

平成 22 年 5 月 17 日現在

研究種目：基盤研究 (S)
研究期間：2005～2009
課題番号：17106011
研究課題名（和文） HTS と *in-situ* 表面観察を統合したオンサイト GTL プロセスのための触媒開発
研究課題名（英文） Catalyst Development for On-Site GTL Process Using Integrated Tool of *In-Situ* Surface Observation and High Throughput Screening
研究代表者
山田 宗慶 (YAMADA MUNAYOSHI)
秋田工業高等専門学校・校長
研究者番号：40091764

研究成果の概要（和文）：未利用天然ガス田からの天然ガスを、オンサイトで高品位輸送用燃料に転換して有効活用できれば（オンサイト GTL プロセス）、自動車輸送体系におけるトリレンマを克服するための有力な解となる。本研究では、研究代表者らがこれまでに独自に開発した High Throughput Screening (HTS) 法と触媒表面の *in-situ* 観察法を先鋭化し、両者を統合することにより、オンサイト GTL プロセスのための高活性、高選択性触媒の開発に成功した。

研究成果の概要（英文）：Development of on-site GTL process where natural gas from unused dispersed carbon resources is converted into ultra clean transportation fuel is one of the ultimate solution for trilemma of energy security, environment, and economy issues. In this work, High Throughput Screening method and *in-situ* catalyst surface observation technique were integrated to develop highly active and selective catalysts for the on-site GTL process.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
17 年度	16,600,000	4,980,000	21,580,000
18 年度	19,500,000	5,850,000	25,350,000
19 年度	16,000,000	4,800,000	20,800,000
20 年度	15,400,000	4,620,000	20,020,000
21 年度	14,500,000	4,350,000	18,850,000
総計	82,000,000	24,600,000	106,600,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：プロセス工学・触媒・資源化学プロセス

キーワード：High Throughput Screening (HTS), *In-situ* 表面観察, 高活性, 高選択性触媒

1. 研究開始当初の背景

天然ガス田のうち 97%以上を占める小規模天然ガス田からの天然ガスをオンサイトで合成ガス (CO と H₂ の混合ガス) に転換した後、Fischer-Tropsch 合成 (FTS) 反応により炭化水素を合成するオンサイト GTL プロセスは輸送分野における環境負荷低減やエネ

ルギーセキュリティの観点から注目されている。しかし、このようなオンサイトプロセスを実現するためには合成ガス製造触媒や FTS 触媒の活性を飛躍的に向上させる必要があるため、現状では手つかずのままである。

一般に触媒調製には多くのパラメーターが介在しており、触媒活性を向上させるため

にはこれらのパラメーターを精密に最適化する必要がある。これを絨毯爆撃的に行うとなると莫大な時間と労力を要するため、HTS/コンビナトリアル法による迅速な触媒探索に関する研究が精力的に行われるようになってきた。一方、触媒表面を調製過程ごとに *in-situ* 観察する方法は、活性種の選択的形成を支配する因子を物理化学的な手法によって明らかにできるため、様々な触媒系について研究が行われるようになってきた。HTS/コンビナトリアル法に *in-situ* 表面観察によって得られた情報を取り込ませることができれば、より合理的で、迅速な触媒開発が可能になると期待される。

2. 研究の目的

研究代表者らはこれまでに HTS/コンビナトリアルツールと *in-situ* 表面観察法をそれぞれ、独自に開発し、それらを駆使した高活性触媒の開発を試みてきた。本研究ではこれら独自の手法をこれまで以上に先鋭化し、その適用範囲を拡大して、最終的に両者を有機的に統合することによってオンサイト GTL プロセスのための高活性触媒の開発を試みる。

3. 研究の方法

・HTS/コンビナトリアルツールの開発

Split & pool 法と同等の効率を有する改良パラレル法による多種類の触媒調製と、呈色反応による合成ガス検出が可能な高温高压反応用の HTS 反応器を用いる新規な非貴金属系酸化物触媒の広範囲な探索

・*In-situ* 表面観察 調製過程から作用状態にわたる触媒の *in-situ* キャラクター化を行い、触媒活性種を効率よく形成するための因子を明らかにして、触媒調製へとフィードバックする。さらに、ここで得られた情報を HTS/コンビナトリアル法に取り込ませることによって、迅速な触媒開発を行う。

・オンサイト GTL プロセスのための触媒開発 上記の手法を駆使して高活性な合成ガス製造および FTS 触媒の開発を試みる。

4. 研究成果

・HTS/コンビナトリアルツールの開発

ニッケル系触媒に代表される非貴金属系メタン酸化的改質用触媒は 1946 年の Prettre 以来、多くの報告があるが未だに有望な触媒は見出されておらず、従来のアプローチによる新規触媒の発見は困難であると言わざるをえない。コンビナトリアル手法による網羅的な探索による高活性・高選択性の新規触媒発見が期待される。本研究では高温、高压におけるスクリーニングのために、多孔質アルミナディスクに 100 種類程度の触媒成分をスポットした触媒ディスクと、同じく酸化銅をコーティングした検出ディスクを重ね反応ガ

スを透過させることで、各スポットの改質活性の有無を判別することに成功した (Fig. 1)。Fe, Co, Ni, Mn を主成分として種々の添加物を加えた千種類におよぶ触媒を評価した結果、K-Ni/Al₂O₃ が高压・高 SV にて高活性を示すことを見出した。

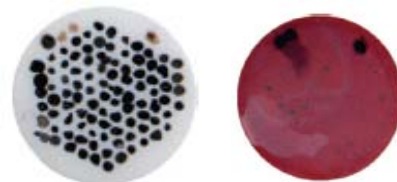


Fig. 1 Disc catalysts before reaction (left) and detector disc after reaction (right) for high pressure oxidative reforming of methane.

触媒活性と種々のキャラクター化の関係は一般に単純ではなく、高度に非線型であるため限られた実験から関係式を導くのは困難である。本研究では触媒組成と活性の関係を表すためにラジアル基底関数ネットワークならびにラジアル基底関数をカーネルとするサポートベクターマシニングが有効であることを見出し、種々のキャラクターも同様に表現できることを明らかにした。これらを触媒組成のグリッドデータに適用すると多数のデータが得られ、しかも推定値と真の実験値との誤差はガウス関数であることが期待される。従ってこのように表される活性とキャラクターの関係は、通常の変量解析を用いて解析可能と考えられる。例えば還元前の K-Ni/Al₂O₃ には $\alpha \sim \gamma$ までの 4 種類の NiO 種があることが TPR により示され、Ni, K 担持量とそれら酸素種には Fig. 2 に示すように複雑な関係があることが示された。

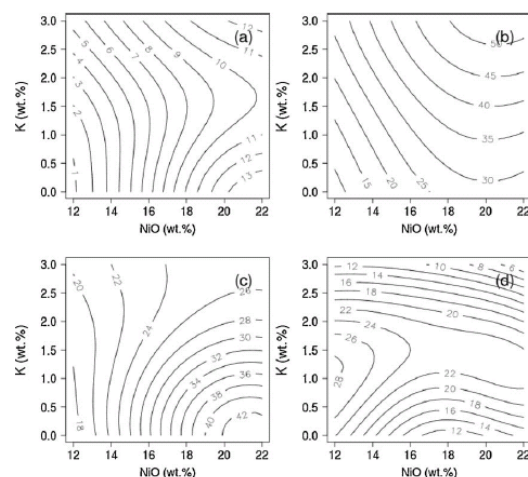


Fig. 2 Normalized peak areas of NiO species in the TPR profile as function of NiO and K loading. (a) α -NiO, (b) β -NiO, (c) γ -NiO, (d) δ -NiO.

これらと活性の関係を解析したところ α 種と β 種だけが CO 収率に寄与していることが示唆された。同様な解析から CO 選択率には NiO の分散性が寄与しているが、それは K 添加による NiO 結晶の歪が元であることが示唆された。このように本研究では、種々のキャラクター化の結果を多面的に解析し、触媒活性・選択性に寄与するパラメーターを推定することができるツールの開発に成功した。

・In-situ 表面観察

研究代表者らはこれまで高压 EXAFS セルや高压拡散反射 FTIR セルを独自に開発して、水素化脱硫触媒の作用状態における表面微細構造を検討してきた。本研究ではこれらの手法を FTS 触媒の調製過程における表面微細構造解析に応用して、活性種形成のメカニズムを明らかにすることを試みた。

後述するように、本研究ではキレート剤 (CyDTA) やグリコールを用いて Co/SiO₂ 触媒を調製することにより、これまでに知られていない顕著な活性向上効果が発現することを見出した。この顕著な活性向上効果は、還元後の触媒上に微細な Co⁰ 種が形成するために発現することが明らかとなった。この新規な活性向上効果を一層発展させるため、Co⁰ 種の前駆体、すなわち焼成過程での CoOx 種の形成メカニズムを、放射光を用いた時間分解 XAFS (@Spring-8), XPS, FT-IR などを用いて調べた。その結果、触媒調製時に CyDTA を用いると、焼成過程において CoOx 種の分散度が増加する (Fig. 3) という、従来の常識では説明できない興味深い現象を見出した。

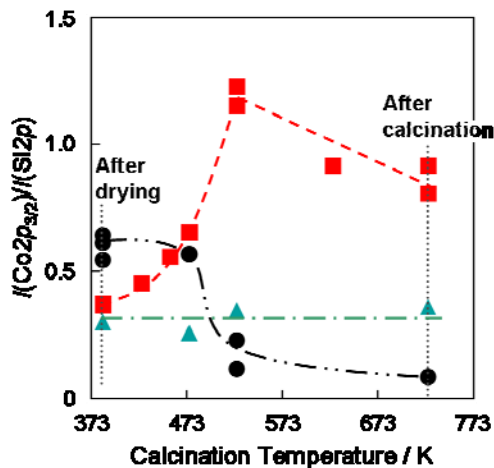


Fig. 3 Effect of chelating agents on dispersion of Co during calcination step; (●) Co/SiO₂, (▲) Co/NTA/SiO₂, (■) Co/CyDTA/SiO₂ Co loading = 20 mass% (as metallic Co)

一方、酸化的改質では反応に極微量の触媒を用いて高温高压で実施すること、Ni の酸化状態によって生成物が大幅に異なること、

などから *in-situ* 表面観察は困難であった。そこで通常の反応結果から最大限情報を引き出すために反応速度論的な解析を試みた。各素反応の反応速度定数を遺伝子に見たて、遺伝的アルゴリズムにより実験結果を再現する速度定数を決定した。その結果、K-Ni/Al₂O₃ 上では水素はメタンから直接生成していることが示唆された。一方 CO の一部は間接的に生成するが、それは活性種である NiO ではなく、担体もしくは希釈剤、反応容器壁などが関与していることが推定された。

・オンサイト GTL プロセスのための触媒開発
合成ガス製造 : HTS で見出した K-Ni/Al₂O₃ をベースに、酸素共存下でも活性点の還元状態を保つための触媒を設計したところ、メソ孔を有する高表面積 Ni-Al₂O₃ バルク触媒が貴金属触媒以上の活性・選択性を示すことを見出した。

FTS 反応 : 研究代表者らは、本研究開始以前に硝酸 Co 水溶液にキレート剤を添加した含浸溶液を用いることにより、Co/SiO₂ 触媒の FTS 活性が最大で 3 倍向上することを見出している。一方、キレート剤の溶解度が低いために、この同時含浸法では Co 担持量を 5 mass% 以上に増加することができなかった。そこで、硝酸 Co 水溶液とキレート剤水溶液を逐次含浸して触媒調製を試みた。その結果、Co 担持量を 20 mass% まで増加できること、本調製法でもキレート剤 (NTA, CyDTA) の効果が発現することを見出された。特に、CyDTA を用いると、還元後の触媒上に 6-7 nm の微細な Co⁰ 種が効率よく形成して、従来のチャンピオンデータを上回る FTS 活性が得られることを見出した。これらの触媒上での Co⁰ クラスタサイズ効果は、既に報告されているカーボンナノファイバー担持触媒上のもとは異なり、Co⁰ クラスタサイズが 1-20 nm の範囲で TOF (活性点あたりの活性) がほぼ一定となることを見出された (Fig. 4)。

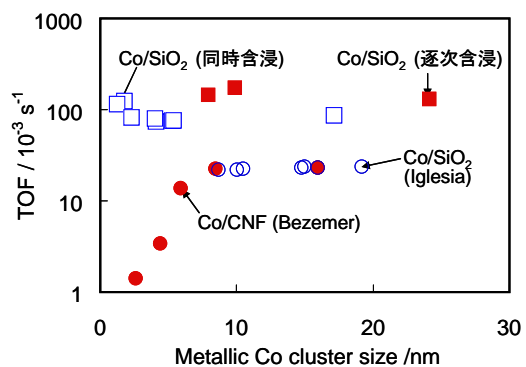


Fig. 4 Co⁰ particle size effects

これは、SiO₂ 上では Co⁰ 種のクラスタサイズを小さくすればするほど Co 重量基準で高い FTS 活性が得られることを示している。

逐次含浸法で調製した触媒では Co⁰ クラスターサイズは小さいもので 6 nm 程度であったため、クラスターサイズをさらに小さくできればこれまで以上の高活性を期待できる。

さらに、キレート剤のかわりにグリコールを用いても、CyDTA を用いたときと同等か、それを上回る活性向上効果が得られることも見出された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 26 件)

1. Muneyoshi Yamada, J. Jpn. Inst. Ener., 査読有り, Vol. 89, 2010, 194-199
2. Naoto Koizumi, Takehisa Mochizuki, and Muneyoshi Yamada, J. Surf Sci Nanotech., 査読有り, Vol. 7, 2009, 633-640
3. Naoto Koizumi, Takehisa Mochizuki, Muneyoshi Yamada, Catalysis Today, 査読有り, Vol. 141, 2009, 34-42
4. Wensheng Ning, Naoto Koizumi, and Muneyoshi Yamada, Energy Fuels, 査読有り, Vol. 23, 2009, 4696-4700
5. Takehisa Mochizuki, Daichi Hongo, Takuya Satoh, Naoto Koizumi, Muneyoshi Yamada, Catalysis Letters, 査読有り, Vol. 121, 2008, 52-57
6. Takehisa MOCHIZUKI, Takuya SATO, Daichi HONGO, Naoto KOIZUMI, and Muneyoshi YAMADA, Journal of the Japan Institute of Energy, 査読有り, Vol. 87, 2008, 132-138
7. Takehisa MOCHIZUKI, Hiroki OSANAI, Takuya SATO, Daichi HONGO, Naoto KOIZUMI, and Muneyoshi YAMADA Journal of the Japan Institute of Energy, 査読有り, Vpl. 87, 2008, 124-131
8. Takehisa MOCHIZUKI, Naoto KOIZUMI, Yusuke HAMABE, Takeshi HARA, Hirotsugu TAKIZAWA, and Muneyoshi YAMADA, Journal of the Japan Petroleum Institute, 査読有り, Vol. 50, No. 5, 2007, 262-271
9. Takehisa Mochizuki, Takeshi Hara, Naoto Koizumi, Muneyoshi Yamada, Applied Catalysis A: General, 査読有り, Vol. 317, 2007, 97-104
10. Takehisa Mochizuki, Takeshi Hara, Naoto Koizumi, and Muneyoshi Yamada, Catalysis Letters, 査読有り, Vol. 113, 2007, 165-169
11. Wen-Sheng Ning, Naoto Koizumi, Muneyoshi Yamada, Catalysis Communications, 査読有り, Vol. 8, 2007, 275-278
12. Wensheng Ning, Naoto Koizumi, Chang-Hai, Takehisa Mochizuki, Takashi Itoh, Muneyoshi Yamada, Applied Catalysis A: General, 査読有り, Vol. 312, 2006, 35-44
13. Kohji Omata, Seishiro Kobayashi, Junpei Horiguchi, Yuichiro Yamazaki, Daisuke Itabashi, Takayuki Nakanishi, Muneyoshi Yamada, Journal of the Japan Petroleum Institute, 査読有り, in-print
14. Kobayashi, Yasukazu, Omata, Kohji, Yamada, Muneyoshi, INDUSTRIAL & ENGINEERING CHEMISTRY RESEARCH, 査読有り, Vol. 49, 2010, 1541-1549
15. Junpei Horiguchi, Seishiro Kobayashi, Yuichiro Yamazaki, Takayuki Nakanishi, Daisuke Itabashi, Kohji OMATA, Muneyoshi Yamada, Applied Catalysis A: General, 査読有り, Vol. 377, 2010, 9-15
16. Kohji Omata, Hidetomo Ishii, Junpei Horiguchi, Seishiro Kobayashi, Yuichiro, Yamazaki, and Muneyoshi Yamada, Journal of Combinatorial Chemistry, 査読有り, Vol. 11, 2009, 169-174
17. Kohji Omata, Yasukazu Kobayashi, and Muneyoshi Yamada, Energy Fuels, 査読有り, Vol. 23, 2009, 1931-1935
18. Kohji Omata, Akihiro Masuda, Hidetomo Ishii, Hikotaro Suzuki, and Muneyoshi Yamada, Applied Catalysis A: General, 査読有り, Vol. 362, 2009, 14-19
19. Kohji Omata and Muneyoshi Yamada, Journal of the Japan Petroleum Institute, 査読有り, Vol. 52, No. 2, 2009, 65-69
20. Tetsuo Umegaki, Akihiro Masuda, Kohji Omata, and Muneyoshi Yamada, Applied Catalysis A: General, 査読有り, Vol. 351, 2008, 210-216
21. Kohji Omata, Yosuke Endo, Hidetomo Ishii, Akihiro Masuda, and Muneyoshi Yamada, Applied Catalysis A: General, 査読有り, Vol. 351, 2008, 54-58
22. K. Omata, Y. Kobayashi, M. Yamada, Catalysis Communications, 査読有り, Vol. 8, 2007, 1-5
23. Kohji OMATA, Akihiro MASUDA, Takahisa MOCHIZUKI, Yuhsuke WATANABE, Sutarto, Yasukazu KOBAYASHI, Muneyoshi YAMADA, Journal of the Japan Petroleum Institute, 査読有り, Vol. 49, No. 4, 2006, 214-217
24. Kohji Omata, Yasukazu Kobayashi, Muneyoshi Yamada, Catalysis Today, 査読有り, Vol. 117, 2006, 311-315
25. Kohji Omata, Yasukazu Kobayashi, Muneyoshi Yamada, Catalysis Communications, 査読有り, Vol. 6, 2005, 563-567
26. Kohji Omata, Noritoshi Nukui, Muneyoshi Yamada, INDUSTRIAL & ENGINEERING CHEMISTRY RESEARCH, 査読有り, Vol.

〔学会発表〕 (計 76 件)

(依頼・招待・プレナリー講演)

1. 小泉直人, 第 104 回触媒討論会, 2009/9/30, 宮崎(日本)
2. 山田宗慶, 日本化学会 第 3 回関東支部大会, 2009/9/4, 東京 (日本)
3. 山田宗慶, 日本学術振興会 石炭・炭素資源利用技術第 148 委員会 第 112 回研究会, 2008/5/28, 東京 (日本)
4. 山田宗慶, 日本表面科学会 東北・北海道支部講演会, 2007/3/13, 盛岡 (日本)
5. M. Yamada, Indo-US seminar, 18th National Symposium on Catalysis, 2007/4/16-18, Dehradun (India)
6. Muneyoshi Yamada, TOCAT 5, 2006/7/22, 東京(日本)
7. Kohji Omata, The 10th Japan-China Symposium on Coal and C1 Chemistry, 2009/7/28, つくば(日本)
8. 小俣光司, 日本学術振興会 石炭・炭素資源利用技術第 148 委員会 第 108 回研究会, 2007/5/23, 化学会館(日本)
9. Kohji Omata, Akihiro Masuda, Hidetomo Ishii, Muneyoshi Yamada, The 9th China-Japan Symposium on Coal and C1 Chemistry, 2006/10/24, Sichuan, Chengdu (China)
- (国際会議発表)
10. N. Koizumi, T. Satoh, D. Hongo, T. Mochizuki and M. Yamada, The 10th Japan-China Symposium on Coal and C1 Chemistry, 2009/7/28, Tsukuba (Japan)
11. N. Koizumi, T. Mochizuki, D. Hongo, and M. Yamada, International Symposium on Surface Science and Nanotechnology, 2008/11/13, Tokyo (Japan)
12. N. Koizumi, D. Hongo, T. Satoh, T. Mochizuki, and M. Yamada, 236th ACS National Meeting, 2008/8/17–21, Philadelphia (USA)
13. N. Koizumi, D. Hongo, T. Satoh, T. Mochizuki, and M. Yamada, 14th ICC, 2008/7/13–18, Seoul (Korea)
14. T. Mochizuki, D. Hongo, T. Satoh, N. Koizumi, and M. Yamada, 12th Asian Chemical Congress, 2007/8/23–25, Kuala Lumpur (Malaysia)
15. W. Ning, Hai-Chang, N. Koizumi, T. Mochizuki, T. Itoh, and M. Yamada, The 9th China-Japan Symposium on Coal and C1 Chemistry, 2006/10/22–28, Chengdu (China)
16. Takehisa Mochizuki, Hiroki Osanai, Chang-hai, Naoto Koizumi, Muneyoshi Yamada, The 9th China-Japan Symposium on Coal and C1 Chemistry, 2006/10/22–28, Chengdu (China)
17. Takehisa Mochizuki, Takeshi Hara, Chang-hai, Naoto Koizumi, Muneyoshi Yamada, International Symposium on Zeolites and Microporous Crystals 2006 (ZMPC2006), 2006/7/30-8/2, Tottori (Japan)
18. Takehisa Mochizuki, Takeshi Hara, Naoto Koizumi, Chang-hai, Muneyoshi Yamada, TOCAT5, 2006/7/23-28, Tokyo (Japan)
19. Chang-hai, Wensheng Ning, Takeshi Hara, Takehisa Mochizuki, Naoto Koizumi, Muneyoshi Yamada, TOCAT5, 2006/7/23-28, Tokyo (Japan)
20. Takehisa Mochizuki, Takeshi Hara, Naoto Koizumi, Wensheng Ning, Chang-hai, Muneyoshi Yamada, PACIFICHEM 2005, 2005/12/15-22, Honolulu (USA)
21. Takehisa Mochizuki, Naoto Koizumi, Muneyoshi Yamada, The International 21st Century COE Symposium of BINDEC Chemistry Network, 2005/10/11, Osaka (Japan)
22. K. Omata, S. Kobayashi, J. Horiguchi, D. Itabashi, M. Yamada, The 12th Japan-Korea Symposium of Catalysis, 2009/10/15, Akita (Japan)
23. Kohji Omata, The 10th Japan-China Symposium on Coal and C1 Chemistry, 2009/7/28, Tsukuba (Japan)
24. Junpei Horiguchi, Seishiro Kobayashi, Yuichiro Yamazaki, Takayuki Nakanishi, Kohji Omata, Muneyoshi Yamada, The 10th Japan-China Symposium on Coal and C1 Chemistry, 2009/7/27, Tsukuba (Japan)
25. K. Omata, A. Masuda, H. Ishii, M. Yamada, The 11st Korea-Japan Symposium of Catalysis, 2007/5/22, Seoul (Korea)
26. Kohji Omata, Akihiro Masuda, Hidetomo Ishii, Muneyoshi Yamada, The 9th China-Japan Symposium on Coal and C1 Chemistry, 2006/10/22–28, Chengdu, China
27. K. Omata, N. Nukui, M. Yamada, Fifth International Conference on Unsteady-State Processes in Catalysis, 2006/11/24, Osaka (Japan)
28. Kohji Omata, Akihiro Masuda, Hidetomo Ishii, Takehisa Mochizuki, Yuhsuke Watanabe, Sutarto, Yasukazu Kobayashi, Muneyoshi Yamada, Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology, 2006/7/28, Tokyo (Japan)
29. K. Omata, Y. Kobayashi, M. Yamada, 5th World Congress on Oxidation Catalysis, 2005/9/26, Sapporo (Japan)
30. K. Omata, N. Nukui, T. Hottai, Y. Showa, M. Yamada, 5th World Congress on Oxidation Catalysis, 2005/9/29, Sapporo (Japan)

その他, 国内発表 46 件

[図書] (計 8 件)

1. Naoto Koizumi, Takehisa Mochizuki, Daich Hongo, and Muneyoshi Yamada, Nova Science Publishers (USA), Syngas: Production Methods, Post Treatment and Economics ((担当: Recent developments of Fischer-Tropsch synthesis catalysts -Preparation and characterization-) in-print
2. 小泉直人, 山田宗慶, シーエムシー出版 (東京), 新エネルギーとバイオマスエネルギーの技術と市場 2010 (担当: Fischer-Tropsch 合成用 Co 触媒の開発に関する最近の動向), 2010, 3-15
3. Naoto Koizumi, Daichi Hongo, Yukiya Ibi, Yasuhiko Hayasaka, and Muneyoshi Yamada, CRC Press (USA), Advances in Fischer-Tropsch Synthesis, Catalysts (担当: Preparation of Highly Active Co/SiO₂ Catalyst with Chelating Agents for Fischer-Tropsch Synthesis), 2009, 95-118
4. 山田宗慶, 小泉直人, 濱邊雄輔, エヌティーエス(東京), クリーンディーゼル開発の要素技術動向 (担当: 各種燃料(低イオウ系, 天然ガス系, 石炭系など) の開発動向), 2008, 267-282
5. 小泉直人, 山田宗慶, 月刊ファインケミカル, Fischer-Tropsch 合成用 Co 触媒の開発に関する最近の動向, Vol. 37, No. 4, 2008, 5-17
6. Naoto Koizumi, Kazuhito Murai, Satoshi Takasaki, and Muneyoshi Yamada, American Chemical Society (USA), Ultraclean Transportation Fuels (担当: Novel catalytic Properties of Pd Sulfide for the Synthesis of Methanol from Synthesis Gas in the Presence and Absence of H₂S: Effect of Several Additives on the Methanol Synthesis Activity of Pd Sulfides), 2007, 119-134
7. 小俣光司, 山田宗慶, シーエムシー出版 (東京), メタン高度化学変換技術集成 (担当: 人工ニューラルネットワークによるメタン改質用触媒開発の試み), 2008, 1-14
8. 小俣光司, 化学と工業, クリーン燃料合成触媒開発におけるコンビナトリアルケミストリー, Vol. 58, No. 3, 2005, 229-230

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 一酸化炭素還元用触媒、その製造方法
および炭化水素の製造方法
発明者: 山田宗慶, 小泉直人, 望月剛久, 本郷大地
権利者: 東北大学

種類: 特許

番号: 特願 2007-176776

出願年月日: 2007 年 7 月 4 日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 1 件)

名称: Fischer-Tropsch 合成用触媒の調製法

発明者: 山田宗慶, 小泉直人, 望月剛久

権利者: 東北大学

種類: 特許

番号: 特許第 3882044 号

取得年月日: 2006 年 11 月 24 日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

<http://www.che.tohoku.ac.jp/labo/Yamada/index-j.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

山田 宗慶 (YAMADA MUNEYOSHI)

秋田工業高等専門学校・校長

研究者番号: 40091764

(2)研究分担者

小俣 光司 (OMATA KOHJI)

東北大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 70185669

富重 圭一 (TOMISHIGE KEIICHI)

筑波大学・大学院数理物質科学研究所・准教授

研究者番号: 50262051

小泉 直人 (KOIZUMI NAOTO)

東北大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 50302188

進藤 隆世志 (SHINDO TAKAYOSHI)

秋田大学・工学資源学部・准教授

研究者番号: 50162798

丸山 耕一 (MARUYAMA KOHICHI)

秋田工業高等専門学校・物質工学科・准教授

研究者番号: 90302934

野中 利瀬弘 (NONAKA RISEHIRO)

秋田工業高等専門学校・物質工学科・助教

研究者番号: 20400525