

公益財団法人
応用科学研究所
令和6年度研究成果報告書

第32号

RESEARCH REPORT

No.32

2025

RESEARCH INSTITUTE FOR APPLIED SCIENCES

目次

1. 研究員による成果

(ア) 鉄鋼材料の超多点硬さ測定・残留歪み測定と 材料特性に関する研究	長江 正寛	1
(イ) 大強度粒子加速器標的材として採用可能な 超耐熱タングステン合金の製造法に関する研究	長江 正寛	3
(ウ) 歯車製造技術の現状と今後	久保 愛三	4
(エ) 歯車事情	久保 愛三	8
(オ) EV 駆動系の歯車と信頼性	久保 愛三	11
(カ) 現状理解と日本衰退の一原因	久保 愛三	27

2. 特別研究員による成果

(ア) $(\text{Sm}, \text{Ce})_2(\text{Co}, \text{Fe}, \text{Cu}, \text{Zr})_{17}$ 系磁石の減磁過程、保磁力配向度・角度依存性	松浦 裕	33
(イ) $\text{Sm}_{0.67}\text{Ce}_{0.33}(\text{Co}_{0.73}\text{Fe}_{0.2}\text{Cu}_{0.05}\text{Zr}_{0.02})_{7.2}$ の磁化反転過程	松浦 裕	37
(ウ) 超電導直流送電グリッド構築に関する基礎研究	長村 光造	38
(エ) シンバルの音響特性と残留歪解析	長村 光造	39
(オ) 銀被覆ビスマス系および REBCO 系線材の機械的特性および 超電導特性の改良に関する調査研究	長村 光造	40
(カ) IEC 国際標準化	長村 光造	41
(キ) 機械的構造の最適化による MgB_2 超電導線材の真性ひずみ特性の改善	長村 光造	42

3. 共同研究員による成果

(ア) 変圧器等価回路定数推定に基づく励磁突入電流判定法	舟木 剛	43
(イ) 自律分散協調エネルギーマネジメントの開発	平田 研二 太田 快人	46
(ウ) 分散エネルギー取引市場の仕組みづくりに関する研究	阿久津 慧	47
(エ) 水中の有害有機物を高効率に分解可能な光触媒材料の開発	阿部 竜	50

4. 招聘研究員による成果（特別寄稿）

(ア) 応用科学が拓く文化財研究と学際的探査	横山 操	51
(イ) 木材の経年変化—歴史的建造物由来古材のキャラクタリゼーション—	横山 操 坂本 稔 金森 主祥 小椋 大輔	53

参考資料 歯車事情 調査アンケート	57
参 考 公益財団法人応用科学研究所 組織図	101

研究員による成果

鉄鋼材料の超多点硬さ測定・残留歪み測定と材料特性に関する研究

材料評価・開発研究室 長江正寛

1. 目的

近年、コストカットへのさらなる要求と材料調達のグローバル化により、同一規格の鋼種であれば可能な限り安価な材料を求めようとする傾向が強まりつつある。しかしながら、それに伴い、歯車等の重要機械部品に関して、材料の品質に起因すると考えられる損傷事故が増えているのも事実であり、購入した鋼材の品質検査の重要性が高まっている。こうした背景から、我々は「超多点自動HV硬さ測定装置」を開発した。超多点のマイクロビッカース硬さ測定は、鋼材の微細組織、合金成分分布などの不均一性を顕在化し、素材や熱処理の良否の判断や、機械部品の損傷原因の推定に対して有益な指針を与えることを明らかにしてきた。また、ポータブル型X線残留応力測定装置(μ -X360s)による残留応力測定時に取得されるデバイ環形状のバラツキを評価し、鋼材品質との関連を明らかにする研究にも取り組んでいる。

今年度は μ -X360sによる多点残留応力・半価幅測定に加え、非接触硬さムラスキャナ(muraR)を用いた評価を行い、歯車材料の寿命予測の可能性について検討した。

2. 成果の一例 (異なる数種の歯車材の評価から得られた知見)

図1は耐久試験を行ったガス浸炭平歯車のかみ合い限界付近における μ -X360s測定結果である。X線は歯先側から測定経路(歯幅方向)に対して垂直な方向となるよう入射した。測定位置5mm付近に見られる剥離箇所では、圧縮残留応力の急激な上昇、半価幅の増加、デバイ環ピーク強度の低下が認められる。これは剥離が起こったことにより、ガス浸炭時に形成される浸炭異常層が部分的に消失し、マルテンサイト層が露出した事による変化である。一方、見た目では損傷が発生していない歯面右側では、緩やかな圧縮残留応力の増加と共に、デバイ環ピーク強度のバラツキ幅の明確な広がりが認められる。測定位置25mmにおけるデバイ環形状はピーク高さに著しい偏りが存在することから、浸炭異常層内のフェライト結晶が歯面接触による

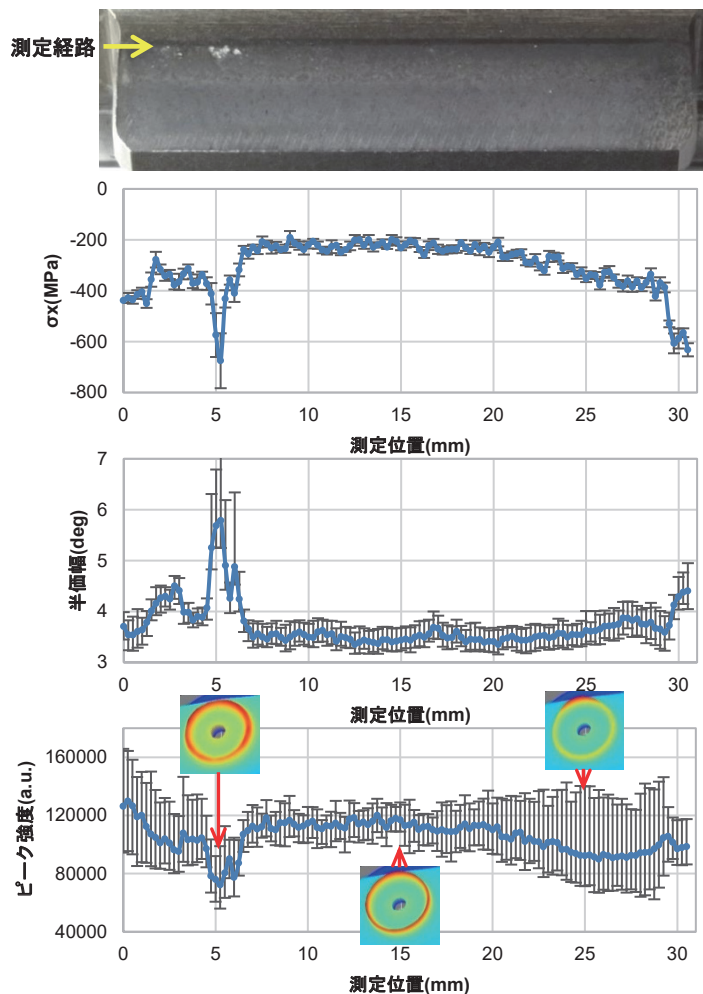


図1 ガス浸炭歯車のかみ合い限界付近における μ -X360s測定結果

塑性流動によって特定の結晶方位に配向していることが分かる。恐らく、剥離が認められる左側歯面においても、耐久試験初期において同様な現象が起こっていたと考えられ、強い歯面接触によって浸炭異常層が摩耗・消失した結果、部分的な剥離を引き起こした可能性がある。これらの結果は、浸炭異常層を有するガス浸炭歯車の寿命予測に対して、 μ -X360s によるデバイ環形状評価が有効な手段となり得ることを示唆している。今後、耐久試験初期段階の様々なガス浸炭歯車について同様な測定を行い、その有効性を明らかにする必要がある。

図2に動力循環式試験機で疲労試験を行った自動車用浸炭焼入れはすば歯車の歯面について、歯先からかみ合い限界付近までの範囲で muraR 硬さ測定を行った結果の一例を示す。歯面損傷の発生に至るまでの累積サイクル数は 3.60×10^6 である。歯面の硬さムラをグラデーション表示した画像の中央に挿入したグラフは、歯面損傷が発生するまでの各段階における muraR 硬さ測定結果である。グラフ化の都合上、新品状態の累積サイクル数を1として表示した。はすば歯車の場合、X線入射角が測定面に対してX方向、Y方向共に傾いているため、硬さの絶対値を議論する事は出来ないが、相対的な硬さの変化・差の議論は可能である。剥離が認められる歯面についてのデジカメ写真を下部に示す。青色の矢印で示した箇所が剥離発生位置である。剥離はいずれもかみ合い限界付近を起点として発生している。疲労試験の累積サイクル数の増加に伴い、歯面硬さの最大値、平均値、最小値は低下する傾向を示す。疲労試験を行った歯車の歯面硬さの最大値

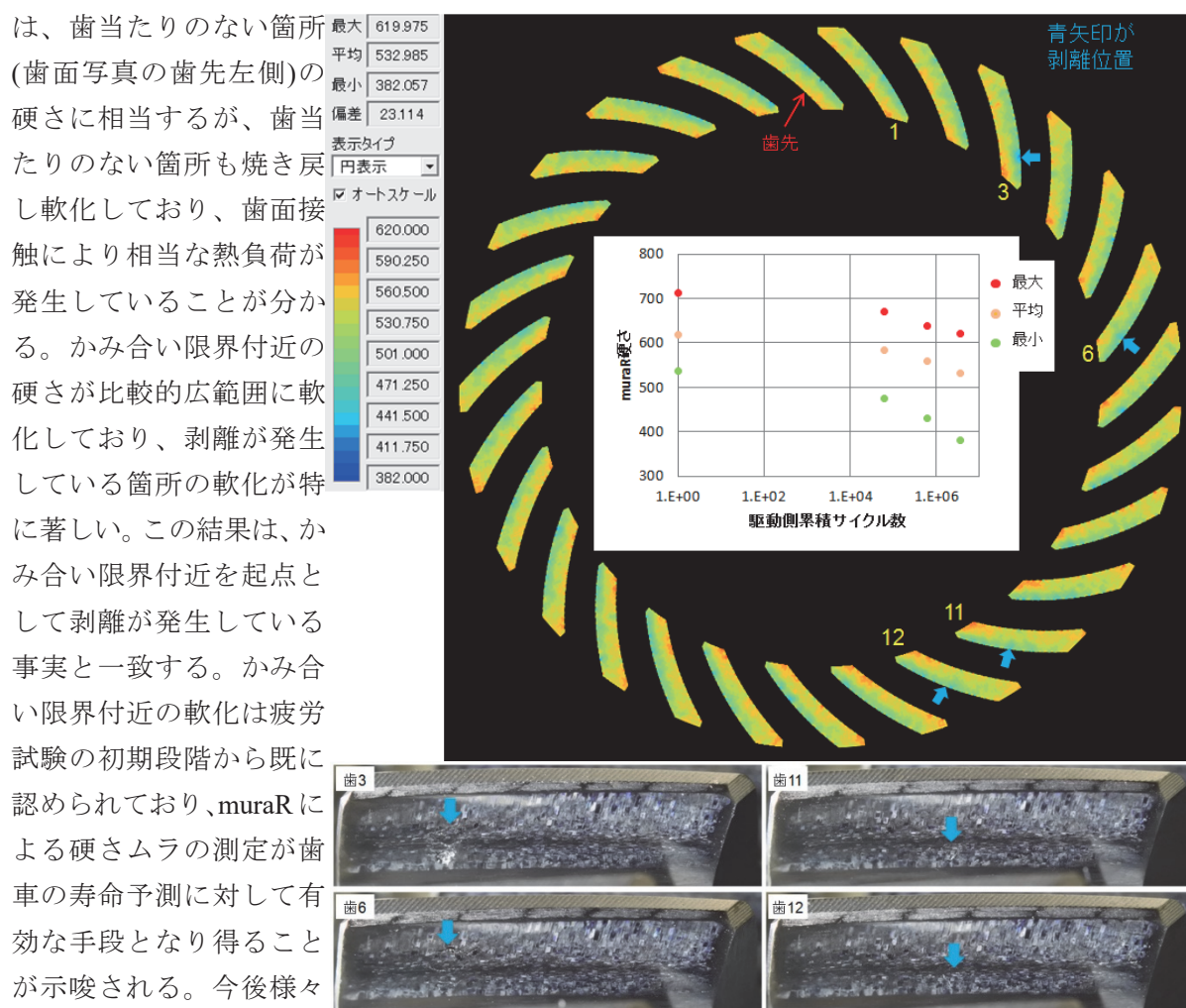


図2 浸炭焼入れした自動車用はすば歯車歯面の muraR 硬さ測定結果
(下部4枚の写真は剥離が認められた歯のデジカメ写真)

大強度粒子加速器標的材として採用可能な超耐熱タングステン合金の製造法に関する研究

材料評価・開発研究室 長江正寛

1. 目的

宇宙の起源や物質生命科学の解明を目指す大強度高エネルギー陽子加速器では、J-PARC COMET 第二期計画、J-PARC MLF 第二標的計画、米国フェルミ研究所 Mu2e 計画、欧州 ESS 中性子源計画などに代表されるように、中性子発生源である標的材料として高融点金属の一つであるタングステンが期待されている。高エネルギー陽子が標的材料に衝突する際には大きな熱が発生するため、標的材料には耐熱性や熱衝撃耐性も要求される。しかしながら、容易に調達可能な純タングステンは、高温に曝されると再結晶化による脆化が起こるばかりでなく、高エネルギー陽子の照射による照射脆化の課題も抱えている。

本研究では、東北大の栗下らにより開発され、高エネルギー加速器研究機構に引き継がれた高強度・高靱性 W-TiC 合金の作製法を更に発展させることによって、従来の試作 W-TiC 合金よりも耐熱性に優れ、再結晶脆化・照射脆化の課題を解決し、従来の純タングステンと比較してビーム受入強度を飛躍的に高める W-MC 合金(MはTi、Zr、Ta等)を完成させることを目的とする。本年度は主としてアーク溶解により作製した W-Ru-TiC 系合金について種々の組織観察を行った。

2. 成果の一例

図1に W-20Ru-1.2TiC アーク溶解材の典型的なデンドライト状組織の SEM 写真の一例を示す。色が薄い相が冷却過程において最初に晶出する初晶(BCC相)であり、最も濃い灰色の部分は Ru リッチな最終凝固相である。BCC 相と最終凝固相の間に BCC 相を囲むように存在する相は包晶反応によって生成した σ 相である。アーク溶解材は場所によって凝固組織が大きく異なっており、包晶反応によって BCC 相が全て σ 相に変化している箇所も存在した。BCC 相の中に微細な σ 相や HCP 相が析出している

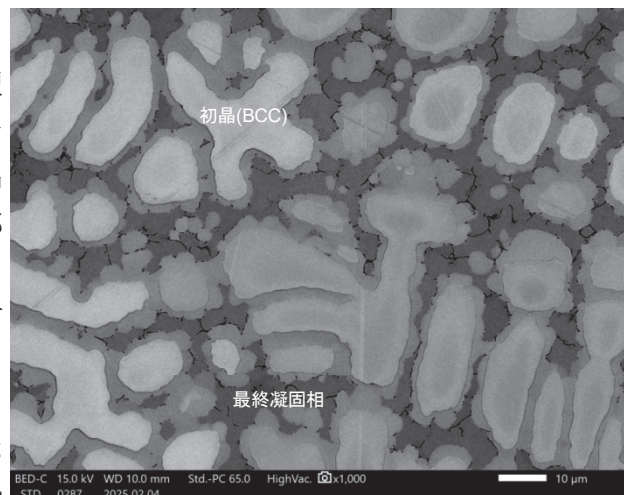


図1 W-20Ru-1.2TiC アーク溶解材の SEM 写真

箇所もあり、場所によって冷却速度にかなりの差があることがわかった。本研究は株式会社サンリックと高エネルギー加速器研究機構が共同事業管理機関である Go-Tech プロジェクト(次世代パワー半導体産業に貢献する革新的な高融点合金及び加工法の開発)へアドバイザーとして参画する中で行った組織観察であり、事業は令和8年度まで継続される予定である。

3. 成果の公表

(1) T. Sakamoto, K. Yoshida, S. Makimura, H. Noto, E. Wakai, M. Nagae, H. Kurishita, "Fabrication of bulk-sized W-1.1%TiC alloy with helium bubble retention via powder metallurgical route incorporated with helium ambient mechanical alloying", Vacuum, Volume 228, October 2024, 113482

報告書作成日 令和7年6月13日

◇ 特集 高度化する歯車製造技術 —歯車形状創成編— ◇

歯車製造技術の現状と今後

Today and tomorrow of gear production technology

久保愛三*
Aizoh KUBO

Key words : Gear, performance, production, cost and efficiency

1. まえがき

この世界で現実にかかる変化には不連続現象はない、**とい**うのが人間が歴史的に経験してきた事実である。いくらマスコミや政府が EV (Electric Vehicle), EV と叫んでみても、急に ICT (Internal Combustion Engines) 駆動の車がすべて EV に切り替わるはずはなく、徐々にしかその変化は起こって**いかな**い。歯車製造技術は 3000 年以上の歴史を経て、現在の形に**でき上**がったものであり、EV が流行ってきたから**とい**って、その製造方法が急に変わるはずがない。

2. 歯車製造法変化の動機

昔から使われている歯車であるが、18 世紀ごろから天文学者や数学者達が、共役歯形(等速運動を伝達する歯形)の研究に注力するようになって大きな進歩を遂げた。軽い力での滑らかな回転運動の伝達を実現するためである。産業の発展に伴い歯車量産技術も徐々に開発され、イギリスでの第 1 次産業革命とともに歯車生産が飛躍的に伸び、第 1 次・第 2 次世界大戦を経て、歯車性能ならびに生産技術が大幅に進歩した。円筒歯車では共役のインボリュート歯形が歯車の**ほとん**どを占めるようになった。ベベルギヤの世界ではインボリュート円筒歯車の理論とほとんど同時に、球面インボリュート歯形の共役歯車が**発**明されたが、その歯形を加工する工作機械を実現することが**でき**ず、非共役のオクトイド歯形で近似する歯車が実用化され、その状況が今日まで続いている。

歯車はその幾何学的形状精度が運転性能に直接影響を及ぼすので**と**くに高精度の加工が必要とされ、通常の汎用工作機械では作れず、専用の加工機械がその生産を受け持ってきた歴史がある。第 2 次世界大戦後、世の中が落ち着き、モータリゼーションが始まるのと期を同じくして、コンピュータ・情報技術が進歩して一般化し、また NC (Numerical Control) 技術も進歩して、今まで機構学の権化の**よ**うな構造であった歯車専用加工機が NC 駆動化されて歯車加工の世界が大きく変わった。

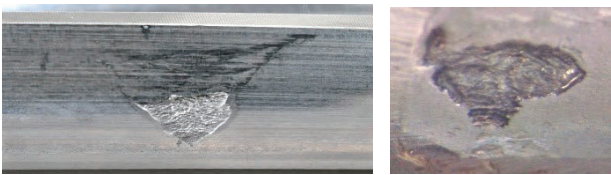


図 1 近年、浸炭焼入れ歯車で問題となる典型的損傷

昔、精密歯車の重要な用途であった計測機器の分野は完全にエレクトロニクスに取って代わられた。これからも、歯車が生き続けるのは、小形軽量高信頼性が要求される動力伝達装置の分野のみであろう。この分野では歯車を凌駕する代替え機械構成要素がなく、例えば、交通機関をうまく駆動するのに歯車が必要なことは今後とも変わらないと思われる。

歯車に求められる性能は昔からほとんど変化はなく、(1)伝達力に対し小形軽量であること、(2)軽く滑らかに回転運動や動力が伝達できること、(3)壊れないこと、(4)安く大量に生産できること、である。要請(2)は運用時の音振の問題であり、機械装置の周りに居る人に及ぼす環境的問題のほか、振動荷重の発生による歯車信頼性(3)に結び付いている。また、軽く滑らかに回るとは動力伝達効率が良くなり、装置の温度上昇が抑えられることにも結び付いている。要請(3)は歯車装置にとって基本的で絶対必要なものであるが、小形軽量の動力伝達が要請される中、対処を迫られることも増えている。要請(4)は人間の生活の便宜と産業の進展のためには不可欠のことで、**と**くにモータリゼーションの進展に伴い、飛躍的に進歩して今日に至っている。その結果、自動車用歯車の加工率や製造コストの進歩は恐らく限界に近いところまで行っており、向後、それほど大きな向上は難しいであろう。

歯車は小さいものから大きなものまで存在するが、その幾何学的かみ合い理論は歯車の用途や大きさに無関係で統一である。しかし、歯車の使われる用途と生産数、大きさが異なれば、その歯車を実用に供するための技術には大きな差が生じる。

歯車で最も多く生産されているのは自動車駆動用である。必要十分な性能を**もち**ながら安価な歯車を生産できる大量生産設備が導入されている。しかし、乗用車

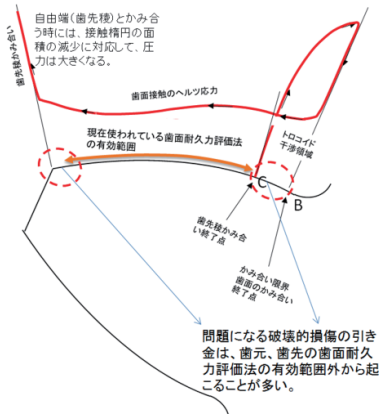


図 2 歯面上の接触応力分布

* (公財) 応用科学研究所: 〒606-8202 京都市左京区田中大堰町 49

が白物家電化・情報端末化してきており、歯車技術の進歩として特記するようなことは近年ない。EV 駆動用の歯車の生産も従来技術ですべて対応可能である。

一方、大形歯車の領域では、生産技術にかなりの変化が認められる。20 年ほど前から 5 軸制御マシニングセンタ(以下、5X マシン)の精度向上が目覚ましく、従来の歯車専用加工機と同等以上の精度で歯車を加工できるようになり、それほどの大量生産が求められる中・大形歯車の製造に一部使われるようになってきた。この動きの背景には、中形や大形歯車の専用加工機がその価格や納期の点から入手困難になってきたことや、工具の価格も高く、手配も容易でないこと、また、これらを取りまく **メーカサービス** が満足できないレベルにまで低下してきたことなどの影響がある。機械式の歯車専用加工機では工具の形態が固定されているため、最適緒元の歯車が加工できないこともあるが、5X マシンではその軛がなくなり、以下に述べるような、特別に高性能な歯車の実現も視野に入ってきている。

3. 歯車高性能化と製造法

現在の浸炭焼入れ歯車で一番典型的な損傷の一例を図1に示す。高性能な歯車とは、このような損傷を起こしにくい歯車である。図2はかみ合いの進行に伴う歯面上の接触応力の変化を模式的に示している。歯車は負荷を受けると歯がたわみ、回転遅れを生じる。歯車にピッチ誤差や歯形のバラツキがある時も同様である。そのため、新たにかみあいに入る被動歯車の歯先エッジがかみ合い相手の駆動歯車歯元歯面に衝突して刃物のように攻撃し、かみ合い始め部に歯筋方向の溝を作る。この溝の変曲点に、かみ込み異物が衝突して歯面剥離の起点を作りやすい。また、かみ合い終わりに歯が接触を外れるときには、駆動歯車歯先エッジがかみ合い相手の被動歯車歯元歯面を高接触圧力で擦り、大きな発熱が起こって高温となり歯面を損傷させる。これらは歯車の幾何学的かみ合い理論と現実の差であるトロコイド干渉の問題である。歯車は稼働中に、トロコイド干渉を起こさないような形状に製造されねばならないが、これは容易なことではない。図3に一例を示す歯車では、歯面中央部は高い負荷を受けもっているにもかかわらず、歯末歯面では荷重分担が極端に下がっている。それに関わらず歯先エッジは相手歯面を強く攻撃していた状況が見て取れる。図2のトロコイド干渉を起こして接触応力が高くなっている領域とそれに続く面と面が接触するところの歯面では、接触状態が連続しないことが上記のような現象の起こる原因である。トロコイド干渉を起こさないほど歯先修整量を増すと歯面の負荷を受け持つ面積が減少し、歯車の負荷能力が低下してしまう。現状の歯先修整設計法を使う限り、トロコイド干渉による若

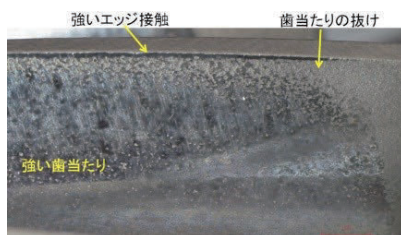


図3 歯面同士の接触とエッジの接触

干の歯元損傷が起こっても、歯面の荷重分担能力を落とさないようにした方が歯車トータルの動力伝達能力は高く保てる。

負荷による歯のたわみの悪影響を避け、歯車が滑らかに回るようにするため、歯形に歯先修整を施す技術は、現在の高性能歯車に不可欠である。例えばインボリュート円筒歯車の加工機においても、高精度にインボリュートヘリコイド歯面が作れるだけの加工機ではだめで、そこから任意の3D形状の偏差をもつ歯面形状が正しく作れる機械でない限り、現在要請されている音振性能と強度的信頼性を確保した歯車を製造できず、市場への参入も難しいのが現実である。

歯面の荷重分担を高く保ちながらトロコイド干渉を避けるには、歯先エッジの落とし形状を例えば図4のように指数関数的に滑らかに加工する必要がある。しかし既存の歯車専用加工機では、このようなエッジ加工は極めて困難である。一方、5X マシンでは歯先エッジ部も、歯面から連続した3次元曲面と理解して加工するため、何ら問題なくできてしまう(図5参照)。

従来の歯車専用加工機は動作歯面の幾何形状の加工のみを対象に開発されたため、工具は特殊な形状となっている。その結果として、例えば歯すじを任意形状に加工するようなことはできなかった。しかし5Xマシンではどんな歯すじ曲線の加工も問題ない。また、現用の近似歯形ベベルギヤよりも高性能に間違いないが、今までは機械加工できなかった球面インボリュート歯形のベベルギヤも、問題なく同一能率で加工できる。各歯のリードピッチを歯すじに沿って一定にすれば、ピニオンを軸方向から組付け、分解することも可能となる。従来のベベルギヤでは円筒形に切刃のついたカッターで歯切りをしているため、歯数によっては組立てや分解時にピニオンを軸方向に引き抜けないことが起こる。この状況を避ける歯車箱の構造設計が必須になるが、その問題が解決できるのである。また欧州で開発されたベベルギヤ^{1) 2)}では歯面形状が加工機とその加工条件のセッティングに依存しているため、歯面形状偏差の定義が難しい。JISやISOでもベベルギヤの歯形精度や歯すじ精度が規定されていないのもこれが原因である。したがって、歯車製作精度による品質管理ができず、歯当たりによる品質管理にならざるを得なかった。しかし球面インボリュートベベルギヤでは理論歯面形状が数学的に明らかで、歯形精度等の定義も容易であり、また、歯面形状修整などもインボリュート円筒歯車

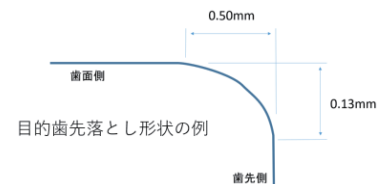


図4 歯先処理例

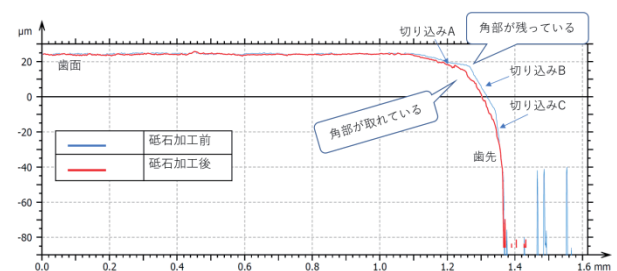


図5 5X マシンによる歯先処理

と同様にできるので、歯車精度による品質管理が可能となる。

接触面の疲労強度や接触面における摩擦損失には、歯面の粗さが大きな役割を持っていることがトライボロジー研究で明らかにされている。これらのトライボ屋さんの研究成果は歯車屋さんの心を大きくつかみ、歯面粗さを可能な限り小さくする努力がなされている。しかし、表面粗さ極小化による歯面負荷能力の向上は、トライボ屋さんの基礎実験の成果程にはならないようである。その原因は、これら基礎研究はディスク試験などの学術的実験装置で行われたのに対し、歯車の運転状況には以下のような特殊性が存することにあると考えられる。① 現実の歯車の運用中には、潤滑油中にかなりの異物が混入するのが避けられず、いくら潤滑油管理を厳しくしても運転後の歯面には多くのスクラッチングが認められるように、歯面では常に異物のクラッシュが起こっている。② 歯車の歯面はかなり狭い有限広さで、エッジが存在し、接触が連続的でないうえ、動力伝達時にエッジが接触することも多い。③ 歯がかみ合いを始めてからかみ合いを終わるまでの時間は非常に短く、歯面の潤滑状態は常に過渡現象の状態にある。④ 接触線上に不可避免的に存在する歯面の幾何学的形状偏差が、かみ合いの進行に連れての接触線の移動で変動するので、接触線上の各所では局所的に正負のスクイズアクションが常に起こっている潤滑状態になっており、真の潤滑油膜厚さはEHL (Elastohydrodynamic Lubrication) 理論式が示す値とはかなり異なっているはずである。

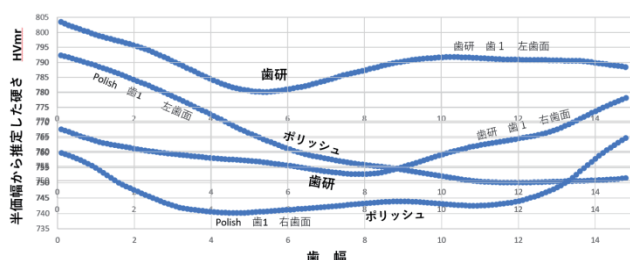


図6 ねじ状砥石による歯研とポリッシュ歯面の硬さの差
(m6, z21, b15, SCM420 浸炭焼入平歯車の歯筋方向)
X線回折半幅幅測定

このような状況にはあるが、歯面粗さの向上はある程度の歯車性能向上の効果をもたらしている。ただ気をつけなければならないのは、歯面粗さ向上法の影響である。たとえばゴム系の弾性体の中に砥粒を分散させた弾性砥石による歯面ポリシングでは、歯面粗さは良くなるものの歯面硬度はわずかに低下していることがある(図6)。恐らく弾性砥石が歯面を擦ることによる摩擦発熱で、加工時に歯面温度が上昇することが原因であろう。この歯面硬度の低下が粗さ減少による歯面耐力向上の効果を打ち消すことも考えられる。ネジ状砥石による両歯面同時研削では、円筒研削のように研削速度と砥石フィード速度の組合わせを最適化することはできず、砥石の歯溝への入側と出側、表歯面と裏歯面の各所で研削条件が異なる。それにより、歯面の各所で硬さは若干異なるようである。しかし、X線回折の結果は表面から8μm程度の深さにあるフェ

ライト結晶のひずみ情報であり、より深いところの材料の状態を示すものではない。このような極表面に近い材料の状態が歯車性能に有意な影響を及ぼすか否かについては、向後の研究にまたねばならない。

4. 5X マシンの歯車加工高能率化

5X マシンには大きな問題がある。加工能率の低さで、十分な精度の歯車を作るには、従来の歯車専用加工機の数倍の時間を要する。その理由は、重切削能力で歯車専用加工機に劣ることのほか、従来の専用加工機では歯車を連続回転運動させて、歯溝の両側すなわち両歯面を同時加工して加工能率を上げるものがほとんどであるのに対し、5Xマシンでは必ず一歯溝毎の片歯面加工になることである。とくに歯数の多い大歯車の加工時間が問題で、これを短くする必要がある。

昔の歯車は回すとギヤーと大きな騒音を発するものがほとんどであったが、近頃の乗用車用歯車などは、動力を伝えて回っているのかどうかかわからないほど静かになった。このような歯車が製造できるのは、乗用車の音振性能が商品価値に大きく結びついたため、モータリゼーションの進行とともに集中的な解決努力がなされた成果である。静かに運転できる歯車の設計方法はインボリュート円筒歯車で以下のように開発された。まず、駆動歯車と被動歯車おのおののにつき、現実歯面が理論共役歯面からどの程度の形状偏差をもつかを求め、それを作用面の上で足し合わせたもの(合成誤差曲面)を作る。この合成誤差曲面が、負荷時の駆動歯車に対する被動歯車の回転遅れの微細な変動や歯に発生する応力や摩擦発熱を解析する基本となる。すなわち、歯車緒元が固定の場合には、合成誤差曲面の形状が歯車性能を支配している。高性能歯車の設計は、この合成誤差曲面の形状を調整して、歯車性能を最適化する作業である。最適性能をもたらす合成誤差曲面形状が決定されると、それを2つに分解し、その各々を駆動歯車と被動歯車の歯面修整形状として与えて、歯車を加工する。この合成誤差曲面の分解は、偏差振幅がそれほど大きくない限り、どのようにしても、歯車の運転性能は変わらないので、最も加工が容易

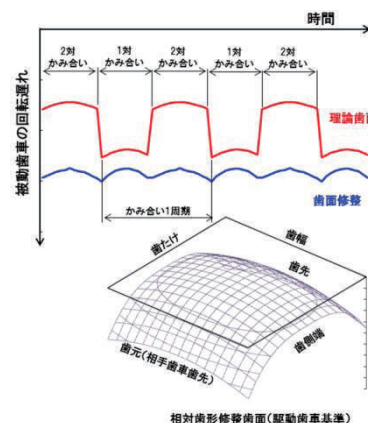


図7 合成誤差曲面による低振動化技術
になるように、駆動歯車と被動歯車各々の修整歯面形状を決定するのが通例である。この原理は、加工能率の点で問題を抱えていた5Xマシンでの歯車加工に光明をもたらすも可能性がある。

歯車の正面歯形は図8に示すように、歯数が多くなるほど、

ラック歯形、すなわち直線歯形に近づく。歯数のちよつと多い歯車では、正面歯形の中凸程度は直線から80 μ m程

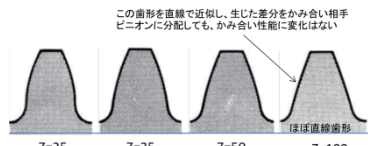


図8 正面歯形の直線への漸近

度以下になるのが一般的であるので、この程度の量ならば、大歯車の歯形を直線にし、それで発生した形状偏差を上述の合成誤差曲面の概念から小歯車に分配すれば、正常な歯車対と全く変わらない性能のものが**できる**はずである。5Xマシンで歯面形状を加工する**とき**、正面歯形が直線のもとと曲線のものでは、加工パス数が大きく異なってくるので、直線歯形の大歯車の加工時間は大幅に短縮**できる**。また、より高能率加工が**できる**ギャッシュミル型の円盤カッターの採用も容易になる。この大歯車とかみ合う小歯車の方は、歯面形状修整量が80 μ m弱増加するだけなので、このしわ寄せを受ける前と全く同じ能率で歯の加工をすることが**でき**、トータルの歯車対加工能率を高く**できる**。

5. 歯先エッジの軟化技術

歯面のかみ合いはピッチ点から離れるに従い、接触歯面間に滑りが発生し、パワーを伝達する歯面材の体積が相接する歯末歯面と歯元歯面とで異なってくる。歯面の損傷の発生確率は応力を受けた**とき**に材質中に発生するダメージの密度に関係すると考えると、歯末歯面に比べて歯元歯面はこの応力を受け持つ体積が小さく、弱いことになる。基礎円近くでは応力を受け持つ体積はゼロに近づくのでダメージの密度は無限に大きくなり、損傷は必ず発生することになる。歯車の最大ユーザーである自動車がEVを指向し、その駆動用歯車装置には、**とくに**高回転速度、高減速、小形、軽量、が要求される。高減速でギヤオックスの体格を小形化するには、ピニオン歯数を少なくするしかないので、どうしても駆動ピニオンは基礎円近くの歯面を使うことになり、この歯元歯面損傷問題に対する対処が重要となる。

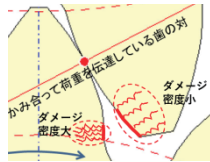


図9 歯元と歯末歯面の被害密度差

動力伝達用の歯車は長年の経験から、ほとんどの場合、浸炭焼入れをして使用される。歯への炭素の浸透は高温の炉中での熱拡散によるので、雰囲気広く接触している歯先には炭素が入りやすく、歯元歯面には入りにくい。その結果として一般に、歯先エッジの硬さが歯元歯面の硬さより高くなる傾向があり、大モジュールの歯車では歯元歯面の硬さが歯先に比べて70%以下になっている例もある。m=4mm、b=20mmの浸炭焼入れ平歯車の歯面にX線を照射して得られる回折反射光のデバイ環の半価幅の分布例を、**図10**に示す。半価幅と硬さは一般に良い正の相関関係があるので、炭素の入りやすい歯先や側面は十分硬化され、炭素の入りにくい歯幅中央部歯元付近は硬度が出ていないことが認められる。

このような硬い歯先エッジが、重負荷運転時には相手歯車

の軟らかい歯元歯面をトロコイド干渉で攻撃し、また、歯元歯面材のダメージ密度は常に歯末歯面より高いので、歯元が損傷するのは当然である。理想の歯面硬度分布は、歯元歯面に比べて歯先、**とくに**エッジの硬さをかなり低い状態にすることであるが、これは自然に起こる状態ではない。

この状況に対処するものとして、高周波加熱を利用して、歯先を局所焼戻しする技術が現在開発されている。1歯1秒以下の時間で処理

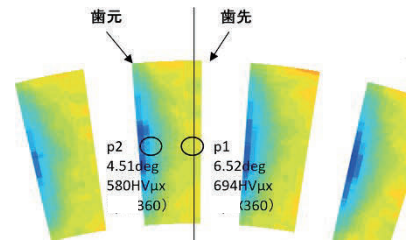


図10 浸炭焼入れ歯面の硬さ分布

理できるので、自動車用のような大量生産の歯車に対しても、製造ラインの中で歯先エッジの軟化処理のできる可能性がある。歯先の局所焼戻しをした前述の平歯車の一例を**図11**に示す。歯のエッジの硬さはかなり低下しているが、動力を伝達する主体の歯面の硬さには変化の**ない**のが認められる。**図12**は予備実験で m=2.5mm、b=12mm の平歯車の歯先を焼戻した結果である。歯面の硬さが歯元から歯先に向かって**一様の低下**しており、歯車の歯面状の硬さ分布状態はかなり良い状態に近づいているのが認められる。

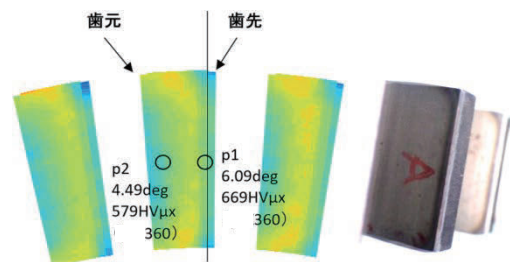


図11 歯先軟化処理後の歯面の硬さ分布

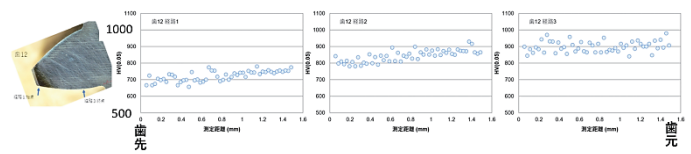


図12 歯先軟化処理後の歯面の硬さ分布(小モジュール歯車)

6. あとがき

現在、小形歯車の大量生産技術に大きな変化はないが、歯先エッジ局所焼戻しの効果は出るかもしれない。一品生産の中・大形歯車の生産技術は、5Xマシンの参入で大きな変化を起こしつつある。5Xマシンで生産能率良く、高性能歯車を作る技術の熟成が求められている。

7. 参考文献

- 1) Gleason: <https://www.gleason.com/jp/facts-and-news/about-gleason>
- 2) Klingelnberg: <https://klingelnberg.com/jp/>
本稿についてのより深い理解のため、参考文献を掲げる。
- 3) 久保愛三, 森川邦彦: 歯車屋の見た世界, 三栄(2023)。

歯車事情

—— 基盤技術維持のための再考 ——

日本機械学会誌 2024 年 12 月号 pp24-25

我が国の産業を支える基盤技術の維持に向けて、
講義内容が縮小された科目の重要性と位置づけを再考・提言する

日本機械学会名誉員、(公財) 応用科学研究所 理事長 久保愛三
専門：機械工学、機械装置、歯車トラブルシューティング

近年の歯車設計について

この 50 年で歯車設計の環境は電腦ソフト化し、歯車の基礎や加工原理も理解されないまま、ボタンを押せば答えが出て来、加工機も NC 化されて熟練技術をあまり必要としなくなった。そのため、問題が発生した時にはどう対処して良いのかが分からない状態が発生する。ある老練歯車コンサルタントの話では、「以前は、図面を持ってこられての相談もあったが、最近はそのようなことも無くなった。今まで中核となっていた人達が定年退職され、技術の伝承が停止してしまったことがこの原因ではないかと訝られる。図面も昔の図面を CAD で綺麗にするだけの作業になった例が多い。古い図面はしっかりしたものが多いが、新しい図面は、漏れがあったり間違っていたりするものが結構多く、基本的設計ミスも修正されず新図面が作成されるのも一般的である。設計を外注に丸投げしている傾向も強いようで、外注先が上げ膳据え膳までしないと何もできない状況になっていることもある。」

しかし、このような状況に対する人材の育成が必要であると考えている教育関係者の割合は、全体としてはそれ程大きくない。時代（文科省、マスコミ）の要請による新しい科目（例：SDGs 科目、AI 関連科目、データサイエンス科目 etc.）の方がより重要と考える人が多く、歯車や機構学などの講義が弱体化しているところが多い。大学や高専の多くは、製図や実習等実技に関しても十分な時間が取れない上、大学の施設管理が厳しくなって時間外に残って図面を描かせることも許されない状況である。実験や機械製作等の実技が、財政面と安全対策の点から進められないことがあり、また、教員を募集しようとしても人材不足の上、教員採用時の論文業績至上主義による必要教育内容とのミスマッチの問題が良く起こる。講義のレベルも中位以下の学生にあわせる必要から、年々低下して来ている。昔は書店の専門書の棚に歯車や機構学の本が多くあったが、近年は専門書の棚が寂しくなり、自学自習も出来ない。日本の衰えを象徴しているようである。

効率アップの裏で技術力の低下も

振り返って今から 50 年以上昔の京大機械科を思い出すと、優秀な学生は麻雀ばかりをしていて大学にはほとんど出て来ず、卒業した。したがって、就職した時点では、基盤機械技術の知識はそれ程深くなっていたはずはなく、今の新卒者とあまり変わらないと推察できる。しかし、彼らが実業界で一流の機械技術者に育っていったことを考えると、就職後の各々の職場の環境、そこでの教育、自己研鑽が功をなしたものと断ぜざるを得ない。当時の会社には、歯車を良く知る先輩が身近にいて、ほぼ白紙の状態で入社した新人でも比較的短期間で一通りの歯車に関する知識を得ることができ、難しい技術課題に直面しても、社内のオーソリティがしっかり指導した。また、すぐ隣の工場で自分が設計した歯車装置が生産されるという環境は、抽象的になりがちな技術の世界を現実世界に繋ぎとめるのに非常に重要であった。しかし、図面担当、加工担当、組立担当、評価担当、、、のように仕事を細分化して効率アップを狙うようになり、担当範囲外は考えな

くなった。また、日本の経済成長とともに安価な海外製品を調達する流れが加速し、内製していた歯車装置の多くが海外からの調達品に変わった。購入仕様書作成は設計者の仕事であるが、歯車の製造現場を見たこともない設計者に満足な仕様書の書ける訳がなく、結局、何十年も前から代々受け継がれている過去実績から、一步も踏み出せないことになる。海外調達を含め、自社製造から購入品へ方針転換を図ったところから、生産現場は衰退し、生産技術が失われる。生産技術の裏付けの無い設計図や仕様書はかえって有害になる恐れがあるが、それを自覚できない技術者が育ってゆく。一旦内製から外部調達に方針が切り替わると、人材補給、設備投資がストップし、生産技術を中心に技術力が急速に低下し、これを復活させることは投資面（人・もの・金）で非常に難しい。

歯車装置の損傷、不具合について

近年の歯車装置には、小形、軽量、大伝達力・大パワー容量、高効率、低振動・低騒音が求められる。これらの性能を良くする技術は全て、すでに完成した歯車技術の上に立つもので、基礎を識る人材が不足する中では対処が難しい。戦後の日本復興期に鋼材の品質が急激に良くなり、少々強度設計を誤っても事故は起きなかった。このことを設計法の信頼性と誤解し、現有強度設計法の神格化が起こったのかもしれない。例えば歯面の耐久性の検討では、接触面の強さはヘルツ接触応力が支配しているという考えが聖典となっていて、その考えから抜け出て物理現象として現実の損傷を見ることが出来ない。図1は近年の重負荷歯車で頻繁に起こる歯面損傷であるが、この損傷の原因を歯面の接触応力が過大になった結果として処理する歯車技術者が多い。しかし本当の物理現象としては、①歯先エッジが相手歯元歯面を攻撃して溝状の摩耗を生じさせ、②かみ込まれた異物がそこに衝突して微細亀裂を作り、③それら微細亀裂が長い運転を経て進展して最終的な歯面剥離に至る経時的なものが大半で、剥離箇所の接触応力過大が損傷原因ではない。

また歯車の歯には、折れないための靱性と歯面の耐久力が求められるので、通常、浸炭焼入れされる。浸炭は雰囲気中の炭素が歯面から内部に熱拡散することを利用しているので、雰囲気に晒され難い歯幅中央部の歯元には炭素が入り難く、また冷却速度も遅いので、焼入れても硬さがエッジ近く程には上がらない。このような硬さ分布は先に述べたエッジ攻撃による歯面損傷引金となる微細亀裂の発生にも関係するはずであるが、誰もそれを言わない。既に完成したと信じている歯面強度設計の聖典にそんなことは書いてないからである。

歯車装置の振動や騒音の発生は状況がもっと複雑で、その対策は真摯に物理現象と向き合わねば達成できないものである。また、動力伝達効率の向上に向けての対処も同様である。



図1 自動車駆動用程度の小モジュール浸炭焼入れ歯車の歯面フレーキング損傷

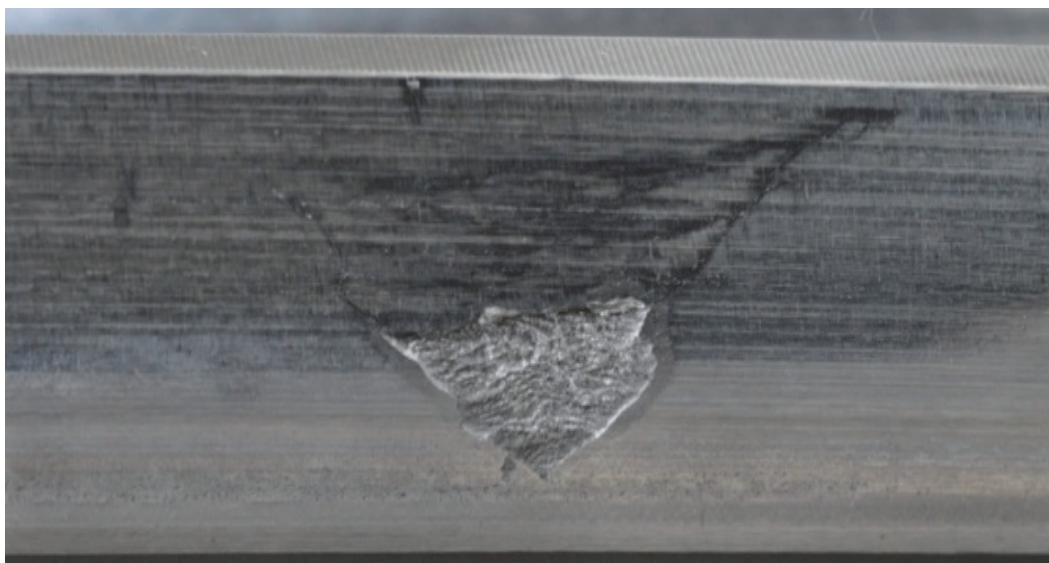


図2 中程度より大きいモジュールの浸炭焼入れ研削歯車の歯面フレーキング損傷

企業経営から見た歯車技術

企業の経営は利益を上げることが目的である。技術者の育成を含め、歯車技術を維持向上させてゆくのが非常に投資効率の悪いことは、技術を理解できない経営者でもすぐに気が付く。社長の多くは自分の任期中の業績に興味があるので、外注や外部委託でこの投資効率の悪い分野を切捨てられるのなら、先々の技術空洞化の恐れなどは無視して、経営はこの方向に進む。その意味で“日本の機械技術”を絶滅危惧種にしたのは短期的金勘定しかできない企業の経営者かもしれない。もっとも、企業経営者がこのような態度を取らざるを得ない原因には、グローバル化でサプライチェーンが全世界的に広がり、カタログ内容が同じならば、安いものしか売れなくなった経済構造の変化と、会社が競争に負けて潰れてしまったらどうしようもない現実がある。投機で効率的に金を儲けるのが善、働いて金を儲けるのは非効率で馬鹿、と言う博打打ちの論理が、現在、日本人の頭の大半を支配してきている状況もある。また、日本で若者が機械技術者になりたいがらない本当の理由には、機械技術者になって一生貧しく暮らすより、楽をして多くの収入が得られる職業に自分の子供を就かせたいという母親心があり、本人もそれを希望するためであろう。

本稿の参考に調査した資料の要約を巻末の参考資料に掲げるので参照されたい。

EV駆動系の歯車と信頼性

2025年1月15日

EV駆動用
ギヤボックス
の必要性能

- ICEとe-motorとの回転速度の相異を吸収する大減速比・高速歯車装置
- タイヤからの逆入力時の車両安全性を確保するための性能
- 車両への搭載性を保証する小形軽量ギヤボックス
- サスペンションの設計を妨げない左右出力カップリング部の幅の狭さ
- e-motorの出力増加などに伴う設計変更、改造製造を容易にする e-motor/TM のオフセット配置
- Range extender 設置を容易にするギヤボックスの3D形状
- 1. 強度的信頼性 2. 音振性能 3. ギヤボックスのパワーロス

Contents

1. EV駆動用歯車
2. 歯車の損傷の特徴
3. 歯車に向けた新技術



KBGT (Kubo's Gear Technologies)
京都大学名誉教授
公益財団法人応用科学研究所 理事長



久保愛三

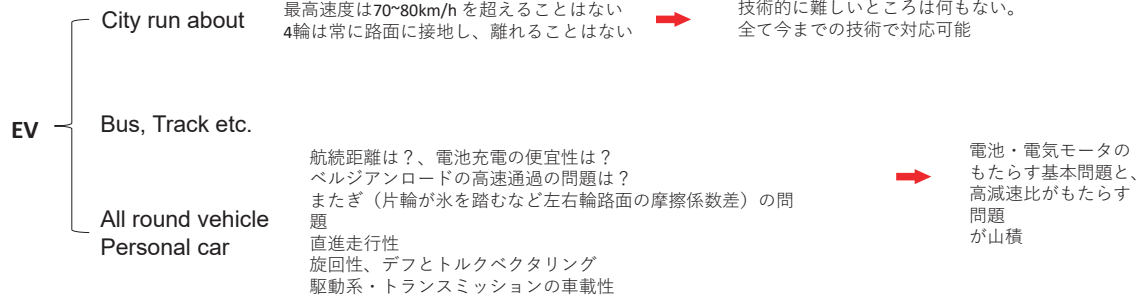
RC283 久保愛三 2010.10.15

EV駆動用パワートランスミッションの現状と課題

EV駆動用パワートランスミッションの **↓** バウンダリー・コンディションを明確に理解しておく必要がある。

目的は、いかに車輛を **まとも**に走らせられる駆動系を作れるか

まっすぐに走るか、スタートから最高速度まで、登坂、カーブの通過と操安性、路面状態に対する追従性、路面からの逆入力に対する挙動、故障しない、事故時の安全性、静粛性、製造コスト、維持費、エネルギー回収



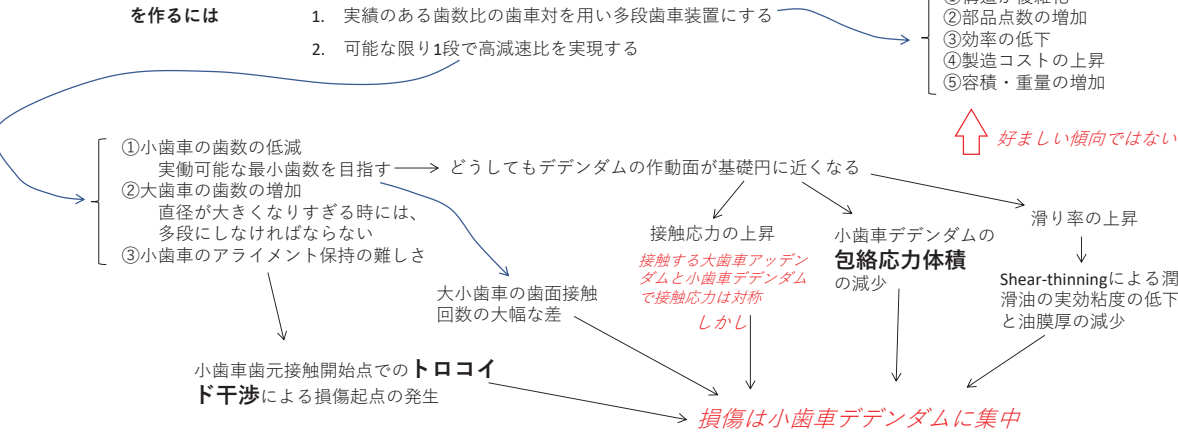
背景

- ・電動化は日本の自動車産業の危機
米国、欧州のBatteryEVシフトは、日本車潰し（トヨタHybridEV潰し）と言う経済戦争の側面が本質
- ・差別化が出来ないと、EVによるコスト競争が激化 → 日本の自動車業界の収益性が悪化
高収益性のEVをいかに作るか
ハイブリッドの延命ではなく、世界と同じ土俵での車の革新が必要
→ EVで世界をリードする革新的な車を作る必要がある
- ・EV化（電池の低床配置、モータ駆動）は、車両運動・走行安定性を向上させ得る
→ 素人が車を作っても、city run about では、そこそこのものができる
- ・低コスト化は中国の世界制覇を実現させる
- ・自動車のコモディティー化、ファッション製品化 → 運転に特別の技能を要しない
自動運転 に適している
- ・EV化によりトランスミッション等が無くなれば既存部品メーカーなどが疲弊
→ 日本の産業構造の基本的変化
日本は世界で経済の勝ち組に残れるか
- ・電池や磁石の素材は、地球上にひどく偏って存在している希少物質である。
→ これらは国際政治、経済戦争の戦略物資であり、単に技術だけの問題を大きくはみ出している。

高速歯車装置

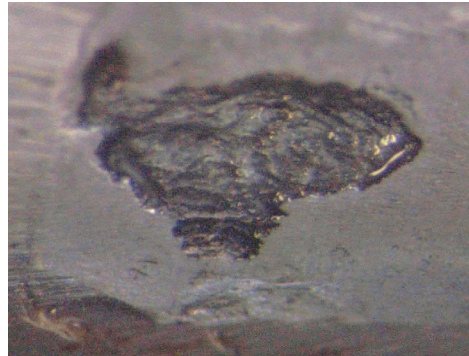
最高回転速度 100,000rpm、最大周速200m/s 程度の高速歯車装置の技術は今から30～40年前に完成している。しかし、それをそのままEV駆動用に使うことは出来ない。
EV駆動用歯車装置に許される、**大きさ、重さ、必要補機類、製造コスト**などの条件が異なるためである。

大減速比歯車装置



EV駆動用小形軽量大減速比歯車装置を実現するには、小歯車の歯元の損傷を防止する技術が不可欠である

自動車駆動用歯車で最も多い損傷形態



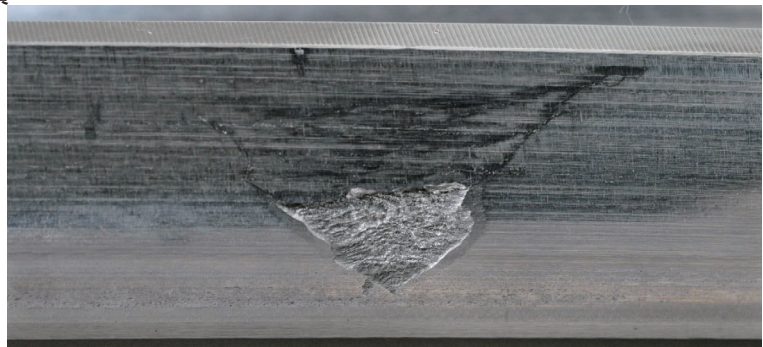
トロコイド干渉部からのサブサーフェスクラックと、相手歯車の歯側端と接触する箇所からのサブサーフェスクラックが合体して進展し、ケースクラッシュ上の大きな剥離になってゆく。



見てきたように、このケースクラッシュあるいはスポーリングは、剥離箇所の接触応力が過大であったことにより発生したものではない。

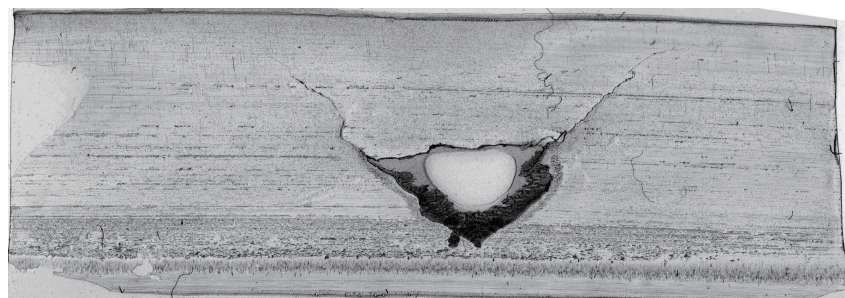
歯面のフレーキング → 歯の部分欠損

高強度材料を用い、高精度に仕上げた中形・大形歯車が、重負荷運転されたときに極めて特徴的な損傷



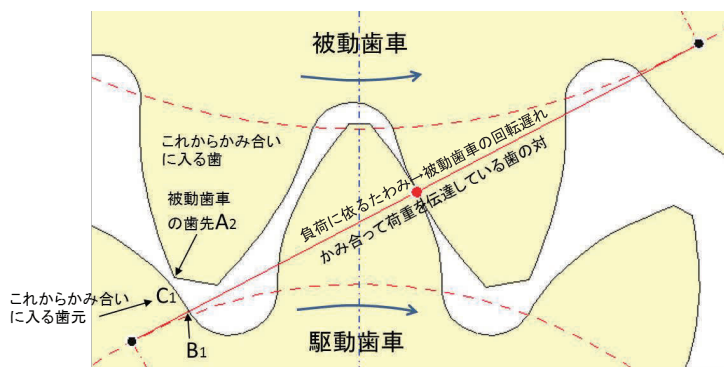
この損傷の引き金は？

トロコイド干渉の歯面上の長さはどれだけ？

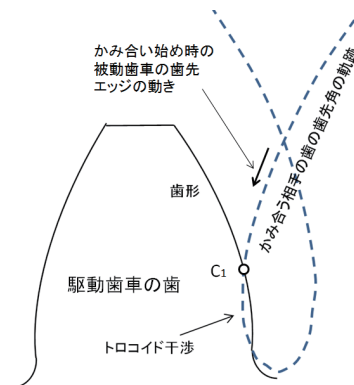


歯車強度の問題 従来、見逃されていた歯車損傷の大きな原因

歯面の耐力の検討に今までヘルツ応力とそれに関しての表面粗さと潤滑油膜厚さのみが考えられて来た。それで十分なのか？？

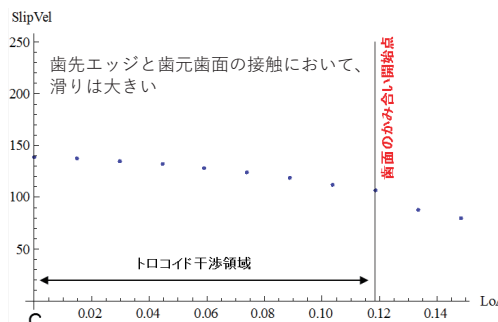
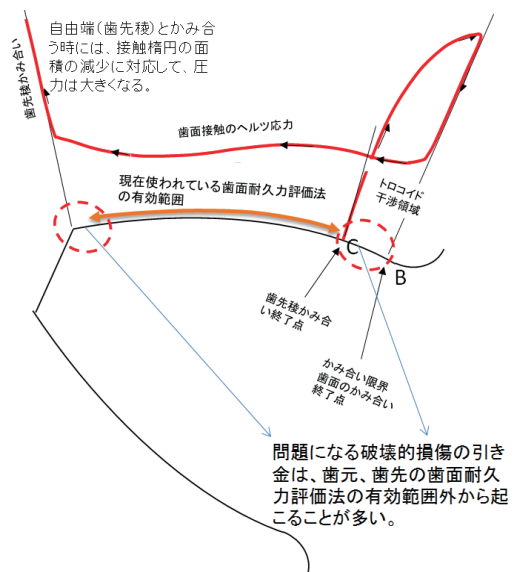


歯車の損傷のきっかけの多くは、歯先エッジが相手歯車の歯元を攻撃することにある

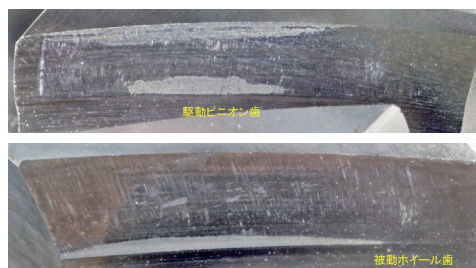


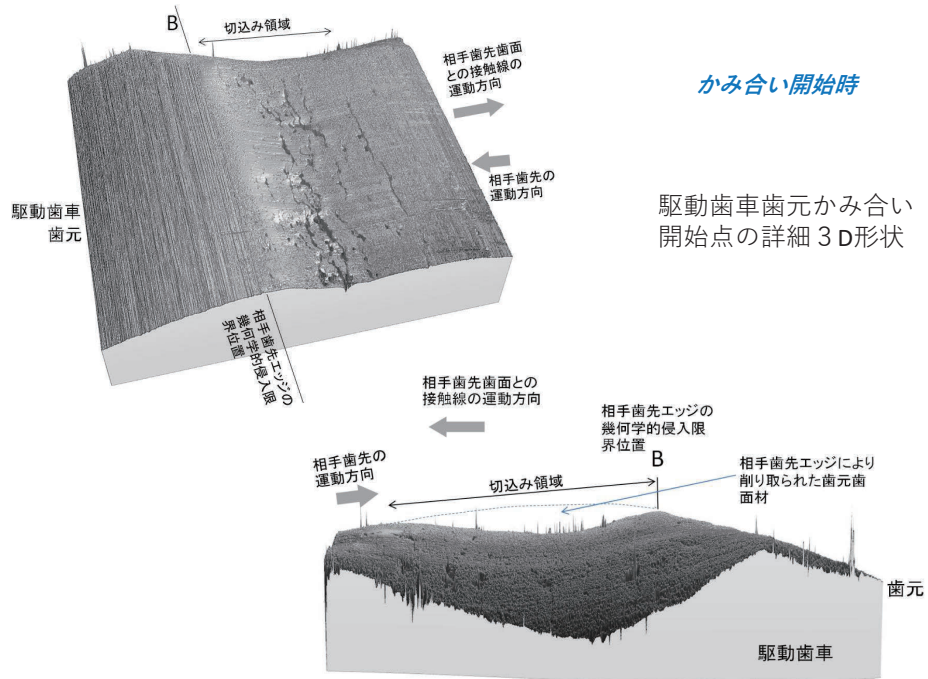
いわゆる、トロコイド干渉が悪さをしている

トロコイド干渉



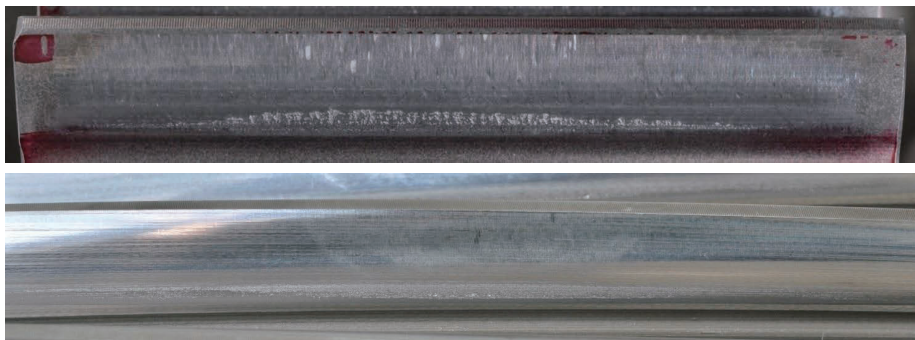
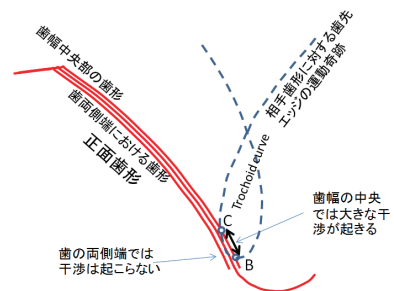
歯先種のかみ合い開始点



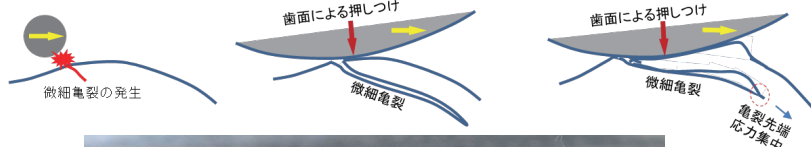


歯車は片当たりを避けるために歯筋にクラウニングを施すが、これがトロコイド干渉を引き金とするこの種の損傷の発生を容易にする。

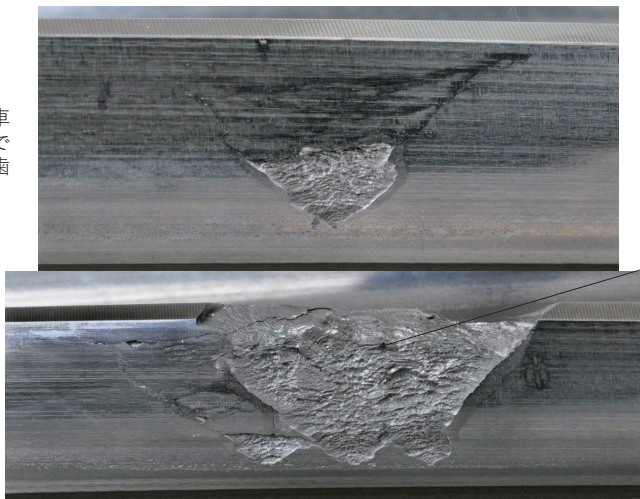
クラウニングで歯面が一番出張ったところでトロコイド干渉が最大となる。



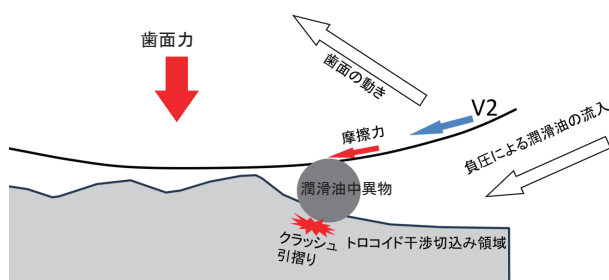
歯面剥離に至る亀裂進展のメカニズム



大形の浸炭焼入れ歯車で一番典型的な損傷であるフレーキングと歯の部分欠損



歯面が大きく剥離している箇所の接触応力は、別に高かったわけではない。また、この歯面剥離は疲労損傷ではない。



トロコイド干渉切込み領域と歯面とのつながり部に出来る角に摩耗粉などがクラッシュして歯面剥離の引き金となる。

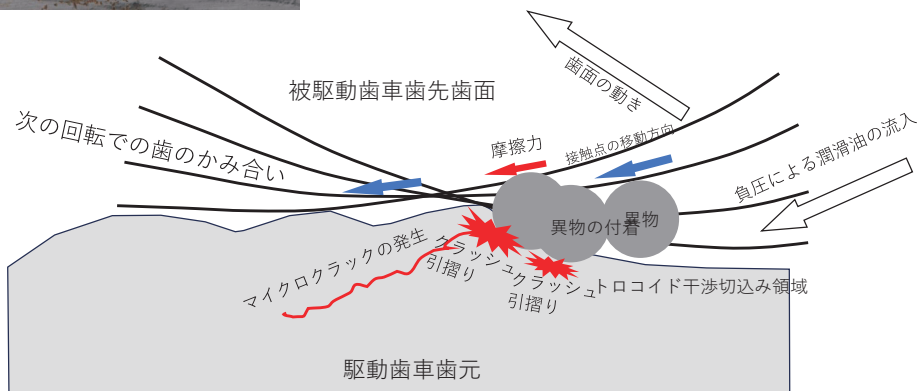
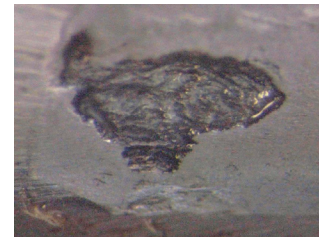


歯面剥離の開始点（剥離の扇形の要）の位置から下側に、異物をかみ込み時に引きずった跡がある。すなわち、かみ込み異物のクラッシュがこの剥離に至るクラック発生を引き金になったケースもかなりある。



かみ合い歯面への異物のクラッシュ

なぜ、変曲点の敵に
衝突するのか？

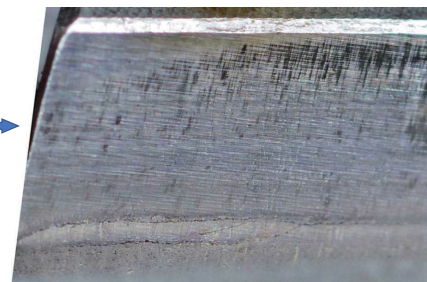
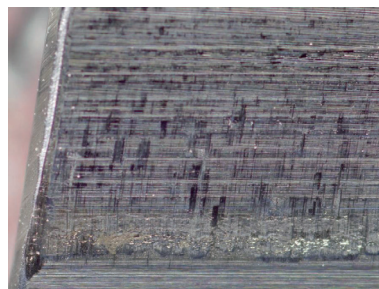


かみ合いはずれ時

被動歯車の歯元 駆動歯車の歯先エッジ近傍

トロコイド干渉は起こるが、エッジの運動方向が逆なため、歯元歯面への切込みは起こらない。その分、歯面の接触応力は高く留まる状態で高滑り接触し、大きな発熱を引き起こす。

潤滑状態が非常に良い歯車でも、トロコイド干渉域は熱的に攻撃されて材料の軟化が起こる

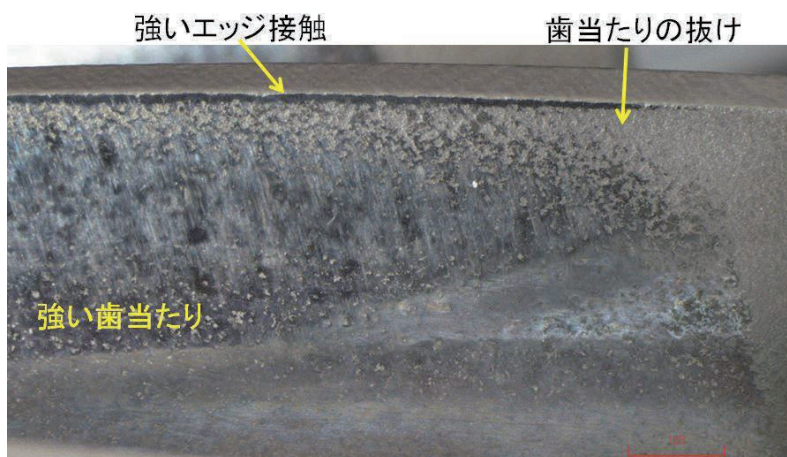


被動歯車歯元の熱的損傷

相手の駆動歯車歯先エッジ近辺は熱的に材料の欠落が起こり、これがエッジのチッピングに進展する。



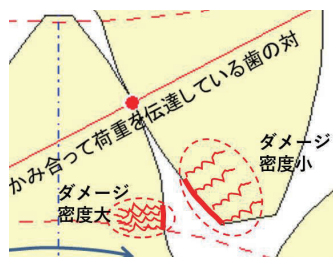
トロコイド干渉を避けるため、従来から教えられているような歯先修整をすると



歯先エッジの接触は残っているにもかかわらず、歯末歯面の荷重分担が先に下がり、負荷伝達能力が下がる。
解決するには歯先を指数関数的に落とさねばならない。

応力体積と歯面の損傷

大減速比の歯車装置をその体積を小さく保ったまま実現するためには、小歯車の歯数を少なくする傾向にあります。
すなわち、基礎円値近くの歯面まで使うようになります。
基礎円上ではかみ合う歯先歯面と歯元歯面及び歯面材質内部に発生する応力状態は対称で、当然ながらその最大応力値は等しいのですが、応力体積の比は無限大になります。



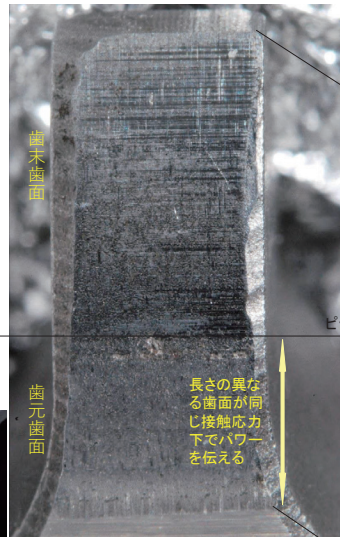
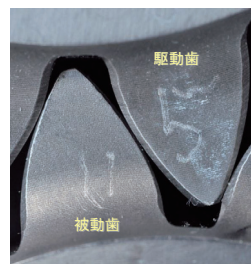
すなわち、
歯先歯面に比べて歯元歯面は限りなく弱いはずだがということが、ヘルツ応力の観点からではなく、応力体積の概念から導かれます。

EV駆動用の歯車装置は、高速、高減速、ギヤボックスサイズ・重量が極小、を要求されます。
解は、ピニオン歯数を少なくするしかありません。どうしても基礎円近くの歯面を使うことになります。

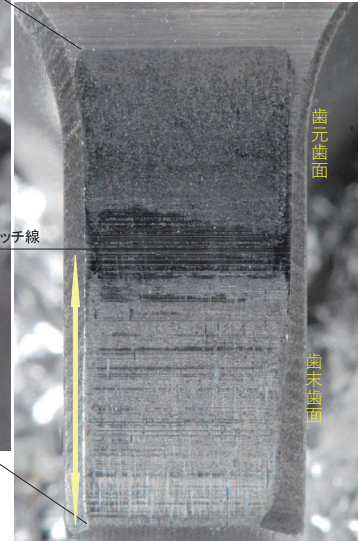
歯元歯面が弱い緒元の歯車装置の例 IAE歯車(スカフティング・潤滑油)運転試験機の場合

この写真は、かみ合う歯面の大きさをほぼ合わせて、
転がり円(かみ合いピッチ円)の位置を合わせて図示
したものです。

この歯車の歯面は、駆動歯、被動歯とも、デデンダム
は極端に摩耗・ピッチング損傷を起こしているにもか
かわらず、アデンダムは(歯先稜部を除き)、加工目
がほぼ完全に残っており、無傷と言ってもよい状態
です。かみ合うアデンダムとデデンダムは同じ接触応力
状態にあったにも関わらずにです。



両歯車には共に大きな正転位が与えられており、
パワーを伝える歯面は、アデンダムは大きな
面積であるのに対し、デデンダムは小さい。



長さの異なる歯面が同じ接触応力
下でパワー
を伝える

パワーを伝えるため応力を受け持つ歯面の材
質の体積(応力体積)は、かみ合う歯面長さの
2乗~3乗に比例するので、駆動歯面と被動歯
面には同じ接触応力が働くにもかかわらず、デ
デンダムの受ける被害が圧倒的に大きい。

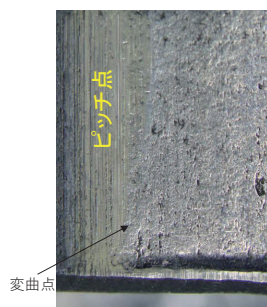
被動歯

駆動歯車歯元におけるトロコイド干渉の発生と斑裂摩耗領域の生成、フレーキングの発生

IAE歯車運転 試験機

このように接触応力の大きい方に広がって行き、トロコイド干渉の切り込み領
域は浸食されて狭くなって行く。
斑裂摩耗域の外の歯の中央側は高い接触応力のせいで、接触面が鏡面化し
て行く。
斑裂摩耗域と歯の中央側の境には高い接触応力のためにスポーリングが発生
することが多い。

斑裂摩耗域内の材質は表面疲労、表面下疲労がかなり著しい。



浸炭焼入れ歯車でも駆動ピニオンのデ
デンダムはこのように摩耗し、ピッチ
線から少し下の歯面に接触応力が極め
て高くなる変曲点を生じる

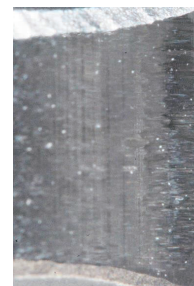


大接触応力剥離 デデンダム

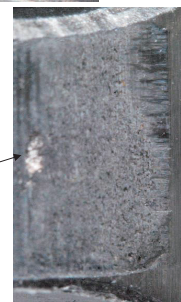


新品歯車のこの箇所の接触応力
が高くて剥離がおこったのでは
ない

大接触応力剥離



損傷は長い運転時間の経過によ
り経時変化としておこるもので、
ある一時点の応力値のみが原因
であることはまれである。



高強度材料を用い、高精度に仕上げた歯車が大負荷運転されたときに極めて特徴的な損傷

歯面のフレーキング → 歯の部分欠損

この損傷の引き金は被動歯車の歯先エッジがトロコイド干渉で、駆動歯車の歯元を攻撃することである。



トロコイド干渉を避けるには、クラウニングで歯面が一番出張ったところで歯先の落ちの修正量が最大となる様な3D歯先落としが必要である。しかしこのような3D歯先落とし加工の出来る歯車専用加工機はない。

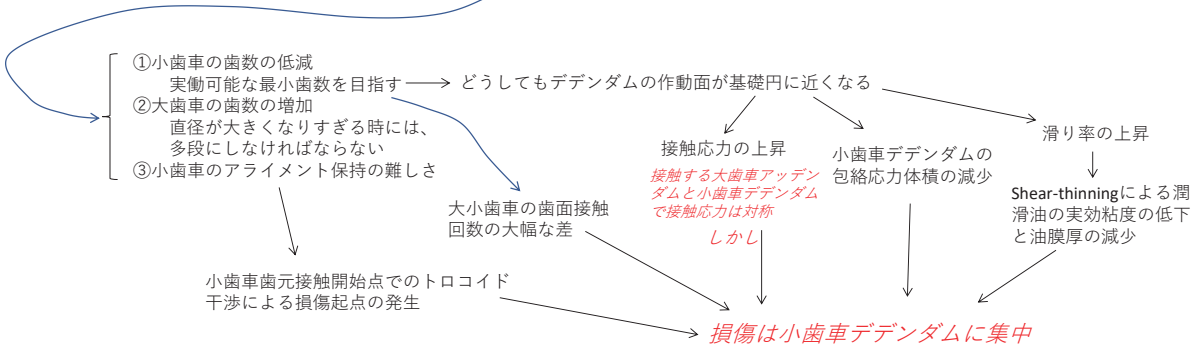
5Xマシンで歯面を削りだす時には、歯面形状の延長として歯先エッジ近傍歯面の形状データを与えれば、トロコイド干渉を起こさず、また歯面の負荷能力を下げることなく、歯先落としが可能となる。

この手の損傷原因の回避法

- I. トロコイド干渉を回避する、大歯車歯先修整・エッジ落とし
歯筋クラウニングを持つ歯のトロコイド干渉を避けるには、歯筋方向に歯先エッジの落とし量を変化させる3D歯先落とし加工が必要である。
- II. 大歯車歯先エッジの軟化処理
歯先エッジの高周波局所焼き戻し技術の開発

大減速比歯車装置を作るには

2. 可能な限り1段で高減速比を実現する

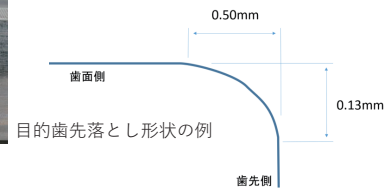
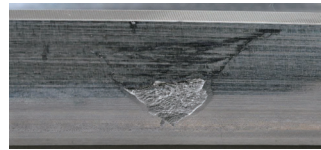


小形軽量大減速比歯車装置を実現するには、小歯車の歯元の損傷を防止する技術が不可欠である

その技術とは

- I. トロコイド干渉を回避する、大歯車歯先修整・エッジ落としの技術
- II. 小歯車デデンダムを傷めないように、大歯車歯先エッジ・上部アッデンドラムの硬さを低下させる技術

単品生産歯車での対処

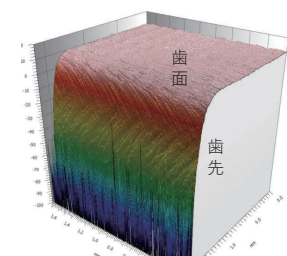
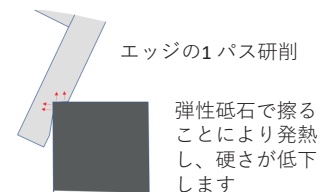
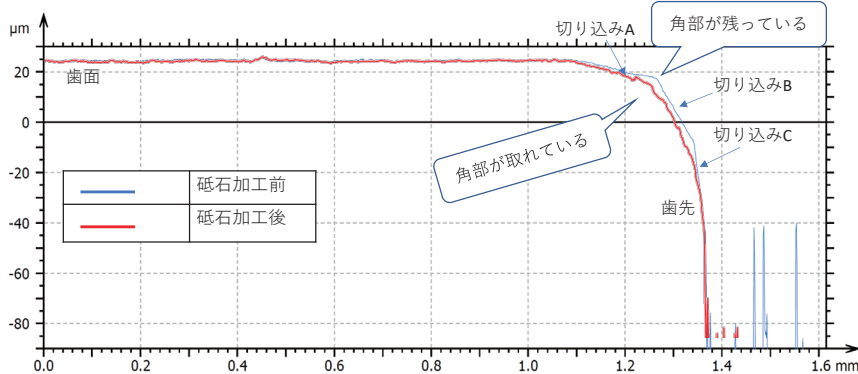


5軸加工機による歯先エッジ落とし加工の実際

① ミリングによるエッジ荒加工

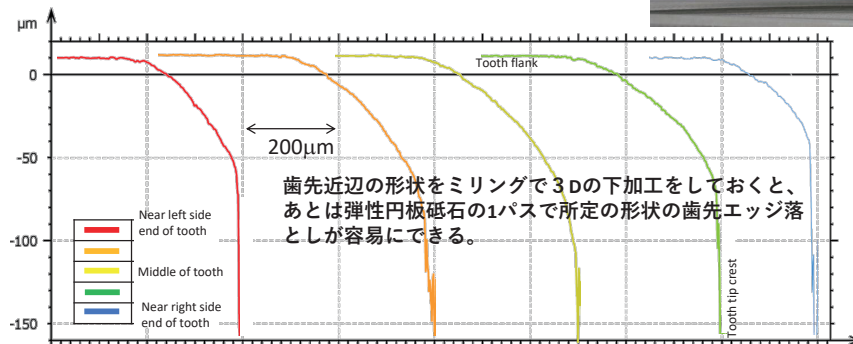
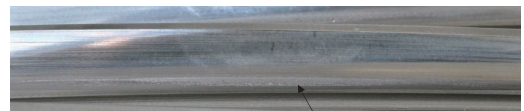
歯先部に残留する歯面変曲点が第二の歯先エッジの働きをして悪さをする。
これを滑らかにしなければ、歯車の長寿命化は達成できない。

② ソフト砥石による研磨

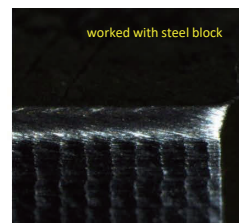
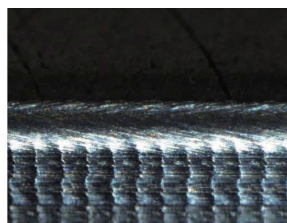
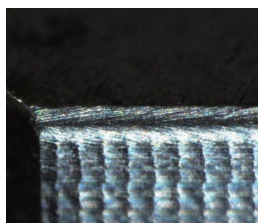


歯筋方向の歯先エッジ 3D 落とし

歯筋クラウニングを持つ歯のトロコイド干渉を避けるには、歯筋方向に歯先エッジの落とし量を変化させねばならない。



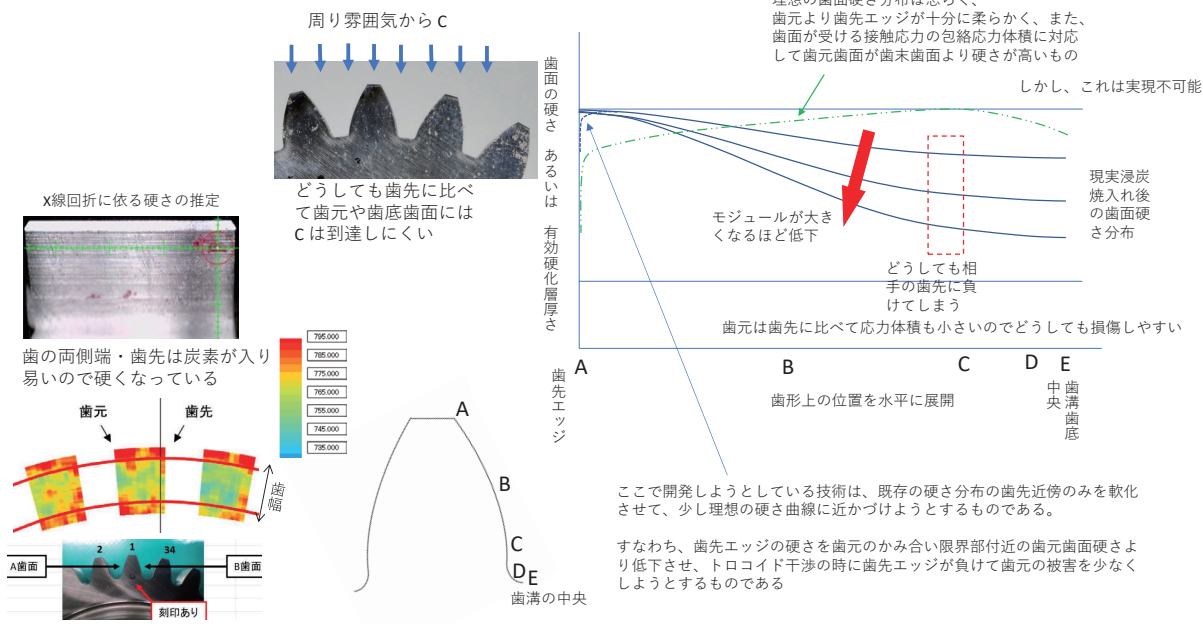
この写真のような歯筋クラウニング形状に対応するトロコイド干渉歯元損傷を回避する手段



このような歯先エッジ部の3D落としができる、浸炭焼入れ歯車の損傷の大半を占める歯面剥離・部分欠損損傷を大幅に減ずることが出来る。

rias-X1、X2 プロジェクトの成果

浸炭焼入れ歯車の歯面硬さの歯形に沿う変化と理想の形

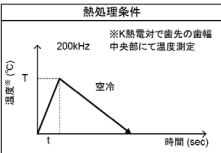


2. 試験片と処理条件

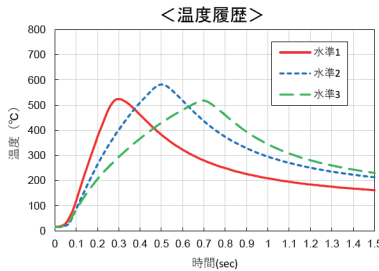
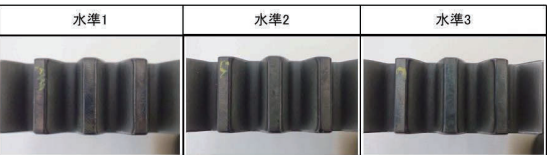


試験片(処理後)	
水準1 (10分焼入れ)	水準2 (10分焼入れ)
水準3 (10分焼入れ)	

<歯車諸元>	
モジュール	4.0
圧力角	20°
歯数	40
基準円直径 (mm)	φ 160
歯先円直径 (mm)	φ 167.2

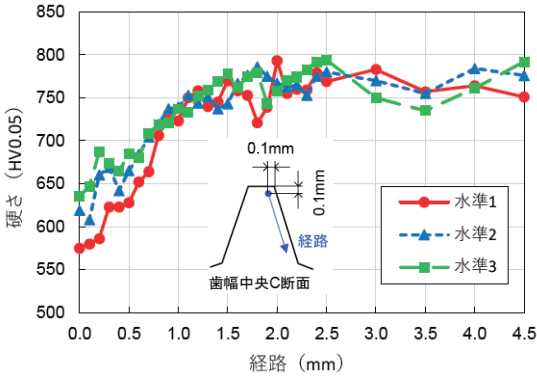


RC293の歯車の
歯先エッジ、歯末面の焼戻し
処理はネツレンで



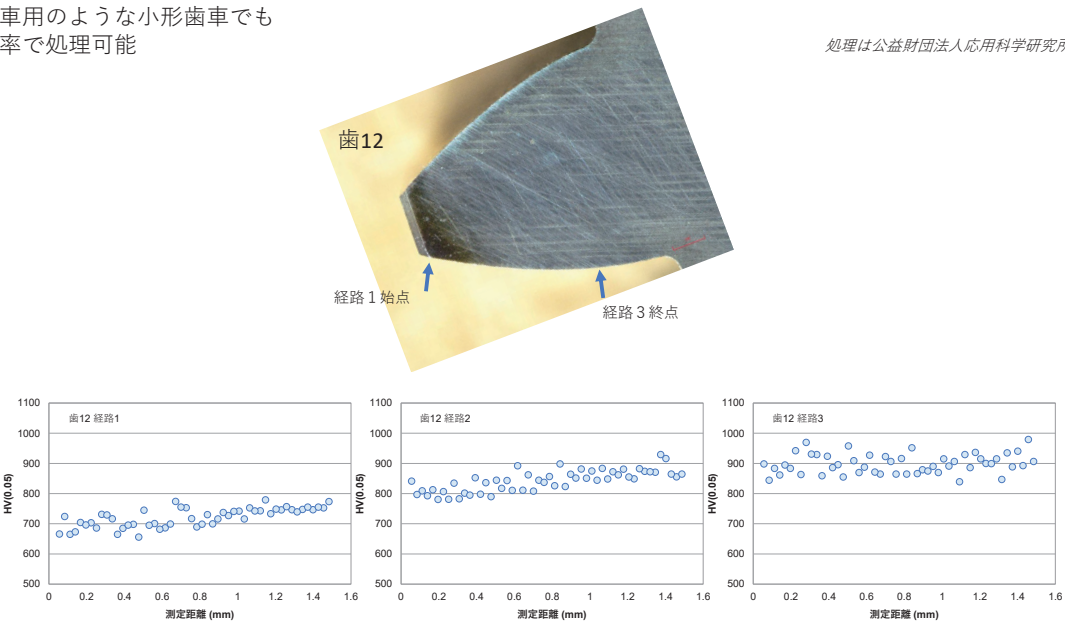
水準	加熱時間 t (sec)	投入電流 (A)	温度 T (°C)
1	0.3	450	524
2	0.5	358	577
3	0.7	300	518

一歯の処理時間は 1 sec.を下回るの
で、自動車用と言った量産歯車の
処理にも対応可能



自動車用のような小形歯車でも
高効率で処理可能

処理は公益財団法人応用科学研究所で

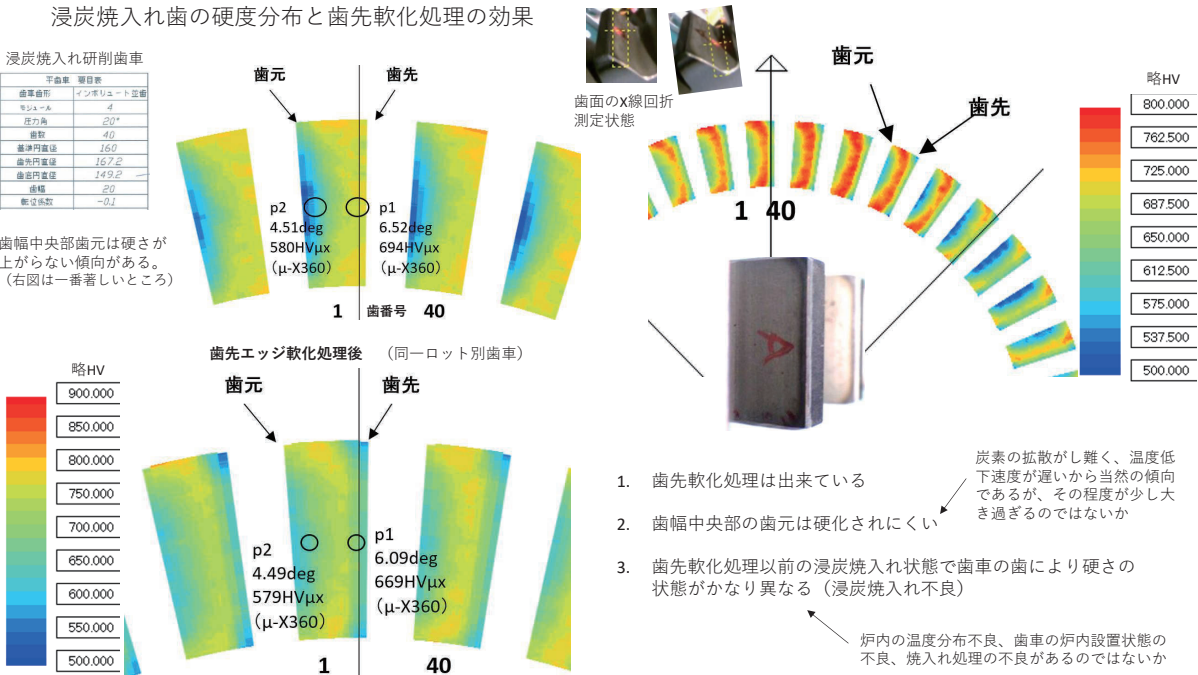


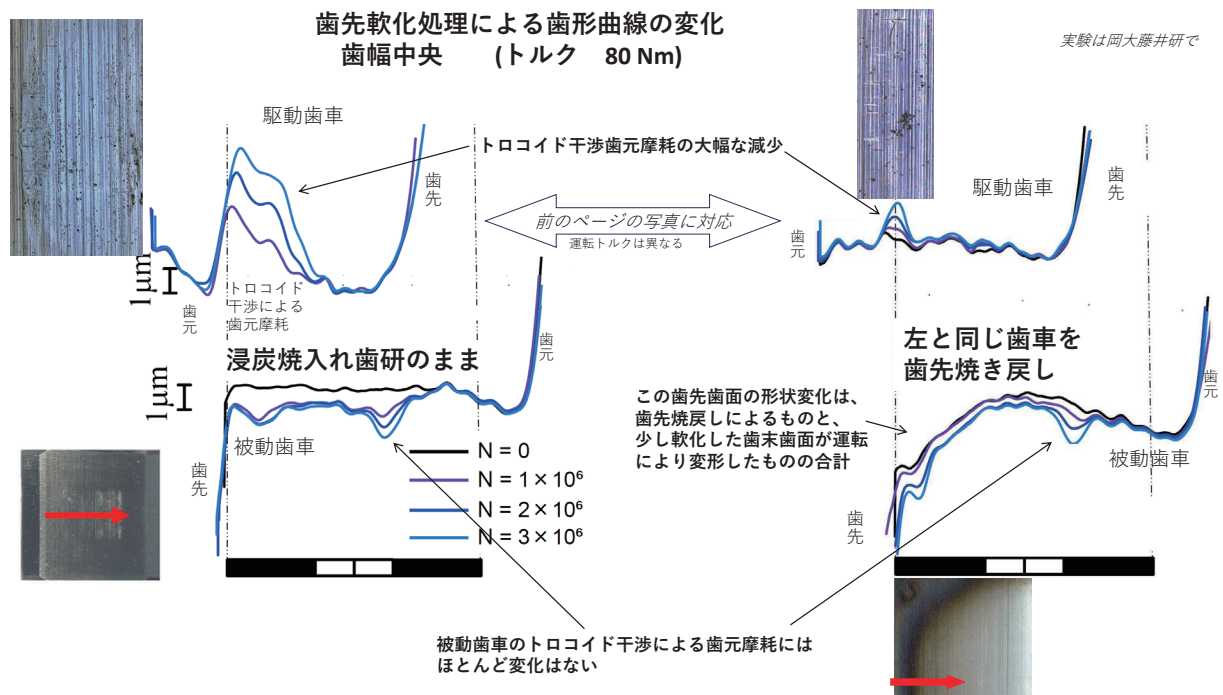
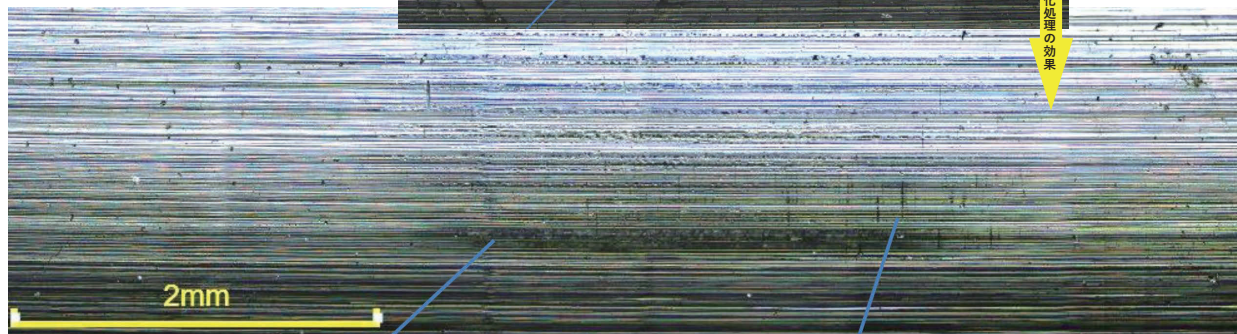
浸炭焼入れ歯の硬度分布と歯先軟化処理の効果

浸炭焼入れ研削歯車

平歯車	螺旋歯車
歯車歯形	インボリュート歯車
モジュール	4
圧力角	20°
歯数	40
基準円直径	160
歯先円直径	167.2
歯底円直径	149.2
歯幅	20
歯位係数	-0.1

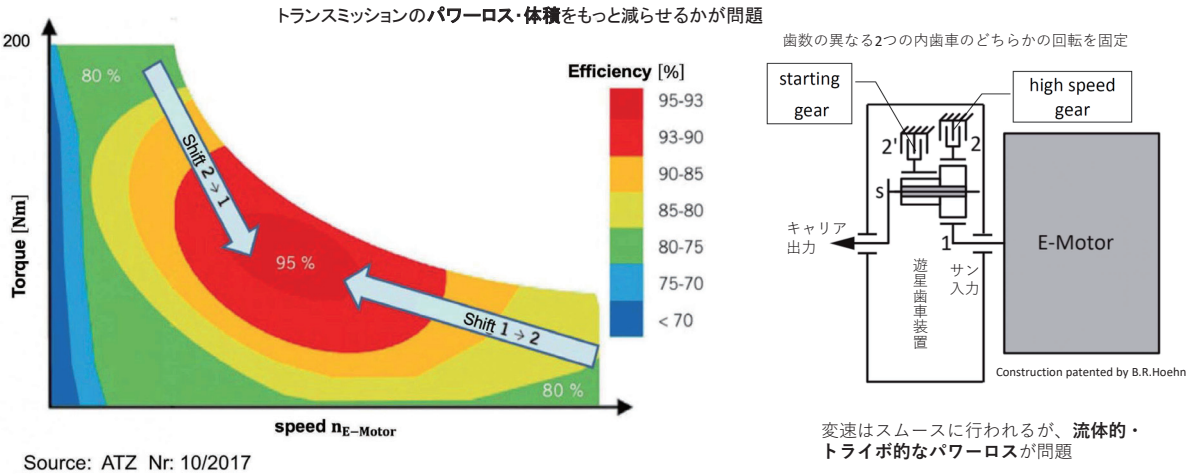
歯幅中央部歯元は硬さが
上がらない傾向がある。
(右図は一番著しいところ)





EV駆動用パワートランスミッションに变速機は必要か

トランスミッションの容積、信頼性、コストの点から、今日のBEVの大半の駆動系は単純な2段減速装置で、变速機構を持たない。
エネルギー効率・電費の点からは、小さなモーターで良好な走行性能と低電費を得ることが望ましい。
しかし、あまり大きくない駆動モーターで、加速良く、なお且つ、電費性能を良くするには2段程度の変速機構が必要であるというのが、ドイツ自動車業界の一般的理解となっている。



高速ギヤボックスにおけるパワーロス

損失部位	損失部位詳細	割合	備考
ギヤ	チャージング (かきまぜ)	40 %	回転数の3乗、 給油量に比例
	ウインデージ (風損)	15 %	回転数の3乗
	歯面摩擦	5 %	
軸受		15 %	全損失の半分以上 を占めるケースも
シール		15 %	
潤滑ポンプ		10 %	
計		100%	

歯面摩擦に起因するパワーロスはそれ程大きくない。
EV 駆動ギヤボックスの動力伝達効率向上を目指す研究で、歯面摩擦のみを取り扱う歯車技術者は、あまり良い成果は得られない。

回転速度を上げることはエネルギー散逸の点から、極めて問題

航空機用アクセサリギヤボックスの場合
(Courtesy by KHI)
少し多めの油量のジェット潤滑がされている

油・空気の混合中で物を回すのにはものすごいエネルギー散逸を伴う。

散逸されたエネルギーはギヤボックスの温度上昇をもたらし、ギヤボックスの信頼性を下げる。

今、試行されている超高速EV駆動モーターの開発者はこの事実を知っているのだろうか。

ガソリンエンジン駆動の車を一般ユーザが運転する場合、エンジンの最大回転速度や最大パワーが使われることは殆どない。これと同様に、EV駆動モーターの最大回転速度が使われることは、実用上、殆どないのではないかと。では、40,000rpm、50,000rpmのモーター開発の意味は何であろうか。

EV駆動モーター高速化の意味



いざと言うときの高速駆動の可能性を残しながら、
通常の使用領域でのモータ出力トルクを下げ、車トータルエネルギー
効率の向上を目指す！！

EV駆動用歯車装置を低振動低騒音のものにする技術は、現在の自動車用歯車装置の耐NV技術をさらにブラッシュアップして用いるほかはない。
これについては、MotorFan Illustrated 誌に100回連載した「歯車屋の見た世界」の後半を参照されたい。
単行本として㈱三栄から出版されており、入手可能である。ISBN 978-4-7796-4792-5

お わ り

現状理解と日本衰退の一原因

2024.08.09 京機9日会 昼食会話題

昭和41年卒 久保愛三

日本と先進国の賃金比較

日本は今や「先進国における低賃金国」

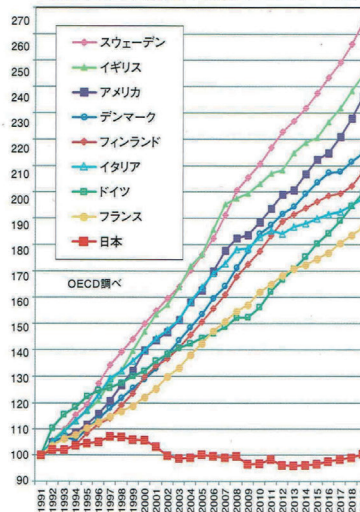
なぜこんな状況になってしまったのか。
現在の日本が取り組んでいるやり方で、この状況を打破し、再び全世界の一等国になれるのか。

若者に経験させてきた豊かさの付けが回って来たということもあるでしょうが、果たして原因はそれだけでしょうか。

Remark !

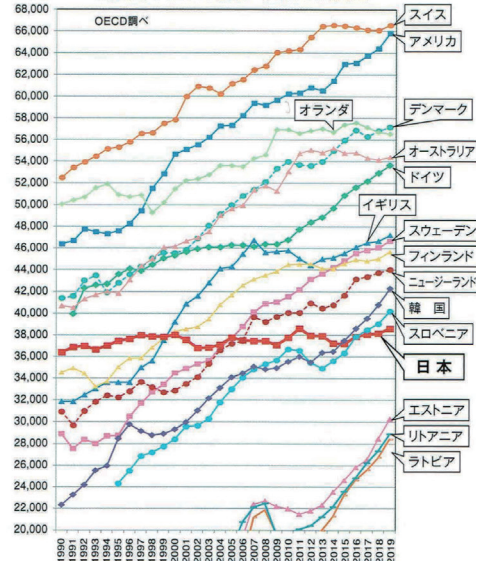
「人間の nature」が大きくかわっている。

名目平均年間賃金の変化 (1991年=100)



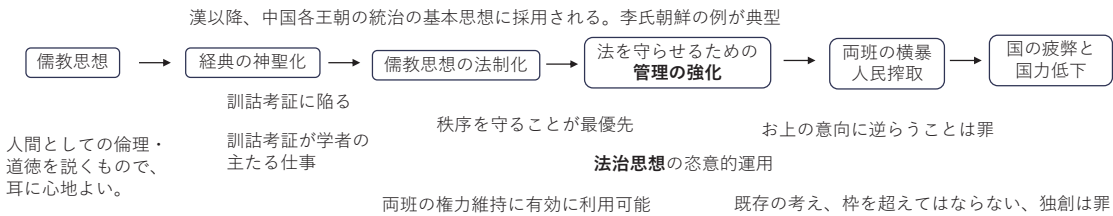
(出典) 東短リサーチ株式会社チーフエコノミスト 加藤出氏資料「世界情勢急変化の日本経済」

購買力平価ドル換算・実質年間賃金



I. 儒教思想と管理

中國の歴史を学ぶと、學問が訓詁考証に陥ると文化の発展が止まり、經濟が衰退して行き、政治も墮落して行くことが認められる。



儒教の本来の倫理的な面なんぞはどこかに飛んでしまい、強固な官僚指導だけが兩班の身分保障の手段として利用されるようになった。

中國の歴代王朝を見てみても、貴族連が人民に対して権力と利権を維持する為に儒教を利用してきた。官僚は統治するためにはルールを変える。官僚に不都合なルール改正は阻止する。実施が逼迫している事案に対しても、ルールを盾に不必要な調査の実施を強制し、不可能なほどの証拠の提出を求め、必要処置が十分な成果を上げられないようになる。

李氏朝鮮の兩班の横暴無能・働くことの蔑視、人民からの搾取が國の力を失わせた。

朱子學がそれを強化：忠・孝を偏重、既存権益維持に利用

手続きが規則に従っているかは厳密にチェックされるが、本来目的の結果は評価対象外

宗教が政治権力と結託し、権力がその倫理性を establishment の保護手段として利用するのは、歴史を通じてどの宗教も同じである。また、これが大宗教が存在出来て来た理由でもある。

最終結果で評価するのではなく、経過中の**手続き・処理に規則違反がなかったか**どうか評価対象

1円の帳尻を合わせるために100万円を使うのは問題ない。

ダイハツの車両検査違反事件、トヨタその他も：40年以上も実条件での運用安全性の実証がなされているのに、法令の改正意見が出てこないのはなぜか

事務仕事の極端な増加
法令の現状適合性に対するチェック&改善機能の欠如

現在の日本の会社・大学等も、マスコミ・官僚指導で**このような管理と評価**が強力に進められている。

金と人事権による支配
認可権の恣意的行使

國が支給する研究助成金でも、既に成果が確かなものにしか研究費は与えられず、数年にわたるその研究で必ず申請時のシナリオに沿った成功報告書が、提出されねばならない。独創的研究が期間を厳密に守られた中で、全ての研究が成功しましたと言うことはありえないのである。

日本のマスコミは、知能程度の低さのほか、勉強をせず、大衆に受ける意見を真理のように伝える問題がある。政治家は自分で調査をする能力はなく、マスコミ情報を受け売りして、政治を行っている。

II. 資本主義

現在の資本主義
ケインズ体制

A. スミスの国富論

神の摂理と思われるほど、
市場經濟はほうっておけば最適な方向に自動調整される

ケインズ体制が機能するための前提条件：

- ①人は欲望に従って（經濟）行動をし、人口の大半は安寧な生活を望んでいる
- ②マーケットの大きさは無限大である
- ③需要を支える以上に、十分で多様な、エネルギーと原材料の供給がある
- ④安価な労働力は十分に供給される

電腦のμsecの自動取引である現在の投機でも、神の摂理は働きのうのか

經濟の現状：

- ①GAFAのような異端資本主義の怪物が出現し、市場を支配
- ②Globalizationが伸展し、World wide supply chain によってしか、物の生産・供給が出来なくなっている
- ③自國第一主義。排他的民族意識の高揚が、經濟原則を無視するようになる
- ④天変地異（地球温暖化、大雨と旱魃、地震、火山噴火等）による打撃
- ⑤中國人の価値判断の顕在化

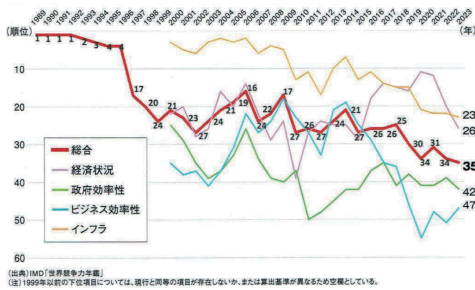
← 昔の独裁帝国と何が違うのか

人口の何%が富を独占するのが問題

→ 地球の歴史で普通に起こってきたこと。そこに生物の生存に対する考慮なんぞ、入る余地なし

これら現状が上記のケインズ体制の前提となる条件を狂わせているのに、現在の西側の人の大半は、それを認識しないで、過去150年ほど成功してきた資本主義と言う言葉のみを信じ、過去の栄光の中で生きようとしている

日本の国際競争力は過去最低の35位に



世界時価総額ランキング(1989年と2023年の比較)

1989年の世界時価総額ランキングでは、上位20社中、日本企業が14社を占めたが、2023年現在、200位以内に5社で100位以内はトヨタ自動車のみ。

順位	企業名	時価総額	国名
1	N T T	1,639	日本
2	日本興業銀行	716	日本
3	住友銀行	696	日本
4	富士銀行	671	日本
5	第一勧業銀行	661	日本
6	日産	647	米国
7	三菱銀行	593	日本
8	エタソン	549	米国
9	東京電力	545	日本
10	ロイヤル・ダッチ・シェル	544	英国
11	トヨタ自動車	542	日本
12	G E	494	米国
13	三和銀行	493	日本
14	野村証券	444	日本
15	新日本製鉄	415	日本
16	A T & T	381	米国
17	日立製作所	358	日本
18	松下電器	357	日本
19	フィリップ・モリス	321	米国
20	東芝	309	日本

(出典) 左: 国・企業・時価総額ランキング2018年8月20日記事
右: 国・企業・時価総額ランキング2023年8月20日記事
(https://companiesmarketcap.com/)

(注) 時価総額の単位は億ドル。2023年ランキングは9月27日時点。

順位	企業名	時価総額	国名
1	アップル	26,880	米国
2	マイクロソフト	23,190	米国
3	アマゾン	22,390	米国
4	アルファベット (Google)	16,250	米国
5	メタ (Facebook)	12,990	米国
6	エヌビディア	10,350	米国
7	パナソニック・ハルウェイ	7,836	米国
8	テスラ	7,748	米国
9	メタ (Facebook)	7,693	米国
10	イーライリリー	5,221	米国
11	ビザ	4,776	米国
12	ユナイテッドヘルス・グループ	4,682	米国
13	エタソン・モーター	4,641	米国
14	ウォルマート	4,374	米国
15	TSMC (台湾積体電路製造)	4,372	台湾
16	J P モルガン・チェース	4,212	米国
17	ノボ・ノルディスク	4,106	デンマーク
18	モエ・ヘンシー・ルイ・ヴィトン	4,048	フランス
19	ジョンソン・エンド・ジョンソン	3,829	米国
20	マスターカード	3,725	米国
33	トヨタ自動車	2,456	日本
125	三菱UFJフィナンシャル・グループ	1,047	日本
127	N T T	1,040	日本
134	ソニー	1,005	日本
151	キーエンス	908	日本

官僚主導で管理を強めて行く方向では、この状況を改善するのは無理。

今までにとらわれない独創がこの状況を改善できるのであろうが、自由な発想の中にしか独創性は生まれない。

独創の研究や産業の大半は失敗するもの。それでも残りの数%にかけて投資をし、産業化する度量が必要。日本では現在、そのような度量を持った人は上の地位に立っていない。

日本の公費研究のレポートはほとんどすべてが成功とかかかっている。このような嘘でも、形式が整っていれば受け入れるのが官僚体制。

経過や手続きの処理に規則違反がなかったかどうかを問題にするのではなく、最終結果が評価対象にならなくてはならない。

III. 文明の滅亡の事例

インカ文明、シカン文明 ← 長期旱魃、大火災、飢え が原因で滅ぶ

ミケーネ文明、ヒッタイト文明 ← 長期旱魃、飢え、難民の増加と略奪 が原因で滅ぶ

BC1200年頃、わずか50年ほどの間にミケーネ文明、ヒッタイト文明が突如として滅んだ。エジプトの新王朝の壁画記録に、

これらが「海の民」による略奪の結果だと記されている（エジプトも襲われて大被害が出るが亡びはしなかった）。



長期大旱魃、大地震、火山噴火等の天変地異による飢饉の発生
これによる難民の発生、他所での略奪の横行

当時の地中海世界は海運が発達し、各文明圏がおのの得意の産物を生産し、それを流通させることで栄えていた。
しかし海の民が横行するようになって、この World supply chain が崩壊すると、もはや単独の文明圏では生存に必要な物資を得ることが出来ず、滅んでいった。

ローマ帝国の崩壊もゲルマン民族の大移動が大きな原因でもあった。

中国の各王朝の滅亡も支配者の横暴、異民族の侵略、大飢饉による人民の苦悩が原因であった。

しかし毛沢東も自分の権力維持のためには何百万人殺しても平気な暴君だった。
大衆の心をゆずぶることを自分の権力維持に利用

IV. 現在の状況

昔に比べて海運のスピードは30倍以上、容量は数百倍、航空運輸では数千倍のスピード
意思伝達の方法は数百万倍、SNSなど、大衆が情報に接し、洗脳され易くなっている程度も数千倍



世界と言う構造体のシステムダンピングが異常に小さくなって、わずかの外乱にも振幅が大幅に変化し、共振も起こりやすくなっている

ソクラテスが毒杯を呼んで死ぬ話を、順法精神の理想として子供を洗脳。

悪法でも法は法。これに従うのが正しい行動!!

一方、この支配階級の権力維持に都合の良い話を否定するのが、毛沢東の「造反有理」
もう今は死んでしまった1960年代の学生運動

投機で効率的に金を儲けるのが善、働いて金を儲けるのは非効率で馬鹿、と言う**博打打ちの論理**が人々の頭を支配 ➡ まじめにコツコツ努力することが必要な、ものづくりや研究は無理日本の技術立国の崩壊

投機が人々の頭を支配する宗教となり、企業が投機の渦巻きの泡になって来ている深刻さ。

実体のない仮想経済、博打打ちを国の経済の礎とするような国が歴史上あっただろうか。 cf. p.1 REMARK

↓ 李朝において両班は**働くことを蔑視**し、国力を失わせた。上の考え（観念の異常）がもたらす結果は、これと同じ

人余りの人材不足 モンスター化した資本主義にケインズが言ったような神の摂理は働くのであろうか。
そして、それは人類種の永続的なそして幸せな存続に寄与するものであろうか。

World wide の information と goods, energy, resources の supply chain で現在の世界は存在が可能となっている。

旱魃、戦争、飢え、難民の増加と受け入れ側の不適合 ➡ 現在ヨーロッパの最大の問題（アフリカ、中国） ECのゴールデンビザの廃止

研究開発部門にまで**画一的な管理**が酷くなり、研究開発が出来なくなっている。

ベンチャーではこの範の無いのが救い。

↓

対象により管理のやり方は最適化されねばならないが、それが出来ていない。

i.e. 規制する法の時代適合性は常に吟味され続けねばならないが、それが出来ない問題 ← 訓話考証に陥っている

天変地異：

- ① 地球温暖化 ➡ 人間の行動によるCO2の増加のみが原因とされているが本当か
 - ② 地震、津波、火山の噴火、**太陽黒点・フレアの活発化**
➡ 地球の大きな活動期に入ってきているのではないか
 - ③ 水と空気の汚染、山地の乱開発
➡ かつてはあった地球の自然回復力がもはや機能しない
（レバノン杉、ダルマチア海岸の裸島、韓国の禿山 etc.）
- CO2問題は、バブル終了に伴い金余りになり、新たに金が大きく動く基本的itemが必要として考え出された、金儲けの口実と言う噂もある。
- 戦争や紛争、オリンピックや万博、World Supply Chain etc.でどれほどのCO2を排出しているのか。金を儲けるためには、元々無かったCO2問題など、気にかける必要はないと考えている・・・？？？
- 地球の歴史で普通に起こってきたこと。

人間の nature：

- ① 人間の本性は千年たっても変わらない
- ② 人間の1/3は**善良**・働き者、1/3は**邪悪**・働かずに他人を食おうとする、残りの1/3は全てについて**日和見**
- ③ 良い行動も悪い行動も、全ての motive force は広い意味の**欲望の充足への希求**である
民族主義、排他主義もその一つの現象、 民主主義、人道主義も恐らく仮面を被った同類
- ④ 人類種を存続させるために欲望を抑え謙虚になれるほど、**人間は賢くない**
- ⑤ **倫理や人道**は、自然界における**人類種の存続**とは基本的に矛盾するものである。 ← cf. C.ダーウインの進化論
人間の滅ぶべき宿命なのか、人間を他の動物から峻別しているこの特徴を守る有効な対策を講じられるか
- ⑥ 人間はもちろん自然界の全てのものは、現状からの変化を拒もうとする ← これを人間の幸せや利便にうまく利用できるか？？

現在の日本： 国会議員・地方議員、芸能人コメンテータの両班化 大学教授の芸能人化、コメンテータ化

どうしても止められない人口減少： そのような社会が進行して行く中で、人々の現状の生活を維持できるものの生産が続けられるであろうか

政府・官僚指導で少子化は止められるのであろうか

今までと同じ概念で国の経営が出来るのであろうか

V. **そしてどうなる？**

天変地異、人間の欲望の結果として、世界の supply chain が壊れる
↓
現在の文明の維持が出来なくなる
↓
戦争、飢餓の発生
↓
難民の発生、民族移動、
↓
既存世界秩序の消滅

最悪のシナリオ どうすればこの流れに巻き込まれないか 時間的に長引かせられるか

国として対策が講じられる時、この流れの中で官僚指導がやることは、太平洋戦争中と戦後の歴史が示す通りである。

強固になった官僚機構は、国が壊れるまで力を持ち続ける。

個人の幸せなんぞは眼中にない。 それは仕方がないとしても、彼らがやることの**方向性**は正しいのであろうか。

間違っていた場合、それを修正することは可能か ？？

日本は外圧無しに、自分から状況改善できたことはない。

どのような外圧・強制力が日本の問題点を押し潰し、日本再生の動きを引き起こすであろうか。

官僚的思考：管理を完全にし、全てを計画通りに進めれば、バラ色の目的が達せられる。

しかし、これがそうにならないのは、ソ連での**計画経済**が完全に**失敗**したことに見られるように、歴史的に証明されている。失敗の原因は上記の人間の nature のなせる業である。**管理をすればうまく行く**という官僚的發展思考は**誤り**である。

このことは習近平の現在の中国の状況を見ても明らか。

それにもかかわらず、日本の今のやり方は、この轍を踏んでいる。

e.g. 人口減少がどうしても止められなければ国は亡びる； 韓国、日本、中国、ブルガリア

人口減少対策：フランスの例 (1980年ごろの話)

子供を産めば無条件で100万円程もらえ、(母親が仕事に復帰した時などに) 子守を雇うとその費用は全て国から支給される。
妊娠が分かった時から仕事は休める。
出産後、任意の時に合計4年間の育児休暇がとれる。
クリスマスなどには子供に多くのプレゼントが国から支給される。
仕事に復帰する時には前のポジションに戻る。

国から母親に支給された金の多くは子育てのためではなく、母親の楽しみのために浪費されるが、国は何の文句も言わない

金はどう使われたか分からないが、人口減少は止まった。

結果 OK

優秀なのは大学Politechniqueの授業料が無償だけでなく、給料が貰える

どちらが善で、どちらが悪なのか ???

フランスのやり方は、人間の nature ③を良く理解していた。
日本の官僚は、人間の nature を理解することなしに、役人的整合性の理解のみで運用した。

人口減少対策：日本の例

国から支給される子育て支援の金は、官僚が考えるその目的以外の使途に使われないために、ものすごい事務作業をして、配布される。その金が母親の楽しみのために浪費されるなんてことは全く不可

金は100%子育て目的のために使われたことは分かる。しかし、使った金の総額はフランスのそれを上回っても、恐らく人口減少は止まらない。

日本では経過に規則違反がなかったかどうかで問題で、最終結果は評価対象でない。

韓国で何兆円もの金を使って、この方式で人口増加を試みてきているが効果が上がらないことが実証されている。

結果 NG

研究開発に目を向けると、自由に研究開発が出来るよう、対象により管理のやり方が最適化され、経過ではなく最終結果が評価対象となって、初めて独創性のある結果が生まれる。

しかし、優秀な人間が何事でも出来る自由な環境に置かれても、広い意味での欲望充足への希求が規則と管理でつぶされる場合には、誰も一生懸命に仕事をすることはあり得ない。

人間のnature③: E.マスクやGAFAの起業家・・・

このような規則と管理の中では、優秀な人間は寝そべり族になり、国には衰退の状態が起こる。

良い結果や思想が出てきたときにそれを見つけれられる**目利き**が必要。
しかし、現在の状況はAIを神のように信じ、目利きの必要性を認めない方向に動いている。

AIはデータベースの既存知識のうまい組み合わせを提案するもので、データベースにない独創的な情報を提案できるものではないことが、一般には全く理解されていない。

選り出された有望なものの、起業化、産業化を進められる国民的援助が必要である。
USAの社会では寄付の文化があり、また一般投資の形でこれがうまく機能しているが、日本では無理。

思想的未熟と動かせる金の大きさが小さすぎることが問題。 e.g. インターネットシステム、ネオジウム磁石 etc.

漫画やアニメは、目利きが大量であり、同時に消費者であるため、うまくいった。

現在の日本では、目利きを無用なものとして存在できなくしている。AIは目利きにとって代わるのであろうか？

AI: データベースに含まれない結果は出てこない。データベース情報の広範な組み合わせで得られる答えが提案される。

- ◆ 本当の独創的な仕事は、AIを補助として、AIの答えにない新しいものを創出する。
ある仕事を始めようとした時に、その答えをAIに探らせ、AIが答えたことは仕事の対象から外す。
- ◆ コンピュータがデータ集積をし、その運用で目的を達せられる仕事はAIにとって代わられる。
恐らく全仕事の99%はこれに属するであろう。

日本人のほとんどすべてが、日本は民主的であると考えているかもしれないが、
本当は、昔の村社会、領主と民 の状態が根底にあり、それを是認しているのではないか。

世界で起こっていることと自分の立ち位置を謙虚に見て物事を理解し、
洞察をもって進んで行くことが、今の日本人に可能であろうか ？

地球上に多くの独立した文化域がある時には、一つぐらいの文化域が消えても問題ないが、地球が一つの文化域に統一されていると、これが消えるのは大変なこと。これは Pax Americana のもたらす最も深刻な問題である。

文明が減びる前に認められる7つの現象

- 1 集団的傲慢と狂信
- 2 集団的な精神的・道徳的衰退
- 3 競争と選択の消滅
- 4 権力が人民の自主的運動と開明化闘争を、見えないようにしながら、抑え込む。
規則、法の無腦的形式運用を利用して行い、それを改めない動き。
- 5 大衆を駆り立てた熱狂的な急進主義の台頭
- 6 権力が外面的な富の平均化を宣伝する。(時には真実を隠すため暴力的手段によって)
- 7 現在ならびに現状の延長が、地上の楽園であると言う虚構のユートピア感を押付ける

← cf. e.g. YouTube の書込み

← 1～4 と同時に起こる

これからの世代には大変な時代が待っているように案じられる

この内のいくつかは現在の日本において、
すでに認められるのではないか !!

歳老いてきたボケ老人の繰り言です

嗚 呼

特別研究員による成果

(Sm, Ce)₂(Co, Fe, Cu, Zr)₁₇ 系磁石の減磁過程、 保磁力配向度・角度依存性

松浦 裕（公益財団法人 応用科学研究所）

The Demagnetization Process and the Alignment and Angular Dependence of Coercivity for (Sm, Ce)₂(Co, Fe, Cu, Zr)₁₇ Magnets

Yutaka Matsuura* (Research Institute for Applied Sciences)

The alignment and angular dependences of the coercivity of (Sm, Ce)₂(Co, Fe, Cu, Zr)₁₇ magnets were investigated. The coercivity of aligned magnets is slightly larger than an isotropy magnet. This result differs from those of Nd-Fe-B sintered magnets and ferrite magnets. Regarding the angular dependence, the coercivities of (Sm, Ce)₂(Co, Fe, Cu, Zr)₁₇ magnets decrease from 0° to 40° and increases afterward. The trend is similar to that observed in Ga-doped Nd-Fe-B sintered and ferrite magnets. It reproduces those expected from a Stoner-Wohlfarth model or a coherent rotation of magnetization, even though these magnets are well known as the pinning type magnets, in which the magnetic domain wall motion determines their coercivities. This result shows that it is difficult to determine the coercivity mechanism only from the angular dependence of coercivity because it was verified the demagnetization proceeds by the magnetic domain wall motion from the soft X-ray magnetic circular dichroism microscopy (XMCD). The angular dependence of the coercivity of isotropy magnets agrees well with the calculation results for angles up to 50° obtained under the assumption that the magnetization of every grain reverses independently through the motion of magnetic domain walls. These results strongly support the conclusion that the coercivity of Ga-doped Nd-Fe-B sintered and ferrite magnets, both of which have an angular dependence similar to (Sm, Ce)₂(Co, Fe, Cu, Zr)₁₇ magnets, is determined by the motion of magnetic domain walls.

キーワード：SmCo 磁石, 減磁過程 2, 角度依存性 3, 配向度依存性 4, 保磁力メカニズム 5, 保磁力 6,
(SmCo magnet, demagnetization process2, angular dependence 3, alignment dependence4, coercivity mechanism5, coercivity6)

1. はじめに

Sm-Co 磁石、特に Sm₂Co₁₇ 型永久磁石は高い残留磁束密度(B_r)とキュリー温度(T_c)を持っており、Nd-Fe-B 焼結磁石では使えない高温領域や温度安定性が要求される、航空機用モータ、自動車用センサーやイングニッションコイル等の用途に使われている。

この磁石は焼結後に溶体化処理により、高温相である TbCu₇ 構造を持つ 1-7 相を生成させた後、その後の熱処理により高い保磁力(H_{cj})が得られる。この熱処理過程で 1-7 相から 1-5 相と 2-17 相に相分離する。⁽¹⁾ この相分離した組織は板状に析出した 1-5 相により 2-17 層が区切られたセル構造をしており、この微細セル組織に磁壁がピン留めされることにより、 H_{cj} が出現すると言われている。

したがって、この磁石は典型的なピンニング型磁石と言われている。このような考えを基に Sm₂Co₁₇ 型永久磁石では粒内の微細組織の構造に主眼を置いた研究が、これまで行われてきた。^{(2), (3), (4)}

近年光学顕微鏡や軟 X 線磁気円二色性顕微鏡(XMCD)を

使った磁化反転過程が調べられており、これら磁石の磁化反転は初めに結晶粒界や希土類酸化物周辺で磁化反転が起こり、その後これら磁化反転領域が粒内に侵入し、粒内で磁化反転することにより H_{cj} に達することが明らかとなっている。^{(5), (6)} 粒内での磁化反転の進行は粒内の微細組織によるピンニング、デピンニングにより侵攻するものと思われる。これらの事実は Sm₂Co₁₇ 型磁石において、粒界相および酸化物相が磁化反転に果たす役割が重要であることは示唆するものの、これら磁石の H_{cj} が磁壁移動により決定されるという事実を否定するものではない。したがって、これら磁石は典型的なピンニング型磁石と言える。

これまで Nd-Fe-B 焼結磁石の H_{cj} について、主相結晶粒である Nd₂Fe₁₄B 結晶粒の磁化反転が磁壁移動によるのか、あるいは磁化の一斉回転により磁化反転するのかについては議論がされており、それを確かめる方法として H_{cj} の角度依存性が用いられてきた。^{(7), (8)} しかし、Nd-Fe-B 焼結磁石を用いた保磁力角度依存性は、磁壁移動($1/\cos \theta$)および磁化一斉回転(Stone-Wohlfarth model)から予想される角度依存性の間にあることが分かっており、どちらの磁化反転モデルで

あるかを決定することは困難である。近年 H_{cJ} の配向度依存性から、これら磁石の保磁力は配向度(α)の向上とともに保磁力が減少することが明らかとなっており、この磁石の磁壁移動で決定されていることが明らかとなっている。⁽⁹⁾⁻⁽¹¹⁾

ところが、磁壁移動で H_{cJ} が決定されている $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 型磁石では、 H_{cJ} の角度依存性および配向度依存性に関する議論はされていない。

ここでは $(\text{Sm}, \text{Ce})_2(\text{Co}, \text{Fe}, \text{Cu}, \text{Zr})_{17}$ 磁石を用い保磁力の角度依存性および配向度依存性について調査し、得られた結果について議論を行う。

2. 実験方法

$\text{Sm}_{0.67}\text{Ce}_{0.33}(\text{Co}_{0.73}\text{Fe}_{0.2}\text{Cu}_{0.05}\text{Zr}_{0.02})_{7.2}$ 組成を持つ、高配向度磁

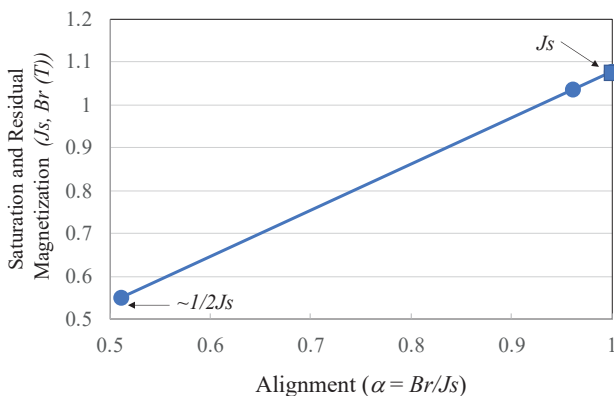


図1 飽和磁化 (J_s) と残留磁束密度の配向度依存性⁽¹²⁾

Fig. 1. Alignment dependence of saturation and residual magnetization of $\text{Sm}_{0.67}\text{Ce}_{0.33}(\text{Co}_{0.73}\text{Fe}_{0.2}\text{Cu}_{0.05}\text{Zr}_{0.02})_{7.2}$

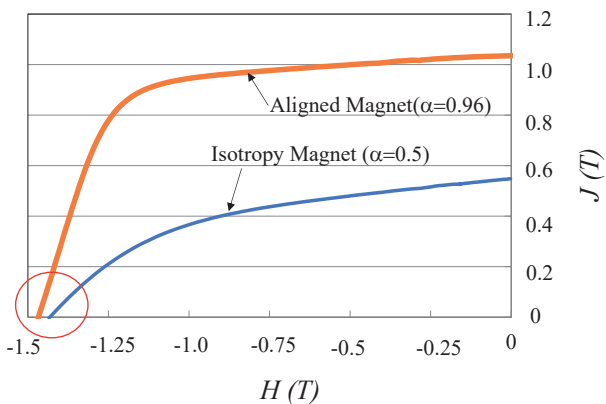


図2 $\text{Sm}_{0.67}\text{Ce}_{0.33}(\text{Co}_{0.73}\text{Fe}_{0.2}\text{Cu}_{0.05}\text{Zr}_{0.02})_{7.2}$ の等方性磁石と配向磁石の減磁曲線⁽¹²⁾

Fig. 2. Demagnetization curve for isotropy and aligned $\text{Sm}_{0.67}\text{Ce}_{0.33}(\text{Co}_{0.73}\text{Fe}_{0.2}\text{Cu}_{0.05}\text{Zr}_{0.02})_{7.2}$ magnets

石($\alpha = 0.96$)と等方性磁石($\alpha = 0.51$)を信越化学工業株式会社より提供いただいた。ここで α の値は B_r/J_s (J_s は飽和磁化)より求めた。 H_{cJ} の配向度依存性の測定は、磁石を7mm角に切り出し、東英工業株式会社のパルス磁気測定装置(TMP-2-08S25VT-C)で磁気測定を用い求めた。 H_{cJ} の角度依存性は直径4mm、長さ4mm (磁化方向は4mm径方向)の磁石を8 Teslaの磁界で着磁したのち、東英工業株式会社の1.8 Tesla振動試料型磁力計(VSM-5)を用い 0° から 80° まで測定を行った。

3. 結果と考察

図1は $\text{Sm}_{0.67}\text{Ce}_{0.33}(\text{Co}_{0.73}\text{Fe}_{0.2}\text{Cu}_{0.05}\text{Zr}_{0.02})_{7.2}$ の磁化の配向度依存性を示している。磁化は配向度の増加と共に直線的に増加し、等方性磁石は飽和磁化の半分の磁化となる。⁽¹²⁾

図2は $\text{Sm}_{0.67}\text{Ce}_{0.33}(\text{Co}_{0.73}\text{Fe}_{0.2}\text{Cu}_{0.05}\text{Zr}_{0.02})_{7.2}$ の等方性磁石および配向磁石の減磁カーブを示している。ここで等方性磁石は $B_r = 0.551$ T, $H_{cJ} = 1149$ kA/m, $\alpha = 0.51$, 配向磁石は $B_r = 1.036$ T, $H_{cJ} = 1175$ kA/m, $\alpha = 0.96$ の磁石特性であった。

この磁石では配向磁石の H_{cJ} は等方性磁石の H_{cJ} に比べ小さくなっており、Nd-Fe-B 磁石やフェライト磁石に見られる保磁力の配向度依存性と異なっている。^{(9)-(11), (13)} この結果は、 $\text{Sm}_{0.67}\text{Ce}_{0.33}(\text{Co}_{0.73}\text{Fe}_{0.2}\text{Cu}_{0.05}\text{Zr}_{0.02})_{7.2}$ ではNd-Fe-B 焼結磁石やフェライト磁石と同じ保磁力配向度依存性の議論はできないように思われる。 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 系磁石の保磁力は複雑な熱処理により、粒内に微細組織を生成させることにより保磁力が得られており、Nd-Fe-B 焼結磁石やフェライト磁石のように焼結状態で保磁力が得られる磁石とは異なっていると推定される。

図3は $\text{Sm}_{0.67}\text{Ce}_{0.33}(\text{Co}_{0.73}\text{Fe}_{0.2}\text{Cu}_{0.05}\text{Zr}_{0.02})_{7.2}$ 、フェライト磁石およびGa添加Nd-Fe-B 焼結磁石の保磁力角度依存性を示している。^{(12), (14), (15)} これら磁石の H_{cJ} はいずれも 0° から低下し、その後増加するという角度依存性を示す。この保磁力角度依存性はStoner-Wohlfathモデル⁽¹⁶⁾や、Kronmullerにより提唱された⁽⁷⁾、二次の異方性定数まで考慮し、修正したモデルに類似した特徴を持っている。この H_{cJ} 角度依存性の特徴は、Ga添加Nd-Fe-B 焼結磁石やフェライト磁石と良く似ている。しかし、Ga添加Nd-Fe-B 磁石やフェライト磁石では、 H_{cJ} の配向度依存性は配向度の上昇とともに H_{cJ} は減少することから、角度依存性の H_{cJ} が 0° から減少していたとしても、これら磁石の H_{cJ} は磁壁移動で決定されていると推定される。^{(14), (15)}

XMCD 観察から $\text{Sm}_{0.67}\text{Ce}_{0.33}(\text{Co}_{0.73}\text{Fe}_{0.2}\text{Cu}_{0.05}\text{Zr}_{0.02})_{7.2}$ 磁石では磁壁移動により、磁化反転が進むことは明らかである。したがって、この磁石の保磁力角度依存性が 0° から減少しているとしても、この磁石の H_{cJ} は磁壁移動で決定されていることになる。このように考えるとNd-Fe-B 焼結磁石やフェライト磁石において、保磁力角度依存性だけを使って保磁

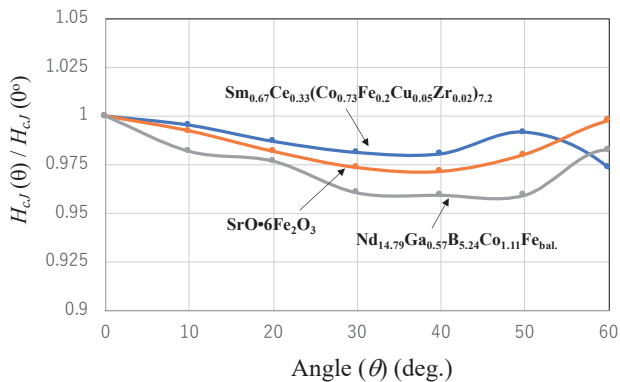


図3 $\text{Sm}_{0.67}\text{Ce}_{0.33}(\text{Co}_{0.73}\text{Fe}_{0.2}\text{Cu}_{0.05}\text{Zr}_{0.02})_{7.2}$ 、 $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ および Ga 添加 Nd-Fe-B 焼結磁石の保磁力角度依存性
Fig. 3. Angular dependence of $\text{Sm}_{0.67}\text{Ce}_{0.33}(\text{Co}_{0.73}\text{Fe}_{0.2}\text{Cu}_{0.05}\text{Zr}_{0.02})_{7.2}$, $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ and Ga doped Nd-Fe-B sintered magnet

力メカニズムを議論することは適切では無いように思われる。

$\text{Sm}_{0.67}\text{Ce}_{0.33}(\text{Co}_{0.73}\text{Fe}_{0.2}\text{Cu}_{0.05}\text{Zr}_{0.02})_{7.2}$ 磁石の保磁力角度依存性が 0° から下がる原因については以下のように考えている。Nd-Fe-B 焼結磁石やフェライト磁石では、保磁力より低い磁界領域で離散的な結晶粒の反転が起こり、 H_k 近傍で離散的に磁化反転した周りの結晶粒が磁化反転することにより、磁化反転した粒子の集団（クラスター）を形成する。この粒子集団が成長することにより保磁力に達する。この磁石のクラスターの大きさ（粒子数）が大きくなるに従い、保磁力角度依存性の変化は小さくなり、Ga 添加 Nd-Fe-B 焼結

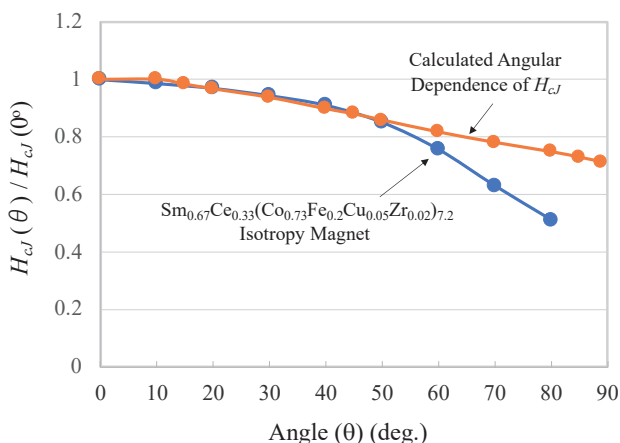


図3 $\text{Sm}_{0.67}\text{Ce}_{0.33}(\text{Co}_{0.73}\text{Fe}_{0.2}\text{Cu}_{0.05}\text{Zr}_{0.02})_{7.2}$ 、 $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ および Ga 添加 Nd-Fe-B 焼結磁石の保磁力角度依存性 []
Fig. 3. Angular dependence of isotropy magnet with $\text{Sm}_{0.67}\text{Ce}_{0.33}(\text{Co}_{0.73}\text{Fe}_{0.2}\text{Cu}_{0.05}\text{Zr}_{0.02})_{7.2}$ composition

磁石およびフェライト磁石の保磁力角度依存性は 0° から減少するという、磁壁移動であるにも関わらず磁化一斉回転に見られるような挙動を示す。⁽¹⁷⁾ $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 系磁石では、その結晶粒径は Nd-Fe-B 焼結磁石やフェライト磁石の粒径と異なり、 $100\mu\text{m}$ を越える大きな結晶を有している。この大きな結晶粒の磁化反転過程が、 $\text{Sm}_{0.67}\text{Ce}_{0.33}(\text{Co}_{0.73}\text{Fe}_{0.2}\text{Cu}_{0.05}\text{Zr}_{0.02})_{7.2}$ に見られる保磁力角度依存性の原因になっていると推定される。

図4に $\text{Sm}_{0.67}\text{Ce}_{0.33}(\text{Co}_{0.73}\text{Fe}_{0.2}\text{Cu}_{0.05}\text{Zr}_{0.02})_{7.2}$ 等方性磁石の保磁力角度依存性を示す。等方性磁石の保磁力角度依存性は全ての粒子が独立して磁壁移動($1/\cos \theta$)で磁化反転として求めた計算値^{(12), (14), (18)}と 50° まで良い一致が見られる。

このことから、この磁石の H_{cj} は磁壁移動で決定されていることを示している。

3. まとめ

$\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 系磁石は粒内に存在する微細組織により磁壁のピンニング、デピンニングによって H_{cj} が決定されることが知られている。 $\text{Sm}_{0.67}\text{Ce}_{0.33}(\text{Co}_{0.73}\text{Fe}_{0.2}\text{Cu}_{0.05}\text{Zr}_{0.02})_{7.2}$ を用いた XMCD の結果から、この磁石の磁化反転過程は H_{cj} より低い磁界で粒界および酸化物で磁化反転が起こり、その後磁化反転領域が粒内に進むことにより H_{cj} に到達することが分かっている。⁽⁵⁾ この磁石を用い H_{cj} の配向度依存性および角度依存性について調べた。この磁石の H_{cj} の配向度依存性は Nd-Fe-B 焼結磁石と異なり、配向磁石の H_{cj} は等方性磁石のそれより高いことが分かった。この磁石では Nd-Fe-B 焼結磁石やフェライト磁石と異なり H_{cj} の配向度依存性を使った保磁力メカニズムの議論は出来ないように思われる。

H_{cj} の角度依存性は 0° から 40° まで減少し、その後増加する。この H_{cj} の角度依存性は Ga 添加 Nd-Fe-B 焼結磁石やフェライト磁石と良く似た依存性を示す。この $(\text{Sm}, \text{Ce})_2(\text{Co}, \text{Fe}, \text{Cu}, \text{Zr})_{17}$ 系磁石の H_{cj} の角度依存性は、これまで Nd-Fe-B 焼結磁石やフェライト磁石において、配向度依存性から、これらの磁石の磁化反転プロセスが磁壁移動で進む^{(14), (15)} という、我々の主張の傍証になると考えられる。

Nd-Fe-B 焼結磁石やフェライト磁石において、 H_{cj} 角度依存性を用いた議論では保磁力メカニズムの議論は出来ないことを示唆している。

謝 辞

本研究は国立研究開発法人 科学技術振興機構、産学共創基礎基盤研究プログラム[技術テーマ「革新的次世代高性能磁石創生の指針構築」Grant No. JPMJSK 1617]および科研

費[Grant No. 17K06781]のご支援をいただきました。

文 献

- (1) T. Ojima, S. Tomizawa, T. Yoneyama and T. Hori: IEEE Trans. Magn. "Magnetic Properties of a new type of rare-earth cobalt magnets $\text{Sm}_2(\text{Co}, \text{Fe}, \text{Cu}, \text{M})_{17}$ ", Vol. 13, pp 1317-1319, (1977)
- (2) J. D. Livingston: "Domain in sintered Co-Fe-Cu-Sm magnets", J. Appl. Phys. Vol. 46, pp 5259-5262, (1975)
- (3) J. D. Livingston, D. L. Martin: "Microstructure of aged (Co, Cu, Fe)₇Sm magnets", J. Appl. Phys. Vol. 48, pp 1350-1354, (1977)
- (4) L. Rabenburg, R. K. Mishra and G. Thomas: "Microstructure of precipitation-hardened Sm-Co permanent magnets", J. Appl. Phys. Vol. 53, pp 2389-2391, (1982)
- (5) Y. Matsuura, R. Maruyama, R. Kato, R. Tamura, K. Ishigami, K. Sumitani, K. Kajiware, T. Nakamura: Magnetic reversal of (Sm, Ce)₂(Co, Fe, Cu, Zr)₁₇ as per soft X-ray magnetic circular dichroism microscopy", Appl. Phys. Lett. Vol. 117, 022409 (2020)
- (6) H. Machida, T. Fujiwara, R. Kamada, Y. Morimoto, M. Takezawa: "The high squareness Sm-Co magnet having $H_{cb} = 10.6$ kOe at 150 °C", AIP Advances 7, 056223 (2017)
- (7) H. Kronmuller, K. -D. Dus, G. Martine: "Angular dependence of the coercive field in sintered Fe₇₇Nd₁₅B₈ magnets", J. Magn. Magn. Mater., Vol. 69, pp 149-157 (1987)
- (8) D. Givord, P. Tenaud, T. Viadieu: "Angular dependence of coercivity in sintered magnets", J. Magn. Magn. Mater., Vol. 72, pp 247-252 (1988)
- (9) Y. Matsuura: Proceedings of the 22nd International Workshop on Rare-Earth Permanent Magnets and Their Applications (REPM2012) pp 147-150 (2012)
- (10) Y. Matsuura, J. Hoshijima, R. Ishii: "Relation between Nd₂Fe₁₄B grain alignment and coercive force decrease ratio in NdFeB sintered magnets", J. Magn. Magn. Mater., Vol. 336, pp 88-92 (2013)
- (11) N. Kitai, Y. Matsuura, R. Ishii, M. Natsumeda, J. Hoshijima: "Relation between Nd₂Fe₁₄B grain alignment and coercive force decrease ratio in Nd-Fe-B sintered magnets", Hitachi Metals Technical Review, Vol. 30, pp 20-17 (2014)
北井伸幸、松浦裕、石井倫太郎、齋田充、星島順：「Nd-Fe-B 焼結磁石の保磁力減少率の配向度依存性と保磁力メカニズム」日立金属技報、Vol. 30, pp 20-27 (2014)
- (12) Y. Matsuura, R. Tamura, K. Ishigami, K. Sumitani, K. Kajiware, T. Nakamura: "Alignment and angular dependence of coercivity for (Sm, Ce)₂(Co, Fe, Cu, Zr)₁₇ magnets", Material Transaction, Vol. 62, No. 7, pp 1009-1012 (2021)
- (13) D. Harimoto, Y. Matsuura, S. Hosokawa: "Effect of the grain alignment of Nd-Fe-B sintered magnets on the coercive force", J. Jpn. Powder Metallurgy Vol. 53 No.3, pp282-284 (2006)
播本大佑、松浦裕、細川誠一：「Nd-Fe-B 磁石特性に及ぼす結晶配向の影響」Vol. 53 No. 3, pp 282-284 (2006)
- (14) Y. Matsuura: "Coercivity mechanism of SrO•6Fe₂O₃ ferrite magnets", IEEE Trans. Magn., Vol. 54, 2101405 (2018)
- (15) Y. Matsuura, T. Nakamura, K. Ishigami, K. Kajiware, K. Sumitani, R. Tamura: "Coercivity mechanism of Ga-doped Nd-Fe-B sintered magnets", IEEE Trans. Magn., Vol. 55, 5100606 (2019)
- (16) E. C. Stoner, E. P. Wohlfarth: "A mechanism of magnetic hysteresis in heterogeneous alloy", Philosophical Transactions of the Royal Society A, Vol. 240, Issue 826, pp 599 – 642 (1948)
- (17) Y. Matsuura, "Demagnetization mechanism of Nd-Fe-B sintered and ferrite magnets derived from the magnetization measurement and the soft X-ray magnetic circular dichroism microscopy", The paper of technical meeting on "Magnetics", IEE Japan held in 2023, 12, 22, MAG-23-180, pp 69 – 74 (2023)
松浦 裕：「Nd-Fe-B 焼結磁石およびフェライト磁石の磁気測定および軟 X 線磁気円二色性顕微鏡から導かれる磁化反転メカニズム」電気学会研究会資料（マグネティクス研究会）MAG-23-180, pp 69 – 74 (2023)
- (18) Y. Matsuura, T. Nakamura, K. Sumitani, K. Kajiware, R. Tamura, K. Osamura: "Angular dependence of coercivity in isotropically aligned Nd-Fe-B sintered magnets", AIP Advances, Vol. 8, 056236 (2018)

Sm_{0.67}Ce_{0.33}(Co_{0.73}Fe_{0.2}Cu_{0.05}Zr_{0.02})_{7.2} の磁化反転過程
Demagnetization Process of Sm_{0.67}Ce_{0.33}(Co_{0.73}Fe_{0.2}Cu_{0.05}Zr_{0.02})_{7.2}

公益財団法人 応用科学研究所 ○松浦 裕

Research Institute for Applied Sciences ○Yutaka Matsuura

【緒言 Introduction】

これまで Sm (Co, Fe, Cu, Zr)₇ 系 (1-7 系磁石) 磁石の保磁力は結晶粒内に存在する Sm₂Co₁₇ 相を取り囲む SmCo₅ 相からなるセル構造により保磁力が決定されると言われている。⁽¹⁾ しかし、1-7 系磁石の減磁カーブは Nd-Fe-B 焼結磁石やフェライト磁石の減磁カーブに比べると角形性が悪いことが知られており、その原因について十分議論されているとは言えない。今回、Sm_{0.67}Ce_{0.33}(Co_{0.73}Fe_{0.2}Cu_{0.05}Zr_{0.02})_{7.2} について軟 X 線磁気円二色性顕微鏡(XMCD)から得られた磁化反転過程および平均減磁曲線と磁気測定による減磁曲線を比較し、1-7 系磁石の減磁過程について議論する

【結果 Results】

1-7系磁石の結晶粒は100μm 以上あり、Nd-Fe-B 焼結磁石~10μm に比較すると非常に大きな結晶粒である。1-7系磁石の減磁過程は光学顕微鏡⁽²⁾および XMCD⁽³⁾観察から、初めに 1-7 系磁石の結晶粒界で磁化反転が発生し、粒界の磁化反転が完了した後、粒界から 1-7 系結晶粒内に磁化反転が進行し、保磁力に到達する。XMCD 観察から 1-7 系磁石の粒界の厚さは Nd-Fe-B 磁石の数 nm に比べ厚く数 100 nm 程度であると推定される。⁽³⁾

XMCD の平均減磁曲線と磁気測定の減磁曲線比較から、XMCD の平均減磁曲線は磁気測定の減磁曲線に反磁界係数と磁気余効を考慮すると良い一致が見られる。この結果から、XMCD で粒界の磁化反転が粒内に進む磁界は磁気測定減磁曲線の H_k (磁化が残留磁束密度の 90%となる磁界)に近いことが分かった。このことから、1-7 系磁石の角形性は①厚い結晶粒界、② H_k 近傍の磁界で粒界から 100μm を越える結晶粒に磁化反転が進み、徐々に磁化反転することが Nd-Fe-B 焼結磁石に比べ低い角形性を示す原因であると推定される。

表1. Sm_{0.67}Ce_{0.33}(Co_{0.73}Fe_{0.2}Cu_{0.05}Zr_{0.02})_{7.2} と Nd-Fe-B 焼結磁石の結晶粒の大きさ、粒界厚さおよび減磁曲線角形性の比較

	Sm _{0.67} Ce _{0.33} (Co _{0.73} Fe _{0.2} Cu _{0.05} Zr _{0.02}) _{7.2}	Nd-Fe-B
粒界相の厚さ (nm)	数100nm	数nm
結晶粒の大きさ (μm)	>100 μm	~10 μm
減磁曲線の角形性 (H_k/H_{cJ})	0.72	~0.9

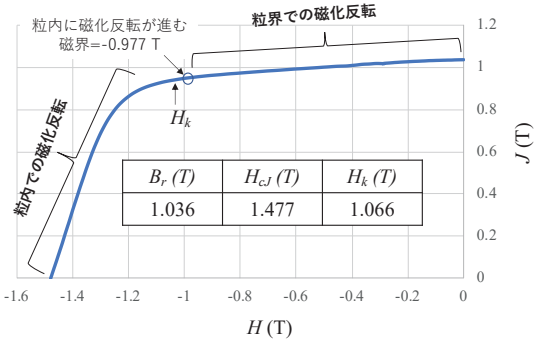


図1 磁気測定減磁曲線とXMCD観察の磁化反転過程

【参考文献 References】

- (1) 俵好夫、大橋健、「希土類永久磁石」 p81-83 (2005)
- (2) M.Machida et al., AIP Adv. 7, 056223 (2017)
- (3) Y. Matsuura et al., Appl. Phys. Lett. 117, 022409

超電導直流送電グリッド構築に関する基礎研究

特別研究員 長村光造

1. 目的

SDGs(持続可能な開発目標)に向けて電気エネルギーシステムの再構築を考える時期に来ている。その根幹として直流送電ケーブルやインバータ等の超電導化により膨大な電力ロスを防ぐことが可能となる。当研究室ではこれまで超電導インバータの実用化実証の研究を行ってきたが、2021年度より IEC-TC90 の標準化プログラムの一部として電力の超長距離送電を可能とする超電導直流送電グリッドの開発の基礎研究をスタートし、今年度の検討においても直流送電ケーブルを用いることにより現状の Cu/Al 導体を用いた送電網の電力損を大幅に減少できる可能性を示すことができた。



Fig.1 Superconducting DC grid over the worldwide transmission

2. 成果

SDGs に準じて効率的な世界超電導直流送電網を構築する場合の技術課題を検討した。図1に概念的に示すように太陽光の照射が昼夜逆転するアジアから欧州へ次の条件で送電することを前提に考察した。例として夜間に日本で使用される電力量を考慮し、昼間の欧州で太陽光発電し、その電力を日本に移動させるものとする。その条件として日欧間の送電距離: $L=20,000$ [km]、送電電流: $I=30$ [kA] $\times 20$ 回線 = 600 [kA]、送電電圧: $V = \pm 25$ [kV] の条件により電力: $P = 30$ [GW]を送電するとする。現在の技術的能力からはこれらの条件は不自然ではない。しかし Cu/Al 導体を用いた常伝導送電ではジュール損のため実用不可能である。一方超電導送電では冷却が不可欠である。長距離にわたる冷却技術・コストについての試算値が、両地域で個々に消費する電力量 $P = 30$ [GW]より安くなるブレークスルーの条件を見出す可能性が検討されている。経路には北極を迂回する、韓国ー中国への陸路、或いは海底ケーブル等の選択肢がある。

以上の議論は人類の生存を脅かす近い将来に必ず生じるであろう地球温暖化を回避すべき課題である。ちなみに世界で電力を現状のまま約7年間使用し続けると地球の大気の温度は0.1K上昇すると予測され、時間的猶予はほとんど無い。

(報告書作成日 令和7年4月30日)

シンバルの音響特性と残留歪解析

特別研究員 長村光造

1. 目的

シンバルは、米国、カナダ、スイスにある3企業で寡占的に製造されてきたが、日本人独特の音への感性も盛り込まれた独特のシンバルの国産化が、素材から一貫して製作することが可能となった。大阪合金工業所が高錫銅合金を溶製・圧延して原板を提供し、小出製作所がヘラ絞り・ハンマリングでシンバルに加工する。シンバルは剛性の高い材料に極限まで不均質な加工を加えて可聴域で音響が出現するように工夫されたものである。ほぼ200Hzから20kHzまでの領域で連続した必要な音を出すためには材料から加工・熱処理にわたり複雑な処理が必要で、これまで経験的な技術で実現されてきている。シンバルの打音をフーリエ変換して得た周波数分布の解析を行った。

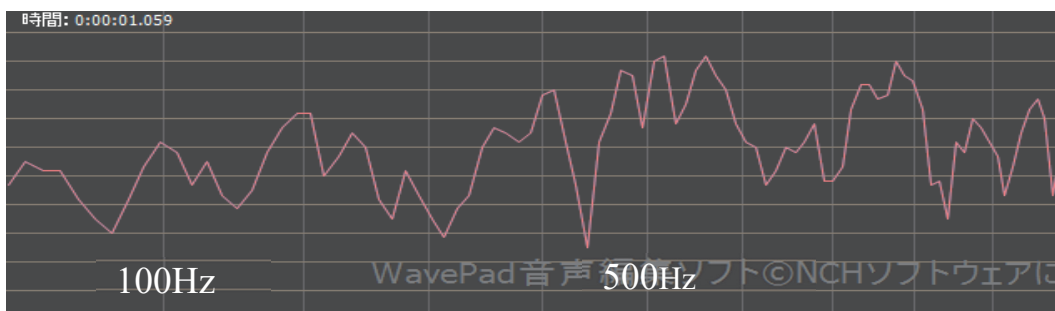


Fig. 1 Frequency dependence of tape tone for a Koide 2 1 cymbal

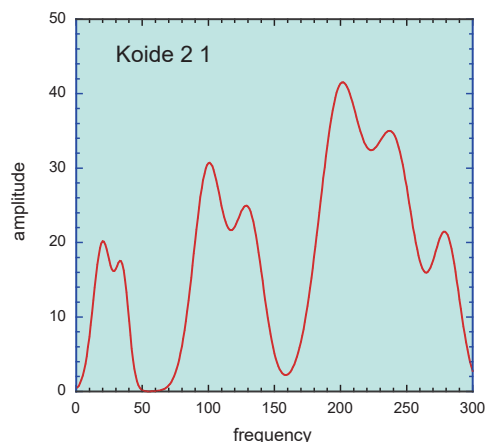


Fig.2 Calculated result of frequency distribution for a strike

2. 成果

例として小出シンバルの打音の振動数分布を図1に示す。特徴的な周波数のところでピークが出現する。ここでは1 kHzまでしか示していないが20kHzにわたりこの振動は続く。すなわち音響としては連続した音として感じるが、振動数分布に変換すると、そのスペクトルは図1に示すように連続一様ではなく特徴のあるピークの合成であることが明らかである。これはシンバルの材質、形状、塑性加工状態等に依存する振動数分布である。あるモデルで振動数分布を計算すると、図2に示すように観測値をよく説明することができる。このことからシンバルの打音の設計の可能性が示され、異次元の音響の創出が期待される。

(報告書作成日 令和7年4月30日)

銀被覆ビスマス系および REBCO 系線材の機械的特性および超電導特性の改良に関する調査研究

特別研究員 長村光造

1. 目的

銀被覆ビスマス系線材とその応用製品の改良のため応用製品の製作および使用環境で想定される様々な条件における機械的特性および臨界電流の応力・歪依存性を評価する。本年度は、REBCO テープにも対象材料を広げて、それら線材の臨界電流の曲げ歪依存性を平曲げ法および縦曲げ法により調べた。曲げ直径が小さくなると臨界電流が劣化し始めるが、その原因について材料組織学的な観点から考察した。

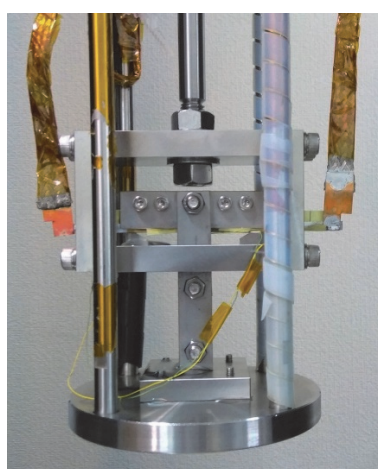


Fig.1 Edgewise bending test jig

2. 成果

図1は臨界電流の縦曲げ歪依存性を測定するための治具である。さらに横曲げ治具も用意して、臨界電流の曲げ歪依存性について調査し下記に示す成果を得た。

発表論文

- (1) 長村光造 “、大塚尚孝 “実用超電導テープ用高強度銅複合材の試作” 2024 春 低温工学・超電導学会講演概要集 1B-p04
- (2) 長村光造、町屋修太郎 “REBCO テープ線材における臨界電流のねじり・引張変形依存性” 2024 秋 低温工学・超電導学会講演概要集 3C-p03
- (3) 町屋修太郎 長村光造 Yifei Zhang, “BSCCO 線材のフィラメントの引張および圧縮破壊挙動”、2024 秋 低温工学・超電導学会講演概要集 1P-p19
- (4) 佐藤倅希、町屋修太郎、長村光造, Yifei Zhang “REBCO 切断面の断面観察による破損形態の考察”, 2024 秋 低温工学・超電導学会講演概要集 1P-p18
- (5) S. Machiya, K. Osamura, Y. Hishinuma, H. Taniguchi, S. Harjo and T. Kawasaki; Measurement of Mechanical Behavior of 11B Enriched MgB_2 Wire Using Pulsed Neutron Source <https://doi.org/10.20944/preprints202307.1651.v1>

(報告書作成日 令和7年4月30日)

IEC 国際標準化

特別研究員 長村光造

1. 目的

超電導技術に関する IEC-TC90 専門委員会においてワーキンググループ 2 (WG2) (臨界電流測定)、および WG13 (超電導線材料) のグループリーダーとして、また WG5 (引張試験) のサブリーダーとして国際標準作成のとりまとめを引き続きおこなった。MgB₂ 線材の室温引張試験についての国際共同研究、REBCO 線材の低温引張試験および臨界電流の引張荷重依存試験の国際標準化に向けた国際共同研究に参加した。

Table 1 Present status of the standardization activity

Performance Referring to the Operation of SC Wires	Critical Temp		Nb-Ti	Nb ₃ Sn	MgB ₂	BSCCO	REBCO	
	Critical Current	Uniaxial	Nb-Ti	Nb ₃ Sn		BSCCO	REBCO	
		Bending				BSCCO	REBCO	
	Retained Ic					BSCCO		
AC Loss		Nb-Ti						
Performance Related to Implementation and Engineering	Volume Ratio		Nb-Ti	Nb ₃ Sn				
	RRR		Nb-Ti	Nb ₃ Sn				
	Mech. Prop.	RT	Uniaxial	Nb-Ti	Nb ₃ Sn	MgB ₂	BSCCO	REBCO
			Bending				BSCCO	REBCO
		Low Temp	Uniaxial	Nb-Ti	Nb ₃ Sn		BSCCO	REBCO
			Bending				BSCCO	REBCO

2. 成果

現状では 5 種類の系統の超電導材料が実用化されている。それらの超電導特性、関連する物理特性について標準化が検討されている測定方法が表 1 に示されている。このなかで臨界電流については REBCO 線材の低温引張試験方法の IEC-CDV として国際標準への登録の手続きを進めるとともに、曲げ歪の臨界電流への影響について定量的な成果の得られる測定方法を調査してきた。機械的性質について室温および液体窒素温度での引張試験・曲げ試験の標準試験方法の提案と得られた結果に対する不確かさの検討を行った。これらの活動は、ドイツ、米国、韓国および日本の各機関の専門家の協力により国際 RRT のプログラムのもとで実施された。

(報告書作成日 令和 7 年 4 月 30 日)

機能的構造の最適化による MgB₂ 超電導線材の
真性ひずみ特性の改善
特別研究員 長村光造

1. 目的

2023 年度に引き続き核融合科学研究所、大同大学との 3 者連携の共同研究を実施した。機械的特性は複合超電導線の製造時、磁場発生中のコイルに発生するフープ力等を検討するうえで重要なパラメータであるヤング率、熱膨張係数を考慮して複合超電導線を設計する方法を考案することにした。このような観点から工業化されている複数の実用 MgB₂ 超電導線の機械特性を比較検討した。

Table 1 Results of mechanical test

	Columbus	Sam Dong	Hyper Tech
Filaments	MgB ₂	MgB ₂	MgB ₂ +Cu
Inner Sheath	-	Nb	-
Matrix	Ni	Cu	Nb
Outer Sheath	Cu-Ni	Cu-Ni	Cu-Ni
E_0 (GPa)	166	101	118
E_u (GPa)	167	124	126
$R_{0.2}$ (MPa)	217	173	210
E_{cal} (GPa)	152	119	116

2. 成果

室温で測定した引張試験結果よりヤング率として初期勾配から E_0 を、除荷曲線から E_u を決定した。また 0.2% 耐力と歪 $R_{0.2}$ 、 $A_{0.2}$ を求めた。それぞれ 3 社のテープについての結果を Table 1 にまとめて示す。これには今回さらに再検討した結果も含まれている。3 種類の線材の断面構造はかなり相違し、それに伴いヤング率、0.2% 耐力はかなり異なることがわかった。弾塑性挙動については SamDong 線材が他の線材と異なる振る舞いを示したが、これは耐力の小さい Cu マトリックスに原因すると考察された。一般的な傾向として 77 K でのヤング率は 5% 程度大きくなること、降伏後の耐力は低温になると大幅に上昇することが明らかとなった。

さらに線材の構造を考慮して次の Voigt 則によりヤング率を計算で評価した。

$$E_{cal} = \sum f_i E_i \tag{1}$$

ここで f_i 、 E_i は各成分の体積分率、ヤング率である。計算結果を Table 1 に示すが実測の E_0 とほぼよい対応があることが明らかとなった。とくに Columbus の線材では Ni マトリックスが使われているためヤング率が高い傾向が確認された。全般に計算値の方がヤング率は小さい結果になったが、これは MgB₂ 単体のヤング率の見積りに問題があるようで、今後精査する予定である。しかし現状の MgB₂ 線材は理想とする特性にほど遠く、さらなる線材の改質が求められることが明らかとなった。

今後は今回の成果をもとに関係者と協議して、MgB₂ 線材の機械特性試験方法について国際 RRT を実施し、標準試験方法の成立を目指したい。

(報告書作成日 令和 7 年 4 月 30 日)

共同研究員による成果

変圧器等価回路定数推定に基づく励磁突入電流判定法

共同研究員 舟木 剛
大阪大学大学院工学研究科教授

受託先名：株式会社ダイヘン

1. 目的

励磁突入電流は、変圧器投入時に鉄心が磁気飽和し、定格電流の数倍から数十倍の電流が流れる現象であり、保護リレーの誤動作を引き起こす要因となる。このため、突入電流と実際の故障電流を確実に判別することは、電力システムの安定運用において極めて重要である。従来、励磁突入電流の判定には、第2次高調波成分に基づく周波数解析法が広く用いられてきた。この方法では、突入電流に含まれる偶数次高調波成分、特に第2次高調波の大きさを利用して判定する。しかし、最近では磁気コア材料の高性能化により第2次高調波が小さくなる傾向にあり、この方法の有効性が低下している。また、周波数成分を得るためには一定期間のデータが必要で、応答が遅れるという課題もある。このため本研究では変圧器の励磁突入電流を高速かつ高精度に判定するための新たな手法として、 z 変換を用いた等価回路定数推定に基づく手法を提案する。

2. 成果

本研究では、図1に示す励磁インダクタンスと巻線抵抗からなる変圧器の等価回路定数をリアルタイムに推定し、励磁突入電流の発生を早期に検出する手法を提案する。この手法では、 z 変換を用いて電圧および電流の離散信号からインピーダンス特性を求め、そこから回路定数を計算する。 z 変換は、ラプラス変換に類似した離散時間信号解析手法であり、差分方程式を代数方程式に変換することが可能である。この変換は複素数計算を必要とせず、計算量が少なく抑えられるという利点がある。

提案手法は、 z 変換によって得られる係数をもとに最小二乗法を用いて励磁インダクタンスと巻線抵抗を求める。このとき、変圧器鉄心が非飽和状態にある場合はインダクタンスが大きく、飽和状態になると急激に低下するという性質を利用して突入電流の判定を行う。すなわち、過電流が観測された際に、推定されたインダクタンス値が非飽和時の値と比較して大幅に低下していれば、励磁突入電流であると判定する。一方、インダクタンスが極めて小さいまま一定である場合は、変圧器の短絡故障であると判断できる。

本手法の有効性を、MATLABによる数値シミュレーションおよび単相変圧器を用いた実験により検証した。シミュレーションでは、変圧器モデルに鉄心の非線形な $B\cdot H$ 特性を適用し、電圧の初期位相や高調波の有無を変化させて解析を行った。図2は飽和しない場合のシミュレーション結果であり、高い励磁インダクタンスを維持していることが分かる。図3は突入電流により飽和が生じた場合のシミュレーション結果である。パラメータとして測定点数 N を与えた。突入電流発生時には励磁インダクタンスが急激に低下し、これをもとに突入電流を約1ms以内で検出可能であることが示された。さらに、内部短絡を模擬した場合にも、推定されるインダクタンス値の違いから突入電流と明確に区別できることが確認できた。

図4に示す実験では、変圧器の電圧・電流波形を高サンプリング周波数（40kHz）で計測し、推

定したインダクタンスの時間変化を解析した。初期は 20H 程度の高いインダクタンスが観測され、鉄心が飽和して突入電流が流れ始めると 1H 以下に急減した。この変化をもとに突入電流を確実に判定できることが実証された。特に、測定点数 N を 40 点とした場合、約 1ms で高精度な判定が可能であり、従来法に比べて高速性に優れることが示された。

提案手法は、実数計算による低演算量、短時間での判定、突入電流と短絡故障の判別可能性など、多くの利点を有している。一方で、高サンプリング周波数の計測器の設置や、飽和磁束に基づく閾値設定など、運用上の課題も存在する。また、本研究では単相変圧器を対象としているが、三相変圧器や負荷接続時の適用にはさらなる検討が必要である。

以上のように、本研究では z 変換に基づく等価回路解析を用いた新たな突入電流判定手法を提案し、その実効性と実用性を示した。

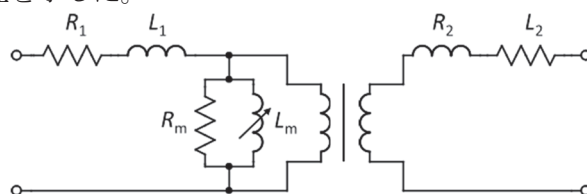
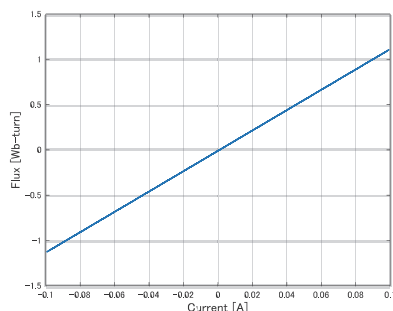
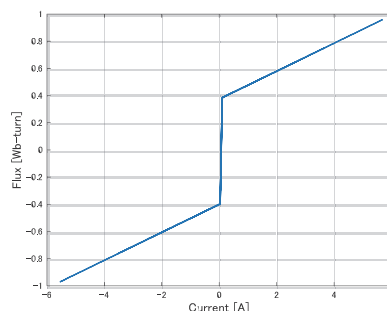


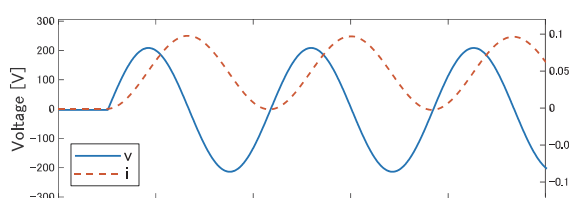
図1 変圧器等価回路



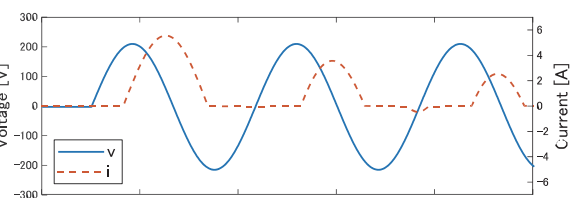
(a) B-H 特性



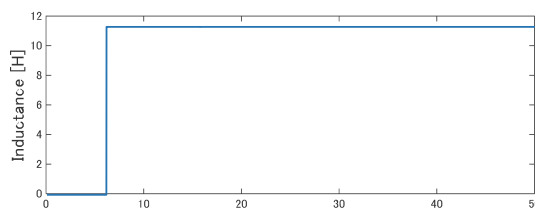
(a)B-H 特性



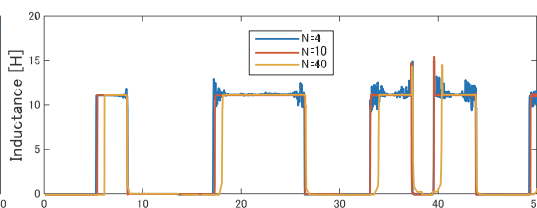
(b)印加電圧・電流



(b)印加電圧・電流



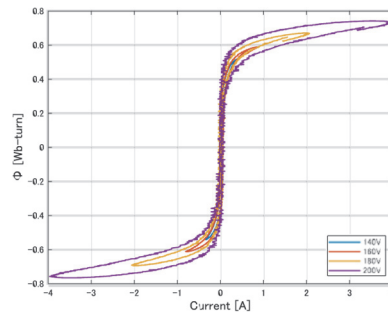
(c) 励磁インダクタンス推定値



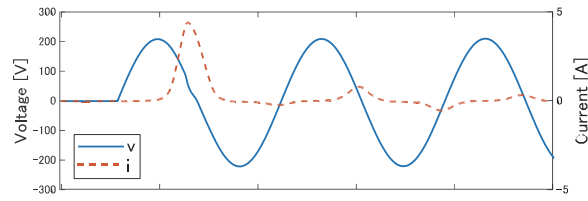
(c) 励磁インダクタンス推定値

図2 シミュレーション結果(飽和無)

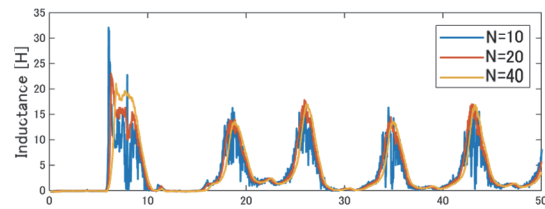
図3 シミュレーション結果(飽和有)



(a)B-H 特性



(b)印加電圧・電流



(c) 励磁インダクタンス推定値

図 4 実験結果(飽和有)

3. 成果の公表

「変圧器等価回路定数推定に基づく励磁突入電流の判定法」, 電気学会論文誌 B, Vol. 145, No. 3, pp. 311-317, 2025 年 3 月.

報告書作成日 令和 7 年 4 月 24 日

自律分散協調エネルギーマネジメントの開発

共同研究員 平田研二¹ 太田快人²

¹富山大学 学術研究部 工学系 教授

²京都大学 名誉教授

受託先名：株式会社ダイヘン

1. 目的

太陽光発電システムの連系容量の増加などを背景に、電力システムの安定運用を担保するための発電設備や蓄電池設備の制御、電力需要群に対する消費電力の制御、つまり仮想発電所を実現するための自律分散協調制御方策に関する研究推進を目的としている。

2. 成果

発電設備群や蓄電池設備群、また電力需要群の消費電力を分散協調制御する方策を考察し、仮想発電所を実現するための制御アルゴリズムを提案すると共にその有効性を数値実験、ならびに実機実験により検証している。とくに複数拠点群により構成される仮想発電所の階層分散型運用、系統電圧・位相角の分散型推定方策と計算手順、一次および三次調整力の複合約定を可能とする蓄電拠点の分散型運用などを考察、提案し、その有効性を数値実験ならびに実機実験によっても検証することができた。

3. 成果の公表

(1) 阿久津 慧, 平田研二, 寺崎隼斗, 柿木悟, 北村高嗣, 大堀彰大, 服部将之, 太田快人, 発電・蓄電・需要機器を有する拠点群により構成される仮想発電所の階層分散型運用と実験検証, システム制御情報学会論文誌, Vol. 37, No. 9, 247/256, 2024.

(2) 早野広佑, 阿久津 慧, 平田研二, 北村高嗣, 大堀彰大, 太田快人, 一次および三次調整力の複合約定を可能とする蓄電拠点の分散型運用に関する考察, 第 12 回 制御部門マルチシンポジウム, 2A5-4, 2025.

(3) 阿久津 慧, 平田研二, 小島千昭, 数値解析手法にもとづく系統電圧・位相角の分散型推定方法に関する考察, 第 67 回 自動制御連合講演会, 79/85, 2024.

報告書作成日 2025 年 5 月 26 日

分散エネルギー取引市場の 仕組みづくりに関する研究

共同研究員 阿久津 慧（富山県立大学工学部助教）

受託先名：株式会社ダイヘン

1. 目的

多数存在する需要家機器の協調運用に寄与する分散エネルギー取引市場の構築を目標としている。今年度は、3プレイヤーからなる前日市場および需給調整市場を仮想環境に構築し、リアルタイム動作も検証可能なシミュレーション環境を構築する。

2. 成果

3プレイヤーからなる前日市場および需給調整市場を模擬するシミュレーションプログラムを作成した。また、リアルタイム動作も検証するシミュレーションモデルとの連携をおこなった。

【前日市場の模擬】

各プレイヤーは自身の需要電力を考慮しつつ、前日市場への入札を作成する。入札の例を以下に示す。



Fig. 1：各プレイヤーの入札例

黒線がプレイヤーの連続値での入札をあらわし、オレンジ色の線が前日市場へ入札するため離散化をおこなった入札をあらわす。赤紫色の波線は、後述する前日市場での約定点をあらわしている。約定量・価格を、各プレイヤーの連続値入札に射影したものが赤点となっている。この赤点がとある時間帯の初期値に対応し、また需給調整市場への入札の基準となる。

3プレイヤーの入札にもとづき、需給カーブの作成、約定点の探索をおこなう。青色が供給曲線、赤色が需要曲線である。また、この曲線の交点である約定点をアスタリク（*）マークで示している。

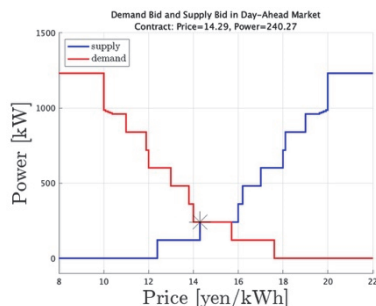


Fig. 2：前日市場（3プレイヤー）の需給カーブと約定点の例

【需給調整市場の模擬】

前日市場で約定した電力 [kW] を基準に、自身の調整可能量を計算し、それにもとづき需給調整市場への入札を作成する。また、(シミュレーション操作者が任意に変更できる) 必要量にもとづき約定量を決定する。

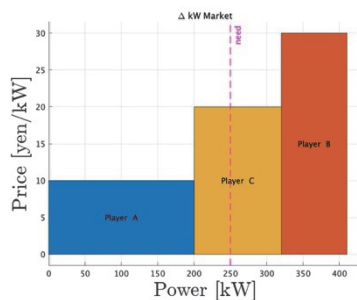


Fig. 3：需給調整市場（3プレイヤー）の入札と約定量の例

【リアルタイムシミュレーションとの連携】

リアルタイム動作を検証可能なシミュレーションと連携させ、とある時間コマを対象に、運用途中で需給調整指令が発令された場合を想定した検証をおこなった。

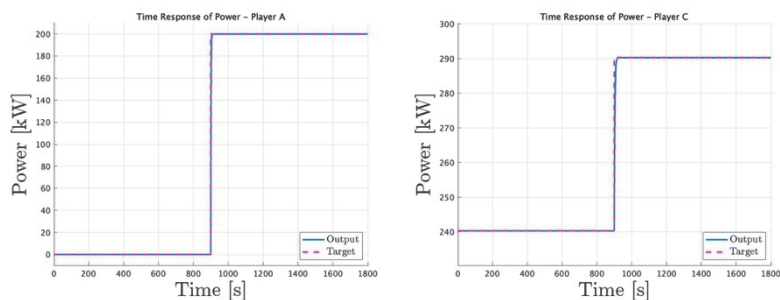


Fig.4：リアルタイムシミュレーションの動作例

短い整定時間で、出力が指令値に追従していることが確認できる。

【まとめ】

3プレイヤーからなる前日市場、需給調整市場を仮想空間上に構築し、またリアルタイムでの機器運用を模擬したシミュレーションモデルと連携が可能となった。今後は、プレイヤー数の増加や、より現実的な市場の模擬、分散エネルギー取引市場の仕組み検討が課題として挙げられる。

3. 成果の公表

- [1] 阿久津 隼, 平田 研二, 寺崎 隼斗, 柿木 悟, 北村 高嗣, 大堀 彰大, 服部 将之, 太田 快人, 発電・蓄電・需要機器を有する拠点群により構成される仮想発電所の階層分散型運用と実験検証, システム制御情報学会論文誌, Vol.37, No.9, 247/256, 2024.
- [2] 早野 広佑, 阿久津 隼, 平田 研二, 北村 高嗣, 大堀 彰大, 太田 快人, 一次および三次調整力の複合約定を可能とする蓄電拠点の分散型運用に関する考察, 第12回 制御部門マルチシンポジウム, 2A5-4, 2025. (口頭発表)

水中の有害有機物を高効率に分解可能な光触媒材料の開発

共同研究員 阿部 竜
京都大学大学院工学研究科教授

受託先名：カルテック株式会社

1. 目的

水中の有害物質や空気中の揮発性有機化合物を分解・無害化する、光触媒を用いた光環境浄化技術の研究が盛んに行われている。当研究室では、これまでに太陽光水素製造の実現を目指し、長波長光に応答する可視光応答型光触媒の開発を進めてきた。さらに、環境浄化を目的として、可視光を利用可能な酸化タングステン(WO_3)系光触媒の開発を進めており、従来の酸化チタン(TiO_2)系光触媒との複合化による分解活性の向上や、対象となる対象物質拡大に取り組んできた。光触媒材料の社会実装を見据えると、基材やフィルターなどへの固定化が不可欠であり、特に剥離耐性に優れた固定化技術の開発が求められる。本年度は、光触媒固定化基材の開発を進めるとともに、実際の環境条件を想定し、複数種の有害物質に対して高い分解効率を発揮する光触媒体の開発を目指して各種検討を行った。

2. 成果

TiO_2/WO_3 複合化光触媒を用いて、可視光照射下、酢酸と 2-プロパノール共存下の気相酸化分解を行った際の、化合物量の経時変化を図に示す。酸素還元を促進する助触媒を WO_3 表面に微量担持している。可視光光照射にともなって酢酸と 2-プロパノール量が減少し、これとともにアセトンと CO_2 量が増加した。アセトン量は、いったん飽和した後に減少した。添加した酢酸 ($26\ \mu\text{mol}$) と 2-プロパノール量 ($20\ \mu\text{mol}$) から想定される量論量の CO_2 が生成して飽和したことから、本反応は完全酸化分解反応が進行したといえる。定常的に CO_2 量が増加している時間帯の生成速度は、酢酸のみまたは、アセトンのみを添加した場合の CO_2 生成速度の和とほぼ等しかった。このことから、両基質の酸化分解が独立して進行したことが強く示唆される。今後、様々な基質の組み合わせをモデル反応として反応特性を評価するとともに、液相反応に対して剥離耐性の高い光触媒固定化基材の開発を進めていく予定である。

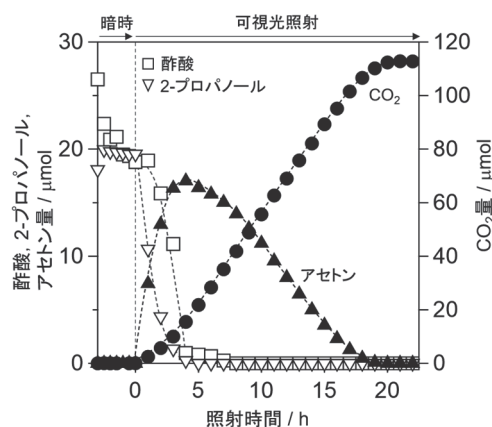


図. 助触媒担持型 TiO_2/WO_3 複合化光触媒を用いた酢酸と 2-プロパノールの可視光気相酸化分解

3. 成果の公表

今年度はなし

報告書作成日 令和7年6月12日

招聘研究員による成果（特別寄稿）

応用科学が拓く文化財研究と学際的探査

北野研究室 2023 年度招聘研究員 横山 操 活動報告

概要

北野研究室の招聘研究員として、隔月の定例研究打合せおよび所内研究者会議での報告を通じて、応用科学の視点から文化財研究における学際的な新領域開拓に努めた。

具体的には、放射性炭素年代測定や材質分析などの自然科学的手法を、多岐にわたる文化財に応用した。対象とした資料は、国立歴史民俗博物館所蔵の法隆寺建造物古材、京都大学総合博物館所蔵のエジプト遺跡出土織物、奈良県五條市賀名生の里歴史民俗資料館所蔵の後醍醐天皇ゆかりの楽器資料、そして京都大学文学部のトルファン出土仏典（出口コレクション）などである。これらの分析を通じて、自然科学・人文科学さまざまな分野の研究者らとの協力によって、各歴史資料の時代背景の理解を深めるとともに、保存管理のための資料劣化の評価・分析を行った。

得られた学術的知見は、文化財の保存と理解を深めることを目的に、国内外の学会での研究発表に加え、書籍の刊行、国際学会実行委員としての運営参画、博物館企画展示への協力にも積極的に取り組んだ。これらの活動により、応用科学および文化財科学の発展と社会普及に貢献した。

成果公表

1. 論文

- 1.1. Yokoyama, M., Sakamoto, M., Takaya, H., & Kanamori, K. (2024). 14C Dating of Historical Japanese Musical Instrument Sacks. *Radiocarbon*, 1-5.

2. 書籍

- 2.1. 岩崎奈緒子, 佐藤崇, 中川千種, 横山操 (共編著). (2023). 文化財と標本の劣化図鑑. 朝倉書店. (ISBN: 978-4-254-10301-4)

3. 学術貢献

3.1. 国際学会

- 3.1.1. 東アジア文化遺産保存学会 (2023 年 8 月) 実行委員
2023 年 東アジア文化遺産保存国際シンポジウム (札幌).
- 3.1.2. Université d'Antananarivo, Madagascar. (2024 年 8 月) Scientific Committee
The International Symposium on Madagascar Wood and Forest.

3.2. 展示協力

3.2.1. 国立歴史民俗博物館 企画展示「歴博色尽くし」(2024年3月)

4. 学会発表

- 4.1. 横山操, 高谷光, 坂本稔, 建石徹, 筒井忠仁, 吉田豊, 木津祐子, 出口康夫.
トルファン出土仏典・出口コレクション 新コディコロジー(典籍学).
日本木材学会.(2024年3月15日).
 - 4.2. 横山操, 坂本稔, 金森主祥, 小椋大輔.
水蒸気・窒素吸着によるヒノキ古材のキャラクターゼーション.
日本木材学会.(2024年3月14日).
 - 4.3. 横山操, 金森主祥, 坂本稔.
鼓胴の用材樹種とその物理的性質.
日本文化財科学会第40回記念大会.(2023年10月22日).
 - 4.4. 横山操, 坂本稔, 金森主祥, 小椋大輔.
木材の経年変化ー歴史的建造物由来古材のキャラクターゼーション.
2023 東アジア文化遺産保存国際シンポジウム in 札幌.(2023年8月11日).
 - 4.5. 横山操, 澤田豊, 仲村匡司, 成瀬正和, 坂本稔, 泉拓良, 村上由美子,
高谷光, 金森主祥, 白勢洋平.
エジプト遺跡出土織物のデータベース構築.
2023 東アジア文化遺産保存国際シンポジウム in 札幌.(2023年8月11日).
 - 4.6. 坂本稔, 箱崎真隆, 光谷拓実, 中塚武, 中尾七重, 横山操, 門叶冬樹.
過去1200年間の日本産樹木年輪の単年輪炭素14年代測定.
日本地球惑星科学連合2023年大会.(2023年5月25日).
- ### 5. 国際学会プロシーディング
- 5.1 横山操, 坂本稔, 金森主祥, 小椋大輔.
木材の経年変化ー歴史的建造物由来古材のキャラクターゼーション. P551-554.
2023 International Symposium on Conservation of East Asian Cultural Heritage in Sapporo II
 - 5.2. 横山操, 澤田豊, 仲村匡司, 成瀬正和, 坂本稔, 泉拓良, 村上由美子,
高谷光, 金森主祥, 白勢洋平.
エジプト遺跡出土織物のデータベース構築. p555-558.
2023 International Symposium on Conservation of East Asian Cultural Heritage in Sapporo II

上記5.1稿を次頁に掲載する。

報告書作成日 令和7年7月

木材の経年変化—歴史的建造物由来古材のキャラクター化—

Wood aging-Characterization of aged timber of Japanese historical wooden buildings.

横山 操^{*1}, 坂本 稔^{*2}, 金森 主祥^{*3}, 小椋 大輔^{*4}

Misao YOKOYAMA^{*1}, Minoru SAKAMOTO^{*2}, Kazuyoshi KANAMORI^{*3}, Daisuke OGURA^{*4}

応用科学研究所^{*1}, 国立歴史民俗博物館^{*2}, 京都大学大学院理学研究科^{*3}, 京都大学大学院工学研究科^{*4}

Research Institute for Applied Science^{*1}, National Museum of Japanese History^{*2},
Graduate School of Science, Kyoto University^{*3}, Graduate School of Engineering, Kyoto University^{*4}

ABSTRACT

This paper reports on the material changes of wood aging obtained through the survey of old timbers of Japanese historical buildings. Wood aging is one of the most important issues in the preservation and conservation of various wooden cultural properties in East Asia. In particular, wood is a building material with mechanical strength and moisture absorption and desorption properties, and it is essential to understand the changes in material strength and moisture adsorption properties over centuries.

In this paper, we describe the results of an evaluation of the moisture absorption performance by using some of the original members of Horyu-ji Temple, the world's oldest surviving wooden structure, as a characterization of aged wood.

1. 序論

歴史的建造物の古材調査を通じて得られた、木材の経年による材質変化について報告する。木材の経年変化現象は、東アジアにおける様々な木質文化財の修理保全においても重要な課題の一つである。とくに木材は、機械的強度と吸湿・放湿特性を有する建築材料であり、その材料強度や水分吸着性について経年による変化を理解することは必須である。

本稿では、現存する世界最古の木造建築である法隆寺の創建当初部材の一部を実験試料として用い、古材のキャラクター化として、吸湿性能評価を行った結果について述べる。

建造物古材として国立歴史民俗博物館所蔵「法隆寺建造物古材」¹⁾の員数外資料²⁾を用いているが、古材研究は、日本の木質文化財修理における伝統文化、2020年2月にUNESCO無形文化遺産登録された「伝統建築工匠の技:木造建造物を受け継ぐための伝統技術」を背景として成り立っている³⁾。明治30年(1897年)に制定された古社寺保護法以降の日本の文化財建造物保存修理事業においても、建造物の解体修理では、当初(創建)材料の再利用が原則であり、新たな材料への取り替えは最小限に抑えられている。そのため世界的にみても、日本は、それぞれの文化財建造物の構成部材であった建造物古材(建築当初材、修理材)が、極めて良好な形で継承され、今日に至る。

建造物古材の先行研究としては、小原二郎博士による古材の研究⁴⁾、法隆寺の昭和大修理調査報告⁵⁾などが知られる。

著者らは、これらの成果と課題を踏まえ、各々の建造物古材に対し、木材の解剖学的特徴に基づく樹種識別と放射性炭素年代測定および年輪年代測定を実施した上で、材料特性評価を行ってきた⁶⁻⁸⁾。その結果、経年による木材強度の低下には異方性があり、繊維方向よりも繊維直行方向において強度低下が顕著であること、数百年経過した古材の比例限度は、現生材の1/2~1/3程度であることなどを明らかにしてきた。

文化財建造物修理事業における各々の建築部材の再利用の是非判断については、今なお、宮大工や修理技術者の経験的判断によるところが大きい。近年、木質部材の生物被害調査や樹種識別などの自然科学調査が行われ、調査結果が修理工事に反映されるとともに、報告書に報告される機会が増えつつある。今後、文化財建造物修理事業において取り外された建築古材についても、系統的かつ多角的アプローチを試みる機会創出を願っている。

本研究は、これらの背景に鑑み、法隆寺古材に代表される1000年寿命木材を対象とし、木材の経年変化を理解するための、木質文化財の修理保全に資する基礎研究、古材研究として実施した。

2. 実験方法

2.1 実験試料

歴史建造物古材として、国立歴史民俗博物館所蔵「法隆寺建造物古材」の員数外資料を用いた²⁾。それぞれの資料について、木材組織の解剖学的特徴に基づく樹種識別によりヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) であることを確認し、放射性炭素年代測定によって、部材最外年輪の生育年代を決定した⁶⁾。実年代は、日本産樹木年輪も採用された最新の較正曲線 IntCal20に基づき算出した⁹⁾。本稿では、員数外資料のうち最も古い年代AD459(95.4%)を示した資料を“古材”とし、対照として木曽産360年生の現生ヒノキ材を“新材”として両者の比較検討を行った。図1に、古材および新材の光学顕微鏡写真を示す。

ここで、国立歴史民俗博物館所蔵「法隆寺建造物古材」の概要を述べる。これまで国立歴史民俗博物館において実施された放射性炭素年代測定の結果から、「法隆寺建造物古材」資料群は、4～6世紀、10～12世紀、15～17世紀に分類できることが明らかにされている。また、それぞれの時期について、法隆寺創建の7世紀、中世の修理、慶長(1603～1604)の修理に対応する用材であるとされている²⁾。このことから、本稿における“古材”についても、法隆寺建立当初材の一部、すなわち現存する世界最古の木造建造物、最古の部材の一部と考えて良い。

2.2 実験方法

材料の水分吸着性の評価法として、吸着による重量(質量)増加から吸着量を求める重量法、吸着による体積(容積)増加から吸着量を求める容量法の二種類があるが、木材の場合は、従来、前者の重量法(デシケータ法)による測定が一般的である。本研究では、木材の従来法である重量法および他の工業材料・建築材料の吸着評価法として広く用いられている容積法による水蒸気吸着実験を行い、それぞれ25℃での水分吸着等温線を得た。

重量法(デシケータ)法では⁶⁾、全乾状態の試験片を、飽和塩溶液を用いて各相対湿度に調整した密閉容器内で三週間静置した。用いた飽和塩と各相対湿度は、次の10条件とした。

LiCl(相対湿度11%)、CH₃COOH(22%)、MgCl(33%)、K₂CO₃(43%)、NaBr(57%)、SrCl₃(71%)、(NH₄)SO₄(80%)、KCl(84%)、BaCl₂(88%)、KNO₃(93%)。

容積法(機器分析)には、ガス吸着測定装置 BELSORP-max(マイクロトラック・ベル株式会社製)を用いた。サンプルセル内で、80℃一昼夜の前処理による全乾状態を経て、水蒸気吸着実験に供した。相対圧測定範囲は0.03～0.93であった。

続いて、ガス吸着測定装置 BELSORP-mini II(マイクロトラック・ベル株式会社製)を用い、窒素ガス吸着等温線についても測定した。

これらの吸着等温線を用いたキャラクタリゼーションとして、BET式の適用によって吸着比表面積を算出するとともに、それぞれの吸着質による吸着特性から、親水性・疎水性の評価を行った。

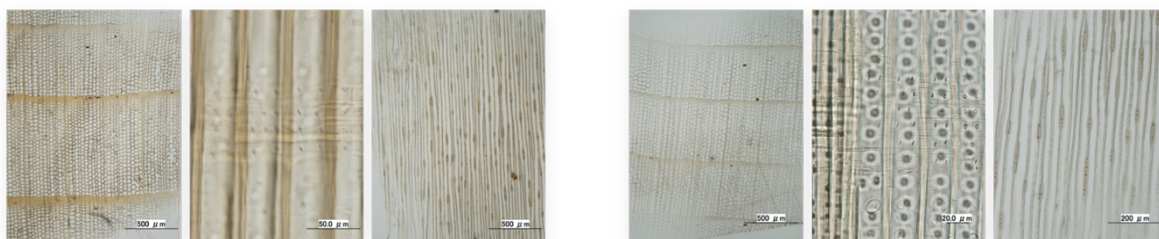


図1 ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) 光学顕微鏡写真
左・古材(木口面・柁目面・板目面)、右・新材(木口面・柁目面・板目面)

3. 結果

結果の一例として、図2にデシケータ法によって得られた古材および新材の水分吸着等温線を示す。デシケータ法（重量法）、容積法（機器分析）、いずれの吸着等温線も典型的なシグモイド型を示し、すべての相対湿度範囲において、古材の平衡含水率は、新材のそれよりも低い値を示した。これらの傾向は、既往の報告とも矛盾しなかった^{4, 10)}。

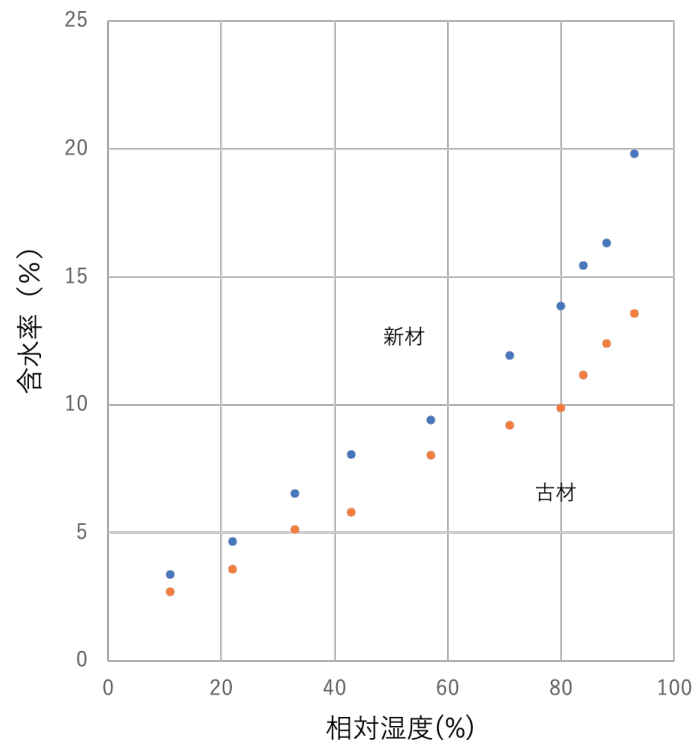


図2 水分吸着等温線 (25°C)

得られたそれぞれの水分吸着等温線に対し、低相対湿度域において BET 式を適用し、吸着比表面積を算出した。その結果、古材の吸着比表面積は、新材のそれよりも、約 20%小さいことが示された。一方、窒素ガス吸着等温線に対して BET 式を適用した場合には、古材と新材、両者の吸着比表面積に顕著な差は認められなかった。

このことは、木材中の水分吸着活性の高い吸着サイト数が経年によって減少すること、すなわち、経年によって吸湿性が低下するだけでなく、木材の微細構造、木材細胞壁の空隙構造にも変化が生じていることを示唆している。

ここで、多孔質材料における空隙は、材料構造に幾何的特徴を与えるのみならず、熱や音などのエネルギー伝播、水蒸気を含むガスなどの物質移動の媒体として極めて重要な役割を果たす。一般に、材料内部の空隙と物性発現には相関があり、近年、セル構造体中のナノ～マクロに至る複数スケールの空隙構造の制御によって目的の物性を発現させる技術開発が行われ、環境・エネルギー関連や構造材料として配慮された材料設計手法の一つとなっている¹¹⁾。

また、文化財建造物等において近年進められている湿熱解析では、木材の材料内部の水分状態について評価がなされている¹²⁾。木材をコンクリート等の多孔質建築材料と比較した場合、メソ孔からミリ孔までさまざまなサイズの空隙が広く分布することが材料特徴として挙げられ、その観点からも、木材の経年変化として、水分吸着性のみならず、材料内部の空隙構造についても把握することが必要である。

履歴の明らかな歴史的建造物古材のキャラクタリゼーションを通じ、木材の経年による材質変化を明らかにすることにより、木質文化財保全のための基礎データの更なる充実を図りたいと考えている。

4. 謝辞

資料来歴についてご教示くださいました国立歴史民俗博物館・名誉教授・濱島正士先生、建築部材表面痕跡についてご教示くださいました京都工芸繊維大学・教授・清水重厚先生に深謝いたします。

また本研究は、国立歴史民俗博物館共同研究“建造物古材による木質科学的資料研究”ならびにJSPS 科研費 JP2645230 “多孔質材料としての木材の経年変化—レオロジー解釈のための基礎検討”の助成を受けました。

5. 文献

- 1) 国立歴史民俗博物館所蔵「法隆寺建造物古材」資料番号 H-249
https://www.rekihaku.ac.jp/upcgi/getdocrd.pl?tn=1&ti=131598&h=. /history/w11689765710_22787&ch=1&p=param/syuz/db_param&o=1&k=20&l=&sf=0&so= (参照 20230530)
- 2) 国立歴史民俗博物館研究叢書 8 樹木・木材と年代研究 坂本 稔・横山 操編 朝倉書店 2021.3
- 3) 文化遺産オンライン 伝統建築工匠の技：木造建造物を受け継ぐための伝統技術
https://bunka.nii.ac.jp/special_content/ilink4 (参照 20230530)
- 4) 古材に関する研究、小原二郎、千葉大学工学部研究報告、第9巻、第15号、4-95(1958)
- 5) 法隆寺国宝保存工事報告書、第4冊、法隆寺国宝保存事業部(1938)
- 6) 歴史的建造物由来ヒノキ材の年代判定、横山 操、伊東 隆夫、川井 秀一、尾寄 大真、坂本 稔、今村 峯雄、光谷 拓実、窪寺 茂、濱島 正士、国立歴史民俗博物館研究報告 176, 57-79, 2012
- 7) 木材の経年変化 歴史的建造物由来ヒノキ古材を用いた検討、横山操、マテリアルライフ学会誌、27(2) p39-45
- 8) Mechanical characteristics of aged Hinoki wood from Japanese historical buildings , Yokoyama, M., Gril, J., Matsuo, M., Yano, H., Sugiyama, J., Clair, B., Kubodera, S., Mistutani, T., Sakamoto, M., Ozaki, H., Imamura, M., Kawai, S. Comptes Rendus Physique 10(7) 601-611 (2009)
- 9) The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0-55 cal kBP), Paula J. Reimer, William E. N. Austin, Edouard Bard, Alex Bayliss, Paul G. Blackwell, Christopher Bronk Ramsey, Martin Butzin, Hai Cheng, R. Lawrence Edwards, Michael Friedrich, Pieter M. Grootes, Thomas P. Guilderson, Irka Hajdas, Timothy J. Heaton, Alan G. Hogg, Konrad A. Hughen, Bernd Kromer, Sturt W. Manning, Raimund Muscheler, Jonathan G. Palmer, Charlotte Pearson, Johannes van der Plicht, Ron W. Reimer, David A. Richards, E. Marian Scott, John R. Southon, Christian S. M. Turney, Lukas Wacker, Florian Adolphi, Ulf Buentgen, Manuela Capano, Simon M. Fahrni, Alexandra Fogtmann Schulz, Ronny Friedrich, Peter Koehler, Sabrina Kudsk, Fusa Miyake, Jesper Olsen, Frederick Reinig, Minoru Sakamoto, Adam Sookdeo, Sahra Talamo, RADIOCARBON, vol62. No. 4. p725-747
- 10) 経年による木材の水分吸着特性の変化 -歴史的建造物由来ヒノキ古材を用いた検討-, 横山 操, 材料, vol.56 No.3 pp.207-211
- 11) たとえば、Controlled pore formation in organotrialkoxysilane-derived hybrids: From aerogels to hierarchically porous monoliths, Kazuyoshi KANAMORI, Kazuki NAKANISHI Chem. Soc. Rev. 40, 754-770 (2011).
- 12) 伝統木造建築の殺虫を目的とした加湿温風処理時における温湿度制御条件に関する研究 その1 実験による木材内部の温湿度挙動の把握、野村 暁里、小椋 大輔、北原 博幸、藤井 義久、日本建築学会近畿支部研究報告集 環境系 60号 301-304 (2020)

參考資料

歯車事情 調査アンケート

2024 夏

久保愛三編

*****JSME からの依頼の主要部*****

久保 愛三 先生

お世話になっております。日本機械学会、事務局学会誌担当の大黒と申します。

突然の連絡で恐縮ですが、機械学会誌の連載企画について相談があり、連絡させていただきました。

機械学会誌の2024年1月号から全12回の連載で、従来は機械工学の主要な科目であったが、現在ではその講義がなくなる、あるいは講義内容が大きく変わってしまったり縮小されてしまった科目について、科目の持つ歴史的背景や知識の体系・科目履修の重要性あるいはこれからの科目の在り方などについて産学からの提言やコメントを寄稿いただく企画を実施しております。

本企画は「絶滅危惧科目-基盤技術維持のための再考-」と題して、蒸気工学、ねじ、流体機械、化学工学、金属工学、内燃機関、機構学、設計製図、溶接、塑性加工を取り上げます。

本企画の最終回（12月号）で、歯車についてご執筆をお願いしたいのですが、ご検討いただけないでしょうか。分量は、2ページ（約3,000字程度）です。

なお、本企画と同趣旨の動きとして、関西経済連合会が提言を出されています。

<https://www.kankeiren.or.jp/material/pdf/110823%20Rikoukei%20jinnzai%20Teigen.pdf>

唐突のお願いで大変恐縮ですが、ご検討のほどよろしくお願いします。

これを受けての、久保からの歯車関係者への質問内容

*****大学の先生宛の依頼内容*****

私は現在の機械系の授業カリキュラムの状況を全く知りませんので、情報の提供をお願いする次第です。

- ① 現在の機械系におけるカリキュラムの主要部
- ② その中での基盤機械工学の位置づけと実施出来る講義内容（きわめてラフな情報だけで結構です）
- ③ カリキュラム作成時の教育目的・意図、それを実現するためのカリキュラム作成上の難しさ
- ④ その他、なんでも、この際、世の中に言ってほしい貴希望・御意見

*****企業の方への依頼内容*****

私は現在の産業界のこの方面の状況を全く知りませんので、情報の提供をお願いする次第です。

- ① 企業の中での機械技術、歯車の重要性の50年前からの変化
- ② 新入社員の歯車についての知識の50年前からの変化
- ③ 入社後の新入社員の歯車についての知識進歩状況の50年前からの変化
- ④ その他、なんでも、この際、世の中に言ってほしい貴希望・御意見

寄せられた情報や意見

出来るだけ原文のままで掲載していますが、投稿者の身元や本文中の会社名などは、起こりうる色々な問題を避けるため、編者が独断で不明にしています。ご理解の程、お願い申し上げます。

*****元大企業 研究・品証：元大学教員*****

大学の絶滅科目「歯車」?について、企業と大学で教育と技術開発を経験して感じたことを、コメント連絡させていただきます。最近の国立大学法人の内情をよく知りませんので、大学も様変わりしているかもしれません。何処かに参考にしていただける箇所があれば幸いです。よろしくお願い申し上げます。

1. 企業での「歯車」教育取り組み事例

弊社では社内の研修センター（弊社および関連会社のための集合教育施設）での歯車教育は2講座

1) トライボロジー設計技術講座（トライボロジー学会誌トライボロジストで公表済）

	8:00	12:00	13:00	17:00	18:00
第1日目	開講式	トライボロジーの考え方 (トライボロジーの基礎、企業での主要課題解決への取り組み方)	すべり軸受設計技術 (流体潤滑メカニズム、すべり軸受の種類と特徴、すべり軸受設計手法、軸系設計手法)	懇親会	自習 (トライボロジーの基礎)
第2日目	すべり軸受設計技術 (すべり軸受動圧発生実験、設計演習：ジャーナル軸受)	歯車・転がり軸受設計技術 (弾性流体潤滑理論、転動面設計、歯車設計、転がり軸受諸元設計、歯車継手設計)	歯車・転がり軸受設計 (設計演習：転動面、歯車、転がり軸受信頼度)		
第3日目	シール設計技術 (シールの種類と特徴、非接触シール設計手法、接触シール設計・選定手法、設計演習：非接触シール、接触シール)	境界潤滑設計技術 (設計手順、焼付き限界マップ、摩擦面温度推定)	境界潤滑設計技術 (設計演習：耐焼付き設計)		
第4日目	境界潤滑設計技術 (焼付き、摩耗、限界向上策)	固体潤滑設計技術 (焼付き・摩耗限界、特殊環境対応)	トラブル事例 (社内事例：社内最新開発技術)	閉講式	

狙い：共通基盤技術としての機械要素のトライボロジー技術を考える

時間：講義時間は約50時間（大学の1コマ1.5時間に換算すれば、33コマ相当、2期分相当）で、宿泊施設で夜間は自習・復習

内容：業務に使えるレベル

（大学での講義レベルより高く、実用事例、トラブル対策など、企業活動にそのまま展開できる）

取り上げる機械要素：流体潤滑（すべり軸受、非接触シール）

混合潤滑（歯車、転がり軸受、トラクションドライブ）

境界潤滑（すべりブシュ、摺動面、ピストンリング）

固体接触（摺動面摩耗、固形異物エロージョン摩耗）

歯車の位置づけ：多くの機械要素の一部として、転がり要素（歯車、転がり軸受、トラクションドライブ）として取り扱う。他の機械要素と同時に講義することで、歯車特有の難しさを理解させる。

設計演習：歯車歯面強度設計計算

現状：内容を更新しながら、年1回実施（受講者10～20名/回）

2) 動力伝達システム設計講座

時間：講義時間約30時間

内容：動力伝達システムとして、機械式（歯車、トラクションドライブ）、流体式（油圧、空圧、水圧）、電気式（駆動モーター、制御モーター）

狙い：種々の動力伝達システムを選択肢の一つとして考える。製品の競争力強化、高付加価値化に**最適な方式を選ぶ**

**歯車の位置づけ：歯車の使用効果は、他の方式を同じレベルで知ること、初めて理解できる。
動力伝達システムを設計するうえで、いわゆる歯車しか使えないことにならないように。**

現状：歯車の外注化が進むに伴い、講座の実施は中断中

2. 重機械メーカーでの「歯車」の取り扱い

1) 機械要素としての歯車の位置づけ：歯車は特別な機械要素ではない

重機械メーカーで重要な機械要素は、軸受、歯車、シール、摺動面（ピストンリングライナ）などの順番で、昔から「歯車」を特別な機械要素として扱っていない。変速機のない大型回転機械も多く、軸受の方が重要機械要素でありました。

2) 機械システムの一要素として、他の機械要素と組み合わせてシステム高度化を図っている

重機械メーカーでは、製品（機械システム）開発段階で、どの機械要素が厳しくなるかを常に考え、たまたま歯車が厳しいとなったときに、歯車技術開発が進みます。

すべての機械要素についてあるレベルに達していないと、製品開発ペースに追いつきません。

そのため以前は、**機械要素の研究開発は必要時にやるというより、日々要素技術の進展に対応し、イザというときに、蓄積した技術を使うという進め方をとっています。**

なお、最近は機械要素（歯車も）を自主技術開発のない外注部品として、開発しない傾向が進んでおり、明らかに機械製品高性能化競争のスタートダッシュが切り難い状況が生まれています。

昔は、要素から開発すると他社と競合できる製品にならない。**と思っていましたが、多くの会社がそうするようになってきたので、要素外注もさほど大きな問題ではなくなってきたようです。**

※重機械メーカーの内作状況（メーカーによって若干異なりますが、概ねはこのような方向かと）

内作を維持：大型エンジンのピストンシリンダ、大形タービン用すべり軸受、大形船用船尾管軸受、軸、ラビリンスシール、ねじシール、摺動部品

内作から外注傾向：**大形歯車（変速機）、航空機用変速機、油圧シリンダ**

外注に移行済：**小形歯車、トラクションドライブ、歯車継手**、弾性継手、大形ボールねじ（送りねじ）、小形船尾管軸受（ゴム軸受）

もともと外注：**転がり軸受、小形すべり軸受、オイルシール、メカニカルシール、小形ボールねじ**、ねじ・ボルトナット、ベルト、（発電機・ダイナモ）、磁気浮上軸受、ピストンリング

3) 企業の機械製品高度化ニーズが減退しているため、「歯車」高度化ニーズも減退している

かつての高度成長期には、世界と競合し追いつき追い越せの時代では、機械製品の高性能化がセールスポイントでした。変速機の高性能化、大出力化ニーズも高く、技術開発が必要で、必然的に国内の大学にも開発支援要請が出ていました。

現在、世界で機械製品性能向上ニーズが停滞しているため、変速機性能向上ニーズも停滞しています。

過去に歯車研究をし、現在他の専門に転向した多くの大学教員経験者は「歯車技術は飽和した、あまりやることはない」と言いますが、的外れのように感じています。その理由は、何に対して飽和したというのかを考えるとわかります。

その研究者が到達した時代の機械性能目標に対して飽和したことであり、時代が進めば、技術目標が上がり、飽和することはありません。

機械要素の技術は、その応用先である機械製品の性能ターゲットが上がれば、果てしなく向上させねばならないもので、**要素側から飽和したと言うような考え方はできません。**新たな機械環境、製品環境を目指せば、それなりに高度化した機械要素が必要になってきます。

「歯車」「軸受」「ねじ」「シール」などの機械要素技術が現状のままで、機械システム製品が世界トップに抜け出せることはありません。逆に、上記のことに気づき、日常的に要素開発に注力している企業にしか、先行のチャンスは巡ってきません。

4) 大学での「歯車教育」「歯車技術開発」への期待

企業と大学に所属してみて「歯車」の教育を行った経験からすれば、**主要企業は大学での歯車教育には期待していない、科目がなくて当たり前のように思います。**これは今に限ったことではなく、高度成長期でも同様なことでした。企業が歯車開発を必要としていた高度成長期には、大学の「歯車」に関する研究論文が量産されましたが、**その中で大学で「歯車」教育（科目）が行われていたようには感じていませんでした。**従って、新入社員も「歯車」が専門？などはいませんでしたので、企業では入社後に教育するしかなかったのが実情です。

5) 私見： 大学での「歯車」の取り扱い

将来必ず機械システムの性能目標値が上がると考えれば、その時期に対処する若手（大学生、高専）に、その時に備えての教育を行うのも本来の大学の使命だと思います。しかし、**歯車が絶滅危機科目になるということは、大学と産業界で、歯車を活用した機械システムの高性能化の将来ビジョンが共有されていないことが大きな原因のように思います。**

しかし、このようなことは今に限ったことではなく、以前から「科目」として取り扱われたことはなく、機械設計科目の機械要素のごく一部として取り上げられていただけのように思います。

「歯車研究」を行っていた大学では、大学院などでの歯車関係の修士論文テーマに係る学生が当該教員から「特別な歯車講義」を受けていたことはありますが、それは狭い研究室レベルの話で、大学カリキュラムに関係する話にはなっていませんでした。

古い話（昭和40年代）で恐縮ですが、高度成長期で船用タービンとその減速歯車の大出力化、大型化が進んでいたころ、自動車ではトヨタのカローラが新発売された頃です。私が在籍していた工学部生産機械工学科では、なんと「歯車」という講義が必修科目でありました。歯車の設計と加工に係ることをひととおり履修しました。特殊な学科だったと思います。これは、歯車工作の研究をされていた和栗先生が、学科設立に大きく関与されていたことに由来するもので、同じ工学部機械系の機械工学科や動力機械工学科には「歯車」に関する科目はありませんでした。

当時（昭和40年前後～）は、歯車3研究者（東北大成瀬先生、東工大中田先生、九大和栗先生）が学士院賞を受賞された時代で、産業界の歯車開発ニーズが強い時代でしたが、工学部の中での「科目」は特に歯車をということはなかったように思います。修士課程在学中には、機械工学科の機械設計、機構学（歯車機構はいつも期末試験問題になっていたようです）、

潤滑工学（トライボロジー）や流体機械の先生からは、生産機械工学科のかなり歯車に特化したカリキュラムに対して、もっと広く機械や機械要素を知り、歯車しか知らない「歯車屋」にはなるなと、諭されたこともあります。日本には他にも開発して行かねばならない機械製品が多くあるので、いきなり歯車のような小さな機械部品に取り組むのではなく、もっと幅広く研鑽した方が良いというような趣旨でした。納得でした。

機械工学科の「歯車」の認識はそうのように冷めたもので、これが多くの大学子学部普通の歯車認識だったように思います。

機械製品を作る企業で活動してみて、その意味はよく分かりました。「歯車」だけでは、企業内では

あまりにも狭い専門領域であることが分かりました。

6) しかし、企業ではなお主要機械要素としての重要性は失われていない。教育は自前で行う。

世界と競合するためには、工学部卒業生の学力（技術力）が心配。

各企業のレベルで自前の教育が行われています。日本歯車工業会のギヤカレッジですが、大学でこのボリュームで科目として行われたことはありません。大学（学問）から産業界（技術）への移行を具現化した例と思います。

企業やギヤカレッジで歯車の話をしてみて気になることがあります。演習をしてみるとよくわかります。ギヤカレッジなどのテキストのレベルに、受講者がついてこられていないのではないかという心配です。

歯車を議論する以前の問題として、「歯車はもとより」、「歯車を理解するための基礎科目の勉強不足」なのではないかと思えます。工学部機械系に進学する学生の学力レベルが低いのか、4力をはじめとする基礎科目の習得を甘くしている（単位は取って卒業しているわけですから）のか、**必修科目の習熟を徹底しない安易な大学教育にも、卒業生の技術力低下の原因があるように感じます。**

ある程度の歯車関連の製品や技術がある企業は、「4力」も「歯車」も大学で習得できていないことを前提として自前教育などで対応していると思います。

これは歯車に限らず軸受なども同じ状況です。

3. 工学部、高専での「科目」

1) 科目の存廃は大学経営の考え方に依存

大学の教育科目の存廃は、大学と産業界が相談して決めるものではなく、大学が産業界の動向を見ながら、自主的に決めて行っている。

「絶滅危惧科目」というような言葉は「大学の価値観」に依存した表現です。

「大学の価値観」特に「工学部 Engineering」は、社会文明の変化に追従する応用科学（人の安寧に貢献するものを工学という）です。人のためになるなどのハードルがない大学の基盤学部「理学 Science」（数学、物理、化学・・・）関連の科目が永遠に（多分）無くならないのとは異なります。

文明社会で「人々の安寧を生み出すことに貢献する、すなわち役に立つ」ことの認識は、時代とともに変遷して行きます。

日本の工学部をイメージすると、役に立つことを判断する対象が、産業界（企業活動）の動向に依存しています。すると大学の規模が限られていると、より産業界のニーズ、すなわち大学の手を借りてでも手にしたい技術が学問（研究テーマ）となり、付帯して教育科目となる。**産業界が技術を手に入れば、学問の必要はなくなる。**無くなりつつある、すなわち産業界の技術として役に立つようになった教育科目を「**絶滅危惧科目**」と言っているように感じます。本来の大学の姿（理念）として、社会や環境の変化にも動じない、人類や文明の進展に寄与する基本的な知見や知識を生み出す場と考えると、理系では理学部のような内容を当てはめがちです。しかし、その由来からして日本の工学部は産業界が必要とするものに特化して行かざるを得ないもので、**工学部は産業界の実験室の様相を示しています。**もちろんそれが悪いということではなく、当然の進め方と思いますが、**そう考えると、工学部で教える科目の盛衰が理解できる**と思います。

2) 産業構造の変化に対応した「絶滅危惧科目」という表現

工学部の教育科目の動向は、大きな日本の産業構造の変化の影響を受けている。

例えば、かつての機械工学科の花形科目は、基礎科目4力学（材料力学（静力学）、機械力学（動力学）、熱力学、流体力学）と**その時代の主産業に関連した応用科目**でした。

（不正確ですが）

昭和25～40年頃 石炭採鉱関連（掘削、石炭粉碎、石炭炊きボイラ、蒸気タービン、発電機、歯車やワイヤロープ）、蒸気工学、ねじ、流体機械、化学工学、金属工学、内燃機関、機構学、設計製図、溶接、塑性加工

昭和35～45年頃 石油関連（輸入石油依存）（石油専焼ボイラ、蒸気タービン、ガスタービン、発電機）、蒸気工学、流体機械、発電機、原子核工学、化学機械・・・

昭和45～平成 石炭関連（輸入石炭依存）（石炭炊きボイラ、蒸気タービン、発電機）、ファインメカニクス、ロボット、計算機・・・

令和～ メカトロ、MEMS

さらに現在、機械系で復活や更新、存続を議論すべき科目がある。原子力利用（政治的な意味も含め確実に将来のキー技術）、輸送機械（自動車、船舶、航空機、ロケット）、知能機械（機械制御、メカトロ）、非化石燃料利用、水利用、バイオ、医工・・・いろいろな科目が考えられます。

誰かに仕組まれた温暖化→CO2削減ビジネスが世界に蔓延した今、そのトレンドをうまく利用して新たな機械製品を生み出して行くために、必要な技術があるような気がしています。CO2削減が水戸黄門の印籠になってしまったので、そのトレンドの存否を議論しても始まらない、CO2を言い出した人の勝ち！、トレンドに乗っかるしかないのが、機械産業界の進み方になっています。

現在はその方向で、大学の科目（ひょっとして大学自体）の存廃が決まっていっています。すべては「**大学の価値観、大学が生き残るための仕業**」で生じていることです。そこで、機械学会は「学問」すなわち大学中心で動いていますので、**産業界では思いもつかない「絶滅危惧科目」というような表現が生まれてきたのか**と思います。

3) 「**絶滅危惧科目**」になった理由は、**大学（学問）と産業界（技術）の分担が変わった、とも考えられる**

「絶滅危惧科目」と言われる科目は、産業界で必要が無くなれば、自然に絶滅する。

日本の工学部で消滅して行ったあるいは消滅しつつある科目を次のパターンがある。

（太字は今回、機械学会がリストアップした絶滅危惧科目を下記に分類してみると良いと思います）

1. 学問（研究開発の対象）であるが、産業界のニーズが弱い
2. 学問（研究開発の対象）であるが、大学では産業界のニーズに対応できない
3. 学問（研究開発の対象）であるが、発展的に他の科目に変化
4. 学問（研究開発の対象）ではないが、産業界のニーズで残っていた
5. 学問（研究開発の対象）ではないが、産業界でのニーズもない
6. 学問（研究開発の対象）ではないが、産業界のシーズになる
7. 学問（研究開発の対象）ではないが、産業界のシーズにもならない
- 8.

4) 「**技術（産業界）**」が「**学問（大学）**」を超えて行くと、その科目の教育と進展は「**技術**」側に移行する。 そして大学では「**技術**」になった科目の代わりに、新たな「**学問**」が入り込んでくる。

「歯車」においては、現象が十分に解明されていなくても、現実には多くの課題が解決されています。過去の研究成果や経験によって、ほとんどの課題が実用上問題ないレベルで解決されてきています。

「工学」的視点で見れば、このことは「学問（大学）」が「技術（産業界）」を追いかけている状況です。

技術が学問を超えると、大学での研究や教育はさほど必要ではなくなります。

産業界が自主的に技術活動できる状況に到達すれば、大学での研究活動要請もなくなり、研究項目から外れて行き、研究者もいなくなり、必然的に科目も消滅してゆきます。ということになったのだと思います。

このように「歯車」に限らず、大学での研究レベル（学問）を企業（技術）レベルを超えたものの教育は「技術側（産業界）」に移行してゆきます。

「学問」が「技術」に追い越された科目は大学でやる必要もなく、科目が消滅して行きました。

移行にあたって、産業界側では各企業の教育能力の有無が問われ、問題が出てくる企業も出ます。

教育できない企業にとっては、何とか大学で教育して欲しいと思いますが、技術が学問を追い越した領域のことは、もう大学ではやりません。

なお、心情的には残してやって欲しいと思いますが、**大学は新たな「学問」に取り組む必要があり**、技術になった科目をなくして行くことは自然なことだと思います。やめることを産業界に相談する必要はなく、もう学問ではないと思えば、自主的に廃止できるのが大学だと思います。

私の経験ですが、実際に修士課程から某重機械メーカーの研究所に就職したときに、「歯車」に関しては、学部や修士課程でやっていたことの方が会社の研究開発の技術レベルより高いのではないかと感じました。学部の講義ノートは、会社での研究活動に使えるレベルでした。

実際、会社からの歯車やトライボロジーの教育は受けないまま、多くの製品の歯車開発に係ってゆきました。

この時代は、未だ「学問（大学）」が「技術（産業界）」を上回っていたとの実感がありました。

6) **機械学会で採り上げた絶滅危惧科目の問題は、個々の科目内容だどころではなく、「機械工学、機械工学科」の在り方の問題ではないか**

「ねじ」や「内燃機関」などを個々に議論しても、その分野専門の人からは見えない力（大学の価値観）で決まっているような話

「歯車」科目の質は、歯車研究をしている大学のものがより高度（産業界で使えるという意味で）でした。機械工作、機械要素（機械部品）設計、機械製図、機械工作などは徐々に科目から消えて行き、代わりに、電気・電子・情報・応用科学・バイオ、機械システム制御（ロボット）や技術経営などが入ってきたように思います。

機械工学は、何でもありのところですので、機械に必要な新規な内容がどんどん増えてきます。すると、科目を新規に変えて行くに伴い、多くの大学の機械工学科の名称が変わり、今や機械工学科という学科を持つ大学は少数派になってしまいました。

新しい学科名を見ても、その中に機械、ましてや絶滅危惧科目の有無など全く想像できません。**大学の教育可能ボリュームが変わらないとすれば、絶滅危惧科目に代わる「新科目」が入ってきているはずで、そこに「歯車」の居場所はないということだと理解しています。**

7) **しかし、絶滅危惧科目は産業界独自で教育しているので、大学から絶滅しても問題はない**

本メール冒頭の内容の繰り返しですが、某重機械メーカーで、研修所（社内教育）での、トライボロジー、動力伝達システムなどの教育を行ないました。これらは大学でほとんど教えなくなっていた科目だったのと、大学のレベルより企業ないレベルが高いという理由もありました。

「トライボロジー」は機械設計の一部として歯車、軸受、シール、摩擦、摩耗、潤滑（油膜計算）、

「動力伝達システム」は歯車変速機、油空水圧駆動（変速）、電動機駆動（変速）の内容を決め、実行していました。

私の狙いは、「歯車」だけを研究したり技術開発してもダメ、社の機械製品に使うためには、他の要素「軸受」「シール」をしっかりと、研究しておかないと、いざというときに、軸受技術不足で良い製品開発にならない。という点でした。歯車装置のトラブルの半分は軸受という現実を見ようということです。

ただ、歯車は他の機械要素より内容が難しい、逆に言えば**歯車が理解できたら他の機械要素は簡単に理解できる**、ということで、歯車は相当詳しく社内教育していました。歯車のためにも、歯車の周辺技術、競合技術を知ることが、必要ということで、電動機やトラクションドライブ等も考えられるようにということで、進めました。

今思えば、**歯車は多くの機械要素のひとつだが、内容や現象が難解なために、「学問」たり得た（大学で取り扱えた、研究論文も書ける）もので、時がたち、時間がかかったがやっと、「歯車技術」が「歯車学問」を超える時期になり、企業で教育できるようになった（企業でやるしかない）**ように思います。

軸受やシール、ねじなどと同じ運命（さだめ）のものと思っています。

4. 機械学会の「絶滅危惧科目」という言い方に違和感あり

機械学会の誰がリストアップしたのかわかりませんが、面白おかしく「**絶滅危惧科目**」というような、わざわざその技術領域を「貶める」ような用語を使うことになったようです。この言い方は、もう要らなくなった技術領域のような印象を与えるだけで、その道の専門技術者の意欲を削ぐだけで、何のメリットも生まれません。

機械学会企画の皆さん（中にはかつて大学生だった企業の人もいると思いますが）の言い方はまったく、**大学人の技術に対する見方、価値観に由来する偏った言い方で、産業界の技術者から見ると違和感があります**。機械学会の価値観はほぼ「大学」の価値観なので、仕方がないことかもしれませんが、日本機械学会誌は国内の主要学術誌ですので、国内へのその影響力はまだ残っていると思います。そこで学会誌には、**「絶滅危惧科目」の定義、なぜそういうのか、その言葉を発する主体は誰なのか、を明らかにしなければ、機械学会が「絶滅危惧科目」と認定し、その科目や関連技術が不要な技術であるとの、誤ったメッセージになるリスクがあります**。

すなわち、「大学の学問」「産業界の技術」の在り方、変遷を考えると、全ての技術は、時代の変遷とともに、「学問」から「技術」移行してゆくもので、**機械学会での連載記事が、大学で教育する必要がなくなった内容は不要な技術であるとの誤解を与えないようにしてほしい**と思います。

大学で教えなくなった理由の多くは、それは技術が高度化し、「技術」が「学問」を超えた証の部分も多々あります。**機械学会会員には大学人だけではなく、産業界の人の方が多いためですから、その技術が世の中から消えてしまうような印象につながらないような、記事編集になるといいな**と思います。

*****自動車メーカ、設計*****

私自身が入社して10数年ですので、50年前からの変化がわからず、諸先輩方や若手社員から聞き取りをした結果と自分の考えを回答します。

① 企業の中での機械技術、歯車の重要性の50年前からの変化

重要視されなくなってきたという意見が多いです。

企業としても基盤技術が必要という認識はありますが、そこに十分なリソース（人・モノ・カネ）をかける意識はあまり感じられないです。なるべく効率化して少人数で維持してほしいという印象を受けています。企業と

しては儲けや商品価値につながる技術に注力する必要があることは理解できますが。

② 新入社員の歯車についての知識の50年前からの変化

入社時点では昔と大きな差はないという意見が多いです。

昔も機械系以外の新入社員がいたので、新入社員時点で大きな差があるとは思っていません。

会社全体としての入社人数も減っているの、それに伴って技術力のある社員も減っているのかもしれない。

それと、若者全体のイメージとして、機械系の知識よりもパソコンに詳しい人が多いと感じます。

③ 入社後の新入社員の歯車についての知識進歩状況の50年前からの変化

ここが一番大きな問題で、昔よりも進歩が遅いし、先輩方に追いつけていないと感じます。理由の1つとして、加工⇒組立⇒車載して自分で評価して図面に立ち戻るという一連の流れをやらなくなったことだと思います。図面担当、加工担当、組立担当、評価担当、、、のように仕事を細分化して効率アップを狙うと、担当範囲外まで考えなくなるのかもしれない。

もう1つは、歯車加工に関する仕事も効率化(簡略化)してきたこともあると思います。歯車の計算も自分でやらずにパソコンに入力すれば答えが出るようになっていきますし、生産ラインも考え方を統一して同じようなラインを立ち上げるほうが安くなります。

効率化して浮かせた時間で新しいことにチャレンジすべきなのですが、なかなかうまくいっていない状況です。私自身も諸先輩方が築いてくれた地盤の上で仕事をしているだけなので、自分の考えが浅いなど感じる事が多々あります。先輩方もどんどん退職されていますので、技術を伝えていくのが難しい状況です。久保先生の書かれていた、技術と芸術は本来同じ意味という言葉を感じて今日この頃です。自分の頭でものを考え、判断できるような人材をしっかりと時間をかけて育成していけたらと思っています。そのために、失敗や無駄を許容して未知のものに挑戦できる組織を目指していきたいです。

④ その他、なんでも、この際、世の中に言ってほしい貴希望・御意見

少しでも若者が基盤技術に興味を持ってもらえたらと願っています。

私自身も面白さを伝えていかねばと感じています。

*****大手歯車メーカー マネージャー*****

従来は機械工学の主要な科目であったが、現在ではその講義がなくなる、あるいは講義内容が大きく変わってしまったたり縮小されてしまった科目について、科目の持つ歴史的背景や知識の体系・科目履修の重要性あるいはこれからの科目の在り方などについて産学からの提言やコメント

1. 企業の中での機械技術、歯車の重要性の50年前からの変化

- ・ 昨今工場の製造技術として重要視しているのは、労働人口減少による自動化技術になります。

自動化=24hr稼働へのスタートにもなりますので、稼働率の向上としても取組んでいます。

- ・ もちろん IoT に向けた技術も重要視していますが、IoT での情報収集だけではなく、集めた情報を AI を利用して色々な事が出来ないか検討を始めています。

例) 機械稼働率と負荷状況から、AI による最適生産計画の自動立案、部品の自動払出等々

- ・ 社内の加工機を見ると、M/C についてはほぼ歯車系の部品は無くなっておりモータに置き換わっていますが、テーブルの割出の様に重負荷を受ける部位については、まだまだ歯車であったりカップリングが残って

おり、歯車の需要がゼロになることはないと考えています。

歯車加工機もほぼ歯車レスの構造となっていますが、重荷重加工の機械には残っており M/C 同様にゼロになるとは考えていません。尚、弊社加工機はまだまだ 50 年選手の機械が活躍しており、社内設備では歯車が必須ですが・・

- ・製品としての歯車については、弊社は創業 85 年となりますが、製品としては基本的には創業時と同じ用途の製品需要があり、多くの製品用途は変わっていません。弊社創業当時からトラック及び建機の車両駆動用歯車であり、大型化・高精度要求に変わって来ていますが、基本的には同様な用途が継続されていますし、まだまだ大型車両の駆動系については、同様な需要が継続すると考えています。
- ・昨今の乗用車は電動化により T/M が不要となり、歯車は 2Speed G/B として残っているものの使用される数と種類は大幅に減少していますが、トラックを始めとして大型車両は電動化のパワートレインが定まっておらず、まだまだ T/M の需要は残っています。
特に日本の車両メーカーは、現行のパワートレインを活かした代替燃料エンジンや水素エンジンにも力を入れており、少なくとも 2030～2035 年までは現状状態が続くと考えています。
- ・従来と異なる需要としては、IoT 及び AI の発展により、電力需要が大幅に増加している事や発展途上国の生活レベルの向上により、紙(トイレットペーパー)の需要が増加する事が予想されている為、発電エンジン用や林業機械車両用の駆動用としての歯車の需要を想定しています。電動化を始めとして世の中の情勢が変わり用途は変わっても、歯車は必要とされると考えています。

2. 新入社員の歯車についての知識の 50 年前からの変化

- ・大学及び高専卒の状況を確認しましたが、今年入社から 10 年前までに入社したメンバーでは工学部の機械工学科出身でも、まったく授業で歯車を習ったことが無いメンバーが 10%程度いました。又授業で習ったとしても、機構学などの授業の中で、年間数時間の授業しか受けていないとの事です。
- ・10 年前以前のメンバーにも確認しましたが、同じ工学部でも工業大学や産業大学・高専では歯車に関する授業が半年くらいありますが、総合大学の工学部出身者では、上記の 10 年前までのメンバーと同様に、年間数時間の授業しか受けていません。
- ・更に 50 年前のメンバーでも、国立大出身者は歯車の基本的な部分以外に演習等で勉強していましたが、私立の総合大学工学部出身者は、前記と変わらないレベルの授業しか受けていませんでした。
- ・その中で研究室で歯車を学んでいたメンバーは、7・8 年前に入社した 1 名以降は一人もおらず、それ以前も歯車技術の研究というよりも、歯車を使用した機械の研究の中で歯車を設計したレベルがほとんどでした。
(私も同様ですが・・)
- ・私が入社した 40 年前には、弊社にも 4～5 名は、装置の設計ではなく、歯車の研究者がおりましたが、現在は歯車単体の研究者は、ゼロと言った状況です。
もちろん歯車に関する製造技術の技術者は多くいますが、JGMA-X で取組んだような研究は出来ていません。
これは、弊社が歯車単体よりも ASSY としての販売に力を入れている事も関係していると思います。

3. 入社後の新入社員の歯車についての知識進捗状況の 50 年前からの変化

- ・50 年前は会社の規模も現在ほどではなく、人員が少なかった為、現場の作業員も歯車技術(加工技術を含め)を誰に聞いてもわかりましたが、現在の人員が増えた状況では、各工程が分業となり、現場作業員では歯車全体の加工を通して理解しているメンバーはほとんどいないと思います。
- ・弊社では歯車生産技術課が入社してから歯車技術に携わる部署となりますが製造的な技術がメインであり、歯車単体は客先図面での生産の為に設計技術については知識進捗があまり出来ていません。
開発部も表面処理/歯面面相度が歯車寿命にどの程度影響を与えるかという様な実験は定期的には実施していま

すが、あくまで装置設計のなかで、客先要求に応える為の実験であり、研究というレベルのものは出ていないのが実情です。

- ・という事もあり、弊社メンバーが歯車知識を得る為に、大学・高専卒業生は必ず日本歯車工業会のギヤカレッジを受講させて頂いています。その他としては、機械学会のRCに参加させて頂き勉強をさせて頂いております。
- ・50年前から知識進捗が変化したかという事に関しては、ほぼ50年前くらいから弊社の受注の中心がASSY品となっている為に、歯車単体に関する知識の学びとしては変わっていません。逆にギヤカレッジ開講（九州大学時代も含め）以降の方が、各職場メンバーが製造技術だけでなく広く学べるようになっていきます。
- ・ギヤカレッジ開講から時間が経ってしまいましたが、1昨年からギヤカレッジ受講者による現場作業者も含め、社内で歯車講習会を開いています。毎年20～30名が受講しており、分業となった事で、自分の作業しかわからないメンバーに歯車とはどういうものであるという事を学んでもらっています。

4. その他、何でも、この際世の中に行ってほしい希望・意見

- ・日常の業務で手一杯という事もあり、歯車単体での技術という事への取組が出来ていないことに危機感を持っています（弊社では、いくつかのギヤボックス製造会社の様に、歯車を進化させる為の取組が出来ていない）。中国の歯車メーカー（ASSYメーカー含む）が台頭してきており、従来までは市場不具合が発生するので実績のある弊社製減速機を使用していたものから、技術的にも安定してきたことを理由に、安価な中国製に切替えられてきている為、コスト勝負ではない技術的・強度的に負けないものを開発・生産したいと考えていますが、いかなせん弊社単独では時間も知識もなく大学や競合他社と共同で日本製が世界に勝てる様なものを取組めないかと思っています。
- ・最初にも記載しましたが、環境対応＝電動化という報道が多く、実際のトラックメーカーや建機メーカーが取組んでいる代替燃料や現行パワートレインを維持した車両などが知られていない、もしくは低く見られている事に対して、正確な状況をメディアでも取り上げてくれると良いと思っています。

*****大手機械メーカー設計*****

① 企業の中での機械技術、歯車の重要性の50年前からの変化

土木構造物では、石の構造物が鋼やコンクリートとなり、鉄で補強した木杭がコンクリートや鋼管の杭基礎となり、人力クレーンが機械式になったりと、材料や道具の違いはありますが、本質的にローマ時代とそれほど大きな違いはありません。

いまのひとたちには目新しい、一見華やかな技術に目が向きがちですが、既視感のあるものも多くあります。まして、機械技術を50年スパンで見ると、いまのところ、動力伝達機構は歯車がカギであることは、変わっていないと思われます。

② 新入社員の歯車についての知識の50年前からの変化

実務に近い応用技術ほど、社会に出てから教えられ／学んで身に着ける傾向にあり、それは、数十年前から変わっていないように思われます。

ただ、ネットに頼り本を読まなくなったことで、知識取得が受動的となり、その内容も皮相的な傾向がみられます。また、便利な道具が容易に入手できるようになったことで、あまり工夫しなくなったようにも思われます。いずれも環境条件によるものですが。

直近では、機械が専門でない新入社員がいることもあり、知識も十分ではありませんが、それを前提に戦力化するようにしています。

③ 入社後の新入社員の歯車についての知識進捗状況の50年前からの変化

ヒト自体は、記録に残っている2500年前からそれほど変わっておらず、その時代の社会環境や文化により、育

ち方や考え方が少し違っているだけと思われます。

いつの時代も「いまどきの若いモノ」と言われますが、意欲があり、そこできちんと導くことができれば、ちゃんと成長します。

学びの環境があるかどうかですが、昨今はかなり限られた業務時間を割き、教育／学習することを求められているため、その戸惑いはみられます。

また、いまはPCやソフトウェアなどの道具が充実してきて、条件を入力すればそれなりのこたえが得られますが、手計算も経験させるなど、前提を理解する機会をつくろうとしています。

④ その他、なんでも、この際、世の中に言ってほしい貴希望・御意見

書店の専門書の棚が目に見えて寂しくなっていており、売れないからなのでしょうが、日本の衰え（円安）を象徴しているようで、残念でなりません。

50年で思い出したのですが：

50年くらいまえに見たTVドラマで、定年退職した元歯車技師のお爺さんが、歯車の図面を後生大事にしているのを家族が小ばかにし、時代遅れの象徴のように描いていたのを、いまも鮮明に覚えています。ご存知のように、当時は半導体に代表されるエレクトロニクス華やかな頃で、ドラマ制作者は地味に感じたのでしょう。

私の父の実家は土建屋、父は土木系公務員ということもあり、その後、私自身も当時すでに人気のなかった泥臭い土木の世界に入りました。しかしそのことで、地味で泥臭いものが実は繊細で、そういうものに世の中が支えられており、そこをきちんとできることが底力なのだと知りました。

自分のささやかな経験だけを振り返っても、便利なツールを使うにも、背景の理解なくしては越えられなかった（というより大事故を起こしていたであろう）ことがいくつもあります。

歯車の世界に身を置くようになり、視点を変えて考えることがあります、地盤と金属の組織、大気の流れとすべり軸受内の流れ、地震や津波と機械の振動など、一見異なるものも案外共通しており、矛盾していると感じたときは考え方がまちがっていた、ということがよくあります。

*****自動車メーカー 機械要素開発*****

表記件、可能な範囲でご返答させていただきます。50年前との比較となると、当時の社内情報を把握している者は退職してすでに在籍しておらず、20～30年前からの変化の情報となってしまうことをご容赦ください。

(①～③については、ひとまとめに前後比較、という形で記載いたします。)

20～30年前

- ・設計背景：指標/ツール整備が発展途上(絶対値評価というよりは、トレンド評価に近い設計)
- ・製造背景：伝統工芸的な要素あり(代表例：シェービング歯形出し、熱処理ひずみコントロールなど)
 - ⇒ よく知り、よく考え、自ら工夫する必要があった。
 - 結果的に、ノウハウを持つ人材が自然に増える環境だった。
 - 材料、表面改質(ショット)、加工機などの技術開発も社内で盛んにおこなわれていた。

現在

- ・設計背景：市販/内製含め、多数の設計ツールが整備されてきた。
- ・製造背景：設備進化に伴い、誰でも高品質の加工が可能になってきた。
 - ⇒ 既存のモノを使うだけで、最低限(現状技術レベル)の設計/製造業務が可能な環境に変化した。
 - 結果的に、専門知識を習得する必要がなくなり、使い方だけを習得する人材が増え、ブラックボックス(既存のモノ)の中身を理解し進化させることができる人材が少なくなりつ

つある。

このような状況から、歯車の基礎的な技術進化に対する取り組みも鈍化傾向にある。

④については、単に最近私が個人的に感じるようになった感想となってしまいますが、大学の構図と似ており、産の各社とも基礎技術の進化に対して前向きな技術者は多いものの、こういった研究活動が実施しづらくなっているように感じます。

工業製品の一部分として考えた場合、相対的に費用対効果が大きい歯車の基礎技術のネタが少なくなってきたことで、企業内でも基礎研究としての価値(もしくは必要性)を訴求しにくくなっているように感じます。

一方で、人材育成に関しては企業側としても課題視している部分はあるようで、“人材育成を主目的とした技術探索”という大義名分であれば、社内的にも少しは話が通りやすくなるように感じております。

*****大学機械工学科教員*****

① 現在の機械系におけるカリキュラムの主要部

東工大機械系のカリキュラムは、材料力学、流体力学、熱力学、機械力学、設計工学、データサイエンスで構成されている。現カリキュラムが編纂された際の背景的要因・状況として、以下が挙げられる。

(機械系から見ての) 外的要因：

- (1) JABEE 認定の要件取得・シラバスに基づく授業の計画と実施：授業内容と評価方法の明文化。
- (2) 学生の GPA 重視：履修時間に比して高得点が期待できない科目は、敬遠される傾向にあり。
- (3) CAP 制の導入：学生が履修できる単位数が定められ、それを越える多科目を履修することを抑制。
- (4) クォーター制への移行：前・後学期形式に比して、短期間で集中的に授業が行われる。
- (5) 改組による大人数授業体制への移行：40 名強×3 学科がまとまり、120 名強の 1 クラス体制へ移行。

機械系内の要因・経緯：

- (1) 必修授業が一旦廃止された後、再度復活：機械系が学生に履修して貰いたいと考える授業の明確化。
- (2) 科目間の連携強化：学生が、互いに関連する科目の基礎から応用までを支障なく理解できるよう、科目間の歩調を合わせる。
- (3) 基礎的科目と応用的科目のバランス：社会的なニーズに応えるべくカリキュラムに盛り込まれる科目は増える傾向にある。学部授業においては基礎的内容を教えることに普遍的な価値がある一方、時間的な制約の範囲内で基礎から応用までをバランス良く教えることを考える必要がある。学修一貫教育を前提として、学部授業では基礎的科目の充実も図っている。
- (4) プロジェクト授業の充実：それまでに学習した知識を活かし、他者と連携しながら社会問題を解決し新たな価値を創造するための機械システムを創造するための実力を養う。
- (5)

上記を踏まえて、現在の東工大 工学院機械系の教育方針は、以下の様になっています。

*東工大機械系 web ページ

(https://educ.titech.ac.jp/mech/education/mech_undergraduate/curriculum.html) に基づきます。

◆学部1年次から2・3・4年次（機械系所属後）の学修内容

学部1年目： 学士課程へ入学後1年目は、**専門分野にかかわらず全学共通の必修科目を中心とした基礎教育を学びます**。理工系人材として必要な共通する基礎教育である「導入・基礎科目」(100番台科目)により基礎的能力を涵養します。この「導入・基礎科目」(100番台科目)とは、今後習得を目指す専門分野にかかわらず、本学の学生として必要な知識とマインドを身につけることを目的に設置しています。

学部2・3年目：「導入・基礎科目」の学修により所定の要件を満たした学生は、学士課程2年目以降の学院・系における専門教育として、それぞれの系が用意する「**基盤科目**」(200番台科目)及び「**展開科目**」

(300番台科目)の学士課程カリキュラムに沿って科目を履修します。今年度から開始された新カリキュラム(下図参照)では、「データサイエンス・計算力学」のカテゴリや、複数の「PBL」のカテゴリを設けているのが特色です。

学部4年目：「展開科目」(300番台科目)の最終段階には、学士課程の総括として、従前の「学士論文研究」に相当する「学士特定課題研究」を設置し、研究を通じてこれまでに習得した能力を総合的に鍛え直す。更に、「学士特定課題研究」を履修することにより芽生えた科学・技術に関する研究への動機づけを強化することを目的として「学士特定課題プロジェクト」を設置し、学生個々の興味・関心に応じて能動的に科学・技術に関連する活動を行う機会を提供します。

科目体系図および標準的履修例

2 年次 1Q	2 年次 2Q	2 年次 3Q	2 年次 4Q	3 年次 1Q	3 年次 2Q	3 年次 3Q	3 年次 4Q	4 年次 1・2Q	4 年次 3・4Q
機械系リテラシー	工業力学	工業数学基礎	工業数学発展						機械工学基礎
	情報数理基礎	統計データ解析	計算力学基礎		時系列データ解析	有限要素法			データサイエンス・計算力学
材料力学		弾塑性力学		材料強度学(機械)					材料力学
熱力学				伝熱学		エネルギー変換工学			熱力学
	基礎流体力学	実在流体力学			応用流体力学				流体力学
	機械力学	解析力学基礎(機械)		振動解析学					機械力学
		機械系基礎実験		機械系発展実験					機械工学実験
機械要素・設計に関連する科目	機械製図		機械設計						機械設計学
		機械材料工学	加工学概論	機械工作実習	マイクロ/ナノ加工基礎				材料・加工
電気・電子工学基礎	計測工学		モデリングと制御						
	ロボット機構学		ロボットの力学と制御						ロボティクス・メカトロニクス
	宇宙工学基礎		宇宙システム工学	宇宙開発工学					宇宙工学
			宇宙システムプロジェクト						
					計算力学・データサイエンスPJ	メカノサイエンス実験PJ	メカノクリエイティブPJ	メカトロデザインPJ	Project Based Learning
			ロボット技術	生体工学基礎	機械の設計と原科学	自動車・モビリティ技術	原子核工学概論	トライボロジーの基礎	航空工学概論
					人間中心情報学	ソフトマテリアル工学	科学技術者実践英語		
			研究プロジェクト						複合領域・フロンティア
								学士特定課題研究	学士特定課題プロジェクト
必修科目	選択必修科目	OA群	選択必修科目	OB群	選択必修科目	QC群	選択科目		

② その中での基盤機械工学の位置づけと実施出来る講義内容(きわめてラフな情報だけで結構です)

前頁の科目関連図の最右列に青字で記された「科目群」ごとに体系的な授業体制が組まれており、基盤機械工学は2年次の必修科目として盛り込まれている。機械要素・歯車に関しては、「機械設計学」科目群、特に「機械要素」が該当する。2024年度から開始された新カリキュラムにおける、2年次を対象とした「機械要素」の授業には、機械設計の授業に先立って学生に機械要素の種類や概念を紹介することを重視した内容が盛り込まれた。これについては、新カリキュラムへの更新以前に実施されていた「機械要素設計及び機械製図」と「機械要素設計」で教えていた、『機械要素の種類と特徴、設計の基礎の内容について、座学での講義と具体的な機械の分解・組立て・スケッチ・駆動実験等を通して基礎知識を身につける』ことを目的とした科目と位置づけ、再編された経緯がある。

「機械要素」の授業は第2クオーターの木曜日に実施され、午前中は座学、午後は2テーマの実習(自転車の分解・主要部分のスケッチ、および卓上フライス盤キットを組立てながら指示書を作り動作確認を、各3回で入れ替え)という1日がかりの内容となっている。この授業で、学生は頭と手を動かして機械要素の機能や役割の分担、実物の外見や組付け・動作の様子を理解し、その後に続く設計・製図の授業へと進むことになる。歯車については「伝達要素」と題した1回分の座学で教えている。講義内容は運動形態・方向の変換という歯車の役割の説明や種々の形状・名称の紹介から始まり、伝達比やかみあい条件、設計変数に基づくインボリュート歯面の計算方法の紹介、

創成法に基づく歯切り加工とアンダーカットや転位の話、代表的な損傷形態および歯面強度の計算方法を教えている。

③ カリキュラム作成時の教育目的・意図、それを実現するためのカリキュラム作成上の難しさ

機械設計者には基礎から応用・先端に至る知識と経験が求められる一方、大学のカリキュラム編成において教えるべきとされる内容は増加し、クォーター制への移行や改組に伴うクラス編成の大人数化等の要因も含めて、長時間にわたる懇切丁寧な授業の実施は困難となっている。一例を挙げれば、以前の40余名のクラス編成においては企業から講師を招いて設計・製図授業を実施し、10名あまりの教員・TAの指導の下で全学生に1軸ステージの設計・製図を行わせ、授業の後半には講師の勤務先企業の見学会の実施も行われていたが、現在ではそのような授業は行われていない。さらに、上記の「外的要因」に記した「シラバスに基づく評価」や「GPA」等の要因から、学生間の成績評価に明文化された／合理的な理由に基づく差を付けることが求められている。これは「全員がある程度以上に妥当な設計解を示せばよし」を旨とする従来の設計授業の背景思想とは相反するところがあると言える。また、「CAP制」との兼ね合いから、多くの学生が確実に単位を取得できるようにする必要があり、他の科目の進行も考え合わせた上で授業教材を準備する等の工夫を必要とする。現在の授業計画においては、上記の事情を考慮した上で可能な限り最良と考えられる内容を案出する必要がある。

④ その他、なんでも、この際、世の中に言ってほしい貴希望・御意見

前段落の冒頭において「機械設計者には、基礎から応用・先端に至る知識と経験が求められる」と書いたが、基礎を知らなければ応用・先端的な開発力を持っていないことは論を俟たない。このため、学部教育においては全学生に基礎的な内容を盤石に身につけさせることが肝要と考えられる。一方、学生の立場からは先端的な知識を学びたいという欲求が強くあり、これを大学院進学後に成就させるのが学修一貫教育の基本的な考え方と言える。しかし、ここ数年の修士学生の動向を見ると、1年次の夏頃から企業のインターンシップが始まりなかなか大学での学習・研究活動に専念できないというのが実情で、何らかの配慮が必要と感じている。

とりあえず以上、参考までに。

*****大手機械メーカー 材料技術 *****

あくまで個人的な見解となりますが、回答をさせていただきます。

① 企業の中での機械技術、歯車の重要性の50年前からの変化

- ・ 歯車は 昔も今も 変わらぬ 動力伝達の重要な機械要素です。
- ・ 機械メーカーとしては、その製造に関わる素材、熱処理および加工の最適組合せによりユーザの求める QCD を追求する事が重要と考えています。
- ・ この50年で 歯車の製造技術（素材、熱処理、加工）および検査技術は飛躍的に進歩しました。
- ・ 歯車は軸受とともに機械設備の中で使用されますが、自動車およびロボットで 사용되는場合、小型 軽量化が求められ ますます強度向上及び長寿命化が求められています。
- ・ 材料で強度向上をした場合、水素脆性という新しい破損形態も発生することが分かってきました。
これは軸受でも同じですが、潤滑を含めた設備全体での総合評価技術が必要となってきているのかもしれない。

② 新入社員の歯車についての知識の50年前からの変化

- ・ 歯車について 専門的に学んだ人は別として、今も昔も、新入社員の歯車についての知識は変わらず、ほぼゼロの状態から始まっているのではないのでしょうか？

③ 入社後の新入社員の歯車についての知識進歩状況の50年前からの変化

- ・ 弊社では、新入社員に対し各事業部で歯車の基礎知識の導入教育を実施していますが、十分とは言えず、実際にはそれぞれの職場におけるOJTに頼るところが大きいと思われます。
- ・ 現在、インターネットから自力で技術情報を簡単に入手できるようになってきました。
これについては、昔と今で大きな差があると思います。ただ、インターネットの情報は誤情報も多く含まれているので注意が必要です。よって、いろいろ経験をされている先輩および諸先生の方々の指導を受ける機会が多くあることが必要と思います。
- ・ 私の場合は、先生の定期的なコンサルを受けさせていただき、個別課題の各種問題に対し的確なアドバイスをいただきました。また 歯車の破損メカニズムおよび各種検査評価方法の最新情報を学ぶことができ非常に有意義でした。

④ その他、なんでも、この際、世の中に言ってほしい貴希望・御意見

- ・ 上記の素材、熱処理および加工の製造技術の進歩とは別に、この20年、30年で情報革命（デジタル化＞IoT 技術＞AI 技術）が進みました。また、地球温暖化問題からカーボンニュートラル（CN）達成が必要となり、近い将来、歯車に限らず現在使用されている機械部品全般においてその素材、熱処理および加工方法の大幅な直しが余儀なくされるかもしれません。

これは新入社員に限らないのですが、歯車の専門知識だけでなく、周辺の技術 さらにグローバル的観点（もしかしたら宇宙的な観点）という広い視野も持つ勉強または教育が必要だと思います。今、我々は何をすべきかが問われているのかもしれません。

*****大手機械メーカー 機械設計*****

先生からのご依頼の件、回答させていただきます。

① 企業の中での機械技術、歯車の重要性の50年前からの変化

会田先生、Schiebel 先生、Kutzbach 先生らの著書から歯車や減速機の技術の変遷を見ると、歯車や減速機はこれからも存在すると思います。但し、その歴史から用途は常に変化しており、私が携わっている歯車・減速機分野も現在そのような状況にあります。

従って、社内においてこれら用途の変化やその多様性の要求に対して、機械技術や歯車の重要性は変わらず、むしろ高まっていると思います。

これより、これらの変化に対する技術の柔軟性や自由度の高さが非常に重要と判断しております。

② 新入社員の歯車についての知識の50年前からの変化

過去から現在まで大学の歯車研究室出身の新入社員は非常に少ないため、新入社員は歯車の知識を殆ど持ち合わせていないと理解しております。

一方、15年程前までは歯車の知識が無くても、機械工学の所謂 四力学、機構学、機械要素設計学、金属材料学、機械加工学、測定工学、工学解析学、機械製図学等の機械工学の基礎知識を皆持ち合わせており、当時これらを総動員して減速機関連の研究・開発を進めていたと思います。

現在ではこのような基礎知識からなる常識がかなり薄れてしまったのが実情と考えます。これは社内外共に同様な傾向ではないかと思っています。

③ 入社後の新入社員の歯車についての知識進捗状況の50年前からの変化

上記②に関連して、知識の進捗はありませんが解析技術は飛躍的に発展しております。

これより歯車・減速機の知識がなくても何とか研究・開発が進められるのが一般的な状況ではないでしょうか。

一方、当方も個人レベルではありますが社内にて歯車・減速機技術の構築や教育、そして普及の活動を進めており

ます。 当方が学生時代に拝聴した先生の“解析結果に潜む大きなリスク”に関する講演を思い出します。

現在、一般的に歯車や減速機の解析技術の開発が主たるテーマと思われますが、歯車・減速機の基礎知識もなく、解析の基になる理論や理論式導出時の実験結果からの仮説等を理解せず、解析結果のみに着目する傾向が拡大しているように見受けられます。

よって、このような状況下に於いて既存商品のブラッシュアップはできますが、歯車・減速機の知識・技術不足により既存商品によらない新しい商品が創出されないことに当社は危惧しています。

④ その他、なんでも、この際、世の中に言ってほしい貴希望・御意見

昨今、種々専門技術を持つ人材をキャリア採用として中途採用する企業が増えている反面、各社の固有技術の構築と発展が更に困難になっているものと考えます。

当方も微力ながら社内はもとより、日本に於いて歯車技術を含めて機械技術をどうしたら残すことができるのか思案しております。 日本機械学会においても、失礼ながら絶滅危惧学科の発展は無理にしても、まずは維持に向けた取り組みをお願いしたく存じます。

*****大手機械メーカー 歯車技術*****

「絶滅危惧科目」につきましては、様々な分野の歴史や現状が解説されており大変興味深く読んでおります。

私は、入社20年目なので50年という長さで考えることはできていません。また研究部にずっとおりますので、社内設計部門の技術に関しては疎いところもあります。その範囲でご回答いたします。

① 企業の中での機械技術、歯車の重要性の20年前からの変化

これまでに比べより小型化、高出力化の要求が高まり従来設計の延長では対応しにくい状態になっており、従来設計の一部を変更し、変更した部分だけの評価により可否を決めていくようなやり方の限界が来ているように感じています。

根本的な基礎となる技術は継承されておらず（あるいは昔は要求性能が低く必要なかったのかもかもしれません）、改めて基盤技術の構築や過去の技術の整理に努めているという状態ではないかと思います。

② 新入社員の歯車についての知識の20年前からの変化

歯車に関しては20年前と変わっていないように思います。

私自身も入社したころは歯車について理解できていませんでした。

③ 入社後の新入社員の歯車についての知識進捗状況の20年前からの変化

私は業務として歯車について学ぶ機会がありましたが、設計の方などは決められた手法（社内ツールの使い方）を身に着けるにとどまっているように思います。

誰もがつかえる設計手法、標準などが整えられていくにつれ、根本的な知識は求められなくなっているのではないかと思います。

⑤ その他、なんでも、この際、世の中に言ってほしい貴希望・御意見

日本歯車工業会のギヤカレッジでは多くのことを学ぶことができました。会社でいろいろな経験をした後だから、学ぶ意味が分かっていたからかもしれませんが、大学の教育でも同じような動機付けができれば、機械系を専攻する方が増えるのではないかと思います。やはり機械はカッコいいものであり、小さい時には飛行機やロボットにあこがれることが多いと思います。

今回の絶滅危惧科目をいろいろ読む中で、各科目の歴史を垣間見られたことは良い経験となりました。

なぜ学ぶのか、その科目が何をしてきたのかを俯瞰して理解できることはとても役立つように思います。

*****中機械メーカー設計*****

さて、年齢31の小生で、先生のお役に立てるかは分かりませんがお答えさせて頂こうかと思います。前職での経験も併せて、ご回答させていただきます。

① 企業の中での機械技術、歯車の重要性の50年前からの変化

企業風土と上長次第、といったところでしょうか。前職の会社では2015～2022年まで勤めていました。最初の二年半は歯車(ウォーム)、そのあとはカムクラッチを担当していました。仕事上会話する事のあった技術部の部長程度までは、みな機械技術に理解があり(それ故、話が拗れることもありましたが)、技術を延ばすことに前向きではありましたが、過去の不況もあって若手と上長の中間の人員があまりおらず(末期のドイツ軍のような)、技術継承が上手く行っていないようでした。

現職(2022年7月～)では、機械技術を磨くことより、商品を立ち上げることが評価される風土のようで、上長で機械技術に精通している方はあまり見ません。特に歯車技術などは専門性が高く、一部の人間は扱えるけれどもその価値が理解されることはほとんどないようです。どちらかというと、商品の効率を下げる“邪魔者”で、技術をお金をかけて育てるというよりは、外部から中途採用をたくさん引っ張ってきて、何とかしてもらおうとしているように見えます。おかげさまで、社内の技術というものはほとんど見えず、平歯車すら怪しいといった感じですが(社内に設計標準が無いのには驚きました)。

② 新入社員の歯車についての知識の50年前からの変化

これについては私自身、部下を持ったことが無いので詳しいことは分かりません。少なくとも私が新入社員の時は、理学部物理学科出身だったため、歯車に関する知識はほとんどない状態でした。

③ 入社後の新入社員の歯車についての知識進歩状況の50年前からの変化

前職の時は、入社後に技術部へ配属される人へ向けて歯車技術に関する簡単な講義があったりしました。又、歯車技術グループに配属されるにあたって、現場研修を約一年行い、その間に「汎用ホブ盤→ウォームホイール用ホブ盤→ウォーム歯研盤&転造盤」を担当し、現場の人たちとの人脈と歯車加工に関する知識とイメージを付けました。以前はもう少し短かったとも聞きますが、前職は新人への教育は熱心だったのかなと思います。

現職は、新人へどのような教育を行っているのかは分かりません。中途入社へは社内の制度とCADの使い方以外は教育はありませんでした(当然歯車に関しても)。

④ その他、なんでも、この際、世の中に言ってほしい貴希望・御意見

“日本の歯車技術” ひいては“日本の機械技術”を絶滅危惧種へ追いやったのは何だったのか?についてよく考える必要があると思います。

①～③の内容で、私が前職から転職したことに疑問を持たれるかと思います。これはいくつか理由があり、先ず一つに、機械技術に理解のあった部長は、結局社内政治に敗れて失脚していったという事です。

会社の経営層は商品につながらない限りは技術を評価することは無く、「新商品開発」の錦の御旗を掲げない限りは一切お金を付けてはくれませんでした。ただ、新しい事をやろうとした時必ず多くの失敗をします。しかし会社の経営層はそんなことに理解を示すことはありません。それどころか、無理な納期を要求したため、検証不十分なまま世に出すことにつながったのです。結果不具合が多発、何とか技術の育成をしようとしていた部長は失脚し、誰も新しい事をやろうとする人は居なくなりました。

次にコンサルを入れて素っ頓狂な施策ばかりを行ったという点です。今では若干下火になってきましたが、つい数年前まではEV化が盛んに叫ばれていました。前職では、大黒柱たる商品の売り上げが落ちていくことが見込まれていましたが、有効な対策を打てずにいました。そこで新商品の立ち上げに、現有の機器に切り替え機

能を付けた新商品の開発を行う事になりました。

なかなか新製品を出せずにいた折、「顧客の声を開発にダイレクトに伝える」という名のもとに組織改編され、直属の上司は営業出身の人へ、技術的な判断が下せない人が部長職へ着き、実現性や技術価値ではなく、上司に気に入られるか否かによって判断される組織となりました。開発は思うように進まなくなり、まともに動くサンプルを出せなくなっていました。私は部長に嫌われ完全に孤立、一人で開発を行い、思い通りに動かせるサンプルを作成し社内の営業に見せて飛びついてきたところで会社を辞めました。

前職にいて実感したことは、経営層が機械技術を軽んじ、研究開発を軽んじたことで企業の商品開発能力がどんどんと低下していくことでした。手を打とうとした人は疎まれ、失脚し、地獄へ一直線に向かっていくと思ったのです。しかし残念ながら、転職先はそんな企業の未来の姿だったように感じています。

私は“日本の機械技術”を絶滅危惧種にしたのは企業の経営者だと思います。ものづくりをしているにも関わらず、技術者を軽んじ、株主にへつらい、コンサルの話をありがたがっています。この体質が変わらない限りはきっと、必要性があってもどんどん技術は減んでいくでしょう。欧州に差を開けられ、中国が技術者を引き抜き、日本の技術者は新しい事に取り組まなくなります。しかし企業の経営者は自分の考えを改めることなく、引き抜かれた技術者を“裏切り者”と誹り、新しい事に取り組まない技術者を“無能”と切り捨ててでしょう。日本の大学教授がいくら頑張ったところで、財布のひもを握っているのは日本の無能な経営者ですから、現状どうしようもありません。彼らが引退し、病院のチューブにつながった時が体質を変えるチャンスですが、その時にどれほど機械技術が日本に残っているのかは分かりません。

以上、駄文長文失礼いたしました。内容読み返してみましたが“企業人”にあるまじき考えですね。参考になれば幸いです。

*****大手機械メーカー 機械設計*****

お役に立つような内容ではないかもしれませんが、以下、当方の私見です。

⑤ 企業の中での機械技術、歯車の重要性の50年前からの変化

私が入社した時点（30年近く前）でも、歯車はあまり重視されていなかったという印象がありますが、その後も、どんどん重視されなくなっていました。

トラブルが起きると注目度が上がるものの、その場限りという感じです。

上記には、歯車装置単体ではなかなか大きな利益を生み出しにくい、いざトラブルが発生すると大問題・大損失に繋がることがある、ことが、少なからず影響していると思います。

⑥ 新入社員の歯車についての知識の50年前からの変化

私が入社した時点（30年近く前）でも、新入社員で歯車のことを知っている人はほとんどいなかったように思います。

⑦ 入社後の新入社員の歯車についての知識の進捗状況の50年前からの変化

以前は、歯車が専門でなくても、色々な部門（設計、製造、調達）に、ある程度歯車のことを知っている人がいました。

過去に起きたトラブルなどをきっかけに、勉強されたようでした。ただ、今はそういった方を全くと言っていいほど見かけなくなりました。

⑧ その他、なんでも、この際、世の中に言ってほしい貴希望・御意見

大型の歯車が必要とされる製品・プラントで、今後成長が予想されるのは風車ぐらいという印象です。

しかし、日本は、風車に関して完全に出遅れてしまっており、いまからの参入はかなり厳しいと思われます。大型の歯車が必要とされる新たな製品・プラントをぜひ創出したいと思っています。

*****大学機械科教員*****

① 現在の機械系におけるカリキュラムの主要部

② その中での基盤機械工学の位置づけと実施出来る講義内容（きわめてラフな情報だけで結構です）

①，②まとめてになりますが、

私の大学の機械系では、

専門科目（必修）：力学（材料力学，熱力学，流体力学），振動工学，機械工作法，制御 など

（選択必修）：機械設計学，機構学，伝熱学，材料工学 など

選択必修は、いくつかの科目群から選択するもので、必ずしも全員が修得しない科目です。

となっています。

時代の要請により、SDGs 科目，データサイエンス科目，技術表現法，プロジェクト科目，セミナー科目，インターンシップなどが入ってきていますので，その分従来必修科目であったものが押し出されています。また，従来行われていた力学などの演習は（時間の関係で）無くなっています。

蒸気工学，流体機械，内燃機関，溶接 については，無。

金属工学，塑性加工は，材料工学および加工学の中で一部で講義されている といったところです。

本校では，選択必修ではあっても，機構学，機械設計学は残っており，この中で，「ねじ」「歯車」等は講義しています。歯車に関しては，それぞれ 14 回の講義の中で，機構学で 3 回，機械設計学で 4 回程度話をしているのみです。

今後，機械（要素）設計学は将来にわたっても残ると思われませんが，教員にこの分野の専門家が減少していますので，（言葉は悪いですが）表面をなぞるだけの講義となりそうです。また，機械系の全員が受講することはない（必修科目とならない）と思われします。【従来，日本の強みであったところが失われることにあとと危惧します】一方，機構学は，時代の要請により新しい科目が入ってくると，削減対象となると思われします。多くの大学ではすでに無くなっているか，残っていてもロボット機構学などに代わっています。高専の一部でも同様の傾向が見られます。

③ カリキュラム作成時の教育目的・意図、それを実現するためのカリキュラム作成上の難しさ

機械工学の必要なところは抑えつつ，時代（文科省）の要請による新しい科目を導入します。

例）SDGs 科目，データサイエンス科目

今後は，AI 関連科目も予想されますので，代わりに何を減らすのかが議論になります。

製図に関しても十分な時間が取れない（時間外に残って描かせることが許されない）状況です。

本校レベルでは，残念ながら中位以下の学生の学修意欲は芳しくないもので，基礎科目を時間をかけて講義している現状です。また，1－2 年次の専門基礎科目（数学，物理（力学）など）では，学科横断的にといえれば聞こえがいいのですが，機械，電気，化学，生命，情報，建築，土木の学生を混ぜたクラスで講義をしていますので，講義内容を簡単にせざるを得ません。

中位以下の学生のレベルにあわせて講義のレベルは年々低下している印象ですが，年寄故の感想かもしれません。

*****元大学機械科教員*****

①②③について：

先生のリクエストにこたえるだけの情報は既に持ち合わせていませんが，拙大学の HP から工学院・機械系の教

育理念、カリキュラムに関する資料を拾いましたので参考までに送ります。

小生も2000年以降の何年か、機械系学科のひとつであった機械科学科の学生約50名を相手に「機械設計製図」を担当していたことがあります。

当時、機械系には機械科学科、機械宇宙学科と機械知能システム学科+制御システム工学科があり、設計製図の講義を行っていたのは機械科学科のみと認識しています。

講義は設計製図の演習に重点が置かれる中に機械要素の座学も含めていたので、量は大したことはありませんでした。

今日の学習科目一覧も添付します。ちょうど私が退職したときから機械系の学科区別はなくなり、略200名の学生を対象にカリキュラムが構成されています。そして必修科目、選択必修科目、選択科目に分類され、それが200番台、300番台とクラス化されています。

資料を見ると機械設計製図の代わりに「機械要素および機械製図」という科目が存在し必修となっています。内容については小生は知りませんので、今期より新たに参加してくれた松浦先生にその辺の情報を提供してもらえると幸いです。

以上が小生の知る、拙大学の教育の「ファクト」です。

④ について：

言っていただきたいことについてですが、教育機関関係者の立場からは以下のことかなと思います。

但し、私もすでに研究教育から離れて8年近くたっていますので状況はまた変化しているかもしれませんね。

・機械要素系を中心とした教員の採用問題があると思います。どなたもおっしゃることですが、教員採用時の業績至上主義による専門性のミスマッチの問題と同時に、社会のニーズにこたえられる教員（研究者）市場の人材不足があります。乱暴に言う、募集をかけても何名かの有名教授のお弟子さんしか応募がない。といった事態が良く起こります。

・対岸の中国と比べれば、日本はハイレベルの絶滅危惧状態であることは明らかですね。

先生のお問い合わせに関しては企業の方々からの積極的な発言が重要と思いますが、私が想像する企業からのクレームは既にご承知の通り、以下のようなことかと思っています：

1) 新人の人材難

- ⇒ 解決策の一つは「寄付講座設置による種（たね）の確保」かな？
年間2～3千万×5年で学生が来てくれるチャンスが相当に高まるでしょう。
- ⇒ 優秀人材発掘の苦労

2) 付き合える研究者不足（相談なり共同研究なり）

- ⇒ TRAMIが良い例ですが、いざ研究を大学に委託しようにも受け皿が見つからない。
特に TRAMI は経産の補助金が絡むと、途端に研究者に毛嫌いされる。
- ⇒ 複数の共同研究事案があっても、結局ターゲットとなる研究者は同じになってしまう。
- ⇒ 研究を引き受けようにも実務を担える人材が不足。
- ⇒ 実験中心に研究を進めると論文数不足。

*****大手機械メーカー開発*****

私は入社して25年なので、その範囲でお答えします。

また、弊社の研究部という限られた目線での意見です。

私なりによ〜〜〜く考えましたが、ちょっと久保先生のご期待と違うかもしれません（その方がよいのかも）。

① 企業の中での機械技術、歯車の重要性の25年前からの変化

機械技術につきまして、CAD やシミュレーションやパソコンが広まり大きく変化しましたが、本質は変わらないように思います。

昔の人が今の人に比べて優れていたわけでも劣っていたわけでもないように思います（尊敬はしてます）。

歯車の重要性につきまして、弊社はグローバル化を遂げ主要製品の生産台数は100万台から2,000万台に増えました。

そういった意味で、重要性はますます上がっているといえます。

② 新入社員の歯車についての知識の25年前からの変化

それほど変わっていないように思います。

私も大学の講義で久保先生に歯車を習っておきながら、入社時はモジュール???でした。

新入社員は歯車を知らなくて普通と思います。

そして、今の私のチームは別ですが、そもそも会社が歯車の知識をあまり問わないです。

他社の歯車関係者も言うてましたが、歯車は例えば基礎円とか知らなくてもそこそこできてしまうようです（先生方ごめんなさい）。

③ 入社後の新入社員の歯車についての知識進歩状況の25年前からの変化

すみませんが、こちらもそれほど変わっていないように思います。

そもそも会社として、歯車に関する知識の要求値はそれほど変わっていないように思います。

④ その他、なんでも

勝手な想像ですが、1980~2000年くらいに大学および自動車メーカーで歯車技術が進歩し、その後は成熟期に入ったと思います。

次は弊社のようなメーカーに広まるべきでしたが、うまくいかなかったようです。

歯車はあまり知らなくてもそこそこできてしまう（ごめんなさい）わりに、全く教科書通りにいきません。

また、難しい歯車技術を用いても、例えば負荷容量でいうと20%増しくらいが限界です。

なので技術の重要性を認識できず、気合と根性で進めてきたが、ここ2024年にきてじわじわと問題が出てきたか。

自動車業界では「100年に1度の変革期」と言われてます。

しかしながら、①②③で述べたように私の周りにはあまり変わっていないように思います。

会社から見る景色は昔と変わりませんし、車は17年乗ってますが支障ありません。

変革期と成熟期を間違えたらうまくいなくて当然です。

成熟期において必要だったのは、技術を整理して維持してさらに広めること。

今の学会に維持という視点はないように思います。

遅れながら、私は現在の会社の中でやるべきをがんばってるつもりです。

*****中機械メーカー設計*****

弊社が歯車の製造販売を主に行っている会社ではない関係から、下記の①②③は回答を控えます。

×① 企業の中での機械技術、歯車の重要性の50年前からの変化

➤② 新入社員の歯車についての知識の50年前からの変化

➤③ 入社後の新入社員の歯車についての知識進歩状況の50年前からの変化

ご質問の④について意見というか思っていることを書きます。

➤④ その他、なんでも、この際、世の中に言ってほしい貴希望・御意見

○歯車の加工について

昔と比較して、歯車の加工はNC化しています。

ボタンを押せば歯車が加工できるので、加工原理も理解できないまま加工しているのが実情ではないでしょうか。何か問題が発生した時に何をどう対処して良いのかが分からないと思います。

○歯車の測定について

昔は歯形/歯すじ/ピッチ/を測定していれば、基本的な歯車の性能は管理できていました。

しかし現在は、歯車単品の性能だけではなく、歯車対としての性能を強く要求されています。

測るべきポイントを明確にして、管理すべき重要なポイントを明らかにする技術が必要ではないかと思っています。

○歯車の評価について

歯車の評価は、昔は単純なうるさい（騒音）や壊れる（強度）の評価だけで十分でした。

しかし現在は、もっと繊細な人の感性に訴えるような機能を要求する領域に入っているのではないのでしょうか。人の感性と歯車工学を融合する歯車感性工学のような学問が必要ではないかと思っています。

*****大学機械科教員*****

教育機関の委員各位：

① 現在の機械系におけるカリキュラムの主要部

本学機械系においては、機械工学全般＋ロボット工学、情報工学、他分野の基礎知識、となっています。

② その中の基盤機械工学の位置づけと実施出来る講義内容（きわめてラフな情報だけで結構です）

【四力制御、計測工学】

それぞれを専門とする教員が、まだ何とか在籍していて、1年間かけて基礎～応用まで座学で教えています。

これらは何とか食いしばって維持している、という状況です。

以前は演習科目もあったのですが、これから述べる他分野&情報系の必修科目が入ってきて、代わりに消えました。

【設計製図】

私が教えています。必修科目です。

以前は1年間かけて教えていたのですが、他分野&情報系科目の必修科目が入ってきて、半年間に減りました。

私の研究室の学生はともかく、他研究室の学生が卒研修論の道具作りのために持ってくる図面の出来栄は、推して知るべし（尺度の情報すら入っていない）、です。

【機械要素】

これも私が教えています。

半年間しか無い上に、他分野&情報系の必修科目が入ってきた影響により、選択科目となりました。

ネジ1回、軸受1回、歯車2回分の授業時間しかありません。

【機械加工，材料工学，伝熱工学】

それぞれを専門とする教員が教えています，半年間しかありません。
また，やはり他分野&情報系の必修科目が入ってきた影響で，ほとんどが選択科目となっています。

【工作法実習】

大学の人件費削減のために技術職員の新規採用を原則はしないこととなり，実習が出来なくなって，座学となりました。
機械系教員は強く反対したのですが，理解してもらえず，受け入れられませんでした。
かろうじて必修科目となっておりますが，選択科目となる（下手したら消える）のは時間の問題でしょう。

③ カリキュラム作成時の教育目的・意図、それを実現するためのカリキュラム作成上の難しさ

本学の機械系教員は古くからの機械工学系科目の教育を重視しています。

座学は何とか維持できているのですが，文科省＝大学上層部からの

- ・俯瞰的に考えられる人材の育成（他分野教育）
- ・情報教育の強化

に押し込まれて，実習や演習の時間が削られてしまっています。

前述した技術職員の削減も，上記二項目の影響があるかもしれません。

また，他分野&情報教育等の必修科目が初年次に入ってくるので，専門科目への着手が遅くなってしまっています。
例えば，4力制御の基礎が2年後期，応用が3年前期となっており，機械工学の基礎的知識が不足している状態で，それ以外の専門科目を並行して学習することになるので，教育に支障を来しています。

また，修得単位数の上限の都合で，多くの専門科目が選択科目となってしまっています。

なお，鳴り物入りの他分野&情報教育ですが，はっきり申し上げて，さわりだけ，器用貧乏も良いところ，です。

④ その他、なんでも、この際、世の中に言ってほしい希望・意見

現在，九州と北海道に巨大な半導体工場が建設されて話題になっていますが，本来ならば必要無かったことなので
は？ これまでの半導体産業を保護せずに放置する＝潰すから，こうなっているのでしょうか。

我が国の科学技術政策や工業政策は「あなりたい，こうしたい」だけはご立派ですが，それを成すために何を基盤（原資）とするかの観点が抜けていると思います。つまり，自分の足元を見ていません。その行き当たりばったりぶりが，結局は大学教育に押し付けられているような気がしてなりません。

これから，機械産業，特に機械要素も，半導体産業と同じ行く末を辿るかもしれませんね。

しかし，そうになったら復活することは難しいと思います。

その頃には，大学教育の場から専門家がいらなくなっているでしょうし。

海外からの技術の移植でごまかしますか？（実はひょっとしたら，今建設中の半導体産業も？）

*****中機械メーカー設計*****

私のような者が返信して良いものか悩みましたが，ご参考になるならと思い，回答させていただきます。
メールの文面では誤解がある可能性があると思い，具体名を挙げての文章としますので，もしご参考いただける場合には脚色をお願い致します。また，自分の社会人生活は短いので，50年前の比較が難しいことをご容赦願います。

現在，派遣社員として大機械メーカーへ勤務し，特殊用途ギヤボックスの設計に従事している身として

① 民間用製品は常にコストとの闘いであり，中でもこの分野は投資回収に数年を要すると言われていますが，

- ・開発フェーズから量産まで変わらず、不具合対応(製品の図面要求からの逸脱、寸法逸脱のみならず、マーキングの仕様や外観目視を含む)の対応に異常な程時間を要する
- ・不具合を減らすために設計変更を行う事がある
- ・不具合を減らすために治具を検討し、当初想定していなかった追加投資が増える

等の背景がある中で、

- ・ハウジングは元より、ほとんどの部品が購入品(サプライヤ依存)
- ・歯車に関しても、工程ごとに外注している(サプライヤ依存)

そのため、「上流企業として兎に角解決を急かす」が、「結果的にコストアップに繋がっている」ので、「結局本当の原因が何だったが、次にどうすれば本当に解決するのか分からず、サプライヤへの本対策指示が遅れてしまう」という状況に自分には見受けられます。そのため長い間苦しい時間が続くのではないかと。

というのも、大企業になればなるほど部門が分かれ、「生産技術の所掌」「品証の所掌」という会話が行われるのは避けられないとしても、図面を書く技術者として上流工程、下流工程に対して配慮する(出来る)技術者を育てる事が難しいように感じています。

② 新入社員への歯車教育として、

それなりの権威ある人がいれば、基礎的なことは大企業であれば、ある程度行われているのではないのでしょうか。 ※派遣に対してはそのようなプログラムはありません。中小企業では、個の力がより顕著になるので、どちらかという役職者の言うことが浸透しがち(合っていようが間違っていようが)かと感じます。

また、投資も少ないので、机上の空論になりがちで、測定データ等により判断するか否かは周りの人次第になりがち。

③入社後の教育

大企業では現場に張り付いて、何か分かるまで観察することが難しい環境が多い(会議体が多いので時間が少ない)ように思います。一方で、中小企業は現場との距離が近いですが、成長出来る環境を整えるのが難しいケースが多い(設備面や知識面)ように感じます。

④歯車が機械要素の1つとして認識されがちですが、そのような意識では学びや技術力向上の機会損失と個人的には思います。些細な事でも、やつつけ仕事にせず、丁寧に向き合えば多くの事を学べると思います。

また、日本における歯車界は裾野が広く、ネットワークが充実しているとはなかなか言えないですが、それでも、社内外をうまく活用すれば様々なアプローチをして問題解決する事が可能になると思います。

*****歯車コンサル・ソフトウェア開発*****

歯車ソフトウェアを売っている立場から感じていることを申し上げます。

歯車設計者の技術が低下している事例

- (1) 展示会は過去、毎年出展していましたが、コロナの4~5年前頃からお客さんとのやり取りの質が落ちてしまっていて当方の得るものがなくなっていたのでコロナの機会に展示会の出店は止めました。以前は、図面を持ってこられての相談もありましたが、そのようなことも無くなってしまいました。これは、今まで中核となっていた人達が定年退職されたことによって、技術の伝承が停止してしまったのではないかと感じています。図面を描くにしても昔の図面をCADで綺麗にするだけの作業のようです。
- (2) 歯車の図面を入手すると古い図面はしっかりしたものが多くですが、年度の新しい図面は、漏れがあったり間違っていたりする図面が結構多いです。
- (3) ある自動車メーカーに納品しているバックミラーメーカーの話ですが、「ウォーム×ヘリカルギヤ」で音が出て困るということがありました。図面を見て計算してみると、かみ合い率が1未満でした。その図面は7回も図面変更しているのですが歯車設計の知識がないので根本が分らず、手直しばかりしている図面になっていま

した（昔のことではありません）。

- (4) 次に、ある自動車メーカーの最近の話です。低回転速度でNVが大きいので困っているということがありました。Webでソフトウェアの説明や解析結果を提出して説明しても話が通じません。仕方ないので、このようにすればNVは低下するという実数計算の書類まで作成しなければなりませんでした。「上げ膳据え膳」までしないと何もできない状況となっています。なお、Y、N、H、M社ではありません。
- (5) 大学でも歯車（機械要素）を勉強しなくなっているようですから、この傾向は益々酷くなると思われます。
- (6) 他の会社の例でも歯車のコンサルまでしないといけなくなっていることが増えてきています。
- (7) 歯車工具メーカーでさえも当方に頼ってきます。
- (8) 設計しないといけない場合、本人が設計しないで外注に丸投げしている傾向が強いです。

上記、(1)～(8)の例から、歯車を設計する人の質はかなり低下していると言わざるを得ません。また、一方で、良く勉強されている人も居られますが、非常に稀なことです。ソフトウェアを使って計算すれば答えが出るため、設計者は勉強しなくなっています。でも、これが本当に良いのかどうか・・・です。しかし、歯車の基礎を学んでソフトウェアを正しく使い、まともな設計ができるようにお手伝いできているとすれば、その功罪を考えれば功が勝っているとは思っています。

まとめ

- 1 技術レベルが低下しているのは歯車の世界だけでなく日本全体のことであって、楽をしてお金儲けさえできれば良いという風潮なので「頭の良い人」は、泥臭い地味な機械設計の業界には流れないと思われまます。給料を2倍にすれば少しは改善するとは思いますが、根本的な解決にはなりません。
- 2 ということで解決策は無く、成るようにしか成りませんが、以下の「小学生の将来の夢」のアンケートで「研究者」が5位になったことは日本の将来を考えると嬉しいニュースです。

<https://www.kuraray.co.jp/news/2024/240403>

株式会社クラレが2024年春に小学校に入学する子どもとその親を対象にアンケートを実施し、「将来就きたい職業」「就かせたい職業」を調査しました。男女を合わせた将来就きたい職業は、1位「ケーキ屋・パン屋」、2位「警察官」、3位「スポーツ選手」が、昨年からトップ3をキープしました。男女ともにポイントを伸ばした「研究者」と、女の子の人気を集めた「保育士」が今年新たにトップ10に入りました。

一方で、近年人気を伸ばしてきた「ユーチューバー」は、今年は順位を落として14位でした。男女別に見ると、男の子の将来就きたい職業は、「スポーツ選手」が「警察官」を抜き4年ぶりにトップに返り咲きました。スポーツ選手に次いでポイントの伸びが大きかった「研究者」は、過去最高に並ぶ5位に順位を上げました。年々人気が高まっている「ゲームクリエイター」は、初めて10位に入りました。女の子の将来就きたい職業は、調査開始以来26年連続で「ケーキ屋・パン屋」が1位となりました。2位「芸能人・歌手・モデル」は、昨年から大きくポイントを伸ばし（7.3%→12.4%）、アイドルブームに沸いた10年前に迫る勢いです。「保育士」は昨年の8位から3位に大きく順位を上げました。

*****大学機械科教員*****

③に関することを以下に書かせていただきます。

学部教育では機械の基礎教育が重要となるため、省略できる科目はあまりないです。一方で、新しいツールとか技術が出てきて、企業ではそれを使っているとなると、それらについても大学で教えるべきという面もある。でも、学生に教えることができる科目数には限界があるので、両方を十分に教えることはできない、という点がジレンマとなっています。

拙大学機械工学では、どちらかというと以前からの基礎科目を重視した教育を継続しています。配当科目は昔からほぼ変わりないと思います。

今回の企画で取り上げられる、「蒸気工学、ねじ、流体機械、化学工学、金属工学、内燃機関、機構学、設計製図、溶接、塑性加工、歯車」のうち、私が教育に関係している範囲について以下に書かせていただきます。

・ 歯車

3 回生前期に設計工学 1 という科目を担当しています。機械要素についての講義です。うち講義 3 回分は動力伝達要素（歯車・ベルト・チェーン）の話をしております。歯車の機能、長短所、インボリュート歯車の特徴などの説明をしています。30 年前と比較しての違いは、歯車に関する数式を教えていない点かと思います。一部の他大学では、現在では歯車を教えていないという話も聞きますので、拙大学はまだ維持しているほうかと思います。

・ ねじ

締結ねじと送りねじ（ボールねじなど）も含めて、同上の設計工学 1 という科目で講義 3 回分で教えています。

・ 機構学

3 回生後期に設計工学 2 という科目で、節、対偶、リンク機構の話を講義 5 回分で教えています。

・ 設計製図

一部の他大学の機械系では、設計演習をやめた、製作実習をやめた、という声もちらほらとおききします。一方で、まだまだドラフターで設計演習をされている大学もあります。拙大学は演習科目は基盤科目として守っているほうの大学かと思います。

機械設計演習 1（製図を中心とする科目）は、昔から変更はありません。企業の方に非常勤講師になっていただいています。

>> 1. 現在の機械系におけるカリキュラムの主要部

についてですが、拙大学の機械の学部科目を以下に記します。教養科目にあたる基礎的な数学・物理の科目は記載を省略しています。

■必修または選択必修科目

◎特に履修することを要望する科目

・ 2 回生前期

- 計算機数学
- 計測学
- ◎エレクトロニクス入門
- ◎電磁気学統論
- ◎振動・波動論
- ◎材料力学 1
- ◎熱力学 1
- ◎機械設計製作
- 機械製作実習

・ 2 回生後期

- ◎工業数学 F1
- ◎力学統論
- ◎材料力学 2
- ◎熱力学 2
- ◎流体力学 1

・ 3 回生前期

- ◎工業数学 F2

- 機械システム工学実験1
- 機械システム工学実験2
- 機械システム工学実験3
- ◎制御工学1
- ◎応用電磁気学
- ◎工業力学A
- ◎材料基礎学1
- ◎統計熱力学
- ◎流体力学2
- 設計工学1
- 機械設計演習1
- ・3 回生後期
 - 工業数学F3
 - 機械システム工学実験1
 - 機械システム工学実験2
 - 機械システム工学実験3
 - 制御工学2
 - 量子物理学1
 - ◎振動工学
 - ◎連続体力学
 - ◎伝熱工学
 - 生体機械工学
 - 生産工学
 - 設計工学2
 - 機械設計演習2
 - インターンシップ
 - ◎機械システム学セミナー
- ・4 回生前期
 - 知能システム工学
 - 量子物理学2
 - 固体物性学
 - 材料強度学
 - エネルギー変換工学
 - マイクロ材料の加工・評価の基礎
 - マイクロ加工学
 - 精密加工学
 - 品質管理
 - 工学倫理

>> 2. その中での基盤機械工学の位置づけと実施出来る講義内容

拙大学機械工学では、機械工学の分野の基盤科目の重要性はいまも昔と変わりないと考えていますので、基盤機械工学科目（■や◎の科目）の位置づけに変化はありません。

一方で、30年前には無かった、生体機械工学やマイクロ系科目などが新しく入っています。これらは、機械工学の基盤科目ではないですが、周辺科目として取り込んでいます。そのようなことを専門とする教員が以前よりも増えているということもあります。

*****大学機械科教員*****

「軸受」は先生のキーワードにはありませんが、ご参考までに書かせていただきます。

「設計工学1」におきまして、転がり軸受2コマ分+すべり軸受2コマ分 で授業を行っています。

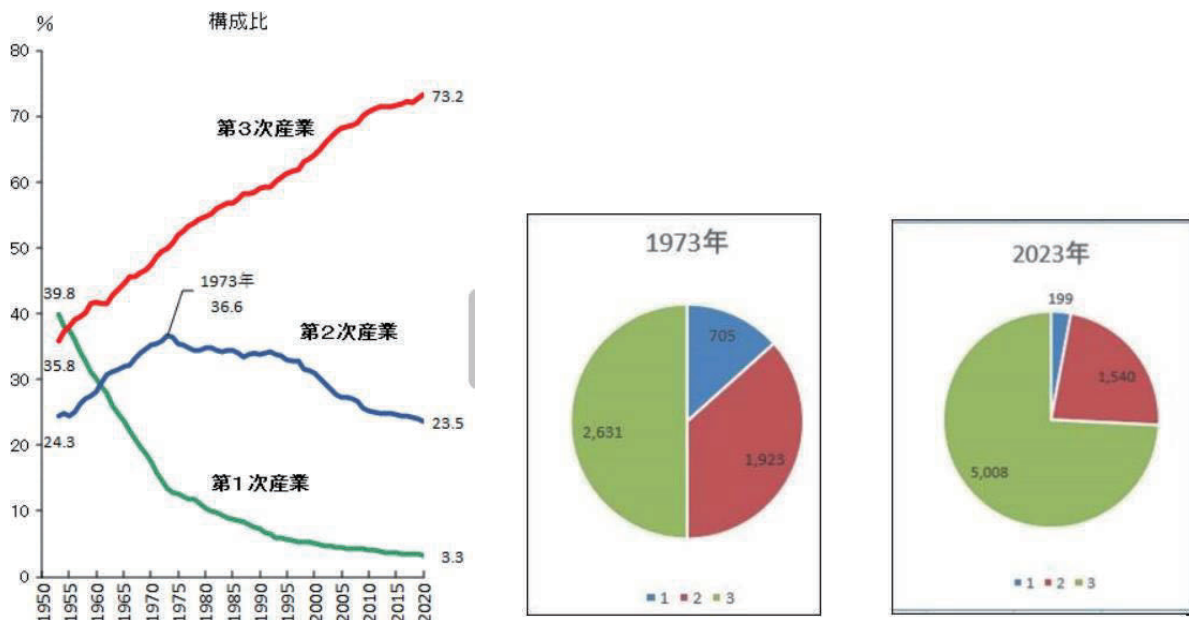
また、「トライボロジー全般」に関しましては、修士の「メカ機能デバイス工学」にて7コマ分の時間をもらって講義しています。

なお、私が以前勤めていた大学の時も基礎科目はかなり重点的に行っていたとして、「歯車」や「軸受」は「機械設計法1（15コマ：2年生後期）」「機械設計法2（15コマ：3年生前期）」「機械設計法演習（15コマ：3年生後期）」の流れの中で比較的時間を採って教えていましたので、それほど昔より減ったという印象はありませんでした。

ただトライボロジーも、全国的に教員そのものが減っていますので、全く教えていない大学も多数あるかと思います。昔もあったと思うのですが、その数が多くなったのではないかという意味です。

*****大手機械メーカー設計・試験・マネジメント*****

義務教育小学校での理科教育時間が往時の2/3に減少云々と書きましたが、第二次産業従事者が一番理科を使うと思って、国民の就業者の内の第二次産業従事者数の変遷を調べてみました。下記にその変遷グラフを貼付します。往時'70年代のそれに較べて最近では約2/3（＝32％＝23.5/73.2）で その数値が恐ろしくシンクロナイズしている事が見て取れる気がしました。



ここから邪推すると「義務教育は、国民のニーズに応えるものであるべきとして 教育内容の時間配分も 就業人口比率に応じた授業時間配分化するものでなければならない」と称し、目の前の現状(数値)是認の迎合教育でこれを繰り返しているのではと。そうならば私見ですが 現在の人数構成以上に国力の衰退を加速するのではないかと思います。

います。

国富のためには この二次産業従事者を増やす（＝二次産業従事者の働く産業の増加）を国策として講ずべきで、そのためにはむしろ理科教育強化/科学するスタンス・素養の強化がむしろ必須かと思う次第です。補足ご参考まで。

御質問⑥『新入社員の歯車についての知識の50年前からの変化』がらみの感想です。

これも先生のご質問に対し、視点ずれて恐縮ですがその後色々思う中 直観的に歯車に限らず、また設計部署についてではありますけれども漠然とながらも次の様な事を企業設計第一線の中堅若手を見ていて思い至って来ました。機械学会へのご投稿云々関係なく記させていただきます。

具体的な内容は、以前にもお送りしたものと重複しますが、切り口をちょっと変えてのメールです。その危機感とはズバリ、ブラックボックス化への慣れ(慣れ過ぎ)です。その理由は大きく以下の【1】【2】【3】かと思います。

【1】学校を出て入社して当面は、就職先で行っている業務は千差万別。従って その企業なりの過去経験を知る事や、そしてそこで普通に使用されている計算式そのものに慣れて 早急にそこそこのアウトプットを出すことが求められます。 なのでいきおいオペレーションの習得に重点を置かざる得ずまたそれで構わないと思います 。しかし50年前であれば入社2年3年経つ中次の様なOJTがあったと思います。

曰く『学卒は作業者では無いのだから、〇〇の意味は分かっているのだろうな。それに照らして今回の設計の狙いはどう言う事か?』と言った様なOJTです。その様なOJT 質問に対し答えをはぐらかしたり、進歩が見られないと『設計適正なし』として、転属になって行った様に思います。何せ当時は基本的に設計部署の人数はゼロシーリングで、毎年新人が配属されたら、その同じ数の若手、中堅やベテランの設計者は設計から他部署に異動となるシステムでしたから。

それが近年ここ20~30年は変わって来ています。将来の少子化による労働力の早期払底への懸念と過重労働回避の意味もあってか厳格なゼロシーリングが無くなり又それに沿って若手への上記の様なOJTや下問も少なくなって行った様に思います。

従って人に依ってはと言うか、かなりの割合で新入社員当時のままのオペレーションを専らとして 年月が経った中堅や管理職層が生まれ出して来る可能性を懸念します。50年前目線で言えば技術者として成長した10年選手、20年選手と言った技術者ではなく、作業者(ワーカー)的に年季・体験を重ねた現場熟練者の側面の強い技術中堅、初任管理職層の出現です。

こうなると もはや昔目線でのまともな技術者OJT教育を行う 第一線上司や先輩格者層が全滅/消滅したのと同じです。つまり顕在化していなかったかつての社内技術者教育が自然崩壊し出しただけの様な(片手落ちの)負のスパイラル(ワーカー・オペレータの様な技術者の再生産・・・)は始まっているのを感じます。

こう言った企業内状況以外に残る理由は次の2つ

【2】身の回りの技術の急速な高度化&広範な複雑化――スマホひとつとっても、その様々な機能とそれを実現している技術の一次、二次、三次と言った技術掘り下げとして行っては果てしないので、いきおいそこはブラックボックスとして差し置いて、複雑多彩な機能の使いこなしの方に軸足が移る事つまり高度作業者(高度ワーカー)化

が常態化している世相。

【3】もうひとつのブラックボックス化への慣れ(慣れ過ぎ)の加速要因は、もしかしたら技術マインドの変化(劣化)があるのも懸念します。それは義務教育段階でのその様な素養教育段階での教育の劣化です。『現象を見る/知る。⇒そこで止まらずに⇒その理屈を考える/知る』と言った科学する事への素養教育の時間に質の劣化です。

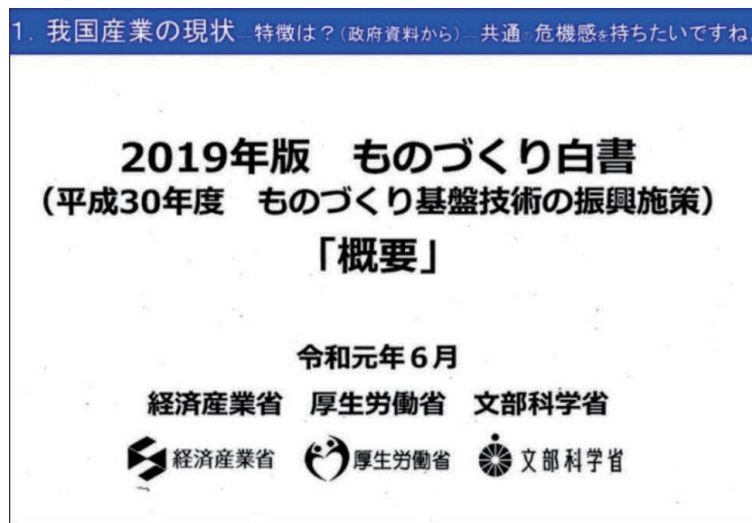
以前にも見て頂いたかもしれませんが、

①小学校の理科の授業数は往時の約2/3程度。

②高校生で物理Ⅰを履修している高校生の割合に至っては、往時はほぼ全員だったのが今は3分の一程度に。

つまり好奇心いっぱいの小学校で潤沢な理科教育を受けていない人達が、大学生となり卒業して義務教育小学校の教諭として絶対時間の短くなった理科の授業をするのかと思うと少し寒気がします。

そして理科教育全般の時間減少の背景は、理科系に就く人が減ったからと言うものがある様ですが、その減った理由が、下記のように白物家電や電気電子分野の物がいち早く苛烈な国際競争に晒された結果、粉砕完敗したために、製造業での就労人数を抱えきれなくなった成り行きとしての結果であれば、そして教育行政そのものがもはや結果/成り行き是認の政策であればまさに教科書に載る様な理念なき国家の凋落そのものの事例を見るが如き思いです。



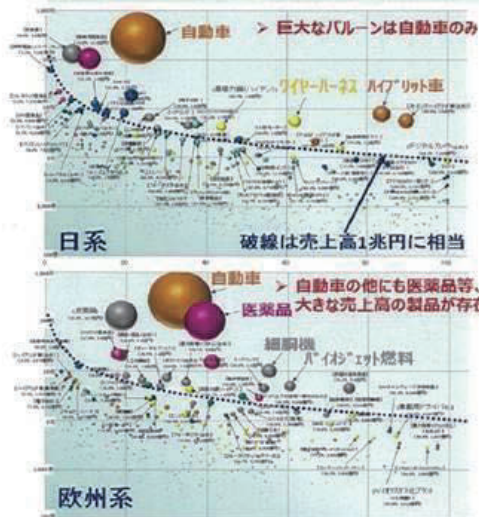
1. 我国産業の現状('16年)——特徴は？(政府資料から)

(1) 産業：国際市場における各国企業のポジション比較

- 日本企業は素材など高シェア製品が多い(シェア60%以上が256製品)が、売上高が巨大なのは自動車のみ。

バブル数比較	日系	米国系	欧州系	中国系
売上高1兆円以上	23 (1)	30 (8)	20 (1)	27 (1)
シェア60%以上	256 (0)	123 (14)	46 (1)	61 (1)

注1 ()内はIT関係、但し回には含まれない。
注2 調査対象の製品(モノ)総数は1214



(出典) 日系企業のモノとITサービス・ソフトウェアの国際競争ポジションに関する情報収集、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、2017年6月8日公開

5

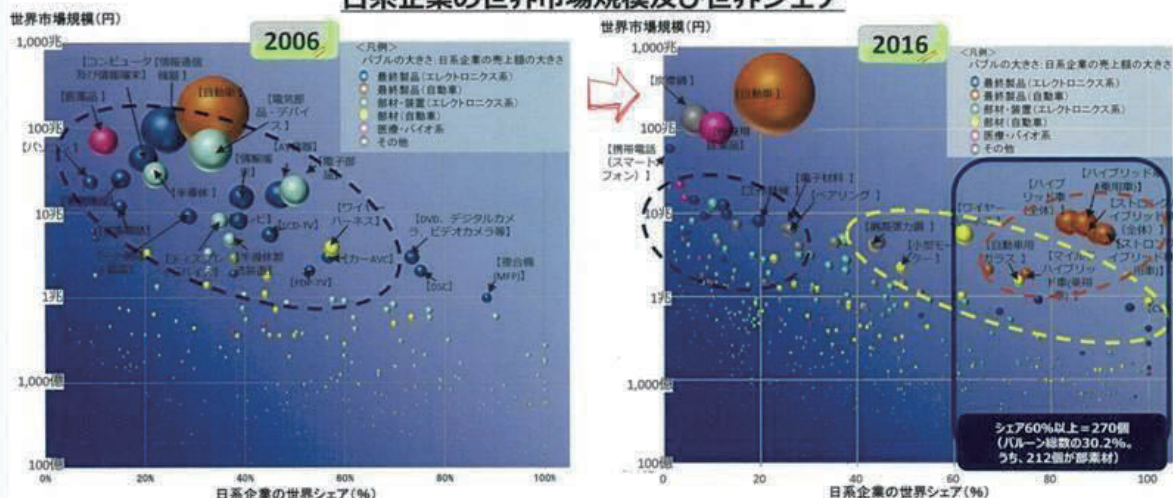
1. 我国産業の現状——特徴は従来から？ '06 vs '16対比

第2章 第2節 世界の中での我が国製造業の立ち位置と海外企業との取組

2-1. 各国比較から見る我が国製造業の状況

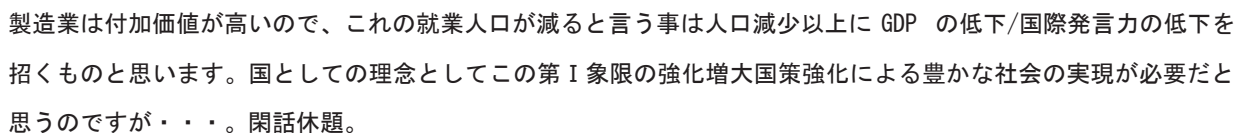
- 我が国の市場規模及び世界シェアを見ると、エレクトロニクス系の最終製品は売上額、シェアともに低下している一方で、自動車及び部素材については売上額、シェアともに上昇。
- 我が国は部素材において高いシェアを占める傾向にある。

日系企業の世界市場規模及び世界シェア



出所：新エネルギー・産業技術総合開発機構「平成19年度技術戦略の科学的な立案を推進するための分野別研究リソースと、国際競争力のベンチマーク及び特定産業分野への応用に関する調査」/「平成29年度日系企業のモノとサービス・ソフトウェアの国際競争ポジションに関する情報収集」

9



設計のガンつけはイメージ（スローガンみたいなレベル）あとは、次々生まれ来る シミュレーション ソフトを駆使しての設計としての考え主導では無く、シミュレーション結果主導の まるでシミュレーション占いに導かれた如き結果トレース的な設計。設計体質そのものの変容を感じるものです。実はこの初期の目付／見通しを自分の頭で考えない事が 結果として更なる凋落を招く気がします。

曰く『世界を見て回ってわかったのは、経済成長著しい新興国は、日本以上に自分の頭で考えて努力してきたということです。一方その間、私たち日本人は、自らを「技術大国」と位置づけて、その上にずっとあぐらをかき続けてきたのではないかと、そして自分の頭で考えて努力するということを忘れていたのではないかと。』

89

が起こっていたかをきちんと把握できなかったことです。ちなみにこうした解析プログラムはすべてアメリカが開発したもので、日本が自前で開発したものは一つもありませんでした。

それはつまり、日本の原発は、自分の頭の中に事故のモデルすら持っていない人たちによって運営されていたことを意味します。

実は、日本が自分たちより下に見ている韓国は、自前で開発した解析プログラムを持っています。・・・(中略) 中国の原発にも、やはり自前で開発した解析プログラムがあります。』

先の大戦中の中国は、世界中から最良のものを買ったりして使えばよい的な発想であり、世界中から一目低く見られていたのに対し、日本は先日お送りした京大数理研究所の記事に有った様に大戦後半の厳しい状況に在っても基礎からも自らキッチリ考えて対処するマインドに満ちていてそれが戦後のスプリングボードとして機能して高度成長をもたらした。それが今や日本と大陸とでそのマインドが何か逆転したのを感じもします。

話を戻せば、その傾向の上でのシミュレーションで計算させる事が設計業務だと思い、各シミュレーションプログラムのオペレーションが設計そのものだと思う風潮に 実は自分自身危機を感じて居たのだと 上記を書いている中 納得できてきました。

ー以上ー

昨日の当方メールの補足です。

① 昨日のメール主旨は、無いものねだりかもしれませんが、刻々社会情勢が過去との様相を変えると共にドラスチックに変貌する中、日本の5年10年先そして20年先・・・。将来どんな産業構図でどの様な立ち位置で世界の中のスタンスを確保して国家安全&興隆を期するのかを定めて それに沿った施策としてどこを重点的に力を入れて行くのかをブレークダウンしていかないと、苦しいなあと言う感じヒシヒシですね。

現況は、かつての成長を望み成長の目途もまだ見え易い時と違いジリ貧スパイラルに入ってきているのは誰の目にも見て必至なので、このジリ貧の現状は認めてこれに合わせての モグラたたきよろしく後追いで対処をして行くと縮小ジリ貧を加速して行くだけの様に感じてなりません・・・。この様なこと小職が書かずとも皆さん分かっているが何にどう手を打つかが確定できないのだとも承知しておりますが・・・。

② 昔はよかった風に言えば、これもご存知の通りですが

戦中には実は戦後復興も視野に 産業/工業復興を果たすべく各都道府県に工業専門学校と、これは軍医のためではありませんけれども医専は1校以上設置の理系重点策で学校を新設 これが戦後の旧二期校の工学部とか地方工業大学とかの母体になる訳ですよ。

戦後は戦後で講和条約以降のs30年頃からは更に所得倍増経済復興/成長の方針の下、戦中の施策での工業系のものだけではまだ不足としてs40前後からは各新制大学には必ず工学部設置との方針で新制大学にも陸続として工学部を新設、旧帝大の中でも一部は工業系学部を増設。そして各都道府県には5年制高等工業専門学校を新設・・・。と上り調子の工学興隆がありその線上での義務教育での理系導入教育の活発化があったのだと思います。

次の文科省の次の HP 120 年史にも そこら辺の消息が明記されていました。

https://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/others/detail/1318277.htm 抜粋を下記に貼付します。

高等学校職業教育課程の充実と多様化 高等学校の工業教育については、昭和三十年後からの科学技術の振興、三十年の経済自立五か年計画、三十五年の国民所得倍増計画などにに基づき、中堅産業人養成の観点から拡充され、特に、機械・電気・工業・化学・建築・土木等の学科の新・増設が国の財政的援助を伴って積極的に進められた。 農業教育については、農業近代化を目指した三十六年の「農業基本法」の制定を契機として、新たに実験・実習に必要な施設・設備が充実された。さらに三十九年度からは、農業自営者の養成・確保のため、自営者養成農業高等学校拡充整備補助金が支出された。また水産教育については、技術革新の観点から大型実習船などの建造費及び「共同実習所」の施設・設備について補助金が支出された。 中央教育審議会は、四十一年十月「後期中等教育の拡充整備について」答申し、その中で、生徒の適性・能力・進路に対応するとともに、職種の専門的分化と新しい分野の人材需要とに即応するよう教育内容の多様化を図ることの必要を述べた。これに基づき、理科教育及び産業教育審議会は、四十二年の八月と十月、四十三年の十一月と三次にわたって「高等学校における職業教育等の多様化について」答申し、 職業教育の多様化のための一七の新しい学科及び理数科が新たに登場し、これらの学科は、地域社会の必要に応じて逐次設置されていた。その後、更に情報技術科や情報処理科が設けられた。またこれより先三十九年度から、準備看護養成のための衛生看護科が設けられるなど、約二五〇種類もの様々な学科が設置を見た。
高等教育機関における産業教育 昭和三十二年の新長期経済計画に関連して、同年度から理工学系学生八、〇〇〇人の増募計画が実施され、三十五年度までにその計画目標数をほぼ達成した。次いで前述のように、三十五年の国民所得倍増計画において、倍増計画期間内におよそ一七万人の科学技術者が不足することが見込まれるに及び、文部省では、三十六年度を初年度とする理工学系学生一万六、〇〇〇人の増募計画を立て、七年計画で達成することとしたが、更に早急に増員を図るため、計画に修正を加え、第一期増募計画として三十六年度から三十九年度までの四年間に二万人の増募を行うこととした。この計画は更に一年短縮され、三年間で完遂された。一方、戦後の急激な出生増により、大学入学志願者は、四十三年度をピークに増大することが予測され、その大学志願者急増対策の一環として、特に理工学系を重点に学生の増募、学部・学科の新設等が逐次実施された。

教育そのものも、いつの間にか物の事象を観察して本質を考察する場である理科も下記のように理系離れがだいぶ来ているみたいです。下記文中にも記しましたが工学部に来る学生はまだ物理は習っていると思いますがそこまでの小学校等の教員の物理的素養が？になってきている可能性を懸念します。——cf. 下記に添付のメール文面を参照下さい。

----- Forwarded message -----

今回のメールは、〇〇先生には先刻ご承知の事と存知ますが、義務教育からの理科教育の時間数の変遷についてです。それがらみで 僭越ながらその事を裏打ちする様な情報を思い出しました。

情報を提供/共有できれば思い ここに 2 点 冊子抜粋や論文 pdf を添付すると共に 当該箇所の抜粋を以下に貼付致します

まずは たまたま読んだブルーバックスの最終章の記述には大変驚きました。



終章 歴史は繰り返される

大和は2度沈むのか

最後に、日本の最大の強みが失われつつあるという話をしておきたいと思います。

いま、世界の国々は科学教育に真剣に取り組みはじめています。米国では、日本を意識して国家プロジェクトとして理数科教育に注力していて、英国でも数学教育が重視され、中国では「科教興国」（科学技術と教育によって国を興す）が宣言されました。韓国、台湾、シンガポール、インドでも理科教育重視を打ち出し、IT先進国をめざすことが国民的目標となってきました。

この間、日本は何をしていたでしょうか。なんと、理科教育の時間を大幅に減らしてきたのです。高校理科の履修率の変化を見ると、衝撃的です。文部科学省は50年ほど前から、高校理科の授業時間を減らしはじめました。それから約20年後3分の1に減り、約25年後には7分の1にまで減少してしまったのです。このことは、これからの日本のものづくりに、ボディーブローのように効いてくると思われます。

すでに現在、日本の技術系の大学生の数は、中国よりも一桁少なくなっています。今後のことを考えれば、ものづくりに関してはもはや絶望的な差がついたと言わざるをえません。

ノーベル賞受賞者も日本は70歳以上の高齢者ばかりで、それも30〜40年前の研究成果が認められたものがほとんどですから、このままでは日本人のノーベル賞受賞者がいなくなると懸念されていますが、ものづくりの世界の状況も、きわめて深刻なのです。

日本刀から大和へと、脈々と流れるものづくりの伝統が、この国の最大の武器であることはみえてきたとおりです。これをむざむざと失うことは、戦艦大和を無為に沈めてしまったのと同じ過ちをもう一度繰り返すことといえます。なんとか復元するために、教育の問題だけはリアリティーのない人間にまかせておくべきではないと思います。

236

上記の、理科時間激減がちょっと大げさ過ぎると信じられなかったので、ネットでエビデンス的なものはないかと検索しそうしたら次の様なものもヒットしました。

いよいよ以って 肌寒い思いがする次第です。

日本の理科教育の動向と課題—小・中学校の教科の授業時数に占める比率の変遷から

表1 小・中学校の授業時数に占める理科の変遷

1. 小学校の変遷

	1～6学年の全教科 (授業時数)	うち理科 (授業時数)	構成比(%)	変化率(%)
昭和16年(1941)	5600	315	5.6	—
昭和22年(1947)	5355-5495	525-595	9.8-10.8	+77.8
昭和33年(1958)	5612	628	11.2	+12.1
昭和43年(1968)	5612	628	11.2	0.0
昭和52年(1977)	5262	558	10.6	-11.1
平成元年(1989)	5262	420	8.0	-17.8
平成14年(2002)	4949	350	7.1	-16.7
平成20年(2008)	5227	405	7.7	15.7

3. 理科教育の弱体化と産業界へのインパクト

しかし、1977年以降の改訂からは理科教育の比重が落ち始め、大学入試の質の変化もあって理科の科目を履修する高校生の数が著しく減り始め、日本の理科教育は大きなダメージを受けた(図1及び2を参照)。さらに1980年代以降の教育改革の流れの中で、学校教育の総授業時間数の大幅な削減が進行し、理科の授業時数も大きく減少した(表1参照)。この動向には大学入試科目の減少傾向、

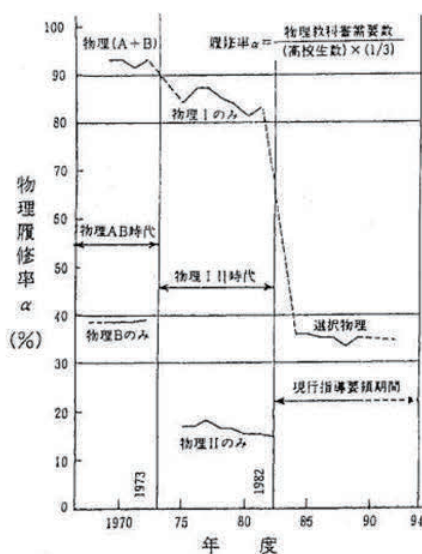


図1 物理履修率の変遷

(出典) 『物理教育』第38巻4号(1990)

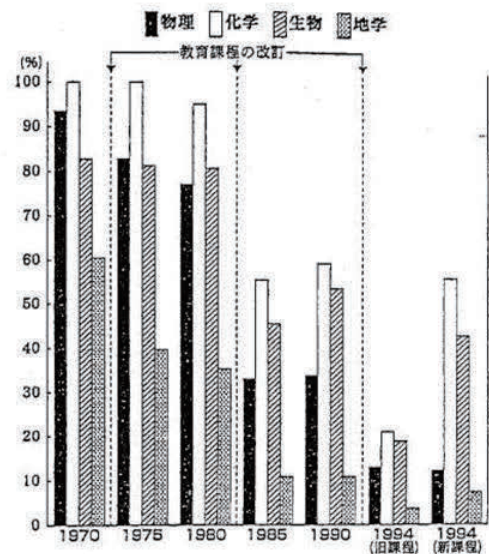


図2 高等学校理科の履修率の変化

(出典) 国立教育研究所調べ(1995年)

もともと、工学部に来る様な学生は、この数少ない物理をそこそこ学んだ学生諸君だとは思いますが それまでに彼らに 理科を教えていた小学校の先生の中にはその教え子たちに対して、まともな物理素養を教えるのに非常に不得手な教諭の方もおられ それでも何某かは教えなければならないので いきおいカンや感覚で教えている教員も意外と多いのではと

感じました。

かつてはほとんどの高校生は男女問わず物理Iは学んでいたのに対し、ここまで少数派になって来てしまっは質

そのものの変化を懸念します。物理なんて学びたいなんて思う奴は『おたく』だよなあ。変な奴ら・・・。

と言った雰囲気も高校では流れているのではと。また、『最近の学生は 受験産業の弊害なのか 物理を暗記物教科として覚えている様で、一見物理の成績抜群に見える学生でも いざ現実現象に臨むとそれが全く物理現象として 結びつかない学生が散見され驚く・・・』と先生が仰っていた事とも 一脈通じるかとも感じました。

-以上-

【追伸】

この様な、小（中高）の理科教育をネットで調べ出したもう一つの背景。

なぜこの様なものを調べていたかと言うと、実は偉業所で再雇用者が教員となって構内で 小学校 5 年生を招科教室は 簡単な実験を交えての理科教室をしています。

理科教室の内容は歯車、油圧、トルク等からひとつを 予め小学校側で選んでもらっての身体を使う実験を交えての理科

歯車を教えるにあたって、『歯車って、テコがつながっているのと同じなんだよ・・・』と思った時に『テコの原理、やじろべ』とかは 何年生のカリキュラム力なのか？

教諭よりも先に教えることになってしまっは、授業に迷惑がかかるかもしれないと思いネットで調べていくなか 実はもうとくに 小学生のカリキュラムからこれ等が 少なくともキーワードとしては消えていそうにも感じたのでそれが又 信じられなくて色々ネットを漁ってみた事がありました。

そこで偶然見つけたものが今回ご紹介したもので これ等を見て あらためて現状を再認識した次第です。

御質問⑧そのほか――

ささいな視点ですが 又 先生からのご質問に対し主旨ずれますけれども歯車設計の第一線にながらく身を置いていて レベルの低い話でお恥ずかしいですが感じて居たことがあるので 参考内容として敢えて書かせて頂きます。

思わぬ技術的なボーナスがあり短期的にはとても良かったのですが 実はその事も大きく歯車技術の進化を一部阻害した様に感じたと言う事です。それは、鋼材の品質向上（清浄度向上）です。そして各鋼材メーカー間である程度の規格化はあっても規格文面以上の実力勝負の競争があったと言う事実です。

言うまでもありませんが 歯車設計のポイントは 次の 3 つ。 特に最後の 2 つはトレードオフの相反する性質のもの。

- ・ 性能
- ・ 耐久性
- ・ そして製造原価

ここのさじ加減が非常に重要。例えば歯車に似た機礎として軸受けを例にすると信頼度と耐久性の関係はワイブル的に次の表のとおり。

表1 信頼度係数						
信頼度 %	90	95	96	97	98	99
寿命 L_a L_{10} 定格寿命	L_5	L_4	L_3	L_2	L_1	
信頼度係数 a_1	1	0.62	0.53	0.44	0.33	0.21

しかし、次の様に製鋼技術の向上が繰り返された結果

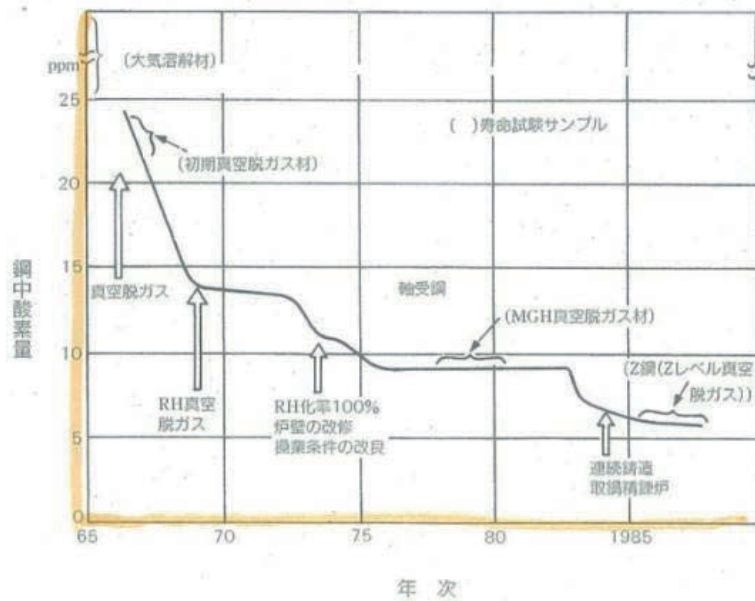
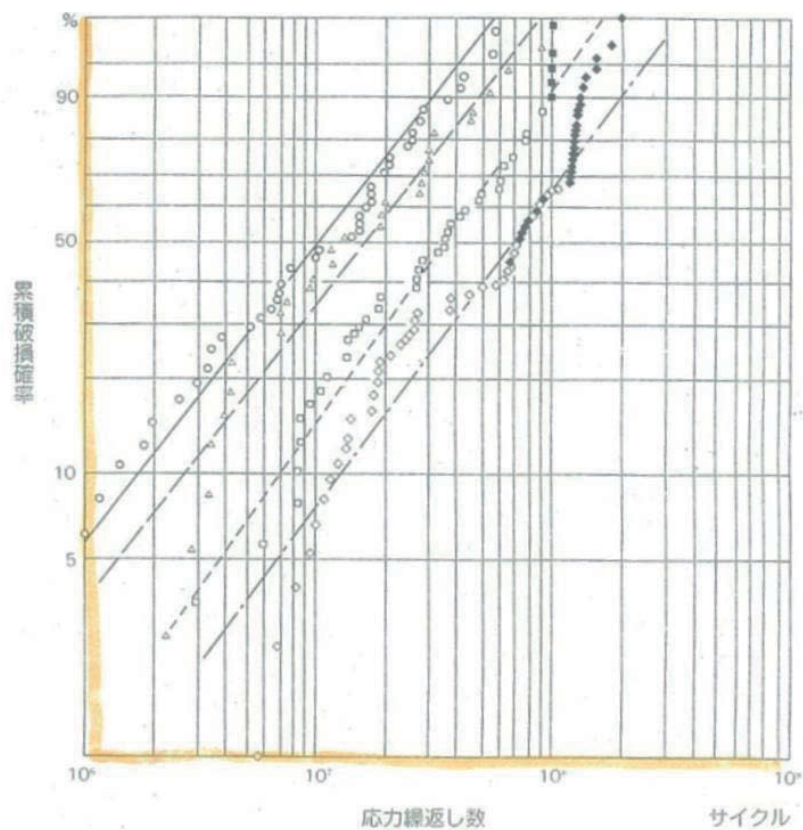


図2 NSK 軸受鋼の鋼中酸素量の推移

歯車の耐久性は 期せずして同じ設計 同じものを使っても歯車装置設計者は自分の技術を進化させる事無く、従来と同じ設計をしたとしても 勝手に寿命が 3~10 倍も伸びてしまう 魔法の様な奇跡の様な事が起きてしまったと言う事です。



要領を得ないメール文面で恐縮ながらご参考迄。

⑤ 企業の中での機械技術、歯車の重要性の 50 年前からの変化対象機械についてですが、次の 3 つの理由により重要性の相対的低下がある様に感じます。

(i) 機械の進化により、設計業容が拡大した点。――機械全体の制御、自動化の A I を伴ってのより進化等（純メカ以外の分野の増大）

(ii) 機械要素を構成する基盤技術の進化により、機械そのものが壊れなくなって来た点。逆に言えば 50 年前はまだ機械が壊れていた時代。そして 60 年前は機械は壊れた時代、戦前戦後の『安かろう悪かろう』からの脱皮を図るべく産業界全体が真摯に品質向上に磨きをかけていた時代。60 年前は壊れる時代だったけれどもその要因が多く又多方面にわたっていたためにその改善/対策には多方面の知識と本質を見極める力、世の中の動向/進歩の潮流をアンテナ張っておぼろげながらも次々明らかにされて行く事柄を自分の設計に取り込むチャレンジ精神や胆力・判断力もとても必要であった時代。つまり人的な能力に大きく依存していた時代。それだけにいち早く壊れない高品質/高耐久性のものが作れば、より低騒音低振動なものが作ればそれそのものが商品の圧倒的差別化につながった時代。その様な背景の下、歯車や歯車装置設計はいわゆる入社以来設計一筋 10 年選手の中でも将来を託望される課長一歩手前の有能設計者にとってはいわば必須の素養を見極めるかの花形設計対象。大仰に言えば機械学会のマークが歯車そのものである様に、開発のトップ本部長から各機種部長、課長に至るまで建機設計の主だった責任者全員が歯車に一家言もあり、理解もあり精通していた時代が 40 年くらい前まではあったと感じます。そして 30 年 20 年くらいからはこれ等諸々の技術が敷衍されもし上記諸々材料・熱処理の技術や品質が向上名実ともに発展途上であった海外製含め物そのものが装置そのものが壊れなくなって来たためにそこでの差別化が相対的に困難になってきているのを感じます。ひたひたと進行するコモディティ化の波です。ここで必要とされるのは単なる設計技術による差別化はもとよりさらに一歩進んだ歯車を含めた装置から見た車体全体やユーザに対するエンジニアリング力勝負の世界への変容であり、それにいち早く気づき取り組めるかどうか大きな分岐点に思います。

繰り返しになりますが 50 年前は鉄鋼材料もまだ粗雑、熱処理技術もその計測技術や制御も含め発展途上、設計技術も歯車の歯先修正やクラウニングの影響考慮と言ったベーシックな面も含め発展途上、恥かしながら市場負荷の把握も・・・それだけに人的な総合分析力・仮定を設定し実行する判断力つまり技術者としての人的な総合力が必要であったので重要性が高かったと思われます。

(iii) そして 50 年弱 歯車技術の向上・進化が著しく、更にこれらを吸収咀嚼して工場の設備投資まで促す存在にと重要性と期待が増す中、それまでは車体設計の中の最重要装置であったものが、もはや車体の一装置と言う存在を超えているとして専門設計部署として独立分離。皮肉なことにこれにより歯車を設計もし苦勞もした車体設計者のポピュレーションの低下と期待に応えての専門性の深化により意外にも車体設計者にとっては理解し難い生産-設計一体となった社内別企業的な仕様連絡を渡す相手の存在に・・・。

御質問⑥『新入社員の歯車についての知識の50年前からの変化』

・激変です 基本的に知識は僅少。要因は2つ。

(i) 機械系学科卒業者そのものの割合の低下。――

新入社員の機械工学科出身者の比率が50年前の90～95%くらいから、55%程度/約半分程度に低下。弊社特有の状況なのかもしれませんがおそらく少子化を視野に人員の囲い込み（マンパワーのシュリンク防止の見地？）も有っての事かもしれませんが、50年前指定校制があった当時の約8倍から10倍。大野の入社約40年強前とに比較でも約2～2.5倍の新入社員増です。これもおそらくそれを受けて材料・情報・電気系等の新卒（既卒）入社が増。⇒歯車伝動機系にも機械系卒の新人配属比率は低い傾向。歯車とは無縁だった人達が配属されて来る構図。

(ii) 機械系学科卒業者そのものであっても大学時代歯車に触れていない/学んでいない。――

50年前でも機械卒者がどこまで理解できていたかは『？』ですが、今は「機構学」もあまり習って居なそうな感じ。学生時代に機械工作実習でも旋盤止まりが多い。新卒者もおそらく歯車を削った経験のある社員は皆無に等しい・・・？

*****大手機械メーカー設計、マネジメント*****

小生は1989年入社のため、50年というスパンでのお話はできませんが、40年弱というところで、小生の主観的な回答をさせて頂きたいと思います。

ご参考となれば幸いです。

＞⑤ 企業の中での機械技術、歯車の重要性の50年前からの変化

工作機械等、精密駆動が必要とされる分野においては、DD（ダイレクトドライブ）モータが台頭してきており、駆動系の設計も機械設計から電気・制御系設計が重用される傾向があると思われます。ただ、ロボットなどは重量/トルク比の面でDDモータより減速機＋サーボモータの方が有利であることから、ハーモニックドライブ等の軽量・高減速比型の歯車装置はまだ需要があると思われます。

一方、一般産業機械用歯車装置については、1990年代以降、当時の円高も背景にはあると思われますが、安価な海外製品を調達する流れが加速し、弊社では内製化していた歯車装置の多くが海外製を調達する方向に大きく動いた経験があります。

小生が入社した頃は弊社内で歯車を製造していたのが、全国に7拠点ありましたが、現在も継続しているのは3拠点だけとなり、規模も大幅に縮小しております。

これらは価格競争で負けたという要因以外に、技術・ニーズのトレンドが変わったことも要因となっており、例えば、LNGタンカーの原動機は、積荷であるLNGを使って発生させた蒸気で駆動する蒸気タービンが主力でしたが、LNG価格の高騰を受け、現在は安価な重油でも動くディーゼル機関に変わっており、タービン出力を減速する大型歯車装置は出番が無くなってしまいました。同様にガスタービンを利用した発電設備も、大型化に伴うタービン回転数の低下により、高速減速機のニーズは減少しております。

一旦内製から外部調達に方針が切り替わると、人材補給、設備投資がストップし、生産技術を中心に技術力が急速に低下してしまいます。これを復活させることは非常に難しく、小生の経験では風車用増速機を内製化する計画が、投資面（人・もの・金）で頓挫したことが挙げられます。（風車の場合は、大型化に伴いギヤレス風車が台頭してきたことも要因に挙げられます）

＞ ⑥ 新入社員の歯車についての知識の50年前からの変化

小生の経験ですが、大学時代に歯車に関する勉強をした新入社員は小生が新入社員であった頃と現在で大きな変化は無いと思います。これは小生が新入社員であった当時も今も、学校でしっかりと歯車の勉強をしてきた学生は非常に少ないと思われます。小生も大学は流体力学の先生に指導いただき卒論を書きました。大学では機構学の授業の一コマで歯車を教わっただけです。(モジュール×歯数がピッチ円直径になる程度でした)

入社後も後輩を見ても殆ど同じ状況です。まだ、高専卒の後輩の方が、歯車については良く知っていた印象があります。

＞ ⑦ 入社後の新入社員の歯車についての知識の進捗状況の50年前からの変化

小生が入社した当時は、社内に歯車を良く知る先輩方が身近におられ、ほぼ白紙の状態で入社したにも関わらず、比較的短期間で一通りの歯車に関する知識を得ることができました。難しい技術課題に直面しても、先輩のオーソリティがしっかり指導してくれました。設計技術と並んで多くを学ばせて頂いたのは生産技術です。すぐ隣の工場で自分が設計した歯車が生産されるという環境は、抽象的になりがちな技術の世界をしっかりと現実世界に繋ぎとめるためには非常に重要なものと思います。

最近では、上述の通り歯車装置を購入品として取り扱うことが多くなり、購入仕様書を作成することが設計者の役割となっているように感じます。歯車の製造現場を見たこともない設計者が、満足な仕様書を書ける訳がなく、結局、何十年も前から代々受け継がれている過去実績から、一步も踏み出せない様子にしばしば直面します。

弊社が生産するウォーム減速機などは、市場プレーヤーが減少してきており、事業撤退等により古い減速機と同じものが作れなくなったものが少なからずあります。代替機を弊社が提案するのですが、古い減速機と比較評価する術をお客さんが持ち合わせていない場合が多く、仕様変更に多大な労力が必要となることもしばしばです。

ただ、小生が新人の頃に受けた有形・無形の教育・指導が、現在でも行われているかという点と否であり、そうした技術者を責めることはできません。上述の通り、海外調達を含め、自社製造から購入品へ方針転換を図ったところから、生産現場は衰退し、生産技術が失われます。生産技術の裏付けの無い設計図や仕様書はかえって有害になる恐れがありますが、それを自覚できない技術者が育っていきます。

＞ ⑧ その他、なんでも、この際、世の中に言ってほしい貴希望・御意見

小学校の頃に、世の中の産業は1次産業、2次産業、3次産業に分けることができると習いました。そして、世の中の流れは1→2→3と移行すると言われて、実際その通りになっていると思われます。ただ、当時の教科書には1、2、3の産業構造はピラミッド型に表されており、豊かな食に支えられて物質的な豊かさが生まれ、この土壌の上に文化的な豊かさが実現されると示されていました。現在は土台となる1、2次産業はあって当たり前の産業となり、労働人口は3次産業に向かっており、先進国における産業のピラミッド構造は、労働人口や資本投下で見ると崩れかかっていると思われます。

これを補うために、より効率の良い食料生産、社会資本生産を、市場経済という競争の下に目指した結果、環境破壊や少子化といった、これまでの「豊かである」というものは非常に脆弱な、砂上の楼閣であるということを実感してきましたように感じます。

最近、改めて資本論が取り上げられることが多くなってきていると感じます。東京大学准教授の齊藤幸平さんがしばしばメディアに登場されることも一因かと思われますが、行き過ぎた市場経済原理に対して批判的な目を持つことは、これからの世の中を考える上で非常に重要と思われます。

歯車技術が世の注目を浴びないのは、歯車が機械装置の黒子としてしっかりと働いているからであり、大学教育を始め、様々な教育機関が優れた人材を世に輩出してきたことが、小資源国である日本が唯一確保できる人的資源の豊かさを生んでいたと考えます。こうした不可欠の社会資本を、市場経済原理に基づく自由競争に晒しておくこと

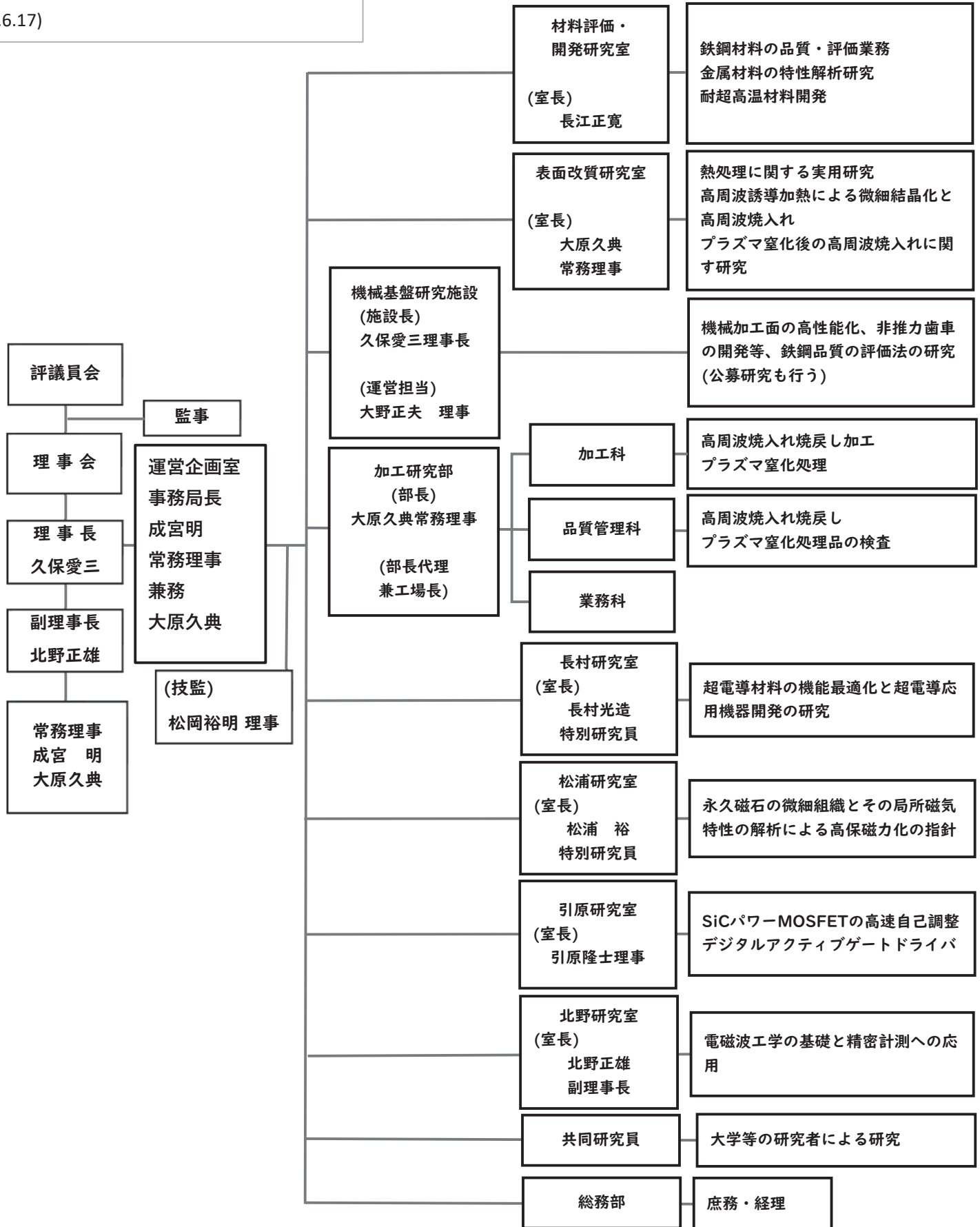
は、米国や中国等の強者が、自国中心の考えを強めている現在において、非常に危ういと感じます。

少子化により学生数が減少する中、国立大学も授業料を値上げざるを得ないというニュースが最近ありますが、完全に負のスパイラルに陥ったことが明白に示された事例ではないかと考えます。昨日放映されたNHKのプロジェクトXでは、トットちゃんを通ったトモエ学園が取り上げられており、指導された小林先生は、「教育は子供たちの20年後の姿を想像して行うもの」を言われていたことに深く共感しました。人的資源は日本が唯一頼みにできる資源であり、この資源は20年という年月の投資が無いとリターンが得られない長期開発案件です。この投資を家庭にのみ求めるのではなく、国家として負担すべきことだと思います。

なにか取り留めのない内容となってしまう、申し訳御座いません。書き出すと止まらなくなりそうですし、内容もおかしな方向へ行きそうなので、この辺で一旦筆を置きます。

組 織 図

公益財団法人応用科学研究所 組織図
(R7.6.17)



令和7年7月印刷・発行

発行：公益財団法人応用科学研究所

〒606-8202 京都市左京区田中大堰町49

TEL 075-701-3164 FAX 075-701-1217

印刷・製本：株式会社北斗プリント社

（無断複写複製厳禁）



Research Institute for Applied Sciences