

太陽熱を利用した燃料用木質チップ乾燥技術 ～大規模公園における導入事例から～

Wood Chip Drying System Using Solar Heat - Case Study in Urban Park -

大西竹志*

1. はじめに

2015年に採択されたパリ協定等を背景に、日本においても再生可能エネルギーの一層の導入が求められている。そして、可能エネルギーの一つとして、木材チップや木質ペレット等の木質バイオマスが注目され、利用量が急増している。

2016年5月に変更された森林・林業基本計画では、2025年における未利用木質バイオマスの燃料材（ペレット、薪、炭および燃料用チップ）利用目標を原木換算で800万m³と見込んでいる⁽¹⁾。これは絶乾重量に換算すると、320万絶乾tになるが、この目標値に対し、2017年にエネルギーとして利用された木材チップの量は263万絶乾tを越えており、すでに82%の達成率となっている⁽²⁾。

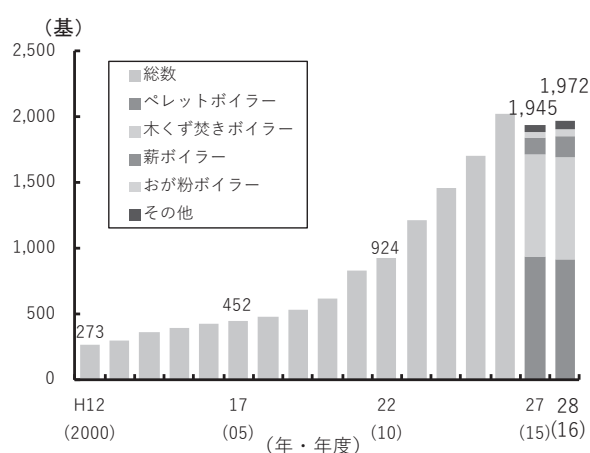
こうした状況の大きな要因として、木質バイオマス発電が挙げられる。現在のFIT制度（固定価格買取制度）における未利用木質バイオマス発電は、導入容量32万kW、認定容量49万kW（2018年3月末時点）となっている⁽³⁾。この認定容量がすべて稼働した場合、17万kW分の設備容量が上乗せされることになる。上乗せ分をチップ量に換算するため、発電設備の仕様や規模にもよるが、一般的な数字として発電出力あたりの燃料チップ使用量を1,000kW当たり1.2万t（水分40%、湿潤基準重量、wet base、以下W.B.）とすると、204万tとなる。よって、これを絶乾tに換算した122.44万tが上乗せ分となる。このことから、燃料材供給余力は320万tから263万tを差し引いた57万tのため、2025年を待たずに未利用木質バイオマスの燃料材が不足することが想定され、日本の有限な森林資源の持続的な活用には大きな課題がある。

加えて、地域内での木質燃料利用を担う熱利用バ

イオマスボイラの累積導入数も増加傾向にあり、2014年度には全国で2千基を越えている⁽²⁾。また、各地におけるバイオマスボイラ導入の動きは依然多く、今後も長期的な増加が見込まれている。

こうした状況を踏まえると、2025年の目標量を大きく超えるであろう燃料需要量に対し、燃料供給の側からも何らかの対応が必要となる。

そうした中、木質燃料資源の需給バランスを取るための方策の一つとして注目されるのが、木質燃料に含まれる水分量に着目した「乾燥」である。そこで本稿では、東京都に位置する大規模公園にて弊社が実際に運用している木質バイオマスエネルギーの活用事例を基に、太陽熱を利用した燃料用木質チップの乾燥技術について紹介する。



平成26(2014)年までは、各年度末時点の数値。林野庁木材利用課調べ。
平成27(2015)年は、当年末時点の数値。林野庁「平成27年木質バイオマスエネルギー利用動向調査」。

図1 木質資源利用ボイラ数の推移

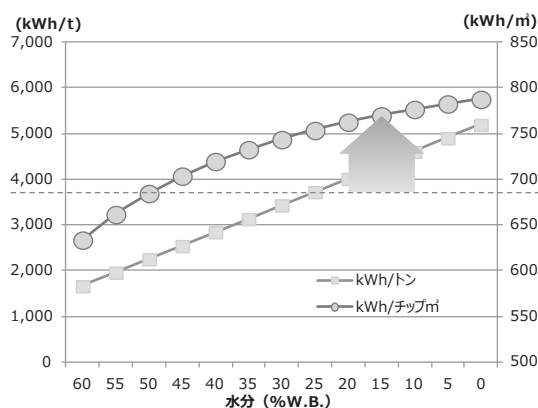
* (株) 日比谷アメニス 環境エネルギー部

2. 求められている乾燥チップ

燃料材の取引において、ユーザーが必要とするのは燃料そのものではなく、そこから得られる熱エネルギーである。よって、化石燃料は規格により統一の品質を保っているためあまり意識する必要がないが、木質チップから得られる正味の熱量は、含まれる水分量により変化する低位発熱量をベースとすることが必要となる。

例えば、水分 50%W.B. の木質チップを 25%W.B. まで乾燥させた場合、木質チップ 1t 当たりの低位発熱量は約 2,333kWh から約 3,861kWh と、65% 程増加する。ただし、実際には乾燥することによりチップの重量も 1t から 0.67t に減少するために注意が必要となる。そこで、この状況を理解しやすくするためには、チップを容積で考えることが有効である。水分 50%W.B. のチップのかさ密度を $0.3\text{t}/\text{m}^3$ とすると、25%W.B. まで乾燥することでかさ密度は $0.2\text{t}/\text{m}^3$ となる。実際には、乾燥によりチップ自身に収縮が多少起こるが、乾燥前後でのチップ容積は大きくは変化しないため、重量で考えるよりも間違いが起りにくくなる。

そこでチップ 1m^3 当たりで比較すると、水分 50%W.B. から 25%W.B. までの乾燥により、その低位発熱量は約 685kWh から 754kWh へと 10% 程増加する⁽⁴⁾。



参照：LWF（バイエルン州森林・林業局）資料より作成
単位：かさ密度は0.3トン/チップm³（50%W.B.の時）

図2 水分別のエネルギー量（低位発熱量）の違い

特に、国内で未利用木質バイオマスとして用いられることの多いスギやヒノキは水分が高い樹種であり、50%W.B. を超える場合も多くある⁽⁵⁾。

以上より、元の資源量は同じでも乾燥をさせることで、エネルギー源として一割多くの役割を果たせ

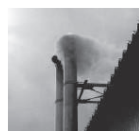
ることを意味し、木質資源の有効活用に貢献することが期待できる。

加えて、低水分の乾燥チップを製造し流通させることは、国内における未利用材の需給状況を鑑みると望ましいことであるが、乾燥チップには熱量以外にも次のようなメリットが挙げられる⁽⁶⁾。

- 運搬可能量. チップが軽くなることによる運搬車両への容積量の増大（過積載への対応）。
- 水分が高いままの状態での保管することによる有機分の減少（Dry Matter Loss）を防止する⁽⁷⁾。
- 保管性の向上・臭気の抑制. 低水分のチップは長期の保管が可能となる。
- ボイラ等イニシャルコストの低減. 乾燥チップ用のボイラの導入が可能となる。
- ボイラの負荷軽減. チップ水分により燃焼炉への負荷程度が変化する。
- 灰処分費用. チップの使用量が減少することで、灰の処分量が減少する。
- 排気対策. 乾燥チップを用いることで、ばいじん発生量が減少する。

排気環境性を向上

・不完全燃焼により発生するCO、NOx、PMの発生量を抑制。



保管性の向上・臭気の抑制

・発酵に起因する有機物分解によるエネルギーの減少を低減。
・カビの発生抑制により作業従事者の健康への影響を防止。

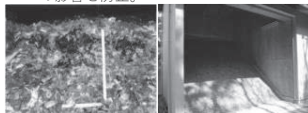


図3 乾燥チップの利点

このような状況から、一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会では、欧州を参考にしながら燃料用木質チップの規格を公開しており、その中で水分は燃料品質の重要項目として挙げられている。下図に示すM25という水分区分は、水分 25% 以下ということであり、一般的な燃焼機器であれば良好な燃焼が望める水分帯となる⁽⁸⁾。

表1 燃料用木質チップの水分別区分

水分区分	水分(W.B.) M	含水率(D.B.) U	状態
M25	≤25%	≤33%	乾燥チップ
M35	25%＜, ≤35%	33%＜, ≤54%	準乾燥チップ
M45	35%＜, ≤45%	54%＜, ≤82%	湿潤チップ
M55	45%＜, ≤55%	82%＜, ≤144%	生チップ

注) M>55%のチップは燃料として不適なため対象外。

3. 木質チップの乾燥方法

乾燥工程は、一般的には、比較的少量の水などの液体を含む材料に熱エネルギーを与えることで、液体を蒸発させて除去し乾いた製品を得る操作とされている。これは木質チップの乾燥で考えると、チップに含まれる液体の水に熱を与えて蒸発をさせるということである。水を蒸発させるために必要なエネルギー量は決まっており、例えば、20℃の水1kgを蒸発させるためには、2453MJの熱量が必要になる。しかし、実際には放熱ロスや木質チップ自体を温めるためにも熱量は使われるため、乾燥に必要となる用いられる熱エネルギーはこれより大きくなる。そこで、熱エネルギーをなるべく効率よく乾燥に使うことや、手に入りやすい安価なエネルギーを使うことが求められる。実際の乾燥では、熱エネルギーを木質チップに与える際の条件として、温度（温風温度）、湿度（外気湿度）、風量（温風乾燥の場合）等が挙げられる。

木質燃料の乾燥工程の特徴として、樹木を伐るところから燃料として利用されるまでの間の、様々な段階で乾燥手法があることが挙げられる。例えば立ち木状態で樹皮剥き乾燥、伐倒後の葉枯らし乾燥、丸太状態で乾燥、チップ状態で乾燥等である。また、乾燥技術は大きくは自然乾燥と人工乾燥に区分される。自然乾燥は丸太やチップの状態で屋外に設置する方法である。気象条件に左右されることや比較的敷地面積が必要となるなどの留意点があるが、風や日射等の自然条件を用いるために最も簡便な方法と言うことができる。一方で、季節や立地、燃焼機器によって求められる木質チップの乾燥度合いが異なるために自然乾燥では対応しきれない場合もある。その場合には人工乾燥が有効となる。人工乾燥は人工的に熱エネルギーを与える方式となるため、規模も大小があり、ドラム・ドライヤー方式、低温ベルト・ドライヤー方式、コンテナやチップ倉庫を用いた固定方式など多様な種類がある⁽⁶⁾。

木質燃料の乾燥を検討する際には、どの段階でどの乾燥方法を選択するのかを、以下に挙げる要件も踏まえながら整理した上で、ケースに応じた選択をすることが重要である。

《木質燃料の乾燥を検討する際の要件》

- ① 乾燥開始前の水分と目標とする水分（何％から何％まで乾燥させたいか）
- ② 木質チップの乾燥処理量（何m³または何t乾燥させたいか）

- ③ 対象物の性状（切削チップか破碎チップか、樹皮は含まれているか等）
- ④ 立地条件（気象条件や敷地面積等）
- ⑤ 乾燥用熱源（乾燥用の熱源に利用できるものがあるか）

本稿で紹介する太陽熱乾燥技術は、人工乾燥に区分されるものであるが、熱源には自然エネルギーである太陽熱を積極的に用いるという点で、自然乾燥と人工乾燥の中間的な技術となっている。

4. 取組概要

4.1 公園内における剪定枝のエネルギー活用

紹介する木質バイオマスのエネルギー利用の取組みは、東京都臨海部に位置し、民間事業者に運営委託がされている海上公園にて行われている。利用している木質バイオマスの原料は複数の海上公園の管理業務から発生する剪定枝であり、100～200t/年の発生量がある。東京23区より発生する剪定枝の発生量は、20,783t/年（2015）と想定され⁽⁹⁾、さらに増加を続けている。そのため、剪定枝の有効活用は廃棄物の資源循環という視点でも重要であり、本取組みは公園緑地から得られる剪定枝のエネルギー利用のモデルケースとなっている。

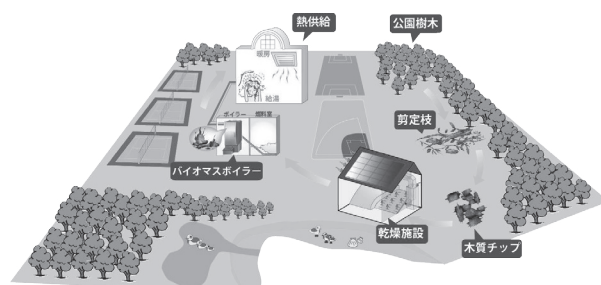


図4 取組概念図

取組みの流れとしては、公園から発生する剪定枝をチップ化し、公園内においても設置可能である小規模な太陽熱乾燥技術（日比谷アメニス、ソーラードライシステム[®]）にて乾燥を行っている。そして、乾燥チップはチップボイラーにて燃焼させ、そこから得られる温水をスポーツセンターの暖房及び給湯用の熱源として用いている。既存の都市ガスボイラーはバックアップとして機能させることで、化石燃料の使用量削減と利用者の利便性維持を図っている。

4.2 太陽熱乾燥技術

ソーラードライシステムは、欧州の太陽熱利用乾燥技術を持つ企業の基本技術をベースに国内企業の協力も得て設置したシステムである。屋根面に設置

した集熱パネルで集めた太陽熱を使って軒下に取り込んだ外気を温め、乾燥した空気を直接乾燥パネル上に集積したチップの下から吹き出しチップを効率的に乾燥させる仕組みとなる。既存倉庫等にも設置が可能であり、乾燥終了後に乾燥チップの搬出、生チップの搬入を行うバッチ式の乾燥方法である。乾燥に必要な主な投入エネルギーは温風を乾燥室に送るファンの電力のみとなっているため、乾燥に掛かるエネルギー消費量が少ないという特徴がある。乾燥能力としては、自然乾燥では通常半年以上必要となるが、本システムを利用することで1～6週間程度で水分50%の生チップを20%程度まで乾燥可能となる。

集熱パネルは空気式であり、パネル内部の集熱用金属部材の特殊形状により、パネル面積1m²につき、約5m²の集熱面積をつくりだしている。欧州の規格であるDIN EN ISO 9806に基づき性能評価がされており、最大効率は72%である。また、集熱パネル1枚のサイズは長さ2025 x 幅1010 x 厚み90mmとなっており、集熱面積は約2m²となる。この集熱パネルを、求める乾燥能力に合わせて、ヨコ方向及びタテ方向に連結して集熱面を形成していくものである。

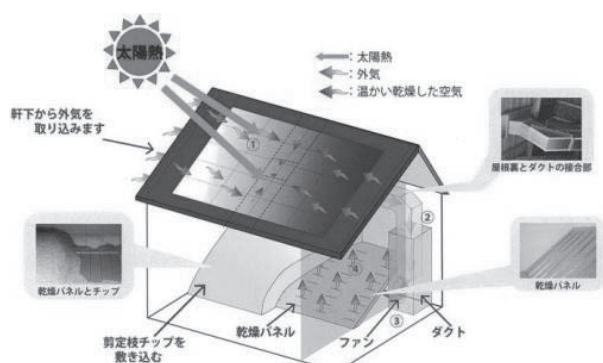


図5 ソーラードライシステムイメージ

乾燥に空気式で太陽熱を用いるメリットには、熱が均一になりやすく空気の漏れを防ぎやすい、そして凍結の心配がなくメンテナンスが容易といった点等が挙げられる。一方で、デメリットとしては日射量の季節変化や日変化に大きな影響を受けることや熱容量が小さいこと等が挙げられる。

導入事例としては、ソーラードライシステムは国内では2ヶ所であるが、海外では欧州や南米を中心に約400箇所に導入されている。集熱面積では2～480m²の実績があり、南米では農産物の乾燥が主であるが、欧州では地域の農林家が副業として運用し

ている場合が多く、木質燃料の乾燥用途で100ヶ所程の導入事例がある。



図6 欧州における導入施設

上述したように集熱面積は乾燥要求量に応じて設定されるものであり、集熱面積と1バッチのチップ乾燥容量の目安が対応する。

表2 集熱面積と乾燥容量の関係

	集熱面積 (m ²)							
	24	48	72	96	144	192	240	400
チップの乾燥容量 (m ³)	40	○	○					
	60	○	○	○				
	80		○	○	○			
	100		○	○	○			
	100×2				○	○	○	
	100×4						○	○
	100×8							○
年間処理量 (m ³)	400-500	800-1000	1200-1400	1800-2000	2500-2800	3500-4000	4400-5000	7300-8300

※表の数値は、欧州の気候下での想定能力。

こうした特徴や海外での事例を踏まえると、本システムは、比較的小規模な乾燥処理量に対応するシンプルなシステムであり、地域内での再生可能エネルギー導入に寄与する、スローテクノロジーとして捉えている。

4.3 施設諸元

公園内に導入したソーラードライシステムは、国内における最初の導入例であり試行的に行ったものである。本事例における集熱パネルの面積は40m²、建築面積は約57m²、1回の乾燥容量は36m³である。この設備で水分を20%W.B.以下まで乾燥させ、良

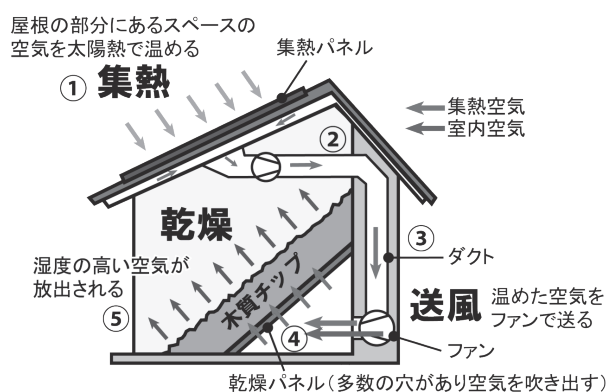


図7 太陽熱木質チップ乾燥施設



図8 燃焼施設及び使用状況

好な燃料として用いている。

燃焼施設は、HARGASSNER 社製（オーストリア）のコンテナ格納式木質チップボイラを導入しており、出力は100kWである。コンテナ式とすることで、設備導入を容易にしている。また既存の化石燃料を用いたボイラはバックアップとして利用している。

4.4 運用状況

燃料用木質チップ生産全般に係る運用オペレーションを以下に示す。公園内のストックヤードに剪定枝を集積し、チップパーで破碎した後にソーラードライシステムに搬入し、乾燥を行う。乾燥期間中は、



図9 乾燥施設及び使用状況

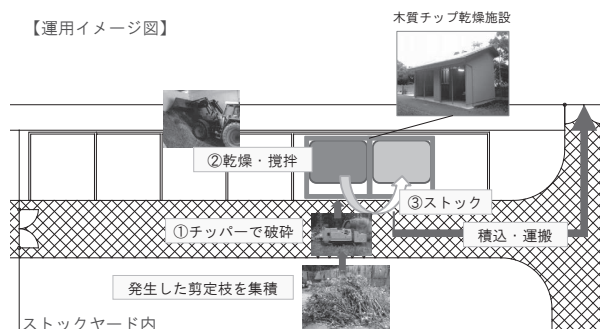


図10 燃料用木質チップ生産オペレーション

週1回程重機で攪拌を行い、乾燥ムラを低減させる。その後乾燥チップはストックされ、ボイラ側の燃料需要に合わせて運搬を行っている。

5. 性能評価

5.1 チップ乾燥試験の結果

乾燥能力を示す例として、運用を開始した2012年度以降の運用実績から、夏季の乾燥試験結果を示す。水分の測定には、堆積チップに直接差し込むことで測定が可能な差し込み式水分測定器（humimeter BLL, Schaller 社, オーストリア）を用い、チップ容量 36m^3 に対して測定点6点、深さ別で6点（0, 30, 60, 90, 120, 140cm）の計36点の測定を乾燥期間中は毎日行い、体積加重平均によりチップ全体の水分を求めた。乾燥開始後3日間の乾燥度合いの滞りは降雨の影響と考えられる。また、7日目には水分の均一化のために重機にて攪拌を行ったために測定値が一時的に上昇している。乾燥期間を通してみると、約10日間で目標とする20%（wet base）以下の水分に至っていることがわかる。また、熱源に太陽熱を用いているため、チップの容積当たりの乾燥による増加エネルギー量は約 $94\text{kWh}/\text{m}^3$ であったのに対し、システムの運用に要する投入エネルギー（ファンの消費電力量）は $35\text{kWh}/\text{m}^3$ となった。このことから、電気エネルギー1の投入に対し、熱エネルギー25を出力させることができ、その効率の高さが示されている。

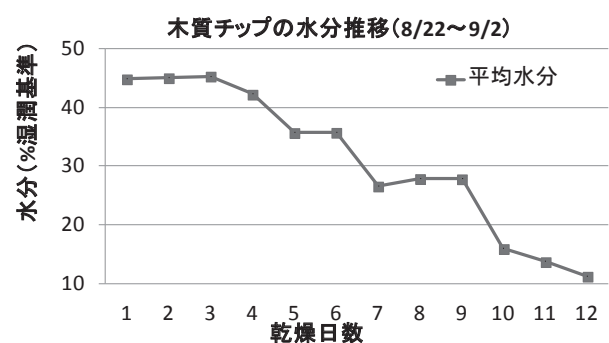


図11 木質チップの水分変化

下図に、晴天時のシステム内の環境計測データを示す。晴天日は日射量が多いために、外気温が最も高い正午付近には外気温が約 34°C であったのに対し、集熱温度は約 52°C となっている。他の晴天日においては外気温より最大約 25°C 上昇することも確認しており、この温風を室内空気と混ぜ風量を増やすことで乾燥用温風としている。また、集熱効

果によりシステム内の相対湿度は約 55% から約 23% に低下しており、乾燥用の温風としての適正を示していた。

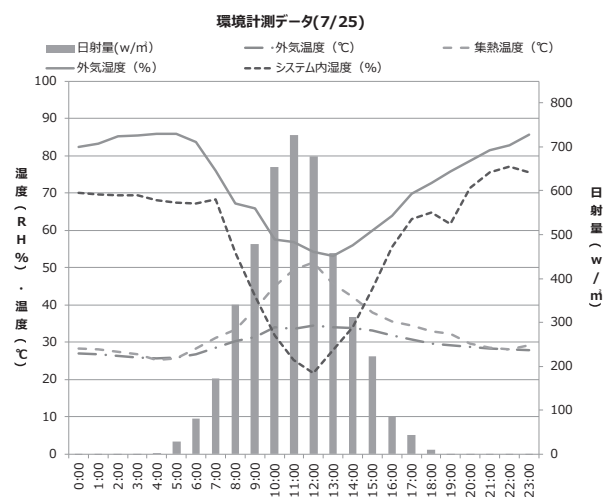


図 12 乾燥状況計測データ

5.2 取組による化石燃料の削減効果

既存の都市ガス使用量をメーターから読み取り、チップボイラからの送熱量は積算熱量計（Heat meter KSE, Azbil 社）により読み取ることで双方を熱量に換算し、スポーツセンターの熱需要に対する燃料種別の把握を行った。熱需要の多い季節は暖房を利用する冬季であるが、通年平均では約 80% を既存の化石燃料から木質バイオマスで代替していた。また、12 月、1 月の代替率の低下は、当該年度の降雪の影響によりチップの運搬が滞ったためであり、本来代替率はより向上するものと考えられる。

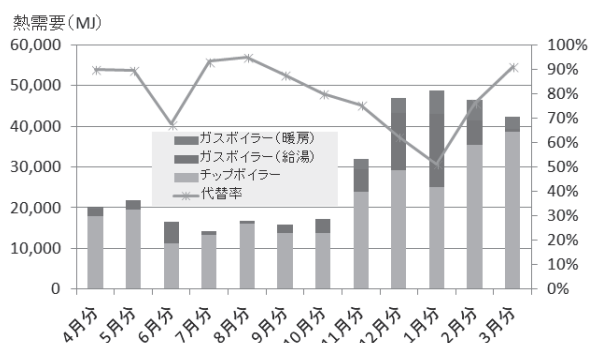


図 13 熱需要に占める各燃料の割合

6. 今後の課題・展望

本稿では、乾燥木質チップの有用性を示し、そのための乾燥方法として、太陽熱を利用した技術の紹

介と、導入事例から得られている効果を示した。また、既往研究では本取組のエネルギー産出比を求めており、LNG より大きく上回ることが示されている⁽¹⁰⁾。

太陽熱による木質燃料の乾燥は、人工的な熱源が利用できない地域でも導入が可能であり、小規模でかつ燃焼を伴わないために安全性も高いという特徴も有している。木質バイオマスは地域の資源として循環利用されていくことが経済及び環境の両面から合理的であることを踏まえると、今後の国内における木質バイオマス利用の進展に合わせて、より注目されていくものと考えている。

一方、国内では木質燃料の水分に留意した、低位発熱量熱をベースとした取引が十分に浸透しているとはいえない状況にある。

欧州では燃料用木質チップの規格が存在・浸透し、さらに水分により異なる価格付けがなされていることもあり、乾燥チップの経済価値が認められている。燃料用木質チップの調達単価は関連する事業者にとって経済的影響が大きいことから、今後は、木質チップは固形燃料であるという認識を一般化し、重要な品質項目として水分別の適正な価格形成が望まれる。そして、燃料用木質チップ市場が活性化することで、燃料用木質チップの乾燥技術もビジネスフィールドとして拡大していくことが期待される。

参考文献

- 1) 林野庁, 森林・林業基本計画, 2016, 17.
- 2) 林野庁, 木質バイオマスエネルギー利用動向調査 (April. 2019). http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/mokusitu_biomass/
- 3) 加藤鐵夫, 新たなフェーズを迎えた木質バイオマスエネルギー利用, 山林, 1616 (2019), 38-40.
- 4) LWF, Merkblatt 12, 2014, 3.
- 5) 熊崎実・沢辺攻編, 木質資源とことん活用読本, 37 (2013), 農山漁村文化協会, 東京.
- 6) 一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会編, 地域ではじめる木質バイオマス熱利用, 31-41 (2018), 日刊工業新聞社, 東京.
- 7) Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, lwf-wissen-21, 1999, 49.
- 8) 一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会, 燃料用木質チップの品質規格 (April. 2019). <https://www.jwba.or.jp/woodbiomass->

chip-quality-standard/

- 9) 杉崎 聡・高口 洋人, Utilization of Biomass produces from trees for energy in Tokyo 23 wards, アジア都市環境学会大会梗概集 (2008).
- 10) 高橋達・深田悠平・大西竹志, 都市の公園における剪定枝バイオマスを利用した熱供給とそのエントロピー解析—木質熱利用のエクセルギー評価と循環のエントロピー評価—, 太陽／風力エネルギー講演論文集, Proceedings of JSES/JWEA Joint Conference, 11 (2018), 8-9.

著者略歴



大西竹志 (オオニシタケシ)
東京農工大学農学部地域生態システム
学科景観生態学研究室卒
京都府立大学大学院人間環境科学研究
科生活環境科学専攻ランドスケープデ
ザイン研究室修了

株式会社日比谷アメニス環境エネルギー部課長
HIBIYA AMENIS corporation
Takeshi Onishi
Manager
Environment and Energy Department
Mail : t-onishi@amenis.co.jp

造園建設業由来の木質発生材の有効利用についての問題意識からエネルギー利用に関する検討を行う。一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会の委員として、国内における木質バイオマス全体の利活用促進についても取り組んでいる。