

令和 5 年 6 月 27 日現在

機関番号：34316

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K06007

研究課題名(和文) 水田転換畑におけるエダマメ連続作付け時の収量不安定要因の解明と対策

研究課題名(英文) Understanding of yield instability of vegetable soybean grown continuously in paddy-converted upland field

研究代表者

大門 弘幸 (Daimon, Hiroyuki)

龍谷大学・農学部・教授

研究者番号：50236783

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：水田転換畑におけるエダマメの安定生産技術の開発を目的に、着莢数制御に関する知見を得るために4年間の研究を遂行した。2月播種の早期栽培において適切な栽植密度を検討し、1株莢数、1株莢重、分枝着莢節数、着莢節当たりの莢数が疎植で高く、枝付き収穫では分枝による莢数の確保が重要であることを示した。6月播種普通期栽培において、開花期前に行った断根処理により莢数の増加が認められた。ゆで豆のショ糖含有率は、断根処理区でやや高い傾向を示した。断根によりサイトカイニン合成が高まることを仮説したが、今後の解析を待つこととなった。県内転換畑圃場約60カ所からダイズ根粒菌を単離しその特性を評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水田農業の高度化の一方策として、エダマメの2月播種による早期栽培と6月播種による普通期栽培における安定生産技術開発のために研究を遂行した。エダマメは「枝付」または「脱莢」として販売されるが、その販売形態による適切な栽植密度を明らかにすることができた。さらに、開花期前の断根により莢数が増加する可能性が示され、これを生産者が導入し得る技術とするためにサブソイラーを用いた手法を検証した。また、滋賀県内の水田転換畑における根粒菌の多様性とその特性を明らかにした点は、将来的に地域の優良な菌株を活用した環境調和型のエダマメ生産および転換畑における付加価値をつけたマメ科作物の導入にも資することができよう。

研究成果の概要(英文)：A four-year research was conducted to develop the stable production techniques for "Edamame" in upland field converted from paddy. In early season cultivation by sowing at late February in green house, appropriate planting density was investigated, revealing that sparse planting resulted in increasing not only number of pods per plant, but also number of branch nodes with pods. It was suggested that increasing number of pods through branching is crucial to market Edamame as "Edamame with stems". In normal season cultivation by sowing in June under field conditions, an increase in number of pods was observed through root cutting. Higher content of sucrose in boiled Edamame was shown in the root-cutting. In this study, it was hypothesized that root cutting enhances cytokinin synthesis, but further analysis is required. Root nodule bacteria were isolated from 60 paddy-converted upland field, and several traits of these bacteria were evaluated.

研究分野：作物生産科学

キーワード：エダマメ 環境調和型農業 根粒菌 水田転換畑 早期栽培 断根処理 窒素固定 着莢

## 1. 研究開始当初の背景

コメの生産調整（減反）が2018年度から廃止され、今後、水田農業を高度化する様々な方策を示すことが水稲作を基盤とする日本の農耕地の維持にとって益々重要となる。ダイズやムギ類との輪作体系の維持や補助金に依存したエサ米の生産だけでは、農地集約化や法人化のメリットを必ずしも活かさないのが現状である。今後は、若手就農者の増加と定着を目指せる水田転換畑や水田輪作における多様な農作物の生産技術の基盤構築が必要であろう。

本研究では、そのひとつとして国内外において、露地、施設ともに広く栽培されているエダマメ（*Glycine max* (L.) Merr.）に着目した。日本では、エダマメは千葉県、山形県、群馬県などを中心に年間約70000トンが生産され、さらに生鮮物や冷凍物が台湾、中国、タイなどからほぼ同量輸入されている。地域によっては、早出エダマメ、有機エダマメ、完熟エダマメなど、枝付きあるいは脱莢の青果物として付加価値をつけて生産している。一方、現況では、節当たり莢数、1莢内粒数、上莢歩合、結莢率などの収量および収量構成要素ならびにしょ糖含量やアミノ酸含量などの品質が不安定となることが多く、安定生産のための生理生態学的な知見の集積が望まれている。

## 2. 研究の目的

本研究では、上述の背景に鑑み、西日本の水田転換畑におけるエダマメの2月播種による早期栽培と6月播種による普通期栽培の二期作における安定技術を開発する際の課題を抽出し、その解決策を探ることを目的とした。食の安全・安心の視点から国内産の農作物の需要が高まる中で、特に2月播種の「早期エダマメ」は、病虫害や雑草害の発生が少ないことから無農薬栽培が可能であり、食品残渣堆肥のような速効的な有機物施用によって、化学肥料を使用しない有機農産物としての付加価値を付与した生産の可能性がある点に着目した。また、マメ科作物であることから、窒素固定活性の高い根粒菌の有効利用に関する基礎的な知見を得ることもあわせて、4年間に亘り本研究を遂行した。

まず、早期栽培エダマメでは、光合成有効放射量が比較的低い2月にハウス内で初期生育を経るため、主茎が徒長して下位葉の受光態勢が低下することから、栽植密度が植物体の光合成活動に大きく影響して生育や収量の制限要因となると考えられる。そこで、異なる栽植密度を設定し、下位葉の受光態勢の違いが着莢数に及ぼす影響について検証することとした。また、根端におけるサイトカイニン合成に着目して、生育途中に根の一部を切る（断根処理）ことにより、新たな分枝根発生を促し、それが莢形成や一莢粒数に及ぼす影響を検証するとともに、6月普通期栽培に関しては、断根処理の効率的な方法について検証することとした。さらに、滋賀県内における水田転換畑のダイズ生産圃場から、根粒菌を採取し、その特性を評価することを試みた。

## 3. 研究方法

試験は、2019年2月から2022年9月にかけて、龍谷大学農学部附属牧農場（滋賀県大津市）の無加温ビニールハウス（2月播種と6月播種）および露地圃場（6月播種）において行った。ハウス内での6月播種栽培では、生育期間を通して側窓は昼夜ともに開放した。いずれの試験圃場も、灰色低地土の水田転換畑圃場であり、2015年から畑圃場として利用している圃場であった。毎年、播種前に採取した作土層の化学性を調査したが、土壌の肥沃度は比較的低い圃場であった（データ未記載）。

また、ダイズ圃場からの根粒菌の単離については、滋賀県内各市町村内の50以上の圃場から土壌またはダイズを採取し、常法によって根粒菌を単離した。

### (1) 2月播種早期栽培における栽植密度が生育と収量に及ぼす影響

極早生品種「えぞみどり」を供試し、上述のビニールハウスにおいて2019年および2020年に早期栽培を行った。1条播種区（株間20cm）、2条播種区（株間20cm×条間30cm）、3条播種区（株間20cm×条間15cm）の3処理区を設け、生育と収量に及ぼす栽植密度の影響を検討した。両年ともに2月下旬に播種し、生育調査を適宜行い、収穫適期に収量調査を行った。

### (2) 生育途中における断根処理が莢収量に及ぼす影響

「えぞみどり」を供試し、上述のビニールハウスにおいて2021年および2022年に早期栽培を行った。2019年と2020年における栽植密度の試験結果から、本実験では、ハウス内に幅120cmの畦を設け、畦当たり2条の栽植様式とし、抑草のために黒マルチ栽培とした。株間は30cm、条間は40cmとした。ま

た、低温時の出芽遅延を鑑み、2月中旬にパーミキュライトを充填したバットに予め播種し、ハウス内で育苗し、3月中旬に定植する移植栽培とした。収穫日は6月初旬とした。

断根処理は4月中旬の開花期に行った。2019年と2020年に行った予備実験において、スコップによる断根が根を深く切りすぎてしまうことで植物体の萎凋や枯死が見られたため、本実験では、厚さ3mm程度の鉄板を加工した断根用の器具を株元にさしこむことで断根した。すなわち、植物体の片側から5cm放したところに垂直に15cmほど本器具を差し込み断根処理を行い、その後亀裂面に土をかぶせてから十分に灌水した(図1)。

生育調査については、主茎長、主茎節数、分枝数を調査した。収穫時調査については、主茎および分枝の葉柄、葉身、茎の乾物重、主茎と分枝別の総莢数、一莢内粒数を調査した。子実のショ糖含量は、各区において収穫した3粒莢を10サンプル選び、沸騰水で5分間茹でた後に冷凍保存したものをFキット(JKインターナショナル、東京)を用いて分析した。

また、6月播種の普通期栽培は、同圃場内の露地圃場で行った。供試品種には、中早生品種の‘富貴’を用いた。試験は2021年および2022年に行った。幅120cmの畦を準備して、各畦2条播きで株間30cm、条間40cmとした。播種日は6月中旬とし、断根処理日は8月初旬の開花期に行った。生育調査は上述と同様に行い、収穫は9月上旬に行った。

2021年は上述の断根用の器具を用い手動で断根したが、2022年は、サブソイラーに加工した刃をつけて、トラクターで牽引することで条間に亀裂を入れることで断根処理とした(図2)。

### (3) ダイズ圃場からの根粒菌の単離と特性評価

2019年から2022年にかけて、滋賀県内の水田転換畑圃場の土壌またはそこに生産されているダイズの地下部を採取して、根粒菌の単離を行った。土壌からの根粒菌の単離については、人工気象室(25℃, 12時間日長)内で無菌的に生育させた‘えぞみどり’に、各地域から採取した土壌の懸濁液を添加して、着生した根粒を用いて行った。また各地域の圃場に生育中の個体から採取した根粒については、次亜塩素酸ナトリウム溶液(活性塩素0.5%)を用いて表面殺菌後に常法により単離した。単離には、マンニトール以外の濃度を1/10とした酵母エキス・マンニトール(YM)寒天培地を用いた。培地上で単コロニーを釣菌し、3回に亘り継代培養して単離菌株とした。これをYM液体培地で振とう培養後に、常法により-80℃で冷凍保存した。

保存菌株の窒素固定活性は、‘えぞみどり’に接種してアセチレン還元活性(松田, 1978; Yamashita *et al.*, 2005)によって評価した。圃場条件における接種根粒菌の確認に利用し得る抗生物質耐性を評価するために、各菌株のカスガマイシン抵抗性を評価した。カスガマイシン添加培地は、YM寒天培地に濾過滅菌したカスガマイシン塩酸塩を0, 400, 1200 µg/ml添加して調製した。各保存菌株を培地に画線し、25℃の暗黒条件下で10日間培養した。なお、カスガマイシン抵抗性の判定は、カスガマイシン添加培地上に少しでもコロニーの発生が認められた場合は、その濃度において耐性を示すものと評価した。

## 4. 研究成果

### (1) 2月播種早期栽培における栽植密度が生育と収量に及ぼす影響

滋賀県大津市における2月播種栽培では、同様の早期栽培を試みている大阪府八尾市におけるエダマメの生育と比較して、出芽までに17~25日程度と多くの日数を要し、出芽揃いがやや悪い傾向にあった。早期栽培における出芽揃いと初期生育の確保は重要であり、移植栽培を考える必要がある。

開花始期は各処理区ともに4月下旬であり、この時期以降に栽植密度区間で生育に差異が認められた。主茎長は、1条播種区では2,3条播種区に比べて低かったが、分枝数は必ずしも増加しなかった。葉面積指数は、密植にすることで増加し、葉色値(SPAD値)は1条播種区で高い傾向にあった。なお、小面積ハウ内に栽植密度の異なる処理区を設けたことから、畦位置(側窓側と中央)で栽植密度の影響がやや異なったが、概観すると下位葉の受光が良かった1条播種区で生育が良く、個体あたり莢数と莢重が優った(図3上)。一方、面積あたり莢数は3条播種区が最も多かった(図3下)。この傾向は両年ともに同



図1 断根に用いた鉄板(左)とマルチ上からの断根の様子(右)



図2 断根に用いたサブソイラー(加工した刃を装着してある)



様であった。なお、1 莢内粒数は、いずれの栽植密度でも2粒莢よりも3粒莢が多く、4粒莢はほとんど見られなかった。以上の結果から、「枝付き」販売する場合には低い栽植密度が、「脱莢」販売する場合には本試験程度の栽植密度は有効であることが示された。なお、当初予定した道管液中のサイトカニン含量の変化と節当たり莢数との関係については明確な傾向が認められなかった。

### (2) 生育途中における断根処理が莢収量に及ぼす影響

#### 2月播種早期栽培(2021年)において

では、個体当たりの一莢内粒数を比較すると、3粒莢数は、対照区で23莢、断根区で32莢と断根により有意に高くなり、一方、1粒莢は対照区で15個、断根区で10個と断根区で減少する傾向にあった。また、主莢莢数と主莢莢重については、断根区で増加する傾向にあった。分枝数は断根区で少ない傾向を示したが、分枝総莢数は両区間で同程度であったことから、分枝当たりの莢数は断根区で増加する可能性が示唆された。なお、この傾向は2022年も同様であった。

ゆで豆のショ糖含有率は、断根区で増加する傾向にあったが、エダマメのショ糖含有率を報告した先行研究の値に比較して、両区ともにやや低い値を示したことから(大久ら, 2009)、収穫後の冷凍保存の方法など、分析前処理について再度検討する必要がある。

6月播種の露地栽培(2021年)においては、分枝数は、対照区に比べて断根区で有意に多かった。個体当たりの分枝総莢数は、対照区の24個に比べて、断根区で29個と増加する傾向にあり、分枝莢重も増加する傾向にあった。これらの結果は、断根処理が分枝発生を促進することで増収する可能性があることを示唆している。また、主莢莢数および主莢莢重においても、断根区で高い傾向にあった。これらの傾向は2022年度においても同様であった。

ゆで豆のショ糖含有率は、早期播種と同様に断根区でやや高い傾向を示したが、その値はいずれもやや低く、さらに検討する必要がある。

なお、サブソイラーに取り付けた刃による土壌亀裂の方法は、神戸大学大学院農学研究科の庄司浩一博士ならびに近畿大学農学部飯島盛雄博士のご厚意によりご教示いただき、実際のアタッチメントを借用させて頂いたことを付記し、謝意を表す。

### (3) ダイズ圃場からの根粒菌の単離と特性評価

滋賀県内の8市、40町、1村の水田転換畑から土壌ならびに生育中のダイズ(品種は限定せず)を採取し、いずれからも根粒菌を単離することができた。現時点で、根粒菌の特性としてアセチレン還元活性、根粒着生の遅速、根粒数、根粒重について菌株間差異を調査中である。接種菌株の標識マーカーとして着目したカスガマイシン耐性に関しては、単離した58株中の7株が耐性を持つことが確認された。うちAD株、SG株、TU1株、ST1株、SR1株、I22株の6株は、カスガマイシン塩酸塩を1200 µg/ml 添加した場合にもコロニーが認められたが、IB株は400 µg/ml のみでコロニーが認められた。今後は、エダマメにおける低温時の根粒の早期形成、高い窒素固定活性、後述する一酸化二窒素(N<sub>2</sub>O)還元活性などを有するいわゆるエリート菌株について、野生菌株と接種菌株と間の競合について検証する際に、これらの抵抗性を活用したいと考えている。これまで著者らが用いてきた発色標識遺伝子(グルクロニダーゼ; *gusA*)を導入した菌株利用では圃場試験での検証ができないため(Uheda *et al.*, 2001; 大門ら, 2005)、これらの抵抗性菌株の活用に期待がもたれる。

なお、温暖化係数が高い温室効果ガスであるN<sub>2</sub>Oが、ダイズの根粒崩壊の過程で生じることがあるが(板倉ら, 2013)、本研究においても、単離した各菌株のN<sub>2</sub>O還元活性を測定する条件を検討したが、現時点では菌株間差異は明確にできていない。さらに、これらの菌株の遺伝的多様性(Itakura *et al.*, 2009; 南澤ら, 2013; Wolly *et al.*, 2019)について解析を進めているところである。水田転換畑の過湿条件や地力が減耗した条件、さらには2月播種早期栽培における低温条件など、多様なストレス下での根粒形成の促進やその後のN<sub>2</sub>O排出抑制など、エダマメ栽培において、優れた根粒菌が機能し得る場面

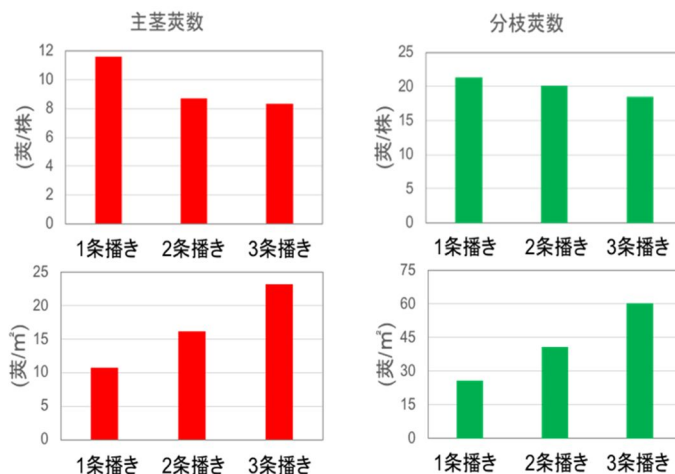


図3 栽植密度が主莢・分枝の個体当たり莢数と単位面積当たり莢数に及ぼす影響(2019年試験)

は多い。本研究において得られた知見を基盤にして、これらの条件下におけるエダマメの安定生産の技術開発に寄与したいと考えている。

<引用文献>

- 大門弘幸・朝倉草平・坂本えみ子 2005. マメ科植物における根粒形成過程の観察法. 日本作物学会紀事 74(2):226-228.
- Itakura M., K. Saeki, H. Omari, T. Yokoyama, T. Kaneko, S. Tabata, T. Ohwada, S. Tajima, T. Uchiumi, K. Honma, K. Fujita, H. Iwata, Y. Saeki, Y. Hara, S. Ikeda, S. Eda, H. Mitsui and K. Minamisawa 2009. Genomic comparison of *Bradyrhizobium japonicum* strains with different symbiotic nitrogen fixing capabilities and other *Bradyrhizobiaceae* members. Multidisciplinary Journal of Microbial Ecology 3:208-212.
- 板倉学・Sanchez Cristina・森内真人・南澤究 2013. ダイズ根圏の $N_2O$ 発生機構と根粒菌による削減. 環境バイオテクノロジー学会誌 13(2):85-88.
- 松田龍彦 1978. 生物的窒素固定能の測定 -アセチレン還元法とその問題点-. 科学と生物 16(5):328-335.
- 南澤究・包智華・板倉学 2013. 作物根圏における窒素と微生物の相互作用. 土と微生物 67(2):49-53.
- 大久長範・菅原真理・大能俊久・佐藤雄幸 2009.  $-2^{\circ}C$ で貯蔵したエダマメのシヨ糖含量の変化. 宮城大学食産業学部紀要 3:23-25.
- Uheda, E., H. Daimon, F. Yoshizako 2001. Colonization and invasion of peanut (*Arachis hypogaea* L.) roots by *gusA*-marked *Bradyrhizobium* sp. Canadian Journal of Botany 79:733-738.
- Wolly, K., T. Degefu and A. Frostegard 2019. Host range and symbiotic effectiveness of  $N_2O$  reducing *Bradyrhizobium* strains. Frontiers in Microbiology 10:2746.
- Yashima, H., H. Fujikake, A. Yamazaki, S. Ito, T. Sato, K. Tewari, N. Ohtake, K. Sueyoshi, Y. Takahashi and T. Ohyama 2005. Long-term effect of nitrate application from lower part of roots on nodulation and  $N_2$  fixation in upper part of roots of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) in two-layered pot experiment. Soil Science and Plant Nutrition 51:981-990.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Matsumura, A., K. Hirose, H. Masumoto, M. Furuya, and H. Daimon	4. 巻 273
2. 論文標題 Effects of maize as a catch crop on subsequent garland chrysanthemum and green soybean production in soil with excess nitrogen	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sci. Hort.	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.scienta.2020.109640	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Tai, C., Y. Sawada, J. Masuda, H. Daimon, Y. Fukao	4. 巻 273
2. 論文標題 Cultivation of spinach in hot seasons using a micro-mist-based temperature control system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sci. Hort.	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.scienta.2020.109603	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Yamane, K., Y. Fudano, N. Takao, T. Sugiyama, Y. Izumi, H. Daimon, H. Tsuji, N. Murakami, M. Iijima	4. 巻 23
2. 論文標題 The crack fertilization technique effectively increases soybean production in upland fields converted from paddies	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plant Prod. Sci.	6. 最初と最後の頁 397-406
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/1343943X.2020.1743188	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Ishii, C., M. Nagano, M. Kobayashi, T. Matsuura, J. Konishi, K. Aoki, H. Daimon, I. C. Mori, and Y. Fukao	4. 巻 1
2. 論文標題 Wood vinegar promotes rice growth by increasing gibberellin and cytokinin levels	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本炭化学会誌	6. 最初と最後の頁 41-50
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Masuda, H., Y. Michiyama, D. Yoshimura, T. Seo, T. Kira, A. Matsumura, and H. Daimon
2. 発表標題 Effect of peanut residues on nitrogen and phosphorus uptake of the succeeding wheat grown in the paddy-converted upland field
3. 学会等名 The 10th Asian Crop Science Association Conference in Nagoya, Japan (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tamaki, K., D. Yoshimura, T. Seo, T. Kira, A. Matsumura, A. Tarui, and H. Daimon
2. 発表標題 Effect of shoot cutting and the mulching of hairy vetch during flowering stage on the yield and N content of wheat in the mixed cropping system
3. 学会等名 The 10th Asian Crop Science Association Conference in Nagoya, Japan (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大門弘幸
2. 発表標題 水田転換畑における地力補完と新たな転作作物の導入の可能性
3. 学会等名 滋賀県農業技術振興センター試験研究発表会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 榎田陽生・吉村大輔・妹尾拓司・吉良徹・松村篤・大門弘幸
2. 発表標題 水田転換畑におけるラッカセイ収穫残渣すき込み後の分解に及ぼす地下水位の影響
3. 学会等名 第251回日本作物学会講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大門弘幸・辻本貴大・内藤有紀・吉良徹・吉村大輔・妹尾拓司
2. 発表標題 水田転換畑における極早生エダマメ栽培における栽植密度が莢収量に及ぼす影響
3. 学会等名 第249回日本作物学会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大門弘幸・辻本貴大・内藤有紀・吉良徹・吉村大輔・妹尾拓司
2. 発表標題 水田転換畑の早期栽培エダマメにおける莢数制御の生態生理学的解析
3. 学会等名 第31回龍谷大学新春技術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大門弘幸
2. 発表標題 転換畑における畑作物栽培の課題と地域特産農作物への展開の可能性
3. 学会等名 滋賀バイオ産業推進機構第2回バイオ技術セミナー（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大門弘幸
2. 発表標題 水田輪作における地力補完と肥料低減型生産の試み
3. 学会等名 高島市商工会第1回産学連携アグリビジネス研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年



〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<http://hiroyukidaimon.net/web/HOME.html>

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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------