

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24年 6月 1日現在

機関番号：52501

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500459

研究課題名（和文） NIRSのためのシースルー型脳立体観察ディスプレイを用いた
微小な脳賦活の研究研究課題名（英文） Slightly Cerebral Activation Analysis using See-Through Brain
Observation Display for NIRS

研究代表者

栗本 育三郎（KURIMOTO IKUSABURO）

木更津工業高等専門学校・情報工学科・教授

研究者番号：00195562

研究成果の概要（和文）：本研究では、近赤外分光法(Near Infrared Spectroscopy 以下 NIRS と略す。)計測における脳部位推定の高度化を目指し、シースルー型脳立体観察ディスプレイを MRI(Magnetic Resonance Imaging)の T2 法の DICOM(Digital Imaging and Communication in Medicine)画像を用いて構成し、大脳皮質の脳溝、脳回等が立体で頭部表面情報と融合させる観察を可能にした。次に、データの部位間・被験者間相互比較を目指し、光路長の影響を消去する NIRS 時系列信号の自己相関による解析法を提案した。さらに自己相似性の特徴を表す指標として、標本平均の分散を求める分散プロット法やバリオグラム法を提案し、計算タスク等の微小な脳賦活におけるカラーマップ化を行った。さらに、結果をシースルー脳立体観察ディスプレイに動的表示させるシステムの開発を行い、大脳皮質の脳血流ダイナミクス計測を可能とした。

研究成果の概要（英文）：We have been developing see-through brain observation display for NIRS (Near Infrared Spectroscopy) measurement. It reconstructed the stereoscopic images from the MRI(Magnetic Resonance Imaging) DICOM(Digital Imaging and Communication in Medicine) data of the T2 method. These images displayed on 7.1-inch liquid crystal display to left and right eye. As a result of verifying for 50 subjects, the stereoscopic vision of the brain was possible to all people, and it was possible to observe hemodynamics of the cerebral cortex during a task with body movement. Then, we proposed a separation method for the optical pathlength influence by the variance plot and the variogram analysis using the variance of the sample mean to NIRS(Near-infrared Spectroscopy) time series signal. As a validation example, we conducted the variance plot and the variogram analysis on slightly cerebral activation tasks by 10 subjects of normal adult males.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：医用システム

科研費の分科・細目：画像診断

キーワード：NIRS, 脳賦活, 脳形態, 脳血流, 脳立体視

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

1. 研究開始当初の背景

近年、数社から多チャンネルの脳機能の計測を行う装置として NIRS を利用した計測装置が開発されている。代表的なものとして、日立製作所の近赤外光トポグラフィ、島津製作所の fNIRStation 等が挙げられる。NIRS の計測原理は、近赤外光を頭部表面から照射し、頭蓋骨を経て大脳皮質を通過減衰した信号強度から、Beer-Lambert 則より透過域（組織・骨・血中の酸素化・脱酸素化ヘモグロビン）の光路長（Path Length）と吸収係数により、酸素化・脱酸素化ヘモグロビン、トータルヘモグロビンの濃度変化を算出するものである。しかしながら、光路長は大脳皮質の各部位に存在する脳溝・裂等の影響により NIRS 信号計測プローブの装着チャンネル毎に異なり、個人差があり、且つ測定するのが困難である。そのため、求めたヘモグロビンの濃度の相対変化は部位間・被験者間で相互比較が不可能であることが 2002 年 Zhao 等及び 2003 年星等によって指摘されている。また、NIRS を用いた計測では限られた頭部表面の手がかりから、解剖学的所見を用いて大脳皮質の位置推定を行う必要がある。位置推定に関しても、岡本・檀等による少ない頭部の手がかりから 6 軸磁気センサー（ポヒマスセンサー）を用いて、脳波測定部位（国際 10-20 法）と脳表の関係を推定する方法等が試みられているが精度の点で不十分である。一方、測定値には光計測に伴う揺らぎ成分、不規則信号成分、脳血流増加成分等が含まれているため、NIRS 信号成分抽出には、一般的に移動平均を行い複数回のタスク加算をしてタスク成分を強調する処理を施す必要がある。これに対し、計測した脳血流の解釈においては Hemodynamics に注目する研究があるが、NIRS 時系列信号においては、脳表・大脳皮質の状態を近赤外光で計測するので、表在性静脈血流と大脳皮質毛細血流との関連性を考慮する必要がある。現行の NIRS 脳機信号解析装置において一般的に行われている解析法（移動平均・タスク加算平均）では、表在性血流、大脳皮質血流の Hemodynamics 時系列成分を加工または消失する可能性がある。

以上を集約すると、現行の NIRS を利用した脳機能計測装置は以下の 3 つの問題を有する。

(1)ヘモグロビンの濃度の相対変化は、異なる光路長の影響で部位間・被験者間で相互比較が出来ない。

(2)頭部表面から脳表を推定してプローブを配置するため測定位置精度が不十分である。

(3)加算平均法では脳賦活を時間軸上で観

察する事ができず、かつ微小な脳賦活（例えば、繰り下がりの有る引き算と無い引き算の差）を検出することが困難である。

2. 研究の目的

本研究の最終目標は、脳機能計測における NIRS において、既に申請者が開発しているシースルー型脳立体観察ディスプレイを用いて計測部位位置精度向上の評価実験を行い、微小な脳賦活を検出することにある。具体的には、聴覚の選択的注意タスク、計算タスク（繰り下がりの有無などの違いによる引き算タスク）音楽タスク等において、既に開発しているシースルー型脳立体観察ディスプレイにより、プローブ位置決めし、NIRS 時系列信号処理を実施し、微小な脳賦活とタスク変化による脳賦活部位との関係を探る。

3. 研究の方法

(1)NIRS 計測のプローブ配置のためのシースルー型脳立体観察ディスプレイの実施評価

MRI 画像より、再構成した画像を既に開発しているシースルー型脳立体観察ディスプレイに対して可搬型設計を行い、脳立体視し、頭部実体と融合させ、脳部位を見ながら、NIRS プローブ配置を行う。そして、タスク関連性のある脳部位を探索できるようにする。

(2)微小な脳賦活評価のためのタスク開発と脳賦活に伴う数理パラメータの抽出

聴覚の選択的注意タスク、計算タスク（ナンセンスワード復唱などのコントロールタスク、引き算は 19 までの数からの 2 桁からの引き算、一桁の引き算、九九、一桁の掛け算、コントロール課題として、ナンセンスワードを取り入れる。）、音楽タスクの開発を行う。非線形時系列解析として、分散プロット法、バリオグラム法で分散特性とタスクの関係を探る。

(3)シースルー型脳立体観察ディスプレイの脳血流動態表示

微小な脳賦活を確率過程の自己相似性に着目した分散特性のパラメータを脳立体観察ディスプレイに動的表示させるシステムの開発を行う。

4. 研究成果

(1)NIRS 計測のプローブ配置のためのシースルー型脳立体観察ディスプレイの実施評価

これまで研究代表者は、T2 法によって撮影した頭部 MRI 画像の DICOM フォーマットを用いて立体透視画像提示できる脳立体観察ディスプレイについての提案を行ってきた。

本研究では、利便性を考慮し持ち運び容易

な可搬型シースルー脳立体観察ディスプレイを開発した。また本装置を使用した際の、立体感、提示距離及び大きさに関する評価を行った。

① 可搬型シースルー脳立体観察ディスプレイの設計

STL 形式のファイルを取り扱い可能な Stratasys 社製 3D プリンタ dimension bst768 を用いて、持ち運びが容易かつ、容易に複数台製作可能な可搬型シースルー脳立体観察ディスプレイの作成を行った。(図1参照)

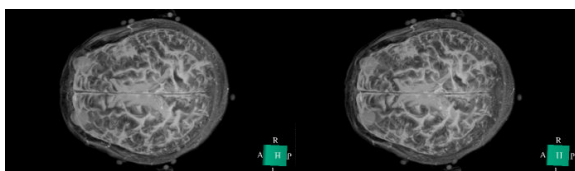
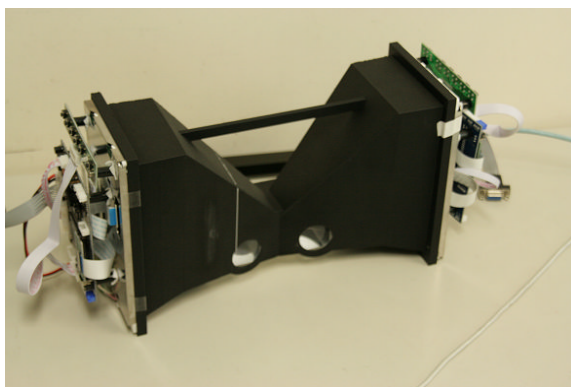


図1 可搬型シースルー脳立体観察ディスプレイの造形と脳立体映像

② 計測結果

今回の計測では 50 人の被験者に図1の脳立体映像を観察してもらった。その結果、50 人全てから立体視できるとの回答を得た。また、成人男性1名に行った立体像の距離感及び大きさに関する結果が得られた。提示距離と立体像の位置に関して比例関係があり補正できることが分かった。提示距離に対して直線上に点が配置されることから拡大倍率に比例関係があることが分かった。

③ 考察

各個人ごとのキャリブレーションパラメータを定めることで立体像の表示位置及び大きさのキャリブレーションが可能となる。このことにより、表示位置及び大きさを正確に提示することができ任意の位置にある実際の頭部との融合が可能となる。

④ まとめ

今回の評価によって、被験者 50 名から可搬型シースルー脳立体観察ディスプレイによる立体視ができることを確認した。また、被験者1名から提示位置と表示位置及び大き

さの関係を確認した。

キャリブレーションパラメータを各個人で計測すれば立体像をキャリブレーションでき、正確な位置に提示可能となる。それによって、任意の位置の頭部との融合が可能となった。

(2) 微小な脳賦活評価のためのタスク開発と脳賦活に伴う数理パラメータの抽出

これまで、光路長の影響を消去できる自己相関解析法や分散プロット法を提案し、聴覚視覚タスクに対して解析を行い、部位間・被験者間比較を可能とした。本研究において、NIRS 信号の自己相似性に注目して、10 秒間のバリオグラム解析により分散特性指数 α を求め、チャンネル毎のカラーマップを表示した。これにより、光路長の影響を消去した NIRS 時系列信号の部位間・被験者間の比較を可能にした。さらに、10 秒間の移動バリオグラム解析により、動的な分散特性指数 α を求め、動画像化して観察できる手法を提案した。

① 実験方法

一桁の繰り下がり無し引き算 (5-3, 7-2, 8-5 等) の問題を 30 秒、レスト 30 秒与え、口頭により答えさせ、その組み合わせを 10 回繰り返す。次に、コントロールタスクとしてナンセンスワード 3 文字 (ロンニ, イテキ, ラグロ等) の復唱を 30 秒、レスト 30 秒与え、その組み合わせを 10 回繰り返す。最後に繰り下がり有の 20 未満の 2 桁から 1 桁の引き算 (16-8, 18-9, 10-5 等) を 30 秒、レスト 30 秒を与え、その組み合わせを 10 回繰り返す。頭部表面と脳透明視によるターゲット部位である頭頂間溝の測定部位を図2, 図3に示す。

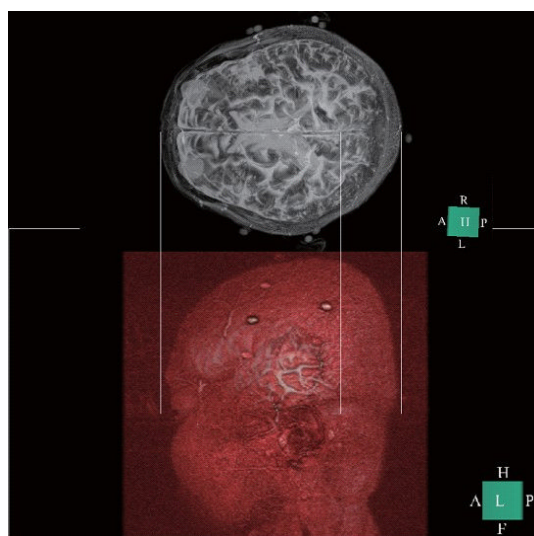


図2 MRIを用いた頭部表面と脳透明視による頭頂間溝位置推定



図3 NIRS 計測における光源およびセンサーとチャンネル配置 (CH1からCH24)

② 解析方法

NIRS 時系列信号は、ヘモグロビンの濃度変化と近赤外光の通過域の光路長 (Optical Pathlength) d の積が出力される。 d は部位間・被験者間で異なる。

● 自己相関の光路長影響分離

期待値を E で表し、ヘモグロビン濃度変化 ΔC_{oxy} , ΔC_{deoxy} , ΔC_{total} の時系列信号を $x(t)$, 光路長 d とする。検出信号は積 $x(t)d$ となる。 $E[x(t)d] = dE[x(t)]$ であるから、NIRS ヘモグロビン濃度変化時系列信号 (以下 NIRS 時系列信号と略す。) に対して、自己相関をとると、 d の影響は消去できる。

● バリオグラムの光路長影響分離

同様に、バリオグラムを用いて分散特性を表すと d の影響を \log 変換により分離できる。

また、定常性を確保するために短時間の演算を仮定するとバリオグラムの推定値として、時系列信号が自己相似性を有していると、「べき則」が観察される。バリオグラムによって推定した分散特性 α 値をカラーマップとして表示できる。

③ 被験者の α 値のカラーマップと脳部位

計測対象大脳皮質部位は、計算に関係あるとされる左脳の頭頂間溝・角回 (39)・縁上回 (40)・上頭頂小葉 (5, 7)・中心後回 (3, 1, 2) の上側を計測対象とした。カッコ中の No. はブロードマンマップ番号を示す。

図4に被験者 KA の引き算繰り下がり有時における酸素化ヘモグロビン ($O_{xy}Hb$) の NIRS データのバリオグラムによるカラーマップを脳部位提示させた画像を示す。図5に被験者 KA の引き算繰り下がり無時における酸素化ヘモグロビン ($O_{xy}Hb$) の NIRS データのバリオグラムによるカラーマップを脳部位提示させた画像を示す。図6に被験者 KA のレスト時における酸素化ヘモグロビン ($O_{xy}Hb$) の NIRS データのバリオグラムによるカラーマップを脳部位提示させた画像を示す。



図4 被験者 KA の引き算繰り下がり有時における $O_{xy}Hb$ のバリオグラムによるカラーマップと脳部位



図5 被験者 KA の引き算繰り下がり無時における $O_{xy}Hb$ のバリオグラムによるカラーマップと脳部位



図6 被験者 KA のレスト時における $O_{xy}Hb$ のバリオグラムによるカラーマップと脳部位

観察対象は引き算との関連が高いとされている左脳側とする。図4の繰り下がり有時は、頭頂間溝沿・縁上回 (40)・上頭頂小葉 (5, 7)・中心後回 (3, 1, 2) の上側の賦活が観察される。図5の繰り下がり無時は、中心後回 (3, 1, 2) の上側・頭頂間溝沿の賦活は見

られず角回 (39) 上頭頂小葉 (5,7) の弱い賦活が観察される。図6 のレスト時は、中心後回 (3,1,2) の上側の賦活は観察されるが、頭頂間溝沿・角回 (39)・縁上回 (40)・上頭頂小葉 (5,7)の賦活は観察されない。

④ まとめ

NIRS 信号の自己相似性に注目して、10 秒間のバリオグラム解析により分散特性指数 α を求め、チャンネル毎のカラーマップを表示した。これにより、光路長の影響を消去した NIRS 時系列信号の部位間・被験者間の比較を可能にした。さらに、10 秒間のバリオグラム移動演算させることにより、動的な分散特性指数 α を求め、動画像化して観察できる手法を提案した。本研究において、提案手法の有効性を検証するために、微小な脳賦活検証のために引き算タスクの繰り返し下がり有無に対する大脳皮質の頭頂間溝近辺の被験者4例に対する脳賦活カラーマップ化した。その結果、被験者4例中4例が繰り返し下がり有る引き算と繰り返し下がり無の引き算では、繰り返し下がり有る引き算の方が頭頂間溝で差が有ることが判明した。また、引き算における頭頂間溝・角回・縁上回・上頭頂小葉の働きについて関連性を観察することが可能となった。今後の課題としては、ナンセンスワードとの組み合わせによる脳賦活の消去・掛け算・九九など言語と非言語性の計算等のタスクの脳賦活を評価することあげられる。

(3) シースルー型脳立体観察ディスプレイの脳血流動態表示

大脳皮質におけるヘモダイナミクス立体観察システムでは、コンピュータ上で脳表データにカラーマップ動画をテクスチャとして貼り付ける。脳表データは、あらかじめ被験者の脳の MRI スライス画像から 3D 再構成することにより取得する。カラーマップ動画の貼り付け位置は、研究室で開発中の脳位置情報入出力マスター・スレーブシステムを用いて取得する。また、視差付き動画を出力することも可能で、研究室で開発中の可搬型シースルー脳立体観察ディスプレイを用いることで、立体観察を行うことが可能である。

① 観察手法

大脳皮質におけるヘモダイナミクス立体観察システムは、カラーマップ動画をテクスチャとして脳表データへ貼り付ける。テクスチャの貼り付け方法は、脳表データの各頂点座標をテクスチャ座標に変換し、計測時の NIRSプローブと対応させる。(図7参照) 貼り付けたカラーマップ動画は、シースルー型脳立体観察ディスプレイにて動的に表示可能である。また、コンピュータ画面上で回転させて観察できる。

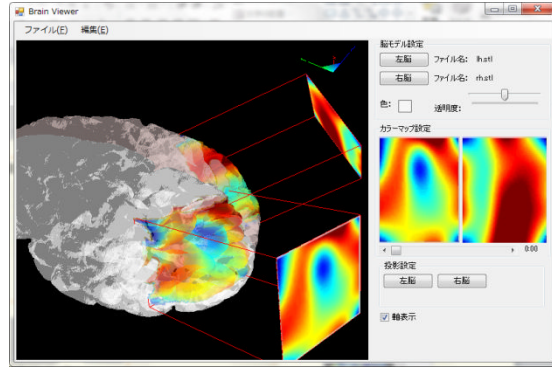


図7 カラーマップ動画貼り付け画面

② 動的脳賦活カラーマップ表示例

サンプルデータとして提示したカラーマップ動画を、大脳皮質におけるヘモダイナミクス立体観察システムで脳表データに貼り付けた例を図8、図9に示す。

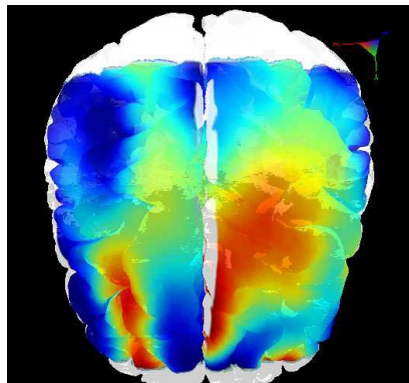


図8 ラフマニノフ ピアノ協奏曲第3番・第1楽章のカラーマップ脳模型投影結果

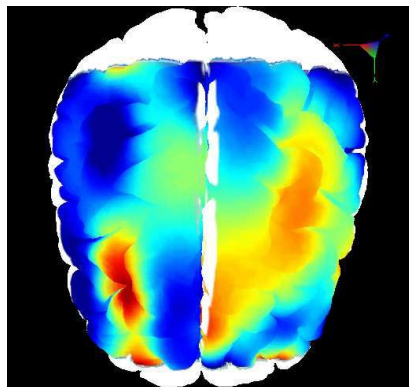


図9 ショパン 幻想即興曲のカラーマップ脳模型投影結果

③ まとめ

微小な脳賦活を光路長の影響を受けない確率過程の自己相似性に着目した分散特性のパラメータを脳立体観察ディスプレイに動的表示させるシステムの開発を行なった。このことにより、微小な脳賦活を解析し、位置精度の高い脳賦活の評価が可能となった。

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4件)

①池田将士, 栗本育三郎, 東雄二, 中川匡弘, “音楽と脳波の短時間共鳴解析”, 日本高専学会誌, Vol.16, No.3, pp.91-96, 2011. 査読有

<http://ci.nii.ac.jp/naid/110008686639/>

②吉田幸弘, 栗本育三郎, “可搬型シースルー脳立体観察ディスプレイの開発と評価”, 日本高専学会誌, Vol.16, No.3, pp.85-90, 2011. 査読有

<http://ci.nii.ac.jp/naid/110008686638/>

③栗本育三郎, 川上直樹, 館暲, “聴覚の選択的注意における NIRS 信号解析”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.14, No.3, pp.371-380, 2009. 査読有

<http://ci.nii.ac.jp/naid/110008752088/>

④栗本育三郎, “近赤外分光法を用いた脳機能信号解析の研究概要”, 日本高専学会高等専門学校の教育研究, Vol.14, No.2, pp.33~37, 2009. 【特集】 査読無

<http://ci.nii.ac.jp/naid/110007703142/>

[学会発表] (計13件)

①池田 将士, 栗本 育三郎, 垣浪 文美香, 佐瀬 巧, 中川 匡弘, “脳血流ダイナミクス表示システムの開発 — ピアノ学習過程での検証 —”, 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム2012, pp.153-156, 2012. (ポスター発表優秀者受賞)

②民内 元康, 栗本 育三郎, “脳位置情報入出力マスタ・スレーブシステムの開発と評価”, 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム2012, pp.157-160, 2012.

③吉田 幸弘, 栗本 育三郎, 池田 将士, “可搬型シースルー脳立体観察ディスプレイによる脳血流ダイナミクス表示”, 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム2012, pp.165-168, 2012. (ポスター発表優秀者受賞)

④池田 将士, 吉田 幸弘, 民内 元康, 栗本 育三郎, 中川 匡弘, “大脳皮質におけるヘモダイナミクス立体観察システムソフトウェアの開発”, 日本福祉工学会 第15回学術講演会講演論文集, pp.71-72, 2011.

⑤民内 元康, 栗本 育三郎, “脳位置情報入出力マスタ・スレーブシステムの評価 —位置情報取得システム—”, 日本福祉工学会第15回学術講演会講演論文集, pp.65-66, 2011.

⑥栗本育三郎, 中川匡弘, “微小な脳賦活(引き算繰り下がり)の有無)における NIRS 信

号解析”, 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム2011, pp.31-38, 2011. 【招待講演】

⑦民内元康, 栗本育三郎, “脳位置情報入出力マスタ・スレーブシステムの開発”, 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム2011, pp.105-108, 2011. 【ポスター優秀発表者賞】

⑧垣浪 文美香, 栗本 育三郎, 池田 将士, 佐瀬 巧, 齊藤 康之, 中川 匡弘, 筒石 賢昭, 石橋 史生, “脳機能計測(NIRS)を利用したピアノ学習過程の解析”, 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム2011, pp.137-142, 2011. 【ポスター優秀発表者賞】

⑨吉田 幸弘, 栗本 育三郎, “可搬型シースルー脳立体観察ディスプレイの評価”, 日本福祉工学会第14回学術講演会講演論文集, pp.83-84, 2010年

⑩栗本育三郎, “近赤外分光法を用いた脳機能信号解析の研究”, 高専・技科大連携シンポジウム 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム2010, pp.29-36, 2010. 【招待講演】

⑪吉田吉弘, 栗本育三郎, 館暲, “可搬型シースルー脳立体観察ディスプレイの開発”, 日本高専学会第16回年会講演会講演論文集, pp.153-154, 2010. 【優秀ポスター賞】

⑫石川麻美, 民内元康, 栗本育三郎, “脳位置情報入出力マスタ・スレーブシステムの試作”, 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム2010, pp.00-00, 2010. 【ポスター優秀発表者賞】

⑬栗本育三郎, “聴覚における NIRS 信号解析” 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム2009, pp.9-15, 2009. 【招待講演】

6. 研究組織

(1)研究代表者

栗本 育三郎 (KURIMOTO IKUSABURO)
木更津工業高等専門学校・情報工学科・教授
研究者番号: 00195562