

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 3日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22300064

研究課題名（和文） 最小分類誤り学習の性能限界の追求

研究課題名（英文） STUDY ON BREAKING PERFORMANCE LIMITATIONS OF MINIMUM CLASSIFICATION ERROR TRAINING

研究代表者

片桐 滋 (KATAGIRI SHIGERU)

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号：40396114

研究成果の概要（和文）：最小分類誤り学習法のこれまでの性能限界を突破することを目指して、特に、平滑化分類誤り数損失の平滑性が持つ未知標本耐性向上の機構を解明し、その平滑度の自動的最適設定法を開発、さらにカーネル法を組み込んだカーネル型最小分類誤り学習法を開発することで、本学習法の一層の識別力向上を実現した。また、ラウンドロビンデュエル識別法を開発することで、大規模かつ複雑な分類器のための高効率な識別学習法を実現した。

研究成果の概要（英文）：Aiming at further extending the discriminative power of the Minimum Classification Error (MCE) training, we focused on the analysis of the mechanism that the smoothness of smoothed classification error count loss increased training robustness to unseen pattern samples, and successfully achieved increase in the training's discriminative power by developing an automatic optimization method for the smoothness and a novel Kernel MCE method. In addition, we developed a highly efficient discriminative training method, called Round-Robin Duel Discrimination (R2D2) method, for large-scale complex pattern classifiers such as large-vocabulary continuous speech recognizers, and successfully demonstrated its utility through systematic experimental evaluations.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2011年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
2012年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
年度			
年度			
総計	12,600,000	3,780,000	16,380,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理，知能ロボティクス

キーワード：パターン認識，識別学習，最小分類誤り学習，計算論的学習理論，音声情報処理

## 1. 研究開始当初の背景

本研究が研究対象とした最小分類誤り（MCE: Minimum Classification Error）学習法は、1990年代当初に発案され、その後主に音声認識分野における標準的な識別的分類器学習法の一つとして利用されてきたも

のである。多くの実験を通して、MCE 学習法が比較的小規模の分類器（クラスモデル）によっても効率的に高い識別力を達成できることが示されてきた。しかし、近年広く利用されるようになってきたサポートベクトルマシン（SVM: Support Vector Machine）と

比べると、MCE 法は、その損失が多峰性を持つために大局的最小化が難しく、また未知標本耐性の向上につながる幾何マージンの最大化機構を欠くという欠点を持っていた。

上記の MCE 学習法の欠点を克服すべく、本研究代表者らが受託した基盤研究 (B)「識別学習の体系化と汎用的手法の実現に関する研究 (2007 年度～2009 年度)」において、我々は、1) SVM が前提とする線形識別関数によって定義される幾何マージンを含む、一般的な関数形式の識別関数のための幾何マージンを導出することに成功し、2) その幾何マージンをプロトタイプ型識別関数を持つ分類器に適用した大幾何マージン最小分類誤り (LGM-MCE: Large Geometric Margin Minimum Classification Error) 学習法を導出し、また、3) それまでほぼ独立に研究が進められてきたブースティング法も SVM も、最小化対象である損失の定義を通して MCE 学習法と関連づけることが出来、さらに 4) 分類器学習の観点では理想の一つと見るべき最小分類誤り確率状態 (ベイズリスク) に最も直接的な損失を用いる学習法はやはり MCE 法であることなどを明らかにした。

上述のように、先行する基盤研究において MCE 法には大きな改良を加えることができた。しかし、MCE 法が用いる平滑化分類誤り数損失は、ベイズリスクとは一貫しているものの、多峰性を持つためにその大局的最小化が難しく、この点で損失の大局的最小化が可能な SVM と比べて一層の改善の余地が残されていた。また、LGM-MCE 学習法は、幾何マージンを大きくはできるものの、SVM と異なり、その最大化は保証しない。この点でも MCE 法は改善を求められる状況にあった。

一方、コンピュータの性能や学習用パターン標本等の資源蓄積に関する近年の著しい進展とあいまって、より大規模で困難なパターン分類課題の解決が求められるようになってきた。こうした課題の代表に、大規模な言語モデルと音響モデルを組み合わせて、短時間に分類結果を算出することが求められる連続音声認識課題があり、そこでも、MCE 法などの識別的学習法が盛んに用いられている。しかし、規模が大きくなれば、MCE 法や SVM 法などが前提とするクラス帰属情報が付与された大量の学習標本を準備することは極めて困難となり、また、膨大な数の学習対象パラメータとなる音響モデルや言語モデルなどを、高い未知標本耐性を達成すべく一貫して最適化を行うことは容易ではない。

上記のような実世界における大規模分類器の最適学習のためには、ベイズリスクとの一貫性を多少犠牲にしても、効率的に分類器の識別力を向上させる学習法の確立が望まれる状況があった。

## 2. 研究の目的

前節で述べたような背景を受け、本研究においては、特に、MCE 学習法が持つ 2 つの弱点、即ち 1) 平滑化分類誤り数損失の最小化における局所性の回避と、2) 幾何マージンの“増加”から“最大化”への改良、そして連続音声認識を具体的な材料として、3) 単峰性損失を用いた言語モデルの半教師的識別学習による、大規模分類器のための効率的な学習法の確立に焦点を合わせることにした。

### (1) MCE 学習法における大局的損失最小化の実現

MCE 学習法における分類誤り数損失の平滑性は、2 つの動機、即ち 1) 勾配法等の扱いやすい最小化手続きを利用し易くするためと、2) 未知標本耐性の向上に貢献することが期待される仮想的な学習標本追加効果を高めるために導入されたものである。従って、多峰性を持つ分類誤り数損失の大局的最小化を、勾配法等の局所的最小化法に代えて、遺伝アルゴリズム (GA: Genetic Algorithm) 等を用いて実行し、その大局的最小化の効果等を分析することを目指した。

### (2) MCE 学習法における未知標本耐性の向上

従来の研究によって、平滑化分類誤り数損失の平滑性がパターン標本空間内に仮想的に学習用標本を追加して未知標本耐性の向上に貢献することが“直感的に”説明され、また、この平滑性は MCE 法に特有の (1 次元の) 誤分類尺度空間上のベイズリスクのパーティクル推定における核関数の幅によって制御され得るものであることが明らかとなっていた。本研究では、これらの点に着目し、損失の平滑性が持つ未知標本耐性向上の機構を数理的に解明することを目指した。

### (3) 大規模分類器のための効率的な識別的学習法の実現

大規模な分類器パラメータの最適化処理を行うとき、学習基準となる評価尺度や識別関数はできるだけ計算が容易なものでなければならない。本研究では、扱い易い条件付き対数線形モデルに着目し、その発展形を開発することで言語モデルの識別的学習を行い、その言語モデルを擁する分類器全体の分類力を向上させる手法の確立を目指した。

## 3. 研究の方法

### (1) 分類誤り数損失の最小化法の検討

プロトタイプ型分類器の MCE 学習に実数値 GA を適用し、従来型の勾配探索法による最小化との比較を行い、実数値 GA による大局的最小化の効果を検証した [学会発表①等]。

### (2) 競合する識別学習法との比較

先行する基盤研究において基本的な定式化を終えていた LGM-MCE 学習法の性能を精査

し、競合する種々の識別学習法相互の関係を明らかにするため、関数マージン (FM: Functional Margin) を誤分類尺度とする従来型の MCE 法である FM-MCE 法と LGM-MCE 法, SVM 法, 関連ベクトルマシン (RVM: Relevance Vector Machine) 法を横断的に比較する性能調査実験を行った [雑誌論文①, ⑤及び学会発表②等].

### (3) カーネル写像の効果の検証

SVM 法や RVM 法の高い識別力は、多くの利用場面で前提とされているカーネル関数の採用に依拠することが知られている。この点に着目するとき、LGM-MCE 学習法にカーネル写像機能を導入し、カーネルによって写像される特徴空間において幾何マージンを大きくしつつ分類誤り数損失の最小化を行う MCE 学習法を開拓することは合理的である。こうした観点に立ち、カーネル型最小分類誤り (KMCE: Kernel Minimum Classification Error) 学習法の開発を行った [学会発表③, ⑩等].

### (4) 平滑化分類誤り数損失の平滑性がもつ役割の分析

前述した、平滑化分類誤り数損失の平滑性に伴う性質を数理的に明示するため、まず 1) 誤分類尺度空間におけるベイジリスク推定に基づく適切な (高い未知標本耐性をもつ) 平滑度の自動設定法を調査し [雑誌論文②等], さらに 2) 誤分類尺度空間上のカーネルが仮想的学習標本を追加する効果を持ち、さらにその仮想標本がオリジナルのパターン標本空間内で果たす未知標本耐性向上の役割を調査した [学会発表④, ⑦等].

### (5) 標本のクラス帰属情報を必要としない識別学習法の検討

従来の条件付き対数線形モデルを用いる識別的言語モデル学習法では、損失が多峰性を持つ、あるいは、学習に (収集が極めて困難な) 膨大な量の正誤の連続音声標本を必要とする問題があった。これらの問題を克服することを目指し、学習標本のクラス帰属情報を必要とせず、学習途上で生成される文仮説のみを用いて、その正誤尺度に基づく並べ替えの繰り返しで高い識別力を持つ言語モデルを実現する手法の調査を行った [雑誌論文③等].

## 4. 研究成果

### (1) LGM-MCE 学習法の確立

MCE 学習法の未知標本耐性を向上させる方策の基盤となる LGM-MCE 法を、プロトタイプ型識別関数のみならず、2 次形式の識別関数等にも適用し、入念にその性能評価を行った。その結果、SVM 法と拮抗する高い分類力を、SVM が必要とする大量の分類器パラメータ (サポートベクトル) の数よりも圧倒的に少数の分類器パラメータによって達成できる

ことを明らかにした [雑誌論文①, ⑤等].

### (2) 平滑化分類誤り損失の自動設定法の確立

MCE 法がもつ未知標本耐性の主たる決定要因である平滑化分類誤り損失の平滑度を自動的に最適設定する手法を、FM-MCE 法のみならず LGM-MCE 法向けに定式化することができた。この結果、これまで学習と評価の実験を繰り返すことによって経験的に決めざるを得なかったこの平滑度を、合理的かつ自動的に設定することができるようになった。実験の結果、実験の繰り返しに基づく従来法と比べて数分の 1 の短時間で、従来法による最高の分類力を自動的に達成できることが明らかとなった [雑誌論文②等].

### (3) KMCE 学習法の提案

第 3 節 (3) の調査を経て、プロトタイプ型識別関数のための LGM-MCE 学習法にカーネルを組み込むことで KMCE 法の定式化に成功し、一般に高次元の (無限次元も含む) パターン標本空間における分類境界の最適化を、一般に相当程度に低次元のプロトタイプ次元のパラメータ空間における MCE 学習によって実行できる機構を明らかにした。また実験を通して、この KMCE 法の基本的有用性も実証した [学会発表③, ⑩等].

### (4) 平滑化分類誤り数損失の平滑度が持つ仮想標本効果の検証

第 3 節 (4) の第 2 項の調査により、平滑化分類誤り数損失の平滑性が、1) (任意の高次元の) オリジナルのパターン標本空間における分類境界付近の帯状の領域に仮想的な学習標本を生成する効果を持ち、しかも 2) その帯状領域の幅が 1 次元誤分類尺度上のカーネル幅と同一であることを明らかにした (図 1 参照)。この帯状の仮想標本生成領域

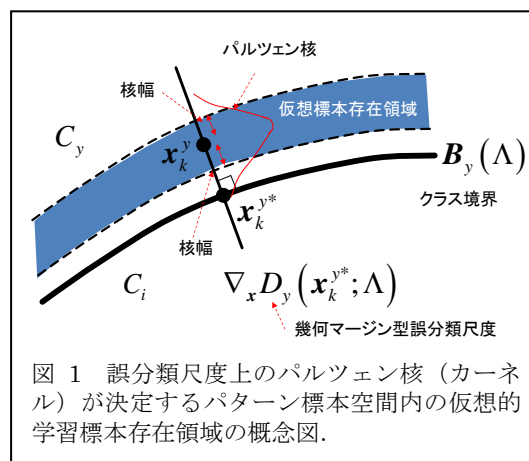


図 1 誤分類尺度上のパルツェン核 (カーネル) が決定するパターン標本空間内の仮想的学習標本存在領域の概念図。

に実際に人工的な標本を生成する実験を通して、自動的に最適設定された分類誤り数損失の平滑度が、与えられた学習標本を数倍に増加させる効果を持つことを示すことができた。この仮想標本領域に生成される仮想的学習標本は未知標本を模擬するものである

ことから、この結果はMCE学習法が持つ未知標本耐性向上の機構の解明に大きく寄与することが期待できる。多峰性をもつ平滑化分類誤り数損失は、原理的に局所的最小化の問題を回避しきれない。しかし、GAを用いた大局的最小化の実験を通して、適切に設定された平滑度を持つ(適切な未知標本耐性を持つ)分類誤り数損失であれば、その局所的最小化でも実際には十分に有用であることも確かめることができた[学会発表①等]。

(5) 大規模音声認識のための効果的な識別学習的法“ラウンドロビンデュエル識別(R2S2: Round-Robin Duel Discrimination)法”の確立

第3節(5)の調査を通して、全ての文仮説を対象に正確さの比較を行い、多くの識別学習に求められるクラス情報を付加された学習標本を用いずに、かつ仮説数のオーダーの計算量(本来、原理的には仮説数の2乗のオーダーとなる)で効率的かつ安定的に高識別的な言語モデルを生成できることを明らかにした[雑誌論文③等]。

(6) まとめ

MCE学習法の性能限界を、主に、その手法の特徴である平滑化分類誤り数損失の平滑度の役割分析やカーネル法の導入等を通して追求し、これまでほぼ上限と考えられてきたMCE法の分類学習力の一層の向上を実現した。また、効率的な識別学習法であるR2D2法を開発することで、大規模かつ複雑なパターン分類器のための実際的な分類力向上法に新しい道を開拓した。

## 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6件)

- ① 渡辺秀行<sup>(第1著者)</sup>, 片桐滋<sup>(第3著者)</sup>, 松田繁樹<sup>(第5著者)</sup>, 他3名; “Robust and Efficient Pattern Classification using Large Geometric Margin Minimum Classification Error Training”, Journal of Signal Processing Systems, 査読あり, 2013年(掲載待ち)。
- ② 渡辺秀行<sup>(第1著者)</sup>, 片桐滋<sup>(第4著者)</sup>, 松田繁樹<sup>(第6著者)</sup>, 他4名; “Minimum Classification Error Training Incorporating Automatic Loss Smoothness Determination”, Journal of Signal Processing Systems, 査読有り, DOI 10.1007/s11265-013-0746-2, 2013年。
- ③ 大庭隆伸<sup>(第1著者)</sup>, 堀豊明<sup>(第2著者)</sup>, 中村篤<sup>(第3著者)</sup>, 他1名; “Round-Robin Duel Discriminative Language Models”, IEEE Transactions on Audio, Speech and

Language Processing, 査読有り, 20巻, 2012年, 1244-1255.

- ④ 渡部晋治<sup>(第1著者)</sup>, 中村篤<sup>(第2著者)</sup>; “音声認識における識別学習”, 電子情報通信学会誌, 査読有り, 94巻, 2011年, 920-922.
- ⑤ 渡辺秀行<sup>(第1著者)</sup>, 片桐滋<sup>(第2著者)</sup>, 中村篤<sup>(第5著者)</sup>, 渡部晋治<sup>(第6著者)</sup>, 他3名; “幾何マージンに基づく誤分類尺度を用いた最小分類誤り学習法”, 電子情報通信学会論文誌, 査読有り, J94-D巻, 2011年, 1664-1675.
- ⑥ 渡辺秀行<sup>(第1著者)</sup>, 片桐滋<sup>(第3著者)</sup>, 中村篤<sup>(第5著者)</sup>, 渡部晋治<sup>(第7著者)</sup>, 他4名; “逐次増加型最小分類誤り学習によるパターン認識”, 電子情報通信学会論文誌, 査読有り, J94-D巻, 2011年, 702-711.

[学会発表] (計18件)

- ① 太田健介<sup>(第1著者)</sup>, 片桐滋<sup>(第2著者)</sup>, 他1名, “Minimum Classification Error Training Employing Real-Coded Genetic Algorithms”, IEEE Region 10 Conference (TENCON2012), 2012年11月20日, Radisson Blu Hotel Cebu (フィリピン, セブ)。
- ② 上原久嗣<sup>(第1著者)</sup>, 渡辺秀行<sup>(第2著者)</sup>, 片桐滋<sup>(第3著者)</sup>, 他1名; “Comparison between Minimum Classification Error Training and Relevance Vector Machine”, IEEE Region 10 Conference (TENCON2012), 2012年11月20日, Radisson Blu Hotel Cebu (フィリピン, セブ)。
- ③ 田中秀明<sup>(第1著者)</sup>, 渡辺秀行<sup>(第2著者)</sup>, 片桐滋<sup>(第3著者)</sup>, 他1名; “Experimental Evaluation of Kernel Minimum Classification Error Training”, IEEE Region 10 Conference (TENCON2012), 2012年11月20日 Radisson Blu Hotel Cebu (フィリピン, セブ)。
- ④ 大橋司<sup>(第1著者)</sup>, 渡辺秀行<sup>(第2著者)</sup>, 片桐滋<sup>(第4著者)</sup>, 松田繁樹<sup>(第6著者)</sup>, 他3名; “大幾何マージン最小分類誤り学習法における仮想標本生成の効果の検証”, 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2012), 2012年8月7日, 福岡国際会議場(福岡, 福岡)。
- ⑤ 片桐滋<sup>(第1著者)</sup>, 渡辺秀行<sup>(第2著者)</sup>, “Minimum Classification Error vs. Maximum Margin: How Should We Penalize Unseen Samples?”, 3<sup>rd</sup> International Workshop on Cognitive Information Processing (CIP2012), 2012年5月28日, Parador de Baiona (スペイン, バイオナ), 招待講演。

- ⑥ 大庭隆伸<sup>(第1著者)</sup>，堀貴明<sup>(第2著者)</sup>，中村篤<sup>(第4著者)</sup>，他1名；“Round-Robin Duel Discriminative Language Models in One-Pass Decoding with On-The-Fly Error Correction”，IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP2011)，2011年5月25日，Prague Congress Centre (チェコ共和国，プラハ)。
- ⑦ 大橋司<sup>(第1著者)</sup>，渡辺秀行<sup>(第2著者)</sup>，片桐滋<sup>(第4著者)</sup>，松田繁樹<sup>(第6著者)</sup>，他3名；“Increasing Virtual Samples through Loss Smoothness Determination in Large Geometric Margin Minimum Classification Error Training”，IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP2012)，2012年3月28日，京都国際会館(日本，京都)。
- ⑧ 中村純一<sup>(第1著者)</sup>，片桐滋<sup>(第2著者)</sup>，他1名；“粒子フィルタと最小分類誤り学習を用いた映像オブジェクト追跡法の検討”，電子情報通信学会 画像工学研究会 2011-112，2012年2月20日，北海道大学(日本，札幌)。
- ⑨ 徳野純一<sup>(第1著者)</sup>，渡辺秀行<sup>(第2著者)</sup>，片桐滋<sup>(第3著者)</sup>，他2名；“Automatic Loss Smoothness Determination for Minimum Classification Error Training”，IEEE Region 10 Conference (TENCON2011)，2011年11月23日，Hotel Inna Grand Bali Beach (インドネシア共和国，ヨグヤカルタ)。
- ⑩ 大橋司<sup>(第1著者)</sup>，渡辺秀行<sup>(第3著者)</sup>，片桐滋<sup>(第4著者)</sup>，他2名；“Automatic Loss Smoothness Determination for Large Geometric Margin Minimum Classification Error Training”，IEEE Region 10 Conference (TENCON2011)，2011年11月23日，Hotel Inna Grand Bali Beach (インドネシア共和国，ヨグヤカルタ)。
- ⑪ 渡辺秀行<sup>(第1著者)</sup>，片桐滋<sup>(第2著者)</sup>，他1名；“Minimum Classification Error Training with Geometric Margin Enhancement for Robust Pattern Recognition”，IEEE Workshop on Machine Learning for Signal Processing (MLSP2011)，2011年9月20日，中国科学院自動化研究所(中華人民共和国，北京)，招待講演。
- ⑫ 渡辺秀行<sup>(第1著者)</sup>，片桐滋<sup>(第4著者)</sup>，他3名；“Minimum Classification Error Training with Automatic Setting of Loss Smoothness”，IEEE Workshop on Machine Learning for Signal

Processing (MLSP2011)，2011年9月19日，中国科学院自動化研究所(中華人民共和国，北京)。

- ⑬ 大庭隆伸<sup>(第1著者)</sup>，堀貴明<sup>(第2著者)</sup>，中村篤<sup>(第4著者)</sup>，他1名；“Round-Robin Duel Discriminative Language Models in One-Pass Decoding with On-The-Fly error Correction”，IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP2011)，2011年5月25日，Prague Congress Centre (チェコ共和国，プラハ)。
- ⑭ 大橋司<sup>(第1著者)</sup>，渡辺秀行<sup>(第2著者)</sup>，片桐滋<sup>(第4著者)</sup>，他2名；“大幾何マージン最小分類誤り学習に対する損失関数平滑度の自動制御の適用”，電子情報通信学会 パターン認識・メディア理解研究会，2011年3月11日，産業技術総合研究所(茨城，つくば)。
- ⑮ 足立守<sup>(第1著者)</sup>，渡辺秀行<sup>(第2著者)</sup>，片桐滋<sup>(第3著者)</sup>，他1名；“プロトタイプ型分類器設計における最小分類誤り学習法とサポートベクトルマシンの比較”，電子情報通信学会 パターン認識・メディア理解研究会，2010年12月10日，山口大学(山口，山口)。
- ⑯ 渡辺秀行<sup>(第1著者)</sup>，片桐滋<sup>(第2著者)</sup>，他2名；“カーネルに基づく高次元空間における大幾何マージン最小分類誤り学習の提案”，電子情報通信学会 パターン認識・メディア理解研究会，2010年12月9日，山口大学(山口，山口)。
- ⑰ 大庭隆伸<sup>(第1著者)</sup>，堀貴明<sup>(第2著者)</sup>，中村篤<sup>(第3著者)</sup>；“Round-Robin Discriminative Model for Reranking ASR Hypotheses”，INTERSPEECH2010，2010年12月9日，幕張メッセ(千葉，千葉)。
- ⑱ 徳野純一<sup>(第1著者)</sup>，渡部秀行<sup>(第2著者)</sup>，片桐滋<sup>(第3著者)</sup>，他1名；“損失関数平滑度の自動制御を伴う最小分類誤り学習法”，電子情報通信学会 パターン認識・メディア理解研究会，2010年9月6日，福岡大学(福岡，福岡)。

[産業財産権]

○出願状況(計4件)

名称：パターン分類の学習装置  
 発明者：渡辺秀行  
 権利者：(独) 情報通信研究機構  
 種類：特許  
 番号：特願 2011-148142  
 出願年月日：2011年7月4日  
 国内外の別：国内

名称：パターン分類の学習装置  
発明者：渡辺秀行  
権利者：(独) 情報通信研究機構  
種類：特許  
番号：特願 2011-042282  
出願年月日：2011年2月28日  
国内外の別：国内

名称：パターン分類の学習装置  
発明者：渡辺秀行  
権利者：(独) 情報通信研究機構  
種類：特許  
番号：特願 2010-266448  
出願年月日：2010年11月30日  
国内外の別：国内

名称：パターン分類の学習装置  
発明者：渡辺秀行  
権利者：(独) 情報通信研究機構  
種類：特許  
番号：特願 2010-184334  
出願年月日：2010年8月19日  
国内外の別：国内

○取得状況 (計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

DISCERN ホームページ：

<http://ccilab.doshisha.ac.jp/index.html>

論文等ホームページ：

[https://kenkyudb.doshisha.ac.jp/rd/html/japanes/researchersHtml/106006/106006\\_Researcher.html](https://kenkyudb.doshisha.ac.jp/rd/html/japanes/researchersHtml/106006/106006_Researcher.html)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

片桐 滋 (KATAGIRI SHIGERU)

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号：40396114

### (2) 研究分担者

渡辺 秀行 (WATANABE HIDEYUKI)

(独) 情報通信研究機構・ユニバーサル  
コミュニケーション研究所・主任研究員

研究者番号：40395091

中村 篤 (NAKAMURA ATSUSHI)  
日本電信電話 (株) NTT コミュニケーション  
科学基礎研究所・メディア情報研究部・  
主幹研究員  
研究者番号：50396206

松田 繁樹 (MATSUDA SHIGEKI)  
(独) 情報通信研究機構・ユニバーサル  
コミュニケーション研究所・主任研究員  
研究者番号：20395007  
(H24年4月→H25年3月)

堀 貴明 (HORI TAKAAKI)  
日本電信電話 (株) NTT コミュニケーション  
科学基礎研究所・メディア情報研究部・  
主任研究員  
研究者番号：20396211  
(H24年4月→H25年3月)

渡部 晋治 (WATANABE SHINJI)  
日本電信電話 (株) NTT コミュニケーション  
科学基礎研究所・メディア情報研究部・  
研究員  
研究者番号：50396214  
(H22年4月→H23年11月)

(3) 連携研究者 (該当なし)