

# 再生可能エネルギーとしてのバイオエネルギー事業の展開 ～EU、韓国、台湾の取り組みから～



古市 徹 (ふるいち とおる)

北海道大学大学院工学研究院教授(循環計画システム研究室)

1949年生まれ。79年京都大学工学部助手、85年厚生省国立公衆衛生院に移り廃棄物計画室長を経て、94年大阪府立大学工学部助教授、97年から現職。「廃棄物計画—計画策定と住民合意」共立出版・99年、「バイオリサイクラー循環型共生社会への挑戦—」環境新聞社・06年、「バイオガスの技術とシステム」オーム社・06年、「循環型社会の廃棄物系バイオマス—利活用事業成功のためのシステム化—」環境新聞社・10年、著書・論文多数。環境省中央環境審議会臨時委員、北海道環境審議会前会長、土木学会環境システム委員会前委員長、NPO・LSCS研究協会理事長など。



石井 一英 (いしい かずへい)

北海道大学大学院工学研究院准教授(循環計画システム研究室)

1970年生まれ。97年北海道大学大学院工学研究科助手を経て、2010年から現職。北海道環境審議会委員、北海道公害審査会委員、北海道廃棄物処理施設専門委員会委員、札幌市廃棄物減量等推進審議会委員など。

## 1 はじめに

平成23年3月11日の未曾有の大震災に伴う原子力発電所(以下、原発)の事故をきっかけに、国内でも再生可能エネルギーの利用促進が注目されるようになった。特に、2012年7月からは固定価格買取制度(Feed-in tariff: FIT)が導入され、風力や太陽光による発電が促進されるようになった。しかしながら、図1に示すようにEU全体の2008年の最終消費エネルギー量に対する再生可能エネルギーが占める割合は10%<sup>1)</sup>であり、その10%のうち、バイオマスや廃棄物が56%を占めており、風力や太陽光、地熱の割合は小さい。また、ドイツの2010年のデータでは、再生可能エネルギーの占める割合は11%であり、そのうち、バイオマスや廃棄物が72%を占めている<sup>2)</sup>。すなわち、EUでは再生可能エネルギーと言えばバイオマスによるエネルギー(バイオエネルギー)が主たるものであり、また多くのバイオマスは電力利用だけでなく、熱利用や輸送燃料としても利用されることが普通である。

そこで本稿では、このようなEUでの再生可能エネルギー戦略の背景や事業の成功事例を紹介するとともに、隣国である韓国や台湾の取り組みについて述べる。なお、本稿で掲載する事例は、すべて我々が実際に視察等によって得た情報からなる。

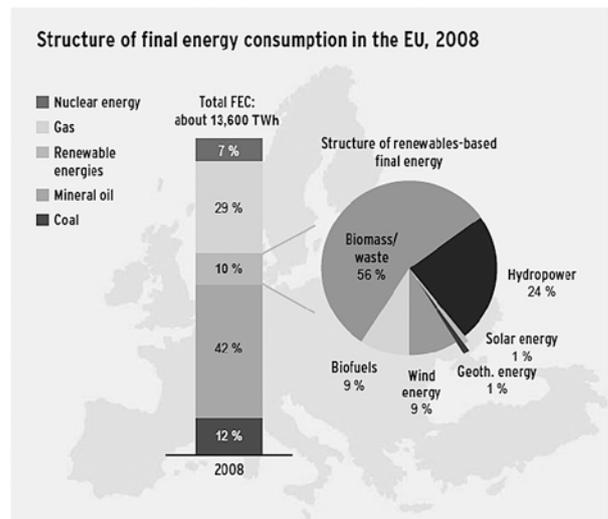


図1 EU全体での最終消費エネルギー量の内訳<sup>1)</sup>

## 2 EUでの再生可能エネルギーとバイオエネルギー

EUは、石油、ガス、石炭などのエネルギー資源の多くを輸入に頼っており、エネルギーの安定的な供給の確保が喫緊の課題となっていた<sup>3)</sup>。同時に、温暖化ガスの削減を行う必要性があったことから、二酸化炭素を排出しない再生可能エネルギーが、一つの大きな施策として注目されるようになった。次に経緯をまとめる。

1996年欧州委員会 グリーンペーパー<sup>4)</sup>

2010年に再生可能エネルギーのシェア12%の目標提示 (1996年時点は6%)

1997年地球温暖化防止京都議定書 (第3回気候変動枠組条約締約国会議、COP3)

2001年9月27日再生可能電力指令 (Directive 2001/77/EC)<sup>5)</sup>

2003年5月8日バイオ燃料指令 (Directive 2003/30/EC)<sup>6)</sup>

バイオ燃料の市場シェアの目標提示 (2005年に2%、2010年に5.75%)

2009年再生可能エネルギー促進指令 (2009/28/EC)<sup>7)</sup>

2020年にグロス最終消費エネルギー量<sup>\*</sup>に対する再生可能エネルギーの比率をEU全体で20%にするという目標提示 (表1)<sup>8)</sup>

表2に、グロス最終消費エネルギー量に対する各国の再生可能エネルギーシェアの2005年の実績値と2020年の目標値を示す<sup>2)</sup>。特に、スウェーデンは、2005年の再生可能エネルギーのシェアが39.8%と既に高く、2020年にはさらに49%にまでするとしている。

次に、2020年における再生可能エネルギーの供給源としての内訳に着目すると、表1に示す電力103.1Mtoe<sup>\*\*1</sup>のうち、風力40.6%、水力30.4%、バイオマス19.1%、太陽光8.5%、地熱0.9%、潮汐や波0.5%となっており、必ずしも太陽光の占めるシェアは大きくない。また、熱111.6Mtoeのうち、バイオマス77.6%、ヒートポンプ10.9%、太陽熱5.6%、地熱2.3%となっており、主な熱

源としてはバイオマス (特に木質) の占める割合が大きくなっている。輸送燃料32Mtoeのうち、バイオディーゼル64.8%、バイオエタノール21.7%、再生可能な電力9.5%、他のバイオ燃料2.4%となっており、EUではバイオディーゼルの割合が大きい。

つまり、EUでは今後も、バイオマスの利活用を中心

としたバイオエネルギーの導入拡大を図ることを前提に、しかも電力のみならず、熱利用や輸送燃料をバイオエネルギーへ転換していくことを、総合的な戦略として進めていくものとうかがわれる。

表1 再生可能エネルギーの利用の目標値設定<sup>\*\*9)</sup>

	Total gross final energy consumption in 2020		Renewable energy in 2020		
	Reference scenario	Efficiency scenario	Mtoe	Share**	Share***
	Mtoe	Mtoe		%	%
Electricity	329	304	103.1	31.3%	33.9%
Heating and cooling	581	520	111.6	19.2%	21.5%
Transport	349	312	32	9.2%	10.3%
Total*	1317	1189	244.5	18.6%	20.6%

\*グロス最終消費エネルギー量であり、発電所等での自家利用や送電等によるロスを含めているので合計値は一致しない。

\*\*Reference scenarioにおける再生可能エネルギーのシェア

\*\*\*Efficiency scenarioにおける再生可能エネルギーのシェア

※ グロス最終消費エネルギー量：最終消費エネルギーに、発電所等での自家利用分と送電によるエネルギーロス分を加えたものを言う。

※※ 現状シナリオ (Reference scenario) では、18.6%と目標値は満足しない。効率向上対策と省エネ対策を講じることによりグロス最終消費エネルギー量を10%削減する効率シナリオ (Efficiency scenario) を前提に目標値は設定されている。

表2 各国の再生可能エネルギーの2020年の目標値<sup>1)</sup>

	Share of RE in total gross FEC 2005 [%]	Target 2020 [%]		Share of RE in total gross FEC 2005 [%]	Target 2020 [%]
Sweden	39.8	49	Italy	5.2	17
Latvia	32.6	40	Ireland	3.1	16
Finland	28.5	38	Bulgaria	9.4	16
Austria	23.3	34	UK	1.3	15
Portugal	20.5	31	Poland	7.2	15
Denmark	17.0	30	Slovakia	6.7	14
Slovakia	16.0	25	Netherlands	2.4	14
Estonia	18.0	25	Cyprus	2.9	13
Romania	17.8	24	Hungary	4.3	13
Lithuania	15.0	23	Czech. Rep.	6.1	13
France	10.3	23	Belgium	2.2	13
Spain	8.7	20	Luxembourg	0.9	11
Greece	6.9	18	Malta	0.0	10
Germany	5.8	18	EU-27	8.5	20

※1 Mtoe (Million tons of oil equivalent)  
石油換算トン。石油100万トンのエネルギー量。

### 3 EUでのバイオエネルギー事業の事例

#### 3-1 ドイツ

##### (1) ユンデ村のバイオシステム

ドイツユンデ村は、世界で初めてバイオエネルギーのみでエネルギー供給することを試みた村として有名である。人口750人、世帯数210世帯、農家数10件（牛400頭）、農地面積は約1,300ha（うち、資源作物栽培300ha）の寒冷地域に存在する村である。2001年秋からゲッチングン大学の提案を受けたユンデ村は、国とEUの両方からの補助制度を活用し計画策

定を開始した。2005年からプラント建設を開始するが、建設コストは、国（連邦政府）や州、郡からの補助と銀行借入れのみならず、契約世帯からの出資でまかなわれているのが特徴である。2011年5月時点では210世帯のうち、145世帯が出資しエネルギー利用契約を結んでいる。2005年9月には、木質チップボイラーが稼働し、2006年冬にはバイオガスプラントの本格稼働が開始した。

図2に、ユンデ村のバイオエネルギー利用システムの概略を示す。牛ふんおよびコーン（サイレージ）のメタン発酵（図3）によって得られたバイオガスからCHP\*2により電気と熱を回収し、電気は電力会社に全量売却される。村に必要な電気量の2倍の発電量がある。

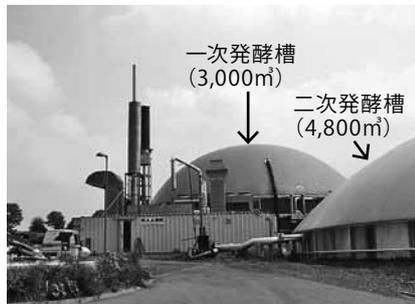


図3 ユンデ村バイオガスプラント

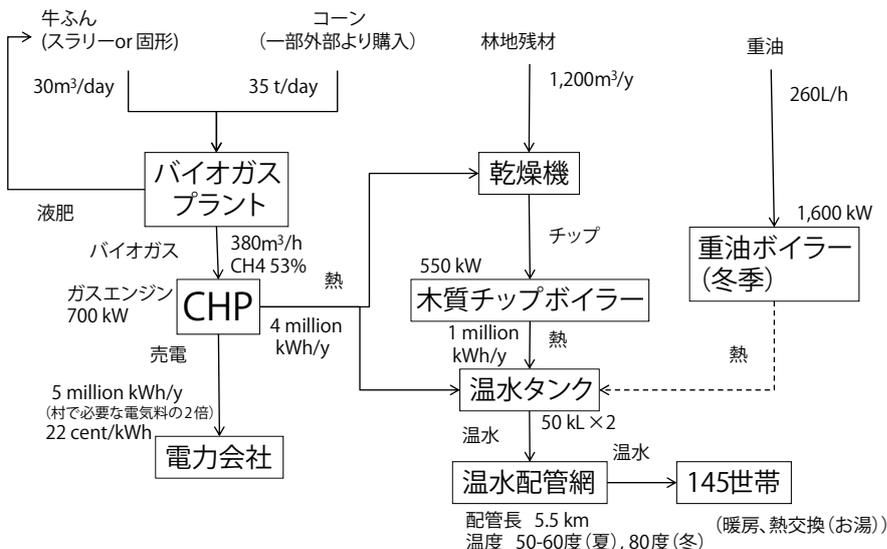


図2 ユンデ村のバイオエネルギー利用システム

一方、熱は、林地残材の乾燥に一部用いられるほか、チップボイラーによって得られた熱と一緒に、温水配管網を通して契約世帯に温水として供給されている。各戸では、直接暖房に利用したり、熱交換によって水道を暖め、シャワー等に使っている。また、寒冷地域であるため、厳冬期には熱供給が困難になる時期がある。そのため、重油ボイラーを補完システムとして用意している。このようなユンデ村の成功事例に基づき、隣村のバーリセン村のほか、他の地域にも同様のシステムが拡大しつつある。

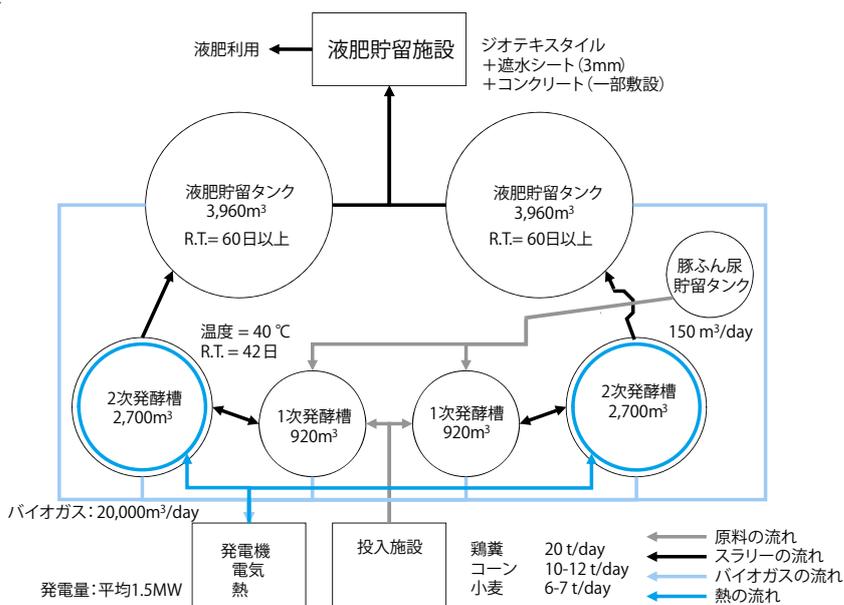


図4 メーセドルフバイオガスプラントの概略

\*2 CHP (Combined Heat & Power) 熱電併給システム。コージェネレーション(Cogeneration)とも呼ばれている。

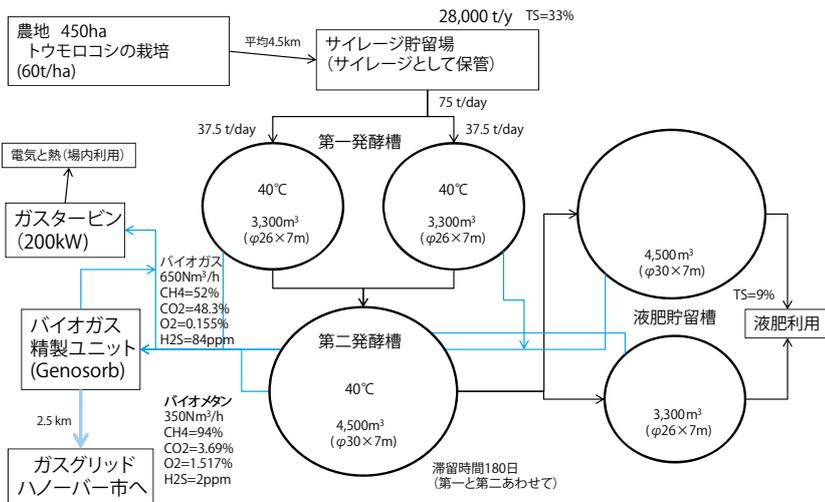


図5 BiRo社バイオガスプラントの概略



図6 バイオガス精製ユニット

(2) メーセドルフのバイオガスプラント

ワイマール市近郊の農業地帯であるメーセドルフでは、いわゆるドイツで最も典型的なバイオガスプラントを視察することができた。豚3,000頭を飼養している事業者は、豚ふん (150m³/day:自家排出)、鶏ふん (20 t/day : 輸送費のみ負担)、コーン (10~12 t/day : 購入)、小麦 (6~7 t/day : 購入) から得られたバイオガス (20,000m³/day) から電気と熱を回収し、すべて売電している。2006年当時で、14.5セントユーロ/kwhで売電し、施設の運転に必要な電気は9.6セントユーロ/kwhで購入していた。発酵残渣<sup>※3</sup>である液肥は近隣農家に販売している。このようにドイツでは、自家で排出する家畜ふん尿を用いたバイオガスプラントに、売電を増やすために他の資源作物などのバイオマスを購入して混合発酵する方式が広く普及している。

(3) BiRo社 (ハノーバー市近郊のローネンベルグ市)

2005年、価格変動の大きい穀物栽培を継続することに対する不安から、将来の安定的収入確保と、2006年に買取価格が高く設定されることを見越して、5軒の農家が集まり、資源作物の

みを用いたエネルギー事業を行うことを決断した (5軒合わせた農地面積750haのうち、450haでコーンを栽培)。2007年建設開始、2008年3月から本格稼働開始している。図5に、バイオガスプラントの概略を示す。本施設の特徴は、バイオガス (メタン濃度約52%) を、バイオガス精製ユニット (図6) にて精製 (二酸化炭素を除去) し、メタン濃度90%以上のバイオメタンとして、ハノーバー市へ通ずる天然ガス配管網 (ガスグリッド) に導入している点である。また、余剰バイオガスを利用した電気・熱回収も行っている。

(4) ALBA社 (ハノーバー市近郊のヴァータビュッテ市)

近郊のブラウンシュヴァイク市の一般廃棄物である生ごみと庭ごみ (40t/day (冬) ~120t/day (夏)) を受け入れている民間会社運営の乾式バイオガス化施設

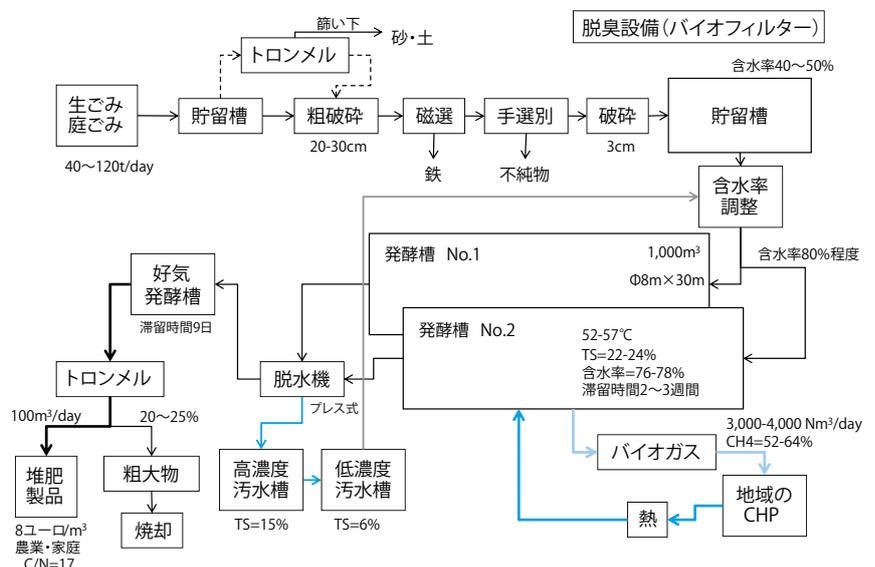


図7 ALBA社バイオガスプラントの概略

※3 残渣  
残りがず。

である。図7に示すように、受け入れられた生ごみと庭ごみは、破碎・選別工程を経て、含水率調整後、高温乾式横型のリアクターに投入され、残渣は脱水後、好気発酵・トロンメルを経て堆肥製品として出荷されている。トロンメルから排出される夾雑物<sup>※4</sup>(粗大物)は、以前は埋立処理されていたが、現在は焼却処理されている。このプラントの特徴は、エネルギー回収を主目的とし、メタン発酵-好気発酵の組み合わせで、生ごみと庭ごみを処理している点にある。

### 3-2 オーストリア

ウィーンに近郊にある民間会社KOMPTECH社が運営するバイオガスプラントでは、家庭生ごみとスーパーからの食品廃棄物を年間18,000t受入れている。CHPにより得られた電気は売電され(11セントユーロ/kwh、ちなみに買電は5セントユーロ/kwh)、熱は施設利用している。残渣は堆肥として販売されている。図8に示すように、本施設の特徴は、受け入れた生ごみ等を粉碎後、湿式篩(図9)にて固液分離した後、その液状物のみをメタン発酵するところにある。そして、固形分は夾雑物を取り除かれた後に堆肥化される。

### 3-3 フィンランド

#### (1) ケルバ市のCHPプラント

フィンランドには、木質バイオマス等を燃料として利用している地域分散型のCHPプラントが多くあり、地域に電気と熱を供給している。ケルバ市のCHP

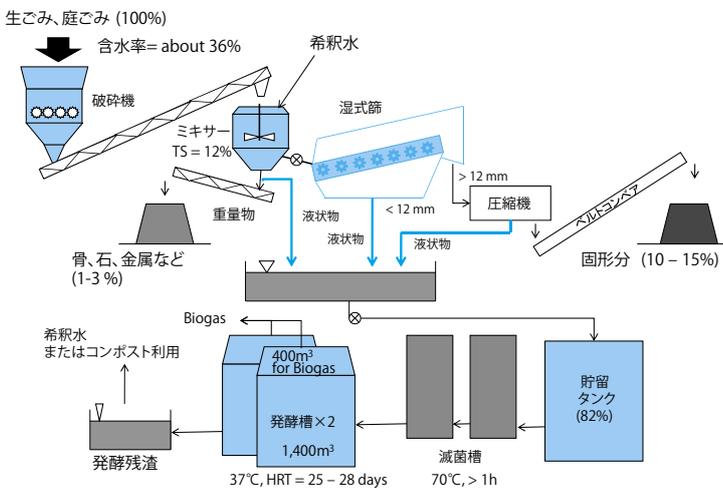


図8 KOMPTECH社バイオガスプラントの概略

※4 夾雑物  
あるものの中に混じっている余計なもの。



図10 ケルバ市のCHPプラント外観

プラント(図10)では、木質チップ、林地残材(100km圏内から収集)、おがくず、バーク、ピートといった複数のバイオマスを受入れ、熱300GWh、電気120GWhの供給実績がある。このように、元々重油を燃料として存在していた地域エネルギープラントにおいて、バイオマス燃料への転換が近年、加速化している。

#### (2) カルマリ牧場でのバイオメタンの自動車利用

フィンランドでは、バイオガスの自動車利用も進んでいる。80頭の牛を飼養するカルマリ牧場では、牛ふん(2000t/y)、近隣お菓子工場の食品廃棄物(200t/y)、と畜場の廃水汚泥(600t/y)を受入れ、得られたバイオガスをバイオメタンに精製し、年間200台分の自動車燃料を供給している(図11)。発酵残渣は、70haある自家草地へ全量散布している。



図11 バイオメタン供給ステーション



図9 湿式篩の外観

### 3-4 スウェーデン

スウェーデンは、温暖化防止の観点から、輸送燃料のバイオ燃料への転換が進んでいる。図12のように、下水汚泥と最終処分場からのバイオガスが主にバイオメタンに精製され、自動車利用されている。今後は、処分場からのバイオガスの割合は減少し、未だバイオガスプラントの導入が進んでいない食品廃棄物や牛ふんの割合が増える<sup>10)</sup>。また、図13に示すように、スウェーデンでのバイオガス利用は、熱と自動車利用で約88%であり、ドイツのように発電されている割合は4.1%と少ない。現在バイオガスを利用する自動車は、全車両数の1%に相当する40,000台にも増加した<sup>10)</sup>。



図14 韓国の東大門資源化施設の模式図

#### Production of biogas

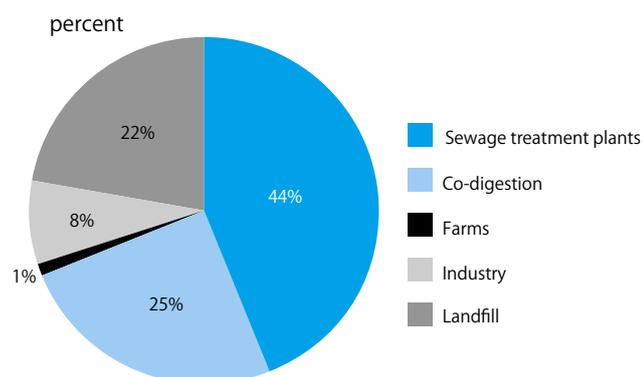


図12 スウェーデンでのバイオガス発生量の内訳<sup>10)</sup>

#### Utilisation of biogas

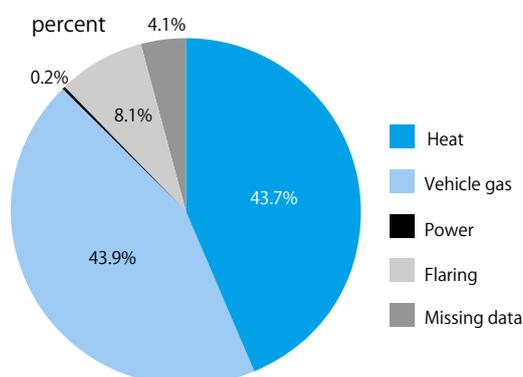


図13 スウェーデンでのバイオガス利用用途<sup>10)</sup>

## 4 韓国・台湾での取り組み

### 4-1 韓国の生ごみ分別回収

韓国では、1996年時点での生ごみの埋立処分は約93%であったが、最終処分場での悪臭問題をきっかけに、1997年7月に廃棄物管理法の施行令が改正され、2005年1月1日から全国の市レベル以上で発生する生ごみの直接埋立てが禁止された。これにより生ごみの分別収集と資源化が義務付けられ、生ごみの埋立処分は約2%まで減少し、逆に資源化は約95%までに増加した。集められた生ごみの資源化方法として、最近バイオガス化が進められている。図14はソウル東大門区（人口約37万人）から排出される生ごみ（実質生ごみ受入量85~90t/day）を乾式、中温発酵方式でメタンガスを回収しているバイオガスプラントの模式図を示している。この施設の特徴は、資源化の施設が都市中心部にあり、しかも全ての施設が地下に作られていることである。建設前の段階から悪臭問題や地価の低下などのおそれから住民から強い反発を受けた（100回以上の反対集会）が、40回以上の住民代表との面談や住民説明会を通して、悪臭問題を中心とした18項目に対する住民との要求事項に合意し、2011年から運転を開始している。

### 4-2 台湾の生ごみ分別回収

台湾は、土地が狭いので1990年代から一般ごみの焼却処分がごみ処理の中心となっており、一般ごみの焼却率は1990年に1%であったが、2010年には95.5%まで上昇した<sup>11)</sup>。しかし、生ごみを一緒に焼却することで、



図15 台湾のごみ収集の様子

エネルギー効率が悪く不完全燃焼の一因となることから、住民団体や専門家により生ごみを焼却施設から取り除くように強く指摘され、「廃棄物清理工法」の改正（2005年）により、生ごみ分別収集が義務化された。これより、

それまで焼却されてきた生ごみは、分別収集され資源化されている（図15のように、一定の時間にごみ収集が来ると、住民は直接生ごみを収集スタッフに手渡す仕組みが採用されている）。また、2007年からは直接埋立も禁止されている。

収集された生ごみは、現在、飼料化（72.1%）が中心となっているが、バイオマスによる地域循環型エネルギーシステムの構築のために、近年、生ごみのバイオガス化の実証実験にも積極的に取り組んでいる。

## 5 おわりに

国内では、再生可能エネルギーといえば、太陽光・風力・地熱・バイオマスと続くが、EUをはじめとする他の国では、バイオマス・水力・風力と続き、太陽光の順位は低い。このような認識に立って見ると、EUでは、再生可能エネルギーを推進するために、電気、熱、輸送燃料のすべてにおいて総合的な施策（支援制度を含む）が展開されているのに対して、国内では電力の固定価格買取制度がスタートしたばかりであり、まだ熱利用や輸送燃料も含めた推進制度にはなっていない。太陽光や風力と異なりバイオマスは、電気のみならず、熱や輸送燃料として使える唯一の再生可能エネルギー源であるとの認識に立って、そして地域特性に応じた、そして何よりも地域振興につながるバイオマスのエネルギー利用が国内で展開されるべきである。

また、本研究室が中心となって2012年10月から新たに

北海道大学大学院工学研究院に、寄附講座エコセーフエナジー分野を立ち上げ、バイオエネルギー事業展開のための研究を行うことになった。市民の力、市民の選択が重要となる時代において、安全で環境に優しいエネルギーを、市民協力を得ながら、確保するための研究展開を行っていく予定である。東日本大震災と原発事故の影響により、市民の環境・エネルギーに対する意識が変化し、再生可能エネルギーの事業化への要望が高まってきていると言える。

### 参考文献

- 1) Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety: Renewable Energy Sources in Figures, National and International Development, 2010
- 2) Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety: Development of renewable energy sources in Germany 2010, Graphics and tables version 23th March, 2011
- 3) Federal Environment Ministry of German (2000) : Act on Granting Priority to Renewable Energy Sources (Renewable Energy Sources Act), <http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/res-act.pdf>
- 4) 大島堅一（2006）：EUにおける再生可能電力指令策定の経緯と意義，立命館国際研究，pp.19-1.
- 5) DIRECTIVE 2001/77/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 27 September 2001 on the promotion of electricity produced from renewable energy sources in the internal electricity market
- 6) DIRECTIVE 2003/30/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 8 May 2003 on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport
- 7) DIRECTIVE 2009/28/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC
- 8) JETRO：EU加盟国の再生可能エネルギー国別行動計画による2020年目標に向けた見通し，ユーロトレンド，2011
- 9) L.W.M. Beurskens and M. Hekkenberg: Renewable Energy Projections as Published in the National Renewable Energy Action Plans of the European Member States covering all 27 EU Member states, European Environment Agency, 2011
- 10) スウェーデンガス協会ヒアリング、あるいは提供資料，2012.3
- 11) 台湾環境保護署HP、廃棄物管理統計，2012