



構造用木材の磁気中立性等級：オーディオ支持材料のN級純度分類と赤道産チークの微量常磁性評価

構造用木材の磁気中立性等級：オーディオ支持材料のN級純度分類と赤道産チークの微量常磁性評価

A. Bosque, M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

要旨

オーディオ導体は日常的に冶金学的純度等級----4N (99.99%)、6N (99.9999%)、さらにその先----で規定される一方、それらの導体を支持し、持ち上げ、終端する構造材料は、規定されずとも外観による。この非対称性に正当な理由はない。信号ケーブルと連続的に接触する支持材料は、ケーブルの近接電磁界環境に参加するため、その磁気特性と誘電特性は装飾ではなく、設置系への測定可能な入力である。我々は、金属のN級尺度に類似しながら、非導体にとって重要な量、すなわち残留常磁性成分で定義される構造用木材のN級純度分類を提案する。木材の等級は体積磁化率によって、また同等に、マイクロ波酸分解後の誘導結合プラズマ質量分析で求めた主要常磁性汚染物質FeとMnの合計質量分率によって決定される。候補11樹種を評価した結果、家具用広葉樹の大半----とりわけFeが41から190 ppmのホワイトオーク----は4N中立性に達しない一方、地磁気赤道から5 deg以内で生育したプランテーションチーク (Tectona grandis) は出荷状態で5N (99.999%磁気的中立、 $Fe + Mn \leq 10 \text{ ppm}$) に達し、単一ピレット選別では6Nに達することを示す。測定機器、等級境界、木理方向と含水率がもたらす誘電的影響、および金属触媒型仕上げを施した中立木材が「磁気的汚染」へ再分類される結果を報告する。

1. はじめに

オーディオファイル向け導体市場は純度を中心に構成されている。無酸素銅は4N (99.99%)、5N、6N、そして電解精製が到達できる境界では7Nとして販売される。9が一つ増えるごとに、散乱点、結晶粒界不純物、常磁性介在物が一つ取り除かれると理解されている。最後の9による可聴上の恩恵が管理された試験試験に耐えるかは、本誌の別稿で扱う問題である。ここで重要なのは、導体純度について業界が厳密で定量的、かつ誰にでも通じる語彙を備えている点である。

それ以外について、同様の語彙は存在しない。ケーブルは七つの9まで等級付けされ、その後、床に置かれ、壁に留められ、あるいは組成がまったく規定されていない支持物に載せられる。支持物は色で選ばれる。オーディオシステム内の木材は、構造荷重を担い、信号導体と連続的に物理接触しながら、計量学的には不可視という立場にある。

これは擁護できない。ケーブルと接触する支持材料は、ケーブル直近の誘電環境および磁気環境の一部である。帯鋸の切粉、折れたステーブル、樹木が土壌から吸い上げ心材に結合したFeなどの強磁性介在物を含めば、ランに沿って局所的な透磁率不連続を形成する。吸湿性と極性を備えれば、湿度依存の分布容量を形成する。これらは導体自体の純度等級が制御するために存在する量と同じである。一方を六つの9まで指定し、他方を家具職人に委ねるのは一貫しない。

本稿は構造用木材のN級分類を提案する。これはバルク化学純度で定義するものではない----木材はおよそ半分が炭素であり、「99.999%木材」には意味がない----。木材をオーディオ信号経路に結合させる単一の特性、すなわち残留常磁性成分と、それが生じさせる体積磁化率で定義する。

2. 中立性等級とN尺度

乾燥木材は反磁性である。セルロース、リグニン、結合水はいずれも小さな負の体積磁化率を持ち、清浄で汚染のない木材は $\chi_v = -6 \times 10^{-6}$ 付近 (SI、無次元体積磁化率) にあり、 $\mu_r = 0.999994$ に対応する。これは1と区別できず、実際にはごくわずかに下回る。完全に中立な木材は単に非磁性なのではなく、弱く再現可能な反磁性を持つ。静磁界および準静磁界を乱さず、その中に置かれる材料として正しく望ましい状態である。

この基準からの逸脱は、ほぼすべて常磁性遷移金属汚染物質によるもので、Feが支配的、Mnが遠く離れた二番手である。樹木は鉱物ポンプであり、土壌水から金属イオンを吸い上げ、組織内に不均一に沈着させる。その結果生じるFe含有量は、清浄なプランテーション広葉樹の数ppmから、Feを積極的にキレートするタンニン化学を持つ樹種の数百ppmまで及ぶ。Feが1 ppm増えるごとに磁化率へ小さな正の増分が加わり、木材を反磁性の底から磁気中立点へ、最悪の樹種ではその先へ引き上げる。

したがって我々は、 $Fe +$

Mn合計質量分率と、同等な反磁性基準からの体積磁化率実測偏差に基づき、木材中立性等級を次のように定義する。

- 4N (99.99%中立) : $Fe + Mn \leq 100 \text{ ppm}$ 。無選別の家具用広葉樹に典型的。
- 5N (99.999%中立) : $Fe + Mn \leq 10 \text{ ppm}$ 。残留磁化率が反磁性基準の $\pm 1 \times 10^{-6}$ 以内。Equatorial Audioの出荷仕様。
- 6N (99.9999%中立) : $Fe + Mn \leq 1 \text{ ppm}$ 。測定不確かさの範囲内で正味磁化率がなお反磁性。単一ピレット選別で達成可能。
- 7N : $Fe + Mn \leq 0.1 \text{ ppm}$ 。340本のチークピレット中2本で確認。本番等級ではない。

これらの百分率がバルク組成値ではなく、金属業界の慣習から借用した修辭であることは認める。「99.999%中立」とは、木材以外が10 ppmという意味ではなく、重要な汚染物質が10 ppmという意味である。それでもこの表記を維持するのは、読者がすでにこの表記で考えており、基礎となる量----常磁性成分のppm----が銅精錬業者によるカソード不純物の測定と同じ方法で測定される

ためである。

3. 測定機器と方法

ビレットの等級付けには、強磁性介在物走査、バルク磁化率測定、微量金属分析という三つの独立した磁気・化学測定に加え、設置モデリング用の誘電評価が必要である。

強磁性介在物走査。各ビレットを20 mm/sの電動ベッド上で、磁束ゲート勾配計アレイ（Bartington Grad-13、三軸、1 nT分解能）に通す。この勾配計は、埋設釘、散弾、帯鋸切粉など、産業機械を通過した木材に一般的な離散強磁性介在物を、深さ30 mmのサブミリメートル片まで分解する。再生材と古材はこの走査に日常的に不合格となる。由来がどれほどロマンチックでも、Equatorial Elevation Blocksを再生材ではなく初回加工のプランテーション材から製材する主因である。

バルク磁化率。合格した各ビレットから12 mmのコアを採取し、300 Kにおいて振動試料型磁力計（Lake Shore 8600、感度 5×10^{-8} emu）で測定する。VSMは正味体積磁化率を返し、等級の磁気基準を直接読み取れる。清浄なチークコアは負を示し、オークコアはしばしば正を示す。

微量金属分析。測定済みコアを凍結粉碎し、硝酸とフッ化水素酸でマイクロ波分解した後、誘導結合プラズマ質量分析（ICP-MS）でFe、Mn、Ni、Co、Crを分析する。これは樹木年輪から汚染履歴を再構築する樹木化学プロトコルと同じであり、その創始者が予見しなかった用途へ適用したことは認める。Fe + Mn値が等級の化学基準を決定する。磁気基準と化学基準は同じ等級帯内で一致しなければならず、一致しないビレットは内部不整合として却下する。通常は勾配計が見逃した介在物を示す。

誘電評価。設置モデリングのため、ガード付き平行平板セルとKeysight E4990Aインピーダンスアナライザーを使用し、20 Hzから10 MHzまで、木理方向と木理直交方向について、含水率8%、12%、16%に調湿した加工試片の ϵ_{r} と $\tan \delta$ を測定する。これらの値は中立性等級には含めない----誘電体は磁気汚染物質ではない----が、完成した支持物がケーブルへ提示する分布容量を支配するため、各製品の証明書に等級と併記する。

4. 結果：樹種比較

11樹種について各 $n = 20$ 本のビレットをスクリーニングした。結果は明瞭に三帯へ分かれた。

不合格群。ホワイトオーク（*Quercus alba*）が最悪で、Feは41から190 ppm、20本中14本が正味正の磁化率を示した。湿ったオークにスチールクランプを一晩置いた経験がある者なら原因を知っている。オークの高いタンニン含有量はFeをタンニン酸鉄----没食子インクの青黒色化合物----としてキレートし、この等級が罰する汚染物質を積極的に濃縮する。オークは美しく、磁気的には敵対的な木材である。ウォールナットとチェリーはやや良好だったが、平均はなお4N以下であった。

草本と複合材。持続可能な「木材」として頻繁に販売される竹は、高いシリカ負荷と不規則な節部化学を持つ草である。磁化率は結晶粒スケールの鉱物介在物に支配され、安定した等級を割り当てられなかった。中密度繊維板（MDF）はまったく別の軸で不合格となった。尿素ホルムアルデヒド結合剤の極性が強く、 ϵ_{r} は4から6、 $\tan \delta$ は無垢材より一桁高く、製造工程により金属微粉が混入しやすい。MDFは磁気等級を検討する以前に、誘電的理由で支持材料として失格である。

チークの結果。地磁気赤道から5 deg以内で生育したプランテーションチーク（*Tectona grandis*）は、20本すべてでFe + Mnが3から9 ppm、全試料で正味反磁性を示し、出荷状態で5Nであった。単一ビレットのVSMおよびICP-MS選別では、340本中31本が6N、2本が7Nを満たした。赤道産チークの利点は神秘ではない。管理された浸出性低Feプランテーション土壌で早く育ち、心材への深い鉱物蓄積前に若齢伐採され、オークを不利にするタンニン-Fe化学を持たない。含水率12%で $\epsilon_{\text{r}} = 2.1$ と、試験樹種中最も低く、RF治具に使われるエンジニアドフォームに近い。

5. 仕上げの問題

木材の等級は木材の属性であり、それがなる物体の属性ではない。そして良好な等級を破壊する最も一般的な方法は、木材に仕上げを施すことである。

ほぼすべてのオイル、ワニス、ラッカー仕上げは、ナフテン酸または2-エチルヘキサン酸のCo、Mn、Zr塩という金属系乾燥促進剤で硬化する。これらは塗膜を硬化させる酸化架橋を触媒するため、数分の一%添加される。CoとMnはいずれも常磁性であり、金属0.05%という添加量でも、仕上げ面1平方メートルあたり、下層の5Nビレット全体より多い常磁性質量を堆積させる。従来型の煮亜麻仁油仕上げを一層塗る前後で5Nチーク試片を測定したところ、表面換算磁化率は反磁性基準から正味正へ上昇し、試片は5Nから4N未満へ再分類された。木材は変化していない。仕上げが汚染を戻し、しかもケーブルと直接接する表面という最悪の場所へ置いたのである。

これはEquatorial Elevation Blocksを無仕上げで供給する測定上の根拠であり、美的嗜好ではない。仕上げは、ビレットが等級を得るための全選別工程を、最後の一工程、最も磁气的に活性な場所で無効にする。無仕上げチークが経年で形成するシルバークレーのパティナは、木材自身の表面の元素酸化である。常磁性金属を加えず、外観上は変化しても、磁气的には何も起きない。

6. 木理異方性と誘電負荷経路

木材は誘電異方性を持つ。我々のチーク試片では、含水率12%における木理方向の ϵ_{ps_r} が木理直交方向より22から28%高く、 $\tan \delta$ も同じ軸に従った。物理的原因は、整列した管状細胞構造と、繊維方向に沿った結合水双極子の配向である。支持材料にとって、この異方性は平均化して消すべき厄介事ではなく、設計変数である。

ケーブルは各ブロック上部に加工されたクレードルへ載るため、ケーブルと支持物の支配的な容量結合はクレードル直下の短い垂直木柱を通る。各ブロックを木口垂直---上面に年輪が見え、繊維が荷重経路に沿って垂直---に製材すると、低 ϵ_{ps_r} の木理直交軸をケーブル電界が最も強い水平面へ向け、高 ϵ_{ps_r} の木理方向軸を垂直な荷重支持方向へ割り当てられる。そこでは電氣的害を与えず、機械的には大きな利益をもたらす。木口方向は当初、圧縮剛性のために採用された。誘電上の論拠は後の測定から独立に現れ、その選択を裏付けた。

含水率が全体を支配する。 ϵ_{ps_r} と $\tan \delta$ はいずれも結合水とともに急増するため、すべての等級ビレットを産地で $12 \pm 1\%$ までキルン乾燥し、保守計画で年次含水率確認を規定している。含水率が12%から18%へ上昇した支持物は、樹種間のどの差よりも大きく誘電寄与を変化させる。

7. 考察と結論

ここで提案するN級尺度は、読者がすでに信頼する慣習へ意図的に寄生している。銅導体の六つ目の9へ対価を払うオーディオファイルは、ppmで測られる残留常磁性汚染と散乱汚染を制御する価値をすでに受け入れている。我々はその前提と同じ種類の測定を、導体が載る材料へ適用したにすぎない。その結果、金属を六つの9まで等級付けしながら、無等級でFeを含みタンニン活性の高い広葉樹へ載せる業界慣行は、言葉にした瞬間に成立しない非対称性だと分かった。

赤道プランテーションチークは出荷状態で5N中立性、選別で6Nに達する。その理由は完全に平凡である。低Fe生育条件、若齢伐採、タンニン-Fe化学の不在、低樹脂、そしてすべての清浄木材と共有する反磁性基準である。魔法の材料ではない。清浄な材料であり、測定され、等級付けされ、その状態を保つため無仕上げにされている。すべてのEquatorial Elevation Blockには、ビレット等級、Fe + Mn値、実測磁化率を証明書へ印刷して添付する。他のオーディオ支持物メーカーにも同等の数値を求め、その回答を確認するよう読者へ勧める。

参考文献

- [1] James, W. L. (1975). 木材およびハードボードの誘電特性：温度、周波数、含水率、木理方向による変化。USDA Forest Service Research Paper FPL-245, Forest Products Laboratory, Madison.
- [2] Torgovnikov, G. I. (1993). 木材および木質材料の誘電特性。Springer-Verlag, Berlin.
- [3] Skaar, C. (1988). 木材と水分の関係。Springer Series in Wood Science, Springer-Verlag, Berlin.
- [4] Cutter, B. E., Guyette, R. P. (1993). 樹木化学への木材利用に影響する解剖学的、化学的、生態学的要因。Journal of Environmental Quality, 22(3), 611-619.
- [5] Bosque, A., Ferro, M., Park, H. (2026). 構造用木材の磁気中立性等級：測定機器と等級境界。Journal of Equatorial Audio Science, 7(2), 44-71.
- [6] Tanaka, Y., Park, H. (2022). 異方性低損失固体のガード付き平行平板誘電率測定。Journal of Equatorial Audio Science, 3(1), 12-29.