

## 2. 我が国におけるバイオマス資源の利用可能性

### (1) バイオマス資源の燃料電池への活用の意義

バイオマス資源（再生可能資源である生物系バイオマス資源）は、カーボンニュートラルという特性を持つことから、化石燃料の代替として利用することで二酸化炭素の排出を削減することができる。我が国は、国内生産の他に食料や飼料の形で大量のバイオマス資源を輸入しており、利用した残りの大半は廃棄物として焼却処分されるか、あるいは水質汚濁負荷として公共用水域に排出されている。これらをエネルギーや製品として有効利用すれば、有限な化石資源の消費削減、余剰に導入されているバイオマス資源の焼却処理量削減、水域への環境負荷低減につながり、持続可能な循環型社会を実現することにもつながる。2002年12月に閣議決定されたバイオマス・ニッポン総合戦略では、バイオマス資源について、直接燃焼、炭化、メタン発酵、エタノール発酵等によるエネルギー利用、あるいは堆肥化、生分解性素材等による製品利用等、様々な形での活用の方向性を示している。

一方、燃料電池においては、化石燃料起源の水素でも高効率発電を達成できるが、将来的には可能な限り再生可能資源からの水素を活用していくことが望ましい。国内に存在するバイオマス資源からの水素製造・供給は、そのシステムの構築の仕方によっては、化石燃料起源の水素供給システムよりさらに優れた総合効率、二酸化炭素削減効果を実現する可能性がある。また、バイオマス資源から得られるメタンガスを直接燃焼させて熱に変換するのではなく、メタンガスや燃焼ガスから水素を取り出し、高い効率で需要サイドが利用しやすい電気に変換できるという点においても、燃料電池とバイオマス資源の組合せは有望である。今後、燃料電池への水素供給の一手段としてバイオマス資源を活用していくこと、また、その第1ステップとしてバイオマス資源をバイオガス、バイオエタノール、メタノール等の多様な形でエネルギー利用していくことは、バイオマス資源による水素供給への道筋をつけていく上で非常に重要となる。

### (2) 活用可能なバイオマス資源の概要

#### 1) 日本における化石燃料及びバイオマス資源の導入量

日本における化石燃料及びバイオマス資源の導入量は、化石燃料として輸入及び国内調達される資源が約4.8億tある一方で、バイオマス資源やそれらの製品として輸入及び国内調達される資源が約2.1億tある（1997年度現在）。このうち、輸入されるバイオマス資源約1.1億tは、バイオマス資源総量約2.1億tの5割程度に相当し、また、化石燃料とバイオマス資源の量を同等に比較する

ことはできないが、バイオマス資源の輸入量は化石燃料の輸入量のおよそ2割以上に相当する量となっている。

表 2-1 日本の炭素資源の導入量 (1997 年度)<sup>12</sup> 単位: kt

		輸入	国内調達	合計	固形分
化石燃料	石炭	135,021	4,928	139,949	
	原油及び粗油	233,433	733	234,166	
	天然ガス及び製造ガス	62,836	4,604	67,440	
	石油コークス	4,906		4,906	
	揮発油	20,645		20,645	
	灯油	4,304		4,304	
	軽油	397		397	
	重油	3,520		3,520	
	合計	465,063	10,264	475,327	
バイオマス資源	魚介類	2,801	6,071	8,872	2,662
	果実類	2,174	4,404	6,578	789
	野菜類	1,768	18,089	19,857	3,971
	肉類	2,020	0	2,020	606
	卵類	622	0	622	156
	油脂類	8,468	0	8,468	8,468
	穀類	10,916	10,791	21,707	18,451
	飼料	26,771	45,043	71,814	29,444
	食料・飼料小計	55,540	84,398	139,938	64,547
	木材	22,817	15,086	37,903	26,532
	パルプ及び紙	3,450		3,450	2,415
	木及びコルク製品	2,932		2,932	2,052
	ウッドチップ	13,883		13,883	9,718
	合板	5,799		5,799	4,059
	紙類及び同製品	1,723		1,723	1,206
	木材・木製品小計	50,604	15,086	65,690	45,983
	合計	106,144	99,484	205,628	110,530

## 2) 日本の有機系廃棄物の量

国内の廃棄物の総排出量は、一般廃棄物約 5,120 万 t、産業廃棄物約 4.1 億 (1997 年度現在) となっている。このうち、有機系廃棄物は、表 2-2 に示すとおり、一般廃棄物で約 3,983 万 t、産業廃棄物で約 3 億 t であり、両者の水分を除いた固形分の総量は、約 5,088 万 t となる。

表 2-2 日本の有機系廃棄物排出量 (1997 年度)<sup>13</sup>

	総排出量	有機系廃棄物 排出量	固形分
一般廃棄物	51,200	39,834	22,543
産業廃棄物	414,854	299,764	28,332
合計	466,054	339,598	50,875

一般廃棄物に含まれる有機系廃棄物排出量は、札幌市、東京都、横浜市、大阪市のごみの組成 (1998 年度実績) の平均値を全国の排出量にあてはめて推計したものである。

<sup>12</sup> 国立環境研究所社会環境システム研究領域資源管理研究室 森口祐一室長提供資料より作成

<sup>13</sup> 日本の廃棄物 2000 (2000.12) 環境衛生施設整備研究会 より

### 3) エネルギー資源としてのバイオマス資源の有効利用の意義

日本に導入されるバイオマス資源は、食糧・飼料は、人体や家畜のエネルギー源となる部分もあるが、大半が糞尿、食料加工残さ等として有機系廃棄物となり、木材等も一時的に家屋・家具等の形でストックされるものの、廃材等の廃棄物として排出される。表 2-1 及び表 2-2 より、日本に導入されるバイオマス資源の固形分約1.1 億t のうち、5 割に相当する約5,088 万t が有機系廃棄物として排出されていることになる。また、この有機系廃棄物の排出量は、化石燃料輸入量の 1 割程度に相当する量となっている。バイオマス資源には、この他に排水中の有機汚濁物質として排出されるものや揮発成分として大気中に放出されるものがある。これらの膨大な資源は、本来、国内調達分については、農地や大気に還元することが自然の循環に適うものである。一方、輸入分については、国内農地等に還元していくと余剰な栄養分として再び水質汚濁の原因となりかねず、可能な限り、化石燃料の代替エネルギー資源として利用していくことが望ましい。

多くの場合、バイオマス資源は、発生源が地理的に分散している上に、利用の過程で多量の水分を添加され、そのままでは利用しにくく、また、エネルギー源としての利用効率が低い。したがって、これらのバイオマス資源からは、可能な限り発生源においてエネルギー回収し、燃料電池等の分散型エネルギー源として効率的に利用することが望ましい。これにより、国内に余剰に導入されるバイオマス資源の焼却処理量削減、大量に輸入される化石燃料の一部代替、水域への環境負荷の削減、廃棄物回収処理に係る労力・コストの削減が可能となる。

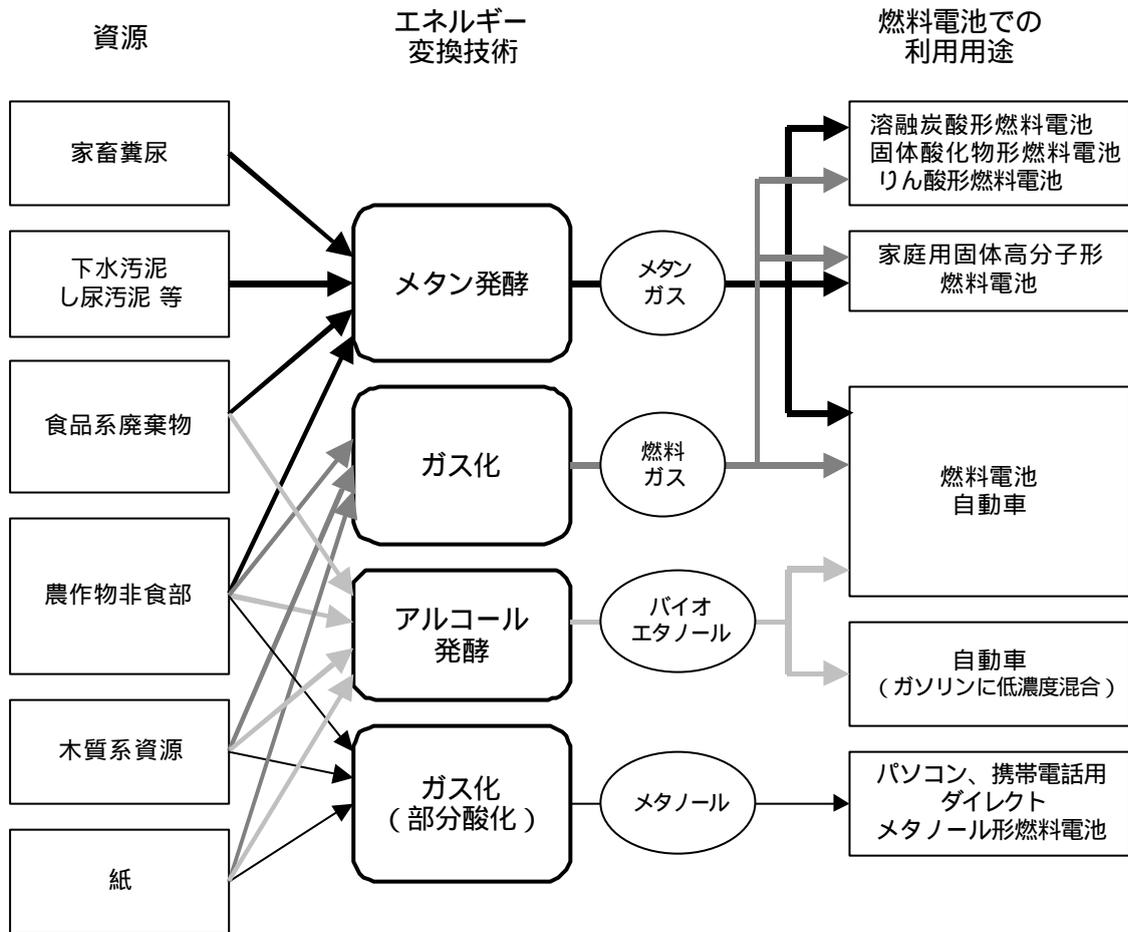
### (3) バイオマス資源を燃料電池に利用した場合の温暖化対策としてのポテンシャル

#### 1) バイオマス資源の燃料電池利用への適用可能性

バイオマス資源をエネルギー資源として利用する場合、バイオマスの特徴に応じた技術的な適用可能性を考慮する必要がある。バイオマス資源の種類ごとに見たエネルギー資源としての適用可能性を表 2-3 に示す。表 2-3 に示すように、バイオマス資源の種類によっては、現状においても資源・エネルギーとしての利用が行われているが、農地への還元が窒素過多等の観点から限界にきている地域があるにもかかわらず、用途が肥料に限定されているものがあること、エネルギー資源としての適性があっても十分に活用されていないものもあること等から、各々の適性に応じたエネルギー利用を図ることが望ましい。

バイオマス資源を燃料電池に利用するためのエネルギー変換技術と燃料電池での利用用途としては、以下のようなものが想定される。

- ・ 家畜糞尿、下水汚泥・し尿汚泥、食品系廃棄物等の含水率の高い資源については、**メタン発酵**を行い、得られる水素を定置式燃料電池や燃料電池自動車の燃料として利用することが想定される。
- ・ 農作物非食部、木質系資源、紙等の含水率の低い資源については、**ガス化**を行い、得られる水素を定置式燃料電池や燃料電池自動車の燃料として利用することが想定される。
- ・ バイオマス資源からの水素供給の基盤整備を行う観点から、食品系廃棄物、農作物非食部、木質系資源、紙等の**アルコール発酵**により**バイオエタノール**を製造して、当面はガソリン車で利用し、将来的には燃料電池自動車等への水素供給に利用することが想定される。
- ・ 農作物非食部、木質系資源、紙等から、**ガス化（部分酸化ガス化）**により**メタノール**を製造し、近年急速に開発が進んでいる携帯機器用超小型燃料電池の燃料として利用することが想定される。



バイオマス資源の燃料電池での利用イメージ

なお、現在、我が国において開発・導入されているメタン発酵 - 発電技術の各タイプの特徴を表 2-4 に示す(ここでの発電技術は、燃料電池に限定されない)。

表 2-3 バイオマス資源のエネルギー資源としての適用可能性<sup>14</sup>

分類	バイオマス資源（賦存量）	現在の利用状況	技術的な適用可能性							エネルギー利用の方向性	
			資源利用			エネルギー利用					
			肥料	飼料	工業原料	直接燃焼	ガス化（熱分解）	ガス化（部分酸化）	アルコール発酵		メタン発酵
廃棄物系	家畜糞尿 （9,100 万 t）	80%利用： 堆肥化									・農地還元が限界にきている地域があること、比較的含水率が高いことから、メタン発酵によるエネルギー利用を促進する。
	下水汚泥 （7,600 万 t） 濃縮汚泥ベース	60%利用：建 築資材・堆肥 40%未利用： 埋立									・農地還元分についてエネルギー利用への転換を図る。特に、比較的含水率が高いことから、メタン発酵によるエネルギー利用を促進する。
	し尿汚泥 （3,200 万 t）	ほぼ全量が未 利用：焼却・ 埋立									・未利用部分が多く、比較的含水率が高いことから、メタン発酵によるエネルギー利用を促進する。
	食品系廃棄物 （1,900 万 t）	10%利用： 堆肥・飼料 90%未利用： 焼却・埋立									・賦存量は少ないが、未利用部分が多く、比較的含水率が高いことから、メタン発酵によるエネルギー利用を促進する。アルコール発酵によるエネルギー利用も促進する。
	製材工場等残 材（610 万 t）	ほとんどがエ ネルギーや肥 料として利用									・現状の燃料としてのエネルギー利用を維持し、さらに農地還元利用分からエネルギー利用へ転換する。

<sup>14</sup> バイオマス資源の賦存量及び現在の利用状況は、バイオマス・ニッポン総合戦略 閣議決定（2002.12）より

分類	バイオマス資源（賦存量）	現在の利用状況	技術的な適用可能性								エネルギー利用の方向性	
			資源利用			エネルギー利用						
			肥料	飼料	工業原料	直接燃焼	ガス化（熱分解）	ガス化（部分酸化）	アルコール発酵	メタン発酵		
	建築発生材（480万t）	約60%未利用										<ul style="list-style-type: none"> <li>再資源化利用を促進するが、再資源化利用が困難なものは、エネルギー利用を促進する。</li> <li>含水率が低いことから、直接燃焼、ガス化等のエネルギー利用を促進する。</li> </ul>
	紙（3,100万t）	半分以上が古紙リサイクル残りの1,400万tの大半が焼却										<ul style="list-style-type: none"> <li>再資源化利用を促進するが、再資源化利用が困難なものは、エネルギー利用を促進する。</li> <li>含水率が低いことから、直接燃焼等のエネルギー利用を促進する。</li> </ul>
	黒液（1,400万t） 乾燥重量	概ね全量が利用（直接燃焼）されている										<ul style="list-style-type: none"> <li>現状のエネルギーとしての利用形態を維持する。</li> </ul>
未利用	農作物非食用部（1,300万t）	30%利用：堆肥化・飼料・畜舎敷料 70%：農地にすき込み										<ul style="list-style-type: none"> <li>未利用部分が多く、ガス化（部分酸化）アルコール発酵への適用可能性が高いことから、エネルギー利用への転換を図る。</li> </ul>
	林地残材（390万t）	ほとんどが未利用										<ul style="list-style-type: none"> <li>未利用部分が多いことから、直接燃焼、ガス化等への活用を促進する。</li> </ul>

表 2-4 メタン発酵技術の各タイプの特徴

名称	メタクレス	メビウスシステム	REM システム	ビューラーシステム (コンボガス)	DRANCO システム	コーンズ・シュマック・バイオガス・システム	食品廃棄物ガス化発電システム	BIGADAN 方式	IMC システム
方式	高温・湿式	高温・湿式 (WAASA)	中温・湿式 (BIMA)	高温・乾式	高温・乾式	中温		湿式	好気/嫌気 2 段発酵
資源の種類と投入規模	生ごみ 6t/日 (設計値) <sup>1</sup>	し尿 10kl/日 浄化槽汚泥 6kl/日 収集ごみ 4t/日 事業系ごみ 4t/日 (設計値) <sup>2</sup>	生ごみ 55t/日 (設計値) <sup>4</sup>	生ごみ・剪定ごみ・紙 計 3t/日 (設計値) <sup>5</sup> 生ごみが 2.5-3.0t/日を占める。	豚糞尿 0.39t/日 可燃ごみ 0.195t/日 生ごみ 0.065t/日 計 0.65t/日 (設計値) <sup>6</sup>	牛糞尿 18 m <sup>3</sup> /日 (設計値) <sup>7</sup>	生ごみ 0.4~20t/日 (設計値) <sup>8</sup>	家畜糞尿・有機産廃 計 100t/日 (設計値) <sup>9</sup>	生ごみ 33 t/日 (設計値) <sup>10</sup>
バイオガス発生量	1,200N m <sup>3</sup> /日 (目標値) <sup>1</sup>	135N m <sup>3</sup> /日 (実績値) <sup>3</sup>	4,000N m <sup>3</sup> /日 (設計値) <sup>4</sup>	300N m <sup>3</sup> /日 (目標値) <sup>5</sup>	88N m <sup>3</sup> /日 (実績値) <sup>6</sup>	600N m <sup>3</sup> /日 (設計値) <sup>7</sup>	-	-	3,300 m <sup>3</sup> /日 (設計値) <sup>10</sup>
バイオガス発生効率	200N m <sup>3</sup> /t 生ごみ (試算値: バイオガス発生量 / 投入量)	403N m <sup>3</sup> /t CODcr (試算値: 実績値 CODcr335kg/日 <sup>3</sup> を使用)	73N m <sup>3</sup> /t 生ごみ (試算値: バイオガス発生量 / 投入量)	100N m <sup>3</sup> /t 投入量 (試算値: バイオガス発生量 / 投入量)	135N m <sup>3</sup> /t 投入量 (試算値: バイオガス発生量 / 投入量)	33N m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> 牛糞尿 (試算値: バイオガス発生量 / 投入量)	-	-	100 m <sup>3</sup> /t 投入量 (試算値: バイオガス発生量 / 投入量)
メタン濃度	65% (設計値) <sup>1</sup>	67% (実績値) <sup>3</sup>	60% (設計値) <sup>4</sup>	60% (設計値) <sup>5</sup>	52% (実績値) <sup>6</sup>	-	-	-	65% (設計値) <sup>10</sup>
占有面積	環境省の神戸事例 <sup>1</sup> 敷地面積: 約 2,800m <sup>2</sup> 施設敷地面積: 約 2,000m <sup>2</sup> 発酵槽: 138m <sup>3</sup> (直径 5.2m × 高さ 8.8m) ガスホルダ: 30m <sup>3</sup>	下伊那郡西部衛生施設組合の事例 <sup>2</sup> 敷地面積: 約 4,700m <sup>2</sup> 建築面積: 約 900m <sup>2</sup> 延床面積: 約 1,997m <sup>2</sup>	基本仕様 <sup>4</sup> 発酵槽: 2,100 m <sup>3</sup> ガスホルダ: 1,000 m <sup>3</sup>	京都市の事例 <sup>5</sup> 敷地面積: 約 2,200m <sup>2</sup> 建築面積: 約 400m <sup>2</sup>	屋久町・鹿児島大学・栗田工業パイロット事例) <sup>6</sup> 発酵槽: 22m <sup>3</sup>	A 農場の事例 <sup>7</sup> 一次発酵槽: 260m <sup>3</sup> 二次発酵槽: 800 m <sup>3</sup> ガスホルダ: 300 m <sup>3</sup>	基本設計 <sup>8</sup> 延床面積: 100~1,000 m <sup>2</sup> (ガス化発電プラント部分) 発酵槽: 13~760m <sup>3</sup>	基本設計 <sup>9</sup> 敷地面積: 約 15,000 m <sup>2</sup> (堆肥舎含む) 消化槽: 2,000 m <sup>3</sup> ガスホルダ: 1,000 m <sup>3</sup>	基本設計 <sup>10</sup> プラント施設面積: 約 440 m <sup>2</sup> (水処理プラントは含まない)
施設内訳	前処理施設、メタン発酵施設、排水処理施設、燃料電池、ガス利用施設 等 <sup>1</sup>	前処理施設、メタン発酵施設、污泥処理施設、ガス発電施設、し尿処理施設 等 <sup>2</sup>	前処理施設、メタン発酵施設、温水ボイラー施設、堆肥化施設、水処理施設 等 <sup>4</sup>	前処理施設、メタン発酵施設、ガス発電施設、堆肥化施設、水処理施設 等 <sup>5</sup>	前処理施設、メタン発酵施設、発電施設、炭化施設 等 <sup>6</sup>	流入槽、メタン発酵施設、貯留槽、ガス発電施設 等 <sup>7</sup>	サテライト、メタン発酵施設、燃料電池 / マイクロガスタービン、排水処理設備 等 <sup>8</sup>	前処理施設、メタン発酵施設、ガス発電施設、排水処理施設、堆肥化施設 等 <sup>9</sup>	前処理施設、メタン発酵施設、発電施設、排水処理施設、堆肥化施設 等 <sup>10</sup>
出典	1: 鹿島カタログ「生ごみバイオガス化燃料電池発電施設」	2: 下伊那郡西部衛生施設組合カタログ「廃棄物循環資源化施設くりーんひる西部」 3: 環境技術 vol.29 No.9(2000)矢野聡「メビウスシステム・REM システム(し尿等の混合処理)」	4: 用水と廃水 vol.44 No.10(2002)毛塚博明他「生ごみ・汚泥等の高効率メタン発酵処理システム」	5: バイオガス研究会・京都市パンフレット「バイオガス化技術実証研究プラント」	6: 用水と廃水 vol.44No.10(2002)三崎岳郎「特集: 有機性汚泥の減容化とバイオガス化家畜糞尿を主体とした複合廃棄物資源回収技術」	7: メーカー技術資料	8: エキシー カタログ「食品廃棄物ガス化発電システム」	9: 川崎製鉄 カタログ「川鉄 - ビガダン方式バイオガスシステム」	10: 環境技術 vol.29No.9(2000)堂野千里「生ごみのバイオガス化技術(IMC バイオガス回収システム)について」

各種資料よりパシフィックコンサルタンツ作成。

## 2) 燃料電池に利用した場合の温暖化対策としてのポテンシャル

バイオマス資源のうち、廃棄物系バイオマスは、現状では費用をかけて収集・処分しているが、このコストを、発生源でエネルギー利用することで低減し、さらに、エネルギー回収による便益が得られるシステムを構築することで、その利活用が比較的早期に進む可能性がある。特に、発生量の多い家畜糞尿、下水汚泥、食品系廃棄物等の利用可能性が高い。また、これらのエネルギーとしての利用に際しては、その含水率の高さから、当面はメタン発酵技術を適用することが想定される。家畜糞尿、下水汚泥、食品系廃棄物をメタン発酵し、燃料電池に活用したと想定した場合の潜在的な温室効果ガス排出削減効果は、表 2-5 に示すとおりであり、全電源平均で 656ktCO<sub>2</sub>、火力平均で 1,293ktCO<sub>2</sub> と推計される。試算にあたっての燃料電池の適用想定条件を表 2-6 に示す。

表 2-5 二酸化炭素排出削減効果の試算値

単位：ktCO<sub>2</sub>

資源	電力対応	全電源平均	火力平均
家畜糞尿		113	216
下水汚泥		148	282
食品系廃棄物		395	795
合計		656	1,293

注) ここで、削減量の評価を行うための電力の排出係数としては、中央環境審議会目標達成シナリオ小委員会中間取りまとめ(2001年7月)で示されている2010年数値として、全電源平均対応 0.34kgCO<sub>2</sub>/kWh、火力平均対応 0.65kgCO<sub>2</sub>/kWhを使用した。

表 2-6 燃料電池の適用想定条件

バイオマス資源	燃料電池の適用想定条件
家畜糞尿	中央環境審議会地球環境部会「目標達成シナリオ」小委員会中間とりまとめの低位ケース。 乳用牛：北海道の糞尿分離処理（貯留）を実施している酪農家の2割 豚：2,000t以上を飼養する養豚家の4割
下水汚泥	現在発生している消化ガスのうち、ボイラー及び消化槽加温に使用されている量については、消化ガスを燃料電池で利用した際に得られる排熱により賄えるものと仮定し、現在使用されていない消化ガスの量との合計を燃料電池利用の対象量として設定。
食品系廃棄物	焼却処分されている産業廃棄物、事業系一般廃棄物のうち食べ残しに相当する量をメタン発酵する。
その他の共通条件	発電効率 38% 余剰電力を売電

#### (4) バイオマス資源の利用における留意事項

バイオマス資源から水素を取り出して燃料電池に利用することを前提とした場合、バイオマス資源の特性に起因する様々な問題点・課題が想定される。既に品質の安定性が保証され、ハンドリング技術や流通形態が確立している化石燃料に比べ、バイオマス資源は発生源が地理的に分散している上に、水分含有量が多い等の特性のため収集が困難であり、質や量の季節変動、不純物の混入等も予想される。したがって、バイオマス資源の利用にあたっては、以下の点に留意する必要がある。

- ・バイオマス資源の質及び量等に関する定量的情報の蓄積・データベース化が必要である。
- ・バイオマス資源の収集・分別には相当のコスト、エネルギーを要するため、可能な限りバイオマスの発生源で利用できる形態を選択することが望ましい。
- ・収集・分別を実施せざるを得ないケースでの対応として、低コストで効率良く収集・分別できる技術・システムの開発・導入を促進する必要がある。
- ・発生する残渣の処理、有機物、窒素、リン等除去のための高度排水処理、悪臭への対処等、周辺生活環境保全のための措置が求められる。これらの対策には相当のコスト、エネルギーを要するため、低コストで効率的な処理技術の開発・導入を促進する必要がある。
- ・メタン発酵後の消化液の液肥としての利用技術、品質評価等の研究開発も推進する必要がある。ただし、液肥としての利用可能性は、還元できる農地の有無等、地域特性により限定される点に留意が必要である。
- ・バイオマス資源と燃料電池を組合せたシステムの有効性に関して、LCAの観点を含む総合的かつ定量的な評価を行う必要がある。
- ・バイオマス資源利用に対する社会全体の認識、受容性等を向上させるソフト面の施策を講じる必要がある。

さらに、バイオマス資源と燃料電池を組合せるための過渡的段階では、バイオマスから製造したメタンガスの質及び量の不安定さを補う観点から、既にインフラが整備されている都市ガスとの系統連系を前提としたシステムの導入・普及や、バイオマス資源の利用拡大の観点から、自動車燃料へのバイオエタノール混合・利用の導入・普及等、バイオマス資源を用いた新たな技術の実用化を進めることによって、バイオマス利用の技術的・社会的な経験を蓄積し、その上でバイオマス資源から製造した水素の燃料電池への利用を導入・普及させ、将来の水素エネルギー社会への移行を加速していくことが期待される。