

高分子ブラシとブロック共重合体を利用した 分子面ファスナー

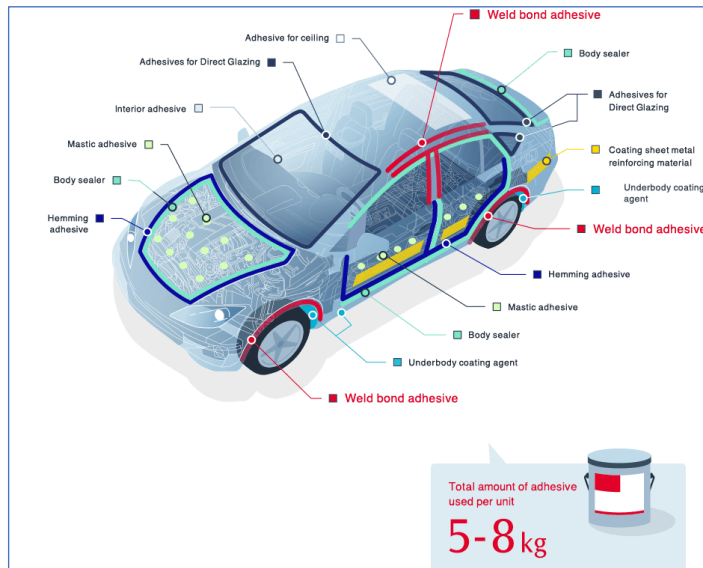
福井大学 学術研究院
工学系部門 繊維先端工学講座
講師 平田 豊章

2021年 9月 7日

従来技術とその問題点

粘・接着剤が用いられている分野

自動車・航空・宇宙関連



電子材料



- ・医療・包装
- ・住宅・道路
- ・家庭用 etc

<http://www.nikkeibp.co.jp/article/dho/20120307/301577/?SS=expand-dho&FD=46728356>

<https://www.sunstar.com/healthy-thinking/weld-bonding/>

粘・接着剤の長所

- ・異種素材の接合が可能(溶接は同種金属に限定)
- ・応力の均一分散(疲労強さの向上)

粘・接着剤の短所

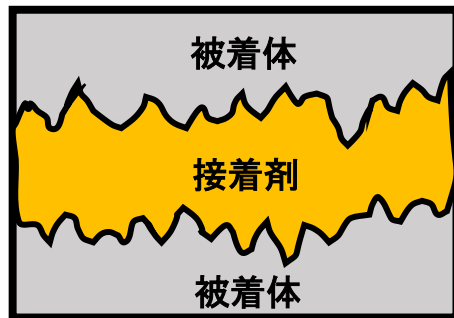
- ・接着後の**解体が困難**(材料破壊、糊残りをともなう)
- ・材料をナノスケールまで小さくなると**接着剤を均一に塗布することが困難**

易解体性接着の需要

新技術の特徴・従来技術との比較

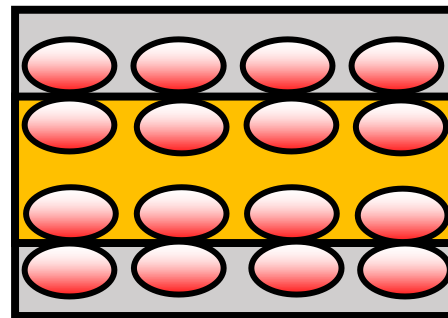
接着のメカニズム(界面相互作用)

機械的結合



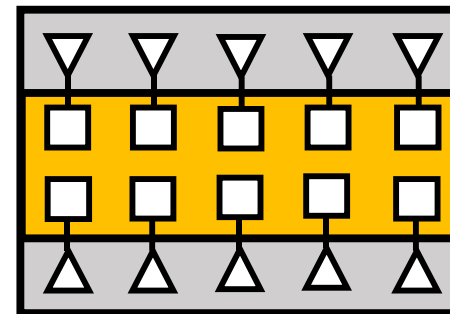
マイクロスケール

分子間力

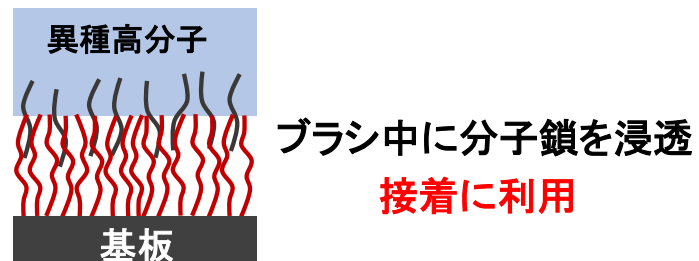
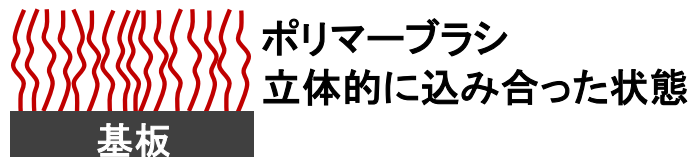


分子スケール(ナノスケール)

化学的結合



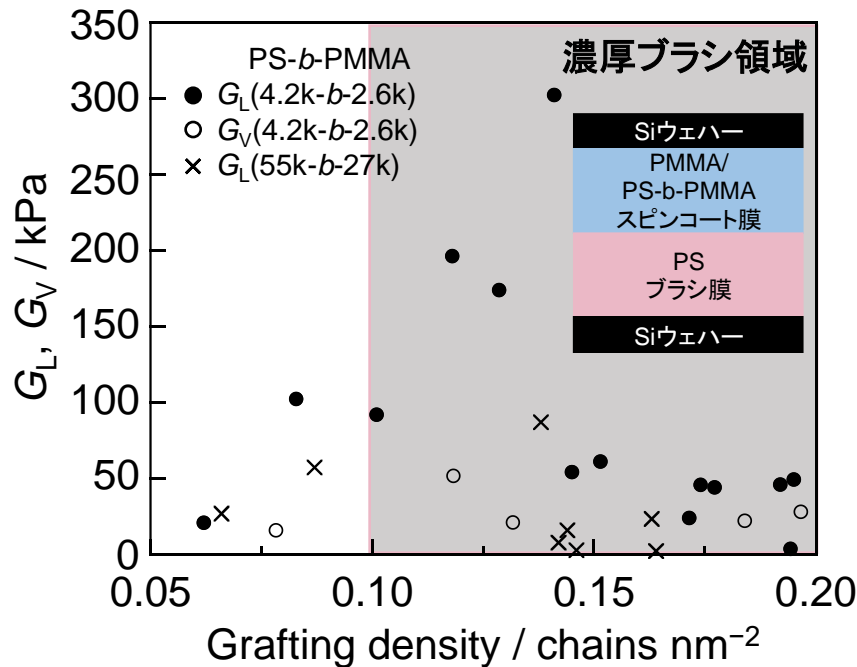
本技術



分子レベルでの機械的結合による接着

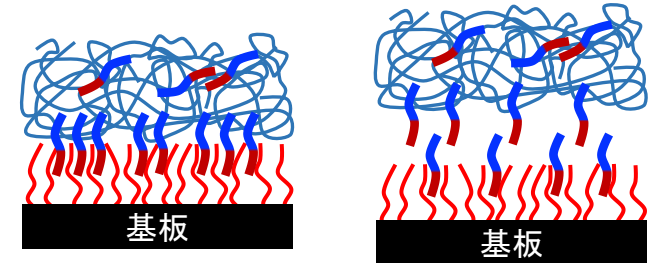
ポリマーブラシ膜を用いた接着

接着面に対し水平(L)および垂直(V)方向の接着力(G)のグラフト密度依存性



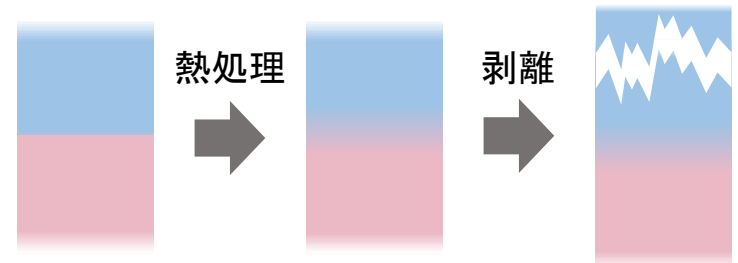
濃厚ブラシ領域において接着力が極大

ブラシ膜との接着



$G_L = 302 \text{ kPa}$, $G_V = 52 \text{ kPa}$
接着前後での粗さの変化なし
 $\text{RMS} \approx 1 \text{ nm}$

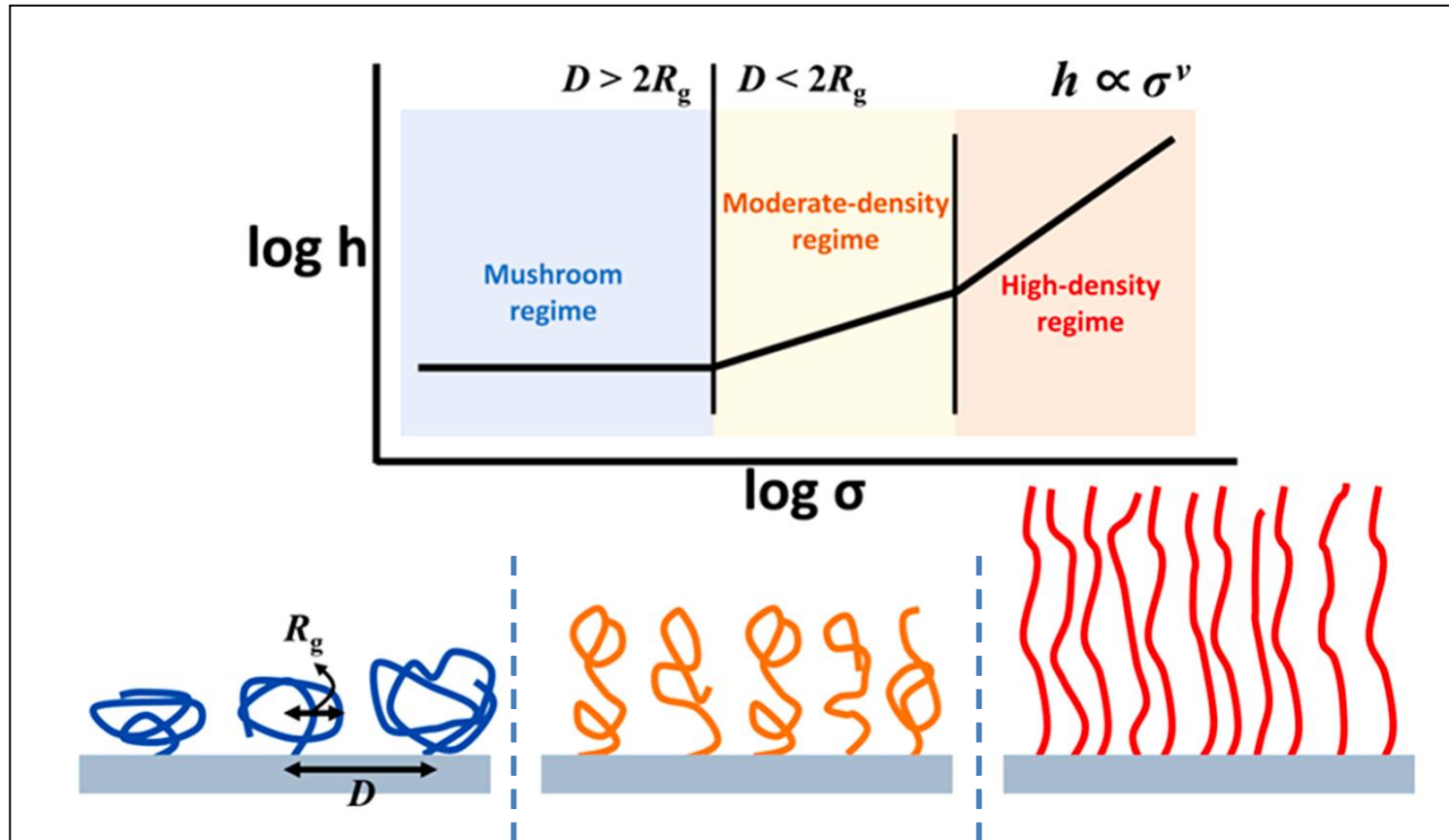
スピコート膜との接着



$G_L = 839 \text{ kPa}$, $G_V = 543 \text{ kPa}$
PMMA相が破壊

ブラシ膜を利用した接着の強度は、一般的な相溶化した高分子界面のそれと比較すると弱い接着を有する。界面を破壊することなく剥離、再接着が可能。

グラフト密度とグラフト分子鎖の形態の関係

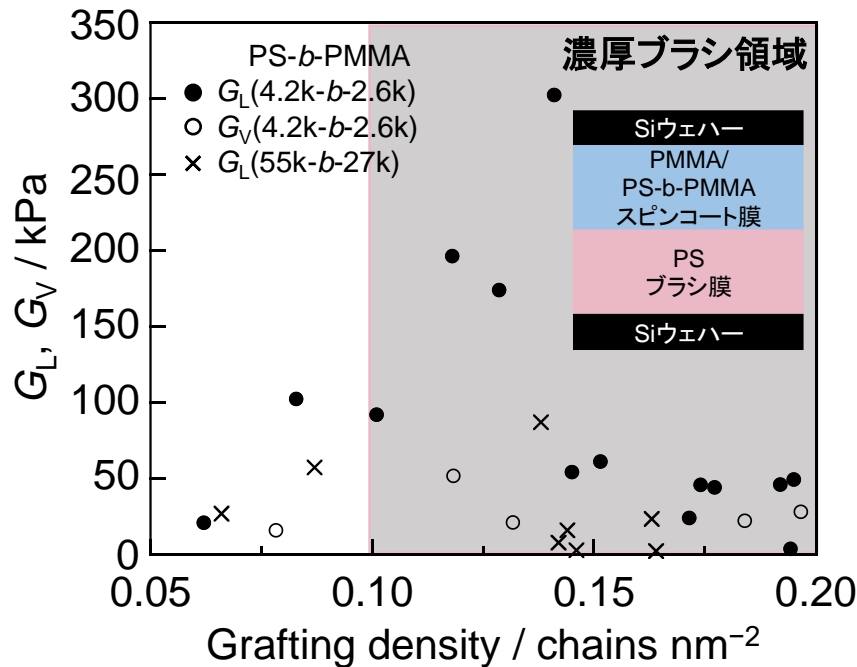


$$\sigma = 0.01 \text{ nm}^{-2}$$

$$\sigma = 0.1 \text{ nm}^{-2}$$

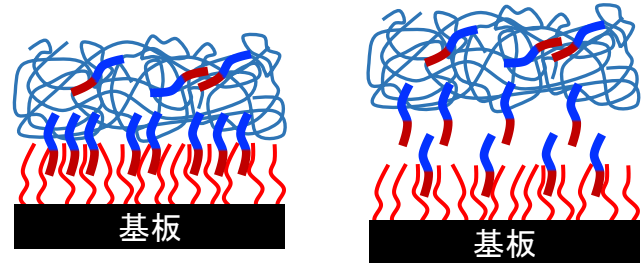
ポリマーブラシ膜を用いた接着

接着面に対し水平(L)および垂直(V)方向の接着力(G)のグラフト密度依存性



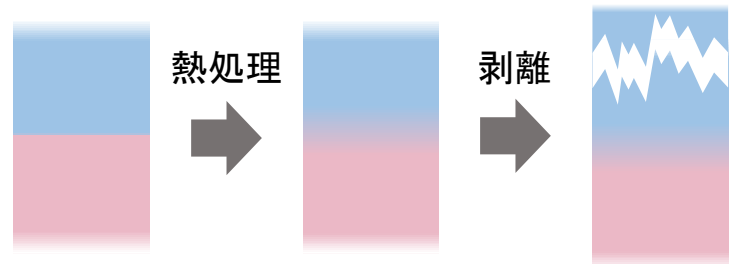
濃厚ブラシ領域において接着力が極大

ブラシ膜との接着



$G_L = 302 \text{ kPa}$, $G_V = 52 \text{ kPa}$
接着前後での粗さの変化なし
 $RMS \approx 1 \text{ nm}$

スピンコート膜との接着

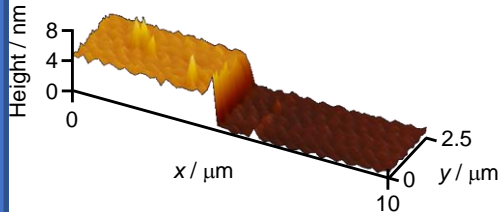


$G_L = 839 \text{ kPa}$, $G_V = 543 \text{ kPa}$
PMMA相が破壊

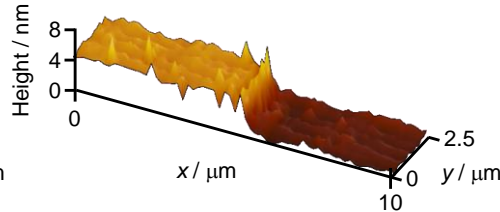
ブラシ膜を利用した接着の強度は、一般的な相溶化した高分子界面のそれと比較すると弱い接着を有する。界面を破壊することなく剥離、再接着が可能。

共重合体による接着機構

接着前

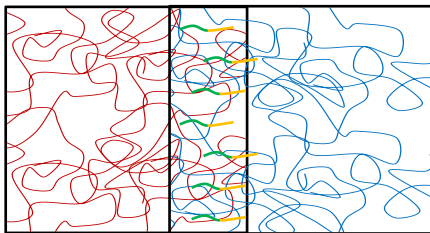


剥離後



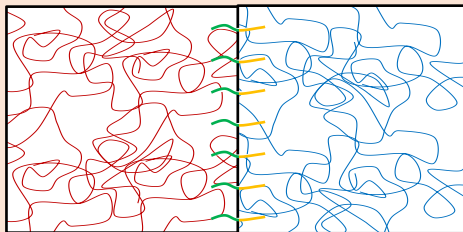
接着前→剥離後において、
PSグラフト膜の膜厚および
表面粗さはほぼ変化しなかった。

機構1



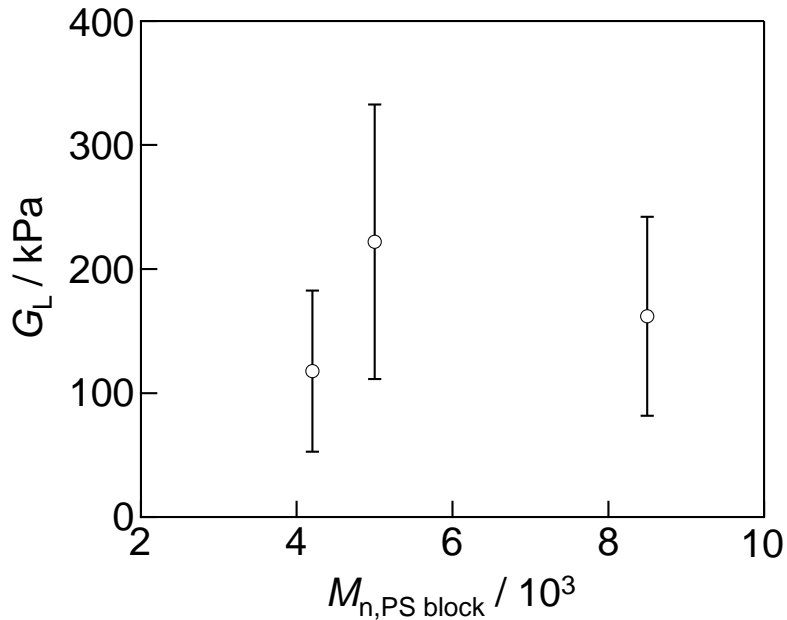
共重合体がPSおよびPMMA同士の絡み合いを
促し界面を接着。
→膜厚の変化、粗い剥離面

機構2



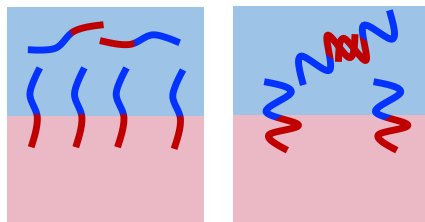
共重合体が杭として界面を接着
→膜厚および剥離面の粗さ変化なし

接着力(G_L)のPSブロック分子量依存性



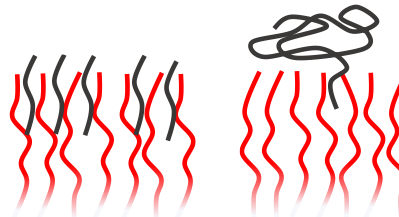
接着力はブロック共重合体の分子量に依存し、絡み合い点間分子量以下で極大を示した。

界面偏析



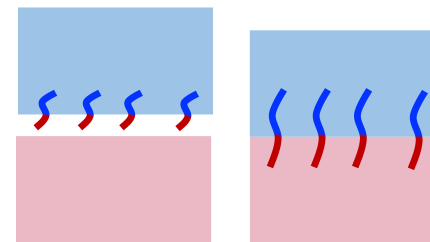
低分子量程有利

ブラシ層への浸透



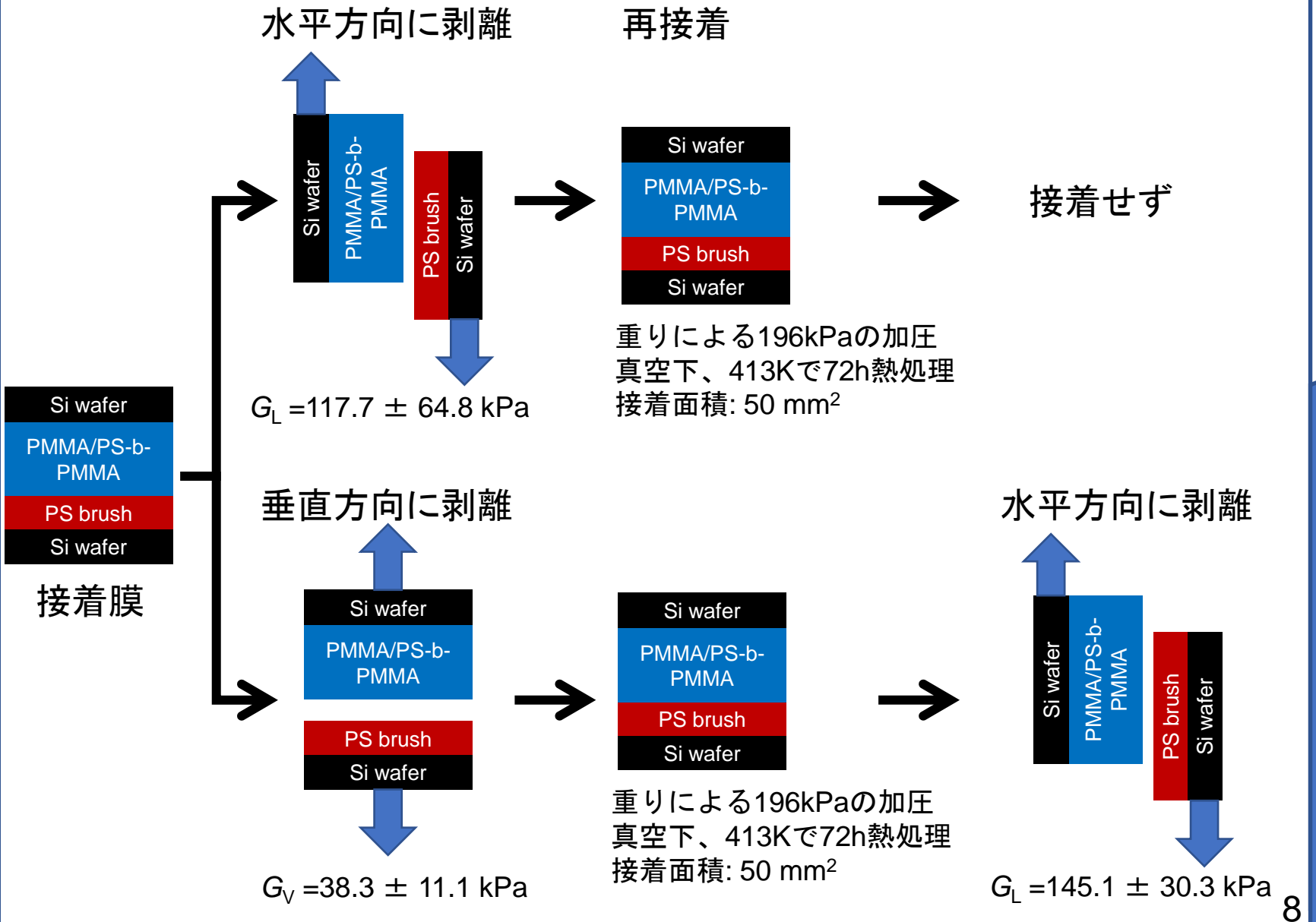
低分子量程有利

浸透分子鎖の保持



高分子量程有利

再接着性評価



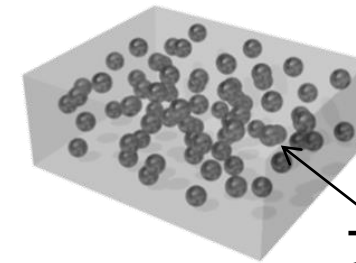
想定される用途

ナノスケールでの接着が求められる材料
(ナノデバイス, ナノ複合材料, ect)

無機固体と高分子の接着

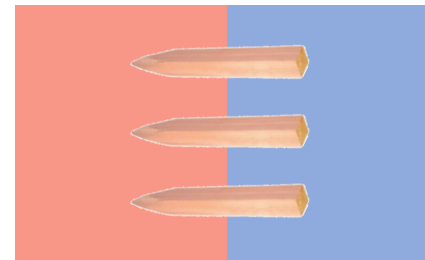
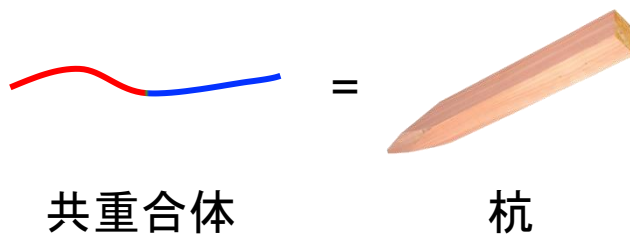


<http://www.nikkeibp.co.jp/article/dh/20120307/301577/?SS=expand-dho&FD=46728356>



フィラー

本技術は、共重合体が界面に偏析することで**分子レベルの杭**として界面を接着



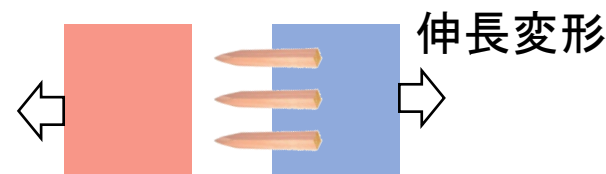
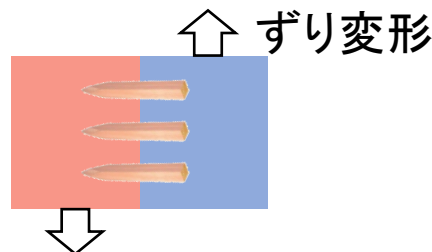
利点

低分子量成分: 少量添加で効果を発揮

薄膜: ブラシ層(~7 nm)、共重合体の濃縮層(~3 nm)と非常に薄く均一

異方性接着: 面ない方向の変形に強く、垂線方向に弱い異方性を持った接着

再接着性: 垂直方向に剥離後、熱のみで再接着



循環型社会と再接着性



環境省の推進する循環型社会

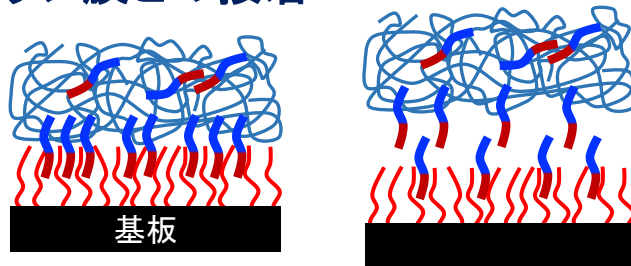
3R(Reduce, Reuse, Recycle)
+Repair, Rework

易解体性(廃棄物の減少、材料の再利用)
再接着性(修復、廃棄物の減少)

[https://www.fujitsu.com/jp/group/fri/col
umn/opinion/201002/2010-2-3.html](https://www.fujitsu.com/jp/group/fri/column/opinion/201002/2010-2-3.html)

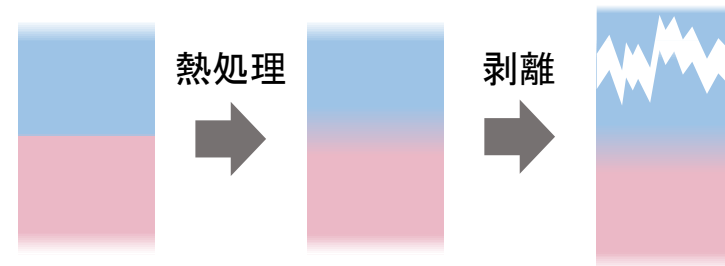
実用化に向けた課題

ブラシ膜との接着



$$G_L = 302 \text{ kPa}, G_V = 52 \text{ kPa}$$

スピコート膜との接着



$$G_L = 839 \text{ kPa}, G_V = 543 \text{ kPa}$$

接着としては、比較的弱い接着

本技術は、熱処理によって誘起された分子運動によって機械的接合を行うものである。例えば、分子内に光などで反応が進行する官能基を導入することで、多段階(1段階目熱処理、2段階目光反応)の接着をすることで、接着強度を向上させることが可能になると予想される。

企業への期待

本技術の接着強度については、合成の技術により調整可能と考えています。

研究室としての専門は、高分子の構造および物性であり、分子スケールでの構造や熱運動性がマクロスケールの熱物性や力学特性へ及ぼす影響などについて研究を行っています。

本技術はもとより、これらの内容に興味のある企業との共同研究を希望します。

本技術に関する知的財産権

発明の名称 : 接着構造体、接着構造体の
製造方法、および異方性界面
改質剤

出願番号 : 特願2020-022331

出願人 : 福井大学

発明者 : 平田豊章、久田研次

お問い合わせ先

福井大学 産学官連携本部
コーディネータ 小林 靖典

TEL 0776 - 27 - 8956

FAX 0776 - 27 - 8955

e-mail office@hisac.u-fukui.ac.jp