

令和 4 年 5 月 30 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K05324

研究課題名（和文）福島第一原子力発電所廃炉作業における危険動作の画像認識判定手法の確立

研究課題名（英文）Establishment of image recognition judgment method for dangerous actions in decommissioning work of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station

研究代表者

出町 和之（Demachi, Kazuyuki）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・准教授

研究者番号：00292764

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：廃炉作業中の危険動作の自動判定手法を開発するため、物体認識と姿勢推定という異なる深層学習モデルの同士を融合し、画像に映る状況をグラフ構造で表現するScene Graph化手法を開発した。また、画像との比較で危険判定の根拠とする作業安全ルールについても、自然言語処理手法とオントロジーモデルとを用いて新たに考案した階層型Scene Graphに自動変換する手法を開発した。このような画像（物体認識と姿勢認識と）と自然言語処理という異なる深層学習モデルの融合手法は、本研究が世界で初である。2つのScene Graphを比較することで、作業安全上の危険をリアルタイム高精度で検知することにも成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、画像（物体認識と姿勢認識と）と自然言語処理という異なる深層学習モデルを融合した手法としては世界初の研究であることである。一般的に深層学習を用いた研究は、画像は画像、言語は言語というように、各々の分野の中で閉じており異種深層学習同士を組みあわせることはない。しかし、人間の脳は視覚、聴覚、触覚、言語など多様な情報を同時に取り入れ比較することで情報を適切に処理している。本研究では、そのような異なる深層学習モデルを融合するための共通データフォームとしてグラフ構造が有効であることを提案し、かつその有効性を実証した。この成果は、異種深層学習モデル融合という新たな分野の基礎を築いた。

研究成果の概要（英文）：In order to develop an automatic judgment method for dangerous actions during decommissioning work, a Scene Graph method was developed that expresses the situation in an image in a graph structure by fusing different deep learning models such as object recognition and posture estimation. In addition, a method has been developed to automatically convert the occupational safety rule, which is the basis of risk judgment by comparing with images, into a newly devised hierarchical Scene Graph using a natural language processing method and an ontology model. This research is the first in the world to integrate different deep learning models such as images (object recognition and posture estimation) and natural language processing. By comparing the two Scene Graphs, we have also succeeded in detecting work safety hazards with high accuracy in real time.

研究分野：原子力工学

キーワード：作業安全 自然言語処理 動作認識 物体認識 階層型Scene Graph 論理表現化 深層学習

1. 研究開始当初の背景

福島第一原子力発電所では、2,000人前後の作業員による瓦礫撤去作業がほぼ完了し、今後は建屋内部の作業に入る。廃炉作業員には既に多くのリスク管理・安全研修・安全順守を徹底しているものの、全面マスクによる視野の狭さ・3重の手袋による作業のしにくさ・足場の悪さ・障害物による姿勢の悪さ・熱中症になるほどの暑さ・安全線量順守のための時間制限による作業遅延時の焦りなど、ヒューマンエラーによる危険動作が発生する要因が多重に存在する。

人間の動作を正しく認識するためには「手」と「全身」を同程度に扱う必要がある。申請者らはこれまで深層学習を用いて動画から「手」の動作を判別する技術と、同じく「全身」の動作を認識する技術を開発済みであり、さらにその画像認識結果を用いた動作の危険度のリアルタイム判定ができれば、廃炉作業員に注意喚起して被曝・負傷等を未然に防止することが可能となると考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、申請者が開発した「手」と「全身」の動作の画像認識技を適用し、作業中の危険動作をリアルタイムかつ自動で判定する手法を確立することである。この技術は、犯罪検知、異常行動検知、手話認識、遠隔手術、さらにはバーチャルリアリティ空間でのヒューマンコンピュータインタラクション(HCI)など、原子力以外にも様々な先進技術の開発に応用できる。

3. 研究の方法

当初は、カメラ画像の物体認識と姿勢認識を行うことで得られる「手」と「全身」の動作とその動作の物体までの距離の状況を、決定木の入寮データとすることで危険動作を判定することを予定していた。しかし研究を進めるうち、決定木では不十分であり、「物体(工具や防護具)」「物体間距離と位置関係」「物体と体の部位の距離と位置関係」「物体の状態」「3次元全身動作推定用深層学習」など、より多くの認識を含める必要があることが判明した。よって、新たにこれらを認識する画像処理技術の開発を行った。また、申請では危険動作の判定に決定木を用いることを提案したが、より高度な改善案として階層型 Scene Graph を新たに考案し、これを画像認識結果から自動構築するプログラムを開発した。さらに、安全・危険の判定基準となる安全マニュアルなどのルール文を自然言語処理を用いて論理表現化することに成功した。

原子力では他産業に比べ労働を含む安全のルールが厳格に文書化されており、これらルール文書を基準に画像に映る作業中の危険有無を判定することができれば、膨大な数の判定プログラムを作成する必要がなくなり利便性が格段に向上する。このためには画像を対象とする画像認識AIと文章を対象とする自然言語処理AIという異なる2つのAI同士の相関が必要であり、東大・出町研では3種のアルゴリズムを開発&実装して画像AIと言語AIとのインターフェイスを実現した。この技術実現のためにまず重要なのは共通データ形態の選択である。東京大学・出町研究室では、比較表、決定木、文ベクトル分散表現、グラフ構造

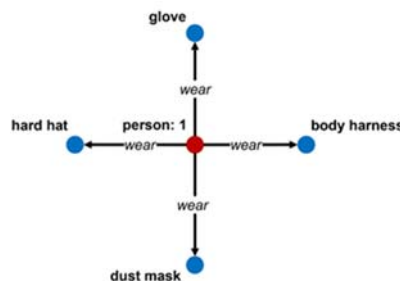


図1: グラフ構造の例

造化の4候補の検証を経て、グラフ構造化が最適であるとの結論に至った。グラフ構造とは、モノやヒト同士の関係性を点(ノード)と矢印(エッジ)の連結で表現する手法である(図1)。

1つめのアルゴリズムは「#A 画像情報の論理表現化」であり、監視カメラなどで撮影された状況(シーン)を物と人の位置関係から論理表現化するものである。ビッグデータに依存するAI手法の主流とは異なり、非AI画像解析とAI画像解析との融合により少ない教師データでの学習と時間短縮を実現した。

2つめは、自然言語処理を用いて言語情報から文グラフ構造を生成する「#B 安全文章情報のグラフ構造化」アルゴリズムである。入力された文からは形態素解析とオントロジー解析を経て単語間の関係性が抽出され、文意を表現する文グラフ構造が出力される。図2に、防護具装着・工具使用の監視用に開発・実装した、オントロジー解析モデルを示す。なお、作業安全ルール文書を変換した文グラフ構造は、遵守・禁止ルールを規定するために条件付き関係(If, then~)・禁止(must not) or 遵守(must)関係を表現する必要がある。このため出町研では、図3に示す階層型文グラフ構造を提案し(独創性)、文を入力として階層型文グラフ構造を出力するプログラムを実装した。

3つめは、画像グラフ構造と階層型文グラフ構造との比較により作業安全上の危険・安全を自動判定する「#C 自動判定」アルゴリズムである。画像グラフ構造と文グラフ構造とを同型写像により、画像の状況と遵守・禁止ルールとの一致/不一致を判定することで、撮影された画像の作業安全上の危険をリアルタイムで判定するプログラムを実装した。

以上の3つのアルゴリズムを結合した安全監視アルゴリズムの全体像を図4に示す。文グラ

フ構造は安全ルールを入力して予め生成しておき、画像グラフ構造はビデオカメラから送られる画像データからリアルタイムで生成される。2つのグラフ構造の比較による危険判定もリアルタイムで行われ、判定結果が出力される。

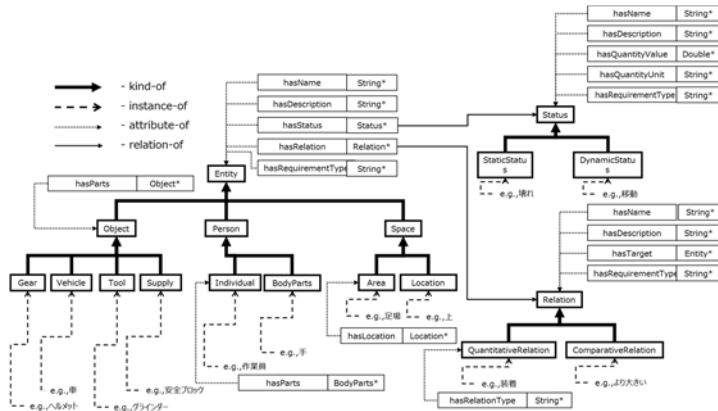


図 2: グラフ構造の例

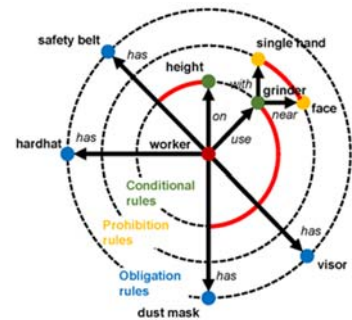


図 3: 階層型文グラフ構造

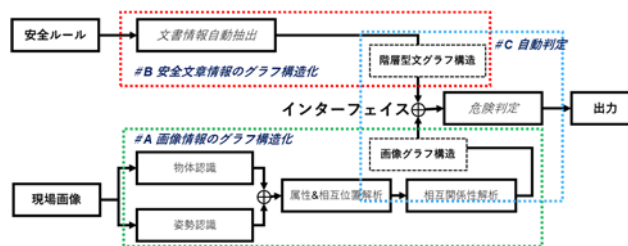


図 4: 画像と文のインターフェイスと危険監視アルゴリズム

4. 研究成果

図 5 に、今回の検知対象とした 10 の作業安全ルールを示す。これをアルゴリズム#A により階層型グラフ構造に変換した結果が図 6 である。このように、複数の作業安全ルールを自動で階層型グラフ構造に変換することに成功した。

No.	Regulatory rules
1	Wear a hard hat on a construction site.
2	Wear a hard hat on a decommissioning site.
3	Wear a dust mask on a construction site.
4	Wear a full-face mask on a decommissioning site.
5	Use body harness when working on height.
6	Wear gloves on a decommissioning site.
7	Wear gloves when operating a grinder.
8	Wear a safety glasses when operating a grinder.
9	Always use two hands when operating a grinder.
10	Never operate a grinder near face.

図 5: 検知対象とした 10 の作業安全ルール

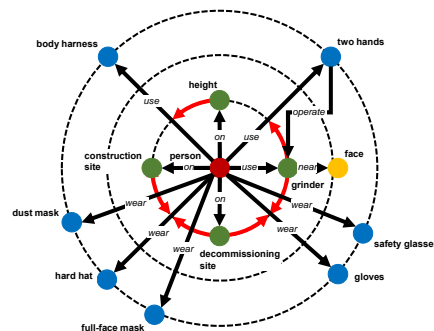


図 6: 10 の作業安全ルールの階層型グラフ構造

図 7 に、アルゴリズムBにより作業風景を模擬した画像をグラフ構造に変換した結果の例を示す。画像では 3 人が安全装備品を装着しており、それぞれの人物の状況を、リアルタイムでグラフ構造化することができた。なお、この時のカメラから被写体までの距離は 3m である。同様に距離 7m で撮影した画像のグラフ構造変換の結果を図 8 に示す。

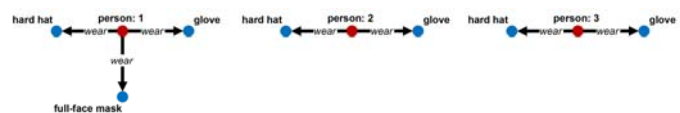
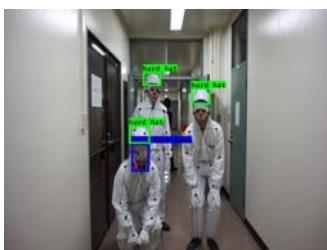


図 7: 3m の距離から撮影した作業風景のアルゴリズム#B によるグラフ構造変換結果

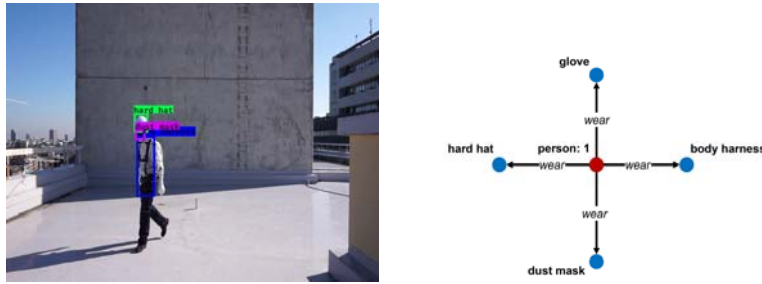


図 8: 7m の距離から撮影した作業風景のアルゴリズム#B によるグラフ構造変換結果

図 9 に、ヘルメット不装着や全面マスク不装着など、7 種類の危険について、アルゴリズム#C により安全ルール文の階層型グラフ構造と画像グラフ構造とを比較して危険判定を行った結果を示す。グラフの横軸はカメラからの距離、縦軸が判定精度で、赤が適合率、青が再現率である。いずれの場合にも比較的高い精度が得られていることが分かる。また判定精度の平均値は、適合率が 94.22%、再現率が 85.45% となった。

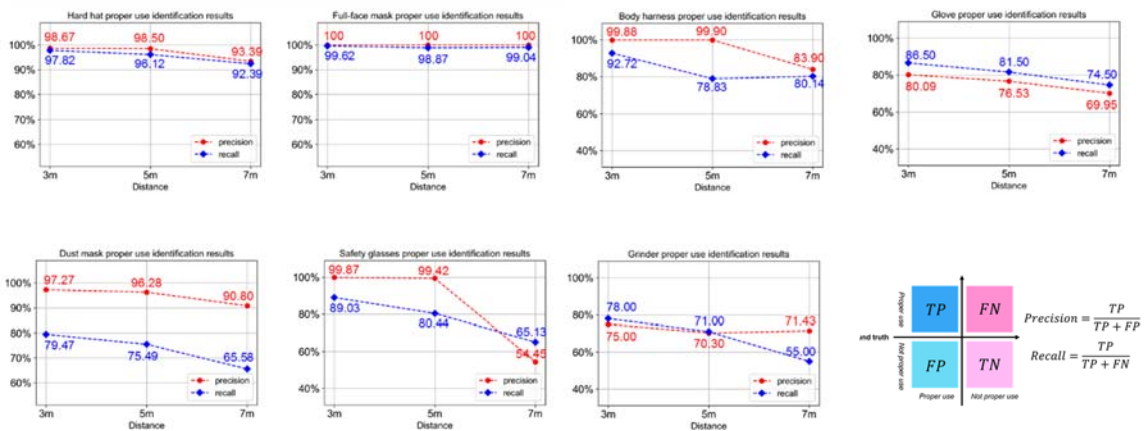


図 9: アルゴリズム#C による危険判定の精度

また、判定をリアルタイムで行えないと意味がないため、計算速度も評価した(図 10)。我々の手法では 1 秒間あたり 7.95 枚の画像に対する違反の有無を判定することが出来るため、実用上の計算速度としては問題ないことが分かった。

Method	Input size	FPS
Faster R-CNN (Fang Q. et al. 2018)	300 × 500	4.88
SSD-RPA (Wu J. et al. 2019)	304 × 304	3.22
This work	416 × 416	7.95

Experimental platform

CPU: Intel Core i7-7820X (8, 3.6GHz)
GPU: NVIDIA GeForce GTX 1080Ti / 11GB

図 10: 計算速度

本研究の成果の第一は、異種 AI インターフェイスという新しい分野を開拓することができたことである。異なる AI 同士の融合としては、世界で最初の例かもしれない。

また、グラフ構造は様々な情報形態のインターフェイスの基本形になることが分かった。異種 AI インターフェイスは、ここ数年停滞している AI の新たなブレークスルーになり得る。

次に、グラフ構造化の優位性を確認することも出来た。今回は示していないが、グラフ構造以外にも台帳比較や決定木など、他の判定手法も試している。グラフ構造化は、決定木判定で必要な場合分け(2n 個)よりも、少ない項目数(n 個)で判定が可能であり、複雑さを抑制できた。

さらに、仕様の際には文を入力するだけでよく、プログラミングスキル不要、柔軟にルールを追加・削除可能で、利用者の利便性が高いことも利点である。

今後はさらなる改良として、時系列を考慮した動的状況の判定が可能となるようにする。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Chen Shi, Demachi Kazuyuki	4. 巻 125
2. 論文標題 Towards on-site hazards identification of improper use of personal protective equipment using deep learning-based geometric relationships and hierarchical scene graph	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Automation in Construction	6. 最初と最後の頁 103619 ~ 103619
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.autcon.2021.103619	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shi Chen, Kazuyuki Demachi	4. 巻 10.15
2. 論文標題 A vision-based approach for ensuring proper use of Personal Protective Equipment (PPE) in decommissioning site of Fukushima Daiichi nuclear power station	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 5129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app10155129	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shi Chen, Kazuyuki Demachi	4. 巻 56(7)
2. 論文標題 Proposal of an insider sabotage detection method for nuclear security using deep learning	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Science and Technology	6. 最初と最後の頁 599-607
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Daisuke Miki, Shinya Abe, Shi Chen, Kazuyuki Demachi	4. 巻 14(4)
2. 論文標題 Robust human pose estimation from distorted wide-angle images through iterative search of transformation parameters	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Signal, Image and Video Processing	6. 最初と最後の頁 693-700
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Miki Daisuke, Abe Shinya, Chen Shi, Demachi Kazuyuki	4. 巻 2019.27
2. 論文標題 ROBUST HUMAN MOTION RECOGNITION FROM DISTORTED WIDE-ANGLE IMAGES FOR VIDEO SURVEILLANCE	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Proceedings of the International Conference on Nuclear Engineering (ICONE)	6. 最初と最後の頁 1789 ~ 1789
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jsmeicone.2019.27.1789	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計19件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Shi Chen, Kazuyuki Demachi, Manabu Tsunokai
2. 発表標題 A Real-Time Automated Approach for Ensuring Proper Use of Personal Protective Equipment (PPE) in Construction Site
3. 学会等名 18th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shi Chen, Kazuyuki Demachi
2. 発表標題 A Novel System for Automated Proper Use Identification of Personal Protective Equipment in Decommissioning Site of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station
3. 学会等名 2020 International Conference on Nuclear Engineering (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Daisuke Miki, Kazuyuki Demachi
2. 発表標題 Weakly Supervised Deep Neural Network for Bearing Fault Diagnosis
3. 学会等名 2020 International Conference on Nuclear Engineering (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Daisuke Miki, Shi Chen, Kazuyuki Demachi
2. 発表標題 Unnatural Human Motion Detection using Weakly Supervised Deep Neural Network
3. 学会等名 2020 International Conference on Artificial Intelligence for Industries (AI4I) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 出町和之、陳実
2. 発表標題 画像 AI と自然言語処理 AI とのインターフェイス
3. 学会等名 日本核物質管理学会 (INMMJ) 第41回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 須藤大揮、出町和之
2. 発表標題 自然言語処理を用いた作業安全判定
3. 学会等名 日本核物質管理学会 (INMMJ) 第41回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 横地悠紀, 陳実, 出町和之
2. 発表標題 物体識別と姿勢推定を用いた核物質等盗取行為検知手法の提案
3. 学会等名 2021年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 出町和之, 陳実, 須藤大揮
2. 発表標題 画像識別と自然言語処理の AI インターフェイス
3. 学会等名 日本原子力学会2021年春の年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shi Chen, Kazuyuki Demachi
2. 発表標題 Insider sabotage detection for nuclear facilities using deep learning
3. 学会等名 The 27th International Conference on Nuclear Engineering. May 19-24, 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Daisuke Miki, Shinya Abe, Shi Chen, Kazuyuki Demachi
2. 発表標題 Robust Human Motion Recognition from Distorted Wide-Angle Images for Video Surveillance
3. 学会等名 The 27th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE27) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Daisuke Miki, Shi Chen, Kazuyuki Demachi
2. 発表標題 eakly Supervised Graph Convolutional Neural Network for Human Action Localization
3. 学会等名 EEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV), Colorado, United States (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shi Chen, Ryo Kubota, Kazuyuki Demachi
2. 発表標題 Skeleton based hand motion recognition using convolutional neural network. 2019 the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers General Conference
3. 学会等名 電子情報通信学会2019年総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三木 大輔, 阿部 真也, 陳 実, 出町 和之
2. 発表標題 広角映像の歪みに頑健な注目点検出手法の開発と人物動作解析への応用
3. 学会等名 日本保全学会第16回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三木 大輔, 出町 和之
2. 発表標題 弱教師付き学習による人物の不自然動作の検知
3. 学会等名 電子情報通信学会2019年総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 有路翔太、三木大輔、出町和之
2. 発表標題 弱教師付き学習による人物の不自然動作の検知
3. 学会等名 電子情報通信学会2019年総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 出町和之、陳実
2. 発表標題 深層学習による動画データからの手元動作認識
3. 学会等名 日本保全学会第16回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 出町和之
2. 発表標題 技術の現場と倫理の相互作用：AI技術を例に（3）保全分野におけるAI導入に向けた取り組み事例
3. 学会等名 日本原子力学会2019年秋の大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 出町 和之
2. 発表標題 AI深層学習を用いた作業安全監視技術
3. 学会等名 日本保全学会第20回保全セミナー（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三木 大輔
2. 発表標題 作業安全監視のためのAIを活用した映像・信号解析技術
3. 学会等名 日本保全学会第20回保全セミナー（招待講演）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

出町研究室 研究紹介 https://www.demachilab.org/research 出町研究室 研究紹介 https://www.demachilab.org/research-in-detail-j
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	三木 大輔 (Miki Daisuke) (70757343)	千葉工業大学・情報科学部 情報工学科・助教 (32503)	
研究分担者	鈴木 俊一 (Suzuki Shunichi) (80767997)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・特任教授 (12601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------