

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(B)（特設分野研究）

研究期間：2019～2022

課題番号：19KT0010

研究課題名（和文）有機農業で生産性向上可能なナノファイバー化技術を用いた廃カニ殻の有効利用技術開発

研究課題名（英文）Technology development for the effective utilization of crab shell waste by its nanofibrillation in order to improve the productivity in organic farming

研究代表者

上中 弘典（KAMINAKA, Hironori）

鳥取大学・農学部・准教授

研究者番号：40397849

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,300,000円

研究成果の概要（和文）：有機農業で生産性向上可能なナノファイバー化技術を用いた廃カニ殻の有効利用技術の開発を目的に、本研究ではカニ殻をナノファイバー化して得られるキチンナノファイバー(CNF)複合体について、土壌施用に最適な形状の決定、ならびに土壌環境と植物に対する影響評価を実施した。その結果、土壌施用には水分散液の形状が最適であること、ならびに植物の生育促進と病害抵抗性の向上においてはカニ殻の成分であるキチン、タンパク質、ミネラル分を全て含むCNF複合体の施用効果が最も高いことを明らかにした。またこれまでの知見とは異なり、CNF（複合体）の土壌施用による放線菌などのキチン分解性細菌に対する影響は認められなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

農工連携の異分野融合研究により、廃カニ殻の農業分野での利用にナノファイバー化技術が非常に有効であることが明らかとなった。特に廃カニ殻を直接物理処理するだけで製造可能なキチンナノファイバー複合体の効果が最も高く、これは有機農業に利用できる。そのため、農業分野における地域の未利用資源「廃カニ殻」の有効活用と特に有機農業での利用促進に生かされると期待される。また、ナノファイバー化技術を用いて製造した材料を用いることでカニ殻の構成成分毎の効果を比較することが可能になり、その結果キチンやカニ殻の土壌改良効果に関してこれまでとは異なる知見も得られたため、本技術の利用は学術的にも有用であるといえる。

研究成果の概要（英文）：In order to develop an effective utilization technology for waste crab shells using nanofibrillation that can improve productivity in organic agriculture, this study was conducted to determine the optimum shape of chitin nanofiber (CNF) composites obtained by nanofibrillation of crab shells for soil application and to evaluate its effects on the soil environment and plants. The results showed that the water dispersion form was the most suitable for soil application, and that the CNF composites, which contains all the components of crab shell (chitin, proteins, and minerals), were most effective in promoting the growth of plants and improving disease resistance. In contrast to previous findings, there was no effect of soil application of CNF (composites) on chitin-degrading bacteria such as actinomycetes.

研究分野：植物生理学、植物病理学

キーワード：未利用バイオマス 廃カニ殻 ナノファイバー 有機農業 植物 土壌 病害抵抗性 生育促進

1. 研究開始当初の背景

現在の経済社会は「大量生産・大量消費・大量廃棄」型であるが、近年持続的な循環型社会への転換が強く求められている。食料については、廃棄物を価値ある素材に転換し、農業生産に利用することで、循環型システムの構築が可能であると考えられる。未利用の廃棄物系バイオマスとしては、カニやエビなどの加工の際に出る廃殻が知られる。廃カニ殻は土壌改良資材として農業で利用されているが、その効果が限定的であるため、広く利用されているとは言い難い。廃カニ殻の利活用には主成分であるキチンの有効利用も考えられるが、素材としての加工性、成形性に劣るため、その豊富な資源量に見合った産業利用はほとんどされておらず、廃棄物として焼却処分されているのが現状である。

これらの問題点を解決するため、研究分担者(伊福)らはキチンを微細繊維(ナノファイバー)の形状で簡単に単離する技術を独自に開発している (Ifuku and Saimoto, 2012)。このキチンナノファイバー(CNF)は均一に水中で分散するため、混合や成形などの加工性が格段に向上しており、原材料としてキチンの利用を促すためのブレイクスルーとなっている。研究代表者らは、分散液として均一に植物に処理できる特性を利用して、これまで調べることが不可能であった植物の高分子キチンに対する応答機構を研究してきた。その結果、CNFによる病害抵抗性の誘導能を明らかにした (Egusa et al., 2015 他)。また、CNFの農業分野での応用利用を志向した研究を実施してきた。その結果、CNFを施用した土壌で生育させた様々な作物において成長促進と病害抵抗性の誘導されることを明らかにしてきた (Parada et al., 2018; Kaminaka et al., 2020; Takagi et al., 2022 他)。これらの成果から CNF は原材料としてキチンの利用を促すためのブレイクスルーになると期待されたが、一方で精製されたキチンを用いることでの問題も生じている。具体的には、キチンの精製には大量の酸・アルカリを用いるため、環境への影響が懸念されるとともにその処理費用が膨大になること、および化学処理を経ているので有機農業に利用できないことが挙げられる。

そこで、研究代表者らはナノファイバー化技術のカニ殻に直接適用し、そこで得られる CNF とタンパク質、ミネラル分(主に炭酸カルシウム)の複合体に関しても施用の効果を検証し、1) 無栄養条件下で栽培したトマトに対するカニ殻の肥料効果がナノファイバー化によって増強されること (Aklog et al., 2016)、2) カニ殻自体ではほとんど認められないトマト萎凋病菌(フザリウム)に対する抵抗性がナノファイバー化によって発揮されることを発見してきた。つまり、土壌への施用効果が限定的であるカニ殻は、ナノファイバー化により作物の生産性を高める効果を増強可能であると考えられた。また、ナノファイバー化は物理的処理のみであるため、カニ殻から直接製造される CNF 複合体は有機農業に利用可能な素材になりうることも考えられた。

一方で、カニ殻の土壌への施用効果は放線菌などのキチン分解菌により生じるキチンやミネラル分由来するとされているが、カニ殻の構成成分毎の効果を比較する手法が存在しなかったため、科学的根拠に乏しいのが現状であった。また、土壌環境と植物に対するカニ殻の土壌施用効果に関する知見自体も十分ではない。前述通りカニ殻の農業利用におけるナノファイバー化の有用性は認められるが、その有効利用技術を開発するためには、ナノファイバー化による廃カニ殻の機能の向上や最適な処理方法についてだけでなく、カニ殻による土壌改良に貢献する成分の同定や施用効果を生ずるメカニズムを包括的に明らかにする必要がある。

2. 研究の目的

前述の背景を踏まえ、本研究では有機農業で生産性向上可能なナノファイバー化技術を用いた廃カニ殻の有効利用技術の開発を最終目的とした。その達成のため、カニ殻をナノファイバー化して得られる CNF 複合体の土壌施用による土壌環境と植物への影響評価とそのメカニズムに関する研究を実施した。また、CNFの加工技術を利用して施用に最適な CNF 複合体の形状の決定を行った。

3. 研究の方法

(1) カニ殻由来キチンナノファイバー(CNF)複合体の作成と加工

カニ殻由来 CNF/タンパク質/炭酸カルシウム複合体 (CNF/P/Ca)、カニ殻由来 CNF/タンパク質複合体(CNF/P)の水分散液は、既報 (Aklog et al., 2016) の方法に従って作成した。また、CNF 水分散液は、精製されたカニ殻由来の市販のキチン(甲陽ケミカル)を用いて既報の方法 (Ifuku and Saimoito, 2012) に従い作成した。全て材料となる物質に対して純水を加え含有するキチンの濃度が 1 wt% になるように調製し、石臼式磨砕機(スーパーマスコロイダー)を用いてこの懸濁液を粉砕処理することでナノファイバー化した。粉砕は 2 回実施した。

バインダーとして水溶性の多糖類であるデキストリンを CNF 水分散液と混合し、加熱乾燥により粉末化した。ハイドロゲルについては、確立済みの製法 (Abe et al., 2014) を用いて高粘度の CNF 分散液をゲル化することで作成した。

(2) カニ殻由来 CNF 複合体の土壌施用による植物に対する影響評価

(1) で作成した粉末化もしくはハイドロゲル化した CNF は栽培土壌添加し、イネの実生を移植

後、グロースチャンパー内で3週間生育させることで、CNF水分散液との施用効果を比較した。

病害抵抗性については、(1)で得られたCNFおよびカニ殻由来CNF複合体の水分散液を添加した土壌を用い、トマトと病原真菌であるトマト萎凋病菌を用いた試験を行った。4週間栽培した実生の根に萎凋病菌を灌注接種し、さらに4週間の植物を採取し、導管の褐変本数を指標に病徴を評価した。本試験では、比較対象としてカニ殻粉末も土壌への施用に用いた。植物体についてはRNAを抽出し、RNA-seqを用いたトランスクリプトーム解析を行った。また、同様の栽培土壌で3週間生育させたイネに病原真菌であるイネごま葉枯れ病菌を接種し、形成された病斑サイズを指標に病害抵抗性を評価した。

(3) カニ殻由来CNF複合体の栽培土壌への施用による土壌環境に対する影響評価

(1)で得られたCNFおよびカニ殻由来CNF複合体の水分散液を添加した土壌を用い、コマツナの栽培試験を実施した。供試土壌として砂質未熟土と黒ボク土をそれぞれ用い、施用効果に対する土壌の性質の影響を評価した。また、栽培前に一括して基肥する区(事前添加区)と栽培中に追肥(経時添加区)も比較した。使用した土壌については栽培前後に、pH、電気伝導率、交換性カルシウム、陽イオン交換容量、全炭素、全窒素、アンモニア態窒素、硝酸態窒素、可給態リン酸等を測定した(表1)。34日間栽培した植物については、地上部の長さや乾物重、窒素とカルシウム吸収量を測定した。

表1. 土壌成分分析の結果

Property	Entisols	Andosols
pH (1:2.5, soil:water)	6.13 ± 0.04	5.36 ± 0.03
EC (1:5, soil:water; mS m ⁻¹)	0.57 ± 0.09	5.03 ± 0.11
Total C (g kg ⁻¹)	0.92 ± 0.07	56.7 ± 2.51
Total N (g kg ⁻¹)	0.16 ± 0.01	4.38 ± 0.17
NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	3.49 ± 0.12	20.73 ± 1.42
NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)	0.35 ± 0.09	1.60 ± 0.09
Truog available P (mg kg ⁻¹)	0.73 ± 0.04	2.34 ± 0.16
Phosphate Absorption Coefficient	7 ± 0.21	1964 ± 38
Exchangeable Ca (cmolc kg ⁻¹)	0.23 ± 0.04	0.59 ± 0.08
CEC (cmolc kg ⁻¹)	0.97 ± 0.08	29.48 ± 1.26
Soil Texture	S	LiC

(2)の病害抵抗性の試験に用いた土壌よりDNAを抽出し、それを鋳型に16S rRNA(細菌)とITS(真菌)のPCR産物を得た。各PCR産物のアンプリコンシーケンスとデータを用いた土壌中の微生物集団の比較解析は、受託解析により実施した。また、トマト萎凋病菌を接種した土壌からDNAを抽出し、細菌のキチナーゼ遺伝子特異的プライマーを用いて定量PCR法によりキチン分解性細菌量を測定した。

4. 研究成果

(1) 土壌施用に最適なカニ殻由来CNF複合体の形状の決定

確立済みの手法を用いてCNFもしくはCNF複合体の水分散液を作成し、予定通り他の研究に研究期間を通じて供給した。粉末化したキチンナノファイバーを作成し、これら加工品を施用した土壌にてイネの苗を生育させた。粉末化キチンナノファイバーはイネの生育を著しく抑制した(図1)。すでに水分散液を使用した試験で良好な結果が得られていたため、ハイドロゲル化も含めて分散液を加工するのではなく、土壌に施用してカニ殻由来CNF(複合体)の機能を発揮させるには水分散液の形状が最も適していると結論づけ、他の試験でも水分散液のみを使用した。

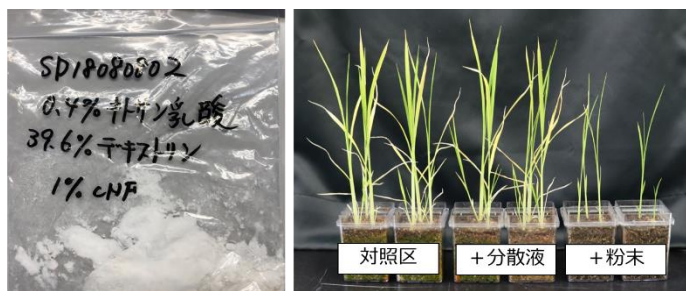


図1. 粉末状キチンナノファイバーの土壌施用試験結果(イネ)

(2) ナノファイバー化による廃カニ殻の機能向上と土壌改良に貢献する成分の同定

コマツナを用いた試験の結果、施肥しない条件では砂質未熟土でカニ殻から直接作成したCNF複合体(CNF/P/Ca)でのみ施用による生育促進効果が認められた(図2)。一方で、施肥した場合ではどちらの土壌を使った場合でもCNFもしくはCNF複合体の施用による生育促進効果が認められた。生育促進に伴い、窒素吸収の促進も確認された。砂質未熟土における施用効果が認められた一方、黒ぼく土における施用効果が認められなかったため、黒ぼく土で豊富に含まれる土壌中の微生物が

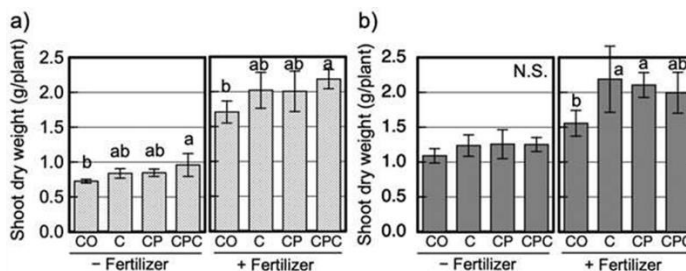


図2. カニ殻由来CNF複合体の土壌施用試験結果(コマツナ)

(a)砂質未熟土、(b)黒ボク土。
CO: Control, C:CNF, CP:CNF/P, CPC: CNF/P/Ca

CNF 複合体を分解したことによると考えられた。また、CNF もしくは CNF 複合体水分散液の栽培期間中の施用量を一定とし、事前添加区と経時添加区を比較した結果、対照区と比較すると砂質未熟土、黒ぼく土ともに、CNF 複合体による生育促進効果が明らかに認められた。興味深いことに、図2の試験では効果が認められなかった黒ぼく土の事前添加区でも効果が認められたが、これは施用方法を全層施用から表層施用に変更したためであると考えられた。本成果は論文として報告した (Endo et al., in press)。

トマトを用いた萎凋病菌に対する病害抵抗性の評価試験を実施した結果、カニ殻粉末の土壤施用では認められない病徴の抑制効果が、CNF およびカニ殻由来 CNF 複合体の施用で認められた (図3)。特に抑制効果は、CNF<CNF/P<CNF/P/Ca であり、成分がカニ殻と同等の複合体で最も高い抵抗性の向上が認められた。本成果は論文として報告した (Egusa et al., 2019)。同様の結果は、イネとイネごま葉枯れ病菌の組合せでも確認した。

これらの結果を総合すると、土壤施用による CNF の生育促進効果と病害抵抗性の向上効果は、カニ殻のキチン以外成分存在することでさらに促進されることが明らかとなった。この促進効果は主に炭酸カルシウムからなるミネラル分によるものであると考えられる。また、カニ殻から直接製造した CNF 複合体を施用した砂質未熟土では、可給態リン量が増加していたことから、これらの組み合わせによる栽培が CNF 複合体の効率的な機能の発揮に有効であると考えられた。

すなわち、ナノファイバー化は廃カニ殻の植物に対する機能を向上することが可能な技術であり、土壤改良にはナノファイバー化されたキチンだけでなくタンパク質やミネラル分といったカニ殻の成分全てが重要であると結論づけられた。

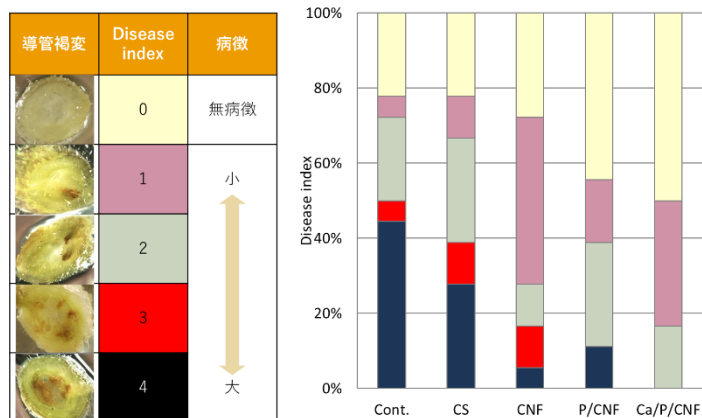


図3. カニ殻由来CNF複合体の土壤施用試験結果 (トマト)
Cont.: Control, CS:カニ殻粉末

(3) カニ殻の施用効果を生ずるメカニズムの解明

これまでの知見として、カニ殻の土壤施用により一般的に放線菌などのキチン分解性の細菌量が増加し、それにより糸状菌が分解されることで、糸状菌に対する病害抵抗性が誘導されると考えられている。そこで、(3)のトマトでの試験で用いた土壤菌叢の構造解析を行った結果、予想に反して放線菌を含めた細菌叢における大きな変化は認められなかった (図4)。そこで、栽培土壌における放線菌などのキチン分解性細菌量を測定したが、トマト萎凋病菌の接種の有無に関わらず、その存在量の変化は4週間の期間の間を通じて全く変化は認められなかった (図5)。すなわち、本研究の実験系においては、これまでの知見とは異なり、カニ殻や CNF、カニ殻由来 CNF 複合体の施用は放線菌などのキチン分解性細菌を含む土壌細菌叢の構造には影響しないことが明らかとなった。一方で、真菌叢の多様性が向上していたため、(2)において認められた病害抵抗性の向上は、キチンだけでなくタンパク質、ミネラル分による複合的な土壌真菌叢への影響もしくは植物への直接の影響によると考えられる。

真菌叢の構造についての詳細な解析については研究期間内に着手できなかったため、今後変化が認められた真菌類については病害抵抗性の向上効果に対する影響を調査する予定である。また、キチンやタンパク質、ミネラル分それぞれによる植物に対する影響の違いについては、トランスクリプトーム解析を

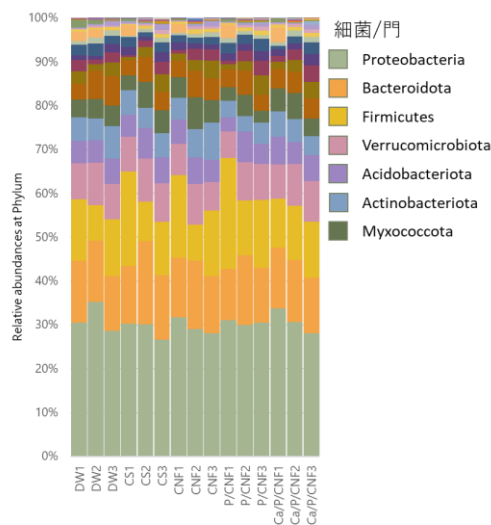


図4. 土壌菌叢解析結果 (細菌)
DW: Control, CS:カニ殻粉末

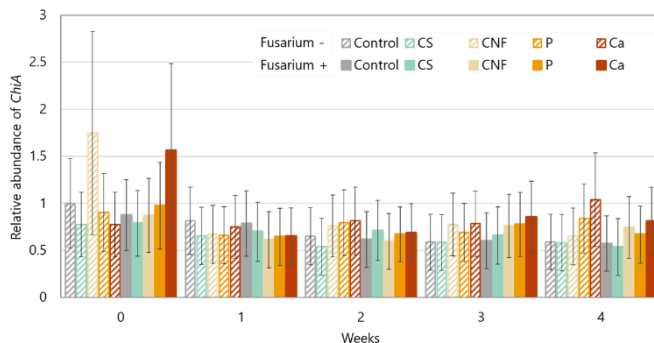


図5. キチン分解性細菌量の変化
CS:カニ殻粉末, P: CNF/P, Ca:CNF/P/Ca

実施することで明らかにすることを試みた。しかしながら、発現変動遺伝子に供試したサンプルの間で明確な差を見い出せなかったため、これについても今後再試を実施したい。

<引用文献>

- Abe, K., Ifuku, S., Kawata, M. and Yano, H.: Preparation of tough hydrogels based on β -chitin nanofibers via NaOH treatment. *Cellulose*, 21, 535-540 (2014)
- Aklog, Y.F., Egusa, M., Kaminaka, H., Izawa, H., Morimoto, M., Saimoto, H. and Ifuku, S.: Protein/CaCO₃/chitin nanofiber complex prepared from crab shells by simple mechanical treatment and its effect on plant growth. *International Journal of Molecular Sciences*, 17, 1600 (2016)
- Egusa, M., Matsui, H., Urakami, T., Okuda, S., Ifuku, S., Nakagami, H. and Kaminaka, H.: Chitin nanofiber elucidates the elicitor activity of polymeric chitin in plants. *Frontiers in Plant Science*, 6, 1098 (2015)
- Egusa, M., Parada, R.Y., Aklog, Y.F., Ifuku, S. and Kaminaka, H.: Nanofibrillation enhances the protective effect of crab shells against *Fusarium* wilt disease in tomato. *International Journal of Biological Macromolecules*, 128, 22-27 (2019)
- Endo, T., Inoue, Y., Kato, S., Kaminaka, H. and Ifuku, S.: Effects of chitin nanofiber application on plant growth and its differences by soil type. *Asian Journal of Agriculture and Rural Development*, in press
- Ifuku, S. and Saimoto, H.: Chitin nanofibers: preparations, modifications, and applications. *Nanoscale*, 4, 3308-3318 (2012)
- Kaminaka, H., Miura, C., Isowa, Y., Tominaga, T., Gonnami, M., Egusa, M. and Ifuku, S.: Nanofibrillation is an effective method to produce chitin derivatives for induction of plant responses in soybean. *Plants*, 9, 810 (2020)
- Parada, R.Y., Egusa, M., Aklog, Y.F., Miura, C., Ifuku, S. and Kaminaka, H.: Optimization of nanofibrillation degree of chitin for induction of plant disease resistance: Elicitor activity and systemic resistance induced by chitin nanofiber in cabbage and strawberry. *International Journal of Biological Macromolecules*, 118, 2185-2192 (2018)
- Takagi, M., Hotamori, K., Naito, K., Matsukawa, S., Egusa, M., Nishizawa, Y., Kanno, Y., Seo, M., Ifuku, S., Mine, A. and Kaminaka, H.: Chitin-induced systemic disease resistance in rice requires both OsCERK1 and OsCEBiP and is mediated via perturbation of cell-wall biogenesis in leaves. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1064628 (2022)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 18件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Egusa Mayumi, Watanabe Shunki, Li Hujun, Zewude Dagmawi Abebe, Ifuku Shinsuke, Kaminaka Hironori	4. 巻 -
2. 論文標題 Production of copper nanoparticle-immobilized chitin nanofibers and their role in plant disease control	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Pesticide Science	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) 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 Takagi Momoko, Kaminaka Hironori	4. 巻 47
2. 論文標題 Utilization of the unused resources using nanofibrillation technology in agriculture and its future perspectives	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Pesticide Science	6. 最初と最後の頁 56 ~ 59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1584/jpestics.W22-23	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 Tsuneyoshi Endo, Yuzuki Inoue, Shun Kato, Hironori Kaminaka, Shinsuke Ifuku	4. 巻 -
2. 論文標題 Effects of chitin nanofiber application on plant growth and its differences by soil type	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Asian Journal of Agriculture and Rural Development	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) なし	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 Takagi Momoko, Hotamori Kei, Naito Keigo, Matsukawa Sumire, Egusa Mayumi, Nishizawa Yoko, Kanno Yuri, Seo Mitsunori, Ifuku Shinsuke, Mine Akira, Kaminaka Hironori	4. 巻 13
2. 論文標題 Chitin-induced systemic disease resistance in rice requires both OsCERK1 and OsCEBiP and is mediated via perturbation of cell-wall biogenesis in leaves	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Plant Science	6. 最初と最後の頁 1064628
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fpls.2022.1064628	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 上中弘典	4. 巻 71
2. 論文標題 ナノファイバー化技術を用いた未利用資源の農業分野での利活用	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 高分子	6. 最初と最後の頁 67-68
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 -

1. 著者名 Li Hujun, Yoshida Saori, Mitani Naofumi, Egusa Mayumi, Takagi Momoko, Izawa Hironori, Matsumoto Teruyuki, Kaminaka Hironori, Ifuku Shinsuke	4. 巻 284
2. 論文標題 Disease resistance and growth promotion activities of chitin/cellulose nanofiber from spent mushroom substrate to plant	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Carbohydrate Polymers	6. 最初と最後の頁 119233 ~ 119233
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbpol.2022.119233	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 Egusa Mayumi, Matsukawa Sumire, Miura Chihiro, Nakatani Shiori, Yamada Junpei, Endo Tsuneyoshi, Ifuku Shinsuke, Kaminaka Hironori	4. 巻 151
2. 論文標題 Improving nitrogen uptake efficiency by chitin nanofiber promotes growth in tomato	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Biological Macromolecules	6. 最初と最後の頁 1322 ~ 1331
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijbiomac.2019.10.178	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 Kaminaka Hironori, Miura Chihiro, Isowa Yukiko, Tominaga Takaya, Gonnami Mamu, Egusa Mayumi, Ifuku Shinsuke	4. 巻 9
2. 論文標題 Nanofibrillation is an Effective Method to Produce Chitin Derivatives for Induction of Plant Responses in Soybean	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plants	6. 最初と最後の頁 810 ~ 810
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/plants9070810	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 Egusa Mayumi、Parada RoxanaYanira、Aklog Yihun Fantahun、Ifuku Shinsuke、Kaminaka Hironori	4. 巻 128
2. 論文標題 Nanofibrillation enhances the protective effect of crab shells against Fusarium wilt disease in tomato	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Biological Macromolecules	6. 最初と最後の頁 22~27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijbiomac.2019.01.088	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22件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Shinsuke Ifuku
2. 発表標題 Chitin nanofiber: various biological functions of the new material from crab shells and its practical application
3. 学会等名 The Advanced Materials World Congress (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山縣陽咲子, 大澤薫, 高木桃子, 峯彰, 伊福伸介, 上中弘典
2. 発表標題 シロイヌナズナにおいてキチンによる全身誘導抵抗性は細胞壁の機能を介して発現する
3. 学会等名 第31回植物微生物研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山縣陽咲子, 内藤圭吾, 高木桃子, 吉岡麻衣, 松川すみれ, 江草真由美, 菅野裕理, 瀬尾光範, 假谷佳祐, 石原亨, 伊福伸介, 峯彰, 上中弘典
2. 発表標題 キチンにより全身的に誘導されるシロイヌナズナの病害抵抗性と成長抑制
3. 学会等名 第30回植物微生物研究会研究交流会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高木桃子、上中弘典
2. 発表標題 ナノファイバー化技術を用いた未利用資源の農業分野での利活用
3. 学会等名 日本農薬学会第47回大会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山縣陽咲子、内藤圭吾、高木桃子、吉岡麻衣、江草真由美、假谷佳祐、石原亨、伊福伸介、峯 彰、上中弘典
2. 発表標題 キチンにより全身的に誘導されるシロイヌナズナの病害抵抗性と成長抑制
3. 学会等名 第62回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高木桃子、保多盛啓、内藤圭吾、江草真由美、西澤洋子、伊福伸介、峯 彰、上中弘典
2. 発表標題 キチンによりイネで全身的に誘導される病害抵抗性の発現メカニズムの解明
3. 学会等名 第62回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keigo Naito, Sumire Matsukawa, Mai Yoshioka, Roxana Y. Parada, Mayumi Egusa, Shinsuke Ifuku, Hironori Kaminaka
2. 発表標題 Identification of Arabidopsis LysM-type receptors involved in immune response induced by polymeric chitin
3. 学会等名 日韓合同国際シンポジウム（AFELiSA）2019年度大会（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hinako Kawakami, Takaya Tominaga, Shinsuke Ifuku, Hironori Kaminaka
2. 発表標題 Promotion of arbuscular mycorrhizal symbiosis in plants treated with chitins
3. 学会等名 日韓合同国際シンポジウム (AFELiSA) 2019年度大会 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shinsuke Ifuku
2. 発表標題 Preparation of chitin nanofibers from crab shell waste and its abundant properties
3. 学会等名 2nd global symposium on Bio-based polymeric materials 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊福伸介
2. 発表標題 カニ殻由来の新素材「キチンナノファイバー」の生理機能と実用化に向けた取り組み
3. 学会等名 第45回中国四国地区高分子講座 (招待講演)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計9件

1. 著者名 伊福伸介	4. 発行年 2023年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 558
3. 書名 バイオマス材料の開発と応用	

1. 著者名 伊福伸介	4. 発行年 2019年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 483
3. 書名 ナノファイバーの製造・加工技術と応用事例	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 植物とアーバスキュラー菌根菌の共生を促進する技術	発明者 上中弘典、伊福伸介、富永貴哉、河上日向子	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2019-074285	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

鳥取大学農学部生命環境農学科植物分子生物学研究室ホームページ http://muses.muses.tottori-u.ac.jp/faculty/kaminaka/index.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
研究分担者	伊福 伸介 (IFUKE Shinsuke) (70402980)	鳥取大学・工学研究科・教授 (15101)	
研究分担者	遠藤 常嘉 (ENDO Tsuneyoshi) (70423259)	鳥取大学・農学部・教授 (15101)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	江草 真由美 (EGUSA Mayumi)		
研究協力者	三浦 千裕 (MIURA Chihiro)		

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