

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

公 募 区 分 : 環境問題対応型研究 (技術実証型)

研究予定期間 : 令和3 (2021) 年度 ~ 令和5 (2023) 年度

課 題 番 号 : 【4G-2101】

体系的番号 : (J P M E E R F 2 0 2 1 4 G 0 1)

研 究 課 題 : マイクロカプセル化わさび成分によるヒアリのコンテナ貨物侵入阻止
とシリコン樹脂充填によるコンテナヤードでのヒアリ営巢阻止技術の
確立と応用

Research Title : Developing Application Methods for Preventing Fire Ants (*Solenopsis* spp.)
Nesting in Container Yards by Filling Silicone Resin and Its Infestation in
Marine Containers by Placing Microencapsulated AITC

研 究 代 表 者 : 橋本 佳明

研 究 代 表 機 関 : 兵庫県立大学自然・環境科学研究所

研 究 分 担 機 関 : 国立研究開発法人国立環境研究所

研 究 領 域 : 自然共生領域

キ ー ワ ー ド : ヒアリ, 侵入前防除, 定着前防除, シリコン樹脂, マイクロカプセル
化わさび成分

令和6 (2024) 年5月

目次

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書	1
I. 成果の概要	2
1. はじめに（研究背景等）	4
2. 研究開発目的	5
3. 研究目標	6
4. 研究開発内容	6
5. 研究成果	7
5-1. 研究成果の概要	7
5-2. 研究目標の達成状況	8
5-3. 研究成果の学術的意義と環境政策等への貢献	11
6. 研究成果の発表状況の概要	12
6-2. 主な査読付き論文等の主要な成果	13
7. 国際共同研究等の状況	13
8. 研究者略歴	13
II. 成果の詳細	15
II-1 サブテーマ1「シリコン樹脂充填によるコンテナヤードでのヒアリ営巣阻止技術の確立」	15
〔サブテーマ1要旨〕	15
1. サブテーマ1研究開発目的	15
2. サブテーマ1研究目標	16
3. サブテーマ1研究開発内容	16
4. サブテーマ1結果及び考察	19
5. サブテーマ1研究目標の達成状況	28
II-2 サブテーマ2「マイクロカプセル化わさび成分によるヒアリのコンテナ貨物侵入阻止技術の確立と応用」	30
〔サブテーマ2要旨〕	30
1. サブテーマ2研究開発目的	30
2. サブテーマ2研究目標	30
3. サブテーマ2研究開発内容	31
4. サブテーマ2結果及び考察	33
5. サブテーマ2研究目標の達成状況	36
III. 研究成果の発表状況の詳細	37
(1) 成果の件数	37
(2) 誌上発表	37
(3) 口頭発表	38
(4) 知的財産権	39
(5) 「国民との科学・技術対話」の実施	40
(6) マスメディア等への公表・報道等	45
(7) 研究成果による受賞	45
(8) その他の成果発表	46

I. 成果の概要
 <課題情報>

公 募 区 分 :	環境問題対応型研究（技術実証型）
-----------	------------------

研究実施期間：	令和3（2021）年度 ～ 令和5（2023）年度
課題番号：	【4G-2101】
研究課題：	マイクロカプセル化わさび成分によるヒアリのコンテナ貨物侵入阻止とシリコン樹脂充填によるコンテナヤードでのヒアリ営巣阻止技術の確立と応用
研究代表者：	橋本佳明（兵庫県立大学自然・環境科学研究所 特任教授）
重点課題（主）：	【重点課題⑬】生物多様性の保全に資する科学的知見の充実や対策手法の技術開発に向けた研究
重点課題（副）：	非該当
行政要請研究テーマ（行政ニーズ）：	（4-3）侵略的外来種の早期発見・早期防除技術の開発
研究領域：	自然共生領域

＜キーワード＞

ヒアリ
侵入前防除
定着前防除
シリコン樹脂
マイクロカプセル化わさび成分

＜研究体制＞

サブテーマ1「シリコン樹脂充填によるコンテナヤードでのヒアリ営巣阻止技術の確立と応用」

＜サブテーマ1リーダー及び研究分担者＞

機関名	部署名	役職名	氏名	参画期間
兵庫県立大学	自然・環境科学研究所	特任教授	橋本佳明	
兵庫県立大学	自然・環境科学研究所	講師	三橋弘宗	

サブテーマ2「マイクロカプセル化わさび成分によるヒアリのコンテナ貨物侵入阻止技術の確立と応用」

＜サブテーマ2リーダー及び研究分担者＞

機関名	部署名	役職名	氏名	参画期間
国立研究開発法人 国立環境研究所	生物多様性領域 生態リスク評価・ 対策研究室	主任研究員	坂本洋典	

＜研究経費（間接経費を含む）＞

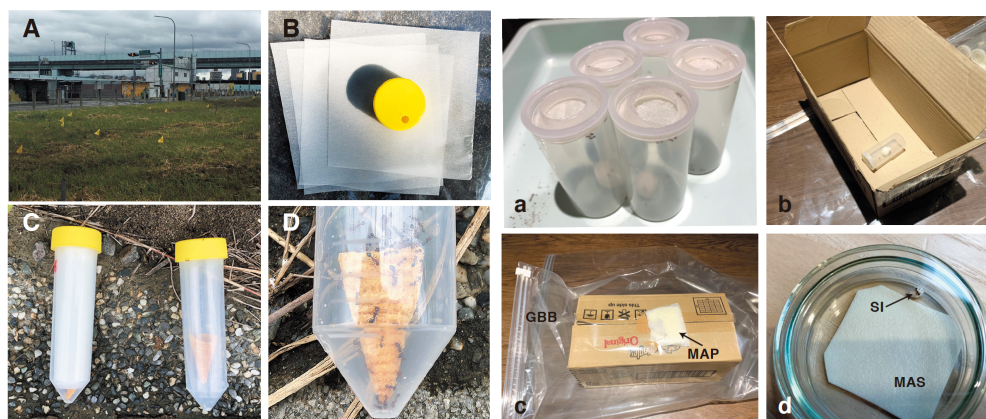
年度	直接経費	間接経費	経費合計
2021	11,946千円	3,582千円	15,528千円
2022	11,946千円	3,582千円	15,528千円
2023	11,946千円	3,582千円	15,528千円
合計	35,838千円	10,746千円	46,584千円

1. はじめに（研究背景等）

人を刺傷する毒針をもつヒアリ *Solenopsis invicta*は、侵入地で莫大な数に増えると共に、巨額な被害を生じさせ、2005年の外来生物法施行の時点から、特定外来生物に指定されている。2017年に中国からのコンテナを介したヒアリ侵入が兵庫県で初めて確認されて以降、2024年3月時点までに18都道府県111件の侵入事例が報告されている。そのほぼ全てがコンテナ貨物からの発見だが、港湾コンテナヤード（ヤード）におけるヒアリの営巣事例も20件以上に及び、次世代の女王（新女王）が巣内で確認された事例も複数にわたる。翅をもつ新女王は2kmから、風に乗れば30kmほども分散することが可能だとされている。もし、このままヒアリの国外からの侵入、ヤードでの営巣という流れが継続されれば、国際港湾の後背に位置する大都市圏でヒアリが定着し、先に定着した諸国と同じく、甚大な損失が継続的にもたらされることは自明である。この状況を受けて、環境省もヒアリの国内定着を防げるかギリギリの段階にあるとし、2023年に施行された改正外来生物法において、「要緊急対処特定外来生物」という緊急対処が必要な新カテゴリーにヒアリを指定して対策の強化に乗り出した。しかし、国内外のヒアリ防除技術開発は、毒餌などを用いた定着後の駆除に重きが置かれており、コンテナ貨物への侵入阻止やヤードへの営巣を阻止する侵入前・定着前防除の技術の開発や実用化は遅れている。

我々は、これまでに、わさびの天然殺菌成分であるアリルイソチオシアネート(AITC)を樹脂内にマイクロカプセル化したシート（マイクロカプセル化わさびシート：mAITCシート）やペレットがヒアリの忌避剤として有効であることを予備実験で明らかにしている。AITCが色々な昆虫や脊椎動物などに忌避や燻蒸効果があることは報告されているが、その使用はAITCが高揮発性と強い刺激臭を有する液体であるために制限されてきた。樹脂にマイクロカプセル化して包埋したAITCには徐放性があり、刺激臭を制御することができ、また樹脂製品であるためコンテナ貨物等への梱包材として高い利便性も有している。そこで、本推進費で、「マイクロカプセル化わさび成分によるヒアリのコンテナ貨物侵入阻止技術」の確立と社会実装化に取り組むことにした。

●mAITCシートがヒアリの忌避や燻蒸に有効であることを明らかにした予備実験



左：Hashimoto, Y. et al., (2019) "Wasabi versus red imported fire ants: preliminary test of repellency of microencapsulated allyl isothiocyanate against *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) using bait traps in Taiwan." *Applied entomology and zoology* 54,193-196. 右：Hashimoto, Y., Sakamoto, H. et al. (2020). The effect of fumigation with microencapsulated allyl isothiocyanate in a gas-barrier bag against *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae). *Applied entomology and zoology*, 55,345-350.

さらに、ヤードでのヒアリ営巣はコンテナヤード舗装面が劣化してできた亀裂箇所で生じており、ヒアリの営巣阻止のためにヤードでの亀裂補填が急務である。しかし、従来の工法、アスファルトを亀裂に充填する注入工法やアスファルト路面を再舗装する打替え工法では、アスファルト加熱装置などの大型機材と専門技術、短くても10日以上以上の工期が必要になる。ほぼ24時間稼働している国際港湾のコンテナヤードでは、これらの工法を用いることは難しく、その多くのヤードは亀裂が補修されないままになっている。シリコン樹脂は医療などに使われる安全で安定した物質で、アスファルトに比較して、高い浸透性と施工性を有している。我々は、これまでに、博物館の含浸標本作成や雨漏り防止などに適したシリコン樹脂を独自に開発してきた。そこで、本推進費で、さらにコンテナヤードの亀裂補填に適したシリコン樹脂を開発し、「シリコン樹脂充填によるコンテナヤードでのヒアリ営巣阻止技術」の確立と社会実装化に取り組むこととした。

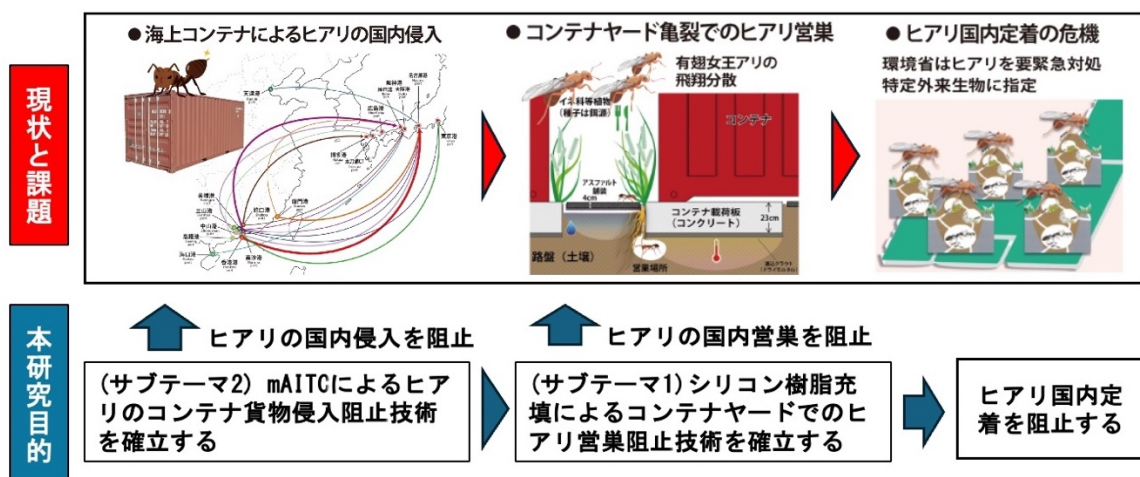
●独自に開発したシリコン樹脂を使った生物と土壌の含浸標本（プラスティネーション標本）



2. 研究開発目的

ヒアリの国内での繁殖は、まだ、確認されていないが、このまま、コンテナによるヒアリの国内侵入とコンテナヤードでの営巣が続けば、ヒアリが国内に定着し、甚大な被害をもたらすのは自明である。この現状と課題を受けて、本推進費の研究開発目的は、ヒアリの侵入前と定着前防除に有効な新規技術を開発・確立して、ヒアリの国内定着を阻止することである。このために、本研究では2つのサブテーマを設け、サブテーマ1では、ヒアリのコンテナヤード亀裂での営巣を阻止するために、コンテナヤードの亀裂補填に適した新規シリコン樹脂を開発し、その施工法を確立することを目的とした。サブテーマ2では、ヒアリのコンテナ貨物への侵入を阻止するために、実物のコンテナを用いて、貨物に梱包したmAITCシートのヒアリ忌避効果を検証するとともに、mAITCの効果的で効率的な梱包方法の確立を目的とした。さらに、経済活動のグローバル化を受けてヒアリの蔓延は、世界的な問題になっており、この2つのヒアリの侵入・定着前防除の新規技術を実装化して広く発信することで、我が国が外来種問題で国際的に貢献することも本研究の開発目的である。

●本研究の研究開発目的の概念図



3. 研究目標

全体目標	ヒアリ定着前防除技術の確立と実用化を達成する。 目標1) マイクロカプセル化AITCによるコンテナ貨物へのヒアリ侵入阻止技術と、コンテナヤードでのヒアリ営巣阻止技術を確立することで、ヒアリ定着前防除技術の社会実装化を達成する。 目標2) マイクロカプセル化AITCによるヒアリ侵入阻止技術は、ヒアリ以外の外来生物にも活用が可能で、さらに、シリコン樹脂充填による亀裂補修は道路などの防草管理にも活用が可能であることから、本研究で達成された技術の応用的な活用法についても明らかにする。
サブテーマ1	「シリコン樹脂充填によるコンテナヤードでのヒアリ営巣阻止技術の確立と応用」
サブテーマ1 実施機関	兵庫県立大学自然・環境科学研究所
サブテーマ1 目標	ヒアリのコンテナヤードでの営巣を阻止するため、誰でも簡便に、素早くアスファルト舗装の亀裂充填ができ、さらに、施工コストが安価なシリコン樹脂による補修法を確立し、その施工法をマニュアル化する。
サブテーマ2	「マイクロカプセル化わさび成分によるヒアリのコンテナ貨物侵入阻止技術の確立と応用」
サブテーマ2 実施機関	国立研究開発法人国立環境研究所
サブテーマ2 目標	海上コンテナ輸送で、貨物へのヒアリの侵入を防止する技術として、マイクロカプセル化AITCのシートなどを梱包材として使用方法を確立し、その使用法をマニュアル化する。

4. 研究開発内容

サブテーマ1では、環境省や港湾管理者の協力のもと、食品から機械部品まで様々なコンテナ貨物が陸上げされ、ほぼ24時間稼働している国際港湾で、コンテナヤードの亀裂補填に求められるシリコン樹脂の工事上の制約要件等を明らかにした。その結果に基づき、可燃性の有機溶媒や危険物、生理活性生物を含まず、高い耐候性と施工性（簡易、高浸透、短時間硬化）を有する超低粘度の一液性シリコン変性樹脂を新規開発した（特許出願）。さらに、環境省とともに、東京港をはじめ、ヒアリの営巣が確認された10港湾のコンテナヤードにおいて、開発した樹脂による亀裂補填の実験施工を行ない、コンテナヤード1レーンでの亀裂を60分程で補填できる簡便な施工法を確立した。新規開発したシリコン樹脂

は、広く使用できるように、商品名Nicheとして一般社団法人小規模保全技術研究所

(<https://conservation-tec.org/>) から販売し、施工法をマニュアル化して動画資料を公開した

(<https://youtu.be/Gm30coJjUGw>)。

サブテーマ2では、mAITCを用いたコンテナ貨物へのヒアリ侵入阻止技術の開発のための必要事項として、まず、コンテナ貨物でよく利用される段ボール箱の気密性が低いことを受け、段ボール箱に梱包したmAITCシートが有効なヒアリ忌避効果を示すことを実証した。また、輸送中はコンテナの扉が封印されるため、コンテナを開封せずにコンテナ内のAITCガス濃度を測定する方法を開発した。開発した手法を用い、ヒアリ定着地である台湾において、海上輸送用20ftコンテナを2台確保し、mAITCシートを梱包した段ボール箱を貨物として積載した条件において、コンテナ貨物へのヒアリ侵入阻止に有効なmAITCシートの梱包量や設置方法、AITCガス濃度の推移を検証した。その結果、中国からの平均的な輸送期間である7日間に、mAITCシートはコンテナ貨物へのヒアリ侵入阻止に有効であり、さらに貨物へ侵入したヒアリに強力な燻蒸殺虫効果を示すことを明らかにした。さらに、本技術の社会実装化を図るために、環境省の協力を得て、中国からのコンテナ輸入業者とmAITCを貨物に梱包するモデル事業を実施した。この事業では、輸入業者からコンテナ貨物へのわさび匂い移りの懸念や、各段ボール箱にmAITCを梱包する作業量とmAITC使用量の軽減化の要望があった。それを受けて、臭気判定士による官能試験を実施して貨物への匂い移りが起きないことや、mAITCシート梱包の作業量や使用量を減らしても、有効なヒアリ忌避効果が得られる梱包方法を確立した。

5. 研究成果

5-1. 研究成果の概要

【サブテーマ1】シリコン樹脂充填によるコンテナヤードでのヒアリ営巣阻止技術の確立

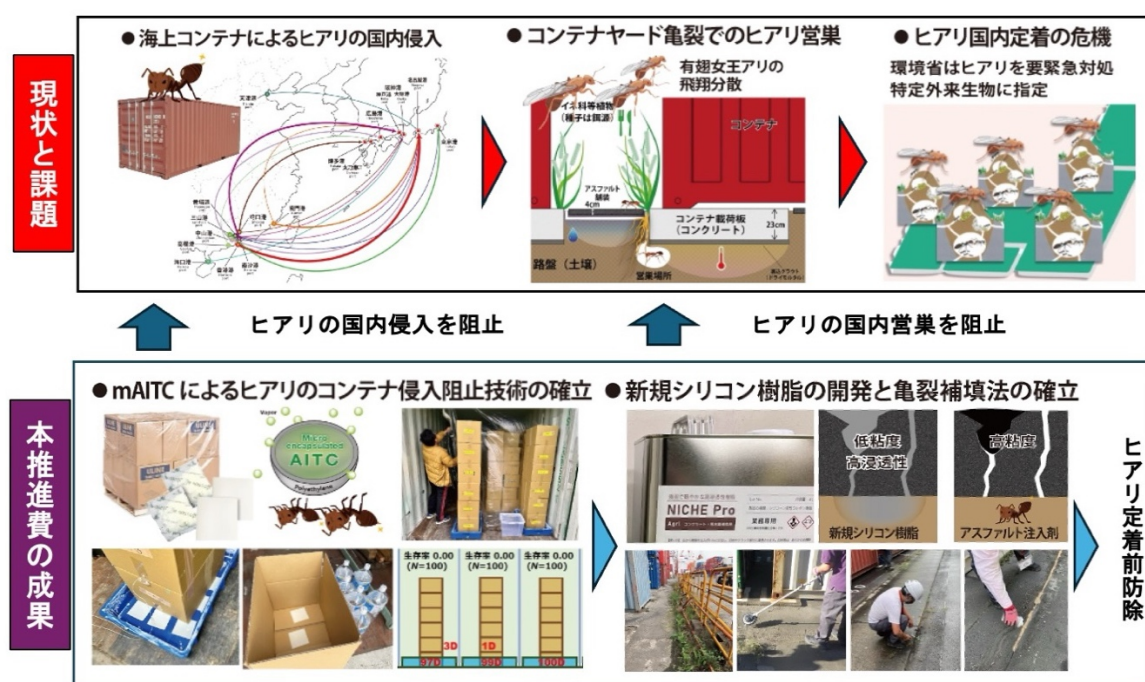
サブテーマ1では、港湾区域のコンテナヤードにおいて、ヒアリ等の定着を防止するために、コンクリートおよびアスファルトのクラックへのシリコン樹脂充填を通じて、防草および生息場所を除去する技術開発を担当した。コンテナヤードでは、限られた短時間しか土木工事作業ができないこと、火気や除草剤等が利用できないため、低侵襲性かつ耐久性が高い樹脂による充填シーリングに方法が限定される。また、ヒアリは細かいクラックにも生息するため、低粘度で深くまで浸透し、数時間で樹脂が硬化して工事開放される性能が求められる（表1-1）。今回の研究テーマでは、これらの条件を満たす安全性、作業性と耐候性が高い新たな一液性シリコン変性樹脂を開発し、特許出願した（表1-3, 成果2, 9, 17, 29）。従来の方法とは異なり、先にフィラー（充填剤）を粉体のままで充填してから低粘性の樹脂を浸透される技術を採用し、充填剤との組み合わせや施工性について検証した。また、樹脂充填の前処理として、繁茂している雑草の効率的な除去も課題であることが判明し、特殊な電動工具等を活用して手早く根系からの除去する技術を開発した（成果番号17）。これらの技術を組み合わせて、全国各地の港湾エリアでの実証実験を通じて、約1時間の作業で、工事経験がない港湾作業員でも約250m区間のヒアリ対策施工が出来ることを実証し（表1-4, 5）、新開発した樹脂の商品化やマニュアルの配信や他分野への適用等を通じて社会実装を行った（図1-11 成果番号42, 60-64）。さらに、2023年度に神戸港および福岡港におけるヒアリ対策に適用して現場での駆除に実務にて貢献した（成果番号70, 82）。開発した技術をこれと並行して、全球レベルのヒアリの生息適地マップの作成と港湾内の気象観測を通じた変動パラメーター推定を行って、港湾ごとのリスク評価を行った（図1-9, 10 成果番号16, 18）。これらの成果は、行政関係者や事業者、一般市民、産業界に向けて様々な機会で発信した（主に成果番号2, 9, 17, 30, 44, 73, 79）。

【サブテーマ2】マイクロカプセル化わさび成分によるヒアリのコンテナ貨物侵入阻止技術の確立

サブテーマ2では、ヒアリの侵入を海上コンテナの輸入段階で阻止するために必要な技術開発を担当した。まず、わさび成分（アリルイソチオシアネート:AITC）をポリエチレン樹脂でマイクロカプセル化した、マイクロカプセル化わさび成分シート（mAITCシート）が、海上輸送用貨物の梱包材の大半を占める段ボール箱内においても、その徐放性によりAITC濃度を一定期間保持することを実証した（成果番号1. 図2-1）。さらに、海上輸送用コンテナ内のAITC濃度を、ガス吸引機と検知管を用いてコンテナ外から測定する技術の独自開発に成功した（図2-3）。海上輸送用コンテナ試験の実施のため、複数の実験区をコンテナ内に設置するため、AITCガスの保持に最適なガスバリア性フィルムの選抜に成功した

(図2-2)。ヒアリ侵入地において海上輸送用コンテナを用いた実証試験を実施し、mAITCシート設置によるヒアリ侵入阻止に成功すると共に、AITCの防虫効果の確認に成功した(図2-4、2-5)。さらに、輸送期間中に荷物への匂い移りといった懸念がないことを官能試験で確認した。更なるコスト削減のために、荷物の外側のコンテナ壁にmAITCシートを貼る方法においても、ほぼ同等の荷物内へのヒアリ侵入阻止効果をもつことを明らかにした(図2-5 右)。さらに荷物一個ごとのAITC濃度を確保するためにはガスバリア性をもつフィルムによる梱包が有効であることを確認し、絶対にヒアリを入れさせられない荷物への侵入防止も可能とした(成果番号1 図2-1)。最後に、海上輸送用コンテナ試験においてヒアリの侵入条件を検証し、少量でもコンテナ内に水分があれば国外から日本にヒアリが生存して侵入するリスクがあることを実証した(図2-5 左)。これらの成果について、学会誌における総説(成果番号6 など)などで紹介すると共に、国際学会(成果番号10, 11)で発表・G7の国際ワークショップ(成果番号115)で実物展示を実施して、国際協力への道を開いた。

●本研究の研究成果の概念図



5-2. 研究目標の達成状況

<全体の達成状況> 2. 目標を上回る成果をあげた

マイクロカプセル化わさび成分によるヒアリのコンテナ貨物侵入阻止とシリコン樹脂充填によるコンテナヤードでのヒアリ営巣阻止技術の確立と応用

全体目標	全体の達成状況
ヒアリ定着前防除技術の確立と実用化を達成する 目標1) マイクロカプセル化AITCによるコンテナ貨物へのヒアリ侵入阻止技術と、コンテナヤードでのヒアリ営巣阻止技術を確立することで、ヒアリ定着前防除技術の社会実装化を達成する。	目標1 「ヒアリ定着前防除技術の社会実装化を達成する」(サブテーマ1) 1) 国内の主要な10港湾で環境省外来生物室の協力のもと、シリコン樹脂充填によるコンテナヤードの亀裂補填を実施し、シリコン樹脂による亀裂充填の工法確立とマニュアル化を達成できた(P. 24, 表1-4, 表1-5, p. 28, 図1-11)。2) 上記の実績から、シリコン樹脂によるコンテナヤードの亀裂充填法が、環境省「ヒアリの防除に関する基本的考え方

目標2) マイクロカプセル化AITCによるヒアリ侵入阻止技術は、ヒアリ以外の外来生物にも活用が可能で、さらに、シリコン樹脂充填による亀裂補修は道路などの防草管理にも活用が可能であることから、本研究で達成された技術の応用的な活用法についても明らかにする。	Ver. 3.2」や国土交通省「R3港湾局におけるヒアリ対策について」、中部地方整備局 港湾・空港部「四日市港ヒアリ類対策マニュアル」、阪神港海上コンテナ協会「港湾におけるヒアリ対策指針」等で採用された。3) さらに、新規開発したシリコン樹脂は耐候性試験等を行い、商品名「niche (ニッチ)」として特許出願し、一般社団法人小規模保全技術研究所から販売を開始できた。(サブテーマ2) 1) コロナ禍で海外調査が難しい中、ヒアリが定着している台湾で実物の20fitコンテナを用いてmAITCによるヒアリ忌避実験を実施し、その有用性を実証できた(P32, P35-P36, 図2-4, 図2-5)。2) さらに、環境省とともに中国等からの輸入業者と実際にmAITCをコンテナ貨物に使用するモデル事業を実施して、貨物への匂い移りの懸念や mAITC設置法の簡便化等の輸入業者からの課題を収集(P32, P34-35.)。2023年12月18日には環境省外来生物室と現状共有し、実装に向けたこれらの課題解決を進めるようコメントを受けた。これら匂いというつり、梱包の課題もヒアリ侵入地において実物のコンテナを用いた実験で検証し、実用化に支障がないことも明らかにできた(P32, P35.)。 これらのことから、目標1は「目標を上回る成果を上げた」と考えている。 目標2 「本研究で達成された技術の応用的な活用法についても明らかにする」(サブテーマ1) 新規開発したシリコン変性樹脂による亀裂充填が高い防草性や防水性を示すことも実証できた(p. 23, 図1-4, 表1-4)。この特性は、港湾のヒアリ対策だけでなく、橋梁工での補修、道路の防草対策、農業用水路の修復、河川工作物での修復、文化財保存など多様なインフラメンテナンスおよび長寿命化に貢献でき(p. 25, 図1-7, 図1-8), 日本発のグリーンイノベーションとなる可能性を秘めている。(サブテーマ2) わさびに含まれる天然の抗菌物質アリルイソチオシアネートは節足動物から脊椎動物まで、様々な生物に忌避や燻蒸効果があることが示されている。また、殺虫剤等は、中国をはじめ、海外からのコンテナ輸入では輸出元の法律規制によって使用できない場合があるが、mAITCの使用には、その懸念が無い。このため、本研究で確立したmAITCによる海上コンテナ貨物へのヒアリ侵入阻止技術は、国際的に、広範囲の外来生物防除に貢献でき、日本伝統のフレーバーを用いたクールジャパン技術となる可能性を秘めている。これらのことから、目標2でも「目標を上回る成果を上げた」と考えている。
---	---

<【サブテーマ1】達成状況> 2. 目標を上回る成果をあげた

「シリコン樹脂充填によるコンテナヤードでのヒアリ営巣阻止技術の確立と応用」

サブテーマ1 目標	サブテーマ1 の達成状況
ヒアリのコンテナヤードでの営巣を阻止するため、誰でも簡便に、素早くアスファルト舗装の亀裂充填ができ、さらに、施工コストが安価なシリコン樹脂による補修法を確立し、その施工法をマニュアル化する。	1) 超低粘度で安全性の高い一液性シリコン変性樹脂を新規開発し（特許出願）、特殊な機材がなくとも、高耐候性で簡便に修復可能な技術を確立した（p. 21, 図1-2, p. 22, 表1-3）。さらに、環境省とともに、東京港を初め国内の主要な10港湾で施工を行い、コンテナヤードの1レーンを1時間以内で補填できる等の施工法も確立した。また、開発したシリコン樹脂は商品名Nicheとして「一般社団法人小規模保全技術研究所（https://conservation-tec.org/）から販売、誰でも使用できるようにした。開発した施工法はマニュアルや動画資料（https://youtu.be/Gm30coJjUGw）を作成し、広く活用できるようにした。 2) コンテナヤード内におけるコンテナを介した微気象変化の実態計測等を行い、ヒアリ等の外来生物におけるコンテナヤード舗装面の亀裂や亀裂における雑草繁茂の危険性を明らかにした（p. 27, 図1-10）。また、シリコン樹脂による亀裂補填や防草の重要性を「国際昆虫学会（ICE2024 Kyoto 8月25日-30日）の外来昆虫セッションに採択された「Shoot Fire Ants with Wasabi and Silicone: The Current State of <i>Solenopsis invicta</i> Invasion in Japan and Novel Countermeasures to Protect Global Trade」の発表や、研究代表者が責任編集者を務めるGlobal Environmental Research Vol.28 No.2/2024のSpecial Issue 号“<i>Invasion Biology and Control Technologies for Invasive Alien Ants</i>”で公表するなどして、港湾地区の外来生物に対するバイオセキュリティ向上に、国際的にも貢献する。

< 【サブテーマ2】 達成状況 > 2. 目標を上回る成果をあげた

「マイクロカプセル化わさび成分によるヒアリのコンテナ貨物侵入阻止技術の確立と応用」

サブテーマ2 目標	サブテーマ2 の達成状況
海上コンテナ輸送で、貨物へのヒアリの侵入を防止する技術として、マイクロカプセル化AITCのシートなどを梱包材として使用方法を確立し、その使用法をマニュアル化する。	実物の海上輸送用コンテナを用いて、コンテナ内の段ボールにmAITCシートとヒアリを設置した実験を実施（P32.）。その結果、ほとんど全てのヒアリが輸送期間中に死亡することを確認でき、mAITCが貨物内へのヒアリ侵入を十分に妨げることを実証できた（P35-36. 図2-4, 2-5）。また、環境省とともに中国等からの輸入業者と実際にmAITCをコンテナ貨物に使用するモデル事業を実施（P32.）。輸入業者から段ボールごとにmAITCを設置する手間の軽減要望を受けて（P35.）、段ボールの外側にmAITCを設置した場合でも、コンテナ貨物内へのヒアリ侵入を十分に妨げることを確認し、簡便化した利用法が可能であることも実証できた（P32, P35-36. 図2-5）。さらに、木材製品、布製品、食料品と使用想定量のmAITCシートを同梱した段ボールを海上輸送用コンテナに積

	み、実際の輸送期間と同日数の7日間経過時に官能試験評価を実施（P32.）。荷物の種類に関わらずわさび匂いうつりがなかったことを臭気判定士による官能試験で確認した（P35.）。これらの検証から、mAITCを海上コンテナ輸送での貨物へのヒアリの侵入を防止する実用技術として確立できた。2）本技術は環境省が主催して開催されたG7ワークショップ（東京、2023年11月21日―23日）で公開（P46），さらに、環境省が主催する日中韓外来種専門家会合（2024年7月22日-23日）で公開する。さらに、国際昆虫学会（ICE2024 Kyoto 8月25日-30日）の外来昆虫セッションで「Shoot Fire Ants with Wasabi and Silicone: The Current State of <i>Solenopsis invicta</i> Invasion in Japan and Novel Countermeasures to Protect Global Trade」として発表し、研究代表者が責任編集者を務めるGlobal Environmental Research Vol.28 No.2/2024のSpecial Issue 号“<i>Invasion Biology and Control Technologies for Invasive Alien Ants</i>”で発表する。
--	---

5－3．研究成果の学術的意義と環境政策等への貢献

<得られた研究成果の学術的意義>

【サブテーマ1】シリコン樹脂充填によるコンテナヤードでのヒアリ営巣阻止技術の確立

コンテナヤード舗装面補修では、亀裂にアスファルトを充填する注入工法や新たに舗装する打替え工法が行われてきた。これらの工法では、アスファルト加熱装置などの大型機材と、短くても10日以上以上の工期が必要になる。ほぼ24時間稼働のコンテナヤードでは、舗装面の補修工事を実施する余裕はない。さらに、粘性が高いアスファルトでは舗装面下の植物体根部まで注入できず、防草効果は著しく低い。これらのことが、ヤードで雑草などが繁茂し、ヒアリをはじめとする外来種の定着率を高めている。本研究で、安全性も高く、常温にて自然硬化するため、特殊な機材や専門知識がなくとも、簡便にコンテナヤード等の亀裂を補填できる超低粘度一液性シリコン変性樹脂の新規開発と施工法の確立は、世界初の試みであり、革新性、独創性、先導性が高い。さらに、新規開発した樹脂は高い防草性能と防水性能を有するため、コンテナヤードでのヒアリ営巣阻止だけでなく、様々な用途で活用できる応用性も有している。

【サブテーマ2】マイクロカプセル化わさび成分によるヒアリのコンテナ貨物侵入阻止技術の確立

海上コンテナの清浄化は、主に、臭化メチルやリン化水素などの合成燻蒸剤によって行われてきた。しかし、それらの燻蒸剤がコンテナ内に残留し、環境汚染や作業員等の健康被害をもたらしていることが報告されている。わさびの成分であるAITCは半減期が非常に短く残留性もないため、有害な合成燻蒸剤に代わる天然有機燻蒸剤として、穀物貯蔵庫や土壌、木材などの殺虫・殺菌・種子駆除に使われてきた。ただ、液体のAITCは可燃性を有し、また、ガスの放出速度をコントロールすることが難しい。マイクロカプセル化AITCは固形物で可燃性を持たず、さらに、ガスをゆっくり放出させるという徐放機能も有している。このため、マイクロカプセル化AITCを使ったコンテナ清浄化技術の確立は、有害な合成燻蒸剤に代わる、安全で利便性の高い外来種対策の新技术を世界で初めて提供できる革新性、先導性がある。

<行政等に既に貢献した成果>

【サブテーマ1】シリコン樹脂充填によるコンテナヤードでのヒアリ営巣阻止技術の確立

環境省自然環境局野生生物課外来生物対策室や地方事務所等の要請を受けて、ヒアリの営巣が確認された東京港青海埠頭、四日市港、大阪港、神戸港、福山港、博多港等で、既に、新規開発したシリコン樹脂充填の現地施工を行った。さらに、その実績から、シリコン樹脂によるコンテナヤードの亀裂充填法が、環境省「ヒアリの防除に関する基本的考え方 Ver. 3.2」や国土交通省「R3港湾局におけるヒアリ対策について」、中部地方整備局 港湾・空港部「四日市港ヒアリ類対策マニュアル」、阪神港海上コンテナ協会「港湾におけるヒアリ対策指針」等で採用されている。また、新規開発したシリコン樹脂

充填が有する防草や防水性能の高さから、兵庫県、群馬県、神戸市等で道路や橋梁、下水処理場、臨海エリアにおける防草技術として、兵庫県農林水産部等で農道・農業用水路の亀裂補修の技術として社会実装されている。

【サブテーマ2】マイクロカプセル化わさび成分によるヒアリのコンテナ貨物侵入阻止技術の確立

環境省自然環境局野生生物課外来生物対策室が実施している2021-2023年度のモデル事業において、海外から日本への海上コンテナ荷物輸送に際してmAITCシートを同梱し、その際の効果検証・課題抽出の実証事業が行われ、事業のデザインから実施まで全面的に協力している。さらに、国際的な情報共有のため、環境省が主催して開催されたG7ワークショップ（東京、2023年11月21日―23日）にmAITCによるヒアリのコンテナ貨物侵入阻止技術の紹介と共にmAITCシートの現物展示を実施した。

<行政等に貢献することが見込まれる成果>

【サブテーマ1】シリコン樹脂充填によるコンテナヤードでのヒアリ営巣阻止技術の確立

本研究で、超低粘度の一液性シリコン変性樹脂を新規に開発（商品名Niche 特許出願済）し、既に、一般社団法人小規模保全技術研究所から一般販売を開始している。さらに、本樹脂は、シリコン素材であるため安全性も高く、さらに、常温にて自然硬化する性質や高い防草性能や防水性能を有している。このため、コンテナヤードでのヒアリ営巣阻止だけでなく、橋梁工での補修、道路の防草措置、農業用水路の修復、河川工作物での修復、国立公園の施設管理など、多様なインフラメンテナンスおよび長寿命化に貢献できる。

【サブテーマ2】マイクロカプセル化わさび成分によるヒアリのコンテナ貨物侵入阻止技術の確立

わさびに含まれるアリルイソチオシアネートはヒアリのような節足動物から脊椎動物、植物種子、カビ類まで、様々な生物に忌避や燻蒸効果がある。経済グローバル化が加速する中、海上コンテナ輸送が外来種の主な侵入経路となっており、本研究で確立した安全で利便性高いコンテナへのヒアリ侵入阻止技術は、様々な侵略的外来種の侵入阻止にも活用できる。このことは、国際植物防疫条約(IPPC)が掲げる最重要課題の一つの「海上コンテナによる病害虫移動の最小化」や、「昆明・モントリオール生物多様性枠組」が掲げる「侵略的外来種の導入率及び定着率を2030年までに50%以上削減」の目標、生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学-政策プラットフォーム(IPBES)が掲げる重要課題「生物多様性保全のために外来種対策」に貢献できるものである。

6. 研究成果の発表状況の概要

成果の種別	件数
査読付き論文：	1
査読付き論文に準ずる成果発表（人文・社会科学分野）：	0
その他誌上発表（査読なし）：	7
口頭発表（国際学会等・査読付き）：	3
口頭発表（学会等・査読なし）：	17
知的財産権：	1
「国民との科学・技術対話」の実施：	77

マスコミ等への公表・報道等：	8
研究成果による受賞：	0
その他の成果発表：	1

6-2. 主な査読付き論文等の主要な成果

成果番号	主要な成果（10件まで）
1	Hashimoto Y., Sakamoto H., Asai H., Yasoshima M, Lin H-M., Goka K. (2022) Effectiveness of allyl isothiocyanate microencapsulated in polyethylene as a repellent against <i>Solenopsis invicta</i> (Hymenoptera: Formicidae). infestation of corrugated cardboard boxes Appl Entomol Zool 57, 257-262 (2022). https://doi.org/10.1007/s13355-022-00779-5 (IF:1.504)

※この欄の成果番号は「Ⅲ. 研究成果の発表状況の詳細」と共通です。

7. 国際共同研究等の状況

<国際共同研究等の概要>

台湾のヒアリ防除企業であるMonsters' Agrotech社に、ヒアリ侵入地である台湾におけるコンテナを用いた試験実施において、コンテナのレンタルや実施場所の提供、実験材料（ヒアリ）の収集、実験作業の補助などの協力を得た

<相手機関・国・地域名>

機関名	国・地域名（本部所在地等）
Monsters' Agrotech	台湾

8. 研究者略歴

<研究代表者略歴>

代表者氏名	略歴（学歴、学位、経歴、現職、研究テーマ等）
橋本佳明	神戸大学大学自然科学研究科修了 博士（学術） 兵庫県立大学准教授を経て 現在、兵庫県立大学自然・環境科学研究所 特任教授，甲南大学理学部非常勤講師， 環境省ヒアリ専門家委員等 専門は昆虫分類（アリ類），生態学，多様性生物学

＜研究分担者（サブテーマリーダー）略歴＞

分担者氏名	略歴（学歴、学位、現職、研究テーマ等）	参画期間
1) 三橋弘宗	京都大学理学研究科博士前期課程終了 修士（理学） 兵庫県立人と自然の博物館研究員を経て、 現在、兵庫県立大学自然・環境科学研究所講師，兵庫県立人と自然の博物館主任研究員，兵庫県立森林動物研究センター客員研究員，関西学院大学生命環境学部非常勤講師 主に外来生物対策、生態系管理に関する研究等	2021年度 ～ 2023年度
2) 坂本洋典	東京大学農学生命科学研究科修了 博士（農学） 東京大学農学部研究員，（独）農業環境技術研究所研究員，北海道大学大学院地球環境科学研究院研究員，玉川大学脳科学研究所研究員，茨城大学農学部研究員，早稲田大学理工学術院研究員，早稲田大学重点領域研究機構研究員，国立環境研究所研究員を経て， 現在，国立環境研究所主任研究員，環境省ヒアリ専門家委員 主に外来社会性昆虫の研究等	2021年度 ～ 2023年度

Ⅱ． 成果の詳細

Ⅱ－１ サブテーマ１「シリコン樹脂充填によるコンテナヤードでのヒアリ営巣阻止技術の確立と応用」

〔サブテーマ１要旨〕

サブテーマ1では、海上コンテナによって国内に侵入した「要緊急対処特定外来生物」ヒアリが、コンテナヤードの舗装面亀裂に営巣・定着することを阻止するための技術開発と確立を研究開発目的としている。この目的を達成するために、誰でも安全、簡便に、短期間で舗装の亀裂充填ができるシリコン樹脂を新規開発し、さらに、その施工法を確立することを目標とした。また、その成果を港湾地区の外来種バイオセキュリティ向上にも貢献できるように、国際的に広く提供することも目標とした。シリコン樹脂開発では、まず、環境省の協力のもと、実際にコンテナヤードで調査を行い、ヤードでの亀裂補填に求められるシリコン樹脂の条件を明らかにした。その結果に基づいて、短時間（60分ほど）での施工が可能であり、可燃性の有機溶媒や危険物、生理活性生物を含まず、かつ高い耐候性と施工性（簡易、高浸透、短時間硬化）を有する樹脂の開発と改良に取り組み、超低粘度で安全性の高い一液性シリコン変性樹脂を新規開発した（特許出願）。さらに、環境省とともに、東京港をはじめ、ヒアリの営巣が確認された10港湾のコンテナヤードで、シリコン樹脂による亀裂補填の実験施工を行なった。その結果から、コンテナヤード1レーンでの亀裂を60分程で補填できるなどの施工法を確立した。新規開発したシリコン樹脂は、広く使用できるように、商品名Nicheとして一般社団法人小規模保全技術研究所（<https://conservation-tec.org/>）から販売し、施工法についても、マニュアル化して動画資料を公開した（<https://youtu.be/Gm30coJjUGw>）。また、コンテナヤードでの調査から、ヤードの亀裂や陥没から雑草が繁茂して、ヒアリをはじめ外来生物が生息できる環境となっていることが明らかになった。そこで、新規開発した樹脂と施工法を用いて防草性能の試験を行なった。その結果、シリコン樹脂で補填した亀裂では、施工3年後でも雑草の繁茂を完全に防ぐことが検証でき、本技術が、ヤードでのヒアリ営巣阻止だけでなく、港湾地区の外来種バイオセキュリティ向上にも貢献できることを明らかにできた。これらの成果は、環境省が主催する日中韓外来種専門家会合（2024年7月22日-23日）で公開される。また、国際昆虫学会（ICE2024 Kyoto 8月25日-30日）の外来昆虫セッションで「Shoot Fire Ants with Wasabi and Silicone: The Current State of *Solenopsis invicta* Invasion in Japan and Novel Countermeasures to Protect Global Trade」として発表し、研究代表者が責任編集者を務めるGlobal Environmental Research Vol.28 No.2/2024のSpecial Issue 号 “Invasion Biology and Control Technologies for Invasive Alien Ants” で公表することで、港湾地区の外来種バイオセキュリティ向上に国際的にも貢献するものである。

1. サブテーマ1研究開発目的

サブテーマ1では、実際にコンテナヤード内においてヒアリの生息場所となるコンクリートやアスファルトのクラックに充填可能なシリコン樹脂開発を行い、港湾における土木工事業務として社会実装可能な技術体系を構築することを目的とする。具体的には、短時間での施工が可能であり、可燃性の有機溶媒や危険物、生理活性生物を含まず、かつ弾力性、耐候性と施工性（簡易、高浸透、短時間硬化）の高い樹脂の構成成分からの検討をもとに数種類の変性シリコン樹脂を開発して実証試験を行う。クラックへの充填にあたって、根系が根深く繁茂する雑草の効率的な除去法も開発する必要がある。このため、様々な工業機器を利用して手軽に導入できる方法について比較検討する。実際のコンテナヤードにおける様々な制約をクリアするために、全国各地の港湾において試験施工を実施するなかで、必要な要素技術を抽出して技術体系を構築し、マニュアル作成および流通体制の確立と多用途での活用、管理者や技術者向けの講習会等を実施することを目的とする。また、上記の作業と並行して港湾エリアごとのヒアリ侵入リスクを把握するために、全球でのヒアリ分布情報を収集して、生息適地マップを作成し、港湾内の微気象データの測定結果を変動パラメータとして予測モデルへ投影して、リスク評価図を作成することで、関係者に情報発信することを目的とする。

2. サブテーマ1 研究目標

サブテーマ1	「シリコン樹脂充填によるコンテナヤードでのヒアリ営巣阻止技術の確立と応用」
サブテーマ1 実施機関	兵庫県公立大学法人兵庫県立大学
サブテーマ1 目標	ヒアリのコンテナヤードでの営巣を阻止するため、誰でも簡便に、素早くアスファルト舗装の亀裂充填ができ、さらに、施工コストが安価なシリコン樹脂による補修法を確立し、その施工法をマニュアル化する。

3. サブテーマ1 研究開発内容

主要港湾における試験施工を通じたシリコン樹脂充填工法の課題抽出

コンテナヤード内は立ち入り制限が厳格であり、生態学の研究者だけでなく、土木分野の研究者にとっても制約が多い未知の領域である。コンテナヤード内に立ち入り出来る場合でも、火気厳禁などの港湾ごとに固有の制約が存在し、実際に作業可能な時間は約60分以内となることが多い。こうした施工上の条件を整理して、実現可能な工法を抽出するために、全国の主要10港湾地域において試験施工や立ち入り調査を行い、課題収集と要件整理を行った。試験施工を行った港湾は、ヒアリの出現が確認されている、東京港（品川埠頭、青海、大井）、清水港、名古屋港（鍋田）、四日市港、大阪南港（咲洲、舞洲）、神戸港、福山港、博多港の10港である。作業可能時間、火気や機材の使用、クラックの修理方法、防草処理の実施状況、薬剤の使用許可、自走車の立ち入り等についてヒアリングした。これらの施工条件をもとに工法の開発に取り組んだ。また、道路関係者についても、防草について同様の施工上の制約や課題があり、期間内において港湾および道路において現場管理者と共同でデモンストレーションを行い、当該技術に対する評価や意見、社会実装に向けての課題を伺った。

一液性シリコン変性樹脂の開発と改良

各地の港湾における各種課題ならびに、試験施工や施工条件の確認を行った結果を受けて、補填用の樹脂開発を行った。開発にあたっては、既存の製品となる外壁用コーキング材（変性シリコン系）、アスファルト乳剤、ジオモルタル系資材（合成セメント系）、ブチルゴム系資材、フラル酸系樹脂資材、エポキシ／アクリル系樹脂資材、ウレタン系樹脂資材、シリコン変性樹脂資材等をもとに、兵庫県立人と自然の博物館敷地内（駐車場）にて各種予備実験を行った。これらの資材について、①安全性、②施工性、③耐久性、④浸透性、⑤経済性の観点から評価を行った。この結果をうけて、樹脂開発を進めるとともに、充填剤（フィラー）との相性や施工性についての検証を行った。

予備実験の結果では、シリコン系変性樹脂が優位であったことから、この資材を基盤とした樹脂開発を行った。開発した樹脂について、物性、耐候性に関する調査データを取得し、成分をもとにSDS記載事項の整理を行った。なお、強度試験等については、カネカ社高砂工場の物性試験設備ならびに大谷塗料株式会社のサンシャインウェザーメータを利用したほか、粘性等についてはJIS規格に基づいた計測をオイケム社にて実施した。さらに、充填剤として利用する資材についても、水田土（荒木田土）、火山灰土（鹿児島県）、珪砂、竹チップ、木質チップ粉碎物、化粧砂（京都府産建材）について試験をおこなった。

兵庫県内道路における継続的なモデル試験施工の実施と検証

開発したシリコン変性樹脂をもとに、兵庫県三田市内2箇所および西宮市内（北部）、神戸市北区の道路（歩道と車道の隙間およびアスファルトクラック）、尼崎港船出地区において、防草効果に関する試験的施工を2021年7月から実施した。なお三田市内の一部街区道路については、先行して試験実施（2021年3月～）している場所を選定して追跡調査を行った。これらの箇所について2023年10月まで継続的に調査して追跡した。試験施工区では、2022年6月からの試験を開始して、すべての区域で最初に草本類を草刈り機にて刈り取ったのちに、約10m区間を単位として、樹脂充填区と非充填区を設けて追跡試験した。樹脂充填区では植生を除去したのちに現地発生土と珪砂を充填し、最後にシリコン樹脂を

注入した。これらの箇所について、1～3ヶ月の間隔で植生被覆度と草本高、主要な種類を記録した。ただし、公共空間であることから、草本類の上層部については市民活動や工事による表層部の刈り取り処理が実施される場合があるため、草本高は参考値とした。

港湾エリアにおける試験施工の実施（名古屋港，四日市港，神戸港）

2021年からの港湾における試験施工の実施や現場での聞き取り調査をもとにして、シリコン変性樹脂の改良を行い、各地の道路や港湾において試験を繰り返してきた機械等による除草技術を用いて、2023年3月に名古屋港，2023年10月に四日市港，2023年8月に神戸港にてシリコン充填に関する試験施工を実施した。こちらの試験施工では、港湾関係者と協働するかたちで、単位時間あたりの作業量と施工効果について把握した。防草効果については、「兵庫県内道路における継続的なモデル試験施工の実施と検証」と同様の方法で把握して評価を行った。また、当初は東京港での試験施工を想定していたが、構内立ち入りが容易ではなく、遠隔地であることや、流通混雑のため予定どおりの入場が保障されないこと、許認可に時間がかかるほか、改修工事等が予定されていることから、上記の3港湾での実施としている。

港湾エリアにおける微気象データを活用したヒアリ侵入リスクの評価

コンテナヤード内における微気象の違いを明らかにするために、大阪南港および神戸港，兵庫県立人と自然の博物館内駐車場にて、コンテナ積載箇所（アスファルト面）および空地（アスファルト面，草地）において、夏季および冬季における地表面温度を計測した（エスペックミック社，WATCHDOG 3667土壌温度センサー）。計測は、自動記録式電子温度計および水分含量計を用いた。特に、コンテナが4段積みの場合には、積載部の下部は夏場は日射が遮られるために、著しく地表面温度が低下する。この地表面の温度傾向を明らかにするため、電子温度計（エスペックミック社，サーモセンサーRT-14N）を用いて2022年および2023年8月に計測を行った。

また、日本国内の各港湾地域におけるヒアリ侵入リスクを明らかにするために、国内全域での生息適地モデルを構築する。まず、種の有無データを集積するため、全球レベルでのヒアリの分布情報について、GBIF (<https://www.gbif.org/>) およびANTWEB (<https://www.antweb.org/>) および各種論文類をもとに種の分布情報のデータベース化を行った。特に、中国国内の情報や北米での初期情報については、情報が不足しているため、Song et. al (2021), Zhang et al. (2007), 米国州政府資料を参照して情報を追加した。説明変数となる気象要因としては、WORLDCLIME 1.4

(<https://www.worldclim.org/data/v1.4/worldclim14.html>) を元にして、1kmメッシュ相当の解像度となる年平均気温，平均年最低温度，平均年最高温度，年平均降水量，乾季の降水量等の15種類の気候パラメータを元にして、種の分布モデルの機械学習解析ツールであるMaxEnt3.3k

(https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/)を用いて、生息適地の推定を行った。この推定をもとにして、コンテナヤード特有の微気象変化を考慮したモデル投影を行い、国内の主要港湾地域における侵入リスク評価を行った。

多用途化にむけた適用事例の開発と事例の集積

事前評価や中間評価において、POや審査委員から「社会実装化」に対する強い要望ならびに流通化に対する懐疑的な意見があったことから、多用途化と社会実装化に多くの労力を注入した。開発した樹脂の多様な利用方法の確保を通じて、社会実装化にあたって、ビジネスとしての供給体制を担保や、安定的な経営と販路の確保を目的として、多用途化の方法を探索した。港湾エリアのヒアリ対策だけが対象となると、社会実装化が困難になると予想されるためである

1) 道路防草工

港湾区域での試験施工は、用意に立ち入ることが困難であるため、上記の3港湾に加えて、道路整備の防草工の公共工事としての実施申し入れがあった群馬県県土整備部，神戸市建設局の公共工事に協力して道路での防草効果について試験施工を実施することで、データの集積に努めた。群

馬県では、2023年2月に太田市内の国道（4km区間）での実施、2023年11月には神戸市垂水区の国道（300m区間）、2023年12月には神戸市中央区の市道（中心市街地300m区間）、神戸市東灘区の国道（150m区間）にて試験施工を実施して、防草効果を追跡した。方法は前述したとおり。

2) ナガエツルノゲイトウ対策

また、目地にて著しく繁茂する特定外来生物「ナガエツルノゲイトウ」の繁殖抑制についても、兵庫県洲本市にて実証実験を行った（約10m区間）。目地に繁茂するナガエツルノゲイトウを地上部だけ抜き取り、隙間に乾燥した水田土とモルタルを注入して、シリコン変性樹脂にて充填処理したのち、経過観察を行った。

3) 農業用水路の修理

農業用水路のU字溝のクラックやズレによる漏水対策と防草対策についても活用を行った。兵庫県加東市および鳥取県鳥取市において試験施工を実施した。施工効率ならびに水路に仮設壁を設けて漏水試験を行い、効果の測定を行った。

4) その他

期間中において、開発した樹脂に関する情報を得た事業者等からの問い合わせがあったものについては、樹脂製造元からサンプル樹脂提供あるいは有償販売することで対応し、事例収集に努めた。

事前評価や中間評価において、審査委員およびP0から「社会実装化」に対する強い要望と「コストや流通、安全性」についての意見があったことから、今回の研究開発では、こうした多用途利用を通じた社会実装化に多くの労力を注入した。開発した樹脂の多様な利用方法の確保を通じて、流通やビジネスとしての供給体制を担保や、開発した樹脂を取り扱う企業が安定的な経営と販路のリスクヘッジを担保する方法を模索した。関係者や環境省からも指摘があったように、港湾エリアのヒアリ対策だけが対象となる商流では、社会実装化が困難になると予想されるため、本研究ではこの部分に十分な労力を費やして、“国民との対話”を通じてニーズ開発を行った。

1) 道路防草工

港湾区域での試験施工は、立ち入り作業が困難であるため、上記の3港湾に加えて、道路整備における防草工の公共工事の機会を利用した。新開発した樹脂を使った防草工の実施申し入れがあった群馬県県土整備部、神戸市建設局の公共工事に協力して道路での防草効果について試験施工を実施することで、データの集積に努めた。群馬県では、2023年2月に太田市内の国道（4km区間）での実施、2023年11月には神戸市垂水区の国道（300m区間）、2023年12月には神戸市中央区の市道（中心市街地300m区間）、神戸市東灘区の国道（150m区間）にて試験施工を実施して、防草効果を追跡した。方法は前述したとおり。

2) ナガエツルノゲイトウ対策

また、目地にて著しく繁茂する特定外来生物「ナガエツルノゲイトウ」の繁殖抑制についても、兵庫県洲本市（本田池）にて実証実験を行った（約10m区間）。目地に繁茂するナガエツルノゲイトウを地上部だけ抜き取り、隙間に乾燥した水田土とモルタルを注入して、シリコン変性樹脂にて充填処理したのち、経過観察を行った。

3) 農業用水路の修理

農業用水路のU字溝のクラックやズレによる漏水対策と防草対策についても試験施工を行った。兵庫県加東市および鳥取県鳥取市においてU字溝の目地充填についてそれぞれ300m区間での試験施工を実施した。また施工効果を確認するために、水路に仮設壁を設けて漏水試験を行い、遮水効果の測定を行った。

4) その他

期間中において、開発した樹脂に関する情報を得た事業者等からの問い合わせがあったものについては、樹脂製造元からサンプル樹脂提供あるいは有償販売することで対応し、事例収集に努めた。

開発した樹脂の流通経路と供給体制、技術マニュアル等の整備

開発したシリコン変性樹脂ならび防草の工法については、各種物性試験や効果測定をもとに、特許出願を行った（特願2021-178809）。また、販売体制や安定的な製造および流通および供給体制の構築を模索した。特に、化学物質、危険物の取り扱い、保存倉庫の確保、特許出願後において技術マニュアル、工事の設計価格設定、材料承認のための資料等を作成して、ホームページにて公開すると同時に、施工に関する動画をYouTube上に掲載した(<https://youtu.be/Gm30coJjUGw>)。これらの資料をもとにして、各方面にて解説や実演を含む講習会等を実施した。

4. サブテーマ1 結果及び考察

主要港湾における試験施工を通じたシリコン樹脂充填工法の課題抽出

課題研究の期間を通じて、上記した国内の主要港湾10か所について現地訪問し、シリコン変性樹脂による補填作業および防草処理の試験施工を行った。これらの現場では、シリコン樹脂充填を見学した港湾管理者および港湾作業会社（土木作業）から、施工上で想定される各種課題についてヒアリングを実施して、今回の施工技術を社会実装するために必要な要件について整理した。この点を表1-1にとりまとめた。

表1-1 港湾区域内における防草および工事施工に関する技術的制約

制約のある作業の指摘要件	備考
除草剤の利用不可	すべての港湾、ただし大阪港のみ木材へのケイピン等の差し込みは可
加熱アスファルト資材の投入	すべての港湾で指定工事業者のみ許可
アスファルト乳剤およびアスファルト系パッチ資材の充填注入	すべての港湾で許可
シリコン系無機資材の利用	すべての港湾で許可
殺虫剤の噴霧禁止	大阪港（条件付）を除いて使用禁止
有機溶剤の使用	すべての港湾で非推奨（但し明確な規定はないとのこと）
バーナーなど火気の利用	すべての港湾で禁止
目地への薬剤や塩類の投入	すべての港湾で禁止
ガソリン式草刈機の使用	東京港、名古屋港、神戸港
草刈チップソーでの砂利の飛散	東京港、名古屋港で配慮事項
自家用車の構内侵入禁止	東京港、福山港（他の港湾は駐車場所の指定）
樹脂等について1時間以内での工事開放（硬化）	東京港
除去した雑草類の持ち帰り	すべての港湾で要望／港湾管理者では処理しない
ヘルメットの着用義務	すべての港湾で義務
ドローンでの撮影	すべての港湾で禁止
自転車での構内走行と撮影	すべての港湾で許可
早朝／夕方での特別作業の許可	名古屋港、四日市港、神戸港
港湾路盤への計測機器の埋め込み	神戸港のみ許可（多くは規定がなく調整に相当の時間がかかる）
ヤード外周部（車両運行を妨げない箇所）での作業	東京港、名古屋港、福山港で許可、他の港湾では状況に応じて判断
防草処理に対する要請事項	
残存する根系の木質からのシロアリ等の繁殖を抑えたい	神戸港、名古屋港、福山港、福岡港
雨天後でも施工できないか	清水港、名古屋港、神戸港
クレーンの自動運転走行に草本が障害となるので防草は重要	名古屋港
他の害虫の侵入し食品系への被害が生じる可能性があるため防草は重要	名古屋港、神戸港、東京港、清水港

雑草繁茂が原因でアスファルトの剥離やポットホールが出来て機器運用の障害になるため防草処理したい	名古屋港、福山港、神戸港
コンテナ設置個所の陥没に関する簡易な修理方法が知りたい	すべての港湾で要望
作業風景の撮影写真の非掲載	すべての港湾で要望



図 1－1 四日市港におけるシリコン樹脂充填によるテスト施工の様子

一液性シリコン変性樹脂の開発と改良

港湾における各種課題について、試験施工や施工条件の確認を行った結果を受けて、資材メーカーおよび土木工事関係者からの聞き取りをもとに、既存の充填剤について定性的な比較検討した結果を以下の表１－２に示す。この評価から、シリコン変性系樹脂の利用が総合的に優れており、主力となる素材開発の資材として採用した。ただし、経済性に関する改善を課題とした。

表 1－2 港湾区域における目地充填に適した資材の評価

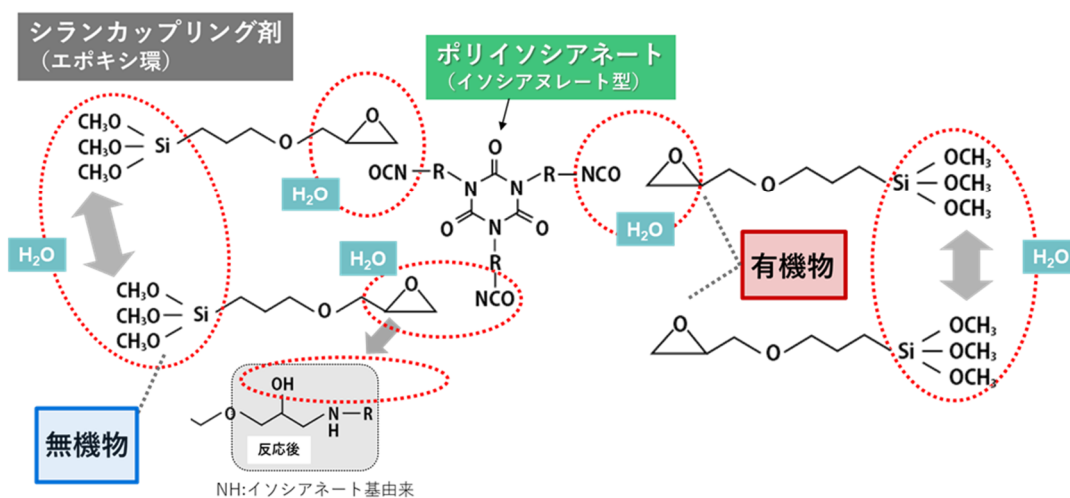
資材名	①安全性	②施工性	③耐久性	④浸透性	⑤経済性
シリコンコーキング剤	○	△	△	×	△
アスファルト乳剤	○	○	×	△	○
ジオモルタル（改質セメント）	○	△	○	×	○
ブチルゴム系資材	△	△	△	○	○
フラル樹脂（ casting補助資材）	△	△	×	○	×
エポキシ／ウレタン系樹脂	△	○	○	×	×
シリコン変性系樹脂	○	○	○	○	△

充填用シリコン変性系樹脂の開発にあたっては、シランカップリング剤ならびにイソシアネート剤について、クラック・目地充填やコンクリート補修材等での実績ある資材を中心に混合テストを繰り返した。このなかで、アルコキシシラン系のエポキシ環を有する3-グリシジルオキシプロピルトリメトキシシランが分子量も小さく浸透性が高く、柔軟性をもった固形物となるため、このシランカップリング剤との適合性が高いイソシアネート資材としてイソシアヌレート体の高分子を選定した。これらに合致する形で、硬化促進剤、紫外線吸収剤、可塑剤などを添加して、配合バランスを調整した。一方で、シランカップリング剤およびイソシアネートを用いる方法では、化学薬品の危険有害性を示すGHS（Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals）の表記が必要なた

め、より安全性が高く、素人（子供を含む）でも安全に施工できるタイプの充填剤も開発した。このタイプ開発にあたっては、生分解性にも考慮して、主鎖がポリプロピレングリコール、分子鎖末端にジメトキシメチルシリル基を有しているカネカ製のMSポリマーを基材として、低分子のシリコンオリゴマー各種を選定して、末端メチル基の加水分解によって高分子化する樹脂として硬化促進剤、可塑剤を開発した。こちらの樹脂はGHSマーク掲載が一切不要であり、手で触っても安全な資材として性能発揮するが強度は前者よりも劣る。前者のものは、プロ技術者仕様（PROタイプ）、汎用仕様（ECOタイプ）として、2種類の樹脂を開発して適用した。これらの反応様式については、図1－2に図示する。また、この2種類の樹脂についての物性試験等を行ったので、その結果を表1－3に示す。これらの試験結果をもとにして、安全データシート（SDS: Safety Data Sheet）を作成した。

プロ仕様タイプ（PRO）

GHS



エコ仕様タイプ（ECO）

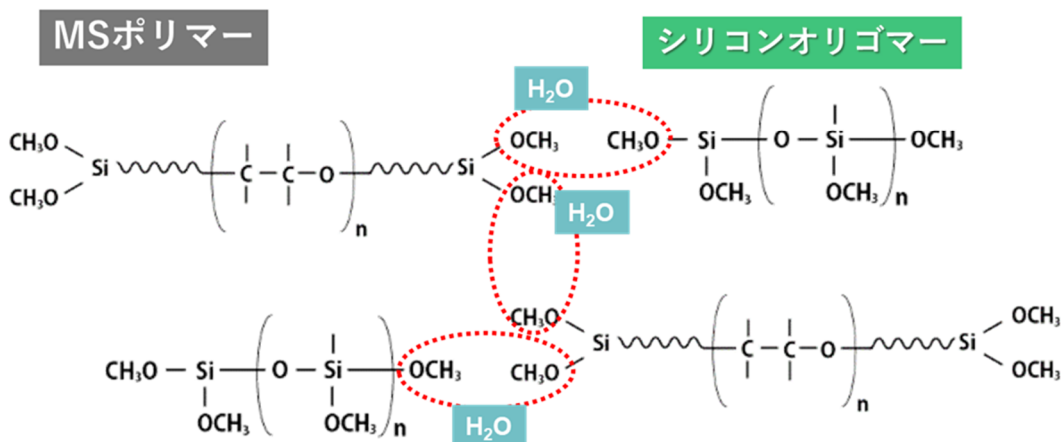


図1－2 新たに開発した2タイプのシリコン変性樹脂

表 1－3 新たに開発した2種類のシリコン変性樹脂の物性評価について

		PROタイプ		ECOタイプ	
特徴	主成分 利点 欠点	・シリコン変性ウレタン樹脂 ・低粘度で高い浸透性 ・高い接着力と弾性、長期密着性 ・塗膜強度強く、割れ等生じない ・常温で架橋反応、簡便性と速乾性 ・耐候性に優れ、長期に機能保持 ・皮膚に強い感作性、取り扱い注意		・シリコン樹脂 ・有害物のイソシアネート未使用で無溶剤/低TVOC（環境、安全面） ・硬化の際水分の影響による発泡が生じにくい ・貯安性、相溶性に優れる ・Proと比較して若干粘度高い ・Proと比較して若干耐候性に劣る	
粘度	12rpm mPas	30		430	
引張物性	TB(破断時強度) MPa 伸び %	1.1 29		0.9 26	
促進耐候性		SWOM(サンシャイン)		ハイブリット・エクスポージャー試験 (珪砂/塗料=40/10)	
		初期	○	初期	○
		240h	○	1年	○
		600h	○	2年	○(内部)
		900h	○△		チョーキング* (表層)
		1320h	△亀裂	-	-
硬化性		触媒量	硬化時間	触媒量	硬化時間
	表面硬化(23℃)	0.15%	4h	1.40%	3h
		0.30%	3h	3%	2h
		0.60%	2h	5%	2h
		1.20%	1h	7%	2h
	表面硬化(5℃)			1.40%	30~70h
				3%	26h
				5%	6h
				7%	6h
	全体硬化(23℃)	0.15%	24h		
		0.30%	18h		
		0.60%	12h		
		1.20%	6h		

また、ヒアリ対策を想定した強度を担保する目的から、上述のPROタイプ樹脂に対する充填剤との相性や浸透性、強度についても、透明容器を用いて浸透量および硬度（デュロメーター／テクロック）について、①水田土、②火山灰土（黒ボク）、③珪砂、④竹チップ粉砕物、⑤化粧砂について計測した結果、②、④については硬度 A90（ゴルフボール程度）、残りは硬度 A99（セメント程度）であり、浸透性については、10gあたりの浸透深度は③、⑤でやや多く、残りはほぼ大きな差はなく、粒径や締固め度合いによってむしろ左右されるため、浸透性の面において充填剤に格段の配慮は不要だと考えられる。また、取り出した降下物の物性についても触診テストした結果（引張り測定では検出困難）、①、②、④が特に屈撓性に優れており、充填物に微細分散化した有機物が含まれていることで強度が増すことを確認できた。充填剤として、微細有機物などが含まれることから、水田土、火山灰土が入手もしやすく、施工に適していると評価した。



図 1－3 浸透試験の状況

兵庫県内道路における継続的なモデル試験施工の実施と検証

兵庫県内道路において、今回開発したシリコン変性樹脂2種について施工試験を行った結果のうち、三田市内での施工結果を、図1—4に示す。ここで用いた樹脂については、先行して開発していた[PROタイプ]の初期仕様のものである（配合比が異なり、紫外線吸収剤なし、促進剤が過多のため強度が劣る）。しかしながら、結果から、処理区では約1500日間にわって著しく防草効果が発揮されている。期間中は、イネ科やマメ科の草本が生えたが、これらは窪みから発芽した数cm程度のもので、夏季や冬季の乾燥が続くと枯死していた。また、約600日後の追跡では、三田市内幹線道路（14%）、西宮市内県道（5%以下）および神戸市北区国道（8%）、尼崎港作業道路（5%以下）といずれも雑草抑制出来ていることが分かった。ただし、完全に0%にはなっておらず、車両通過等による振動からシリコン変性樹脂とコンクリートに微細な隙間や亀裂が発生するケースもあり、その部分からイネ科草本、カヤツリグサ科、ヒガンバナ科、ケシ科草本が繁茂（背丈15cm）しているケースもあった。ただし、こうしたケースにおいても、植生高さは低く、根が浅く根系未発達のため、簡単に抜き取りが可能で、追加でのわずかな樹脂充填によって改善できると考えられる。これらの道路でのモデル試験施工の結果からも、今回開発した方法論が有効であり、公共工事としても有効性や経済性が高いと判断できる。

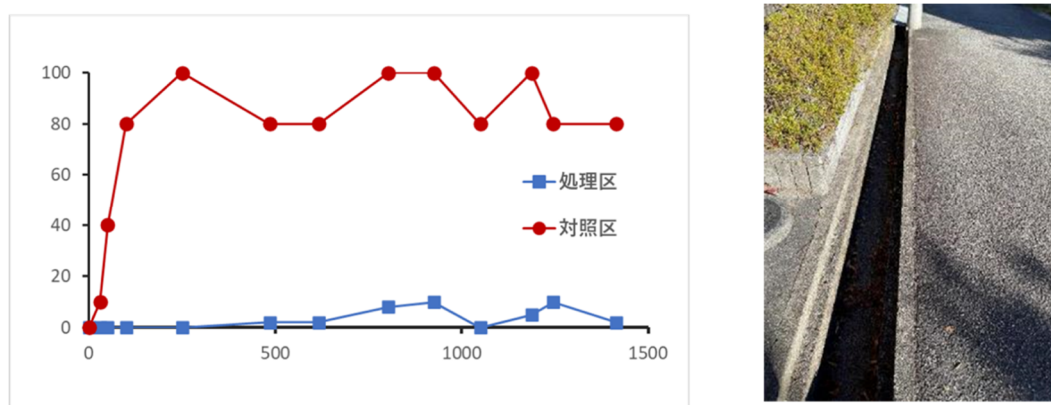


図1—4 県内道路における1500日間の施工試験の結果および調査区の約1500日後の様子。

港湾エリアにおける試験施工の実施（名古屋港，四日市港，神戸港）

実際のヒアリ対策の現場となる3つの港湾エリアのコンテナヤード内において、クラックおよび目地の防草対策についての試験施工を行い、防草効果および所要時間について計測した。作業の様子は、図1—5に示すとおり、電動草刈機（キックバックと砂利飛び跳ね防止のため二枚刃式のスーパーカルマーPRO/IDEC社を利用）および木質化した草本除去はマルチツール（TM51DZ/マキタ社）を利用した。鍋田埠頭では、電動草刈機の利用効率を測定するため、鎌での作業との比較も行った。また、この際には、火山灰土（黒ボク）および現地発生土を利用して充填して充填を行った。

まず、3つの港湾における試験施工の作業効率に関する結果を、表1—4に示す。これらの結果から、概ね10mあたりの所要施工時間は、7～9分であり、10分を想定しておくことが妥当だと考えられる。したがって、250m区間を1時間以内に処理する場合、約5人以上の人員を確保して実施することが必要であることが分かった。また、必要な樹脂についても、鍋田埠頭では10mあたりで約100g、四日市および神戸では約200gが想定される。シリコン変性樹脂の価格を5500円/kgとした場合には、250m区間の施工には、資材費として27,500円程度になることが概算できる。同時に、目地幅が大きい道路などでは、シリコン変性樹脂の使用量は約400g/10m程度になる場合もあり、現場のクラック幅などを見据えた事前の評価・設計が重要なほか、目地充填をしっかり圧密にして処理することがコスト削減に繋がる。この点については、さらなる現場施工による実例を積み重ねて、施工の持続期間も考慮した工事の費用対効果について算定することが望ましい。



図 1—5 名古屋港鍋田埠頭における作業の様子。

表 1—4 主要3港湾における施工効率についての評価

施工効率	人数	時間	10mあたり所要時間（人）	備考
<u>鍋田埠頭（250 m区間）</u>				
二枚刃草刈機 未使用	6名	156分（延べ）	7.6 分	樹脂使用量：23.5kg（250m）
使用	1名	16分	（二枚刃草刈機を使用しない場合：44 分）	草本は比較的少ない、クラック幅がとても小さい
樹脂充填（充填作業含む）	5名	35分		
<u>四日市港（30m区間）</u>				
二枚刃草刈り機 使用	1 名	4分	9.3 分	樹脂使用量：580 g（30m）
樹脂充填（充填作業含む）	2 名	9分		木質化した草本が含まれる
<u>神戸港（30m区間）</u>				
二枚刃草刈り機 使用	1 名	4 分	8.4分	樹脂使用量：610 g（30m）
樹脂充填（充填作業含む）	2 名	11分		ヒアリ発見箇所で草本多い、陥没などが目立つ

名古屋港鍋田埠頭では、実際にヒアリが発生した箇所において試験施工を行い、1年間の防草効果について追跡した。この結果を、表 1—5 に示す。施工前には、約半分程度の区間で草本が繁茂していたが、施工1年後には、3%程度に抑制されており、繁茂していた場合でも草本高さは概ね5cm以下となっており、コンテナヤードでの振動が大きな運用条件下においても一定の効果が確認された。

表 1—5 鍋田埠頭における施工効果

	施工前	施工1年後
緑被率		
積載ブロック部	24%	2%
目地	43%	3%

* 但し、背丈10mm以下は除く

多用途化に向けての取り組みは、効果検証の側面があるが、汎用性の評価であるため、ここでは害着的にのみ記載する。多用途化が進むことで、今後、樹脂の製造や販売する企業が安定的な商品として扱えるようになり、商品として安定供給できるようになると考えられる。実際に、いくつかの事例で適用してきたが、それぞれに公共団体や事業者がリピート利用する結果となったほか、工法としての採択、行政マニュアルへの掲載に繋がっている。

1) 道路防草工

技術的な検証をより正確に行うために、作業立ち入りが困難な港湾以外に、道路整備の防草工の公共工事として1km区間にわたって大規模に実施された群馬県太田市県道における試験結果を示す（図1—6）。施工から約1年後の結果では、植生被度は10%程度に抑制されており、概ね良好な結果が得られている。ただし、公共工事として施工実施されたこともあり、元々の目地の植物が残存している場所があるなど、結果の解釈について不確実な部分もある。また、神戸市垂水区（300m区間）、神戸市中央区（300m区間）、神戸市東灘区（150m区間）にてについても、施工からの経過時間は短いですが、老朽化と交通量が多い地域にも関わらず、2024年3月時点では剥離やひび割れ、草本繁茂は確認されていない。

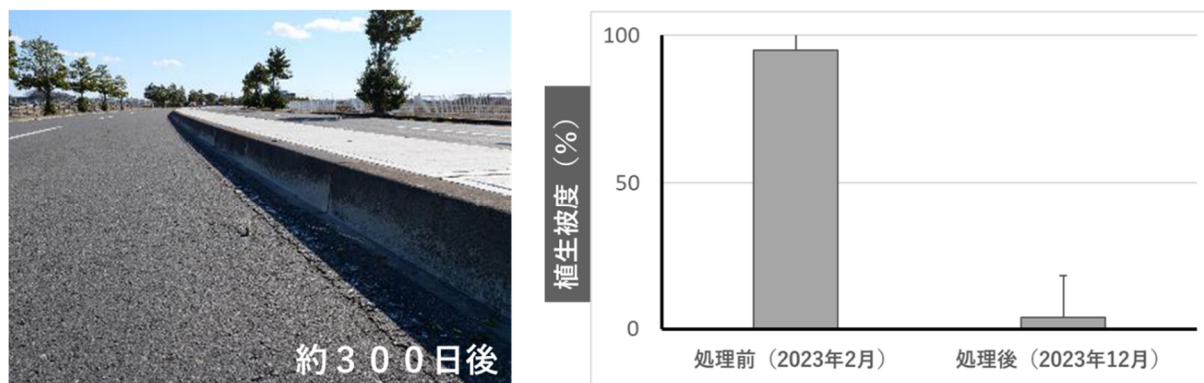


図1—6 群馬県太田市の県道における防草工の効果

2) ナガエツルノゲイトウ対策

兵庫県洲本市で繁茂したナガエツルノゲイトウ対策として、目地からの繁茂を抑制するために、シリコン変性樹脂の充填を行った（2021年7月、図1-7）。その結果、約600日間繁茂を抑制することが出来た。これまで、目地上部を遮光シートでカバーしてきたが、残存しているケースが多かったが、樹脂充填法では完全に除去することができた。現在では、兵庫県においては、石垣等を含む目地でのナガエツルノゲイトウ対策で採用されており、ガイドライン等に掲載されている（<https://www.hyogo-tameike.com/notice/9637/>）。



図1—7 目地充填によるナガエツルノゲイトウの除去効果の様子

3) 農業用水路の修理

目地の欠損やクラック対策として、農業用水路の修理への活用についても対応した。水路補修については、農林水産省による地域への“農地・水保全管理支払交付金”による資金的な背景が存在するため、当該樹脂を地域で購入しやすい環境にある。実際に、期間中において5か所の地域での試験施工を農家と実施した結果、約200m区間の修理に3名で90分の作業時間で対応することができた。また、隔壁を立てて遮蔽した簡易な漏水試験においても、施工前では6.5L/hの漏水が、施工後には0.2L/hにまで減少した。施工性および機能性において効果が高いことが確認され、モデル地域ではすべてリピート利用されている。用水路での漏水は、河川からの過剰な取水を引き起こすほか、下流集落との紛争、作付け不良と営農放棄、水路の崩落による高額修理に繋がるため、環境対策を間接的にも妨げることになるため、簡易な施工適用は環境保全にも優位に働くと想定される。



図1—8 シリコン変性樹脂を用いた農業用水路の修理状況

4) その他

茅葺き民家の茅部のコーティングと接着によるメンテナンスによる長寿命化および文化財保存（長崎県波佐見市、岡山県東栗倉村、神戸市北区）、アップサイクル資源としてのカヤや稲わらの建材活用（NORTHFACE社六本木店、ヤンマー東京ビル米ギャラリー、神戸市フルーツフラワーパーク・オブジェ）、クビアカツヤカミキリの脱出口の充填対策（徳島県板野町）、建物の屋上や壁面の漏水対策への活用（兵庫県立人と自然の博物館収蔵庫等、三田市内橋梁、西脇市内ビル他）、食品工場の総合防除対策（ダスキン社、枚方市民間企業、神戸市民間企業他）、道路路面の凍結融解によるアスファルトクラック充填（群馬県）、橋梁の欄干部や端部のクラックおよび漏水対策（熊本県玉名市）、無溶剤無臭の特性を活かした大型店舗における内装用木材のコーティング処理（神戸市大丸百貨店内装、神戸市北区飲食店内装）など、多様な販路を確保できる可能性を把握することができ、一部では効果を挙げている。

港湾エリアにおける微気象データを活用したヒアリ侵入リスクの評価

上記で説明してきたシリコン変性樹脂の充填とは異なり、こうした作業を実施するバックグラウンドとなる港湾の立地特性を把握し、特に防草や樹脂充填が必要な個所を明らかにするため、ヒアリの生息適地モデルの構築を行った。同時に、港湾に特有の特殊な環境要因を把握するために、夏季および冬季における気候特性について測定し、全球レベルでの侵入リスク評価を補正する目的で、変動パラメーター（projection要因）として取り入れて評価した。

全球レベルのヒアリの分布地点については、様々な媒体から367地点のオカレンス情報を入手した。また、全球レベルの環境要因についても、WorldClimデータおよびBioClimデータを投入した予備計算

を行ったのちに冗長な変数を除去して、年平均気温、夏季最高気温、冬季最低気温、季節性の降水量を変数としてMaxEntによるエントロピー最大化法による予測評価を行った。この結果、年平均気温および季節性の降水による寄与が特に高く、モデル全体での適合度はAUC=0.95と高い値のモデルを得ることができた。季節性の降水量や年平均降水量の寄与は大きく、港湾区域においてコンテナ積載状況とアスファルトの覆いは、局所的に環境状況をコントロールすることに繋がると考えられる。また、年平均気温についても、夏季最高気温や冬季最低気温との相関が高く、これらの要因を分離できないが、高温、低温ともに分布を制約することは明らかであった（図1-9）。

得られたモデルをもとにして、港湾内での温度環境の特殊性を把握するために、2022年、2023年の夏季（8月）において、神戸港（構内）および大阪南港（空バンプール）にて4段積みコンテナに囲まれた直下での温度と離れた開放空間において3時間の平均日中温度（11時～14時）を測定した結果、夏季では外部では25～49℃に、コンテナ直下では24～31℃と平均で5℃以上の差があった。ただし冬季においても測定したが、地表面での差は小さく、夜間の地下部計測が必要であったが、施設の制約上、測定することが出来なかった。この点は今後の課題として継続測定している。この結果から、変動パラメータとしての投影モデルに用いる温度値については正確な値を得られなかったが、少なくとも1～2℃の差があること、降水量については構造物やコンテナによって10%以上遮られるものと想定して、先に構築したリスクモデルへの反映を行った。その結果、日本国内における港湾エリアでは侵入リスクは大きく上昇し、特に名古屋、東京における侵入リスクが増大すると予想された。このリスク評価地図と人工衛星画像（ALOS）から作成した各港湾の土地被覆地図を重ね合わせることで、リスク箇所の詳細を把握できるようになった。

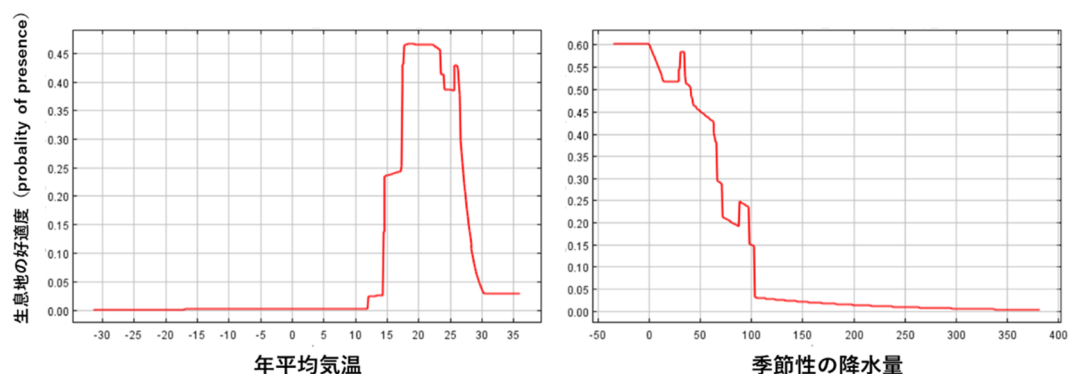


図1—9 MaxEntによる侵入リスクモデルによる環境応答曲線

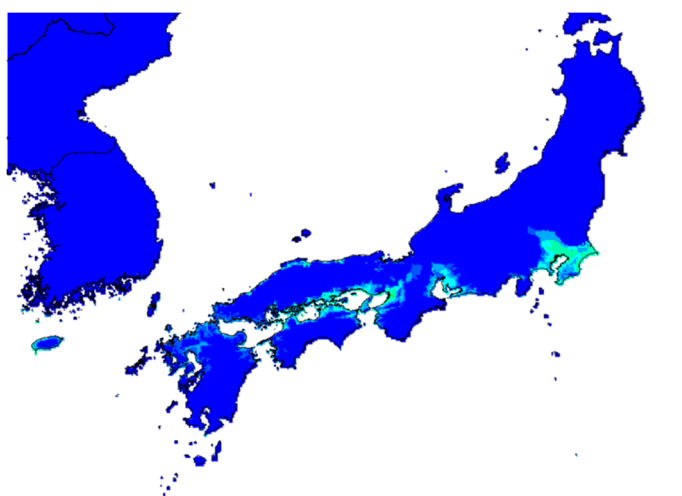


図1—10 MaxEntによる侵入リスクモデルによる侵入リスク地図. 水色部分が特にリスクが高い

開発した樹脂の流通経路と供給体制、技術マニュアル等の整備

今回の推進費の実施にあたっては、P0ならびに審査委員、環境省からの社会実装化に対する強い要求があったため、製品としては充填樹脂の開発だけでなく、安定供給と安全な生産体制の確保が求められている。また、実際に港湾や道路などの公共インフラでの利活用と成果、講習会等を通じた国民との対話が求められているため、この部分の実現には最大限の労力を投入して対応した。

この課題に対して、複数の民間企業との共同研究を進めて、特許出願した（特願2021-178809）。並行して、先述してきたように各地の港湾や地方公共団体等での現場における試験施工を行い、販売体制を確立するために、多用途化と販売母体となる一般社団法人 小規模保全技術研究所

(<https://conservation-tec.org/>) について、無機質コーティング協会の協力を得て設立すると同時に、樹脂の製造や供給については、長瀬産業株式会社および子会社の製造工場における品質および安全管理のもとでの流通体制を確立した。さらに、この販売体制に合わせて、ホームページ上には、施工マニュアルや動画での解説ビデオ、設計価格表、性能表を掲載している

(<https://youtu.be/Gm30coJjUGw>)。事業者や自治体等からの要請があった場合において、協力企業がガイダンスできる体制が出来た。実際に、2023年度では、500 kg 以上を市場に供給し、その収益をもとに製品開発や講習会対応、自然再生や外来生物対策へのCSR事業に貢献している。

さらに、開発技術については、特許開示しているほか、JST主催の新技術説明会（2023年2月開催）において発表して、産官学民による知財の共有化と発信に努めている。この説明会の後に、大手6社からの問い合わせがあり、技術の水平展開を通じた社会貢献が実現している。

防草施工方法と使用上の注意

コンクリートの隙間から繁殖する雑草にお困りではありませんか？
雑草が繁殖すると、根茎がアスファルトとコンクリートの間に入り込み、根が拡充して亀裂が発生します。こうした亀裂から雨水が流れ、コンクリートの劣化につながるため、定期的なメンテナンスが必要です。Nicheシリーズは、コンクリートに発生した亀裂に土や砂を詰めて、シリコン樹脂によって丸ごと固めて防草します。この方法だと簡単に手軽に修理できます。



- 準備物
1. 草刈り用の鎌 → 草刈り
 2. コンコン罐 → 雑地の草や土を掻き（超便利）
 3. ブラシ → 掃除用
 4. 砂や乾燥土を入れる容器
 5. Niche樹脂を入れる容器
※4・5とも100g単位で購入可
 6. ガスバーナー → 目地の乾燥や除草

手順



SC TI 一般 小規模保全技術研究所
small conservation technology institute
<https://conservation-tec.org>

安全にお使いいただくために

本製品を使用する前に、この「安全にお使いいただくために」をよく読み、正しく使用してください。
ここに記載されている注意事項は、安全に関する重大な内容ですので、必ず守ってください。

使用用途について

本製品は、農業用水路の目地充填、港湾や道路橋梁等におけるアスファルトやコンクリート目地から生じる雑草の抑制、施設周辺の目地から発生する害虫対策（アリ類）、木材や文化財の修復補強、自然史標本の作製に使用することを目的に製造されています。本製品を上記用途以外での使用は控えて下さるようお願いいたします。

保管や使用場所について

- ・換気の良い場所で使用すること
- ・屋内作業における取り扱い場所では局所排気装置を設置すること
- ・熱/火花/裸火/高温のもののような着火源から遠ざけること
- ・使用後、容器は密栓し、換気の良い乾燥した冷暗所に保管すること
- ・空気中の水蒸気と反応して硬化しますので、開封後はなるべく早くご使用ください
- ・施工箇所が水分がある場合は事前に乾燥させてから塗布すること

作業上の注意について

- ・服、皮膚、衣類につけないこと、飲み込まないこと
- ・眼や皮膚に付着した場合は大量の水と石鹸で洗い流すこと
但し、外見に変化が見られ、刺激が生じた際は速やかに医師の診断を受けること
- ・取り扱い後はよく手を洗うこと。

SC TI 一般 小規模保全技術研究所
small conservation technology institute
<https://conservation-tec.org>

図1-1-1 作成して配布している技術マニュアル（小規模保全技術研究所のHPに掲載）

5. サブテーマ1 研究目標の達成状況

サブテーマ1では、新たなシリコン変性樹脂の開発にあたっては、長瀬産業株式会社、カネカ株式会社、オイケム合同会社、大谷塗料株式会社と当初から連携して開発や試験を進めて、十分に社会実装できる品質のものを開発することができた。特に、防草効果については、先行してテストを開始していたより性能が劣る旧バージョンであっても約4年間の耐久性を発揮しており、性能としては十分だと考えられる。社会実装にあたって、性能表記上において要求されるSDSの作成や各種性能試験などを含めた

要件を整理して、原材料の安定供給体制と化学薬品を取り扱える製造元を確保して、2022年2月より小規模保全技術研究所（一般社団法人）において販売提供し、各種自治体等の公共工事に採択されるようになった。ヒアリ対策に関するモデル港湾事業における講習会の実施やマニュアルへの掲載、国土交通省および環境省における技術マニュアルにも掲載することが出来た。この意味で、社会実装を含めて、目標は十分に到達できている。

Ⅱ－２ サブテーマ２ 「マイクロカプセル化わさび成分によるヒアリのコンテナ貨物侵入阻止技術の確立と応用」

〔サブテーマ２ 要旨〕

サブテーマ２では、要緊急対処特定外来生物ヒアリの海上コンテナを介した国内侵入を忌避物質により阻止する技術の確立を研究開発目的としている。目的達成のために、ヒアリ忌避効果が示されているマイクロカプセル化わさび成分（microencapsulated Allyl isothiocyanate, mAITC）を用いたコンテナ貨物への侵入阻止技術の開発と確立を目標とした。また、その成果を、コンテナに付随して非意図的に侵入する外来生物全般への対策法として国際的に広く提供することも目標とした。mAITCを用いたコンテナ貨物へのヒアリ侵入阻止技術の開発のためには、まず、気密性の無い段ボール箱でもmAITCガスが有効なヒアリ忌避効果を示すのかを検証、さらにコンテナ内のAITCガス濃度を開封せずに測定する方法の開発を行った。それらの成果を元に、ヒアリが定着している台湾で、段ボール箱を貨物として積載した実物の20ftコンテナを用いた実験を行ない、コンテナ貨物へのヒアリ侵入阻止に有効なmAITCの梱包量や設置方法、AITCガスの推移を検証した。その結果、mAITCはコンテナ貨物へのヒアリ侵入阻止に有効であり、さらに貨物への侵入したヒアリに燻蒸効果を示すことも明らかになった。また、mAITCを各段ボール箱に梱包するだけでなく、それらの外側に設置してもヒアリ忌避効果を得られることを明らかにでき、mAITC梱包の省力化方法も確立できた。さらに、コンテナ内のAITCガス量測定から、海外から日本へのコンテナ輸送期間中はガス量を保持し、陸上げ時にはガス放出が終了するmAITC量の設定や、その期間中にコンテナ貨物へのわさび臭移りが無いことなどの実用化への検証もできた。これらの結果から、マイクロカプセル化わさび成分によるヒアリのコンテナ貨物侵入阻止技術を確立した。本技術は環境省が主催して開催されたG7ワークショップ（東京、2023年11月21日―23日）の展示にて国際公開を果たした。また、国際昆虫学会（ICE2024 Kyoto 8月25日-30日）の外来昆虫セッションで「Shoot Fire Ants with Wasabi and Silicone: The Current State of *Solenopsis invicta* Invasion in Japan and Novel Countermeasures to Protect Global Trade」として発表が採択されている。さらに研究代表者が責任編集者を務めるGlobal Environmental Research Vol.28 No.2/2024のSpecial Issue 号 “Invasion Biology and Control Technologies for Invasive Alien Ants” で発表予定である。mAITCはヒアリのみならず、コンテナに付随して非意図的に侵入する外来生物全般の対策としても大きく貢献可能である。

１． サブテーマ２ 研究開発目的

サブテーマ２では、実際の海上コンテナを用いてわさび成分のヒアリ忌避効果を実験検証し、その侵入阻止技術を確立する。具体的には、国内でコンテナ内のAITC濃度を開封せずに計測できる手法の開発や、ヒアリが定着している台湾で20ftコンテナに、マイクロカプセル化AITCシートで梱包した段ボール箱等を積載して、どのような梱包方法がヒアリ侵入阻止に最適であるかの検証と改良を３年間かけて行う。また、本研究は、世界で初めて、海上コンテナへのヒアリ侵入実験を実施するものである。その解析は、コンテナ等に付随して非意図的に侵入する外来生物の生態について、貴重な学術的成果を提供できる。なお、マイクロカプセル化わさび成分によるヒアリのコンテナ侵入阻止技術が確立できれば、わさび成分以外の天然成分による外来生物の侵入阻止技術など、環境産業で類似の技術開発を促進する契機にもなる。

２． サブテーマ２ 研究目標

サブテーマ２	「マイクロカプセル化わさび成分によるヒアリのコンテナ貨物侵入阻止技術の確立と応用」
サブテーマ２ 実施機関	国立研究開発法人国立環境研究所
サブテーマ２ 目標	海上コンテナ輸送で、貨物へのヒアリの侵入を防止する技術として、マイクロカプセル化AITCのシートなどを梱包材として使用する方法を確立し、その使用法をマニュアル化する。

3. サブテーマ2 研究開発内容

気密性の低い段ボール箱でのマイクロカプセル化わさび成分シートによるヒアリ忌避効果の証明とPEカバーの利用によるヒアリ忌避効果持続性向上の検証

ヒアリに代表される外来生物の、コンテナ物流を介した非意図的な持ち込みを、マイクロカプセル化わさび成分シート（mAITCシート）による忌避効果を用いて阻止するためには、必要な期間、荷物内のAITC濃度を有効値に保持する必要がある。コンテナ物流において、貨物梱包のほぼ8割に段ボール箱が用いられているが、パルプを原材料とする段ボールには細孔が多数あり、ガスの気密性は低い。一方、mAITCはマイクロカプセル内にAITCが封じ込められているため、ガスの放出を長時間にわたり続けることが可能な徐放性素材である。我々は、mAITCの徐放性によって、気密性が低い段ボール箱であっても、内部のAITC濃度を保持でき、ヒアリの侵入阻止が可能であると考え、実証実験に取り組んだ。さらに、コンテナ輸送では、積載貨物は水濡れ事故を防ぐために、ポリエチレン製（PE）のカバーで覆われることが多い。ポリエチレン製（PE）は段ボール紙よりもガスバリア性が高いため、段ボール箱にカバーを被せた輸送では、より高いAITC濃度の保持が期待され、ヒアリの忌避効果も得られると推測して、比較及び検証に取り組んだ。

中国等からの海上コンテナ輸送期間中にヒアリ忌避効果の保持に必要なマイクロカプセル化わさび成分シート量の算出

段ボール貨物の輸送において、mAITCシートを用いてヒアリの侵入を確実に阻止するためには、少なくとも、貨物の1）海上コンテナへの積載から2）実入りコンテナのコンテナヤードへの移送、3）実入りコンテナの船積みと出航までの間はヒアリ忌避に有効なAITC濃度を保つ必要がある。アジア諸国から日本への海上コンテナ輸送に要する日数は通常1週間ほどであることから、実際に物流に用いられる段ボール箱（45.5 X 31.4 X 24.0cm）を用いて、ヒアリのAITC半数致死濃度（8ppm）を段ボール内で1週間以上は保持できるシートの量の算出を試みた。また、バリア性のない一般的な梱包用フィルム（野添産業ストレッチフィルム、厚さ18 μ m）およびバリア性フィルム（イワタニ難透性ハイバリア、厚さ20 μ m）のそれぞれで段ボールを梱包した場合や、シート状とペレット状の形態の異なるmAITCを使用した場合におけるAITC濃度変化を比較検証した。

コンテナ内のAITC濃度測定法の開発

コンテナ内におけるAITC濃度の経時測定を実施するにあたり、測定時にコンテナの開閉を伴うと、その際に外気が入ることによりAITC濃度が大きく変化することが予想される。実際の海上コンテナ輸送では積荷の盗難防止のために、貨物の積載（バンニング）後コンテナの扉は封印され、荷主の倉庫に到着して荷卸（デバンニング）するまでの7日間程度の期間、開かれることはない。このため、実際の海上コンテナ輸送と同じ条件で、マイクロカプセル化わさび成分シートの量や梱包方法等の選定などを検証するには、コンテナを閉じた状態で積載貨物内のAITC濃度を外部から測定する手法が求められる。しかし、これまで、このような手法は国内外で類例がなかった。そこで、我々はコンテナの扉を閉じたままに、積載貨物内のAITC濃度を継時的に測定できる手法の開発に取り組んだ。実験には、6ftの輸送用コンテナを用意し、積載貨物としては段ボール箱（41.5cm x 31.5cm x 24.0cm、厚み5mm）内の底面に、わさびシート600cm²（10cm x 10cm x 0.1cmシートx6枚）を敷き、荷物の代用品として2Lペットボトル8本を入れた後、速やかにOPPテープで1字貼りをして密閉したものを準備した。さらに、通常、コンテナ輸送では貨物は荷役台である樹脂製パレット（110cm x 110cm 角）に積み上げて搬入されるため、わさびシートを梱包した段ボール箱はパレットに一段7個で、6段積み重ねた状態のものを2つ用意してコンテナ内に設置した。AITCガス濃度は、極細のPTFEチューブ（内径0.9mm、外径1.7mm）を段ボールに挿入し、もう一方の端をコンテナ外壁に固定した後、コンテナの扉を閉め、コンテナ外部のチューブ端に接続した注射針（18G x 11/2" RB）から内部のガスをガス吸引機で吸引して、検知管の呈色反応を用いて濃度を計測した。

mAITC利用のユーティリティ確認

海上輸送における、外来生物侵入忌避を目的としたmAITC利用の社会実装化に向け、過去の抗菌・防カビを目的としたmAITCの海上輸送における使用実績を明らかにするために、過去に海上輸送にmAITCの利用経験がある企業複数からのヒアリングを実施した。また、2021年度―2023年度に環境省主催で実施されたモデル事業に協力し、中国（上海）およびインドネシアから国内への輸送について、海上コンテナへのmAITCシートの同梱を実施した。実施に携わった企業からも、mAITC利用に際し聞き取り調査を実施し、改善すべき点を抽出した。

海上輸送用コンテナを用いたヒアリ忌避輸送試験

台湾に海上輸送用20ftコンテナ2基を2023年11月より長期的にレンタルし、中国から日本への海上輸送期間を想定した7日間の間、mAITCシートを用いたヒアリ忌避輸送試験を実施した。両コンテナは試験圃場に互いに直角で設置し、内部に温湿度ロガーを入れて、温度条件を確認した。片方のコンテナを対照区、もう片方のコンテナを試験区に設置した。試験区には、2個の試験容器を設置した。試験容器は、アリ逃走防止用に内側にフルオンを塗ったトロ船の中に、六段組みの段ボールを重ねたものを1セットとした。段ボールの中にはペットボトル6本で満たし、それに規定枚数（3, 6, 9, 12, 15）枚のmAITCシートを試験区ではそれぞれ加えた。試験区ごとに、mAITC濃度を保持できるようガス防止機能を実証したバリア性フィルムでパーテーションを設置した。各試験容器には、試験開始直前に、試験圃場で採取したヒアリ100個体および水が入った15mlチューブを給水容器として加えた。同時に、ガス濃度測定用チューブを設置した。以上を実施した上で、コンテナを閉封して7日間密閉後に、開封して中のヒアリの居場所および個体数を確認した。

mAITCシートを用いたヒアリ忌避輸送中の貨物への影響試験

中国から日本への海上輸送期間を想定した7日間の間、mAITCシートを同梱することで、段ボール内の貨物に何らかの負の影響が生じるかを、台湾に設置した海上輸送用コンテナを用いて、2024年2月に試験した。コンテナ、試験容器セットの設定は前項に準じる。ただし、mAITCシートの枚数は前回の試験結果より、段ボール箱1箱につき3-5枚程度でヒアリに対する十分な防虫・忌避効果を示すと考えられたため、コスト縮小のため前回より量を減らし、段ボール毎に（1, 3, 4, 4（コンテナ壁面設置））の4形式で実施した。AITCは空気より重いため、最も匂い移りの危険性が高い、それぞれの試験容器セットの最下段の段ボール箱に、匂いを吸着しやすい木製品（割り箸）、布製品（ハンカチ）、食料品（ティーパック）を各3反復設置した。対照区においては、1試験区につき、同様に実施した。それぞれの試料は、コンテナを閉封して7日間密閉後に、開封して取り出した。取り出し後、それぞれランダムにナンバリングした上で、アルミパックにシーラーで封じ、中の匂い物質が外部に流出しない状態にした。その上で、臭気判定士による6段階の官能評価により、貨物への影響評価を実施した。

海上輸送用コンテナにおけるヒアリ動態の観察試験

ヒアリ忌避輸送試験において、対照コンテナにおいてヒアリの生存率、動態を観察し、中国から日本への侵入が予想される期間においてヒアリがどのような場所で生きているかを確認した。また、台湾側との連携の元、ヒアリの巣がある圃場に設置しているコンテナにヒアリが入り込む可能性がある気象条件の観察・検証を実施した。

mAITCシートを荷物外に設置した場合のヒアリ忌避効果試験

ヒアリ忌避輸送試験により、段ボール毎に最大でも4枚のmAITCシートを入れることで、ヒアリが忌避できるものと考えられた。そこで、事業者より求められたより簡易的な梱包によるヒアリ忌避輸送の実現を検証するために、コンテナ壁面に段ボール箱各4枚相当のmAITCシート（試験区ごとに40枚）を貼り付けた条件下でのヒアリの生存率、荷物への移動の有無を検証した。

4. サブテーマ2 結果及び考察

気密性の低い段ボール箱でのマイクロカプセル化わさび成分シートによるヒアリ忌避効果の証明とPEカバーの利用によるヒアリ忌避効果持続性向上の検証：

紙パルプを素材とする段ボールには細孔が多数あるため、ガスの気密性はほとんどない。マイクロカプセル化したAITC (mAITC) はガスの放出を長期間に渡り続ける徐放性を有するため、箱内のわさび成分ガスが一定の濃度で維持可能であり、ヒアリの侵入阻止に用いることを実証した。さらに、ポリエチレン (PE) 製カバーを段ボール箱に被せることで、高いAITC濃度の保持が可能となり、ヒアリの忌避効果がより高くなることを明らかにした。これは、PEフィルムは段ボール紙よりも高いガスバリア性を有しているためと推測された (成果1)。以上の結果から、mAITCを入れた段ボール箱にガスバリア性カバーを被せることで、外来生物の侵入を阻止する輸送をより確実なものにできるとともに、mAITCシートの使用量を削減できることが推定された

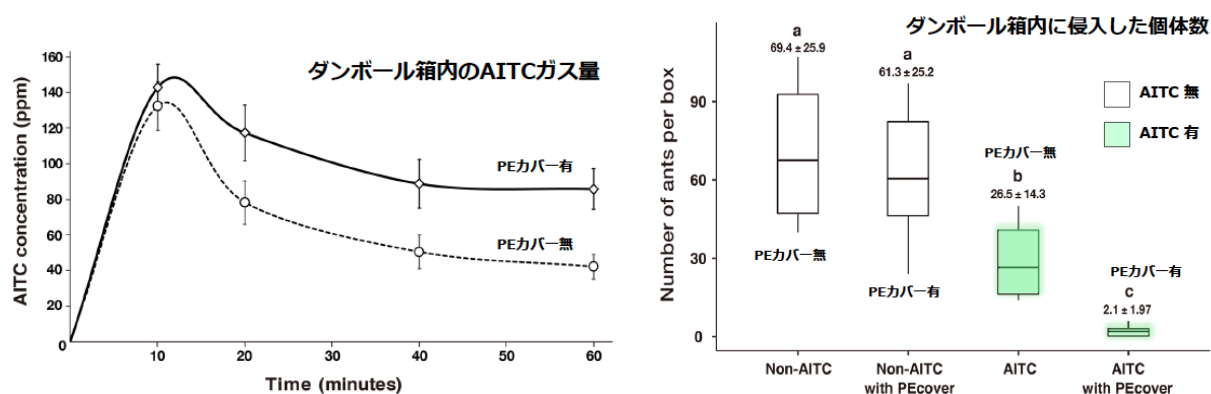


図2-1 ダンボール箱におけるAITCのヒアリ忌避効果。(左) PEカバーの有無と段ボール箱内のAITCガス濃度 (右) PEカバーの有無とmAITCシートの有無による段ボール箱内のベイトに誘引されたヒアリ個体数の比較

中国等からの海上コンテナ輸送期間中にヒアリ忌避効果の保持に必要なマイクロカプセル化わさび成分シート量の算出：

段ボール箱内のAITC濃度の変化を2週間に渡り計測した結果、梱包なし及びノーマルフィルムによる梱包では、梱包後1日以内に濃度低下が確認されたが、バリア性フィルムによる梱包では、およそ9日間まで安定したAITC濃度が維持されることが示された。今回の結果に基づき、ヒアリの半数致死濃度

(8ppm) を7日間保持するためには、バリア性フィルム梱包下においてわさびシート53cm²/10Lが必要であることが明らかになった。以上の計算は、今後コストダウンして社会実装に進めることを念頭とした、mAITC利用のコスト計算の基盤として用いることができる。

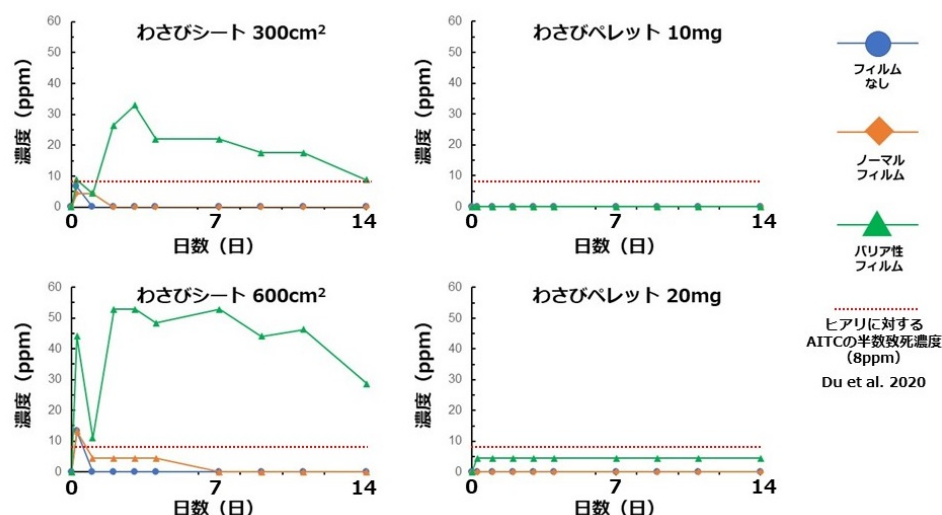


図2-2 フィルム無し，ノーマルフィルム，バリア性フィルムの3条件での梱包下での，マイクロカプセル化わさび成分ペレットおよびペレットを入れた段ボール内AITC濃度の14日間の推移。

コンテナ内のAITC濃度測定法の開発：

設置した6ftコンテナ内の各段ボール，およびパレット下のAITC濃度について，2週間に渡り，経時的に測定することに成功した。3週間後については，測定下限以下であったが，検知管の色変化が観察されており，PTFEチューブを用いたコンテナ外からの測定方法により，コンテナ内のAITC濃度を長期的に測定可能であることが示された。本技術は，今後のコンテナ輸送におけるmAITC利用について，コンテナ内におけるAITC濃度検討の基盤となりうるものである。



図2-3 本研究で開発したコンテナの扉を閉じたまま，外部から積載貨物内のガス濃度を測定する手法の概要

mAITC利用のユーティリティ確認

抗菌・防カビを目的としたmAITCの海上輸送における使用実績として，木材製品・竹製品・衣類・革靴・競泳用スポーツタオル・革靴・イオン交換樹脂等の多様な製品における過去の使用事例を収集・整理した。また，1000ppm/1ヶ月の曝露で変形や変色，匂いの吸着が生じうる素材についての情報も備蓄した。ただし，10ppm程度のAITC濃度で防カビ・防虫効果が十分に発揮され，ヒアリの忌避効果も確保されるので，その数十倍～百倍高い濃度での使用はヒアリ忌避を目的とした輸送では必要なく，あくま

でも参考情報と考えられる。さらに、環境省に協力して実施したmAITCシート使用のモデル事業において、輸入業者からmAITC利用について、金銭的なコストや梱包の作業量の低減についてのフィードバックを得た。

海上輸送用コンテナを用いたヒアリ忌避輸送試験

侵入ヒアリの主要な原産国である中国からの海上輸送を想定した7日間の間、20ftコンテナ内に設置されたトロ船積み6段ボールにおいて、ヒアリの生存が確認されたのは段ボール中にmAITCシートを最小枚数である3枚設置した区画のみであり、生存率は0.01（128個体中1個体のみ生存）であった。これは、貨物内へのヒアリ侵入を十分に妨げることに成功したものである。さらに、mAITCシート3枚設置区画において、AITC濃度が5ppmを越えたのは前半の3日間に留まり、3日程度の短期間であってもAITC濃度が一定の水準に保たれれば、ヒアリの侵入を十分に防げることが示唆された。該当成果はコスト削減のために重要な価値をもつと言える。

mAITCシートを用いたヒアリ忌避輸送中の貨物への影響試験

輸入業者へのヒアリングを通じ、コスト面以外の懸念事項として多くの声が上がった、mAITC使用の荷物への負の影響の有無を確認するために、コンテナに積んだ段ボール箱内に、mAITCシートと共に布製品（ハンカチ）、木製品（割り箸）、食料品（ティーバッグ）を同梱し、輸送期間に相当する7日間を経た後に、荷物への匂い移りがあるかを官能試験により検証した。官能試験は臭気判定士1名によるブラインドテスト（供試品各3反復をそれぞれ順番ランダム化の上で、個別包装してサンプルとした）より実施した。試験結果、同梱したわさびシートの枚数（1～4枚）に関わらず、全ての製品に対し、わさびの匂い移りは、官能評価の6段階評価で最低の1（わさびの匂いなし）であり、確認されなかった。この結果は、mAITCシートを用いたヒアリ忌避輸送において荷物への負の影響はないことを示し、輸送における懸念点を払拭するものである。

海上輸送用コンテナにおけるヒアリ動態の観察試験

7日間の間、20ftコンテナ内に設置されたトロ船積み6段ボールの、水のみが供試された実験区において、ヒアリの生存率は0.80を上回った。これは、海上輸送において水分のみが維持されれば、ヒアリが十分に国内に侵入することを示す数値と言える。すなわち、コンテナ内での結露などによる水分供給は、ヒアリの侵入リスクを高めるものである。同時に、段ボール内へのヒアリ侵入率は、0.13（ $N=60$ ）であったことから、コンテナ内にヒアリが侵入している条件では、積み荷の1割以上がヒアリの侵入を許していると推定される。これは、ヒアリが発見されたコンテナから移動した積み荷のリスク評価を実施する上で重要な基礎情報となる。また、実験期間中に降雨があった日において、コンテナの地面に接した「足」の部分へのヒアリの移動が見られた。この観察結果は、コンテナヤードにおいても降雨によりヒアリの巣に水が浸透した場合、コンテナ内への移動を示唆するものである。特に降雨が続く期間にヒアリ定着地に積載されたコンテナは注意が必要なものであると言える。

mAITCシートを荷物外に設置した場合のヒアリ忌避効果試験

輸入業者へのヒアリングを通じ、段ボールごとにmAITCシートを加えることは手間を要し、各段ボール内の荷物積載量を低下させると共に、荷物への影響が懸念されとの意見を得た。そこで、段ボールの外側にmAITCシートを設置することで、これらの懸念を払拭すると共に、コストを削減可能であると考えた。実験区において、各段ボールに4枚のわさびシートを加えた場合と、コンテナの壁面に同数のわさびシートを貼付けた場合において、段ボール中に設置したヒアリ50個体を入れた容器内のヒアリの死亡率を確認した結果、どちらの条件においてもヒアリの死亡率は90%を越え、差はないものであった。また、追加で実施した、段ボールの上下に各箱に4枚、6枚相当のmAITCシートを設置し、段ボールの中にヒアリ50個体と給水用チューブが入ったメッシュ蓋の容器を入れ、4日後の死亡率を測定した場合でも、mAITCシートに近い箱では容器内のヒアリの高い死亡率が確認された。よって、mAITCを利用し

たヒアリ忌避輸送においては、mAITCシートはコンテナ内に設置することで、段ボール箱内には入れなくてもよい、簡便化した利用法が可能であることが実証された。



図 2-4 海上輸送用20ftコンテナを用いたヒアリ忌避輸送試験（台湾で実施）

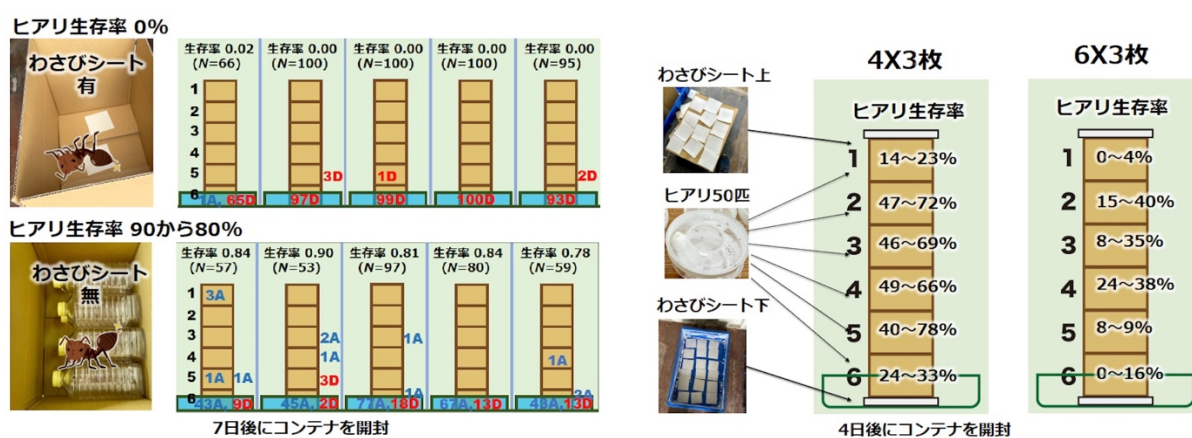


図 2-5 海上輸送用20ftコンテナを用いたヒアリ忌避輸送試験の結果：（左）各段ボール箱にmAITCシートを設置した場合（右）mAITCシートを荷物外に設置した場合

5. サブテーマ 2 研究目標の達成状況

サブテーマ 2 では、目標1の達成のため、ヒアリ定着地である台湾における試験を計画していたが、研究期間がコロナ禍の渦中であったため海外渡航が難航し、コンテナ設置などの交渉にも時間を要したため、コンテナ試験の実施まで時間が必要となった。その中でも粘り強い交渉により試験地を確保し、海外輸送用20ftコンテナを用いて、海外から日本への輸送期間を想定した試験期間におけるmAITCによるヒアリ忌避実験を実施し、その有用性を実証できた。また、コンテナ内でヒアリが少量の水分があれば海上輸送に必要な日数の間生存可能であることを確認し、コンテナの結露が外来生物侵入にもたらすリスクを明らかにした。さらに、環境省のモデル事業に協力し中国等からの輸入業者と実際にmAITCをコンテナ貨物に使用した輸送を実施して、輸入業者からの懸念事項を収集し、実物のコンテナを用いた実験で検証し、実用化に支障がないことも明らかにできた。目標2について、わさびに含まれる天然の抗菌物質アリルイソチオシアネートは節足動物から脊椎動物まで、様々な生物に忌避や燻蒸効果があることが示されている。また、殺虫剤等は、中国を初め、海外からのコンテナ輸入では輸出元の法律規制によって使用できない場合があるが、わさび成分の使用には、現在のところ懸念がない。このため、本研究で確立したmAITCによる海上コンテナ貨物へのヒアリ侵入阻止技術は、国際的に、広範囲の外来生物防除に貢献できるものである。

Ⅲ. 研究成果の発表状況の詳細

※この項目の成果番号は通し番号です。

(1) 成果の件数

成果の種別	件数
査読付き論文：	1
査読付き論文に準ずる成果発表（人文・社会科学分野）：	0
その他誌上発表（査読なし）：	7
口頭発表（国際学会等・査読付き）：	3
口頭発表（学会等・査読なし）：	17
知的財産権：	1
「国民との科学・技術対話」の実施：	77
マスコミ等への公表・報道等：	8
研究成果による受賞：	0
その他の成果発表：	1

(2) 誌上発表

< 査読付き論文 >

成果番号	【サブテーマ1】の査読付き論文
	該当なし

成果番号	【サブテーマ2】の査読付き論文
1	Hashimoto Y., Sakamoto H., Asai H., Yasoshima M, Lin H-M., Goka K. (2022) Effectiveness of allyl isothiocyanate microencapsulated in polyethylene as a repellent against <i>Solenopsis invicta</i> (Hymenoptera: Formicidae). infestation of corrugated cardboard boxes Appl Entomol Zool 57, 257-262. https://doi.org/10.1007/s13355-022-00779-5

<査読付き論文に準ずる成果発表（人文・社会科学分野）>

成果 番号	【サブテーマ１】の査読付き論文に準ずる成果発表（人文・社会科学分野）
	該当なし

成果 番号	【サブテーマ２】の査読付き論文に準ずる成果発表（人文・社会科学分野）
	該当なし

<その他誌上発表（査読なし）>

成果 番号	【サブテーマ１】のその他誌上発表（査読なし）
2	三橋弘宗（2022）博物館の標本保存技術，道路の防草や漏水防止に応用．コンバーテック 590:10-15． 施工ガイドとなる動画についてもYouTubeにて配信． https://www.youtube.com/watch?v=dUpa6aWVdYk
3	三橋弘宗（2023）プライマー不要，流し込むだけの変性シリコン．現代農業12月号:67．

成果 番号	【サブテーマ２】のその他誌上発表（査読なし）
4	坂本洋典・久本峻平・橋本佳明・五箇公一（2022）ヒアリ対策最前線（前編）．昆虫と自然 57(2):24-28．
5	坂本洋典・久本峻平・橋本佳明・五箇公一（2022）ヒアリ対策最前線（後編）．昆虫と自然 57(5):35-37
6	坂本洋典（2023）至近に迫る人を刺す外来社会性昆虫！！ヒアリとツマアカスズメバチ．環動昆（34(4), 131-136)
7	坂本洋典（2023）ヒアリ対策の状況．ペストコントロール（196, 4-9)
8	Hironori SAKAMOTO (2024) Fire ants and Argentine ants. In Medical Entomology in Asia - Special Issue on Japan and Neighboring Asian Countries -. Springer, 310pp (受理済 2024年8月刊行予定)

(3) 口頭発表

<口頭発表（国際学会等・査読付き）>

成果 番号	【サブテーマ１】の口頭発表（国際学会等・査読付き）
9	Yoshiaki HASHIMOTO, Hironori SAKAMOTO, Hiromune MITSUHASHI et.al: ICE2024 Kyoto: 「Shoot Fire Ants with Wasabi and Silicone: The Current State of <i>Solenopsis invicta</i> Invasion in Japan and Novel Countermeasures to Protect Global Trade”

成果 番号	【サブテーマ２】の口頭発表（国際学会等・査読付き）
10	Hironori SAKAMOTO, Yoshiko SAKAMOTO, Nobuyoshi NAKAJIMA, Koichi Goka: International Union for the Study of Social Insects (2022) Establishing measures to control invasive alien insect species in Japan

11	Hironori SAKAMOTO (2022) FAOPMA PEST SUMMIT 2022 KYOTO JAPAN Status of Invasion of the red imported fire ant <i>Solenopsis invicta</i> in Japan and development of control systems. (招待講演)
----	--

<口頭発表（学会等・査読なし）>

成果 番号	【サブテーマ1】の口頭発表（学会等・査読なし）
12	三橋弘宗：自然環境共生技術研究会／環境省（2021）オープンなデータと小さな自然再生と緩やかな保護区．
13	三橋弘宗：第69回日本生態学会（2022）フォーラム「外来生物対策のこれまでとこれから～外来生物法改正を視野に入れて」：農家の収益を左右する外来生物．
14	三橋弘宗：隙間除草技術講習会および除草フォーラム（2022）博物館の標本保存技術を道路や港湾の防草に活かす．（兵庫県県土整備部主催）
15	三橋弘宗：バイオエコノミー研究会（2022）持続可能な暮らしを支える共創型の小規模環境技術が果たす役割．神戸大学／オンライン
16	三橋弘宗：日本生態学会第70回大会（2023）自然史とデータ活用を支えるプラットフォーム（JBON集会：生物多様性観測の未来）．
17	三橋弘宗（2024）シリコン変性樹脂を用いたアスファルトクラックの充填による防草防虫に関する技術，環境研究・技術開発 新技術説明会，JST (https://shingi.jst.go.jp/list/list_2023/2023_erca.html#20240201P-004)
18	三橋弘宗：日本生態学会第71回大会（2024）自然史研究の裾野はどのように広げることができるか？（JBON集会：生物多様性の調査・解析・連携のニーズと未来）．
19	三橋弘宗：第39回環境問題研究助成ワークショップ（2024）「自然資本管理のすすめ方：～多様なセクターの参加による自然資本管理のための論理と技術～．

成果 番号	【サブテーマ2】の口頭発表（学会等・査読なし）
20	坂本洋典：信州昆虫学会・信州大学理学部 2021年度公開シンポジウム「信州における外来昆虫の侵入状況と今後の対策」，侵略的外来アリの生態とその防除：特定外来生物ヒアリ類を中心に（2021）
21	坂本洋典：日本蜘蛛学会第53回大会（2021）侵略的外来アリとはどんなアリ？—その特徴と脅威
22	坂本洋典・坂本佳子・久本峻平・神宮周作・蒲地智寛・中嶋信美・五箇公一：日本応用動物昆虫学会第66回東京大会(2022) コロナ禍の中での外来社会性昆虫防除システム構築と強化．
23	坂本洋典・五箇公一：日本生態学会第69回大会（2022）忘却のヒアリ，またしても子供たちから安心・安全が奪われるのか
24	橋本佳明・坂本洋典・三橋弘宗・五箇 公一・浅井 ひろみ・八十島将充・林暉閔・山崎 昌男：日本昆虫学会第81回大会（2021）ヒアリ侵入阻止と定着前防除の新規技術研究—高まるヒアリ定着の危機
25	坂本洋典・坂本佳子・久本峻平・神宮周作・蒲地智寛・中嶋信美・五箇公一：日本生態学会第69回大会（2022）継続するコロナ禍の中での外来昆虫対策強化
26	坂本洋典：第14回東海昆虫研究会（2023）国内に侵入した外来社会性昆虫の動向と対策．
27	坂本洋典，坂本佳子，神宮周作，中嶋信美，五箇公一日本昆虫学会第83回大会(2023) 差し迫る外来社会性昆虫の侵入とその防除システムの高度化．
28	坂本洋典，坂本佳子，神宮周作，中嶋信美，五箇公一日本生態学会第71回大会(2024) 外来社会性昆虫の国内侵入状況と防除システム構築の最前線．

(4) 知的財産権

成果 番号	発明者	出願者	名称	出願以降 の番号	出願 年月日
29	三橋弘宗	兵庫県立大学 (三橋), 長瀬 産業株式会社, オイケム合同会 社	「除草技術について-新規開発 のシリコン樹脂を用いた除草技 術および外来昆虫の駆除手法に ついて」	特願 2021- 178809	2021年 11月11 日

(5) 「国民との科学・技術対話」の実施

成果 番号	実施 年度	【サブテーマ1】の実施状況
30	2021 -	橋元佳明・三橋弘宗「兵庫県立人と自然の博物館常設展示, ヒアリに関する常設展示の設置と展示解説」(館員および展示解説員対応), 2021年以前より常設展示を設置して来場者としての学校団体や行政関係者, 一般に対して演示方式により本成果についてパネルやスライド, 動画を用いて適宜解説(現在も設置継続)。
31	2021	三橋弘宗「外来生物対策について, 外来生物対策技術講習会(兵庫県外来生物協議会)」, 洲本市ウェルネスパーク, 2021年7月9日, 参加者90名, 行政職員を対象とした外来生物法と各種防除に関する基本的事項についての解説。
32	2021	橋本佳明「どうなっているヒアリ?—高まる定着の危機と対策法を学ぶ」日本環境動物昆虫学会「第30 回環境アセスメント動物調査手法講演会」, ハイブリット開催, 2021年7月31日, 参加者約250名, ヒアリ侵入の現状とわさびシートによるコンテナ貨物侵入阻止とシリコン樹脂によるコンテナヤード定着阻止技術の解説。
33	2021	三橋弘宗・橋本佳明「大阪市咲洲コンテナヤードおよび隣接地におけるヒアリ対策の実践」, 2021年9月22日~10月2日, 参加者のべ約25人, 環境省近畿地方事務所および大阪市と, ヒアリ対策としてのシリコン樹脂防除の実施とヒアリ営巣地の発見から防除までの技術支援を実施。
34	2021	橋本佳明「マイクロカプセル化わさび成分によるヒアリのコンテナ貨物侵入阻止とシリコン樹脂充填によるコンテナヤードでのヒアリ営巣阻止技術の確立と応用~日本のフレーバー「わさび」と博物館標本技術でヒアリから日本を守る~」, 兵庫県立大学「知の交流シンポジウム」(オンラインポスター展示), 2021年9月28日, ヒアリの侵入前防除, 定着後防除技術を解説。
35	2021	三橋弘宗「シリコン樹脂充填による外来生物対策/兵庫県外来生物対策技術講習会(兵庫県外来生物協議会)」, 神戸市中央区, 2021年10月6日 参加者100名, 行政職員および民間企業者を対象として外来アリや雑草に関する対策技術の解説と実習。
36	2021	橋本佳明「外来アリの対策技術」兵庫県立人と自然の博物館セミナー, 2021年10月17日 参加者10人, ヒアリ侵入の現状と侵入後防除, 定着後防除技術について展示等を活用して解説。
37	2021	三橋弘宗「私たちができる生物多様性の保全戦略」, EP0中部環境パートナーシップオフィス, オンライン講義, 2021年10月20日 参加者70人, 自然再生および外来生物対策の一環として小規模に取り組むことができる技術体系について名古屋港の課題を含めて外来生物対策を行政および企業CSR担当者に解説。
38	2021	三橋弘宗・橋本佳明「三重県四日市コンテナヤードにおけるヒアリ対策の実践」, 2021年10月22日 参加者8人, 環境省中部地方事務所および三重県, 四日市港湾事務所と, ヒアリ対策としてのシリコン樹脂防除の実施とヒアリ営巣地の発見から防除までの技術支援を実施。
39	2021	三橋弘宗「持続可能な暮らしと生態系を支える共創型の小規模技術」, 「兵庫県県土整備部土木技術講習会」, 2021年11月19日 参加者120人, 県土木職員を対象としてシリコン樹脂等を用いた施設管理の重要性と社会的背景について解説。
40	2021	橋本佳明「外来アリの対策技術」兵庫県外来生物対策技術講習会(オンライン), 2021年12月9日 参加者80名, ヒアリの侵入前防除, 定着後防除技術を解説。
41	2021	三橋弘宗「自然環境分野におけるアセス技術 環境省環境影響評価研修」, 2021年11月24日 参加者190人, 環境省および環境アセスメント協会が主催する技術者向け講習会においてヒアリ対策を含む外来生物対策について紹介。

42	2021	三橋弘宗「小規模保全技術研究所（2021-2024）シリコン変性樹脂の紹介およびインフラメンテナンに関する技術情報を発信」，2021年12月1日～継続公開中 シリコン変性樹脂を用いた港湾および道路防草に関する技術ガイドおよび動画（YouTube掲載）を作成して公開．各種セミナーや公共工事等において多数活用． URL: https://conservation-tec.org/
43	2021	三橋弘宗「シリコン樹脂を用いた防草および農業用水路の修繕に関する講習会」，2022年1月16日 参加者45人，兵庫県加東市社町土地改良組合員を対象としたシリコン樹脂充填技法による道路雑草対策および水路修復に関する技術支援を実施．
44	2021	橋本佳明「日本の経済活動を脅かすヒアリ - 高まる定着の危機と対策」環境省外来種対策と企業活動の関わりを考えるウェビナー「悪意なき侵略者とのつきあい方～ヒアリからポスト2020へ～」，オンライン開催，2022年3月24日，参加者180人，ヒアリ侵入の現状とわさびシートによるコンテナ貨物侵入阻止とシリコン樹脂によるコンテナヤード定着阻止技術の解説．
45	2022	三橋弘宗「シリコン樹脂を用いた防草および農業用水路の修繕に関する講習会」，2022年4月3日 参加者25人，豊岡市土地改良組合および豊岡市との共同によりシリコン樹脂充填技法による道路雑草対策および水路修復に関する技術支援を実施．
46	2022	三橋弘宗「アルゼンチンアリ対策市民講習会」，2022年4月18日 参加者65人，伊丹市との共同により，兵庫県伊丹市桑津地区住民を対象とした防草によるアルゼンチンアリ対策に関する技術支援を実施．
47	2022	三橋弘宗「行政職員向けアルゼンチンアリ対策講習会」，2022年4月19日 参加者1，伊丹市との共同により，伊丹市関係部署（土木/環境/公園管理者）を対象とした防草によるアルゼンチンアリ対策に関する技術支援を実施．
48	2022	三橋弘宗「シリコン樹脂を用いた防草および農業用水路の修繕に関する講習会」，2022年4月30日 参加者65人，丹波県民局（丹波市，丹波篠山市）との共同によりシリコン樹脂充填技法による道路雑草対策および水路修復に関する技術支援を行い，行政職員に対して政策を提言．
49	2022	三橋弘宗「地理情報システムの使い方」，県立祥雲館高校，2022年7月11日 参加者20人，高校生に対してヒアリを題材に生物多様性情報を活用した生態系管理を説明．
50	2022	三橋弘宗「自然の恵みを活かしたカーボンニュートラルの推進について（議員研修会）」，2022年7月19日 参加者24人，三田市議会議員を対象とした環境政策研修において，カーボンニュートラルの推進の観点からシリコン樹脂充填の技法による外来生物対策やインフラメンテナンスの在り方について政策を提言．
51	2022	三橋弘宗「アルゼンチンアリによる被害査定（アルゼンチンアリ対策講習会）」，2022年8月17日 参加者60名，伊丹市，兵庫県外来生物対策協議会，アルゼンチンアリを含む外来アリ防除について行政職員や市民を対象として講習．
52	2022	三橋弘宗「地理情報システムの使い方」，県立明石北高校，2022年8月23日 参加者25人，高校2年生に対してヒアリを題材に生物多様性情報を活用した生態系管理を説明．
53	2022	三橋弘宗「小規模技術と生態系管理（石川県立大学特別講義）」，2022年8月25日 参加者11人，ヒアリを含む外来生物対策やインフラメンテナンスの必要性について解説し博物館を通じた社会教育の重要性を解説．
54	2022	三橋弘宗「共創型の小規模技術による自然再生と地域づくり（トヨタ財団支援事業）」，2022年9月17日，陽楽の森（奈良県王子町），一社）大和森林管理協会，参加者35人，小規模技術としてインフラメンテナンと外来生物対策等の生態系管理の必要性とその要素技術を紹介．
55	2022	三橋弘宗「コンテナヤードにおけるヒアリ対策」，2022年10月3日 参加者10人，名古屋港鍋田ふ頭，環境省中部事務所および国土交通省，名古屋市港湾関係者，ユニテッド社に対してシリコン樹脂による防草技術について解説．
56	2022	三橋弘宗「生態系管理による防災・減災の取組」，2022年10月22日 参加者85名，HAT神戸/WEB，防災推進国民大会2022実行委員会（内閣府，防災推進協議会，防災推進国民会議）において防災としての外来生物対策について解説．
57	2022	三橋弘宗「河川整備における生態系配慮について」，2022年10月24日，参加者38人（WEB），国土交通省近畿地方整備局管内の職員向け研修会において，外来生物対策についてシリコン樹脂利用について解説．

58	2022	三橋弘宗「生物多様性と外来種対策講習会」，2022年11月10日 参加者140人，丹波篠山市四季の森会館，兵庫県外来生物対策協議会の市民向け講習会として実施し，ヒアリ対策について説明．
59	2022	三橋弘宗「景観生態学 連続セミナー「GISを用いた空間情報の分析」」，2022年11月24日 参加者180人，GISを用いた景観分析と生態系管理，日本景観生態学会の連続講座として実施し，ヒアリの侵入リスク評価と対策を含めて解説．
60	2022	三橋弘宗「新素材シリコン樹脂を用いた水路の漏水封止技術について」，2022年11月28日 参加者350人，三木市文化会館，兵庫県多面的機能発揮推進協議会（県農地整備課）の講習会として実施し，ヒアリ対策を紹介し，シリコン樹脂充填による水路補修について実演解説．マニュアル等を以下に掲載． https://hyogo-nouchimizu.com/event/2337/
61	2022	三橋弘宗「新素材シリコン樹脂を用いた水路の漏水封止技術について」，2022年12月9日 参加者350人，豊岡市民会館，兵庫県多面的機能発揮推進協議会（県農地整備課）の講習会として実施し，ヒアリ対策を紹介し，シリコン樹脂充填による水路補修について実演解説．マニュアル等を以下に掲載． https://hyogo-nouchimizu.com/event/2337/
62	2022	三橋弘宗「新素材シリコン樹脂を用いた水路の漏水封止技術について」，2023年1月13日 参加者240人，三田市文化センター，兵庫県多面的機能発揮推進協議会（県農地整備課）の講習会として実施し，ヒアリ対策を紹介し，シリコン樹脂充填による水路補修について実演解説．マニュアル等を以下に掲載． https://hyogo-nouchimizu.com/event/2337/
63	2022	三橋弘宗「新素材シリコン樹脂を用いた水路の漏水封止技術について」，2023年1月20日 参加者280人，たつの市赤とんぼホール，兵庫県多面的機能発揮推進協議会（県農地整備課）の講習会として実施し，ヒアリ対策を紹介し，シリコン樹脂充填による水路補修について実演解説．マニュアル等を以下に掲載． https://hyogo-nouchimizu.com/event/2337/
64	2022	三橋弘宗「新素材シリコン樹脂を用いた水路の漏水封止技術について」，2023年1月18日 参加者180人，洲本市文化ホール，兵庫県多面的機能発揮推進協議会（県農地整備課）の講習会として実施し，ヒアリ対策を紹介し，シリコン樹脂充填による水路補修について実演解説．マニュアル等を以下に掲載． https://hyogo-nouchimizu.com/event/2337/
65	2022	三橋弘宗「令和4年度環境影響評価研修会 アセス技術 ～自然環境(解析・保全)～」，2023年2月8日 参加者30人，環境省・環境アセスメント協会/WEBセミナー，環境省主催の環境アセスメントに関する実務者講習会にて，港湾地区の施設開発時の外来アリ対策を含む外来種対策について解説．
66	2023	三橋弘宗「アルゼンチンアリの駆除方法実習」，2023年5月14日 参加者45人，神戸市垂水区，神戸市環境局によるアルゼンチンアリ駆除の説明会にてシリコン樹脂によるコンクリートクラック充填方法を紹介．
67	2023	三橋弘宗「都市におけるコンクリートクラックに住む害虫制御方法の実演」，2023年5月15日 参加者12人，大阪市阿倍野区にてビル管理者組合の方に害虫や防草に関するシリコン樹脂を用いた技術の説明を実施．
68	2023	三橋弘宗「外来アリ対策に関する実演実習」，2023年6月12日 参加者8人，神戸市中央区港島，神戸市環境局および神戸市港湾局，阪神国際港湾を対象にコンテナヤード内における外来アリの防除および防草について実演を含めて解説．
69	2023	三橋弘宗「ヒアリ現場対策講座」，2023年6月19日 参加者10人，広島県福山港，広島県，福山市，港湾関係者を含めて，コンテナヤード内における外来アリの防除および防草について実演を含めて解説．
70	2023	三橋弘宗「神戸港ヤード内における緊急ヒアリ対策」，2023年8月8日～24日 参加者6人～14人，神戸市中央区港島，神戸市環境局および神戸市港湾局，阪神国際港湾，港湾関係者でヒアリおよびコカミアリ対策を実施．
71	2023	三橋弘宗「アルゼンチンアリ対策実習講義」，2023年9月8日 参加者15人，尼崎市東部浄化センター，尼崎市役所，兵庫県環境部，土木部の職員を対象として外来アリの防除および防草について実演を含めて解説した．
72	2023	三橋弘宗「港湾エリアにおける外来生物対策の現地実習」，2023年9月12日 参加者7人，静岡県清水市（清水港），静岡県土木部および地元有識者，港湾関係者を含めて

		外来アリの防除および防草について実演を含めて解説。
73	2023	三橋弘宗「港湾エリアにおける特殊シリコン樹脂を用いた雑草管理を通じた外来アリ防除について」（四日市港ヒアリ対策連絡会議／環境省モデル港湾事業），現地講習及び意見交換，2023年10月5日 参加者25人（WEB），環境省中部事務所によるモデル港湾事業の一環としてシリコン樹脂による防草および防虫について解説。
74	2023	三橋弘宗「老朽化インフラの修復技術の現地実習および意見交換会」，2023年10月16日参加者5人，熊本県玉名市，自治体による直営工事で著名な玉名市土木部の木下氏を含めた職員との技術交流を実施。
75	2023	三橋弘宗「河川整備における自然環境への配慮について」，2023年10月23日 参加者40名，大阪府枚方市（国土交通省研修所），国土交通省近畿地方整備局による管内職員向け研修会においてヒアリを含む外来生物対策について解説を実施。
76	2023	Mitsuhashi H. 「Where Culture Meets Nature ~Create a natural history museum in the urban place by utilizing heritage of traditional architectures」（招待講演），2023年11月10日 参加者80人，台湾国立科学教育館，台湾大学および国立台湾博物館等の関係者を交えて，博物館の保存科学技法の社会での多様な方法論に関して議論した。台湾大学のヒアリ研究者の黄氏も参加して，シリコン樹脂の活用について議論および台湾での活用を提言。
77	2023	Mitsuhashi H. 「The application of museum conservation techniques to the restoration of social infrastructure」，2023年11月17日 参加者8人，人と自然の博物館にて，JICA北海道で招聘した海外8か国の環境系国家公務員に対して，生態系管理について説明し，シリコン樹脂活用について実演説明。
78	2023	三橋弘宗「令和5年度環境影響評価研修会「アセス技術 ～自然環境（解析・保全）～」」，2024年1月12日 参加者30人，環境省・環境アセスメント協会/WEBセミナー，環境省主催の環境アセスメントに関する実務者講習会にて，港湾地区の施設開発時の外来アリ対策を含む外来種対策について解説。
79	2023	三橋弘宗(2024)「港湾エリアにおける特殊シリコン樹脂を用いた雑草管理を通じた外来アリ防除について」（中国四国地方外来種対策ブロック会議），2024年1月12日参加者50人（WEB），環境省主催の技術講習会において本研究の成果について発表。
80	2023	三橋弘宗「博物館の小さな技術が地域の自然と暮らしを守る（群馬県立自然史博物館特別講演）」，2024年1月21日 参加者180人，群馬県立自然史博物館，群馬県内の高校や自然保護団体の共同発表会での基調講演を行い，GISによる予測と現場での施工を結びつけることの重要性について説明。
81	2023	三橋弘宗「生物の生息・生育・繁殖の場としてもふさわしい河川整備及び流域全体としての生態系ネットワークのあり方検討会」（国土交通省水管理・国土保全局），2024年2月1日～，河川および河口域海岸を含む生態系管理において外来生物対策に関するあり方について委員として学術的な観点から提言取りまとめを実施。
82	2023	三橋弘宗「港湾エリアにおける外来生物対策の現地実習」，2024年2月2日 参加者12人，福岡市（福岡港），環境省/福岡県/福岡市および港湾関係者／九州大学研究者を含めて外来アリの防除および防草について実演を含めて解説。
83	2023	三橋弘宗「港湾エリアにおける特殊シリコン樹脂を用いた雑草管理を通じた外来アリ防除について」（京都府外来生物対策協議会），京都市伏見区，2024年3月12日 参加者30人，京都府主催の外来生物対策の技術講習会において本研究の成果について発表。

成果 番号	実施 年度	【サブテーマ2】の実施状況
84	2021	橋本佳明「ヒアリの脅威と対策の必要性，最新の対策技術の紹介」，環境省港湾関係者向けヒアリ講習会，オンライン，2021年8月25日，参加者約200人，ヒアリ侵入の現状とわさびシートによるコンテナ貨物侵入阻止とシリコン樹脂によるコンテナヤード定着阻止技術の解説。
85	2021	坂本洋典「ヒアリの脅威と対策の必要性，最新の対策技術の紹介」，環境省港湾関係者向けヒアリ講習会，オンライン，2021年8月27日，参加者約200人，ヒアリの侵入の現状および防除技術について解説。

86	2021	坂本洋典「ヒアリの脅威と対策の必要性，最新の対策技術の紹介」，環境省港湾関係者向けヒアリ講習会，オンライン，2021年8月31日，参加者約200人，ヒアリの侵入の現状および最新の防除技術を解説。
87	2021	坂本洋典「外来アリの生態及び生態系への影響について」，愛知県外来種講習会，オンライン，2021年12月1日，参加者約80人，外来アリ類による被害とその防除技術を解説。
88	2021	橋本佳明「外来アリの対策技術」兵庫県外来生物対策技術講習会（オンライン），2021年12月9日 参加者80人，ヒアリの侵入前防除，定着後防除技術を解説。
89	2021	橋本佳明「どうなっているヒアリー高まる定着の危機と新規対策技術」，環境省ヒアリ講習会，2022年2月15日，オンライン，ヒアリの侵入後防除，定着後防除技術を解説。
90	2021	坂本洋典「ヒアリの脅威と対策の必要性，最新の対策技術の紹介」，環境省ヒアリ講習会，オンライン，2022年2月25日，参加者約200人，ヒアリの侵入状況および最新の防除技術を解説。
91	2021	橋本佳明「日本の経済活動を脅かすヒアリー高まる定着の危機と対策」環境省外来種対策と企業活動の関わりを考えるウェビナー「悪意なき侵略者とのつきあい方～ヒアリからポスト2020へ～」，オンライン開催，2022年3月24日，参加者180人，ヒアリ侵入の現状とわさびシートによるコンテナ貨物侵入阻止とシリコン樹脂によるコンテナヤード定着阻止技術の解説。
92	2022	橋本佳明「どうなっているヒアリー高まる定着の危機と新規対策技術」，環境省ヒアリ講習会，2022年9月7日，大阪会場，ヒアリの侵入後防除，定着後防除技術を解説。
93	2022	橋本佳明「生物多様性とアリー生物多様性を育み，そして破壊するもの」，2022年9月24日，参加者約120人，兵庫県立祥雲館高校/三田市教育委員会，ヒアリの侵略的外来生物としての被害および防除法などを解説。
94	2022	橋本佳明「ヒアリの生態および最新技術，対策事例の紹介」，環境省港湾関係者向けヒアリ講習会（東京会場）2023年2月12日（オンライン併用），ヒアリの侵入前防除，定着後防除技術を中心として解説。
95	2023	橋本佳明「地震・雷・火事・外来種ー日本を破滅に導くヒアリとアルゼンチンアリ」えひめ環境大学（愛媛県）2023年7月8日，愛媛大学，ヒアリとアルゼンチンアリの侵入状況および予測される被害と新規防除技術についてを解説。
96	2023	坂本洋典「ヒアリの生態および最新技術，対策事例の紹介」，環境省港湾関係者向けヒアリ講習会（東京）. 2023年7月20日. テレコムセンタービル（オンライン併用）ヒアリの侵入状況および最新の防除技術を解説。
97	2023	坂本洋典「ヒアリの生態および最新技術，対策事例の紹介」，環境省港湾関係者向けヒアリ講習会（名古屋）. 2023年7月27日. 名古屋港湾会館（オンライン併用）ヒアリの侵入状況および最新の防除技術を解説。
98	2023	橋本佳明「地震・雷・火事・外来種ー日本を破滅に導くヒアリとアルゼンチンアリ」（福山市市民向け講習会）2023年10月29日 福山市経済環境局環境部環境保全課，ヒアリとアルゼンチンアリの侵入状況および予測される被害と防除の必要性を解説。
99	2023	橋本佳明「ヒアリの生態・被害，最新技術と対策」，環境省ヒアリ講習会（名古屋），2024年1月16日. 名古屋会場（オンライン併用），ヒアリの侵入前防除，定着後防除技術を中心として解説。
100	2023	坂本洋典「ヒアリの生態・被害，最新技術と対策」，環境省ヒアリ講習会（岡山），2024年1月19日. 岡山コンベンションセンター（オンライン併用）ヒアリの侵入状況および最新の防除技術を解説。
101	2023	橋本佳明「ヒアリの生態・被害，最新技術と対策」，環境省ヒアリ講習会（博多），2024年1月21日. 博多会場（オンライン併用），ヒアリの侵入前防除，定着後防除技術を中心として解説。
102	2023	坂本洋典「ヒアリの生態・被害，最新技術と対策」，環境省ヒアリ講習会（札幌），2024年1月25日. 札幌駅前ビジネススペース（オンライン併用）ヒアリの侵入状況および最新の防除技術を解説。

103	2023	坂本洋典「ヒアリの生態・被害，最新技術と対策」，環境省ヒアリ講習会（東京），2024年1月29日．全日通霞ヶ関ビル（オンライン併用）ヒアリの侵入状況および最新の防除技術を解説．
104	2023	橋本佳明「ヒアリの生態・被害，最新技術と対策」，環境省ヒアリ講習会（大阪），2024年1月30日．大阪会場（オンライン併用），ヒアリの侵入前防除，定着後防除技術を中心として解説．
105	2023	坂本洋典「ヒアリの生態・被害，最新技術と対策」，環境省ヒアリ講習会（仙台），2024年2月5日．仙台西口ビジネスセンター（オンライン併用）ヒアリの侵入状況および最新の防除技術を解説．
106	2023	坂本洋典「ヒアリの生態・被害，最新技術と対策」，環境省ヒアリ講習会（仙台），2024年2月5日．仙台西口ビジネスセンター（オンライン併用）ヒアリの侵入状況および最新の防除技術を解説．

(6) マスメディア等への公表・報道等

成果番号	【サブテーマ1】のメディア報道等
107	読売新聞（2021）「コンクリート隙間除草作戦」，（2021年9月18日，1頁，WEBおよび紙面掲載（ https://www.yomiuri.co.jp/local/kyogo/news/20210908-0YTNT50006/ ）．シリコン樹脂を用いたコンクリート隙間の充填，雑草管理技術を解説．
108	神戸新聞（2022）「刈ってもすぐ生える…道路脇の雑草対策に革命！」2022年2月7日，WEBおよび紙面掲載（ https://www.kobe-np.co.jp/news/sougou/202202/0015038861.shtml ），雑草管理に使用可能な新規シリコン技術を解説．
109	兵庫県県土整備部（2022年2月7日～，「WEBページ作成支援等／除草技術フォーラム」（ https://hyogo-tech-platform.jp/ ），シリコン樹脂を用いた防草について、行政施策の支援，技術解説の執筆（三橋弘宗が担当）．
110	神戸新聞（2023）「外来生物対策～博物館の技法で向き合う～」2023年2月20日，WEBおよび紙面掲載（ https://www.hitohaku.jp/material/dayori20230220.pdf ）新規シリコンを用いたアスファルト隙間充填における外来生物管理技術を博物館としての視点から解説．
111	兵庫県（2024）兵庫県ため池管理マニュアルナガエツルノゲイトウ対策動画，2024年3月，YouTubeにてヒアリ対策のシリコン樹脂が応用活用できることを紹介．（ https://www.youtube.com/watch?v=yxHapM2j9fA ）

成果番号	【サブテーマ2】のメディア報道等
112	日本経済新聞（2023）「ヒアリ発見100件超、定着阻止へ瀬戸際 犬やAIで対策」2024年11月6日、特集として掲載
113	朝日小学生新聞（2023）「ヒアリ 国内に定着しそう 港での早期発見が重要」2024年11月14日、一面掲載
114	NHK（2024）「おはよう日本」サイカル研究所「ヒアリ対策最前線」で特集 2024年4月13日

(7) 研究成果による受賞

成果番号	【サブテーマ1】の研究成果による受賞
	該当なし

成果番号	【サブテーマ2】の研究成果による受賞
------	--------------------

	該当なし
--	------

(8) その他の成果発表

成果 番号	【サブテーマ1】のその他の成果発表
56	該当なし

成果 番号	【サブテーマ2】のその他の成果発表
115	侵略的外来種に関するG7ワークショップ（2023年11月20日―22日 浜松町コンベンションホール）におけるヒアリ防除技術の現物展示としてmAITCシートを紹介

Abstract

[Research Title]

Developing Application Methods for Preventing Fire Ants (*Solenopsis* spp.) Nesting in Container Yards by Filling Silicone Resin and Its Infestation in Marine Containers by Placing Microencapsulated AITC

Project Period (FY) :	2021-2023
Principal Investigator :	Hashimoto, Yoshiaki
(PI ORCID) :	ORCID0000-0002-6696-5011
Principal Institution :	Institute of Natural and Environmental Sciences, Hyogo University 8-2-1, Gakuennishi-machi, Nishi-ku, Kobe, Hyogo, Japan Tel: +81-78-794-6580 FAX: +81-78-794-5575 E-mail: yoshiaki@hitohaku.jp
Cooperated by :	National Institute for Environmental Studies (NIES)
Keywords :	<i>Solenopsis invicta</i> , Pre-invasion control, Pre-establishment control, Silicone resin, Microencapsulated allyl isothiocyanate

[Abstract]

Solenopsis invicta, one of the most serious invasive alien ant species, has expanded its range to the Pacific Rim in recent years. By the end of 2023, although *S. invicta* had not yet established a stable population in Japan, 111 incursions had been detected, predominantly associated with containers transported from China. Furthermore, since 2019, colonies of *S. invicta* containing new queens have been continuously discovered at major international ports in Japan. Most of these colonies were found nesting in cracks resulting from the deterioration of asphalt pavement in container yards. Given this urgent situation, it is imperative to establish methods to prevent further invasions and the establishment of *S. invicta* in Japan. Therefore, this study aimed to develop novel, effective methods to prevent *S. invicta* from entering containerized cargo and nesting in container yards. A key innovation to prevent *S. invicta* from infiltrating container cargoes is the application of microencapsulated allyl isothiocyanate (mAITC) as a repellent. AITC, a chemical compound derived from Wasabi (*Eutrema japonicum*), is known for its repellent and fumigant properties against various pests. The conventional application of AITC has been limited by its high volatility and intense pungency. Encapsulating AITC, however, facilitates a controlled, sustained release, mitigating irritancy and enhancing efficacy. Our research demonstrated that mAITC maintains a constant concentration of AITC even within a non-airtight cardboard box. Subsequently, we confirmed the repellent efficacy of mAITC against *S. invicta* using actual shipping containers in fields invaded by the ant, and established an effective method for packing mAITC into containerized cargo. To prevent *S. invicta* from establishing nests within container yard cracks, we developed a low-viscosity silicone-modified resin and associated application techniques (JP 2021178809). Characterized by extremely high permeability, an accelerated curing process, and cost-efficiency, this resin facilitates prompt and effective crack repairs without necessitating yard

suspensions. The newly developed silicone resin has been experimentally installed at ten major Japanese ports to verify its usefulness and establish an effective repair method. Additionally, we have initiated the implementation of these two technologies in practical settings. In cooperation with the Ministry of the Environment, we have conducted a model project with container importers to promote the use of mAITC in preventing *S. invicta* from entering imported containerized cargo. The novel silicone resin developed in this study has been marketed under the trade name "Niche" to facilitate its widespread adoption.

[References]

Hashimoto Y., Sakamoto H., Asai H., Yasoshima M, Lin H-M., Goka K. (2022) Appl Entomol Zool 57, p.257–262. DOI : <https://doi.org/10.1007/s13355-022-00779-5>.

This research was funded by the Environment Research and Technology Development Fund (ERTDF).

指摘等	対応状況・非対応理由等
採択時コメント「シリコンは高額な資材だと思うので、安価にできる様な方策も、ご検討頂く事が望ましい」	周辺の乾いた土や珪砂などを骨材として、シリコン樹脂と合わせて亀裂を補填する施工法を開発することで、シリコン樹脂の使用量を大幅に軽減し、施行コストを下げる事ができた。
採択時コメント「国交省との関係でも、コンテナヤードの保守点検計画の中での位置づけが必要であると考える」	環境省が国土交通省とも情報共有を図ってくれたことで、国土交通省の「R3港湾局におけるヒアリ対策について」でシリコン樹脂によるコンテナヤードの亀裂補填法が採用された。
採択時コメント「シリコン樹脂の耐久性テストを検討して欲しい」	シリコン樹脂の耐候性試験の実施し、樹脂単体でもSWOM（Sunshine Weather-0-Meter）1320時間を達成できた。実施の使用では、砂などの骨材を加えるので、その耐久性は飛躍的に向上することも確認できた。
採択時コメント「ヒアリの侵入を阻止する上ではそれなりの役割を果たすと思われるが、この技術をどの程度まで多くの港湾に展開できるのか」	これまでに、東京港を初め、ヒアリ確認できた10港湾でシリコン樹脂によるコンテナヤード亀裂補修を実施できた。その実績を受けて、環境省や国土交通省、港湾管理者等が本技術を積極的に導入してくれているので、多くの港湾に展開できると考えている。
採択時コメント「非常に実践性の高いプロジェクトで、実現も期待できる。AITCの非対象生物に対する副作用の検討もやって欲しい。」	ヒアリだけでなく、海外コンテナ内に生物が侵入して、国内に導入されるのは阻止すべきであると考える。なので、海外コンテナ輸送では、非対称生物に対するmAITCの作用は検討しなかった。ただ、海上コンテナが国内に陸上げされた時には、AITCガスの放出が終了している量や設置方法については実験を行い、陸上げ後に非対象生物に対する副作用がないよう検討した。
中間評価コメント「ヒアリ侵入阻止に向けて具体的な対策が検討されており、順調に研究が進んでいる。世界的にも新しい課題なので、研究成果の世界に向けた発信をお願いしたい」	本推進費の成果は、国際昆虫学会（ICE2024 Kyoto 8月25日-30日）の外來昆虫セッションで「Shoot Fire Ants with Wasabi and Silicone: The Current State of <i>Solenopsis invicta</i> Invasion in Japan and Novel Countermeasures to Protect Global Trade」として発表する。さらに、研究代表者が責任編集者を務めるGlobal Environmental Research Vol.28 No.2/2024のSpecial Issue号“ <i>Invasion Biology and Control Technologies for Invasive Alien Ants</i> ”で発表する。また、環境省が主催して開催されたG7ワークショップ（東京、2023年11月21日―23日）にmAITCに

	よるヒアリのコンテナ貨物侵入阻止技術の紹介を行い、同じく環境省が主催する日中韓外来種専門家会合（2024年7月22日-23日）で紹介する。
中間評価コメント「この2つをやればヒアリ対策が完全になるというものではなく、見えている課題に対応しているに過ぎないという印象がある。総合的な対策の開発という視点がほしい」	本研究の目的は、ヒアリ定着前防除技術の確立であり、定着後のヒアリの駆除などの総合的な対策技術の確立では無い。ただ、例えば、コンテナヤードの亀裂での防草管理ができていないことが、ヒアリをはじめとする外来種の定着率を高めていることが明らかになっており、シリコン樹脂による亀裂補填が簡便で安全な防草管理技術としても活用できることがわかった。このように、本研究の成果を、外来種の総合的な対策の開発という視点で発信もしている。
中間評価コメント「ヒアリ対策としては、有効な対策手法が確立されつつあると評価する。ヒアリだけでなくその他の侵入種についても、同様の成果が効率よく得られるような技術開発手法としても発信していただきたい。また、コンテナヤードの設計や管理についても、提言できるような成果のまとめになることを期待する」	わさびに含まれるアリルイソチオシアネートはヒアリのような節足動物から脊椎動物、植物種子、カビ類まで、様々な生物に忌避や燻蒸効果がある。経済グローバル化が加速する中、海上コンテナ輸送が外来種の主な侵入経路となっており、本研究で確立した安全で利便性高いコンテナへのヒアリ侵入阻止技術は、様々な侵略的外来種の侵入阻止にも活用できることも発信している。また、新規開発したシリコン樹脂による亀裂充填が高い防草性を示すことも実証できた。海上コンテナによる外来生物の定着率を高めているのが、コンテナヤードでの雑草等の繁茂であり、その管理手法が確立されていないためである。新規開発したシリコン樹脂をヤードでの防草管理手法としても発信をしている。
中間評価コメント「とても実践的な研究で優れているが、問題も多いのではない。①わさびは忌避成分のため、殺虫効果はない。したがってわさびのあるコンテナからないコンテナに移動して、渡航するのではない。②充填剤はよいとしても、移動してきたヒアリはより長距離を移動・分散するのではない」	わさび成分のAITCには忌避効果だけでなく、コンテナ内に侵入したヒアリに対して燻蒸殺虫効果もあることが本研究からも実証されたので、わさびのあるコンテナからないコンテナに移動して、渡航する懸念は無いと考えている。また、侵入したヒアリは女王や幼虫などから構成されるコロニー単位であるので、コンテナヤードの亀裂を補填したとしても、ヤード外への長距離移動は起こりにくにと考える。