

# 金属材料と木質材料を 自動車エンジニアの視点で見て

旭川工業高等専門学校 機械システム工学科 杉本 剛



## ■はじめに

2020年より道北の旭川工業高等専門学校に赴任して参りました。私は赴任前まで20年に渡り自動車メーカーで鉄鋼とその加工プロセスの研究開発に携わってきました。道北・旭川の地に赴任し、やはり地元に関与する研究・教育をしなければと思い、鉄鋼で学んできた20年間の経験を道北の産業に役立てるため日々模索しております。

やはり道北の一大産業といえば森林・木材にまつわる産業です。そこで本報では自動車と木材の関係性や、金属工業と木材加工業といった私が従来携わってきた分野からの目線で木材を考えてみたいと思います。

## ■木の自動車？

自動車は鋼板で作られており、木材は目に見える部分の木目パネル等、装飾用に造られるものと思われています。実際、自動車の中で用いられる材料の構成は金属材料がほとんどです。図1に自動車の材料構成比を示しますが、重量比ベースで考えても木材は統計の数字に乗らない程度の少量しか用いられていません。私の在籍していた自動車メーカーの材料技術部では金属材料、樹脂材料、液体材料(油剤、燃料等)とグループが分かれており、木材は樹脂グループの中で、必要があれば取り扱うというかなりマイナーな存在でした。

そんな自動車の世界ではマイナーな木材ですが、

は、木材は自動車とは全く縁がない存在なのかという  
と実は世界最初の動力を搭載した自動車、1769年製  
キューニョの蒸気自動車は木材で作られたフレーム  
(台枠)を持っており、以降、木材で製作された自動車  
は途絶えることなく連綿と作り続けられています。

2021年現在においても、英国のモーガン・モーター・カンパニーによって木製の自動車が作られ続けており、決して主力ではないですが木材を用いた自動車は一定の需要を持ち続けています。図2は製作中のモーガンのフレーム構造ですが、かなり多くの部分に木材が用いられています。

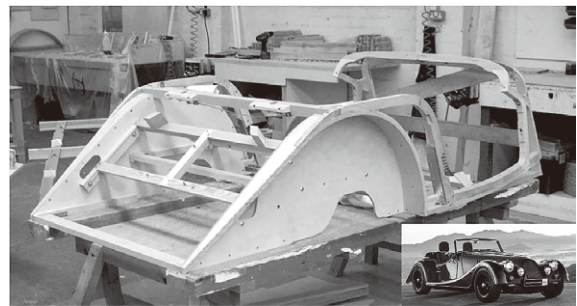


図2 製作中の車体(モーガン社Webサイトより)

では、木材で自動車を造るメリットはなんでしょう  
か？。モーガン・モーター・カンパニーによると同社  
の車両の車体は鉄板で作られたフレーム構造により車  
体の剛性を保ち、木材で振動を吸収することで静粛性  
の高い車を軽量に造ることを可能にしているとのこと  
です<sup>2)</sup>。1913年に発売された当初のモーガン社の車両

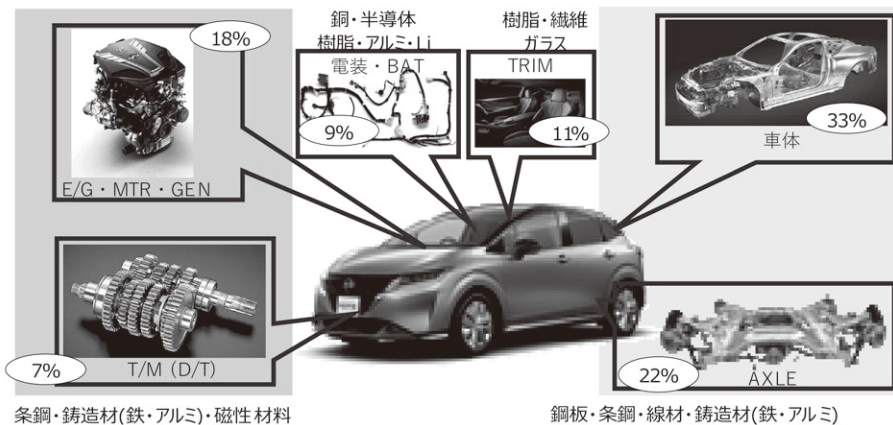


図1 自動車の材料構成(重量比)<sup>1)</sup>

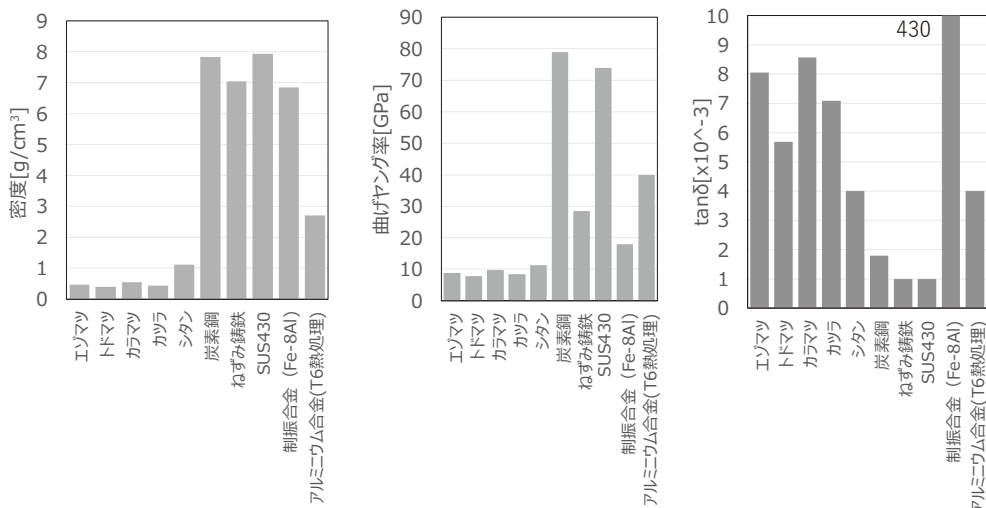


図3 木材と金属での機械的物性値の比較 (文献<sup>3), 4</sup>より杉本改)

は全て木でできたフレームを有していましたが、徐々に構造は変化し、その後同社の発展の歴史の中で材料の最適化が行われ、現在は前述の様な構造に帰着したとのことです。

事実、同社のPLUS SIXと呼ばれる直列六気筒3000ccターボエンジンを搭載した340PS/51.0kgfmのエンジン出力/トルクを持つモデルは、車両重量がたったの1,075kgとなっています。これは、同クラスの日産Z34型フェアレディーZの車両重量が6MT車で1,500kgであることを考えると驚くほど軽量です。しかしモーガンは軽量な車にありがちな静粛性・快適性を無視した車ではなく、その乗り心地は高級車であり非常に静かなものになっています。

木材の振動・騒音の吸収特性は金属に比較し良いのではないかと考えられますが、振動を減衰させる能力である内部摩擦の値は、金属では一般的にQ-1、木材や樹脂等ではtan δで表記されることが多く、表記方法が異なります。そこで値をtan δに統一したものを図3に示します。ここからわかるように木材は金属に比較し内部摩擦、つまり制振特性が大幅に高く、つまりモーガンのような構造は軽量と静粛性を両立する理にかなった構造と言えるでしょう。

では、なぜ現在の自動車はほぼ全てが鉄鋼、特に鉄板で作られているのでしょうか？。その理由は木材製品が大量量産に向かない、品質安定性が低い、防火性能、腐蝕（しょく）性が高いという既成概念による所が多いでしょう。事実、自動車の生産では鋼板をプレスし、溶接したうえで全体をどぶ付け塗装して防錆（せい）し、という流れを経ることで車体を作られて

おり高度でほぼ無人の製造ラインが構築されています。このような高度に自動化が進んだ工程は木材製品の製造では見られない部分ではないかと思えます。では、自動車産業における鋼板の優位は不変なものかという、近年には鋼板の優位を揺るがす事例は多数あります。その一例を図4に示します。

トヨタより2010年から2012年に発売されてきたLEXUS LF-Aの車体はカーボンファイバーを編んだ繊維に樹脂を含浸したカーボンコンポジット材（炭素複合繊維）で作られており、同車は世界で初めてカーボンコンポジットをボディ全体に多用した量産車でもあります。トヨタでは図4に示すようなカーボンコンポジットの生産技術を開発することでこのような構造を実現したということです。

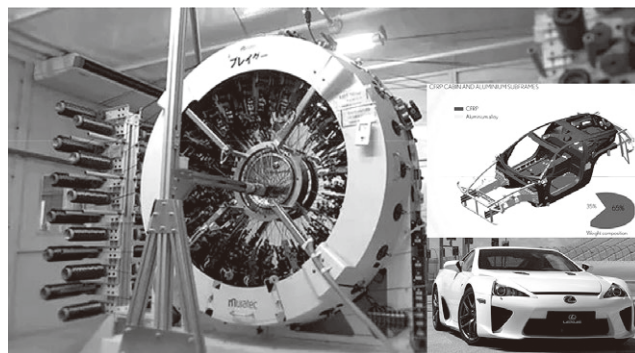


図4 トヨタ LEXUS LF-Aにおけるボディ製造工程<sup>5)</sup>

しかし、同車の発売当時は量産技術が確立したとはいえカーボンコンポジット材は非常に高額でした。同社によるとLF-Aの車体は金属に比べ100kg軽くなった<sup>5)</sup>のですが、その原価は大幅に跳ね上がり、車両販

売価格は3,750万円と大変に高額なものになっています。しかし、現在ではカーボンコンポジット材の生産技術開発は急速に進んだため、同材料を用いた車両の価格も大幅に下落し、カーボンコンポジット材は主に運動性能に優位なルーフの素材として高級車に多用されるようになってきました。

カーボンコンポジット材は複合材であるためその特性は配合により大きく異なりますが、概ね密度が1~2g/cm<sup>3</sup>、曲げヤング率が70GPa前後、tan δが3×10<sup>-3</sup>内外であり、鋼板に較べると大幅に重量比曲げ弾性率が高いものの内部摩擦は同レベル、木材と比較すると重量比曲げ弾性率が若干低く、内部摩擦は若干低いという特性を示しています。つまり金属・木材・カーボンコンポジット材の比較の中では木材と比するレベルにあるカーボンコンポジット材が近年車体に多用され始めたことを考えれば、実は生産技術さえパラダイムシフトが起きれば、木の自動車の世界が復活？ということも考えられます。そして木の自動車が本気で開発されればカーボンコンポジットより軽く音振動性能の高いスポーツカーが造られる可能性があります。

実は本報を書くにあたり、木と私の自動車を造ってきた経歴が結びつくのか？と考え、まさか木の自動車なんてありえないだろうけれど一応調べてみるか、と懐疑的な感覚で調査を始めました。そうすると意外にも木材の物理的特性は自動車づくりにも一理あり、造り方さえ開発されれば木の自動車が実に理にかなったものであるということに気づいた次第です。

鉄鋼材料研究者の誤解という意味では図5に示す難燃性もあるでしょう。木材家屋は火事になったらあっという間に燃えるという誤解から、燃料を載せて走る自動車に木はあり得ない、というのは多分ほぼ全ての自動車エンジニアの思っているところです。量産自動車メーカーのエンジニアがモーガンを見て開口一番、衝突したら火だるまだよね、というのはよく言われる冗談です。しかし、私が木材に携わり始めてから、建築の世界において実は常識が逆であったということを知り、機械構造の設計において木材を使わないのはただの食わず嫌いなのではないかと思いはじめました。もちろん、生産技術が伴わないといけません、種々の機械構造の中で木材がどう使えるかを真剣に議論しないといけないと思っている次第です。

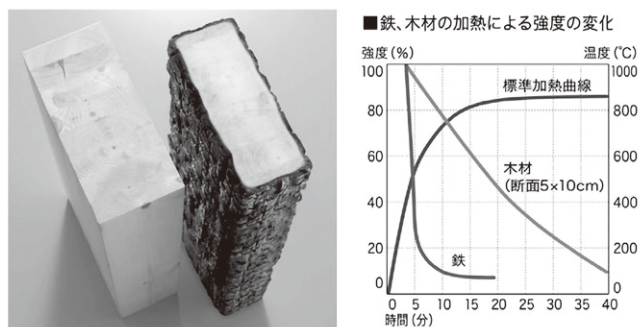


図5 難燃性の比較<sup>6)</sup>

### ■自動車と木材のSDGs

さて、木材で車を造るとどうなるんだろう？という少し突拍子もないことを書きましたが、実は現在においても木と自動車・機械製造業は深いつながりがあります。その代表例がカーボンニュートラルと熱処理です。

昨今のもづくりでは排出するCO<sub>2</sub>を何らかの形でキャンセル若しくはCO<sub>2</sub>を排出しない形態をとるべきであるという、SDGsに乗っ取った方式が求められます。

自動車におけるカーボンニュートラルの課題は主に車両の製造におけるカーボンニュートラルと、走行時におけるカーボンニュートラルです。

鉄鋼材料を作る場合、鉄鉱石を起源として、石炭を蒸焼きにしたコークスを燃料に鉄鉱石を還元することで鉄鋼の原料となる銑(せん)鉄を作成するため、原理的に大量のCO<sub>2</sub>が発生します。鉄の精錬をはじめとし、車造りの様々な工程でのCO<sub>2</sub>排出は自動車産業の持続可能性において課題となっています。特に自動車の主要原料である鉄鋼においては大きな課題です。

日本古来の製鉄では砂鉄と木炭を原料とする図6に示すようなたたら製鉄が行われており、その後の重工業として近代製鉄が始まったころまでは還元剤としての木炭の使用が続いていました。しかしその後、イギリスに端を発する森林資源の枯渇から木炭は石炭に置き換えられ、現在まで石炭による製鉄が続いています。このように自動車を造るのに重要な鉄鋼を造るのにも実は木が大きな役割を果たしたのは記憶に新しいところです。もちろん需給の問題が解決し、木による製鉄が行われることになればカーボンニュートラルに近い製鉄が実現します。今後の製鉄業でのCO<sub>2</sub>排出抑制は主に工程排ガス中のCO<sub>2</sub>を吸着すること、コークスではなく水素ガスにより鉄鉱石を還元すること、そして、銑鉄を用いず市場回収された鉄鋼製品のリサイ

クルによって製品を造ること、によって行われる可能性が高くなっています<sup>7~8)</sup>。これらの技術の動向によっては、既にある程度確立されたCO<sub>2</sub>排出の少ない製鉄技術である木・木炭を用いた製鉄技術の復活もあり得るところでしょう。



図6 山口県 萩 大板山たたら製鉄跡(世界遺産)

もちろん燃料を用いた走行過程におけるCO<sub>2</sub>排出抑制も重要です。現代の自動車において未だ主流である内燃機関(エンジン)はその構造内で燃料を爆燃と呼ばれる急速燃焼をさせて動力を得ます。急速かつ正確に燃料を燃やす必要があるため、燃料には高い品質が要求され、燃料の選択自由度は低くなります。しかし近年自動車の電動化が進み、図7に示すようなSOFC(Solid Oxide Fuel Cell)と呼ばれる燃料自由度の高い燃料電池を電源として用いた電気自動車が提案されています<sup>8)</sup>。このような燃料電池自動車では燃料の要求品位が低い場合エタノールを燃料に用いることが多いですが、エタノールの原料にはサトウキビやトモロコシなどのような農作物が検討されています。しかしこれらの農産物は重要な食糧であり、自動車を走らせるために食糧難を招くのは本末転倒であるということから、近年廃木材を利用したエタノール精製技術も研究されています<sup>9)</sup>。

このように燃料の面でも自動車と木材のサイクルは切り離せない存在となっています。

### ■木製品の製造プロセスと鉄鋼製品の製造プロセスの類似性

私は2020年度より旭川高専に赴任し、木材の乾燥を効率化し、低ひずみ、高強度かつ短時間化するためにはどのような加熱方法が良いのか?という研究を開始しています。研究を進めていく中、例えば高周波加熱と雰囲気加熱の加熱特性・できあがり品質等を比較すると、鉄鋼での雰囲気・高周波加熱と類似の挙動を示しているということに気づきました。

鉄鋼の熱処理でも木材と同じく熱処理をするのですが、この中では部品の強度を調節する目的で浸炭焼入れや高周波熱処理といった「熱処理」が施されます(図8)。

鉄鋼への熱処理では、金属相をフェライトと呼ばれる比較的強度の低い相から炭素マルテンサイトと呼ばれる高強度な相に相転移(金属材料学用語では相変態)させ、高強度な部品を造ることを目的に行われます。主に自動車部品の中でも要求強度レベルの高い歯車部品に多用されますが、この際、部品の表面に炭素を拡散浸透させて温度を変化させることで相変態させるため変形が発生し、強度と変形のバランスを取ることが鉄鋼の熱処理における工程開発のキーポイントになっています。これは内部の水分を拡散除去し、セルロースファイバーの相転移・結晶化を制御することで最適な性質を作り上げる木材熱処理と現象としてはかなり類似の方程式で記述できるのではないかと考えられます。

当然、金属熱処理炉、高周波熱処理装置、そのシミュレーション技術等は内部の設計・計算パラメータを置き換えるだけで準用ができるため、木材の熱処理

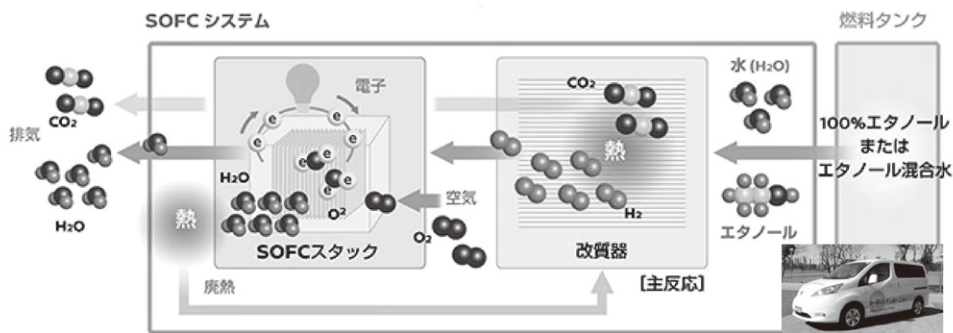


図7 SOFCを用いた燃料電池と自動車の一例

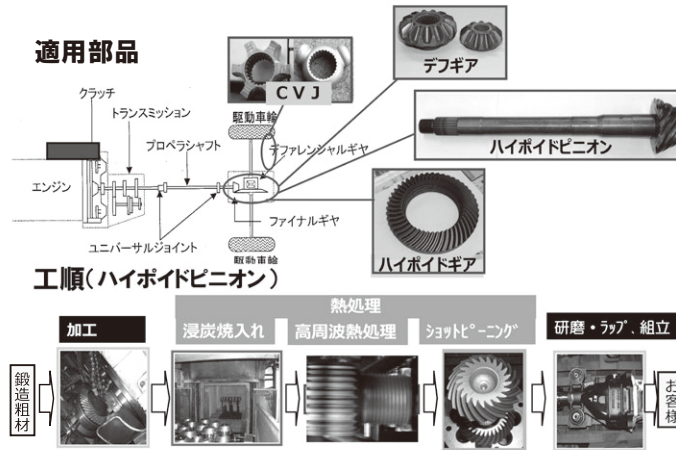


図8 鉄鋼部品の熱処理

に係る技術，鉄鋼熱処理業界にある技術はかなりの部分がお互いに融通できるのではないかと考えています。

特に，熱処理のシミュレーションにおいては図9に示すような金属熱処理シミュレーションのスキームにおいて変形のメカニズム，入力パラメータを置き換えることによって木材の熱処理における品質予測システムが構築できる可能性があるため，領域をまたいで取り組むことによって何らかの価値が創造できるのではと考えています。

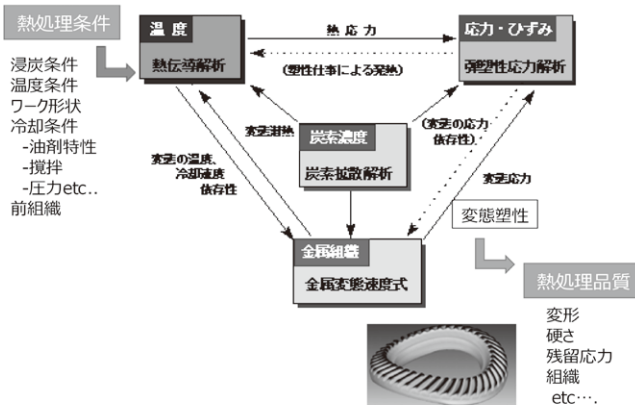


図9 鉄鋼部品の熱処理シミュレーション

### ■終わりに

自動車・鉄鋼の研究者が縁あって道北・旭川に赴任し，一年間木材産業を勉強してみると，意外と接点があるぞ！ という驚きを感じています。新しい発見は何かを新しい視点で見ても見たときに生まれるといわれます。本報を書くにあたり，退官された旭川高専物質化学工学科の富樫巖名誉教授，および(一社)北海道林産技術普及協会の菊地様から執筆依頼を頂き，なかなか難しい課題を頂いたものだと感じました。しかし，

書き終わって現在の現在，新しい視点で物を見ることができ，一度話を整理するためにも良い機会を頂けたと思っております。

木材の世界では駆け出しの研究者ではありますが，この地に縁あってのことですので鉄鋼の知見を活かし，木材の世界へ貢献できればと思っております。本報が皆様のお役に立てれば幸いです。

### ■参考文献

- 1) 杉本剛：自動車電動化時代の自動車用材料と材料プロセス進化，機械学会北海道支部材料系懇話会資料，2021年2月。
- 2) モーガンカーズジャパンWebsite, <https://www.morgan-cars.jp/craftsmanship/index.html>.
- 3) 大崎久司：振動試験でわかる木材の性質について，林産試だより，2013(4)，pp.4-5.
- 4) 市山正，川崎正之，高階喜久男，斎川新三郎，草間文彦：鉄及び炭素鋼の内部摩擦測定，鉄と鋼，1974(12)，pp. 124-131.
- 5) 熱可塑性CFRPスタンパブル材料およびその適用部品スタックフレームの開発，AUTO TECHNOLOGY 2018，2018，pp.14-19
- 6) 木造VS鉄骨 火災に強いのはどっち？，<https://kurashi.cleverlyhome.com/%e6%9c%a8%e6%9d%90/2642>
- 7) 日本製鉄：サステナビリティレポート2019，2019.
- 8) 岸幹根，久村総一郎，富田規之：知多工場・製鋼工程におけるCO<sub>2</sub>削減活動，電気製鋼，80(2)，2009，pp.187-191.
- 9) 築瀬英司：廃紙・廃材をエタノールに変換する，科学と生物，40(10)，2002，pp.684-686.