

令和 2 年 7 月 8 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H05001

研究課題名(和文) 穀物・農産食品の高品質長期保存の理論的実践的研究

研究課題名(英文) Theoretical and practical study on long-term storage with keeping high quality of grain and agricultural foods

研究代表者

小出 章二 (Koide, Shoji)

岩手大学・農学部・教授

研究者番号：70292175

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では穀物・農産食品の長期保存における品質・理化学的特性の変化を水分活性・ガラス転移温度から考察した。加えて、ライフサイクルアセスメント(LCA)手法を用いて環境負荷やコスト評価を行った。

その結果、穀物・農産食品の品質・生菌数変化、保存性については水分活性とガラス転移温度の二つの指標を用いることで評価できること、また農産物の環境負荷は、貯蔵方法、品質保持、包装方法などが重要なパラメータとなることをLCA手法により明らかにした。本アプローチは、穀物・農産食品に対して初めての試みであり、高品質長期保存法の体系化に大きく寄与するものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、穀物・農産食品の水分活性およびガラス転移温度を、穀物・農産食品の高品質長期保存の指標として用いることで、品質変化、生菌数変化、保存性の評価が可能となることを実際の保存試験の結果から実証したものである。これは農産物保存における品質保持に大きな役割を示すものである。加えて、ポストハーベスト手段を講じても長期保存における環境負荷の増加に与える影響が僅かであることをLCA手法より明らかにした。

以上は、穀物・農産食品の高品質超長期保存方法の確立に向けて大きく前進するものであり、農林水産物・食品の輸出促進等による需要の拡大に関して戦略的に応じることが可能となる。

研究成果の概要(英文)：The purposes of this study were to measure the water activity (aw) and glass transition temperature (Tg) of grain and agricultural foods, to obtain the quality and physicochemical evaluation during long-term storage, and to assess the environmental burden and cost evaluation by using life cycle assessment (LCA) method.

Results indicated that the quality, microbial populations, and storagibility of grain and agricultural foods during long-term storage were capable to evaluate by using two-index: water activity and glass transition temperature. Furthermore, it was found that storage method, quality preservation, and packaging method were important parameters for environmental burden of agricultural products.

This study will contribute the systemization of long-term storage with keeping high quality of grain and agricultural foods.

研究分野：ポストハーベスト工学

キーワード：長期保存 水分活性 ガラス転移温度 品質 生菌数 LCA 穀物・農産物 農産食品

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

水分活性は食品の高品質長期保存を統一的に説明できる指標として利用されてきた。近年は、水分活性に加えて、食品の保存温度をガラス転移温度以下とすれば、化学反応速度や水分(物質)拡散などが桁を落として緩慢となることがモデル系食品で説明されており、長期保存を目指した新たな食品製造の開発が進んでいる。しかし穀物・農産食品(粉体食品を含む)の長期保存は、経験に基づいて行われることが多く、水分活性とガラス転移温度の二つの指標から高品質長期保存について論じた研究例は少ない。また穀物・農産食品の保存において品質安定性のみならず環境・コストを鑑みた LCA 解析は見当たらない。以上を鑑み、穀物・農産食品の高品質長期保存を理論的・実践的に研究することを考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、穀物・農産食品の高品質長期保存を行うにあたり有益な指標となる水分活性とガラス転移温度を測定し、素材ごとに最適な保存条件を提案することと、実際の長期保存におけるサンプルの品質・水分や理化学的特性の計測および評価を行うことである。なお生鮮食品に対しては低温下での長期保存性を評価した。

更に、本研究では、ライフサイクルアセスメント(LCA)手法を用いて長期保存に要する環境負荷・コスト評価を行うことで、品質・環境・コストを考慮した新しい高品質長期保存法の提案を目指したものである。

3. 研究の方法

(1) 穀物・農産食品の水分活性とガラス転移温度

アルファ化玄米、アルファ化色素米、乾燥ニンジンパウダー、乳酸菌(*Lactobacillus casei* (NBRC15883))を固定化させてフリーズドライした乾燥リンゴおよび乾燥乳酸菌体を用い、これらの平衡含水率と水分平衡時のガラス転移温度(T_g)を計測した。ここに、 T_g は DSC 昇温曲線(2nd Scan)の吸熱シフトから算出した。なお穀物・農産食品は、炭水化物、脂質、蛋白質、水分などの多成分からなる。よって得られる T_g は複数点観測されることもあった。従って、ここに記す T_g は厳密には「見かけの T_g 」と解釈頂きたい。

(2) 長期保存における農産食品の品質・理化学的特性の評価

上述した穀物・農産食品を種々の温度・湿度の条件で長期間保存し、品質・理化学的特性の評価を行った。アルファ化色素米は総ポリフェノール、乾燥ニンジンパウダーは β -カロテン含有量を測定・検討し、加えて官能試験を行った。また FD リンゴの保存試験では、品質、食味以外に乳酸菌生存率も計測した。更に低温環境下での生鮮食品の長期保存の可能性を検討した。

(3) ライフサイクルアセスメント手法を用いた青果物長期保存の環境負荷・コスト評価

青果物流通プロセスおよび農産食品の製造プロセスに LCA を適用し、インベントリ分析を実施することで各プロセスの入出力データを整理し、設定したプロセスのエネルギー効率や環境負荷について定量的に評価した。併せて、ホットスポット分析により重要な環境負荷排出源を特定し、環境負荷削減の観点からプロセス改善の可能性について検討した。

4. 研究成果

(1) 穀物・農産食品の水分活性とガラス転移温度

穀物・農産食品の水分収着等温線は GAB 式を用いて高い精度で表現できることが示された。アルファ化色素米の見かけの T_g は、各湿度条件下で複数点観測され、いずれも常温より高かった。また実際の乾燥穀物の T_g も常温より高い温度を呈した。よって穀物・穀物由来の農産食品は超長期保存できる可能性を有すると考えられる。次に、乾燥ニンジンパウダーの T_g はアルファ化した穀物とは異なり、水分の影響を強く受けることが示された(図1)。FD リンゴに固定化した *L. casei* の T_g は 11% RH では 35.2 ± 0.2 °C、43% RH では 0.2 ± 0.5 °C と推定された。このことから、43% RH で保存する FD リンゴは、保存温度を氷点下とすることにより乳酸菌生存率が保たれることが推察された。

本研究より、炊飯した穀物より製造(乾燥)された農産食品(主成分が炭水化物であり、脂質の影響が殆どない場合)であれば常温で超長期保存ができる可能性を、また青果物から製造(乾燥)された農産食品では、常温保存では湿度が品質に与える影響が大きいことが予想された。

(2) 長期保存における農産食品の品質・理化学的特性の評価

穀物・農産食品を種々の温度・湿度の条件で長期保存し、その品質・理化学的特性の評価を行った。アルファ化色素米では総ポリフェノール量を品質の指標とした。その結果、総ポリフェノール量は、保存中の水分活性の影響をほとんど受けず、一方で、保存前の乾燥処理(乾燥の温度・時間)の影響を強く受けることが示された。続いて、乾燥ニンジンパウダーの保存後の β -カロテン含有量の水分活性および保存温度との関係を測定するとともに、製品の官能試験を行った。図2は種々の水分活性の条件下で保存した試料の写真である。これを見ると、高水分活性領域に保存した試料は「色」の評点が高いもののカビが生育したのに対し、低水分活性領域では「外観」、「流動感」、「香り」、「総合」の評点が高い結果を示した。次に、中間水分活性領域(相対湿度 32%)

で保存した試料では低水分活性領域のものよりもβ-カロテン含有量の保持が見られた(図3)。これは他の乾燥果実の結果と同じ傾向であり、空気中ではある程度食品材料表面に自由水が存在したほうが、酸化等の化学反応を抑制できることを示唆する。加えて、本実験では高温(35℃)で保存した乾燥ニンジンパウダーは、常温保存と比較してβ-カロテン含有量が減少した。これらの結果については、今後T_gの結果(図1)を用いて検討したい。

次に、FDリンゴの保存試験の結果を示す。FDリンゴの食味試験は、乳酸菌溶液に浸漬せずにFDしたリンゴと比較して、ほぼ同程度あるいはそれ以上の良好なスコアを得た。また、FDリンゴの乳酸菌生存率(図4)は0~23%RHの条件で高く維持され、43%RH以上では著しく低下した。このことはDSC測定により得られた*L. casei*のT_gが相対湿度11%では35.2℃、43%では0.2℃と推定されたことから説明ができると思われ、43%のFDリンゴは氷点下で保存すると乳酸菌生存率が保たれると考えられる。色彩色度を見ると相対湿度43%は色の差が「かなり感じられる」、0、11、22、58%RHでは「目立って感じられる」という結果になった。全ての試験区でa*の値が増加、b*の値が減少し、色の鮮やかさを示す彩度Cが低下した。一方で相対湿度0%と11%では目視で確認できるほど試料が白く変色した。なお、生鮮食品(例えばカット果実など水分を変更しにくい食品)を長期保存した結果、より低温で保存したほうが、生菌数、食味、品質に良い影響を与えることが示されたことを付記する。

以上、穀物・農産食品の高品質長期保存における最適な水分活性値は、材料表面に酸化等の化学反応を抑制するための自由水がどの程度存在すべきか、中間水分活性領域における固結の発生と化学反応速度との関係について、T_gと品質・生菌数との関係について、など整理すべき点も出てきた。これは、本課題を行った結果得られた基礎的知見であり、今後は、これらの解明も考慮して、材料ごとに高品質長期保存に望ましい保存環境を提案したい。

(3) ライフサイクルアセスメント手法を用いた青果物長期保存の環境負荷・コスト評価

青果物長期貯蔵・流通を想定して、日本から台湾に輸出されるリンゴのシステムバウンダリを構築し、環境影響評価に関する予備的解析を行った。その結果(1)リンゴの栽培と日本国内のトラック輸送がホットスポットであること(2)生体毒性および淡水毒性へ及ぼす影響が大きいこと(3)低温貯蔵およびCA貯蔵に伴う環境影響物質の排出は小さいこと、を明らかにした。次に、農産食品の環境負荷の解析の一例として、キャベツの遠赤外線乾燥過程における消費電力について評価し、LCA手法による環境負荷の評価に必要な予備的解析を行った。その結果、低温長時間乾燥における潜熱顕熱比が高温短時間乾燥のそれと比べて有意に大きくなったことから、同条件において投入された乾燥エネルギーが試料の水分蒸発に使用される割合が大きいこと、すなわちエネルギー効率が良好であることを定量的に示すとともに、低温長時間乾燥の方が高温短時間乾燥と比べて消費電力量の削減効果が大きくなることを明らかにした。更に本研究では、LCA手法による農産食品の環境負荷の解析の一例として、乾燥キャベツの遠赤外線乾燥過程を対象とし、プランチング処理が環境負荷低減に及ぼす影響について検討する

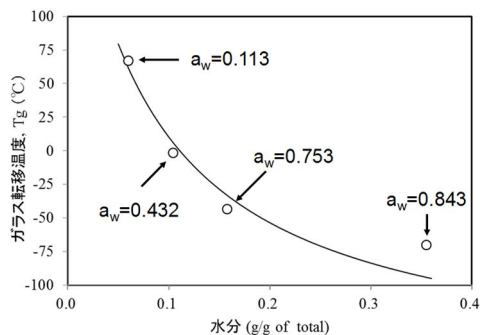


図1 乾燥ニンジンパウダーのガラス転移温度の水分依存性
 図中、曲線は Gordon-Taylor モデルにより近似した計算値



図2 温度25℃で保存試験中(20日目)のニンジンパウダー
 図中、数字は保存環境の水分活性を示す

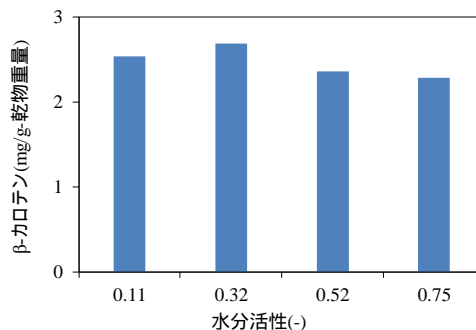


図3 温度25℃で保存試験中(27日目)のニンジンパウダーのβ-カロテン含有量

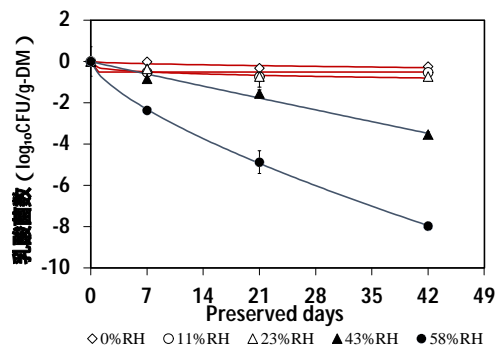


図4 FDリンゴの乳酸菌生存率。
 初菌数: 8.6 ± 0.1 (log₁₀CFU/g-DM)

とともに、乾燥後製品の栄養成分から環境効率を算出し、品質と環境負荷の関係について考察した。その結果、資源消費および水資源消費を除く全ての影響項目で、加工工程における環境負荷の寄与度が高い結果となった。乾燥キャベツの製造時における環境負荷を低減するための手段として、ブランチング処理は極めて有効であることが明らかとなり、かつ栄養成分を考慮した上でも良好な処理方法であることが示された(図5)。加えて、イチゴのLCAにおいて、緩衝包装の有無が環境負荷に及ぼす影響を評価した結果、「イチゴの栽培(施設栽培)・出荷準備」段階における負荷が大きいことが示された(図6)。緩衝包装は輸送時のイチゴに生じる損傷を減少させ、損傷分の補填のために行われる追加的なイチゴの生産に伴う環境負荷の発生を抑制することから、緩衝なしに対する緩衝ありの環境負荷は、最大で47.3%程度削減される結果となった。また、栽培方法の変更やモーダルシフトの導入により大幅な環境負荷削減の可能性が示された。

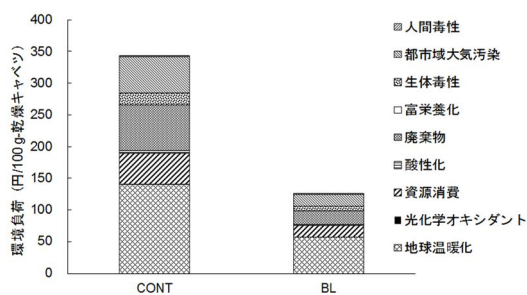


図5 ブランチング無処理 (CONT) および部案チング処理 (BL) における乾燥キャベツの環境負荷の比較

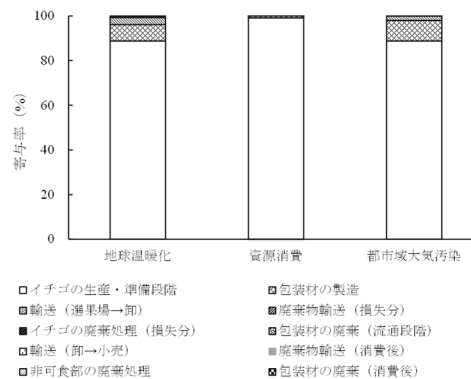


図6 イチゴのライフサイクルにおける特性化結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Koide Shoji, Yoneyama Ami, Oriyasa Takahiro, Uemura Matsuo	4. 巻 -
2. 論文標題 Assessing the supercooling of fresh-cut onions at -5C using electrical impedance analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Food Quality and Safety	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/fqsafe/fyz044	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 Kurata, D., Oriyasa, T., Komuro, M., Sasaki, K., Koide, S.	4. 巻 26
2. 論文標題 Quality evaluation of shiitake mushrooms dried by vacuum microwave treatment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Food Science and Technology Research	6. 最初と最後の頁 339 ~ 350
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3136/fstr.26.339	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 佐々木勇麻, 折笠貴寛, 渡邊高志, 椎名武夫, 築城幹典, 小出章二	4. 巻 15
2. 論文標題 LCA手法に基づく乾燥キャベツ製造工程における環境影響評価 - ブランチング処理に伴う環境負荷低減の可能性 -	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本LCA学会誌	6. 最初と最後の頁 174 ~ 187
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3370/lca.15.174	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 小出章二, 大須賀玲, 折笠貴寛, 上村松生	4. 巻 66
2. 論文標題 過冷却保存されたカットハウレンソウの電氣的, 生理学的評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本食品科学工学会誌	6. 最初と最後の頁 335 ~ 340
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3136/nskkk.66.335	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 Koide S., Kumada R., Hayakawa K., Kawakami I., Orikasa T., Katahira M., Uemura M.	4. 巻 1256
2. 論文標題 Survival of cut cabbage subjected to subzero temperatures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Acta Horticulturae	6. 最初と最後の頁 329 ~ 334
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.17660/ActaHortic.2019.1256.46	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 -

1. 著者名 佐々木勇麻, 折笠貴寛, 中村宜貴, 林 清忠, 八坂慶仁, 牧野直樹, 正嶋宏一, 小出章二, 椎名武夫	4. 巻 82
2. 論文標題 青果物輸送における緩衝包装が環境負荷削減に及ぼす影響 輸送振動による損傷を考慮したイチゴのLCA	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 農業食料工学会誌	6. 最初と最後の頁 65 ~ 76
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 -

1. 著者名 Orikasa Takahiro, Ono Naoki, Watanabe Takashi, Ando Yasumasa, Shiina Takeo, Koide Shoji	4. 巻 2
2. 論文標題 Impact of blanching pretreatment on the drying rate and energy consumption during far-infrared drying of Paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Food Quality and Safety	6. 最初と最後の頁 97 ~ 103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/fqsafe/fyy006	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 -

1. 著者名 折笠貴寛, 北館奏子, 渡邊高志, 小出章二	4. 巻 80(1)
2. 論文標題 遠赤外線乾燥条件の違いがキャベツの品質変化および消費電力量に及ぼす影響	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 農業食料工学会誌	6. 最初と最後の頁 66-74
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 -

1. 著者名 小出章二, 佐藤あい花, 折笠貴寛, 武田純一	4. 巻 63
2. 論文標題 アルファ化玄米の製造に関する研究(第1報)	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 農業食料工学会東北支部報	6. 最初と最後の頁 25-28
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 無
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12件(うち招待講演 0件/うち国際学会 2件)

1. 発表者名 長屋美玖, 折笠貴寛, 小出章二
2. 発表標題 Lactobacillus casei を固定化したフリーズドライ農産食品の保存における菌数および品質変化
3. 学会等名 日本食品科学工学会関東支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小出章二, 大須賀 玲, 折笠貴寛, 上村松生
2. 発表標題 生鮮青果物の過冷却保存に関する一考察
3. 学会等名 日本食品科学工学会第66回大会(藤女子大学)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々木勇麻, 折笠貴寛, 中村宣貴, 林 清忠, 八坂慶仁, 牧野直樹, 正嶋宏一, 小出章二, 椎名武夫
2. 発表標題 輸送時の振動による損傷を考慮したイチゴのライフサイクルアセスメント
3. 学会等名 2019年農業食料工学会・農業施設学会・国際農業工学会第6部会合同国際大会(北海道大学)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小出章二, 大須賀 玲, 折笠貴寛, 上村松生
2. 発表標題 カットホウレンソウの過冷却保存に関する研究
3. 学会等名 2019年農業食料工学会・農業施設学会・国際農業工学会第6部会合同国際大会(北海道大学)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小出章二, 折笠貴寛, 上村松生
2. 発表標題 青果物の氷点下保存に関する研究と今後の展望
3. 学会等名 農業環境工学関連学会2018年合同大会(愛媛, 9月10-14日, 2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐々木勇麻, 折笠貴寛, 小出章二
2. 発表標題 LCA手法に基づく乾燥キャベツ製造工程における環境影響評価 - ブランチング処理に伴う環境負荷低減の可能性 -
3. 学会等名 農業環境工学関連5学会2018年合同大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sasaki, Y., Orikasa, T., Watanabe, T., Koide, S.
2. 発表標題 Quantitative Evaluation of Environmental Burden Reduction for Blanching Pretreatment during Dried Cabbage Production Process
3. 学会等名 Ecobalance 2018(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小出章二, 折笠貴寛, 菊池瑞季, 早川香寿美
2. 発表標題 フリーズドライしたニンジンの高品質保存に関する研究
3. 学会等名 第66回日本食品保蔵科学会 (高知県立大学)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 スターターを用いた青果物のバイオプレザベーション
2. 発表標題 早川香寿美, 佐々木菜佑, 山田美和, 折笠貴寛, 小出章二
3. 学会等名 農業食料工学会東北支部研究発表会 (東北農研、盛岡)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 乳酸菌を用いた青果物のバイオプレザベーション
2. 発表標題 早川香寿美, 小出章二, 折笠貴寛
3. 学会等名 農業食料工学会第76回年次大会 (東京農大、世田谷)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Koide, S., Kumada, R., Hayakawa, K., Kawakami, I., Orikasa, T., Katahira, M., Uemura, M
2. 発表標題 Survival of Cut Cabbage subjected to Subzero Temperatures
3. 学会等名 VI International Conference Postharvest Unlimited, 17-20 October, Madrid, Spain. (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松井芽衣, 佐藤あい花, 川村理奈, 折笠貴寛, 小出章二
2. 発表標題 アルファ化玄米の乾燥・保存特性に関する研究
3. 学会等名 平成28年度農業食料工学会東北支部大会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 小出章二, 折笠貴寛 (分担執筆)	4. 発行年 2018年
2. 出版社 理工図書	5. 総ページ数 336
3. 書名 工学技術者のための農学概論	

〔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	折笠 貴寛 (Orikasa Takahiro) (30466007)	岩手大学・農学部・准教授 (11201)	