

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26252044

研究課題名(和文) 肉用牛の生産性向上を目指した個体精密管理のための基盤技術の確立

研究課題名(英文) Development of fundamental technologies to improve the productivity of beef cattle by individual precision management

研究代表者

近藤 直 (Kondo, Naoshi)

京都大学・農学研究科・教授

研究者番号：20183353

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 31,600,000円

研究成果の概要(和文)：脂肪交雑度が高い牛肉を生産するためには、ビタミンA濃度(VA)の制御が重要である。本研究では瞳孔画像からVAを推定するための瞳孔撮影装置を試作し、牛房の飲水場で飲水中の牛の瞳孔画像を収集した。牛の個別識別は、首輪に刺繍した模様をカメラで撮影して行った。得られた瞳孔画像を処理して血液検査で求めたVAと比較した結果、瞳孔色、瞳孔表面での光反射、LED点灯時の瞳孔収縮状態とビタミンA濃度との相関が見られた。5頭の種雄牛から生産された40頭について、収量、品質データを調べた。同じ種雄牛では、VAコントロール時期にVAが低かった牛は脂肪交雑度が高い傾向が認められた。

研究成果の概要(英文)：Controlling serum Vitamin A level (VA) is an important practice in Japanese Black Cattle livestock farmers to increase BMS (Beef Marbling Standard). To estimate VA from pupil images, pupil image capturing devices were made by trial. These devices were set at the drinking places and pupil images were captured when cattle were drinking. The image of embroidered pattern on the collar of the cattle was also captured by a camera to identify each cattle. The pupil images were processed and extracted the pupil color, the light reflex at the eyeball surface and the constriction amplitude of pupil shape in response to the lighting of LED. These extracted parameters correlated with VA. After shipping of 40 cattle which were produced by five bulls, the yield and the quality of the meat were investigated. Comparing among the cattle produced by the same bull, the meat of the cattle whose VA were controlled in low level had a tendency of high BMS values.

研究分野：生物センシング工学

キーワード：牛肉 マシンビジョン 畜産

1. 研究開始当初の背景

黒毛和種は世界に誇れる強みのある農産物であるが、肥育過程での情報化が遅れていること、環境、血統の違いだけでなく、家畜個体のばらつきが大きいこと、画一的な飼養管理で飼料摂取量等のフィードバックが少ないこと等の状況より、各肥育牛に適切な飼料が供給できているとは言い難い。一般的には黒毛和種の肥育中の給餌は、図1のようにビタミンAを変化させて霜降り肉を生産するが、効率的な飼育には正確な血中ビタミンA濃度(VA)に基づいた肥育牛のばらつき管理による最適給餌が最重要の課題である。この給餌は現在でも農家の経験と勘で行っており、VA欠乏症(食欲低下、筋肉水腫、失明等)の事故に陥ることも少なくない。

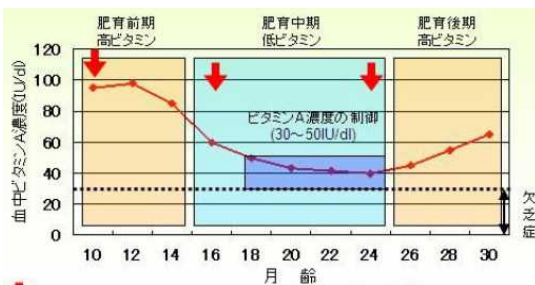


図1 肥育時のVAコントロールの例

2. 研究の目的

本研究では、VAを始めとして牛房で収集する種々の情報と最終生産物(枝肉)情報の蓄積によって肉用牛のばらつき管理による最適給餌を行う「精密畜産」の基盤技術を確立することを目的とする。なかでも最も望まれているVA計測に重点をおき、マシンビジョンを用いたVAの推定に取り組む。

3. 研究の方法

VAの推定のため、図2に示す装置を試作して牛房の飲水場に取り付けた。この装置はカメラ、白色リングLED、距離センサ、偏光フィルタ(PLフィルタ)、粉塵除去用ワイパ等から構成され、距離センサにより牛が飲水場へ入ったことを検知するとともに、流量センサにより飲水を開始したことを検知して、瞳孔画像を撮影する。瞳孔撮影カメラは2セットとし、1つはPLフィルタを用い、もう1つはPLフィルタを用いないものとし、図2のように牛頭の左右に取り付けた。PLフィルタは瞳孔表面からの鏡面反射光を抑制した画像を撮影するために用いた。これらの瞳孔撮影カメラは瞳孔撮影時は、距離センサが牛顔面までの距離を計測し、LEDの照度を牛顔面で1200ルクスになるように調節して画像を入力し、画像をPCに保存した。画像は1280×960画素のカラー画像とし、牛が飲水するごとにPLフィルタを付けないカメラでは5秒間の動画像を、PLフィルタを付けたカメラでは、7枚の静止画を撮影した。瞳孔撮影カメラの光軸を水平にして撮影すると、瞳孔が

睫毛に隠れることがあった。このため、瞳孔撮影カメラは約25°上向きに設置した。牛の個体識別には、白地に黒糸で図3の模様を刺繍した首輪を用い、飲水場上部に設置した首輪撮影カメラで撮影して個体識別を行った。図2に示す流量センサは、牛が飲水中であることを検知するのに用いたほか、飲水量を計測するのにも用いた。

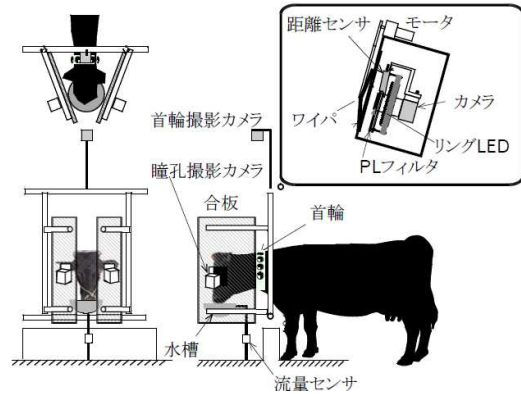


図2 飲水場での自動撮影

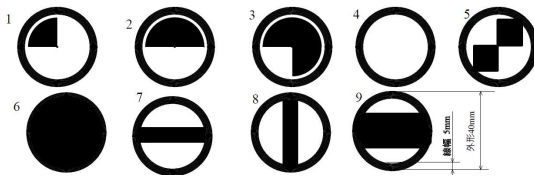


図3 首輪に刺繍した模様

実験は兵庫県立農林水産技術総合センター北部農業技術センターおよび京都大学附属牧場(以下、附属牧場)の2カ所で行った。兵庫県では、2014年10月~同12月に導入された7牛房合計40頭の黒毛和種に対して2016年9月~11月まで、毎日両眼の画像を入力した。附属牧場では、2014年12月頃から2牛房合計12頭の黒毛和種に対して2016年8月まで画像を入力した。

兵庫県で対象とした40頭の黒毛和種の子牛は、5頭の種雄牛が生産した8頭ずつの産子とし、濃厚飼料給餌量、粗飼料給餌量、血液検査で計測したVAと枝重、格付、脂肪交雑度など、収量、品質データとの関係を調べた。

4. 研究成果

(1)牛の個体識別

飲水場の上部に設置したカメラで撮影した首輪画像から個体識別を行った。最初は首輪に色布を巻き付けて、色による個体識別を試みたが、首輪を使っているうちに色布が退色して個体識別が困難になった。このため、図3のように白地に黒糸で模様を刺繍した首輪を用いて、模様の画像認識によって個体識別する方法に変更した。最初に色による個体識別を試みたので首輪撮影カメラはカラー

カメラを用い、黒糸で刺繍した首輪に変更した後もカラーカメラを用いた。照明には白色LEDを用いLEDによる照度は首輪の位置で20ルクスになるようにしたが、昼間は明るくなり明暗差が大きいので、カメラのゲイン調整は自動とした。図4に首輪の画像例を示す。これまでの実験の結果、首輪が捻れて模様がカメラで撮影できないことや首輪が牧柵のパイプに隠れることもあり、そのような場合は個体識別ができなかった。このため、後述の瞳孔画像認識は、原則として個体識別できた個体を対象とした。



図4 首輪の画像例

(2)VA 推定のための瞳孔画像処理

図2に示した瞳孔画像撮影装置により、牛が飲水場で飲水するごとに、PL フィルタを用いない瞳孔画像と PL フィルタを用いた瞳孔画像を撮像して PC に保存した。

①PL フィルタを用いない画像

PL フィルタを用いない画像は、眼球表面での光反射状態の計測と LED 照射時の瞳孔収縮の計測に用いた。図5は、眼球表面での光反射状態から VA を推定するための画像処理の様子を示す。これは VA が欠乏すると、目が乾燥して角膜表面が粗くなることを利用して VA を推定しようとするものである。目の乾燥により角膜表面が粗くなると、光反射

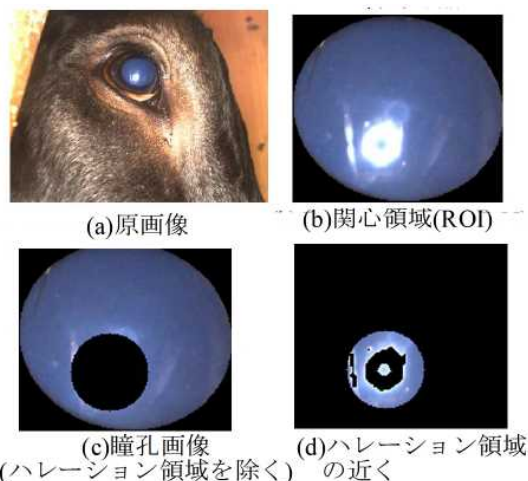


図5 眼球表面での反射計測

は鏡面反射成分が小さくなり拡散反射成分が大きくなる。これに伴う輝度分布の変化を画像認識した。図5(a)は PL フィルタを用いない瞳孔の RGB 原画像を示す。PC には動画として保存したので、動画から静止面を取り出した。次に RGB 画像から HSV 変換を行い、色相により瞳孔部分を抽出し、楕円を当てはめて関心領域 (ROI) を図5(b)のように設定した。次に ROI をハレーション領域を除く部分(図5(c))とハレーション領域の近く(図5(d))に分けた。このあと、図5(d)の領域の平均輝度を同図(c)の領域の平均輝度で除することによって次のように正規化輝度を計算した。

$$\text{正規化輝度} = \frac{\text{図5(d)の領域の平均輝度}}{\text{図5(c)の領域の平均輝度}}$$

図6は、血中ビタミンA濃度 (VA) と正規化輝度の関係を示す。肥育前期 (高 VA 期)、肥育中期 (低 VA 期) においては、正規化輝度は、VA と正の相関があった。

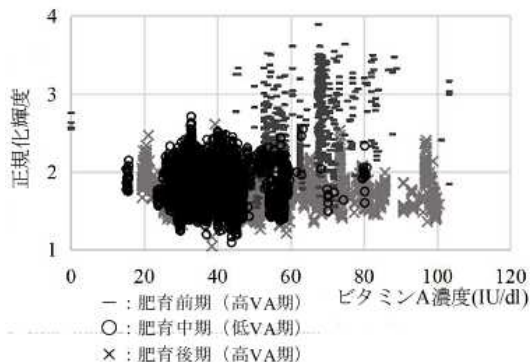


図6 VA と正規化輝度の関係

回帰分析による VA 推定について検討するため、いくつかの回帰法を試みた。その結果、線形回帰法を用いた推定より、非線形回帰法が有効であり、放射基底関数を用いたサポートベクトル回帰が最も有効であった。図7は、35個の説明変数を用いて、非線形回帰によりビタミンA濃度 (VA) を推定した結果を示す。データは兵庫県立農林水産技術総合センター北部農業技術センターの黒毛和種24頭を対象に、2014年11月から2016年5月までの18か月にわたって撮影したものである。説明変数として正規化輝度、図5(c)と(d)の領域での RGB, HSV, La*b* 色空間における各数値の平均値、画像内に生じたハレーションリングの直径、画像の明瞭さ、環境要因 (温度、湿度、日照)、牛の月齢等を用いた。図7より、平均二乗誤差 MSE は 28.03 (IU/dl)、決定係数 R2 は 0.881 であった。

自動撮影装置で LED を点灯させたときの瞳孔収縮の計測を行った。実験には、兵庫県立農林水産技術総合センター北部農業技術センターの黒毛和種8頭を用いた。実験期間は2014年11月から2016年5月までの18ヶ月

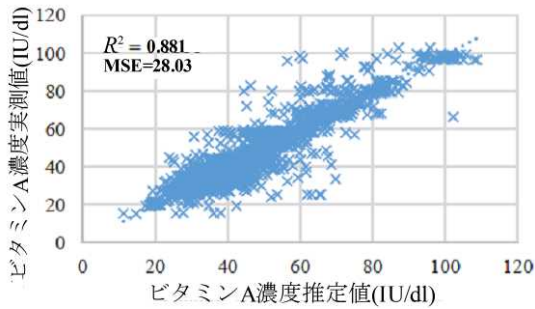


図7 非線形回帰によるVAの推定結果

月である。PLフィルタを用いないカメラの画像は、毎秒15フレームの動画としてPCに保存した。瞳孔収縮の計測は、この動画から静止画を取り出し、図8右側のように瞳孔を楕円で近似し、長径と短径の比を長短比として求めた。そして、VAが60 IU/dl以上の個体を高ビタミンA区に30~40 IU/dlの個体を低ビタミンA区として長短比の平均をとり、LED点灯後3秒間での瞳孔収縮の長短比を比較した(図9)。図においてエラーバーは標準偏差を示す。図より、低ビタミンA区に比べ、高ビタミンA区は長短比に大きな変化が見られた。今後は、より多くのデータから収縮時間による長径比の変化とVAの関係と比較する予定である。



図8 瞳孔の楕円近似

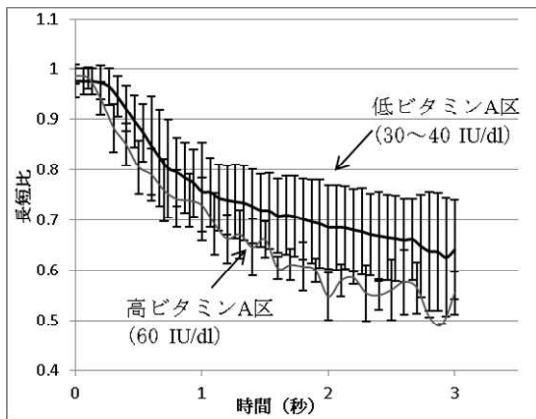


図9 楕円近似した瞳孔の長短比 (エラーバーは標準偏差)

②PLフィルタを用いた画像

瞳孔色からVAを推定するため、PLフィルタを用いたカメラの瞳孔画像から瞳孔色の特徴量を抽出した。図10(a)にPLフィルタを用いた画像の例を示す。PLフィルタにより角

膜表面からの鏡面反射成分が抑制され、眼球内部で反射してカメラに入る光を強調した瞳孔画像が得られる。色相により瞳孔領域を抽出した領域を楕円で近似し、ハレーションを生じた領域を除外したものを同図(b)に示す。瞳孔色の特徴量として、同図(b)に示す領域の赤、緑、青成分の平均値(それぞれR,G,B)から、赤比率として($R / (R+G+B)$)を求めた。兵庫県立農林水産技術総合センター北部農業技術センターの黒毛和種8頭を対象に2015年1月から12月の1年間の画像から赤比率を求め、血液検査で計測したビタミンA濃度との関係を図11に示す。この図よりビタミンA濃度が低いときには赤比率が大きくなる傾向が認められた。

今後は、この赤比率だけでなく前述の正規化輝度、瞳孔収縮も説明変数にした回帰分析により、ビタミンA推定精度を向上させる予定である。

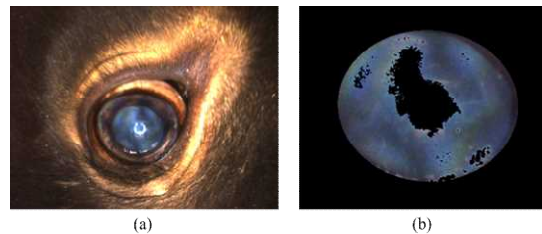


図10(a) : PLフィルタを用いた画像,
(b) : ハレーション部分を除去した瞳孔領域

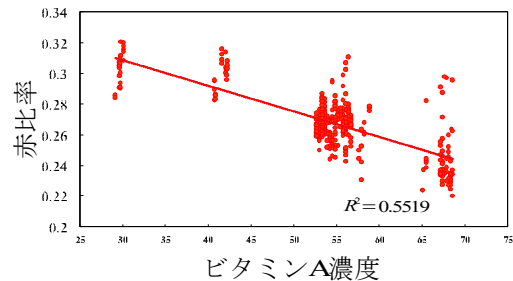


図11 VAと赤比率の関係

(3)飲水量の計測

飲水量は図2に示す装置において、水槽への管路に組み込んだ流量センサからのパルス信号をカウンタで積算することによって計測した。図12は、兵庫県立農林水産技術総合センター北部農業技術センターの黒毛和種1牛房8頭の2016年10月の飲水量日変化を示す。各牛の個体識別は可能であったが識別できなかった飲水のデータも存在するため、8頭分の合計を示した。この牛房では9時頃と15時頃に給餌が行われるため、その直後に飲水量が増える傾向がある。また、日平均気温と飲水量の関係を調べた結果、正の相関があった。

(4)兵庫県立農林水産技術総合センター北部農業技術センターで5頭の種雄牛から生産された40頭について、2016年9月から12月に

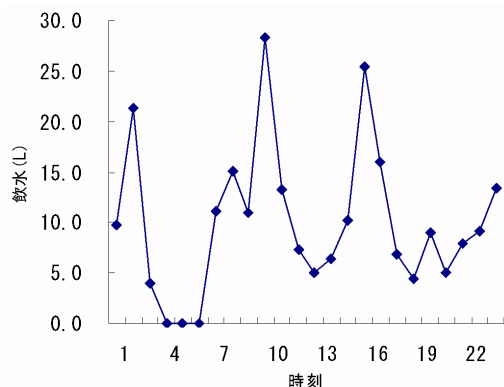


図 12 飲水量の日変化

かけて出荷された後、濃厚飼料給餌量、粗飼料給餌量、血液検査による VA 等と枝重、格付、脂肪交雑度など収量、品質データの関係を調べた。同じ種雄牛では、VA コントロール時期に VA が低かった牛は、脂肪交雑度が高い傾向が認められた。

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 2 件)

①森雅哉, Amry F. Amanah, 中島周作, 福島護之, 小浜菜美子, 藤浦建史, 鈴木哲仁, 小川雄一, 近藤直 : ”放射温度計を用いた黒毛和種の目周辺の温度計測” 農業食料工学会関西支部報 第 120 号, 査読なし, 2016 年, p.44

②森迫龍也, 藤浦建史, 椎木友朗, Amry F. Amanah, Peng Yingqi, 木地厚良, 増本忠久, 鈴木哲仁, 小川雄一, 近藤直, 福島護之, 小浜菜美子 : ”黒毛和種における精密畜産のための瞳孔画像自動入力装置の試作と評価” 農業食料工学会関西支部報第 118 号, 査読なし, 2015 年, p.66

〔学会発表〕 (計 18 件)

①近藤直 : ”畜産の情報化について” 農業食料工学会第 76 回年次大会オーガナイズドセッション「畜産の情報化」, 2017 年 9 月 8 日, 東京農業大学 (東京都)

②増本忠久, 近藤直, 鈴木哲仁, 森雅哉, Wulandari, Peng Yingqi, 木地厚良, 福島護之, 小浜菜美子, 吉岡秀貢 : ”黒毛和種の血中ビタミン A 濃度推定のための自動撮影装置を用いた画像処理による瞳孔収縮計測” 農業食料工学会第 76 回年次大会オーガナイズドセッション「畜産の情報化」, 2017 年 9 月 8 日, 東京農業大学 (東京都)

③ ZHOU YUAN, Kondo Naoshi, Fujiura

Tateshi, Suzuki Tetsuhito, Wulandari Wulandari, Mori Masaya, Fukushima Moriyuki, Kohama Namiko, Yoshioka Hidetugu : ” Estimation of Serum Vitamin A Level of Japanese Black Cattle by Automated Pupil Color Image Analysis” 農業食料工学会第 76 回年次大会オーガナイズドセッション「畜産の情報化」, 2017 年 9 月 8 日, 東京農業大学 (東京都)

④ Wulandari, Kondo Naoshi, Fujiura Tateshi, Suzuki Tetsuhito, Mori Masaya, Zhou Yuan, Kiji Atsuyoshi, Fukushima Moriyuki, Kohama Namiko, Yoshioka Hidetsugu : ” Relationship between Vitamin A Level Changes of Japanese Black Cattle and Light Reflection Intensity on Automatic Cattle Eye Image Acquisition System” 農業食料工学会第 76 回年次大会オーガナイズドセッション「畜産の情報化」, 2017 年 9 月 8 日, 東京農業大学 (東京都)

⑤ Peng Yingqi, Kondo Naoshi, Fujiura Tateshi, Suzuki Tetsuhito, Mori Masaya, Zhou Yuan, Masumoto Tadahisa, Wulandari, Kiji Atsuyoshi, Yoshioka Hidetsugu, Itoyama Erina, Matsuhira Noriyasu, Murakami Hiroaki, Nagase Hiroshi, Kitamura Shouko : ” Dynamic Cattle Behavioral Classification Using Convolution Neural Network by 3-axis Accelerometer” 農業食料工学会第 76 回年次大会オーガナイズドセッション「畜産の情報化」, 2017 年 9 月 8 日, 東京農業大学 (東京都)

⑥森雅哉, 近藤直, 鈴木哲仁, Wulandari, Zhou Yuan, 増本忠久, Peng Yingqi, 木地厚良, 福島護之, 小浜菜美子, 藤浦建史 : ”放射温度計による黒毛和種の非接触体温計測の検討” 農業食料工学会第 76 回年次大会オーガナイズドセッション「畜産の情報化」, 2017 年 9 月 8 日, 東京農業大学 (東京都)

⑦木地厚良, 近藤直, 鈴木哲仁, 森雅哉, Wulandari, Zhou Yuan, 増本忠久, Peng Yingqi, 福島護之, 小浜菜美子, 吉岡秀貢, 藤浦建史 : ”黒毛和種の飲水と気候の関係について” 農業食料工学会第 76 回年次大会オーガナイズドセッション「畜産の情報化」, 2017 年 9 月 8 日, 東京農業大学 (東京都)

⑧近藤直 : ”肥育牛の血中ビタミン A センサの開発ならびに地域戦略に基づく精密管理” 農業食料工学会第 75 回年次大会オーガナイズドセッション「畜産の情報化」, 2016 年 5 月 29 日, 京都大学 (京都市)

⑨ Wulandari, Kondo Naoshi, Fujiura Tateshi, Ogawa Yuichi, Suzuki Tetsuhito, Amry F.,

Zhou Yuan, Mori Masaya, Kiji Atsuyoshi, Fukushima Moriyuki, Kohama Namiko, Yoshioka Hidetsugu : ” Correlation between Pupil Surface Reflectance Features and Serum Vitamin A Level on Japanese Black Cattle by Automatic Image Acquisition System” 農業食料工学会第 75 回年次大会オーガナイズドセッション「畜産の情報化」, 2016 年 5 月 29 日, 京都大学 (京都市)

⑩ Amry F., Kondo Naoshi, Fujiura Tateshi, Ogawa Yuichi, Suzuki Tetsuhito, Nakajima Shusaku, Mori Masaya, Wulandari, Zhou Yuan, Kiji Atsuyoshi, Habaragamuwa Harshana, Fukushima Moriyuki, Kohama Namiko, Yoshioka Hidetsugu : ” An Automatic Image Acquisition System using Pupil Light Reflex Analysis for Prediction of Serum Vitamin A Levels in Japanese Black Cattle” 農業食料工学会第 75 回年次大会オーガナイズドセッション「畜産の情報化」, 2016 年 5 月 29 日, 京都大学 (京都市)

⑪ Zhou Yuan, Kondo Naoshi, Fujiura Tateshi, Ogawa Yuichi, Suzuki Tetsuhito, Amry F., Mori Masaya, Wulandari Wulandari, Kiji Atsuyoshi, Fukushima Moriyuki, Kohama Namiko, Yoshioka Hidetugu, Yoshioka Hidetugu : ” Correlation between Color of Pupil and Serum Vitamin A Level in Japanese Black Cattle through Automatic Image Acquisition System” 農業食料工学会第 75 回年次大会オーガナイズドセッション「畜産の情報化」, 2016 年 5 月 29 日, 京都大学 (京都市)

⑫ 森 雅哉, Amry F. Amanah, 中島周作, 福島護之, 小浜菜美子, 藤浦建史, 鈴木哲仁, 小川雄一, 近藤 直 : ” 放射温度計を用いた黒毛和種の日周辺の温度計測” 農業食料工学会関西支部第 135 回例会, 2016 年 3 月 2 日, 神戸大学 (神戸市)

⑬ 藤浦 建史, Amry F., Yingqi Peng, 木地 厚良, 鈴木 哲人, 小川 雄一, 近藤 直, 福島 護之, 小浜 菜美子, 中島 周作, 森雅哉 : ” 放射温度計を用いた体表温度計測による黒毛和種の体温の推定” 農業食料工学会関西支部第 134 回例会, 2015 年 10 月 10 日, ヤンマーミュージアム (滋賀県長浜市)

⑭ 近藤 直 : ” 肉用牛の肥育過程における情報化” 農業環境工学関連 5 学会 2015 年合同大会オーガナイズドセッション「畜産の情報化」, 2015 年 9 月 16 日, 岩手大学 (岩手県盛岡市)

⑮ 中島周作, 森 雅哉, 藤浦建史, 鈴木哲仁, 小川雄一, 福島護之, 小浜菜美子, 北川政幸, 吉岡秀貢, 近藤 直 : ” 情報化のための黒毛和種のセンシングシステムの開発” 農業

環境工学関連 5 学会 2015 年合同大会オーガナイズドセッション「畜産の情報化」, 2015 年 9 月 16 日, 岩手大学 (岩手県盛岡市)

⑯ 森迫龍也, 藤浦建史, 椎木友朗, Amry F. Amanah, Peng Yingqi, 木地厚良, 増本忠久, 鈴木哲仁, 小川雄一, 近藤 直, 福島護之, 小浜菜美子 : ” 黒毛和種における精密畜産のための瞳孔画像自動入力装置の試作と評価” 農業食料工学会関西支部第 133 回例会, 2015 年 3 月 3 日, 京都大学 (京都市)

⑰ Tatsuya Morisako, Naoshi Kondo, Yuichi Ogawa, Tateshi Fujiura, Han Shuqing, Tomoo Shiigi, Moriyuki Fukushima, Namiko Kohama : ” Automatic Pupil Image Capture System for Serum Vitamin A Level in Beef Cattle” 農業食料工学会関西支部第 132 回例会, 2014 年 9 月 26 日, 岐阜大学 (岐阜市)

⑱ 近藤 直 : ” Machine Vision System for Higher Quality Image Acquisition - Fluorescence image for slight defect detection on fruit surface and beef cattle pupil image for serum vitamin A measurement” The 5th International Workshop on Applications of Computer Image Analysis and Spectroscopy in Agriculture, ASABE, 2014 年 7 月 12 日, Montreal, Canada

〔図書〕 (計 1 件)

① 近藤 直, ほか: コロナ社, 生物センシング工学—音と光による生物計測—, 2015, 202 頁

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

近藤 直 (KONDO, Naoshi)

京都大学・大学院農学研究科・教授

研究者番号: 20183353

(2) 研究分担者

福島 護之 (FUKUSHIMA, Moriyuki)

兵庫県立農林水産技術総合センター・その他部局等・管理研究者

研究者番号: 60463395