



人と植物の物理的接触を拡張するシステム (第 2 報) : 接触により育成する電子ペットの設計と接触部位推定の基礎検討

A System Augmenting Human-Plant Touch Interactions II:

Design of Electronic Pets that Grow through Touch and Fundamental Study on Estimating Touch Positions

林海歩¹⁾, 蜂須拓¹⁾

Miho HAYASHI, and Taku HACHISU

1) 筑波大学 (〒 305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1)

概要: 園芸療法では人が植物に物理的に接触することで肯定的な心理・生理効果をもたらされることが報告されているが、日常的に植物に接触する機会は多くない。本稿では、人と植物の物理的接触の機会を創出し接触による肯定的な心理・生理効果を強化するシステムの設計・開発を目指し、ユーザが観葉植物に接触する動機づけとして観葉植物への接触により育成するアプリ上の電子ペットの設計について述べる。また、接触部位に応じたインタラクションの設計のために、接触部位の推定を可能にする静電容量センシング技術の実装および土壌水分量が及ぼす影響について定性的に検証した。

キーワード: 園芸療法, 接触部位推定, 拡張現実感, タッチ

1. はじめに

園芸活動をセラピーの手段として用いる園芸療法では、人が植物に物理的に接触することで肯定的な心理・生理効果をもたらされることが報告されている [1]。これに加えて、観葉植物を室内に設置することは視覚的な美化や光合成・蒸散等による空気清浄の効果をもたらす、住環境を改善する [2]。また、品種によっては動物と比較して少ない世話で生物を育成でき、特に成長の早い植物や花を咲かせたり、実をつけたりする植物はその成長を楽しむことができる。

観葉植物を自宅等に設置していたとしても、日常的に人が植物へ接触する機会は多くないと考えられる。その理由の 1 つに、植物は人の働きかけに対する能動的なリアクションがないことが挙げられる。オジギソウなどのごく一部の植物には接触により葉が閉じるなどの変化がみられるが、ほとんどの植物は接触に対して目視できる反応は見られない。また、育成しやすい植物ほど人が接触する機会が少なく、基本的な世話である水やり、設置場所の移動、目視による健康状態の確認などは植物への直接的な接触を必要としない。

本研究では、人と植物の物理的接触の機会を創出し、接触による肯定的な心理・生理効果を強化を目指し、植物との物理的接触を拡張するシステムの設計・開発を目的とする。物理的接触の拡張に関して、人が植物に接触するという働きかけに対して植物が能動的に反応するように見えるシステムを設計・開発することで、従来の植物がもたらす肯定的な効果を維持しつつ、新たな人と植物のインタラクションの実現を目指す。前報 [3] では、静電容量センサを用いた人と植物の接触を検知するセンシング機能と、検知に応じて植物に運動エネルギーを与えて接触したユーザへ触覚刺激を

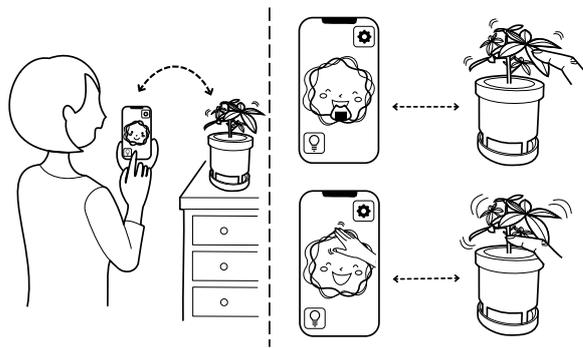


図 1: ユーザから植物への接触により育成する電子ペット

提示するアクチュエーション機能を搭載したスマート植木鉢の設計・開発と基礎評価について報告した。本稿では、まず人と植物との接触の機会を創出する電子ペットアプリの設計について報告する (図 1)。本設計では、前報 [3] のスマート植木鉢にスマートフォン等の外部端末と通信する機能の追加に加え、接触の有無のみの検知であったセンシング技術に接触位置の推定を可能とすることを要件に加える。次に、本要件に適合した接触位置推定方法として静電容量センシング技術 [4, 5] の実装と土壌水分量が静電容量センシングにおよぼす影響を検証する。

2. システム

2.1 設計

本節では、ユーザが観葉植物に接触することに対する動機づけとして、観葉植物への接触により育成するスマート

フォンアプリ上の電子ペットの設計について述べる。

2.1.1 コンセプト

電子ペットとは、動物の形をしたロボットや携帯端末等の画面上に表示されるキャラクタで、ユーザとインタラクションするバーチャルなペットである。特に後者では、ユーザはボタン・タッチ操作によりペットへの愛撫や餌やり、トイレの世話等を行う。バンダイ社のたまごっちや Niantic 社の Peridot 等がその例として挙げられ、ユーザは世話に対するペットの機嫌や健康状態の向上、さらには成長といった目に見える変化を報酬として育成を楽しむ。

我々はこの電子ペットの育成を植物への接触の動機づけに利用することを考えた。従来のボタン・タッチ操作の代わりに、図 1 に示すように、葉への接触を愛撫、茎への接触を餌やり等に設定することでユーザは植物への接触により電子ペットを育成する。ユーザの植物への接触に対する動機づけに加えて、ペットとのインタラクションがより生物的に感じられることから、ペットひいては植物への愛着がより深まることを期待する。

また、ユーザからの接触に対し、植物が能動的に反応しているように見えるようにすることを考えた。1. 章で述べたとおり、一般的に植物には接触に対して人が目視できるような反応は見られない。無論、画面上で視覚的にペットが反応しているように見せることは可能である。しかし、画面上のペットが視覚的に反応するほどに、接触対象が無反応であることはユーザにとって無機的に感じられると予想される。そこで、反応は接触に対して植物がユーザに触覚刺激を返しているように見えるようにする。

上記のインタラクションはスマートフォン（とユーザ）と植物が近くにいるときのみ成立するようにする。基本的にはスマートフォンからは電子ペットの閲覧のみを可能とし、機嫌や健康状態等を目視できるようにする。スマートフォンが植物の近くにあるときのみ、上記のインタラクションを可能とすることで、電子ペットと植物が一体となっていることを表現する。

2.1.2 シナリオ

2.1.1 項で述べたコンセプトを基に下記のような世界観を設定する。

フローリスは人の目では見ることのできない妖精である。しかし、人はスマートフォンアプリ PlanTouch を通じてその姿形を見ることができる。人懐こいフローリスは PlanTouch がインストールされたスマートフォンに住みつき、その持ち主と行動を共にする。普段は肉体を持たず人は画面内で見ることしかできないフローリスではあるが、スマートフォンをとある植物フレラレソウに近づけるとその肉体を借りることができる。フローリスは茎を撫でられることが大好きで、茎をなでられるとご機嫌になる。お腹が空いたときは葉を突っついてもらおうとフレラレソウから栄養をもらうことができる。また、フローリスの糞は金魚の糞と同様でつきまどって気持ち悪いが、土を弄ってもらうことできれいにとれる。つまりフローリスはフレラレソウを介して人

に世話をしてもらわないと不機嫌になるし、病気にもなる。また、元気なフレラレソウの身体しか借りることができない。このようなお世話が必要なフローリスは、大事にお世話をするほど美しく成長し、人にやすらぎを与える。

2.1.3 要件

2.1.1 項で述べたコンセプトを実装するために、4つの要件を設定し、2.2 節でのべるスマート植木鉢を開発する。

1つ目は植物が能動的に接触を感知し、その構造を駆動して応答しているように見えるようにすることである。そのため、センサやアクチュエータ等の素子がユーザから見えないようにする。本研究では、素子を植木鉢に内蔵し、電気および振動の伝搬をそれぞれ利用した静電容量センシング [4, 5] および振動アクチュエーション技術 [3] を採用する。

2つ目は接触部位およびジェスチャの計測である。接触部位（葉、茎、土等）および接触ジェスチャ（つつく、撫でる等）による電子ペットへの働きかけ（愛撫、餌やり、糞の掃除等）を設定する。

3つ目はスマートフォンとの通信である。スマートフォンと植物が十分に近くにあることの検知および接触の計測結果のスマートフォンへの送信等が必要である。

4つ目は日常生活での使用が可能であることである。これは手軽に利用可能であることを目指すために簡便に設置できるものとするに加えて、将来的な肯定的な心理・生理的効果の検証を考慮して固定カメラ等の利用による実験参加者のプライバシーへの配慮が必要なものを使用しない。

2.2 構成

本システムを植物、土壌、およびスマート植木鉢より構成する。植物は土壌からの高さ約 11 cm、最大の幅の直径約 12 cm、主に 5つの葉柄をもつカポックを採用した。カポックの採用理由は、1) 比較的栽培が簡単であること；2) 葉および茎を明確に区別できる構造をもつこと；および 3) 冬の間であっても休眠せず成長を続けること、の 3つである。3) に関して、土壌が完全に乾いた状態では 2.2.1 項で述べる静電容量センシングによる接触位置推定の精度が著しく低下することが定性的にはあるが予備実験で確認できたため、土壌は湿った状態が好ましい。しかし、一般的な観葉植物は気温が低くなると活動が鈍くなり休眠期に入る品種も多く、休眠期ではほとんど水を必要としなくなる（水やりをしすぎると根腐れの原因となる）ため、土壌が常に乾いた状態となりやすい。カポックは寒さに強いことから室内での生育の場合は冬の間であっても休眠期間に入らず、土壌が湿った状態でも根腐れしにくい。

スマート植木鉢を 3D プリンタ（Ultimaker, Ultimaker S5 Pro）より Poly-Lactic Acid 樹脂（Ultimaker, Tough PLA）で形成し、底面に制御回路を内蔵する。制御回路を主にマイクロコントローラ（Espressif Systems, ESP32-DevKitC）、静電容量センシング回路、および振動アクチュエーション回路から構成する。

前報 [3] と同様に、振動アクチュエーション回路ではマイクロコントローラ内蔵のデジタル・アナログ・コンバー

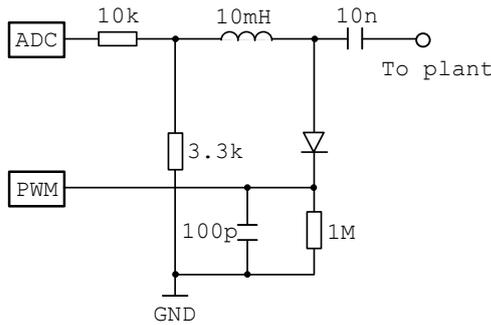


図 2: 静電容量センシング回路図

タ (DAC) より触感デバイス体感モジュール (ビット・トレード・ワン, ADTEDCY) を駆動する. 本モジュールは主に D 級アンプ (Diode, PAM8012) および振動子 (フォスター電機, ACOUSTICAPTIC 639897) から構成される. 振動子を土壤深さ約 3 cm で植物の茎と約 1 cm 離れた場所に固定する.

図 2 に示すように, 静電容量センシング回路をスイッチングダイオード (Renesas, 1SS270A-E), 抵抗器, コンデンサ, インダクタ, および電極から構成する. 本回路をマイクロコントローラ内蔵のパルス幅変調 (PWM) 出力端子および 12 bit のアナログ・デジタル・コンバータ (ADC) に接続する. 電極を土壤中深さ約 4.5 cm に固定する.

2.2.1 静電容量センシング技術

静電容量センシングには [4, 5] の手法を採用する¹. 本手法では, アクティブに広範囲の周波数帯域をもつ交流信号を物体に印加して, 物体を通過して返ってくる信号の強度を計測する. 例えば, 電極と接している導電性のある土壤や植物に導電性のある人体が接触すると, 接触部位等に応じて周波数に対する ADC の計測値に特定のパターン (周波数応答パターン) が観察される.

本システムでは, マイクロコントローラは 5 kHz から 500 kHz まで 5 kHz ずつ増加する 100 段階の周波数の PWM 信号を静電容量センシング回路に出力する. 同時に, 静電容量センシング回路からの出力を ADC より計測する. 接触部位 (葉, 茎, 土) に対する周波数応答パターンを識別するモデルを事前に学習させ, 新しくパターンが与えられた際にモデルに基づいて接触部位を推定する. 一方で, 我々の予備実験の結果, 周波数応答パターンは接触部位だけでなく土壤水分量に影響を受ける傾向が観察された. 土壤水分量は日常的に変化するため, この影響を検証することは重要であると考えられる.

3. 実験

本実験では, 土壤水分量が静電容量センシング回路の出力に及ぼす影響に関する知見を得ることを目的とする.

¹<https://github.com/Illutron/AdvancedTouchSensing.git> (最終閲覧日 2024/07/18)

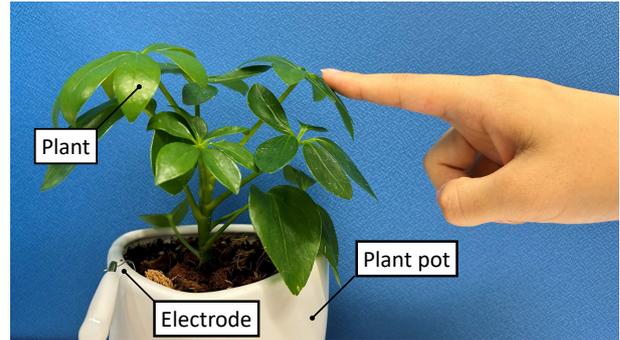


図 3: 土壤水分量が静電容量センシング回路の出力に及ぼす影響の検証の様子

3.1 システム

実験システムを植物, 土壤, 植木鉢, マイクロコントローラ, 静電容量センシング回路, およびホストコンピュータにより構成した. 植物, 土壤, マイクロコントローラおよび静電容量センシング回路は 2.2 節と同様である. 植木鉢は絶縁体である陶器製のものを採用した. 図 3 に示すとおり, 実験システムを机に配置した. ホストコンピュータをマイクロコントローラとシリアル通信させ, 各周波数に対する ADC の計測値の受信, 記録を行った.

3.2 設計

植物の接触部位として葉, 茎, および土壤に対照条件として非接触を加えた 4 水準を設定した. 土壤水分量を乾燥状態, 中間状態, および湿潤状態の 3 水準を設定した. 接触はすべて右手の人差し指で行い, 対象の接触部位以外に触れずに実験を行えるような葉と茎の部位を選定した. 植木鉢の鉢底穴をふさいで, 水を土壤表面までしっかり浸るように加えた状態を湿潤状態とした. 湿潤状態から鉢底穴を開放して気温約 27 °C, 湿度約 50%の室内に 2 日間放置した状態を中間状態とした. 中間状態からさらに 4 日間同様の部屋に放置した状態を乾燥状態とした.

3.3 手続き

本実験には 1 名が同意のもと参加した. 参加者に実験者が指定した接触部位に右手の人差し指の指腹全体で触れるように指示した. 1 つの接触部位について 10 回の計測を行った. この手続きを土壤水分量 3 水準に対して行った.

3.4 結果・考察

湿潤状態, 中間状態, および乾燥状態の実験結果をそれぞれ図 4 の A, B, および C に示す. 土壤水分量に関して, 湿潤状態や中間状態と比べて乾燥状態で全体的に ADC の計測値が小さくなる傾向が観られた. 一方で, 湿潤状態と中間状態では比較的大きな差は観られなかった.

いずれの土壤水分量のときも接触部位に応じた周波数応答パターンが観察された. 以上は先行研究 [5] と同様に, 本静電容量センシング回路においても接触部位を推定可能であることを示唆する. 予備的に各接触部位における ADC の計測値のピーク値およびその周波数を学習させた簡易的な

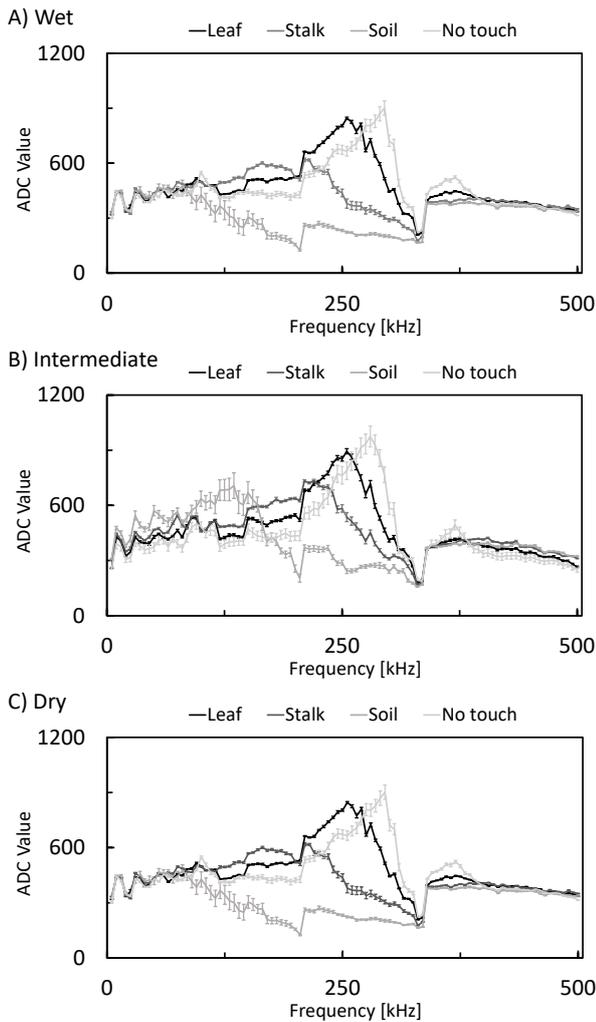


図 4: 静電容量センシングの出力の ADC 計測値：横軸および縦軸はそれぞれ周波数および ADC 計測値の平均値を示す。エラーバーは標準誤差を示す。A, B, および C はそれぞれ湿潤状態, 中間状態, および乾燥状態を示す。

モデルで接触部位の推定を行ったところ, 4 水準を判別可能であることを定性的に確認した。一方で, 乾燥状態においては本モデルの精度が低くなる傾向が観られた。

図 4 のすべての結果より, 400 kHz 以下では接触部位に対する特徴的な周波数応答パターンが観られた一方で, 400 kHz 以上の周波数応答パターンには特徴が観られなかった。以上は触部位の推定において効果的な特徴量となるのは 400 kHz 以下の周波数帯域であることを示唆する。

4. おわりに

本稿では, 人と植物の物理的接触による肯定的な心理・生理効果の活用を目指し, 人と植物との接触の機会を創出する電子ペットアプリの設計について報告した。前報 [3] のス

マート植木鉢にスマートフォン等の外部端末との通信機能の追加に加え, 接触位置の推定を可能とする静電容量センシング技術 [4, 5] の実装を行った。土壌水分量が本センシング技術におよぼす影響を検証し, 特に土壌が乾燥している際に観察される周波数応答パターンの変化が小さくなることを確認した。簡易な機械学習モデルによる接触部位推定を検証したところ, 土壌が乾燥しているときは精度が低くなるものの 4 つの接触部位を推定可能であることを定性的に確認した。

今後の方針として以下の 3 つが考えられる。1 つ目は本システムをスマートフォンのアプリケーションと連携させることである。本稿で述べたアプリケーションの設計に基づいて実装を進めていくと同時に, ユーザにとって魅力的なキャラクターのデザインやユーザインタフェースの仕様についても検討を進める。2 つ目は接触部位推定のための最適な機械学習モデルの選定である。本稿では簡易的なモデルを使用した, より高精度な接触部位の推定が可能なモデルを探索する。3 つ目は本手法の有効性を検証するユーザスタディの実施である。本手法によって, ユーザと植物の接触の機会を創出することができるか, また肯定的な心理・生理効果が生じるかを検証する。

参考文献

- [1] Kazuko Koga, Yutaka Iwasaki: Psychological and physiological effect in humans of touching plant foliage-using the semantic differential method and cerebral activity as indicators, *Journal of physiological anthropology*, Vol. 32, pp. 1–9, 2013.
- [2] Sun Jin Jeong, and Jeong Seob Song, and Wan Soon Kim, and Dong Woo Lee, and Hyoung Deug Kim, and Kwang Jin Kim, and Eun Ha Yoo, and Jung Gun Cho: Evaluation of selected foliage plants for improvement of indoor humidity, *Horticulture Environment and Biotechnology*, Vol. 49, pp. 439–446, 2008.
- [3] 林海歩, 蜂須拓: 人と植物の物理的接触を拡張するシステム: システムの試作と接触検知・触覚刺激機能の基礎評価, 日本バーチャルリアリティ学会ハプティクス研究会第 31 回研究会, pp. 11–14, 2023.
- [4] Munehiko Sato, Ivan Poupyrev, and Chris Harrison: Touché: enhancing touch interaction on humans, screens, liquids, and everyday objects, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 483–492, 2012.
- [5] Ivan Poupyrev, Philipp Schoessler, Jonas Loh, and Munehiko Sato: *Botanicus Interacticus: interactive plants technology*, *ACM SIGGRAPH 2012 Emerging Technologies*, pp. 1, 2012.