

先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 実績報告書

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	グリーンイノベーションを加速させる超高性能分離膜による革新的CO2回収技術の実現
研究機関・ 部局・職名	長岡技術科学大学・工学部・准教授
氏名	姫野 修司

1. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

2. 収支の状況

(単位:円)

	交付決定額	交付を受けた額	利息等収入額	収入額合計	執行額	未執行額	既返還額
直接経費	128,000,000	128,000,000	0	128,000,000	128,000,000	0	
間接経費	38,400,000	38,400,000	0	38,400,000	38,400,000	0	
合計	166,400,000	166,400,000	0	166,400,000	166,400,000	0	0

3. 執行額内訳

(単位:円)

費目	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度	合計
物品費	150,000	5,546,436	75,140,852	36,112,729	116,950,017
旅費	0	99,620	231,060	509,560	840,240
謝金・人件費等	0	2,140,818	3,050,996	90,184	5,281,998
その他	0	1,470,262	526,470	2,931,013	4,927,745
直接経費計	150,000	9,257,136	78,949,378	39,643,486	128,000,000
間接経費計	45,000	5,823,000	16,943,000	15,589,000	38,400,000
合計	195,000	15,080,136	95,892,378	55,232,486	166,400,000

4. 主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関名
研究開発用オゾン発生器	ED-OG-R5	1	1,000,125	1,000,125	2011/7/29	長岡技術科学大学
ポータブルリアクター	TPR型 TVS-N2-300ml	1	546,000	546,000	2012/7/31	長岡技術科学大学
水熱合成反応装置	株式会社製 KH-03	1	2,675,281	2,675,281	2012/7/19	長岡技術科学大学
透過型電子顕微鏡	日本電子株式会社製 JEM-2100F(HR)	1	66,832,290	66,832,290	2013/3/25	長岡技術科学大学
オゾン発生器	株式会社製 OZS-HC-70-3WJ	1	3,465,000	3,465,000	2014/2/25	長岡技術科学大学
高圧オートクレーブ	独国社製 BR-300SS/PTFE/RV	1	2,470,808	2,470,808	2014/2/21	長岡技術科学大学
エネルギー分散型X線分析装置	日本電子株式会社製 JED-2300T	1	4,987,500	4,987,500	2014/2/19	長岡技術科学大学
高圧オートクレーブ	独国社製 BR-1000SS/PTFE/RV	1	4,620,000	4,620,000	2014/2/21	長岡技術科学大学
マイクロ波反応装置	東京理化学器械株式会社製 MWO-1000S	1	1,575,000	1,575,000	2014/2/27	長岡技術科学大学
マイクロ波発振ユニット	IDX MBA-15EN03	1	1,995,000	1,995,000	2014/2/28	長岡技術科学大学
光ファイバー温度計	安立 FL2000	1	819,000	819,000	2014/2/28	長岡技術科学大学
イオンクロマトグラフ	東ソー(株) IC-2010	1	1,999,200	1,999,200	2014/2/28	長岡技術科学大学
パワーユニット	ニッシン EX-MU	1	1,758,750	1,758,750	2014/2/28	長岡技術科学大学
耐圧容器(圧力計リリーフ弁ユニット付)	東京理化学器械株式会社製 MWP-2000	1	708,750	708,750	2014/2/27	長岡技術科学大学

5. 研究成果の概要

次世代CO2回収技術の中でエネルギー効率が高く、消費エネルギーの大幅削減が可能。CO2分離膜において、マスクング法を用いた薄膜化を行うことで、これまでの分離膜を上回る世界トップクラスの性能を有するDDR型ゼオライト膜の開発に成功した。また、70気圧以上の高圧で噴出する天然ガスに対し、耐圧性に優れたDDR型ゼオライト膜による分離を行うことで未処理天然ガスから90%以上の高濃度CO2の回収が可能であることを示した。さらに、CO2/CH4分離係数400以上のDDR型ゼオライト膜にバイオガスを通気させる比較的簡素なプロセスでCO2を除去し、CH4濃度95%以上の高純度化を可能にした。

先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 研究成果報告書

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名 (下段英語表記)	グリーンイノベーションを加速させる超高性能分離膜による革新的 CO ₂ 回収技術の実現
	Development of the innovative CO ₂ recovery technology by the high performance separation membrane
研究機関・部局・ 職名 (下段英語表記)	長岡技術科学大学・工学部・准教授
	Nagaoka University of Technology, The Faculty of Technology, Associate professor
氏名 (下段英語表記)	姫野修司
	Shuji Himeno

研究成果の概要

(和文): 次世代 CO₂ 回収技術の中でエネルギー効率が高く、消費エネルギーの大幅削減が可能な CO₂ 分離膜において、マスクング法を用いた薄膜化を行うことで、これまでの分離膜を上回る世界トップクラスの性能を有する DDR 型ゼオライト膜の開発に成功した。また、70 気圧以上の高圧で噴出する天然ガスに対し、耐圧性に優れた DDR 型ゼオライト膜による分離を行うことで未処理天然ガスから 90% 以上の高濃度 CO₂ の回収が可能であることを示した。さらに、CO₂/CH₄ 分離係数 400 以上の DDR 型ゼオライト膜にバイオガスを通気させる比較的簡素なプロセスで CO₂ を除去し、CH₄ 濃度 95% 以上の高純度化を可能にした。

(英文): Using thinning with a masking method in a CO₂ separation membrane, we developed a DDR-type zeolite membrane with world-leading performance exceeding that of a conventional separation membrane. It exhibits excellent energy efficiency among next-generation CO₂-recovery technologies and thereby enables great reduction of energy consumption. It has also been demonstrated that recovery of high concentrations of CO₂ (higher than 90%) from untreated natural gas blowing at a high pressure of higher than 70 MPa is possible by separation using this DDR-type zeolite membrane: it has excellent pressure resistance. Removal of CO₂ was attained simply by passage of biogas through the DDR-type zeolite membrane, which has a CO₂/CH₄ separation coefficient of more than 400, thereby obtaining high-purity CH₄ with concentration higher than 95%.

1. 執行金額 166, 400, 000円
 (うち、直接経費 128, 000, 000円、 間接経費 38, 400, 000円)

2. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

3. 研究目的

グリーンイノベーションを加速させるため、天然ガス採掘時や火力発電所から**革新的な省エネルギー技術で CO2 回収・貯留 (CCS) を行うことは世界的な解決課題**である。最大課題は、コストの中で最も大きく占める**希薄な CO2 と他のガスとの分離の省エネルギー化と効率化**である。

CO2 分離法 (吸収法、蒸留法、吸着法、膜分離法) の中で、唯一相変化を伴わない膜分離法が最もエネルギー効率が高く、消費エネルギーを大幅に削減できる。しかし、それを可能にする性能を有する膜の開発に至っておらず、**CO2 分離膜は世界中で鋭意開発されている。**

基礎研究で高い分離性能が報告されても天然ガス田からの CO2 回収の実用化のためにはモジュール化、システム化が必要になる。さらに、早期実用化のためには、150°C以上、噴出圧力 80 気圧、重油成分など様々な不純物が混入する天然ガス田で分離プロセスを構築し実証する必要もある。

本研究では**高性能を有する CO2 分離膜の創製**と、早期実用化のための実際の噴出ガスを用いた **CO2 分離回収システムの実装**による CO2 回収の早期実用化を目指す。さらに、再生可能エネルギーとして利活用が求められているバイオガスからの CO2 回収技術についても早期実用化の検討を実施する。

4. 研究計画・方法

4.1. 目的解決のための研究計画

本研究は H22 年に CO2 分離膜についてアミノ基付加による DDR 型ゼオライト膜のさらなる高性能化、新規酸素 8 員環ゼオライト膜の創製、H23 年度に CO2 分離膜の大型モジュール化、H24、H25 年に天然ガス、バイオガスからの CO2 回収の長期実証実験を実施し、革新的 CO2 回収技術としての実現可能性を追求する (図-1)。

研究項目	開発期間			
	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度
1) ゼオライト膜の創製	ゼオライト膜の創製と多様化			
2) ゼオライト膜の拡大		ゼオライト膜の拡大		
3) 多様なモジュールの開発		モジュールの開発		
4) 天然ガスプラントからの CO2 回収実験			膜による天然ガスからの CO2 回収実験	
5) バイオガスからの CO2 回収実験			下水処理場内での大規模モジュールを用いた実証実験	

図-1 本研究の計画進行図

4.2. 目的解決のための方法

4.2.1. 【DDR 型ゼオライト膜の合成】

気体分離膜はそれぞれ固有の細孔径を有し、中でもオールシリカと呼ばれる結晶性シリカのみで構成されている DDR 型ゼオライト膜は、3.6×4.4 Å の孔を持ち、これより大きい分子の透過を防ぎ、小さい分子のみを透過させる「分子ふるい効果」を持つ。また、非常に強固で、耐圧性 (100 気圧)、耐熱性 (400°C)、耐薬品性に優れているため**過酷な環境下での CO2 回収に最適である** (図-2)。

DDR 型ゼオライトの合成は構造規定材である 1-Adamantylamine (ADA)、ADA を溶解するエチレンジアミン (EDA)、シリカ源 (SiO2) および水 (H2O) を一定の混合比で混合したものを密閉容器に入れ、150°Cの雰囲気下で 48 時間水熱合成することによって DDR 型ゼオライト結晶を得ている。DDR 型ゼオライト膜は、先の方法で得られた結晶を支持体であるアルミナチューブに塗布し、ADA、EDA、SiO2、H2O をある混合比で作成した溶液内に入れ、150°C雰囲気下で 24 時間の水熱合成を行うことによって得られる。

気体分離膜の性能は、CO2 透過速度と CH4 分子と CO2 分子の透過速度の比を表す分離係数で一般的に評価されている。本研究室では**現状技術の限界を超える世界トップクラスの性能を持つ DDR 型ゼオライト膜の製膜技術**を有しており (図-3)、気体分離膜の実用化を可能にする。

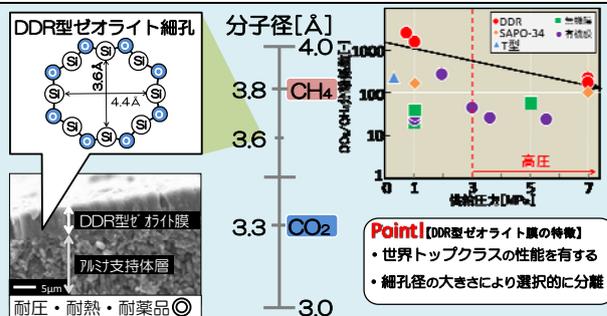


図-2 DDR 型ゼオライト膜の特徴

DDR 型ゼオライト膜は多孔質セラミック上に薄膜合成しており、機械的強度が高く耐圧性に優れる。3.6×4.4 Åの細孔を持ち、分子ふるい効果を発現する。

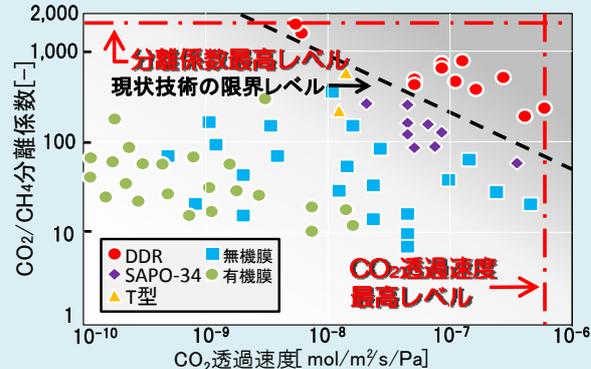


図-3 DDR 型ゼオライトと他の分離膜との比較

DDR 膜は CO2/CH4 分離において優れているとされている 8 員環ゼオライトの中でも最高の分離係数と透過速度を両立している。

4.2.2.【バイオガス・天然ガス実証実験施設】

天然ガス分離実証実験施設は石油資源開発株式会社の協力を得て共同研究を行い、実ガス田内に実験設備を設置し、**未処理の天然ガスの供給を受けて高圧条件下（7.6MPa）での実証実験を行っている**。本実証施設は、高圧ガス保安法に則って制作されており、使用する計測器や装置の電子機器は全て防爆型となっている。

バイオガス分離実証実験施設は、信濃川下流域下水道長岡浄化センター内に設置した。実証施設は消化槽より発生した**バイオガスを乾式脱硫したものを直接供給**ことができ、施設内には、バイオガスを昇圧するための昇圧機と、ガス濃度、不純物濃度を測定することが可能である（図-4）。

また、セラミック膜製造を行っている協力企業より、同一長のチューブ状膜に比べて約15倍の膜面積を有するモノリス型DDR膜の提供を受け、パイロットスケールでのバイオガス精製の実証実験を実施した。



図-4 各実証実験施設外観
高圧ガス保安法に則って制作された天然ガス実証実験施設を有し、使用する計測器や装置の電子機器は全て防爆型となっている（左図）。下水処理場より発生するバイオガスを直接DDR膜に供給でき、リアルタイムでの連続分析が可能となっている（右図）。

5. 研究成果・波及効果

5.1. DDR型ゼオライト膜の製膜技術

5.1.1.【新規8員環ゼオライト膜の創製】

ゼオライトに金属を担持させるためには、イオン交換サイトとなるゼオライト骨格中のAl原子が必要である。DDR型ゼオライトはすべてケイ素原子からなるためにイオン交換ができない。そこで、従来のDDR型ゼオライトと同様の骨格構造を持ちながら一部に**Alを含有するZSM-58結晶の合成方法を確立**し、金属イオンの付加を可能とした。また、これを用いてセラミック基板上への薄膜化を行った。**ZSM-58の膜化は世界で初めての取り組みである**（図-5）。

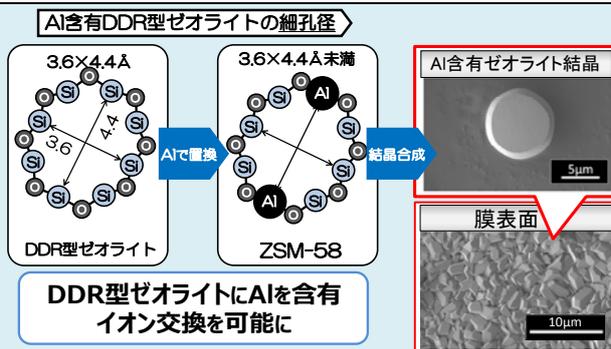


図-5 Al含有させたZSM-58の細孔とSEM観察図
骨格構造中に含有させたAlを含有させることで、DDR型ゼオライト膜にイオン交換サイトを作成することに成功した。

5.1.2.【環境負荷の少ない新規DDR型ゼオライト膜の作製】

DDR型ゼオライト膜の作製には前述したようにエチレンジアミンが用いられている。エチレンジアミンは人体・水生環境に毒性を持つため、使用の際には注意が必要である。

本研究ではDDR型ゼオライト膜の作製にエチレンジアミンを使用せずにフッ化カリウムを使用し、なおかつ極めて使用量の低い範囲でDDR型ゼオライト結晶の合成に成功した。

これを用いた膜基板への薄膜化においても**フッ化カリウム量の極めて低い組成で膜の作製**を行うことでCO₂透過速度が従来の5倍程度上昇し、透過速度5×10⁻⁷mol/m²・s・Pa、分離係数500を有する気体分離膜の開発に成功した。本研究では、右図の範囲でDDR膜合成に成功している（図-6）。

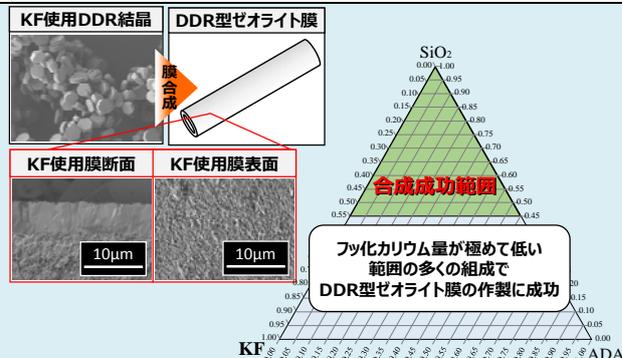


図-6 フッ化カリウムを使用して膜化に成功した組成範囲

エチレンジアミンの代わりにフッ化カリウムを用いることにより、フッ化カリウム使用量が極めて低い環境負荷の少ないDDR膜の作製に成功した。

5.1.3.【マスクング法を用いた DDR 型ゼオライト膜の薄膜化による CO₂ 分離性能向上】

DDR 型ゼオライト膜は、基体外の DDR 結晶からなるゼオライト層と多孔質アルミナ支持体と空孔にゼオライトが合成された複合層およびアルミナ基材の 3 層で構成されている。これまでのゼオライト膜は、このうち複合層の厚さが 20~30μm 程度あり、CO₂ 透過速度を低下させる要因となる。

これに対し、アルミナ支持体内に予め有機ポリマーを支持体表面から支持体外表 1~2μm 以上に浸透させた状態で DDR 型ゼオライトを合成することで、DDR 膜は複合層が約 1~2μm と、**複合層厚さを 1/10 以下にすることに成功した** (図-7)。

これにより CO₂ 透過速度が 5~6 倍上昇し、**CO₂ 透過速度 6 × 10⁻⁷ mol/m² · s · Pa と分離係数 1000 以上**の世界トップクラスの性能を有する DDR 型ゼオライト膜の創製に成功した。

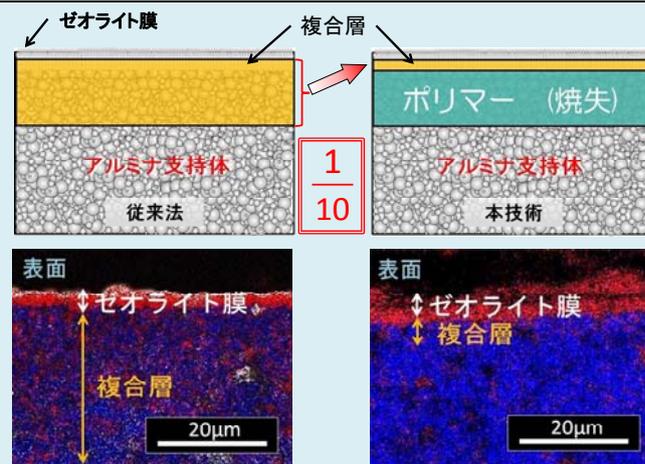


図-7 マスクング法による複合層の薄膜化

多孔アルミナ支持体に有機ポリマーを浸透させた後で膜合成を行うことにより、複合厚さを従来の 1/10 程度に制御することに成功した。

5.2.膜分離法による天然ガス精製時の省エネルギー化を目指した膜分離プロセスの開発

5.2.1.【天然ガス中の不純物除去技術の確立】

天然ガス中にはオイルミストや水銀、硫化水素、水分等様々な不純物が含まれている。実天然ガス田において膜分離法を用いた場合、気体分離膜の細孔を閉塞させ、性能低下を引き起こすことが確認されている。そこで、本研究で用いた DDR 膜前段に前処理材としてセラミックフィルターの配置の有無による連続通気実験を行った。供給圧力 1.0MPa、流量 177L/min · m² で DDR 膜に供給すると直接天然ガスを暴露した系では初期性能と比較し、**通気開始 200 時間で約 60% の分離性能の低下**を引き起こした。また、前処理材を配置した系では天然ガス中に含まれる不純物がブロックされ分離性能の低下を抑制する事を確認した (図-8)。これらの結果から前処理材を DDR 膜前段に配置する事により **DDR 膜の性能低下を引き起こす不純物の透過を抑制し、DDR 膜性能の長寿命化**が図れる事を確認した。

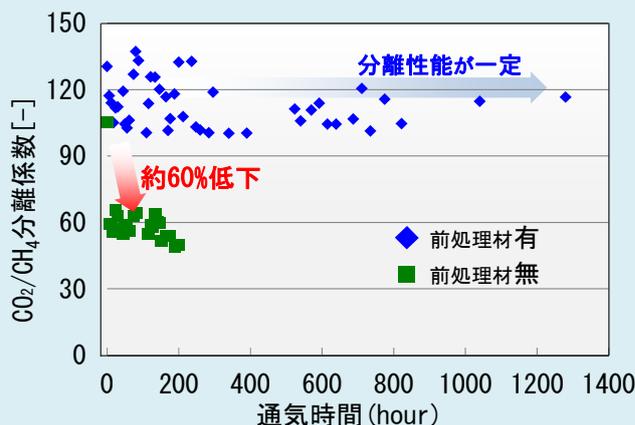


図-8 前処理材の有無による分離性能の経時変化

DDR 膜前段に前処理材としてセラミックフィルターの配置の有無により、前処理材有の系は前処理材無の系と比較し、膜性能の低下を抑制する効果があることを確認した。これにより DDR 膜の長寿命化が図られる。

5.2.2.【天然ガス暴露後の DDR 膜性能回復技術の確立】

未処理のガス田から噴出した天然ガスを供給圧力 7MPa、流量 177L/min · m² で DDR 膜に供給すると、天然ガス中に含まれるオイルミストや水銀、硫化水素、水分等が DDR 膜に付着し、DDR 膜細孔を閉塞させ、性能低下を引き起こす。DDR 膜は最適な性能回復方法がなく、これまで加温による方法で性能回復試験を行っていた。しかし、初期性能まで完全には戻らず、場合によっては膜性能が 50% 程度までしか回復しない事も確認されていた。

そこで様々な方法で性能低下した DDR 膜の性能回復方法を検討し、**423K での加温処理とエタノールを使用した DDR 膜表面の溶剤による洗浄工程**を行う事により、初期性能まで完全に回復する技術を確立した (図-9)。



図-9 天然ガス暴露により性能低下した DDR 膜の回復試験
未処理天然ガスを DDR 膜に供給すると、膜性能の低下を引き起こす。そこで、性能低下した DDR 膜を加温による処理、溶剤による洗浄を行うと初期性能まで回復し、DDR 膜の繰り返し使用が可能となった。

5.2.3.【天然ガス分離における膜分離法を用いた2段階分離プロセスの構築】

天然ガスに含まれるCO₂を除去する精製プラントでは、CO₂に対して溶解性のある吸収液を用いた化学吸収法で精製されている。化学吸収法ではCO₂を吸収した吸収液を再生させるために160-180℃で熱再生を行う(図-9)。精製プラント全体での使用エネルギーの大部分をCO₂除去が占めており、特にインドネシアや北海ガス田などCO₂濃度が40%以上のガス田では、消費エネルギーの90%以上を吸収液の再生工程が占めている。一方、膜分離法は自圧を持った天然ガスであれば**エネルギーはほとんど使用しない革新的な分離法**と考えられている。しかし、膜分離法ではCO₂濃度が希薄になると分離効率が低下する。例えば、既存の化学吸収法の前段にDDR膜によるCO₂回収工程を設け、5%程度までCO₂を除去した後に、小型の化学吸収法設備を組み合わせることで、**化学吸収法の使用エネルギーを80%以上削減可能な革新的な天然ガス精製法の開発**が見込まれる(図-11)。



図-10 膜分離法によるCO₂除去プロセスの省エネ化
天然ガスプラントでの消費エネルギーのほとんどを占めるCO₂除去工程にDDR膜による膜分離プロセスを適応することにより、約80%の消費電力を低減することができる。

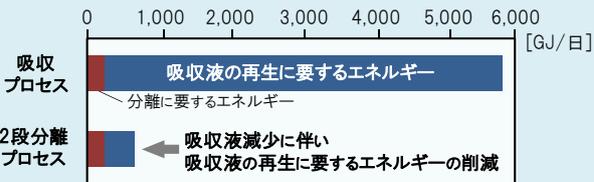


図-11 膜分離法を用いた2段階分離プロセス
天然ガスを膜で90%まで濃縮した後に吸収法による処理を行うことで、従来の吸収法だけのプロセスのおよそ12%のエネルギーでCH₄を99%まで濃縮することが可能となる。

5.3.DDR膜を用いた膜分離法によるバイオガス精製

5.3.1.【DDR膜を用いた膜分離法によるバイオガス精製システムの実証】

下水処理場から発生するCH₄約60%・CO₂約40%を含むバイオガスを、下水処理場内に設置した実証施設にて、DDR膜を用いた膜分離法によるバイオガス精製試験を行った。精製試験はバイオガスを10気圧まで昇圧し、分離係数270のモノリス型DDR膜に通気することでCO₂が分離されるため、**極めて簡素なプロセスによって高濃度のCO₂とCH₄を同時に精製**することが可能である(図-12)。その結果、天然ガス自動車の燃料としての利用できる目安となるCH₄濃度95%、更に分離係数の高い膜を組み合わせることで都市ガス導管への直接注入が可能となるCH₄濃度98%以上の精製が可能であることを実証した。

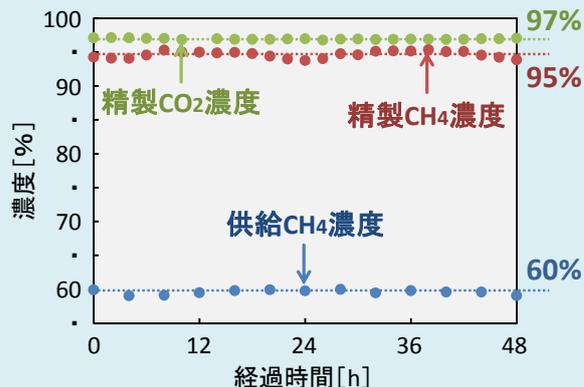


図-12 48時間バイオガス精製実証試験結果
実証施設における48時間連続のバイオガス精製試験により、CO₂濃度97%かつCH₄濃度95%の精製ガスが無操作で安定して精製することが可能であることを実証した。

5.3.2.【最高水準のCH₄精製濃度とCH₄回収率を同時達成】

現在、バイオガス中のCH₄精製技術としては、圧カスイング吸着(PSA)法や水吸収法、膜分離法が用いられている。これらの方法を用いた場合、CH₄精製濃度とバイオガス中のCH₄回収率はトレードオフの関係にあり、これを両立できる精製システムは優れていることになる。バイオガスからCO₂を除去しCH₄を精製するシステムについて、これまでに報告されているPSA法、膜分離法、水吸収法とDDR膜の結果を比較した(図-13)。DDR膜を用いた膜分離法は、他技術や他気体分離膜では達成困難な**高いCH₄精製濃度とCH₄回収率を同時達成可能な革新的な分離技術**であり、相変化や昇減圧を繰り返すことなく昇圧のみの極めて簡素なシステムであることが示された。

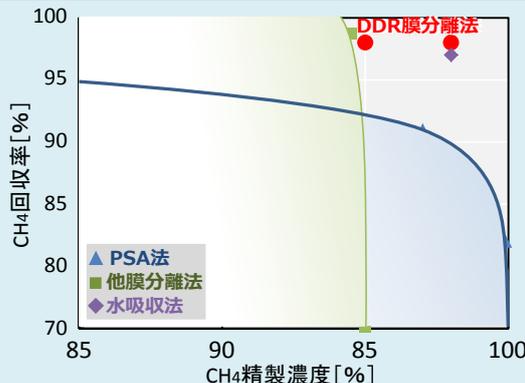


図-13 各精製技術のCH₄精製濃度とCH₄回収率
世界最高性能のDDR膜を用いた膜分離法では、既存技術の限界を超えた高いCH₄精製濃度とCH₄回収率を両立している。

6. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 13 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計 7 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 渋川洋, 姫野修司, 小松俊哉: 下水汚泥と稲わらの混合嫌気性消化がエネルギー収支および温室効果ガス排出に及ぼす影響, Journal of Japan Society of Energy and Resources, Vol.34, No.4, 2013 2) 小松俊哉, 高松量, 姫野修司, 澤原大道, 石川進: 下水汚泥と稲わらの混合嫌気性消化技術の実用化に向けたパイロットスケール実験, 下水道協会誌, Vol.50, No.605, 109-117, 2013 3) Hiroe Tanaka, Ikumi Toda, Suji Himeno, et al.: Effect of cooling rate of KOH activation process on activated carbons, Transactions of the Materials Research Society of Japan, 37, 57-60, 2012 4) 小松俊哉, 江口淳, 姫野修司: 高効率エネルギー回収を目的とした高濃度下水汚泥と稲わらの混合嫌気性消化に関する研究, 下水道協会誌, Vol.48, No.588, 127-135, 2011 5) Ryuji Takahashi, Aruto Asakura, Kaoru Koike, Shuji Himeno, Shoichi Fujita : Using Snow Melting Pipes to Verify the Water Sprinkling's Effect over a Wide Area, NOVETECH 2010, Lyon, Fransch, 28 June - 2 July 2011 6) Hiroki Ono, Hiroki Akasaka, Ikumi Toda, Shuji Himeno, Toshinori Kokubu, Hidetoshi Saitoh, et al.: Effect of chemical species in alkali agents on pore structure at activated carbon of rice husks, Transactions of the Materials Research Society of Japan, Vol.36, No.4, 593-597, 2011 7) Hiroki Akasaka, Tomakazu Takahata, Ikumi Toda, Hiroki Ono, Shigeo Ohshio, Shuji Himeno, Toshinori Kokubu, Hidetoshi saitoh: Hydrogen storage ability of porous carbon material fabricated from coffee bean wastes, International Journal of Hydrogen Energy, 36, 580-585, 2011 <p>(掲載済み一査読無し) 計 5 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 姫野修司: バイオガス利用の拡大に向けたバイオガス増産・精製技術の開発, バイオガス事業推進協議会会報, 11, 1-9, 2014 2) 姫野修司: 稲わらと下水汚泥の一括バイオガス化技術から見てくる下水道の新たな価値, 月間下水道, Vol.36, No.1, 2013 3) 渋川洋, 姫野修司, 小松俊哉, 藤田昌一: 水田から下水処理場までの一貫体系の構築による下水汚泥と稲わらの混合消化技術の開発, 再生と利用, No.138, 12-18, 2013 4) 姫野修司: バイオガスを燃料とした小型発電機の開発, 再生と利用, No.137, 39-42, 2012 5) 姫野修司, 藤田昌一: 下水汚泥バイオガス増産・利活用技術, 再生と利用, No.131, 13-19, 2011 <p>(未掲載) 計 1 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 姫野修司, 菅納信太郎, 竹見友宏: DDR 型ゼオライト膜を用いたバイオガスからの高純度・高回収率メタン精製プロセスの開発, 化学工学論文集, 2014
<p>会議発表 計 6 件</p>	<p>専門家向け 計 5 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 日本下水道協会, 下水汚泥リサイクル推進講演会, 「下水道におけるエネルギー生産 新たな価値の創造」, 2013.1.31 2) 日本融雪技術協会技術講習会, 地域インフラの新たな可能性, 2012.9.26 3) 緑水環境フォーラム, 時代を先行した気体分離膜を用いたバイオガス精製技術, 2011.10.21 4) 東京都エコスクラム発表, これからの下水道技術, 2011.10.4 5) SCRT 協会総会, 管更生による合流式下水道越流水の汚濁負荷の低減, 2011.5.12 <p>一般向け 計 1 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 環境エネルギーフォーラム 2012 in 長岡, 2012 年 7 月 11 日
<p>図書 計 0 件</p>	
<p>産業財産権 出願・取得状況 計 2 件</p>	<p>(取得済み) 計 2 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Method for manufacturing zeolite membrane, and zeolite membrane (US 12/966, 023) Inventor: <u>Himeno, Shuji</u>, NGK Insulators Proprietor: <u>Himeno, Shuji</u>, NGK Insulators 2) 焼却灰からのリン酸カルシウム製造方法および製造装置(特開 2012-144381) 発明者: 坪井博和, 姫野修司, 和泉亮 出願人: メタウォーター株式会社、長岡技術科学大学
<p>Webページ (URL)</p>	<p>資源エネルギー循環研究室 HP http://shwmlab.nagaokaut.ac.jp/</p>
<p>国民との科学・技術対話の実施状況</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) 最先端研究開発支援プログラム FIRST シンポジウム「科学技術が拓く 2030 年」へのシナリオ, 2014 年 3 月 1 日, ベルサール新宿グランド, 一般市民, 約 200 名 2) 環境エネルギーフォーラム 2012 in 長岡, 2012 年 7 月 11 日, 一般市民, 約 200 名 3) 新エネルギー再生可能エネルギーについて, 2011 年 11 月 30 日, 長岡技術科学大学, 津南中学校 1 年

	<p>生, 約 100 名</p> <p>4) 新エネルギー再生可能エネルギーについて, 2011 年 10 月 7 日, 長岡技術科学大学, 新潟東高校1年生約 50 名</p> <p>5) 新エネルギー再生可能エネルギーについて, 2011 年 6 月 8 日, 長岡技術科学大学, 小千谷高校1年生約 100 名</p>
新聞・一般雑誌等掲載 計 10 件	<p>1) 2013.4.7 公明新聞,「再生可能エネルギーの裾野拡大を」</p> <p>2) 2012.8.9 水道産業新聞,「長岡技科大が研究 稲わらでバイオガス」</p> <p>3) 2012.9.5 日本下水道新聞,「長岡技科大 実証実験開始」</p> <p>4) 2012.11.15 新潟日報,「稲わら新エネに活用 技科大准教授ら報告」</p> <p>5) 2012.11.28 日本下水道新聞,「混合ガス化など発表、実証設備の見学会も産官学の連携強調」</p> <p>6) 2012.12.3 水道産業新聞,「バイオガス化報告会、地域のモデルに期待 長岡技科大など」</p> <p>7) 財界フラッシュ, 2011 年 11 月号, 13 ページ</p> <p>8) 財界にいがた, 2012 年新年特集号</p> <p>9) 2011.4.20 日経新聞,「CO₂回収, 膜で効率化」</p> <p>10) 2011.4.29 読売新聞,「CO₂回収に膜開発」</p>
その他	特になし

7. その他特記事項