

令和 5 年 6 月 10 日現在

機関番号：32670

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K13830

研究課題名（和文）低糖質グルテンフリー含泡食品の糖蔵に及ぼす糖アルコールの影響

研究課題名（英文）The impact of sugar alcohols on the glycemic response of low-sugar, gluten-free foamed foods

研究代表者

舟木 愛美（FUNAKI, Ami）

日本女子大学・家政学部・研究員

研究者番号：10848071

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では糖アルコールとして、スクロースと糖度が同じキシリトールを選択し、洋菓子において基本であるスポンジケーキに添加し、糖アルコールが洋菓子製造時にもたらす化学的、物理的影響を解明することを目的とした。さらに大豆から作られる豆乳が起泡性を持つことに着目し、アレルギー対応食品として小麦粉と卵白泡沫の代わりに米粉と豆乳泡沫を使用し、その調理特性を解明することを目的とした。豆乳泡沫は起泡時泡沫温度を制御することにより、卵白泡沫の代替として利用できる可能性が示された。また、キシリトールはスクロースの代替として利用できることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、生活習慣病予防として期待のできる糖アルコールを使用した上で、アレルギー対応食品として小麦粉と卵白泡沫の代わりに、米粉と豆乳泡沫を複合化させたスポンジケーキを調製し、その特徴を明らかにした。この成果により、豆乳泡沫は起泡時泡沫温度を制御することにより、卵白泡沫の代替として利用できる可能性が示された。また、キシリトールはスクロースの代替として利用できることが示され、今後アレルギー対応食品や生活習慣病予防食品の開発、応用に向けて基礎となる知見が得られた。

研究成果の概要（英文）：In this study, xylitol, which has the same sugar content as sucrose, was selected as a sugar alcohol and added to sponge cakes, which are a basic ingredient in Western confectionery, in order to elucidate the chemical and physical effects of sugar alcohols on the confectionery production process. In addition, we focused on the fact that soy milk made from soybeans has foaming properties, and used rice flour and soy milk foam instead of wheat flour and egg white foam as an allergy-friendly food, in order to elucidate its cooking characteristics.

Soy milk foam was shown to have the potential to be used as a substitute for egg white foam by controlling the foam temperature during foaming. Xylitol can be used as a substitute for sucrose.

研究分野：調理科学

キーワード：糖アルコール 低糖質 グルテンフリー 含泡食品

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年の食の動向において、高齢社会、生活習慣病の増加、アレルギー罹患率の増加により、糖アルコールやグルテンフリー食品が注目されている。糖アルコールは化学的に安定な糖質であり、食品加工に適応しやすいという利点を有しており、低エネルギー、非う蝕性、血糖上昇が少なく、低糖質として生活習慣病予防として期待が大きく^{1,2)}、食品の保存性向上を目的とした糖蔵としての効果も期待できる³⁾。

近年起こる震災の発生からローリングストックの考え方が提唱されたが、より日持ちがし、かつ健康に配慮した食品の開発が社会的に望まれており、糖アルコールを用いたグルテンフリー食品の特性を明らかにすることで開発の基礎、発展につながると考えた。

2. 研究の目的

本研究では糖アルコールとして、スクロースと糖度が同じキシリトールを選択し、洋菓子において基本であるスポンジケーキに添加し、糖アルコールが菓子製造時にもたらす化学的、物理的影響を解明することを目的とした。

すでに小麦粉や卵白を用いていたり、糖を組み合わせたりする調製方法は報告されているが⁴⁾¹⁰⁾、アレルギー対応食品のスポンジケーキとして糖アルコールを添加した研究はされていない。三大アレルゲンである小麦、卵、乳製品を用いないことにより、食料自給率の増加、米の消費拡大と、小麦、卵、乳製品アレルギー患者、健康志向・グルテンフリー志向の方などへ向けたスポンジケーキの開発を視野に入れることが可能となる。

そこで、大豆から作られる豆乳が起泡性を持つことに着眼し、アレルギー対応食品として小麦粉と卵白泡沫の代わりに米粉と豆乳泡沫を複合化させたスポンジケーキを調製し、その調理特性を解明することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 調製方法

米粉は、SOIE LISSE(日の本製粉株式会社)を使用した。豆乳は、おいしい無調整豆乳(キッコーマンソイフーズ株式会社)、スクロースはスプーン印グラニュー糖(三井製糖株式会社)、キシリトールは、Xivia キシリトール C(ダニスコジャパン株式会社)を使用した。

ボウルに豆乳を量り入れ恒温槽(Themo-Mate BF500:(株)YAMATO)で湯煎を行い、試料が起泡温度とした25, 40, 55℃になったことを確認してから攪拌した。攪拌は、電動泡だて器(スマートパワーハンドミキサー HM-050SJ:(株)クイジナートサンエイ)と攪拌翼(バルーンウィスク:(株)クイジナートサンエイ)を用い、650rpm(ダイヤル1)で行った。豆乳は3分間攪拌後、粉末状の糖を一気に加え、さらに7分間攪拌した。卵白は3分間攪拌後、糖を添加し、1分間攪拌した後、手動で10回かき混ぜた。焼成はオープン(ウォーターオープン/ヘルシオ AX-SP300-R:シャープ株式会社)で行った。泡沫調製後、米粉を2回に分けてふるい入れ、ゴムベラで底から50回かき混ぜたものをバターとした大きじ1杯をすくいとり、バター測定に用いた。直径13 cmのシフォン型の容器に生地を移し平らにして空気を抜いた後、150℃30分焼成した。ケーキは焼成後、逆さにして粗熱を取り、型から外して25℃の恒温器で1時間放冷し、測定に用いた。保存試料については、25℃の恒温機(MIR-153)、臭化ナトリウム塩溶液を用いて相対湿度62%で1~2日間保存し、測定した。

(2) 測定項目

① 起泡力

起泡直後の豆乳泡沫・卵白泡沫をプラスチック製円形容器(内径53 mm、高さ18 mm)に隙間なく詰め、表面をスパチュラで平らにすりきり、重量を測定して比重、オーバーランを算出した。測定は3回行い、値のずれが小さいことを確認して平均し、起泡力とした。

② 泡沫安定性(保水率)

漏斗(φ8.5 cm)の先端を200メッシュのナイロン網で固定し、50 ml容量のメスシリンダーの上に置いた。これに起泡直後の豆乳泡沫・卵白泡沫10.0 gをのせ、乾燥を防ぐためにラップで覆い、密封とした。180分間、経時的に離水の重量を測定した。測定始めを離水率0%とし、離水率を100から引いて保水率(%、w/w)を算出し、泡沫安定性とした。

③ 豆乳と卵白の粘度

豆乳と卵白に糖を加えた液をE型回転粘度計(TV-20型粘度計コーンプレートタイプ TVE-20H:東機産業株式会社)を使用して、コーンローターとプレートの間に生じるずり速度からみかけの粘度を測定した。測定温度は25℃、40℃、55℃、回転数は6.0 rpmとし、2分後の値を測定した。コーンローターは01(1° 34' ×R2)を使用し、試料の量は1.0 mlとした。

④動的粘弾性

レオグラフゾル（東洋精機株式会社）を用いて動的粘弾性を測定した。周波数 3 Hz、変位量±50 μmとし、測定温度は、25、40、55℃とした。バター生成後 15 分以内に測定を行った。また、G'、G'' を求め、損失弾性率 (G'') を貯蔵弾性率 (G') で除すことにより損失正接 tan δ (G''/G') を算出した。

⑤比容積

焼成後放冷したケーキを測定した。試料の重量[g]、菜種置換法によりみかけの体積[cm³]を測定し、ケーキの体積を重量で除して比容積を算出した。

⑥水分含量

内相を約 3g 採取し、ハロゲン水分計 (MB45, オーハウス) を用いて、乾燥温度 145℃で測定を行った。60 秒間の重量変化が 1 mg以内になった時点で測定を終了し、その重量変化から水分量を求めた。

⑦水分活性

ケーキの内相を約 3 g 採取し、ポータブル水分活性 (LabMaster-aw, DKSK ジャパン(株)) を用いて 25℃で測定した。

⑧静的粘弾性

試料はスポンジケーキの内相から 20 mmの立方体を切り出し、クリープメーター (RE-3305S, (株) 山電) を用いて測定した。直径 40 mmの円柱プランジャーを使用し、ロードセル 200N、測定時間は 2 分 (加重 1 分、除重 1 分)、荷重は試料の微小変形領域約 10%とした。

⑨テクスチャー特性

クリープメーター (レオナーRE-3305B: 株式会社山電) を用いて応力-ひずみ曲線を得た。豆乳泡沫・卵白泡沫の試料は起泡直後にプラスチック製円形容器 (内径 53 mm、高さ 18 mm) に隙間なく詰め、表面をスパチュラで平らにすりきったものを使用し、直径 30 mmの円柱型プランジャーで定速圧縮し、測定歪率 67%、圧縮速度 5 mm/sec、測定温度 25℃の条件で、圧縮に要する応力を求めた。スポンジケーキの試料は、内相から 30 mm×30 mm×高さ 20 mm角の立方体を切り出した。直径 8 mmの円柱型プランジャーを使用し、ロードセル 200N、試料の高さの 80%まで 1 mm/sec で定速圧縮した。かたさ、もろさ、凝集性、付着性およびガム性を算出した。

⑩官能評価

豆乳起泡温度 25, 40, 55℃で調製した米粉スポンジケーキを試料とし、絶対評価による官能評価を実施した。質問項目は、分析型で内相の色、外相のつや、内相のきめ、外相の硬さ、外相のサクサク感、咀嚼中の内相の硬さ、甘さ、モチモチ感、しっとり感、べたつき、口溶け、ざらつき、まとまりやすさ、米粉の味、後味の 15 項目、嗜好型は外観、香り、味、食感、総合評価の 5 項目とした。また、添加する糖類の違いとして、スクロースまたはキシリトールとした米粉スポンジケーキを試料とし、一対比較法による官能評価を実施した。質問項目は分析型で焼き色の濃さ、上面のつや、内相のきめ、噛み初めの硬さ、噛み初めのキシキシ感、甘さ、モチモチ感、しっとり感、べたつき、まとまりやすさ、風味、味の濃厚さ、後味の 14 項目、嗜好型は外観、香り、味、食感、総合評価の 5 項目とした。評価者は、本学食物学科学生、教員 32 名である。

4. 研究成果

(1) 起泡力、泡沫安定性

豆乳と卵白の起泡力に及ぼす起泡時泡沫温度と糖濃度の影響を Fig. 1 に示す。卵白に比べ豆乳は起泡力が低く、泡沫のきめは粗くなった。豆乳、卵白いずれの泡沫においても、スクロースに比べキシリトール添加の方が、起泡力が高くなる傾向を示したが、添加量が多いと起泡力は低くなった。また、起泡時の泡沫温度が高いほど起泡力は高くなる傾向を示した。

泡沫安定性に及ぼす起泡時泡沫温度と糖濃度の影響を Fig. 2 に示す。豆乳と卵白、いずれの泡沫においても、キシリトールよりもスクロースを添加した試料の方が泡沫安定性は高くなった。卵白泡沫では起泡時泡沫温度 55℃が最も泡沫安定性が低いのにに対し、豆乳泡沫では起泡時泡沫温度が高いほど泡沫安定性は高くなった。また、卵白泡沫では添加する糖が多くなるほど泡沫安定性が向上したのに対し、豆乳泡沫ではいずれの糖においても 60、80%で最も泡沫が安定し、100%では離水しやすくなった。これらの差は、起泡時泡沫温度が高いほど顕著になることから豆乳泡沫は卵白泡沫に比べ温度の影響を受けやすく、豆乳泡沫は起泡時に湯煎加熱をすることで糖による泡沫安定性が促進されると考えられる。

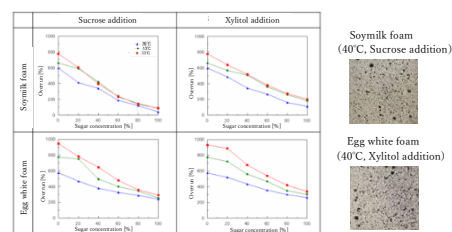


Fig.1 豆乳と卵白の起泡力に及ぼす起泡時泡沫温度と糖濃度の影響 Fig.2. 代表的な泡沫の様子

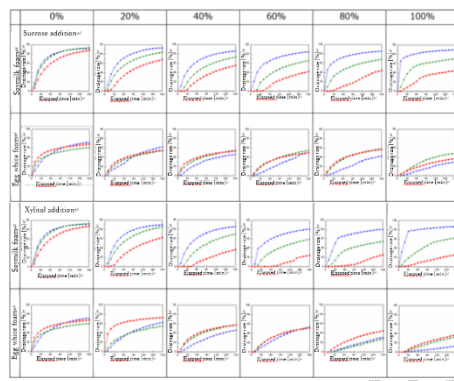


Fig.3 泡沫安定性に及ぼす起泡時泡沫温度と糖濃度の影響

(2) メレンゲのテクスチャー特性と生地粘度

メレンゲのかたさの結果を Fig. 4 に示す。いずれの糖においても卵白泡沫に比べ、豆乳泡沫の方がやわらかくなった。卵白泡沫は糖濃度が高くなるにつれてやわらかくなる傾向がみられるのに対し、豆乳泡沫は糖濃度の影響を大きく受けなかった。

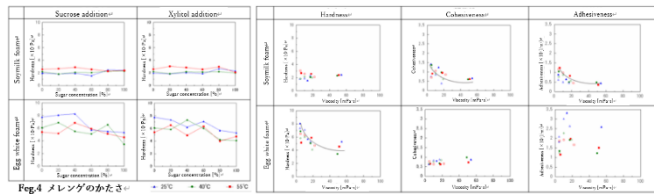
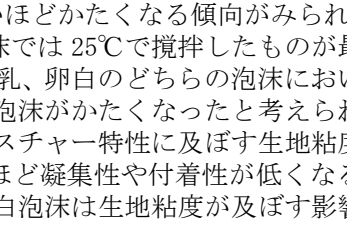


Fig. 4 メレンゲのかたさ

Fig. 5 メレンゲのテクスチャー特性に及ぼす生地粘度の影響

また、豆乳泡沫では糖濃度 60%以下では起泡時泡沫温度が高いほどかたくなる傾向がみられ、80, 100%添加試料では温度による影響はみられなかった。卵白泡沫では 25°Cで攪拌したものが最もやわらかく、攪拌時に加熱することで泡沫はかたくなった。豆乳、卵白のどちらの泡沫においても、攪拌時に加熱することで、タンパク質の熱変性が起こり、泡沫がかたくなったと考えられる¹¹⁻¹⁵⁾。添加した糖の種類による違いは認められなかった。テクスチャー特性に及ぼす生地粘度の影響を検討したところ、豆乳泡沫では生地の粘度が高くなるほど凝集性や付着性が低くなる一方、卵白泡沫ではかたさが低くなった (Fig. 5)。豆乳泡沫と卵白泡沫は生地粘度が及ぼす影響が異なり、対照的な特徴を持つことが明らかとなった。



(3) 豆乳泡沫スポンジケーキ生地の動的粘弾性

生地における動的粘弾性の結果を Fig. 6 に示す。起泡温度による影響については、起泡温度が上がるにつれて、 G' 、 G'' は有意に高くなった。 $\tan \delta$ は、温度が上がるにつれて有意に低下したが、40°C-55°C間では大きな差はみられなかった。このことから、攪拌温度の上昇によってバターの弾性・粘性要素は強くなると考えられ、温度が上がるにつれて、粘性体から弾性体へと変化すると示唆された。糖添加による影響については、 G' 、 G'' 、 $\tan \delta$ どの要素においても、糖を添加することによって顕著な差が認められなかった。バターの動的粘弾性は、糖添加の有無よりも攪拌温度の違いによって影響を受けると考えられる。

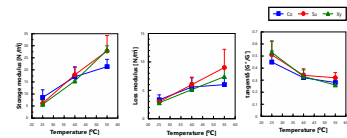


Fig. 6 豆乳泡沫バターの動的粘弾性に及ぼす起泡温度の影響

(4) 豆乳泡沫スポンジケーキの比容積

比容積は起泡温度の違いにおいてコントロール、キシリトール添加ケーキで攪拌温度が上がるにつれて大きくなり、スクロース添加ケーキでは、40°Cで比容積は大きくなり 55°Cではやや下がる傾向を示した (Fig. 7)。糖による違いにおいては、コントロールに比べ、糖を添加したケーキの比容積は小さくなる傾向が見られるが、その差は顕著ではなかった。

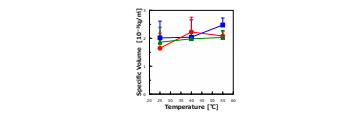


Fig. 7 豆乳泡沫スポンジケーキの比容積に及ぼす起泡温度の影響

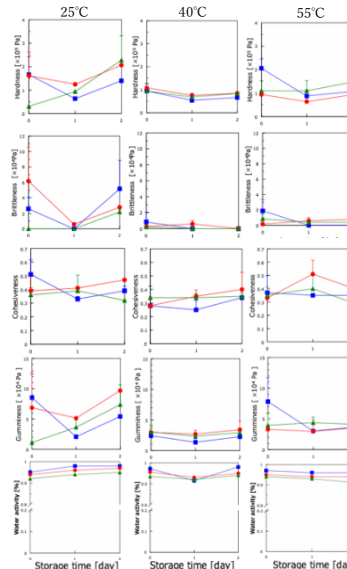


Fig. 8 豆乳泡沫スポンジケーキの物性に及ぼす保存の影響

(5) 豆乳泡沫スポンジケーキ保存性

豆乳泡沫スポンジケーキの物性に及ぼす保存の影響を Fig. 8 に示す。糖添加のないコントロールケーキは、保存によりかたさ、もろさ、ガム性が小さくなる傾向を示したが、スクロース、キシリトール添加ケーキは共にかたさ、もろさ、凝集性、ガム性に大きな変化は見られなかった。内相の水分活性においては、コントロール、スクロース添加ケーキでは保存による内相水分活性の大きな変化は見られなかったが、キシリトール添加ケーキにおいては保存日数の増加とともに、内相水分活性が減少した。これはケーキ中の自由水が、保存により乾燥し蒸発したと考えられる。

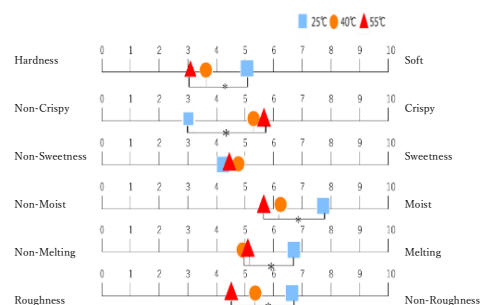


Fig. 9 豆乳泡沫スポンジケーキの官能評価結果に及ぼす起泡温度の影響

(6) 官能評価

卵、小麦粉で調製したスポンジケーキを基準とし、米粉スポンジケーキに及ぼす豆乳起泡温度の影響について採点法で官能評価を行った結果を Fig. 9 に示す。分析型項目においては、起泡温度 40°C、55°Cのケーキは 25°Cのケーキに比べ、内相の色は白っぽく、上面のつやはないと評価された。食感においては、起泡温度 40°C、55°Cのケーキは 25°Cのケーキに比べ、硬く、サクサクしていて、しっとりしておらず、口溶けが悪く、ざらつくとも評価された。また、甘さや米粉の味、後

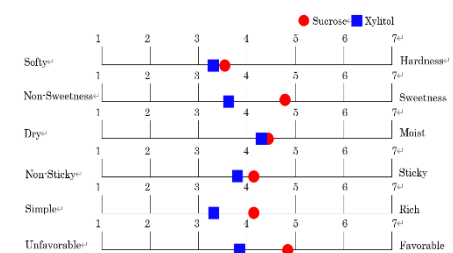


Fig. 10 豆乳泡沫スポンジケーキの官能評価結果に及ぼす糖添加の影響

味について有意差は認められなかった。嗜好型項目においては、起泡温度 40℃、55℃のケーキは 25℃のケーキに比べ、外観が好ましいと評価された。その他の項目では有意差は認められなかった。これらのことから、豆乳起泡温度の違いは、米粉スポンジケーキの外観や食感に影響を与えることが示された。

また、添加する糖類をスクロースまたはキシリトールとした米粉スポンジケーキを試料とし、一対比較法による官能評価を実施した結果を Fig. 10 に示す。分析型項目において、キシリトール添加ケーキは、スクロース添加ケーキに比べ焼き色が濃く、上面のつやはないと評価された。その他の項目で有意差は認められなかった。嗜好型項目において、スクロース、キシリトール添加間で有意差は認められなかった。これらのことからキシリトールはスクロースの代替として利用できることが示唆された。

(7)総括

本研究の結果より、豆乳泡沫は起泡時泡沫温度を制御することにより、卵白泡沫の代替として利用できる可能性が示された。また、豆乳泡沫の起泡温度の違いにより、スポンジケーキの品質に影響を与えることが示された。糖濃度についてはいずれの糖においても 60~80%の添加量で最も泡沫安定性が高くなった。低糖質グルテンフリー含泡食品の糖蔵のため、高濃度の糖添加を行うためには泡沫安定性を高めるための工夫が必要であり、今後追究の余地があるものの、スクロースに比べキシリトール添加の方が、起泡力が高くなる傾向を示した。スポンジケーキの官能評価の嗜好型項目においては、スクロース、キシリトール添加間で有意差は認められなかった。これらのことからキシリトールはスクロースの代替として利用できることが示唆された。

<引用文献>

- 1) 布施雅昭, 糖アルコールの特性と利用, 日本食生活学会誌, 10(3), 2-6(1999)
- 2) 藤田孝輝, 甘味料としての糖類, 日本調理科学会誌, 53(2), 147-152(2020)
- 3) 坂田由紀子, 太田馨, 糖蔵に関する研究(第3報), 食物学会誌, 29, 18-22(1974)
- 4) 門田吉弘, 柄尾巧, 中村圭伸, 糖アルコールの特性とそれを活用したおいしい焼き菓子の開発, フードケミカル = A Technical journal on food chemistry & chemicals, 食品化学新聞社, 33(11), 36-39(2017)
- 5) 井川佳子, スポンジケーキの焼成過程に及ぼす糖代替の影響, 日本食品科学工学会誌, 45(6), 357-363(1998)
- 6) 大出京子, スポンジケーキの性状におよぼす新甘味料の影響, 尚絅学院大学紀要, 53, 111-116(2006)
- 7) 行友圭子, 井川佳子, キシリトールを含むスポンジケーキの焼成過程, 日本調理科学会誌, 33(1), 18-24(2000)
- 8) 橘庸子, 各種甘味料がスポンジケーキに与える影響, 和洋女子大学紀要 家政系編, 37, 71-85(1997)
- 9) 土岐田佳子, 柏崎英里子, 濱中真理子, 藤井恵子, グルテンフリースポンジケーキの品質に及ぼすキシリトール添加の影響, 日本調理科学会大会研究発表要旨集, 29(0), 15(2017)
- 10) 倉賀野妙子, 和田 淑子, 機能性糖質甘味料の低水分系焼き菓子における膨化と食感発現への関与, 日本調理科学会誌, 35(3), 258-265(2002)
- 11) 土井悦四郎, 食品タンパク質の加工特性に関する研究, 日本食品工業学会誌, 39(12), 1163-1169(1992)
- 12) 松元文子, 向山りつ子, 卵白の泡立に関する研究(第一報):卵白の気泡, 家政学雑誌, 7(3), 115-120(1956)
- 13) 北畠直文, 土井悦四郎, 泡沫の物性, 日本食品工業学会誌, 34(8), 549-557(1987)
- 14) 宮下朋子, 長尾慶子, フレンチメレンゲの性状や嗜好性に及ぼす気泡の影響と嚥下困難者用食品への利用適性, 日本家政学会誌, 64(11), 725-732(2013)
- 15) 宮下朋子, 伊藤寿江, 長尾慶子, イタリアンメレンゲの性状や嗜好性に及ぼすシロップの砂糖濃度の影響, 日本調理科学会誌, 43(3), 176-183(2010)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 谷口柚衣, 田中愛美, 小崎智恵, 藤井恵子 |
| 2. 発表標題 豆乳メレンゲの物性と食味に及ぼすキシリトール添加の影響 |
| 3. 学会等名 官能評価学会 |
| 4. 発表年 2021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 |
|---------------------------|-----------------------|----|
|---------------------------|-----------------------|----|

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|