

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 7 日現在

機関番号：25403

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2012

課題番号：21300209

研究課題名（和文） 発声機能障害者のための音声復帰システムの開発

研究課題名（英文） Development of Speech Recovery System for impaired

研究代表者

石光 俊介 (ISHIMITSU SHUNSUKE)

広島市立大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：70300621

研究成果の概要（和文）：日本は高齢化社会に向かっている。その影響もあり、高齢者に多い発声機能障害者も毎年増加している。障害者の多くは代用発声を用いるが、不明瞭である。そこで本課題では発声時の体内伝導信号を用いた発声支援システムを提案した。このシステムでは音節などのサブワード単位での認識を用いて明瞭音声と障害者音声間の伝達関数を利用して明瞭化を図っている。このシステムの有効性を聴感実験や特徴解析などにより確認した。

研究成果の概要（英文）：Japan is currently rapidly aging. Concurrently, the number of patients suffering speech disorders is increasing every year, and the incidence is higher as age increases. They are often able to communicate with speech substitutes, but these typically do not provide a sufficient sound frequency range to be understood in conversation. Therefore, we proposed a speech support system using body-conducted speech recognition. This system retrieves speech from body-conducted sound via a transfer function, using recognition to select a sub-word sequence and its duration. In this study, we demonstrate the effectiveness of producing clear body-conducted speech using a linear predictive coefficient instead of a transfer function. To confirm the improvement in generated speech, a jury test and articulatory feature analysis were employed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2010 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2012 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
総計	8,100,000	2,430,000	10,530,000

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：人間医工学，リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：医療・福祉，情報工学，リハビリテーション，音声認識

1. 研究開始当初の背景

現在，咽頭癌患者の数は年々増加しており，手術により発声機能を失うことに伴う機能障害者も増えている。これまで発声機能障害者の調査を行い，手術療法は多様であり，重度

の機能障害者も多いことを知った。本研究はそのような機能障害者に障害前の自分自身の声を取り戻させるシステムの実現を目的としている。まず，体内伝導音を利用した高騒音下での音声通信システム開発を行った。

騒音が音声より大きな環境下では音声は通信に使えないため、騒音の影響を受けにくい骨導をはじめとする体内伝導音による通信システムを構築した。この検討の中で体内伝導音により明瞭度の高い音声を作り出すことができるのであれば、咽頭を摘出した機能障害者の音声も体内伝導音から高品質に変換できる可能性への着想に至った。つまり、機能障害者の体内伝導音から明瞭な音声信号が生成できれば、コミュニケーション障害も緩和できると考えられる。そこで、まず、健常者の音声により、体内伝導音から音声への伝達関数を求め、明瞭度の高い音声を得る研究を行った。この体内伝導音はそのまま取り出すだけでは明瞭な音声にはならないため、補正する必要がある。そこで体内伝導音から音声への伝達関数を求め、明瞭度の高い音声を得る研究も行い、その有効性を確認した。さらに、この伝達関数をサブワード（音素、音節）単位で設定することにより、自由な発話をも可能とした。この手法により特許も取得した。図1に声帯信号と音声との関係を示す。

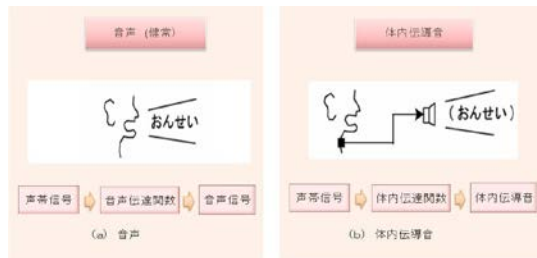


図1 声帯信号と音声の関係

図のように音声，体内伝導音共に，ある伝達関数でそれぞれに声帯信号を関連づけることができるので，体内伝導音から明瞭度の高い音声への変換も可能となる。

図2は各体内伝導音と声との関係を示したものである。機能障害者の発声も体内伝導から明瞭な音声への変換が可能であると考えられる。

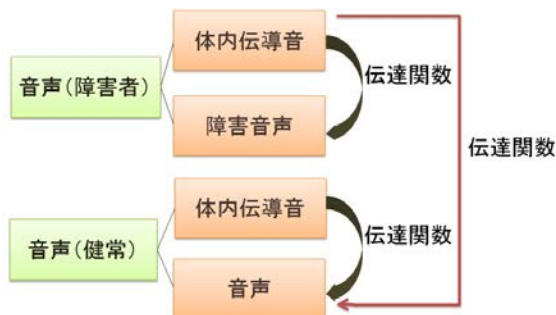


図2 障害者音声と健常者音声の伝達関数

このことは体内伝導音と健常者の音声との

間に伝達関数が存在することを意味している。同様に，健常者の音声においてもその伝達関数関係が存在する。障害者自身の音声への伝達関数を求める場合は，機能障害になる前の音声ビデオなどの記録が残っている場合，環境差の影響は受けるものの機能障害後の体内伝導音からその音声への伝達関数を求めることができる。また，声質の類似した親族も有効である。この手法を用いて，機能障害の発声音から自然な音声への変換を行うことを実現する。

音声は非定常信号として，時々刻々とその特性が変化する。よって，音声のできるだけ小さな単位である個々のサブワードレベル（音節・半音節レベル）での伝達関数のペアを逐次探し，つなぎ合わせて，その言葉（音声）の伝達関数を得る必要がある。これはUnited States Patent 5,903,865(石光俊介, 1999年)より着想に至った。この特許はカーナビゲーション音声認識システムにおいて，新しいモデルを音声により追加する手段として考えたものである。

2. 研究の目的

本システムは前年度健常者ベースで構築し有効性を確認したので，本研究では実際に機能障害者への適用を行う。詳細は研究計画・方法に述べるが，以下のことを研究期間中に明らかにすることを目的とした。

- ・機能障害者発声データベースの作成
- ・各障害の音声特徴，パターンの明確化
- ・機能障害者発声における体内伝導音連続音節認識システムの構築
- ・機能障害者発声時の各サブワードモデルでの伝達関数導出
- ・誤認識時の影響調査
- ・実システム構築時における問題点

データベース構築とともに各症例に関して解析を行い，パターン化も同時に行うことが重要であると実感している。これは伝達関数の特徴の明確化にも繋がる。

また，機能障害者以外における音声品質向上への適用も考えられ，応用分野の裾野の広がりが予測される。食道発声法は非常に長い訓練が必要であるが，訓練におけるフィードバックシステムとしてのシステム利用することにより，リハビリテーションシステムとしての応用も期待できる。また，他の音声再建術により思い通りの音声が出せない方へのリハビリテーションシステムでもありうる。さらに，同時に発声補助システムにもなりうる。さらに，現在，骨導インターフェイスとして小型化の研究も行っており，それらの研究成果が

本研究に適用されることにより、将来的に補聴器のような小型システム化を実現し、発声機能障害者への負荷軽減を目指すことも可能となると考えられる。

3. 研究の方法

本研究は発声機能障害者に障害前の自身の声を取り戻させるシステムの実現を目的としている。システムの妥当性は健常者ベースで確認したので、障害者のためのシステム構築を行う。このために、まず、発声障害者の音声収録とそのデータベース化および特性解析を行う。その後、健常者ベースで有効であった連続サブワード認識の障害者音声への適用可能性を確認し、音声変換実験を行う。アプリケーションとしては2種類を想定している。1つはもちろん通常会話であるが、もう一つは電話である。重度の発声障害者は電話も苦勞している様子であった。電話へのアプリケーションであれば、空間伝達の部分の対策が軽減できるので、システム導入しやすい。

まず、システムであるが、図3のようなシステムで音声復帰を図る。

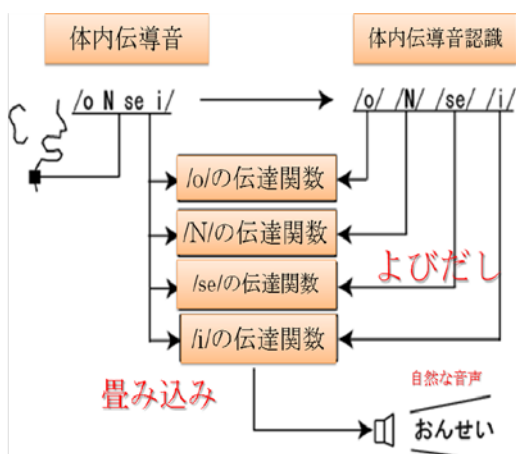


図3 音声復帰システム

最初に体内伝導音を連続サブワード認識し、それに対応する伝達関数を呼び出す。従来の音声認識では認識すると文字が出てくるイメージであるが、本システムでは文字の代わりに明瞭な音声への伝達関数を呼び出すしくみとなっている。その呼び出された連続した伝達関数に体内伝導音はたたみ込まれ、自然な音声を生成するしくみになっている。

以上のシステムを利用し、以下の手順により研究を進める。

- (1) 発声機能障害者発声データベースの作成
- (2) 各障害の音声特徴・パターンの明確化
- (3) 機能障害者発声における体内伝導音連続

サブワード認識システムの構築

- (4) ターゲット音声の音声解析、サブワード区間検出
- (5) ターゲット音声—生涯音声間の各サブワードモデルでの伝達関数導出
- (6) 誤認識時の音声明瞭度に及ぼす影響調査
- (7) 実システム構築時における問題点抽出、検討

ターゲット音声は自身のビデオもしくは同姓の親族から本人が希望するものより選定する。同姓の親族から音声収録を行う場合は音素バランス文という多くのサブワードが網羅される文章を読み上げていただくことによりサブワードの抽出が比較的容易に行える。

4. 研究成果

音声再建法、声帯ポリープ、事故による構音障害など表に示す様々な発声機能障害者の音声データベースを作成した。コーパスとしては地名百選、バランス文を発声していただいたものをデータ化した。今後さらに継続的にデータベースを補強していく予定である。

表1 音声データベース

	年齢,	性別	症状
健常者1	22歳,	男性	異常なし
健常者2	21歳,	男性	異常なし
健常者3	21歳,	女性	異常なし
健常者4	21歳,	女性	異常なし
機能障害者1	28歳,	男性	声帯ポリープ
機能障害者2	30歳,	女性	声帯結節
機能障害者3	80歳,	男性	片側声帯麻痺
機能障害者4	61歳,	男性	声帯全摘出, 音声再建法
機能障害者5	50歳,	男性	硬口蓋, 舌の消失

手法については、まず、伝達関数を用いた体内伝導音の明瞭化に関する手法を応用し、代用音声発声時の体内伝導音から罹患前の健常者音声へと変換する発声機能障害者支援システムを提案した。そこから推定したサブワード単位の伝達関数を用いることで、認識誤り無し及び認識誤り有りの各条件において周波数特性の改善を確認した。しかし、音声として用いるには不明瞭な信号となった。発声機能障害者及び健常者の音声、代用音声及び体内伝導音を時間周波数分析及び認識時に用いる特徴パラメータで比較し、各次元における差を確認した。さらに、発声機能障害者及び健常者の音声、代用音声及び体内伝導音を用いた離散単語認識及び連続単語認識の比較では、健常者及びポリープなど軽度の発声機能障害者では一定の認識率を得ることができたが、音声再建法などを利用する重度の発声機能障害者では代用音声そのものが不明瞭であるため、十分な認識率を

得ることができなかった。

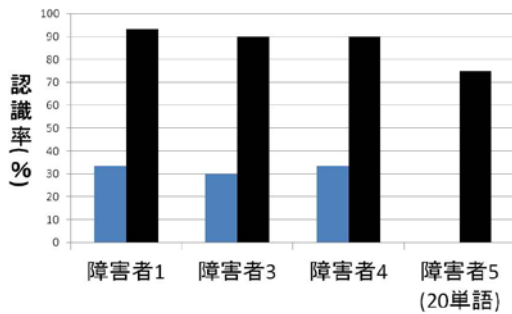


図4 認識実験結果

表2 障害者音声と健常者音声の解析

素性	伝達量	伝達率	素性	伝達量	伝達率
舌の前後	0.045	7.4	舌の前後	1.541	100
開口度	0.477	31.0	開口度	0.774	100
情報伝達量	0.522		情報伝達量	2.315	
総情報伝達量	0.723		総情報伝達量	2.316	
関与率 (%)		72.2	関与率 (%)		100

そこで、音質明瞭化手法として線形予測分析を用いた音声分析合成手法を導入し、聴取実験と調音素性分析により評価を行った。図4に音声認識実験結果についてしめす。濃いグラフがシステムによる向上であるが、その認識率は障害者原音声より高く健常者とほぼ同等の結果を得た。聴取実験では、障害者原音声において多数の混同が生じていたのに対し、本システムで作成した音声では一切の混同はなく正確に聴取されていた。さらに、調音素性分析の結果、母音においては、舌と顎の一部を損失した構音障害者音声に対して、本来情報として存在しない「舌の前後・開口度」という2つの情報を再現できることを確認した。その結果を表2に示す。これらの結果から、障害者音声の明瞭化手法を開発することができた。

今回の成果をスマートフォン等の端末に組み込むことで、実製品の開発に繋げることが期待できる。

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 10 件)

- Shunsuke Ishimitsu, Masashi Nakayama, Seiji Nakagawa, Sound Quality Improvement of Body-Conducted Speech from Optical Fiber Bragg Grating Microphone Using Differential Acceleration and Noise Reduction Method, ICIC Express Letters An International Journal of Research and

Surveys, 査読有、Vol. 6、 No. 4、 2012、 pp. 1013-1018

- 石光俊介、体内伝導音を利用した発声障害者支援システムの開発、統計数理研究所共同研究レポート 291 「医学・工学における逆問題とその周辺(4)」、査読有、2012、 pp. 20-24
- Shunsuke Ishimitsu, Masashi Nakayama, Body-conducted speech recognition in speech support system for disorders, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 査読有、Vol. 7、 No. 8、 2011、 pp. 4929-4940
- Shunsuke Ishimitsu, Hayato Nagoshi, Kouhei Oda, Kiyoshi Makiyama, Satoshi Horihata, Improving the Clarity of Body-Conducted Speech Using Linear Predictive Coefficients, ICIC EXPRESS LETTERS, PartB:Applications, 査読有、Vol. 2、 No. 3、 2011、 pp. 609-614
- Shunsuke Ishimitsu, Masashi Nakayama, Seiji Nakagawa, A study of making clear body-conducted speech using differential acceleration, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 査読有、Vol. 6、 No. 2、 2011、 pp. 144-150
- 石光俊介、発声機能障害者支援システムの開発、財団法人 テレコム先端技術研究支援センター 技術情報誌 TELECOM FRONTIER, 査読有、No. 72、 2011
- Shunsuke Ishimitsu, Masashi Nakayama, Seiji Nakagawa, Body-conducted speech retrieval from a noisy environment using differential acceleration, International Journal of Advanced Mechatronic Systems 2010, 査読有、Vol. 2、 No. 4、 2010、 pp. 246-253
- Shunsuke Ishimitsu, Masashi Nakayama, Speech support system using body-conducted speech recognition for disorders, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 査読有、Vol. 5、 No. 11、 2009、 pp. 4255-4266
- 石光俊介、中山仁史、小田康平、牧山清、堀畑聡、発声機能障害者のための音声認識システムの評価、電子情報通信学会技術報告 EA2009-91、査読有、2009、 pp. 89-94
- 石光俊介、体内伝導インタフェース装置の開発、財団法人 立石科学技術振興財団 助成研究成果集、査読有、第 18 号、2009、 pp. 63-66

[学会発表] (計 32 件)

- 石光俊介、宿南篤人、大塚明香、中川誠

- 司、聴覚誘発および自発脳磁界に及ぼす刺激音圧の影響—不快レベルの客観推定のための基本的検討—、日本音響学会 2013 年春季研究発表会、2013 年 3 月 13-15 日、東京工科大学八王子キャンパス
2. 石光俊介、藤井美奈、福井和敏、発音機能障がい者のためのスマートフォンによる支援システムの開発、日本音響学会 2013 年春季研究発表会、2013 年 3 月 13-15 日、東京工科大学八王子キャンパス
 3. 石光俊介、岩瀬大佑、聴覚障がい者支援のための振動呈示システムの基礎検討、日本機械学会中国四国支部 第 51 期総会・講演会、2013 年 3 月 8 日、高知工科大学
 4. 石光俊介、福井和敏、名越隼人、山中貴弘、構音障害者のための発声支援システムの構築～音声認識による音声評価～、日本音響学会 2012 年春季研究発表会、2012 年 3 月 13-15 日、神奈川大学横浜キャンパス
 5. 石光俊介、福井和敏、名越隼人、山中貴弘、籠宮隆之、中川誠司、構音障害者のための発声支援システムの構築～調音素性による音声評価～、日本音響学会 2012 年春季研究発表会、2012 年 3 月 13-15 日、神奈川大学横浜キャンパス
 6. 石光俊介、福井和敏、名越隼人、山中貴弘、発声機能障害者支援システムのための音質明瞭化手法の開発、Dynamics & Design Conference 2012、2012 年 9 月 18-21 日、慶應義塾大学日吉キャンパス
 7. 石光俊介、宿南篤人、大塚明香、中川誠司、聴覚誘発脳磁界に及ぼす刺激音圧の影響—不快レベルの客観測定のための基礎検討、日本音響学会関西支部 第 15 回若手研究者交流研究発表会、2012 年 12 月 9 日、産業技術総合研究所 関西センター
 8. 石光俊介、福井和敏、名越隼人、山中貴弘、発声機能障害者支援システムの音声認識による評価、Dynamics & Design Conference 2012、2012 年 9 月 18-21 日、慶應義塾大学日吉キャンパス
 9. Shunsuke Ishimitsu, Masashi Nakayama, Seiji Nakagawa, Sound quality improvement for the body-conducted speech of a sentence unit using differential acceleration, Proceedings of International Conference on Complex Medical Engineering, 2012/7/1-4, Kobe, Japan
 10. Shunsuke Ishimitsu, Kazutoshi Fukui, Takahiro Yamanaka, Hyato Nagoshi, Development of A Speech Support System for Articulation Disorders, The Proceedings of The 19th International Congress on Sound and Vibration, 2012/7/8-12, Vilnius, Lithuania
 11. Shunsuke Ishimitsu, Kazutoshi Fukui, Takahiro Yamanaka, Hyato Nagoshi, Improvement of Sound Quality Using Support System for Speech Disorders, The Proceedings of The 1st IEEE Global Conference on Consumer Electronics 2012, 2012/10/2-5, Tokyo, Japan Electrical Science and Engineering Promotion Student Paper Award
 12. 石光俊介、菅秀裕、久保正道、堀木義信、視覚障害者のための GUI アクセス支援システムの開発、日本機械学会中国四国支部第 49 期総会・講演会、2011 年 3 月
 13. 石光俊介、尾茂井宏、浜田康、網本徳茂、大杉郁代、見附梢、視覚呈示による聴感印象変化に関する検討、日本機械学会中国四国支部第 49 期総会・講演会、2011 年 3 月
 14. 石光俊介、菅秀裕、3 次元音を用いた GUI アクセス支援システムの開発、日本音響学会 2011 年春季研究発表会、2011 年 3 月 9-11 日、早稲田大学西早稲田キャンパス
 15. 石光俊介、名越隼人、小田康平、堀畑聡、牧山清、音声分析合成モデルを用いた体内伝導音の明瞭化の検討、日本音響学会 2011 年春季研究発表会、2011 年 3 月 9-11 日、早稲田大学西早稲田キャンパス
 16. 石光俊介、尾茂井宏、見附梢、大杉郁代、網本徳茂、浜田康、視覚呈示と呈示環境が聴感印象に与える影響の基礎検討、日本音響学会 2011 年春季研究発表会、2011 年 3 月 9-11 日、早稲田大学西早稲田キャンパス
 17. Shunsuke Ishimitsu, Hyato Nagoshi, Kouhei Oda, Kiyoshi Makiyama, Satoshi Horihata, Development for speech support system using body-conducted speech, Forum Acusticum 2011, 2011/6/1-27, Aalborg, Denmark
 18. Shunsuke Ishimitsu, Masashi Nakayama, Kazutoshi Fukui, Seiji Nakagawa, Hyato Nagoshi, Body-conducted speech microphone using an optical fiber bragg grating for high magnetic field and noisy environments, Forum Acusticum 2011, 2011/6/1-27, Aalborg, Denmark
 19. Shunsuke Ishimitsu, Masashi Nakayama, Kazutoshi Fukui, Seiji Nakagawa, Hyato Nagoshi, Fundamental research on a body-conducted speech microphone using an Optical Fiber Bragg Grating

- for high magnetic field and noisy environments, inter-noise 2011 Sound Environment as a Global Issue, 2011/9/4-7, Osaka, Japan
20. 石光俊介、松尾香織、林真琴、感性育成課程における小児に対する聴感実験基礎検討、日本感性工学会第13回日本感性工学会大会 一般講演:音楽・音、2011年9月3-5日、新宿キャンパス
 21. 石光俊介、「快音の定義とは」、日本機械学会 機械力学・計測制御部門 Dynamics and Design Conference 2011(高知)D&D 招待講演ワークショップ「今更聞けない素朴な疑問、目から鱗の納得解説」(音響編)、2011年9月5-9日、高知工科大学
 22. 石光俊介、音質評価への神経生理学的手法の適用、日本騒音制御工学会、2011年9月15-16日、豊洲キャンパス
 23. Shunsuke Ishimitsu, Masashi Nakayama, Seiji Nakagawa, Sound Quality Improvement of Body-Conducted Speech from Optical Fiber Bragg Grating Microphone Using Differential Acceleration and Noise Reduction Method, Proceedings of The Sixth International Conference on Innovative Computing, Information and Control, 2011/12/22-24, Kitakyushu, Japan
 24. 石光俊介、名越隼人、小田康平、中山仁史、牧山清、堀畑聡、発声機能障害者支援システムにおける基礎的実験、日本機械学会中国四国学生会第40回学生員卒業研究発表講演会、2010年3月5日
 25. 石光俊介、小田康平、中山仁史、牧山清、堀畑聡、発声機能障害者のための音声認識システムの評価、日本機械学会中国四国支部 第48期総会・講演会、2010年3月6日、広島工業大学
 26. 石光俊介、小田康平、中山仁史、発声機能障害者の音声特徴分析、日本機械学会中国四国支部 第47期総会・講演会、2009年3月6日、山口大学工学部
 27. 石光俊介、中山仁史、名越隼人、福井和敏、中川誠司、高磁場・高騒音下で頑健な骨伝導光マイクに関する基礎検討、日本音響学会 2010年秋季研究発表会、2010年9月14-16日、関西大学
 28. 石光俊介、小田康平、中山仁史、牧山清、堀畑聡、体内伝導音の明瞭化に関する検討、日本音響学会 2010年秋季研究発表会、2010年9月14-16日、関西大学
 29. 石光俊介、体内伝導音を利用した人体状態検知可能なインタフェースの開発、先進環境対応車に係る技術シーズ発信会、2010年9月17日、マツダ株式会社
 30. Shunsuke Ishimitsu, Hyato Nagoshi,

- Kouhei Oda, Kiyoshi Makiyama, Satoshi Horihata, Improving the Clarity of Body-Conducted Speech Using Linear Predictive Coefficients, ICICIC-2010, Xi'an, 2010/12/20-22, China
31. Shunsuke Ishimitsu, Masashi Nakayama, Seiji Nakagawa, Speech estimation using body-conducted speech microphone in noisy environment, inter-noise(innovations in practical noise control) 2009, 2009/8/23-26, Ottawa, Canada
 32. Shunsuke Ishimitsu, Kouhei Oda, Masashi Nakayama, Body-conducted speech recognition in speech support system for disorders, ICICIC-2009, 2009/12/7-9, Kaohsiung, Taiwan

〔図書〕(計2件)

1. Shunsuke Ishimitsu, InTech, Speech Technologies Chapter 17 Improvement of Sound Quality on the Body Conducted Speech Using Differential Acceleration, 2011, pp. 345-360
2. Shunsuke Ishimitsu, Sciyo, Advances in Speech Recognition Chapter 4 Body-Conducted Speech Recognition and its Application to Speech Support System, 2010, pp. 51-66

〔産業財産権〕

○取得状況(計1件)

名称: 音声認識装置および音声変換装置
発明者: 石光俊介
権利者: 同上
種類: 特許
番号: 特許第5229738号
取得年月日: 25年3月29日
国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石光 俊介 (ISHIMITSU SHUNSUKE)
広島市立大学・情報科学研究科・教授
研究者番号: 70300621

(2) 連携研究者

牧山 清 (MAKIYAMA KIYOSHI)
日本大学・医学部・教授
研究者番号: 00139172