

# 磁性木質材の作製とその温熱機能に関する実験的検討 Experimental Study on Manufacturing and Heating Function of Magnetic-Wood.

○瀬川康祐, 岡 英夫

○Kohsuke Segawa, Hideo Oka

岩手大学

Iwate University

キーワード: 磁性木材(Magnetic-Wood), 磁性流体(Magnetic Fluid), 誘導加熱(Inductive Heating),  
交流磁化特性(AC Magnetic Characteristic),

連絡先: 020 盛岡市上田 4-3-5 岩手大学工学部電気電子工学科 岡研究室 岡 英夫

Tel.&Fax.0196-21-6389, E-mail:hoka@msv.cc.iwate-u.ac.jp

## 1. はじめに

先に筆者等は、木材に磁性流体を含浸させることにより作製する磁性木材等、従来の木材では持ち得なかった磁氣的機能を有する高機能木材の研究を行ってきた<sup>[1][2][3]</sup>。またこれに加工木質材の製法を応用することにより、種々の形状寸法の磁性木質材の作製を行ってきた<sup>[4]</sup>。

磁性木質材の応用としては、そのひとつに誘導加熱によるパネルヒーティングが挙げられる。これは磁性木質材を誘導加熱することにより住居の暖房等に用いようとするものであり、装置の構造の単純化、安全性の向上などの利点を有すると考えられる。

しかしこれまでの磁性木質材はその接着性に問題があり、試料切削時に破損しやすく、作製手法について改善が必要である。

また温熱機能性を検討するにあたっては、励磁周波数として考えられる数k~十数MHzでの磁氣的な損失に関する検討が必要である。

しかし、これまで幾つか行われた磁性木質材の複素透磁率の測定<sup>[3][4]</sup>では、これら周波数帯域においてはその虚部 $\mu''$ が負の値を示すなど、十分な測定精度が得られていない<sup>[4]</sup>。

一方、磁性木質材は、誘電体である木材内部に磁性体が分散しているため、高周波で励磁する際の損失として誘電損失も考えられる。しかしこれまで磁性木質材のこれらに関する特性は明らかにされていない。

そこで本研究では、まず磁性木質材の作製手法として新たに合板の作製手法を用い、容易に試料を切削できるよう改善を試みた。

次に複素透磁率の測定方法について、これまでよりも試料の寸法を大きくすることによって誤差の軽減をはかり、従来との比較を行った。

さらに周波数50k~500kHzの交流磁氣特性を測定し、磁心損失を明らかにした。またインピーダンス及び誘電率の測定を行い、誘電損失について簡単な検討を行った。加えてこれら試料を一定時間、高周波で励磁した際の

温度変化量を測定し、磁性木質材の温熱機能性の簡単な検討を試みた。

## 2. 測定試料

### 2.1 木材の選定

供試材には、先に行った筆者等の実測結果<sup>[2][4]</sup>より含浸による重量増加率の最も高かったスギ(*Cryptomeria japonica* D. DON.)及び比較的重量増加率の低かったアカマツ(*Pinus densiflora* SIEB Et ZUCC.)を選定し、入手の都合から、それぞれ2mm厚スライスド単板及び3mm厚ロータリ単板を用いた。なお供試材は、心材辺材の混在である。

注入する磁性流体には水ベース磁性流体(W-35)を用いた。圧縮は80℃恒温槽中で行い、バインダには圧縮操作の容易性から酢酸ビニルエマルジョンを用いた。

### 2.2 試料の作製

Fig. 1に本研究で用いた磁性木質材の作製手順を示す。磁性流体の注入は、単板から切り出した100×100mmの供試片に、著者等のこれまでの研究<sup>[2][4]</sup>と同様に、減圧-710mmHg2時間、加圧7kgf/cm<sup>2</sup>2時間にて行った。

これら含浸を行った単板を、スギは5プライ、アカマツは3プライの合板に加工した。本研究ではこれら磁性流体を注入した合板をそれぞれの樹種について2枚作製した。また比較のために、磁性流体を注入しない合板も作製した。

## 3 測定方法

Fig. 2に複素透磁率、磁心損失、誘電率及び高周波で励磁した際の温度変化量の測定に

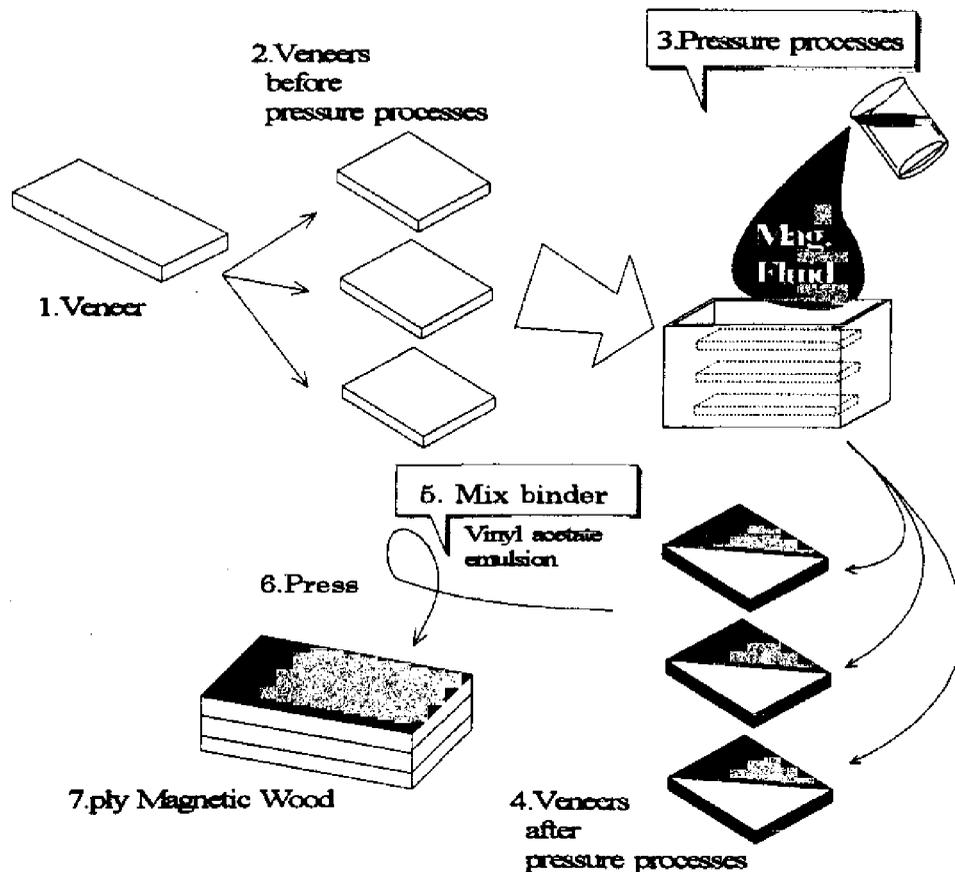


Fig.1. Magnetic Ply Wood making processes

用いた試料を示す。図(a)は複素透磁率の測定に用いた試料であり、従来用いられた試料<sup>[3][4]</sup>よりもやや大きめの寸法とし、磁路面積で約2倍とすることにより、測定誤差の軽減をはかった。また図(b)は磁心損失及び高周波での励磁による温度変化量の測定に用いた試料であり、1次、2次巻線としてそれぞれ20ターンを施した。図(c)は誘電率の測定に用いた試料である。これらの試料は作製した合板からそれぞれ3個ずつ切削し、特性の均一性を検討した。この試料作製において、切削時の破損はなかった。

複素透磁率の測定はインピーダンス・ゲインフェーズ・アナライザ HP4194A 及びテストフィクスチャ HP16454A によって周波数 10k~10MHz について測定を行った。

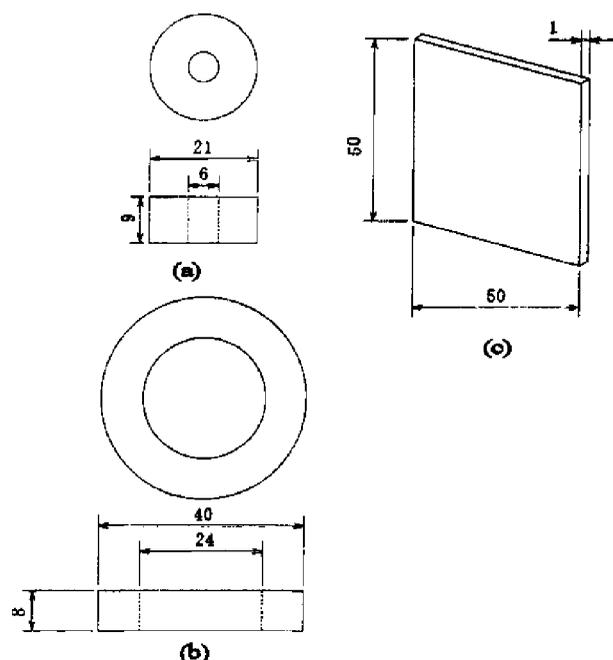
磁心損失の測定と高周波での励磁による温度変化量の測定には、電圧の測定にデジタルオシロスコープ TDS420、システム制御に Hewlett-Packard 社規格の HP-IB を用いて行った。温度変化量は銅-コンスタンタン熱電対にて試料の表面温度を測定することにより算出した。

また誘電率の測定はインピーダンス・ゲインフェーズ・アナライザ HP4194A 及びテストフィクスチャ HP16451B により行った。

## 4. 測定結果

### 4.1 複素透磁率

Fig. 3 は、作製した磁性木質材及び未含浸の合板の複素透磁率の測定結果である。また従来作製したスギの削片材の作製手法による磁性木質材及び集成材の作製手法による磁性



(a) A sample for measuring Complex permeability  
 (b) A sample for measuring AC magnetic characteristic and heating characteristic  
 (c) A sample for measuring permittivity  
 unit:[mm]

Fig.2. Shape and size of the samples

木質材の複素透磁率も同図に示した。図(a)に示す複素透磁率 $\mu'$ において、100kHz以上に着目してこれまでの磁性木質材<sup>[4]</sup>と比較してみると、合板の製法による磁性木質材は集成材の製法による磁性木質材よりも0.1~0.2程度高いことが認められた。しかし均一性という点では比較的劣る結果となった。一方、削片材の製法による磁性木質材と比較すると、最大で0.3程度低い値となったが、特性の均一性では、3つの試料においてその値の差が、 $\pm 0.15$ であったものが、 $\pm 0.05$ 以内へと改善された。

次に測定精度であるが、従来の測定結果<sup>[4]</sup>においては70kHz以下で複素透磁率 $\mu'$ が1以下になるなどの異常が見られ、また全体に値がばらついている傾向が見受けられた。これに対し今回の測定では、30kHz以上では複素透磁率 $\mu'$ が1以下になるなどの異常は見られ

ず、また値のばらつきも比較的小さいことが認められた。

一方、図(b)に示す複素透磁率の $\mu''$ については、試料によっては5MHz前後でもその値が負になるなど、いずれも信頼度の高いデータを得るには至らず、損失係数の定量的な検討を行うには至らなかった。

#### 4.2 磁心損失及び誘電損失

Fig. 4に磁心損失の測定結果及びこれより算出した単位体積磁心損失を示す。500kHzを超えると損失が極端に上昇しているが、これ

は位相の測定誤差によるものと考えられ、位相確度について今後の改善が必要である。しかし周波数500kHz以下に着目してみると、磁性木質材では未含浸の木材に対して、およそ2倍から4倍の損失が存在することが認められた。

また100kHz以下では損失はほとんど存在せず、磁性流体と同様にヒステリシス損が小さいことが明らかになった。これは木材に注入されたマグネタイトが、内部でクラスタを形成しつつも超微粒子としての特性を残しているためと予想される。従って磁性木質材にお

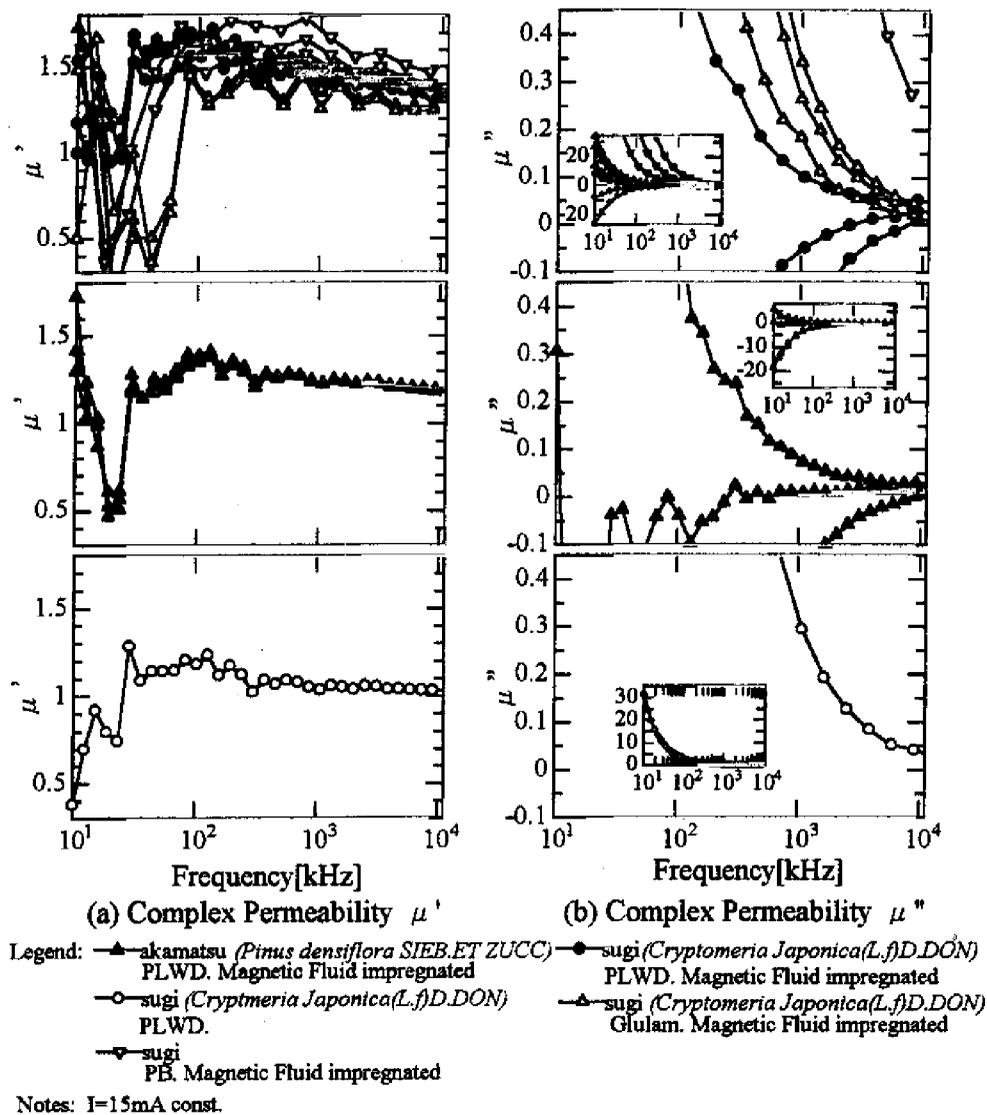


Fig.3. Complex Permeability of Magnetic-Wood

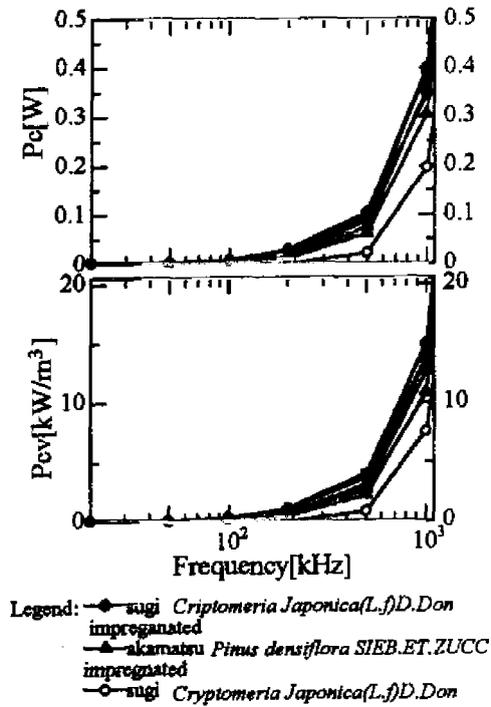


Fig.4. Core Loss

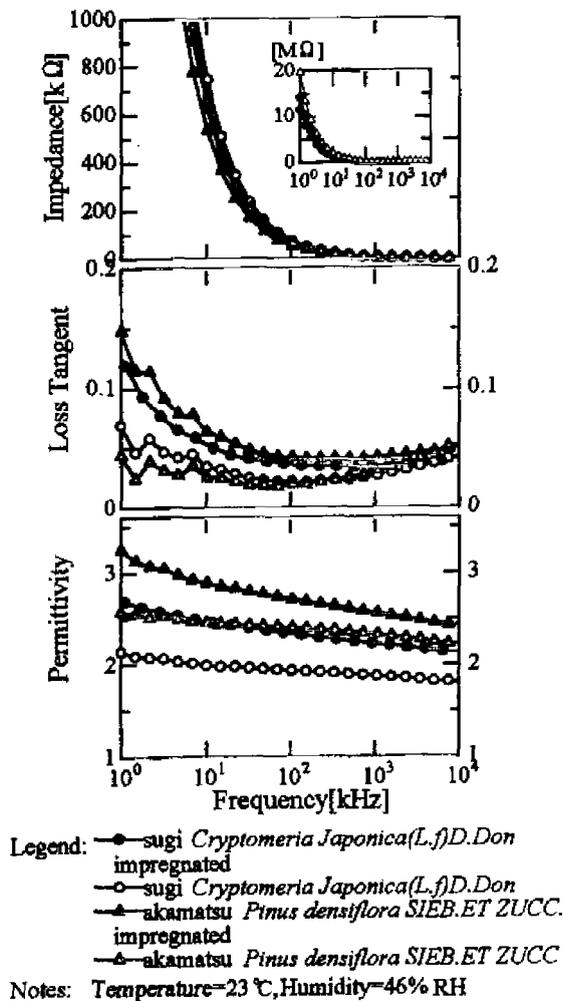


Fig.5. Dielectric Loss

いて誘導加熱を行う周波数としては、100kHz以上が適当であると思われる。

Fig. 5 は誘電率及びインピーダンスの測定結果である。図示の通り、磁性木質材の方が未含浸の木材よりも誘電率が高いことがわかった。これは含浸によって木材の空隙に磁性体が入ったことで、誘電率が高くなったものと考えられる。このことは、比較的比重の低いスギの方がアカマツよりも誘電率の変化量が多いことでも確認された。

一方誘電正接は、5MHz 以下で未含浸の木材よりも磁性木質材の方がその値が大きく、特に 10kHz 以下ではこれが顕著となった。

100kHz 以上においては、未含浸の木材及び磁性木質材ともに周波数とともに増加する傾向が認められ、10MHz 付近でほぼ同じ値を示した。またインピーダンスは 20kHz 以上で 1M Ω 以下、100kHz では 300k Ω 程度となっており、変位電流が増加していることがわかった。これらから Fig. 4 における磁性木質材の磁心損失には、渦電流損のほか誘導起電力に伴う誘電損失の割合も比較的大きいことが予想された。

#### 4.4 高周波励磁による温度変化

Fig. 6 に磁性木質材を 15 分間 高周波で励磁した際の温度変化量を示す。図示の通り未含浸の木材よりも磁性木質材の方がやや温度変化量大きい傾向が見受けられた。しかしこの程度の変化量では特に木材のような熱伝導の悪い材料では測定誤差内と考えることもでき、励磁方法及び表面温度の測定方法について今後改善する必要がある。

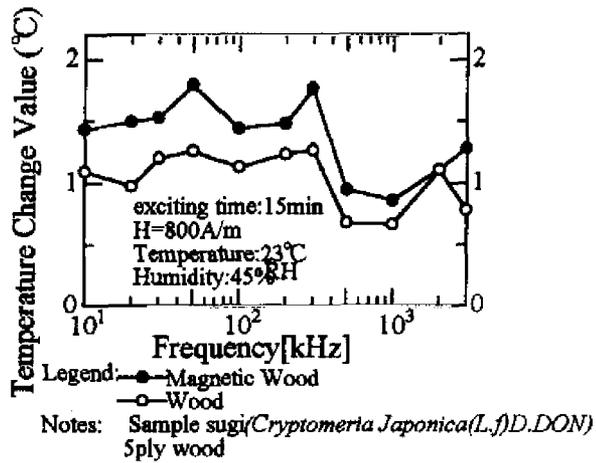


Fig. 6. Temperature Change Value on High Frequency Excitation

## 5 まとめ

本研究では、合板の作製手法による磁性木質材の作製及び磁性木質材を誘導加熱する際の損失要因について簡単な実験的検討を行った。以上より、次のことが明らかになった。

1) 合板の製法による磁性木質材は、集成材の製法による磁性木質材と比較して $\mu'$ が高い傾向がみられたが、均一性では劣るという結果を示した。一方、削片材の製法による磁性木質材と比較して $\mu'$ は低くなったが、均一性について改善された。

2) 複素透磁率の測定において、試料の形状寸法を大きくすることにより、50kHz程度の周波数で従来<sup>[3][4]</sup>よりも精度の良い結果が得られた。しかし $\mu''$ については、定量的な値を得るには測定手法の改善が必要であり、損失係数を得るには至らなかった。

3) 磁心損失は、磁性流体と同様低周波で低損失であり、ヒステリシス損が小さいことが確認された。一方 100kHz 以上では損失が比較的顕著となることが確認された。従って磁性木質材の誘導加熱には、100kHz 以上の周波数が適当であると思われる。

4) 誘電率及び誘電正接は、磁性木質材の方が未含浸の木材よりも高いことが明らかになった。これにより、磁性木質材の磁心損失として誘電損失も加わっているものと予想された。

5) 高周波での励磁による温度変化量を測定した結果、未含浸木材と比較して磁性木質材の方がその温度変化量が大きい傾向がみられたが、測定精度に問題があり、正確な温度変化量を得るには至らなかった。

今後、測定確度の高い誘導損失、誘電損失及び温度変化量の測定方法について改善し、定量的な検討を行う。

## 謝辞

木材加工についてご指導賜りました本学農学部応用生物学科 木材利用科学講座 澤辺攻教授に、ここに感謝申し上げます。また試料作製にご尽力いただいた岩手県林業センター 高芝俊雄氏、貴重なご意見を頂いた同センター谷内博規氏に深謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] 岡：「磁気特性を有する木質材」 特願 平 4-93131, (1992)
- [2] 伊藤・岡：「加圧法により作製した磁性木材の透磁率に関する実験的検討(1)」 電気学会 マグネティックス研資 MAG-93-145, pp. 121-128, (1993)
- [3] 岡・伊藤：「高周波帯域における磁性木材の複素透磁率の測定」 平成 7 年度 電気関係学会 東北支連大 2B4, p. 66, (1995)
- [4] 瀬川・岡「集成材の製法を用いた磁性木材の作製」 平成 7 年度 磁性流体連合講演会講演論文集 pp. 62-64, (1995)