

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 16 日現在

機関番号：17601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K14844

研究課題名(和文)平面上距離画像とビデオ映像を相補的に用いた牛の発情期自動検知システムの開発

研究課題名(英文)Development of an automatic detection system of estrus period for cows by complementary use of distance image and video image on plane

研究代表者

Thi Thi Zin (Thi Thi, Zin)

宮崎大学・工学部・教授

研究者番号：30536959

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、距離画像とビデオ映像とを相補的に用いて牛の発情期を自動的に検知するシステムの開発を目指した。検知率は状況に大きく依存するが、夜間も含めて従来手法よりも精度が高いことを検証実験を通じて確認した。また、牛の発情行動の自動検知とともに、どの牛が発情行動を行っているかを把握するために、非接触で牛の個体識別、追跡を行う新しいアルゴリズムを提案し、実際の牧場における実験からその有効性を確認した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we aimed to develop an automatic detection system of estrus period for cows by complementary use of distance image and video image. Although the detection rate largely depends on the situation, it was confirmed through experiments that the accuracy is higher than the conventional method including nighttime. In addition, we have proposed a new algorithm to identify and track cow's individuals for the automatic detection and identification of the cow in estrus behavior, and confirmed its effectiveness through experiments at ranches.

研究分野：農学

キーワード：繁殖 発情期自動検知 個体識別

1. 研究開始当初の背景

(1) 畜産は日本にとって重要な産業であり、これを支える農家が高齢化する現在、ICTを活用した畜産業の持続性確保と発展は、喫緊の課題である。中でも家畜の繁殖は、24時間体制で農家に対応しなければならず、大きな負担となっている。ここで、開発を目指す技術は、発情行動を自動的に認識して知らせるシステムであり、農場から離れることができなかった畜産農家の人的負担を軽減し、豊かな生活環境を農家にもたすことが期待できる。また同時に、少子高齢化社会において、世界に誇れる農業生産技術の持続的発展につながる。

(2) 国産牛肉、特に日本独特の和牛肉は美味しい、との定評があるが、国内の畜産農家が抱えている課題の一つには、肉牛生産のコスト低減を図ることがある。その解決策の一つとして、牛の出産と出産の間隔を短縮する分娩間隔短縮技術が有効である。その実現には、種付け時期（発情期）をリアルタイムで発見し、効率的に授精することが基本となる。妊娠していない成雌牛は周期的に発情を繰り返す。発情周期日数は、黒毛和種の場合、平均値は21日であるが、牛により17日～23日とその間に7日間の開きがあり、発情日の予測には慎重を要する。

(3) 雌牛は発情すると、「落ち着かず、運動量の増加、声をあげる、食欲の減退、外陰部の充血・腫大、粘液の排出、尾をあげる」などの兆候を示す。中でも、特徴的なのは他の牛に乗駕を許すことで、牛が自由に動き回れる状況だと乗駕により発情の確認がとれることが知られている。発情初期は乗駕されることを嫌がり、中期になるとじっとして乗駕される。発情期には時間経過に伴う一定の行動パターンがあり、「落ち着きがなくなる→周りの牛が臭いをかぐ・触る→マウンティング（発情した牛が周りの牛に乗る）→乗られた牛が逃げる（初期）→発情した牛に他の牛が乗る→乗られた方（発情した牛）はじっとしている（後期）」のような経過をたどるので、発情牛を見分けるには、乗駕行動における時間経過の観察が重要である。「乗る/乗られる」の対象となる牛には、群れの順位が影響し、強い雌ほど多く乗られる傾向にある。また、1頭飼育の場合は、乗る行動ができないために、「うろうろする、吼える」等の行動をとる。

(4) 歩数計、テイルペイント、発情発見棒、ビデオ映像等による従来手法は、取扱いの難しさ、見逃しや個体識別に難点があり、安定性・信頼性の点で不安が残る。そこで、本研究では、発情行動に特徴的な時系列パターンから牛の乗駕行動を中心に発情期を自動検知し、牛の識別（ID）番号と共にネットワークを通じて畜産農家に通報するシステムの開発を目指す。

(5) 現状では、牛の発情発見は目視で行っている場合が多く、昼間は70%見つけることができても、夜間では10%程度である。しかし、牛の発情は夜間に多く70%、昼間は30%程度しかない。本研究で用いる測域センサは動物への安全が保障されたクラス1に属するレーザー照射型なので夜間、土埃、小雨等にも強く、安定的に動作する。そのため、夜間での見逃しは大幅に減少させられる。ビデオカメラについてはナイトショット機能を備えた低照度での撮影が可能なものを用いる。

2. 研究の目的

(1) 牛繁殖農家にとって、母牛の発情行動の検知は、タイミングよい人工授精と効率的な家畜生産に非常に重要である。しかし、そのサインを見逃さないためには24時間体制のモニタリングが必要であり、高齢畜産農家の大きな負担となっている。

(2) 本研究では、測域センサ（LRF）からの距離画像とビデオ映像とを相補的に用いる独自のアルゴリズムを開発し、牛の行動パターンから発情を自動的に検知し、牛の識別（ID）番号と共にネットワークを通じて畜産農家に通報する牛のモニタリングシステムの開発を目的とする。従来のウェアブル型センサに比べて牛へのストレスが少なく、人がビデオ映像を長時間見続ける必要がないことから、見逃しも減らせられ、高齢化畜産農家の負担軽減と、畜産業がICTを活用したスマート農業へ転換する契機となり、生産性向上、若者の新規就農など、持続的発展が期待できる。

(3) 発情検知のために、歩数計による市販の発情発見装置を用いる方法では見逃しが多いことが分かってきた。また、ビデオ映像を自宅などでモニタリングする方法では、一頭ずつを常時細かく観察できないし、見逃しや識別誤りもある。テイルペイント（安価に実現できる。牛の臀部にペイントを塗り、乗駕行動でペイントが消えたら、発情と判断する）では、塗料を使い分けることで、個体識別できる可能性があるが、確実性に不安が残る。そこで、本研究では、測域センサとウェブカメラを相補的に用いて、発情行動を自動検知し、牛のID番号と共にネットワークを通じて畜産農家に通報するシステムを開発することで、発情の人的見逃しを防ぎ、タイミングよく人工授精させ、効率的な家畜生産に結びつけることでコスト削減に貢献することを目的とする。

(4) 母牛の発情行動検知の自動化は、畜産農家にとって必要とされている技術であり、従来手法の弱点を解消し、今後の畜産農家の効率的経営に大きな貢献ができる。研究代表者らが培ってきた人の動きの時系列パターンが

ら異常行動などを見つけ出すといった、人の監視・見守りシステムに関する研究成果は本研究にも活かせるものである。また、実用化に向けて畜産研究の専門家も参加している。これらを踏まえての開発であることから、本研究は成功可能性が非常に高い。実用化を担う企業も研究に参画しており、家畜のモニタリングシステムとして完成すれば、多くの農家への導入が可能である。また、今回は畜産農家にとって最も経済効率を高めるための「発情行動」を見逃さないことを目的としているが、結果として個体識別、追跡も画像処理で可能な段階にある。このことにより、行動パターン認識ができるようになれば、より高度な個体情報が得られ、さらに多くの情報を管理・活用できるシステムへの展開が期待できる。これによって、大規模畜産農家での効率化を図り、負担を軽減できる。このようにスマート農業、AI（アグリインフォマティクス）農業の実現と、日本の農業・畜産業の持続的な発展になくてはならない先駆的技術の開発を目指す。

3. 研究の方法

(1) ビデオ映像から前景を抽出する提案手法は、システムの構築コストが低く、照明変動がある、複雑な背景の下でもノイズ除去ができ、対象物(牛)領域を正しく抽出できる。従来の動画処理システムにおける背景モデルには実用に供さないものも多かったが、ここではその開発はほぼ完成の域に達しており、対象を人から牛に切り替え、マルコフ遷移確率を導入することで、牛の行動認識精度を大幅に向上させ、安定した結果を得ることができる。本提案は、ウェアブル型(装着型)等)に比べて牛にストレスを与えることなく、機能面や利便性でも優位性がある。開発手法は、牛に限らず一般的にどのような動物にも応用でき、検知対象となる行動も発情行動に限らず、分娩など特徴のある行動にも応用可能であり、分娩時の重大事故の軽減はもとより、その他の行動観察などから動物の快適性の評価など多方面に展開応用可能であると考えられる。例えば、前回の宮崎の口蹄疫被害は大きな問題となったが、特定の行動パターン認識が病気の早期発見やストレス評価に役立てられることへの可能性も大である。

(2) 牛の発情検知システムの全体イメージ図を図1に示す。測域センサ、ビデオカメラ(ウェブカメラ)と照明は牛舎あるいはパドック全域の広さと牛の頭数を考慮し、発情行動を検知するのに必要な台数を用意し、その1次データと処理結果はネットワークを経由して画像処理PCに送られる。夜間には撮影ができる程度の照明が必要である。最終的には、自宅のPCや携帯電話でお知らせメールを受

け取ることもできるようにしていきたい。

(3) 地面に平行な平面上の距離画像とビデオ映像とを用いる独自のアルゴリズムを開発し、牛の行動パターン時系列から発情を自動的に検知し、牛のID番号と共にネットワークを通じて畜産農家に通報する。雌牛は、受精できる状況になると、「多動」や「乗駕」といった特徴的な行動をとることが知られている。とくに牛繁殖農家では、雌牛を複数頭同じ柵で飼育することが多く、擬似繁殖行動として、発情を示した雌に、周りの雌が「乗る」ことがわかっている。一般的には、牛の発情時期に運動量が上がるという行動特性がある。これらは重要な情報として画像上で捉えることができる。また、時間経過を含む乗駕行動パターンが発情の検知に有用である。ここで用いる測域センサは、真夜中でも土埃や小雨の中でも安定的に動作可能である。

(4) 提案アルゴリズムにより測域センサで乗駕を検知した時には、距離画像からそれぞれのビデオ画像上の2次元位置が分かるので、その領域を含む牛領域を抽出し、背中にペイントされたマーカーから牛のIDを取得する。被乗駕牛のマーカーは即時には読み取り不可能であるが、時間差を設けて追跡すれば可能となる。画像処理から乗駕行動を検知することも可能であり、利用の簡便さと価格の点からは、コストパフォーマンスが高いシステムとなることが期待できる。図2に、ビデオ映像から対象物(牛)領域を抽出し、発情検知、個体識別するまでの処理ブロック図を示す。ここでは、抽出・分離された前景領域から特徴量を求め、対象行動パターンに特有の空間的・時間的特徴量と照合し、ある閾値以上でマッチすれば、事前に決められたルールに沿った措置を講ずる。図2に示した分離不可能な場合でも、乗駕に至るまでは2頭の牛として分離されているので、2頭が画像として一体化したことを知ることができ、一体化した状態での領域特徴を事前に学習しておくことで、乗駕行動を検知することができる。乗駕回数、乗駕・被乗駕の識別、経過時間等のデータを解析することで発情牛を特定し、乗駕された時を発情の開始として授精適期(一般的には発情から8~12時間後)を知ることができる。また、継時変化も含めた複数特徴の利用によって、精度向上を図ると共に、前兆予測への応用も検討する。非接触であるのでウェアブル型センサのように牛にストレスを与えることはなく、予兆も含めて適確に検知できる。

(5) 測域センサを用いた乗駕検知システムの概念図を図3に示す。その結果は前もって決められたルールに従って通報され、畜産農家では映像で視認することができる。距離画像もビデオ映像も常時記録されているので、後

で確認することもできる。図3(a)は平常時、(b)は乗駕時の測域センサからの距離画像を示している。平常時には距離画像は無限遠点を示しており、発情時にはこの例では胴体と頭が現れる。一点鎖線は牛の背中の上の位置に対応している。

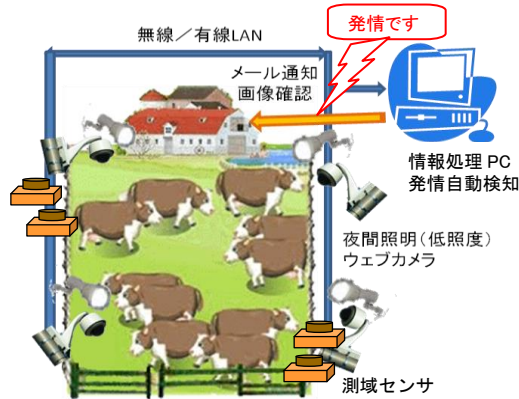


図1 発情検知システムの全体イメージ図

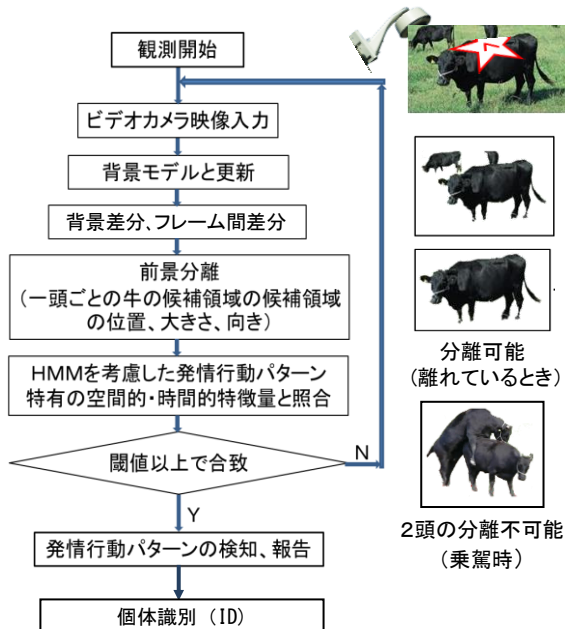


図2 ビデオ映像を用いた発情検知から個体識別までの処理ブロック図

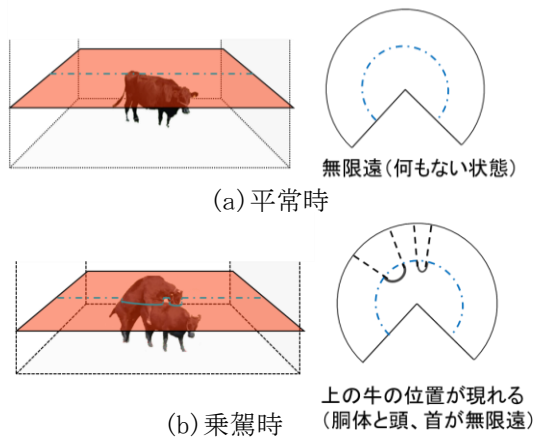


図3 測域センサを用いた乗駕検知の概念図

4. 研究成果

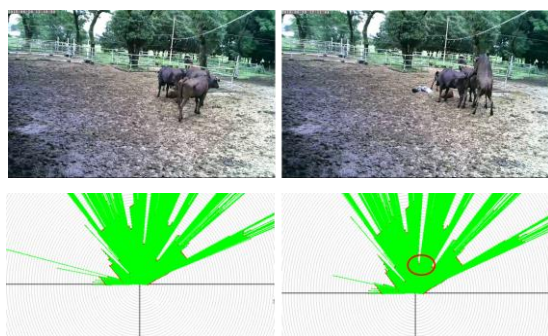
(1) 発情検知方法にはそれぞれに一長一短があり、測域センサの距離画像を用いる方法与ビデオカメラの動画画像処理による方法を提案し、実験によりその有効性を確認した。次に、黒毛和牛の個体識別と追跡のアルゴリズムを開発し、高い識別率を得た。

(2) 図4に測域センサによる乗駕行動の検知例を示す。測域センサは、真夜中でも土埃や小雨の中でも安定的に動作可能であった。また、照明条件の変動にも依存しない利点も持つ。一方、ビデオカメラに比べて高価であり、使い方が面倒な点もある。牛のモニタリングシステムの入力装置としては、乗駕行動に限定して用いると高機能を発揮するが、汎用的には利用し辛く、ビデオカメラとの相補的利用により効果を発揮する。また、センサを厳密に地面に平行に設置できれば、安定して高い精度が得られるが、設置角度の誤差に検知率は大きく左右される。

(3) 前述の図2は、ビデオ映像を用いた時の処理ブロック図を示している。まず、発情行動の特徴を探し出すためにフレーム間差分を行うことで大きく改善できた。これは、通常の牛の歩行は動きが少ないため、普段は差分にあまり現れないが、発情行動時には前フレームと比較すると大きく動くためであると考えられる。この後、処理の簡単化のためグレースケール化を行い、画像を一定の大きさのブロックごとに分けて、そのブロックごとの分散を求める。ここでは、ブロックごとの分散が特定の点数を超えたら、発情があったと判断する。実験結果から検知率77%を得たが、距離によってブロックサイズをアダプティブに調整することで、さらなる改善が可能であると考えられる。一般的には、牛の発情時期に運動量が増える、という行動特性がある。これらは重要な情報として画像上で捉えることができる。このように複数特徴を利用した精度向上は今後の課題であるが、もし、精度も含めてビデオカメラを用いた実用的なシステムが実現できれば、簡便・安価さから広く普及するものと思われる。

(4) また、ビデオカメラの動画から牛を識別、追跡する新しいアルゴリズムを提案し、90~96%の精度を達成した。ここでは、色情報のみを用いているが、形状情報も同時に用いることでさらなる精度向上が期待できる。まずはっきりとした模様がない黒毛和牛について識別を試みた。個体識別処理は、「牛の特徴ベクトル抽出」と「類似度の算出」の大きく2つの段階で行った。マーカーを用いて黒毛和牛の個体識別を中心に扱ってきたが、ホルスタイン牛の場合は白黒模様が個体ごとに異なるのでその形状特徴を使用したマーカーなしでの個体識別を可能としていきたい。

その処理過程を図5に示す。まず、画像内での牛の領域を抽出し、さらにマーカー領域を抽出する。さらに、色々変わる撮影角度に対して頑健性を持たせるために、次のような工夫をした：①得られたマーカー領域を2分割する、②データセットに3種類のパターンを用意しておく。色相 (Hue) 画像に変換後、10ビンに変換した後、カラーヒストグラムを作成し、ユークリッド距離から類似度を求める。マークが写っていないフレームの牛の識別を目的として追跡アルゴリズムの開発を行った。重心の移動距離が閾値よりも大きければ別の個体、小さければ同一個体と判別して追跡した結果、提案手法によって、マーカーの形が変形していても正しく識別でき、また、複数の牛にも対応でき、マーカーが写っていないフレーム内の牛でも追跡によって識別することが可能となった。



上段：画像 下段：距離画像
図4 測域センサによる乗駕行動検知

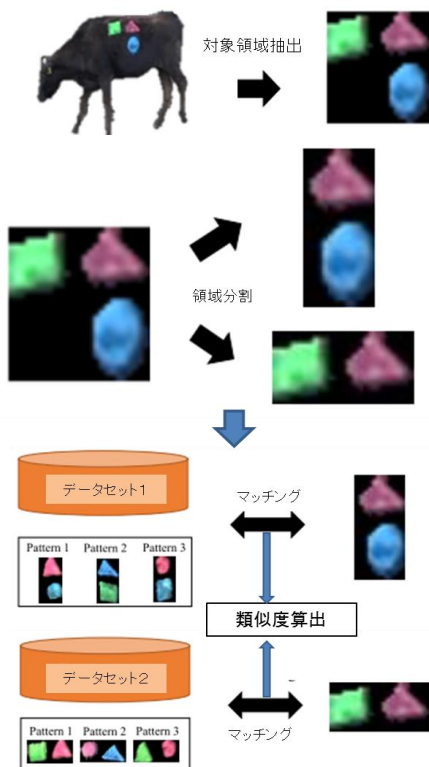


図5 個体識別の処理ブロック図

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6件)

- ① Thi Thi Zin, S. Sakurai, K. Sumi, I. Kobayashi, H. Hama, The Identification of Dairy Cows Using Image Processing Techniques, *ICIC Express Letters, Part B: Applications*, Vol. 7 (8), pp. 1857-1861, 2016, 査読有
- ② Kosuke Sumi, Thi Thi Zin, Thu Zar Tint, Tin Myint Naing, A study of cow detection and extraction using feature of contrast rate, *International Journal of Research in Advanced Engineering and Technology*, Vol. 2, No. 6, pp.5-7, Nov. 2016, 査読有
- ③ Thi Thi Zin and K. Yamada, An Automatic Target Tracking System Based on Local and Global Features, In: Pan JS., Lin JW, Wang CH., Jiang X. (eds) Genetic and Evolutionary Computing. ICGEC 2016. Advances in Intelligent Systems and Computing, Springer, Cham, Vol. 536, pp. 255-264, Oct. 2016, 査読有
- ④ K. Sumi, I. Kobayashi, Thi Thi Zin, Cow Identification by Using Shape Information of Pointed Pattern, *Genetic and Evolutionary Computing: Advances in Intelligent Systems and Computing 388*, Springer, Vol. II, No. 388, pp.273-280, 2015, 査読有
- ⑤ Y. Nakagawa, N. A. Nassary, K. Fukuyama, I. Kobayashi, Measurement of Udder Surface Temperature in Cows Using Infrared Thermometer, *Genetic and Evolutionary Computing: Advance in Intelligent Systems and Computing 387*, Springer, Vol. I, No. 387, pp 429-434, 2015, 査読有
- ⑥ Thi Thi Zin, Pyke Tin, H. Hama and T. Toriu, A Triplet Markov Chain Model for Loitering Behavior Detection, *ICIC International, ICIC Express Letters (Part B: Applications)*, Vol.6, No.3, pp.613-618, Mar. 2015, 査読有

[学会発表] (計8件)

- ① 高松 聖之、ティティズイン、小林 郁雄、ホルスタインの白黒模様を用いた個体識別、電気学会知覚情報/次世代産業システム合同研究会、2017年3月27-28日、宮崎大学(宮崎県・宮崎市)
- ② 須見 公祐、ティティズイン、小林 郁雄、牛の分娩監視における行動解析に関する研究、電気学会知覚情報/次世代産業シス

テム合同研究会、2017年3月27-28日、宮崎大学（宮崎県・宮崎市）

- ③今村颯介、ティティズイン、小林 郁雄、3Dカメラを用いた牛のBCS予測システムの構築、電気学会知覚情報/次世代産業システム合同研究会、2017年3月27-28日、宮崎大学（宮崎県・宮崎市）
- ④Thi Thi Zin, I. Kobayashi, Pyke Tin, H. Hama, A General Video Surveillance Framework for Cow Behavior Analysis, *Proc. of The Third Intl. Conf. on Computing Measurement Control and Sensor Network* (CMCSN-2016), (松江コンベンションセンター（島根県・松江市）, pp.130-133, May 20-22, 2016, 査読有
- ⑤ Thi Thi Zin, H. Kai, K. Sumi, I. Kobayashi, H. Hama, Estrus Detection for Dairy Cow Using a Laser Range Sensor, *Proc. of The Third Intl. Conf. on Computing Measurement Control and Sensor Network* (CMCSN-2016), (松江コンベンションセンター（島根県・松江市）, pp.162-165, May 20-22, 2016, 査読有
- ⑥Nay Chi Lynn, Thi Thi Zin, I. Kobayashi, Automatic Assessing Body Condition Score from Digital Images by Active Shape Model and Multiple Regression Technique, *Proc. of The 2017 International Conference on Artificial Life and Robotics* (ICAROB 2017), シーガイヤコンベンションセンター（宮崎県・宮崎市）, pp.311-314, Jan. 19-22, 2017, 査読有
- ⑦須見 公祐、小林 郁雄、ティティズイン、色情報を用いた牛の個体識別に関する研究（2015.11）、第28回バイオメディカル・ファジィ・システム学会年次大会（BMFSA2015）、平成27年11月21日（土）、22日（日）；東海大学 熊本キャンパス（熊本県・熊本市）
- ⑧ Thi Thi Zin, J. Kurohane, Visual Analysis Framework for Two-person Interaction, *Proc. of The 4th IEEE Global Conf. on Consumer Electronics* (GCCE 2015), 大阪国際会議場（大阪府・大阪市）, pp. 519-520, Oct. 27-30, 2015, 査読有

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計1件）

- ①名称：発情検知装置、方法及びプログラム
発明者：ティティズイン、濱 裕光、小林 郁雄
権利者：ティティズイン、濱 裕光、小林 郁雄
種類：特許

番号：特許願 2016-982888 号

出願年月日：平成26年4月22日

国内外の別：国内

○取得状況（計0件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

ティティズイン (Thi Thi Zin)

宮崎大学・工学教育研究部・教授

研究者番号：30536959

(2) 研究分担者

パイティン (Pyke Tin)

宮崎大学・国際連携センター・客員教授

研究者番号：70536961

小林 郁雄 (KOBAYASHI, Ikuo)

宮崎大学・農学部・准教授

研究者番号：20576293

椎屋 和久 (SHIYA, Kazuhisa)

宮崎大学・工学教育研究部・助授

研究者番号：00347048

濱 裕光 (HAMA, Hiromitsu)

大阪市立大学・工学研究科・客員教授

研究者番号：20047377

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

河野 裕行 (KAWANO, Hiroyuki)

株式会社南日本ネットワーク・営業部