

### 第3章 エネルギー利用手法

#### 3.1 対象とするエネルギー有効利用技術

##### 3.1.1 バイオマス事業化戦略について

平成 24 年 9 月、技術とバイオマスの選択と集中等による、バイオマスを活用した事業化を重点的に推進し、地域におけるグリーン産業の創出と自立・分散型エネルギー供給体制の強化を実現していくための指針として、バイオマス活用推進会議において「バイオマス事業化戦略」が策定された。

この中で、「バイオマス利用技術の現状とロードマップについて」（以下「技術ロードマップ」）が取りまとめられており、現状（2012 年）、概ね 5 年後（2017 年ころ）、概ね 10 年後（2022 年ころ）、概ね 20 年後（2032 年ころ）のタイムフレームにおいて、バイオマス利用技術の到達レベルを「研究」「実証」「実用化」の 3 段階で評価している。技術ロードマップで示されたバイオマス利用技術の概要及び技術レベルを表 3.1-1 に示す。

表 3.1-1 「バイオマス利用技術の現状とロードマップについて」（抜粋版）

技術	原料	製造物	技術レベル				
			現状	5 年後	10 年後	20 年後	
物理学的変換	固体燃料化	木質系、草本系等	チップ、ペレット等	実用化			
熱化学的変換	直接燃焼（専燃、混燃）	木質系、草本系、鶏ふん、下水汚泥、食品廃棄物等	熱、電気	実用化			
	固体燃料化（①炭化・②半炭化・③水熱炭化）	木質系、草本系、下水汚泥等	固体燃料、バイオコークス	① 実用化 ② 実証（一部実用化） ③ 実証	実用化 実用化 実用化		
	ガス化（発電・熱利用）	木質系、草本系、下水汚泥等	ガス、熱、電気	実証（一部実用化）			
	水熱ガス化	木質系、草本系等	ガス、熱、電気	研究・実証	研究・実証	実証	実用化
	ガス化・液体燃料製造（BTL）	木質系、草本系等	液体燃料（メタノール、ジェット燃料等）	研究・実証	研究・実証	実証	実用化
	液体燃料製造（エステル化）	廃食用油、油糧作物	バイオディーゼル燃料（BDF）	実用化			
	急速熱分解液化	木質系、草本系等	液体燃料（バイオオイル、BDF 等）、化学品	研究・実証	実証	実用化	

技術		原料	製造物	技術レベル			
				現状	5年後	10年後	20年後
熱化学的変換	水熱液化	木質系、草本系等	液体燃料 (バイオオイル、BDF等)	研究・実証	実証	実用化	
	水素化分解	油糧種子(カメリナ、ジャトロパ等)	軽質炭化水素燃料(ジェット燃料、灯油、軽油等)	実証	実用化		
生物化学的変換	メタン発酵 (湿式、乾式)	下水汚泥、家畜排せつ物、食品廃棄物等	ガス、熱、電気	実用化 (一部実証)			
	水素発酵	食品廃棄物等	ガス、熱、電気	研究 (一部実証)	研究・実証	実証	実用化
	糖質・澱粉質系発酵 (第1世代)	余剰・規格外農産物、食品廃棄物 (甜菜、米、小麦等)	エタノール、化学品	実用化			
	セルロース系発酵 (第2世代)	①ソフトセルロース (稲わら等) ②ハードセルロース (間伐材等)	エタノール、化学品	① 研究・実証 ② 研究・実証	実用化 実証		実用化
	ブタノール発酵	糖質・澱粉質系、草本系等	ブタノール	研究・実証	実証	実用化	
藻類由来液体燃料製造 (第3世代)		微細藻類、大型藻類	液体燃料 (軽油代替、ジェット燃料等)	研究	研究・実証	実証	実用化
バイオマテリアル		①糖質・澱粉質系 ②リグニセルロース系 ③セルロースナファイバー	バイオプラスチック・素材	① 実用化 (一部研究・実証) ② 研究・実証 ③ 研究・実証	実証 (一部実用化) 実証 (一部実用化)	実用化 実用化	
バイオリファイナリー		糖質・澱粉質系、木質系、草本系等	バイオマス由来物を基点に多様な化学品・エネルギーを生産	研究・実証	実証	実用化	
資源・収集運搬		木質系、草本系等	①資源開発 ②収集・運搬・保管	① 研究・実証 ② 研究・実証	実証 実用化	実用化	

バイオマス事業化戦略<sup>1)</sup>をもとに作成

### 3.1.2 対象とするエネルギー利用技術の分類

本技術資料で対象とする技術は、技術ロードマップで示されたバイオマス利用技術のうち、原料が木質系、草本系が対象であるもの、また公園等での具体的導入を見据え技術レベルが概ね5年後に実用化と判断されたもの、エネルギー利用技術や製造物が公園での利用に適したものを対象とする。ここでは植物廃材のエネルギー利用技術を対象とするため、「資源・収集運搬」は除外するものとする。

表 3.1-2 公園等での利用に適した植物廃材のエネルギー利用技術の分類

技術		製造物	対象とする具体的技術	備考
物理学的変換	固体燃料化	チップ、ペレット等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・チップ製造</li> <li>・ペレット製造</li> </ul>	公園での製造となるので、原料が廃棄物である RDF は除外した。
熱化学的変換	直接燃焼(専焼)	熱、電気	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ボイラー(暖房利用)</li> <li>・ボイラー(冷暖房利用)</li> </ul>	導入規模を考慮し、石炭等との混燃利用、および直接燃焼発電(蒸気発電)は対象外とした。
	炭化	炭、バイオコークス	<ul style="list-style-type: none"> <li>・炭化(直接、間接燃焼)</li> <li>・バイオコークス</li> </ul>	
	ガス化(発電・熱利用)	熱、電気	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ガス化(コージェネレーション)</li> </ul>	ガス利用も可能であるが、公園での利用を考慮し熱と電気の利用のみとした。
生物化学的変換	セルロース系発酵	エタノール	<ul style="list-style-type: none"> <li>・エタノール発酵(第2世代)</li> </ul>	間伐材の技術レベルは10年後ころであるため、ソフトセルロースのみを対象とする。

### 3.2 前処理及び固形燃料化技術

#### 3.2.1 前処理及び固形燃料化技術について

木質バイオマスは、不定形でかさ密度が小さく、また含水率が高い。さらに燃料不適物の混入も懸念されることから、熱化学的変換や、燃料化の前のプロセスとして、「前処理」が行われる場合が多い。木質バイオマスにおいて行われる主な前処理として「破碎」「乾燥」「選別」がある。なお、破碎等、乾燥、選別の順序は、それぞれの施設の機器や対象とするバイオマスの種類により異なると考えられる。また、選別については、公園等で剪定枝等を扱い場合には、土及び葉などの混入しか考えられず、場合により省略することも可能であると考えられる。

チップについては、破碎等によりチップ化が可能であるが、用いるバイオマスの種類により、乾燥が必要な場合もある。本技術資料で扱う前処理及び固形燃料化技術は、主に以下のとおりとする。



図 3.2-1 前処理及び固形燃料化技術の概要

### 3.2.2 乾燥

#### (1) 木質バイオマスの含水率とエネルギー利用の関係

##### 1) 含水率

木質バイオマスの含水率は、「乾量基準含水率」と「湿量基準含水率」で表わされる。それぞれの定義は以下のとおりである。

##### a) 「乾量基準含水率」とは

木材に含まれる水分の重量 (kg) と絶乾状態 (水分が 0) の木材の重量 (kg) の比で、以下の式で求められる。

$$\begin{array}{l} \text{乾量基準含水率\%} \\ \text{(ドライベース:DB)} \end{array} = \frac{\text{木材に含まれる水分重量 (kg)}}{\text{木材の乾燥重量 (kg)}} \times 100$$

##### b) 「湿量基準含水率」とは

木材に含まれる水分の重量 (kg) と木材そのものの重量 (水分を含む ; kg) の比で、以下の式で求められる。

$$\begin{array}{l} \text{湿量基準含水率\%} \\ \text{(ウェットベース:WB)} \end{array} = \frac{\text{木材に含まれる水分重量 (kg)}}{\text{生木の重量 (kg)}} \times 100$$

木質バイオマスの含水率は、着火性や燃焼性、発熱量に直接影響するものである。木本系バイオマスを燃料として利用する場合、その含水率は燃料の種類や燃焼機器の仕様によって決まる。燃料の種類ごと、あるいは燃焼機器の仕様で定められる含水率については後段 3.4 市販のエネルギー転換機器における燃料仕様特性、4.3.1(1) 1) エネルギー利用機器の仕様で定められる含水率を参照するものとし、ここでは国産材 (生材) の湿量基準含水率を示す。

表 3.2-1 国産材の湿量基準含水率

樹種		生材の湿量基準含水率 (%-WB)		
		木部全体	辺材部	心材部
針葉樹	スギ	50~59	57~70	35~70
	ヒノキ	50	60~73	25~30
	アカマツ	54	57~59	26~35
	カラマツ	34~36	44~60	29~30
	トドマツ	57	64~69	37~45
	エゾマツ	55	63~66	29~34
広葉樹	ブナ	42~47	42~47	44~49
	ミズナラ	42~46	44~46	41~46
	ドロノキ	58	44~46	62~67
	ヤチダモ	37	34~35	45~50
	ケヤキ	45	47	44
	アカガシ	41	37	50

出典：木質資源とことん活用読本 (熊崎実・沢辺攻編著) <sup>2)</sup>p37 をもとに作成

## 2) 発熱量

発熱量とは、単位重量の燃料を完全燃焼したときに発生する熱量で、一般的には MJ/kg、kcal/kg、kWh/kg であらわされる。発熱量には「高位発熱量」と「低位発熱量」があり、それぞれの定義は以下である。

- ・高位発熱量 : 燃焼後の生成物を燃焼前の温度に戻し、生成した水蒸気がすべて凝縮した場合の発熱量。
- ・低位発熱量 : 燃料中の水素から生成する水及び本来含まれている水分の蒸発熱を高位発熱量から差し引いた発熱量。

木材の使用時低位発熱量は下式で表わすことができ、全乾木材の高位発熱量は 20MJ/dry-kg 程度、水素含有率を 6%と仮定すると、絶乾時の低位発熱量は高位発熱量より 1.4MJ/dry-kg 程度低くなる。

$$\text{使用時低位発熱量 LHVw[MJ/kg]} = (\text{HHVd} - 2.512 \times (9\text{hd} + \text{Wd})) / (1 + \text{Wd})$$

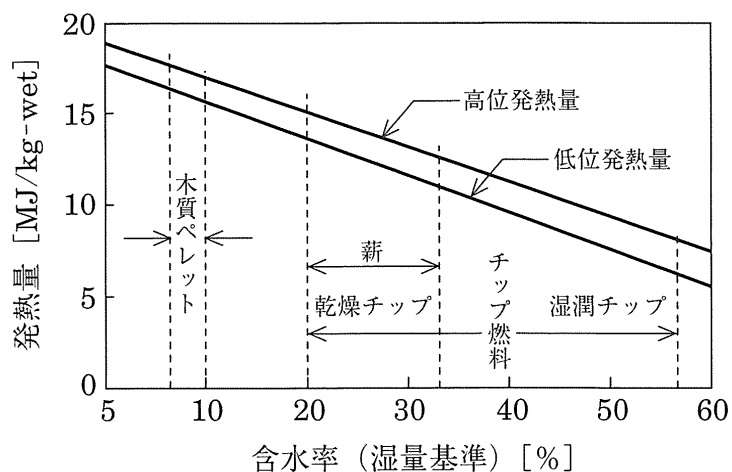
ここで、HHVd : 高位発熱量（無水時）[MJ/kg]

hd : 水素量（全乾時）[kg/kg]

Wd : 含水率（乾量基準；質量分率）[kg/kg]

出典：改訂 4 版木材工業ハンドブック<sup>3)</sup>（17 章 P1, 037 の一部を引用）

木質燃料の含水率と発熱量の関係を図 3.2-2 に示す。



注 無水ベースの高位発熱量を 18.9 MJ/kg として計算

出典：バイオマスプロセスハンドブック（公益社団法人化学工学会・一般社団法人日本エネルギー学会 共編，(株)オーム社発行，2012）<sup>4)</sup>，p238

図 3.2-2 木質燃料の含水率と発熱量の関係

## (2) 乾燥処理

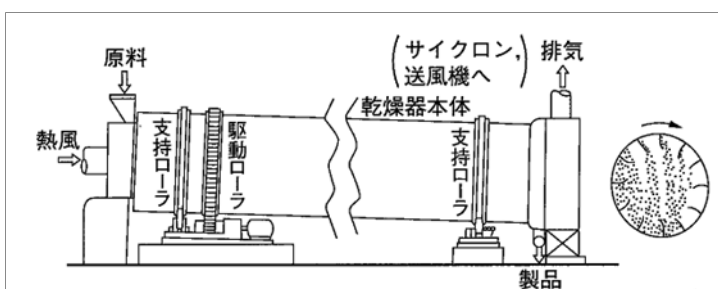
伐採直後の木材等の湿量ベース含水率は50%以上あり、熱化学的変換や燃料化に適した水分量まで水分調整（乾燥）する必要がある。

最も簡単な方法は天日乾燥であるが、ボイラーやガスエンジンの余熱を使って木質バイオマスを乾燥する場合もある。また、原料の端材や製品不適物を燃料に使用して強制乾燥する場合もあり、乾燥方式として「ロータリーキルン方式」や「気流乾燥方式」が多く採用される。また、近年小規模向けの乾燥装置として「ソーラードライシステム」を用いた乾燥装置もある。

木質バイオマスは形状が様々で、含水率も様々ではない。このため、乾燥装置の導入にあたっては、対象とする木質バイオマスの乾燥特性を事前に十分に検討し、適切な乾燥温度を維持でき、かつ安価な熱源を選定する必要がある。また、金属腐食や火災、爆発、排ガスの白煙防止、臭気対策等にも配慮する必要がある。

### 1) ロータリーキルン方式

回転する円筒の中に原料と熱風を通し、攪拌しながら乾燥する方式で、原料を比較的長時間かけて乾燥するため、原料の含水率や形状に合わせた制御が可能である。ただし、設備の設置に大きなスペースが必要である。

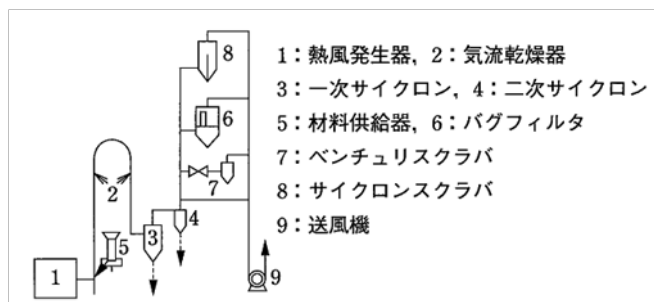


出典：化学工学概論（水科篤郎・桐栄良三編，産業図書株，1979.3）<sup>5)</sup>，p207

図 3.2-3 ロータリーキルン方式のイメージ（例）

### 2) 気流乾燥方式

高速の熱風の中に原料を投入して、混合しながら急速乾燥する方式である。投入する原料は十分に微細化されている必要はあるが、設備の省スペース化、短時間乾燥が可能である。



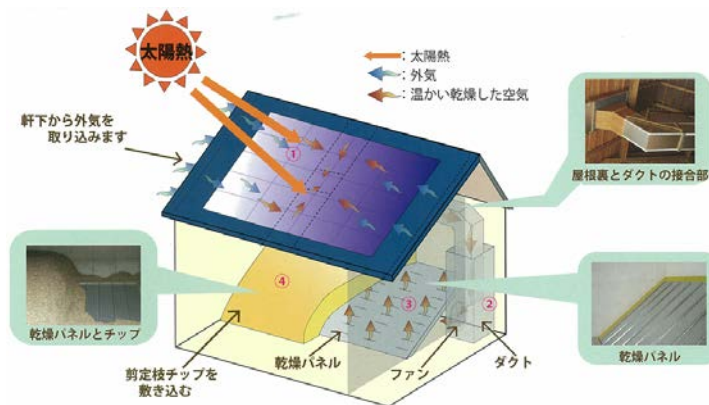
出典：改訂五版 化学工学便覧（社化学工学協会編，丸善株，1988）<sup>6)</sup>，p686

図 3.2-4 気流乾燥方式のイメージ（例）

### 3) ソーラードライ方式

屋根に設置した集熱パネルにより、太陽熱を効率よく利用することで木質チップを乾燥するシステムである。

システムの概要を図 3.2-5 に示す。乾燥施設の軒下から外気を取り入れ、この空気を集熱パネルで吸収した太陽熱で温め、乾燥した空気をダクト、ファンを介して乾燥室内に供給する。



出典：ソーラードライシステムパンフレット（㈱日比谷アメニス）<sup>7)</sup>

図 3.2-5 ソーラードライシステムの概要

### (3) 含水率の時系列変化

木質バイオマスの含水率の時系列的変化について、1) 文献等調査及び2) 含水率計測調査を行ったので以下に示す。

#### 1) 文献等調査

##### (i) 剪定枝

##### i) 剪定直後の含水率

「草木系バイオマスの組成分析データ集 (ISSN0386-5878 土木研究所資料第 4095 号)」<sup>8)</sup>に、全国の国直轄の 10 河川と 11 国道、北海道南部陣屋川、長万部終末処理場敷地、ならびに独立行政法人土木研究所構内から採取した約 80 種の草木類の含水率、強熱減量、高位発熱量等のデータがまとめられている。前述の第 2 章の表 2.2-3 で示したように、木本では、部位別に表示されており、剪定枝に該当するであろう主幹及び枝 (22 検体) の平均は 50.2%となっている。

##### ii) 剪定後の含水率の変化

#### (a) スギ丸太の天然乾燥中の乾燥特性試験

高知県森林技術センターにおいて、剪定枝ではないが、スギ丸太の天然乾燥に係わる研究が行われている。高知県森林技術センター平成 17 年度研究成果報告書<sup>9)</sup>をもとに、概要を示す (詳細は下記の URL 参照)。

※

[http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/030102/files/2009122400246/2009122400246\\_www\\_pref\\_kochi\\_lg\\_jp\\_uploaded\\_attachment\\_21384.pdf](http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/030102/files/2009122400246/2009122400246_www_pref_kochi_lg_jp_uploaded_attachment_21384.pdf) (H26.12 参照)

##### ①試験方法

当該研究は、2m 長に切断したスギ立木 63 本を使用し、2 種類の保管場所 (アスファルト上、土上) と、2 種類の保管方法 (地面に直接設置、りん木上に設置) を組み合わせ、1 ヶ月ごとに重量を測定、6 ヶ月間の含水率を調査したものである。

研究期間は 2005 年 8 月 12 日から 2006 年 2 月 13 日の 6 ヶ月間、夏季に剪定した場合の乾燥時期と同時期になる。

##### ②試験結果

- ・ アスファルト上で、りん木を敷く設置方法が最も早く含水率が低下した。
- ・ 部位別の含水率の低下状況では、梢端部の含水率低下が早く、根元部に近くなるほど、含水率の低下は遅い傾向であった。



(アスファルト上の丸太)



(土上の丸太)

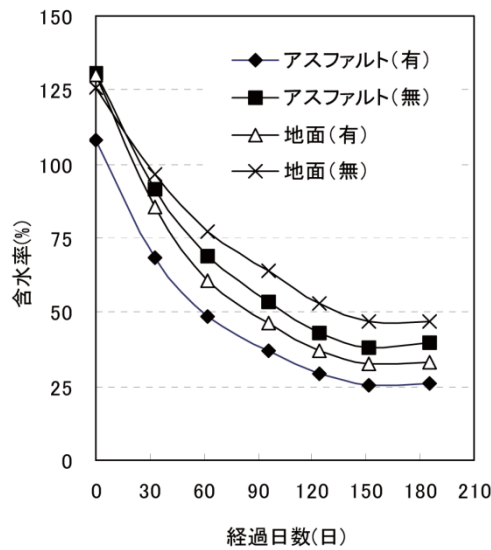


(りん木上の丸太)

出典：高知県森林技術センター平成 17 年度研究成果報告書

図 3.2-6 スギ丸太の設置状況





(2005年8月12日～2006年2月13日)

出典：高知県森林技術センター平成17年度研究成果報告書

図 3.2-7 天然乾燥中のスギ丸太の含水率（乾量ベース）の変化

上記の研究結果から、比較的形状の大きい乾燥物の自然乾燥にあたっては、①りん木上に乾燥物を設置するなど風通しの良い状態を確保すること、②乾燥施設の底部はアスファルト構造等とすることが必要で、この乾燥条件であっても25%-DB程度まで乾燥させるには、約5ヶ月の期間を要している。また、径が太い部位については、これ以上の期間を必要とする可能性もある。

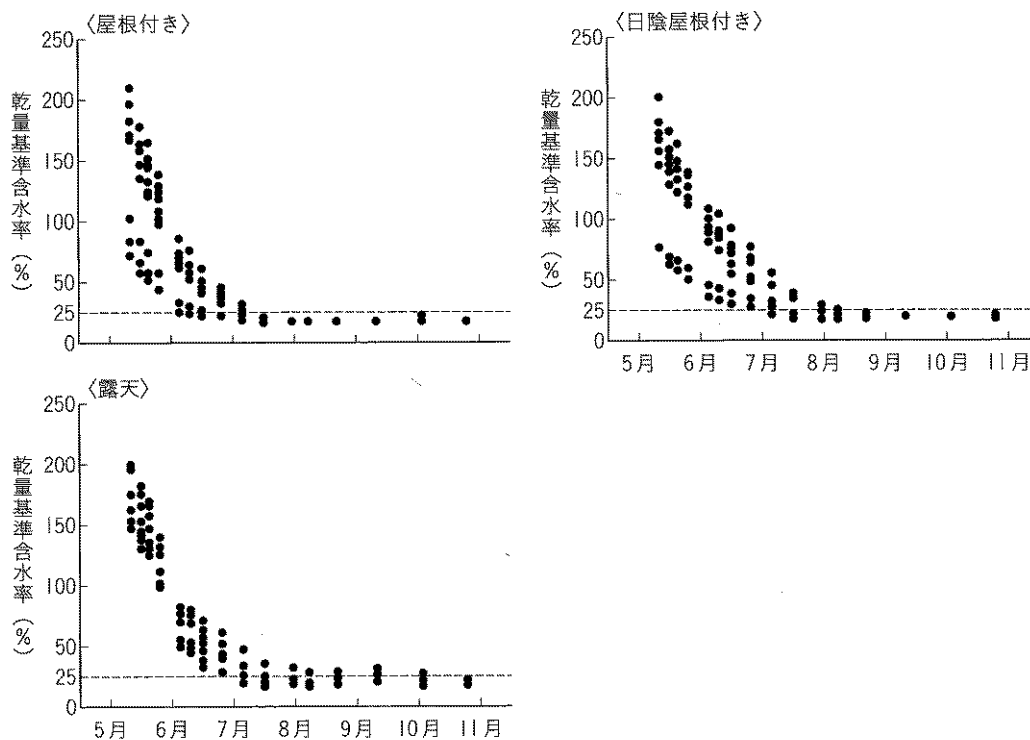
#### (b) アカマツ薪の乾燥経過

剪定枝ではないが、薪の乾燥試験である。

図 3.2-8 は、「木質資源とことん活用読本（熊崎実／沢辺攻編著）」<sup>2)</sup>に記載のあるアカマツ薪の乾燥過程である。薪のサイズの記載はないが、長さは300mm～600mm程度と推測する。乾燥条件は、①屋根付き、②日陰屋根付き、③露天とし、いずれも5月末から風通しを良くした条件下で含水率を計測したものである。いずれも約3ヶ月後の8月末には25%-DB（≒20%-WB）まで乾燥し、6ヶ月程度で一定値に達している。

本ケースは、春季に剪定した場合の乾燥時期と同時期になるが、乾燥物が薪で形状が小さかったことから乾燥も比較的早く進行したものと思われる。また、薪の状態では降雨の影響が小さいことも本ケースから明らかになっている。

ただし、冬季剪定した場合に上記の乾燥期間によらないことも念頭に置く必要がある。



出典：木質資源とことん活用読本（熊崎実・沢辺攻編著）<sup>2)</sup>，p72

図 3.2-8 アカマツの乾燥経過（乾燥実施場所：長野県伊那市）

### (c) ヒアリング調査事例

万博記念公園（大阪府吹田市）において、燃料薪の自然乾燥による含水率の計測を行っている。結果を表 3.2-2 に示す。乾燥期間にもよるが、同表は薪加工時と利用時の両日の計測結果で、園内で剪定を行った時点の含水率や原木保管の期間、及び経日的な変化は把握できないが、含水率が 15～30%-WB の状態で利用されている。夏期も通して乾燥させているものは、消費時含水率が概ね 20%-WB 程度以下まで減少している。

表 3.2-2 薪加工時と消費時の含水率

製造日	加工時含水率	消費月	消費時含水率	乾燥期間	水分減少率	樹種
2008年1月	28.9%	2008年4月	27.6%	3ヶ月	1.3%	アラカシ
2008年3月	33.2%	2008年11月	19.6%	8ヶ月	13.6%	アラカシ
2008年6月	47.9%	2009年5月	15.5%	12ヶ月	32.4%	キンドロ
2008年6月	34.2%	2009年10月	21.3%	4ヶ月	12.9%	アラカシ
2008年8月	38.3%	2009年3月	18.8%	7ヶ月	19.5%	サクラ
2009年1月	46.3%	2009年6月	26.5%	6ヶ月	19.8%	ニセアカシア

※上表中の含水率は湿量基準含水率である  
出典：万博記念公園資料<sup>10)</sup>

(ii) チップ

i) チップ化直後の含水率

「草本系バイオマスの組成分析データ集（ISSN0386-5878 土木研究所資料第 4095 号）」に、樹種ごとではないが、広葉樹、針葉樹ごとの含水率がまとめられている。そのデータを表 3.2-3 に示す。

表 3.2-3 広葉樹チップ、針葉樹チップの含水率

和名（俗名等）	試料部位	含水率 （%-全重）
広葉樹・チップ	〈主幹〉	35.1
広葉樹・バーク	〈樹皮〉	21.2
針葉樹・チップ	〈主幹〉	63.9
針葉樹・バーク	〈樹皮〉	44.0
広葉樹・バーク	〈樹皮〉	25.6

出典：草本系バイオマスの組成分析データ集（ISSN0386-5878 土木研究所資料第 4095 号）<sup>8)</sup>をもとに作成

また、木材チップ等原料転換型事業 調査・分析報告書（平成 23 年度；全国木材チップ工業連合会）では、全国 7 ケ所のチップ工場を対象に、建築解体材や原木、背板などから製造されたチップの含水率（乾量ベース、湿量ベース）の調査結果がまとめられている。ここでは、剪定枝の性状に最も近い原木や根株のデータのみを抽出し、表 3.2-4 に示す。

表 3.2-4 広葉樹チップ、針葉樹チップの含水率（重量法）

採取工場	用途	原料・樹種等	含水率	
			乾量ベース （%）	湿量ベース （%）
A 社	製紙用	針葉樹（アカマツ）	23	19
B 社	製紙用	針葉樹（カラマツ）	32	24
	製紙用	広葉樹（国産）	55	35
C 社	燃料用	根株	31	24
		広葉樹（国産）	65	40
		針葉樹（スギ、ヒノキ）	77	43
D 社	製紙用	針葉樹丸太（スギ、ヒノキ）	40	29
E 社	その他	スギ皮入り	40	29
	その他	広葉樹（国産）	46	32

出典：木材チップ等原料転換型事業 調査・分析報告書（平成 23 年度；全国木材チップ工業連合会）<sup>11)</sup>をもとに作成

ii) チップ化後の含水率の変化

(a) スギチップ天然乾燥中の乾燥特性試験 (2005年9月14日～2006年1月19日)

高知県森林技術センターにおいて、スギチップの天然乾燥に係わる研究が行われている。高知県森林技術センター平成17年度研究成果報告書<sup>9)</sup>をもとに、概要を示す(詳細は以下のURLを参照)。※

[http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/030102/files/2009122400246/2009122400246\\_www\\_pref\\_kochi\\_lg\\_jp\\_uploaded\\_attachment\\_21384.pdf](http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/030102/files/2009122400246/2009122400246_www_pref_kochi_lg_jp_uploaded_attachment_21384.pdf) (H26.12参照)

①試験方法

当該研究は、3種類の保管条件(屋外、屋内、ガラスハウス内)、2種類の保管方法(攪拌の有無、ただし攪拌回数は1回/週)にチップを入れたコンテナを2段積みし、4ヶ月間の含水率の変化を調査したものである。調査に用いたコンテナのサイズは内寸で、474mm×315mm×292mm、側面や底面の格子状になった部分にはビニールシートを貼り付けている。



(屋外のチップ)

②試験結果

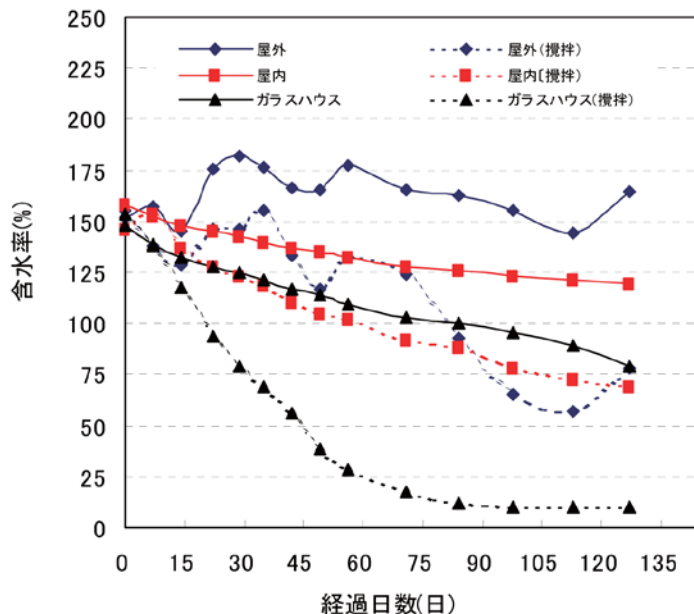
- ・ 屋外の保管したチップは降雨の影響で含水率が増減。
- ・ 屋内では時間経過とともに含水率が低下、特にガラスハウス内は減少傾向が顕著。
- ・ チップ攪拌を行うと含水率は低下する傾向が見られた。



(ハウス内のチップ)

出典：高知県森林技術センター平成17年度研究成果報告書<sup>9)</sup>

図 3.2-9 スギチップの設置状況

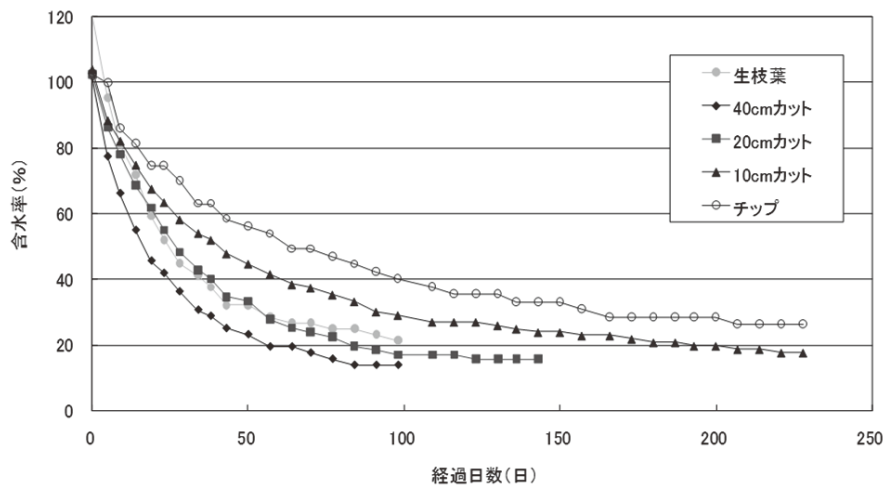


出典：高知県森林技術センター平成17年度研究成果報告書<sup>9)</sup>

図 3.2-10 天然乾燥中のスギチップの含水率(乾量ベース)の変化

### (b) 粗破碎・チップの含水率の変化

独立行政法人森林総合研究所が行った「木質バイオマス変換総合技術の開発」のうち、「木質バイオマスの効率的輸送保管のための減容化技術の開発」において、粗破碎・チップの含水率の変化の推移を計測している（図 3.2-11）。同報告によると、含水率が 30%-DB に達するまでに要した日数は、生枝葉 57 日、40cm カット 38 日、20cm カット 57 日、10cm カット 98 日、チップ 166 日で、破砕片の空隙が大きいほど乾燥速度が速く、チップにすると支援乾燥では 25%-DB までにしかな乾燥できないことが報告されている。



出典：農林水産技術会議（農林水産省）研究成果<sup>12)</sup>

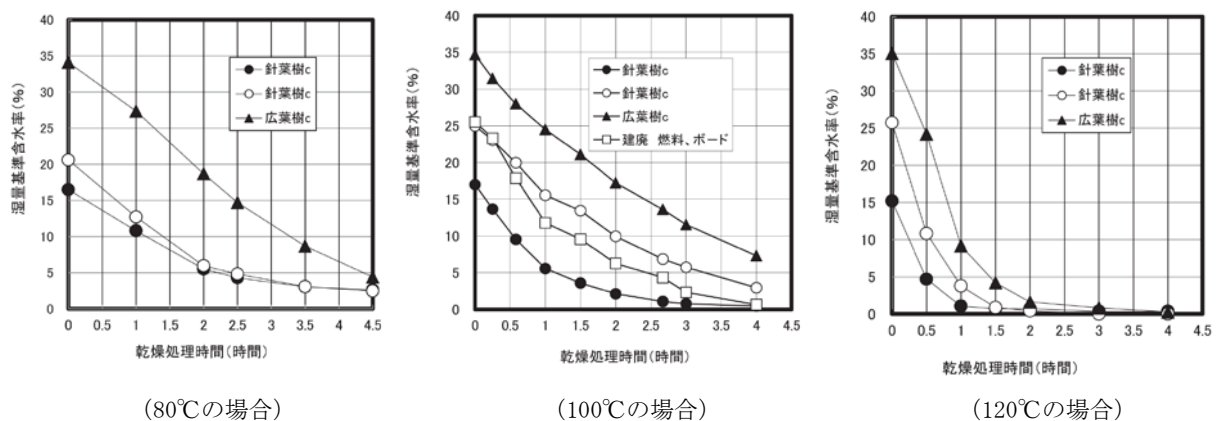
第 499 集 地域活性化のためのバイオマスの利用技術の開発(2) 第 3 編

<http://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/2039017291.pdf>

図 3.2-11 粗破碎・チップの含水率の変化

### (c) 強制乾燥を行った場合のチップの乾燥特性試験

全国木材チップ工業連合会から、同種同量（約 1 kg）のチップをサンプルとし、80℃、100℃、120℃の条件下で乾燥した場合の試験結果が報告されているので、図 3.2-12 に示す。



出典：木材チップ等原料転換型事業 調査・分析報告書（平成 23 年度；全国木材チップ工業連合会）<sup>11)</sup>

図 3.2-12 強制乾燥した場合のチップの乾燥特性（湿量ベース）

### (d) ヒアリング調査事例

横浜市グリーン事業協同組合では、乾量ベースで 80%のものが、1ヶ月で 40%まで減少する（チップ；出荷先でのヒアリング値；概略値）ということであった。

### (iii) 刈草

#### i) 刈取り直後の含水率

「草木系バイオマスの組成分析データ集 (ISSN0386-5878 土木研究所資料第 4095 号)」<sup>8)</sup>に、全国の国直轄の 10 河川と 11 国道、北海道南部陣屋川、長万部終末処理場敷地、ならびに独立行政法人土木研究所構内から採取した約 80 種の草木類の含水率、強熱減量、高位発熱量等のデータがまとめられている。前述の第 2 章の表 2.2-3 で示したように、草本類では、検体数 49 の平均で 67.1%となっている。

#### ii) 刈取り後の含水率の変化

##### (a) 牧草の乾燥試験

北海道立天北農業試験場において、集約放牧用の牧草であるペレニアルライグラス(図中は「PR」で表記)をサンプルとした乾燥試験が行われている。北海道立農業試験場集報第 75 号 (1998)<sup>13)</sup>をもとに、概要を示す(詳細は下記の URL 参照)。

※<http://www.agri.hro.or.jp/center/kankoubutsu/syuhou/75/75-8.pdf> (H24.11 参照)

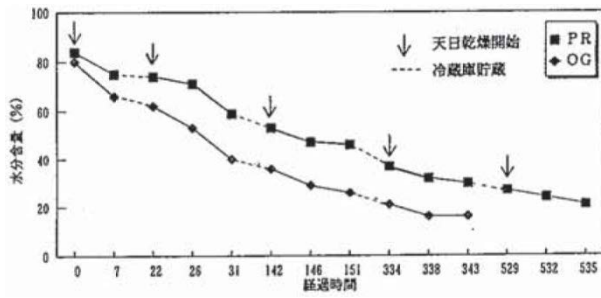
##### ①試験方法

当該試験は、天日乾燥及び 25℃に設定した通風乾燥器内での、サンプル全体及び部位ごとの含水率の推移、茎と葉の構成割合による含水率への影響などについて、オーチャードグラス(図中は「OG」で表記)と比較しながら調査したものである。

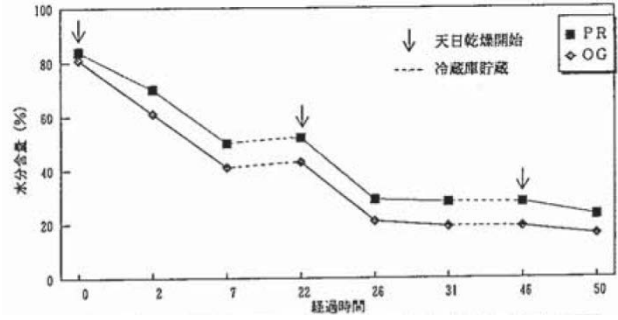
天日乾燥は、サンプルを午前 10 時に刈取り、反転は晴天日 1 日につき 3 回実施、夜間や日中でも天日乾燥に適さない気象条件時には 4℃で冷蔵保管している。また、通風乾燥器内での乾燥試験では、プラスチック容器(300mm×390mm×80mm; 底部に通風溝あり)にサンプルを広げて実施している。

##### ②試験結果

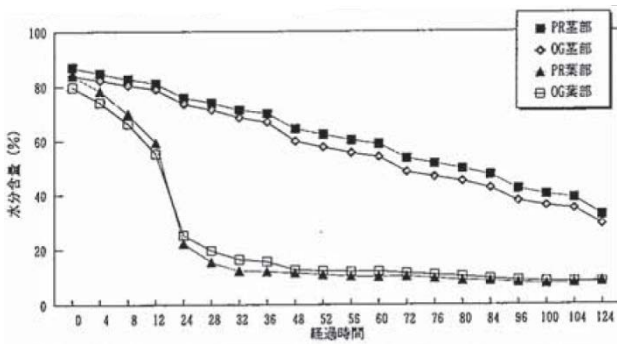
- ・ 6 月 30 日に刈り取った 1 番草は、気象条件が不良なために両サンプルとも乾燥に長い時間を要したが、ペレニアルライグラスはオーチャードグラスに比べて含水率の低下が遅い。7 月 25 日に刈り取った 2 番草も同様の傾向であった。
- ・ 部位ごとの乾燥試験では、草種間で含水率の低下速度に差が生じていない。
- ・ 茎と葉の構成割合を変化させた乾燥試験では、茎の割合が高くなるにしたがって、減少傾向が鈍化する。



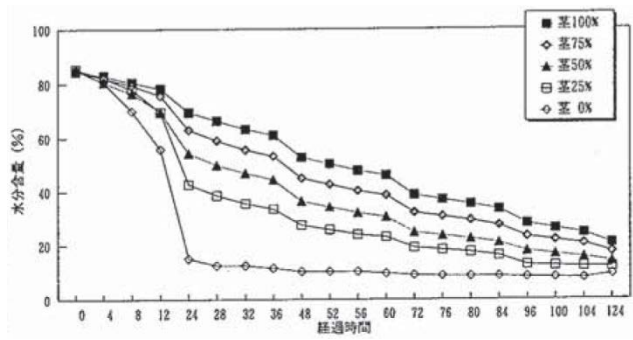
出典：北海道立農業試験場集報第75号(1998)<sup>13)</sup>  
 図 3.2-13 天日乾燥における含水率の推移  
 (1番草；6月30日刈)



出典：北海道立農業試験場集報第75号(1998)<sup>13)</sup>  
 図 3.2-14 天日乾燥における含水率の推移  
 (2番草；7月25日刈)



出典：北海道立農業試験場集報第75号(1998)<sup>13)</sup>  
 図 3.2-15 茎部及び葉部の含水率の推移  
 (1番草；6月17日刈)



出典：北海道立農業試験場集報第75号(1998)<sup>13)</sup>  
 図 3.2-16 茎葉比と含水率の推移  
 (ペレニアルライグラス、1番草；6月25日刈)

## 2) 含水率計測調査

剪定枝の剪定、剪定枝のチップ化及び刈草の刈草直後からの含水率の変化を把握するため、含水率調査を実施した。

### (i) 試験の実施方法

#### i) 試験に使用した試料の性状、数量

表 3.2-5 試験に使用する試料の概要

種類	樹種等	数量
剪定枝	・プラタナス ・イチョウ	各樹種とも 0.5m <sup>3</sup> 以上で2サンプル (2箇所での保管実験を行うため)
チップ化した剪定枝	・プラタナス ・イチョウ	各樹種とも 0.3m <sup>3</sup> 程度 <sup>注)</sup> で2サンプル (2箇所での保管実験を行うため)
刈草	・刈草 A (ススキ、クズ、セイタカアワダチソウほか) ・刈草 B (チガヤ、メドハギほか)	刈草 A、B とも 0.5m <sup>3</sup> 程度で2サンプル (2箇所での保管実験を行うため)

注) チップについても剪定枝と同様に 0.5 m<sup>3</sup>程度を想定していたが、予想よりかなり重量があり、0.3 m<sup>3</sup>とした。剪定枝については、空隙率がかなりあったため、0.5 m<sup>3</sup>以上とした。

#### ii) 試験試料の採取 (剪定・刈取り)

##### (a) 剪定枝・チップ化した剪定枝

###### a) 剪定及び作業場所

国土交通省国土技術政策総合研究所緑化圃場内の樹木を剪定し、その場でチップ化した。

###### b) 作業期間

剪定：平成 24 年 11 月 14 日 天候：晴れ

チップ化：平成 24 年 11 月 15 日 天候：晴れ

###### c) チップ化

移動式小型チップパーを現地に持ち込みチップ化した。

###### d) チップパーの形式：株式会社大橋 GS121GB

チップ化作業に使用した機器の概要を表 3.2-6 に示す。

なお、本機では、送り速度の変えることにより粒度を調整できる機能があり、試験においては送り速度を最速に設定し、最も粒度が粗くなるようにした。

表 3.2-6 チップ化作業に使用した機器の概要

項目	内容	写真
メーカー名	株式会社大橋	
型式	樹木粉碎機 GS121GB	
破砕刃	チップパーナイフ 2枚 シュレッダーナイフ 8枚	
スクリーン	φ8mm	
その他	送り速度を調整することにより粒度を調整。	

###### e) 採取方法

剪定枝については葉の部分は除去し、枝部のみとした。チップ化した剪定枝 (以下、「剪定枝チップ」という。) についても枝の部分のみとし、一度に剪定した剪定枝の一部を剪定枝、残分



をチップ化した。その後、採取したものをフレコンバック（容量1m<sup>3</sup>）に収納した。  
 剪定枝及び剪定枝チップのフレコン積込み状況を図 3.2-17 及び図 3.2-18 に示す。



図 3.2-17 プラタナスのフレコン積込み状況



図 3.2-18 イチョウのフレコン積込み状況

剪定作業を二日間（初日：剪定、翌日：チップ化）に渡って行ったことから、初日に剪定した試料を剪定作業実施日と翌日の重量の変化を調査した。調査結果は表 3.2-7 に示すとおり、イチョウ、プラタナスともに約1%程度の減量があった。

表 3.2-7 剪定作業実施日と翌日の重量変化

樹種	11/14	11/15
イチョウ	1,866.0 (100.0%)	1,842.8 (98.8%)
プラタナス	3,621.0 (100.0%)	3,573.0 (98.7%)

重量 (g)、( ) 内は重量比

(b) 刈草

a) 草刈及び作業場所

国土技術政策総合研究所敷地内で構内の維持管理の除草作業箇所2箇所（刈草A、B）を選定した。

b) 作業期間

平成24年11月7日（水）天候：晴れ

c) 採取方法

刈り取った刈草A、Bをフレコンバック（容量1m<sup>3</sup>）に収納した。

d) 刈取機

刈取機は、BARONESS 自走式草刈機を用いたため、刈草はかなり粉碎された形になっている。

刈り取り作業の実施状況を図3.2-19に示す。

（刈り取り中）

（刈草Aのフレコン積み込み）

（刈草Bのフレコン積み込み）



図 3.2-19 刈り取り状況

刈り取った刈草A、Bの草種と概ね比率を表3.2-8、表3.2-9に示す。なお、刈草Bでは、集草の際には試料採取地点付近の樹木（ユリノキ、コナラ、オガタマノキ、シラカシ等）の落ち葉の混入が避けられなかった。

表 3.2-8 刈草Aの草種とその比率

草種	比率
ススキ	60%
クズ	20%
セイタカアワダチソウ	20%
計	100%

表 3.2-9 刈草Aの草種とその比率

草種	比率
メドハギ	30%
チガヤ	20%
オオアワダチソウ	20%
シナダレススメガヤ	10%
ヨモギ、クマザサほか	10%
計	100%

### iii) 保管

#### (a) 保管方法

試料は、輸送及び重量測定の作業性を考慮し、フレコンバックに貯蔵・保管した。

フレコンバックの通気性を確保するため、開口部に縫い合わされた縛り口のついた生地（白地の部分）を切り取り、保管時には試料が露出する部分まで袋上面を折り返すとともに、おおよそ20cm（円周方向）×10cm（垂直方向）の間隔で孔を開けた。

#### (b) 保管場所

保管場所は、茨城県つくば市の分析会社敷地内の屋外と屋内の2箇所で行った。屋外は駐車場敷地内に簡易ビニールハウスを設置し保管した。屋内は、分析会社社屋地下駐車場に保管した。



図 3.2-20 フレコン保管時の状況とフレコンバック仕様

(屋内地下駐車場)

(屋外ビニールハウス)



図 3.2-21 保管場所

#### (c) 外気温の測定

保管場所の環境要因の影響を把握するために、気温、湿度の計測を行った。外気温はロガー機能付温度計、室内はロガー機能付き温湿度計を用いて、測定期間中の外気温、貯蔵庫内の室温・湿度を測定する。測定点数は以下とする。併せて、測定期間中の天候も記録した。

外気の温度	1点
屋内地下駐車場内の温湿度	3点
ビニールハウス内の温湿度	3点

#### iv) 含水率計測方法

##### (a) 含水率計測方法

含水率の計測方法は、剪定及び草刈直後からの刈草、剪定枝及び剪定枝チップの重量を一定期間計測し、計測終了時に、刈草、剪定枝及び剪定枝チップのサンプルの含水率を測定し、その値を元に、剪定及び草刈直後からの重量計測日の含水率を推定することとした。

##### (b) サンプル含水率の計測方法

なお、サンプルの含水率の計測方法は以下のとおりである。

重量測定最終日に試料の一部を採取し、含水率を測定した。

採取する試料は次のとおりとする。

刈 草：フレコンの表面、中段、底部から各1検体

剪 定 枝：細い枝、太い枝を混ぜて1検体

剪定枝チップ：フレコンの表面、中段、底部から各1検体

刈草は約40g～100g、剪定枝及びチップは約200g～300gを105℃～110℃で、約10時間乾燥させた後、放冷を2時間行った。なお、この方法は以下の下水試験方法の一般汚泥試験をもとに設定した。

- ① 試料10～50g (  $a$  g ) を秤量瓶にはかりとり、これをなるべく少量の水で蒸発皿又ははるつぼに洗い入れ、ウォーターバス上で蒸発乾固する。
- ② これを105～110℃で2時間加熱乾燥の後、デシケーター中で室温まで放冷した後、質量をはかり、この質量と蒸発皿の質量の差 (  $b$  g ) を求め、次式によって、試料中の蒸発残留物 ( 固形分 ) 及び含水率 ( 水分 ) の百分率を算出する。
- $$\text{蒸発残留物 ( 固形分 ) (\%)} = \frac{b}{a} \times 100$$
- $$\text{含水率 ( 水分 ) (\%)} = 100 - \text{固形分 (\%)}$$

出典：下水試験方法 上巻 2012年版 (公益社団法人 日本下水道協会) <sup>14)</sup>

(ii) 含水率推定結果

(a) 刈草

a) サンプル含水率測定

含水率測定結果を表 3.2-10、表 3.2-11 に示す。

- 重量測定最終日に含水率測定用試料をサンプル採取し、含水率を測定した。刈草は、試料毎に表面、中段、底部から含水率測定用の試料を採取し、測定した。
- 同じ草種を比較すると屋内の方が含水率は低い。
- B-I を除き、表面から順に含水率は高くなる。
- 採取した3箇所での平均値では、屋内、屋外ともに、刈草Aよりも刈草Bの方が含水率は低い。
- 表面は乾燥が進んでおり、B-II を除き中段部と下段部の含水率の差が少ない。

表 3.2-10 含水率測定結果の概要 (刈草)

(単位：%)

	屋外		屋内		全平均	屋外平均	屋内平均
	A-I	B-I	A-II	B-II			
表面	6.8	9.6	8.2	9.6	8.6	8.2	8.9
中段	50.9	41.2	47.8	14.4	38.6	46.1	31.1
底部	59.6	39.7	51.3	35.3	46.5	49.6	43.3
平均	39.1	30.2	35.8	19.8	31.2	34.6	27.8

表 3.2-11 含水率測定結果 (刈草)

刈草		乾燥前(g)	乾燥後(g)	含水率(%)	
屋内	A-I	表面	45.07	42.02	6.8
		中段	174.08	85.41	50.9
		底部	120.29	48.65	59.6
	B-I	表面	67.54	61.03	9.6
		中段	102.56	60.29	41.2
		底部	112.60	67.95	39.7
屋外	A-II	表面	60.44	55.50	8.2
		中段	103.28	53.91	47.8
		底部	78.11	38.02	51.3
	B-II	表面	40.93	36.99	9.6
		中段	62.98	53.89	14.4
		底部	95.24	61.65	35.3

b) 保管期間中の含水率の推移

- 保管期間中の含水率の推移を重量及び含水率の測定結果から推定した結果を表 3.2-12、表 3.2-13、図 3.2-22 に示す。

表 3.2-12 保管期間中の含水率の推移 (刈草)

(単位：%)

刈草	屋外		屋内		全平均	屋外平均	屋内平均
	A-I	B-I	A-II	B-II			
測定開始日	57.6	58.7	70.3	62.4	62.3	58.2	66.4
測定終了日	39.1	30.2	35.8	19.8	31.2	34.6	27.8
減少	18.5	28.6	34.6	42.6	31.1	23.6	38.6

※測定終了日は、表 3.2-10 の平均値とした。測定開始日は推定した結果である。

表 3.2-13 重量測定期間中の含水率の変化

No	日付	重量割合				含水率(100%換算)			
		屋外		屋内		屋外		屋内	
		A-I	B-I	A-II	B-II	A-I	B-I	A-II	B-II
1	2012/11/7 (水)	100	100	100	100	57.6	58.7	70.3	62.4
2	2012/11/9 (金)	95	94	94	92	55.5	56.2	68.4	59.2
3	2012/11/12 (月)	90	86	84	80	53.0	52.2	64.8	52.8
4	2012/11/14 (水)	87	80	78	74	51.4	48.2	61.9	49.1
5	2012/11/16 (金)	84	77	75	73	49.3	46.8	60.5	48.4
6	2012/11/19 (月)	80	75	72	69	47.3	44.7	58.6	45.6
7	2012/11/26 (月)	76	71	67	64	44.5	42.0	55.4	41.1
8	2012/12/3 (月)	75	69	63	60	43.3	40.3	52.8	37.5
9	2012/12/17 (月)	71	65	57	55	40.2	36.9	48.2	31.8
10	2012/12/28 (金)	69	63	54	52	38.3	34.9	44.9	28.1
11	2013/1/11 (金)	73	62	51	50	42.1	33.9	41.6	24.8
12	2013/1/25 (金)	73	61	49	48	41.6	32.1	38.9	22.5
13	2013/2/8 (金)	70	59	46	47	39.1	30.2	35.8	19.8

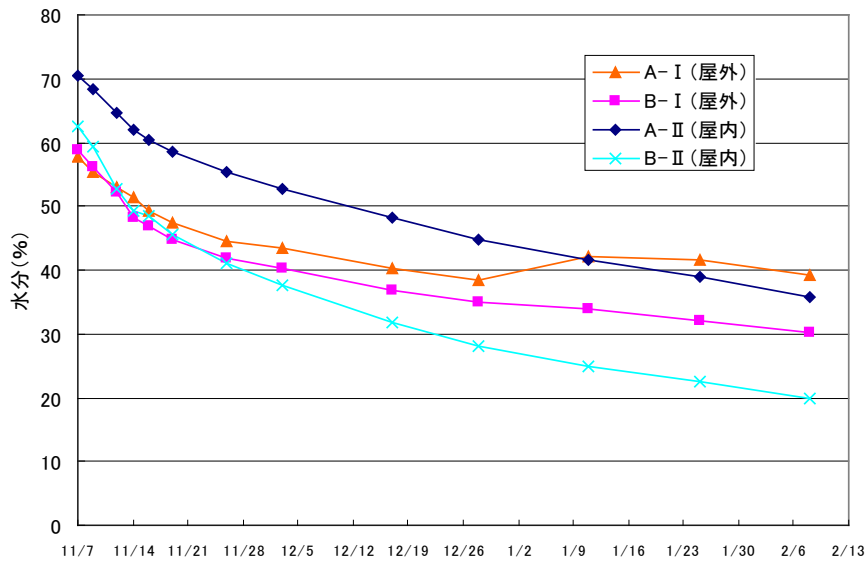


図 3.2-22 含水率の推移 (刈草)

(b) 剪定枝

a) サンプル含水率測定

含水率測定結果を表 3.2-14、表 3.2-15 に示す。

- ・ 重量測定最終日に含水率測定用試料をサンプル採取し、含水率を測定した。
- ・ 含水率測定用試料は、枝の太さが偏らないよう採取した。
- ・ 3 試料の平均値では屋内保管は、屋外保管に比べ 12%低い。
- ・ 樹種別にみると屋外、屋内ともイチヨウの方がそれぞれ 3%、9%高い。
- ・ 屋内保管は、高温低湿の環境にあることから、屋外保管に比べ含水率は 12%低い。また、樹種別にみると、屋外、屋内ともイチヨウの方がそれぞれ 9%、14%高い。

表 3.2-14 含水率測定結果の概要 (剪定枝)

(単位：%)

剪定枝	屋外		屋内		全平均	屋外平均	屋内平均
	C-I イチヨウ	D-I ブラタナス	C-II イチヨウ	D-II ブラタナス			
含水率	27.4	24.1	18.4	9.9	19.9	25.7	14.2

表 3.2-15 含水率測定結果 (剪定枝)

剪定枝		乾燥前(g)	乾燥後(g)	含水率(%)
屋外	イチヨウ C-I	265.57	192.78	27.4
	ブラタナス D-I	362.54	275.27	24.1
屋内	イチヨウ C-II	245.75	200.57	18.4
	ブラタナス D-II	313.03	281.95	9.9

b) 保管期間中の含水率の推移

- ・ 保管期間中の含水率の推移を重量及び含水率の測定結果から推定した結果を表 3.2-16、表 3.2-17、図 3.2-23 に示す。

表 3.2-16 保管期間中の含水率の推移 (剪定枝)

(単位：%)

刈草	屋外		屋内		全平均	屋外平均	屋内平均
	C-I イチヨウ	D-I ブラタナス	C-II イチヨウ	D-II ブラタナス			
測定開始日	38.1	38.7	41.8	41.5	39.5	38.4	41.7
測定終了日	27.4	24.1	18.4	9.9	19.9	25.7	14.2
減少	10.6	14.7	23.4	31.6	19.6	12.7	27.5

※測定終了日は、表 3.2-14 の測定結果である。測定開始日は推定した結果である。



表 3.2-17 重量測定期間中の含水率の変化

No	日付	重量割合				含水率(100%換算)			
		屋外		屋内		屋外		屋内	
		C-I	D-I	C-II	D-II	C-I	D-I	C-II	D-II
1	2012/11/15 (木)	100	100	100	100	38.1	38.7	41.8	41.5
2	2012/11/22 (木)	98	96	94	92	36.6	36.5	38.2	36.8
3	2012/11/29 (木)	96	94	90	87	35.7	35.1	35.6	32.8
4	2012/12/6 (木)	95	93	87	82	35.0	34.3	33.3	29.0
5	2012/12/13 (木)	94	91	84	78	33.8	32.3	31.0	24.9
6	2012/12/20 (木)	92	89	82	75	32.9	31.2	29.1	21.7
7	2012/12/27 (木)	91	88	80	72	32.2	30.2	27.3	18.9
8	2013/1/4 (金)	90	87	78	70	31.4	29.2	25.6	16.9
9	2013/1/10 (木)	90	86	77	69	30.8	28.4	24.2	15.3
10	2013/1/24 (木)	88	83	74	67	29.6	26.6	21.3	12.6
11	2013/2/7 (木)	85	81	71	65	27.4	24.1	18.4	9.9

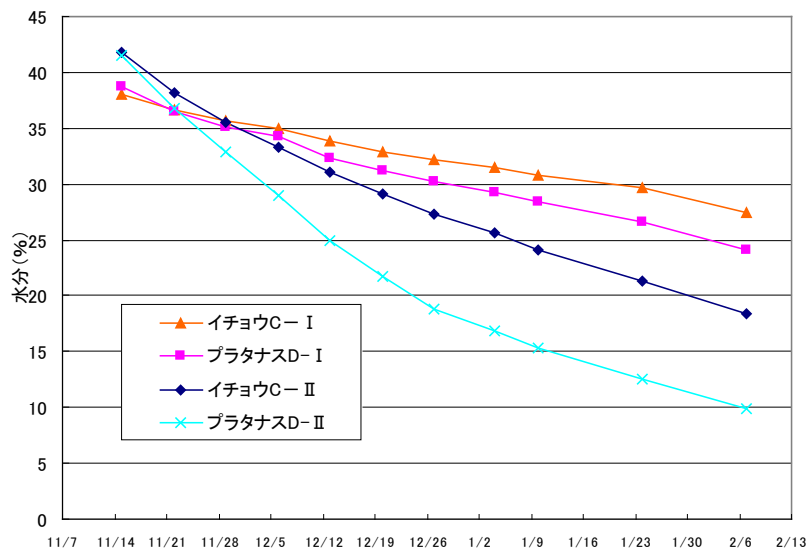


図 3.2-23 含水率の推移 (剪定枝)



(c) 剪定枝チップ

a) サンプル含水率測定

含水率測定結果を表 3.2-18、表 3.2-19 に示す。

- ・ 重量測定最終日に含水率測定用試料をサンプル採取し、含水率を測定した。
- ・ 2 試料の平均値では屋内保管は、屋外保管に比べ 9 % 低い。
- ・ 樹種別にみると屋外、屋内ともイチヨウの方がそれぞれ 15%、7 % 高い。
- ・ 概ね表面の含水率が低い、イチヨウ E-I については他の試料に比べ含水率が高い結果となった。要因を断定することは難しいが、ビニールハウス内の結露水が含まれた可能性は考えられる。

表 3.2-18 含水率測定結果の概要 (剪定枝チップ)

(単位：%)

剪定枝	屋外		屋内		全平均	屋外平均	屋内平均
	E-I イチヨウ	F-I プラタナス	E-II イチヨウ	F-II プラタナス			
表面	42.9	19.9	12.9	12.8	22.1	31.4	12.9
中段	49.2	38.4	44.5	35.1	41.8	43.8	39.8
底部	51.3	40.5	45.9	35.0	43.2	45.9	40.4
平均	47.8	32.9	34.4	27.6	35.7	40.4	31.0

表 3.2-19 含水率測定結果 (剪定枝チップ)

刈草		乾燥前(g)	乾燥後(g)	含水率(%)	
屋外	イチヨウ E-I	表面	234.23	133.81	42.9
		中段	268.26	136.36	49.2
		底部	340.76	166.05	51.3
	プラタナス F-I	表面	235.40	188.47	19.9
		中段	269.47	166.11	38.4
		底部	275.42	163.77	40.5
屋内	イチヨウ E-II	表面	203.89	177.64	12.9
		中段	325.27	180.50	44.5
		底部	363.50	196.56	45.9
	プラタナス F-II	表面	264.61	230.63	12.8
		中段	274.00	177.71	35.1
		底部	280.67	182.54	35.0

b) 保管期間中の含水率の推移

- ・ 保管期間中の含水率の推移を重量及び含水率の測定結果から推定した結果を表 3.2-20、表 3.2-21、図 3.2-24 に示す。

表 3.2-20 保管期間中の含水率の推移 (剪定枝チップ)

(単位：%)

刈草	屋外		屋内		全平均	屋外平均	屋内平均
	E-I イチヨウ	F-I プラタナス	E-II イチヨウ	F-II プラタナス			
測定開始日	57.0	45.0	57.1	48.0	51.5	51.0	52.5
測定終了日	47.8	32.9	34.4	27.6	35.7	40.4	31.0
減少	9.3	12.0	22.6	20.4	15.8	10.6	21.5

※測定終了日は、表 3.2-18 の平均値とした。測定開始日は推定した結果である。

表 3.2-21 重量測定期間中の含水率の変化

No	日付	重量割合				含水率(100%換算)			
		E-I	F-I	E-II	F-II	E-I	F-I	E-II	F-II
1	2012/11/15 (木)	100	100	100	100	57.0	45.0	57.1	48.0
2	2012/11/22 (木)	96	93	91	92	55.2	40.8	52.9	43.3
3	2012/11/29 (木)	93	91	85	88	53.9	39.4	49.6	40.8
4	2012/12/6 (木)	92	90	81	85	53.2	38.8	47.2	38.8
5	2012/12/13 (木)	90	88	78	82	52.4	37.8	44.9	37.0
6	2012/12/20 (木)	89	87	75	80	51.7	37.1	43.1	35.4
7	2012/12/27 (木)	88	87	73	79	51.1	36.6	41.4	34.0
8	2013/1/4 (金)	87	86	72	77	50.6	36.2	40.0	32.7
9	2013/1/10 (木)	86	85	70	76	50.1	35.5	38.9	31.7
10	2013/1/24 (木)	84	84	68	74	49.1	34.3	36.7	29.6
11	2013/2/7 (木)	82	82	66	72	47.8	32.9	34.4	27.6

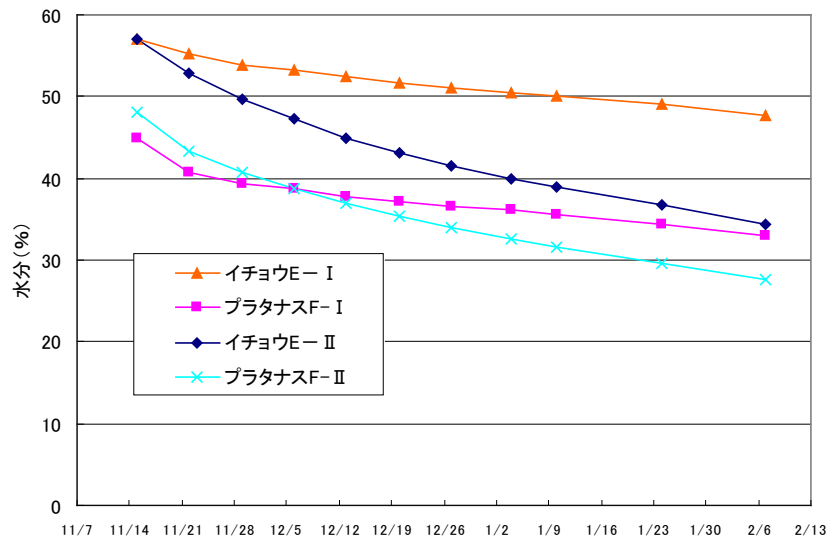
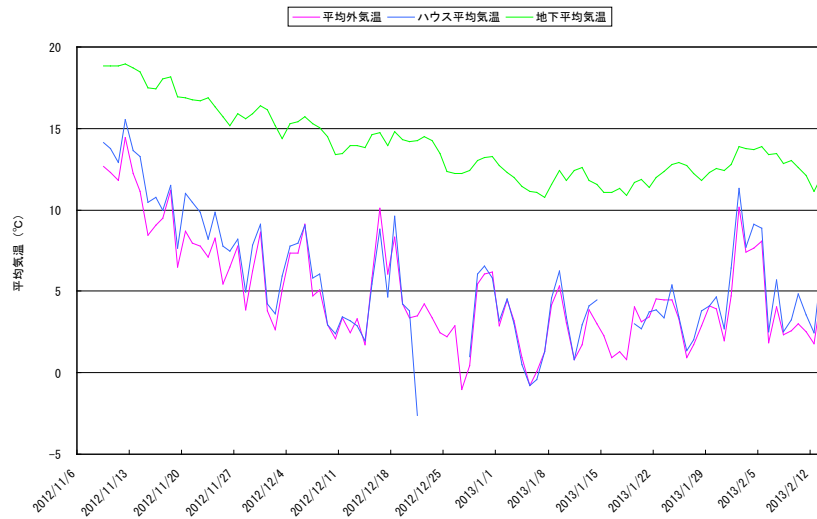


図 3.2-24 含水率の推移 (剪定枝チップ)

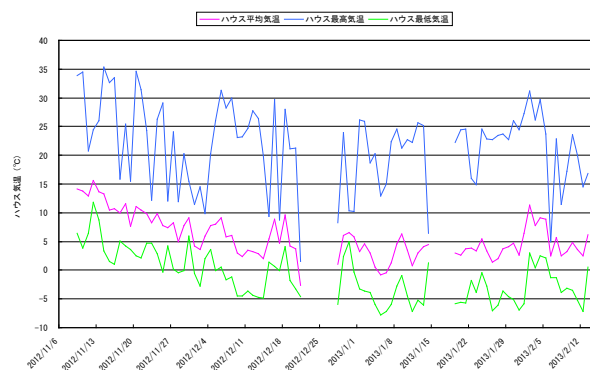
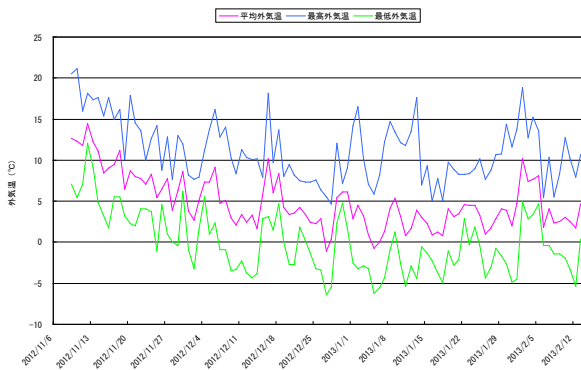
ii) 計測期間中の温度・湿度・天気

重量測定中において屋外、ハウス内、地下駐車場内に温湿度計を設置し、温度、湿度を測定した。測定結果を以下に示す。



※ハウス内：12/22～27 及び 1/15～18 は欠測

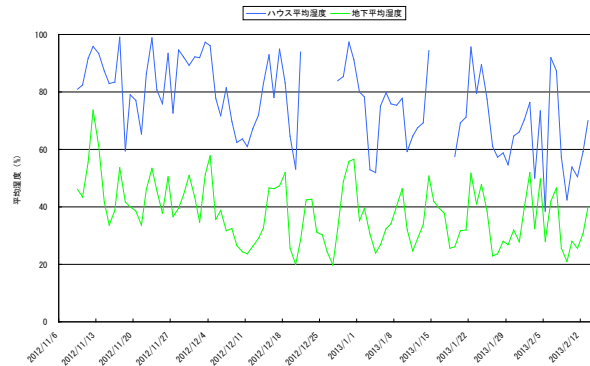
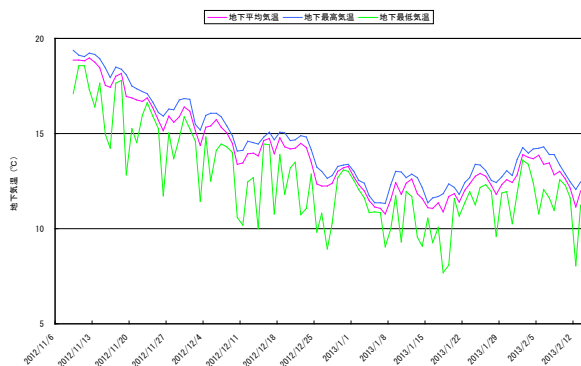
図 3.2-25 測定期間中の平均温度 (屋外・ハウス内・地下駐車場内)



※ハウス内：12/22～27 及び 1/15～18 は欠測

図 3.2-26 測定期間中の外気温 (平均・日最高・日最低)

図 3.2-27 測定期間中のハウス内温度 (平均・日最高・日最低)



※ハウス内：12/22～27 及び 1/15～18 は欠測

図 3.2-28 測定期間中の屋内駐車場内温度 (平均・日最高・日最低)

図 3.2-29 測定期間中の平均湿度 (ハウス内、地下駐車場内)

### 3.2.3 破碎

#### (1) 破碎等

##### 1) 破碎処理

大型ごみやコンクリートがら、廃タイヤなどの廃棄物や木質バイオマスをリサイクルに適したサイズに加工するプロセスで、破碎機が用いられる。

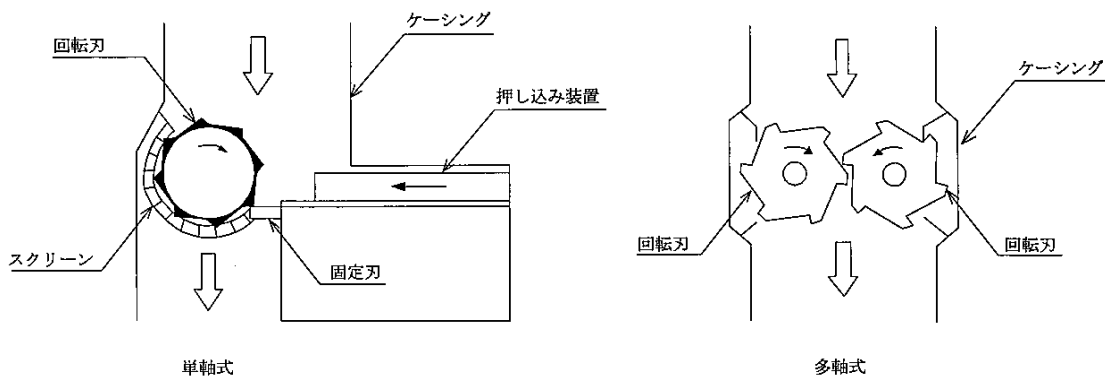
破碎処理の原理は、塊状固体に外力を加えて細かく砕くものであり、加える外力によって、「圧縮式破碎機」（押しつぶし作用）、「剪断式破碎機」（切断、引き裂き作用）、「衝撃式破碎機」（ハンマ等による衝撃作用）に区分することができる。

これらの選択は、処理対象物の種類と目的とする破碎寸法から決定されるが、木質系バイオマスを対象とした破碎機には、「剪断式破碎機」と「衝撃式破碎機」が採用されている。

##### (i) 剪断式破碎機

剪断式破碎機は、木材、伐根、丸太などの廃材や廃タイヤ、じゅうたんなど木質系や軟質系の廃棄物等の破碎処理として広く普及しているもので、回転するローターに取り付けられた切断刃が比較的低速に回転し、処理物を細かく破碎するものである。

回転する軸の数で単軸式（一軸式）と多軸式（二軸式、三軸式など）があり、また切断刃の型式としてディスク型とスクリー型がある。



出典：ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2006 改訂版（社団法人全国都市清掃会議）<sup>15)</sup>

図 3.2-30 剪断式破碎機のイメージ（例）

##### (ii) 衝撃式破碎機

衝撃式破碎機は、高速回転するローター（回転体）に取り付けられたハンマが処理物と衝突することによる衝撃力で細かく破碎するものである。

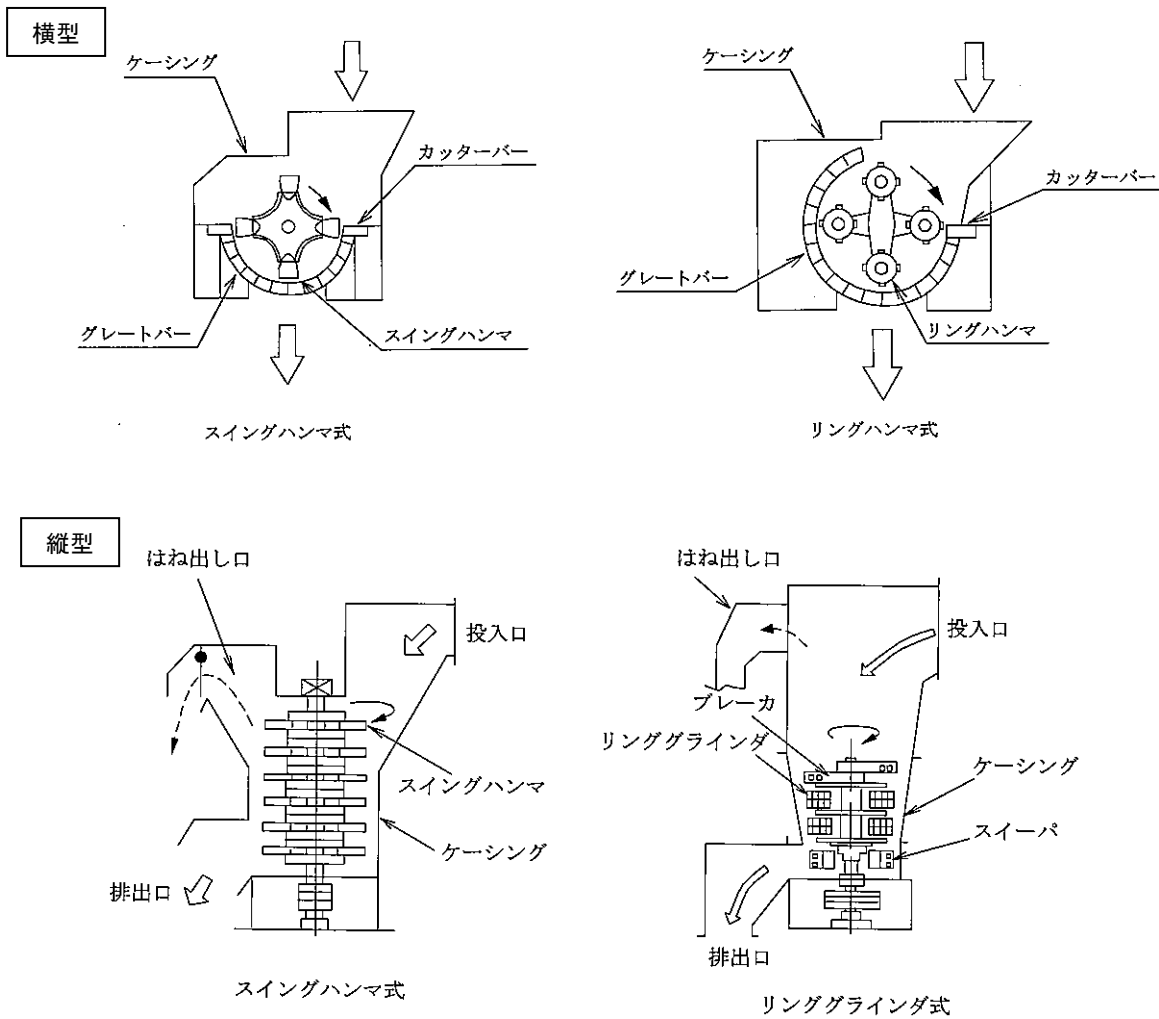
ローターの軸の方向により横型と縦型とに区分され、またハンマの種類にリングハンマとスイングハンマがある。これらを組み合わせて横型リングハンマ式破碎機、横型スイングハンマ式破碎機、縦型リングハンマ式破碎機、縦型スイングハンマ式破碎機の4種類に分類できる。

なお、このように高速回転するハンマによる衝撃作用による破碎機を粉碎機と呼ぶことがある。

##### 2) 切削処理

原木等を粒径が細かく一様なサイズに加工するプロセスで、切削機が用いられる。切削機にはディスク型とドラム型がある。ディスク型は刃のついた回転円盤に原木等を押当てて切削する技術である。原木等が一様に刃にあたるので切削サイズが安定し、刃数やディスクの回転数を変えることで切削サイズも調整できる。一方、ドラム型はドラムの慣性力を利用する技術である。

大型化すれば効率は上がるが、刃が原木等にあたるまでの時間差で切削サイズにばらつきが生じる場合がある。



出典：ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2006 改訂版（社団法人全国都市清掃会議）<sup>15)</sup>

図 3.2-31 衝撃式破砕機のイメージ (例)

## (2) チップ化

チップ化は木材や木質バイオマス（林地残材、製材所発生廃材、建設系解体材等）を機械的に細かく木片にする技術である。製造される木材チップは、その製造方法と形状から「破砕チップ」と「切削チップ」に分けられる。

破砕チップは、建築解体材や木製梱包資材、廃パレット等廃木材を原料として、前述 1) 破砕処理に記載した破砕機を使用して製造されるチップである。一方、切削チップは、原木や製材背材等を原料に刃物で切削加工して製造するチップで、前述 2) 切削処理に記載した切削機が用いられる。

チップは、利用用途によって使用されるチップの種類や要求される品質が異なる。例えば、製紙用には切削チップが使用されるほか、板紙用では破砕チップも使用される。また、木質ボード用には切削チップとともに破砕チップも多く使用されている。燃料用チップには主として破砕チップが使用されるが、小規模施設においてはサイロでのブリッジ防止等のため、粒径が細かく揃っている切削チップが適している。現在、小型の切削型チップパーは輸入代理店も増えてきており、数は少ないが国内メーカーもある。また、燃料用チップは、他の用途に使用されるチップに比べると品質への要求は緩やかである。ただし、CCA処理木材、金属類、プラスチック類、土砂類は含まないよう事前に選別が必要である。

破砕チップを製造する破砕機の原理は前述したように、剪断式と衝撃式がある。切削チップを製造する切削機（チップパー）には、チップ工場に設置する定置型と、車両に積み込んで現場にてチップ化を行う移動式がある。また移動式でも小口径の木材等を処理する小型チップパーがある。いずれもローター（回転体）に取り付けられたナイフやディスク状のカッターが高速回転し、木材等を切削していくものである。

### 1) フロー

対象とする原料は剪定枝である。概略製造フローを図 3.2-32 に示す。

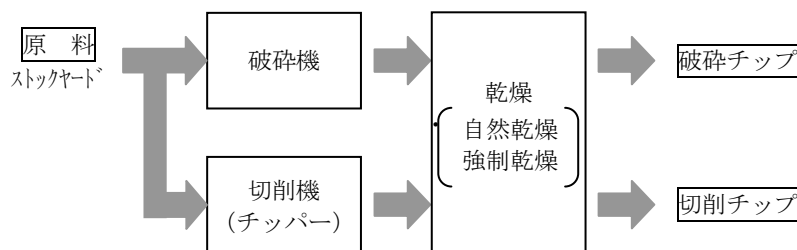


図 3.2-32 チップ製造の概略フロー

### 2) 概要

チップ化は木材や木質バイオマス（林地残材、製材所発生廃材、建設系解体材等）を機械的に細かく木片にする技術である。製造される木材チップは、その製造方法と形状から「破砕チップ」と「切削チップ」に分けられる。

破砕チップと切削チップの違いを表 3.2-22 に示す。

表 3.2-22 破碎チップと切削チップの比較

	破碎チップ	切削チップ
形態	 細長い繊維状	 薄い方形状
製造方式	【ハンマーミル方式】 ハンマーの打撃による衝撃力で破碎する。  【カッターミル方式】 固定刃と回転刃によるせん断力で破碎する。	【ドラムチッパー方式】 横から入ってくる材をドラムに取り付けられた刃で連続的に切断する。  【ディスクチッパー方式】 回転盤に取り付けられた刃で材を削り取っていく。
機械耐久性	特にハンマータイプは異物に強い。	カッターによる切削では、石などの異物により刃こぼれが生じるので、異物を取り除くことが望ましい。刃を研ぐことで能力を維持することができる。
主な用途	堆肥原料、マルチング材、吹きつけ材	製紙パルプ用原料
取扱いの容易性	燃料貯留槽でブリッジになったり、供給装置で詰まったりしやすく、トラブルの原因になりやすい。	破碎チップに比較して、取扱いが比較的に容易である。

### 3) 特徴

チップの特徴を表 3.2-23 に示す。

表 3.2-23 チップの特徴

成分組成	木材(樹皮なし)の平均的な組成は、炭素 48~52%、水素 5.8~6.5%、酸素 38~42%、窒素及び灰分 0.5~2%である。
含水率	乾燥程度(湿量基準の含水率)で4区分されているが、含水率が55%を超えるとエネルギー回収は難しい。
発熱量	全乾木材の高位発熱量は 20MJ/dry-kg 程度、全乾木材の水素含有量が6%、と仮定すると、全乾木材の低位発熱量は高位発熱量より 1.4MJ/dry-kg <sup>※</sup> 程度低くなる。 使用時低位発熱量: $LHV_w [MJ/kg] = (HHV_d - 2.512 \times (9hd + Wd)) / (1 + Wd)$ ここで、HHV <sub>d</sub> : 高位発熱量(無水時) [MJ/kg]、hd: 水素量(全乾時) [kg/kg]、 Wd: 含水率(乾量基準; 質量分率) [kg/kg] (改訂4版木材工業ハンドブック <sup>3)</sup> , 17章, p1037を一部引用)

### 4) 準拠基準等

現在、統一的な品質基準が、木材チップは全国木材チップ工業連合会、リサイクルチップは特定非営利活動法人全国木材資源リサイクル協会連合会において定められている。

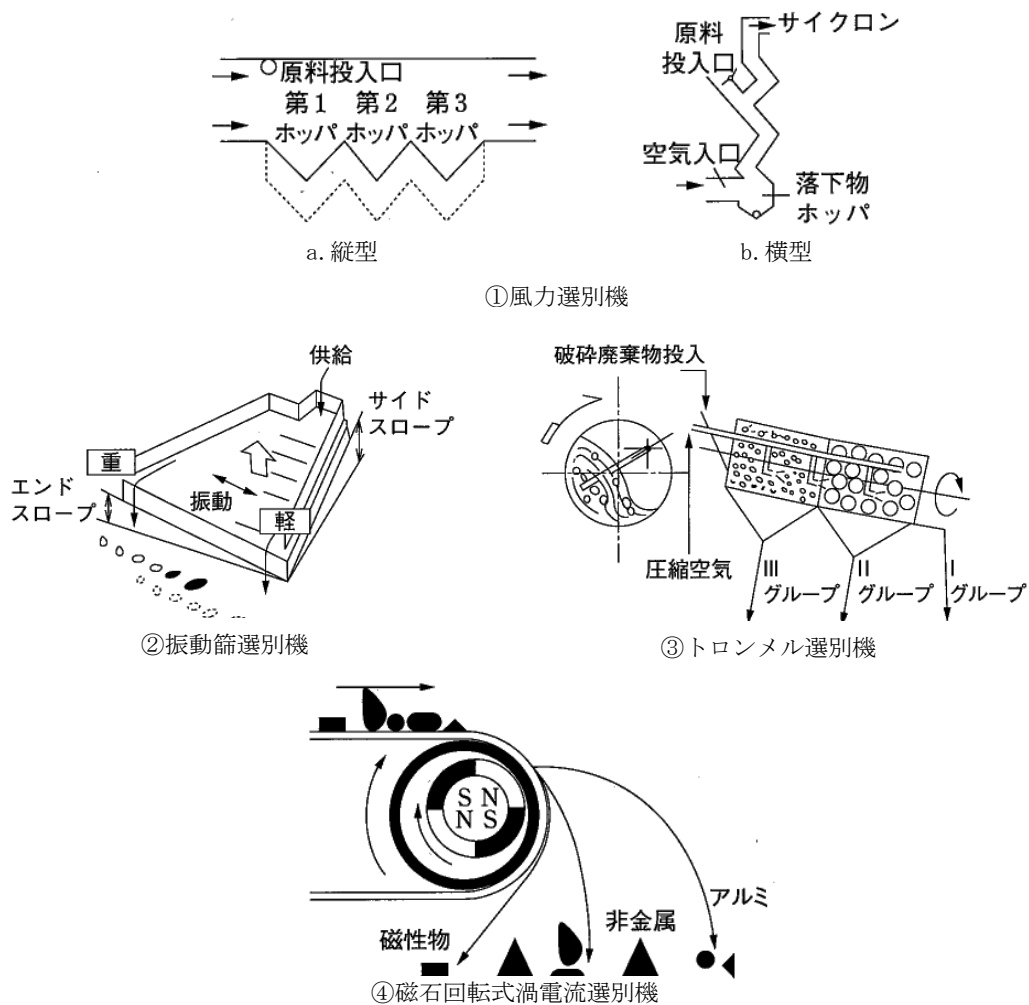
(前述 2.1.2(1)参照)

### 3.2.4 選別

廃棄物系バイオマスの選別処理は、不燃物や有害物の除去だけでなく、燃料の信頼性や維持管理の容易性の向上を目的に行われる。選別処理技術は原料の選別プロセスにおける状態から湿式、半乾式、乾式に分類され、また分離の原理としては被破壊特性差、比重差、粒径差、磁気特性差、光学的特性差等があり、これらを単独もしくは組み合わせて使用される。

木質バイオマスでは、粒径制御、金属や土砂等の不純物の除去、ポリ塩化ビニル等の不適物の除去が主目的であり、乾式として風力選別機、ふるい選別機、トロンメル選別機、磁気選別機等が用いられる。

剪定枝をエネルギー原料として利用する場合、葉部は灰分が多くエネルギー化に適さないため、枝部と葉部を分ける作業も必要となる。現在、これらの作業は手作業であり、作業効率化のためにも技術開発が待たれるところである。



出典：H17年度産廃処理業の許可申請講習会テキスト，第9章中間処理  
(財)日本産業廃棄物処理振興センター，2005)<sup>16)</sup>，pp. 65-68，pp. 74-75，p. 96

図 3.2-33 選別機のイメージ (例)



### 3.2.5 成型

#### (1) ペレット化

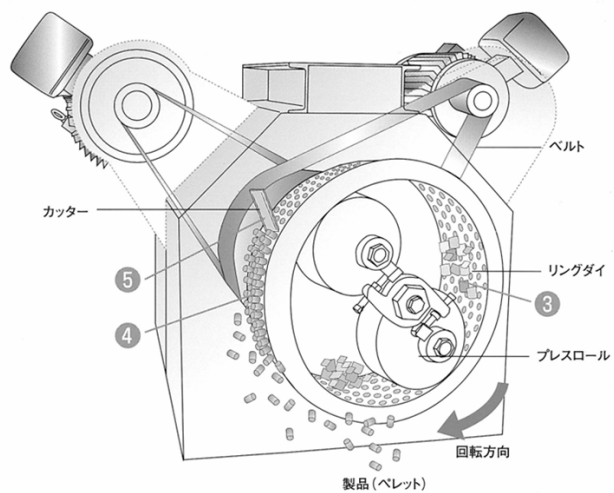
ペレット化は、丸太や樹皮、枝葉等の木質バイオマス为原料とし、これらの原料を細かい顆粒状まで粉砕し、それを乾燥・圧縮して円筒状に固める成形技術である。ペレットの大きさは製品の品質基準に定められており、長さ10mm～25mm、直径6mm～10mmのものが主流である。また、ペレットの特徴の一つに接着剤を必要としないことが挙げられる。これは、木材の組成要素の一つであるリグニンが、おが粉を加熱・圧縮するプロセスにおいて軟化し、接着剤としての役割を果たすからである。このため、ペレットの成分は、原料として利用した木質バイオマスの成分と同じで、不要な水分を除去して凝縮固化した分、熱量は原料の木質バイオマスより高くなる。

ペレット製造では、前処理として破砕、選別、乾燥、粉砕が行われる。成型はペレタイザーと呼ばれる設備で行われる。

ペレタイザーは、定量供給装置と原料の最終的な調湿を行うコンディショナ、成型工程部及びその駆動部からなる。投入された原料は、加熱・圧縮され、中～大規模設備ではローラーによりリングダイの穴から押し出されて直径が揃い、これをカットして一定の長さに調節される。なお、小規模設備の成型工程部はリングダイ方式ではなく、水平ディスク押し出し方式が採用されている。

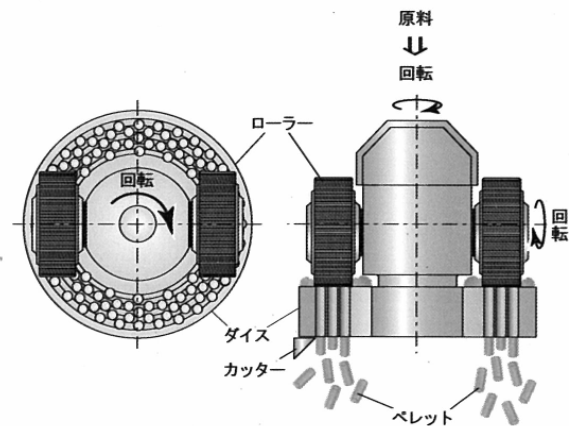
成型直後のペレットは高温・多湿でもろいため、形崩れする恐れがある。このため、特に製品販売する事業所では、強制通風により急速冷却する必要がある。ただし、小規模のもの、あるいは地産地消的にペレットを利用する場合は、冷却プロセスを省略している場合も多い。

冷却後のペレットは、振動ふるいや回転ふるい等を使用して、成型不良品を除去する。ここで除去された成型不良品は改めて成型プロセスにもどされることもあるが、乾燥プロセスの熱源として利用されるものもある。



出典：(株)御池鐵工所ホームページ<sup>17)</sup>

図 3.2-34 リングダイ式成型プロセスの概要



出典：(株)アースエンジニアリングパンフレット<sup>18)</sup>

図 3.2-35 水平押し出し方式成型プロセスの概要

#### 1) フロー

対象とする原料は剪定枝、刈草である。概略製造フローを図 3.2-36 に示す。小規模施設の場合や、ペレットを地産地消的に利用する場合、冷却機や選別機を省略する場合もある。

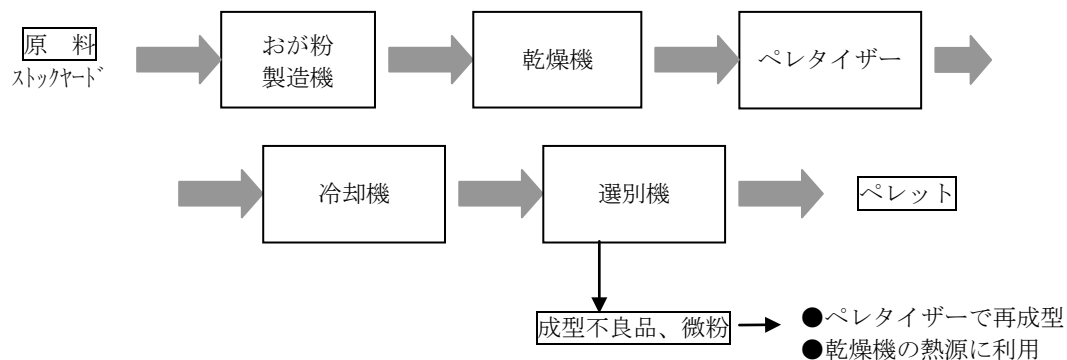


図 3.2-36 ペレット製造の概略フロー

## 2) 概要

丸太や樹皮、枝葉等の木質バイオマス为原料とし、これらの原料を細かい顆粒状まで粉碎し、それを乾燥・圧縮して棒状に固める成形技術である。冷却後、製品化の最終プロセスとして選別が行われるが、ここで撥ねられた成型不良品や微粉は、改めて成型プロセスに戻されるか、乾燥プロセスの熱源として利用される。

## 3) 特徴

ペレットの大きさは製品の品質基準に定められており、長さ10～25mm、直径6～10mmのものが主流である。また、ペレットの特徴の一つに、リグニンの効果により接着剤を必要としないことが挙げられる。



図 3.2-37 木質ペレット（ホワイト）

表 3.2-24 木質ペレットの特徴

成分組成	原料と同様の組成。
含水率	品質基準に定められており、製品の含水率は10%以下に抑えられている。
発熱量	品質基準で定められているが、一般的には、かさ密度 650kg/m <sup>3</sup> 、低位発熱量は 17.6～19.4MJ/kg（湿量基準）程度である。

出典：バイオマスハンドブック第2版（一般社団法人日本エネルギー学会編，㈱オーム社発行，2009）<sup>19)</sup>p149をもとに作成

## 4) 準拠基準等

ペレットには、一般社団法人日本木質ペレット協会の品質基準がある。前述 2.1.2(2) 参照

## (2) R D F 化

Refuse Derived Fuel の略語、直訳するとごみ固形化燃料である。家庭から排出される生ごみや廃プラスチック、木くず、紙くず等の可燃ごみを細かく砕き、乾燥・加工し、固形燃料化する技術である。R D F の大きさは、標準仕様書 (TS-Z0011 ; 日本工業標準調査会) で定められており、長さは 10mm~100mm、直径 10mm~50mm である。

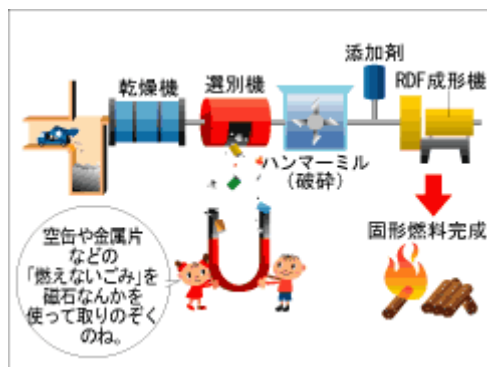
主な特徴として以下があり、現在、熱供給や発電用の燃料として用いられている。

- ・ 粒度や比重が均一となり、安定した性状である。
- ・ 熱量の変動も少なく燃焼制御が容易で、エネルギーの有効利用を図ることができる。
- ・ 燃焼温度が高温になるので、ダイオキシンの発生を抑制できる。
- ・ 乾燥・圧縮・固化しているので輸送効率が高く、貯蔵にも適している。
- ・ 製造して R D F を一箇所に集めて、大規模熱供給・発電事業が展開できる。

R D F 製造の標準的な製造工程は、破碎→選別→乾燥→安定剤添加→形成であるが、破碎から安定剤添加までのプロセスは、プラントメーカーそれぞれのノウハウにより順序が前後する場合もあり、破碎と選別は一次と二次に細分化される場合もある。

安定剤としては消石灰が添加され、腐敗の原因となる微生物の殺菌、塩化ビニルが混入している場合の燃焼時に発生する塩化水素の中和、廃プラスチック等の形成しにくい原料のつなぎ等の役割を果たす。

なお、国土交通省中国地方整備局中国技術事務所において、平成 13 年度より、刈草のリサイクルを目的に官民共同で「刈草 R D F 製造車」「刈草 R D F 炭化物製造車」の開発に着手し、これに成功したが、実用化までには至っていない。(表 2.2.5 No.6 参照)



出典：一般社団法人新エネルギー財団ホームページ<sup>20)</sup>  
[http://www.nef.or.jp/enepolicy/sub03\\_03.html](http://www.nef.or.jp/enepolicy/sub03_03.html) (H25.1 参照)

図 3.2-38 R D F 製造のイメージ



図 3.2-39 刈草 R D F  
(国土交通省中国地方整備局  
中国技術事務所提供)

### 3.2.6 炭化

#### (1) 炭化

木材等のバイオマス（酸素）の供給を遮断または制限して、約 400℃～600℃に加熱し、気体（木材が原料の場合；木ガス）、液体（酢液、タール）、固体（炭）の生成物を得る技術である。炭の製造を主目的とする技術を「製炭」、気体や液体の回収・利用を主目的にする技術を「乾留」といい、両方合わせて炭化と呼ぶが、最終的に炭の生成につながる「製炭」を炭化と呼ぶことが多い。

炭化は、燃焼とならんで最も古典的なバイオマスのエネルギー転換技術の一つであるが、設備が安価で運転操作が容易という利点を有し、炭の製造方法としてだけではなく、例えば下水汚泥や都市ごみ、刈草等の低質バイオマスの簡便な減容化手段としても有効で、さらに有機炭素のかなりの割合を炭として安定に固定化することができるので温暖化対策にも貢献できる技術として注目されている。

現在実働している炭化装置（炉）は、従来からの炭窯と称される小型回分式から、大規模連続式まで多種多様であり、運転方式、炉の形式や形状等で分類すると表 3.2-25 になる。

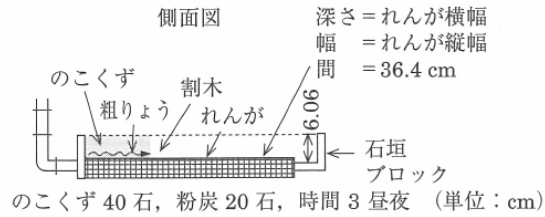
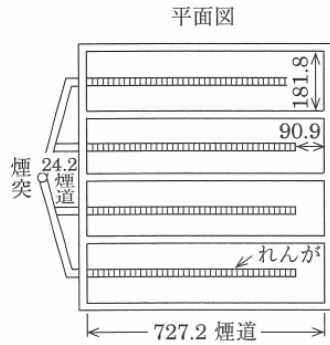
様々なバイオマスに適用が可能であり、炉の形式によって、前処理方法も異なってくる。

公園での設置においては、連続式が産業用（大規模向け）に開発されたことから、回分式が現実的と思われる。

表 3.2-25 炭化炉の概要

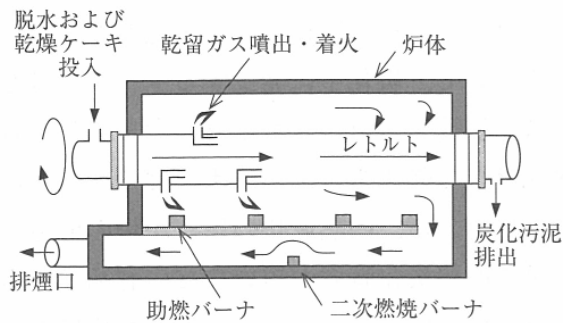
炉の運転方式・形状など		特徴	
回分式	開放型	簡易式	最も簡単な炭焼法で、築がまをしない。
		平炉式	国内で開発された伏焼法の進化型（図 3.2-40 参照）。
	密閉型	炭窯式	昔ながらの炭焼がま、鋼板製や移動型もある。
		トロリー式	炭材と製品の移動が容易。炉の熱効率がよく、工場生産に適する。オガライトの炭化等に使用。
		攪拌式	近年普及しつつあるが、熱効率は良くない。主に、外熱式であるが、内熱併用型もある。高水分の炭材に使用。
連続式	回転型	ロータリー式	外熱式が多いが内熱式もあり、内熱式の操作は向流、並流の両方で行われる。熱効率は高い（図 3.2-41 参照）。
		反復揺動式	炉の胴体が一定周期、角度で反復揺動する。基本的にはロータリー内熱式であるが、駆動系が複雑で高価。
	縦型	流動床式	おがくずの内熱炭化で、安定な炭化状態を連続維持できる。炉頂部から噴出した炭はサイクロンで捕集する（図 3.2-42 参照）
		多段攪拌式	木材乾留用の一段攪拌式 SIFIC 炉、ランビオット炉の不均一炭化を改善。比較的高水分の炭材処理が可能（図 3.2-43 参照）
	横型	攪拌式	基本的には内熱式であるが、送風を任意に設定でき、多様な炭材を処理できる。もみ殻の炭化に適用（図 3.2-44 参照）。
		スクリー式	回転部分が少ないので機密性が保持、均一炭化が可能。内熱式と外熱式があり、外熱式では酢液を回収（図 3.2-45 参照）。

出典：バイオマスハンドブック第2版（一般社団法人日本エネルギー学会編，㈱オーム社発行，2009）<sup>19)</sup>p124 をもとに作成



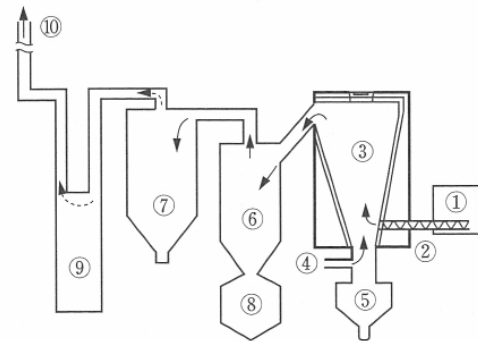
出典：炭(岸本定吉著, 創森社発行, 1998)<sup>21)</sup>, p. 201

図 3.2-40 平炉 (回分式・開放型)



出典：大同特殊鋼パンフレット<sup>22)</sup>

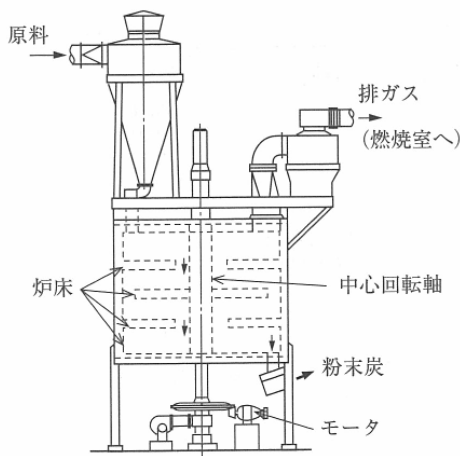
図 3.2-41 下水汚泥炭化用ロータリー炉 (連続式・回転型)



① 原料槽, ② スクリューフィーダ, ③ 流動炭化炉, ④ 流動化ガス取入れ口, ⑤ 異物受け, ⑥ 第一サイクロン, ⑦ 第二サイクロン, ⑧ 製品受け, ⑨ タール分離器, ⑩ 煙突

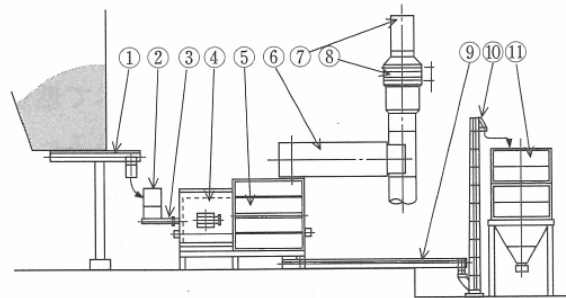
出典：木材工業ハンドブック改訂3版(丸善株)<sup>23)</sup>, p855

図 3.2-42 流動床炉(連続式・縦型)



出典：木材工業ハンドブック改訂3版(丸善株)<sup>23)</sup>, p855

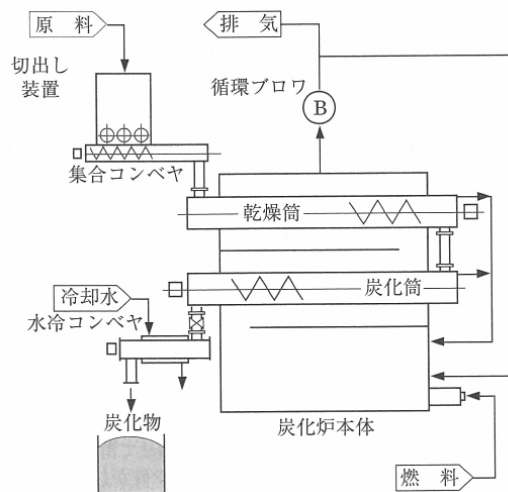
図 3.2-43 多段攪拌炉(連続式・縦型)



① チップ取出しスクリュー ⑦ 乾式集じん装置  
② チップ供給ホッパ ⑧ 煙突  
③ チップ供給スクリュー ⑨ 木炭チップ消火装置  
④ チップ着火室 (1) ⑩ 木炭チップ搬送バケットエレベータ  
⑤ チップ炭化室 (2) ⑪ 木炭チップ貯留槽  
⑥ ガス冷却装置

出典：関西産業パンフレット<sup>24)</sup>

図 3.2-44 攪拌炉 (連続式・横型)



出典：東海テクノパンフレット<sup>25)</sup>  
 図 3.2-45 スクリュー炉（連続式・横型）

### 1) フロー

対象とする原料は剪定枝、刈草である。概略の製造フローを図 3.2-46 に示す。

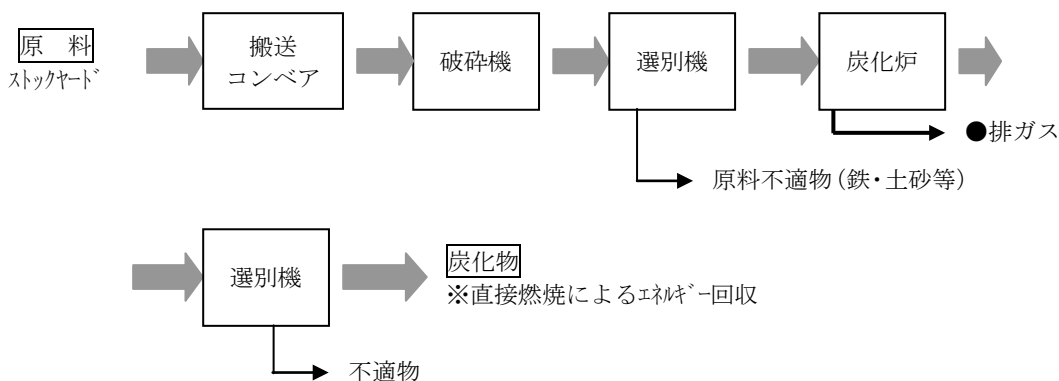


図 3.2-46 炭化の概略フロー

### 2) 概要

木材等のバイオマスを空気（酸素）の供給を遮断または制限して、約 400℃～600℃に加熱し、気体（木材が原料の場合；木ガス）、液体（酢液、タール）、固体（炭）の生成物を得る技術である。炭の製造を主目的とする技術を「製炭」、気体や液体の回収・利用を主目的にする技術を「乾留」といい、両方合わせて炭化と呼ぶが、最終的に炭の生成につながる「製炭」を炭化と呼ぶことが多い。最も古典的なバイオマスのエネルギー転換技術の一つ。実績は多い。

### 3) 特徴

生成物の収率や木ガスの組成、発熱量は、原料の種類や炭化温度によって異なる。

表 3.2-26 炭化の特徴

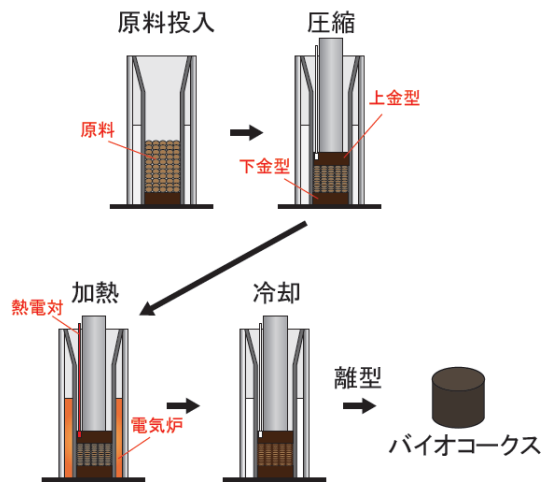
結果		樹種と温度			樹種と温度			
		広葉樹材			針葉樹材			
		300	400	500	300	400	500	
生成物量%	木炭	45.9	33.6	29.8	49.2	35.4	31.5	
	木酢液	24.7	23.8	30.2	24.0	26.7	27.7	
	木タール	16.8	21.1	21.3	14.4	21.4	22.8	
	木ガス	12.1	16.0	18.5	12.1	15.3	18.0	
	損失	0.5	0.5	0.2	0.3	1.2	0.0	
木炭組成 (%)								
C		73.5	83.4	90.5	74.3	84.2	90.4	
H		5.1	3.9	3.2	5.3	4.3	3.4	
木ガス	比重 (空気=1)	1.32	1.24	1.17	1.30	1.24	1.15	
	熱量 (LHV) [MJ/m <sup>3</sup> ]	5.59	9.06	11.37	6.01	9.06	11.93	
	組成 [vol%]	CO <sub>2</sub>	65.4	57.1	50.7	64.3	57.9	49.3
		CO	30.4	30.2	29.9	29.1	29.2	29.7
		CH <sub>4</sub>	1.6	8.4	14.6	3.6	9.3	15.7
		C <sub>n</sub> H <sub>n</sub>	1.5	2.5	2.2	1.0	1.9	2.1
H <sub>2</sub>		1.1	1.8	2.6	2.0	1.7	3.2	

出典：芝本，栗山：木材炭化（朝倉書店）<sup>26)</sup>，p34

## (2) バイオコークス

バイオコークスとは、含水率を調整したバイオマス原料を粉砕し、圧力を加えて固めた固形燃料であり、炭化ではなく固形化転換技術であるため、原材料から製造できる重量収率がほぼ100%である。

バイオコークスの製造工程の概念図を図 3.2-47 に示す。バイオコークスの単位重量あたり発熱量は木質系ペレットとほぼ同等の約 20MJ/kg であり、石炭コークス比で 60%~70%程度である。



(左：イタドリ、右：籾殻)

図 3.2-47 バイオコークスの製造工程の概要

図 3.2-48 バイオコークス

### 1) フロー

対象とする原料は剪定枝、刈草である。概略の製造フローを図 3.2-49 に示す。

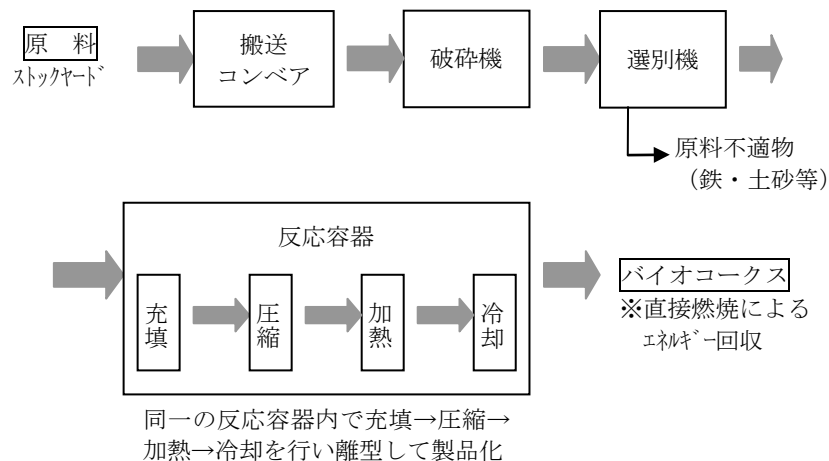


図 3.2-49 バイオコークス製造の概略フロー



## 2) 概要

含水率を調整したバイオマス原料を粉砕し、これを加圧・加熱して固形燃料を製造する技術である。炭化に分類しているが、炭化ではなく固形化転換技術であるため、原材料から製造できる重量収率がほぼ 100%である。原料も木本系・草本系バイオマスをはじめ、樹皮を含む製材工場残材、きのこ菌床、コーヒーかすやジュース搾りかす、食料品製造残さ、汚泥など、様々である。

## 3) 特徴

バイオコークスの長所として、原料を固形化転換するため燃料化による減量がほとんどない、高い硬度と大きい比重を持ち高温で安定した燃焼が期待できる、植物由来であればほとんどのものが原料として利用可能で資源量が拡大するなどが挙げられる。今後の開発課題として、製造能力がやや低く大量生産する場合にはイニシャルコストが嵩むことなどが挙げられる。

平成 24 年度から大阪府高槻市において実用化プラントが稼動。その他実証試験施設は複数ある。

## (3) トレファクション

木材工業 (vol. 67, No.12. 560-565 2012)<sup>27)</sup>によれば、トレファクションとは「低温炭化」「半炭化」と訳される。さらに、「国際エネルギー機関 (IEA) の Technology roadmap<sup>※)</sup> ではトレファクションを「無酸素雰囲気下、200~300℃で行う熱処理」と定義している。この温度領域での熱処理はこれまで主にマテリアル用途として用材やボード用チップに対して行われており、耐朽性、寸法安定性の向上、吸湿性の低下、油、アンモニア等の吸着性の向上等が報告され、熱処理木材等の実用化学品が流通している。トレファクションは燃料用途の熱処理を意味するようになり、ペレット化処理と組み合わせてエネルギー密度、エネルギー収率の向上、石炭との混焼率の向上を目指すところに特徴がある。通常はチップを熱処理後、再粉砕してペレットにする方法が採用されている。」<sup>27)</sup>とされている。

※[http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/2012\\_Bioenergy\\_Roadmap\\_2nd\\_Edition\\_WEB.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/2012_Bioenergy_Roadmap_2nd_Edition_WEB.pdf)

### 3.3 エネルギー転換技術

表 3.1-2 で整理したエネルギー利用技術について、特徴、概要、基準、システムフロー、基準等を整理する。

#### 3.3.1 直接燃焼（専焼）

##### (1) ボイラー（暖房利用・冷房利用）

###### 1) フロー

対象とする燃料はチップ、ペレット、薪である。概略フローを図 3.3-1 に示す。

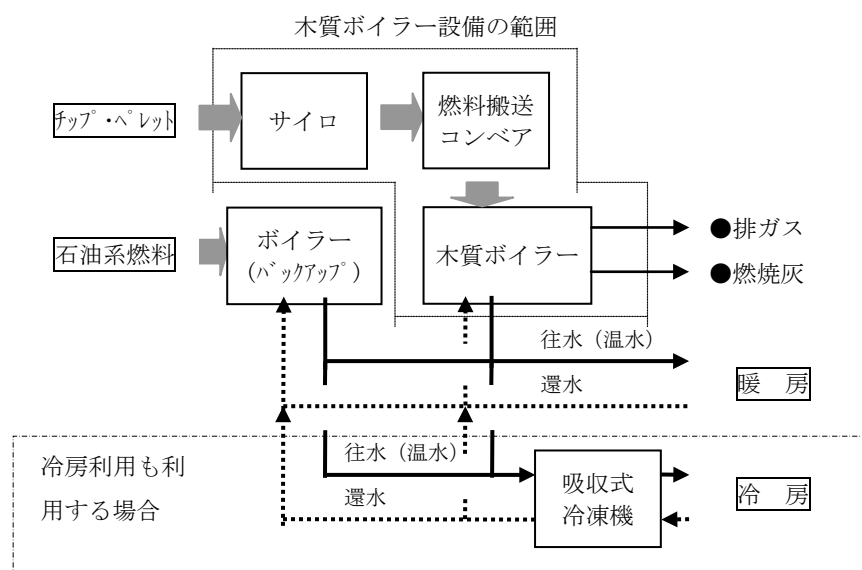


図 3.3-1 直接燃焼の概略フロー

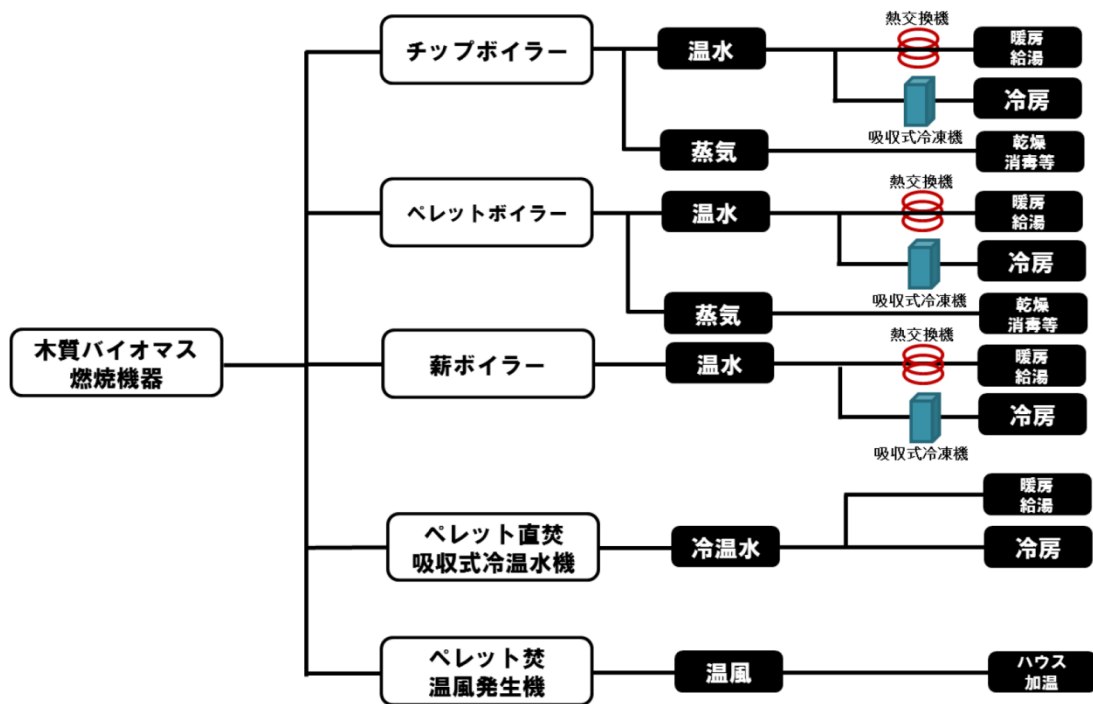
###### 2) 概要

木質バイオマスのエネルギー利用方法として最も普及している熱利用技術である。一般的に、エネルギー転換効率として、発電が30%程度、熱電併給が75%であるのに対し、ボイラーによる熱利用は80%以上と言われている。従来から製材業や木材加工業において、工場で発生する木くずのボイラー利用が行われていたが、近年小型木質ボイラーの開発が進み、チップやペレットを効率的に燃焼できるようになり、化石燃料の暖房機器と十分に張り合えるレベルに達した。

###### 3) 種類

木質バイオマスボイラーを大別すると使用する燃料の性状から、「チップボイラー」「ペレットボイラー」「薪ボイラー」の3つに分けられる。また、需要形態に応じて「温熱利用」「冷熱利用」があり、「温熱利用」についてはさらに「温水利用」と「蒸気利用」に区分される。

木質バイオマスボイラーの種類を図 3.3-2 に示す。



出典：木質バイオマスボイラー導入指針（平成 24 年 3 月、(株)森のエネルギー研究所）<sup>28)</sup>  
 図 3.3-2 木質バイオマスボイラーの種類

#### 4) 特徴

木質ボイラーを安定的に運転するためには、燃料の含水率は重要な要素で、チップボイラー、薪ボイラーともに湿量ベース含水率で 30%程度以下がよいとされる（メーカーヒアリング結果）。また、小型チップボイラーの場合、サイロでのブリッジ現象を防止する観点から、チップは粒径の揃った切削チップが適している。

ボイラーは、冷缶状態からの起動では着火から所定の出力が得られるまで数時間かかり、また完全停止にも数時間かかる。また、負荷変動に対する追従性も緩慢であるため、導入にあたっては下記について検討する必要がある。さらに、停電等の不慮の事故に備え、逆火防止機能についても検討する必要がある。

表 3.3-1 木質バイオマスボイラーの導入時の留意点

ボイラー選定	導入施設の熱負荷特性を踏まえ、負荷変動の影響を受けない出力レベルに設定する。
バックアップ機能	負荷変動に対する追従性が緩慢であるため、基本的にベース負荷対応が望ましい。したがって、ピーク時対応設備を考慮する必要があり、その一例に油焼きボイラーや貯湯槽の設置がある。

木質バイオマスボイラーの種類ごとに、利用可能な用途、本体の特徴及びユーティリティ設備等について表 3.3-2 に示す。

表 3.3-2 木質バイオマスボイラーの特徴

種類	温水	蒸気	温風	冷水	本体特徴	サイロ構造・燃料供給装置
チップ ボイラー	○	○	△	※	<p>乾燥チップのみ対応のボイラーと生チップも対応可能なボイラーで燃焼室の構造が異なる。生チップ対応のボイラーは、移動式ストーカ炉として、燃料を乾燥させながら燃焼させるため、構造が複雑かつ本体サイズが大きくなる。</p> <p>乾燥チップ対応機種はペレットと同様に固定床炉を採用しているものが多い。</p> <p>ボイラー本体の構造は切削チップと破砕チップによる違いはない。</p>	<p>&lt;燃料サイロ&gt; <b>切削チップ・破砕チップ</b> 屋内保管が必須であり地下式、半地下式、地上式と導入施設の地形や、チップの搬送車両に応じて選択する。</p> <p>&lt;燃料供給装置&gt; <b>切削チップ</b> ペレット同様スクリーコンベアを用いることが多い。多段階のスクリーを連結させると詰まる可能性が高くなる。</p> <p><b>破砕チップ</b> 切削チップに比べて詰まることが多いので、ベルトコンベアや油圧プッシャーを用いることが望ましい。</p>
ペレット ボイラー	○	○	○	※	<p>燃料の含水率、形状が一定であるため、燃焼室や燃料供給機構(スクリー)が簡素でコンパクト化されている。ガンタイプバーナー型と下込型の2種類の構造がある。</p>	<p>湿気や水滴から守られる構造になっている必要がある。FRPの飼料用サイロに保管されている例が多く見られるが、サイロ補給時に高所作業が発生し危険が伴う場合がある。</p> <p>燃料供給は、スクリーコンベアが用いられる。</p>
ペレット焚 吸収式冷 温水機	○	-	-	○	<p>基本的な構造は化石燃料の二重効用吸収冷温水機と同様であり、加熱源にペレットバーナーを用いている。温水投入の単効用吸収式冷凍機より効率が高い。</p>	同上
薪 ボイラー	○	-	-	※	<p>燃料タンクと燃焼室が一体になっている。固定床炉であり、薪は人力で投入する。ガス化燃焼を行ない、乾燥前の薪にも対応する機種もある。</p>	<p>バッチ式の投入となるため、薪の保管場所が必要。屋外でも問題はないが雨をしのげる屋根は必要となる。</p>

※温水対応吸収式冷凍機を使用すれば可能(温水入温度の確認を要する)

出典：木質バイオマスボイラー導入指針（平成24年3月、㈱森のエネルギー研究所）<sup>28)</sup>

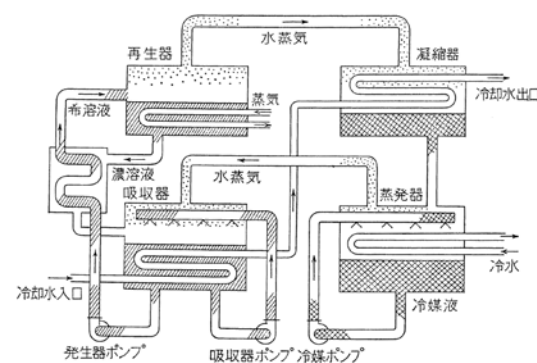
## 5) 冷房利用する場合の留意点

木質ボイラーからの温水で吸収式冷凍機を作動させ冷房を行う技術である。吸収式冷凍機へ供給する温水温度は約 90℃である。この温水供給温度が低下すると冷房能力は大幅に低下する。木質ボイラーは負荷変動に緩慢であるため、負荷追従性の良い油焚きボイラーを設置し、温水供給温度を設計値に維持させる必要がある。また、油焚きボイラーは冷房期の補助熱源という位置づけだけではなく、暖房期の補助熱源としての機能も有する必要がある。

### 【吸収式冷凍機の技術的特長】

【原理】蒸発器、吸収器、再生（発生）器、凝縮器から構成される。循環水には水と臭化リチウム（LiBr）の混合溶液を用いる。蒸発器内で冷水から熱を奪って水が蒸発し水蒸気になる。この水蒸気は吸収器に入り内部で LiBr の溶液に吸収される。水蒸気を吸収した希溶液はポンプにより熱交換器を経て再生（発生）器に入る。この中で蒸気により加熱され、希溶液中の水蒸気は追い出されて濃溶液となり、吸収器に戻る。追い出された水蒸気は低圧の凝縮器で凝縮し、水となって吸収器に戻る。

【特徴】長所として、駆動用の大型モーターが少なく運転時の騒音・振動が少ない、蒸気による搬送のため搬送動力が少ない、制御性が良く、運転費が安価、過負荷になっても事故につながらないなどが挙げられる。短所としては、設備寸法・重量が大きい（冷却塔等の付帯設備が必要）、東京以西では冷凍機のためのボイラー容量が暖房用の約 2 倍必要、冷却水温度が低くなりすぎた場合には結晶事故が発生しやすい、設備が高価であるなどが挙げられる。

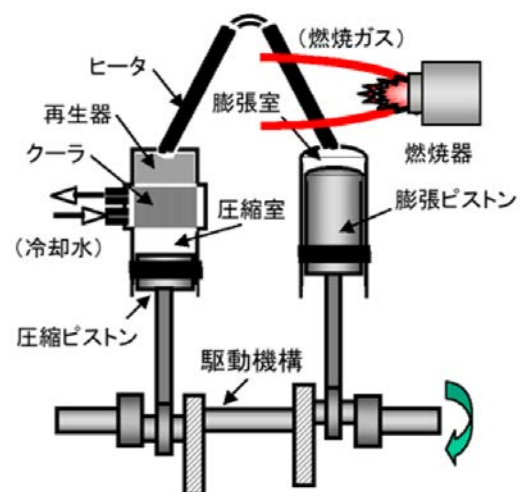


参考図 吸収式冷凍機のしくみ

出典：空気調和ハンドブック改訂 3 版（井上宇市編）<sup>29)</sup>

## 6) 小型発電装置の組み合わせ

大阪の万博記念公園で木質ボイラーとスターリングエンジンを組み合わせた実証事例がある。スターリングエンジンとは、密閉式外燃機関で、作動ガスにヘリウムや水素等の非凝縮性ガスを用い、作動ガスの膨張圧縮によって外部出力を発生する熱機関である。最も基本的なスターリングエンジンは、シリンダとピストンで囲まれた膨張室と圧縮室、加熱器、再生器、放熱器、ピストンを駆動させる駆動機構から構成される。



(独) 産業技術総合研究所 提供<sup>30)</sup>

図 3.3-3 基本構造

### 3.3.2 ガス化（発電・熱利用）

#### (1) フロー

対象とする原料は剪定枝、刈草である。概略の製造フローを図 3.3-4 に示す。

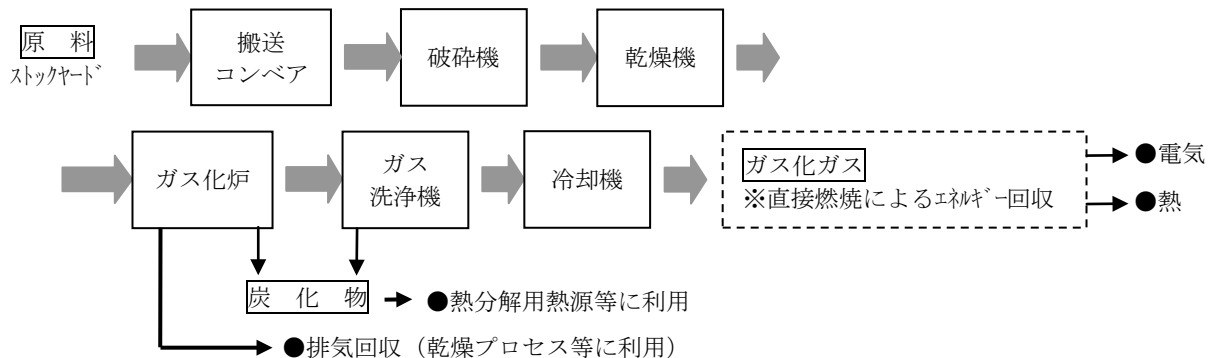


図 3.3-4 ガス化の概略フロー

#### (2) 概要

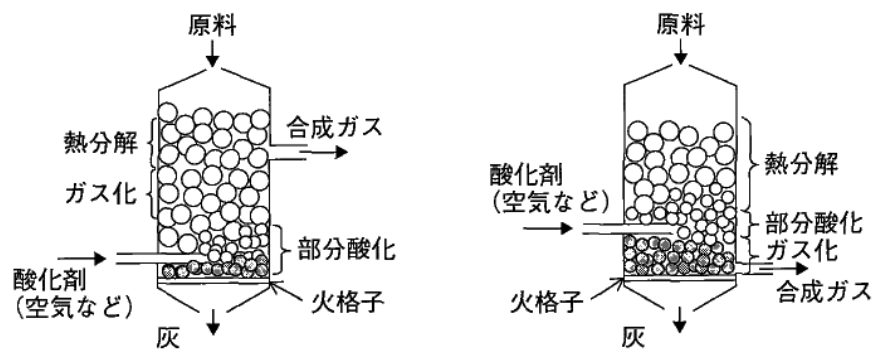
炭素を含む有機化合物を無酸素状態、あるいは完全燃焼する状態よりも酸素供給量を減らした状態で加熱し、熱分解と化学反応によって可燃性ガスを製造する技術である。ガス化形式は 200 種類以上あり、ガス化温度、ガス剤の種類、加熱方式、炉の形式の組み合わせによって決まる。現在、わが国では主に小規模分散型発電技術として、また輸送用液体燃料製造技術としての用途を目的に開発が進められている。

#### (3) 種類

小規模向きとして「固定床式」「外熱式ロータリーキルン式」、中規模向きとして「流動床式」、大規模向きとして「噴流床式」があり、それぞれの概要を以下に示す。

##### 1) 固定床式

直接ガス化に分類される。ガス化炉に投入された原料がガス化炉内を時間をかけながら移動する間に熱分解反応が起こるもので、原料の滞留時間は数十分から数時間である。原料の移動は自重で行う場合と、機械的に行う場合があるが、ガス化炉の上部に原料を供給し、上から下へ移動させる場合が多い。一方、熱分解で発生したガスは固体の隙間を流れて最終的に合成ガスとしてガス化炉の外に出る。固定床式はガスの流れる方向によって、アップドラフト方式(上向流方式)、ダウンドラフト方式(下向流方式)と呼ぶ。



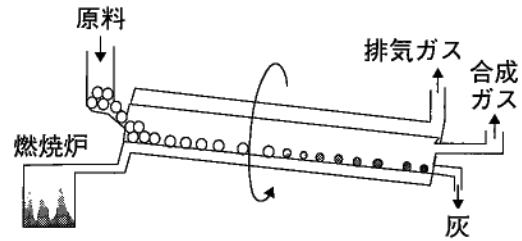
出典：バイオマス技術ハンドブック

(財団法人新エネルギー財団編/社団法人日本エネルギー学会編集協力, (株)オーム社発行, 2008) <sup>31)</sup>p145

図 3.3-5 固定床式の概略構造

## 2) 外熱式ロータリーキルン式

間接ガス化に分類される。ガス化炉は別に設置する熱源設備で熱風を発生させ、これをガス化炉に供給してガス化炉内の温度を上昇させてガス化を行う方式である。発熱量の高い合成ガスが得られることが最大のメリットである。



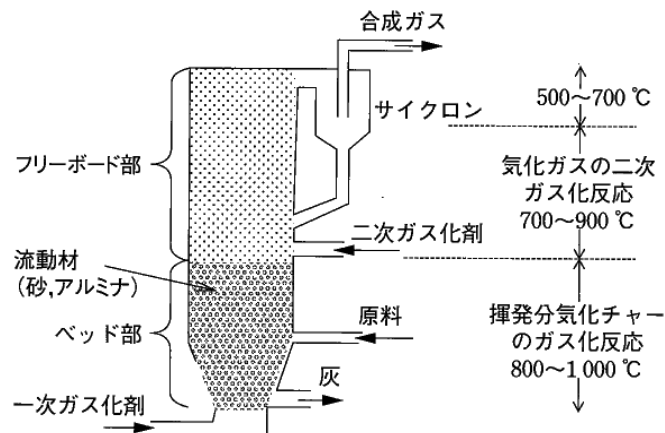
出典：バイオマス技術ハンドブック（㈱オーム社発行，2008）<sup>31)</sup>，p147

図 3.3-6 外熱式ロータリーキルン式の概略構造

## 3) 流動床式

直接ガス化に分類される。破碎したバイオマスを空気や水蒸気等の一次ガス化剤で浮遊させて流動材の中で加熱して分解、ガス化する。流動材は砂やアルミが使用される。浮遊した流動材は熱を効率的に伝え、均一な反応温度の中で効率よくガス化できる。

流動材が流動するガス化炉の下部をベッド部、その上の空間をフリーボードと呼ぶ。原料はベッド部に供給され流動材と接触することでガス化する。フリーボード部のガスをサイクロンを通すことで、ガスから灰分、流動材、未燃分炭素等の固体を取り除き、合成ガスを取り出す。

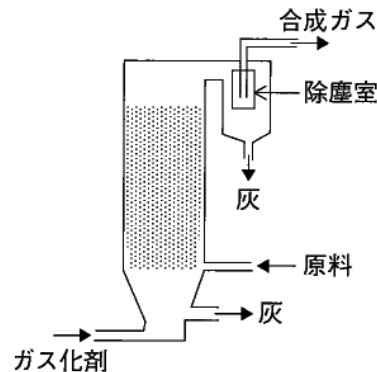


出典：バイオマス技術ハンドブック（㈱オーム社発行，2008）<sup>31)</sup>，p146

図 3.3-7 流動床式の概略構造

## 4) 噴流床式

直接ガス化に分類される。バイオマスを細かく破碎し、空気や水蒸気の流れに乗せて加熱し、ガス化させる方式である。ガス化剤の気流で原料を攪拌・ガス化するので、原料を1mm以下に破碎する必要があるものの、原料をガス化炉に投入して約1秒後にガス化する。ガス化の構造は流動床に似ているが、この方式では流動材を使用しない。



出典：バイオマス技術ハンドブック（㈱オーム社発行，2008）<sup>31)</sup>，p147

図 3.3-8 噴流床式の概略構造

#### (4) 特徴

それぞれの方式ごとの特徴を表 3.3-3 にまとめる。

表 3.3-3 ガス化方式ごとの特徴

形式	燃料滞留時間	生成ガス熱量	生成ガスタール [g/m <sup>3</sup> -N]	副生物	運転制御	適性規模発電 [kW]
固定床						
アップドラフト方式	長	低	10 ~30	多	簡単	<2,000
ダウンドラフト方式	長	低	0.5 ~3	多	簡単	<500
流動床	中	中	数	中	中	200~2,000
噴流式	短	中	<0.1	少	複雑	2,000<
外熱式キルン	長	高	数	中	簡単	<500

出典：バイオマス技術ハンドブック（㈱オーム社発行,2008）<sup>31)</sup>,p144

#### (5) 留意点

有識者及びメーカーヒアリングで得られた、管理運営面での主な留意点を以下に挙げる。

- ・ タールの発生量を減少させるため、投入原料の含水率は低いことが望ましく、投入する原料は湿量ベース含水率で30%以下程度を目標とする。
- ・ 植物廃材のうち、刈草は灰分が高くクリンカ発生の原因となるため、原料に適さない。ただし、外熱式ロータリーキルン式では処理した実績もあり、導入時に原料としての適正性について踏み込んだ検討が必要である。
- ・ 運転管理の面では、小規模プラントでも作業が煩雑で、専門運転員の配置が必要である。
- ・ プラントの立ち上げ、立ち下げにかなりの時間を要し、また炉が低温状態ではタールが発生するなどの課題があり、基本的には24時間連続運転が原則となっている。



### 3.3.3 事例紹介：都市公園へのガス化発電導入に関する実証実験

(国営公園再生可能エネルギー活用実証事業)

#### (1) 実験の概要

国土技術政策総合研究所では、平成 24 年度に、国営昭和記念公園（東京都立川市・昭島市）と国営みちのく杜の湖畔公園（宮城県川崎町）の 2 か所の国営公園をフィールドとして、小規模ガス化発電技術に関する実証実験を行った。

実証実験の対象技術については、国土交通省都市局において民間企業等からの提案を公募し、「国営公園再生可能エネルギー活用事業評価委員会」で選定された（図 3.3-9 参照）。2 つの実証実験は、国土技術政策総合研究所から提案者である民間企業等への委託研究として実施し、それぞれの公園における小規模ガス化発電の導入可能性を評価した。結果の概要は図 3.3-10 に示すとおりであり、詳細については後述する。

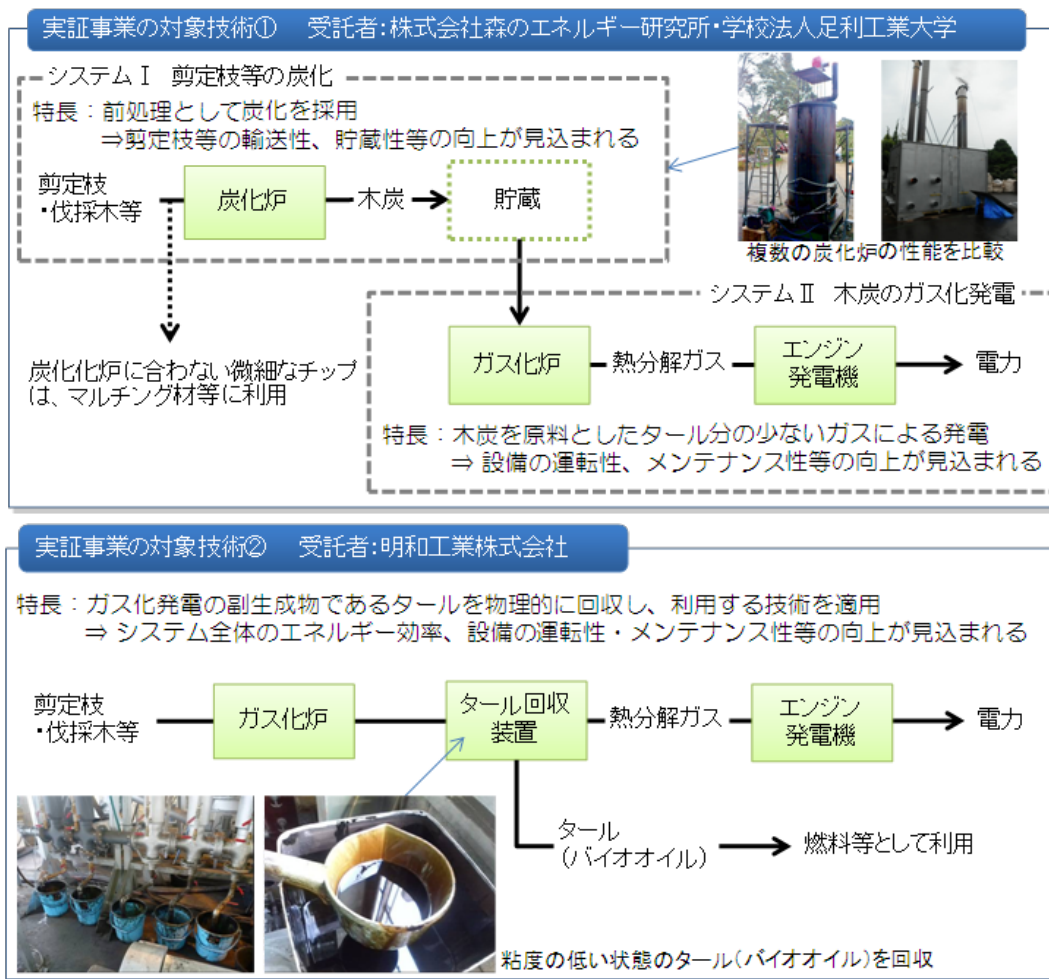
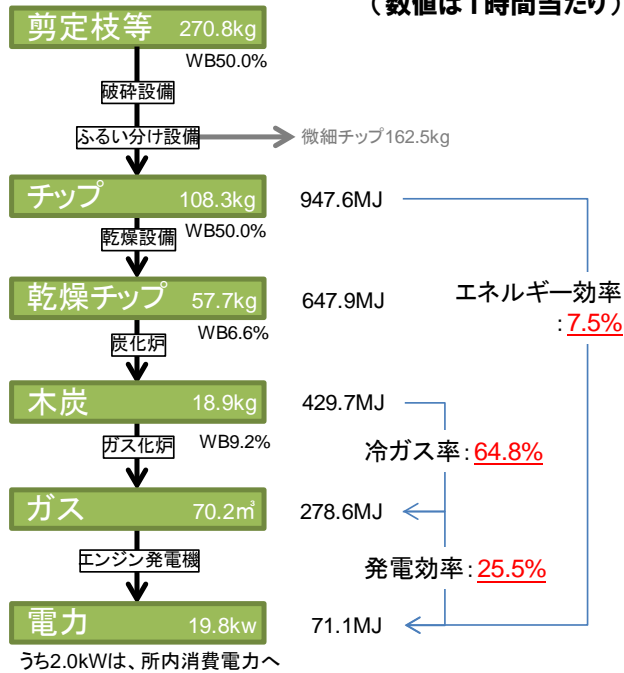


図 3.3-9 実証実験の対象とした技術の概要

実証実験の主な結果① 受託者：株式会社森のエネルギー研究所・学校法人足利工業大学

■実験結果に基づいた炭化-ガス化発電システムのフロー  
(数値は1時間当たり)



■二酸化炭素排出量の削減効果(試算)

CO<sub>2</sub>削減量 =  
購入電力の削減分 8.2kg-CO<sub>2</sub>/h

➡ **年間11t-CO<sub>2</sub>※の削減が可能**

※国営昭和記念公園における剪定枝・伐採木等の年間発生量(176t-dryと推定)を全て炭化-ガス化発電システムで処理した場合。

■炭化によるタール削減等の効果

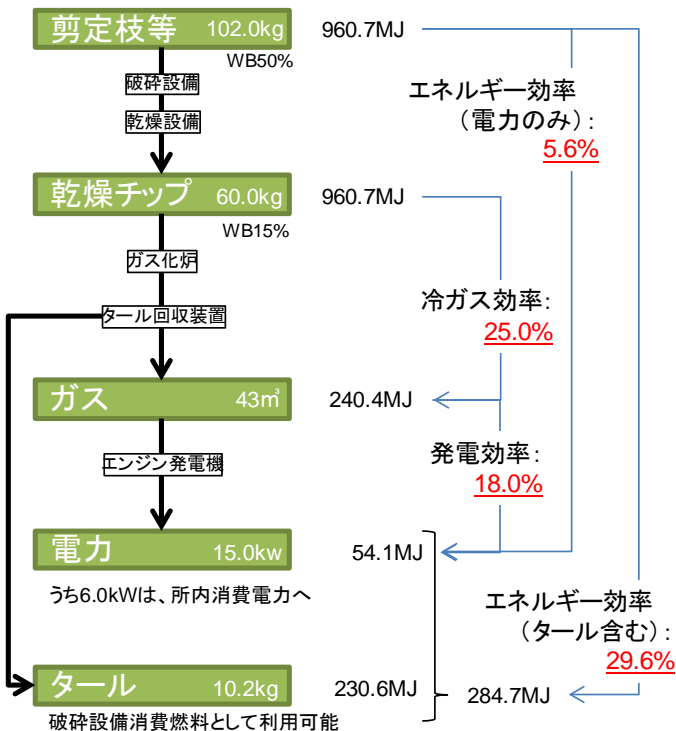
ガス化炉形式(原料)	タール量(mg/Nm <sup>3</sup> )
アップドラフト(生木)※	30,000-150,000
アップドラフト(炭)	352-804
ダウンドラフト(生木)※	15-500

※生木データは『Energy from biomass (World Bank technical paper no.422)』より引用。

➡ **実験用のアップドラフト炉でも、通常のダウンドラフト炉並みのタール濃度への低減を確認**

実証実験の主な結果② 受託者：明和工業株式会社

■実験結果に基づいたガス化発電システムのフロー  
(数値は1時間当たり)



■二酸化炭素排出量の削減効果(試算)

購入電力の削減分 4.9kg-CO<sub>2</sub>/h  
タール燃料代替分 16.0kg-CO<sub>2</sub>/h  
CO<sub>2</sub>削減量 20.9kg-CO<sub>2</sub>/h

➡ **年間3.7t-CO<sub>2</sub>※の削減が可能**

※国営みちのく社の湖畔公園における剪定枝・伐採木等の年間発生量(9.1t-dryと推定)を全てガス化発電システムで処理した場合。

■回収したタール(バイオオイル)の有用性



タール温度を70°Cに保つと、良好に燃焼した  
タールによるノズル等の閉塞は見られなかった

➡ **回収したタール(バイオオイル)は燃料として利用可能であることを確認**

図 3.3-10 実証実験の主な結果

(2) 国営昭和記念公園をフィールドとして行った実証実験

1) 実験方法

実験は、図 3.3-11 に示す機器を用いて行った。

 <p><b>破砕機</b> デュラテック社製 3010T</p>	 <p><b>トラックスケール</b> 宝計機製作所製 RM-10T</p>	 <p><b>赤外線水分計</b> ケット科学研究所製 FD-600</p>
 <p><b>燃研式自動ボンベ熱量計</b> 島津製作所製 CA-4AJ</p>	 <p><b>炭化炉</b> 内熱式</p>	 <p><b>ガス化炉</b> 固定床アップドラフト方式</p>
 <p><b>ガス発電機</b> 自動車用ガソリンエンジンと誘導電動機を直結</p>	 <p><b>電力測定機</b> 日置電機製クランプオンパワーハイテスタ 3169</p>	

図 3.3-11 実験に用いた主要機器一覧

## 2) 実験結果

### ■木質バイオマス発生量

国営昭和記念公園における木質バイオマス発生量（表 3.3-4）とサンプリング調査で求めた乾燥重量（表 3.3-5）により、国営昭和記念公園における年間の木質バイオマス発生量は、204.4dry-t/yr と推定された。なお、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、NEDO）による公園剪定枝賦存量の原単位 1.15dry-t/ha・yr<sup>32)</sup>をもとに国営昭和記念公園の剪定枝発生量を推定すると 190.0dry-t/yr となり、既往の知見ともほぼ整合するものであった。また、サンプリングした木質バイオマスの低位発熱量は、含水率 50%で 15.3MJ/dry-kg であった。

また、公園周辺で発生が見込まれる木質バイオマスについては、表 3.3-6 のとおり推定された。これらをすべて国営昭和記念公園における発電に利用できるかは不明であるが、把握可能な最大の賦存量として活用を想定することとした。

表 3.3-4 国営昭和記念公園における木質バイオマス発生量

	H15	H20	H21	H22	H20～H22平均
剪定枝等(m <sup>3</sup> /yr)	1,130	1,500	1,000	815	1,105
開園面積(ha)	148.7	162.5	162.5	165.3	163

※H15 については秋山<sup>33)</sup>を、H20～H22 については国土交通省の公表資料<sup>34)</sup>を引用。

表 3.3-5 木質バイオマスの乾燥重量

	重量 (t)	体積 (m <sup>3</sup> )	かさ比重 (t/m <sup>3</sup> )	含水率 (%)	乾燥重量 (dry-t/m <sup>3</sup> )
試料A	13.360	42.386	0.315	44.9	0.174
試料B	11.145	36.461	0.306	43.7	0.172
試料C	14.695	42.386	0.347	40.6	0.206
加重平均			0.324	42.9	0.185

表 3.3-6 木質バイオマス発生量推定値 (dry-t/yr)

	国交省	東京都	立川市	昭島市	合計
公園	204.4	3.0	215.0	32.4	454.8
道路	7.5	3.9	22.6	26.0	60.0
家庭	-	-	370.3	-	370.3
合計	211.9	6.9	607.9	58.4	885.1

※国交省が管理する道路、東京都が管理する公園及び道路については、NEDOによる原単位<sup>32)</sup>をもとに推計した。立川市及び昭島市が管理する公園及び道路については各市役所の担当部局への聞き取りによって得られた年間発生量をもとに、含水率 50%と仮定して推計した。また立川市においては家庭等から排出される剪定枝等を可燃ごみとは別に回収しており、担当部局への聞き取りによって得られた年間発生量をもとに含水率 50%と仮定して推計した。





図 3.3-12 国営昭和記念公園の木質バイオマス



図 3.3-13 木質バイオマス処理（運搬）作業

### ■木質バイオマスのチップ化

チップの粒度分布は表 3.3-7 のとおりであり、全体の6割程度が4.75mmのふるいを通過する微細なものであった。この粒度特性は、後にガス化での作業上の問題の原因となっており、木質バイオマスをガス化に適した粒度に破碎する技術がガス化発電の課題の一つであることが改めて示された。

表 3.3-7 チップの粒度分布

ふるいの目開き (mm)	通過重量百分率 (%)
26.50	100.00
19.00	98.79
9.50	82.57
4.75	60.64
2.00	37.94



図 3.3-14 チップ化後の剪定枝

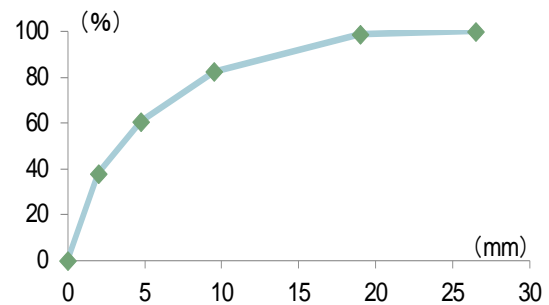


図 3.3-15 チップの粒度分布

### ■チップの炭化

炭化は計 14 回行い、炭化の程度を示す歩留まり（木炭重量/投入チップ重量）の平均値は0.317、木炭の含水率の平均値は9.21%であった。炭化歩留まりと製造した木炭の組成（水分を除く）の関係は図 3.3-17 のとおりであり、歩留まりを下げれば揮発分の割合が小さくなり、逆に灰分の割合は大きくなること、また固定炭素の割合は歩留まり0.3近辺の時に最大になることが示唆された。



図 3.3-16 炭化後の剪定枝

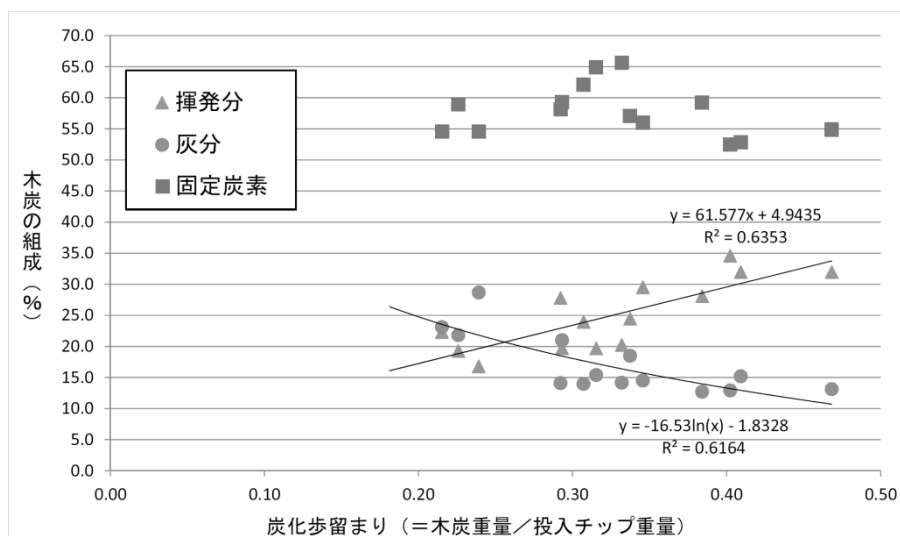


図 3.3-17 炭化の程度と木炭の組成の関係

### ■木炭によるガス化発電

剪定枝等を原料とした木炭をすべて用いてガス化発電を行ったところ、ガス化炉内に詰まりが発生してしまったため、目開き 5mm のふるいに留まる木炭に限定して利用した。ガス化発電に用いた木炭については、当初供給量から炉内残量と排気口前に設置したサイクロンでの捕集量を減じて実際に消費した量を測定した。結果は表 3.3-8 に示すとおりであった。

ガス化発電のメリットは、土地利用が稠密な都市に適した小型のシステムでも高効率が見込まれることであり、今回の実験結果でも吉川<sup>35)</sup>が想定している約 20% と同等の効率で発電を行うことができた。また、ガス化発電の実用化に向けた課題となっているタールについては、一般にガス化炉 (今回使用した形式と同じアップドラフト炉) で生成したガス中のタール濃度が 30~150g/Nm<sup>3</sup> とされている<sup>36)</sup>のに対し、本研究では 780mg/Nm<sup>3</sup> と抑えることができており、タールによる配管閉塞や機器トラブルの頻度が抑制されることで作業上の効率性向上が見込まれる結果となった。

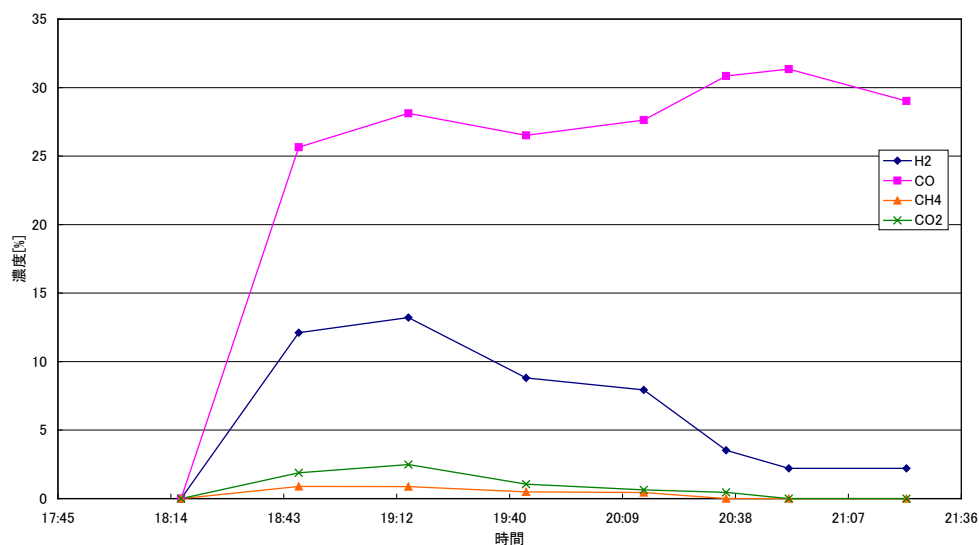


図 3.3-18 ガス化の結果 (2013 年 1 月 9 日の例)

表 3.3-8 ガス化発電実験の結果

日付		2013/1/9	2013/1/22
稼働時間	(min)	244	196
炭消費量	(dry-kg)	33.78	29.60
時間当たり炭消費量	(dry-kg/h)	8.31	9.06
供給炭低位発熱量	(MJ/dry-kg)	25.04	25.05
消費熱量	(MJ)	845.85	741.54
生成ガス熱量	(MJ)	548.44	442.72
冷ガス効率(炭～ガス)	(%)	64.84	59.70
発電出力	(MJ)	140.04	121.68
発電効率(ガス～電力)	(%)	25.53	27.48
発電効率(炭～電力)	(%)	16.56	16.41
タール濃度	(mg/Nm <sup>3</sup> )	—	780.00

### 3) 導入効果の試算

#### ■物質フロー及びエネルギーフローの整理

稼働時間の長い2013年1月9日のガス化発電実験結果を用いて、これまでの測定で得られた含水率、発熱量から、木質バイオマスを原料としたガス化発電における物質フロー及びエネルギーフローを整理した(図3.3-19)。実験用設備より1回り大きい規模(木炭消費量8.31dry-kg/h→17.16dry-kg/h)を想定すると、ガス化炉及び発電機を1時間稼働させることで135.3dry-kgの木質バイオマスの処理を行い19.8kWhの発電を行うことが可能である。規模については、1日当たり6時間稼働と仮定し園内で発生する木質バイオマス(204.4dry-t/yr)を処理するために年間250日間、土日祝日を除きほぼ毎日稼働する体制を想定し設定したものである。

実際には、剪定枝等を雨の当たらない屋根の下などに保管しておき、比較的規模の大きい破砕機及び炭化炉を定期的に稼働し木炭を貯蔵しつつ、必要に応じてガス化発電を行う作業体制が想定され、剪定枝等の乾燥の程度によっては効率性の向上も見込まれる。

フロー	含水率 (%)	重量		発熱量	
		(wet-kg)	(dry-kg)	(MJ/dry-kg)	(MJ)
剪定枝等	50.0	270.7	135.3	15.30	2,070.5
↓ 破砕機 <sup>※1</sup>					
チップ	50.0	108.3	54.1	15.30	828.2
↓ 炭化炉					
木炭	9.21	18.90	17.16	25.04	429.7
↓ ガス化炉 <sup>※2</sup>					
熱分解ガス					278.4
↓ ガス発電機 <sup>※2</sup>					
電力					71.0 (19.8kWh)

※1 破砕後5mm未満のチップを振り分け40%に減量すると想定した。(表3.3-7)

※2 木炭の発熱量、冷ガス効率、発電効率は、2013/1/9の結果を採用した。(表3.3-8)

図 3.3-19 ガス化発電における物質フロー及びエネルギーフロー  
(ガス化炉・ガス発電機の稼働時間1時間当たり)

■木質バイオマス発生量に対応した導入効果の検討

表 3.3-6 の木質バイオマス発生量と図 3.3-19 のエネルギー収支を元に年間発電量を想定し、経営収支（コスト）の観点から電力料金及び処理費用の削減効果、温室効果ガス削減の観点からCO2 排出量削減効果を試算した（表 3.3-9）。なお、設備稼働電力として2.0kW を見込み、供給可能電力の原単位は17.8kW とした。

ケース1は国営昭和記念公園の園内で発生する木質バイオマスをすべて利用した場合、ケース2は周辺の公園や道路、立川市が回収している家庭等からの剪定枝を含めて利用した場合とした。

表 3.3-9 発電量・効果の試算

	原単位(/h)	試算値(/yr)	
		ケース1 園内発生量を 全て利用	ケース2 周辺発生量を 含めて利用
剪定枝等の処理量 <sup>※1</sup>	(dry-t)	0.135	204.4
	(wet-t)	0.271	358.0
供給可能電力	(kwh)	17.8	26,951
電力料金削減効果 <sup>※2</sup>	(円)	282	426,627
処理費用削減効果 <sup>※3</sup>	(円)	5,400	3,270,400
CO2排出量削減効果 <sup>※4</sup>	(kg-CO2)	8,241	12,478.1
	(円)	24	36,062

※1 図 3.3-19 の剪定枝等の1時間当たり処理量を原単位とし、国営昭和記念公園において発生する木質バイオマスについては含水率42.9%、周辺から発生する木質バイオマスについては含水率50.0%として試算した。

※2 東京電力HP<sup>37)</sup>の業務用電力（契約電力500kw以上）電気料金より、夏季16.65円/kWh及びその他季15.55円/kWhを月数で按分し、15.83円/kWhとした。

※3 環境省資料<sup>38)</sup>より市町村における剪定枝・伐採木の処理費用の大半が10円/wet-kg～30円/wet-kgであることから原単位を20円/wet-kgとし、各ケースの試算にあたっては木質バイオマス処理量の40%分の処理費用が削減されるものとした。

※4 温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度HP<sup>39)</sup>より東京電力の原単位(0.463kg-CO<sub>2</sub>/kWh)を引用した。貨幣価値換算は、国土交通省<sup>40)</sup>より2,890円/t-CO<sub>2</sub>を引用した。



(3) 国営みちのく杜の湖畔公園をフィールドとして行った実証実験

1) 実験方法

実験は、図 3.3-20 に示す主要機器を用いて行った。全体のフローは図 3.3-21 のとおり。



図 3.3-20 実験に用いた主要機器一覧

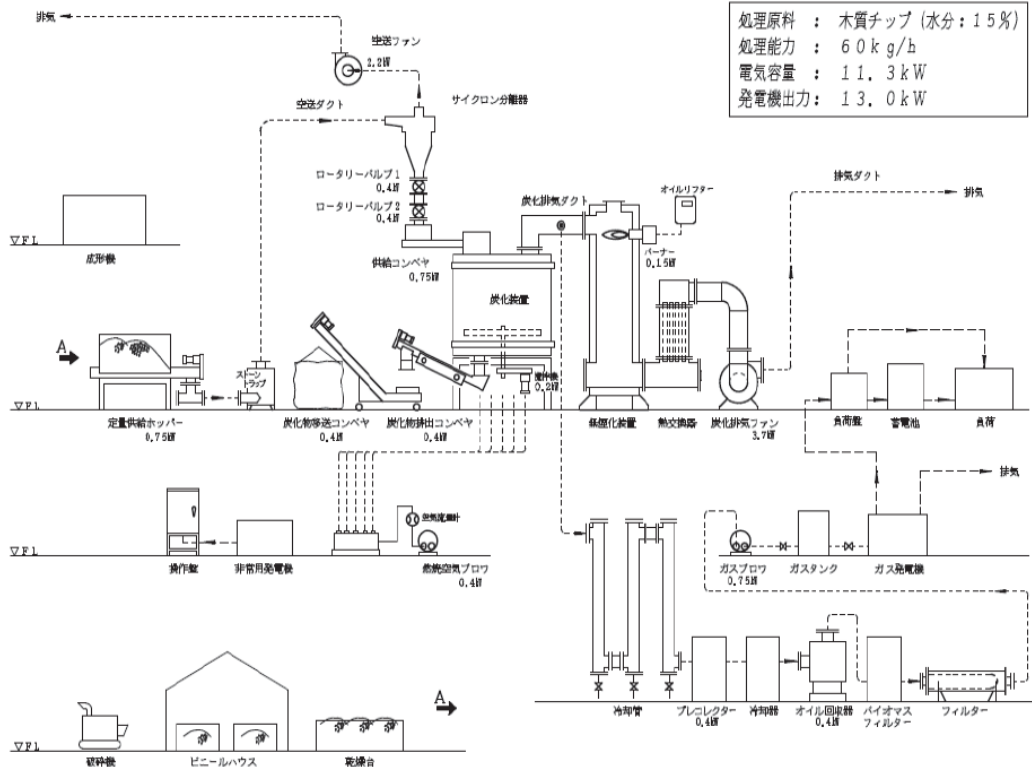


図 3.3-21 実験設備の全体フロー図

## 2) 実験結果

### ■木質バイオマス発生量

国営みちのく杜の湖畔公園における木質バイオマス発生量(表 3.3-10)とサンプリング調査(表 3.3-11、表 3.3-12)で求めた乾燥重量(表 3.3-13)により、木質バイオマス発生量は、9.1dry-t/yrと推定された。

また、公園周辺で発生が見込まれる木質バイオマスとしては、隣接する釜房ダムで回収される流木があり、その量は、洪水の状況などにより年間変動が大きいものの、直近3年間の平均として25.4 dry-t/yrと推定された。なお発生量の調査にあたっては、現在堆肥化されている落ち葉や刈り草についてもあわせて把握した。

表 3.3-10 木質バイオマス発生量 (単位：m<sup>3</sup>)

場所	国営みちのく杜の湖畔公園		釜房ダム	
	剪定枝、伐採木発生量	芝、草、除草等	流木	
平成 20 年度	167	—	2,810	—
平成 21 年度	136	(35)	2,594	44 (34)
平成 22 年度	174	(45)	2,107	496 (243)
平成 23 年度	—	(63)	—	144 (54)
平均	159	(48)	2,504	228 (110)

注：括弧内の数値は、国営みちのく杜の湖畔公園については、チップ化後、釜房ダムについては処分量

表 3.3-11 木質バイオマスのかさ比重

No	1	2	3	4	5	6
採取場所	国営みちのく杜の湖畔公園					釜房ダム
試料名	落ち葉	刈草(新)	刈草(古)	刈草(発酵)	剪定枝(破碎後)	流木(破碎後)
かさ比重 (t/m <sup>3</sup> )	0.084	0.037	0.021	0.350	0.225	0.150

表 3.3-12 木質バイオマスの含水率

No	1	2	3	4	5	6	7
採取場所	国営みちのく杜の湖畔公園					釜房ダム	—
試料名	落ち葉	刈草(新)	刈草(古)	刈草(発酵)	剪定枝(破碎後)	流木(破碎後)	木材
水分 (%)	35.0	74.0	57.4	64.1	15.4	25.1	5~50

表 3.3-13 木質バイオマスの年間発生量

場所	国営みちのく杜の湖畔公園		釜房ダム	
	剪定枝、伐採木発生量	芝、草、除草等	流木	
平均発生量	159 m <sup>3</sup>	(48 m <sup>3</sup> )	2,504 m <sup>3</sup>	228 m <sup>3</sup> (110 m <sup>3</sup> )
(かさ比重例)	—	0.225	0.037	— 0.15
(水分率例)	—	15.4%	74%	— 25.1%
乾物重量	—	9.1t	24.1t	— 25.6t

注：括弧内の数値は、国営みちのく杜の湖畔公園については、チップ化後、釜房ダムについては処分量

### ■木質バイオマスのチップ化

みちのく杜の湖畔公園で発生する木質バイオマスが少量であったため、実験設備でのガス化発電実験にあたっては、実験施設周辺で収集された木質バイオマスを試料として用いた。国営みちのく杜の湖畔公園で活用が想定されるバイオマスは大半が流木であり、枝葉の少ない幹部分が主体であると考えられたことから、試料も幹部分を用いた。(図 3.3-22)



図 3.3-22 ガス化発電実験に使用した原料  
上段：スギ 下段：ニセアカシア  
(ともに左が破碎前、右が破碎後)

■木質バイオマスによるガス化発電

チップ化した原料を用いて、樹種別にガス化発電実験を行った。結果として、樹種による大きな違いはなく、ガスからの発電効率は約 18%となった。また、本技術の特徴である燃料として利用可能なオイルの回収量は、原料に対するエネルギー収率は 22~24%となった。

表 3.3-14 ガス化発電実験結果

	スギ(針葉樹)	ニセアカシア(広葉樹)
ガス	46 m <sup>3</sup> /h	45 m <sup>3</sup> /h
発熱量	274MJ/h	258MJ/h
発電量	13.7kW	13.2kW
(発熱量換算)	(49MJ/h)	(48MJ/h)
発電効率	18.0%	18.4%
(対原料エネルギー収率)	4.6%	4.2%

表 3.3-15 オイルの回収量

	スギ(針葉樹)	ニセアカシア(広葉樹)
オイル	12.4 kg/h	12.0 kg/h
(対原料重量収率)	20.7%	19.9%
発熱量	261MJ/h	251MJ/h
(対原料エネルギー収率)	24.2%	22.4%

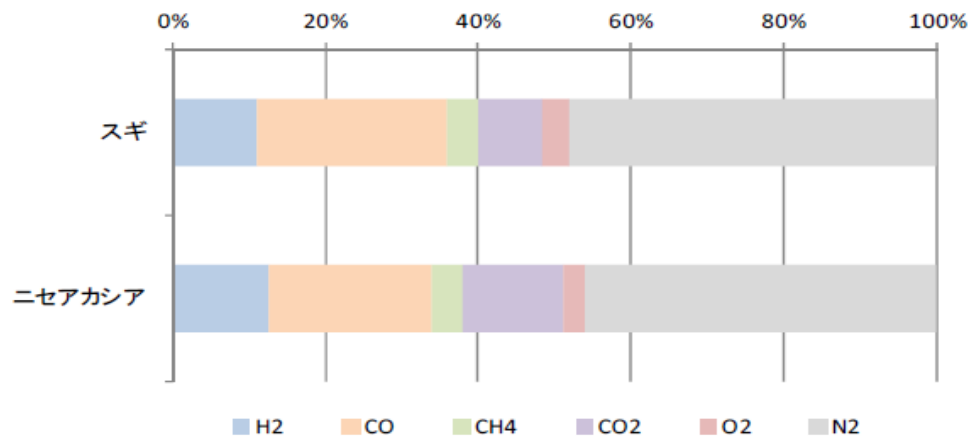


図 3.3-23 熱分解ガスの組成

3) 導入効果の試算

■物質フロー及びエネルギーフローの整理

ガス化発電実験結果を用いて、これまでの測定で得られた含水率、発熱量から、木質バイオマスを原料としたガス化発電における物質フロー及びエネルギーフローを整理した(図 3.3-24)。ガス化炉及び発電機を1時間稼働させることで51.0dry-kgの木質バイオマスの処理を行い15.0kWhの発電を行うことが可能である。これをもとに、システムを1時間稼働した際の、CO<sub>2</sub>削減効果を表 3.3-16に整理した。



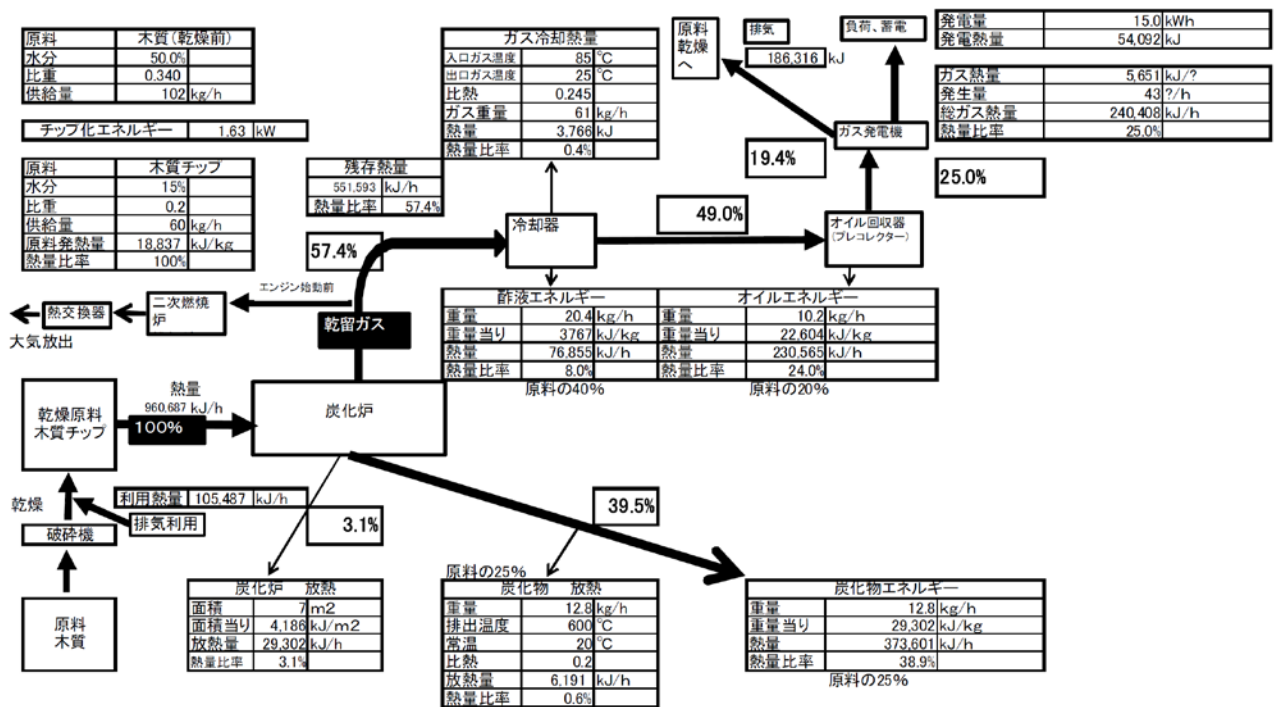


図 3.3-24 実験結果に基づくガス化発電の物質フロー及びエネルギーフロー

表 3.3-16 CO<sub>2</sub>排出量削減効果の試算

項目		重量	エネルギー	備考	
入力	原料	原料	60.0 kg-wet/h	961 MJ/h	ガス化炉投入ベース
	投入エネルギー	電力		22 MJ/h	所内動力数・負荷率より
		補助燃料		0 MJ/h	想定せず(立上のみ)
		合計		22 MJ/h	
出力	(中間製品)	炭化物	13 kg/h	374 MJ/h	
		酢液	20 kg/h	77 MJ/h	
		バイオオイル	10 kg/h	231 MJ/h	
		バイオガス		240 MJ/h	ガス発電機利用
	合計		921 MJ/h		
	生成エネルギー	炭化物	13 kg/h	374 MJ/h	
		酢液	20 kg/h	77 MJ/h	
		バイオオイル	10 kg/h	231 MJ/h	
		電気	-	54 MJ/h	
		熱	-	120 MJ/h	
合計		855 MJ/h			
主要評価指標	エネルギー収支	エネルギー収支(電力)		2.5	回収エネルギー/投入エネルギー
		(電力、オイル)		13.2	
		(電力、オイル、炭)		30.5	
	エネルギー回収率	エネルギー回収率(電力)		5.5%	回収エネルギー/(原料エネルギー+投入エネルギー)
		(電力、オイル)		29.0%	
		(電力、オイル、炭)		67.0%	
	収率	収率(電力)		5.6%	回収エネルギー/原料エネルギー
		(電力、オイル)		29.6%	
(電力、オイル、炭)			68.5%		
CO <sub>2</sub> 削減効果	プロセス排出	(動力・電力)		3.3 kg-CO <sub>2</sub> /h	所内電力分
	削減効果	(電力削減)		8.2 kg-CO <sub>2</sub> /h	発電電力分
		(オイルの重油代替)		16.0 kg-CO <sub>2</sub> /h	オイルの重油代替利用分
		(オイル・炭の重油代替)		41.9 kg-CO <sub>2</sub> /h	オイル・炭の重油代替利用分
	差引削減	(電力、オイル)		20.9 kg-CO <sub>2</sub> /h	電力、オイル利用による
		(電力、オイル、炭)		46.8 kg-CO <sub>2</sub> /h	電力、オイル、炭利用による

■木質バイオマス発生量を踏まえた導入効果の試算

表 3.3-13 の木質バイオマス発生量と図 3.3-24 のエネルギー収支を元に年間発電量を想定し、経営収支（コスト）の観点から電力料金及び処理費用の削減効果、温室効果ガス削減の観点からCO<sub>2</sub>排出量削減効果を試算した（表 3.3-17）。なお、設備稼働電力として6.0kWを見込み、供給可能電力の原単位は9.0kWとした。

表 3.3-17 発電量・効果の試算

		原単位(/h)	試算値(/yr)
剪定枝等の処理量 <sup>※1</sup>	(dry-t)	0.051	34.7
	(wet-t)	0.060	40.8
供給可能電力	(kwh)	9.0	6,124
電力料金削減効果 <sup>※2</sup>	(円)	135.0	96,935
処理費用削減効果 <sup>※3</sup>	(円)	1200.0	326,588
CO <sub>2</sub> 排出量削減効果 <sup>※4</sup>	(kg-CO <sub>2</sub> )	20.900	14,220.2
	(円)	60.401	41,096

※1 図 3.3-24 の剪定枝等の1時間当たり処理量を原単位とし、含水率15%として試算した。

※2 東北電力HP<sup>41)</sup>などの業務用電力電気料金より、15円/kWhとした。

※3 環境省資料<sup>38)</sup>より市町村における剪定枝・伐採木の処理費用の大半が10円/wet-kg～30円/wet-kgであることから原単位を20円/wet-kgとした。

※4 温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度HP<sup>39)</sup>より東北電力(0.1517kg-CO<sub>2</sub>/J)、重油代替0.0693kg-CO<sub>2</sub>/Jを引用した。貨幣価値換算は、国土交通省<sup>40)</sup>より2,890円/t-CO<sub>2</sub>を引用した。

(4) まとめ

本実証実験では、国営公園をモデルとし、都市公園における木質バイオマスを活用したガス化発電技術について実証実験を行い、その導入可能性を検証した。結果として、都市公園の剪定枝等を用いてガス化発電を行うことは技術的に可能であり、一定程度のエネルギー効率を見込めることが明らかとなった。また、国営昭和記念公園をフィールドとした実験では炭化プロセスを組み込むことによりタール問題に寄与するとともに、植物廃材の貯蔵性や輸送性を向上させられる可能性があること、みちのく杜の湖畔公園をフィールドとした実験では、燃料利用が可能な形でタールを回収することで全体のエネルギー効率を向上させられる可能性があることが示唆された。

一方で実際に導入するにあたっては、コストの観点から、電力料金削減効果やCO<sub>2</sub>排出量削減効果よりも、廃棄物処理費用削減効果の方が相対的に重要であり、個々のケースに応じて建設費用や維持費用も含め、慎重に検討する必要があることが明らかとなった。また、木質バイオマスの適切な前処理技術（乾燥や破砕）の選定や、公園内だけでなく周辺地域から利用可能なバイオマスを収集する仕組みの構築が、効率性の向上に寄与する重要なポイントであることも示唆された。

### 3.3.4 生物化学的変換

#### (1) セルロース系発酵

##### 1) エタノール化（第2世代）

#### (i) フロー

対象とする原料は刈草である。概略の製造フローを図 3.3-25 に示す。

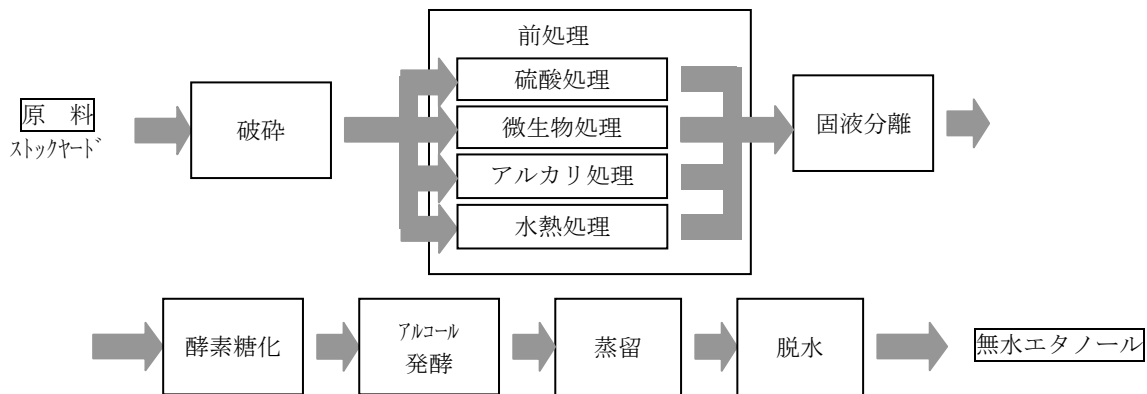


図 3.3-25 噴流床式の概略構造

#### (ii) 概要

木質系、草本系のセルロース原料を硫酸処理、微生物処理、アルカリ処理、水熱処理等の前処理を行い、酵素糖化したのちにアルコール発酵し、エタノールを精製する技術である。国内では2003年から国産バイオエタノールの小規模実証事業が開始され、大阪府堺市で2007年に建設廃材等を原料として製造する世界初のプラントが稼働している。

#### (iii) 特徴

バイオエタノール燃料生産における課題として、原料となるバイオマス量が確保できない、生成したエネルギー量に対して投入したエネルギー量が多い、結果としてコスト高に陥ってしまうことが挙げられる。第1世代と呼ばれる糖やデンプン系原料からの製造では、原料が食物と競合し穀物相場を押し上げる状況をまねいたため、セルロース系原料から製造する第2世代技術の開発が期待される場所である。

##### i) 糖質・デンプン質からの製造

サトウキビやビート等の糖質系原料では、ミルでつぶしてジュースを搾り、製糖化工程を経て濃縮、砂糖の結晶化を行う製糖技術の一部として確立されている。含まれる成分はグルコース、フルクトース、スクロースで、酵母で容易に発酵できる。

デンプン質の場合は、イモ類や穀物を粉碎した後に100℃以上で蒸煮し、液化アミラーゼで糖化し、糖化アミラーゼでグルコースにまで糖化して、酵母により発酵する。

##### ii) セルロースからの製造

セルロース系原料の場合は、主にセルロース、ヘミセルロース、リグニンの3成分がかたい複合体を構成している上、セルロース分子もかたい結晶構造であり、このままの状態では糖化酵素セルラーゼがセルロース分子に近づけない。このため、硫酸処理、微生物処理、アルカリ処理、水熱処理等の前処理を行い、セルロース、ヘミセルロース、リグニンに分離して糖化する。

### 3.4 市販のエネルギー転換機器における燃料仕様特性

公園等で利用可能と考えられる中小規模の木質バイオマスを利用したエネルギー利用機器で、「チップボイラー」、「薪ボイラー」、「ペレットボイラー」、「薪ストーブ」、「ペレットストーブ」、「ガス化発電設備」について、国内の導入実績が多いメーカーをそれぞれ3社（ペレットボイラーは4社）抽出し、基本的な設備仕様、燃料仕様について調査した。なお、ガス化発電については国内の導入実績が少ないことから、国内で小規模施設の導入実績のあるメーカー2社と、国内メーカーで海外に導入実績のあるメーカー1社を対象とした。

以下に燃料仕様の特性について記載する。

#### (1) チップボイラー

チップの種類については、切削チップ・破砕チップ両方に可能なもの、破砕チップが望ましいとしているもの、切削チップとしているもの様々であった。

含水率が、高含水率対応の機器で50～55%-WBまで、乾燥チップ対応で、33～40%-WBまで対応していた。

なお、バークの混入比について制限している機器もあった。

#### (2) 薪ボイラー

乾燥薪対応では、含水率20%-WB以下で、高含水率も燃焼可能という機器もあった。薪の長さは900mm～1000mm以下であった。商用電源は、全ての機種で必要であった。

#### (3) ペレットボイラー

ペレットの種類では、木部・全木が対象及びバーク混入率に制限を設けているメーカー、木部・全木・樹皮に対応しバーク混入100%まで対応しているメーカーもあった。含水率等については、日本木質ペレット協会の基準に準拠するものが多かった。

#### (4) 薪ストーブ

「薪の含水率は、20%-WB以下、できれば15%-WB程度が望ましい。」ということで、薪ボイラーに比較し含水率の制限が厳しいものとなっていた。薪の長さメーカーの機種にもよるが、300mm以下の機種から、最大で1000mm以下のものまでであった。商用電源については、一部の機種については、電源が必要ということであったが、不要というものが多かった。

#### (5) ペレットストーブ

ペレットの種類としては、木部・全木ペレット及び木部ペレットを対象としていた。含水率等の基準については、最低限日本木質ペレット協会やペレットクラブの品質基準に準拠したもの、さらには、かつ、メーカーの燃焼試験に合格したもの、及び前述の品質基準に準拠していることが望ましいとしているメーカーもあった。商用電源はすべてのメーカーが必要であった。いずれにしても、前述のペレットボイラーより厳しい基準になっている。

#### (6) ガス化発電システム

中外炉工業株式会社のロータリーキルン式ガス化+ガスエンジン発電機では、山口県岩国市及び熊本県阿蘇市で実証試験が行われ、それらの機器を移設して宮城県南三陸処理区では災害対策（表4.2-3参照）、秋田県横手市では実証事業が行われている。形状や水分の異なる様々なバイオマスが利用可能で、間伐材（岩国市）、刈草（阿蘇市）、災害瓦礫（南三陸町）などが利用可能である。

月島機械株式会社の固定式ダウンドラフト型ガス化+ガスエンジン発電機では、岩手県葛巻町と埼玉県秩父市で実証試験が行われたが、秩父市の施設は、現在も稼働中である。原料は、



間伐材をチップ化したもので、岩手県葛巻町のヒアリング結果では20～50mmの切削チップ、埼玉県秩父市のヒアリングでは、30mm程度の切削チップということであった。

篠田株式会社の多層式ガス化装置＋ガスエンジン発電機では、木材チップ条件は、針葉樹・広葉樹に対応、枝葉は使用不可、大きさとして約30mm～70mm、木屑2%以下ということであった。

含水率は、いずれの施設も、施設内での人工乾燥も含めてではあるが15%-WB以下ということであった。

### 3.5 都市由来植物廃材のエネルギー利用の事例

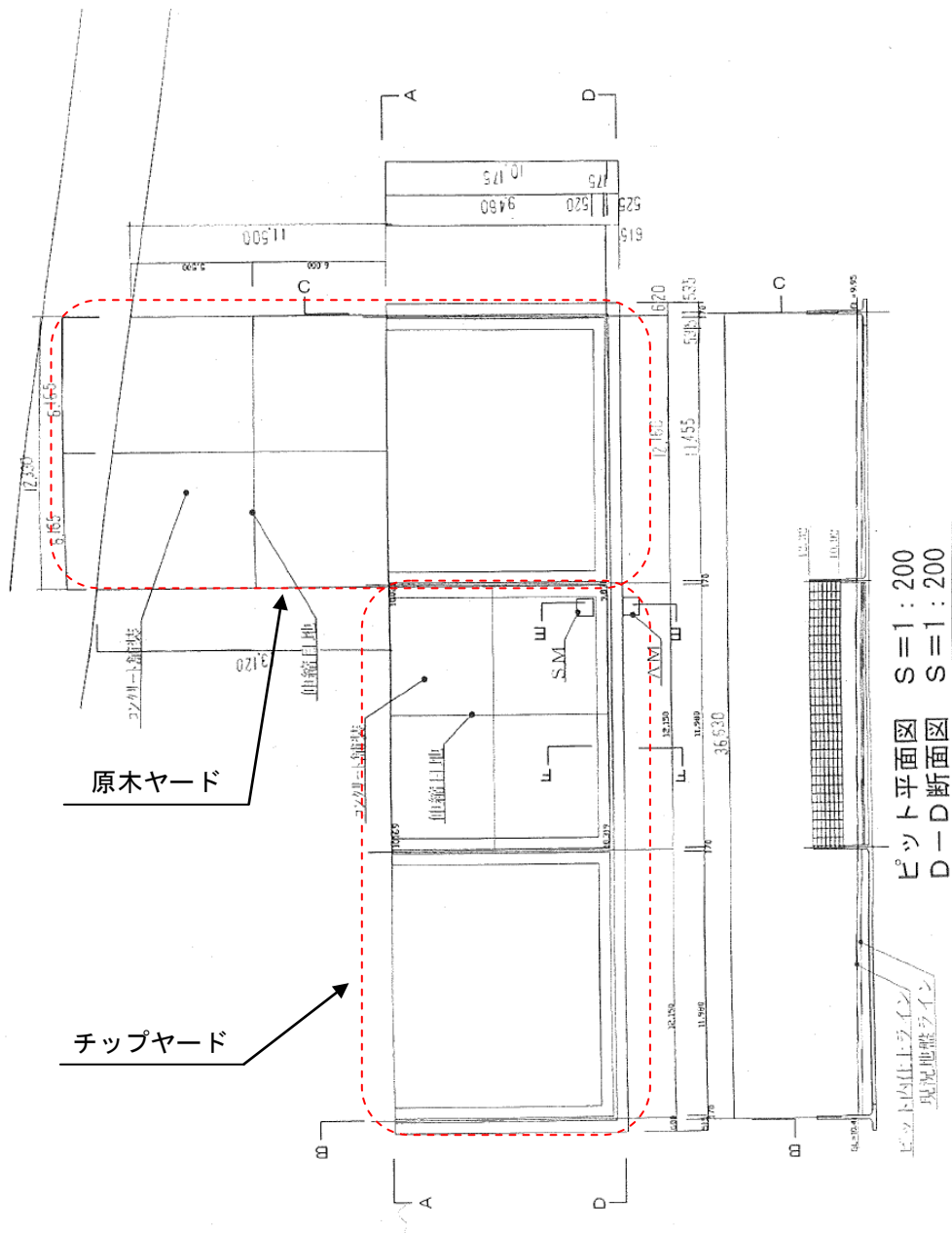
河川、道路、公園等で発生した植物廃材をエネルギー利用する場合に必要な植物廃材の貯蔵、加工方法について、ヒアリングを行ったので、表 3.5-1 に概要を示す。

また、環境省新宿御苑管理事務所から公園内のストックヤードの平面図、断面図、ボイラー室平面図を提供頂いたので、図 3.5-1 及び図 3.5-2 に参考図として添付する。

表 3.5-1 ヒアリング結果の概要

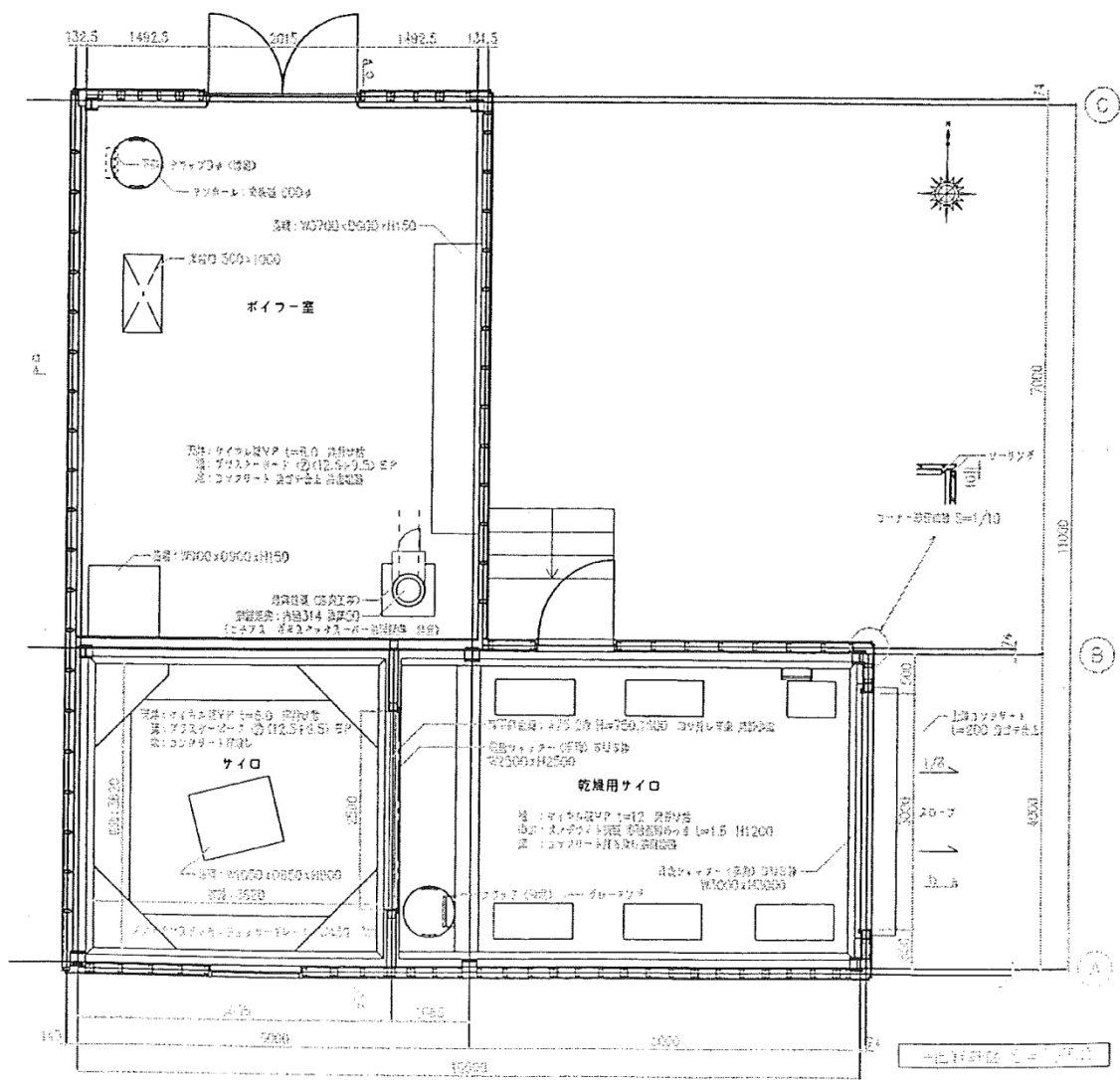
事例 No.	1	2	3	4	5	6
事業主体	環境省	最上町	山口県森林組合連合会	㈱日比谷アメニス	銘建工業株式会社	やまがたグリーンパワー株式会社
対象施設	新宿御苑	最上ウェルネスプラザ	木質ペレット製造施設	大井ふ頭中央海浜公園	自社工場	木質バイオマス発電施設
所在地	東京都新宿区内藤町 11	山形県最上町大字向町	山口県山口市滝町 1 番 1 号	東京都大田区、品川区	岡山県真庭市勝山 1209	山形県村山市大字富並字大沢 4083-1
施設の概要	公園内で発生する剪定枝等をチップ化・直接燃焼し、菊栽培の熱源に利用。	森林で間伐された木材をチップ化し、施設全体の冷暖房・給湯用の熱源に利用。	間伐材等の未利用森林資源を木質ペレット燃料に加工、県内の木質ペレットボイラー導入施設へ供給することにより、エネルギーの地産地消を推進するとともに、地域林業の活性化に寄与する。	公園内で発生する剪定枝等をチップ化、ソーラードライシステムで乾燥した後、直接燃焼し、暖房・給湯の熱源に利用。	集材製造時に発生する「プレーナ屑」からペレットを製造し、ストーブ、蒸気・温水ボイラー、発電用の熱源として利用。	未利用の林業系バイオマスと果樹園から発生する果樹剪定枝をガス化発電の燃料源として利用。
受入れ原料	剪定枝	間伐材を原料とするチップ	スギ・ヒノキ間伐材を原料とする木質チップ	剪定枝	集材製造工程で発生する「プレーナ屑（平削り屑）」が 100%	間伐材、産業廃棄物（建築廃材）、果樹、道路・公園から発生する剪定枝等から製造した木質チップ
原料供給元	公園内	町内（山林）	市内	南部地区公園	社内	市内及び周辺地域
貯蔵の概要	・原木ヤード：150 m <sup>2</sup> （野積） ・チップヤード：360 m <sup>2</sup> （屋根付） ・貯蔵日数：チップ化は年 1 回・最大貯蔵日数は 1 年	・3 基のチップボイラー毎に燃料貯蔵施設がある。 ・3 号機の貯蔵容量は 80m <sup>3</sup> （4m×4m×深さ 5m）。 ・1、2 号機は蓋付きの貯留施設であったが、現在は上屋付きに改造している（湿気対策）。	・大部分は原木の状態屋外に保管。 ・チップは屋根つきヤードに保管	・原木ヤード：420 m <sup>2</sup> （14m×30m、野積） ・チップ乾燥施設：57 m <sup>2</sup>	・プレーナ屑はサイロ（約 600m <sup>3</sup> ）で保管。 ・含水率が低いので発酵防止や発火防止などの心配がない。	・積みおき高さは発火防止の 5m 以内となる 4m として設計。
加工の概要	・年に一度剪定作業・チップ化を実施（工事委託）。 ・H24 のチップ化実績は約 250m <sup>3</sup> 。	・加工は行っていない。	・H23 のペレット製造・販売実績：394t。 ・H23 に原料乾燥プロセス用ボイラーを灯油焚きから木質ボイラーに更新。	・乾燥処理に併せて移動式チップパーでチップ化。 ・乾燥施設の処理能力は 40m <sup>3</sup> /回（年間 800～100m <sup>3</sup> の乾燥チップが生産可能）	・社内製造工程からそのまま受け入れており、それに合わせたペレット製造工程になっている。	・加工は行っていない。 ・木チップは関連会社（やまがたグリーンリサイクル株式会社）で製造している。
加工プロセスフロー	・移動式チップパーにより実施。 ・工事委託で実施している。	—	・一次破碎→乾燥→二次破碎→乾燥養生→ペレット造粒	・破碎→乾燥（ソーラー）	・ペレット造粒のみ（プレーナ屑を原料としているので前処理なし）	—
加工物の性状	・加工物の形状：切削チップ ・大きさ：揃えることが望ましい（現状は揃っていない）。 ・含水率：チップ化直後、乾量ベースで 100～110%。	—	・一般販売有り。 ・高位発熱量：18MJ/kg ・湿量基準含水率：5% ・長さ：10mm 以上、（社）地域環境資源センターホームページ <sup>※1</sup>	・乾燥後の性状は以下のとおり。 ・高位発熱量：19.1MJ/kg（絶乾） ・湿量基準含水率：29.8% ・灰分：2.4%	・低位発熱量：16.8MJ/kg ・湿量基準含水率：8%以下 ・長さ：30mm 以下 ・灰分：0.3%以下	—
加工に必要な設備、機器	・工事委託で実施している。	—	・一次破碎機、二次破碎機（おが粉製造機）、木くずボイラー、ロータリーキルン式乾燥機、ペレタイザ	・切削式チップパー ①コマツゼノア SR3000（能力 2～3m <sup>3</sup> /h） ②マルマテクニカ（能力 8m <sup>3</sup> /h）	・ペレタイザ（㈱御池鉄工所 ①型式 SPM-500、処理能力 1t/h×2 台 ②型式不明、処理能力 3t/h×1 台	—
備考	4.3.4(2)1(i)ii)①参照 4.3.4(2)1(iii)ii)①参照	4.3.4(2)1(iii)ii)④参照		4.3.4(2)1(iii)ii)②参照		4.3.4(2)1(i)ii)③参照

※1: <http://www2.jarus.or.jp/biomassdb/static/5/35/535050100.html#top> (H25.3 参照) <sup>43)</sup>



図面の出所：環境省新宿御苑管理事務所

図 3.5-1 新宿御苑のストックヤード平面・断面図



図面の出所：環境省新宿御苑管理事務所

図 3.5-2 新宿御苑のボイラー室平面図

### 3.6 都市由来植物廃材のエネルギー利用における課題

#### 3.6.1 都市由来植物廃材のエネルギー利用に関する調査

##### (1) 植物廃材のエネルギーの活用事例文献調査

表 3.6-1 に示した事例収集のための参考資料、および各種文献、インターネットをもとに事例調査を行った。調査件数は約 500 件となったため、本技術資料では「技術の分類」ごとの件数（表 3.6-2 参照）を示す。

表 3.6-1 事例収集のための参考資料

資料名	作成機関
バイオマスエネルギー導入ガイドブック(第3版)	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構
エネルギー利用可能な木質バイオマスに関する最新動向調査 調査報告書	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構
バイオマス利活用技術情報提供システム(最新版) ( <a href="http://www2.jarus.or.jp/biomassdb/">http://www2.jarus.or.jp/biomassdb/</a> )	(社)地域資源循環技術センター
RPS 管理システムバイオマス発電設備一覧(最新版) ( <a href="http://www.rps.go.jp/">http://www.rps.go.jp/</a> )	資源エネルギー庁
地域バイオマス発見活用促進事業「バイオマス利活用施設データ」(最新版) ( <a href="http://www.jora.jp/txt/kbm/facilities/index.html">http://www.jora.jp/txt/kbm/facilities/index.html</a> )	農林水産省、(社)日本有機資源協会
バイオマスタウン構想バイオマス情報ヘッドクォーター ( <a href="http://www.biomass-hq.jp/">http://www.biomass-hq.jp/</a> )	(株)東大総研
バイオマス利活用の取組事例集の web 情報	農林水産省、地方農政局
新エネ百選 ( <a href="http://www.nedo.go.jp/activities/DA_00478.html">http://www.nedo.go.jp/activities/DA_00478.html</a> )	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構
その他(メーカーパンフレット、バイオマス燃料製造業協会等の知見、WEB情報、既往知見など)	

表 3.6-2 「技術の分類」ごとの調査件数

固体燃料化	直接燃焼 (専焼)	炭化	ガス化 (発電・熱利用)	セルロース系 発酵	合計
88	382	19	27	2	518

固体燃料化の内訳

チップ	ペレット	その他	計
12	60	16	88

## (2) 植物廃材のエネルギーの活用事例アンケート調査

### 1) 調査の概要

国内で木質バイオマスのエネルギー利用を行っている 518 件の事例に関してアンケートを実施し、204 件（39%）から回答を得た。

### 2) 調査対象

発送先リストは省略する。

### 3) 調査時期

アンケートは、平成 25 年 1 月上旬に送付し、平成 25 年 1 月末を目途に回収した。

### 4) アンケート調査項目

施設の概要（施設名称、供用開始年、助成の有無等）、維持管理、燃料化技術の区分、バイオマスの処理実績、原料受入時の課題、原料の貯蔵方法・安全対策、燃料の製造量・性状・発熱量等、燃料の用途、燃料の貯蔵方法・安全対策、設備の概要、廃棄物処理法に基づく許可について調査した。

### 5) アンケート調査

#### (i) アンケート回収数

固体燃料化の回収数は 88 施設中 31 施設、直接燃焼・ガス化は 409 施設中 164 施設、炭化は 19 施設中 9 施設、セルロース系発酵は 2 施設中 0 施設、合計 204 施設の回答があった。

表 3.6-3 アンケート調査の回収状況

技術の分類	発送数 (施設)	回収数 (件)	回収率 (%)
固体燃料化	88	31	35%
直接燃焼・ガス化 ※共通フォーマットで発送	409	164	40%
炭化	19	9	47%
セルロース系発酵	2	0	0%
計	518	204	39%

#### (ii) アンケート調査結果

回答結果のうち剪定枝、刈草の受け入れ状況について以下に示す。

##### i) 固体燃料化

###### (a) 剪定枝

31 施設中 7 施設で剪定枝の受け入れを行っているという回答があった。このうちチップ化が 4 施設（うち 1 施設はペレット施設も所有）、ペレット化が 2 施設、薪が 1 施設であった。

剪定枝の受け入れに当たっての課題として、問題がないとの回答が 3 施設に対して、水分が多い（2 施設）、搬入量の変動が多い（3 施設）、品質にばらつきがある（2 施設）、前処理に手間がかかる（3 施設）があげられている。（重複回答可）

###### (b) 刈草

31 施設中 2 施設で刈草の受け入れを行っているという回答があった。このうちチップ化が 1 施設（ペレット施設も所有）、ペレット化が 1 施設であった。

刈草の受け入れに当たっての課題として、問題なしが 1 施設（ただし、自由回答として、草

の根は破砕機に通す事が出来ないので受入れしていないとの回答あり。)、課題として搬入量の変動が多い(1施設)があげられている。

## ii) 直接燃焼・ガス化

### (a) 剪定枝

164 施設中 16 施設で剪定枝の受け入れを行っているという回答があった。このうち直接燃焼が 11 施設、ガス化が 2 施設、未記入が 3 施設であった。

剪定枝の受け入れに当たっての課題として、問題がないという回答が 2 施設に対して、発生量が少ない(3施設)、水分が多い(9施設)、搬入量の変動が多い(5施設)、品質にばらつきがある(5施設)、前処理に手間がかかる(5施設)、その他として「低発熱」、「燃料として不適」、「土砂の付着が多い」があげられている。(重複回答可)

### (b) 刈草

164 施設中 7 施設で刈草の受け入れを行っているという回答があった。このうち直接燃焼が 4 施設、ガス化が 1 施設、未記入が 2 施設であった。

刈草の受け入れに当たっての課題として、問題がないという回答が 1 施設に対して、水分が多い(4施設)、搬入量の変動が多い(3施設)、品質にばらつきがある(2施設)、前処理に手間がかかる(2施設)、その他として「低発熱」、「設備にまきつく」があげられている。(重複回答可)

## iii) 炭化

### (a) 剪定枝

9 施設中 5 施設で剪定枝の受け入れを行っているという回答があった。

剪定枝の受け入れに当たっての課題として、問題がないという回答が 1 施設に対して、水分が多い(1施設)、搬入量の変動が多い(3施設)、品質にばらつきがある(2施設)、前処理に手間がかかる(1施設)、その他として「処理過程でガス発生量・タール分が多い」があげられている。(重複回答可)

### (b) 刈草

9 施設中 3 施設で刈草の受け入れを行っているという回答があった。

刈草の受け入れに当たっての課題として、問題がないという回答が 1 施設に対して、品質にばらつきがある(1施設)、その他として「刈草は別途施設(堆肥化)で処理している」があげられている。(重複回答可)

## 3.6.2 植物廃材のエネルギー利用に関する現状

### (1) 剪定枝のエネルギー利用

剪定枝のエネルギー利用については、直接燃焼による熱利用の事例が多い(八王子市長池公園、新宿御苑など)。発電については、万博記念公園(大阪府吹田市)において園内の植物廃材を活用した木質ボイラーコージェネレーションシステム(スターリングエンジンを付設)利用が行われている。また木質チップの燃料の一部に剪定枝が使用されている事例がある。例えば、やまがたグリーンリサイクル株式会社では、間伐材等と混合(間伐材7割に対して剪定枝等の廃棄物系が3割程度)して木質チップ化し、関連会社のやまがたグリーンパワー株式会社のガス化発電施設の燃料に使用されているが、現状の混入割合程度であれば問題なく稼働していると



のことである。

なお、大規模なボイラー・発電施設や石炭混焼発電施設においも、量はわずかではあるが、剪定枝が搬入され、エネルギー利用されている。

## (2) 刈草のエネルギー利用

刈草のエネルギー利用については、事例が少なく、熊本県阿蘇市において、ロータリーキルン方式のガス化技術によりススキを原料としたエネルギー化実証の実績があるが、現在休止中である。

公園や河川、道路事務所等での直接の刈草のエネルギー利用の事例は見られなかったが、民間の刈草の処理業者の方で燃料として利用している事例が見られた。国土交通省中国地方整備局中国技術事務所では、平成 13 年度から官民共同により、多量に発生する刈草の有効利用を目的として、刈草を減容固形化(RDF)する装置[刈草 RDF 製造車]、刈草 RDF を炭化する装置[刈草 RDF 炭化製造車]の開発に成功した。ただし、多目的利用であり、固形燃料化のみを目的とするものではないが、作業効率やコスト、刈草 RDF 炭化製造車では関連法規の適用などで、実用化にはいたっていないということであった。(2.2.3(2)2) 参照)

なお、刈草のエネルギー化技術、もしくは前処理技術として期待されるものに「トレフアクション」があり、現在研究が進められている。

### 3.6.3 現段階における課題

#### (1) 発電

##### 1) ガス化

ガス化発電については、NEDO の実証事業等により、多くの実証実験が行われているが、現在までに実用化されている事例は多くない。「バイオマス事業化戦略」においてガス化は、下水汚泥で実用化としているものの、それ以外は現時点において実証段階の技術レベルと位置づけられ、5年後の実用化にむけた技術的な課題としては次のものが挙げられている。

- ・エネルギー利用効率の改善
- ・タール等の抑制・除去・利用技術の開発
- ・小型高性能ガス化炉の開発
- ・ガス化原料調整のための効率的なバイオマス粉碎技術の開発
- ・高耐久・高効率なガス利用設備（ガスエンジン等）の開発

バイオマス事業化戦略におけるこのような課題に加え、有識者ヒアリングにおいても技術的な課題が挙げられたものの、小規模分散型エネルギー供給システム、特に発電システムとしては有効な方法であるため、今後の技術開発が待たれるところである。

##### 2) スターリングエンジン

ガス化発電以外の発電技術としては、スターリングエンジン付き木質ボイラーがある。ヒアリング調査からは発電出力が少ないことや、安定した出力が得られないとの意見もある。

#### (2) 熱利用

木質バイオマスボイラーによる暖房・給湯等の熱利用については、主に間伐材を原料とする木質チップボイラーなど数多くの実績がある。ただし、エネルギー利用施設からは燃料の安定供給に対する不安や、含水率等の一定品質の確保といった要望も聞かれた。

### 3.6.4 都市由来植物廃材のエネルギー利用への適用可能性

#### (1) ガス化発電

東日本大震災の発生により電力供給が寸断され、避難・救助活動に大きな影響を及ぼした。平時はもとより災害時に、ライフラインが復旧するまでの数日間、最低限必要な電力を自立的に確保する必要がある。具体的な手法として常用発電機や長時間型非常用発電機の設置があるが、災害の影響で燃料源である石油系燃料の供給が遮断された場合、安定的な電力供給が確保できないことも懸念される。このため、電力の供給方法については、多くの選択肢を準備しておくことが必要である。

ガス化発電もその一手法であり、公園において定常的に発生する剪定枝や伐採木を燃料源として利用可能で、さらに宮城県南三陸町に設置された日処理量 20t のガス化発電プラントがそうであるが、災害瓦礫の中で比較的ダメージの少ない木質系災害廃棄物を燃料源として利用することも可能である。

「バイオマス事業化戦略」において概ね5年後の実用化と位置づけられているものの、ガス化発電は都市空間で調達可能なバイオマスを燃料源とする発電システムとして現実的な方法であり、技術開発による早期の実用化が待たれるところである。

#### (2) 熱利用

熱利用では、技術的な熟度から薪やチップ、ペレットを燃料としたバイオマスボイラーによる直接燃焼が現実的な選択肢と言える。また、直接燃焼では導入実績の多い暖房給湯利用に加え、最上町や山口県の施設のように吸収式冷凍機とシステム化することで冷房利用も可能となる。

燃焼の効率性では、既に石油系燃料焚きのボイラーと充分張り合えるレベルに達してきたが、課題もある。具体的には、導入時（設計時）の課題として負荷変動に緩慢であること、部分負荷運転に限界があることなどがあり、また運転時の課題として原料の含水率の管理、異物の混入防止などが挙げられる。

## 参考資料リスト（文献・報告書・資料・ウェブサイト）

- 1) バイオマス事業化戦略（平成 24 年 9 月、バイオマス活用推進会議）  
<http://www.maff.go.jp/j/press/shokusan/bioi/pdf/120906-02.pdf>
- 2) 木質資源とことん活用読本（熊崎実先生／沢辺攻先生編著，社団法人農山漁村文化協会発行，2013. 3）
- 3) 改訂 4 版木材工業ハンドブック（森林総合研究所監修，丸善株，2004. 3）
- 4) バイオマスプロセスハンドブック（公益社団法人化学工学会・一般社団法人日本エネルギー学会 共編，株オーム社発行，2012. 5），p238
- 5) 化学工学概論（水科篤郎・桐栄良三編，産業図書株，1979. 3），p207
- 6) 改訂五版 化学工学便覧（社化学工学協会編，丸善株，1988. 3）
- 7) ソーラードライシステムパンフレット（株日比谷アメニス）
- 8) 草木系バイオマスの組成分析データ集（ISSN0386-5878 土木研究所資料第 4095 号）
- 9) 高知県森林技術センター平成 17 年度研究成果報告書（中山間地域における森林バイオマス資源の有効利用技術開発事業（スギ丸太とスギチップ天然乾燥中の乾燥特性の把握）），p22-23  
[http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/030102/files/2009122400246/2009122400246\\_www\\_pref\\_kochi\\_lg\\_jp\\_uploaded\\_attachment\\_21384.pdf](http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/030102/files/2009122400246/2009122400246_www_pref_kochi_lg_jp_uploaded_attachment_21384.pdf)
- 10) 平成 17 年度～平成 21 年度 バイオマス等未活用実証試験 公園内木質バイオマス有効活用システム実証試験事業 成果報告書 平成 22 年 3 月：独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（共同研究先）特定非営利活動法人里山倶楽部
- 11) 木材チップ等原料転換型事業 調査・分析報告書（平成 23 年度；全国木材チップ工業連合会），全国木材チップ工業連合会ホームページ（<http://zmchip.com/hyousi23.html>）
- 12) 農林水産技術会議（農林水産省）研究成果  
第 499 集 地域活性化のためのバイオマスの利用技術の開発（2）第 3 編，p157  
<http://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/2039017291.pdf>
- 13) ペレニアルライグラスの乾燥利用の検討，北海道立農業試験場集報第 75 号（1998），p38  
<http://www.agri.hro.or.jp/center/kankoubutsu/syuhou/75/75-8.pdf>
- 14) 下水試験方法 上巻 2012 年版（公益社団法人 日本下水道協会）
- 15) ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2006 改訂版（社団法人全国都市清掃会議）
- 16) H17 年度産廃処理業の許可申請講習会テキスト第 9 章中間処理（財）日本産業廃棄物処理振興センター（2005），pp. 65-68，pp. 74-75，p. 96
- 17) 株御池鐵工所 ホームページ <http://www.miike.co.jp/guide/spm/guide.pdf>
- 18) 株アースエンジニアリングパンフレット
- 19) バイオマスハンドブック第 2 版（一般社団法人日本エネルギー学会 編，株オーム社発行，2009. 12）
- 20) 一般社団法人新エネルギー財団ホームページ  
[http://www.nef.or.jp/enepolicy/sub03\\_03.html](http://www.nef.or.jp/enepolicy/sub03_03.html)
- 21) 岸本定吉著，炭，創森社発行，1998
- 22) 大同特殊鋼パンフレット
- 23) 木材工業ハンドブック改訂 3 版（丸善株），p855
- 24) 関西産業パンフレット
- 25) 東海テクノパンフレット
- 26) 芝本，栗山：木材炭化（朝倉書店），p34
- 27) 吉田貴紘・佐藤哲也・大原誠資（2009）トレファクションによる高性能木質ペレット「ハイパー木質ペレット」の技術開発，木材工業，vol. 67, No.12. 560-565，（社）日本木材加工技術協会
- 28) 木質バイオマスボイラー導入指針（平成 24 年 3 月、株森のエネルギー研究所）  
[www.mori-energy.jp/pdf/lca\\_boilershishin.pdf](http://www.mori-energy.jp/pdf/lca_boilershishin.pdf)

- 29) 空気調和ハンドブック改訂3版(井上 宇市編,丸善出版,1982.1)
- 30) 独立行政法人 産業技術総合研究所 プレス発表資料 寒冷地用最適コージェネ・システムの開発  
-スターリングエンジン採用で家庭用の発電・給湯バランスを自由自在に-(平成18年8月2日発表)  
[http://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2006/pr20060802/pr20060802.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2006/pr20060802/pr20060802.html)
- 31) バイオマス技術ハンドブック(財団法人新エネルギー財団編/社団法人日本エネルギー学会編集協力, 株式会社発行, 2008.10)
- 32) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構: バイオマス賦存量・有効利用可能量の推計:  
<<http://apl.infoc.nedo.go.jp/biomass/index.html>>, 2011.3.31 更新, 2012.7.17 参照
- 33) 秋山義典(2005): 国営昭和記念公園におけるみどりのリサイクル事情  
資源環境対策 41(5), 18-21
- 34) 国土交通省都市局(2012): 国営公園再生可能エネルギー実証事業説明書(別添資料4 国営公園における植物廃材の発生量), 1pp
- 35) 吉川邦夫(2011): バイオマスの低カロリーガス化と分散型発電, 吉川邦夫・森塚秀人監修「バイオマスを利用した発電技術」: シーエムシー出版, 14pp, 74-87 に所収
- 36) P. Quaak, H. Knoef and H. E. Stassen (1999): Energy from biomass- a review of combustion and gasification technologies- (World Bank Technical Paper): The World Bank, 99pp
- 37) 東京電力: 業務用電力(契約電力500kW以上): 東京電力ホームページ,  
ジ,<<http://www.tepco.co.jp/e-rates/corporate/charge/charge07-j.html>>, 2013.09.18 更新,  
2013.09.18 参照
- 38) 環境省(2006): 中央環境審議会廃棄物・リサイクル部会廃棄物の区分等に関する専門委員会(第1回)資料3木くずの現状について: 環境省ホームページ,  
<<http://www.env.go.jp/council/former2013/03haiki/y0312-01.html>>, 2013.07.16 更新,  
2013.08.20 参照
- 39) 環境省: 平成23年度の電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等の公表について(お知らせ): 環境省ホームページ,  
<<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=15912>>, 2012.11.06 更新, 2013.08.20 参照
- 40) 国土交通省: 公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針(共通編): 国土交通省ホームページ  
<<http://www.mlit.go.jp/tec/hyouka/public/090601/0906012.html>>, 2013.04.19 更新,  
2013.9.20 参照
- 41) 東北電力ホームページ: <http://www.tohoku-epco.co.jp/>
- 42) 曾根直幸・山岸 裕・栗原 正夫・大場 龍夫・河野 良彦・根本 泰行(2014): 都市公園における木質バイオマスを活用したガス化発電技術の導入可能性に関する研究: ランドスケープ研究 77(5), 693-696
- 43) (社)地域環境資源センターホームページ  
<http://www2.jarus.or.jp/biomassdb/static/5/35/535050100.html#top>
- 44) バイオマスエネルギー導入ガイドブック 第3版、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構
- 45) エネルギー利用可能な木質バイオマスに関する最新動向調査 調査報告書((独)新エネルギー・産業技術総合開発機構)
- 46) バイオマス利活用技術情報提供システム(最新版) <http://www2.jarus.or.jp/biomassdb/>
- 47) RPS 管理システムバイオマス発電設備一覧(最新版) <http://www.rps.go.jp/>
- 48) 地域バイオマス発見活用促進事業「バイオマス利活用施設データ」(最新版)  
<http://www.jora.jp/txt/kbm/facilities/index.html>
- 49) バイオマスタウン構想バイオマス情報ヘッドクォーター <http://www.biomass-hq.jp/>
- 50) 新エネ百選 [http://www.nedo.go.jp/activities/DA\\_00478.html](http://www.nedo.go.jp/activities/DA_00478.html)