

# 木のベアリングのお話

ウッドベアリングはこれまで何千年も回転軸を支えてきた・これから先もそれは続く

J.R.Steurnagle 氏

メイン州ジョージタウン Woodex Bearing 社

毛皮を着て石のハンマーで石の車輪を作っている原始人のマンガを誰でも見たことがあるでしょう。話はそれで終わりません。三角形の車輪を作った男を覚えていますか？マンガ家ジョニー・ハートによれば、それは四角形の車輪からの飛躍的な改良でした。出っ張りを一つ減らしたという訳です。



私たちが初期の車輪について共通のイメージを持っているのは、良かれ悪しかれ、そういう陳腐なマンガのせいかも知れません。しかし、ベアリングともなるとイメージはそれほど一致しません。大抵、ベアリングとは「金属製の、溝と回転部分の組立品」だと思われています。エンジニアやメカニックでさえ、軟質金属やプラスチック製のベアリングを想像しますから、木製軸受（ウッドベアリング）があるとは信じられないでしょう。



何千年もの間様々な種類のベアリングが使われてきました。木材がベアリング用の効果的な素材になると考えたことがなくても、車輪を発明した人がそれを使ったことは確実です。驚いたことに、数千年経ってもベアリング用素材として木材が使われることは衰えを見せませんでした。

## 時代ごとのアプリケーション

ウッドベアリングは、現代でもそうなのですが、古代にはあらゆる種類の荷車や台車に使われていました。（通常は動物油脂の潤滑油を注していました）テクニカラー映画でよく見る、あの地響きを立てて走る騎兵戦車を思い出せますか？あのばらばらになった車輪の無惨な残骸は、たぶんよく見られた実際の光景だったのでしょう。獣脂を差した車輪ベアリングではオーバーヒートしてしまい、高速使用に耐えられずに、ある場合悲惨な結果を迎えたのでしょう。

木製軸受は、製粉機械から水車やポンプ、建設用クレーン、果ては投石機に至るまで、多種多様な固定設備を支えるのにも使用されました。木材はどこでも豊富に手に入り、強く、シャフトに優しく、長持ちし、取り替えが容易です。ほとんどの用途にベアリングとして木材が選ばれるのは、ごく自然な成り行きでした。

船舶の操舵が、長柄のオールから垂直型の舵軸に代わった時、ベアリング素材として候補にあがったのは木材でした。極めて密度の濃い、熱帯雨林産の硬材「リグナムバイタ (ユソウボク)」は、この用途あるいは他の海洋潜水用に最適として好まれました。リグナムバイタは水に浮かないほど密度が濃く、天然油の含有率が高くてそれ自身が潤滑油の働きをし、特に水中で劣化に耐久性があります。

船の各所の材料として利用されているように、リグナムバイタは水に濡れても驚異的な強度と耐摩耗性を維持します。蒸気推進船が登場するとプロペラ軸のベアリングとして使われるようになりました。近年までそれを目にすることは普通でした。

リグナムバイタは自然と新米船員の関心を集め、水車用ベアリングとして一般的になりました。50年以上前に設置されたリグナムバイタ製水車タービンの多くは、設置後のメンテナンスが少ししかあるいは全くされなかったのに、現在でも機能しています。

リグナムバイタは、条件が非常に厳しいアプリケーションに幅広く使用されました。1722年、ジョン・ハリソンがイギリスのプロックレスビー公園に摩擦抵抗のない屋上時計を作りましたが、それは今でも時を刻んでいます。(ハリソンは海上で経度を最も確実に測る方法を40年も研究し、成功した人物です。)

リグナムバイタは赤道から離れるにつれ手に入りにくいいため、条件のゆるいアプリケーションには、手に入る木材であれば何でも(精度がまちまちになるとはいえ)用いられました。

木材はそれぞれに構造上の特徴があり、木目組織を通して自然発生的にあるいは人工的に潤滑剤を供給することができます。ある木材は他のものよりずっと良質ですが、緊急に当面の必要を補うためにはどの木材でも使われました。古い製粉機のタービン・ベアリングを見れば、リンゴの木やマツの木などが数種類混ざって継ぎはぎしてあることがあります。これらは一時しのぎで取り付けられましたが、時には恒久的な使用にも耐え得るものとなりました。

## 木材ベアリングの性質

1839年アイザック・バビットが融点の低い、画期的な減摩合金を開発しました。それを鉄のシャフトを包むように鋳型に流し込むと、耐久性のあるベアリング面が出来ます。バビット合金の登場でベアリング素材としての木材の優位性は衰えましたが、現在でもなお木材は有効利用されています。

リグナムバイタ(ユソウボク、学術名: ガイアカム・オフィシナーレ)は生長の遅い木で十分な大きさになるのに300年以上もかかり、ベアリング素材として使うには高価で珍重されたため、隠匿されていたものがたまに見つかる以外はベアリング設計者の手に入りませんでした。

革新的な製造業者によって、ほとんどのアプリケーションにおいてリグナムバイタは石油ワックスを含浸したサトウカエデ(ロック・メープル)に置き換えられました。湿性のアプリケーションでリグナムバイタが発揮するほどの耐久性はありませんが、含浸サトウカエデは乾式用途においてリグナムバイタとは違った、しかしそれに劣らないほど魅力的な特性を持っています。

含浸カエデの利点は、屋外コンベア、特に農産物運搬に使われるとき発揮される「圧縮性」です。砂や砂利

がジャーナルの接点に入り込んでしまうと、スチールシャフトと金属ベアリングの双方にすり傷をつけかねません。超高分子量ポリエチレンのようなプラスチック製ベアリングは、研磨作用のある粒子が入り込むと引き裂かれますが、異物をはねつける特性によって、粒子は傷口から再びジャーナルへ供給されてしまいます。ここで「傷つける 押し出す 傷つける」という悪循環が起こり、シャフトは瞬時に激しい摩滅の損傷を受けてしまいます。

それとは対照的に、木材の圧縮性のある繊維構造は入り込んだ研磨性粒子を抱き込みます。めり込んだ異物は潤滑油の油膜で覆われ、ベアリングの一部として有効に働きます。シャフトもほんのわずかなダメージしか受けません。

カエデ（メープル）は硬く密度の濃い木材ですが、驚異的な毛細管機能を有します。カエデは適切なワックスに完全に含浸すると、潤滑剤を内部に多量に保持することができます。潤滑剤は常温だと固体で木材繊維の中に蓄えられた状態ですが、シャフトが回転すると摩擦熱によって溶け出し、ジャーナルに流れ込みます（このときは「境界潤滑」）。熱が上昇しワックスがさらに溶け出して、潤滑剤が大量にジャーナルに流れ込むと「流体潤滑」でシャフトを支えるようになります。シャフトが停止しジャーナルが冷えると、液状の潤滑剤は毛細管作用によってベアリング内に引き戻され、再び固体となって次の出番を待ちます。こうして含浸カエデは恒久的に潤滑した素材として使用することができるのです。

含浸木材は、ベアリング用プラスチック製素材として標準的に用いられるテフロンやナイロン、高分子量ポリエチレンなどと代替しても十分通用します。素材そのものが持つ潤滑性という点ではテフロンやポリエチレンに劣るものの、ほとんどのプラスチック製品より荷重や速度に耐性があり、研磨作用のある環境においてもシャフトの損傷を最小限に抑えることができます。

## 設計上の注意点

木材を最も効率よく機能させるためには、木目を考慮に入れる必要があります。シャフトの向きがベアリングの木目と平行の場合、潤滑剤も木目と平行に流れてしまい、摩擦抵抗を減少させることができません。ウッドベアリングを使う際見られる一般的な設計ミスは、この「不適切な木目の向き」です。

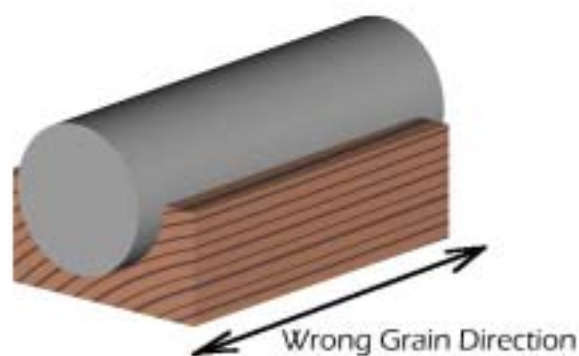


図1 .「不適切な木目の向き」

ベアリングの木目とシャフトが垂直になるよう設置するのが正しい方法です。木目の断面と、回転するシャ

フトの面が接していなければなりません。これにより木材が持つ油分自動供給システムがジャーナルに直接機能し、最大限の潤滑性を得ることができます。

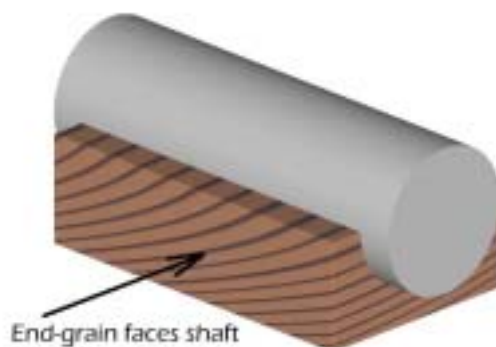


図2 . 木目の断面と、回転するシャフトの面が接している状態

大型のベアリングを用意する際、それ一つで全体を形成できるほど大きな角材を探す必要はありません。含浸ワックスに浸す前に小さめの未加工木材を接着して、より大きな部品にすることができます。リグナムバイタは非常に硬い木材であるため、桶板状の部品をホルダーで固定する、あるいはスペーサやボルトを使用して組み合わせれば、大型ベアリングを構成することができます。ベアリングの露出部分が、最大圧力まで荷重を支えられる大きさであれば、桶板型ベアリングはピロブロックと同じくらい（いやそれ以上）のはたらきをします。

## PV 値

木目の方向に加えて、速度と圧力も考慮に入れる必要があります。下図のように、含浸力エデは圧力[P] 25MPa、速度[V]600m/min、PV 値 25MPa\*m/min までのアプリケーションに使用できます。これは限界値ですから、実際のアプリケーションでは安全値まで下げる必要があります。WOODEX 木製軸受の PV 特性を見れば、それはプラスチック材料と金属材料の間の性能であると言えます。しかし、P 値、V 値の最大許容値を見ると、木製軸受がいかにすぐれた材料であるかがわかります。

圧力限界値；MPa（シャフト半径×シャフト長で表される面の圧力）      速度限界値；m/min（摺動面速度）

材 質	圧力限界値[P] (MPa)	速度限界値[V] (m/min)	PV 値
純ポリテトラフルオロエチレン(PTFE)	3.4	30	2
ナイロン 101	2.8	110	6
高分子量ポリエチレン(UHMW-PE)	8.2	15	8
<b>WOODEX 製 含浸力エデ</b>	<b>14</b>	<b>600</b>	<b>25</b>
低スズ バビット合金	4.8	240	25
硬質鉄	20	120	60
高スズ バビット合金	10	360	60
青銅	28	230	150

表1 . 種々の材質における PV 値

## 現代でのアプリケーション

ウッドベアリングは、スクリーコンベア、ハンガーベアリングから、スリーブベアリング、ロールエンド、自動調心球軸受に至るまで、様々な部品に応用することができます。特注のピローブロックとしても、凹凸のあるホルダーの補強材としても、どんなものにもほぼ無制限に対応することができます。

ウッドベアリングは、粉塵や砂利が多い環境においてもシャフトに優しい理想的な素材なので、刈り取り機などのベルト、ロール、スクリーコンベア、さらに果物・野菜の洗浄機、他の様々な農業機械にまで及び、耕地で直接農産物を収穫する機具には欠かせません。農作物の加工や運搬の機具に広く応用されるだけでなく、鉱産物や研磨作用のある化学物質の運搬や加工でも重宝される素材です。

木材は湿式のアプリケーションにも対応でき、リグナムバイタの大きい断面部分が使用不能になっても、小さい桶板状の部品を継ぎはぎして水車用・タービン用のベアリングとして長く使うことができます。

含浸カエデは様々な湿式アプリケーションに効果的に対応し、その範囲は水中連結チェーンや汚泥コンベアから、除雪機のオーガーやテーマパークのウォーターライドにまで及びます。イスラエルでのある例では、牛にひかせて回すターンテーブルにウッドベアリングが使われています。シャフトはベアリングを通して、低速で回る灌漑ポンプのインペラーまで達しています。

木材は、乾燥した材料を運ぶバケットエレベーターのウェアストリップによく使用される素材です。騒音を和らげる性質を備えているため、伝統的には紙折機の直径が小さな高速ベアリングに使われてきました。小型で低荷重の高速シャフトを、金属ベアリングで支えると高音の“鳴き”が発生しますが、木材は消音効果を発揮するのです。

これまでベアリングメーカーはコンピュータ制御の機械に頼って、石器時代の道具を脇へ押しやってきましたが、旧テクノロジーでも最大限の満足を引き出せるアプリケーションがまだ多くあるのです。やっかいな設計上の問題と取り組む場合、もしかしたら木製軸受を使用することで「車輪に改良を加える」必要はなくなるかもしれません。

( 図表は Woodex-MECO より無償提供 )