

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25年 6月 10日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009年～2012年

課題番号：21380171

研究課題名（和文） 超高感度細胞呼吸計測技術を応用した哺乳動物卵子ミトコンドリア機能解析

研究課題名（英文） Analysis of mitochondrial function in mammalian oocytes using electrochemical microscopy

研究代表者

阿部 宏之 (ABE HIROYUKI)

山形大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：10375199

研究成果の概要（和文）：

本研究では、電気化学イメージング技術を応用した超高感度細胞呼吸測定システムを開発し、未成熟卵子から着床胚に至る一連の生殖プロセスにおけるミトコンドリア呼吸機能の解析を試みた。その結果、単一卵子及び胚の呼吸量を高感度・非侵襲的に測定することができる超高感度ディスク型マイクロ電極と非侵襲呼吸測定液を開発し、これら要素技術を応用した走査型電気化学顕微鏡（SECM）システムの開発に成功した。この SECM システムを用いてウシ及びマウスの単一卵子及び胚の呼吸量を測定した結果、卵子の体外成熟と胚の発生過程における呼吸量変化が明らかになった。また、この呼吸量変化はミトコンドリアの膜電位活性及び呼吸鎖複合体（Cox）遺伝子発現などのミトコンドリア呼吸機能と密接に関連していることが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：

Oxygen consumption is a ubiquitous parameter which can provide valuable information on metabolic mechanisms, and oocyte and embryo quality. The aim of this study was 1) to develop a device to measure cellular respiration of single oocytes and embryos based on scanning electrochemical microscopy (SECM) and 2) to assess the mitochondrial respiration function, such as oxygen consumption and gene expression of cytochrome c oxidase (Cox) in single oocytes and embryos at different developmental stages. We succeeded in development of a modified SECM measuring system including Pt-microdisk electrodes and respiration assay medium can monitor the oxygen consumption rate of single oocytes and embryos. Using this system, we can measure respiration activity by single embryos and oocytes of bovine and mice at different developmental stages. Development of mitochondrial respiration activity, such as membrane potential of mitochondria and gene expression of Cox, corresponds to the increase of oxygen consumption rates during the development of embryos.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	8,400,000	2,520,000	10,920,000
2010年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2011年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2012年度	1,700,000	510,000	2,210,000
年度			
総計	15,200,000	4,560,000	19,760,000

研究分野：生殖生物学

科研費の分科・細目：畜産学・獣医学 応用動物科学

キーワード：電気化学計測、細胞呼吸、ミトコンドリア、卵成熟、胚発生

1. 研究開始当初の背景

ミトコンドリアはエネルギー産生など種々の生命現象に関わっているが、卵子及び胚におけるその機能はよく解っていない。ミトコンドリア呼吸は細胞代謝活動の有効な指標となることから、精度の高い呼吸計測技術は細胞の呼吸代謝機能解析やクオリティ評価に有効である。これまでに、蛍光発色法や酸素センサーを用いた細胞呼吸測定法が考案されているが、測定感度や侵襲性などの面で課題があり実用化されていない。研究代表者らは、酸化反応で生じる酸素消費を高感度・非侵襲的に測定できる電気化学イメージング技術に着目し、独自の研究を進めてきた。その結果、マイクロ電極をプローブとする走査型電気化学顕微鏡(SECM)を用いた呼吸活性測定技術を開発するとともに、呼吸計測と生物学的解析の異分野融合研究により、胚の品質とミトコンドリア機能が密接に関係していることを明らかにしてきた。

2. 研究の目的

哺乳動物において未成熟卵子から受精を経て着床までの一連の生殖プロセスにおけるミトコンドリアの呼吸機能はほとんど明らかになっていない。本研究では、電気化学イメージング技術を応用した高感度単一細胞（卵子）呼吸解析システムを開発し、未成熟卵子から着床胚に至る一連の生殖プロセスにおけるミトコンドリア呼吸機能の解析を目的とした。具体的には、(1)走査型電気化学顕微鏡(SECM)をベースに単一卵子レベルのミトコンドリア呼吸計測が可能な超高感度非侵襲細胞呼吸解析システムの開発と、(2)家畜や実験動物の卵子及び胚を研究材料に、呼吸計測技術と生物学的解析技術を駆使し、未成熟卵子から着床胚に至る一連の生殖プロセスにおけるミトコンドリア呼吸機能変化の解析を目的とした。本研究では、これまでほとんど明らかになっていない未成熟卵子のミトコンドリア呼吸機能や卵子成熟過程における呼吸能変化、受精や胚発生過程で起こる核ゲノムとミトコンドリアゲノムによる呼吸機能調節など、哺乳動物の生殖プロセスにおけるミトコンドリア呼吸機能の全容解明の基盤構築を目指した。

3. 研究の方法

本研究では、研究期間の前半（平成 21～22 年度）において、単一卵子呼吸測定システム

を開発するために、(1)超高感度マイクロ電極と(2)非侵襲呼吸測定液の開発を行った。(1)では、高感度ディスク型マイクロ電極を安定的に作製するためにガラスキャピラリー先端径を特定するとともに、マイクロ電極の耐久性と熱封止法条件を検討し、単一卵子の呼吸計測を可能とする高感度ディスク型マイクロ電極の作製を試みた。(2)では、受精卵培養液をベースに、マイクロ電極の計測感度に影響を与えない非侵襲呼吸測定液の製作を試みた。研究期間の後半（平成 23～24 年度）では、前半に開発した高感度細胞呼吸測定システムを用いて、ウシ及びマウスの卵子と胚の呼吸量を測定し、この測定システムの有用性を検証した。さらに、ミトコンドリア呼吸機能を解析するために、卵子成熟及び胚発生過程におけるミトコンドリア膜電位活性、ATP 含量及び呼吸鎖複合体IV（シトクローム c オキシダーゼ：Cox）遺伝子の発現を解析した。

4. 研究成果

本研究では、電気化学イメージング技術を応用した超高感度細胞呼吸測定システムを開発し、未成熟卵子から着床胚に至る一連の生殖プロセスにおけるミトコンドリア呼吸機能の解析を行った結果、以下の研究成果が得られた。

- (1) 超高感度マイクロ電極の開発：電解エッチング法と熱封止法を改良することで、先端径5 μm の高感度ディスク型マイクロ電極を安定的に作製する技術を確立することができた。
- (2) 非侵襲呼吸測定液の開発：マウスやヒトの胚の培養に用いられるHTF培地を基本とする呼吸測定液を製作した。(1)で開発したマイクロ電極と呼吸測定液を用いてウシ及びマウス胚の呼吸量を測定した結果、単一卵子及び胚の呼吸量の測定に成功した。
- (3) 卵子及び胚のミトコンドリア呼吸機能解析：ウシ及びマウスの卵子・胚の呼吸量を測定した結果、卵子の体外成熟と胚の発生過程における呼吸量変化が明らかになった。ウシ卵子では、成熟に伴い呼吸量の増加とミトコンドリアの各周縁部への移動が観察された。RT-PCRを用いてCox遺伝子の発現を解析した結果、核ゲノムとミトコンドリアゲノムそれぞれに由来するCoxサブユニットのmRNAの検出に成功した。受精後の胚発生過程において

、呼吸量は胚発生の進行に伴い増加し、この変化はミトコンドリアの膜電位活性の上昇、ATP含量及びCox遺伝子の発現の増加と密接に関連していることが明らかになった。

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20件)

- (1) 阿部宏之 (2013) 細胞呼吸計測技術を応用した胚品質評価システムの開発、日本胚移植学雑誌、35 (1): 7-14. (査読無)
- (2) 横尾正樹、阿部宏之 (2012) 電気化学的計測技術を用いた卵子の呼吸活性解析、J. Mamm. Ova Res., 29 (4):170-174. (査読有)
- (3) 阿部宏之 (2011) 走査型電気化学顕微鏡を用いた胚の評価法、産科と婦人科、78(8):967-972. (査読無)
- (4) Yoshida H., Abe H., Arima T. (2013) Quality evaluation of IVM embryo and imprinting genes of IVM babies. J. Assit. Reprod. Genet., 30(2): 221-225. (査読有)
- (5) Date Y., Takano S., Shiku H., Ino K., Ito-Sasaki T., Yokoo M., Abe H., Matsue T. (2011) Monitoring oxygen consumption of single mouse embryo on an integrated electrochemical microdevice. Biosen. Bioelectron., 33(1):106-112. (査読有)
- (6) Yamanaka M., Hashimoto S., Amo A., Ito-Sasaki T., Abe H., Morimoto Y. (2011) Developmental assessment of human vitrified-warmed blastocysts based on oxygen consumption. Hum. Reprod., 26(12):3366-3371. (査読有)
- (7) Kurotani R., Okumura S., Matsubara T., Yokoyama U., Buckley J.R., Tomita T., Kezuka K., Nagano T., Esposito D., Taylor T.E., Gillette W.K., Ishikawa Y., Abe H., Ward J.M., Kimura S. (2011) Secretoglobin 3A2 suppresses bleomycin-induced pulmonary fibrosis by TGFbeta signaling down-regulation. J. Biol. Chem., 286 (22):19682-19692. (査読有)
- (8) Hirobe T., Yoshihara C., Takeuchi S., Wakamatsu K., Ito S., Abe H., Kawa Y. Soma Y. (2011) A novel deletion mutation of mouse ruby-eye 2 named ru2d/Hps5ru2-d inhibits melanocyte differentiation and its impaired differentiation is rescued by L-tyrosine. Zool. Sci., 28:790-801. (査読有)
- (9) Yamashiro H., Toyomizu M., Kikusato M., Toyama N., Sugimura S., Hoshino Y., Abe H., Moisyadi S., Sato E. (2010) Lactate and adenosine triphosphate in extender enhance the cryosurvival of rat epididymal sperm. J. Am. Assoc. Lab. Anim. Sci., 49:160-166. (査読有)
- (10) Sakagami N., Yamamoto T., Akiyama K., Nakazawa Y., Kojima N., Nishida K., Yokomizo S., Takagi Y., Abe H., Suzuki C., Yoshioka K. (2010) Viability of porcine embryos after vitrification using water-soluble pullulan films. J. Reprod. Dev., 56 (2):279-284. (査読有)
- (11) 後藤香里、小池恵、熊迫陽子、宇津宮隆史、荒木康久、阿部宏之 (2010) 電気化学的呼吸計測技術におけるヒト胚クオリティー評価と安全性、受精着床学会雑誌、27(1):53-58. (査読有)
- (12) Kimura N., Tsunoda T., Iuchi Y., Abe H., Totsukawa K., Fujii J. (2010) Intrinsic oxidative stress causes either two-cell arrest or cell death depending on developing stages of the embryos from SOD1-deficient mice. Mol. Hum. Reprod., 16:441-451. (査読有)
- (13) Sugimura S., Yokoo M., Yamanaka K., Kawahara M., Wakai T., Nagai T., Abe H., Sato E. (2010) Anomalous oxygen consumption in porcine somatic cell nuclear transfer embryos. Cell. Reprogram., 12(4):463-474. (査読有)
- (14) 後藤香里、小池恵、熊迫陽子、宇津宮隆史、阿部宏之 (2010) 選択的単一胚移植 (eSET) における移植胚選別困難例に対する呼吸量測定の有用性、産婦人科の実際、59(8):1277-1281. (査読無)
- (15) 横尾正樹、伊藤-佐々木隆広、珠玖 仁、末永智一、阿部宏之 (2010) 呼吸活性を指標とした胚の品質評価 -マウス胚移植試験の成績と産子の正常性について、産婦人科の実際、59(9):1375-1379. (査読無)
- (16) 吉田仁秋、阿部宏之、有馬隆博 (2010) IVM 卵・胚のクオリティー評価と IVM にて出生した児の epigenetic の検討、J. Reprod. Engineer., 13:7-14. (査読無)
- (17) Shiku H., Yamakawa T., Nashimoto Y., Takahashi Y., Torisawa Y., Yasukawa T., Ito-Sasaki T., Yokoo M.,

- Abe H., Kambara H., Matsue T. (2009) A microfluidic dual capillary probe to collect messenger RNA from adherent cells and spheroids. *Anal. Biochem.*, 385:138-142. (査読有)
- (18) Murakawa H., Aono N., Tanaka T., Kikuchi H., Yoshida H., Yoshida H., Yokoo M., Abe H. (2009) Morphological evaluation and measurement of the respiration activity of cumulus-oocyte complexes to assess oocyte quality. *J. Mamm. Ova Res.*, 26:32-41. (査読有)
- (19) Kyono K., Nakajo Y., Nishinaka C., Hattori H., Kyoya T., Ishikawa T., Abe H., Araki Y. (2009) A birth from the transfer of a single vitrified-warmed blastocyst using ICSI with calcium ionophore oocyte activation in a globozoospermic patient. *Fertil. Steril.*, 91:e7-e11. (査読有)
- (20) Shiku H., Takano S., Date Y., Ino K., Abe H., Matsue T. (2009) Monitoring respiration activity of mouse embryo on an integrated electrochemical microdevice. *J. Biosci. Bioengin.*, 108:S164. (査読有)
- [学会発表] (計34件)
- (1) Sakahara S., Watanabe T., Takakura K., Kurotani R., Abe H. (2012) Multiple analyses of mitochondrial respiration activity in single mouse embryos. International Joint Symposium on Single-Cell Analysis, (Kyoto Research Park Building No.1 Science Hall, Kyoto, Japan, November 27-28, 2012)
- (2) Takakura K., Watanabe T., Sakahara S., Kurotani R., Abe H. (2012) Analyses of respiration activity in single culture cells. International Joint Symposium on Single-Cell Analysis, (Kyoto Research Park Building No.1 Science Hall, Kyoto, Japan, November 27-28, 2012)
- (3) 阿部宏之 (2012) 先端工学技術を応用した生殖細胞品質評価システムの開発、平成24年精子研究会(仙台市、東北大学農学部、2012年11月10日)
- (4) 阿部宏之 (2012) 呼吸量測定による胚・卵子品質評価の現状と課題 ～電気化学と生命科学の異分野融合研究は生殖医療を変えるのか?～、第19回日本胚移植研究会大会(富山市、富山大学黒田講堂、2012年9月27-28日)
- (5) 阿部宏之、海藤康平、古舘 晃、高倉 啓、黒谷玲子 (2012) ウシ初期胚におけるシトクロム c オキシダーゼ遺伝子の発現解析、日本動物学会第83回大会(大阪市、大阪大学豊中キャンパス、2012年9月13-15日)
- (6) 木村隼己、野中亜希子、栢本亮太、高倉啓、坂原聖士、黒谷玲子、阿部宏之 (2012) リアルタイム培養細胞観察システムを用いたマウス胚の発生解析、第105回日本繁殖生物学会(つくば市、筑波大学大学会館、2012年9月6-8日)
- (7) 古舘晃、海藤康平、伊藤卓也、田村涼、高倉啓、坂原聖士、黒谷玲子、阿部宏之 (2012) ウシ初期胚におけるシトクロム c オキシダーゼ遺伝子の発現解析、第105回日本繁殖生物学会(つくば市、筑波大学大学会館、2012年9月6-8日)
- (8) 海藤康平、高倉啓、黒谷玲子、阿部宏之 (2012) ウシ初期胚におけるミトコンドリア呼吸機能解析：シトクロム c オキシダーゼ遺伝子発現の解析、第53回日本哺乳動物卵子学会(大阪市、千里ライフサイエンスセンター、2012年5月26-27日)
- (9) 渡邊剛広、島麗香、高倉啓、黒谷玲子、阿部宏之 (2012) マウス初期胚におけるミトコンドリア呼吸機能とシトクロム c オキシダーゼ遺伝子発現の解析、第53回日本哺乳動物卵子学会(大阪市、千里ライフサイエンスセンター、2012年5月26-27日)
- (10) Abe H. (2011) Oocyte and embryo selection based on oxygen consumption. Individualized controlled ovarian stimulation and objective gamete and embryo selection. Sero Symposium International, (Pacifico Yokohama, Yokohama, Japan, December 7, 2011)
- (11) Yamanaka M., Hashimoto S., Amo A., Ito-Sasaki T., Abe H., Morimoto Y. (2011) Prediction for developmental competence of human blastocyst based on its oxygen consumption. The 66th Annual Meeting of American Society for Reproductive Medicine (Orland, USA, October 15-19, 2011)
- (12) 阿部宏之、長畑仁美、栢本亮太、大江将司、黒谷玲子 (2011) リアルタイム培養細胞観察システムを用いたマウス胚発生

- のタイムラプス解析、日本動物学会第82回大会(旭川市、旭川大雪クリスタルホール、2011年9月21-23日)
- (13) 阿部宏之、小川拓、渡邊剛広、黒谷玲子(2011)マウス初期胚におけるミトコンドリア呼吸機能の多項目解析、第104回日本繁殖生物学会大会(盛岡市、いわて県民情報交流センター、2011年9月16-17日)
- (14) 阿部宏之、高倉啓、黒谷玲子(2011)電気化学計測法を応用した単一培養細胞の呼吸能解析の試み、日本動物学会平成23年度東北支部大会(弘前市、弘前大学農学生命科学部、2011年7月30日)
- (15) Kumasako Y., Goto K., Koike M., Utsunomiya T., Araki Y., Abe H. (2011) Respiration activity of a single blastocyst: the relationship between pre-freezing and post-thawing. The 8th Conference of the Pacific Rim Society for Fertility and Sterility (Hong Kong Convention and Exhibition Centre, Hong Kong, May 27-29, 2011)
- (16) 山中昌哉、橋本周、天羽杏実、伊藤隆広、阿部宏之、森本義晴(2011)呼吸量測定による凍結融解胚盤胞の品質評価、第52回日本哺乳動物卵子学会(栃木県大田原市、国際医療福祉大学本校、2011年5月21-22日)
- (17) Abe H., Shiku H., Matsue T. (2010) Analysis of respiratory activity of single oocytes and embryos with a noninvasive and highly sensitive measurement using scanning electrochemical microscopy. 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Honolulu, Hawaii, USA, December 15-20, 2010)
- (18) 小池恵、佐藤晶子、城戸京子、熊迫陽子、宇津宮隆史、荒木康久、阿部宏之(2010)選択的単一胚移植(e-SET)におけるday3胚の呼吸量測定の試み、第55回日本生殖医学会総会・学術講演会(徳島市、あわぎんホール(徳島郷土文化会館)、2010年11月11~13日)
- (19) Koike M., Kumasako Y., Goto K., Ito H., Utsunomiya T., Abe H. (2010) Measurement of oxygen consumption rate of embryos to select the best embryo for e-SET. The 66th Annual Meeting of American Society for Reproductive Medicine (Denver, USA, October 23-27, 2010)
- (20) 阿部宏之、横尾正樹、伊藤(佐々木)隆広、山下祥子、珠玖仁、星宏良、末永智一(2010)電気化学計測技術を応用した受精卵ミトコンドリア呼吸機能解析、日本動物学会第81回大会(東京都、東京大学教養学部、2010年9月23-25日)
- (21) 阿部宏之(2010)高感度呼吸計測による胚・卵の品質評価、第13回日本IVF学会(大阪市、大阪国際会議場・グランキューブ大阪、2010年9月18-19日)
- (22) Nagahata H., Ooe M., Kayamoto R., Abe Y., Abe H. (2010) Time-lapse analysis of mouse embryo development with real-time cultured cell monitoring system. 5th International Symposium on Chemical-Environmental-Biomedical Technology for Young Researchers (isCEBT), Tohoku University, Sendai, September 5-8, 2010)
- (23) 阿部宏之、山下祥子、星宏良(2010)超高精度細胞呼吸計測技術を応用したウシ受精卵ミトコンドリア機能に影響する血清因子の解析、第103回日本繁殖生物学会大会(十和田市、北里大学獣医学部キャンパス、2010年9月2-4日)
- (24) 阿部宏之、山下祥子、星宏良(2010)ウシ胚ミトコンドリア機能に影響する血清因子の解析、日本動物学会平成22年度東北支部大会(福島市、福島県立医科大学光が丘会館、2010年8月7日)
- (25) 阿部宏之(2010)超高感度細胞呼吸測定による胚のクオリティー評価、ART (Assisted Reproductive Technology) Forum'10(横浜市、パシフィコ横浜、2010年7月28日)
- (26) 青野展也、杉村智史、菊地裕幸、田中孝幸、横尾正樹、阿部宏之、吉田仁秋、佐藤英明(2010)異なる成熟培地により得られた体外成熟卵母細胞のミトコンドリア機能への影響、第51回日本哺乳動物卵子学会(新潟市、朱鷺メッセ、2010年5月29-30日)
- (27) 小池恵、佐藤晶子、城戸京子、後藤香里、熊迫陽子、宇津宮隆史、荒木康久、阿部宏之(2010)選択的単一胚移植(e-SET)におけるday3胚の呼吸量測定の試み、第51回日本哺乳動物卵子学会(新潟市、朱鷺メッセ、2010年5月29-30日)
- (28) Kumasako Y., Goto K., Koike M., Utsunomiya T., Araki Y., Abe H. (2010) Clinical efficacy of a novel evaluation method with measurement of the embryo oxygen consumption rate using a scanning electrochemical microscopy. 3rd

Congress of the Asia Pacific Initiative on Reproduction (ASPIRE 2010) (Bangkok, Thailand, April 9-11, 2010)

- (29) 阿部宏之、熊迫陽子、後藤香里、小池恵、城戸京子、宇津宮隆史(2009)電気化学計測技術を応用したヒト胚クオリティ評価、第19回日本MRS学術シンポジウム(横浜市、横浜市開港記念会館、2009年12月7-9日)
- (30) Tanaka T., Aono N., Yokoo M., Abe H., Yoshida H. (2009) Effect of vitrification on metabolism of human embryo. The 65th Annual Meeting of American Society for Reproductive Medicine (Atlanta, USA, October 17-21, 2009)
- (31) Utsunomiya T., Kumasako Y., Goto K., Koike M., Araki Y., Abe H. (2009) Clinical efficacy of a novel evaluation method with measurement of embryo respiration activity using a scanning electrochemical microscopy. The 65th Annual Meeting of American Society for Reproductive Medicine (Atlanta, USA, October 17-21, 2009)
- (32) 阿部宏之、横尾正樹、熊迫陽子、後藤香里、小池恵、宇津宮隆史(2009)電気化学計測技術を応用したヒト胚クオリティ評価、第47回日本生殖医学会東北支部総会学術講演会(山形市、山形大学医学部・山形医学交流会館、2009年10月10日)
- (33) 阿部宏之、齋藤剛史、横尾正樹、珠玖仁、末永智一(2009)超高感度細胞呼吸計測技術を応用した単一卵子呼吸能解析、第80回日本動物学会(静岡市、静岡コンベンションアーツセンターグランシップ、2009年9月17-20日)
- (34) 阿部宏之(2009)呼吸活性から見た胚の選別、第27回日本受精着床学会総会・学術講演会(京都市、国立京都国際会館、2009年8月6-7日)

[図書] (計4件)

- (1) 阿部宏之(2012)胚の呼吸能の測定、図説よくわかる臨床不妊症学入門・生殖補助医療編 第2版、中外医学社、柴原浩章・森本義晴・京野廣一編著、59-68.
- (2) 阿部宏之(2011)卵子・胚のクオリティ評価、卵子学、京都大学学術出版会、614-623
- (3) 阿部宏之(2010)胚の機能検定法、カラーアトラス 不妊治療のための卵子学、鈴木秋悦編、医歯薬出版、p. 127-131.
- (4) 阿部宏之(2010)電気化学計測技術を応

用したシングルセル呼吸機能解析と応用、シングルセル解析の最前線、監修:神原秀記、松永是、植田充美、シーエムシー出版、103-111.

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称: ウェルユニット及び電気化学的分析法
発明者: 青柳重夫、内海陽介、末永智一、珠玖仁、阿部宏之、河野浩之、柏崎寿宣、星宏良、星翼
権利者: 北斗電工(株)
種類:
番号: 特願2010-208817号
出願年月日: 2010年9月17日
国内外の別: 国内

○取得状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等
山形大学工学部: 阿部宏之研究室
(<http://abe-labo.yz.yamagata-u.ac.jp/index.html>)
山形大学研究者情報
(http://yudb.kj.yamagata-u.ac.jp/OUTSIDE?ISTActId=SCHKOB0010RIni001&userId=100000176&lang_kbn=0)

6. 研究組織

(1)研究代表者

阿部 宏之 (ABE HIROYUKI)

山形大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号: 10375199

(2)研究分担者

横尾 正樹 (YOKOO MASAKI)

秋田県立大学・生物資源科学部・准教授

研究者番号: 10396541

(3)連携研究者

珠玖 仁 (SHIKU HITOSHI)

東北大学・大学院環境科学研究科・准教授

研究者番号: 10361164