

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K12625

研究課題名（和文）CMUT多機能型デバイスによる電気・超音波マルチセンシング技術

研究課題名（英文）Electrical and ultrasonic multisensing technique by CMUT multifunctional device

研究代表者

木本 晃（Kimoto, Akira）

佐賀大学・理工学部・准教授

研究者番号：80295021

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、CMUT多機能型デバイスをもとにした電気・超音波マルチイメージングシステムを確立することを目的とし、CMUT多機能型デバイスの設計・試作とCMUT多機能型イメージングシステムの製作及び性能評価を行った。CMUT多機能型デバイスにおいては、LTCC基板をもとにしたデバイスの製作を試みたが、開発までには至らなかった。しかしながら、デバイスの製作に関する新たな知見を得た。CMUT多機能型イメージングシステムに関しては、実際に製作したシステムの性能評価を行い、本システムの有用性を示すことができ、一定の成果が得られた。今後、研究で得られた成果をもとに、多機能型CMUTイメージングの開発を行う。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、今後の多機能型CMUTデバイスの開発における重要なデータを得ることができ、イメージングシステムを確立したことから、一定の成果が得られた。また、学術的にも、新しい多機能型デバイスの開発において重要な知見が得られた。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research is to develop an electrical and ultrasonic multi-imaging system based on the CMUT multi-functional device. The design and experimental manufacture of the CMUT multi-functional device were conducted, and the CMUT multi-functional imaging system was developed and evaluated. In the CMUT multi-functional device, although the device based on the LTCC substrate was designed, it is difficult to develop it since there were many problems. However, we obtained new knowledge on fabrication of the device. In the CMUT multi-function imaging system, the system was actually developed and the performance of the system was evaluated. As a result, the usefulness of the system was presented. In the future, the multi-functional CMUT imaging based on the results of our research will be developed.

研究分野：計測

キーワード：多機能 CMUT 電気インピーダンス 超音波

1. 研究開始当初の背景

乳がんは国内女性のがん罹患率の第1位(2014年)であり、40歳代の女性におけるがん死亡率の中で最も多い原因(2017年)となっている(国立がん研究センターがん対策情報センター調べ)。したがって、がんの死亡率を下げるためには、定期的な検診による早期発見が重要である。現在、乳がんの検診では、画像診断としてマンモグラフィや超音波診断により行われている。しかしながら、受診率が低いことから、簡便な検査が望まれる。

本研究では、簡便でヒトにやさしい検査システムをコンセプトに、乳がん早期発見のための新しい可視化システムの確立を目指している。これまで、超音波診断装置が乳がん診断に利用されていること、生体の電気インピーダンス測定により早期発見の可能性があること(T. Morimoto et al. *J. Invest. Surg.* 1993, 6, 25-32)に加え、申請者らは、電気・超音波多機能型センサを開発したことから乳がん簡易検査のための電気・超音波可視化システムを提案した。実際に、多機能型圧電素子による電気・超音波イメージングシステムを確立し、同一空間内の同時イメージングの可能性を得た。さらに、実用化を目指し、リニアアレイ型電気超音波積層型デバイスによるイメージングシステム(1号機)を開発した。実際に、3層乳がんモデルにより、超音波Bモード画像から、電気インピーダンス画像が改善され、腫瘍層の検出が可能であり、本システムの有用性を明確にした。しかしながら、現状の積層型デバイスでは超音波Bモード画像の質の低下が見られ、整合層に起因する積層構造の課題を解決する必要がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、整合層を必要としない、すなわち、音響インピーダンスが生体に近い静電駆動型超音波トランスデューサ(CMUT)を電気・超音波マルチイメージングシステム用に応用し、構造が簡便でフレキシブルな多機能型デバイスを開発することで現状の課題を解決することである。本研究は、生体用の新しいマルチセンシングの開発という点から学術的意義だけでなく臨床的な有効性も高い。さらに、ウェアラブルセンシングデバイスへの応用が期待できることから波及効果も大きく、早急に確立すべき重要な研究である。

3. 研究の方法

本研究では、以下の2つのことを行った。

① CMUT 多機能型デバイスの設計及び試作

多機能型デバイスを設計及び試作した。デバイスの設計として、シリコン(Si)をベースとして10 MHz程度の超音波測定及び100 kHzでの電気インピーダンス測定を可能とするCMUT多機能型デバイスを製作する。シミュレーション(Femtet)により2 MHz程度でのCMUTセルを設計した。試作は、貫通配線が施されたLTCCをもとにプロセス設計し、製作を行った。生体への巻き付けや貼り付けに必要なフレキシブル性を持たせるために、超音波トランスデューサのセルの集合体である1要素のサイズを5 mm角とし、個々の要素間に空間を設けてフレキシブルシートに実装する構造とした。

② CMUT 多機能型イメージングシステムの製作及び性能評価

多機能型CMUTをもとにした16チャンネル円筒型イメージングシステムを製作した。製作したイメージングシステムを評価するために、これまでの実績をもとに、石膏を挿入した食塩水モデルにより、CMUT多機能型イメージングによる画像再構成を行い、測定精度及び分解能を評価した。

4. 研究成果

① CMUT 多機能型デバイスの設計及び試作

図1に多機能型CMUTデバイスの製作プロセスの概略図を示す。まず、LTCC基板の電極部にTiを塗布し(図1(a))、ボンディングのためのAuを成膜する(図1(b))。次に、CMUTのダイアフラムの部分及びボンディング下地部分をDeap RIEによりそれぞれ加工し(図1(c)(d))、ボンディング下地部分にAuナノ粒子を塗布する(図1(e)(f))。最後に、LTCC基板とSi基板をボンディングし(図1(g))、必要のないSi部分を削除することで多機能型CMUTデバイスが製作される(図1(e))。

本プロセスにより、5mm角で共振周波数2 MHzの多機能型CMUTデバイスの製作を試みたが、多くの課題が見つかり、実際に、測定精度などの評価までには至らなかった。しかしながら、LTCC基板やAuをもとにしたデバイスの製作等における知見を得た。今後、これらの課題を解決し、デバイス作製後、評価を行う。

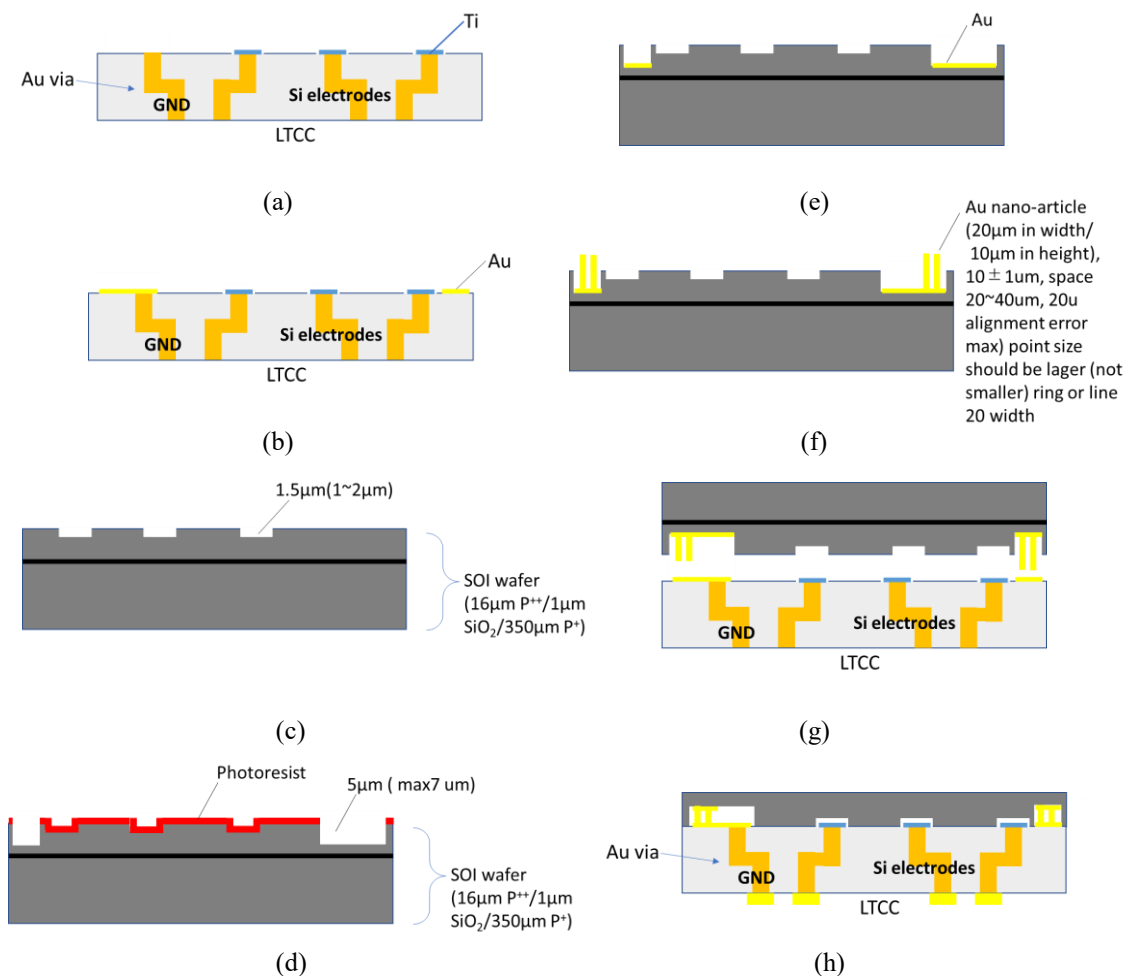


図 1. CMUT デバイス製作プロセスの概略図(a)LTCC プロセス 1 (b)LTCC プロセス 2 (c) Si プロセス 1 (d) Si プロセス 2 (e) Si プロセス 3 (f) Si プロセス 3 (g) ボンディングプロセス 1 (h) ボンディングプロセス 2

② CMUT 多機能型イメージングの実験及び性能評価

CMUT デバイスをもとにした 16 チャンネル多機能型イメージングシステムの製作と評価を行った。図 2 に測定システムの概略図を示す。また、図 3 に測定システムの写真を示す。図 2、図 3 に示すように、16 個の CMUT デバイスを模擬した圧電素子を生体モデルとしての円筒型容器の周囲に配置したものである。CMUT 測定を可能とする T バイアス回路をそれぞれの圧電素子に接続した。システムは電気インピーダンス測定用回路、超音波測定回路、16 チャンネル切替回路、圧電素子表面電極切替回路の 4 つの部分から構成され、マイコンによりコントロールされた。

実験として、まず、円筒型疑似 CMUT 多機能型デバイス中に 0.1%濃度の食塩水(導電率 $\sigma=0.25$ S/m)を満たし、電気インピーダンス測定及び超音波測定を行い、システムの測定精度の評価を行った。電気インピーダンスは、16 個の電極のうちの 1 対の電極を選び、100kHz、250mA の電流を流し、残りの電極に生じる電圧を測定した。超音波測定は、1 つの圧電素子に 2 MHz、10 V $_{peak-peak}$ の正弦波 5 波、インターバル 10 ms からなるバースト波を送信し、それにより生じる反射波及び透過波を測定し、伝搬時間を計算した。図 4 にインピーダンス測定結果を示す。横軸は電流電極の反時計回りの電極番号を示す。電流電極は 1 対の対極電極として、16 個の組み合わせで測定された。それぞれの測定値は 16 個の組み合わせで得られた電流電極での平均値とそのばらつきを示す。結果として、各電圧の測定の電気インピーダンス測定の誤差は約 0.9 %以下、有限要素法で計算した電気インピーダンスとの誤差は最大で 3.2 %であった。1 つの電流電極ついで測定された電圧の安定度は 0.5 %程度であった。図 5 に超音波伝搬時間測定の結果を示す。横軸は送信波として用いた圧電素子の番号を、縦軸は、送信に用いた圧電素子と対抗する圧電素子で得られた伝搬時間から測定した距離を示す。結果から、各素子間でのばらつきは 0.8 mm、計算値との誤差は ± 0.8 mm の精度で得られることが分かった。また、電気インピーダンス及び超音波伝搬時間測定でそれぞれ 1 画素を得るためのデータ取得時間は 250 ms 以下であった。これらの測定精度及び測定時間は、これまでの本研究で製作したシステムから改善が図られ、有用なシステムが確立された。さらに、CMUT デバイスを駆動するための T バイアス回路を用いても電気インピーダンスの測定が可能であることがわかった。

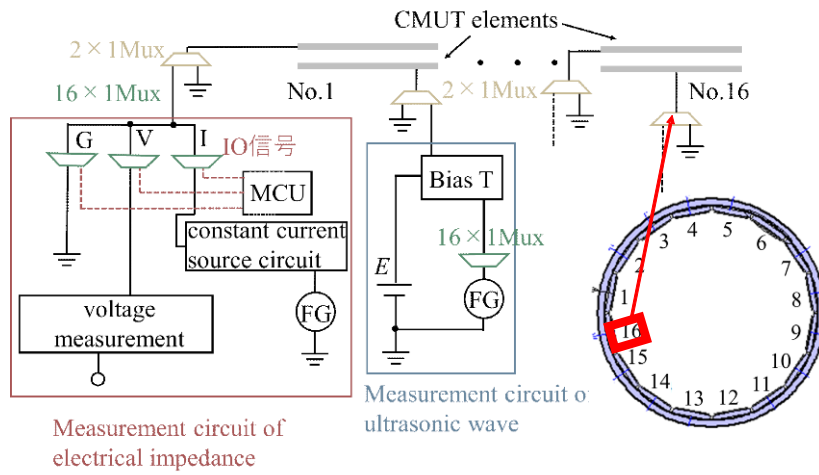


図2 測定システムの概略図

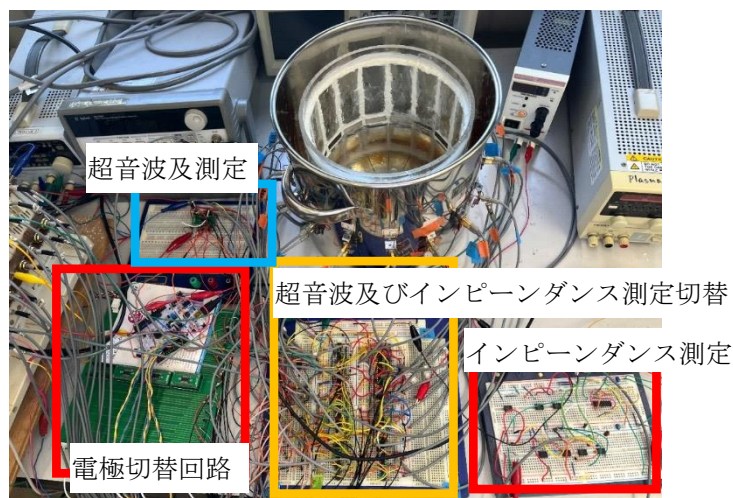


図3 測定システムの写真

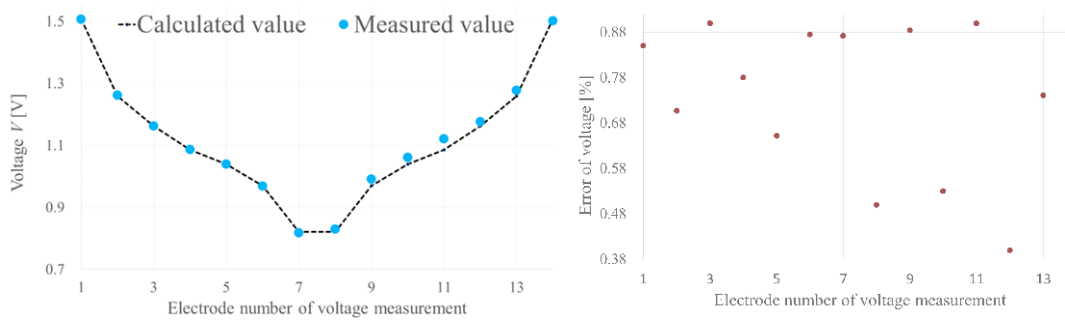


図4 電気インピーダンスの測定結果

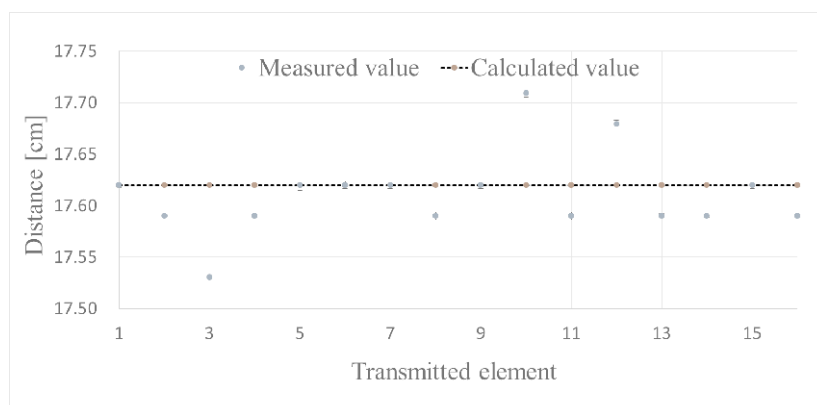


図5 超音波伝搬時間測定結果

次に、本システムにおける再構成を行った。実験モデルとして、0.1%濃度の食塩水中に直径 30 mm の石膏導電率 $\sigma \approx 0.045 \text{ S/m}$ を挿入したときの電気インピーダンス及び超音波伝搬時間のイメージングを行った。図 6 に再構成モデルを示す。図 7 に電気インピーダンスの再構成結果を示す。結果から、石膏の再構成は困難であることがわかる。図 8 超音波伝搬時間の再校正結果を示す。結果から、空間分解能は十分ではないが石膏の位置を捉えることができています。図 9 に図 8 の伝搬時間の結果をもとに、電気インピーダンスの再構成を行った結果を示す。結果から超音波情報を利用することで、石膏の導電率、位置とも明確に再構成できることが示され、本システムの有用性を示すことができた。

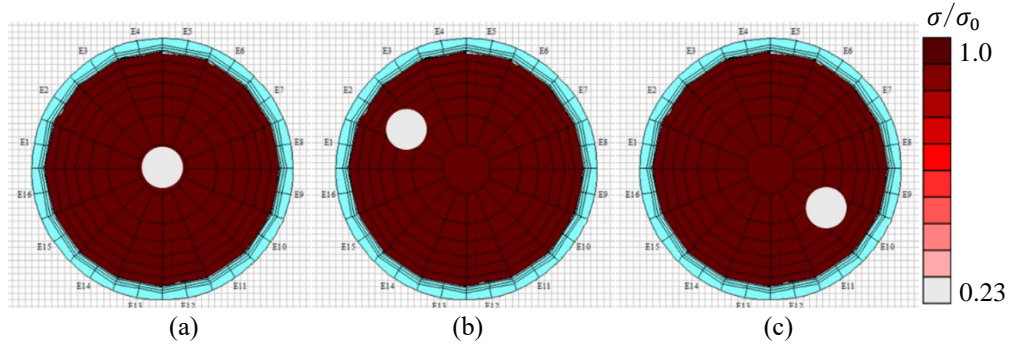


図 6 モデルの概略図 石膏の挿入位置(a)中心 (b)電極 2 側 (c) 電極 10 側

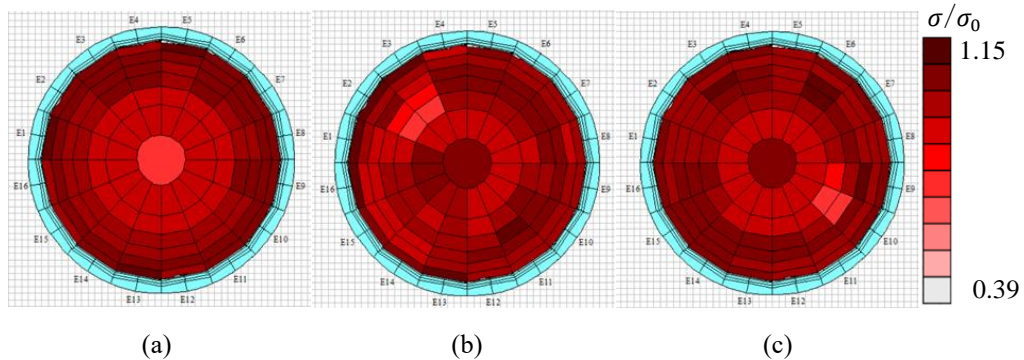


図 7 電気インピーダンスの再構成結果 石膏の挿入位置(a)中心 (b)電極 2 側 (c) 電極 10 側

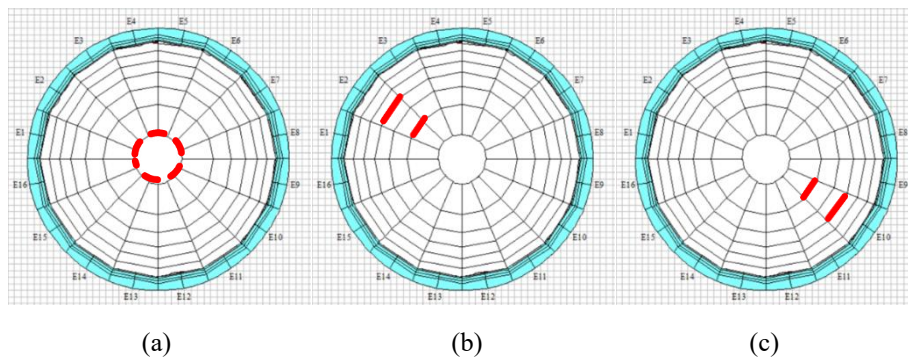


図 8 超音波伝搬時間の再構成結果 石膏の挿入位置(a)中心 (b)電極 2 側 (c) 電極 10 側

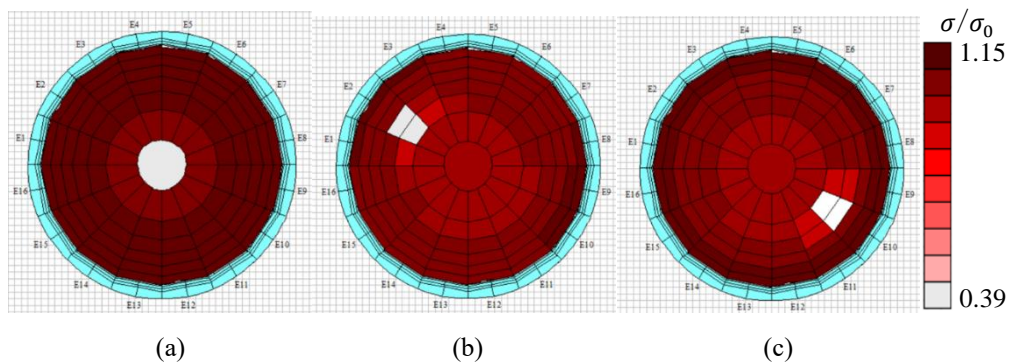


図 9 超音波伝搬時間をもとにした電気インピーダンスの再構成結果 石膏の挿入位置(a)中心 (b)電極 2 側 (c) 電極 10 側

以上、本研究により、今後の多機能型 CMUT デバイスの開発における重要なデータを得ることができ、イメージングシステムを確立したことから、一定の成果が得られた。また、学術的にも、新しい多機能型デバイスの開発において重要な知見が得られた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 田中陸斗, 近藤瑞軌, 松永忠雄, 木本晃
2. 発表標題 多機能型CMUT イメージングの回路構成の検討
3. 学会等名 IEEE 主催 2021 年度学生研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 近藤 瑞軌, 阿部 泰大, 木本 晃, 松永 忠雄
2. 発表標題 シミュレーションによる多機能型CMUT セルの基礎的検討
3. 学会等名 IEEE 主催 2020 年度学生研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中陸斗, 近藤瑞軌, 松永忠雄, 木本晃
2. 発表標題 CMUTをもとにしたマルチイメージングのための測定システムの検討
3. 学会等名 第39回センシングフォーラム
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	松永 忠雄 (Matsunaga Tadao) (00396540)	鳥取大学・工学研究科・准教授 (15101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------