

DMEを再利用する高水分炭・下水汚泥・PCBs汚染底質の 常温省エネルギー脱水・浄化技術の開発

神田英輝 (財)電力中央研究所 エネルギー技術研究所
大下和徹 京都大学大学院工学研究科 都市環境工学専攻
森田真由美 月島機械(株) 研究開発部 開発企画グループ

1. 緒言

本章では、高水分炭・下水汚泥・PCBs汚染底質が、それぞれの分野で抱える問題を述べると共に、これらの問題の共通項を示す。

1.1 二酸化炭素排出源としての高水分炭の利用の問題

日本の石炭火力発電所で用いられる石炭は、炭化度が高い瀝青炭であり、水分は約10重量%なので燃えやすく、一般的な発電効率は42%である。しかし、図1に示すように、全世界の石炭の可採埋蔵量の4割は高水分炭（亜瀝青炭や褐炭）である。高水分炭は、米国・中国・豪州・ロシア・ドイツで多く産出され、特に褐炭では水分が50重量%～70重量%もある（図2）。高水分炭は、水分の重量の分、輸送費が高く、炭坑から遠くに輸送できないので、炭坑に隣接する発電所で利用される。これらの発電所では、燃焼排ガスの余熱で水分を蒸発させ、その水蒸気が石炭と共に火炉に投入される。この水蒸気により熱密度が低下するので、例えば水分67重量%の褐炭を用いる豪州ビクトリア州の発電所の発電効率は28%に過ぎない。しかし、高水分炭自体は輸送さえしなければ安いので、発電効率が低くても、多量のエネルギー（高コスト）で脱水するより、全体的には低コストになる¹⁻⁷⁾。しかし高水分炭を利用すると、同じ発電量でも、CO₂排出量では日本の1.5倍に匹敵する。特に、米国と中国は、この二ヶ国だけで世界のCO₂の4割を排出し、また、多くの高水分炭を消費している。

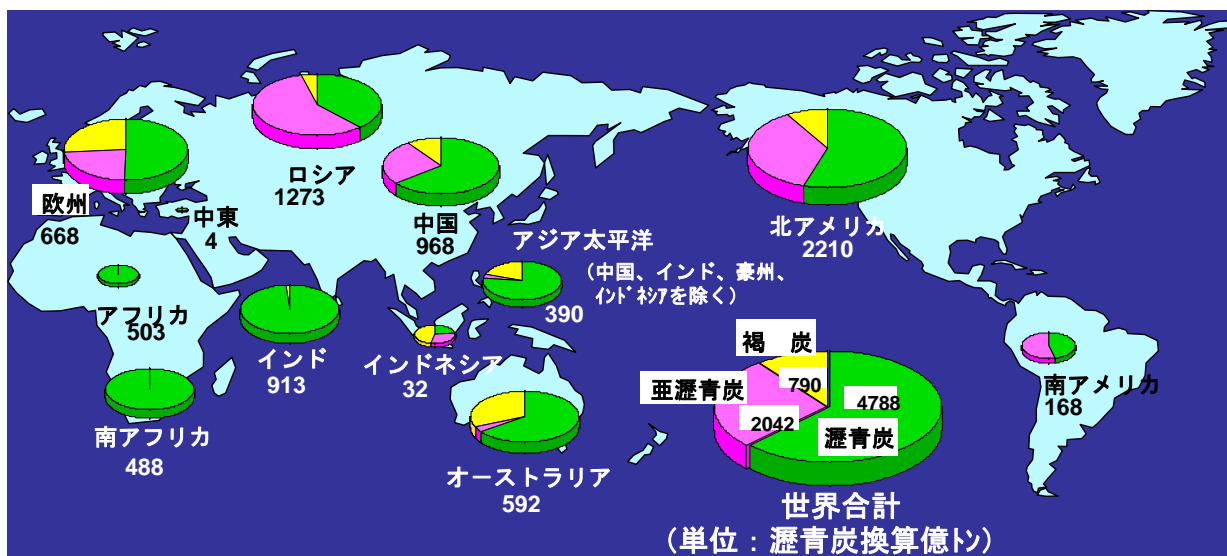
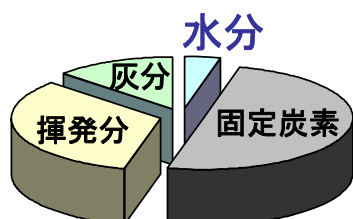


図1 世界各地の石炭埋蔵量と石炭の種類

瀝青炭(水分10%)
日本が輸入
発電効率42%
高価だが輸送コストが安い



褐炭・亜瀝青炭(水分20~70%)
米国・中国・インドネシア・豪州
発電効率28%(CO2 1.5倍)
安価だが輸送コストが高い

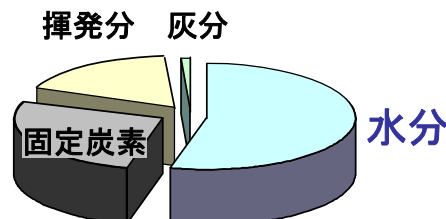


図2 瀝青炭と褐炭との違い (円グラフは石炭中の重量割合)

これらの国々で高水分炭を省エネルギー（低コスト）で脱水できれば、発電効率も向上し CO₂ 排出量を大幅に削減できる。既存技術（UBC 法）では、高温加熱して水分を蒸発させた後に、水蒸気を再び凝縮させて生じる熱を大気中に逃げないように回収して、省エネルギー化を図っている。しかし、回収効率は、20 年以上かけて極限に向上しており、これ以上の向上は難しい。また、UBC 法の理論上の所要エネルギーは、水の蒸発潜熱とほぼ同じ 2100kJ/kg 水である⁶⁾。更に、UBC 法では、微粉炭にする必要があるので、脱水後にブリケット加工を要する^{1), 4)}。

1.2 下水汚泥の最終処分の問題

下水汚泥は、図3に示すように、我が国で年間4.3億m³発生する、最も多い産業廃棄物である⁸⁾。下水汚泥は図4に示す圧搾や遠心分離等の機械的脱水によりケーキ状（粘土状）に脱水しても、水分が80重量%も残る。脱水された汚泥は悪臭が酷いことから、下水処理場の外への搬出が難しく、下水処理場の敷地内で焼却・減容化した後に、埋立て処分するのが一般的である。また、図3に示すように日本の下水道の普及率は66.7%（2003年データ⁸⁾）であり、現在も上昇中（2006年3月31日時点で、69.3%⁸⁾）である。世界的にも、下水道の普及率はBRICsを中心とする新興国で上昇しており、水問題の観点からも下水道の普及は世界的課題である。

一方で、下水汚泥は、カーボンニュートラルな非化石燃料である。仮に、省エネルギーで脱水・脱臭できれば、下水処理場の外に搬出が容易になり、石炭代替燃料としてCO₂排出量を大幅に削減できる⁹⁻¹⁰⁾。既に国内でも、下水汚泥を石炭火力発電所の燃料石炭に混ぜる試みが始まっている。現在の下水汚泥の燃料化技術は、高温ガス化や乾燥・炭化处理であるが、これらの処理は多量の熱エネルギーを必要とすることや、乾燥処理では悪臭が残るために、受け入れ先が限られるといった課題がある。下水汚泥を省エネルギー（低コスト）で脱水するとともに、脱臭して下水処理場の外部への搬出を容易にする技術が、下水汚泥をカーボンニュートラルな非化石燃料として、本格的に利用可能にするには必要である。

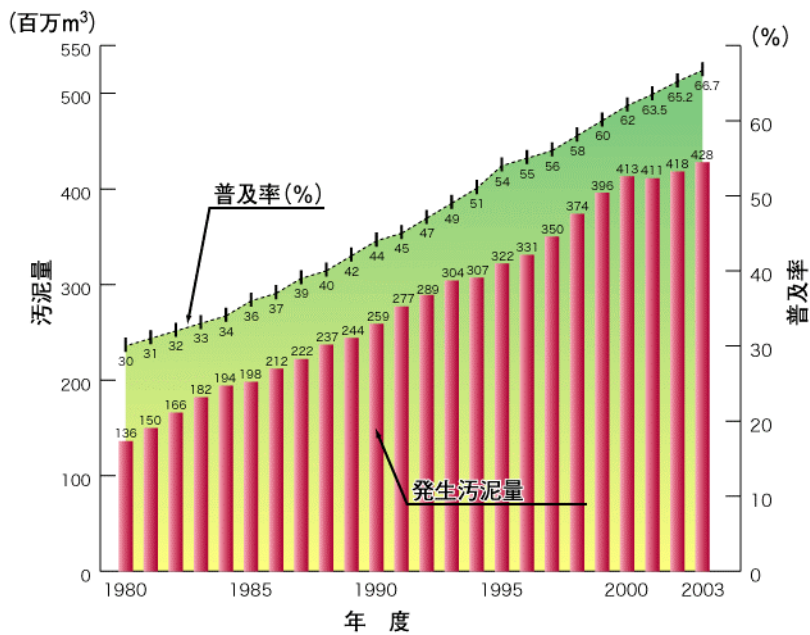


図3 年度別下水汚泥発生量の推移⁸⁾

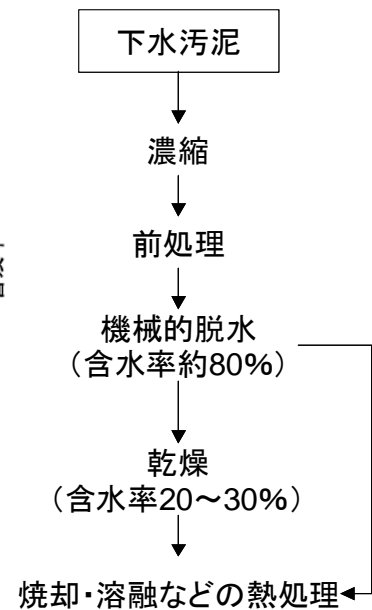


図4 下水汚泥処理の主なフロー

1.3 PCBs汚染底質の浄化技術の問題

ポリ塩化ビフェニル類 (PCBs) は猛毒であり (図5)、過去にカネミ油症事件などの社会問題・環境問題を引き起こし、国際条約で全廃が決まっている (表1)。しかし、国内の都市河川や港湾の底質 (ヘドロ) は、過去の不法投棄や工場廃水などの人為的由来により、PCBs で高濃度に汚染されている箇所がある。

底質中の PCBs に関しては、1975 年に暫定除去基準の 10mg/kg が定められ、これに基づいて、国内の汚染底質対策が行われてきた。しかし、2000 年から施行されたダイオキシン類特別措置法で、PCBs の一部の毒性の高い Co-PCBs (コプラナーPCBs) がダイオキシン類としても含まれ

- ベンゼン環(炭素6つ)が2つ結合した構造(ビフェニル)に水素原子と塩素原子が置換されたもの
- 塩素の数により、209種の異性体が存在
- 熱に対して安定、電気絶縁性が高い、耐薬品性に優れる。
→加熱や冷却用熱媒体、変圧器、コンデンサ等電気機器の絶縁油などに用いられた。
- 生体に対する毒性が高く、脂肪組織に蓄積し易い。
発ガン性があり、また皮膚障害、内臓障害、ホルモン異常を引き起こす。
一部はダイオキシン対策特別措置法におけるダイオキシン類に含まれる。

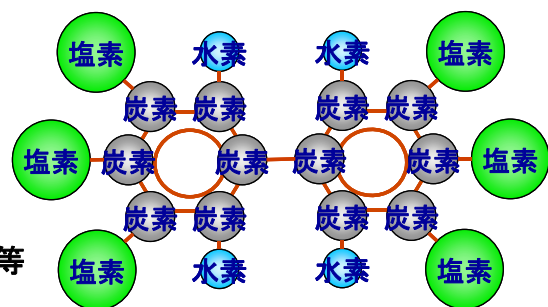


図5 ポリ塩化ビフェニル類 (PCBs) とは

表1 PCBsを巡る事例の年表

1954年	: 製造が開始
1968年	: カネミ油症事件
1972年	: 生産・使用の中止等の行政指導
1974年	: 製造および輸入が原則禁止：PCB製品は厳重保管
1975年	: 底質のPCBs暫定除去基準10mg/kgが設定 これに基づいて全国で汚染対策実施
2000年	: ダイオキシン類特別措置法の施行 一部のPCBsを含む底質のダイオキシン類環境基準150pg-TEQ/gが設定
2001年	: POPs国際条約により2028までに全廃 : PCBs処理特別措置法を制定し2016年までに保管されたPCBs製品を処理

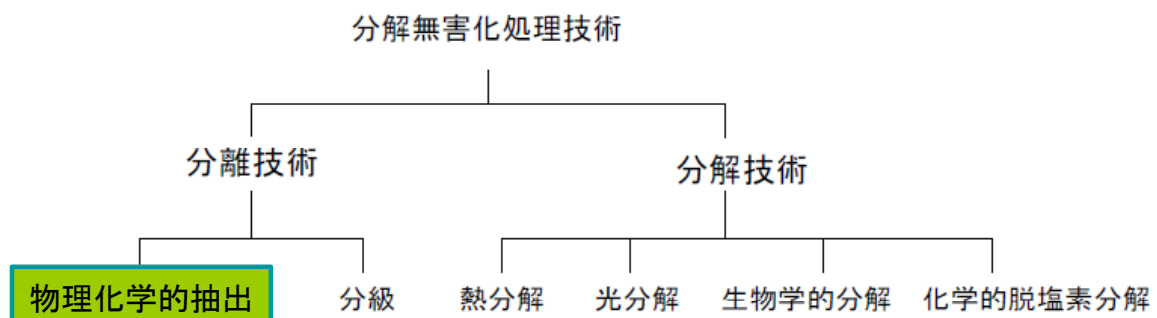


図6 PCBs 汚染底質の分離無害化処理技術の分類^{1 2)}

た。同法で、Co-PCBs を含む底質中のダイオキシン類の環境基準が 150pg-TEQ/g と定められ、この基準値を上回る箇所が存在が多数明らかになったため、嘗ての底質の PCBs 汚染問題が、再びダイオキシン類汚染問題の形として顕在化した。例えば、大阪市の正蓮寺川では、近年、底質の Co-PCBs 汚染が明らかとなり、現在「原位置固化+封じ込め」処理による、正蓮寺川総合整備事業が進められている^{1 1)}。上記の「原位置固化+封じ込め」処理はコンクリートで汚染底質を密閉する方法であり、現在主に行われる方法であるが、半永久的なモニタリングの必要性が問題となる。このため、汚染底質は浚渫し、浄化されることが望ましい。しかし、汚染底質は、高水分で量が膨大な上に、短時間での処理が望まれることから、浄化方法には、劇的な省エネルギー化、低コスト化が要求される。

図6に汚染底質の分離無害化処理の分類を示す^{1 2)}。このうち、比較的省エネルギーなPCBs汚染底質の浄化方法の一つとして、物理化学的抽出に分類される「溶媒抽出法」がある。これは常温で有機溶媒を用いて汚染底質中のPCBsを抽出する方法であるが、PCBs汚染「土壌」への適用例が僅かにあるだけで、また、PCBs汚染「底質」に適用された例は殆ど無く、知見が不足している^{1 3)}。さらに、溶媒抽出法ではアセトン等の有機溶媒を用いるが、これらは有毒である。更に、溶媒抽出の前工程としてPCBs汚染底質の水分の除去が、溶媒抽出の後工程として浄化底質中に残留した溶媒の除去が、各々必要である。この二つの工程では、加熱して水や溶媒を蒸発させるのが望ましいが、多くのエネルギーを要する^{1 4)}。このため、高水分で量が莫大なPCBs汚染底質に溶媒抽出法が用いられず、「原位置固化+封じ込め」法が適用せざるを得ないのである。

1.4 3つの問題の共通項と、DMEの導入による解決の狙い

3つの問題に共通するのは、対象物が高水分であるが故に、脱水・燃料化・浄化が困難な点と、既存技術が高温処理のエネルギー消費型な点にある。従って、これらの共通問題の解決方法を考えた。

ここで、我々は、DME（ジメチルエーテル・図7）に着目した。DMEは常温・常圧では気体、常温でも5～8気圧で液化する。液化状態では、水とも油とも混じるので、水も悪臭成分もPCBsも抽出可能である。また、DMEは煤を生じないLPG・ディーゼル代替のクリーン燃料として、中華人民共和国では2010年頃には2000万ton/年製造される計画があり、既に輸入LPGより安価に量産され始め、LPGからの切替が急速に進んでいる。環境・安全面でも、DMEは過酸化物を作らないので、日本の家庭用ヘアスプレー噴射ガスとして普及している。更に、大気中で自然分解し温室効果も無いなどの優れた特性を有する。また、DMEはバイオマス・炭層中メタン等からも製造できる¹⁵⁾。

この、クリーン燃料DMEの特性を活かして、「液化DMEを再生利用する高水分炭・下水汚泥・PCB汚染底質の常温省エネルギー脱水浄化プロセス」（以下、DMEプロセス）を考案した。

- 最も単純なエーテル
- 標準沸点は -25°C
常温でも5～8気圧程度で液化
- 過酸化物を生成せず、大気中で数十時間で分解
生体に対する毒性も無く、温室効果やオゾン層破壊の心配もない
→既に、国内ではヘアスプレー缶等の噴射ガスとして一般家庭で利用
- 中華人民共和国では、輸入LPGより安価な代替クリーン燃料として急速に生産量が増えている

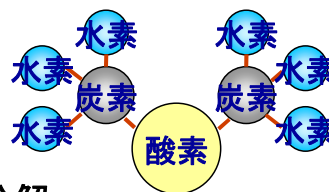


図7 DME（ジメチルエーテル）とは

2. DMEプロセスの試作機的设计・開発

本章では前述の全ての問題を解決する、DMEプロセスの基本概念、同プロセスの試作機的设计・開発について述べる。

2.1 DMEプロセスの基本概念

DMEプロセスは、電力中央研究所の基本特許¹⁶⁻¹⁸⁾を元に、電力中央研究所と月島機械が考案した応用特許¹⁹⁻²¹⁾を組み合わせた技術である。その基本概念を図8に示す。

本法では、常温・7気圧程度で、液化DMEを用いて脱水浄化した後に、常温のまま5気圧程度に減圧してDMEだけを蒸発・回収し、DMEガスを凝縮・液化して再利用する。一方で、水や親油性物質は蒸発せずに液体のまま排出される。また、DMEを二段階に蒸発させることで、液化DMEへの溶解度に上限（約8wt%）がある水を分離した後に、液化DMEと完全混合する親油性物質を分離することも可能である。

DMEプロセスでは、DMEガスの圧縮に要するエネルギーが、脱水エネルギーに相当する。脱水エネルギーは、神田らにより理論上1109kJ/kg水（UBC法の半分エネルギー）に過ぎないことが明らかにされている⁶⁾。

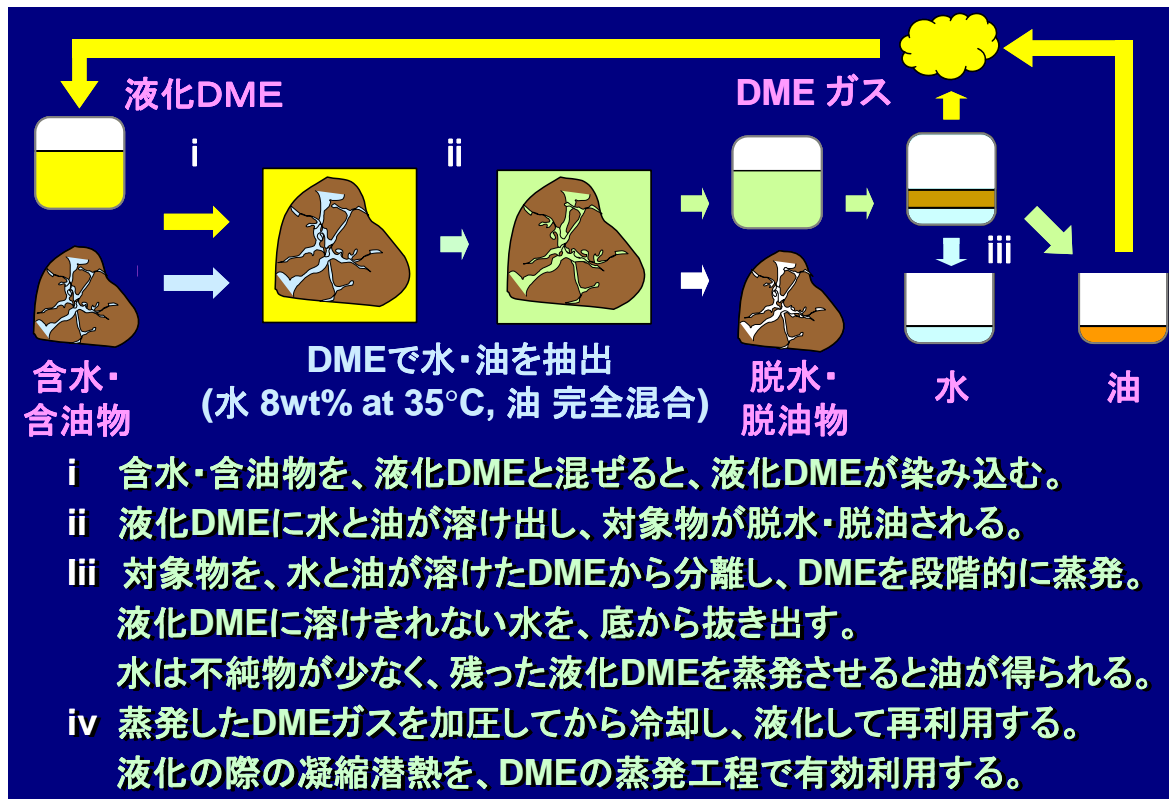


図8 DMEプロセスの基本概念

2.2 DMEプロセスの試作機的设计・開発

この DME プロセスの妥当性を実証するため、同プロセスの試作機を世界で初めて設計・開発した⁵⁾。写真1に示す試作機は、DMEガスの圧縮機、DMEを液化させる冷却器、DME貯留槽、送液ポンプ、抽出槽、フラッシュ蒸留塔から構成されている。これらは直列に連結されて、閉ループを形成している。本試作機の目的は、本技術の実現可能であることを実証するためであり、部品や操作圧力・温度などは一切最適化していない。更に、特別な機器が不要であることを実証するため、圧縮機と送液ポンプは一般的な液化LPG用レシプロ型を用いた。

圧縮機の最大送ガス量は 30Nm³/h、送液ポンプの最大送液量は 0.4m³/h（ガス体積換算 134Nm³/h）である。抽出槽は内径 15cm、長さ 57cm（容積 10L）の円筒状である。DME貯留槽には最大 150L の DME を充填できる。2つの貯留槽はバッファの役割を果たし、液化 DME による常温脱水浄化だけの試験、DME の蒸発・圧縮・凝縮による DME リサイクルの試験、DME を装置内全体を完全に一巡させる試験が各々可能である。

水分離器と凝縮器の内部は常温の水で満たされており、内径 15mm のらせん状の管が浸っている。各々のらせん管の中を DME が流れて、常温の水と熱交換することで蒸発もしくは凝縮する。

水分離器の内部には 100L の空洞容器も浸っており、らせん状の管の末端から、蒸発した DME ガスと水が、空洞容器内に噴射されてフラッシュ蒸留される。蒸発した DME ガスは圧縮機で加圧された後、冷却機で常温の水によって液化して再利用される。

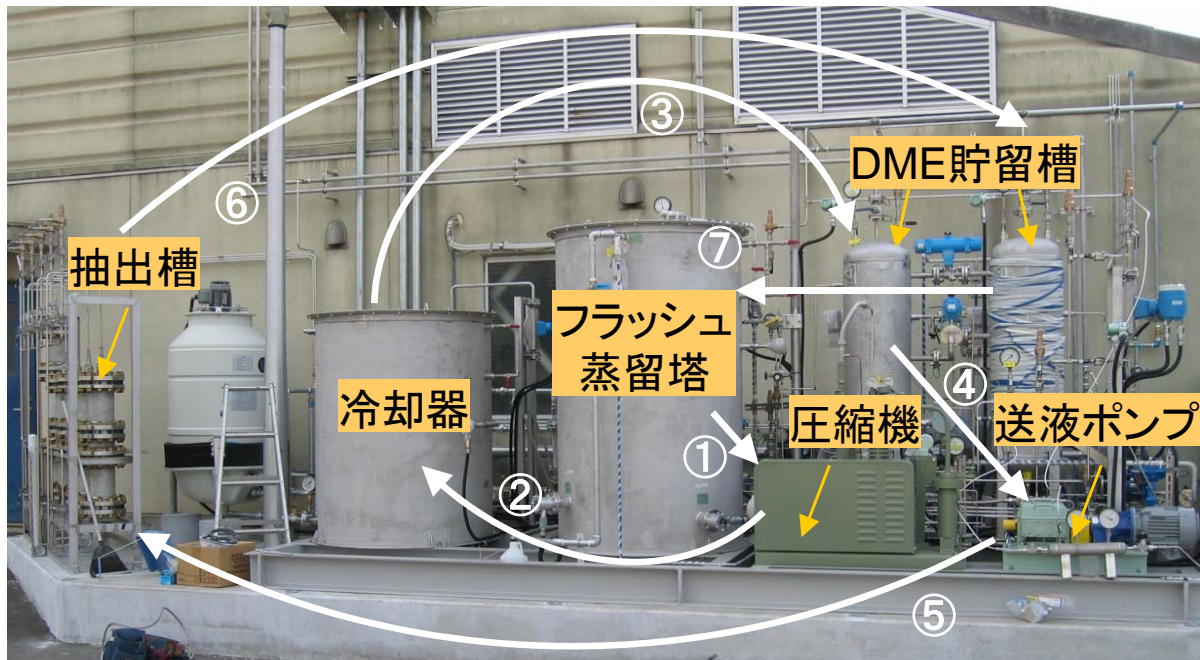


写真1 DME 常温乾燥浄化プロセス汎用試作機 (矢印と数字は DME の循環ルート) ⁹⁾

3 同試作機による高水分炭の常温脱水

同試作機を用いた高水分炭の脱水試験⁵⁾には、高水分のインドネシア産のワラ炭（粒径 4～8mm）を用いた。ワラ炭は炭化度が低いため、水分が 40.6%もあり、元素組成では水素・酸素の重量%が多い。このワラ炭を写真 1 の抽出槽に充填し、脱水試験を 6 回実施した。平均 5.02kg のワラ炭（水分量 2.04kg）に、液化 DME を 100L/h の流量で 90 分間、総量 150L 供給した。その結果、平均で 2.00kg の水分がほぼ完全に脱水された。また、圧縮機の消費動力と脱水量から、同機の脱水エネルギーを計算した結果、約 2000kJ/kg 水であり、UBC 法の理論値 2100 kJ/kg 水を下回った⁵⁾。これは、UBC 法は大型機を想定した理想値であるのに対し、同機は全く最適化されていない小型機であることから、画期的な成果である。

脱水後のワラ炭の性状を表 2 に示す。本技術により、標準的な瀝青炭レベルの 13.1%まで容易に脱水できることが判明した(表 2 黄色)。また、水分の重量を除去した絶乾ベースで比較すると、脱水試験の前後で、性状が全く変化しないことが明らかになった(表 2 水色)。また、試験後の脱水炭を、再び湿度 100%で 2 週間静置した後でも、水分は 15.3%に回復したに過ぎず、日本への海上輸送時の課題である、高湿度条件での再湿潤を抑制できることも明らかになった。

また、本技術が 1cm 近い粒状の石炭を脱水できたことは、既存技術にはない利点である。UBC 法では、石炭を粉末状にするので、輸送にはブリケット加工が必要であった。この場合、貯炭場での自然発火、発電所のミルでの爆発の懸念があったが、本技術はこれを解決するものである。

表2 DME 脱水前後のワラ炭の性状⁵⁾

測定項目	単位	DME脱水 試験前	DME脱水 試験後	DME脱水 試験前	DME脱水 試験後	
		到着ベース		絶乾ベース		
工業分析	水分	重量%	40.6	13.1	—	—
	灰分	重量%	0.5	0.6	0.6	0.6
	揮発分	重量%	42.3	44.4	52.1	51.1
	固定炭素	重量%	38.4	41.9	47.3	48.3
	燃料比	—	0.91	0.94	0.91	0.94
元素分析	炭素	重量%	55.0	58.9	67.8	67.8
	水素	重量%	4.12	4.34	5.08	5.00
	窒素	重量%	0.89	1.00	1.10	1.15
	酸素	重量%	39.5	35.1	25.3	25.2
	総硫黄	重量%	0.15	0.15	0.18	0.18
	可燃性硫黄	重量%	0.15	0.14	0.18	0.17
	不燃性硫黄	重量%	0.00	0.01	0.00	0.01
高位発熱量	cal/g	3770	5520	6400	6350	
低位発熱量	cal/g	3370	5210	6120	6080	

4 同試作機による下水汚泥の常温脱水と脱臭

同試作機を用いた、下水汚泥の脱水試験の結果を示す。写真2のような水分78重量%の下水汚泥を、同機の抽出槽に3.2kg充填し、液化DMEを流速100L/時、供給時間90分間の条件で接触させ、水分を30重量%に低減することに成功した⁹⁾。これは装置の最適化などを行わない、単純に液化DMEと下水汚泥とを接触させただけで達成できた数字であり改善の余地がある。それでも重量換算では、下水汚泥の初期水分量の88%が除去できている。

また、単に脱水性能が高いだけでなく、様々な副次的なメリットを持つことが明らかになった。まず、下水汚泥の親油性の悪臭成分がDMEで除去されて、脱水後の下水汚泥は写真3のように灰色に変色した。これにより、表3の様に下水汚泥の悪臭が大幅に低減された。これは、下水汚泥を、下水処理場からの外部に搬出して燃料化を可能にする新技術である²⁰⁾。

一方、悪臭成分は排水中に移行し、写真4の様に茶色に濁っている。この排水処理においても、更なる効果的な工夫を加えられる。下水汚泥をDMEで脱水した後、水を吸収したDMEを水と分離させるために蒸発させる過程で、液化DME内の水の濃度が高くなり、液化DME中に水が

完全に溶れない過飽和になる。この状態では、同じ液体であっても、水の相と、液体 DME の相とに分相する。悪臭の元となる脂質は水より DME に溶けやすいため、水相と DME 相を分離する事により、悪臭成分を DME 相に濃縮する一方で、水相を浄化可能になる¹⁹⁾。

更に、DME プロセスは、DME の液化と蒸発を繰り返して脱水を行うため、この液化と蒸発に要する、常温での熱交換が重要である。ここで、下水は都市廃熱の影響を強く受けるため、図 9 に示すように季節に拘わらず温度変動が小さい。大気と下水の温度差が大きい時期、つまり、年間のうち真夏と真冬に、この温度差を DME の液化と蒸発エネルギーとして利用可能になる。すると、DME の液化時の圧縮機や、DME の蒸発時の減圧の操作が不要になり、所要エネルギーが「ゼロ」に近い、究極の超高効率状態での運転が理論上可能になる^{1-4, 21)}。



写真 2 DME 脱水前の下水汚泥⁹⁾



写真 3 DME 脱水後の下水汚泥⁹⁾



写真 4 DME 脱水処理で生じた排水⁹⁾

表3 臭気成分分析結果（硫化成分および官能試験結果）⁹⁾

	単位	DME 脱水前	DME 脱水後
硫化水素	vol ppm	<0.003	<0.003
メチルメルカプタン	vol ppm	30	0.21
硫化メチル	vol ppm	0.79	0.065
二硫化メチル	vol ppm	0.43	0.35
臭気濃度	—	2,500,000	160,000
臭気指数	—	64	52

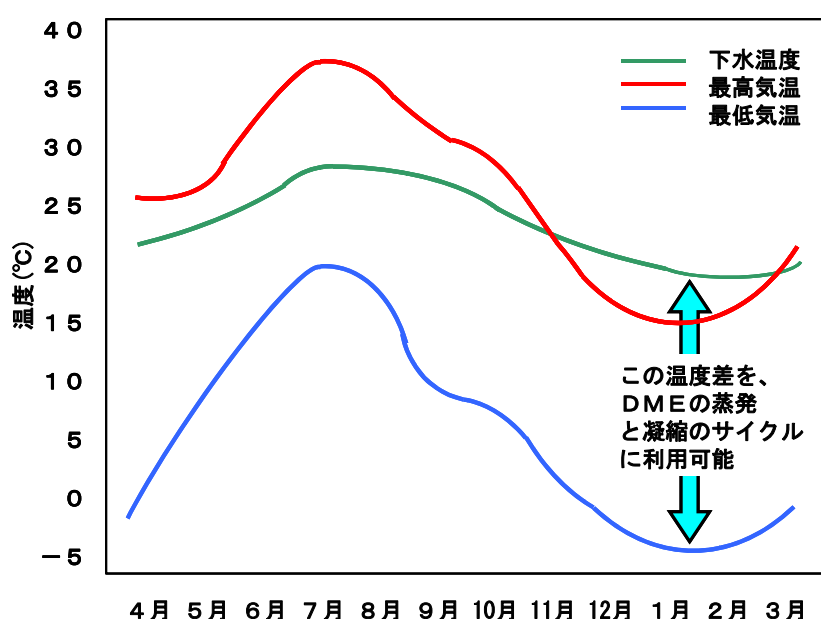


図9 下水温度と気温の季節変動と、温度差の利用の概念図^{2,2)}

5 試験管スケールの簡易装置によるPCBs汚染底質の常温脱水・PCBs除去

都市河川から採取したPCBs汚染底質を対象に、液化DMEによる汚染底質からのPCBsの除去性能を検討した^{2,3)}。毒性が強いPCBsを扱うことから安全性を重視し、高水分炭や下水汚泥で用いた試作機は用いず、試験管レベルの実験装置（写真5・図10）を用いた。中央のカラム（内径11mm、10cm³）に、直径4mmの球形（写真6）のPCBs汚染底質（含水率60.4%）を1g充填し、液化DMEを20℃・0.51MPaで、供給速度4.5mL/分に固定し、供給時間を変えて総流量30～180mLの範囲で流した。汚染底質中のPCBs濃度は8.70mg/kg-dry、ダイオキシン類濃度は630pg-TEQ/g-dryである（TEQ（毒性等量）：各ダイオキシンの毒性の強さを、重み付けして考慮した値）。PCBsは表1の環境基準濃度10mg/kg-dry未満を満たしているが、ダイオキシン類濃度は環境基準150pg-TEQ/g-dryを超えている。これはPCBsの内、ダイオキシン類にも分類されるCo-PCBsの濃度が高いためである。

液化DMEの総流量と、実験後の底質に残留した水分・PCBsの濃度を図11に示す。図11か

ら、水分とPCBsを同時に抽出することが可能であるとともに、180mL流通させた場合、水分を96.6%、PCBsを99.1%除去することに成功した。なお、液化DMEの使用量が多いが、将来実用化の際に、向流接触型の抽出槽を採用し、液化DMEとの接触状態を最適化すれば、DMEの総量を著しく削減できると考えられる。

写真7に液化DMEによる浄化前後の底質と、底質から除去されたPCBs溶液を示す。写真（左）の茶色だった底質から、液化DMEで水分とPCBsが除去され、写真（中央）のように、収縮して脱色された。また写真（右）の黄色透明の液体は、水分とPCBsが混じった水溶液である。このよ



写真5 PCB汚染底質・常温脱水浄化試験装置
 (左) DME供給槽・(中央) PCB汚染底質充填カラム・
 (右) PCB抽出液採取容器(2つ)



写真6 PCB汚染底質充填カラム拡大写真

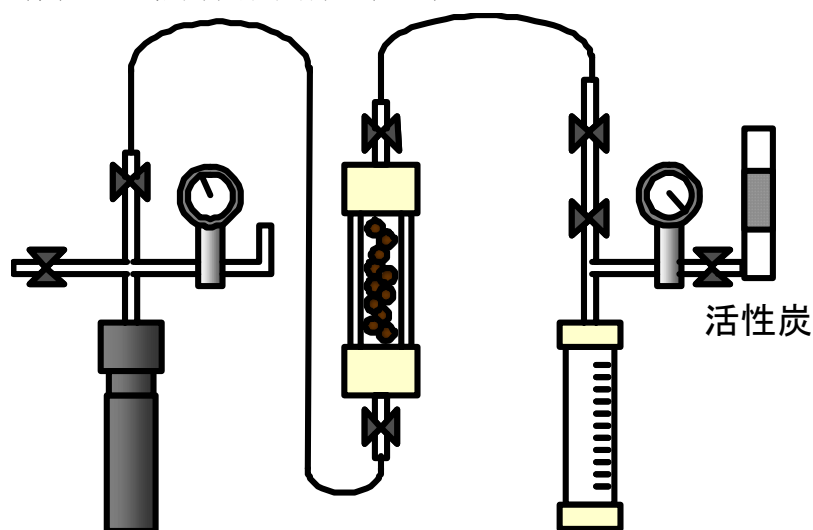


図10 PCB汚染底質・常温脱水浄化試験装置の模式図(写真5に対応)
 (左) DME供給槽・(中央) PCB汚染底質充填カラム・(右) PCB抽出液採取容器

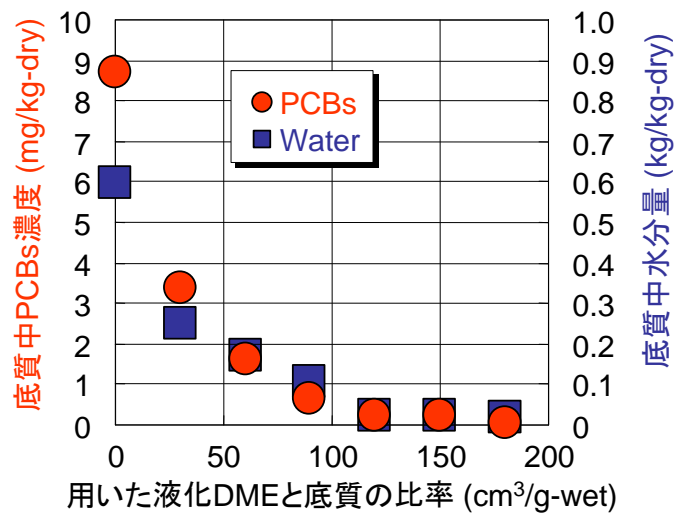


図1 1 液化DMEによるPCBs汚染底質からのPCBsと水分の抽出特性^{2,3)}

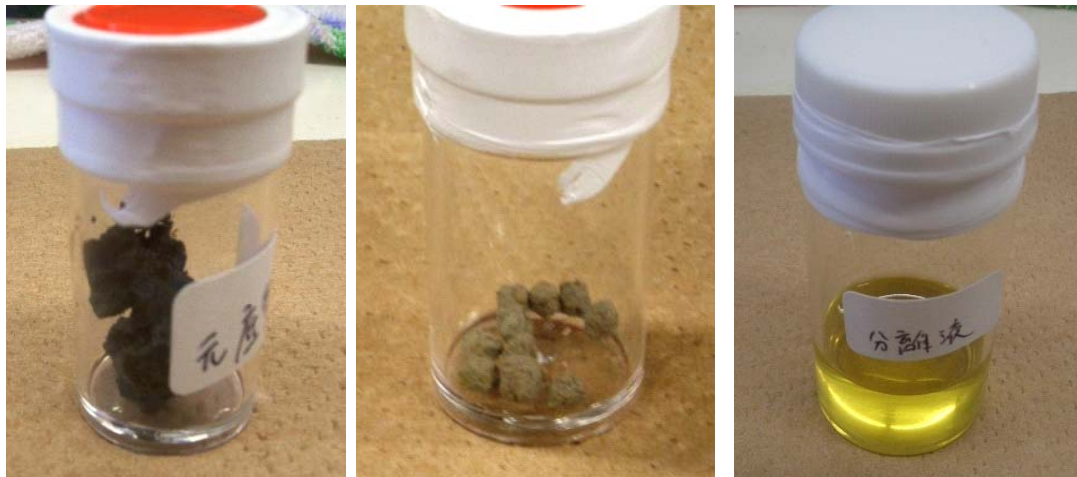
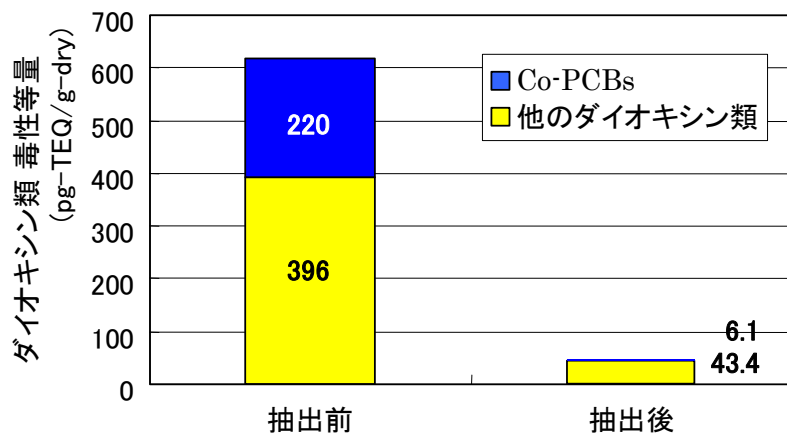


写真7 (左) PCBs汚染底質・(中央) DMEで浄化後の底質・(右) 除去されたPCBs溶液^{2,3)}



92.0%のダイオキシン類を除去
616 → 49.5 (pg-TEQ/g-dry)

図1 2 液化DMEによる汚染底質からのダイオキシン類の除去結果^{2,3)}

うに、PCBsを高濃度の液体の形で分離できたことで、その後のPCBsの分解工程が簡便になると考えられる。また使用した液化DMEは、圧力を下げることで常温で蒸発・回収され、底質やPCBs溶液に残留しなかった。また、PCBs問題が再び顕在化した原因である、ダイオキシン類の除去結果を図1 2に示す。液化DMEによって、Co-PCBsだけでなく、他のダイオキシン類も除去できた。毒性等量では全体の92.0%除去でき、環境基準150pg-TEQ/g-dryを下回ることに成功した。

このように、既存の溶媒抽出法の問題であった、底質の水分による抽出性能の低下、浄化底質への溶剤の残留を、DMEプロセスによって根本的に解決できると考えられる。

6 結言

高水分炭・下水汚泥・PCB汚染底質が、高水分であるが故に、それぞれ脱水・燃料化・浄化が困難な点と、既存技術が高温処理のエネルギー消費型である共通点に着目し、これを解決するDMEプロセスを考案・開発し、基礎試験を行った。

まず、DMEプロセスが、理論上、既存技術の半分のエネルギーで脱水可能であることが明らかにした上で、これを実証するため、小型の試作機を世界で初めて、設計・開発し、試験を実施した結果、現実に既存技術の理論値よりも省エネルギーでの脱水に成功した。

高水分炭の脱水では、粒状のまま脱水でき、既存の粉末状より安全な脱水炭を作ることに成功した。また、海上輸送の課題である再湿潤性の抑制にも成功した。

下水汚泥の脱水・脱臭では、水分30%まで脱水することに成功すると共に、悪臭成分の除去に成功した。これにより下水汚泥は臭わなくなり、下水処理場からの外部搬出が容易になる。これは、カーボンニュートラルな燃料として利用可能にするものである。また、下水熱や低レベル廃熱を熱源として、DMEを蒸発させたり、冷却して凝縮させることで、圧縮機の投入エネルギーが「ゼロ」に近い究極の超高効率運転の可能性を見いだした。

PCBs汚染底質の脱水・浄化では、既存技術の問題であった高含水状態での浄化に成功した。これにより、水分を96.6%、PCBsを99.1%除去でき、底質を浄化できた。これにより、Co-PCBsを含む底質中のダイオキシン類の濃度を、環境基準以下にすることができる。

このように、DMEプロセスは、様々な高含水物質から常温・省エネルギーで脱水できるだけでなく、高含水物質の脱臭や環境浄化など、既存技術にない応用性があることも判明した。

今後は、数年内に、最も処理量が小さい下水処理場（汚泥処分量：数ton/日）を対象に、テストプラントを建設する計画である。更に、テストプラントで得られた知見を元に、大規模下水処理場（汚泥処分量：数百ton/日）での実用化を経て、最終的には高水分炭の脱水やPCBs汚染底質の浄化（数万ton/日）にスケールアップし、世界的なCO₂排出量の大幅削減、下水汚泥のカーボンニュートラル燃料化、PCBs汚染底質の浄化を実現させたいと考える。

引用文献

- 1) **神田**、“液化DMEを水分抽出剤として利用する、超高効率・常温脱水プロセスの発明および開発”、*表面*、**45(8)**、p.14-24 (2007)
- 2) **神田**、“液化DME利用型・超高効率常温脱水プロセス”、*技術総合誌「OHM」*、**94(9)**、p.10-11

(2007)

- 3) **神田**、“液化DME利用型・超高効率常温脱水プロセスの開発”、*日本機械学会誌*、**110(11)**、p.878 (2007)
- 4) **神田**、“液化DMEを利用する常温動作・超高効率多孔質固体脱水プロセスの発明および開発”、*Adsorption News (日本吸着学会誌)*、**21(4)**、p.10–15、(2007)
- 5) **H. Kanda** and H. Makino, "Super energy-saving dewatering process for high-moisture coal using DME ", *Proceedings of The 4th Joint China/Japan Chemical Engineering Symposium*, EN-P06, (2007).
- 6) **H. Kanda**, H. Makino and M. Miyahara, "Energy-Saving Drying Technology for Porous Media Using Liquefied DME ", *Adsorption*, **14**, in press (2008)
- 7) **神田** (日本化学会名義で会見) “液化DME利用型・超高効率常温脱水プロセスの発明と開発”、*日本化学会第88春季大会・ハイライト講演・記者会見資料(約6000件の全講演から23件を選抜)*、(2008/3/19)
- 8) 日本下水道協会 <http://www.jswa.jp/>
- 9) **神田**, 牧野, **森田**, 竹上, 武田, **大下**、“下水熱と液化ジメチルエーテルを利用する脱水汚泥の省エネ乾燥技術の開発”、*第44回下水道研究発表会講演集*、II-7-4-8 (2007)
- 10) **大下**, 中島, 高岡, 松本, 武田, **神田**, 牧野、“液化ジメチルエーテルを用いた下水汚泥脱水方法の基礎検討”、*第44回下水道研究発表会講演集*、II-7-4-5 (2007)
- 11) 大阪府西大阪治水事務所正蓮寺川総合整備事業 (2007/3/20 情報取得).
http://www.pref.osaka.jp/nishiosaka/s_kouku/seibi.html
- 12) 国土交通省河川局河川環境課：底質のダイオキシン類対策技術資料集、p.12 (2007)
- 13) 細見、*廃棄物学会論文誌*、**16(2)**、p.73–83 (2005)
- 14) 江藤、*三菱重工技報*、**41(1)**、p.34–35、(2004)
- 15) 日本 DME フォーラム、*DME ハンドブック*、オーム社、pp.2–28 (2006).
- 16) **H. Kanda**, H. Shirai, "Method for removing water contained in solid in using liquefied material"、中華人民共和国特許 ZL03812777.6 (出願日 2002/6/3) (登録 2007)
- 17) **H. Kanda**, H. Shirai, "Method for removing water contained in solid in using liquefied material"、インドネシア特許ID0018953 (出願日 2002/6/3) (登録 2007)
- 18) **神田**、“液化物を用いた含油物質の脱油方法”、特開 2007-237129 (2007)
- 19) **神田**、牧野、**森田**、竹上、吉越、高橋、“含水物質の処理方法”、特願 2007-021089 (2007)
- 20) **神田**、牧野、**森田**、竹上、吉越、高橋、“下水汚泥の脱臭方法”、特願 2007-021090 (2007)
- 21) **神田**、牧野、**森田**、竹上、吉越、高橋、“含水物質の処理システム”、特願 2007-272634 (2007)
- 22) 資源のみち委員会、*資源のみちの実現にむけて 報告書(案)* (2006)
- 23) 高岡、**大下**、北出、武田、松本、森澤、**神田**、牧野、“液化ジメチルエーテルを用いた底質中PCBsの抽出に関する研究”、*土木学会・第44回環境工学研究フォーラム講演集*、B-55 (2007)