

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月29日現在

機関番号：32619

研究種目：基盤研究（C）（一般）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560752

研究課題名（和文） 多孔質基材細孔中の反応制御による高温炭化水素分離膜の開発

研究課題名（英文） Development of High Temperature Hydrocarbon Separation Membrane by Reaction Control in Pores of Porous Substrates

研究代表者

野村 幹弘（NOMURA MIKIHIRO）

芝浦工業大学・工学部・准教授

研究者番号：50308194

研究成果の概要（和文）：

高温炭化水素分離のために、シリカ複合膜の開発を行った。2種の反応種を用いる対向拡散 CVD 法という方法で、シリカの原料として Hexyltrimethoxysilane を、酸化剤として酸素を用い、450 °C、5 min で蒸着した。得られた膜は、270 °C の透過試験にて、プロパン/プロピレン過率比は 414、プロパン透過率 $1.0 \times 10^{-8} \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ と非常に高い高温プロピレン選択透過性を示した。この値は、到達目標の 4 倍以上であり、現在のチャンピオンデータである。

研究成果の概要（英文）：

Silica hybrid membranes were developed for a high temperature hydrocarbon separation. The membranes were prepared by using a counter diffusion chemical vapor deposition (CVD) method that uses two reactants. The deposition was performed at 450 for 5 min by using hexyltrimethoxysilane and O₂ as a silica source and an oxidant. Permeance ratio of propane/propylene at 270 °C through the silica hybrid membrane was 414 with the propane permeance of $1.0 \times 10^{-8} \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$. The permeance ratio was more than four times larger than that for our objectives. The permeance ratio is the maximum value for the high temperature propane permeselective membranes at this moment.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：プロセス工学・化工物性・移動操作・単位操作

キーワード：膜分離・炭化水素分離・高温・シリカ複合膜

1. 研究開始当初の背景

(1) 炭化水素は、これまで、主に蒸留操作により分離されてきた。近年、アルコール水溶液系において、無機分離膜と蒸留の組み合

わせにより、分離効率が大幅に向上することが示されている。蒸留塔の塔頂は、300°C程度で操作されていることも多い。このような系に利用可能な分離膜として、無機分離膜の

開発が必要である。無機分離膜としては、ゼオライト膜やシリカ膜などがあげられる。

(2) ここでは、アモルファスシリカをベースとした無機分離膜に注目した。シリカ膜は、ゾルゲル法や CVD 法などによって作製されている。当研究グループでは、CVD 法の一つとして、対向拡散 CVD 法によりシリカ膜を開発してきた。対向拡散 CVD 法は、均質な膜が得られる方法として知られているが、炭化水素分離の報告はなかった。

2. 研究の目的

(1) 本研究の目的は、300°C という高温にて、飽和-不飽和などの炭化水素を分離する膜を開発することである。多孔質アルミナ基材細孔中にシリカ複合物を均質に蒸着することで、Å オーダーの細孔径制御と、細孔表面処理を同時に行う。この 2 つの技術の両立により、これまで報告されていない、高温での炭化水素の分離を目指す。細孔径の微細な制御は、シリカ源に有機物であるアルキル基をもつものを用い、基材細孔中での分解反応を制御することで行う。

3. 研究の方法

(1) 図 1 に対向拡散 CVD 装置の模式図を示す。多孔質 γ -アルミナキャピラリー (NOK 製: 全長 350 mm、有効部分 50 mm、細孔径 4 nm、内径 2nm) を基材として用いた。基材の両側をバイトン O-リングによりシールした。O₂ を O₃ 発生器 (ZOS-YB-6G, 商研製) に導入し、O₃ 濃度を 47g m⁻³ として、O₃/O₂ の総流量が 0.2 L min⁻¹ となるように基材の内側に供給した。信越化学工業製の PrTMOS (Propyltrimethoxysilane)、PhTMOS (Phenyltrimethoxysilane)、HTMOS (Hexyltrimethoxysilane) のいずれかをシリカ源として用い 0.2 L min⁻¹ の N₂ を 45-125°C にてバブリングさせた。

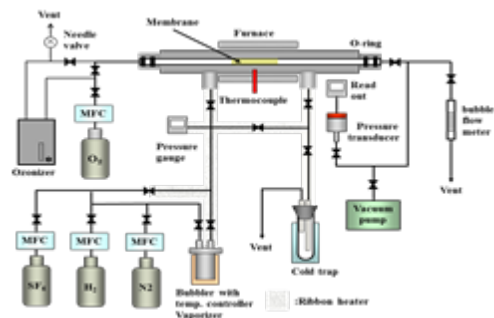


図 1 蒸着装置の模式図

バブラーの温度を PrTMOS では 45°C、PhTMOS では 75°C、HTMOS では 125°C とそれぞれ設定し、基材の外側に流通させ製膜を行った。蒸着温度は 150-500°C、蒸着時間は 5-90 min とした。

(2) 膜の分離性能は、H₂、N₂、SF₆、C₃H₆、C₃H₈ の単成分透過試験を用いて評価した。270°C 以下で蒸着した膜では、透過試験を蒸着温度で測定し、270°C 以上で蒸着した膜では 270°C にて測定した。透過率は、圧力変化法もしくは加圧法を用いて測定した。圧力変化法では、144cm³ の透過側容積を用い、大気圧下、加圧法では差圧 0.2 MPa で測定した。

4. 研究成果

(1) PrTMOS の加水分解物 (以下、PrTMOS 粉末) の分解挙動を TGA および FT-IR を用いて調査した。図 2 に TGA による N₂ もしくは O₃ 雰囲気下での PrTMOS 粉末の重量変化を示す。N₂ 雰囲気下では、約 100°C でわずかな減少が見られ、その後、温度の上昇と共に 2 段階の減少が観察された。100°C での減少は物理吸着水の脱離だと考えられる。2 段階の重量減少は、300°C~500°C 間で見られた。これは、シリカ表面上のプロピル基の分解反応 ($\text{Si-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3 \rightarrow \text{Si-CH}_3 + \text{CH}_2=\text{CH}_2$) およびメチル基の脱離だと思われる。一方、O₃ 雰囲気下では、N₂ 雰囲気下と異なる傾向を示した。O₃ 雰囲気下では、重量減少は 1 段階であった。この間の分解開始温度は 375°C であった。これは、O₃ により、プロピル基が酸化したためと推測される。サンプル作製時に、アルコキシド部分が完全に加水分解し、側鎖のプロピル基が全て残存すると仮定した場合、重量減少は、42% となる。今回、N₂ 雰囲気下での PrTMOS 粉末の重量減少は 44% であった、PrTMOS 粉末の加水分解反応は完全に進行していたと考えられる。

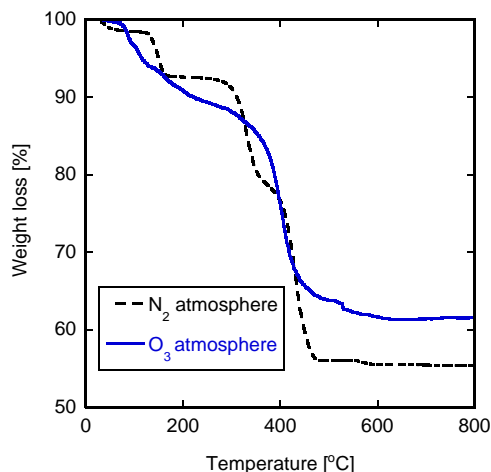


図 2 PrTMOS 粉末の熱重量測定

(2) 図 3 に、PrTMOS 粉末を 150~400°C での O₃ 雰囲気下において処理したサンプルの FT-IR 測定結果を示す。縦軸は、未処理の C-CH₃ (2960 cm⁻¹) の吸収で基準化した処理後の吸収強度である。この値が大きいかほどプロピル基の残存量が多いことを示している。

全サンプルの吸収比が、1 より小さいことより、O₃ 処理によりプロピル基が分解していることがわかる。150°Cでは 吸収比 0.20 と小さい値となった。これは、Fig. 3 に示したように 150°Cのリアクター出口の O₃ 濃度が 73 g m⁻³ と高いため、O₃ によりプロピル基が分解されたと考えられる。一方、270°Cでは、吸収比は最大の 0.41 を示した。図 2 で示したようにリアクター出口の O₃ 濃度が 2.0 g m⁻³ と低い値となっていたことにより説明できる。さらに、図 3 で示した熱分解挙動より、プロピル基の熱分解開始温度は、300°C程度であり、270°Cにおけるプロピル基の熱分解量は少ないと考えられる。また、この分解温度より高い 400°C処理では、吸収比 0.24 と小さくなった。この温度では、O₃ 濃度が低いため、吸収比の低下はプロピル基の熱分解が主要因であると推測できる。

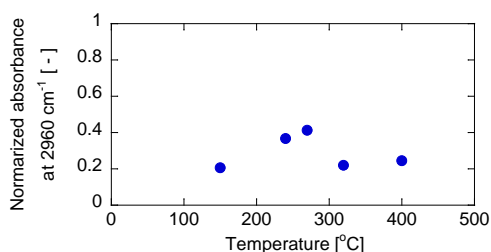


図 3 PrTMOS 粉末の FT-IR 測定

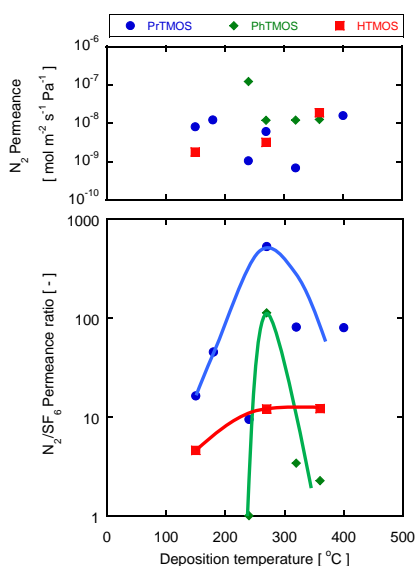


図 4 PrTMOS 膜の透過特性

(3) 蒸着時間を 90 min で固定して、PrTMOS、PhTMOS と HTMOS の 3 種類のシリカ源の検討を行った。図 4 に 90min 蒸着膜における N₂ 透過率、N₂/SF₆ 透過率比を示す製膜実験を行った 150–400°Cの温度範囲では、高濃度の O₃ 雰囲気となっている 200°C以下と低濃度の

O₃ 雰囲気となっている 200–350°C、O₃ が完全に失活し、O₂ 雰囲気となっている 350°C以上の 3 つに大きく分類することができる。

(4) シリカ源に PrTMOS を用い蒸着した膜 (以下、PrTMOS 膜) の検討を行った。PrTMOS を用い 240°C蒸着した膜では、H₂/N₂ 透過率比が 250 であった。反応温度が 240°Cの時の膜モジュール出口での O₃ 濃度は 22.5 g m⁻³ と比較的高い。低温蒸着 (高 O₃ 濃度) 条件では H₂/N₂ 透過率比が高くなること示された。有機物の焼失が急激に進行したことで、有機物が少なく膜中のシリカ成分が多くなったと思われる。アモルシリカは、H₂ 選択透過性があるため、H₂/N₂ 透過率比が高い膜が得られた。270°C蒸着では、N₂/SF₆ 透過率比は、今回の検討では最大値 529 を示し、N₂ 透過率は、6.2×10⁻⁹ mol m⁻² s⁻¹ Pa⁻¹ となった。240°C 蒸着膜と比較して、蒸着物中の有機物の O₃ 分解が抑制されている。一方、HTMOS 膜では、150°C蒸着膜、270°C蒸着膜および 360°C 蒸着膜の N₂/SF₆ 透過率比が、それぞれ 5、12、12 であった。PrTMOS と PhTMOS をシリカ源として用いた場合と比較しても N₂/SF₆ 透過率比が低い。また、HTMOS 膜では蒸着後の膜表面が黒色となっていた。PrTMOS 膜、PhTMOS 膜では、製膜後の膜表面はすべて白色であった。この黒色蒸着物は、HTMOS 中の炭素成分が炭化したものだと考えられる。これより、HTMOS 由来の炭素の分解速度は、PrTMOS、PhTMOS 由来の炭素と比較して、遅いと推測される。

(5) PrTMOS 膜と HTMOS 膜の蒸着時間の影響を検討した。蒸着温度は、PrTMOS では 270°C、HTMOS では 360°Cとした。5 min 蒸着膜の H₂ 透過率は、5.4×10⁻⁸ mol m⁻² s⁻¹ Pa⁻¹ と低い値であったのに対して、90 min 蒸着膜では、H₂ 透過率は 1.3×10⁻⁶ mol m⁻² s⁻¹ Pa⁻¹ と上昇した。しかし、180 min 蒸着膜では、1.0×10⁻⁷ mol m⁻² s⁻¹ Pa⁻¹ まで減少した。N₂ 透過率も H₂ 透過率の変化と同様に 5 min 蒸着から、90 min 蒸着まで上昇し、その後、180min 蒸着膜の N₂ 透過率は 90 min 蒸着の N₂ 透過率より減少した。一方、SF₆ 透過率は、5 min 蒸着後 6.0×10⁻¹⁰ mol m⁻² s⁻¹ Pa⁻¹ であったが、徐々に減少していき、180 min 蒸着には 7.3×10⁻¹¹ mol m⁻² s⁻¹ Pa⁻¹ となった。この結果、90min 蒸着後に、N₂/SF₆ 透過率比が最大値である 529 を示した。

図 5 に、蒸着温度 360°Cでの、HTMOS 膜の単成分ガス透過率の蒸着時間依存性を示す。N₂/SF₆ 透過率比は、5 min 蒸着後に 64 と最大値を示した。90min 蒸着膜にて H₂、N₂ の透過率の低下と SF₆ の透過率の上昇が同時に起こる理由として、シリカの堆積とクラッキングが同時に起きていることが予想され

る。HTMOS 膜では、360°C、5min の高温短時間蒸着を行うことで、270°C、90min 蒸着膜と比較して N_2 透過率、 N_2/SF_6 透過率比が向上した。蒸着温度の上昇により、HTMOS 分解反応が速くなったためといえる。

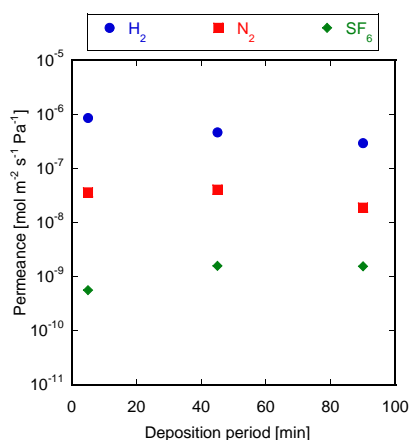


図5 HTMOS 膜透過の蒸着時間依存性

(6) 図6に、HTMOS、5 min 蒸着膜の単成分ガス透過率の温度依存性を示す。360°C蒸着膜と400°C蒸着膜は、透過挙動が大きく異なっている。150°C蒸着膜の SF_6 透過率は $2.8 \times 10^{-8} mol\ m^{-2}\ s^{-1}\ Pa^{-1}$ であるが、360°C蒸着膜では $5.6 \times 10^{-10} mol\ m^{-2}\ s^{-1}\ Pa^{-1}$ と減少した。蒸着温度の上昇による HTMOS 反応速度が上昇し、ピンホールの少ない均質処理ができたといえる。400°C蒸着膜では N_2 透過率は $1.6 \times 10^{-7} mol\ m^{-2}\ s^{-1}\ Pa^{-1}$ と、360°C蒸着の4.4倍となった。逆に、 SF_6 透過率は、400°C蒸着膜で $8.3 \times 10^{-12} mol\ m^{-2}\ s^{-1}\ Pa^{-1}$ と360°C蒸着膜の約1/60であった。また、500°C蒸着では、450°C蒸着と比較して、 H_2 透過率が減少し、 SF_6 透過率が上昇した。その結果、450°C膜の N_2/SF_6 透過率比は 2.2×10^5 と最大値を示した。

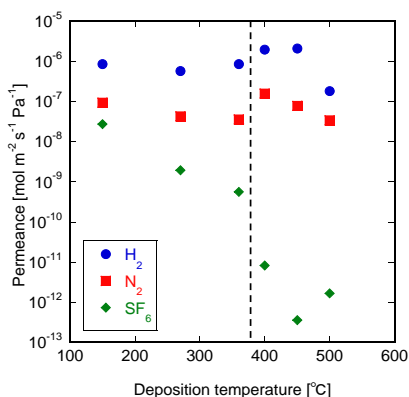


図6 HTMOS 膜透過の蒸着時間依存性

(7) 有効な酸化剤を明確にするために、450°C蒸着にて、 O_2 もしくは O_3 を供給した検

討を行った。以下、それぞれ O_2 膜、 O_3 膜と示す。図7に、得られた膜の単成分透過率と透過分子の L-J 径の関係を示す。酸化剤の違いによらず、同じ様な透過性能を示す膜が得られた。 C_3H_6/C_3H_8 透過率比は、 O_3 膜で364と O_2 膜で414となり、いずれも非常に高い値となった。これらは、270°Cという高温透過試験での C_3H_6/C_3H_8 透過率比で、最高値である。この O_2 膜の透過の活性化エネルギーは、 C_3H_8 および SF_6 では、それぞれ $22\ kJ\ mol^{-1}$ と $13\ kJ\ mol^{-1}$ であった。透過の活性化エネルギーが正なので、活性化拡散である。それに対して、 N_2 および C_3H_6 の透過活性化エネルギーは、それぞれ $-3.3\ kJ\ mol^{-1}$ と $-0.8\ kJ\ mol^{-1}$ のマイナスの値を示した。活性化拡散している C_3H_8 および SF_6 では、分子ふるいをベースとした透過挙動といえる。

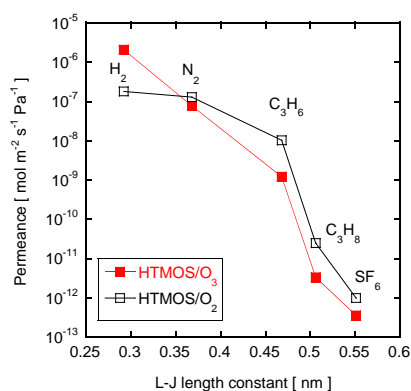


図7 O_2 膜と O_3 膜の透過性能比較

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計6件)

- ① 野村幹弘, 門間慶太, 木村紗有佳, 松山絵美, 三宅遼, 内海恵介, “シリカ複合膜による高温 C_3H_6/C_3H_8 分離”, 膜, 査読有, 35(5), 236-241 (2010) <https://www.jstage.jst.go.jp/browse/membrane/-char/ja/>
- ② Mikihiro Nomura, Keita Monma, Emi Matsuyama, Sayuka Kimura, Ryo Miyake, Keisuke Utsumi, Trans. Mater. Res. Soc. Jpn., 査読有, 36(2), 209-212 (2011) "Hydrogen permselective silica hybrid membranes prepared by a novel CVD method", ISSN 1382-3469
- ③ 野村幹弘, 分離技術, 査読無, 41(1), 51-55 (2011) “省エネルギー社会の実現に向けた無機分離膜の進展”
- ④ 野村幹弘, 膜, 査読無, 36(3), 91-96 (2011) “エネルギー効率利用に向けたCVD法による無機分離膜の開発”,

<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/membrane/-char/ja/>

- ⑤ 松山絵美, 木村紗有佳, 門間慶太, 内海恵介, 三宅遼, 河本高志, 黒沼良介, 野村幹弘, 化学工学論文集, 査読有, 39(2), 98-103 (2013) “対向拡散 CVD 法により作製したシリカ複合膜のベンゼン/シクロヘキサン浸透気化分離”
 - ⑥ 松山絵美, 内海恵介, 池田歩, 野村幹弘, 化学工学論文集, 査読有, 39(4), - (2013) “対向拡散 CVD 法による高温プロピレン透過膜の開発”
- [学会発表] (計 4 2 件)
- ① 三宅遼ら, 日本膜学会第 32 年会, P-12S, (2010), 産業技術総合研究所 臨海副都心センター, 2010 年 5 月 13 日 “対向拡散 CVD 法を用いたシリカ複合膜の細孔径制御”
 - ② 内海恵介ら, 分離技術会 年会 2010, S8-10P, (2010), 明治大学アカデミーコモン, 2010 年 6 月 4 日 “対向拡散 CVD 法によるシリカ複合膜の後処理”
 - ③ 小野竜平ら, 分離技術会 年会 2010, S8-11P, (2010), 明治大学アカデミーコモン, 2010 年 6 月 4 日 “対向拡散 CVD 法によるゼオライト膜後処理技術の開発”
 - ④ Mikihiro Nomura et al., Proc. of 11th International Conference on Inorganic Membranes, 415, Washington, U. S. A. (2010); July 19 “High temperature C₃H₆/C₃H₈ separation through silica hybrid membranes”
 - ⑤ 小野竜平ら, 化学工学会宇都宮大会 2010, PD105, (2010), 宇都宮大学, 2010 年 8 月 19 日 “後処理によるゼオライト膜の改良法の開発”
 - ⑥ 松山絵美ら, 化学工学会宇都宮大会 2010, PE122, (2010), 宇都宮大学, 2010 年 8 月 19 日 “有機溶媒分離用シリカ複合膜の開発”
 - ⑦ 野村幹弘, 分離技術会 第 38 回夏季研究討論会, I-6, (2010), 伊豆長岡 寿荘, 2010 年 8 月 27 日 “省エネルギー社会に向けた無機分離膜の進展”
 - ⑧ 松山絵美ら, 化学工学会第 42 回秋季大会, W2P01, (2010), 同志社大学, 2010 年 9 月 7 日 “シリカ複合膜を用いたベンゼン-シクロヘキサン系の PV 分離”
 - ⑨ 三宅遼ら, 化学工学会膜工学分科会 第 10 回無機膜研究会, P-2, (2010), かたから 諏訪湖ホテル, 2010 年 10 月 22 日 “シリカ複合膜の細孔径制御法の検討”
 - ⑩ 小野竜平ら, 化学工学会膜工学分科会 第 10 回無機膜研究会, P-3, (2010), かたから 諏訪湖ホテル, 2010 年 10 月 22

日 “親水性ゼオライト膜の後処理による選択性向上”

- ⑪ Mikihiro Nomura et al., Proc. of 3rd International Conference on Ceramics, 164, Osaka, Japan (2010); November 18 “High temperature gas separation through silica hybrid membranes prepared by using a counter diffusion CVD method”
- ⑫ 野村幹弘ら, 日本膜学会 膜シンポジウム 2010, 212 (2010), 京都大学, 2010 年 11 月 20 日 “分子ふるいシリカ複合膜の作製とその透過特性”
- ⑬ 野村幹弘ら, 第 20 回日本 MRS 学術シンポジウム, F-04-I (2010), 横浜市開港記念会館, 2010 年 12 月 21 日 “新規 CVD 法を用いた水素選択透過シリカ複合膜の開発”
- ⑭ 小野竜平ら, 化学工学会第 76 回年会, E203 (2011), 東京農工大学, 2011 年 3 月 23 日 “CVD 法によるゼオライト膜の改良”
- ⑮ 内海恵介ら, 日本膜学会第 33 年会, P-15S, (2011), 産業技術総合研究所 臨海副都心センター, 2011 年 5 月 12 日 “シリカ複合膜の細孔径制御メカニズムの検討”
- ⑯ 酒井章吾ら, 日本膜学会第 33 年会, P-17S, (2011), 産業技術総合研究所 臨海副都心センター, 2011 年 5 月 12 日 “対向拡散 CVD 法による親水性ゼオライト膜の後処理”
- ⑰ 河本高志ら, 日本膜学会第 33 年会, P-18S, (2011), 産業技術総合研究所 臨海副都心センター, 2011 年 5 月 12 日 “シリカ複合膜による有機溶媒 PV 分離”
- ⑱ 黒沼良介ら, 分離技術会 年会 2011, S7-P13, (2011), 明治大学生田校舎, 2011 年 6 月 3 日 “粉末分析を利用したシリカ複合膜蒸着法の検討”
- ⑲ 玉城大己ら, 分離技術会 年会 2011, S7-P2, (2011), 明治大学生田校舎, 2011 年 6 月 3 日 “MOR ゼオライト膜の改質法の開発”
- ⑳ 松山絵美ら, 分離技術会 年会 2011, S7-P14, (2011), 明治大学生田校舎, 2011 年 6 月 3 日 “高温 C₃H₆/C₃H₈ 分離用シリカ膜の開発”
- 21 Mikihiro Nomura et al., 6th Joint China/Japan Chemical Engineering Symposium (CJCES), SP -P-01, Wuhan, China (2011); June 23 “Preparation of molecular sieve silica membranes by using a O₃ counter diffusion CVD method”
- 22 Mikihiro Nomura et al., Proc. of International Congress on Membrane and Membrane Processes 2011,

- 1L-ICOM589, Amsterdam, The Netherlands (2011); July 25 "Post-treatment of a MOR zeolite membrane by a counter diffusion CVD method using alkyl-siliconalkoxide as a reactant"
- 23 Mikihiro Nomura et al., Proc. of International Congress on Membrane and Membrane Processes 2011, 1D-ICOM1296, Amsterdam, The Netherlands (2011); July 25 "Pore size control of silica hybrid membranes for hydrocarbon separations"
- 24 玉城大己ら, ゼオライト学会 ゼオライト夏の学校, 14, (2011), マホロバマイズ三浦, 2011年9月2日 "対向拡散CVD法によるMOR膜の後処理"
- 25 松山絵美ら, 化学工学会第43回秋季大会, P2C03, (2011), 名古屋工業大学, 2011年9月15日 "対向拡散CVD法による高温プロパン-プロピレン分離膜の開発"
- 26 小野竜平ら, 化学工学会第43回秋季大会, P2C01, (2011), 名古屋工業大学, 2011年9月15日 "IPA水溶液分離用ゼオライト膜の改質方法の開発"
- 27 野村幹弘ら, 日本膜学会 膜シンポジウム 2011, 123, (2011), 健康文化村 カルチャーリゾートフェストーネ, 2011年11月18日 "後処理によるゼオライト膜の粒界処理"
- 28 野村幹弘ら, 第31回水素エネルギー協会大会, A10, タワーホール船堀, 2011年11月30日 "細孔径制御による水素選択透過膜の最適化"
- 29 松山絵美ら, 化学工学会第77回年会, F113, (2012), 工学院大学, 2012年3月15日 "炭化水素選択透過シリカ複合膜の製膜条件検討"
- 30 池田歩ら, 日本膜学会第34年会, P-14S, (2012), 早稲田大学大久保キャンパス, 2012年5月8日 "高温炭化水素分離用シリカ膜の開発"
- 31 松山絵美ら, 第1回 JACI/GSC シンポジウム, A-41, (2012), ベルサール神田, 2012年6月13日 "省エネルギープロセス実現のための高温炭化水素分離膜の開発"
- 32 Mikihiro Nomura et al., Proc. of 12th International Conference on Inorganic Membranes, O1A.2, Twente, The Netherlands (2012); July 10 "High temperature propane/propylene separation through a silica hybrid membrane"
- 33 Mikihiro Nomura et al., Proc. of 12th International Conference on Inorganic Membranes, P2.79, Twente, The Netherlands (2012); July 12 "Novel CVD treatment for a MOR zeolite membrane"
- 34 Mikihiro Nomura et al., Proc. of International Symposium on Zeolites and Microporous Crystals 2012, Hiroshima Aster Plaza, Japan, P-204, (2012); July 31 "Post-treatment of a MOR zeolite membrane for improvement of water permselectivity"
- 35 池田歩ら, 化学工学会横浜大会 2012, P152, (2012), 横浜国立大学, 2012年8月30日 "シリカ膜の逆浸透分離の可能性検討"
- 36 松山絵美ら, 化学工学会第44回秋季大会, XA2P03, (2012), 東北大学, 2012年9月20日 "シリカ複合膜の高温二酸化炭素透過特性"
- 37 松山絵美ら, 化学工学会膜工学分科会第11回無機膜研究会, P02, (2012), 三谷温泉 ホテル三河海陽閣, 2012年10月26日 "高温ガス分離用シリカ複合膜の開発"
- 38 池田歩ら, 日本膜学会 膜シンポジウム 2012, P-9, (2012), 神戸大学, 2012年11月6日 "シリカ逆浸透膜の開発"
- 39 Mikihiro Nomura, Seminar at Chungnam National University 24th Jan. 2013 (2013) "The frontline of Inorganic Membranes ~ Efficient energy utilization through an inorganic membrane~"
- 40 野村幹弘, 先端膜工学研究推進機構 膜工学サロン, B-2, (2013), 神戸大学, 2013年3月5日 "無機分離膜の水処理応用への可能性"
- 41 松山絵美ら, 化学工学会第78回年会, Q203, (2013), 大阪大学, 2013年3月18日 "シリカ複合膜を用いたメタン/エタン分離"
- 42 Mikihiro Nomura, AUTM Asia 2013, Kyoto International Conference Center, Japan (2013); March 20 "Innovative separation method for a target gas using a counter diffusion deposition method ~ Efficient separation of hydrocarbons through ceramic membranes~",

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野村 幹弘 (NOMURA MIKIHIRO)

芝浦工業大学・工学部・准教授

研究者番号：50308194