

Title	ヒト発話シミュレータによるStory Teller Systemの構築
Author(s)	赤木, 正人
Citation	科学研究費助成事業研究成果報告書: 1-6
Issue Date	2017-06-01
Type	Research Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/14328
Rights	
Description	基盤研究(A) (一般), 研究期間: 2013 ~ 2016, 課題番号: 25240026, 研究者番号: 20242571, 研究分野: 音声情報処理

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 1 日現在

機関番号：13302

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25240026

研究課題名(和文) ヒト発話シミュレータによるStory Teller Systemの構築

研究課題名(英文) Construction of story teller system by human voice production simulator

研究代表者

赤木 正人 (Akagi, Masato)

北陸先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授

研究者番号：20242571

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 36,200,000円

研究成果の概要(和文)：表現豊かな音声合成システムの実現を目指して、本を読み聞かせるシステムの構築を行う。言うなれば、役で声質を演じわせるコンピュータを実現するプロジェクトである。HMM音声合成などの既存の方法では、学習対象とする大規模音声データベースに依存した音声合成されるため、様々な役を演じる個性ある音声の合成には、発話スタイルそれぞれに大規模データベースが必要となる。これを打破するために、ヒトの音声生成機構を忠実に反映したヒト発話モデル(発話シミュレータ)を考案する。様々な声質を使い分けられるヒトの音声発話方法を解明し、モデルに組み込むことで、個性ある声の合成への適用を試みる。

研究成果の概要(英文)：Aiming to realize an expressive speech synthesis system, we build a story teller system. In other words, it is a project to realize a computer that plays various roles with their appropriate voice qualities. In existing methods such as HMM speech synthesis, since speech dependent on large-scale speech database to be learned is synthesized, large-scale databases are required to synthesize speech with various speech styles and individualities, in playing various roles. In order to overcome this, we devise a model for human speech production (voice production simulator) that faithfully reflects human speech production mechanism. Elucidating the human speech production method which can selectively use various voice qualities, we try to apply it to the synthesis of individual voice by implementing it into the model.

研究分野：音声情報処理

キーワード：音声情報処理 音声合成 音声知覚 音声生成

1. 研究開始当初の背景

ヒトが発する音声には、言語情報のみならず、韻律変化による意味の強調などのパラ言語情報、また、感情、個人性（年齢、性別など）あるいは歌声などの非言語情報が多分に含まれており、人-人の音声コミュニケーションを豊かにしている。一方、機械による合成音声では、言語情報の送信は可能となってきたが、自然性はヒトが発する音声にかなわず、単調で味気ない音声しか合成できていない。これは、ヒトの音声に含まれるパラ言語・非言語情報が、合成音声に十分に含まれていないことによる。もしこれらの情報を自由に操り合成音声に付加することができれば、人-人の音声コミュニケーションと同様に、機械との間でも単なる言語情報のやり取りだけではない“豊かな音声コミュニケーション”が成立する。本研究では、目標として本を読み聞かせるシステム(Story Teller System) (図1)を設定し、その合成エンジンを新たに構築する。



図1 Story Teller System

Story Teller System では、役にあった個性ある音声を自由自在に表現できる必要がある。既存の音声合成手法の一つである音素片編集合成器で Digital Story Teller System を構築しようとする、一人の話者が役を演じ分けた多量の音声を録音しなければならない。また、素片の結合制御が困難であり自然性の点で難がある。HMM 合成などの統計的手法では、異なる声質・発話スタイルを扱おうとするたびに音響モデルの新たな学習が必要であり、このために該当発話スタイルの大規模な音声データを集める必要がある。さらに、合成された音声は、学習用データベースの特性を超えるものではなく、合成された音声はバリエーションの広い個性ある音声とは言い難い。

表現豊かな音声に係わる特徴は、発声・発話器官の形状やその動的変化の差異に含まれる。このため、表現豊かな音声の合成のためには合成器に身体を持たせるのが素直である。著者らはこれに加えて、「音声生成では、聴覚からのフィードバックにもとづいて脳が生成機構を制御する」との考えから、知覚機構および脳を含めたヒトの音声生成機構のモデル化について検討を行ってきた。

これらの研究により、知覚機構のモデルおよびヒト型音声生成モデルにおける要素モ

デル（声帯振動モデル、調音モデル）の基礎検討は行われた。個々の要素技術は革新的なものであり国内外で高く評価されているが、Story Teller System のために意図した表現豊かな合成音声を出力することは未だ達成されていない。この主な原因は、(A) ヒト型音声生成モデルの制御が未だ手動であり確立されていない、(B) 知覚モデルによる音声の印象予測が一部の発話スタイル（感情音声）に限られており確立されていない、(C) これらのモデルを結びつけ一体となった合成システムを構築できていない、ことである。

2. 研究の目的

本研究では、申請者が提案している非言語情報に関する音声知覚モデルとヒトの生理機構に基づいた音声生成モデルを、知覚と生成の相互作用を記述した脳モデルにより結合することで、合成音声へのパラ言語・非言語情報付加が可能な Story Teller System の構築を行う。Story Teller System では、一人の話者が様々な役をこなし、本を読み聞かせるシステムの構築を行う。言うなれば、コンピュータ・パフォーマー（役で声質を演じわせるコンピュータ）を実現するプロジェクトである。

解くべき課題は、

- (1) 生成モデルのコントロール手法が未だ手動であり確立されていないこと、
 - (2) 知覚モデルで扱える発話スタイルが一部に限られていること、
 - (3) これらのモデルを結びつけるモデルを構築できていないこと、
- である。そこで、これらの課題を克服するために、以下に示す4つの項目について研究を実施した。

3. 研究の方法

(1) 生成モデルの精緻化：著者らが提案した生成モデルをもとに、脳モデルからの指令により動作可能となるように声帯音源および調音機構のモデルを精緻化する。より幅広い発話スタイルの音声生成にも対応できるように、声門開閉計測装置（EGG）、MRI や EMA 等を用いたヒトの音声生成機構の詳細な観測から得られた結果にもとづいてモデル化を実行する。

(2) 知覚モデルの拡張：著者らはすでに、感情音声の印象を予測する知覚モデルを提案している。このモデルをもとに、性別、年齢等を加えたより幅広い表現豊かな音声の印象を自動的に予測でき、その結果を脳モデルに伝えられるモデルへの拡張を行う。モデル拡張の基礎となる知覚特性計測データを取得するために、表現豊かな音声知覚に与える影響を聴取実験により収集する。

(3) 脳モデルの構築：知覚モデルからの知覚予測結果と意図した発話スタイルの誤差に基づいて、生成モデルへの制御指令を出力する機構を持つ脳モデルを新たに構築する。各

モデルを生成 知覚 脳の順番で繰り返し適用することにより、Analysis by Synthesis (AbS)の原理により合成音声を最適化する。脳モデルは、生成音声を最適化するための脳の方略をモデル化するものである。

(4) 統合システムの構築：提案システムにより、個々の応用（感情音声の合成，合成音の年齢・性別コントロール，歌声の合成等）が可能であることを確認し、本の読み聞かせに耐えうる合成システムの構築を目指す。

4. 研究成果

(1) 生成モデルの精緻化：

研究用データベースを充実させるために、男性5名、女性5名、計10名の声優による感情音声発話を録音し、音声資料としてデータベース化した。

音声生成機構のモデルである ARX-LF モデルによる表現豊かな音声の分析・合成を試みた。声帯音源については、データベース内の複数の感情カテゴリ、複数の感情の度合いに対して、LF モデルによる声帯音源波形推定を実施し LF モデルのパラメータ値の高精度での推定に成功した。結果として、感情ごとおよび各感情の度合いごとにパラメータ値に明確な差が表れた。声道特性についても、感情ごとにホルマント周波数の典型的な移動が見られた。これらにより、感情ごとに声帯振動、声道形状がどのように関わっているかを明らかにし、声帯音源モデルおよび声道モデルのパラメータを適切に制御することにより感情音声合成が行える可能性が示された。

(2) 知覚モデルの拡張：

意図した感情表現を適切に行うために、感情を記述する方法として Valence-Activation (V-A) 空間を採用し、大規模な聴取実験の結果をもとに V-A 空間でのヒトの感情知覚モデルの再整備を行った

聴取実験では、聴取印象の計測をより広範囲に行うために、日、米、中、独、越5か国語による感情音声のデータベースを用いて、日、中、越3母語グループによる知覚印象採取のための聴取実験を行った。実験結果からは、グループでの知覚印象の共通性が見出された。

再整備したモデルを用いて、複数言語（日、中、独3か国語）をカバーする V-A 空間の位置情報推定を行った。この結果、従来の手法よりも高精度な位置推定が可能となった。推定された位置情報をもとに感情認識を行った結果、各国語向けに調整された従来の認識器とほぼ同等の性能を得た。

(3) 脳モデルの構築：

知覚にもとづいた音響特徴推定モデルを構築し、V-A 空間内で発話スタイルの差情報の算出を行う手法を提案した。

この手法を客観的評価システムに適用

し、自動で目標の知覚印象に近づくようにモデルパラメータを制御できるシステムの構築を試みた。このシステムにより、合成音声の客観的評価推定は行えることはわかった。しかし、推定時に必要な音声セグメンテーションの自動化に問題があり、このモデルを用いた手動での客観的評価は行えるものの、全自動客観的評価システム構築までには至らなかった。

(4) 統合システムの構築：

これらのモデルを統合して感情音声合成システムを構築し、Story Teller System の構築を試みた。これを実現するために、V-A 感情空間上ですべてのモデルを統合するために、知覚モデル、知覚モデルの逆モデル、平静音声への意図した感情の付加システム、すべてを V-A 感情空間の位置情報をもとにして構築し、一体化を図った。

知覚モデルは、プランズウィックのレンズモデルに着想を得た三層構造を有しており、感情音声を入力として、V-A 感情空間内の位置を推定する。生成モデルは知覚モデルの逆モデル（すなわち知覚にもとづいた音響特徴推定モデル）で構成されており、V-A 空間内での任意の位置情報と平静に発話された音声を入力として、その位置が示す感情をもつ音声を生成する。

合成した音声の聴取実験による評価を行った結果、Joy, Angry, Sad それぞれの感情をもつ音声合成されたことが明らかとなった。これをもとに、デモンストレーションとして子供向け絵本をもとにした物語の朗読音声を作成した。

物語の朗読音声を表現豊かに変更することはできたが、評価部分の全自動化が未完成のため、全自動で合成が行われるシステムまでには至っていない。

(5) 残された課題

上記のように、当初想定した基本的課題はクリアできたが、次のような課題が未解決であるため、4年間の科研プロジェクトを離れた後も、引き続き研究を実施する。

生成モデル：表現豊かな音声の合成は可能となった。しかし、感情強度の印象評価において、所望の合成音を得られない場合がある。これは、スペクトルのダイナミクス記述にまだ問題点があるためであり、ARX-LF モデルによる音声の分析結果をもとに、変形則を再構築する。

知覚モデル：V-A 空間上での位置推定は可能であるが、合成された音声の客観的評価尺度として起用するためには、さらなる精度向上および自動化が必須である。精度向上には、聴取実験によるデータ収取および新たなデータの分析が必要となる。自動化については、新たに提案する手法を評価中である。

脳モデル：前述した通り、推定時に必要な音声セグメンテーションの自動化に問題

があり、全自動客観評価システム構築までには至らなかった。

統合システム：モデルを統合し、物語の朗読音声を表現豊かに変更することは可能となった。しかし、脳モデルによる評価部分の自動化が課題として残っている。物語テキストと発話スタイルのみ入力すれば、あとは全自動で合成が行われるシステムの構築に向けて邁進する。

その他、個々のモデルについては構築済みであり、論文執筆が可能である。今後、順次に雑誌論文への投稿を予定している。

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15件)

- [1] Kawahara, S., Erickson, D., Suemitsu, A., (2017). "The phonetics of jaw displacement in Japanese vowels," *Acoustical Science and Technology*, vol.38, no.2, 99-107, 2017. 査読有
- [2] Dinh, T. A., Morikawa, D., and Akagi, M. (Jul. 2016), "Study on quality improvement of HMM-based synthesized voices using asymmetric bilinear model," *Journal of Signal Processing*, 20, 4, 205-208. 査読有
- [3] Surasak Boonkla, Masashi Unoki, Stanislav S. Makhonov, and Chai Wutiwitachai, "Speech Analysis Method Based on Source-Filter Model Using Multivariate Empirical Mode Decomposition," *IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, Vol. E99-A, No. 10, 1762-1773, Oct. 2016. 査読有
- [4] Zhi Zhu, Yasutaka Nishino, Ryota Miyauchi and Masashi Unoki, (2016). "Study on linguistic information and speaker individuality contained in temporal envelope of speech," *Acoustical Science and Technology*, Vol. 37, No. 5, 258-261, Sept. 2016. 査読有
- [5] Erickson, D., Zhu, C., Kawahara, S., Suemitsu, A., (2016). "Articulation, acoustics and perception of Mandarin Chinese emotional speech," *Open Linguistics*, vol.2, no.1, 620-635, 2016. DOI 10.1515/opli-2016-0034 査読有
- [6] Jianwu Dang, Jianguo Wei, Kiyoshi Honda, and Takayoshi Nakai (2016). "A study on transvelar coupling for non-nasalized sounds," *J. Acoust. Soc. Am.* 139 (1), 441-454, January 2016. 査読有
- [7] Tanaka, H. (2016). Modeling the motor cortex: Optimality, recurrent neural networks, and spatial dynamics. *Neuroscience Research* 104, 64-71. DOI: 10.1016/j.neures.2015.10.012. 査読有
- [8] X. Wu, J. Dang, (2015). "A control strategy of a physiological articulatory model for speech production," *Journal of Chinese Linguistics*, VOL.43, NO.1B, 337-363 | 10.1353/jcl.2015.0038 査読有
- [9] Tatsuya Kitamura, Yukiko Nota, Michiko Hashi, Hiroaki Hatano, (2015). "Improvement of five-degree-of-freedom sensors for Northern Digital Incorporated's Wave speech research system," *Acoustical Science and Technology*, 36, 4, 347-350 (2015). 査読有
- [10] H. Yokonishi, H. Imagawa, K.-I. Sakakibara, A. Yamauchi, T. Nito, T. Yamasoba, N. Tayama (2015). "Relationship of various open quotients with acoustic property, phonation types, fundamental frequency, and intensity," *J. Voice*, 30(2):145-157, May 2015. 査読有
- [11] 川本真一, (2014). "視覚素依存フィルタによる漸次的音声駆動発話アニメーション," *電子情報通信学会論文誌 D*, Vol.J97-D, No.9, pp.1416-1425 (Sep 2014). 査読有
- [12] Elbarougy, R. and Akagi, M. (2014). "Improving Speech Emotion Dimensions Estimation Using a Three-Layer Model for Human Perception," *Acoustical Science and Technology*, 35, 2, 86-98. 査読有
- [13] Kawahara, S., Erickson, D., Moore, J., Suemitsu, A., Shibuya, Y., (2014). "Jaw displacement and metrical structure in Japanese: The effect of pitch accent, foot structure, and phrasal stress," *Journal of Phonetic Society of Japan*, 18, 2, 77-87, 2014. 査読有
- [14] Songgun Hyon, Jianwu Dang, Hui Feng, Hongcui Wang, Kiyoshi Honda (2014). "Detection of speaker individual information using a phoneme effect suppression method," *Speech Communication*, 57, 87-100. 査読有
- [15] Phung, T. N., Phan, T. S., Vu, T. T., Loung, M. C., and Akagi, M. (2013). "Improving naturalness of HMM-based TTS trained with limited data by temporal decomposition," *IEICE Trans. Inf. & Syst.*, E96-D, 11, 2417-2426. 査読有

[学会発表](計32件)

- [1] Asai, T., Suemitsu, A., and Akagi, M. "Articulatory Characteristics of Expressive Speech in Activation-Evaluation Space," *NCSP2017, Guam, (USA)*, Mar 2, 2017.
- [2] Xue, Y., Hamada, Y., and Akagi, M. "Voice Conversion to Emotional Speech based on Three-layered Model in Dimensional Approach and Parameterization of Dynamic Features in Prosody," *APSIPA2016, Cheju (Korea)*, Dec 15, 2016.
- [3] Yu Chen, Ju Zhang, Fei Chen, Yanting

- Chen, Hua Lin, Jianguo Wei and Jianwu Dang, "A New Method of Acceleration Measurement for Observing Tongue Movement in Ultrasound Image during Speech Production", APSIPA, 2016, Cheju (Korea), Dec. 13-16, 2016
- [4] Akagi, M. "Toward Affective Speech-to-Speech Translation," *Keynote Speech, International Conference on Advances in Information and Communication Technology 2016*, Thai Nguyen (Vietnam), Dec 13, 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-49073-1_3.
- [5] Li, Y., Morikawa, D., and Akagi, M. "A method to estimate glottal source waves and vocal tract shapes for widely pronounced types using ARX-LF model," 2016 ASA-ASJ Joint meeting, Honolulu, Hawaii (USA), Nov 28, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1121/1.4969159>
- [6] Xue, Y., Hamada, Y., Elbarougy, R., and Akagi, M. "Voice conversion system to emotional speech in multiple languages based on three-layered model for dimensional space," O-COCOSDA2016, Bali (Indonesia), Oct 27, 2016.
- [7] Dinh, A. T. and Akagi, M. "Quality Improvement of HMM-based Synthesized Speech Based on Decomposition of Naturalness and Intelligibility using Non-Negative Matrix Factorization," O-COCOSDA2016, Bali (Indonesia), Oct 26, 2016.
- [8] Li, X. and Akagi, M. "Multilingual Speech Emotion Recognition System Based on a Three-Layer Model," INTERSPEECH 2016, San Francisco (USA), Sep 12, 2016.
- [9] Zhi Zhu, Ryota Miyauchi, Yukiko Araki, Masashi Unoki, "Modulation spectral features for predicting vocal emotion recognition by simulated cochlear implants," INTERSPEECH 2016, San Francisco (USA), Sept. 8–12, 2016.
- [10] Shuanglin Fan, Kiyoshi Honda, Jianwu Dang, Hui Feng, "Effects of Subglottal-Coupling and Interdental-Space on Formant Trajectories during Front-to-Back Vowel Transitions in Chinese," INTERSPEECH 2016, San Francisco (USA), Sept. 8–12, 2016
- [11] Jianguo Wei, Wendan Guan, Darcy Q. Hou, Dingyi Pan, Wenhuan Lu, Jianwu Dang, "A new model for acoustic wave propagation and scattering in the vocal tract," INTERSPEECH 2016, San Francisco (USA), Sept. 8–12, 2016.
- [12] Jianwu Dang, Shengbei Wang, Masashi Unoki, "Investigations into vowel and consonant structures in articulatory and auditory spaces using Laplacian eigenmaps," the 41st IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2016), Shanghai (China), March 20-25, 2016.
- [13] Xue, Y. and Akagi, M. (2016/03/07). "A study on applying target prediction model to parameterize power envelope of emotional speech," NCSP2016, Honolulu, HI (USA), Mar 7, 2016.
- [14] Xue, Y., Hamada, Y., and Akagi, M. "Emotional speech synthesis system based on a three-layered model using a dimensional approach," APSIPA2015, Hong Kong (China), Dec 19, 2015.
- [15] H. Kawahara, K.-I. Sakakibara, H. Banno, M. Morise, T. Toda, and T. Irino, "Aliasing-free implementation of discrete-time glottal source models and their applications to speech synthesis and F0 extractor," APSIPA2015, Hong Kong (China), Dec 16-19, 2015.
- [16] Y. Chi, K. Honda, J. Wei, H. Feng, J. Dang, "Measuring Oral and Nasal Airflow in Production of Chinese Plosive," INTERSPEECH2015, Dresden, (Germany), Sept. 6-10, 2015.
- [17] T. Li, K. Honda, J. Wei, J. Dang, "A lip protrusion mechanism examined by magnetic resonance imaging and finite element modeling," 18th ICPHS, Glasgow (UK), Aug 10-14, 2015
- [18] Xiao Han, Reda Elbarougy, Masato Akagi, Junfeng Li, Thi Duyen Ngo, and The Duy Bui. "A study on perception of emotional states in multiple languages on Valence-Activation approach," NCSP2015, Kuala Lumpur (Malaysia), Feb 28, 2015.
- [19] Yasuhiro Hamada, Reda Elbarougy and Masato Akagi, "A Method for Emotional Speech Synthesis Based on the Position of Emotional State in Valence-Activation Space," APSIPA2014, Siem Reap (Cambodia), Dec 12, 2014.
- [20] Kanae Amino, Hisanori Makinae, Tatsuya Kitamura, "Nasality in Speech and Its Contribution to Speaker Individuality," INTERSPEECH 2014, Singapore (Singapore), Sep 14-18, 2014.
- [21] Akagi, M. and Elbarougy, R. "Toward Relaying Emotional State for Speech-To-Speech Translator: Estimation of Emotional State for Synthesizing Speech with Emotion," ICSV2014, Beijing (China), Jul 16, 2014.
- [22] Erickson, D., Kawahara, S., Moore, J., Suemitsu, A., and Shibuya, Y. "Metrical structure and jaw displacement," *Speech Prosody 2014*, Dublin (Ireland), May 20-23, 2014.
- [23] Li, Y. and Akagi, M. "Glottal source

- analysis of emotional speech,” Proc. NCSP2014, Honolulu, Hawaii (USA), Mar 2, 2014.
- [24] H. Kawahara, M. Morise, and K.-I. Sakakibara, “Temporally fine F0 extractor applied for frequency modulation power spectral analysis of singing voices,” MAVEBA 2013, Firenze (Italy), Dec. 16-18, 2013.
- [25] Elbarougy, R. and Akagi, M. (2013/11/01). “Cross-lingual speech emotion recognition system based on a three-layer model for human perception,” APSIPA2013, Kaohsiung (Taiwan), Oct 29-Nov 1, 2013.
- [26] Nana Nishimura, Shin’ichi Kawamoto, Jianwu Dang, and Kiyoshi Honda “Morphological personalization of a physiological articulatory model,” APSIPA2013, Kaohsiung (Taiwan), Oct 29-Nov 1, 2013.
- [27] D. Huang, X. Wu, J. Wei, H. Wang, C. Song, Q. Hou, J. Dang, “Visualization of Mandarin Articulation by using a Physiological Articulatory Model”, APSIPA2013, Kaohsiung (Taiwan), Oct 29-Nov 1, 2013.
- [28] Y. Nishigaki, K.-I. Sakakibara, M. Morise, R. Nishimura, T. Irino, and H. Kawahara, “Controlling "shout" expression in a Japanese POP singing performance: analysis and suppression study,” INTERSPEECH 2013, Lyon (France), Aug. 25-29, 2013.
- [29] A. Yamauchi, H. Imagawa, H. Yokonishi, K.-I. Sakakibara, R. Ueha, Y. Nito, N. Tayama, and T. Yamazoba, “Analysis of vocal fold vibrations using high-speed digital imaging in patients with vocal fold paralysis,” Pan European Voice Conference, Prague (Czech Republic), Aug. 21-24, 2013.
- [30] Tatsuya Kitamura, Hiroaki Hatano, Takeshi Saitou, Yui Shimokura, Eri Haneishi, Hiroko Kishimoto, "Pilot study of vibration pattern measurement for facial surface during singing by using scanning vibrometer," Stockholm Music Acoustics Conference 2013 (SMAC2013), Stockholm (Sweden), Jul 30-Aug 3, 2013.
- [31] Hironori Takemoto, Seiji Adachi, Takeshi Saitou, Kiyoshi Honda, Eri Haneishi, and Hiroko Kishimoto, “Power control for the second harmonic at high pitches in soprano singing: A case study,” Stockholm Music Acoustics Conference 2013 (SMAC2013), Stockholm (Sweden), Jul 30-Aug 3, 2013.
- [32] Shin-ichi Kawamoto, "Speech-driven Realtime Lip-Synch Animation with Viseme-dependent Filters," SIGGRAPH 2013, Anaheim, CA (USA), July 21-25,

2013.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

赤木 正人 (AKAGI Masato)
北陸先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授
研究者番号：20242571

(2)研究分担者

党 建武 (TOU Takeshi)
北陸先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授
研究者番号：80334796

鷓木 祐史 (UNOKI Masashi)
北陸先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授
研究者番号：00343187

田中 宏和 (TANAKA Hirokazu)
北陸先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・准教授
研究者番号：00332320

宮内 良太 (MIYAUCHI Ryota)
北陸先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・助教
研究者番号：30455852

森川 大輔 (MORIKAWA Daisuke)
北陸先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・助教
研究者番号：70709146

末光 厚夫 (SUEMITSU Atsuo)
札幌保健医療大学・看護学部・准教授
研究者番号：20422199

川本 真一 (KAWAMOTO Shinichi)
群馬工業高等専門学校・電子情報工学科・講師
研究者番号：70418507

北村 達也 (KITAMURA Tatsuya)
甲南大学・知能情報学部・教授
研究者番号：60293594

齋藤 毅 (SAITOU Takeshi)
金沢大学・電子情報学系・助教
研究者番号：70446962

榊原 健一 (SAKAKIBARA Kenichi)
北海道医療大学・リハビリテーション科学部・准教授
研究者番号：80396168

E r i k s o n D o n n a (Erickson Donna)
金沢医科大学・一般教育機構・非常勤講師
研究者番号：80331586
(平成27年度まで研究分担者)