

技術と科学の関係 (2)

Ⅲ. 物づくり (技術) と科学研究の成果の歴史 (概要)

並 川 宏 彦

はじめに

1. 有史前

2 - 1. 古代の物づくり

2 - 2. 古代の科学

3 - 1. 中世の物づくり

3 - 2. 中世の科学

4 - 1. 近世の物づくり

4 - 2. 近世の科学

5 - 1. 産業革命期の物づくり

5 - 2. 産業革命期の科学

6. 19世紀の技術と科学

7. 20世紀前半の技術と科学

まとめ

はじめに

先に、「技術の概念」¹⁾ および「技術と科学の関係 (1)」として科学の概念「Ⅰ. 科学とは」と「Ⅱ. 科学のはじまり」を述べた。

人間が物づくりを通して自然と向き合い、自然を変化させることを習得してきた程度に応じて、自然科学はその対象を広げてきた。したがって、物づくりによって生まれた技術とのつながりの中で自然科学を歴史的に考察する必要がある。ここでは、「Ⅲ. 物づくり (技術) と科学研究の成果の歴史 (概要)」を述べ、「技術」と「科学」の関係を示す。

1. 有史前 (人類の起源と技術)

人間の歴史は250万年を越えているが、この過程の基礎をなしていたのが物づくりである。天然の物がはじめて人間の手によって加工され道具 (石器) に変えられるまでには、人類誕生後非常に長い年月が経過した。人間以外の、または、人間以前の自然的生活は決してつくる過程をもたずに自然にそうなる過程であった。

人間と自然、人間と原料との間に - 道具 - を取り入れた人間が出現してはじめて、自然に対する強力な変革的取り組みがはじまる。人間がつくった道具が物づくりの手段として使われ、人間の身体器官の能力の限界を超えて発展する道具の改良、進化が可能となる。道具をつくる過程は人間特有の活動であるが、ホモ・ハビリスによってつくられたオールド

キーワード：道具から機械への転換、科学研究の組織化、実験と観察の重視
個別科学分野の確立、技術的課題の科学的研究

ワン石器は、まだ、成り行きまかせの物づくりであったとされ、ホモ・エレクトゥスの時代になってアシュール石器群が出現して「製作者がつくりたいものをあらかじめ心に描いていた形跡がある」と人類学者は述べている²⁾。

人間の脳もさらに発達してきた。物づくりに伴う経験や技能などが代々受け継がれ、物づくりは世代を経るに連れて一層多様な道具を手にするようになり、人間はますます複雑な機能を獲得してきた。

最初の道具づくりから100万年以上経ってから、人間ははじめて火を使うようになった。

初期の石器は単一道具として用いられ、さらに、力や速さなど限界の拡張を必要とするとき、使う場面で必要な形状・大きさの多様な物がつくられたようである。狩猟時に、石器を槍先として柄をつけて投げる複合道具がつくられるとともに、物を通す孔をあける方法が習得され、斧頭と柄が蔓で縛られていた石斧が、接合部に孔をあけて柄を通し、しっかりと固定され、作業能率が大きく上ったことであろう。BC1万3000年までに投槍器と鋸がつくられている³⁾。さらに、これまで使っていた石器を改良するというでない新しい道具である弓矢の発明へと進む。弓、弦と矢の3つをまとめた複雑な道具であると同時に、長い間の経験の積み重ねと工夫から生み出された弦を引いてエネルギーを蓄え、一気に手放して矢を飛ばすという、力学的運動の利用に基く原理的に新しい手段が狩猟に取り入れられ、狩猟の生産性が著しく高まる。

これらの工夫された幾つかの部品から成る複合道具が牧畜と農業に取り入れられ、自然の産物の生産を増やす方法が用いられる時代に移行する。およそ1万年前に、狩猟部族は動物を飼い慣らしはじめる。BC7000～4000年頃には、ある部族は家畜を飼育し、他の部族は土地を開拓するようになった。大部分の部族は狩猟生活をしていた。初めに動物を飼い慣らした遊牧部族は後に家畜の飼育を行ない、狩猟部族の集団から分離する。

家畜の飼育は、遊牧部族においては新しい生活資料の獲得手段となる。牧畜は何時でも肉が得られるだけではなく、乳を常用し、乳製品づくりがはじまる。獣皮、獣毛を使い、容器、毛織物の出現をもたらす。動物は荷を運び、犁を引く動力となる。

牧畜は、家畜の飼料にする植物の栽培を必要とし、農業が起りはじめる。土地を搔く板が犁に、小刀が鎌に、馬鋤なども発明された。

食物採取（栽培）にあわせて農業が起こり、土を掘り粘土を知る。粘土は壁や編んだ容器に塗られる。成形した粘土を焼いて製陶術が生まれる。炉がつくられ、炉の使用から金属の製錬・使用へと進んでいく。

エジプト人は、BC4000年までに銅鉱石を採掘し、製錬。BC3500年までに金、銀を製錬。BC3500～3001年に鉄を採掘し、加工。金属製錬を使用している。エジプト人とバビロニア人は青銅を広範囲に使用。ヒッタイト人が鉄を一般に使いはじめる。

青銅（銅と錫の合金）は鑄造され、道具の量産ができるようになり、常温で銅より強度・硬度が上がる。種々の斧、小刀、鎌などの道具や装身具、調度品なども青銅でつくられた。

シュメールで車輪のある運搬具を使用 (BC3500 ~ 3000)。メソポタミアで陶工がろくろを使用している。ギザの大ピラミッド建造 (BC2900 ~ 2801)。エジプト人、ティムゼー湖から紅海にいたる運河を建設する (BC1250 ~ 1201)。

有史前の最大の発明と発見は火の使用、簡単な単一道具から複合道具への発展、弓矢、車輪の発明、織物、陶器の製造、金属の使用の開始である。

天体関係：エジプト人は 365 日の暦を制定 (BC2773 までに)。中国で垂直棒と水平板で太陽の影を測り時刻を知る (BC2500)。エジプト人水時計をつくる (BC1450 ~ 1401)。バビロニア人日食月食を予測 (BC3000 ~ 2901)、日食を最初に記録する (BC763)。

数関係：メソポタミアで数量の記録 (粘土板に印) (BC8000 ~ 7001)。シュメール人位取り記数法考案 (BC2400 ~ 2301)。メソポタミアで 2 次方程式を解く (BC2000 ~ 1951)。メソポタミアでピタゴラスの定理発見、幾何学的知識を持つ (BC1900 ~ 1801)。中国で 10 進数字を使用 (BC1350 ~ 1251)。中国で算盤がつくられる (BC1000 ~ 951)。インドの記述にゼロ記号など (BC876)。数関係は他の分野より目覚ましい発展。

2-1. 古代の物づくり (BC600 ギリシア文明~ AD529 リュケイオン閉鎖)

金属の使用が広がり、鉄、鋳鉄、鋼がつくられるようになる。インドで鋼がつくられ (BC500 ~ 491)、中国人が鋳鉄を発明 (BC300 ~ 291)、可鍛鋳鉄を発達させる (BC200 ~ 191)。

鉄で犁頭・斧・シャベルなどがつくられ、この時代の主な発明品となる。これらの新しい道具や牽引力としての家畜の利用によって、耕地を広げ、農業 (植物栽培) が主要な生産部門へ発展する。馬用首輪状引き具の発明は牽引力の効率向上となる。

耕作農業の発生条件は、一方では金属製道具の使用であり、他方で動物力の利用であった。乾燥した国々では、人工灌漑が行われた。鉄製道具は、農業だけでなく、改良された道具類、鍛冶用ふいご、ろくろ、荷車などに用いられ、手工業の発達に大きく影響した。獣皮でつくっていた衣料に加え、植物の葉や繊維や茎でカゴなどを編む経験から植物が織物をつくる仕事に活かされ、農業の発達は、新原料 (亜麻、大麻、イラクサ) を機織り仕事へ供給した。これには紡錘の発明があった。

自ら使う道具の製作・修理 (手工業) は農民と牧畜民の副業であったが、製陶、機織り、金属加工、鉦山仕事などが一定の人々の職業になる。職人の誕生である。職人の技能の発展によって、手工業を専門とする人は道具の改良、工具の分化をもたらす、農業、牧畜から手工業の分離をもたらす。

生産の増大は、交換目当ての生産、商品生産をもたらす。徐々に商業や海外貿易が成立し、商人が生み出される。手工業と商業の発達に伴い都市が形成され、建築技術を発達させた。都市の防衛から城壁、濠、堤防がつくられ、軍事技術の発達、商業の拡大に関連して、運搬方法の改良、道路の建設が進んだ。

中国人は鑄鉄をつくるときに、燃料として木の代わりに石炭を使う（AD300～309）。

すでにBC191年までに歯車装置の発達で、牛が動かす灌漑用水車が生まれる。動力は牛であるが、歯車の伝動装置を備え、水を汲み上げる機械とも言うべきものが生まれている。

コリントスの地峡を横断する道路7.4kmが建設される（BC600～591）。建築家ユーパリノス（BC600頃生）がメガラのための導管と上水道の体系を建設する（BC530～521）。また、同氏はサモス島の高さ300mのカストロ山の下に、給水のために1100mのトンネルを建造する（BC522）。約300年前に建設工事がはじめられたナイル川と紅海をつなぐ運河が完成する（BC271までに）。BC260～100年にわたって、中国の万里の長城の建設がなされる。奴隷の存在が水道、橋、道路の建設に役立つ。ローマ人は得意とした。

BC40年代：古代ローマの建築家ウィトルウィウス著『建築十書』出版。（機械を定義）。

石器から金属器への最終的な移行に伴い農業が植物の栽培の生産部門となった。

アルキメデス（BC287頃生）は灌漑施設で用いるらせん揚水機を発明。

フィロン（BC200頃生）は押上ポンプ、水オルガン、機械仕掛けで作動する水時計を記述。

ヘロン（AD60～69頃）は蒸気噴出流を利用し球形容器を回転、模型蒸気機関を使った実験。

2-2. 古代の科学（BC600ギリシア文明～AD529リュケイオン閉鎖）

農業の発達に伴ってエジプトやバビロニアで数学文書や天文観測の記録が見出される。

古代ギリシアの科学

最初の体系的な科学はギリシアの哲学者を中心に理論的な思索によってはじまった。

タレス（BC624生、ギリシアの科学、数学、哲学の端緒、日食を予測、一般幾何学の命題証明）、自然全体に対して根源的なものを問うた⇒それを「水」とした。万物は水からできて水へ帰る。濃くなる淡くなる。水が木に成り、石に成る。万物はただ「在る」のではなく、こう「成って」、いまここにこのように「在る」のだという考え。

それまでは自然は人間にとって恐ろしいものであった。自然現象はすべて神のせいにし、神から説明していた（神話的自然観）が、神とか空想上のものを持ち出さないで、根源的なものを自然の中に問うた。このことは神を恐れない問いであり、画期的なことである。自然は自然自体から解明できると考える。それは科学、哲学の確立であり、人間の確立である。自然からの精神の解放。科学の発達に道を拓く。

アナクシマンドロス（BC610頃生、タレスの弟子、日時計をギリシアに伝える）、万物を支配するもの＝限りがなく、永遠でなんとも言いようのない物「アペイロン（限りなき物）」の存在を考えた。そこから、熱、冷、乾、湿などの相対したものが出来、生命が粘液から乾いた場所へ移る進化の概念を提唱した哲学者。

アナクシメネス（BC570頃生）、根源物質は空気と説く。薄くなって火、濃くなって風、雲、雨、あられ、土となるとする。

ピタゴラス、南伊クロトンに学校をつくる (BC530 ~ 521)。ピタゴラス学派の人々は算術や幾何学を発展させた。水や空気は質しか考えていないが、質の違いは量の違いから出ており、量が世界の原理と考え、数を基礎にすべてのものが調和していると主張した。

ヘラクリトス (BC540 頃生、地動説の先駆)、根源のものは火と考えた。火は休むことなく運動。「万物は流転する」。世界はただ「在る」のではなく、永遠の運動変化として、過程として「在る」と説く。

エンペドクレス (BC492 頃生)、根源的なものは火、土、水、空気とする 4 元素論。4 つはそれ自体は変わらないが、4 つのものの結合分離で世界は成り立つ、と主張する。

アナクサゴラス (BC500 頃生)、根源のものは無数に多く、それ自体は不変の種子。世界は原素の結合分離だけ。天体も地球と同じ物質。地球が全ての天体を放出したとする。

デモクリトス (BC470 頃生)、根源のものとして「粒 (アトム)」を考えた。古代原子論。形が違うだけで性質も同じ微粒子 (それ以上分割できないもの、それ自体は動くもの) の集まりで世界はできている、と考えた。

プラトン (BC427 ~ 347)、土、水、気、火の 4 元素論を展開し、第 5 のエーテルも示唆した。アカデメイア学園を設立した (BC390 ~ 381)。

アリストテレス (BC384 ~ 322)、プラトンの弟子。当時として可能なあらゆる部門にわたって、経験をまとめ学問に仕上げた。自然哲学、天体論、宇宙論、動植物誌など。根源のものは水、火、空気、土の 4 つ。自然はこれらの元素の活躍の場であり、その活躍によって元素は植物になり、植物は動物になり、自然は段階的に発展していく。無生物が自然の最下位のもの、人間は自然の最上位のもの、とする。家庭教師をしていたアレキサンダー大王から研究費。アテネに学校リュケイオンを設立した (BC334)。

天文学⇒ギリシア哲学者アリストタルコスは太陽が太陽系の中心であり、惑星は太陽の周りを回っていると主張 (BC270 ~ 261)。中国の天文学者、太陽の黒点を記録に残す (BC165)。プレオマイオス、天文学書『アルマゲスト』を著す (AD140)。

物理学⇒デモクリトス以降、物質は原子からできている、と (古代原子論)。アルキメデスはテコの原理、簡単な平面図形の重心、浮力の原理 (流体静力学) を表す。

化学⇒エジプトに錬金術の最初の書物現れる (AD180 ~ 189)。アレクサンドリアの学者たちが、物質を変化させる力に、化学 Chemistry という語を初めて用いる (AD400 ~ 409)。

数学⇒重要な地位を占め、他の分野の科学研究よりも発展。タレス：幾何学の創始者。ピタゴラス：自然界の秩序はすべて数であらわされる、と。算術や幾何学を発展させる。ユークリッドの『原論』はギリシア数学の成果を集大成 (BC300 ~ 291)。アルキメデスはらせんの性質を解明、様々な立体の体積比を求めた。アポロニオスは『円錐曲線論』(円、楕円、放物線、双曲線) を集大成し、発展させる (BC230 ~ 221)。ディオファントス著『算術 Arithmetica』代数学について書かれた最古の著作 (AD250 頃)。

生物学⇒アリストテレス：生物学の祖，比較発生学の創始者。

哲学者たちは自分では直接手を下さないで，エジプト人やバビロニア人の観察の積み重ねと実用的な技術思想や経験を引継ぎ，これを総合し体系化し，科学の一般原理，根源的なものを求めた。

AD3世紀以降，ギリシア科学は急速に衰退。キリスト教の発生が拍車を掛ける。

古代の物づくりは農業や牧畜の従事者もあるが，主として奴隷によって行われ，科学は経済や社会に対して実際的な影響力をもつこともなく，単に一部の知識人の問題でしかなかった。物づくりと科学は全く別の世界で進められた。

3 - 1. 中世の物づくり (530～1452)

道具の作業部分が木から鉄へ変わったことが大きく寄与して，耕作農業が発展すると共に，手工業が出てくる。

物づくりは職人の経験と勘によって磨かれ，受け継がれ，発展し，熟練によって道具が改良され，小型道具がつくり出され，鉄の鋤頭，刃付き鋤，歯付き馬鍬，つるはし，鎌，熊手，シャベル，斧などがつくられる。1000年頃に，農業に鉄製鋤先が使用される。道具の需要の増加に応じて，農村の中から手工業者が分離し，都市や周辺に住み着き，数種の似通った業種の手工業者の集まりとなるギルドが形成されていく。

植物栽培は，小麦，稲，大豆，ハダカムギ，エンバクなど種類の増加と，果樹園，菜園など方法の改良で発達した。

牧畜は，領主の軍務との係りで養馬が発達，国によって牧羊が普及し，織物原料を供給。

中世初期，9世紀位までは簡単な道具の使用であったが，後期の11世紀から16世紀になると道具の改良が進み，鉄の使用が増える。直接還元方式から最初に銑鉄を，次に製錬する2段式製鉄法になる。採鉱技術が変化し，採鉱夫が一つの職業となる。

中世の物づくりで特徴的なのは，火薬，紙，印刷，羅針盤，水車，歯車，風車，糸車など，何れも中国で先に発明され使用されていたが，西洋で再び発明され使われるようになり，生産力の発達に大きな役割を果たしたことである。

火薬⇒中国の鄭隱（Cheng Yin）著『真元妙道要略』に組成を記述（850年代）。1040年代中国で3種の火薬の処方が発表される。欧州では13世紀に英，R.バーコンが言及している。

紙⇒BC130年代中国で発明。包装材料，衣類などに使用。書くための最古の紙片はAD110年の物。中国で広く普及⇒中央アジア，朝鮮，日本，インド，他の東洋諸国へ。アラビア人によって12世紀に欧州へ。12～13世紀にエロー（仏），モンテファノ（伊），ニュールンベルグ（独）などいくつかの都市で製紙工場が建設される。

印刷術⇒7世紀初めに中国で木版印刷，11世紀に中国人が可動活字を発明，書物が印刷される。1440年代にゲーテンベルグ（独）とコスターが可動活字の印刷術を発明⇒紙の生産急増。筆写から印刷物の作成へ。それは科学・技術・文化の発達に大きな役割を果たす。

眼鏡⇒13～15世紀に欧州でガラス磨きが発達。特にオランダで。眼鏡の製作と使用は望遠鏡、顕微鏡の発明の前提。光学理論展開の基礎となる。

羅針盤⇒中国馬鈞 (Ma Chūn) , 差動装置を使った指南車を組立 (AD260 年代)。AD271 年に中国で南の方向を見つける最初の形態の羅針盤が使われているが, 中国人が航海に羅針盤を使用し始めるのは 11 世紀。欧州では 12 世紀英, ネッカム『自然物について』に最初の記述。15 世紀終わり～16 世紀の地理学上の発見へとつながる。

最古の風車は 7 世紀初めペルシャで建設されている。かつては奴隷という人力や牛馬などの畜力で動かされていた道具が水車や風車で動かされるようになると道具の大型化が可能になる。水車や風車は 10 世紀以降広く産業に使われるようになり, 蒸気力で動く蒸気機関が導入されるまでは主要な動力源として, 生産規模を大きくする。英国土地台帳にイングランド中部のトレント川より南に 5600 余りの水車で動く製粉所があったことが記録されている (1086)。オランダでは, 内陸から海へ排水するために風車が用いられる (1408)。

紡車⇒1035 年に中国で書かれた絵に紡車が描かれており, 独の職人組合規則に紡車についての言及がある (1280 年代)。1530 年頃には欧州で広く使われている。

時計⇒976 年張思訓は機械時計に用いるチェーンを発明。1310 年代西欧最初の機械時計が出現, 中国の物に呼応したものだが, 重りで駆動され, 下降は脱進機で制御されている。中国の時計は脱進機を備える。

巨大構造物⇒ローマ時代以来, 石使用の大寺院, 公会堂, 橋などがつくられる。

3 - 2. 中世の科学 (530 ~ 1452)

プラトンが開いたアカデミア学園とアリストテレスが開いたリュケイオンが, ともにビザンティン皇帝により 529 年に閉鎖され, 641 年にはアレクサンドリアのムセイオンがアラブ人によって破壊された。古代ギリシア科学の衰退後, ヨーロッパでは科学活動はほとんど停止して長い暗黒時代が続いた。

キリスト教徒たちは病人の世話を義務と考えていたので, 医学だけはある程度進歩した。

700 ~ 1300 年頃に繁栄したイスラム文化は科学の発展に役割を果す。商業活動を通じてアラビア人達はインド文化・中国文化などと接触し, ギリシアなどの重要な著作がアラビア語に翻訳された。アラビアの知識は 12 世紀にラテン語に翻訳され, キリスト教支配のヨーロッパへ広がった。

キリスト教会は初期に科学発展の抑止の役割を果したが, 多くの学問を保存したのも教会である。当時の識者は聖職者, 修道士で, 都市へ出てイスラム文化との接触がなされ, 欧州の科学の復興に力となった。12 世紀に教会の学者による科学復興の動きがある。14 世紀のペストの流行で混乱, 本格的復活は 15 世紀半ば以降である。

大学の設立⇒英のオックスフォード大学 (1167)。仏のパリ大学 (1170)。伊のパドヴァ大学 (1222) など, 英, 仏, 伊, 独, ベルギーで大学が設立される。

天文学⇒百済の観勒僧、日本へ暦と天文学を伝える（602）。中国で、彗星の尾は太陽から離れる方向に向いていると記録（635）。欧州では、P. アピアヌスが記す（1540）。彗星の出現を日本書紀に記録している（684）。

アラビア人は優れた器具で多くの精密観測をした。観測法を改良し、天文学で三角法を発展させた。940年代中国で郭煌星図を作成。3世紀にわたって広く使用できる惑星の位置を示したアルフォンソ表の編集が完成した（1272）。

プトレマイオスとアリストテレスの考えが教会の教条の中へ採り入れられた。アリストテレス宇宙論は星の原動者を必要とし神の存在の証明となるものだった。

物理学⇒アリストテレスの運動についての考え←何ものかが押し続けているときのみ可能と。W. オッカムはインペトルス（駆動力、勢い）の概念を導入し、原動者の考えを拒否。R. グローステスト（R. ベーコンの先生）光や虹の現象解明のための実験を行なった。

化学⇒アラビアで起った錬金術に支配された。錬金術は実験への道を拓き、実験化学へと発展。アラビアの錬金術師、塩化アルミニウム、白色鉛、硝酸、酢酸の製法を書き残す（750年代）。錬金術師アルノルド、一酸化炭素を発見（1220年代）。蒸留法を考案改良。アルコールの蒸留12世紀にはじまる。凝結管による水冷法を導入した。

数学⇒アラビア人はギリシアとインドの数学を結合した。方程式の解法、三角法、数値計算で成果。インド数字・アラビア数字と10進法で計算簡単化。数字導入前は数字による計算が困難であった。計算はアバッカスで行われた。790年代中国の数学者が小差法（差分法）を使って方程式を解く。レオナルド・フィボナッチが『算盤の書』でゼロ“0”を西洋に紹介（1200～1209）。

中世の科学は神学者中心で行われ、自然を理解しようとするにとどまっていた。広く普及したのは錬金術と占星術、魔術などであった。一方、物づくりは耕作農業従事者や職人によって行われたので、物づくりと科学との結びつきはほとんどなかった。

4-1. 近世の物づくり（1453～1732 飛杼の発明前）

物づくりは依然手工業的道具によって行われた。交易の広がり（植民地の拡張）、材料の入手、製品販売の広がりが、商業生産の発達（商業資本の増大）を促がし、手工業生産品の需要の増大に伴って、手工業者間の競争の激化となった。後期には、蓄財した親方による手工業者の生産の支配が生まれ、一つ屋根の下に多くの作業者を集め、工程における分業の協業によって工場制手工業（マニュファクチュア）の発生となった。

手道具を使っての企業内分業の導入によって、道具の分化、専門化、操作の単純化が進む。手道具の急速な改良によって生産性が向上し、工場制手工業の発達となった。一部に水車・歯車・風車が普及（主要原動機となる）し、出力の増大が道具や装置の大型化を可能にし、生産規模の拡大・生産の増大をもたらした。（粉を挽くだけでなく、石や木材を切り、油を絞る、製紙原料を潰し、鉍石を砕き、鎚による鍛錬などにも用いられた。）

鉱山業：揚水機，巻上機，通風機の原動機に水車を使用。掘削作業には鉄製のつるはし，ハンマー，シャベルなどが用いられた。

冶金業：ふいごの原動機，溶鉱炉の送風機に水車を使用。その結果，炉を拡大し，融解温度を高めることができ，生産性が増大した。

英国では，鉄と石炭の利用への大きな動きがあり，蒸気力の利用が広がった。

(1) 鉱山の湧き水排出のための蒸気力の利用には，セヴァーリの機関（1698，蒸気で動く最初の実用的機械）にはじまり，ニューコメン機関（1712，シリンダーとピストン使用の最初の実用的機関）の使用から，産業革命期のワットの機関へと発展した。

(2) (1) によって深いところから石炭の採掘が可能になった⇒産業革命へ。

(3) A. ダービー I 世が石炭をコークスに変えて製鉄に使う方法を発見（1709）。ダービー III 世による世界最初のセヴァーン川での ironbridge 建設（1779）（世界遺産）へとつながる。

製鉄業での石炭の使用，鉱山の排水における機械装置の使用，溶鉱炉の送風ふいごの原動機駆動によって基本材料としての鉄鋼と基本燃料としての石炭の大量生産が実現へ向う。

繊維業⇒亜麻布マニュファクチュアでの自動紡ぎ車の実用化。英の W. リー牧師の靴下用編み機の発明（1589）などが起こる。

時計⇒ホイヘンスによる正確な時間を維持する振り子の開発（1656）とフックによる髭ゼンマイの発明（1658）で，時計は精密器械となる。時計は実用化された最初の自動機械であり，等速運動の原理の利用である。

測定装置と観察器具の進歩はこの時期の重要な技術上の成果で，これによって科学の実験観察が進んだ。

製鉄業と鉱山業で大きな集中工場制手工業が生まれ，工場制手工業と農業の生産力の増大が国内商業と次いで外国貿易の発達をもたらし，外国貿易と植民地で蓄積した資本を工場制手工業へ投下した。工業製品の需要の増大と機械が工業生産を近代的工業へ変革した。

17・18 世紀の技術の発達に大きな役割を果たしたのは時計と水車であり，機械生産への移行のための準備活動の基礎となった。

英国における J. ケーによる飛び杼の発明（1733）および L. ポールとワイアットによる円筒延伸式紡績機の特許取得（1738）は繊維産業の機械化への第一歩となる。

特許法（工業所有権法）：英国（1624），米国（1787），仏蘭西（1790），ロシア（1812），オランダ（1817），スペイン（1820），オーストリア（1820），日本（1884 [明治 17]）商標条例，（1885 [明治 18]）専売特許条例，（1888 [明治 21]）意匠条例。

4 - 2. 近世の科学（1453～1732 飛杼の発明前）

近代初期には，化学や天文学より錬金術や占星術が重要な役割を果たす。科学者は実験を行うことが次第に多くなる。探検において，植物や動物が多数発見され，食物の変化と分類体系の研究へ進む。

後期には、F. ベーコンが近代科学の方法論の基礎づけを行う。『知は力なり』で演繹法（与えられた命題から論理的形式に頼って推論を重ね結論を導き出すこと）に対し帰納法（個々の具体的な事例から一般に通用するような原理・法則などを導き出すこと）を提唱し、実験と観察の重要性を説く。

思想的遺産に通じ、近代の技術問題に関心をもったガリレイ、デカルト、F. ベーコン、ボイルなどが現われた。そして、古代以来の理論的遺産と技術上の実践とが結びつき、新たな自然科学の方法がつくられて近代科学が生まれた。測定器具の開発・利用が進み、物理量（気圧、重量、体積、温度など）を計測し、記録するようになる。

大学・学会の創立⇒前期に続いて、英の王立医学校（1518）。G. ボルタがナポリにアカデミア・セクレトルム・ナチュラエを設立（1560）、宗教裁判所で禁止されるが、欧米において、大学・学会の設立が続く。英のエディンバラ大学（1583）。米のハーヴァード大学（1636）。英国王立協会（1660）。パリに王立科学アカデミー（1666）などもこの時期に創立されている。

科学活動の組織化⇒英国王立協会が1665年に『哲学会報 Philosophical Transactions』を創刊。1665年フランス科学雑誌『Journal des Savants』が発刊され、1682年から1776年まで雑誌『学術紀要 Acta Eruditorum』ラテン語が発刊される。これらのことが科学研究を刺激、科学者相互の会合が開かれ、科学研究成果の伝達の機会が増える。有名な科学者たちが国外から集まる。科学研究が組織化された事業となっていく。

ニュートンが提示した諸概念、ライプニッツの諸概念が、時代の流れを大きく支配した。観察と実験の結果に基づいて学説を構築するという方法が科学研究活動の柱になる。昔の大家への依存をやめる。

天文学⇒1504.2.29. C. コロンブスが皆既月食を正確に予測。コペルニクスの地動説（1514初版を書く、1543出版）。ガリレイが天体望遠鏡を導入、天文学を決定的に変化させた（1609）。ケプラーは惑星の運動を調べ経験則を提示。ガリレイ『天文対話』出版（1632）。ニュートンの重力理論はコペルニクスの体系とケプラーの諸法則に理論的根拠を提供し、天上のものは特別で神的なものという長く保持された信念を破壊する。ハレー彗星が予言した年に現われ、ニュートンの引力説を確証。望遠鏡は反射望遠鏡と色消しレンズの導入で改良され、観測可能空間を拡大した。W. ガスコインが望遠鏡の焦点に置かれる星間の角距離を測るマイクロメーターを発明（1639）。O. レーマー、子午線を発明（1700）。

弾圧⇒G. ブルーノはキリスト教批判で異端者として火刑に処せられる（1600）。キリスト教会がコペルニクス地動説に反対で、本を禁書目録に（1616）。ガリレイはコペルニクス説の放棄を強要され、屈伏「それでも地球は回る」とつぶやく（1633）。

物理学⇒採鉱、分析試験、蒸留、振り子、弾道学など実利的側面の進歩があった。ガリレイが動く物体の一連の実験→力学分野の基礎を築く。万有引力説はケプラーの法則とガリレイの観測に理論的根拠を与えた。光屈折現象の数学的取扱いから光の速度の発見まで多くの進歩。光の波動説と粒子説はともに進展。20世紀に両側面の統一理論・量子論で置

き換え。大量の静電気をつくり出す方法の発見から電気現象の研究が進む。デモクリトスの原子論、ラテン語に翻訳され西欧へ (1473)。ガリレイ『新科学対話』(1638) 出版、フックの法則発見 (1676)。ニュートン『プリンキピア』全3巻, 出版, (1687)。

化学⇒理論的進歩ほとんどない。いくつかの新しい物質を発見。ヘルモントやボイルは合理的で実験的な化学の確立に努力。ボイルは元素, 酸, アルカリなどの概念を導入した (1661)。気体についてのボイルの法則 (1662)。元素の発見がはじまる, 白金 (1557), リン (1669), 水素 (1670), ホウ酸 (1702), コバルト (1730)。J. ベガン『初学者のための化学』錬金術に代わる最初の化学教科書が出る (1610)。

数学⇒ローマ数字に変わってインド・アラビア数字導入。和と差の記号+, -, 乗法の印×や平方根√, 定数, 変数, 指数を文字や記号で表す規則導入→世界的言語へ。三角関数表印刷→調査に利用。ネーピア対数発明 (1614)。シッカルト (1623), パスカル (1642), ライプニッツ (1671) が機械式計算機発明。3次や4次の方程式の代数解得る。無理数, 負数, 虚数, 複素数徐々に認む。解析幾何はフェルマではじまり, デカルトは『方法序説』付録で発表。射影幾何学など現れる。ニュートンとライプニッツの微分法と積分法の展開へ→数学が科学研究の言語になる。グラントらの統計学研究が始まる (1662), ニュートン一般二項定理を発見 (1665 前年)。カルダノの確率論 (1663), ペルスニーは確率論 (1713), 変分法を展開 (1718)。ライプニッツ, 二進法を紹介 (1679), 座標を導入した (1692)。

生物学⇒顕微鏡による微小生物の発見は新しい世界を提示した。受胎についてのデカルトの機械的見方 (1664) は精子の発見 (1677) 胎生動物の卵子の発見などで廃棄された。リンネの先駆としての植物や動物の分類がはじまる (1635)。

J. ウィルキンス (1614 英生) 『数学的魔術 Mathematical magik』機械の基本的原理の解説書 (1648)。J. ロイボルト (1674 独生) 『機械の一般論 Theatrum machinarum generale』9巻を出版 (1723 ~ 39)。機械を「機械あるいは器具は, 人工的製作物で, その助けをかりて運動を起すことができ, また他の方法によっては達成できない, 時間または力の節約が行われる。」と定義した (1724)。

レオナルド・ダ・ヴィンチ: 毛管現象を記述。パラシュート, 飛行機械の概念, 振り子時計図, ころ軸受けとローラー製粉機設計, マスケット銃, ヘリコプターなどを描く (1480 ~ 1500)。

採鉱や精錬の技術文献⇒ビリングチオ『火工術』(1540), アグリコラ『デ・レ・メタリカ』(1556)。

科学は依然として自然哲学 (天文学, 静力学, 数学, 水理学, 光学など)。化学は医学に関係しているものと考えられていた。

1729年に自然哲学 (natural philosophy) に物理学 (physics) という言葉を最初に使った P. ミュッセンブルーク著『物理学実験および幾何学に関する論文 *Physicae experimentales et geometricae dissertationes*』が出る。

近世に入って、産業が広がり、動力出力の増大と道具や装置の大型化がはじまる。科学研究が組織化されはじめ、科学研究における実験と観察が重視されるようになる。このようなことから、科学は技術に近づく。

5 - 1. 産業革命期の物づくり (1733 飛杼の発明～1819)

欧州では繊維産業の繁栄はしばしば国力の基礎となった。16世紀にはスペインや独逸が盛んで、17世紀には和蘭が黄金時代、18、19世紀には英国が優位を占めた。英国は16世紀にマニファクチュアが生まれはじめ、製鉄業、鉱山業で大きなマニファクチュアができた。工業が農業から分離していった。この点で他の欧州諸国と異なっていた。英国は産業革命前に製鉄業における石炭コークスの使用、鉱山の排水における機械装置の使用、溶鉱炉の送風ふいごの原動機駆動のような変化がもたらされていた。英国の産業革命期に物づくりが大きく変わりはじめる。(技術上)生産における手工業道具が機械へ大きく転換していく時期——(社会・経済上)工場制手工業段階から機械制大工業の勃興の時期である。

① 繊維工業⇒紡ぎ車(糸車)⇒織物の需要の増大→英国産業の機械化は、織布工J.ケー(英)による飛び杼の発明(1733)で織布速度が増大→糸不足。次々と紡績機械の発明をもたらした。また織機の発明となった。L.ポールと大工J.ワイアット(英)のローラ延伸式紡績機(発明特許1738)。職工J.ハーグリーブス(英)のジェニー紡績機を発明(1764)(1770特許)。R.アークライト(英)の水力紡績機(1769特許)→紡績工場を建設、工場制度の創始者。S.クロンプトン(英)のミュール紡績機(1779開発)→経糸も緯糸も紡ぐ→糸不足解消。E.カートライト(英)が力織機を発明(1785)(翌年特許)。19世紀になって広く使われる。E.ホイットニ(米)が綿花の種子と繊維とを分離する綿繰り機を発明(1793)。J.M.ジャカル(仏)による織機のパンチカード利用運転制御法を開発(1805)へと続く。

② 蒸気機関⇒鉱山の水汲みや繊維機械の発達には原動機の発達を必要とする。

D.バパンの蒸気力でピストンを動かす蒸気機関の建造(1698)。T.セーヴァリ(英)の排水用ポンプ機関(1698特許)、蒸気で動く最初の実用的機械。T.ニューコメン(英)の大気圧蒸気機関の建造(1712)。ピストンとシリンダー使用の最初の実用機関。(上記3つはいずれも炭鉱の揚水ポンプ駆動用機関)。J.ワット(英)、蒸気機関凝縮器をシリンダーから分離。蒸気がピストンに直接作用(1765効率向上)。J.ワット蒸気機関(1775特許)。蒸気機関の最初の2台を据え付け(1776)。J.ワットの蒸気機関の往復運動を回転運動に変える方法=遊星歯車機構の発明(1781特許)。

蒸気機関が原動機として普及するのは、遊星歯車機構によって往復運動から回転運動を取り出してからである。蒸気機関の製作には金属材料の採用とその加工が重要であった。ウィルキンソンの中繰り盤とモーザリの刃物送り台にはじまる工作機械の発達が必要であった。ワットの回転蒸気機関はアークライトやクロンプトンによる紡績の機械化と同時期に生まれた。最初の1台は、ウィルキンソンの工場でハンマーの運転用に用いられた

(1783)。1784年には炭鉱の捲上機用に、また、1785年に製粉工場や綿紡績用の原動機として用いられた。マンチェスターに最初の蒸気機関で動く綿織物工場が建設された(1789)。J.ワットの復動蒸気機関(1782特許)。J.ワット、蒸気機関の速度制御装置・遠心调速器(ガヴァナー)を発明(1789)。R.トレヴィシク(英)、最初の高圧蒸気機関を建造(1800)。

水車は18世紀中頃まで重要な役割を果す。蒸気機関の製作に工作機械の発達が必要。

③ 工作機械⇒機械生産の基礎となる工作機械の発達を必要とした。

J.スミートン(英)が水車駆動のシリンダー中繰り盤を設計(1765)。ワット機関加工で精度えられず(1769)。J.ウィルキンソン(英)が大砲の砲身の中繰り盤(1774特許)。シリンダー用に改良(水車駆動、中繰り棒中空)(1775)。シリンダー加工に許容誤差を小さくする必要があった。J.ウィルキンソンがワットの最初の2台の実用機関のシリンダーを製作(1776)。ワット機関のシリンダーは以後20年間ウィルキンソンにより铸造、中繰りされた。

H.モーズリ(英)は全金属製旋盤の刃物送り台を発明(1797)。ねじ切り旋盤の第1号を製作。J.フォックス(英)が平削り盤の製作(1814)。E.ホイットニー(米)が横フライス旋盤(1818)。J.ホイットワース(英)が自動ねじ切り旋盤(1835特許)。J.ナスミス(英)→小型形削り盤(1836)。

◎ 交通上の変革⇒蒸気機関は、工場や鉱山の動力としてばかりでなく、18世紀後半から19世紀には、交通上の技術的変革(汽車、汽船などの出現)をもたらした。

蒸気機関の真の進歩は、19世紀の熱力学の法則を適用してはじめて成し遂げられた。

J.キューニョ(仏)は蒸気車を建造(1769)。最初の4人乗り自動車、時速3.6km。ジュフロア侯爵は外輪式蒸気船パイロシェイブ号を設計(1781)。後に建造。仏のソーヌ川を試験航行に成功(1783)。W.マードック(英)が蒸気で動く客車の実用模型を建造(1784)。R.トレヴィシク(英)は蒸気機関で動く車輛を完成(1801)。R.フルトン(米)がセーヌ川で蒸気船の航行に成功(1803)。R.トレヴィシクは鉄のレール上を走る蒸気機関車を開発(1804)。10^トの鉄を16km運ぶ。R.トレヴィシクはロンドンに環状旅客鉄道を建設(1808)。G.ステイーヴンソン(英)は荷物30^トを運びうる蒸気機関車を導入(1814)。米蒸気帆船サヴァンナ号建造(1818)。米-英リバプール大西洋横断(1819)、航海の87%帆走。G.ステイーヴンソン(英)が蒸気機関車ロコモーション号、ストックトン~ダーリントン間21km世界最初の公共鉄道(1825)。

◎ 製鉄法⇒燃料⇒木材・木炭から石炭・コークス

D.ダッドリ(英)は木炭の代わりに石炭を用いて鉄をつくる方法発見と主張(1665)。A.ダービーI世(英)は鉄鉱石溶解にコークスを使用、コークス製鉄法(1709)。B.ハンツマン(英)はるつば製鋼法(1742)。トーマス及びジョージ・クラネージ兄弟(英)は燃料室と加熱室を分離して、燃料の火炎を炉壁や天井に反射させて加熱し、熔解・製錬する反射炉(1766)。ウィルキンソン(英)は蒸気機関を使用し、溶鉱炉へ強風を送る(1776)。効果劇的に増大。H.コート(英)はパドル法(1784)。ニールソン(英)が溶鉱炉操業に熱風を送る加熱製鉄

法を發明(1828特許)。H. ベッセマー(英)→溶融銑鉄中に空気を圧送して不純物を酸化。ベッセマー製鋼法を開発(1856)。

産業革命期に機械の使用が広がり、社会の変化は大きかったが、紡織業、鉄鋼業、運輸業などでそれぞれに機械が一斉に同時に普及したわけではない。紡織業でも羊毛、麻、絹など材料によって違った変化を示した。石炭業でも輸送、排水の機械化は進んだが、採炭の機械化は遅れた。建築業への機械の導入は進まなかった。

繊維産業における機械化は熟練労働を機械の中に取り入れ、誰でも作業ができるように変えていった。また、機械の普及は道具を使つての製作者の個性を機械の中に取り込んでしまい、商品の標準化、大量生産をもたらした。

5-2. 産業革命期の科学(1733 飛杼の發明~1819)

デイドロ、ド・ラ・メトリ、オルバックなど(仏の機械論的哲学者)は、ニュートン学説の成功が物理学だけではなく、化学や生物学の諸問題も機械的な法則で説明できると主張。

百科全書(デイドロとグランベール編集, 1751~1772)は科学的知識の普及に役割果す。主として力学と天文学の分野で体系付けられた自然科学は、産業革命を経過する中で、化学、生物学へと新しい分野を拓いた。

教育・研究機関の創立⇒前期に続き、独のゲッチンゲン大学(1737)、ハーヴァード大学に米国最初の実験物理学研究所(1746)、はじめ欧米露で教育・研究機関の創立が続く。

天文学⇒ニュートンの重力理論+数学の進歩+反射望遠鏡(1668發明)によって大いに発展。カントとラプラスは宇宙の進化概念を導入、太陽系の起源に星雲説を定式化。天王星の発見(1781)、惑星の新しい衛星の発見。

物理学⇒力学の発展は主として数学の進歩による。18世紀前半に流体力学(D, ベルヌーイイ J.R. グランベール)。最小作用の原理(1744)、質量とエネルギーの保存の法則、浸透圧の発見(1748)、潜熱の発見(1761)、B. フランクリン、電気を単一流体とし、正負の電気を区別、鉄針の磁化、消磁を示す(1751)。電池、光の波動説粒子説などが展開される。電気・磁気の諸性質が明らかにされていく。

化学⇒遅れていた化学の研究が進む。ボイルの法則の発見に続いて、18世紀から19世紀初めにかけて元素の発見が続く。A.L. ラヴォアジエ：燃焼理論の提案。J. ドールトン：化学的原子論を展開(1803)。これらが化学の基礎となり、19世紀初期の急速な発展に道を拓く。質量保存の法則(1782)、大気組成の決定(1785)、水の電気分解(1800)、気体の液化(1813)、金属の触媒作用(1816)などが解明された。化学物質を有機物と無機物に分類(1807)。18世紀の間、技術上の応用は少ない。化学工業は化学反応の機構が十分に理解される19世紀になってから繁栄した。

数学⇒微積分→物理学の諸問題への全面的応用(ベルヌーイ、オイラー、グランベール、

ラグランジュ)。ベルヌーイ (1718)、オイラーとラグランジュ (1755) は変分法を創始。天文学への応用 (ラプラス)、統計学の発展。

生物学⇒C. リンネ、生物分類体系を提唱し、二名式命名法を導入 (1753)。ビュフォン伯：生殖の歴史に基礎をおく分類を提唱。人口統計学が創始される (1761)。J. インヘンハウスにより植物の呼吸サイクルも発見され (1779)、19 世紀初期には葉緑素の単離も行われた。J.B. ラマルクとトルヴィロンは同時に“生物学 biology”の言葉を導入 (1802)。

産業革命期において、手工業道具が機械へ大きく転換し、また、化学と生物学領域の研究が進展し始め、自然界のすべてのことが研究の対象となるとともに、産業分野の技術的課題の科学的研究も進みはじめる。科学は技術にかなり接近する。

6. 19 世紀の技術と科学 (1820～1894 電気から電子へ)

18 世紀の段階で電気を起こし蓄える方法が見つかったから電気の磁気作用に関する研究や実験がかなり進んで、それを支える計測機器の開発も活発であった。そして、19 世紀には電気の本質を探り実用へ向けての研究が展開された。電磁気理論の進展と並行して電池や電動機・発電機、電信、電話、電灯・発電所などの技術的成果が現れた。

19 世紀末には、E. ゴルトシュタイン、真空管陰極から陰極線が発生することを示す。W.A. レントゲンの X 線や A.H. ベクレルのウラン放出の放射線、J.J. トムソンの電子の発見、キュリー夫妻のトリウムとウラン線 (放射能と命名)、自然放射能の最初の観察がなされた。これは電気から電子への移行のはじまりであり、20 世紀科学の幕開けを示した。

◎ 鉄道の開通⇒英国、リヴァプール～マンチェスター (45km 1830)。米国、ボルチモア～オハイオ (64km 1830)。仏国、サンテティエンヌ～リヨン (58km 1832)。独逸、フルト～ニュールンベルグ (7km 1835)。ベルギー、ブリュッセル～マリーヌ (21km 1835)。露国、ペテルブルグ～ツァールスコエーゼロ (26km 1838)。日本、新橋～横浜 (29km 1872[明治5])。

蒸気機関にとって熱経済と熱効率是最も重要であり、19 世紀になって熱力学によって基礎づけられた。蒸気機関が強力な原動機となったのは 19 世紀に入ってからである。

N.L.S. カルノー (仏) は論文『熱の動力についての考察』可逆機関が最大の効率を有し、その効率は蒸気の最高温度と最低温度だけの関数であることを示す (1824)。仕事は熱が高温から低温へ移るときに生じる。仕事を定義し、熱力学の第 2 法則を暗示した。B.P. クラペロン (仏) は蒸気機関の熱力学についての研究を基礎に、熱力学第 2 法則の最初の形を公表 (1834)。J.R. マイヤー (独) は熱と力学的エネルギーは同一のもの 2 つの姿である。エネルギー保存則を提唱 (1842)。R.J.E. クラウジウス (独) が熱力学第 2 法則の最初の表明 (1850)。

18 世紀～19 世紀の電磁気分野の主な物づくりは次のようである。

H. ファラデーは電気分解でアルミニウムを製造 (1833)。J. ヘンリが継電器 (電気リレー) を発明 (1835)。C. ホイートストンは電気抵抗測定器を発明。分流器も考案 (1843)。H. ガ

イスラー(1814, 独)が水銀ポンプを発明→真空管(放電管)を製作(1855)。電子の発見へ。W. トムソン→海底ケーブルによる電気信号の伝達(1855)。ベル電話会社設立(1877)。ベルリンで最初の路面電車が敷設(1881)。N. テスラは交流発電機を発明(1884)。C.A. パーソンズは最初の蒸気タービン発電機を据え付ける(1884)。F.J. スプレーグが電気機関車用直流モーターを開発(1884)。W. スタンリーが変圧器を発明(1885)。H. ヘルツがはじめてラジオ波を発生・検出に成功(1888)。ラジオ電信波。N. テスラは交流誘導電動機を発明(1888)。

産業革命が進行し、生産技術の飛躍的な進歩によって、生産力が増大しはじめ、科学が急速に発展を遂げるとともに、新しい科学分野として、産業分野に対応する技術学(工学、農学、水産学など)が分化してくる。物づくりの課題の科学的研究がはじまり、科学と技術の相互影響が起こりはじめた。

19世紀の中頃までの科学は、独立した個別科学の確立の方向へと発展した。人類学、考古学、心理学、有機化学など新しい科学分野が世紀の前半に生まれてきた。

19世紀後半には、科学と産業技術の交流が密接になり、科学の専門化、細分化が進む。同時に総合化、統合化の動きも進んで、自然の統一性が明らかにされるようになる。

19世紀末には、化学分野の研究に物理学の理論、特に熱力学を適用した新しい分野として物理化学が生まれた。

1828年、F. ヴェーラー、無機化合物から尿素をつくり、生きている有機体しか有機化合物をつくり出せないという考えを否定した。

技術の進歩が科学研究に必要な条件や課題を提供し、また科学研究の成果が技術問題に適用されるといった関係が成立し、ほぼこの時期に近代科学の最初の枠組みが形成された。

また、19世紀には、科学者という職業が生まれはじめた。独国においては、20～30年の間に、大学が科学者の活躍する場となった。W. ヒューエル(英)、科学者(scientist)という語を提唱。

7. 20世紀前半の技術と科学(1895～1945)

1855年のH. ガイスラー(独)による水銀ポンプの発明により真空管がつくられるようになり、真空放電管を使って多くの実験が行なわれた。最初に陰極線の発生(1876)が見られ、1895年のX線の発見、1897年の電子の発見へとつながり、1900年にはP.K.L. ドルードにより金属中では移動する電子が電流を起すことが示される。

19世紀末のX線の発見、放射能、原子を構成する粒子などの物理学における一連の進歩は、物質とエネルギーに対する科学者の捉え方に大きな革命(量子論)をもたらした。

20世紀の科学は、物理学、化学、生物学、地学、天文学など、すべての研究領域をつらぬく統一的な科学的自然観の確立へと道を拓いていくのである。基本的な物質の運動形態と存在様式を科学的に解明し、ミクロの世界から目で見えるマクロの世界までを透視しようということである。1925年にハイゼンベルグの最初の量子力学についての論文が刊行され、

1920年代後半には量子力学がほぼ完成し、物理学の様相が大きく変わり、それは隣接する諸科学分野へ大きな影響を与えた。

20世紀になると、科学者の数は急増し、研究方法は才能のある少数者による研究から、名もない多数の専門研究者の共同研究へ変わっていく。国や大学での研究だけでなく、産業界でも研究が進められる。ベル研究所のように、企業が付属の研究機関をもつようになり、物づくりが科学研究とつながりはじめる。

20世紀の科学的発見は、技術的成果を通して、社会に直接影響力を持つようになった。一つの発見からそれが応用され製品になるまでの期間は短くなる。

19世紀に一定の枠組みができた理学分野は、その後の発展の中で互いに接し合う境界領域において、概念や測定技術あるいは方法を採用入れ、新しい学問分野を形成しつつある。

技術の発展、生産の増大とともに、産業技術の課題が多様化し、それに見合って技術学の専門分化が進み、工学、農学、水産学等々の産業分野別に分化した科学研究が生まれてくる。また、工学分野における学際的研究は、産業技術の中での課題の多様化に対応し、周辺の新しい研究成果を採用入れて進められている。

科学研究の成果を基礎とした技術の発展が顕著になってきた。電子の発見がエレクトロニクス技術を生み出し、真空管の機能は、電気的信号を増幅、高周波信号＝電波を発生、整流、検波できる→電話信号の増幅→長距離電話、また1930年代にはラジオ放送へ、1940年代にはテレビの発展に寄与した。原子物理学の発展に合わせて、1931年4月にはE.O. ローレンス(米)による最初の粒子加速器(サイクロトロン)の開発がなされ、1933年にはE. ルスカが最初の電子顕微鏡を組み立てる。

家庭用電気製品の出現⇒電動タイプライターを初めて製造(1901)。電気掃除機(1901)。エアコン発明(1902)。ダイヤル式電話発明(1905)。フィラメントにタングステンをを用いた電球考案(1906)。AMラジオ発明(1906)。蓄音機と映写機を兼ねた「カメラフォン」発明(1906)。電気洗濯機登場(1910)。シカゴで冷蔵庫売り出し(1913)。短波ラジオ開発(1919)。初期テレビのアイコノスコープ開発(1924)。カラーテレビ特許申請(1925)、28年授与。トースター登場(1926)。電気カミソリ発明(1928)。電子式テレビジョン装置発明(高柳健次郎論文提出1928)。FMラジオ登場(1929)。磁気記録テープ使用テープレコーダー開発(1930)。米RCA社、陰極線管を使ったテレビ受像機公開(1932)。蛍光灯が登場(1936)。

電子計算機の開発⇒V. ブッシュと共同研究者、微分方程式を解くアナログコンピュータを開発(1925)。K. ズース(独)、電磁継電器を使ってデジタル計算機の原型をつくる(1936)。J.V. アタナソフ、線型方程式を解く電算機(1937)。初号機完成(1939.10)。稼働(1942)。

K. ズース、2進数計算機Z₁を完成(1938)。Z₂電算機が電磁継電器とデータ入力にパンチテープを初めて採用(1941)。J.V. アタナソフとC. ベリー、電算機の原型ABC(Atanasoff-Berry Computer)を完成(1942)。A. チューリング率いる研究者、真空管使用の電氣的計算装置COLOSSUSを開発(1943)。ハーヴァード大とIBM、第2デジタル電算

機 ASCC (自動逐次制御計算機) 完成 (1944)。J.P. エッカード (米) と J.W. モークリー、
万能プログラム記録式電算機 ENIAC を開発 (1945)。

交通手段は、すでに 19 世紀に蒸気機関を用いて発展していた鉄道・船舶に加え、W. シー
メンズが電気機関車を開発 (1903)。

各種家電製品、自動車 (熱機関)、飛行船、グライダー、ヘリコプター、飛行機、ロケット
がつくられはじめた。

物理学⇒最初の 10 年間に大変革。ニュートン力学の基盤であった時空概念・連続性、因
果性といった諸概念が根底からくつがえった。相対性理論の導入と量子力学の登場。

化学⇒量子論、原子・分子の構造論、統計力学などの物理学理論を取り入れ、X 線・電
子線回折などの物理測定法を応用して全般にわたって体系を与えるに至っている。L. ポー
リング『化学結合の本性、分子と結晶の構造』(1939) 出版をはじめ、この期間には多くの
元素や化合物の化学的性質を原子構造の理論から説明できるようになった。量子力学は分
子内での原子間の結びつきを理論的に支え、原子や分子の出す光のスペクトルを調べて解
釈を与え、強力な分析手段 (分光学) を示した。反応機構や反応速度の研究も進展。重合
反応の研究から人工繊維やプラスチックの開発をもたらした。

数学⇒記号論理学、抽象代数、関数解析、測度論 (積分概念の拡張) などが打ち立てられ
た。確率論の公理化と拡張、代数幾何学、最適化理論、解析的数論、積分方程式、確率過
程が進展を見た。

生物学⇒H.M. ド・フリース (和蘭生) らによる G. メンデルの遺伝の法則の再発見 (1900)。
遺伝子という概念の導入。1940 年代遺伝情報を伝達する物質 DNA の発見。生物学は化学
の研究の成果により大きく進歩。生化学という新しい分野を創出した。

わが国で工学教育や工学研究がはじまる明治初期には、工学は土木、機械、造船、造家、
電気、応用化学、採鉱冶金など、即、産業構成まで理解できるような部門で構成されていたが、
その後の産業の発展とともに技術的な要求はより高度化し、取り上げられる領域の広がり、
個々の課題のより緻密な研究の必要から、研究や教育の内容も複雑に分化してきた。

まとめ

物づくりを通して、経験的知識は多く蓄積されるであろうが、そこから生まれてくるも
のは、こうすればこうなるという必然性に関する実用的な知識であって、その知識は使わ
れることによって鍛えられ確実なものになっていくが、古代までは普遍的な知識になるに
至らず、体系的な科学的知識になることはなかった。

古代の物づくりは農業や牧畜の従事者もあるが、主として、石器の金属器への最終的な
移行が進み手工業者や道路、水道、橋などの建設に携わる奴隷によって行われ、科学は一
部の知識人の問題でしかなく、経済や社会に対して実質的な影響力を持つこともなかった。
物づくりと科学は、全く別の世界で行われていた。

中世の物づくりは耕作農業従事者や手工業従事者、すなわち職人によって行われ、科学は神学者中心で行われ、自然を理解するにとどまっていた。物づくりと科学との結びつきはほとんどなかったが、その中で大学の設立がはじまる。

近世に入って、産業が広がり、動力出力の増大と道具や装置の大型化がはじまる一方、科学研究が組織化されはじめ、科学研究における実験と観察が重要視されるようになる。このようなことから、科学は技術へ近づく。

産業革命期において、物づくりの手工業道具が機械へ大きく転換し、産業革命が進展する中で化学、生物学領域の研究が進展しはじめ、自然界のすべてのことが研究の対象となる。産業分野の技術的課題の科学的研究も進みはじめる。科学は技術にかなり接近する。

18世紀に電気の貯蔵法が見つかったから、発電、動力、照明、通信分野の技術的成果が現れ、19世紀には電磁気分野の科学研究が急速に進み電磁気理論が確立していく。産業革命後の産業分野の広がりや生産力の増大とともに、19世紀には、科学者という職業が生まれ、大学が活躍の場になる。19世紀中頃には、科学は個別科学分野の確立へと進む。さらに、後半には、科学と産業技術の交流が密接になって、科学の専門化と細分化が進み、同時に総合化、統合化の動きが進んで、自然の統一性が明らかにされるようになってくる。

技術の進歩が科学研究に必要な諸条件や課題を提供し、また科学研究の成果が技術問題に適用されるといった関係が成立し、ほぼこの時期に近代科学の最初の枠組みが形成される。機械の発展に伴い工業が進展する。19世紀末のX線、電子線、放射能などの発見と原子を構成する粒子などの物理学の進歩は、物質とエネルギーに対する認識に大きな変化を与え、量子論をもたらし、20世紀初期には量子力学がほぼ完成する。物理学の様相が大きく変わり、色々な科学分野に大きな影響を与える。20世紀前半には科学者の数は増え、少数の大家の研究から国や大学、さらに産業界での研究も盛んになりはじめる。

参考文献

- 1) 並川宏彦「技術の概念」, 桃山学院大学「総合研究所紀要」第46巻, 第3号, 117～128頁, 令和3(2021)年3月。
- 2) R.リーキー著・馬場悠男訳『ヒトはいつから人間になったか』, 草思社, 75～76頁。
- 3) これより後に書いてある過去の事柄は, Alexander HellemansとBryan Bunch編著, 植村, 海部, 香原, 道家, 藤村, 八杉, 山下編訳『科学年表－知の5000年史－』, 丸善, 1993年を参考にした。年代により検索し参照できるように後ろに括弧年代を入れた。

(日本機械学会関西支部, 機械技術フィロソフィ懇話会 2020年7月オンラインで講演)

(2022年7月13日受理)

Relation between the technology and science. (2)

NAMIKAWA Hirohiko

Until the end of the Medieval times, there were no connection between technology and science. But, in the 12th century, the university began to be established in Europe.

In the early modern times, industry spreads, and increase of the power output and the enlargement of the tool and the device begin. Scientific research began to be organized. The experiment and observation in the scientific research became important. Thus, the science approaches in the technology.

For the industrial revolution period, production capacity began to increase, and Science developed rapidly. The scientific research of the technological problem in the field of industry is carried out. Science considerably approach in the technology.

The invention of the mercury pump and the manufacture of the vacuum tubes led to the discovery of X-rays and the electron beam, and the opening of the 20th century technology and science comes.

The progress of technology provided the conditions and subject necessary for scientific research. And the relations that the result of the scientific research is applied to the technological problem are established. The first framework of modern science was formed in this time.

Keywords: conversion from the tool to the machine, the organization of the scientific research, consider experiment and observation important, the establishment of independent science field, the scientific research of the technological problem