

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 4 月 16 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21380161

研究課題名（和文）高品質畑作栽培のためのセンサシステム技術の確立

研究課題名（英文）Establishment of the sensor system technology for farming cultivation of high quality

研究代表者

亀岡 孝治（KAMEOKA TAKAHARU）

三重大学・大学院生物資源学研究科・教授

研究者番号：90177600

研究成果の概要（和文）：栽培環境条件などを圃場で空間的かつ経時的に計測するためのセンサネットワークを研究すると共に、センサネットワークの計測データとカメラからの画像データを統合的に配信するセンサステーションを設計し、配信データをサーバ上で分かりやすく表現する web アプリケーションを構築した。また、ステレオカメラセンサネットワーク、農作物の葉面の熱画像計測、高精細画像撮像装置を用いた農産物の色彩計測などの基礎研究を行った。

研究成果の概要（英文）：We studied a sensor network to measure the cultivation environment in a farm spatially. We newly designed the sensor station which consolidates the measured data transported by the sensor network and the image data taken by a digital camera. Web application was also designed to express these delivery data on the web clearly. In addition, we performed the fundamental researches such as a stereo camera network for agricultural use, a thermal imaging of the leaf of farm products, and a high-resolution digital imaging device for the color measurements of agricultural products.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	6,700,000	2,010,000	8,710,000
2010 年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2011 年度	2,600,000	780,000	3,380,000
年度			
年度			
総計	12,000,000	3,600,000	15,600,000

研究分野：

科研費の分科・細目：農業工学・農学情報工学

キーワード：センサネットワーク、農業、ステレオカメラ、熱画像、色彩計測、環境計測

1. 研究開始当初の背景

近年、農業における科学的栽培技術の確立、あるいは ICT（情報通信技術）の活用が極めて重要な課題として採り上げられるようになって来ている。これらの基盤技術は、1997 年から 2005 年にかけて農林水産省委託研究プロジェクト「データベースモデル協調システムの開発」などを通して構築され、フィールドサーバを核とするセンサネットワ

ークや、BIX（BioInformation Exchange）研究グループによる圃場での光センシング技術の適用が現場実験・実証されてきたが、効率的な栽培のためのセンシング戦術に関する十分な検討はなされていない。

安全・安心、環境保全・環境貢献、健康志向・高機能性、成人病の増加、輸出対応、高齢化、地産地消、在来品種再認識など消費者ニーズはますます多様化しており、これらの

ニーズに的確に対応するためには、経験や勘にたよるだけでなく、十分なデータ集積のもと生産物の品質や栽培条件を常に定量的に評価し、設定した目標値を目指して農産物を生産することが求められる。このような農業を実現するには、高齢化が進む篤農家の技術を科学的に伝承し定量性を伴う知識データベースとして保存しつつ、可搬型の計測機器や小型パーソナルで通信機能を持つ農業機械、さらには圃場の情報ネットワーク化などで組み上げる新しい科学的生産技術体系を整備することが不可欠である。

2. 研究の目的

本研究では、栽培環境条件、植物体の状態、農産物の品質成分などを、畑で多角的かつ経時的に計測するための簡便で効率的な農業現場のセンサネットワーク・カメラネットワークからのデータをまとめて配信するセンサステーションとサーバ上でそれらのデータを情報として分かりやすく表現する web アプリケーションを構築する。農家が容易に利用でき現場の「見える化」を促進するツール（ソフトウェア）を開発することで、「地域における栽培技術の向上・安定化と地域農産物の仕様の組み上げ」を通してのブランド化を支援することを目的としている。

3. 研究の方法

「畑のセンサステーションとセンサネットワーク」を構築し、「達成目標の数値化で技術を定量化すること」、「農業現場での『見える化』を促進すること」、「農産物の仕様（スペック）」の実現を支える技術の実現をめざす。このために、以下の具体的な研究項目を設定して研究を進めた。実験室レベルの基礎実験とともに三重大学附属農場で屋外の基礎実験を用い、実証実験には三重県熊野市のミカン園、および三重県農業研究所の植物工場を用いた。以下に研究の構成を示す。

(1) 現場環境診断のためのセンサネットワークの研究

① センサネットワークの基礎実験

屋内用センサネットワークである neoKIT-J (Crossbow 社製) を用いて、実験室での基礎実験をおこなった上で、防水設計がなされている標準屋外用センサネットワークである eKo PRO Series (Crossbow 社製) を用いて、三重大学大学院生物資源学研究所 附属紀伊・黒潮生命地域フィールドサイエンスセンター 附属施設農場にて通信実験を行った。

② センサステーションの設計

センサネットワークの基地局とゲートウェイをセンサステーションとして新たに構築した。

③ センサネットワークのほ場実験

センサネットワークの実証実験を三重県熊

野市のミカン園で行った。

(2) 現場生育診断のためのカメラ活用に関する研究

① ステレオカメラ・ネットワークの開発

ステレオカメラモジュールによるセンサネットワーク用のノードを開発し、三重県農業研究所の植物工場で実証実験を行った。

② 赤外面像・温度画像による樹体計測

赤外線カメラ・サーモビューアを用いて放射率を決定する基礎実験を実験室で行い、三重県熊野市のミカン園で現場実験を行った。

③ 高精細画像取得装置と解析ソフト

高精細画像を取得するシステムを実験室ベースで構築し、取得画像の品質解析ソフトを開発した。

(3) Web アプリケーションとしての畑のセンサネットワークのシステム化

センサネットワーク、各種カメラ情報を Google マップ上に収集・配置し、解析が行える統合 web アプリケーションを構築した。

(4) まとめ

現場生育診断・現場環境診断で得られた研究成果をもとに診断システムの考察・評価を行った。また今後の残された課題を整理した。

4. 研究成果

(1) 現場環境診断のためのセンサネットワークの研究

① センサネットワークの基礎実験

eKo PRO Series を用い、国内初となる通信実験を三重大学附属施設農場で通信実験を行った。実験の結果、基地局とノード間の通信は約 235m まで可能なことが示された。しかし、ノードと基地局の間に木や山といった障害物がある場合には基地局との通信は途絶え、ノード間通信を介して基地局とつながるアドホックモードに自動的に切り替わることを確認した。また、基地局とノード間の障害を除くために、それぞれの設置高さも重要であることが判明し、今回の実験では地上約 2m 以上の高さが必要であった。

② センサステーションの設計

eKo システムは、システム起動用に USB メモリーを用い、データの蓄積・保存と閲覧ソフトウェアの管理も USB メモリー内のサーバで行うが、USB メモリーはゲートウェイとともに現場に設置されるため、システム破損の危険性が高い。また、eKo の計測データは、eKo View と呼ばれる専用のソフトウェアを介してのみ閲覧でき、センサデータのハンドリングにもいくつか問題点が認められた。そこで、リナックスボックスと SD カード併用型のゲートウェイに変更し、データ取得プログラムの開発およびデータベースの構築を行った。データ取得プログラムは、各ノードからのバイナリデータを取得、分割、単位換算し、マスターサーバとしてのデータベース

に格納する。データ消失の回避とアクセシビリティ向上のため、三重大学にも同じ構造のデータベース（スレーブサーバ）を構築し、レプリケーション機能を用いてデータを蓄積・保存する設計とした（図1）。

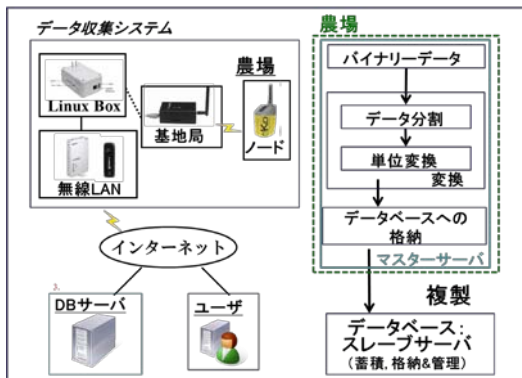


図1 センサステーションの構造

③センサネットワークのほ場実験

園地の代表値の画像を取得するデバイスと、土壌情報を含む対象ほ場の属性値を多点同時計測可能なセンサーネットワーク eKo を併用した情報取得システム（図2）を現場設置し実証実験を行った。

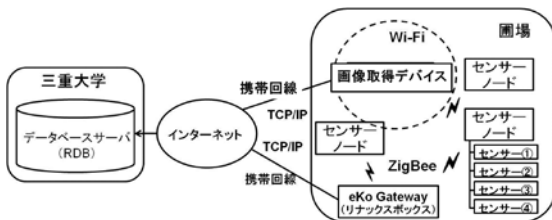


図2 構築した情報取得システム

FOMA 回線を利用した携帯データ通信サービスの通信速度テストの結果、下り：370kbps、上り：300kbps という結果が得られた。これは、間欠的な静止画の転送には十分な速度であり、携帯回線は、圃場からのデータ転送用通信回線として実用的であることが明らかとなった。また、圃場に一次データ保存のためのデータサーバを設置したことで、データ欠損は生じず、圃場でのデータ保持の重要性が示された。

eKo の通信距離実験の結果、モデル園地のミカン樹体の大きさを考慮し、eKo ノードを3m 高さに配置することで通信距離として400m は十分確保でき、1ha を4台の eKo ノードでカバーできることが示された。

センサステーションをツールボックス内に固定し、このツールボックスを防水防塵ボックスに納める設置方法により、センサステーションを設置したボックス内部に結露はみられず、防水対策も良好であった。

(2)現場生育診断のためのカメラ活用に関する研究

①ステレオカメラ・ネットワークの開発

開発したステレオカメラを搭載したデバイスの仕様は以下の通りである。また、図3に外観を示す。

- ・2台のカメラ（C1098-SS）により JPEG ステレオ画像が撮影可能
- ・市販の乾電池で駆動可能
- ・小型で可搬性が高く設置場所の制限が少
- ・超低消費電力で長期間の動作が可能
- ・汎用 I/O ポートに外部機器を接続可能
- ・温度センサにより外気温を計測可能
- ・無線通信モジュール XBee でのデータの無線転送、およびアドホックネットワーク構築が可能
- ・microSD カードにデータを保存可能



図3 デバイスの外観

ステレオ画像は左右2枚の視点の違う画像から構成され、2枚の画像の視差から画像の奥行き（作物の三次元形状）が得られる。また microSD によるデータのバックアップや汎用 I/O ポートへの様々な機器の接続が可能である。システムの構成（図4）と流れは以下のようになる。

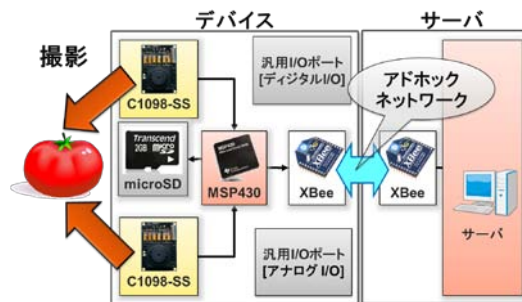


図4 システム構成図

まず、デバイスを設置し起動し、片方のカメラで作物を撮影しセンサから環境データを取得する。続いて、画像と環境データを XBee へ転送し、画像と環境データを microSD に保存する。また、デバイス側 XBee からサーバ側 XBee へ画像と環境データを無線転送し、もう片方のカメラで同様の処理を行う。サーバ側でステレオ画像から三次元形状を復元し、データベースにステレオ画像と環境データを保存する。この流れを任意（通常は数時間程度）の周期で繰り返す。

図5にステレオ画像による三次元形状デ

一タの取得方法を示す。ステレオカメラからのステレオ画像はデータ集積サーバで解析され、位相限定相関法（POC）を用いて三次元形状データが生成される。

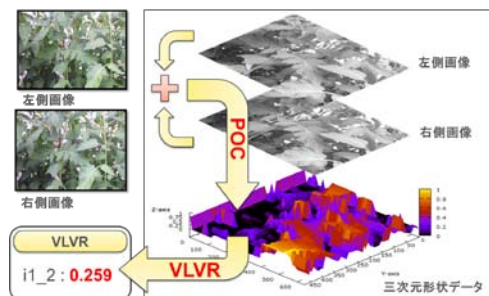


図5 三次元形状データ生成

三重県農業研究所の植物工場で、デバイスの実地動作の検証、ステレオ画像を取得し三次元形状と可視葉空隙率（VLVR）を得ること、および VLVR が作物の葉密度を表すことの検証を目的として基礎実験を行った。実験はトマト栽培ハウスの定植時期の異なる3つの栽培ラインで行った。栽培区画にデバイスを6台（ライン毎に2台）設置し、管理区画にサーバPCを設置したあとデバイスとサーバPCを起動し画像の受信動作を確認した。得られたステレオ画像から三次元形状を復元し、三次元形状から VLVR を導き出しライン毎に検証した。取得した三次元形状の一例を図6に示す。左画像と右画像から画像の奥行きデータが得られ、POC を用いて得られた三次元データから VLVR が 0.259 と求められる。

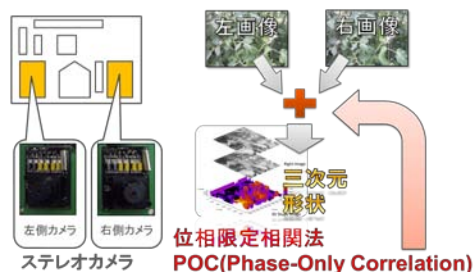


図6 取得した三次元形状の一例

②赤外画像・温度画像による樹体計測

熱画像を用いたミカンの樹勢計測の可能性を明らかにするため、まず実験室でミカン葉の放射率を求め、続いてミカン園でサーモビューア（TVS-200EX）によるみかん樹体の熱画像取得を行い、樹勢評価の可能性を検証することを目的とした。

まず、実験室レベルでみかん葉の放射率決定実験を行った。測定対象として小型電気カーペット（45cm×45cm）を用い、温度制御が可能な面上熱源を構成し、この上にみかん葉を貼り付け、熱電対、サーモグラフィー、TVS-200EX で葉面の同一点の温度計測を行い、放射率を決定した（図7）。

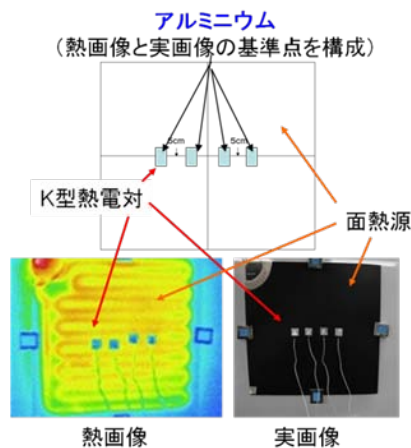


図7 放射率決定方法

めに、放射率が大きく異なるアルミテープを用いて熱画像上に基準点を設けた。実験方法を図8に示した。

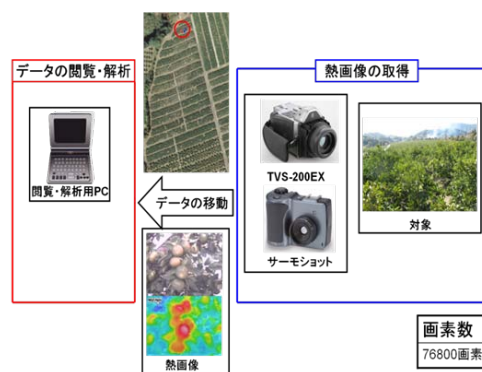


図8 熱画像取得のための実験方法

三重県熊野市のミカン園での実験では、同じ栽培環境下で樹勢が大きく異なる2本の木を選定し、それぞれのミカン葉の熱画像を取得した。ミカン葉の放射率には 0.95 を採用した。図9、図10に樹勢の異なる2本の木の葉部の熱画像を示す。

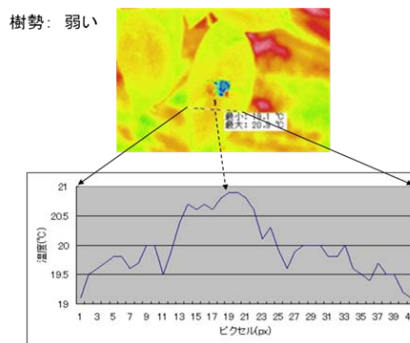


図9 樹勢の強い木の葉面熱画像

樹勢の弱い木の葉部では、葉の中心部分の温度の温度が高く周辺部分では温度は低くなる温度分布を示した。他方、樹勢の強い木では、葉の周辺部の温度が高く中心に近くなるほど温度が低くなる傾向を示した。

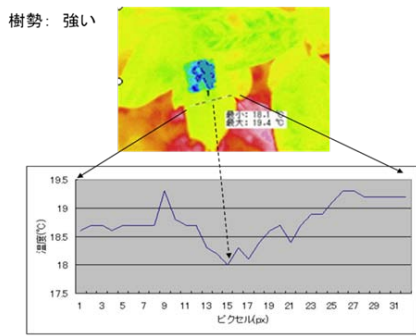


図 10 樹勢の弱い木の葉面熱画像

③高精細画像取得装置と解析ソフト

農産物のための高精細画像解析システムの構築を目的とし、色彩画像撮像装置を構築した。図 11 に装置の概略を示した。また、撮像画像を図 12 に示す。

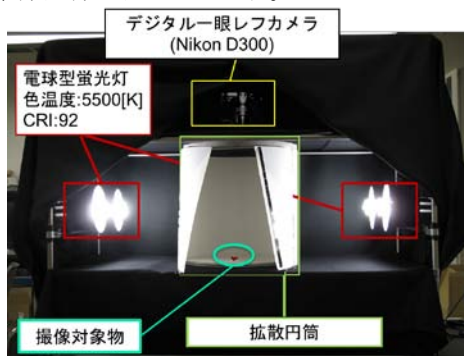


図 11 色彩画像撮像装置の概略

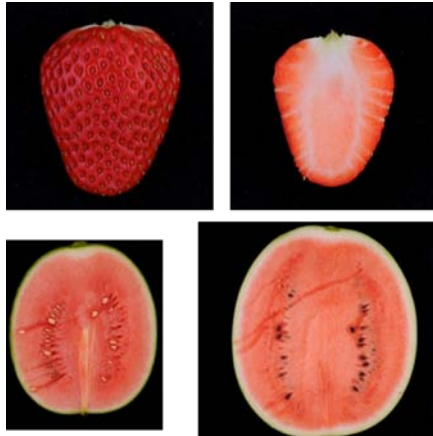


図 12 撮像した画像 (イチゴ、スイカ)

色彩解析には、Content-based Image Retrieval (CBIR) 手法の一つである Color Histogram と Color Distribution Entropy (CDE) を組み合わせた手法を採用し、CDE 手法の改良を試みた。図 13 に解析例を示す。

対象農産物には、果実の色彩が重要な品質要素であるイチゴを用いた。構築した色彩画像撮像装置では、光拡散体として円筒を用いることで拡散光の下で撮像でき、イチゴの正確な色彩が記録された画像が得られた。また、色彩画像解析では、イチゴ画像に対する CDE 解析の最適なパラメータが決定され、同一品

種内での色彩の差異の定量的評価が可能となり、構築した色彩画像解析システムのイチゴの色彩評価への有効性が示唆された。

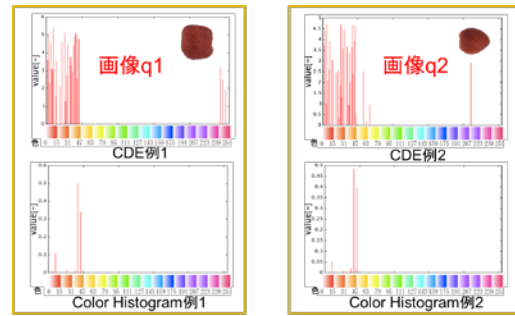


図 13 Color Histogram と CDE 解析

(3) Web アプリケーションとしての畑のセンサネットワークのシステム化

eKo システムの稼働状況把握を可能とするソフトウェアを開発した。本ソフトウェアでは、圃場に設置されたセンサーノード毎のデータを地図上で表示する設計とし、圃場の計測位置と計測データを関連付けるため、Google Maps API を利用した。しかし、Google Maps API のみでは、ノードが追加または修正されるたびにスクリプトを修正する必要がある。そのため、ノード情報が追加されると自動的にマーカーがマップ上にプロットされデータが表示されることが望まれる。そこで、Google Maps API、PHP、リレーショナルデータベースを連携し、必要機能をみたくソフトウェアをウェブアプリケーションとして開発した。このソフトウェアでは、リレーショナルデータベースにノード ID および緯度経度情報をはじめに登録し、図 14 に示したプロセスで実行する設計とした。

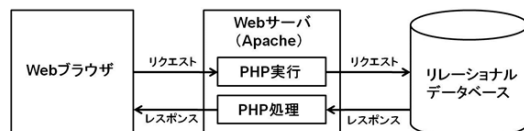


図 14 web アプリケーションの実行プロセス



図 15 eKo データ閲覧ソフトウェア

その際、SQL 文でノード情報を取得しマーカーを作成後、ノード ID を参照し最新データを抽出、そして Web 上にマーカーをプロットし、対応マーカー内にデータを表示させることとした。さらに灌水管理と圃場管理に関する計測データをグループ化し、amCharts を用いてグラフ表示 (図 15) を行った。

また、eKo 用にそれぞれリレーショナルデ

ータベースを構築し、デバイス毎に異なるソフトウェア、データ形式ならびに表示間隔の問題を解決することを試みた。営農指導員や経験を有する農業者は、アメダスデータを栽培作業の意思決定に用いることが多いため、本ウェブアプリケーションではアメダス形式でデータを表示し、圃場の計測データを利用者が利用しやすい設計とした。表1に構築したセンサネットワークでのほ場取得データと近隣アメダス地点との比較を示した。

表1 ほ場データとアメダス地点との比較

測定項目/期間	7月			8月			9月			10月		
	中旬	下旬	下旬	中旬	下旬	下旬	中旬	下旬	下旬	中旬	下旬	
アメダス尾鷲	気温(℃)	25.9	27.9	26.7	28.2	27.8	27.9	25.4	21.7	20.6	20.3	17.2
	雨量(mm)	79.5	117	205.5	31.5	0	23	204	137	543	18.5	261.5
アメダス新鹿	気温(℃)	25.7	28	27	28.5	27.9	27.8	25.9	22.3	21.1	21.1	17.7
	雨量(mm)	83.5	206	89.5	15.5	0.5	13	198	156.5	375.5	10.5	224.5
eKo データ	気温(℃)	26.1	28.2	26.8	28.3	27.8	27.8	欠損	欠損	21.1	20.3	17.6
	雨量(mm)	96.8	154.9	97.0	15.5	10.2	10.7	欠損	欠損	315.2	13.2	181.4

(4)まとめ

本研究では、センサネットワークの応用基礎に関する研究に加え、ほ場で農作物や果実を計測するための基礎的な計測手法を研究した。ステレオカメラによる植物の三次元計測、熱画像計測による葉面計測、デジタルカメラによる色彩画像計測などでは意義深い研究成果が得られたが、センサネットワークに接続できるセンサあるいは計測システムとして展開するには至らなかった。今後は、これらの要素技術の情報統合に向けた基礎研究を続ける予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計16件)

1. 山本恭輔, 木村佳嗣, 戸上 崇, 吉岡洋輔, 橋本 篤, 亀岡孝治: CBIR 手法を用いた色彩画像解析システムの構築, 農業情報研究, 査読有, 20(4), 2011, pp.139-147
2. 藤田絢香, 中村元一, 亀岡孝治: 生産現場における高品質ミカン生産のための ICT 利用に向けた土壌水分計測手法の確立, 農業情報研究, 査読有, 20(3), 2011, pp.86-94
3. 戸上崇, 伊藤良栄, 橋本篤, 亀岡孝治: 高品質ミカン生産を目的とするセンサーネットワークを利用した圃場環境計測, 農業情報研究, 査読有, 20(3), 2011, pp.110-121
4. 橋本 篤, 亀岡 孝治: 植物育成状態の光センシングの応用, 照明学会誌, 査読有, 95(4), 2011, pp.216-222

〔学会発表〕(計11件)

1. Furusawa K., Suehara K., Kameoka T., Hashimoto A.: Appearance Evaluation of Agricultural Products Image Based on Spectral Information of Lighting, Proc. of SICE Annual Conference 2010, SICE,

August 20, 2010, pp.2447-2450 (台北・台湾)
 2. Ohtani Y., Togami T., Kimura Y., Hashimoto A., Kameoka T.: Thermal Image Utilization on the Vigor Diagnosis of Mandarin Orange Tree, Proc. of SICE Annual Conference 2010, SICE, August 20, 2010, pp.2915-2918 (台北・台湾)

〔図書〕(計1件)

3. Togami T., Motonaga Y., Ito R., Hashimoto A., Kameoka T., Nakamoto T.: A web strategy for cultural inheritance centered on agricultural case study approach -The olive project in Shodoshima Japan-, Lecture Notes in Computer Science (Culture and Computing), 6259/2010, 2010, pp.200-213

〔産業財産権〕

○出願状況(計1件)

名称: 色彩画像撮像・解析システム
 発明者: 亀岡孝治, 橋本篤, 木村佳嗣, 山本恭輔

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特許出願 2011-179268

出願年月日: 2011年8月18日

国内外の別: 国内

○取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

1. NHK ニュースおはよう日本, 2011年10月18日放送, 「最新技術でみかん栽培支援」
http://cgi4.nhk.or.jp/eco-channel/jp/movie/play.cgi?movie=j_ohayou_20111018_1522
2. 日本農業新聞, 2012年2月23日, 「農業現場のICT活用を考える」

6. 研究組織

(1)研究代表者

亀岡 孝治 (KAMEOKA TAKAHARU)

三重大学・大学院生物資源学研究科・教授
 研究者番号: 90177600

(2)研究分担者

橋本 篤 (HASHIMOTO ATSUSHI)

三重大学・大学院生物資源学研究科・教授
 研究者番号: 40242937

末原 憲一郎 (SUEHARA KENICHIRO)

三重大学・大学院生物資源学研究科・准教授

研究者番号: 70291614