

ショベル系の開発と変遷史

岡本直樹

ショベル系掘削機の開発と変遷を紹介する。ショベルの開発は、まず、産業革命以前の16世紀から蒸気ショベルの時代に発明された各種ショベルの代表を示す。次に戦前の日本で使われた輸入ショベルと国産化、戦後の状況、そして油圧ショベルへの変遷である。マイニングショベルでは、ストリッパとしてのストリッピングショベル、ウォーキングドラグライン、積込機としてのケーブルショベル、超大型油圧ショベルを紹介する。

キーワード：建設機械史、土木史、土工機械、ショベル系掘削機、蒸気ショベル、油圧ショベル

1. はじめに

ショベル系掘削機の原形となる各種ショベル（ドラグライン、クラムシェル、バックホウ、ディッパ等）は、近世に考案され、人力や馬力で動かされていた。産業革命により、蒸気機関を搭載した蒸気ショベルの時代に入り、各種ショベルの動力となり、改良を重ねて全旋回ショベル等が開発され、更にクローラ化、内燃化、大型化へと進んだ。戦後は油圧ショベルが開発され、ケーブルショベルに代わりミニショベルから1,000t級のものまで幅広く利用されている。マイニングショベルでは、まだ超大型のケーブル系が稼働している。



図-2 1578年の浚渫バケット

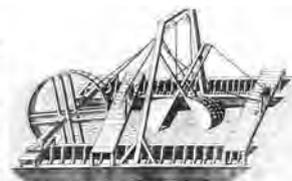


図-3 1591年のクラム



図-4 1726年のディッパ

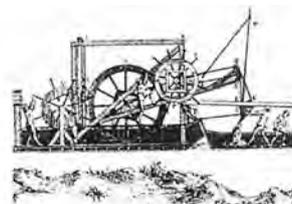


図-5 1744年のバックホウ

2. ショベルの開発

(1) 産業革命以前

ショベルの開発史を遡ると、1500年頃にレオナルド・ダヴィンチが5つ以上の掘削機を考案したスケッチ（図-1）を残している。1578年にはJ.Bessonが人力浚渫用バケット（図-2）を、1591年にはVenetian Fausto Veranzioがフローティングクラムシェル（図-3）を考案している。1718年になるとBalme（仏）

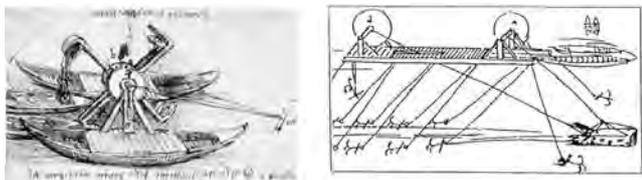


図-1 ダヴィンチの掘削機 1500年頃

が10人掛りの人力ディッパ浚渫船を開発し、1734年には大型馬力バケットラダー浚渫船がアムステルダムに出現している。1726年にはDuboisが底開き掘削ディッパ（図-4）を考案し、最初の実用的な人力バックホウ（図-5）をMacary（仏）が1744年に造っている。そして1753年には、Belidorが実用的なトレッドミル動力の掘削機を造った。

(2) 蒸気ショベルの時代

蒸気機関は、18世紀に入って炭坑の揚水に利用されていたが、1781年にワットがピストン運動を円運動に転換させた。この発明が動力革命を引起こし、産業革命の原動力となる。掘削機への応用は、1796年に4本アームのディッパ浚渫船に利用され、1807年には蒸気バケットラダー船に搭載してテムズ川を浚

渾した。ラダーエキスカベータは、1827年にP.Valcourt (仏) が特許を取得しているが、実機は1860年にA.Couvreuxが開発して、スエズ運河に投入した。

そして、初の蒸気ショベルは、W.S.Otisが1836年に革命的機構の“Yankee Geologist”(図-6)を発明した。しかし、7台を製作して3年後に僅か26歳で夭逝したため、その後開発は停滞してしまう。全旋回蒸気ショベルは、Ruston(英)が1874年に特許を取り、初の実機はWhitaker(英:写真-1)が1884年に開発してマンチェスタ運河工事に投入した。J.H.Wilson & Co.(英:写真-2)もライバルとして全旋回ショベルを1887年に販売し、マンチェスタ運河工事で他の96台の蒸気ショベルと共に稼働した。米国での初の全旋回ショベルは、1886年のOsgood Shovel No.6である。O.C.Thewの全旋回式ショベル(写真-3)は、1895年に登場する。

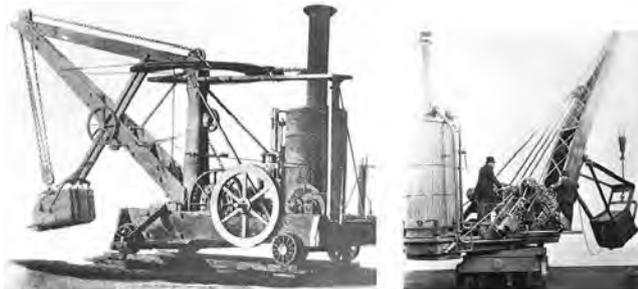


図-6 Otis 蒸気ショベル 1836

写真-1 Whitaker 1884



写真-2 Wilson 1887



写真-3 O.C.Thew-O 1895

蒸気クラムシェルは、1875年に2本チェーン式をW.D.Priestmanが考案した。このため戦前の日本では、プリストマンがクラムシェルの代名詞となっている。1896年になるとプリストマンを改良した2ドラム式の特許をMenk & Hambrock's(図-7)が取っている。

初の蒸気バックホウ(写真-4)は、1896年にVulcanが開発するが、実用化には更なる改良が必要であった。初のドラグラインは、1885年のOsgood No.15(図-8)であるが、現代ドラグラインの原形となると1904年のJ.W.Pageのドラグライン(写真-5)と言える。



図-7 Menk 1896



写真-4 Vulcan 初のBH 1896

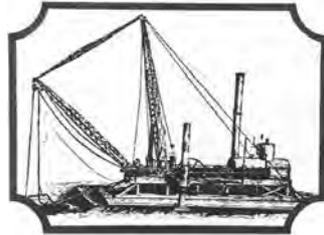


図-8 Osgood No.15 1885



写真-5 J.W.Page 1904



図-9 Hetlesaeete 1900



写真-6 Atlantic 1902

ハイドロリックの最初の試験は、1887年にRustonが蒸気圧で行っているが、Olaf Hetlesaeeter(米)が1900年前後にバックホウに一部ラムシリンダ(図-9)を取付けた実験を行っている。

W A Robinsonは、BucyrusからAtlantic Equipmentに移籍し、ケーブル駆動の作業装置(写真-6)を1902年に開発してチェーン駆動式を置換えて行く。これにより、サイクルタイムは劇的に短縮される。また、米国が1903年に再開したパナマ運河工事では、100台以上の蒸気ショベルが投入された。ルーズベルト大統領も1906年に視察に訪れ、蒸気ショベルに座乗(写真-7)している。クローラ式ショベルは、1910年にMarionが特許を取得し、1912年に同社とBucyrusが製造している。翌1913年には歩行式ドラグラインMonighan 1-T(写真-8)が開発され、ス



写真-7 ルーズベルト座乗



写真-8 歩行機構 1913

キマも登場している。ガソリンエンジンの搭載は1912年の Bucyrus が最初で、Harnischfeger（後のP&H）も1916年に後を追っている。

(3) 戦前の日本

わが国初の蒸気ショベル（写真—9）は、東洋一の大規模機械化土工となる大河津分水工事のために、明治40年に輸入される。分水はこれまでの平野部の開削工事と違って山間部を抜くため、上方掘削が可能な独リューベック（LMG）製の大型エキスカが12台導入された。補助的な小型エキスカ4台は、新潟鉄工製の模倣国産機が使われた。そして、蒸気ショベル2台は、軟岩（土丹）掘削用に用意された。英国製のスチームナビーと記録されているが、メーカーは不明である。高位置の水平ボイラーとアーム取付機構に特徴がある。Navyy とは鉞夫や土方の意味で、Steam Navyy は Ruston 社や whitaker 社等が商品名として使っていたが、これと同形式は見当たらない。蒸気ショベルの代名詞ともなっていたので、他社製かもしれない。



写真—9 初輸入の蒸気ショベル（明治40年）

その後、明治44年からの品川操車場敷地造成工事を請負った大丸組が蒸気ショベル2台を導入、これも機種の詳細はない。大正4年になると Bucyrus の軌道式蒸気ショベルを撫順炭礦に輸入し、翌5年には大倉組が蒸気ショベルを山陽製鉄所工事に投入している。初のドラグライン（写真—10）は阿武隈川と利根川に輸入された。翌8年に Erie 製鉄輪ショベルが輸入され、9年には $3/4 \text{ yd}^3$ のマリオン21型とビサイラス14Bを試験輸入して、翌年から利根川2期改修で稼働させている。また、綾瀬川改修工事には $3/4 \text{ yd}^3$ オスゴット機を導入している。更に大正10年頃から昭和初期に掛けて、各地で労働力不足により機械化施工が浸透・普及し、蒸気ショベルが多数導入された。

特筆すべきは、大正10年に呉海軍工廠のドックヤード掘削に、当時世界最大のストリップングショベルで



写真—10 初のドラグライン



写真—11 Bucyrus 225B

あるビサイラス225B（全旋回型 6 yd^3 , 337 ton：写真—11）を導入したことである。同時にビサイラス110C（軌道式 5 yd^3 , 130 ton）も投入されている。この頃は軍もおおらかだったのか学会誌等に使用実績を発表している。

大正12年には、着工中の台湾／嘉南大圳（烏山頭ダムと大規模灌漑用水路）工事用の建設機械群が米国から到着、ショベルは大型ビサイラス5台、小型マリオン2台、ドラグライン2台である。また、同年に起きた関東大震災の復興工事でも建設機械が多数輸入され、ショベルやクラムシェルが使われている。

昭和に入ると内燃機関化が始まり、昭和2年に紀ノ川改修工事にディーゼルショベルを初輸入、昭和2年からの山口調整池（狭山湖）工事では、蒸気ショベル3台に加え、 1.5 yd^3 型3台と $3/4 \text{ yd}^3$ 型1台のディーゼルショベルを導入した。

昭和3年、神戸製鋼所は撫順への多数の電気ショベルを輸入する計画を聞き付け、その国産化を図るために調査技師を派遣した。Bucyrus 50B (1.5 m^3) をスケッチして、パテント部分を改めて5年に50K（写真—12）を試作し、採用を満鉄に依頼した。国産品を信用せず渋る相手を説得し、漸く試験採用に漕ぎ着け、性能試験と検査の結果は意外に好成績で正式採用となった。しかし、オリジナルと同強度を確保するために部材を厚くした結果、重量が5割増しとなっている。そして、昭和7年には 3 m^3 (175 t) 電気ショベル120Kを開発して納入し、18年までに満州向け31台を出荷した（写真—13）。そして、昭和9年に 4 m^3 (300 t) 電気ショベル200K（写真—14）を開発して納入、18年までに満州向け7台を出荷した。結局、撫順炭鉱に50K、120K、200K型合わせて16台を18



写真—12 神鋼 50K 1930



写真—13 阜新炭鉱の120K



写真—14 神鋼 200K 1934



写真—15 日立 120H 1942

年までに納車し、満州炭鉱や昭和製鋼所等の満州各地に合計 46 台を出荷した。また、国内では海軍建築部、内務省、各炭山、セメント会社等へ終戦までにこれらを 80 数台納入している。そして、日立製作所も昭和 17 年 12 月に 3 m³ 電気ショベル 120H (写真—15) を開発して撫順炭鉱に納車している。その他に満州住友金属でも 50B 級を製作したようだ。

(4) 戦後の日本

戦後、昭和 23 年に発足した建設省の予算に建設機械整備費が計上され、国産機械の開発育成が図られた。

昭和 24 年 5 月に日立が純国産ケーブルショベル U05 を開発、木曾川工事事務所に納車。8 月には、戦時中の河川改修休止により荒廃していた常願寺川に、日立製タワーエクスキャバータを復活させて投入した。昭和 25 年には日立が U05 を改良して、アタッチメント交換ができる万能掘削機 U06 (写真—16) を開発し、傑作機 U106 (写真—17：昭和 32 年開発) の基礎を築く。神戸製鋼は翌年に DE 型機関搭載の 1.2 m³ ショベル K35 を開発した。石川島コーリングは、1.2 yd³ ショベル 205 を昭和 28 年から製作開始した。



写真—16 U06 1950



写真—17 日立 U106 1957

28 年着工の佐久間ダムでは、本格的機械化施工を米アトキンソン社が指導し、掘削機として 2 m³ ショベル (54B,93M) 7 台とリンクベルトの 1.5 m³ ショベル 2 台が投入された。昭和 32 年着工の御母衣ダムでは、ピサイラス 150B (6 yd³) 4 台、54B (2.5 yd³) 3 台、51B (2 yd³) 2 台、マリオン 111M (4 yd³) 1 台、93M (2.5 yd³) 3 台、デマーグ B323 (3 yd³) 2 台、日立・

油谷 (0.6 ~ 1.2 m³) 10 台が投入される。翌 33 年着工の黒四ダムでは、マリオン 111M が 2 台、93M が 3 台、P&H 955A が 2 台、日立 U112 は 3 台、神鋼 35K が 2 台である。大型機は輸入機、小型は国産である。

(5) 油圧ショベル

水圧シリンダを利用したショベルは 19 世紀末期から開発されていたが、油圧の利用は 1945 年の Gradall (写真—28) が嚆矢となる。そして、初の全油圧ショベルは、1948 年にブルネリ兄弟 (伊) が開発した。しかし、最初の機種については諸説がある。欧州事情に詳しい H-H Cohrs によれば、1948 年にまず油圧テレスコ型を造り、同年に写真—18 を開発した。そして、翌年に写真—19 のようなホイール型も開発しているが、この機械をブルネリの最初の油圧ショベルと紹介している資料もある。その後は、Poclairn (写真—20) が 1951 年に、Demag (写真—21) が 1954 年に、Liebherr は 1955 年に油圧ショベルを開発している。Bruneri の特許は仏 SICAM (Yumbo 社の前身) が 1954 年に継承し、新三菱重工や International (後に Dresser)、Priestman、古河等に技術供与・提携がなされた。



写真—18 Bruneri 1948



写真—19 ホイール型 1949



写真—20 Poclairn TU 1951



写真—21 Demag B-504 1954

日本の油圧ショベルは、新三菱重工が SICAM からの技術導入により昭和 36 年に初めて Y35 (写真—22) を国産化した。その後、各社が海外メーカーとの提携を進め、国産化が進んで行く。提携関係は、油谷 Poclairn、日鋼 O&K、住友 Link-Belt、石川島 Koehring、神鋼 P&H、久保田 Atlas、小松 Bucyrus である。日立は独自開発を行い、昭和 39 年に UH03 (写真—23) を、加藤も昭和 42 年に HD350 を独自開発した。



写真-22 新三菱重工 Y35 1961



写真-23 日立 UH03 1964

昭和41年に油圧ショベルがケーブル式を生産金額ベースで追い抜く。そして、昭和51年には油圧ショベルが生産額で建機の王様と云われたブルドーザを抜き、トラックローダも50年代前半に激減して、ホイールローダと油圧ショベルが取って代わる。昭和52年に三菱重工がユンボ社(旧SICAM)との技術提携を解消、他の油圧ショベルメーカーも追従して、国産機の輸出を強化、これにより国産油圧ショベルメーカーの躍進が始まる。昭和53年には日立がU106系の生産を終了する。

日立の油圧ショベルの大型化は、昭和47年にUH12、48年にUH20、49年にUH30を開発し、昭和54年にUH50(157t、ローディングタイプ8.4m³)を開発してマイニング市場へ参入した。小松は昭和56年にPC1500を試作し、CONEXPO '81に出展している。三菱は、昭和58年にMS1600(165t、10m³)を開発する。また、通産省主導11社共同の石炭露天掘機械技術研究組合SMECが昭和58年に設立され、420t級ショベルと180t級ローダの開発に着手する。

平成元年に始まった関空I期工事の土取山では、135tダンプトラックが投入され、その積込機としてケーブル式の神鋼P&H2100BL(写真-24)と住友マリオン191M(写真-25)が採用された。この積込機と135tダンプのセットは、香港新空港工事に転用され、135tダンプを増車するとともに、新たな積込機としてDemag H285S(写真-26)とCAT 994を追加した。

その後、国産メーカーも油圧ショベルの大型化が進んだが、国内土木現場のダンプトラックは90tを上限とし、積込機も10m³の200t級が限界となっている。



写真-24 神鋼 P&H 2100BL



写真-25 住友マリオン 191M



写真-26 Demag H285S



写真-27 200t級 BH

平成14年の谷浜工事では、掘削ベンチに10m³ショベルが5台並んだ(写真-27)。

(6) その他の海外機

グレドール(テレスコピックエキスカベータ)は、建設業者のRay Ferwerdaが法面整形機として開発し、1945年にWarner & Swaseyが製造権を得て商品化(写真-28)した。欧米では今日でも法面整形機として普及しているが、手先の器用な日本では使われていない。代わりに日本では、畦畔バケットを大きくした法面バケットが昭和50年代から普及している。

ローダバックホウは、JCBが1954年にアタッチメントとして造り、1957年にCase(写真-29)が初めて一体商品として販売した。この機種も海外ではよく普及しているが、日本での人気は低い。スクーパは、日本でも石川コーリングで製造されたことがある(写真-30)。その他には、不陸地形で歩行移動ができるMenzi muck等(写真-31)がある。



写真-28 Gradall 1945



写真-29 CASE 1957



写真-30 Scooper 505



写真-31 歩行バックホウ

3. マイニングショベル

(1) ストリッパ

世界最大の建設機械は、露天掘鉱山のストリッパである。ストリッピングとは表土剥ぎのことで、鉱物資

源を覆っている表土 (Overburden) を取払う機械である。それらの機種には、バケットホイールエクスカベータ (BWE) やストリッピングショベル、ウォーキングドラグライン等がある。

a) ストリッピングショベル

ストリッピングショベルの王者は、13,600 t の Marion 6360 (138 m³ バケット: 写真—32) である。本機は1965年から稼働していたが、1991年に火災を起こし廃棄処分となった。Bucyrus のフラグシップ機は、8,165 t の 3850B (107 m³: 写真—33) である。しかし、これらのストリッピングショベルは、1971年以降製造されていない。



写真—32 Marion 6360



写真—33 Bucyrus 3850B

b) ウォーキングドラグライン

ウォーキングドラグラインは、今日でも露天掘炭鉱の表土剥ぎの定番機である。クローラの替わりに歩行機構 (写真—8) を持ち、文字通り歩くのである。

露天掘炭鉱では、薄い石炭層上部の大量の表土を除去するのがストリッパの役目である。旋回半径が大きいので、360°旋回1サイクルで掘削・運搬 (旋回)・排土・復帰を行い、排土は旋回中にノンストップで行う。最大の Bucyrus 4250W “Big Muskie” (写真—34) は、13,000 t のモンスターであり、バケットも 168 m³ である。他社のフラグシップ機には、119 m³ の Marion 8900, 92 m³ の P&H 9020 (写真—35) があつた。旧ソ連圏ではロシア製の UZTM (Uralmash) があつた。写真—36 のようなワイヤ張りの軽量ブームが特徴で、最大機種は 100 m³ のものがある。Bucyrus 製品は買収した CAT が引継ぎ (写真—37), P&H も



写真—34 Bucyrus 4250W



写真—35 P&H 9020



写真—36 UZTM ESh15.90



写真—37 Cat 8750

Joy 傘下となっている。因みに、これらのケーブル機の経済的寿命は、多大な分解組立費の掛かるサークルギアの交換時期である。

(2) 積込ケーブルショベル

鉱山では積込機として、ケーブルショベルがまだ多く使われているが、油圧ショベルの大形化に伴いその地位を徐々に譲っている。

写真—38 の P&H 5700XPA は、1,905 t, 61 m³ バケットである。写真—39 の Bucyrus 595B は、買収した Marion の元 351-M で、1,180 t, 44 m³ である。Bucyrus は世界最大 (2,250 Ton, 53 ~ 60 m³) の 795 も構想したが、Bucyrus の消滅で幻に終わった。CAT は、旧 Bucyrus 型番の頭に 7 を加え #7000 シリーズ (写真—40) として引継いでいる。P&H は地下鉱山機の勇である JOY Global の傘下となり、その JOY もコマツに買収されることになったため、結局、ケーブル系メーカーは CAT とコマツに集約される。

ロシアの IZ-KARTEX の製品はやや小振りであったが、ロシア製ダンプの大形化に伴い 360 t ダンプに対応可能なバケット容量 54 ~ 77 m³, 1,550 t の EKG-50 (写真—41) を開発した。



写真—38 P&H 5700XPA



写真—39 Bucyrus 595B



写真—40 CAT 7495



写真—41 IZ-KARTEX EKG50

(3) 超大型油圧ショベル

マイニング用大型ショベルは、Poclain EC1000 (写真—42) が1970年に先鞭を付けた。当初はBucyrusやMarion, P&H (写真—43) も大型油圧ショベルに挑戦したが、撤退してケーブル式に引籠もった。日本では前述のSMECが、世界最大級のSMEC4500 (420t, 15~30m³: 写真—44) を試作した。そして、初の500Ton超のDemag H485 (写真—45) は、1986年に登場した。



写真—42 Poclain EC1000



写真—43 P&H1200



写真—44 SMEC4500



写真—45 Demag H485

現在、800t級モンスターは4社が提供している。800t級ではO&K RH400 (写真—46) が先陣を切っていたが、1998年にTerexに買収され、その後、Terexの鉱山部門はBucyrusに身売りした。コマツPC8000は、買収したDemagの元H655Sの後身である。日立EX8000 (写真—47) とLiebherr R9800 (写真—48) は、純血種を誇っている。



写真—46 O&K RH400



写真—47 日立 EX8000



写真—48 Liebherr R9800



図—10 未来のショベル



写真—49 CAT 6120B H FS



写真—50 Liebherr PR776

CATは超大型積込機がなく、797等の超大型自社ダンプの積込みを他社機に依存していた。ところが、2011年にBucyrusを買収して、ケーブル式と油圧式の両方式の超大型積込機を手に入れた。そして、世界最大となるO&K血筋の新機種6120B H FS (46~65m³, 1,270t: 写真—49) を発表するに至った。因みに、Liebherrのマイニング機は、積込機とマイニングトラックだけであったが、昨年1月に70t級ハイドロスタティック・ブルドーザPR776 (写真—50) を戦列に加えた。

4. おわりに

ショベル系機械の開発と変遷について、更に多く記したいことがあったが紙幅の関係で割愛した。近未来のショベルはどうか、Hyundaiのコンセプト機 (図—10) を参考に示す。自動化については、AHS (無人ダンプ) が海外で200台以上稼働していて更に増車中である。MINExpo2016では、コマツがキャブレス無人ダンプのコンセプト機を展示した。次は、積込機の自動化である。近頃のICTバックホウで復活したMC技術やLiDARを利用した自動積込バックホウ等は試作されていたが、近年の驚異的なAI画像認識技術に期待がかかっている。

Ton : Shot ton (米トン), t : metric ton

《参考文献》

- 1) 岡本, 建設機械の歴史, 建設の施工企画, JCMA, '08.1
- 2) 岡本, 土工機械誕生の歴史, 土木施工 7, '09.7
- 3) 岡本, 建設機械のモンスター達, 建設機械施工, JCMA, '15.1
- 4) H-H. Cohrs, 500 Years of Earthmoving, KHL, '97.3
- 5) K.Haddock, Giant Earthmover, MBI, '98.6
- 6) 土工教室/建機の歴史, <http://hw001.spaaqs.ne.jp/geomover/>
- 7) 建機メーカー各社ホームページ等の資料



【筆者紹介】

岡本 直樹 (おかもと なおき)
建設機械史研究家

