Sorce, S., Elhart, I. and Milazzo, F.: Plan-txel: Towards a Plant-based Controllable Display, *Proceedings of the 7th ACM International Symposium on Pervasive Displays*, PerDis '18, pp. 16:1–16:8 (2018).
- [9] 蟻浪 卓, 鈴木 優: Treeceable: 植物に関する普遍的な知識を利用した情報伝達, インタラクション 2019 論文集, pp. 238–239 (2019).
- [10] Kuribayashi, S. and Wakita, A.: PlantDisplay: Turning Houseplants into Ambient Display, *Proceedings of the 2006 ACM SIGCHI International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, ACE '06, p. 40:1 (2006).
- [11] Kuribayashi, S., Sakamoto, Y. and Tanaka, H.: I/O Plant: A Tool Kit for Designing Augmented Human-plant Interactions, *CHI '07 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '07, pp. 2537–2542 (2007).
- [12] Sareen, H., Zheng, J. and Maes, P.: Cyborg botany: augmented plants as sensors, displays and actuators, *Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, ACM, p. VS13 (2019).
- [13] Steiner, H., Johns, P., Roseway, A., Quirk, C., Gupta, S. and Lester, J.: Project Florence: A Plant to Human Experience, *Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '17, pp. 1415–1420 (2017).
- [14] 西田健志, 大和田茂: 萌え木:拡張現実による植物育成支援, 日本ソフトウェア科学会, WISS 2006, pp. 23–26 (2006).
- [15] 栗原 渉, 中野亜希人, 串山久美子, 羽田久一: Shameplan-pet: オジギソウとの発話コミュニケーションシステム, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2019 論文集, pp. 407–409 (2019).
- [16] 松本恵子, 多田雄一, 清水浩, 澁澤栄: カイワレダイコン (*Raphanus sativus* L. 'Kaiwaredaikon' (Japanese radish sprout)) の生育および抗酸化活性に与える給水量の影響, 植物環境工学, Vol. 21, No. 2, pp. 79–85 (2009).
- [17] 松本恵子, 多田雄一, 清水浩, 澁澤栄: カイワレダイコン (*Raphanus sativus* L. 'Kaiwaredaikon') の生育および抗酸化活性に与える光強度の影響, 植物環境工学, Vol. 21, No. 3, pp. 117–122 (2009).
- [18] 朴 昭英, 山根健治, 野村卓史, 八巻良和: スプラウトの栽培が若年者の心理に及ぼす効果, 人間・植物関係学会雑誌= Journal of Japanese Society of People-Plant Relationships, Vol. 13, No. 2, pp. 23–26 (2014).
- [19] LINE株式会社: <https://linecorp.com/ja/>(2019年10月18日閲覧).
- [20] MessagingAPI: <https://developers.line.biz/ja/services/messaging-api/>(2019年10月18日閲覧).