

農業・食料生産分野における
バイオマス利用工学

—循環型社会のための生物資源利用—

農業食料工学会生物資源部会 編

コロナ社

編集機構

編集委員長	野口良造 (京都大学)
編集幹事	石川志保 (酪農学園大学)
編集委員	井原一高 (神戸大学)
	芋生憲司 (東京大学)
	岩渕和則 (北海道大学)
	王秀崙 (三重大学)
	小島陽一郎 (農林水産省)
	滝沢憲治 (三重大学)
	竹倉憲弘 (農業・食品産業技術総合研究機構)
	田中章浩 (農業・食品産業技術総合研究機構)
	田中宗浩 (佐賀大学)
	菱沼竜男 (宇都宮大学)
	前田武己 (岩手大学)

(五十音順)

(所属は 2023 年 3 月現在)

【本書ご利用にあたって】

- ・本文中に記載している会社名、製品名は、それぞれ各社の商標または登録商標です。本書では®やTMは省略しています。

まえがき

「蜻蛉を翅ごと吞めり燕の子（沢木欣一）」

農学の視点を有する生物資源利用（バイオマス利用）では、この俳句に示されるような生物の命の循環とともに、微生物による有機物分解をも含む意識が必要であり、地球環境と人間社会との調和、生命すべてを対象とした倫理的対応が求められる。

本書は、2019年に農業食料工学会に発足した生物資源部会によって企画された。その後、生物資源部会員の関係者を中心に執筆者が選定され、コロナ社の協力を得て刊行された。本書は、基礎編として「Ⅰ編 生物資源利用の基礎」、応用編として「Ⅱ編 生物資源の応用技術」によって、生物資源利用の基礎から応用まで学ぶことができる構成としている。

Ⅰ編では、生物資源利用の基礎理論と基礎技術を扱った。なかでも、生物資源利用に関わる背景や基礎的な事項とともに、堆肥化、メタン発酵、廃水浄化、微細藻類生産を取り上げた。さらに、炭化、半炭化、燃焼に加えて、多様なバイオリファイナリープロセスに関する基礎理論と基礎技術の解説を行った。

Ⅱ編では、生物資源利用のための応用技術、農作業や農業機械との関わりを扱い、環境影響や循環型社会の構築に向けた解説をした。特に、マテリアル利用、エネルギー利用の実際の利用のための技術、生物資源の生産や収穫などに関わる機械作業や乾燥操作、食の安全、環境影響評価、SDGsとの関わりなど、バイオマス利用の社会実装に至る広範かつ現実的な課題を取り上げた。

1990年代以降、世界中でバイオマスの積極的利用が叫ばれ、さまざまな取り組みが行われてきた。しかし、バイオマスはエネルギー密度が低いこと（収

集、濃縮が困難)、含水率が高い(燃焼に向かない)こと、エネルギーや純物質の抽出が難しいこと、強い臭気が発生するといった場合があること、農業生産の持続性から限られた面積での資源循環を考える必要があること、バイオマス供給量の時間的な変動から稼働が不安定になりがち、といった多様な課題が依然として残されている。

しかし、バイオマスは、農林業現場や自然環境の多い場所では、最も身近でかつ普遍的に存在していることから、単なるエネルギー利用だけでなく、副産物としての資源利用や炭素貯留利用など、期待が大きい。さらに、バイオマス利用の研究や技術は日進月歩であることから、研究結果の速報的な内容も含め、なるべく早く刊行したいという執筆者らの思いから作業が進められた。

本書は、おもに農学系の研究に関わる方々によって執筆されたことから、農学分野に従事されている方々、農学系の大学生や大学院生に読んでもらいたい。また、本書は農林業の現場からの視点を含むことから、生物資源利用を目指している農学系以外の分野の方々にもぜひ読んでもらいたい。そして、本書を読んだ多くの方々が本書から生物資源利用の課題解決の手がかりを得ることを期待している。

最後に、本書の刊行にあたって、農業食料工学会、ならびに生物資源部会から、多くのご協力をいただいたことに深く感謝申し上げます。さらに、お忙しいなかにもかかわらず原稿を執筆いただいた方々、本書刊行を支えていただいたコロナ社に深くお礼申し上げます次第である。

2023年2月

編集委員長
野口良造

執筆分担（執筆順）

いおふち 岩渕	かずのり 和則	(北海道大学)	I 編 1.1, 1.2.1, 1.2.2 [1] [2]
たきさわ 滝沢	けんじ 憲治	(三重大学)	I 編 1.2.2 [3]
はせがわ 長谷川	ぶんせい 文生	(東京大学)	I 編 1.3
いもう 芋生	けんじ 憲司	(東京大学)	I 編 1.4
いしかわ 石川	しほ 志保	(酪農学園大学)	I 編 1.5.1, II 編 2.1.1
はら 原	あきら 亮一	(北海道大学)	I 編 1.5.2
のぐち 野口	りょうぞう 良造	(京都大学)	I 編 1.6, 2.4.2, II 編 2.2.1, 4.2
まえだ 前田	たけき 武己	(岩手大学)	I 編 2.1.1, II 編 1.1.1 [1]
あべ 阿部	よしゆき 佳之	(農業・食品産業技術総合研究機構)	I 編 2.1.2, II 編 1.1.1 [2]
うめつ 梅津	いさか 一孝	(帯広畜産大学)	I 編 2.2.1
よしだ 吉田	げん 弦	(神戸大学)	I 編 2.2.2
きよみ 和美	よこ子 代子	(農業・食品産業技術総合研究機構)	I 編 2.3.1
ふるはし 古橋	けんいち 賢一	(東京大学)	I 編 2.3.2, 2.4.1, 2.4.3
いとう 伊藤	たかのり 貴則	(北海道大学)	I 編 3.1, 3.2.3, II 編 1.1.2
ななか 田中	あきひろ 章浩	(農業・食品産業技術総合研究機構)	I 編 3.2.1 [1], II 編 1.1.3 [1], 2.2.3
やくし 薬師堂	けんいち 謙一	(九州バイオマスフォーラム)	I 編 3.2.1 [2], 3.2.2, II 編 2.2.5
はすみ 蓮沼	まこと 誠久	(神戸大学)	I 編 3.3, II 編 2.4
おう 王	けん 秀崙	(三重大学)	I 編 3.4, II 編 1.2
やました 山下	よし 善道	(農業・食品産業技術総合研究機構)	II 編 1.1.1 [3]
こじま 小島	ひさし 陽一郎	(農林水産省)	II 編 1.1.3 [2], 2.3.1 [1] [2], 2.3.2 [1] [4]
はら 井原	いっこう 一高	(神戸大学)	II 編 2.1.2, 4.1.3
たけくら 竹倉	けんじ 憲弘	(農業・食品産業技術総合研究機構)	II 編 2.2.2, 3.2.2
かない 金井	けんた 源太	(農業・食品産業技術総合研究機構)	II 編 2.2.4, 3.2.1
たくやす 徳安	けん 健	(農業・食品産業技術総合研究機構)	II 編 2.2.6
なかく 中久保	けん 亮	(農業・食品産業技術総合研究機構)	II 編 2.3.1 [3], 2.3.2 [2] ~ [4]
いなば 稲葉	しげき 繁樹	(佐賀大学)	II 編 3.1.1 ~ 3.1.6
てらおか 寺岡	けん 行雄	(鹿児島大学)	II 編 3.1.7
はなじま 花島	けん 大	(農業・食品産業技術総合研究機構)	II 編 4.1.1
いおき 岩崎	けん 匡洋	(帯広畜産大学)	II 編 4.1.2
ひしめ 菱沼	けん 竜男	(宇都宮大学)	II 編 4.3.1
れおん レオン	あい 愛	(国際農林水産業研究センター)	II 編 4.3.2
とう 湯	りゅうりゅう 龍龍	(農業・食品産業技術総合研究機構)	II 編 4.3.3
はやし 林	きよ忠 清忠	(農業・食品産業技術総合研究機構)	II 編 4.3.3, 4.3.4

(所属は執筆時)

目 次

I 編 生物資源利用の基礎

1. 生 物 資 源

1.1 資源循環の基礎	2
1.1.1 生物資源循環の意味	2
1.1.2 地球環境保護への取組みの歴史	4
1.1.3 持続性のある地球環境のために人類がなすべきこと	7
1.2 対象となる生物資源	8
1.2.1 代表的な生物資源	8
1.2.2 生物資源利用の歴史	9
1.3 生物資源の変換技術	12
1.3.1 変換技術の分類	13
1.3.2 バイオ燃料生産のための変換技術	14
1.3.3 バイオリファイナリーのための変換技術	20
1.4 バイオマスエネルギー	21
1.4.1 再生可能エネルギーとしてのバイオマス	21
1.4.2 バイオマス発電	25
1.4.3 バイオ燃料	28
1.5 再生可能エネルギー	31
1.5.1 再生可能エネルギーの導入拡大に向けた取組み	31
1.5.2 再生可能エネルギー電源の系統連系の課題	36

1.6 環境への影響	40
1.6.1 生物資源利用による環境影響評価	40
1.6.2 生物資源利用におけるプロセス設計, プロセス解析	41
1.6.3 ライフサイクルアセスメント	44
1.6.4 環境ビジネスモデル	47
引用・参考文献	49

2. 生物学的変換技術の理論

2.1 堆肥化	53
2.1.1 堆肥化の理論	53
2.1.2 堆肥化施設	59
2.2 メタン発酵 (ふん尿, 食品廃棄物)	67
2.2.1 家畜ふん尿のメタン発酵	67
2.2.2 食品廃棄物のメタン発酵	74
2.3 廃水浄化 (畜産廃水)	78
2.3.1 活性汚泥法	78
2.3.2 固液分離	84
2.4 微細藻類	88
2.4.1 微細藻類によるオイル生産 (培養～オイル抽出プロセス)	89
2.4.2 微細藻類によるオイル生産 (水熱液化)	94
2.4.3 微細藻類からの高付加価値物質生産	95
引用・参考文献	97

3. 物理・化学的変換技術の理論

3.1 半炭化	101
3.1.1 半炭化とは	101
3.1.2 半炭化物の理化学的性質	102
3.1.3 半炭化プロセスにおける評価指標	104

3.1.4 半炭化技術の分類	105
3.2 燃焼理論, 固形燃料化, PM2.5 対策	109
3.2.1 燃焼・熱分解ガス化理論の基礎	109
3.2.2 バイオマスの固形燃料化	113
3.2.3 PM2.5 低減化	116
3.3 バイオリファイナリー	119
3.3.1 バイオリファイナリーの概要	119
3.3.2 リグノセルロースを原料としたバイオリファイナリー	122
3.3.3 藻類を原料としたバイオリファイナリー	126
3.3.4 バイオリファイナリーの展開に向けて	128
3.4 バイオマスマテリアル	128
3.4.1 木質ボード	129
3.4.2 草本系ファイバーボード	135
引用・参考文献	139

Ⅱ編 生物資源の応用技術

1. マテリアル利用技術

1.1 ほ場還元	146
1.1.1 堆肥, 消化液およびスラリー	146
1.1.2 バイオ炭	160
1.1.3 臭気由来アンモニアの利用技術	163
1.2 その他のマテリアル利用 (バイオマスボード)	176
1.2.1 木質ボードの利用	177
1.2.2 草本系ボードの利用	179
1.2.3 草本系バイオマスのその他の応用	186
引用・参考文献	187

2. エネルギー利用技術

2.1	バイオガス発電, 熱利用	193
2.1.1	コージェネレーションを用いたバイオガスの電力・熱利用	193
2.1.2	温水ボイラを用いたバイオガスの熱エネルギー利用	198
2.2	農業残渣の熱エネルギー利用	202
2.2.1	籾殻燃焼	202
2.2.2	木質チップの燃焼による熱利用	204
2.2.3	畜ふん燃焼	206
2.2.4	木質・草本ペレット燃焼	210
2.2.5	木質ガス化	212
2.2.6	燃焼灰利用	214
2.3	堆肥化熱	217
2.3.1	堆肥化熱の回収技術	217
2.3.2	堆肥化熱の利用技術	223
2.4	バイオリファイナリー産物	229
2.4.1	バイオリファイナリーで生成する物質の概要	229
2.4.2	発酵阻害物存在下での物質生産	232
2.4.3	キシロースからの物質生産	234
2.4.4	CO ₂ からの物質生産	236
2.4.5	バイオリファイナリーの進展に資する新しいバイオ技術	237
	引用・参考文献	238

3. 生物生産機械・農業機械・フィールド ロボティクス・農作業システム

3.1	作業機械	244
3.1.1	刈取り機	244
3.1.2	コンディショナ	246
3.1.3	反転用機械 (テグ)・集草用機械 (レーキ)	246
3.1.4	梱包用機械 (ベアラ, ラッピングマシン)	247

3.1.5	フォレージハーベスタ	249
3.1.6	運搬機械（フロントローダ）	250
3.1.7	木質バイオマスの作業機械	250
3.2	収集・運搬・乾燥調製	253
3.2.1	農業系未利用資源の収集・運搬	254
3.2.2	前処理としての乾燥調製	257
	引用・参考文献	261

4. 環境・社会への貢献

4.1	資源循環利用における安全性確保	263
4.1.1	堆肥化による病原菌の制御	263
4.1.2	メタン発酵による病原菌の制御	266
4.1.3	メタン発酵による抗生物質と耐性菌の制御	269
4.2	バイオベース社会	272
4.2.1	バイオベース社会に向けたさまざまな取組み	272
4.2.2	SDGs, ESG 投資	274
4.2.3	技術者倫理, 世代間倫理	276
4.3	循環型社会・生態系・持続可能性	281
4.3.1	循環型社会に向けたバイオマス利用の環境影響評価	282
4.3.2	土壌炭素資源	284
4.3.3	生態系サービス	289
4.3.4	農業生産における多様性と景観	293
	引用・参考文献	297

索 引	304
-----	-----

I 編

生物資源利用の基礎

生物資源

1.1 資源循環の基礎

1.1.1 生物資源循環の意味

生物資源（バイオマス，biomass）の循環とは「生物資源の生産と利用について、環境に負荷を与えることなく持続的に行うこと」である。

もともと自然界における資源循環は、人為的な資源の生産や利用などの関与はなくとも成立している。例えば草本や木本が土壌中の養分を吸収、成長し、やがて枯れ朽ちて再び土壌の栄養分となるように、そこに人類が関与せずとも物質循環は成立している。そこにあえて生物資源の循環について話を持ち出すのは、自然循環系を利用して、人類が要求する資源量の確保が必要だからである。人類は多くのエネルギーや資源を必要としており、太陽エネルギーの恩恵を受けている地球システムが備えている自然循環系に対して、負の影響を与えないような配慮をしつつ生物資源の生産と利用を持続的に行うことが生物資源循環である。人類を含め多様性のある生物界存続のため自然生態系を健全に維持しつつ、それが保有する能力を引き出し、生産される生物資源の恩恵を最大限活用する要素技術とそれを活用する社会システム作りが私たちにいま求められている。

いまのところ、生物資源（バイオマス）とは草本、木本などの「再生可能（renewable）な、生物由来の有機性資源で化石資源を除いたもの」というのが一般的な認識である。生物資源が大きな期待を受けている理由は、生物資源か

ら燃焼や微生物分解によって発生した炭酸ガス (CO₂) はもともと光合成によって固定されていたものであり、再び光合成によって生物資源中に固定されるという繰り返しが永続的に行え、大気中の CO₂ 量が一定であるカーボンニュートラル (carbon neutral) に大きく貢献すると考えられているからである (図 1.1)。ただし、現状は、おもに化石燃料利用と森林面積の減少の二つの理由からカーボンニュートラルになっておらず、カーボンポジティブ (大気中炭酸ガスが増えている) の状態が続いている。

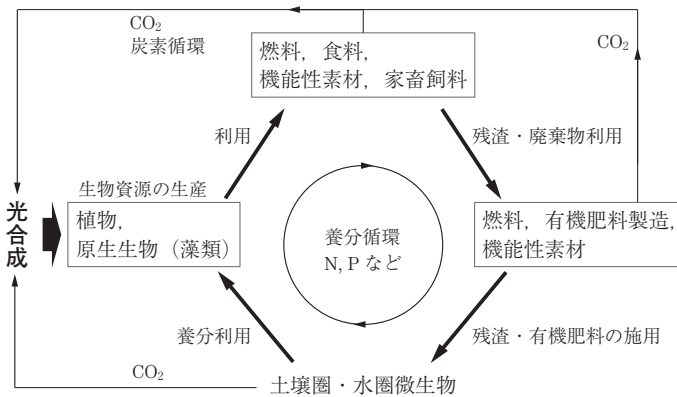


図 1.1 生物資源の循環

石油や石炭などの化石資源は、生物由来の資源と考えられており、本来は生物資源に位置づけられるが、数億年の時間を要する化石資源の生産速度がきわめて遅く、人類による利用速度が大きすぎて追いつかない。このため再生可能とは見なされず、大気中 CO₂ 蓄積の元凶とまでされている。しかし仮に将来、大気中 CO₂ を原料に化石燃料が低コスト、低エネルギーで簡単に製造可能になれば、晴れて再生可能な生物資源の仲間入りになり、脱炭素などという言葉は過去のものになり、世界の状況は大きく変化する可能性も有している。要は CO₂ の存在が問題なのではなく、いかなる物質でも再生可能かどうか、そしてそれが持続的に循環できるかどうかがか問題なのであり、生産速度と利用速度のバランスが調整できれば、CO₂ 濃度増加などの地球上の蓄積問題は解消される。

4 1. 生 物 資 源

生産速度と利用速度のバランスについては、森林資源などの生物資源にも同様に適用される。森林資源の生産（成長）速度よりも利用速度のほうが大きければ大気中の CO₂ 蓄積が生じることになり、これが上述した森林伐採による面積減少に起因する CO₂ 蓄積である。生物資源を単に「利用する」のみではカーボンニュートラルへの切り札とはならない。生物資源利用とその利用量を補填すべく植林などによる森林再生のように、「生産と利用」を両輪のように考え、生物資源の量的均衡を図る必要がある。ただし現状では化石資源由来 CO₂ が排出され続けているため、生物資源については生産量が利用量を超過するカーボンネガティブな状態を進める必要がある。

資源の量的均衡に関しては、土壌養分についても同様な配慮が必要である。特に食料や家畜飼料などの生物資源の利用に伴い、CO₂ に関わる炭素循環だけでなく、窒素 (N)、リン (P)、カリウム (K) などの元素も循環している (図 1.1)。日本国内のみで食料・飼料生産、利用を行う場合は、この循環が成立しやすいが、食料・飼料輸入過多は養分輸入過多につながり、このバランスを崩す原因になる。日本は食料・飼料の輸出に比べて輸入過多であり、耕地面積当り窒素負荷量は世界一ともいわれる。適正な窒素負荷量は安定的な食料生産を維持するためには必要であるが、過剰になれば地下水汚染へとつながるため、作物による窒素利用量と施肥による窒素投入量の均衡は、生態系を健全に維持し、持続可能な農業にとって不可欠である。

1.1.2 地球環境保護への取組みの歴史

現在の生物資源利用や循環型社会形成の必要性が生じた大きな原因は、社会が非循環型に偏っているためである。特に化石資源は非循環性物質の代表例のように指摘されていることから、おもに大気中の二酸化炭素 (CO₂) に関する歴史を基にして、現在に至るまでを紹介する。

大気中の二酸化炭素 (CO₂) 濃度が増えているグラフ (図 1.2) は有名であり、多くの人々が一度はどこかで目にして科学的データであろう。これは「キーリング曲線 (Keeling curve)」と呼ばれ、当時カリフォルニア大学サン

The Keeling Curve

CO₂ Concentration at Mauna Loa Observatory, Hawaii

Monthly Carbon Dioxide Concentration

parts per million

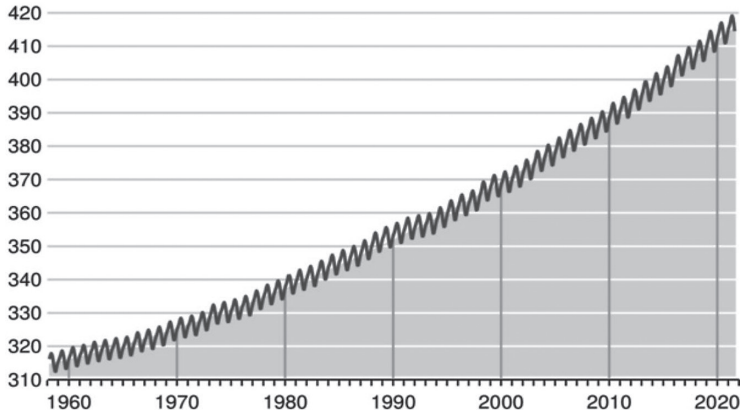


図1.2 大気中の炭酸ガス濃度変化（キーリング曲線）

（出典：Scripps Institution of Oceanography,
<https://scrippsco2.ucsd.edu>)¹⁾

ディエゴ校スクリプス海洋研究所の Charles D. Keeling によるものである。Keeling がハワイのマウナ・ロア観測所で 1958 年から大気中 CO₂ 濃度を高精度で測定し続け、その値が上昇し続けているデータを世界で最初に示した。なお CO₂ 濃度が周年変動している原因は、夏季に植物の光合成が活発化し CO₂ 濃度が減少し、冬季には呼吸・分解が優勢となり CO₂ 濃度が上昇するためである。Keeling が始めたこの測定プロジェクト「スクリプス CO₂ 計画」は氏が亡き後の現在も継続されており、そのデータはウェブサイト^{1)†}で公開されている。

Keeling はハワイだけでなく、ほかにも観測点を有しており、南極における CO₂ 濃度データをも取得していた。十分な測定期間が取れないながらも、1961 年に発表した論文²⁾において南極で 1.3 ppm/年、そして北太平洋上で 0.5~1.2 ppm/年で増加しており、化石資源の燃焼による CO₂ 濃度上昇であることをこの時点で述べていた。また Keeling と同じスクリプス海洋研究所の Revelle ら³⁾

† 肩つき数字は章末の引用・参考文献番号を表す。

は、化石資源の燃焼によって放出された CO₂ 濃度のほとんどが海洋によって吸収されている可能性が高く、CO₂ 濃度増加は非常に少ないように見えるが、化石資源消費が増加し続けた場合、数十年後には CO₂ 濃度増加が顕著になる可能性があることを指摘していた。この Revelle らの論文では、1955 年の国連による報告について言及しており、「21 世紀の初頭には化石燃料の燃焼により、1955 年当時の大気中の CO₂ 量の 20% に相当する量が増えると予想している」ことを紹介している。これは Keeling がハワイのマウナ・ロア観測所で CO₂ 濃度を測定開始する 1958 年以前に、国連が大気中 CO₂ 濃度の将来予測をすでに行っていたことを示している。

1962 年には Rachel Carson (レイチェル・カーソン) が『Silent Spring』を出版し、化学物質による生態系への影響を世に訴え、それが 1970 年の米国環境保護庁 (EPA) 設立につながったとされている。世の中に「環境保護」という言葉が出現したのはこの時期であり、それまでは産業推進や成長の一方通行であり、公害や汚染はあるが、環境について考え、振り返ることはほとんどない時代であった。

1972 年には『成長の限界』をローマ・クラブが発表した。これはローマ・クラブがマサチューセッツ工科大学の Dennis Meadows (デニス・メドウズ) を中心とする研究者らに委託した成果を発表した報告書であり、国連として最初の地球環境会議である国連人間環境会議 (ストックホルム会議, 1972 年 6 月) の開催に合わせて出版されたものである⁴⁾。人口の爆発的増加と経済成長が続いた場合には、人口、食料生産、資源、環境などの問題を総合的に検討すると、100 年以内に地球の成長は限界に達するという指摘であり、地球的規模での対策の必要性を明確にしたきわめて重要な報告として位置づけられる。1980 年には当時の米国ジミー・カーター政権が総力を挙げて作成したといわれている『西暦 2000 年の地球 (The global 2000 report to the President)』が公表されている。1992 年には、国連環境開発会議 (UNCED, 「地球サミット」) が開催され、環境分野での国際的な取組みに関する行動計画である「アジェンダ 21」を採択した。1995 年には COP1 が開催され、1997 年には京都議定書が

索引

【あ】	易分解性有機物	53, 265	化石燃料	204
アグロフォレストリー	液面燃焼	110	家族経営	296
亜硝酸態窒素	エステル交換反応	16	家畜排せつ物	53
圧 碎	エタノール発酵	15	家畜ふん尿	67
圧縮成形	エタノール変換	254	家畜ふん尿スラリ	148
圧送通気	エネルギー	7	活性汚泥	165
アップフロー炉	エネルギー作物	250	活性汚泥法	78
亜臨界水	エネルギー収支比	94, 202	加熱水蒸気	214
アレニウスの式	エネルギー変換	253	可燃性ガス	111
暗 渠	エネルギー密度	24	可燃性ガス化	212
アンモニア	エンドポイントアプローチ	46	可燃物	109
アンモニア回収装置			芽胞形成グラム陽性菌	268
			カーボンニュートラル	3, 23, 33
【い】	【お】		可溶性ケイ酸	203
硫黄化合物	黄金律	276	可溶性シリカ	203
意思決定	オープンボンド	90	可溶性の糖	215
一次空気量	温室効果ガス	23, 31, 281, 284	渦流旋回炉	112
一次処理	温水タンク	205	環境影響	282
一酸化炭素	温水熱交換器	205	環境影響評価	41
稲わら	温水ボイラ	198	環境温度	217
いぶり燃焼			環境製品宣言	47
インシュレーションファイ	【か】		環境側面	44
バーボード	回収アンモニア溶液	171	環境負荷	216
インベントリ分析	解 絨	138	間隙率	187
	回分式活性汚泥法	79	間欠通気	58
【う】	火 炎	109	間欠燃焼	110
ウィンドロウ	化学パルプ	136	乾式半炭化	101
末木枝条	化学ポテンシャル	164	含水率	181
運搬距離	攪 拌	54, 59	間接的土地利用変化	294
	かさ密度	56, 210	乾 燥	138
【え】	ガスエンジン	112, 194, 212	管理の集約度	295
影響評価係数	ガスエンジン発電機	212	管理方法	291
衛生指標菌	ガス化	18, 212		
液体燃料	ガスタービン	194		
	ガスバッグ	201		

【き】

機械的特性 210
 機械バルブ 136
 気候変動 281
 気候変動緩和策 285
 気候変動に関する政府間
 パネル 286
 技術者倫理 277
 キシロース 215
 気体燃料 109
 木ねじ保持力 184
 機能性食品 95
 揮発分 118
 基盤サービス 285
 吸引通気 61
 吸引通気方式 172, 218
 急速熱分解 17
 吸着 164
 吸着平衡 164
 強アルカリ性 214
 供給サービス 285
 凝縮潜熱 110
 共消化 76
 強制通気 54, 61
 局所施用 153
 切返し 54, 59, 171
 キーリング曲線 4

【く】

空気比 111
 空燃比 111
 苦土石灰 168
 クリストプライト 203
 クリシカ 202, 207
 グルコース 215
 グルーのパラドックス 280
 燠炭 257

【け】

景観構造 295
 結晶質シリカ 203
 結露水 166

ゲノム編集 237
 限界酸素濃度 109
 嫌気性消化 68, 70
 嫌気的条件 163
 懸濁液 214
 減容化 257

【こ】

高位発熱量 102, 110, 194, 207
 高温菌 56
 高温発酵 70
 好気状態 163
 好気性処理 155
 工業分析 118
 交差汚染 266
 合成ガス 17
 酵素糖化 20, 215
 行動規範 277
 高熱源 221
 固液分離 84
 国連持続可能な開発会議 274
 固形燃料化 207
 コージェネ 193
 コージェネレーション
 システム 201
 固体燃料 109
 固定価格買取制度 193
 根域加温 229
 混合堆肥複合肥料 175
 コンタミネーション 91
 コンディショナ 246

【さ】

細菌 55
 サイクロン集塵機 205
 再生可能 2
 再生可能エネルギー
 ——の固定価格買取制度
 11, 21, 31, 193, 216
 32
 再増殖 266
 細胞壁 215
 サウンドスケープ 296

搾乳パーラー 229
 殺菌槽 269
 酸化分解熱 55, 217
 酸素供給体 109

【し】

色素 95
 事業継続計画 197
 敷料 257
 自己昇温型半炭化法 108
 脂質 217
 自然乾燥 254
 自然通気 58
 自然の斉一性 279
 持続可能な開発目標 274
 湿式貯蔵 214
 湿式半炭化 101
 脂肪酸メチルエステル 16, 30
 ジャイアントミスカンサス
 211
 遮光率 187
 収穫 92
 臭気 166
 臭気強度 167
 臭気指数 167
 重金属 176
 集草列 247
 循環型システム構築 282
 消化液 68, 148
 硝化菌 164
 硝化反応 83
 硝酸アンモニウム 164
 硝酸化成 165
 硝酸態窒素 164
 蒸発潜熱 110
 蒸発燃焼 109
 食品廃棄物 74
 シリカ 203
 進化学 234
 人権宣言 276
 親水性溶媒 93
 浸漬 138
 心理的葛藤 279

森林破壊	294	全木ベレット	210		
				【ち】	
【す】		【そ】		地球温暖化	284
水産飼料	96	総括伝熱係数	222	窒素利用率	169
水生バイオマス	180	総合効率	194	チップ	114
水熱液化	14, 89, 94	送風機	61	チップ化	13
水分調節材	57	草本系バイオマス	113, 176	着火温度	109
水理学的滞留時間	81	草本系ボード	135	中温菌	56
スクエア (ビッグ) ベーラ	247	藻類	126	中温発酵	70
		疎水性溶媒	93	抽出	93
スクラバ方式	173			中和反応	171
スクリューフイーダ	213	【た】		調整サービス	285
スラリ	148	ダイオキシン類	210	超微小粒子	118
スラリインジェクタ	158	代謝工学	234	超臨界 CO ₂	96
スラリストア	156	耐食性	219	直接的土地利用変化	294
スラリスプレッダ	157	耐性	270	貯留タンク	224
スラリタンク	156	堆肥	53		
		堆肥化	53, 84, 164, 217	【つ】	
【せ】		堆肥化施設	59, 171	通気	59
静圧	62, 166	堆肥化熱	217	通気圧	62
成型	138	堆肥切返し機	60	通気量	58, 62
生態系サービス	282, 285, 289	堆肥散布機	151	通年供給	256
生態的ゾーニング	294	堆肥舎	60		
生物資源	2, 8	堆肥脱臭	165	【て】	
生物資源利用	40	堆肥盤	60	低位発熱量	102, 110, 194, 209
生物多様性	7, 290, 293	太陽光発電	33	定格負荷	197
生物多様性指標	294	タイロシン	270	低級脂肪酸	163
生物的窒素固定	161	ダウンフロー式ガス化炉	212	ディスクダイ	154
世界食料安全保障委員会	275	ダウンフロー炉	112	低熱源	221
積載形トラッククレーン	150	薪ボイラ	211	低沸点の有機媒体による ランキンサイクル	26
責任投資原則	275	多属性価値関数	295	定量供給機	204
石油代替燃料	111	タタミボード	179	テッダ	246, 254
世代間倫理	280	脱炭素社会	215	点火源	109
切削チップ	252, 260	脱窒反応	83		
接触効率	174	タール	112, 202	【と】	
セファゾリン	270	炭化	101	灯心燃焼	110
セミケミカルパルプ	136	炭化処理	213	透水係数	187
セルラーゼ	124	炭化水素	89	動物用抗菌剤	269
セルロース	112, 136, 214	担子菌類	55	特性化係数	294
セルロースナノファイバー	20	担持培養	96	土壌炭素	284
		炭素貯留	161	土地利用変化	294
織維	136	タンパク質	95, 163, 217	トレードオフ	287
織維化	180	ダンプトラック	149		

トレファクション	13	バイオボード	20, 177	火格子燃焼	117
【な】		バイオマス	2, 31, 119	微細藻類	11, 18, 88
ナイフセクション	244	バイオマスストーブ	116	ビジネスモデル	47
軟化温度	207	バイオマスタウン	273	微生物発酵	215
難分解性有機物	55	バイオマス発電所	113	ビータ	151
【に】		バイオマスボード	129, 176	引張応力	187
二次空気量	209	バイオマスマテリアル	139	ヒートバランス	194
二次処理	56	バイオリファイナリー	20, 119, 273	比熱	221
乳酸	168	排気熱	222	飛灰	117
乳酸発酵	216	排気熱回収法	218	肥培灌漑	157
【ね】		煤塵濃度	210	微粉燃料燃焼	117
熱エネルギー	201	ハイドロチャー	106	病原菌	263, 266
熱交換	218	バイナリ発電	229	表面燃焼	109
熱交換器	221	廃熱利用率	196	微粒子状物質	116
熱伝達回収法	217	ハイブリッドバイオボード	181, 185	肥料散布機	152
熱媒体	217	灰分	118, 211	肥料取締法	176
熱分解	13, 101, 160, 212	バークペレット	210	【ふ】	
熱分解ガス化	111	バケットコンベア	205	ファイバーボード	129, 177
熱容量	218	破砕	138	富栄養化	216
年次変動	254	破砕チップ	252, 260	フェラーバンチャ	251
燃焼	109	破断応力	182	フェルラ酸	216
燃焼温度	207	ばっ気	155	フォトバイオリアクタ	90
燃焼灰	207	発酵	14, 125	フォレンジハーベスタ	249
燃料電池	27, 111, 194	発電効率	194, 212	フォワーダ	252
【の】		発熱量	217	不完全燃焼	112
農業	7	パーティクルボード	129, 177	副資材	57
農業用マルチシート	186	ハードファイバーボード	129	不作為	280
野積み	257	バブリング方式	173	普通肥料	176
ノンファーム接続	38	ハーベスタ	250	部分燃焼	212
【は】		パーム油を絞った後のヤシ種殻	22	部分負荷	197
バイオエコノミー	230	パルプ液	136	ブームスプレーヤ	175
バイオガス	10, 19, 30	パルプ化	136	浮遊外熱式ガス化方式	212
バイオガスプラント	68	半炭化	13, 101	浮遊外熱式ガス化炉	112
バイオ炭	160	バンドスプレッド	158	ブリケットティング	155
バイオディーゼル燃料	16	反応槽	54	ブリケット	204
バイオ燃料	14, 89	ハンマミル	114	フレキシブルコンテナ	
バイオフィルム	267	【ひ】		バッグ	149
バイオペース社会	272	比エンタルピー	221	プロセス解析	41
		火格子	211	プロセス設計	41
				プロセッサ	251
				フロック	138
				ブロードキャスト	152

プロピオン酸 167
 プロワ 172
 フロントローダ 250
 分解燃焼 109
 文化的サービス 285
 文化的生態系サービス 296
 粉塵 222
 噴霧燃焼 110

【へ】

平均滞留時間 162
 平衡 287
 ヘイテッダ 246
 ヘイレキ 246
 ヘミセルローズ 112, 136, 215
 ベーラ 247
 ペレット 154
 ペレット化 13, 210
 ペレットストーブ 113
 ペレット暖房機 113
 ヘンリーの法則 164

【ほ】

ホイールローダ 60
 放線菌 55
 膨軟化材 57
 飽和水蒸気 220
 保健 7
 ボーローグ仮説 295
 ホーロー鋼板 156
 ホワイトペレット 210

【ま】

マストラン電源 36
 マテリアル 128
 マニユアスプレッダ 151
 マルチ 254
 マルチフィルム 186

【み】

水 7
 密度 181

ミッドポイントアプローチ 46
 密閉型堆肥化装置 172, 218
 密閉縦型堆肥化装置 224
 ミディウム・デンシティ
 ファイバーボード 129
 ミラーサイクル 194

【む】

無機化 161
 無機成分 211

【め】

メタノール合成 17
 メタン発酵 19, 68, 85
 メチルメルカプタン 167

【も】

木質火力発電所 113
 木質系バイオマス 204
 木質チップ 204, 253
 木質バイオマス 176
 木質ペレット 113, 204
 戻し堆肥 58
 モノカルチャー 295
 籾殻 253
 籾殻燻炭 203
 籾殻燃焼 202
 籾摺り 257

【や】

薬剤耐性菌 270

【ゆ】

有機化合物 109
 有機農業 296
 有機物 163
 遊離アンモニア 268
 床暖房 225

【よ】

陽イオン交換容量 161
 溶媒回収 93

溶融温度 207
 余剰電力 37

【ら】

ライフサイクルアセスメント
 44, 287, 290
 ライフサイクル影響評価 46
 ライフサイクル温室効果
 ガス 287
 ライフサイクルコスト分析
 282
 ライフサイクル思考 44, 281
 ライフサイクル持続可能性
 評価 293
 ライムソワ 152
 ラッピングマシン 248
 ラップ 254
 ラングミュア吸着等温式 164

【り】

離解処理 180
 リグニン 112, 136
 リグノセルローズ 120
 リファイニング 180
 流動床炉 112
 流動層燃焼 117
 理論空気量 111
 理論酸素量 110
 リングダイ 154
 リングダイ式成型機 114
 林地残材 250
 倫理 276

【れ】

冷ガス効率 212
 レーキ 246, 254
 レシプロモータ 244
 レジャープレート 244
 連続式活性汚泥法 79
 連続通気 58
 連続燃焼 110

【ろ】		ロータリキルン式バーナ 205, 207	ローマ・クラブ 41
ロストル	211	ロータリモータ 245	ローラディスクダイス 成型機 114, 207
ロータリキルン乾燥機	114	ロックウール 186	ロールペーラ 254

【A】		【B】	
actinomycetes	55	bacteria	55
activated sludge process	78	baler	247
activated sludge	165	band spreader	158
adsorption	164	bark pellet	210
adsorption equilibrium	164	BCP	197
aeration pressure	62	beater	151
aeration rate	58, 62	bedding	257
aeration	59, 155	binary power generation	229
aerobic state	163	bio-board	20, 177
aerobic treatment	155	biobased society	272
agitation	54, 59	biochar	160
agricultural mulch sheet	186	biodiesel fuel	16
agriculture	7	biodiversity	7, 290, 293
agroforestry	295	biodiversity indicators	294
air-fuel ratio	111	bioeconomy	230
algae	126	biofilm	267
amendment	57	biofuel	14, 89
ammonia	163, 171, 219	biogas	10, 19, 30
ammonia recovery device	171	biogas plant	68
ammonium nitrate	164	biological nitrogen fixation	
anaerobic condition	163		161
anaerobic digestion	68, 85	biological resources	8
anaerobic fermentation	70	biomass	2, 31, 119
animal manure	53, 67	biomass board	129, 176
annual fluctuation	254	biomass material	139
annual variation	254	biomass power plant	113
antibiotic resistant bacteria		biomass stove	116
	270	biomass town	273
aquaculture feed	96	biomass utilization	40
aquatic biomass	180	biorefinery	20, 119, 273
Arrhenius equation	173	blower	172
ash content	211	BOD 容積負荷	80
ash	118	BOD volumetric loading	80
attached cultivation	96	boom sprayer	175
		Borlaug hypothesis	295
		branches and stump residues	252
		briquette	204
		briquetting	155
		broadcaster	152
		bubbling type ammonia recovery device	173
		bucket conveyor	205
		bulk density	56, 210
		bulking agent	57
		business continuity plan	197
		business model	47
		【C】	
		carbon monoxide	109
		carbon neutral	3, 23, 33
		carbon storage	161
		carbonization	101, 213
		cation exchange capacity	161
		Cefazolin	270
		cell wall	215
		cellulase	124
		cellulose	112, 136, 215
		cellulose nanofiber	20
		CFS	275
		CH ₃ OH (メタノール) 合成	
			214
		chacoal	257
		chaff charcoal	203
		chaff combustion	202
		characterization factors	294
		chemical potential	164
		chemical pulp	136
		chipper	114
		chipping	13
		circular society	282
		climate change	281

fatty acid methyl ester	16, 30	gas turbine	194	higher heating value	
Feed-in Tariff	32, 193	gasification	18, 212		102, 110, 194, 207
feller buncher	251	generating efficiency	212	hot water boiler	198
fermentation	14, 125	genome editing	237	hot water heat exchanger	205
Fertilizer Control Act	176	GHG	23, 31	hot water tank	205
ferulic acid	216	giant miscanthus	211	HRT	81
FIBC	149	global warming	285	HTL	94
fiber	136	glucose	215	hulling	257
fiber board	129, 177	golden rule	276	husking	257
fiberize	180	grate firing	117	hybrid bio-board	181, 185
fire grate	211	greenhouse gas		hydraulic conductivity	187
firewood boiler	211		23, 31, 281, 284	hydraulic retention time	81
first stage	56	grue paradox	280	hydrocarbon	89
FIT 制度	32, 193			hydrochar	106
fixed quantity supplying		[H]		hydrophilic solvent	93
machine	204	hammermill	114	hydrophobic solvent	93
flame	109	hammermill chip	253	hydrothermal liquefaction	
flat die	154	hard fiber board	129		14, 89, 94
flex temperature	207	harvester	250	[I]	
flexible intermediate bulk		harvesting	92	IB	129
container	149	hay rake	246	ignition source	109
floc	138	hay tedder	246	ignition temperature	109
floor heating	225	HB	129	impact assessment factor	292
fluidized bed combustion	117	HB サイディング	179	incomplete combustion	112
fluidized bed furnace	112	HB siding board	179	indicator bacteria	267
fly ash	117	health	7	indirect land use change	294
food waste	74	heat balance	194	inflammable gas	111
forage harvester	249	heat capacity	218	inorganic component	211
forced aeration	54, 61	heat exchange	218	insulation fiber board	129
forestry residues	250	heat exchanger	221	intergenerational ethics	280
fossil fuel	204	heating medium	217	Intergovernmental Panel on	
fowarder	252	heating steam	214	Climate Change	286
free ammonia	268	heating value	217	intermittent aeration	59
front loader for tractor	250	heavy metal	176	intermittent combustion	110
fuel cell	27, 111, 194	hemicellulose	112, 136, 215	inventory analysis	44
functional food	95	Henry's law	164	IPCC	286
fungi	55	herbaceous biomass	113, 176	[J]	
		herbaceous biomass board		JABEE	278
[G]			135	Japan Accreditation Board for	
gas bag	201	HHV	102, 194	Engineering Education	278
gas engine	112, 194, 212	high-heat source	221		
gas engine generator	212	high-rate phase	56		
gas fuel	109				

農業・食料生産分野における
バイオマス利用工学
— 循環型社会のための生物資源利用 —

Bioresource Utilization Engineering in Agriculture and Food Production
for a Recycling-Oriented Society

© 一般社団法人 農業食料工学会 2023

2023年4月20日 初版第1刷発行

検印省略

編者 一般社団法人
農業食料工学会
生物資源部会
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来真也
印刷所 新日本印刷株式会社
製本所 有限会社 愛千製本所

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社
CORONA PUBLISHING CO., LTD.
Tokyo Japan

振替00140-8-14844・電話(03)3941-3131(代)

ホームページ <https://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-06665-4 C3061 Printed in Japan

(齋藤)



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。
購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めていません。
落丁・乱丁はお取替えいたします。