

III-3. 新たな「バイオマス利用技術の現状とロードマップ」(3)

技術	原料	製造物	技術レベル				技術番号	技術の現状	技術的な課題等(○) 事業化にあたっての留意点(●)※
			現状	5年後	10年後	20年後			
熱化学的変換	液体燃料製造 (エステル化・部分水素化)	廃食用油、油糧作物	バイオディーゼル燃料(BDF、H-FAME)	実用化 (一部実証)	実用化		(16)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 廃食用油や植物油にメタノールとアルカリ触媒を加えてエステル交換する等の方法で、バイオディーゼル燃料である脂肪酸メチルエステル(FAME)を得る技術で、技術的には実用化段階。 ○ 東南アジアで推進されている輸送用燃料におけるBDF改質技術を開発し、車走行試験により、製品の自動車適合性を確認(H-FAME)。技術的には実証段階。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ グリセリンの利用・除去技術の開発 ○ 貯蔵安定性の確保 ○ 新型ディーゼル車両(DPFやNOx除去装置)との適合性の確保 ● 原料調達、販路等を含む事業環境の整備や製造等に要するコストを勘案した事業性の確保
	急速熱分解液化	木質系、草本系等	液体燃料 (バイオオイル、BDF等)、化学品	研究 実証	実証	実用化	(17)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 木質等のバイオマスを500℃～600℃程度に加熱して急速に熱分解を進行させ、油状生成物を得る技術。生成物はエネルギー密度が低く酸性であるが、液化燃料として熱や発電に利用できるほか、水素化等により輸送用燃料や化学品原料を製造することが可能。瞬間加熱には熱砂、赤外線、マイクロ波などが用いられる。技術的には研究・実証段階。 ○ バイロットプラントでのジェロア、木質バイオマスのバイオオイルの生成は実証済み。バイオオイルの高品質化を検討中。木質バイオマスのバイオオイル生成時の副生チャーレは燃料・資材利用を検討。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 油状生成物の変換・利用技術の開発 ○ 高付加価値製品の製造技術の開発 ○ 低温・低圧での反応が可能な革新触媒等の開発 ○ 化学品の分離精製を省エネルギー化する材料・プロセス技術の開発 ○ 熱分解炉の低価格化
	水熱ガス化	木質系、草本系、食品廃棄物、下水汚泥、家畜排せつ物等	ガス・熱・電気	研究 実証	実証	実用化	(18)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 超臨界水中(374℃、220気圧以上)で加水分解反応と熱分解反応が迅速に進行し、有機物が効率よく分解されることを利用して、食品廃棄物等のバイオマスをガス化する技術で含水率の高いバイオマスを有効利用することが可能。技術的には研究・実証段階。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 安定操業性の確立 ○ 加圧装置及び高圧加水分解反応器等の低価格化による製造コストの削減
	高速加水分解 (亜臨界水処理技術)	飼料、肥料等		研究 実証 (一部実用化)	実用化		(19)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 亜臨界水領域(事業化の目安は扱いやすい100-200℃、10-20気圧)で加水分解反応が迅速に進行し、有機物が効率的に分解されることを利用して、様々なバイオマスを資源利用する技術。高機能堆肥の生産、アミノ酸、フルボ酸等の有用物の製造など多様な技術展開が見込まれる。技術的には研究・実証段階(堆肥化、飼料化は一部実用化)。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 国内における実証試験による効果・コストの検証、課題等の整理
	固体燃料化	下水汚泥、木質系	固体燃料等	実用化			(20)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 下水汚泥を低酸素状態で熱を加え固形燃料化する炭化技術や乾燥させて固形燃料化する技術は既に実機が稼働している実用化技術である。また、中小規模下水処理場向けのコンパクトで高効率の汚泥脱水・乾燥技術も、実規模実証を経て実用化段階。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 事業主体の登場 ● 製造した乾燥汚泥は、肥料および燃料化物としての利用が可能であるが、導入地域に応じた販路および期間を調整した事業性の確保に留意する必要。
	水素製造	下水汚泥	水素	実用化			(22)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 燃料電池車等に供給するため、下水汚泥由来の消化ガスから水蒸気改質等のプロセスを経て水素を製造する技術で、技術的には実用化段階。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 燃料電池車の普及 ○ 事業主体の登場
	水素化処理	廃食用油	ジェット燃料	研究 実証 (一部実用化)	実用化		(23)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 廃食用油を原料として水素化処理を行うことでジェット燃料等を製造する技術で、技術的には実証段階。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 製造システムのパッケージ化 ○ 燃料収率の向上 ○ 製造コストの削減 ● 原料の確保

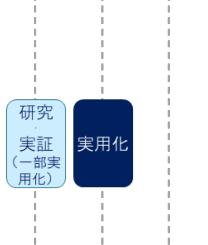
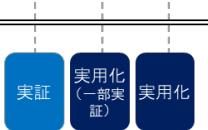
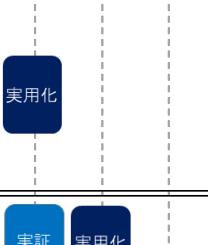
III-3. 新たな「バイオマス利用技術の現状とロードマップ」(4)

技術	原料	製造物	技術レベル 現状 → 5年後 → 10年後 → 20年後	技術番号	技術の現状	技術的な課題等(○) 事業化にあたっての留意点(●)※
熱化学的変換	燃料製造	家畜排せつ物	メタノール、ギ酸	(24)	<p>○ 亜塩素酸ナトリウム水溶液とフルオラス溶媒の二相反応系にメタンガスを吹き込みながら紫外線を当て攪拌することで、液体燃料のメタノールとギ酸に常温・常圧で変換することにラボレベルで成功。</p>	<p>○ 事業化に向けてコストを含めた検討</p>
生物化学的変換	メタン発酵 (湿式、乾式)	下水汚泥、 家畜排せつ物、 食品廃棄物等		(25)	<p>○ 下水汚泥、家畜排せつ物、食品廃棄物、草木等のバイオマスを微生物による嫌気性発酵によってメタンガスを発生させる技術で、液状原料を利用する湿式と水分80%程度の固形原料を利用する乾式がある。メタンを主成分とするバイオガスは熱や発電利用のほか、都市ガスや自動車燃料等に利用可能。技術的には開発段階(一部実証段階)。</p> <p>○ 微生物糖化技術を用いた発酵速度の向上技術を開発(草本系、澱粉系、食品廃棄物)(研究実証段階)。</p> <p>○ 原料回収の最大化、メタン発生の最大化、発電効率の最大化及び使用電力量の最小化や、精製による高品位バイオガスの回収を図る技術について実規模レベルでの実証を行い、コスト削減、温室効果ガス排出量削減、エネルギー消費量削減等について効果を確認(下水汚泥)。</p> <p>○ 副生生物である消化液の農地への液肥利用について、化成肥料の施肥効果と遜色がないこと及び土壤の物理性(粒状化)改善を確認(家畜排せつ物、食品廃棄物)。</p> <p>○ 無動力の消化槽攪拌装置等、中規模下水処理場におけるコンパクトな発酵槽等の開発。小規模下水処理場における脱水機の二段活用による高濃縮汚泥の横型消化槽での高濃度消化による、低成本・高効率なメタン発酵技術(実証段階)。</p> <p>○ 下水汚泥のメタン発酵の槽内に水素を吹き込むことにより、槽内の二酸化炭素とメタニン反応をさせることでメタン生成量を増加させる技術について、パイロットスケールにおいて実証済み。</p> <p>○ 下水処理場の最初沈殿池からの汚泥を積極的に回収することで、エネルギー効率の高いメタン発酵を実現。</p> <p>○ リンが高濃度で存在する消化汚泥中から高効率にリンを回収する技術は実用化段階。</p> <p>○ 地域から発生する多種類の混合系バイオマスを乾式メタン発酵により活用する実証事業を行い、目標とした性能を確保できた。</p> <p>○ 小型のバイオガス発電システムの構築を目指した技術開発事業を実施し、乳牛ふん尿を個液分離し、分離固分は堆肥化、液分はメタン発酵させ、メタン発酵後の消化液は堆肥として散布することで減容化することで、処理コスト削減が可能。</p>	<p>○ 廃棄物回収システムの改良・効率化(異物除去等)</p> <p>○ 高効率で安価な発酵・メタン精製濃縮装置の開発</p> <p>○ 効率的な複数原料の混合発酵技術の開発</p> <p>○ メタンの利用方法の拡大(未精製ガスの利用技術の開発等)</p> <p>○ 気温低下によるガス生成量減少の改善(無動力メタン発酵槽)</p> <p>○ 特に鶏糞を原料とした場合のアンモニアによる発酵阻害</p> <p>● 原料調達、販路等を含む事業環境の整備や製造等に要するコストを勘案した事業性の確保</p> <p>● 消化液、下水汚泥由来の肥料、リン等の利用拡大(利用促進意識の醸成などの普及促進策)。</p>
				(26)	<p>○ 下水汚泥を対象とした鋼板製消化槽を用いた実証実験を行い、目標としていた性能を確認。</p>	
				(27)	<p>○ 微生物糖化技術を用いた糖化速度の向上技術を開発(草本系、澱粉系、食品廃棄物)</p>	<p>○ 技術検証は終了。設備設計導入予定。</p>
	液肥			(28) ◇	<p>○ 実装スケールで、水田、施設園芸、畜産についてGHG排出削減と生産性向上両立する緩和技術システムの一部として、メタン発酵消化液の畑地での施用方法について、散布機械及び散布方法の改良に取り組んでいる。</p>	<p>○ 畑地に散布した消化液の流亡防止、肥料成分であるアンモニアの飛散防止。</p>

III-3. 新たな「バイオマス利用技術の現状とロードマップ」(5)

技術	原料	製造物	技術レベル 現状 → 5年後 → 10年後 → 20年後	技術番号	技術の現状	技術的な課題等(○) 事業化にあたっての留意点(●)※
生物化学的変換	メタン発酵 (温式、乾式)	間伐材等	ガス・熱・電気	(29)	<ul style="list-style-type: none"> 温式ミリング前処理による、様々な木材の直接メタン発酵の実証に成功。原料1kgあたり400~500Lのメタンガスが発生し、ガス濃度は概ね60%。 	<ul style="list-style-type: none"> 原料調達を含む事業環境の整備やコストを勘案した事業性の確保
	コンポスト化	下水汚泥	下水汚泥肥料	(30)	<ul style="list-style-type: none"> 下水汚泥の肥料化に向け、下水汚泥を好気性発酵させる。技術としては実用化済み。 	<ul style="list-style-type: none"> 利用促進意識の醸成などの普及促進策。
	水素発酵	食品廃棄物、糖質・澱粉質等	ガス・熱・電気	(31)	<ul style="list-style-type: none"> 食品廃棄物等のバイオマスを可溶化して水素発酵により水素を回収し、さらに残渣をメタン発酵することによりメタンを主成分とするバイオガスを回収する技術で、技術的には研究段階。 組換え大腸菌を用いてバイオマス由来ギ酸から300LH₂/h/Lの水素生産を達成。 グルコース1モルから最大理論収率12モルの水素生産を目指した光合成細菌との統合型水素生産システム技術の開発を実施。 	<ul style="list-style-type: none"> 二段発酵のエネルギー回収率の向上 原料の変化に対応した微生物管理技術の開発 微生物水素発生機構の解明(ヒドロゲナーゼ、ニトロゲナーゼ) 水素生産強化を目的とした微生物育種 水素生産酵素や発生機構の異種微生物への導入 変換の低コスト化
	糖質・澱粉質系発酵 (第1世代)	余剰・規格外農産物・食品廃棄物 (甜菜、米、小麦等)	エタノール、化学品	(32)	<ul style="list-style-type: none"> セルロース系バイオマスを原料とするエタノール生産に必要な糖化酵素生産を商用機スケールで可能とするため、①開発糖化酵素の高機能化、②糖化酵素の工業用生産菌の構築、及び③糖化酵素の安価な大量生産技術の開発に取り組み目標としてた成果を達成。 酵素や微生物の高機能化(耐熱性や高生産性)を実施(研究段階)。 	<ul style="list-style-type: none"> 高機能酵素の工業生産菌への取り込み。 生産性などの更なる向上
	木質系、草本系 (新たな原料: OPT)	エタノール、化学品	研究 実証 (一部実用化)	(33) ◇	<ul style="list-style-type: none"> OPTに含まれている遊離糖から、エタノール、ブタノール、乳酸、ポリヒドロキシアルカン酸(PHA)、グルタミン酸ナトリウム(MSG)、タンパク質等、さまざまな化学品を製造する技術で、技術的には実証済み。 	<ul style="list-style-type: none"> 微生物の耐熱性の向上
	セルロース系発酵 (第2世代)	①ソフトセルロース (稲わら等) ②ハードセルロース (間伐材等)	エタノール、化学品	(34)	<ul style="list-style-type: none"> 木質系、草本系のセルロース原料を加圧熱水や酸、アルカリ、糖化酵素等を利用して前処理・糖化した上でエタノール発酵を行う技術で、技術的には研究・実証段階(一部実用化段階(紙類、厨芥類))。 商用機スケールでの実用化に適用可能で効率的な糖化発酵生産技術を確立するため、①C5C6糖同時発酵微生物の開発、②同時糖化並行複発酵プロセスの開発、及び③商業化を目指したプロセスデザインパッケージの作成に取り組み、3種の前処理バイオマスに対して93~95%という高いエタノール変換効率を有する高効率・高温発酵・阻害物質耐性・実用生産菌の開発に成功。 バイオエタノール製造コストに占める割合の高い、設備償却費の推定のために、バイロットプラントにおける技術開発及びバイロットプラントの実証運転を行い、商業用プラント建設費を算出。 微生物糖化技術による糖化酵素を一切使わない糖化技術を開発。 キヤッサババババ等を微生物糖化し、バイオガス・水素を製造する実証プラントの事業性評価を実施中。 	<ul style="list-style-type: none"> 酢酸発酵と水素分解による次世代セルロース系発酵技術の開発 一貫プロセスの効率化・低コスト化
	飲料用エタノール		研究 実証 実用化	(35) ◇	<ul style="list-style-type: none"> セルロース系エタノール生産における同時糖化並行副発酵において使用する糖化酵素の高機能化 菌体リサイクル技術 	<ul style="list-style-type: none"> 低コスト原料バイオマスの確保
				(36) ◇	<ul style="list-style-type: none"> セルロース系エタノール生産における同時糖化並行副発酵において使用する糖化酵素の高機能化 菌体リサイクル技術 低コスト原料バイオマスの確保 バイオエタノールを経てさらに高付加価値化合物へ変換する技術開発が必要 バイオマス原料により糖化微生物の探索と最適化が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 機能性の解明。 安全性の評価。

III-3. 新たな「バイオマス利用技術の現状とロードマップ」(6)

技術	原料	製造物	技術レベル 現状 → 5年後 → 10年後 → 20年後	技術番号	技術の現状	技術的な課題等(○) 事業化にあたっての留意点(●)※
生物化学的変換	Alcohol to Jet 第2世代バイオエタノール	ジェット燃料		(37)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 廉価アルコールを糖化・発酵により2Gエタノール化する技術と、2Gエタノールを脱水・重合・蒸留・水素化分解を経てSAFを製造するATJ技術。糖化・発酵は、実証・実用化段階。脱水・重合・水素化分解は新規の海外技術導入のため研究・実証段階。 ○ SAFと従来航空燃料との混合・空港輸送までのサプライチェーンは、現状、国内で十分にノウハウが蓄積されていない。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 国産第2世代バイオエタノールを原料としたATJ技術によるSAF製造技術の確立 ○ 酵素回収技術の確立 ○ 低濃度エタノールからのエチレン生産技術の獲得 ● 100%-SKAのASTM認証取得 ● SAF製造コストの低減(SAFのGHG削減価値を考慮した上で、従来航空燃料価格に比して競争力を有すること) ● 糖化酵素の安定調達
藻類由来液体燃料製造 (第3世代)	微細藻類、大型藻類	液体燃料 (軽油代替、ジェット燃料等)		(38)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 油分生産性の高い藻類を大量培養し、油分の抽出・精製等によって軽油代替、ジェット燃料を製造する技術で、技術的には研究段階。 ○ 藻の回収のための膜を使用した濃縮技術の開発を実施。 ○ 油分生産性の高い藻類を大量培養し、油分の抽出・精製等によって軽油代替、ジェット燃料を製造する技術で、技術的には研究段階。 ○ ミドリムシ藻類において高効率ゲノム編集技術を開発し、安定したゲノム改変株を作出することに成功 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 生産性の高い藻類の探索・育種 ○ 自然光での微細藻類の大規模栽培技術の確立 ○ 光エネルギー変換効率が高く安価な培養槽の開発 ○ 藻体残渣の低減・利用技術の開発(飼料・肥料、他) ○ コスト縮減のためのプロセス一貫システム(培養・回収(収集・乾燥)・油分抽出・精製)の確立 ○ 耐ストレス性の付与(特にオープンボンドの場合) ● 副生物活用も含めた事業性の確保 ● 生産性の高い藻類の探索・育種 ○ 自然光での微細藻類の大規模栽培技術の確立 ● 藻体残渣の低減・利用技術の開発(飼料・肥料、他)
				(39)	○ 排水処理を組み合わせた藻類培養技術を開発中。	<ul style="list-style-type: none"> ○ 生産性の高い藻類の探索・育種 ○ 自然光での微細藻類の大規模栽培技術の確立 ○ 光エネルギー変換効率が高く安価な培養槽の開発 ○ 藻体残渣の低減・利用技術の開発(飼料・肥料、他) ○ コスト縮減のためのプロセス一貫システム(培養・回収(収集・乾燥)・油分抽出・精製)の確立
	バイオプラスチック素材			(40)	○ 微細藻類から液体燃料を製造する際に副生する抽出残渣を原料として、プラスチック素材に変換することに成功。	<ul style="list-style-type: none"> ○ 成型方法の確立 ● スケールアップのための技術開発
				(41)	<ul style="list-style-type: none"> ○ セルロース由来バイオエタノールからエチレンを製造し、バイオポリエチレンを重合プロセスについて、商用化を見据えた量産の実証段階。 ○ セルロース系バイオエタノール生産技術を応用して乳酸を製造し、ポリ乳酸を合成するプロセスについて、商用化を見据えた量産の実証段階。 ○ バイオマス原料を用い、大腸菌による発酵からのPA製造、IPAからプロピレンの製造についてラボスケール実証済み。 ○ 上記方法を用いたバイオポリプロピレンのスケールアップ実証中。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 効率的な量産プロセスの確立 ● 量産化による十分なコスト低減
バイオマテリアル	糖質・澱粉質系	バイオプラスチック素材		(42) ◇	○ 生分解プラスチックPHA生産微生物の開発。	<ul style="list-style-type: none"> ○ 原料バイオマスの選定 ○ スケールアップによる量産プロセスの確立 ● 量産化による十分なコスト低減
				(43)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 糖質類を原料とした発酵法によって得られる脂肪族有機酸類を利用した新規耐熱性樹脂素材や、バイオベースアクリル樹脂などの機能性材料の合成技術を開発。 ○ バイオベースアクリル樹脂の共重合素材の合成技術を構築。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 量産化技術の開発 ○ 各種バイオマス由来のリグノセルロース等を効率的に発酵性糖質に変換する技術の確立
						<ul style="list-style-type: none"> ○ 樹脂合成の効率化とスケールアップに向けた合成条件の最適化検討。 ● 用途開発に向けた加工技術の開発。

III-3. 新たな「バイオマス利用技術の現状とロードマップ」(7)

技術	原料	製造物	技術レベル 現状 5年後 10年後 20年後	技術番号	技術の現状	技術的な課題等(○) 事業化にあたっての留意点(●)*
バイオマテリアル	リゲニン・リゲノセルロース系	バイオプラスチック素材		(44) ◇	<ul style="list-style-type: none"> マイクロ波減圧蒸留装置により竹から抽出液を取り出し、残渣をセルロースナノファイバーや建材などに利用する総合利用技術を開発。 低分子化リゲニンを組換え微生物で発酵してプラットフォームケミカル(ピロンジカルボン酸)に変換し、これを重縮合してPET代替ポリエステル樹脂開発に成功。 リゲニンの低分子化成分を微生物代謝機能を利用して有望な樹脂原料であるPDC(2-ピロン、4,6-ジカルボン酸)に変換する技術を開発。 チップ製造工程から副産物として排出される樹皮から低分子フェノールを高収率で製造する手法を開発し、フェノール樹脂等の原料としての特性を明らかにする。 	<ul style="list-style-type: none"> リゲニンの低分子化収率向上が必要。 製造プロセスのスケールアップ。
				(45) ◇	<ul style="list-style-type: none"> スギを原料にして高機能なプラスチック製品として活用可能な改質リゲニンを開発し、その製造技術を実証。 改質リゲニンを活用してスーパーインジニアリングプラスチック相当の高い強度や耐熱性を持つ材料の製造・利用技術を開発中。 	<ul style="list-style-type: none"> 製造プロセスの効率化とスケールアップ。 様々な形状の原料に適応できるリアクターの高度化。 中山間地域での生産と流通システムの開発。 需要創出するための利用技術と供給を安定化する生産技術の開発が必要。
				(46)	<ul style="list-style-type: none"> 高分子多糖類(α-1, 3-グルカン)に短鎖・長鎖のアルキル基を導入し、優れた耐熱性を示すバイオプラスチックの合成に成功。機械強度、耐衝撃性や結晶性・非晶性制御が可能なことを示し、ゼロ複屈折フィルムを実現。 アルコール系の分子を用いてマクロモノマーの末端を修飾することにより細胞膜の物質輸送を促進できることを見出した。分子量1,000程度の中分子の膜輸送を強化することによる生産性の向上、精製プロセスの簡素化を目指す。 リゲニンから、ナイロンやペットボトルなどの原料になるムコン酸を生産する微生物の開発に成功。 	<ul style="list-style-type: none"> 量産化技術の開発 低コストで高機能のポリ乳酸やナノファイバー、プラスチック・素材を製造する技術の確立。 リゲニンの構造的特徴から、均質性を保ち工業製品へと導入することは困難。 セルロースナノファイバーの性能を発揮するための構造制御技術が不足している。
	セルロースナノファイバー	バイオプラスチック素材		(47) ◇	<ul style="list-style-type: none"> 酵素処理後にミリング処理や超音波等の物理的処理を組み合わせて、薬品を使用しない低エネルギーなナノ化手法を確立。バルブ化からナノまでを一貫製造する実証ベンチプラントを建設。 酵素前処理でセルロースの機械解纖ナノ化エネルギーを低減する技術を開発、実証済(実用化)。 水中カウンターコリジョン(ACC)法で得られる竹由来のCNF(ACC-CNF)製造プロセスの簡素化、低エネルギー化(生産工程でのCO₂削減)により、生産コスト削減。 	<ul style="list-style-type: none"> 量産化技術の開発 新規芳香族化合物の探索(原料バイオマス中のリゲニンの有効利用法に資するため) バイオマスの分解に有効なイオン液体の開発と有用成分製造技術の開発 セルロース系バイオマス前処理・糖化プロセスのコスト縮減 セルロース系バイオマスを糖化した混合糖(C5+C6糖類)を同時に効率的に利用できる微生物の開発 リゲニンの低分子化収率向上が必要。
				(48) ◇	<ul style="list-style-type: none"> CNF系水系電極を用いたLiイオン電池について、アイドリングストップ(ISS)車用、および小型EV用のプロトタイプ電池を試作し、ISS電池は従来の鉛電池と比較して3倍以上の寿命、および重量を約1/3にできる見通し。 再生セルロースにナノセルロースを添加し、その強度性向上に成功。 	<ul style="list-style-type: none"> 原料調達、販路等を含む事業環境の整備や製造等に要するコストを勘案した事業性の確保 温式製造法の工数削減、または低コスト化が必要。