

木質チップの簡易含水率管理技術の確立

小幡 透*, 中原 亨**, 新山孝子***, 山之内清竜**

Establishment of the Simple Method for Measurement about Moisture Content of Wood Chips

Toru OBATA, Toru NAKAHARA, Takako NIIYAMA and Kiyotatsu YAMANOUCHI

木質チップの含水率を、チップ製造現場で容易に測定できる方法を確立するために、かさ密度または静電容量から求める方法について検討した。かさ密度と含水率との関係は高い相関が見られ、かさ密度を測定することにより容易に含水率を推定できることが明らかとなった。また、静電容量と含水率との関係も高い相関が見られ、静電容量を利用した含水率測定の可能性が示唆された。

Keyword : 木質チップ, 含水率, 木質バイオマス, 再生可能エネルギー, かさ密度, 静電容量

1. 緒言

近年、石油代替エネルギーの一つとして木質バイオマスが注目を浴びており、バイオマスボイラーを導入して重油等の使用量を低減するとともに、CO₂排出量削減に取り組んでいる施設が増加している。また、再生可能エネルギーの固定価格買取制度(FIT)の施行により、全国各地で木質バイオマス発電への取り組みが急増している。

木質バイオマスをエネルギー源として利用するに当たっては、水分の多い生材ではエネルギーロスが大きく、またボイラーに投入しても燃えにくいなどという問題もあることから、燃料である木質チップの含水率管理は必要不可欠である。しかし、現在のところ木質チップの品質管理についての公定法はなく規制もないことから、現場では含水率管理が行われていないのが現状であり、チップの含水率測定方法の策定が急務となっている。

そのような状況の中、全国木材チップ工業連合会は、木材チップ品質規格を策定し、樹種、製造方法、樹皮の混入具合、乾燥具合についてそれぞれ分類している。

木質チップの含水率を測定する方法として、市販の水分計を利用して測定できるが、高価格であったり、測定範囲が狭いなどという問題点があり、もっと手軽に精度良く測定できる方法が必要である。

そこで本研究では、現場で簡単かつ安価に含水率を測定できる方法を確立するために、かさ密度から推定する方法と静電容量を利用した測定方法の2つの方法について検討した。

2. 実験方法

2. 1 市販の水分計を用いた木質チップの含水率測定試験

2. 1. 1 供試試料

試験用の試料一覧を表1、チップの種類を図1に示す。乾燥させながら適宜水分測定を行うことから、製造して間もない乾燥していないチップを用いた。

2. 1. 2 容器式水分計を用いた水分測定

Schaller社(オーストリア)製の容器式水分計humimeter BM1(以下BM1, 図2)を用いて、上記チップの湿量基準含水率(以下、水分)を測定した。測定方法は、以下のとおりである。

(1) 測定チャンバーにチップを13L充填する。

表1 水分計測定用試料一覧

チップの種類	製造方法	製造地
スギ丸太	切削	鹿児島県
スギ背板	切削	鹿児島県
間伐材	切削	高知県
間伐材	破砕	高知県
剪定枝	破砕	高知県
建築廃材	破砕	高知県
オガ粉	—	広島県



切削チップ



破砕チップ

図1 木質チップ

* 地域資源部(現 企画支援部)

** 地域資源部

*** 地域資源部シラス研究開発室

- (2) このときのチップの重量を測定する。
- (3) チップの重量にいちばん近い条件のキャリブレーション曲線を選択する(制御部に重量(2.0, 2.4, 2.8, 3.5, 4.5kg)およびチップの種類(欧州規格に基づく標準チップ, 粗い木材チップ, 工業用チップ)におけるキャリブレーション曲線がインプットされている)。
- (4) 選択した検量線に重量が合致するように, チップの量を調整する。
- (5) 制御部に表示された数値を読み取る。

2. 1. 3 挿入式水分計を用いた水分測定

Schaller社製の挿入式水分計humimeter BLL (以下BLL, 図3)を用いて, 上記チップの水分を測定した。

20Lの円筒形容器にチップを充填し, 容器を約150mmの高さから0~5回落下させ, 各落下後にBLLを垂直に約300mm挿入し, 表示された数値を読み取った。BLLには欧州規格に基づく標準チップ, 粗い木材チップ, 工業用チップについてのキャリブレーション曲線が設定されており, それぞれについて数値を読み取った。



図2 humimeter BM1



図3 humimeter BLL

2. 2 木質チップのかさ密度測定試験

2. 2. 1 供試試料

かさ密度測定試験には, 鹿児島県内のチップ工場および製材工場で製造されたスギ(丸太チップ: 3社, 背板(製材した後に残った製材端材)チップ: 3社)およびヒノキ(丸太チップ: 1社, 背板チップ: 1社), 広葉樹(丸太チップ: 1社)の切削チップを用いた。なお, チップ製造時または製材時に樹皮は除去されている。

2. 2. 2 かさ密度測定方法

廃棄物固形化燃料および木質ペレットのかさ密度測定方法^{1), 2)}(表2)を参考にして, 下記の手順により木質チップのかさ密度を測定した。

- (1) チップを20Lの円筒形容器に, 容器の縁より高くなるように充填する。
- (2) チップを充填した容器を, 約150mmの高さから落下させる(落下回数については, 3. 2. 2項で検討)。
- (3) 落下の振動でチップが沈み込むので, 容器の縁よりも高くなるようにチップを追加し, 約150mmの高さから再度落下させる。
- (4) (3)の操作をもう1回行う。このとき, 落下後のチップが容器の縁よりも高い位置にあるように, チップを多めに追加する。
- (5) 棒などを用いて擦り切り状態になるように, 容器の縁より上に出ているチップを取り除く。
- (6) 重量を測定し, 重量と体積からチップのかさ密度を計算する。

2. 2. 3 検量線の作成

上記の試験に用いたチップを, 105°Cの定温乾燥機で乾燥させて絶乾重量を測定して乾量基準含水率(以下含水率)を算出し, かさ密度と含水率との関係を求めた。

2. 3 木質チップの静電容量測定

2. 3. 1 供試試料

静電容量測定試験には, 鹿児島県内の製材工場で製造されたスギ背板切削チップを用いた。

表2 廃棄物固形化燃料および木質ペレットのかさ密度試験方法

	廃棄物固形化燃料-かさ密度試験方法 (JIS Z 7302-9)	木質ペレット品質規格
容器	取っつき円筒形容器(20L)が望ましい	取っつき円筒形容器(5L)
はかり	10gの桁まで測定できるもの	5kg以上量れるもの 1gの桁まで測定できるもの
操作	30cmの高さから, コンクリート床面上に3回落下させる減量分を追加し, 擦り切り状態になるまで繰り返す	15cmの高さから厚さ1.5cmの木製板上に3回落下させる減量分を追加し, すり切り状態になるまで繰り返す
結果	3回測定の平均値を小数点以下3桁まで求める 小数点以下2桁に丸める(g/cm ³)	2回測定の平均値 十の位に丸めて表示(kg/m ³)
含水率	107±2°Cで乾燥	105±2°Cで乾燥

2. 3. 2 静電容量測定方法

寸法W110×D100×H180mmの亚克力樹脂製容器の対向する内壁面にT5×D100×H60mmのアルミニウム電極板を電極板距離100mmとなるように取り付けられたものを測定容器とした。この容器に高さ約120mm程度チップを充填し、ヒューレット・パカード（現 アジレント・テクノロジー）社製 4284AプレジジョンLCRメータに接続し、静電容量を測定した（図4）。測定電圧は1V、周波数は20、100、1k、10k、100k、1MHzでそれぞれ行った。チップは20℃、65%RHの環境下で自然乾燥させながら一定時間毎に測定を行った。この測定は上記周波数それぞれ30秒間隔で10回の記録を行い、その周波数毎に得られた10個の値を平均することで1回の測定値とした。測定の条件はチップ間の空隙の影響について検討するために、ふるい分けによるチップサイズ4条件（8mm以下、8～16mm、16～26mm、未分類）、お



図4 静電容量測定の様子

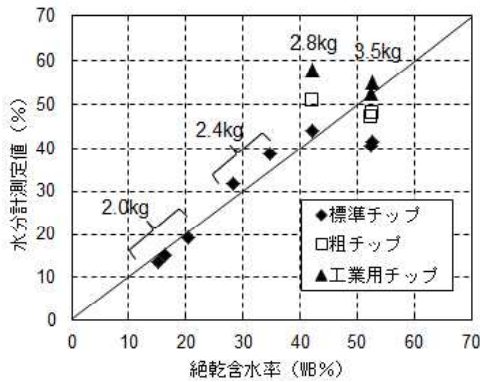


図5 BM1による丸太チップの水分測定値と絶対含水率との関係

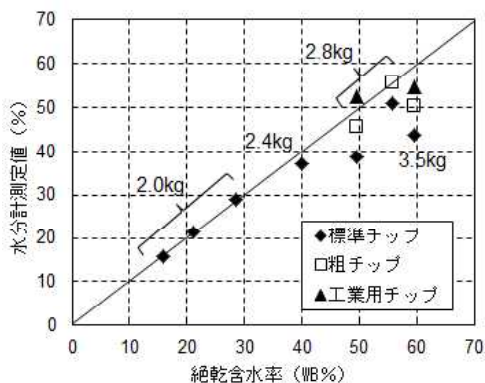


図6 BM1による背板チップの水分測定値と絶対含水率との関係

もりによる载荷3条件（载荷無し、7kg、14kg）を設定した。なお、おもり载荷については、载荷無しでの測定を行い、そこに7kg载荷して測定した後にさらに7kgを载荷して測定するという連続した方法で行った。

2. 3. 3 検量線の作成

上記の試験に用いたチップを、105℃の定温乾燥機で乾燥させて絶対重量を測定して水分を算出し、静電容量と水分との関係を求めた。

3. 結果及び考察

3. 1 市販の水分計を用いた木質チップの含水率測定試験

木質チップ用として市販されている水分計の測定値を、絶対法で求めた含水率と比較するために、Schaller社製の水分計2種について、木質チップの水分測定を行った。

3. 1. 1 容器式水分計を用いた水分測定

スギ丸太チップとスギ背板チップをビニルシート上に広げて自然乾燥させながら水分の経時変化を求めた。丸太チップの結果を図5、背板チップの結果を図6に示す。供試試料は製紙用チップであり、粒径は標準チップに最も近いことから、標準用チップのキャリブレーション曲線を適用すると、水分が約40%以下（乾燥基準で約70%以下）の部分ではBM1と絶対含水率はほぼ合致する値が得られたが、

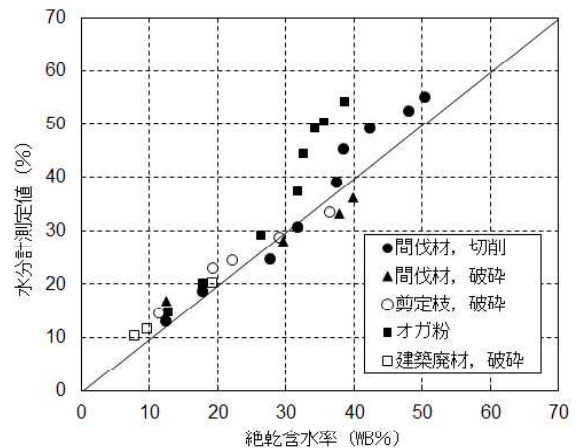


図7 BM1による各種チップおよびオガ粉の水分測定値と絶対含水率との関係

表3 各キャリブレーション曲線におけるBM1の測定範囲

(単位: %)

チップ種類	標準	粗	工業用
チップサイズ		3.15~45	3.15~63
キャリブレーション	3.15~45	(微細分が 少ない)	(微細分が 少ない)
2.0k Woodchips	5~30		
2.4k Woodchips	10~35		
2.8k Woodchips	10~40	10~50	10~50
3.5k Woodchips	20~50	20~50	20~50

(humimeter BM1 ユーザーマニュアルより抜粋)

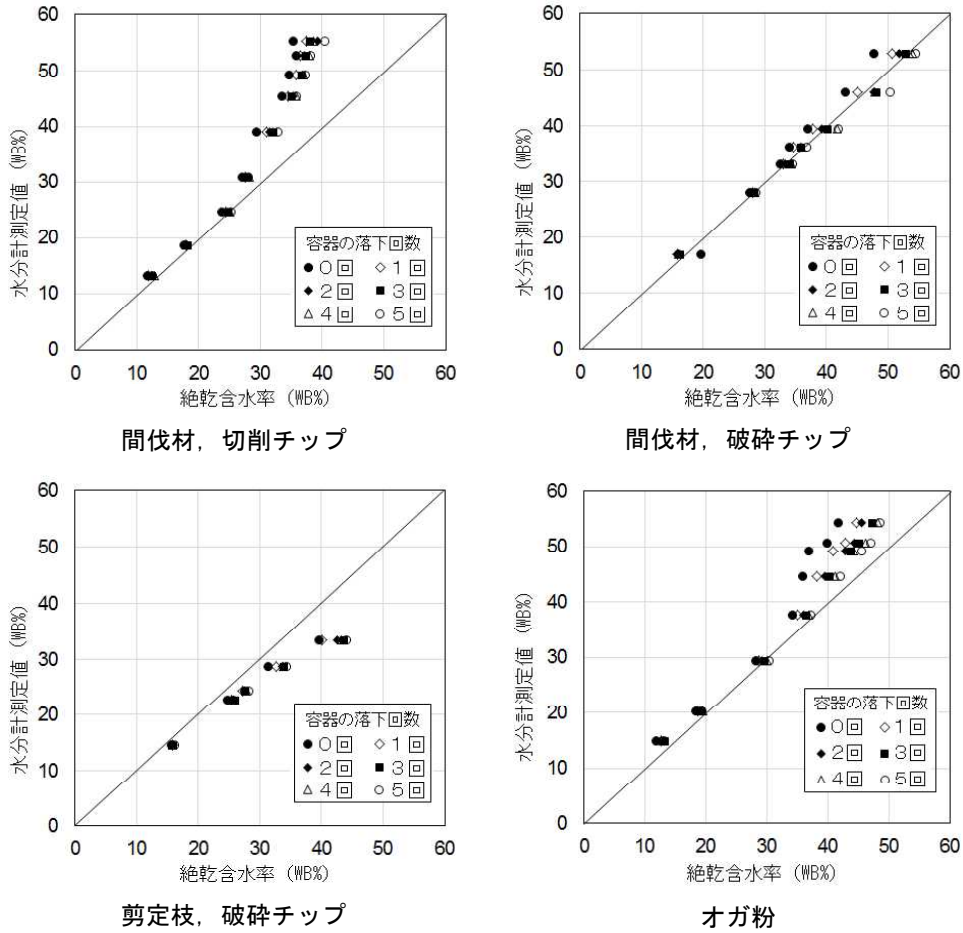


図8 各種チップおよびオガ粉のBLL測定値と絶乾含水率との関係

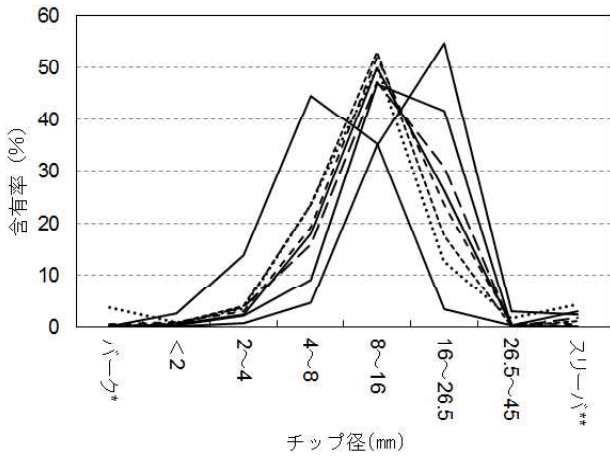


図9 鹿児島県内で製造された木質チップのチップサイズ分布

* 樹皮
 ** 切削または破碎されなかった長径チップ

それ以上の水分を含んでいる場合には、BM1の測定値と絶乾含水率は大きく異なる結果となった。粗いチップと工業用チップは、3.5k Woodchipsのキャリブレーション曲線を用いた場合に測定値と絶乾含水率は近い値を示しているが、チップサイズの条件が合わないために、設定条件として不可である。背板チップの水分を測定した場合にも、40%以下では精度良く測定できていることがうかがえる。

また、高知県のチップ生産業者で製造された各種チップおよび広島県の森林組合で製造されたオガ粉の水分測定を行った結果を図7に示す。県内産スギの場合と同様に、チップの形状に関わらず水分が低い場合には良い精度で水分値が得られることが示唆された。

各キャリブレーション曲線による測定範囲を表3に示すが、今回の試験においては、ある程度乾燥したチップ（およそ水分30~40%以下（乾燥基準で約67%以下））であれば精度良く測定されていることが示唆された。

3. 1. 2 挿入式水分計を用いた水分測定

前項のBM1測定と並行してBLLを用いた水分測定を行った。結果を図8に示す。いずれの場合にも約30%以下の範囲では精度良く測定できており、乾燥が進んだチップの水分測定には利用できることが示唆された。なお、容器の落下回数が増えるほど測定容器内の空隙が少なくなるためにBLLは挿入しにくくなったが、約30%以下ではそれほど差は見られなかった。

3. 2 木質チップのかさ密度測定試験

3. 2. 1 チップサイズ分布

2. 2. 1 項に前述した木質チップを目開きが45, 26.5, 16, 8, 4, 2mmのふるいを用いて分けて、チップサイズ分布を求めた。ほとんどのチップが8~16mmの範囲が最も

多く、似たような分布を示しており（図9）、生産者によらずチップサイズの分布はほとんど差異がないことが確認できた。

3. 2. 2 容器の落下回数の検討

2. 2. 2項に前述のかさ密度測定方法において、チップを充填した容器を落下させる回数を検討した（図10）。

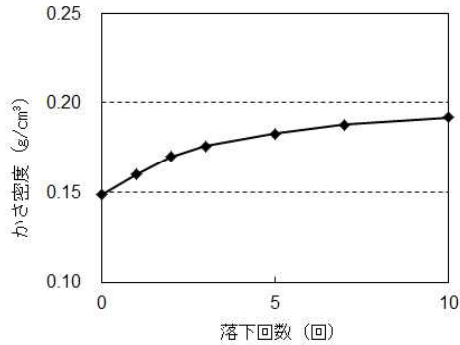


図10 測定容器の落下回数の検討

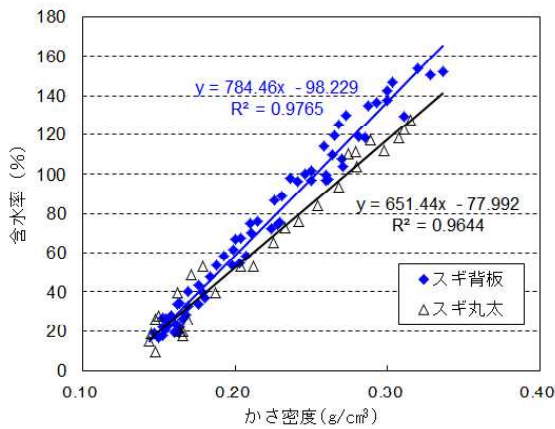


図11 スギチップのかさ密度と含水率の関係

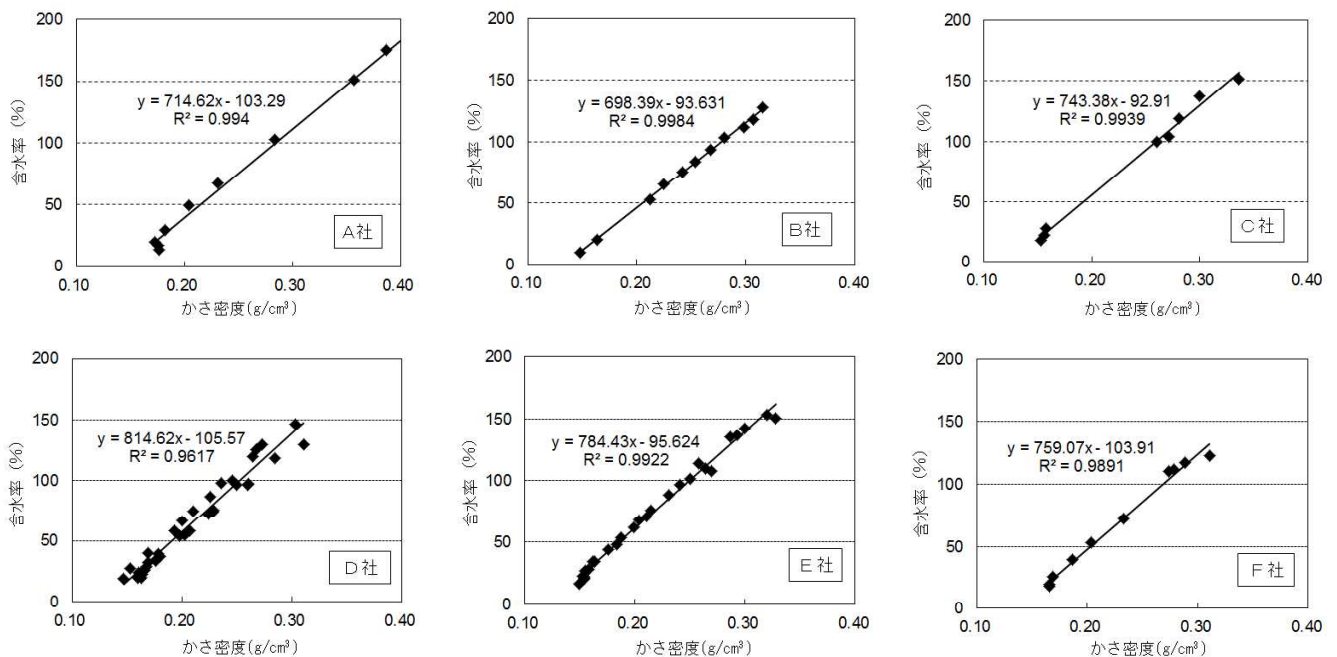


図12 スギチップの業者別検量線

落下回数が3回までは、落下回数の増加に伴いかさ密度も大きく増加したが、その後は緩やかに増加傾向を示し、10回までの間で定量値になることはなかった。表2の試験方法から、落下回数は3回とした。

3. 2. 3 かさ密度測定

各チップ生産業者において製造されたスギチップをビニルシート上で自然乾燥させながら、2. 2. 2項の方法によりかさ密度の経時変化を求め、そのときの絶乾法による含水率も併せて測定した。得られた結果を図11に示す。乾燥していない生チップでは、同じかさ密度で比較した場合、辺材のみの背板チップの方が心材と辺材の混在した丸太チップよりも含水率が高くなる傾向が見られた。これは、スギの生材時の水分が心材より辺材のほうが高いためと考えられる。また、含水率が低くなるにつれて背板と丸太の差は小さくなった。かさ密度と含水率との関係は高い相関が得られ、チップのかさ密度を求めることにより、含水率を精度良く推定できることが明らかとなった。なお、水分計で精度良く測定できない高含水率域においても、かさ密度と含水率との直線性が変わることはなく、生材のチップの測定も可能であることが示唆された。チップ生産業者ごとに見ると、非常に高い相関を示しており（図12）、生産者ごとに検量線を求めれば非常に精度良く含水率を推定できる。

同様に、ヒノキチップについて測定した結果を図13に示す。ヒノキでは丸太チップと背板チップの差はほとんど見られなかった。かさ密度と含水率との関係については、スギチップの場合と同様に高い相関が見られた。

また、広葉樹チップについては、スギ・ヒノキと比較し

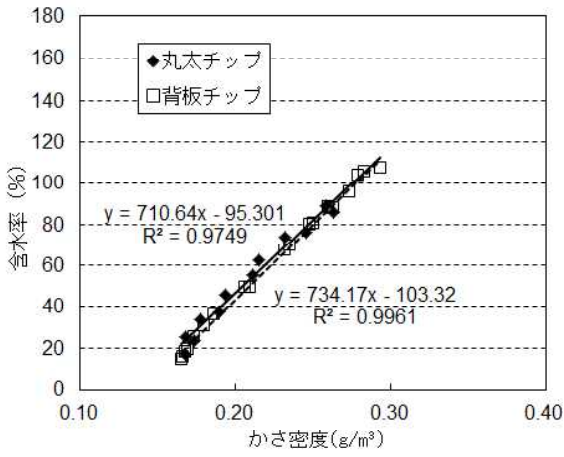


図13 ヒノキチップのかさ密度と含水率の関係

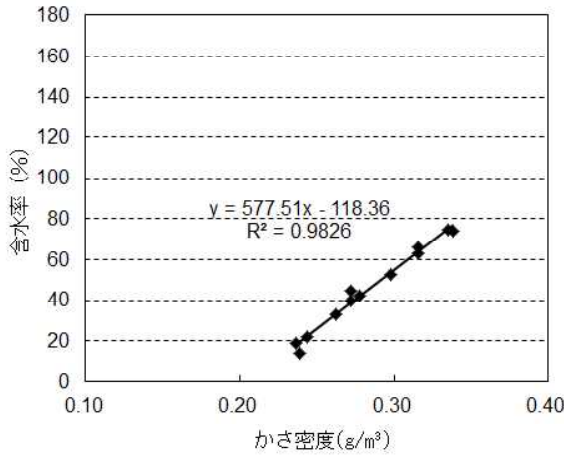


図14 広葉樹チップのかさ密度と含水率の関係

表4 周波数と静電容量の関係 (単位 : pF)

	100Hz	1 KHz	10KHz	100KHz	1 MHz
Mean	6.82	3.29	2.69	2.48	2.26
SD	3.99	0.04	0.02	0.01	0.00

て元々の比重が異なるために、検量線の傾き等は全く違う傾向を示すが、かさ密度と含水率との関係は高い相関が得られた(図14)。

なお、乾量基準含水率(含水率)を湿量基準含水率(水分)を求めるには、以下の式で換算できる。

$$\text{水分(WB\%)} = \text{含水率(DB\%)} / (100 + \text{含水率}) \times 100$$

3.3 静電容量測定

まず、周波数と測定値との関係を検討するために、サイズ未分類のチップ(水分約15%)で行った測定結果を表4に示す。低周波数では10個の測定値のばらつきが大きく、高周波数になるほど測定値が安定するという結果になった。このことから、これ以降の静電容量は、1MHzでの測定値を用いて検討することとした。

次に、サイズ未分類、無載荷時の静電容量と水分との関

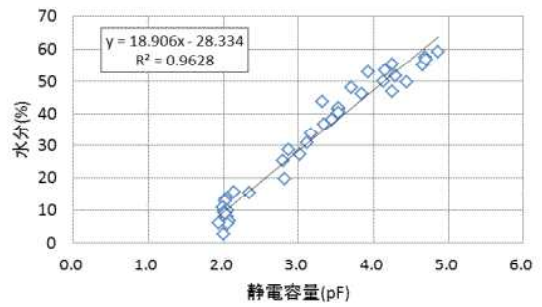


図15 水分と静電容量の関係 (サイズ未分類・無載荷)

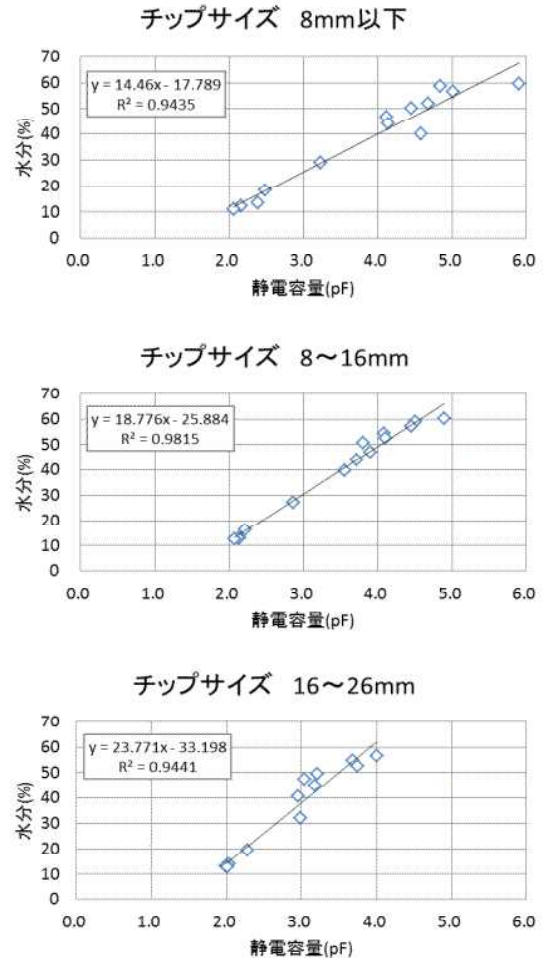


図16 水分と静電容量の関係 (チップサイズ別)

係を図15に示す。水分が高ければ静電容量も高くなるという結果が得られ、両者は比例関係にあることがわかった。また、その相関も非常に高い値となった。

チップサイズの影響を検討するために行ったチップサイズ別の測定結果を図16に示す。どのチップサイズにおいても、水分と静電容量との間には高い相関があった。サイズ未分類の結果(図15)と比較してみると、チップサイズ8mm以下は、高水分域では静電容量が大きく、回帰直線の傾きが小さくなっている。一方、チップサイズ16~26mmは高水分域で静電容量が小さく、回帰直線の傾きが大きくなっ

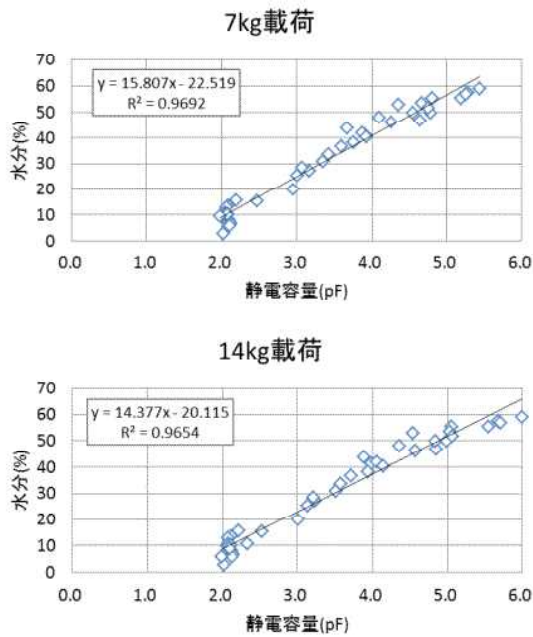


図17 水分と静電容量の関係
(载荷重量別)

ている。チップサイズ8～16mmはサイズ未分類の結果とほぼ同じ回帰直線が得られた。高水分域においてのみ静電容量が異なるのは、チップ内部の状態によるものと考えられる。高水分時には、チップの細胞内腔に自由水が存在するため、空隙を埋めると静電容量が大きくなる。しかし、水分が低くなると、空隙を埋めたチップの細胞内腔の自由水はなくなっているため、空隙が埋まったことによる影響は小さくなる。試験後のサイズ未分類チップをふるい分けし、チップサイズ分布を求めたところ、チップサイズ16～26mmは全体の10.3%で、8mm以下は34.7%、8～16mmは55%という結果となった。サイズ未分類チップの結果はこの割合が反映されたものと考えられる。

チップ間の空隙はおもりを載せることによって小さくすることができる。おもりを載せて静電容量を測定した結果を図17に示す。ここでも、高水分時においておもりを載せ

ることによって静電容量が大きくなり、回帰直線の傾きが小さくなるという結果が得られた。これもチップサイズで述べたのと同様に、おもりを載せることによってチップの間の空隙が小さくなった分、自由水を持つチップが存在したためこのような結果になったと思われる。

4. 結 言

現場で簡単かつ安価に含水率を測定できる方法を確立するために、かさ密度から推定する方法と静電容量を利用した測定方法の2つの方法について検討し、以下の結果が得られた。

- (1) かさ密度と含水率との関係を調べた結果、かさ密度と含水率の間には直線的な相関が見られ、チップのかさ密度を求めることにより含水率を推定できることが示唆された。特に、業者毎に検量線を作成しておけば、含水率を精度良く推定することができる。
- (2) 水分と静電容量の間には直線的な相関が見られた。高水分時には、空隙により測定値に影響が出るため、実用化の際は、サイズによりチップ間の空隙に差が生じることやおもりによって空隙を埋めることで測定値が変化することを十分考慮する必要がある。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、水分計を貸与していただきました(株)日比谷アメニス様に深謝いたします。また、試験用の木質チップをご提供いただきましたチップ生産業者の皆様と併せて謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) JIS Z 7302-9:2002 廃棄物固形化燃料—第9部：かさ密度試験方法
- 2) 一般社団法人日本ペレット協会：木質ペレット品質規格(2011)