

異種材料接合のための 分子接合剤

岩手大学 工学部 理工学科 化学コース
准教授 村岡 宏樹

2026年3月3日

接合技術

接合技術

同種及び異種材料をつなぎ、一体化させる技術であり、ものづくりにおいて必要不可欠な要素技術

接着剤接合

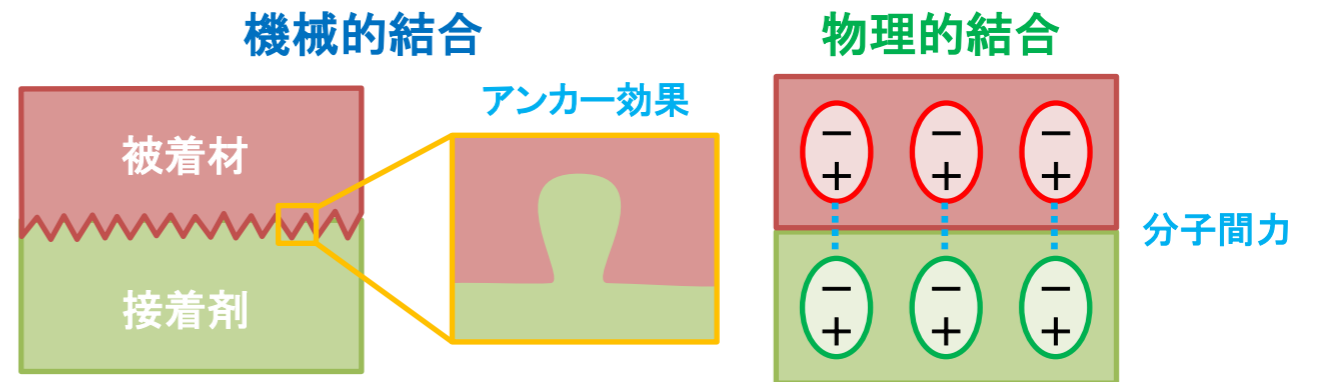
接着剤を媒介とし、化学的もしくは物理的な力またはその両者によって二つの面が結合した状態

機械的結合

アンカー効果(投錨効果)と呼ばれ、材料表面の孔や谷間に液状接着剤が入り込んで固まることによる接着

物理的相互作用(二次的結合力)

分子間(引)力であり、あらゆる分子の間の引き合う力(van der Waals力)をいい、接着剤の基本原理



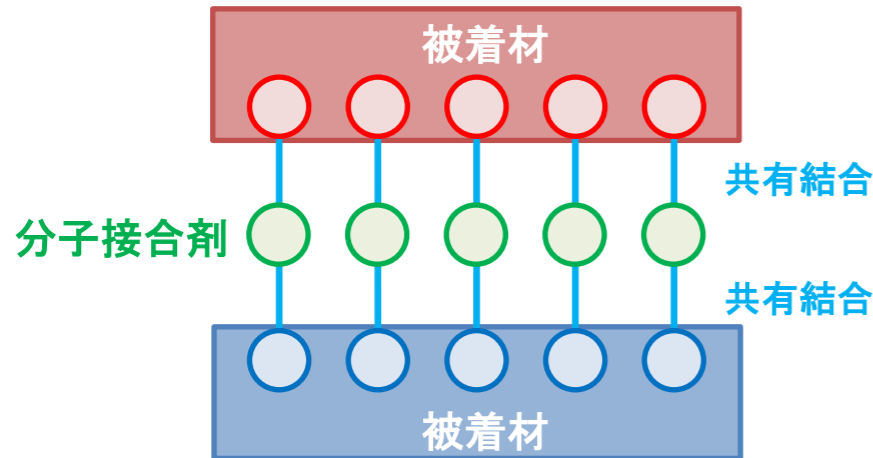
分子接合

分子接合

接着剤を使わず、ナノメートルサイズ分子(分子接合剤)を使って、異なる二つの被着材を**化学結合(共有結合)**を介して分子レベルで接合する方法

化学的相互作用(一次的結合力)

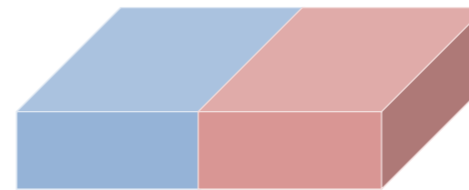
「共有結合」(原子同士が互いに電子を共有して生じる化学結合)をいい、最も強い接着力を発揮する



結合の強さ

共有結合(強い結合力) > **分子間力**(弱い結合力)

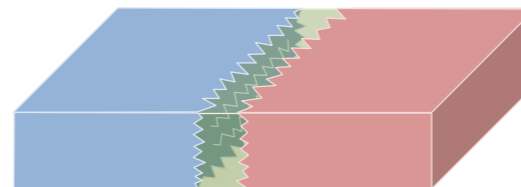
分子接合



原理:**共有結合**

平滑な表面同士の接合が可能

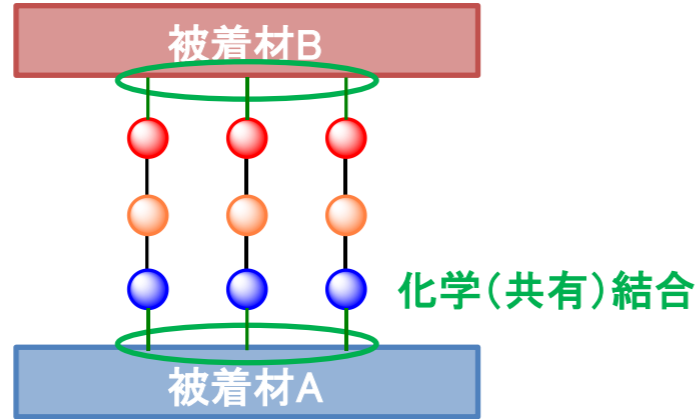
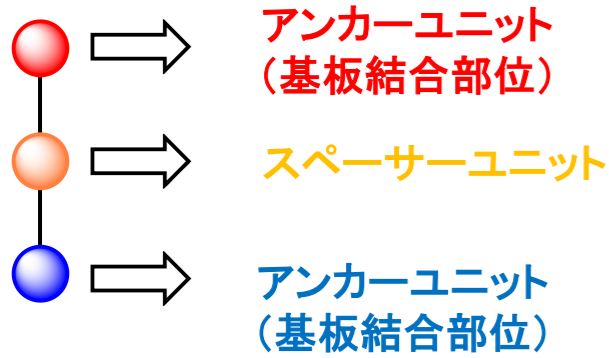
接着剤接合



原理:**アンカー効果・分子間力**

表面積(表面に凹凸)が必要なため、平滑な表面同士の接合には不向き

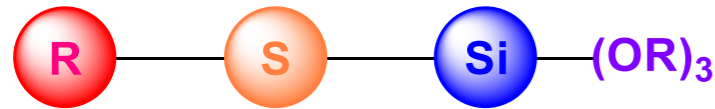
分子接合剤



被着材Aと化学反応する官能基と被着材Bと化学的に反応する官能基から構成される二官能性化合物

シランカップリング剤

スペーサー(架橋基)
アルキル、芳香環 など

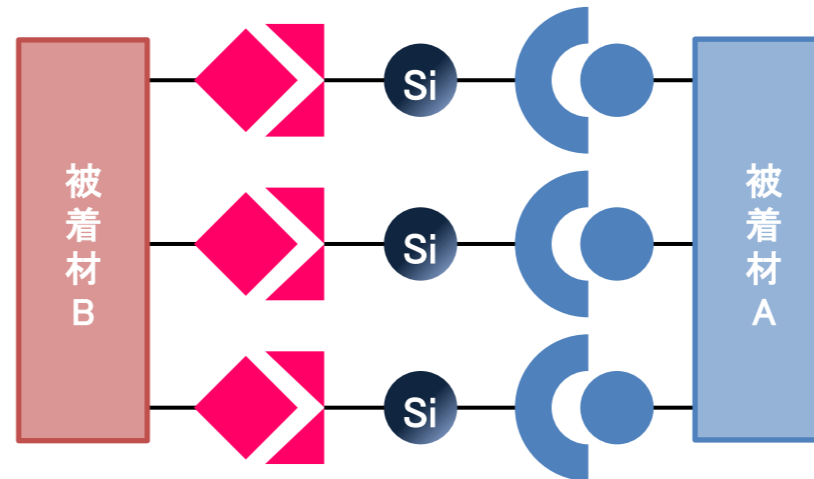


反応性官能基
アミノ、エポキシ、メタクリル
ビニル、メルカプト など

シランカップリング基
メトキシ、エトキシ など

一分子中に有機物、無機物、金属との反応が期待できる**反応性官能基「Y」**と**シランカップリング基「SiOR」**の両者を併せ持つ有機ケイ素化合物

シランカップリング剤による接合イメージ



基板表面と分子は化学結合で結ばれ、接合強度が高い

シランカップリング基が加水分解と縮合反応を介して被着材Aと共有結合を形成

反応性官能基が化学反応を介して被着材Bと共有結合を形成

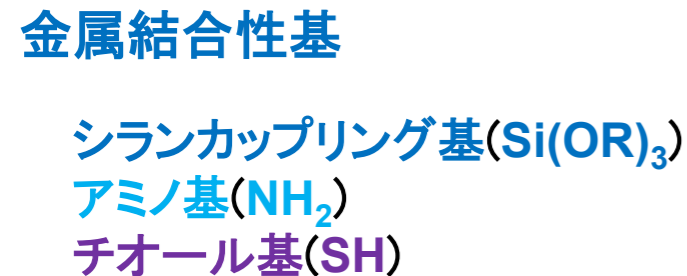
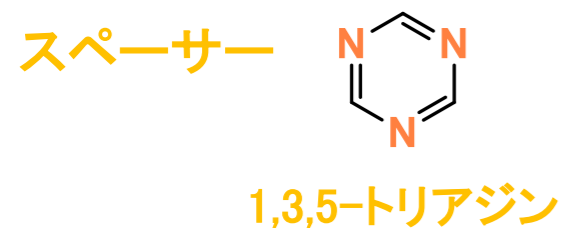
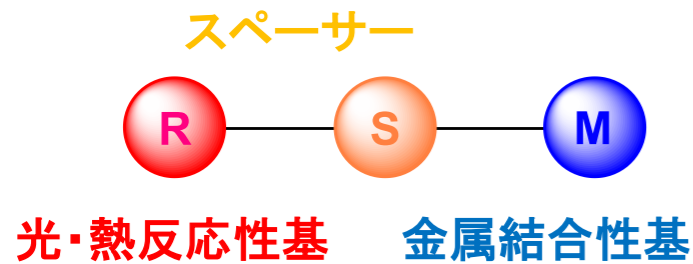
分子接合剤が仲介役となって二種材料の強固な接合が可能となる

次世代分子接合剤の開発

i-SB法(プロセス) i: Iwate, Innovation S: Strong, Simple, Superior, Surface B: Bonding

岩手大学発の分子接合剤を用いる異種材料の接合プロセスの総称

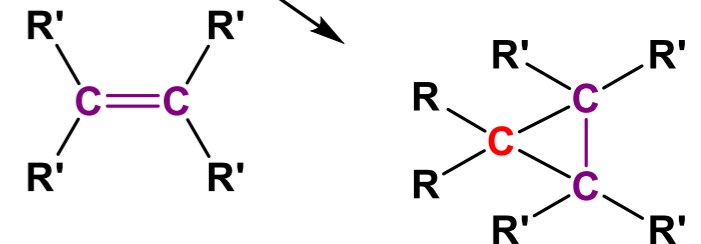
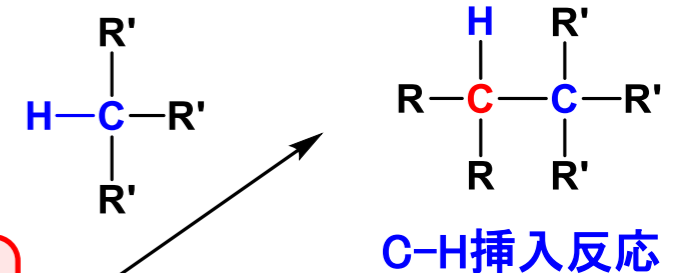
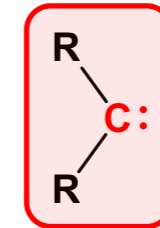
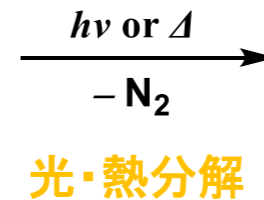
光・熱反応性分子接合剤の設計



光・熱反応性基



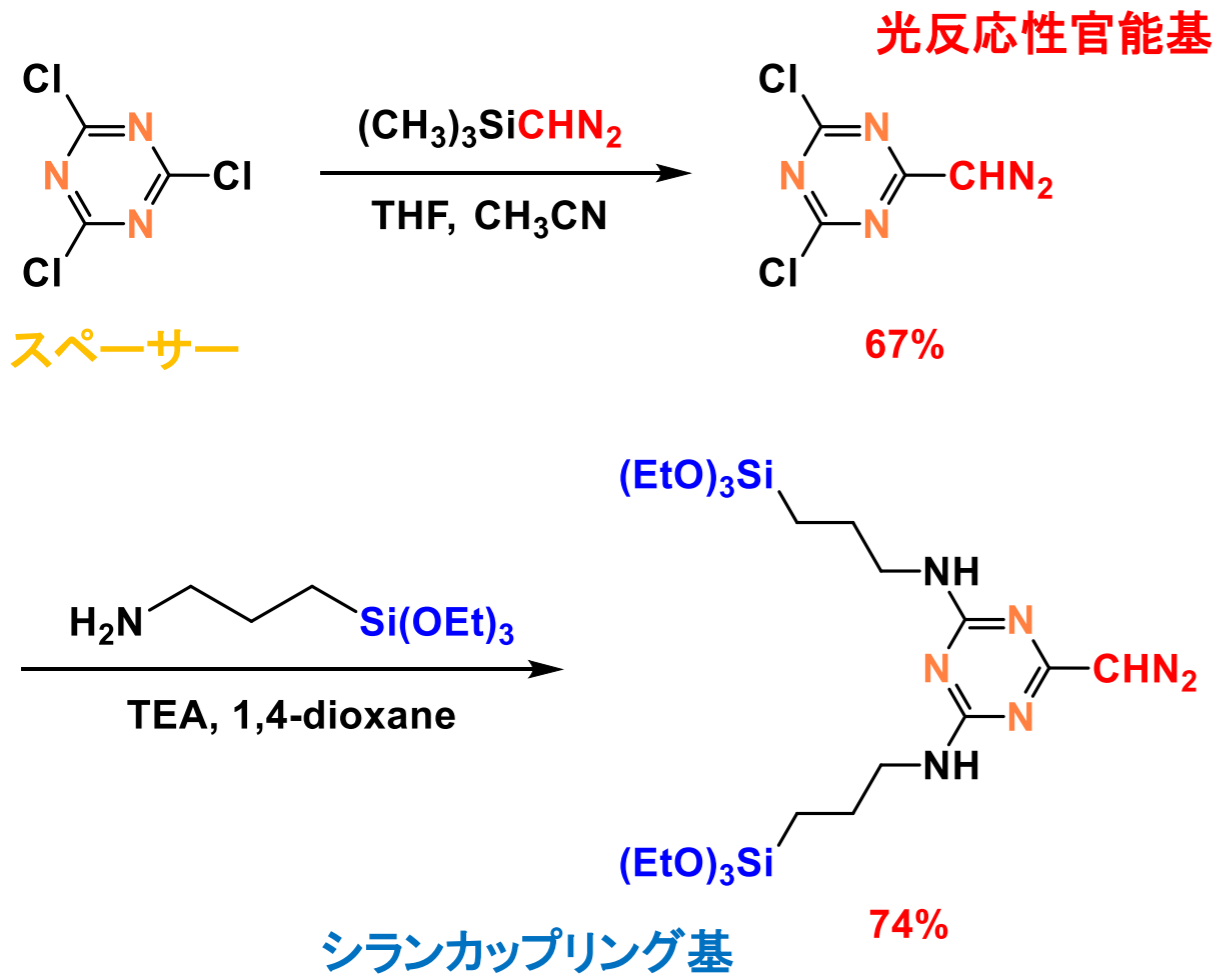
高反応性カルベン



カルベンは極めて反応性が高く、炭素-水素結合への挿入反応、炭素-炭素不飽和結合への付加反応によってC-C共有結合を形成する

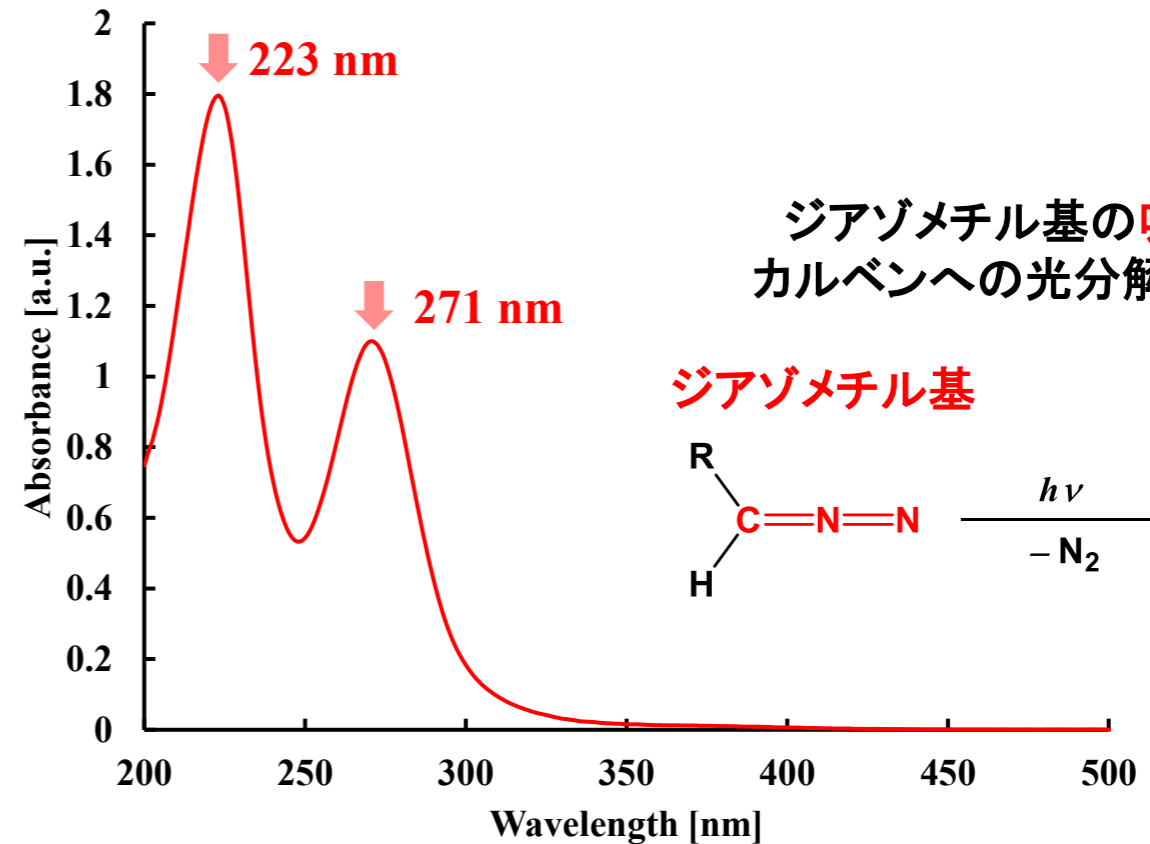
光反応性分子接合剤①

合成



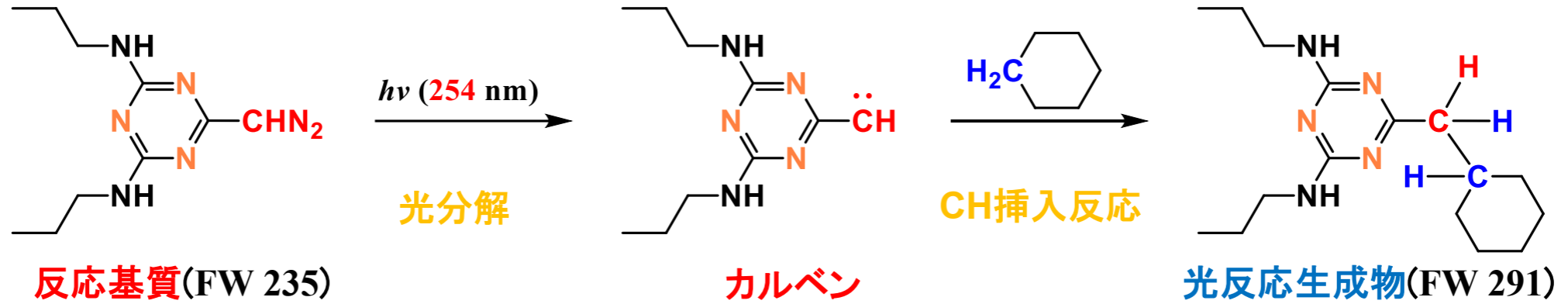
光吸収特性

50 μmol/L エタノール溶液の吸収スペクトル

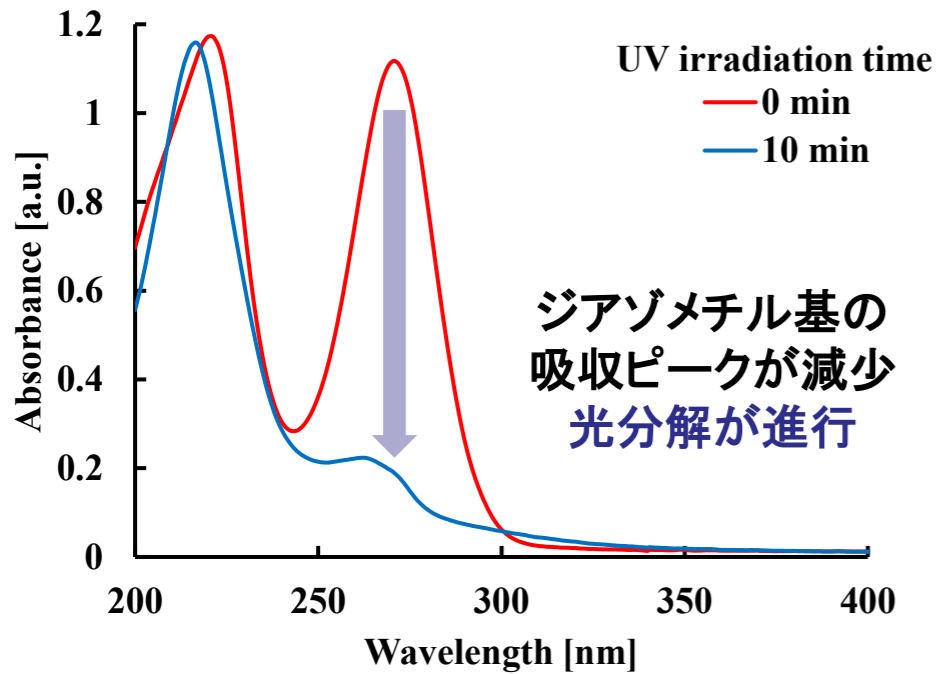


光反応性分子接合剤①

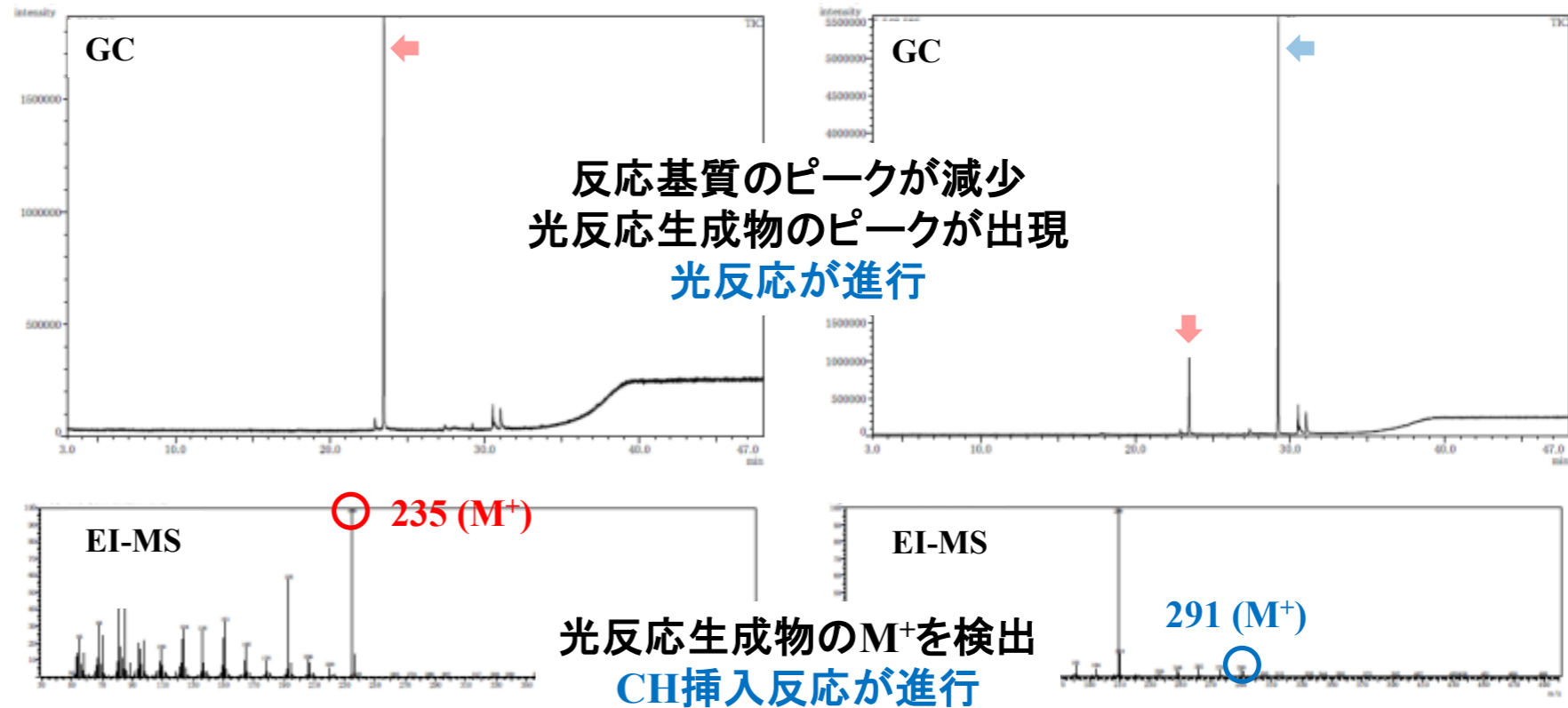
光反応性評価



UV照射による吸収スペクトル変化
50 $\mu\text{mol/L}$ シクロヘキサン溶液
低圧水銀ランプ(主波長254 nm)使用



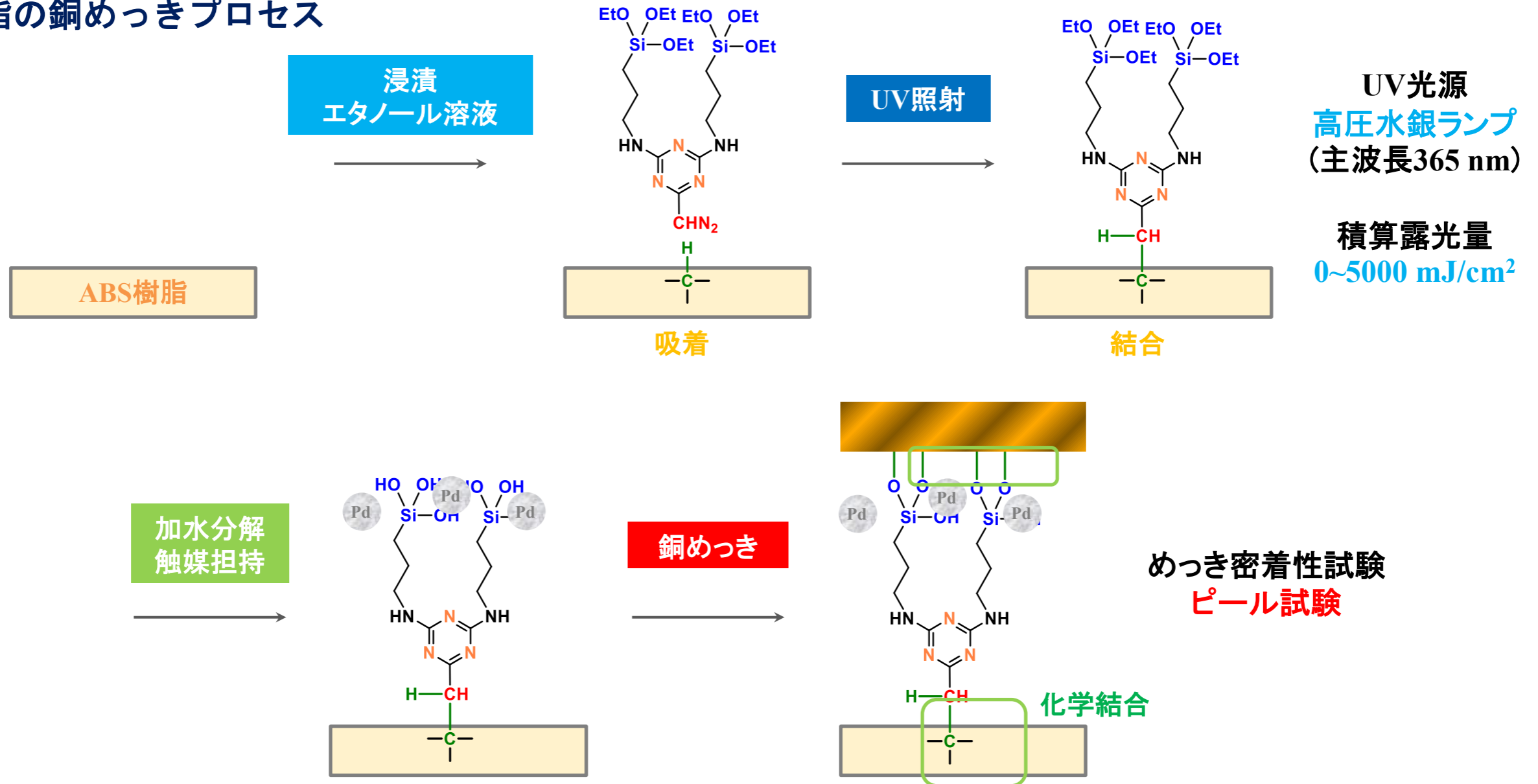
UV照射前(左)とUV照射後(右)のシクロヘキサン溶液のGC-MSスペクトル



光反応性分子接合剤①

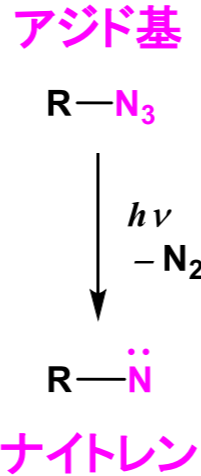
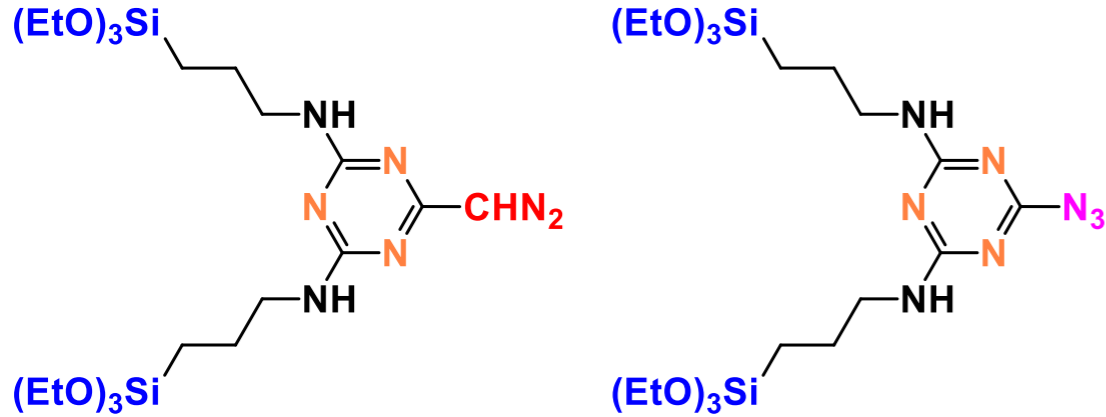
めっき実証評価

ABS樹脂の銅めっきプロセス



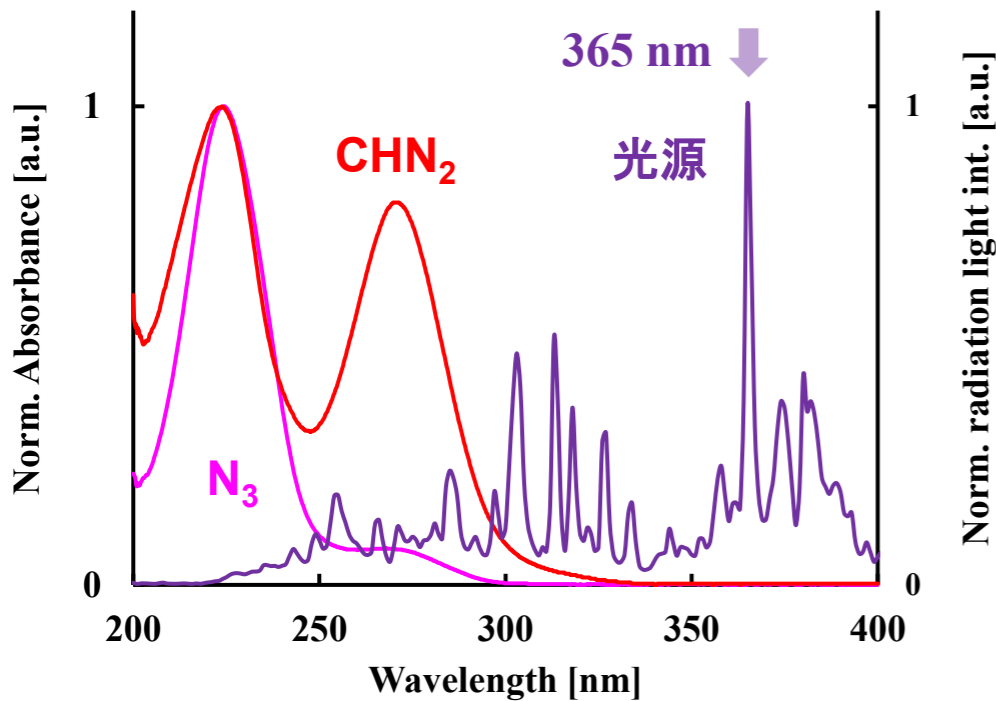
光反応性分子接合剤①

光反応性分子接合剤

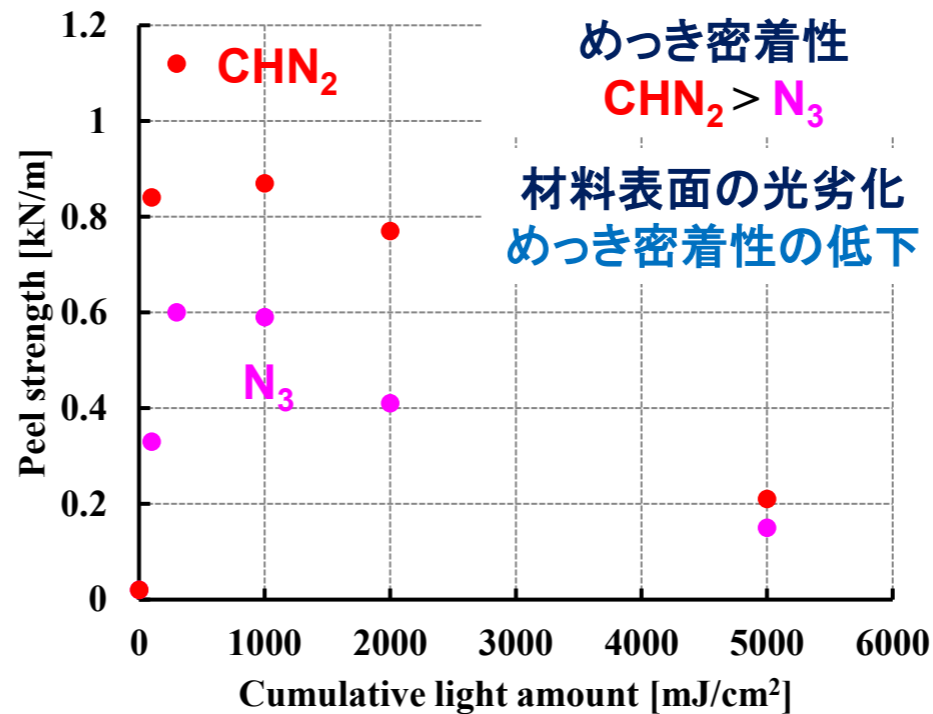


ナイトレン発生型よりもカルベン発生型の方がめっき密着性が向上(光反応で形成するC-N結合よりもC-C結合がより強固であることに起因)

光反応性分子接合剤の光吸収スペクトル
光反応光源(高圧水銀ランプ)の放射スペクトル



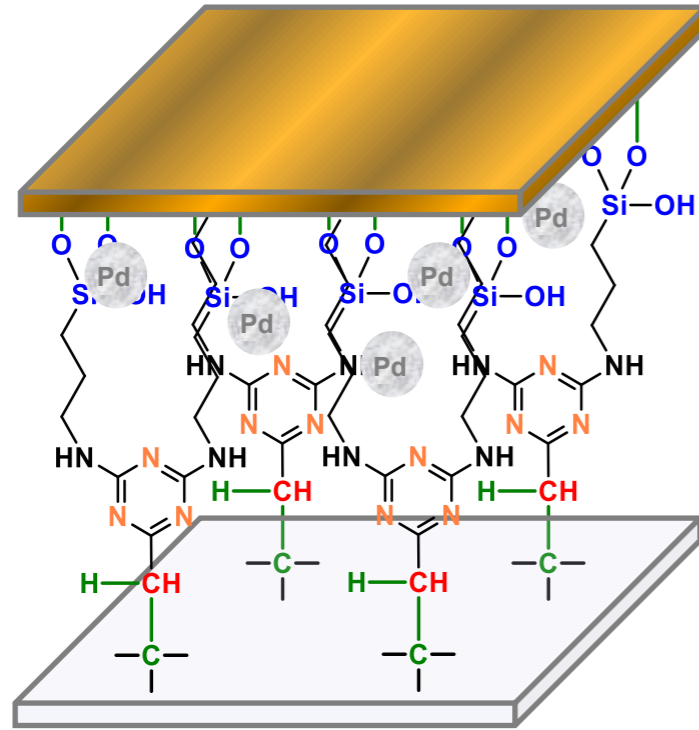
積算露光量とピール強度の関係



積算露光量 [mJ/cm ²]	ピール強度 [kN/m]	
	CHN ₂	N ₃
0	0.02	0.02
100	0.84	0.33
300	1.12	0.60
1,000	0.87	0.59
2,000	0.77	0.41
5,000	0.21	0.15

光反応性分子接合剤①

異なる樹脂の銅めっき



樹脂	分子接合剤処理	ピール強度 [kN/m]
PI	NO	0.0
	YES	0.82
PP	NO	0.0
	YES	0.86
EP	NO	0.0
	YES	0.81
PA66	NO	0.0
	YES	0.80

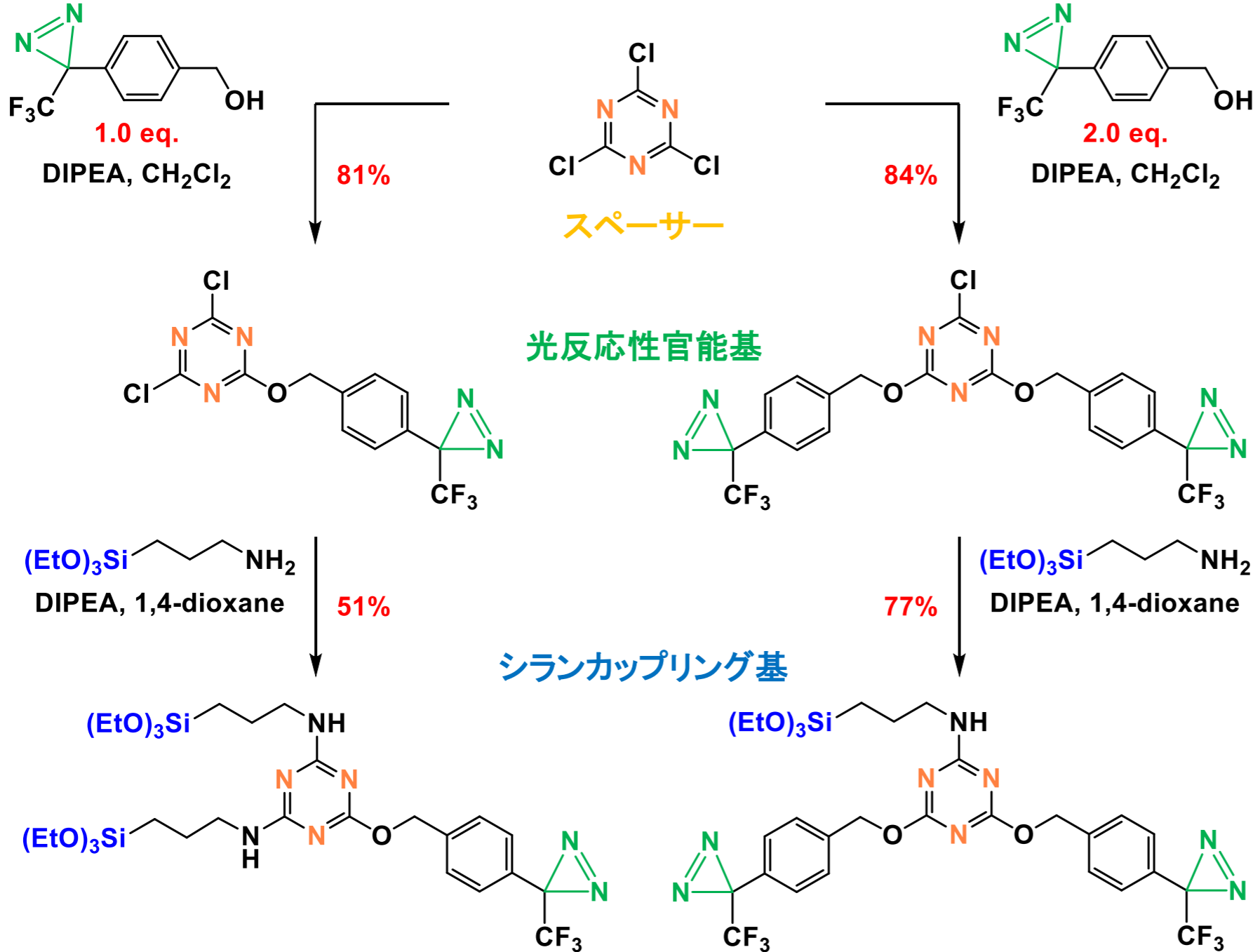
PI: ポリイミド樹脂, PP: ポリプロピレン樹脂, EP: エポキシ樹脂,
PA66: ポリアミド66樹脂

ジアゾメチル基を有するシランカップリング剤が光反応性分子接合剤として樹脂めっきに適応可能であることを実証

- ・樹脂基板の前処理(エッチング、コロナ放電など)が不要
- ・反応性の低い炭化水素系樹脂(PPなど)のめっきが可能(カルベン反応を利用)
- ・高い密着強度(>0.5 kN/m)を実現(分子接合剤が樹脂とめっき間の結合層として機能)
- ・光反応に短波長紫外光(UVC)が必要(樹脂の光劣化の要因)

光反応性分子接合剤②

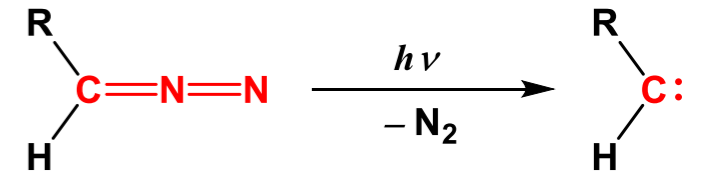
合成



ジアゾメチル基

カルベン

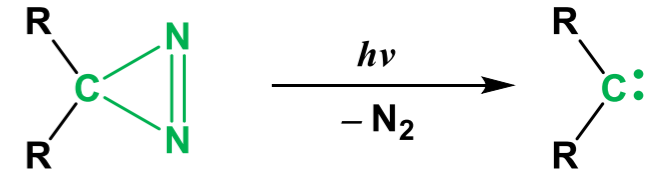
254 nmの紫外光



ジアジリン基

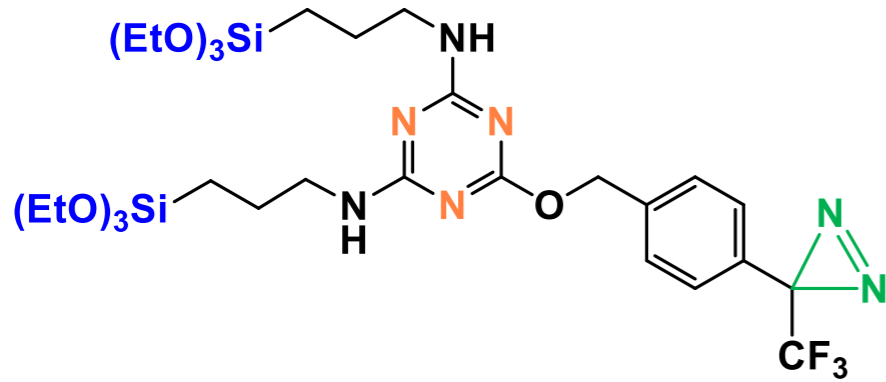
カルベン

365 nmの紫外光

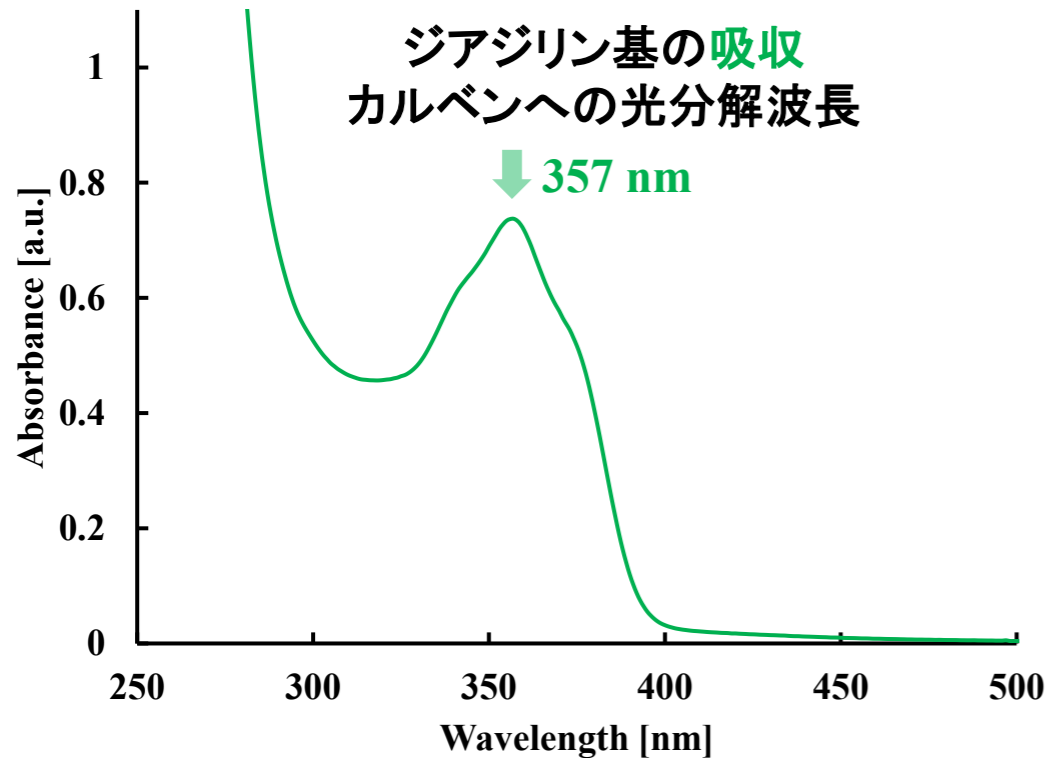


光反応性分子接合剤②

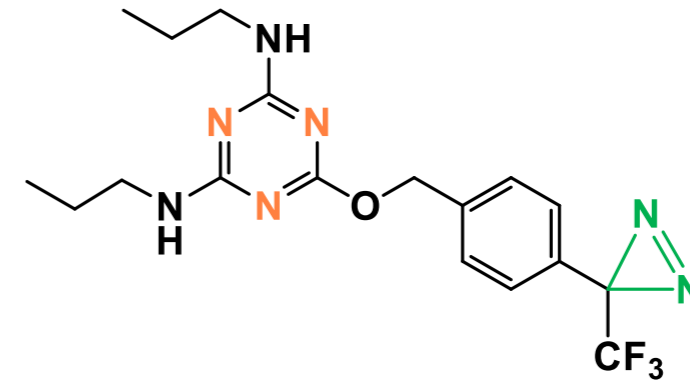
光吸収特性



2 mol/L エタノール溶液の吸収スペクトル

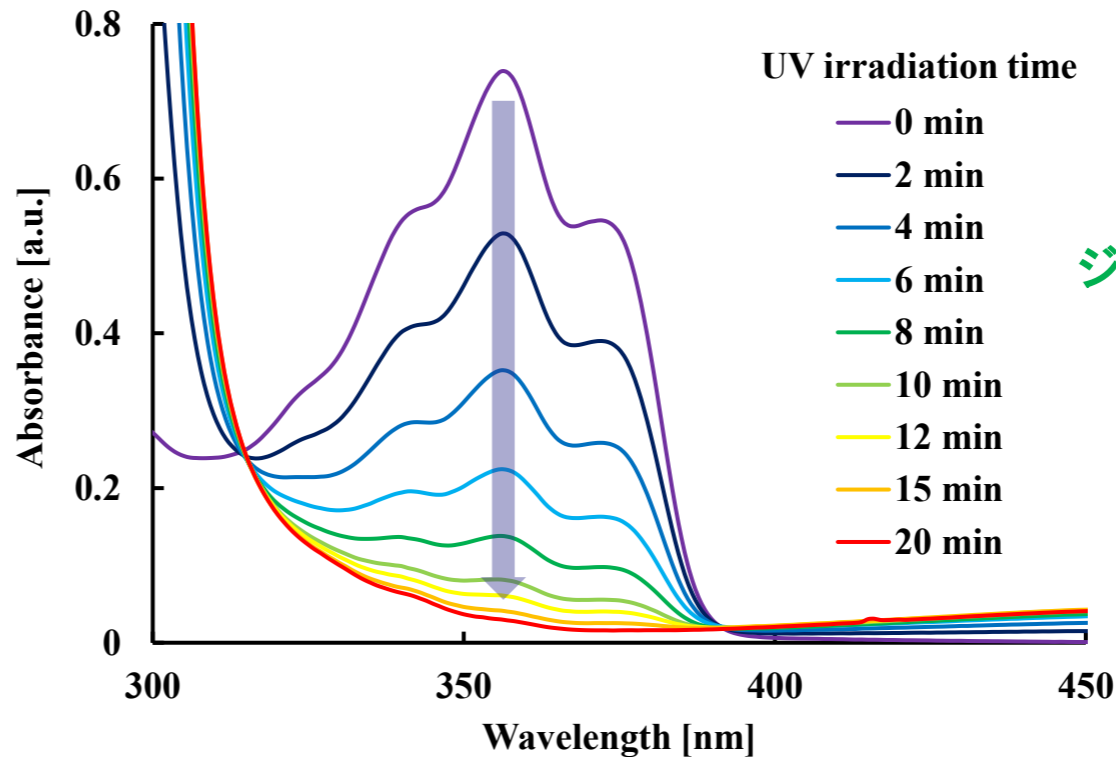


光応答性調査

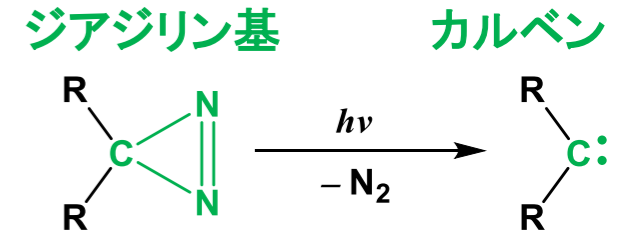


UV照射による吸収スペクトル変化

2 mol/L シクロヘキサン溶液
高圧水銀ランプ(主波長365 nm)使用

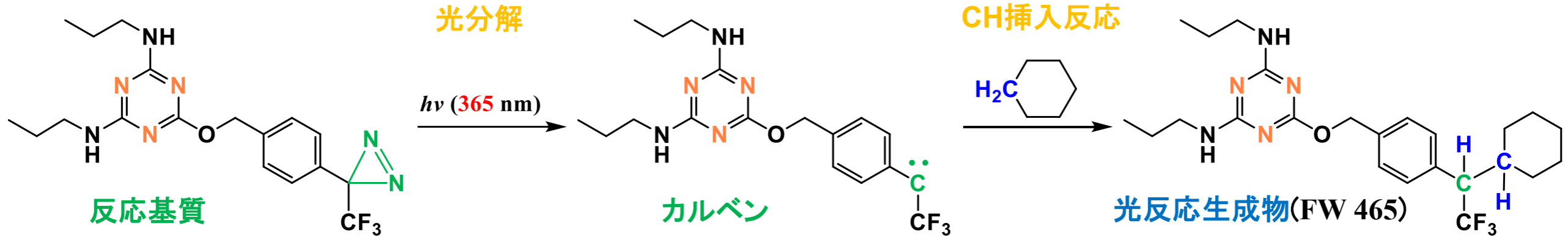


ジアジリン基の
吸収ピークが減少
光分解が進行

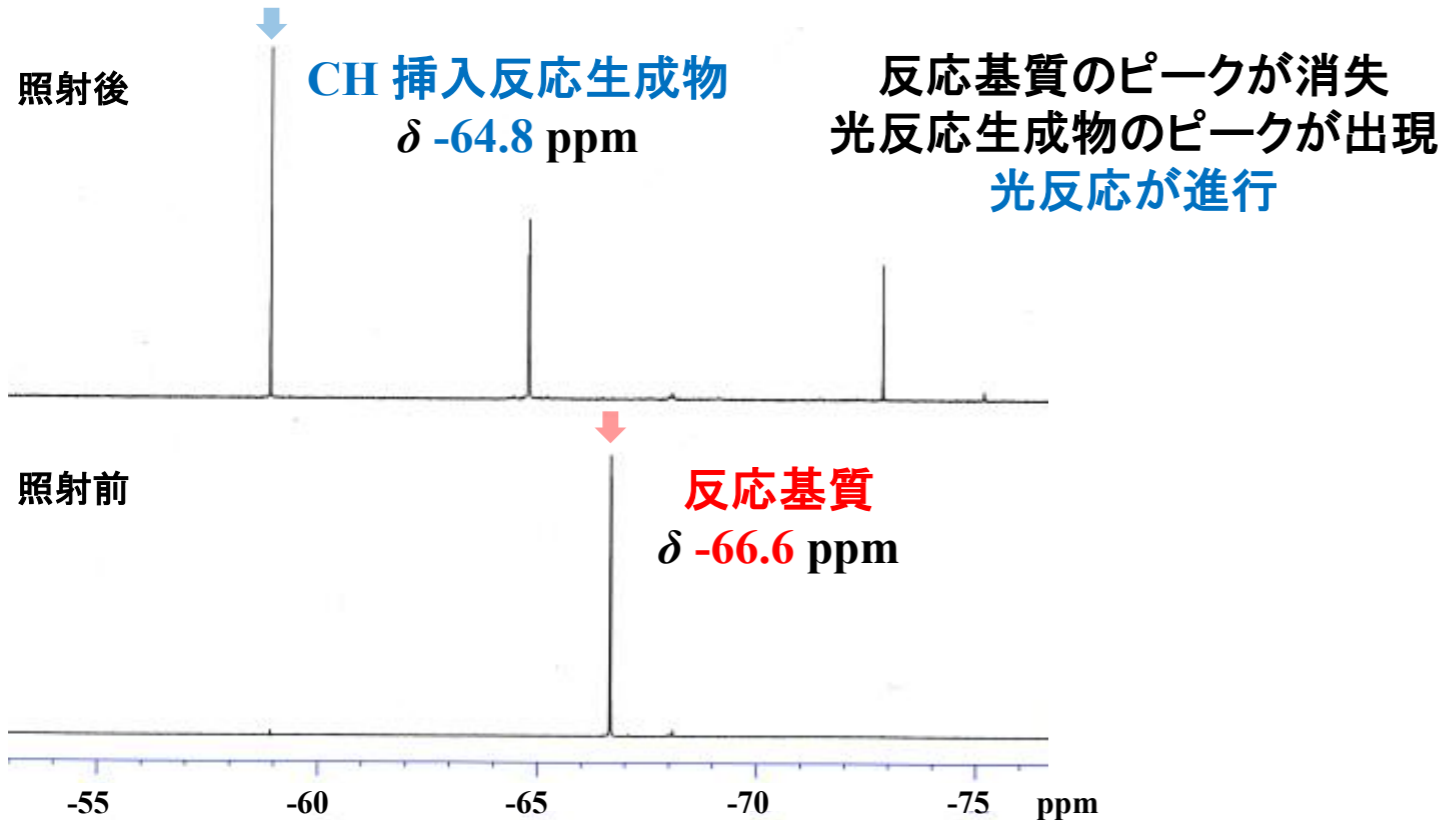


光反応性分子接合剤②

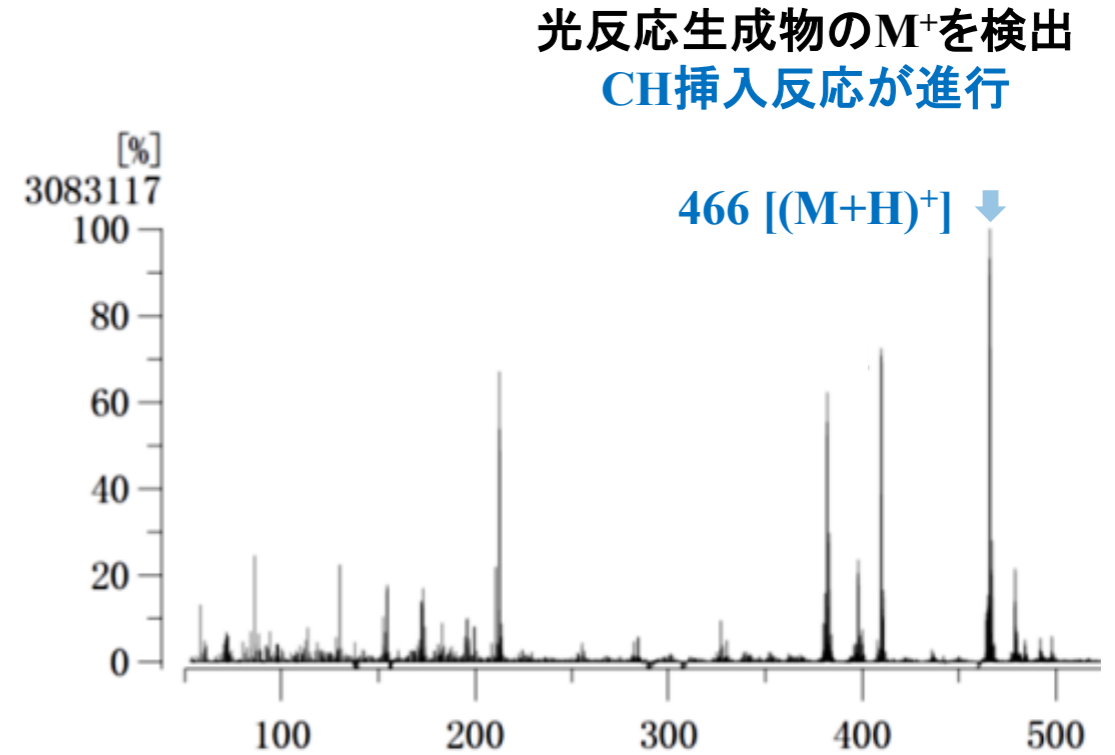
光反応性評価



UV照射前後の重シクロヘキサン溶液の¹⁹F NMRスペクトル



UV照射後のシクロヘキサン溶液のFAB-MSスペクトル



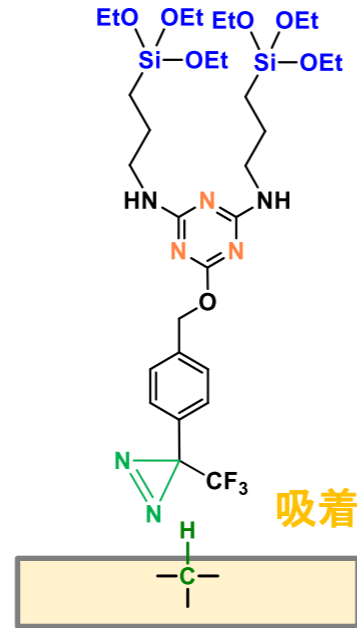
光反応性分子接合剤②

めっき実証評価

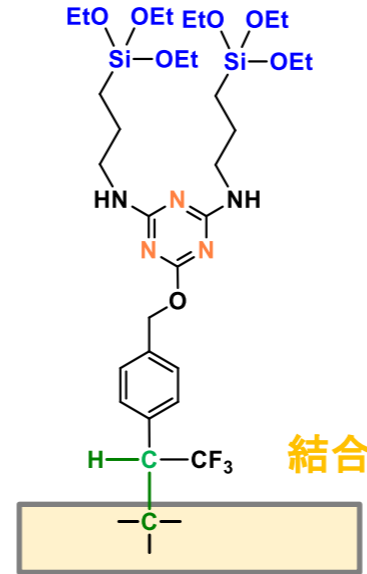
ABS樹脂の銅めっきプロセス

浸漬
エタノール溶液

ABS樹脂



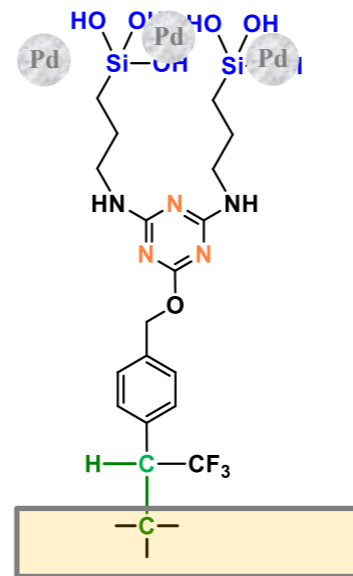
UV照射



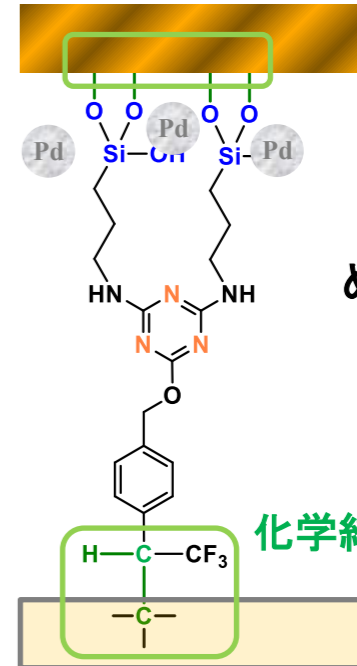
UV光源
高圧水銀ランプ
LEDランプ
(主波長365 nm)

UV照射時間
5 min

加水分解
触媒担持

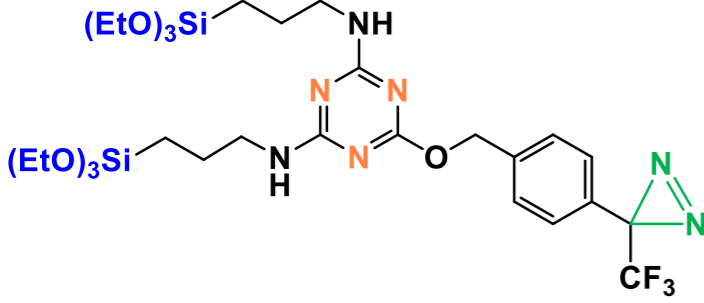
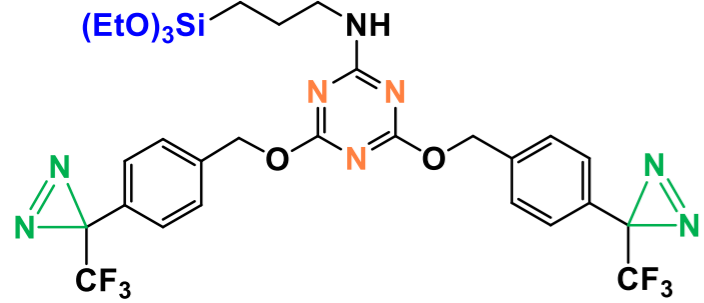


銅めっき



めっき密着性試験
ピール試験

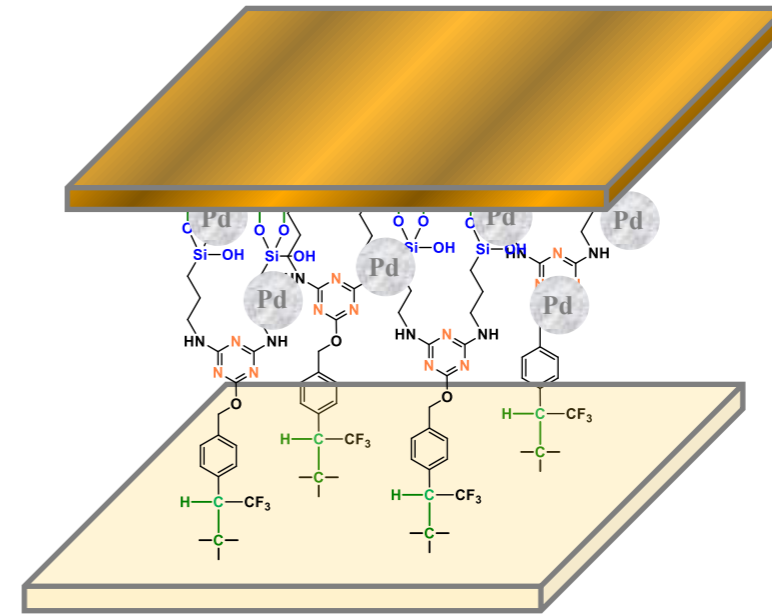
光反応性分子接合剤②

光反応性分子接合剤	UV ランプ [主波長 365 nm]	ピール強度 [kN/m]
	高圧水銀ランプ	1.15
	LED ランプ	0.93
	高圧水銀ランプ	1.20
	LED ランプ	1.19

実用的な剥離強度: >0.6 kN/m

ジアジリン基を有するシランカップリング剤が光反応性分子接合剤として樹脂めっきに適応可能であることを実証

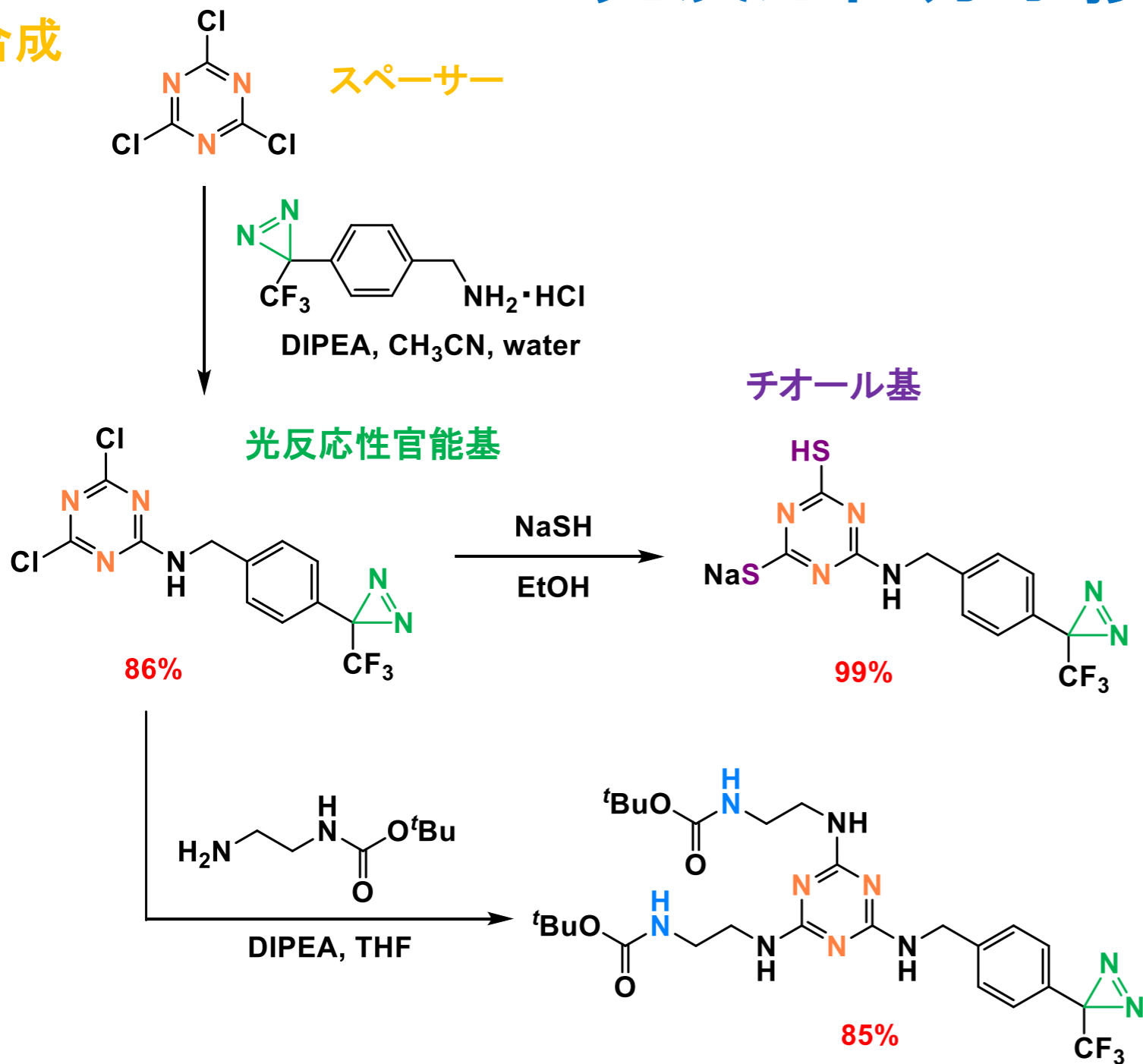
ABS樹脂の銅めっき



- ・樹脂基板の前処理が不要
- ・高い密着強度(>0.5 kN/m)を実現
(分子接合剤が樹脂とめっき間の結合層として機能)
- ・長波長紫外光(UVA)で光反応が可能
(樹脂の光劣化を抑制)
- ・光反応光源としてLEDランプを利用可能
(環境負荷の低減)

光反応性分子接合剤③

合成



金属結合性基: シランカップリング基($\text{Si}(\text{OR})_3$)

大気中や溶媒中の水分によって加水分解して失活

- ・長期保存安定性が低い
- ・取り扱いが困難

金属結合性基: アミノ基(NH_2)、チオール基(SH)

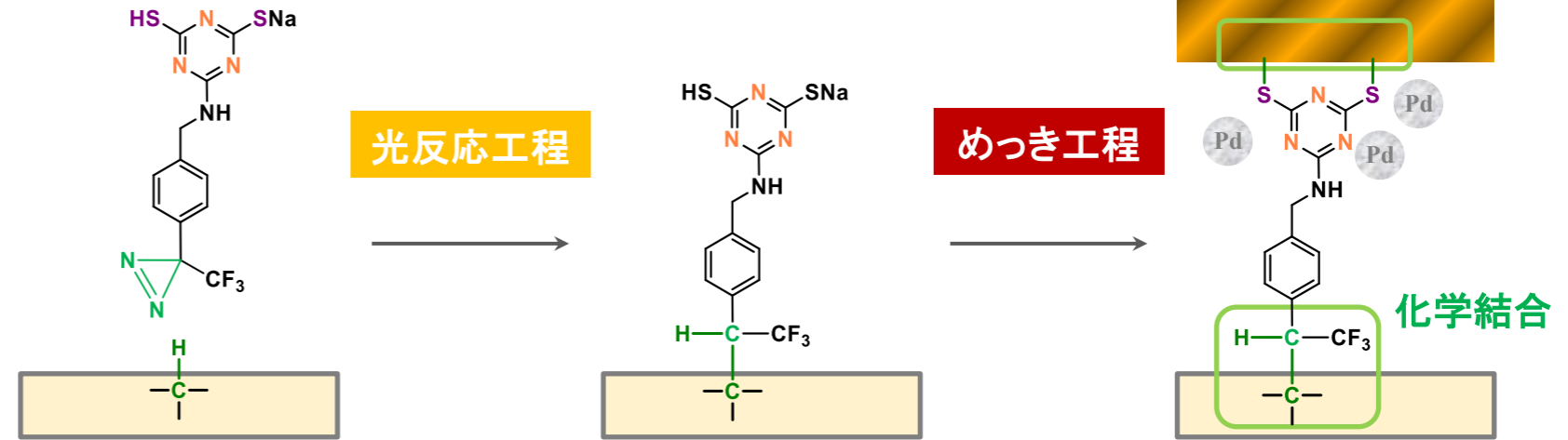
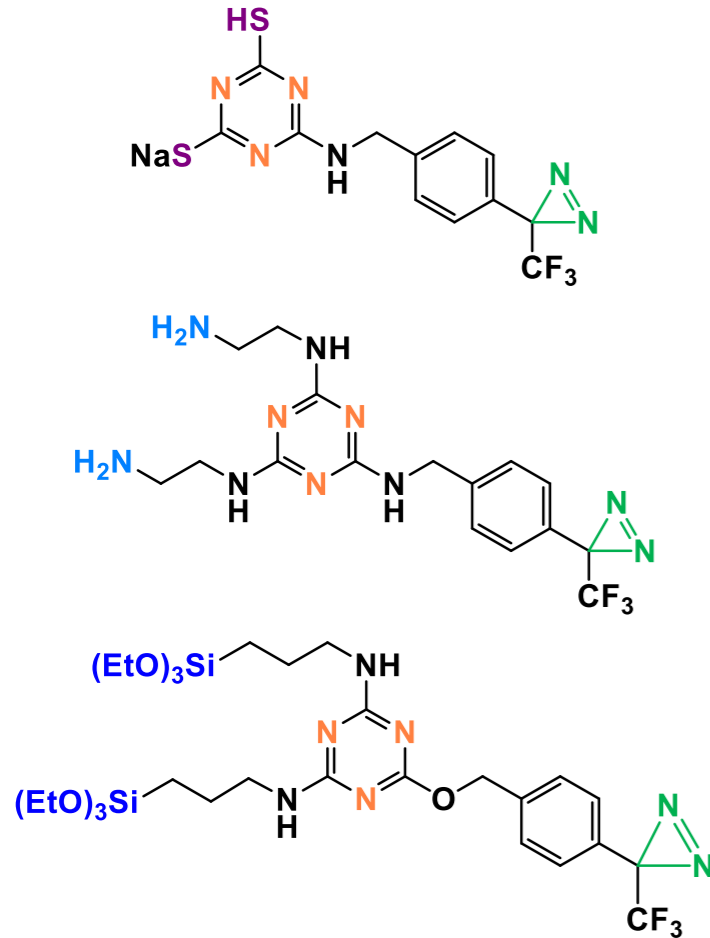
加水分解性がない

- ・長期保存安定性が高い
- ・取り扱いが容易

光反応性分子接合剤③

めっき実証評価

ABS樹脂の銅めっき



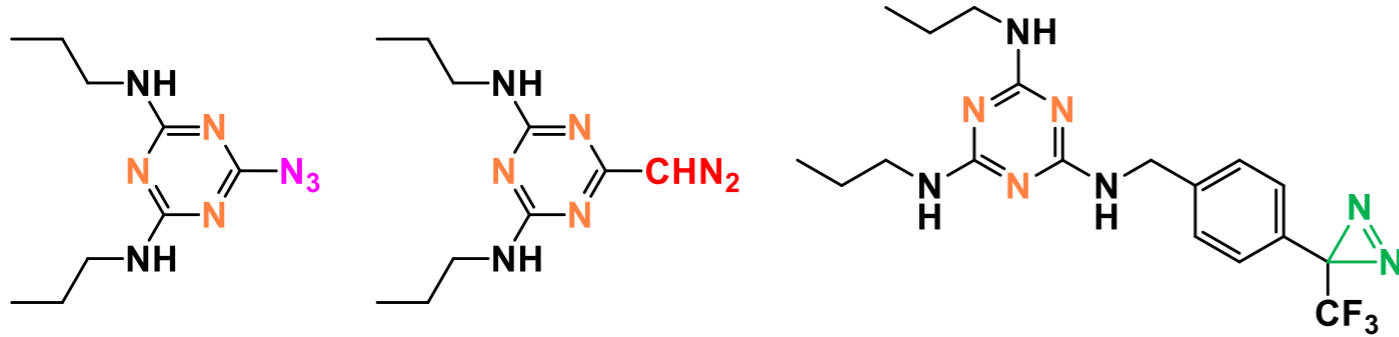
金属結合性基	UVランプ [主波長 365 nm]	UV照射時間 [min]	ピール強度 [kN/m]
チオール基	高圧水銀ランプ	1	0.95
アミノ基	高圧水銀ランプ	1	1.00
シランカップリング基	高圧水銀ランプ	5	1.15

金属結合性基としてSH基、NH₂基を有する分子が光反応性分子接合剤として樹脂めっきに適応可能であることを実証

- 樹脂基板の前処理が不要
- 高い密着強度(>0.5 kN/m)を実現
- 長波長紫外光(UVA)で光反応が可能
- 長期保存安定性の向上

熱反応性分子接合剤

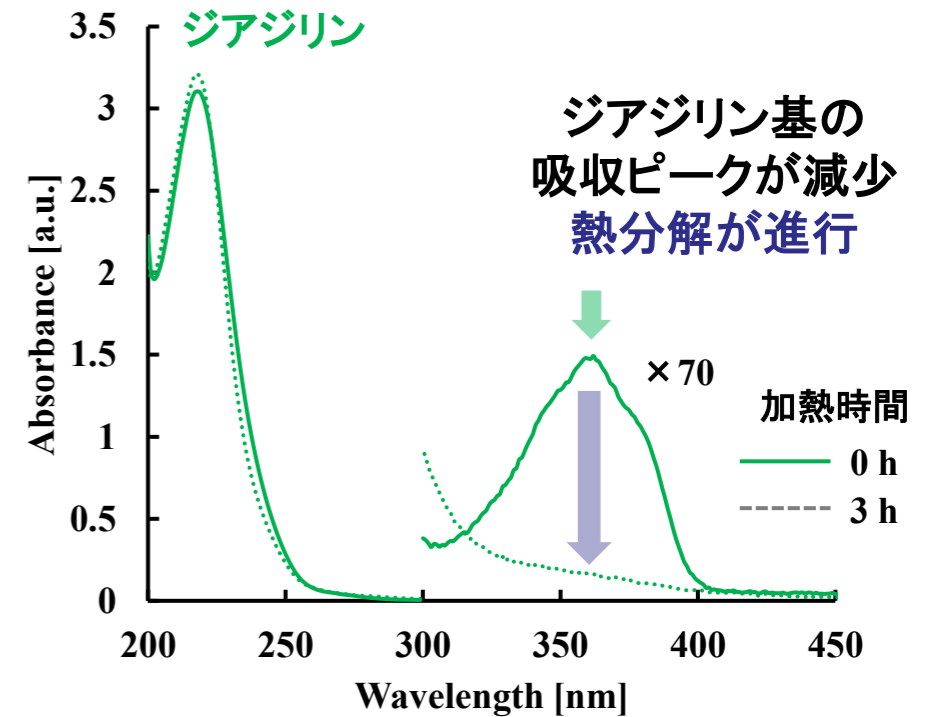
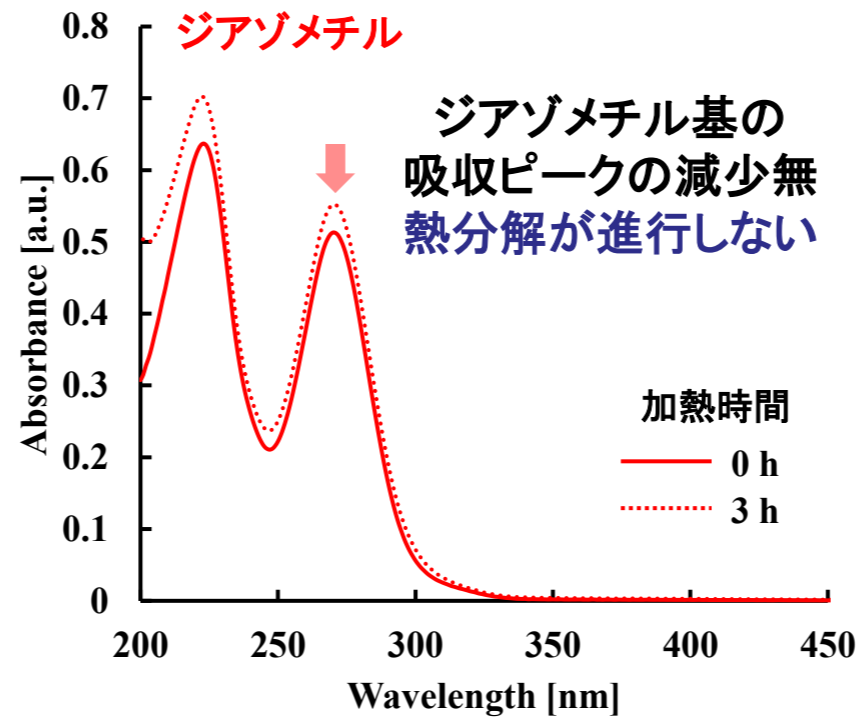
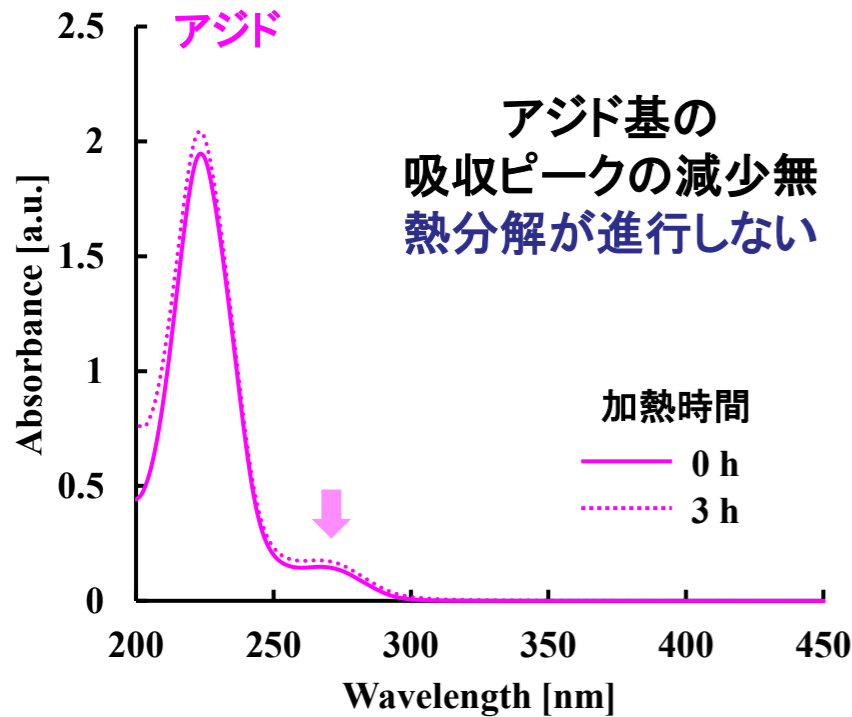
熱応答性評価



熱反応性基	分解点*	
	ピーク温度	オンセット温度
アジド基	225 °C	163 °C
ジアゾメチル基	172 °C	121 °C
ジアジリン基	137 °C	98 °C

* DSC測定により決定

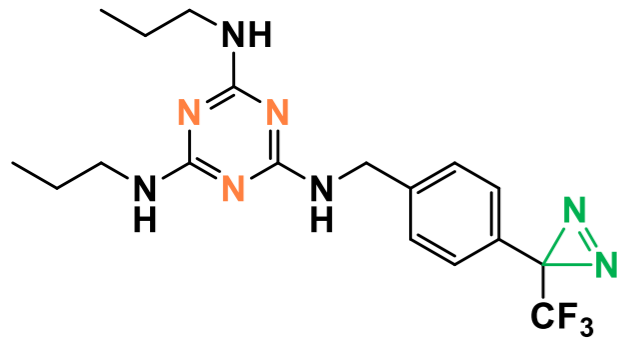
加熱による吸収スペクトル変化 50 $\mu\text{mol/L}$ エタノール溶液 加熱温度: 100 °C 加熱時間: 0, 3 h



熱反応性分子接合剤

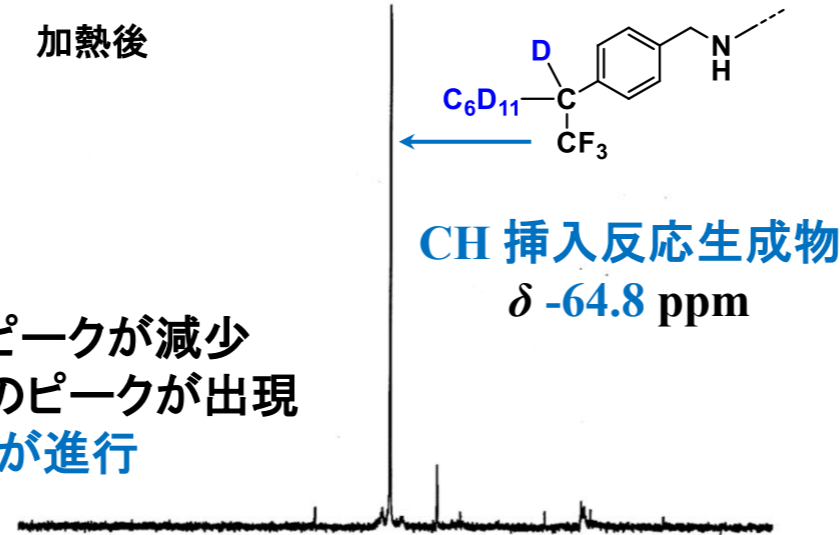
熱反応性評価

加熱前後の重シクロヘキサン溶液の¹⁹F NMRスペクトル
加熱温度: 100 °C 加熱時間: 3 h

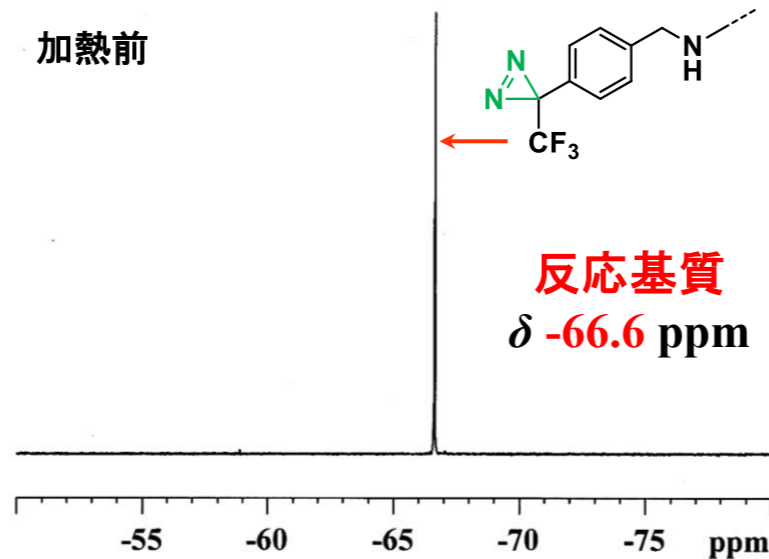


反応基質のピークが減少
熱反応生成物のピークが出現
熱反応が進行

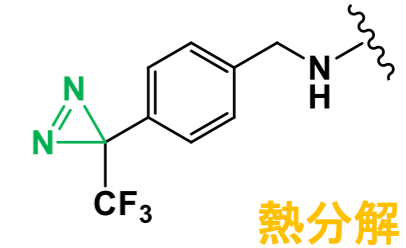
加熱後



加熱前



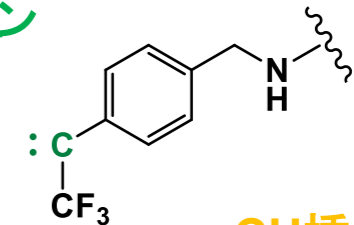
熱反応プロセス



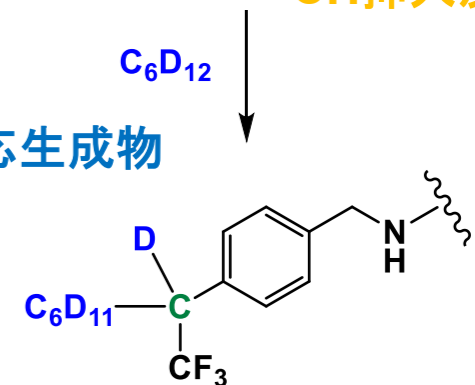
熱分解



カルベン

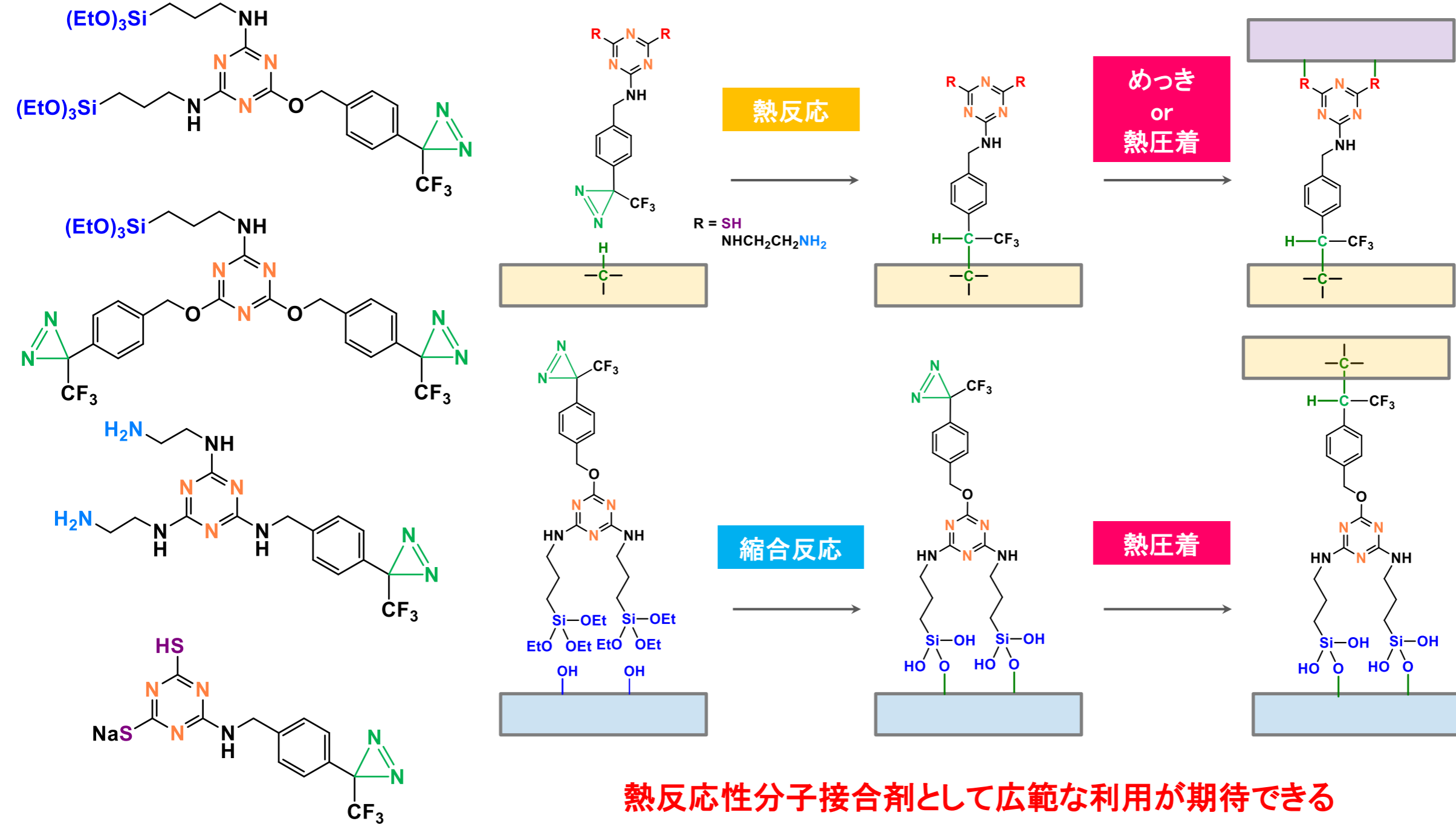


CH挿入反応



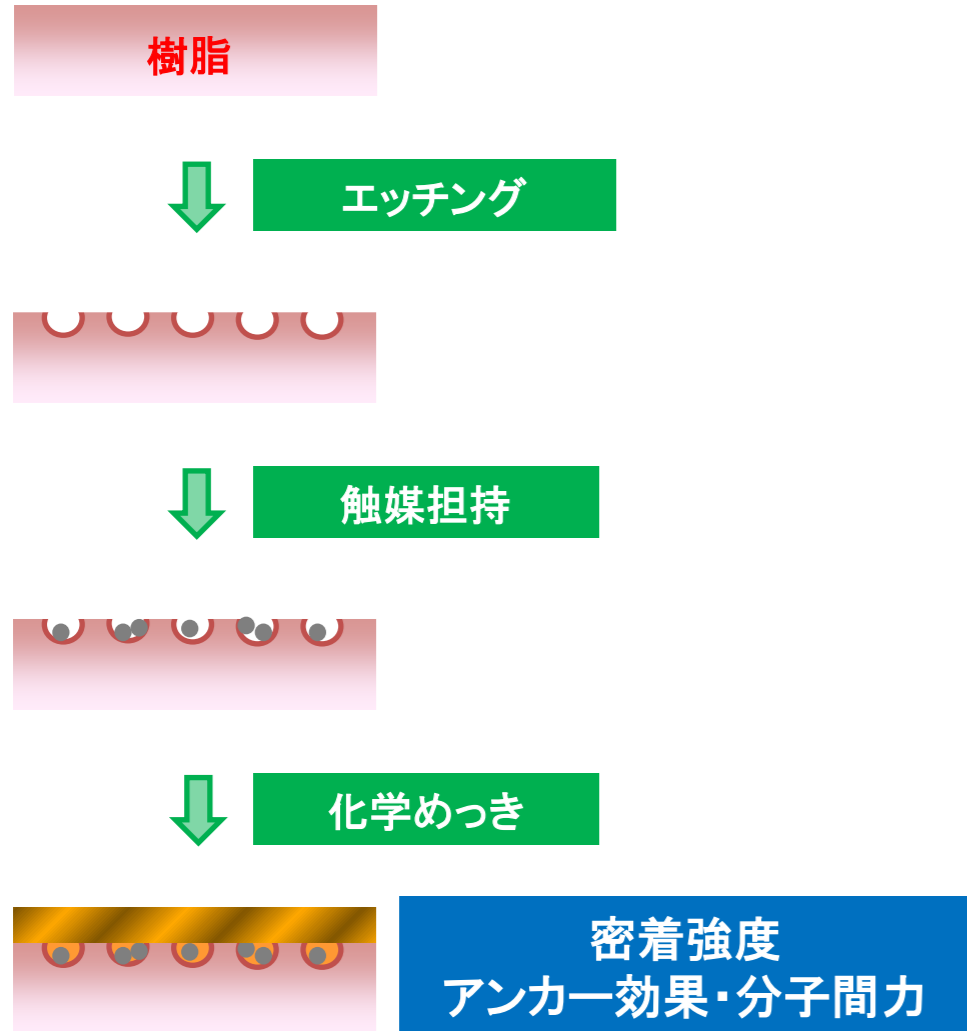
熱反応性基としてのジアジリン基は、アジド基やジアゾメチル基よりも熱分解温度が低く、より低温でカルベンを発生できるため、効率的な熱反応が可能

熱反応性分子接合剤



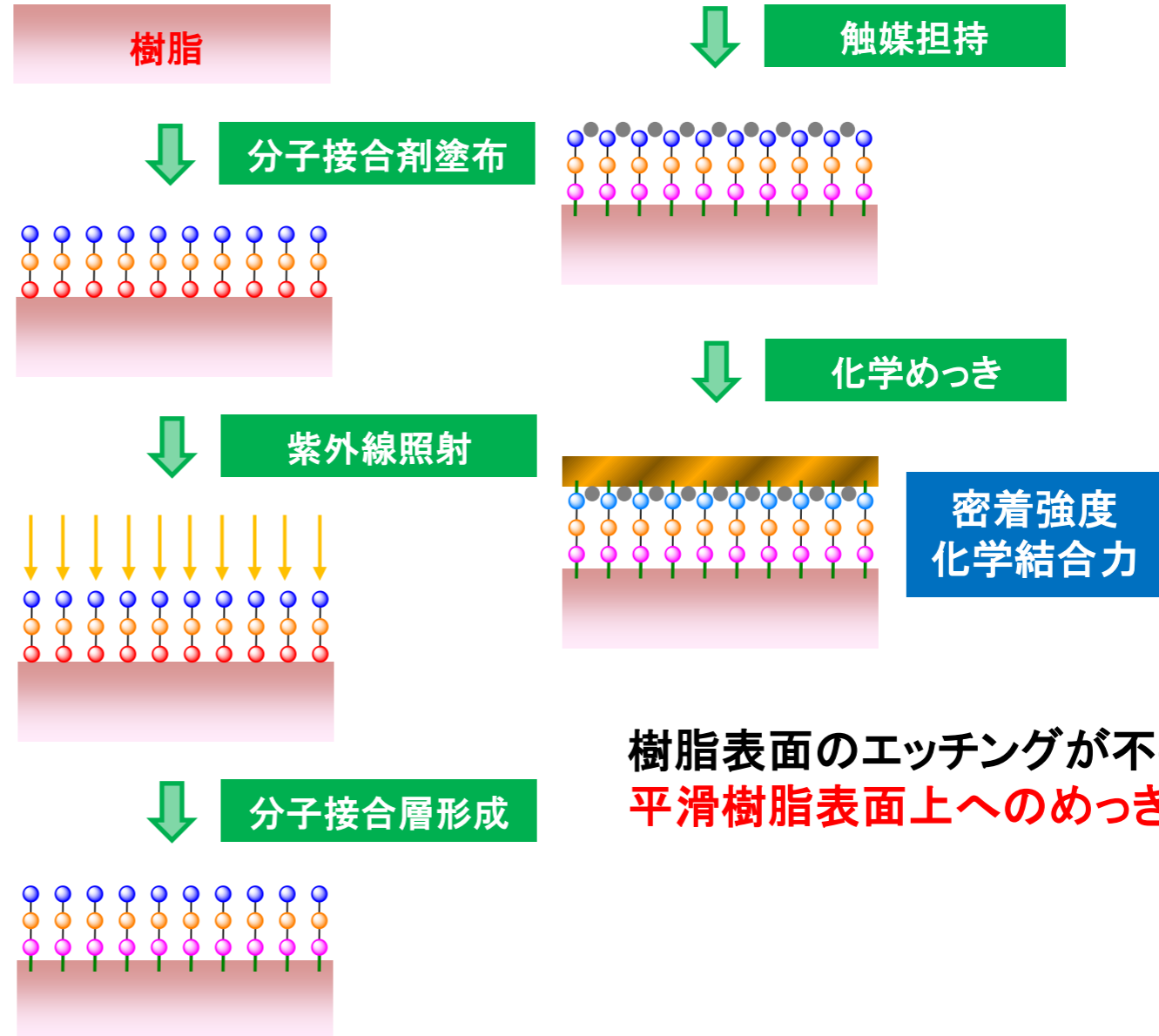
従来技術とその問題点

従来のめっき方法



樹脂表面のエッチングが必要
平滑樹脂表面上へのめっきが不可能

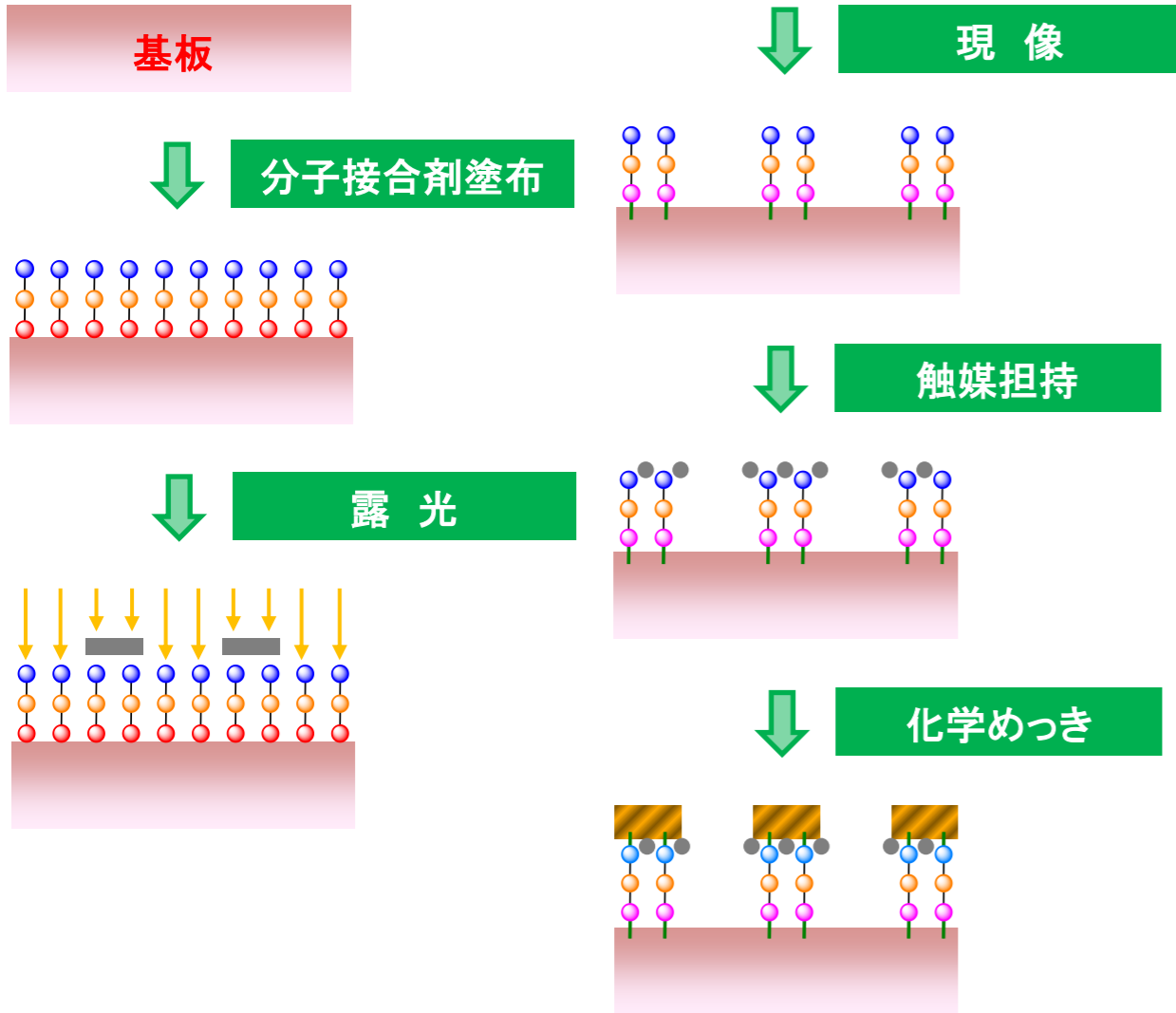
光反応性分子接合剤を用いためっき方法



樹脂表面のエッチングが不要
平滑樹脂表面上へのめっきが可能

新技術の特徴・従来技術との比較

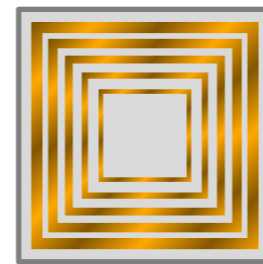
光反応性分子接合剤を用いたパターンめっき方法



露光: 光が当たった部分でのみ、分子接合剤が基板と化学結合を形成する

現像: 光が当たらなかった部分の分子接合剤は、基板と化学結合していないため、洗浄によって除去される

化学めっき: 分子接合剤が結合した部分でのみ、めっきが析出する



光反応性分子接合剤を用いることで微細めっき配線、立体めっき配線が達成できる

従来技術に対する優位性

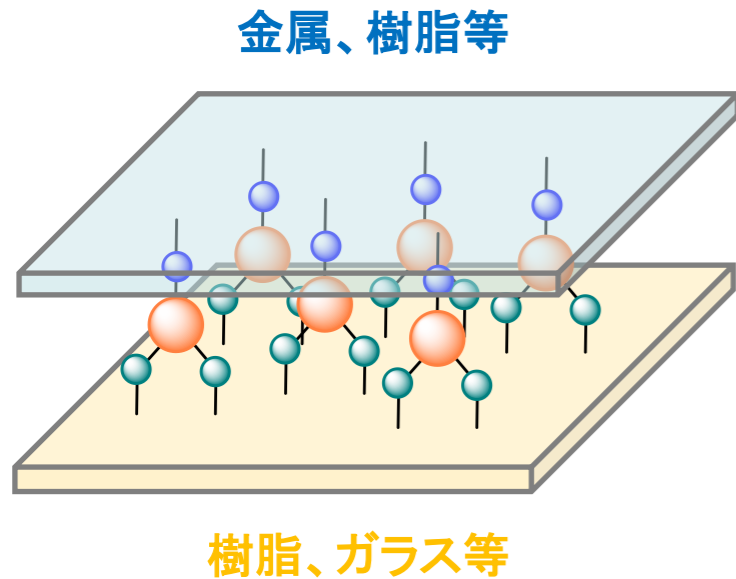
- ・ 基板のエッチング(表面粗化)、レジスト剤が不要
- ・ 単純かつ短工程プロセス

→ リードタイムの短縮、コストパフォーマンスの向上、環境負荷の低減

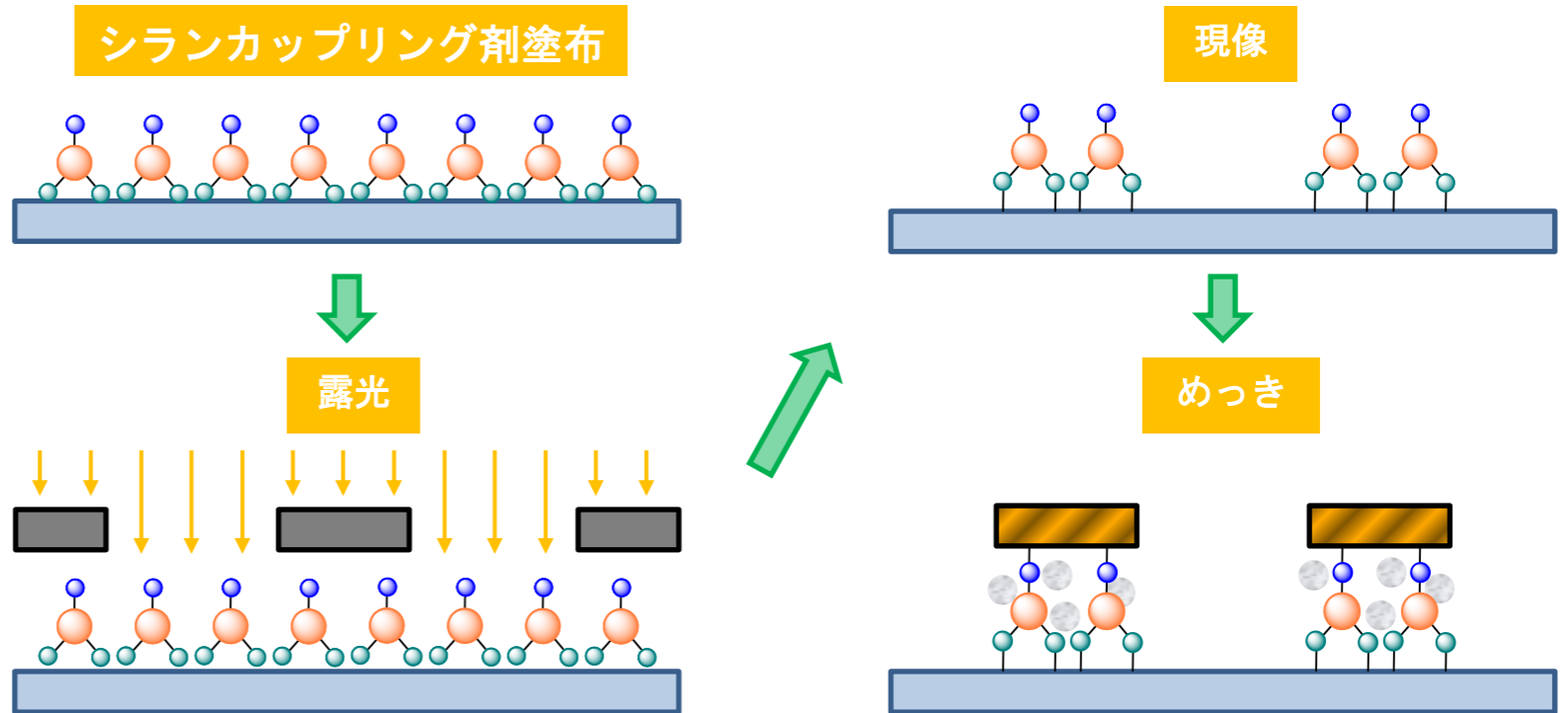
推定される用途

- 異種材料の接合
- プリント基板等へのめっき配線

分子接合剤を用いた異種材料間接合



光反応性分子接合剤を用いたパターンめっき



実用化に向けた課題

分子接合剤の実用化に向けた課題

- 多様な材料組み合わせでの分子接合評価
- 高密着強度を実現するための最適な反応条件の探索
- 分子接合メカニズムの解明
- 分子設計の最適化による分子接合剤性能の向上

社会実装への道筋

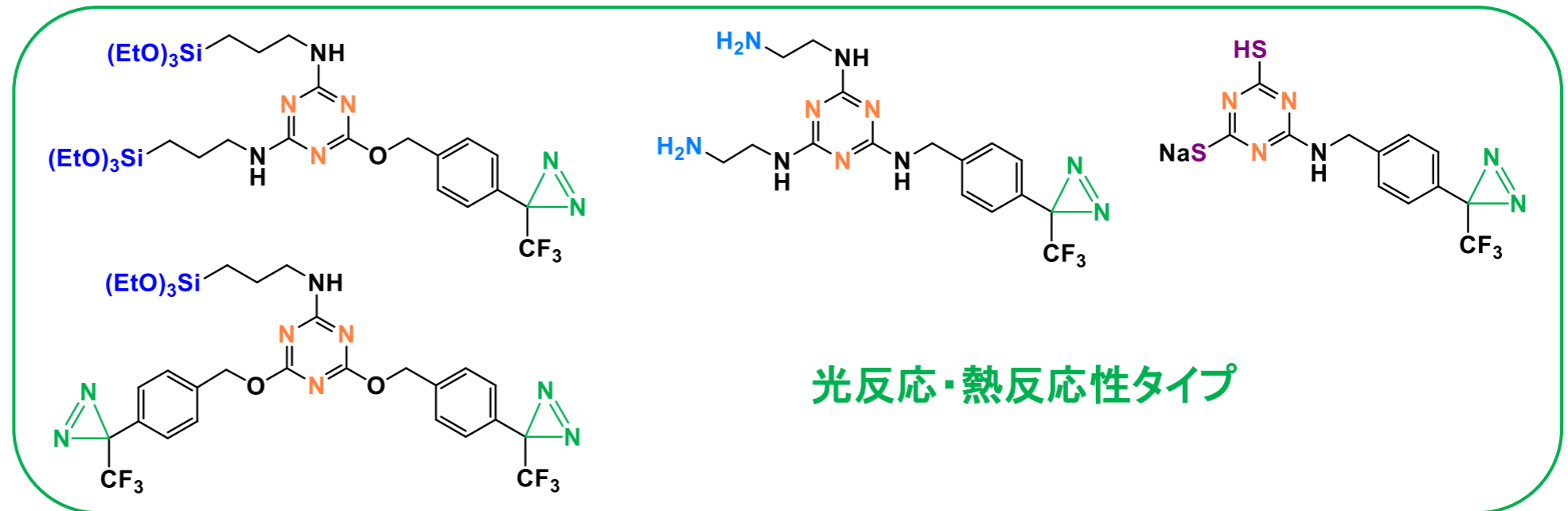
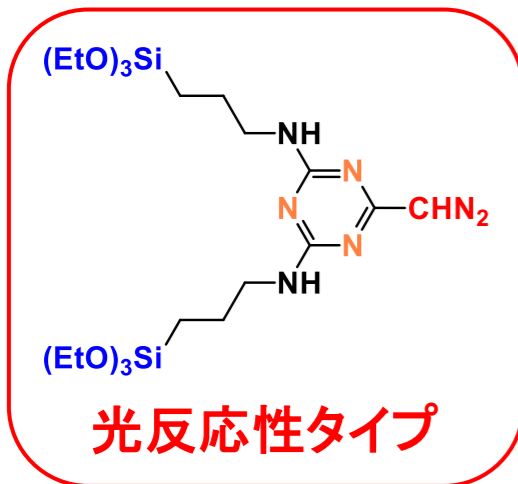
時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装へ取り組みについて記載
基礎研究	・新たな接合理論に基づく分子接合剤の開発が完了	
現在	・評価試験を継続中 ・最適化した分子接合剤を設計中	・既存サンプルの提供が可能 ・基礎的評価データの提供が可能
3年後	・新たな分子接合剤の開発を実現 ・接合メカニズムの解明 ・接合条件の最適化	・企業との共同研究(実用化試験)を実施 ・新規サンプルの提供が可能
5年後	・評価試験を完了(異種材料接合評価、材料めっき評価) ・分子接合剤の合成プロセスの最適化・合成コストの削減	・企業との共同研究(実用化試験)を実施 ・分子接合剤の製品化を検討

企業への期待

- **i-SB法**はものづくり企業に有効な技術
- **i-SB法**を活用したい企業との共同研究を希望

企業への貢献・PRポイント

- **i-SB法**は自動車・半導体・医療機器など、ものづくりの幅広い分野で活用可能な基盤技術
- **i-SB法**導入に当たっての技術相談、分子接合剤のサンプル提供可能



本技術に関する知的財産権

- ・ 発明の名称 : 反応性付与化合物および積層体
- ・ 出願番号 : (特願2024-14434), 特願2025-014052
- ・ 出願人 : 岩手大学
- ・ 発明者 : 村岡宏樹、吉田陽雄雅、桑 静

- ・ 発明の名称 : 反応性付与化合物、反応性付与化合物の製造方法、および積層体
- ・ 特許番号 : 特許第7347877号, 特許第7737728号
欧州・中国・台湾は登録、米国・韓国は審査対応中
- ・ 権利者 : 岩手大学
- ・ 発明者 : 村岡宏樹、長牛和樹、桑 静

- ・ 発明の名称 : 反応性付与化合物、その製造方法、それを用いた表面反応性固体、及び表面反応性固体の製造方法
- ・ 特許番号 : 特許第7178094号, 特許第7490262号、米国は登録
- ・ 権利者 : 岩手大学
- ・ 発明者 : 村岡宏樹、小川 智

産学連携の経緯

- 2014～2018年度
戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)/革新的設計生産技術
「分子接合技術による革新的ものづくり製造技術の研究開発」
- 2019～2023年度
文部科学省地域イノベーション・エコシステム形成プログラム
「岩手から世界へ～次世代分子接合技術によるエレクトロニクス実装分野への応用展開～」
- 2023年
i-SB事業化プラットフォーム設立
ホームページアドレス: <https://i-sb.ccrd.iwate-u.ac.jp/>

お問い合わせ先

岩手大学

研究支援・産学連携センター

知的財産ユニット

TEL: 019-621-6494

e-mail: iptt@iwate-u.ac.jp