

令和5年度 森林・林業・木材産業グリーン成長総合対策補助金等のうち
建築用木材供給・利用強化対策のうち森林を活かす都市の木造化等促進総合対策事業
(大径化した原木等を活かした地域材による設計合理化等の技術開発・普及啓発)

製材 J A S の格付け率向上に資する検査方法案の検討 事業報告書

令和6年3月

一般社団法人 全国木材組合連合会
国産材製材協会

まえがき

2010 年に制定された公共建築物等木材利用促進法が改正され、名称を新たに「脱炭素社会の実現に資するための建築物等における木材の利用の促進に関する法律」として 2022 年 10 月 1 日に施行されたことにより、品質・性能の明らかな JAS 構造材等木質建築資材の消費拡大が重要となった。

しかしながら、JAS 製材品がなかなか利用されないのが現状である。理由はさまざまであるが、特に、ネックになっているのが建築側にとって使いづらいという点である。

そこで、本事業では 2021 年 6 月に策定した森林・林業基本計画において、JAS 規格の区分や基準の合理化等を図っている中で、非破壊で格付けができるようになれば、建築側だけでなく、製材工場にとっても大きなメリットが生まれ、JAS 利用拡大に大きく貢献できるものと考えている。

事業実施にあたり各委員、材料調達・調査では各地の製材工場等、木材水分計（含水率計）の性能・使用方法では認証含水率計メーカー技術者、製材 JAS に基づく検査、試験においては検査機関や公設試験機関などから指導助言を頂いた。ここに感謝申し上げる。

令和 6 年 3 月

事業実施主体

（代表）一般社団法人

全国木材組合連合会

会長 菅野 康則

国産材製材協会

会長 東泉 清寿

目次

第1章 事業の概要.....	1
1. 事業の目的	1
2. 事業の進め方と実施体制	1
3. 事業の実施経過.....	2
4. 検討委員会	2
4.1 委員名簿(敬称略)	2
4.2 検討委員会	3
第2章 事業の実施内容	5
1. 含水率測定試験の方法	5
1.1 使用機種.....	5
1.2 試験体の調達	9
1.3 検量線の作成	14
1.4 測定精度の検証.....	18
2. 結果と考察.....	19
2.1 端部から採取した切片の含水率と全乾密度.....	19
2.2 検量線	25
2.3 測定精度の検証.....	35
3. 計測機器の取り扱いや測定にあたっての留意点.....	48
第3章 事業の成果と課題等	49
1. 成果等	49
2. 課題等	49

第1章 事業の概要

1. 事業の目的

令和3年度補正予算事業で実施した同事業において、マイクロ波透過型含水率計の検量線を適切に作成し、含水率範囲を20%以下に限定すれば、ある程度密度にバラツキがあっても105mmの正角乾燥材の含水率を高い精度で測定可能と確認できた。

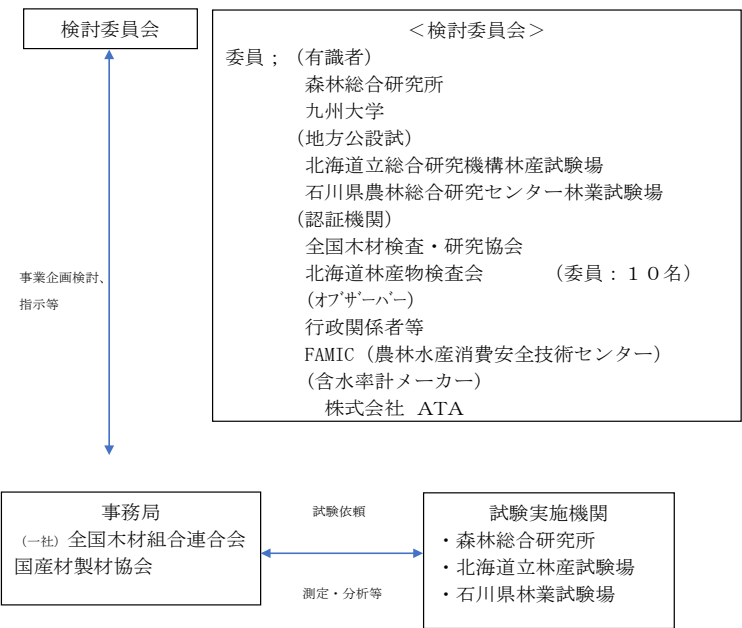
大径化した原木等の有効活用を促進するためには、平角などの断面サイズの大きな製材品等にも適用できるようにすることが必要であることから、非破壊による含水率試験方法を製材としての流通量が多い国産材主要樹種（スギ、ヒノキ、カラマツ、トドマツ及び昨年度実施したアカエゾマツ）について、マイクロ波含水率計等による計測値と共に、含水率をより正確に算出するために必要な比重について、JAS規格による含水率測定（全乾法）の結果と比較をしながら、非破壊試験として必要な検査項目を洗い出す。この際、主要樹種間での計測値など傾向の違いなども調べるとともに、全国のJAS認証工場での簡易に実施できるようにするため、計測機器や方法について科学的見地を担保しつつより簡便な方法の検査を意識した調査、検証を行うことを目的とした。

2. 事業の進め方と実施体制

事業の実施にあたっては、実施者である（一社）全国木材組合連合会と国産材製材協会を事務局として、事業全体の実施計画書を作成するとともに、事業の進行・管理を行った。

また、木材乾燥、木材・木材加工分野の識者、公設試験機関、JAS製品登録認証機関の担当者、関連行政担当者等を構成員とする検討委員会を設置し、効果的な試験手法の検討、試験に当たって試験実施機関へ助言するとともに、結果分析を行った。

【 事業の実施体制 】



3. 事業の実施経過

本事業は、以下のスケジュールで実施した。

- (1) 委員会開催；令和5年8月、令和5年11月、令和6年3月
- (2) 材料調達；令和5年6月～8月頃
- (3) 測定等実施；令和5年9月～12月
- (4) 分析等；令和5年12月～令和6年2月
- (5) とりまとめ等；令和5年1月～2月

4. 検討委員会

4.1 委員名簿(敬称略)

委員長	藤本登留	九州大学農学研究院環境農学部門
委員	伊神裕司	国立研究開発法人 森林研究・整備機構
	渡辺 憲	国立研究開発法人 森林研究・整備機構
	村野朋哉	国立研究開発法人 森林研究・整備機構
	大橋義徳	地方独立行政法人 北海道立総合研究機構
	土橋英亮	地方独立行政法人北海道立総合研究機構
	石田洋二	石川県農林総合研究センター林業試験場
	松元 浩	石川県農林総合研究センター林業試験場
	小澤眞虎人	一般社団法人 全国木材検査・研究協会
	南田英樹	一般社団法人 北海道林産物検査会
	オブザーバー 今村正輝	独立行政法人 農林水産消費安全技術センター
	山内一浩	独立行政法人 農林水産消費安全技術センター
	松田洋樹	岡山県農林水産総合センター森林研究所
	高木 望	林野庁木材産業課 木材製品技術室
	立花紀之	林野庁木材産業課 木材製品技術室
	川原 聡	農林水産省大臣官房 食品製造課
事務局	田村堯大	農林水産省大臣官房 食品製造課
	中根紀章	株式会社 エーティーエー
	杉山晃広	マイクロメジャー株式会社
	一般社団法人 全国木材組合連合会	国産材製材協会

4.2 検討委員会

検討委員会を以下の通り、3回開催した。

(1) 第1回 検討委員会

日 時；令和5年8月2日（水）

場 所；W e b（Webex 利用）のみ

議 事；① 事業内容説明

② 今後の事業計画

③ 質疑、意見等

(2) 第2回 検討委員会

日 時；令和5年11月20日（月）

場 所；北海道林産試験場及びW e b（Zoom 利用）

議 事；① 試験等実施報告（概要）

② 質疑応答

③ 試験及び測定機器の課題の確認等について

④ 今後の予定について

(3) 第3回 検討委員会

日 時；令和6年3月11日（月）

場 所；TKP 赤坂カンファレンスセンター カンファレンスルーム 13B
及びW e b（Webex 利用）

議 事；① 事業概要説明報告

② 事業のまとめ、課題について

③ 事業報告書（案）の協議

④ 質疑、意見等

第2章 事業の実施内容

1. 含水率測定試験の方法

1.1 使用機種

携帯型のマイクロ波透過型含水率計 3 機種、HM-10（マイクロメジャー（株）製）、HM-100（マイクロメジャー（株）製）および MC-3200EX（（株）エーティーエー製）を含水率測定試験に使用した（写真 1-1-①、1-1-②、1-1-③）。いずれも針葉樹製材に用いる携帯型の含水率計として（公財）日本住宅・木材技術センターの認定機種となっている。

HM-10 は、上下に青色のホーンアンテナが備わっており、上側のホーンから 10.5 GHz のマイクロ波が発信され、下側のホーンで受信するタイプの含水率計である。材面の幅方向中央部にホーンを設置し、下側のホーンを木材に接触させて含水率を測定する（写真 1-1-④）。1 回測定した後に木材を 90°回転させて再度測定を行い、2 回の測定値を平均することによって、その位置での含水率とした。

HM-100 は HM-10 と外観が類似しており、操作方法の大部分は共通しているが、HM-100 は上側のホーンを木材に接触させて含水率を測定する点が異なる（写真 1-1-⑤）。また、適用可能な材の厚さが両者で異なり、HM-10 は厚さ 135 mm 以上での使用を推奨していないのに対して、HM-100 は 200 mm 程度の材にも適用できる。今回の試験で対象とする 105 mm 角および 120 mm 角の正角材には HM-10 を使用し、150 mm 角の正角材には HM-100 を使用して含水率を測定した。なお、HM-100 では材の厚みや密度、含水率に応じてホーンの内側にスポンジを挿入する仕様となっており、今回は上下のホーンにそれぞれ 1 つスポンジを挿入した（写真 1-1-⑥）。

MC-3200EX は、2 本のバーが備わっており、下側のバーの先端に 9.41 GHz の発信アンテナが、上側のバーの先端に受信アンテナが付いている。下側のバーは上下にスライドできるようになっており、2 本のバーで木材を挟み込んで含水率を測定する（写真 1-1-⑦）。このとき、アンテナ部を木材の奥端に合わせ、測定ボタンを押しながら手前に引き、木材の手前端に来た時点で測定を終了させる。これによって、木材全体の平均的な含水率が得られる仕組みとなっている。



写真 1-1-① HM-10



写真 1-1-② HM-100



写真 1-1-③ MC-3200EX

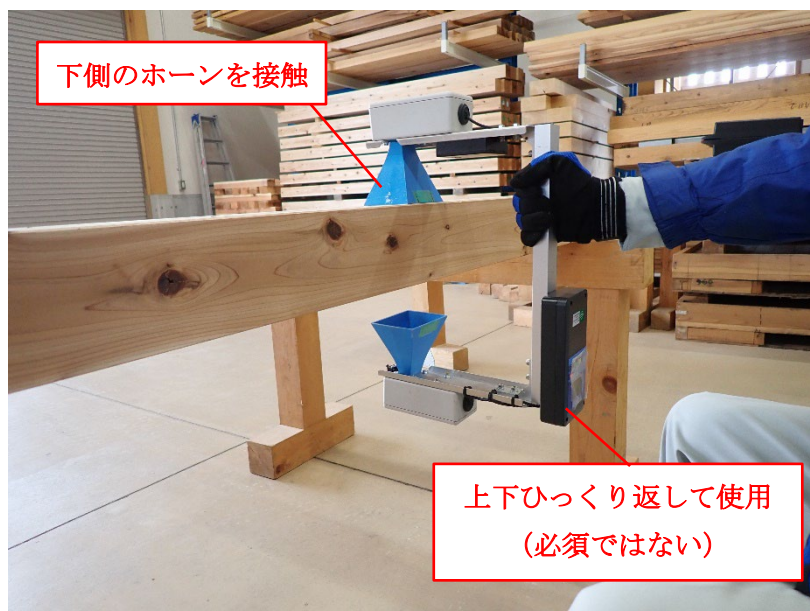


写真 1-1-④ 含水率計の使用方法 (HM-10)

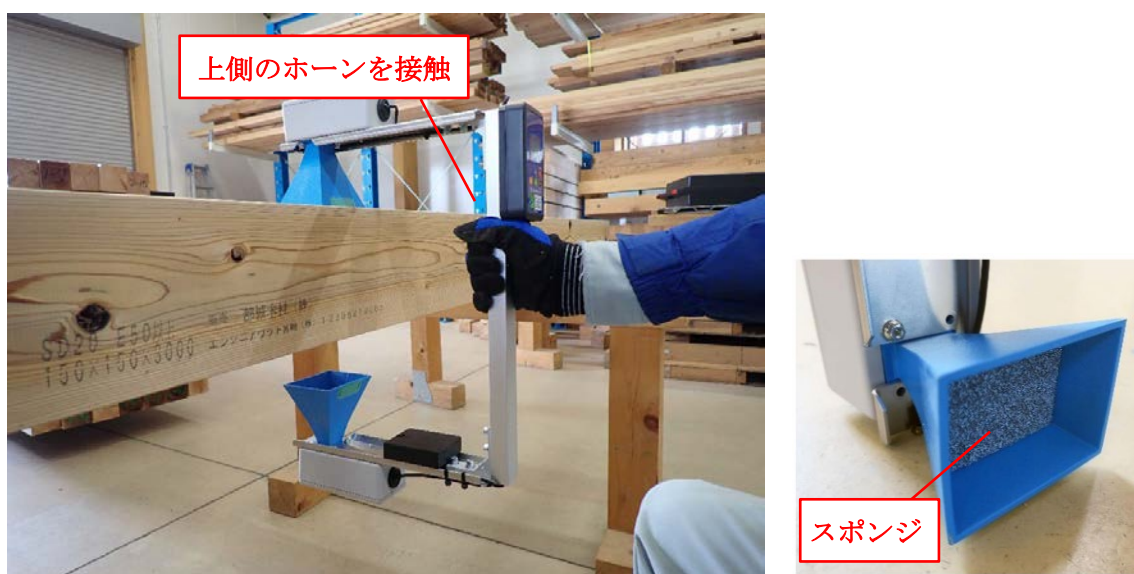


写真 1-1-⑤ 含水率計の使用方法 (HM-100)

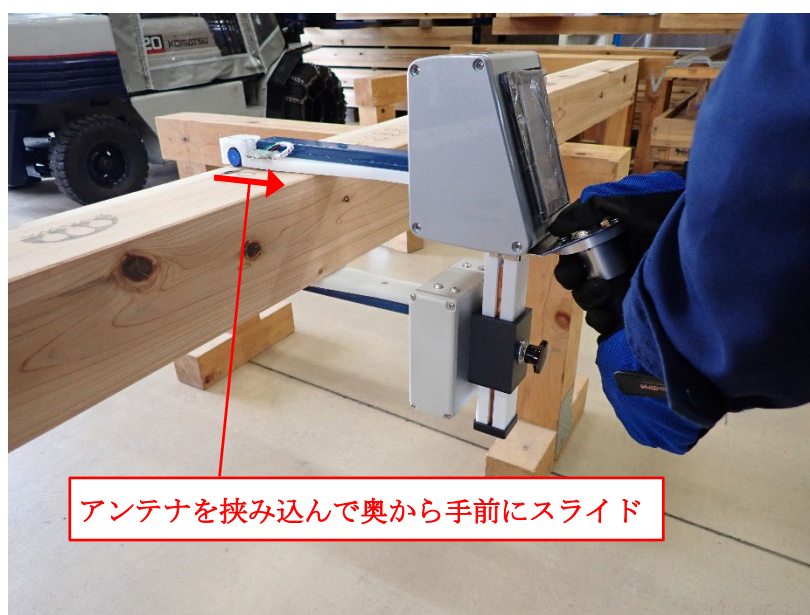


写真 1-1-⑥ 含水率計の使用方法 (MC-3200EX)

1.2 試験体の調達

スギ、ヒノキ、カラマツ、トドマツ、アカエゾマツの正角乾燥材を、図 1-2-①に示す地域から調達した（写真 1-2-①～⑥）。材長は約 3 m もしくは約 4 m、断面寸法は 105 mm 角（105 mm×105 mm）、120 mm 角（120 mm×120 mm）、150 mm 角（150 mm×150 mm）であり、樹種と調達先、断面寸法の組み合わせは表 1-2-①のとおりである。木取りについては利用実態を踏まえてスギ、ヒノキ、カラマツは心持ち、トドマツ、アカエゾマツは心去りとした。試験体数は、各樹種、各断面寸法に対して検量線作成用 10 本と検証用 30 本とした。ただし、調達の都合からトドマツ 150 mm 角は検量線作成用 9 本と検証用 27 本となった。

試験体の含水率になるべく 10～25%の範囲にばらつくようにするため、スギとヒノキについては調達先の製材工場である程度含水率選別された材を購入した。カラマツ、トドマツ、アカエゾマツについては北林産試にて人工乾燥を行い、なるべく含水率にバラツキが出るように調整した。

今回の試験には主に 2 つの目的がある。105 mm 角の正角材については昨年度に測定精度の検証を行っており、今回は異なる地域の材に対して同じ検量線を適用可能か、検量線の汎用性を評価することを目的とした。一方、120 mm 角および 150 mm 角はより断面の大きな正角材に対して含水率計の測定精度を検証することを目的とした。

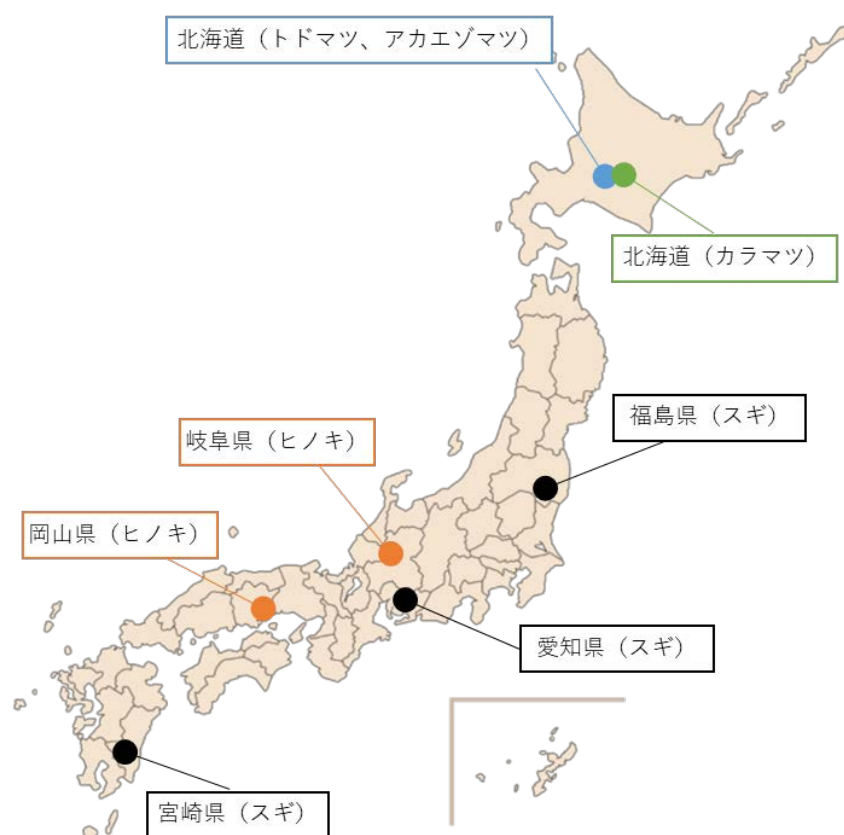


図 1-2-① 各樹種の試験体の調達先



写真 1-2-① スギ試験体の調達（福島県）



写真 1-2-② スギ試験体の調達（愛知県）



写真 1-2-③ スギ試験体の調達（宮崎県）



写真 1-2-④ ヒノキ試験体の調達（岐阜県）



写真 1-2-⑤ ヒノキ試験体の調達（岡山県）



写真 1-2-⑥ カラマツ試験体の調達（北海道）



写真 1-2-⑦ トドマツ試験体（下）とアカエゾマツ（上）試験体の調達（北海道）

表 1-2-① 試験体の樹種、調達先、木取り、断面寸法および試験体数

樹種	調達先	木取り	105mm角	120mm角	150mm角	試験体数
スギ	福島県	心持ち	○	○	○	各樹種、断面寸法に対して 検量線作成用10本＋検証用30本 ただし、トドマツ150角のみ 検量線作成用9本＋検証用27本
	愛知県	心持ち	○			
	宮崎県	心持ち	○	○	○	
ヒノキ	岐阜県	心持ち		○	○	
	岡山県	心持ち		○	○	
カラマツ	北海道	心持ち		○	○	
トドマツ	北海道	心去り		○	○	
アカエゾマツ	北海道	心去り		○		

1.3 検量線の作成

試験体を検量線作成用と測定精度の検証用の 2 つに選別するため、含水率および全乾密度を事前に把握する必要がある。そこで、検量線の作成に先立ち、試験体の材端（木口面から 150 mm 程度内側を目安になるべく節のない位置）から厚さ約 40 mm の切片を採取した（写真 1-3-①）。そして、図 1-3-①のように切片を 2 分割した後に全乾法による含水率と全乾密度を測定した（写真 1-3-②）。なお、全乾密度は 2 分割した試験片のうち、全乾時に変形が少ない方（心持ちの場合髓を含まない方）を用いてその寸法と質量から全乾密度を測定した。

端部から採取した切片の含水率と全乾密度の関係を散布図で表示し、含水率と全乾密度がばらつくように検量線作成用の試験体を選別した。なお、検量線作成時に含水率が 30% を超える試験体が含まれていると、検量線を直線回帰できなくなる恐れがあるため、含水率が 30% を超える試験体は検量線作成用に入れなかった。

105 mm 角のスギ試験体は検量線の汎用性評価に用いるため、3 地域のうち 1 地域の試験体を用いて検量線を作成し、残り 2 地域の試験体に対して測定精度を検証することとした。そこで、端部から採取した切片の平均全乾密度を 3 地域で比較し、値が中間になった愛知県の試験体を検量線作成用に選定した。



写真 1-3-① 切片の採取

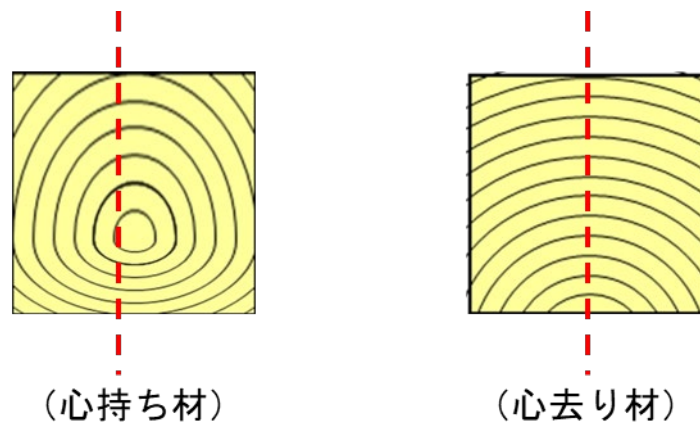


図 1-3-① 切片の切断位置



写真 1-3-② 半割した切片

各樹種、各断面寸法に対して検量線を1つずつ作成した。その手順を以下に示す。

- ① 1つの試験体につき5箇所の位置で含水率計による測定を行うため、図1-3-②のように材長方向に等間隔を基準にし、なるべく節を避けて位置を調整した※。
- ② 5箇所の位置で、含水率計 HM-10（105 mm 角、120 mm 角）または HM-100（150 mm 角）を用いて含水率を、MC-3200EX を用いて減衰電圧を測定した（写真 1-3-④～⑥）。測定時に必要な材の寸法等の入力はマニュアルに従い、マニュアルに記載されていない事項については、メーカーに問い合わせて適宜確認した。中でも温度補正に関しては、HM-10 および HM-100 は温度補正をせずに測定を行ったのに対して、MC-3200EX ではマニュアルに記載の温度補正をした。なお、含水率計に入力した全乾密度の値は、材端部から切断した検量線作成用切片の平均全乾密度とした。

- ③ 測定箇所から厚さ約 40 mm の切片を切り出し、全乾法による含水率と全乾密度を測定した。
- ④ ②で測定した含水率計の値と全乾法による含水率との関係を散布図に示し、その直線回帰式を検量線とした。
- ※ なるべく外観上節がない位置から切片を採取したが、実際には写真 1-3-③のように内部に節や割れが含まれる試験体がかかなりあった。これらの節や内部割れは含水率計の測定値に影響を及ぼす要因となることに留意する必要がある。

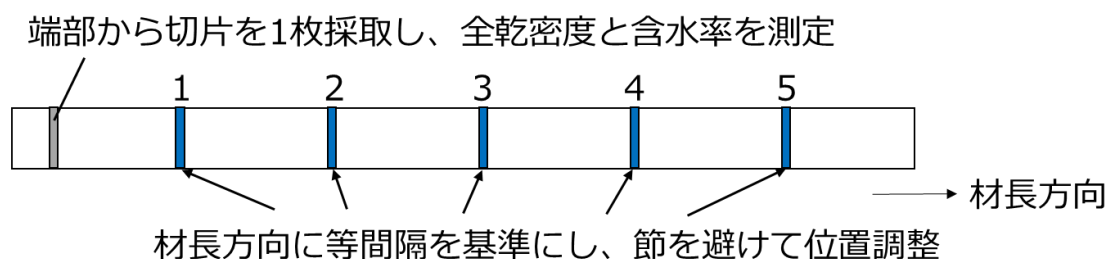


図 1-3-② 含水率の測定位置



写真 1-3-③ 試験体の切断面に見られた節と内部割れ

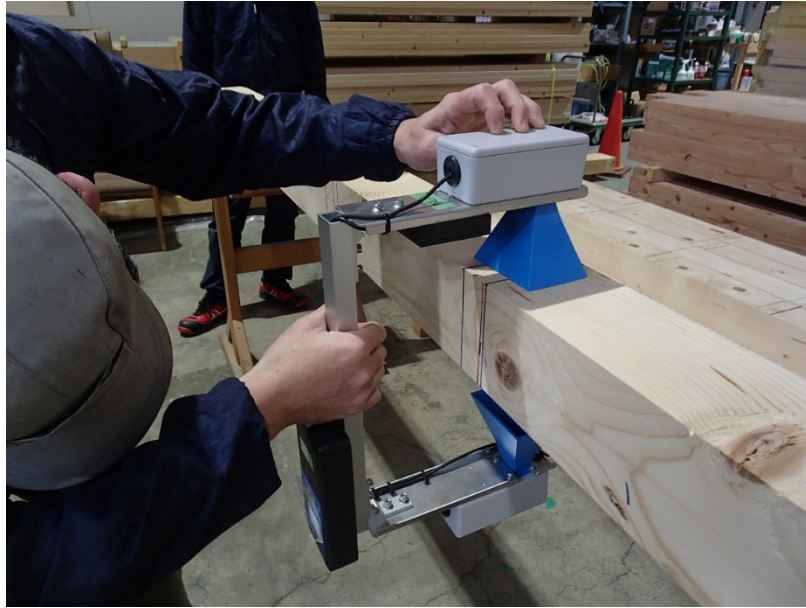


写真 1-3-④ 含水率計 (HM-10) を用いた測定



写真 1-3-⑤ 含水率計 (HM-100) を用いた測定



写真 1-3-⑥ 含水率計（MC-3200EX）を用いた測定

1.4 測定精度の検証

1.3で各樹種、各断面寸法に対して作成した検量線を含水率計に入力し、1つの試験体につき5箇所ので含水率を測定した。測定位置は1.3（図 1-3-②）と同様である。その後、測定箇所から厚さ約 40 mm の切片を切り出し、全乾法による含水率と全乾密度を測定した。

全ての測定データが得られた後、全乾法による含水率と含水率計による測定値を各樹種、各断面寸法ごとに比較した。測定精度は、測定誤差が平均でどの程度あるかを表す指標である二乗平均平方根（RMSE: Root Mean Square Error）（式 1-4-①）を用いて評価した。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}_i)^2}{N}} \quad \text{式 1-4-①}$$

N : データ数、 x_i : 測定値、 $\bar{x}_i$: 平均値

2. 結果と考察

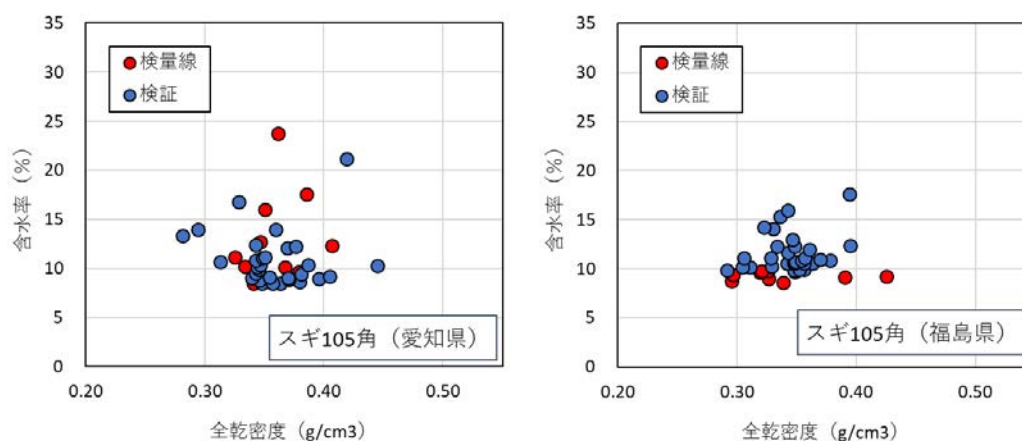
2.1 端部から採取した切片の含水率と全乾密度

図 2-1-①～⑤に、樹種、断面寸法、調達先別の含水率と全乾密度との関係を示す。含水率、全乾密度ともに検量線作成用の試験体はまんべんなく分布しており、含水率と全乾密度が偏らないように全試験体から検量線作成用の試験体を選別できたことがわかる。

検量線作成用に選別した試験体の端部から採取した切片の全乾密度の測定結果を表 2-1-①に示す。検量線作成および測定精度の検証のときに含水率計に入力した全乾密度の平均値は、断面寸法によって若干異なるものの、スギが約 0.36 g/cm^3 、ヒノキが約 0.44 g/cm^3 、カラマツが 0.44 g/cm^3 、トドマツおよびアカエゾマツが 0.35 g/cm^3 であった。

105 mm 角のスギは愛知県が 0.36 g/cm^3 、福島県が 0.34 g/cm^3 、宮崎県が 0.40 g/cm^3 であり、3 地域のうち全乾密度の値が中間であった愛知県の試験体を検量線作成用に選定し、福島県と宮崎県の試験体を測定精度の検証に用いた。

最小値と最大値、標準偏差からわかるように、同一の樹種、断面寸法の試験体間で全乾密度のバラツキがみられた。例えば愛知県から調達したスギ 105 mm 角の試験体では全乾密度が $0.33 \sim 0.41 \text{ g/cm}^3$ の範囲にあり、このように全乾密度のばらついた試験体を用いて 1 つの検量線を作成していることは把握すべき点であると思われる。



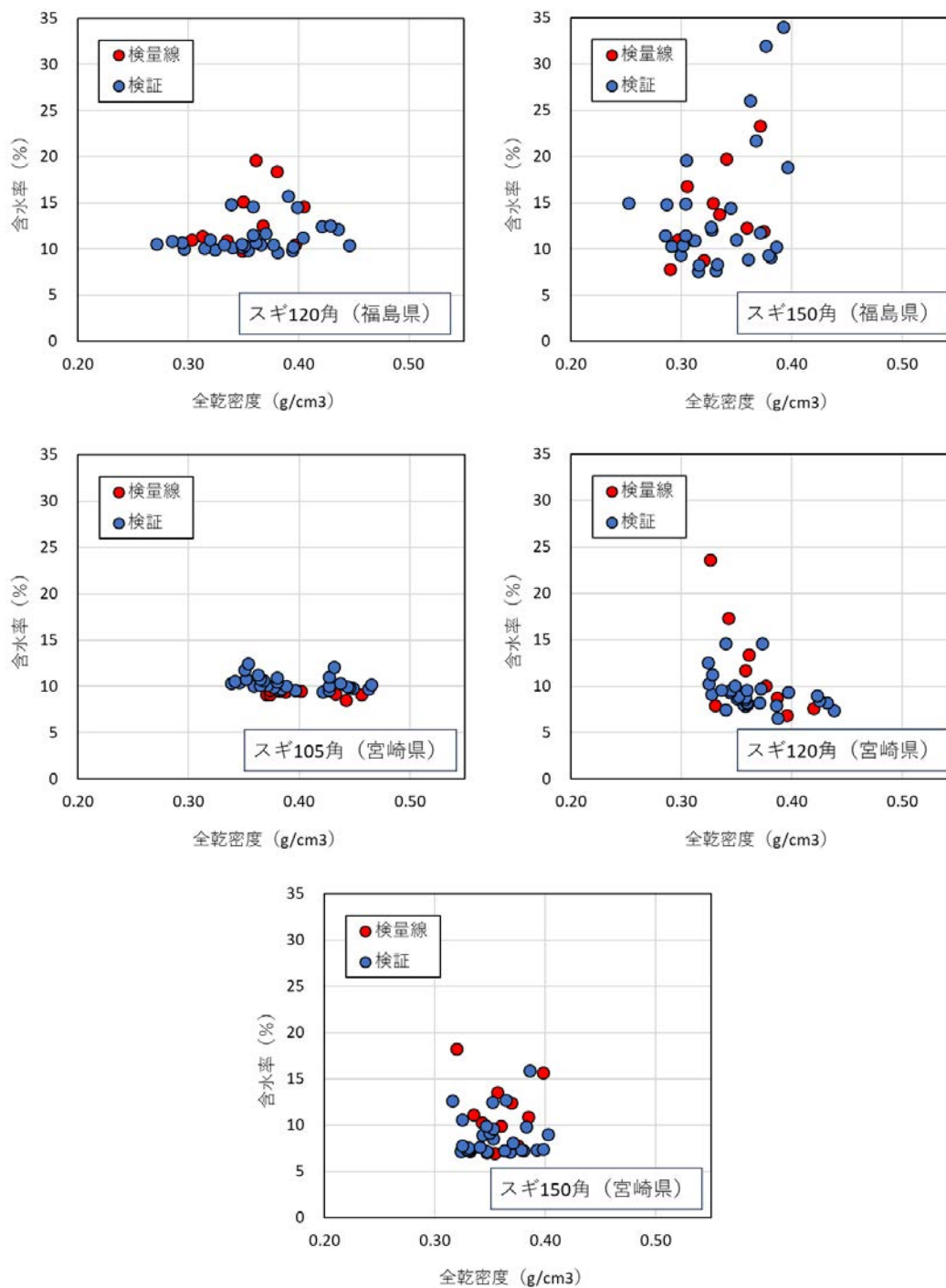


図 2-1-① 試験体端部から切り出した切片の含水率と全乾密度の関係および検量線作成用
試験体の選別結果 (スギ)

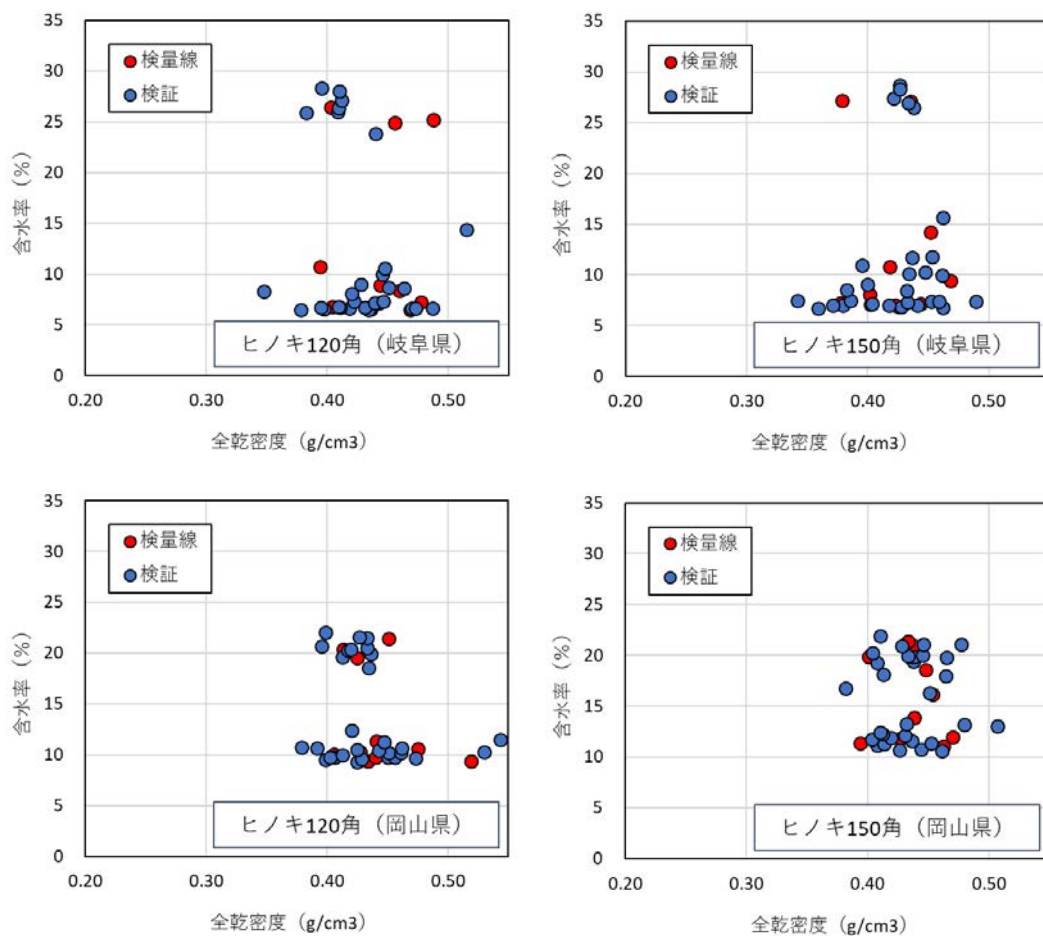


図 2-1-② 試験体端部から切り出した切片の含水率と全乾密度の関係および検量線作成用
試験体の選別結果 (ヒノキ)

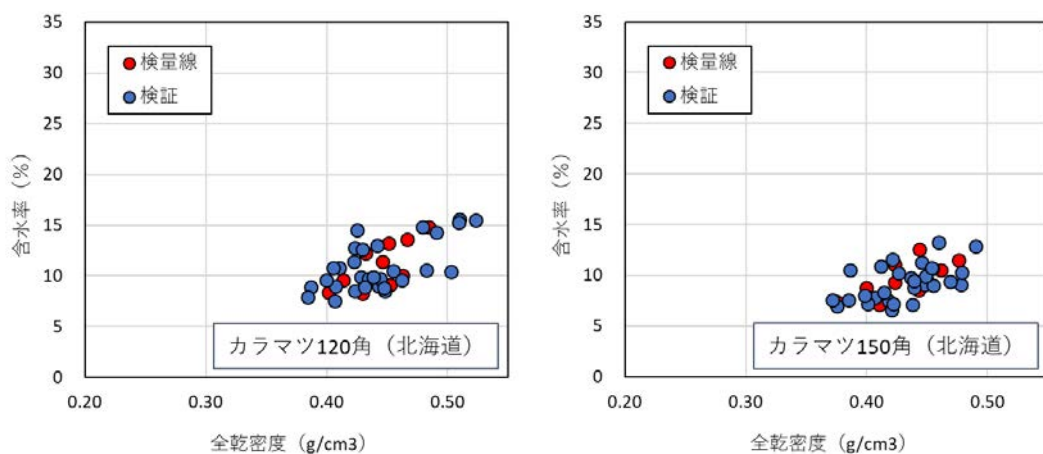


図 2-1-③ 試験体端部から切り出した切片の含水率と全乾密度の関係および検量線作成用
試験体の選別結果 (カラマツ)

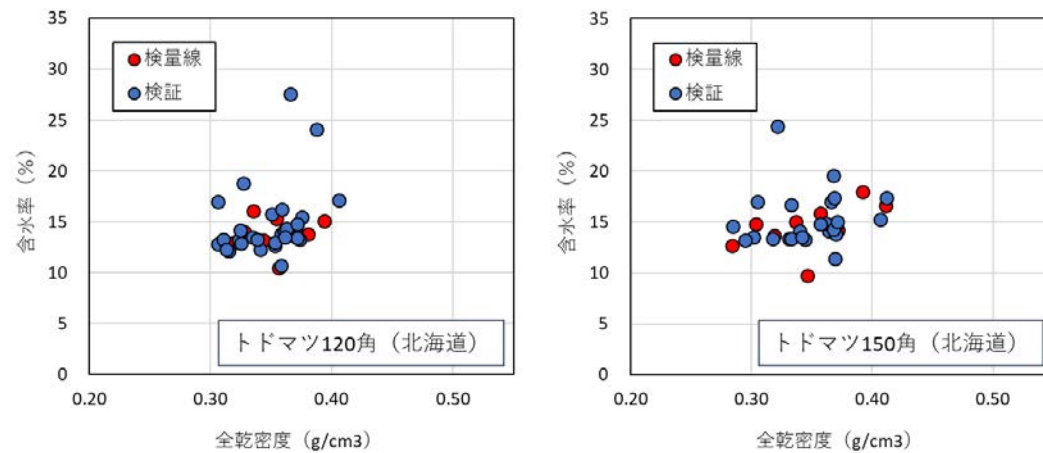


図 2-1-④ 試験体端部から切り出した切片の含水率と全乾密度の関係および検量線作成用試験体の選別結果（トドマツ）

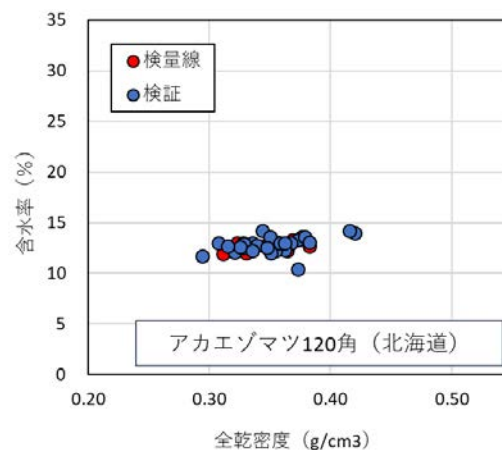


図 2-1-⑤ 試験体端部から切り出した切片の含水率と全乾密度の関係および検量線作成用試験体の選別結果（アカエゾマツ）

表 2-1-① 検量線作成用に選別した試験体の端部から切り出した切片の全乾密度と含水率計入力値

樹種	スギ						ヒノキ				カラマツ		トドマツ		アカエゾマツ
断面寸法	105mm角*			120mm角		150mm角		120mm角		150mm角	120mm角	150mm角	120mm角	150mm角	120mm角
調達先	愛知県	福島県	宮崎県	福島県	宮崎県	福島県	宮崎県	岐阜県	岡山県	岐阜県	岡山県	北海道	北海道	北海道	北海道
n	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
平均	0.36	0.34	0.40	0.36	0.36	0.33	0.36	0.44	0.44	0.44	0.42	0.44	0.43	0.35	0.35
最小値	0.33	0.30	0.37	0.30	0.33	0.29	0.32	0.41	0.39	0.39	0.38	0.40	0.37	0.31	0.28
最大値	0.41	0.43	0.46	0.40	0.42	0.37	0.40	0.52	0.49	0.47	0.47	0.48	0.48	0.39	0.41
標準偏差	0.02	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02
含水率計に入力した値	0.36 (愛知県の平均)			0.36 (福島県と宮崎県の平均)		0.35 (福島県と宮崎県の平均)		0.44	0.44	0.44	0.42	0.44	0.43	0.35	0.35

※スギ105mm角は愛知県の試験体のみ検量線作成に使用した。

(単位: g/cm³)

各試験体から採取した 5 枚の切片の含水率（全乾法）および全乾密度を平均し、その測定結果をそれぞれ表 2-1-②、表 2-1-③に示す。一般流通量の多いスギとヒノキは 120 mm 角 150 mm 角ともに想定していた含水率のバラツキが得られたのに対して、カラマツ、トドマツ、アカエゾマツのバラツキが小さく、含水率 15%以上の試験体を調整するのが難しかった。今後現場で検量線を作成する際に、含水率にバラツキのある製材をどのように調達するかが課題になると思われる。

全乾密度については、表 2-1-①の検量線作成用に選別した試験体の値とほぼ同じであった。

表 2-1-② 全乾法による含水率の測定結果（各試験体の含水率は 5 枚の切片を平均して算出）

(単位：%)

全試験体（検量線作成用＋検証用）																	
樹種	スギ								ヒノキ				カラマツ		トドマツ		アカエゾマツ
断面寸法	105mm角			120mm角		150mm角		120mm角		150mm角		120mm角	150mm角	120mm角	150mm角	120mm角	
調達先	福島県	愛知県	宮崎県	福島県	宮崎県	福島県	宮崎県	岐阜県	岡山県	岐阜県	岡山県	北海道	北海道	北海道	北海道	北海道	
n	30	10	30	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	36	40	
平均	14.3	19.3	13.8	15.7	16.4	17.6	12.1	12.9	14.6	13.4	17.3	11.7	10.8	13.5	14.3	13.2	
最小値	12.0	10.3	10.1	11.8	9.5	11.7	7.4	6.4	11.1	7.3	12.1	8.6	8.2	11.9	12.4	11.9	
最大値	17.1	27.4	16.8	24.9	28.9	25.5	20.9	26.5	20.4	25.5	22.5	15.5	13.5	15.6	18.8	15.1	
標準偏差	1.2	4.9	1.7	3.1	3.6	3.8	3.3	6.6	3.1	5.8	3.1	1.9	1.3	0.9	1.5	0.7	

検量線作成用																	
樹種	スギ								ヒノキ				カラマツ		トドマツ		アカエゾマツ
断面寸法	105mm角			120mm角		150mm角		120mm角		150mm角		120mm角	150mm角	120mm角	150mm角	120mm角	
調達先	福島県	愛知県	宮崎県	福島県	宮崎県	福島県	宮崎県	岐阜県	岡山県	岐阜県	岡山県	北海道	北海道	北海道	北海道	北海道	
n	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	
平均	19.3	13.7	18.1	17.8	19.3	13.7	14.0	14.3	13.2	17.3	11.5	11.1	13.5	14.7	13.1		
最小値	10.3	12.6	9.5	11.7	7.8	6.4	11.1	7.8	13.2	8.6	9.7	12.6	12.4	11.9			
最大値	27.4	22.6	28.9	24.0	18.0	24.7	19.3	25.5	21.7	14.0	12.6	14.3	18.8	14.6			
標準偏差	4.9	3.3	5.5	3.4	3.5	7.0	3.3	6.3	3.2	1.7	1.0	0.4	1.8	0.7			

検証用																	
樹種	スギ								ヒノキ				カラマツ		トドマツ		アカエゾマツ
断面寸法	105mm角			120mm角		150mm角		120mm角		150mm角		120mm角	150mm角	120mm角	150mm角	120mm角	
調達先	福島県	愛知県	宮崎県	福島県	宮崎県	福島県	宮崎県	岐阜県	岡山県	岐阜県	岡山県	北海道	北海道	北海道	北海道	北海道	
n	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	27	30	
平均	13.6	13.9	13.8	16.3	15.8	11.1	9.2	15.4	11.9	17.9	11.1	10.3	13.2	14.3	13.4		
最小値	12.0	11.5	11.8	11.9	11.7	7.9	6.8	11.5	8.1	14.3	9.2	8.2	11.9	12.9	12.2		
最大値	14.7	16.8	15.9	20.5	22.7	20.9	14.4	20.4	15.6	22.5	15.5	13.5	15.6	17.6	15.1		
標準偏差	0.6	1.6	1.1	2.0	3.2	3.2	2.0	3.5	2.4	3.0	1.8	1.4	0.9	1.3	0.8		

表 2-1-③ 全乾密度の測定結果（各試験体の全乾密度は 5 枚の切片を平均して算出）

</

2.2 検量線

含水率（HM-10、HM-100）もしくは減衰電圧（MC-3200EX）と全乾法による含水率の関係を散布図に示した結果を図 2-2-①～②⑩に示す。いずれの樹種、断面寸法、含水率計においても両者の関係は直線関係にあり、この散布図から求めた直線回帰式を検量線とした。表 2-2-①に含水率計に入力した全乾密度の値と検量線の切片および傾きを、昨年度の結果とともに一覧にまとめた。

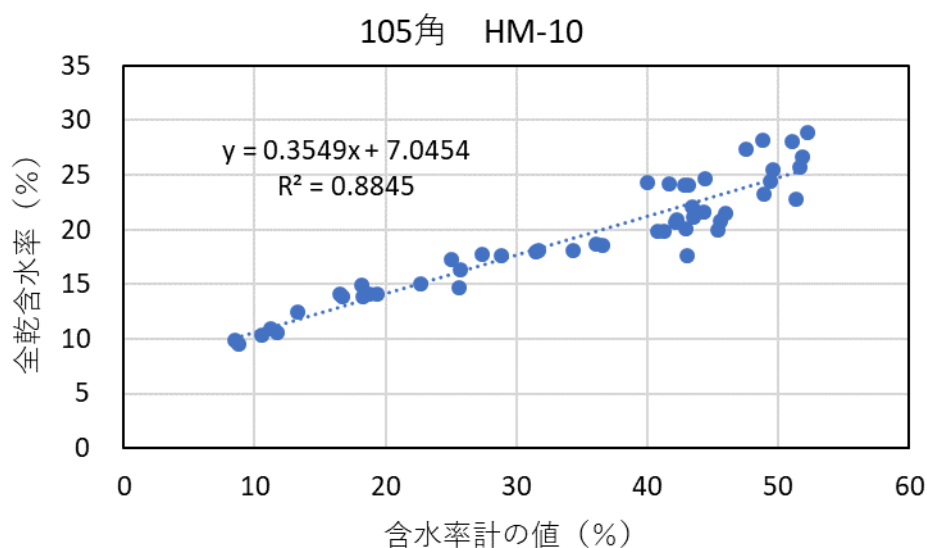


図 2-2-① 検量線作成用試験体の各切片に対する含水率計（HM-10）の値と全乾法による含水率の関係（スギ 105 角）

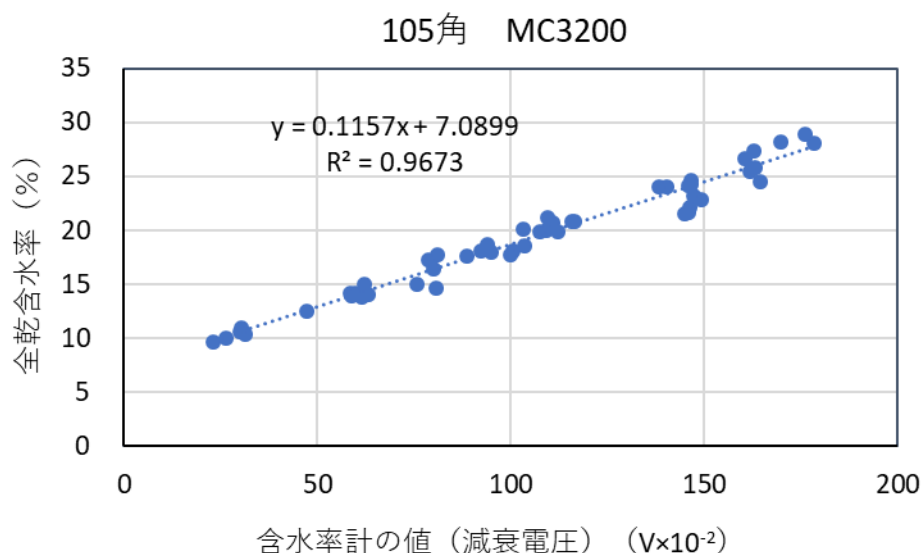


図 2-2-② 検量線作成用試験体の各切片に対する含水率計（MC-3200EX）の値と全乾法による含水率の関係（スギ 105 角）

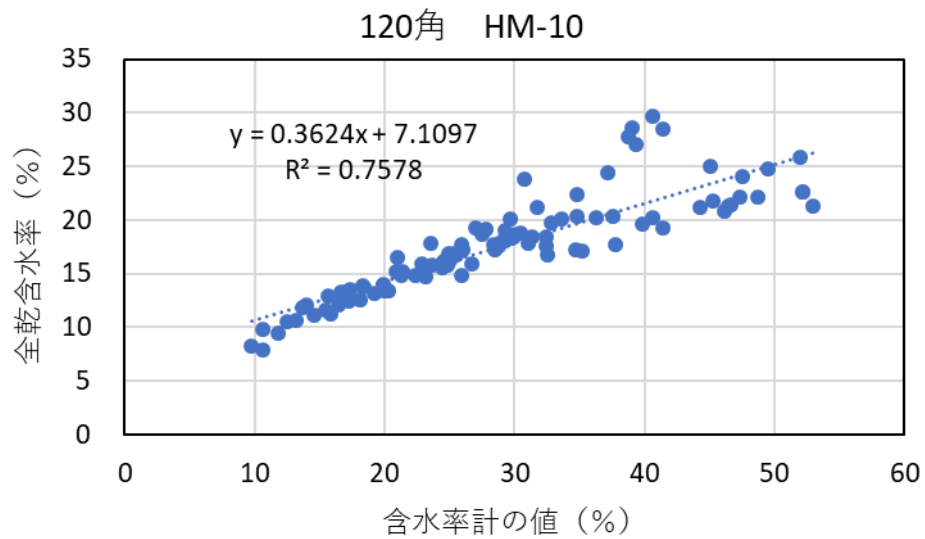


図 2-2-③ 検量線作成用試験体の各切片に対する含水率計（HM-10）の値と全乾法による含水率の関係（スギ 120 角）

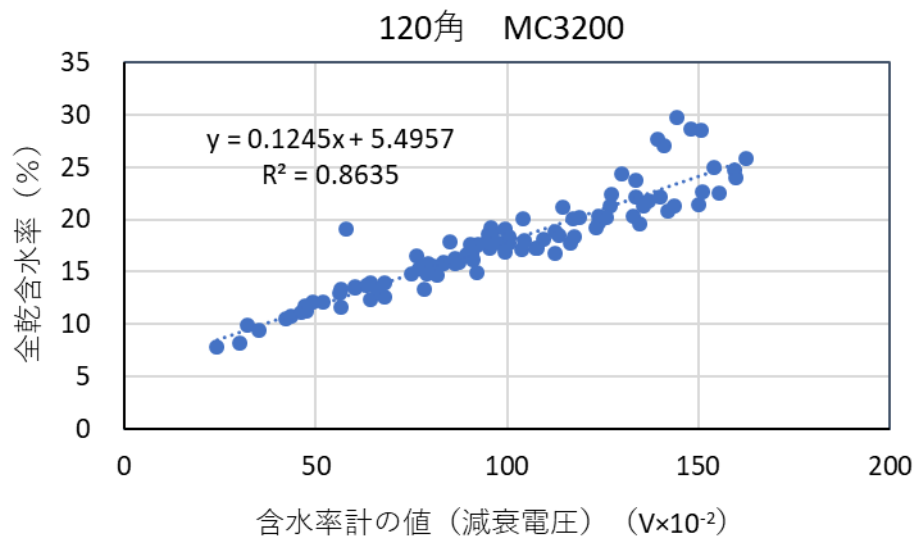


図 2-2-④ 検量線作成用試験体の各切片に対する含水率計（MC-3200EX）の値と全乾法による含水率の関係（スギ 120 角）

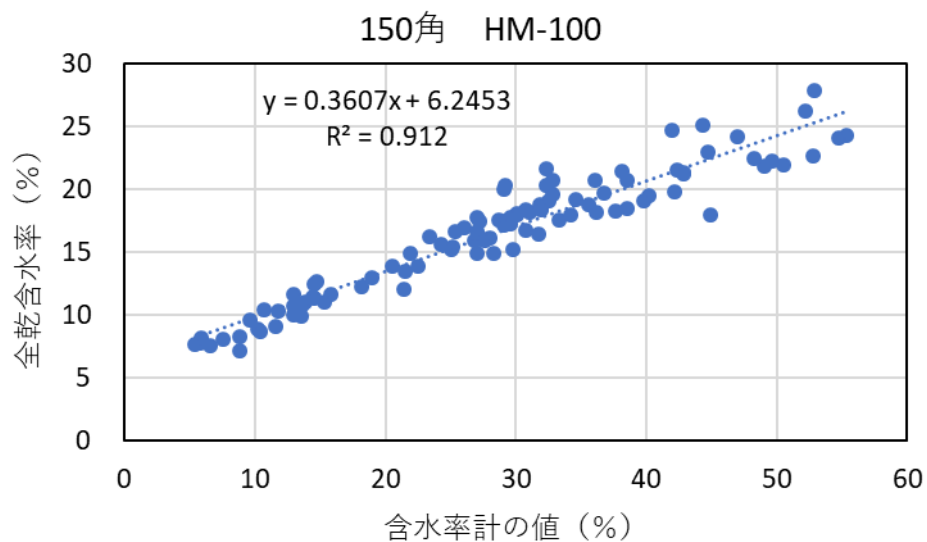


図 2-2-⑤ 検量線作成用試験体の各切片に対する含水率計 (HM-100) の値と全乾法による含水率の関係 (スギ 150 角)

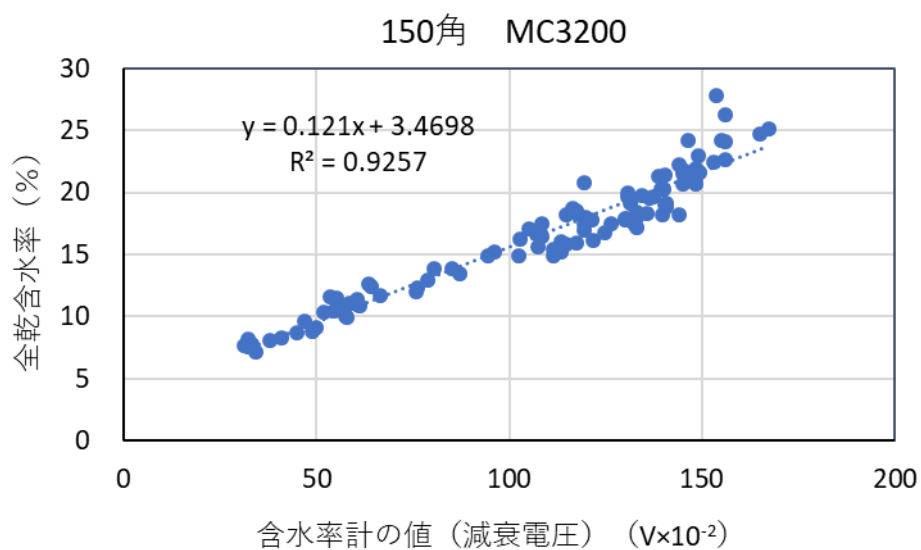


図 2-2-⑥ 検量線作成用試験体の各切片に対する含水率計 (MC-3200EX) の値と全乾法による含水率の関係 (スギ 150 角)

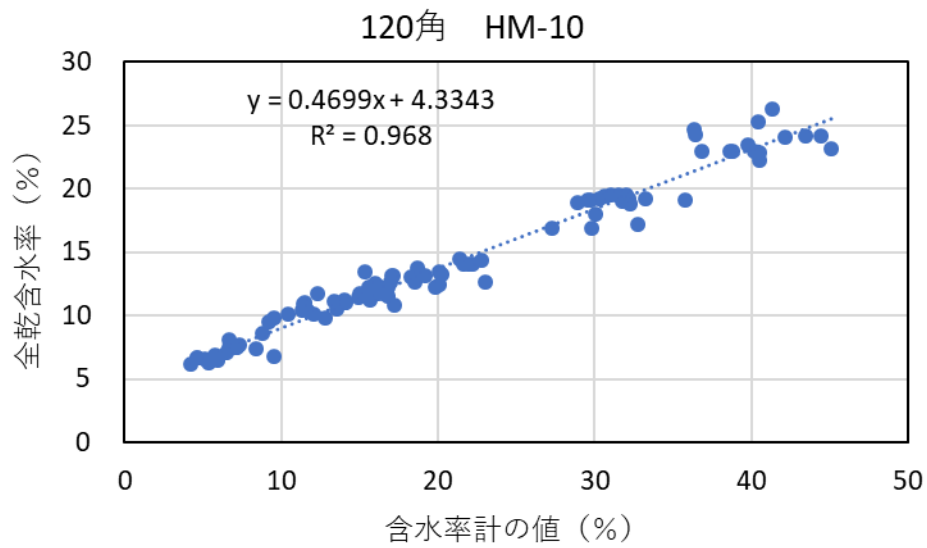


図 2-2-⑦ 検量線作成用試験体の各切片に対する含水率計（HM-10）の値と全乾法による含水率の関係（ヒノキ 120 角）

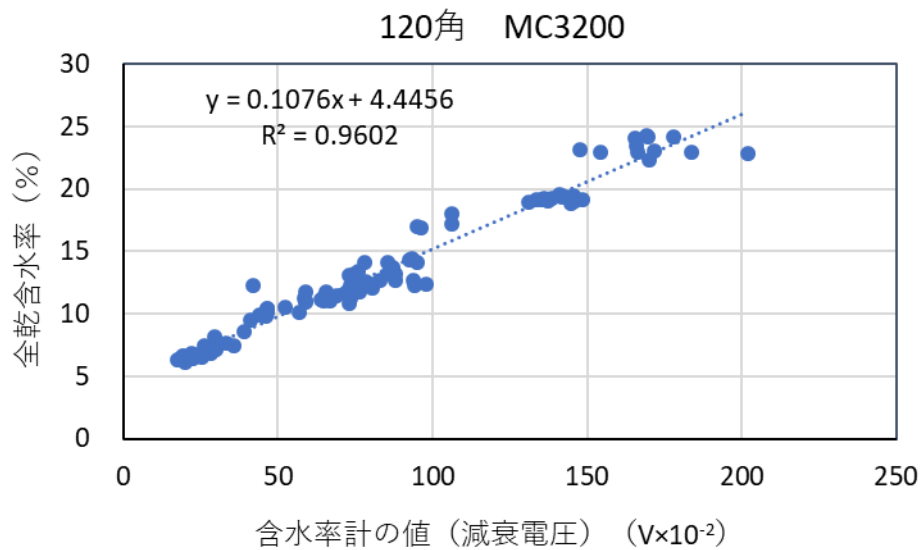


図 2-2-⑧ 検量線作成用試験体の各切片に対する含水率計（MC-3200EX）の値と全乾法による含水率の関係（ヒノキ 120 角）

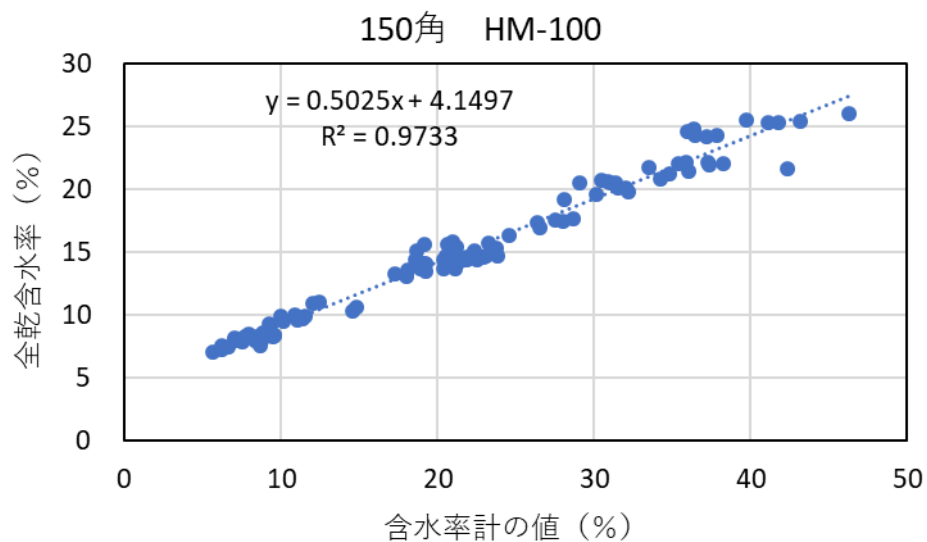


図 2-2-⑨ 検量線作成用試験体の各切片に対する含水率計（HM-100）の値と全乾法による含水率の関係（ヒノキ 150 角）

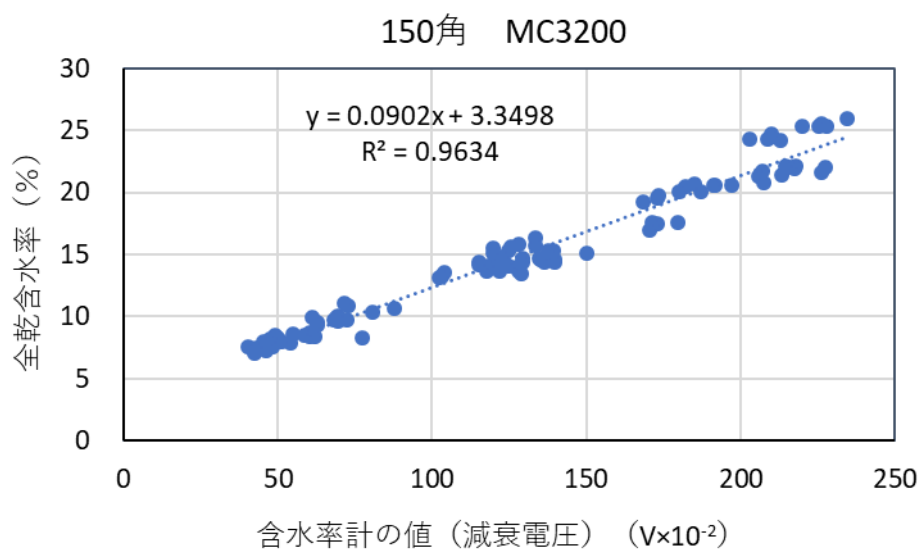


図 2-2-⑩ 検量線作成用試験体の各切片に対する含水率計（MC-3200EX）の値と全乾法による含水率の関係（ヒノキ 150 角）

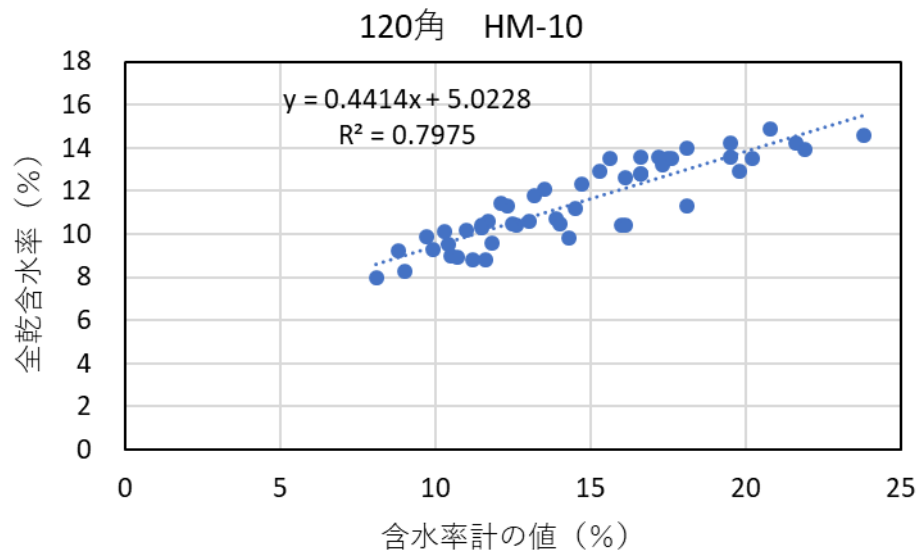


図 2-2-⑪ 検量線作成用試験体の各切片に対する含水率計 (HM-10) の値と全乾法による含水率の関係 (カラマツ 120 角)

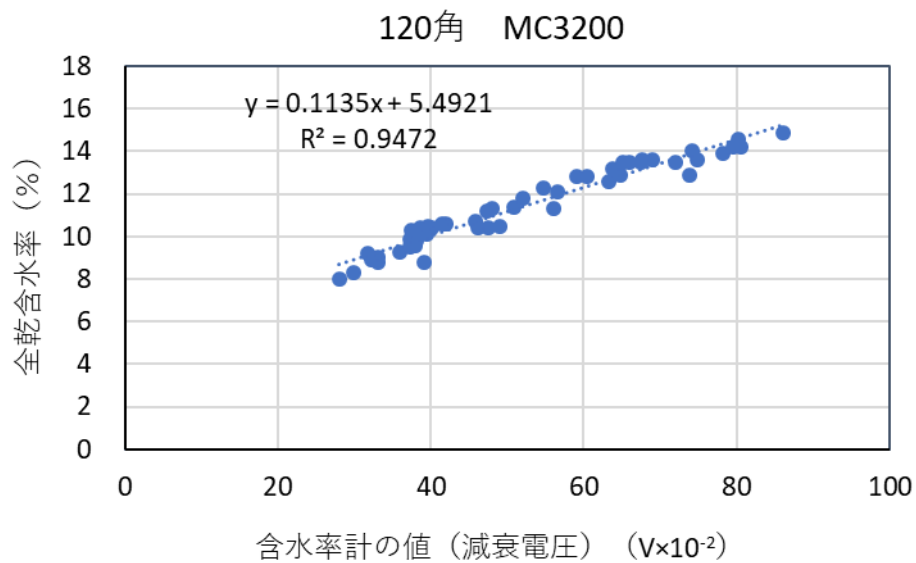


図 2-2-⑫ 検量線作成用試験体の各切片に対する含水率計 (MC-3200EX) の値と全乾法による含水率の関係 (カラマツ 120 角)

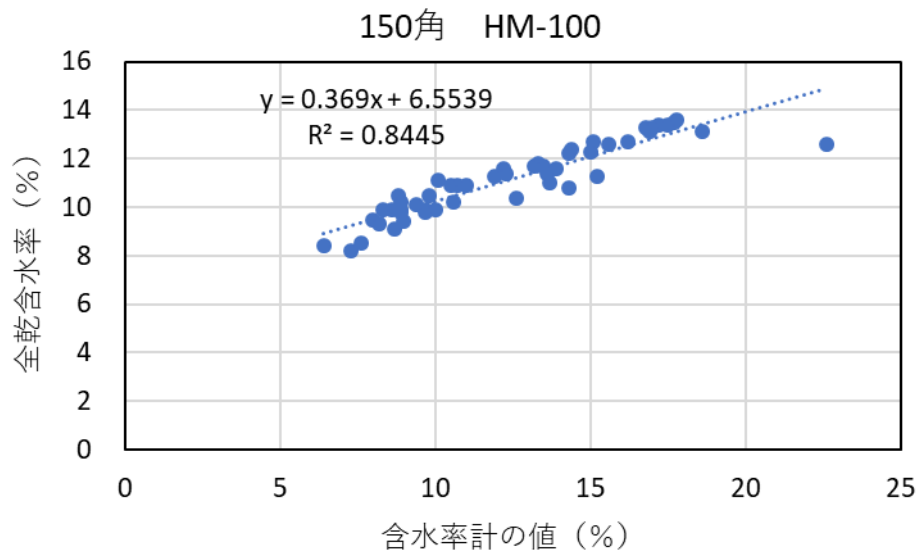


図 2-2-⑬ 検量線作成用試験体の各切片に対する含水率計 (HM-100) の値と全乾法による含水率の関係 (カラマツ 150 角)

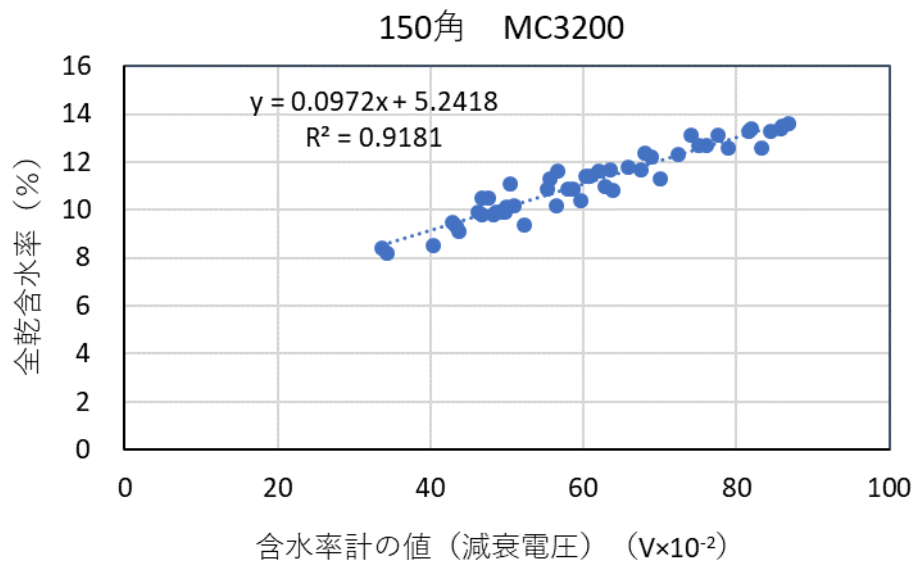


図 2-2-⑭ 検量線作成用試験体の各切片に対する含水率計 (MC-3200EX) の値と全乾法による含水率の関係 (カラマツ 150 角)

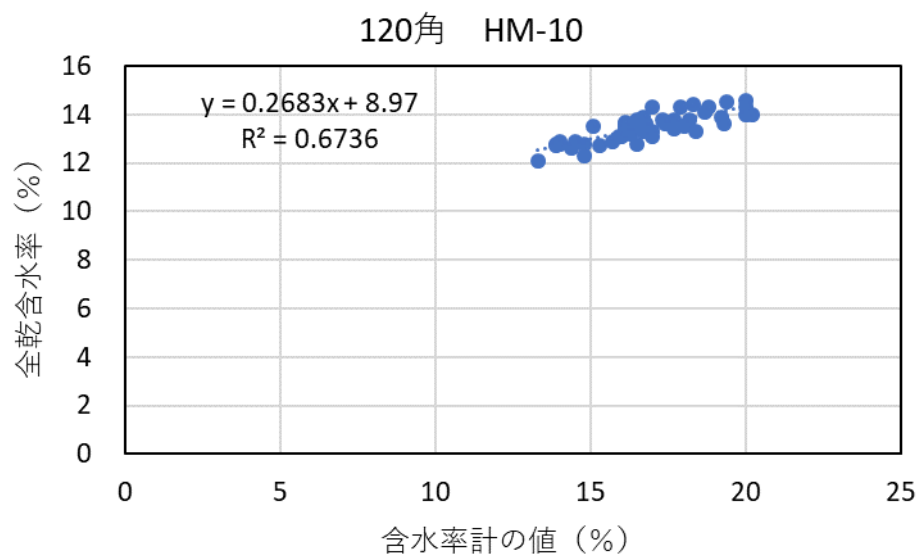


図 2-2-⑮ 検量線作成用試験体の各切片に対する含水率計 (HM-10) の値と全乾法による含水率の関係 (トドマツ 120 角)

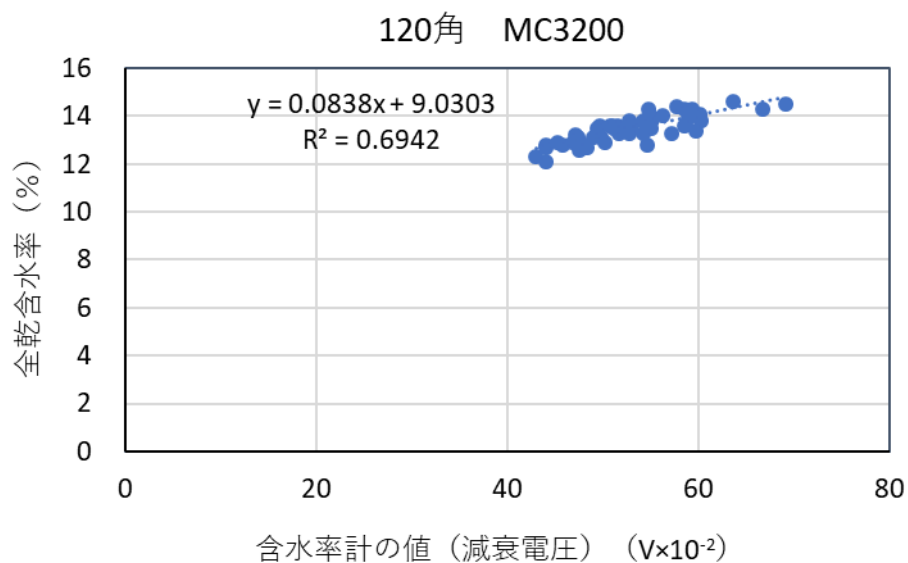


図 2-2-⑯ 検量線作成用試験体の各切片に対する含水率計 (MC-3200EX) の値と全乾法による含水率の関係 (トドマツ 120 角)

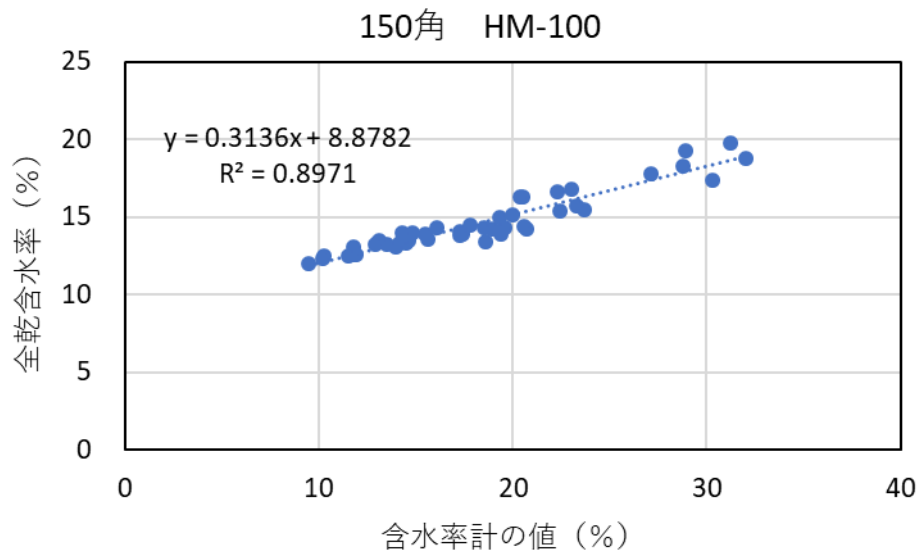


図 2-2-⑰ 検量線作成用試験体の各切片に対する含水率計 (HM-100) の値と全乾法による含水率の関係 (トドマツ 150 角)

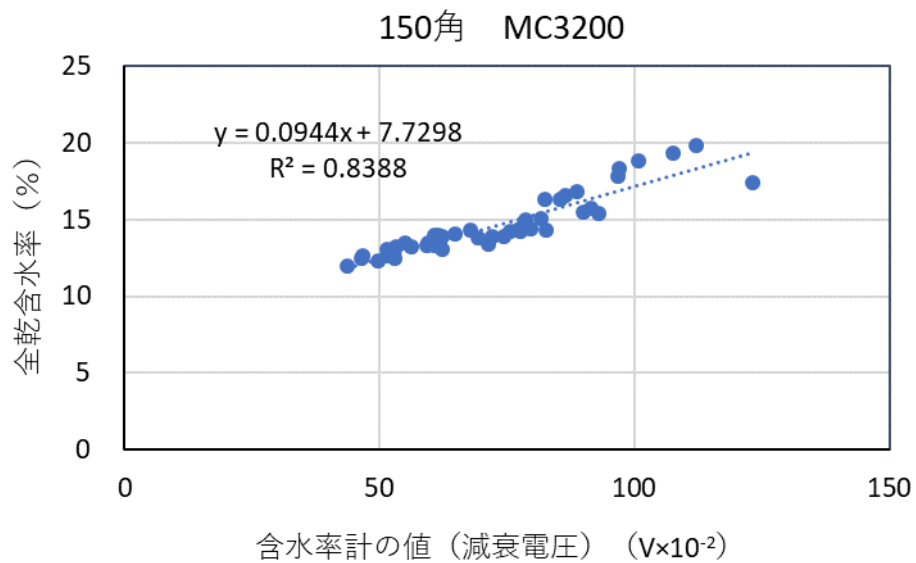


図 2-2-⑱ 検量線作成用試験体の各切片に対する含水率計 (MC-3200EX) の値と全乾法による含水率の関係 (トドマツ 150 角)

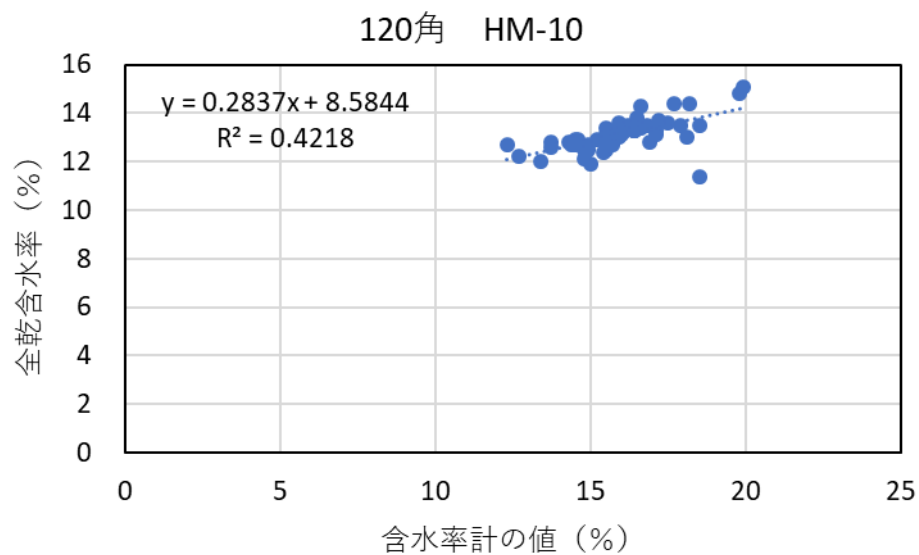


図 2-2-⑱ 検量線作成用試験体の各切片に対する含水率計（HM-10）の値と全乾法による含水率の関係（アカエゾマツ 120 角）

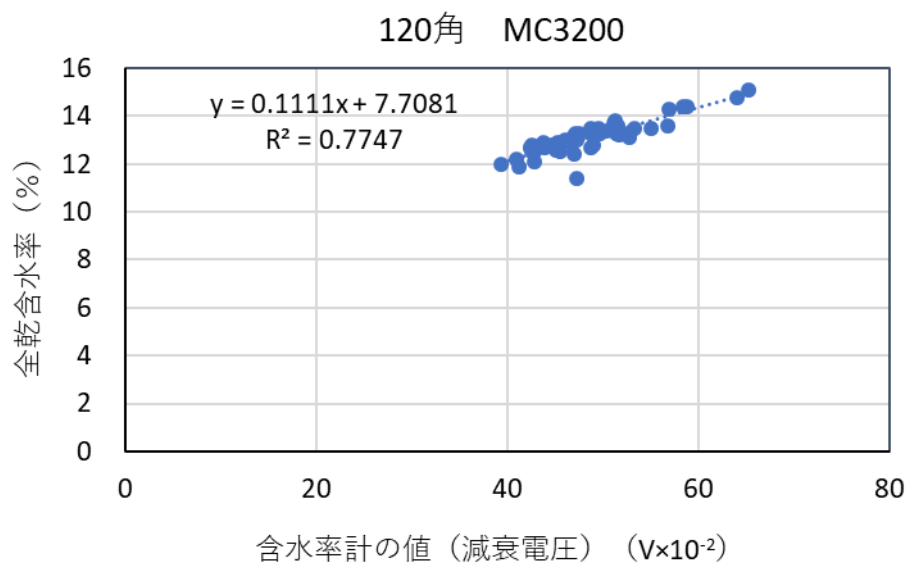


図 2-2-⑳ 検量線作成用試験体の各切片に対する含水率計（MC-3200EX）の値と全乾法による含水率の関係（アカエゾマツ 120 角）

表 2-2-① 含水率計に入力した全乾密度の値と検量線の情報

樹種	断面寸法	全乾密度入力値 (g/cm ³) ※	検量線 (HM-10 or HM-100)		検量線 (MC-3200EX)		備考
			傾き	切片	傾き	切片	
スギ	105mm角	0.36 (0.360)	0.35	7.0	11.57	7.09	
	120mm角	0.36 (0.360)	0.36	7.1	12.45	5.50	
	150mm角	0.35 (0.346)	0.36	6.2	12.10	3.47	
ヒノキ	120mm角	0.44 (0.440)	0.47	4.3	10.76	4.45	
	150mm角	0.43 (0.430)	0.5	4.1	9.02	3.35	
カラマツ	120mm角	0.44 (0.442)	0.44	5	11.35	5.49	
	150mm角	0.43 (0.431)	0.37	6.6	9.72	5.24	
トドマツ	120mm角	0.35 (0.349)	0.27	9	8.38	9.03	
	150mm角	0.35 (0.347)	0.31	8.9	9.44	7.73	
アカエゾマツ	120mm角	0.35 (0.350)	0.28	8.6	11.11	7.71	
ヒノキ	105mm角	0.45 (0.450)	0.41	6.0	11.45	5.06	昨年度の結果
カラマツ	105mm角	0.46	0.39	7.1	10.56	6.32	
トドマツ	105mm角	0.35	0.24	12.5	11.22	9.96	
アカエゾマツ	105mm角	0.35	0.27	11.8	12.07	9.52	

※機種によって入力値の小数点以下の桁数が異なり、左の数字はHM-10もしくはHM-100、括弧内の数字はMC-3200EX。

2.3 測定精度の検証

測定精度の検証に用いた切片の含水率および全乾密度の測定結果をそれぞれ表 2-3-①、表 2-3-②に示す。各試験体から 5 枚の切片を切り出したので、試験体数は表 2-1-②、表 2-1-③の検証用の 5 倍となっている。

試験体の端部から切り出した切片の全乾密度の測定結果（表 2-1-①）と同様、同一の樹種および断面寸法であっても全乾密度のバラツキがみられた。今回は樹種および断面寸法ごとに一定の密度値（表 2-2-①）を入力しており、この全乾密度のバラツキがマイクロ波透過型含水率計の測定精度に負の影響を及ぼしていると考えられる。

表 2-3-① 測定精度の検証に用いた切片の含水率（全乾法）

樹種	スギ			ヒノキ		カラマツ		トドマツ		アカエゾマツ
断面寸法	105角	120角	150角	120角	150角	120角	150角	120角	150角	120角
n	300	300	300	300	300	150	150	150	135	150
平均	14.05	15.47	14.30	13.62	15.34	11.79	10.64	13.51	14.23	13.24
最小値	9.29	8.56	7.23	6.50	7.13	8.30	7.00	11.40	11.80	11.70
最大値	20.74	26.80	26.19	27.36	26.37	16.20	15.30	16.30	25.30	15.90
標準偏差	1.90	3.12	4.61	5.19	4.95	2.07	1.64	1.08	1.70	0.80

（含水率の単位は％）

表 2-3-② 測定精度の検証に用いた切片の全乾密度

樹種	スギ			ヒノキ		カラマツ		トドマツ		アカエゾマツ
断面寸法	105角	120角	150角	120角	150角	120角	150角	120角	150角	120角
n	300	300	300	300	300	150	150	150	135	150
平均	0.36	0.36	0.35	0.43	0.42	0.44	0.43	0.35	0.35	0.36
最小値	0.29	0.27	0.24	0.34	0.34	0.35	0.36	0.30	0.29	0.30
最大値	0.46	0.46	0.43	0.53	0.53	0.53	0.52	0.42	0.43	0.48
標準偏差	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03

(全乾密度の単位はg/cm³)

図 2-3-①～②に、含水率計による測定値と全乾法による含水率の関係を樹種および断面寸法ごとに示す。また、全乾法による含水率が 20%以下のデータを抽出して含水率計の測定誤差 (RMSE) を算出し、それらの値を表 2-3-③および図 2-3-①～②の図中に示す。

120 mm および 150 mm 角の試験結果については、いずれの樹種においても含水率計による測定値と全乾法による含水率がほぼ 1 対 1 の関係にあり、全体的に平均 1 % 台の測定誤差で含水率を測定できた。ただし、昨年度の結果と同様、全乾法による含水率が 20%を超えると含水率計による測定値と全乾法による含水率の誤差が広がる傾向がみられた。したがって、以上の結果と昨年度実施した 105 mm 角の試験結果から、樹種および断面寸法ごとに適切に検量線を作成し、含水率の範囲を 20%以下に限定して使用すれば、105 mm～150 mm 角の正角乾燥材の含水率を高精度で測定可能であることが明らかとなった。

一方、スギの 105 mm 角の試験結果 (図 2-3-①～②) については、MC-3200EX では RMSE が 1.0%であったのに対して、HM-10 の RMSE が他の結果に比べて 1%ほど高く、若干の測定精度の低下が確認された。スギの 105 mm 角では愛知県の試験体を用いて検量線を作成し、福島県と宮崎県の試験体を用いて測定精度を検証しており、この測定精度の低下は、1つの検量線を産地が大きく異なる材に対して適用したことによって起こった可能性が高いことを示唆している。ただし、見方を変えれば大幅な測定精度の低下にはつながらないという捉え方も可能である。

この測定精度の低下の要因については明確な答えが得られていないが、福島県、宮崎県のどちらかの地域の試験体に対して精度が偏って悪いわけではなかった。また、HM-10 では温度補正をしておらず、試験は 9 月から 11 月にかけて実施したことから、検量線作成から測定精度検証までのタイムラグによって温度補正の影響があった可能性も残されている。今後、地域や産地の違いに加えて温度補正についても検討する必要があると考えられる。

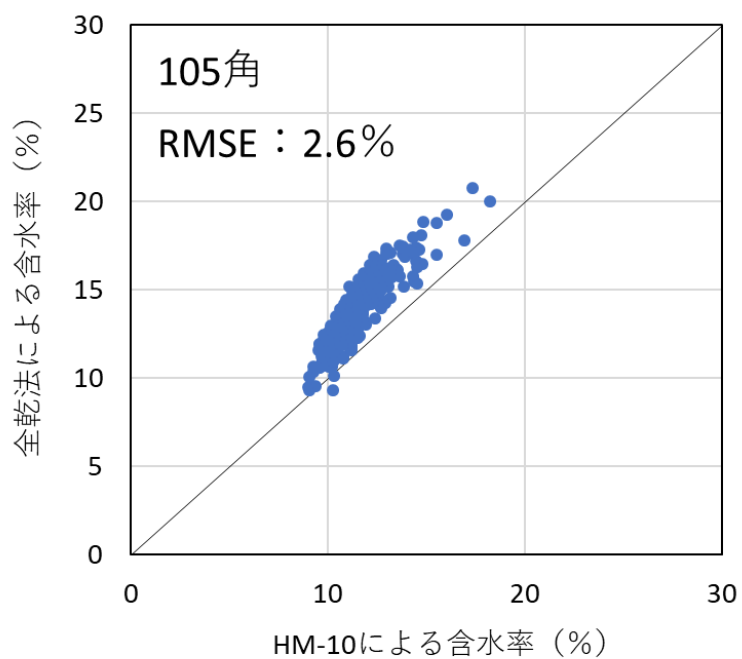


図 2-3-① 105 角スギ検証用試験体の各切片に対する含水率計（HM-10）による測定値と全乾法による含水率の関係

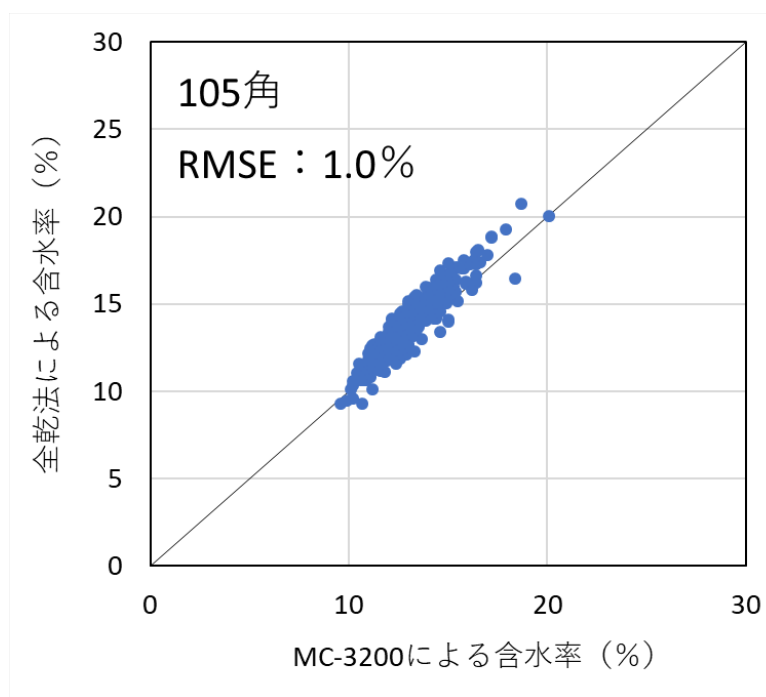


図 2-3-② 105 角スギ検証用試験体の各切片に対する含水率計（MC-3200EX）による測定値と全乾法による含水率の関係

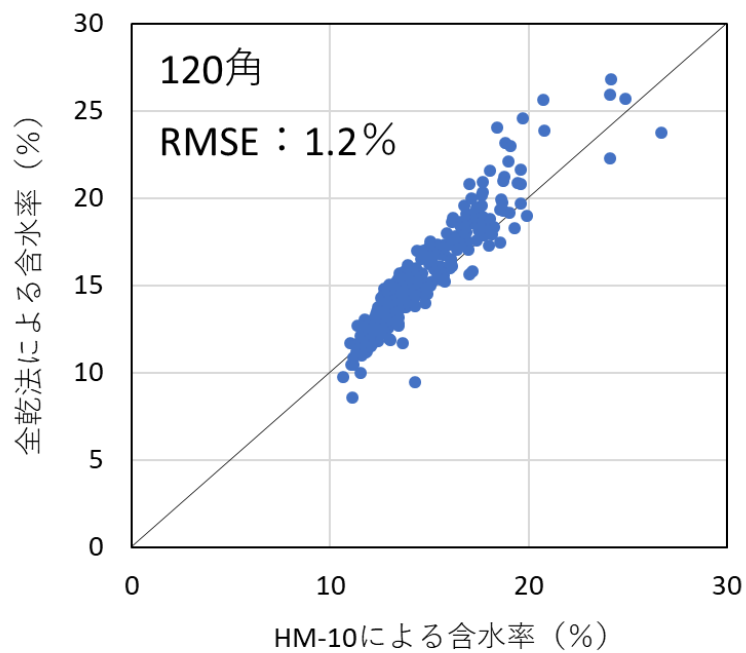


図 2-3-③ 120 角スギ検証用試験体の各切片に対する含水率計（HM-10）による測定値と全乾法による含水率の関係

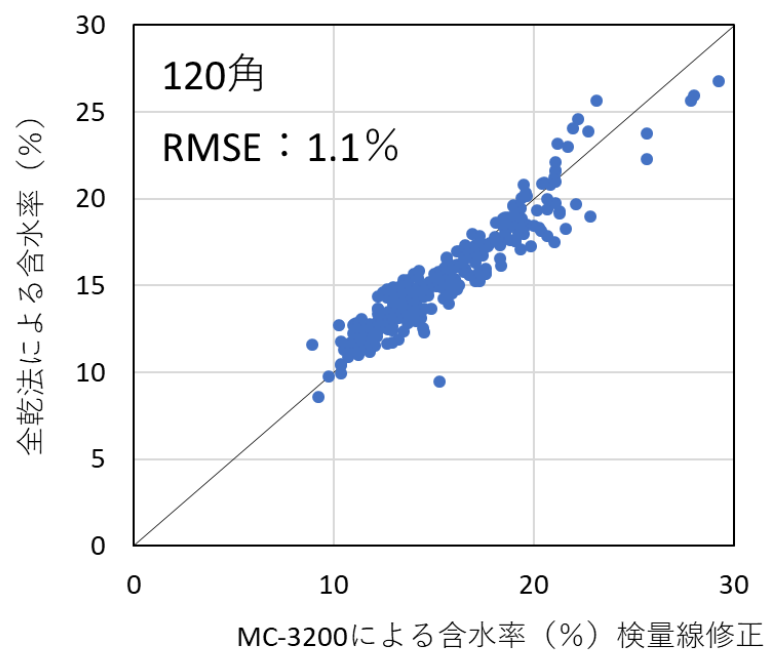


図 2-3-④ 120 角スギ検証用試験体の各切片に対する含水率計（MC-3200EX）による測定値と全乾法による含水率の関係

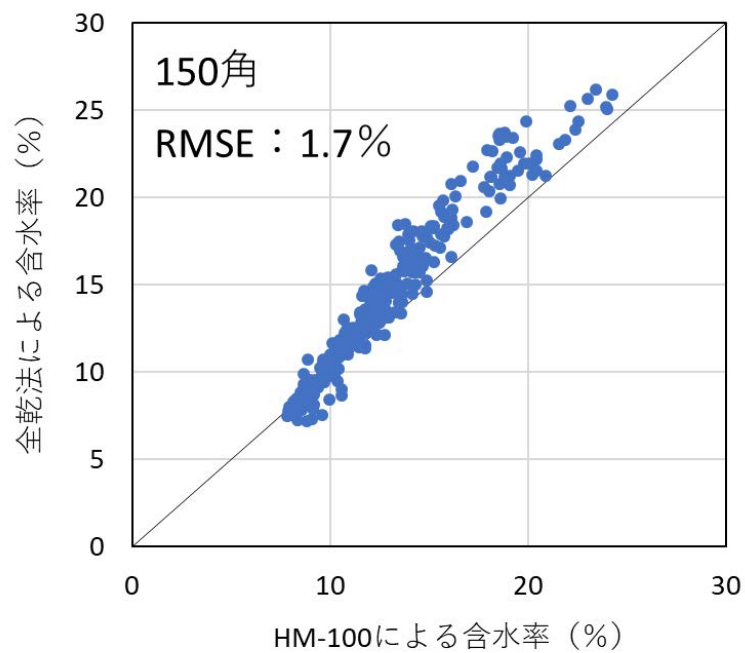


図 2-3-⑤ 150 角スギ検証用試験体の各切片に対する含水率計（HM-100）による測定値と全乾法による含水率の関係

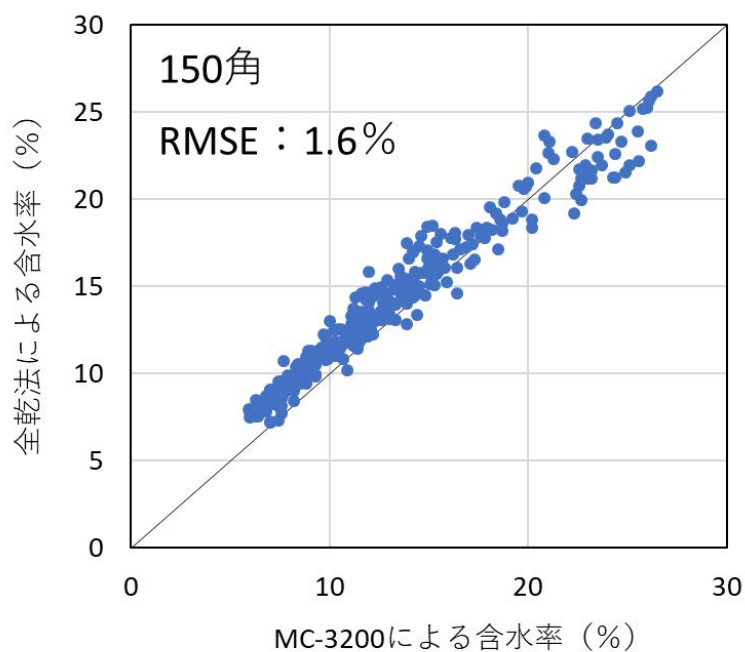


図 2-3-⑥ 150 角スギ検証用試験体の各切片に対する含水率計（MC-3200EX）による測定値と全乾法による含水率の関係

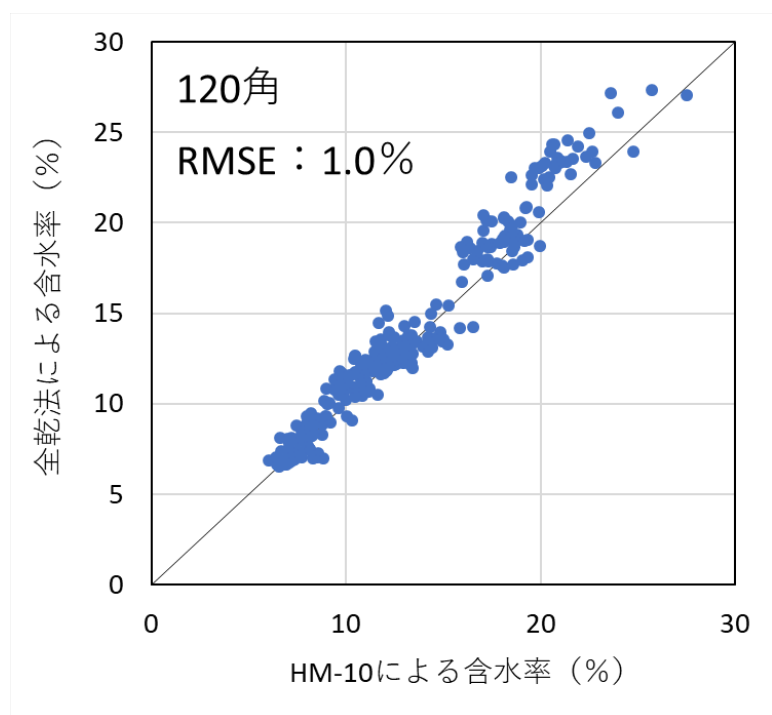


図 2-3-⑦ 120 角ヒノキ検証用試験体の各切片に対する含水率計（HM-10）による測定値と全乾法による含水率の関係

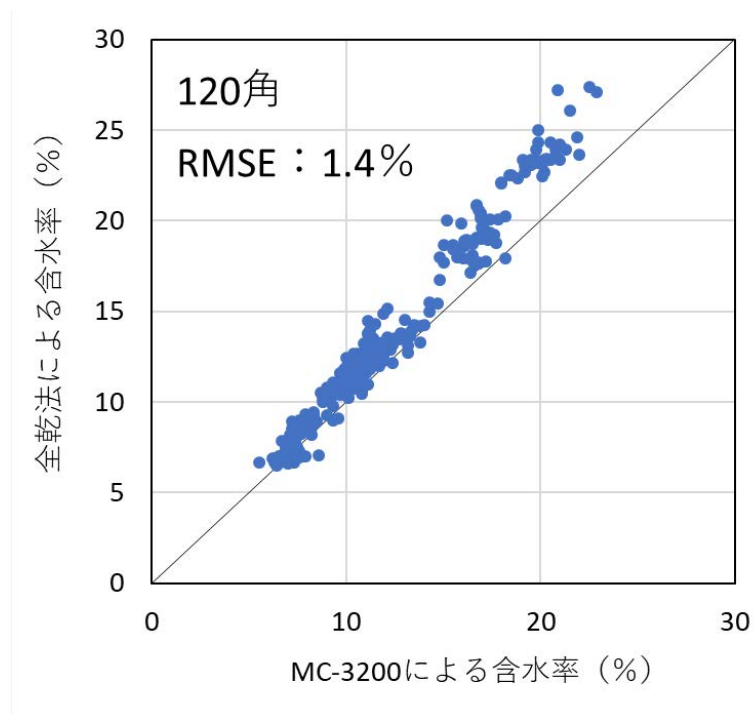


図 2-3-⑧ 120 角ヒノキ検証用試験体の各切片に対する含水率計（MC-3200EX）による測定値と全乾法による含水率の関係

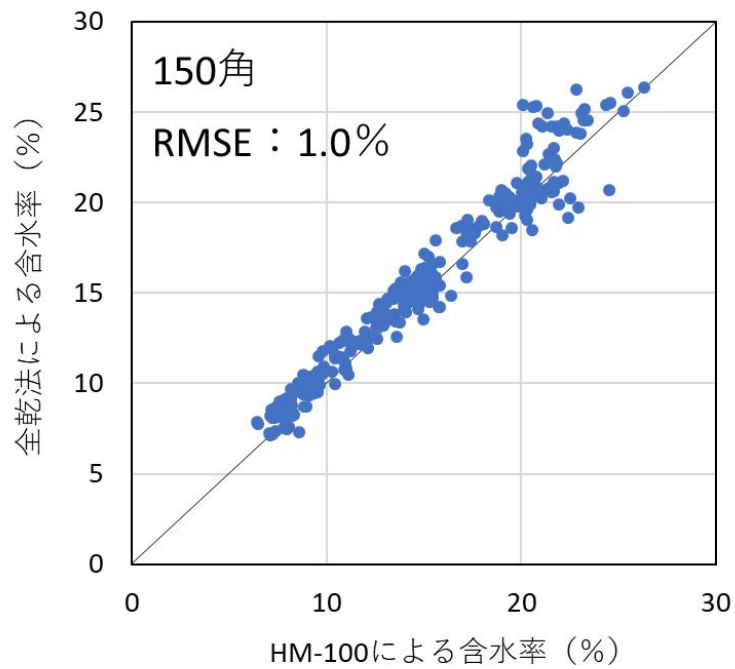


図 2-3-⑨ 150 角ヒノキ検証用試験体の各切片に対する含水率計（HM-100）による測定値と全乾法による含水率の関係

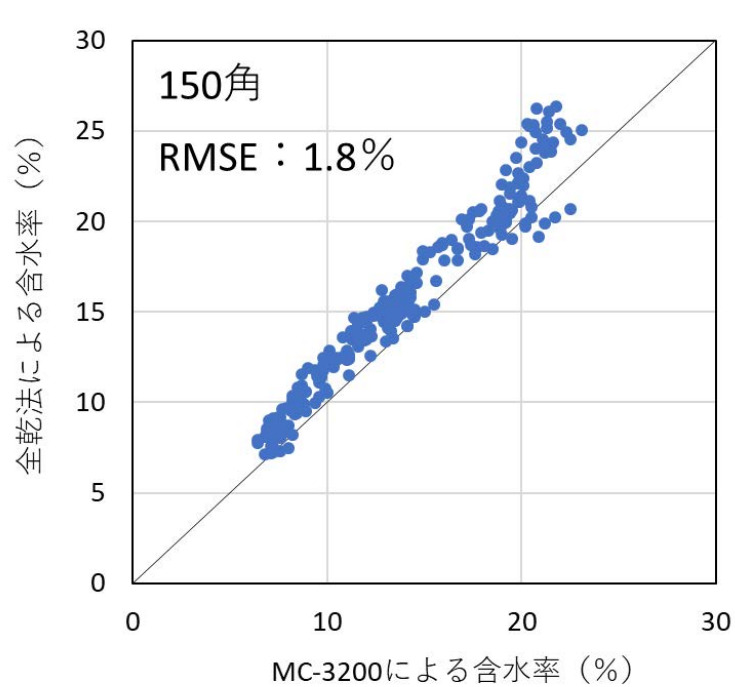


図 2-3-⑩ 150 角ヒノキ検証用試験体の各切片に対する含水率計（MC-3200EX）による測定値と全乾法による含水率の関係

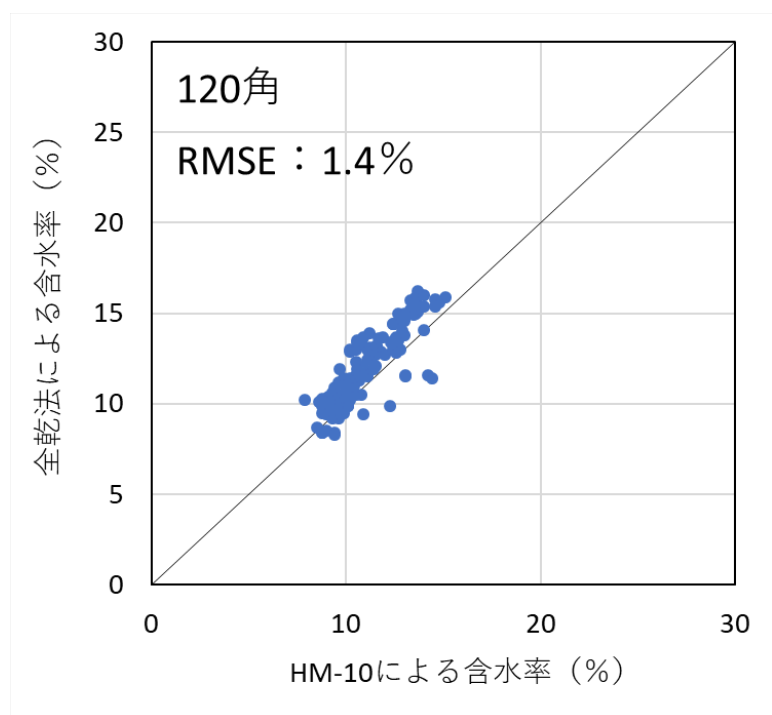


図 2-3-⑪ 120 角カラマツ検証用試験体の各切片に対する含水率計（HM-10）による測定値と全乾法による含水率の関係

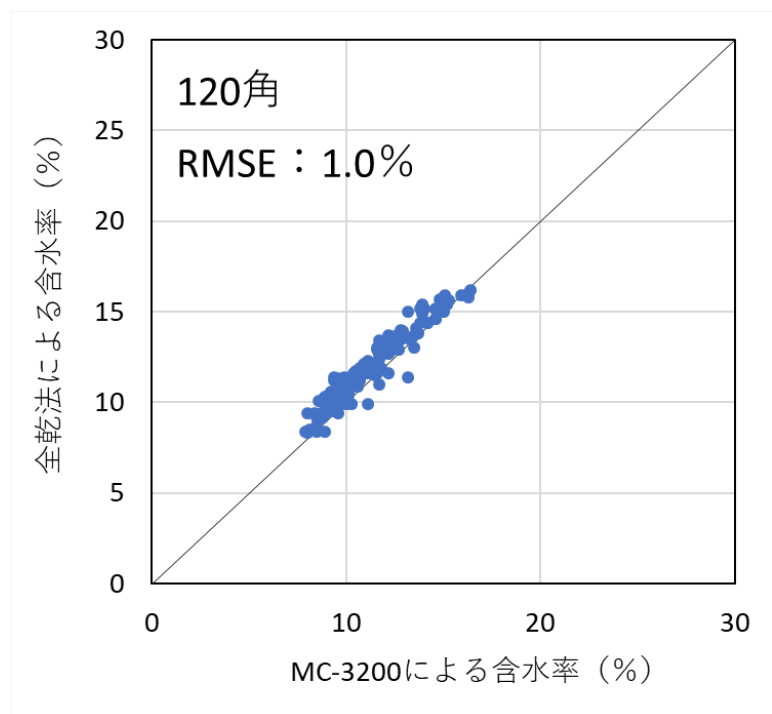


図 2-3-⑫ 120 角カラマツ検証用試験体の各切片に対する含水率計（MC-3200EX）による測定値と全乾法による含水率の関係

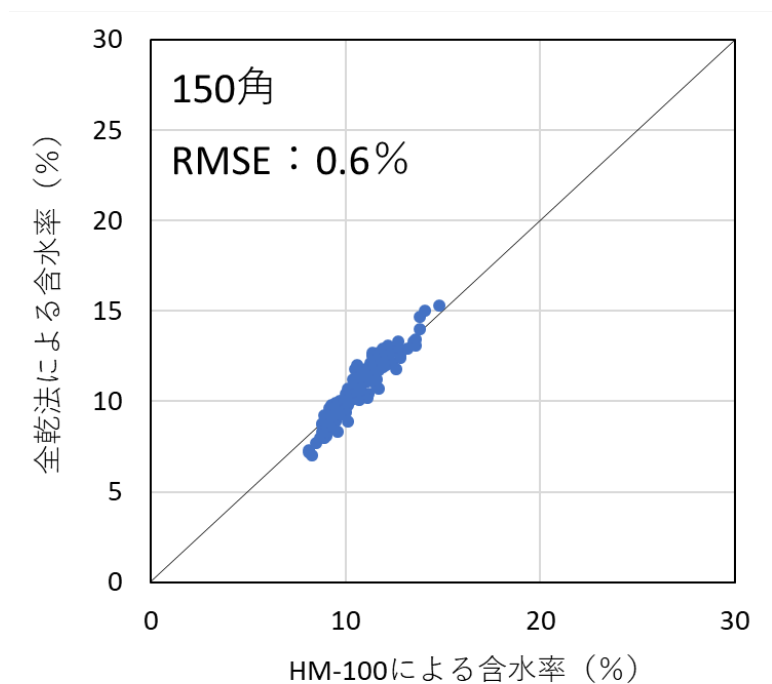


図 2-3-⑬ 150 角カラマツ検証用試験体の各切片に対する含水率計（HM-100）による測定値と全乾法による含水率の関係

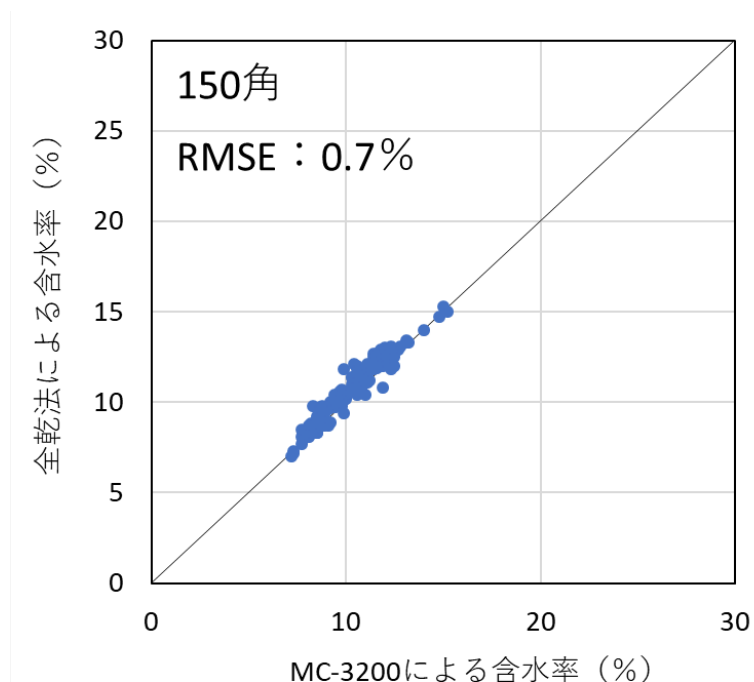


図 2-3-⑭ 150 角カラマツ検証用試験体の各切片に対する含水率計（MC-3200EX）による測定値と全乾法による含水率の関係

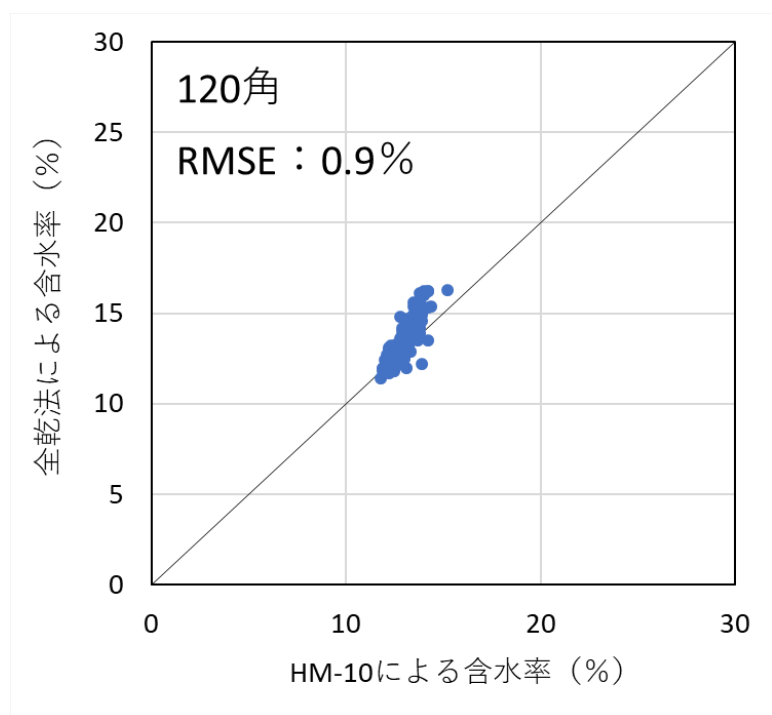


図 2-3-⑮ 120 角トドマツ検証用試験体の各切片に対する含水率計（HM-10）による測定値と全乾法による含水率の関係

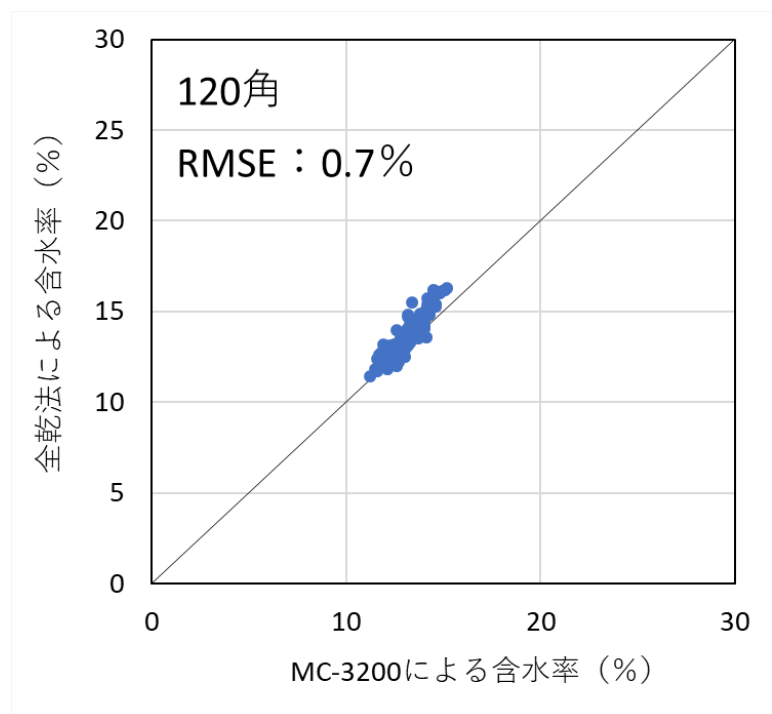


図 2-3-⑯ 120 角トドマツ検証用試験体の各切片に対する含水率計（MC-3200EX）による測定値と全乾法による含水率の関係

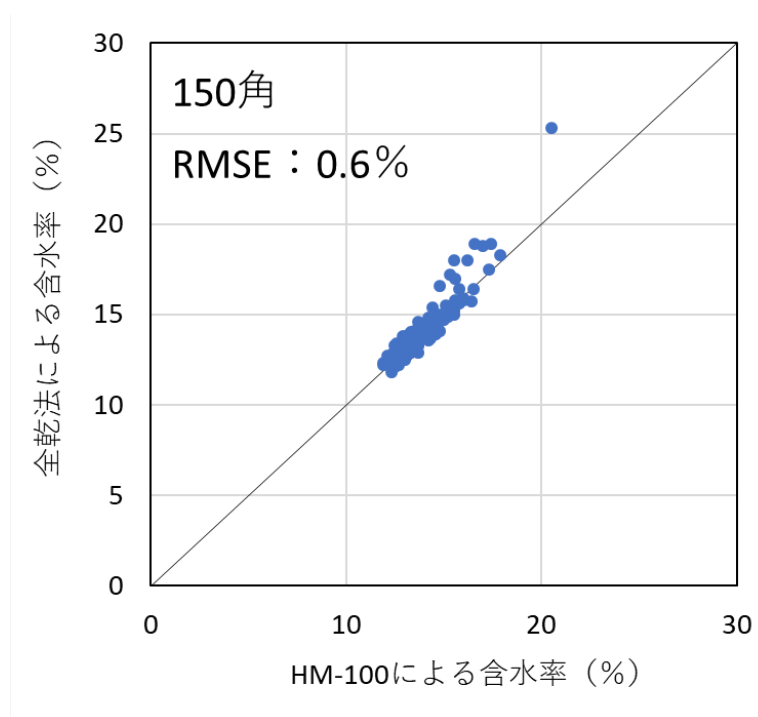


図 2-3-⑰ 150 角トドマツ検証用試験体の各切片に対する含水率計（HM-100）による測定値と全乾法による含水率の関係

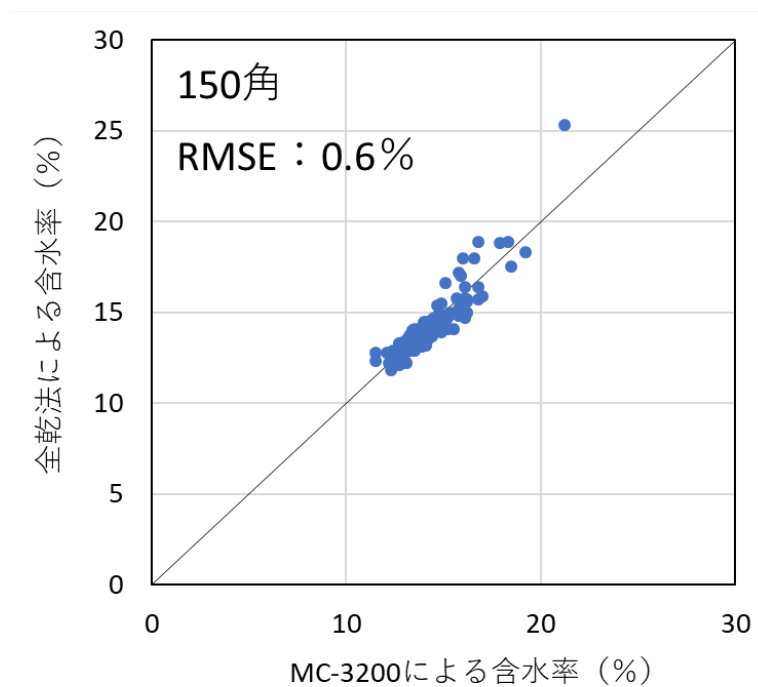


図 2-3-⑱ 150 角トドマツ検証用試験体の各切片に対する含水率計（MC-3200EX）による測定値と全乾法による含水率の関係

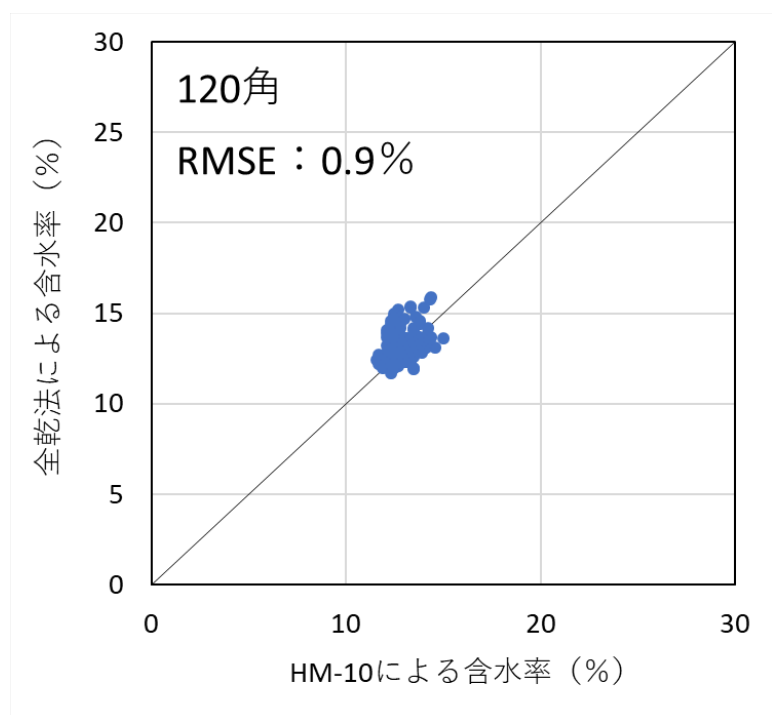


図 2-3-⑱ 120 角アカエゾマツ検証用試験体の各切片に対する含水率計（HM-10）による測定値と全乾法による含水率の関係

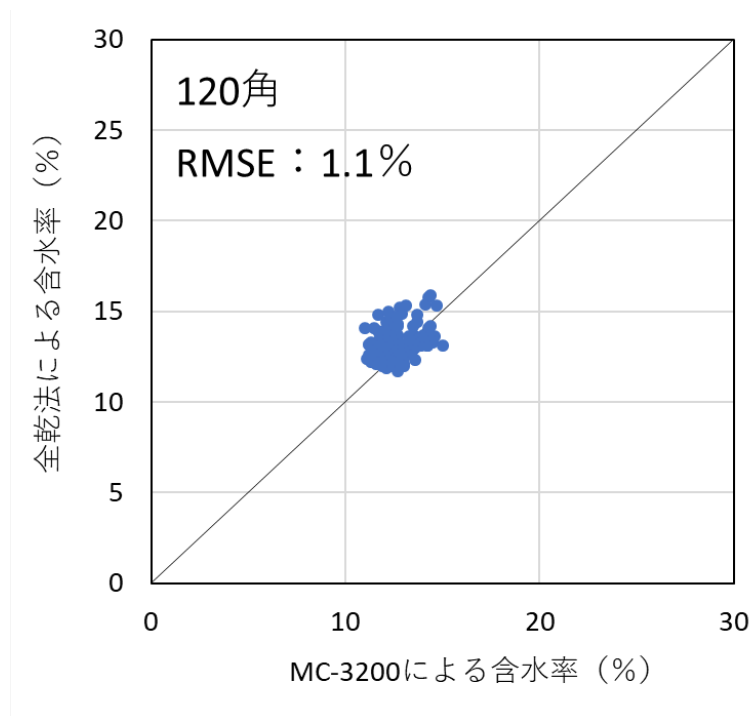


図 2-3-㉑ 120 角アカエゾマツ検証用試験体の各切片に対する含水率計（MC-3200EX）による測定値と全乾法による含水率の関係

表 2-3-③ 各樹種に対する含水率計の測定誤差 (RMSE)

樹種	断面寸法	含水率20以下におけるRMSE (%)		
		HM-10	HM-100	MC-3200EX
スギ	105mm角	2.6		1.0
	120mm角	1.2		1.1
	150mm角		1.7	1.6
ヒノキ	120mm角	1.0		1.4
	150mm角		1.0	1.8
カラマツ	120mm角	1.4		1.0
	150mm角		0.6	0.7
トドマツ	120mm角	0.9		0.7
	150mm角		0.6	0.6
アカエゾマツ	120mm角	0.9		1.1

3. 計測機器の取り扱いや測定にあたっての留意点

【装置の使用方法について】

- ・説明書の操作方法をよく読んでから使用すること。機種によって操作方法が異なり、例えば HM-10 では下側のホーンに木材を接触させるのに対して、HM-100 では上側のホーンに接触させる。
- ・使用前に電池残量を確認すること。
- ・使用開始時にゼロ点補正を行うこと。とくに MC-3200EX ではアンテナを木材の厚さに調整したのちにゼロ点補正ボタンを押す。
- ・全乾密度や厚さは適切な値を入力すること。含水率計の測定値は全乾密度に依存するため、事前に材端部から切片を切り出して把握することを推奨する。

【検量線の作成について】

以下の手順を参考に検量線を作成すること。

1. 製材品から切片を採取するための木材加工機、含水率を測定するための電子天秤と恒温器、全乾密度を測定するためのノギスを用意する。
2. 含水率が 10%以上～15%未満、15%以上～20%未満、20%以上～25%未満の材をそれぞれ 3 本ずつ用意する※1、2。
3. 含水率計に入力する全乾密度の値を決めるため、材端（木口面から 150 mm 程度内側を目安になるべく節のない位置）から切片を 1 枚ずつ採取する。切片を半割にした後、質量を測定する。103℃程度の恒温器内に約 1 日静置して全乾にした後、質量を再度測定し、含水率を求める。
4. 半割した 2 つのうち、割れやいびつな変形が少ない方を選び、質量と縦、横、高さの寸法を測定し、全乾密度を求める。その平均値を 5. の検量線作成時の入力値とする。
5. 検量線作成用の設定値を含水率計に入力し、1 試験体のつき 5 か所測定する。測定箇所には割れや節など、試験に影響する欠点がない（少ない）ものとする。
6. 測定箇所から切片を切り出し、全乾法で含水率を測定する（3. と同様）。
7. 全乾法による含水率と含水率計の値から検量線の切片と傾きを求める。

※1 本数は多い方が検量線の測定精度が向上する。ただし、調達の都合上 3 本用意できない場合は、少なくとも各含水率範囲につき 1 本は用意することを推奨する。

※2 含水率を把握する方法として、例えばマイクロ波透過型含水率計のデフォルトの検量線を用いるのがよい。

第3章 事業の成果と課題等

1. 成果等

スギ、ヒノキ、カラマツ、トドマツ、アカエゾマツの 120 mm 角および 150 mm 角（アカエゾマツは 120 mm 角のみ）の正角乾燥材を対象に、マイクロ波透過型含水率計（HM-10、HM-100、MC-3200EX）を用いて検量線を作成し、得られた検量線を表 2-2-①に整理した。

含水率計の測定精度を検証した結果、昨年度実施した 105 mm 角の試験結果と同様、いずれの機種においても含水率を平均 1 % 台の測定誤差（RMSE）で測定することができた。したがって、樹種および断面寸法ごとに適切に検量線を作成し、含水率の範囲を 20 % 以下に限定して使用すれば、105mm～150mm 角の正角乾燥材の含水率を高精度で測定可能であることが明らかとなった。

スギの 105 mm 角の正角乾燥材を福島県、愛知県、宮崎県の製材工場から調達し、愛知県の材を用いて検量線を作成し、残り 2 地域の材を用いて測定精度を検証した。その結果、1 機種は測定精度の低下がみられなかったのに対して、もう一方の機種では測定精度が平均で 1 % ほど低下した。したがって、1 つの検量線を産地が大きく異なる材に対して流用する際には測定精度の低下が起こりえるが、大幅な低下にはつながらない可能性が示唆された。

2. 課題等

以下の課題が挙げられる。

1. 携帯型のマイクロ波透過型含水率計は測定可能な材の厚さに制限がある。間柱や枠組壁工法構造用製材のような比較的薄い材や、尺角のような厚い材に対してどのくらいの精度で含水率を測定できるのか、今後検討する必要がある。また、含水率計には温度補正の機能が備わっているが、補正式の妥当性について明らかでない。季節によって材温は変化し、冬場は木材が凍結する地域もあることから、材温がマイクロ波の減衰に及ぼす影響を定量的に把握することは重要である。
2. 含水率計を運用する上で検量線の作成がネックになると考えられる。現場で検量線を作成する手間をどのくらい省略可能か、また、どのくらいの地域から集めた材に対して 1 つの検量線を適用可能か検討する必要がある。さらに、含水率計の校正方法や頻度について、検査機関、事業者、メーカーなどの関係者が協議し、適切なルールを策定することが課題となっている。