JPECレポート
No.220202

2022 年 2 月
総務部調査情報グループ
欧州長期出張員事務所

欧州におけるバイオマス原料の利用可能性について

◇欧州におけるバイオ燃料原料の持続可能性評価は、再生可能エネルギー指令（REDⅡ）によって、食料との競合や土地利用の観点から、種類や利用限度等に基準が設けられ、現在、「Fit for 55」として欧州委員会より提案された改訂案の採択に向けた議論が進んでいる。
◇また、基準を満たすバイオマス原料が需要に応じて実際に利用可能であるかが課題とされ、石油精製技術に関する科学調査研究機関である Concawe(Conservation of Clean Air and Water in Europe）により研究がなされ、2021 年 8 月に報告書[1]が公表された。
◇同報告書の結論として、2050 年に向けて欧州で想定されるエネルギー構成において、欧州域内の基準を満たすバイオマス原料は、課題はあるものの、バイオ燃料需要を充足できるとされた。また、どのバイオマス原料が種類別（農業系、林業系、バイオ廃棄物）にどのくらい利用可能なのか、バイオ燃料の推定生産量と利用拡大への提言と併せて記載している。
◇本レポートでは、上記 Concawe による研究報告を基に、多様な持続可能バイオマス原料の状況と今後の供給量見通しについて、現況を整理し、報告する。

1. はじめに
2. バイオ燃料の位置付け
3. 将来のバイオマス導入シナリオ
　3-1. シナリオ概要
　3-2. 研究結果
　3-2-1. 結論概要
　3-2-2. 農業系原料
　3-2-3. 林業系原料
　3-2-4. バイオ廃棄物
4. バイオ燃料生産の技術別推定量
5. バイオマス原料の利用拡大に向けた提言
6. まとめ（所感）

1. はじめに

（バイオマス原料利用可能性へ着目の背景）

欧州連合（EU）の低炭素排出戦略の枠組みの中で、持続可能な低炭素バイオマス原料へのアクセスは、2050 年までに EU の低炭素経済を実現するための重要な要因の一つと見做されている。

例えば、グリーンディールのベースとなる欧州委員会の長期戦略ビジョン「A Clean Planet for all（すべての人にクリーンな地球を）」では、すべてのシナリオにおいて、運輸分野におけるバイオ燃料とバイオガスの果たす大きな役割が認識されている。

また、欧州石油精製業界の戦略「ビジョン 2050」においても、「低炭素燃料」、特に先進型バイオ燃料の EU 運輸分野への導入は、利用可能性の制約を受けずにバイオエコノミー全体の可能性を最大限に活用する適切な枠組みが整えば、その効果的実現の中心的な役割を担うとされている。

この観点から、運輸分野におけるバイオマス原料の役割に関する重要な課題の一つは、EU 及び英国における持続可能なバイオマスの潜在利用可能性、つまり、どのような条件や仮定の下でそれを改善し、他に負の影響を引き起こすことなく、2050 年までに持続的に最大化することができるかとなっている。

1 ・Concawe による低炭素燃料導入の報告書（第 5 章にバイオマス利用可能性について記載）
https://www.concawe.eu/wp-content/uploads/Rpt_21-7.pdf
・Concawe 報告書の根拠となるロンドン大学によるバイオマス利用可能性研究レポート
https://www.fuelseurope.eu/wp-content/uploads/Sustainable-Biomass-Availability-in-the-EU-Part-I-and-II-final-version.pdf

2. EU 及び英国への低炭素燃料（LCF）導入想定におけるバイオ燃料の位置付け

グリーンディールの枠組みの中で、Concawe は、分野横断的な低炭素社会実現への道筋についてのプログラムを開発しており、中期的（2030 年）及び長期的（2050 年）に欧州石油精製産業の関連分野における CO2 排出量の大幅な削減を達成するための様々な低炭素技術と原料に関する機会と課題を特定している。

その中で、2050 年時点で運輸分野に必要となる LCF の年間数量は、航空と海運部門にのみ導入を想定する**低位ケース（S3）**では 67 百万トン（2030 年 34 百万トン）、航空と海運部門に加え陸上大型貨物部門への導入を想定する**中位ケース（S2）**では最大 107 百万トン（2030 年 34 百万トン）、すべての陸上輸送部門を含む運輸分野全体への導入を想定する**高位ケース（S1）**では最大 159 百万トン（2030 年 34 百万トン）とされている（図 1）。

これらの LCF 年間数量には、バイオ燃料と e-Fuel の両方が含まれており、Concawe によるとバイオ燃料の割合は約 50%と推定されている。

長期的には e-Fuel の導入が進み、バイオマス原料の利用可能性への圧力は軽減されると見込まれる。

この LCF 需要想定に対して、十分なバイオマス原料が利用可能であるかどうかシナリオ別に分析がなされており、以降の章にて内容を示している。

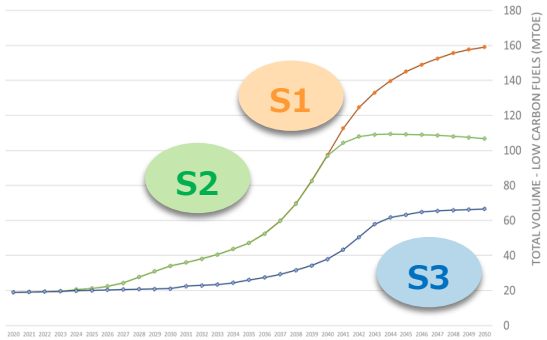


図 1　LCF 導入量推移想定　出所：Concawe

3. 将来のバイオマス導入シナリオ

シナリオが検討された背景としては、①欧州グリーンディール目標を達成するための強い政治的意志と 2050 年ネットゼロ社会への移行に向けた社会的認識の高まり、また、②コロナ禍に対しては、気候変動対策を中心に経済回復を目指した欧州委員会の「リカバリープラン」による資金提供が迅速に行われ、バイオマス事業にとってプラスの影響を与える機会であったとの認識がある。シナリオ共通の前提条件は、以下の通りとなっている。

- <u>対象となるバイオマス原料</u>：REDII の持続可能性基準に準拠し、RED II 付属書 IX パート A/B に示されている対象に限定する。藻類は、徹底した研究がなされていないが、欧州委員会（DG RTG）等による最近の研究が考慮されている（詳細は表 4）。
- <u>低 ILUC リスクコンセプト</u>：持続可能なバイオ燃料のうち REDII において ILUC（間接的土地利用変化）リスクが低いとされる油種が、2023 年以降、特に航空、陸上大型貨物輸送、海運等の短期的な代替手段が限られる運輸部門において主要な選択肢となるとされる。現在のところ、ILUC リスクの高い原料とされているのはパーム油のみとなっている。
- <u>バイオベース製品（プラスチック、医薬品、化学品等）へのバイオマス原料の優先的割当</u>：すべての用途（バイオエネルギーとバイオベース製品）需要から、バイオベース製品向けの各原料カテゴリーと産業分野の需要を差し引き、残りはすべて、潜在的にバイオエネルギー用途（輸送、熱、電力、産業、農業、サービス、建物）に利用可能であるとしている。
- <u>生物多様性リスク</u>：REDII で定められているリスクを考慮し、土地に悪影響の少ない栽培方法を対象としている（国産種の使用、多年生作物と間作の優先等）。
- <u>輸入品</u>：バイオエネルギー用のバイオマス（農業残渣ペレット、木質ペレット、廃食油等）の輸入については、最近の統計や関連文献による予測に基づいて考慮され、バイオ燃料自体の輸入は、考慮されていない。

3-1. シナリオ概要

本研究では、バイオマスの導入規模に応じて、3 つのシナリオが分析されており、概要と個別の前提条件は以下の通りである。

3-1-1. シナリオ１（低位：バイオマス導入が少ないケース）

2030年、2050 年ともにバイオマスの導入が少ない。主な想定は以下となっている。

・**農業（作物栽培方法の改善）**：2020 年レベルと同様の栽培方法の実施
・**林業（森林管理手法の改善）**：2020 年レベルと同様の管理方法の実施
・**未使用、放棄、劣化した土地**：**ごく一部（25%）のみ**をバイオマス作物栽培に**使用**
・エネルギー及び非エネルギーのバイオ部門において**残留廃棄物の使用に重点**（３シナリオ共通）
・**生物多様性**：①生物多様性に重要な価値を持つ土地の保全（直接及び間接的）、②生物多様性に悪影響を与えない土地管理を考慮（３シナリオ共通）

3-1-2. シナリオ２（中位：特定の国において導入量が向上するケース）

作物栽培や森林管理方法改善により、バイオマスの潜在的な利用可能性が高い国において導入量が増加する想定となっている。潜在力の高い国は、①優れた制度的枠組みが見込め、潜在導入量が年間 2,000 万トン以上の国（ドイツ、フランス、スウェーデン、フィンランド、イタリア、英国、オーストリア、スペイン）、またはバイオマス供給コストが低い国（ポーランド、ルーマニア、チェコ共和国、ハンガリー、ブルガリア）となっている。

・**農業（作物栽培方法の改善）**：同じ農地に違う作物を一定期間順番に栽培する輪作、収穫をしないが地力向上を図れる被覆作物栽培、樹木を植え伐採しないまま農業を行う森林農業等の土壌改善によるバイオマス生産性の向上
・**林業（森林管理手法の改善）**：伐採、施肥、保管輸送の最適化等の管理手法の改善
・**未使用、放棄、劣化した土地**：より多く（50%）をバイオマス作物栽培に使用

3-1-3. シナリオ３（高位：管理手法改善と技術開発により導入量が最も向上するケース）

EU 及び英国において、すべての持続可能なバイオマス原料の利用可能性を最大化する管理方法の改善を想定し、バイオマス導入量の最も高いケースとなっている。

・**農業（作物栽培方法の改善）**：輪作、被覆作物、森林農業の土壌改善によるバイオマス生産性の向上
・**林業（森林管理手法の改善）**：伐採、施肥、保管輸送の最適化等の管理手法の改善
・**未使用、放棄、劣化した土地**：更に多く（75%）をバイオマス作物栽培に使用
・**収穫量増加をもたらす技術開発の進展：**収穫設備効率の向上や気候変動の影響（高温、乾燥期間の長期化等）に対する耐性が高い品種の導入

表１　各シナリオの主な前提条件まとめ

	シナリオ 1(低)	シナリオ(中)	シナリオ 3(高)
農業			
農場残渣の除去率	40%	45%	50%
剪枝の利用率	5%	20%	50%
未利用、劣化放棄地における多年生作物の収量増加率	1%	1%	2%
専用作物のための未使用、劣化放棄地の割合（除く、生物多様性に富んだ土地と炭素蓄積量の多い土地）	25%	50%	75%
林業			
幹材のエネルギー利用率（現在のエネルギー利用率：45%）	25%	30%	50%
一次林業残渣のエネルギー生産への利用率	40%	50%	60%
二次林業残渣と消費後木材のエネルギー利用率	55%	60%	65%
廃棄物			
バイオ廃棄物のエネルギー生産への利用率（現在のバイオエネルギー用回収率：40-45%）。	リサイクル率：2030年に60%(2050年に65%) エネルギー利用率※：2030 年には40%（2050年には35%） ※バイオエネルギーとして別途回収	リサイクル率：2030年に50%(2050年に55%) エネルギー利用率※：2030年には50%（2050年には45%） ※嫌気性消化処理用途に別途回収	リサイクル率：2030年に40%（2050年に45%） エネルギー利用率※：2030 年には 60 %（2050 年には 55 %）　※嫌気性消化処理用途に別途回収

出所：Concawe

3-2. 研究結果

3-2-1. 結論概要

バイオマス利用可能総量（全産業分野）

本研究において、2030 年及び 2050 年における EU 及び英国のバイオマス利用可能量として、農業、林業、バイオ廃棄物から得られる総量の推定値は、以下の通りとなった。

すべての用途（エネルギーと非エネルギー用途）で利用可能なバイオマスの総量推定値は、2030 年は 392 百万～498 百万 toe（石油換算トン）（980 百万～1,200 百万ドライトン）、2050 年は 408 百万～533 百万 toe（10 億～13 億ドライトン）との結果が得られた。**エネルギー用途**に限ると **2030 年推定値は、208～344 百万 toe**（520 百万～860 百万ドライトン）、**2050 年は 215～366 百万 toe**（539 百万～915 百万ドライトン）となった（図２）。

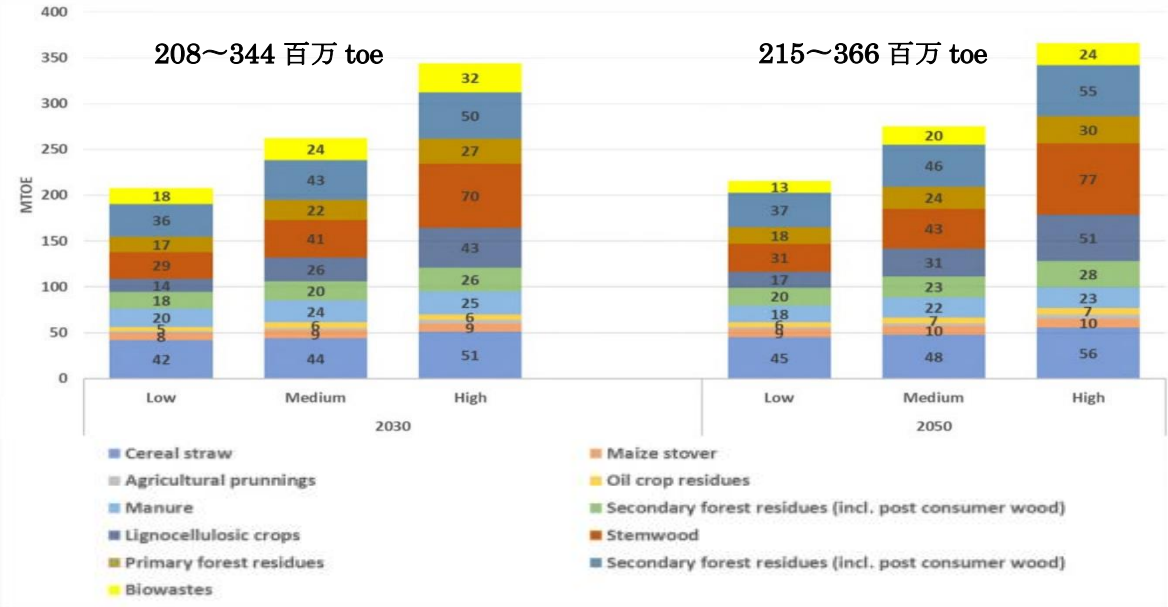


図２　エネルギー用途に利用可能なバイオマス総量　（単位：百万 toe）

バイオマスの利用率が向上し、高収率化のための技術革新が進む想定にもかかわらず、2030 年と 2050 年の間で総量推定値があまり増えない主な理由は、以下となっている。

・2050 年までに土地と水資源の持続可能な利用を求める強い世論の圧力があるとして、**耕作地を 30%削減する想定**を加味している。
・**森林の成長サイクルが長い**ため、潜在的な成長を促進する森林管理の改善による生産性向上の効果が限定的となっている。
・**世間の廃棄物削減への意識**が高まり、回収対象となる資源の増加が制限される。

運輸分野向けのバイオマス原料供給可能量（運輸分野）

エネルギー用途の対象分野から非運輸分野（電力、産業、サービス、農業、住宅）関連の需要（2030 年 130 百万 toe、2050 年 170 百万 toe）を差し引いた、**運輸分野のバイオ燃料生産に使用できるバイオマスの推定量は**、輸入想定量（2030 年 48 百万 toe、2050 年 56 百万 toe）を含み、**2030 年 126 百万～262 百万 toe、2050 年 101 百万～252 百万 toe** と推定されている。推定値の範囲はバイオマス利用可能性の低～高位シナリオに対応している（表２）。

表 2 運輸分野におけるバイオ燃料に利用可能なバイオマス推定値（単位：百万 toe）

	2030	2050
エネルギー用途バイオマスの推定総量（1）	208-344	215-366
バイオマス輸入量の推定値（2）	48	56
運輸分野向け先進型バイオ燃料用バイオマスの推定量（3）（非運輸分野への割当分（※）を控除）	78 – 214	45 – 196
運輸分野向け先進型バイオ燃料用バイオマスの推定量（輸入を含む、（4）＝（2）＋（3））	126 – 262	101 - 252

※PRIMES（EU 委員会）による推定値

上記の運輸分野向け先進型バイオ燃料用バイオマスの推定量（表 2（4））を考慮した場合、そこから生産される利用可能なバイオ燃料数量の想定範囲（表 3: 70.7～176.4 百万 toe）は、Concawe による EU 運輸分野のバイオ燃料需要（LCF 全体の 50%想定）を充足できる結果となった（図 3）。

バイオマス原料供給の低位シナリオの場合、バイオ燃料生産量は、2050 年時点において 70.7 百万 toe となり、LCF 需要想定高位ケース（S1）におけるバイオ燃料需要想定（B1）の 80 百万 toe を若干下回る。しかし、**S1 自体が、LCF 導入の最も高い想定**であることや**バイオマス原料供給量の想定が非常に保守的**であり、本研究の対象となった RED II 附属書 IX に含まれていないその他の持続可能なバイオマス原料の利用可能性や研究開発の進展、作付や森林管理改善による利用可能性の向上等を考慮すると、実際は充足できる可能性が高いと考えられる。

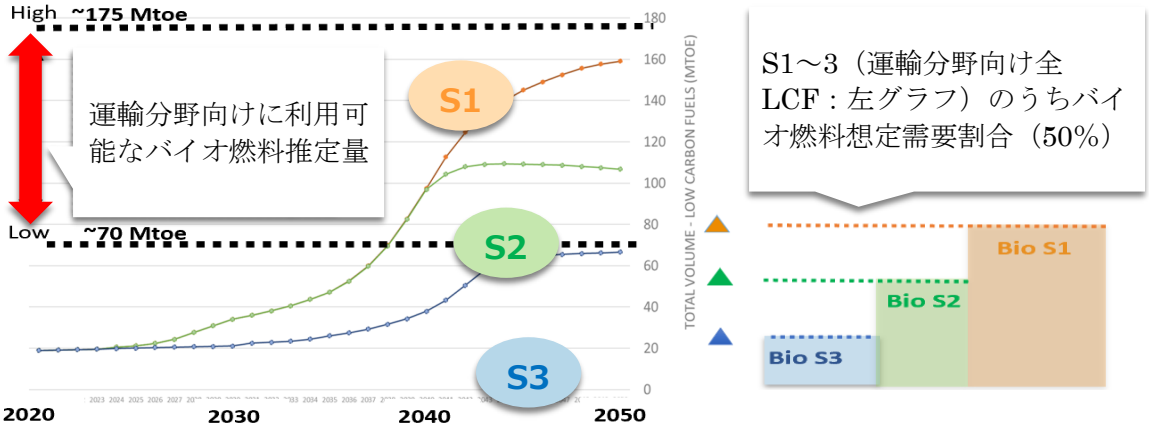


図 3　欧州 LCF 需要想定に対するバイオ燃料利用可能性　　出所：Concawe

バイオマス数量に対するバイオ燃料の生産量推定値については、生産技術と原料別に第 4 章にて概略を説明している（第 4 章　表 6）。

表 3 バイオ燃料の潜在利用可能数量（単位：百万 toe）

	バイオ燃料の利用可能量 1（全エネルギー用途）		バイオ燃料の利用可能量 2（運輸分野への割当のみ）	
	バイオ燃料供給量（EU 国内生産分）	バイオ燃料供給量（EU+バイオマス輸入含む）	バイオ燃料供給量（EU 国内生産分）	バイオ燃料供給量（EU+バイオマス輸入含む）
2030	76.7 - 127.5	94.5-145.3	28.9 – 79.2	**46.7 – 97.0**
2050	158.5 – 252.8	197.7-292	31.5 – 137.2	**70.7 – 176.4**

出所：Concawe

バイオ燃料用のバイオマス原料には様々な種類があり、大きくは、農業系、林業系、バイオ廃棄物（都市廃棄物）に分けることができる。REDⅡにおける区分に基づく本研究におけるバイオマス原料の区分は、表 4 に記載している。

表 4　本研究の対象となるバイオマスの区分

付属書 IX パート A	農業系原料	林業系原料	バイオ廃棄物	藻類
(a)池や光バイオリアクターなどで陸上培養された藻類				最近の概要研究を考慮
(b)混合都市廃棄物のバイオマス（リサイクル目標対象となる分別家庭廃棄物は除く）			紙ダンボール、木屑、動物・混合食品廃棄物、植物性廃棄物、都市ごみ	
(c)分別収集の対象となる民間家庭からのバイオ廃棄物（指令 2008/98/EC 第 3 条のポイント(11)に定義）			紙ダンボール、木屑、動物・混合食品廃棄物、植物性廃棄物、都市ごみ	
(d)食料や飼料としての使用に適さない産業廃棄物（小売・卸売業、農業食品・魚介類・水産養殖業からの廃棄物であり、廃食油を除く）	農産業からの二次農業残渣			
(e)藁	穀物の藁、トウモロコシの茎			
(f)動物の糞尿と下水汚泥	家禽類からの固体及び液体の糞尿（豚や牛）		下水汚泥	
(o)林業および森林関連産業からの廃棄物（樹皮、枝、商用前の間伐材、葉、木の梢、おが屑、切削屑、残渣液　等）		一次・二次森林残渣		
(p)その他の非食品セルロース系材料	油糧作物残渣や農業用剪定枝			
(q)その他リグノセルロース系素材（丸太を除く）		幹材（燃料木材）、消費利用後木材		
付属書 IX パート B				
(a)廃食油			廃食油	
(b)動物性油脂（カテゴリー1 及び 2）			動物性または混合廃棄物に含まれる動物性油脂	

※付属書 IX パート A(g)～(o)までのバイオマス原料（パーム廃液等）は、本研究時点では一貫した統計データがなかったため、対象外とされている。

出所：Concawe

各分類基準に含まれる残渣物の種類と利用可能推定量について概要を以下に示す。

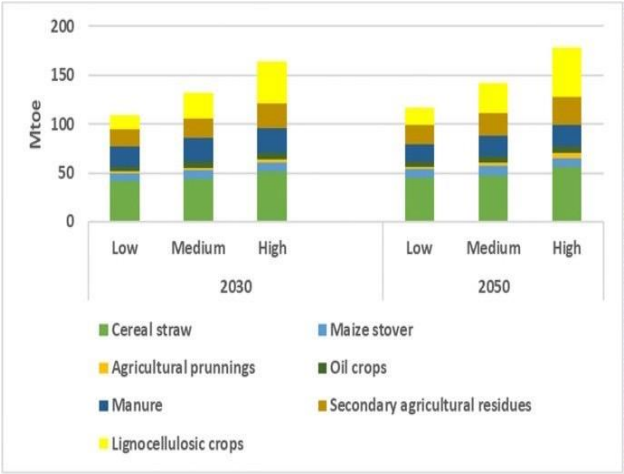
3-2-2. 農業系原料

農業系バイオマスに含まれる畑作残渣、二次農地の残渣、糞尿、リグノセルロース系多年生作物（木質系、草本系）からのバイオマスの総量推定値は、以下の通りとなった。

すべての用途においては、2030 年が 311～452 百万ドライトン（124～181 百万 toe）、2050 年が 335～494 百万ドライトン（134～ 199 百万 toe）となった。また、非エネルギー用途への供給量を除き、**エネルギー用途に限る**と、農業によるバイオマスの潜在的可能性は、**2030 年には** 2 億 7,200 万トンから 4 億 1,000 万ドライトン（**109 ～164 百万 toe**）、**2050 年には** 2 億 9,100 万トンから 4 億 4,700 万ドライトン（**116～179 百万 toe**）となった。

推定された糞尿は、すべてバイオエネルギー生産に利用可能であると想定されている。

潜在的可能性が高いと推定される国は、フランス、ドイツ、ポーランド、スペイン、ルーマニア、イタリア、次いでハンガリー、ブルガリア、チェコ、イギリスである。



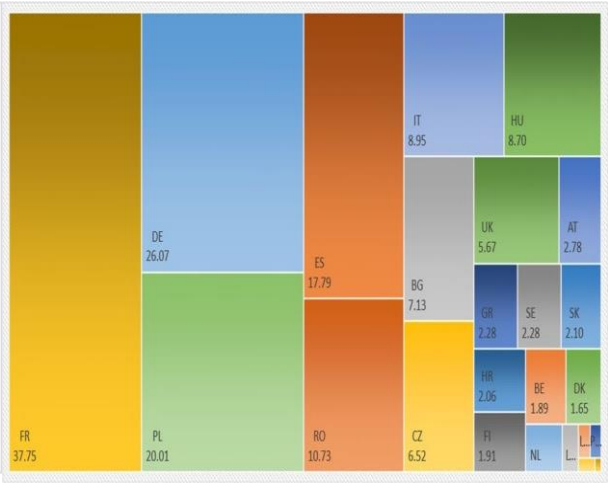


図 4（左）エネルギー用途の農業系バイオマス利用可能量推定値（単位：百万 toe/年）
図 5（右）EU27 及び英国における、穀類のわら、トウモロコシの茎葉、油糧作物の畑の残渣、農業用剪定枝からの農業系バイオマスの地理的分布（単位：百万ドライトン、2030 年低位シナリオ）[2]

環境想定

・<u>土地利用の発展</u>：EU 及び英国の耕作地は、①炭素貯蔵や生物多様性等の環境上の利益のために耕作地を開発しようとする圧力、②土壌侵食、栄養分の枯渇、塩害等による土地の劣化により、今後減少すると予想されている。
・<u>収穫量の増加</u>：気候変動による悪天候の影響（長期的な干ばつ、季節的な降雨パターンの変化、土壌浸食等）や、肥料や農薬の削減を求める環境圧力により、収穫量増加は鈍化すると予想される。しかし、その減少分は、新しい機械や効率的な作物管理方法（耕地作物の播種・灌漑システム）、輪作、被覆作物、森林農業、畑での病害防除、更には、畑での植物の成長をモニターして農場管理を容易にする精密農業によって相殺されるとされている。本研究では、年間平均 1%の作物収量増加を潜在的可能性の推定値に適用している。
・<u>耕作地と畑作残渣の利用可能性</u>：EU の耕地面積は過去 10 年間と比較して徐々に減少するが収穫量は微増するため、生産量は全体として僅かに増加すると推定される。穀物生産量は、飼料需要（特にトウモロコシ）、良好な輸出見通し（特に小麦）、食品工業用途の重要性の高まりにより、2030 年まで増加を続け、その後 2050 年まで安定した傾向と予想される。

農作物の収穫量や管理方法の改善により、2050 年にはバイオマスの潜在量が 38%増加すると推定される。しかし、表 5 で示される前提条件の通り、その潜在増加量は 30%の農地面積の減少と相殺される為、本研究では、2030 年から 2050 年にかけて農業系原料の増加は、平均 10%と推定されている。

2　国名略称
AT：オーストリア、BE：ベルギー、BG：ブルガリア、CZ：チェコ共和国、DE：ドイツ、
DK：デンマーク、GR：ギリシャ、ES：スペイン、FI：フィンランド、FR：フランス、
HR：クロアチア、HU：ハンガリー、IT：イタリア、LV：ラトビア、LT：リトアニア、
LU：ルクセンブルク、NL：オランダ、PL：ポーランド、PT：ポルトガル、RO：ルーマニア、
SE：スウェーデン、SI：スロベニア、SK：スロバキア、UK：英国

表 5 農地の作物残渣のポテンシャルを推定するための主な前提条件

	2030 年まで	2050 年まで
作物の歩留まり向上	9% (年率 0.9%)	18% (0.9%/年)
管理方法の改善	10% (1%/年)	20% (1%/年)
耕作地の減少	-10%	-30%

出所：Concawe

3-2-2-1. 畑作残渣

農業系バイオマスの大部分を占める畑作残渣の内訳（図 4）は、主に以下となっている。

・穀類のわら（Cereal straw）

全ての用途において、2030 年の穀類のわらの推定量は 118 ～141 百万ドライトン（47～ 57 百万 toe)、2050 年は、1 億 3000 万～1 億 5,600 万ドライトン（52～62 百万 toe）である。

エネルギー用途では、2030 年は 42～51 百万 toe、2050 年は 45～56 百万 toe とされる。

・トウモロコシの茎（Maize stover）

この対象には、は、収穫後に畑に残された穀物用トウモロコシの葉、茎、穂軸が含まれる。前提条件として、これらの畑での除去率は、低シナリオで 40%、高シナリオでは 50%とされる。

全てのエネルギー用途では、2030 年の推定量は、2,500 ～2,800 万ドライトン（10～11 百万 toe)、2050 年は、28 ～31 百万ドライトン（11～12 百万 toe）である。

エネルギー用途においては、2030 年は 8～9 百万 toe、2050 年は 9～10 百万 toe とされる。

・油糧作物の残渣（Oil crops）

これらの対象には、穀物収穫後に残る菜種、ヒマワリ、大豆の乾燥した茎が含まれる。

全ての用途において、2030 年の推定量は、16～19 百万ドライトン（6～8 百万 toe)、2050 年は、17～21 百万ドライトン（7～8 百万 toe）となっている。

エネルギー用途においては、2030 年は 5～6 百万 toe、2050 年は 6～7 百万 toe とされる。

3-2-2-2. その他

畑作残渣の他の農業系バイオマスには、果樹園等の剪定枝や糞尿、農林水産加工品の二次残渣、劣化（未利用、放棄）した土地において栽培されるリグノセルロース系作物（ススキやポプラ等）が含まれ、割合は比較的少ないが、多岐に亘っている。

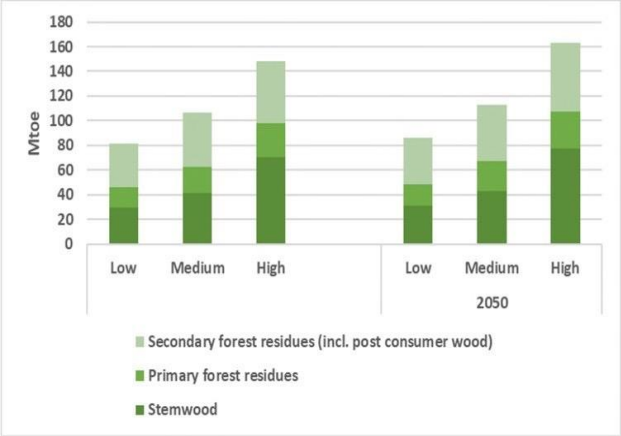
3-2-3. 林業系原料

林業から得られるバイオマス原料には、①幹材（丸材を含む)、②間伐材や最終伐採材からの一次残材（初期の間伐材からの幹や樹冠、最終伐採材からの伐採残材や切り株)、③木材産業（製材所やその他木材加工）からの二次残材の 3 種類が含まれる。

森林の一次利用は、幹材の需要によって行われる。森林からのバイオマス除去については、持続可能性に関する規制があり、通常は、国や所有者の組織が調整する森林管理計画に基づいている。持続可能な森林管理の共通ルールとしては、長期的な年間伐採量が年間純増量を超えないこととされている。

林業によるバイオマスの利用可能量は、全ての用途においては、2030 年に 5 億 5,800 万～659 万ドライトン（223～264 百万 toe)、2050 年は、5 億 9,000 万～7 億 2,600 万ドライトン（236～291 百万 toe）となっている。**エネルギー用途において**は、2030 年には 2 億 400 万～3 億 7,000 万ドライトン（81～148 百万 toe)、2050 年には 2 億 1,500 万～4 億 800 万ドライトン（86～163 百万 toe）と推定されている。

幹材の収穫量が多いために大きな可能性を示している国は、スウェーデン、ドイツ、イギリス、フランス、フィンランド、ポーランドであり、森林の年齢構成と現在の木材需要のレベルを考慮すると、ドイツ、スペイン、フィンランド、フランス、スウェーデンではポテンシャルが高いことが予想される（図 7）。



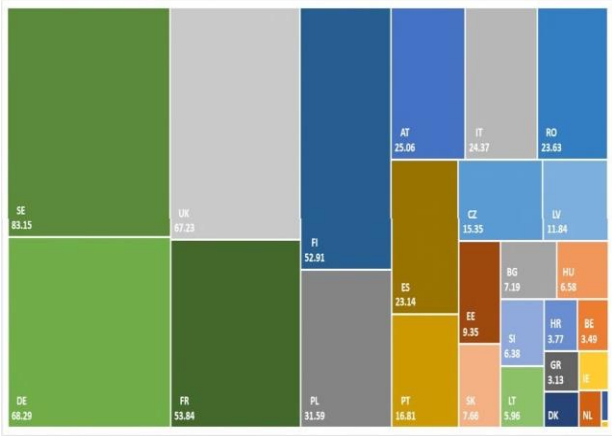


図 6（左） エネルギー用途の林業系バイオマスの潜在可能性（単位：百万 toe/年）
図 7（右） すべての用途の林業系バイオマスの潜在可能性の地域分布（単位：百万ドライトン/年、2030 年低位シナリオ）、図中の推定合計は 5 億 5800 万ドライトン

・幹材（Stemwood）

幹材とは、林業の主な生産物として、伐採した木の幹から樹上までの部分で、樹皮を含めて枝を取り除いたもの（間伐を含む）と定義される。

一般的に、幹材のバイオマス原料（すべての用途）としての推定利用可能量は、時間の経過とともにわずかな変化しか見られないと推定される。2050 年の低位シナリオにおいて、検討された対策によっても幹材の潜在的な利用可能性は 1%未満しか増加していない。

これは主に、年間の潜在的可能性が、今後 50 年間を通して維持できる平均的な最大収穫レベルに既に近づいているためであり、検討されたシナリオでは、増加分は、主に間伐材（すなわち中間収穫）からの増加とされている。

すべての用途（製品、化学品、エネルギー等）における幹材の潜在的可能性は、2030 年には 2 億 9,300 万～3 億 5,200 万ドライトン（117 ～141 百万 toe）、2050 年には 3 億 800 万～3 億 8,700 万ドライトン（123～155 百万 toe）と推定されている。また、エネルギー用途においては、2030 年には 29～70 百万 toe 、2050 年には 31～77 百万 toe と推定されている。

・一次林業残渣（Primary forest residues）

一次林業残渣の対象は以下の通りとなっている。

- 商業利用前の初期の間伐材から得られる茎と樹冠：茎、枝、樹皮、針葉からなる。商用利用前の間伐では、木材加工産業にとって価値のない若木が選択的に切断され、通常の森林管理の一環として、残った木の成長を促進する。
- 間伐材の残材：（細い）茎や枝、樹皮、針葉、葉　等が対象となる。
- 最終的に伐採された後の残材：主に枝、樹皮、針葉、葉　等からなる。
- 最終的な伐採からの切り株：木の根を含む、伐採した木の下の部分
- 間伐材からの切り株：間伐材の伐採から下の部分

一次林地残材の潜在的利用可能性は、すべての用途において、2030 年には 1 億 400 万トン～1 億 1,400 万ドライトン（41～45 百万 toe）、2050 年には 1 億 1,200 万トンから 1 億 2,600 万ドライトン（45～50 百万 toe）と推定される。また、エネルギー用途においては、2030 年には 17～27 百万 toe 、2050 年には 18～30 百万 toe とされている。

・二次林業残渣（Secondary forest residues）

この研究で評価された二次林業残渣には、①製材業の副産物（おがくずを除く）、②製材業からのおがくず、③その他の林業副産物が対象となっている。

製材業由来の残渣物は、幹材を加工する際の副産物として生成され、樹皮、おがくず、床板、チップで構成される。それら残渣物のほとんどはすでに販売され、材料として使用されており、すべての大規模な木材加工国では、収集と取引もすでによく組織化されている。

その他の林業副産物は、製材品、木質パネル、建具等の一次・二次加工された木材製品を窓枠、家具、ドア等に製品加工する際に発生する。主におがくず、削りくず、端材からなり、ほとんどが廃棄物として見做されているが、収集と取引はよく組織化されており、多くは塗料や接着剤等の木材以外で汚染されている為、廃棄物処理会社によって、無料または少額ですでに回収されている。

・消費利用後の木材（Post consumer wood）

梱包材、解体材、建築現場木材、中古家具等、木材製品としての利用終了時点で入手可能なあらゆる種類の木質材料が含まれる。これらは、塗装や接着処理や釘の有無等の品質が以前の用途によって異なり、特にエネルギー用途以外の利用可能性に大きく影響する。

二次林業残渣と消費利用後の木材の潜在的可能性は、すべての用途において、2030 年には、1 億 6,200 万～1 億 9,400 万ドライトン（65 百万～78 百万 toe）、2050 年には 1 億 7,000 万～2 億 1,300 万ドライトン（68～85 百万 toe）と推定されている。また、エネルギー用途においては、2030 年には 36～50 百万 toe 、2050 年には 37～55 百万 toe と推定されている。

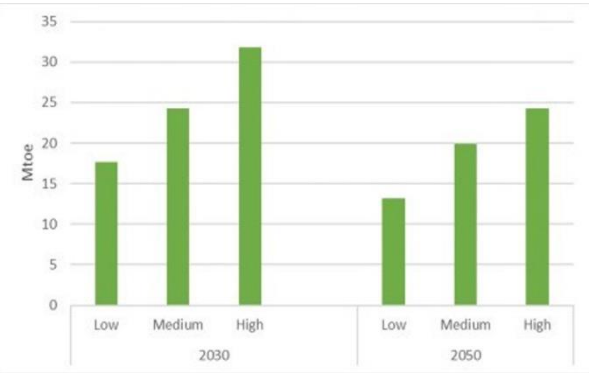
3-2-4. バイオ廃棄物（都市廃棄物）

一般廃棄物からリサイクル可能なもの（金属、ガラス等）を取り除いた後に残るものとして、この研究に含まれるバイオ廃棄物は、経済部門から排出される紙・段ボール、木くず、動物性脂肪（カテゴリー1 及び 2）、植物性廃棄物、混合食品廃棄物、梱包材、厨房廃棄物、家庭用機器が含まれている。

「EU 循環型経済パッケージ」では、地方自治体の廃棄物の再利用・リサイクル率は、2025 年までに 55%、2030 年までに 60%、2035 年までに 65%とすることが求められている。また、2035 年までに都市ごみの埋立量は、2035 年までに 10%以下にする必要がある。本研究では、低位シナリオにおいて、2030 年と 2050 年に上記の率を適用した。

全用途に対するバイオ廃棄物の潜在的利用可能性は、2030 年には、111～133 百万ドライトン（44～53 百万 toe）、2050 年には、94～113 百万ドライトン（38～45 百万 toe）と推定している。エネルギー用途においては、2030 年には、4,400 万～8,000 万ドライトン（18～32 百万 toe）、2050 年には、3,300 万～6,100 万ドライトン（13～24 百万 toe）と推定される（図 8）。

国別には、イギリス、ドイツ、フランス、イタリア、スペイン、ポーランドが、年数やシナリオを問わず、推定可能性において最大のシェアを占めている（図 9）。



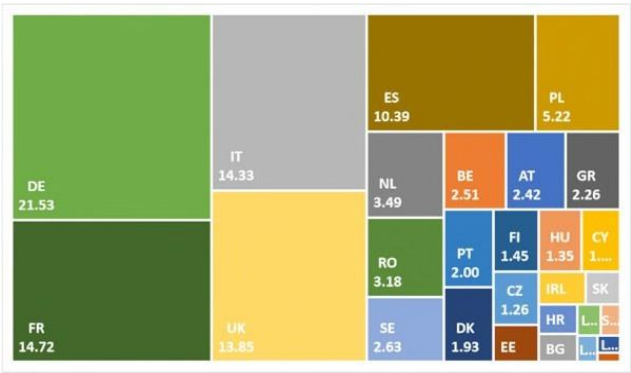
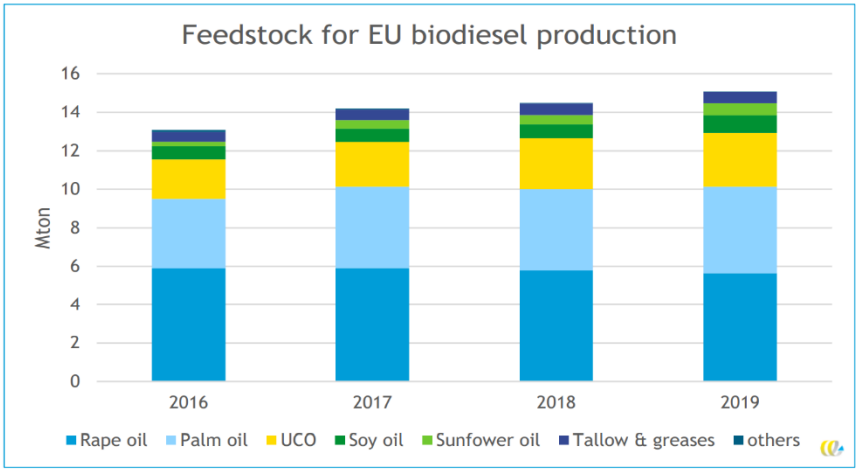


図 8（左）エネルギー用途におけるバイオ廃棄物の潜在的可能性（単位：百万 toe/年）
図 9（右）全用途におけるバイオ廃棄物の推定可能量の地域分布（単位：百万ドライトン　2030 年低位シナリオ）、図中の推定合計は 1 億 1,100 万ドライトン

・廃食油

バイオ廃棄物のうち、エネルギー用途における廃食油（UCO：used cooking oil）の欧州における需要は、2011 年から 2016 年にかけて 68 万トンから 244 万トンへと増加し、2019 年には 280 万トンとバイオディーゼルの原料シェアの 18.5%を占め、近年、確実に増加している（図 10）。



Source: (ISTA Mielke GmbH, 2020).
図 10　EU と英国におけるバイオディーゼル原料割合推移（単位：百万トン）

UCO を使用してバイオディーゼルを生産する国は、欧州ではドイツ、イタリア、オランダ、スペイン、英国のみとなっている。EU での生産はほとんどが EU 欧州域内市場向けとなっており、一部は、ノルウェー、スイス、米国、ペルーに輸出されている。

原料供給面において、2019 年の EU 及び英国における **UCO 回収量（家庭用と業務用の合計）は年間 0.7～1.2 百万トン**と推定され、不足する分として、UCO もしくは UCOME（UCO を原料とした FAME：脂肪酸メチルエステル）が、**年間 1.4 百万トン輸入**された。バイオディーゼルの UCO ベース原料の合計供給量（年間 2.1～2.6 百万トン：図 10）は、年間需要（2.8 百万トン）を若干下回るが、これはデータの不確実性から生じたとされる。

UCO の現回収率と供給余力

EU 及び英国における、**業務用 UCO の回収量は、2016 年までに 675 千トン**とされ、レストランやケータリング企業等からの**回収率は約 86%**となっている。しかし**家庭用 UCO** の回収は難しく、2016 年までに EU 及び英国で回収されたのは **36 千トン、回収率はわずか約 5 %**である。

・<u>業務用 UCO</u>：供給余力は西欧では既に回収システムが構築されて限定的であるが、回収率が 50%であるルーマニア等、東欧において回収が進めば、**欧州全体の回収量は、2030 年までに 806 千トン（2015 年 675 千トン）に増加する可能性がある**とされる。
・<u>家庭用 UCO</u>：発生量は 2030 年に 873 千トン（2015 年 706 千トン）に増加すると見込まれており、回収量は、2030 年時点では、政府による効果的な支援があれば最大 188 千トン（回収率 22%）になる可能性があるとされる。しかし、家庭用 UCO の効果的な回収スキームを構築するには時間がかかるとの想定の下、回収量は、2030 年に 32 千トン（2016 年 36 千トン）まで減少するとの見方もあり、UCO 供給余力の増加は、効果的な家庭用 UCO の回収システムの開発次第と言える状況となっている。

本研究における前提は、2030 年においては家庭用回収率 15%、業務用回収率 90%、2050 年においては家庭用回収率 45%、業務用回収率 90%となっている。

EU 及び英国の域外からの供給（輸入量）と需要推定

UCO の需要増加を受けて、EU 及び英国への UCO 及び UCOM の純輸入量は 2014 年以降大幅に増加しており、2019 年には 1,400 千トンとなった。大部分は中国、インドネシア、マレーシアから輸入され、これらの国々からの UCO 輸入量は合計で 500 千トンであった。

輸送用燃料に占める UCOME の割合が 1.7%（RED Ⅱにおける混合上限）になると想定すると、UCOME の需要は、2030 年に年間 6.1～6.4 百万トンまで増加する。（また、文献によっては、この需要の約 17～19%にあたる 1.0～1.1 百万トンは EU の航空部門分野、残りは他の輸送モードで使用されると推定されている。）

これらの最大需要推定値は、2030 年の EU 及び英国における UCO/UCOME の供給能力推定値（年間 3.1～3.3 百万トン）と比較すると、大幅に上回っており、供給不足の課題が中長期的にも継続する可能性がある。しかし、いくつかの文献によると、世界の潜在的な UCO/UCOME 供給可能量は、推定値よりもはるかに多く（最大 34 百万トン/年）、輸入できる可能性はあると見込まれるが、現状ではデータの不確実性も大きい。

3-2-5. 藻類

バイオエネルギー分野におけるマクロ及びマイクロ藻類の開発は不確実である為、本研究では、対象とはしているものの、先進型バイオ燃料生産のための藻類の将来的な利用に関する予測は行わず、この分野ではさらなる研究開発 が必要であることが強調されている。

現在、藻類バイオマスは、主に食品や食品関連の用途に向けられており、サプリメントや栄養補助食品等の高付加価値製品の為の成分抽出が行われている。

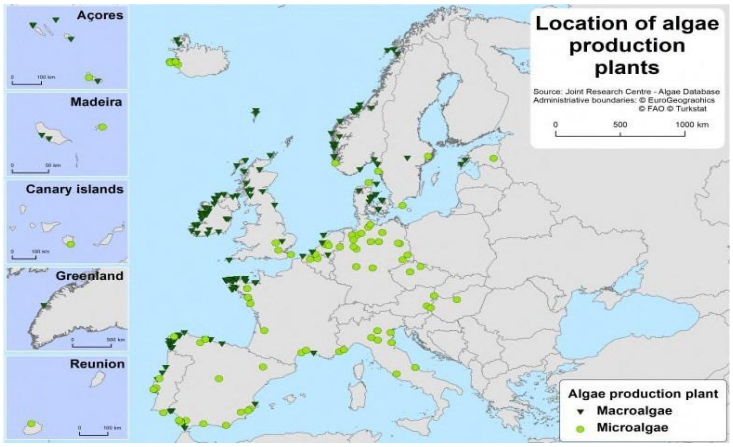


図 11　欧州の藻類工場の位置　　出所：JRC

4. バイオマス利用可能性を踏まえたバイオ燃料生産の技術別推定量

バイオ燃料生産に使用できる様々なバイオマスの利用可能量のうち、**運輸分野に向けることができるのは、**バイオマス輸入量を含み、その他の非運輸分野（電力、産業、サービス、農業、住宅）への割当を差し引くと、 **2030 年には 126～262 百万 toe、2050 年には、101～252 百万 toe と推定される**との結論となった（3-1.　研究結果）。

それらのバイオマス原料から先進型バイオ燃料を生産するには、様々な技術があり、その技術毎の技術成熟度（TRL）も違い、また最適な原料も異なっている。

図 12 は、バイオマスを先進型バイオ燃料に変換するために利用可能な技術の状況を TRL レベルに基づいて、技術開発を行う企業とともに示している。市場展開中または商業化に近い企業もいくつか示されている。

嫌気性消化法（Anaerobic Fermentation）によるバイオメタン生産の一部と脂質の水素化処理（Hydrotreating）の 2 つは商業化（TRL8～9）されている。**リグノセルロース系エタノールのバリューチェーンは FOAK の状態（TRL6～8）に達し、商業化の過程**にあるが、**ガス化（Gasification）、熱分解（Pyrolysis ）、水熱液化（Hydrothermal Upgrading）**による合成バイオ燃料とパラフィン系バイオ燃料は **FOAK の前段階の開発中**である。

FOAK（First-of-A-Kinds）とは、バイオマス原料の受け入れから市場への出荷準備が整った最終

製品まで、生産と供給のすべての施設が建設された状態とされている。本研究では、商業的に拡張可能と考えられる規模のプラントが建設後、試運転が行われ、少なくとも 3 ケ月間正常に稼働した場合に、その技術が FOAK の状態に達したものとされている。

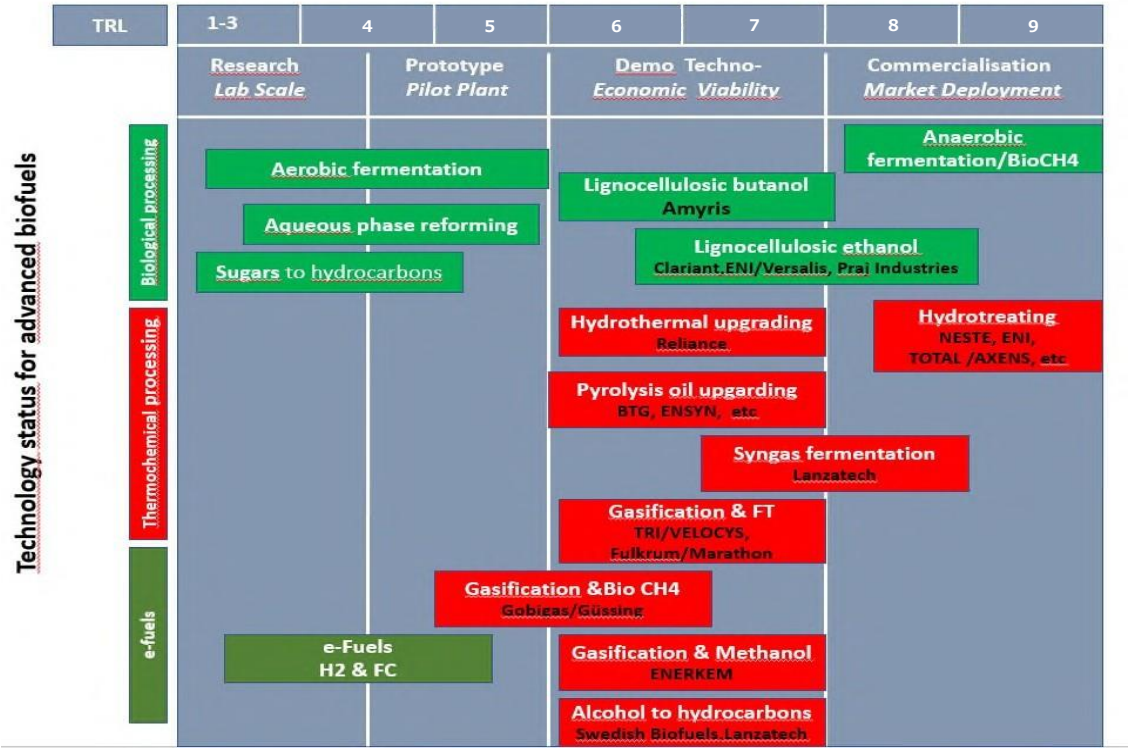


図 12 TRL レベルに基づく先進型バイオ燃料生産技術の開発状況と取り組み主要企業

表 6 には、これまでのバイオマス利用可能性を踏まえた上で、2030 年と 2050 年における先進型バイオ燃料の利用可能量について、生産技術とバイオマス原料別の推定値と TRL（2020 年 12 月時点）が示されている。

表 6　技術別バイオマス原料別の先進型バイオ燃料の利用可能量
（2050 年までに再生可能水素による変換収率向上が可能となるハイテクノロジーケース）

生産技術とバイオ燃料油種	利用可能原料 [利用可能度合い]	先進型バイオ燃料利用可能推定量 （百万 toe）	
		2030 年	2050 年
水素化分解植物油（HVO）	廃油・廃食用油　[高]	1.9	1.9
	廃料理油（UCO）[高]	2.6	6.5
技術成熟度（TRL）		8～9	8～9
嫌気性消化法によるバイオメタン	下水汚泥[高]	0.1 - 0.2	0.4
	糞尿（固体と液体）[高]	1.1 - 1.3	1.0 - 1.2
	農業残渣（高水分）[高]	0.1	0.1
技術成熟度（TRL）		8～9	8～9

加水分解と発酵によるエタノールと炭化水素	農業残渣（わら系）[高]	21.0 - 25.3	N/A
	リグノセルロース系作物（草木系）[低]	5.5 - 16.6	6.5 - 19.6
技術成熟度（TRL）		8～9	8～9
フィッシャートロプシュ合成（ガス化＋触媒合成）※1	バイオ廃棄物[中]	9.2 -16.8	13.2 - 24.4
	固体産業廃棄物（農業・林業の第二次産業[高]	27.9 - 40.1	56.8 - 84.0
	農業残渣（わら系）[高]	N/A	54.4 - 62.4
	農業（木質）・林業残渣[高]	1 - 1.5	2.4 - 3.2
	リグノセルロース系作物(木質系) [低]	7.6 - 22.7	16.8 - 50.8
技術成熟度（TRL）		8～9	8～9
合計		78.0 – 129.1	160.0 – 254.5
合計（除くバイオメタン）※2		76.7 - 127.5	158.5 – 252.8
エネルギーベースの平均変換収率		37%	70%
ドライマスベースの平均変換収率		15%	29%

※1 FT 合成に割り当てられている原料は、需要に応じて既存製油所における混合処理（Co-processing：高速熱分解や水熱液化）に割り当てられる可能性もある。再生可能水素と組み合わせた高速熱分解や水熱液化技術も導入が考えられるが、TRL が低い（3～5）の為、当該表には含まれない。

※2 表 3 に示された全エネルギー用途向けのバイオ燃料の利用可能推定量（EU 国内生産分）に反映されている。

出所：Concawe

先進型バイオ燃料プラントを建設するには、資金調達の目途がついてから平均約 2～2.5 年かかり、建設完了から試運転完了するまでに更に 0.5～2 年かかっている。その為、先進型バイオ燃料生産技術をラボスケールから FOAK の段階にするには、平均して約 10～20 年要すると言われている。

単一のアプローチや技術だけでは、ネットゼロ社会の実現することはできない為、様々な技術について、TRL の向上に向けた技術開発と変換効率の更なる改善が求められる。

5. バイオマス原料の利用拡大に向けた提言

本研究においては、バイオマス原料の利用可能推定量の分析と共に以下の通り、更なる利用拡大に向けた提言もなされている。

5-1.機会と課題

	機会	課題
農業	・新しい耕作機械の導入 ・効率的な作物管理方法の導入（プレシジョン・ファーミング） ・地域の農業生態学的条件に適した新品種の開発 ・スマートアプリケーションによる知識向上と、若い農家や起業家の増加	・炭素貯蔵や生物多様性等の環境面のメリット維持を求める農地開発への圧力 ・土壌侵食、栄養塩類の枯渇等による土地劣化
林業	・林業から得られるバイオマスの潜在利用可能性（特にドイツ、スウェーデン、フランス、フィンランドで最大の可能性あり） ・南欧や西欧での森林利用率の低さ（EU 諸国の半数では年間増加量の 3 分の 2 以下の伐採率） ・難易度の高い地形での開拓技術開発（急斜面（特に中・南欧）や泥炭地（特に北欧）等） ・デジタル化とビッグデータによる、バイオマスの供給と物流の根本的革新	・気候変動の欧州林業全体への悪影響 →南欧：干ばつの頻発による森林の成長阻害や火災のリスク増加 →北欧：気温上昇により森林の成長が促進される一方、自然災害のリスク増加により伐採や輸送の条件が悪化
バイオ廃棄物	・一般市民（特に若い世代）のバイオ廃棄物回収に対する意識向上 ・全加盟国における廃棄物収集スキームの改善 ・最新の工業用分離技術による、混合廃棄物から有機廃棄物の収量最大化	・廃棄物削減意識の高まりとリサイクル率の向上による、バイオ廃棄物自体の発生抑制

5-2. 対策の方向性

農業系バイオマス原料

現在、わらが実質的にすべての EU 諸国で最大の農業バイオマス資源となっており、更なる活用に向けての提案としては主に以下の点が考えられ、議論が進められている。

- 低炭素経済移行に向け、国や地域における農村開発施策を導入する。（既存施策がない場合）
- 農業政策の資金調達メカニズムの一つである「グリーニングペイメント」の予算対象には、地域生態系に適合する作物の多様化や、農業残渣物の持続的な回収を含むバイオマス最適化への取り組みが含まれており、更に活用する。
- 既存の木材取引センターを改善し、わらや剪定枝等を取引対象に拡大する為、助成金や税の軽減による支援を行う。
- 収穫量が多く地域生態系への適応性が高い新品種の導入に関する研究プログラムを支援する。
- 農家やバイオマス業者に農業残渣の取り扱いや配送に関する教育訓練を実施する。
- 加盟国の成功事例に学ぶ機会を提供する。（例：デンマークのエネルギー用わらに関するプログラム等）
- 農業残渣の品質向上のための取扱いと保管方法の能力開発を支援する。

林業系バイオマス原料

未利用の森林バイオマスを利用することで、EU 全体の潜在利用可能性に最も貢献するのは、スウェーデン、ドイツ、フランス等と予想されている（3-2-3. 林業系原料）。しかし、木材は多様な用途の重要な原料（建築材料、バイオプラスチック等）でもある為、バイオ燃料原料としての追加的な導入は、この潜在利用可能性に対する市場の需要が増加し、土地の所有者や管理者が新たに開拓するための十分なメリットを認識する場合にのみ実現する。

持続可能な森林バイオマスを活用するための提言としては、主に以下の点が挙げられる。

- 国や地域レベルでの啓発活動により、民間の森林所有者への情報提供を強化する。
- 国レベルでの森林認証活動の奨励：
  森林認証制度や持続可能な森林法は、事業運営やバイオマス供給の持続可能性を確保するための重要なメカニズムであり、改善事項は国の政策において十分に考慮される必要がある。

バイオ廃棄物

バイオ廃棄物は、個別に回収された台所や庭のごみに含まれるだけでなく、一体的に回収される都市ごみにも含まれており、回収は一般に困難となっている。また、今回や過去の研究から、国ごとに利用可能なバイオ廃棄物の数量は、人口や経済規模との非常に強い相関が示されている。

家庭ごみの潜在利用可能性が大きい国は、ドイツ、スペイン、フランス、イタリア、ルーマニア、イギリスとなっている。また、廃棄物の回収率が既に非常に高く、人口や経済規模の大きさに比べると潜在利用可能性が低めの国もあり、例えば、オーストリア、ベルギー、ドイツ、デンマーク、エストニア、オランダ、アイルランド、イギリス、スロベニア等が挙げられる。

廃棄物から持続可能なバイオマスを確保するための提言としては、以下の点が考えられる。

- 廃棄物関連法令の条件を改善し、廃棄物の全ての潜在用途と輸送の問題を考慮する。
- バイオ廃棄物の回収率向上のための効果的な財政・規制措置を導入する。
- 家庭からの廃食油の回収にインセンティブを付与する。

6. まとめ（所感）

運輸分野の脱炭素化に向けては、乗用車の電化が急速に進みつつあるが、航空、陸上大型貨物輸送、海運部門においては、電化や水素利用等の次世代技術が大規模に適用されるのはまだ何年も先のことと推定されている。今回紹介した研究においては、それまでの間、先進型バイオ燃料は、欧州において必要な原料確保ができるとの見通しから、大きな役割を果たしうる事が分かった。

そうした先進型バイオ燃料は、日本にとっても、特に 2030 年までの脱炭素化にはとても重要な技術であることは疑いようがなく、石油分野における技術ロードマップ案でも示されている通り、グリーンイノベーション基金による資金支援の対象技術にもなっている。バイオマス原料の確保は大きな課題となっているが、生産者と消費者双方が、新技術への投資に伴う初期コストの負担をしたくない、あるいはできないという「鶏と卵」のような問題解決に少しでも寄与し、先進型バイオ燃料や合成燃料といった持続可能な低炭素燃料の商業規模での生産が 2030 年までに業界で広く採用されることを目指し、参考となる調査を今後とも継続していく。

以上

（問い合わせ先）

一般財団法人石油エネルギー技術センター総務部 調査情報グループ pisap@pecj.or.jp

本調査は、一般財団法人石油エネルギー技術センター（JPEC）が資源エネルギー庁からの委託により実施しているものです。無断転載、複製を禁止します。
Copyright 2022 Japan Petroleum Energy Center all rights reserved