

フジシール財団 研究助成事業
成果報告書

公益財団法人フジシール財団
理事長 岡崎 裕夫 殿

報告日 2025年 5月 30日

研究課題	温度応答性高分子と無機粘土鉱物を用いた有機-無機複合感温性ガスバリ アフィルムの創製	助成金額
		100 万円
助成名	特別長期研究助成・研究助成・若手研究助成	
ふりがな	いけだ しんご	研究助成申請年度
研究者氏名	池田 真吾	2024 年度
所属機関	弓削商船高等専門学校	研究期間
		2024年4月1日～2025年3月31日
役職	商船学科 助教	

下記の通り、研究成果を報告いたします。

記

1. 研究成果の概要

【緒言】

物資の輸送において、包装材料は内容物の保護、商品の品質保持、などの役割があり、さまざまな材料が包装材料として活用されている。包装材料に求められる性能は保護性能や情報開示性など多岐にわたる。しかし、これらの材料は耐久性が高く、性質が一定に保たれることが重要視されており、輸送中に環境変化に対応して特性が変化する包装材料は実用化されていない。たとえば、生鮮食品の輸送においては、周辺環境の変化によってストレスを受けた結果、内容物の腐敗が進行してしまうことがある。この問題を解決するため、外部刺激に対応して性質を変化させる包装材料を作製することで、包装内部の環境変化を低減し、長期間の輸送から内容物を保護する包装材料を検討した。例えば、周辺温度の変化によって水蒸気バリア性を変化させるような包装材料が実用化されれば、青果物などの内部から水蒸気を発生させる商品を輸送する際、温度変化による包装内部の結露を防止し、商品を保護するような新規包装材料となる可能性がある。

このような背景から、本研究ではガスの透過を防ぐ性能を持つ粘土鉱物と、周辺温度によって性質を変化させる温度応答性高分子を用いて、ガスバリア性と温度応答性を併せ持った新規な包装材料を検討した。作製に際して、粘土鉱物には薄い層状の結晶を持つ層状複水酸化物 (LDH) を用いた。また、温度応答性高分子にはアクリルアミド (AAm) -アクリロニトリル (AN) の共重合体を用いた。この温度応答性高分子は低温で収縮し高温で膨潤する上部臨界溶液温度 (UCST) 型の温度応答を示す高分子である。これらを組み合わせ、低温では高いガスバリア性を発揮し、高温では包装内部の水分を排出できるような包装材料の作製を目指した。研究の概要を図1に示す。

【実験】

実験で使用する Mg-Al 系 LDH を尿素法により作製した。蒸留水 190mL に硝酸マグネシウム六水和物 33.3mM、硝酸アルミニウム九水和物 16.6mM、尿素 175mM を使用し 100℃にて 72 時間攪拌した後に得られた生成物を濾過し、乾燥させたのちに蒸留水およびエタノールで洗浄して白色の生成物を得た。LDH の蒸留水への分散性向上の

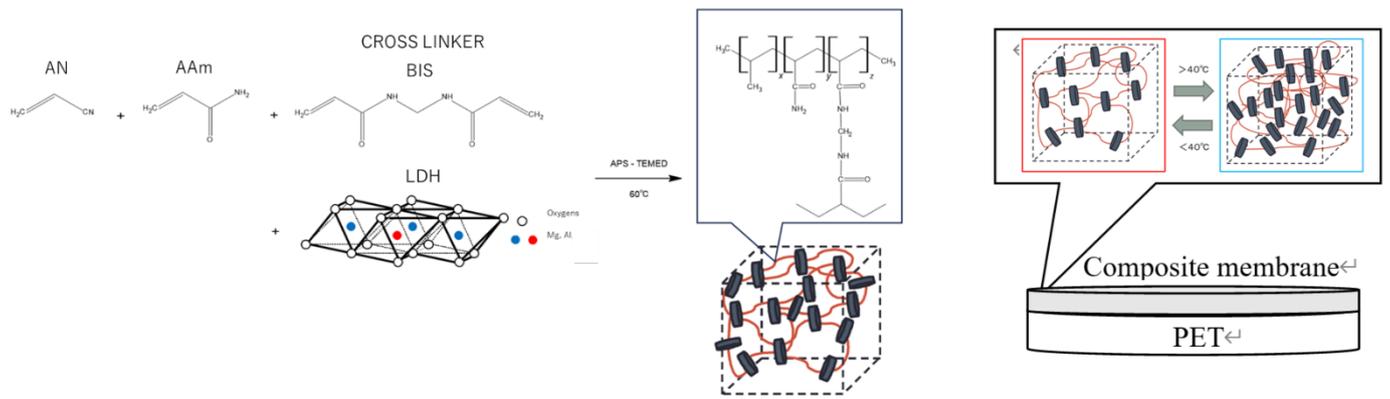


図1 実験の概要図

ため再構築法を用いて層間イオンを酢酸イオンに置換した。作製した LDH 試料を 500℃にて 2 時間焼成することで熱分解し、その後、窒素雰囲気において 0.2 M の酢酸アルミニウムに 16 時間浸漬することで再構築したものを洗浄、濾過、乾燥し LDH 試料とした。LDH 試料を蒸留水へ 1wt% となるように添加し、窒素ガスでバブリングした後に密封し 48 時間攪拌し分散した。次いで未分散粒子を除去するため、攪拌して得られたコロイド状混濁液を 2000rpm で 20 分間遠心分離し、その上澄み液を分散液として採取した。

蒸留水に LDH を分散させた分散液に、有機成分としてモノマーである AAm、AN、架橋剤としてメチレンビスアクリルアミドを分散させたのち、反応促進剤として N' N' N' N-テトラメチルエチレンジアミンを加え、さらに 1 時間攪拌し、最後に反応開始剤としてペルオキシ二硫酸アンモニウムを加え攪拌したものを成膜液とした。LDH の添加による効果と透湿度への影響を調査するため、溶媒中の LDH 分散液と蒸留水の重量割合を種々変化させた。表 1 に成膜液の組成表を示す。作製した成膜液をスピコータにより PET 基材上へスピコートし、定温乾燥機において 60℃で 24 時間反応させ、コンポジット膜を得た。作製したコンポジット膜について、恒温恒湿槽にて温度 30℃~50℃、相対湿度 90%で透湿度を計測し、水蒸気バリア性と温度応答性を計測した。

【結果と考察】

図 1 に作製したガスバリア膜の透湿度を示す。基材である PET フィルムと比較して、40℃までは水蒸気バリア性が高く、50℃では水蒸気バリア性が低下する結果となった。LDH0 では基材である PET と比較して、投資都度が低下する結果となった。これはコーティング層が水分を吸収したことによるものと考えられた。LDH の添加量が増加するにしたがって水蒸気バリア性は向上したが、LDH100 については LDH75 よりも水蒸気バリア性が低下した。これは LDH の添加量が過剰になったことにより、コンポジット膜内で凝集し、均一な膜構造とならなかったことによるものと考えられる。

以上の結果から、LDH と温度応答性高分子を用いた温度応答性ガスバリアフィルムの作製に関する基礎的知見

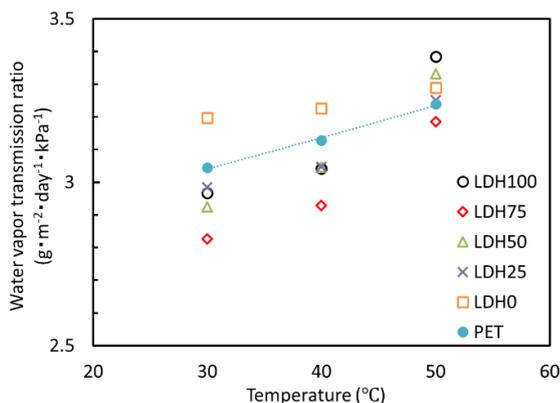


図2 作製したコンポジット膜の透湿度

表1 コンポジット膜の組成表

Sample name	LDH solution (wt%)	Water (wt%)	AAm (M)	AN (M)	BIS (mM)	TEMED (M)	APS (M)
LDH100	100	0					
LDH75	75	25					
LDH50	50	50	1.746	0.873	4	0.06	0.02
LDH25	25	75					
LDH0	0	100					

を得ることができた。今後は膜厚測定や膜の構造解析を行い、コンポジット膜の温度応答特性との関連を考察しつつ、実際のパッケージングをモデルにしたモデルを作り、実際にパッケージ内部の環境変化を抑制できているかを検証していく。

2. 研究成果のパッケージ産業への貢献の可能性

本研究において、周辺温度によって特性を変化させることで、外部刺激による包装内部環境への影響を低減し、船舶による長期間輸送に適した包装材料を検討した。このような包装材料が実用化された場合、海上輸送により青果類や野菜などの生鮮食品を低コストかつ大量に輸出できる可能性がある。

我が国は多くの品目を海外に輸出しているが、果物や野菜などの作物も盛んに輸出されている。農林水産省の農林水産物・食品の輸出の促進に関する基本方針によると、「海外において新興国の経済成長や人口増加に伴い食の市場規模は拡大傾向にあり、平成 27 (2015) 年の 890 兆円から令和 12 (2030) 年には 1.5 倍の 1,360 兆円に拡大すると見込まれる。このため、我が国の農林水産業者の所得向上を図り、農林水産業及び食品産業が持続的に発展していくためには、農林水産物及び食品の輸出の大幅な拡大を図り、世界の食市場を獲得していくことが不可欠である。」と述べられている。これらの製品を大規模に輸送する際、船舶を用いた大量輸送に注目が集まることが予想される。

日本は周囲を海に囲まれた島国であり、貿易量の 99%以上を船により輸送している。海上輸送には、一度に大量の荷物を輸送できる、他の輸送手段と比較して環境に与える影響が低い、輸送コストが安価である、などの利点がある。一方で、輸送が長期間にわたるため、ほかの輸送手段と比較して積み荷が様々な環境変化にさらされるという特徴がある。現在は冷凍コンテナを用いるなどの手段でこれを対策しているが、船舶から陸上への移送やその後の流通経路を考えたとき、包装材料によって環境変化による損傷を回避できれば、海外における輸送管理を簡便化できるなどのメリットが考えられる。

本研究では、温度応答性高分子である AAm-AN 共重合体と、粘土鉱物の一種である LDH を用いて温度応答性ガスバリア膜を作製し、特性を評価した。その結果、温度応答性ガスバリア膜の作製方法および温度応答性の変化に関する知見を得た。このような包装材料を実用化させるにあたり、異なる温度応答特性をもつ高分子の検討や、温度以外の外部刺激への対応、粘土鉱物の選定、実際のパッケージに使用したときの貨物への影響などを継続して検討することで、より多くの品目を簡便に輸送できるような新たなパッケージング材料としてパッケージ産業へと貢献できる可能性がある。

3. 学会発表、学会誌等への論文掲載、産業財産権出願などの実績（現時点で未発表・未掲載・未出願のため、上記「1. 研究成果の概要」、「2. 研究成果のパッケージ産業への貢献の可能性」の当財団ホームページ上の公開の延期を希望される場合、その旨記載してください。）

【学会発表】

1. Shingo Ikeda, Tomohiro Murakami, Koji Kuraoka, Preparation of Stimuli-Responsive Packaging Materials Suitable for Maritime Transport, Kosen Research International Symposium 2025, 2025 年 8 月 24 日～25 日, 発表予定 (申込済)
2. 池田真吾、岩部悠紀、村上知弘、蔵岡孝治、アクリルアミド-アクリロニトリル共重合体を用いた温度応答性ガスバリア膜の作製と特性評価、日本包装学会第 34 回年次大会、2025 年 8 月 28 日～29 日、発表予定 (申込済)

【学会誌等への論文掲載】

なし

【産業財産権出願など】

なし

