

令和元年6月26日現在

機関番号：11302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K00960

研究課題名(和文) 拡張現実での体験を活用し植物学習の弱点を乗り越える

研究課題名(英文) Improvement of plant education by utilizing the experience of the augmented reality

研究代表者

岡 正明 (Oka, Masaaki)

宮城教育大学・教育学部・理事・副学長

研究者番号：50292355

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：植物学習における「植物に操作を与えてから結果を得るまでに長時間を要す」課題を解決するために、AR(拡張現実感)、プロジェクションマッピング、シミュレーションソフトウェア、精密な3DCG作成などの最新ICT技術、およびスマートグラス、3Dプリンタ、モーションキャプチャなどのICT機器を活用したICT教材を作成した。1) ARとプロジェクションマッピングを組み合わせた花壇設計手法、2) スマートグラスを使用して植物への操作を体験できるAR教材、3) 圃場での個体間距離と光利用効率の関係を体験的に学べるAR教材とシミュレーションソフトウェア、が代表的な成果である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

開発した多数のICT教材は新規性が高く、「植物成長に長時間を要する」「栽培の試行錯誤ができない」「植物栽培上の操作の有効性が把握しにくい」などの植物学習の課題を解決する上で非常に有効であり、2020年からの新しい学習指導要領の趣旨に適合した授業にも活用できる。本研究で用いた透過型スマートグラス、プロジェクションマッピングのための高輝度プロジェクター、3Dプリンタ、モーションキャプチャ装置などは、急速に普及しているタブレット端末と同様、近い将来、多くの教育現場に配置されると思われる。本研究の成果は、Society5.0時代の植物学習を支えるツールになると考えている。

研究成果の概要(英文)：To solve the problem that long time is necessary for plant learning, I developed the ICT teaching materials which utilized the latest ICT technologies such as AR (augmented reality), projection mapping, the exact 3DCG, simulation software, and the ICT apparatuses such as a smart glass, 3D printer, the motion capture.

1) The new techniques for flower bed design with combining technologies of projection mapping and AR
 2) The AR teaching materials and the simulation software which can learn the relationship between planting distance and efficiency of sunlight-use
 3) The AR teaching materials with smart glass which can experience the suitable plant management
 In addition, I made many other ICT teaching materials.

研究分野：栽培教育

キーワード：植物学習 ICT教材 拡張現実感 プロジェクションマッピング 3Dプリンタ シミュレーションソフトウェア

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

植物学習における「植物に操作を与えてから結果を得るまでに長時間を要す」課題を解決するには ICT 教材が有効であると考えられる。しかしながら、植物学習に関する従来の ICT 教材は、印刷物の情報に知識を追加する教材（たとえば、教科書にスマートフォンをかざすと教科書上のマーカーに画像・動画が表示される AR 教材）程度のものであった。PC 上で起動する植物図鑑なども同様である。市販ゲームソフトウエアの中には、植物を栽培し、与える条件（光量、施肥量など）により植物生育が異なる結果を示すものもあるが、科学的には明らかな誤りも含まれている。すなわち、生徒が植物に働きかける操作を行った際の結果を正確に体感できる教材は皆無であった。

2. 研究の目的

本研究では、最新の情報技術を活用し、植物学習の特徴であり弱点でもある「植物に操作を与えてから結果を得るまでに長時間を要す」「時間的制約から試行錯誤ができないことが多い」「植物内部構造がイメージしにくい」などの課題を乗り越えるための ICT 教材を開発する。従来の知識付与型の ICT 教材とは全く異なり、植物生理学・形態学、また栽培学などの知識ベースと植物形態モデルを組み合わせ、拡張現実における植物成長の観察、および生徒が植物に与えた操作の結果を即座に体感できる画期的な教材を提供する。

3. 研究の方法

本研究では、精密な植物 3DCG の製作、3DCG アニメーション、AR (拡張現実感)、VR (バーチャルリアリティ) やプロジェクションマッピングなどの ICT 技術の活用を通して、植物学習における上記の課題を解決する。また、農学研究用に開発したソフトウエアをもとに、栽培方法と光合成量との関係を理解するための教材ソフトウエアを作成する。さらに、スマートグラス、3D プリンタやモーションキャプチャ機器などの最新 ICT 機器を活用した授業プログラムを提案する。これらの教材の一部を中学校で試行し、開発教材の教育効果を検証する。なお、AR システムを開発するベースとして、平面 (二次元) マーカーを使用したシステムでは「AR Tool Kit」を、自然物・立体マーカーを使用したシステムでは「Unity」「Vuforia」を用いている。

4. 研究成果

(1)AR とプロジェクションマッピングを組み合わせた花壇設計技術の開発

プロジェクションマッピングと AR 手法を組み合わせ、壁面に配置した AR マーカー上に草花 3DCG を表示させる手法を開発した。草花の種類毎に異なる AR マーカーを用意し、壁面にそれらを並べることで、多種類の草花 (植物体 3DCG) から構成される花壇を立体表示することができる。生徒は AR マーカーを動かしながら、試行錯誤を繰り返し、自分たちの望む花壇を設計することができる。

「だまし絵」手法を利用して、プロジェクションマッピングの投射方向 (液晶プロジェクタの光方向) と直角でない床面に草花 3DCG を投影し、それぞれの個体がその場に直立しているように見せる AR システムを開発した。(図 1、この図は AR を適用せずに床面に 3DCG を投影したプロジェクションマッピング) と同様、AR マーカーを動かしながら立体的に表示された花壇を肉眼で確認することができる教材である。花壇設計や園場設計は、小学校・中学校の栽培活動で頻繁に行われる活動であるが、従来の紙 (平面) 上の設計図作成とは全く異なり、立体的な花壇 3DCG の配置をリアルタイムで操作しながら設計を進められる画期的な手法である。



図 1 床面へのプロジェクションマッピング

(2)植物内部の構造を立体的に観察できる教材の開発

自然界における植物形状は立体 (三次元) であるにもかかわらず、教科書や図鑑に示されている図は平面 (二次元) である。本科研費対象研究以前から取り組んできたプロジェクションマッピングを用いた教材「樹木の樹皮の違いを立体観察できる図鑑システム」について、樹木の種類を増やすなど改良を加えた。また、新たな教材として、茎と根で形状・配置の異なる植物道管について、水が流れる道管の 3DCG アニメーションを円筒に投影し、生徒がその違いを立体的に認識できるプロジェクションマッピング教材を作成した。

(3)AR 観察を容易にするスマートグラスの適用、多様な AR マーカーの試行、精密な 3DCG 作成

AR システムを実行する際、一般的には PC と小型カメラ、あるいはノート PC と付属カメラのセットを使用するが、対象物体 (AR マーカー位置) とディスプレイの方向が異なり、マーカーの移動と AR 表示した 3DCG との関連が捉えにくい。透過型スマートグラスを使用することにより、マーカーを移動させながら AR 表示した 3DCG を確認することが容易であることを見だし、教育現場での AR 教材を実施する際にはスマートグラスの適用が有効であると考えた。

手のひらの筋 (手相) を AR マーカーとした個人識別手法を作成し、生徒個人に対応する異

なる植物体 3DCG を透過型スマートグラスで観察するシステムを開発した(図2)。

一般的な印刷マーカ―だけでなく、三次元の自然物も AR マーカ―として利用できるソフトウェアを用いて、植物の種類によって異なる球根の形状をマーカ―として、成長した植物形 3DCG を球根(出芽前)と重ねて表示させる AR システムを作成した。

一般的な AR システムは平面の AR マーカ―上に 3DCG を表示させる手法であり、3DCG を多様な方向から観察することができないという欠点があった。植物体 3DCG を側面から、また下から観察する必要があることから、立方体それぞれの面に模様を描いた立体マーカ―を作成し、マーカ―である立方体を回転させることにより、3DCG の裏側も容易に観察できる手法を作成した(図3)。

観察対象となりうる精密な植物体 3DCG を作成するためには、3DCG 作成ソフトウェアを用いて時間をかけて設計することが必要であった。果実のような比較的単純な形状の物体については、対象物を周囲から撮影した多数の画像を元に立体構造を再構築するソフトウェア「Agisoft Photo Scan」を用いることにより、3DCG の精度が大幅に向上すること、製作時間を縮小できることを実証した。



図2 手相をマーカ―とした個別 AR 表示



図3 立体マーカ―を用いた AR (上下2面に対応した表示)



図4 環境条件と植物生育の関係を学ぶ AR 教材(雨天時)

(4)AR 手法を用いた植物の栽培管理操作を学ぶシミュレーション教材の開発

AR 手法を用いて植物の成長を観察するシステムとして、タブレット上に AR マーカ―を表示させ、作成しておいた生育段階毎の植物体 3DCG (幼苗~成長~開花)を表示マーカ―の変化に合わせて表示することにより、透過型スマートグラスを装着した生徒が生育段階毎の植物の特徴を観察できる AR 教材を作成した。

ヒマワリを対象植物とし、生育段階毎の植物体 3DCG、および肥料不足、土壌水分不足、病気(べと病) 過湿障害(土壌水分過多による生育不良) 開花後の老化、などの植物体 3DCG を作成し、生育各段階で土壌乾燥、多雨、病気などが発生した際に管理操作を行った場合、行わなかった場合のその後の植物生育を観察できる AR システムを開発した。学習者がゲーム形式で、栽培操作・環境条件と植物成長との関係を理解できる教材である(図4)。

(5)植物形・栽植間隔と光合成速度の関係を理解させる AR システムとソフトウェア教材の開発

床面を圃場と見立て、植え付け間隔を表示する方眼紙を敷き、植物を植え付ける位置に複数の AR マーカ―を置く。ディスプレイを通して、各マーカ―上に植物体 3DCG (草高 1.5m 程度のトウモロコシ)を表示し、隣接個体との重なり程度を肉眼で確認することができる AR システムを開発した。植物間隔が近すぎると隣接個体との光の奪い合い(相互遮蔽)が発生して個体光合成が低下し、広すぎるとノータッチ光ロス(地面に直接届いて光合成に利用されない光)が増加して群落の土地面積あたり光合成量が低下することを直感的に理解することができる教材である(図5)。

農学研究用に開発したソフトウェア「受光量シミュレータ」をもとに、中学生でも手軽に使用できる教材用ソフトウェアを作成した。学校の植物教材としても多用され、また品種により植物形が大きく異なるイネを対象とし、「品種」「生育段階」「栽植間隔(条間距離、個体間距離)」を選択することにより、3DCG でイネ群落が表示され、かつ評価対象の中央個体について、直達光があたっている葉の部分(旺盛な光合成が行われている部分) 他の葉や他の個体の陰になっている葉の部分(光合成有効波長が届かず光合成速度が低い部分)が色別に示され、全葉面積に対する直達光照射の葉面積割合を計算するソフトウェアである。ソフトウェアのコードに手を加える必要が無く、メニューを選択することで簡単に操作でき、植物の植え付け間隔が近すぎる場合は光合成効率が低下する(相互遮蔽が増大する)ことを数値的に理解できる教材である(図6)。

(6)植物管理作業時における動作を評価するシステムの開発

植物管理作業において、正しい姿勢（動作）で行うことは、労力の効率化、また安全性の面からも重要である。モーションキャプチャ装置 Kinect を用いて、作業時の人間の多数の関節位置の動きを把握し解析することで、作業時の動作を評価するシステムを開発した。草刈り鎌を用いた除草作業を想定し、Kinect を用いて鎌を振る動作データを取得し、作業者の動作の特徴を定量的に計測・評価するシステムである。

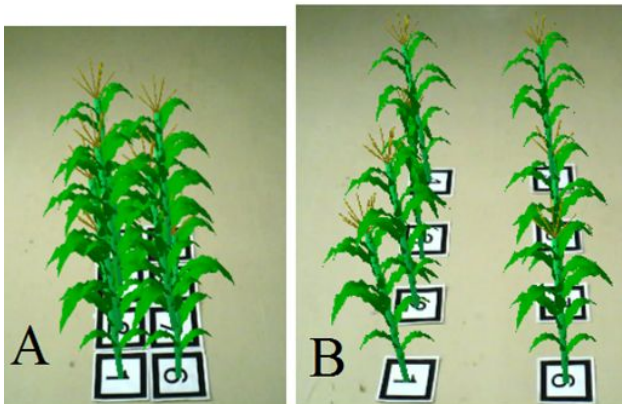


図5 トウモロコシ畑の栽植間隔と光利用効率の関係を肉眼で把握する AR 教材

(7)3D プリンタを活用した植物栽培の授業の提案

生徒に植物生育に最適な環境を考案・実験・評価させる試みとして、3D プリンタを用いて多様な形状の栽培ポットを作成する授業を提案した。教育現場において、ポットを用いて植物栽培をする際、過度の灌水による植物枯死が多発することを踏まえ、排水性の良い特徴を有する栽培ポットの製作を目標とした。生徒が 3DCG 作成ソフトウェアを用いてオリジナル栽培ポットを設計し、複数のポットに均一な条件で土を詰めて排水実験を行い、その結果をもとにさらに性能の高いポットを設計するというループを通して最適化されたポットを最終的に選抜し、植物栽培に供する授業である。教員養成大学の授業において実施し、最適化したポットが植物生育にも適することを実証している。また、植物を栽培する水耕装置の設計・製作についても、3D プリンタを用いた同様な授業が可能であることを確認している。

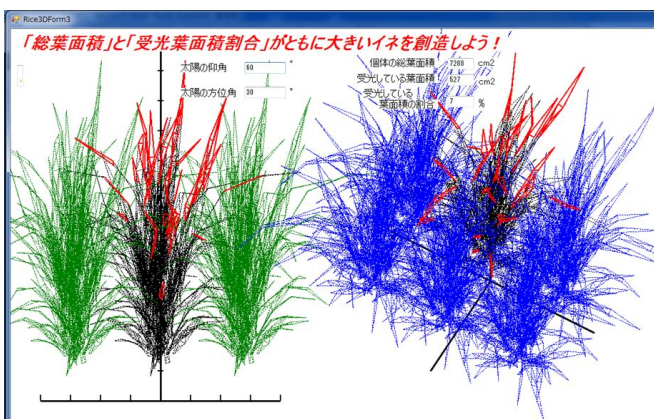


図6 水田における直達光があたる葉の割合を定量的に解析するための教材ソフトウェア

(8)教育現場における ICT 教材の教育効果に関する検証

開発した ICT 教材のうち、透過型スマートグラスとタブレット（AR マーカー表示）を用いた植物観察 AR システムを用いた授業を、宮城県 N 市の中学校にて実践した。2 年生 115 人に対し、AR 手法の概要説明の後、グループ毎にこのシステムを使ってもらい、ICT 技術、プログラミング、ICT を用いた植物観察、などについてのアンケートを行った。多数の生徒が「AR などの ICT 技術、スマートグラスなどの機器に興味を持った」「植物観察に ICT 技術が活用できることがわかった」との感想を持ったことがわかり、「AR など高度なシステムもプログラミングが可能である」ことを理解した生徒も多いことが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

喜多 瑠、岡 正明、3D プリンタによる栽培ポット製作、宮城教育大学技術科研究報告、第十八巻、pp.24-25、査読無（2016）

本橋勇樹、岡 正明、マイクロソフト Kinect を用いた人体動作の把握、宮城教育大学技術科研究報、第十八巻、pp.22-23、査読無（2016）

〔学会発表〕(計 24 件)

會田有夏、岡 正明、3D プリンタを用いて水耕容器を製作する授業の実践、日本産業技術教育学会第 61 回全国大会(2018/08/26)

鈴木達朗、岡 正明、立体マーカーを用いた精密な果実 3DCG の AR 表示、日本産業技術教育学会第 61 回全国大会(2018/08/26)

川崎雅恵、佐藤光顕、會田有夏、岡 正明、畑作物の適正な栽植間隔を視覚的に認識するた

めの AR 教材、日本産業技術教育学会第 60 回全国大会(2017/08/26)

岡 正明、喜多 瑠、生物育成における工夫・創造(4) 3D プリンタで製作した排水性の異なる栽培ポットを用いた栽培比較実験、日本産業技術教育学会第 60 回全国大会(2017/08/26)

會田有夏、内海紘典、岡 正明、3D プリンタで製作した新規水耕容器を用いた葉菜類の栽培、日本産業技術教育学会第 60 回全国大会(2017/08/27)

川崎雅恵、内海紘典、岡 正明、生物育成における対話的学びを可能とする PC アプリケーションの開発、日本産業技術教育学会第 60 回全国大会(2017/08/27)

川崎雅恵、佐藤光顕、岡 正明、畑作物の適正な相互遮蔽を理解するための AR 教材、第 34 回日本産業技術教育学会東北支部大会(2016/11/27)

高橋祐大、岡 正明、タブレット状のマーカ切り替えによる植物生長過程の AR 表示、第 34 回日本産業技術教育学会東北支部大会(2016/11/27)

佐藤光顕、岡 正明、AR による床面への立体的な植物体 3DCG の投影、第 34 回日本産業技術教育学会東北支部大会(2016/11/27)

會田有夏、浅井将史、岡 正明、3D プリンタを用いた新規水耕容器の試作、第 34 回日本産業技術教育学会東北支部大会(2016/11/27)

佐藤光顕、岡 正明、プロジェクションマッピングと AR を組み合わせた花壇設計手法の提案、日本産業技術教育学会第 59 回全国大会 (2016/08/28)

高橋祐大、岡 正明、手相をマーカーとして個人識別した手の上に植物を映し出す AR とスマートグラスを通じた観察、日本産業技術教育学会第 59 回全国大会 (2016/08/28)

岡 正明、3D スキャナと 3D プリンタを用いた作物形状情報の保存と活用、日本産業技術教育学会第 59 回全国大会 (2016/08/28)

本橋勇樹、名嶋 優、岡 正明、Kinect を用いた鎌振り動作の解析 - 初心者の動作と指導後の動作の比較 -、日本産業技術教育学会第 59 回全国大会 (2016/08/28)

久保沢達哉、佐藤光顕、岡 正明、茎と根の道管の形状・配置の違いを立体的に認識できるプロジェクションマッピング、日本産業技術教育学会第 59 回全国大会 (2016/08/28)

喜多 瑠、高橋祐大、岡 正明、生物育成における工夫・創造(3) 3D プリンタで製作した栽培ポットの排水性検証と作物栽培への連結、日本産業技術教育学会第 59 回全国大会 (2016/08/28)

本橋勇樹、岡 正明、Kinect を用いた初心者鎌振り動作の比較、第 33 回日本産業技術教育学会東北支部大会 (2015/12/06)

岡 正明、3D スキャナ・3D プリンタを用いた教材作物形状情報の記録と活用、第 33 回日本産業技術教育学会東北支部大会 (2015/12/06)

喜多 瑠、岡 正明、3D プリンタで製作した新規栽培ポットの排水性比較、第 33 回日本産業技術教育学会東北支部大会 (2015/12/06)

久保沢達哉、岡 正明、茎と根の道管の違いを示すプロジェクションマッピング、第 33 回日本産業技術教育学会東北支部大会 (2015/12/06)

②1 岡 正明、生物育成における工夫・創造(2) - ソフトウエア「イネ受光量シミュレータ」を用いた作物個体と群落の設計 -、日本産業技術教育学会第 58 回全国大会 (2015/08/22)

②2 喜多 瑠、岡 正明、生物育成における工夫・創造(1) - 3D プリンタを用いた多様な栽培ポットの製作、日本産業技術教育学会第 58 回全国大会 (2015/08/23)

②3 本橋勇樹、津田拓真、岡 正明、Kinect を用いた農機具使用動作の特徴抽出、日本産業技術教育学会第 58 回全国大会 (2015/08/23)

②4 相場公旗、久保沢達哉、岡 正明、プロジェクションマッピングを用いた立体的な樹皮模様図鑑、日本産業技術教育学会第 58 回全国大会 (2015/08/23)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等：なし

6. 研究組織

研究代表者が、研究の全てを実施した。

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。