

受賞者紹介



『マイクロ構造機能解明による 次世代自動車三元触媒の実用化』

株式会社豊田中央研究所 加藤 悟 氏

世界的な自動車保有台数の増加と環境保護意識の高まりを受け、CO₂排出の少ない電動車や地球環境への負荷が低い高効率ガソリンエンジンの展開が加速しています。自動車排ガスには、窒素酸化物や一酸化炭素などの有害物質が含まれているため、1960年代から排ガス規制が段階的かつ大幅に強化されてきました。このような規制に対応するため、自動車には排ガス浄化用触媒コンバータが装着されています。触媒コンバータ内部の触媒層は、nm~ μ mスケールの細孔を有し、細孔表面にはPt、Rhなどの貴金属の微粒子が配置されています。有害物質は、細孔内を拡散しながら貴金属微粒子と反応して浄化されます。触媒層の深いところには有害物質が届きにくく、貴金属の利用効率が低いという問題がありました(図1)。この問題は、高速走行または急加速運転などの高負荷条件において顕著であり、特に2016年から日本でも採用されたWLTP(乗用車等の国際調和排出ガス・燃費試験法)における影響が大きいことが予想されていました。そのため、触媒層深部の貴金属の利用効率向上は、重要な開発課題の一つとなっていました。

そこで、本研究では、触媒層の細孔特性がガス拡散性に及ぼす影響に着目し、細孔特性と浄化反応の関係を理解した上で、自動車排ガス用浄化触媒が有する課題に対し直接的な開発指針を与えるため、SPring-8の放射光を活用した解析技術の構築に取り組みました。具体的には、触媒層の細孔は材料粒子の隙間によって構成されるので、触媒層の奥深くの貴金属を有効に使うためには細孔の連通性が重要であると考え、実際の触媒コート層から数百 μ m程度の試料片を切り出し、SPring-8にて触媒層のX線CT像を撮影し、得られた三次元構造データを基に細孔の連通性を評価し、連通孔パラメータからガス透過係数を予測するモデルを構築しました(図2・図3)。このモデルを用いた解析結果により、触媒のガス拡散性を向上させるには空隙率(コート層における細孔の割合)を増大させれば良いが、空隙率を増大させただけではコート層が厚くなり拡散距離が増大して逆効果になることがわかりました。そこで、空隙率を増大させるのではなく、孤立細孔を減らして連通孔の数を増やすことにより有効空隙率を増大させるという細孔制御指針を示し、これにより連通孔を増大させる細孔制御技術の実現に繋がりました。この開発品を従来品と比較した結果、開発品の有効空隙率は従来品の約2倍であり、また、貴金属利用効率の低下が問題となる高負荷運転条件において、開発品が従来品よりも高い性能を示すことが出来ました(図4)。このように、細孔、つまりマイクロ構造を制御することにより貴金属の利用効率向上を実現することができ、本技術を用いて開発した新型触媒は2017年にトヨタ自動車(株)で実用化されグローバルに搭載が進みました。構築した解析技術は、大気環境の改善や貴金属量の使用量低減に貢献しているだけでなく、トヨタ自動車(株)による燃料電池自動車MIRAIの開発にも活用されています。

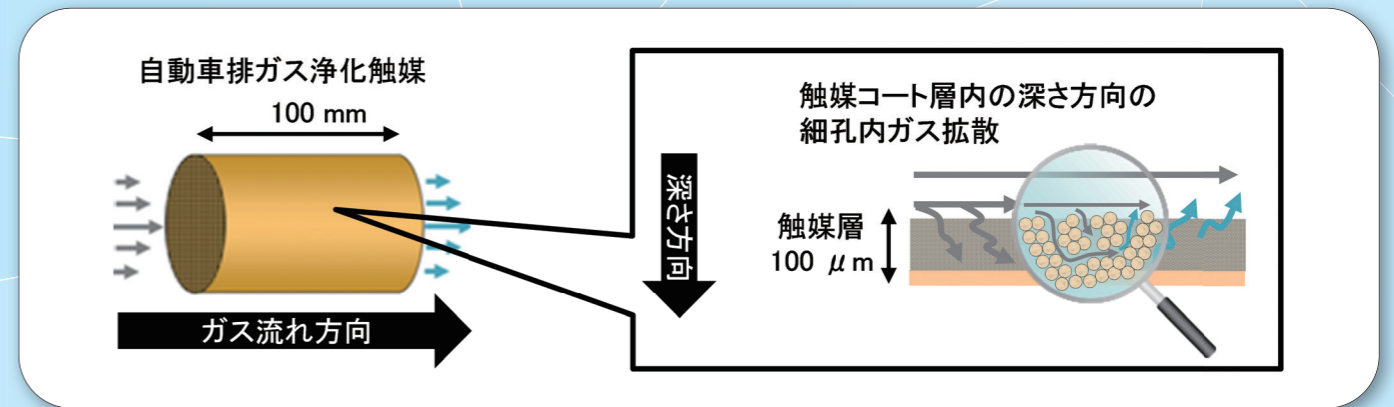


図1 コート層深くでは有害物質の濃度が低下し効率が低下

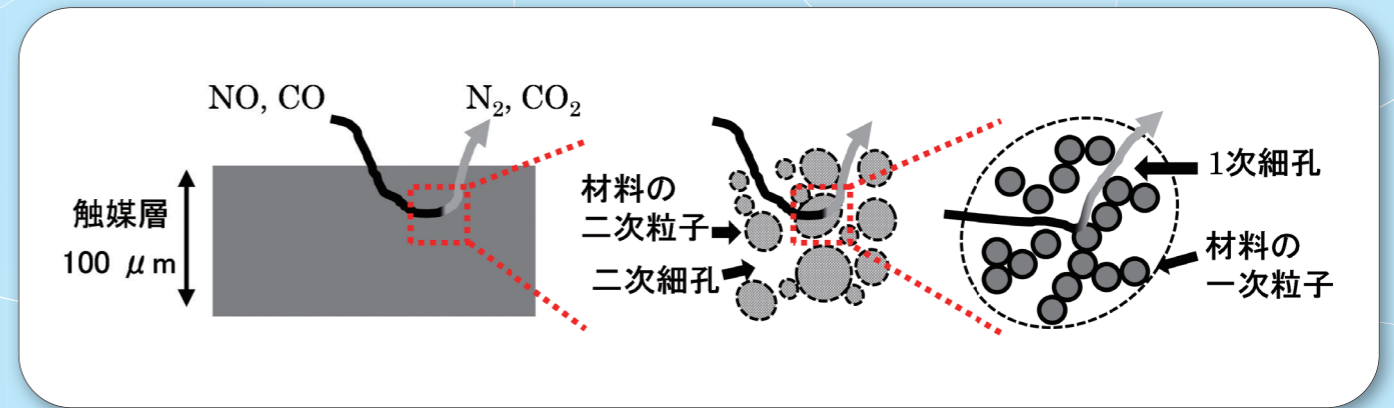


図2 触媒コート層内部におけるガス拡散機構

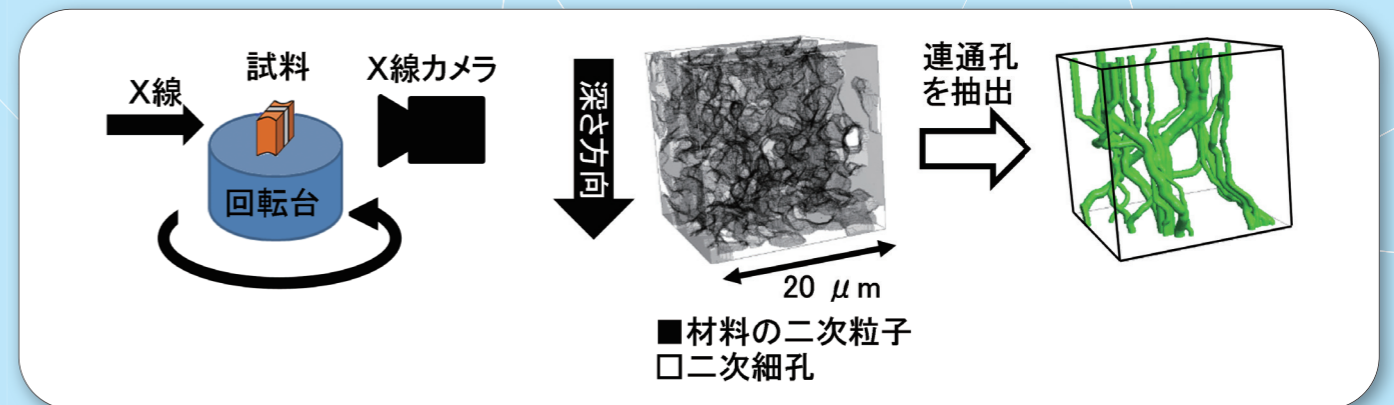


図3 SPring-8のX線CTによる触媒コート層の解析

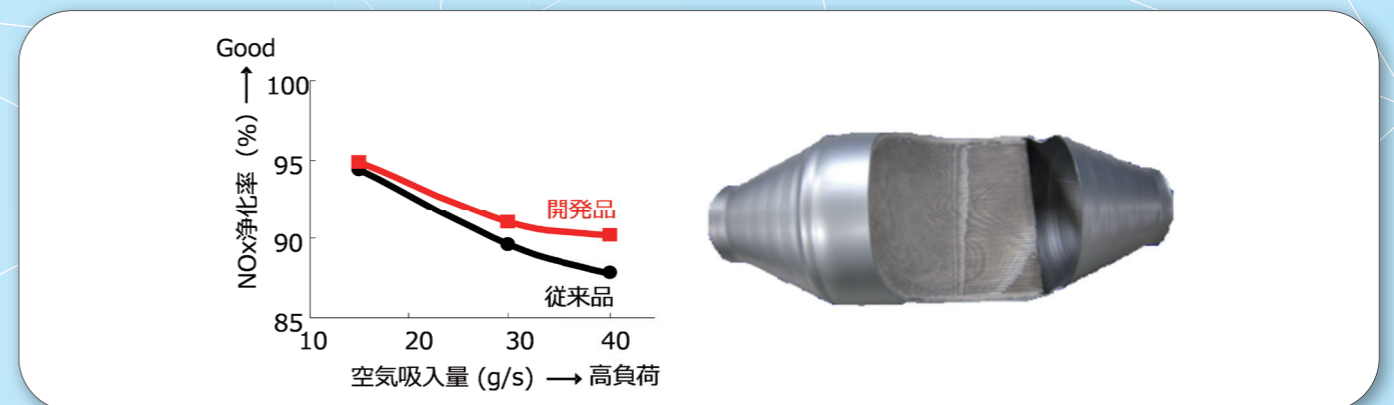


図4 細孔と材料を最適化した触媒の性能と実用化した製品のカットモデル

受賞者紹介



『SiCパワーデバイス実用化に向けた 動作中デバイスにおける 結晶欠陥可視化技術の開発』

株式会社日立製作所 小西 くみこ 氏

カーボンニュートラルを実現するためには、電力、産業・モビリティ、家庭・オフィス等の幅広い分野で高効率なパワーエレクトロニクス機器の利用拡大がより重要となります。現在、パワーデバイスの材料にはSiが広く使われていますが、更なる省エネルギー化に向けてSiCを使ったパワーデバイスの実用化が開始されています。SiCパワーデバイスは高電圧での動作が可能であり、高耐圧・大電流が求められる電力やモビリティ分野での活躍が特に期待されていますが、SiCに含まれる結晶欠陥がその普及を妨げています。具体的には、SiCパワーデバイスの中で最も応用範囲が広いスイッチング素子であるSiC MOSFETを用いたパワーモジュールでは、MOSFETの内蔵PNダイオードを還流ダイオードとして活用することで小型・低コストなダイオードレス構造が実現可能ですが、内蔵PNダイオードの動作中にデバイスの抵抗が増加するバイポーラ劣化現象が課題となります(図1)。これは、SiCに存在する線状の結晶欠陥が、電子-正孔再結合エネルギーを受け取り、面状の積層欠陥に拡張することで起こります。積層欠陥は、電流の流れを阻害する高抵抗層であるため、動作中に徐々にデバイスの抵抗が増加します。

そこで、本研究では、動作中のSiC MOSFETにおける積層欠陥の挙動を可視化し、その生成機構を解明するため、SPring-8を用いたオペランドX線トポグラフィー法を開発しました(図2)。

SiC MOSFETの内蔵PNダイオードに150 Aの電流を流しながら観察を実施した結果、1時間以上に渡り時間分解能1秒で連続的なトポグラフィー像を取得でき、世界で初めて動作中SiC MOSFETにおける積層欠陥の拡張を直接観察することに成功しました(図3)。さらに、異なる動作条件で拡張した積層欠陥を特定して詳細に解析し、電流の大きさに伴って拡張速度や拡張起点が、速く・深くなることを実験的に明らかにし、デバイス動作条件に応じた信頼性モデルを構築しました。構築したモデルを用いることで、ダイオードレス構造を実現する高信頼なSiC MOSFETの実現に貢献することができました(図4)。

この高信頼なSiC MOSFETを用いたSiCパワーモジュールにより、鉄道・電気自動車等の産業で大きな省エネルギー効果が得られ、カーボンニュートラル実現に向けたCO₂削減目標達成への貢献が期待されます。

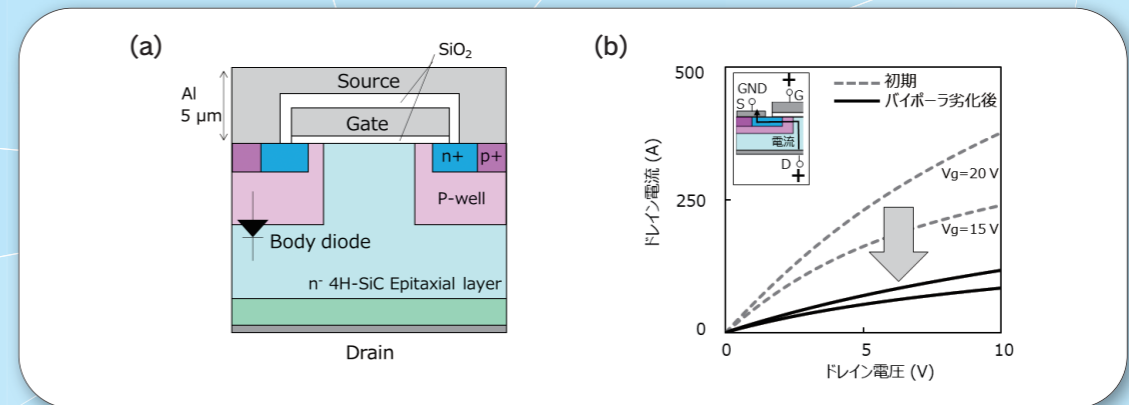


図1 (a) SiC MOSFETの断面概略図(単一セル) (b) バイポーラ劣化前後の電気特性

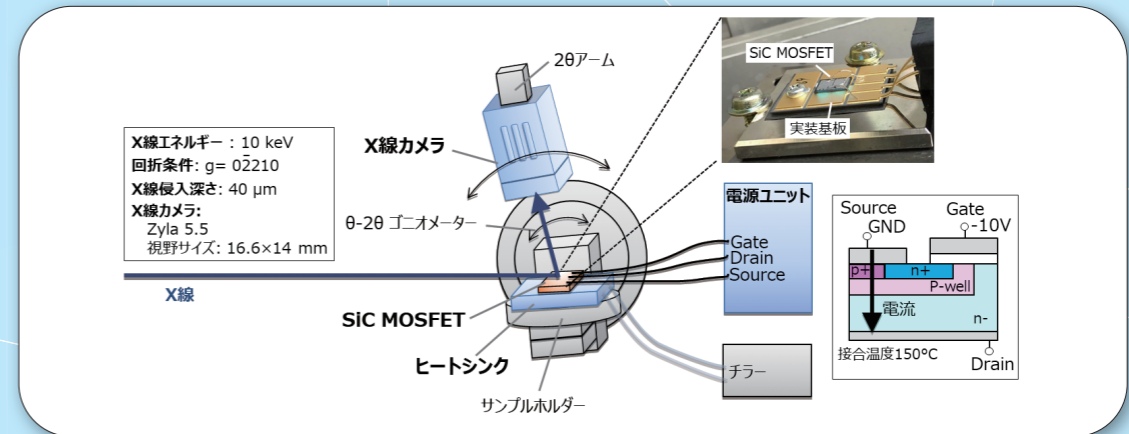


図2 オペランドX線トポグラフィー評価系

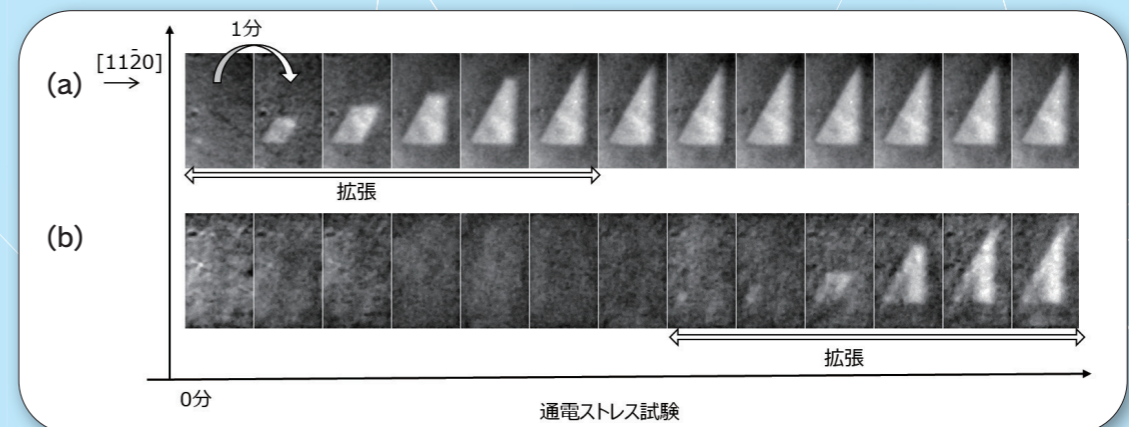


図3 SiC MOSFETにおける積層欠陥拡張の様子
(a) 通電ストレス試験開始時に積層欠陥が拡張するケース
(b) 積層欠陥が遅れて拡張するケース

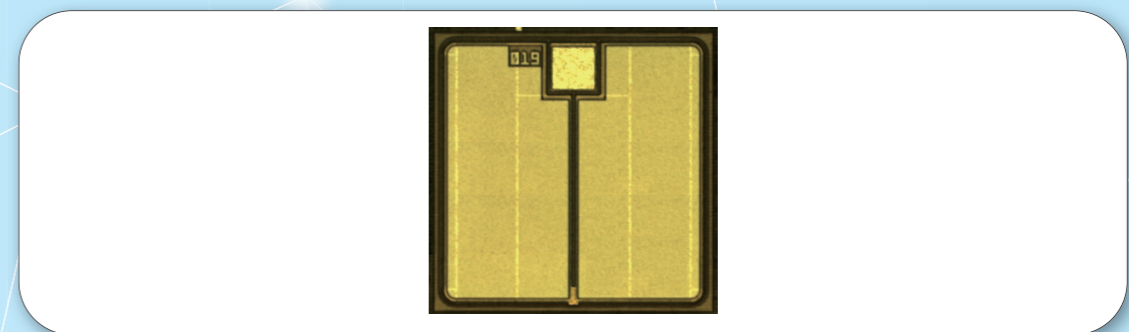


図4 ダイオードレス構造を実現する高信頼SiC MOSFET