

窒素資源循環社会を実現するための 希薄反応性窒素の回収・除去技術開発

PM：脇原 徹

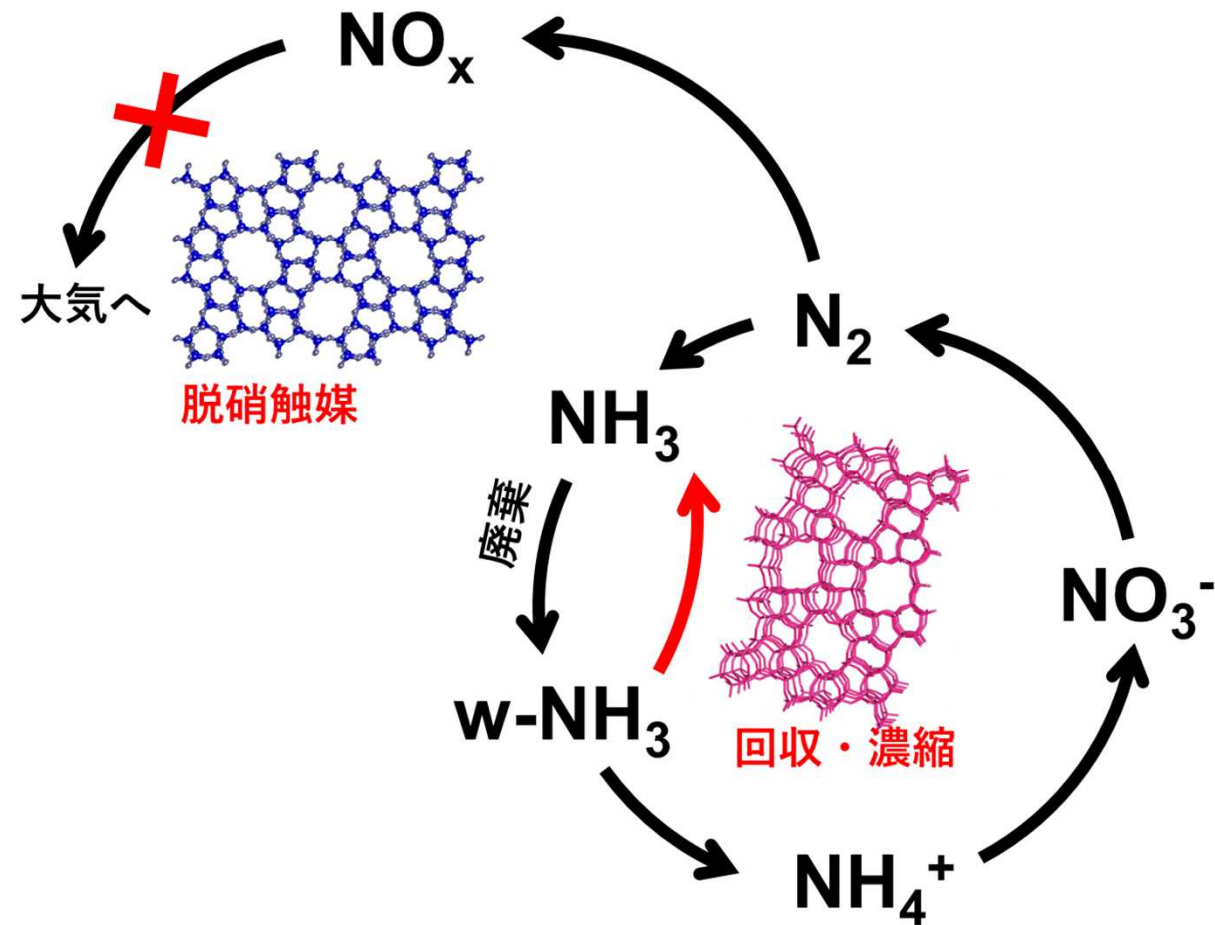
国立大学法人東京大学大学院 工学系研究科 教授

PJ参画機関：国立大学法人東京大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所、
一般財団法人ファインセラミックスセンター、三菱ケミカル株式会社

- PM: 脇原 徹 (東京大学)



窒素循環社会構築のためには
アンモニア回収技術と脱硝技術の開発が喫緊の課題



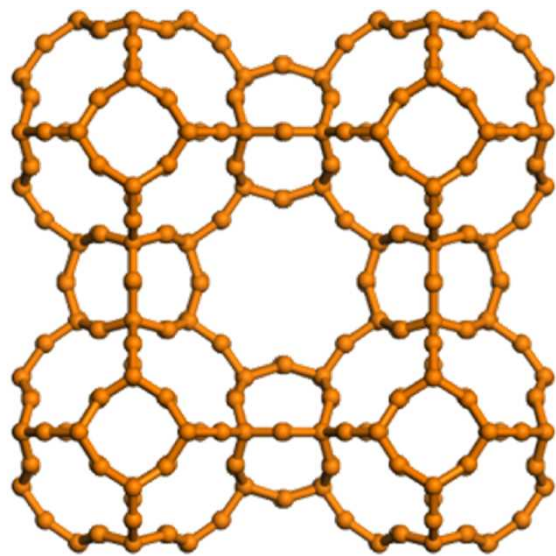
- 実施体制、実施期間

東京大学、三菱ケミカル
産総研、JFCC
2020年～2029年

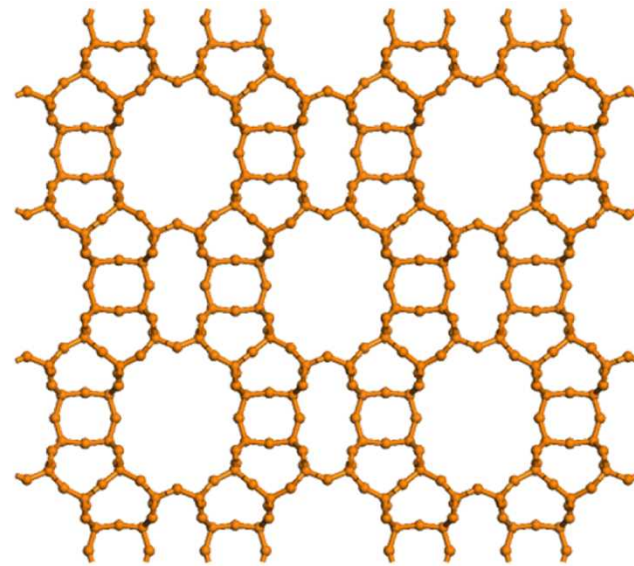
最終目標抜粋

- ・ 廃水から NH_3 回収が可能であることをパイロット設備で実証
- ・ 高耐久 NO_x 浄化用ゼオライトを用いたパイロット規模の試験
- ・ NH_3 を使用しない NO_x 浄化システムの実証

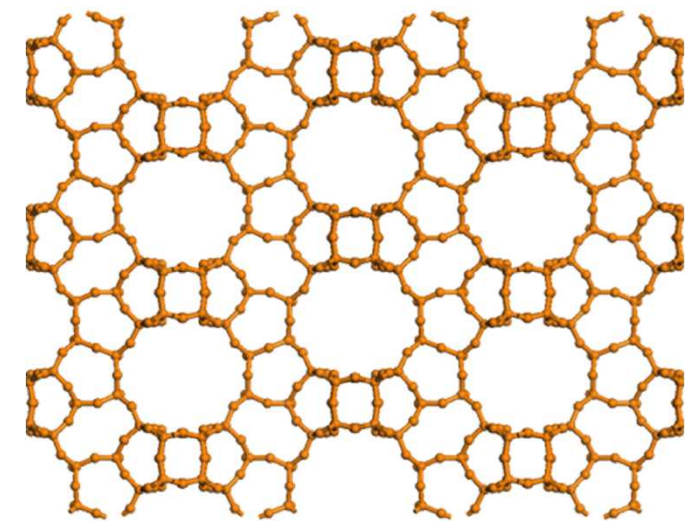
- 結晶性の無機多孔質物質
(主にケイ素 Si, アルミニウム Al, 酸素 O の原子から構成)
- 様々な結晶構造 (200種類以上！)
- 大表面積 (1gでテニスコート1面分以上！)



LTA (zeolite A)



MOR



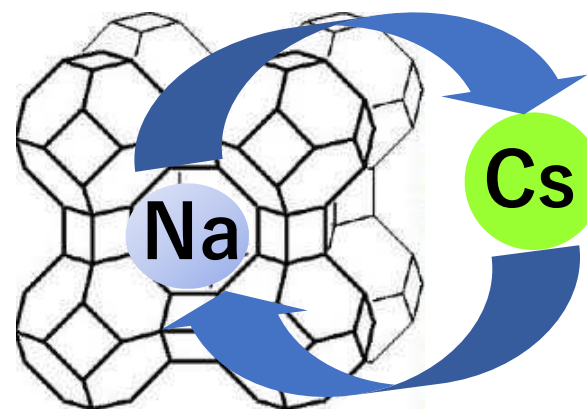
BEA

石油化学触媒



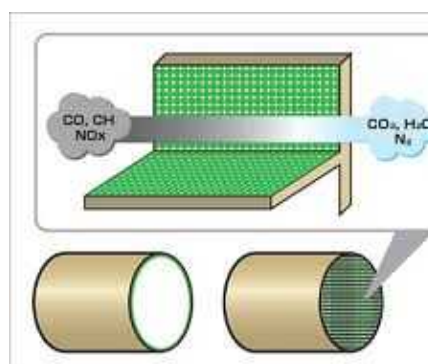
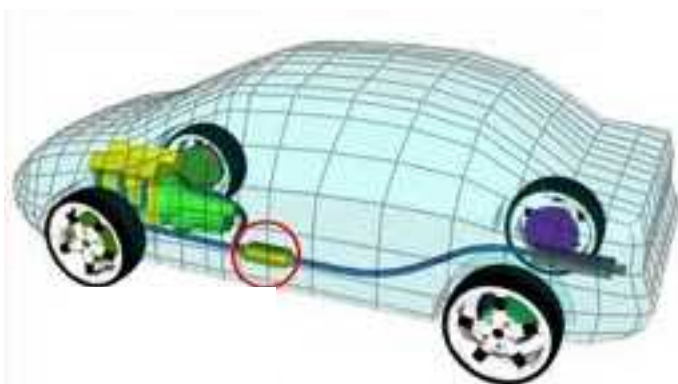
プラスチック製品の供給

吸着材



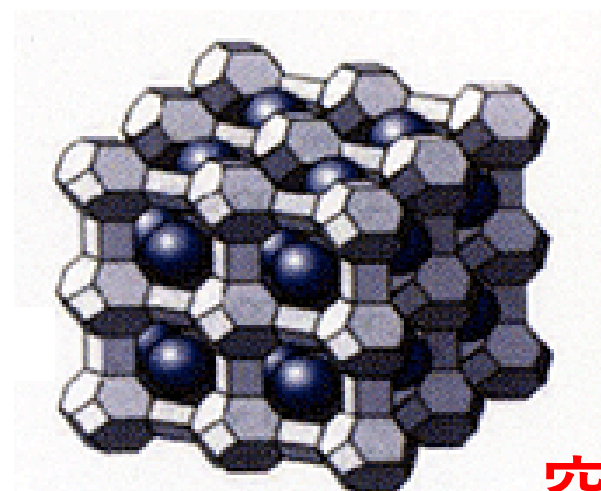
放射性セシウムの吸着

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

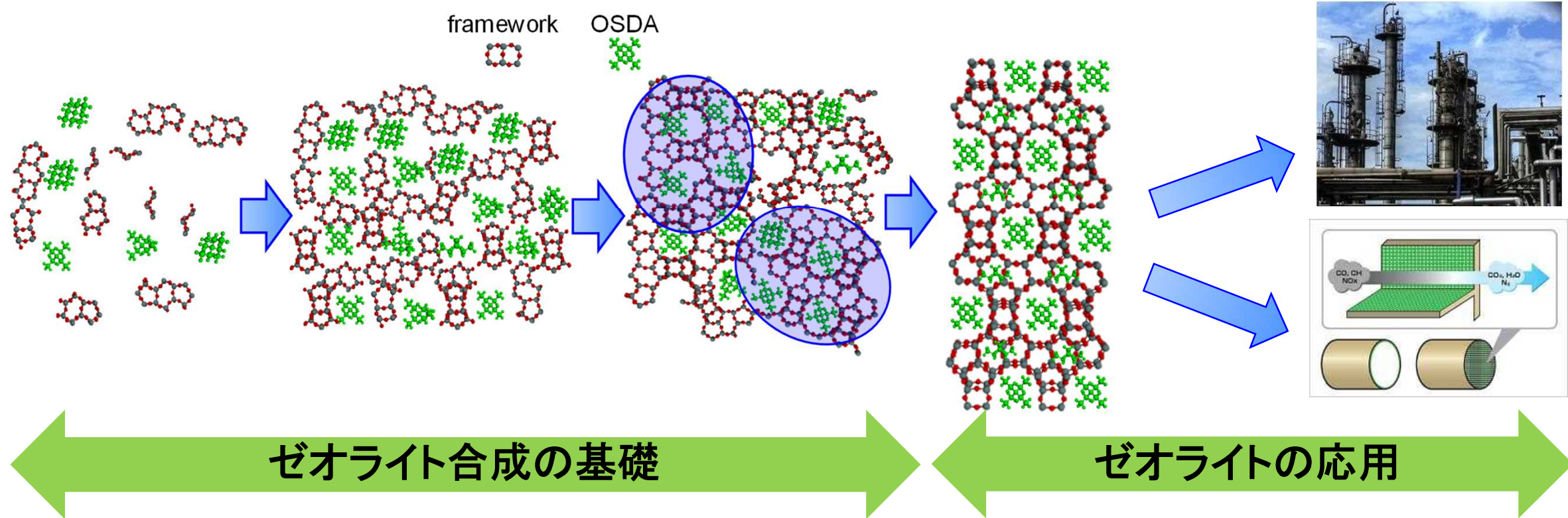


銀ゼオライトイメージ

空間内に有効成分を固定

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)



- 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

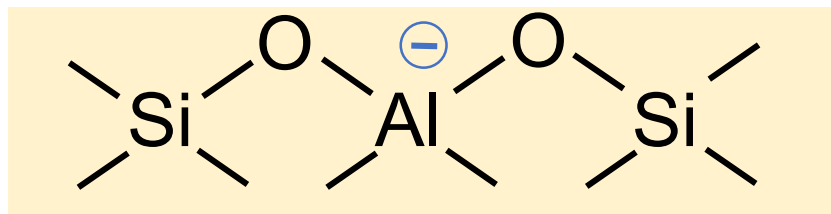
- ポスト処理（脱**Al**、メソ孔・ヘテロ金属・クラスター導入、外表面酸点失活化）
- サイズチューニング
- 効率的な生産プロセス



- 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
(ゼオライトによるMg²⁺, Ca²⁺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

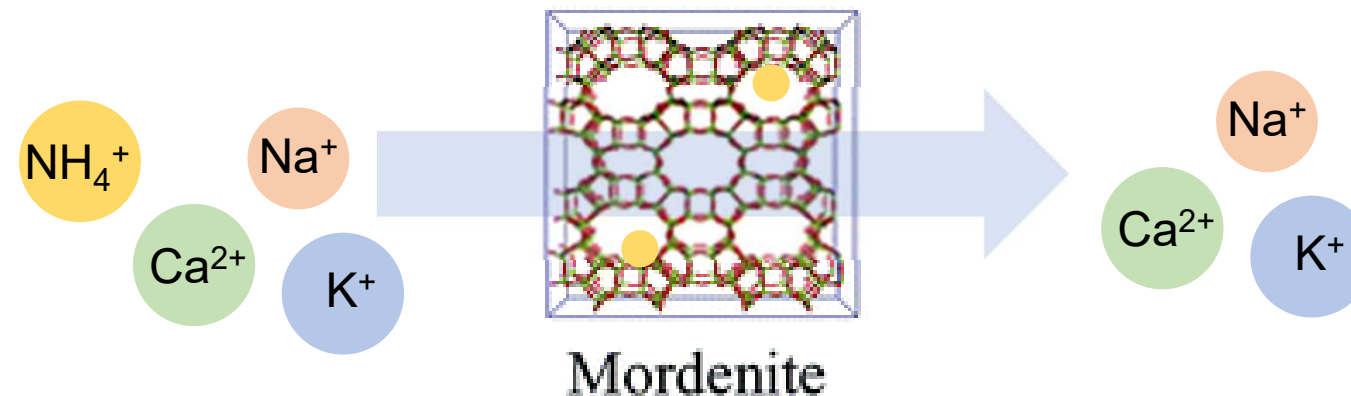
左; 蒸留水 + 洗剤、
真ん中; Evian + ゼオライト + 洗剤
右; Evian + 洗剤



環境問題に大きく貢献！

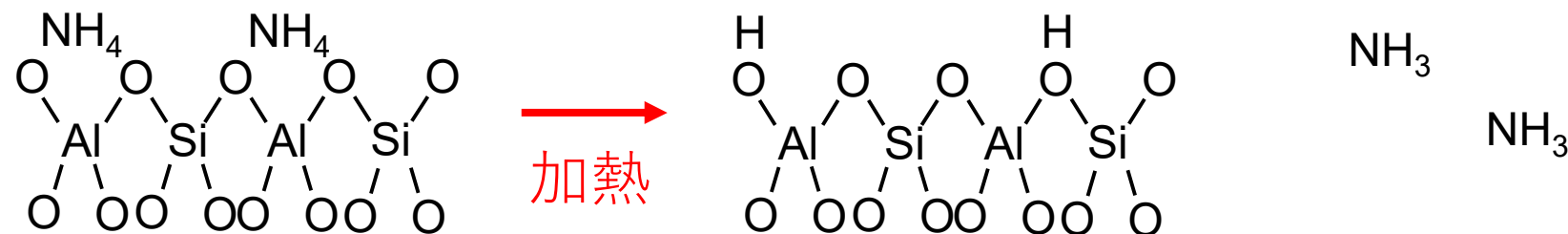
ゼオライト吸着剤の特徴

- N_2O や NH_4^+ を選択的に吸着可能



- リサイクルが容易

水熱耐久性に優れ ➡ 熱再生、イオン交換により NH_3 の回収が可能
徐放性肥料としての応用も期待（生物安全性 高）



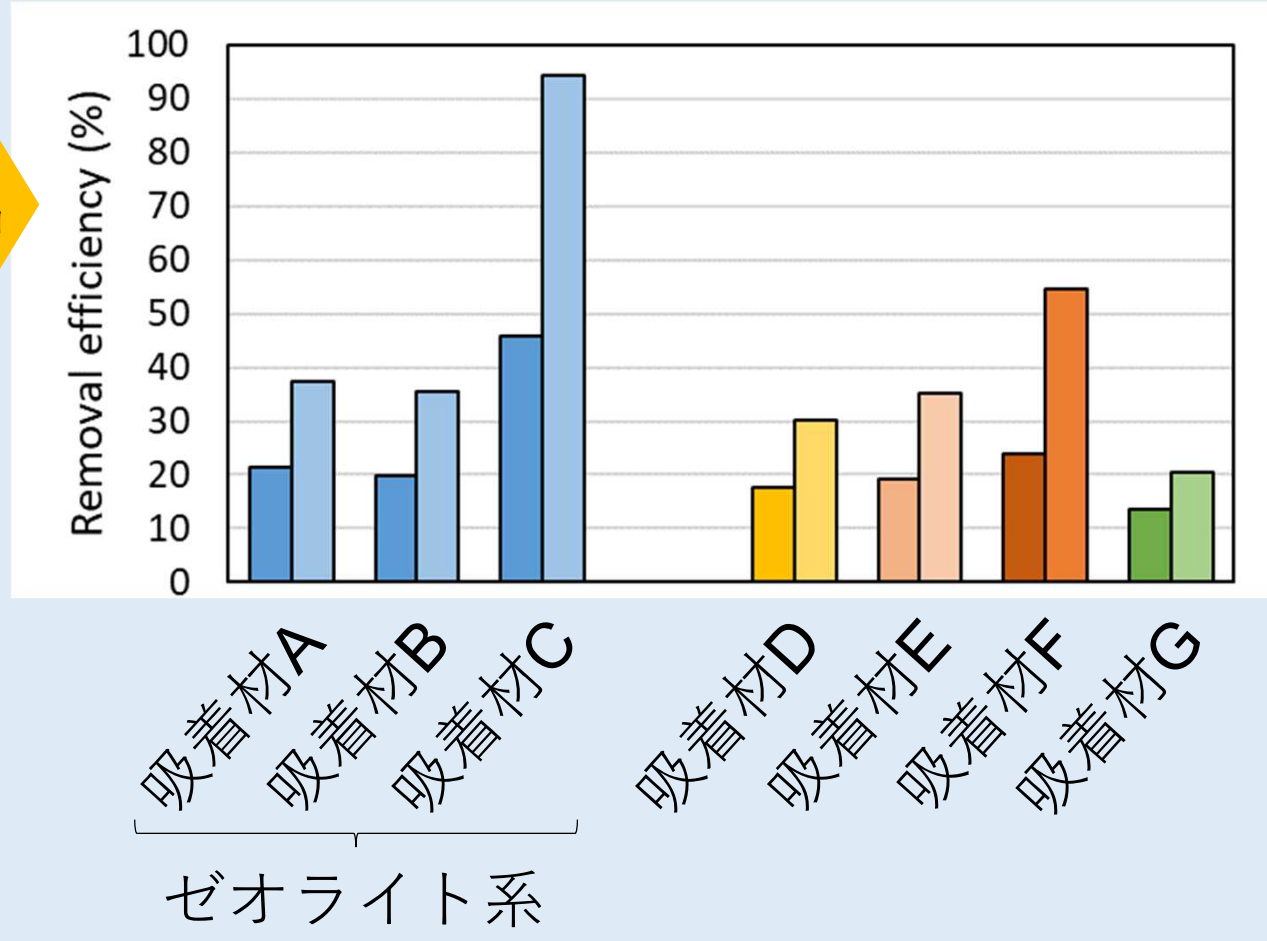
- 高いコストパフォーマンス

天然ゼオライトやアルミノシリケートは他材料よりも圧倒的に安価

産業廃液からの回収と利用



1000-2000 ppm
NH₄⁺ 含有
5万トン/年受け入れ



- ・アンモニウムイオンを吸着 (自重の数wt%)
- ・焼成or塩を用いて濃縮

**東大
関連会社**

技術開発、
吸着材提供

燃料の一部
として利用



100 ton/年のアンモニア

蒸留濃縮
アンモニア水

土壤改良剤

* 肥料生産会社とはN₂O回収システムの実装も検討中 (MSPJとは別テーマ)

一度システムができれば同様の会社多数

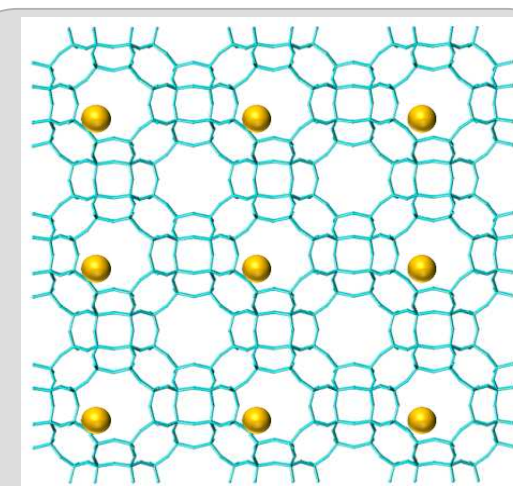
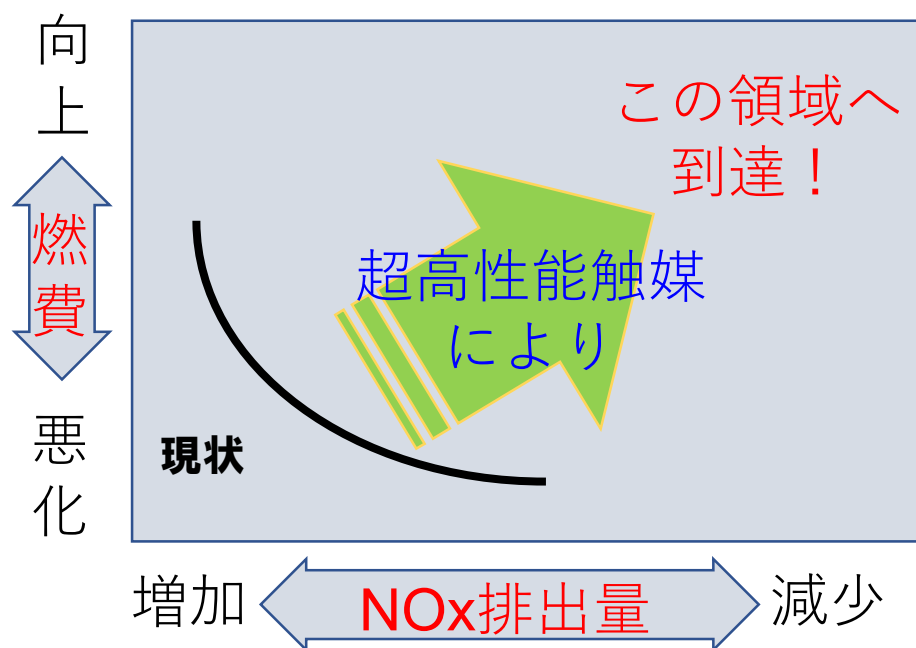
自動車用脱硝触媒について

- 2030年以降も内燃機関エンジンは需要が続く。高度な排ガス浄化技術の開発が大きな課題
- 世界の自動車メーカー; **排ガス性能を維持したまま優れた燃費性能を達成する適切な手段が無い**
- リーンバーン条件での走行では、現行ガソリンエンジンに用いられている**三元触媒は使用不可**
- 燃費の向上と益々厳しくなっていく排ガス規制（RDE規制：Real Drive Emission）に対応した技術が必要。両者は、**互いにトレードオフの関係**にある
- 希薄燃焼エンジン化と排ガス低温化の両方に対応した新規触媒系の開発が必要
- **貴金属を用いず、ゼオライトを用いた高性能触媒を開発する**

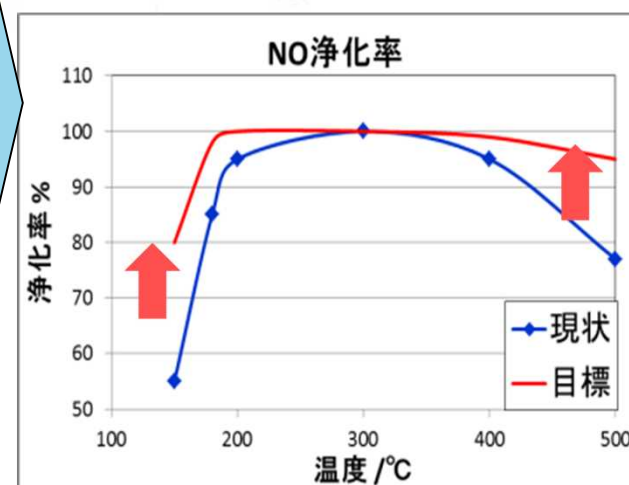
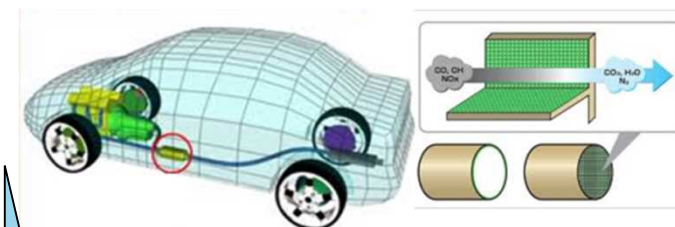
エンジン効率と排ガス規制の両立
⇒超高性能触媒の必要性

超精密原子配列制御型多孔質ゼオライト触媒開発

貴金属フリー
多孔質構造体触媒



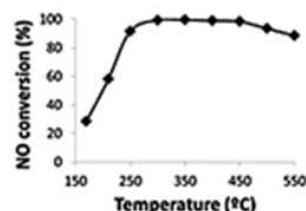
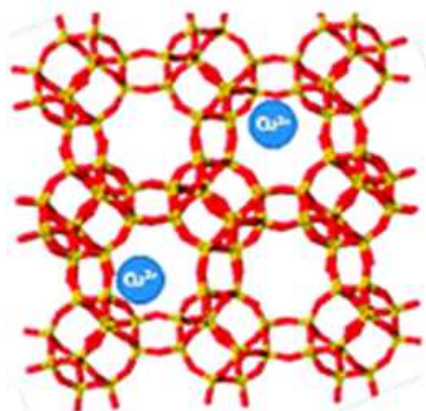
活性点多い
活性点位置制御型
欠陥極限まで少ない



従来のSCR触媒

水熱耐久性が高くない → NO_x転化率の低下、副反応の進行

新規NH₃-SCR用ゼオライト触媒



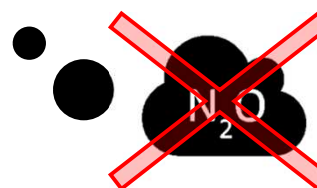
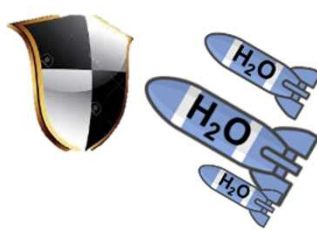
高NO_x転化率



高水熱耐久性



副生成物の
N₂Oを出さない



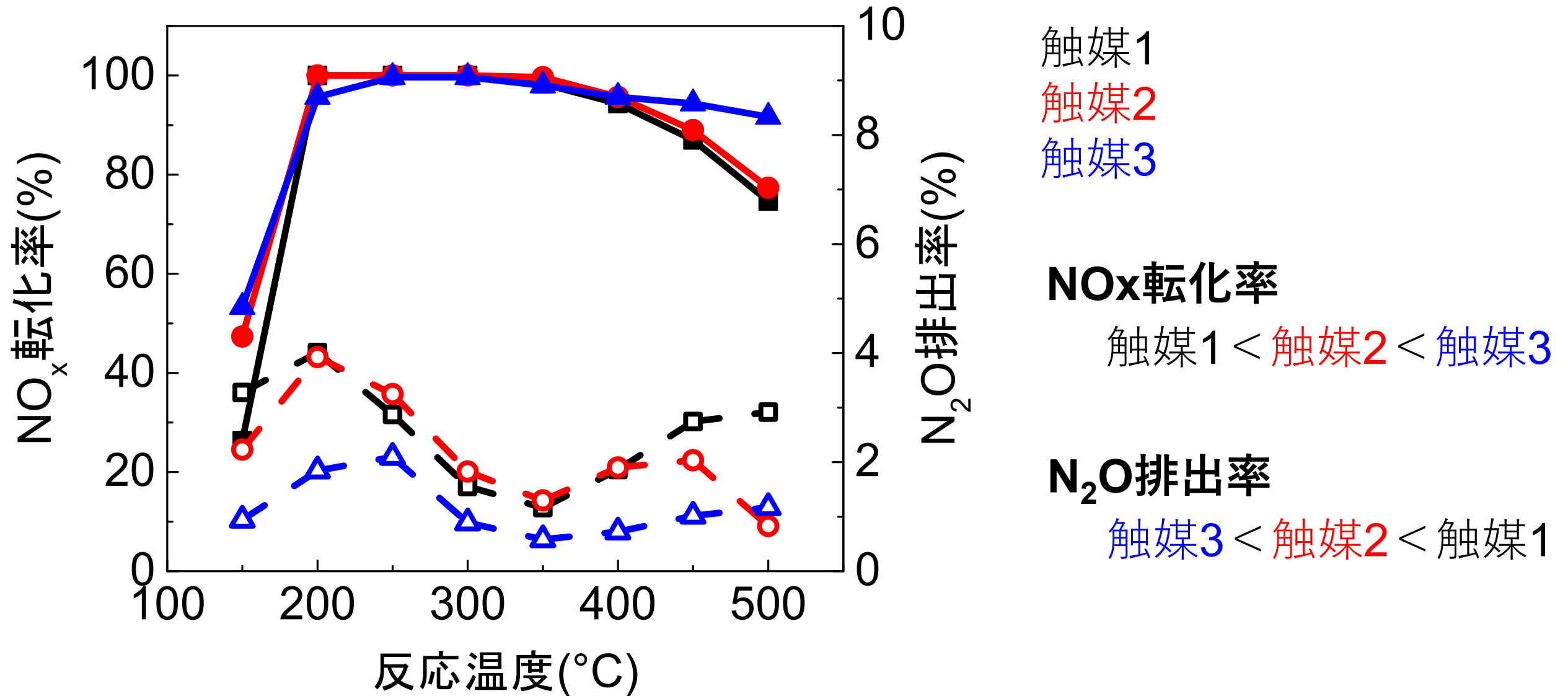
さらに、、、



・異常が発生したSCR触媒の実物写真

システム異常を低減させ、触媒の長寿命化を実現
(MSとは別テーマ)

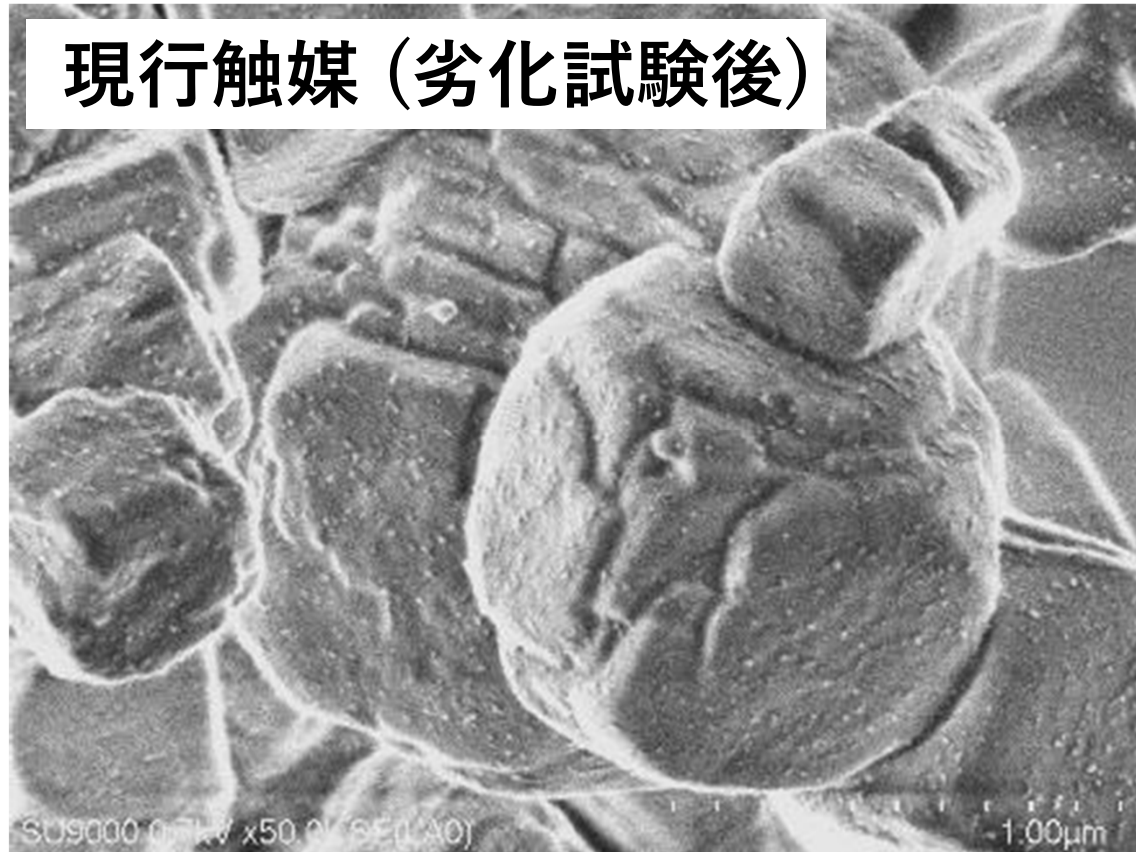
- ・異常が発生したSCR触媒からは数十ppmのN₂Oが生成
- ・e-fuelが普及することも前提に完全な“グリーンエンジンシステム”を実現
- ・SCR触媒の高度化は運送コスト低減にも貢献



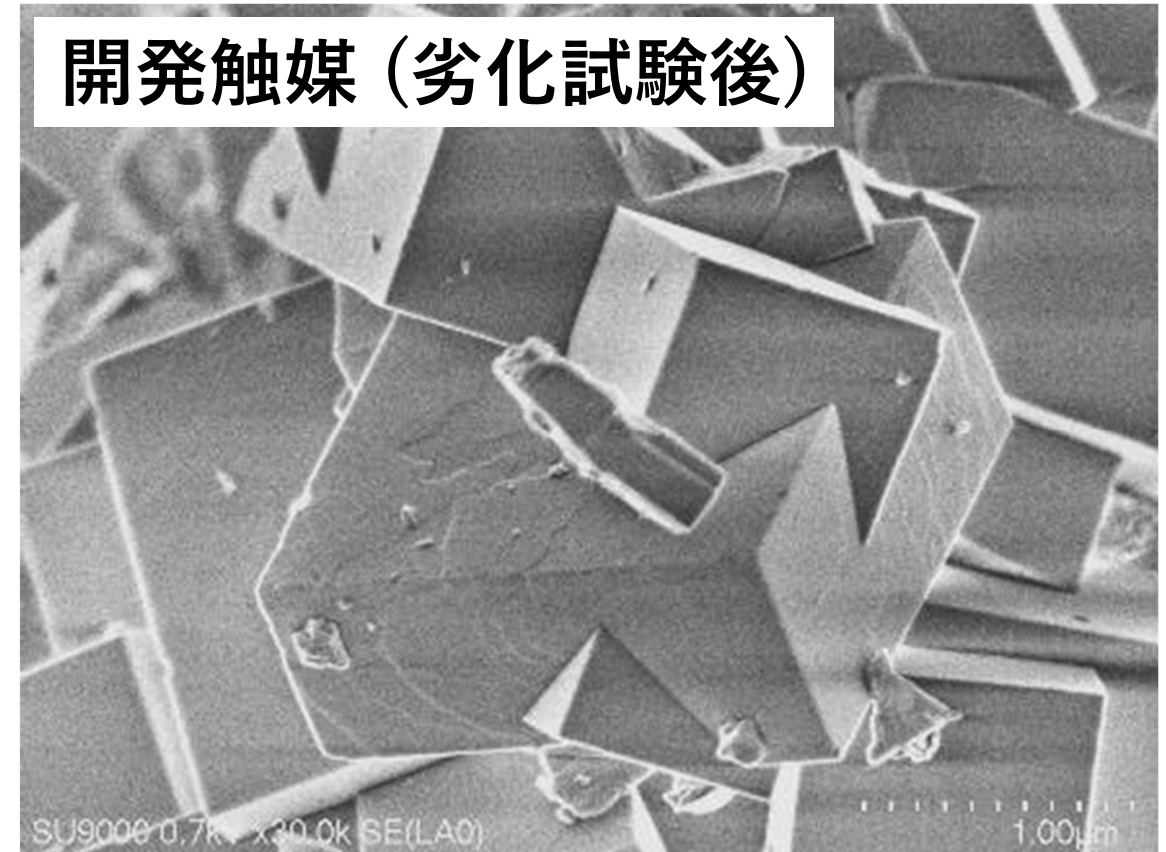
高活性（特に低温活性、高温活性）に加え、
低N₂O排出の両立

性能が飛躍的に向上、ブレイクスルーへ向けた足がかり

現行触媒（劣化試験後）



開発触媒（劣化試験後）



- ・ 結晶の角が取れたようになっている
 - ・ Cuの微小粒子が析出
- **N₂O生成の原因**

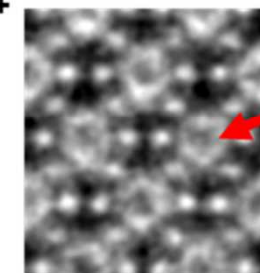
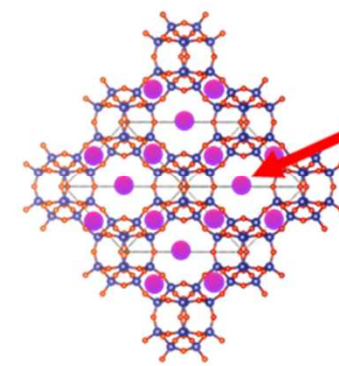
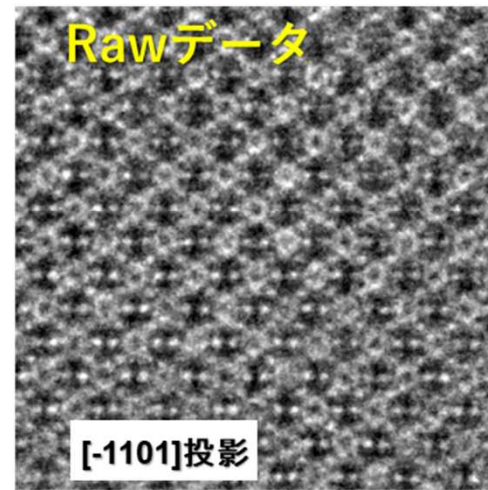
- ・ 形態を保持
- ・ 微小粒子の析出なし

触媒活性に深く関与するゼオライト内のカチオンや骨格構造の組成分析技術を確立



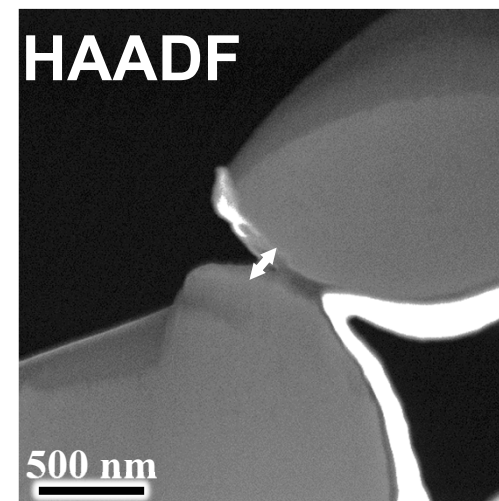
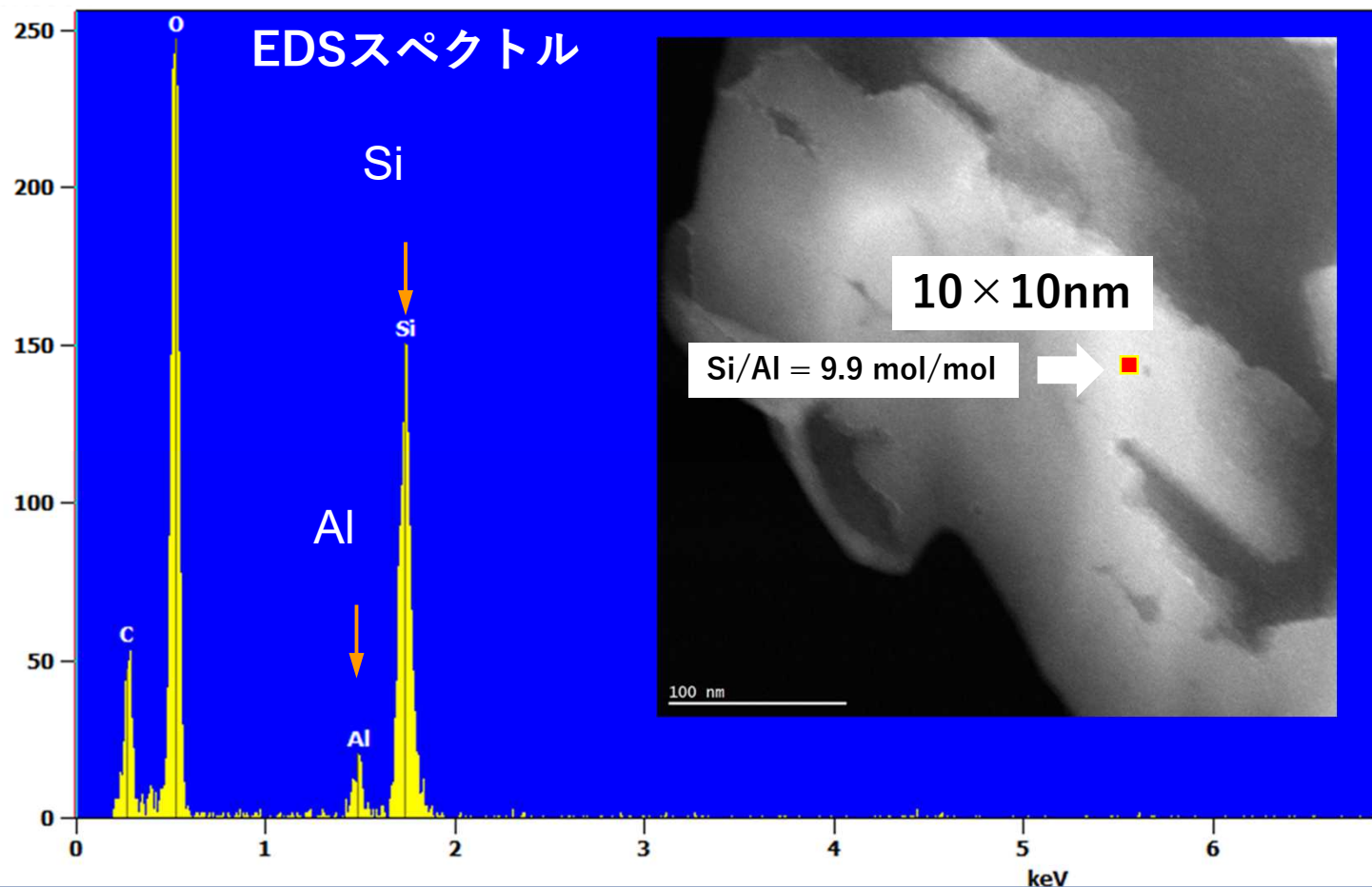
触媒開発支援に活用中

K-CHAのカチオン直視

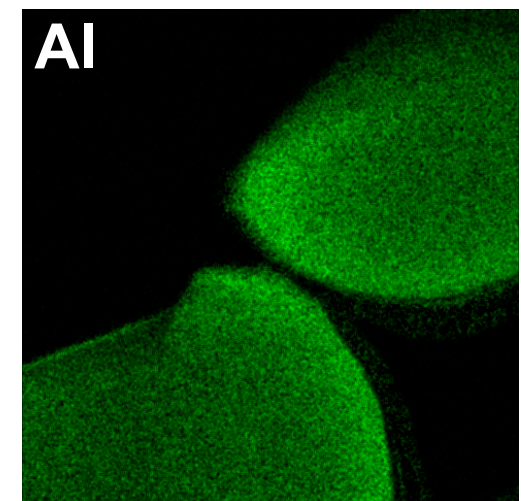
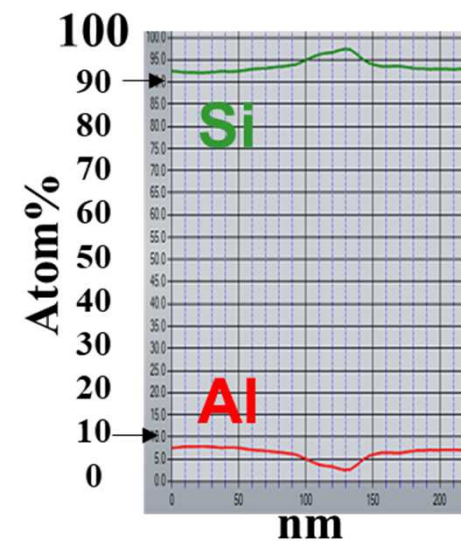


Filter処理像

10×10nm領域の化学組成比の定量測定条件の確立



シングルnm領域の化学組成マッピング条件の確立

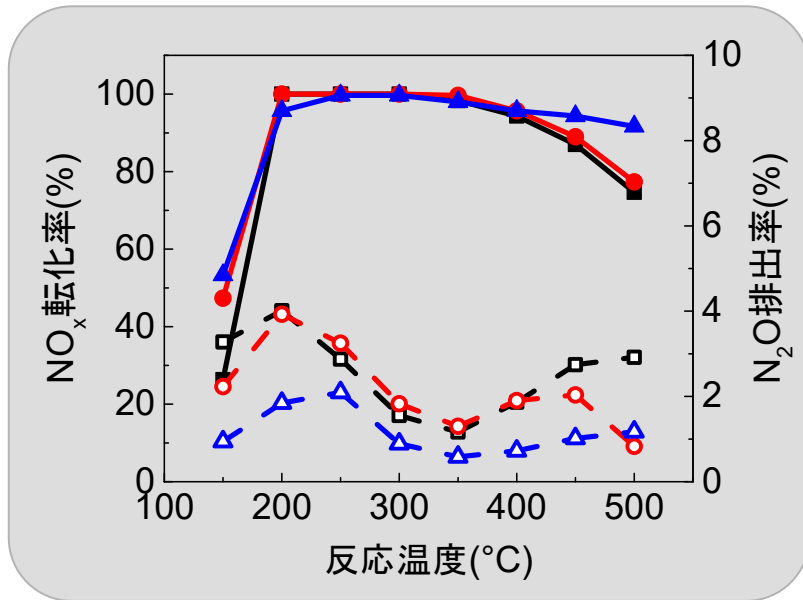


100nm未満のAl濃度不均一を検出

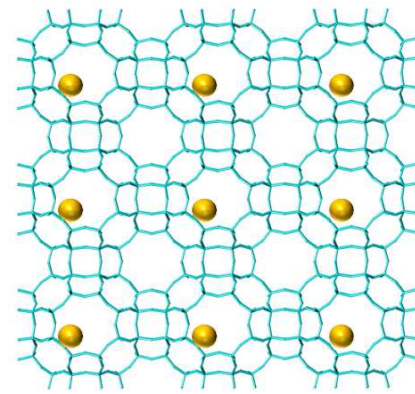
【現時点での主な成果】

- ✓ アンモニウムイオンを吸着材料を開発（自重の数wt%）
- ✓ 高NO_x転化率と低N₂O排出率を両立した新規脱硝触媒
- ✓ 局所構造解析を用いた触媒劣化原因の分析技術の提案

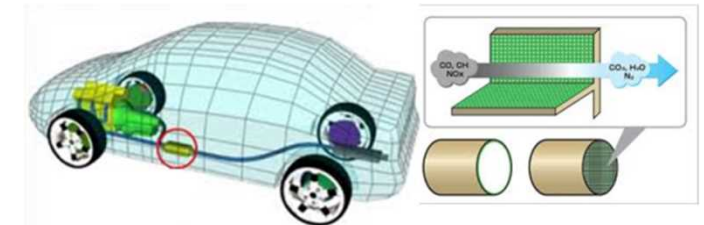
【今後の展望・社会実装のイメージ】



ゼオライトの構造制御

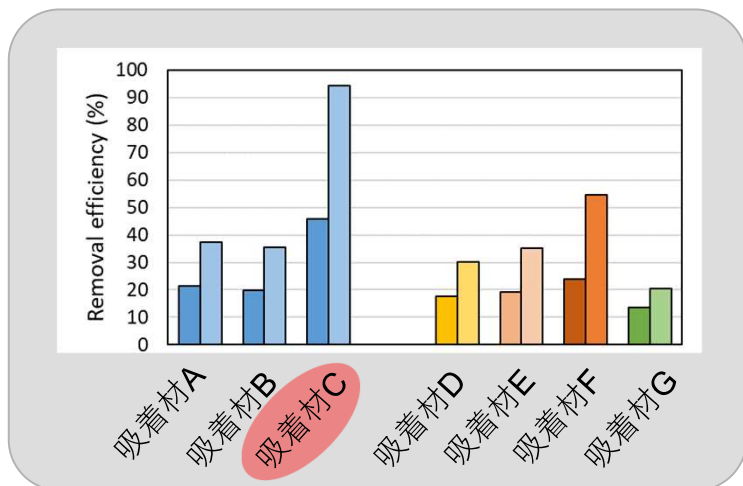


骨格Al(活性点)の増加
欠陥を極限まで減少



パイロット設備にて試験

NH₃を使用しないNO_x浄化システムのパイロット実証



NH₃回収



パイロット設備にて試験

資源・エネルギー消費を考慮にいれ、温室効果ガスおよび環境汚染物質の増加を勘案したLCA評価

