科学研究費助成事業



研究者番号:20304743

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 13,400,000 円

研究成果の概要(和文):本研究では,Ni微粒子をSilicalite-1に内包状態で固定化させた触媒(Ni@S-1触媒) を開発し,同触媒によるメタンの二酸化炭素改質反応(DRM反応)を実施した.Ni@S-1触媒は,優れた熱的安定 性と炭素析出抑制を示した.また,炭素析出抑制のためには粒子サイズ5nnm以下のNi粒子が不可欠であることを 実証した

バイオマス改質のモデル反応として,Ni@S-1触媒によるエタノールの水蒸気改質反応を実施した.Ni@S-1は,含 浸法Ni/S-1触媒と比較して優れたESR活性を示すとともに,850 の高温条件下でも優れた耐水熱安定性を有する ことが示された.

研究成果の学術的意義や社会的意義 ニッケル(Ni)を主成分とする炭化水素改質反応では,活性金属種のナノ粒子化,および高温反応条件下でのナノ 粒子状態の維持が,触媒活性劣化の抑制に対する最重要課題である. 本研究では超微粒子状態のNiを,シリカ系多孔質材料であるMFIゼオライト(Silicalite-1)に内包状態で固定 化した触媒(Ni@S-1触媒)を開発した.改質反応において繊維状炭素の析出抑制のためには,5nnm以下のNi粒子 が不可欠であることが明らかとなった.同触媒は,メタンの二酸化炭素改質反応とエタノールの水蒸気改質反応 において,優れた耐シンタリング耐性と耐水熱安定性を示す,汎用性の高い触媒であることを実証した.

研究成果の概要(英文):In this study, Ni@S-1 catalysts were developed with Ni particles encapsulated in Silicalite-1 and used for the reforming of methane with carbon dioxide (DRM reaction). The Ni@S-1 catalyst showed excellent thermal stability and suppressed carbon deposition, demonstrating that Ni particles with a particle size of less than 5 nm are essential for suppressing carbon deposition.

The Ni@S-1 catalyst was used in the steam reforming of ethanol (ESR reaction) as a model reaction for biomass reforming, showing superior ESR activity compared to impregnated Ni/S-1 catalyst and excellent hydrothermal stability at 850 °C.

研究分野:反応工学および触媒プロセス

キーワード: メタンドライ改質 エタノール水蒸気改質 合成ガス ニッケル触媒 シリカライト ゼオライト 内 包構造

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等に ついては、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

メタンドライリフォーミング反応 (Dry Reforming of Methane, 以下, DRM 反応) は, 温室効果ガスで あるメタンと CO₂ を合成ガス(CO+H₂)に転換する反 応として期待されている. 触媒活性, および賦存量と 経済性の観点から, ニッケル (Ni) が DRM 反応に最 も有効な触媒金属として検討が進められてきた. 反応 量論式は式(1)のように表される.

CH4+CO2 ≈ 2CO+2H2 ΔH°=247kJ/mol (1) CH₄ と CO₂ の平衡反応率と炭素析出量の計算結果を 図 1 に示す. CH₄ 反応率 95 %以上を達成するために は, 800℃以上の反応条件が必要となる. ほぼすべて の反応温度領域 (550~850℃) において炭素析出が生 じ,特に 700℃以下では炭素析出量は顕著となる. 炭 素析出が優勢な熱力学平衡支配下では, Ni 粒子上へ



図1 DRM 反応の平衡計算結果

の繊維状炭素の析出による触媒の崩壊・粉化,反応管の閉塞などの重大な問題が引き起こされる. 触媒表面上への固体炭素の析出抑制には,熱力学平衡支配の脱却を可能とする触媒の開発が 必須である. DRM 反応は, CH4からの炭素活性種(C*)を介して進行するため, CO2による炭 素活性種 C*のガス化反応速度を向上させる,もしくは,炭素活性種 C*からの固体炭素析出を抑 制する,ことが鍵となる.これらの理由から,改質反応触媒の劣化原因である炭素析出に対して, 本質的な解決法を検討すべきである.

2. 研究の目的

本研究では、広範囲な反応温度域で炭素析出抑制を可能とする Ni 微粒子担持触媒を開発する. Ni 粒子サイズと炭素析出の関係として、数値計算の結果では粒子サイズが 3nm 以下の Ni 粒子 表面上では繊維状炭素の形成場が確保できないこと、および DRM 反応実験より、繊維状炭素に は粒子サイズが 6nm 以上の Ni 粒子しか観察されない、ことが報告されている.以上の学術的 背景より、DRM 反応における炭素析出抑制に対しては、Ni 粒子の特性に着目した本質的な検 討が必要であり、"DRM 反応において、平衡論支配の脱却、すなわち炭素析出の抑制を実現する 触媒構造"、という学術的な課題に対して、

①炭素析出を抑制する Ni 粒子サイズ(少なくとも 6nm 以下と考えている)

②Ni ナノ微粒子のシンタリングを抑制する触媒構造

を明らかにする.標準的な反応条件は,原料ガス比 CO2/CH4=1.0,反応温度 600℃と 850℃と する.活性種は Ni,触媒担体はシリカライト(Silicalite-1,SiO2のみで構成される MFI ゼオラ イト)とし,独自に開発した Ni 微粒子内包触媒(Ni@S-1 と略記)を用い,(I)炭素析出抑制を 可能とする Ni@S-1 の開発,(II)耐シンタリング性能と炭素析出抑制能の実証,(III)バイオマス 由来炭化水素の改質反応,の各課題に取り組んだ.

3.研究の方法

触媒調製法概略は以下のようになる.まず,前駆体となる Ni フィロシリケートを水熱合成に 溶離調製し,同粉末をゼオライト合成母液に投入して,Ni フィロシリケート内包ゼオライトを 合成する.その後の焼成と還元処理を経て,Ni フィロシリケートから Ni 微粒子(約 2~5nm) が形成し,Ni 微粒子がゼオライト粒子内に内包された,Ni 微粒子内包 Ni@Silicalite-1 (Ni@S-1) 触媒を得た.調製した触媒の形状観察は走査型電子顕微鏡,透過型電子顕微鏡にて実施し, 結晶性は X線回折法と窒素吸着法により評価した.Ni@S-1 触媒による改質反応は,常圧固定床 流通式反応器を用いて実施した.原料,および生成物の分析は,オンライン GC により実施し た.

4. 研究成果

4. 1. Silicalite-1 内包 Ni 触媒 (Ni@S-1 触媒) の開発

反応は触媒の炭素析出性を評価するべく600℃の低温DRM試験と,熱安定性を調べるため850℃の高温DRM試験の二つを行った.前処理として,全ての触媒において50%H2流通下で850℃,1hの水素還元を行った.所定の反応温度に達したのち,反応ガスを所定の流量で反応器に



図2 調製した触媒の TEM 像



図3 600℃の DRM における(a)メタンと(b)二酸化炭素の反応率経時変化,および使用

した触媒の(c)Ni 担持量と炭素析出量の関係

導入した(CH4/CO2/Ar/He = 20/20/40/10 mL/min, He は分析の内部標準として使用).

Ni 担持量が内包構造へ及ぼす影響を検討した. 仕込み担持量で 1.0, 2.0, 3.0wt%(蛍光 X線分析により, 1.0, 1.7, 2.7 wt%)の Ni@S-1 を調製した. XRD パターンから MFI 型ゼオライトである Silicalite-1 に由来する回折パターンが観察され,同触媒の窒素吸脱着等温線は I 型を示し,十分に発達したミクロ孔の存在が確認された. 次に,850℃で水素還元した後のゼオライト触媒の TEM 画像を図2に示す.全ての触媒において,ゼオライト粒子および Ni 粒子と見られる像が確認され,さらに Ni 粒子が微粒子状態で高分散に担持されていた.一方 Ni 担持量を3.0 wt%へ増加させた Ni@S-1 では,一部の Ni の粒子像がゼオライト粒子の輪郭部分で観察されたため,十分に Ni 種内包構造を形成できず,ゼオライト粒子の表面,もしくは表面近傍に固定化されていることが示唆された.

4. 2. Ni@S-1 触媒によるメタンの二酸化炭素改質反応 (DRM 反応)

各 Ni 担持量の Ni@S-1 に対し, 触媒のコーキング挙動を調べるため,反応温度 600℃での低 温 DRM 試験を行った(図3(a), 3(b)). 2.0wt%までの Ni@S-1 では,平衡値に沿う挙動を示し ており,炭素析出抑制能を有する触媒であることが示唆された.これに対し,3.0wt%の Ni@S-1 では,転化率が平衡値と比べやや減少した傾向を示していた.炭素析出が進行している場合, メタン分解反応後に生成された活性炭素原子が繊維状炭素として形成されるため,活性炭素原 子のガス化として用いられる CO₂ が消費されないことから CO₂転化率が低くなり, CO を生成 しないため H₂/CO 比は平衡値より高くなる.以上の議論より,仕込み Ni 担持量が 2.0wt%(実 質 Ni 担持量 1.7wt%)の Ni@S-1 では炭素析出が抑制されているが, 3.0wt%(2.7wt%)では, 一部の Ni がゼオライト表面に固定化されており,反応中のシンタリングと炭素析出が進行した ことが示唆された.炭素析出性を評価するため,低温 DRM 反応試験後の触媒に対し,TG-DTA 測定により算出した結果,触媒上のコーク重量率を図3(c)に示す.仕込み Ni 担持量が 2.0wt% (1.7wt%) までは,炭素析出量が効果的に抑制されているが,それ以上の Ni 担持量では,炭素 析出が顕著になっていることが確認された.

Ni@S-1 触媒の耐熱安定性を実証するために、850°Cでの DRM 反応試験を実施した. CH4反応率, CO2反応率,および H2/CO 比の経時変化を図4に示す.反応率,および H2/CO 比は平衡値とほぼ一致している.反応後の触媒の TEM 像から, Ni の粒子サイズは 3.3nm から 4.0nm への微増にとどまっており,耐熱安定性に優れることが明らかとなった.

Ni フィロシリケートを前駆体とした Ni@S-1 触媒では、仕込み Ni 担持量が 2.0wt%(1.7wt%) までは、Ni 微粒子に対する内包構造が形成されており、効果的に炭素析出の抑制が可能である ことが示された.このとき、Ni 粒子サイズは訳 4.0nm であり、これまでに報告されている炭素 析出抑制に有効な Ni 粒子サイズとほぼ同程度であった.



図4 850℃の DRM におけるメタンと二酸化炭素の反応率,およびガス組成の経時変化,

および反応後の触媒の TEM 像



図5 Ni@S-1とNi/S-1による ESR 反応

4. 3. Ni@S-1 触媒によるエタノールの水蒸気改質反応(ESR 反応)

反応条件は、反応温度:600~800°C, W/F:0.5 g-cat h/g-EtOH, N2 流量:50.0 mL/min, 原料供給量:0.49 mL/h とした. 触媒は300-850 µm のペレット状にし、反応試験に用いた.

内包構造触媒(Ni@S-1)と含浸法触媒(Ni/S-1)を用いた ESR 反応における反応時間4時間後の生成物組成と熱力学平衡計算の結果を図5に示す.600℃における生成物はアセトアルデヒド,エチレン,CO₂,CO,CH4であり,両触媒においてエタノール由来のエチレンとアルデヒドが残存していたことが確認された.650℃では,Ni/S-1ではエタノールとエタノール由来のC2成分が残存し,改質反応の進行が不十分であったのに対し,Ni@S-1では改質反応が十分に進行し高い水素収率を示した.また,反応温度の上昇に伴い,生成物収率は平衡組成に漸近し,700℃以上では両触媒ともに生成物収率はほぼ平衡に達した.700℃において水素収率は最大となったが,これはエタノール分解後のC1成分とH2Oによる改質反応が十分に進行し,水素を消費する逆水性ガスシフト反応の進行度が抑制されているためと考えられる.このように,Ni@S-1 使媒化ガスシフト反応の進行度が抑制されているためと考えられる.このように、Ni@S-1 触媒は優れた ESR 活性を示すことが確認された.

活性の差異が顕著に観察された反応条件について、反応前後の Ni@S-1 と Ni/S-1 の TEM 像 を図 6 に示す.水素還元後(反応前)の触媒の Ni 粒子は、Ni@S-1 と Ni/S-1 のそれぞれにおい て、約 4.0 nm と 7.0 nm であった. 650℃の ESR 反応後では、Ni@S-1 の Ni 粒子径は約 4.1 nm であり、ほとんど変化していない.一方、Ni/S-1 では、Ni 微粒子の熱凝集が観察され、その粒 子サイズは約 8.6 nm であった. さらに、Ni/S-1 では繊維状炭素の析出が観察された. Ni@S-1 では、炭素析出量は約 4.1 wt%であったのに対し、Ni/S-1 では 27.3 wt%と多量の炭素が析出し



図6 反応前後における触媒の TEM 像



図7 Ni 粒子径と ESR 反応機構の関係

た. Ni@S-1 の優れた炭素析出抑制能の要因は, Ni@S-1 が Ni/S-1 と比較して Ni 種が高分散に 微粒子状で担持されていることが主因と考えられる.水蒸気改質反応の促進や析出炭素のガス 化に必要な水は, Ni の粒子径が小さいほど (Ni の低配位部位が増加するため)優先的に活性化 される. Ni@S-1 および Ni/S-1 上で想定される反応経路を図 7 示す. Ni/S-1 では Ni の粒子径が 大きく,水の活性化が不十分であったため,ESR 反応の副生物や中間体エチレンやアセトアル デヒドが未反応のままで残存し,エチレンなどから固体炭素が析出したと考えられる.対して Ni@S-1 では Ni 種が微粒子状で担持されていたため,エタノールの脱水素反応,アセトアルデ ヒド中間体の水蒸気改質反応が促進され,水素収率が向上した.さらに副生成した炭素の前駆体 であるエチレンが分解して固体炭素が析出する前に水蒸気改質され,炭素析出が抑制されたと 考えられる.以上より Ni@S-1 は従来の触媒と比較して Ni 種の微粒子化により水蒸気改質能が 向上した結果,水素生成活性が向上,炭素析出が抑制された.

800℃の ESR 反応後では, Ni@S-1 と Ni/S-1 の両触媒において, 触媒活性と生成物組成に差 異は見られない. 700℃以上では, 反応がほぼ平衡に達しているためである. 一方, 反応後の Ni の粒子径に関しては, 顕著な差異が確認された. Ni/S-1 の Ni 粒子径は 7.0 nm から約 9.2 nm まで増大した. Ni の含浸触媒では, Ni 種がゼオライト粒子外表面に存在しているためシンタリ ングが顕著に進行した. 一方, Ni@S-1 では, 反応前後の Ni の粒子径は, 4.0→4.1 nm であり, シンタリングの抑制が確認された. Ni@S-1 では, Ni 種がゼオライト一次粒子間に固定化されて おり, 反応中にゼオライトの結晶構造が維持されたため, Ni 微粒子のシンタリングが抑制され たと考えられる.

以上より,Ni 微粒子を Silicalite-1 に内包させた触媒は,DRM 反応において優れた活性と熱的安定性,炭素析出抑制能を示した.さらに,ESR 反応においても,高い活性と熱的安定性を示した.特に,Ni 粒子サイズが 4.0nm 以下であれば,炭素析出が顕著に抑制されることを実証した.

耐熱安定性に優れ,疎水性である Silicalite-1 は触媒の単体としてもすぐれている. さらに, 同 Silicalite-1 の粒子内に Ni を内包させることにより, Ni の超微粒子化が達成され, さらに耐 シンタリング性能が向上する. Ni@S-1 触媒は, DRM 反応や ESR 反応のように,高温,水蒸気 共存などの過酷な条件においてもすぐれた活性と安定性を示すことが実証された.

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 0件/うちオープンアクセス 1件)

Zhang Yusheng, Takahashi Ryota, Kimura Kentaro, Fujitsuka Hiroyasu, Tago Teruoki 27	
2 . 論文標題 5 . 発行	年
Development of Silicalite-1-Encapsulated Ni Catalyst from Ni Phyllosilicate for Dry Reforming 2022年	
of Methane	
3.雑誌名 6.最初	と最後の頁
Catalysis Surveys from Asia 56~66	5
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) 査読の有	無
10.1007/s10563-022-09379-3	有
オープンアクセス 国際共著	
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	-

1.著者名	4.巻
多湖輝興,藤墳大裕	57
2.論文標題	5 . 発行年
フィロシリケートを前駆体とした金属微粒子内包ゼオライト触媒	2022年
3.雑誌名	6 . 最初と最後の頁
セラミックス	347-350
掲載論文のD0I(デジタルオプジェクト識別子)	査読の有無
なし	有
オープンアクセス	国際共著
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	

1. 著者名 4.巻 53 Hiroyasu Fujitsuka , Takahito Kobayashi , Teruoki Tago 5 . 発行年 2. 論文標題 Development of Silicalite-1-encapsulated Ni nanoparticle catalyst from amorphous silica-coated 2021年 Ni for dry reforming of methane: Achieving coke formation suppression and high thermal stability 3.雑誌名 6.最初と最後の頁 Journal of CO2 Utilization 101707 掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) 査読の有無 10.1016/j.jcou.2021.101707 有 オープンアクセス 国際共著 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

1.著者名 4.巻 375, 360-368 Hiroyasu Fujitsuka, Shuto Oshima, Yusei Matsumura, and Teruoki Tago 2. 論文標題 5.発行年 Synthesis of Rh nanoparticles encapsulated in ZSM 5 and its application for methanol to olefin 2021年 over acid sites with simultaneous production of hydrogen over Rh 6.最初と最後の頁 3.雑誌名 Catalysis Today 360-368 掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) 査読の有無 10.1016/j.cattod.2020.04.007 有 オープンアクセス 国際共著 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

1.著者名 多湖輝興・藤墳大裕	4.巻 44
 2.論文標題 金属微粒子内包ゼオライトの調製と触媒反応への応用	5 . 発行年 2021年
3.雑誌名	6.最初と最後の頁
石油学会誌	541-545
掲載論文のDOI(デジタルオプジェクト識別子)	査読の有無
なし	有
オープンアクセス	国際共著
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	

1.著者名	4.巻
Arayawate Sirintra, Yokosawa Tsuki, Kimura Kentaro, Fujitsuka Hiroyasu, Tago Teruoki	56
2.論文標題	5 . 発行年
Development of Ni Nanoparticle Encapsulated with Silicalite-1 Catalyst for High Activity Steam	2023年
Reforming of Bioethanol with High Sintering Resistance and Coke Suppression	
3. 雑誌名	6.最初と最後の頁
Journal of Chemical Engineering of Japan	1-12
掲載論文のD01(デジタルオプジェクト識別子)	査読の有無
10.1080/00219592.2023.2269226	
オープンアクセス	国際共著
オープンアクセスとしている(また、その予定である)	-

1.著者名	4.巻
Goto Hidekazu、Abiru Ryosuke、Kimura Kentaro、Fujitsuka Hiroyasu、Tago Teruoki	427
2.論文標題	5.発行年
Adsorption and desorption properties of toluene on an Ni-encapsulated Beta zeolite catalyst	2024年
3. 雑誌名	6.最初と最後の頁
Catalysis Today	114408 ~ 114408
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)	査読の有無
10.1016/j.cattod.2023.114408	有
「オープンアクセス	国際共著
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	-

〔学会発表〕 計19件(うち招待講演 2件/うち国際学会 5件)1.発表者名

Hidekazu goto, Ryosuke Abiru, Kentaro Kimura, Teruoki Tago

2 . 発表標題

Thermally Stable Zeolite-Encapsulated Ni Particle and Its Toluene Trap Capability

3 . 学会等名

The 19th Korea-Japan Symposium on Catalysis(国際学会)

4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名

Misaki Endoh, Nodoka Nakatani, Ye Jianan, Kentaro Kimura, Hiroyasu Fujitsuka, Teruoki Tago

2.発表標題

Development of Zeolite-Encapsulated Metal NPs by Dry-Gel Conversion Methods

3 . 学会等名

The 19th Korea-Japan Symposium on Catalysis(国際学会)

4.発表年 2023年

1.発表者名

木村 健太郎, 淺海 礼智, 吉田 賢一, 後藤 秀和, 多湖 輝興

2.発表標題

金属担持シリカゲルを前駆体としたMFIゼオライト内包金属微粒子触媒の開発

3 . 学会等名

化学工学会 第54回秋季大会

4.発表年 2023年

1.発表者名

飯塚 康朝, 高橋 瞭太, Zhang Yusheng, 木村 健太郎, 松本 秀行, 藤墳 大裕, 多湖 輝興

2.発表標題

メタン乾式改質反応に優れた活性を示すゼオライト内包Ni微粒子触媒の開発

3 . 学会等名

化学工学会 第54回秋季大会

4.発表年 2023年

1.発表者名

横澤 つき, Arayawate Sirintra, 髙野 真那, 木村 健太郎, 多湖 輝興

2.発表標題

ゼオライト内包Ni微粒子触媒を用いたエタノール水蒸気改質反応

3 . 学会等名

化学工学会 第54回秋季大会

4.発表年 2023年 1.発表者名

中谷 のどか, 遠藤 海咲, 木村 健太郎, 多湖 輝興

2.発表標題

固相転換法によるゼオライト内包Pt微粒子触媒の調製と難分解性ナフサ分解への適応

3.学会等名化学工学会 第54回秋季大会

4 . 発表年 2023年

1.発表者名

淺海礼智,後藤秀和,木村健太郎,多湖輝興

2.発表標題

金属担持シリカゲルを前駆体としたMFIゼオライト内包金属微粒子触媒の開発

3.学会等名

第132回触媒討論会

4 . 発表年 2023年

1.発表者名

飯塚康朝,木村健太郎,松本秀之,多湖輝興

2.発表標題

水蒸気・二酸化炭素によるメタン改質反応に優れた触媒活性を示すNi 微粒子内包ゼオライト触媒の開発

3 . 学会等名

第53回石油・石油化学討論会

4.発表年 2023年

1.発表者名

Teruoki Tago

2.発表標題

Zeolite-encapsulated metal nanoparticles for catalyst

3 . 学会等名

5th International Symposium on Porous Materials 2023(招待講演)(国際学会)

4 . 発表年 2023年

1.発表者名

高橋瞭太、張喩昇、木村健太郎、藤墳 大裕、多湖輝興

2.発表標題

優れたメタン改質活性を示すゼオライト内包金属微粒子触媒の開発

3.学会等名
第130回触媒討論会

4 . 発表年

2022年

1.発表者名

高橋瞭太、張喩昇、藤墳 大裕、多湖輝興

2.発表標題

Development of metal particle-encapsulated zeolite catalysts from phyllosilicate precursors and their activity for methane reforming

3 . 学会等名

化学工学会第87年会

4.発表年 2022年

1.発表者名

Yusheng Zhang, Ryota Takahashi, Yasutomo lizuka, Hiroyasu Fujitsuka, Kentaro Kimura, Teruoki Tago

2.発表標題

Effect of hydrothermal temperature on the structure of Ni@silicalite-1 from Ni phyllosilicate and its catalytic performance for dryreforming of methane

3 . 学会等名

5th EAZC(国際学会)

4.発表年 2022年

1.発表者名

Yusheng Zhang, Ryota Takahashi, Hiroyasu Fujitsuka, Teruoki Tago

2 . 発表標題

Synthesis of Silicalite-1-encapsulated Ni nanoparticle catalyst from Ni phyllosilicate for dry reforming of methane

3 . 学会等名

TOCAT9(国際学会)

4 . 発表年

2022年

1.発表者名
高橋瞭太・張喩昇・木村健太郎・藤墳大裕・多湖輝興

2.発表標題

シリケートを前駆体としたMFIゼオライト内包Ni触媒の開発とメタン改質活性評価(東工大) 高橋瞭太・

3.学会等名 第38回ゼオライト研究発表会

4 . 発表年

2022年

1.発表者名

Sirintra Arayawate, Hiroyasu Fujitsuka, Teruoki Tago

2.発表標題

Development of Silicalite-1 encapsulated Ni nanoparticle catalysts for steam reforming of ethanol with high activity

3 . 学会等名

石油学会第25回JPIJSポスターセッション

4.発表年 2021年

1.発表者名 藤墳大裕,山地 真愛,中谷 理佳子,多湖 輝興

2.発表標題

金属微粒子内包ゼオライト触媒を用いたn-ヘキサン低温接触分解反応系の構築

3.学会等名石油学会第63回年会

11四子云为03回牛云

4.発表年 2021年

1.発表者名

横澤つき, Arayawate Sirintra, 藤墳 大裕, 多湖 輝興

2.発表標題

金属微粒子内包ゼオライト触媒によるエタノール水蒸気改質反応

3 . 学会等名

第24回化学工学学会学生発表会

4 . 発表年 2021年 1.発表者名

高橋瞭太、張 喻昇、藤墳 大裕、多湖輝興

2.発表標題 フィロシリケートを前駆体とする金属粒子内包型ゼオライト触媒の開発とメタン改質活性評価

3 . 学会等名 化学工学会 第87年会(神戸)

4 . 発表年 2021年

1.発表者名 多湖輝興

2.発表標題 金属微粒子内包ゼオライトの調製と触媒反応への応用

3 . 学会等名

第129回触媒討論会(招待講演)

4 . 発表年 2021年

〔図書〕 計2件

1.著者名	4 . 発行年
多湖輝興,藤墳大裕	2022年
2.出版社	5.総ページ数
シーエムシー・リサーチ	351
3.書名	
カーボンニュートラルを目指す最新の触媒技術	

4 . 発行年 2022年
5.総ページ数 ³⁵¹

〔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
	木村 健太郎	東京工業大学・物質理工学院・助教	
研究分担者	(Kimura Kentaro)		
	(70965003)	(12608)	
	藤墳 大裕	東京工業大学・物質理工学院・助教	削除:2021年9月9日
研究分担者	(Fujitsuka Hiroyasu)		
	(90757105)	(12608)	

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