

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 26 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26240024

研究課題名(和文)文字工学リノベーション

研究課題名(英文)Renovaton of Character and Scene Text Enginieering

研究代表者

内田 誠一(Uchida, Seiichi)

九州大学・システム情報科学研究所・教授

研究者番号：70315125

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,300,000円

研究成果の概要(和文)：本課題では、従来の認識一辺倒「文字工学」の在り方や方法論を徹底的に再構築すなわちリノベーションすることで、人類や情報システムが「文字」の機能を余すところなく享受できる工学的基盤の実現を目的とした。特に、文字を対象とした「高精度・汎用文字認識創成」「環境情報処理」「非言語情報処理」に関して、多岐に渡る研究を行った。

研究成果の概要(英文)：Needless to say, characters are important as a message container, a disambiguation label (for their surrounding object and environment), and an atmosphere generator (by their font design). Unfortunately, past researches about character have mainly been devoted to realization of accurate OCR (optical character reader) using pattern recognition theories and heuristics. The aim of this research is to start new attempts about character and document. Specifically, we tried to realize accurate OCR without heuristics, analyze relationship between scene texts and their environmental context, and generate new fonts by considering design principle of various characters.

研究分野：画像情報学，パターン認識，文字工学

キーワード：文字認識 パターン認識 フォント 環境認識 デザイン心理学 機械学習 大規模データ

1. 研究開始当初の背景

情報工学分野においては、「文字情報を計算機内に取り入れて利活用する試み」が多数行われてきた。光学的文字認識(OCR)やタブレットを介した手書き文字認識(オンライン文字認識)は、その典型例である。情景内文字の認識技術も出回りつつあった。

しかし、こうした多様な文字認識が試みられているという事実は、逆接的に、文字工学がまだ「文字の本質」をつかみきれていないことを意味する。同じ「文字」でありながら、ビジネス文書活字・手書き・一般フォントの認識が全く異なる方法論で個別検討されているのは、まさにその証左であろう。

さらに「文字を読む(認識する)」ことに注力するあまり、文字が潜在的に持つ機能を最大活用してこなかった事実がある。右図のように、文字が与えるのは、パターンとしての形状情報と、認識結果としての言語情報だけではない。実際、従来の文字工学において、次の2つの2次情報は全く看過されてきた。

- ・ 文字の環境情報...文字は、環境や物体の認識理解におけるセマンティックギャップを埋める機能を持つ。環境中や物品表面に配置された文字は、その環境のアノテーションであり、物体のタグである。我々も、文字が無くては認識理解が不十分となる対象に文字を配する。従って文字の意味内容から、環境や物体の認識理解のための極めて直截かつ重要な手がかりが与えられる。一方、環境や物体の認識結果が文字認識を容易にするという逆方向の効果もある。要するに、「文字」と「環境・物体」は、それぞれを認識理解する上で相補的な存在であり、両者を認識理解することが、我々の生活空間の理解に繋がる。
- ・ 文字の非言語情報...文字はそのデザインにより、独特の雰囲気や印象を与える。適切にデザインされた文字の利用は、手書き文字の巧拙と同様、送り手の意図や気持ちを正確に伝える鍵となる。また文字のサイズは重要性を示唆する場合が多い。さらに手書きには筆者の個性・年齢・健康度が現れる。そして文字の幾何特徴から、平面性・傾き・距離感といった物理情報が得られる。

2. 研究の目的

本課題では、従来の認識一辺倒「文字工学」の在り方や方法論を徹底的に再構築すなわちリノベーションすることで、人類や情報システムが「文字」の機能を余すところなく享受できる工学的基盤の実現を目的とした。具体的には、文字は多元的情報源であることを踏まえ、文字工学リノベーションおよびその多面的展開として、次の3点について、将来的な産業応用展開を見据えながら、基盤的技術開発とその妥当性評価を実施した。

(1)高精度・汎用文字認識創成...大規模デー

タと機械学習・最適化による脱ヒューリスティック化に基づき、「文字の本質」を客観的に捉えることで、従来の性能限界と適用限界を超えた文字認識原理を創成する。

(2)環境情報処理...クロスメディア相関解析によって、文字の言語情報とその周囲環境の依存関係を定量的に解明する。

(3)非言語情報処理...デザイン心理学とフォント分析合成によって、文字の形状と非言語情報(特に印象)の依存関係を定量的に解明する。

3. 研究の方法

以下、前項(1)-(3)に関し、3年間で実施された研究について、その方法を述べる。実施項目が多岐に渡るため、便宜上「4.研究成果」で述べる内容についても、本節においてその大部を述べることとする。

(1)高精度・汎用文字認識創成

手書き文字認識の高精度化のために多面的な検討を行った。それらのうち、最もインパクトがあったのは、期間中盤～後半において実施した、深層学習の利用であった。深層学習は大規模データがあって初めて有効に機能する。幸いなことに我々は1クラスあたり数万サンプルからなる大規模文字データを所有していた。これを用いて深層学習を行うことで、一般活字だけでなく、手書き、さらに特殊フォントについても人間と同程度の認識精度が得られることを実証した。これにより、当初目的であった「脱ヒューリスティック」を達成した。

深層学習を用いて、一般活字・手書き・特殊フォントすべてを混在させたユニバーサルOCRの実験を行った。その結果、これら混在による悪影響はほとんど見られず、依然として人間と同程度の認識率を維持した。このことは、「文字認識以前にどの印字タイプかを区別・分離する必要がある」という従来の常識を覆すとともに、深層学習のキャパシティの大きさをさらに実証することとなった。

以上のように圧倒的な高精度を達成した深層学習について、その動作原理を理解すべく、内部の挙動観察を行った。特に前項のユニバーサルOCRについて、手書きと活字が深層学習中のどの層で同一視されているかを、次項で述べる相対近傍グラフによる解析を含め、複数の方法で実施した。その結果、両者の同一視は特徴抽出層では全く行われず、最後の識別時に至ってようやく同一視することがわかった。これは深層学習が分類精度の最大化を第一義として、極めて合理的に学習を進めていることを示唆している。なお、この研究成果は、文字という題材が、深層学習のホワイトボックス化に極めて有効であるということを副次的に示すことになり、電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会におけるH28年度研究奨励賞の受賞にも至っている。

大規模文字データセットを用いたパター

ン分布解析も実施した。パターン分布を明らかにするという事は、認識率向上に資するだけでなく、各クラスの分布範囲や他クラスとの隣接関係の把握を可能にする。この課題について我々は、従前より行われてきた低次元可視化ではなく、ネットワークによる分布把握手法を確立した。具体的には相対近傍グラフ(RNG)を用いて、隣接関係の正確な把握を実施した。これにより、クラス間の境界に存在するパターンを明確に捉えることができた。さらにそれらパターンと、従来境界とされてきたサポートベクトルとの関連についても明らかにした。なお、このRNG表現は、その後フォント合成や深層学習の内部解析においても利用される。また、大規模データのそろえやすい文字を題材としてこうした解析を行うことで得た知見は、今後他のパターン認識課題にも転用可能と考える。

以上に加え、様々な文字認識技術について先進的な試みを行った。頁数の都合上詳細は略すが、オンライン文字認識のための離れた時刻間の関係を特徴化(非マルコフの特徴)するというアイデアの提案、リカレントニューラルネットワーク(BLSTM)の多層化の試み、深層学習における畳み込み層の非線形化(DTW-CNN)、非マルコフ制約下での弾性マッチング、非類似度埋め込みと Boosting による大規模時系列認識のための標準パターン選択、がそれらに相当する。

(2)環境情報処理

環境と文字情報の関連(インタラクション)に注目した研究の第一として、より一般的な情景認識課題への文字情報の有用性の研究を行った。具体的には文字の与える言語情報を事前情報(prior)として利用することで、一般物体認識や環境認識を困難にしているセマンティックギャップがどれだけ埋められるかを検証した。その結果、文字情報の利用により、情景認識精度を10%程度向上できることが検証された。さらに、情景内文字情報を使った車載動画の解析・要約についても試みた。具体的にはオプティカルフロー解析による自己動作認識に、道路案内板上の文字認識結果を融合させて、シーンの重要度推定を自動的に行い、道案内動画を作成する手法を提案した。

前項の対偶として、「環境情報による文字理解」の実験を進めた。すなわち、情景内文字の検出課題に関し、「空には文字はない」「看板には文字がある」といった環境コンテキストの文字存在確率への影響を積極的に利用した。この研究は、環境コンテキストの把握、すなわち情景画像のセマンティックセグメンテーションという困難な課題を内包する。我々は深層学習(CNN)と全結合型条件付き確率場(CRF)を利用してなるべく高精度にこれを実施した。これにより世界最高クラス的情景内文字検出精度を達成した。

情景内文字の検出・認識を一括して行うシ

ステムの開発も行った。特に WFST(weighted finite-state transducer)による大規模な言語処理を援用することで、従来性能を大きく上回る方法を実現した。

情景内文字(テキスト)が与える意味情報の解析にも着手した。具体的には、word2vecによる単語(文字列)の意味ベクトル化技術を利用し、情景内に存在する単語の集合がどのような意味クラスタを形成するかを確認した。その結果を一般的な文書(Wikipedia)の意味クラスタと比較したところ、意味空間において情景内単語は一般的な文書の限局的な部分集合を成すことを実証した。

その他様々な視点から、情景内文字の解析を行った。頁数の都合上詳細は略すが、情景内文字の視覚的顕著性の実証、大規模情景内文字データを用いた文字色と背景色の組み合わせ解析、Image Inpainting や Conv-Deconv 型の深層学習を用いた文字情報の遮蔽技術、がそれらに相当する。

(3)非言語情報処理

文字が与える非言語情報すなわち印象について、日本語のひらがなおよびカタカナを対象に実験心理学的な手法を用いて文字の太さとデザイン性の関連について検討を行った。その結果、全体的に文字の太さが太くなると先鋭性と軽量感が高くなり男性的な印象を受ける傾向がみられた。また、大人っぽい上品感が子供っぽい下品感に変化される傾向もみられた。さらに、文字の太さが太くなると形から不自然さまたは不安定な印象を受けて読みづらくなる傾向もみられた。

文字フォントの自動デザインについても3通りの方法で着手した。第一の方法は、既存フォント対の非線形内挿である。フォント対の選び方に特色がある。すなわち、まずフォント集合全体を相対近傍グラフで表現する。同グラフでは、類似していないフォント対であっても、「(特徴空間内において)それらの間にほかのフォントが存在しなければ」、両者はエッジで結ばれる。このような長いエッジを探せば、その両端のフォントの中間的なものは全くデザインされていないことを意味する。要するに未開のフォントデザインを自動抽出できる。第二の方法は、複数フォントのモンタージュである。基本的なアイデアは、相対近傍グラフ上での任意のパスが類似フォントの列であり、従ってそれらを部分的に切り貼りすれば、比較的自然的な新しいフォントができる、というものである。本研究ではこれをグラフカット最適化の枠組み(フォントモンタージュ)で実施した。第三の方法は、一種の深層学習である、Generative Adversarial Networks (GAN)の利用である。今回の期間では、まだ萌芽的な段階であるが、それでもクラス弁別性の確保といった制約を新たに導入することで、可読なフォントの生成に成功している。

文字形状の多様性を解析する研究の対偶

として、文字 A とは何か？という根本的課題に対する一解明を行った。具体的には、非線形アライメント(congealing)を全 7000 フォントに同時適用し、多数のフォントの平均画像を求めた。その結果、極めて客観的な手法ながら平均文字画像(最も A らしい画像)として、プレーンなサンセリフ体が得られた。なお平均文字形状は、フォント集合がなす相対近傍グラフから最もネットワーク中心性の高いフォントを選出するという方法でも求まる。興味深いことに、こちらの方法でも同様のサンセリフ体が得られている。

デザインの工学的解析にも着手した。本期間ではその手始めとして書籍表紙画像を大量に集め、そこからジャンルを推定できるか、というシンプルな問題を扱った。文字情報を一切使わなくても 25%程度の精度で 20 クラスのジャンル推定ができることが判明した。このことは書籍表紙とジャンルの間に相関があることを意味しており、その相関こそがデザイナーの経験知に相当する。今後は類似のアプローチをフォントにも展開する予定である。

4. 研究成果

文字を対象とした「高精度・汎用文字認識創成」「環境情報処理」「非言語情報処理」に関する様々な研究成果については、前節 3 で述べたのでここでは省略する。以下、それ以外の、本課題の成果について述べる。

初年度に、本研究課題に参画している国内研究者(連携研究者も含む)総勢 20 名が集まり、二日間夜を徹しての議論を行った。「文字工学の集い」と称されたこの研究集会では、産学両方から文字に関するこれまでの試みとこれからの展開について様々な議論が生まれ、それらの一部は本課題のその後の遂行にも好影響を与えている。

二年目に、上記と類似した趣旨を持つ国際ワークショップを南阿蘇で開催した。文字に関する国際会議のオーガナイザレベルの研究者のみが参集するクロズドワークショップであり、やはり文字工学に関する今後について、濃密な議論が繰り広げられた。こうした議論は、今年度京都で開催される文字関連最大の国際会議 ICDAR において、当該分野の今後を議論する特別ワークショップ開催にも結実している。

孤立数字認識という限定的なタスクとはいえ、大規模データ+深層学習で人間の可読限界を超える精度が実証されたいま、果たして我々は認識率に固執した研究を続けるだけでよいのか？という考えが起こった。我々はこの状況をむしろチャンスと考えるべきである。すなわち、すべての文字が機械可読となったと仮定した上での新たな研究を実践できる時期に来たのである。「Beyond 100%」と呼ぶこのアイディアは期間最終年度に起こり、H29 年度からの基盤研究(S)「機械可読時代における文字科学の創成と応用展

開」(代表:内田誠一, H29-33)に続く重要なキーコンセプトとなった。

以上、技術的だけでなく、今後の文字研究のあり方そのものに影響を与えうる成果を生んだという意味で、「文字工学リノベーション」という名にふさわしい成果が得られたと自負する。こうした成果は、当課題の研究代表者と共同研究者、研究協力者に加え、山本和彦先生(岐阜大学名誉教授)をはじめとするエキスパートとのディスカッションによって育まれたものである。さらに代表者と共同研究者の研究室の学生や研究者の尽力の賜物である。ここに深謝したい。

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 29 件)

Brian K. Iwana, Kaspar Riesen, Volkmar Frinken, Seiichi Uchida, Efficient Temporal Pattern Recognition by Means of Dissimilarity Space Embedding with Discriminative Prototypes, *Pattern Recognition*, vol. 64, pp.268-276, April 2017, 査読有, doi:10.1016/j.patcog.2016.11.013
Seiichi Uchida and Yuto Shinahara, What Does Scene Text Tell Us?, *Proc. 23rd Int. Conf. on Pattern Recognition*, Dec. 2016, 査読有, doi: 10.1109/ICPR.2016.7900267

Wataru Shimoda and Keiji Yanai, Wataru Shimoda and Keiji Yanai, Weakly-Supervised Segmentation by Combining CNN, Feature Maps and Object Saliency Maps, *Proc. 23rd Int. Conf. on Pattern Recognition*, Dec. 2016, 査読有, doi: 10.1109/ICPR.2016.7899919

Wataru Shimoda and Keiji Yanai, Distinct Class Saliency Maps for Weakly Supervised Semantic Segmentation, *Proc. European Conference on Computer Vision*, pp.218-234, 2016, 査読有, doi: 10.1016/j.patcog.2016.11.013

Anna Zhu, Renwu Gao, Seiichi Uchida, Could Scene Context be Beneficial for Scene Text Detection? *Pattern Recognition*, vol.58, pp.204-215, Oct. 2016, 査読有, doi: 10.1016/j.patcog.2016.04.011

Brian Iwana, Seiichi Uchida and Volkmar Frinken, A Robust Dissimilarity-based Neural Network for Temporal Pattern Recognition, *Proc. 15th Int. Conf. on Frontiers in Handwriting Recognition*, pp.265-270, Oct. 2016, 査読有, DOI: 10.1109/ICFHR.2016.0058

Seiichi Uchida, Shota Ide, Brian Iwana and Anna Zhu, A Further Step to Perfect Accuracy by Training CNN with Larger Data, *Proc. 15th Int. Conf. on Frontiers in Handwriting Recognition*, pp.405-410, Oct.

2016, 査読有, DOI: 10.1109/ICFHR.2016.0082

Shin Matsuo and Keiji Yanai, CNN-based Style Vector for Style Image Retrieval, Proc. ACM Int. Conf. on Multimedia Retrieval, pp.309-312, 2016, 査読有, doi: 10.1145/2911996.2912057

Markus Goldstein, Seiichi Uchida, A Comparative Evaluation of Unsupervised Anomaly Detection Algorithms for Multivariate Data, PLoS ONE, 11(4): e0152173, April 2016, 査読有, doi: 10.1371/journal.pone.0152173

Jiamin Xu, Palaiahnakote Shivakumara, Tong Lu, Chew Lim Tan, Seiichi Uchida, A New Method for Multi Oriented Graphics-Scene-3D Text Classification in Video, Pattern Recognition, vol.49, pp.19-42, Jan. 2016, 査読有, doi: 10.1016/j.patcog.2015.07.002

Lee Jihyeong, Choi Jeongseo, Koyama Shinichi, Hibino Haruo, Relationship between letter shape and character impression using eye movement measurement: Japanese hiragana letter, Archives of Design Research, 29(4), pp.39-51, 2016, 査読有, doi:10.15187/adr.2016.11.29.4.39

Hiroaki Takebe, Seiichi Uchida, Efficient Anchor Graph Hashing with Data-Dependent Anchor Selection, IEICE Transactions on Information & Systems, vol.E98-D, no.11, pp.2030-2033, Nov. 2015, 査読有, doi: 10.1587/transinf.2015EDL8060

Seiichi Uchida, Yuji Egashira, Kota Sato, Exploring the World of Fonts for Discovering the Most Standard Fonts and the Missing Fonts, Proc. 13th Int. Conf. on Document Analysis and Recognition, pp.441-445, Aug. 2015, 査読有, DOI:10.1109/ICDAR.2015.7333800

Ryosuke Kakisako, Seiichi Uchida, Volkmar Frinken, Learning Non-Markovian Constraints for Handwriting Recognition, Proc. 13th Int. Conf. on Document Analysis and Recognition, pp.446-450, Aug. 2015, 査読有, DOI: 10.1109/ICDAR.2015.7333801

Volkmar Frinken, Seiichi Uchida, Deep BLSTM Neural Networks for Unconstrained Continuous Handwritten Text Recognition, Proc. 13th Int. Conf. on Document Analysis and Recognition, pp.911-915, Aug. 2015, 査読有, DOI:10.1109/ICDAR.2015.7333894

Koichi Kise, Shinichiro Omachi, Seiichi Uchida, Masakazu Iwamura, Marcus Liwicki, Data Embedding into Characters (Invited paper for "Special Section on Enriched Multimedia") IEICE Transactions on Information & Systems, vol.E98-D, no.1, pp.10-20, 2015, 査読有, doi: 10.1587/

transinf.2014MU10002

Masanori Goto, Ryosuke Ishida, Seiichi Uchida, Preselection of Support Vector Candidates by Relative Neighborhood Graph for Large-Scale Character Recognition, Proc. 13th Int. Conf. on Document Analysis and Recognition, pp.306-310, Aug. 2015, 査読有, DOI:10.1109/ICDAR.2015.7333773

Renwu Gao, Shoma Eguchi, Seiichi Uchida, True Color Distributions of Scene Text and Background, Proc. 13th Int. Conf. on Document Analysis and Recognition, pp.506-510, Aug. 2015, 査読有, DOI:10.1109/ICDAR.2015.7333813

Brian Iwana, Seiichi Uchida, Kaspar Riesen, Volkmar Frinken, Tackling Temporal Pattern Recognition by Vector Space Embedding, Proc. 13th Int. Conf. on Document Analysis and Recognition, pp.816-820, Aug. 2015, 査読有, DOI:10.1109/ICDAR.2015.7333875

Renu Gao, Seiichi Uchida, Asif Shahab, Faisal Shafait, Volkmar Frinken, Visual Saliency Models for Text Detection in Real World, PLoS ONE, vol.9, no.12, e114539, 2014, , 査読有, doi: 10.1371/journal.pone.0114539

以上の他, 9件(いずれも査読有)

[学会発表](計32件)

阿部耕太郎, 内田誠一, クラス間弁別性を考慮した DCGAN による文字生成の試み, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会(北海道大学, 札幌市), Feb. 19, 2017

周 楽陶, Brian Iwana, 田中 久美子, 内田 誠一, Component detection in Chinese character using CNN, 情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究会(京都大学, 京都市), Jan. 19, 2017

Seiichi Uchida and Yuto Shinahara, What Does Scene Text Tell Us? The 23rd Int. Conf. on Pattern Recognition (ICPR2016, Cancun, Mexico), Dec. 8, 2016

Wataru Shimoda and Keiji Yanai, Wataru Shimoda and Keiji Yanai, Weakly-Supervised Segmentation by Combining CNN, Feature Maps and Object Saliency Maps, The 23rd Int. Conf. on Pattern Recognition (ICPR2016, Cancun, Mexico), Dec. 6, 2016

Wataru Shimoda and Keiji Yanai, Distinct Class Saliency Maps for Weakly Supervised Semantic Segmentation, European Conference on Computer Vision (ECCV2016, Amsterdam, the Netherlands), Oct. 12, 2016

井手将太, 内田誠一, 混合文字データセットを用いた CNN の内部状態解析, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会(宮崎大学, 宮崎市), Oct. 20, 2016, 2016年度 PRMU 研究奨励賞受賞

Brian Iwana, Seiichi Uchida and Volkmar Frinken, A Robust Dissimilarity-based

Neural Network for Temporal Pattern Recognition, The 15th Int. Conf. on Frontiers in Handwriting Recognition (Shenzhen, China), Oct. 24, 2016

Seiichi Uchida, Shota Ide, Brian Iwana and Anna Zhu, A Further Step to Perfect Accuracy by Training CNN with Larger Data, The 15th Int. Conf. on Frontiers in Handwriting Recognition (ICFHR2016, Shenzhen, China), Oct. 25, 2016

Shin Matsuo and Keiji Yanai, CNN-based Style Vector for Style Image Retrieval, ACM Int. Conf. on Multimedia Retrieval (ICMR, New York, USA), June 8, 2016,

内田誠一, 井手将太, Dipesh Dangol, 文字認識はCNNで終わるのか?, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会(九州工業大学, 飯塚市), Feb. 14, 2016

Renwu Gao, Shoma Eguchi, Seiichi Uchida, True Color Distributions of Scene Text and Background, The 13th Int. Conf. on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2015, Nancy, France), Aug. 26, 2015

Seiichi Uchida, Yuji Egashira, Kota Sato, Exploring the World of Fonts for Discovering the Most Standard Fonts and the Missing Fonts, The 13th Int. Conf. on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2015, Nancy, France), Aug. 25, 2015

Brian Iwana, Seiichi Uchida, Kaspar Riesen, Volkmar Frinken, Tackling Temporal Pattern Recognition by Vector Space Embedding, The 13th Int. Conf. on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2015, Nancy, France), Aug. 25, 2015

Ryosuke Kakisako, Seiichi Uchida, Volkmar Frinken, Learning Non-Markovian Constraints for Handwriting Recognition, The 13th Int. Conf. on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2015, Nancy, France), Aug. 25, 2015

Volkmar Frinken, Seiichi Uchida, Deep BLSTM Neural Networks for Unconstrained Continuous Handwritten Text Recognition, The 13th Int. Conf. on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2015, Nancy, France), Aug. 24, 2015

Masanori Goto, Ryosuke Ishida, Seiichi Uchida, Preselection of Support Vector Candidates by Relative Neighborhood Graph for Large-Scale Character Recognition, The 13th Int. Conf. on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2015, Nancy, France), Aug. 24, 2015

以上の他, 16件 (頁数の都合上略)

〔その他〕

ホームページ等 human.ait.kyushu-u.ac.jp

6. 研究組織

(1) 研究代表者

内田 誠一 (UCHIDA, Seiichi)
九州大学大学院・システム情報科学研究
院・教授

研究者番号: 70315125

(2) 研究分担者

日比野 治雄 (HIBINO, Haruo)

千葉大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 20222242

柳井 啓司 (YANAI, Keiji)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・
教授

研究者番号: 20301179

前田 英作 (MAEDA, Eisaku)

日本電信電話株式会社NTTコミュニケー
ション科学基礎研究所・所長

研究者番号: 90396143

フリンケン フォルクマー (FRINKEN
Volkmar)

九州大学大学院・システム情報科学研究
院・学術研究員

研究者番号: 70724417

(3) 連携研究者

中川 正樹 (NAKAGAWA Masaki)

東京農工大学・工学研究院・教授

研究者番号: 10126295

村瀬 洋 (MURASE Hiroshi)

名古屋大学・情報科学研究科・教授

研究者番号: 90362293

黄瀬 浩一 (KISE Koichi)

大阪府立大学・工学研究科・教授

研究者番号: 80224939

大町 真一郎 (OMACHI Shinichiro)

東北大学・工学研究科・教授

研究者番号: 30250856

岩村 雅一 (IWAMURA Masakazu)

大阪府立大学・工学研究科・准教授

研究者番号: 80361129

(4) 研究協力者

相澤 知禎 (AIZAWA Tomoyoshi)

オムロン・技術開発センター

後藤 雅典 (GOTO Masanori)

グローリー・研究開発センター

黒沢 由明 (KUROSAWA Yoshiaki)

東芝ソリューション・IT研究開発センター

西脇 大輔 (NISHIWAKI Daisuke)

NEC・情報・メディアプロセッシング研究所
森 稔 (MORI Minoru)

日本電信電話株式会社NTTコミュニケー
ション科学基礎研究所

松尾 崇史 (MATSUO Takafumi)

パナソニックソリューションテクノロジー

池田 尚司 (IKEDA Hisashi)

日立製作所・中央研究所

武部 浩明 (TAKEBE Hiroaki)

富士通研究所

松村 博 (MATSUMURA Hiroshi)

メディアドライブ・代表取締役社長