

## ナノケージ材料からの気相 $O^-$ イオンの生成と応用

### Study on Production and Application of $O^-$ Ions in Gas

### Phase Produced from Nano-size Cage Material

西岡 将輝 (Masateru Nishioka)

産業技術総合研究所・コンパクト化学プロセス研究センター・研究員



#### 研究の概要

結晶内に負イオンを保持できる空間“ナノケージ”を有するアルミナセラミック  $12CaO \cdot 7Al_2O_3$  を用い、ナノケージ中に保持した酸素負イオン ( $O^-$ ) を利用した新しい化学反応プロセスを構築した。ケージ内の  $O^-$  を利用することで、低温での VOC 分解、強力な殺菌作用、金属表面処理の低温化などが実現できた。

#### 研究分野：工学

科研費の分科・細目：プロセス工学・反応工学・プロセスシステム

キーワード： $12CaO \cdot 7Al_2O_3$ , 酸素負イオン, 活性酸素種, VOC 分解, 殺菌・滅菌

#### 1. 研究開始当初の背景・動機

活性化学種は反応性が高いことから、低温での化学反応促進や難分解性物質の迅速処理など省エネルギープロセス技術や環境対策技術として注目されている。しかし、活性化学種は生成過程のエネルギー効率が悪い、寿命が短いなどその利用には課題があった。これらの課題に対して我々はナノケージセラミック C12A7 を利用した活性化学種の高効率生成法の開発を行ってきた。C12A7 は内部に活性化学種のひとつ酸素負イオン ( $O^-$ ) を保持することができ、 $700^\circ\text{C}$  以上の加熱と外部電界により、内部の酸素負イオンを気相に取り出すことが出来る。C12A7 からの酸素負イオンの高効率な生成を目指し、各種用途（例えば、難分解物質の分解、殺菌など）に利用できる反応システムの構築を目指した。

#### 2. 研究の目的

C12A7 からの  $O^-$  生成の高密度化・低温化を進めることで、(1) 金属の低温表面処理、(2) 空気清浄・排ガス浄化、(3) 滅菌・殺菌技術、(4) その他の用途に利用できる反応プロセスの開発を行う。

また、C12A7 からの酸素負イオンの発生および反応機構の解明を進め、新しい活性

化学種の制御手法の確立を目指す。

#### 3. 研究の方法

本研究は、C12A7 からの  $O^-$  生成量の高密度化・低温化および生成反応機構解明に不可欠な、気相酸素負イオン測定（定性・定量）技術を開発と、C12A7 由来酸素負イオンを用いた用途開発の二つのテーマに分かれて研究を行った。用途開発では図1に示す、(1)イオンエミッション、(2)表面処理、(3)気相反応、(4)表面反応、(5)キャリアガスによる搬送の5つの形態の反応プロセスについて研究を進めた。

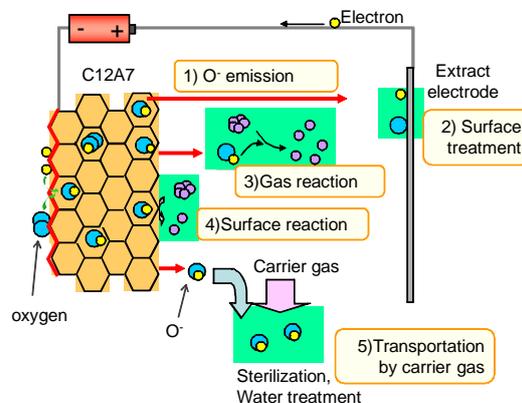


図1 C12A7 由来酸素負イオンの利用形態

#### 4. 研究の主な成果

##### (1)大気圧条件での C12A7 から発生する負イオン物質の同定

これまで、C12A7 からの $O^-$ 生成は $10^{-5}$ Torr までしか確認できていなかった。本研究で開発した質量分析器により、大気圧(760Torr)での C12A7 から生成する負イオン化学種を測定することに成功した。この結果から、大気圧では $O^-(H_2O)_n$ ,  $O_2^-(H_2O)_n$ の水クラスタの形で安定化していることを明らかにすることができた(図2)。

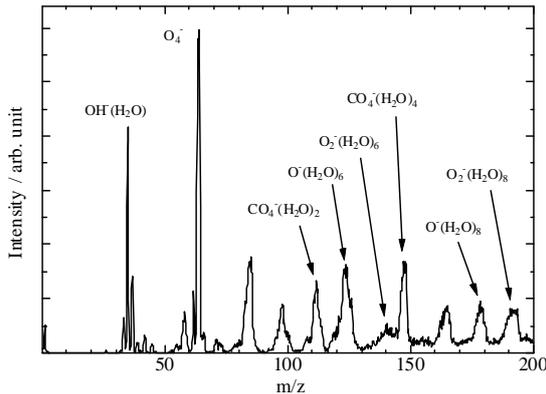


図2 C12A7 から生成する負イオン化学種の分析結果(大気圧ヘリウム中)

##### (2)C12A7 からのイオンエミッション

C12A7 中の酸素負イオンを置換することで $H^-$ ,  $OH^-$ の負イオン種を気相に取り出すことに成功した。

##### (3)金属の表面処理

半導体プロセスではシリコン基板上の絶縁層として $SiO_2$ 膜の低温形成が要求されている。C12A7により生成した $O^-$ をシリコン基板に照射することで、 $600^\circ C$ 必要であった処理温度を $110^\circ C$ に低温化できることに成功した。

##### (4)空気清浄・排ガス浄化への応用

気相中の有害物質として、フロン類、VOC類、 $NO_x$ 、 $SO_x$ の分解・除去について、C12A7中の酸素負イオンによる分解促進効果を調べた結果、反応温度の低温化や分解生成物の選択制の向上などの効果が見られた。たとえばVOCの一つであるホルムアルデヒドでは室温での除去方法を提案することができた。

##### (5)殺菌への応用

C12A7から発生する酸素負イオンをキャリアガスに同伴させ、水にバブリングすると、その溶液中に活性酸素が溶存するこ

とをESR分析により確認できた。この水溶液は、強力な殺菌力を有しており大腸菌の殺菌や癌細胞の不活化が可能であった。

##### 5. 得られた成果の世界・日本における位置づけとインパクト

本研究では、これまでにない新しい原理にもとづく活性化学種利用の反応プロセスを開発し、各種の応用技術を示すことができた。また不明であった酸素負イオンの大気圧での挙動についての知見を得ることができており、今後の当該技術の機構や安全性などの評価基盤ができた。本技術および応用技術は、化学分野だけでなく医療分野からも注目を集めている。

##### 6. 主な発表論文

(研究代表者は太字、研究分担者には下線)

1)Q. Chen, K. Yoshida, H. Yamamoto, M. Uchida, **M. Sadakata**, Energy & Fuels, 21, 3264-3269 (2007)

2)L. Wang, L. Gong, E. Zhao, Z. Yu, Y. Torimoto, **M. Sadakata**, Q.X. Li, Lett. Applied Microbiology, 45 200-205, (2007)

T. Dong, ZX Wang, LX Yuan, Y. Torimoto, **M. Sadakata**, QX Li, CATALYSIS LETTERS, 119, 29-39, (2007)

3)Z. X. Wang, T. Dong, L. X. Yuan, T. Kan, X. F. Zhu, Y. Torimoto, **M. Sadakata**, Q. X. Li, ENERGY & FUELS, 21, 2421-2432, (2007)

4)Z. Wang, Y. Pan, T. Dong, X. Zhu, T. Kan, L. Yuan, Y. Torimoto, **M. Sadakata**, Q.X. Li, APPLIED CATALYSIS A-GENERAL, 320, 24-34, (2007)

5)A. Gao, X. Zhu, H. Wang, J. Tu, P. Lin, Y. Torimoto, **M. Sadakata**, Q.X. Li, J. Phys. Chem. B, 110, 11854-11862 (2006)

**6)M. Nishioka**, H. Nanjo, S. Hamakawa, K. Kobayashi, T. Inoue, F. Mizukami, **M. Sadakata**, Solid State Ionics, 177, 2235-2239, (2006)

7)C. Abhijit, **M. Nishioka**, F. Mizukami, Chemical Physics Letters, Vol. 390, No.4-6, 335-339, (2004)

##### 追記

志半ば平成19年9月に急逝なされました前研究代表 故定方正毅工学院大学教授に深く哀悼の意を表します。