

## 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：13904

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22300059

研究課題名（和文） 音声ドキュメントの高精度認識と整形・要約および高速・高精度音声検索に関する研究

研究課題名（英文） High accuracy transcription, cleaning and fast term detection for spoken documents

## 研究代表者

中川 聖一 (NAKAGAWA SEIICHI)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：20115893

## 研究成果の概要（和文）：

音声認識の高精度化と音声認識結果の整形化、音声ドキュメントからの検索語の高速・高精度検索法の研究を行った。

音声認識の高精度化に関しては、従来のHMMを越える新しい音声認識モデルを提案し、その有効性を示した。音声認識結果の整形に関しては、話し言葉音声の音声認識結果からの書き言葉への整形のための確率モデルを提案し、その有効性を示した。音声ドキュメントからの検索語の高速検出に関しては、音節のnグラムインデックスに基づく手法を提案し、その有効性を示した。

## 研究成果の概要（英文）：

We studied on automatic speech recognition, written style transformation from spoken style transcription and fast term detection for spoken documents. For accurately automatic speech recognition, we proposed a novel speech recognition model beyond the conventional HMM, and showed the effectiveness. For cleaning speech recognition results, we proposed a probabilistic model of cleaning from spoken style with recognition errors to written style and showed the effectiveness. Finally, we proposed a fast term detection method based on tri-gram indexes from the transcription of spoken documents and showed the effectiveness.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
2011年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2012年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
総計	13,900,000	4,170,000	18,070,000

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：音声情報処理、音声認識、話し言葉、書き言葉、整形、情報検索、音声ドキュメント

## 1. 研究開始当初の背景

これまでの数十年に及ぶ研究の積み重ねによって、(1)音声スペクトルの動的特徴パラメータを導入したコンテキストに依存し

た隠れマルコフモデル（HMM）による音響モデル、(2)単語配列の統計的制約を表す単語nグラムによる言語モデル、(3)これらのモデルを用いて入力音声から最適な単語列

を算出するデコーダ、(4)これらのモデルの学習に必要な大量の音声データと大規模なテキストコーパスの開発、(5)これらを実現する高速・大容量の計算機の出現、などによって新聞の読み上げ音声のような比較的丁寧に発声された音声に対しては、リアルタイムで95%程度の単語正解率が得られるようになった。

しかし、講演音声や講義音声のような自然に発声された音声の認識は依然難しい。例えば、学習コーパスに存在しないような講義科目の話し言葉の音声認識となると、単語認識率は50%程度に低下してしまう。また、Web上には、不特定ユーザからの投稿（ポッドキャスト）など大量の音声が付随したデータが公開され、増大している。これらの高度利活用のために、音声認識率の向上とその可読性を向上（たとえ話し言葉音声の書きしが正確にできても読み難い）させる整形処理と要約提示、および、音声ドキュメントの高速・高精度検索技術の開発が必須であり、音声ドキュメント処理の研究が活発化している。米国では、研究促進のために、最近、音声キーワードの検索タスクが行なわれるようになった。わが国でも、音声検索に関しては、米国と同様に、共通基盤としての検索タスクの設定の準備が、情報処理学会音声言語情報処理研究会の音声ドキュメント処理ワーキンググループで行われている。

一旦、音声ドキュメントが単語列に認識されれば、通常テキスト検索技術によって、キーワードを含む音声ドキュメント部分が高速に検索できる。しかし、音声認識には認識誤りと未知語の問題が生じる。特に、未知語の問題は深刻で、未知語を極力防ぐために、登録する単語数を増加させ、たとえば10万語の単語辞書を用いた音声認識法を用いても、音声ドキュメント中に未知語は1%前後存在し、しかも検索したいターム（単語）は新造語や固有名詞など辞書に登録されていないものが多い。以上述べたように音声ドキュメント処理のより高度な研究が要望されている。

## 2. 研究の目的

読み上げ音声などの比較的丁寧に発声された音声は、高精度に認識できるようになってきた。しかし、講演音声や講義音声のような自然に発声された音声の認識は依然難しい。例えば、学習コーパスに存在しないような講義科目の話し言葉の音声認識となると、単語認識率は50%程度に低下してしまう。また、Web上には、不特定ユーザからの投稿（ポッドキャスト）など大量の音声が付随したデータが公開され、増大している。これらの高度利活用のために、音声認識率の向上と認識結果の可読性の向上および音声ドキュメン

トの高速検索技術の開発が必須である。

一旦、音声ドキュメントが単語列に認識されれば、通常テキスト検索技術によって、検索キーワードを含む音声ドキュメント部分が高速に検索できる。しかし、音声認識には認識誤りと未知語の問題が生じる。本研究は、これらの音声ドキュメントの高精度な認識法とその可読性と利活用を向上させる整形処理と要約処理、および、認識誤りと未知語に頑健な高速・高精度な音声検索法を開発することを目的とする。

## 3. 研究の方法

本研究は、講義音声やWeb上に公開されている音声ドキュメントの高度利活用のために、音声ドキュメントの音声認識を高精度化し、その結果の可読性を向上させる整形処理と要約処理、およびそれを用いた高速・高精度な音声検索法を実現することを目指す。そのために、新しい音声特徴パラメータ抽出法、音節モデルとトライフォンモデルの併用デコーダ法、音声検索に有用な音声認識結果の出力法、書き言葉コーパスからの話し言葉用言語モデルの構築法、トピックに依存した言語モデルの適応法、認識誤りと未知語に頑健な音声検索法を開発する。

まず、高精度な音声認識に関しては、認識結果の信頼度付きコンフュージョンネットワーク表現、HMMに代わるCRF（条件確率場）による音響モデルの導入を行い高精度化を行う。

音声認識結果の整形処理による可読性を向上させるために、認識誤り部分の削除、フィラーの削除、ポーズの除去と句読点の挿入、助詞落ちの復元、述部の言い回しの書き言葉への変換、改行と段落の挿入などを、コンフュージョンネットワーク表現による認識結果、話し言葉言語モデル、書き言葉言語モデル、話し言葉と書き言葉の相互変換モデルを統合した確率モデルによって行う。

音声ドキュメントからの検索語検出に対しては、我々は、音声認識時の置換誤り、挿入誤り、脱落誤りに頑健な高速音声検索法を提案している。これは、認識結果をサブワード列ラティスで表現し、これから置換誤りと挿入誤りを考慮して、様々なn字組のサフィックスアレイをインデックス化しておき、脱落誤りに対しては、検索語のn字組作成時において、脱落誤りを考慮するものである。n字組よりも長い検索語に対しては、n字組の複数個でカバーできるように分割して検索を行う。この手法は、誤りを考慮しているので、検索候補が多くなるにもかかわらず非常に高速である。本研究では、n字組をインデックスとして登録する際、どのような誤りを仮定してn字組を作成したかによって、距離を付随させる方法を考案する。このような距

離つき n 字組サフィックスアレイは、サブワード列同士の DP マッチングによる照合とほぼ同じ機能を組み込んだものと考えられ、高速・高精度に検索することができると考えられる。

#### 4. 研究成果

##### (1) 音声認識の高精度化

音声認識の高精度化に関しては、従来の世界的な標準手法であるメルケプストラム係数の混合正規分布 (GMM) による特徴パラメータのモデルと隠れマルコフモデル (HMM) による音響モデルの GMM-HMM に代えて、多層ニューラルネットワーク (DNN、深層ニューラルネットワークとも呼ばれる (Deep Neural Network)) による特徴抽出・事後確率計算と隠れニューラル確率場を音響モデルとして用いた Deep-HCNF を提案した。これは、従来の GMM-HMM を包含する強力な枠組みであり、これによって、従来の音声認識率を向上させることが出来た。特に、DNN の入力パラメータとして、11 フレーム分のコンテキストを使用した効果が大きい。

英語と日本語の連続音素認識実験結果を表 1 と表 2 に示す。表中の PER は、音素認識誤り率、#Param は、モデルのパラメータ数、括弧内は学習アルゴリズムを示している。また、Triphone-HMM (MPE) は、現在のところ世界標準となっている最良の認識手法である。例えば、日本語音声認識の標準テストデータである新聞読み上げ音声に対して、現在、最も良いとされている世界標準のトライフォンに基づく GMM-HMM の識別学習モデルを用いて、連続音素認識の音素誤り認識率が 12.4% であったのが、提案手法により 12.1% に改善できた。英語の連続音素認識に対しても、音素認識誤り率が、27.6% から 24.3% に改善できた。

表 1 英語の連続音素認識結果

Model	PER	#Param
Deep-HCNF (MMI)	24.9	2642864
Deep-HCNF (HB-MMI, b = 1.0)	24.3	
Triphone-HMM (MLE)	27.3	504823
Triphone-HMM (MPE)	27.6	

表 2 日本語の連続音素認識結果

Model	PER	#Param
Deep-HCNF (MMI)	13.1	4734965
Deep-HCNF (HB-MMI, b = 1.0)	12.1	
Triphone-HMM (MLE)	14.1	5640178
Triphone-HMM (MPE)	12.4	

この他、音声認識の高精度化に関して、以下の研究成果を得た。

- ・我々の研究室で長年開発してきた大語彙連続音声認識システム SPOJUS を C++ 言語に書き換え、高速化とモジュール化を実現した。また、Deep-HCNF を実現するデコーダを重み付き有限状態変換器 (WFST) で実現した。

- ・学習データのソフトクラスタリング法に基づいて、老人・成人・子供の男女に対する多数の音響モデルを作成し、これらから、入力音声に適したモデルを選択し、利用する年齢・性別に非依存な大語彙連続音声認識システムの開発を行った。

- ・音声認識に使用する言語モデルをトピックに依存して適応させるトピック依存言語モデルを提案した。これは認識対象の直前の 100 単語程度の認識結果より、自動的にトピックを推定し、予め求めていたトピック別の言語モデルに切り替えていくもので、英語においても日本語においても、その有効性を実証した。

- ・講義や講演のような話し言葉の認識には、発声内容の話題に関する話し言葉コーパス (ポーズや間投詞、言い回しなどが書き起こされている忠実なコーパス) から作成した言語モデルを使用するのが、音声認識の高精度化に繋がる。しかし、このようなコーパスは存在しない場合が多い。そこで、Web 上に存在する書き言葉コーパスから話し言葉コーパスを作成する手法を提案し、その有効性を示した。

##### (2) 音声ドキュメントの要約

音声ドキュメントの要約は、重要文の抽出に基づいて行った。言語的な特徴 (重要文手掛かり表現) や韻律的な特徴の他に、重要文の連続性の利用法、重複した同じ内容の文を避ける方法等を導入した。これにより、人手による要約と遜色のない自動要約が実現できた。

なおこの研究は、本研究課題の申請時から進めており、採択決定時には、ほぼ完成していた。

##### (3) 音声認識結果の整形

本研究で対象とした講義音声の認識は非常に難しく、第 1 候補の音声認識結果だけから、読みやすくなるように整形を行うことは困難であった。そこで、コンフュージョンネットワークで表現される複数仮説を利用する方法を開発した。複数仮説を利用する際に、文境界候補、文節チャンキング、係り受け解析構造も組み入れる枠組みを提案し、これらに、フィラー (間投詞) の削除と句読点の挿入規則、整形文が書き言葉らしくなるための書き言葉の言語モデルを統合した、確率モデルに基づく整形法を開発した。

表3に、被験者10人による評価結果を示す。ここで、Aの手法とBの手法を比較し、Aの整形の方が良かった場合は、Aにカウントし、Bの整形の方がよかった場合は、Bにカウントしている。どちらでもない場合は、「？」にカウントした。「認識結果」は、整形を行わない場合、1best整形は、第1候補の認識結果だけを利用した場合、“sent”は、文情報（文境界）を利用するか否か、を示している。表より、本提案手法が読みやすさ理解しやすさの向上をもたらしていることが分かる。

表3 整形の評価結果

(a): without sentence, (b): with sentence

評価基準	Method		Count		
	A	B	A	B	?
読み易さ	認識結果	フィルター除去	8	70	2
	フィルター除去	1best整形 <sup>(a)</sup>	26	50	4
	1best整形 <sup>(a)</sup>	1best整形 <sup>(b)</sup>	20	53	7
	1best整形 <sup>(a)</sup>	複数仮説 <sup>(a)</sup>	34	41	5
	1best整形 <sup>(a)</sup>	複数仮説 <sup>(b)</sup>	27	51	2
理解し易さ	認識結果	フィルター除去	8	57	15
	フィルター除去	1best整形 <sup>(a)</sup>	60	18	2
	1best整形 <sup>(a)</sup>	1best整形 <sup>(b)</sup>	4	65	11
	1best整形 <sup>(b)</sup>	複数仮説 <sup>(a)</sup>	3	66	11
	1best整形 <sup>(a)</sup>	複数仮説 <sup>(b)</sup>	19	56	5
	フィルター除去	複数仮説 <sup>(a)</sup>	38	28	14

(4) 音声ドキュメントからの検索語検出

音声ドキュメントからの検索語の高速検出に関しては、従来から我々が提案している音節のトライグラムインデックスに基づく手法を改善した。すなわち、音節列間のマッチングにおける置換誤り・挿入誤り・脱落誤りの距離の厳密化を行った。これらの誤りは、音声認識で避けられないものである。特に、置換誤り対策用に導入したダミー音節と検索語の音節との距離の定義を厳密化した。これにより、検索精度が向上し、ベースラインである音節列同士のDPマッチングによる手法の精度を上回ることが出来た。また、検索速度は、DPマッチング法の約50倍の高速化を達成した。インデックスのメモリ量が多いのが難点であるが、音節認識結果の候補数を削減することで、メモリ量も削減することができることを示した。

次に、音節のトライグラムのインデックス

化を、トライグラム、バイグラム、ユニグラムを併用する方法に改善した。これは、例えば、ABCDEの5音節からなら検索語に対して、従来法では、ABCとCDEの二つのトライグラムで検索していたが、この場合、音節Cが、2重に検索されており、厳密な5音節としての検索距離が求められていなかった。そこで、ABCのトライグラムとDEのバイグラムの検索結果を統合する手法に改善した。また、従来は、検索結果の検索語の長さの相違による正規化係数として、分割したトライグラム数で正規化していたのを、音節数に変更した。以上の改善・変更により、検索精度が向上した。

図1に評価結果を示す。例えば、従来44時間の講演音声ドキュメントに対して、未知語の検索に対して、F値は、従来法で0.611であったのが0.681まで向上した。また、ベースラインである、音節列同士のDPマッチングによる方法では、0.591であり、ベースラインを大きく上回ることが出来た。ただし、これにより、検索時間が遅くなったが、依然DPマッチング法よりは高速で、17倍である。

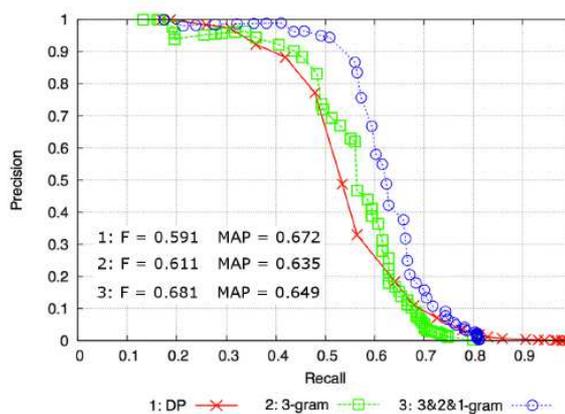


図1 テキストクエリによる音声ドキュメント検索結果（未知語）  
（音声ドキュメントは44時間の講演音声）

最後に、検索語を音声入力で行う方法を開発した。まず、検索語の音声を音声認識で音節列に変換する。その第一候補の音節列を、従来のタイプ入力による検索語と見做して、検索を行った。提案法は、今回の検索語の音節の認識率が悪く、十分な検索性能を得られていないが、ベースラインのDPマッチングによる性能を上回っている（図2参照）。これにより、検索語の音声入力による問題点（脱落誤りの影響が大きい。第一候補だけでは、音節認識の性能が低く、検索性能も低い）が明らかになり、今後の改善の見通しを得た。

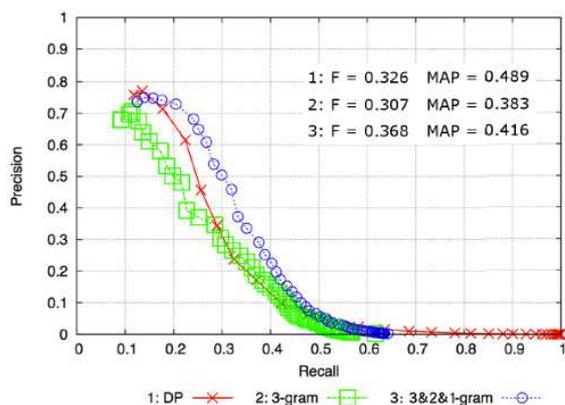


図2 音声クエリによる音声ドキュメント検索結果 (未知語)

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 14 件)

- ① S. Nakagawa, K. Iwami, Y. Fujii, K. Yamamoto "A robust/fast spoken term detection method based on a syllable n-gram index with a distance metric", Speech Communication, 査読有, Vol. 35, pp. 470-485 (2013. 2)  
10. 1016/j. specom. 2012. 12. 001
- ② 岩見圭祐, 坂本渚, 中川聖一, 『距離つき音節 n-gram 索引による音声検索語検出の距離尺度の厳密化』, 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol. 54, No. 2, pp. 495-505 (2013. 2)
- ③ 伊藤慶明, 西崎博光, 中川聖一, 秋葉友良, 河原達也, 胡新輝, 南篠浩光, 松井知子, 山下洋一, 相川清明『音声中の検索語検出のためのテストコレクションの構築と分析』情報処理学会論文誌, 査読有, Vol. 54, No. 2, pp. 471-483(2013. 2)
- ④ 瀧上智子, 秋葉 友良『音声検索語検出を前処理に用いた未知語や認識誤りに頑健な音声ドキュメント検索』情報処理学会論文誌, 査読有, Vol. 54, No. 2, pp. 506-517(2013. 2)
- ⑤ 大野哲平, 秋葉 友良『音節継続時間を利用した直線検出に基づく音声検索語検出』情報処理学会論文誌, 査読有, Vol. 54, No. 2, pp. 484-494(2013. 2)
- ⑥ H. Nishizaki, T. Akiba, K. Aikawa, T. Kawahara and T. Matsui "Evaluation Framework Design of Spoken Term Detection Study at the NTCIR-9 IR for Spoken Documents Task", Journal of Natural Language Processing, 査読有, Vol. 19, No. 4, pp. 330-350 (2012. 12)  
10. 5715/jnlp. 19. 329
- ⑦ A. Kobayashi, T. Oku, T. Imai, S. Nakagawa "Risk-based semi-supervised discriminative language modeling for broadcast transcription", IEICE Trans. Inf. & Syst., 査読有, Vol. E95-D, No. 11, pp. 2674-2681 (2012. 11)  
10. 1587/transinf. E95. D. 2674
- ⑧ W. Naptali, M. Tsuchiya, S. Nakagawa "Class-based n-gram language Model for new words using out-of-vocabulary to in-vocabulary similarity", IEICE Trans. Inf. & Syst., 査読有, Vol. E95-D, No. 9, pp. 2308-2316 (2012. 9)  
10. 1587/transinf. E95. D. 2308
- ⑨ Y. Fujii, K. Yamamoto, S. Nakagawa "Hidden conditional neural fields for continuous phoneme recognition", IEICE Trans. Inf. & Syst., 査読有, Vol. E95-D, No. 8, pp. 2094-2104 (2012. 8)  
10. 1587/transinf. E95. D. 2094
- ⑩ Y. Fujii, K. Yamamoto, S. Nakagawa "Improving the readability of ASR results for lectures using multiple hypotheses and sentence-level knowledge", IEICE Trans. Information and Systems, 査読有, Vol. E-95, No. 4, pp. 1101-1111 (2012. 4)  
10. 1587/transinf. E95. D. 1101
- ⑪ W. Naptali, M. Tsuchiya, S. Nakagawa "Topic-dependent-class-based n-gram language model", IEEE Trans. Audio, Speech and Language Processing, 査読有, Vol. 20, No. 5, pp. 1513-1525 (2012. 5)  
10. 1109/TASL. 2012. 2183870
- ⑫ 太田健吾, 土屋雅稔, 中川聖一『ポーズを考慮した話し言葉言語モデルの構築』, 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol. 53, No. 2, pp. 889-900 (2012. 3)
- ⑬ 金子 泰輔, 秋葉 友良『部分距離空間上の索引付けに基づく音声中の高速検索語検出法』, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol. J95-D, No. 3, pp. 608-617 (2012. 3)
- ⑭ W. Naptali, M. Tsuchiya, S. Nakagawa "Topic-dependent language model with voting on noun history", ACM Trans. Asian Language Information Processing, 査読有, Vol. 9, No. 2, pp. 7:1-7:31 (2010. 6)  
10. 1145/1781134. 1781137

[学会発表] (計 14 件)

- ① T. Ohno and T. Akiba "Incorporating Syllable Duration into Line-Detection-Based Spoken Term Detection", 2012 IEEE Workshop on Spoken Language Technology, Paper No. TU-AM. 8(2012. 12. 4) Miami, USA

- ② K. Ohta, M. Tsuchiya, S. Nakagawa  
“Developing partially-transcribed  
speech corpus from edited  
transcriptions”, Proc. LREC,  
pp. 3399-3404 (2012. 5. 25)  
ISTANBUL, TURKEY
- ③ Y. Fujii, K. Yamamoto, S. Nakagawa  
“Deep-hidden conditional neural  
fields for continuous phoneme speech  
recognition”, Proc. Int. Workshop on  
Statistical Machine Learning for  
Speech Recognition (2012. 3. 31) 国立  
京都国際会館, 京都市
- ④ K. Ohta, M. Tsuchiya, S. Nakagawa  
“Detection of precisely transcribed  
parts from in exact transcribed  
corpus”, Proc. ASRU, pp. 541-546  
(2011. 12. 15) Hawaii, USA
- ⑤ Y. Fujii, K. Yamamoto, S. Nakagawa  
“Hidden boosted MMI and hierarchical  
state posterior feature for automatic  
speech recognition based on hidden  
conditional neural fields”, Proc.  
Interspeech, pp. 1001-1004  
(2011. 8. 31) Florence, Italy
- ⑥ K. Iwami, Y. Fujii, K. Yamamoto, S.  
Nakagawa “Efficient  
out-of-vocabulary term detection by  
N-gram array in deices with distance  
from a syllable lattices”, Proc.  
ICASSP, pp. 5664-5667 (2011. 5. 22-27)  
Prague, Czech Republic
- ⑦ Y. Fujii, K. Yamamoto, S. Nakagawa  
“Automatic speech recognition using  
hidden conditional neural fields”,  
Proc. ICASSP, pp. 5036-5039  
(2011. 5. 22-27) Prague, Czech Republic
- ⑧ Y. Fujii, K. Yamamoto, S. nakagawa  
“Large vocabulary speech recognition  
system:SPOJUS+”, Proc. 11th Wseas  
International Conf. MUSP-11,  
pp. 110-118 (2011. 3. 7-9) Venice, Italy
- ⑨ W. Naptali, M. Tsuchiya, S. Nakagawa  
“Topic dependent class based  
language model evaluation on  
automatic speech recogniton”, Proc.  
IEEE Workshop on SLT, pp. 383-388,  
(2010. 12. 15) Berkeley, California
- ⑩ K. Iwami, Y. Fujii, K. Yamamoto, S.  
Nakagawa “Out of vocabulary term  
detection by N-gram array with  
distance from continuous syllable  
recognition results”, Proc. IEEE  
Workshop on SLT, pp. 200-205,  
(2010. 12. 14) Berkeley, California
- ⑪ Y. Fujii, K. Yamamoto, S. Nakagawa  
“Improving the readability of class

lecture ASR results using a confusion  
network”, Proc. Interspeech ,  
pp. 3078-3081 (2010. 9. 30)

- 幕張メッセ国際会議場, 千葉市
- ⑫ W. Naptali, M. Tsuchiya, S. Nakagawa  
“Integration of a cache-based model  
and topic dependent class model with  
soft clustering and soft voting”,  
Proc. Interspeech, pp. 2430-2433  
(2010. 9. 29) 幕張メッセ国際会議場,  
千葉市
- ⑬ T. Kaneko, T. Akiba “Metric Subspace  
Indexing for Fast Spoken Term  
Detection”, Proc. Interspeech,  
pp. 689-692, (2010. 9. 28) 幕張メッセ国  
際会議場, 千葉市
- ⑭ Y. Itoh, H. Nishizaki, X. Hu, H. Nanjo,  
T. Akiba, T. Kawahara, S. Nakagawa, T.  
Matsui, Y. Yamashita, K. Aikawa  
“Constructing Japanese Test  
Collections for Spoken Term  
Detection”, Proc. Interspeech,  
pp. 677-680 (2010. 9. 28) 幕張メッセ国  
際会議場, 千葉市

〔図書〕 (計 2 件)

- ① 中川聖一, 小林聡, 峯松信明, 宇津呂武  
仁, 秋葉友良, 北岡教英, 山本幹雄, 甲  
斐充彦, 山本一公, 土屋雅稔 『音声言語  
処理と自然言語処理』, コロナ社,  
(2013. 3), 264 ページ
- ② 中川聖一 『情報理論—基礎から応用まで  
—』, 近代科学社 (2010. 6), 242 ページ

〔その他〕  
ホームページ等  
<http://www.slp.cs.tut.ac.jp>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

中川 聖一 (NAKAGAWA SEIICHI)  
豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・  
教授  
研究者番号：20115893

### (2) 研究分担者

秋葉 友良 (AKIBA TOMOYOSHI)  
豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・  
准教授  
研究者番号：00356346  
山本 一公 (YAMAMOTO KAZUMASA)  
豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・  
准教授  
研究者番号：40324230  
土屋 雅稔 (TSUCHIYA MASATOSHI)  
豊橋技術科学大学・情報メディア基盤セン  
ター・助教  
研究者番号：70378256