

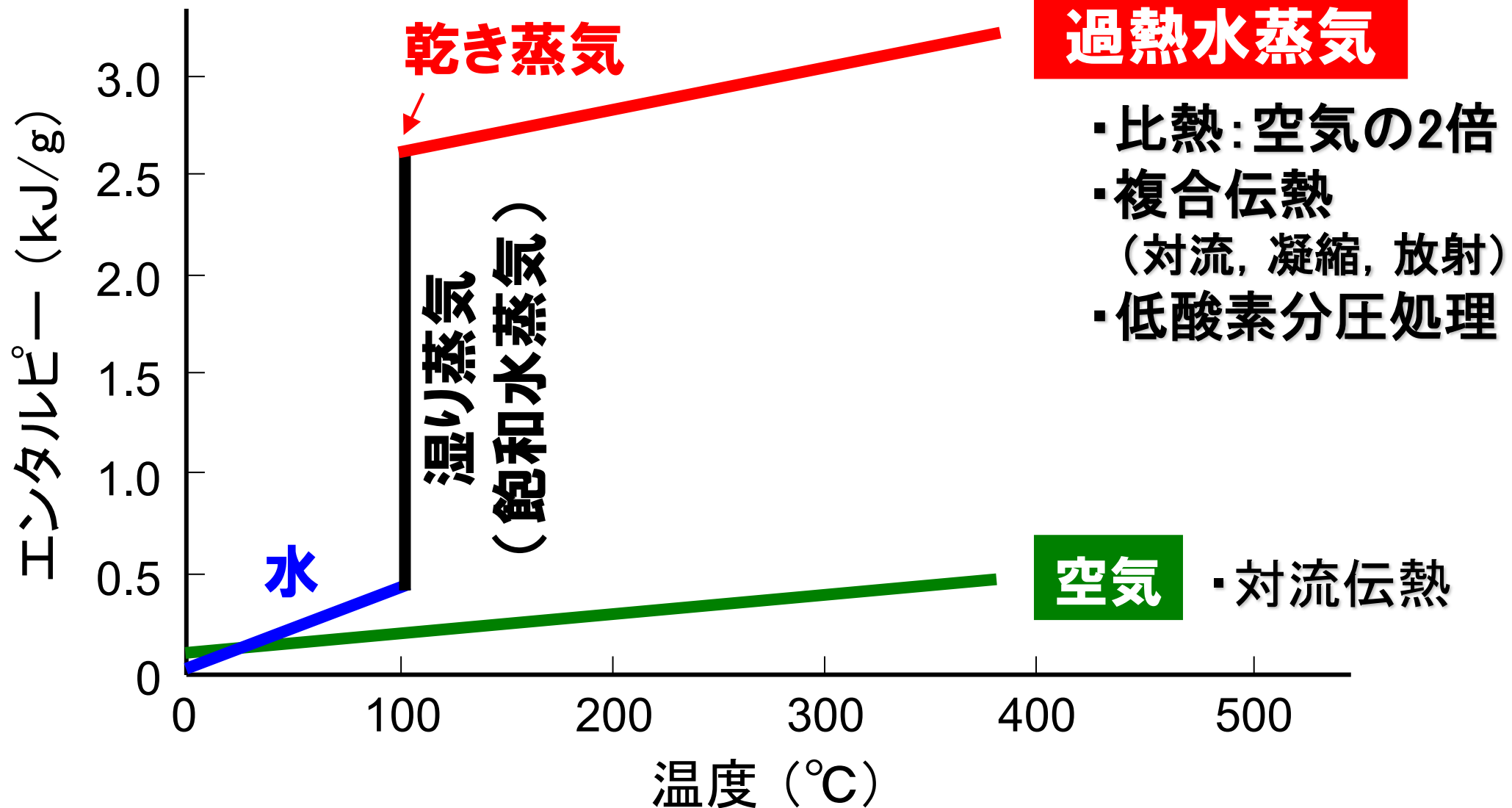
過熱水蒸気を利用した CFRP(炭素繊維強化プラスチック) のリサイクル技術

一般財団法人ファインセラミックスセンター
和田 匡史

謝辞：本研究の一部は、「知の拠点あいち」重点研究プロジェクト，経済産業省・戦略的基盤技術高度化支援事業（サポイン事業），NEDO委託事業「革新的新構造材料等研究開発」の一環として実施した。

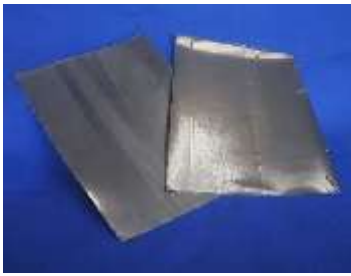
過熱水蒸気とは？

沸点以上の乾いた水蒸気 → 空気に比べて高速・均一加熱が可能



過熱水蒸気の活用例

グラファイトシート
の高熱伝導化



S. Kitaoka et al., J. Mater. Sci. Lett., 46 (2011) 1132

CFRPの
リサイクル



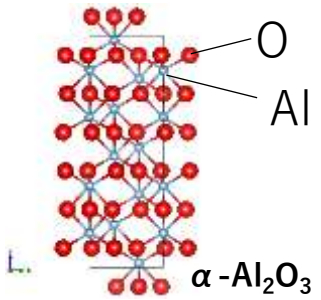
M. Wada et al., Composites Part A, 85 (2016) 156
特許第6340619号, 第5876968号, 第6596790号

セラミックス成形体
の高速脱脂



和田 他, セラミックス, 53 (2018) 30

アルミナの
相転移促進



$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$

特許第7789309号

200-400°C

400-800 °C

900- °C

食品加工



金属部品の
脱脂洗浄



熱可塑性CFRP
部材の急速加熱



廃棄物の減容 バイオマス



クラゲ



竹

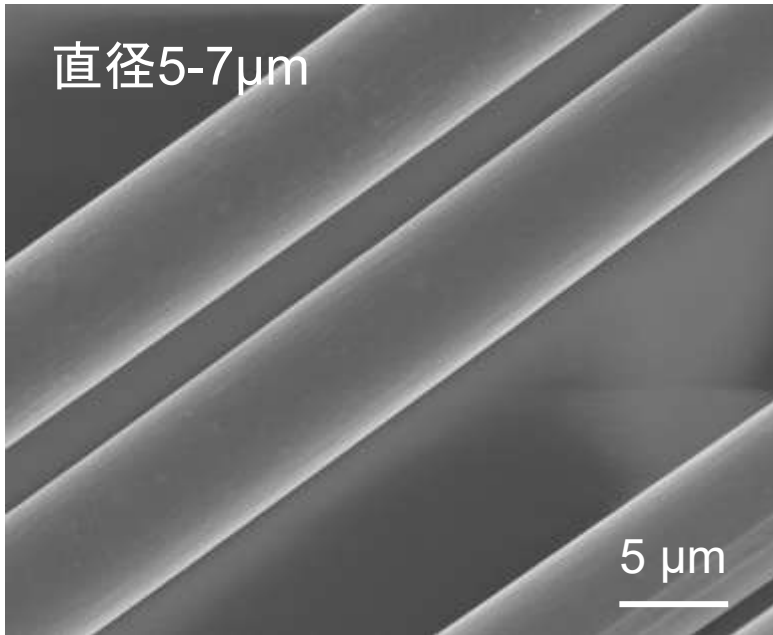
高温

<https://miraiz.chuden.co.jp/business/carbon-free/saving/solution/technology/steamwashing/>

炭素繊維強化プラスチック(CFRP)

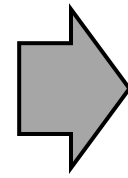
炭素繊維(CF)

- ◆ **低比重**(鉄の1/4以下)
- ◆ **高比強度**(鉄の約10倍)
- ◆ **高比剛性**(鉄の約7倍)
- ◆ **熱的・化学的安定性**



CFRP

従来の金属材料に代わる
軽量化素材としてモビリティ
分野への利用が拡大



<https://www.carbonfiber.gr.jp/field/craft.html>



<https://www.carbonfiber.gr.jp/field/energy.html>



<https://global.toyota.jp/download/23992721/>



https://global.toyota/pages/news/images/2020/12/09/1200/20201209_01_02_jp.pdf

▶ 需要拡大による廃棄物量の急激な増大

- 工程内廃材(CFRP製造工程で発生)
- CFRP寿命: 航空機30年, 産業用10年, スポーツ10年
- 焼却は困難(炭素繊維が飛散し, 電気集塵機をショート)
- 現状は埋め立て処分

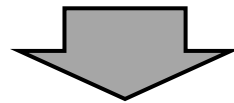
▶ 製造に多量の熱エネルギー

- 炭素繊維: 286MJ/kg ⇔ 鉄34MJ/kg *

*<https://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/innovation/nanowg/7kai/sanko1-2.pdf>

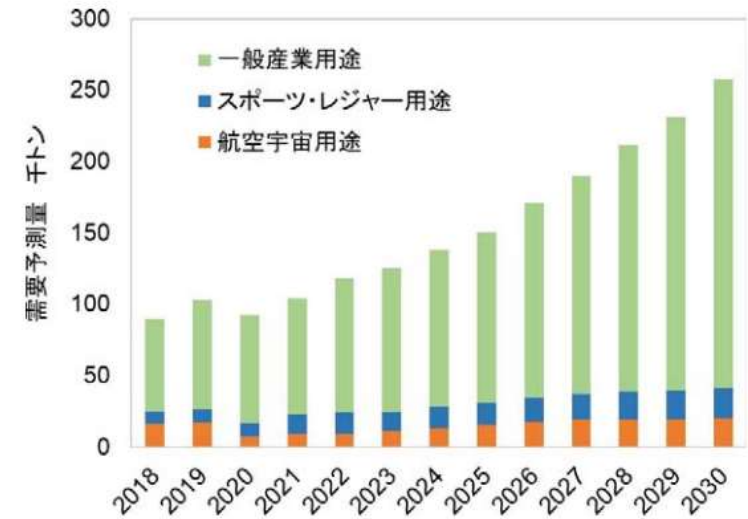
▶ 高コスト

- 炭素繊維(一般産業用): 2000-3000円/kg



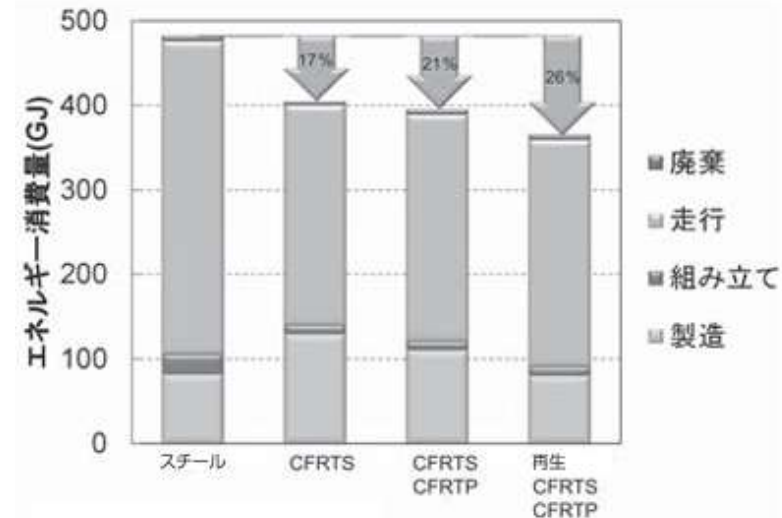
CFRPのマテリアルリサイクルが不可欠

PAN系炭素繊維の需要動向



引用: 第37回複合材料セミナー「PAN系炭素繊維の現状と将来」
https://www.carbonfiber.gr.jp/pdf/37th_seminar_PAN.pdf

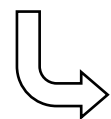
自動車のライフサイクルエネルギー比較



引用: 加茂徹, 廃棄物循環学会誌, 29 (2018) 133-141

CFRPからの炭素繊維回収技術

方法	加熱分解		化学溶解			
	過熱水蒸気法	熱分解法	電解酸化法	酸溶解法	樹脂構造の改良	亜臨界/超臨界流体法
実施機関	JFCC-高砂工業 同志社大学 信州大 等 カーボンファイバーリサイクル工業	東レ-豊田通商 新菱 富士加飾 産総研 等多数	アイカーボン	三和油化工業 北九州工業高専	物質材料研究機構	熊本大/亜臨界 静岡大/超臨界
回収物	CF	CF	CF, 樹脂	CF, 樹脂	CF, 樹脂	CF, 樹脂
温度(°C)	500-700	500-700	常温	100-150	常温	250-400
圧力(MPa)	常圧	常圧	常圧	常圧	常圧	1-25
雰囲気	水蒸気 + N ₂ , CO ₂	N ₂	—	—	—	—
溶媒	—	—	酸, アルカリ	硫酸	ペプチド水溶液	アルコール, 水等
触媒	—	—	—	—	—	アルカリ金属塩

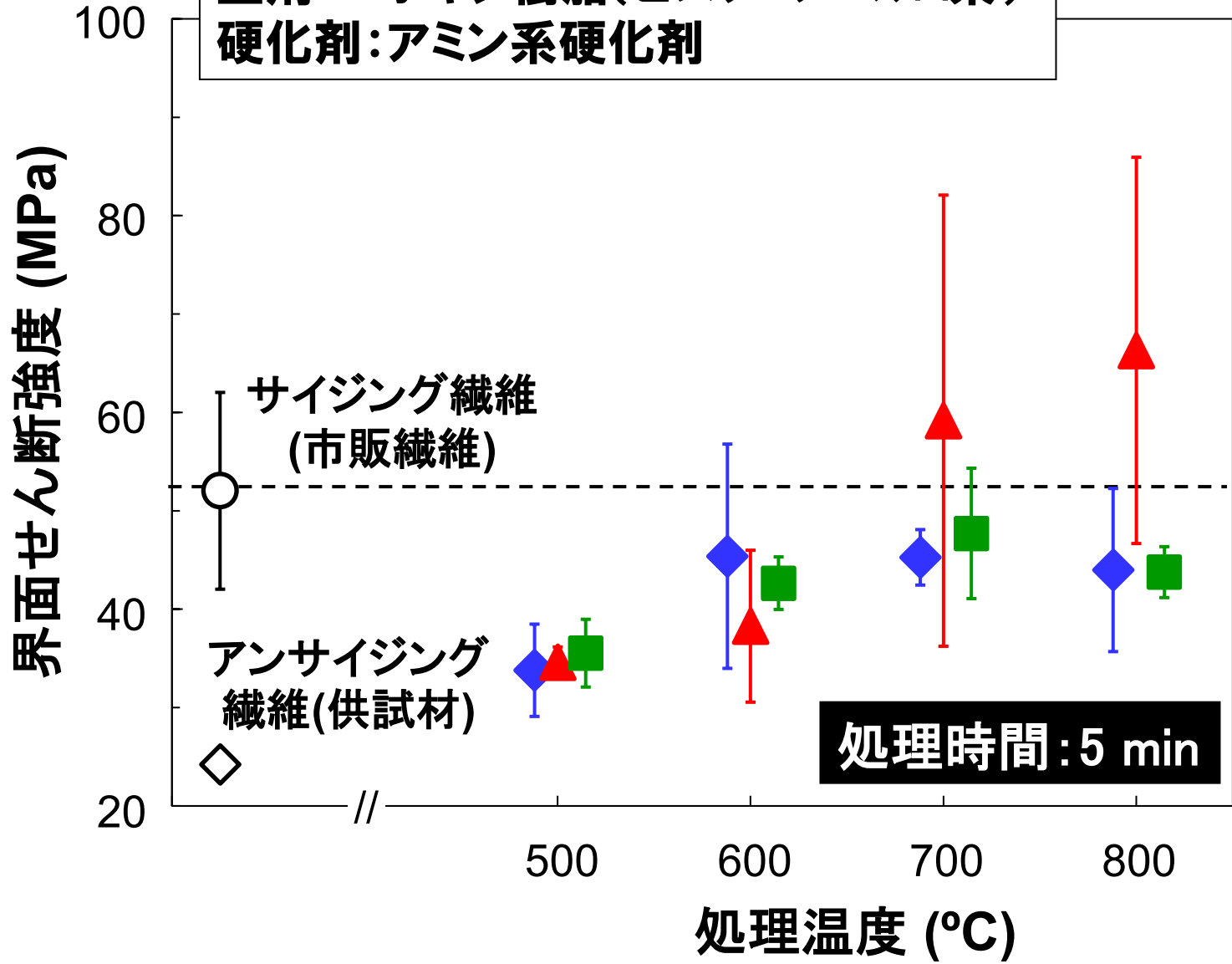


樹脂は分解気化（燃料として利用）
繊維表面改質（樹脂に対する密着性向上）

過熱水蒸気処理した炭素繊維の樹脂に対する密着性

M. Wada et al., Composites Part A, 85 (2016) 156
特許6340619号

主剤:エポキシ樹脂(ビスフェノールA系)
硬化剤:アミン系硬化剤

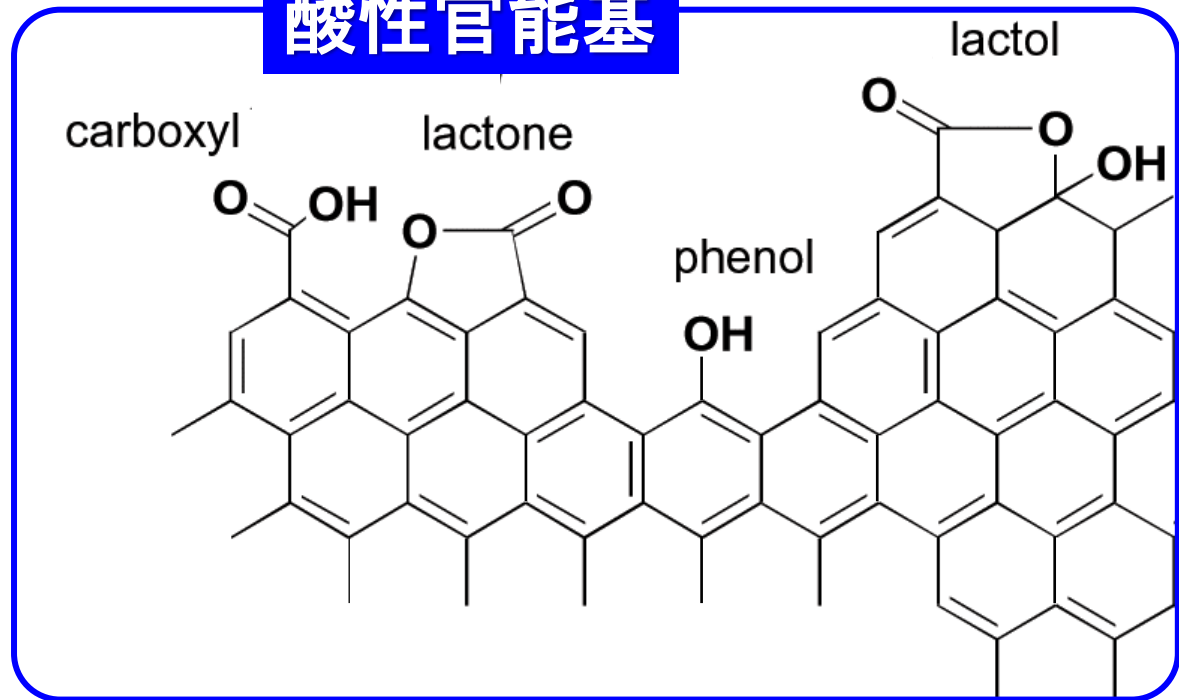


	サイジング剤	処理条件
○	有(比較)	未処理
◇	無	
◆		過熱水蒸気(SHS)
▲		SHS + 4vol% N ₂
■		SHS + 4vol% CO ₂

過熱水蒸気処理により、炭素繊維とエポキシ樹脂間の密着性(界面せん断強度)が向上

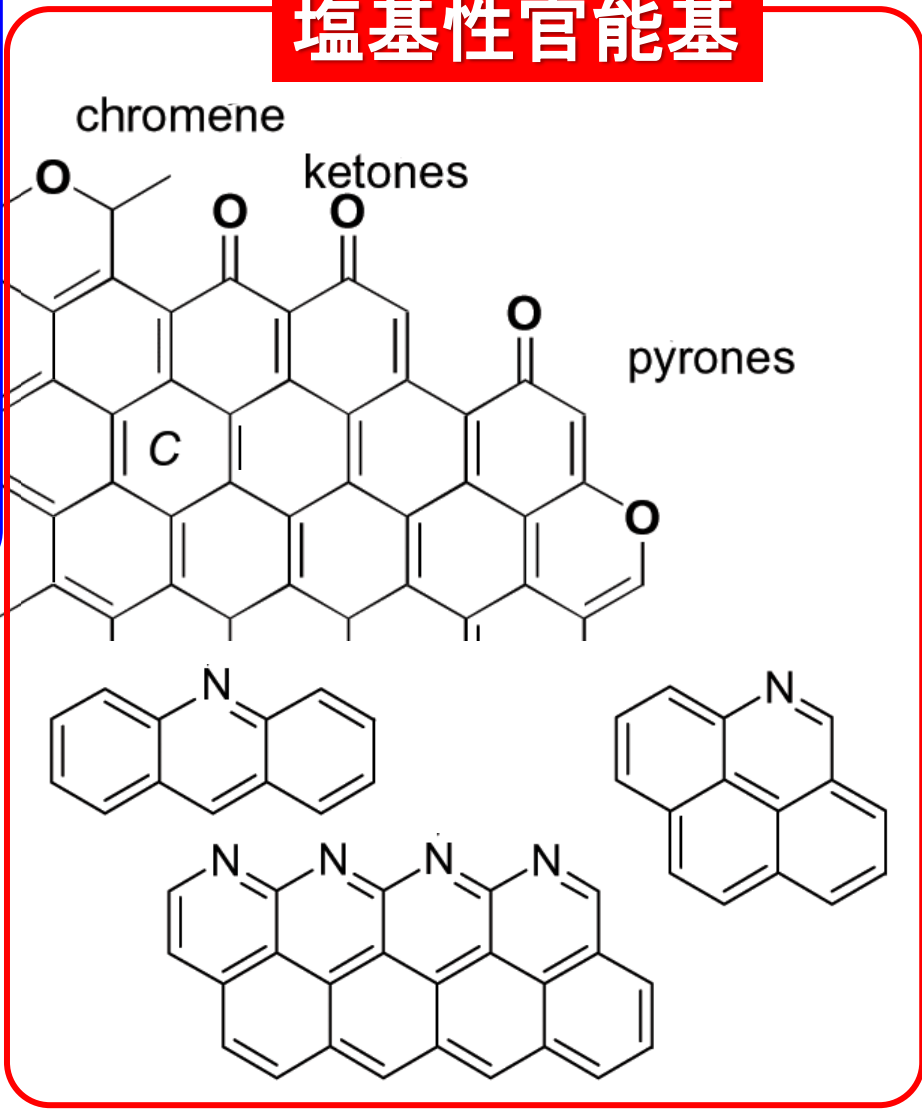
炭素(繊維)表面に形成しうる官能基

酸性官能基



引用: M.A. Montes-Moran et al., Carbon, 42, 1219-1225(2004)

塩基性官能基



過熱水蒸気(SHS)処理 : OH基↑
SHS + N₂添加 : OH基↑ + 塩基性官能基↑
SHS + CO₂添加 : COOH基↑

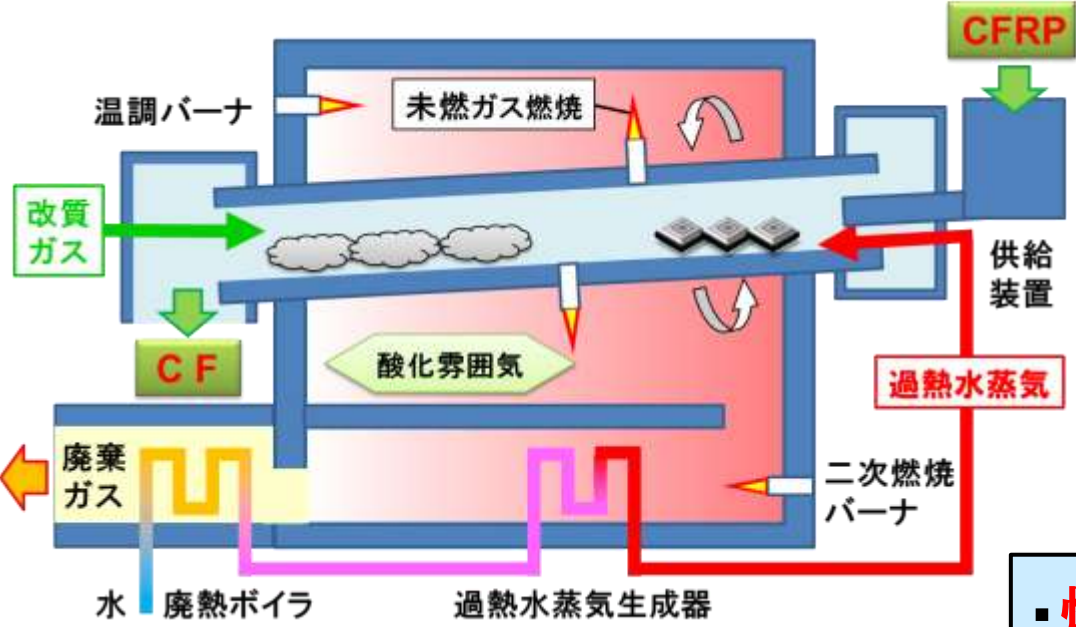
➡ 過熱水蒸気処理により, 炭素繊維が表面改質され, 樹脂との密着性が向上

省エネ型過熱水蒸気連続処理装置によるCF回収

過熱水蒸気ロータリーキルン

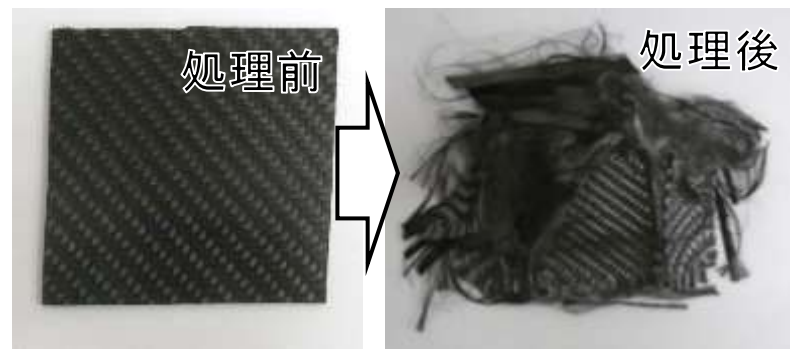
特許5876968号

JFCC-高砂工業

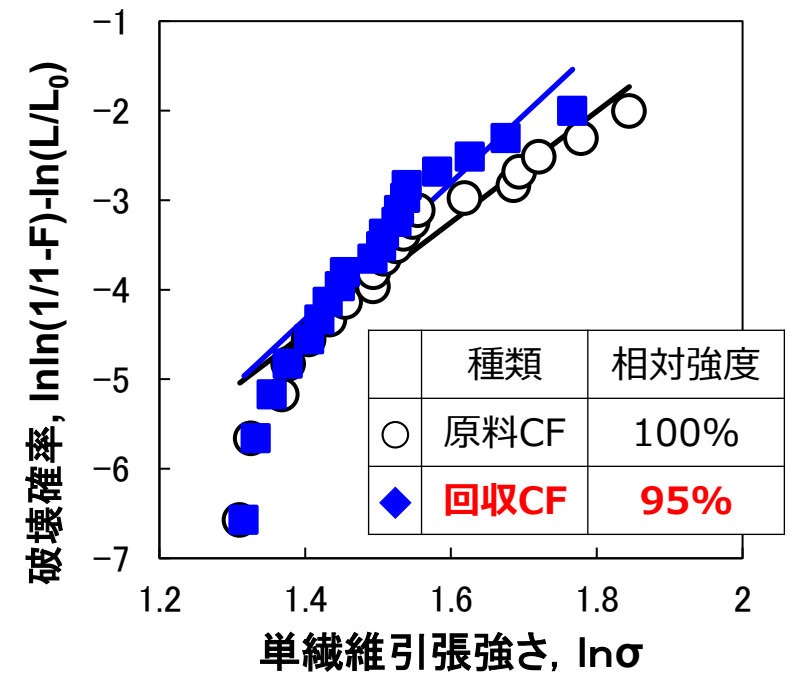


自動車系CFRP廃材
樹脂種:エポキシ系

CF回収条件
1次処理:過熱水蒸気
2次処理:過熱水蒸気+O₂



- 燃費の飛躍的削減 (樹脂分解ガス利用)
- 高品位リサイクル繊維の回収が可能



過熱水蒸気処理技術を活用して、
リサイクルCF回収を担っていただける企業を希望

バッチ式過熱水蒸気処理装置(JFCC内に設置)

過熱水蒸気処理装置 1



常用温度	300~800℃
有効炉内寸法	250×400×250mm (幅×高さ×奥行, 標準棚板使用時)
炉内寸法	700×500×500mm
雰囲気	過熱水蒸気
添加ガス	Air, N ₂ , O ₂
過熱水蒸気流量	標準5kg/h

過熱水蒸気処理装置 2



常用温度	400~900℃
有効炉内寸法	200×200×400mm (幅×高さ×奥行)
炉内寸法	Φ300×450mm
雰囲気	過熱水蒸気, Air, N ₂
添加ガス	Air, N ₂ , N ₂ -H ₂
過熱水蒸気流量	0.9kg/h



ご清聴ありがとうございました

所在地

愛知県名古屋市熱田区六野二丁目4番1号
 最寄り駅：JR熱田駅、名鉄神宮前駅、地下鉄神宮西駅
 URL：http://www.jfcc.or.jp/
 Tel：052-871-3500(代)

本日の発表内容に関するお問い合わせ
techsup@jfcc.or.jp



Google map



名古屋駅から熱田駅までJRで8分
 熱田駅から徒歩7分

至名古屋駅

