

DAC用固体吸着材の開発

東京都立大学

理学研究科 化学専攻

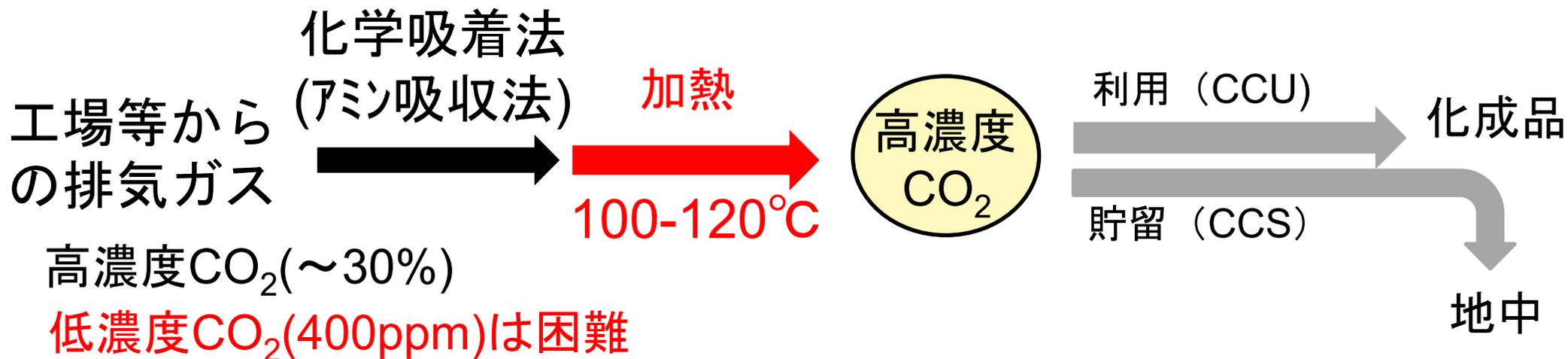
教授 山添 誠司

2023年6月22日

二酸化炭素除去技術とその問題点

現在のCO₂排出量削減技術

二酸化炭素固定化(・利用)・貯留 (CCS, CCU) 技術



高濃度CO₂(~30%)

低濃度CO₂(400ppm)は困難

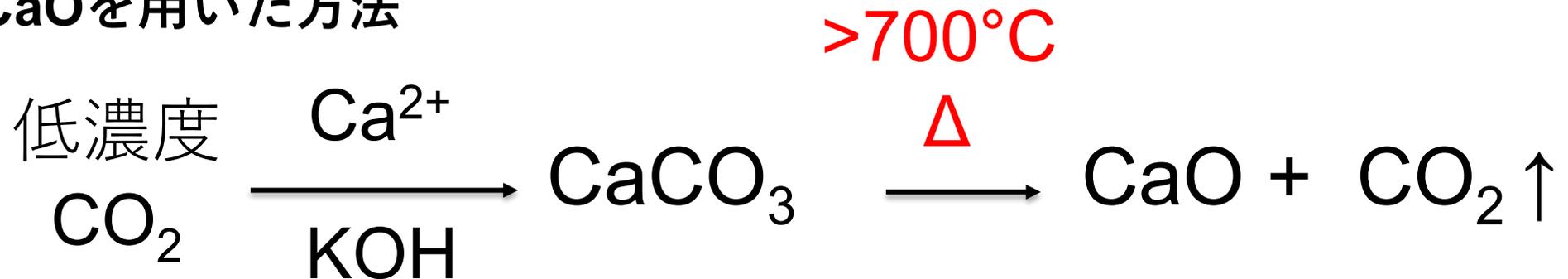
課題

- ・ 低濃度CO₂(400ppm)の高効率吸着
- ・ 吸着したCO₂の脱離エネルギー低下

二酸化炭素除去技術とその問題点

Direct Air Capture (DAC)用CO₂回収技術

CaOを用いた方法



高温での加熱が必要

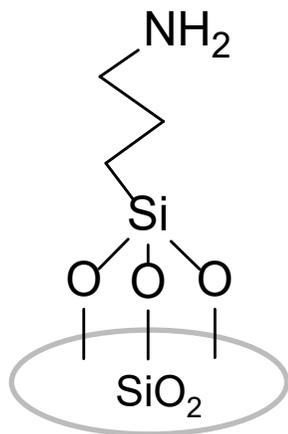
ゼオライトによる物理吸着法



水蒸気存在下で失活

二酸化炭素除去技術とその問題点

アミン系固体CO₂吸収剤



例)・固体支持体へのアミンの修飾

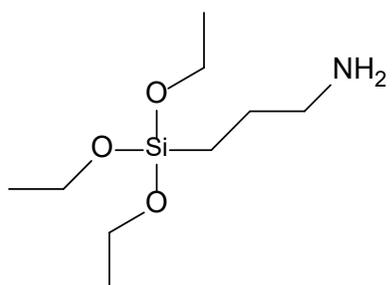
・多孔質支持体へのアミンの担持 等

回収・再生が容易

水蒸気存在下でも使用可能

DAC (Direct air capture)
におけるCO₂吸収剤として有望

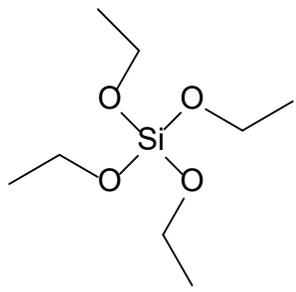
従来の合成法 (化学修飾法)



APTES

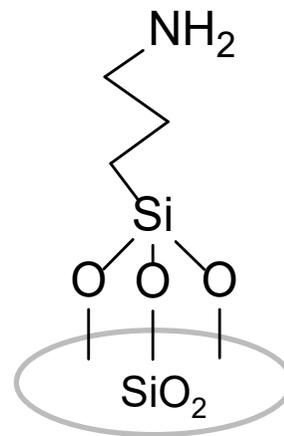
(aminopropyltriethoxysilane)

+



TEOS

(Tetraethyl orthosilicate)

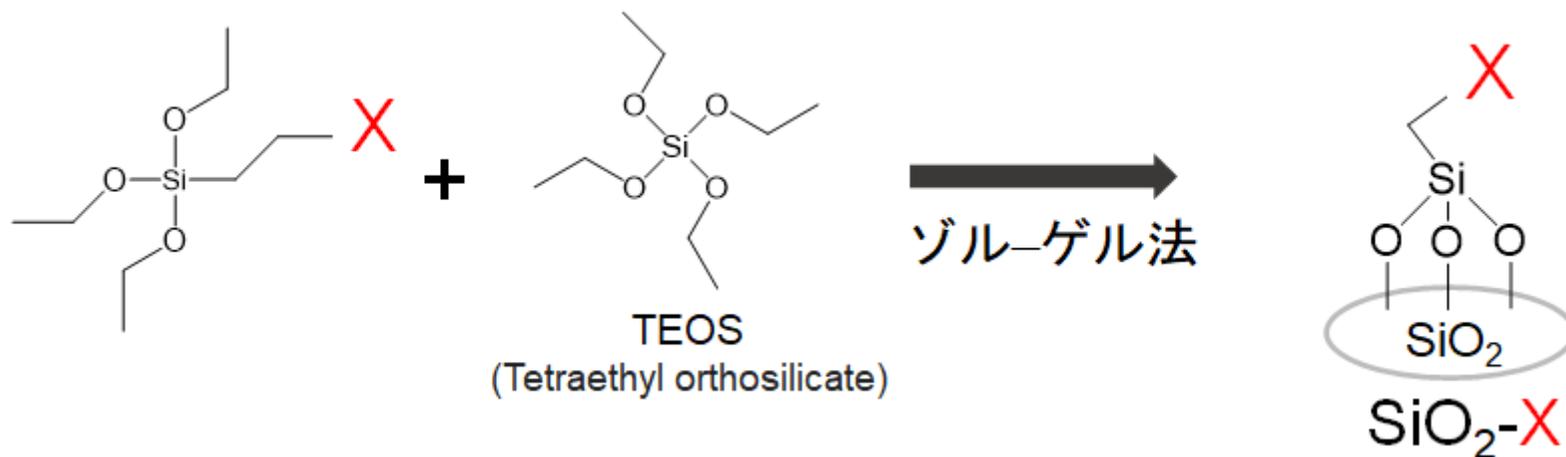


TEOSとシラン化剤の共縮合¹⁾

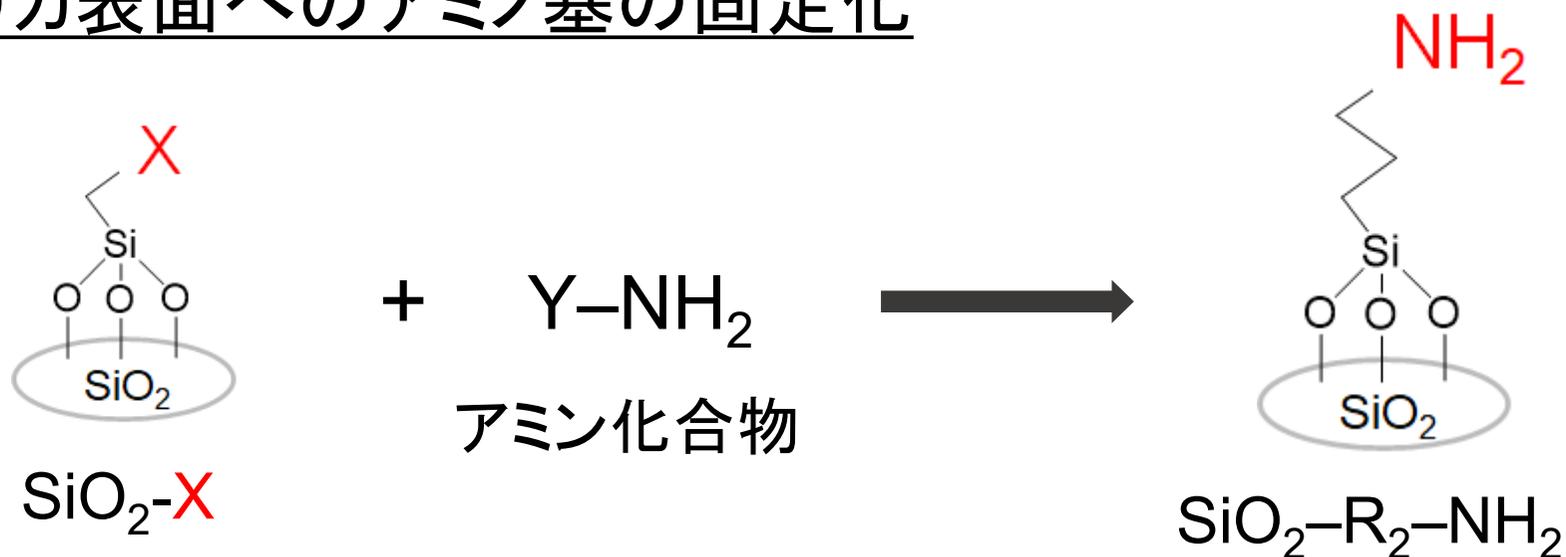
シラン化剤を用いたグラフト法²⁾

本技術

高密度な有機鎖を有するシリカの合成



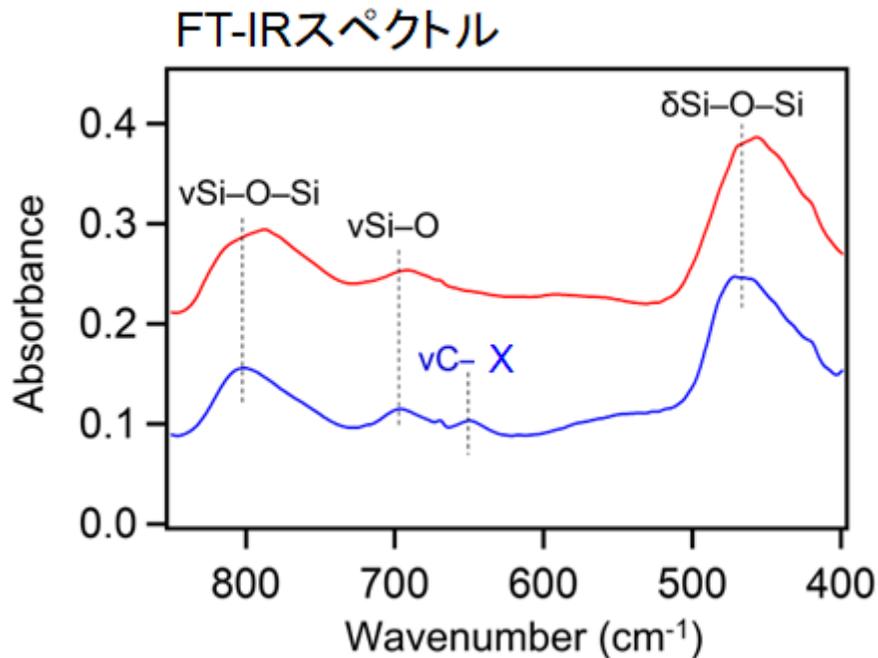
シリカ表面へのアミノ基の固定化



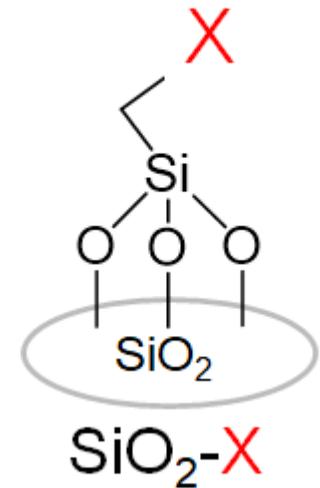
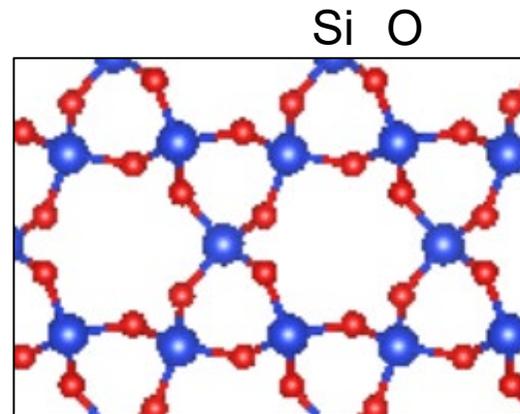
表面官有機鎖の密度

	表面修飾量 (mmol/g)	S_{BET} (m^2/g)	-X 密度 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2$)	$-\text{NH}_2$ 密度 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2$)
$\text{SiO}_2\text{-X}$	3.9	573	6.8	-
$\text{SiO}_2\text{-R1-NH}_2$	2.4	-	-	4.2

*元素分析, FT-IR, 比表面積評価装置により評価



α -石英の結晶構造

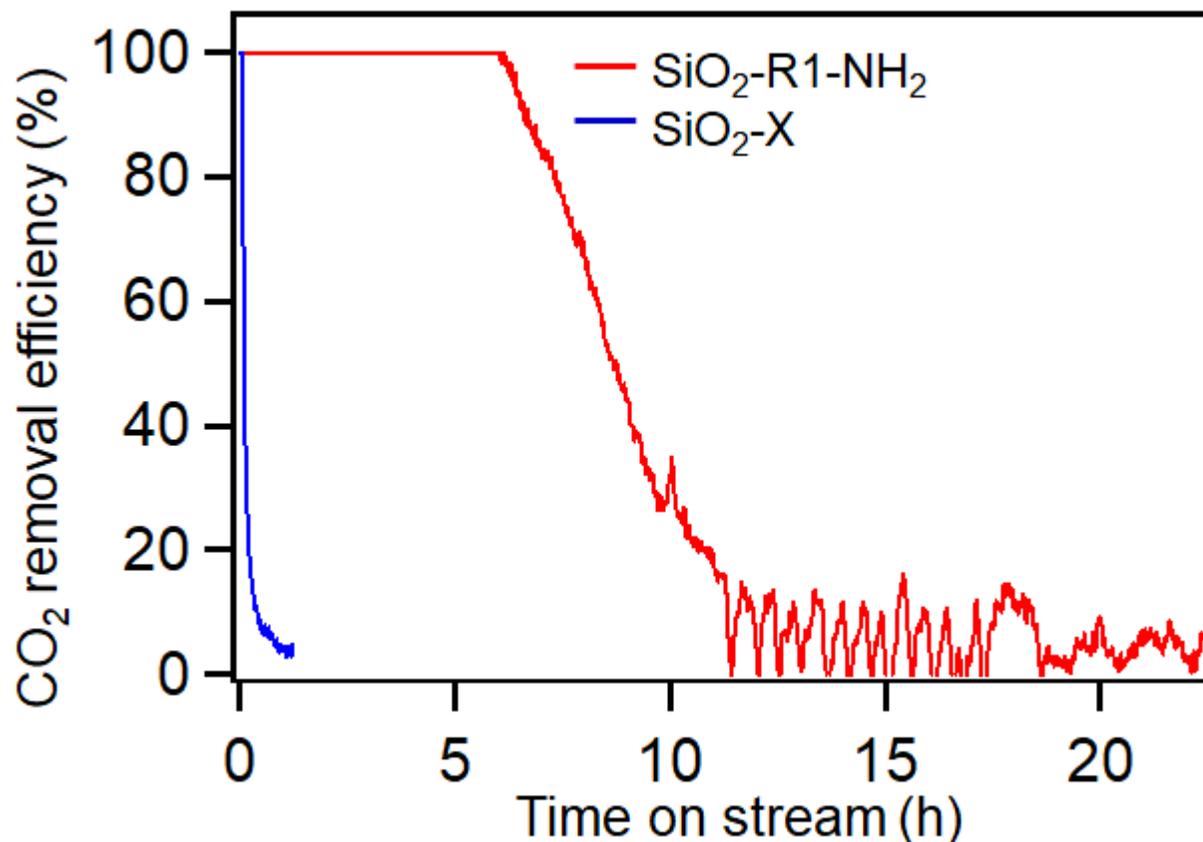
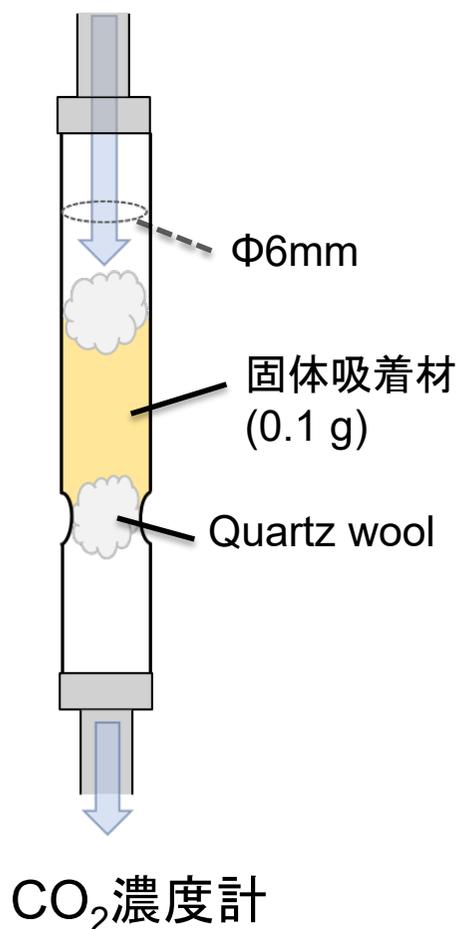


・Si原子の2割以上に有機鎖が修飾

DAC条件でのCO₂吸収性能評価

SiO₂-R1-NH₂ (前処理 : 80°C, N₂ flow)

400ppm CO₂, 10 mL/min
(0.011 mmol/h)

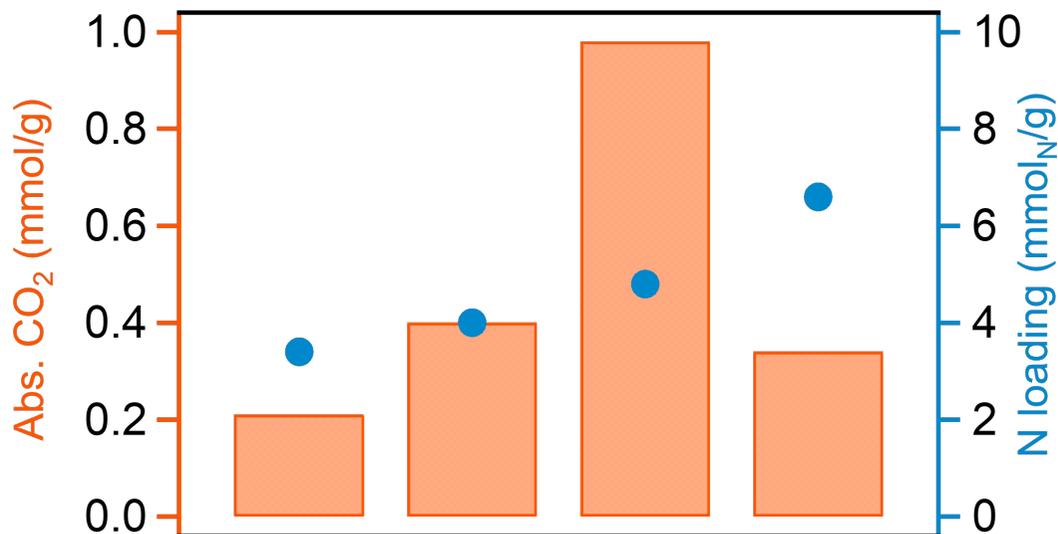


	アミン量 (mmol/g)	CO ₂ 吸着量 (mmol/g)	アミン利用 効率(%)
SiO ₂ -R1-NH ₂	4.8	0.98	20

400ppm CO₂ を6時間除去

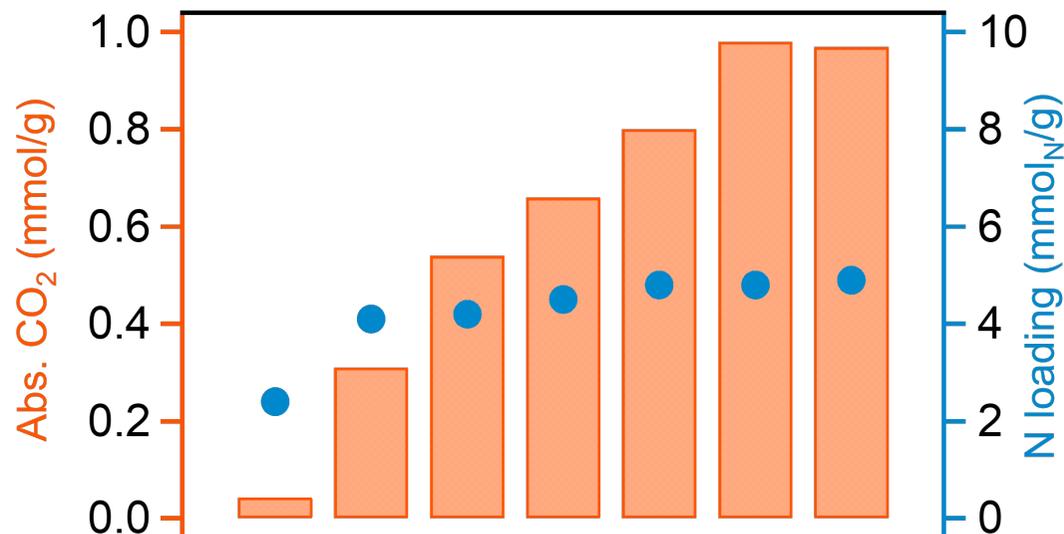
DAC条件でのCO₂吸収性能評価

SiO₂-R₁-NH₂ (Xの量依存性)



X	0.125	0.25	0.5	1
S _{BET} (m ² /g)	342	465	573	379

SiO₂-R₁-NH₂ (Y-R₁-NH₂量依存性)



Y	1	5	10	20	50	100	200
S _{BET} (m ² /g)	573						

固体吸着材合成の際の
最適条件が存在

測定条件

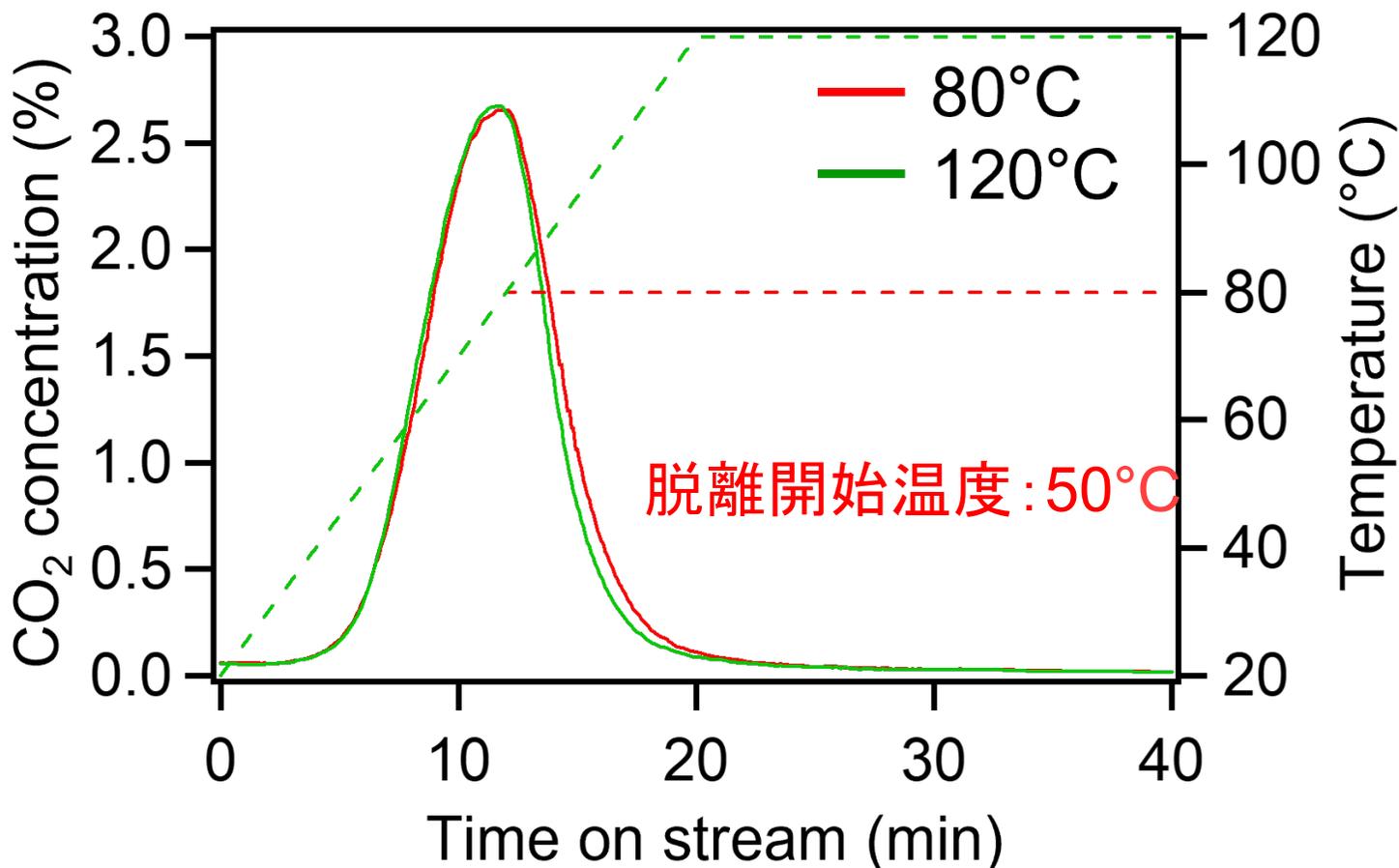
Gas : 400ppm CO₂

Flow : 10 mL/min (0.011 mmol/h)

Sorbent : 0.10 g

Des. : N₂ flow, 80°C (5 °C/min), 30 min

CO₂脱離特性評価



脱離開始温度: 50°C

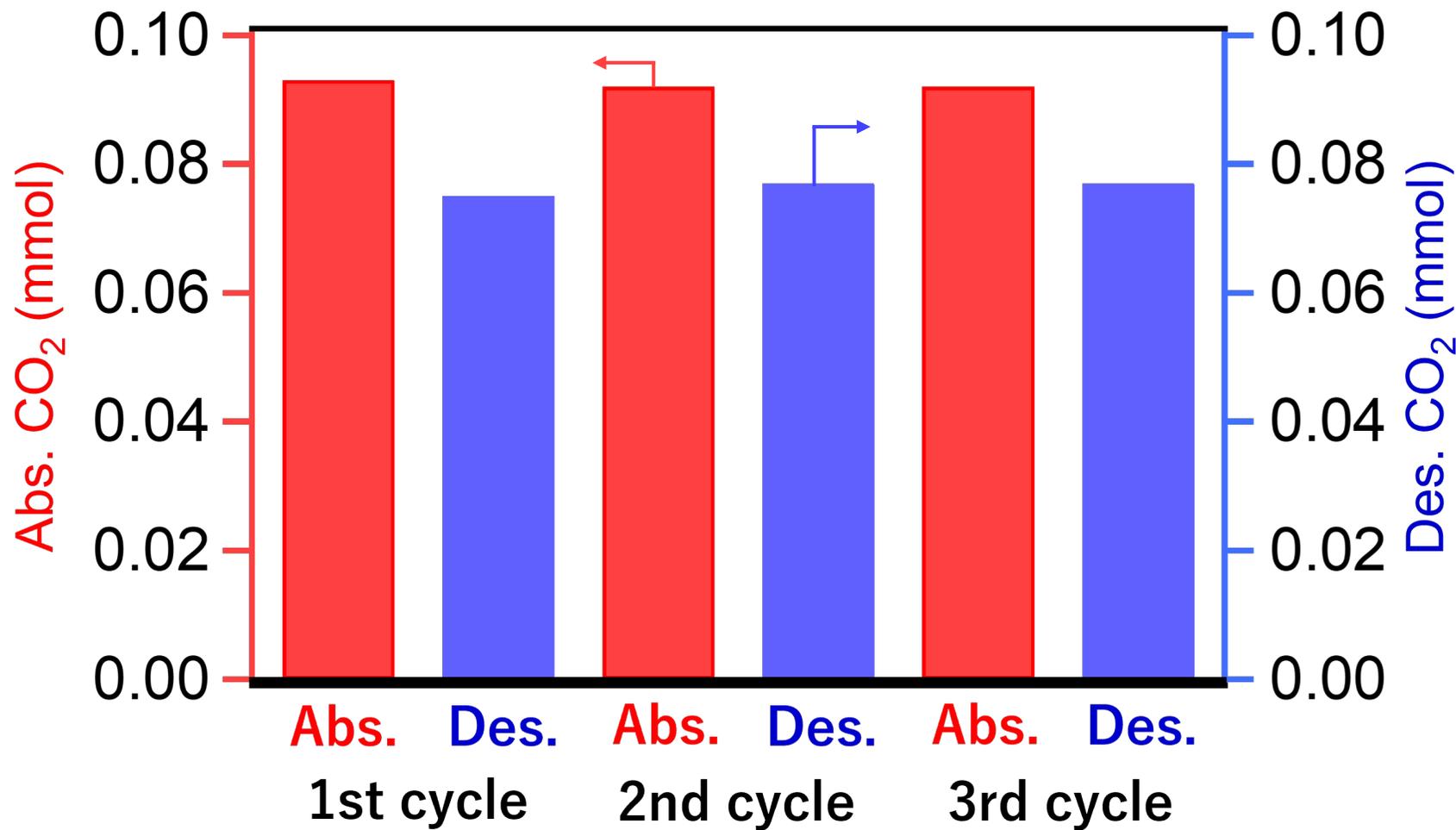
80°C以下でCO₂が脱離

測定条件

Gas : 400ppm CO₂
Flow : 10 mL/min (0.011 mmol/h)
Sorbent : 0.10 g
Des. : N₂ flow, 80°C (5 °C/min), 30 min

	Abs. CO ₂ (mmol)	Des. CO ₂ (mmol)
80°C	0.098	0.086
120°C	0.091	0.083

DAC条件での固体吸着材リサイクル評価



測定条件

Gas : 400ppm CO₂

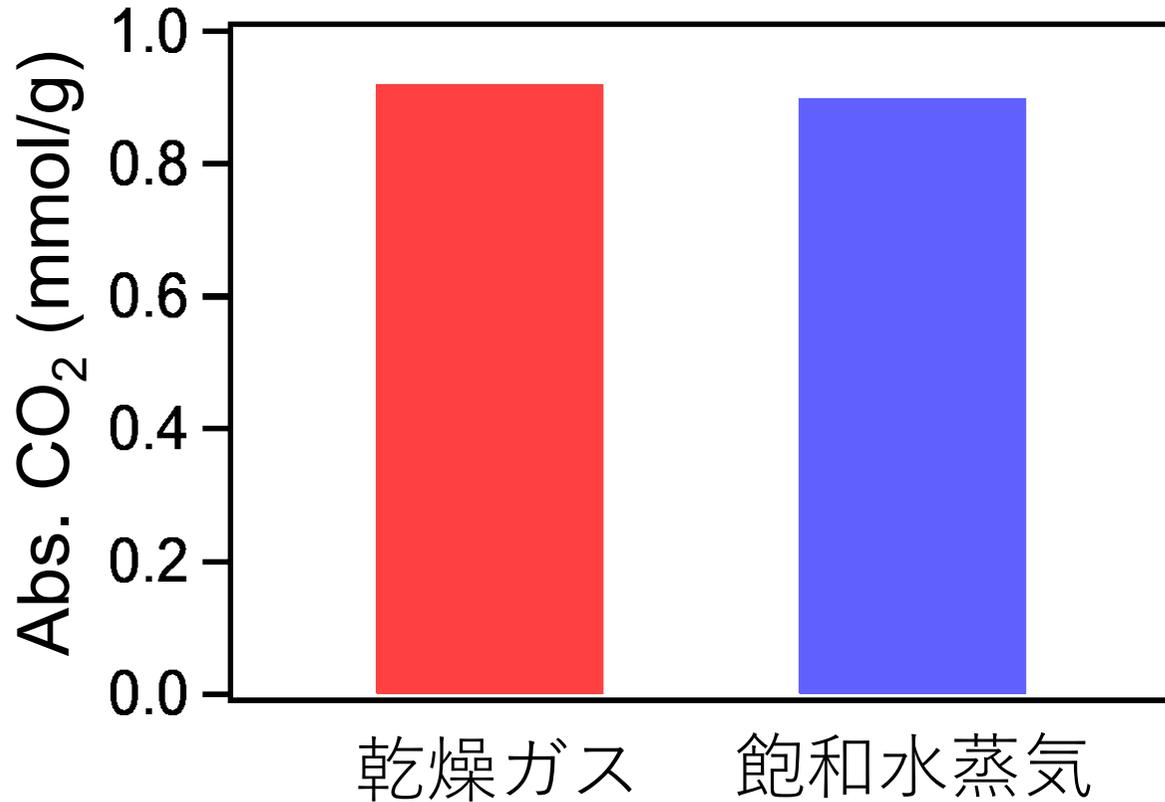
Flow : 10 mL/min (0.011 mmol/h)

Sorbent : 0.10 g (0.26 mmol)

Des. : N₂ flow, 80°C (5 °C/min), 30 min

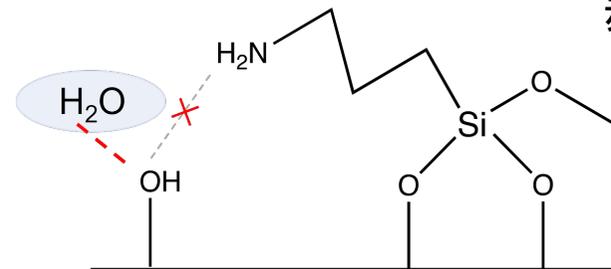
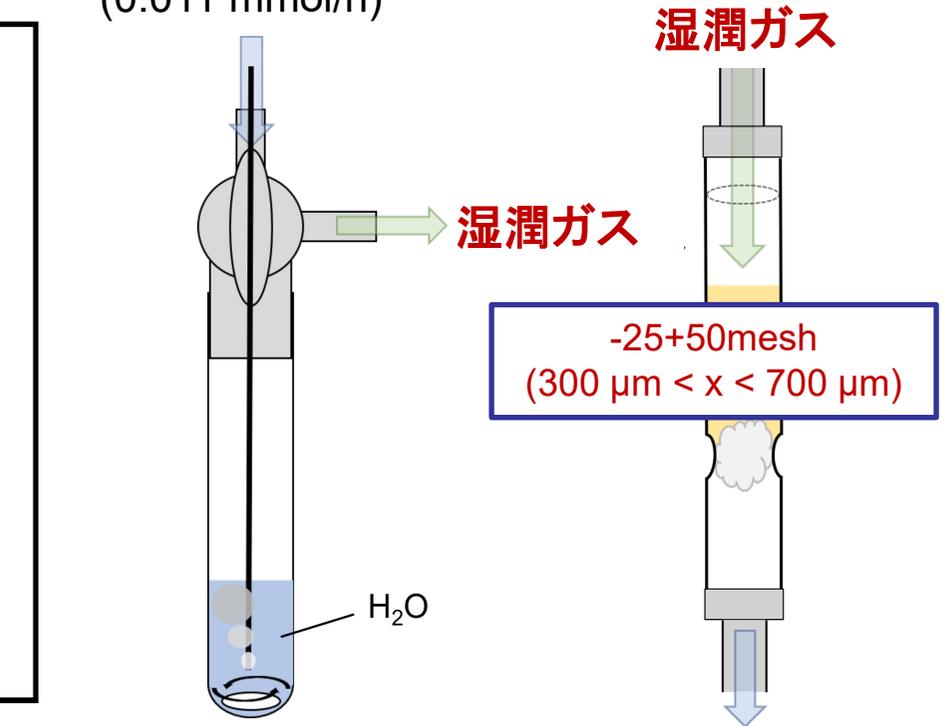
繰り返しの使用が可能

DAC条件での固体吸着材リサイクル評価



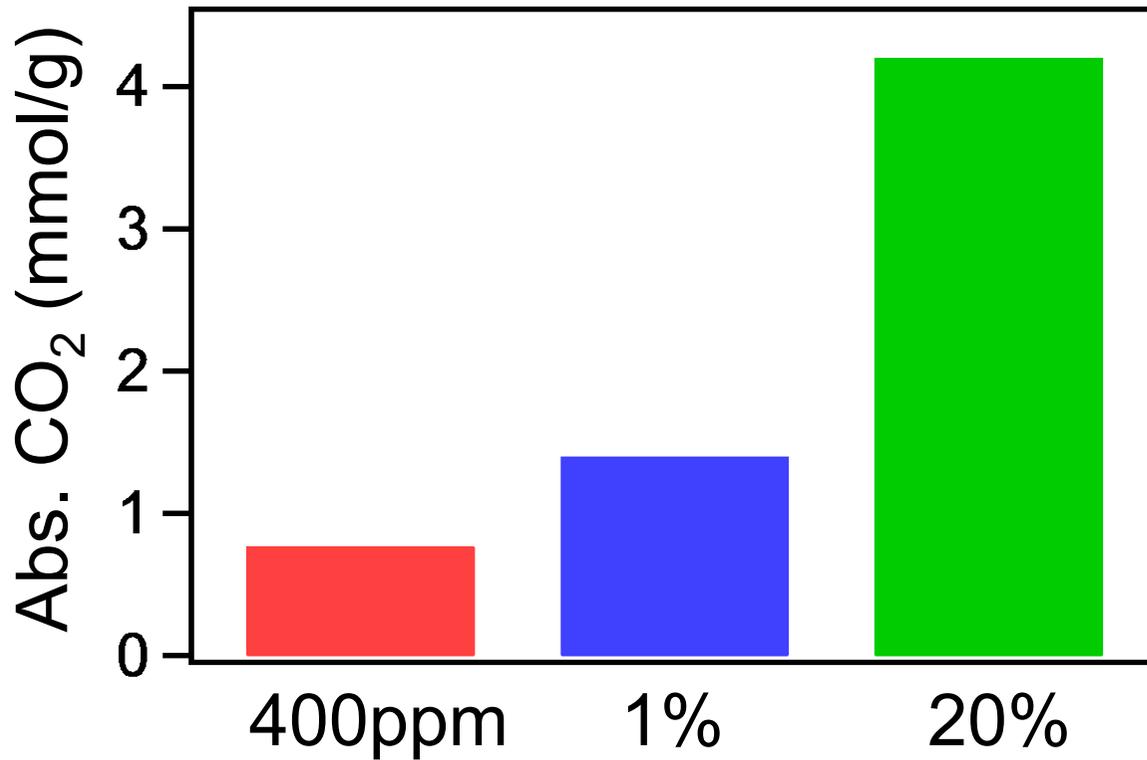
水蒸気存在下においても
CO₂吸収能を発揮

400ppm CO₂, 10 mL/min
(0.011 mmol/h)



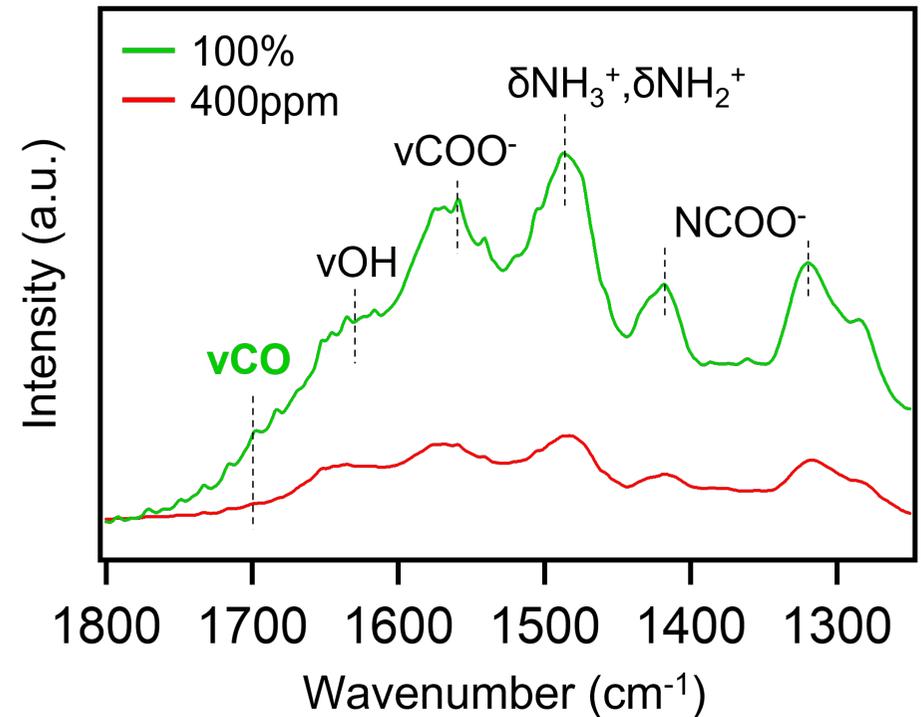
表面の-OH基による
アミノ基の失活を抑制

DAC条件での固体吸着材リサイクル評価



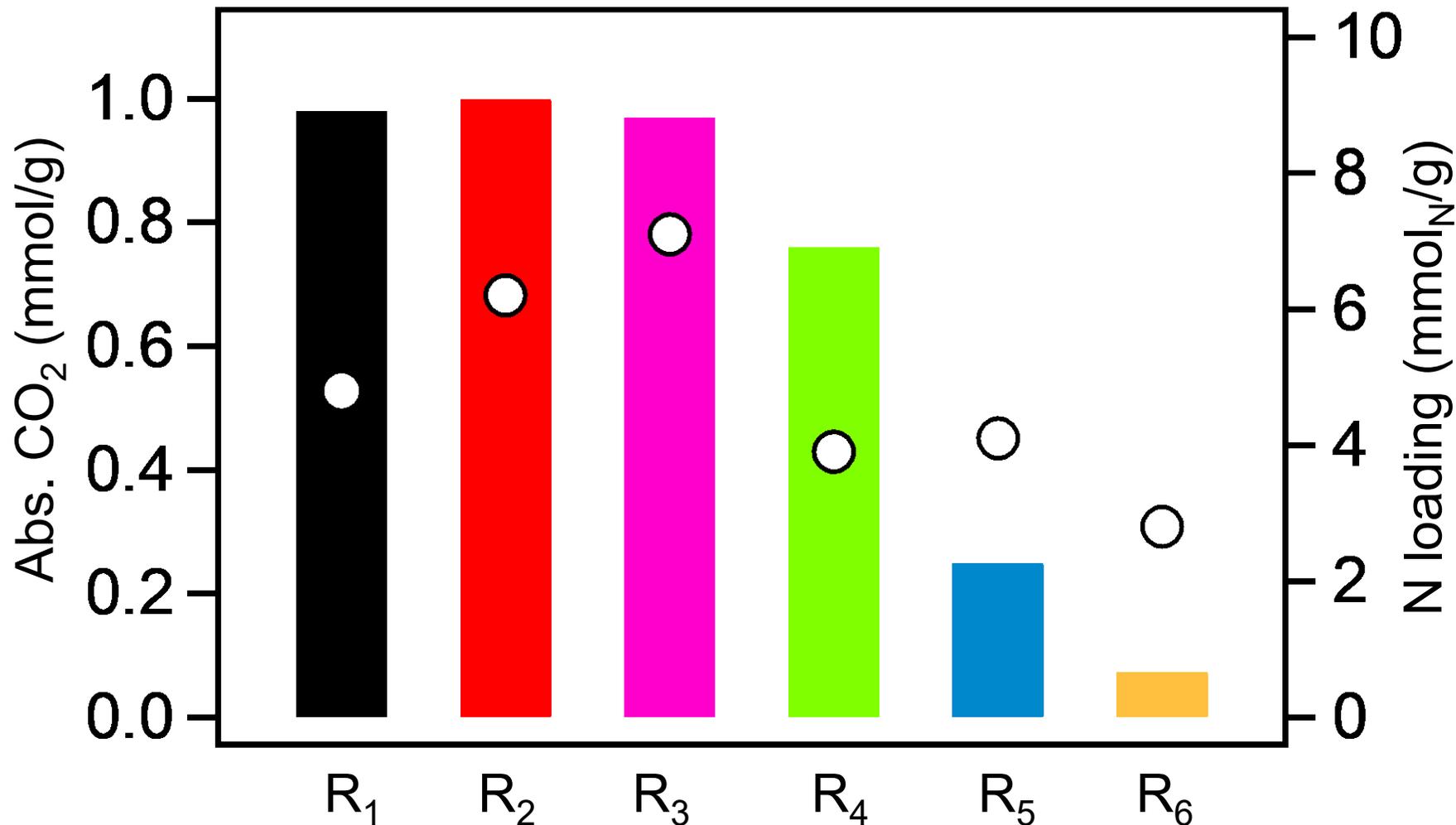
	Abs. CO ₂ (mmol/g)
400ppm	0.77
1%	1.4
20%	4.2

FT-IRスペクトル
(CO₂吸収前後の差スペクトル)



高濃度CO₂
→カルバミン酸の形成により
CO₂を回収

種々のアミン化合物での評価



前処理 : 80°C, N₂ flow

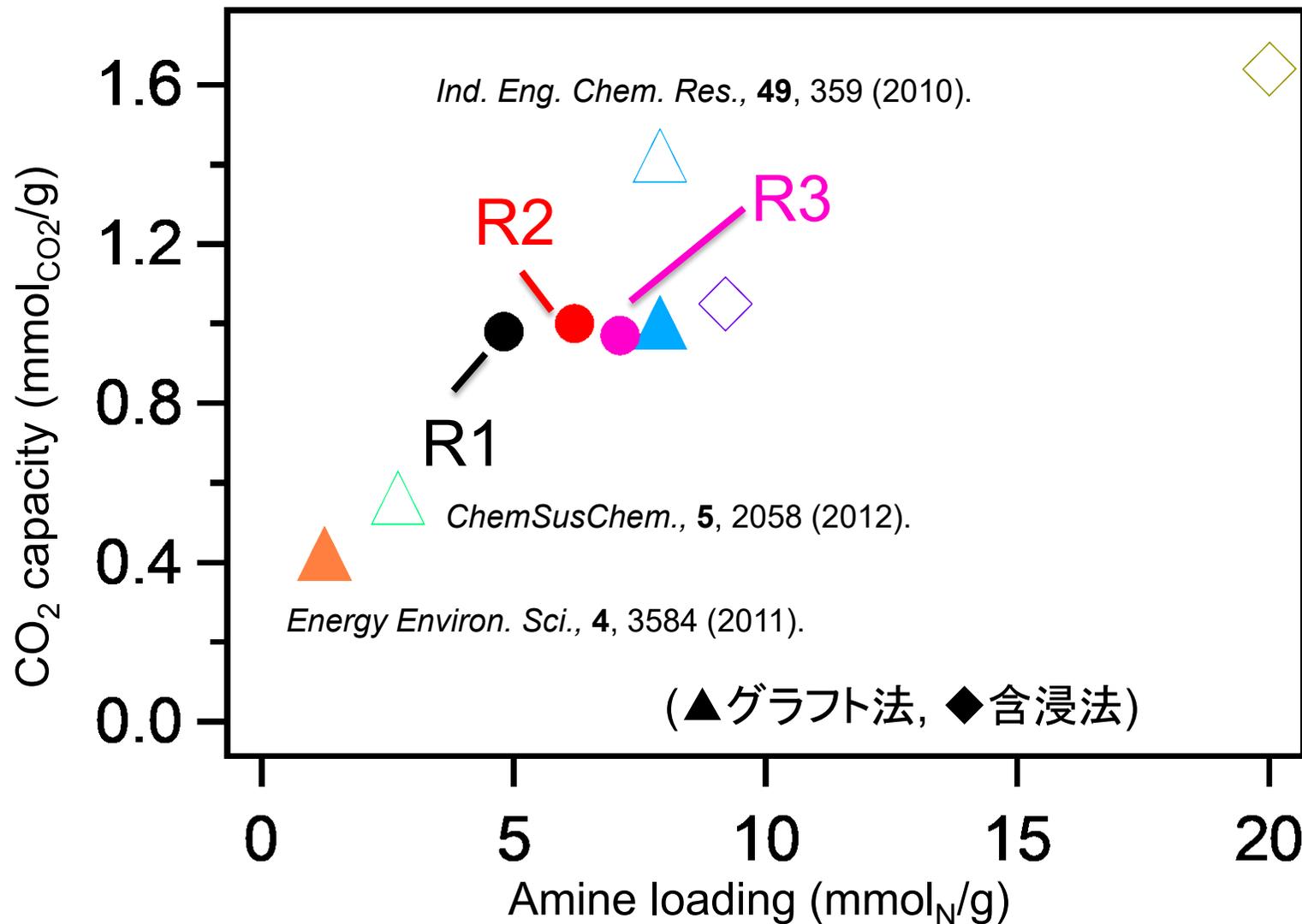
Gas : 400ppm CO₂

Flow : 10 mL/min (0.011 mmol_{CO2}/h)

Sorbent : 0.10 g

幅広いアミンへの適用が可能

種々のアミン化合物での評価



既存の吸収剤と同等以上のアミン利用効率

想定される用途

- 本技術は空気中に含まれる低濃度のCO₂を室温、流通系で吸収できるため、Direct Air Capture (DAC)技術に応用できると考えられる。
- 高濃度CO₂の吸収も可能なため、上記以外にも排気ガス中のCO₂の吸収技術への応用も期待できる。
- 水蒸気存在下でもCO₂を吸収・放出可能であるため、スペースシャトル等の閉鎖空間のCO₂の除去にも応用できる。

実用化に向けた課題

- 現在，固体吸着材により大気中のCO₂を効率よく吸収し，80℃以下で脱離できることは実証済み．固体吸着材の大量合成や表面アミンの更なる利用効率向上が未解決
- 今後，固体吸着材の大量合成法の確立，表面アミンの利用効率向上を目指す．
- 実用化に向けて，固体吸着材を用いた低コストシステムDACシステムの確立も必要である．

企業への期待

- 固体吸着材の大量合成法の確立.
- 本, 固体吸着材を用いたDACプロセスの事業化に向けた共同研究を希望
- 閉鎖空間からのCO₂除去技術を望まれている企業との共同研究

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称：二酸化炭素の吸収放出剤、二酸化炭素の吸収方法、二酸化炭素の放出方法、二酸化炭素の回収方法、及び置換非晶質シリカ
- 出願番号：特願2023-033994
- 出願人：東京都公立大学法人
- 発明者：山添誠司、吉川聡一、片岡実織

産学連携の経歴

- 2018年-2019年 分析系の企業と共同研究実施
- 2019年-2023年 材料系の企業と共同研究実施
- 2021年-2023年 化学・システム系の企業と共同研究実施

お問い合わせ先

東京都立大学 総合研究推進機構 URAライン

TEL 042-677-2202

E-mail ragroup@jmj.tmu.ac.jp

問合せフォームはこちらから



※東京都公立大学法人・産学公連携センターのWebサイトです
https://www.tokyo-sangaku.jp/sangaku_works/sangaku_info/