

蒸気タービンの歴史（その1）

The History of Steam Turbine

藤川 卓爾 (S42)

転載元：火力原子力発電技術協会，
「火力原子力発電」，Vol. 61，No. 7，pp. 31-44，(2010-7)

1. はじめに

日本のエネルギー使用量の約42%は電気エネルギーの形で消費されている。その電気エネルギーの80%以上は蒸気タービンによってつくられている。本稿では、現在の日本のエネルギーの大部分を支えている蒸気タービンの起源と発展の歴史を振り返り、さらに、今後の展望について述べる。

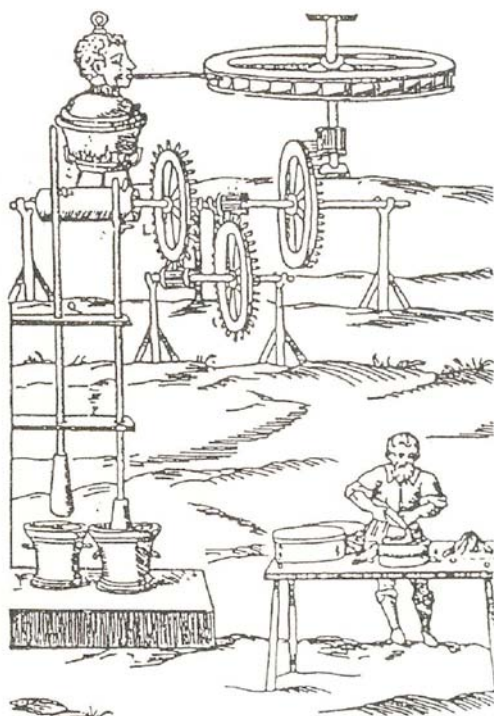


図2 ブランカの蒸気タービン

〔出典〕 山本 充義「蒸気タービン事始め—新しい動力源を求めて—」，ターボ機械，第22巻，第3号，pp. 28-35. (1994-3)

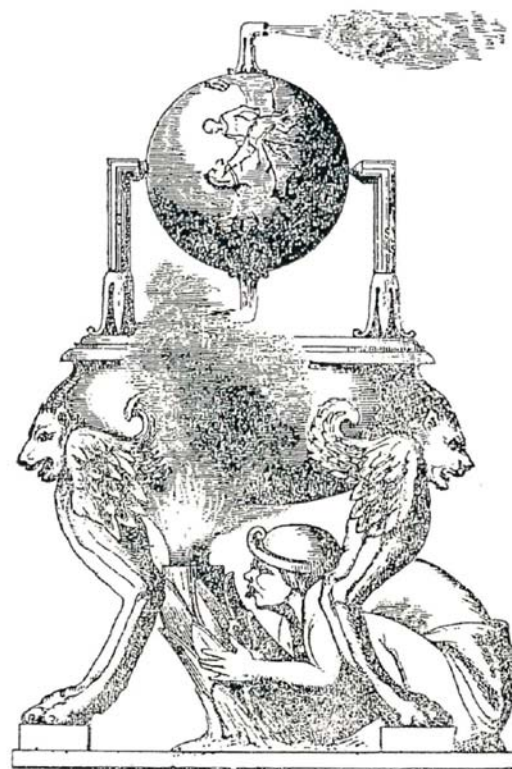


図1 ヘロンの蒸気タービン

〔出典〕 富塚 清「動力の歴史」，三樹書房，p. 58. (2002-5)

2. 蒸気タービンの起源^{(1), (2), (3)}

蒸気タービンの歴史は古く，すでに1世紀ごろ(参考文献(1)では紀元前120年)にエジプトの技術者ヘロン(Hero or Heron)が図1

のような装置を作った。下部の釜で発生した蒸気は、上部の球形回転体に導かれてノズルから噴出し、その反動で回転する。これが反動タービンの起源である。

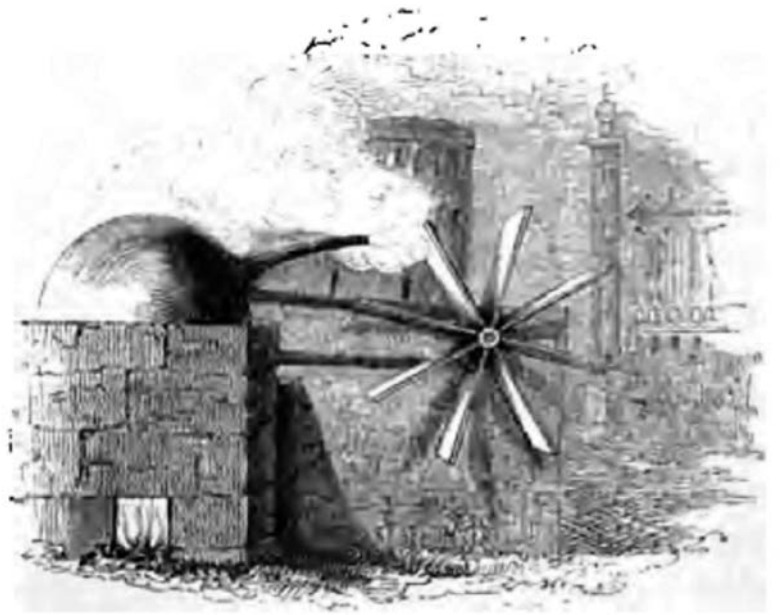


図3 ブランカの衝動タービン

〔出典〕 Wikipedia “Giovanni Branca”

ずっと時代が下って、イタリアの建築家ブランカ(Giovanni Branca, 1571～1645)が1629年に著書「機械」に図2のような装置を掲載した。左上部のボイラで発生した蒸気が人の口にくわえられたノズルから噴出し、車の周囲の羽根に吹き付けられる。羽根車の回転運動を木製の3段

の減速歯車とカム機構を通じて、一对の杵の往復運動に変換し、原料を粉碎する。これが衝動タービンの起源である。インターネットでGiovanni Brancaを引くと、図3のような衝動タービンの絵が出てくる⁽⁴⁾。

近代的な熱機関の始まりとされるものは、外燃式のニューコメンの蒸気機関にしても、ルノアールの内燃機関にしても、往復式機関であるのに対して、上記のように、熱機関の起源としては、タービンの方が古い。

3. 近代的蒸気タービンの始まり^{(1), (2), (3)}

3.1 最初の衝動タービンと反動タービン

近代的な蒸気タービンは、18世紀後半から始まった産業革命の原動力になったワットの往復式蒸気機関に遅れること1世紀余りにして実用化された。

スウェーデンのド・ラバール(Gustaf de Laval, 写真1, 1845～1913)は1870年代に図4のようなS型反動タービンを開発し、増速機なしの直結で牛乳分離に必要な10,000rpmを達成した。しかし、これだけでは満足せず、ブランカ型の衝動タービンの研究に着手した⁽⁵⁾。図5は1880年代に考案された彼のタービンの概念図で、回転数は26,000rpmである。このタービ



写真1 ド・ラバール

〔出典〕 Wikipedia “Gustaf de Laval”

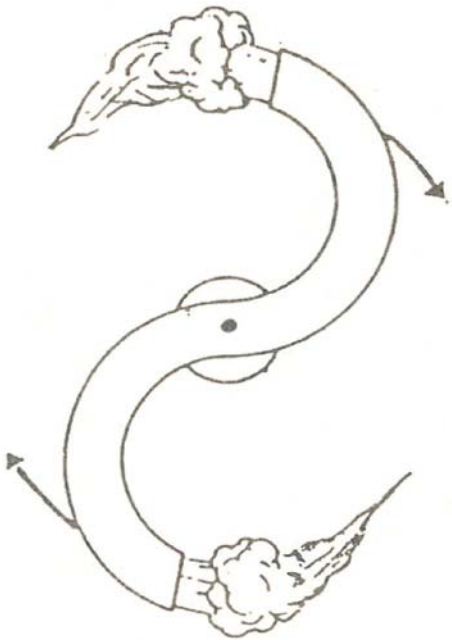


図4 ド・ラバールのS型反动タービン

〔出典〕 山本 充義「蒸気タービン事始め—新しい動力源を求めて—」, ターボ機械, 第22巻, 第3号, pp. 28-35. (1994-3)

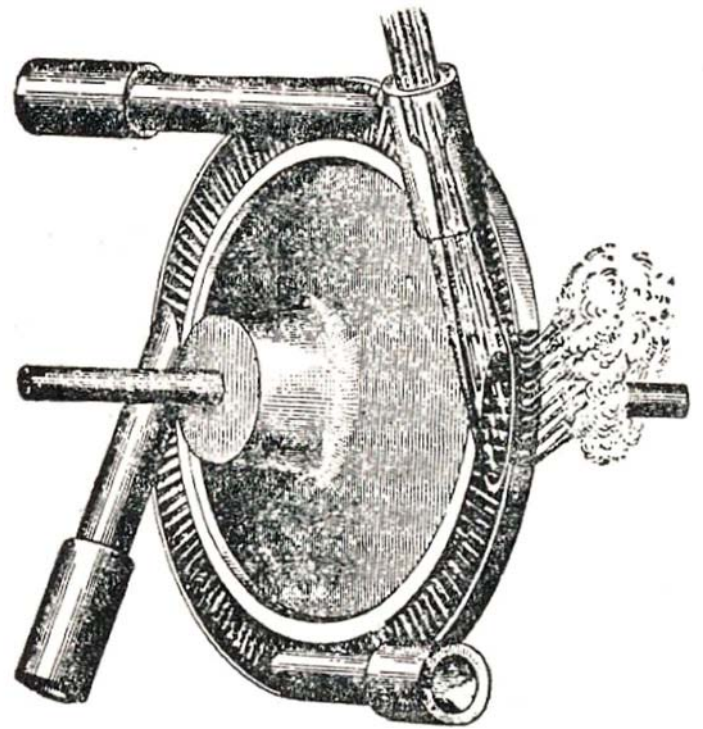


図5 ド・ラバールの衝動タービン

〔出典〕 菅原 菅雄「蒸気タービン」, 養賢堂, p2. (1967-12)

ンで工夫された点は次の3つである。

- ①まず, 末広ノズルを用いて, 蒸気を超音速に膨張させ, 熱エネルギーを有効に運動エネルギーに変換する。このノズル形状はラバールノズルと呼ばれ, 現在でも高速流体を得る手段として広く用いられている。
- ②次に, フレキシブルな軸を用いて危険速度を下げ, それよりも高い回転数で運転することによって, 高速回転に伴う軸振動を抑制する。
- ③さらに, 二重ヘリカル歯車を用いて安定した減速を行う。

しかし, このような単列羽根を使用するタービンでは高速回転が必要となるため, 容量が大きくなると羽根が長くなって材料が回転羽根の遠心力に耐えられない。

これに対し, 英国のパールソンズ(Charles Algernon Parsons, 写真2, 1854～1931)は多数の羽根列を使用して蒸気の熱エネルギーを小刻みに速度エネルギーに変換することによって, 蒸気速度が過大になることを避け, 回転数を実用上都合

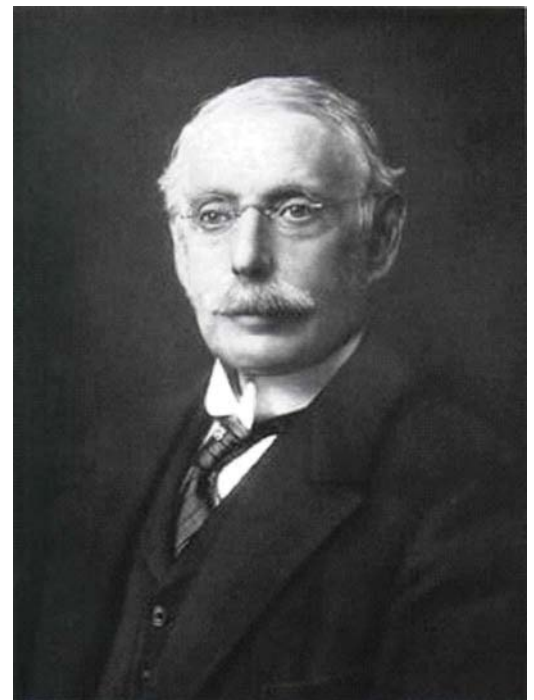


写真2 パールソンズ

〔出典〕 Wikipedia “Charles Algernon Parsons”

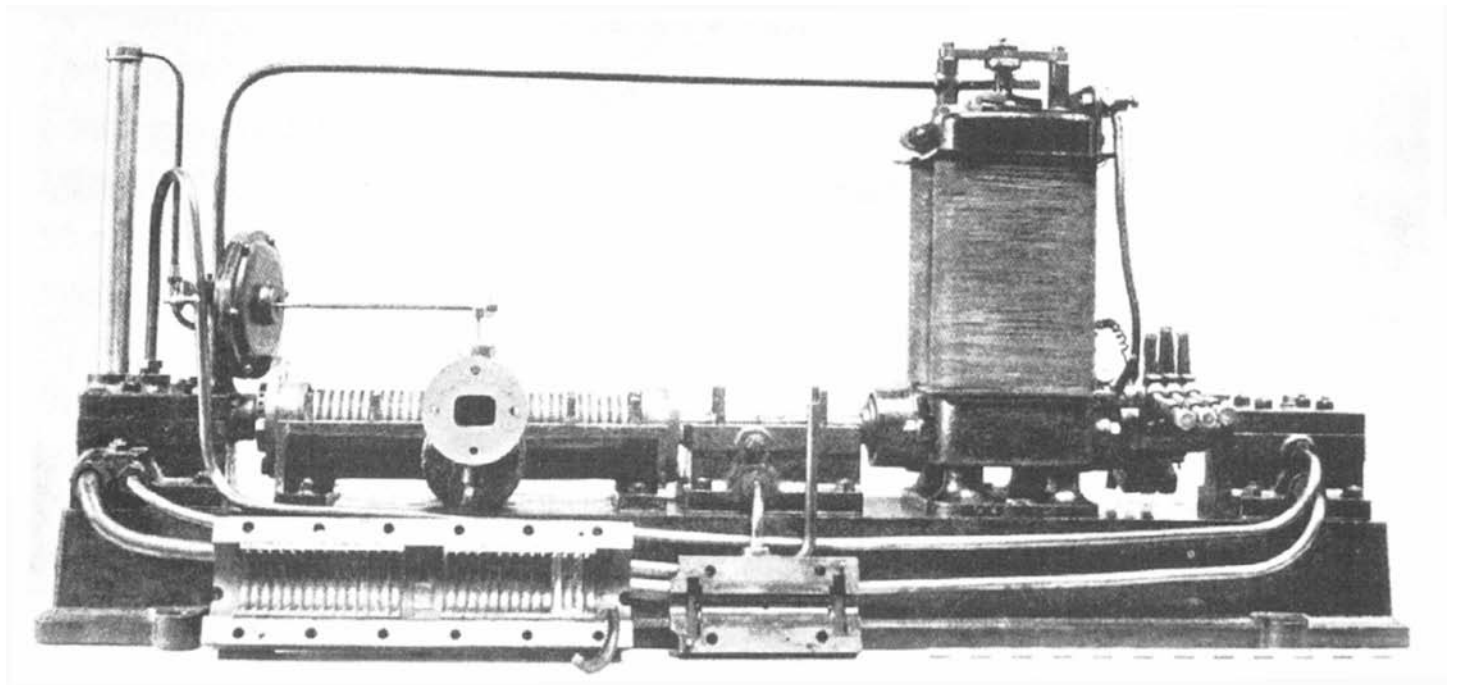


写真3 パーソンスの軸流多段タービン

[出典] H.W. Dickinson "A Short History of the Steam Engine", (1938)

のよい値に保つことができる反動式の軸流多段タービンを開発した⁽⁶⁾。写真3にパーソンスが1884年に製作した7.5kWのタービンを示す。それでも回転数は18,000rpm(参考文献(1)では17,000rpm)とまだ高かった。

(つづく)

私には、何でも数字で合理性を判断せねば気が済まぬ癖があり、夢もロマンもぶち壊しになる。

「お前百までわしゃ九十九まで、共に白髪の生えるまで」と言う俗謡がある。雰囲気はわかり微笑ましいが、実態にそぐわない。滅多にないから目出度いと形容するのは分かるが、100歳－99歳の組み合わせの共白髪はあるのだろうか？

白くなった髪も高齢になると抜けていく。稀に残っている人もいるが、男の大多数は、抜けているかウブ毛だけになってしまっている。白髪の出る時期は大差あり、男子では40歳位から始まり、60歳で黒々していると、染色しているか鬘（かつら）を使用していることを疑われかねない。昔の女性は、髪を引っ張って髷まげ）を結ったので後頭部の脱毛が多かった。部分鬘は重宝されているようだ。

効果なしで訴えられて和解金を払った毛はえ薬メーカーの名は知っているが、効果抜群の話は聞こえてこない。

—— 京機短信への寄稿、 宜しくお願い申し上げます ——

また、原稿が切れてきました。京機短信存続が問題になるレベルです。
是非とも投稿、お願い致します。 気楽に !!

【要領】

宛先は京機会の e-mail: jimukyoku@keikikai.jp です。

原稿は、割付を考えるとなく、適当に書いてください。割付等、掲載用の後処理は編集者が勝手に行います。 宜しくお願い致します。

機械技術者の常識って、どこまで信用できるの？

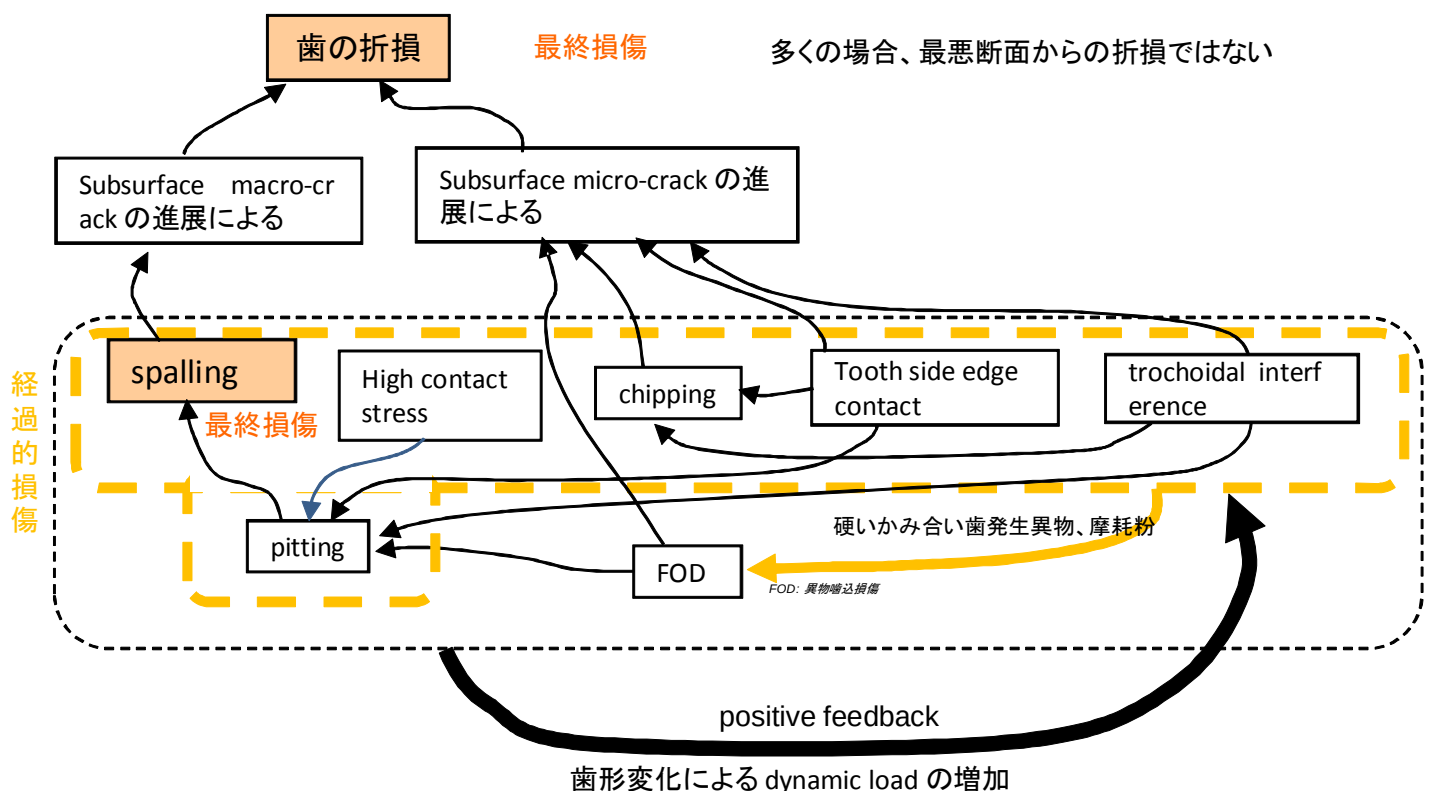
久保愛三 （昭和41年卒 公益財団法人応用科学研究所）

第1編 歯車歯面の疲労損傷

(その8)

第2話 「中形・大形歯車の歯面損傷をも含めて」のつづき

今まで何回にもわたって述べてきた損傷は、その発生原因について現在使われているすべての設計法やソフトウェアでは考慮されていませんし、損傷は次の図のように、ある損傷のトリガーがあってそれが長い稼働運転中に損傷モードを次々に変えながら、状況がポジティブフィードバックされて行くというシステム挙動として最終的に致命的状況に至るのですが、これをシミュレートできる、あるいはしているソフトウェアもありません。損傷に経過的損傷と最終損傷があるという認識すらありません。



現在使われているすべての歯車強度計算式・負荷容量推定式は、例えば歯面の耐ピッチング強度や単独の損傷モードが稼働時間を通じて変化しないような状況を想定しており、運転中に損傷モードが経時的に変化していることの認識はなく、全て最終損傷的に考えています。歯車材料の試験に於いても、単独の損傷モードが損傷の開始から破壊まで変わりなく続く状況を想定して材料の耐力を云々しています。

一方、重荷重運転される実機の損傷では、ほとんど全ての種類の損傷が一つの歯車に起こっています。現実の歯車損傷のモードには、経過的損傷と最終損傷とがあり、そして、それらの発生、進展には相互依存の関係があります。

歯車技術は3000年近く前から使われてきた機械技術で、産業革命以後、その技術が飛躍的に進歩し、50年以上も前に世界的に認められる歯車強度計算法もでき、例えば歯車歯面の耐力についてはヘルツ接触応力が最大となる歯面の箇所が損傷して行く事が定説化し、機械技術者の常識になっていて、誰も疑う事をしなくなりました。

定説とされている知識にもその有効範囲がある、すなわち適用限界がある、という当たり前の事が、一般には認識されていない状況になりました。この分野の技術者は何も考えなくなり、規格化された計算法の数値をほり込み、数値出力を得るだけが設計作業になりました。企業経営者や購買部門は技術の詳細は分からないので、そんな設計でこと済むならば、もっと合理化が可能であろうという考えに当然なってしまいます。出来上がった式を計算するだけならば、電子計算機のもっともお得意とするところなので、歯車技術は素人であるがコンピュータープログラムにたけたコンピューター坊やが、素人受けするグラフィックやアニメーションが綺麗な歯車設計ソフトウェアを提供するビジネスを生み、技術のわからない企業経営者や購買はそれが技術であると誤解し、法外な値段であるにもかかわらず外部業者が作ったその種のソフトウェアを購入するだけで、自社の技術が向上し、良い製品ができると誤解しました。こんなに高価な素晴らしいソフトウェアを買ってあげたのだから、もう試作実験なんぞをしなくても、直ぐに世界最高の製品ができ開発期間もごく短くなるはずであると。

このようなソフトウェアを単なる設計の道具であると認識して使えるようなレベルの技術者がこれを使うのであれば、分かっていることの集合が複雑であって状況が見えにくいものを見える形にしてくれるこれらのソフトウェアの有用性は大きく、本当に有用な道具なのですが、これは導入した企業トップの思惑とはたい違い一寸違う状況です。

経験のないグリーンエンジニアがこれらソフトウェアを、あたかも神の声を聞くように、本当の未知のことを告げてくれる神の声を聴くように、そのプログラムの有効範囲に対する認識もなく使う例が一般的で、これでは碌なことはありません。自社に何等技術向上、技術蓄積はできず、製品のトラブルは増えて、クレーム対策費が増加している例も結構あるのです。だけど、クレーム処理に払う金には糸目はつけないのだが、ものの設計、製造時には一円のことにも金を

出し渋り、信頼性を落とし、信用を失うことよりも、その場の一円が大事な状況も、現在、多く見られるように感じられます。

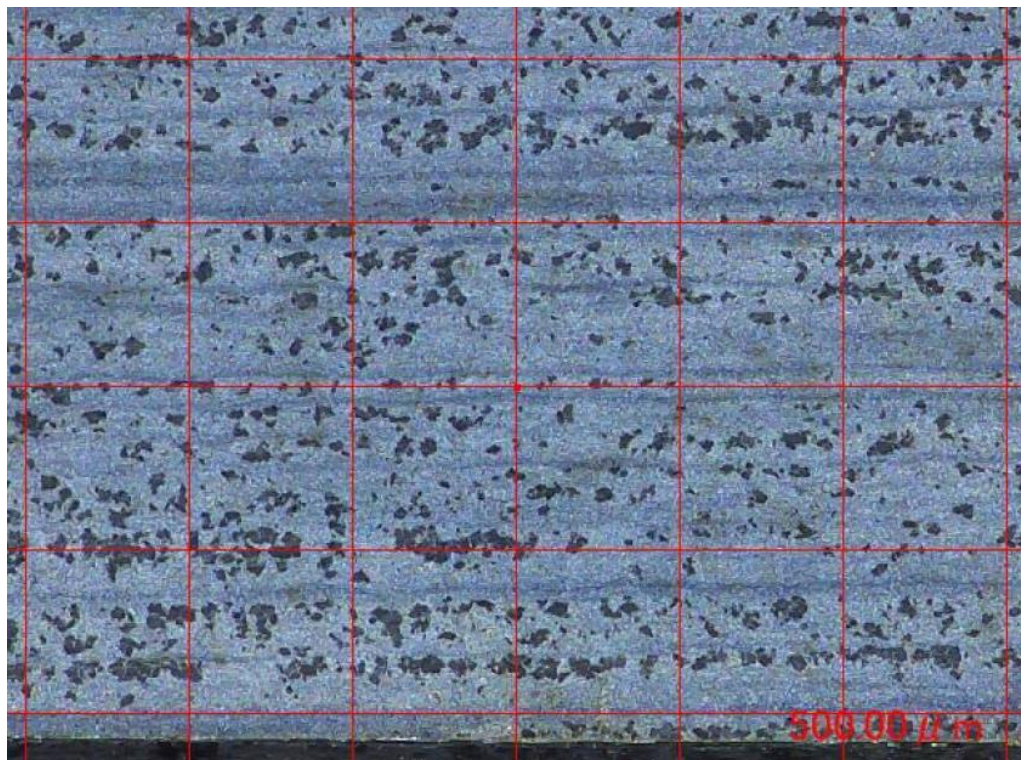
現在のアカウンタビリティー、エビデンスばかりを重視するアホなマスコミの影響の問題もあります。一番典型的なのが風力発電の分野です。風力発電設備はほとんどの場合、税金等公共の金で買われます。この場合、購入する人が最も気にするのは、金が有効に使われ税の使途に無駄がないことのエビデンスがどう確保できるかです。一番一般的なやり方は、カタログに明示されている性能、仕様が良く、見積価格の低いもの、すなわちこの観点でのコストパフォーマンスの一番良いものに決定することです。エビデンスはすべて揃うし、金の有効利用の点で、文句をつけるのが難しいですね。

すなわち、このような意味でのコストパフォーマンスが良い製品でなければ市場参入すらできないのです。技術者良心に従い良い製品を作ろうとすると、どうしても手抜き商品よりも高くつきますので市場性がなくなります。と言う構造で、本質的にまともな機械製品が使われることがない領域なのです。どんな似非コストパフォーマンスが良い製品でも稼働に入ってすぐに壊れることはほとんどありませんが、例えば15年以上の寿命があるはずの製品が2, 3年経つと壊れ出すことがあるようですね。だけどその時にはこの製品の購入した人たちは元の部署にいないことも多いですし、もともと、購入を決定したのは会議体で、エビデンスとしてはまともな決定をしたことになっているので責任の所在は全く不明になります。その結果、現在、作られた風力発電設備の23%程が壊れているのにそれを重大な問題だと取り上げられることがない状況を作っています。市場に出る機械で事故率が23%にもなるのに、まともな機械ですよと胸を張っているのは、面白いことですね。

エビデンス、エビデンスと言うマニュアル至上主義的運営は、日本で、学会、大学、を含みいたるところを支配し、金と労務の浪費を生んでいます。その害悪は国の活力を失わせるところまで来ています。いくらでも例は挙げられるのですが、また、多くの方は「私も例を挙げられる」と言われるでしょうが、上記のようなコストパフォーマンスの正論的議論には勝てないですね。と言うので、みんな口をつぐむんです。

今、私が籍を置いている公益財団法人応用科学研究所というところは、昔は文部省関係の財団で補助金も出ていたので割に気楽な経営が出来ていたようですが、ある時から「口は出すが金が出さない。自分で稼いで生きて行け。だけど儲けてはいけない。」と言われ、現在は高周波焼き入れとプラズマ窒化で、

よそがやって失敗するような一寸難しいものの処理を引き受けて（公益財団なので利益を上げることは許されない状況の中で）生き延びているのですが、処理を依頼される機械部品を見ていると、近年、処理前の部品の形状精度、残留応力状態、冶金学的品質はじりじりじりじり低下して行っているのが体感されます。熱処理をすると材料のあらがよく見えるのですが、ある時間断面のみを調べたのでは分からない程度にうまく材料製造の手抜きがされて行っているようです。右図の程度にまで材料内部が不均一になると、熱処理をしたぐらいでは均質になるだけの元素成分の拡散はおそらく無理でしょう。



現在、市中に出回っている国産一流メーカーの
SCM440H 鋼、圧延丸棒の軸断面組織の例

鉄鋼の国内メーカーも外国メーカーとの競争に負けないで生き残ってゆかねばなりませんので、製造コストを削減して、妥当な金額で材

料を提供できるように努力しています。そのためにはとくに製造過程におけるエネルギーコストの低減が重要と考えられているようです。その結果として、上と同様の状況になるのは当然の帰結です。人間の本性は変わらないのですから。 だけど根本的には、なぜ、このような状況になるのでしょうか。

大メーカーは自分の利益を確保するため、下請けに低価格の納入を強制します。古き良き時代の大企業は下請けを育てることを考えたのですが、近頃は長期的なことを考えず短期的に利益を上げることしか物事を考えさせないのです。マネーゲームをする人が短期的な業績を求めるためですね。ところが、下請けも生きてゆかねばならないのでバレないように手抜きをして製造コストを下げる努力をするのが人間の本性です。材料についても、購買は、規格名が同じでミルシートでもつけさせれば同じ品質の材料が手に入ると思ってグローバル調達をしますが、紙に書いたものなどどうにでも書けるし、規定されている検査項目だけでは品質の低下をチェックできないこともあるなど認識されていないようです。

マニュアル絶対社会になって、人間がものを自分で正しく見、自分の責任で判断することなど、することすら許されなくなった結果ですね。人間は HOMO-SAPIENCE（理性的人間）ではなくなり、HOMO-INSCITUS（無知蒙昧的人間）に退化してきている、あるいはさせられているようです。このことを認識することすら許さない社会雰囲気は誰が演出しているのでしょうか。自分の頭でものを考えることは許されず、命令されたことだけを忠実に実行する一兵卒があるべき姿とされ、自分の頭でものを考えて自分の責任で判断をし行動する人間は邪魔であり不用であると言う末端システムの中で、今の日本の多くは動かされているのかも知れません。日本はまだ、敗戦国の状況から出させてもらえていないのかもしれませんが。今の日本人に敗戦国の認識がなくなったのが問題かもしれません。

技術者として良い品質、良い性能のものを提供するのだという美学はもはや存在が許されず、法律的に違反がない範囲でできるだけ安いものを提供するのが、善のようです。エビデンスが常に言われるマニュアル至上主義的経営で短期的企業利益の確保が絶対必要の点から、これが善と言われて、先々のことは考えずに、世界が動くようになってきたのです。日本も悪い坂を転げ落ちだしているのかも ???

日本の産業や機械技術についてのかかなり根本的な問題ですが、まあ、一寸偏った憎まれ口はこのぐらいにして、しばらく、連載、休憩いたします。

暑さ当たりの鬱憤晴らし、寝言です



1. 超高齢日本の30年展望 大和総研

<http://www.dir.co.jp/publicity/internet-tv/#specialist-report>

1-1 世界経済の展望と日本の成長戦略

<http://www.daiwatv.jp/view/movie.html?report/02067-001&outer=1>

長らく低迷を続けていた日本経済。「アベノミクス」への期待とともに明るいムードが広がってきた。刻々と変わり続ける世界の潮流のなかで、30年後の日本はどうなっているのか。第1部では世界経済の展望を踏まえて日本の成長戦略を紹介します。

1-2 超高齢日本の今後30年

<http://www.daiwatv.jp/view/movie.html?report/02067-002&outer=1>

世界のどの国も経験したことのない超高齢社会を迎えている日本。労働力人口がの減少が見込まれるなか、果たして日本の経済成長は可能なのか？ 第2部ではさまざまな角度から予測やシュミレーションを行い、日本の重要課題を浮き彫りにします。

1-3 挑戦する日本～大和総研からの提言

<http://www.daiwatv.jp/view/movie.html?report/02067-003&outer=1>

重要課題の先送りはもう許されない、待ったなしの日本。どうすれば少子高齢化の進展や財政問題を乗り切れるのか？最終章では、大和総研が考える「改革シナリオ」の内容とともに、さらには「超改革シナリオ」へと発想を転換すべきことを提言します。

2. 平成24年度国土交通白書について 平成25年7月2日

http://www.mlit.go.jp/report/press/sogo08_hh_000072.html

平成24年度国土交通白書については、本日の閣議で配布、公表されましたので、お知らせします。

<http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h24/index.html>

国交省総合政策局政策課 大崎、実重

3. H25「情報通信に関する現状報告」（平成25年版情報通信白書）の公表

平成25年7月16日

http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01tsushin02_02000059.html

総務省は本日、平成25年「情報通信に関する現状報告」（平成25年版情報通信白書）を公表しました。情報通信白書は、我が国の情報通信の現況及び情報通信の政策の動向について、国民の理解を得ることを目的として、総務省が昭和48年から毎年作成しており、今回で41回目となります。今回の白書では、特集

テーマを「『スマート ICT』の戦略的活用でいかに日本に元気と成長をもたらすか」とし、ICT の最新トレンド、あるいは ICT 産業の国際展開を活かして、日本経済の再生と成長をどう実現するかを展望しております

(別添1「平成25年版 情報通信白書」の概要参照)。

http://www.soumu.go.jp/main_content/000238386.pdf

・情報通信白書ホームページ

<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/index.html>

4. サイバー攻撃の実態と防衛

21世紀政策研 2013.4.11

<http://www.21ppi.org/pocket/pdf/38.pdf>

5. 防衛・自衛隊関連企業の実態調査

2013.7.26 帝国データバンク

直接取引する企業は全国に4568社.... ～ 6割強が黒字を確保する堅調産業 ～

<http://www.tdb.co.jp/report/watching/press/p130705.html>

7月21日の参議院選挙での自民党の圧勝を受け、我が国の防衛政策がひとつの転換期を迎える可能性がある。民主党政権時に作成された平成25年度予算(概算要求)では、防衛費・自衛官定数ともに削減となっていたものの、昨年12月の安倍政権発足後に決定された防衛予算は、前年度から約400億円増(民主党案からは約1000億円増)となり11年ぶりの増額。また、8年ぶりとなる自衛官(実員)287人の増員も盛り込まれている。背景には近隣諸国との関係悪化に伴う安全保障環境の問題があり、従前の中期防衛力整備計画および防衛大綱の廃止・見直しも行われるほか、自衛隊法改正や国防軍構想など、長期安定政権も視野に入った安倍内閣が、「強靱で機動的な防衛力」構築に向けた動きを本格化させる見通しだ。なお、防衛関連企業に関する調査は今回が初めてとなる。

調査結果

1. 防衛省および各地の自衛隊、防衛関連組織と直接取引をしている企業は全国に4568社
2. 業種では、「卸売業」が最多で1492社(構成比32.7%)。「製造業」は675社(同14.8%)
3. 年商規模では、年商10億円以上が約3割と他の産業に比べ規模の大きな企業が多い
4. 業歴では、約半数が業歴50年以上で戦前の創業は821社。業歴10年未満は129社と極めて少ない
5. 都道府県では、「東京都」が最多。以下、「北海道」「神奈川県」「福岡」「青森」「長崎」「広島」と、歴史的に防衛拠点とされてきた地域が上位
6. 業績を見ると、2007年度以降では6割強の企業が黒字を確保している

詳細は <http://www.tdb.co.jp/report/watching/press/pdf/p130705.pdf>

6. 遊園地・テーマパーク経営企業118社の実態調査

2013年7月29日 帝国データバンク

2012年の収入高合計は前期比0.8%の増加、大手中心に集客増目立つ

～ ハウステンボスは15.6%、USJは10.0%の2ケタ増 ～

<http://www.tdb.co.jp/report/watching/press/p130706.html>

夏休みに入り、遊園地・テーマパークの集客イベントが全国各地で盛んとなってきた。低迷が続いていた遊園地・テーマパーク業界だが、近年主要テーマパークを中心に上向き傾向である。日本政府観光局によると、2012年の訪日外客数は対前年比34.4%増加の約836万人となった。震災や福島第一原発事故の影響により落ち込んだ2011年の622万人を大幅に上回り、遊園地・テーマパーク経営各社の集客に対する期待も大きい。「遊園地・テーマパーク経営企業」とは、原則として収入高のうち遊園地・テーマパーク経営による収入が最も大きい企業。主要な分析はすべて2012年の業績（1～12月期）で行ったが、2013年の業績が判明している企業については最新期の業績も一部掲載している。業績は単体数値で、推定値も含む。損益は当期純利益でみた。

調査結果

1. 2012年の収入高合計は約7286億4000万円となり、前期比0.8%の増加となった。
2. 収入高規模別では、増収企業の割合では「500億円以上」（3社）が75.0%を占めトップ。
3. 118社のうち2期連続で損益が判明した72社について分析した結果、2012年の黒字企業は53社、赤字企業は19社となった。
4. 地域別では、「東北」「四国」など10地域中5地域で増収となった。

詳細は <http://www.tdb.co.jp/report/watching/press/pdf/p130706.pdf>