

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「カプサイシンとインターカレーション技術による製造から廃棄までの循環環境適応型の安全で安心な防鼠・防虫・防水生生物等のプラスチック成形技術の研究開発」

研究開発成果等報告書

平成22年 3月31日

委託者 関東経済産業局
委託先 財団法人千葉県産業振興センター

目 次

第1章 研究開発の概要	1
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
(1) 研究開発の背景と目的	1
(2) 研究の概要	1
1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）	3
(1) 研究組織（全体）	3
(2) 管理体制	3
(3) 研究者	5
1-3 成果概要	6
1-4 当該研究開発の連絡窓口	6
第2章 本論（研究開発の詳細）	7
2-1 層状複水化合物へのカプサイシンのインターカレーション	7
(1) イオン交換法によるインターカレーション(実験室)	8
(2) 共沈法によるインターカレーション(実験室)	10
(3) 大量合成	12
2-2 カプサイシンをインターカレートした層状複水化合物を配合したポリスチレン、 及びポリプロピレンの成形加工法の検討	14
(1) 小型成形機による成形加工評価	14
2-3 生物忌避性の評価	16
(1) 昆虫に対する評価	16
(2) 海洋生物に対する評価	24
2-4 カプサイシンをインターカレートした層状複水化合物を配合した樹脂からのカプ サイシンの溶出試験	26
(1) 溶出試験	26
(2) 安全性試験	27
第3章 平成21年度研究開発のまとめと今後の予定	29
第4章 全体総括	30
【参考資料1】キブリス幼生の行動と状態	31
【参考文献】	32

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 研究開発の背景と目的

情報家電の配線が、鼠にかじられたり、様々な昆虫が機器内へ入り込むと、情報家電に大きな障害を及ぼす。したがって、家電製品の筐体や電線コードには防鼠・防虫性の付与が望まれている。

現在、薬物を電線コードや家電製品の筐体樹脂に配合成形加工することにより、防鼠・防虫効果を付与している。しかしながら、成形加工段階や使用中に有害化学薬物が環境へ放出されたり、また、製品の廃棄処分時に含有化学薬物が溶出することで、土壌汚染や海洋・河川汚染等が大きな問題となっている。そこで、強力な防鼠・防虫・防水生生物等効果を持ち、しかも環境汚染のない材料の成形加工技術の開発が望まれている。しかしながら、いまだ安全で安心な防鼠・防虫効果を持つ材料や成形加工法の開発は未開拓の分野である。

このような現況を踏まえ、本研究では、強力な生物忌避性を持つカプサイシンを元に、環境にやさしく、かつ耐久性の高い防鼠・防虫・防水生生物効果を有する環境対応プラスチック及びその成形製造方法を開発する。

(2) 研究の概要

カプサイシンは自然由来の環境対応物質であり、強力な生物忌避性を持ち、また自然還元しやすい特徴を持つ。本研究では、カプサイシンを層間化合物へインターカレートすることにより、カプサイシンの揮発性を制御し、しかも樹脂中への均一分散を可能にする、環境対応プラスチック及びその成形製造方法を開発する。また、インターカレーションにより、樹脂中からのカプサイシンの放出を任意に制御することも併せて目指す。これにより化学薬品を使用しない、環境適応型プラスチック製品等の高度化を目指す。

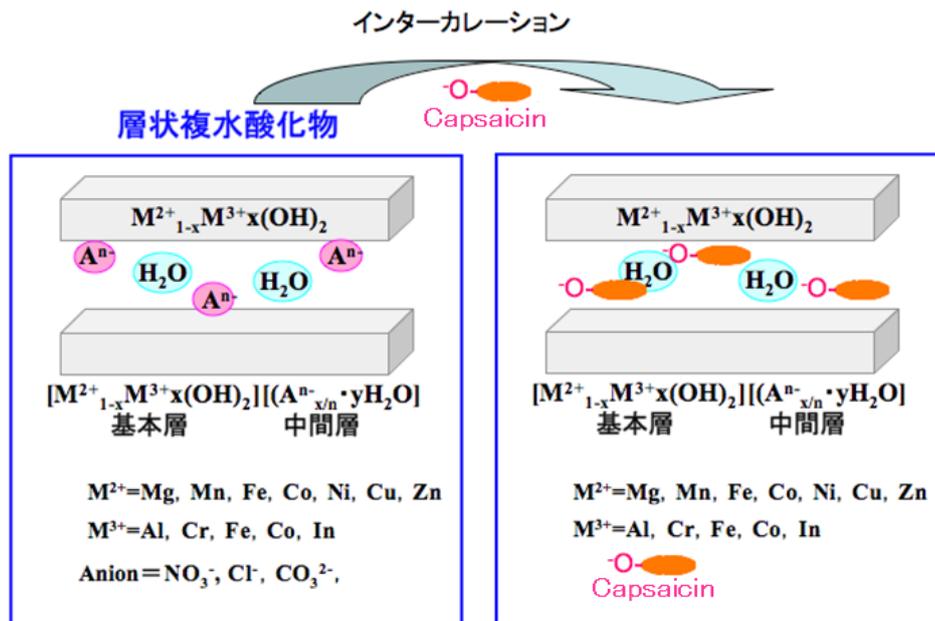
具体的には、事業化に向け、大きく以下の4項目について研究を行う。

- ①層状複水化合物へのカプサイシンのインターカレーションの事業化規模製造手法の確立。
- ②カプサイシンをインターカレートした層状複水化合物を配合したポリスチレン及びポリプロピレンの成形加工法の検討。
- ③生物忌避性の評価。
- ④カプサイシンをインターカレートした層状複水化合物を配合した樹脂からのカプサイシン溶出試験を行い耐久性を評価。

本開発テーマの核技術である「インターカレーション」に関する説明、従来技術との比較について図 1.1.1、図 1.1.2 に示す。また、具体的実施内容(番号)を表 1.1.1 に示す。

表 1.1.1 研究実施内容

番号	実施内容
①	層状複水化合物へのカプサイシンのインターカレーション
①-1	イオン交換法によるインターカレーション
①-2	共沈法によるインターカレーション
①-3	大量合成
②	カプサイシンをインターカレートした層状複水化合物を配合したポリスチレン、及びポリプロピレンの成形加工法の検討
②-1	小型成形機による成形加工評価
③	生物忌避性の評価
③-1	昆虫に対する評価
③-2	海洋生物に対する評価
④	カプサイシンをインターカレートした層状複水化合物を配合した樹脂からのカプサイシンの溶出試験
④-1	溶出試験
④-2	安全性試験



【インターカレーション】分子または分子集団が他の2つの分子または分子集団の間に入り込む可逆反応のこと。すなわち、グラファイトや粘土鉱物など多層構造を持つ無機化合物の層間に有機化合物が可逆的に入り込む現象。層間に取り込まれた有機化合物は、一般に安定化することが知られている。

図 1.1.1 インターカレーション概念図

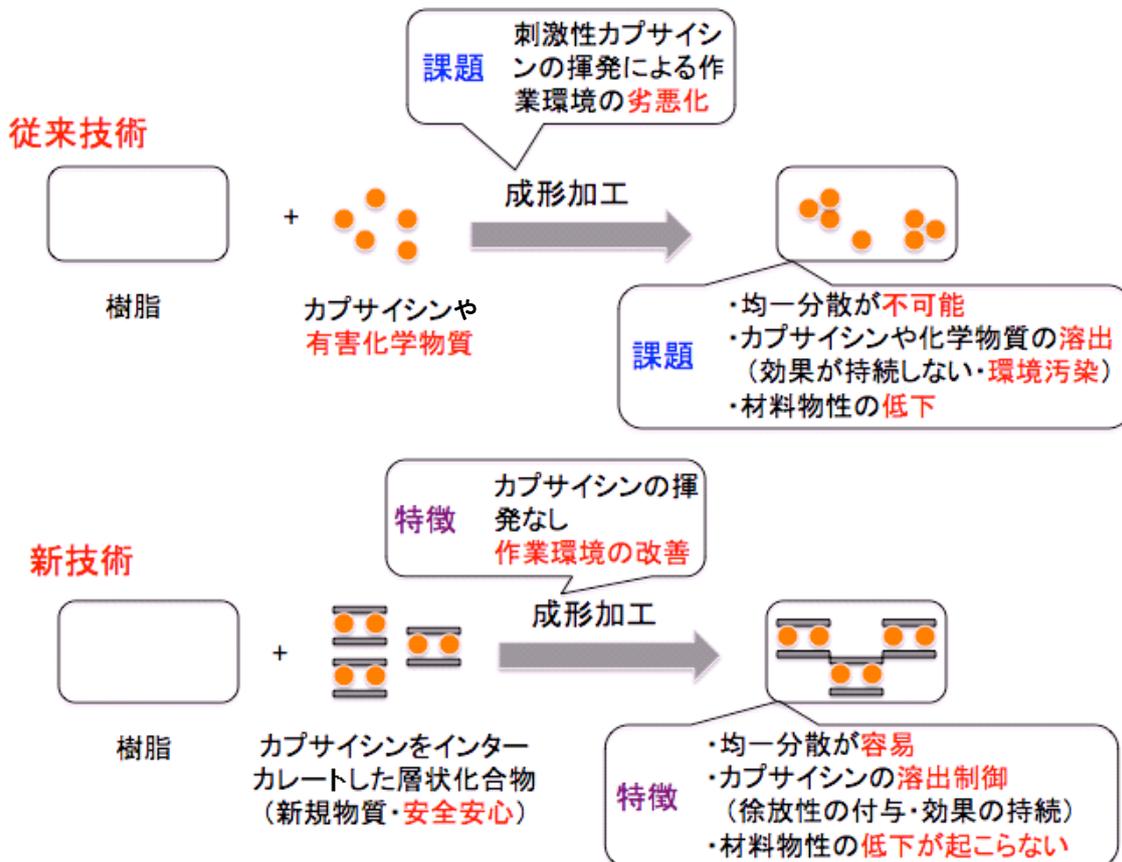
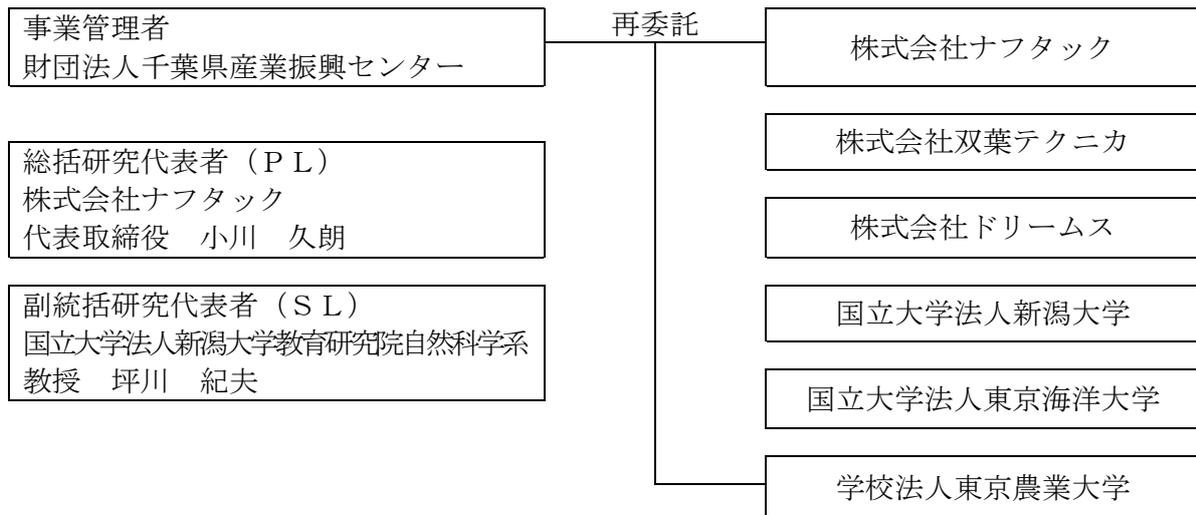


図 1.1.2 生物忌避剤に関する従来技術との比較

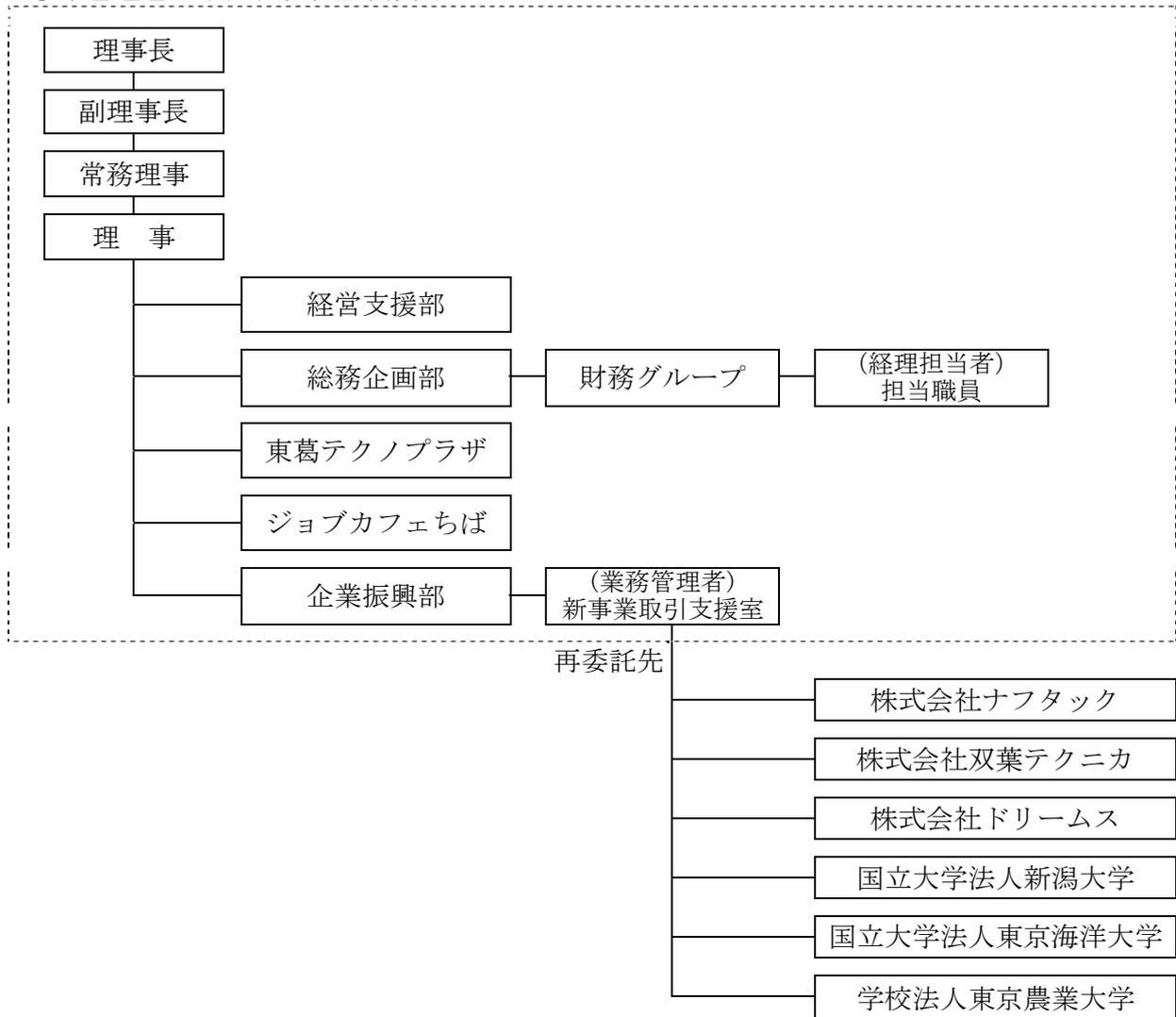
1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

(1) 研究組織（全体）



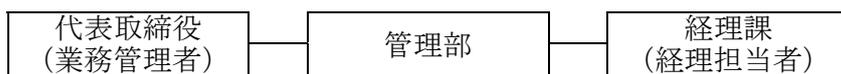
(2) 管理体制

1) 事業管理者（財）千葉県産業振興センター

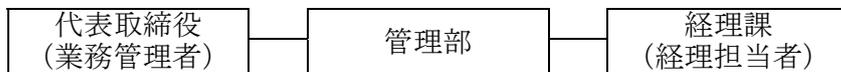


2)再委託先

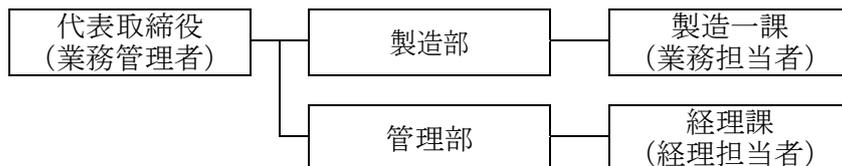
a.株式会社ナフタック



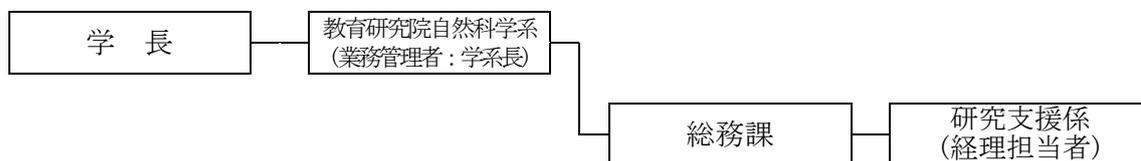
b.株式会社双葉テクニカ



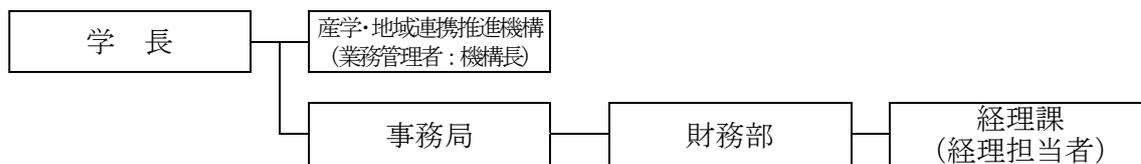
c.株式会社ドリームス



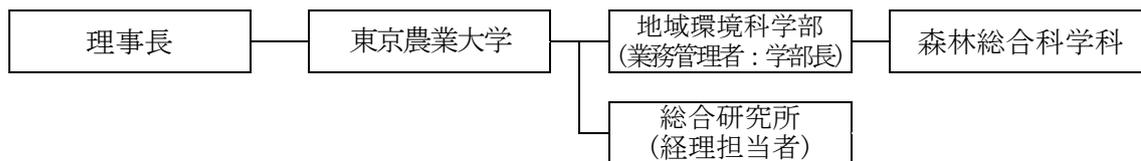
b.国立大学法人新潟大学



b.国立大学法人東京海洋大学



b.学校法人東京農業大学



(3) 研究者（実施内容の番号は表 1.1.1 を参照）

1) 株式会社ナフタック

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
小川 久朗	代表取締役（プロジェクトリーダー）	①-3, ④-2
上野 彰	顧問	同上

2) 株式会社双葉テクニカ

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
皆川 真人	代表取締役	①-3, ④-2

3) 株式会社ドリームス

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
西 政行	代表取締役	①-3
清水 潤	製造部 製造一課・課長	①-3
長澤 隆弘	製造部 製造一課・課長代理	①-3
伊藤 政春	製造部 製造一課・研究員	①-3
佐藤 孝弘	製造部 製造一課・研究員	①-3

4) 国立大学法人新潟大学

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
坪川 紀夫	教育研究院自然科学系・教授（サブリーダー）	①-1, ①-2, ②-1, ①-3 ④-1

5) 国立大学法人東京海洋大学

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
中村 宏	産学・地域連携推進機構・准教授	③-2
山川 紘	産学・地域連携推進機構・客員教授	③-2

6) 学校法人東京農業大学

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
飯島 倫明	地域環境科学部 森林総合科学科・教授	③-1

1-3 成果概要

H21年度に設定した目標に対する成果と課題を以下に列記する。

- 新潟大学の基礎的シーズ技術を実験室内で検証することができ、かつ実験室で製造した化合物を使用した各種性能試験を予定どおり実施できた。
- 事業化に向けた試験製造プラントも納期が大幅に遅れたにも係らず、5回の製造実験を実施し、各種知見や事業化に向けた課題を抽出でき、今後の継続研究の大きな基盤をつくれた。
- 最終応用製品の一つである生物忌避剤に関し、共同研究者である東京海洋大学、東京農業大学の短期間での精力的実験研究により、シロアリ、フジツボのキプリス幼生という実生物への試験を行い、本開発目標化合物が実際の生物への忌避効果があることを検証できたことは非常に大きな成果である。
- ただし、まだ基礎実証実験レベルであり、効果の把握方法、生物への効果的対応方法・濃度など課題もまだ多く、継続研究開発が必須と判断する。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

(1) 研究者

- ・ 所 属：国立大学法人新潟大学 教育研究院自然科学系
- ・ 役職・氏名：教授・坪川 紀夫
- ・ 連絡先：TEL/FAX 025-262-6779、E-mail ntsuboka@eng.niigata-u.ac.jp

(2) 事業管理者

- ・ 所 属：財団法人千葉県管理センター
- ・ 役職・氏名：主査・加藤 重良
- ・ 連絡先：TEL 043-299-2653、FAX 043-299-3411、E-mail kato@ccjc-net.or.jp

第2章 本論（研究開発の詳細）

2-1 層状複水化合物へのカプサイシンのインターカレーション

船舶において、船のエネルギーはその80%が波との抵抗力によって消費される。そこで、波との抵抗力を下げるために船の先端にはエボ鯛のような突起が出ている。これにより波との抵抗力は下げられるが、フジツボや牡蠣などが付着して船体の抵抗を高めてしまうため、船体に使われる塗料での対処が求められる。

そのため、船用のマリン塗料には貝類の付着を防ぐために防汚剤の添加が必要とされている。従来の防汚剤には有機スズが用いられていたが、環境汚染が問題とされ、使用が禁止された。現在は有機スズに代わる防汚剤として、比較的環境の汚染が少ない亜酸化銅が用いられるが、フジツボなどに対して効果はあるものの、アオノリやアオサなどの海藻類には効果が乏しいとされている。

一方、カプサイシンは、唐辛子の辛味成分であり、カプサイシン自体は親油性の白色の粉体で、無味無臭である。また、カプサイシンの化学名はN-(4-hydroxy-3-methoxybenzyl)-8-methyl-6-nonenamideであり、窒素原子を含み、塩基性を示す天然由来の有機化合物（アルカロイド）の一種に分類され、分子式は $C_{18}H_{27}NO_3$ 、分子量は305である（図2.1.1）。特徴として痛覚神経を刺激し、局所刺激作用あるいは辛味を感じさせることや、エネルギー代謝を活発化し、体脂肪の分解を促進する働きがある。さらに、カプサイシンは生物忌避性を有する生理活性物質である。

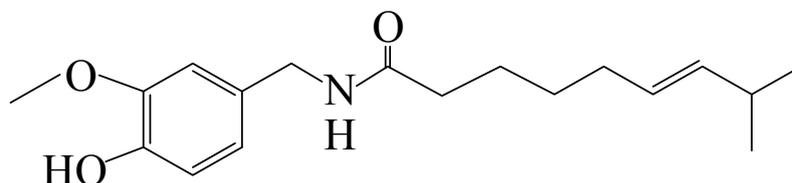


図 2.1.1 カプサイシンの化学構造

そこで、生物忌避性を持つカプサイシンが、環境にやさしく効果が高い新しい船底塗料の防汚剤として期待されている。しかしカプサイシンには、塗料への分散性がほとんどないことや、塗料からの溶出が非常に早いこと、さらに塗料に添加した際、塗料の物性が低下するといった問題がある。

一方、層状化合物（ホスト）の層間は、結合力は弱いため、結合を破って原子・イオン・分子（ゲスト）等を押入し、ナノスペースを構築することが可能である。このようなナノスペースは、二次元的に制限された空間であるため、ゲストの配向はホストの層状化合物によって制御することが可能となる。

また、層状複水酸化物 (Layer double hydroxide LDH) (図 2.1.2) は粘土鉱物の一種に分類され、陰イオン交換能を有する層状化合物である。一方、層状化合物は層間に原子・分子等が入り込むインターカレーション特性を持っている。そのため、様々な無機イオン、有機イオン、有機分子をインターカレーションできるということが知られており、医薬品、プラスチック用添加剤、吸着剤など、幅広い工業分野で応用されている。薬剤などの場合には、LDHの層間から薬剤が徐々に腸内に放出するということが知られている。

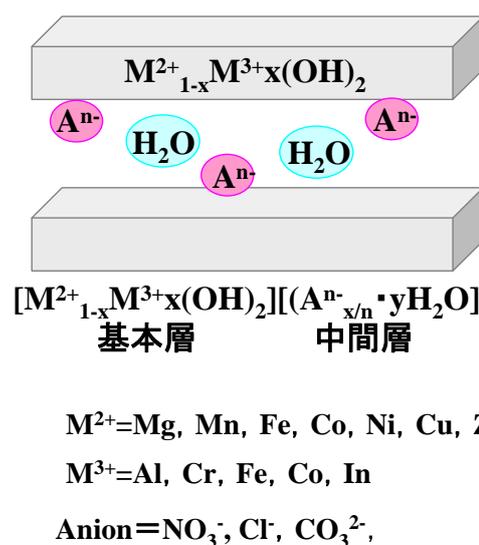


図 2.1.2 層状複水化合物(LDH)の一般的構造

そこで本研究では、LDH を用いたカプサイシンのインターカレーションについて検討を行った。

(1) イオン交換法によるインターカレーション(実験室) ----- 【担当：新潟大学】

1) 実験方法

イオン交換法による LDH へのカプサイシンのインターカレートについて検討した。

2) 結果と考察

イオン交換法で得られたカプサイシンをインターカレートした LDH-Cap (ion)、及び LDH の写真を図 2.1.3 に示した。

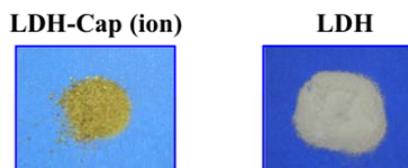


図 2.1.3 イオン交換法で合成した LDH-Cap (ion), および LDH の写真

カプサイシンが LDH へインターカレートされたことを X 線回折法による結晶構造解析より確認した。図 2.1.4 には、イオン交換反応時の pH を調整した系で合成した LDH-Cap (A)、反応中反応系の pH を調整することなく合成した LDH-Cap (ion) 及びインターカレートしていない LDH の X 線回折による結果を示した。

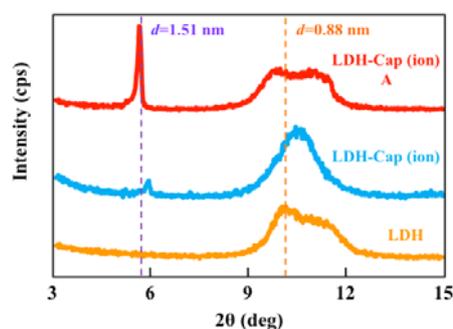


図 2.1.4 LDH-Cap (ion) と LDH の XRD

ブラッグの式から、LDH の層間は $d=0.88$ nm、LDH-Cap (A)、及び LDH-Cap の層間は $d=1.51$ nm であることが分かった。イオン交換法において LDH の層間が広がりカプサイシンがインターカレートされていることが確認された。

また、pH を調整したものとししないものでは、吸収ピークに差が見られた。この結果から、pH を調整することにより、 $2\theta=5.5$ 度付近の回折強度が増加することが分かった。

次に、検量線から、カプサイシンのインターカレーション量を算出した。表 2.1.1 にカプサイシンのインターカレーション量を示した。カプサイシンのインターカレーション量は LDH 1 g に対して、LDH-Cap (A)では 2.1 mmol、LDH-Cap (ion)pH では 1.3 mmol であることが分かった。

表 2.1.1 LDH にインターカレートされたカプサイシンの量

試料	インターカレートされたカプサイシンの量	
	g/g	mmol/g
LDH-Cap (ion)A	0.63	2.1
LDH-Cap (ion)	0.39	1.3

次に、LDH-Cap の水中での分散性の評価を行った。表 2.1.2 に LDH、LDH-Cap (ion)、及びカプサイシンの水中での分散の様子を示した。それぞれ、分散直後と静置後 30 分経過したものについて比較を行った。カプサイシンは水中への分散性がほとんどない物質であることが知られており、静置後 30 分経過すると、凝集し沈降する様子が観察された。LDH-Cap (ion)は静置後 30 分経過しても LDH と同様の分散状態を維持している様子が観察された。粒度分布の結果から LDH-Cap (ion)は LDH と同程度の平均粒子径であることが分かった。これらのことから、カプサイシンを LDH 層間にインターカレーションすることにより、カプサイシンにはない水中での分散性を付与できることが分かった。

表 2.1.2 水中における LDH-Cap (ion) の分散性

	Untreated LDH	LDH-Cap (Ion)	Capsaicin
Start			
After 30min			
Average particle size (nm)	242	287	5400

(2) 共沈法によるインターカレーション(実験室) ----- 【担当：新潟大学】

1) 実験方法

共沈法による LDH はのカプサイシンのインターカレート (LDH-Cap(co)) の合成について検討した。

2) 結果と考察

共沈法で得られたカプサイシンをインターカレートした LDH の写真を図 2.1.5 に示した。

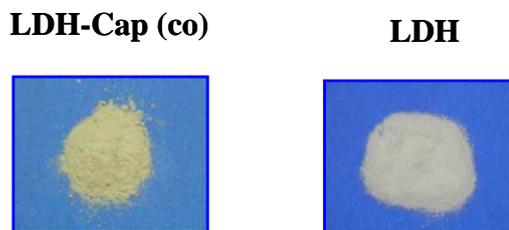


図 2.1.5 LDH-Cap (co) と LDH の写真

カプサイシンが LDH へインターカレートされたことを X 線回折法による結晶構造解析より確認した。図 2.1.6 に LDH 及び LDH-Cap (co) の X 線回折による結果を示した。ブラッグの式から、LDH の層間は $d=0.88$ nm、LDH-Cap (co) の層間は $d=1.50$ nm であることが分かった。これより共沈法において LDH の層間が広がりカプサイシンがインターカレートされてことが確認された。

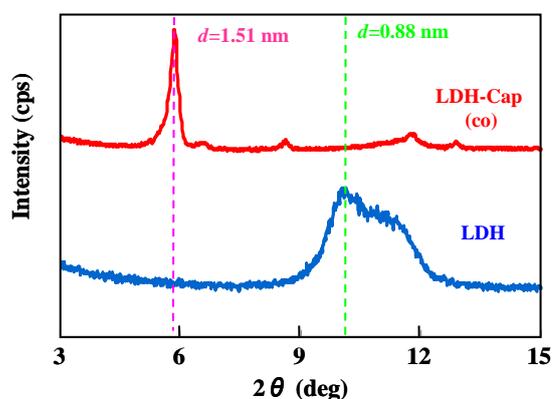


図 2.1.6 LDH-Cap (co) と LDH の XRD

次に、検量線から、カプサイシンのインターカレーション量を算出した。表 2.1.3 にカプサイシンのインターカレーション量を示した。カプサイシンのインターカレーション量は LDH 1 g に対して、共沈法では 1.9 mmol であることが分かった。またカプサイシンのインターカレーション量は pH、反応時間、仕込みモル比などによって制御できることが分かった。

表 2.1.3 LDH にインターカレートされたカプサイシンの量

試料	インターカレートされたカプサイシンの量	
	g/g	mmol/g
LDH-Cap (co)	0.58	1.9

図 2.1.7 に LDH 及び LDH-Cap (co) の熱重量減少を示した。LDH は 100℃ 付近から重量減少が進行した。これは、層間の水の蒸発によるものと考えられる。

これに対して、LDH-Cap (co) では 100℃ 付近の重量減少はほとんど認められず、200-300℃ で急激に重量が減少することが分かった。カプサイシンの熱分解温度は 170℃ であることから、この 200-300℃ における重量減少は LDH の層間にインターカレートされたカプサイシンの分解によるものと考えられる。このような結果は、LDH の層間へカプサイシンがインターカレートされることにより、耐熱性が向上することを示唆している。

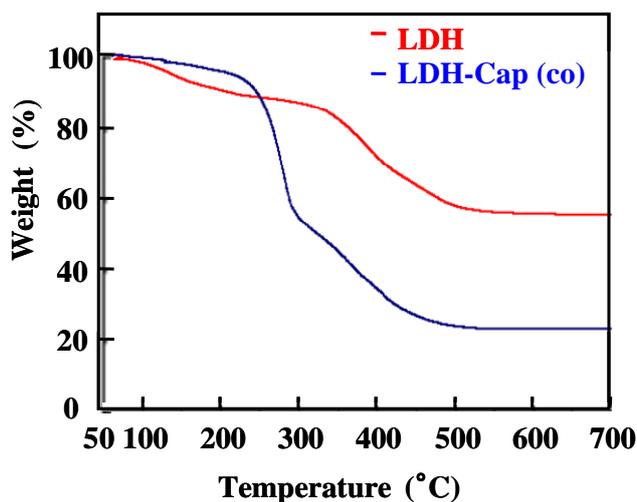


図 2.1.7 LDH と LDH-Cap (co) の TGA

次に、LDH-Cap の水中での分散性評価表 2.1.4 に LDH、LDH-Cap (co)、及び Capsaicin の水中での分散の様子を示した。それぞれ、分散直後と静置後 30 分経過したものについて比較を行った。カプサイシンは水中への分散性がほとんどない物質であることが知られており、静置後 30 分経過すると、凝集し沈降する様子が観察された。しかし、LDH-Cap (co) は静置後 30 分経過しても LDH と同様の分散状態を維持している様子が観察された。粒度分布の結果から LDH-Cap (co) は LDH と同程度の平均粒子径であることが分かった。これらのことから、カプサイシンを LDH 層間にインターカレーションすることにより、カプサイシンにはない水中での分散性を付与できることが分かった。

表 2.1.4 水中における LDH-Cap (co) の分散性

	Untreated LDH	LDH-Cap (co)	Capsaicin
Start			
After 30min			
Average particle size (nm)	242	278	5400

(3) 大量合成 ----- 【担当：(株)ドリームス、(株)ナフタック、(株)双葉テクニカ】
 新潟大学での実験結果を事業化規模生産にむすびつけるべく、試験製造プラントを(株)ドリームスに設置し、スケールアップ実験を行った。
 その試験状況、結果、課題などについてまとめる。

1) 実験概況

表 2.1.5 に試験プラントでの LDH-Cap 製造状況を示す。なお、試験プラントは事業化用に、品質が安定しており、より大量生産が可能な「共沈法」を採用した試験プラントである。

表 2.1.5 試験プラントでの LDH-Capsaicin 製造状況

No.	製造工程	製造概況	No.	製造工程	製造概況
1	ドラフトチャンバー (この内でガサ イ計量など実 施)		5	ろ過生成物を ボールミルで の粉碎	
2	バス式反応装 置への原料投 入		6	ボールミル粉 砕後の分別	
3	反応装置内で 合成反応		7	すりばちでの 微粉化	
4	合成後の生成 物を真空ポン プでろ過		8	完成した LDH-Capsaicin	

2) 試験プラントでの製造実験実績

(株)ドリームスにとって、初めての製造プロセス実験のため、表 2.1.6 に示すように、慎重を期すため、少量から製造を始め、順次製造量を拡大していった。なお、まだ試験プラントの試験による課題抽出を目的としたため、詳細なデータは今後の実験で調査・解析することとした。

表 2.1.6 試験プラントによる製造実験実績

年月日	原料として投入した カプサイシン量 (g)	製造した LDH-Capsaicin 量 (g)
2010.02.11	4.5	
2010.02.23	90	
2010.03.01	450	
2010.03.08	450	
2010.03.15	510	約 1,400

3) 試験プラントでの製造実験における課題

上記した 5 回の製造実験を実施した。その結果から、以下のような知見、事業化にあたっての課題があることが判明した。

表 2.1.7 試験プラント製造実験で得られた知見や課題

No.	得られた知見や課題	備考
1	バス式反応装置での合成反応(主に温度制御、pH 制御)に関しては、自動制御装置での操作で十分であり、人が介入すべき特殊な作業は特に必要がないと判断できる。	
2	現在は、ろ過後の乾燥時間短縮のため、恒温槽での乾燥を試みているが、非常に時間を要す。	フリーズドライ方法の採用を検討中。
3	局所刺激作用の強い危険な粉末状カプサイシンを取扱うため、ドラフトチャンバーを購入し、極力その中での作業を行えるよう設計した。しかし、装置間移動作業時は室内にカプサイシン粉末が霧散するため、室内作業員はもとより、衣服への付着などでカプサイシンが室外にもれる可能性がある。事業化時点ではクリーンルーム相当の環境対策が必要と思われる。	
4	工場でも可能な簡易品質評価方法・装置が検討されておらず、製造した化合物(LDH-Capsaicin)の品質評価ができない。	新潟大学での今後の研究が望まれる。

2-2 カプサイシンをインターカレートした層状複水化合物を配合したポリスチレン、及びポリプロピレンの成形加工法の検討

(1) 小型成形機による成形加工評価 ----- 【担当：新潟大学】

1) 実験方法

小型押出成型機を使用し、ポリマー（ポリスチレン：PS あるいはポリプロピレン：PP）との複合化を行った。

2) 結果と考察

a. ポリスチレンとの複合体の成形

図 2.2.1 に PS 及び、LDH-Cap (co) を添加した PS の複合膜の外観とデジタルマイクロスコープ高性能 Z レンズを用いて行った、複合体中への LDH の分散性解析の結果について示した。

LDH-Cap (co) は PS 膜全体によく分散している様子が確認できた。このことから、LDH-Cap は PS に対しての分散性を有していることが分かった。

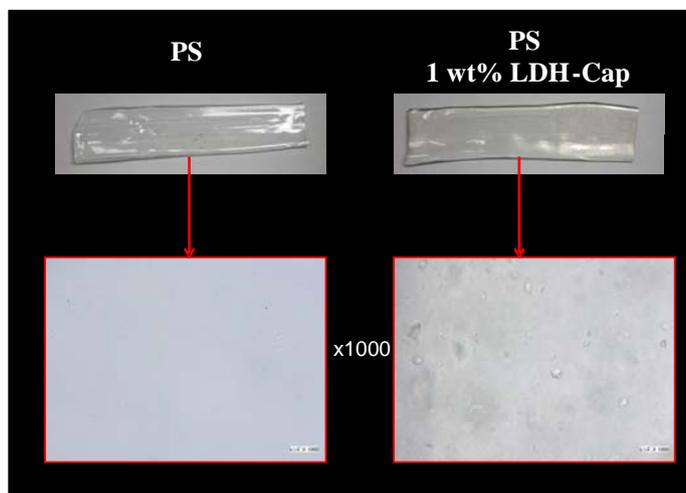


図 2.2.1 PS 板と LDH-Cap/PS 複合体のデジタルマイクロスコープ写真

b. ポリプロピレンとの複合体の成形

図 2.2.2 に PP 及び、LDH-Cap (co) を添加した PP の複合膜の外観とデジタルマイクロスコープ高性能 Z レンズを用いて行った、複合体中への LDH の分散性解析の結果について示した。

LDH-Cap (co) は PP 膜全体によく分散している様子が確認できた。このことから、LDH-Cap (co) は PP に対しての分散性を有していることが分かった。

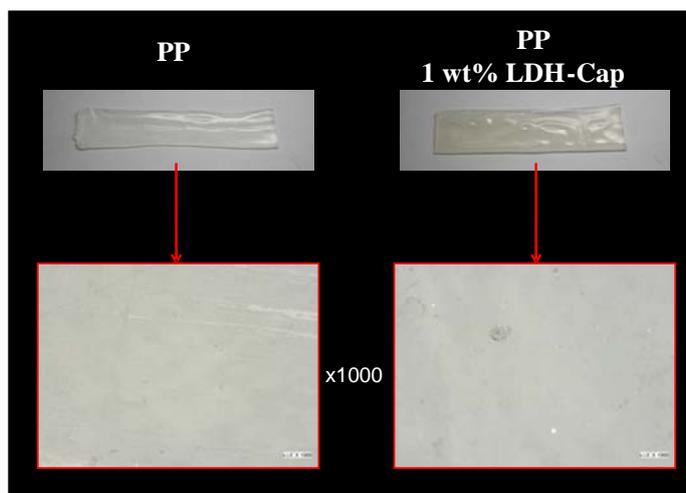


図 2.2.2 PP 板と LDH-Cap/PP 複合体のデジタルマイクロスコープ写真

c. LDH-Cap (co)との複合体の物性評価

熱機械分析装置(図 2.2.3)を用いて測定した LDH-Cap (co)と PP との複合体、及び LDH-Cap (co)と PS との複合体の TMA 曲線を図 2.2.4 と図 2.2.5 に示した。また、表 2.2.1 にはこれから求めたそれぞれの複合体のガラス転移温度を、未充填の PS と比較した実験結果を示した。

これから、LDH-Cap (co)を充填しても、ガラス転移温度にはほとんど影響が見られないことが分かった。従って、LDH-Cap (co)は、ポリマー中へ充填してもマトリックスの物性に影響を及ぼさないことが分かった。



図 2.2.3 熱機械分析(TMA)の写真

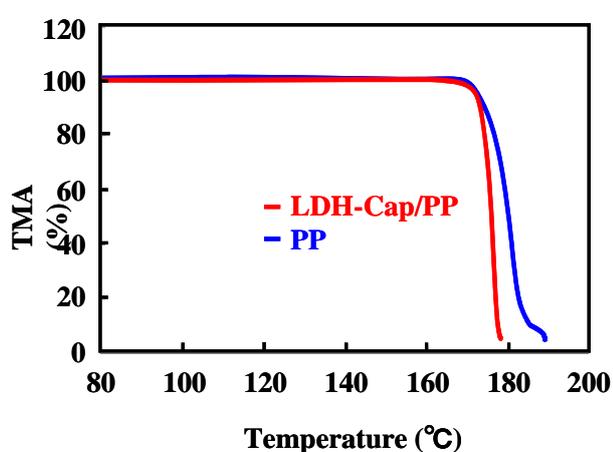


図 2.2.4 PP 板と LDH-Cap/PP 複合体の TMA 曲線

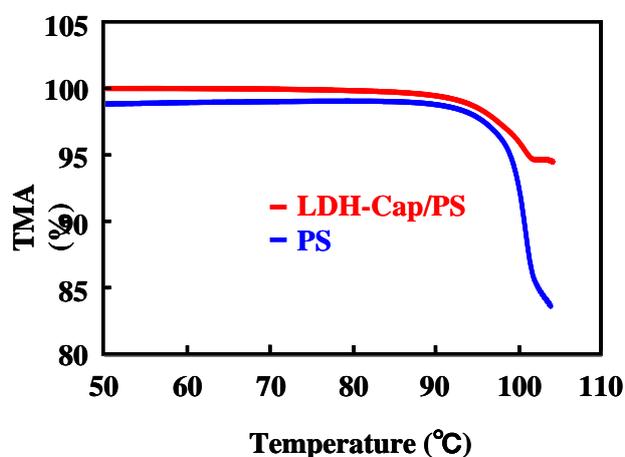


図 2.2.5 S 板と LDH-Cap/PS 複合体の TMA 曲線

表 2.2.1 PS 板と LDH-Cap/PS 複合体、及び PP 板と LDH-Cap/PP 複合体のガラス転移温度

Sample	Glass-transition point
PS	90.0
PS / LDH-Cap (co)	87.6
PP	168
PP / LDH-Cap (co)	169

2-3 生物忌避性の評価

(1) 昆虫に対する評価 (LDH+カプサイシンのシロアリに対する効果) ----- 【担当：東京農業大学】

1) 目的

カプサイシンをインターカレートした層状複水酸化物(以下 LDH-Capsaicin とする)のシロアリに対する影響を室内試験により、特に、殺蟻性、忌避性を評価した。

2) 実験

a. 供試化合物

新潟大学において、共沈法とイオン交換法の2つの方法により合成したカプサイシンをインターカレートした次表の層状複水酸化物2種類を供試した。

表 2.3.1 供試化合物

合成方法	記号	Capsaicin 濃度
共沈法	LDH-Capsaicin-CO	Capsaicin 58%
イオン交換法	LDH-Capsaicin-ION	Capsaicin 63%

LDH-Capsaicin を蒸留水でカプサイシンとして 10mg/ml、1mg/ml、0.01mg/ml 濃度の懸濁液を調製した。

調製した懸濁液でろ紙あるいはスギ辺材を処理し、室内で風乾後、試験に供した。

b. 供試シロアリ

供試虫は、研究室で飼育しているイエシロアリ *Coptotermes formosanus* SHIRAKI 職蟻とした。

c. LDH-Capsaicin の殺蟻効力試験 I

共沈法で合成した LDH-Cap-CO (Capsaicin 濃度 58%) を用い、蒸留水でカプサイシンとして 10mg/ml 濃度の懸濁液を調製した。さらに、100 倍に希釈し 0.01mg/ml 濃度の懸濁液を調製した。調製した懸濁液 1 ml を用いて、ろ紙を処理した。処理ろ紙を室内にて風乾後、図 2.3.1 に示した装置にセットし、シロアリ職蟻と強制的に接触させた。時間ごとに、死虫数をカウントした。

Capsaicin-LDH-CO (Capsaicin 濃度 63%) についても、蒸留水でカプサイシンとして 10mg/ml 濃度、1.0mg/ml 濃度の懸濁液を調製し、試験した。



LDH-Cap-CO

濃度：1mg/ml、0.01mg/ml

ろ紙：65×65mm

シャーレ：直径 90mm

ガラス管：H：15mm、直径：60mm

図 2.3.1 殺蟻効力試験装置

表 2.3.2 LDH-Cap-CO の殺蟻効力

日数	0.01	1.00	無処理 (濃度 mg/ml)
1	100-0	100-0	100-0
2	100-0	100-0	100-0
3	100-0	100-0	100-0
4	100-0	100-0	100-0
5	100-0	100-0	100-0
6	100-0	100-0	100-0

表 2.3.3 LDH-Cap-ION の殺蟻効力

日数	1.00	10.00	無処理 (濃度 mg/ml)
1	100-0	100-0	100-0
2	100-0	100-0	100-0
3	100-0	100-0	100-0
4	95-5	100-0	95-5
5	90-10	90-10	90-10
6	84-16	87-13	87-13

LDH-Cap-CO、LDH-Cap-ION とも、殺蟻効果は示さなかった。



図 2.3.2 殺蟻効力試験状況(ろ紙)

処理ろ紙に食害が観察された。

懸濁液で処理したが、懸濁液が不安定であり、沈殿が生じ、希釈や処理が不均一となり、周辺部には未処理部分があった。

d. LDH-Capsaicin の殺蟻効力試験 II

調製した懸濁液でスギ木片を処理し、図 2.3.3 に示した方法により、処理木片側にいるシロアリの数と無処理木片側にいるシロアリの数をカウントし、LDH-Cap の忌避効果を検討した。

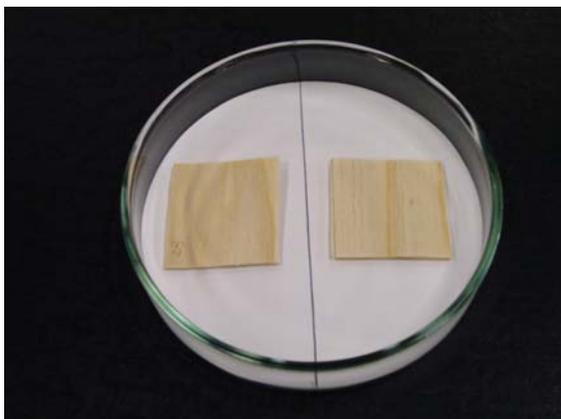


図 2.3.3 殺蟻効力試験状況(スギ木片)

シャーレ：直径 90mm
 スギ木片：30×30mm
 右：処理木片
 左：無処理木片

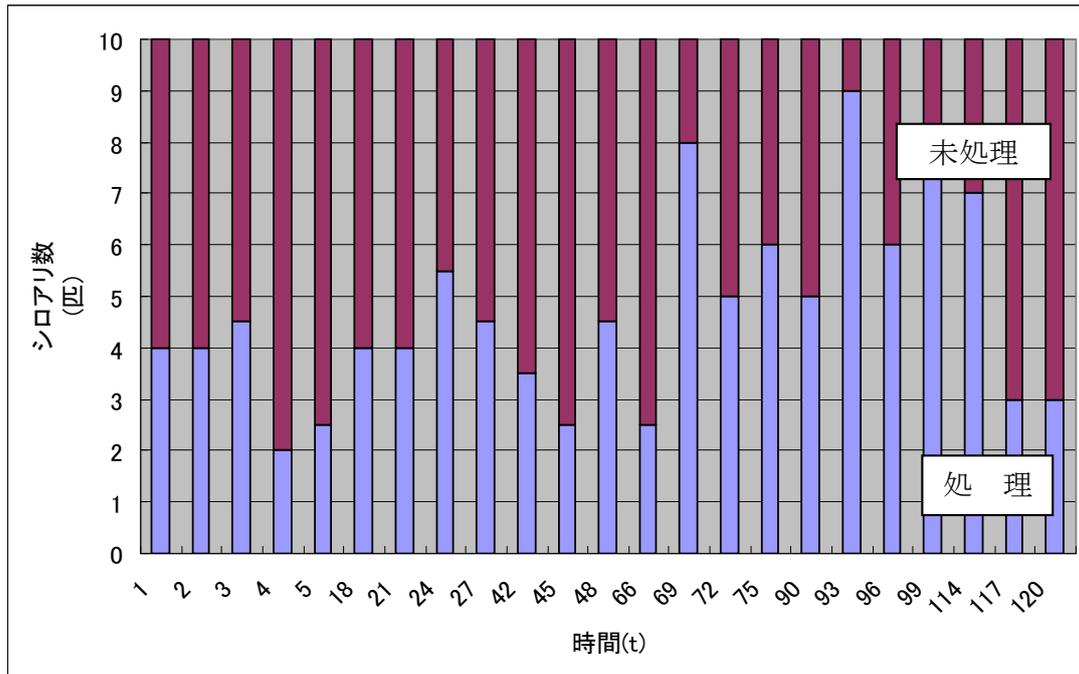


図 2.3.4 LDH-Cap-CO 処理スギ木片の忌避試験結果 I (濃度 1.00mg/ml)

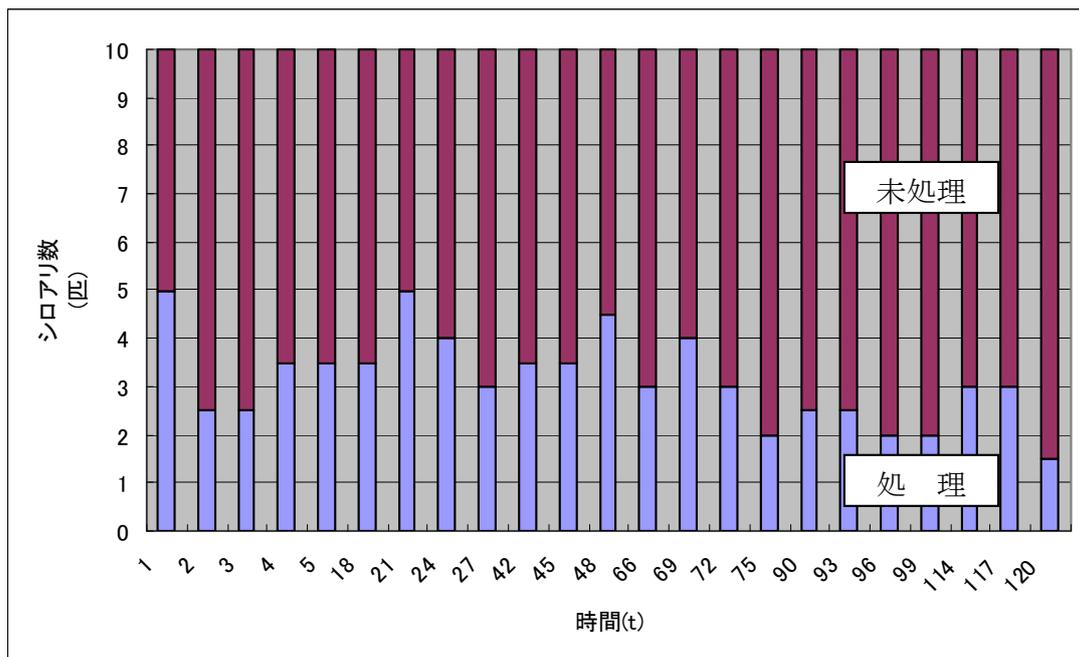
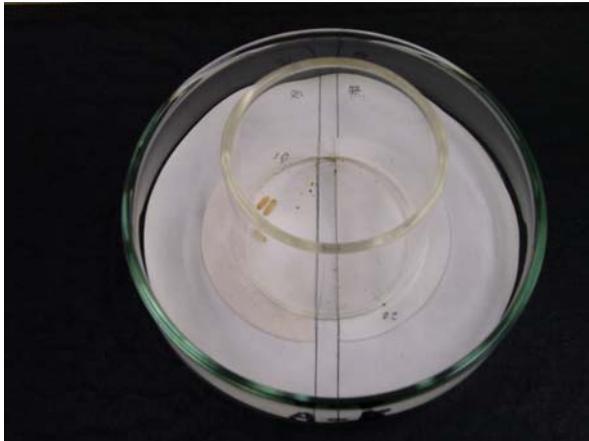


図 2.3.5 LDH-Cap-CO 処理スギ木片の忌避試験結果 II (濃度 0.01mg/ml)

LDH-Cap-CO 処理スギ木片の忌避試験結果 I、II の結果から、LDH-Cap-CO 処理したスギ木片には忌避効果が認められ、低い濃度の 0.01mg/ml において、忌避が強い結果を示した。強い忌避性を示すことが予想されたが、意外に、強い忌避性は発現しなかった。

e. LDH-Capsaicin の殺蟻効力試験Ⅲ

調製した懸濁液でろ紙を処理後、処理ろ紙を半分とし、**図 2.3.6** に示した方法により、処理ろ紙上にいるシロアリの数、中間帯（5mm）にいるシロアリの数と無処理のろ紙上にいるシロアリの数をカウントし、LDH-Cap の忌避効果を検討した。



ろ紙：直径 60mm、処理後半分とする。
 ガラス管：直径 40mm、高さ 40mm
 左：処理ろ紙
 中間帯：5mm
 右：未処理ろ紙

図 2.3.6 殺蟻効力試験状況（中間帯設置）

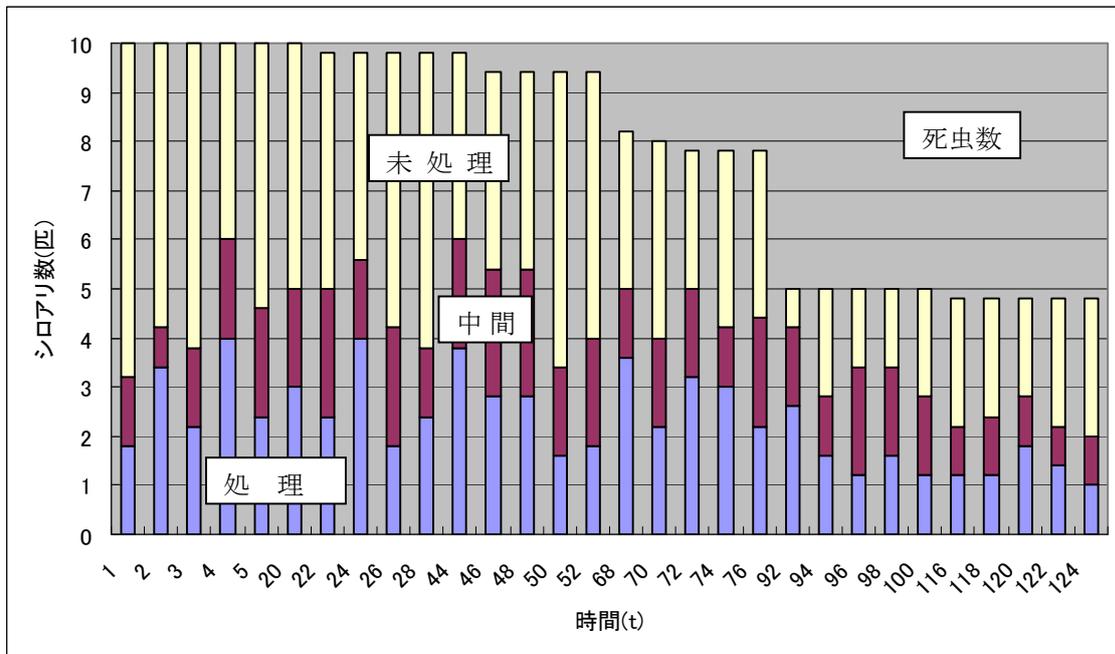
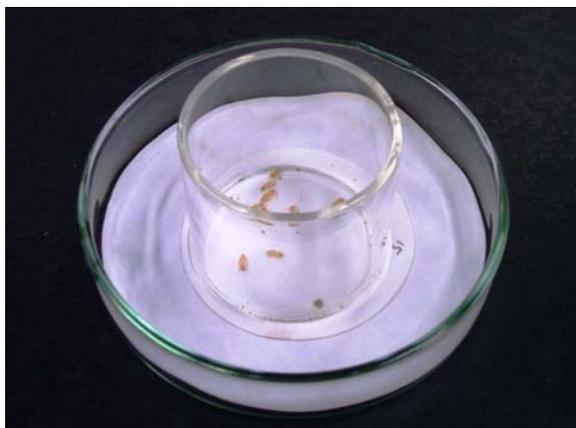


図 2.3.7 LDH-Cap-ION 処理ろ紙における忌避効力試験結果（濃度 10mg/ml）

この試験結果においても、LDH-Cap-ION 処理したろ紙に、弱い忌避効果が認められたが、バラツキも大きかった。さらに、処理ろ紙、未処理ろ紙には食害が観察されなかった。

f. LDH-Capsaicin の殺蟻効力試験Ⅳ

LDH-Cap を用い、蒸留水でカプサイシンとして 10mg/ml 濃度の懸濁液を調製した。調製した懸濁液を 30 分間超音波処理し、処理後 10 分間以内に、ろ紙を処理した。処理ろ紙を室内にて風乾後、図 2.3.8 に示した装置にセットし、シロアリ職蟻と強制的に接触させた。時間ごとに、死虫数をカウントし、経過時間ごとに、健全なシロアリ (%) - 死亡したシロアリ (%) で記載した。なお、死亡したシロアリは取り除いた。



ろ紙：直径 60mm
ガラス管：直径 40mm、高さ 40mm

図 2.3.8 殺蟻効力試験状況(超音波分散処理)

表 2.3.4 LDH-Cap-ION の殺蟻効力

時 間	10.00	無処理 (濃度 mg/ml)
1	100-0	100-0
2	100-0	100-0
3	100-0	100-0
4	100-0	100-0
5	100-0	100-0
24	96-4	100-0
48	66-34	96-4
72	24-76	96-4
96	14-86	94-6
120	10-90	90-10

この試験結果から、LDH-Cap-ION には、殺蟻効果が確認された。つぎに、調製した懸濁液のろ紙処理から、試験開始までの日数と殺蟻効果を検討した。

表 2.3.5 LDH-Cap の殺蟻効とろ紙処理後経過時間

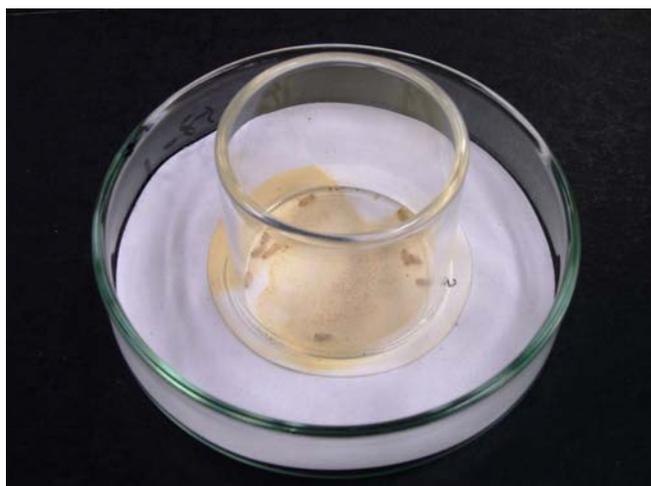
		経過時間	5	24	48	72	96	120
		処理後の日数						
LDH-CO	直後		100-0	100-0	80-20	60-40	33-67	23-77
	1日後		100-0	90-10	87-13	80-20	73-27	70-30
	4日後		100-0	80-20	47-53	40-60	33-67	33-67
LDH-ION	直後		100-0	93-7	77-23	67-33	37-63	36-64
	1日後		100-0	90-10	73-17	47-53	43-57	27-73
	4日後		100-0	53-47	23-77	20-80	10-90	7-93
無処理			100-0	90-10	83-17	83-17	83-17	83-17

濃度 10mg/ml

この試験結果から、共沈法とイオン交換法によりカプサイシンをインターカレートした LDH-Cap には、やや遅効性の殺蟻効果を示した。

共沈法とイオン交換法でその効果を比較すると、イオン交換法で合成した LDH-Cap-ION の方が殺蟻効果は高い。これはインターカレートされずに、吸着しているカプサイシンがあるためと考えられた。

ろ紙処理後の経過時間と殺蟻効力との関係は明確とすることが出来なかった。



4日間風乾後、すべての処理ろ紙に変色を観察されたが、何故変色したかの解明はできなかった。

図 2.3.9 殺蟻効力試験状況(4日後の状況)

本実験では、無処理ろ紙において約 10%の死虫率を示したこと、処理ろ紙や無処理ろ紙がまったく食害されなかったことは、今回の濃度がカプサイシンとして 10mg/ml と高濃度であったことから、処理ろ紙のカプサイシンが気散した影響とも考えられた。

今後の課題は、均一に処理するためには安定した懸濁状態を長時間維持できる液を調製する方法の開発が必要である。その一例として、マイクロカプセル製剤、フロアブル製剤で、添加されている増粘剤を添加・配合することが考えられる。

g. LDH-Capsaicin の野外試験

野外試験に着手することを計画していたが、両方法でインターカレートした LDH-Capsaicin とも、懸濁液の安定性が良くないために、均一な処理が不可能であることがわかったため、野外試験には着手しなかったが、鹿児島県曾於郡大崎町東京農業大学シロアリ試験地において、試験地の選定と整地を行った。(図 2.3.10～図 2.3.13 参照)



図 2.3.10 野外試験装置(1)
レンガの上に試験片を置く。
植木鉢を逆さとして覆う。
蓋をして、レンガを重しとする。



図 2.3.11 野外試験装置(2)
レンガの上に処理試験片を乗せる。
植木鉢を逆さとして覆う。
蓋をして、レンガを重しとする。



図 2.3.12 野外試験装置(3)
準備した試験装置の外観



図 2.3.13 野外試験装置(4) 処理杭 (3.5×3.5×35 cm)

3) 研究成果

本研究により、共沈法によりカプサイシンをインターカレートした LDH-Cap-CO とイオン交換法によりインターカレートした LDH-Cap-ION の両 LDH-Cap ともに、やや遅効性の殺蟻効果を示した。共沈法とイオン交換法でその効果を比較すると、イオン交換法でインターカレートした LDH-Cap-ION の方が殺蟻効果は高く発現した。これはインターカレートされずに、吸着しているカプサイシンがあるためと考えられた。同様に、両 LDH-Cap とも、やや不明確であったが、忌避性を示した。

インターカレートしたカプサイシンがシロアリに対して、殺蟻性と忌避性を発現することを確認したことは、本研究の大きな成果である。

4) 今後の課題

今後の課題を以下に列記する。

- ① 増粘剤等を添加して LDH-Cap 懸濁性を改善すること。
- ② LDH-Cap を土壌に処理し、室内試験により処理土壌の忌避性、殺蟻効果、穿孔阻止効果を検討すること。
- ③ 室内試験により十分な防蟻効果を示す処理濃度を推測して、2年以上の長期間にわたる野外試験のデータを集積すること。
- ④ 居住空間での使用においては、カプサイシンの気散や VOC について、検討することも必要である。

(2) 海洋生物に対する評価 ----- 【担当：東京海洋大学】

1) 研究の目的

本研究は、カプサイシンをインターカレートした層状複水化合物（以下、LDH-Capsaicin と略）を配合したプラスチック樹脂の、海洋生物に対する忌避性を評価するために実施した。

2) 研究の概要

評価法が確立しているフジツボのキプリス幼生^{脚注)}を供試生物に用い、LDH-Capsaicin 濃度の影響を調べるための添加試験と、忌避効果が認められる配合濃度を検討するための付着試験を実施した。試験場所とキプリス幼生は、(株)セシルリサーチ（姫路市）から提供を受けた。

3) 試験方法

試験に使ったフジツボは内湾性のタテジマフジツボで、成熟した親フジツボに干出刺激を加えてノープリウス幼生を放出させ、これに珪藻類のキートセロスを餌として与えて約1週間飼育し、キプリス幼生に変態したものを供試生物とした。



図 2.3.14 タテジマフジツボ



図 2.3.15 キプリス幼生

① LDH-Capsaicin 添加試験

LDH-Capsaicin の影響を調べるため、濃度の異なる試験区にキプリス幼生を接種し、幼生の反応と行動を観察した。試験方法の概況を図 2.3.16、図 2.3.17 に示す。



図 2.3.16 試験容器



図 2.3.17 LDH-Capsaicin

② 付着試験

カプサイシンの忌避効果を調べるため、LDH-Capsaicin の添加濃度を変えたシリコンゴム試験板を作製し、キプリス幼生の付着状況を観察した。試験方法の概況を図 2.3.18、図 2.3.19 に示す。



図 2.3.18 試験容器と試験板

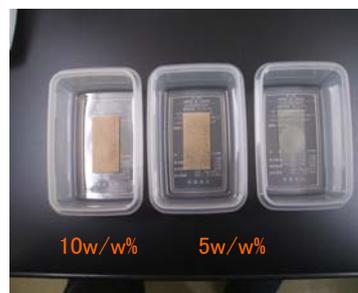


図 2.3.19 キプリス幼生の接種

脚注) キプリス幼生は付着場所を探すことに特化した幼生で、大きさは約 0.5mm、貝殻様の殻をもつ。第1触角を手の様にして付着場所を探索し、適地と判断すると体中のセメント腺から分泌される接着物質で体を固定し、殻を脱ぎ捨て幼フジツボへ変態する。

4) 試験結果

キプリス幼生は、正常であれば「遊泳」→「探索・一次付着」→「変態」→「幼フジツボ」という行動をとるが、適当な基盤が無いと体内に蓄えたエネルギーを使い果たし「横転・胸肢運動」→「胸肢突出・無反応」→「死亡・組織崩壊」へと進む（【参考資料1】）。

試験では、実体顕微鏡でキプリス幼生の行動と状態を記録し、それぞれの比率から幼生に対する影響程度を検討した。



図 2.3.20 胸肢が突出したキプリス幼生



図 2.3.21 組織が崩壊したキプリス幼生

① LDH-Capsaicin 添加試験結果

添加濃度が 10 μ g/mL 以下の試験区では、90%以上の幼生が試験容器に付着して幼フジツボに変態した。

② 付着試験結果

濃度が 0.2%以上の試験区では、溶出したカプサイシンの影響が顕著で、多くのキプリス幼生は横転・胸肢突出の状態を観察された。

5) 考察と課題

① LDH-Capsaicin 添加試験

100 μ g/mL 以上の試験区では、遊泳するキプリス幼生は見あたらず、全てが「横転・胸肢運動」の状態であった。

② 付着試験

0.2%区では2日目には「遊泳」するキプリス幼生の数は急激に減少し、「横転・胸肢運動」の割合が増加した。0.5%以上の試験区では、1日目ではほぼ全てのキプリス幼生がダメージを受け「横転・胸肢運動」の状態であった。

③ 試験板の材質

付着試験では、LDH-Capsaicin をシリコンゴムに混ぜ込んだ試験板で実験を行ったが、シリコンゴム素材の問題点が明らかになった。

④ 溶出による影響

付着試験によると、0.2%以上の高濃度区では、1～2日目の早い段階からカプサイシンによる影響を受け、キプリス幼生の多くは「横転」や「胸肢突出」の状態を観察された。付着試験は 150mL の濾過海水の中で実施しており、試験板から溶出したカプサイシン成分による影響と考えられる。

付着生物に対する忌避性を考えた場合、海水中に溶出した成分ではなく、付着基盤から滲み出る成分濃度と持続性が重要である。今後は、i) 溶出量と溶出速度を把握するための試験、ii) 溶出した成分の影響を排除するための流水条件下での試験、iii) 忌避性に影響するバクテリアフィロムの形成を考慮した長期の試験なども検討する必要があるだろう。

2-4 カプサイシンをインターカレートした層状複水化合物を配合した樹脂からのカプサイシンの溶出試験

(1) 溶出試験 ----- 【担当：新潟大学】

1) 実験方法

a. シリコン樹脂との複合体膜の作製

LDH 及び LDH-Cap (co) にそれぞれ少量のメタノールを加え、シリコン樹脂、及び硬化剤を加え、遊星型練器を用いて攪拌した。その後、5.0 mm× 5.0 mm×0.5 mm のテフロン製の型に流し込み、恒温乾燥機内で熱硬化させた。

b. 溶出試験

フラスコ中へ LDH-Cap (co) とシリコン樹脂複合膜、イオン交換水を加え、フラスコに還流冷却管を取り付け、還流した。還流後、上澄み液の濃縮液の UV-VIS 測定を行い、溶出するカプサイシンの定量を行った。

また、室温で水中へ 24 時間浸漬したときの溶出量についても検討した。

2) 結果と考察

a. シリコン膜の評価

図 2.4.1 にシリコン膜及び、LDH-Cap (co) を添加したシリコン膜の外観とデジタルマイクロスコープ高性能 Z レンズを用いて行った、シリコン樹脂中への LDH の分散性解析の結果について示した。

LDH-Cap (co) はシリコン膜全体によく分散している様子が確認できた。このことから、LDH-Cap (co) はシリコン膜に対しての分散性を有していることが分かった。

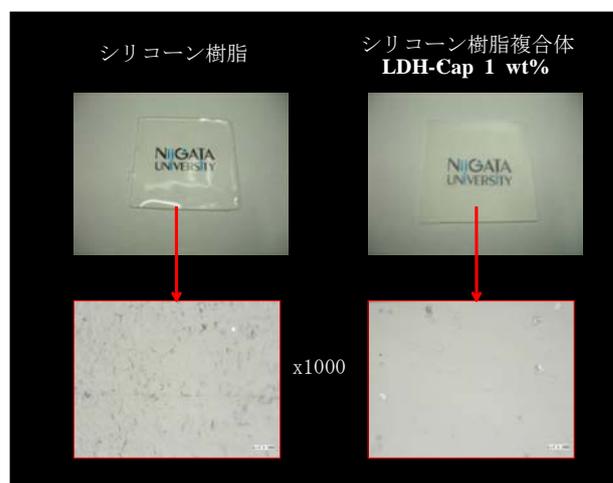


図 2.4.1 シリコン樹脂と LDH-Cap とシリコン樹脂複合体のデジタルマイクロスコープ写真

b. 溶出試験

図 2.4.2 には、LDH-Cap (co) を添加したシリコン膜を煮沸したときの UV-VIS スペクトルを示した。煮沸後の水溶液にはカプサイシンが存在することが確認された。

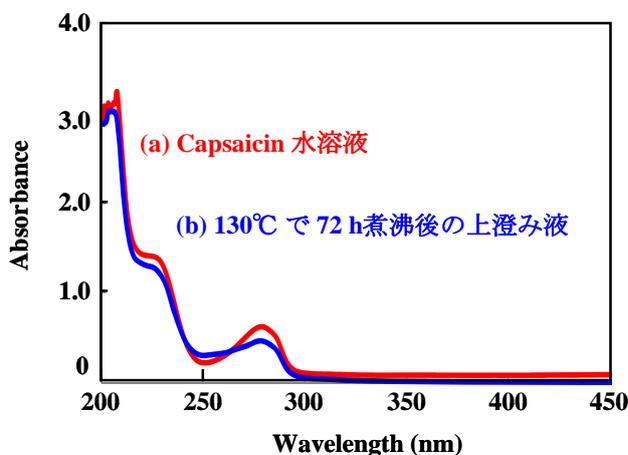


図 2.4.2 LDH-Cap(co) とシリコン樹脂複合からのカプサイシンの溶出試験

(2) 安全性試験 ----- 【担当：(株)ナフタック、(株)双葉テクニカ】

将来の事業化を見据え、加工業者や消費者などへの安全性を担保しておくことを考慮し、食と環境を守る中立・公正な分析試験機関として信頼のある「(財)日本食品分析センター」へ次の安全性試験を委託した。

- ① 雌ラットを用いた急性経口毒性試験
- ② ウサギを用いた皮膚一次刺激性試験
- ③ ウサギを用いた眼刺激性試験

1) 非検体濃度の選定

各種安全性試験を実施するにあたり、被検体であるカプサイシン含有量などを選定しておく必要がある。しかし、LDH-Cap に関しては、今回の生物忌避剤用途向けに開発する新化合物であり、忌避効果などの定量的データはこれから実証実験などで検証する段階であり、現時点では特定できない。そこで、カプサイシンを生物忌避剤に使用している特許調査を実施し、この情報から試験に供与するカプサイシン濃度を検討した。

特許庁電子図書館を利用し、特許検索キーワードとして「カプサイシン」AND「忌避」で検索したところ、公開特許のみで約 50 件もの発明考案が抽出された。その内、代表的な発明の概要を以下に一例として記載する。

- 公開番号：特開平 06-199608
- 発明名称(出願人)：有害生物忌避成型品(昭和電線電纜株式会社)
- 要約：成分のカプサイシンの含有量を、それぞれ 0.05～20 重量%の範囲に限定した理由は、含有量が 0.05 重量%未満では鼠などの有害生物に対する忌避効果が不十分となり、また 20 重量%を越えても効果が変わらないばかりか、成型加工が困難になったり、機械的強度の低い成型品が得られるようになるからである。より好ましくは、0.10～10 重量%の範囲である。

これら発明考案内容を調査し、以下の 4 種類の濃度を目安に試験を委託することとした。

- ① 0.01 % (効果の最低値の見極め)
- ② 0.10 %
- ③ 1.00 %
- ④ 10.00 % (効果の飽和値の見極め)

試験結果の要約を次に記載するが、直接点眼での影響があるが、その他試験での安全性には問題がないと思われる。これらの試験結果は事業化時点での注意事項として有効活用する。

2) 雌ラットを用いた急性経口毒性試験結果

(財)日本食品分析センターの「試験報告書」の【要約】を以下に抜粋する。

「カプサイシンインターカレート LDH を検体として、雌ラットを用いた急性経口毒性試験(限度試験)を行った。

試験群には 2000 mg/kg の用量の検体を、対照群には溶媒対照として注射用水を雌ラットに単回経口投与し、14 日間観察を行った。その結果、試験群では投与後 10 分に 2 例で死亡が認められた(死亡率：40 %)。臨床症状として試験群では、投与直後から全例で自発運動の低下が見られ、投与後 10 分に 2 例が跳躍した後死亡し、残る 3 例では腹部の緊張及び振戦が認められた。生存例の症状は投与後 4 時間までに回復した。

死亡例の剖検では、全例で小腸に充血が見られた。観察期間終了時の生存例の剖検では、主要臓器に異常は認められなかった。」

3) ウサギを用いた皮膚一次刺激性試験

同様に「試験報告書」の【要約】を以下に抜粋する。

「カプサイシンインターカレート LDH を検体として、OECD Guidelines for the Testing of Chemicals 404(2002)に準拠し、ウサギを用いた皮膚一次刺激性試験を行った。

検体の 10, 1, 0.1 及び 0.01 %ワセリン混合物、対照としてワセリンをウサギ 3 匹の無傷皮膚

に4時間閉鎖適用した。その結果、除去後1時間に10%ワセリン混合物適用部位において全例ではっきりした紅斑、1, 0.1及び0.01%ワセリン混合物適用部位において全例で非常に軽度な紅斑、ワセリン適用部位において1例で非常に軽度な紅斑が見られたが、これらの刺激反応は24時間にすべて消失した。

ISO 10993-10 Biological Evaluation of Medical Devices-Part 10(2002)に従って求めた一次刺激性インデックス(P.I.I.)は、検体の10, 1, 0.1及び0.01%ワセリン混合物並びにワセリンでいずれも0となり、ウサギを用いた皮膚一次刺激性試験において、いずれも「無刺激性」の範疇に入るものと評価された。」

4) ウサギを用いた眼刺激性試験

同様に「試験報告書」の【要約】を以下に抜粋する。

「検体について、OECD Guidelines for the Testing of Chemicals 405(1987)に準拠し、ウサギを用いた眼刺激性試験を行った。

ウサギ3匹の片眼に検体を0.1g点眼した結果、点眼後1時間から2例で角膜表面の粗造化、全例で眼瞼及び眼球結膜の発赤、眼瞼結膜の浮腫並びに分泌物が見られた。その後、24時間には全例で角膜混濁、2例で虹彩の充血が見られるようになったが、これらの刺激反応は7日までに2例で消失した。残る1例では、21日においても依然として角膜混濁が見られた。また、1例で10~21日に角膜の一部にパンヌス(角膜における血管新生)が見られた。

Draize法に従って算出した観察期間中の平均合計評点の最高値は21.7(点眼後24時間)であった。

以上の結果から、ウサギを用いた眼刺激性試験において、検体は「刺激物」の範疇にあるものと評価された。また、1例で検体点眼後21日においても角膜混濁及びパンヌスが見られたことから、検体はウサギの眼粘膜に対して腐蝕性を有することが明らかとなった。」

第3章 平成21年度研究開発のまとめと今後の予定

情報家電の配線、家電製品の筐体樹脂、さらには家屋・樹木へのシロアリ、船舶へのフジツボ付着など、多くの適用分野がある生物忌避剤に関して、新潟大学で考案した、環境に優しいカプサイシンをインターカレートした層状複水酸化物(以下 LDH-Cap と略す)の事業化研究を開始した。短期間であったが、その結果を以下にまとめる。

① 大学での基礎研究実験結果

- LDH-Cap の製造方法として、「イオン交換法」と「共沈法」の2種類を新潟大学で製造実験した。2方法とも大きな課題なく製造可能である。カプサイシン自身は水中への分散性が殆どない物質であるが、LDH-Cap は水中への分散性が非常に良いことが実験で確認できた。目的とする樹脂塗料などへの親和性の高さが期待できる結果である。
- 「イオン交換法」と「共沈法」ともカプサイシン自体のインターカレート量は、pH、反応時間、仕込みモル比などによって制御できることが分かった。ただし両者の比較では、「共沈法」の方が合成効率は高く、製造方法が単純でもあり、事業化には向いていると思われる。
- カプサイシンの溶出速度を制御できることを特長としている技術である。カプサイシン自体の精度よい検出方法を検討する必要がある。

② 企業での事業化のための実験結果

- 「共沈法」の試験プラントを今年度(株)ドリームスに設置し、短期間であったが、5回の製造実験を実施した。その結果、次のような知見や課題などが得られた。
 - a. LDH-Cap 自体の事業化生産に関し、化学反応プロセス上の大きな課題は発生しなかった。
 - b. しかし、製造された LDH-Cap の工場での簡易品質評価方法がまだ確立されていないため、その製造結果の良否はまだ判定できない。簡易品質評価方法の開発が課題であると思われる。
 - c. 作業環境上の問題として、今回事業は研究開発が目的であるため、クリーンルーム(刺激性が強く、空気中への飛散が高いカプサイシン被害を防ぐ)のような大掛かりな設備を設置しなかった。しかし、工程間のハンドリングなどで室内にカプサイシンが飛散することが多く、試験プラントとはいえ、さらなる飛散対策が必要である。

③ 応用製品への加工性評価実験結果

- 樹脂への加工に関し、分散性、物性試験を実施した。分散性は非常に良く、物性試験も LDH-Cap を含まない樹脂との差もなく、容易に樹脂へ混合した製品を応用できると判断される。

④ 昆虫(シロアリ)への忌避性実験結果

- 昆虫への忌避効果試験として、シロアリを対象に実験を行った。実験室シャーレ内実験では、「イオン交換法」と「共沈法」では、「イオン交換法」で製造したものが効果がより高かった。これは、新潟大学の報告にもあるように、インターカレートしてないカプサイシンの影響が考えられる。しかし LDH-Cap がシロアリに対する殺蟻性、忌避性があることが分かったことは大きな評価である。
- 課題としては、蒸留水との懸濁液の安定性がよくないことが分かった。新潟大学の実験では水中への分散性の良さが検証されているが、シロアリ対策には増粘剤等の添加を検討する必要があるかもしれない。また、効果がある濃度の調査も必要である。
- 今回、シロアリへの実験は短期間でもあり、シャーレ内という極狭い空間でしか実験できなかった。実環境に近い野外での試験を今後早急に行う必要がある。

⑤ 海洋生物(フジツボのキプリス幼生)への忌避性実験結果

- 添加試験では、LDH-Cap 濃度の影響を直接受け、100 μ g/mL 以上では「胸肢突出・無反応」状態までいく大きな効果があった。
- 付着試験でも同じく濃度の影響が大きく、0.2%以上で効果が見られた。
- 試験板の材質試験では、LDH-Cap を含まないシリコーンゴムに対し、幼生が付着しないため、シリコーンゴム自体に忌避効果がある可能性がある。今後の試験では材質自身の影響

も考慮する必要がある。

- 今後は、効果のある LDH-Cap 濃度、カプサイシン自体の溶出速度などを把握する必要がある。また、シロアリと同様に短期間であったため、シャーレ内実験しかできなかった。実使用するためには、流水中の試験が必須である。

⑥ 安全性試験

- 直接点眼試験では危険性大であるものの、その他、経口試験、皮膚への付着試験も軽微という結果が判明し、製造上、使用上で安全上の大きな課題はないと思われる。

第4章 全体総括

短期間であったが、試験プラントの設置を終え、数回の製造実験も実施し、現状では製造上の大きな課題がないことが分かった。また、シロアリ、フジツボのキプロス幼生など生物忌避効果もあることが分かったことも大きな成果であった。

しかし、製造、応用上もまだ基礎段階であり、今回の実験で判明した課題の他、埋もれた課題も多いと想定される。継続した研究を実施し、事業化に少しでも近づける必要がある。

体が甲皮（殻）に覆われている

遊泳

1対の第一触覚

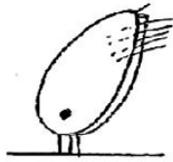


胸肢（動かすことで遊泳を行う）

一時付着・探査

一次付着

(一次付着と探索行動を繰り返す)



探索行動

(二本の第一触覚で歩くような行動)

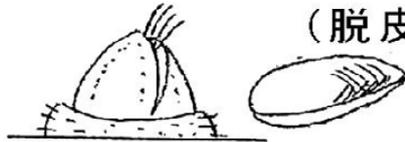
変態中



幼フジツボ

(脱皮殻)

甲皮を脱いで幼フジツボになる



横転・胸肢運動



横転した状態で胸肢を動かす

胸肢突出・無反応



(組織崩壊開始)



【参考文献】

- 1) Jansco G.; Such G. *J Physiol (London)* 1983, 341, 359.
- 2) Lundberg J. M.; Saria A.; Theodorsson-Norheim E.; Brodin E.; Hua X.; Martling C. L.; Gamse R.; Hokfelt T., In *Tachykinin Antagonists*; Hakanson R.; Sundler F. Eds; Elsevier Press: Amsterdam, 1985, pp 159.
- 3) Carpenter S. E.; Lynn B., *Br. J. Pharmacol.*, 1981, 73, 755.
- 4) Kenins P., *Neurosci. Lett.*, 1982, 29, 83.
- 5) Konietzny F.; Hensel H., *J. Therm. Biol.*, 1983, 8, 213.
- 6) Szolcsanyi J., In *Tachykinin Antagonists*; Hakanson R., Sundler F. Eds, Elsevier Press: Amsterdam, 1985, pp 45.
- 7) Johnstone J. J.; Goldadea D. A.; Chipman R. B., *Crop. Prot.* 2002, 21, 1109.
- 8) 伊奈和夫 (梶原 武 監修) : 付着忌避の化学, 海洋生物の付着機構, 恒星社厚生閣, 1991.
- 9) 岡野桂樹・伏谷伸宏 : フジツボの着生機構, 生化学, 69(12), 1997.
- 10) 勝山一郎 : 航路ブイの生き物たち (その1) フジツボ, 季刊水路, Vol.35, pp.48-54, 2006.
- 11) 倉谷うらら : フジツボ 魅惑の足まねき, 岩波科学ライブラリー159, 岩波書店, 2009.
- 12) 山口寿之・松村清隆・加戸隆介 : 甲殻類付着生物フジツボ その着生メカニズム, 化学と生物, 40(9), 2002.
- 13) 日本付着生物学会 : フジツボ類の最新学 知られざる固着性甲殻類と人とのかかわり, 恒星社厚生閣, 2006.
- 14) (社)火力原子力発電技術協会 : 火力発電所における海生生物対策実態調査報告書, 2003.
- 15) (財)電力中央研究所 : 天然由来の付着忌避物質の探索と忌避活性の強い化学物質の合成, 電中研報告 U01038, (財)電力中央研究所 環境科学研究所 環境ソリューションセンター, 2004.
- 16) (財)電力中央研究所 : 発電所を困らせる水の生き物たちーアカフジツボ, pp.3-4, (財)電力中央研究所 環境科学研究所 環境ソリューションセンター, 2008.