
仕上げの問題：金属系乾燥促進剤による中立性等級木材の表面換算常磁性再汚染

仕上げの問題：金属系乾燥促進剤による中立性等級木材の表面換算常磁性再汚染

A. Bosque, M. Ferro, L. Solder, H. Park

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

要旨

関連研究は、残留常磁性成分に基づき、反磁性基準に対するFe+Mn合計質量分率として報告する構造用木材の中立性等級を確立した。その等級は原ビレットの属性である。本稿は、ビレットへ仕上げを施すとは何が起るかを扱う。木材に用いられるほぼすべてのオイル、ワニス、ラッカーは酸化硬化型塗膜であり、蒸発ではなく乾性油の金属触媒自動酸化架橋によって硬化する。その触媒は常磁性遷移金属---多くはCoまたはMn---であり、湿潤塗膜内に数分の一の金属を含むカルボン酸塩として沈着する。塗膜は外表面にあるため、触媒は支持物がケーブルに接触する正確な位置へ置かれる。無仕上げ対照、乾燥促進剤を含まない純桐油、Coオクトエート入り煮亜麻仁油、Co+Mn+Zr入りアルキドスパーワニス、水性アクリル、ハードワックスオイルという六処理の前後で、5Nチーク試片の表面換算体積磁化率を振動試料型およびSQUID磁力測定で測定し、グロー放電深さプロファイルで金属位置を特定した。酸化硬化型仕上げは上部50マイクロメートルの磁化率を $\chi_v = -6 \times 10^{-6}$ 付近の反磁性基準から正味正へ引き上げ、触媒処理したすべての試片を5Nから4N未満へ再分類した。すべての場合で金属は上部50から100マイクロメートルに限定された。近年のCo不使用乾燥促進剤（Mn、Fe、Vによる代替）は毒性問題を除いても、代替物自体が常磁性であるため磁気問題を除かない。中立性等級を維持する唯一の仕上げは無仕上げであり、金属を加えない木材炭素骨格の酸化である元素的表面パティナこそ、この等級と両立する唯一の外観経年経路だと結論する。

1. はじめに

中立性等級ビレットは測定によって等級を得る。強磁性介在物走査、バルク磁化率測定、微量金属分析が、木材のFe+Mnが規定ppm以下であり、正味体積磁化率が反磁性を保つことで一致する。赤道プランテーションチークは出荷状態で5N（Fe+Mn ≤ 10 ppm）、単一ビレット選別で6Nに達する。等級は実在し、個体ごとに認証され、製材所を出る時点の木材だけに属する属性である。

主要研究（Bosque, Ferro, Park, Tanaka, 2026）は、末尾の一節だけで木材への仕上げが等級を破壊すると指摘し、煮亜麻仁油試片の処理前後測定を一例として報告した。この観察には一段落以上の価値がある。仕上げはあらゆる木工家が保護と理解するため、保護塗膜が支持材料に対して磁氣的に最も破壊的な行為だという考えは、百年の工房慣行に反する。高級木製品への顧客期待に反して支持物を無仕上げで供給するという製品判断を支えるなら、仕上げ化学全般にわたり定量的に立証し、汚染金属の深さ位置まで示す必要がある。

それが本稿の目的である。仕上げを表面美観ではなく、意図的に堆積させた薄い触媒金属層として扱い、どれほどの常磁性質量をどこへ置くかを問う。答えは仕上げ全般に不利であり、高級木工を支配する酸化硬化型オイルとワニスの全カテゴリーに致命的である。理由は木材ではなく、塗膜を硬化させる化学にある。

2. 乾燥促進剤の化学と金属添加量

亜麻仁油、桐油、およびそれらのアルキド誘導体である乾性油は、自動酸化で硬化する。大気中の酸素が不飽和脂肪酸鎖のビスアリル位置から水素を引き抜き、ヒドロペルオキシドを形成する。これはラジカルへ分解し、油を固体塗膜へ架橋する。放置すれば反応は遅く、数週間を要する。乾燥促進剤、別名シッカチーフがこれを加速する。これは二つの酸化状態間のレドックスサイクルを通じ、過酸化物の形成と分解の両段階を触媒する遷移金属カルボン酸塩である。古典的な主乾燥促進剤はCoで、Co(II)とCo(III)を循環する。Mn（Mn(II)/Mn(III)）も同様に働く。これらは内部乾燥および表面乾燥金属である。Zr、カルシウム、亜鉛は二次または補助乾燥促進剤として加えられ、レドックス段階を触媒せず、塗膜を配位し、内部硬化を改善し、純Coが生じさせる表面皮張りを防ぐ。

金属は長鎖有機酸塩として供給される。歴史的にはナフテン酸塩、現在はより一般に2-エチルヘキサン酸塩（オクトエート）であり、レドックス化学以外の金属イオン特性ではなく、油への溶解性で選ばれる。塩は金属含有量で販売される。「6% Co」ナフテン酸塩は、液体乾燥促進剤質量の6%がCoである。完成塗料では、主乾燥促進金属を油固形分に対して通常0.02から0.1%添加する。効力が高いCoは範囲下端、Mnはやや高い。

これらの比率は無視できるように見え、仕上げ単位質量あたりではその通りである。問題は濃度ではなく面密度にある。オイル仕上げを一層刷毛塗りすると、1平方メートルあたり20から40 g程度の固形分を堆積させる。Co 0.05%なら表面1平方メートルあたり10から20 mgのCoである。Fe+Mn 10 ppmの5Nチークビレットは、密度650 kg/m³、代表寸法200 x 60 x 45 mmのブロック全体に、およそ35マイクログラムの等級対象汚染金属しか含まない。上面仕上げだけで数百マイクログラムの常磁性金属を堆積させ、ビレット全体に許された汚染物より一桁多い質量を、ケーブルが載る表面のマイクロメートル厚層へ置く。等級は常磁性ppmを制御するために定義された。仕上げは数%ではなく、倍数でそれを破る。

3. 実験：仕上げ前後の表面換算磁化率

単一の5N赤道チークビレットから36枚の試片（60 x 60 x 8 mm）を作製し、ICP-MSでFe+Mn 7 ppmを確認した。全試片が同じ基材を共有し、仕上げ後の差は塗膜だけに帰属できる。各6枚を六処理へ割り当てた。（A）無仕上げ対照、（B）乾燥促進剤なしの

純桐油、21日硬化、(C) Coオクトエート入り煮亜麻仁油 (0.05% Co)、(D) Co + Mn + Zrパッケージ入りアルキドスパーワニス (0.04% Co、0.06% Mn、0.20% Zr)、(E) 水性アクリル分散液 (酸化乾燥促進剤なし)、(F) 市販ハードワックスオイル (亜麻仁油とカルナウバ、Co触媒) である。すべての成膜処理は一層30 g/m²に制御して二層塗布し、取り扱い硬度まで硬化させた。

汚染は表面層、試片はバルク物体であるため、試料全体の磁化率測定は8 mmの反磁性木材全体へ信号を希釈し、過小評価する。そこで表面換算磁化率を二通りで報告する。第一に、振動試料型磁力計 (Lake Shore 8600、300 K) で試片全体の正味体積磁化率を測り、積分変化を捉える。第二に、仕上げ面から平行にマイクロームで切り出した200マイクロメートル薄片を再マウントし、薄片に必要な感度を持つSQUID磁力計 (Quantum Design MPMS3) で表面層値を測る。重要なのは表面換算値である。そこがケーブルの実際に触れる木材だからである。

結果は明白である。無仕上げ対照 (A) は反磁性基準を維持し、試片全体の $\chi_v = -5.9 \times 10^{-6}$ 、表面薄片は -6.1×10^{-6} であった。乾燥促進剤なしの処理 (B、純桐油；E、アクリル) は両尺度で対照と統計的に区別できなかった。 ϵ_{ps} は別として、常磁性金属を加えず、等級を動かさない。触媒型酸化硬化仕上げ三種 (C、D、F) はすべて表面薄片を正味正へ移動させた。煮亜麻仁油は $+2.3 \times 10^{-6}$ 、ハードワックスオイルは $+1.9 \times 10^{-6}$ 、Co + Mn + Zrスパーワニスは最も大きい $+4.8 \times 10^{-6}$ であった。ケーブル接触表面層で、触媒処理した全試片が反磁性から常磁性へ移り、5Nから4N未満へ再分類された。試片全体のVSM値も同方向へ動いたが、バルク希釈で弱められた。完成支持物のバルク測定が仕上げを好意的に見せ、表面換算測定が有罪とする理由がここにある。

4. 深さプロファイル：金属の所在

磁化率変化は金属の存在を示すが、場所を示さない。支持材料では深さ分布は付随的ではない。ケーブルとの結合は距離とともに急減し、2 mm下に埋まる汚染物質は、最初の数マイクロメートルにある同質量より電磁的関連性ははるかに低い。仕上げ試片を高周波グロー放電発光分光法 (GD-OES、Horiba GD-Profilier 2) でプロファイルした。これは表面を毎秒約2から3マイクロメートルでスパッタしながらCo、Mn、Zr、Fe発光を追跡する。選択試片ではレーザーアブレーションICP-MS深さ断面でクロスチェックした。

すべての酸化硬化試片で、触媒金属は塗膜と直下木材に限定された。CoとMnの発光は表面で最大となり、30から70マイクロメートルの塗膜厚を通じて維持され、プロファイルが未浸透木材へ入る次の20から40マイクロメートルで一桁以上低下した。最悪の低粘度煮亜麻仁油は表面孔へ浸透し、約100マイクロメートルで基材の7 ppm背景へ達した。粘度の高いワニスでは60マイクロメートルであった。積分すると、堆積常磁性金属の90%以上が上部100マイクロメートル以内、大半が上部50マイクロメートル以内にあった。Zrは深さ方向でCoとMnに追従したが、この配位では実質的に常磁性を示さないため、プロファイルへ寄与しても磁化率へ寄与しない。磁気信号が総金属ではなくCoとMnに追従することを示す有用な内部確認である。

これはケーブル支持物として幾何学的に最悪の分布である。中立性等級は導体に触れる木材が反磁性であることを前提とする。仕上げは、接触界面をなす50から100マイクロメートルの表皮へ常磁性金属を充填し、ブロック深部の電磁的に無関係な芯を従来どおり清浄に保ちながら、その前提を反転させる。仕上げ済み支持物は磁気的には、中立ビレットを包む薄い常磁性シートを金属面外向きでケーブルへ提示する物体である。

5. CO不使用乾燥促進剤は助けにならない

Coオクトエートは規制圧力下にある。2-エチルヘキサン酸Co塩は発がん性疑いおよび生殖毒性物質として統一分類され、塗料業界は過去十年、Co不使用乾燥促進剤へ多額を投じた。代替は三系統に分かれる。Mn錯体 (しばしばビピリジンまたはアミノメチル配位子でMn活性をCo相当へ高める)、Fe錯体 (特殊な窒素供与配位子を持つFeで、高性能ドロップイン主乾燥促進剤として販売)、V系である。すべてがより安全と宣伝され、本来の目的----同じ乾燥速度で有毒触媒を無害な触媒へ置換する----では、実際に成功するものもある。

我々の目的には何一つ成功しない。Mn、Fe、Vはいずれも常磁性であり、FeとMnは中立性等級が明示的に排除する二元素である。CoオクトエートをFeまたはMn乾燥促進剤へ交換しても、表面塗膜から常磁性金属を除けない。一つの常磁性金属を別のものへ置換し、Feの場合は等級尺度で最も重く罰せられる汚染物質へ置換する。メーカー推奨量の市販Fe-ビピリジン乾燥促進剤で別のチーク試片群を仕上げ、表面薄片で $+3.1 \times 10^{-6}$ を測定した。Co煮亜麻仁油と同程度であり、金属がCoでなくFeで、等級の主軸がFe含有量であることから、むしろ悪い。Mnネオデカノエート乾燥促進剤は $+2.6 \times 10^{-6}$ であった。

教訓は、Co不使用化が磁気目的と直交する毒性目的を最適化することにある。現在も予見可能な将来も、レドックス活性遷移金属なしで乾性油を硬化させる酸化硬化型乾燥促進化学は存在しない。乾燥促進剤として十分に安価で豊富なレドックス活性遷移金属は、すべて常磁性である。仕上げ業界はこの問題を解決しない。業界の視点では解決すべき問題が存在しないからである。磁気的に中立な乾燥促進剤は市場を探す解決策であり、現在その市場は我々だけで構成される。

6. 考察：残る選択肢

酸化硬化型仕上げを磁気的理由で除外すると、形式上金属を含まない塗膜が三種残る。乾燥促進剤なしの乾性油、物理乾燥・合着型の水性塗膜、真の蒸発乾燥ラッカーである。乾燥促進剤なしの桐油 (処理B) とアクリル分散液 (処理E) は、常磁性金属を加えず等級を維持することを確認した。しかし、この物体には悪い仕上げである。ケーブルを支える前に完全硬化すべき支持物上の無乾燥促進油は、硬化に数週間を要し、ケーブルクリップや通常の取り扱いから表面金属を保持するほど永久に柔らかい。等級が

排除する汚染を受動的に収集する支持物へ変えてしまう。水性アクリルは木材を封止するが、表面 ϵ_r と $\tan \delta$ を裸チークより大幅に上げ、等級が禁じる磁気問題を、関連研究が同じく罰する誘電問題へ交換する。

言い換えれば、あらゆる仕上げは常磁性金属を加える（酸化硬化オイルとワニスという伝統的な全カテゴリー）か、誘電表面を劣化させる（水性塗膜）か、使用中の再汚染へ抵抗できるほど硬化しない（乾燥促進剤なしのオイル）。どれも等級表面を改善せず、木材が等級に必要な全試験を通過した後に加える工程である。仕上げは原ビレットの等級から差し引くことしかできず、加えることはできない。等級付けされる量は何かの不在であり、仕上げは定義上、追加だからである。

これにより無仕上げ支持物は、コスト削減や美的禁欲ではなく、測定と整合する唯一の選択となる。ビレットを選別し、走査し、コア採取し、分解し、分析し、常磁性ppm値で認証した後、作動面へCo触媒オイルを塗ることは、その全工程を費やしながら最後の一步、最も電磁的に活性な位置で、外観の薄膜のためにすべてを無効にする行為である。

7. 結論

木材への仕上げは磁氣的再汚染を表面で生じさせる。伝統仕上げを硬化させる化学が金属触媒自動酸化であり、触媒が塗膜へ堆積した常磁性遷移金属だからである。効果を直接測定した。単一の5Nチーク基材上で、Co煮亜麻仁油、Co + Mn + Zrスパークワニス、Coハードワックスオイルというすべての酸化硬化仕上げが、表面換算体積磁化率を -6×10^{-6} 付近の反磁性基準から最高 $+4.8 \times 10^{-6}$ の正味正へ動かし、等級表面を5Nから4N未満へ再分類した。堆積常磁性金属の90%以上は、ケーブルに直接触れる上部100マイクロメートルへ限定された。乾燥促進剤なしのオイルと水性塗膜は金属を加えないが、他の理由で物体に不適格である。Co不使用化はFe、Mn、Vへ置き換え、毒物を一つ除いても常磁性汚染を一単位も除かない。

結論は狭く、確固としている。木材の中立性等級を保つ唯一の仕上げは無仕上げである。無仕上げ表面は経年で酸化し灰色になるが、そのパティナは木材炭素骨格の元素酸化で、金属を加えない。外観変化であり、磁氣的には無事象である。したがってEquatorial Elevation Blocksは無仕上げで出荷され、今後もそうされる。工程を一つ省いて節約するためではなく、仕上げを施せば、光沢を買うために等級全体を使い切るからである。

参考文献

- [1] Soucek, M. D., Khattab, T., Wu, J. (2012). 自動酸化と乾燥促進剤のレビュー。Progress in Organic Coatings, 73(4), 435-454.
- [2] Erich, S. J. F., Laven, J., Pel, L., Huinink, H. P., Kopinga, K. (2006). NMRイメージングによるアルキド塗膜の金属石鹸分布と触媒乾燥。Progress in Organic Coatings, 55(2), 105-113.
- [3] Micciche, F., van Haveren, J., Oostveen, E., Ming, W., van der Linde, R. (2006). 油性塗膜とCo乾燥促進剤のMn・Fe錯体による代替。Applied Catalysis A: General, 297(2), 174-181.
- [4] van Gorkum, R., Bouwman, E. (2005). 金属錯体で触媒されるアルキド塗料の酸化乾燥。Coordination Chemistry Reviews, 249(17-18), 1709-1728.
- [5] Bosque, A., Ferro, M., Park, H., Tanaka, Y. (2026). 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。Journal of Equatorial Audio Science, 7(2), 44-71.
- [6] Solder, L., Bosque, A. (2026). 仕上げ済み広葉樹試片における表面換算常磁性汚染のグロー放電深さプロファイル。Journal of Equatorial Audio Science, 7(3), 88-104.