

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 20 日現在

機関番号：14401

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2015～2016

課題番号：15H06362

研究課題名(和文) 時空間センシングに基づく乳牛の健康状態推定と可視化

研究課題名(英文) Health condition estimation of dairy cows using spatio-temporal sensing

研究代表者

大倉 史生 (Okura, Fumio)

大阪大学・産業科学研究所・助教

研究者番号：60754223

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、RGB-Dカメラによる継続的な三次元計測(時空間センシング)に基づく乳牛の健康状態推定を行った。時空間センシングに基づく乳牛の時空間データと酪農家の経験知(酪農家による健康状態スコアの測定値や健康状態に関する知見)を時系列的にデータベースに蓄積し、これらを学習データとして乳牛の状態推定に用いる。本研究期間においては、斑紋と歩き方を併用した乳牛の個体識別、乳牛の歩き方から蹄の疾病を軽度のうちに発見する手法の開発、およびそれらを実現するための酪農家の経験知と時空間データを融合したデータベースの構築を実施した。

本研究の成果に関して、実用化を見据えた特許出願および論文発表を行った。

研究成果の概要(英文)：Monitoring the health condition of dairy cows is an essential task in dairy farming. Dairy farmers and veterinarians traditionally assess health using manual observation; however, the condition of every cow is not often observed every day because this observation imposes a significant burden. The resulting lack of daily health management is an important cause of economic loss.

We developed novel approaches for health condition estimation of dairy cows using spatio-temporal sensing using RGB-D cameras. The RGB-D videos are stored with knowledges of dairy farmers such as measurements of health conditions of cows. In the JSPS research project, we focused on 1) the individual identification task by unifying texture and gait features, 2) early lameness detection using gait features, and 3) a spatio-temporal database construction that enabling the health condition estimation.

Related to the outcome of the projects, we applied patents as well as submitting papers.

研究分野：コンピュータビジョン・コンピュータグラフィックス

キーワード：酪農 画像解析 歩容解析 時空間センシング

1. 研究開始当初の背景

2014年の畜産統計調査によると、酪農家戸数はここ10年で35%減少し、その一方で1戸あたりの飼養頭数は増加傾向にあり、酪農家にかかる時間的・身体的負担は増大し続けている。体重や餌の摂取量・疾病等、乳牛の日々の健康状態を管理し、乳牛を健康に飼育することは、牛乳の量と質を向上する上で非常に重要である。乳牛の健康状態は体重や乳量といった量的指標とともに、体格等に基づく健康状態スコア(体重推定に有効なボディコンディションスコア(BCS)、第一胃の充足度を示すルーメンフィルスコア、蹄の疾病検出に有効なロコモーションスコア等)を用いて管理されている[1]。現在多くの酪農家が目視や手作業で乳牛一頭一頭の健康状態スコアを日々計測・管理しており、酪農家にかかる負担の大きな要因の一つとなっている。よって、情報技術を用いた効率的な乳牛の状態管理を実現することが喫緊の課題である。

情報技術を用いた乳牛の状態管理のうち、画像解析を用いた健康状態の推定は、非接触センサを用いた計測の優位性から有望な手法であると考えられる。国内外で、牛を対象とした画像解析により体重や乳量などの状態推定が行われてきた[2][3]。また、従来の二次元撮像機器に代わり普及しつつある、カラー画像と距離画像を同時取得可能なRGB-Dカメラ(Microsoft Kinect等)を用いた三次元画像の解析による体重や乳量推定、BCSの推定に関する検討が行われている[4]。しかし、ルーメンフィルスコアやロコモーションスコア等、疾病の検出につながるスコアの自動推定は行われていない。

2. 研究の目的

本研究は、RGB-Dカメラによる継続的な三次元計測(時空間センシング)に基づく乳牛の健康状態推定および、時系列的な健康状態データに基づく異常検出・可視化を目的とする。時空間センシングに基づく乳牛の時空間データと酪農家の経験知(酪農家による健康状態スコアの測定値や健康状態に関する知見)を時系列的にデータベースに蓄積し、これらを学習データとして健康状態推定に用いる。得られた日々の健康状態から、異常検出を行うとともに健康状態の推移や時空間計測データを可視化することで、酪農家による新たな知識の創造(発見)を促す。これにより得られた新たな知識をデータベースに追加することで好循環を生み出す。

研究代表者は、平成26年度終了の特別研究員奨励費「四次元自由視点移動を可能にする自由視点画像生成」において、三次元画像計測および可視化技術に取り組んできた。本研究は、これまで得られた知見をより実社会に根ざした問題を解決する観点から着想に至ったものであり、これまで取り組んできた研究を通じた知識の蓄積は、本研究の円滑な

推進に大きく寄与する。

3. 研究の方法

本研究期間においては、主に乳牛の個体識別、蹄の疾病推定、およびそれらを実現するための酪農家の経験知と時空間データを融合したデータベースの構築を実施した。

(1) データベース構築

酪農学園大学の協力の下、牛舎内に撮影機器を取り付けて乳牛を撮影し、その映像を加工して乳牛の個体ID、撮影時刻、位置合わせされた1歩行周期分の乳牛の点群データ、健康状態スコアをそれぞれ対応付けたデータベースを構築した。



図1 牛舎撮影環境

撮影環境

牛舎内に Kinect for Windows v2 (以降、Kinect と呼ぶ) を取り付けて行った。本研究では、カラー画像と距離画像を撮影している。Kinect は図1のように取り付けられている。この位置に設置することで、乳牛の歩行を1周期程度撮影するとともに、背中に現れる背中の湾曲度合と歩容の特徴を得られ、さらに今後商品展開を行った際の設置が容易となる。

また、乳牛は Kinect の画角内に入ると前に必ず搾乳ロボットを通過する。搾乳ロボットでは、搾乳作業を行った乳牛の個体識別番号と日時を自動で記録するため、このデータを用いることで乳牛の個体識別番号と日時を撮影データと対応づける。以上の環境におけるRGB画像および距離画像(図2参照)の撮影を継続的に行った。本研究期間を通じて継続的に撮影を行っているが、たとえば2015年9月28日~2015年10月27日の一ヶ月間での撮影回数は延べ1581回となっている。



図2 カラー画像および距離画像

乳牛の歩行 3 次元点群データの取得
本研究では、ロコモーションスコア推定や個体識別タスクにおいて、歩容特徴を使用する。そのため、撮影された画像群から乳牛が 1 歩行周期以上歩いているデータを収集した。しかし、すべての場面において乳牛が 1 歩行周期以上歩いているとは限らないため、1 歩行周期以上存在する場面を選別する必要がある。

具体的には照明環境によらない Kinect で撮影された距離画像を目視で確認し、乳牛が静止した場面や人などの障害物が映り込んだ場面を取り除き、1 歩行周期以上存在する場面を選別する。歩容特徴を用いるため、選別後に乳牛の距離画像列が歩行 1 周期分になるように手動で調整する。歩行 1 周期分の 3 次元点群データは、乳牛の歩行 1 周期分の距離画像列から得られる。図 2 に示した距離画像では、画像中の真っ黒な画素が測定不能点で、黒に近いほど近景、白に近いほど遠景の点となっている。この距離画像列から点群データを生成し、Kinect の画角内に進入してきた歩行中の乳牛の点群のみを取り出してから、Iterative Closest Point (ICP) アルゴリズムにより位置合わせすることによって、乳牛が歩行しているシーンの 3 次元点群データを得る。

本研究で Kinect を設置した牛舎では乳牛が 16 頭飼育されている。上記期間 (2015 年 9 月 28 日 ~ 2015 年 10 月 27 日) に撮影された映像群に対し上記の処理を行い、個体毎に異なる日・時間に撮影されたものを含む歩行 1 周期の点群データ延べ 523 頭分のデータベースを構築した。歩行乳牛の三次元点群例を図 3 に示す。

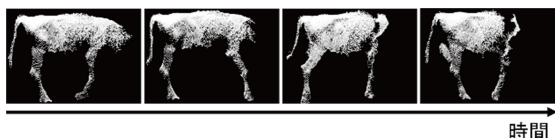


図 3 歩行乳牛の三次元点群列

スコアの付与

健康状態スコアは酪農学園大学にて獣医師が定期的に診断することによって得られたデータで、搾乳ロボットの日時データと紐付けられる形で管理されている。

例えば、蹄の疾病を評価する跛行スコアは 5 段階で評価され、スコア 1 の乳牛は蹄の状態が最も健康で、スコアが大きくなるにつれて蹄の状態も悪化する。獣医師によるスコアの診断は 2 週間に一度程度であり、乳牛の撮影間隔に対して少ない。一方、本研究で特に注目する跛行スコアは数週間単位で変化する指標である。そのため、本研究では同個体間の健康状態スコアを時間方向に線形補間し、日付ごとに小数点第 2 位まで含む補間済みスコアを改めて算出し、各乳牛の歩行 1 周

期分の 3 次元点群データに付与する。

(2) 蹄病推定

本研究課題では、蹄の疾病 (蹄病や跛行と呼ばれる) 有無の推定に重点を置いて研究を実施した。特に、軽度の蹄病個体 (ロコモーションスコアが 2 以上の個体) を発見するための歩容特徴を用いた手法を開発した。

本研究では、乳牛の軽度跛行検出のために乳牛の 1 歩行周期分の 3 次元点群データを用いる。跛行がある場合、歩容の変化と背中の変曲が見られることから、そのデータを用いて歩容特徴 (平均シルエット特徴) を生成するとともに、比較対象として背形状の特徴 (平均深度特徴) も生成する。得られた特徴量は次元数が大きいので、主成分分析を行って次元数を削減し、獣医師の診断による跛行スコアをラベルとして機械学習を行い、軽度蹄病の検出を行う。

特徴量の抽出

本研究では乳牛 1 歩行周期分の 3 次元点群データを仮想カメラで撮影し、平均画像を歩容特徴・平均シルエットとして抽出する。仮想カメラで撮影するにあたって仮想カメラの撮影位置を考慮する必要が生じる。仮想カメラにより乳牛に対して真横から撮影する場合、現在の Kinect の設置位置では乳牛の脚の撮影が困難で、歩容特徴を抽出しても撮影データに欠損が多く含まれるため有益な情報を獲得できない。一方、乳牛を天頂方向から再投影した場合撮影データの欠損が少なくなり、また、乳牛の歩容は脚の動きだけでなく背中への動きにも表れることを考慮すると、乳牛を天頂方向から再投影するのが妥当であると考えられる。実際、健康な乳牛と比較すると跛行を有する乳牛では跛行のある脚を庇うことで、その脚の真上部分が大きく沈む傾向が観察できる。また、背中への動きだけでなく、脚を庇う動作により体が左右に振れるといった人間においても観察できるような特徴が表れる。これらの特徴は歩行中の乳牛を真横から観察するよりも真上から観察した方が顕著に表れる。以上の理由より、データベース中に登録されている乳牛の 3 次元点群データを仮想カメラにより乳牛の天頂方向から再投影する。

歩容特徴として用いられる平均シルエットは、各画素における観測確率として求められる。つまり、画素の観察された回数を 1 歩行周期のフレーム数で割ることにより定義される。

背形状特徴である平均深度の抽出においても乳牛 1 歩行周期分の 3 次元点群データを用いる。平均シルエットの導出方法と同様、データベース中に登録されている乳牛の 3 次元点群データを仮想カメラにより乳牛の天頂方向から再投影する。平均深度は、仮想カメラからの深度値を、それぞれの画素で平均

したものとして定義される。

主成分分析

パターン認識を行うためには、得られたデータセットから対象を区別できるような特徴を抽出しなければならない。オリジナルのデータが持つ情報が冗長である場合、すなわち特徴の次元が大きい時、識別器の性能の向上が見込めない。そのため、オリジナルのデータから本質的な性質を損なうことなく特徴の次元を小さくすることが好ましい。そのための手法として、平均シルエット・平均深度特徴それぞれについて主成分分析を使用し、特徴抽出を行う。

各シーケンスに対して主成分を求めると、平均シルエット、平均深度においてそれぞれシーケンス数と同じ523の特徴量が算出される。523の特徴量を用いれば情報の劣化なく学習を行うことができるが、すべての特徴量が一樣に同等の価値があるわけではなく、分散の大きな軸から算出された主成分の方がより対象を表現するのに重要な特徴量を表していると言える。そのため本研究では累積寄与率が80%以上となるように、分散の大きい主成分から順に選択した特徴量を学習に用いた。その結果、平均シルエットでは12次元、平均深度では54次元の主成分が選択された。

学習手法

本研究では、軽度蹄病の検出にあたってサポートベクターマシン (support vector machine: SVM) を用いて学習を行い、検出器を作成する。SVMは2クラスのパターン認識のための手法であるため、あらかじめ正解のデータとしてデータセットの各シーケンスを跛行の有無に関して2クラスに分類する必要がある。本研究では、跛行診断結果を線形補間し四捨五入した跛行スコアが1である延べ394シーケンスと、跛行スコアが2以上の延べ129シーケンスの2クラスに分類し学習を行った。なお、本研究ではradial basis function (RBF) カーネルを用いた非線形SVMを用いた。

(3) 個体識別

本研究では、(1)で作成したデータベースに基づく個体識別を実施した。斑紋による特徴および、歩容による識別を併用した新たな個体識別アプローチを提案した。

乳牛のホルスタイン種では血統登録を行う際に同時に体の側面の斑紋を登録するため、体表の斑紋はホルスタイン種における牛の個体ごとの情報として有効であると考えられる。一方、斑紋による個体識別は、一般的に斑紋の少ない個体や照明変化等の環境変化に影響を受けやすいことが問題となる。人間を対象とした個人識別においては、人物の模様(服装など)の変化に影響されない特

徴とし、歩容や体型が用いられている。提案手法では、乳牛における個体情報として有用な斑紋情報と、牛舎内の照明変化や斑紋の少ない個体にも頑強な歩容情報を用いて個体

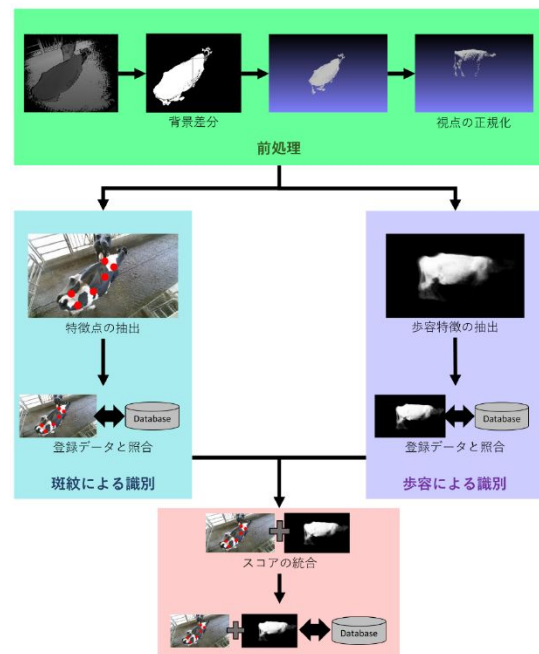


図4 個体識別の流れ

の識別を行う。

歩容による識別

本研究では、(2)でも用いた平均シルエットを歩容特徴として識別を行った。ただし、牛の歩行時の問題として、人間の場合と異なり頭を振って歩くことが問題となる。同個体でも頭を振って歩いている場合は画像間の相違が大きくなってしまふ。このような場合を

考慮し、頭部領域の除去を行う。牛のシルエットの左端から胴体の領域を定義し、それ以降の領域を頭部と定義する。また、照合する際には入力データの同じ領域を除去する。

斑紋による識別

牛舎内では牛の歩くルートを限定していないため、シーケンスにおける撮影したRGB画像間で照明変化、回転変化、スケール変化などが発生する。そのため、これらの変化に頑健な scale-invariant feature transform (SIFT) 特徴量を用いて乳牛の個体識別を行う。しかし、画像全体から最も類似する特徴点を探した場合、類似点の対応が正しく行われない場合も多く存在する。そのため、同時に撮影されたRGB・深度・位置合わせを行った点群を用いて類似点を探索する範囲を限定することで、この問題に対応する。

スコア統合

更なる識別精度向上のため、体格・斑紋の併用による識別を行う。斑紋のない個体や夜間に撮影されたデータでは斑紋特徴による

識別を行うことが難しいため、歩容特徴による識別を行う。一方、斑紋が確認できるデータでは斑紋特徴と歩容特徴を併用して識別を行う。本研究では、画像輝度値に基づくスコア統合手法を提案し、評価を行った。

4. 研究成果

(1) 蹄病推定結果

平均シルエット特徴を用いた識別器と平均深度特徴を用いた識別器の性能評価を行うために、それぞれの識別器に対し、同個体を学習・テストデータ両方に用いないような交差検定を行った。平均シルエット特徴、平均深度特徴を用いた場合の交差検定における識別精度を表1に示す。なお、ここで識別精度は正解データと比較した時に、正確にポジティブなクラスとネガティブのクラスに分類できた割合を表している。

歩容特徴による分類結果は99%以上の精度となっており、歩容特徴が蹄病の早期発見に適した特徴であることが示された。

表1 蹄病推定結果

平均シルエット	99.2%
平均深度	92.4%
従来手法	84.3%

(2) 個体識別結果

個体識別の結果を図5に示す。本研究では、入力とする牛のデータと登録された全ての牛のデータと比較し、一致するものを示す1対N認証を用いて性能評価を行った。1頭の入力データに対し全ての登録データとの相違度を計算し、入力個体に対する正解が何位までに含まれるか、その割合を表した累積識別精度特性(CMC: Cumulative Match Characteristic)曲線で性能を評価する。登録データに同一個体が複数含まれる場合は最も小さい相違度を登録データに対する相違度とする。1位の認証率が正しく識別された結果である。

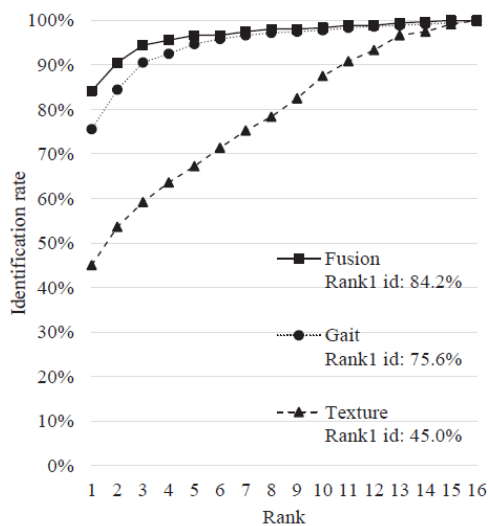
テクスチャが存在する映像(昼など)に対しては、斑紋を用いた手法で高い1位認証率(90.1%)を実現した(図5(b))。一方で、歩容を用いた場合、テクスチャの有無に関わらず一定の認証率を達成している。2つの手法を統合することで、全てシーン(図5(a))において各手法を単独で適用した場合よりも高い1位認証率(平均84.2%)を達成した。

【参考文献】

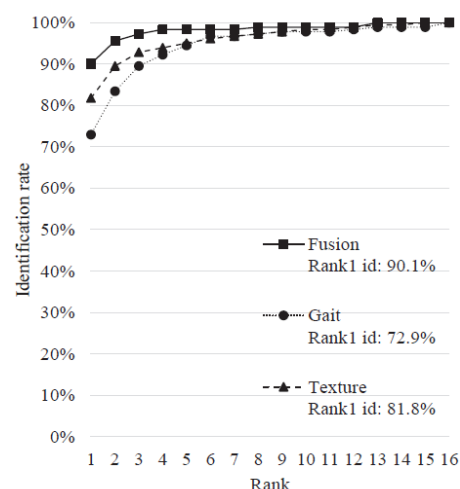
- [1] J. Hulsen. Cow Signals: A Practical Guide for Dairy Farm Management. Roodbont Publishers, 2005.
- [2] S. Tasdemir, A. Urkmez, S. Inal. Determination of body measurements on the Holstein cows using digital image analysis and estimation of live weight with

regression analysis. Computers and Electronics in Agriculture, 76(2), pp. 189–197, 2011.

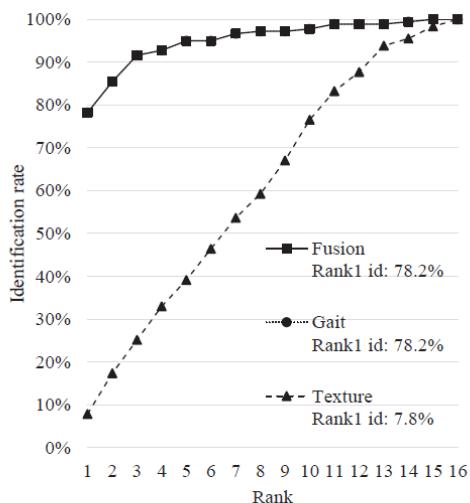
[3] 緒方, 中橋, 澁谷, 口田. 画像解析を用いた黒毛和種子牛に対する体重推定の可能性



(a) Results for all probe sequences.



(b) Results for probe sequences captured in scenes with textures ($\sigma \geq \theta$).



(c) Result for probe sequences captured in textureless scenes ($\sigma < \theta$).

図5 個体識別結果

およびその精度. 帯広畜産大学学術研究報告, 32, pp. 14-19, 2011.

[4] Y. Kuzuhara, K. Kawamura, R. Yoshitoshi, et al. A preliminary study for predicting body weight and milk properties in lactating Holstein cows using a three-dimensional camera system. Computers and Electronics in Agriculture, 111, pp. 186-193, 2015.

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 1 件)

Fumio Okura, Takayuki Akaguma, Tomokazu Sato, Naokazu Yokoya: "Addressing temporal inconsistency in indirect augmented reality" Multimedia Tools and Applications, 査読有, 2016, 25 pages.
<http://dx.doi.org/10.1007/s11042-015-3222-0>

〔学会発表〕(計 7 件)

Fumio Okura, Saya Ikuma, Yasushi Makihara, Daigo Muramatsu, Yasushi Yagi: "Gait recognition of dairy cows" Proc. the 11th International Workshop on Robust Computer Vision (IWRCV2016), Dec 2016, KAIST, Korea.

砂川 翔哉, 大倉 史生, 生熊 沙絢, 中田 健, 八木 康史: "乳牛の歩行映像解析による軽度蹄病の検出", 情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol.2017-CVIM-206, No.2, pp.1-8, Mar 2017, 国立情報学研究所.

生熊 沙絢, 榎原 靖, 大倉 史生, 村松 大吾, 八木 康史: "乳牛の 3 次元歩行解析による個体識別", 第 6 回バイオメトリクスと認識・認証シンポジウム, Nov 2016, 芝浦工業大学 豊洲キャンパス.

大倉 史生, Kenneth Vanhoey, Adrien Bousseau, Alexei A. Efros, George Drettakis: "事例ベース季節変換", 第 19 回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2016) 講演論文集, IS2-29, Aug 2016, アクトシティ浜松.

砂川 翔哉, 大倉 史生, 榎原 靖, 村松 大吾, 八木 康史: "乳牛の蹄病検出のための 3 次元歩行画像解析", 情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol.2016-CVIM-202, No.10, pp.1-6, May 2016, 立命館大学・大阪いばらきキャンパス.

Fumio Okura, Takuhiro Kimura, Masataka Niwa, Ikuhisa Mitsugami, Atsuyuki Suzuki, Yasushi Makihara,

Chihiro Aoki, Daigo Muramatsu, Yasushi Yagi: "Automatically acquiring walking-related behavior of 100,000 people", International Workshop on Human Behavior Analysis in the Real World (in conjunction with ACPR2015), Nov 2015, Kuala Lumpur, Malaysia.

Fumio Okura, Kenneth Vanhoey, Adrien Bousseau, Alexei A. Efros, George Drettakis: "Changing season in a single photograph by unifying color and texture transfer", Proc. the 10th International Workshop on Robust Computer Vision (IWRCV2015), Nov 2015, Beijing, China.

〔図書〕(計 1 件)

藤本 雄一郎, 青砥 隆仁, 浦西 友樹, 大倉 史生, 小枝 正直, 中島 悠太, 山本 豪志朗: "OpenCV 3 プログラミングブック", マイナビ, 2015.

〔産業財産権〕

○出願状況(計 2 件)

名称: 健康状態推定装置
発明者: 八木康史、大倉史生、榎原靖、村松大吾
権利者: 同上
種類: 特許
番号: 特願 2016-090680
出願年月日: 28 年 4 月 28 日
国内外の別: 国内出願

名称: 健康状態推定装置
発明者: 八木康史、大倉史生、榎原靖、村松大吾
権利者: 同上
種類: 特許
番号: PCT/JP2017/005089
出願年月日: 29 年 2 月 13 日
国内外の別: PCT 出願

〔その他〕

ホームページ等
<http://www.am.sanken.osaka-u.ac.jp/~okura/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

大倉 史生 (OKURA, Fumio)
大阪大学・産業科学研究所・助教
研究者番号: 6 0 7 5 4 2 2 3