

令和 3 年 6 月 11 日現在

機関番号：13801

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2020

課題番号：19K22926

研究課題名（和文）CO<sub>2</sub>を常温で大量にメタン変換する革新的な資源化反応場の創製研究課題名（英文）Development of an innovative CO<sub>2</sub> converter transforming a large amount of CO<sub>2</sub> to CH<sub>4</sub> at room temperature

研究代表者

福原 長寿（Fukuhara, Choji）

静岡大学・工学部・教授

研究者番号：30199260

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、温室効果ガスであるCO<sub>2</sub>を大量に処理することを目的に、高速な原料ガス供給におけるメタン化特性を評価した。産業プロセスから排出されるCO<sub>2</sub>の有効活用を意図している。スパイラル形のNi/CeO<sub>2</sub>構造体触媒で構築した3連式反応場システムは、高効率なCO<sub>2</sub>のメタン化機能を示し、反応場から生成水をトラップすることでより活性が向上した。触媒濃度に傾斜を施した構造体触媒システムは、供給3L/min（触媒との接触時間0.1sec）の場合でも、高く安定したメタン変換性を示した。さらに、原料ガス中に酸素を共存させることで、外部加熱のない室温域でもメタン化反応が進行し、触媒プロセスの強化となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

温室効果ガスによる環境変化が顕在化してきた現在において、産業プロセスから排出されるCO<sub>2</sub>ガスの処理とその有効利用は開拓する技術として重要である。本研究の推進によって、スパイラル形の構造体触媒で構成した触媒反応システムは、かなりの高速条件で原料ガスを供給してもCO<sub>2</sub>を高い効率でCH<sub>4</sub>に変換できることが明らかとなった。また、生成する水を反応場から除去することでさらに変換効率が高まることもわかった。加えて、外部加熱の不要な室温域でもメタン化反応が進行する技術も開発できた。これらの成果は、目的とするCO<sub>2</sub>の変換処理を大量かつ経済的に実施する新規な触媒反応プロセスの開拓へとつながるものである。

研究成果の概要（英文）：In this study, the methanation performance under high-speed raw material gas supply was investigated for the purpose of processing a large amount of CO<sub>2</sub>, which is a greenhouse gas. This research is intended to make effective utilization of CO<sub>2</sub> emitted from industrial processes. The triple reaction field system constructed with a spiral Ni/CeO<sub>2</sub> structured catalyst showed a highly efficient CO<sub>2</sub> methanation function, and the activity was further improved by trapping the generated water from the reaction field. The structured catalyst system with a gradation catalyst concentration showed high stable methane conversion even when the supply was 3 L/min (contact time with the catalyst was 0.1 sec). Furthermore, the co-feeding of oxygen in the raw material gas promoted the methanation performance even in the room temperature region without external heating, strengthening the catalytic process.

研究分野：触媒反応工学

キーワード：温室効果ガス削減 メタン化反応 CCU 構造体触媒 触媒反応システム プロセス強化

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

CO<sub>2</sub>を主とする温室効果ガスが及ぼす環境変化が加速している。COP21パリ協定で我国は、2030年までに2013年度比で26%のCO<sub>2</sub>排出削減を約束した(2021年4月には46%に引き上げている)。各種の産業プロセスから排出されるCO<sub>2</sub>ガスを削減する技術と、またそれを資源化する技術の開拓は今後において非常に重要である。変換技術の開拓におけるポイントは、火力発電所などの工業プラントから排出されるCO<sub>2</sub>は大多量であり、またCO<sub>2</sub>変換に伴う熱エネルギー量が大きくなることである。これまでの触媒変換プロセスで汎用されてきた触媒充填型システムの場合、反応場の圧力損失と伝熱性の欠点からこの課題には対応できない。

研究代表者は、CO<sub>2</sub>を水素で還元処理してメタン(資源として利用)に変換する、メタネーション反応( $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ )に関する触媒プロセスの研究開発に着目してきた。加えて、反応原料物の大量処理と大きな熱エネルギーの移動を伴う触媒反応場においては、低い圧力損失と高い伝熱性を有する構造体触媒反応システムが有利であることを明らかにしている。

### 2. 研究の目的

本研究では、上記の研究当初の背景と研究代表者の研究実績を勘案し、産業プロセスから排出される大多量のCO<sub>2</sub>をCH<sub>4</sub>にメタネーション反応で変換する触媒反応プロセスを、構造体触媒変換システムで構築することを目的とした。構造体触媒反応システムは、図1(a)に示すように、伝熱性のよい金属体を触媒支持体とするため化学反応場への熱供給や熱除去が効率的であり、反応場の圧力損失が小さいことから物質移動を促進しつつ、ガス流れの整流性も確保できる。図1(b)の触媒充填型システムによる物質変換システムにはない、触媒変換場にプラスの効果をもたらすことがこの構造体触媒システムでは考えられる。

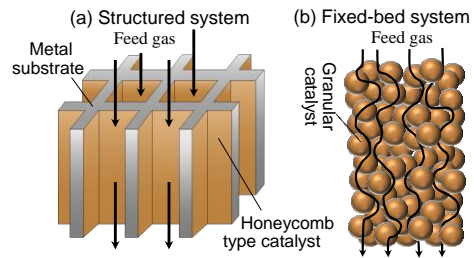


Fig.1 System feature of (a) structured reaction type and (b) fixed-bed type

### 3. 研究の方法

#### (1) 大量処理型多管式構造体触媒システムのメタン化特性の評価

図2に、今回製作した多管式構造体触媒システムの基本構成を示す。反応システムは、内径8mmφ×長さ800mmの3本の石英管が3ゾーン制御式電気炉内の半径方向に均等間隔に設置されている。これらの3本の石英管は直列に連結しており、原料ガスは最初に1<sup>st</sup>-reactorに入り、その後1<sup>st</sup>-trapに流れる。そして1<sup>st</sup>-trapで反応生成した液体成分を分離した後、反応ガスは2<sup>nd</sup>-reactorに入る。2<sup>nd</sup>-trapで再び生成液体成分を分離した後、反応ガスは最後に3<sup>rd</sup>-reactorに入る。そして3<sup>rd</sup>-trapで最終の液体成分を分離した後、気体用のサンプルポートと石鹼膜流量計を経て系外に排出される。

3本の石英反応管内にはそれぞれにアルミニウム基板を支持体としたスパイラル形構造体触媒(50mm長、触媒量25~120mg/本)を4本ずつ設置した。このとき、触媒層の全体長さが合計で200mmとなるため、本研究では均熱帯を広く確保できる3ゾーン制御式電気炉を使用した。この電気炉の均熱帯は約400mmであり、反応のない条件でこの均熱帯が正しく確保できることを確認した。

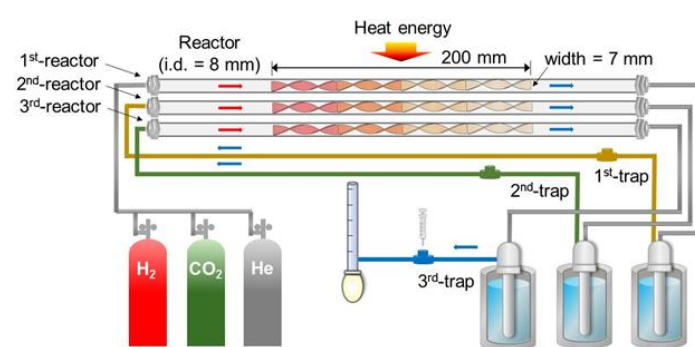


Fig.2 Schematic diagram of structured CO<sub>2</sub> methanation system

#### (2) スパイラル形の構造体触媒の調製

反応管内に設置したスパイラル形構造体触媒の概観を図3に示す。基材はアルミニウム板(JIS A1100P)を7mm×50mmに切断し、それを720°のひねり処理を施したものである。この基材上へのNi/CeO<sub>2</sub>触媒成分の付着手順は、wash coat法を用いた。初めに、Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>・6H<sub>2</sub>O試薬とCeO<sub>2</sub>担体(JRC-CEO-2、触媒学会参照触媒委員会から提供)を用い、蒸発乾固法(evaporation to dryness)によって粒状のNi/CeO<sub>2</sub>成分を調製した。Ni成分の担持量は10wt%である。その後、調製したNi/CeO<sub>2</sub>成分を細かく乳鉢で粉碎し、それを2-プロパノール溶液に懸濁してスラリー液を作成した。このス

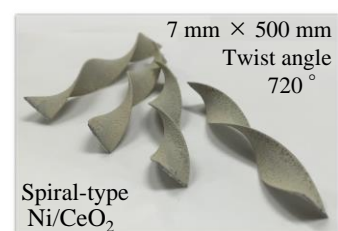


Fig.3 Overview of spiral-type catalyst

ラリー液のなかにスパイラル基材を浸漬し、スラリー液をドレイン後、基材を冷風乾燥することで Ni/CeO<sub>2</sub> 成分を付着した。浸漬と乾燥の工程は、所定の触媒量が基材上に付着するまで繰り返した。触媒量は実験項目によって 25~300mg で変化させた。

#### 4. 研究成果

##### (1) メタン化特性の評価

図4に、製作した多管式構造体触媒システムの CO<sub>2</sub> のメタン化反応の結果を示す。反応条件は、原料ガス (CO<sub>2</sub> : H<sub>2</sub> : N<sub>2</sub> = 1 : 6 : 3) の供給量 70ml/min, 各反応管内に設置したスパイラル触媒の合計の触媒量は 100mg, 反応温度は 200~500℃とした。なお、一本のスパイラル形構造体触媒の触媒担持量は 25mg である。図2で記載した 1<sup>st</sup>-reactor からのガス特性は 1<sup>st</sup>-stage として、2<sup>nd</sup>-reactor からのガス特性は 2<sup>nd</sup>-stage として、3<sup>rd</sup>-reactor からの特性は 3<sup>rd</sup>-stage として示した。また、図中の点線は生成水の除去を考慮しない平衡転化率である。1<sup>st</sup>-stage の反応管から流出してきたガスのメタン化特性はこれまでに得られたハニカム形 Ni/CeO<sub>2</sub> 構造体触媒の特性<sup>1)</sup>とほぼ同じであったが、2<sup>nd</sup>-stage からの流出ガスではその活性が向上している。特に、250~300℃における活性向上が顕著である。3<sup>rd</sup>-stage からの流出ガスはさらにメタン化活性が向上しており、約 270℃で平衡転化率に到達している。CO<sub>2</sub> のメタン化反応は、反応生成物として水が生じる平衡反応である。得られた結果は、反応場からの生成水の分離がメタン化

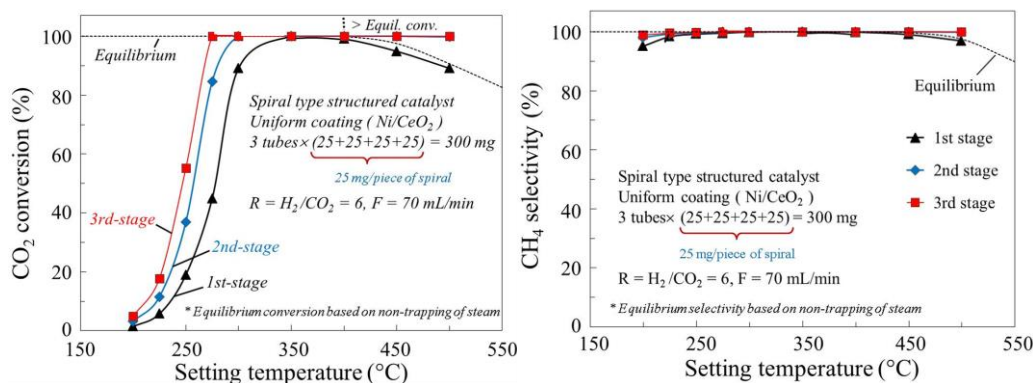


Fig.4 Methanation property of structured reaction system with multi-stage

反応速度を加速することを示唆しており、狙い通りの実験成果となった。また、生成物の選択率については常に高いメタンの選択性を示しており、好ましい結果である。加えて、低温側と高温側においては若干メタン選択率が下がった。副生成物は CO であるが、この場合においても生成水の除去がより CH<sub>4</sub> の選択性を高めていることがわかる。

また、このような生成水を反応系から除去する操作は、高いメタン転化率を得るために発生する大きな発熱エネルギーを、段階的に散逸させる効果をもたらす。すなわち、高い転化率まで一挙に反応を進めることで発生する熱エネルギーを、段階的に転化率を上げていくことにより、発熱エネルギーの穏和な制御操作につながる。工業的な操作を想定した場合に都合がよい。実プラントを建設する際の生成水の処理手段が重要であると考えられる。

図5は、反応条件を変えてメタン化反応を行なったときの多管式構造体触媒システムのメタン化特性である。反応条件は、原料ガス (CO<sub>2</sub> : H<sub>2</sub> : N<sub>2</sub> = 1 : 1 ~ 6 : 3 ~ 8) の供給量 70ml/min, 一本の反応管内に設置したスパイラル触媒の触媒量 100mg, 反応温度 200~500℃である。また図中の R 値は、供給原料の H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> の比であり、ここでは 1~6 の間で変化した。また、点線は各 R 値における平衡転化率である。いずれの条件における結果も、全て 3<sup>rd</sup>-stage からの流出ガスの結果である。図から、生成水の系外への除去によって各条件とも平衡転化率を越えることがわかる。興味深いことにその温度はおよそ 280℃近辺に位置している。そして、R 値が大

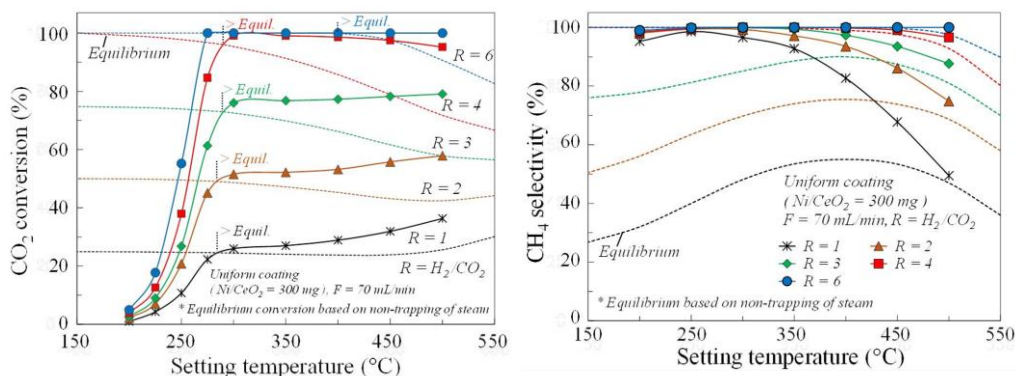


Fig.5 Effect of reaction condition change on performance of structured system with multi-stage



きいほど高温側における平衡値と実測値の隔たりが大きく、生成水の除去効果が顕在化している。この 280°C 付近で平衡転化率を越える理由は、現時点では不明である。Ni/CeO<sub>2</sub> 触媒の表面物性と水の吸脱着特性との関連性も考えられるが、いずれにしても興味深い現象である。

また、R 値が低い場合のメタン選択率は、平衡組成的には非常に不利であるが、水を系外に除去することで大きく改善されている。特に R = 1 ~ 3 の低温側においてその効果が大きい。一方、高温側では平衡組成に近づく。図 4 の結果ともあわせると、水の除去はメタン化反応において大きなプラス効果をもたらすことが明確となった。

## (2) 原料ガスの流速変化がメタン化活性に及ぼす影響

図 6 は、多管式構造体触媒システムにおいて原料ガスの流速変化がメタン化活性（左図）と反応管内温度分布（右図）に及ぼす影響を示したものである。反応条件は、原料ガス（CO<sub>2</sub>:H<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> = 1 : 4 : 5）の供給速度 70~3000ml/min、一本の反応管内に設置したスパイラル触媒の触

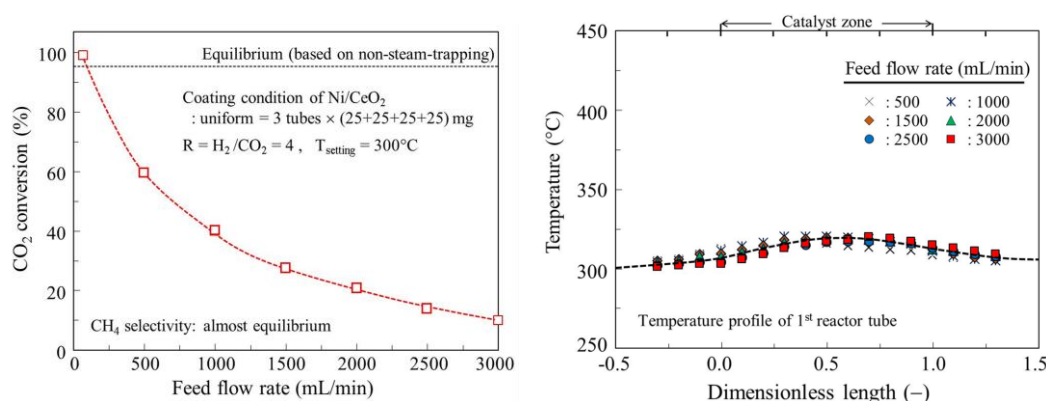


Fig.6 Effect of feeding rate change on performance and temperature profiles of structured system

媒量 100mg (25mg/本を 4 本連続設置)、反応温度 300°C である。三本のスパイラル形構造体触媒反応場の全触媒担持量は 300mg であり、図 4、5 と同様である。また、活性の図は 3<sup>rd</sup>-reactor 出口の、温度分布の図は 1<sup>st</sup>-reactor の分布を示している。

転化率の図から、原料ガスの供給速度を 70ml/min から増加することで CO<sub>2</sub> 転化率は大きく低下しており、500ml/min で約 60%、1000ml/min で約 40%、3000ml/min で約 10% ほどである。このときのスパイラル形触媒表面上の原料ガスの線速度は、70ml/min で 45mm/s、500ml/min で 324mm/s、1000ml/min で 648mm/s、3000ml/min で 1945mm/s となる。この線速度をもとに、各流速における触媒表面上(長さ 200mm)の滞在時間を計算すると、70ml/min では 4.4sec、500ml/min では 0.62sec、1000ml/min では 0.31sec、3000ml/min では 0.10sec である。ガス流速の遅い 70ml/min では触媒との接触時間がある程度確保されているが、500ml/min 以上では短い接触時間であり、十分な接触時間ではないと考えられる。一方、ガス流速 3000ml/min の条件では極めて短い滞在時間であり、触媒上でのメタン化速度が加速しないうちに反応管からガスが排出されていると考えられる。

このときの反応管内温度分布(右図)を見ると、触媒領域内の温度はガス流速の変化に影響されずにはほぼ同じ分布となっていることがわかる。管内温度は入口から無次元距離 0.5 まで約 20°C ほど緩やかに上昇し、その後下降している。充填型触媒システムの場合には急激な温度上昇が予測されるが、構造体触媒システムでは大きな変化がなく、比較的溫度制御が良好であることが示唆される。

## (3) 濃度傾斜型構造体触媒のメタン化特性の評価

構造体触媒システムは、触媒層内の圧力損失を低く保つために大量の原料処理が可能なことが一つの特長である。しかし、図 6 で示したように、管径の小さい反応管を採用して原料ガスの供給速度を極端に大きくした場合、触媒とガス流体の接触時間が短くなり、そのことによって触媒機能が十分に発揮されない現象が観測された。かなり大きな供給の線速度の場合、構造体形状による物質拡散の促進効果だけでは反応速度を十分に加速できない。しかし、産業プロセス排出の CO<sub>2</sub> ガスの実際処理では、大量処理による高流速条件での操業も当然に考えられる。その場合でも CO<sub>2</sub> のメタン化活性はやはり確保したいところである。ここではそのための工夫を構造体触媒システムに施した。

図 7 は、反応管内に設置する 4 本のスパイラル形構造体触媒上に付着する Ni/CeO<sub>2</sub> 触媒量を、入口から順次 120mg、80mg、60mg、40mg と変えた濃度傾斜型の触媒場でメタン化反応を実施した結果である。活性の図は 3<sup>rd</sup>-reactor 出口の転化率を、温度分布の図では 1<sup>st</sup>-reactor の分布である。反応条件は図 6 と同様であり、比較として図中には図 6 の結果も示した。図から、濃度傾斜型触媒システムでは供給量が少ない領域から 3000ml/min の大供給量の領域にわたってほぼ 100% のメタン化活性を示しており、図 7 の通常形式の場合と大きな違いがある。一本の反応管内における触媒量は 100mg から 300mg に増えたものの、特に流量 1000~3000ml/min にわ

たつて、平衡転化率を越えるメタン化活性を示したことは非常に興味深い。メタン生成の選択率もほぼ 100%であった。触媒上での原料ガスの滞在時間が、0.10~0.31sec において CO<sub>2</sub> がほぼ CH<sub>4</sub> に変換することはより実用的なシステムとなったことを示す。温度分布の図（右図）を見ると、入口付近から触媒層中央までの温度上昇が大きく、流量を増加するほどに上昇幅が大きくなっている。すなわち、メタン化速度が加速している。但し、温度上昇は最大でも約 150°C 程度であり、ニッケル成分のタンマン温度 590~691°C<sup>2)</sup> と比較すると、温度上昇による触媒失活はあまり影響を受けない範囲である。

このような濃度傾斜型触媒システムはその傾斜パターンを変化することで、化学反応の進行具合を調整することも可能である。構造体触媒の利点でもあり、触媒反応場を設計する新しい触媒工学の技術となることが考えられる。

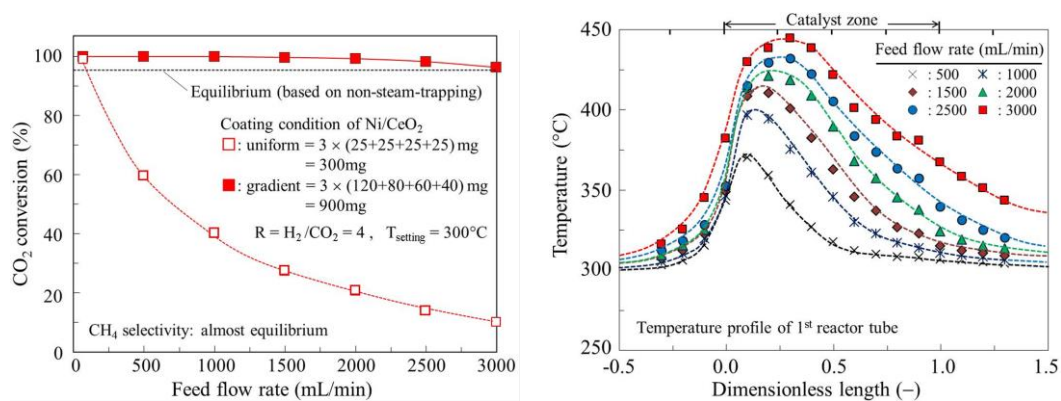


Fig.7 Performance and temperature profiles of concentration-gradient system with multi-stage

#### (4) 酸素が混在するメタン化反応特性

図8は、酸素ガスが混在する原料供給下におけるスパイラル形 Ni/CeO<sub>2</sub> 構造体触媒上でのメタン化特性である。ここでは反応管は 1<sup>st</sup>-reactor のみとした。反応条件は、原料ガス組成が CO<sub>2</sub> : H<sub>2</sub> : O<sub>2</sub> = 10 : 40 - 62 : 0 - 11 (窒素でバランス)、全ガス供給量が 400ml/min、スパイラル形構造体触媒 (4本) 上の触媒量が 300mg である。図から、通常メタン化反応 (酸素濃度 0 vol%) では 350°C で約 80% の CO<sub>2</sub> 転化率であるが、300°C ~ 250°C において急激に低下している。Ni/CeO<sub>2</sub> 触媒上で得られる通常メタン化反応特性と同様の傾向である。そのような急激な転化率の変化は、酸素濃度が 1 vol% の場合では低温側にシフトしており、3 vol% と 5 vol% ではシフトがより顕著となる。そして、7 vol% では 100°C 以下の温度域にまで到達している。そして、9 vol% ~ 11 vol% の酸素ガスが共存した場合は、転化率が 250°C 以下ではほぼ安定しており、急激に

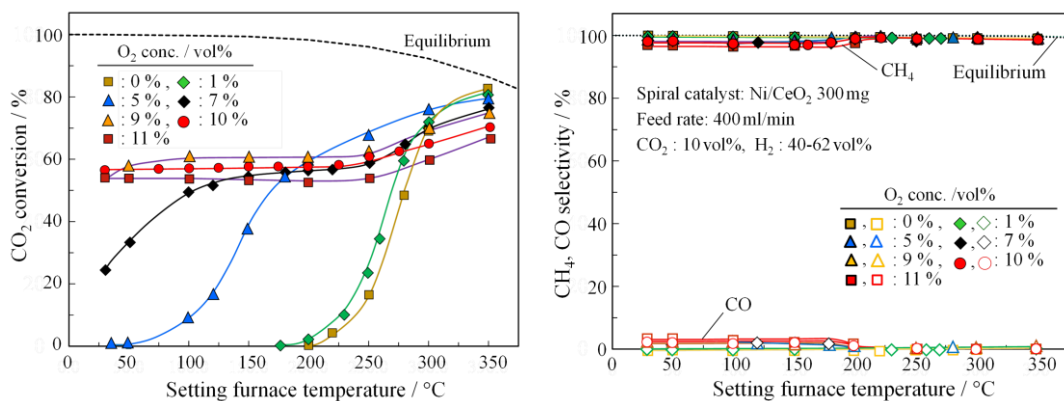


Fig.8 Methanation property of spiral-type catalyst system with various co-feeding of O<sub>2</sub>

変化することはなく、約 50~60% の転化率が維持されている。特に、25°C の室温域においてもこの転化率が継続していることは、とても興味深い。この温度域では当然に電気炉の電源をカットしており、外部からの熱エネルギー投入はない。化学装置の経済性の観点から、室温域で外部加熱のない触媒変換システムはプロセス強化につながり、魅力のある技術となる。また、生成物の選択率は、いずれの酸素濃度においてもメタンが選択的に生成し、ほぼ 100% の選択率を示している。200°C 以下の低温側にてわずかに一酸化炭素の副生が確認されたが、スパイラル形構造体触媒と反応ガスとの接触時間が関与していることが考えられる。

- 【参考文献】 1) C. Fukuhara, K. Hayakawa et. al., *Applied Catalysis A: General*, 532 (2017) 12.  
2) A. Sharma, I. Saito, H. Nakagawa, K. Miura, *Fuel*, 86 (2007) 915.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Fukuhara Choji, Kamiyama Asuka, Itoh Mikito, Hirata Nozomu, Ratchahat Sakhon, Sudoh Masao, Watanabe Ryo	4. 巻 219
2. 論文標題 Auto-methanation for transition-metal catalysts loaded on various oxide supports: A novel route for CO <sub>2</sub> transformation at room-temperature and atmospheric pressure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Engineering Science	6. 最初と最後の頁 115589 ~ 115589
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ces.2020.115589	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 該当する

1. 著者名 Miura Kazuya, Watanabe Ryo, Fukuhara Choji	4. 巻 696
2. 論文標題 Theoretical study of oxygen adsorption energy on supported metal cluster using d-band center theory and HSAB concept	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Surface Science	6. 最初と最後の頁 121601 ~ 121601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.susc.2020.121601	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 Shoji Shusaku, Peng Xiaobo, Yamaguchi Akira, Watanabe Ryo, Fukuhara Choji, Cho Yohei, Yamamoto Tomokazu, Matsumura Syo, Yu Min-Wen, Ishii Satoshi, Fujita Takeshi, Abe Hideki, Miyauchi Masahiro	4. 巻 3
2. 論文標題 Photocatalytic uphill conversion of natural gas beyond the limitation of thermal reaction systems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Catalysis	6. 最初と最後の頁 148 ~ 153
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41929-019-0419-z	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 Watanabe Ryo, Hirata Nozomu, Miura Kazuya, Yoda Yuta, Fushimi Yuya, Fukuhara Choji	4. 巻 587
2. 論文標題 Formation of active species for propane dehydrogenation with hydrogen sulfide co-feeding over transition metal catalyst	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Catalysis A: General	6. 最初と最後の頁 117238 ~ 117238
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apcata.2019.117238	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 Ohashi Tomokazu, Someya Sae, Mori Yoshihiko, Asakawa Tetsuo, Hanaya Makoto, Oguri Motohiro, Watanabe Ryo, Fukuhara Choji	4. 巻 589
2. 論文標題 Deactivation factor of CuCl <sub>2</sub> -KCl/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> catalyst for ethylene oxychlorination in a commercial-scale plant	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Catalysis A: General	6. 最初と最後の頁 117205 ~ 117205
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apcata.2019.117205	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 Miura Kazuya, Kimata Fumikazu, Watanabe Ryo, Fukuhara Choji	4. 巻 52
2. 論文標題 Theoretical Analysis of Activation Energy of Hydrocarbon Oxidation Reaction Using Supported Pt Catalyst	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 JOURNAL OF CHEMICAL ENGINEERING OF JAPAN	6. 最初と最後の頁 536 ~ 544
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1252/jcej.18we315	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 Fukuhara Choji, Ratchahat Sakhon, Kamiyama Asuka, Sudoh Masao, Watanabe Ryo	4. 巻 48
2. 論文標題 Auto-methanation Performance of Structured Ni-type Catalyst for CO <sub>2</sub> Transformation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 441 ~ 444
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.190025	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 該当する

〔学会発表〕 計6件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Choji Fukuhara, Sakhon Ratchahat, Masao Sudoh, Ryo Watanabe
2. 発表標題 Auto-methanation of carbon dioxide with oxidation: a novel route for CO <sub>2</sub> transformation over supported metal catalyst
3. 学会等名 The 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Sakhon Ratchahat, Yuji Suzuki, Ryo Watanabe, Choji Fukuhara
2 . 発表標題 Structured Ni/CeO <sub>2</sub> catalyst with high tolerant towards fluctuated operation of CO <sub>2</sub> methanation
3 . 学会等名 The 8th Asia-Pacific Congress on Catalysis ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Choji Fukuhara, Sakhon Ratchahat, Asuka Kamiyama, Masao Sudoh, Ryo Watanabe
2 . 発表標題 Auto-methanation of carbon dioxide: a novel route for CO <sub>2</sub> transformation over Ni-based catalyst
3 . 学会等名 The 8th Asia-Pacific Congress on Catalysis ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Ryo Watanabe, Yuta Yoda, Nozomu Hirata, Choji Fukuhara
2 . 発表標題 Effect of co-supplying H <sub>2</sub> S on propane dehydrogenation performance of Fe-based catalyst
3 . 学会等名 The 8th Asia-Pacific Congress on Catalysis ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Choji Fukuhara, Ryo Watanabe, Sakhon Ratchahat, Asuka Kamiyama, Masao Sudoh
2 . 発表標題 Auto-methanation over structured Ni-type catalyst for process intensification of carbon dioxide transformation
3 . 学会等名 6th european conference on environmental applications of advanced oxidation processes ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年



1. 発表者名 Choji Fukuhara, Sakhon Ratchahat, Yuji Suzuki, Masao Sudoh, Ryo Watanabe
2. 発表標題 Auto-methanation of carbon dioxide over Ni-based catalyst: a novel route for CO2 transformation with oxidation
3. 学会等名 6th european conference on environmental applications of advanced oxidation processes (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 メタンを製造する方法、及び製造システム	発明者 福原長寿	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-160190号	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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