

新規液晶エポキシ変性による シアネートエステル樹脂の高放熱化・強靭化

関西大学 化学生命工学部 化学・物質工学科
教授 原田 美由紀

2025年9月18日

発表内容

1. エポキシ樹脂とシアネートエスチル樹脂の特徴
2. シアネートエスチル樹脂の反応と課題
3. シアネートエポキシ樹脂のエポキシ変性(従来技術)
4. 液晶性エポキシの特徴と課題
5. 新規開発した液晶性エポキシ
6. 新規液晶性エポキシ変性シアネートエスチル樹脂
7. 新技術の特徴・従来技術との比較
8. 想定される用途と課題
9. 企業様への期待・貢献・PRポイント
10. 知的財産
11. 連絡先

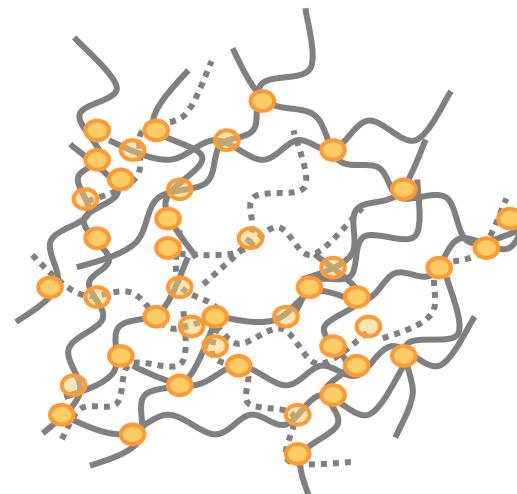
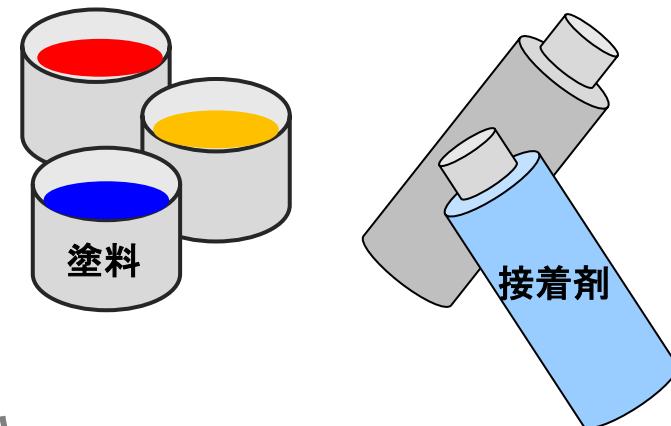
1. シアネートエスチル樹脂・エポキシ樹脂の特徴

・熱硬化性高分子の一種

エポキシ樹脂の用途

- ✓ 塗料・コーティング材料
- ✓ 接着剤(土木・建築用途含む)
- ✓ 電子部品: 封止材・プリント配線板
- ✓ 複合材料マトリックス樹脂

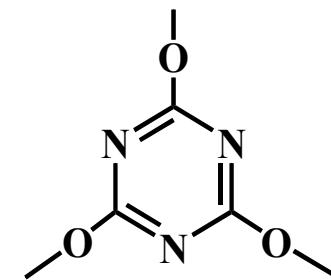
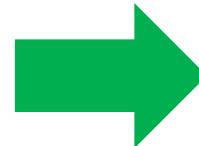
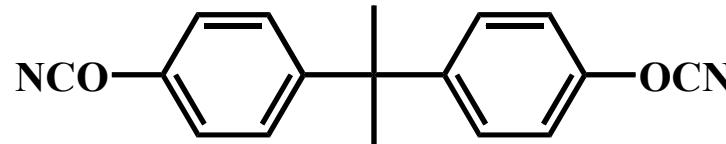
- 高耐熱性
- 電気絶縁性
- 接着性



熱マネジメントのために放熱性が強く要求されている

2. シアネートエステル樹脂の反応と課題

トリアジン環形成



ビスフェノールA型シアネートエステル
(BADCY, $M_w = 278$, 融点 81°C)

- 架橋構造
- 剛直構造
(耐熱性・寸法安定性)
- 対称性が高い
(低誘電率・低誘電損失)

高いガラス転移温度(>300°C)や熱分解温度(>400°C)が特徴

2. シアネットエスチル樹脂の反応と課題

高耐熱性高分子材料としてシアネットエスチル樹脂が注目

クラック耐性が課題であり、変性剤（エラストマー、熱可塑性樹脂）による強靭化が一般的

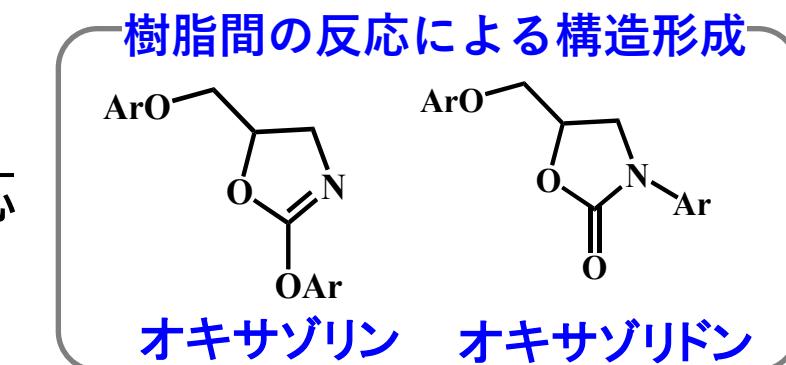
- ✓ 変性剤に起因するガラス転移温度の低下
- ✓ 変性剤添加による粘度上昇により加工性が低下

等の問題があり、要求性能を満足するには至っていない。

3. シアネートエステル樹脂のエポキシ変性(従来技術)

想定される反応

- ① シアネート基による環化三量化（トリアジン環生成）
- ② トリアジン環とエポキシ基による反応
(イソシアヌル環/オキサゾリドン生成)
- ③ シアネート基とエポキシ基による反応
(オキサゾリン/オキサゾリドン生成)

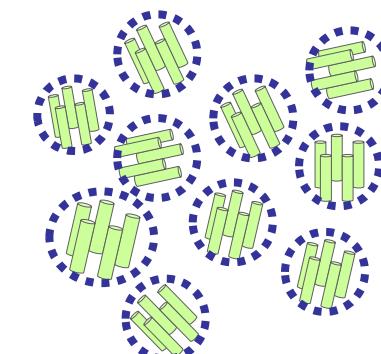
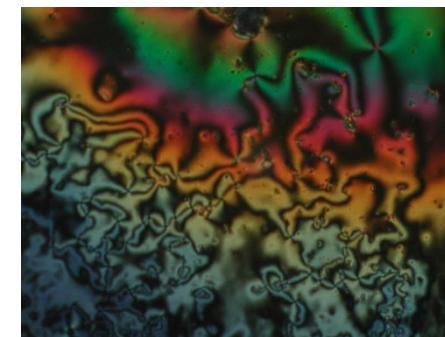
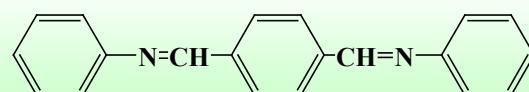
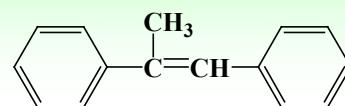
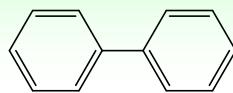


エポキシ変性により②,③が生じるため、耐熱性発現の要となる剛直なトリアジン環が減少する

⇒ エポキシの骨格構造に剛直構造を導入 (液晶エポキシ)

4. 液晶性エポキシの特徴と課題

液晶を形成するメソゲン基

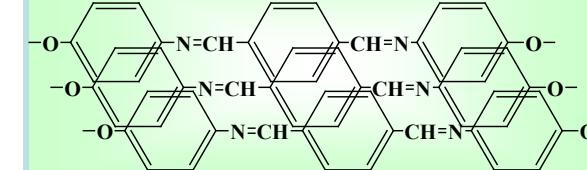


液晶を示す構造を導入した
エポキシ樹脂

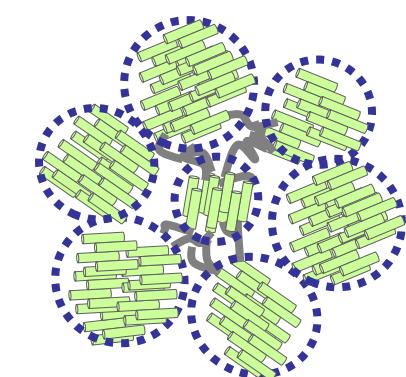


メソゲン基

π-π 相互作用



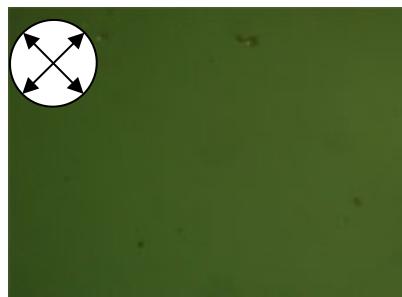
エポキシ基の反応
により三次元架橋



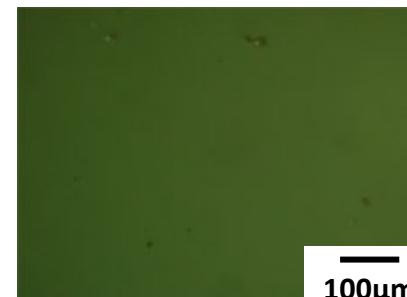
4. 液晶性エポキシの特徴と課題

偏光顕微鏡観察

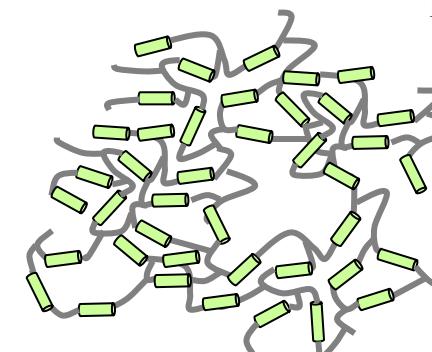
硬化反応温度 : 190°C



0 s

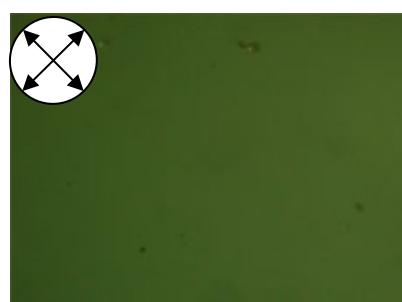


60 s ⇒ 20 min



硬化剤 : DDM

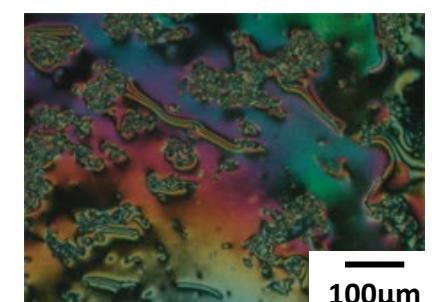
硬化反応温度 : 165°C



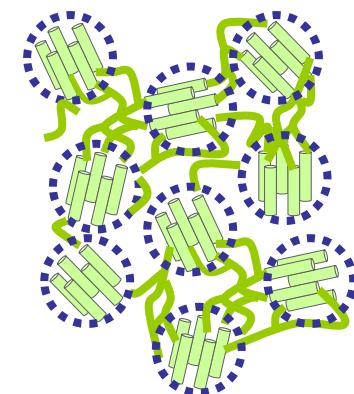
0 s



45 s



180 s ⇒ 30 min



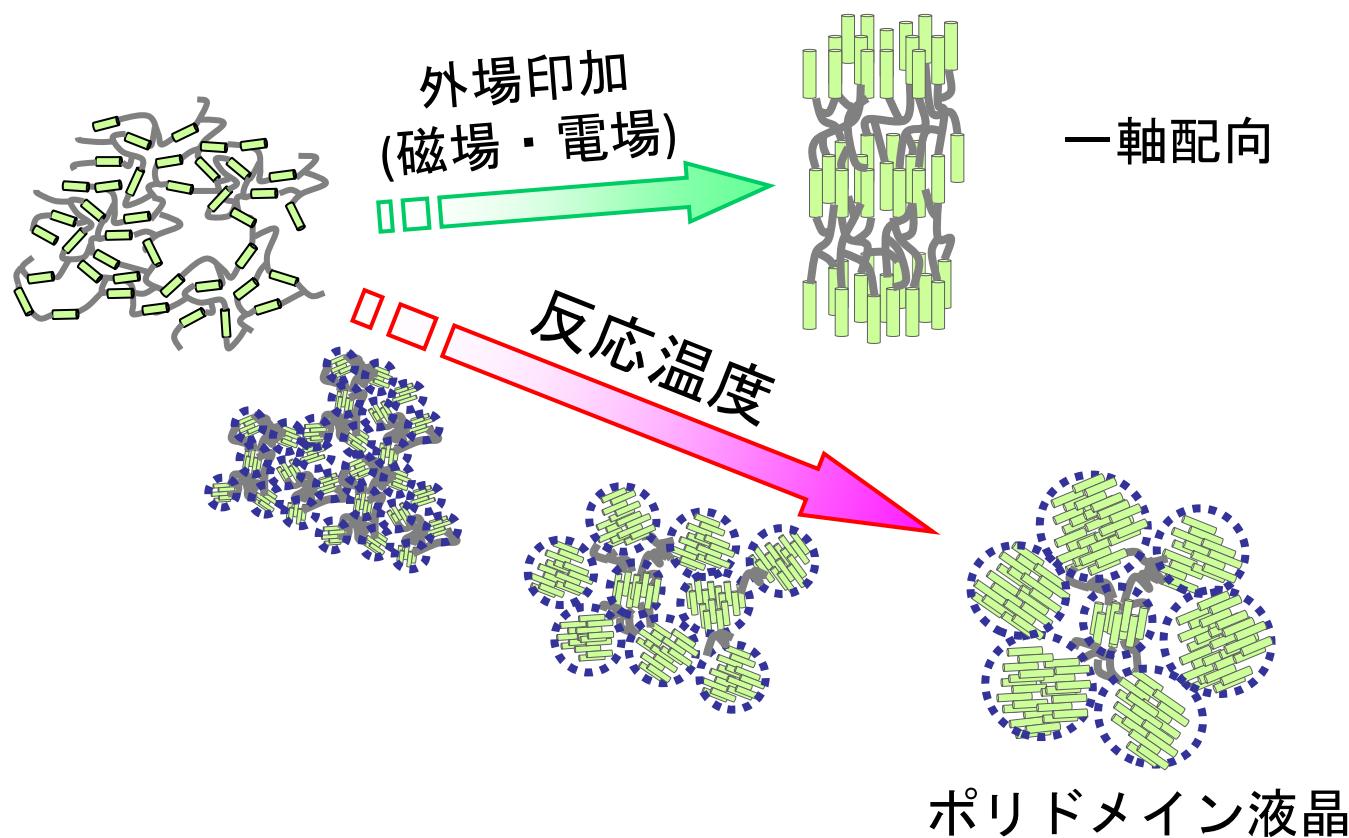
液晶相

反応時間



硬化温度の最適化により、エポキシ樹脂中に配列構造が形成される

4. 液晶性エポキシの特徴と課題



耐熱性・破壊靱性(強靱性)・熱伝導性などの特性発現が可能
一方で、エポキシ基による架橋では「 250°C 以上の T_g 実現」に課題あり

5. 新規開発した液晶性エポキシ

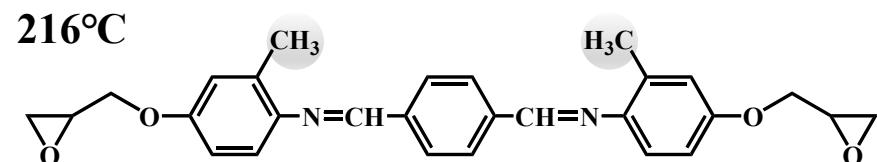
液晶相発現温度範囲(46°C)

DGETAM
既存材料

170°C

液晶相

等方相

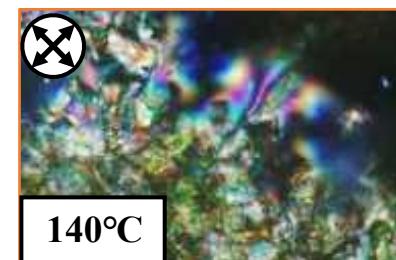


液晶相発現温度範囲(120°C)

DGETAF
(新規材料)

100°C

123°C

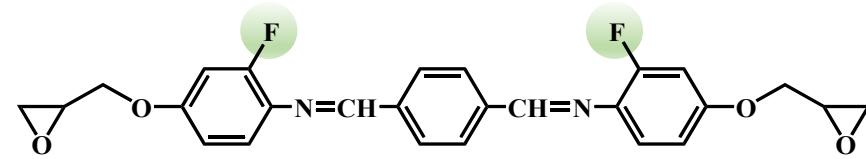


液晶相

243°C

等方相

300°C



低融点・配列安定性の高い液晶性エポキシ

相溶性について

樹脂

BADCY

DGETAF

DGETAM

溶解度パラメーター δ
(J/cm³)

51.63

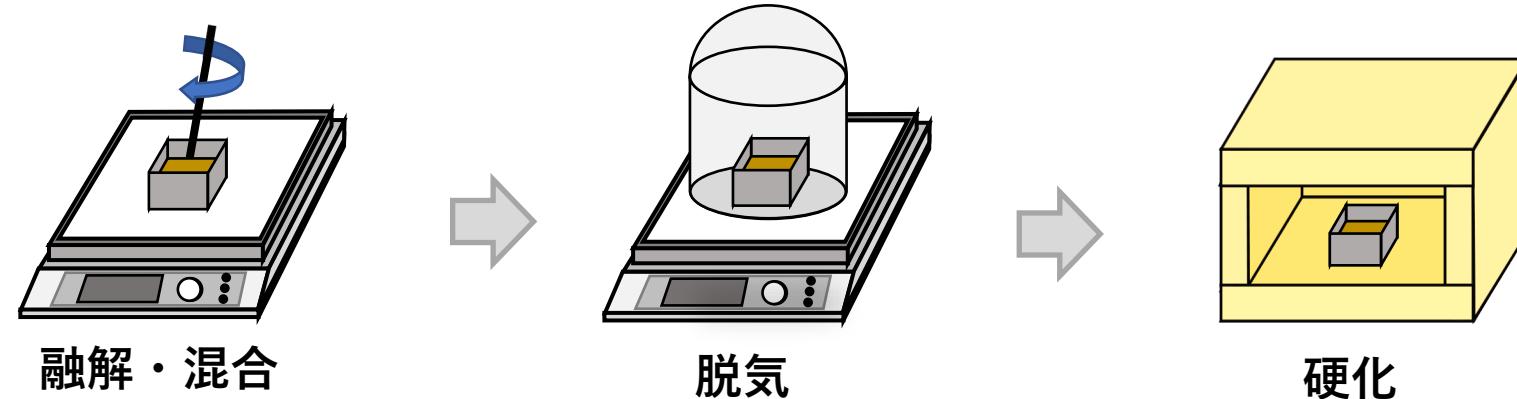
61.38

58.34

Fedors原子団寄与法
により算出

低温かつ広い温度範囲で、エポキシの液晶配列が可能

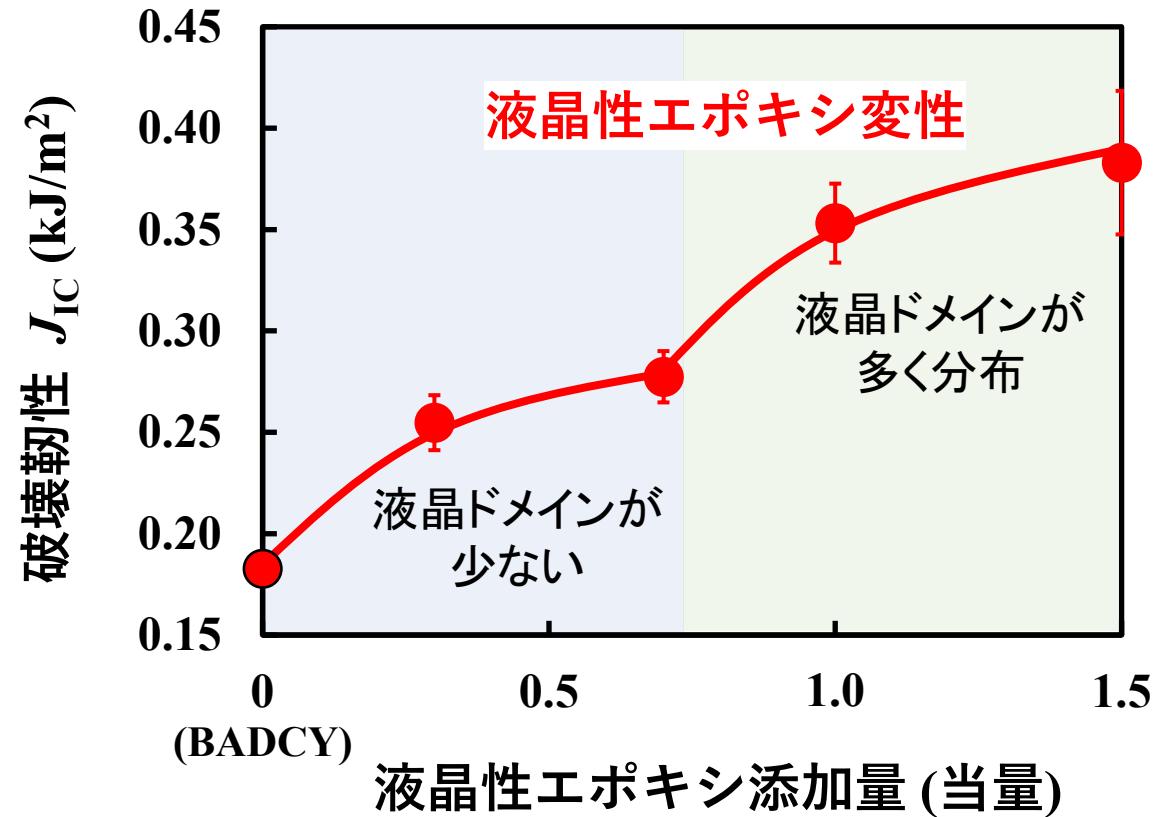
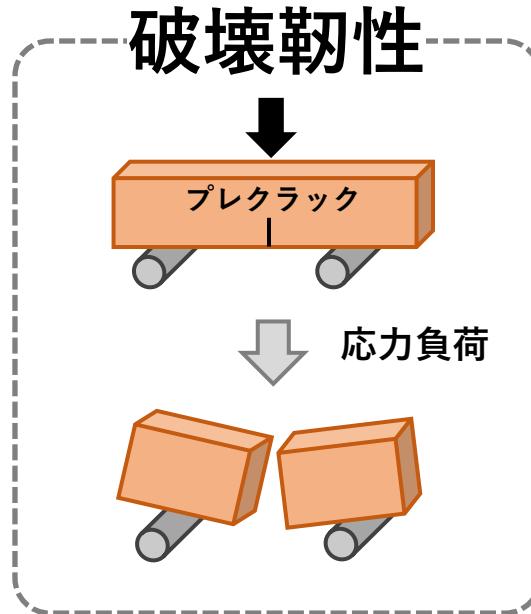
6. 新規液晶性エポキシ変性シアネートエステル樹脂



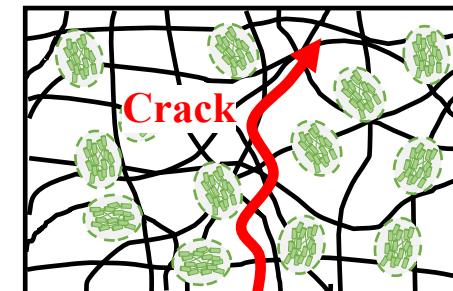
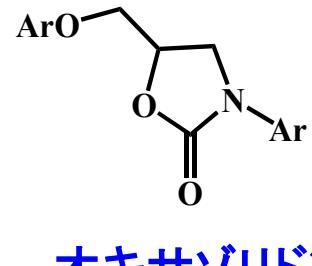
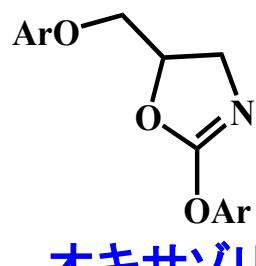
硬化系	官能基反応率 (%)		外観写真
	シアネート エステル基	エポキシ基	
BADCY	97	—	
BADCY / DGETAF 変性 _0.7 当量	97	97	
BADCY / DGETAF 変性 _1.5 当量	97	98	

変性量に関わらず、均質な硬化物が調製可能(官能基の反応性良好)

開発材料の破壊強靭性(クラック耐性)



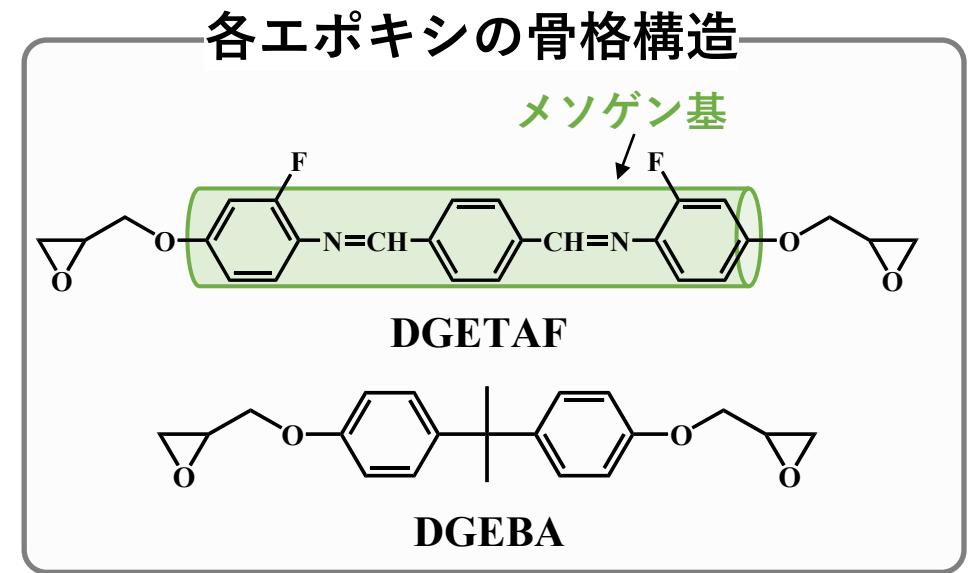
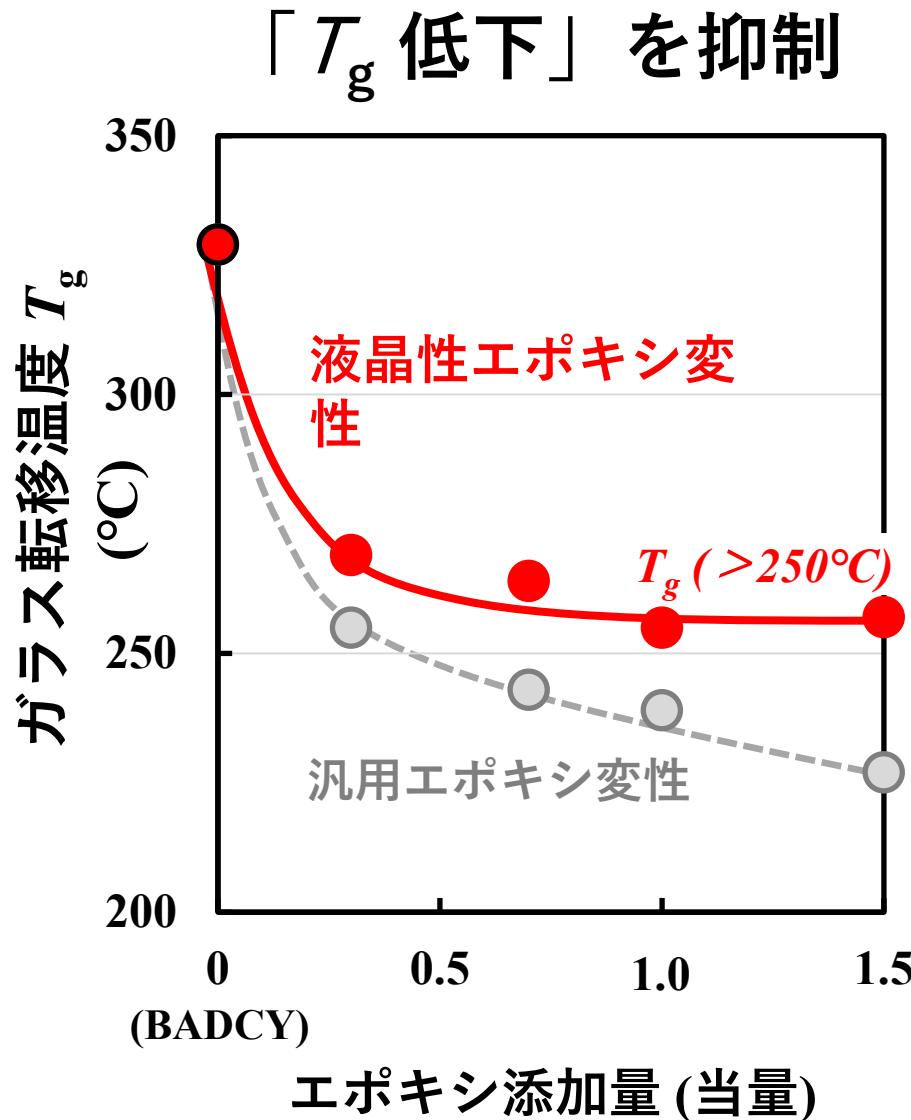
樹脂間の反応による構造形成



液晶相構造

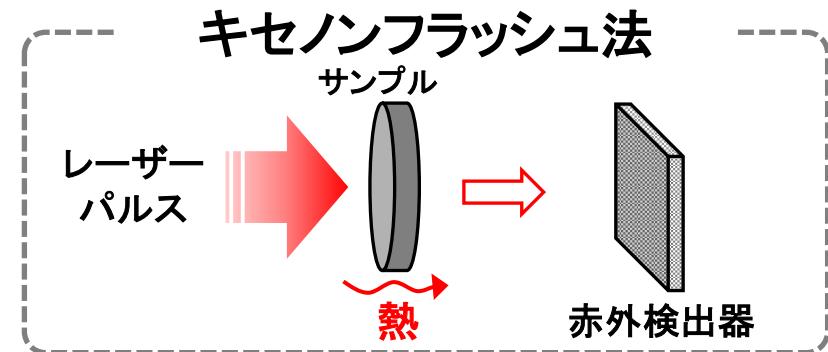
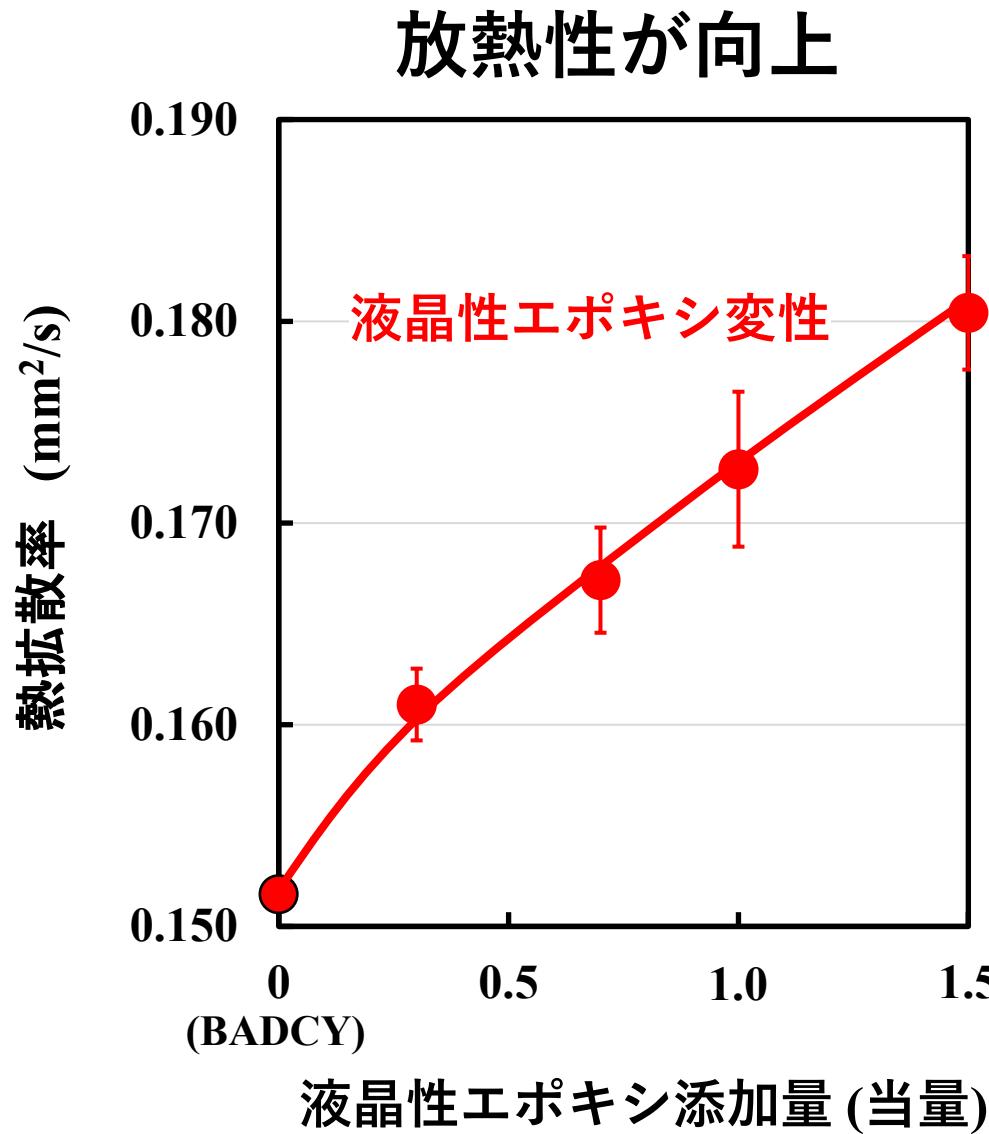
強靭性の増加

開発材料の耐熱性(ガラス転移温度)



- ・骨格構造の剛直性による影響
- ・液晶相形成によるエポキシ樹脂の相分離
⇒シアネート基とエポキシ基間の反応抑制
(トリアジン環量・多)

開発材料の熱伝導性



硬化系	熱伝導率 ($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$)
BADCY	0.206 ± 0.001
BADCY / DGETAF _1.5 eq. (液晶)	0.243 ± 0.004

$$\lambda = \alpha \times \rho \times C_p$$

λ : 热伝導率 ($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$)
 α : 热拡散率 (mm^2/s)
 ρ : 密度 (g/cm^3)
 C_p : 比热 ($\text{J}/\text{g}\cdot\text{K}$)

7. 新技術の特徴・従来技術との比較

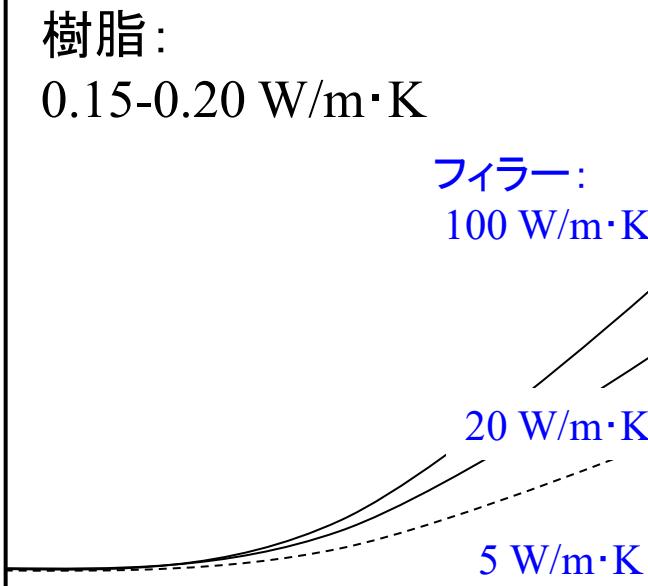
- 従来技術の問題点であった、シアネートエスチル樹脂の脆性を改良することに成功した。
- 従来は耐熱性の観点からエポキシ樹脂の使用に制限があったが、液晶性エポキシの剛直性により、耐熱性と破壊強靭性（クラック耐性）の両立が可能となつた。
- 本技術の適用により、耐熱性の維持だけでなく放熱性の付与も可能なため、長期信頼性の向上が期待される。

フィラーによる熱伝導性向上

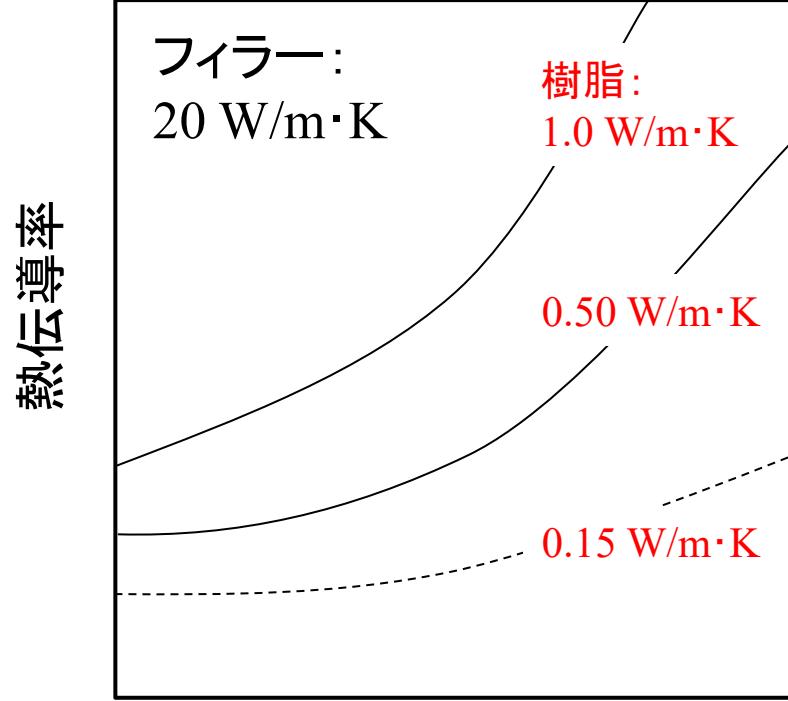
材料	熱伝導率 (W/m・K)
無定形高分子	0.2
ダイヤモンド	2000
窒化アルミニウム	70-270
h-窒化ホウ素	60
アルミナ	20-40
結晶性シリカ	10
溶融シリカ	1-2
空気	0.02

複合材料の熱伝導性向上のイメージ

フィラー熱伝導率の影響



樹脂の熱伝導率の影響



樹脂の高熱伝導化は、特にフィラー低含有量領域で有効に作用

7. 新技術の特徴・従来技術との比較

エポキシ (変性剤)	熱伝導 フィラー (絶縁性)	絶縁性	クラック 耐性 (破壊韌性)	耐熱性	接着性	熱伝導性	コスト
新液晶性	-	○	◎	○	◎	○	○~△
従来 (汎用性)	-	○	○	△	○	△	○
新液晶性	少量	○	◎	○	◎	○~◎	△
	多量	○	△	○	○~△	○	△~×
従来 (汎用性)	少量	○	△	△	○	×	△
	多量	○	×	○	△~×	△~○	△~×

8. 想定される用途と課題

- 本技術の特徴を生かすためには、プリント配線板や封止材などに適用することで、信頼性確保にメリットが大きいと考えられる。
- 上記以外に、基材間の密着性が付与できることも期待される。
- 達成された放熱性に着目すると、高熱伝導接着剤や放熱シートなどの分野や用途に展開することも可能と思われる。

想定される課題

- 現在、シアネートエステル樹脂の強靭性付与技術を開発済み。「低融点の液晶性エポキシによる変性」がポイントであるが、骨格構造の最適化は未実施である。
- 今後、硬化（加工）条件の最適化に関する実験データを取得し、温度設定に対する効果を探っていく。
- 実用化に向けて、充填材と複合化する技術を確立する必要もあり。

社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装へ取り組みについて記載
基礎研究	・液晶性エポキシ樹脂の分子設計が完了	
現在	・高耐熱化・強靭化・高熱伝導化が実現	
2年後	・硬化プロセス条件の最適化 ・長期信頼性に関する液晶性エポキシ樹脂の構造最適化が実現	例:評価基礎データの提供
5年後	・主要特性の信頼性評価の実施 ・材料特性の最適化を実現	例:サンプル提供が実現

9. 企業様への期待・貢献・PRポイント

- 未解決の液晶性エポキシ樹脂の構造最適化については、中間体合成関連企業との連携により克服できると考えている。
- 樹脂配合・評価技術を持つ、企業との共同研究を希望。
- また、電子部品材料関連企業、自動車分野への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

貢献・PRポイント

- 本技術は、高耐熱性と強靭性の両立が可能であり、電子部品関連の製造を行う企業に貢献できると考えている。
- 本格導入にあたって、硬化プロセスに関する技術指導が可能である。

10. 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 変性化剤、変性化剤を含む熱硬化性樹脂組成物、硬化物および硬化物の製造方法
- 出願番号 : 特願2025- 93666
- 出願人 : 関西大学
- 発明者 : 原田 美由紀、宮内 翼

产学連携の経歴

- 2009年-2013年 近畿経済産業局
戦略的基盤技術高度化支援事業
- 2018年-2019年 JST A-STEP 機能検証フェーズ
試験研究タイプに採択

学外共同研究・学術指導の実績：のべ 70件以上（2013年以降）

11. お問い合わせ先

関西大学
産学官連携センター

TEL : 06-6368-1245

e-mail : sangakukan-mm@ml.kandai.jp