
製粉作業の技術的構成の歴史的変化に関する 「技術構成要素」論的視点からの発展段階論的考察

佐野 正博

目次

1. 技術の歴史的発展に関する評価視点の多様性	1
2. 生産プロセスの自動化に関する「技術構成要素」論的視点からの分析	2
3. 有用物の自然的生成過程と人工的生成過程の差異と連関	5
4. 製粉作業の技術的構成の歴史的変化	5
(1) サドル・ストーンによる製粉に至る技術的発展	5
— 体重(重量)をかけて擦りつぶすことによる効率化 —	5
(2) 2枚組の長方形の板状石臼による製粉 — 接触面積の増大による製粉量の増大 —	6
(3) 回転石臼という画期的な作業道具を用いた製粉	7
— 作業の中断なき連続的製粉と、動力源の相対的独立 —	7
(4) 動力源の単位出力の増大による技術的発展(その1)	7
— 人間よりも単位出力の大きな家畜動力による回転石臼の駆動 —	7
(5) 動力源の単位出力の増大による技術的発展(その2)	8
— 家畜よりも単位出力の大きな動力水車による回転石臼の駆動 —	8
(6) 動力機と作業機をつなぐ伝動機構の利用による技術的発展	9
— 歯車式伝動機構の利用による、「動力」「伝達」「作業」という三つの技術的構成要素の相対的分化 —	9
(7) 伝動機構の利用による技術的発展方向の複線化＝多様化	10
— カム軸やクランク軸などの伝動機構の利用による、多様な環境への技術的対応 —	10
(8) ローラーという新しい作業道具の発明による技術的発展	11
— 石臼式「多段階」製粉法から、ローラー式「多段階」製粉法へ —	11
5 構成要素論的視点から見た技術の発展段階区分	12
おわりに	13
注	14

1. 技術の歴史的発展に関する評価視点の多様性

---「技術構成要素」論的視点から歴史的発展を評価することの意味---

原始時代の石器技術、古代における青銅器・鉄器技術や農業技術、ヨーロッパ中世で普及した動力水車技術や動力風車技術、そして近代における時計技術や高炉製鉄技術、産業革命期における繊維機械技術や蒸気動力技術、現代の電気技術や自動車技術やコンピュータ技術といったいくつかの典型的事例を思い浮かべるだけでも、多くの人は技術が歴史においてたゆまぬ発展を遂げてきたことをイメージするであろう。

しかしながら、こうした技術発展はどのような意味で発展なのであろうか。「ある技術が別な技術より発展した技術であるとはどういうことを意味しているのか?」「技術発展とはそもそも何なのであろうか?」・・・当然のことながら、こうした問いに対しては図1に示したように多種多様な視点から答えることが可能である。

工学者であれば「どの程度の技術的性能を達成できたのか?」という技術性能的視点から技術発展を論じるであろう。動力機関を例に取って言えば、「最高単位出力はどの程度向上したのか?熱効率はどれくらいまで上がったのか?」といったような視点から技術発展を論じるであろう。

社会学者であれば、「社会生活のあり方をどのように変えたのか?」「どのような経済的発展をもたらしたのか?」というような社会的視点から技術発展を論じるであろう。あるいはまた、「人間の労働のあり方をどのように変えたのか?」「労働の人間化にどれだけ役に立つ技術なのか?」といった人間的視点から技術発展を論じるであろう。それゆえこうした社会科学者の視点からは、古代技術者ヘロンのエオリピルなどの様々な発明は、技術的に極めて巧みなものであったが、経済的発展をもたらすようなものではなかったし社会生活を変えるようなものでもなかったがゆえに、技術発展としては評価されないことになる。

環境論者であれば、「自然環境にどのような影響を及ぼしてきたのか?」「環境に与える負荷はどの程度のものであったのか?」という視点から技術発展を論じるであろう。すなわち、「環境負荷の少ない技術なのかどうか?」「環境問題を引き起こすことのない技術なのかどうか?」「環境問題の解決に役立つ技術なのかどうか?」という視点から技術発展が論じられることになり、交通手段の技術的発展としては自動車技術よりも鉄道技術の方に高い評価が与えられることになるであろう。

これら複数の視点が相対的に独立しており技術発展をめぐる評価が相互に対立する場合もあることは、「ディーゼル・エンジン技術はそれ以前の先行する内燃機関技術よりも発展した技術と言えるのか?」という問いを例にとることではっきりと理解できよう。

この問いに対して工学者ならば、「以前のものと比べて熱効率が高く高出力であるという意味で、より発展した技術である」と答えるであろう。社会学者であれば、「ディーゼル・エンジン技術は、出力が大きいだけでなく、軽油や重油といった低価格の燃料が使えるので、トラックや船や機関車など大型で長距離輸送用のエンジンとして採用することで人や貨物の大量輸送の社会的コストを低下させる技術であるという意味で、より発展した技術である」と答えるであろう。環境論者であれば、「ディーゼル・エンジン技術では熱効率を上げるために燃料を高温で燃焼させるので大量の窒素酸化物が排出されることになる。それゆえ環境負荷の極めて大きい技術であり、以前のものより発展した技術とは言えない」と答えるであろう。

もちろん以上のような記述は意図的に単純化した図式的解答であり、実際にはもっと複雑で多様な解答がな

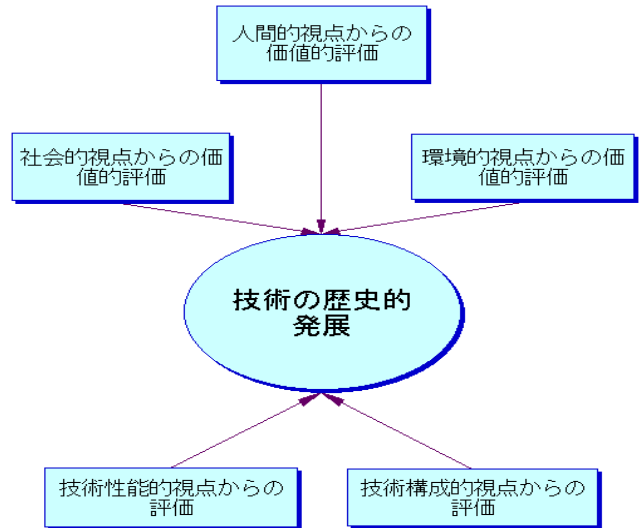


図1 技術の歴史的発展を評価するための視点の多様性

れている。しかしながら、ある技術が以前のものより発展した技術であるかどうかを考察する時に、このように多面的な評価が可能であることは確かである。そしてまた、技術の発展という問題は多様な視点から総合的に評価すべき問題であるということも確かである。

ただし、こうした多様な評価視点は内容的には二種類に分けることができる。すなわち、技術という事柄それ自体に関する工学者の技術内的な基準に基づく評価と、技術という事柄の持つ社会的意味や環境論的意味に基づく社会学者や環境論者の外的で価値的な評価の二種類である。これらの評価は互いに関連しているが、どちらかに還元できるものではなく互いに独立している。

もちろん現在では環境アセスメント等において、ある技術の環境への負荷がどの程度であるかということもある程度は技術の持つ性能の一部として「客観」的に評価されている。また環境保護技術や公害防止技術に関しては、環境保護や公害防止という観点からどの程度の技術性能を持っているかについての技術競争がなされている。このように環境保護に関わる技術性能評価という工学的な評価視点も現在では成立している。

しかしその場合でも、そうした工学的評価視点とは相対的に独立に環境論者の視点からの技術評価が可能であることも必要とされているのである。すなわち、環境論的視点からの評価を満足させるには、工学的にどの程度の技術的性能が必要とされるかが問題とされる。技術的性能の度合いは環境保護にとってそもそもどのような意味を持っているのかを、工学的にはではなく環境論的に評価する必要があるのである。

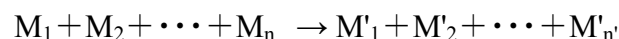
さて本章では技術発展に関する評価視点の上記のような多様性や構造を前提とした上で、技術発展に関わるもう一つの評価視点として、「動力」「伝達」「作業」「制御」という4つの技術的要素の複合的システムとして技術を捉える技術構成要素論的視点の意義を論じることを通じて、技術発展の総合的評価のためには技術論者の立場からの考察も必要不可欠であることを示すことにしたい。

2.生産プロセスの自動化に関する「技術構成要素」論的視点からの分析

技術論者は、工学者と同じく技術発展を技術それ自体に関する内的な基準で理解しようとする。もちろん技術論的視点から技術発展を評価するといっても、多種多様な評価法が現に存在するが、それらについての議論はまた別稿で論じることとし、本章では、人間による有用物の物質的生産過程において利用される技術が物質的プロセスとしてはその内部にどのような構成要素を持ち、それらの内的構成要素がどのような内的構造を形成するのかという「技術構成要素」論的視点から、技術の歴史的発展のあり方を議論していくことにしたい。

すなわち、**社会的諸関係を捨象して人間労働を図2のような物質的過程として抽象的に把握した上で**、「技術とはどのようなものなのか？技術発展とは何か？」という問いを考察していくことにする。もちろん「はじめに」の議論に示唆されているように、こうした人間労働把握はそれ自体が一面的であり限界を持つものであるし、そうした労働把握に基づく技術発展の理解も抽象的で一面的であることは言うまでもない。しかしそうした理解も、技術発展の理解にとって**必要不可欠な抽象的一面である**と筆者は考えている。

人間にとっての有用物が形成される過程(図2における物質的過程P1)を物理学的プロセスや化学的プロセスなどといった物質的過程の次元で理解するならば、さまざまな物質が関与する複雑な物質的過程として捉えることができる。図式的に単純化して言えば、



というようなプロセスとして理解することができよう。

この式の左辺の構成要素Mの中に人間や人工物が存在するかどうか、あるいはさらにまた、この式に描かれたプロセスが進行する物質的環境Eが人間によるコントロールを受けているかどうかで、人為的プロセスと自然的プロセスとが区別される。

そしてさらにまた、有用物の生産を目的とした人間の意識的働きかけが人間労働であるから、式の右辺に有用物が構成要素として含まれているかどうかで人間労働が関与したプロセスかどうかで区別される。言い換えれば、

有用物が生成してくるプロセスへの目的意識的働きかけとして人間労働は位置づけられる。それゆえ、有用物生成のプロセスは図2で物質的過程 P_1 として表現される。

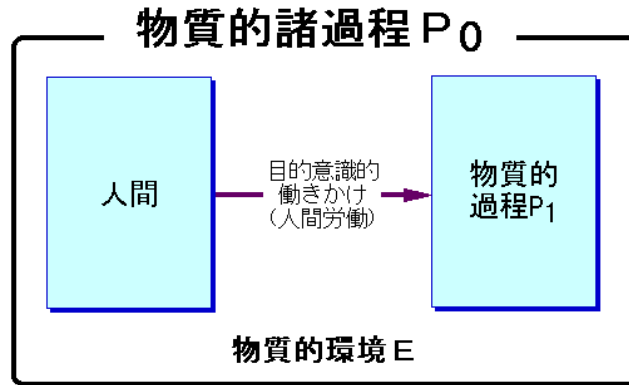


図2 人間労働の技術論的構成

図2のように人間労働を捉えるということは、有用物の物質的生成プロセスの内部に人間が構成要素として登場する場合もあれば、そうでない場合もある、ということの意味している。有用物の直接的な産出過程としての物質的過程 P_1 に人間が登場するかどうかは、物質的過程として把握した人間労働の抽象的規定にとって本質的なことではない。

このことが重要なのは、技術発展の結果として現代ではコンピュータの自動制御による「無人」化生産が進みつつあるからである。そして、そうした自動制御装置技術の発展による「無人」化の進行に対して、物質的生産過程全体における人間労働の衰退や消滅を見る論者がブレイブアマンをはじめとして数多くいるからである。

しかしながら原始時代における人間の採取労働がそうであったように、有用物の形成過程に人間が直接的には関与していない場合があることは人間労働の歴史の最初から見られた。人間が関与していない非人為的な自然的過程においても有用物は形成される。例えば、食用可能な植物、自然金、自然銅、隕石中の鉄などは人間の目的意識的な働きかけ抜きに、すなわち、人間がまったく関与することなしに自然に形成されていたのである。

しかも同じようなことは、採取労働の場合だけでなく、農業における食物生産の場合などのように人間の目的意識的働きかけを含む人為的過程にも見ることができるのである。というのも農業における食物生産の場合には、人間の主要な労働は、食物の育成過程を支える環境的条件の整備に向けられたものだからである。実際、食物生産における主要な人間労働を構成しているのは、揚水や用水路などによる土壌への水分補給、雑草取り、養分補給、耕耘などの土壌整備である。こうした人間労働は、食物が育つ過程それ自身への人間の直接的関与を意味するものではなく、食物が生育する過程の環境条件の目的意識的形成を意味するに過ぎない。植物工場やビニールハウス生産などの場合にも、植物の成長過程そのものに直接的に人間が一つの構成要素として入り込んでいるわけではなく、温度や日照時間など主として植物の育成過程に関わる主要な環境条件を意識的にコントロールしているに過ぎない。

このことは、日本酒やワインなどの酒の生産においても同様である。酵母によって糖類を発酵させてエチルアルコールに変えることによって酒を製造するというプロセスそれ自体は自然的プロセスとして進行する。確かに酒製造のための原料や道具・装置などの準備作業、糖類の発酵過程における温度制御などは人間が関与しているが、物質的過程としての発酵過程それ自体は人間の直接的関与抜きに自動的に進行するプロセスである。

さらにまた、高炉において鉄鉱石中の酸化鉄とコークス中の炭素が反応して鑄鉄が形成されるプロセスそれ自体や、転炉において鑄鉄中の炭素が酸素と反応して鉄の外に取り出されることで鑄鉄中の炭素濃度を低下させて錬鉄や鋼鉄を生成するプロセスそれ自体も人間の関与抜きに自動的に進行するプロセスである。

以上のような有用物の「自動」的生成過程において人工物＝労働手段が重要な役割を果たしていることはもちろん確かである。食物生産における土壌、酒の生産における発酵槽、鉄の生産における高炉や転炉などの人工物＝労働手段がなければ有用物はうまく形成されない。しかし食物や酒や鉄などの有用物の形成における人間の関与のあり方は、物体加工作業などの場合とはまったく異なっている。加工作業においては人間が

道具や機械を操って目的意識的に加工をおこなうという形で有用物の生産に直接的に関与しているのに対して、食物や酒や鉄の生産の場合には人間が労働手段でもって有用物の形成プロセスそれ自体に直接的に入り込んでいるわけではない。人間の目的意識的働きかけは有用物の生成プロセスに対してあくまでも間接的に留まっている。

自動組立技術の発展やNC旋盤やCNC旋盤などの自動加工機の登場とともに始まった生産の現代的自動化の場合も、基本的には上記のような有用物の「自動」的生成過程と同じような構造を持つものとして理解することができる。生産の現代的自動化においても、食物や酒や鉄などの有用物の「自動」的生成の場合と同じように、有用物の生成過程に直接的に入り込む人間労働が存在しないのであるが、有用物の生成過程それ自体の生産・維持管理・再生産に関わる労働が必要不可欠なのである。しかもそうした労働は生産の自動化以前よりも質的にも量的にも増大しているのである。

実際、生産の自動化に要するコストは極めて大きい。有用物のそうした「自動」的生成過程の生産・維持管理・再生産に関わる労働や生産設備のコストが非「自動」的生成過程の場合に比べて大きいため、現代企業では少品種大量生産の場合にしか自動化は追求されない。

もちろん大量生産のための技術として自動化生産はかなり有効である。例えば、大阪の八尾市にあるシャープのエアコン工場はロボット利用による自動化を徹底的に追及して自動化率が1996年時点で85%にまでなっている。定型化しづらい工程だけを人間労働に頼る生産システムなのでわずか42人で年間90万台を組み立てるという労働生産性の高さをあげている。

これに対して、エアコン製造業界全体の推定平均自動化率は20%台である。しかしそのことは業界全体としての技術発展の遅れを単純に意味しているのではない。シャープの自動化率の高さはシャープが業務用エアコンを扱わないためエアコンのモデル数が約70種類と限定されていることにもよるのである。シャープと異なり、業務用エアコンも生産している松下や東芝などでは約200-300種類ものモデル数があり自動化率を上げることがコスト的に必ずしも有利ではない。すなわち多品種少量生産の場合には生産のフレキシビリティが確保されていなければならないので、ライン生産化して自動化率を上げるよりもセル式生産システムを採用する方がコスト的に有利だという側面があるからである。

この点に関しては、東芝やNECにおけるワープロ専用機の生産や、オリンパス光学工業における顕微鏡の生産においても同様の事情から、ベルト・コンベヤー・システムによるライン生産システムではなく、同一のテーブル上で一人または少人数で製品を製造するセル式生産システムが採用されている。

このように、多品種少量生産の場合には自動化を追求するメリットは少ない。なおマクロ的に見れば、生産設備の製造に関わるコストも究極的には人間労働の社会的総コストであるから、こうしたことは生産の自動化の追求によって社会全体において必要とされる人間労働の量が減少するとは限らないということの意味している。

また、モノ作りの技術水準の維持・向上といった面からも全工場を100%自動化するわけにはいかない。自動生産の技術を発展させるためにも、人間が生産工程に直接的に関与した非自動的な生産を残しておくことが現在のところは必要不可欠なのである。

さらにまた自動化の追求を可能とするためにその背後で、異なるモデル間での部品の標準化や共通化を押し進めること、出荷時点からすべての部品をバーコード管理すること、自動搬送の際にライン上の置き台に無線制御のIDプレートを組み込んでパーツが自動的に指定の場所に正確に置かれるようにすることなど、多様な「環境」的条件の整備が必要なのである。これは食物や酒や鉄の「自動」的生成の場合とまったく同じである。

このように生産の現代的自動化に関しても、過去における「自動」的生成の事例と同じように、生産に関わる人間労働が衰退・消滅したものとしてではなく、人間労働の形態が変化したものとして理解すべきなのである。現代的自動化という技術発展によって、ある特定領域の労働が「消滅」することは確かであるが、そうした労働「消滅」とともに自動的生成プロセスそれ自体の生産や維持管理などといった新たな労働が登場・増加するだけなのである。

3. 有用物の自然的生成過程と人工的生産過程の差異と連関

さて話を元に戻して次に、「非人工的な物質的過程(狭義の自然的過程)における有用物の生成過程と、人工的な物質的過程における有用物の生産過程(人間労働による有用物の形成過程)とは、物質的過程としてはどこまで共通しており、どこから違うのか?」という問題を考察することにしよう。

前節において論じた、採取労働の対象となる有用物の自然的生成過程、食物生産などにおける有用物の「自動」的生成過程、電気技術やコンピュータ技術の発展にともなう有用物の現代的自動生産過程という三つの事柄の考察にも示されていたように、<自然的過程における有用物の生成過程>と<人工的過程における有用物の生産過程>とを物質的過程のレベルで自然科学的に区別することは困難である。

物質的過程としては人間も道具も機械も同じ物質として取り扱われる。それゆえ自然的過程と人工的過程のどちらも物質的過程としては、 $M_1 + M_2 + \dots + M_n \rightarrow M'_1 + M'_2 + \dots + M'_n$ という同一の式で表現されるプロセスである。**M**あるいは**M'**という構成要素の中に人間や道具や機械が含まれるか否かに違いがあるだけであり、上記の式で示されているような抽象的次元で物質的過程を捉える限りでは自然的過程も人工的過程も区別できない。どちらの過程においても同じ自然科学的法則が妥当している。法律や交通規則は国や地域によって異なるが、物質的過程を支配している自然科学的法則は国や地域によって異なることもないし、自然的過程と人工的過程とで異なることもない。人間労働の主要な特徴の一つである人間の目的意識は、物質的過程に関する自然科学的把握の中には占めるべき位置がない。

過去においてこうした問題は、道具や機械の経済学的規定と自然科学的規定の問題という形で暗に論じられてきた。例えば戦前においてマタレは、「吾々の道具と機械は自然科学的の経験と法則とに基づいて構成されたものであるから、自然科学的区分点を求めることは、初めから尤もなことである」としながらも、「単なる自然科学的考察方法」は道具と機械の区別にまったく役に立たないのであり、道具と機械の区別は経済学によって初めて可能となると主張している(1)。そして戦後になって岡邦雄はマタレのこうした主張に賛成して、「これは極めて適切な指摘である。即ち「道具」と「機械」の区別は、全く経済学の要求するものであり、経済学的にしか成し得ないものである。」(2)と述べている。

確かにマタレや岡邦雄らが主張するように、自然科学的には道具と機械はその複雑さの度合いでしか相対的に区別ができず、「道具は単純な機械で、機械は複雑な道具である」とでも言うしかない。自然科学的に道具と機械の本質的区別をなすことはできない。同じく、自然的過程と人工的過程の本質的区別も自然科学的にはできない。どちらも広義の意味では自然的過程であることには変わらない。しかしだからといって、自然的過程と人工的過程の区別がそうであるように、道具と機械の区別も経済学的に規定するしかないということになるわけではない。

こうした区別の問題を解くためには、有用物の物質的生成過程の構成がどのようなものなのかという技術構成要素論的視点から技術論的に論じる必要がある。ここでは議論の単純化のために、小麦をすりつぶして小麦粉という有用物を作り出す製粉作業過程の歴史的發展を例として考察を進めていくことにしよう。

4. 製粉作業の技術的構成の歴史的变化

(1) サドル・ストーンによる製粉に至る技術的發展

--- 体重(重量)をかけて擦りつぶすことによる効率化---

製粉作業の歴史的起源は、大きな石の上に小麦の粒を載せ、人間の片手でつかむことができる適当な大きさの「石で叩きつぶして擦りつぶす」というプロセスにあった。それから次に、臼の中に入れた小麦の粒を手で持った「杵で搗き砕いて擦りつぶす」というプロセスへと技術發展を遂げることで、より効率的により多くの小麦を製粉できるようになった。

さらなる技術的發展は、(a)「小麦粒を粉にするためのプロセスの変更」と、(b)「一度の作業でより多くの小麦粒

を作業対象とすることを目的とした製粉道具のさらなる大型化」によってもたらされた。すなわち図3に示されているように、作業台となる平らな大きな石の上に小麦の粒を置き、手に持った「かまぼこ型の石に自分の体重をかけながら前後に往復運動させて擦りつぶす」というサドル・ストーン(鞍型臼)による製粉作業へと発展した。サドル・ストーンによる「重量をかけて擦りつぶす」という製粉プロセスは、それ以前の「石で叩きつぶす」とか「杵で搗き砕く」という製粉プロセスよりも製粉という目的には技術的に適したものであった。またサドル・ストーンは、製粉のための接触面積がそれ以前よりも大きなものであった。

サドル・ストーンという道具を用いての製粉作業プロセスの技術的構成は、図式的に単純化していえば下記のようにになっている。

[プロセス1] (前後運動する)人間の手+サドル・ストーン+小麦 → 人間の手+サドル・ストーン+小麦粉

(2) 2枚組の長方形の板状石臼による製粉 --- 接触面積の増大による製粉量の増大---

サドル・ストーンからの最初の技術的発展は、図4のように大きさの異なる平らな板状の石を二枚一組で上下に組み合わせたものであった。これは、上石に付けられた棒を手でもって垂直軸まわりに少し左右に動かすことで小麦の粒をすりつぶす装置であった。

上石と下石のそれぞれの接合面には細い溝が掘られ、小麦の粒がうまくすりつぶせるように工夫されていた。そしてまた上石は、上から見ると中がじょうご形に窪んだ形にされ、真中に細長い溝状の

孔が開けられており、そこから小麦を入れることで二枚の石の接合面に小麦の粒が供給されるようになっていた。

上石の重量のために人間はプロセス1の場合のように製粉作業の際に小麦の粒に対して荷重をかける必要はほとんどなくなったし、プロセス1の場合よりも石と石の接触面積が増えたので一度により多くの小麦粒の製粉がおこなえるようになった。

こうした手押し挽き石臼への技術的発展もサドル・ストーンの場合と同じく、(a)「小麦粒を粉にするためのプロセスの変更」と、(b)「一度の作業でより多くの小麦粒を作業対象とすることを目的とした製粉道具のさらなる大型化」という視点から理解することができる。

この製粉作業プロセスの技術的構成は下記のようにになっている。

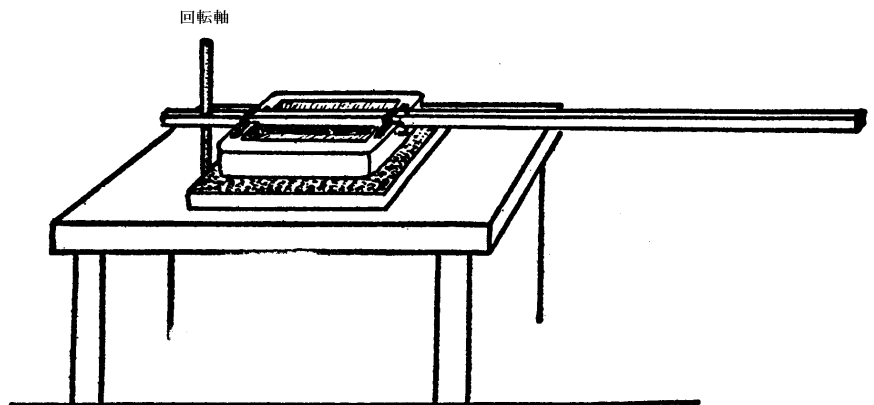
[プロセス2] (左右に運動する)人間の手+手押し挽き石臼+小麦

→ 人間の手+手押し挽き石臼+小麦粉



ひき臼を使用しているエジプト出土の模型
紀元前2000年以前のもの
H.ホッジス『技術の誕生』平凡社、1975年
p.45

図3 サドル・ストーン式製粉法



枢軸のまわりで前後運動をさせるための手押し挽き臼のすえつけ
(前3世紀の鉢からの図解、アテネ付近のメガラ出土)。

図4 手押し挽き石臼方式製粉法

[出典]R・J・フォーブス『食物と飲料』『技術の歴史』第3巻、筑摩書房、1978年、p.85

(3)回転石臼という画期的な作業道具を用いた製粉

--- 作業の中断なき連続的製粉と、動力源の相対的独立 ---

次の技術的発展は、図4における「長方形の板状の二枚一組の石」の代わりに、図5のように「円盤状の二枚一組の石」からなる回転石臼の利用によってなされた。

これによって前後運動といった動かす方向が交互に変化するような断続的運動ではなく、同一方向に連続的に動かし続けることが可能な回転運動によって製粉作業がおこなわれるようになった。

しかも手押し挽き石臼の場合は、上下2枚の石臼の間に入れた小麦の粒を挽き終わったら、いったん作業を中断してできた小麦粉を外に取り出し、新たに小麦の粒を入れる必要があった。これに対して回転石臼では、できた小麦粉は上下2枚の石臼のすき間から自然と外に押し出されたし、回転石臼の上部の穴から小麦の粒を入れ続けることで、製粉作業を途中で中断することなく連続的に続けることができるようになった。

また回転石臼の上臼部分の重量を適当に調節することにより、小麦の粒に適度な加重をかけることができるようになったことで、それ以前のように人間が自分の力で小麦の粒に加重をかけるという作業が必要なくなった。

回転石臼を人間の手の力で回して製粉をおこなうこうしたプロセスの技術的構成は下記のようになっている。

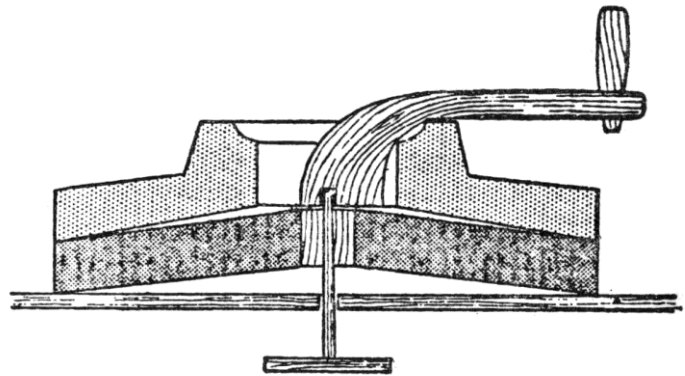


図5 手回し回転石臼式製粉法

〔出典〕R・J・フォーブス「食物と飲料」『技術の歴史』第3巻、筑摩書房、1978年、p.85

[プロセス3] (回転運動する)人間の手+回転石臼+小麦

→ 人間の手+回転石臼+小麦粉

新たに小麦粒を投入する作業などを除いた、小麦粒の直接的製粉プロセスにおいて、人間は回転石臼を連続的に回転させるという作業にその役割が限定されるようになった。

すなわち、手動の回転石臼によるこうした製粉作業において、小麦をすりつぶして小麦粉にするという作業プロセスを直接的に担っているのが回転石臼であり、その回転石臼に回転運動エネルギーを与えているのが人間の手である。いわばこの場合には人間が、小麦を小麦粉へと形態変化させる動力(運動エネルギー)を生み出す「動力機」の役割に限定されるようになった。

回転石臼という作業道具の登場によって、石臼を動かす「動力」という技術的構成要素と、小麦の粒を粉に変える製粉「作業」という技術的構成要素が、技術的構成の抽象的分析というレベルにおいてだけでなく、製粉のための道具や機械といった現実のモノという実体レベルで相対的に分離されることになったのである。

(4)動力源の単位出力の増大による技術的発展(その1)

--- 人間よりも単位出力の大きな家畜動力による回転石臼の駆動 ---

回転運動によって「擦りつぶし」作業をおこなう道具である回転石臼の発明は、「動力」要素と「作業」要素の現実的レベルにおける相対的分離を可能としたことにより、家畜や動力水車といった人間以外の動力源も技術的に利用可能とし、製粉作業の動力源に関して、人間の身体能力という人間動力の限界を超えた動力が利用可能になった。

そのことにより、小麦粉の大量生産の必要性の増大とともに、新たな技術的発展が実現されることになった。すなわち、紀元前1500年頃の古代エジプトでの職業的製粉業者の登場、そして古代ローマ時代のパン焼き職人の登場という進展につれて、小麦粉を一度になるべくたくさん生産するために回転石臼が大型化されていっ

た。

やがてその結果として人間の手の力では動かすことができないような大型の回転石臼が登場することになり、紀元前300年頃には図6のように人間の手に代わってロバや馬などの家畜の力が利用されるようになった。B.C.79年のポンペイ出土の回転石臼は高さが2mほどで、重さ数百kgという極めて大型のものであった。

この場合の製粉作業プロセスは下記のような構成になっている。

[プロセス4]

(回転運動させられる)ロバや馬などの家畜+回転石臼+小麦

→ ロバや馬などの家畜+回転石臼+小麦粉

このプロセス4では、回転石臼への動力供給源がプロセス3における人間から家畜へと変化したことを除けば、基本的な技術構成は変化していない。石臼が適度な回転速度で回転するようにコントロールするという役割も依然として人間が担っている。すなわち、家畜が「自己制御」によって自分で適度な回転速度で回転し続けるわけではなく、そうなるように人間が家畜を制御しているのである。

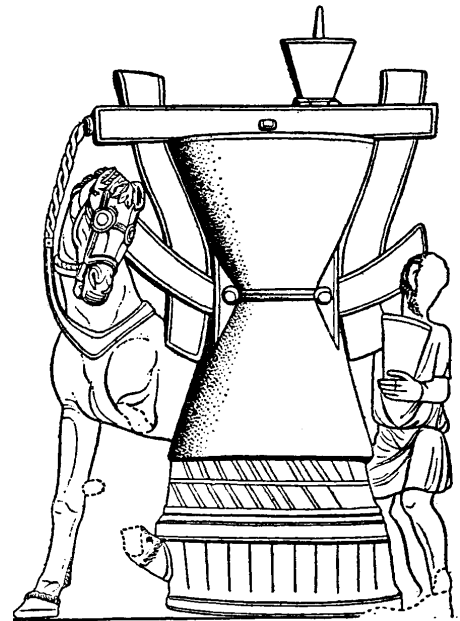


図6 家畜動力による回転石臼式製粉法

[出典]R・J・フォーブス「食物と飲料」『技術の歴史』第3巻、筑摩書房、1978年、p.88

(5)動力源の単位出力の増大による技術的発展(その2)

--- 家畜よりも単位出力の大きな動力水車による回転石臼の駆動 ---

次の技術発展は、家畜の代わりに動力水車を用いることによつてなされた。紀元前二世紀末頃には図7のように回転石臼を横型動力水車によって直接駆動するタイプのものが登場したと考えられている。この横型動力水車製粉機は、図6の石臼の回転軸を動力水車の回転軸と共用可能なように下方に長く伸長させられたような構造となっている。

このように最初の動力水車製粉機は、動力水車の回転軸と石臼の回転軸を同一の一本の棒で兼用することで、水車で作られた動力を石臼に直接に伝達するというシンプルな構造となっていた。すなわち、動力を伝達する部分の機構が未発達であった。

この場合の製粉作業プロセスの技術的構成は下記のようになっている。

[プロセス5]

[コントロールされた流水]+横型動力水車+回転石臼+小麦

→ 横型動力水車+回転石臼+小麦粉

プロセス4からプロセス5への技術的発展の内容の一つには、石臼の回転速度のコントロールを作業する人間の判断によって直接的にコントロールするそれまでの方式から、横型水車の羽根にかける流水の量や速度を調整する物質的機構により間接的にコントロールする方式に変更された、ということがある。横型動力水車の場合には、斜水溝で水車の羽根に水をかける構造により、斜水溝の大きさと羽根にかかる流水の量をコントロールしたり、水の取り入れ口と水車の羽根部分との高低差の大きさを調節することによって水車の羽根にかかる流水の位置や速度をコントロールしたりすることができたのである。

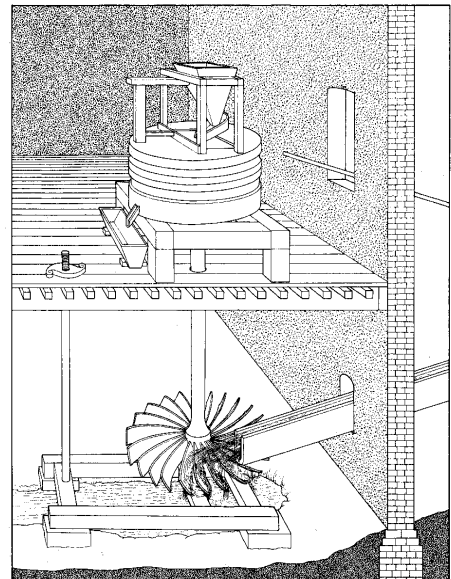


図7 横型動力水車による回転石臼式製粉法

[出典]S.Strandh, The History of the Machine, Dorset Press, New York, 1979, p.97

もちろん一般的には、動力機に供給するエネルギー量を一定に制御することだけではなく、作業機における負荷変動に対応してエネルギー量を制御する装置が必要とされるが、古代の動力水車製粉機の場合にはそうした装置が見られない。これは回転石臼による製粉作業プロセスでは、石臼自体の重量が大きいいためその回転モーメントが動力機の出力に比して相対的にかなり大きくなるということや、上臼と下臼の接触面における摩擦力が大きかったことなどもあり、作業部における負荷変動を考慮しなくてもさほど問題がなかったためであろう。

近代になると製粉機の石臼の回転を一定に保つ制御装置が登場するようになる。フィードバック制御の起源としてよく挙げられる1787年のワットの蒸気動力機関用の円錐遠心振子式調速機も、製粉機の石臼の回転を一定に保つためにそれ以前から用いられていた同種のもをワットが改良したものであった、と言われている(3)。現代でもフィードバック制御の起源としてよく言及されるにも関わらず、ワットが円錐遠心振子式調速機に関して特許取得をしなかったのはそうした事情があったためである、と言われている(4)。

(6)動力機と作業機をつなぐ伝動機構の利用による技術的發展

--- 歯車式伝動機構の利用による、「動力」「伝達」「作業」という三つの技術的構成要素の相対的分化---

紀元前一世紀頃になると、図8のように回転石臼を縦型動力水車によって駆動するタイプの製粉法が登場した。縦型動力水車では水車の回転軸と回転石臼の回転軸を共有することが構造上無理であるため、縦型動力水車で作られた動力を回転石臼へと伝達する機構を工夫することがどうしても必要であった。そのために使用されたのが歯車機構である。初期のものは、畜力揚水車の構造を転用したものであったためか、図8に示されているように回転石臼の回転軸に取り付けられた歯車の方が水車の回転軸に取り付けられた歯車よりも大きいという減速歯車的構造をしていた。(その後、ゆっくりとした水流で動力水車を動かしても回転石臼側で十分な回転速度が得られるように、歯車の大きさの比が逆転され、回転石臼側の歯車の方の大きさが小さくなる加速歯車的構造に変えられた。)

縦型動力水車の場合には、流水量や流水速度が季節によって大きく変化する場所で利用しようとするれば流水量の確保やコントロールのための機構が必要不可欠であった。すなわち縦型水車の羽根にかかる水流の位置・量・速さなどを一定にするために、ダムや貯水池などを建造して年間の流水量を平均化することが必要とされた。ただし水車専用のダムや貯水池を建造することはそれだけ製粉コストの増加をもたらすため、古代ローマでは流水の量や速度が平均化されていて、なおかつ、A.D.97-98年にフロンティヌスが行った調査から計算すると一日一人あたり1000リットルという豊富な流水量があったとも言われるローマ水道の流水が利用された。

この場合の製粉作業プロセスの技術的構成は下記のようにになっている。

[プロセス6] [コントロールされた流水]+縦型動力水車+歯車機構+回転石臼+小麦

→ 縦型動力水車+歯車機構+回転石臼+小麦粉

プロセス5からプロセス6への技術的發展は、水車の大型化による出力上昇という技術的性能の向上を可能にするとともに、プロセス5の段階ではまだ不明確であった「動力」、「伝達」、「作業」という三つの技術的構成要素の相対的分離を具体的な形で明確にしめすものとなった。すなわちプロセス6の段階になり、「動力の生産」を担う縦型動力水車、「動力の伝達」を担う歯車機構、動力を利用して「作業」をおこなう回転石臼という三部構成が明確になったのである。

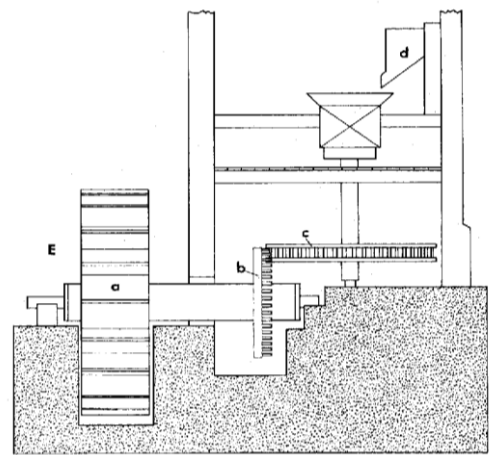


図8 縦型動力水車による回転石臼式製粉法
(ウイトルウィウス『建築書』の記述にしたがって描いた図)[出典] S.Strandh, The History of the Machine, Dorset Press, New York, 1979, p.97

(7)伝動機構の利用による技術的発展方向の複線化＝多様化

--- カム軸やクランク軸などの伝動機構の利用による、多様な環境への技術的対応---

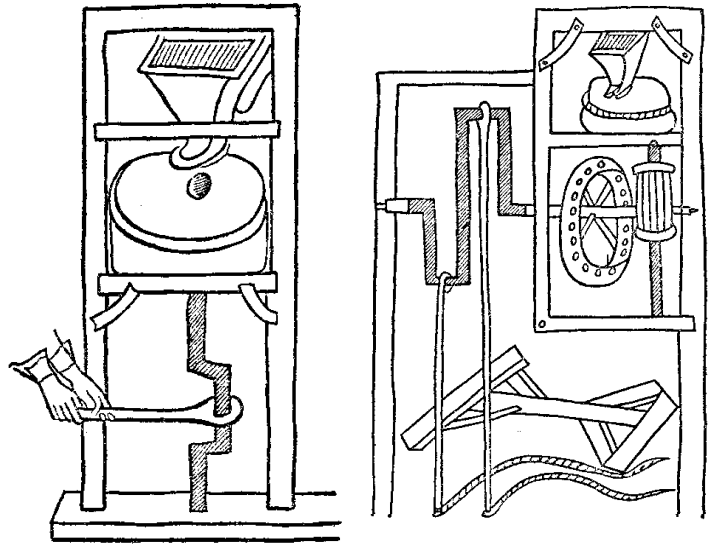
製粉技術のその後の発展において製粉プロセスそれ自体の基本的構造は、古代における回転石臼という「作業」要素に関わる抜本的イノベーション以後、19世紀後半にいたるまでほとんど変化してはいない。

歯車機構の改良など個々の技術的構成要素に関わる部分的な改良は確かにあった。例えば、図9のように人力でより効率的に回転石臼を回転させるために伝動機構を利用するといった技術革新とか、図10のように軍隊が馬で部隊移動している最中に製粉作業を行うために開発された伝動機構利用の移動式畜力製粉機といった技術革新があった。

さらにまた製粉の大量生産をより効率的に「自動」的に行うためのオートメーション・システムといった画期的な技術革新もあった。例えば「完全自動化」工場の先駆けをなすものとして技術史においてよく言及される18世紀末のオリバー・エヴァンスの製粉工場(図11)がそうである。

この製粉工場は、三台の動力水車、その動力水車で「生産」される動力の伝達と配分をおこなう歯車式伝動機構、六台の製粉機というシステムで構成されており、小麦とそれを製粉した小麦粉の自動搬送に「アルキメデス螺旋」を利用することで製粉から船による出荷までを「自動」的におこなうオートメーションを実現している。

こうした個々の技術革新はそれぞれ、確かにそれ以前の製粉技術に対する非連続的発展ではあったが、それらの製粉工程の技術的分析からわかるように直接的な製粉プロセスそのものに技術的な意味での構造発展があったわけではない。回転石臼という作業要素を用いて、小麦の粒を製粉していることには何ら変わりはないのである。



中世のクランク軸利用の手動式回転石臼型製粉機

[出典]A.G.ドラクマン「機械」『技術の歴史』第4巻、筑摩書房、p.569

中世の二重クランク軸利用の足踏式回転石臼型製粉機

[出典]A.G.ドラクマン「機械」『技術の歴史』第4巻、筑摩書房、p.569

図9 伝動機構付き手回し回転石臼式製粉法

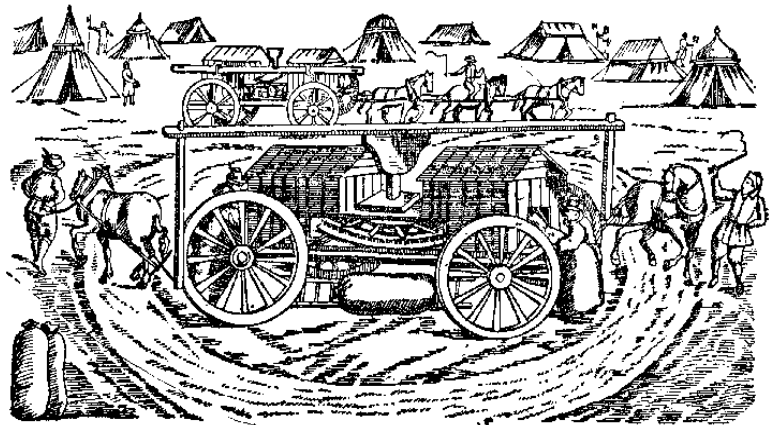


図10 伝動機構付き家畜動力による回転石臼式製粉法——移動式製粉機

[出典]V.V.ダニレフスキイ(榎本セツ、岡邦雄訳)『近代技術史』岩崎学術出版社、1954年、p.257

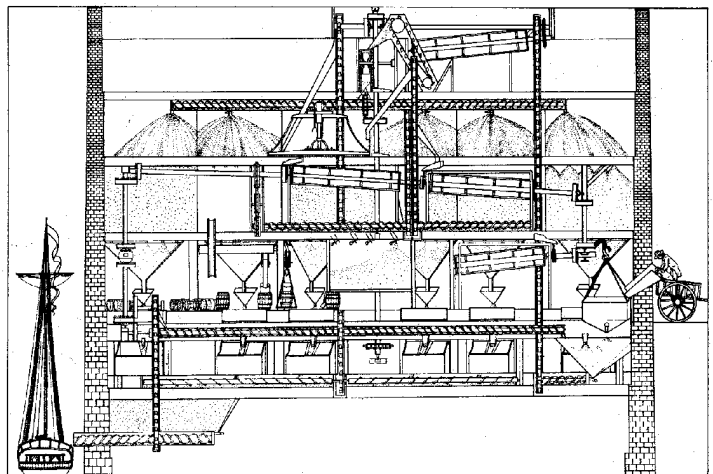


図11 動力水車で複数の回転石臼を動かす「自動」製粉工場

[出典] S.Strandh, *The History of the Machine*, Dorset Press, New York, 1979, p.182

(8) ローラーという新しい作業道具の発明による技術的發展

--- 石臼式「多段階」製粉法から、ローラー式「多段階」製粉法へ---

直接的な製粉プロセスそれ自体の技術的方式が構造的に大きく変わったのは、「作業」要素関連の新しい技術的発明、すなわち、回転式ローラーという新しい作業用具の発明によってである。上臼と下臼という二つの石臼の間で小麦の粒を粉にする方式に代わりに、一對の回転式ローラーの間で小麦の粒を粉にする方式を採用することで新たな技術的發展が可能になったのである。

回転式ローラーを新たに利用することにより、それ以前に存在した石臼式の「多段階」製粉法(何台もの石臼を用いて小麦の粒を段階的に粉砕して徐々に目的の大きさまで細かくするという製粉方法)から、ローラー式の「多段階」製粉法(図12に示したように、何組ものローラーで段階的に粉砕する方法)への技術的進歩が可能になった。

こうしたローラー式「多段階」製粉法、すなわち、一般的には「ロール製粉法」と呼ばれる新しい製粉方式は、19世紀にハンガリーのブダペストで、三人のスイスの発明家たちによる1834年から1873年にかけての次のような三つの連続的イノベーションにより実用化されたのである。

- ① 1834年のヤコブ・ザルツパーガーによる回転ローラーの導入
- ② 1850年のアブラハム・ガンツによる冷却装置付の鉄製回転ローラーの導入
- ③ 1873年のフリードリッヒ・ヴェークマンによる自動式で表面が滑らかな陶器製ローラーの導入

このように小麦粒を何段階にもわけて段階的に擦りつぶす「多段階」製粉法への技術的發展は何台かの石臼を用いるという形ですでに17世紀頃に始まったと言われているが、一般的には普及していなかった。

それが19世紀後半になり、回転石臼という伝統的な作業用具に代わって、ローラーという新しい作業用具を利用することで「多段階」製粉法がやっと実用的なものとなり、一般化したのである。

すなわちこうした大きな技術的飛躍により、石臼で小麦粒を擦りつぶす古代から19世紀前半まで続いた「石臼」式製粉方式から、ある程度の間隔を取って並べられた複数のローラーで段階的に小麦粒を十分に細くなるまで連続的に擦りつぶす「ロール」製粉方式へという不連続な抜本的イノベーションが可能になったのである。

「石臼」式製粉法から「ローラー」式製粉法への移行

1. 石臼式「一段階」製粉法

小麦粒を一つの石臼で粒が必要な細かさになるまで擦りつぶす製粉方式



2. 石臼式「多段階」製粉法

何台かの石臼を段階的に用いて粒が必要な細かさになるまで段階的かつ不連続的に徐々に擦りつぶす製粉方式



3. ローラー式「多段階」製粉法

何組ものローラーを用いて粒が必要な細かさになるまで段階的かつ連続的に徐々に擦りつぶす製粉方式

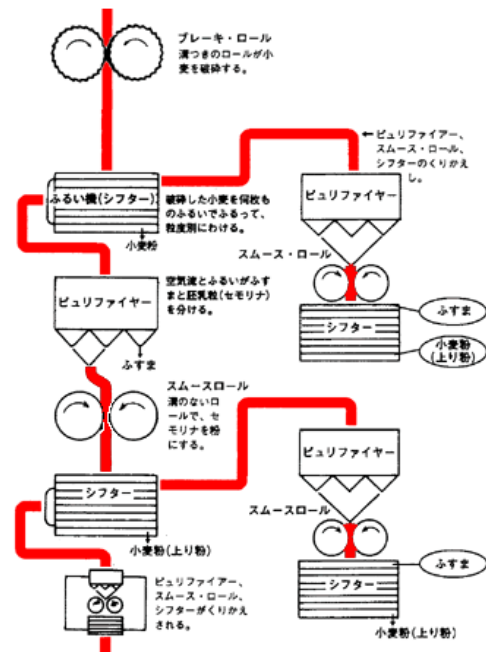


図12 ローラー式製粉法における製粉工程の模式図

[出典]製粉振興会「小麦粉のおはなし」

http://h088158.sharesite.com/ryutu/index_katei.html

それゆえ「作業」要素レベルにおける製粉プロセスの構造的変革は、図13の製粉技術の歴史的系統樹に示したように、古代における回転石臼という作業用具の利用に匹敵する大きな技術的変革と位置づけることができる。

小麦の粒は図14のような内部構造を持っている。ロール製粉法では、一組のローラーの間を通過するごとに小麦の粒子はより細かくされるとともに、各段階で擦りつぶされた小麦の粉は篩にかけられ、小麦の粒が最終的には胚乳部分を擦りつぶした「小麦粉」、小麦粒の外皮である麦皮を擦りつぶした「ふすま」、「胚芽」といった成分に分離されることになる。

「一段階」式製粉法では、これらの成分は小麦の粒が粉にされる過程ですべて完全に混ざり合わされていた。そのため、小麦の粒の中の胚珠の油成分が小麦粉全体に浸透することになり、手で触れると油っぽい感じで、見た目も悪くなった。さらに商業的に問題

なことには、油成分が全体にしみこんだ小麦粉はその貯蔵期間が長くなると油成分の酸化により売り物にならなくなる恐れが多分にあった。

「多段階」式製粉法では、小麦粒の中の「内胚乳」の部分と、「胚芽」や「ふすま」などの部分が互いに混じり合わないよう分離して小麦粉を製造することが可能となった。このように、油成分のある「胚芽」部分を含まない小麦粉の製造が可能となったことにより、腐敗しにくく長持ちするだけでなく、白くて見た目にもよい現在のような小麦粉が商品として技術的に成立するようになったのである。(5)

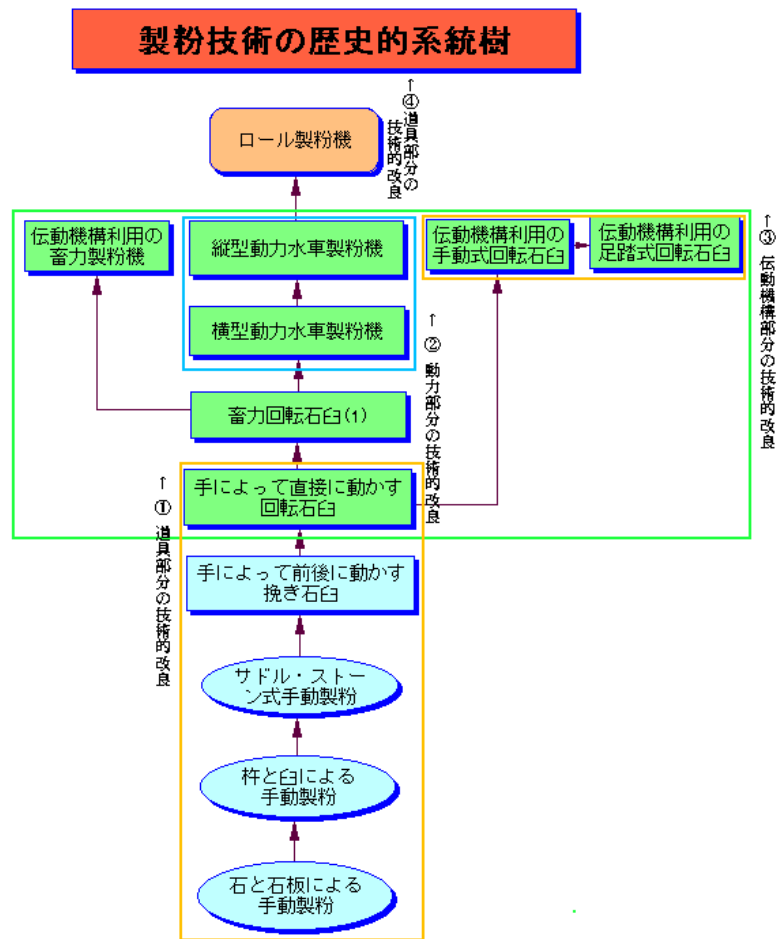


図13 製粉技術の歴史的系統樹

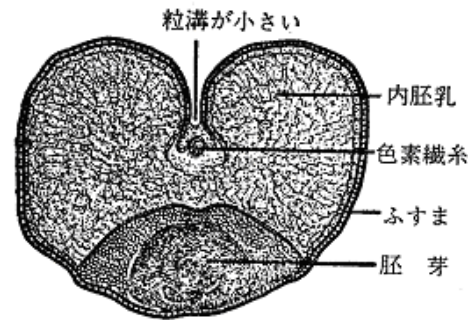


図14 小麦の粒の内部構造

[出典]三輪茂雄『粉の秘密 砂の謎』平凡社,1989年, p.49

5 構成要素論的視点から見た技術の発展段階区分

これまで詳しく見てきた製粉技術の発展のあり方を概括すれば、製粉作業をする道具の技術的改良(石→杵と臼→サドル・ストーン→手押し挽き石臼→回転石臼)、動力の技術的改良(人間→家畜→横型水車→縦型水車)、動力水車へコントロールされた流水を給水する機構の成立(斜水溝、流水路、水門、水道、貯水池、ダムなど)、伝動機構の相対的独立(歯車機構の成立)という順で製粉に関する技術の発展がおこなわれてきたことがわかる。

このプロセスを単純化して図式化すれば下記の図15のように整理することができる。この図にも示されているように、製粉技術の発展においても作業に関する技術的要素の発展が動力技術の発展に先行して起こっており、技術一般に関して一般によく言われていることが製粉技術にも当てはまっていることがわかる。

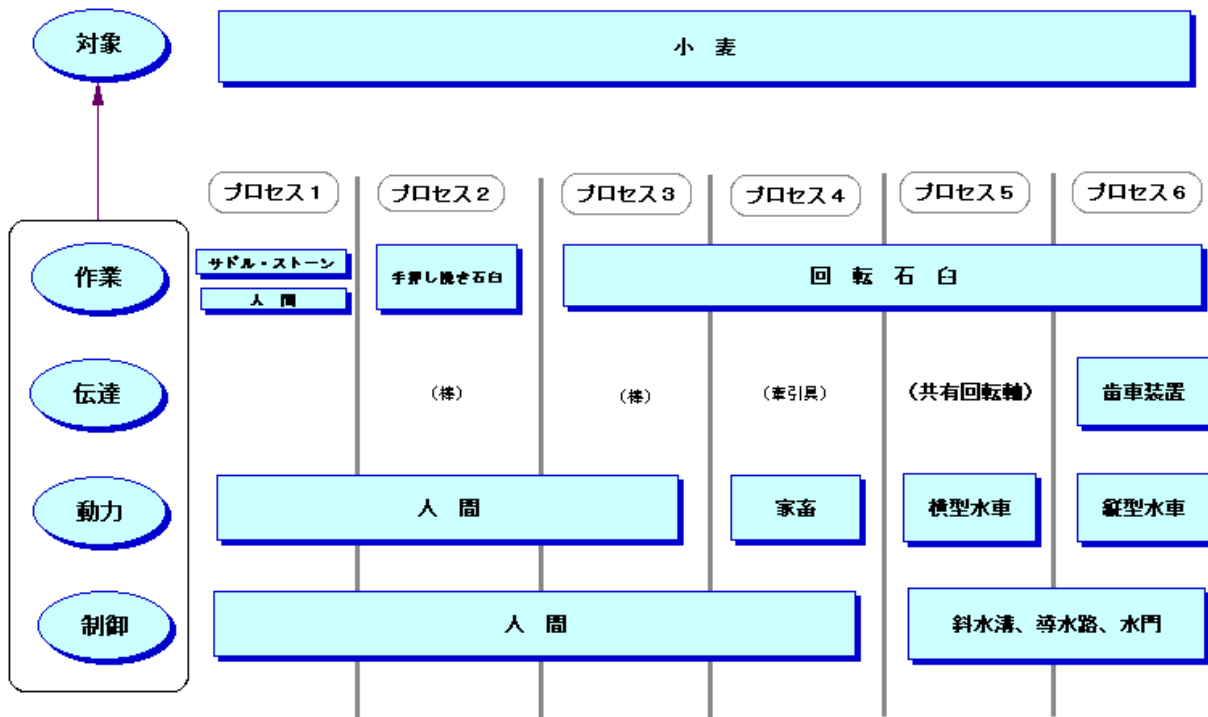


図15 製粉技術の歴史的発展構造

また製粉技術の発展方向は、製粉の直接的プロセスに対する人間の関与をさまざまな道具や機械によって代替する方向を向いたものであった。例えば製粉作業における回転石臼の利用は、製粉の直接的プロセスに対する人間の関わりを図3(プロセス1)の段階以前と比べて大きく減少させた。それによって回転石臼への回転運動エネルギーの供給および回転石臼の回転速度の制御という二つの要素的作業だけが人間が直接的に関与するものとして残されることになった。

そして残されていた二つの要素的作業も、動力水車の利用開始とともに、動力水車への給水作業と水車の羽根にかける水流の位置・量・速さの制御作業に置き換えられた。こうして図7や図8に示されているプロセス5およびプロセス6などの動力水車式製粉機の段階で製粉の直接的プロセスは人間の関与抜きに「自動」的におこなわれるようになったのである。

おわりに

本章では、製粉技術の歴史的発展プロセスに関する分析をもとに、「動力」「伝達」「作業」「制御」という四つの技術的要素の複合的構成が歴史的にどのように変化してきたのかという視点から「技術の発展段階をどのように区分すべきなのか？」という問題を技術論的に分析し、製粉技術の歴史的発展構造が図15のようになっていることを示した。これにより、製粉技術の歴史的発展プロセスが、図16に示したような技術全体の歴史的発展構造の視点から分析可能であることもあわせて示すことができた。

次章では、現代的オートメーション技術を「技術の歴史的発展段階区分上のどこにどのように位置づけるべきなのか？」という問題を素材として、「動力」「伝達」「作業」「制御」という四つの技術的要素の複合的構成の歴史的変化という視点から技術の歴史的発展がいかに分析できるかを示すことにしたい。

	「道具」時代	過渡期	「機械」時代	
			機械の時代(1) 非自動制御の機械の時代	機械の時代(2) 自動制御の機械の時代
「動力」的要素 (動かすための力)	人間	家畜	動力機械 (動力水車、ワットの蒸気機関や蒸気タービンなどの蒸気動力機械)	
「伝動」的要素 (動力の伝達)	----- <注>	動力伝達装置	動力伝達装置 (歯車装置、クランク軸、カム軸、伝動ベルトなど)	
「作業」的要素 (モノの物理的加工や化学的生成などの作業)	道具	作業用具 or 作業機械	作業機械 (紡績機、機織機、工作機械など)	
「制御」的要素 (動力・伝動・作業などに対するコントロール)	人間+道具 <手動制御> + <道具内在的制御>		人間 + 制御機構 (水門、導水路、遠心振り子式調速器など) <手動制御> + <機構制御>	コンピュータ制御機械+人間 (センサー+コンピュータ+アクチュエータなどから構成される制御機構を人間が監視・保守管理) <自動制御> + <人間による監視>

<注> 人間の手や足などの力をほぼ「直接」に道具に伝動(中世ヨーロッパのクランク軸を用いた手動製粉機など一部の例外あり)

図16 技術全体の歴史的発展構造

注

(1) マタレ(中野研二訳)『技術構成と経済』慶應書房、1942年9月、p.293

(2) 岡邦雄『新しい技術論』春秋社、1955年、p.28

(3) ワット機関はレシプロ型蒸気エンジンであるため、蒸気エンジンのピストンがシリンダーの最上部にある時や最下部にある時(すなわち、ピストンが上死点や下死点にある時)には動力を取り出せないという構造的欠点のためエンジン部での出力変動は避けがたいものであった。鉄製の巨大で重い回転弾み車(回転モーメントの巨大な弾み車)によってそうした変動は押さえられてはいたが、一台の蒸気機関に多数の紡績機を結合した場合、糸切れなどによる負荷変動のためにより回転速度の変動は避けがたい問題であった。しかし紡績機用の動力源として使おうとする場合には、糸の太さを一定にするためにも回転速度がほぼ一定であることが必要とされた。そのため作業部の負荷変動に応じて出力が自動的に変わるように制御する必要がある。そのための装置が円錐振り子式遠心調速器であった。

(4) H.W.ディキンソン(磯田浩訳)『蒸気動力の歴史』平凡社、1994年、p.101

(5) こうしたイノベーションは、粉の色の白さを増すことで見た目の商品価値を高めるモノであったこと、および、製品の品質保持期限を長くしたという意味で画期的な技術的発明ではあったが、一方で小麦が胚芽部分に持っていた様々な栄養成分を取り除くという技術的「欠点」も持っていた。

本章の冒頭で議論したように、技術の歴史的発展をどう評価するかという問題は単純に一つの視点から論じるべき問題ではない。複合的視点から技術的分析を加えることで初めて正しい技術的評価を得ることができるのである。

なおローラーを用いて小麦を段階的に粉にする方法は「ハンガリアン・システム」とも呼ばれている。というのも、フランスや他の国々でもロール製粉法が利用されたが、その製粉法を組織的に発達させたのは、ハンガリーであったからである。

ハンガリーでこうしたイノベーションが進行した社会的背景には、ハンガリーで大量の小麦が産出されたということや、ハンガリーで好まれたパイの製造には特別にきめの細かい小麦粉を必要としたということがある(詳しくは、S.ギーディオン(GK研究所・栄久庵祥二訳)『機械化の文化史 --- ものいわぬものの歴史』鹿島出版会、1977年のp.240および注135を参照のこと)。