

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 28 日現在

機関番号：42690

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2017

課題番号：26750214

研究課題名(和文) 高齢糖尿病患者の重症化を予防する在宅インスリン自己注射見守りシステムの開発と検証

研究課題名(英文) Development and Verification of Insulin Injection Administration Support System for Preventing Aggravation of Advanced Age Diabetic

研究代表者

亀田 多江(米田多江)(KAMEDA, TAE)

創価女子短期大学・その他部局等・准教授

研究者番号：50363726

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、急増している高齢の糖尿病患者が、在宅でのインスリン療法(自己注射)を継続できるように、センサーシステムとコミュニケーションロボットを活用して家族や医療福祉従事者と連携しながら患者をサポートする見守りシステムを開発し検証した。具体的には、“注射器の格納容器にセンサーを付けて開閉・取出しモニタリングすること”と“コミュニケーションロボットによる注射の誘導と支援を行う”システムを開発した。システムを試験導入し、これまで把握ができていなかった在宅での注射器利用実態が確認でき、臨床現場で有効なデータとなること、ロボットによる声かけが高齢者の自己注射のサポート、更には癒しとなることを確認した。

研究成果の概要(英文)：With the rapidly increasing number of elderly diabetes patients, improper insulin self-injection due to dementia is an emergent issue. Therefore, we have developed a monitoring system for insulin self-medication. The system includes two sensors in a box containing the insulin injection. Data from these sensors is uploaded to a server via the internet, and can be accessed by professionals such as medical doctors, nurses, and home care workers, in order to provide support to the patient. In addition, the system also includes a communication robot which announce the time of insulin injection and support the insulin injection. Then, user can inject insulin more smoothly and can be healed by communicate the robot.

研究分野：地域医療福祉情報システム学、福祉工学、ロボット工学、ソフトウェア工学

キーワード：高齢者見守りシステム インスリン療法 コミュニケーションロボット

1. 研究開始当初の背景

(1) 高齢糖尿病患者の増加と重症化予防の必要性

平成 25 年版高齢白書によると日本の高齢化率は 24.1%となり 2060 年には 39.9%に達すると推計されていた。この急速な高齢化は世界に先駆けて日本が経験する事態である。また、WHO 世界保健統計 2012 には、生活習慣病が世界的に急増し世界的な課題であることが示されていた。日本においても平成 19 年の厚生労働省調査によれば、HbA1c6.1%以上の糖尿病が強く疑われる人は 890 万人に達しており、10 年前から 200 万人増加した。特に 60 歳以上が顕著に増加し、高齢糖尿病患者の増加が懸念されていた。更に、日本透析医学会の統計によると、ここ数十年で人工透析患者が急激に増加しており、そのうち特に糖尿病性腎症（糖尿病重症化）による透析が増加していた。透析導入患者数が 1983 年には約 11,000 人であったのに対し 2013 年には約 38,000 人になり、うち糖尿病性腎症による透析は 1983 年では 15.6%であったのが、2013 年では 43.8%となっていた[1]。これらのことから、2013 年に示された厚生労働省の「健康日本 21（第 2 次）」において、その最終目標の一つに「新規透析導入患者数の減少」と明確に掲げられ、糖尿病の重症化予防に重点が置かれていた。

千葉県東金病院においては、2009 年にはインスリン療法中の患者 3 人に 1 人が 70 歳以上となり（当時、その地域の高齢化率は 21%）、高齢者でのインスリン導入が年を追って増加していた。また、インスリン療法中の高齢患者が、糖尿病緊急症で入院となるケースが相次いでおり、その原因は患者あるいは介護者の認知症などによるインスリン療法の中断であることが確認されていた。独居高齢者や老老介護が増加する中、在宅ケア体制を担う訪問看護師は多忙を極め、今後急増する高齢者の在宅インスリン療法患者に対して、インスリン療法を継続するための支援の充実は緊急の課題であった。

(2) 臨床実験フィールドの糖尿病治療への取り組み状況

千葉県立東金病院を中心とした九十九里地域では、研究開始当時、既に“地域医療連携による糖尿病の治療や重症化予防”に注力した取り組みを進めてきており、病院を中心とした医療従事者・行政・地域住民等による地域医療連携のヒューマンネットワーク（平井院長が東金病院に着任後 13 年間で約 50 回の糖尿病勉強会を実施等）と地域医療電子カルテネットワーク（わかしおネットワーク）が作られ、活用されてきていた。その後、電子カルテに蓄積されたデータ活用した「疾病管理 MAP」を用いて、医師・看護師・栄養士・受付クラークらによる多職種共同と ICT のコラボレーションにより重症化予防の指導管理に生かした取り組みも行っていった。その結

果、重症化予防に優位な結果（患者の塩分摂取量削減の実現によって薬の効果を増大させた）を出した[2]。この取り組みは、平井院長の指導により、現在全国 10 施設以上の病院への展開も行っていった。このように、自立してインスリン療法（自己注射）に取り組める患者を対象にした重症化予防の取り組みは効果的にすすめられてきたが、一方で、インスリン療法を継続するのに介助が必要な患者の支援が今後の課題であった。

(3) インスリン見守りシステム着想経緯

近年、高齢者の安否確認や生活支援に、センサーシステムやインターネットを活用した高齢者見守りシステムが注目されている。ポットの使用状況やドアセンサーやマットセンサーなどにより生活動向の一部の情報を集めることで見守るシステムや、高齢者自らが安否を毎日発信するシステムなどがあ

る。筆者が携わった岩手県川井村での独居高齢者見守りネットワークシステム[3]は、独居高齢者が電話機の Web 画面（L モード）で毎朝元気かどうかを発信し、社会福祉協議会が安否情報を web 上で確認し、安否が確認できない高齢者には直接電話等で確認をとるものであった。L モードサービスが終了するまでの約 4 年間、30 人前後の独居高齢者の安否を毎日 100%確認し、職員の業務負担を軽減した一方で、異常時の発見やケアも行うことができた。また、高齢者の数人が、毎日の安否を人に伝えてくれる端末に対し、「家族が増えた増えたように思う」と愛着をもって話してくれた。これを通して、電話機でも高齢者にそのように思ってもらえるのであれば、かわいらしいコミュニケーションロボット

（NEC 製 PaPeRo）を発信端末に使えばもっと高齢者にぬくもりと安心感を与えられるのではと感じ、ロボットを用いた高齢者見守りに着目した。2009 年より、PaPeRo を用いた高齢者見守りを模索し始め、東京都八王子市の福祉施設数か所に PaPeRo を持参して訪問し、毎年継続的に実施実験を行ってきた。高齢者の反応から PaPeRo がぬくもり・安心感を与えられる存在であることが確認できた[4]。しかし、独居高齢者宅に継続的に設置して、高齢者の生活を支えるイノベーションに深化させるには至らず、活用のターゲットを絞り込む必要があった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、急増している高齢の糖尿病患者が、在宅インスリン自己注射を継続できるように、「見守りシステムを開発・検証」し、重症化（透析導入）の予防を促進することである。

3. 研究の方法

本研究では、高齢糖尿病患者の在宅でのインスリン自己注射を見守り継続をサポート

する「見守りシステム」として、センサーシステムとコミュニケーションロボットを活用して家族や医療福祉従事者と連携しながらサポートするシステムを開発し、検証していくこととした。具体的には、“注射器の格納容器にセンサーを付けて開閉・取出しモニタリングすること”と“コミュニケーションロボットによる注射の誘導と支援を行う”システムを考えた。

開発・検証を進める方法として、次の Step1) から Step3) の順に開発を進め、試験運用・評価を行うこととした。

Step1) インスリン見守りシステム ver. 1 (センサーによる在宅インスリン療法の状況把握システム)

まずは、インスリン注射器の格納容器にセンサーを付けて容器の開閉・注射器の取出しデータをモニタリングすることに絞ったシステムを開発することとした。また、システムを実際の高齢糖尿病患者に試験導入し、評価することとした。

Step2) インスリン見守りシステム ver. 2 (注射器格納容器の改良とモニタリングシステムの拡張)

次に、Step1) の試験導入で確認された課題を基に、注射器格納容器を小型で持ち運びが可能な容器に改良すると共に、医師によるモニタリングのみではなく、地域医療福祉において関係する医療従事者や家族も容易にモニタリングでき、かつコミュニケーションも促進できるようにシステムを拡張させることとした。

Step3) インスリン見守りシステム ver. 3 (コミュニケーションロボットによる注射の誘導と支援機能の追加)

最後に、コミュニケーションロボットを高齢者の自己注射の誘導と支援、更にはコミュニケーションをとることによる癒やしや生活サポートができる機能の追加を行った。

4. 研究成果

開発手順 Step1) から Step3) の開発・検証成果を以下にまとめる。

4.1 インスリン見守りシステム ver. 1

高齢患者の自宅に、センサー付きインスリン注射器格納容器を設置し、一緒に設置するタブレット端末を介してサーバにセンサー情報を蓄積・分析することができる。医師や看護師、ケアワーカー、家族らは、パソコンや携帯電話、タブレット端末の web ページ上から注射器格納容器の使用状況を確認することができる。(図 1)

注射器格納容器には、容器の開閉センサー(図 2 の①)と、注射器の取戻しセンサー(図 2 の②)をつけ、複数センサーでより正確な情報を得られるようにした。容器サイズは 72

×200×32mm であり、場所をとらないペンケースサイズである。注射器格納容器とタブレット端末は Bluetooth3.0 で無線接続する。容器のセンサーを動作させるためと、タブレット端末を長期間使用し続けるためには、電源供給が必要になるが、コンセントに 1 つ接続するだけ(図 2 の③)で用意にシステムを使用し始められる。また、動作に必要な電力量は、微弱電力機器であるため、1 日あたり推定最大 0.23kw (24 時間使用) で 6 円(1kwh=26 円換算)で使用することができる。これらのことから、患者の負担を少なく導入できるシステムとした。

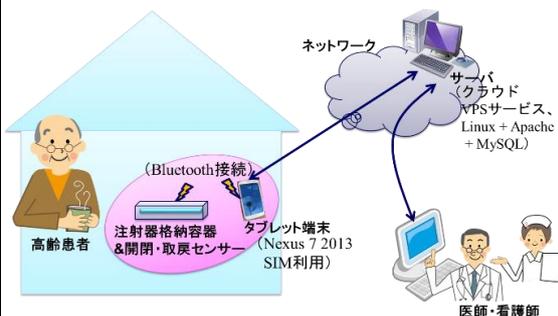


図 1 インスリン見守りシステム ver. 1 の構成



図 2 センサー付き注射器格納容器 (患者側端末)

サーバはクラウド VPS サービスを利用し、Linux 上に Apache と MySQL を用いてシステムを構築した。サーバには、タブレット端末経由で容器の開閉・注射器の取り戻し情報が、患者 ID と操作時刻とともに送信され、web システムのデータベース上に格納される(図 3)。システム上では患者の情報は患者 ID のみで管理し、個人を特定できないようにし、個人情報保護の配慮をしている。医師、看護師などの見守り者は、手元の紙資料で患者 ID と患者名を対応させて確認する。

患者ID	日時	取得情報
001	2014.01.08-8:01	open
001	2014.01.08-8:02	taken
001	2014.01.08-8:08	return
001	2014.01.08-8:09	close
001	2014.01.08-12:20	open
001	2014.01.08-12:21	taken
...

図 3 システム上のデータベース内容

データベースに格納されたセンサー情報は、見守り者側がひと目で注射器の利用状況を把握できるように、日にちごとに行を分けた表に、容器の開閉を O:Open と C:Close で記した上で、容器を開けていた時間を帯で視覚化させた。また、注射器の取り戻しについても、T:Taken と R:Return と記した上で、同様に取り出し時間を視覚化させた (図 4)。

特に、インスリン療法の 3 つ目のタイプである基礎インスリン製剤と追加インスリン製剤の両方を使用する患者の場合は、正しい製剤が使用されているかどうかも重要になるため、製剤の注射器の色に合わせて、注射器格納容器の色を選択するようにした。そして、表示画面にも注射器の色に合わせた視覚化を行った。

以上の視覚化により、インスリン療法における問題となる注射器利用状況の異常 (4) の (1)~(3) をひと目で把握できるようになった。(図 4) (1) 注射を打つのを忘れたケースは図 4 の②と③で確認できる。(2) 注射を打つのを忘れて複数回打ってしまったケースは図 4 の①で、(3) 打つべき製剤を誤って打つたケースは図 4 の④で確認できる。



図 4 注射器利用状況の異常検知例

開発したシステムを、1 ヶ月の試験運用を行った後に、3 週間の臨床実験を行うこととした。試験運用においては、筆者の自宅で、1 日 3 回の追加インスリン製剤の接種を想定して行った。患者側と見守り者がスムーズに使用できるように、エラーの除去や使いやすさの向上、画面の見易さの向上など、約 50 項目の改善を行った。

その上で、臨床実験においては、実際の高齢患者に導入し、システムの動作確認「家庭にシステムを入れた場合に正しく作動するか、どういう課題があるか」、及び「得られた情報で注射の利用状況を想定どおりに把握できるか」を評価することとした。

【対象患者】今回導入した患者は、66 歳の女性 1 名で、基礎インスリン製剤 1 日 1 回の注射 (就寝前) 及び追加インスリン製剤 1 日 3 回 (基本的に食前) の注射併用の患者である。認知症状は見られず、医師の診察を通して、これまでほぼ忘れずに正確に注射を打っていたと想定される。日常から日中の外出もみ

られるが、その時は外出先で接種している。

【システム設置状況】システム導入期間は約 3 週間で、2 種類の製剤を使用しているため、インスリン見守りシステムを 2 セット設置した。注射器の色に合わせたセンサー付き注射器格納容器を用い、就寝前に打つ基礎インスリン製剤 (オレンジ) の容器は寝室に設置し、食前に打つ追加インスリン製剤 (ブルー) の容器はリビングに設置した。

【システムの動作確認方法】それぞれの容器からセンサー情報が取得されているかどうかを web 上の情報取得画面で確認し、システムが動作しているかどうかを確認した。また、システム上で確認できた情報が実際に患者が容器を利用した情報であることを、実施期間に数回電話で確認した。

【注射の利用状況とセンサー情報との同一性確認方法等】患者に注射を行ったかどうかのチェック表 (紙) にチェックをしてもらうと共に、機器の操作性やトラブルについて日々記してもらうこととした。その上で、実施実験終了後に、web 上で得られた情報が実際の状況に合ったものであるかを患者にヒアリングしながら確認することとした。

【システム有効性の評価方法】

患者及び医師・看護師へのヒアリングを通して評価することとした。(定量的な評価については今後の課題である)

【倫理審査の承認について】臨床実験を行うにあたっては、千葉県立東金病院の倫理審査委員会に研究実施計画書等を提出し、承認を得た後、実施した。

臨床実験の結果は次の通りである。web 上で得られた注射器格納容器利用情報取得画面の結果は図 5 に示すとおりである。

【基礎インスリン接種の取得情報】

- ・18/20 回取得 (うち 3 回は開閉情報欠落 (問題なし))
- ・取得できなかった 2 回は、本人へのヒアリングで外出していたことを確認できた。

【追加インスリン接種の取得情報】

- ・47/58 回取得
 - ・取得できなかった 11 回は、本人へのヒアリングで外出していたことを確認できた。
- 以上のことから取得すべき注射器利用情報は 100%取得できたことが確認できた。また、患者へのヒアリングで次のコメントが得られた。

- ・容器の使い勝手は悪くない。かえって、容器があると便利である。
 - ・見守られる安心感がある
- 更に、医師、看護師等へのヒアリングでは次のコメントが得られた。
- ・在宅インスリン療法の実情が把握できるのは画期的である
 - ・容器でモニタリングができる、十分使えるシステムであることが分かった
 - ・ケアワーカーも含めた地域医療連携に活用していくと効果が得られると思われる

時刻	0	3	6	9	12	15	18	21	24
2014年3月24日(月)									
2014年3月23日(日)									
2014年3月22日(土)									
2014年3月21日(金)									
2014年3月20日(木)									
2014年3月19日(水)									
2014年3月18日(火)									
2014年3月17日(月)									
2014年3月16日(日)									
2014年3月15日(土)									
2014年3月14日(金)									
2014年3月13日(木)									

図5 臨床実験での情報取得結果画面

臨床実験の結果より、開発したインスリン見守りシステムは、高齢患者にも容易に利用できるものであり、且つ、プライバシーにも配慮したシステムとして活用できることが確認できた。

本システムに類似したシステムとして、服薬見守りシステムがあげられる[5][6]。Step1)で開発したインスリン見守りシステムは、既存の服薬見守りシステムに類似したシステムではあるが、服薬システムではフォローできないインスリン療法に特化したシステムであり、高齢者糖尿病症例が増えている社会的な必要性に応えるシステムである。また、既存の服薬見守りシステムと比較したインスリン見守りシステムの特徴としては、次の内容があげられる。

- (1) 注射器格納容器に簡易なセンサーをつけたオリジナル容器を開発したため、安価に導入することが可能である。
- (2) センサー情報は、タブレット端末で取得し、サーバーとの送受信を行う仕組みであることから、パソコンのように場所をとることは無く、安価に手軽に導入することが可能である。また、スマートフォンを持っている患者であればアプリを入れれば新たにタブレット端末を設置する必要は無い。
- (3) センサー情報取得画面が「日にち」と「時間」軸でひと目で分かりやすい表示である。

4.2 インスリン見守りシステム ver. 2

Ver. 1 システムの試験運用時に課題となった外出時の確認情報欠如に対し、注射器格納容器を持ち運びを行いやすいように、小型化・軽量化・省エネ・ボタン電池式に改良した(サイズ:横×縦×深さ=20×4×4cm、重さ:78g)。センサー機能は以前の実施導入(千葉県立東金病院)で用いた ver. 1 と変わりな

く、注射器格納ケースに開閉センサー(図6①)と注射器取り出し取り戻しセンサー(図6②)を取り付け、容器内にセンサー情報を統括する制御ボード(図6③)を内蔵させている。また、容器の外にタブレット端末を設置し、制御ボードとBLE(Bluetooth Low Energy)で通信させてセンサーシステムの遠隔管理とセンサー情報のサーバへの蓄積が行えるようにした。



図6 センサー付き注射器格納ケース

2種類の注射器を使用している患者には、注射器格納ケースを2つ用意し、日頃置いている場所にそれぞれ置けるようにした。また、誤りが無いように格納ケースの色を識別できるように青と赤のケースを用意した。

また、ver. 1 ではセンサー情報を一方的に取得するのみであったが、注射器格納容器のセンサーを受け取るタブレット端末を活用し、見守り者からのメッセージを音声で流したり、また受け取ったメッセージに対する返事を音声で入力し、見守り者に返したりすることができるように機能拡張した。

本システムを多くの医師やケアワーカー等に見てもらい現場ニーズをヒアリングした。結果、地域との繋がりを持つ診療所やかかりつけ医、訪問医療現場において、より活用できる可能性があることが確認できた。

4.3 インスリン見守りシステム ver. 3

まず、見守りシステムに活用するロボットを、システムの実現の可能性が高く、高齢者への親和性が高いという点で評価し、選定した。PaPeRo i (NEC製)、PALRO (富士ソフト製)、かぼちゃん (ポップ製)、BOCCO (ユカイ工学製)等のロボットを実際に動作させ、機能性や拡張可能性を確認し、システムの実現可能性を検証した。また、高齢者福祉施設や一人暮らし高齢者のところに持参し、ロボットに触れてもらい高齢者との親和性についても評価を行った。その結果、PaPeRo i が利用時の安全性、音声の聞きやすさ、システム開発の自由度の高さの観点から有用性が高いことが分かり、本システムではPaPeRo i を用いることとした。

PaPeRo i には、インスリン注射を打つタイミングに注射を打つ時間であることのアナウンスを行い、打つ注射の種類に間違いが無いかどうかの確認の声がけも行う様に組み込んだ。(図7)また、発話時には、意図し

て伝えたいことがより伝わりやすいように、呼びかけによる返事を待った後に、意図して伝えたい内容の発話を行う機能を活用した。本システムを1週間の試験運用を行い、設定したスケジュールに基づき、誘導・確認が行えることを確認した。

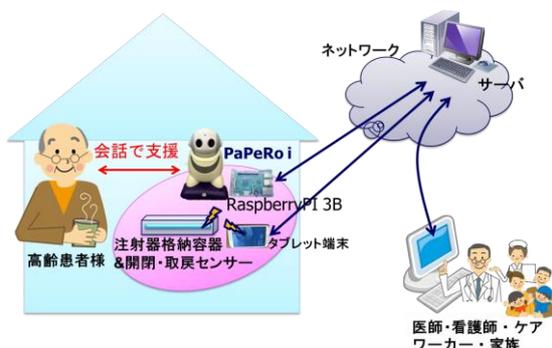


図7 インスリン見守りシステム ver. 3 の構成

以上により、センサーシステムとコミュニケーションロボットを活用して家族や医療福祉従事者と連携しながらサポートする見守りシステムを開発し、検証することができた。

引用文献

- [1] 統計調査委員会. 日本透析医学会. 図説わが国の慢性透析療法の現状. (2014年4月6日引用). URL: <http://docs.jsdt.or.jp/overview/>.
- [2] Nishihara H., Wakamatsu S., Maeda H. et al. Electric Health Record (HER)-based intensive coaching program "TOGANE" prevents the progression of diabetic nephropathy in Japanese. The 73rd American Diabetes Association Scientific Session 2013: 701-P.
- [3] 米田 多江, 小川 晃子, 佐々木 淳, 他. 岩手県川井村における高齢者見守りネットワークシステムの構築と運用. PCUA 研究論文誌 2006 ; 6 (3) : 31-38.
- [4] 亀田 多江. コミュニケーションロボットを用いた高齢者見守りシステムの一検討. 創価女子短期大学紀要 2014 ; 45 : 39-51.
- [5] 横石 雄大, 鈴木 詩織, 宮崎 圭太, 他. センサーネットワークを用いた服薬見守り (システム設計). 情報処理学会研究報告 2010 ; HCI-140 : 21.
- [6] Inoue T., Nihei M., Ohnaka S. et al. Field-based development of an information support robot for persons with dementia. Technology and Disability 2012, 24: 263-271.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

- [1] 亀田 多江, 渡辺 透, 横山 繁盛, 樋口 雅宏, 市村 洋, 平井 愛山「高齢糖尿病患者の在宅インスリン療法見守りシステムの開発」日本遠隔医療学会雑誌第10巻第2号, p. 209-p. 212, 2014年10月(優秀論文賞受賞)

者の在宅インスリン療法見守りシステムの開発」日本遠隔医療学会雑誌第10巻第2号, p. 209-p. 212, 2014年10月(優秀論文賞受賞)

- [2] 亀田 多江「コミュニケーションロボットを用いた地域福祉施設でのレクリエーション実施の分析」, 創価女子短期大学紀要46号, 2015年2月
- [3] 亀田 多江, 福田歩, 竹内弘美「コミュニケーションロボットを用いたレクリエーションの実施とロボットの認知評価」, 創価女子短期大学紀要49号, 2018年2月

〔学会発表〕(計5件)

- [1] 亀田 多江, 渡辺 透, 横山 繁盛, 樋口 雅宏, 市村 洋, 平井 愛山「高齢糖尿病患者の在宅インスリン療法見守りシステムの開発」第18回日本遠隔医療学会学術大会 JTTA2014, p. 209-p. 212, 2014年10月
- [2] T. KAMEDA, M. HIGUCHI, T. WATANABE, S. YOKOYAMA, H. NISHIHARA, H. MAEDA, S. OONAKA, H. ICHIMURA, A. HIRAI, "Monitoring System for Self-administration of Insulin by Elderly Diabetes," 19th ISfTeH International Conference, 2014. 10
- [3] 福田歩, 竹内弘美, 行田和美, 茂田望, 亀田多江「コミュニケーションロボットを用いたレクリエーションの実施とロボットの認知評価」第18回日本感性工学会大会, P68, 2016年9月(優秀発表賞受賞)
- [4] 野村咲希, 山川裕美, 松本秀美, 太田明希子, 今井京香, 金本友里花, 亀田 多江「高齢者を対象としたレクリエーションにおける人間味のあるロボット発話文の分析と生成」, 第19回日本感性工学会大会ポスター発表P72, 2017. 09
- [5] 樋口雅宏, 亀田 多江「空間知能化におけるコミュニケーションロボットの活用を想定した実践評価」, M2M・IoT研究会 第14回専門部会セミナー, 2017. 10

〔その他〕

亀田研究室ホームページ
<http://home.soka.ac.jp/~anne/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

亀田 多江 (KAMEDA, Tae)

創価女子短期大学・准教授

研究者番号: 50363726

(2) 研究協力者

樋口 雅宏 (HIGUCHI, Masahiro)

渡辺 透 (WATANABE, Toru)

横山 繁盛 (YOKOYAMA, Shigemori)

市村 洋 (ICHIMURA, Hiroshi)

平井 愛山 (HIRAI, Aizan)