

機関番号：12102

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20390148

研究課題名（和文）動作教示に注目した気管挿管教育支援システムの研究

研究課題名（英文）Study on tracheal intubation training support system focusing on manipulation instruction

研究代表者

葛岡 英明（KUZUOKA HIDEAKI）

筑波大学・大学院システム情報工学研究科・教授

研究者番号：10241796

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は喉頭展開の際の喉頭鏡の動かし方を教示するための触覚提示装置を開発することである。このために、まず教示者の持つ喉頭鏡と習得者の持つ喉頭鏡の動作を機構的に同期させることのできる「位置・動作伝達型喉頭鏡」と、気管挿管実施者の視線とほぼ一致した映像を撮影することの出来る視線一致カメラを開発し、実験により有効性を確認した。現在は、習得者の手の外側から力覚を提示することの出来る、「外装型力覚提示装置」を開発している。

研究成果の概要（英文）：The aim of this study is to develop a haptic display that supports instruction of laryngoscope manipulation for tracheal intubation. For this purpose, we have developed a mechanical master-slave laryngoscope and eyesight-camera. An experiment proved that these devices are effective in tracheal intubation training. We are currently developing an outer covering haptic display that can display force sensation to the back of a learner's hand.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	6,400,000	1,920,000	8,320,000
2009年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
2010年度	2,900,000	870,000	3,770,000
総計	14,500,000	4,350,000	18,850,000

研究分野：グループウェア

科研費の分科・細目：境界医学・医療社会学

キーワード：医学・薬学教育、気管挿管

1. 研究開始当初の背景

厚生労働省において救急救命士の処置拡大の方針が確認されたことに伴って、従来は医師にのみ実施が認められてきた気管挿管が救急救命士にも認められるようになった。さらに、救急医療全体の流れとしては、一部の医療行為が一般市民にも認められつつある。従って、医師以外の人々に対して、救急時の医療行為に関する効果的な教育手法を開発することが求められている。

医学教育を含む技能訓練に対する工学的なアプローチには、バーチャルリアリティや

拡張現実の分野の研究が多い。例えば、力覚フィードバックが可能な機構とコンピュータグラフィクス（CG）技術を組み合わせ、あたかも実際に手術をしているかのような映像と力覚フィードバックを提供する手術シミュレータの研究が実施されている。

指導者から研修者への教示を支援する試みとして、エコー診断時のプローブの操作手法の遠隔指導を目的としたシステムがある。これは、プロジェクタを利用して患者の腹部に指示映像を投影し、実施者がこの映像を参照しながらエコーのプローブを操作するも

のである。CG による指示映像は、遠隔地にいる専門医が、診断の様子を観察しながらリアルタイムに生成する。

さて、気管挿管はその手技の難しさから、これを補助する新たな器具の開発や教育法の研究が進められている。これらの従来の取り組みのほとんどは、口腔内をいかに見やすくするかということだけに注目していた。そして、これを支援するために、カメラ付きの喉頭鏡やスタイルットスコープなどの器具が開発されたり、これらを利用した教育法が提案されたりしてきた。これらの過去の研究から、気管挿管教育において視覚的な支援と、力覚的な支援を同時に実現することが有効であると考えられる。

この目標に対して平成 18 年度に科研費補助金（萌芽研究）を得て、19 年度まで研究を継続している。この研究では、マスタースレーブ型の喉頭鏡を製作した。これは 2 つの喉頭鏡をお互いにリンク機構で接続することによって、全く同様に動くようにしたものである（図 1）。研修者がスレーブ喉頭鏡を動かしている最中に、指導者がマスタ喉頭鏡を持って操作すれば、研修者の喉頭鏡の動きが正しくなるように矯正することができる。これによって、研修者は喉頭鏡の動きを力覚や運動感覚として把握できる。

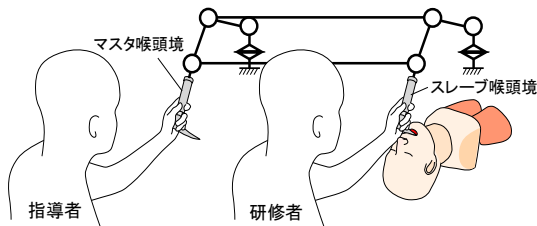


図 1 マスタースレーブ型喉頭鏡概念図

この装置を利用して、工学系の大学生を被験者として実施した予備実験において、本提案手法による教育を受けた学生は、気管挿管の失敗が減少する傾向があることがわかった。しかし現状の装置では、機構の強度や自由度の不足などの問題がある。そこで本研究ではシステムを改良・拡張することによって、システムの有効性を高めることとした。

2. 研究の目的

本研究では気管挿管教育を具体例として、

- (1) 機械技術、映像技術、コンピュータ技術を応用することによって、これを支援することと、
- (2) 工学的評価と社会的な分析手法を用いることによって、動作や力覚の共有が技能教育に与える効果を分析することを目的とする。ただし、本研究では CG によるシミュレーションではなく、実際の手技に近い体験のできる、マネキンを利用した医療

シミュレータを利用することとする。また、コンピュータシミュレーションによる単独学習ではなく、指導者から研修者に対する人同士のコミュニケーションによって教示する方式をとることで、教育効果を高めることを目指す。

3. 研究の方法

(1) 位置・動作伝達型喉頭鏡の改良

本研究で平成 19 年度までに製作した初期型の位置・動作伝達機構型喉頭鏡（図 2）は、リンク機構により 5 自由度を有していた。まず、口腔内に喉頭鏡を挿入して舌に喉頭鏡のブレードを押し付ける動作に 2 自由度、舌を押し上げつつ口腔を開くために喉頭鏡を前後に動かす動作に 2 自由度とし、教示者と習得者間で行う喉頭鏡の平行動作の 1 自由度であった。

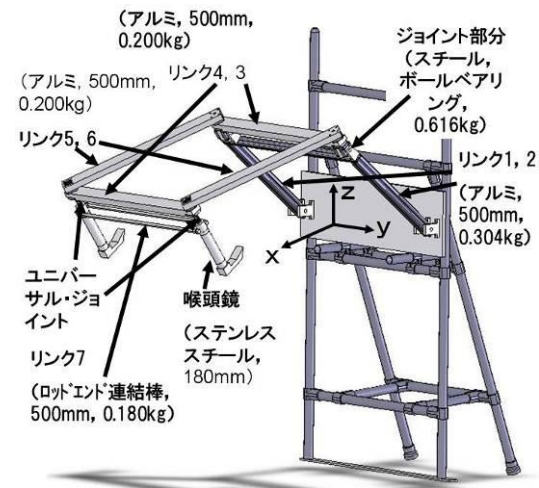


図 2 スレーブ型喉頭鏡外観

ここで、本来の気管挿管試技の喉頭展開方法では、開口した後、喉頭鏡ブレードを舌の右側へ挿入し、喉頭鏡を少しひねりながら舌を前方へ少し圧排するように動かす必要があるが、初期型の位置・動作伝達型喉頭鏡には、ロール方向の自由度が用意されていなかった。そのため、この装置を利用した予備実験後の被験者のアンケートからは、「喉頭鏡が扱えなかった、動かさなかった」などの意見が得られた。また、救急救命士を交えた検討では、「5 自由度では喉頭鏡を口腔内に挿入する際の喉頭鏡の動かし方が本来のものとは異なっていた。喉頭鏡を口腔内に挿入した後の、喉頭鏡ブレードで舌を前方へ圧排するところだけでなく、口腔内への挿入から教えた方がいい」という意見が得られた。

以上の検討から、喉頭鏡を完全に自由に操作するためには、位置・動作伝達型喉頭鏡は 6 自由度を持つ必要があるため、初期型の位置・動作伝達型喉頭鏡にロール方向の自由度

を追加した装置を実現する。

(2) 視線一致カメラの開発

現在の気管挿管の教示方法では、まず教示者が喉頭鏡を用いて喉頭展開を行い気管を視認した後、喉頭鏡の位置を保持したまま一旦自分の体を横にどけ、習得者に気管を覗かせて気管を一人一人に視認させる。つまり、現在の教示方法では、教示者は習得者が本当に気管を見ているかを確認できない。また、習得者は、自身が正しく気管を見ているのかどうかを教示者に確認してもらうことができない。そのため、気管挿管の試行後に Mallampati 分類や Cormack 分類のような、口腔内の見え方を評価する方法が用いられることになる。そこで本研究では、教示者がこれら口腔内の見え方を的確に習得者に教示するために、教示者の気管挿管試技中の視線を習得者に提示できる視線一致カメラを開発することとした。

(3) 外装型力覚提示装置の開発

マスタースレーブ型の位置・動作伝達型喉頭鏡は習得者と指導者がお互いの動作を、リンク機構を用いて連動させていた。これに対して、指導者と習得者が同一時刻、同一場所を共有しなくても習得者の練習を可能にするために、モータ駆動の6自由度マニピュレータを開発する。ただし、喉頭鏡の操作には大きな力を必要とするため、比較的小規模のマニピュレータで十分なトルクを発生させることは容易ではなく、安全性の点においても課題が生じることになる。そこで、本研究では小さな力で動作を伝達できる手法として、習得者の手を外側から把持して誘導する、「外装型力覚提示装置」を開発する。

4. 研究成果

(1) 位置・動作伝達型喉頭鏡の改良

喉頭鏡ハンドルにロール方向の自由度を付け足し、位置・動作伝達型喉頭鏡の全体の自由度を6とした(図3)。

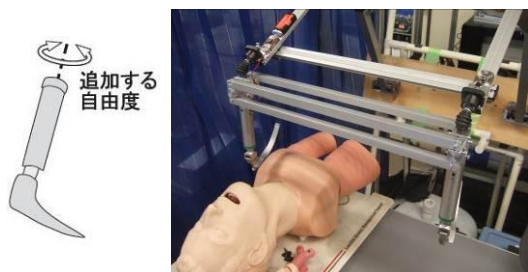


図3 6自由度の位置・動作伝達型喉頭鏡

(2) 視線一致カメラの開発

気管挿管教示において、口腔内の見え方を教示する際に、その映像を共有できない問題を

改善するために、著者らは視線一致カメラを開発した(図4)。視線の映像を得るために、カメラを視線と直交するように配置して、鏡によって視線方向の映像を撮影するようにした。鏡による映像の上下反転はモニタの映像反転機能によって解消した。また、カメラを取り付けたゴーグルには覗き穴を設け、装着者はこの穴を通して気管を確認してもらうことにした。これによって、装着者の見ている対象を良好にカメラの視野内に収めることができるようになった。また、カメラ固定部は装着者の目の位置に合わせて上下・左右に調整することができるようにした。

カメラで撮影された映像は、位置・動作伝達型喉頭鏡の近くに設置されたモニタに表示する。これにより、教示者と習得者は口腔内の様子をモニタで共有することができる(図5)。そのため、教示者が視線一致カメラの装着者となる場合、習得者はモニタで教示者の視野を見ることができ、正しい気管の見え方を確認できる。また、一度に複数の習得者に同時に見せることができるため、教示時間の短縮が期待できる。一方、習得者が視線一致カメラを装着して喉頭展開を行う場合、教示者はモニタの映像から、習得者が正しく気管を確認しているかどうかを判断できる。そのため、教示者は習得者に対して的確な指示を出すことができると期待できる。

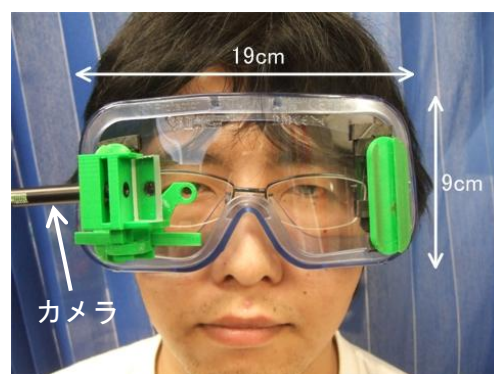


図4 視線一致カメラを装着した様子



図5 視線一致カメラによる映像の例

(3) 実験

動作共有による気管挿管の教示手法の効果を調べるため、従来のような言葉と身振り手振りで喉頭鏡の使い方を教示する手法と、位置・動作伝達型喉頭鏡を利用する方法とを比較する実験を行った。本実験における教示者は、実験者でもある救急救命士1名で、習得者（被験者）は全部で60名（男子医学部学生47名、女子医学部生13名、年齢の内訳は22歳～39歳）である。すべての習得者は過去に喉頭鏡を扱った経験はない。

実験は、従来のように言葉と身振り手振りをを用いて喉頭鏡の使い方を教示するグループ（以下、CV条件）と、位置・動作伝達型喉頭鏡を用いて喉頭鏡の使い方を教示するグループ（以下、MS条件）の2グループに分けて行った。教示者は予め作成されたマニュアルに従って教示を行い、習得者（被験者）間で教え方に差が生じないように留意した。このマニュアルは気管挿管の教育経験のある救急救命士の監修を受け、一般的な教育法であることを確認している。MS条件では、喉頭展開の教示を位置・動作伝達型喉頭鏡を用いて行った（図6）。一方、CV条件では、教示者と習得者はお互いに1本ずつ喉頭鏡を持ち、教示者は言葉と身振り手振りのみで喉頭展開の教示を行った。各条件共に、教示者は視線一致カメラを装着して口腔内の様子を習得者に見せながら教示を行った。また、MS条件とCV条件間の差異が、教示時の喉頭鏡の動作共有の有無のみとなるように、各条件において喉頭展開試技では、習得者（被験者）は単体の喉頭鏡を使用した。



図6 MS条件による教示の様子

気管挿管を実施する対象には気道管理トレーナーを使用した。これは、挿管、換気、吸引などに必要なスキルをトレーニングできるようデザインされた人の頭部及び気道のモデルである。このモデルでは、喉頭鏡を正しく扱わないことにより、モデルの歯に大きな加重が加わると、「カチッ」という音が鳴り、歯が欠損したことを示す仕組みになっている。また、習得者には予め喉頭展開時の

口腔内の様子を撮影しておいたビデオを見せた。さらに、習得者が喉頭展開できたことを教示者が確認できるように、すべての喉頭展開試技において、習得者は視線一致カメラを装着した。

MS条件の習得者は、医学部生29名（男子23名、女子6名）であった。1回目の教示、試技の手順は以下の通りである。

手順1. 道具や気道モデルを使った説明は、言葉と身振り手振りによって行う。

手順2. 教示者は視線一致カメラを装着して、気道管理トレーナーに喉頭展開試技を行う。

手順3. 喉頭展開までの喉頭鏡の動かし方の教示は位置・動作伝達型喉頭鏡を用いて行い、習得者に喉頭鏡の正しい動かし方と誤った動かし方を教える。この時、教示者は気道管理トレーナーが置いてある側を持ち、習得者はその反対側を持ち、教示者の喉頭鏡の動作を把握する。

手順4. 教示者は喉頭展開時の口腔内の声門、喉頭、被裂軟骨等を視線一致カメラで習得者に見せ、喉頭展開時の口腔内の見え方を覚えさせる。この時、予め口腔内を撮影していたビデオも習得者に見せる。

手順5. 習得者に単体の喉頭鏡を持たせ、喉頭展開試技を行わせる。この時習得者は視線一致カメラを装着し、教示者は教示を行わない。

手順6. 習得者が喉頭展開時の口腔内を確認できたら試技を終了とした。喉頭展開の試技は各習得者に対して3回ずつ行った。

3回の試技が終わった習得者に対し、教示者は視線一致カメラを装着して2回目の教示を行った。2回目の教示、試技の手順は以下の通りである。

手順1. 2回目の教示内容は以下4項目とし、これをすべての習得者に対して行う。

(a) 喉頭鏡ブレードの挿入深さ。

(b) 喉頭鏡ブレードの挿入位置。

(c) 喉頭鏡の正しい動かし方と誤った動かし方。

(d) 喉頭展開したときの口腔内の見え方。

(a)では、喉頭鏡ブレードの先端を喉頭蓋谷に挿入するための口腔内の構造を教示する。(b)では、喉頭展開において喉頭鏡を気道管理トレーナーの正中に置くように伝える。(c)は、位置・動作伝達型喉頭鏡を用いて1回目の教示と同様に行う。(d)では、位置・動作伝達型喉頭鏡を用いて喉頭展開試技を行い、教示者の喉頭展開時の口腔内の見え方をモニターで習得者に見せる。

手順2. 2回目の教示を行った後、習得者に単体の喉頭鏡を持たせて喉頭展開試技を

行わせる。この時、習得者は視線一致カメラを装着し、教示者はこれに対して教示を行わない。

手順3. 習得者が口腔内を確認できたら試技を終了とする。喉頭展開試技は各習得者に対して3回ずつ行う。

一方CV条件の習得者は、医学部生31名(男子24名、女子7名)であった。教示の手順は、MS条件の1回目の教示における手順3のみを、以下のように変更した。

手順3. 喉頭展開までの喉頭鏡の動かし方の教示は単体の喉頭鏡を用いて行う。教示者と習得者はそれぞれ単体の喉頭鏡を持ち、教示者は習得者が喉頭展開をする教示者の身体の動き、喉頭鏡の動かし方を見真似するように指示する。この時、教示者は気道管理トレーナーの置いてある側に立つ。

3回の試技が終わった習得者に対し、教示者は視線一致カメラを装着して2回目の教示を行った。この手順では、MS条件の2回目の教示の手順2のみを以下のように変更した。

手順2. 教示時における教示者の立ち位置は気道管理トレーナーの置いてある側、習得者は置いていない側である。(a)、(b)ではMS条件と同様に説明を行う。(c)では1回目の教示と同様に、単体の喉頭鏡を用いて喉頭鏡の動かし方の教示を行った。教示者と習得者はそれぞれ単体の喉頭鏡を持ち、教示者は習得者が喉頭展開をする教示者の身体の動き、喉頭鏡の動かし方を見真似するように指示し、正しい動かし方と誤った動かし方を教示する。(d)でも1回目の教示と同様に、教示者は視線一致カメラを装着し、喉頭展開時の口腔内の見え方をモニターで習得者に見せる。

(4) 評価方法

実験結果は以下の3項目によって評価を行った。また、実験の様子はビデオカメラを用いて撮影し、分析を行った。

(a) 気道管理トレーナーの歯の欠損音を鳴らした習得者数

(b) 気道管理トレーナーの歯の欠損音の回数

(c) 喉頭展開時の喉頭鏡と気管との成す角度

喉頭鏡の誤った動かし方により、患者の口唇・口腔内・歯牙損傷といった合併症が発生する可能性がある。ここでは、気道管理トレーナーを用いて気管挿管教示を行うため、口唇や口腔内損傷といった合併症ではなく、歯牙損傷の回数の計測を行い、これをもって喉頭鏡の正しい動作を理解しているかどうかを測定した。また、喉頭展開時における喉頭鏡の挿入角度が分かっているため、喉頭展開時の喉頭鏡ブレードが正しい位置に置かれているかどうかを目安として、喉頭鏡と気管

の成す角度を計測した。

(5) 実験結果

1回目の試技において、軌道管理トレーナーの歯の欠損音を鳴らした習得者の割合は、MS条件で41%、CV条件で71%であった。フィッシャーの直接確率で検定を行ったところ、気道管理トレーナーの歯を欠損させなかった習得者数は、MS条件の方がCV条件よりも有意に多かった($p=0.02$)。

2回目の試技において欠損音を鳴らした習得者の割合は、MS条件で35%、CV条件で61%であった。フィッシャーの直接確率で検定を行ったところ、MS条件の方がCV条件よりも有意に多い傾向が見られた($p=0.032$)。

軌道管理トレーナーの歯の欠損音の回数と、喉頭展開時の喉頭鏡の角度については、有意な差は見られなかった。

(6) 考察

CV条件の習得者は喉頭展開試技において歯を折ることが多く、喉頭鏡の動かし方を正しく理解していないことが分かる。この実験の様子を撮影したビデオを観察した。その結果、CV条件では、モニターに注視するあまり、習得者が教示中に教示者の喉頭鏡を操作している真似を途中でやめていたり、喉頭展開中の教示者と同じ喉頭鏡の動かし方をしていない様子が観察された。教示者と同じような正しい姿勢を取ることは、喉頭鏡を動かす際に効率的に力を喉頭鏡に伝え、正しく気管を視認する上で重要である。教示者の喉頭鏡の動かし方だけでなく、姿勢も真似できていないことが、気道管理トレーナーの歯の欠損音を鳴らした習得者数が増加した一因である可能性がある。

一方、MS条件の場合には、教示者による喉頭鏡の操作説明の際に、すべての習得者が必然的に教示者と同じような喉頭鏡の動かし方を経験することになった。また、必然的に教示者と習得者は同じような姿勢をとることになるので、常に教示者の姿勢や、喉頭鏡の動作を真似することになる。さらに、一部の習得者は、単に位置・動作伝達型喉頭鏡によって手が動かされるだけでなく、自ら積極的に動作を教示者に対して見えるようにすることによって、教示者がその様子を確認しやすくしていると思われる場面が観察された。習得者のこの動作に対して教示者は視線を向けることによって、教示者が喉頭鏡の動きを確認しているということを習得者に対して示している例が多く観察された。

このように、位置・動作伝達型喉頭鏡を使うことによって、教示者の喉頭鏡操作の教示動作がそのまま習得者に伝わることと、常に喉頭鏡の動作を教示者と共有することになるため習得者は教示者と常に同じような姿

勢で喉頭展開の説明を受けられること、習得の過程の相互確認が容易に行えたことにより、MS 条件の習得者の方が CV 条件よりも効果的な教示が行えた可能性がある。

(7) 外装型力覚提示装置の開発

遠隔教示や、自己学習を支援するために、モータ駆動の 6 自由度マニピュレータを開発した。ところで、喉頭鏡の操作には大きな力を必要とするため、比較的小規模のマニピュレータで十分なトルクを発生させることは容易ではなく、安全性の点においても課題が生じることになる。そこで、本研究では小さな力で動作を伝達できる手法を提案する。

本研究で開発した外装型力覚提示装置を図 7 に、その装置をマニピュレータに取り付けたシステム全体を図 8 に示す。本装置は、喉頭鏡を持つ習得者の手を外側から軽くつかみ、あたかも指導者が手を添えるかのようにして喉頭鏡の動かし方を伝える。習得者が喉頭鏡を力強く把持している時には、把持部から働く力を知覚しにくくなることが予想される。そのため、本装置では手の外側からせん断力を提示して動かす方向を教示する。



図 7 外装型力覚提示装置

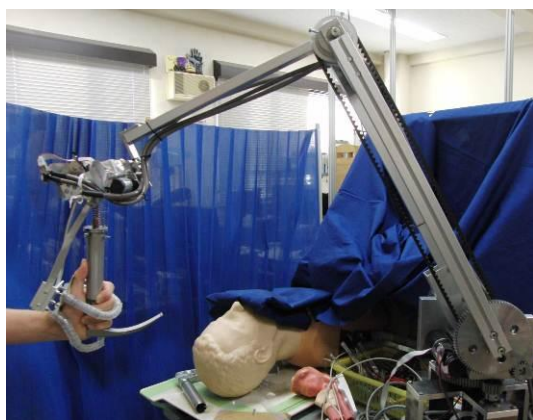


図 8 6 自由度マニピュレーター

本装置ではせん断力を提示するために、外

側にシリコンを巻いた 4 本のステンレスバネを利用している。また、この装置と喉頭鏡は、バネで接続している。このようにして、習得者の手の大きさや形状に多少の差があっても、同じように装着できるようにしている。

現在はこの装置の有効性を、弁別域を計測する基本的な実験によって確認している。今後は外装型力覚提示装置の把持機構を改良するとともに、実際の教示実験によってその有効性を確認する必要がある。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 2 件)

(1) ヤエム ヴィボル、葛岡 英明、山下 淳、動作教示に注目した気管挿管教育支援システムの開発、第 15 回日本バーチャルリアリティ学会大会、2010. 10. 17、金沢工業大学。

(2) 山岡 正英、葛岡 英明、山下 淳、竹内 保男、太田 祥一、動作共有による気管挿管の教育支援に関する研究(第 2 報)、ヒューマンインタフェースシンポジウム 2008、2008. 9. 3、大阪大学。

[その他]

ホームページ等

<http://www.groupplab.esys.tsukuba.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

葛岡 英明 (KUZUOKA HIDEAKI)

筑波大学・大学院システム情報工学研究科・教授

研究者番号：10241796

(2) 研究分担者

太田 祥一 (OHTA SHOICHI)

東京医科大学・医学部・教授

研究者番号：70328194

山下 淳 (YAMASHITA JUN)

筑波大学・大学院システム情報工学研究科・講師

研究者番号：80345157

竹内 保男 (TAKEUCHI YASUO)

帝京大学・国際教育研究所・研究員

研究者番号：20468630