

plant-derived

ゴルフ場における 植物由来バイオマス利用の手引き

平成 29 年 3 月
公益社団法人 ゴルフ緑化促進会

biomass

guidebook

はじめに

企業が製品やサービスを提供するもとになっているものが「資本」であり、そのうち、「自然」界にあるものが「自然資本」です。具体的には、生物多様性（さまざまな動植物）、生態系、大気、土、水といったものすべてが自然資本となります。

わが国のゴルフ場の開場時期をみると、1970年代のコースが中心となり、これらのゴルフ場では豊かな樹林が形成されています。ゴルフ場は、敷地面積の約38%が樹林地であり、コース内には流れやいくつもの池が配置され、ラフの草地など生きものにとって大切な生息地が存在しています。あわせて、プレイアビリティを高める重要な役割をコース内に配置されている樹木や樹林が担い、1ラウンドでおよそ13,000～16,000歩のウォーキングはゴルファーの健康寿命の維持に貢献している科学的知見も示されています。ゴルフ場はまさに自然資本の恩恵を抛り所に、ゴルファーと地域環境と生きものに多様なサービスを提供しているといえるのです。

近年、バイオマス活用推進基本法が成立（平成21年6月）、バイオマス活用の総合的、一体的かつ効果的な推進、地球温暖化の防止等を基本理念に掲げ、炭素換算で年間2,600万トンのバイオマスを利用することなどを柱とする、新たな「バイオマス活用推進基本計画」（平成28年9月）を決定しています。とはいえ、森林から生み出される利用可能な資源である木質バイオマスのうち、約2,000万m³に相当する未利用間伐材等はほとんど利用されないまま放置されています。あるいは、ゴルフ場の半数近くが依存している芝生の灌水に用いる雨水も、水循環基本法の施行（平成26年7月）により、水資源の循環利用を図る枠組みが構築されつつあります。

また、食品リサイクル法（平成13年施行）では外食産業等に食品循環資源の再生利用等実施率目標が設定され、将来、ゴルフ場についても目標値設定の可能性が予想されます。これまで、ただ同然で使ってきた自然資本の運用や廃棄物の循環処理に一定のコストをかけてうまく回収する、賢く使う時代になりつつあるといえるでしょう。

本手引きは、このような背景を勘案し、ゴルフ場で発生する植物由来バイオマスの利用を、ゴルフ場の経営資本の1つといえる自然資本としての樹木や芝草を循環的に管理する考え方を示すものです。

まず、1章ではゴルフ場とバイオマス、2章はゴルフ場で発生する植物由来バイオマス量、3章はそれらの利用について、マテリアルとしての堆肥化、マルチング材、木質バイオマス原料供給、およびエネルギーとしての熱利用の4つの形態を解説します。

本手引きがゴルフ場管理に植物由来バイオマスの循環利用を導入する契機となり、廃棄物循環利用への取組がプレイアビリティ向上とコース管理の経営改善の一助となれば幸いです。

取りまとめにあたり、佐藤明（元東京農業大学教授）氏より専門的助言を賜り、（一財）日本緑化センターにご協力をいただいたことに謝意を表します。

平成29年3月

公益社団法人 ゴルフ緑化促進会
理事長 大西 久光

目 次

はじめに

1. ゴルフ場とバイオマス	1
2. ゴルフ場で発生する植物由来バイオマス量	2
1) 刈芝の発生量	2
2) 剪定枝、伐採木の発生量	2
3) 未利用間伐材等の発生量（試算）	6
3. 植物由来バイオマスのマテリアル利用	8
3.1 堆肥化	8
3.1.1 堆肥の役割と効果	8
3.1.2 緑地から発生する植物発生材の堆肥化	11
3.1.3 ゴルフ場での堆肥化事例	15
1) 八王子カントリークラブ	15
2) North Shore カントリークラブ	19
3) Broken Sound クラブ	23
3.1.4 堆肥利用の課題	26
3.2 マルチング材	30
1) 枝葉・幹チップ施工と雑草抑制	30
2) 造林地に散布した木材チップによる植生制御効果	31
3.3 木質バイオマス供給	32
1) 発電事業者への木質バイオマス供給	32
2) チップ業者への木質バイオマス供給	35
4. 熱利用	36
4.1 意義	36
4.2 バイオマスボイラ導入・運転までの取組み	36
4.3 ゴルフ場における熱需要の把握	38
4.4 木質バイオマス燃料の特徴と品質	39
4.5 木質バイオマスボイラの技術	43
4.6 事業費用における関連コスト	46
4.7 ゴルフ場での熱利用事例	52
1) Kemnay ゴルフクラブ	52
2) Matfen Hall ホテル、ゴルフ&スパ	53
資料編	55
資料 1 木質バイオマスボイラに関する情報源	55
資料 2 熱利用に関する支援策の情報源	56
コラム 1 ゴルフコース芝生の窒素肥料分に関する コンポスト及び無機肥料施用の一時的効果	22
コラム 2 刈芝から生まれるバイオエタノール、バイオ燃料の生産能力	26
コラム 3 食品リサイクルループの構築	27

1. ゴルフ場とバイオマス

バイオマスの語源は、生物を表す「バイオ」にまとまった量を意味する「マス」を合成して作られた言葉であり、エネルギー利用やマテリアル利用ができる程度にまとまった生物起源による物質と言う意味である。

バイオマスは有機物であることから、燃焼させエネルギー利用を行った場合には、CO₂が発生するが同時に植物が成長することにより CO₂を吸収することによって、全体で見ると二酸化炭素の量は増加しない「カーボンニュートラル」という特性を持っている。従って、このバイオマスを化石系燃料に代替させることによって、地球温暖化ガスの一つである二酸化炭素の発生量を抑制することができることから、地球温暖化防止対策の有効な手段の一つとされている。

ゴルフ場で発生するバイオマスには、主に剪定枝、台風やマツ枯れ被害の伐採木、コース内や残存林地の間伐木など木質バイオマスに加えて刈芝の草本バイオマスがある。本書では、これら植物由来のバイオマスの利用について解説する。



写真 1.1 (右上から時計回り) 竹林の伐採、マツ枯れ被害木、非プレーエリアの残存林地、コース内の間伐

2. ゴルフ場で発生する植物由来バイオマス量

1) 刈芝の発生量

表 2.1 刈芝、竹材のバイオマス発生量基礎データ

バイオマス名	①ゴルフ場刈芝	②竹材
算定方法例	ゴルフ場の数(ホール数) × 刈芝発生原単位	竹林面積 × (平均蓄積量 50t/ha ÷ 伐採周期 5 年) より算出(期待値)
原単位	600t/年・18 ホール	
含水率(%)	23	52
炭素率(%)	46(乾物当たり)	37(乾物当たり)
窒素率(%)	1.5(乾物当たり)	0.05(乾物当たり)
利用可能性	堆肥化、燃焼/未利用(焼却、放置)	園芸利用、素材利用/未利用(焼却、放置)
利用量・方法の調査方法	ゴルフ場への調査	竹林所有者または竹材利用者へのヒアリングなどにより把握
メモ		よく利用されている算定方法、期待値であり、発生量はもっと少ない

原単位出典:

①高見澤一裕(岐阜大学応用生物科学部)(2008):都市とバイオエタノール, 生活衛生, vol.52, No.5, 267-273

②千葉県モデル・バイオマスタウン設計業務調査報告書、平成 16 年

出典:地域バイオマスの賦存量を把握するための基礎データ一覧(2010.10.12 版)、農研機構

普通の 18 ホールからなるゴルフ場(以下、GC)から発生する刈芝の年間発生量は約 1,200m³、600t といわれている。また、GC でも一般に見られる竹林について、竹材の発生量は表 2.1 に示す方法によりおおむね算定できる。

2) 剪定枝、伐採木の発生量

「ゴルフ場の生きものアンケート調査報告書」(平成 25 年 3 月、(公社)ゴルフ緑化促進会)をもとに、GC における剪定枝、伐採木、マツ枯れ被害木および未利用間伐材等の発生量を確認する。

(1) 非プレーエリアの樹林地

GC の非プレーエリアにある樹林地の内訳は、主に針葉樹林 27.5%、主に広葉樹林 21.7%、針・広混交林 47.2%、その他(竹林など) 3.6%となり、1GC 当たり平均樹林地面積は 350,374m²となる(表 2.2)。GC の総敷地面積に占める樹林地面積の割合は 38.3%となる(表 2.3)。すなわち、GC には敷地面積のおおむね 4 割程度の樹林地があり、木質バイオマスの潜在的供給場所となる。

非プレーエリアの樹林地は、定期的に下刈りする(28.1%)、定期的に間伐をする(9.8%)など木質バイオマスが一定量発生している(表 2.4)。

表 2.2 ゴルフ場の樹林地面積内訳 (単位:m²)

区分	主に針葉樹林	主に広葉樹林	針・広混交林	その他(竹林など)	合計	集計 GC 数(件)
河川敷	52,000	280,000	384,664	0	716,664	8
平地	6,395,478	2,722,680	3,810,654	475,050	13,403,862	48
丘陵	16,784,863	16,567,913	36,291,816	2,631,513	72,276,105	187
低山	3,643,000	1,622,375	5,681,825	410,500	11,357,700	36
亜高山						
合計	26,875,341	21,192,968	46,168,959	3,517,063	97,754,331	279
構成比(%)	27.5	21.7	47.2	3.6	100.0	

表 2.3 ゴルフ場の総敷地面積に占める樹林地面積 (単位: m²)

区分	総敷地面積(m ²) ①	樹林地面積(m ²) ②	集計 GC 数 (件)	樹林地面積比率(%) ②/①		
				平均	最大	最小
河川敷	3,312,497	716,664	8	21.6	56.3	0.4
平地	38,930,530	14,370,712	43	36.9	58.0	7.6
丘陵	182,586,128	70,752,298	166	33.6	88.8	0.1
低山	26,225,696	10,311,200	32	39.3	71.5	6.6
合計	251,054,851	96,150,874	249	38.3		

表 2.4 非プレーエリアにおける残存林地の管理(複数回答)

区分	回答数(件)	回答率(%)
①とくに管理していない	195	44.5
②定期的の下刈りをする	123	28.1
③これまで下刈りをしたことがある	96	21.9
④定期的に間伐をする	43	9.8
⑤これまで間伐をしたことがある	114	26.0
集計 GC 数	438	

(2) プレーエリアの剪定枝、伐採木

GC における剪定は年平均 169 本/GC、伐採は 84 本/GC となる。3 年間に延べ 653GC で剪定された総本数は約 11 万本、伐採された樹木は 2 分の 1 の約 55,000 本(延べ 657GC)である(表 2.5)。

剪定される樹木の理由は、芝生の生育を妨げるものがおおむね半数、競技性を損なうものが 2 割強を占める。伐採される樹木は、やはり芝生の生育を妨げるもの約 4 割、台風等の幹折れ 2 割弱、競技性を損なう 1 割強となる(表 2.6)。剪定の時期は、年間随時(260/445GC)が主となり、12~2 月が多い(図 2.1)。伐採は、オフシーズン(47.5%)、必要に応じて(43%)が主となっている(表 2.7)。つまり、これらの時期に木質バイオマスは発生している。

剪定枝等のリサイクル状況は、破砕し林内等に敷き込む(30.3%)、一定の太さ以上を専門業者に無償引き取り(27.2%)、破砕し堆肥化(18.0%)、一定の太さ以上を専門業者に有償引き取り(17.5%)などの対応が行われている(表 2.8)。

その他の内容を整理すると、薪に利用することが最も多く(24GC)、中には、陶芸家が登り窯の燃料に使う、神社が正月のたき火に使う、など場外利用も含む。木工材料として利用するところが 3GC あり、階段、ベンチ、バンカーレーキ、杭、冬囲いなどにリサイクルされている。あるいは、チップ材として販売する事例も 3GC ある。残りは、埋設(2GC)、林内等で保管・集積(22GC)など利用しない事例である。

表 2.5 過去 3 年間にコース内の樹木を剪定、伐採した本数

区分	本数(本) ①	集計 GC 数(件) ②	平均本数(本) ①÷②
剪定	110,307	653	168.9
平成 24 年	37,136	206	180.3
平成 25 年	36,854	220	167.5
平成 26 年	36,317	227	160.0
伐採	55,169	657	84.0
平成 24 年	15,427	192	80.3
平成 25 年	20,053	225	89.1
平成 26 年	19,689	240	82.0

表 2.6 平成 24～26 年に剪定等の対処をした理由別 GC 数(複数回答)

理由	回答率(%)					
	24 年		25 年		26 年	
	剪定	伐採	剪定	伐採	剪定	伐採
芝生の生育を妨げる	50.3	40.0	47.0	37.0	45.7	38.9
競技性を損なう	19.2	11.5	23.0	10.0	23.9	13.0
台風等の幹折れ	1.2	13.9	1.6	16.5	1.5	16.7

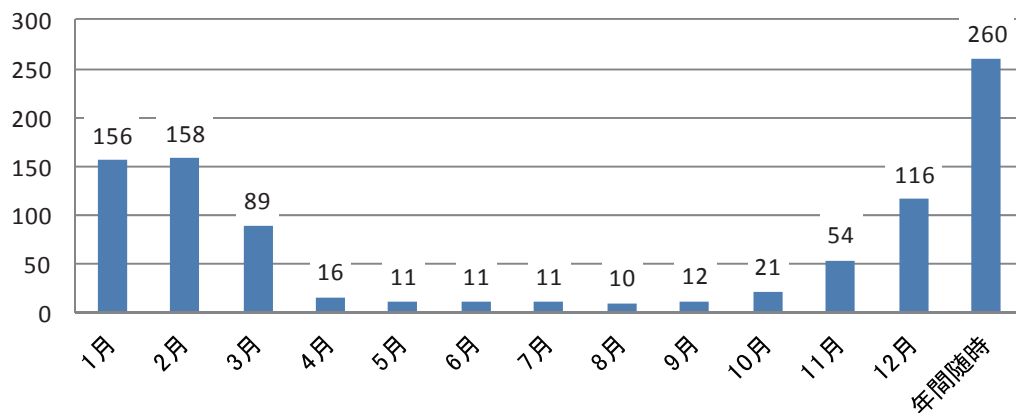


図 2.1 プレーエリア樹木の剪定時期(複数回答)(集計 GC 数:445、単位:件)

表 2.7 伐採時期(複数回答)

区分	回答数(件)	回答率(%)
①オフシーズンに	210	47.5
②必要に応じて	190	43.0
③年間通じて随時	96	21.7
集計 GC 数	442	

表 2.8 剪定枝等のリサイクル(複数回答)

	回答数(件)	回答率(%)
①一定の太さまで破碎し林内等へ敷き込む	128	30.3
②一定の太さまで破碎し堆肥化する	76	18.0
③一定の太さ以上を炭化する	11	2.6
④一定の太さ以上を専門業者に無償引取	115	27.2
⑤一定の太さ以上を専門業者に有償引取	74	17.5
⑥廃棄物処分場へ持ち込む	39	9.2
⑦場内で焼却	65	15.4
⑧その他	56	13.2
集計 GC 数	423	

(3) マツ枯れ被害木

24 年は 81.9 本/GC、25 年 91.8 本/GC、26 年 86.2 本/GC となり、3 年間を平均すると 1GC 当たり平均 86.7 本のマツ枯れ被害木が発生している(表 2.9)。

この被害木は、廃棄物処分場へ持ち込み(19.5%)、伐倒破碎(チップ化)(25.3%)などの処理を行っている(表 2.10)。

表 2.9 マツ枯れ(マツ材線虫病)被害本数・傾向

区分	マツ枯れ被害本数(本)			最近の傾向(件)			被害なし (件)
	平成 24 年	平成 25 年	平成 26 年	増えている	横這い	減っている	
平地	6,017	6,396	5,372	15	26	10	2
丘陵	18,007	22,358	22,440	99	124	47	11
低山	1,539	1,380	1,159	7	14	3	8
亜高山	-	-	-	-	-	-	-
河川敷	73	77	65	0	3	1	4
合計①	25,636	30,211	29,036	121	167	61	25
集計 GC 数②	313	329	337				
平均本数 ①/②(本)	81.9	91.8	86.2				
3 年間の平均本数	86.7			注. 北海道の GC は除く			

表 2.10 マツ枯れ被害木の処理(複数回答)

区分	回答数(件)	回答率(%)
①伐倒くん蒸	7	1.9
②伐倒焼却	92	25.6
③伐倒薬剤散布(丸太に油剤を散布)	10	2.8
④伐倒埋設	101	28.1
⑤廃棄物処分場へ持ち込み	70	19.5
⑥伐倒破碎(チップ化)	91	25.3
⑦未処理	80	22.3
集計 GC 数	359	

注. 北海道の GC は除く

<参考>

「千葉県モデル・バイオマスタウン設計業務調査報告書」（平成 16 年 3 月）では、ゴルフ場の枯枝・枯木および県内マツくい虫被害木のバイオマス量を以下のように推計している。

①ゴルフ場枯枝・枯木推計手法

県内のゴルフ場の樹林地帯面積に、原単位（ $0.008 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{年} \times \text{木材比重 } 0.9 \text{ t/m}^3$ ）を乗じて推計を行った。

計算式：樹林地帯面積×原単位

②マツくい虫被害木推計手法

千葉県みどり推進課が作成した市町村別のマツくい虫被害材積に、生材比重を掛け、材積に対する全バイオマス比率を割戻し、地上部バイオマス比率を掛け合わせることでマツくい虫被害バイオマス量を推定した。

計算式：市町村別マツくい虫被害材積×生材比重×材積に対する地上部バイオマス比率／
材積に対する全バイオマス比率

市町村別マツくい虫被害材積は、枝条や根株を含めた値（材積に全バイオマス比率 1.5 を掛けた値）であるため、これを修正して搬出可能と考えられる地上部のみの値に換算した。

使用データの根拠

使用データ	出典等
市町村別マツくい虫被害材積（枝条・根株を含む）	みどり推進課資料
生材比重	森林研究センターのデータより クロマツ（含水率 100%）0.97
地上部バイオマス比率	専門家ヒアリング、森林研究センター所蔵論文等により 幹×1.3
全バイオマス比率	みどり推進課使用データ 幹×1.5

3) 未利用間伐材等の発生量（試算）

木質バイオマスは、発生形態によって「未利用間伐材等」、「製材工場等残材」及び「建設発生木材」に分類される。間伐や主伐により伐採された木材のうち、未利用のまま林地に残置されている間伐材や枝条等の林地残材は年間約 2,000 万 m^3 発生しているにもかかわらず、ほとんど利用されていない（図 2.2）。

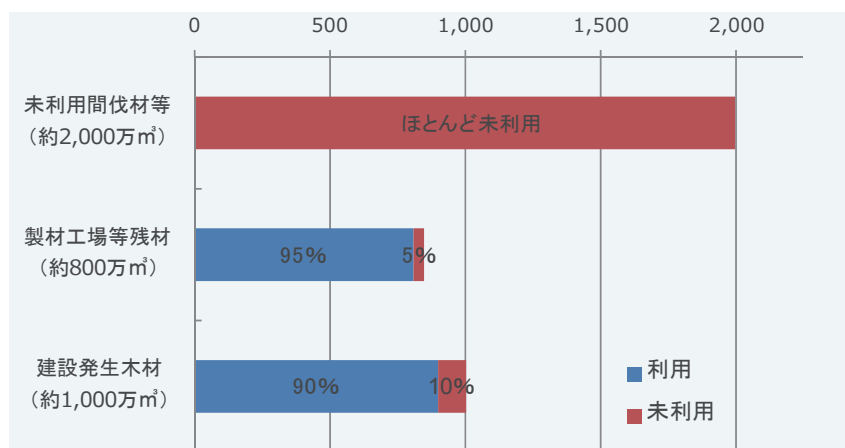


図 2.2 木質バイオマスの発生量と利用の現況（推計）

資料：森林・林業白書（平成 23 年度版）から作成

この未利用間伐材は、伐り捨て間伐材（間伐材を林内に放置したままにした場合）ともいわれる。「木質バイオマス利用に向けての一考察」（渡辺大詞、平成 23 年度課題研究、森林技術総合研修所）を参考にすると、林地残材の発生量は以下のように推測することができる。

林地残材の発生形態を道端に発生する「端材＋末木タイプ」と林内に発生する「未利用間伐材タイプ」に区分する。

区分	推測方法
端材＋末木タイプ	民有林における人工林の齢級構成が 40 年生から 50 年生にかけて多いことから、本研究においては 40 年生スギとした。また、鳥取県へ林地残材の現地調査に行ったことから、「鳥取県民有林スギ人工林収穫予想表等作成に関する基礎調査書」を用いた。40 年生スギでは、胸高直径 20cm・樹高 16m であった。さらに、間伐材積を求めるため、「林野庁計画課編立木幹材積表－西日本編－」及び、「林分密度管理図とその使い方」を用いて収量比数 (Ry0.7) としたところ、材積伐採率 33% で間伐材積 156m ³ /ha (129.48 生 t/ha) を得た。
未利用間伐材タイプ	一般に伐り捨て間伐は 30 年生以下を対象としていることから、30 年生スギ、伐採率 20% と仮定した。さらに、「鳥取県民有林スギ人工林収穫予想表等作成に関する基礎調査書」及び「林野庁計画課編立木幹材積表－西日本編－」によれば、30 年生スギは胸高直径 14cm、樹高 13m であり、間伐材積 37.17m ³ /ha (30.85 生 t/ha) を得た。 また、鳥取県智頭町では、林道沿線両側で樹高程度の範囲において未利用間伐材を収集していたことから、収集範囲を林道沿線の両側 15m とした。路網密度については、林野庁整備課資料より 17m/ha とした。

端材＋末木タイプの林地残材発生量は、表 2.11 に示す 4 通りの推測値があり、未利用間伐材タイプの搬出可能量は、表 2.12 に示す数値が得られる。

表 2.11 林地残材発生量の推測比較表

推測手法	(独)森林総合研究所	岐阜県森林研究所	(財)林業科学振興所	細り表等による推測
発生量推測	10.92 生 t/ha	10.00 生 t/ha	9.06 生 t/ha	11.65 生 t/ha

表 2.12 未利用間伐材タイプの搬出可能量

搬出可能量	1.57 生 t/ha
計算式	間伐材積 (37.17m ³ /ha) × 路網密度 (17m/ha) × 収集範囲 (15m × 2) ÷ 10,000 m ² /ha × 生 t 変換係数 (0.83)

これらをもとに、ゴルフ場における未利用材等発生量を試算すると、表 2.13 となる。

表 2.13 ゴルフ場における 1 か所当たり平均未利用間伐材等の発生量(試算)

区分	原単位 (生 t/ha)	平均樹林地面積 (ha)	林地残材数量 (生 t/ha)
端材＋末木タイプ	10.92	38.9	424.8
未利用間伐材タイプ	1.57		61.1
合計			485.9

注 1. 端材＋末木タイプの発生量原単位は森林総研の推測値による。

注 2. 表 2.3 から 1GC 当たり平均樹林地面積は 38.9ha (96,150,874 m² ÷ 249GC = 388,957 m²)。

すなわち、1GC 当たりの未利用間伐材等はおおよそ 486t 発生することが見込まれる。

3. 植物由来バイオマスのマテリアル利用

ここでは、堆肥化、マルチング材、木質バイオマスの原料供給の3つのマテリアル利用について解説する。

3.1 堆肥化

3.1.1 堆肥の役割と効果

農林水産省のウェブサイト「環境保全型農業関連情報として都道府県施肥基準等」というページがある（http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_sehi_kizyun/index.html）。

都道府県の「施肥基準」、土壌分析の結果を「土壌診断基準値」と照らし合わせてほ場の状態を把握し、ほ場に肥料成分が過剰に蓄積している場合には、「減肥基準」を参考に肥料の種類や施肥量を見直すための情報が得られる。ここに掲載されている「静岡県土壌肥料ハンドブック」（平成26年3月）を参考に、有機物による土づくりを解説する。

(1) 有機物施用による地力維持の役割

土壌には作物に対する過干、過湿、高温や低温の影響を和らげる緩衝能力とか、作物が病気にかかりにくくなる抵抗能力などがあり、これらの能力も地力に含まれる。

地力の内容

1. 生産能力 作物の生産量を多くさせる能力
2. 緩衝能力 作物にとっての悪条件にも耐え得る能力
3. 抵抗能力 作物が病気等にかかりにくい能力

堆肥をはじめとする有機物の施用は、地力の化学性要因、物理性要因及び生物性要因を向上させる等、地力維持に最も有効な手段といえる。

(2) 有機物施用効果

有機物の施用による具体的な効果を以下に示した。しかし、有機物の種類や連用に伴う有機物集積量や肥効などは異なるため、目的に応じた有機物の選定が重要である。

表 3.1.1 有機物の施用効果

項目	施用効果
緩効的な養分供給、土壌の養分量の増加	地力に基づく養分は作物生育期間中に緩効的に供給されるため化学肥料とは肥効が異なり、地力窒素と称されている。また、他のりん酸、加里、石灰、苦土等も堆肥等の有機物に含まれている。更に、微量元素のほう素、モリブデン等も含まれ、有機物施用によって必要量をほぼ補うことができる。
腐植含量の増加	施用した有機物は微生物や動物の餌になり、次第に分解能力の低い腐植に変化して土壌中で蓄積する。
肥料成分の保持（CECの増大）	粘土や腐植の含量の少ない土壌では肥料成分の保持能力（陽イオン交換容量、CEC）が小さいので、肥料成分は土壌に保持されずにかんがい水や雨水によって流亡するが、有機物を施用すると肥料成分の保持量が大きくなり（図 3.1.1）、肥料成分の損失は小さくなる。
キレート化効果	有機物に含まれる腐植酸、有機酸、糖類などはリン酸を固定化するアルミニウムや重金属を包み込むキレート作用により無機物質を溶かす働きがある。このため、土壌中の鉄やアルミニウムが溶出してりん酸の吸着や固定が抑えられ、吸収しやすくなる。

項目	施用効果
生育促進効果	有機物中には作物の成長を促進するような物質が含まれており、これらは植物ホルモ的な作用を持っている。これらは実験室内では確認されているが、実際のほ場ではどのような作用をしているのかはまだ明らかでない。
土壌物理性の改良	有機物は比重が小さいため、土壌に施用すると固相率が減少し孔隙が増えて空気や液体の占める割合が大きくなる。また、団粒も形成されるので、土壌は膨軟になり、耕耘が容易となる。また、通気性や透水性、保水性が向上して根の伸長や発達が促進され、作物生産が向上する。
土壌中での生物活動の促進	有機物施用によって、腐植や無機養分が集積することから、多くの生物が生息する。土壌中での生物の分布を図 3.1.2 に示したが、毛ダニ、原生動物や細菌などが有機物の少ない下層土より表層に多く、また、ミミズ等も多い。
センチュウ害の軽減	有機物施用は土壌センチュウ害の軽減効果もあると言われている。その作用は有機物の成分、分解産物による殺虫効果の他現在種々の説がある。また、有機物の種類によってもこの効果は違う。
緩衝作用	有機物の総合効果として、外部からの作用に対する抵抗力の増大がある。有機物を施用した土壌では肥料のやり方が悪くても大きな被害が出にくいし、気象条件が悪い時でもその影響を受けにくい等の緩衝作用がある。その作用は未解明の部分が多い。

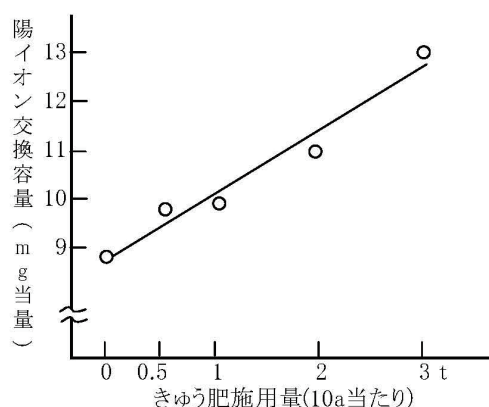


図 3.1.1 きゅう肥施用量と陽イオン交換容量の関係
(高橋ほか)

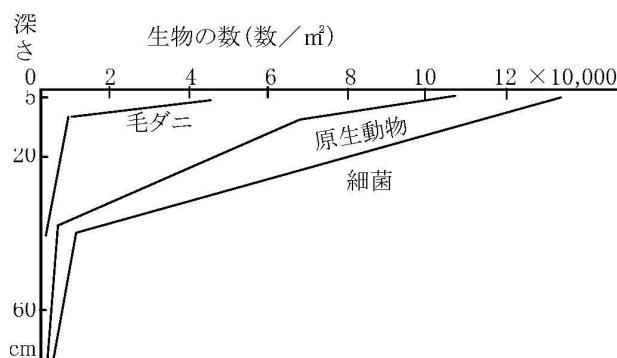


図 3.1.2 土壌中での生物の分布

(3) 有機物施用と微生物

有機物施用効果の多くは、微生物を介して発現されている。微生物の関与がなければ施用した有機物は分解されず、有機物中の養分のほとんどは供給されない。有機物が微生物により分解されて作られる腐植によって、CEC、団粒形成能力なども増大する。また、土壌中の微生物は有機物を餌として生活することにより、必要なエネルギーと細胞成分を獲得している。微生物は有機物の中の炭素を最も多量に必要としており、有機態炭素に富む有機物が施用されることにより、それを餌にして菌体を増やしていく。従って、有機物を施用すれば土壌中の微生物が増殖し、その過程で有機物を分解するとともに増殖した微生物は可給態養分のプールとなる。その後、死んだ微生物からは土壌有機物を上回る速度で養分が供給されることになる。有機物施用は「土づくり」の基本とされるが、その主役は微生物である。

非根圏土壌への有機物施用と微生物の増加は、根圏でも微生物を増加させ、微生物相を多様化させている。微生物相の多様化は、微生物間の相互作用（拮抗作用や拮抗作用等）の強化により根圏での微生物的緩衝能を高め、作物根の発達に好ましい微生物的環境をもたらしていると考えられる。

<役立つ情報>

豊田剛己ほか(2005):シンポジウム 土壌機能と微生物多様性、土と微生物、Vol.59、No.2、pp.91～97
 豊田剛己(2014):堆肥をはじめとする各種有機質肥料による土壌生物機能の向上、肥料科学、第36号、026～042

<参考>

土壌微生物の機能は、土壌動物に比べてさらに多種多様であると共に、土壌中の物質循環機能の主体を担っている。表 3.1.2 に土壌微生物の主な機能を示したが、主に化学・生化学的な機能がほとんどである。病害や窒素飢餓以外は、植物生育や土壌機能の向上に大きく貢献するので、土壌微生物機能を高めることは生産力を高めることにつながる。特に有機栽培では、有機物が多く施用され、殺菌剤の使用も限られるため、土壌微生物の量や多様性が高く、機能も高いと考えられる。土壌微生物の機能については、まだ分かっていないことが多いため、今後の土壌微生物研究の深化、拡大が期待される。

表 3.1.2 土壌微生物の主な機能

項目	機能
分解・溶解 ・運搬	有機物の分解・代謝・無機化 有害物質・人工化学物質の分解 キレート物質等による金属元素溶解 根圏における養分の短距離運搬
合成	易分解性有機物の合成 腐植物質・団粒化材料の合成 植物ホルモンの合成 抗生物質や病害抑制物質の産生 土壌酵素の放出
変換	硝化 窒素固定・脱窒 呼吸・光合成・メタン生成・メタン酸化 その他元素の酸化還元
養分保持	バイオマスによる可給態養分の保持 難溶性有機化合物の生成による長期的な養分保持
動植物との 共生・寄生	養分吸収の効率化 窒素固定 病害虫抑制・病害 窒素飢餓
微生物間の 関係	棲み分け 溶菌作用・抗菌作用 養分競合

有機物の分解など土づくりという側面に着目すると、軟弱で炭素率が低い有機物は、最も微生物が利用しやすいデンプン、糖、タンパク質を好んで食べる細菌や糸状菌がまず増殖し、次いでセルロース分解菌が増殖し、最後に難分解性のリグニン分解菌が増殖してくる。樹木など細胞組織にリグニンが多く含まれるものは、まずリグニン分解菌が増殖し、リグニンの壁を壊し、次に易分解性物質を分解する細菌や糸状菌が増殖し、セルロース分解菌と続く。放線菌は有機物分解の後半に働く。分解し増殖した菌体は、基質（エサ）がなくなると一部胞子や菌核で休眠状態になるが、死菌体は他の微生物により分解され植物の養分となる。微生物は有機物の分解者であり、養分の保持・供給源であると共に分解残さとしての腐植を供給するとされる。

出典：「有機栽培技術の手引〔果樹・茶編〕」、平成 25 年 3 月、(一財)日本土壌協会

3.1.2 緑地から発生する植物発生材の堆肥化

「植物発生材堆肥化の手引き～緑のリサイクルの実現を目指して～」((社)道路緑化保全協会、平成10年)を参考に、次に示す堆肥の製造工程のうち重要な発酵の工程について解説する。

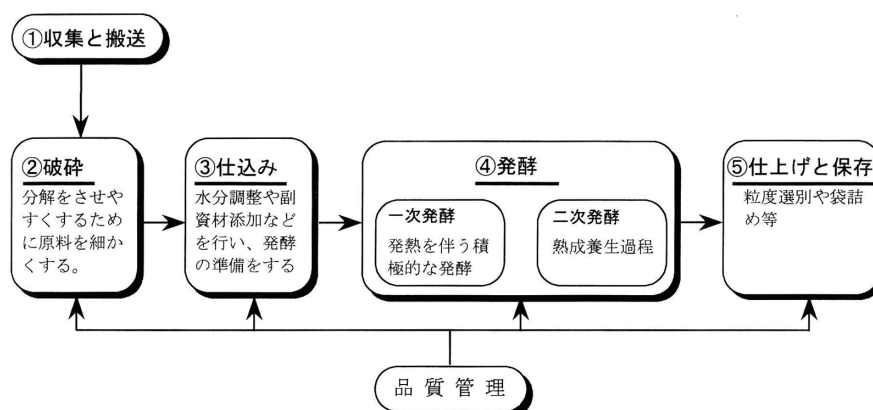


図 3.1.3 堆肥の製造工程

1) 一次発酵

一次発酵では、発熱温度、悪臭発生、浸出液、表面や内部の色調と水分などの状況に注意し、原料の種類に応じて水分調整や切り返しを行なって発酵促進を図る。切り返しを行なっても発熱が見られないようになったら、一次発酵は終了したと判断する。

(1) 発熱温度の観察

発熱は微生物の活動のバロメーターで、堆肥化が順調に進んでいるかどうかを判断する大切な目安である。温度は1m程度の温度計(図3.1.4)や、温度センサーを堆積物に埋め込んで測定する。堆積物表面近くは大気によって温度が低下しているので、最低50cm程度の内部を毎日昼前後に計測する(図3.1.5)。

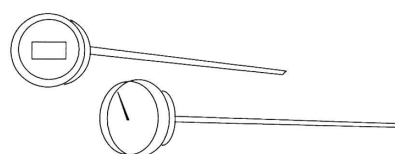


図 3.1.4 堆肥温度測定用温度計

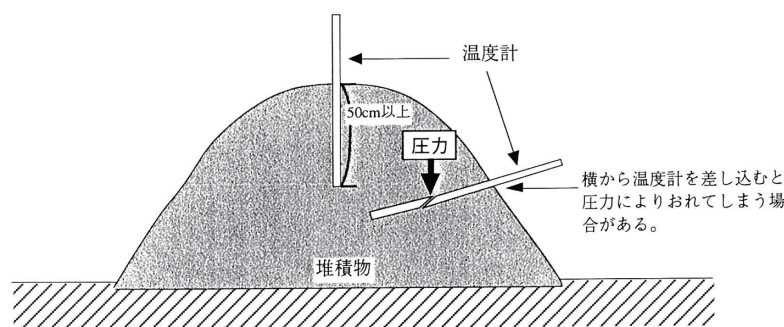


図 3.1.5 温度の測定方法

堆積してから夏は1～2日、冬でも2～3日後から発熱して、温度は急激に上昇する。中心部の温度は、早ければ4～5日、遅くても2週間くらいで60～70℃位に達する。これは、微生物にとって堆積物の好氣的な分解が行われ、その際に発生する呼吸熱が堆積物内部に集積するためである。表面に近づくにしたがって徐々に温度は低くなるが、表面から10～20cmくらい内部でも40℃前後の温度が認められる。60～70℃の温度環境によって、雑草の種子や、有害生物などが死滅す

る。ただし、80℃以上になると窒素成分などの栄養成分が揮散したり、有用な微生物が死滅したりしてしまう恐れがあるので、切り返し等を行なって極度な高温状態を避けることも必要である。堆肥化の過程で発生する微生物は、40℃を境にして、40℃以下を中温段階、40℃～70℃を高温段階として区分される。

もし、堆積後 2 週間以上経ても、十分な発熱がみられない場合（60℃を目安とする）は、温度が上がらない原因を確かめる必要がある。温度が上がらない原因には表 3.1.3 に示すようなものが考えられ、各々に応じた対策が必要である。

表 3.1.3 温度が上がらない場合の原因と対策

温度が上がらない原因	対応策
①水分の不足	水分の補給
②通気の不足（水分過剰など）	切り返しまたは乾燥
③微生物の活動に必要な栄養の不足	副資材の添加
④pH が低い（強酸性/pH4.0 以下）	石灰添加による酸度矯正

(2) 切り返し

発酵（一次発酵）における切り返しの目的は、次の通りである。

- ①堆肥を攪拌することによって、空気の流通を良くする。
- ②堆肥の分解の程度に相違がみられる場合、全体を十分に攪拌・混合し、均一にする。
- ③発熱などにより失われた水分の補給を行う。

堆積物を切り返す場合は温度の低い外周部から切り崩し、高温部を外に、低温部を中心部に置き換えるようなイメージで行う（図 3.1.6）。

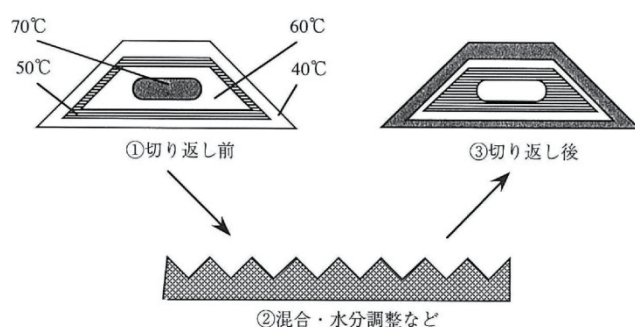


図 3.1.6 切り返しの仕方

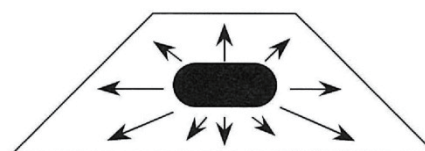
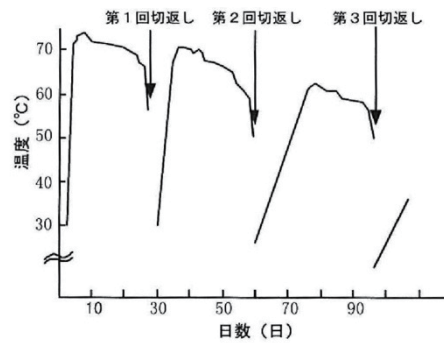


図 3.1.7 切り返し再堆積後の水分・発熱の拡散

この時、水分率が適量であれば特に灌水する必要はないが、水分が不足して乾燥しているようだったら、できるだけ中心部に水分を補給するように調整する。水分は中心部の発熱発酵に伴う蒸散によって堆積物全体に拡散していくようにする方が全体的に均一な水分を保つことができる（図 3.1.7）。

切り返し後は再び発熱・発酵が盛んになり、温度が上昇して、最初の堆積時と同様な温度変化をたどりながら一次発酵が完了する（図 3.1.8）。



出典：河田弘、平成元年、パーク（樹皮）堆肥-製造・利用の理論と実際、
博友社

図 3.1.8 堆積物の温度変化と切り返しの関係

切り返しは、以下の時期に行う。

- ①仕込み後 2～3 週目にそれまで上昇していた中心部の温度の低下が認められたら（例えば、70℃前後で推移していた温度が 60℃以下まで低下した場合など）1 回目の切り返しを行う。その後は少なくとも 1 か月に 1 回のペースで 3 か月間以上は切り返しを行う。
- ②①以外に温度が 80℃を超えた場合は別途切り返しを行う。
- ③①以外に腐敗（悪臭やハエ・ウジの発生）が進むような場合は別途切り返しを行う。

ただし、あまり頻繁に切り返しを行なうと堆肥が冷えて温度が上がらなくなってしまうこともあるので、温度状況の観察を充分に行なう。切り返しや水分補給を行なっても品温が気温+10℃程度より上がらなくなった場合は一次発酵が終了したと判断する。

2) 二次発酵

一次発酵が終了した後、原則として雨の当たらない状況下で二次発酵を行う。二次発酵時では、適度な切り返しを行なって熟成させる。完成堆肥の判断は色、形状、香りなどの観察によるほか、発生する生物の確認、堆肥を水中に入れた場合に見られる挙動の観察などから総合的に行う。

(1) 発酵期間と切り返し頻度

発酵期間は、植物の種類や要求される堆肥の品質によって異なるが、一般的に 3 か月以上が望ましい。二次発酵中も一次発酵の過程ほど激しくないが、微生物の分解が進行し、酸素（空気）の消費が行われるので適度な切り返しが必要である。通気性が保たれている条件では通常 1 か月に 1 度もしくはそれ以下が良い。

(2) 完成の判断

①総合的な堆肥の観察による完成の判断

観察による完成の判断は、表 3.1.4 に示すような色、香り、水分、固さ等で行う。なお、水分については、表 3.1.5 を参考とする。

表 3.1.4 観察による判断の目安

項目	目安
色	暗褐色か黒褐色を呈している。一般に発酵が進むほど堆肥の色調は黒色味が強くなる。
香	堆肥ができあがると、甘い匂いがする。針葉樹に特有な芳香や、いわゆる木の香等が残っているものはまだ未熟といえる。
水分	手で固く握った場合に水がしみ出す程度が良い。べとべとし過ぎたり、ぱさぱさし過ぎるものは良くない。
固さ	指でねじった場合に、もろく崩れるものが良い。崩れない場合は、割ってみると、表面だけは分解していて、内部はほとんど変化していない場合が多い。堆肥を強く握りしめると手にチクチクと刺激を感じる場合は、未分解な物質が残っていることを示す。

表 3.1.5 水分調整のための現場での目安

区分	水分率(%)	現場における簡易判定法	対応
適量	50～60	手にしっとりとした感じがする。 わずかに水気を感じる。 手で握りしめると、団子状になる。	
乾燥	40～50 以下	水気を感じない。 カサカサした感じ。 手で握りしめても塊にならず、サラサラしている。	水分量を計測し、不足する水を補給する。
過湿	70～80 以下	材料を強く握りしめた場合、指の間から水がしたり落ちる。 べとべとした感じがする。	搬入直後の場合、乾燥した草を加える。 すでに発酵が進行している場合、山を半分くらいの高さに敷き均す。

②生物の観察による判定

完成した堆肥には、糸状菌の仲間であるキノコが生えたり、微生物を食べるトビムシ、ミミズなどが繁殖する。堆肥中に残存した種子が堆肥表面から発芽する場合もある。

3) 堆肥の水中挙動からの判定

透明な容器に水を八分目程度にまで入れ、堆肥を一握り程度入れてかき混ぜる。底に沈むものが多いほど完熟した良い堆肥である。浮く物が多いのは未熟な堆肥である。また、沈む物が多くても水が長く（1日以上）濁っており、ドブ川のような臭いがする場合は発酵が不十分な堆肥である。

3.1.3 ゴルフ場での堆肥化事例

国内と海外のゴルフ場における堆肥化事例を紹介する。

1) 八王子カントリークラブ

堆肥の散布量は 18 ホールに対して 500m^3 を目安としている。八王子 CC で 1 年間に発生する剪定枝、伐採木のうち丸太部分はチップ業者に無償で提供（引取は業者）、残った剪定枝・葉などが $2,000\sim 3,000\text{m}^3$ となる。この原料を堆肥化すると $700\sim 1,000\text{m}^3$ の堆肥ができあがる（破碎原料に刈芝を混合）。堆肥化に要する費用は、三田商事(株)が請け負う「緑化廃棄物処理システム」（作業機器持込、現場で組み立て・設置）でおよそ $700\sim 1,000$ 万円（散布費用は除く）となる。

一方、 $2,000\sim 3,000\text{m}^3$ の木質材料を外部に廃棄物委託処理する場合（空隙率 50%含む）、 1m^3 を 0.3t (300kg) に換算し、処分費を 20 円/kg で計算すると、 $2,000\text{m}^3 \times 300\text{kg} \times 20 \text{ 円/kg} = 1,200\sim 1,800$ 万円となる。目砂に使用する砂購入費は 300 万円（ディボット、ティー、フェアウェイに年間 $500\text{m}^3 \times 6,000 \text{ 円/m}^3$ ）、肥料・殺菌剤・土壌改良材など 200 万円、さらに、食品残さ処分費 150 万円を計上すると 650 万円、合計で $1,850\sim 2,450$ 万円の支出となる。

木質材料の廃棄物処分費と目砂購入費のかなりの部分は、堆肥化により節約できることになる。八王子 CC を含め、このシステムは 10 か所の GC で導入され、10 年近い導入実績のある GC のグリーンキーパーからは、目砂を堆肥により代替し、堆肥散布効果が発揮され、サッチの減少、灌水頻度、あるいは、肥料使用量が軽減しているとの評価を得ている。 500m^3 の堆肥を 18 ホールに散布するには 9 日間（延べ 45 人）、1 日当たり 5 人で 2～3 ホールを処理し、年間散布回数は 1 回となる。一方、化学肥料であれば 3～400 袋/20kg の散布に 3 日間、1 人で 5～6 ホール/日を処理、年間 2 回の散布となる。堆肥散布は 7～8 倍の手間を要するが、長期的にはコスト削減と健康な芝生づくりにつながるコース管理手法といえる。

堆肥化のシナジー効果を整理すると、①植物系廃棄物の処分費用削減、②コース内散布による土壌改良により、サッチが出なくなり、芝草の根域が改良され芝草がアップライト（立ち上がる）になり、フェアウェイのショットが打ちやすくなる、③農薬・化学肥料の使用量削減、④目砂に使う砂を堆肥で代替、⑤フェアウェイの芝刈込作業の軽減、⑥特に夏季の乾燥に耐えられ散水量の削減、⑦芝刈込作業の軽減による人員配置の転換、機械消耗、燃料の削減、⑧廃棄物をリサイクルする「環境に配慮している誇り」の共有とアピールとして現れている。

八王子 CC では、捨てればゴミとなる剪定枝・刈芝をコンポスト化によりリサイクルする資本を新たに投下（緑化資源リサイクルプラントの活用）することで、廃棄物処分費に加えて芝生管理費用を削減しトータル費用の低減を実現している。

(1) 堆肥化工程

まず、粉碎工程について解説する。



〔粉碎工程〕

- ①伐採木の丸太部分を除く、剪定枝・枝葉を破碎対象とする
- ②タブグラインダーで 50mm 以下に噛み潰し破碎
- ③タブグラインダーで 25mm 以下に叩き潰し破碎
- ④25mm チップをショベルカーで⑤定量機へ投入
- ⑤定量機では鉄クズ、小石等の異物を除く
- ⑥ふるいにかけて粒径 4.5mm のチップを選別
- ⑦ふるわれず残った粗いチップを 1 号膨潤機で押し潰し破碎
- ⑧さらに 2 号膨潤機で磨り潰し破碎
- ⑨2 回の圧縮破碎したチップをハンマーミルでさらに叩き潰す
- ⑩破碎を完了したチップをトラックに積載、次の発酵工程へ進む



工程⑥ ふるわれた 4.5mm チップ(そのまま⑩へ)



工程⑦ 1 号膨潤機で押し潰されたチップ



工程⑧ 2号膨潤機で磨り潰されたチップ



工程⑨ ハンマーミルで叩き潰されたチップ



工程⑩ 破碎を完了したチップ



発酵が始まっている堆肥の山に刈草を被せ乾燥させてから切り返す、この作業を繰り返す

500m³の堆肥製造にここまでの粉碎工程はおよそ 20 日間を要する。粉碎工程のポイントは、発酵期間を短縮するため、粒径をできるだけ小さく、均一に仕上げるように、圧縮と磨り潰しを丁寧に行うことにある。ここから次の発酵工程にはいる。堆肥の完成までには、おおむね 3～5 か月を要する。

発酵資材には、米ぬか 300kg、酒粕 500kg、寒天絞りかす 5,000kg を 500m³に混合している。戻し堆肥は、当初 2m³から 5m³、現在は 10m³を目安に、500m³に添加している。さらに、3 年前から現代農業の掲載記事を参考に、土壌微生物の添加を目的にコースの土を 5～10m³混ぜている。

切り返しは、月 2 回、引き渡しまで 10 回程度行い、pH の値は 8 以下、7.5 前後を目標とする。完熟の判断は、堆肥の山にキノコが発生すれば仕上がりの目安とし、マッチ棒状の細片を切断して中まで黒く変色していること、あるいは、堆肥をコップに入れて攪拌し全体が沈めば完成とみなしている。

成分分析の結果は、水分 pH8.3、電気伝導度 0.24ds/m、窒素全量 0.4%、CN 比 28.0、リン 0.18%、カリウム 0.14%である。土づくり向き堆肥は、「窒素含量と加里含量が 1%以下、かつ EC は 2mS/cm（現物：水＝1：10、25℃）以下、ただし不快臭のないもの」であることから、この堆肥は土づくりに適するものである。幼植物試験による堆肥の熟成度も良好である（写真㊦）。

完成した堆肥は、次頁の写真に示す要領で、ティーインググラウンドおよびフェアウェイに散布する。



①



②



③



④



⑤



⑥

- ①: ティーインググラウンドのバーチカルドレイン、この後に堆肥を散布し芝生面にすり込む
 ②: バーチカルドレインで芝生に開いた孔
 ③: フェアウェイへの堆肥散布
 ④: 散布した堆肥をマットを引きずりながら芝生面にすり込む
 ⑤: 堆肥を散布した芝生面
 ⑥: 二十日ダイコンの種子各 30 粒を播種した 1 週間後 左: 赤玉土、右: 堆肥

2) North Shore カントリークラブ

North Shore カントリークラブでは、コース管理で発生する剪定枝・刈芝と下水汚泥を半分ずつ混合したコンポストを製造し、フェアウェイの追肥に利用している。1ha 当たり 17.3t のコンポストを散布、芝生面におよそ 0.32cm の層が広がる。剪定枝等のコンポスト化に要する費用は、1m³ 当たり約 2,140 円、1ha に要する総費用は 34,180 円となる。コンポストを追肥として散布するために、追肥機 (TY-Crop MH-400) を約 232 万円で購入した。この機械はグリーンやティーインググラウンドの施肥、バンカーへの砂投入の作業にも迅速に対応できる。コンポスト製造に使用する下水汚泥は無償で調達できる(ただし、環境保護局:EPA の許可を要する)。コンポストの施用により、土壌肥沃度を高めるために投入していた資材を削減することで、製造費用をある程度相殺し、IPM プログラムの一部として実施している殺菌剤処理費用も低減している。



写真 3.1.3.1 17 番ホールのレイアウト、ティーインググラウンド(上)とグリーン(下)
出典:North Shore Country Club ホームページ <http://www.north-shorecc.org/>

コースの概要

North Shore カントリークラブは、ミシガン湖沿岸、シカゴ郊外の Glenview に 1900 年に設立した、距離 7,031 ヤード、18 ホールのゴルフコース。コースは英国の Charles Allison (Colt MacKenzie and Alison) により設計された。ここで最も難しいのは最終の 2 つのホールで、両方ともパー4では困難である。17 番は片側に樹木が迫り、もう一方はアウトオブバーンズとなり、その間に攻略を要するいくつかのフェアウェイバンカーが姿を現す。18 番グリーン手前の大きなバンカーでは、あたかもサハラ砂漠で 10 セント銅貨を打とうとするような厳しいプレッシャーの下でのプレーを求められる。

コンポストへの関心

クラブのスーパーインテンデント F. Dan Dinelli は、オハイオ州立大学 Michael Boehm 博士やコーネル大学 Eric Nelson 博士の芝草に与えるコンポストの効果に関する示唆に富む研究について学んでから、土壌改良材としてコンポスト施用に関心を持つようになった。一般に、研究者や専門家は、高品質なコンポストは次のような働きを担っていると認識している。

- ①健全な土壌に必要なほとんどすべての種類の微生物に対してエサを与える
- ②土壌に対して微生物の多様性を付加する
- ③土壌の中で植物の生育促進物質を助長する。コンポストは土壌構造、養分循環、病気の抑制、線虫やその他の生物学的な活動に効果を有する。

コンポストの利用目標

当初の目標は、芝草へのコンポスト施用が雪腐小粒菌核病（ベントグラス、ブルーグラス、ライグラス等の寒地型芝草での発生が多く、秋～春に淡桃色～赤褐色パッチとなる。イネ科の一年生雑草スズメノカタビラにも感染）を抑制できるかを確認することであり、芝草全体の生態系と健康の改善を考慮した。

研究と実施

第一段階は 1996 年に、イリノイ大学 Michael Cole 博士と GreenCycle 社（複数のコンポスト施設操業、イリノイ州 Northfield）の指導のもとで、様々なコンポストと有機資材による 2 年間の研究に参加した。

研究は 5 番フェアウェイにクリーピングベントグラスとスズメノカタビラが 1.3cm の刈高で維持されている、3×3m の区画を設計し追試を行い、フィールド評価で得られた観察結果はすべて記録された。主目的は、様々な区画間でなんらかの病徴の差を観察することであり、1996 年秋における雪腐病抑制については、どの資材もいかなる注目すべき結果を実証しなかった。とはいえ、コンポスト処理した複数の区画は、対照区に対して早期に緑色の戻りと回復率を顕著に示した。さらに、1997 年晩春まで追試をくり返し行った。存続する生育期間を通した観察では、ダラースポット病（あらゆる種類の暖地型芝草および寒地型芝草に発生）に強力な抑制を示した一芝生の色と密度の改善を 80% まで回復、ミミズ糞塚の増加。このように当初の目的である雪腐病抑制は観察されなかったが、一方、芝生の生態系全般を改善するための有機生産物を試験する実験は、明らかな成功を納めた。

第二段階は、コンポストを追肥する 2 シーズン経過したフィールド評価の有望な結果を基に、すべてのフェアウェイに施用した。通常行うフェアウェイのコアリングの間に、工程には次のようなステップを含めている。

- ①中空の先端によるコアリング
- ②バーチカルモアで土のコアを砕く
- ③コンポストの追肥
- ④金網（Chain Link Fence）を使い表面でマットを引きずるようにしてコンポストと土を混合
- ⑤土が取れて残った芝やサッチを、3 点ヒッチブローワーを使いラフに吹き払う
- ⑥収納容器を装着したアウトフロント・ロータリーモアでラフ内の有機堆積物を拾い集める
- ⑦処理エリアに十分灌水する

このように数年間フェアウェイのコアリングを行ってきている。コンポスト追肥の追加ステッ



プを加えても、作業へ著しい負荷を与えることはない。

仕上がりは従来の作業とほぼ同じで、目標とした 9 番ホール（約 6ha）の作業を 1 日で実施できる。クラブの IPM 栽培プログラムの一部では、ポーリングを行い、葉の水分を除くため、毎朝フェアウェイの上でチェーンを引きずっている。この工程は、さらにミミズが作る糞塚の管理にもなる。

ポーリングによるミミズの糞塚処理

ミミズの糞塚は厄介者かもしれないが、毎朝ドラッグ・ケーブル(drag cable)で容易にスムーズに均すことができる。この工程は何人かのスーパーインテンドントによりポーリング(poling)と呼ばれ、ミミズ糞塚を迅速に処理するばかりでなく、露やその他の穴を掘る生きものによる異常を取り除くことができる。ドラッグ(ないしポーリング)ケーブルは太さが異なるが、約 45m 程がほとんどのグリーンに合った長さとなる。

出典:Paul D. Sachs, Richard T. Luff (2002): Ecological Golf Course Management, p.146,
<https://books.google.co.jp/books?isbn=1575041545>

結果

結果は試験区画での内容とほとんど同じであり、芝生の密度と色、コア抜きした芝生の素早い回復、ダラースポット病の抑制、ミミズ糞塚の増加、サッチの減少が観察された。クラブはコンポストのもたらす効果のモニタリングを続け、芝生への施用結果を効率的に評価するために表計算ソフトを用い、改善された土壌構造とその他の病気抑制についての的確に記録している。

予測と勧告

①コンポストの品質を選択する鍵は

品質の良いコンポストの選択は非常に重要であり、十分学習しなければならない。コンポスト生産物はまだ標準化されていないので、安定した高品質のコンポスト獲得に向けた努力を要する。コンポストの品質を裏付けるために用いる手順として、次のような化学性、物理性、生物学的活動の分析を行っている。

- ・ pH6.5～8.5
- ・ アンモニウム塩基、硫化物、亜硝酸塩は検出されないこと
- ・ 溶解塩化ナトリウム、とくにソジウムは低濃度であること
- ・ 要素バランス、カリウムとカルシウムの比率については勧告されている値を保つこと

②微生物学的分析

微生物学的分析ではすべての機能グループにおける高い生物学的な活動と高い多様性を示すべきである。

次の 6 つの機能グループが試験されている：従属栄養菌（好気性菌）、酵母菌とかび（菌類）、窒素固定菌、放線菌、嫌気性菌、ブソイドモナス菌。

BBC Labs 社がこれらの試験を実施し、Soil Foodweb 社も同様の試験を行う。さらに、コンポストは雑草種子、植物片、病原菌、石、プラスチック、ガラス、木片、くぎなどの不純物を含まないものであること。コンポストはまた BBC Labs 社による腐熟度指数で 50%より大きく、完熟であること。室内腐熟度試験では、生育用土としてコンポストが適するか、ポットに入れたコンポストに芝草種子の播種を行い、幼苗の健全さ、生育を観察する。もう 1 つの方法は、湿らせたコンポストをプラスチック袋に満たし、2～3 日日光に晒す。袋を開けた際に、コンポストが土特

有の臭いを保持しているべきであり、アンモニアとか硫黄の不快な臭いでないこと。これらの手順に従うことは、良好な結果を保証することに役立つ。低品質のコンポストを利用すると、不都合な結果しか得られない。徐々に始め、まず小規模に試験することが望ましい。地元のコンポスト製造者と作業する関係を築くことは、彼らの生産物を理解することに役立つ。

③コンポストの追加的利用

フェアウェイのコンポスト追肥プログラムに加えて、ディボット補修のために‘土と種子’混合にコンポストを使用している。さらに、コンポストは芝生にオーバーシードする際にも追肥として用いる。1998年に、約 650 m²の試験パッチンググリーンを造成し、20の異なる根系生育用土区を設定した。USGA 根系生育プロフィールにもとづき様々な有機、無機土壌改良材を選び、各配合土は USGA 認証の砂を用いた。砂 90/コンポスト 10の区画を除き、その他の区画では、かなり幼苗の成長がみられた。パッチンググリーンの生育状況、その他の効果についてモニタリングを継続している。保護的な生物的フィルムとして、また植物の成長促進物質として供給するため、コンポスト・ティーが製造された。

④すべてのコンポストは均質に仕上がらない

化学、生物学を理解しても、コンポストの科学は複雑である。母体となる材料を用い、堆肥化の間にどのように製造・管理され、適切に貯蔵できるかが、完成した生産物から十分な効果を引き出すことにつながる。コンポストの理解、とくに微生物の恩恵を知る努力はよい結果を生んでいる。コンポストを使う成果は、肯定的であり、芝生の生態系は私たちの設定した生育条件の下で改善しつつある。

出典:F. Dan Dinelli(2005):North Shore Country Club Use of Composts to Improve Turf Ecology, <http://cycadfriends.co.za/docs/Compost/NorthShoreCountryClub.pdf>

コラム1 ゴルフコース芝生の窒素肥料分に関するコンポスト及び無機肥料施用の一時的効果

低く刈り込まれたフェアウェイの芝生の肥沃度に関するコンポスト追肥の効果について利用できる情報はほんのわずかである。この研究の目的は、次のことを評価することにある。

- (i) 芝草の色と成長に関するコンポストと無機肥料施用の効果
- (ii) 葉の窒素濃度に関するコンポスト追肥の持続と規模
- (iii) 葉の窒素濃度に関するコンポストと肥料施用の相互作用

窒素は無機肥料として1997年に1haに96、192、384kgの率で施用し、1998、1999年に1ha当たり半分の48、96、192kg。コンポスト追肥は、1997年から1999年まで毎年5月と9月に行った。コンポスト処理は次からなる:(i)下水汚泥100%のコンポスト、(ii)下水汚泥と剪定枝の混合コンポスト、(iii)追肥なしの対照区。コンポスト追肥区は著しい芝草の色、成長、葉の窒素濃度を増加した。葉色の高まりは下水汚泥コンポスト施用区で8週間、混合コンポスト施用区で5週間持続した。下水汚泥コンポストでは5月の追肥に続きおよそ50日間、9月の追肥に続き26日間葉の窒素濃度が増加した。5月の追肥に続く葉の窒素濃度は、追肥なし対照区に比べ、下水汚泥コンポスト区でおよそ50%、混合コンポスト区でおよそ30%増加した。葉色の高まりの持続の差は使用したコンポストの窒素含有量の差によって説明できる。

出典:Daniel C. Garling, Michael J. Boehm(2001):Temporal Effects of Compost and Fertilizer Applications on Nitrogen Fertility of Golf Course Turfgrass, Agronomy Journal vol.93 May-June

(3) Broken Sound クラブ

BROKEN SOUND (BS) クラブでは剪定枝や食品残さの処分におよそ 800 万円の費用を投じていた。フロリダ州沿岸の砂質土壌に造成されたコースは、養水分を保持する能力が限られ、水と肥料の投入量が増加していたが、近年、それらの使用制限が強化されている。そこで、in-vessel コンポスト施設(建物、コンテナ、ないし容器内にコンポスト化材料を閉じ込める製造方法)を導入し、1 日当たり 5.4~6.9m³ のコンポストを製造、フェアウェイとラフに追肥した結果、短期的には、芝生の葉色と密度の改善、長期的には、肥料と水の利用を 1/3 に減らすことが期待されている。コンポスト施設の導入に要した費用は、廃棄物処理費、肥料費削減により 4~5 年で初期投資を回収し、6 年目以降にはコンポストの販売も視野に入れている。

BS はこれまでゴルフ環境機構 (GEO) のサステナビリティ証明書 (GEO Certified)、および Audubon (野鳥保護を含め広く自然・環境保護を目的とする団体) のサンクチュアリープログラム証明書 (Audubon Cooperative Sanctuary Program for Golf Courses) を取得している。さらに、2017 年 1 月には、水保全、水質管理、エネルギー保全、汚染防止、廃棄物処理、野生生物とハビタット保全、コミュニケーション、アウトリーチ、リーダーシップの分野における活動実績を評価され、2017 年ゴルフ環境リーダー賞 (Environmental Leaders in Golf Awards) (全米ゴルフコース・スーパーインテント協会 (Golf Course Superintendents Association of America) とゴルフ・ダイジェスト社による) を受賞している。

コースの概要

フロリダ州南東部沿岸の Boca Raton に 1970 年代中頃に開場した典型的な住宅地のクラブ。2 つの GC と様々なアメニティ施設に沿って、およそ 3,200 名の会員、1,600 戸以上の住宅が建ち並ぶ。Club Course は、18 ホール、パー 72、距離 6,898 ヤード、もう 1 つの Old Course は、18 ホール、パー 72、距離 6,807 ヤードである。



写真 3.1.3.2 BS クラブで稼働するコンポスト施設

右奥に 2 つの GC から発生する有機堆積物が保管、破碎され、クラブハウスの食品残さと混ぜられて、コンポスターに投入される。



写真 3.1.3.3 完成したコンポスト

緑廃棄物コンポスト化プログラムに着手する前、2 つのコースとクラブハウスの厨房から発生する大量の廃棄物は、ごみ埋め立てに仕向けられ、クラブにかなりの費用負担であった。コンポスト化と貯蔵の後、完成した生産物はフェアウェイで追肥として土壌改良材プログラムに利用されている。



写真 3.1.3.4 フェアウェイへのコンポスト追肥

コンポスト化プログラムは進行中であるものの、BS のコース管理スタッフは、何れもの緑廃棄物をもはやごみ埋め立てに持ち込まないという事実とともに、実現しつつある農学的恩恵に目覚めている。



写真 3.1.3.5 芝草の根系成長、土壌の保水性を確認する土壌断面サンプリング

コンポスト追肥による非常に砂質な土壌に造成されたフェアウェイの改善という計画は、肥料と灌水の投入量を BS で 1/3 まで削減できている。

エネルギーとコスト削減の達成が焦点

南フロリダの長い成長期間は、大量の緑廃棄物（刈芝、ヤシの葉、造園植物の剪定枝など）を生み出す結果となる。BS では利用できる場所が非常に限られ、すべての緑廃棄物はダンプスター（大型ごみ容器）に投入する必要がある、ごみ埋め立て地に運んでいた。

2008～09 年度で、クラブは緑廃棄物処分にほぼ 800 万円の費用をかけていた。2009 年秋、現場で全ての緑廃棄物リサイクルが実行可能な、実用的な選択であるかどうかを決定するために、in-vessel コンポスト化プロジェクトの実証が ECW 社（マイアミ）により提案された。実証プロジェクトの一部は、コンポスト化の工程を効率的に進めることを含み、フェアウェイとラフの追肥プログラムでコンポストを利用するロジスティック（原料から完成品までの材料の流れの管理）を解決することにある。

in-vessel コンポスト化工程

コンポスト化の工程にはおよそ 1 週間を要し、処理の終わった材料は堆積場に保管され、3 週間かけて週 1 回攪拌される。コンポストは、それからハンマーミルで均一な追肥施用に必要とされる 0.6cm (1/4 インチ) の小片に加工される。実証プログラムをもとに、BS では 1 日当たり 5.4～6.9m³ (7～9 立方ヤード) のコンポストを完成・貯蔵できると見積もられ、粒径 0.6cm の資材が両コースのフェアウェイとラフで年間通して施用された。

コンポスト追肥のねらい

水と肥料に制限がない時代、密なバミューダグラスの芝生を維持するために、水分と養分を保持する許容量が極めて限られる砂質土壌へ十分補うことは可能である。

しかしながら今日では、水と肥料への使用制限が増大し、肥料やその他の資材コストは過去数年間にわたり劇的に増加している。それ故、続く数年間 BS でのフェアウェイやラフへの追肥にコンポストの施用は、水分と養分の両方を保持する力を増すために必要とされる土壌改良材戦略である。

コンポスト追肥の効果

このプログラムから短期的、長期的な両方の恩恵がもたらされている。コンポストは肥料として施用してはいないとはいえ、産出された資材の分析結果は、全窒素 1.2~1.8%、リン 0.2%、カリウム 0.6%、鉄とその他の微量栄養素であることが示された。この僅かな養分含有量は、注目すべき芝生のグリーンアップ反応と試験散布 7 日後における生育密度の改善をもたらした。

長期的にはコンポスト追肥プログラムは肥料と水の利用を 1/3 に減らすことになる。さらに、コンポストを施用された砂質のフェアウェイやラフの改善は、フロリダ全体の GC に関する主要な害虫となっている植物寄生性線虫の加害を減らすことに役立つ。

投資の回収

in-vessel コンポスト稼働には設備の購入と設置の費用がかかる。しかしながら、緑廃棄物のリサイクルによる経費節約額は、肥料使用量の削減で実現される節約もプラスとなり、クラブに 4 ないし 5 年で初期投資を取り戻させることになる。6 年目からは、この地域で営業する造園管理会社にコンポストを販売し、クラブはコンポスト化の操業から利益を生み出すことを計画している。

恒久的な緑廃棄物のコンポスト化操業設備の設置は、BS クラブの理事会により承認され、2011 年の早い時期に稼働することになる。それは関係者にとって非常に満足の得られる認識となり、コース管理スタッフの努力は経済的、環境的なサステナビリティをクラブにもたらした。

出典：John H. Foy (2011)：The Greening of Broken Sound Club, Green Section Record Vol. 49 (32)

コラム 2 刈芝から生まれるバイオエタノール

ゴルフ場から発生する刈芝をエタノールにする場合を計算する。刈芝のようなソフトバイオマスは木のようなハードバイオマスに比べて液化・糖化の効率が上がる。普通の 18 ホールからなるゴルフ場から発生する刈芝の年間発生量は約 1,200m³、600トンである。水分は 97%で、乾燥重量あたりブドウ糖 30%、キシロース 16%が含まれる。液化・糖化効率 95%、発酵収率 90%、蒸留濃縮効率 95%とすると、年間約 4 トンのエタノールが刈芝から得られる。これは同様に計算するとガソリン換算で 3.4KL になる。ゴルフ場での年間ガソリン使用量は 6.5～20KL なので 17～50%のガソリンがまかなえる。

なお、ゴルフ場が刈芝を廃棄物として委託処理している毎年の費用は 600～1,000 万円このコストを刈芝からエタノール生産へ振り向けることもひとつの考え方。

バイオマスには 5 つの F がある。それらは、Food(食料)、Feed(飼料)、Fertilizer(肥料)、Fiber(繊維)、Fuel(燃料)である。バイオマスには地域特性があり、沖縄ではサトウキビが生育するが北海道では育たない。したがって、バイオマスからできるバイオエタノールには原料に地域特性がある。ゴルフ場がある地域の油田はゴルフ場であり、年間 4 トンのエタノールを生産できる。「地酒、地ビール、地エタノール」、私はこれを自立分散型エネルギー社会構築のスローガンとしている。

出典：高見澤一裕(2008)：都市とバイオエタノール、生活衛生、Vol.52,No.5,267-273

※平成 26 年 5 月、岐阜大学応用生物科学部・高見澤一裕教授、中村浩平准教授らの研究成果が、一般社団法人廃棄物資源循環学会論文賞を受賞。受賞論文は「Bioethanol production from enzymatically saccharified lawn clippings from a golf course(和訳：ゴルフ場刈芝からの酵素糖化法によるバイオエタノール生産)」

バイオ燃料の生産能力

バイオ燃料(輸送用燃料)は、液体燃料としてバイオディーゼル(以下 BDF)とバイオエタノールが主流となり、国産は非食用農作物、廃棄物(食品)系が大半を占めるが、供給量の大半を占める輸入はエネルギー作物(農業)系である。2012 年度のバイオ燃料供給量はバイオ ETBE(エチル・ターシャリー・ブチル・エーテル：バイオエタノールを含む混合液体燃料)等として輸入されるバイオエタノールが大半を占め、僅かなバイオディーゼルの加え 43 万 kL 弱となった。バイオエタノールの国内生産は、主要な生産拠点 3 か所による生産が 2009 年に開始され 2012 年には合計で 2 万 4,000kL 余りとなり国内生産量の 98%以上を占めている。BDF、バイオエタノール製造施設数は 279 施設で、食品系が大半を占め、木質系がわずかにあるが、畜産系及びその他はない。食品系の BDF 生産施設が 259 施設、93%を占める。

年間生産能力データのある全国 14 施設の合計生産能力は 3 万 6,706kL/年(不明 1 社を除き 2003～2012 年に稼働開始)である。200 か所以上の生産能力データのない施設を加えると生産能力は相当程度あると想定される。1 か所あたり平均生産能力では、BDF よりもバイオエタノールで大きくなっており、2 か所の平均で 1.5 万 kL/年となっている。

出典：認定 NPO 法人環境エネルギー政策研究所(2016)：自然エネルギー白書 2015

3.1.4 堆肥利用の課題

1) 科学的知見の蓄積と公表

ゴルフ業界が日本芝草学会、日本土壌微生物学会、日本土壌肥料学会、廃棄物資源循環学会等と連携して、芝生に対する堆肥連用による耐病性、耐乾・湿性、施肥要求量等の実証試験を行い堆肥施用の技術指針を作成する。

2) 目砂に代替する堆肥利用技術

今後の砂採取量の供給減を考慮すると、自然資源依存から資源循環型へコース管理の切り替えが必要となることから、目砂向け堆肥製造の技術指針を作成する。

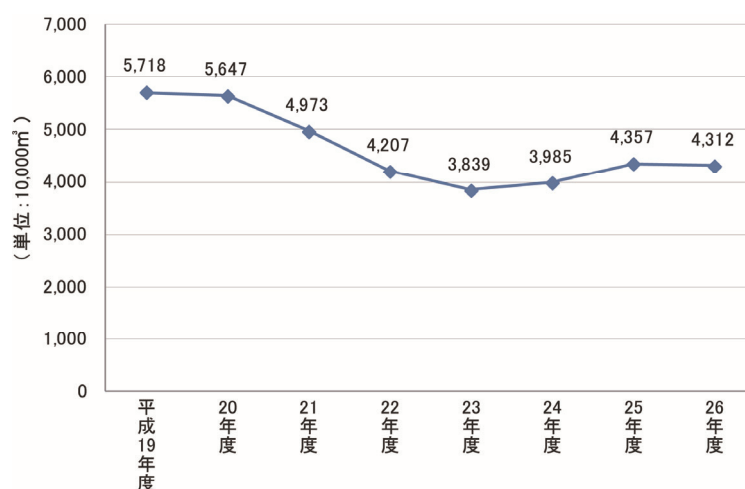


図 3.1.4.1 わが国の砂採取量の推移

出典: 経済産業省住宅産業窯業建材課: 砂利採取業務状況報告書集計表、平成 19～26 年度

3) 食品リサイクル法との関連

食品リサイクル法にもとづき、外食産業等に対して「再生利用等実施率目標」（飼料化、肥料化、メタン化など）が設定されている。将来的に、ゴルフ場（ホテルを併設するコースを含め）も同法の適用対象業種となる可能性も考えられる。植物由来バイオマスの発生量に比べ、食品残さ量は少量であることから、堆肥製造の原料として食品残さを積極的に検討する必要がある。

コラム3 食品リサイクルループの構築

大栄環境グループは、イオングループの店舗から排出される食物残さを三木リサイクルセンター「コンポストファクトリー」で堆肥化し、隣接するイオン直営の「三木里脇農場」へ搬入。ここで土づくり、野菜づくりに使用し、収穫するという循環システム「食品リサイクルループ」が軌道に乗り、2016 年 6 月、地元のイオンへの本格的な農産物の出荷が始まった。この堆肥製造は、近畿大学バイオコックス研究所から技術指導を受け、試行錯誤を繰り返しながら確立した。

兵庫県のマックスバリュ 7 店舗、イオン 4 店舗、ダイエー1 店舗、イオンフードサプライの食品残さ 1,580t/年を、大栄環境グループにて、木くず 521t/年を加えた肥料化(316t/年を製造)、イオンアグリ創造(株)にて、このたい肥 316t/年を使用し、野菜(キャベツ・白菜)を生産(430t/年)、イオングループが購入し、店舗販売または加工(301t/年)および契約取引先に 129t/年を販売するというもの。

この取組は、「食品リサイクル法に基づく再生利用事業計画の認定実例(肥料化事業)」、平成 28 年 7 月、農林水産省に掲載されている。

4) 堆肥化モデル事業の設計と試行

ゴルフ場単独で堆肥化施設を導入し、場内で発生する植物由来バイオマスの循環利用を完結させるには、依然課題が残されている。そこで、ゴルフ場を核として、地域の関係者と連携する堆肥利用のモデルを検討し、試行することから、課題解決を図ることが考えられる。

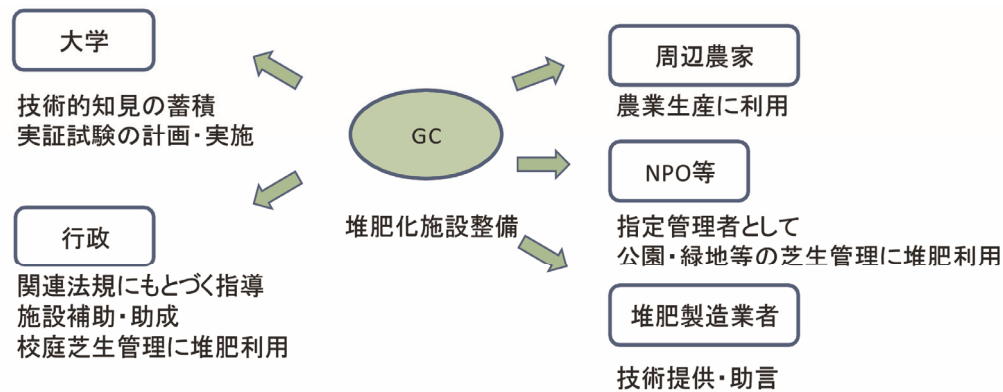


図 3.1.4.2 ゴルフ場を核とする地域ぐるみの堆肥化施設利用モデル(イメージ)

[考え方]

GC・農家・NPO による堆肥を製造し農業生産等に使用する農業生産法人ないし農事組合法人などを組織し、GC の敷地を活用し堆肥化処理施設を整備する。

この農業生産法人等が GC 内に設置した堆肥製造施設を稼働し、でき上がった堆肥をコース管理および近隣農家の農産物生産に利用する。

堆肥製造能力の拡大に応じて、地方自治体の管理する公園・緑地等の芝生管理を担う指定管理者として農業生産法人等が自ら、あるいは他の NPO 等に堆肥および利用技術を実践・提供する。

さらに、近隣小中学校の校庭芝生管理に関わる NPO 等に堆肥利用の機会を広げる。例えば、(公社)ゴルフ緑化促進会 (GGG) が校庭芝生管理に堆肥利用を促進するため散布費用を助成することなども考えられる。

農業生産法人等は、行政から植物由来バイオマス利用について関連法規にもとづく適正な実施について指導・助言を得て、堆肥化施設導入のための補助金・融資など利用可能な支援策を活用する。あるいは、堆肥利用技術を高めるため、堆肥製造業者から技術提供・助言を受ける。

さらに、他の GC との提携、あるいは、GC の食品残さを活用する食品リサイクル法の登録再生利用事業者（食品循環資源を原料とする特定肥料等の製造を業として行う者）となることによる事業展開など、循環利用の輪を広げる方策も考えられる。

このような、地域ぐるみの堆肥化施設利用モデル事業を大学と提携して 3 か年程度の計画を作成し実証を進めることにより、課題解決を図ることが考えられる。

<参考>

堆肥製造と廃棄物処理

環境省による「行政処分の指針について(通知)」(平成 25 年 3 月)では、廃棄物該当性の判断について、以下のように記載されている。

①廃棄物とは、占有者が自ら利用し、又は他人に有償で譲渡することができないために不要となったものをいい、これらに該当するか否かは、その物の性状、排出の状況、通常の手扱い形態、取引価値の有無及び占有者の意思等を総合的に勘案して判断すべきものであること。(以下、省略)

判断すべきこれら 5 項目について、次のように解説している。

項目	内容
物の性状	利用用途に要求される品質を満足し、かつ飛散、流出、悪臭の発生等の生活環境の保全上の支障が発生するおそれのないものであること。
排出の状況	排出が需要に沿った計画的なものであり、排出前や排出時に適切な保管や品質管理がなされていること。
通常の手扱い形態	製品としての市場が形成されており、廃棄物として処理されている事例が通常は認められないこと。
取引価値の有無	占有者と取引の相手方間で有償譲渡がなされており、なおかつ客観的に見て当該取引に経済的合理性があること。
占有者の意思	客観的要素から社会通念上合理的に認定し得る占有者の意思として、適切に利用し若しくは他人に有償譲渡する意思が認められること、又は放置若しくは処分が認められないこと。

堆肥製造と肥料取締法

特殊肥料とは、魚かすや米ぬかのような、農家の経験と五感により品質の識別できる単純な肥料や、堆肥のような、その価値や施用量が必ずしも主成分の含有量のみ依存しない肥料で、農林水産大臣が指定したものをいう。平成 24 年現在、46 種類が指定されている。この中で、堆肥は、「わら、もみがら、樹皮、動物の排せつ物その他の動植物質の有機質物(汚泥及び魚介類の臓器を除く。)を堆積または攪拌し、腐熟させたもの。」と記載されている。

特殊肥料のうち、「堆肥」と「動物の排せつ物」について、平成 12 年 10 月から、「特殊肥料の品質表示基準」に基づく品質表示が義務づけられた。

また、肥料の生産業者、輸入業者、販売業者は、販売業務を行う事業所ごとに、その所在地を管轄する都道府県知事に肥料販売業者としての届出をしなければならない。

特殊肥料の生産・輸入、肥料の販売について

神奈川県農業技術センター病虫害防除部

電話:0463-58-0333 FAX:0463-59-7411

ホームページ http://www.agri-kanagawa.jp/nosoken/hiryo_todoke/hiryo_top.html

3.2 マルチング材

ここでは、雑草抑制を目的とするマルチングについて、敷設厚と抑制効果に関する 2 つの研究報告を紹介する。

1) 枝葉・幹チップ施工と雑草抑制

概要

マルチング資材としてスギの枝・葉及び幹チップを、それぞれ厚さ 5cm、10cm 及び 15cm に施工し、雑草の抑制効果（植被率）と植栽木への影響を調査した。また、両者のチップの分解速度とミネラルとしての還元性を把握した。

林地残材として放置されるスギの枝条や根元幹材を有効活用するため、チップ化したものをマルチング資材として厚さ別に施工し、植栽木の生育や林床土壌の理化学性にどのような影響を与えるかを検討した。

この結果、枝葉チップ施工地では施工後僅かな月数で雑草の植被率が高まり、マルチングとしての抑制効果はなかった。また、幹チップ施工地の敷設厚 5cm では抑制効果はなく、敷設厚 15cm の施工地で抑草効果が約 2 年半持続することが明らかとなった。この持続期間は他県の調査（山内仁人：木材チップの林内散布，林業新知識 No.634，2006）とほぼ一致した。

チップの分解率

枝葉チップは 2004 年 5 月の設定から 10 月までの 6 か月間に 27.4% が分解し、翌年の 2005 年 6 月までに 8.9% が分解、年間の分解率は 36.3% であった。その後 2005 年 10 月までに 16.1% が分解し、最終調査時の 2006 年 10 月までの 2 年半で 59.9% のチップが分解した。総じて設定当初の半年間と初夏から晩秋に分解が進んでいるものと考えられた。

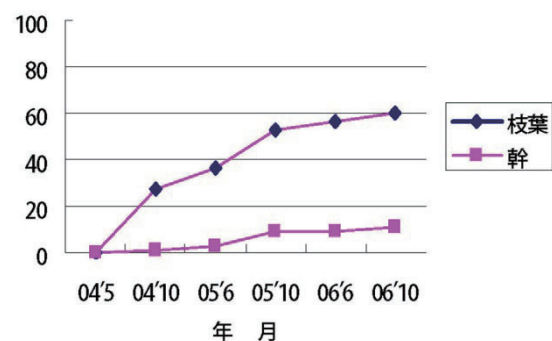


図 3.2.1 枝葉チップ及び幹チップの分解率

幹チップは設定から 10 月までの 6 か月間に 0.8% が分解し、翌年の 2005 年 6 月までに 2.6% が分解、年間の分解率は 3.4% であった。その後 2005 年 10 月までに 6.5% が分解し、最終調査時の 2006 年 10 月までの 2 年半で 10.9% のチップが分解した。総じて設定 1 年後の 2005 年 6 月の初夏から晩秋にかけ分解が進んでいる程度で、枝葉チップよりかなり分解速度が遅いことがわかった。また、アカマツ幹チップの分解率はスギ幹チップ分解に準じた。

なお、分解速度が進んでいる枝葉チップの敷設厚の厚さは 5cm 厚が約 2cm に、10cm 厚が約 3cm に、15cm 厚が約 5cm へと減少した。一方、各幹チップ施工地の敷設厚の減少はみられず、施工当初の敷設厚を保った。

チップ施工から 2 年半後（2006 年 5 月）の各チップ区の含水率は、枝葉 5cm 厚が $46.5 \pm 1.2\%$ 、10cm 厚 $52.1 \pm 0.9\%$ 、15cm 厚 $49.3 \pm 2.5\%$ に対し、幹 5cm 厚は $61.3 \pm 1.9\%$ 、10cm 厚は $67.4 \pm 0.4\%$ 、15cm 厚 $69.2 \pm 0.3\%$ であった。

考察

枝葉チップ施工地では施工後僅かな月数で雑草の植被率が高まり、マルチングとしての抑制効果は無いことが判明した。また、幹チップ施工地の敷設厚 5cm では抑制効果はなく、敷設厚 15cm の施工地で抑草効果が約 2 年半持続することが分かった。この持続期間は他県の調査とほぼ一致した。

植栽したスギ苗木の成長は、敷設厚 15cm の幹チップ施工地で大きく、敷設厚 15cm の枝葉チップ施工地で小さかったが、無施工との間で有意差は認められなかった。しかし、根元径、枝張り、苗木の風乾重や不定根の発生範囲（高さ）は、敷設厚 15cm の幹チップ施工地が最も高く、かつ苗木の形状も総体的に良好であった。この理由として幹チップは施工時の容積と高さを保ちつつ、チップ内の水分が枝葉チップに比べ 15～22% も高いことが考えられた。このような要因が不定根の発達を促す等、苗木の生育にプラスになったものと考えられた。

一方、スギの枝葉に蓄積されているミネラルは多いが、敷設厚 15cm の枝葉チップ施工地は、特に交換性カルシウム、交換性マグネシウム等が林床土壤に供給される量が多く、無施工地との間で有意差が認められた。ただし、枝葉チップは幹チップに比べミネラル成分が高いとはいえ、微細化され厚く堆積した枝葉は過密で、なお分解するには時間が必要である。相対被度、相対草丈高、総合優占度および刈取った雑草の乾重からも明らかなように、雑草の繁茂は枝葉チップ施工地が優位にあり、結果的に植栽苗木の成育にマイナスになったものと考えられる。

出典：今井辰雄・石井洋二・渡邊治（2007）：木質バイオマス利用技術～1 林内マルチング技術の開発、福島県林業研究センター研究報告第 40 号

2) 造林地に散布した木材チップによる植生制御効果

木材チップを林内及び造林地に散布し周辺環境への影響やチップの分解速度、造林地での植生制御効果を調べた。調査地及び周辺植生に、ならたけ病の発生や成長阻害等の悪影響は観察されなかった。チップの現存量は 1 年間に 4～20% ずつ減少し、乾燥地より湿潤地の方がチップの分解が速かった。造林地で 20cm 厚に散布したチップの植生抑制効果は 3、4 年だったが、10cm 厚では 1 年で無散布と同程度の植被率となり、抑制効果が無くなった。

調査地

林業総合センター構内の皆伐ヒノキ造林地に、2002 年 6 月、木材チップを敷設した試験地を設けた。チップの敷厚は 20cm（区）、10cm（区）、無散布（対照区）の 3 種とし、各試験区は 5×15m の方形区、使用チップはアカマツ材のシュレッダーチップで、試験区にチップを敷き均す前に造林木（ヒノキ）以外の植生は刈り払った。

表 3.2.1 散布 4 年目のチップ残存厚(2005) (cm)

	平均	最大	最小
20cm 区	14.5	19.0	7.0
10cm 区	6.0	8.5	3.5

考察

木材チップの散布による植生抑制効果は、20cm 厚では一定の効果があつたものの、10cm 厚ではほとんど効果がなかった。この結果は、ウッドチップマルチングの厚さが 15cm 以下では抑草効果が著しく低下するとの報告（豊岡、林業科学技術振興所 1999）と一致した。年数の経過に伴い、植生抑制効果は減少したが、その原因は、チップの分解が進み、チップ層の厚さも減少したことで植生の伸長に対する抵抗も減じたためと判断した。

出典：山内仁人・古川仁川・竹内玉来・片倉正行・小山泰弘（2006）：木材チップの分解速度と植生制御効果－林内散布等の木材チップが森林環境に与える影響調査－、長野県林業総合センター研究報告 21 号

3.3 木質バイオマス供給

ゴルフ場で発生する木質バイオマスのマテリアル利用としては、発電事業者、木質チップ業者への原料供給が想定される。

1) 発電事業者への木質バイオマス供給

木質バイオマスを発電の燃料に使用するバイオマス発電施設のうち、ゴルフ場から発生する原料、いわゆる未利用木質の供給先としては、2016年10月末現在、新規・移行を合わせた導入41施設、認定74施設が対象となる(表3.3.1)。最新の情報は、表3.3.1の下に示すウェブサイトを参照する。

表 3.3.1 FIT 認定を受けたバイオマス発電施設の現状(2016 年 10 月末現在)

【表 A ①-1】 都道府県別導入件数 (単位: 件)

バイオマス発電設備

	メタン 発酵ガス	未利用木質		一般木質・ 農作物残さ	建設廃材	一般廃棄物・ 木質以外
		2,000kW 未満	2,000kW 以上			
新規認定分	82	5	29	18	2	55
移行認定分	29	4	3	10	29	158

【表 A ②-1】 都道府県別導入容量 (単位: kW)

バイオマス発電設備(バイオマス比率考慮なし)

新規認定分	24,139	6,240	272,156	273,769	9,300	164,800
移行認定分	11,201	3,038	6,015	73,800	331,916	700,502

【表 A ③】 都道府県別認定件数と認定容量 (単位 上: 件、下: kW)

新規認定分	174	25	49	117	5	89
移行認定分	61,315	28,465	399,373	3,224,521	36,950	250,426

注 1) 「導入」と表現するのは、固定価格買取制度の下で買取が開始された状態をいう。

注 2) 「新規認定分」とは、本制度開始後に新たに認定を受けた設備。

注 3) 「移行認定分」とは、再エネ特措法(以下、「法」という。)施行規則第2条に規定されている、法の施行の日において既に発電を開始していた設備、もしくは、法附則第6条第1項に定める特例太陽光発電設備(太陽光発電の余剰電力買取制度の下で買取対象となっていた設備)であって、本制度開始後に本制度へ移行した設備。

注 4) バイオマス発電設備については、前年度までの集計手法から、より実態を反映した手法とするため、今年度より認定時のバイオマス比率を乗じて得た推計値を集計している。

出典: 固定価格買取制度 情報公表用ウェブサイト A 表 都道府県別認定・導入量(平成 28 年 10 月末時点)をもとに作成

http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/statistics/index.html

すでに地域によっては未利用木質に対する需要に対して供給が追いつかない状況にあることから、これまで、ゴルフ場で伐採した樹木の幹部分は主に無償でチップ業者等に引き渡していたものが、今後はバイオマス発電施設の燃料として、有償取引されることになるはずだ。参考までに、木質バイオマス発電所の「未利用材」丸太の買取り価格は、5,000～8,000 円/生 t 程度といわれる(材の買取価格は、買い取る場所—土場か、チップ工場か、発電所か—、含水率その他の条件にも左右される: バイオマス白書 2015、http://www.npobin.net/hakusho/2015/topix_02.html)。また、エネルギーとして使われた利用目的別の木質バイオマス量は、表 3.3.2 に示すとおりである。

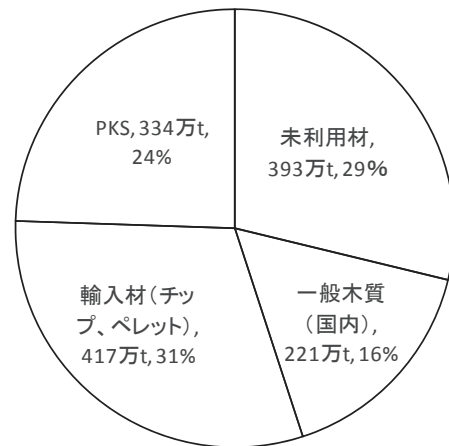
表 3.3.2 事業所における利用目的別木質バイオマスの利用量

利用目的	事業所内で利用した木質バイオマス				
	木材チップ 絶乾トン	木質ペレット トン	薪 トン	木粉(おが粉) トン	左記以外の 木質バイオマス トン
発電のみ	3,035,825	118,315	—	112,331	45,748
熱利用のみ	1,187,129	41,334	50,311	189,366	321,272
発電及び熱利用	2,680,373	122	1,000	64,998	33,600
総数	6,903,327	159,771	51,311	366,695	400,620

出典:林野庁(2017):平成 27 年木質バイオマスエネルギー利用動向調査

ところで、発電に利用する木質バイオマスは、伐採段階で証明を必要とする。林野庁が作成したガイドラインは、再生可能エネルギー電気の固定価格買取制度に対する消費者の信頼を確保するとともに、発電の燃料としての間伐材等由来の木質バイオマスや一般木質バイオマスが、円滑に、かつ、秩序をもって供給されることに資するよう、これらの供給者が、間伐材等由来の木質バイオマスや一般木質バイオマス由来であることの証明に取り組むに当たって留意すべき事項等を取りまとめている。このガイドラインでいう木材には、竹由来のものを含む。

ゴルフ場の場合、間伐材等由来の木質バイオマスと一般木質バイオマス（製材等残材以外の木材で、由来の証明が可能なもの）が想定され、ゴルフ場が伐採木を販売する場合に、次に示す証明が必要となる。



注)設備認定の申請書に基づく乾燥前重量(水分を含んだ重量)を合計しているため、各事業が使用する原料の含水率の違いは考慮されていない

図 3.3.1 認定バイオマス発電所の原料利用予定量

出典:持続可能なバイオマス発電のあり方に係る調査報告書、平成 28 年、三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング

区分	証明書の交付
(1)間伐材等由来の木質バイオマスの証明	伐採を行う者は、間伐材等由来の木質バイオマスの販売先に対し、販売する木質バイオマスが全て間伐材等由来の木質バイオマスであることを証明する証明書を交付する必要がある。なお、間伐材等由来の木質バイオマス及びそれ以外に由来するバイオマスの両方を取り扱う者は、上記の証明にあたって、両者を分別管理するとともに、これが確実に行われていることを明らかにする必要がある。
(2)その他由来の証明が可能な木材	屋敷林など法令による伐採に係る手続が不要の立木、果樹等の剪定枝、ダム流木等については、伐採を行う者又はそれらの所有者自らが由来の証明書(所有者名、住所、樹種、数量、建設資材廃棄物が混入していないこと、法規制が無く適切に伐採した場合はその旨等を記述)を作成し、これら木質バイオマスの販売先に交付する。

なお、ガイドラインに基づく各区分の木質バイオマスの証明と流通の主な流れを模式的に示すと図 3.3.2 のようになる。詳細は、「発電利用に供する木質バイオマスの証明のためのガイドライン」(平成 24 年 6 月、林野庁)および「木質バイオマス発電・証明ガイドライン Q&A」(最終更新平成 27 年 7 月 10 日、林野庁)を参照。

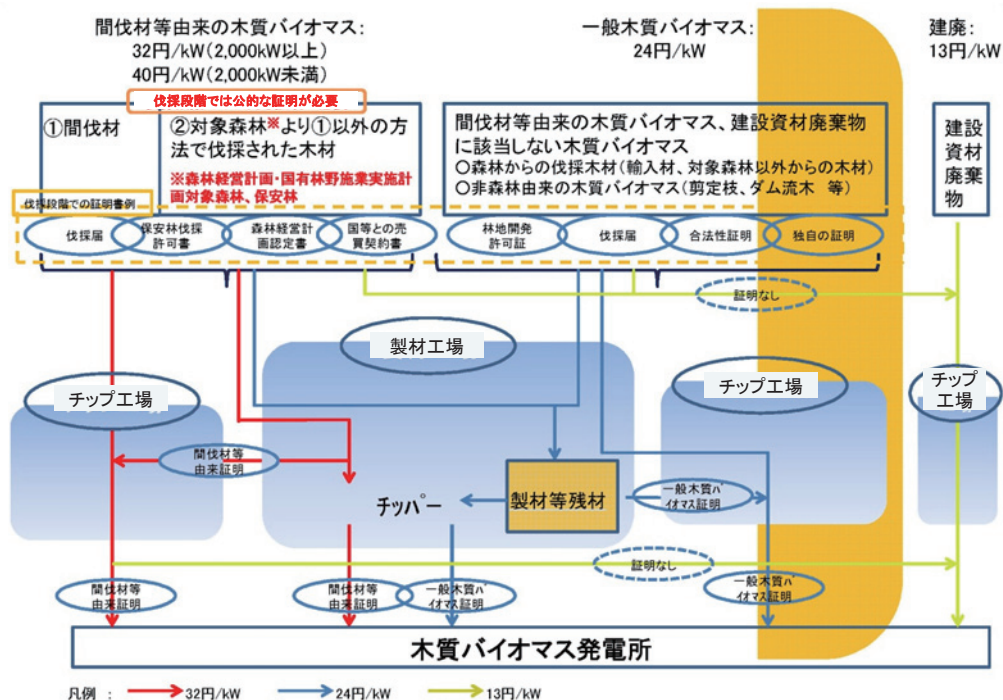
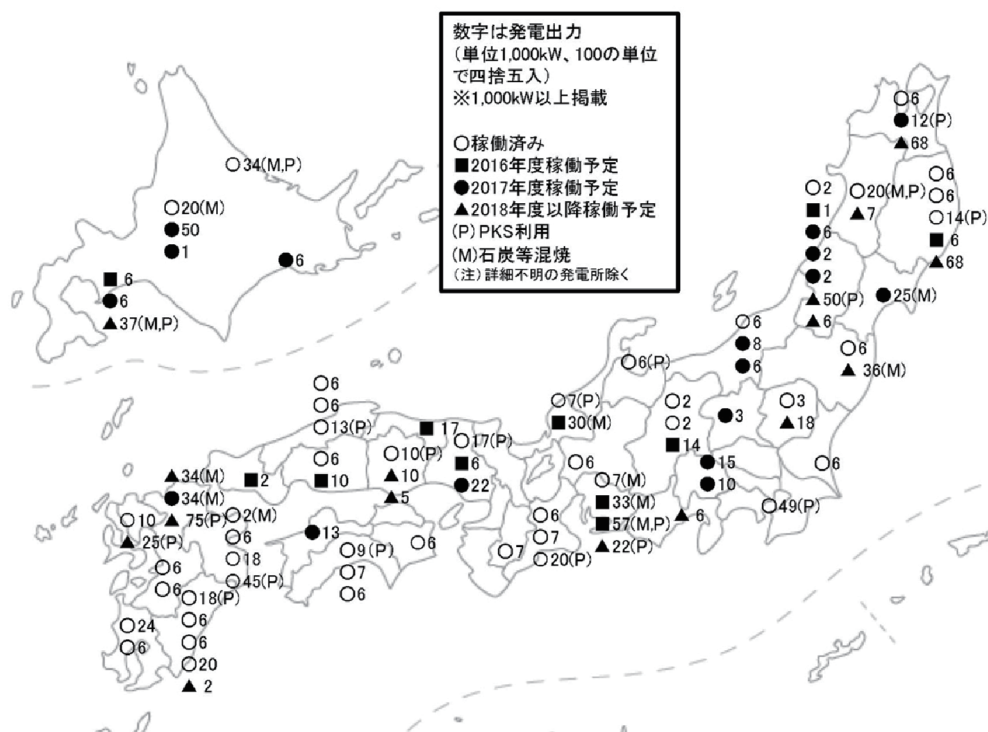


図 3.3.2 木質バイオマスの証明と流通の主な流れ

出典:「木質バイオマス発電・証明ガイドライン Q&A」、p.7、最終更新平成 27 年 7 月 10 日、林野庁
http://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/biomass/hatudenriyou_guideline.html



Copyright © FT Carbon 2016 All Rights Reserved.

図 3.3.3 FIT 制度以降に稼働した木質バイオマス発電所位置図

出典: 木質バイオマス発電所一覧.pdf、木質バイオマス発電所の動向レポート、2017 年 3 月 16 日、(株)FTカーボン
<https://www.ftcarbon.co.jp/木質バイオマス発電レポート-1/>

参考として、全国に立地する FIT 制度以降に稼働した木質バイオマス発電所の位置図を示す(図 3.3.3)。運転開始済み(50 か所)、運転開始前(69 か所)の事業者、都道府県・市町村、発電規模については、図の出典に示す pdf ファイルを参照する。

あるいは、前掲表 3.3.1 に示した情報公表用ウェブサイトの下に「詳細情報ダウンロード」という部分があり、「B 表 市町村別認定・導入量」をみると、バイオマス発電設備について事業者名まではわからないが、市町村別の認定・導入の件数と導入容量が掲載されている。

2) チップ業者への木質バイオマス供給

実際には、前掲の図 3.3.1 に示すように、木質バイオマスはチップ業者を経由して、発電事業者に供給される場合が大半となる。

全国木材チップ工業界によると、全国の木材チップ生産量(平成 27 年)は、5,745BDt(BDt 絶乾重量。木材チップ原料 1t は 0.4BDt に相当)となり、内訳は素材(原木)が 2,558BDt(44.6%)を占め、針葉樹は 70.2%(3,183BDt)、広葉樹は 29.8%(1,353BDt)となる(表 3.3.3、表 3.3.4)。

これらの木材チップは、全国にある 1,424 の木材チップ工場により供給され(表 3.3.5)、一定量が発電事業者にも供給されている。

チップ価格は、国産の針葉樹で 13,800 円/BDt、広葉樹で 18,500 円/BDt により取引されている(表 3.3.6)。

表 3.3.3 全国の木材チップ生産量(平成 27 年)

素材 (原木)	工場残材		林地残材	解体材・廃材	合計
	自己の工場 から振り向け	他の工場 から購入			
2,558	1,621	249	105	1,207	5,745

表 3.3.4 針葉樹・広葉樹の内訳

区分	千 BDt	構成比
針葉樹	3,183	70.2%
広葉樹	1,353	29.8%
計	4,536	

注 針葉樹、広葉樹の計は、それぞれ解体材・廃材を含まないため、合計の計と一致しない。

表 3.3.5 全国の木材チップ工場数(平成 27 年)(単位:工場)

木材チップ 専門工場	製材又は合単板工場 との兼営工場	合計
357	1,067	1,424

出典:都道府県別木材チップ工場数及び従業者数、
全国木材チップ工業連合会

表 3.3.6 チップ価格(28 年 8 月現在)(単位:円/BDt)

国産		輸入		為替レート	
針葉樹	広葉樹	針葉樹 (米国)	広葉樹 (豪州)		
13,800	18,500	19,100	19,200	米\$	豪\$
				103.4	79.2

注. 国産チップは農林水産省統計。為替レートは通関価格、日本製紙連合会資料

4. 熱利用

4.1 意義

木質バイオマスには電力利用と熱利用があり、電力利用だけではエネルギー効率は10～20%台にしかない。熱利用との併用であればエネルギー効率を80%以上引き出すことができる。熱利用では比較的小規模な利用が可能であり、需要者も供給者も地元主体となる。熱利用の拡大によって化石燃料を代替することで、資金が地域で循環するだけでなく、地域において新たな付加価値を生み出すことになり、地域経済への貢献、CO₂削減、環境負荷軽減、森林資源の有効活用と、多様な効果が期待できる。

業務部門におけるバイオマス利用を想定すると、年間で安定的な需要が見込める給湯需要が一定量確保できることが望ましい。バイオマスボイラー導入のターゲットとなる、1施設で一定の給湯需要が確保できる業種はシティホテル、病院、スーパー銭湯に次いでゴルフ場が4番手に位置する（三菱UFJリサーチ&コンサルティング作成資料）。

ここでは、「木質バイオマスボイラー導入マニュアル（山形県最上地域 木質チップボイラー導入 編）」（平成25年10月、山形県最上総合支庁）を参考に、熱利用について解説する。

4.2 バイオマスボイラー導入・運転までの取組み

木質バイオマスボイラーの導入に際しては、①熱需要に合った規模の設備、②現地で調達可能なチップの品質に合うボイラーの選定、③設備費を一定の範囲内に抑えることが不可欠である。

現状では、設計・見積りをボイラメーカーに依頼することが一般に行われているが、課題設計によるコスト増、適切な運転ができない、使い勝手が悪い、現地で調達できるチップにボイラーが合わないなどのトラブルが起りかねない。そこで、ユーザの立場に立って設計・施工管理をする体制（プロジェクト・マネジメント）を構築することが不可欠となる。

1) 事業企画段階のポイント

(1) 事業マネジメントのポイント

プロジェクト担当者は、バイオマスの特性をよく理解することが不可欠である。担当者の調査や分析には自ずと限界があるので、第三者による調査が必要となる。これは事業性調査（FS調査）と呼ばれ、目的遂行のための手段や採算性から事業化の可能性を検討し「基本設計」を行う。FS調査では、国や自治体の補助金の活用も考慮するが、事業メニューにより実施内容や実施主体に制限があるため確認が必要となる。

多くの場合、調査は外部のコンサルタント業者に委託する。設計委託費は必要経費として計上する。プロジェクトの成功は、FS調査あるいは基本設計の段階から運転開始に至るまで統括するプロジェクト全体の監理者（プロジェクトマネージャーなど）を設置することが望ましい。

- ①計画立案・調査（基本設計）
- ②実施設計のポイント
- ③バイオマスボイラメーカーの選定方法
- ④設計監理
- ⑤完成・引渡し

2) 運転段階時のポイント

(1) チップボイラの運転体制

チップボイラと化石燃料ボイラの通常の運転・管理に関しての大きな違いは、ボイラの着火やボイラの掃除、燃焼灰の掃除等となる。チップボイラは機器の特性上、急な熱需要変動に対しての対応ができないため、一度着火したら 24 時間火を絶やさない連続運転を得意とする。現在、販売されているチップボイラの多くは自動運転が可能であり、一度着火させれば消火しない限り、無人での運転・管理が可能である。国内のチップボイラ導入事例をみても、メンテナンスは施設職員が他業務と兼務で運転・管理している事例が多く見られる。

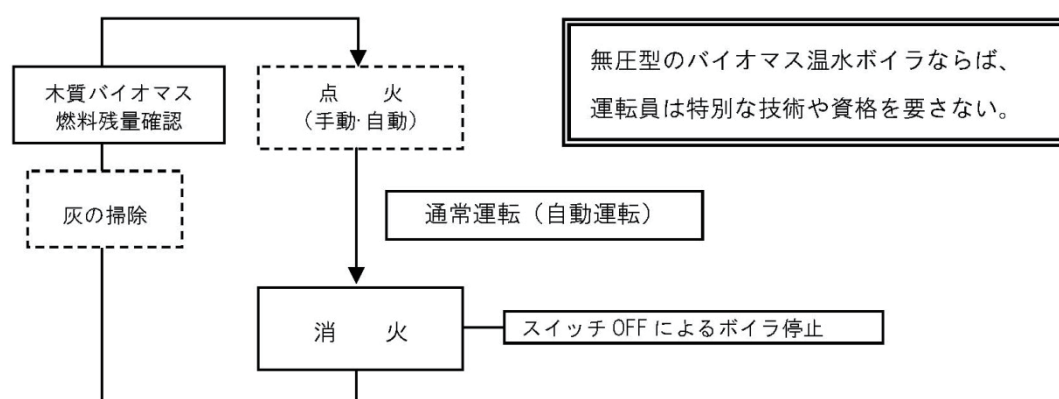


図 4.1 チップボイラの日常運転イメージフロー

(2) チップボイラ設備の定期メンテナンス

チップボイラは手動着火方式が一般的で、点検部分が少なくメンテナンスの回数が少ない。チップボイラには、油圧機構（燃料積出し・搬送装置駆動部等）及び排ガス・灰処理関係の設備を設けている機種が多く、これらの定期メンテナンスが必要になる。

ボイラの使用状況により回数が異なるが、最低で年 2 回の定期メンテナンスが必要であり、実際はメーカーとの年 1～4 回の定期点検契約を締結する場合が多く見られる。点検とは別に、大気汚染防止法により伝熱面積が 10m² 以上のボイラに対しては、化石燃料ボイラと同様に、ばい煙の測定が義務付けられている。

表 4.1 チップボイラのメンテナンス作業及び対応内容

項 目	頻 度	一般的なコスト	対応者	備 考
ばい煙測定費※	2 回・基/年	10～20 万円/回・基	導入施設	ボイラ伝熱面積が 10m ² 以上の場合
メーカー定期保守点検費	1～3 回・基/年	10～20 万円/回・基	メーカー	
①燃焼装置点検	年 1 回	—	メーカー	点検・清掃
②煙管点検	3 ヶ月に 1 回	—	メーカー	清掃
③炉本体点検	年 1 回	—	メーカー	清掃・点検
④安全装置・各種センサー	4 ヶ月に 1 回	—	メーカー	確認
⑤燃料供給装置	年 1 回	—	メーカー	グリースアップ
⑥各部消耗品点検	年 1 回	—	メーカー	磨耗点検・交換

3) 灰の処理方法

(1) 木質バイオマス燃焼による灰の分類

表 4.2 木質燃料の燃焼から発生する灰種類

灰の種類	概 要
主灰	火格子や一次燃焼室で発生する灰。固定床炉では樹皮が多く含まれると融点が低下し、クリンカの発生や焼結を引き起こしやすくなる。
サイクロン飛灰	排ガスと共に、細かい無機粒子状物質が運ばれ、二次燃焼室や燃焼室出口に置かれるサイクロンで除じんする部分の灰 5～50 μm の粗い粒子。
フィルター飛灰	電気式の集じん機やバグフィルター（繊維性のフィルター）で除じんされた、さらに細かい飛灰。主として 1 μm 以下のエアロゾル（煙霧質）の粒子となる。効率の高いばいじん除去装置を設置しない小規模な燃焼設備では、この部分の飛灰は排ガス共に大気中に排出される。

(2) 作業上の安全対策

木質バイオマスボイラより発生する灰は、作業中に吸い込んだり目に入ったりすると、鼻、喉、肺、粘膜等の炎症を引き起こすことがあるため、対策が必要となる。灰が存在する環境下で働く場合は、防護用機材（ゴーグル、防塵マスク、防護被服）を装着する。

(3) 燃焼灰の発生量

表 4.3 木質バイオマス燃料の種類と灰分量

木質バイオマス燃料	対象原料	灰分量
樹皮	製材端材	5.0～8.0%
樹皮付のチップ	間伐材（低質材）	1.0～2.5%
製紙用チップ（皮無）	間伐材（低質材）	0.8～1.4%
おが屑	製材端材	0.5～1.1%
廃木材	建築廃材	3.0～12.0%

出典：「季刊木質エネルギーNo.19」（熊崎實）より

(4) 木質燃焼灰の利用方法

通常、燃焼灰を取扱う際は、化学的に未処理の木質バイオマス燃料から得られた灰だけとする必要がある。

流通経路の整備と製品の質の保証が必要となり、土壌改良剤の場合は農協等に協力してもらうことで、既存流通網が利用可能となる場合がある。ただし、灰の取扱いについては県や自治体によって法令上の制約を受ける場合があるので、地域における基幹産業等と絡めて活用方策や適切な処理方法について検討する機会を設け、十分に協議を行うことが望まれる。

4.3 ゴルフ場における熱需要の把握

これまで使用している化石燃料ボイラと木質バイオマスボイラでは、技術面と経済面が違うため、木質バイオマスボイラを有効に設計するには、当該ゴルフ場の熱需要の把握分析が重要となる。熱需要から設計を行っていくと、運転方法から経済計算まで専門家でなくても意味が分かるようになる。

1) 化石燃料ボイラと木質バイオマスボイラの違い

木質バイオマスボイラは化石燃料ボイラと比べ次のような違いがある。

- ・木質バイオマスボイラは化石燃料ボイラと比べると本体サイズが大きい
- ・ボイラを収容するための建屋だけでなく燃料のサイロも必要であるためサイロの新設、そのためのスペースの確保を検討
- ・固体燃料であるため、スクリュウなど燃料供給装置を新たに検討
- ・木灰が発生するため、除去方法や取り扱い方法を検討

2) 熱需要の調査・分析

(1) 熱需要の把握

熱需要とは、導入施設のエネルギー利用量を表す。木質バイオマスボイラにおいて必要な情報となるのは様々な特性である。例えば熱の利用方法、温度帯、燃料消費率、設備使用時間、消費傾向の変化や分布状況、伝熱方法など。

(2) 熱需要の調査方法

①既存のエネルギー（石油・ガス・電気）消費から把握

石油・ガス・電気の金額は、およそ月単位にて把握されており、経費伝票などから確認ができる。

②実測によるエネルギー使用量の把握

精度を上げるために既存熱源の負荷の実測を行う。平日と休日などサンプル日のデータを採用ことは、時間帯別の熱需要の内訳・パターンを知る大きな手がかりになる。

③熱需要の分析

月々のエネルギー消費量を可視化（グラフ化）すると、季節変動から熱の使途や内訳が推計できるようになる。春や秋の中間期と呼ばれる期間を基準にして、冬期間の暖房の利用がはじまる期間の消費量の増分との差が、およそ暖房の熱需要と推測できる。

3) 木質バイオマスボイラ導入のポイント

バイオマスボイラは、一般的に熱負荷の 30～100%の間で比例制御を自動的に行っており 30%以下の低負荷が長く続くような機器の規模選定は相応しくない。バイオマスボイラの最適な導入方法としては施設のエネルギー需要のうち、ベースとなる部分をバイオマスボイラで対応しピーク負荷対応には化石燃料を使用するなど、それぞれの機器特性を生かしたシステム設計が合理的と考えられる。

既存の化石燃料ボイラとの併用システムのメリットとして、バイオマスボイラがトラブル等で運転停止した場合でも、既存の設備をバックアップ用として利用できる。

4.4 木質バイオマス燃料の特徴と品質

熱需要の特性と消費量が明らかとなったので、導入するボイラを検討する。まず、燃料とボイラの組み合わせを決める。それには、燃料の特性を知ることが大切となる。木質バイオマス燃料は、薪やチップ、ペレットなど種類も多く、同一の種類でも形状や水分が様々であり、品質にばらつきがあるのが大きな特徴となる。

バイオマスボイラや燃料供給装置に適合しない形状や水分の燃料を投入すると、定格出力が出ない、鎮火してしまう、燃料供給装置が詰るなど、化石燃料にはなかったトラブルが起きやすく

なる。これらの特性をよく理解したうえで、燃料とボイラの組み合わせを決め、適切に運営していけば、木質バイオマス導入のメリットを十分に引き出すことができる。

木質バイオマス燃料の種類を整理したうえで、品質確保で最も重要な水分について解説し、次いで木質バイオマスの一般的な利用形態であるチップの特性について解説する。

1) 木質バイオマス燃料の種類

以下に、主な木質燃料の種類と特性を整理する。

表 4.4 主な木質燃料の特性—チップ、木質ペレット、薪

燃料種	長所	短所
チップ 	・製造が比較的容易である ・原料として葉や枝条や末木なども利用可能である ・中～大規模の熱利用施設の燃料として対応可能	・燃料チップのサプライチェーンが未整備である ・製紙用チップを利用することが多く、燃料用チップとしては高含水率でコストが高い ・燃焼器の仕様、規模に対応した品質規格が整理されてない ・エネルギー密度が低い
木質ペレット 	・品質が安定し、取り扱いが容易 ・燃料の自動供給が可能、火力の調整・管理が容易である ・発熱量が高くエネルギー密度が高いため燃料装置も小型化が可能で、ストーブからボイラまで燃料として幅広く利用できる	・製造工程がやや複雑で製造技術の修熟を要する ・製造コストが比較的高い ・燃料の品質維持において水湿に弱い ・流通ルートが未成熟傾向である
薪 	・製造が容易である ・個人でも原料から薪の製造が可能	・火力の調整が難しい ・高出力を期待するもの用途には向かない ・燃料供給の自動化は難しい

2) 木質チップ燃料の特性

チップ燃料の原料としては、間伐材や林地残材、製材端材などが利用しやすく生産・運搬も比較的容易である。木質チップは、燃料供給・燃焼の自動化が進み大量利用に対応できることから、今後、最も利用が増えると見込まれるバイオマス燃料である。チップの形状・水分とボイラの適合性が重要で、この組み合わせを誤ると出力不足やトラブルの原因となる。

(1) 木質チップの形状と燃料供給システムの適正

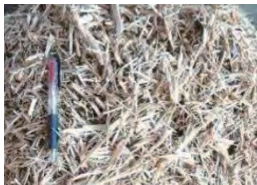
チップ形状は切削チップと破砕チップに分けられ、チップ化する機械によって区分される。切削チップは、製紙用チップと同じ形状であり、バイオマスボイラでも容易に利用できる。破砕チップは、燃料サイロにおけるブリッジ（チップがサイロ内でアーチ構造を形成して閉塞し、排出口から供給されない現象）が発生しやすいため、サイロの設計に注意する。

破砕チップは燃料供給スクリーン内での詰まりも発生するため、チェーンコンベアなどチップ

形状に注意したチップ搬送方式を採用する。

含水率は、ボイラの機種ごとに上限含水率が決まっており、低含水率のチップほど燃焼時の効率は高くなる。

表 4.5 切削、破碎チップの比較表

	切削チップ	破碎チップ
チップ形状	 薄い方形状	 細長い繊維状又は破碎形状
製造方法	・カッター式:カッター刃で削り取る方法で製造	・ハンマーミル方式:ハンマーの打撃衝撃で破碎 ・カッターミル方式:受刃と切断刃によるせん断力で破碎
燃料特徴	・形状が均等で流動性が良い ・生産速度が速くなるほど品質が不均で流動性が悪くなる傾向があるため注意 ・燃料供給装置でブリッジが形成しにくくトラブルの可能性が低い	・長尺物の発生など形状が不均質で流動性が悪い ・スクリー式の搬送装置でチップが詰まりやすい傾向
燃料供給方法	スクリーンコンベア	チェーンコンベア式、プッシャー式

(2) チップ含水率とボイラの適性

ボイラの燃焼方式には水分が 45% (WB) 以上でも燃焼可能な移動床式ボイラと乾燥チップしか燃焼できない固定床式ボイラがある。チップの品質によってボイラ形式が異なるので、利用するチップの品質を決めてからボイラ機種を決定する。

表 4.6 ボイラの燃焼方式とチップ含水率の適正

燃焼方式	移動床式	固定式床
特徴	チップが燃焼室内の火床を移動して乾燥しながら燃焼することができる。 [対応要件] ・出力 100kW 以上のボイラ規模 ・高含水率対応で価格が割高傾向 ・連続運転、手動着火が一般的	燃焼室内で乾燥工程がないため、乾燥チップのみでの対応となる。 [対応要件] ・小規模(出力 100kW 以下)のボイラ規模 ・移動床式に比べて、小型で価格が安い傾向になる
含水率の対応範囲	低～高(45%WB 以上)※生チップ適応範囲	低(45%WB 以下)※乾燥チップ適応範囲

(3) 木質燃料によるトラブル例

表 4.7 チップの品質におけるバイオマスボイラの主な不具合

	内容
燃料形状の不具合	・不完全燃焼(細い燃料が多い場合) ・燃料供給の詰まり ・燃料供給が停止することによる鎮火
含水率による影響	・高含水率チップによる不完全燃焼による出力不足、鎮火 ・低含水率による過剰出力、消費量の増加 ・燃料サイロ及び供給装置内における結露、凍結による設備停止
不純物の混入	・原料内に混入する不純物(化学物質など) ＞灰の処理問題 ＞排ガス対策 ・混入物(土砂、石、金属など)による燃焼への影響 ＞燃料供給装置の詰まり、損傷 ＞ボイラ燃焼炉の損傷

(4) チップ燃料の調達先

燃料調達先（目安は半径 100km 圏内程度）や、調達可能な原料、燃料の単価、量、性状等について把握する。木質バイオマス燃料製造事業者としては、チップ工場やペレット工場、製材工場、森林組合が考えられる。

燃料調達先からは、どのような木質バイオマス燃料が供給できるかを確認する。主な確認事項は、燃料種と調達可能量・販売単価、性状である。調達可能な燃料の性状等について確認する際、関係団体が示している品質や規格を資料編に掲載する。

3) 木質バイオマスの含水率

(1) 木質燃料に含まれる水分基準

木質燃料に含まれる水分の比率を「含水率」と表す。木の含水率には乾量基準含水率（ドライベース：DB）と湿量基準含水率（ウェットベース：WB）がある。

※湿量基準含水率 $WB = Ww / (Ws + Ww)$ Ww ：水分の重量、 Ws ：物質の重量

(2) 木質燃料の含水率と熱量の関係

木質燃料の発熱量は、含水率が高いほど低くなる。これは、燃料中に含まれる木質部分が少ないことがほとんどの理由であり、燃料中の水分を蒸発させるのにも熱が使われるためである。

指定された含水率よりも高い場合、表示されている定格出力が得られず、出力を維持するために燃料を余計に消費することになる。不完全燃焼による乾留ガス、有害物質および臭気の発生や鎮火することもある。指定された含水率よりも低い場合、発熱量が大きすぎて熱を捨てることにもなる。燃焼が早すぎて燃料消費量も想定より増えてしまう。炉内が高温になりすぎると、耐火レンガの劣化が進む原因になる。

木質バイオマス燃料は、木材に含まれている水分量（含水率）により、その発熱量が大きく異なる。燃料コストの重量単価が同じでも含水率の低いほうが、熱量単価が低くなるためエネルギー利用には有利になる。

表 4.8 木質バイオマス燃料の一般的な含水率(WB)

チップ		製材所端材	
生チップ	20～50%(WB)	製材所の残端材	25～60%(WB)
屋下で保管されたチップ	20～30%(WB)	木工所の残端材	7～17%(WB)
空気乾燥されたチップ	15～20%(WB)		

(3) 木質燃料の含水率の計測

木質燃料の水管理には、燃料供給時は販売者や生産者が確認を行い、燃料購入者は定期的にサンプリング試験を行って確認する。主な水分の確認方法は、次のとおり。

表 4.9 含水率の確認方法

計測方法	測定方法	測定時期
計測器	・水分計や含水率計と呼ばれる木材中の水分量を計測する機器を使用 ・迅速に結果を確認できるが計測値は近似値で誤差を含むことに注意が必要	燃料納品時
簡便測定法	・事前にバケツなど計測容器当たりの水分を測定しておき一覧表を作成して容器の重量を測定した値で水分を推定 ・測定値は近似値で誤差を含むことに注意	燃料納品時
室内試験 (全乾法)	・専門の乾燥器を用いて一定量の試料の絶乾室料と乾燥前の質量から正確な水分を計測 ・測定時間は1～2日程度必要	一定量取引ごとに実施

(4) 木質燃料の単位

欧州の木質燃料含水率の基準値は 35% (WB) となっており、この水分のときの単位重量 (t) 当りの発熱量は、表 4.10 に示すとおり。

表 4.10 一般的な木材の含水率と発熱量

欧州基準 含水率	木質樹種・部位		高位発熱量(HHV)			低位発熱量(LHV)		
			Mcal/t	GJ/t	MWh/t	Mcal/t	GJ/t	MWh/t
35%(WB)	針葉樹	木部	3,210	13.5	3.73	2,790	11.7	3.24
		樹皮	3,180	13.4	3.7	2,760	11.6	3.21
	広葉樹	木部	3,060	12.9	3.56	2,630	11.1	3.06
		樹皮	3,040	12.8	3.53	2,610	11	3.03

チップは中～大規模の熱利用施設の燃料として対応可能、木質ペレットはストーブからボイラまで燃料として幅広く利用、薪は製造が容易であるが、火力の調整が難しく、高出力を期待する用途には向かない。ここでは、木質チップを燃料とすることを前提に進める。

4.5 木質バイオマスボイラの技術

木質バイオマスをエネルギーとして利用するには装置の選定が重要となる。容量や対応する燃料種、得られる熱の種類、金額（初期投資、運転経費）、さらに装置から生み出されたエネルギーをどのように利用するかといったシステム設計も重要である。

1) 木質バイオマスボイラの関連設備

(1) バイオマス燃料機器の種類

最適な燃焼管理を行いつつ熱を最大限に回収する装置をボイラと呼ぶ。バイオマスボイラとは、熱源設備のうち廃棄物を含まない木材由来の固体燃料を直接燃焼し、温水や蒸気、冷水、温風を製造するなど、化石燃料機器と比較しても遜色のない高効率（効率80%以上）な機器を対象とする。

現代の木質バイオマスボイラは、自動運転、自動制御の能力を備え（薪ボイラを除く）、二次燃焼の技術を採用し高い燃焼効率（80～90%）を達成しているが、同時に効率や性能の低い木質バイオマスボイラ等も存在している。熱回収に頓着せずに減容だけを目的とした装置は焼却炉となる。

日本では、焼却炉の発想の延長で設計されたボイラもある。その場合、本来のボイラに比べエネルギー効率が劣る。

表 4.11 バイオマス利用機器の主な適応範囲

燃焼器	エネルギー変換設備		利用用途	適合燃料			燃焼 効率(%)	
	出力規模	利用箇所		薪	チップ	ペレット		
ストーブ	数 kW		個室暖房	暖房	○	×	○	70～90
温風発生器	数十～150kW		温室暖房	暖房	△	×	○	70～90
ボイラ	小規模	20～ 100kW	家庭	暖房・給湯	○	△	○	70～90
		100～ 200kW	小施設	暖房・給湯・ 加温・冷房	×	○	△	70～90
	中規模	200～ 1,000kW	事業所工場	冷暖房・給湯 熱電供給	—	○	○	70～90
	大規模	1,000～ 30,000kW	工場発電所	石炭混焼	—	○	△	30～40
				熱電供給	—	○	—	40～70
				木質発電	—	○	—	10～30

(2) バイオマス燃料の供給方法

チップボイラの場合の燃料供給システムの適合性として、一般的にチップボイラ取扱メーカーの多くは燃料サイロからボイラ本体への燃料供給システムにスクリー方式を採用しており、チップ形状と含水率が一定であれば利用可能である。

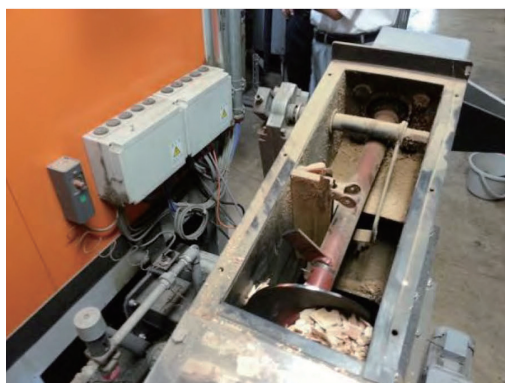


写真 4.1 スクリー方式



写真 4.2 チェーンコンベア・プッシャー方式

表 4.12 木質バイオマス燃料と燃料供給方式の適合性

対象燃料	燃料供給方式	
	スクリー方式	チェーンコンベア・プッシャー方式※
切削チップ	○利用可 ・製紙用チップ利用可能 ・燃料の含水率調整が必要	○対応可
破砕チップ	△利用可(条件付) ※燃料の含水率が高いとスクリー部分に付着し、燃料供給がストップする恐れがある。	○対応可
樹皮チップ	△利用不可(条件付) ※燃料の含水率が高いとスクリー部分に付着し、燃料供給がストップする恐れがある。	○対応可

チップ燃料に関しては、主に製紙用チップと破砕型チップがあり、製紙用チップは、形状が均一でありスクリー方式で十分に利用が可能。破砕型チップの場合、形状に均一性がなく、チップの含水率が高いと燃料供給過程でブリッジ（燃料細片の絡み合いや圧力により、燃料供給システム内で燃料が付着する等して燃料が供給出来なくなる状態）が生じるためボイラへの燃料供給がストップするトラブルが生じやすくなる。燃料サイロから、チップボイラ本体へ安定した燃料供給を行うためには、チェーンコンベア・プッシャー方式を選定する必要がある。ただし、スクリー方式からチェーンコンベア・プッシャー方式への変更に対応出来るメーカーに限りがある。システム変更が可能でもオーダーメイドになるため、コスト負担を伴う。

(3) バイオマス燃料の貯蔵方法

チップボイラ導入の際には、燃料チップを貯留するサイロを設置または建設する必要がある。サイロの形式によってボイラ導入後における燃料供給時の利便性や人件費、燃料費などに影響するため、導入施設の状況、配送車両の種類と合わせて検討する。サイロの形式と建設費については、施設の敷地条件等により変化する。

表 4.13 燃料サイロに関する特徴

形式	敷設方法	特徴	留意事項
倉庫型地上式 半地下式地下式	建設工事	新築建物または新規機械室建設時と一体で工事する場合には、費用的に有利になる。半地下式および地下式の場合は、輸送用ダンプからの投入がしやすい。	地上式の倉庫の場合は、ダンプでの投入がやや困難。
設置型コンテナ型 (鋼板製) ブロック型	既製品の設置 (大規模なものは現場組立てが必要)	既存施設に新たに導入する際には工事が比較的容易であり安価なため採用されることが多い。また貯留容量が概ね 70m ³ 以上必要となるような場合は、強度の問題や既製品が無いいため建設工事での対応となる。	コンテナ型では、ホイストでフレコンバッグを吊って納入する方法もある。

■ 燃料サイロの設計方法

燃料サイロ容量は、下記の計算式にて算出・設計します。

$$\text{サイロ容量 } V [\text{m}^3] = \frac{\text{木質バイオマス燃料燃焼量} \left[\frac{\text{kg}}{\text{日}} \right] \times \text{貯蔵日数}}{\text{d 密度 (貯蔵時の隙間も考慮した見かけの密度)} [\text{kg/m}^3] \times \rho}$$

注意) 消防法によって木質燃料の貯蔵量が 1t 以上から届出の提出が義務付けられている。
したがって、チップは $V > 10\text{m}^3$ 、以上の場合対象となる。

4.6 事業費用における関連コスト

トータルコストで化石燃料の利用時よりも有利にならない限り、ユーザーがバイオマスボイラ導入のメリットを引き出すことは困難といえる。バイオマスボイラ導入に際しては、初期費用（設備費など）を可能な限り抑えることが重要となる。年間稼働時間が一定以上あることなどの条件をクリアし、一定期間内で化石燃料よりもバイオマス利用がコスト的に有利になることが重要な判断基準になる。

1) バイオマスエネルギー利用時のコスト

バイオマス事業に必要となるコストは、初期費用（イニシャルコスト）と運転維持費用（ランニングコスト）の2つに分けられる。

表 4.14 バイオマス関連事業の事業コストの分類

分類	主な発生費用
初期費用 (イニシャルコスト)	・設計費(基本設計・実施設計など) ・機器費用(ボイラ本体・配管等の付帯設備) ・建屋、燃料サイロ ・その他(造成費・建築費など)
運転・維持管理費 (ランニングコスト)	・燃料費(バイオマス燃料、化石燃料) ・設備の運転・維持管理費 ＞メンテナンス費(メーカー側・事業者側) ＞設備稼働における電気代 ＞灰の処理費用 ＞除雪費(地域条件による) ・固定資産税等

(1) 初期費用（イニシャルコスト）

日本国内での導入状況から見て、バイオマスボイラのイニシャルコストの一般的な傾向について定量的なデータが存在しないため、対象施設の状況を踏まえた上でメーカーや建設会社に個別に問い合わせることが一般的である。

表 4.15 バイオマスボイラの標準的な設備費(300kW 級)

費用項目	価格	備考
ボイラ関連設備	2,500～4,000 万円	配管・制御盤含む
建設工事費	2,000～4,000 万円	1次工事、2次工事など
建屋・燃料サイロ	2,000～4,000 万円	簡易建屋、半地下・地下式サイロ
その他建設工事	1,000～2,000 万円	敷地造成費用など
合計	7000 万～1 億円	※条件により金額は変動あり

(2) 運転・維持管理費（ランニングコスト）

①燃料費

バイオマスボイラを利用する際のチップ燃料については、日本ではエネルギー単位ではなく重量ベースで表記・取引され、バイオマス燃料の取引の基準含水率は湿量基準で 35%が目安になる。地域条件にもよるが、日本での木質チップの取引価格は、概ね 8,000～15,000 円/t (2,000～4,000

円/m³) 程度になる。ただし、その際の含水率は 35～50% (WB) まで幅があり、燃料化する原料、時期や加工条件により変化する。燃料利用として標準的な 35% (WB) の含水率に管理されたチップは、日本ではかなり高品質な部類に該当する。木質チップ(スギ)の低位発熱量 11.3MJ/kg (35%WB) で 3,000 円/m³ の場合に、重油価格 70～80 円/L に相当する。

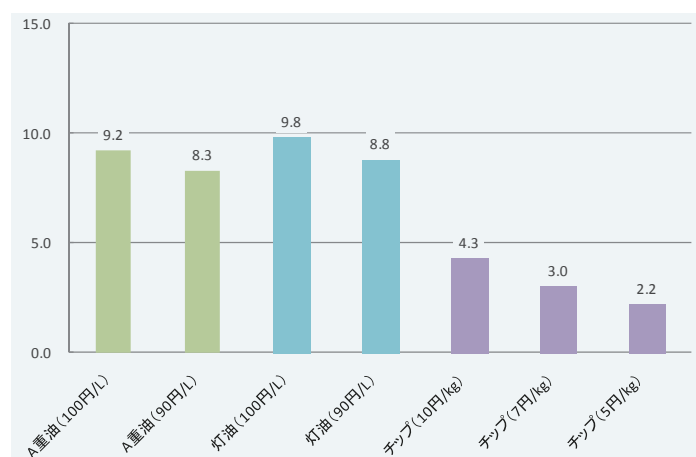


図 4.2 1kWh 当りのエネルギー単価の比較(円/kWh)

②保守・点検費 (メンテナンス費)

保守・点検費用は、ボイラメーカー等との契約内容により大きく異なる。木質バイオマスボイラの特性をよく理解し、適切な運転を行いつつ日常的な保守・点検は自ら行い、一部の専門的な保守・点検についてのみを適切な訓練を受けた地域企業を発掘して委託することができれば保守・点検費用を 10～30 万円程度に抑えることができる。

表 4.16 バイオマスボイラ関連設備の消耗部品

消耗部品	主な交換頻度	一般的なコスト
制御機器(センサー類)	5 年	30～50 万円/回・基
動力機器(モーター類)	10 年/回	50～60 万円/回・基
燃焼室耐火ブロック交換	10 年/回	50～60 万円/回・基
燃料搬送装置(スクリュウ類)	5～10 年/回	15～20 万円/回・基

※注意:消耗品の交換頻度はボイラ設備の使用状況によって変わる

③灰の処理費用

木質チップを燃焼した際に発生する燃焼灰は、産業廃棄物として処理しなければならないため処理委託費用が発生。灰の発生量は燃料の質に左右される。日本で導入されているバイオマスボイラでは、一般的に使用される樹皮付きのチップは、発生する灰分量は 1.0～2.5%程度。灰の処理費用単価については、10,000 円/t 程度が一般的な相場。

④電気代

メーカーによる設備関連の資料 (カタログ等) には、設備関連機器の定格電気容量 (kW) が示されている。ボイラ本体で消費される電力以外にも、循環ポンプ、熱量メーター、電灯、サイロシャッターなど必要に応じた電力が必要となる。

表 4.17 バイオマスボイラ関連設備の電気容量の内訳(出力 240kW)

消耗部品	出力規模
排ガスファン	1.5kW
燃料空気ファン	0.18kW
ストーカスクリーモーター	0.25kW
ドージングスクリーモーター	0.25kW
サイロディスチャージモーター	0.55kW
スワイベルアームモーター	1.1kW
火格子油圧ポンプ	0.37kW
火格子灰出しスクリー	0.25kW
熱源ポンプ	0.4kW
エアーコンプレッサ	1.5kW
出力合計	5.3kW

※出所:トモエテクノ社資料

表 4.18 バイオマスボイラ関連設備の電気料金の試算(参考)

ボイラ定格出力	電気容量	年間稼働時間	年間電気料金
100～180kW	4.6kW	4,800 時間	441,600 円
240～360kW	5.3kW	(200 日 × 24 時間)	508,800 円
450～550kW	7.9kW		758,400 円
700～900kW	14kW		1,344,000 円

※出所:トモエテクノ社資料により、ボイラ定格出力を抽出し電気料金を 20 円/kWh として試算した

2) バイオマス導入における収支計画の考え方

(1) 収支計画の考え方

バイオマス燃料費を 12,000 円/t (3,000 円/m³)、含水率 35%WB として、設備の年間稼働時間を想定して、化石燃料とトータルコストが同じになる期間（投資回収年）を計算すると設備はバイオマスボイラの方が高いが、ランニングコストは燃料費の削減効果で安くなる。一定時間使用すれば、このランニングコストの削減費用が累積されて、設備費の差額を償却できる。つまり、設備稼働時間（使用年数）を長く確保することができれば、それだけ償却を早めることができる。

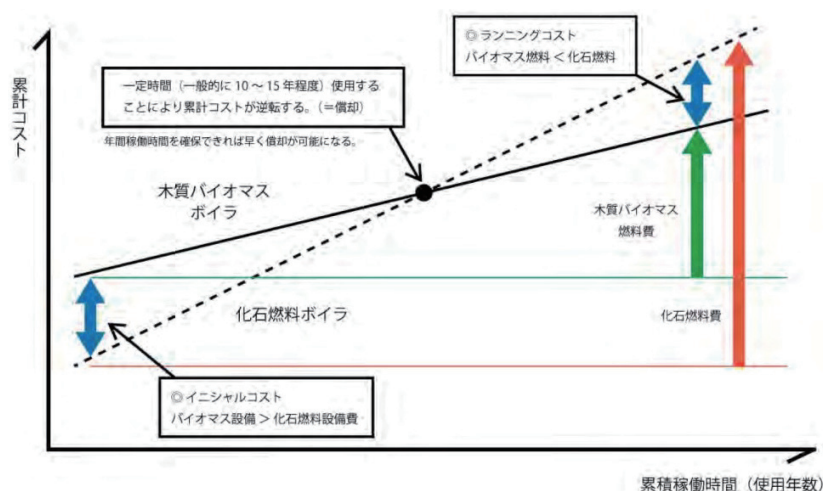


図 4.3 バイオマスボイラ導入による累計コストによる削減のイメージ

(2) 収支計画の手順

300kW の中規模チップボイラを例に、次の手順により収支計画を策定する。

表 4.19 収支計画の策定の手順

収支計画の手順	概要
①設備費用の差額の試算	チップボイラと比較対象になる化石燃料ボイラの設備費用の差額を試算する。
②ランニングコスト削減の試算	チップボイラ導入によって想定されるランニングコストの削減額を試算する。
③単純投資回収年数の試算	初期費用(インシヤルコスト)の差額をランニングコスト削減額で除して単純投資回収年数を試算する。
④結果の評価分析	投資回収年数が償却期間内に納まるかを確認し、稼働時間や初期費用の数値を変動させながら、事業の優位性を分析する。

①初期費用（インシヤルコスト）差額の試算

メーカーや建設会社から取得する見積りを基に試算する。仮に 300kW の定格出力の場合に設備費用として、チップボイラ関連設備（ボイラ本体、配管、燃料サイロ込み）で 7,000 万円、化石燃料ボイラ 300 万円と想定する。現状ではバイオマスボイラの導入については、国や都道府県が提示している公的な補助金が活用できるケース（一般的に民間事業者の場合 1/3 補助、行政などは 1/2 補助が多い）がある。このように仮定すると設備費用の差額は、以下の通り試算できる。

■設備費用差額	$= \{ \text{チップボイラ初期費用} \times (\text{補助残 } 2/3 \cdot 1/2) \} - \text{化石燃料ボイラ初期費用}$ $= \{ 7,000 \text{ 万円} \times (\text{補助残 } 2/3 \cdot 1/2) \} - 300 \text{ 万円}$ $= (\text{民間事業者}) 4,700 \text{ 万円} - 300 \text{ 万円} = 4,400 \text{ 万円}$ $= (\text{行政など}) 3,500 \text{ 万円} - 300 \text{ 万円} = 3,200 \text{ 万円}$
---------	---

②ランニングコスト削減額の試算

最も大きな割合を占めるのは燃料費になる。使用する燃料量は、必要とされる熱需要に対して、ボイラの稼働時間で決まる。ここでは年間稼働時間を 4,800 時間（200 日 24 時間連続運転）と置いて計算する。使用する燃料量は、ボイラの定格出力に稼働時間を乗じて必要な熱量を計算し、それぞれの燃料の持つ熱量（低位発熱量）で除して試算。チップの場合の必要な燃料費は、以下のとおり試算できる。

■燃料費の試算方法
$\text{燃料費} = \{ \text{必要熱量} \div \text{チップ低位発熱量} \} \times \text{燃料単価}$ $= \{ (\text{定格出力}) \times (\text{稼働時間}) \div \text{チップ低位発熱量} \} \times \text{燃料単価}$

表 4.20 燃料費の算出方法

	定格出力 (kW) ①	稼働時間 (h/年) ②	必要熱量 (kWh/年) ③=①×②	必要燃料量 (チップ:t/年) (化石燃料:L/年)	燃料費 (円/年) ※推計
チップボイラ関連	300kW	4800h/年	1,440,000kWh/年	449t/年	5,389,620 円/年
化石燃料ボイラ				141,176L/年	12,988,235 円/年
				差額	7,598,615 円/年

※燃料の低位発熱量チップ:3.21kWh/kg 化石燃料(重油)10.20kWh/Lとした

※燃料価格チップ:12,000 円/t 化石燃料(重油)92 円/Lとした

その他のランニングコストとして、チップボイラの場合は、灰処理費用や保守・点検費用、電気代などを見込んでおく必要がある。灰の発生量は、チップ燃料の概ね 2%とし、灰の処理費用は 10,000 円/t とした。保守・点検費用は、日常的なものは自社で行い、年に 2 度の定期点検をメーカーに発注することを前提にして、15 万円/年とした。電気代は、電気容量（300kW ボイラーの場合 5kW 程度）に、稼働時間 4800h と電気料金単価（20 円/kWh）を乗じて計算した。

表 4.21 その他のランニングコストの算出方法

項目	金額	備考
灰の処理費用	89,800 円	灰発生量 × 灰処理費用単価 = (チップ燃料使用量 449t × 灰分 2%) × 10,000 円/t
保守点検費用	300,000 円	メーカーの点検費用@15 万円・回として年 2 回点検発注
電気代	480,000 円	電気容量 (kW) × 稼働時間 (h) × 電気料金単価 (円/kWh) = 5kW × 4,800h × 20 円/kWh

■ランニングコスト削減の試算方法

ランニングコスト削減額 = 化石燃料ボイラランニングコスト - チップボイラランニングコスト
 = 化石燃料ボイラ燃料費 - (チップボイラ燃料費 + 灰処理費 + 保守点検費 + 電気代)
 = 12,988,235 円/年 - (5,389,620 円 + 89,800 円 + 300,000 円 + 480,000 円)
 = 6,728,815 円/年

③単純投資回収年数の計算

以上の計算を踏まえて、単純投資回収年数を計算すると以下のようになる。

■単純投資回収年数の試算方法

単純投資回収年数 = 初期費用 (イニシャルコスト) ÷ ランニングコスト削減額
 = (民間事業者: 補助金 1/3) 4,700 万円 ÷ 6,728,815 円/年 = 7.0 年
 = (行政など: 補助金 1/2) 3,500 万円 ÷ 6,728,815 円/年 = 5.2 年
 = (補助金無し) 7,000 万円 ÷ 6,728,815 円/年 = 10.4 年

④試算結果の評価分析

単純投資回収年数は、補助金無しの場合は 10.4 年となり、民間事業者が 1/3 の補助を受けた場合は 7.0 年、行政などが 1/2 の補助を受けた場合は 5.2 年という結果になり、大まかな収支傾向が予測できる。ただし、ここでは融資を受けた場合の支払金利や租税公課（主に固定資産税）などを見込んでいないので、キャッシュフローはこれより厳しくなることに留意する。また、初期費用（イニシャルコスト）が予想以上にかかる場合も同様に厳しくなる。なお、バイオマスボイラの導入に関しては、既存の化石燃料ボイラを導入した場合の燃料価格とバイオマスボイラを導入した場合のランニングコストの差額で回収していく特性からも、稼働時間に比例していくので、燃料価格と稼働時間を見て代替できる規模やコストを詳細に検討していくことが重要となる。

表 4.22 バイオマスボイラ導入における試算結果(20 年想定時)の評価分析 (単位:万円)

想定導入設備	初期費用 (万円)※1	累計稼働年数(使用年数)									
		1 年目	2 年目	3 年目	4 年目	5 年目	6 年目	7 年目	8 年目	9 年目	10 年目
重油ボイラ	300 万円	1,599	2,898	4,196	5,495	6,794	8,093	9,392	10,691	11,989	13,288
バイオマスボイラ(補助金無)	7,000 万円	7,626	8,252	8,878	9,504	10,130	10,756	11,382	12,008	12,633	13,259
バイオマスボイラ(1/3 補助)	4,700 万円	5,326	5,952	6,578	7,204	7,830	8,456	9,082	9,708	10,333	10,959
バイオマスボイラ(1/2 補助)	3,500 万円	4,126	4,752	5,378	6,004	6,630	7,256	7,882	8,508	9,133	9,759

	11 年目	12 年目	13 年目	14 年目	15 年目	16 年目	17 年目	18 年目	19 年目	20 年目
重油ボイラ	14,587	15,886	17,185	18,484	19,782	21,081	22,380	23,679	24,978	26,276
バイオマスボイラ(補助金無)	13,885	14,511	15,137	15,763	16,389	17,015	17,641	18,267	18,893	19,519
バイオマスボイラ(1/3 補助)	11,585	12,211	12,837	13,463	14,089	14,715	15,341	15,967	16,593	17,219
バイオマスボイラ(1/2 補助)	10,385	11,011	11,637	12,263	12,889	13,515	14,141	14,767	15,393	16,019

※初期費用は設定値。燃料価格:チップ:12,000 円/t(約 3,000 円/m³)、化石燃料(重油)92 円/Lとした

※燃料の低位発熱量チップ:3.21kWh/kg 化石燃料(重油)10.20kWh/Lとした

※毎年のメンテナンス費および税金などは含んでいない

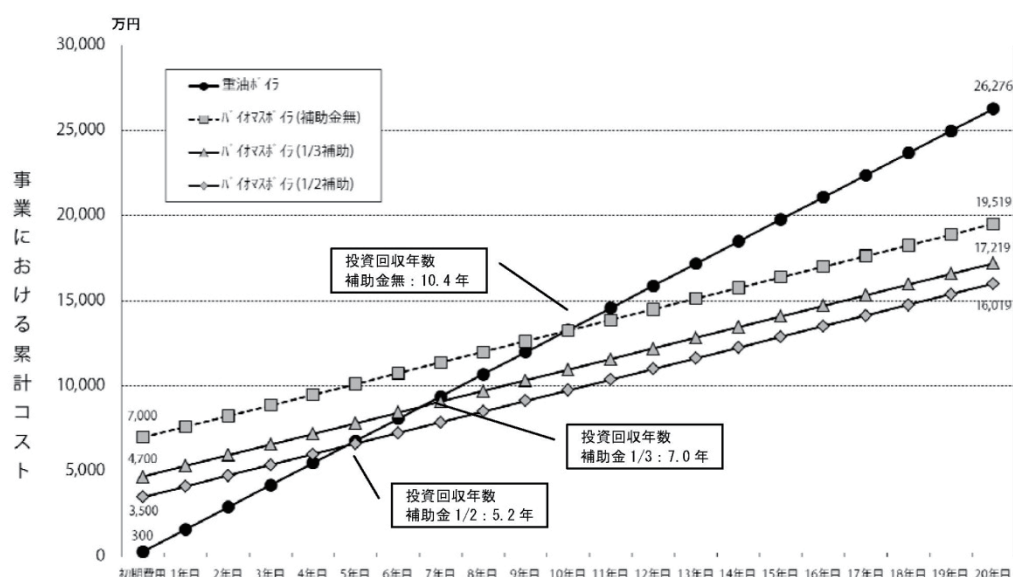


図 4.4 バイオマスボイラ導入における累計コスト試算の評価分析イメージ

3) バイオマス事業のコスト低減化に向けて

バイオマスボイラを導入する際に、初期費用（イニシャルコスト）となるバイオマスボイラの「設備費用」を可能な限り低減化するため、毎年の「ランニングコスト削減額」の割合を可能な限り増やすことが必要となる。ランニングコストは、「設備稼働時間」をしっかりと確保することがポイントになる。保守・点検など他業者に任せるのではなく、可能な範囲で自社で行い、費用を削減する。

①設備費用

日本の木質バイオマスボイラの初期費用は、先進の欧州などと比較すると極めて高い。設備費用の低減化には、既導入施設に足を運び、事業費や運営状況等の実践情報を入手することが望ましい。

②稼働時間の確保（設備利用率の向上）

バイオマスボイラの稼働時間の確保は全体コストの削減に重要な要因となる。稼働時間の確保で重要なのがボイラの規模であり、比較的規模の小さなボイラでベース部分の熱需要を負担し、化石燃料ボイラをバックアップに需要のピークに対応するという方法が望ましい。

③燃料単価の交渉

チップ価格は、地域事情によって調達価格が変わる。地域によっては、燃料の含水率調整や形状が不十分で、燃料の品質管理ができない場合もあるため、事前の確認が必要である。

<参考>

「規制改革実施計画」(平成 25 年 6 月 14 日閣議決定)において平成 25 年 6 月中に講ずることとされた措置(バイオマス資源の焼却灰関係)について(通知)

1 木質ペレット又は木質チップを専焼ボイラーで燃焼させて生じた焼却灰について

専焼ボイラーの燃料として活用されている間伐材などを原料として製造された木質ペレット又は木質チップについて、それらを燃焼させて生じた焼却灰の中には、物の性状、排出の状況、通常の取扱い形態、取引価値の有無、占有者の意思等を総合的に勘案した結果、不要物とは判断されず畑の融雪剤や土地改良材等として有効活用されている例もある。このような、木質ペレット又は木質チップを専焼ボイラーで燃焼させて生じた焼却灰(塗料や薬剤を含む若しくはそのおそれのある廃木材又は当該廃木材を原料として製造したペレット又はチップと混焼して生じた焼却灰を除く。)のうち、有効活用が確実で、かつ不要物とは判断されない焼却灰は、産業廃棄物に該当しないものである。

2 全国統一相談窓口の設置について

1 で述べた焼却灰が産業廃棄物に該当するか否かについて事業者等が行政庁に相談する場合は、許可権者である各都道府県・政令市に相談する必要があるが、必要に応じて事業者等が環境省にも相談できるよう、以下のとおり全国統一相談窓口を設置した。複数の都道府県・政令市が関係する事案であって当該各都道府県・政令市の判断結果が合理的な理由なく異なる可能性がある場合等には、本相談窓口の活用を促されたい。

【全国統一相談窓口】産業廃棄物課規制係(電話:03-5521-9274)

4.7 ゴルフ場での熱利用事例

1)Kemnay ゴルフクラブ

Kemnay GC (1908 年設立、18 ホール、スコットランド) は人口 4,000 人の村の数少ないレジャー施設の 1 つ、会費は低廉で多くの村民が会員。2000 年にクラブハウス建設、2008 年にコースの質の向上とクラブハウス管理の経済性を長期的に高めることに投資した。

クラブはあらゆる角度から検討するため、公共と民間の専門家を動員することから始めて、建物のデザインと材料を見直し、暖房・照明システムを最も効率的なエネルギーに代替、施工はクラブ会員でもある業者による。



写真 4.7.1 クラブハウス屋根のソーラーパネル

電力費用に関する大規模な節約効果を発揮するため、クラブはさらに再生可能エネルギーによる解決策を模索した。クラブは省エネルギートラスト（Energy Savings Trust）の無償のアドバイス、バイオマスエネルギー利用にかなりの経験を有する Aberdeenshire 協議会の支援を受け、Highland Wood Energy 社（Fort William に所在）を指名する計画を作成した。2010 年 10 月に新たな大型温水貯蔵タンクに接続した木質ペレットバーナーを設置した。バイオマスシステムは、クラブハウスの南西に面する厨房の屋根にソーラーパネル 22 m²、1,000L の温水器を建設し、この太陽光発電によりすでに供給されている温水の温度を高め、セントラルヒーティングの熱源の役割も果たす。唯一の不利な面は、クラブハウスの外側に設置された長さ約 9m の緑色のコンテナ、これもやがて植栽などにより遮蔽される。

木質ペレットが安定供給と取り扱いの利便性から最も適するエネルギー源と決定された。配送はおおむね 4 か月毎。当初、クラブは地元で多量にある木質チップを考慮、しかし製品サイズの一貫性、水分含有量、詰まりを起こす可能性を懸念して不採用とした。クラブハウスは中程度のエネルギー要求量に向く需要規模で、木質チップ燃料が適する“産業的”スケールではなかった。

太陽光給水システムは、2,781kWh の熱エネルギーを発生、一方で年間 1.6t の CO₂ 排出量、排出権取引額で 334 £ に相当する額を削減した。バイオマスエネルギーへの切替は、1 年目にクラブの電力料金を約 170 万円以上節約し、従来の化石燃料に比べおよそ 43t の CO₂ 排出を抑えた。

総事業費は約 1,960 万円、Forestry Commission Scotland という組織からスコットランドバイオマス熱利用計画（Scottish Biomass Heat Scheme）補助金に応募し約 740 万円を得た。また、省エネルギートラストの無利息融資を充当し年々の収支をうまくバランスさせて、設置後 8 年間でバイオマスボイラーは完全償還した。“技術は常に変化する、さらに大きな選択があり、将来のコスト削減は可能である”、とクラブの代表 David Fyffe は語った。



写真 4.7.2 バイオマスボイラ(左)、(右)

出典：Scottish Golf Environment Group：Environmental Case Study Renewable Energy
(Solar Power and Biomass) Kemnay Golf Club, pdf ファイル

2) Matfen Hall ホテル、ゴルフ&スパ

Matfen Hall ホテル、ゴルフ&スパ（Matfen Hall Hotel, Golf and Spa、Northumberland、イギリス）は、1830 年代に大邸宅を 53 室のホテルとゴルフクラブ（27 ホール）に改装した。ホテルの暖房に自前の木質チップを使用、ホテルはカーボンニュートラルとそれまでに石油に費やした 1,500kg 程の節約の両方を確実に手に入れている。121ha の森林に建てられたホテルは、それまで 1 年間に 165,000 リットルの石油を暖房と給湯に使っていた（CO₂ にすると 250t を排出）。

2011 年に国内のホテルで使われている最大規模の 1 つとなる木質バイオマスボイラを設置した。ボイラの燃料は、敷地内の継続的な樹林管理から生じる、木質廃棄物から姿を変えたチップにより稼働している。木材は少なくとも 1 年間乾燥させ、水分含有量を 60% から 30% に減らし、その後木質チップに変換し、ボイラで燃やされ、長さ 100m の断熱プラスチック管を通して、エネルギーセンターとホテルをつないでいる。回転式アーム状の燃料抽出器が自動的に **Froling Turbomat 500kW** ボイラに燃料を補給する。ボイラは年間 450t の木質チップを消費し、ホテルに再生可能なバイオマス熱エネルギー、1.1MWh を供給している。

この計画は **Econergy** 社が担当し、設計、施工、新エネルギーセンターに対する代理業務、ホテルへの断熱本管と連結部の管理運営を行った。燃料はトラクター、トレーラーないしテレスコピック・ハンドラーで配送され、貯蔵庫の屋根に取り付けられたハッチから搬入される。

一般的な自動制御木質ボイラと同様、**Matfen Hall** のボイラは無煙で、90% 以上の燃焼効率を有する。

“間伐は良好な森林管理のために大変重要な作業であり、間伐材をチップ化して利用することを十分に意識している”、とホテルのオーナーである **Hugh Blackett** は語った。“2010 年に私自身の家と 2 つのコテージに熱供給するため小型ボイラを設置した。それは良好に働き、すでに 25,000 リットルを超える石油費用を節約した実績があるので、バイオマス利用は考慮に値する環境的、財政的な優位性をもたらすことをただちに実感した。

膨大な量の木質バイオマスを燃料としてホテルに使う理由は、敷地内にある約 200ha の森林から持続的に利用できる大量の木材を持っているからであり、これは完璧なエネルギー調達の方策である。

“**Matfen Hall** におけるカーボンフットプリント削減と環境配慮を表明し、自ら使用する熱と温水を供給することは実に素晴らしいことである。この工程がどのように進行しているかを顧客や来訪者に伝えるため、説明ボードを設置し、ガイドツアーを行っている。木質チップのボイラ設備はかなりの投資を要するが、クラブは現在石油 1 リットル当たり 1.4 円（50 ペンス）を超えて購入しており、長期的な節約は考慮に値することを確信している。” 石油価格、燃料節約、RHI 支払いなどの数値にもとづき、**Econergy** 社のスポークスマンは、**Matfen Hall** は 5～6 年で樹林管理という植物への投資を償還できる、と語った。



写真 4.7.4 内部の配管と緩衝槽(左)、Froling 500kW Turbomat ボイラー(中)、地上部に建設された燃料貯蔵庫に投入されるチップ(右)

出典: Jenny Yu (2012) : Biomass boilers and the RHI: Get paid to heat your clubhouse, Golf Club Management, <http://www.golfclubmanagement.net/2012/01/biomass-boilers-and-the-rhi-get-paid-to-heat-your-clubhouse/>

写真出典: Econergy : Biomass Boiler Case Study Matfen Hall Hotel, Golf and Spa, [www.bghn.co.uk/docs/files/Case%20studies/Matfen%20Hall\(1\).pdf](http://www.bghn.co.uk/docs/files/Case%20studies/Matfen%20Hall(1).pdf)

資料編

<資料 1> 木質バイオマスボイラに関する情報源

資料 1-1 木質チップボイラ機器メーカー・取扱会社一覧表（平成 29 年 3 月現在）

燃焼機器メーカー名	取扱い会社	ホームページアドレス
<国内製>		
(株)タカハシキカン		http://www.ktboiler.co.jp/
オヤマダエンジニアリング(株)		http://www.oyamada-eng.co.jp/ecomos/index.html
イクロス(株)		http://www.kankyo.icross.co.jp/
<海外製>		
①シュミット(スイス)		① http://www.schmid-energy.ch/en/utsr
	②(株)トモエテクノ	② http://www.tomoe-techno.co.jp/under2/catalogue1.html
①ポリテクニク(オーストリア)		① http://www.polytechnik.com/ENG/
	住友商事(株)	
	②協和エクシオ(株)	② http://www.exeo.co.jp/jigyoku/kk/biomass.html
	(株)カナック	
①ビンダー(オーストリア)		① http://www.binder-gmbh.at/en/ 、(日本語資料) http://www.pelletclub.jp/jp/data/05/0429_nagano/t_binder.pdf
	宇部テクノエンジ(株)	
①Viessmann(ドイツ)		① http://www.hevac.com/boilers/viessmann-pyrot-wood-fired-boiler
	②(株)ヒラカワ	② http://www.hirakawag.co.jp/products/pyrot.html
①ギレス(オーストリア)		① http://www.gilles.at/en (日本語資料) http://www.advantageaustria.org/jp/events/20121024_Gilles.pdf
①タルボッツ(イギリス)		① http://www.talbotts.co.uk/bio-series/
	②マルマテクニカ(株)	② http://www.maruma.co.jp/

注。「宮崎県木質バイオマス活用普及指針、平成 22 年 3 月」および「宮津市木質バイオマス活用ビジョン、平成 21 年 2 月」を参考に、関連するホームページアドレスを追記している。

資料 1-2 木質バイオマス実践情報（<http://www.mori-energy.jp/database/link/>）

このウェブサイトは、平成 21 年度の林野庁補助事業「CO₂排出削減のための木質バイオマス利用拡大対策事業のうち木質バイオマス利用拡大定着化事業」において作成された、木質バイオマス実践情報データベース。関連リンク集には、木質バイオマスボイラの製造メーカー、取扱メーカーが掲載されている。

資料 1-3 役立つ情報

□木質バイオマスボイラー導入・運用にかかわる実務テキスト

http://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/biomass/con_4.html

林野庁ウェブサイトにも木質バイオマスボイラーを導入・運営する場合の理論・技術を体系的に整理したマニュアル(pdf ファイル)が掲載されている。

□木質バイオマス燃焼灰の自ら利用の手引き、平成 26 年 7 月、高知県

<http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/030501/files/2014080100114/nensyobaitebiki20140731.pdf>

□木材チップの品質規格規程について、平成 24 年 5 月 23 日、全国木材チップ工業連合会

<http://zmchip.com/chipkikaku.html>

□木質リサイクルチップの品質規格について、平成 22 年 12 月 15 日、NPO 法人全国木材資源リサイクル協会連合会 <http://www.woodrecycle.gr.jp/pdf/hinshitukikaku.pdf>

□木質ペレット品質規格、平成 29 年 2 月 27 日、(一社)日本木質ペレット協会

<https://w-pellet.org/hinshitsu-2/>

<資料2> 熱利用に関する支援策の情報源

資料2-1 熱利用に関連する国の主な支援策

省庁名	事業名
林野庁	・森林整備事業 ・次世代林業基盤づくり交付金 ・新たな木材需要創出総合プロジェクト
農林水産省	・地域バイオマス産業化推進事業 ・農山漁村振興交付金(農山漁村活性化整備対策) ・農林漁業施設資金(共同利用施設ーバイオマス利活用施設)
経済産業省	・再生可能エネルギー事業者支援事業費補助金 ・バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業 ・地産地消型再生可能エネルギー面的利用等推進事業費補助金
環境省	・再生可能エネルギー電気・熱自立的普及促進事業 ・地域低炭素投資促進ファンド事業 ・木質バイオマス資源の持続的活用による再生可能エネルギー導入計画策定事業

出典: 導入ガイドブック、木質バイオマスに関連する国の支援策

(一社)日本木質バイオマスエネルギー協会ホームページ: <https://www.jwba.or.jp/>

以下に、2例を紹介する。

□次世代林業基盤づくり交付金(林野庁)

民間事業者も実施主体の一員として利用施設整備の交付金を受けることが可能となる。

森林・林業再生基盤づくり交付金

木材利用の拡大、木材の安定的・効率的な供給等を図るために必要な機械施設の整備等について、地域の自主性・裁量を尊重しつつ、都道府県等に対して一体的に支援する。

木材加工流通施設等の整備

(1)木材加工流通施設等整備 (2)森林バイオマス等活用施設整備

事業実施主体

市町村、森林組合、森林組合連合会、林業者等の組織する団体、木材関連業者等の組織する団体、地域材を利用する法人及び地方公共団体等の出資する法人とし、各事業種目ごとに別途林野庁長官が定めるものとする。

交付率 (1)定額(1/2 以内)

木質バイオマス利用促進施設の整備

(1)未利用間伐材等活用機材整備 (2)木質バイオマス供給施設整備 (3)木質バイオマスエネルギー利用施設整備

事業実施主体

都道府県、市町村、森林組合、森林組合連合会、農業協同組合、農業協同組合連合会、漁業協同組合、漁業協同組合連合会、農事組合法人、林業者等の組織する団体、地方公共団体等が出資する法人、木材関連業者等の組織する団体、PFI事業者、社会福祉法人、一部事務組合及び民間事業者(地域に賦存する間伐材や林地残材等の森林由来の木質資源(以下「木質バイオマス」という。)の総合的利活用に取り組む地域において実施する場合、地域材を利用するために森林所有者等と木質バイオマスの安定取引協定等を締結する場合に限る。)とし、各事業種目ごとに別途林野庁長官が定めるものとする。

交付率

(1)定額(1/2、1/3 以内)ただし、各種事業種目ごとに別途林野庁長官が定める。

(2)木質バイオマス利用促進施設整備附帯事業 定額(1/2 以内)

(3)附帯事務費については、定額(1/2 以内)

出典: 次世代林業基盤づくり交付金実施要綱、林野庁ホームページ参照

□地域の特性を活かしたエネルギーの地産地消促進事業費補助金（経済産業省）

1) 分散型エネルギーシステム構築支援事業

民間事業者等による先導的な地産地消型のエネルギーシステムの構築に対し補助を行う。

(1) 事業化に向けた計画策定に対する支援 【補助率 3/4 以内】

事業化可能性調査やマスタープランの策定を支援。

(2) エネルギーシステムの構築に関する支援 【補助率 2/3、1/2、1/3 以内】

エネルギー設備をエネルギー管理システムを用いて制御し、エネルギーを面的に利用する地産地消型エネルギーシステムの構築を支援。※「固定価格買取制度」で設備認定を受けない設備が補助対象。

2) 再生可能エネルギー熱事業者支援事業

民間事業者による再生可能エネルギー熱利用設備導入に対して補助を行う。【補助率 1/3 以内】

※地方公共団体から指定・認定を受けて実施する先導的な事業については、2/3 以内を補助する場合がある。

【再生可能エネルギー熱利用設備の内訳】

太陽熱利用、温度差エネルギー利用、雪氷熱利用、地中熱利用、バイオマス熱利用、バイオマス燃料製造

資料 2-2 再生可能エネルギー事業支援ガイドブック(web 版) (<http://new-energy-guide.jp/>)

資源エネルギー庁の委託を受けて、(株)PHP 研究所が運営するサイト。「国の再生可能エネルギー事業支援施策検索」を選び、「電源を選択」で「バイオマス」をチェックし、表示をクリックすると関係省庁の支援施策一覧が得られる。

あるいは、同じページから「再生可能エネルギー事業支援ガイドブック 平成 28 年度版」の pdf ファイルがダウンロードできる。p.104 以降に、再生可能エネルギー事業支援メニューが記載され、事業に必要な資金調達をサポートする施策や事業の導入を促進するための施策等を紹介している。



ゴルフ場における植物由来バイオマス利用の手引き

平成 29 年 3 月

公益社団法人 ゴルフ緑化促進会