

ソライロアサガオの花色の变化によるインタラクティブな フラワードームの制作と花色の変化量の調査

栗原 渉¹⁾(学生会員) 韓 旭¹⁾(非会員) 串山 久美子¹⁾(正会員)

1) 東京都立大学システムデザイン研究科

Creating A Interactive Flower Dome Using The Color of Morning Glory and Investigating Amount of Color Change of Flowers

Wataru Kurihara¹⁾ Xu Han¹⁾ Kumiko Kushiyama¹⁾

1) Graduate School of Systems Design, Tokyo Metropolitan University

19964604 @ ed.tmu.ac.jp

概要

コンピュータの発達により植物を用いたシステムについての研究が多く行われてきたが、植物の魅力の1つである花に着目したものは多くない。そこで、本研究では花色が変化する特徴を持つソライロアサガオに着目し、二酸化炭素を添加することでソライロアサガオの花色が変化するインタラクティブなフラワードームを制作した。また、一般にソライロアサガオの花色が変化することは知られているものの、変化に必要な条件について調査はされていなかった。そのため、本稿ではソライロアサガオの花色が変化する条件の調査と検討も行った。その結果、容量約900mlの容器に対して100ml/10秒の二酸化炭素を1分間および2分間添加し、前者は3分間、後者は1分間待機することで花色が赤く変化することがわかった。また、変化後約20分間待機することで花色が青色に戻っていくこともわかった。加えて、色差の比較により、変化させた赤色の状態、変化させた青色の状態の区別が可能であることが示された。

Abstract

The development of computers has led to much research on plant-based systems. But not many have focused on flowers, one of the most fascinating aspects of plants. In this study, we focused on the morning glory, which has the characteristic of changing flower color, and created an interactive flower dome that changes the flower color of the morning glory when carbon dioxide is added. Although it is generally known that the flower color of morning glory changes, the conditions necessary for the change have not been investigated. Therefore, in this paper, investigated and examined the conditions under which the flower color of morning glory changes too. The results showed that the addition of 100 ml/10 s of carbon dioxide to a container of approximately 900 ml capacity for one minute and two minutes, and waiting for three minutes for the former and one minute for the latter, caused the flower color to change to red. It was also found that the flower color returned to blue after waiting approximately 20 minutes after the change. In addition, comparison of the color differences showed that it is possible to distinguish between the altered red state and the altered blue state.

1 はじめに

コンピュータの発達により植物を介したインタラクティブなエンタテインメントとして楽しむ研究や生きた植物そのものを制御する研究が多く行われてきた。しかし、これまでに開発された植物を用いたシステムの多くは植物の成長による茎の長さ、または葉や枝を動作させることに着目しているものが多数であり、茎や葉、枝以外に植物の魅力の1つである花を用いたものは多くない。花はその形状や色が楽しまれているが、花の形状や色をインタラクティブに変化させることで状態の変化の移り変わりや美しさ、初めてこの現象を体験する人は不思議さを楽しむことが可能となる。

そこで、本研究における先行研究 [1] では花色が変化の特徴を持つソライロアサガオに着目し、ソライロアサガオの花色が変化するインタラクティブなフラワードームを制作した。しかし、先行研究ではソライロアサガオの花色が変化する条件について検討していなかった。本稿ではソライロアサガオの花色が変化するインタラクティブなフラワードームの制作とソライロアサガオの花色が変化する条件の調査と検討について報告する。

2 関連研究

これまで、植物とコンピュータを用いた研究が多くされてきた。それぞれについて述べる。

2.1 植物を用いたシステム

これまで多くの植物を用いたシステムが開発されてきた。Interactive Plant Growing[2] や Botanicus Interacticus[3] は実物の植物に触れることでインタラクションが行われるインスタレーション作品である。このように、植物は水分を含んでおり電気を通しやすいことからインスタレーション作品においてタッチセンサとして用いられてきた。

また、植物を糸やモータといった外部装置で動作させる事例として Potpet[4] や flona[5], Grassfitti[6] がある。Potpet や flona は植物を動作させることでユーザーに愛着を持たせることやユーザ・植物間のコミュニケーションを促し、Grassfitti では芝生を用いたパブリックアートの制作が可能である。

タンポポの冠毛を帯電させて上下させる生きた冠毛 [7] やハオルチアという植物に下から LED の光を当て、

葉を透過した光を楽しむことが可能なシステム [8] も存在する。これらはタンポポの冠毛が浮遊することやハオルチアの葉が光を通しやすいといった植物の種固有の特徴を用いたシステムである。

また、植物を用いたディスプレイについても多く提案されている。植物を用いたシステムの開発環境である I/O Plant[9] の応用例である Plant Display[10] や木の成長によって情報を表現する Treeceable[11], カイワレダイコンの成長度合いを制御する PlanT[12] は植物の成長度合いを制御することで情報を表現するディスプレイである。加えて、MOSS-xels[13] は苔に水を含ませることで、松かさアクチュエータ [14] は松かさの湿気によって開閉する特性を利用したディスプレイである。これらのディスプレイは成長や水による植物の動作を用いており、情報の表現に時間がかかるため、ゆっくりとした情報提示が可能である利点と素早く提示することが困難であるという欠点がある。

一方、Botanical Puppet[15] や Cyborg botany[16], Plantxel[17] は枝や葉が素早く動作するオジギソウを用いることで、より早い情報提示が可能である。

2.2 花を用いたシステム

また、花を用いたシステムも提案されている。

生花ではないものの、花の形をしたゼリーを成型可能な Flower Jelly Printer[18] や花の開花の動きをメタファとした気配伝達装置 [19], 生け花の支援システムである CADo[20] がある。

また、tele-present wind[21] や Moving Flower Arrangement[22] は花にデバイスを取り付けることで動作させることが可能である。これらは動きによるものであるが、花においてもインタラクティブに変化する要素の必要性が検討されている。

Sensitivase[23] は切り花を染色することで情報を提示するシステムである。このシステムでは切り花が水と一緒に染色剤を吸い上げることで花色が染まる現象を利用している。素早く色を変化させることが可能である一方、脱色することは困難であり、一度変化した後は元の状態に戻すことができないという制約がある。

2.3 本研究の立ち位置

このように、植物を用いたシステムは多く存在する。また、花に着目したシステムも多いことから、花は我々ととても密接に関わっており、人々は花を身近に置くこ

とを望んでいると著者らは考える。しかし、花に着目したシステムの中でも花の色を用いたシステムは少ない。花の色を用いたものに Sensitivase があるが、変色前の色に戻すことが不可能であり、LED やアクチュエータのような元の色に戻すなどの表現に制約がある。

そこで、本研究の先行研究において花色の変化をインタフェースとして利用することを提案した [24]。その後、我々はソライロアサガオの変色に着目し、花色を青色から赤色、赤色から青色の両方に変化させることが可能であるインタラクティブなフラワードームを制作した [1]。本作品により、生花の色を変化させるシステムにおいて、変化した色を元の状態に戻すことが不可能であるという課題を解決可能であることが示された。しかし、これまでソライロアサガオの花の色を赤色へ変化させる条件や赤色へ変化した色を青色の状態に戻す条件、それぞれの色の変化度合いについては調査できていなかった。そこで、本稿では作品の制作と変化に必要な条件と花色の変化度合いについて調査し、報告する。

3 ソライロアサガオの変色

様々な色の花や紅葉など、植物と色は密接に関わっており、人々に愉しまれてきた。中でも紅葉は緑色の葉が黄色や赤色に変化し、変化前との差や進度によるグラデーションが魅力である。植物の色の変化として葉に変化が現れる紅葉が広く知られているが、花色が変化するものも存在する。スイフヨウは朝の開花時は白色であるが、時間の経過によりその日の夕方には赤色に変化する。アサガオも同様に朝は青色や紫色であるが、夕方には赤色に変化する。これらは老化による花卉中の酸性度の変化により色素であるアントシアニンが変色することによる現象であるといわれている。

本研究ではアサガオの中でも開花時は青色であり、気温が低い季節は夕方までその色を維持することが可能であるソライロアサガオ (西洋朝顔) に着目した。科学実験において、ソライロアサガオをドライアイスなどの二酸化炭素と袋や箱などの容器に密閉することで花卉の色を青色から赤色へ変化させる実験が行われている事例がある。また、この方法で赤色へ変化したソライロアサガオの花弁は密閉した容器から出して大気中に放置することで自身の力で青色へ戻る。

本研究ではこの現象に着目し、ソライロアサガオの花



図1 Coloring glory の外観

色に変化するフラワードームの作品制作と花色の変化度合いの調査を行った。

4 Coloring glory

Coloring glory はソライロアサガオの切り花の花色が変化するフラワードームである。外観を図1に示す。

フラワードームと二酸化炭素ボンベが耐圧チューブにより接続されている。フラワードームと二酸化炭素ボンベ間の電磁弁を開いてドーム内に二酸化炭素を送り込むことで観賞者が手を加えることなくソライロアサガオの花色が青色 (図1内①) から赤色 (図1内②) へと徐々に変化していく。また、もう1本の耐圧チューブが接続されており、その先にある真空ポンプによりドーム内の二酸化炭素をドーム外へ排出することで花色が赤色から青色 (図1内③) へと徐々に変化していく。

4.1 システム構成

筐体はガラスドームとアクリル製の台座で構成され、ソライロアサガオの切り花はカットした園芸用の給水スポンジに挿し、台座に置かれる。台座には二酸化炭素の吸入と排出を行うための耐圧チューブ (直径 6mm) を取り付けの穴が2つ空いている。片方のチューブの先には電磁弁と電磁弁付き二酸化炭素ポンペ、もう片方のチューブの先には真空ポンプが接続されている。これらを制御する基板は親基板と子基板に分けられ、親基板のマイクロコントローラには Arduino UNO を、子基板のマイクロコントローラには SparkFun 社の Pro Micro (5V 動作版) を用いた。親基板である Arduino UNO は MOS-FET を用いて二酸化炭素ポンペに元栓として付属している電磁弁を制御する。子基板においても MOS-FET を2つ実装し、フラワードーム側の電磁弁

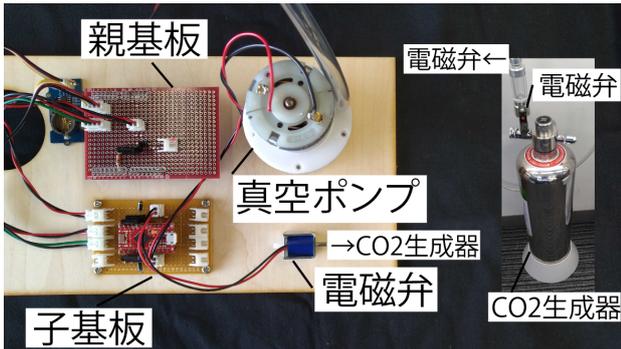


図2 制御システムの外観



図3 調査に用いた容器の外観

と真空ポンプを制御する。このように親基板で元栓を、子基板でドームの電磁弁を制御することで、複数のフラワードームを並べる場合も1つの二酸化炭素ポンプのみで個別にソライロアサガオの色を変化させることが可能である。親基板と子基板間はI2Cにより通信を行い、親基板で元栓の開閉、制御する子基板を指定する。指定された子基板は二酸化炭素の吸入のためにドーム側の電磁弁の開閉および排出のための真空ポンプを動作させる。親基板である Arduino UNO に RTC モジュールを接続することで、一定間隔ごとにドーム内の二酸化炭素の量を調整することが可能である。これにより、花色を変化させることが可能である。制御システムの外観を図2に示す。

5 調査

本作品ではドーム内への二酸化炭素の吸入量やソライロアサガオの色が変化したかの判断について主観で調整していた。本作品で用いたガラスドーム以外の容量を持つ容器でソライロアサガオを変化させる場合の指標とするため、花色を変化させるための条件を固定し、花色の変化度合いについて調査を行った。

5.1 調査に使用したシステム

調査に用いたシステムはフラワードームと同様である。作品において使用した市販のフラワードームは容量の計算が困難なため、ソライロアサガオや二酸化炭素を入れる容器はアクリル板で制作した。この容器は蓋部分とソライロアサガオを置くための下部から構成される。変化度合いを撮影するため、蓋は透明色のアクリル板、下部は光の影響を受けづらいマット黒色で構成される。容器の外観を図3に示す。

下部には給水用のビーカーを置いた。下部の天板の中心にはソライロアサガオの花を置くための直径 30mm の穴と二酸化炭素の出し入れ用の耐圧チューブ用の穴を開けた。天板と蓋で閉じられた空間の容量は 901. 12ml である。可能な限り空気を漏れなくするため、下部の接着面と耐圧チューブの周辺はグルーガンを用いて補修した。蓋と下部は中身の交換のため完全に接着せず、テープで目張りを行った。なお、下部天板の中心の穴についてはソライロアサガオの花弁はとても薄く破れやすいため密閉のための処置をしていない。そのため、容器は厳密に密閉はされていないが、完全密閉することはそもそも不可能であり、実際に使用する際も密閉できないため考慮しない。また、容器内の二酸化炭素濃度を測定するため、二酸化炭素センサ (CCS811) をソライロアサガオの花の下に設置した。

5.2 調査手順

ソライロアサガオの花色の変化度合いを測定するため、指定した時間ごとの花全体の RGB 値を取得した。花色の RGB 値を取得するため、容器の上部から動画を撮影し、動画編集ソフトである Premiere Pro を用いて測定の実像を書き出した。書き出した実像を写真編集ソフトである Photoshop を用いて花の部分のみ切り抜き、透過 PNG 形式の実像として書き出した。切り抜き前と後を比較した図を図4に示す。書き出された花の実像を Processing を用いて各ピクセルの RGB 値を抽出し、全ピクセルの RGB 値の平均をその時間の花の色とした。この方法で抽出したピクセル数は上から見た花の面積の大きさによって異なるものの、すべての条件を含めて一番小さいものでも約 14 万ピクセル、大きいもので約 27 万ピクセルであった。なお、容器の蓋を外すことで青色



図4 画像の切り抜き前後の比較

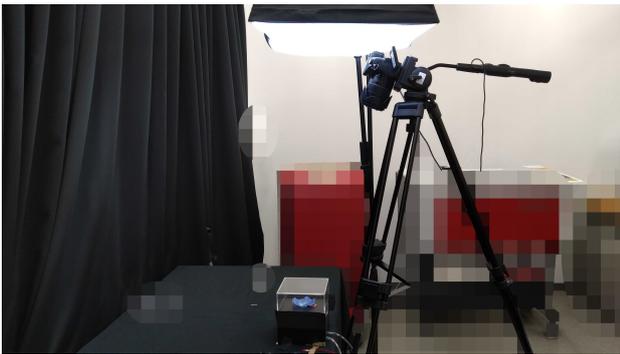


図5 調査に使用した環境 (調査と無関係な器具は画像加工)

へ戻ってしまう可能性があることから、撮影はすべて蓋をしたまま行った。そのため、本調査において取得した花の色は透明色のアクリル板を透過したものである。

5.3 調査条件

5.3.1 ドーム内への二酸化炭素の吸入量

二酸化炭素を用いてソライロアサガオの花色を変化させる科学実験は従来より行われていたものの、具体的な条件については特に指定されていない。以下の2点から、ドーム内に吸入する二酸化炭素の量は約 100ml/10秒に固定し、添加時間を調査の条件とした。

- 二酸化炭素の量についての明確な指標がないこと
- 空気の量を計測する機材が一般的でなく、著者が水上置換法により目測で調整する必要があるため、多量の計測が困難なこと

また、本システムで用いている真空ポンプは定格電圧 24V の時に 13.0LPM の送出力が可能である。

5.3.2 調査に使用した環境

調査に使用した環境を図5に示す。動画の撮影には Panasonic 社の DMC-GH4H を用いた。F 値は 5.6, ISO は 2500 に設定し、ホワイトバランスは x-rite 社の

ColorChecker パスポートビデオ (msccppvc) のホワイトバランスターゲットを用いて設定した。部屋の照明は消灯し、カスタム社のデジタル照度計 (LX-105) を用いて 0lux になることを確認し、容器を置いたテーブルの上部から LPL 社のライトバンク (LB-45S) を用いて照らした。ライトバンクの照明には LB-45S 付属のスパイラル蛍光灯 (色温度 6500K) を使用し、ライトバンクの下面は容器の上面から 70cm の高さであった。この際、透明色アクリルの蓋に反射することを避けるためソフトボックスライトの中心をカメラ側にずらした。この時の照度は蓋の上面の中心が 347lux であった。ソライロアサガオは夕方には自然と赤くなり萎んでしまうことから、花の鮮度をそれぞれ可能な限り同じ状態に近づけるために調査時間は 9時から 13時とした。

5.3.3 花の準備

ソライロアサガオの花は一般に生花店などで入手することはできないため、花苗を大学内で栽培した。主観で明らかに大きいものや小さいものは除き、花卉が破れているなど著しく損傷していない個体を毎調査前に 1個体ずつ合計 20個体採集した。

また、ソライロアサガオの花は必ずしも正円ではなく、花卉が破れやすいことから複雑な計測も現実的ではないため、直径や面積を固定することはほぼ不可能である。このことから、上から見て最も長い場所の直径を測定し、これを花の大きさとした。調査の条件ごとの最も長い場所の直径の最小値と最大値の差は 20mm に収まった。

5.4 赤色への変化時の時間ごとの変化度合いの調査

ソライロアサガオを青色から赤色へ変色させる際に必要な時間とその変化度合いを測定した。時間条件は以下の理由から二酸化炭素の添加時間を 1分間と 2分間の条件とした。

- 添加時間を増やすことで変化の大きさが大きくなるか
- 添加時間を増やすことで変化時間が早くなるか
- 添加時間を増やすことで赤い状態を維持可能であるか

それぞれ添加終了時から 10分間何もせずに 1分ごとの変化を測定した。実験には異なる 10個体を用意し、それぞれの条件につき 5個体を用いた。

5.5 青色への変化時の時間ごとの変化度合いの調査

赤色から青色に変色させる際に必要な時間と変化度合いについても測定を行なった。時間条件は添加開始から4分後、3分後の2条件で調査を行った。この時間は赤色へ変化させる調査の結果から定められており、添加時間1分間と2分間にそれぞれ赤色への変化に必要な待機時間の平均である3分と1分を加えた時間である。なお、1分間添加した場合に必要な待機時間の平均は約2±1分(小数点以下四捨五入)であった。添加終了から2分間で最も赤く変化した場合でも添加終了から3分後の値はほとんど変わらなかったことから、ばらつきにより2分間では赤く変化しきらないことを考慮し、待機時間を3分間と設定した。それらの時間を排出開始時間として30分間真空ポンプを用いて空気を排出し、1分ごとの変化を測定した。この実験にも赤色への変化度合いの測定に用いていない異なる10個体を用意し、それぞれの条件につき5個体を用いた。

5.6 変化を認識可能かどうかについての調査

赤色および青色への変化度合いの調査から得られた花色の色差を許容色差 [25] の基準に参照した結果、以下の可能性が示された。それぞれの変化度合いの調査結果と色差の算出については7にて述べる。

- 初期状態と最も赤い状態は別の色として認識する
- 最も赤い状態と添加終了から10分後の状態は経時比較(順番に見比べた場合)では同じ色として認識する
- 最も赤い状態と添加終了から10分後の状態は離間比較(並べて見比べた場合)では違う色として認識する
- 初期状態と添加終了から10分後の状態は別の色として認識する
- 最も赤い状態と赤色に変化後最も青い状態は別の色として認識する
- 初期状態と赤色に変化後最も青い状態は経時比較(順番に見比べた場合)では同じ色として認識する
- 初期状態と赤色に変化後最も青い状態は離間比較(並べて見比べた場合)では違う色として認識する

しかし、人間は変化に気付きにくい、変化盲と呼ばれる現象が知られている。そのため、変化している様子を見続けた際にその変化に気付かない可能性がある。そこ

で、実際にソライロアサガオの色の変化に気付くことが可能であるのか、変化度合いの調査時に撮影した動画を用いて主観評価を行った。加えて、許容色差では5.6の各状態を認識することが可能であることが示されているが、実際に人間の目で見て同様の結果が得られるかについても画像を用いて主観評価を行った。本実験に参加する際に、本研究についての事前知識から花の色が変化するという先入観を排除するため、本研究の内容を知らない20~22歳の男性2名、女性4名に行った。各実験はそれぞれ1名ずつ行った。

5.6.1 調査に使用した環境

調査は0luxの暗室にて行った。動画の再生にはタブレット端末(11インチiPad Pro(第3世代))を用いた。

5.6.2 調査手順

調査手順は以下である。

1. 調査の概要の説明
2. 動画条件
3. 画像条件
4. アンケートの記入

まず、実験参加者に調査の概要を説明する。その後、変化盲の影響を調査するため、動画条件の実験を行う。動画条件の終了後、許容色差通りにソライロアサガオの花の色の変化を認識することが可能であるか調査するため、画像条件に移る。なお、画像条件を先に行うことで実験参加者が動画の花の色が変化することに気付かないよう、動画条件を先に行うこととする。最後に、年齢と性別、実験中に見た花がアサガオであることに気付いたか、アサガオの花の色が変化することを知っていたか、その他感想についてアンケートの記入をする。

5.6.3 動画条件

実験参加者に手順を説明し、赤色および青色への変化度合いの調査時に撮影したソライロアサガオの花の色が変化する動画をタブレット端末で閲覧する。動画条件の手順の概要は以下である。動画条件の手順の詳細は付録Aに示す。

1. 概要を説明する
2. 動画を再生してもらう
3. 実験参加者が動画を止めた場合、動画の再生時間を記録し、何に気付いたか答えてもらう

4. 花の色の変化について回答が得られた場合は施行 2 に移る
5. 花の色の変化についての回答でなかった場合は再度再生し、再度止めて花の色の変化についての回答が得られるまで継続する
6. 動画の最後まで色についての回答が得られなかった場合、施行 2 に移る

動画条件において、赤色への変化条件と青色への変化条件の 2 つの条件で施行する。赤色への変化条件と青色への変化条件にそれぞれ 1 個体の動画を用意し、各条件につき 1 本、合計 2 本分の動画を閲覧する。なお、順序効果を考慮し、赤色への変化条件と青色への変化条件の施行順序は事前に実験実施者が乱数を用いて決定する。

変化が遅いものの方が気づきにくいと考えられるため、赤色への変化条件には 1 分間添加した場合の個体で最も赤くなるまでに 3 分必要であった個体を、青色への変化条件には 2 分間添加した場合の個体で最も青くなるまでに 28 分必要であった個体を選択した。これは、それぞれ花の色の変化が他の個体と比較して遅かったものである。

また、動画には容器の外側が映らないようにトリミングしたものを用いた。加えて、二酸化炭素が入る音や真空ポンプの音に影響されないよう、動画は無音にした。花の大きさは実際の花の大きさである約 10cm となるようにスケールを調節した。

5.6.4 画像条件

実験参加者に手順を説明し、赤色および青色への変化度合いの調査時に撮影し、RGB 値の調査のためにソライロアサガオの花を切り抜き、背景を黒色にした画像をタブレット端末で閲覧する。画像条件の手順の概要は以下である。画像条件の手順の詳細は付録 B に示す。

1. 概要を説明する
2. 画像を 2 枚閲覧してもらい、2 枚が同じ色か答えてもらう
3. 再度同じ画像を閲覧してもらい、それぞれについてどちらかというとき赤色、どちらかというとき青色のどちらに感じたか答えてもらう
4. 合計 8 施行分繰り返す

画像条件において、以下の条件で施行する。

条件① 初期状態と最も赤い状態の経時比較

条件② 最も赤い状態と添加終了から 10 分後の状態の経時比較

条件③ 最も赤い状態と添加終了から 10 分後の状態の離間比較

条件④ 初期状態と添加終了から 10 分後の状態の経時比較

条件⑤ 初期状態と添加終了から 10 分後の状態の離間比較

条件⑥ 最も赤い状態と赤色に変化後最も青い状態の経時比較

条件⑦ 赤色に変化後最も青い状態と初期状態の経時比較

条件⑧ 赤色に変化後最も青い状態と初期状態の離間比較

1 条件につき 1 個体の変化前後の画像を用意し、2 回画像を見せる。1 回目は 2 枚の画像が同じ色と感じたかを答えてもらい、2 回目はそれぞれ何色と感じたかを答えてもらう。これを 1 施行とし、8 条件分の合計 8 施行行う。経時比較の場合に先に表示する画像を画像 A、後に表示する画像を画像 B とし、離間比較の場合に左に表示する画像を画像 A、右に表示する画像を画像 B とする。なお、施行の順番にのみ順序効果を考慮し、各条件の施行順序は事前に実験実施者が乱数を用いて決定する。

使用した画像は動画条件で用いた個体のものである。画像の表示にはプレゼンテーションソフトを用いた。経時比較の場合は 1 スライドに 1 枚ずつ、離間比較の場合は 1 スライドに 2 枚の画像を表示した。また、経時比較の場合は黒い空白のスライド、画像 A、黒い空白のスライド、画像 B の順に 5 秒ずつ自動再生で表示した。離間比較の場合は黒い空白のスライド、画像 A と画像 B、黒い空白のスライドの順に 5 秒ずつ自動再生で表示した。

許容色差における経時比較および離間比較の条件についての定義が著者らの調査において見つけられなかったため、経時比較の際に実験参加者が画像を閲覧できる時間および画像 A と画像 B の間は 5 秒間とした。これは、実験実施者の主観において、どのような色か判断できずに画像が切り替わることがなく、前の画像を忘れないかつ時間が経ったと感じた時間である。離間比較の際は花と花の間隔を約 3cm になるように配置した。これは、ソ

ライロアサガオを用いたマトリクスディスプレイのようなシステムを実装した場合、容器の蓋の厚みや花の大きさの個体差による余白を考慮した上で十分に起こり得る距離と推測される。

また、花の大きさは約 8cm となるように画像のサイズを調節した。これは、動画と同じ大きさである 10cm では離間比較する際に花同士の間隔を含めた大きさがタブレット端末のディスプレイの横幅いっぱいと同じ大きさになってしまい、画像を配置することが困難であったためである。実験に用いた花の大きさの範囲内であるため、結果への影響はないと考えられる。

5.6.5 アンケート

最後に、実験参加者の属性や感想を調査するために紙のアンケートを行う。アンケート項目については付録 D に示す。年齢・性別に加え、動画の花がアサガオであると自身で気付いたか、アサガオの花の色が変化することを事前に知っているかを問う。これは、概要説明では説明していないものの、動画の花がアサガオであり、アサガオは花の色が変化することを事前知識として持っていることで動画条件において予め予測を立てることで変化に気付きやすい可能性があるためである。また、最後に自由記述の感想を記入してもらう。

6 調査結果

青色から赤色へ、赤色から青色へ変化させるために必要な時間と変化度合いについての調査の結果について述べる。

変化度合いについては RGB 値および $L^*a^*b^*$ 値の両方で分析したが、明度を示す L 値はほとんど変化しなかった。また、 a^* 値・ b^* 値ともに RGB 値と同様の傾向を示したことから RGB 値の結果についてのみ述べる。 $L^*a^*b^*$ 色空間における各値の変化のグラフを付録 C の図 C.1 に示す。

6.1 赤色へ変化させた時の時間ごとの変化度合い

赤色へ変化させた際に二酸化炭素を 1 分間添加した場合の RGB 値の変化のグラフを図 6、2 分間添加した場合のグラフを図 7 に示す。グラフ中のエラーバーは標準偏差を示している。どちらの場合も添加開始時から R の値が大きく上昇したが、1 分間添加したものは添加終了から平均で約 2 ± 1 分 (小数点以下四捨五入)、2 分間添加したものは添加終了から約 1 ± 0 分 (小数点以下四捨

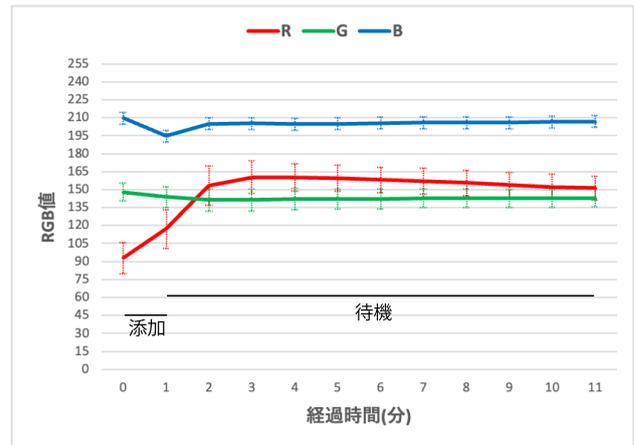


図 6 1 分間添加して赤色に変化させた場合の時間ごとの RGB 値の平均値

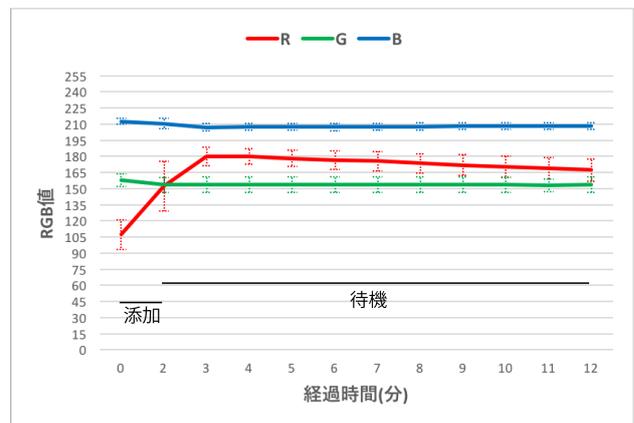


図 7 2 分間添加して赤色に変化させた場合の時間ごとの RGB 値の平均値

五入) で R の値が測定された最も高い数値を示した。また、初期状態と最も赤い状態の R 値の差は 1 分間添加した場合には約 69 ± 2 (小数点以下四捨五入)、2 分間添加した場合には約 73 ± 6 (小数点以下四捨五入) であった。R の値が測定された最も高い値に達した後、どちらの条件においても徐々に R の値が下降した。また、G や B の値については R の値ほど大きな変化はしなかった。

6.2 青色へ変化させた時の時間ごとの変化度合い

赤色から青色へ変化させた際に二酸化炭素の添加開始から 4 分後 (1 分間添加と 3 分間待機) から真空ポンプで排出した場合の RGB 値の変化のグラフを図 8、3 分後 (2 分間添加と 1 分間待機) から排出した場合のグラフを図 9 に示す。どちらの場合も添加時間と待機時間が終了した最も赤いタイミング (排出開始時間、図 9 は 4 分・

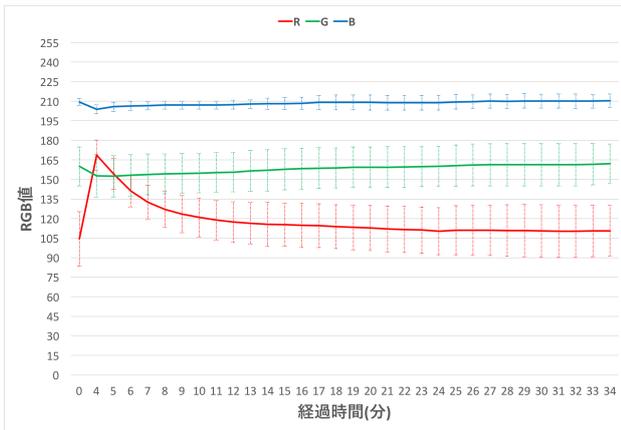


図 8 1 分間添加後青色に変化させた場合の RGB 値の平均値

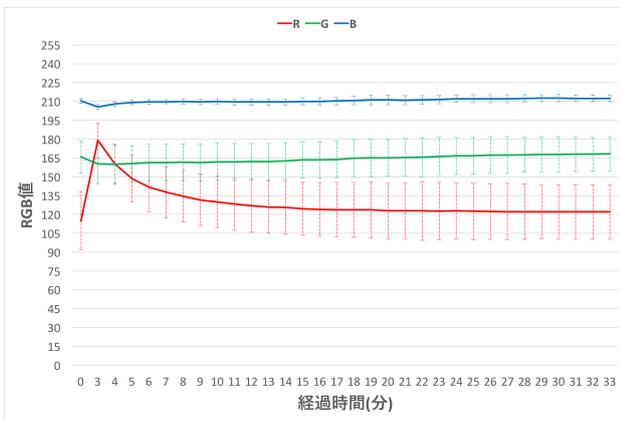


図 9 2 分間添加後青色に変化させた場合の RGB 値の平均値

図 10 は 3 分) から R の値が減少し、横ばいになったが、変化前の初期値に戻ることはなかった。また、指定時間ごとの全ピクセルの R の値の平均値が最初に最も低くなるまでの時間は 1 分間添加した場合では平均で約 21 ± 4 分 (小数点以下四捨五入), 2 分間添加した場合は平均で約 22 ± 6 分 (小数点以下四捨五入) であった。

6.3 変化を認識可能かどうかについての調査

動画条件の結果を表 1 に示す。

赤色への変化条件の正答率は 83% であったが、先に施行した場合の正答率は 67% であった。青色への変化条件の正答率は 50% であったものの、先に施行した場合の正答率は 0% であった。

赤色への変化条件における正答者の変化に気付くまでの時間は 1 分 31 秒、先に施行した場合の正答者の変化に気付くまでの時間は 1 分 39 秒であった。青色への変化条件では正答者の変化に気付くまでの時間は 1 分 36 秒であった。先に施行した場合は正答者がいなかった

め、算出していない。

また、画像条件の結果を表 2 に示す。

2 枚の画像を同じ色と回答したかどうかについては、条件⑧を除いて色差式通りの結果である片方に回答が偏った。また、経時比較において後に、離間比較において右側に表示した画像 B が何色に見えたかについては、条件②③④⑤における添加終了から 10 分後の状態の回答にバラつきが見られた。もう一方の画像 A についても条件⑧を除いて片方に回答が偏った。

条件①初期状態と最も赤い状態の経時比較では全員が違う色と回答した上で、画像 A の初期状態を青色、画像 B の最も赤い状態を赤色と回答した。

条件②③最も赤い状態と添加終了から 10 分後の状態では経時比較の場合、83% の実験参加者が画像 A と画像 B を同じ色と回答した。しかし、画像 B として表示した添加終了から 10 分後の状態を経時比較では 67% の実験参加者が青色であると回答した。離間比較の場合、83% の実験参加者が画像 AB 両者を違う色と回答し、同数が画像 B を青色であると回答した。

条件④⑤初期状態と添加終了から 10 分後の状態では経時比較と離間比較どちらも全員が違う色であると回答した。しかし、画像 B に表示した添加終了から 10 分後の状態を経時比較では 67%、離間比較では 50% の実験参加者が青色であると回答した。

条件⑥最も赤い状態と赤色に変化後最も青い状態の経時比較では全員が違う色であり、赤色に変化後最も青い状態は青色であると回答した。

条件⑦赤色に変化後最も青い状態と初期状態の経時比較では全員が同じ色であり、赤色に変化後最も青い状態を青色であると回答した。一方、条件⑧の離間比較では 33% の実験参加者が違う色と回答し、赤色に変化後最も青い状態を赤色であると回答した。

7 議論

7.1 赤色への時間ごとの変化度合いの調査

調査の結果、二酸化炭素を 1 分間添加した場合は平均約 2 分間の待機後に最も R の値が大きくなり、2 分間添加した場合は平均約 1 分間の待機後に最も R の値が大きくなった。さらに、どちらの条件でも G の値および B の値はほとんど変化がみられなかった。このことから、二酸化炭素を 1 分間添加する場合は約 2 分間、2

表1 動画条件の結果

条件	正答率	先に施行時の正答率	正答者の平均時間	先に施行時の正答者の平均時間
赤色への変化	83%	67%	1分31秒	1分39秒
青色への変化	50%	0%	1分36秒	-

表2 画像条件の結果

条件	同じと回答した人数 (%)	違うと回答した人数 (%)	Aを赤と回答した人数 (%)	Aを青と回答した人数 (%)	Bを赤と回答した人数 (%)	Bを青と回答した人数 (%)
条件①	0%	100%	0%	100%	0%	100%
条件②	83%	17%	83%	17%	33%	67%
条件③	17%	83%	100%	0%	17%	83%
条件④	0%	100%	0%	100%	33%	67%
条件⑤	0%	100%	0%	100%	50%	50%
条件⑥	0%	100%	100%	0%	0%	100%
条件⑦	100%	0%	0%	100%	0%	100%
条件⑧	67%	33%	33%	67%	0%	100%

分間添加する場合には約1分間の待機時間を設けることで最も赤くなりやすことがわかった。

平均では1分間添加した場合と2分間添加した場合、どちらも添加と待機を含めた合計時間は変わらなかった。しかし、1分間添加した場合は最も赤くなるまでの時間にばらつきがあった。

また、1分間添加した場合における添加終了から3分で最も赤くなった個体の添加終了から2分時点のR値と添加終了から3分時点のR値の差は最大で6と大きな違いはなかった。

どちらの条件においても初期状態と最も赤い状態のR値の差は約70であった。ばらつきも少ないことから、変化の大きさについての個体差は少なく、初期状態の色の個体差によって変化後の色の差が生まれていることが示された。

また、最も赤くなった状態からは徐々にRの値は減少した。これは容器が密閉しきれていないことで二酸化炭素の濃度が減少したためであると考えられる。

また、L*a*b*色空間における変化を確認した結果、明度を示すL*値はほとんど変化せず、a*値およびb*値はRGB値と似た変化を示したことから他の色空間においても同様の結果が得られると考えられる。

また、それぞれの状態が色の見分けに十分であるか検

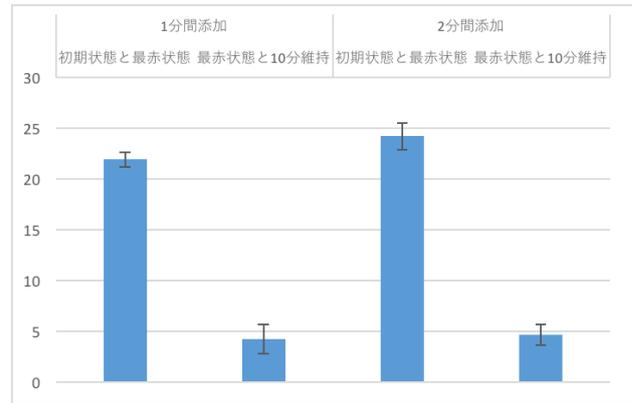


図10 青色から赤色に変化させた場合の色差

討するため、1分間添加と2分間添加それぞれの条件における初期状態と最も赤い状態(最赤状態)、最も赤い状態(最赤状態)と添加終了から10分後の色差の平均値の比較を図10に示す。

色差の計算の際にはRGB値をL*a*b*値に変換し、色差式にはCIE76を用いた。2つの色(L_1^*, a_1^*, b_1^*)と(L_2^*, a_2^*, b_2^*)の色差(ΔE_{ab}^*)の計算式は以下である。

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2}$$

初期状態と最も赤い状態のRGB値の平均の色差は1分間添加した場合、2分間添加した場合ともに20を超え

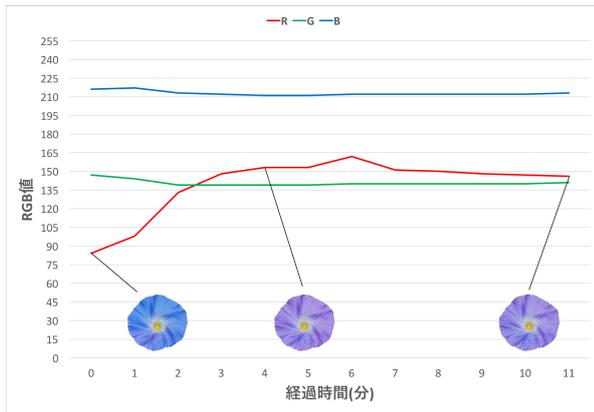


図 11 1 分間添加して青色から赤色に変化させた場合のタイムライン

た。許容色差 [25] は色差が 20 以上で”色名レベルの色の管理”とされているため、初期状態と赤色の状態の差は十分認識可能であるといえる。

また、赤色の状態と添加終了から 10 分後の色差は 1 分間添加した場合、2 分間添加した場合ともに平均で 5.0 を下回った。許容色差では色差 5.0 で”経時比較した場合に、ほぼ同一と認める事ができる”(1 つずつ交互に見比べた場合に同じ色と判断できる) となっており、添加終了した時点から添加終了から 10 分後までは同一の色と判断可能であると考えられる。一方、マトリクスディスプレイのような複数並べて使用するような場面においては”離間して判定した場合に、ほぼ同一と認める事ができる”(離して見比べた場合に同じ色と判断できる) 色差である 2.5 を超えており、同じ色を意図している最も赤い状態と変化後維持している状態の違いがわかってしまう可能性がある。しかし、個体差により赤い状態の色同士も異なっており、初期状態である青色とは別の色名であると判断されることから青色か赤色の 2 値であるという前提の上では影響は小さいと考えられる。

ある個体の RGB 値の変化と初期状態、最も赤い状態、添加終了から 10 分後の各時点を対応させたタイムラインを図 11 に示す。

実際に図 11 における各状態を目視で確認したところ、初期状態と最も赤い状態と初期状態と添加終了から 10 分後の状態は異なる色と判断することができた。また、添加終了から 10 分後の状態は初期状態よりも最も赤い状態に近いと判断できた。

このように、本手法と条件を用いることで、ソライロ

アサガオの花色を青色から赤色に変化させることが可能であること、最も赤い状態から約 8 分間は人の目で見て赤色と判別可能である可能性が示された。また、1 分間添加する場合も 2 分間添加する場合も青色から赤色への変化に必要な合計時間や変化度合い、赤色の状態を維持可能な時間に大きな差はないことがわかった。しかし、1 分間添加した場合には最も赤くなるまでの時間にばらつきが存在し、2 分間添加した場合にはばらつきがなかった。このことから、ソライロアサガオの花色を赤色に変化させる上ではどちらの条件でも大きな差はないが、本条件においては二酸化炭素を 2 分間添加することで最も赤くなるタイミングを予測しやすいためそちらが適していると考えられる。また、二酸化炭素の送出量を減らすことで中間色の表現が可能であると考えられる。加えて、二酸化炭素の時間ごとの送出量を増やすことでより早く、濃度を高くすることでより赤く変化する可能性がある。

7.2 青色への時間ごとの変化度合いの調査

調査の結果、1 分間添加した場合は最も赤い状態から平均で約 22 ± 3 分 (小数点以下四捨五入)、2 分間添加した場合には平均約 22 ± 6 分 (小数点以下四捨五入) で R の値が最初に最も低くなることがわかった。加えて、どちらの場合も 30 分間二酸化炭素を排出しても初期状態と同じ色には戻らないこともわかった。

また、1 分間添加した場合と 2 分間添加した場合のそれぞれにおいて、20 分より早く R の平均値が最も低くなり、その後 R・G・B の値が 5 から 7 程度の範囲で上昇する個体が 2 つずつあった。このことから、他の個体でも 30 分以上排出を続けることで R の値が下がった後に再度 G や B の値とともに上昇し、再度 R の値が下がり初期状態に戻っていくような変化をする可能性がある。また、L*a*b*色空間における変化も確認した。その結果、赤色への変化と同様に明度を示す L*値はほぼ変化せず、a*値と b*値は RGB 値と似た変化を示したことから他の色空間においても同様の結果が得られると考えられる。

2 分添加した場合 (図 9) については偏差が大きく、個体差の影響が特に大きいものと考えられる。実際に、色素が他の個体と比べて特に薄い個体が 1 つ (図 12 内右上) あり、その影響によるものであると考えられる。

それぞれの条件における最も赤い状態 (最赤状態) と

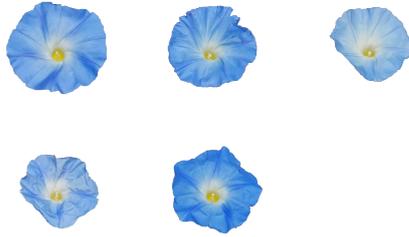


図 12 調査した個体の比較

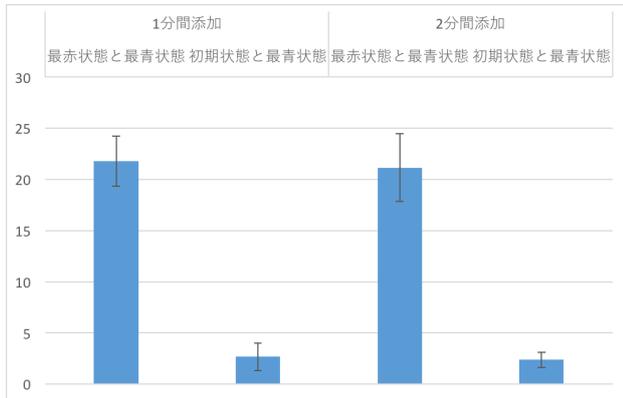


図 13 赤色から青色に変化させた場合の色差

赤色に変化後最も青い状態 (最青状態), 初期状態と赤色に変化後最も青い状態 (最青状態) 状態の色差の平均値の比較を図 13 に示す。

最も赤い状態と赤色に変化後最も青い状態の色差は 1 分間添加した場合, 2 分間添加した場合ともに平均 20 を超えたことから, 赤色に変色させた時と同様に別の色として認識されると考えられる。また, 赤色に変化後最も青い状態と変化前の初期状態の色差は 1 分間添加した場合, 2 分間添加した場合どちらも平均 5 を下回った。赤色に変化させた時と同様に, 変化後最も青い状態と初期状態を経時比較した場合には同じ色と判断されるが離間して並べた場合には異なる色であると認識されると考えられる。こちらについても, 表現される色は青か赤の 2 通りである前提の上では赤色との判別が可能なので十分であるといえる。

ある個体の RGB 値の変化と初期状態, 最も赤い状態, 添加終了から 10 分後の各時点に対応させたタイムラインを図 14 に示す。

実際に図 14 の花の画像を目視で確認したところ, 最も赤い状態と赤色に変化後最も青い状態は異なる色, 赤

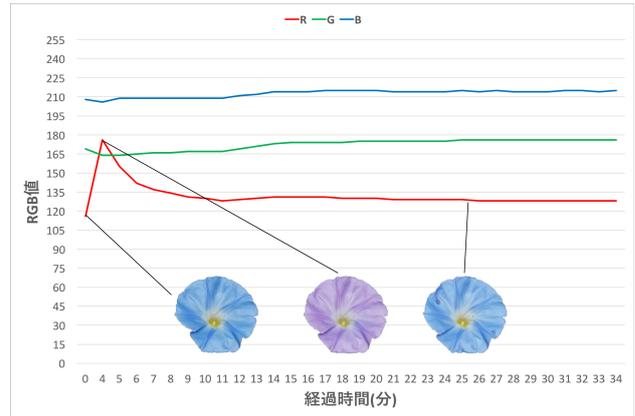


図 14 1 分間添加後赤色から青色に変化させた場合のタイムライン

色に変化後最も青い状態と初期状態は同じ色と判断することができた。

このように, 本手法と条件を用いることで, 赤色に変化させたソライロアサガオの花色を青色に変化させることとその判別が可能である。また, 1 分間添加する場合も 2 分間添加する場合も青色への変化度合いに大きな違いはみられなかったが, 1 分間添加する場合は青色から赤色への変化時間が 3 分程度短くなる可能性が示された。そのため, 赤色から青色への変化時間を重視する場合は 1 分間の添加が適していると考えられる。

加えて, 本調査において使用したものより多く二酸化炭素を排出可能なポンプを使用することでより素早く青色に変化させることが可能であると考えられる。

7.3 変化を認識可能かどうかについての調査

動画を用いたソライロアサガオの花の色の変化を認識可能かどうかについての調査の結果, 赤色へ変化した場合の認識率は 83%, 青色へ変化した場合の認識率は 50% であった。しかし, 1 本目に見た動画が赤色へ変化した場合の認識率は 67%, 青色へ変化した場合の認識率は 0% であった。このことから, 2 本目に青色へ変化する動画を見る場合では 1 本目の経験から答えやすかったためであり, ソライロアサガオの花色が赤色から青色へ変化することに気付くことは困難であることが示された。1 本目に青色から赤色へ変化する動画を見た場合の認識率は 67% であったものの, 正答できなかった実験参加者 1 名から実験終了後に「色が変わっていることには気付いていたが, 花が萎れた方が気になった。」という発言があった。この実験参加者を含めることで認識率は 100%

となり、赤色へ変化する場合は変化に気付くことが容易であると考えられる。

1 本目に青色から赤色へ変化する動画を見た時の正答者の変化に気付くまでの平均時間は1分39秒であった。これは添加終了から約30秒後であり、変化が終了するよりも早く、変化途中に気付くことが可能であることが示された。

また、何に気付いたかについての回答で、著者らが赤色を意図した色について、赤と答えた実験参加者が33.3%、ピンクと答えた実験参加者が33.3%、紫と答えた実験参加者が33.3%いた。このことから、本稿ではピンク色や紫色のアサガオが一般に赤色と呼ばれることから赤色と呼んでいるが、一般的な赤色とは他の色として認識される可能性がある。

以上のことから、事前知識なくソライロアサガオの花の色が赤色から青色へ変化する様子を見た場合、変化に気付けない可能性が示された。これを利用し、ソライロアサガオの実物を用いたアハ体験のようなコンテンツへ応用することが可能であると考えられる。一方、青色から赤色への変化、変化することがわかっている場合ではどちらの条件においても気付くことが出来ると考えられる。そのため、事前知識がない場合では青色から赤色への変化を使用する、または事前に花色が変化することを共有することでディスプレイなどへも応用することが可能であると考えられる。

画像を用いて初期状態、最も赤い状態、添加終了から10分維持した状態、赤色に変化後最も青い状態の各状態を見分けられるかの調査の結果、2つの花の色が同じか違うかどうかと感じたかの項目については許容色差の基準と同様の結果が得られた。調査から得られた結果を以下に示す。

- 初期状態と最も赤い状態は違う色として認識される
- 最も赤い状態と添加終了から10分後の状態は経時比較では同じ色として認識される
- 最も赤い状態と添加終了から10分後の状態は離間比較では違う色として認識されるが、添加終了から10分後の状態は青色として認識される
- 初期状態と添加終了から10分後の状態は経時比較でも離間比較でも違う色として認識され、添加終了から10分後の状態の色は個人により判断が分か

れる

- 最も赤い状態と赤色に変化後最も青い状態は違う色として認識される
- 赤色に変化後最も青い状態と初期状態は経時比較では同じ色として認識される
- 赤色に変化後最も青い状態と初期状態は離間比較では個人により違う色として認識される

最も赤い状態と添加終了から10分維持した状態における離間比較について、著者らは添加終了から10分維持した状態は「最も赤い状態とは違う色」と認識しつつも初期状態との色差が大きいことから赤色と判断されると推測していた。しかし、赤色と青色どちらと感じたかについての項目では、83%の実験参加者から青色と判断されることがわかった。このことから、色差の上では最も赤い状態から約8分間は赤色と判断されると考えられるが、人間の印象では維持することは達成できていないことが示された。

赤色に変化後最も青い状態と初期状態の離間比較についても、赤色に変化後最も青い状態は「初期状態とは違う色」として認識するが青色と判断されると推測していたが、33%が赤色であると答えた。このことから、色差の上では初期状態の色には戻っていないものの青色に戻すことが達成できたといえるが、全員が青色として認識可能ではないことが示された。

以上のことから、本手法を用いることで、1輪差のような離間比較をしない使用方法ではソライロアサガオの花の変化前後の色をユーザが認識することが可能であるといえる。一方、マトリクスディスプレイのような離間比較をされる使用方法では2つの花で同じ色を意図して表現していても違う色として認識される可能性がある。また、赤色を意図して表現していても青色として、青色を意図して表現していても赤色と認識されることがある。これらから、文字やパターンなどを表現する場合に観賞者が何が表示されているのかわからない可能性がある。そのため、制御手法や色を表現する際に青色や赤色と意図する判断基準の検討が必要である。

7.4 リミテーション

7.4.1 変化度合いの調査条件

本稿では、採取可能な花の量の制約があったこと、二酸化炭素の量を増やした場合の変化を重視したことか

ら、1分間の添加と2分間の添加の2条件の調査のみを行った。しかし、その他に30秒間や3分間などの条件も考えられる。特に30秒間のような二酸化炭素を減らした場合には変化の大きさや赤色になる早さ、赤色から青色に戻る速度が小さくなる可能性がある。そのため、今後調査が必要である。

7.4.2 本手法の応用への変化盲による影響

変化盲は変化するものを見ることと別のタスクがある場合に発生しやすいといわれている。本稿における変化盲の影響を調査する実験では変化する花の動画を見ることが唯一のタスクであったために気付くことが可能であったと考えられる。そのため、フラワードームのような花の観賞を目的とした場合には変化を認識しやすいが、アンビエントメディアのような別のタスクをしながら情報を提示するような使用方法では変化に気付かない可能性があるため、使用方法として適していないと考えられる。

7.4.3 変化の繰り返し

本研究では青色から赤色への変化、赤色から青色への変化をさせることが可能となった。しかし、繰り返しの変化が可能であるかについては調査されていない。作品として利用する場合、繰り返しの変化が可能であるかは重要なため、調査する必要がある。なお、調査として実施してはいないものの、実績として連続3往復は可能であることを確認している。

7.4.4 インタラクティブなフラワードームにおける表現

本研究において制作したインタラクティブなフラワードームにおいて、ソライロアサガオの花色の赤色と青色の中間色の表現が可能であると望ましいと考えている。しかし、本稿における条件では中間色の表現は達成できていない。フラワードーム内への二酸化炭素の添加時間を少なくすることで、より紫色のような中間色の表現が可能であると考えられる。

7.4.5 外観と環境

また、本手法はソライロアサガオの花を容器に入れ、二酸化炭素を充満させることで花色を変化させている。そのため、屋外に咲いている花を変化させることや従来の生け花など、密閉用の容器を用いない飾り方には不向きであるうえ、二酸化炭素を排出するため、密室のような場所での長期間の利用には適していない。

加えて、ソライロアサガオは夏のような気温の高い日

は夕方には自然と赤くなり、花が萎んでしまうため、夕方を含めた長時間の使用は困難である。さらに、花期は7月から11月ごろであり、利用可能な季節にも制限がある。

8 おわりに

本研究ではソライロアサガオの花色に変化するインタラクティブなフラワードームの制作とソライロアサガオの花色に変化する条件の調査と検討を行った。調査の結果、容量約900mlの容器に100ml/10秒の二酸化炭素を1分間および2分間添加することで、前者は約2分間、後者は約1分間待機することで花色が赤く変化することがわかった。また、変化後約20分間待機することで花色が青色に戻っていくこともわかった。さらに、その色差から体験者が十分に色の判別をすることが可能であることも示された。動画を用いた実験から、ソライロアサガオが青色から赤色へ変化する場合では変化に気付くことが可能であることがわかった。加えて、画像を用いた実験では許容色差通りに2つの花の色が同じ色であるかを判別することが可能であることがわかった。今後、ソライロアサガオを用いたマトリクスディスプレイやセンサを用いて体験者とのインタラクションを可能にした作品の制作を計画している。

参考文献

- [1] 栗原渉, 串山久美子. ソライロアサガオの花色制御によるインタラクティブなフラワードームの制作. *NICOGRAPH 2018 Short paper*, 11月2021.
- [2] Christa Sommerer and Laurent Mignonneau. Interactive plant growing. <http://www.interface.ufg.ac.at/christa-laurent/WORKS/FRAMES/TOPFRAMES/PlantsTop.html>. 参照:2016.12.1.
- [3] Ivan Poupyrev, Philipp Schoessler, Jonas Loh, and Munehiko Sato. *Botanicus Interacticus. ACM SIGGRAPH 2012 Emerging Technologies on - SIGGRAPH '12*, pp. 1–1, 2012.
- [4] Ayumi Kawakami, Koji Tsukada, Keisuke Kambara, and Itiro Siio. Potpet: Pet-like flowerpot robot. In *Proceedings of the Fifth International Conference on Tangible, Embedded, and Embod-*

- ied Interaction*, TEI '11, pp. 263–264, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [5] Furi Sawaki, Kentaro Yasu, and Masahiko Inami. Flona: Development of an interface that implements lifelike behaviors to a plant. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, Vol. 7624 LNCS, pp. 557–560, 2012.
- [6] Yuta Sugiura, Koki Toda, Takashi Kikuchi, Takayuki Hoshi, Youichi Kamiyama, Takeo Igarashi, and Masahiko Inami. Grassfiti: Drawing method to produce large-scale pictures on conventional grass fields. In *Proceedings of the Eleventh International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, TEI '17, p. 413–417, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery.
- [7] フラハティ陸, 橋田朋子. 生きた冠毛: 重力に抗う動きにより生命性が感じられるタンポポの冠毛群. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2020 論文集, pp. 69–74, 2020.
- [8] 栗原渉, 中野亜希人, 羽田久一. 多肉植物の観賞を支援するツールキットの提案. pp. 102–103, 8月 2015.
- [9] Satoshi Kuribayashi, Yusuke Sakamoto, and Hiroya Tanaka. I/O plant. In *CHI '07 extended abstracts on Human factors in computing systems - CHI '07*, p. 2537, 2007.
- [10] Satoshi Kuribayashi and Akira Wakita. Plantdisplay: Turning houseplants into ambient display. In *Proceedings of the 2006 ACM SIGCHI International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, ACE '06, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [11] 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. インタラクシオン 2019 論文集, pp. 238—239, 2019.
- [12] 上田将理, 伊藤雄一, 藤田和之, 尾上孝雄. Plant: 植物を用いた積算情報可視化ディスプレイ. インタラクシオン 2020 論文集, pp. 21—30, 2020.
- [13] Takaki Kimura and Yasuaki Kakehi. Mossxels: Slow changing pixels using the shape of *racomitrium canescens*. In *ACM SIGGRAPH 2014 Posters*, SIGGRAPH '14, New York, NY, USA, 2014. Association for Computing Machinery.
- [14] 田丸純太郎, 油井俊哉, 橋田朋子. ハイグロモーフを用いた松かさアクチュエータ. インタラクシオン 2018 論文集, pp. 557—560, 2018.
- [15] 栗原渉, 中野亜希人, 串山久美子, 羽田久一. Botanical Puppet: 電気刺激によるオジギソウの制御. 芸術科学会論文誌, Vol. 16, No. 4, pp. 110–117, 12月 2017.
- [16] Harpreet Sareen and Pattie Maes. Cyborg botany: Exploring in-planta cybernetic systems for interaction. In *Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '19, pp. LBW0237:1–LBW0237:6, New York, NY, USA, 2019. ACM.
- [17] Vito Gentile, Salvatore Sorce, Ivan Elhart, and Fabrizio Milazzo. Plantxel: Towards a plant-based controllable display. In *Proceedings of the 7th ACM International Symposium on Pervasive Displays*, PerDis '18, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery.
- [18] Mako Miyatake, Koya Narumi, Yuji Sekiya, and Yoshihiro Kawahara. Flower jelly printer: Slit injection printing for parametrically designed flower jelly. In *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '21, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
- [19] 加藤海木子, ソンヨンア, 佐藤康三. 花の開花の動きをメタファーとした人の気配伝達装置の基礎検討. インタラクシオン 2022 論文集, pp. 164—167, 2022.
- [20] 横窪安奈, 椎尾一郎. Cado: 身近な花材を利用した生け花支援システム. 情報処理学会論文誌, Vol. 55, No. 4, pp. 1246–1255, apr 2014.
- [21] David Bowen. Tele-Present Wind. *ACM SIGGRAPH 2011 Art Gallery on - SIGGRAPH '11*,

Vol. 44, No. 4, p. 358, 2011.

- [22] 村上莉沙, 大久保賢, 櫻井翔, 広田光一, 野嶋琢也. Moving Flower Arrangement : 動く生け花作品の制作とそのデザイン環境開発. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2018 論文集, pp. 264–266, 2018.
- [23] 蟻浪卓, 鈴木優. Sensitivase : 花の擬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. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2018 論文集, pp. 36–38, sep 2018.
- [24] 栗原渉, 串山久美子. 切り花の色を変化させる情報提示装置の提案と花材の検討. 研究報告エンタテインメントコンピューティング (EC), Vol. 2020-EC-55, No. 26, pp. 1–2, 2020.
- [25] 日本色彩学会編. 新編色彩科学ハンドブック. 東京大学出版, 東京, 1998.

栗原 渉



2019年東京都立大学大学院(旧, 首都大学東京)システムデザイン研究科博士前期課程修了. 現在, 同大学院博士後期課程在籍中. 修士(芸術工学). 植物の制御やインタラクションの研究に従事.

韓 旭



東京都立大学システムデザイン研究科特任助教. 2013年上海応用技術学院大学計算機科学与技術学科卒業, 2018年東京都立大学(旧: 首都大学東京)システムデザイン研究科博士前期課程修了, 2021年東京都立大学システムデザイン研究科博士後期課程修了. 博士(芸術工学). センサを取り付ける車いすをアニメーション・音と連携することで, 車いす利用者の運動を支援する研究をテーマに取り組んでいる.

串山 久美子



1984年筑波大学大学院芸術研究科修了. 株式会社グロースを起業後, JST さきがけ研究員, 東京農工大学客員教授へて 2006年より首都大学東京システムデザイン研究科教授. 博士(デザイン学). 日本バーチャルリアリティ

学会員, 情報処理学会員. 専門はインタラクティブアート, バーチャルリアリティ, 触視覚ディスプレイの開発と研究.

付録 A 動画条件の手順の詳細

施行1の最初に, 実験参加者に花の動画を閲覧することを伝える. 動画の再生方法を伝え, 花を自然に見つめるよう指示する. この際, 花から視線を逸らさないこと, 瞬きをせず無理に凝視する必要がないことも伝える. その後, 何か気付いたらことがあれば動画を止めて何に気付いたか回答してもらうよう指示する. 加えて, 回答時も花から視線を外さないように注意する. 施行1を開始し, 実験参加者が動画を止めた際に動画の再生時間を記録し, 何に気付いたか回答してもらう. 花の色についての回答であれば動画の再生時間を変化に気付いた時間とし, 施行2に移る. その他の回答であれば, 再度再生してもらい, 再び動画を止め, 花の色の変化についての回答が得られるまで施行1を継続する. また, 動画の最後まで再生しても花の色の変化についての回答が得られなかった場合, 施行2に移る. 施行2についても同様の手順で行う. 施行2の終了後, 画像条件へと移る.

付録 B 画像条件の手順の詳細

施行1の最初に, 実験参加者に2枚の花の画像を2回ずつ閲覧することを伝える. 1回目は2枚が同じ色か違う色か回答してもらうように, 2回目はそれぞれどちらかというとき赤色か, どちらかというとき青色のどちらに感じたか回答してもらうように指示する. また, 画像が表示される時間は5秒間であること, 画像の見直しは出来ないことも伝える. その後, 施行1から施行8まで行う. 施行8の終了後, アンケートへと移る.

付録 C L*a*b*値の変化のグラフ

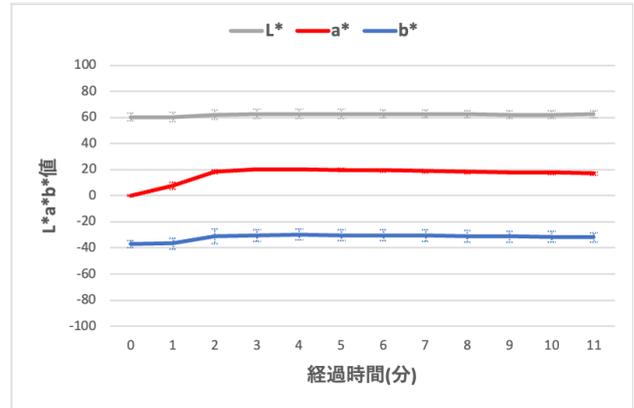


図 C.1 1分間添加して赤色に変化させた場合の時間ごとの L*a*b*値の平均値

付録 D アンケート項目

- 年齢
- 性別
- 花がアサガオだと気付いたか
- アサガオの花の色が変化することを知っていたか
- 感想 (自由記述)