

### Ⅲ-3. 「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				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			
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	研究	研究 実証 (一部実用化)	実用化	(37)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 廃パルプ等を糖化・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。</li> <li>○ 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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 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</li> <li>○ 酵素回収技術の確立</li> <li>○ 低濃度エタノールからのエチレン生産技術の獲得</li> <li>● 100%-SKAのASTM認証取得</li> <li>● 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)</li> <li>● 糖化酵素の安定調達</li> </ul>
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)	研究	研究 実証 (一部実用化)	実用化	(38)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 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。</li> <li>○ 藻の回収のための膜を使用した濃縮技術の開発を実施。</li> <li>○ 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。</li> <li>○ 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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 生産性の高い藻類の探索・育種</li> <li>○ 自然光での微細藻類の大規模栽培技術の確立</li> <li>○ 光エネルギー変換効率が高く安価な培養槽の開発</li> <li>○ 藻体残渣の低減・利用技術の開発(飼料・肥料、他)</li> <li>○ コスト削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</li> <li>○ 耐ストレス性の付与(特にオープンポンドの場合)</li> <li>● 副生物活用も含めた事業性の確保</li> <li>● 生産性の高い藻類の探索・育種</li> <li>○ 自然光での微細藻類の大規模栽培技術の確立</li> <li>● 藻体残渣の低減・利用技術の開発(飼料・肥料、他)</li> </ul>	
			研究	実証	実用化 (一部実証)	実用化	(39)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 排水処理を組み合わせた藻類培養技術を開発中。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 生産性の高い藻類の探索・育種</li> <li>○ 自然光での微細藻類の大規模栽培技術の確立</li> <li>○ 光エネルギー変換効率が高く安価な培養槽の開発</li> <li>○ 藻体残渣の低減・利用技術の開発(飼料・肥料、他)</li> <li>○ コスト削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</li> </ul>
			研究	研究 実証	実用化	(40)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 成型方法の確立</li> <li>● スケールアップのための技術開発</li> </ul>	
	研究	研究 実証	実用化	(41)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 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。</li> <li>○ セルロース系バイオエタノール生産技術を活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。</li> <li>○ 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。</li> <li>○ 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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 効率的な量産プロセスの確立</li> <li>● 量産化による十分なコスト低減</li> <li>○ 原料バイオマスの選定</li> <li>○ スケールアップによる量産プロセスの確立</li> <li>● 量産化による十分なコスト低減</li> </ul>			
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	研究	実証	実用化	(42) ◇	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 生分解プラスチックPHA生産微生物の開発。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 量産化技術の開発</li> <li>○ 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</li> </ul>	
			研究	実証	実証	実用化	(43)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 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。</li> <li>○ 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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 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。</li> <li>● 用途開発に向けた加工技術の開発。</li> </ul>

### Ⅲ-3. 「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		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					
バイオマテリアル	リグニン・リグノセルロース系	バイオプラスチック素材	研究 実証	研究 実証 (一部実用化)	実用化	(44) ◇	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 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。</li> <li>○ 低分子化リグ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。</li> <li>○ リグ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。</li> <li>○ 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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ リグニンの低分子化収率向上が必要。</li> <li>○ 製造プロセスのスケールアップ。</li> </ul>	
			研究 実証	研究 実証 (一部実用化)	実証	実用化	(45) ◇	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 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グニンを開発し、その製造技術を実証。</li> <li>○ 改質リグニンを活用してスーパーエ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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 製造プロセスの効率化とスケールアップ。</li> <li>○ 様々な形状の原料に適用できるリアクターの高度化。</li> <li>○ 中山間地域での生産と流通システムの開発。</li> <li>● 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。</li> </ul>
			研究	研究			(46)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 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、耐衝撃性及び結晶性・非晶性制御が可能なることを示し、ゼロ複屈折フィルムを実現。</li> <li>○ 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。</li> <li>○ リグニンから、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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 量産化技術の開発</li> <li>○ 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。</li> <li>● リグ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。</li> <li>● 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。</li> </ul>
	セルロースナノファイバー	バイオプラスチック素材	研究 実証	実証 (一部実用化)	実用化	(47) ◇	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 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、薬品を使用しない低エネルギーなナノ化手法を確立。パルプ化からナノ化までを一貫製造する実証ベンチプラントを建設。</li> <li>○ 酵素前処理でセルロースの機械解繊ナノ化エネルギーを低減する技術を開発、実証済(実用化)。</li> <li>○ 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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 量産化技術の開発</li> <li>○ 新規芳香族化合物の探索(原料バイオマス中のリグニンの有効利用法に資するため)</li> <li>○ 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</li> <li>○ セルロース系バイオマス前処理・糖化プロセスのコスト削減</li> <li>○ 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</li> <li>○ リグニンの低分子化収率向上が必要。</li> <li>● 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</li> <li>○ 温式製造法の工数削減、または低コスト化が必要。</li> </ul>	
			研究 実証	実証 (一部実用化)	実用化	(48) ◇	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ CNF系水系化電極を用いた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。</li> <li>○ 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。</li> </ul>		
			研究 実証	実証 (一部実用化)	実用化				

### Ⅲ-3. 「バイオマス利用技術の現状とロードマップ」(8)

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			
バイオマテリアル	セルロースナノファイバー	バイオプラスチック素材	研究	(49)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ セルロースナノファイバー発泡化技術による軽量化高機能プラスチック創製に取り組み、ポリプロピレンの発泡倍率18倍(空隙率94%)を達成。</li> <li>○ 微生物や触媒を用いて、セルロース系バイオマス由来のグルコースからエンジニアリングプラスチックの原料であるモノマー(芳香族カルボン酸、芳香族アミン)を得て、優れた耐熱性を示すプラスチックの合成に成功。</li> <li>○ 不可逆だとされていた「セルロースナノファイバーの結晶性」を回復させることに成功。界面の結晶化により、CNF会合体の弾性率や熱伝導率が向上することを見出した。</li> </ul>	
			研究 実証			
			実証 (一部実用化)	(51) ◇	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ OPTまたはEFB等バームバイオマスから温式摩砕により繊維成分のナノセルロース化技術を開発中。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ バイオマス素材の脱色技術の確立が必要。</li> </ul>
			実証 実用化			
	実用化	(53)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ AI技術による分子構造から機能を予測するシステムを開発中。抽出残渣から有用化学品/プラスチック素材に変換するプロセスを開発中。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 農業副産物/残渣より有用成分を高効率かつ低コストに抽出する技術の確立</li> <li>● スケールアップのための技術開発</li> </ul>		
農業副産物/残渣	機能性食品/医薬原料/バイオプラスチック				研究	研究 実証
バイオリファイナリー	糖質・澱粉質系、木質系、草本系等	バイオマス由来物質を起点に多様な化学品・エネルギーを生産	研究 実証	(54)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ ソーダ・アントラキノン蒸解により、スギ及びユーカリから木材3成分(セルロース、ヘミセルロース、リグニン)を分離する方法を開発。(実証段階)</li> <li>○ 酸素アルカリ蒸解により、スギからバニリン等フェノール系モノマーを製造する技術を開発。(実証段階)</li> <li>○ 木質バイオマスの分離成分から化学品原料をスケールアップして製造する変換技術の確立。</li> <li>○ コスト目標を達成するためのプロセス開発。</li> <li>○ スケールアップに必要な技術開発。</li> <li>○ 酵素を用いず、微生物糖化技術によりセルロースからグルコースへ直接変換し培養液中にグルコースを蓄積させることが可能。</li> <li>○ ソーダ酸素蒸解処理により、針葉樹並びに広葉樹からPDCA化が可能な低分子フェノール類並びにCNF原料として好適な低粘度パルプを製造する技術を開発(実証段階)。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ ラボレベルの実用化</li> <li>○ スケールアップ</li> <li>○ 大量製造のための処理条件の最適化。</li> </ul>

# Ⅲ-3. 「バイオマス利用技術の現状とロードマップ」(9)

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			
バイオ リファイナリー	糖質・澱粉質系、 木質系、 草本系等	バイオマス由来 物質を基点に多 様な化学品・エ ネルギーを生産	研究 実証	研究 実証 (一部実 用化)	実用化 (一部実 証)	実用化	(55)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 海洋性微生物由来酵素群を用いて、非可食性バイオマス由来のリグニンから、フェニルプロパノン骨格を持つ芳香族モノマーが得られることを見出した。</li> <li>○ 微生物による糖からの物質生産では原料が増殖に消費され生産量が減ることが問題だが、原料を両者で経路を分離することに成功。</li> <li>○ 光合成ができない微生物に、光エネルギー変換タンパク質を導入し、光によって微生物の生産能力を向上させることに成功。</li> <li>○ 情報科学の手法で代謝経路の設計の自動化を行い、イソプレンを生合成する人工代謝経路を細胞内で構築。</li> <li>○ イソペン合成に関わる代謝酵素の変異体を作成し、野生型の酵素の1000倍以上の活性をもつ酵素作成に成功。</li> <li>○ 自動車タイヤ原料であるブタジエンを微生物発酵を用いてバイオ生産することに成功。</li> <li>○ アミノ酸の一つであり、商業生産が実現されているリジンからブタジエンをバイオ合成する新規代謝経路を設計し、その構築に成功。</li> <li>○ 合成したフラン系アミドポリマーは、従来のアミドポリマーと比較して高い耐熱性と優れたガスバリア性を示し、材料としての価値は高いことが分かった。製造工程として、ユーカリ由来バルブから直接合成するルートの一部改良し、一旦バルブを酵素糖化した糖液を経てスペシャリティーポリマー(フラン系アミドポリマー)のキログラムスケールの実証試験を行った。</li> <li>○ 必須脂肪酸であるDHAを高い効率で生産するオランチオキトリウム株の採取に成功。食費素材向けの培養コストは達成している。現在は酸化を防止しつつ効率的に回収する技術を開発中。食品としての機能性を検証中。水産飼料用には、配合飼料原料として用いてDHA強化魚の作出に成功した。また、初期飼料用に、ワムシのDHA強化剤として使用しうることを見いだした。また、ワムシの代わりに仔魚に投与して仔魚を成長させることに成功。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 芳香族モノマーの効率的な骨格変換技術の開発</li> <li>○ 従来の発酵プロセスは、化学プロセスに比べて遅いというところが大きな障壁。</li> <li>○ 酵素生産コストの縮減</li> <li>○ イソペン生産性の向上</li> <li>○ ブタジエン生産性の向上</li> <li>○ 高活性酵素の設計技術の開発</li> <li>○ 各工程における収率および精製コストの改善</li> <li>○ 高圧技術を使うことによる法的対応によるコスト増。</li> <li>● 原料のユーカリが輸入であることによる供給量および価格変動</li> <li>● 製造工程が、複数の国内企業による垂直統合型製造技術であるため、1社の撤退が、最終製品の製造・供給がストップするリスクがある</li> <li>○ 食品原料用には培養のスケールアップが必要。水産飼料用には培養の一段のコスト低減が必要。</li> </ul>
資源作物・植物の 開発、収集運搬	木質系、 草本系等	資源開発	研究 実証 (一部実 用化)	研究 実証 (一部実 用化)	実用化 (一部研 究)	実用化 (一部研 究)	(56)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 雑種強勢を活用したソルガム新品種が開発されており、実証段階にある。原理の解明を通じて任意の品種に高バイオマス性を短期間に付与する技術に関しては研究段階。</li> <li>○ 雑種強勢効果の高いオオムギにおいて、高バイオマス雑種の作成を容易にする開花に関する変異を突き止め、任意の品種に適用する実証段階。</li> <li>○ バイオマスの大きいソルガムの木質生産を増強し、石炭に代わる燃料を作る技術を開発。</li> <li>○ 垂麻などが作るセルロースに富んだ特殊な繊維を増産したり、他の植物に恒常的に生産させる技術の開発を行っている。</li> <li>○ スギなどの樹木のバイオマス生産を高める技術、新品種を開発を行っている。</li> <li>○ 雑種強勢(ヘテロシス)は雑種第一代の個体の生産能力が両親の生産能力を上回る現象で、バイオマスの形質向上に寄与できる。技術的には研究段階。</li> <li>○ ソルガムにおける雑種強勢に重要な遺伝子を発見</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 高バイオマス生産品種栽培地・事業者の確保、栽培ノウハウの確立が必要</li> <li>○ オオムギのポテンシャルがどこまであるか見極めが必要</li> <li>● 一般的にオオムギはバイオマス生産作物とみなされていないことから事業者の意識転換が必要</li> <li>○ 成長を損なわずに木質生産を強化する画期的な技術が必要</li> <li>○ セルロースのみの生産を実現する鍵因子の同定が必要</li> <li>○ 裸子植物のバイオマス生産に関する基礎的知見の確立が必要</li> <li>● 遺伝子組換え作物、ゲノム編集作物の大規模栽培に対する社会需要の見極めが必要</li> <li>○ 雑種強勢のメカニズム解明。</li> <li>○ 雑種を得る効率の上昇。</li> </ul>

# Ⅲ-3. 「バイオマス利用技術の現状とロードマップ」(10)

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			
資源作物・植物の 開発、収集運搬	木質系、 草本系等	資源開発	研究 実証 (一部実用化)	研究 実証 (一部実用化)	実用化 (一部研究)	実用化 (一部研究)	(56)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 世界初のバイオ燃料用エリアンサス品種「JES1」と「JEC1」を育成し、品種登録した(令和元年8月)。</li> <li>○ 東南北部の低標高地から九州までの非積雪地で栽培が可能で、九州では年間約30t/haの乾物収量が得られる。</li> <li>○ 株出し栽培により、一旦植え付ければ10年以上続けて栽培が可能のため、低コストの栽培が可能。</li> <li>○ 耕作放棄地で実用栽培し、栽培法を確立。</li> <li>○ 収穫物をペレット化し、温泉施設のボイラーで使用。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 高収量で耐寒性等を備えた、さらに良い品種を育成中。タイでも品種登録に向けた試験を行っている。</li> <li>● 除草剤登録が必要。</li> <li>● 発電の原料に使うためにはFIT制度の認証が必要。</li> </ul>
			実証	実用化			(57)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ ヤナギ類によるバイオマス生産のための栽培技術の開発。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 生産コストの削減。地域特性の解明。</li> </ul>
			研究 実証 (一部実用化)	研究 実証 (一部実用化)	実用化 研究	実用化 研究	(58)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ サトウキビとサトウキビ野生種との種間交配により、砂糖収量は従来品種と同様で、バガス収量を1.5倍にする系統を育成した。</li> <li>○ タイでは品種登録し、製糖工場が実用栽培に向けて種茎を増殖中。</li> <li>○ 食料(砂糖)と競合しない農産廃棄物をあえて増やすという新しいコンセプトによる育種。</li> <li>○ バガスは製糖工場に集まっており、均質で原料として使いやすい。タイでは発電の原料として使われており、第2世代エタノール、ガス化、メタン発酵等のバイオマス利用も可能。</li> <li>○ サトウキビは株出し栽培が可能のため、低コストで多くのバイオマス収量が得られる。</li> <li>○ LCAを行った。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 種間雑種およびエリアンサスとの属間雑種の利用により、さらに収量が多く、不良環境耐性を備えた系統を日本とタイで育成中。</li> </ul>
	収集・運搬・保管	実証	実用化			(59)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 小規模熱電併給装置(小型CHP)普及のための経済性等評価のための採算性評価ツールを開発。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 原料特性の解明。</li> </ul>	
	食品廃棄物	収集・運搬・保管	実証	実用化			(60)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 家庭系厨芥をディスポーザーと下水道管渠を用いて収集・運搬する技術は実用化段階。グリーストラップ由来の油脂の混合発酵に着手(研究・実証段階)。</li> <li>○ 商業施設内において、ディスポーザー由来の飲食店舗等厨芥、厨房排水固液分離汚泥、グリーストラップ廃油脂を混合してメタン発酵する技術を実証実験を通して確立。さらに、厨房排水の液分からもメタン回収するための技術を開発中。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ グリーストラップ利用では、長大な管路を経由する場合、油脂等の性状が変化。</li> <li>● 安定運転の維持には、発酵槽投入時点での油脂を含めた混合原料の油分/全固形物比を一定水準未満に制御することが有効。本比が水準を超過する場合には、施設内外から低油分含有率の廃棄物等を調達する必要がある。</li> </ul>
下水汚泥	収集・運搬・保管	実証	実用化			(61)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ メタン精製装置と車載式メタン吸蔵装置を組み合わせ、小規模下水処理場でのメタン発酵により生成されたバイオガスを集約してバイオガス発電に利用する技術で、技術的には実証段階。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 車両の運転条件等の整理</li> </ul>	