

平成30年6月4日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H01693

研究課題名(和文) 実環境下でのマルチモーダル歩容認証とその犯罪捜査への応用

研究課題名(英文) Multi-modal gait recognition in the wild and its application to criminal investigation

研究代表者

八木 康史 (YAGI, Yasushi)

大阪大学・産業科学研究所・教授

研究者番号：60231643

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、スマートフォンを操作しながらの歩行に代表される「ながら歩行」に対する歩容認証技術GRW (Gait Recognition in the Wild)の確立を目的とする。そのため、約6万人からなる荷物所持状況変化を伴う世界最大規模のデータベースを構築し、輝度共起に対する計量学習手法により、ながら歩行に頑健な認証手法を開発した。持ちながらのを確立する。更に、歩いて通過するだけでマルチモーダル個人認証が可能なノンストップアクセスコントロールシステムGait Gateを開発した。

研究成果の概要(英文)：We proposed a method of gait recognition in the wild (GRW) to effectively handle gait with some accompanied actions such as operating a smartphone. For this purpose, we constructed the world-largest gait database including approx. 60,000 subjects with carried objects, and then proposed a method of gait recognition robust against carrying status variations using joint intensity and spatial metric learning. Moreover, we developed an online walk-through multi-modal access control system, named, Gait Gate.

研究分野：視覚情報処理

キーワード：歩容認証 ながら歩行 計量学習 データベース アクセスコントロール

## 1. 研究開始当初の背景

人の歩き方の個性に基づく個人認証「歩容認証」は、カメラから離れた場所でも唯一利用可能なバイオメトリクスとして注目を集め、1990年代後半より世界各国において研究が開始された。以降、2008年10月には、英国で歩容認証が裁判証拠として採用された事例[1]、2009年2月には申請者らが考案した歩容認証技術が日本で初めて犯罪捜査に活用された事例[2]がある。

しかし、歩容認証の従来研究の多くが、普通に直線路を歩行した人物映像を対象としていた(図2)。しかし、図1のように、一般環境では、タバコを吸いながら、スマートフォンを使いながらといった「ながら歩行」が非常に多く、普通に歩行しているケースは稀である。よって、歩容認証の進化のためには、既存の歩容認証手法では扱うことのできない実環境下での多様な歩行に対する歩容認証技術の確立が必要不可欠である。

[1] BBC News, “How biometrics could change security” 2008年10月31日。

[2]毎日放送 VOICE 「指紋は不要? 放火犯を追った驚きの科学捜査とは!」2009年2月20日。



図1. ながら歩行



図2. 直線路における標準歩行（従来）

## 2. 研究の目的

本研究では、スマートフォンを操作しながらの歩行に代表される「ながら歩行」といった、日常生活で一般に観測される、多様な歩行映像に対する歩容認証技術 GRW (Gait Recognition in the Wild)を確立する。これにより、歩容鑑定の適用可能範囲の大幅な拡大や、重い荷物を持ちながら逃走した犯人、というような「ながら属性」を検索キーとした目撃情報に基づく不審人物検索が実現可能

である。更に、歩いて通過するだけで個人認証可能なノンストップアクセスコントロールにも発展でき、大規模イベント会場等で利用することで、セキュリティ強化・混雑解消に繋がる。なお、本研究を通じて、世界初の「ながら歩行」大規模歩容データベースも構築する。これらの研究開発を通して、犯罪捜査支援・警備支援へ大きく貢献することが本研究の目的である。

## 3. 研究の方法

本研究では、GRWの確立を目指し、基礎技術として、P1. 「ながら歩行」に対する歩容認証の研究を実施し、更に世界初の P2. Labeled Gait in the Wild: 「ながら歩行」を含む大規模歩容データベースを構築する。最後にそれらの技術の P3. 犯罪捜査支援・警備支援への応用を目指し、科警研における鑑定システムの試験運用、目撃情報のながら属性による不審人物検索、歩いて通るだけで個人認証可能な Gait Gate: ノンストップアクセスコントロール技術の開発を実施する。

### P1. 「ながら歩行」に対する歩容認証

#### P1-1. 「ながら歩行」の初期解析

「ながら歩行」の予備評価データベースを準備し、「ながら歩行」に対応した歩容認証手法の検討を行う。

#### P1-2. 「ながら歩行」の行為対象に応じた認証手法の開発

「ながら歩行」の行為対象に応じて歩行に対する影響が異なるため、各々に応じた認証手法を開発する。具体的には、速度を変化させながらの歩行、荷物所持状況を変化させながらの歩行、姿勢を変化させながらの歩行（スペースの都合上、割愛）を対象として考える。

### P2. Labeled Gait in the Wild: 「ながら歩行」を含む大規模歩容データベース

顔認証の分野では実シーンへの対応を目指した公開データベース Labeled Face in the Wild (LFW) [Gary et al. 2007]が存在するのに対して、歩容認証の分野にはそのようなデータベースが存在しない。そこで、日本科学未来館における歩行映像解析の展示と変更したデータ収集を行い、実際に各被験者が所持する荷物を持った場合と持たない場合のデータを含む、世界最大規模の歩行映像データベースを構築する。

### P3. 犯罪捜査支援・警備支援への応用

#### P3-1. 鑑定システムの試験運用

歩容認証技術を随時歩容鑑定システムに実装し、科警研に評価版ソフトウェアを提供することで、実際の犯罪案件に対する試験運用を全期間通じて行う。これにより、現場からのフィードバックを受け、鑑定システムの改善に活用する。また、科警研にて実施される各都道府県警の科捜研の鑑定技術職員向

け研修において、本鑑定システムの講習を実施することで、将来的に全国の科捜研への展開を目指す。

### P3-2. ながら属性による人物検索

犯行現場の目撃情報には、「荷物を持ちながら犯人が逃げていった」というようなながら属性の情報が含まれることがあるが、従来の歩容認証では、登録時の歩容特徴がなければ人物照合や検索が不可能である。そこで、このようなながら属性の目撃情報に基づいて、人物候補を検索する手法を開発する

### P3-2. Gait Gate: ノンストップアクセスコントロール

歩容認証手法をオンライン化することで、ノンストップで利用可能なアクセスコントロールシステムを構築する。本システムでは、カラーと深度情報を取得可能なセンサを用いて、歩容・頭部・身長といった生体情報のモダリティを統合して、認証精度の高精度化を図る。

## 4. 研究成果

### P1. 「ながら歩行」に対する歩容認証

#### 速度変化させながらの歩行に対する認証

速度変化は、駅へ急ぎならの歩行や、公園でのリラックスした歩行、ウィンドウショッピングをしながらのゆっくりとした歩行など、状況に応じて頻繁に生じるながら歩行と言える。速度変化が生じると、歩容認証の分野で標準的に用いられている歩容エネルギー画像 (Gait energy image: GEI)、別名、平均シルエットは、歩幅や腕の振りといった面で大きな影響を受けるため、そのまま照合すると認証精度の低下を招く。一方、腕や足が最も閉じた状態である片足支持 (Single support: SSP) 相における1枚のシルエット画像を抽出すると、速度変化による腕振りや歩幅の変化の影響が抑制される一方で、俯きなどの姿勢変化があった場合に、GEI に備わっている平均化による頑健性の恩恵が受けられずに、認証精度が低下する場合がある。

そこで、本手法では、上記のトレードオフを考慮し、SS 相付近の画像列に対して平均化の操作を行って抽出する片足支持歩容エネルギー画像 (SS-GEI) を用いて、認証する (図 3)。

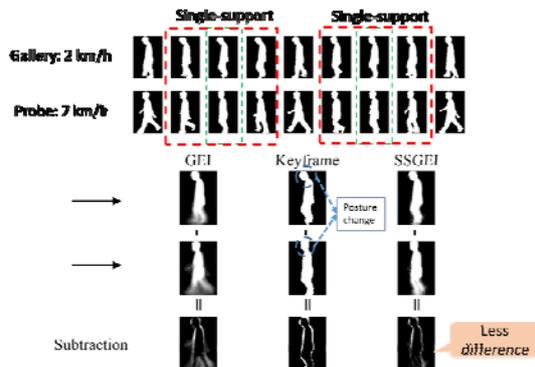


図 3. 速度変化に対応する SS-GEI 特徴

実験では、時速 2km から 7km までの速度変化を含む、歩行映像の公開データベース OUTD-A を用いて精度評価を行った。具体的には、本人認証問題における他人受け入れ誤り率 (False Acceptance Rate: FAR) と本人拒否誤り率 (False Rejection Rate: FRR) とトレードオフを受信者操作特性 (Receiver Operating Characteristics: ROC) 曲線により、また、個人識別問題における各順位の認証率を累積識別精度特性 (Cumulative Matching Characteristics: CMC) 曲線により評価した (図 4)。結果として、従来手法の中で最も性能が高いもので 1 位認証率の平均が 98.07% となったのに対して、提案手法により 1 位認証率 99.33% を達成した。

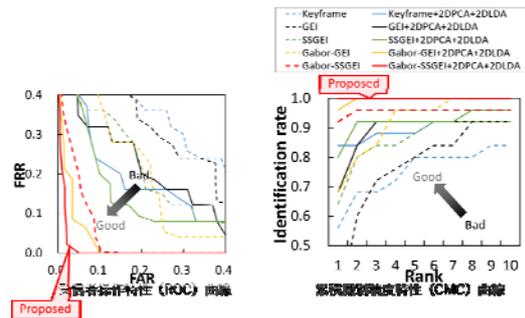


図 4. 速度変化に対する歩容認証の精度評価

#### 荷物所持状況を変化させながらの歩行に対する認証

多くの場合は、人々は何かしらの荷物を持ちながら移動していることから、荷物所持状況の変化は、頻繁に観測されるながら歩行と言える。このような荷物所持状況の変化や、服装の変化が生じると、前述の標準的な歩容特徴 GEI を用いた場合、本人同士であっても、荷物変化や服装変化の静的な部位において、大きな差が生じることとなり、認証精度の低下に繋がる。このように、荷物変化や服装変化は、静的な部分への影響が大きい一方で、動的な部分への影響は限定的であることから、従来研究でも、動的な部位に着目するために歩容エネルギーをエントロピーに変換する手法や、そのエントロピーが高い部位 (即ち、動的な部位) の歩容エネルギー値を用いる手法が提案されている。しかしながら、これらは、静的な情報については完全に捨ててしまっていることから、認証の観点から最適な手法とは言えない。

そこで、本手法では、これらの静的な部位と動的な部位が持つ認証能力と、荷物所持状況や服装変化による影響の受け易さのトレードオフを考慮して、認証精度を最適にするように歩容エネルギーの反応関数 (Gait energy response function: GERF) を学習する (図 5)。

実験では、32 種類の服装変化を含む歩行映像の公開データベース OUTD-B を用いて、ROC 曲線及び CMC 曲線により精度評価を行った (図 6)。結果として、FAR と FRR のトレード

オフ点である等価誤り率 (Equal Error Rate: EER) について、従来手法が 10.26% であるのに対して、提案手法によって 6.19% にまで低減されることを確認した。

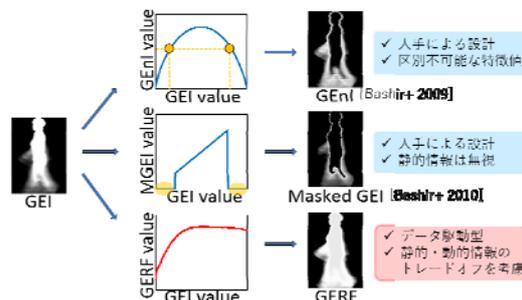


図 5. 歩容エネルギー反応関数 (GERF)

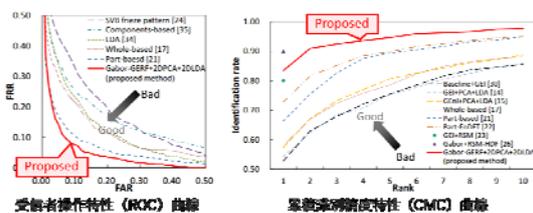


図 6. 服装変化に対する歩容認証の精度評価

更に、上記の歩容エネルギー (輝度) の操作による認証精度改善手法の考え方を発展させて、照合対の輝度の組 (輝度共起) に対して、柔軟に相違度を設計する枠組みを提案した (図 7)。これにより、通常、大きな差として現れる荷物の有無による輝度値の差 (例えば、GEI における黒と白) に対する相違度を押しさえつつ、個人間で差が生じやすい動きの輝度値の差 (例えば、GEI における薄い灰色と濃い灰色) に対する相違度を大きくするようにすることで、精度改善が期待される。更に、従来の空間的な計量学習と合わせて、双線形サポートベクターマシンによる交互最適化の枠組みを提案した (図 8)。

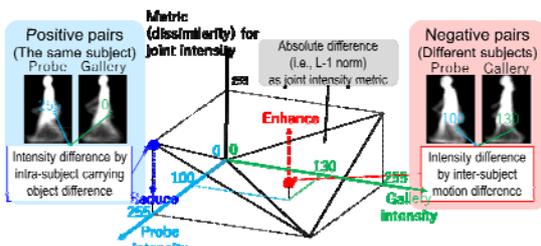


図 7. 輝度共起計量学習の概念

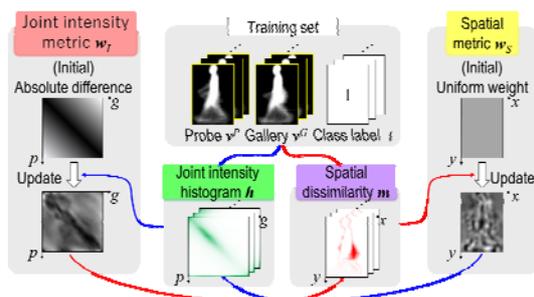


図 8. 輝度共起と空間に対する交互計量学習

実験では、服装変化を含む OUTD-B に加えて、荷物変化を伴う OULP-Bag  $\beta$  を用いて、ROC 曲線及び CMC 曲線により精度評価を行った (図 9)。結果として、提案手法により、従来手法よりも 1 位認証率や EER が改善することが確認された。

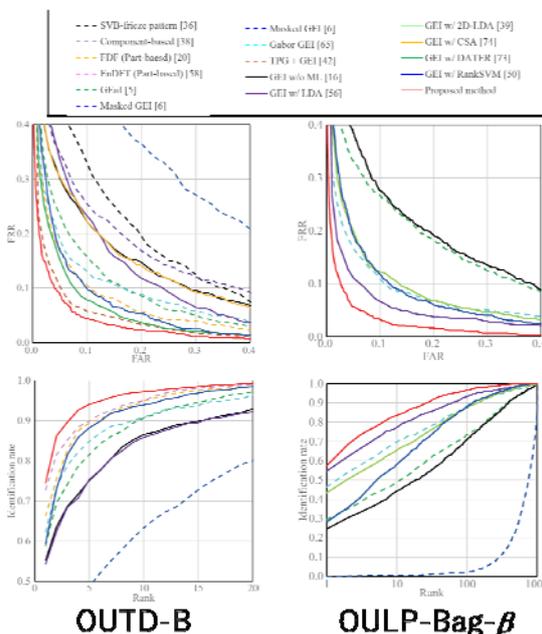


図 9. 輝度共起・空間計量学習による歩容認証の精度評価 (上: ROC 曲線、下: CMC 曲線)

## P2. Labeled Gait in the Wild: 「ながら歩行」を含む大規模歩容データベース

顔認証の分野では実シーンへの対応を目指した公開データベース Labeled Face in the Wild (LFW) [Gary et al. 2007] が存在するのに対して、歩容認証の分野にはそのようなデータベースが存在しない。そこで、日本科学未来館における歩行映像解析の展示と変更したデータ収集を行い、実際に各被験者が所持する荷物を持った場合と持たない場合のデータを含む、世界最大の 70,000 人規模のデータベースを構築した。

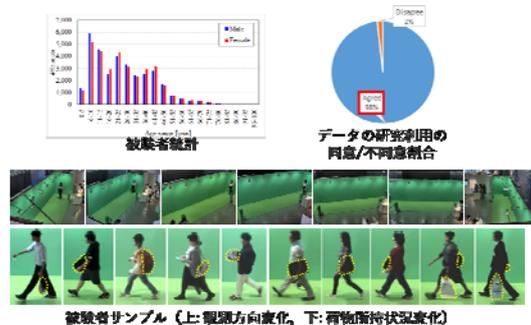


図 10. 構築した歩行映像データベース

## P3. 犯罪捜査支援・警備支援への応用

歩容認証技術を歩容鑑定システムに実装し、研究分担機関である科学警察研究所 (以下、科警研) に評価版ソフトウェアを提供することで、実際の犯罪案件に対する試験運用

を全期間通じて行った。結果として、2016年に科警研にて実施した歩容鑑定結果が、日本で初めて裁判所で証拠採用されるに至った。また、科警研にて実施される各都道府県警の科捜研の鑑定技術職員向け研修において、本鑑定システムの講習を毎年実施しており、将来的に全国の科捜研への展開を目指す。

また、歩容認証手法をオンライン化することで、ノンストップで利用可能なアクセスコントロールシステムを構築した。本システムでは、カラーと深度情報を取得可能な Kinect v2 を用いて、歩容・頭部・身長を、それぞれ、GEI の直接照合、相互部分空間法、地面制約による足下点算出と頭頂点算出による計算法に基づいて照合し、各相違度をスコアレベル統合することで、オンライン認証するシステムとして構築した (図 11)。

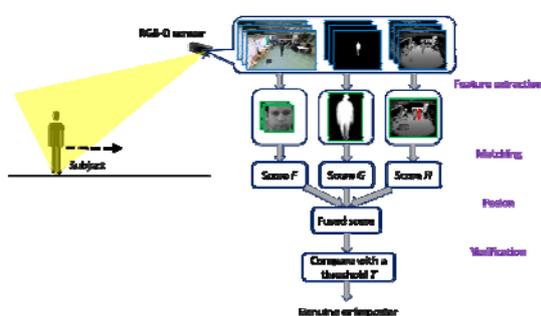


図 11. Gait Gate の概要

## 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 11 件)

- [J1] M. Z. Uddin, T. T. Ngo, Y. Makiyara, N. Takemura, X. Li, D. Muramatsu, Y. Yagi, ``The OU-ISIR Large Population Gait Database with Real-Life Carried Object and its performance evaluation,`` IPSJ Trans. on Computer Vision and Applications, Vol. 10, No. 5, pp. 1-11, May 2018. DOI: 10.1186/s41074-018-0041-z (査読有)
- [J2] N. Takemura, Y. Makiyara, D. Muramatsu, T. Echigo, Y. Yagi, ``On Input/Output Architectures for Convolutional Neural Network-Based Cross-View Gait Recognition,`` IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology (TCSVT), 2018. DOI: 10.1109/TCSVT.2017.2760835 (査読有)
- [J3] N. Takemura, Y. Makiyara, D. Muramatsu, T. Echigo, Y. Yagi, ``Multi-view Large Population Gait Dataset and Its Performance Evaluation for Cross-view Gait Recognition,`` IPSJ Trans. on Computer Vision and Applications, Vol. 10, No. 4, pp. 1-14, Feb. 2018. DOI: 10.1186/s41074-018-0039-6 (査読有)

- [J4] 鈴木 温之, 村松 大吾, 榎原 靖, 柏本 雄士朗, 八木 康史, ``輝度値共起ヒストグラムを用いた荷物所持に頑健な歩容認証,`` 電子情報通信学会論文誌 A, vol. J100-A, No. 12, pp. 444-454, Dec. 2017. (DOI 無し) (査読有)
- [J5] M. Z. Uddin, D. Muramatsu, T. Kimura, Y. Makiyara, Y. Yagi, ``MultiQ: Single sensor-based multi-quality multi-modal large-scale biometric score database and its performance evaluation,`` IPSJ Trans. on Computer Vision and Applications, Vol. 9, No. 18 pp. 1-25, Jul. 2017. DOI: 10.1186/s41074-017-0029-0 (査読有)
- [J6] D. Muramatsu, Y. Makiyara, and Y. Yagi, ``View Transformation Model Incorporating Quality Measures for Cross-view Gait Recognition,`` IEEE Trans. on Cybernetics, Vol. 46, No. 7, pp. 1602-1615, Jul. 2016. DOI: 10.1109/TCYB.2015.2452577 (査読有)
- [J7] 木村 卓弘, 村松 大吾, 榎原 靖, 八木 康史, ``歩容・頭部・身長を用いたマルチモーダル鑑定システム,`` 電子情報通信学会論文誌 A バイオメトリクス小特集, Vol. J98-A, No. 12, pp. 659-663, Dec. 2015. (DOI なし) (査読有)
- [J8] Y. Makiyara, T. Tanoue, D. Muramatsu, Y. Yagi, S. Mori, Y. Utsumi, M. Iwamura, and K. Kise, ``Individuality-preserving Silhouette Extraction for Gait Recognition,`` IPSJ Trans. on Computer Vision and Applications, Vol. 7, pp. 74-78, Jul. 2015. DOI: http://doi.org/10.2197/ipsjtcva.7.7.4 (査読有)
- [J9] D. Muramatsu, Y. Makiyara, and Y. Yagi, ``Cross-View Gait Recognition by Fusion of Multiple Transformation Consistency Measures,`` IET Biometrics, Vol. 4, No. 2, pp. 62-73, Jun. 2015. DOI: 10.1049/iet-bmt.2014.0042 (査読有)

[学会発表] (計 74 件)

- [C1] Y. Makiyara, D. Adachi, C. Xu, Y. Yagi, ``Gait Recognition by Deformable Registration,`` Prof. of the IEEE Computer Society Workshop on Biometrics 2018, Salt Lake City, Utah, USA, Jun. 2018 (to appear)
- [C2] H. El-Alfy, C. Xu, Y. Makiyara, D. Muramatsu, and Y. Yagi, ``A Geometric View Transformation Model using Free-form Deformation for Cross-view Gait Recognition,`` Proc. of the 4th Asian Conf. on Pattern Recognition (ACPR 2017), pp. 929-934, Nanjing,

- China, Nov. 2017.
- [C3] Y. Makihara, A. Suzuki, D. Muramatsu, X. Li, and Y. Yagi, "Joint Intensity and Spatial Metric Learning for Robust Gait Recognition," Proc. of the 30th IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2017), pp. 5705-5715, Honolulu, Hawaii, USA, Jul. 2017.
- [C4] H. El-Alfy, D. Muramatsu, Y. Teranishi, N. Nishinaga, Y. Makihara, and Y. Yagi, "A Visual Surveillance System for Person Re-Identification," Proc. of the 13th Int. Conf. on Quality Control by Artificial Vision (QCAV 2017), SPIE, Vol. 10338, No. 103380D, pp. 1-7, Tokyo, Japan, May 2017.
- [C5] X. Li, Y. Makihara, C. Xu, D. Muramatsu, Y. Yagi, and M. Ren, "Gait Energy Response Function for Clothing-invariant Gait Recognition," Proc. of the 13th Asian Conf. on Computer Vision (ACCV 2016), pp. 257-272, Taipei, Taiwan, Nov. 2016.
- [C6] C. Xu, Y. Makihara, X. Li, Y. Yagi, and J. Lu, "Speed Invariance vs. Stability: Cross-Speed Gait Recognition Using Single-Support Gait Energy Image," Proc. of the 13th Asian Conf. on Computer Vision (ACCV 2016), pp. 52-67, Taipei, Taiwan, Nov. 2016.
- [C7] M. Hasan, Y. Makihara, D. Muramatsu, and Y. Yagi, "Gait Gate: An Online Walk-through Multimodal Biometric Verification System using a Single RGB-D Sensor", Proc. of Workshop on Human Identification for Surveillance (HIS): Methods & Applications (in conjunction with ACCV 2016), pp. 330-344, Taipei, Taiwan, Nov. 2016.
- [C8] Y. Makihara, T. Kimura, F. Okura, I. Mitsugami, M. Niwa, C. Aoki, A. Suzuki, D. Muramatsu, and Y. Yagi, "Gait Collector: An Automatic Gait Data Collection System in Conjunction with an Experience-based Long-run Exhibition" Proc. of the 8th IAPR Int. Conf. on Biometrics (ICB 2016), pp. 1-8, Halmstad, Sweden, Jun. 14-16, 2016.
- [C9] K. Shiraga, Y. Makihara, D. Muramatsu, T. Echigo, and Y. Yagi, "GEINet: View-Invariant Gait Recognition Using a Convolutional Neural Network", Proc. of the 8th IAPR Int. Conf. on Biometrics (ICB 2016), pp. 1-8, Halmstad, Sweden, Jun. 14-16, 2016.
- [C10] Y. Makihara, A. Mansur, D.

Muramatsu, M. Z. Uddin, and Y. Yagi, "Multi-view Discriminant Analysis with Tensor Representation and Its Application to Cross-view Gait Recognition," Proc. of the 11th IEEE Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition (FG 2015), Paper ID: 126, pp. 1-8, Ljubljana, Slovenia, Apr. 2015.

[図書] (計 1 件)

- [B1] Y. Makihara, D. S. Matovski, M. S. Nixon, J. N. Carter, Y. Yagi, "Gait Recognition: Databases, Representations, and Applications," John Wiley & Sons, Inc., pp. 1-15, Jun. 2015. DOI: 10.1002/047134608X.W8261

[その他]

ホームページ

<http://www.am.sanken.osaka-u.ac.jp/index-j.html>

新聞報道 (計 8 件)

2018 年 1 月 12 日 日本経済新聞夕刊「AI で防犯 映像解析 阪大 歩き方で個人特定」等

TV 報道 (計 17 件)

2015 年 7 月 14 日 NHK 総合 ニュースウォッチ 9 「“歩き方” で個人特定 警察も採用」等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

八木 康史 (YAGI, Yasushi)  
大阪大学・産業科学研究所・教授  
研究者番号: 60231643

### (2) 研究分担者

黒沢 健至 (KUROSAWA, Kenji)  
科学警察研究所・法科第二部・室長  
研究者番号: 80356170

### (3) 連携研究者

槇原 靖 (MAKIHARA, Yasushi)  
大阪大学・産業科学研究所・准教授  
研究者番号: 90403005

村松 大吾 (MURAMATSU, Daigo)  
大阪大学・産業科学研究所・准教授  
研究者番号: 00386624

黒木 健郎 (KUROKI, Kenro)  
科学警察研究所・法科第二部・研究員  
研究者番号: 60392271

土屋 兼一 (TSUCHIYA, Ken'ichi)  
科学警察研究所・法科第二部・主任研究員  
研究者番号: 90447920