

# 希薄反応性窒素の回収・除去技術開発

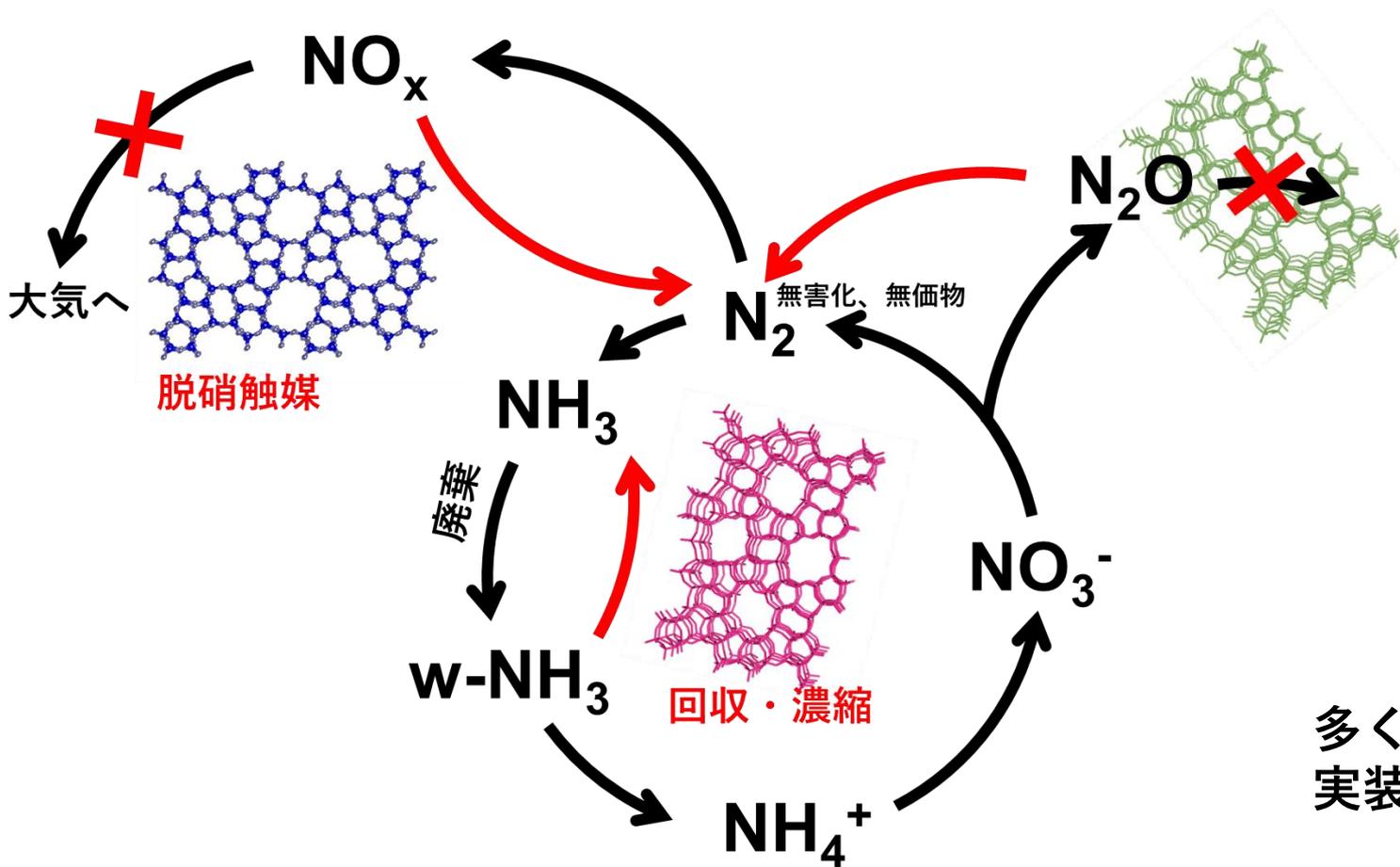
東京大学 大学院工学系研究科

脇原 徹



# 窒素循環社会の実現に向けて

窒素循環社会構築のためには  
亜酸化窒素・アンモニア回収技術と脱硝技術の開発が喫緊の課題

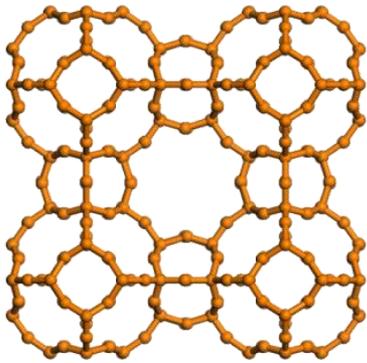


東京大学  
三菱ケミカル  
産総研  
JFCC

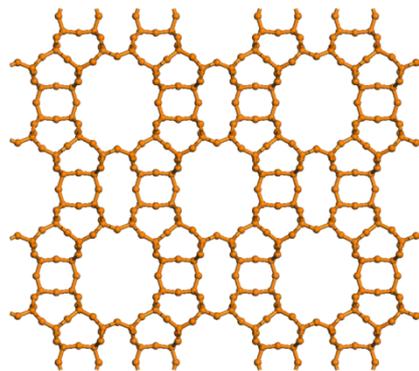
多くの企業が参画し、  
実装へ向けた検証中

# ナノ空間を持つ材料「ゼオライト」

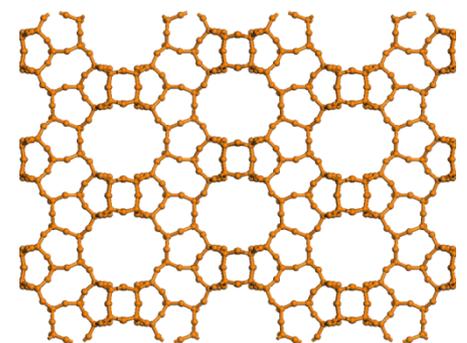
- 結晶性の無機多孔質物質  
(主にケイ素 Si, アルミ Al, 酸素 O の原子からできている)
- 様々な結晶構造 (200種類以上！)
- 大表面積 (1gでテニスコート1面分以上！)



LTA (zeolite A)



MOR



BEA

# 身近なゼオライトの使い道

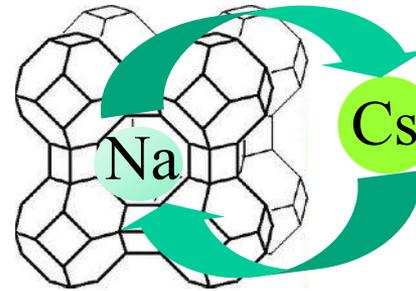
ゼオライト無しでは世の中が成り立たない！  
(世界での生産量 約 2,000,000 トン/年)

## 石油化学触媒



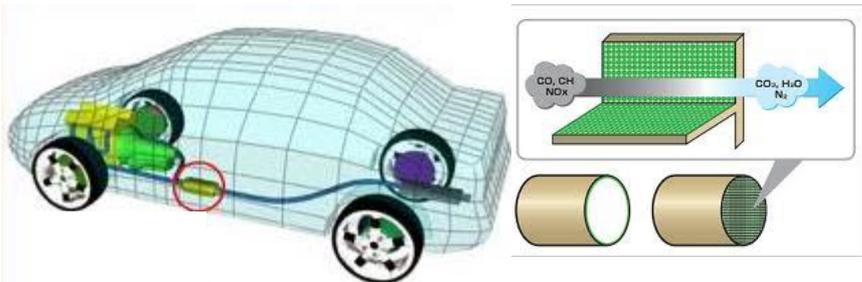
プラスチック製品の供給

## 吸着材



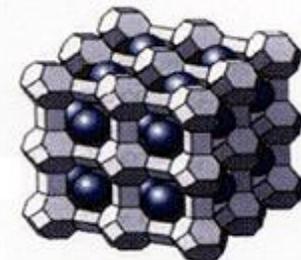
放射性セシウムの吸着

## 自動車用排ガス処理



排気ガスをクリーンに

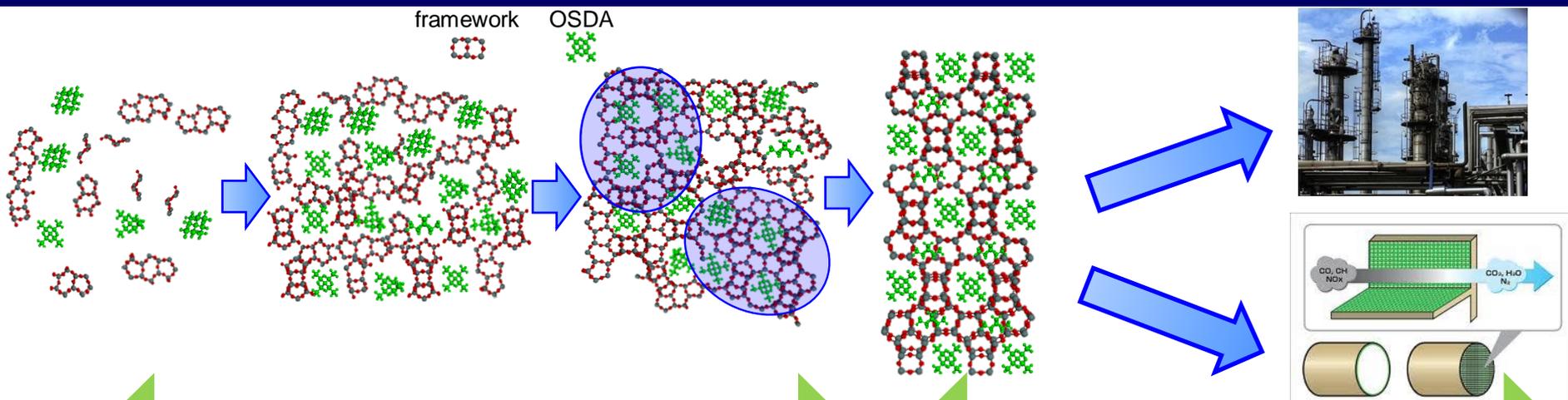
## 抗菌・抗ウイルス剤



銀ゼオライトイメージ

空間内に有効成分を固定<sup>4</sup>

# ゼオライトサイエンスのフロンティア



## ゼオライト合成の基礎

- ・核発生前の非晶質アルミノシリケートの構造変化
- ・OSDAと骨格元素の相互作用の制御
- ・核発生の瞬間

- ・構造の新規性を有するゼオライト合成
- ・組成の新規性を有するゼオライト合成
- ・Al位置の制御、欠陥の制御
- ・OSDAフリー、代替、減量

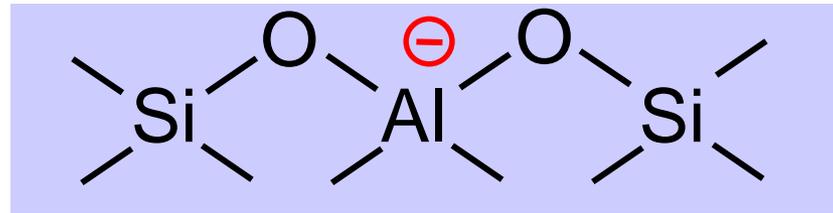
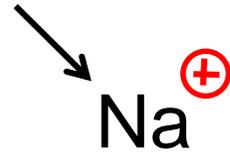
## ゼオライトの応用

- ・ポスト処理(脱Al、メソ孔導入、ヘテロ金属導入、クラスタ導入、外表面酸点失活化)
- ・サイズチューニング
- ・効率的な生産プロセス

- ・高活性・高耐久性を両立した排ガス触媒
- ・バッチ合成から流通合成への転換
- ・ゼオライト膜による高効率分離プロセス
- ・バイオマス転換、シェールガスの利用

非平衡場の合理的な制御による、  
ゼオライトのデザイン

交換可能なカチオン



ゼオライト骨格

- ・硬水の軟水化 (Na型ゼオライトによる $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ のイオン交換)
- ・Agイオン交換ゼオライトを利用した抗菌応用
- ・放射性元素(セシウム)の吸着除去

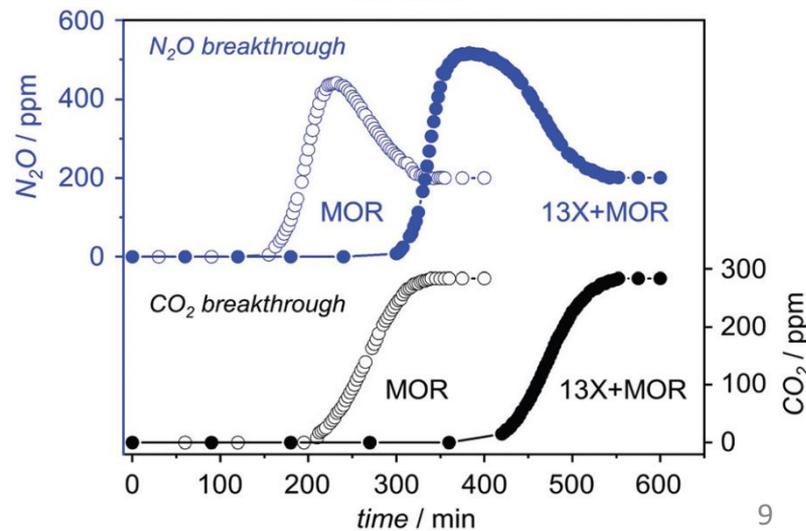
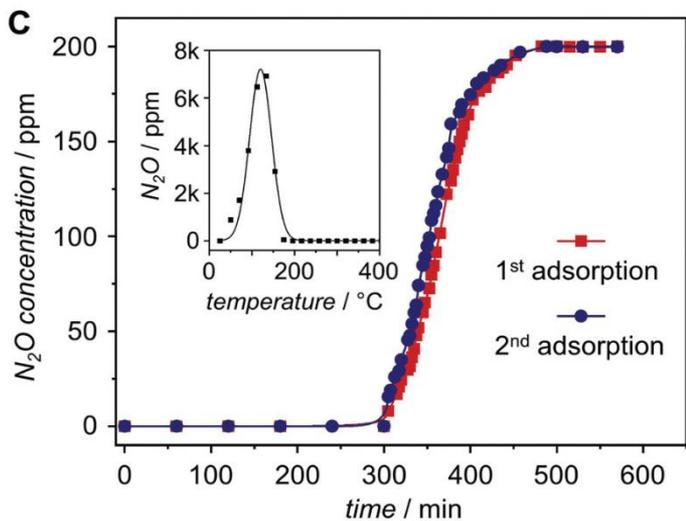
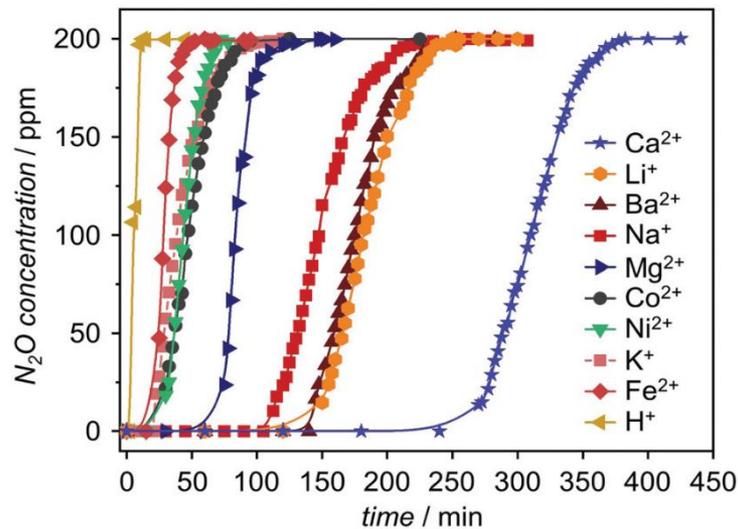
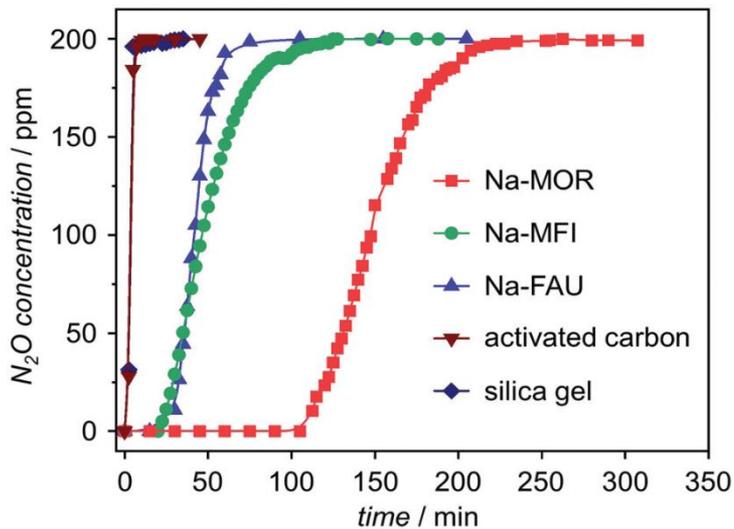
# ゼオライトの威力(環境問題に大きく貢献)

左が蒸留水+洗剤、  
真ん中がEvian+ゼオライト+洗剤、  
右がEvian+洗剤





**Synthetic and natural MOR zeolites as high-capacity adsorbents for the removal of nitrous oxide.** Keita Yamashita, Zhendong Liu\*, Kenta Iyoki, Ching-Tien Chen, Shoko Miyagi, Yutaka Yanaba, Yusuke Yamauchi, Tatsuya Okubo, Toru Wakihara\* *Chemical Communications*, 57, 1312-1315 (2021). DOI: 10.1039/d0cc07511f



# ゼオライト、N<sub>2</sub>O大量吸着

## 安価に除去装置 温暖化防止

### 東大が発見

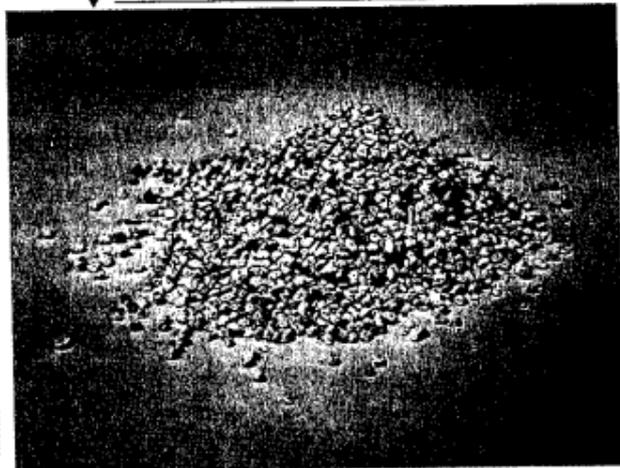
東京大学の脇原徹教授らは、地球温暖化の原因となる温室効果ガスの一種である一酸化二窒素(N<sub>2</sub>O)を天然のゼオライトが大量に吸着することを発見した。N<sub>2</sub>Oは温室効果が二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の約296倍、大気寿命が121年と長い。一方で、ゼオライトは1キロ当たり100円以下で販売されている。下水処理場や畜産の現場、ディーゼルエンジンなどから排出されるN<sub>2</sub>Oを安価に除去できるシステム開発につながる。

実験では天然のモルデナイトゼオライトが常温常圧で1キロ当たり0.34リットルのN<sub>2</sub>Oを吸着した。吸着量はパラジウムなど貴金属ナノ粒子の数分の1にとどまるが、ゼオライトは価格競争力が高い。粉砕しなければ1キロ当たり10円程度で入手可能という。ゼオライ

トに吸着したN<sub>2</sub>Oは加熱すると200度C以下で脱離し、吸着材として再生できる。ゼオライトの陽イオンをカルシウムイオンやナトリウムイオンで交換すると吸着量が増えた。安価なイオン種で吸着量を増やせることが見込まれる。ゼオライトは水分やCO<sub>2</sub>

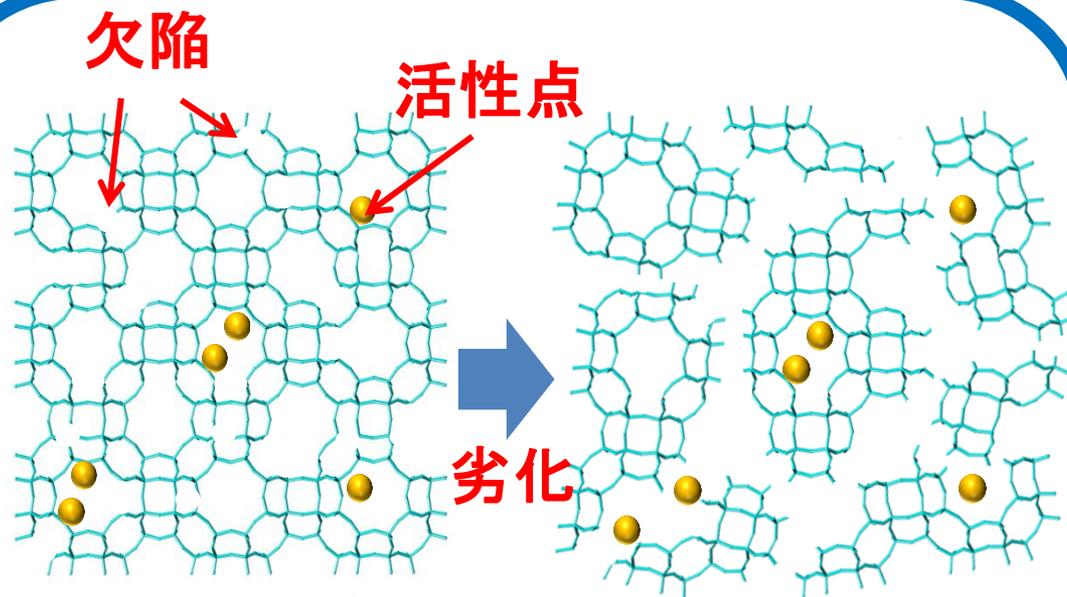
も吸着するため混合ガスはN<sub>2</sub>Oの吸着量が減る。そこでLTA型ゼオライトでガス中に含まれる水分やCO<sub>2</sub>を取り除いてからMORゼオライトにガスを通すとN<sub>2</sub>Oが取り除かれた。

N<sub>2</sub>Oを大量に吸着する天然のゼオライト(東大提供)



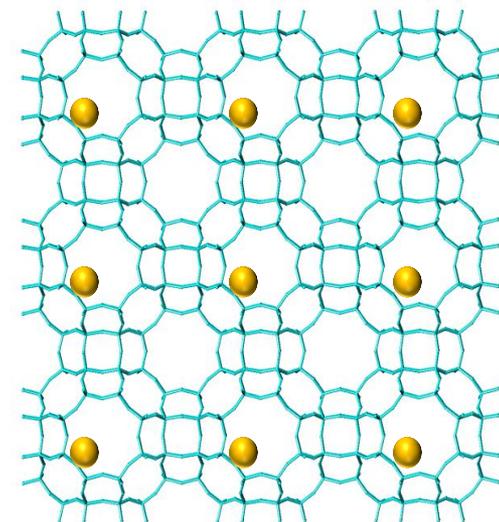
N<sub>2</sub>Oはオゾン層を破壊する。大気中の平均濃度は332ppb(ppbは10億分の1)と

薄く、これまで一度排出されてしまうと取り除くのが困難だった。そのため、下水処理場や工場などで排出される高濃度な段階でコストをかけずに取り除く必要があった。



**活性点少ない、  
活性点位置バラバラ、  
欠陥多い**

従来のゼオライト触媒



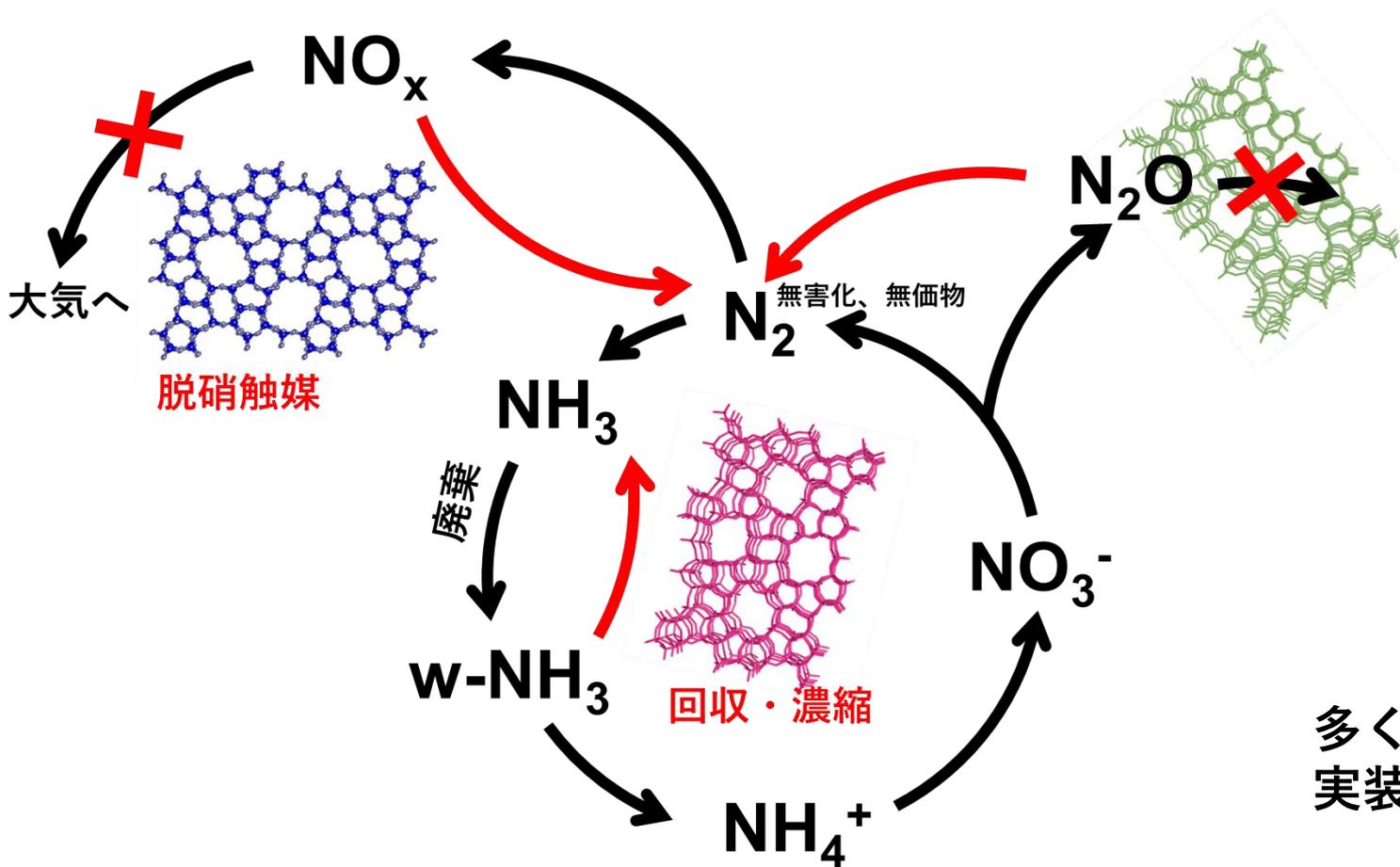
**活性点多い、  
活性点位置制御型、  
欠陥極限まで少ない**

新規超精密  
原子配列制御型触媒



# 窒素循環社会の実現に向けて

窒素循環社会構築のためには  
亜酸化窒素・アンモニア回収技術と脱硝技術の開発が喫緊の課題



東京大学  
三菱ケミカル  
産総研  
JFCC

多くの企業が参画し、  
実装へ向けた検証中