

国立研究開発法人 科学技術振興機構
未来社会創造事業 第1回公開成果報告会
～ グリーン・安全安心な社会に向けた新たな価値創造 ～
令和5年2月21日



大規模プロジェクト型 「Society5.0の実現をもたらす革新的接着技術の開発」
界面マルチスケール4次元解析による革新的接着技術の構築

接着界面の理解と制御による グリーンモビリティの生産能力の向上

田中敬二

九州大学 大学院工学研究院 応用化学部門
大学院統合新領域学府 オートモーティブサイエンス専攻
次世代接着技術研究センター

1. はじめに
2. アカデミア
3. 連携企業
4. 知的財産
5. おわりに



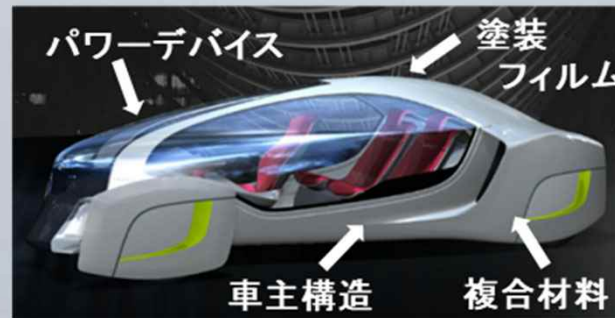
CREA推進によるゴールイメージ

接着界面のマルチスケール解析による理解と、分子操作によるスマート接着を融合させ、**革新的接着技術**を構築する。

資源エネルギー庁HP



NEXCO西日本HP



<https://trafficnews.jp/post/112102>



革新的接着技術

界面解析

- 原子スケール
- 官能基スケール
- ナノスケール
- メゾスケール
- マクロスケール
- 数理・統計モデル
- インフォマティクス

分子接着

- タフネス性
- 自己修復性
- 易解体性
- バイオベース化

必要な要素技術:

シーズとニーズの融合

特許戦略

- 基本特許群取得（九大知的財産特区）

社会実装戦略

- バリューシステム構想

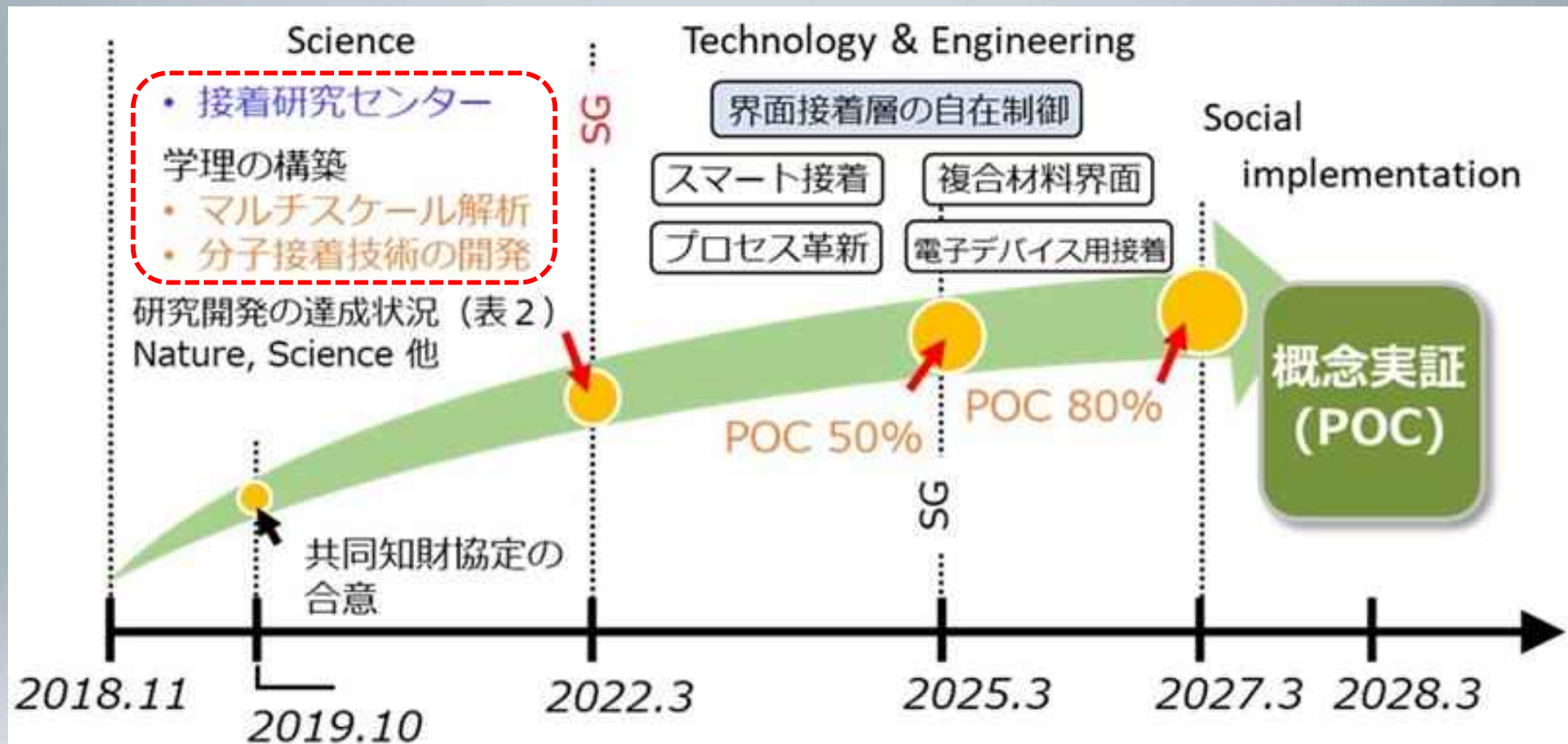
企業連携

- 協調的オープンイノベーション
- 競争的開発

化学・材料 14社
Tier1, Tier2, OEM

共同連携機関
実装連携機関

研究開発の流れ



G1. 接着界面のマルチスケール解析

- (a) 界面構造・物性の先端キャラクタリゼーション
- (b) (a)に基づく接着界面近傍における凝集状態
- (c) (b)と接着強度の相関
- (d) 熱硬化樹脂における不均一硬化の理解と基礎物性
- (e) 湿熱下における界面層構造の経時変化
- (f) 高速疲労寿命解析
- (g) 接着インフォマティクス

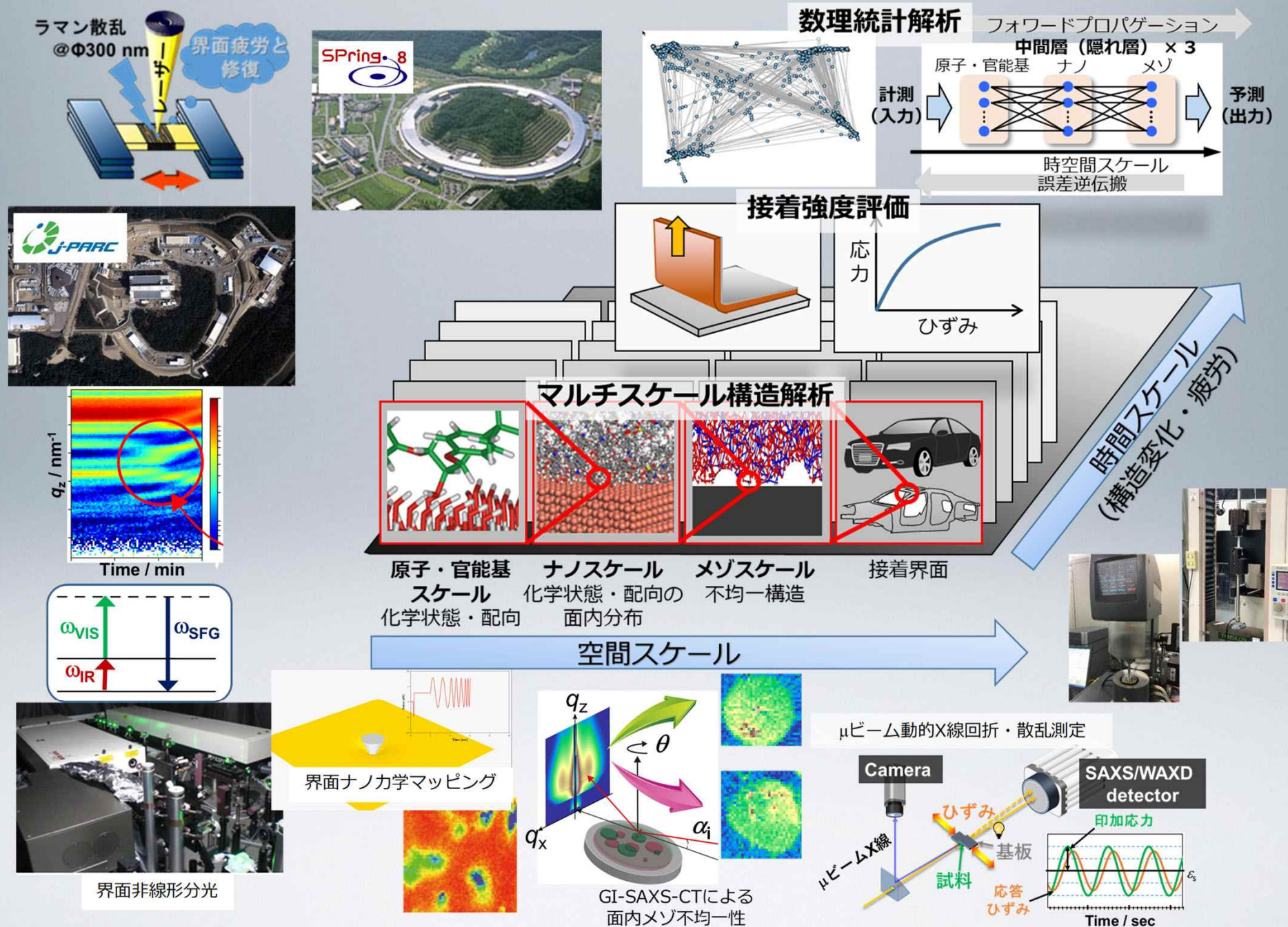
G2. 分子接着技術の開発

- (h) 被着界面に直接反応する接着剤
- (i) PRや動的共有結合の導入による超分子接着剤
- (j) 分解ユニットを導入した易解体性接着剤
- (k) バイオベースモノマーによる機能性接着剤

G3. 次世代接着社会実装戦略

- (l) バリューシステム構想

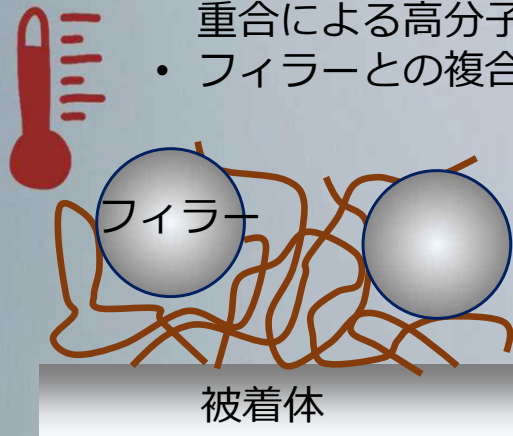
接着界面のマルチスケール解析



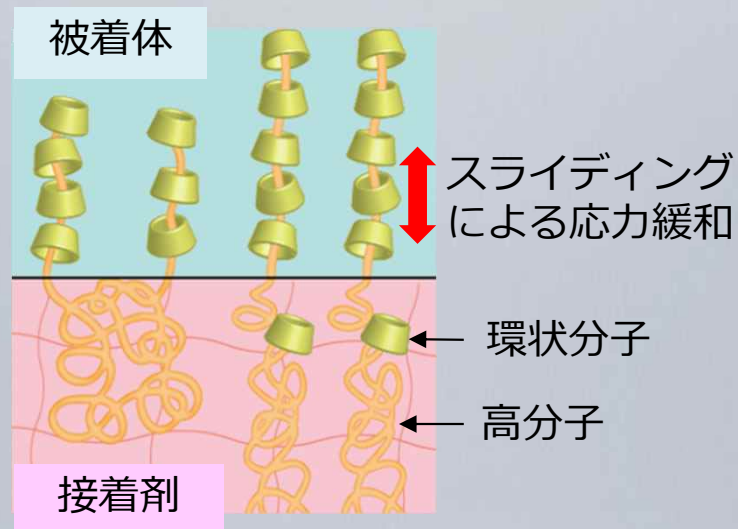
分子接着技術の開発

耐熱化

- 環状オリゴマーの界面重合による高分子量化
- フィラーとの複合化

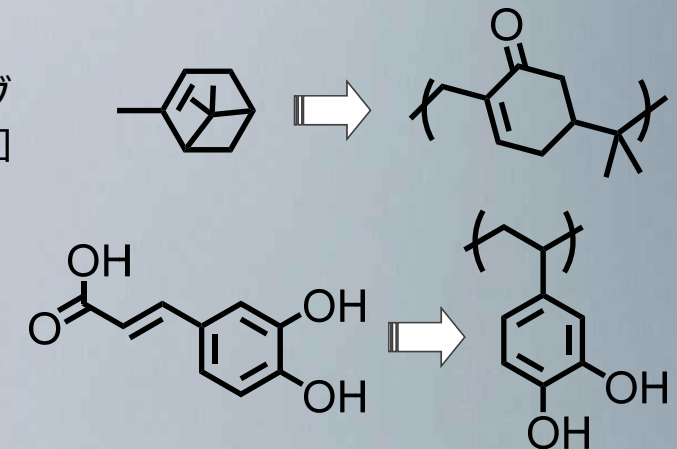


タフネス化



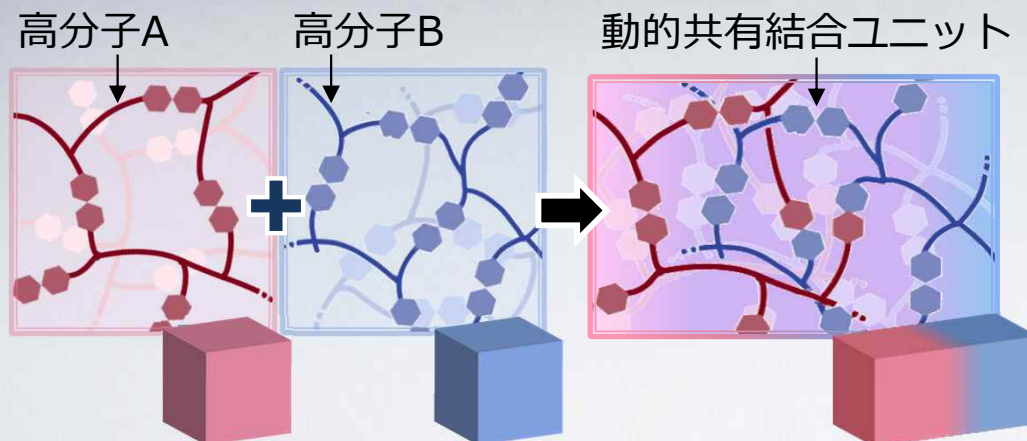
バイオベース化

植物由来物質 接着セグメント



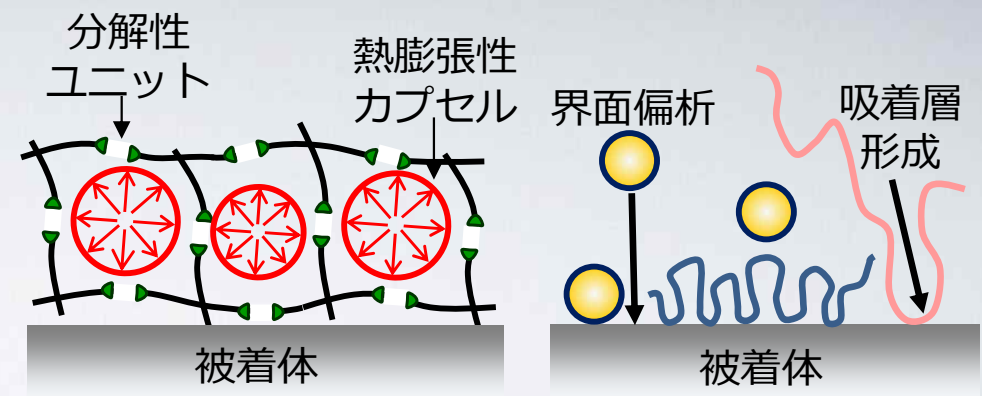
自己修復性

結合組換え反応による異種材料の接着



易解体性

- ネットワークの分解
- カプセルの熱膨張
- 分子吸着層の形成
- フィラーの界面偏析



アカデミア成果



5

- 特許 30 件（国際出願 9件）
+ 企業との共願 6件
- 論文 149 報（カバーイメージ 27件）
Nature, *Science*, *JACS*, *Angew. Chem. Int. Ed.*,
Science Adv., *ACS Appl. Mater. Interfaces*, *ACS Macro Lett.*, *Macromolecules*, *Polym. Chem.*,
Soft Matter, *ACS Appl. Polym. Mater.*, *Polym. J.*,
etc.
- 総説・解説記事 34 件、著書 19 件
- プレスリリース 11 件、新聞掲載 11件
- 招待講演 347件
- アウトリーチ活動 26件





科学技術振興機構 未来社会創造事業 大規模プロジェクト型
Society 5.0の実現をもたらす革新的接着技術の開発
研究期間(予定):2018年度~2027年度
より詳しくはホームページをご覧ください
<https://crea.kyushu-u.ac.jp/>



横澤 勉 グループ (神奈川大学)

縮合系高分子を用いる接着剤の耐熱化・高強度化

神奈川大学
教授 横澤 勉

重縮合によって得られる高分子は、強い分子間力に基づく強靱性や耐熱性があり、そして主鎖官能基を持つ特徴があります。さらに環状オリゴマーを一般的な重縮合から容易に合成できただけでなく、環状オリゴマーと高分子量ポリマーとの相互変換が触媒存在下で濃度を変えるだけでできます。これらの特徴を活かして、無機被着体と有機被着体のそれぞれの接着に対して異なるアプローチで取り組んでいます。無機被着体の接着に対しては、多点水素結合が可能な、耐熱性の高い芳香族ポリアミドを接着面で発生させるため、アミド窒素に酸で除去できる保護基を導入したポリアミドを熱酸発生剤存在下で加熱することを検討しています。一方、ポリエステルやポリエーテルスルホン等の有機被着体の接着に対しては、環状オリゴマーを接着界面で重合させるとともに、縮合系高分子の主鎖官能基と有機被着体との主鎖官能基との交換反応によって生成する共有結合による接着の高強度化を検討しています。

前者については、アルコキシベンジル基を導入した芳香族ポリアミドを合成し、熱酸発生剤と共に用いると、ガラスが接着できました(図3)。さらに効率よく脱保護が進行する保護基について検討しています。

図3 接着界面における脱保護による芳香族ポリアミドの発生と接着

図4 PDPとPET界面におけるエステル交換のSFGIによる分析

大塚 英幸 グループ (東京工業大学)

自己修復性の分子骨格に基づく革新的接着技術の開発

東京工業大学
教授 大塚 英幸

近年、組み換え可能な特殊な共有結合を架橋高分子に導入することで、それらが関与する高分子反応に基づく自己修復が実現されています。本グループでは、そのような自己修復性の分子骨格を利用して、革新的な接着技術の開発に取り組んでいます。具体的には、「自己修復性・分解性・再加加工性を有するエポキシ樹脂」と「異種材料の接着技術」という、接着技術における2つの挑戦的課題に対して、自己修復性の分子骨格を利用するアプローチを駆使して解決を目指しています。

エポキシ樹脂の課題に関しては、具体的な分子骨格として、これまでに本グループが自己修復性高分子材料に関する研究の過程で開発した、穏和な加熱により交換反応が進行するビス(ヒンダードアミノ)ジスルフィド骨格を導入することで、分解性、応力緩和特性、自己修復性などを有する高機能接着剤を開発できることが明らかとなりつつあります。

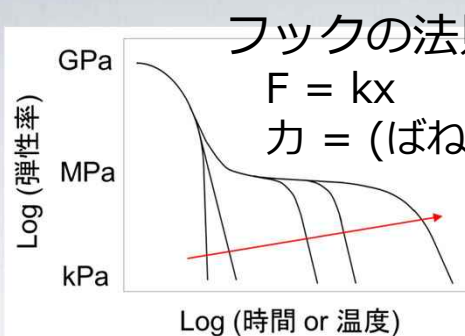
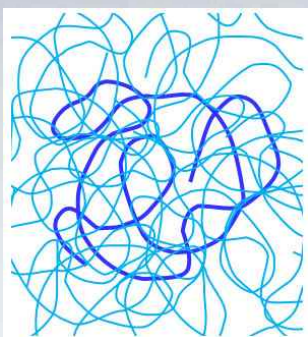
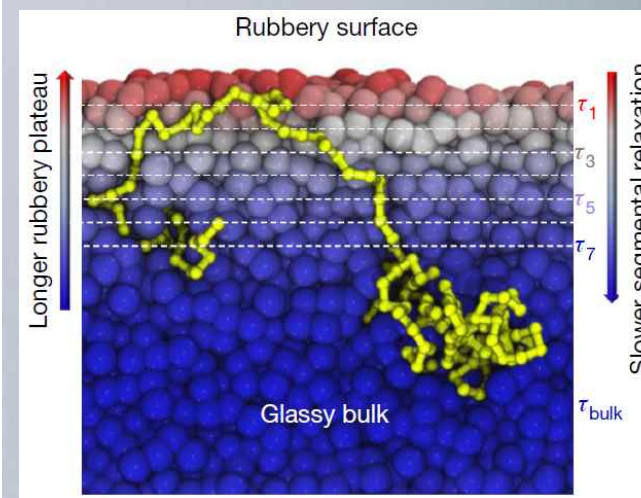
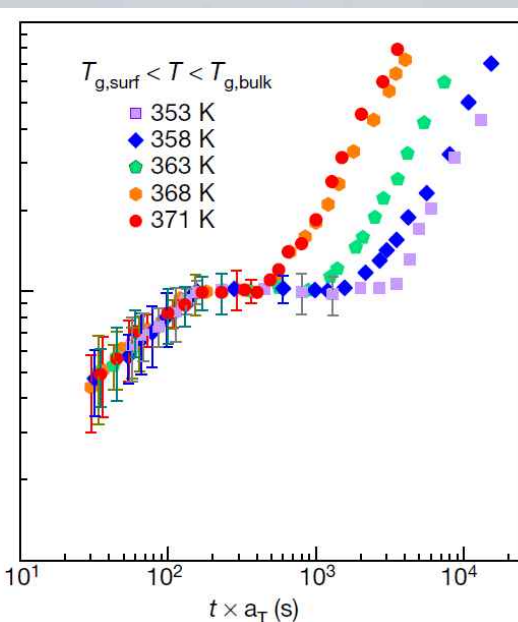
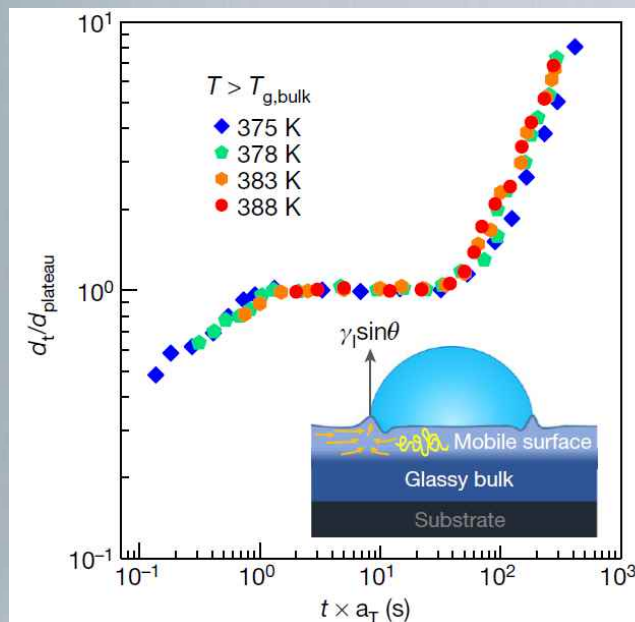
また、異種材料接着の課題に関しては、それぞれの材料中あるいは材料表面に、同じビス(ヒンダードアミノ)ジスルフィド骨格を導入することで、接着剤フリーで結合組み換え反応に基づく異種架橋高分子材料の接着・融合を実現しました。マルチスケール解析グループと連携して、接着現象のさらなる解明を進めています。

ビス(ヒンダードアミノ)ジスルフィド骨格の交換反応は水や酸素が存在する条件下でも問題なく進行する特殊なラジカル反応に基づいており、大気中かつさまざまな官能基の存在下で接着技術に展開できると期待されます(図5)。

図5 ビス(ヒンダードアミノ)ジスルフィド骨格の交換反応による異種架橋高分子の接着・融合

バルク(塊 or 内部)

表面

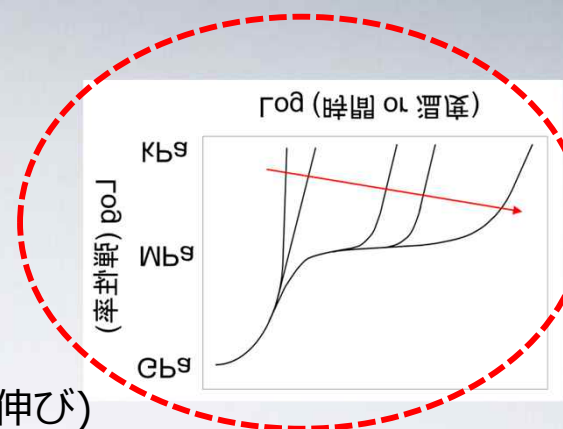


フックの法則

$$F = kx$$

力 = (ばね定数) × (伸び)

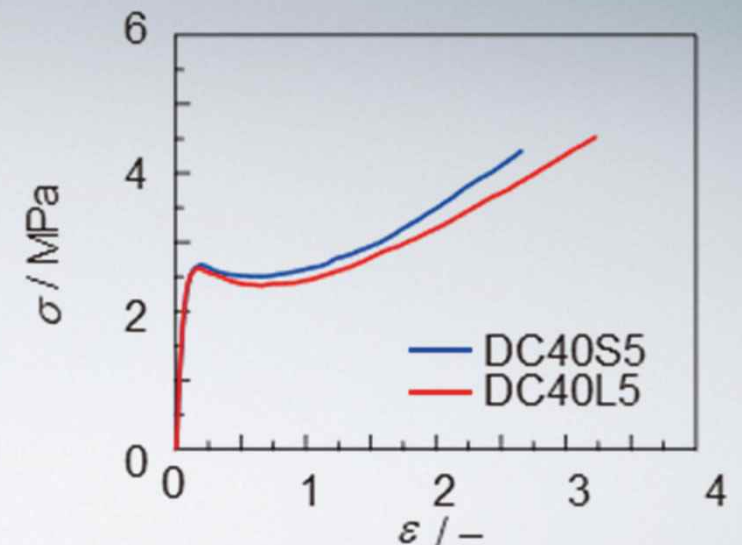
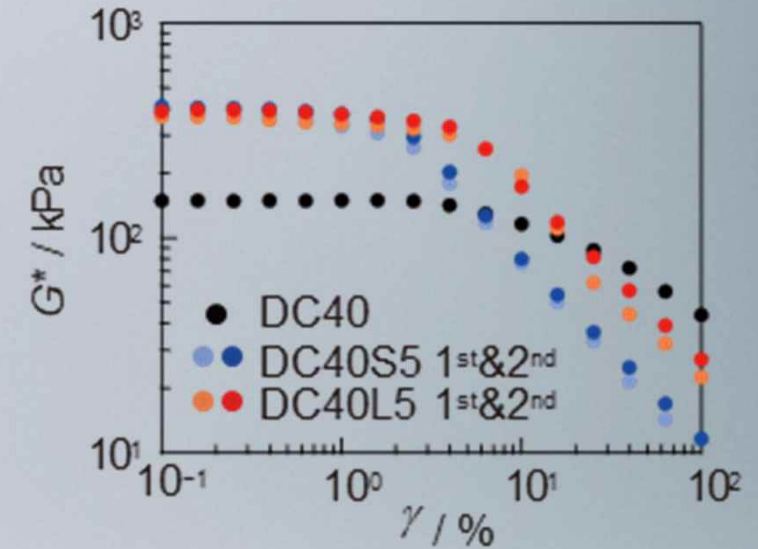
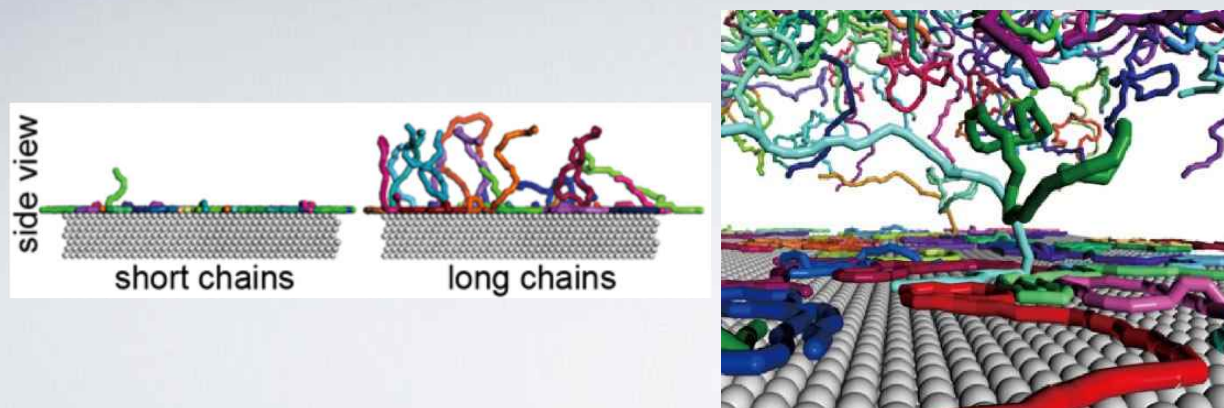
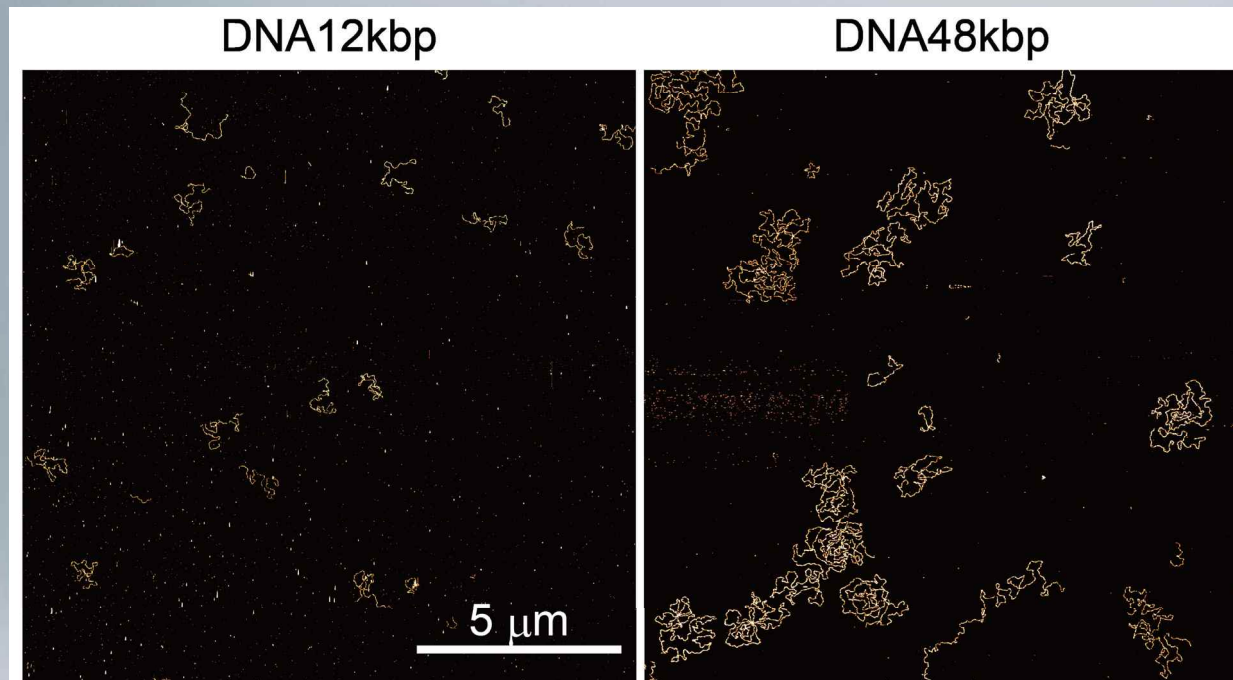
(ばね定数) $\sim 1 / (\text{伸び})$



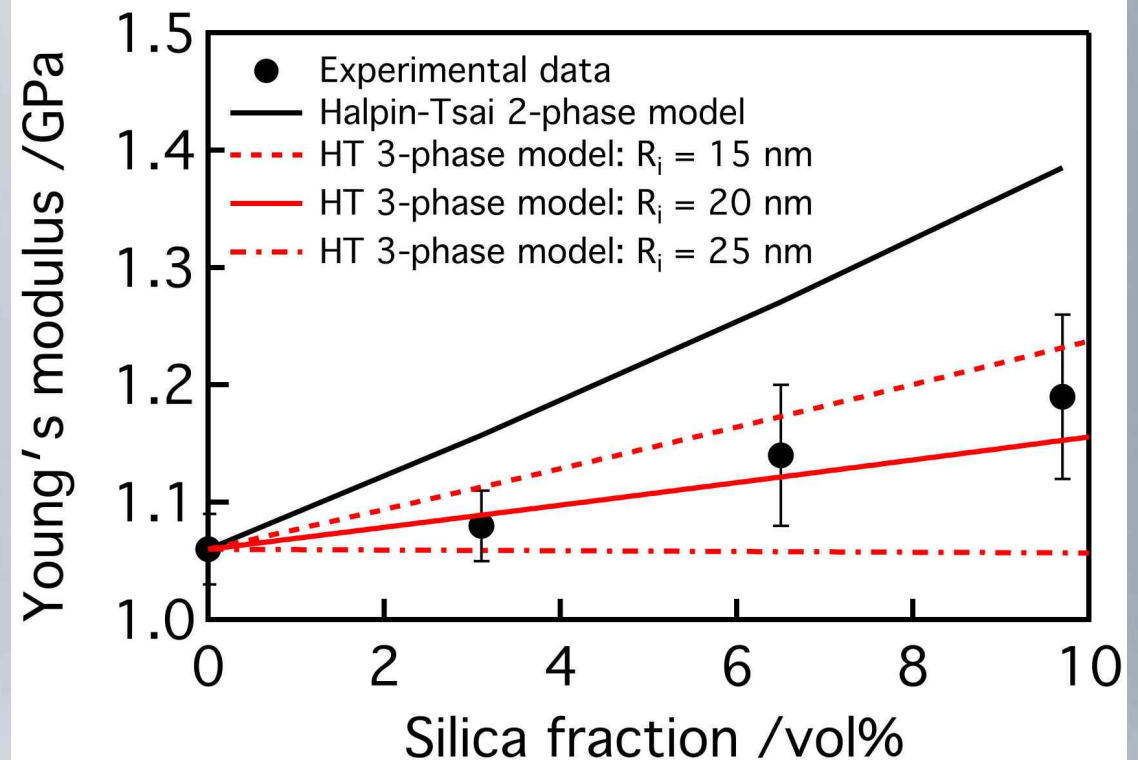
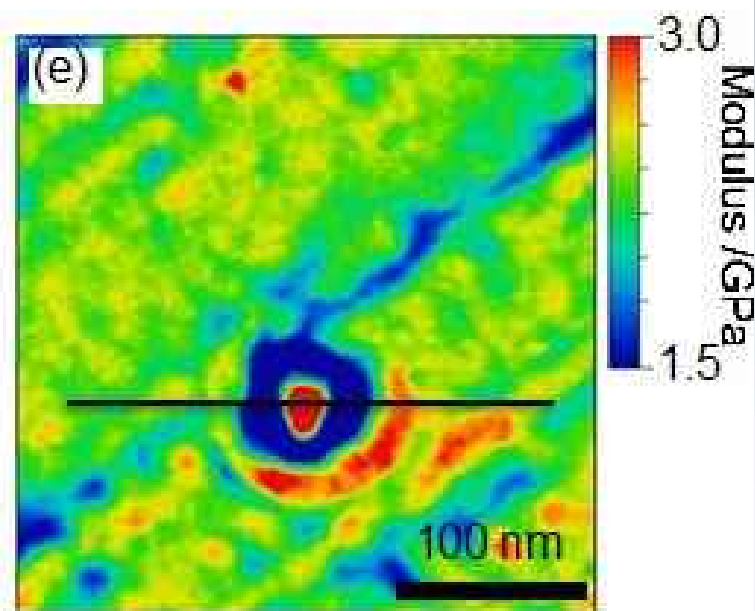
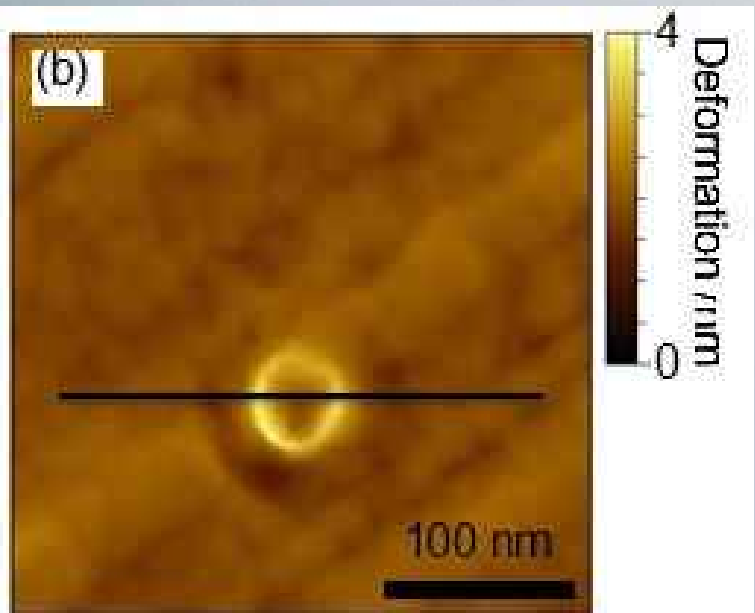
界面層形成

田中 敬二他、接着性基体、接合体、多層接合体および接着方法、

特許第7107615号、2022.7.19



Sci. Adv. **8(41)**, eabn6349 (2022).



$$E_c = \frac{1 + 2\eta_s \varphi_s + 2\eta_i \left[\left(\frac{R_s + R_i}{R_s} \right)^3 - 1 \right] \varphi_s}{1 - \eta_s \varphi_s - \eta_i \left[\left(\frac{R_s + R_i}{R_s} \right)^3 - 1 \right] \varphi_s} E_e$$

東工大
中嶋 健 先生

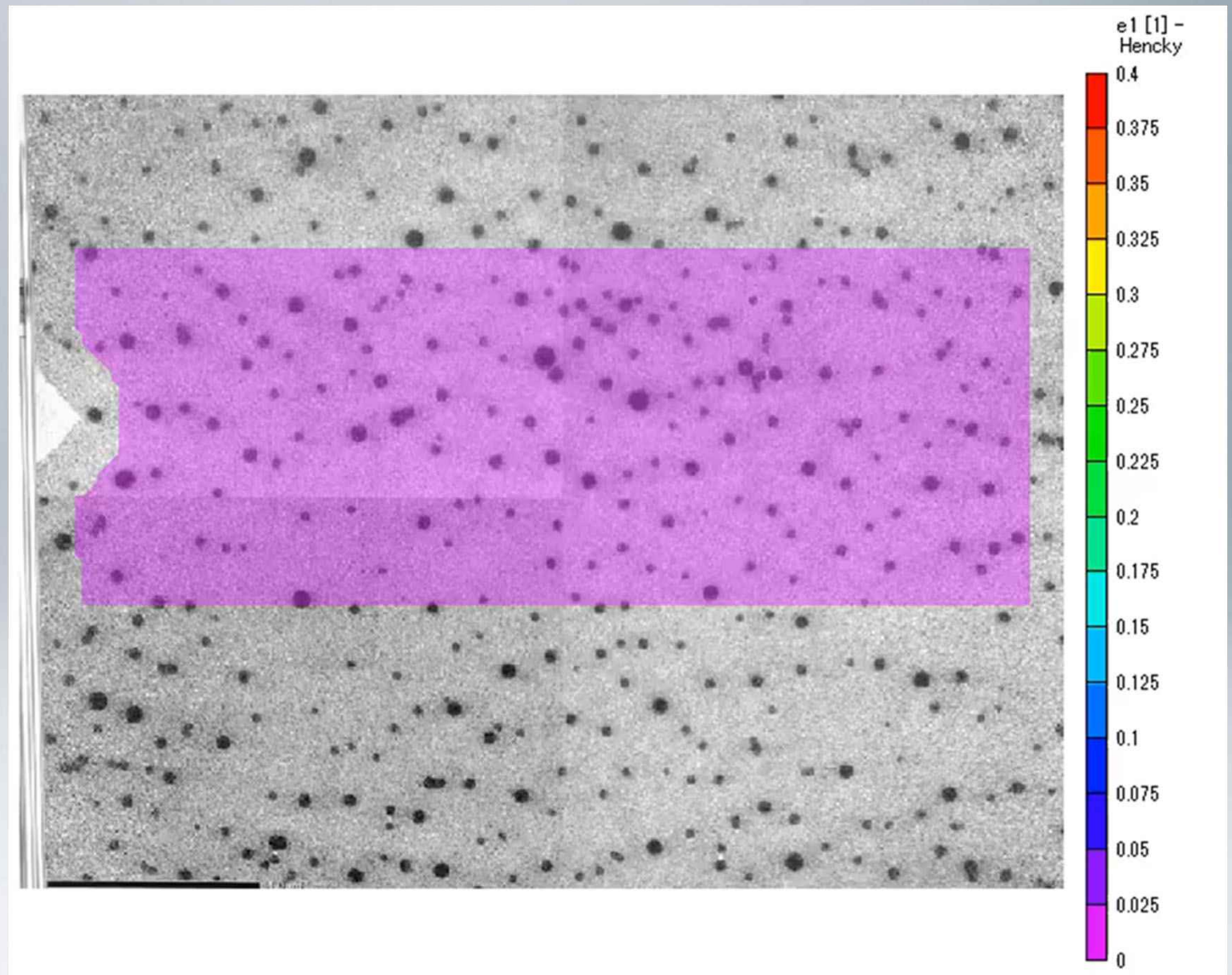


複合材料の解析II

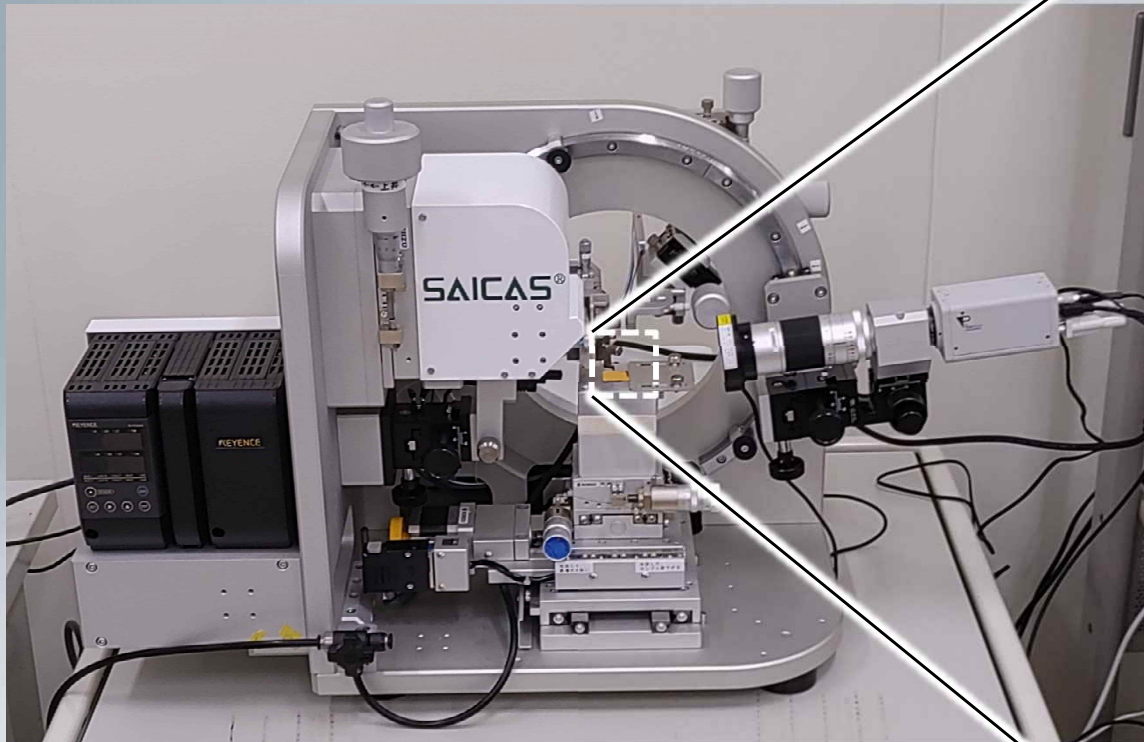


九州先端科学技術研究所
山田 淳 先生

メカニカルデザイン
小林 卓哉 先生



斜め切削装置（SAICAS）による 界面接着強度の評価法の確立



- 本研究課題内における適切な情報管理、成果のとりまとめ、知的財産の取扱いなどを規定する「共同知財協定」を2019年10月1日に制定。

第2ステージ以降に向けて、2022年4月1日付で改定して運用中。

⇒主な改定のポイントは、

- (i) 第2ステージ以降、実装連携機関とアカデミアおよび共同連携機関との連携強化に伴い創生が見込まれる知財に係る規定の見直し
- (ii) 情報管理の更なる適正化に向けた規定の整備

■ 共同知財協定（改定版）の締結;全機関

- ◇ 研究開発機関（アカデミア）：11機関
- ◇ 共同連携機関：14社
- ◇ 実装連携機関：7社