

令和 3 年 5 月 25 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K15290

研究課題名(和文) 格子内の隙間と酸素を活用した亜酸化窒素直接分解触媒

研究課題名(英文) Direct decomposition of nitrous oxide using open space and oxygen in the lattice

研究代表者

布谷 直義 (Nunotani, Naoyoshi)

大阪大学・工学研究科・助教

研究者番号：40715314

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：地球温暖化およびオゾン層破壊の原因となる亜酸化窒素(N_2O)ガスを高効率で除去するため、新規な N_2O 直接分解触媒の創成を行った。格子内に大きな隙間を持つ立方晶C型希土類三酸化物構造を有する Yb_2O_3 に着目し、さらに、格子内酸素も反応に関与させるために酸化還元しやすいイオン($Co^{2+/3+}$, Cu^{+2+})を導入した。その結果、 $(Yb_{0.85}Cu_{0.15})_2O_3$ において最大の活性が得られ、400℃で N_2O を完全分解できることを明らかにした。さらに、立方晶C型構造における格子内隙間が N_2O の吸着および活性点になっていることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、温室効果に加え、オゾン層破壊効果もある亜酸化窒素を分解するため、触媒の格子内隙間および格子内酸素に着目し、これらを活用した新規な貴金属フリー触媒の創成を行った。その結果、亜酸化窒素を効率的に無害な窒素と酸素まで直接分解でき、かつ他ガス(酸素や水蒸気)共存化においても高い活性を維持できることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In order to effectively remove nitrous oxide (N_2O) which causes the global warming and the ozone layer depletion, I developed the novel catalysts for the direct N_2O decomposition. I focused on Yb_2O_3 with the cubic C-type rare earth sesquioxide structure, which has the large open spaces in the lattice. In addition, $Co^{2+/3+}$ or Cu^{+2+} was introduced into the lattice to accelerate the decomposition reaction by supplying the lattice oxygen. As results, $(Yb_{0.85}Cu_{0.15})_2O_3$ showed the highest activity, and decomposed N_2O at the temperature as low as 400℃. Furthermore, I also demonstrated that the open space in the C-type structure worked as the N_2O adsorption sites and the catalytic active sites.

研究分野：環境触媒

キーワード：環境触媒 亜酸化窒素 直接分解 希土類

1. 研究開始当初の背景

亜酸化窒素 (N_2O) は、二酸化炭素の約 300 倍の温室効果を示すことに加え、フロン同様、オゾン層を破壊する原因物質でもある。さらに、 N_2O は大気中での寿命が約 120 年であるため、長期的に環境に悪影響を与える。 N_2O は、工業的にはアジピン酸や硝酸などの合成過程や、燃料や廃棄物の燃焼過程において発生するガスであり、産業が発展するに従い、大気中の N_2O 濃度は増大し続けている¹⁾。従って、工業的に発生する N_2O を大気中に排出する前に分解除去する必要がある。

N_2O 処理方法としては、選択触媒還元法 (SCR 法)、熱分解法、および直接分解法が知られている。SCR 法はアンモニア等の還元剤により N_2O を分解する手法であるが、継続的に還元剤を供給し続けなければならない。熱分解法は、 N_2O を 800~1000°C の高温にすることで分解する方法であり、還元剤を必要としないが、エネルギーコストが高いことや設備の熱劣化が問題である。一方、直接分解法は、触媒との接触のみにより N_2O を N_2 と O_2 に分解する手法であり、還元剤が不要であり、かつ熱分解法よりも低温での浄化が可能となる理想的な N_2O 除去法として期待されている。

N_2O 直接分解としては、貴金属 (Pt や Rh 等) 担持触媒、ゼオライト系触媒、およびスピネル系触媒が知られている^{2,3)}。貴金属担持触媒は高い活性を示すが、希少な貴金属を使用することから、コストおよび資源の観点から貴金属フリー触媒の方が望ましい。ゼオライト系触媒やスピネル系触媒においても比較的高い N_2O 分解活性が得られているが、ゼオライト系触媒は 500°C 以上で触媒自身が熱分解すること、スピネル系触媒では、酸素や水蒸気の共存下で活性が低下することが問題となっていた。従って、貴金属フリーであり、耐熱性に優れ、かつ他ガスに対して高い耐久性を示す新規な N_2O 直接分解触媒の創成が望まれていた。

2. 研究の目的

高い N_2O 分解活性を得るためには、 N_2O を効率的に吸着できる構造であることが重要と考えられることから、構造中に大きな間隙を有する立方晶 C 型希土類三二酸化物構造 (立方晶 C 型構造)⁴⁾に着目した。立方晶 C 型構造は、蛍石型構造から 25% の酸化物イオンが欠損した非常に疎な構造をしており、酸化物イオン欠損に由来する広い格子内間隙を有している。このような大きな間隙は、 N_2O ガスの吸着点となり得ることから、分解の活性点となり、効率的に浄化できると考えられる。また、希土類三二酸化物はいずれも融点が 2200°C 以上と高いことから、耐熱性に優れた材料である。

さらに、これまでに提唱されている N_2O 直接分解反応メカニズム²⁾によると、 N_2O の吸着、分解により吸着酸素が生成するが、この吸着酸素の脱離が起こりにくく、触媒上に残留し、 N_2O 吸着点を被覆する。従って、吸着酸素の脱離を促進させることも重要である。従来のメカニズムにおいては、吸着酸素は、吸着酸素同士の反応による O_2 ガス形成、もしくは吸着酸素と N_2O の反応による N_2 ガスと O_2 ガス形成により除去されるが、これら以外にも触媒の格子内部の酸素との反応によっても除去できると考えられる。即ち、格子内から酸素を供給することにより、吸着酸素の脱離が促進されると考えられる。

本研究では、立方晶 C 型構造を有する酸化イッテルビウム (Yb_2O_3) を母体として選択し、価数変化しやすく、かつ Yb^{3+} より低価数イオンを含む $\text{Co}^{2+/3+}$ または Cu^{+2+} イオンで部分置換した $\text{Yb}_2\text{O}_3\text{-Co}_3\text{O}_4$ ⁵⁾ および $\text{Yb}_2\text{O}_3\text{-CuO}$ ⁶⁾ の合成を行い、 N_2O 直接分解活性を調べた。さらに、立方晶 C 型構造が有する格子内間隙が N_2O 分解活性に与える影響を調べるため、組成により蛍石型構造または立方晶 C 型構造をとる $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$ ⁷⁾ の N_2O 分解活性を詳細に調べた。

3. 研究の方法

$\text{Yb}_2\text{O}_3\text{-Co}_3\text{O}_4$ および $\text{Yb}_2\text{O}_3\text{-CuO}$ の合成は、共沈法により行った。1 mol·L⁻¹ $\text{Yb}(\text{NO}_3)_3$ 水溶液および 1 mol·L⁻¹ $\text{M}(\text{NO}_3)_2$ ($\text{M} = \text{Co}, \text{Cu}$) を混合し、1 mol·L⁻¹ 炭酸アンモニウム水溶液および 4 mol·L⁻¹ アンモニア水を用いて pH を 9 に調整した。得られた沈殿物を回収し、大気中 500°C で 6 時間焼成することにより、 $(\text{Yb}_{1-x}\text{M}_x)_2\text{O}_{3-\delta}$ ($\text{M} = \text{Co}, \text{Cu}$) を得た。一方、 $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$ は、出発物質を 0.1 mol·L⁻¹ $\text{ZrO}(\text{NO}_3)_2$ 水溶液および 1 mol·L⁻¹ $\text{Y}(\text{NO}_3)_3$ 水溶液とし、同様に炭酸アンモニウム水溶液およびアンモニア水を用いて沈殿させた後、大気中 1600°C で 6 時間焼成することにより、 $\text{Zr}_{1-x}\text{Y}_x\text{O}_{2-\delta}$ とした。

得られた各試料の結晶相は、粉末 X 線回折 (XRD) 測定により調べた。各試料の還元性を調べるため、水素昇温還元 ($\text{H}_2\text{-TPR}$) 測定を行った。触媒への N_2O 吸着性能は、 N_2O 流通下、*in situ* FT-IR 測定を行うことにより調べた。 N_2O 直接分解活性は、固定床流通系の反応措置を用いて測定した。反応装置内に 0.2 g の触媒を設置し、前処理としてヘリウムガス流通下において触媒を 200°C で 1 時間加熱した。その後、0.5vol% N_2O -99.5vol% He 混合ガスを 60 mL·L⁻¹ 流通させ、各温度における触媒通過後の反応ガスを熱伝導検出ガスクロマトグラフで分析した。

4. 研究成果

(1) 立方晶 C 型希土類三二酸化物を用いた N₂O の直接分解

構造中に大きな間隙を有する立方晶 C 型 Yb₂O₃ に、価数変化しやすく、かつ低価数イオンを含む Co^{2+/3+} を導入した (Yb_{1-x}Co_x)₂O_{3-δ} の合成を行った。(Yb_{1-x}Co_x)₂O_{3-δ} の XRD 測定結果から、 $x \leq 0.10$ の試料において立方晶 C 型構造単相が得られた。一方、 $x > 0.10$ は試料においては、立方晶 C 型構造に加え、Co₃O₄ に帰属されるピークも観測された。XRD 測定結果から格子定数を算出したところ、 $x \leq 0.10$ の試料においては、Co^{2+/3+} イオン添加量 (x) の増加に伴い、格子定数が減少することが確認された。これは、Yb³⁺ イオン

(0.100 nm, 6 配位)⁸⁾ サイトがよりイオン半径の小さい Co イオン (Co²⁺: 0.072 nm, Co³⁺: 0.068 nm, いずれも 6 配位)^{8,9)} で部分置換されたためと考えられる。一方、 $x > 0.10$ の領域ではさらなる格子定数の変化が見られなかったことから、固溶限界は $x = 0.10$ であることがわかった。

図 1 に (Yb_{1-x}Co_x)₂O_{3-δ} の N₂O 分解活性を示す。 $x \leq 0.10$ の単相領域においては、Co^{2+/3+} イオン添加量 (x) が増加するに従い、N₂O 分解活性が向上することがわかった。これは、価数変化しやすい Co^{2+/3+} イオンを固溶させたことで、酸化還元特性が向上したためと考えられる。さらに、Yb³⁺ より低価数の Co²⁺ イオンの導入による酸化物イオン欠陥形成も影響していると考えられる。一方、 $x = 0.15$ の試料は、 $x = 0.10$ の試料よりも活性が低下したが、これは、不純物相 (Co₃O₄) が活性点を被覆したためと考えられる。最大の活性は、固溶限界組成である (Yb_{0.90}Co_{0.10})₂O_{3-δ} において得られ、500°C で N₂O を完全分解できることがわかった。

以上のように、Yb₂O₃ に価数変化しやすく、かつ Yb³⁺ より低価数イオンを含む Co^{2+/3+} を導入した結果、高い活性が得られた。そこで、さらなる活性向上のため、Co^{2+/3+} よりも低価数を取り、かつ価数変化しやすい Cu⁺²⁺ を導入した (Yb_{1-x}Cu_x)₂O_{3-δ} の合成を行った。

(Yb_{1-x}Cu_x)₂O_{3-δ} の XRD パターンより、 $x \leq 0.15$ の試料においては、立方晶 C 型構造に帰属されるピークのみが観測され、単相となることがわかった。一方、 $x > 0.15$ の試料では、立方晶 C 型構造に加え、CuO に帰属するピークも観測され、混相であった。XRD パターンから算出した立方晶 C 型構造の格子定数を図 2 に示す。単相が得られた領域 ($x \leq 0.15$) においては、Cu⁺²⁺ イオン添加量 (x) の増加に伴い格子定数が減少した。これは、Yb³⁺ イオン (0.100 nm, 6 配位)⁸⁾ サイトを、よりイオン半径の小さい Cu イオン (Cu⁺: 0.092 nm, Cu²⁺: 0.087 nm, いずれも 6 配位)⁸⁾ が部分置換したためと考えられる。一方、 $x > 0.15$ の領域では格子定数に変化が見られなかったことから、(Yb_{1-x}Cu_x)₂O_{3-δ} における Cu⁺²⁺ イオンの固溶限界は $x = 0.15$ であることがわかった。

(Yb_{1-x}Cu_x)₂O_{3-δ} の N₂O 分解活性を図 3 に示す。単相試料が得られた $x \leq 0.15$ の領域においては、Cu⁺²⁺ イオン添加量 (x) が増加するに従い、N₂O 分解活性が向上した。これは、Cu⁺²⁺ が価数変化しやすいために酸化還元能が付与されたためと考えられる。さらに、Yb₂O₃-Co₃O₄ の結果と比較すると、

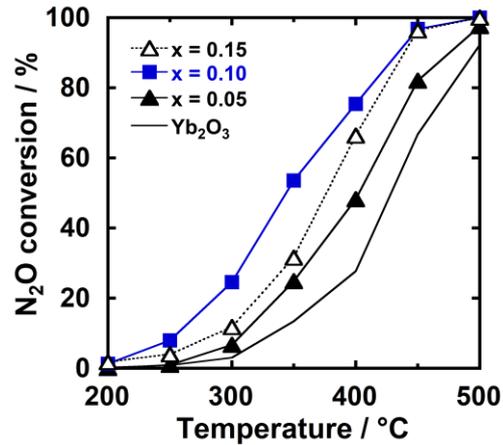


図 1 (Yb_{1-x}Co_x)₂O_{3-δ} における N₂O 分解活性の温度依存性

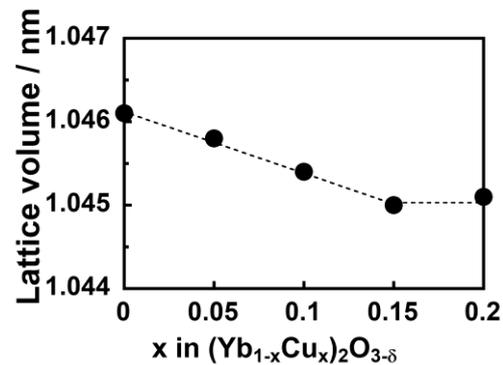


図 2 (Yb_{1-x}Cu_x)₂O_{3-δ} の格子定数の組成依存性

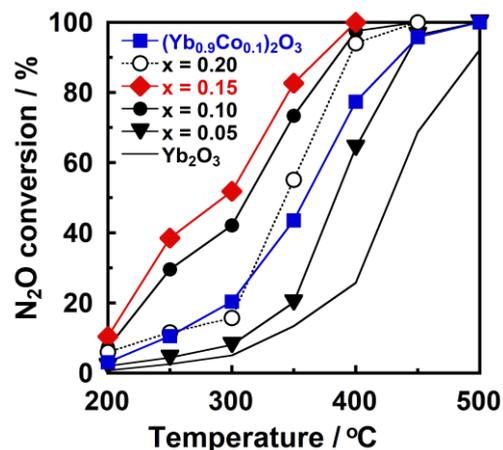


図 3 (Yb_{1-x}Cu_x)₂O_{3-δ} における N₂O 分解活性の温度依存性

(Yb_{0.85}Cu_{0.15})₂O_{3-δ} は(Yb_{0.90}Co_{0.10})₂O_{3-δ} よりも高い活性を示したことから、Co^{2+/3+}よりさらに低価数の Cu⁺を含む Cu⁺²⁺の導入により酸化物イオン欠陥量が増加したことも影響していると考えられる。一方、混相領域では x の増加に伴い活性が低下した。これは、不純物相 (CuO) が活性点を被覆したためと考えられる。以上の結果から、 $x = 0.15$ において最大の活性が得られ、400°C で N₂O を完全分解できることが明らかになった。

Cu⁺²⁺イオン導入が酸化還元能に与える影響を調べるため、H₂-TPR 測定を行った。立方晶 C 型構造単相が得られた $x \leq 0.15$ の H₂-TPR プロファイルを図 4 に示す。Yb₂O₃ の場合には 400°C 以下の領域にピークが確認されなかったが、Cu⁺²⁺を添加した場合には Cu²⁺から Cu⁺への還元¹⁰⁾に帰属される還元ピークが観測された。さらに、Cu⁺²⁺イオン添加量の増加に伴い還元ピークは低温側にシフトしていた。これは、価数変化しやすい Cu⁺²⁺イオンにより、酸化還元特性が向上したためと考えられる。

最大の活性を示した(Yb_{0.85}Cu_{0.15})₂O_{3-δ} について、共存ガスに対する耐久性を調べた。図 5 に、(Yb_{0.85}Cu_{0.15})₂O_{3-δ} の 400°C における種々の濃度の酸素または水蒸気共存下での N₂O 分解活性を示す。酸素や水蒸気共存下においても大きな活性の低下は見られず、5 vol% 酸素または 3 vol% 水蒸気の共存下においても 93% 以上の高い N₂O 分解活性を示すことがわかった。

(2) N₂O 分解活性に対する立方晶 C 型構造の格子内間隙の影響

立方晶 C 型構造は、螢石型構造の 25% の酸化物イオンが欠損した構造であり、酸化物イオン欠陥に由来する広い間隙を有している。そこで、立方晶 C 型構造における酸化物イオン欠陥が N₂O 分解活性に与える影響を解明することを目指し、組成比によって螢石型構造および立方晶 C 型構造を取る ZrO₂-Y₂O₃ を用いて酸化物イオン欠陥量および立方晶 C 型構造への構造変化が、触媒への N₂O 吸着量および N₂O 分解活性に及ぼす影響について調べた。

Zr_{1-x}Y_xO_{2-δ} の XRD 測定結果から、 $0 < x \leq 0.20$ の領域においては螢石型構造単相が得られ、 $x \geq 0.80$ の領域においては立方晶 C 型構造単相が得られた。なお、XRD パターンから格子定数を算出することにより、Zr⁴⁺サイトに Y³⁺が部分置換していることを確認した。

Zr_{1-x}Y_xO_{2-δ} の N₂O 吸着性能を調べるため、0.5 vol% N₂O (He 希釈) ガス流通下で *in situ* FT-IR 測定を行った。Zr_{1-x}Y_xO_{2-δ} の 50°C における FT-IR スペクトルを図 6 に示す。いずれの試料においても、2240 cm⁻¹ 付近および 2210 cm⁻¹ 付近に吸着 N₂O の振動に由来するピーク^{11,12)}が観測されたことから、触媒表面に N₂O が吸着していることが確認された。吸着 N₂O に由来するこれらのピーク面積が

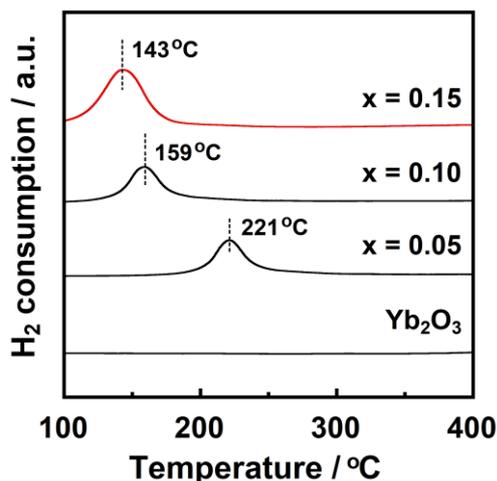


図 4 (Yb_{1-x}Cu_x)₂O_{3-δ} の H₂-TPR プロファイル

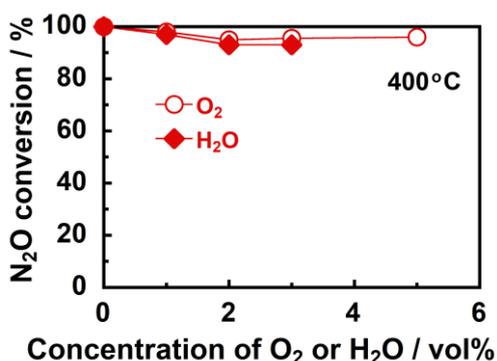


図 5 (Yb_{0.85}Cu_{0.15})₂O_{3-δ} における N₂O 分解活性の共存ガス濃度依存性

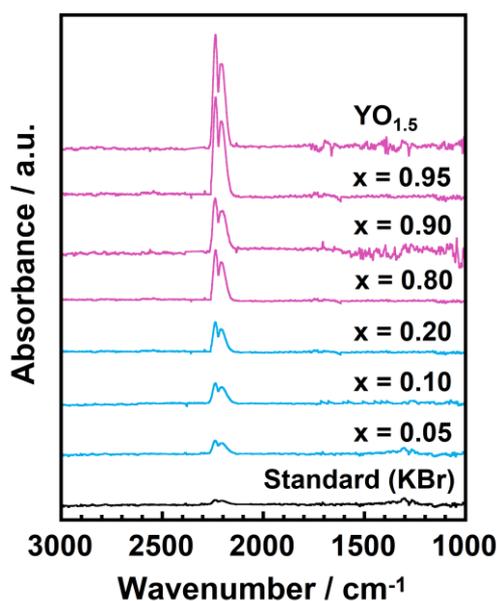


図 6 N₂O 流通下の Zr_{1-x}Y_xO_{2-δ} の FT-IR スペクトル

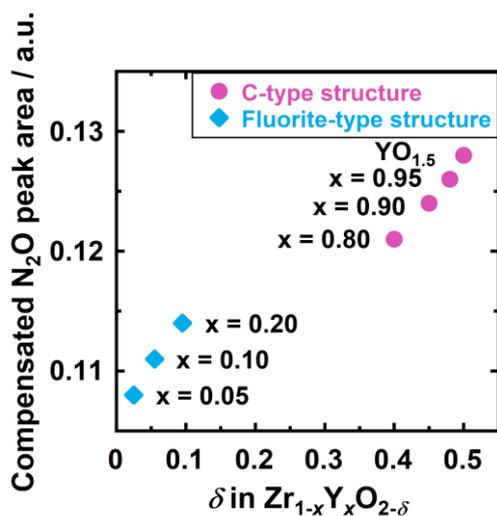


図7 $Zr_{1-x}Y_xO_{2-\delta}$ における FT-IR の吸着 N_2O ピーク面積と、酸化物イオン欠陥量 (δ) の関係

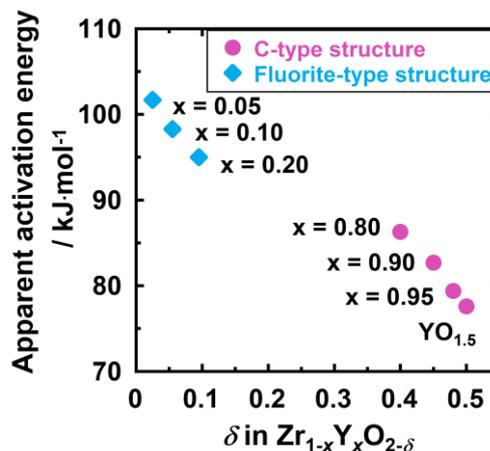


図8 $Zr_{1-x}Y_xO_{2-\delta}$ の見かけの活性化エネルギーと酸化物イオン欠陥量 (δ) の関係

ら吸着 N_2O 量を求め、構造中の酸化物イオン欠陥量 (δ) との関係調べた結果 (図7)、蛍石型および立方晶 C 型構造いずれも、酸化物イオン欠陥量 (δ) が増加するに従い、吸着 N_2O が増加し、かつ酸化物イオン欠陥を多量に含む立方晶 C 型構造の方が蛍石型構造よりも吸着 N_2O 量が多いことが明らかとなったことから、表面付近の酸化物イオン欠陥に N_2O が吸着していると考えられる。

$Zr_{1-x}Y_xO_{2-\delta}$ を用いて N_2O 分解活性を評価し、得られた N_2O 転化率をもとに、下記式 1, 2 を用いて、触媒反応の見かけの活性化エネルギーを算出した。見かけの活性化エネルギーと酸化物イオン欠陥量の関係を図8に示す。酸化物イオン欠陥量の増加に伴い、見かけの活性化エネルギーが低下していることが確認された。また、酸化物イオン欠陥量の多い立方晶 C 型構造の方が、見かけの活性化エネルギーは低い値であった。酸化物イオン欠陥量の増加により、 N_2O 吸着量が増加していたことから、酸化物イオン欠陥が新たな N_2O 分解の吸着および活性点となることで、 N_2O 分解が促進されたと推測される。

$$r = k C \quad (\text{式 1})$$

$$k = A \exp(-E_a/RT) \quad (\text{式 2})$$

(r : 反応速度、 k : 見かけの速度定数、 C : N_2O 濃度、 A : 頻度因子、 E_a : 見かけの活性化エネルギー、 R : 気体定数、 T : 温度)

以上の結果より、酸化物イオン欠陥量の増加に伴い、 N_2O の吸着量が増加し、 N_2O 分解活性も向上することが明らかになった。また、蛍石型構造と立方晶 C 型構造を比較すると、酸化物イオン欠陥量が立方晶 C 型構造の方が多く、 N_2O 吸着量も増加したために、高い活性を示した。従って、立方晶 C 型構造が有する酸化物イオン欠陥は N_2O 分解の吸着および活性点になっていることがわかった。

<引用文献>

- 1) S.A. Montzka and E.J. Dlugokencky, *Nature*, **476**, 43 (2011).
- 2) M. Konsolakis, *ACS Catal.*, **5**, 6397 (2015).
- 3) F. Kapteijn, J. Rodriguez-Mirasol, and J.A. Moulijn, *Appl. Catal. B: Environ.*, **9**, 25 (1996).
- 4) G. Adachi and N. Imanaka, *Chem. Rev.*, **98**, 1479 (1998).
- 5) C.M. Cho, N. Nunotani, and N. Imanaka, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **92**, 1148-1153 (2019).
- 6) C.M. Cho, N. Nunotani, and N. Imanaka, *J. Asian Ceram. Soc.*, **7**, 518-523 (2019).
- 7) C.M. Cho, N. Nunotani, and N. Imanaka, *Funct. Mater. Lett.*, **13**, 2050040 (2020).
- 8) R.D. Shannon, *Acta. Crystallogr., Sect. A*, **32**, 751 (1976).
- 9) Y.J. Hao, Q.Y. Lai, J.Z. Lu, and X.Y. Ji, *Ionics*, **13**, 369 (2007).
- 10) B. Wei, N. Yang, F. Pang, and J. Ge, *J. Phys. Chem. C*, **122**, 19524 (2018).
- 11) L. Chen, H.Y. Chen, and J. Lin, *Surf. Interface Anal.*, **28**, 115 (1999).
- 12) S.S. Kim, S.J. Lee, and S.C. Hong, *Chem. Eng. J.*, **169**, 173 (2011).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Chang-Min Cho, Naoyoshi Nunotani, and Nobuhito Imanaka	4. 巻 92
2. 論文標題 Direct Decomposition of N ₂ O over C-Type Cubic Yb ₂ O ₃ -Co ₃ O ₄ Catalysts	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1148-1153
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1246/bcsj.20190058	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Chang-Min Cho, Naoyoshi Nunotani, and Nobuhito Imanaka	4. 巻 7
2. 論文標題 Effect of Oxygen Vacancies on Direct N ₂ O Decomposition over ZrO ₂ -Y ₂ O ₃ Catalysts	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Asian Ceramic Societies	6. 最初と最後の頁 518-523
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/21870764.2019.1675941	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Chang-Min Cho, Naoyoshi Nunotani, and Nobuhito Imanaka	4. 巻 13
2. 論文標題 Direct N ₂ O decomposition over Yb ₂ O ₃ -CuO catalysts with C-type cubic structure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Functional Materials Letters	6. 最初と最後の頁 2050040 ~ 2050040
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1142/S179360472050040X	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Cho Chang-Min、布谷直義、今中信人
2. 発表標題 立方晶C型Yb ₂ O ₃ -Co ₃ O ₄ 触媒によるN ₂ Oの直接分解
3. 学会等名 第35回希土類討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Cho Chang-Min、布谷直義、今中信人
2. 発表標題 立方晶C型Yb ₂ O ₃ -CuO複合酸化物による亜酸化窒素の直接分解
3. 学会等名 第124回触媒討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Nunotani, C.M. Cho, N. Imanaka
2. 発表標題 Direct Decomposition of Nitrous Oxide to Nitrogen and Oxygen Using C-type Ytterbium Oxide-Cobalt Oxide Catalysts
3. 学会等名 10th International Conference on High Temperature Ceramics Matrix Composites (HT-CMC10) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 布谷直義、Cho Chang-Min、今中信人
2. 発表標題 ZrO ₂ -Y ₂ O ₃ 触媒におけるN ₂ O直接分解活性に対する酸化物イオン欠陥の影響
3. 学会等名 第125回触媒討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 布谷直義、Cho Chang-Min、今中信人
2. 発表標題 ZrO ₂ -Y ₂ O ₃ 触媒の酸化物イオン欠陥がN ₂ O直接分解活性に与える影響
3. 学会等名 第126回触媒討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Li Yang, Naoyoshi Nunotani, Nobuhito Imanaka
2. 発表標題 Direct N2O Decomposition over CeO2-Sm2O3-CuO Catalysts with Fluorite-type Structure
3. 学会等名 日本セラミックス協会2021年年会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関