

平成21年6月19日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19500812

研究課題名（和文） 視覚障害者高等教育のための触図自動作成支援システム開発

研究課題名（英文） Development of a Computer-Aided System for Automating Transformation of Mathematical Figures into Tactile Graphics

研究代表者

高木 昇 (TAKAGI NOBORU)

富山県立大学・工学部・准教授

研究者番号：50236197

研究成果の概要：視覚障がい者が数学や理科の科目を受講する場合、触図などの触覚教材の利用は学習能率向上のために重要である。しかしながら、ほとんどの盲学校において、触覚教材作成に関わる校内組織が設置されていない、触覚教材は教科担任が作成するなど、触覚教材作成に関する校内環境は十分でないのが現状である。そこで、本研究課題では、数学などの教科書で使われるグラフをコンピュータで自動認識し、点字プリンタで触図化するための支援システム開発を目的とし、そのシステムを試作した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：フエジィ工学

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学

キーワード：教材情報システム, パターン認識, グラフ認識, 触図, 触覚教材

## 1. 研究開始当初の背景

国立特殊教育総合研究所が2003年に実施した全国70校におよぶ盲学校における触覚教材作成および利用に関する実態調査によると、57校においては触覚教材作成に係わる校内組織が設置されていない。また、点字教材などの触覚教材の作成者は、ほとんどの場合、教科担任であり、次いで学外ボランティアに依頼しているのが実態である。すなわち、触覚教材作成のための専任スタッフを常駐し、組織的に触覚教材作成に取り組んでいる盲学校はあまり存在しない。反面、盲学校中高等部では、数学・理科の理数系科目を中心に触図

利用の頻度が高く、したがって、触図作成のための何がしかの支援が必要と考えられる。このことは、大学教育現場でも同じで、視覚・聴覚障がい者をのみを受け入れている筑波技術大学においても、触図を作成する専門スタッフがいないため、科目担任の努力により触図を作成しているのが実態である。このため、健常者の学習指導と比較して、視覚障がい者の学習指導では、授業で用いる触覚教材作成のための負担が大きく、視覚障がい者学習指導の能率を妨げている。教科書にあるグラフの効率的な触図化は、視覚障がい者学習指導の能率化のみならず、視覚障がい者に対して、

十分な資料を触図として提供できる上で彼らの学力向上に貢献できる。

このような背景の下、視覚障がい者の学習機会を増やすために、触図作成を支援するシステム開発は必要である。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、視覚障がい者の高等教育で用いる数学教科書の図を触図化するためのコンピュータ支援システムを開発することである。

視覚障がい者の授業では、教科書にある図は触図化して学生に提供しなければならない。筑波技術大学では、教科書にある図の触図化を半自動化した手法で処理している。すなわち、教科書の図を Excel 等で作図し直し、その中の説明文のみを開発した点字 IME を用いて点字として手動入力して元図を作成する。次に、それを化学紙にコピーし、最後に加熱膨張させて完成した触図を得る手法で行ってきた（化学紙と一連の技術は日本が発祥である）。このため、視覚障がい者の指導にあたっては、健常者指導のそれと比較して、授業で用いる教材作成のための負担が大きく、視覚障がい者指導の能率を著しく妨げている。教科書ある図の効率的な触図化は、視覚障がい者指導の能率化のみならず、視覚障がい者に対して、十分な資料を触図として提供できる上で彼らの学力向上に貢献できる。

過去、触図に関する研究として、国内では、国立特殊教育総合研究所において「インターネットを活用した視覚障害教育用触覚図形教材の盲学校間相互利用に関する研究」が行われてきた (<http://www.nise.go.jp/blog/index.html> 参照)。この研究は、触図の自動作成システムを目指すものではなく、既存の触図のデータベースを作成し、インターネットで公開することで、触図利用の利便性を高めることを目的としている。「教科書の図を、コンピュータを利用して触図化を支援するシステム開発」といった我々の研究目的とは大きく異なる。

本研究では、視覚障がい者の高等教育で利用する数学などの図を、コンピュータを利用して触図化を支援するシステムを開発することを目的とする。具体的には、次の一連の処理を実行するシステムを開発する。

- (A) 教科書の図をイメージ・スキャナ等でビットマップ画像データにする。
- (B) 画像データからグラフ成分と文字成分を分離する。
- (C) 文字成分の画像から文字列抽出を実行し、文字認識・数式認識処理を行う。
- (D) 文字認識された日本語を点字翻訳システムを用いて点字に翻訳する。

- (E) 上記一連の作業を支援する GUI (グラフィカル・ユーザ・インタフェース) を介して、点字プリンタで点図を作成する (GUI 開発)。

## 3. 研究の方法

本研究課題では、先に述べた (A)～(E) の処理を行う触図作成支援システムを開発することを目的としている。また、触図化の対象は高等教育で用いられる数学教科書で使われるグラフを想定する。

(C) の文字認識・数式認識は、Infty Project で開発された Infty Reader など市販のソフトウェアを利用する。(D) の点字翻訳については、岐阜大学で開発された点字翻訳システム IbukiTenC の SDK (Software Development Kit) が公開されているので、それを本システムに組み込んだ。

本節では、以下、(B) の画像データからのグラフ成分と文字成分の分離手法、ならびに (C) の文字成分画像からの文字列抽出手法について詳述する。

図 1 に本研究課題で対象とする数学グラフの例を示す。この例が示す通り、数学グラフは次の 3 つの特徴を持つ。

- ・文字列や数式がグラフ周辺に存在する。
- ・文字列や数式は必ずしも水平方向に位置しない。
- ・グラフは、実線以外に破線を用いて描画される。

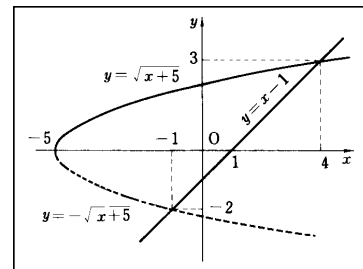


図 1 数学グラフの例

### (1) グラフ成分と文字成分の分離

点図を作成するためには、まず入力画像  $I$  からグラフ成分と文字成分を分離し、グラフ成分は点図に変換、文字成分については、文字列抽出、文字認識、点字翻訳の一連の処理を経て文字画像を点字へと変換する。したがって、最初に行うべき処理は、入力画像  $I$  からグラフ成分と文字成分を分離することである。

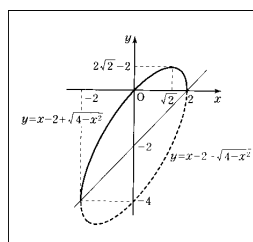
本研究で提案したグラフ成分と文字成分分離の手続きは大別すると、大領域成分抽出、破線成分抽出の 2 つから成る。

### ①大領域成分抽出

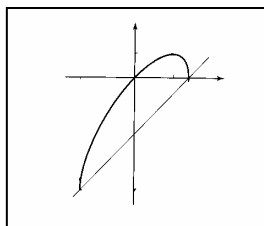
通常、数学で用いるグラフには座標軸や関数を表すグラフが存在し、これらの成分は文字成分と比較して大きな領域を占める。大領域成分抽出では、このような大きな領域を占める成分を大領域成分と判別し、他の成分から分離する。

まず、入力画像  $I$  の長辺の長さ  $l_i$  を求める。成分  $C_i$  に外接する矩形の長辺  $l_j$  が、入力画像  $I$  の長辺の長さ  $l_i$  の 30% 以上であれば、成分  $C_i$  をグラフ成分と判別する。

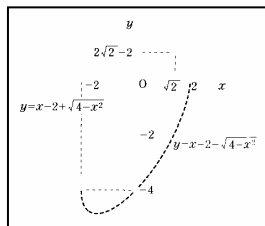
以下、 $I_L$  を大領域成分から成る画像、 $I_S$  をその他の成分から成る画像とする(図2参照)。



(a) 入力画像



(b) 大領域成分  $I_L$



(c) その他の成分  $I_S$

図2 大領域成分抽出

### ②破線成分抽出

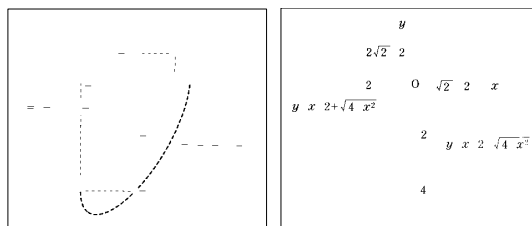
大領域成分抽出は、座標軸など画像全体に占める割合の大きい成分は図形成分として抽出できる。しかしながら、数学グラフには図1に示すような破線がよく用いられる。大領域成分抽出では、このような破線成分をグラフ成分として抽出できない。

そこで、本研究では、テンプレート・マッチングによる破線候補抽出、破線候補のクラスタリング、ならびに文字成分候補の局所線分密度解析を実行し、画像  $I_S$  から文字成分と破線成分を分離する。詳細は次の通りである。

#### テンプレート・マッチング

画像  $I_S$  の各成分  $C_i$  に対して、 $C_i$  の長軸方位と同じ傾きを持つ矩形テンプレートを作成し、この矩形テンプレートと成分  $C_i$  を比較し、成分  $C_i$  が矩形成分であるか否かを判別する。このようにして、画像  $I_S$  に存在するすべての矩形成分を抽出する。矩形成分から成る画像を  $I_{S1}$ 、それ以外の成分から成る画像を  $I_{S2}$  とする(図3参照)。

矩形形状の文字成分もテンプレート・マッチ



(a) 画像  $I_{S1}$

(b) 画像  $I_{S2}$

図3 画像  $I_{S1}$  と  $I_{S2}$

ングにより抽出されるため、次に述べる破線成分候補のクラスタリングならびに文字成分候補の局所線分密度解析より、破線成分と判別された文字成分を発見する。

#### 破線成分候補のクラスタリング

画像  $I_{S1}$  に対して、以下に述べる最近隣距離法に基づいた階層化クラスタリングを適用することで、破線成分候補を同一破線成分毎にグループ化する。2つのクラスター  $G_i$  と  $G_j$  の距離  $d(G_i, G_j)$  は次式で求める。

$$d(G_i, G_j) = \min_{C_i \in G_i, C_j \in G_j} Dis(C_i, C_j) \quad (1)$$

但し、 $Dis(C_i, C_j)$  は成分  $C_i$  と  $C_j$  の距離である。すべての成分対  $(C_i, C_j)$  ( $i \neq j$ ) 間の距離  $Dis(C_i, C_j)$  を求め、距離の小さい成分対  $(C_i, C_j)$  順に下記の条件を検査し、成分対  $(C_i, C_j)$  がこの条件を満たすとき、成分  $C_i$  と成分  $C_j$  が属する2つのクラスター  $G_i$  と  $G_j$  を一つに統合する。

- $C_i$  と  $C_j$  は異なるクラスターに属し、 $Dis(C_i, C_j)$  がしきい値  $q_1$  以上、かつ  $C_i$  と  $C_j$  の曲率がしきい値  $q_2$  以下である。

#### 文字成分候補の局所的線分密度解析

テンプレート・マッチングによる破線成分・文字成分の分離では、例えば、等号(=)やマイナス記号(-)などは破線成分候補として誤判別される。また、文字成分であっても、三水の点などは破線成分候補として誤判別される。そこで、文字成分候補から成る画像  $I_{S2}$  に対して、局所的線分密度を求め、文字成分候補の密集度合いを判断し、テンプレート・マッチングで誤判別された文字成分候補の発見を試みる。

局所的線分密度の求め方を述べる。ピクセル  $(x, y)$  を中心に半径  $r$  の円内に存在する線分を  $l_1, l_2, \dots, l_k$  とする。各線分  $l_j$  とピクセル  $(x, y)$  との距離を  $d_j$  としたとき、ピクセル  $(x, y)$  の局所的線分密度  $D(x, y)$  は、

$$D(x, y) = \sum_{i=1}^k \exp(-d_i^2 / s^2)$$

で定義する。ここに、 $s$  は密度の大小を調整

するパラメータである。文字成分候補から成る画像  $I_{S_2}$  の局所的線分密度を求め、しきい値判別することで、文字成分候補が密集する領域  $S_j$  を同定できる。

求められた各文字領域  $S_j$  に対して、破線成分のクラスター  $G_j$  が文字領域  $S_j$  に 90% 以上包含されていれば、 $G_j$  の成分は文字成分と判別する。そうでなければ、 $G_j$  の成分は破線成分と判別する (図 4 参照)。

以上より、大領域成分およびここで求めた破線成分をグラフ成分と判別し、残りの成分を文字成分と判別する。

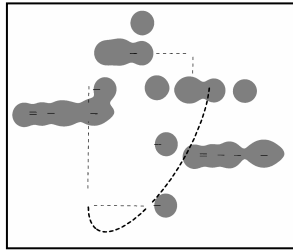
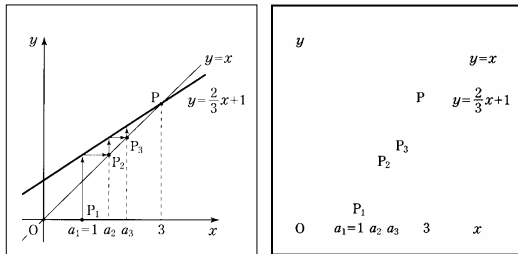


図 4 文字成分領域と破線成分

(2) 文字列抽出

図 5(a) に入力画像  $I$  の例、図 5(b) に入力画像  $I$  の文字成分画像  $I_C$  を示す。この画像  $I_C$  に対して、最近隣距離法による階層的クラスタリングを適用した。2つのクラスター  $G_i$  と  $G_j$  の距離は式(1)で求めた。図 5 の文字成分画像  $I_C$  には 13 の文字列が存在するので、階層化クラスタリングを適用する際、クラスター数を 13 に定めた。その結果、すべての文字列は正しく抽出された。この事実、最近隣距離法による階層的クラスタリングは、文字列抽出に対して有効であることを示唆している。4つの文字列“ $P_1$ ”, “ $a_1=1$ ”, “ $a_2$ ”, “ $a_3$ ” に階層化クラスタリングから得られた樹形図を図 6 に示す。

図 6 の樹形図において、 $d_7, d_8, d_9$  は  $d_1, K, d_6$  と比較して非常に大きい。これは、 $d_7, d_8, d_9$  は文字列間の距離であるのに対し



(a) 入力画像  $I$  (b) 文字成分画像  $I_C$

図 5 数学歩ラフと文字成分画像

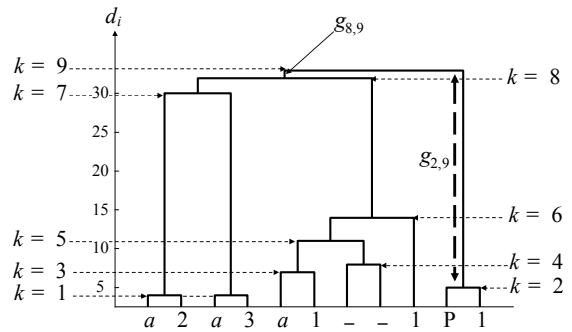


図 6 樹形図

て、 $d_1, K, d_6$  は文字列内の成分間距離であることに起因する。

次に、レベル  $k=1$  で 2つのクラスター  $G_i$  と  $G_j$  が、クラスター  $G_1$  に統合されたとする。このとき、2つのギャップ  $g_{i,1}$  および  $g_{j,1}$  を得る。ここに、 $g_{i,1}$  は  $d_i$  と  $d_1$  の差、 $g_{j,1}$  は  $d_j$  と  $d_1$  の差である。このとき、図 6 の樹形図において、 $g_{8,9}$  は非常に小さな値を示している。これは、 $d_8$  と  $d_9$  が共に文字列間の距離であることによる。これに対して、 $g_{2,9}$  は非常に大きな値を示している。これは、 $d_2$  がある文字列の成分間距離であるのに対して、 $d_9$  は文字列間の距離であるからである。

以上のような考察から、文字成分間の距離に関する以上の知見をまとめると、次のファジィ・ルールが抽出される。

ルール 1: もし、 $d_i$  が大きく、かつ  $g_{i,1}$  と  $g_{j,1}$  の少なくとも一つが大きければ、 $d_i$  は文字列間の距離である。

ルール 2: もし、 $d_i$  が小さく、かつ  $g_{i,1}$  と  $g_{j,1}$  の両方が小さければ、 $d_i$  は文字列内の距離である。

文字列抽出処理では、上記ファジィ・ルールに基づくファジィ推論により、クラスター間距離が文字列間距離であるか、あるいは文字列内の成分間距離であるかの判別を行い、文字列抽出を実行している。ファジィ推論には、代数積-Max-重心法を用いた。また、ファジィ集合は次のメンバーシップ関数で定義した。(e) (f)

図 7 のメンバーシップ関数の内、(a)~(d) は前件部、(e), (f) は後件部のメンバーシップ関数である。

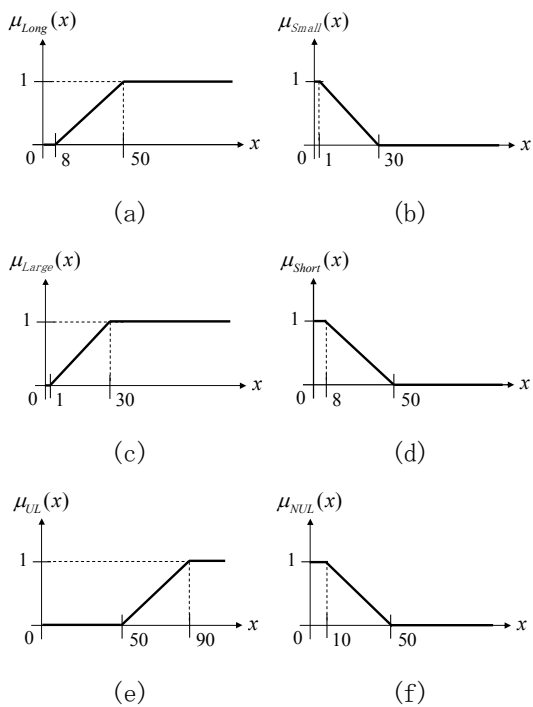


図7 メンバシップ関数

#### 4. 研究成果

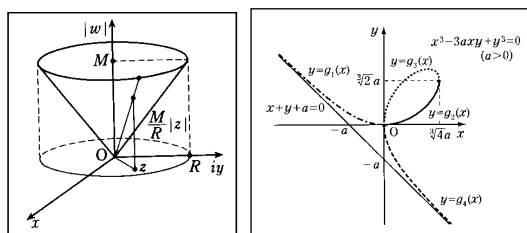
本節では、グラフ成分と文字成分の分離手法に対する実験結果、文字列抽出手法の実験結果、ならびに開発したGUIについて概説する。

##### (1) グラフ成分と文字成分の分離

まず初めに、本研究で提案したグラフ成分と文字成分分離手法についての計算機実験結果を示す。

異なる2つの数学教科書からグラフを選択した。選択したグラフを図8に、また、その詳細を表1に示す。2つのグラフは、イメージ・スキャナを用いて、600dpiでBMP画像として電子化した。

実験結果を図9に示す。図8(a)のグラフは本手法により正しくグラフ成分と文字成分が分離できた。図8(b)のグラフについては、破線成分が文字成分として誤判別された。

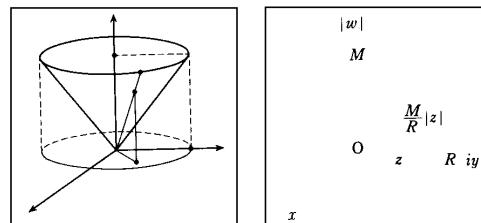


(a) 数学グラフ1 (b) 数学グラフ2

図8 数学グラフ

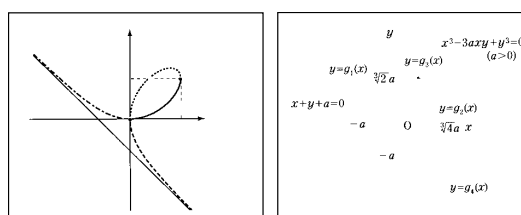
表1 入力画像情報

Image	Size (pixel×pixel)	Memory (Kbyte)
(a)	1,258×1,227	191
(b)	1,392×1,134	194



(a) グラフ成分

(b) 文字成分



(a) グラフ成分

(b) 文字成分

図9 実験結果

##### (2) 文字列抽出

図8の2つのグラフに対して、本研究で提案した文字列抽出を適当した。なお、手作業でグラフ成分を除去することで、文字成分のみからなる画像を作成して実験を行った。結果は次の通りである。

図8グラフ(a)については、すべての文字列が正しく抽出できた。図8グラフ(b)については、正しく文字列抽出が出来なかった例が存在した。2つの数式“ $x^2-3axy+y^2=0$ ”と“ $(a>0)$ ”が1つの数式として抽出された。これは、ファジィ推論のメンバシップ関数が静的であるため、これら2つの数式の距離が2つに分離するに十分な距離でないと判別されたためである。

##### (3) GUI 開発

触図作成支援システムのGUIを開発したので研究成果として報告する。

開発したGUIの概観を図10に示す。本GUIの主な機能は次の通りである。

- BMP画像を入力し、グラフ成分と文字成分に分離し、グラフ成分画像と文字成分画像を作成する。
- 文字成分画像については、文字列抽出を実行する。
- 抽出された文字列が傾いている場合には、ユーザが文字列を指定することで傾き補

正が実行できる。

- ・作成した点図を、JTR社製ESA721の点字プリンタから出力できる。本点字プリンタは国内で最も利用の多い点字プリンタである。
- ・点図編集機能として、基本図形の描画(直線、矩形、円、楕円など)、グラフの移動・拡大縮小・コピーなど、点字入力・編集、点字・墨字の表示切り替えなどがある。
- ・点図描画ツールとしては、エーデルが有名である。本システムで作成した触図は、エーデルのデータ・フォーマットで保存・読み込みが可能

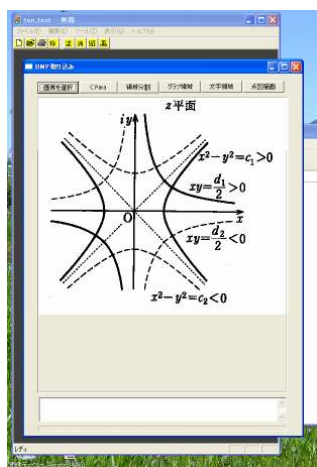


図 10 GUI の概観

#### (4) 今後の展望

本研究期間内において、当初目標としていた触図作成支援システムの試作器を完成することができた。即ち、BMP 画像を入力画像として、グラフ成分と文字成分の分離、文字列抽出、文字認識(既存のシステムを利用)、点字翻訳(既存のシステムを利用)、ならびに編集可能な GUI 開発である。

本研究課題を遂行する過程で新たに次の問題が明らかとなった。グラフ成分から点図を作成する場合、入力画像のグラフ成分をそのまま利用したのでは、視覚障がい者が触読するには十分な精度で点図化することが出来ない。このため、グラフ成分を直線や曲線など意味のあるオブジェクト単位に分割し、触読するに十分な精度になるよう再描画する必要がある。今後は、グラフ成分画像から、直線や円などの識別手法の確立を検討する。

#### 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 1 件)

- ① N. Takagi, Pattern Recognition in

Computer-Aided Systems for Transformation of Mathematical Figures into Tactile Graphics, International Journal of Intelligent Computing in Medical Sciences and Image Processing, Vol. 3, pp. 1-14, 2009, 査読有

[学会発表] (計 8 件)

- ① 納藤泰裕, 高木昇, 破線を含む数学用図形認識について—視覚障害者のための触図作成支援システムへの応用—, 日本知能情報フアジイ学会第 33 回フアジイワークショップ, 2009 年 3 月 15 日, 神奈川県

- ② N. Takagi, Pattern Recognition on Mathematical Graphs with Broken Lines, International Workshop on Soft Computing for Knowledge Technology, 2008 年 12 月 16 日, ベトナム

- ③ 池ヶ谷浩司, 趙亮, 今村翔太, 宮川正弘, 巽久行, 高木昇, 視覚障害者高等教育のための触図作成支援システム開発, 電子情報通信学会第二種研究会多値論理とその応用研究会, 2008 年 1 月 12 日, 兵庫県

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

高木 昇 (TAKAGI NOBORU)  
富山県立大学・工学部・准教授  
研究者番号: 50236197

##### (2) 研究分担者

##### (3) 連携研究者

宮川 正弘 (MIYAKAWA MASAHIRO)  
筑波技術大学・名誉教授  
研究者番号: 70248748  
巽 久行 (TATSUMI HISAYUKI)  
筑波技術大学・保健科学部・教授  
研究者番号: 30188271  
森 雄一郎 (MORI YUICHIRO)  
高知大学・理学部・准教授  
研究者番号: 50274361