

水車に見る日本とヨーロッパの技術比較

若 村 国 夫

岡山理科大学理学部基礎理学科

(1998年10月 5 日 受理)

要 旨

イギリス、ドイツ、フランス、オランダの伝統水車に対し、水車と歯車の構造、それらの材質、作業の種類、石臼の駆動機構等を調べ、日本の伝統水車と大きく異なる点を明らかにした。主な違いは、ため池の設置、幅広い水輪の導入、側板や底板の省略、太い木材と鉄バンドの使用、回転運動利用の駆動機械、石臼への中心回転方式の採用、ランタン歯車や垂直歯平歯車の導入、などである。さらに日本の伝統水車との比較から、日本の技術の画一性とヨーロッパ技術の多様性を実証的に示唆した。その理由を風土、歴史、社会状況の観点から議論し、技術の発展には自由な発想を許す社会環境、技術に対する社会的要求、現実からの向上心等が重要である事を指摘する。

1. はじめに

水車は唯一世界で共通に使用されてきた動力源である。水車の起源はインド、中国、西アジアなどの諸説があるが¹⁻⁶⁾、恐らくこれらの何処かの地域から世界へ広まったと考えられる。日本の水車も中国からの移入と考えられており、7世紀には製粉用水車が、14世紀には揚水用水車が伝わったと言う⁴⁻⁷⁾。日本で動力用水車がよく使用されるようになったのは1800年代、ヨーロッパでは1600年代と考えられる^{1,6,8,9)}。水車は木製から鉄材併用、鉄製へと変化していくが、構造、機構、使用目的などは各地域の風土を反映し変遷を遂げて現在に至っている。従って、わが国の水車をヨーロッパや中国の水車と比較する事は日本の伝統技術の特徴や技術に対する考え方の違いを見る上で大変有効であり、今後の日本の技術の方向を考える時にも大いに参考になると思われる。しかし、このような観点から水車の技術的側面を比較検討し、まとめた論文は見当たらない。

本論文は上記の事を目的とし、伝統技術の結集されている木製水車と駆動機械、木製歯車などに焦点をあてる。技術比較の観点からヨーロッパの水車の技術的側面を調査し、日本の伝統技術との違いを指摘する。第二章で調査方法を、第三章ではイギリス、ドイツ、フランス、オランダの調査結果を示し、日本との比較検討を行う。各部の説明を容易にするため日本とヨーロッパの写真と比較する形で示した。写真は文章よりも何倍もの情報をたやすく伝えるので複雑な機械構造の説明には不可欠であり、同時にヨーロッパの水車の

紹介にも役立つ。これらを基に水車の担当作業、水輪の構造などに対し日本とは大きく異なる特徴や日本の水車技術の未発達理由などを指摘し、その原因を探る。第4章では水車に関係した日本では見られないタイプの動力源を紹介する。第5章では水車の利用範囲や作業の種類に注目し、当時の社会構造と技術の密接な関係、逆に社会構造や技術水準が水車の発展を左右する事等を指摘する。これらを通して技術の進歩に必要な条件を示唆する。

2. 調査方法

1994年から1998年の間にヨーロッパ4ヶ国の伝統的水車の保存地区と野外博物館を訪れ、伝統的水車に対して水輪、小屋、石臼などの構造の調査や写真撮影、それらの寸法の計測、それらを作っている材料や水車作業の種類等に付いての聞き書きを行った。これらの場所には遅いものでは1950年頃まで使用されていた水車や復元された伝統水車が保存されている。各写真は文中 ph の番号で示し、内容を知るに必要な説明を付して末尾にまとめた。寸法については実測値を載せたが、一部、実測が不可能な場合に付いては目測値を示した。使用年については著書⁸⁻¹⁰⁾や博物館発行の説明書¹¹⁻¹⁵⁾を参考にした。資料の信頼度を示すため各国の保存環境や博物館での展示方法を以下に述べる。

2.1 水車保存状況と野外博物館の特徴

ヨーロッパ各国では日本より大方30年程早く、水車が使用されなくなり、その土地の伝統的水車が稼動していた場所や野外博物館に水車を残す事に積極的である。従って、保存水車の調査は伝統技術を知る上で有効な情報を与える。一方、日本では水車はしばしば飾り物とされ、必ずしもその土地の伝統的なものではない。水車に関する説明書も用意されず、みやげものなどの売店が中心となってしまう事も多い。この点は科学の国、ヨーロッパとの大きな意識の差であろう。

イギリス

ナショナルトラストの保護のもと、多くの水車や風車が動態保存され、それらの構造や使用形態に付いての説明書も数多く用意されている。水車、風車の全国案内書^{8,9)}も発売されており、野外博物館の案内パンフレットがホテルや観光案内所などに配布され、情報の入手し易い体制が作られている。また、各地に水車（ミル）グループの団体が活動し、曜日や時間指定の運転や保存、補修活動を活発に行っている。保存水車には喫茶部や水車で製粉した小麦粉や水車関係の著書、記念品などを売る売店が併設されている場合もあるが、収入は補修費などに役立てられ、あくまで水車が中心にすえられている。

ドイツ

多くの野外博物館が整備され、移築あるいは再現された水車が稼動時の形を維持して動かされている。博物館では水車の構造などの行き届いた説明書が用意され¹¹⁻¹⁴⁾、水車で作ったビールやパン、ワイン等の飲食の出来る場所もある。特にドイツ北部ハーゲンの野外博

物館は水車博物館と呼んでも良い位、何台もの水車が稼動し、作業を実演展示している¹³⁾。一方、稼働場所に保存されている水車では、期日や時間を決めた定期的運転が行われているものもある。各州ごとに野外博物館の地図や案内パンフレットも作られている

フランス

多くの水車が保存されているが、動態保存は多くはない。全国に渡る案内書¹⁰⁾は刊行されているが、野外博物館等での十分な説明書は多くは用意されていない。水車はホテル、喫茶店、レストランなどの一部となっており、経営的側面と結びついている場合が多い。野外博物館も展示と共に遊園地的側面を持たせてある。館内ではおみやげの購入や飲食などもできる。ホテルや情報センターで野外博物館のパンフレットを入手できる。

オランダ

ドイツ寄りの山間部では水車が、平野部では風車が多く残されており、各地の稼働場所や野外博物館で保存されている。曜日や時間指定の定期的運転も見られ、水車や風車による製造品の販売などを行っている所もある。案内書や説明書¹⁵⁾は良く整備されており、展示には模型など、分かりやすい表示物が作られている。風車は保存状態が良い。

3. 結果と考察

日本との違いを念頭に置き、水車の各部分に付いての技術的側面を順次述べる。調査結果の中で特に興味深いのは以下に示す水車作業の種類と構造である。日本とは大きな違いが見られ、技術の特徴が伺える。

3.1 水車で言う作業の種類

既に示されているように日本の水車の使用は主として精米用の打解か製粉用の回転石臼駆動に限られてきた^{4~7)}。この事は工業用水車でも同じである^{4~7,16)}。鉱山での鉱石の粉碎、酒造業での米の精白、製油業や製鐵業での原料の粉碎、タバコの原料葉の破碎などがある。これらと異なる作業はほとんどが1800年中頃以降にヨーロッパから移入されたもの。例えば、製材での丸鋸の駆動、和紙製造でのピータ駆動、窯業に於けるトローンミル駆動がある¹⁶⁾。一方、以下に見られるようにヨーロッパの水車の担当作業は多種多様である。これらの水車の担当作業の違いは当時の社会状況から理解する事が可能である。

ヨーロッパでの水車の普及にはキリスト教、特に手労働を尊んだ信仰と自給自足を実行する修道院の存在が大きい¹⁾。大人数を抱える修道院では製粉水車の利用が不可欠となるのみならず、これを発展させて繊維の縮絨やビールの醸造などにも多くの水車を活用し、またダムの利用を考え定期的運転を実現した。レイノルズは修道院での水車の成功が多数の家臣や農奴を維持する独立的封建貴族へ水車の利用を促したと予想する¹⁾。さらにヨーロッパの人口の少なさは麻打ち器、洗浄用布打ち器、火薬やガラスの原料粉碎など多方面への水車の応用を促進したと考えている¹⁾。

一方、日本の封建制は徳川家を頂点とし領主（藩）の独立性を許さなかった。ヨーロッパの製粉水車に対応する日本の精米用水車も江戸幕府の監視により、自由には作る事が出来なかった^{6,7)}。また、この当時は人件費が安価であり、大人数であっても人件費の方が高度な水車機構を作る価格よりは安かった。人件費の安かった江戸時代や中国の水車が未発達であったのはこの事と整合的である。

3.1-a 油、鐵絞りへの応用

油や鐵はヨーロッパでも製造された¹⁾。原料を炒り、これを粉にする。この手順は日本でも同じ⁶⁾。仕上がった粉はせいろで蒸され、布袋に詰められた後、袋が木柱に挟まれ ph 1 の様なてこ式か楔方式で絞め上げられる。この時、楔をたたくには初期には、日本でもヨーロッパでも人力を用いたが⁶⁾、その後、ヨーロッパでは水車で叩くようになる¹¹⁾。この違いは後で述べる社会環境に依存すると思われる。

3.1-b 篩いの作業

篩いは粉の粒径を揃えるのに使用される。日本と同じ様に網付き容器を水平面内で振動させる振動式篩いと円筒容器の外壁枠に網を張り回転させて使用する回転式篩いの2方式がある^{17,18)}。ヨーロッパでは1730年以降にはどの製粉場でも水車駆動の篩いを備えていたと言う¹⁾。日本でも営業用製粉水車では水車駆動の篩いがよく用いられた。

回転式篩いは歯車やプーリを介して水車の回転をそのまま利用する。振動式篩いでは回転運動を往復直線運動に変える装置を用いる。水車駆動の作業でヨーロッパと日本とではほとんど同じ装置を用いたのは篩いと穀物を小屋内で移動させる昇降器位のものである。

3.1-c 製紙原料の打解作業

製紙は日本でもヨーロッパでも古くから行われたが^{1,4,19)}、その原料にはヨーロッパでは麦わらやボロ布、日本では繊維の長い三桎や楮などが用いられた。これらを粉碎し、水と糊とを一緒に混ぜ、簀の子の上に薄く伸ばし、圧縮、乾燥させる。興味深いのは一連の行程や簀の子の寸法が日本の伝統的なものとほとんど同じである事^{6,8,11)}。原料の打解には最初、シーソの原理を利用した水力ハネハンマーが使用されたが¹⁾、その後、水車による打解用搗き杵に変わる。ph 2, ph 3 に見る様に横型杵はオランダ、ドイツ、フランスなどで使用された。水平に置かれた棒の一端が支点、中央に杵、他端は水車の胴に取り付けられたハネにより上下動させられる。5本一組で一区切りの部屋に入っているのはオランダ、ドイツ共に同じである。この方式の杵は ph 4 の日本の縦型杵とは全く異なる機構である。

ビータと呼ばれる粉碎機が考案されたのは1700年直前¹⁾。従来の上下動の杵とは異なり、ph 6 や ph 5 の様な歯の付いた円筒を回転し、歯間を通る繊維を細分化する。回転運動を利用するので高速化が可能となった。日本には明治時代に移入され、伝統的水車で駆動された(ph 6)。ドイツと同じく、ホランダビータと呼ばれ、ph 5 に見られるようにドイツと全く同じ形の木製カバーが取り付けられている。この事はオランダで開発されたビータがそっくりそのままの形で世界に広まっていった事を示している。

しかし、力伝達機構には違いが見られる。オランダでは水車の回転を歯車で高速化してピータに伝えている（ph 3）がドイツ（ph 5）や日本（ph 6）ではプーリを使用している。ヨーロッパでは印刷機の使用と共に紙の需要が急速に伸び、ピータが増加した¹⁾。それに伴って、多数の水力製粉所が製紙工場に転換した。例えば1676年のフランス・オーヴェルニュのグランリヴ製紙工場では7台の水車が38組の搗き臼を動かしていたと言う¹⁾。社会の状況に水車の技術が適応した例と言えよう。

3.1-d 製材

製材は縦型水車を用いて行われ、13世紀はじめにノルウェイ、中ごろに北フランスやスイス、14世紀にはドイツ、17世紀にイングランドへとヨーロッパ各地に広まった¹⁾。最初はph 7に見る様に水車の力で長鋸を上下に動かした。手仕事で使用された鋸の形式の踏襲である。この方式では図1の如く水車の回転運動をクランクにより直線往復運動へと変え、木材の切断箇所の移動も行っていった。その後、丸鋸から帯鋸へと変わり、回転運動をそのまま利用する方式となり高速化が可能となった。日本には19世紀に移入され、現在では歯厚の薄い帯鋸が使用されている¹⁶⁾。

3.1-e 冶金工業での使用

水車は鉱石の粉碎、ふいごの駆動、鍛造用ハンマーの駆動などに使用され、1500年頃からは砲芯の中繰りや切削など旋盤の作業も担当した。富の増加や贅沢が金属の使用を増やし、その精製に水車を導入させた。例えば、金の処理工場では金鉱石の粉碎と製粉、粉と

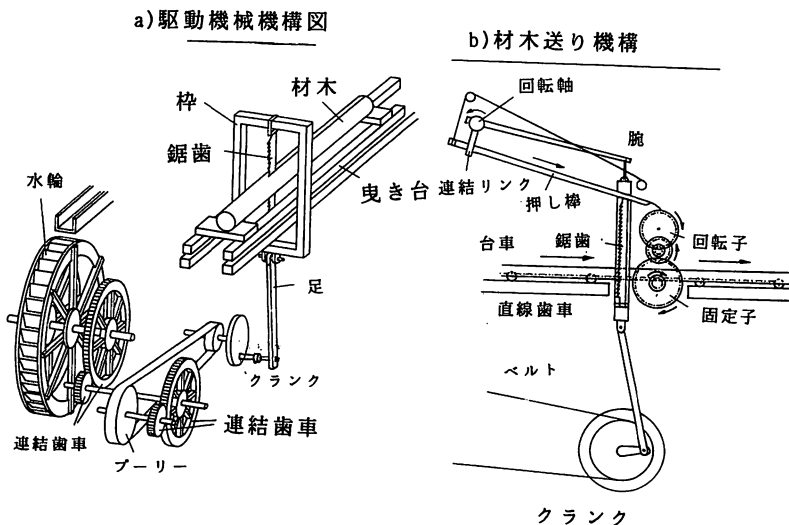


図1 水車駆動の長鋸のメカニズム (from ref. 12)

- a) 駆動機構：水車の回転が長鋸の上下動と木材の移動を同時に行う。
- b) 材木送り機構：クランクの運動により鋸を上下動し、鋸の上部に取り付けた腕の振りで連結リンクが左右に動き、回転子（歯車）を回して固定子（歯車）を動かし、これが直線歯と噛み、車の付いた材木台を移動する。

水銀との攪拌等を1台の水車で行った¹⁾。また、鉛の加工は16世紀には手工業で行っていたが富裕階級の屋根拭き用鉛板や鉛管、庭先の鉛製造などの増加に伴い水車駆動の搗き臼、鉛鉱石熔融用ふいご、圧延機などを水車で動かす様になっていく¹⁾。

3.1-f 太い木と鉄バンド、鉄杵

鍛造には特徴的杵が使用された。ph 8 の様な鉄バンドで締めた太い胴と厚い鉄杵を取り付けた木製杵である。杵の先端には鉄杵が取り付けられ、これで金属を叩く。鉄杵に加わる力は木製部全体に分散するので、大きな力にも耐え得る事になる。日本では見られない方式である。ヨーロッパでは木の技術や文化が日本より劣るように言われる事があるが、これは全く検討違いである。科学的に裏付けられるこの様な太い杵の採用は水車の利用を拡大した。ヨーロッパ各地の伝統的風車にはさらに太い木が巧みに利用されているのを見る事が出来る。

3.1-g 陶器原料の粉碎

ヨーロッパの陶土の原料粉碎には最初、水てこが用いられた¹⁾。日本では現在でも小鹿田焼き (ph 9) や萩焼きで水てこが、瀬戸焼き (ph 10) や戸部焼きでは水車駆動の縦型杵が使用されている。ヨーロッパではその後、ph 11 の様なトローンミルと呼ばれる回転方式の粉碎器が開発された。鉄製円筒容器の中に堅石と原料石とを入れ回転すると互いにぶつかり、原料石が碎かれる。トローンミルは水車の回転運動をそのまま利用するので高速化が可能となった。日本には1900年頃、ヨーロッパから移入された。このトローンミルは岐阜県と愛知県にまたがる東濃では現在でも健在であり (ph 12)、伝統的水車で駆動されている。

3.2 水車の方式

横型水車

横型水車はヨーロッパ大陸の周辺部でよく使用され、イギリスではブリテン水車と言われ、主としてスコットランド北部のハイランド地区やアイス島で使用された^{1,8)}。その起源は中国との説もあり^{1,3)}、使用の歴史は縦型水車より古いと言われている。原始的形と思われる横型水車では ph 13 の様に地面に水平に水輪が置かれ、斜め上方からかけられる水の反動で水輪が回転する。図2の様に水車心棒は地面に垂直になるので同時に回転石臼の心棒となる。効率は縦型水車より小さいが、製粉用臼の回転には歯車を必要とせず、安価な建設費、運転や修理の容易さ等が特徴として上げられる¹⁾。しかし精米に使用するには歯車が必要である。この事が日本で使用されなかった理由とも言われる⁵⁾。大型の横型水車では1階に水輪を、2階に回転石臼を設置する。

縦型水車

水輪を地面に垂直に立て、回転する方向に水をかける。水輪の何処に水がかかるかで大ざっぱには上かけ、中かけ、下かけの三種類の方式に分類されるのは日本と同じ¹⁾。上かけ方式は水の重量で、下かけ方式は水の当たる衝撃力で回ると考えられて来たのも日本と同

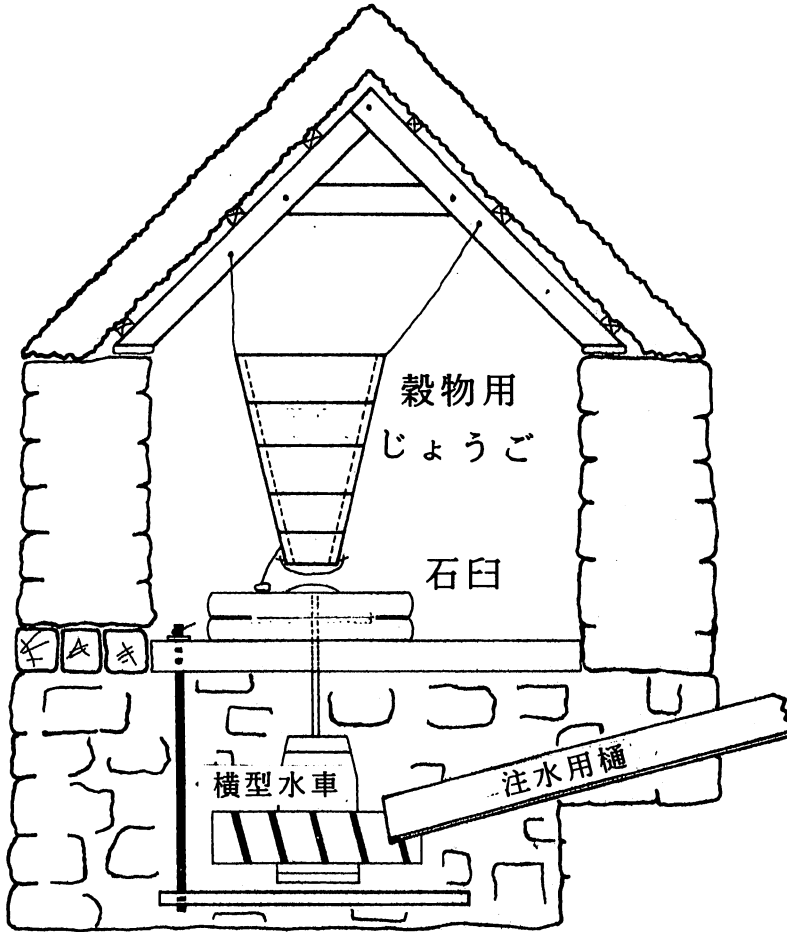


図2 横型水車のメカニズム (from ref. 20)

右のトイから水平な水車に水がかけられると床上の上側の石臼が回転する。水車心棒は石臼の心棒にもなっている。穀物は石臼の上のじょうごから石臼中へ少しづつ落とされる。

じ。水車小屋は ph 14と図3に見る様に3階建てが多い。一階には水輪心棒と連結歯車、二階には回転石臼、三階には穀物貯蔵室とクレーンが設置されている。レンガ造りの小屋も多く、日本の一階建て木製小屋と比べると、ヨーロッパの水車小屋の立派さがわかる。ヨーロッパの縦型水車には以下に見る様に日本との差異が各部分に顕著に見られる。

た め 池

水車は、水源—水車—駆動機械—設置小屋の動力体系を構成する。この体系の中でヨーロッパの特徴の一つが水源としてのため池 (ph 15, ph 16) である。ため池の最も大きい意義は水車の定期的運転を可能にし、産業に利用される条件を満たした事にある。溜池から用水を引くので、用水路の幅は任意の寸法に設定可能であり、幅広い水輪の出現を容易にしたと考えられる。興味深いのは、この様な溜め池は水の少ない平野部で極普通に見ら

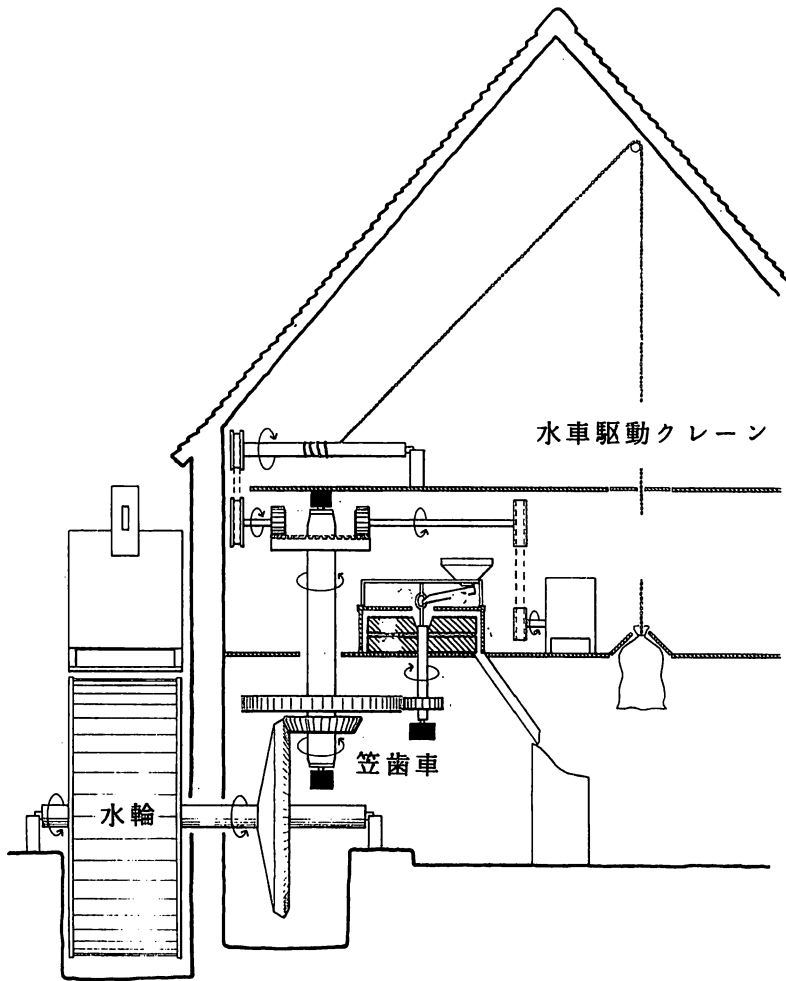


図3 ヨーロッパの典型的製粉水車 (from ref. 18)

1階に動力伝達歯車, 2階に石臼, 3階のクレーン。クレーンで釣り上げられた穀物袋は3階の倉庫に保管される。

れる事である。「必要は発明の母」と言う言葉が当てはまる。一方、山間部、例えばイギリス・サンダーランドや湖水地方、ドイツ・シュバルツバルト地方には日本と同じ自然の川やわき水を直接引き入れ、水車を回した所も多い。

3.3 水輪の構造

水輪にも日本では見られない構造が採用されている。特に顕著なものは第一に幅の広さ、第二に浅い杓と側板および底板の省略である。第三には、多様なハリの組み方が上げられる。以下、順次これらの特徴を示す。

幅の広い水車

ph 17に見るような小さな直径と幅の広い水輪がヨーロッパ高速回転水車の特徴^{11,17,21)}。

大量の水を流せる幅の広い用水路が必要である。幅の広い水車は容易に高速回転を出せそうだが、杓が水輪の最下点を通過した直後、杓からの水の抜けが悪いと、この水がブレーキとなり回転が妨げられる。日本では水の逃げるを早くする為に ph 18の様に底板を張らない方式を採用している。ヨーロッパでは水の抜けの早さを最大限突き詰めた結果、ph 19の様な浅い杓の採用、ph 20やph 21の様な側板の省略、一部のみ張られた底板などのタイプへと変わっていく。これがヨーロッパの特徴的水車を形作る事になる。ハリが底板を支えているタイプや ph 22の様な曲率を付けた杓も現れた。杓板を鉄製のお椀に変えればペルトン水車へ発展する事がわかる。ph 23の様なペルトン水車は日本へは明治時代に導入された^{6,7)}。

ph 24の様に幅の広い水輪は現在の日本でも見られるが伝統的な形ではない。岡山県あたりではタービンと呼び、戦後、鉄の安価な使用と共に移入された。しかし、日本では側板、底板共に取り付けられ、日本の伝統的形から抜け出せないでいる様に見える。

幅の狭い水車

高速回転を必要としない時には水車の幅は狭くともよい。ph 25, ph 26に見られる様にドイツやイギリスの山間部では幅の狭い水車が製粉、製材等に使用された^{8,11~14)}。この事は地勢が水車の構造に反映される事を教えてくれる。山間部では自然の流れは細いので用水路の幅も狭い。従って、少量の水流で回転可能な直径の大きい、幅の狭い水車が用いられる。流水に大きな落差が取れるので上げけ方式が採用される。ph 25に示されるドイツ・フランケン地方の水車や、ph 26のイギリス湖水地方の水車もこのタイプである。この様な水車で回転数を増すには歯車が必要となる。

水輪のハリの構造

ハリは杓からの力を分散させ且つ胴へ力を伝える役目を持つ。ハリの組み方と杓への取り付け方式には日本とヨーロッパとでは大きな違いが見られる。日本ではハリの一端は胴へ放射状に差し込まれ、他端は側板へ取り付けられている (ph 18)。ヨーロッパでは種々のハリの組み方と取り付け方式が見られるが^{17,21,22)}、ハリの組み方は水輪の直径の大小には依存しない。

ヨーロッパの典型的なハリは井桁状のハリ。オランダ・アーネム (ph 27) やドイツ・ブレンシャイデル (ph 28) 等各地で見られる。日本でも僅かだが ph 29の様に井桁状のハリが見られるが、放射状ハリを支える為の補助ハリでしかない事がわかる。また、ヨーロッパでは ph 30の様に放射状の配列でもハリ一本で底板の中央を支えているものがあり、水輪の両側から支える日本の放射状ハリ (ph 18) とは異なる構造である。また ph 31のハリは二本の棒を一組とし、放射状に組んで一端を底板に、他端は二本とも心棒を差し通している。このハリの組み方も日本では見られない。

ハリとして使用する角材の寸法は日本の木製ハリでは大方 6—8 cm 角だが、ヨーロッパでは 10—15 cm 角と倍近い。太さの違いは水輪に加わる力の差と考えられる。

3.4 石臼と駆動機構

製粉に使用される石臼には ph 32の様に臼板を垂直面どころが縦型臼と、水平面内で回転させる横型回転臼とがある。日本ではほとんどが ph 33の様な横型臼である。ここでは、この型の石臼に付いて見てみよう。ヨーロッパの石臼の特徴は ph 34の様に直径が極めて大きい事にある。厚みは12—25cm だが直径は80—180cm もある。パン食のヨーロッパでは製粉水車は営業用であり、大量に製粉を行う。この為には大きな石臼が必要であった。ph 34の様な大きい石臼は必ずしも一枚の石板で作られる訳ではない。ph 35の様に小さい石板を鉄板で寄せ集めている例が数多く見られる。日本の石臼は粉食が少なかった事と関係し、大きくても直径60cm 程である。しかし、臼の目のきざみは、日本と大方同じである^{21,22,25,26}。

石臼の回転駆動方式は日本とは異なっている。図4の様に歯車の心棒が石臼の中心部を通して臼の真下から差し込まれ、上側の石臼を回転する。この結果、ヨーロッパの製粉用石臼は図3の様に水車小屋の2階に設置される場合が多い。一台の水輪で2—4台の回転石臼が動かされるが (ph 36, ph 37), これに直結する歯車は1階に設置される (ph 14参照)。日本では ph 33の様に上側の石臼へ取り付けられた歯車を水平面内で回転させる。従って歯車と石臼は同一階に置かれる。なぜ、回転方式に、この様な違いが生じたのかは明らかでないが、ヨーロッパの水車の歴史を考えると理解できそうである。歴史の古い横型水車

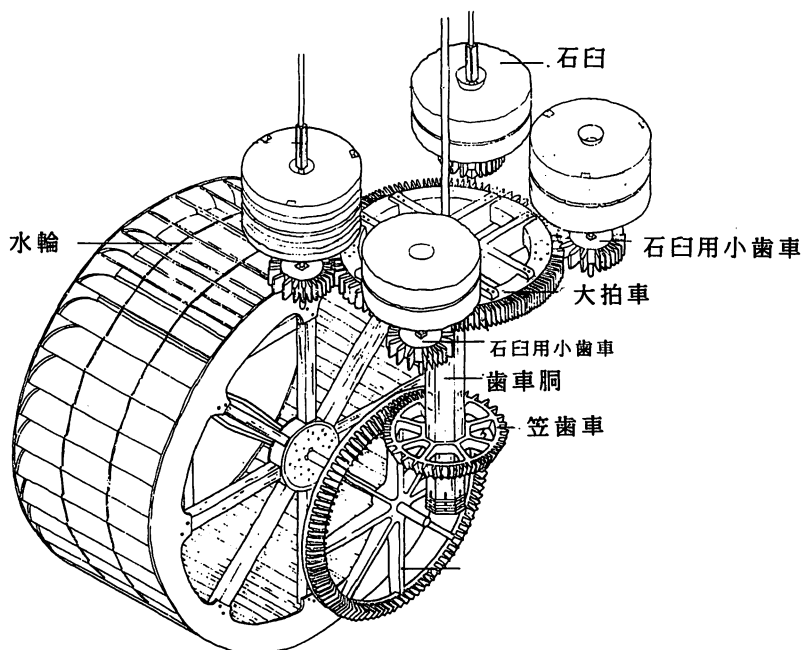


図4 製粉用回転石臼駆動メカニズム (from ref. 23)

水車の回転が歯車で増幅され、大歯車を回す。これに噛む4つの小歯車は臼の下から上側の石臼を回す。

(ph 13)は図2の様に水車心棒が直接臼の心棒となり石臼を回転する^{1,5)}。また、縦型石臼(ph 32)では水平臼の真ん中を中心として垂直な石板をころがす。いずれも回転は石臼の中心へ棒を通す方式である。これらの伝統からヨーロッパの人々は「石臼は中心部へ心棒を通して回転させるものである」と思い込んでいると仮定すると、伝統の継承として中心部駆動方式が採用されていて不思議でない。

このヨーロッパ方式は高速回転が可能と言う利点を持つ。日本の方式では石臼の外周部に歯車を噛ませるので直径が大きくなればなるほど臼の回転は遅くなる。ヨーロッパの臼中心部回転方式では回転数は水車の馬力には依存するが臼の直径にはよらない。ヨーロッパでは営業用水車が中心であり、高速化の要求が強く、この構造が生まれたとも考えられる。日本で何故、この方式が生まれなかったのかは、次の様に予想される。第一には ph 38の手回し石臼の方式の借用である。手回し臼では石臼の外側に力を加えて回しており、水車駆動の石臼でも上側の石臼に取り付けた歯車でこれを実現している。この伝統的スタイルの踏襲は先に述べたヨーロッパの場合と同じ思い込みとして理解できる。さらに必要性の有無も関係すると考えられる。日本では高速回転の大型石臼は必要とされず、その結果、新しい回転方式を考え出す必要性も無く、初期の方式が継承され続けた。しかし最近では日本でも ph 39の様に中心部駆動方式を取り入れている石臼も見られる。

3.5 製粉原料供給装置

製粉の原料供給は ph 40, ph 41の様に石臼上部に逆台形の容器を設置し、容器の底から少しずつ原料を落とす方式で行われる。この方式は4ヵ国の多くの地域で見られ、原理的には ph 42に見られる日本と同じ方式であるが、原料の落ちる量を調節するには幾通りかの方式が見られる。いずれも石臼の回転と共に容器の底の穴が周期的に開いて麦が石臼の中へ落ちる仕掛け。ph 40では穀物原料が流れ出て来る斜面の傾きをハンドルで調節する。ph 41の容器はハンドルで鎖を上げ、容器の出口をふさいでいる扉の面積を増減する。いずれも出口前の黒い羽根付き鉄棒が臼の回転と共に回転し、周期的に出口扉を開閉する。二重の開閉機構で原料の通り具合が調節され麦は少しずつ臼へ落ちる。日本では ph 42の様に差し込み式木板を用いて扉の面積を調節している。

容器出口の扉の周期的開閉には日本では石臼の外周部の回転が利用されるがヨーロッパでは臼の中心を通る鉄棒の回転を利用する。これはヨーロッパのどこの地方でも同じである。原料は日本、ヨーロッパいずれも臼の中心から入れる。大型の営業用製粉石臼の場合は日本でもヨーロッパでも二階より導管を用いて原料を石臼へ入れている。

3.6 多様な歯車とプーリー

歯車とプーリーは世界各地で使用されてきた力伝達部品である。水車と駆動機械の間に設置される。ヨーロッパの木製歯車は以下に示すように種々の構造が見られ、日本とは大

きく異なる特徴を持つ。

放射状平歯車

日本の伝統的歯車は平歯車のみと言ってもよい²⁶⁾。ph 43に見る様に歯が胴に放射状に差し込まれている。力伝達は平歯車同士の噛み合いで行われるので、歯間のスムーズな接触の実現には技術を要する。ヨーロッパでも平歯車は使用されているが平歯車同士が噛み合う組み合わせを筆者は見た事がない。

ランタン歯車

ph 44の様に棒を円周上に並べ両端を円形板で支え、歯とする。ランタン（提灯^{ちようちん}）の形に似ているのでランタン歯車あるいは提灯歯車と呼ばれる。ヨーロッパの特徴的歯車であるが、日本では1台も見られない。特徴は歯が長い事にあり、他の歯車と接触する部分にゆとりが持てる構造となっている。結果として歯車の取付けには精度が要求されず設置も容易である。この事が歯車の使用を簡便にし、普及にも一役買ったと思われる。歯は両端で支えられているので噛み合いの力に対しても強い。力伝達は ph 44や ph 45の様に平歯車との組み合わせで行われる。さらに強度を増すため、両端の木製円板が鉄バンドで締められる作りとなっているものが多い。

垂直歯平歯車

ph 45の様に平歯車ではあるが歯は胴の中心方向に対し垂直に差し込まれている。歯の噛み合いに精度を要しない作りであり、平歯車であるにもかかわらず鉄バンドで胴を締められる構造にしている。さらに、大きな歯を取り付け、歯のかみ合う部分の面積を広く取り、歯間の単位面積に加わる力を減少させられる利点もある。この方式の歯車は中国でも見られるが、現在の日本で筆者が見たのは ph 46の岐阜県だけである。この歯車の構造がいつ、どこから、どの様な理由で岐阜県に伝えられたのかは定かでない。

木製プーリの構造は日本のプーリと余り変わらないがドイツでは ph 47の様な幅の細い板を数多く寄せ合わせて作ってあるものがあり、巧みな木の技術が伺える。

3.7 材 料 概 観

水輪の材料は日本ではほとんどが赤松だが筆者の調査ではイギリスではオークが主材料で、次に林檎、桃、栗、松等も用いられた。特に松は弾力に富むので羽根にはよく使用されると言う。水に強い点を松の特徴と捉える日本とは異なる木の評価である。フランスでは水受けには榎も使用され、また、アメリカではアメリカ黒松、黒トネリコ、榎、ぶな、杉などが用いられた^{1,2)}。いずれもその土地で採取される木材が使用されている。

軸受けには堅木、石材、真鍮、鉄材等が使用されている。これらは日本の場合と同じ。材料に関係した最も顕著な特徴は ph 8に見られる様な太い木材と鉄棒の使用である。太い木材に鉄バンドをはめる事により、加わえられる力が平均化されるので、木が耐え得る力が増す。また鉄バンドの幅が広くなればなる程、衝撃力も平均化され木の耐えられる力は

大きくなる。この事は産業に水車が本格的に適用されるには鉄材の併用が不可欠である事を暗示している。

歯車の材料は日本では胴が櫟か松、歯は櫟か樫である。イギリス・チチェスターでは林檎を用いるがヨーロッパのほとんどの地方ではオークが主流である。しかし、ヨーロッパの歯車材料の特徴は木の種類如何よりも鉄バンドの多用にある。歯車、プーリすべての部品に鉄バンドでの補強可能な構造が採用されているのは興味深い。この事により大出力が可能となり、工業への水車の適用が可能となったと考えられる。日本の歯車では鉄バンドの使用はその構造から難しい。

4. 日本では見られない動力源や水車駆動装置

水車に関係する装置の中で日本では見られないものとして ph 48 の様なクレーンがある。多くは図 3 の様に水車小屋の最上階に設置され、原料穀物の運搬や製粉された粉の貯蔵、また研磨のための石臼の運搬などに利用される。水車で鎖を巻き上げるタイプのクレーンもあるが人力による巻き上げのことが多い。

自然の河川やため池を利用した水車は最も普及した動力源であるが、ヨーロッパでは図 5 の様な潮汐を利用した水車や、水力の変わりにロバ、牛、馬などの動物を利用した ph 49 の様な回転装置も考案された。前者はフランス・ランス川で現在、発電用として大々的に行われ、さらに潮流水車へと発展してきている。後者はアニマルミルと呼ばれ、ロバを地面で歩行させ、取付け棒を回転させて石臼を回すタイプ。南方から渡来して来た砂糖絞りでは沖縄や奄美大島、徳島県などで牛による似た装置が使用されたが⁷⁾、それ以上の普及は見られなかった。「何事もまず人力」と言う日本の発想が動物利用の妨げになったと思われる。

動物の歩行が水平移動床や回転輪を動かし、心棒の回転を通して動力となるのが、アニマルミル^{27,28)}。ph 50 の装置は円筒の中に人間や動物を入れ歩行させて円筒を回転させるもの。この中にろばを入れるとドンキーミルと呼ばれる。日本では江戸時代には ph 51 の装置で人間が木製輪を回したが動物は利用されなかった。動物を教育し、人間に役立てると言うヨーロッパの姿勢は現在の看護猿や盲導犬などに引き継がれている

5. ま と め

ヨーロッパの水車技術について日本との比較の観点から、その差異を次の様にまとめる事ができる。第一は水車駆動機械の方式である。篩いを除いて、水車の各種作業は日本では直線往復運動による駆動機械以上の発展には至らなかったがヨーロッパでは回転運動による駆動機械を開発し、高速化や工業化への適用を可能にしてきた。これは社会の要請に答える対応と考えられ、「必要は発明の母」の重要性を示している。

第二の注目点はため池の採用である。これが水車の定期的運転を可能とし、幅広い用水

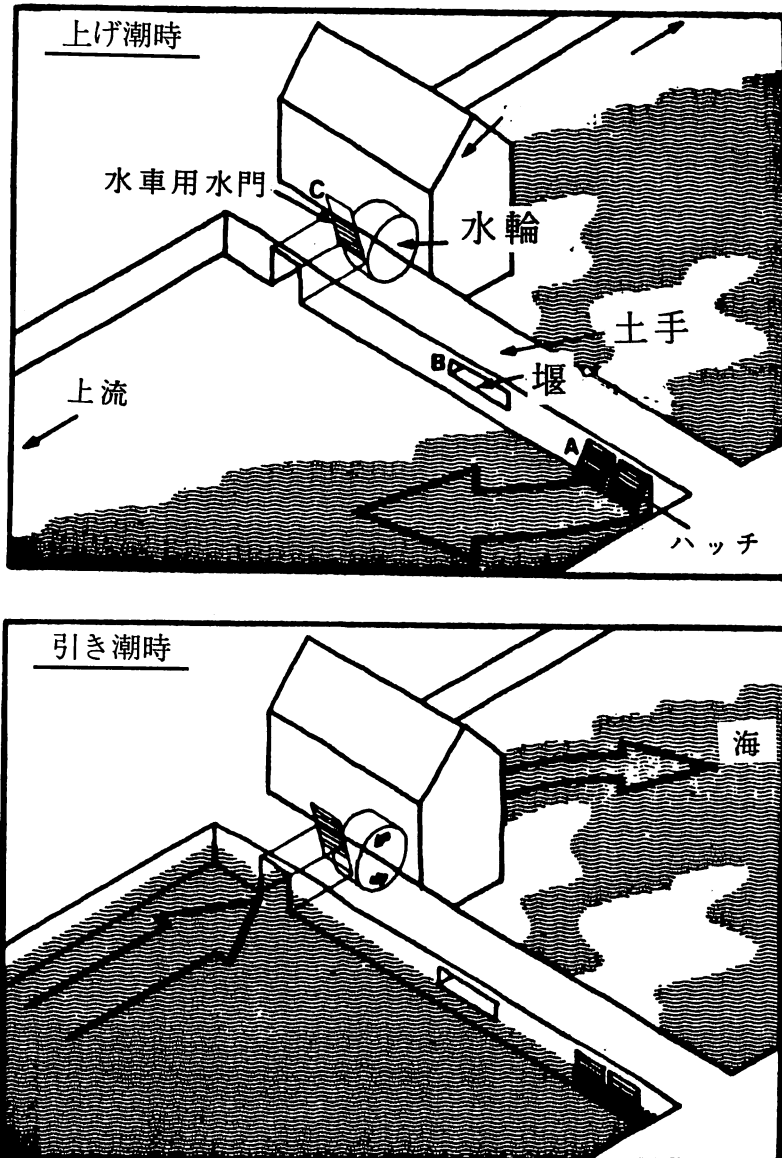


図5 潮汐水車 (from ref. 24)

- a) 潮が上げて来る時、土手右端のハッチが開き海水が潮汐池へ流れ込む。満潮になると堰まで水が貯まる。
- b) 潮が引き始めるとハッチは閉じ、水車への用水路の水門を開く。直径3.6mの水車が回り出す。

路の設置により、工業での活用条件を満たす事となった。定期的運転への努力は船水車を橋上水車へ発展させた過程にも現れている^{1,2)}。定期的運転を可能にする為にため池が考えられたのか、ため池が造られたので定期的運転が試みられたのかは明らかではないが、一つのきっかけが次の発展を促す要因になる一例と言える。日本では自然の流れや田への用水の利用で水車を回したので、大水や稲の栽培時には使用出来ない時さえあった。このよ

うな状況下では定期的運転への思考は育たなかったであろう。

第三は水輪と歯車の構造である。ヨーロッパの水車駆動装置が直線運動から回転運動へと変換し、高速運転を目指した。その結果、水輪は高速回転に適する構造へと変換し、日本では見られない多くの種類のハリの組み方や底板、側板の省略、ハリの底板への取り付け方式などが出現したと言える。日本では放射状のハリの組み方しか生まれなかったが、大型歯車には ph 52 の様な井桁状ハリが採用されているので、何故このハリの方式が水輪に適用されなかったのかは不思議である。考えられる理由としては「水輪のハリは放射状であるべき」との思い込みが指摘される。この思い込みは 3.4 章で指摘した様にヨーロッパと日本での石臼の駆動方式の違いにも見られる。井桁状ハリの歯車への適用は思い付くが水輪への適用は思い付かなかった事になる。

産業での大出力や高速化への対応には水輪や歯車への太い木材の使用が考えられた。さらに水輪、杵、歯車、プーリ等に鉄バンドの採用が促進され、大出力が可能になったと考えられる。高速回転下では歯車などの回転部分に振れを生じ易い。特に厚みの薄い歯車では振れが大きくなり、歯車同士をきっちり噛み合わせる事が技術的に難しくなる。このような状況下での対策としては、噛み合わせを精密化する技術を持つか、逆に、振れが生じても噛み合いが外れない機構を考えるかの 2 通りの方法が考えられる。ヨーロッパでは後者が指示されたと言える。その結果、歯間の接触面積の広い歯車が出現した。これは現代の笠歯車やウォームギヤへもつながるものであろう。似た状況が石臼にも見られる。直径の大きい強度の強い石臼を作るには適当な一枚板の石板が必ずしも見つけれられない。そこで小さな石板を鉄バンドでつなぐ方式が考えられたと思われる。

一方、日本の歯車技術は歯のゆるみの少ない構造や歯車間の精密な取り付け方式へ向けられたが、結果として単一構造の歯車や石臼駆動方式しか生まなかった。水車の高出力への対応も日本では使用材料の選択に関心が向き、構造の転換には向かなかった。この様に発想の転換が見られず、今までの技術の方向での先鋭化で問題を解決しようとする傾向は現在の日本の科学技術にもよく見られる。この傾向が生ずる原因は既に述べた「思い込み」の他に、次に述べる封建的社会状況とも関係する。現代の科学技術の発展に際してはこの傾向を大いに意識しなくてはならないのでは無からうか。

第四に社会状況との関係を上げる。ヨーロッパの独立貴族の社会では互いに生産力が競争となり、水車の採用を活発にした。これが水車技術の発展となり産業革命を生じさせた。一方、徳川家独裁による封建制では自由な競争は抑えられ、結果として水車の発展も止められてしまった。中世のままの技術状態で 19 世紀を迎える事となる。一つの技術への自由な考えや対応が次の技術の発展を生み、さらなる発展へと導くので最初のきっかけの差がますますの差を生む。日本の閉ざされた封建制とヨーロッパの自由競争下での封建制の差が技術の大きな違いを生んだと見られる。

もう一つの社会的要素として人口の大小が上げられる。これは風土とも考えられるが、

既に述べた様に、人口の少ないヨーロッパは多くの水車駆動の機械を生み、日本には存在しなかった装置、例えばクレーンを生んだ。人件費が安い状況下で、「諸作業は人間がやるべきである」との考えが一般に浸透している状態では、人力の代理装置は生まれにくい。日本の精米作業では、米の臼からの出し入れや運搬が重労働だが、この様な労働の軽減化への工夫はほとんどなされてこなかったのも、その一例であろう。また、動物を利用するアニマルミルの一種である ph 49 の様な動力源も日本には広まらなかった。「動物の力を利用するより人力を利用した方が手っとり早い」と言う一般の認識と関係があったと思われる。

以上の様に水車の使用形態や構造の技術史的差異をたどってみると、水車の多用が社会に新しい技術の要求を生み、この要求が水車に新しい構造や方式を生み出し、大量生産、高速運転に耐える技術を作り出した。水車により高速化と大量化の性能を与えられた駆動機械は動力源を蒸気機関に変えられ、産業革命と呼ばれる花を開いた。この事は初期のわずかな技術の差がその後の大きな発展の差につながる事を教えている。各種の構造や方式を生み出す要素は自由な発想が可能な社会状況や伝統、風土などであり、思い込みや決め付けは新しい方式を生まない。この様に考えると中国の伝統技術の未発達理由や現在のコンピュータ技術の発展なども社会状況が作り出したと言えるのかも知れない。

謝 辞

ヨーロッパでの調査のきっかけと資料の情報を頂いたドイツ・マールブルグ大学日本研究センター所長 Ehrich・Pawer 教授、イギリスでの現地調査にご協力頂いたサンダーランド大学 Mike, O'Carolle 名誉教授、ランカスター大学物理化学科 Keith, Wigmore leader、イギリスのデータ収集にご尽力頂いた岡山理科大学機械工学科・助台栄一教授、フランスから情報を寄せて頂いた, Gondo. Lescaiet. Haruko 氏に心から感謝し、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) T. S. Reynolds, "Stronger than a Hundred Men" (The John Hopkins Univ. Press, 1983), 訳: "水車の歴史", 末尾至行, 細川胡延, 藤原良樹 (平凡社, 1989).
- 2) R. J. Forbes and J. E. Dijksterhuis, "A History of Science and Technology" (Penguin Books, England, 1963) 訳: "科学と技術の歴史", 広重 徹, 高橋 尚, 西尾成子, 山下愛子 (みすず書房, 1997).
- 3) J. Needham, "Science and Civilization in China", (1965, Cambridge) 訳: 東畑精一, 薮内清, 協力: 王鈴 "中国の科学と文明" (思索社, 1978).
- 4) 吉田光邦「機械」第一章 (法政大学出版, 1974).
- 5) 李家正文 "水車思考" (雪花社, 1985).
- 6) 前田清志, "日本の水車と文化" (玉川大学出版部, 1992).
- 7) 前田清志 "日本の水車発達史" (黒岩俊郎, 玉置正美, 前田清志編「日本の水車」ダイヤモンド社, 1980)

- 及び出水 力, “水車の技術史”, (思文閣, 1987).
- 8) John Vince, “Discovering Watermills” (1968, Shire Pub. LTD., Great Britain).
 - 9) John Vince, “Discovering Windmills” (1968, Shire Pub. LTD., Great Britain).
 - 10) Guide des Moulins en France, (Ed. by Pierre Horay, 1992, Les Presses de l'imprimerie Herissey, GmbH & 10K&G Paris).
 - 11) F. H. Sonnenschein, “Museumsführer Westfälisches Freilichtmuseum, Technischer Kulturdenkmale Hagen” (Deutscheland, 1987).
 - 12) Freilichtmuseum, Neuhausen ob Eck (Landkreis Tuttlingen, März 1991).
 - 13) Dieter Kauss, Willi Sauer and Reinhold Mayer, “Guide in Colour to the Black Forest Open-Air Museum “Vogtsbauernhof in Gutach” (Kunstverlag Edm von König-Verlag, Heidelberg), 2nd ed. (1991).
 - 14) Ländliche Bauten aus dem Fränkischen Württemberg (1991), Hohenloher Freiland Museum.
 - 15) “Guide Netherlands Open Air Museum Arnhem” (Uitgeverij Special Images B. V., Deventer, the Netherlands, 1993).
 - 16) 例えば若村国夫, 岡山理科大学紀要22号B (1987) 149.
 - 17) “La Sarre au Lil de l'eau, Saarbourg” (France, 1992).
 - 18) Weald & Downland Open Air Museum Guide Book, Ed. by R. Harris, Singleton, West Sussecs (1967) (division of the Nationals Trust Southland).
 - 19) 例えば, 小林嬌一 “紙の今昔” (新潮選書), 新潮社 (1986).
 - 20) C. White, “Preston Mill & Phantassie Doocot” (1997, The marketing and public affairs).
 - 21) A. R. Braunburg, “Shöne Alte Wassermühlen” (Franz Schneekluth Verlag, 1985).
 - 22) Wilfred R. B. Foreman, “Oxfordshire Mills” (1983, Phillimore & Co. LTD., Sussex).
 - 23) J. K. Major, “Heron Corn Mill” (The Heron Corn Mill-Beetham Trust, England).
 - 24) Eiling Tide Mill Information Book (Eiling Tide Mill Trust and AURORA Environmental Services, Southampton, 1987).
 - 25) J. Vince “Watermills and how they work” (Sorbuns, 1973).
 - 26) 前田清志, 玉川大学工学部紀要19号 (1984) p. 129及び20号 (1985) p. 125.
 - 27) J. K. Major “Animal Powered Machines”, (Shire Pub. Ltd., Great Britain, 1985).
 - 28) M. Watts, “Corn Milling” (Shire Pub. Ltd., Great Britain, 1983).

Comparison of Technology for Water Mills in Europe and Japan

Kunio WAKAMURA

Department of Applied Science

Okayama University of Science

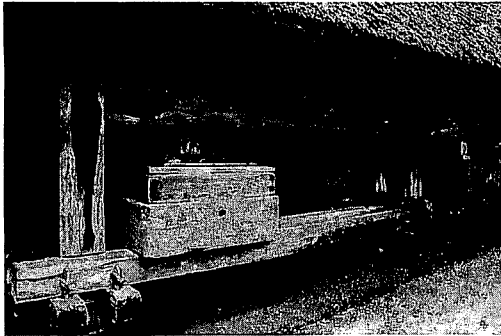
1-1, Ridai-cho, Okayama 700-0005, Japan

(Received October 5, 1998)

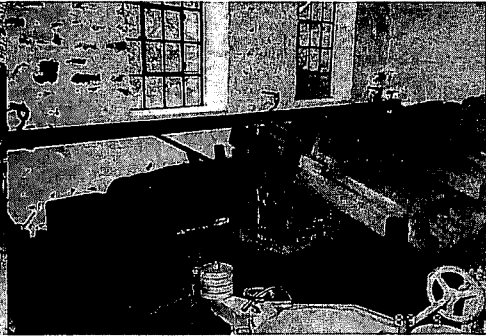
We research the technology of water mills in Great Britain, Germany, French, and the Netherland by measuring the size of water wheels and by interviewing the usage and the materials of those. Many photographs about the mechanical parts are introduced. For these water mills, we find various different points from those of Japan, for example, the wide width of water wheel, several methods composing the rims of water wheel, the shaft of rotation at the central position of stone mill, the setting of pond for supplying water, no plates at the side and the bottom of waterwheel, the wooden shaft covered by steel bands. For quick moving and mass production, the operation of the equipment with rotational movement is employed in Europe but that with reciprocal motion is in Japan.

In comparison of these data with those in Japan, we suggest a single idea for the technology in Japan against various ideas in Europe. The cause of this difference is attributed to the social system, the cultural climate at the district and the historical and traditional aspects, most of which are combined with the situation giving freely various thoughts. The necessity and the requirement for the technique support the development of technology. A strong holding for an idea is not appropriate for the development.

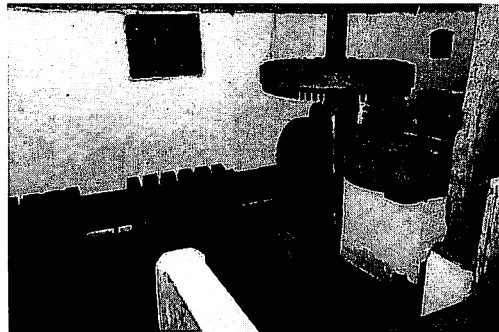
注：説明文では各国を次の文字で示す。UK：イギリス，G：ドイツ，F：フランス，N：オランダ



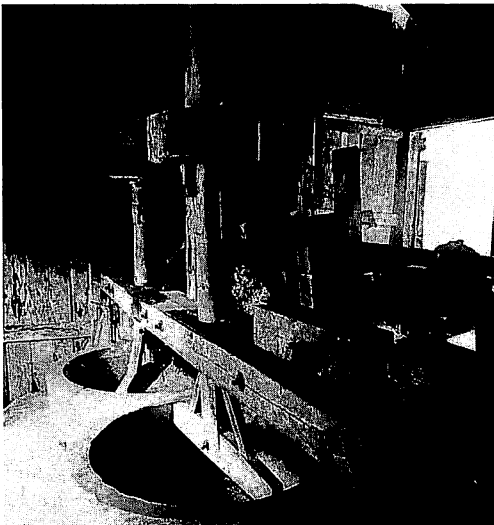
ph 1 加圧抽出 (G・グータッハ)
水平に渡した長い木棒の下に袋を入れ、木製ネジを回して水平棒を下に下げ、挟んだ原料を圧縮する。人力によるネジ式圧縮装置は鐵の他、油やぶどう酒の原料絞りなどにも使用された。



ph 2 水車駆動の製紙用横型杵 (G・ハーゲン野外博物館)
右が杵棒の支点、向こう側の丸棒が水車心棒。手前にピータが見える。



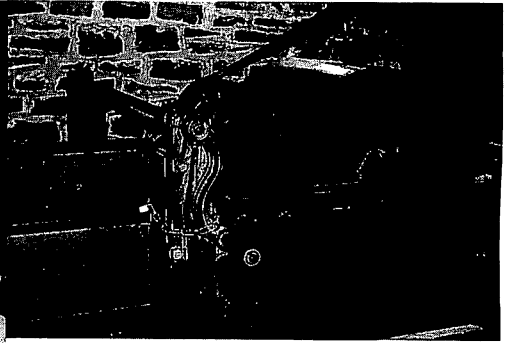
ph 3 水車駆動製紙用横型杵 (N・アーネム)
ドイツと全く同じタイプの杵である。杵棒は短い杵を上下動するだけなので幅の細い材料が使われている。水車が杵とピータを駆動し、右側の桶内のピータが歯車で高速回転される。日本と同じ方式である。



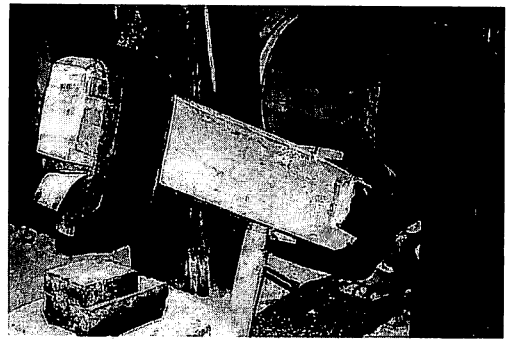
ph 4 日本の製紙用縦型杵 (京都府黒谷)
水車心棒に取り付けた井桁状羽根が杵の中間の円柱部に下から当たる。杵は上下動と回転とを同時に行い、白の中の楮や三桎をたたく。



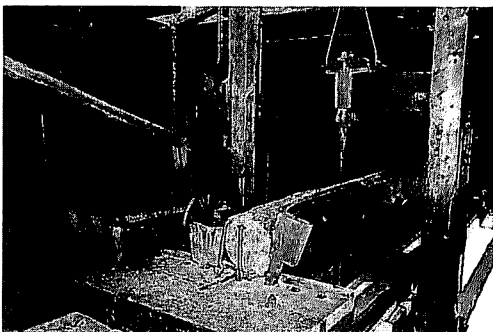
ph 6 日本のホランダーピータ（岡山県新見市）
ベルト駆動の円筒歯で木皮の繊維を粉碎する。カバーは木製，ピータはコンクリート製。



ph 5 ドイツのホランダーピータ（G・ハーゲン）
ベルト駆動でピータを回す。ハンドルによるピータの位置の上下動，木製のピータカバー，いずれも ph 6 の日本と全く同じ方式である。



ph 8 鉄棒使用の杵（G・ハーゲン）
太い杵（30×15cm 角）に肉厚（5cm）の鉄バンドがはめ込まれている。太い水車心棒にも突起付き鉄バンドが巻かれ，これが杵を上下動する。



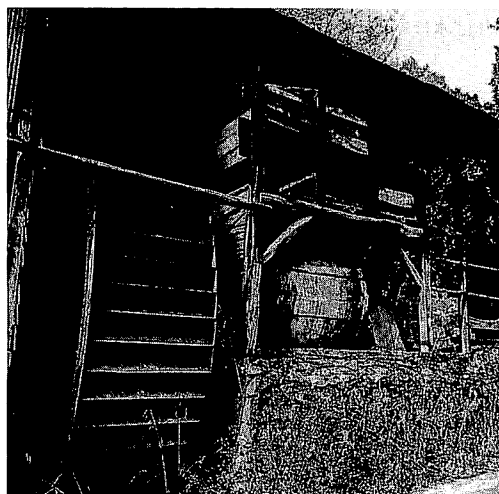
ph 7 長鋸を駆動する上げ水車（G・テュットリンゲン，鋸幅10cm，長さ1.8m）
床下の歯車が直径3.5m，幅60cmの水車からの力を伝える。図1の機構で回転運動が直線運動へ変えられる。鉄製水車心棒は直径12cm。



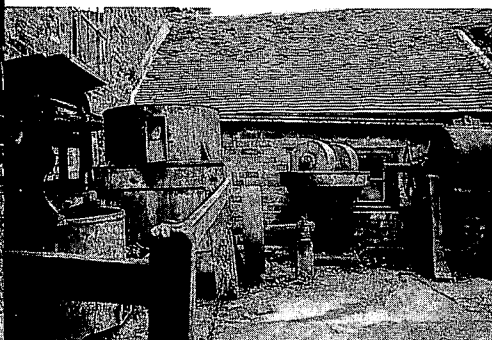
ph 10 縦型搗き杵による陶土の粉碎（愛知県瑞浪市）
長さ2.5m, 10cm角の木製搗き杵により
陶土が粉碎され、日本の伝統的焼き物に
適した角の取れた土を作る。

ph 9 水臼による陶土の粉碎（大分県皿山）
太い木製棒（25×30cm角、長さ5m）の一端に
溝を掘り、水を満たしてシーソーの原理で他端
の杵を上下動する。

ph 12 日本のトローンミル（岐阜県釜土町）
直径1m, 長さ1.5mの円筒容器が直径4.8
m, 幅1mの大型水車により歯車を介して
高速回転される。



ph 11 陶土粉碎用トローンミル（UK・ストーク・オン・トレント）
ウェッジウッドやロイヤルドルトンの陶器
メーカーのある土地。右端に見える円筒容器
（直径1m, 長さ1.5m）は日本と全く同じ
形のトローンミルである。





ph 13 横型水車

(UK・インバネス, Kingssee Folk Museum)
羽根の長さ45 cm, 胴の直径15 cmの水車は桧材で作られている。右より水が入り, 羽根を回した水は左へ流れ出る。上下の石臼の直径は各々80 cmと100 cm, 厚み15 cmと20 cmであり, 上側の石臼が回転する。



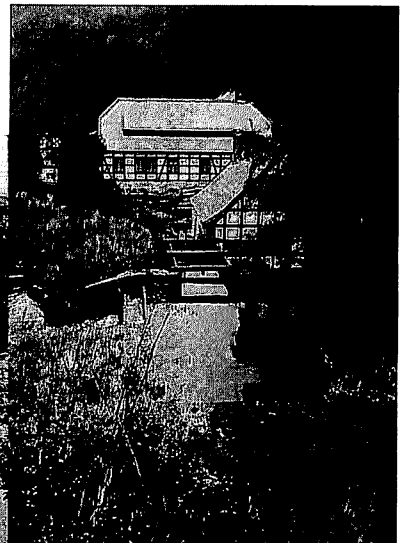
ph 14 ヨーロッパの典型的製粉水車の模型 (N・アーネム)
一階に水車, 心棒と直結する歯車, 二階に製粉用石臼, 三階にはクレーンと穀物庫が配置されている。

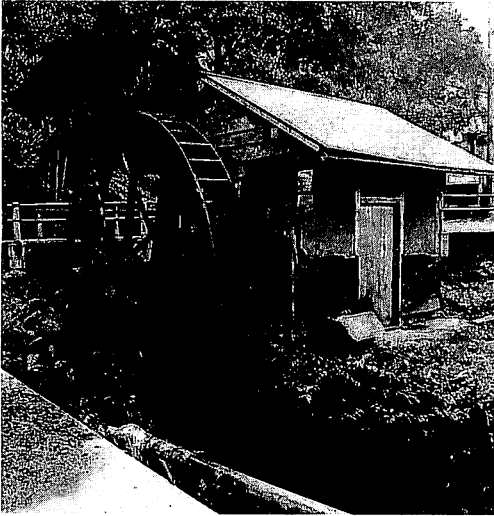
ph 16 水車用ため池 (G・ハーゲン)

川的一端をせき止め, 水車へ水を導く。必要の無い時には用水路入り口の扉を閉めれば, 水は川へそのまま流れ出る。

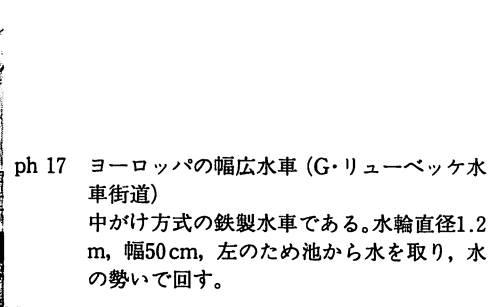
ph 15 水車用ため池 (UK・湖水地方)

川をせき止め池を作っている。左の戸を開ければ水は用水路へ流れて水車を回す。





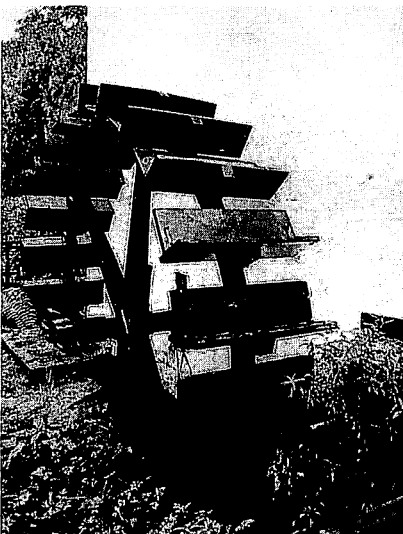
ph 18 日本の底板無しの水車（鳥取県淀江町）
直径3.8m, 幅35cm の下がけに近い中がけ
木製水車である。水の勢いで回すので、底
板が取り付けられていない。



ph 17 ヨーロッパの幅広水車（G・リュベッケ水
車街道）
中がけ方式の鉄製水車である。水輪直径1.2
m, 幅50cm, 左のため池から水を取り、水
の勢いで回す。

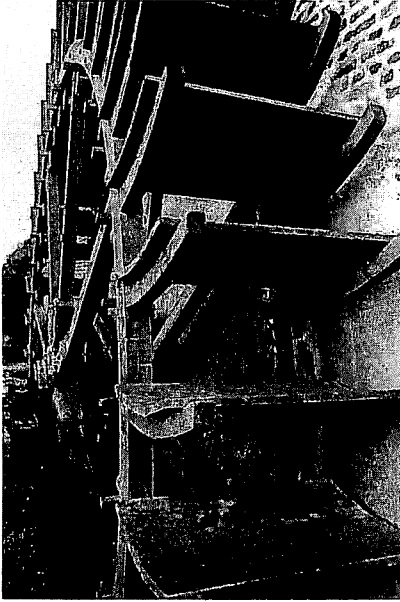


ph 20 側板の無い水車（UK・ハインラ
ンド・エルデン）
直径2.8m, 幅35cm の円形枠の
上に水受け用の底板とハネ板の
みを張ってある。ハリは鉄, 羽
根は木製である。



ph 19 ヨーロッパの浅い杓（N・アーネム）
底板が外周と一致する程浅い杓である。直径1.8m,
幅約80cm。





ph 22 曲率を付けたハネ板 (F・セント
オマー, 直径 5.0m, 幅60cm)
円形の枠に弧の付いた腕を張り
出し, これに沿ってハネ板を載
せる。底板と側板が無い。

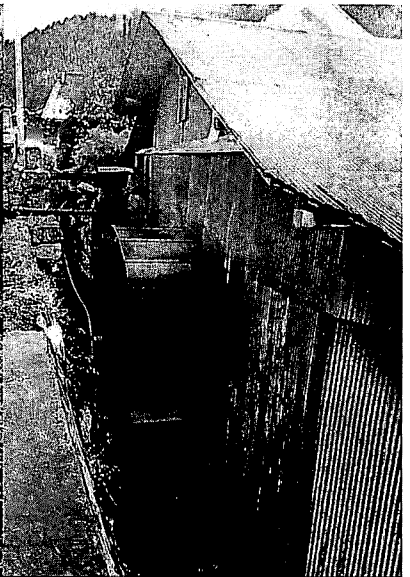


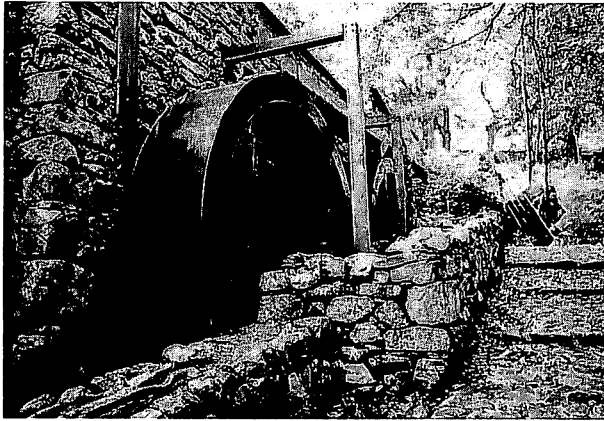
ph 21 底板, 側板の無い水車 (UK・イースト・リントン,
直径 3 m, 幅70cm)
1749年には水車が動いていたと言う土地。両側に円
形枠を儲け, 底板と30枚のハネ板のみを取り付けて
ある。心棒は木製で16cm 角。

ph 23 ペルトン水車 (山梨県大月市)
土管から一気に左下のおわん状水受けに水が当てら
れ, 直径100cm の水輪が高速回転を行う。



ph 24 日本の幅広水車 (岡山県新見市)
直径2.8m, 幅50cm 中がけ鉄製
水車。幅の広い水車だが底板と
側板とが付けられている。

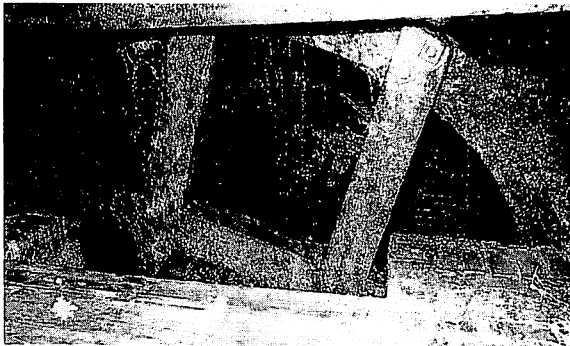




ph 26 幅の狭い水車 (UK・湖水地方)
直径 4 m, 幅50cm の上げ製粉水車。上流の川から
水を引いている。ハリは鉄, 羽根は木製。

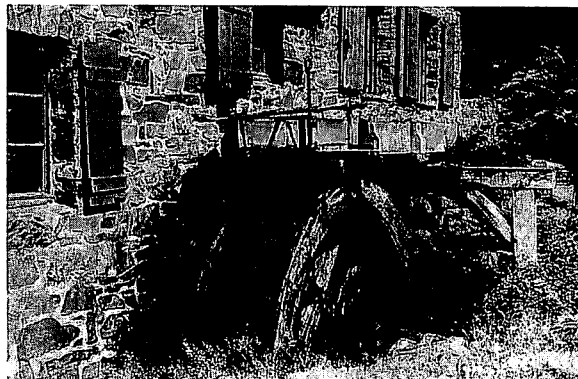


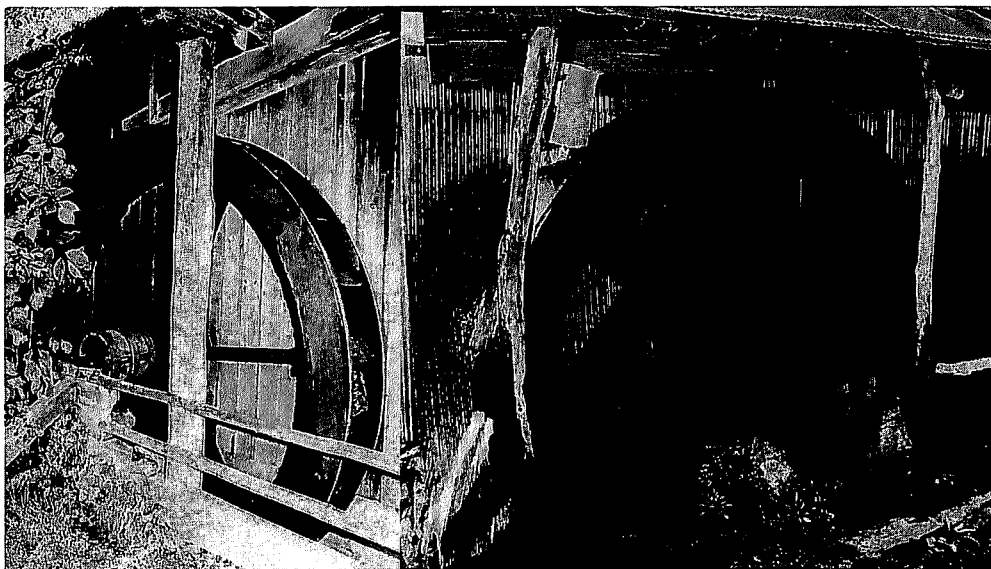
ph 25 幅の狭い水車 (G・ヴァッケル
ショーフェン)
直径3.8m, 幅60cm の製材用
上げ水車。鉄製の心棒, 10
本のハリ, 鉄と木の折衷水車
である。



ph 27 井桁状ハリ (N・アーネム)
木製水車。井桁状ハリが水車心棒
をがっちり挟み, 水輪の側板に取
付けられている。

ph 28 井桁状ハリ (G・ブレンシャイデル)
井桁状ハリは水車心棒を挟んで水
輪の底板に差し込まれている。上
がけ木製の油原料粉碎水車。家
の中から用水路の落とし戸を上げ下
げできるのがわかる。





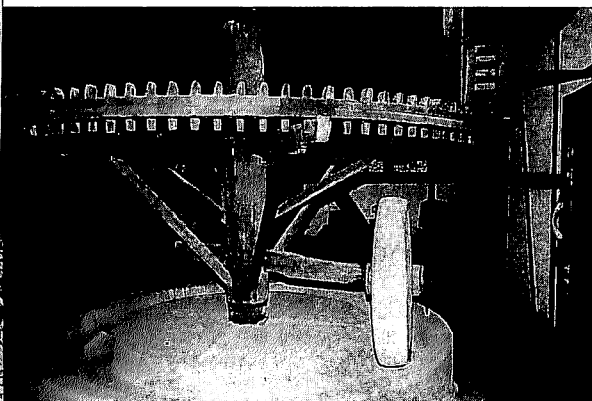
ph 30 放射状単ハリ (G・シュバルツバルド)
ハリの一端は胴へ差し込まれ、他端は底板を下から支えている。水輪の直径4.2m、幅35cm。

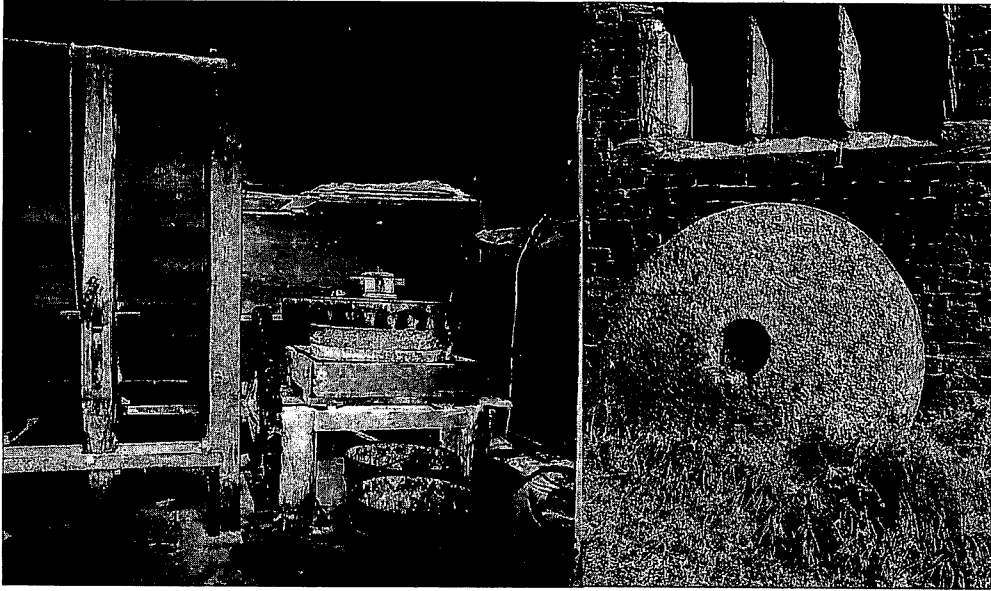
ph 29 日本の井桁状ハリ (徳島県黒長谷)
直径3.2m、幅28cm の木製上げ水車。大、小、二つの井桁状ハリが水車心棒と放射状ハ리를強固に結び付けている。

ph 31 放射状平行ハリ (G・シュバルツバルド)
角型の2本の木を平行にしてハ리를造っている。ハリの一端は胴へ、他端は底板へそれぞれ差し込まれている。水輪の直径3.8m、幅40.0cm。



ph 32 縦型石臼 (G・グータック)
直径5m の歯車の心棒から長さへ80cm の腕を出し、先端に垂直石板を取付け、水平石臼の溝に沿って転がす。





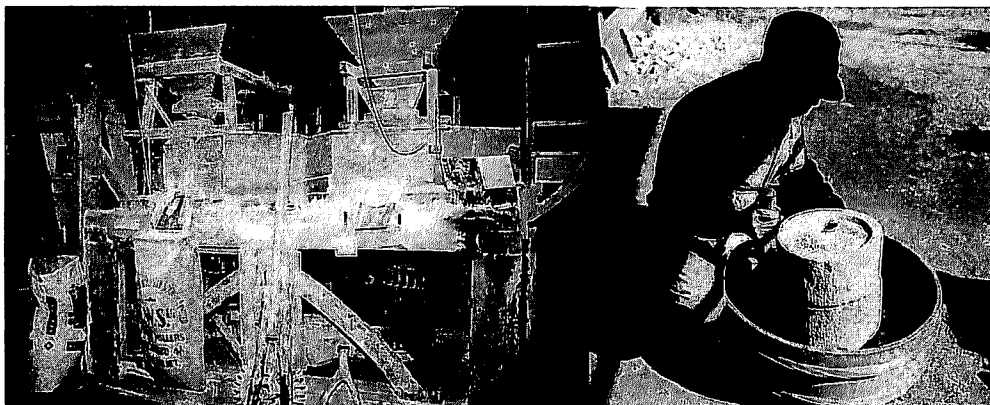
ph 33 日本の横型石臼（長野県上松町）
取付けた歯車により、上側の石臼が水平に回される。

ph 34 一枚板の大型石臼（UK・マンチ
ェスター）
直径1.4m、外径厚み17cmの大きい石臼。刻み込まれた目の文様は日本と似ているが、臼の中央の回転子取付用の鉄爪は日本では見られない。

ph 35 組み合わせ石臼（UK・ストーク・オン・トレント）
小さい石を集め、外側から鉄バンドで締めて厚み30cm、直径2.5mの石臼を作っている。

ph 36 中心部石臼駆動機構（G・ブレッカーフェルド）
木のカバーで覆われた3台の石臼。1階に設置された歯車心棒が臼の中心を下から通って上側の石臼を回すので臼の周辺部はすっきりしている。ph 33との違いがわかる。

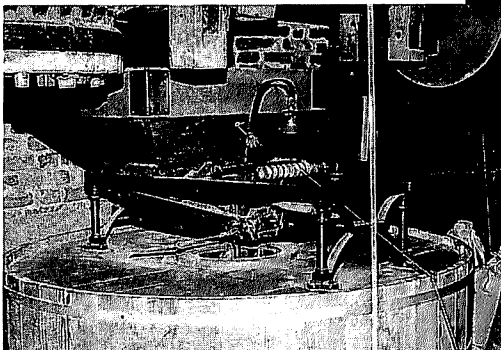
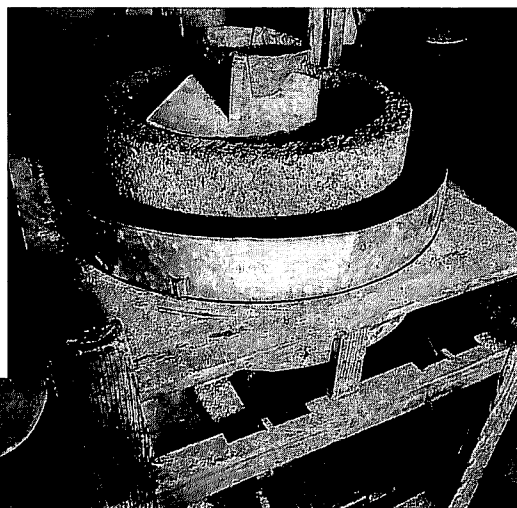




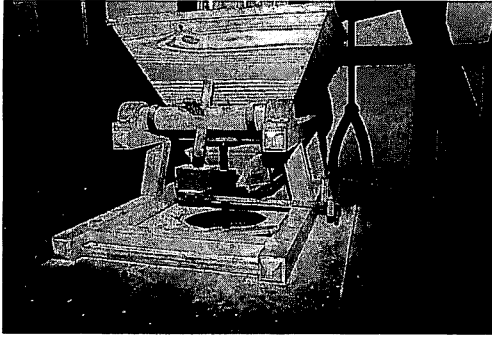
ph 37 中心部石臼駆動機構 (UK・湖水地方)
製粉用回転石臼4台が図4のメカニズムで臼の下から回される。上側の石臼が回わり、粉は手前へ取り出される。

ph 38 日本の手回し製粉用石臼 (直径約40cm, 厚み20cm)
上側の石臼の外周部に力を加えて回している。

ph 40 イギリスの原料供給調節装置 (UK・チチェスター)
容器底の皿の傾きを調節して、穀物原料の出具合を調節する。皿底の穴を周期的に開閉する回転棒が取り付けられている。



ph 39 日本のヨーロッパ式石臼駆動機構 (鳥取県岩美町)
上側の石臼に歯車を取り付けられていない。臼台の下に見える鉄棒で臼の下から上側の石臼を回転する。

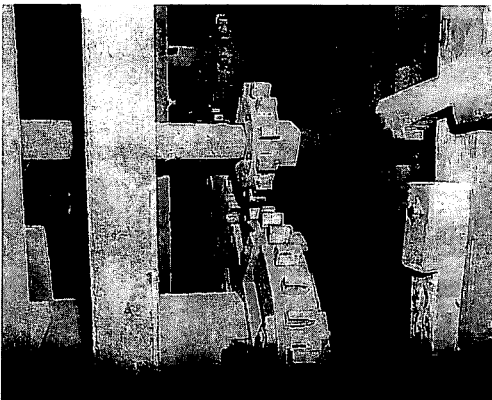


ph 41 原料供給調節装置（G・水車街道ミンデン）
木のハンドルを回して穀物原料を受ける皿の傾きを調節して、容器底の出口穴面積を調節する。出口には臼の回転と共に周期的に開く扉が取り付けられている。

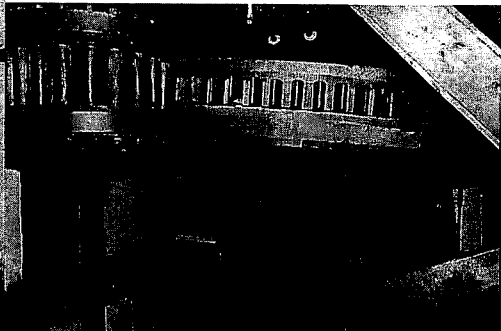


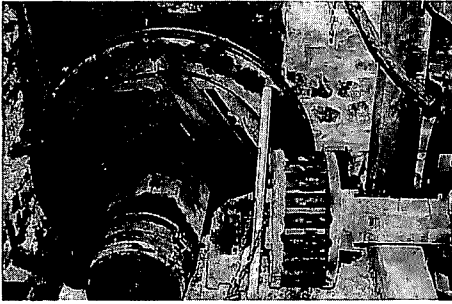
ph 42 日本の原料供給調節装置（長野県上松町）
石臼の中心の穴と、容器底の穴の位置とが少しずれている。臼の回転により二つの穴が一致したときのみ穀物原料が下へ落ちる。出口には差し込み式ふたが設けられ微少調節が行われる。

ph 43 日本の平歯車同士の噛み合い（茨城県八郷町）
小歯車、大歯車ともに歯は胴の中心方向へ差し込まれている。



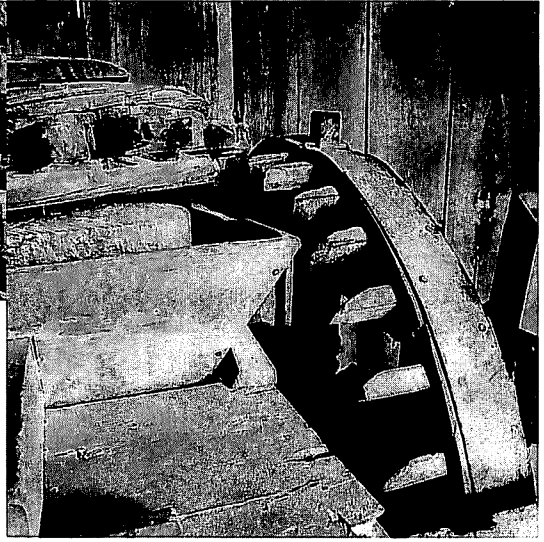
ph 44 ランタン歯車と平歯車の噛み合い（ヨーロッパ）
上の部分ではランタン歯車と平歯車とが噛む。下ではランタン歯車と垂直歯平歯車とが垂直に噛み合う。ランタン歯車はいずれも鉄バンドで補強されている。





ph 45 垂直歯平歯車とランタン歯車（ヨーロッパ）

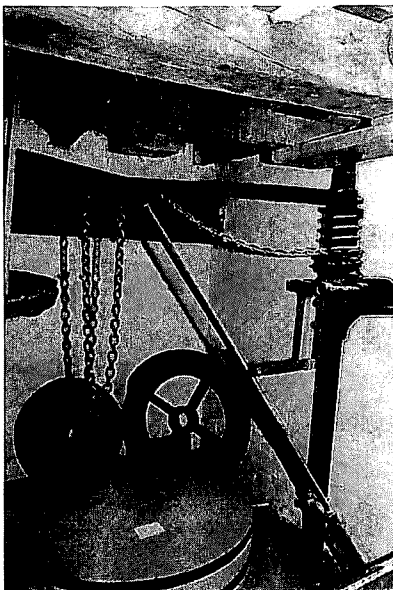
正面を向いている歯車は歯が胴に垂直に差し込まれていて、これと垂直にランタン歯車が噛んでいる。



ph 46 岐阜県の垂直平歯車（直径80 cm）

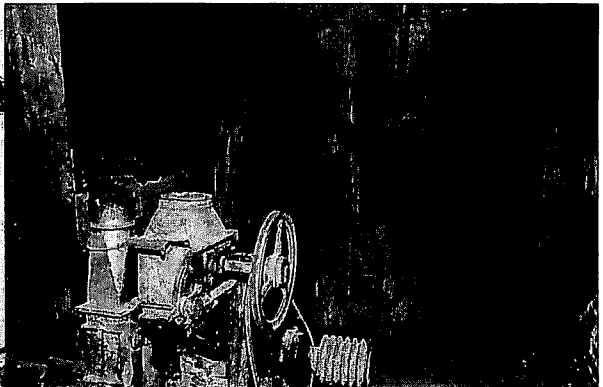
歯車の胴に垂直に歯が差し込まれ、左上の白に取り付けた歯車と噛む。白歯車は胴の中心方向に歯が差し込まれている。

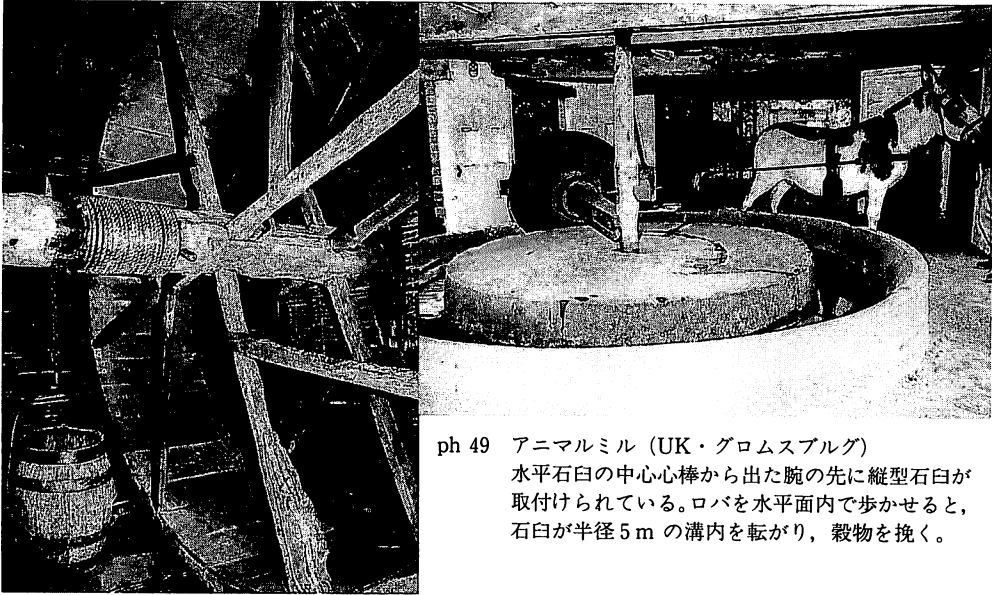
ph 48 水車小屋設置のクレーン（UK）
右のハンドルを人力で回し、鎖を螺旋状の筒に巻き付けて使用する。石臼の研磨時や交換時に使用する。また、腕の位置を回転し穀物の運搬にも使用出来るよう工夫されている。



ph 47 木製プーリ（G北部・ミンデン）

直径1 m～1.5 m, 幅15 cm 程の木製プーリ。幅3 cm 程の木板を寄せ集めて作られている。





ph 49 アニマルミル (UK・グロムスブルグ)
水平石臼の中心心棒から出た腕の先に縦型石臼が
取付けられている。ロバを水平面内で歩かせると、
石臼が半径5 m の溝内を転がり、穀物を挽く。

ph 50 人力動力源 (UK・チチェスタ)
井戸から水を汲む装置。直径約4
m の円筒の中に人間が入り、歩行
をすると円環が回転し、鎖縄が心
棒に巻き付いて樽を井戸から引き
上げる。

ph 52 木製歯車の井桁状ハリ (栃木県今市市)
井桁状ハリは直径3.8m、ハリ幅40cm の歯
車の胴を内側から支え、同時に中車心棒を
挟む。

ph 51 日本の人力動力源 (滋賀県栗東町)
江戸時代に使用された石臼駆動装置である。
直径5m の竹製円筒の中を人が四つんばい
で歩くと、木製の円環が回転して、歯車を
介して左の製薬用石臼が回転する。

