

新規機能性材料創製のための 均一ナノ空間材料内での物質合成

均一ナノ空間を有する多孔質材料内に回収した二酸化炭素から尿素の合成に成功。
均一ナノ空間を有する多孔質材料を特異的な反応場として活用すると共に、材料内で合成された物質の新たな機能性創出にも成功しています。

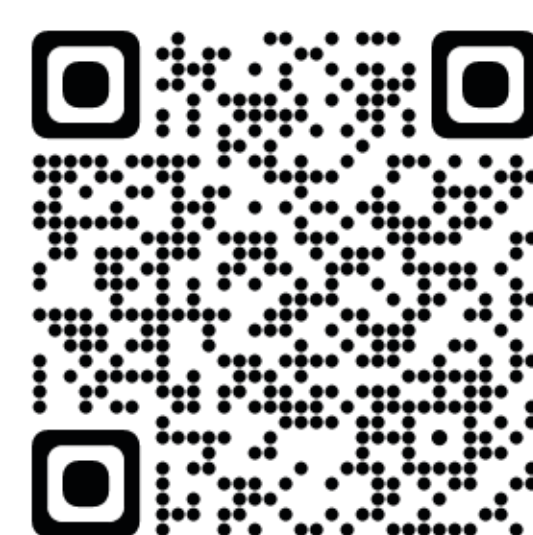
日本大学

理工学部

物質応用化学科

教授

梅垣 哲士



多孔質材料に存在するナノサイズの空間では、通常の条件ではみられない特異的な現象が起こります。私たちの研究グループでは、球状中空材料のナノ空間内に二酸化炭素とアンモニアを同時回収し、加圧アルゴン下で処理することで、その空間内で尿素を低温、低圧で合成することに成功しました。合成した尿素を含む多孔質材料を水素貯蔵や吸熱など機能性を示すことも明らかにしています。

ポイント

- 多孔質材料の**均一ナノ空間の活用**
 - 材料内において**均一な組成で物質**(CO_2 , NH_3)**を回収**
 - ⇒**特異的に低エネルギーで高効率な物質変換を実現**
- ※空間内に内包した物質の特異的な機能性

こんな開発ニーズに

- 廃棄物質, 未利用物質等の**高効率回収, 変換**
- エネルギー消費が大きい**プロセスの効率化**
- **空間内の物質の特異性を活用する新規機能性材料の創製**

新規機能性材料創製のための 均一ナノ空間材料内での物質合成

日本大学 理工学部 物質応用化学科 教授 梅垣 哲士

共同研究
実用化
企業募集中

研究背景・目的

多孔質材料のナノ空間

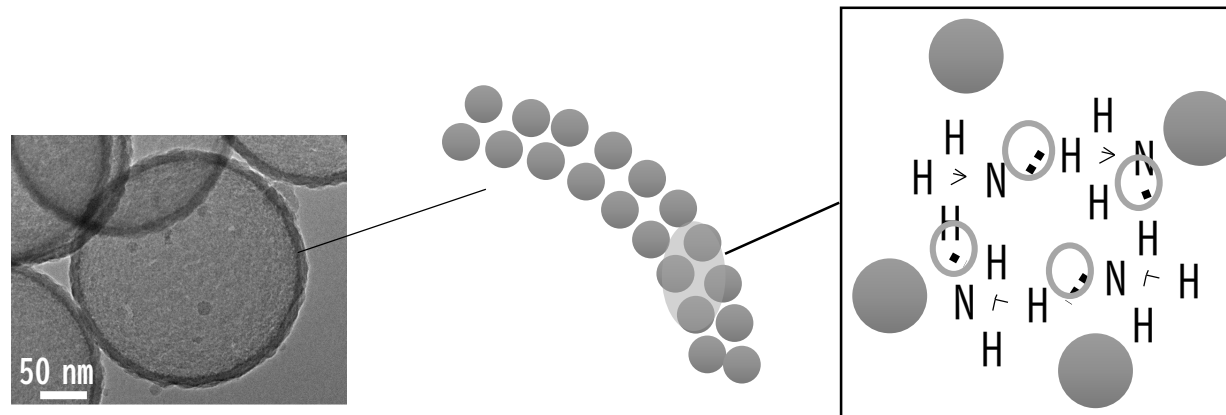
通常の条件では見られない特異的な現象がみられる

- ・特異的物性
例) 水の凝固点
通常: 0°C $\rightarrow$ ナノ空間内: -100°C
- ・特異的反応性
例) アンモニアボランの分解
分解エンタルピー 約1/20

当研究グループの知見

例) アンモニア昇温脱離測定 (2016).

通常の微粒子と比較して、高温 ($\sim 300^{\circ}\text{C}$) まで脱離しないアンモニアが増大
球状中空材料のナノ空隙で分子が高密度化
 $\rightarrow$ 特異的な分子間結合 (水素結合) が形成



$\Rightarrow$ 反応性に対する特異性は?

本技術

高温高压を要する化学プロセスへの応用

- 尿素合成を例に -

工業プロセス例 (TOYO法)

$170\sim 200^{\circ}\text{C}$, $14\sim 25\text{ MPa}$, 気相

その他 (Manaka et al. (2020))

140°C , 0.5 MPa , 有機溶媒中

多孔質球状中空シリカ内における
プロセスの低温・低圧化

原理・方法

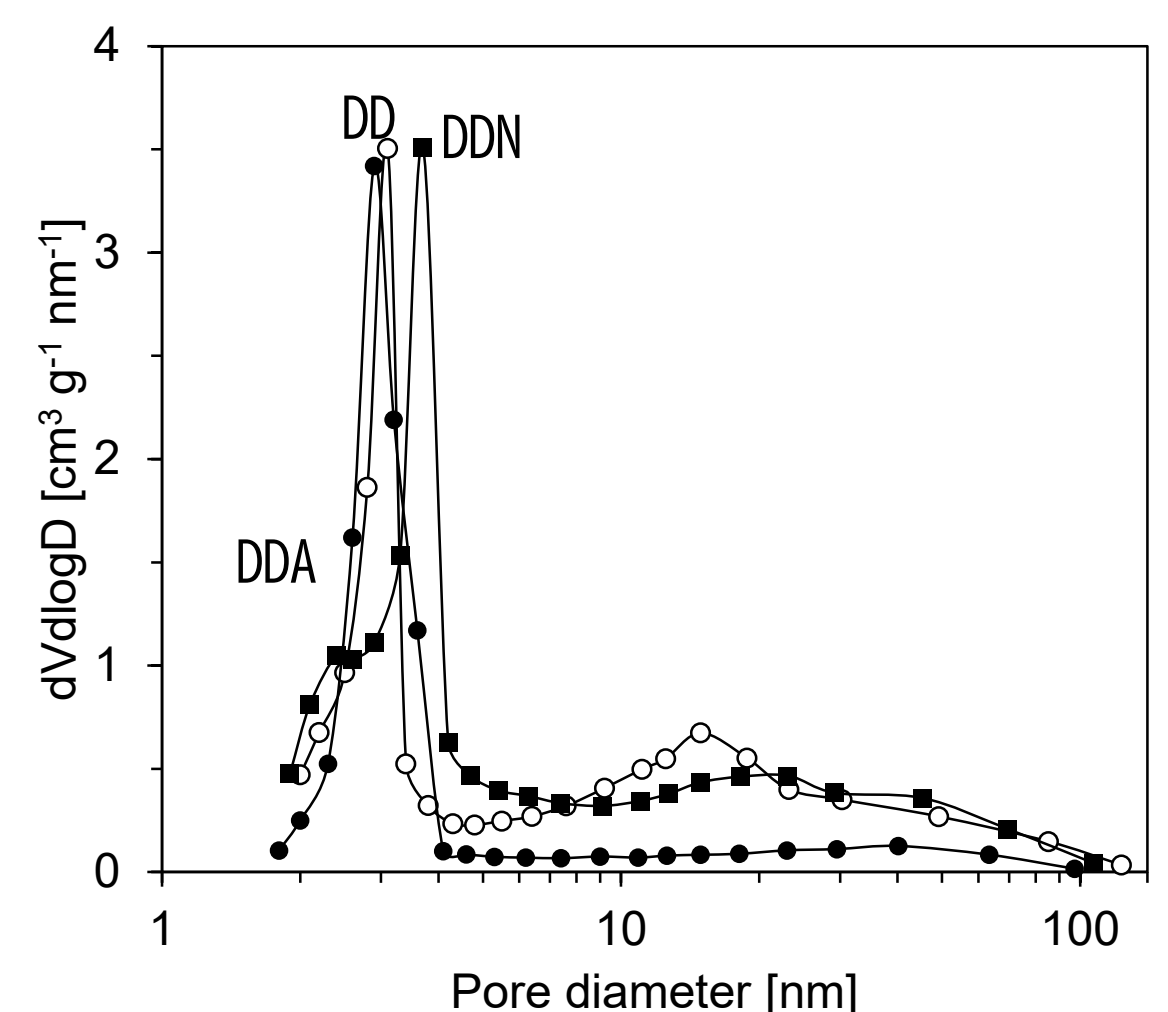
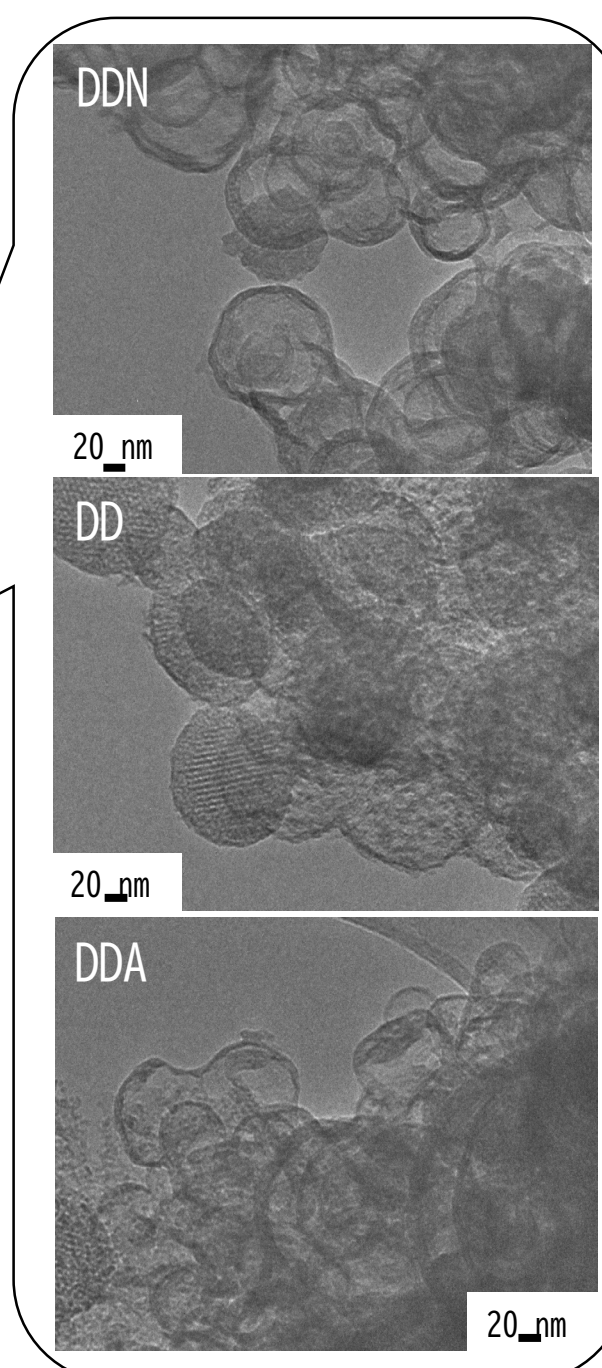
多孔質シリカの調製

DDN (0.1760 g) or DD (0.1492 g) or DDA (0.1371 g)
臭化ヘキサデシルトリメチルアンモニウム (CTAB) 0.15 g
イオン交換水 150 mL
水酸化ナトリウム 0.09 g ケイ酸エチル 2.25 mL

攪拌
温度: 333 K
時間: 30 min

焼成
時間: 3 h
温度: 673 K

多孔質球状中空シリカ



窒素吸脱着測定の結果から算出した
各試料の細孔径分布

多孔質シリカへの CO_2 , NH_3 の回収および尿素合成

CO_2 バブリング
流量: 300 mL min^{-1}
時間: 40 min

酢酸銅 0.2541 g
アンモニア水 12.5 mL
イオン交換水 2.5 mL

多孔質シリカ
0.5 g

浸漬
温度: 室温
時間: 4 h

乾燥
圧力: 真空
時間: 30 min
温度: 373 K

前駆体

合成処理
圧力: 0.5 MPa Ar
時間: 5 h
温度: 323 K

尿素含有多孔質球状中空シリカ

結果

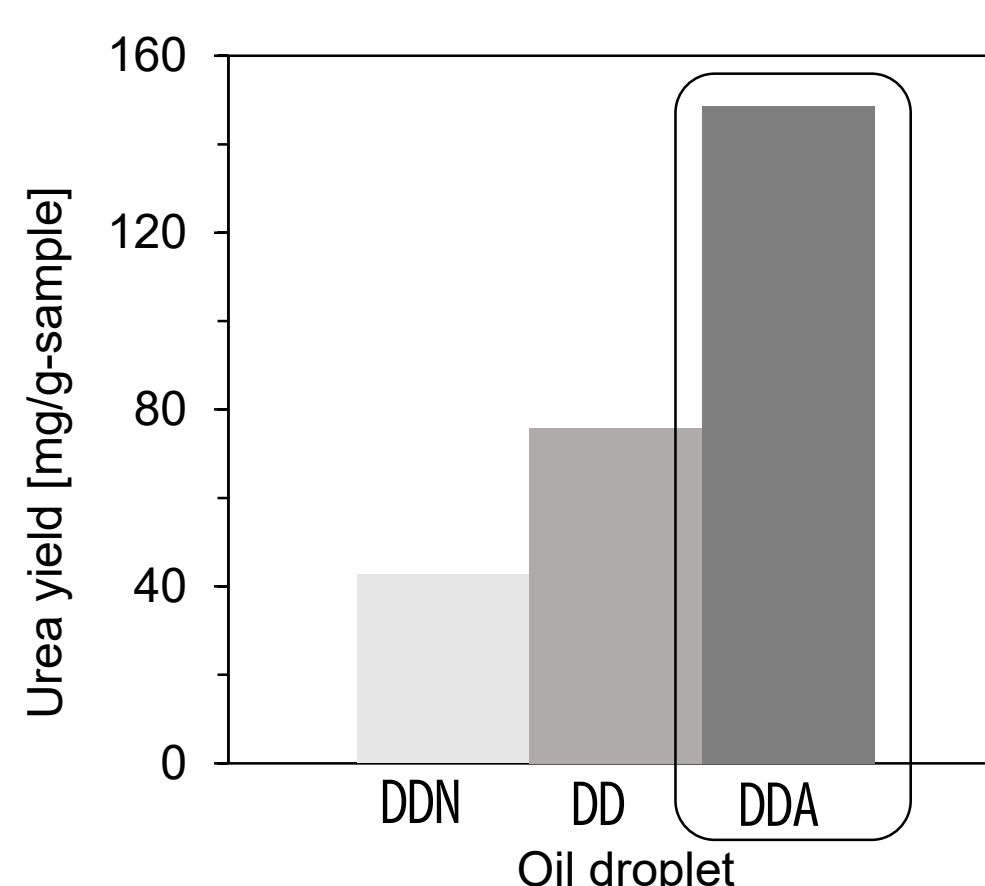
変換前の内包成分組成 (表面～内部)

(X線光電子分光法により分析)

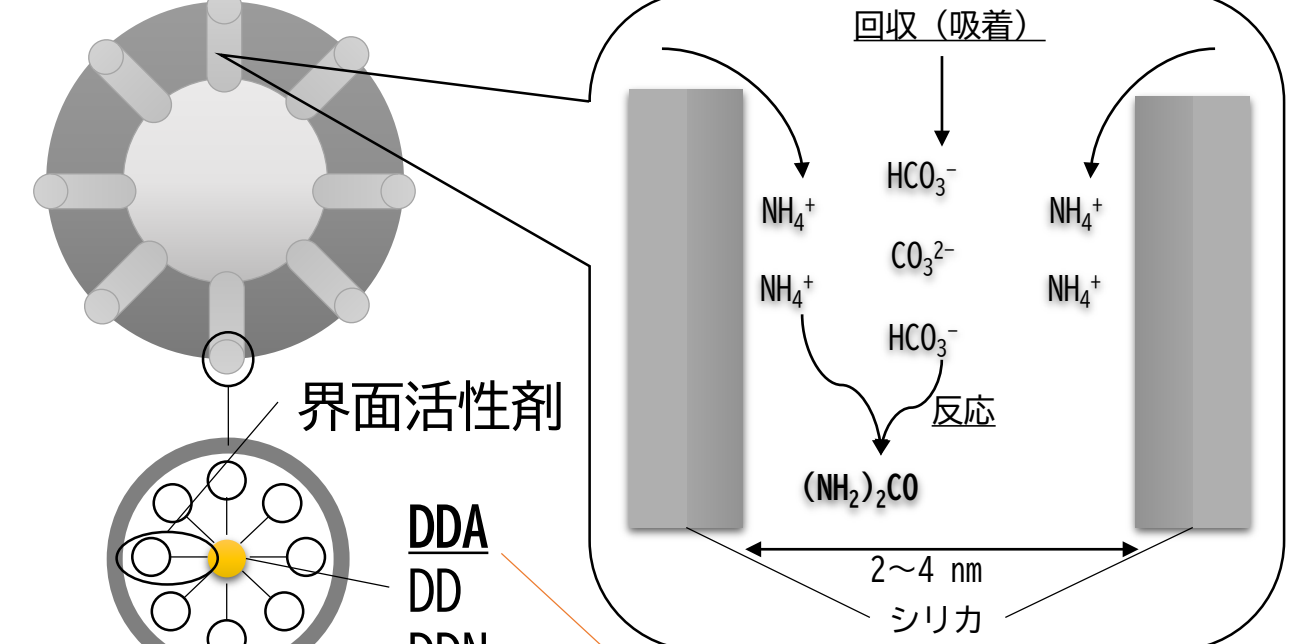
	Oil droplet [min]	Ar ⁺ etching [min]	Cu [mol%]	Si [mol%]	N [mol%]
DDN	0	0	2.0	93.8	4.1
	5	0.6	94.6	4.8	
	10	1.8	96.2	1.9	
DD	0	1.1	93.4	5.5	
	5	0.4	97.0	2.6	
	10	0.9	90.6	8.5	
DDA	0	1.4	87.8	10.7	
	5	1.2	94.2	4.6	
	10	1.2	87.7	11.1	

各成分が比較的多量で均一に回収されている

各試料における収率



※多孔質球状中空シリカの構造と内包物質



空間サイズが小さく均一 $\rightarrow$ 高尿素収率

※機能性の例

- ・水素貯蔵
- ・吸熱特性 (相転移, 分解温度の高温化)

まとめ

- ・ CO_2 および NH_3 の回収効率は空間サイズと均一性に依存
- ・高収率に尿素を得るためには、空間のサイズと均一性の制御が重要

応用分野・用途・今後の展開

- ・廃水等からの高効率物質回収, 変換
- ・通常進行しにくいプロセスの効率化
- ・空間内で合成した物質の新規機能性の創出