

# 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・強靱化

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

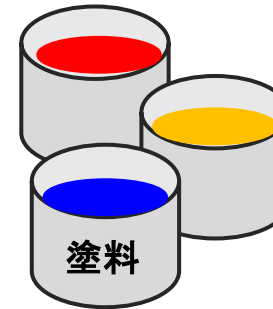
1. エポキシ樹脂とシアネートエステル樹脂の特徴
2. シアネートエステル樹脂の反応と課題
3. シアネートエポキシ樹脂のエポキシ変性(従来技術)
4. 液晶性エポキシの特徴と課題
5. 新規開発した液晶性エポキシ
6. 新規液晶性エポキシ変性シアネートエステル樹脂
7. 新技術の特徴・従来技術との比較
8. 想定される用途と課題
9. 企業様への期待・貢献・PRポイント
10. 知的財産
11. 連絡先

# 1. シアネートエステル樹脂・エポキシ樹脂の特徴

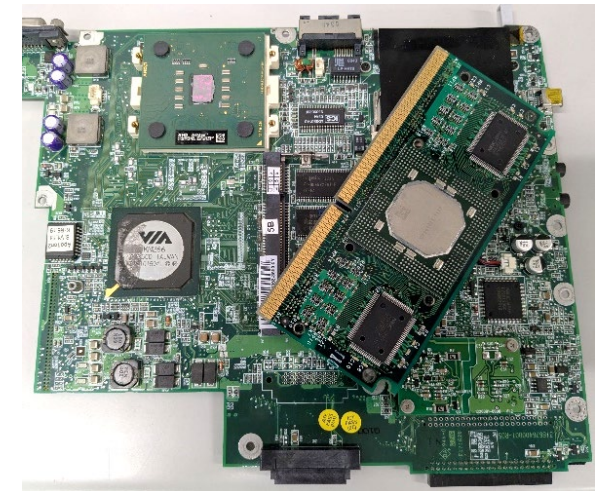
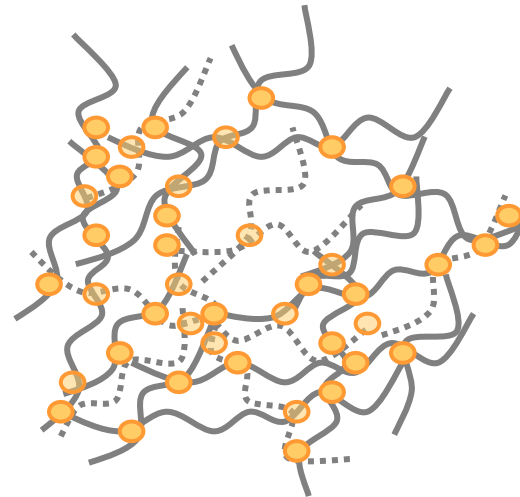
## ・熱硬化性高分子の一種

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



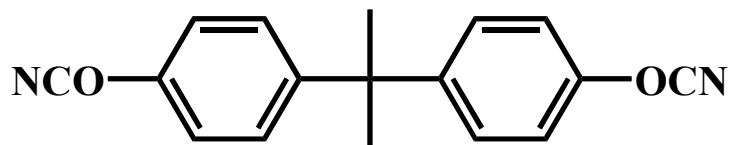
- ・ 高耐熱性
- ・ 電気絶縁性
- ・ 接着性



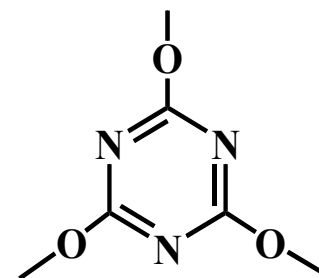
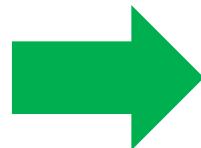
熱マネジメントのために放熱性が強く要求されている

## 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  $81^\circ\text{C}$ )



- 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 ( $> 300^\circ\text{C}$ ) や熱分解温度 ( $> 400^\circ\text{C}$ ) が特徴

## 2. シアネートエステル樹脂の反応と課題

高耐熱性高分子材料としてシアネートエステル樹脂が注目

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）による強靱化が一般的

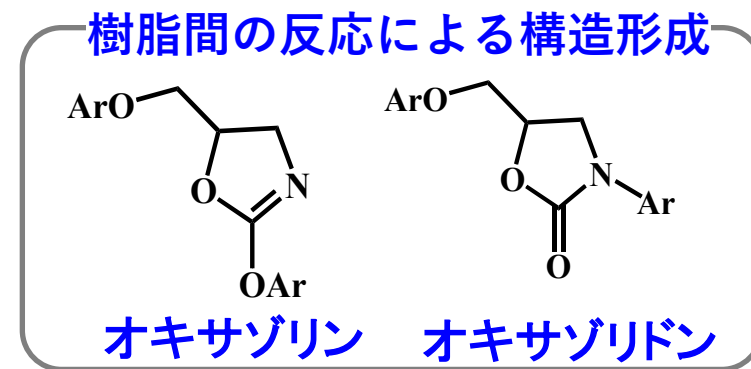
- ✓ 変性剤に起因するガラス転移温度の低下
- ✓ 変性剤添加による粘度上昇により加工性が低下

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)

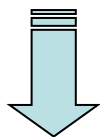
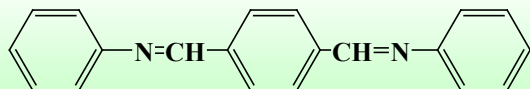
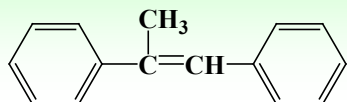
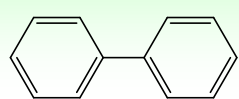


エポキシ変性により②,③が生じるため、耐熱性発現の要となる剛直なトリアジン環が減少する

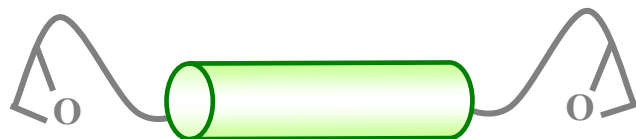
⇒ エポキシの骨格構造に剛直構造を導入 (液晶エポキシ)

## 4. 液晶性エポキシの特徴と課題

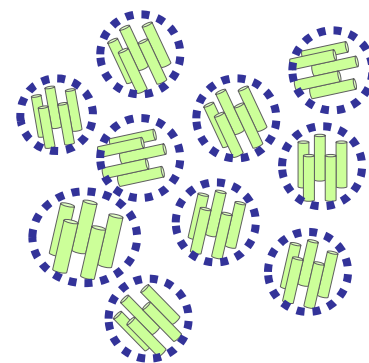
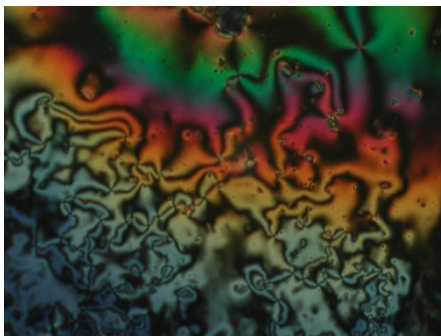
液晶を形成するメソゲン基



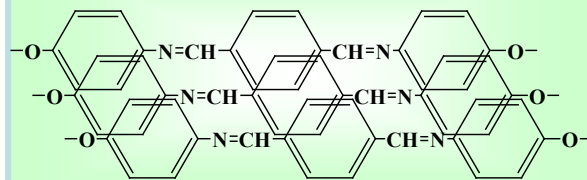
液晶を示す構造を導入した  
エポキシ樹脂



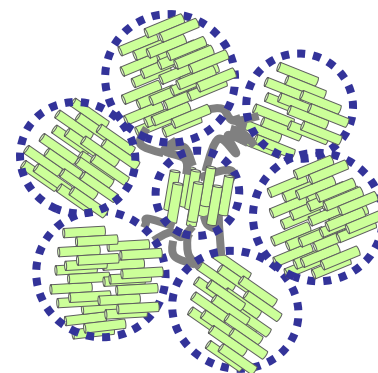
メソゲン基



$\pi$ - $\pi$  相互作用



エポキシ基の反応  
により三次元架橋



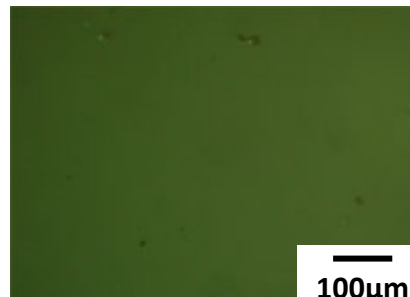
## 4. 液晶性エポキシの特徴と課題

### 偏光顕微鏡観察

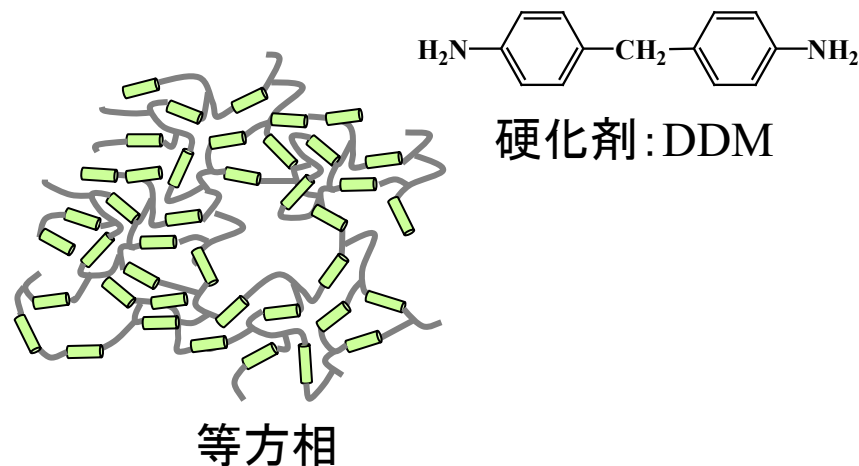
硬化反応温度 : 190°C



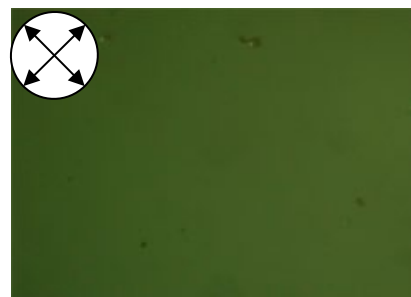
0 s



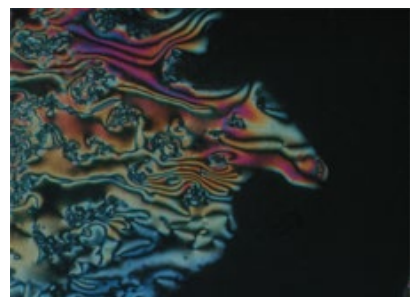
60 s ⇒ 20 min



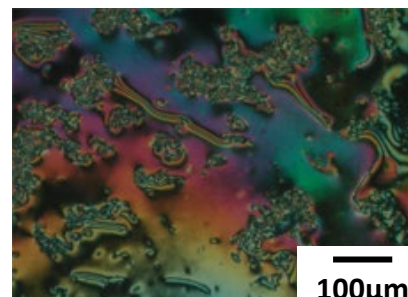
硬化反応温度 : 165°C



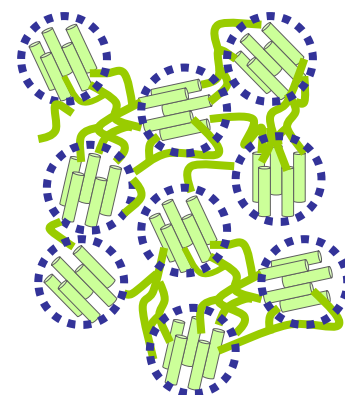
0 s



45 s



180 s ⇒ 30 min



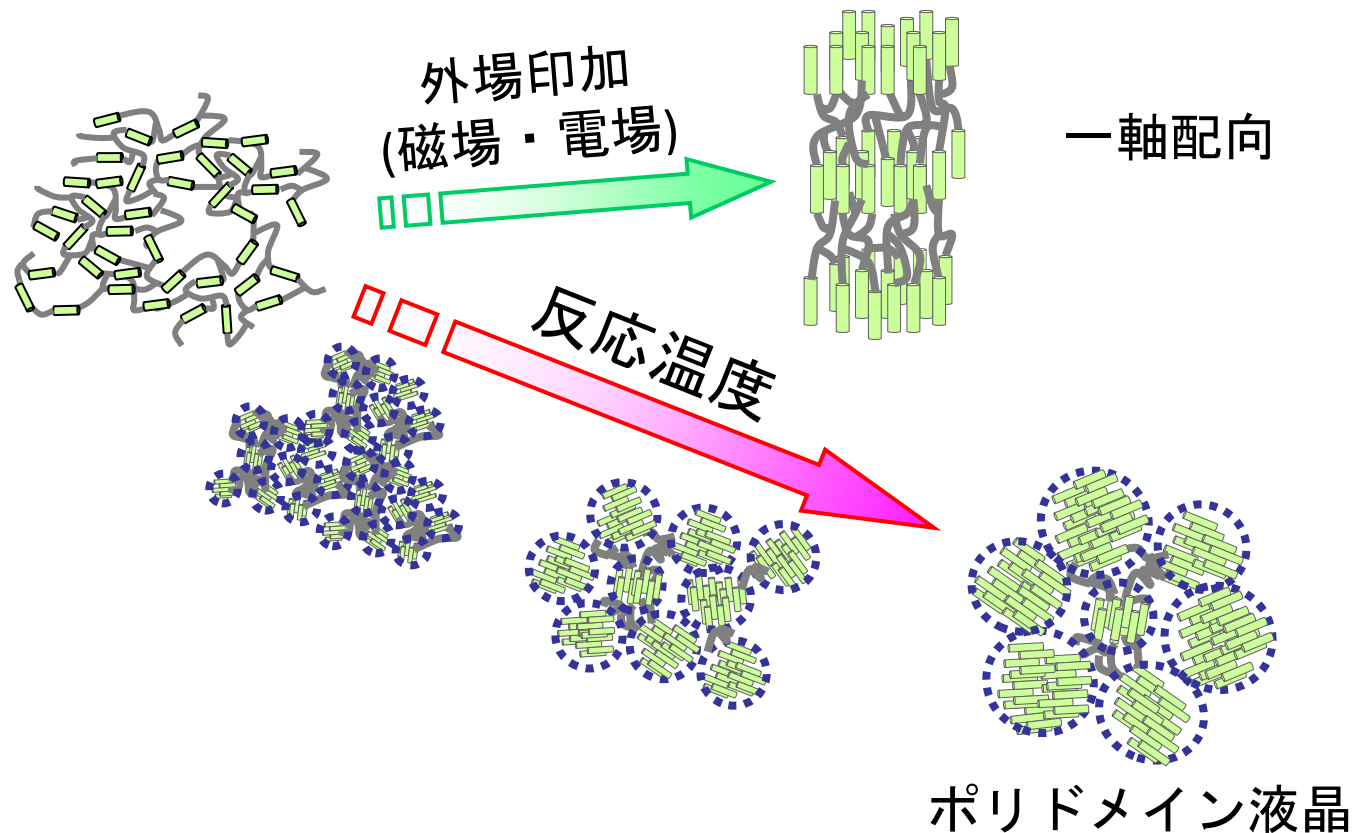
反応時間



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「 $250^{\circ}\text{C}$ 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

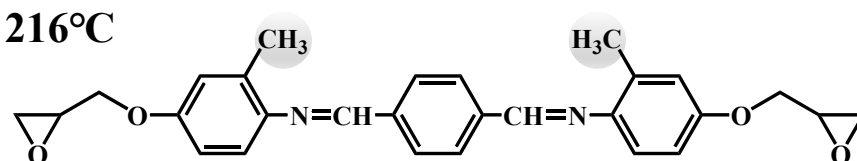
液晶相発現温度範囲(46°C)

DGETAM  
既存材料



170°C

216°C



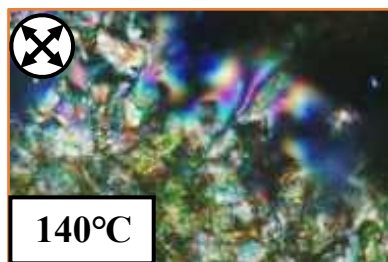
液晶相発現温度範囲(120°C)

DGETAF  
(新規材料)



100°C

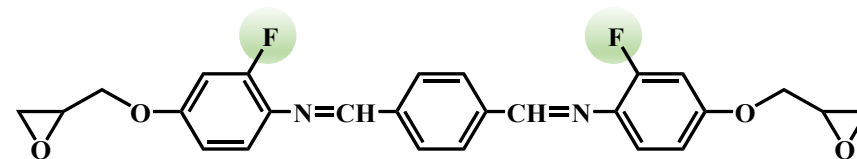
123°C



140°C

243°C

300°C



低融点・配列安定性の高い液晶性エポキシ

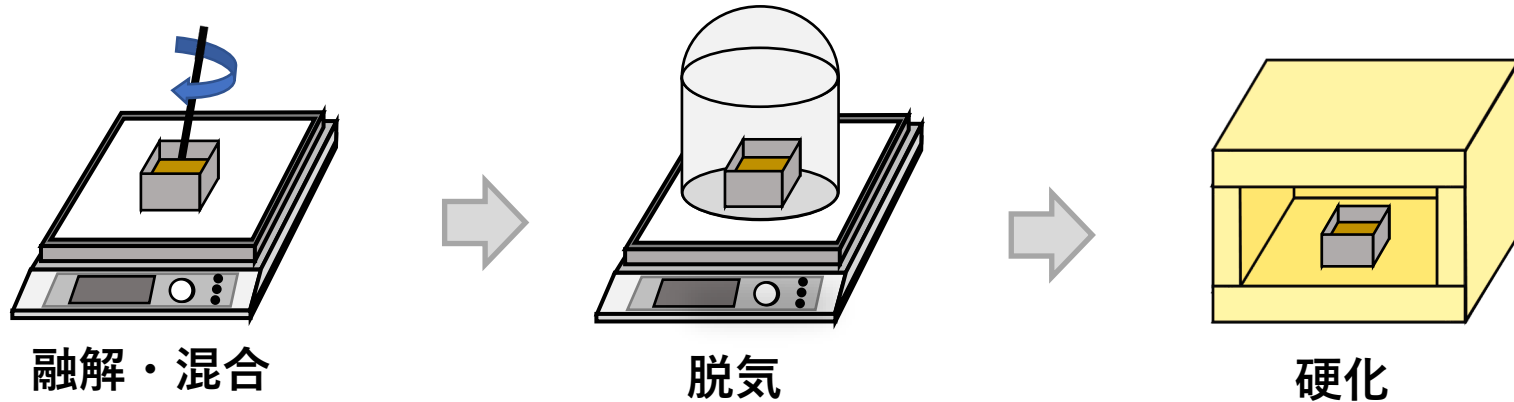
相溶性について

樹脂	BADCY	DGETAF	DGETAM
溶解度パラメーター $\delta$ (J/cm <sup>3</sup> )	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

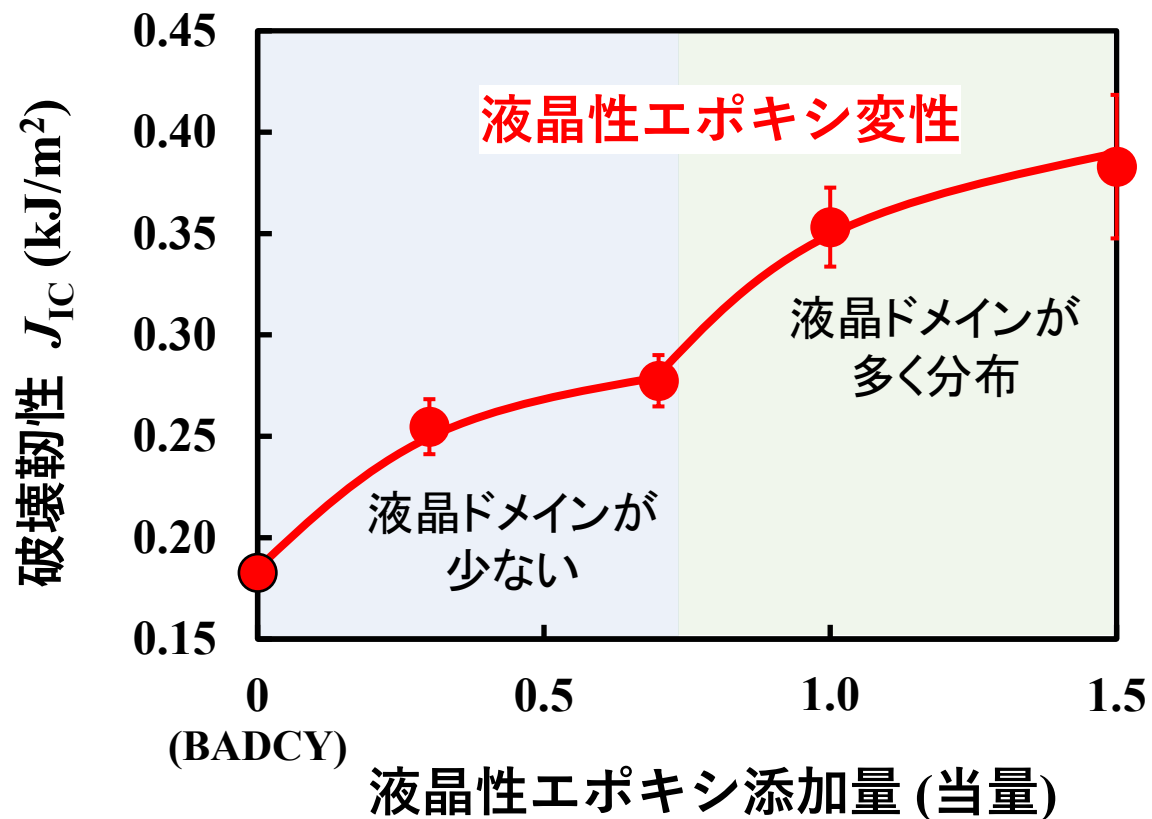
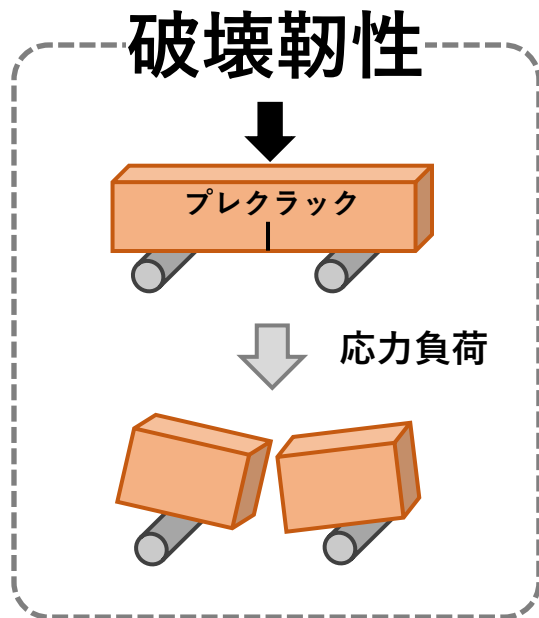
## 6. 新規液晶性エポキシ変性シアネートエステル樹脂



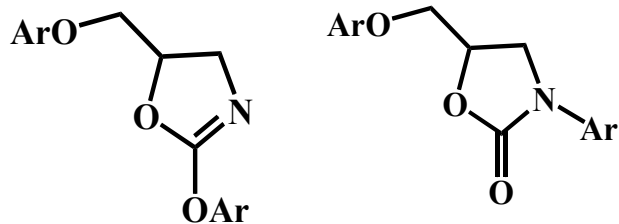
硬化系	官能基反応率 (%)		外観写真
	シアネート エステル基	エポキシ基	
BADCY	97	—	
BADCY / <b>DGETAF 変性</b> _0.7 当量	97	97	
BADCY / <b>DGETAF 変性</b> _1.5 当量	97	98	

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)

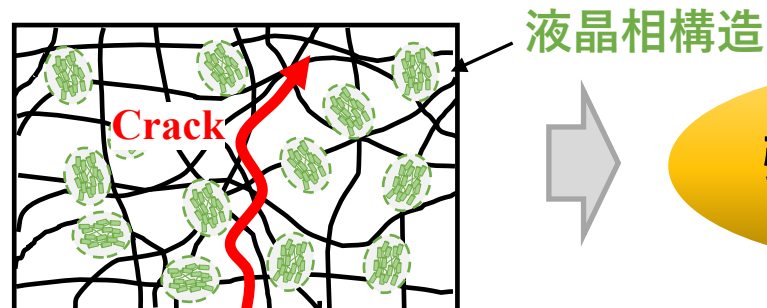
## 開発材料の破壊強靱性(クラック耐性)



樹脂間の反応による構造形成



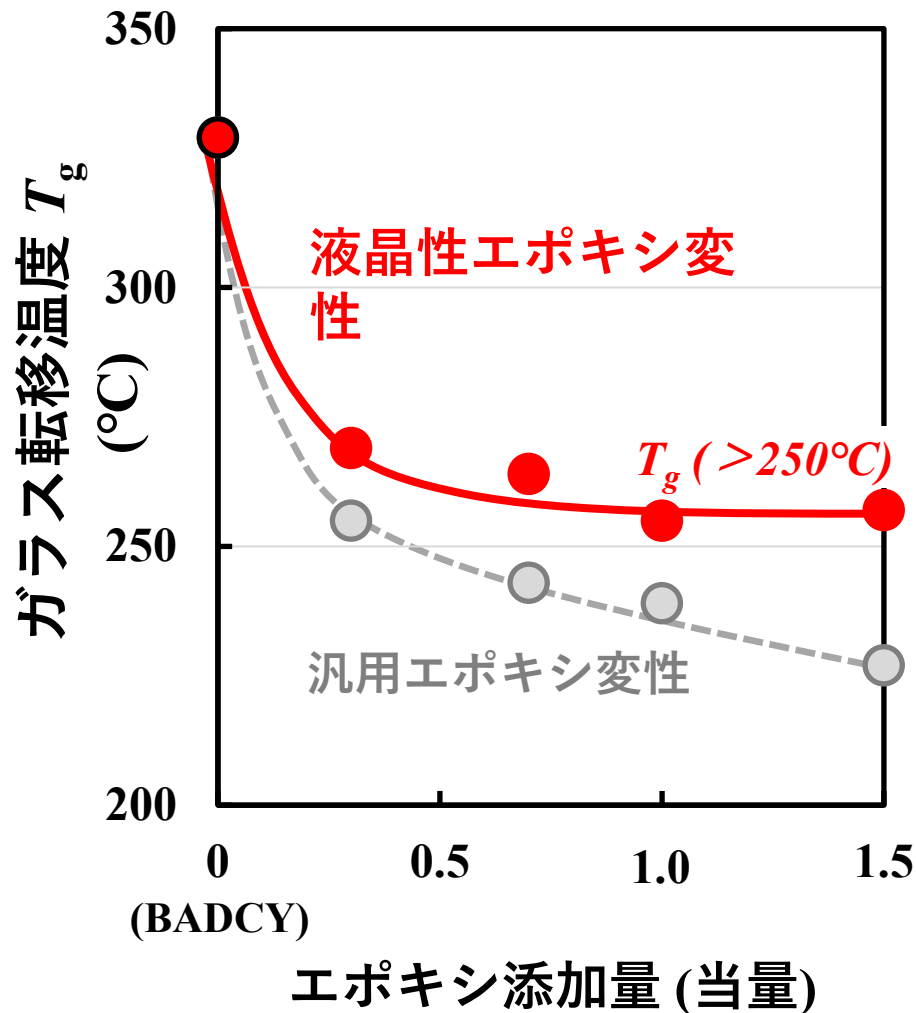
オキサゾリン オキサゾリドン



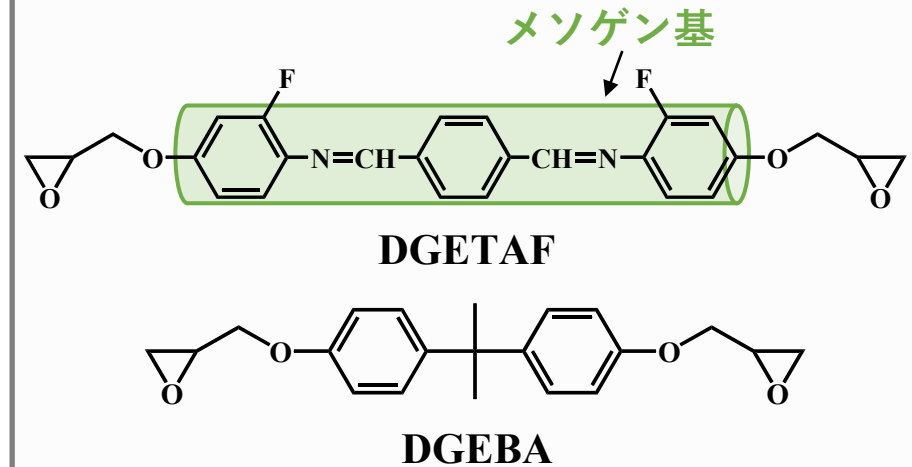
強靱性の増加

# 開発材料の耐熱性(ガラス転移温度)

「 $T_g$  低下」を抑制



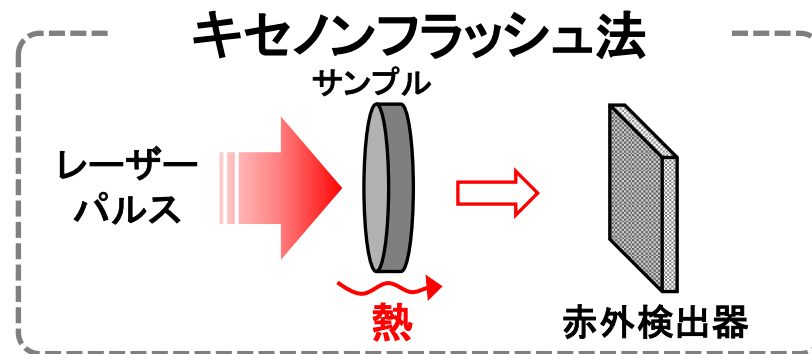
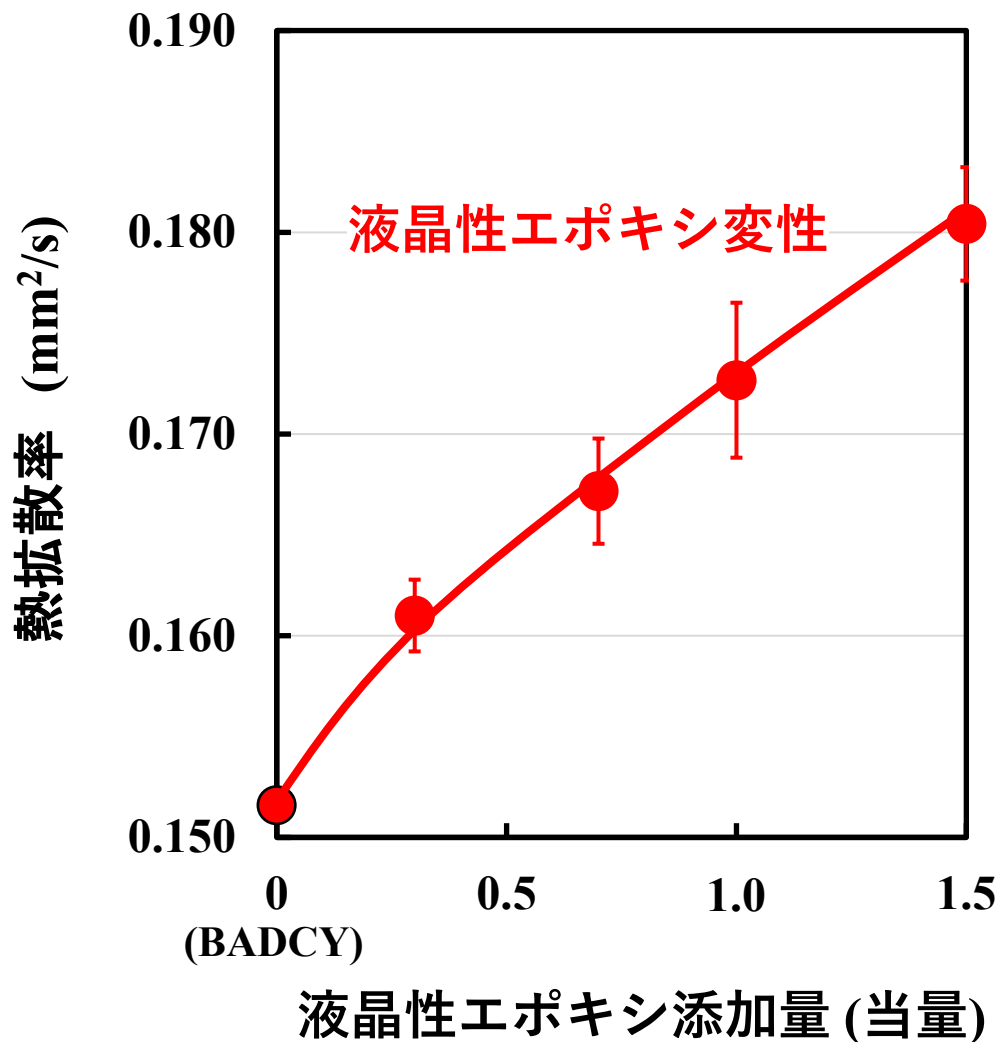
各エポキシの骨格構造



- ・ 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

放熱性が向上



硬化系	熱伝導率 (W/m・K)
BADCY	0.206 ± 0.001
BADCY / DGETAF _1.5 eq. (液晶)	0.243 ± 0.004

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

$\lambda$  : 熱伝導率 (W/m・K)  
 $\alpha$  : 熱拡散率 (mm<sup>2</sup>/s)  
 $\rho$  : 密度 (g/cm<sup>3</sup>)  
 $C_p$  : 比熱 (J/g・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、シアネートエステ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、耐熱性と破壊強靱性（クラック耐性）の両立が可能となった。
- 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。

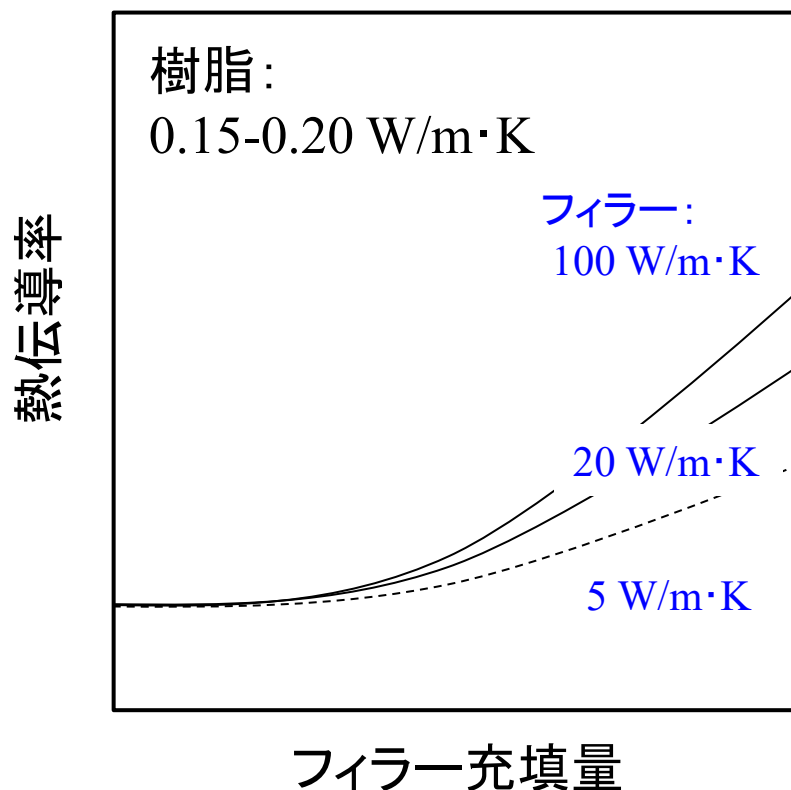
## フィラーによる熱伝導性向上

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

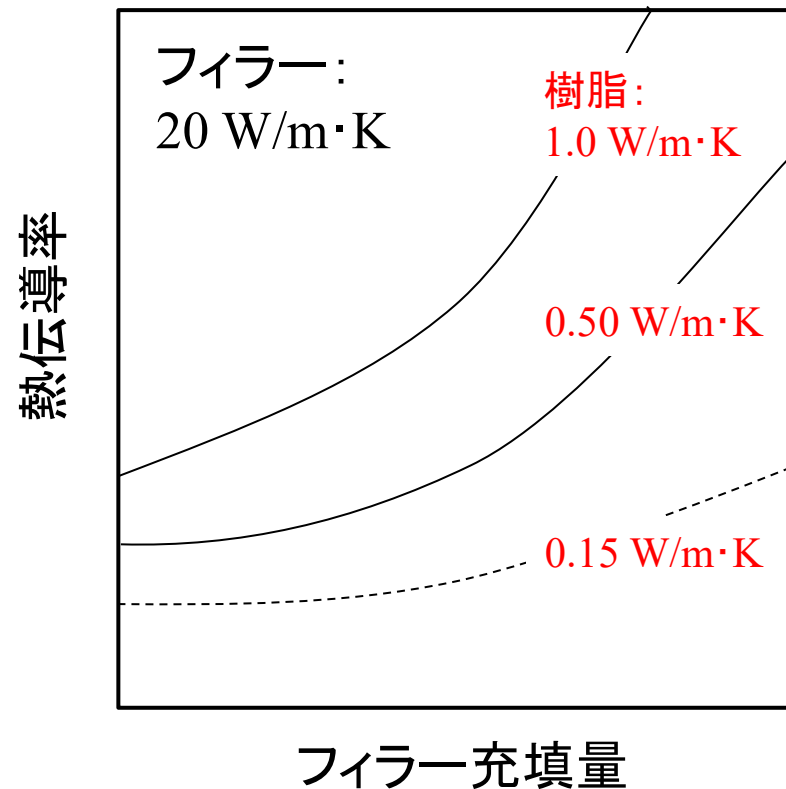


## 複合材料の熱伝導性向上のイメージ

### 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 (破壊靱性)	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靱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・強靱化・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、高耐熱性と強靱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



## 産学連携の経歴

- 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