

(研究資料)

2, 3 の高周波型含水率計の特性について

(Research materials)

Measurement of Moisture of Wood by Two High Frequency Type Moisture Meters

Takeshi UYEMURA and Hisayoshi SAITO

上 村 武⁽¹⁾
齋 藤 壽 義⁽²⁾

は し が き

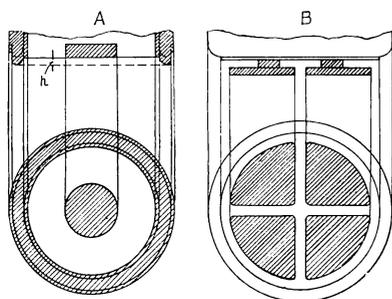
木材の電気式含水率計は大別して直流（または交流）抵抗方式と高周波方式とに大別される。前者の特徴ならびにその試験結果については種々報告があり、著者¹⁾もすでに報告したところであるが、高周波方式による含水率計はその実用試験の例が少なく、また使用上の特徴も明らかにされていない面が多い。著者は高周波方式による木材含水率計の開発をはかるための研究を続けていたが、たまたま米国製の Moisture Register, ドイツ製の Gann Hydromat の 2 種類の高周波方式の含水率計に接する機会をえて、若干の実用試験を行つてみたので、その結果を報告する。前者は木材の高周波損失を測定することによつて木材の含水率を知る方式をとつており、電極にふれた試料が器中の発振回路に生じた発振勢力に損失を生じる程度を陽極回路にブリッジを構成した電流計で読み取るようになってゐる。後者は容量型に属するもので、発振回路に間接に結合した電極に試料がふれたとき、回路が同調するまで同調バリコンを廻転し、その廻転角から含水率を求めるようになってゐる。電極はともに格子電極（表面押当電極）で、使用周波数は数 MC 程度のものであつた。

高周波型の含水率計は、抵抗方式のものにくらべて表面含水率の影響をあまり受けずに平均含水率を知ることができ、温度の影響も比較的少ないが、樹種の影響を大きく受け、樹種補正を行わねばならないことが不利な点である。また高周波型の計器のうちでは、格子電極を用いたものはその電気力線が試料全体を貫通しないので、当然電気力線の到達深度、すなわち含水率を測定する厚さの範囲が問題となつてくる。この報告はこの 2 つの点に主眼をおいて試験を行い、あわせて若干の素材、合板、パーティクルボードの測定例をのべたものである。

本試験を行う機会を与えられ御指導をいただいた小倉木材部長、試料の一部を提供していただいた堀岡材質改良科長、実験の一部を担当していただいた岡西高男技官に深甚な謝意を表するものである。また、試験に用いた計器は、Moisture Register は東洋プライウッド k. k., Gann Hydromat は文部省科学研究費による含湿度委員会の備付にかかるとのことであることを付記して、あわせて謝意を表するしだいである。

(1) 木材部木材材料科長 (2) 木材部木材材料科物理研究室員

試料の厚さの影響



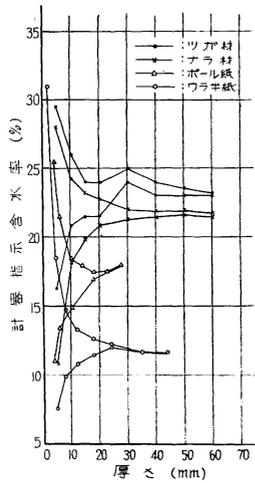
第 1 図 Gann Hydromat (A) および Moisture Register (B) の電極

両計器の電極は押当電極で、Moisture Register (以下 M 器とよぶ) の電極は上部の取手を握つて、電極下面についている 4 分円型の電極を木材表面に押しつけるようになっていて、Gann Hydromat (以下 H 器とよぶ) の方は文鎮型で中央に + 極が材面からある距離をおいて設置された同心円環状電極で、その径はどちらも約 60 mm である (第 1 図)。

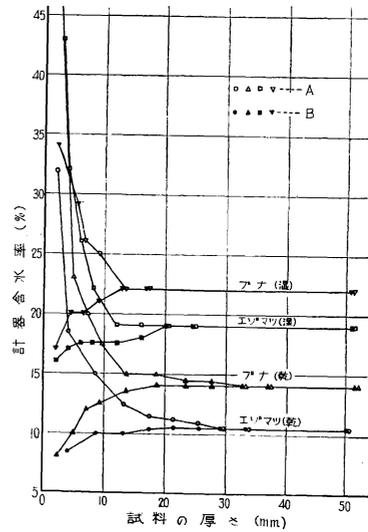
このような電極を任意の試料の表面にあてて測定を行った場合を考えると、試料が薄すぎる場合には、電気力線は試料をつきぬけて空気あるいはその試料の下におかれた物質中を通り、ふたたび試料中を通過して電極にかえる形となり、当然試料とは無関係な他物質の誘電的性質もあわせてはかれることになるので、指示される測定値は実際とは著しく異なつたものになる。また、試料が厚すぎる場合には電気力線の到達深度には限りがあるので、その深さまでの測定値しか得られず、それ以上深部では含水率が多くても少なくとも指示値には影響しないことになる。電気抵抗式含水率計の場合でもこのような試料の厚さの影響は著しいが²⁾、高周波方式による場合は、測定法によつて一層大きくあらわれる可能性がある。

このような厚さの影響が実際にどの程度にあらわれているかを検討するために、次のような一連の実験を行つた。試料としては板材としてツガ (80×80×60 mm 板目木取)、ナラ、単板としてエゾマツ、ブナの 2 mm 厚、100×100 mm のスライスドベニア (柾目木取)、合板としてはラワン 2 類および 3 類合板 (3 ply, 3 mm 厚) 80×100 mm のものを用いた。試料はすべて各種の飽和塩類を装したデシケーターまたは恒温恒湿室中に保存して、別々に一定の含水率状態に平衡させたものである。試験を完了してから JIS A 1002 により全乾法による各材料群の平均含水率を測定したが、次のとおりであつた。ツガ板材 23.2%、ナラ板材 15.8%、エゾマツ単板乾 12.7%、湿 22.0%、ブナ単板乾 14.2%、湿 25.1%、ラワン合板 2 類 a 13.6%、b 16.9%、c 16.8%、d 17.6%、e 20.2%、f 20.1%、3 類 a 10.8%、b 15.4%、c 15.7%、d 16.7%、e 19.8%、f 22.9%。

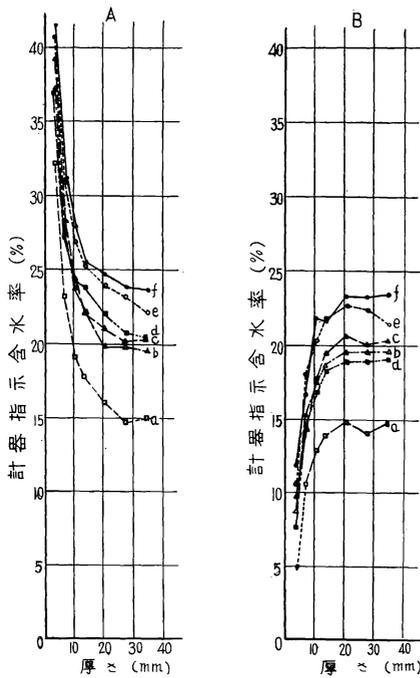
試料は素材の場合には短辺の方向にしないで鉋削してゆき、単板および合板は同一形状の試料をしないで積み重ねていつて厚さをかえ、そのつど計器指示および厚さの測定をおこなつた。計器指示は試料の下に支持台としての極端な場合を想定して金属板 (アルミニウム板) を置いた上 (A)、および試料の両端のみを木台でわずかに支持した状態、すなわち試料の下には空気層がきいている場合 (B) について測定した。これは現場において測定が行われるとき、金属板をはつた机の上で、あるいは空中に合板を浮かして測定される場合を想定したからであるが、厚さの影響がなければ、すなわち電気力線が合板の裏面まで貫通していなければ、両測定値の間に差違は見られないはずである。なお単板の場合には試料のタワミの影響で下に空気層をおくことは困難であるので、空気層のかわりにアクリル酸樹脂製の絶縁板を支持合板としてその上で測定し、(B) の測定値とした。測定結果を第 2, 3, 4, 5, 6, 7 図に示す。図を見ると、板材、単板、合板とも A・B 両測定値の間にはかなりの差がみられ、その差は厚さが薄いほど大きく開いて



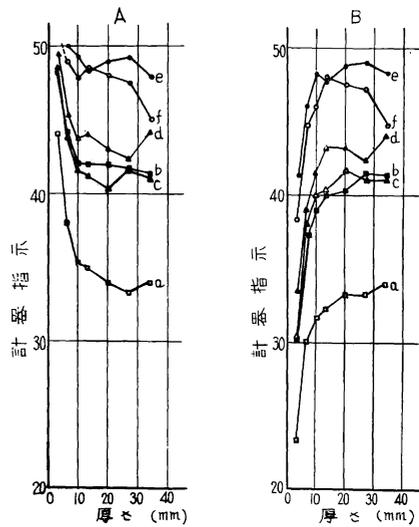
第2図 試料の厚さと計器指示値との関係 (素材)



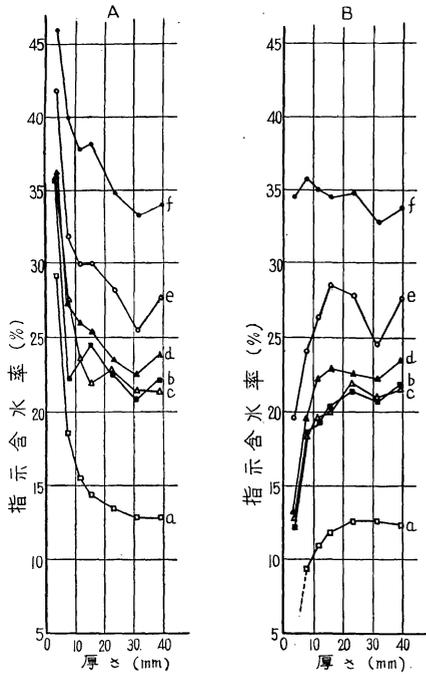
第3図 試料の厚さと計器指示値との関係 (単板)



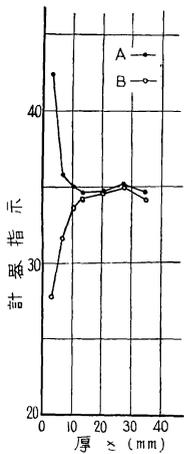
第4図 試料と厚さと計器指示値との関係 (ラワン2類合板 Hydromat)



第5図 試料の厚さと計器指示値との関係 (ラワン2類合板 Moisture Register)



第 6 図 試料の厚さと計器指示値との関係 (ラワン 3 類合板 Hydromat)



第 7 図 試料の厚さと計器指示値との関係 (ラワン 3 類合板 Moisture Register)

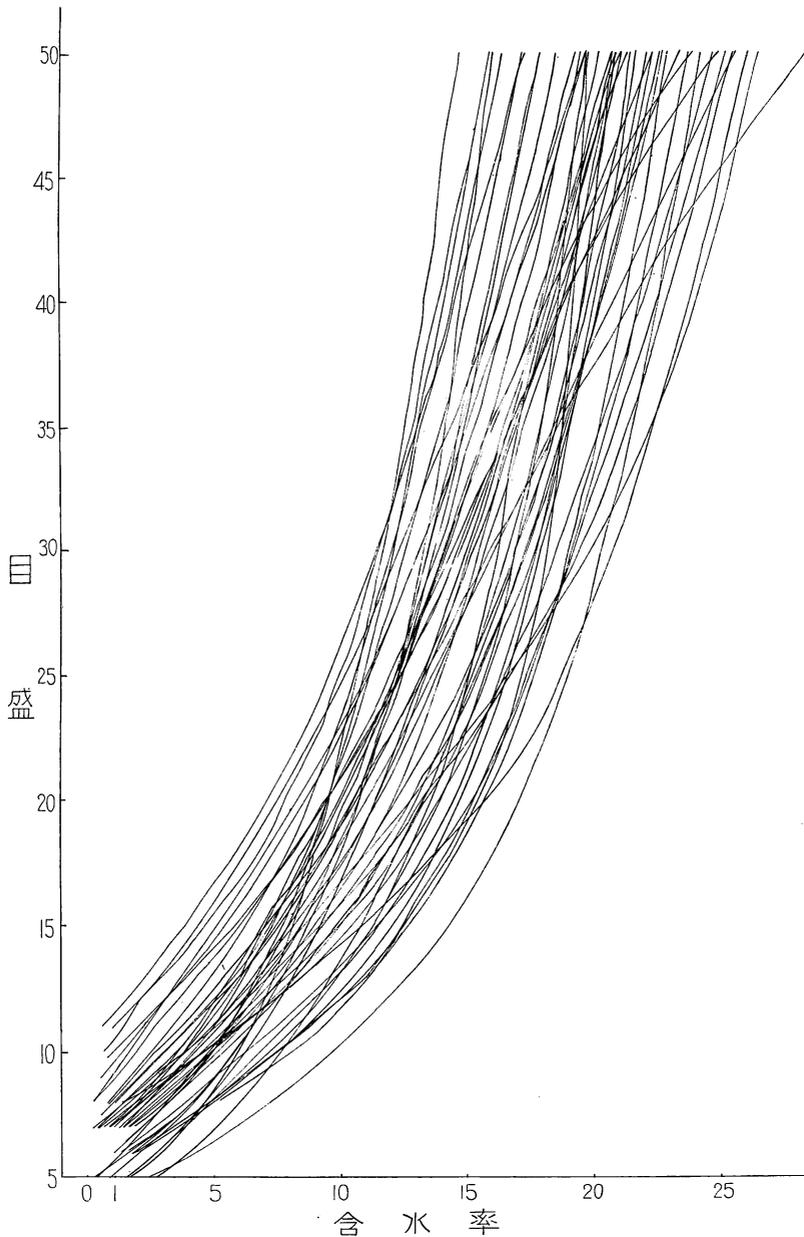
電気力線の漏洩の大きいことを物語っている。また、この傾向は M 器、H 器ともほぼ同様である。第 3 図の単板の場合には積層厚さ 20~30 mm 付近で、A・B 両曲線は合致し、合板の場合（4~7 図）もほぼ同様の厚さにおいて厚さの影響が無視しうようになる傾向が明らかである。M 器と H 器とでは H 器の方が電極間隔が広いことから多少厚い方にかたよっているように思われるが、両方とも大体電気力線は電極半径程度の深さまで到達しているものとみなしてよからう。これ以下の厚さの場合には厚みの影響を取り除く方法を考える必要が生じ、電極直径以上の厚さの材料では、これ以上の厚さには電界が及ばないのであるから、さらに深部の含水率は測り得ないことになる。すなわち厚さの影響を考えなくてよいのは 30~60 mm の厚さ範囲の試料であり、それ以下の厚さの場合には、この影響をできるだけ少なくするために、被測定物の下に同一または類似の含水率と思われる同一材料または類似材料を 30 mm 以上の厚さに重ねた上で測定するか、目的物を数枚重ねて測定するのが望

ましく、それが困難な場合には金属板や空気層上のような極端な条件で測定して適当な補正を加えるべきであろう。第 2 図の素材の場合には A・B 両測定値の近接点は単板や合板の場合より幾分厚い方に移動するようにみえるが、これは単板や合板のように層状に積み重ねたものでは、途中に不連続層が散在して電気力線の乱れが多いのに比べて、より深くまで電界が及んでいるからであろう。しかしこの場合も 30 mm 以上における A・B 両測定値の開きはそう大きいものではない。同図上にはまた比較のために馬糞紙と薬半紙を積み重ねた場合の測定値を示したが、この場合も 25 mm くらいの厚さに近接点があらわれた。

なお合板、単板、板材を通じて、厚さの影響が無視できる点は、材の含水率の大小によつて移動するようには見受けられなかつた。すなわち、含水率が高くなることによつては、両器の電気力線の到達深度は影響を受けなかつたことになる。

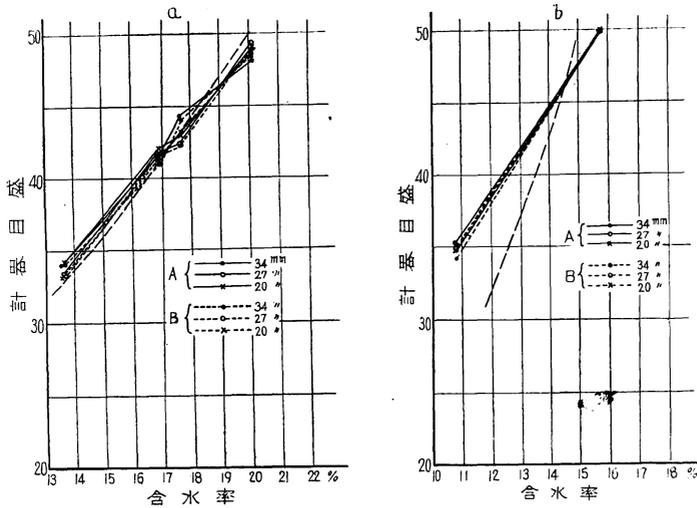
樹種補正の検討

M 器は計器の目盛りとしては等分目盛を無名数で目盛っており、樹種別にこれを含水率に読みかえる含水率換算表を付属せしめてある。この換算表は 54 樹種について作製してあつたが、これを 1 つの図にまとめてみると第 8 図のようになる。つまり樹種による含水率読度の変化幅はかなり大きいもので、含水率にして 10% くらいに相当している。樹種の影響は損失型の場合、主として材の比重あるいは含有物質によるものと考えられるが、樹種の選定を誤ると大きな誤差をとまうことになる。この 54 種はもちろ



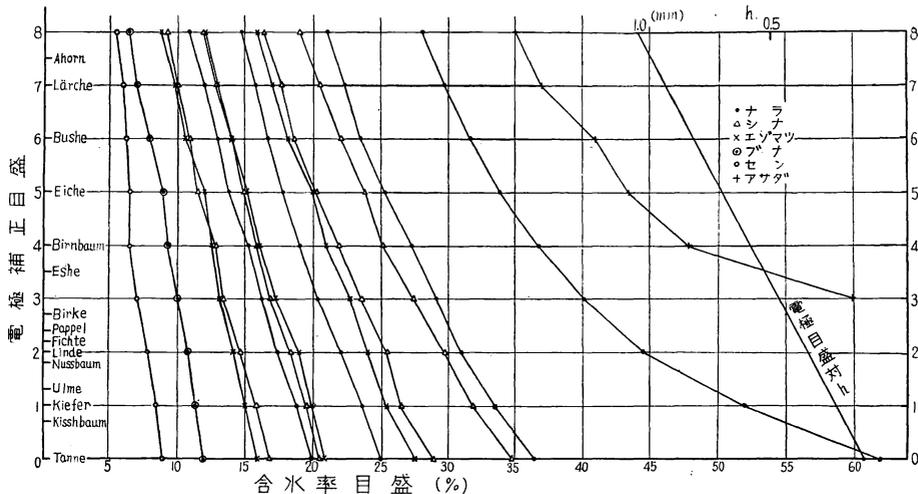
第8図 Moisture Register の樹種補正

ん米材に対して定められたものであり、同属の樹種でも同一の補正表で間にあうとは限らないので、わが国で用いられる場合には適当な樹種補正を加えて使用する必要がある。わが国から米国に大量に輸出されるラワン合板は、よくこの M 器によつて含水率検査を行われることがあるので、試みに第4～7図に示す試験に用いたと同一形状のラワン2類および3類合板試料を用いて計器に指示された目盛と全乾含水率の関係を調べてみた。その結果を第9図に示す。图中 A・B は第2～7図と同一であり、また、試料の積層厚さとしては 20, 27, 34 mm の3種類について測定を行つたが、この厚さでは A・B 両読度の間にも、各厚さ別の読度の間にも大差はなく、これらの影響は無視することができた。またこの試料は飽和塩類を入



第9図 Moisture Register による合板の測定例
 a: ラワン2類合板 b: ラワン3類合板

れたデシケーター中で、各種の含水率で平衡せしめたものである。M 器にはラワンに対する補正目盛はないので第8図に示した補正カーブの中から、この測定値にもつとも近いものを探してみると第9図に破線に示したとおり2類合板に対しては Ash, 3類合板に対しては Spanish Cedar のものになる。後者の測定値は図上に2種の含水率の場合しか示されていないが、これは16%以上の測定値がすべて Scale out したからである。しかも、含水率が少なくなるほど Spanish Cedar のカーブでは見かけの含水率は多い目になることになるが、これは Spanish Cedar のカーブが第8図に見られる曲線群のもつとも原点側に近いカーブであり、新たな補正曲線を考えぬ限り適当な補正値は得られないのでやむを得ない。実際には Spanish Cedar よりも原点側から離れたカーブが用いられているようであるから、M 器ではかかれると含水率は著しく多くでてくることになる。第9図aの場合、一応 Ash の線がよく測定値に適合



第10図 Gann Hydromat の樹種補正 (補正目盛をかえた場合の含水率目盛の変化)

するように見受けられるが、これもラワンにくらべた Ash の比重、材質を考えると偶然の適合でしかないように思われる。この報告においては邦産素材に対する M 器の樹種補正の十分な検討ができなかつたため、一概にはいえないが、M 器の樹種補正値はわが国で用いられる場合にはかなり問題があるように思われる。

H 器の樹種補正法は独特のものであつて、第 1 図に示すように電極の接地極はヘリコイド式に回転する鏝を具えていて、この鏝の回転によつて+極は材面との距離(空隙)を変えられ、試料と直列にはいる Air gap の容量が変ることになる。この鏝には 0~8 の目盛および樹種名が示されているので、鏝の回転が樹種補正を行つているわけである。いま含水率および樹種を異にした試料(80×90×20 mm)について、補正環の目盛をかえて計器の指示する含水率を測定してみると第 10 図のごとくなる。図から、補正環により、含水率測定値が規則正しい変化をすること、樹種の影響と含水率の影響との間には別々の関係は見いだされず、その樹種および含水率状態に対する固有の誘電率に対して読度が変化するのであることがわかる。この図は H 器に対する任意の樹種の補正目盛を決定するのに用いることができる。第 10 図の右側に示したのは目盛に対する+極の材面からの距離であるが、このようなシステムでは材の表面の粗さが読度に影響することが考えられるので、表面粗さの影響をナラ材について試験した結果を第 1 表に示す。

表で明らかなように粗面では Air gap の影響で含水率は少な目に表示され、その程度は面が粗いほど著しい。したがつて補正環による補正は、表面の平滑なときを標準とし、粗面の場合には多少補正環目盛を少な目にとる必要がある。

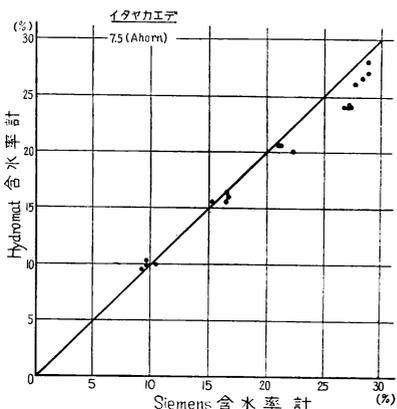
補正環に記載された樹種名をみると一般に比重の大きいものが目盛数値が多く、比重の小さいものが目盛数値の少ないところに位置しているようである。ただし Soft wood (針葉樹と特に軟質の広葉樹を含む) と Hard wood は別の系列に配列されているように思われるが、明らかなことはわからない。邦産材に対していかなる補正値が用いられるかを調べるため、飽

第 1 表

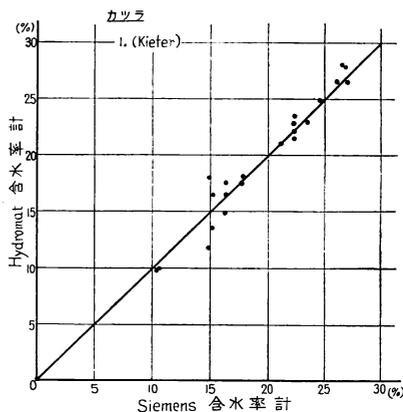
測定面	厚さ (mm)	計器指示含水率 (%)		粗面の状態
		滑面	粗面	
A ₁	90	23.4	17.2	伐木用手挽鋸挽面
A ₂	80	24.0	18.8	〃
B	75	19.0	15.8	製材用帯鋸挽面
C	75	21.8	18.6	〃
A ₃	70	23.0	22.0	工作用両刃手挽鋸挽面

注: 1) A₁~A₃ は同一材面を 10 mm ずつ切りとつたもの

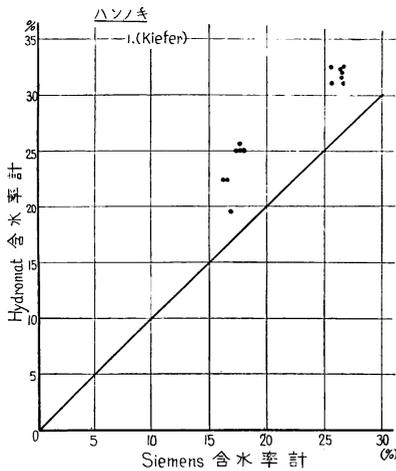
2) 滑面は同じ面を手鉋仕上げしたもの



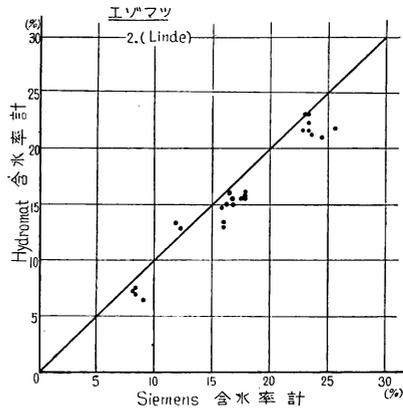
第 11 図 H 器の測定値と Siemens 含水率計の測定値の比較 (イタヤカエデ)



第 12 図 H 器の測定値と Siemens 含水率計の測定値の比較 (カツラ)



第 13 図 H 器の測定値と Siemens 含水率計の測定値の比較 (ハンノキ)



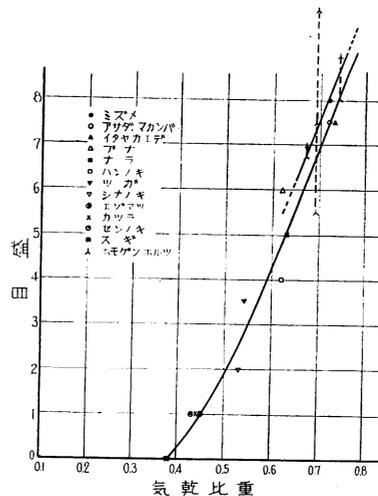
第 14 図 H 器の測定値と Siemens 含水率計の測定値の比較 (エゾマツ)

和塩類を装したデシケーター中で種々の含水率に平衡せしめた試料 (90×90×20 mm) を用いて両面から H 器による測定を行い、同時に Siemens 含水率計³⁾ の押当電極による両面からの測定を行い、両者の比較を行つてみた。試料数は各樹種ほぼ 10 枚前後である。その 2, 3 の例を第 11~14 図に示す。測定に際して補正環はそれぞれの樹種に適當と思われるものをかりに定めてそれによつて測定を行つた。図中樹種名の下に記載してあるのが補正環の位置である。補正環の選定の正しかつたものは 11, 12 図のように、両測定値はよく一致しているが、選定の正しくなかつたものは 12, 13 図のように H 器の測定値全体が高目にあるいは低目に指示される。このような場合には、第 10 図によつて指示値が正しく示される適当な補正環の位置を求めることができる。このようにして若干の邦産樹種に対して、適正な補正環位置を求めたところ第 2 表のごとくになった。表に示す比重は測定に用いた各樹種別の全試料の気乾比重の平均値を示す。

第 2 表に示される気乾比重と補正環目盛との関係を図示すると第 15 図のごとくで、比重と目盛との間には

第 2 表

樹種名	比重	補正環樹種名	目盛
イタヤカエデ	0.73	Ahorn	7.5
マカンバ	0.72	〃	〃
アサダ	0.72	〃	〃
ハンノキ	0.62	Birnbaum	4.0
ツガ	0.54	Esche	3.5
シナノキ	0.53	Linde	2.0
ナラ	0.63	Eiche	5.0
エゾマツ	0.43	Kiefer	1.0
カマツ	0.44	〃	〃
センノキ	0.45	〃	〃
ブナ	0.62	Buche	6.0
ミズギ	0.72	—	8.0
スギ	0.38	Tanne	0



第 15 図 H 器の補正目盛と比重との関係

Soft wood, Hard wood 共通の相関関係がみられる。この図によつて、補正係数の未知な樹種に対してもその比重がほぼわかっていれば適当な補正環の位置を決定することができる。なお H 器の含水率目盛は 100% までであるが、本実験は繊維飽和点以下において行つたもので、繊維飽和点以上の含水率に対しては若干疑問がある。

ホモゲンホルツの測定

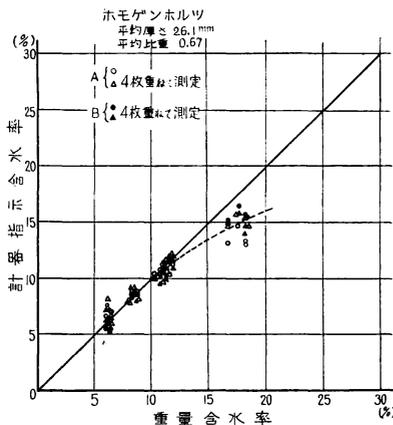
電気式含水率計は一般に均質な固体で吸湿性のものであれば、どのような材料でも測定しうはずである。それゆえわれわれは木材を原料として製造されたホモゲンホルツに H 器を適用した場合の実用性および実用にあつての補正法等を検討してみた。試料は岩倉組の製造にかかるとのであるが、100×100 mm の試験片として前同様にデシケーター中で調湿したものをを用い、最後に全乾法によつて重量含水率を求めて計器指示値との比較を行つた。測定は従前のように金属板上(A)および空気中(B)の測定を行つた。試料は a 10 mm, b 20 mm, c 25 mm の 3 種であるが、実際にダイヤルゲージによつて全試料の平均厚さを測定したところ、それぞれ図に示す 11.0 mm, 19.5 mm, 26.1 mm の値をえた。また、a, b, c それぞれの平均気乾比重は 0.69, 0.74, 0.67 であつた。

測定に際しては補正係数が明らかでないで、一応すべて 6.5 の補正環目盛に固定して測定を行つた。なお、a については厚さの薄い関係上 A・B 両測定値の差が大きく開くことが予想されたので、試料を 4 枚重ねての測定も同時に行つた。測定結果は当然 c 試料の 1 枚での測定値が A・B 両測定値の差が最大で b では含水率にして 1% 程度、a では 0.5% 程度、c の 4 枚重ねの場合にはほとんど差は認められなかつた。また、全体として c は計器指示値が重量含水率とほぼ一致しており、a, b の順に、含水率は計器の方が高目に指示された。これは比重が異なるに従い、補正環が不適正になつたものと考えられるので、第 10 図によりそれぞれ測定に適正と思われる補正環目盛を調べてみると第 3 表のごとくなる。

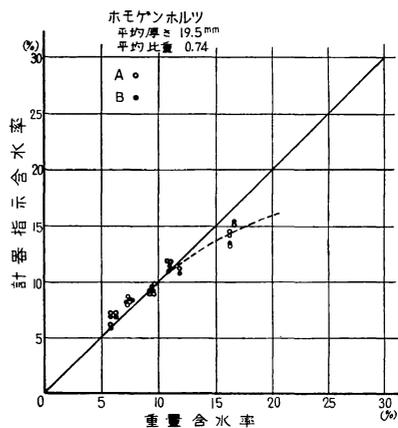
この補正目盛によつて補正を加えた測定値と重量含水率との関係を図示すると第 16~18 図のごとくなり、両者はよく一致する。なお 15% 以上の含水率では木材の場合とことなり点線で

第 3 表

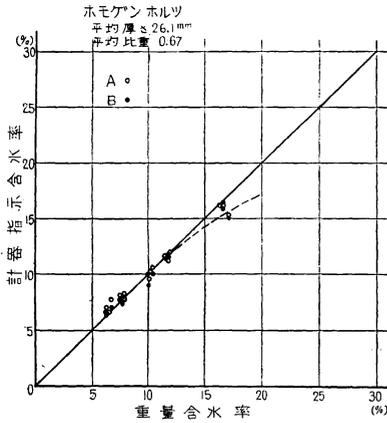
目 盛	試 料			
	a (1枚)	a (4枚)	b	c
A	10.0	7.5	9.0	7.0
B	5.5	7.5	8.0	6.8



第 16 図 H 器によるホモゲンホルツの含水率測定



第 17 図 H 器によるホモゲンホルツの含水率測定



第 18 図 H 器によるホモゲンホルツの含水率測定

示すように少し低目な値を示す現象がみられる。また、全体に素材に比しバラツキの少ないのは素材よりも組織のムラの少ない工業製品であるからであろう。適当な補正を考慮することによつて誘電率型の含水率計がパーティクルボードの含水率測定に役だつてであろうことが本実験から明らかである。なお、第 3 表の値を第 15 図上に指示したが、比重と補正環目盛との間には素材の場合よりは少し上まわつた比例関係が成立するようである。

文 献

- 1) 上村 武：2, 3の電気抵抗木材含水率計の特性について，林試研報 90, (1956) p. 245～255
- 2) 上村 武：板の厚さが含水率計の読度に及ぼす影響，木材学会誌, 2, 1, (1956) p. 49～52
- 3) 上村 武・戸枝俊男：シーメンス含水率計の性能試験，林試研報, 90, (1956) p. 257～271