

〈一般研究課題〉 廃棄物系バイオマスとプラスチックの
地域賦存量の評価とその利用
助成研究者 中部大学 行本 正雄



廃棄物系バイオマスとプラスチックの 地域賦存量の評価とその利用

行本 正雄
(中部大学)

Evaluation and Use of Wasted Biomass and Plastic for Regional Area

Masao Yukumoto
(Chubu University)

Abstract

Chubu University received regional recognition of ESD of United Nations University in 2007. There is a eco-campus plan to collect the plastics waste of school and the city, and to manufacture a liquid fuel. These fuels are used for the dynamo and the scooter in school.

In the present study, the current state of the garbage discretion in school was investigated. In addition, the current state of Kasugai City and Aichi Prefecture was investigated on the site, and researching was done to a peripheral municipality

Waste in the university was classified into six kinds (the burning garbage, the garbage that was not able to be burnt, and the PET bottle, the aluminum can, and the steel can), and the amount of the exhaust was about 650kg per a day. There is a possibility that container wrapping plastic of about 6000 tons per a year can be collected from the investigation in Kasugai City.

The liquid fuel manufacturing model that the biomass and plastic were made a raw material was made, and calculated. The process of manufacture of the bio diesel fuel (BDF) used mixing it with light oil and use with the dynamo were investigated. The combustion examination of BDF that a micro dynamo was able to do with waste food oil made for trial purposes was done, and a result 50% compared with the mixture excellent was obtained.

The achievement of the eco-campus plan in Chubu University will become possible from our result of reviews.

1. 研究目的

中部大学では、2007年に国連大学の地域認定を受けて、持続可能な開発／発展のための教育（ESD）活動に取り組んでおり、その一つにエネルギーキャンパス構想がある。例えば、大学構内や地元自治体で分別回収された廃棄物系バイオマスや容器包装プラスチックからバイオエタノール、BDF（バイオディーゼル油）、DME（ジメチルエーテル）などの燃料を製造し、学内での自家発電やパトロール用スクータ燃料として利用する試みが計画されている¹⁾⁵⁾。

従来、合成燃料はガソリン、軽油などの輸送用液体燃料代替に限られていたが、DMEはLPGと同様に民生用、輸送用、発電用と幅広い利用が可能である。特に輸送用については、DMEはセタン価が55～60と高いことから、ディーゼル燃料としての利用が期待されている。含酸素燃料であることから煤が生成せず、硫黄分がなく、窒素酸化物も少ないことから軽油に比べ排気ガスが格段にクリーンになることが報告されている²¹⁾⁻²⁵⁾。BDFは廃食油により製造でき、地元春日井市³⁾では清掃車の燃料にも利用されており、地域の二酸化炭素削減に貢献している。

そこで、本研究では、中部大学学内のごみステーションの現状調査を行い、加えて春日井市を中心とした地域の廃棄物系バイオマスと容器包装プラスチックの排出量を調査し、これらを原料とする有効利用（例えばDME、BDFなどの燃料）について提案する。

2. 廃棄物系バイオマスとプラスチックの地域賦存量の評価

2.1 調査方法

(1) 中部大学

・プラスチックの調査

現在中部大学ではプラスチックを燃やせないごみとして分別収集しているため^{6),7),9),10)}、燃やせないごみを「プラマークあり」「プラマークなし（プラスチック）」「プラスチック以外」の3種類に分別し、それぞれの重量を測定してその割合を計算する。そのデータと燃やせないごみの排出量に基づき、廃プラスチック量を計算する。手順は以下に示す。

- ① 燃やせないごみを5つ選び、それぞれの袋（70ℓのごみ袋）の重量を手秤で測定する。
- ② 5つのごみ袋を開けて、「プラマークあり」「プラマークなし」「プラスチック以外」に分別する。（※ ペットボトルは、プラマークが付いてないプラスチックに分別する。）
- ③ 3種類に分別したものをそれぞれ1つの袋に集めて重量を手秤で測定する。
- ④ 5つの袋の合計重量から3種類のごみの割合を計算する。
- ⑤ ①～④の作業を2回行う。

・廃棄物系バイオマスの調査

現地調査やヒヤリングによる調査を行う。

(2) 春日井市

・プラスチックの調査

「春日井市クリーンセンター」で中部大学の廃プラスチック調査と同様の方法で調査を行う。測定は、平成20年8月20日、11月26日の2日間行う。春日井市では、45ℓの指定ごみ袋を導入している¹¹⁾。

・廃棄物系バイオマスの調査

現地調査、ヒヤリングによる調査や平成18年度愛知県林業統計、NEDO（新エネルギー・産

業技術総合開発機構)のバイオマス賦存量及び利用可能量の推計GIS (Geographic Information System) のデータを基に調査する。

(3) 愛知県

・プラスチックの調査

愛知県の各市町村ホームページ¹²⁾、「財団法人日本容器包装リサイクル協会」のデータ⁸⁾を基に容器包装プラスチックの回収状況とリサイクル状況を調査する。

・廃棄物系バイオマスの調査

平成18年度愛知県林業統計、NEDOのバイオマス賦存量及び利用可能量の推計GISのデータ⁴⁶⁾を基に間伐材、製材廃材の賦存量・利用可能量に注目して調査する。なお、平成18年度愛知県林業統計書の未利用間伐材は、単位が m^3 であったため、平均的な木の密度 $0.4t/m^3$ を用いて換算する。

2.2 調査結果

2.2.1 プラスチック

(1) 中部大学

中部大学の燃やせないごみの調査結果を表1に示す。「プラマークあり」の平均は48.6%となり、「プラマークなし」の平均は10.7%となった。燃やせないごみの特徴としては、お菓子の包装、カップ容器が多かった。

次に学内の燃やせないごみ排出量と表1を基に廃プラスチック量を計算した。表2に計算結果を示す。一日当たりのプラスチック排出量は約70kgとなり、プラスチックの占める重量割合はごみ全体の約11%となった。ただし、燃やせないごみに含まれるプラスチックの割合から求めた値であり、燃やせるごみに含まれるプラスチックを含めると若干多くなると予測される。

表1 燃やせないごみ調査結果 (測定値)

	1回目		2回目		平均(%)
	重量(kg)	割合(%)	重量(kg)	割合(%)	
プラマークあり	3.8	50.7	3.0	46.5	48.6
プラマークなし	0.9	12.0	0.6	9.3	10.7
プラスチック以外	2.8	37.3	2.9	44.2	40.7

表2 中部大学のプラスチック量 (測定値)

単位kg

	ごみの合計	燃やせないごみの合計				プラスチック以外
			プラスチックの合計			
			プラマークあり	プラマークなし		
9月28日(金)	653.15	120.10	78.79	58.37	20.42	48.88
10月2日(木)	638.55	100.20	65.73	48.70	17.03	40.78
10月7日(火)	664.85	94.30	61.86	45.83	16.03	38.38
平均	652.18	104.87	68.79	50.97	17.83	42.68

表3 春日井市のプラスチック量 (測定値)

	8月20日調査		11月28日調査		平均(%)
	1回目	2回目	1回目	2回目	
	割合(%)	割合(%)	割合(%)	割合(%)	
プラマークあり	33.3	45.2	50.8	35.0	41.0
プラマークなし	25.0	13.7	6.6	14.6	15.0
プラスチック以外	41.7	41.1	42.6	50.5	44.0

(2) 春日井市

表3に春日井市クリーンセンター調査結果を示す。4回の測定結果に基づく平均は「プラマークあり」が41%、「プラマークなし」が15%、「プラスチック以外」が44%であった。燃やせないごみ袋の中には、食品トレイが多く、分別収集対象のペットボトルや空き缶、びんも見られた。

燃やせないごみの排出量と春日井市クリーンセンター調査結果に基づき容器包装プラスチックの排出量を計算した。表4に計算結果を示す。平成19年度の計算結果では、プラマークありが6,715t、プラマークなしが2,457t、プラスチック以外が7,206tとなった。約6,700tの容器包装プラスチックが排出されていることになった。

表4 春日井市のプラスチック量（計算値）

	燃やせないごみ				プラスチック 以外
		プラスチックの合計		プラスチック 以外	
		プラマークあり	プラマークなし		
平成15年度	16,431	9,201	6,737	2,465	7,230
平成16年度	16,569	9,279	6,793	2,485	7,290
平成17年度	16,438	9,205	6,740	2,466	7,233
平成18年度	16,725	9,366	6,857	2,509	7,359
平成19年度	16,377	9,171	6,715	2,457	7,206

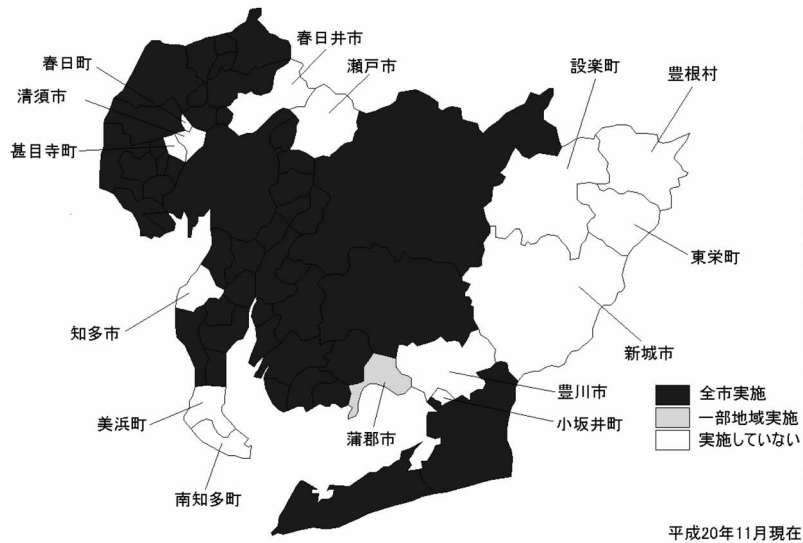


図1 愛知県の容器包装プラスチック分別収集実態

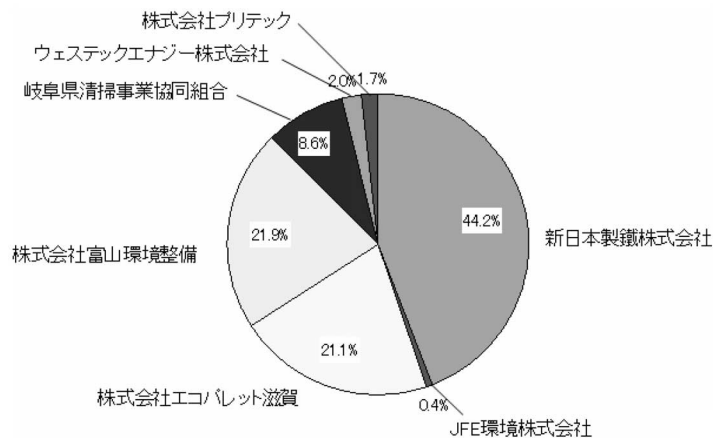


図2 業者別の再商品化割合

(3) 愛知県

図1に容器包装プラスチックの分別収集の実態を示す。平成20年11月時点で、容器包装プラスチックの分別収集を行っている市町村は、県内61市町村のうち47市町村あり、10万人以上の都市で分別収集を行っていないのは、春日井市、瀬戸市、豊川市の3市である。平成21年より開始する自治体（例 甚目寺町など）もあり、愛知県内の自治体は着実に容器包装リサイクル法に取り組んでいると考えられる。

各市町村で分別収集された容器包装プラスチックは、市町村ごとに協会の指定落札業者が引き取り、再商品化が行われている。平成20年度の容器包装リサイクル協会のデータでは、新日本製鐵株式会社へ28,142t/年、株式会社富山環境整備へ13,956t/年、株式会社エコパレット滋賀へ13,439t/年、岐阜県清掃事業協同組合へ5,481t/年、ウェステックエナジー株式会社へ1,300t/年、株式会社プリテックへ1,000t/年、JFE環境株式会社へ262t/年が再商品化されており、再商品化量を排出量とすれば年間約64,000t以上の容器包装プラスチックが排出されていると考えられる。図2に業者別の割合を示す。新日本製鐵株式会社、JFE環境株式会社では高炉原料としてケミカルリサイクルされており、その割合は約45%である。その他の企業ではマテリアルリサイクルされており、その割合は約55%である^{13)-20),26),31),39)}

2.2.2 廃棄物系バイオマス

(1) 中部大学

中部大学内の剪定枝、刈り草と落ち葉などのバイオマス系廃棄物は25号館にある施設課分室が集めており、表5にその処理について示す。学内の学生寮付近に専用の捨て場（図3）があり、堆肥化されている。落ち葉には別の捨て場があり、1号館付近（図4）にある。年間で一番多く発生するものは芝生である。

表5 剪定の処理

種類	発生頻度	処理方法	1回の作業での排出量
刈り草や枝	成長具合で変化するが、月に1~2回	大きいものは業者に任せるが、それ以外は学内に捨てる	約100kg
芝生の刈り取り	1ヶ月に3回、年に8回	学内の捨て場に捨てる	夏：200~300kg 冬：夏より少ない
落ち葉	秋に集中している	学内の捨て場に捨てる	測定不能であるが、芝生より少ない



図3 学生寮付近捨て場



図4 1号館付近捨て場

(2) 春日井市

春日井市では、剪定枝や落ち葉などを燃やせるごみとして分別しており、クリーンセンターの燃料として利用している状況である。間伐材、製材廃材の発生量は、平成18年度愛知県林業統計によると春日井市の森林率は17.5%であり、NEDOのデータでは製材廃材の発生量は202t/年となっており、間伐材と製材廃材を合わせても少ないと考えられる。

(3) 愛知県

図5に森林率、図6に未利用間伐材、図7に製材廃材の分布図を示す。森林率と間伐量では差が見られた。新城・設楽地域では、森林率に対しての間伐量が少ないことが分かる。これは間伐作業が十分に実施されておらず、放置されている地域が存在し、資源が無駄になっていると考えられる。間伐材とは反対に製材廃材は都市部に集中している。これは製材所が都市部近郊に存在するためと考えられる。しかし、製材廃材の利用可能量はNEDOによる推計⁴⁶⁾であるため、実際のものとは誤差がある。

図8と表6に廃棄物系バイオマスの分布図と賦存量を示す。愛知県北部に集中しており、間伐材の有効利用がこれからの課題となってくるだろう。

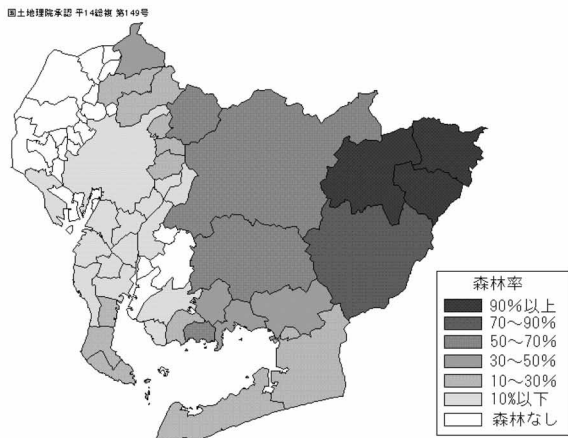


図5 森林率

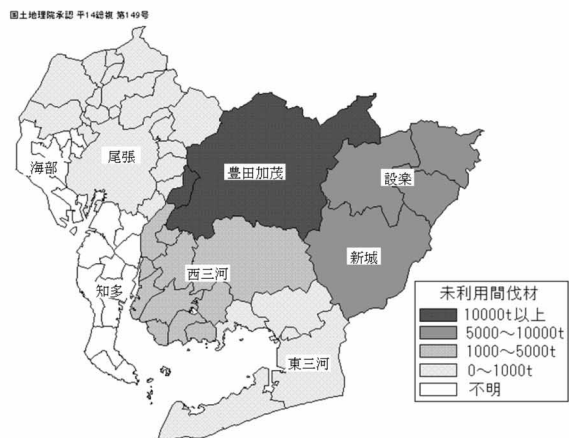


図6 間伐材

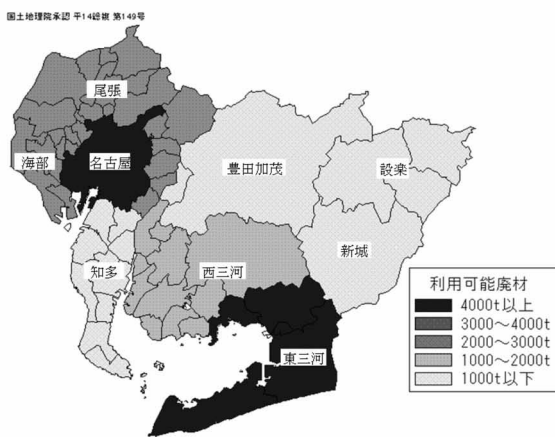


図7 製材廃材

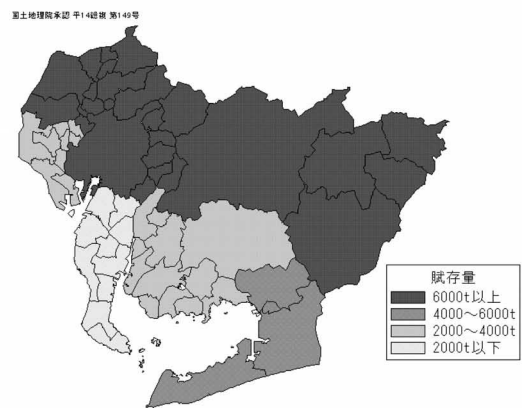


図8 廃棄物系バイオマス分布図

表6 廃棄物系バイオマス賦存量

単位 t/年

地域	市町村	森林率(%)	間伐材	製材 廃材		間伐材+ 製材廃材
					合計	
尾張	名古屋市	3.7	104	4505	2254	6863
	一宮市	-		237		
	瀬戸市	57.2		477		
	春日井市	17.5		202		
	犬山市	45.9		52		
	江南市	-		127		
	小牧市	11.0		480		
	稲沢市	-		116		
	尾張旭市	14.2		20		
	岩倉市	-		20		
	豊明市	4.9		75		
	日進市	19.3		0		
	清須市	-		82		
	北名古屋市	-		82		
	東郷町	7.6		20		
	長久手町	21.3		0		
	豊山町	-		0		
春日町	-	41				
大口町	-	214				
扶桑町	-	8				
海部	津島市	-	-	355	2985	2985
	愛西市	-		422		
	七宝町	-		20		
	美和町	-		41		
	甚目寺町	-		20		
	大治町	-		8		
	蟹江町	-		121		
	飛鳥村	-		1136		
弥富市	0.2	863				
知多	半田市	2.9	-	221	657	657
	常滑市	8.7		20		
	東海市	2.0		29		
	大府市	3.2		95		
	知多市	5.6		0		
	阿久比町	6.7		20		
	東浦町	5.5		190		
	南知多町	28.2		20		
	美浜町	24.8		41		
武豊町	10.6	20				
西三河	岡崎市	60.2	1768	245	1206	2974
	碧南市	-		41		
	刈谷市	1.0		92		
	安城市	-		26		
	西尾市	3.3		41		
	知立市	-		20		
	高浜市	-		599		
	一色町	2.5		41		
	吉良町	21.9		41		
幡豆町	54.3	20				
幸田町	43.0	41				
豊田加茂	豊田市	68.3	10465	166	206	10671
	三好町	5.3		41		
設楽	設楽町	90.8	6356	35	69	6425
	東栄町	90.8		14		
	豊根村	92.9		20		
新城	新城市	83.5	5927	389	389	6316
東三河	豊橋市	16.3	433	2306	4067	4500
	豊川市	31.0		312		
	蒲郡市	30.4		1367		
	田原市	28.5		20		
	音羽町	73.2		20		
	小坂井町	-		20		
御津町	29.9	20				

3. ガス化、合成反応、精製プロセス

3.1 計算モデル

廃棄物系バイオマス、例えば、廃木材などをガス化炉に投入する際には、まず粗粉碎機（タブグラインダなど）にて25mmアンダへ粉碎チップ化し、水分を乾燥する。次にガス化炉へ供給するために粒径D50（50%粒子）≒1～2mm程度まで粉碎し、酸素と水蒸気をガス化剤として供給する。図9に木質系バイオマスのガス化プロセスを示す。

形成された木質系バイオマスはガス化剤と共にガス化炉に供給され、800～1200℃、0.5～2.5MPaの反応条件で木質系バイオマスの一部を燃焼させながらH₂、COおよびCO₂を主成分とする合成ガスを製造する。^{27),32),34),35),40)-42),46),47)}この燃焼

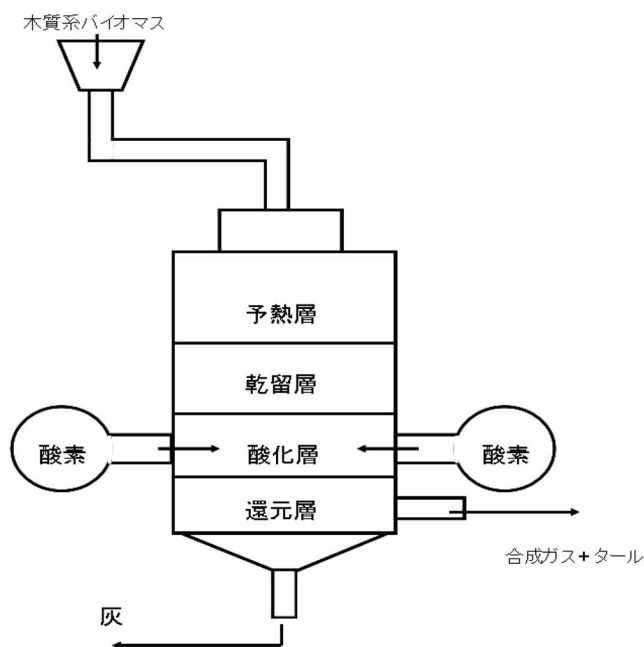


図9 木質系バイオマスガス化工程

によって発生するチャーは、ガス化剤の水蒸気が過剰かつ雰囲気温度が750℃以上の場合には水性ガス反応によりガス化し、H₂、COおよびCO₂を主成分とする合成ガスが発生する。生成したH₂、COおよびCO₂を主成分とする合成ガスはガス冷却器を通して、冷却させ、その回収熱はプロセス用の水蒸気として利用される。この水蒸気と酸素により、H₂/COの比、DME合成に適した生成ガス組成に調整するため、回収した水蒸気を利用してプラント内で発電した電力を用い、酸素を発生させる。

図10に容器包装プラスチックのガス化プロセスを示す。^{37),38)}

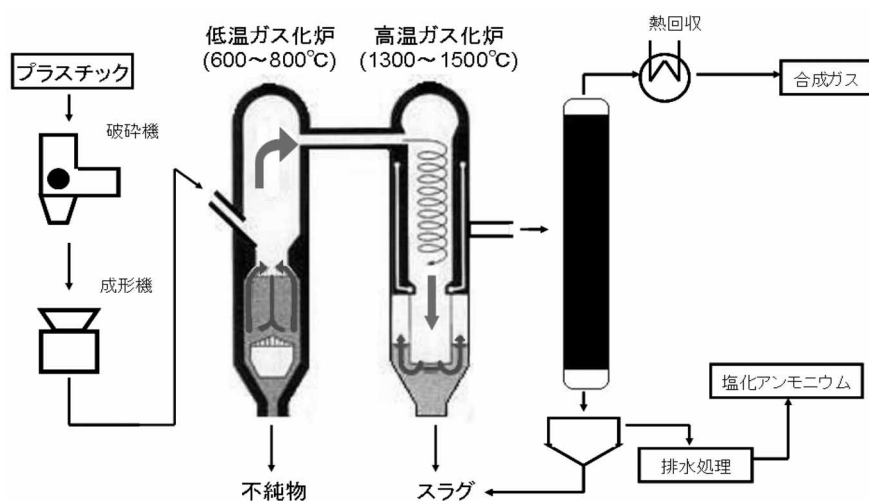
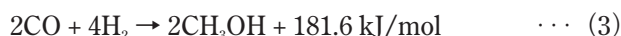


図10 容器包装プラスチックのガス化プロセス

廃プラスチックはRDF (Refuse Derived Fuel) の成形後、ロックホッパを經由して、砂を流動媒体とする流動床炉形式の「低温ガス化炉」に投入する。低温ガス化炉では、炉底部から供給される酸素と水蒸気をガス化剤として、反応温度600～800℃、反応圧力0.8～1.2MPaの反応条件で熱分解をする。低温ガス化炉の底部からは原料に含まれる金属（鉄、アルミ）等の不燃物が残渣として抜き出され、資源化される。低温ガス化炉で生成したガス、タール、チャー等は、高温ガス化炉に供給される。高温ガス化炉には、低温ガス化炉同様に酸素および水蒸気をガス化剤として供給し、反応温度1300～1500℃、反応圧力0.8～1.2MPaの反応条件で、熱分解および部分酸化され、H₂、COおよびCO₂を主成分とする合成ガスとなる。原料中の灰分は、溶融スラグとする。また改質炉内では部分酸化を主体として、供給する酸素の量を完全燃焼に必要な量の約半分に抑える。なお、2段方式にガス化炉では、炉内の発生ガスを均一化し、高温ガス化炉の下部では、発生ガスはアンモニア水を用いて急速冷却（200～140℃）し、ダイオキシンの再合成を防ぐと共に、発生ガス中に含まれる塩化水素ガス（塩化アンモニウムとして回収）や未燃炭素分とSi、Al等の不燃物除去が行われている。溶融スラグは炉底部から非連続的に回収され、セメントの原料として有効利用されている。冷却後の発生ガスは、ガス洗浄設備を通して、発生ガスの除塵、洗浄が行われるため、ガス中のタールやカーボンのような不燃物はppmでオーダーであり、ガス温度はおおよそ150℃であると報告されている。

3.2 計算方法

DME・メタノール合成の反応式と反応熱を以下に示す。⁴³⁾⁴⁵⁾



反応式 (1) はDME直接合成法の総括反応であり、H₂とCOからなる合成ガスを1つの反応器内でメタノール合成触媒と脱水触媒により反応式 (3) と反応式 (4) を同時に行なう反応である。しかし、同時に副生されるH₂Oは触媒を死活させるため、JFE方式では反応式 (5) のシフト反応を組み合わせた。この反応によって結果的にH₂/CO=1となり、DMEと同量のCO₂が生成されることになる。

反応式 (2) はDME間接合成法の総括反応であり、合成ガスを反応式 (3) でメタノールを得た後、DME反応器へ投入した後、脱水触媒を用いてDMEを製造する。この反応によって結果的にはH₂/CO=2となり、DMEと同量のH₂Oが生成されることになる。

H₂とCOを主成分とする合成ガスの組成が反応の理論比が直接合成法ではH₂/CO=1、間接合成法ではH₂/CO=2に一致した場合、平衡転化率は最大となり、反応式 (1) によるDME合成の平衡転化率の最大値は、反応式 (2)、(3) よりも高くなる。

3.3 計算結果

廃木材由来のDME合成プロセスにおいては、投入量および組成は文献値²⁷⁾³²⁾を引用し、また表7に示すガス組成を用いて、シミュレーションを行なった。

直接合成法において表7に示す原料ガスを用いてワンパスでメタノールは63[kg-mol/h]、未反

応ガスは27,004[kg-mol/h]となった。未反応ガス回収モデルでは反応式 (2) (3) (5) を経由して最終的に反応式 (1) となり、DME が2,669[kg-mol/h]製造され、副産物も水蒸気となり65[kg-mol/h]得られた。

また、容器包装プラスチック由来のDME合成プロセスでは、ワンパスでメタノールは58[kg-mol/h]、未反応ガスは880[kg-mol/h]と計算された。未反応ガス回収モデルでは反応式 (8) (9) (11) を経由して最終的に反応式 (7) となり、DME が372[kg-mol/h]製造され、副産物も水蒸気となり35[kg-mol/h]が得られた。図11にDME直接合成プロセスのシミュレーションモデルを示す。

表7 ガス組成 単位Vol%

	容リプラ	廃木材
H ₂	43.0	20.0
CO	33.0	26.0
CO ₂	24.0	37.0
CH ₄	—	17.0
H ₂ O	—	—
H ₂ /CO	1.30	0.76

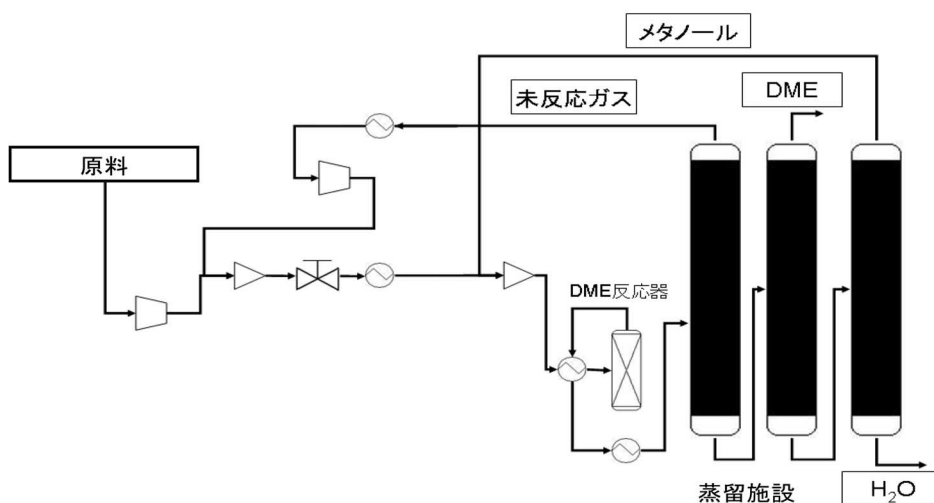


図11 DME直接合成プラントの概略フロー

3.4 システム評価

木質系バイオマスは固定床ダウンドラフト式ガス化炉を用いて、合成ガスを製造し、一方、容器包装プラスチックは二段式ガス化炉 (EUP) を用いて、水素・一酸化炭素の合成ガスを製造する。さらに合成ガスの清浄化、昇圧後、触媒反応塔において直接合成法によりDMEを製造する。本システムはPRO II (化学計算シミュレーション) プログラム³⁰⁾を用いて図11に示す最適プラントフローを設計し、所定のDME転化率、エネルギー収率を達成した。

愛知県の容器包装プラスチックと木質バイオマスの賦存量の調査結果 (2章) から、日量100tの原料を半径100km圏内で収集可能で、これらの原料からDMEは20～30t製造することができるものと推定される。

4. 合成燃料DME、BDFの燃焼評価

4.1 DMEとは

DMEは化学式 CH_3OCH_3 で表される最も簡単なエーテルで、人工的に作られる2次エネルギーである。特徴としては沸点が -25.1°C の無色の気体で、 25°C のときの飽和蒸気圧は6.1気圧で圧力をかけると容易に液化する。その性質が液化石油ガス（以下LPG）の主成分のプロパン、ブタンに類似しているため、貯蔵、ハンドリングはLPGの技術が応用できる。またマルチソース・マルチユースなエネルギーといわれ天然ガスのみならず、石炭、バイオマス、炭素と水素を供給できるものであれば原料とすることが可能で、用途についても自動車燃料の他に燃料電池用燃料、LPG代替燃料、発電用燃料と様々である。

表8に各燃料の物性値を示す。セタン価は55～60と軽油よりも高く、ディーゼルエンジンへの使用に適している。燃焼時にPMが全く発生しない、硫黄分・窒素分・芳香族を含まないという特徴も持っておりDMEは通称、クリーン燃料といわれている。

DMEの毒性はメタノールより低くLPGと同程度であり、大気中の分解時間が数十時間程度と早く、温室効果やオゾン層破壊の懸念はほとんど無い。

表8 各燃料の物性値

	軽油	BDF	DME	プロパン	ブタン
化学式	-	-	CH_3OCH_3	C_3H_8	C_4H_{10}
分子量 [g/mol]	-	-	46	44	58
液密度 [g/cm ³]	0.84	0.87	0.67	0.582	0.60
沸点 [°C]	150～350	-	-24.8	-42	-0.5
液動粘度 [m ² /s]	3.80E-06	6.03E-06	2.22E-04	2.02E-04	2.90E+04
セタン価	40～55	-	55～60	5	-
引火点 [°C]	96	184	-41.1	-102	-72
発火点(空気中) [°C]	250～260	-	350	450	405
高位発熱量 [MJ/kg]	46.49	39.57	31.7	50.4	49.5
低位発熱量 [MJ/kg]	43.26	36.77	28.9	46.4	48

4.2 BDFとは

BDFとはバイオマスを原料としたディーゼル燃料を言う。主には脂肪酸メチルエステル（FAME、Fatty Acid Methyl ester）であり、油脂の水素化脱酸素処理油、BTL（Biomass-to-Liquids）合成油も含まれる。なお、脂肪酸メチルエステルを第一世代バイオディーゼルとすると、水素化脱酸素処理油を第二世代バイオディーゼル、BTL合成油を第三世代バイオディーゼルと呼ぶこともある。BDFの原料は、大豆油、菜種油、パーム油、ひまわり油、ヤトロファ油、廃食油がある。国内生産は菜種や大豆が多く輸入量ではパーム油がほとんどであるが、菜種油や大豆油の原料のアブラナと大豆はほとんどが海外から輸入しており、国内で消費している植物油のほとんどは輸入に頼っている状況であり、欧米のように農作物から直接BDFを生産する可能性は少ないため、BDFの原料は食用油の廃食油が使用されている。

BDFの特徴は、セタン価が軽油並みで、引火点が非常に高いため安全性に優れ、事故による流出時に生分解性があるため自然環境に害が少ないことである。また燃料中に酸素を質量比で約10%含有し、さらに芳香族HCを一切含まないので、ディーゼル機関で燃焼させた場合の煤の排出量が少なく、硫黄をほとんど含まないためSO_xも軽油と比べ減少する^{33),34),42)}。

BDFは様々な油から精製可能であるが、原料の油によって組成が異なり、物性値に影響を与えてしまう。表9、表10に示すように各油脂の組成は多様で、原料によって動粘度や流動点に違いがあるなどの問題がある。

表9 原料と油脂組成

炭素数:二重結合数	脂肪酸組成(重量%)						
	C12:0 ★ ラウリン酸	C14:0 ★ ミリスチン酸	C16:0 ★ パルミチン酸	C18:0 ★ ステアリン酸	C18:1 ☆ オレイン酸	C18:2 ☆ リノール酸	C18:3 ☆ リノレン酸
菜種	-	-	4.0	1.7	58.6	21.8	10.8
大豆	-	-	10.3	3.8	24.3	52.7	7.9
ひまわり	-	-	6.7	3.7	19	69.9	0.7
とうもろこし	-	-	11.2	2.1	34.7	50.5	1.5
オリーブ	-	-	9.9	3.2	75	10.4	0.8
パーム	-	-	44.2	4.5	39.3	9.6	0.3
ココナツ	47.0	18.0	9.0	3.0	7.0	2.0	-
ジェットロファ	-	-	14.0	8.0	34.0	43.0	-
ピーナツ	-	-	11.4	4.0	41.5	34.9	0.2

<補足>表には菜種、ひまわり等植物油脂の脂肪酸組成を示す。これは代表的なものであり、栽培地や品種によって脂肪酸組成が異なる。★は飽和脂肪酸、☆は不飽和脂肪酸を意味する。暖かい地方では熱安定に優れた飽和脂肪酸の割合が増加し、涼しい地方では流動点などの低温特性に優れた不飽和脂肪酸の割合が増加する傾向がある。

表10 原料と燃料特性

燃料特性値	単位	菜種	ひまわり	大豆	パーム
密度	g/ml	0.871	0.873	0.870	0.842
動粘度	cSt	4.43	4.30	4.12	5.15
引火点	°C	178	182	186	179
流動点	°C	-13	-5	-2	12

4.3 発電機による燃焼実験

4.3.1 実験方法

実験装置は、定格電圧100V、定格出力2000Wの発電能力を有する小型ディーゼル発電機（ヤンマー製、YDG200VS）を使用する。図12にその概観写真を示す。発電機にかける負荷の違いによる排気ガス、スモーク、燃費の変化を測定する。負荷は、100W電球を10個繋げられ

るものを2セット作成し発電機に接続して1000W、2000W負荷をかける。

使用する燃料は、軽油100%、B50、B100を使用する。実験で使用したB100と混合用に使用したBDFはすべて定性濾紙で濾過を行ったものを使用する。混合燃料の作成は、軽油とBDFを同一の質量の状態で行う。

以下に測定方法を述べる。

①排気ガス

排気ガスの測定には、検知管（CO、HC、NOx）を使用する。

②スモーク

ガーゼを使用し測定を行う。ガーゼをマフラーに、30秒間当て測定を行う。測定後、スモークを採取したガーゼを図13のスモーク色判断表を使用して8人により採取したスモークの色を数値化した。その値の変化をスモークの変化として判断した。



図12 発電機の概観写真

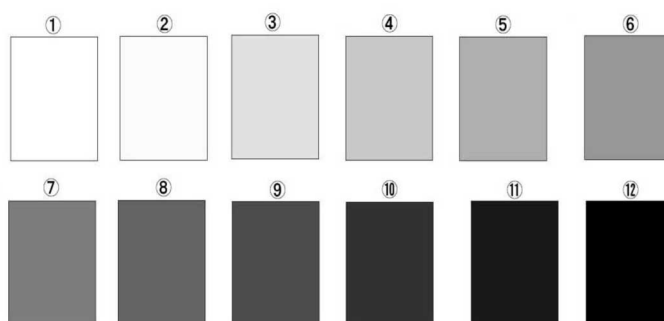


図13 スモーク色判断

③燃費

燃料供給ラインの改造を行い、燃料タンクと燃料フィルターの間にビュレットを割込ませ燃料供給の切換え用コックを取り付ける。エンジンを始動させ、純正タンクとビュレットの燃料供給ラインを切り替え、燃料（50cc）が無くなるまでの時間をストップウォッチで測定する。測定値から1ℓで何分間動作するかを下記の計算式から導き出した。

燃費（min/ℓ）＝時間（min）/投入した燃料（ℓ）

4.3.2 実験結果

1) CO

図14からB50、B100は、0～1500Wにかけて減少し、1500～2000Wでは増加している。また、軽油は、0～1000Wまで減少し、1500Wで上昇している。

2) HC、NOx

図15、図16を見ると全体的に、負荷の増大と共に排出量も増加している。

3) スモーク

図17からBDFの混合比によりスモークが減少しているのがわかる。

4) 燃費結果

図18より軽油に比べB50とB100の燃費が悪化していることがわかる。また、燃費の変動は、BDFの混合比が高くなるほど大きくなり、燃費は平均して低くなっている。

以上の結果から、BDFを使用するにあたり、BDFの性状に適したEGRや酸化触媒等の後処理技術等を取り入れることによりBDFは有効な軽油代替燃料になりうると考えられる。

また、50%混合比の燃料B50が燃費、排ガス特性とも最適であるものと考えられる。

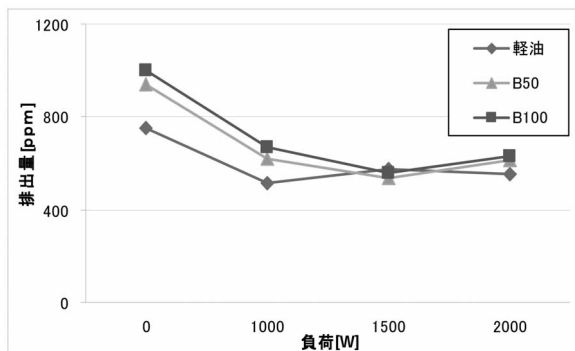


図14 CO測定値

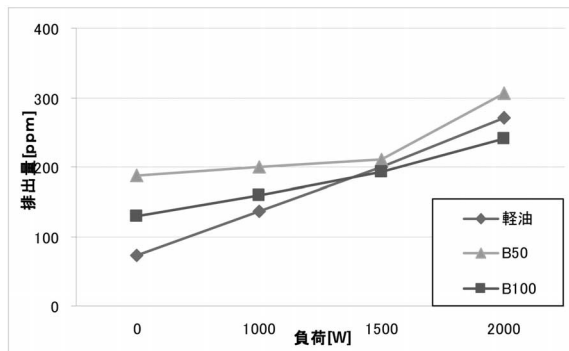


図15 HC測定値

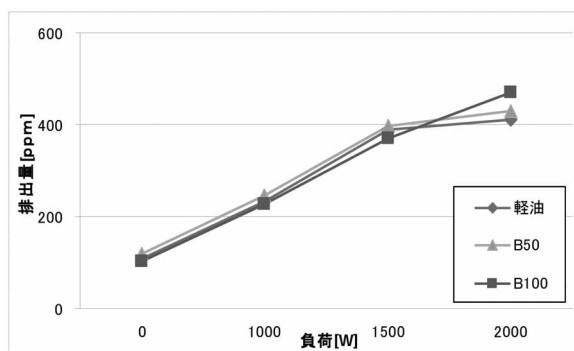


図16 NOx測定値

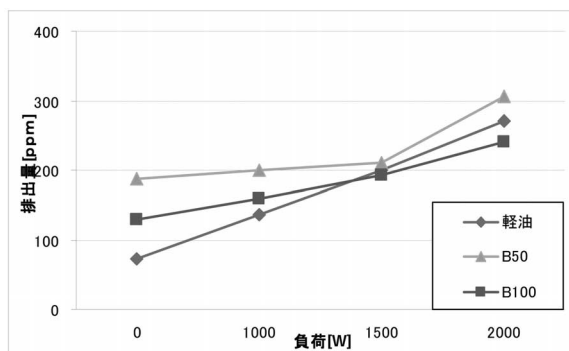


図17 スモーク測定値

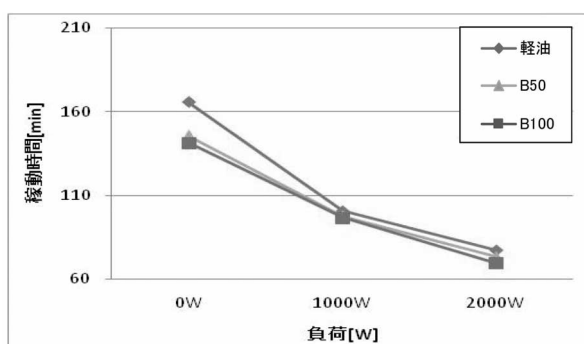


図18 燃費測定値

以上の結果から、BDFを使用するにあたり、BDFの性状に適したEGRや酸化触媒等の後処理技術等を取り入れることによりBDFは有効な軽油代替燃料になりうると考えられる。一方、燃費、CO、NOx、HC、スモークの測定結果からいずれも一長一短であり、B50の混合燃料が比較的良好であると考えられる。

4.4 混合燃料の評価

4.4.1 混合燃料作成装置

DME-BDF 混合燃料の作成に使用する耐圧容器を2種類用意した。混合燃料の作成には加圧して行うため、混合には耐圧容器を使用する。内容積66ccの耐圧容器を小型耐圧容器、内容積1,341ccの耐圧容器を大型耐圧容器とする。

装置図を図19に示す。小型耐圧容器にはガラスを用いて可視化できる圧力の調整弁を設け、安全対策を行った。直接DMEを送り込むことは危険であるため、ステンレスチューブと圧力計を固定したスタンドを製作し、使用するホースは耐圧性とDMEによる腐食を考慮しステンレス製とテフロン製を使用する。耐圧容器とスタンドはコネクタによって脱着可能にし、作業の利便性を高めた。

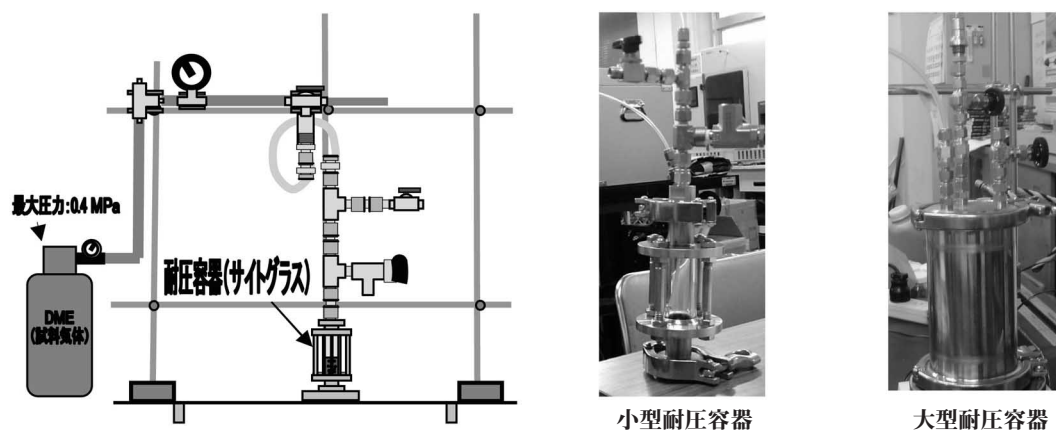


図19 混合燃料作成装置図

4.4.2 混合燃料作成方法

耐圧容器を用いてBDFにDMEをバブリングさせて実験を行う。実験方法は空の耐圧容器を電子天秤で測定し、その後BDFを耐圧容器に入れて再度測定する。耐圧容器とスタンドを接続し、室温でDMEポンベからDMEを加圧し、溶解を開始する。溶解時間は流量が2cc/minまで下がった時とした。2cc/minは0.4MPaでDMEを送り込む重量が5分間で0.1g以下となる流量である。その後、溶解終了後の耐圧容器の重量を測定する。測定回数は3回でその平均をとる。

溶解量の計算は電子天秤を使用し溶解前と溶解後の耐圧容器の重量差から求める。計算方法を以下に示す。

$$\text{DME 重量比率} \quad [\%] = \frac{\text{DME の重量}}{(\text{DME の重量} + \text{BDF の重量})} \times 100$$

4.4.3 作成結果

図20に作成結果を示す。飽和溶解量は小型容器の0.1MPaで4.25%、0.2MPaで10.38%、0.3MPaで18.39%、0.4MPaで27.58%、大型容器の0.2MPaで9.82%溶解した。飽和溶解量は圧力に比例しており、ヘンリーの法則に従っている。

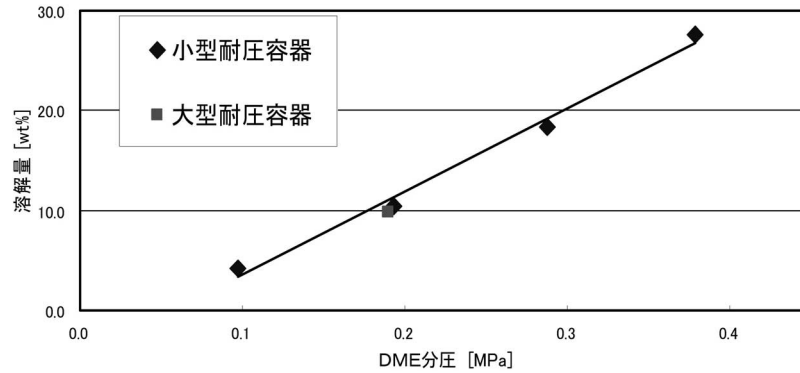


図20 各圧力のDME飽和溶解量

4.4.4 考察

容器内の気体体積が異なるためDME分圧も異なり大型容器と小型容器の飽和溶解量が若干異なっている。大型容器と小型容器でのDME分圧の計算結果を表11に示す。0.2MPaでのDME分圧は大型容器で0.1898MPa、小型容器で0.1933MPaとなり、その差は0.0035MPaとなる。この比を大型容器での飽和溶解量に換算すると、10.00%に増加することからDMEの分圧の違いを計算した。飽和溶解時間は、大型容器で403.3分となり小型容器の約16倍の時間が必要となる。また圧力が増加するにつれ1.6倍～3.7倍増加しており、仮に大型容器で0.4MPaの条件で溶解させたときには、約27時間を要することになる。

これらのことから耐圧容器の大きさにより飽和溶解量の差がなく、大型容器でDME-BDF混合燃料を作成するためには十分な時間を要することが分かった。

今後は溶解時間短縮のため装置を変更する必要がある。

表11 DME分圧と溶解時間

耐圧容器内圧力 [MPa]	小型				大型
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.2
DME 分圧 [MPa]	0.0971	0.1933	0.2877	0.3786	0.1898
溶解時間 [分]	6.7	25.0	63.3	101.7	403.3

5. 総括

1) 中部大学、春日井市、愛知県の容器包装プラスチックの排出量調査結果

中部大学の廃棄物は、燃えるごみ、燃やせないごみ、ペットボトル、アルミ缶、スチール缶の6種類に分別回収され、地元業者において、プラスチックは、RPF、ペレットにリサイクルされている。調査結果より学内一日当たりのごみの排出量は約650kgであった。燃やせないごみの約60%が廃プラスチックで構成され、一日当たり廃プラスチックの排出量を約70kgと計算した。

春日井市のプラスチックは燃やせないごみとして収集し、選別・破碎後、焼却している。クリーンセンター調査結果より、燃やせないごみに含まれる容器包装プラスチックの割合は約40%となり、年間約6,000tの容器包装プラスチックが排出されている。

愛知県の容器包装プラスチックの分別収集の実態調査から県内61市町村のうち47市町村が分別収集を行っている。分別収集された容器包装プラスチックの約45%が新日鉄名古屋コークス炉原料化されており、残りの約55%は、岐阜、富山などの地方でプラスチック製品に再商品化されている。

2) 廃棄物系バイオマスと容器包装プラスチックを原料とするDME製造の検討

化学プラントシミュレーションソフト[PRO/II]を用いて計算モデルを作成した。合成ガス製造工程では原料を改質炉に供給し、 H_2 、COおよび CO_2 からなる合成ガスを製造する。この合成ガスから直接合成法でDMEを製造するモデルを作成した。計算の結果、廃棄物系バイオマス40,400[kg-mol/h]からDME 2,645[kg-mol/h]が、容器包装プラスチック2,614.7[kg-mol/h]からDMEが331[kg-mol/h]が製造できる。

3) 廃食油由来のBDFと軽油を混合した小型発電機の運転実験結果

軽油とBDFの燃焼実験を超小型ディーゼル発電機により行い、排気ガス、スモーク、燃費の測定を行い、50%混合比での燃焼実験結果が良好であった。

参考文献

- 1) 平成10年版環境白書 (1998)
- 2) 環境省 HP <http://www.env.go.jp/>
- 3) 春日井市 HP <http://www.city.kasugai.lg.jp/index.html>
- 4) ESD-J 特定非営利活動法人 持続可能な開発のための教育の10年推進会議 HP <http://www.esd-j.org/>
- 5) 国際連合大学 HP <http://www.unu.edu/hq/japanese/index-j.htm>
- 6) 名古屋ビルサービス株式会社 HP <http://www.nagoya-bldg-service.co.jp/>
- 7) 大和興業株式会社 HP <http://www.daiwakogyo.jp/>
- 8) 財団法人日本容器包装リサイクル協会 HP <http://www.jcpra.or.jp/>
- 9) 中部大学 HP <http://www.chubu.ac.jp/>
- 10) 中部大学通信 第131号 (1999)
- 11) 春日井市のごみの現状 (2007) 春日井市環境部ごみ減量推進課
- 12) 愛知県庁 HP <http://www.pref.aichi.jp/>
- 13) 新日本製鐵株式会社 HP <http://www.nsc.co.jp/>
- 14) 株式会社富山環境 HP <http://www.tks-co.jp/>
- 15) 株式会社エコパレット滋賀 HP <http://www.ep-shiga.co.jp/>
- 16) 岐阜県清掃事業協同組合 HP <http://www.chuokai-gifu.or.jp/giseikyo/>
- 17) ウェステックエナジー株式会社 HP <http://www.wastec.co.jp/>
- 18) 株式会社プリテック HP <http://www.prtec.co.jp/>
- 19) JFE環境株式会社 HP <http://www.jfe-kankyo.co.jp/>
- 20) 新日鉄技報 第376号 コークス炉化学原料化によるプラスチックリサイクル (2002)
- 21) 大宮衛ほか3名：新クリーン燃料DME、配管技術 (2006) P25~30
- 22) 鈴木信市：新エネルギー；DME (ジメチルエーテル) はどこまで有望か？
http://oilgas-info.jogmec.go.jp/pdf/0/532/200309_001a.pdf
- 23) 大野陽太郎：DME (ジメチルエーテル) の新直接合成技術と利用技術、JFE技報No.6 (2004) P70~75
- 24) 大野陽太郎：新エネルギーDMEの実証プラント建設の構造と研究開発状況について
クリーンエネルギー Vol.13 No.7 (2004)
- 25) DMEハンドブック (オーム社)

- 26) 浅沼稔：高炉を利用した使用済みプラスチックの高効率リサイクル技術、日本エネルギー学会誌 Vol.83 No.4 (2004) P252～256
- 27) 坂志郎：木質系バイオマスからのバイオエネルギー、木材学会誌 Vol.51 No.1 (2005) P58～59
- 28) 内田浩平：間接合成法（特徴、直接合成法との比較）、日本エネルギー学会誌 Vol.84 No.4 (2005) P306～309
- 29) 内田正之：次世代エネルギーDMEの製造技術、配管技術 (2003) P28～32
- 30) 大野陽太郎：スラリー床ジメチルエーテル合成技術ならびに利用技術、日本エネルギー学会誌 Vol.82 No.5 (2003) P236～241
- 31) 大宮吉博：使用済みプラスチックのガス化技術の開発、日本エネルギー学会誌 Vol.86 No.11 (2007) P871～876
- 32) 行本正雄ほか3名：地域特性を考慮したバイオマスを用いたDME・発電ハイブリッドシステムの設計・評価、日本エネルギー学会誌 Vol.85, No.1 (2006) P58～65
- 33) 坂井正康：バイオメタノール開発と課題、ECO INDUSTRY Vol.11 No.4 (2006) P38～43
- 34) 鈴木勉：木質系バイオマスの液化とガス化—プロセス開発の現状、木材学会誌 Vol.48 No.2 (2004) P217～224
- 35) 一ノ瀬利光：バイオマスのガス化・メタノール合成一貫システムの開発、MATERIAL STAGE Vol.7 No.11 (2008) P69～72
- 36) インベンシス・シムサイ：<http://www.simsci.jp/home.shtml>
- 37) 平成14年度 廃棄物処理・リサイクルプロセスに係るライフサイクルインベントリデータターの調査業務（Ⅱ）(2003)
- 38) プラスチックの化学再資源化技術、(シーエムシー出版) P142～148
- 39) 小西武史：プラスチックのマテリアルリサイクル技術、日本エネルギー学会誌 Vol.83 No.4 (2004) P262～266
- 40) 斉賀亮宏：バイオマスの熱利用技術の展開とガス化発電技術の開発、日本燃焼学会誌 Vol.49 No.150 (2007) P221～227
- 41) 石井弘実：バイオマスの噴流床部分酸化ガス化・液体燃料合成一貫システムの開発、日本エネルギー学会誌 Vol.84, No.5 (2005) P420～425
- 42) バイオマスハンドブック (オーム社)
- 43) 大野陽太郎：クリーン燃料DMEの直接合成技術について、化学経済 (2004) P89～P93
- 44) 大野陽太郎：DME製造技術の動向、配管技術 (2003) P21～27
- 45) 小林一登：CO₂エミッションフリー石油代替燃料製造プラントとLNGプラント、三菱重工技報 Vol.41 No.4 (2004) P204～207
- 46) バイオマス資源を原料とするエネルギー変換技術に関する調査(Ⅲ)：http://www.brain-cjcoal.info/cctin-japan-files/japan/2_4A4.pdf
- 47) 社団法人プラスチック処理促進協会：プラスチック製容器包装の処理に関するエコ効果分析、(2005) P14