

アジアバイオマスハンドブック

ーバイオマス利活用の手引ー

「平成 19 年度アジア環境保全型農業パートナー
シップ構築支援事業（農林水産省委託事業）」

社団法人 日本エネルギー学会

このハンドブックは、農林水産省の受託事業として、アジア・バイオマス協議会の協力を得て作成したものである。

序文

この度バイオマスハンドブックのアジア版を出版することができたことは、大変に喜ばしくまた光栄である。2002年にはバイオマスハンドブックの日本語版を、60名余のこの分野の専門家の協力により発行することが出来た。今回はわが国の専門家に加えてアジア諸国の専門家の協力を得て、英文によるアジア版の出版に至ることが出来た。

既に承知の通り、地球温暖化現象は顕在化しており、石炭、石油、天然ガスを消費し続ける限り、これらの化石燃料の燃焼によって排出される二酸化炭素は大気中に蓄積していく。一方で、化石燃料の寿命は有限であることは明らかで、確認可採埋蔵量を生産量で除した可採年数は石油、石炭、天然ガスがそれぞれ41年、160年、65年とされている。私どもは化石燃料から脱却すべき新しい時代の入り口にきており、バイオマスが新たな展望を切り開く重要な鍵であると確信する。

バイオマスは、一般的にはエネルギーやマテリアルという形で利用できる生物由来の一定量の資源を意味する。木質系、草本系、海藻、微細藻類、農業残渣、森林残渣、都市廃棄物などがバイオマスという範疇に入る。現段階ではまだ商業規模ではないが、資源作物は大規模になるとエネルギープランテーションとして有望である。

地球温暖化の元凶である二酸化炭素の排出を抑制するための一つの強力な武器は、再生可能エネルギーの導入にある。再生可能エネルギーにはバイオマス、太陽光、地熱、風力、水力、潮力、波力などがある。バイオマスは他の再生可能エネルギーとどう違うのであろうか。

バイオマスは太陽エネルギーを利用し、水と大気中の二酸化炭素の光合成によりみずからの組織を形成する。従って、最終的に燃焼されて大気中に二酸化炭素として放出されても、同量の二酸化炭素を再び光合成により固定すれば、正味の大气中の二酸化炭素濃度に変化はない。これをバイオマスの「カーボンニュートラル性」と称している。

従って、二酸化炭素の固定、エネルギー利用、二酸化炭素の放出という循環システムから化石資源に代替できるバイオマスエネルギーが取り出せる。この分だけ化石資源の利用が抑制され、結果的に二酸化炭素を削減されたことになる。バイオマスは再生可能エネルギーの中でも、唯一の有機性すなわち炭素質のエネルギー源である。言い換えれば、バイオマスからのみエタノール、メタノール、ディメチルエーテル、炭化水素などのケミカルや燃料が作られる。このことは、バイオマスが炭素質であること、輸送や貯蔵が可能であることと同意義である。風力エネルギー、太陽光エネルギー、潮力エネルギー、波力エネルギー、地熱エネルギーなどは電気や熱は作り出せても、有機物は原理的に作り出すことはできない。しかし、バイオマスは再生可能ではあっても、エネルギーとして一方的に利用するだけでは化石資源の利用と同じであり、再植林などをしなければ大気中に蓄積されることになる。バイオマスからの長期かつ安定的なエネルギー供給のためには、持続的な森林管理が極めて重要になる。

本書はバイオマスの性質や賦存量、熱化学的変換技術や生物化学的変換技術の紹介、持続的社会システムなど広範囲な側面を扱っている。しかし、最大の特徴はアジア諸国、すなわちブルネイ、カンボジア、中国、インド、インドネシア、韓国、マレーシア、ミャンマー、フィリピン、シンガポール、タイ、ベトナムの専門家によって各国のバイオマス利用状況が解説されていることである。

2008年1月
編集委員長 横山伸也

アジアバイオマスハンドブック編集委員会

編集委員長

横山 伸也 東京大学大学院

編集幹事

松村 幸彦 広島大学大学院

編集委員

安藤 象太郎 独立行政法人 農研機構 畜産草地研究所
坂西 欣也 独立行政法人 産業技術総合研究所
佐野 寛 地球エネルギーシステム研究所
美濃輪 智朗 独立行政法人 産業技術総合研究所
山本 博巳 財団法人 電力中央研究所
吉岡 拓如 日本大学

アドバイザー・ボード

木谷 収 日本大学大学院
坂 志朗 京都大学大学院
白井 義人 九州工業大学
山地 憲治 東京大学大学院

執筆者（五十音順）

阿部 俊美 中国電力株式会社
天野 正博 早稲田大学
新井 喜明 株式会社 明電舎
安藤 象太郎 独立行政法人 農研機構 畜産草地研究所
小木 知子 独立行政法人 産業技術総合研究所
長田 隆 独立行政法人 農研機構 北海道農業研究センター
上出 光志 北海道立工業試験場
川元 スミレ 独立行政法人 森林総合研究所
木谷 収 日本大学大学院
蔡 義民 独立行政法人 農研機構 畜産草地研究所
斉木 隆 社団法人 アルコール協会
坂 志朗 京都大学大学院
坂井 正康 長崎総合科学大学
佐野 寛 地球エネルギーシステム研究所
澤山 茂樹 独立行政法人 産業技術総合研究所
白井 義人 九州工業大学
鈴木 勉 北見工業大学
関口 静雄 ライオン株式会社
高橋 正征 高知大学大学院
外崎 真理雄 独立行政法人 森林総合研究所
泊 みゆき NPO 法人 バイオマス産業社会ネットワーク
中川 仁 独立行政法人 農業生物資源研究所

中俣 恵一	北越製紙株式会社
羽田 謙一郎	みずほ情報総研株式会社
平田 悟史	川崎重工業株式会社
福井 久智	鹿島建設株式会社
藤井 重雄	株式会社 タクマ
藤野 純一	独立行政法人 国立環境研究所
法貴 誠	三重大学
松藤 敏彦	北海道大学
松村 幸彦	広島大学大学院
三浦 正勝	独立行政法人 産業技術総合研究所
美濃輪 智朗	独立行政法人 産業技術総合研究所
柳下 立夫	独立行政法人 産業技術総合研究所
八木田 浩史	日本工業大学
山本 和貴	独立行政法人 農研機構 食品総合研究所
山本 晋	岡山大学大学院
山本 博巳	財団法人 電力中央研究所
横山 伸也	東京大学大学院
吉岡 拓如	日本大学

執筆者（海外）

Chollacoop, Nuwong	National Metal and Materials Technology Center, NSTDA, Thailand
Elauria, Jessie Cansanay	University of the Philippines Los Banos, Philippines
Lee, Jin-Suk	Korea Institute of Energy Research, Korea
Liang, David Tee	Nanyang Technological University Innovation Center, Singapore
Liu, Dehua	Tsinghua University, China
Malaykham, Bouathep	Ministry of Energy and Mines, Laos
Man, Trai Dinh	Institute of Biotechnology, VAST, Vietnam
Mohamad, Ali Hassan	University Putra, Malaysia
Nivitchanyong, Siriluck	National Metal and Materials Technology Center, NSTDA, Thailand
Panaka, Petrus	PT Gikoko Kogyo, Indonesia
Samai, Jai-in	National Metal and Materials Technology Center, NSTDA, Thailand
Shiau, Tzay-An	National Taiwan Ocean University, Taipei Chinese
Sovanna, Toch	Ministry of Industry Mines and Energy, Cambodia
Topaiboul, Subongkoj	National Metal and Materials Technology Center, NSTDA, Thailand

目 次

第1部 バイオマス利用の利点	1
1.1 バイオマスの利点	1
1.1.1 バイオマスとは何か?	1
1.2 バイオマスの特性	3
1.2.1 総論	3
1.2.2 再生可能性	3
1.2.3 炭素中立性	4
1.2.4 持続可能な農業	4
1.3 バイオマスの利用法	5
1.3.1 総論	5
1.3.2 変換と利用	7
1.4 バイオマス利用の利点	8
1.4.1 総論	8
1.4.2 石油資源の枯渇	9
1.4.3 地球温暖化	9
1.4.4 生活の質の向上	10
1.4.5 農民の収入の増加	10
1.4.6 エネルギーセキュリティ	10
1.4.7 外貨獲得	11
第2部 バイオマス資源	12
2.1 バイオマスの分類	12
2.1.1 バイオマスの定義	12
2.1.2 法律上のバイオマス(エネルギー)の定義	12
2.1.3 バイオマスエネルギーの特徴	13
2.1.4 バイオマスの分類	13
2.1.5 バイオマス分類の一例(利用、用途の観点からの分類)	13
2.2 資源量の概算	15
2.2.1 廃棄物系バイオマスの資源量の推算	16
2.3 バイオマスの組成	21
2.3.1 バイオマスの組成の概要	21
2.3.2 代表的な組成成分	21
2.3.3 代表的なバイオマスの組成分析例	22
2.4 バイオマスの含有エネルギー量	24
2.4.1 バイオマスのエネルギー量の指標	24
2.4.2 各種バイオマスの発熱量	25
2.4.3 計算式による発熱量の推算法	27
2.5 炭素循環	28
2.5.1 地球上の炭素収支	28
2.5.2 森林生態系における炭素循環	29

2.5.3 炭素収支モデル	30
2.6 木質系バイオマス	31
2.6.1 木質系バイオマスの種類と特徴	31
2.6.2 成長速度	32
2.6.3 実用例と現在の使用量	34
2.6.4 バイオマス資源量	34
2.7 草本系バイオマス	35
2.7.1 草本系バイオマスとは	35
2.7.2 C ₃ 植物とC ₄ 植物	36
2.7.3 草本系バイオマスの資源量	37
2.7.4 スイッチグラス	38
2.8 澱粉・糖生産型作物	41
2.8.1 澱粉・糖生産型作物の概説	41
2.8.2 キャッサバ	42
2.8.3 サトウキビ	44
2.9 油生産型バイオマス	46
2.9.1 油生産型バイオマスとは	46
2.9.2 油脂の製法	46
2.9.3 油生産型バイオマスの資源量	47
2.9.4 バイオディーゼル	47
2.9.5 アブラヤシ	47
2.9.6 ココナツ	48
2.9.7 ジャトロファ	51
2.10 水生植物バイオマス	53
2.10.1 水生植物バイオマスとは	53
2.10.2 生産速度	53
2.10.3 実用例と現在の使用量	54
2.10.4 バイオマス資源量	56
2.11 農産残渣	56
2.11.1 農産残渣の種類と特徴	57
2.11.2 発生量	57
2.11.3 世界のバイオマスエネルギーポテンシャル	58
2.12 木質系残廃材	59
2.12.1 環境的意義と特徴	59
2.12.2 木材工業残廃材	59
2.12.3 木材利用系残廃材	61
2.12.4 エネルギー利用手法	62
2.13 畜産廃棄物	62
2.13.1 畜産廃棄物とは	62
2.13.2 畜産廃棄物の特徴	63
2.13.3 畜産廃棄物の発生量	63
2.13.4 畜産廃棄物の実用例と現在の使用量	64

2.13.5 日本と世界の資源量	65
2.14 下水汚泥	66
2.14.1 下水汚泥とは	66
2.14.2 下水汚泥の種類と特徴	66
2.14.3 下水汚泥の有効利用	67
2.15 都市ごみ	68
2.15.1 埋立地からのメタンガス回収	68
2.15.2 バイオガス化	69
2.15.3 ごみ発電	69
2.15.4 RDF 発電	70
2.15.5 熱分解による炭化・ガス化	71
2.16 黒液	72
2.16.1 黒液とは	72
2.16.2 黒液発生のプロセス	72
2.16.3 黒液の特徴と意義	74
2.17 食品加工廃棄物	75
2.17.1 食品加工廃棄物の潜在性	75
2.17.2 バガス	76
2.17.3 トウモロコシの穂軸	78
2.17.4 糖蜜	79
第3部 バイオマスの物理的変換	81
3.1 薪生産	81
3.1.1 総論	81
3.1.2 薪の供給	82
3.1.3 薪の利用	83
3.2 ペレタイジング	84
3.2.1 ペレットとペレタイジングとは	84
3.2.2 ペレットと CCB の特徴	87
3.2.3 ブリケット製造のための基礎試験	87
3.2.4 エネルギー効率	88
3.3 パーティクルボード	89
3.3.1 パーティクルボードとは	89
3.3.2 パーティクルボードの生産と消費	89
3.3.3 パーティクルボードの製造	89
3.3.4 マテリアルリサイクルのためのパーティクルボード利用	90
3.3.5 木質パネルを含む木質バイオマスの統計	91
3.3.6 アジアにおける実用化技術	91
第4部 バイオマスの熱化学的変換	93
4.1 燃焼	93
4.1.1 総論	93
4.1.2 コージェネレーション	95
4.1.3 混焼	96

4.2 ガス化	99
4.2.1 ガス化とは	99
4.2.2 ガス化法の分類	99
4.2.3 ガス化に関するバイオマスの物性調査	99
4.2.4 ガス化剤	100
4.2.5 バイオマスのガス化に関する基本現象	100
4.2.6 ガス化生成ガスの特徴	101
4.2.7 ガス化の装置の実施例	101
4.3 熱分解	102
4.3.1 熱分解とは	102
4.3.2 熱分解・急速熱分解の特徴	103
4.3.3 急速熱分解装置	103
4.3.4 生成物の特徴	104
4.3.5 技術の現状	105
4.4 炭化	105
4.4.1 炭化とは	105
4.4.2 炭化の特徴	106
4.4.3 炭化の反応	106
4.4.4 炭化のエネルギー効率	107
4.4.5 炭化生成物	107
4.4.6 技術の現状	108
4.5 水熱ガス化	108
4.5.1 水熱ガス化とは	108
4.5.2 水熱ガス化の特徴	109
4.5.3 水熱ガス化の反応	109
4.5.4 水熱ガス化のエネルギー効率	110
4.5.5 水熱ガス化の生成ガス	110
4.5.6 技術の現状	110
4.6 水熱液化	111
4.6.1 水熱液化とは	111
4.6.2 水熱液化の特徴	111
4.6.3 水熱液化の反応	112
4.6.4 水熱液化の生成油	112
4.6.5 水熱液化のエネルギー効率	113
4.6.6 技術の現状	113
4.7 バイオディーゼル製造	114
4.7.1 バイオディーゼルとは	114
4.7.2 バイオディーゼル燃料の特徴	114
4.7.3 バイオディーゼル製造の反応	114
4.7.4 バイオディーゼル燃料のエネルギー効率	116
4.7.5 技術の現状	116

第5部 バイオマスの生物化学的変換	117
5.1 メタン発酵	117
5.1.1 メタン発酵とは	117
5.1.2 メタン発酵の特徴	117
5.1.3 メタン発酵の原理	117
5.1.4 メタン発酵の現状	119
5.2 エタノール発酵	120
5.2.1 エタノール発酵とは	120
5.2.2 糖質原料のエタノール発酵	121
5.2.3 デンプン質原料のエタノール発酵	122
5.2.4 リグノセルロースのエタノール発酵	124
5.3 アセトン・ブタノール発酵	126
5.3.1 アセトン・ブタノール発酵とは	126
5.3.2 アセトン・ブタノール発酵の特徴	126
5.3.3 アセトン・ブタノール発酵の反応	126
5.3.4 アセトン・ブタノール発酵の効率	127
5.3.5 生成物の利用	127
5.4 水素発酵	129
5.4.1 水素発酵とは	129
5.4.2 水素発酵の特徴	129
5.4.3 水素発酵の反応	129
5.4.4 水素発酵のエネルギー効率	130
5.4.5 生成水素の利用	131
5.5 乳酸発酵	131
5.5.1 乳酸発酵とは	132
5.5.2 乳酸菌について	132
5.5.3 乳酸発酵原料としてのバイオマス	132
5.5.4 パームオイル産業の未利用バイオマスの利用	133
5.5.5 食品ごみからの乳酸発酵	133
5.5.6 乳酸の精製	134
5.6 サイレージ	135
5.6.1 サイレージとは	135
5.6.2 サイレージ調製	135
5.6.3 サイレージ発酵	136
5.6.4 ロールベールサイレージ	136
5.6.5 技術の現状	137
5.7 コンポスト化	138
5.7.1 コンポストの定義	138
5.7.2 コンポスト化の原理	138
5.7.3 コンポスト化の基本構成	138
5.7.4 コンポスト化技術の現状	139

第6部 持続するためのシステム開発	141
6.1 LCAの基礎	141
6.1.1 ライフサイクルアセスメントとは	141
6.1.2 目的と調査範囲の設定	141
6.1.3 インベントリ分析 (LCI)	142
6.1.4 影響評価	143
6.1.5 解釈	145
6.2 エネルギー効率	145
6.2.1 バイオマスの育成、収穫にかかるエネルギー	145
6.2.2 バイオマスエネルギー変換技術の前処理にかかるエネルギー	147
6.2.3 バイオマスエネルギーと化石燃料のエネルギー効率の比較	147
6.3 CO ₂ 排出と環境影響	149
6.3.1 バイオマスのCO ₂ 排出量	149
6.3.2 バイオマス発電と他の発電の比較	150
6.3.3 バイオマスの環境影響	152
6.4 バイオエネルギーの経済性評価	153
6.4.1 バイオエネルギーのコストとは	153
6.4.2 バイオマス資源のコスト	153
6.4.3 バイオマス利用技術のコスト	154
6.4.4 バイオエネルギーの利用コスト	155
6.5 その他の評価	156
6.5.1 生活の質	156
6.5.2 農民の収入	157
6.5.3 エネルギーセキュリティと外貨獲得	158
6.6 持続性のためのシステム開発	159
6.6.1 生物多様性 (パームオイルを例として)	159
6.6.2 土地利用競合	161
6.7 エネルギーモデル	162
6.7.1 エネルギーモデルとは	162
6.7.2 代表的なエネルギーモデル	162
6.7.3 DNE21モデル	163
6.7.4 GLUEモデル	163
6.7.5 GLUEモデルにおける土地利用競合の扱い	163
第7部 アジア諸国の現状	165
7.1 中華人民共和国	165
7.2 大韓民国	167
7.3 ミャンマー	170
7.4 ラオス	172
7.5 ブルネイ	174
7.6 インドネシア	177
7.7 カンボジア	181
7.8 マレーシア	183

7.9	フィリピン	188
7.10	シンガポール	190
7.11	タイ	192
7.12	ベトナム	195
7.13	日本	196
7.14	台湾	199
第8部	バイオマス利用例	201
8.1	小規模バイオメタン化	201
8.1.1	バイオメタンおよびバイオメタン化とは	201
8.1.2	中国でのバイオメタンの状況	201
8.1.3	小規模バイオメタン化の特性	202
8.1.4	小規模バイオメタン化のプロセス	202
8.1.5	小規模バイオメタン化のエネルギー供給	203
8.2	大規模メタン発酵施設	203
8.2.1	大規模メタン発酵施設の概要	203
8.2.2	大規模メタン発酵施設の処理フローと各設備の説明	203
8.2.3	大規模メタン発酵施設の事例	205
8.3	ジャトロファ栽培	207
8.3.1	ジャトロファの耕作	207
8.3.2	繁殖法	208
8.3.3	ジャトロファバイオディーゼル	208
8.4	籾殻による発電	211
8.4.1	タイにおける発電の促進	211
8.4.2	タイのバイオマス発電所	211
8.4.3	籾殻のガス化技術	212
8.5	エタノールの生産	213
8.5.1	エタノール生産の原料に何が適しているか	213
8.5.2	タイにおけるエタノール生産用リグノセルロース系バイオマス原料	213
8.5.3	処理に関するパイオニア的な研究開発	214
付録		217
付録1	東京宣言	219
付録2	京都議定書	235
付録3	アジアの統計	282
付録4	単位	283
付録5	原子量	299
付録6	熱力学的特性	304
付録7	化石燃料の発熱量と可採年数	308
付録8	APECの枠組み	309
付録9	各国の目標	310
付録10	バイオマス関連の歴史	312
付録11	各国語の辞典	313
付録12	関連書籍	314