

油圧ショベルの技術の系統化調査

Hydraulic Excavator Technology Systematization Study

1

生田 正治 Masaharu Ikuta

■ 要旨

建設機械の代名詞である油圧ショベルは、産業革命期の蒸気エンジンの発明を機に欧米で開発された資源開発や土木工事用の機械式ショベルが油圧方式へ進化して生まれた。20 世紀後半にイタリアで生まれた油圧ショベルをいち早く取り入れて国産技術で進化させ、世界の技術の潮流を作ったのは日本であると言っても良い。日本で国産化されて約 50 年になるが、今や世界の油圧ショベル市場において、技術面でも、販売面でもトップとなっており、輸出においては機械産業の中心的存在である。油圧ショベルの市場は世界的に見ても中国や途上国を中心にインフラ整備やマイニングなどの用途に向けて需要は拡大基調であり、今後も期待できる。

油圧ショベルがこのように進化した背景には、終戦後の復興を早期に実施し、先進国に追いつこうとする国の施策があった。復興に当たった旧建設省などの支援を受け、建設の機械化が促進された。そして油圧ショベルが国産化された時期には高度経済成長の波に乗り公共・インフラ工事や民間都市型工事を中心に油圧ショベルが多く使われた。

海外技術導入時には油圧システムが未熟で動きもぎこちなかったが、このように油圧ショベルの需要が大きくなる中、日本人の技術者により次々に改良されて、人間の手のように細かな作業ができるまでに進化した。また主要構造物についても損傷部分の解析に基づく継続的な改善と材料の品質向上が相まって、耐久性が大幅に向上した。更にはメンテナンス性も向上して世界トップの製品となっている。1980 年中頃には既に技術面では世界のトップに達していたと思われるが、その後も世界的潮流である省エネ技術や排ガスなどの環境負荷低減技術に継続的に取り組み、世界トップの技術を維持している。

このように日本の市場で普及した要因としては、油圧ショベルが日本の狭い工事現場に適していたことがひとつ、もうひとつは油圧ショベルのメーカーが多かったことから競争が激しく、少しでも性能が高くしかも安い製品でなければ売れないという状況があったことである。販売面、技術面で世界のトップに立った油圧ショベルではあるが、販売面では最近、中国や韓国の追い上げが厳しい。しかしこのような背景の中でも日本のメーカーは、IT 技術を駆使して販売後の機械の稼働状況、トラブルの発生状況をモニターすると同時に、顧客に対するメンテナンスのアドバイスの提供など、顧客に最大限貢献できる技術を開発して差別化することで市場をリードし続けている。

一方国内では、油圧ショベルの動作が人間の腕と相似しており、一般の機械に比べて複雑な動作を人の何十倍の力で行える機能を持っていることから、2 つの腕を持つ双腕型ショベルや遠隔操縦型ショベルなどが市場に出てきて、災害復旧などで活躍し始めている。まさに人間型ロボットへの進化の途中とも言える。

本論文は、油圧ショベルが生まれてから半世紀の間に日本の技術で世界のトップに立った背景、進化の過程や内容を記載している。これが読者の参考になることを期待している。

■ Abstract

Hydraulic excavators, one of the most widely-used pieces of construction machinery, evolved from the mechanical shovels developed in the Western world for use in mining and civil engineering works the invention of the steam engine in the Industrial Revolution. While hydraulic excavator first appeared in Italy in the late 20th century, it was Japan that quickly introduced and developed it using domestic technology, and turned it into a global trend. Fifty years after domestic production started, Japanese hydraulic excavators rank first in the world, both technologically and commercially. They are also one of Japan's key machinery exports. Hydraulic excavators are in high global demand, a trend that should continue, as more infrastructure development and mining are expected in China and other developing nations.

Underpinning the evolution of the hydraulic excavator in Japan was the eagerness of the government at the time to quickly recover from World War II and catch up with the developed nations. The use of machines on construction sites was encouraged by the former Ministry of Construction, which was in charge of post-war rebuilding efforts. By the time domestic production of hydraulic excavators began, these machines were already being widely used in many public and infrastructure works as well as private city building projects amidst rapid economic growth.

When the hydraulic system first arrived in Japan, it was still in its infancy and was incapable of smooth movement. Faced with a growing demand for the hydraulic excavator, Japanese engineers worked to successively improve the technology to the point where it could perform as detailed operation as a human hand. The durability of the main structural parts also significantly increased, thanks to advances in materials and continuous efforts for improvement based on analyses of damaged parts. As a result, with improved maintainability, Japanese products became the highest quality in the world-class product. By the mid-1980s, Japanese hydraulic excavators were the most technologically advanced in the world. Even today, engineers continue to offer cutting-edge technologies, continually working on new ways to reduce their environmental load such as conserving energy and reducing emissions, in line with global trends.

Hydraulic excavators became popular in Japan for two reasons: firstly, the equipment was compact enough to fit on small construction sites in Japan, and secondly, the market was very competitive—with so many manufacturers producing hydraulic excavators, they had to deliver very good products at low cost in order to survive. While Japanese hydraulic excavators account for the highest sales and most advanced technology in the world, Japan's commercial lead in the field has recently been threatened by China and South Korea. Nonetheless, Japanese manufacturers continue to lead the market, standing out from the competition with their customer-oriented technologies, using information technology for after-sales monitoring of machines, checking on the operating status, checking for any problems and offering maintenance tips to customers.

Hydraulic excavators move like human arms and can perform complex operations that no other machines can do, with a power far greater than that of humans. It is because of these characteristics that new types of hydraulic excavators are emerging in the domestic market, such as two-arm excavators and remote-controlled excavators, which are playing key roles in disaster areas. These new types of excavators may be taking us one step closer to humanoid robots.

This paper discusses the background and details of how Japanese technology came to produce the most technologically advanced hydraulic excavators in the world in just half a century after their conception. It is the hope of the author that readers will find this study a useful reference.

■ Profile

生田 正治 *Masaharu Ikuta*

国立科学博物館産業技術史資料情報センター主任調査員

昭和42年 3月 新潟県立柏崎工業高校機械科卒業
昭和42年 4月 日立建機株式会社へ入社
昭和43年 4月 建設機械のサービス(検査・修理・工程管理)部門に従事
昭和51年 8月 油圧ショベルの応用製品(受注開発品)の設計・開発・製造に従事
平成9年 4月 油圧ショベルの対人地雷除去機開発に従事
平成16年 8月 本社商品開発事業部 開発企画室長
平成18年 4月 双腕型油圧ショベルの開発を推進
平成21年 4月 定年によりシニア社員(技術部部長相当)
平成24年 1月 原発復興用小型双腕ロボット(アスタコNEO)の開発を指導
平成25年 3月 日立建機株式会社を退社。

■ Contents

1. はじめに	3
2. 油圧ショベルの概要	4
3. 油圧ショベルの進化と背景	13
4. 油圧ショベル主要技術の発展	24
5. 普及を支える応用技術	59
6. 安全及び環境基準の変遷と対応	65
7. 結びに	73
(添付資料)	
(1)油圧ショベルの主要技術の系統図と社会背景 ..	75
(2)建設機械メーカーの世界規模でのアライアンス状況 ..	76
油圧ショベルの技術 産業調査資料 所在確認	77

1 はじめに

建設機械が日本に導入されたのは明治期であり、海外からスチームショベル等を輸入して主に河川改修工事などに使用していた。また建設機械産業が本格的に育ち始めたのは1939（昭和14）年に始まる第二次世界大戦前後で、戦争準備のための資源開発が進んだ頃といわれている。時は移り、その後、戦後復興のために進駐軍の払下げのブルドーザやショベルなどが使われるようになった。1948（昭和23）年に建設省（現：国土交通省）が発足して建設機械整備費が認められ、払下げ機などの整備が盛んに行われた。戦後の国土復興には建設機械はなくてはならないものであり、これを契機に建設機械の国産化が官民協力のもとで進められた。この時、エンジンは戦時中に技術開発してきたディーゼルエンジンが採用された。

戦後の日本の復興に建設機械が果たした役割は大きい。特にダムを中心とした治山・治水工事や食料増産のための開墾・干拓に始まり、その後の高速道路網、トンネル、長大橋、下水道などのインフラ整備や住宅建設などには建設機械が大きく貢献している。そのような背景の中で1961年に初めて油圧ショベルが国産化された。1947年にイタリアで生まれた油圧ショベルの技術を利用しての国産化であったが、国産化された4年後には、設計から調達、製造に至るまですべてが日本製になる純国産化製品が開発された。その後多くの会社が油圧ショベルの開発に着手した。そして日本でのアジア初のオリンピックやこれと時を同じくする高度成長に伴って都市インフラ整備が盛んになると、使いやすい油圧ショベルへの需要が高まり、国内で普及して行った。当時、掘削機の主流であった機械式ショベルは運転が難しく機械も大きかったことと、地面より下を掘削するには適さない機械であったため、それらの問題を克服した油圧ショベルがまたたく間に普及して約10年で機械式ショベルに取って代わった。

油圧ショベルが国産化された頃は、装置の動きがぎこちなく耐久性も悪かったが、各メーカーが販売を伸ば

すために、国内競合メーカーとの熾烈な開発競争を展開したことにより、各社独自の油圧システムを完成させ、優秀な製品を世に送り出してきた。日本人は繊細な民族であり少しでも使いにくい所があったり、壊れやすい機械だったりするとクレームをつける、これに充分に応えないと次を買ってくれなくなったりする。そのためユーザからの意見や要望を取り入れての改良も重要であった。この結果、日本の油圧ショベルの技術は飛躍的な進化を遂げ、1980年代半ばには技術的には世界のトップになっていたと考えられる。

国内で技術進化を遂げた日本製油圧ショベルは、現在では海外生産分とOEM（相手先ブランド名製造）を含めれば実質、世界の約80%を占めるまでに成長している。この急成長が成し遂げられた背景には、技術者たちの弛まぬ努力と油圧機器メーカーとの協力があった。

油圧ショベルは上述のように日本で発展を遂げ、日本製が世界を席巻している。業界特有の事情があり、その状況下で技術を積み上げてきた。そこに日本独自の技術開発形態のひとつを見ることができし、系統化に相応しい技術発展事例である。このことを念頭におきながら、第2章で油圧ショベルの概要を、第3章では油圧ショベルの誕生から日本における進化の背景を述べ、そして第4章でその過程における技術面の開発状況と発展について述べている。さらに第5章においては1980年代半ば以降に油圧ショベルが更に普及する要因となった応用技術について記載している。

現在、建設機械の約60%を占めている油圧ショベルは、安全性や環境面で国際規格に適合していることは当然であるが、むしろ技術先進国の日本としては、現状に満足することなく世界をリードして行く使命を帯びている。そこで第5章で油圧ショベルの安全や環境に関連する変遷と対応、更には最新の省エネ型油圧ショベルなど今後の普及に繋がるテーマについて記載した。

2 | 油圧ショベルの概要

油圧ショベル（図 2.1 参照）とは、油圧を利用して作動する複数関節の腕の先端に、バケットを付け、掘削などの用途に使われる自走式の建設機械である。なお、バケットの代わりに作業内容に応じて様々な作業装置（アタッチメント）を装着して使用することができるが、これらも含めて広義に油圧ショベルと言っている。

油圧ショベルが普及する以前には、ウインチとワイヤーロープを利用して、アームなどを動かす機械式ショベル（図 2.2 参照）が普及していたが、この場合油圧ショベルとは反対にバケットを前に押し出して掘削を行うことから、前方に押し出す場合のみ強い力が出せる機構であった。油圧ショベルは当初、土木工事で土砂の掘削運搬用として開発され使用されていたが、現在ではアタッチメントを付け替えて解体作業や林業作業など幅広い作業で使用されている。



図 2.1 油圧ショベル（最新機） 出典：日立建機 HP



図 2.2 機械式ショベル 出典：コマツ

2.1 名称の変遷

油圧ショベルは、英語ではエクスカベーター（Excavator）と表現されているが、日本ではいろいろな呼び方がある。昭和 36 年（1961）に新三菱重工業（現キャタピラー・ジャパン）が、（仏）シカム社と技術提携してユンボ Y35 を始めて国産化したが、この時の商標であるユンボが油圧ショベルの代名詞となり長く使われるようになった。因みにユンボとは愛称で、ジャンボ（大象）の子供（小象：仏語）を意味する。その後、1990 年代に入ってから業界団体である社団法人日本建設機械化工業会（以後、（社）日本建設機械化工業会）により、新たに「油圧ショベル」と言う業界統一名称が制定されて現在に至っている。一方、労働安全衛生法関連法令においては車両系建設機械の中の掘削用機械に該当し、その中で「ドラグショベル」と定義されている。従って、油圧ショベルに関連する法律や通達等では、この名前が正式名として使用されるが、日常的にこの名前を使用することは少ない。またこれ以外にも、バックホー、パワーショベル、ショベルカーなどと呼ばれることもある。

2.2 建設機械における油圧ショベルの位置付け

日本における建設機械は、業界団体である（社）日本建設機械工業会により表 2.1 のように分類されている。

表 2.1 建設機械の分類

分類（定義）		主な製品
土工機械	一般土木機械	中型油圧ショベル、ホイールローダ、ブルドーザ、グレーダ等
	小型建設機械	ミニショベル、バックホーローダ、スキッドステアローダ等
	鉱山機械	大型油圧ショベル、ホイールローダ、鉱山用ダンプ等
道路機械		締固機械（ローラ）、舗装用機械等
建設用クレーン		トラッククレーン、クローラクレーン（移動式）等
ドリル・アタッチメント		削岩機、ブレーカ、圧砕機、クラムシエルバケット等

この表に示すように油圧ショベルは、土工機械の中の「一般土木機械」に該当する。一般に、油圧ショベルと言うと車体重量が 6t～40t 級までの中型油圧ショベルを差すことが多い。同じ形状や機能を持つショベルで車体重量 6t 以下を「ミニショベル」、40t を超

えるものを大型油圧ショベルと区分している。2009年度の建設機械主要10製品の出荷金額合計は約1兆700億円であり、そのうちミニショベルと中型油圧ショベル合計で全体の約48%を占めている。((社)日本建設機械工業会 HP:2009年度出荷金額構成割合)

このように油圧ショベルが1961年に国産化され、急成長し、建設機械の主力機械になった理由は以下の通りである。

①他の建設機械に比べて、フロントアタッチメント(作業部)が3関節構造で、更に本体の旋回(回転)や左右個別の走行動作も同時に行うことから、人間の動作に近い動きが可能で、複雑な作業が容易にでき且つ多用途に使用できる。

②油圧を利用して駆動制御され、人間の数10倍から数100倍の高パワーが出せる。

③運転操作が容易である。

などであるが、同時に日本の市場で成熟した理由としては、以下の努力が上げられる。

④徹底した経済性の追求

⑤サービス性、耐久性を追求した品質の改善

⑥作業の目的に応じたアタッチメントの開発

このように油圧ショベルは、その構造的な特徴と技術者による弛まぬ努力により建設機械を代表する製品となっている。そして日本で成熟した油圧ショベルは今や世界のマーケットの中でトップとなっている。(図2.3参照)

2007年の世界の全建設機械の総販売台数はおよそ100万台と言われているが、そのうちで油圧ショベルは、図に示すように約21.3万台となっており、約5台に1台は油圧ショベルとなっている。しかし日本国内では、海外と比較して資源開発が少なく、インフラ整備が多いことなどから、油圧ショベルが圧倒的に普及して建設機械の約6割を占めるまでになっている。

1990年の世界での実績は、約9.4万台であるが、その約6割弱が日本国内であった。しかし2007年には、途上国などで約10倍、欧米でも2倍以上の急成長を遂げるに至ったが、その実績に占める油圧ショベルの80%が日本の技術で進化したものと言われている。世界の需要で見れば日本だけが景気低迷等で需要が低下している状況である。

2.3 油圧ショベルの分類

油圧ショベルは、フロントの先に掘削用のバケット(シャベル)を装着して、これを油圧駆動することにより土砂を掘削する機械として開発された。欧州で開発された油圧式ショベルを日本が国産化し、進化発展させて現在に至っているが、その間に市場ニーズに応じてシリーズ化され、今や一般に言われる油圧ショベル(ミニ、中型、大型含む)は、製品重量で見ると0.5t~800t級まで製造されるようになっている。一方形状は、3関節を持つフロントと掘削用バケットを装着した外

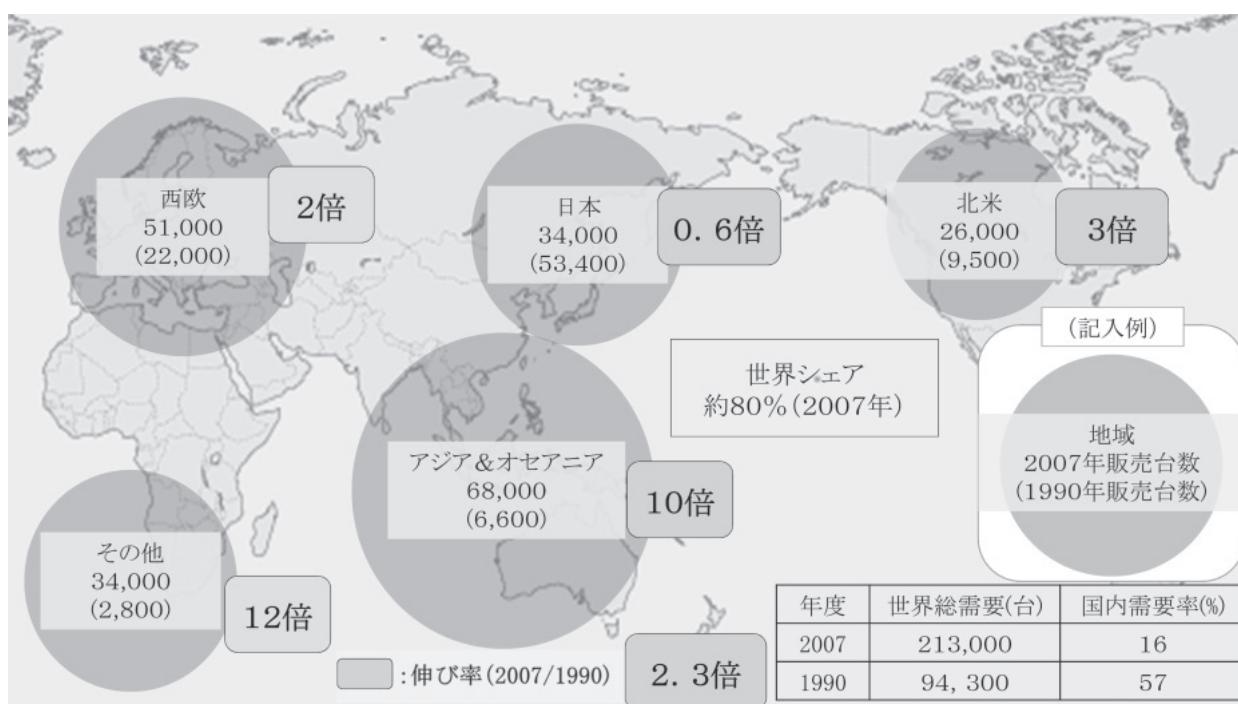


図 2.3 油圧ショベルの販売台数の伸びとシェア (1990年/2007年)

データ：(社)日本建設機械工業会

観形状が基本で国産化当初とほとんど変わっていない。

しかし進化と共に種類が増え、また旋回体は使用現場に合わせて多くの種類が開発されてきたことから現在では、以下の各項に示すように分類されている。

2.3.1 重量別分類

油圧ショベルの車体重量による分類は、表 2.2 のようになっている。

表 2.2 重量別分類

名称	適応製品重量	備考
ミニショベル	6t 以下	一般に油圧ショベルというと中型ショベルを指す。
中型ショベル	6～40t 以下	
大型ショベル	40t 以上	

(出典：(社) 日本建設機械工業会規定)

2.3.2 最小旋回半径からの分類

日本では、狭い道路などで使用する場合の旋回時における周囲作業員への安全配慮から、旋回時の、ミニショベルを中心にした後端半径を小さくしたいとのニーズに対応して、小旋回形が普及してきている。これらの背景から、旋回半径により表 2.3 のように分類がされている。なお表 2.3 の基準内容については図 2.4 を参照していただきたい。

表 2.3 最小旋回半径からの分類

名称	適応基準
後方超小旋回形	後端旋回半径がトラック全幅の 1/2 に対し 120% 以内であるが、フロント最小旋回半径は 120% を超えるショベル。
超小旋回型	後端旋回半径がトラック全幅の 1/2 に対し、120% 以内で且つフロントの最小旋回半径も同様に 120% 以内のショベル。

(出典：(社) 日本建設機械化協会規定)

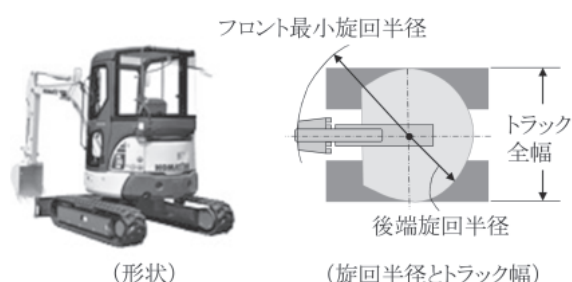


図 2.4 後方小旋回形ショベル (出典：コマツ HP)

2.3.3 業種別製品分類

油圧ショベルは、時代とともにニーズが変化して土木関連作業以外にも多く使用されるようになってきた。それに応じてフロント部やアタッチメントなどを変更した様々な業種専用の機械が登場してきている。

主な業種別製品を分類すると表 2.4 のようになる。

表 2.4 油圧ショベルの業種別製品分類

業種別製品分類	主な製品
マイニング仕様	大型ローディングショベル等 (図 2.5 参照)
深堀り掘削仕様	スライドアーム仕様、テレスコクラム仕様 (図 2.6 参照)
産廃・金属リサイクル仕様	産廃仕様機、マグネット仕様機、自動車解体機 (図 2.7 参照) 等
解体仕様	ロング (ハイリーチ) 解体機、2 ピースブーム解体機 (図 2.9 参照) 等
林業仕様	グラップル仕様機、ハーベスタ仕様機 (図 2.8) 等
その他	クレーン兼用機、ホイール式ショベル、地雷処理機 (図 2.10) 等

以上のように油圧ショベルは、国産化されてから約 50 年の間に進化を遂げ、当初は土木工事主体で使われていたものが、その機能及び操作性の良さなどから多くの業種及び分野で使用されるようになった。国産化当初は掘削・整地・運搬機能に限られていたが、現在ではアタッチメントの進化と相まって、解体、把持、分別、吊荷、吸着、ハンドリングなどの目的でも多く使用されている。



図 2.5 大型ローディングショベル (日立 EX8000)
(出典：日立建機 HP)



図 2.6 テレスコクラム仕様機 (日立 ZX225USRLC-3)
(出典：日立建機 HP)



図 2.7 自動車解体機（コベルコ SK210D-8）
（出典：コベルコ建機 HP）



図 2.10 地雷処理機（日建 BM307）
（出典：日立建機）



図 2.8 ハーベスタ仕様機（住友 SH135X-3B）
（出典：住友建機 HP）

2.4 油圧ショベルの基本構造

油圧ショベルの基本構造は、図 2.11 に示すように下部走行体、上部旋回体、フロントアタッチメントに大別される。

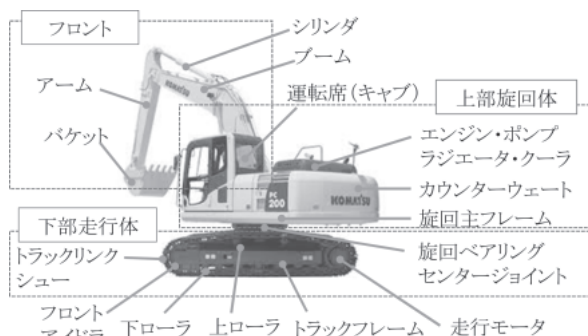


図 2.11 油圧ショベルの基本構造（写真出典：コマツ）



図 2.9 2ピースブーム解体機（日立 ZX1000K-3）
（出典：日立建機 HP）

下部走行体は左右クローラ（履帯）を持ち、それぞれのクローラ部には減速機付き走行モータや上下ローラ及びフロントアイドラ等が配置され、走行モータを駆動させることにより左右のクローラが独立して駆動している。左右の走行体はフレームで連結されており、そのフレームの中心部に上部旋回体を回転させる旋回ベアリングを配置している。上部旋回体に固定された旋回モータ（図示無し）を回すことによりモータ先端部ピニオンが噛み合った旋回ベアリングの内輪を介して上部旋回体を旋回させる。下部走行体と上部旋回体の中心部には、センタージョイント（油圧回転ジョイント）を取付けて 360° 回転しても、上部旋回体側から走行モータに作動油を供給できるようにしている。

上部旋回体は旋回主フレーム上にエンジン、ラジ

エータ、燃料タンクなどエンジン関連部品と油圧ポンプ、コントロールバルブ、油圧タンク、旋回モータ、作動油クーラ、油圧フェルタ、油圧配管等の油圧システム部品が配置されている。なおエンジンと油圧ポンプは直結され、さらにエンジン用ラジエータと作動油用クーラを並べて配置することにより効率の良い構造としている。(注記：一部図示無し)

上部旋回体の左前部にはキャブ（運転席）、また後部にはカウンターウェイトを配備している。油圧ショベルのほとんどが以上のような構造となっているが、一部ミニショベルにおいては、走行体に排土板を装備しているものも多い。またミニショベルの場合、フロントの根本部が左右にスイングする構造を装備して狭い場所での作業性を良くしている。

フロントアタッチメントは、通常、フロントとアタッチメントから成り、前者はブーム、アーム、シリンダ等であり、後者はアーム先端に装着するバケットなどを言う。アタッチメントは作業に応じてピン2本で交換できる構造となっている。

2.5 油圧ショベルの動作と作業範囲

2.5.1 油圧ショベルの動作

標準掘削仕様の油圧ショベルの動作は、前後左右走行、左右旋回、ブーム上げ・下げ、アームダンプ・クラウド、バケットダンプ・クラウドの動作で構成されている。その動きを図 2.12 に示す。

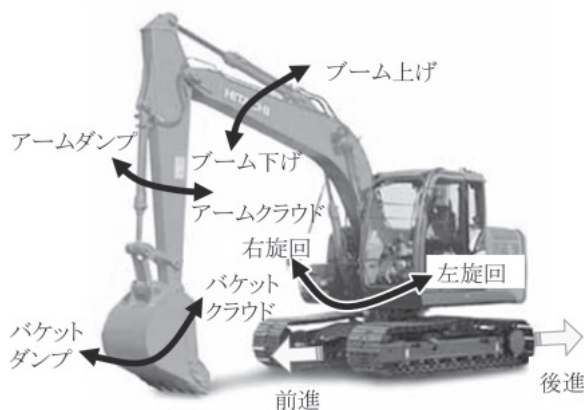


図 2.12 油圧ショベルの動作（写真出典：日立建機）

掘削作業においては、フロント部3関節（ブーム、アーム、バケット）の動作と旋回動作の組み合わせで作業を行う。走行は主に作業場所や、機械の移動時に使用するが、構造的には走行とフロント動作及び旋回動作を同時に行うことも可能である。また左右の走行

モータは個別に動作することで走行時のステアリング動作を可能にしている。走行動作に関しては、片側の走行モータを停止してもう片側のモータを回転させると少し前進しながら方向転換するが、この動作を「スピーントーン」と言う。また左右走行モータをそれぞれ反対に動かすと、その場で方向転換するがこの動作を「ピボットターン」と言う。通常的には左右のレバーの操作角度を調整しながら緩やかに方向転換することが多い。これらの基本動作を行うための油圧系統の代表的な例を図 2.13 に示す。

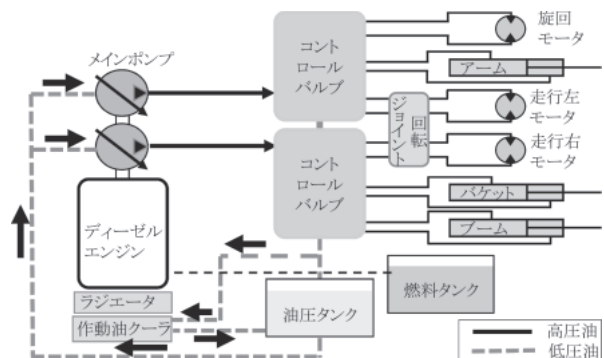


図 2.13 油圧ショベルの油圧回路系統図
(2ポンプ+2バルブ方式)

エンジンに直結されたメインポンプから吐き出された高圧油は、それぞれのコントロール用バルブに送られる。バルブからの高圧油はそれぞれフロント部を動作するブーム、アーム、バケットシリンダと旋回用モータにつながれている。走行モータへは複数の高圧ポートを持つ回転ジョイントを介してそれぞれ接続されており、これにより左右走行モータを個別に動かすことが可能となっている。掘削動作を行う場合はフロント部の3系統のバルブを複合的に動作させる必要があるが、同時操作が可能なバルブ構造になっている。走行回路に関しては、左右のポンプ・バルブを個別に使用するようにしている。

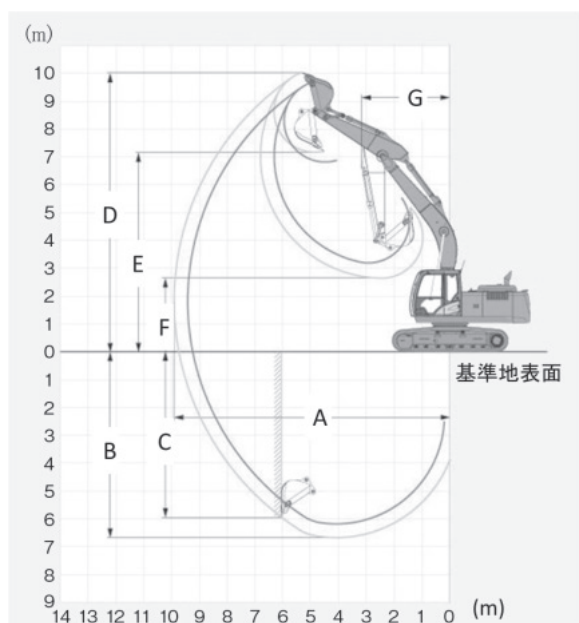
エンジンには、低速大トルクが求められることからほとんどの場合、軽油を用いたディーゼルエンジンが使用されている。操作をしていない場合でもポンプからバルブには油は流れているが、バルブを動かさない限りタンクに戻っている。バルブの切替えや制御は運転席に配置された操作レバーで行う。

2.5.2 油圧ショベルの作業範囲

油圧ショベルの機能には掘削・積込み・運搬があるが、掘削動作は主に地面より下の部分を掘削することが多い。また積込みは掘削した土砂を本体の側部又

は後部に配したダンプカー等に上部旋回体を旋回させて行う。油圧ショベルが一つの場所で作業できる範囲は、機械の大きさや仕様で決められおり、その作業範囲能力は、図 2.14 のように表現されている。

油圧ショベルは、他の建設機械と違い地面より下の部分を掘削できるが図 2.14 の作業範囲で判るようにフロントを最大に動かすと自分の本体の下まで掘削ができる。従って掘り過ぎにより本体が転落したりずり落ちたりしないように考慮して作業することが重要である。



- A:最大作業半径(掘削できる最大作業半径)
 B:最大掘削深さ
 C:最大垂直掘削深さ(バケットで垂直な壁掘削可能な深さ)
 D:最大掘削高さ(バケット爪先の最大上げ高さ)
 E:最大ダンプ高さ
 F:最小ダンプ高さ
 G:フロント最小旋回半径(旋回可能な前方側半径)

図 2.14 油圧ショベルの作業範囲

2.6 油圧ショベルの運転操作

2.6.1 操作レバーの配置

油圧ショベルの運転席はミニショベル等の1部を除いてすべて左前側に設置されている。内部には腰掛シート、操作レバー、ロックレバーや運転用モニタ類が配置されている。(図 2.15 参照)

運転者は、運転席に乗り、腰掛けて左右の手を使い操作する。ロックレバーは運転席に乗り降りする際に体が操作レバーに触れても機械が動かないように配置されているもので、着席してからロックレバーを運転可能側に切り替えて(レバーを下げる)使用する。操

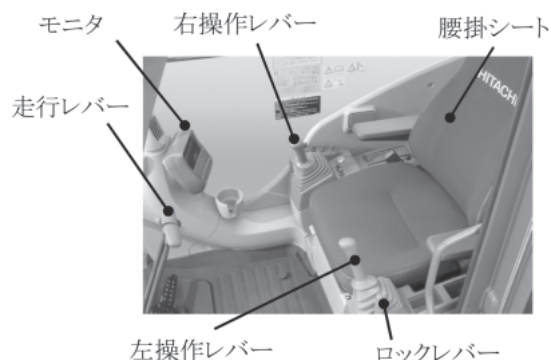


図 2.15 運転席と操作レバーの配置
(写真出典：日立建機)

作レバーは、国産化された当時は4本であったが、現在は2本(左右の操作レバーが前後左右に動く)が殆どと言って良い。レバーの操作方向は、メーカーにより違いがあって統一されていないが、JISでレバーの操作方向を規定して、ユーザーの要求が無い場合はJISレバー仕様で提供するように指導している。図 2.16 にJIS操作レバーの操作方向を示す。

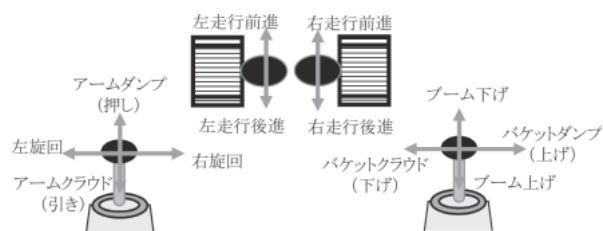


図 2.16 JIS操作レバーの操作方向
(運転席に座った状態での動き)

通常、2本の操作レバーでフロントの動作と旋回動作を行う。走行は2本の手を走行レバーに持ち替えて動作する。フロントの動作と走行動作を同時に行う場合は、走行レバーの下側に装着しているペダルを足で前後に踏んで走行を行う。このように走行を除いてフロント及び旋回動作を2本のレバーで行うものを「2本レバー式」と呼んでいる。2本レバーの場合は前後左右に片手で操作するが、掘削作業等においては複合で行う必要があることから斜めに動かすことで2系統の動作を1本のレバーでできる構造となっている。

2.6.2 掘削の基本動作

油圧ショベルのバケットを使用しての代表的な作業である「土砂掘削」と「地面ならし作業」でのバケットの動作を図 2.17 に示す。掘削動作では、ブームを②のように下げながらバケットをアームで①のように引き、更にリンクピンをバケットシリンダで③のよう

に押し出して土をすくう。また、地面のならし作業ではバケットをほぼ垂直にしてアームを④のように引くと同時にバケット先端部が水平に動くようにブーム先端ピンを上げ下げする必要がある。

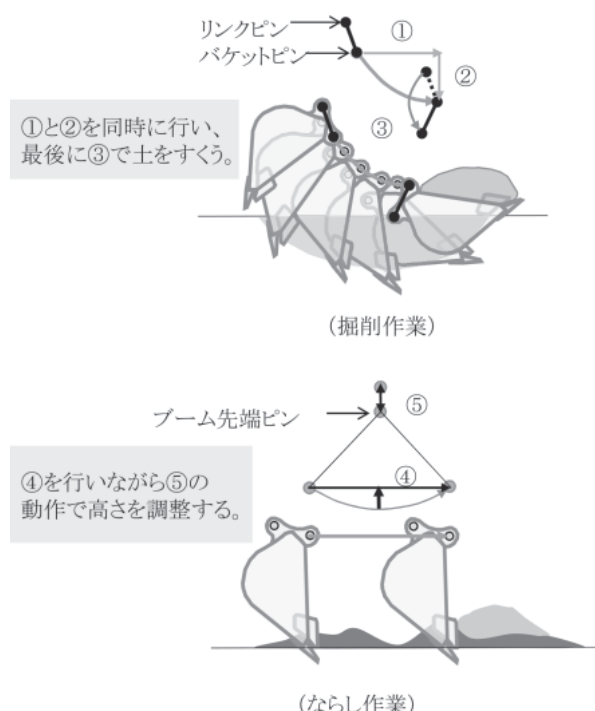


図 2.17 バケットによる掘削・ならし作業

このように油圧ショベルの操作においては、複数のレバーを同時に動かすことが必要になり、繊細な操作が求められる。このようなことから日本においては運転資格制度が制定されている。しかしながら運転は微妙な動きが求められ熟練が必要である。同時に機械にも「動きが良く使いやすい操作レバー」や「複合動作でも急な速度変化の無い油圧回路」などが要求される。

2.7 油圧装置及び油圧ショベルの特徴

油圧ショベルとは、エンジンの回転パワーで油圧ポンプを回し、発生する油圧力と流量を利用して各動作を行うものである。この油圧技術が生まれたのは20

世紀初めに石油が発見された後の1905（明治38）年と言われている。約100年前である。日本においては昭和30年代後半から40年代に急激な発展成長をしている。ショベルに油圧技術が採用され始めたのは1960年代初期である。その後油圧ショベルの進化とともに油圧技術も大きく発展してきている。

以下に油圧装置の特徴とそれを利用した油圧ショベルの利点と特徴について述べる。

2.7.1 油圧装置の特徴

油圧ショベルに採用されている油圧装置の特徴としては

（長所）

- ・比較的小型の装置で大きな出力を出すことができる。
- ・速度制御が無段階に簡単にできて円滑な作動ができる。
- ・力（圧力）の制御が正確且つ容易にでき、過負荷防止が簡単である。
- ・耐久性に優れている。
- ・電気制御と組み合わせることで、手動・半自動・自動化や遠隔操作が可能である。
- ・作動油自体に防錆・油潤滑効果があり機械内部の摩耗が少ない。

（短所）

- ・配管が電気に比べ面倒で手軽にできない。
- ・油漏れの心配がある。
- ・温度により油の粘度が変化するため低温でエネルギーロスが大きい。
- ・油が燃えるので火災の危険性が高い。

このように油圧には長短両面があるが、機械式に比べた場合、油圧の長所が油圧ショベルの発展を促し、油圧機器メーカーの協力も得て開発され進化してきた。

2.7.2 油圧ショベルの利点と特徴

油圧ショベルには多くの油圧技術が採用されているが、その利点とそれに関連する機器類を、表2.5に示す。

表 2.5 油圧技術の利点と関連油圧機器

	利点	関連する油圧機器
①	パワー密度が高く小型化ができ効率が良い	油圧ポンプ、油圧モータ、シリンダ、油圧配管
②	動力分散や伝達が容易である	コントロールバルブ、油圧配管、追加ポンプ
③	速度制御が任意かつ容易にでき、応答性も良い	コントロールバルブ、ポンプ、パイロット弁、電子制御コントローラ
④	過負荷防止が個別に簡単にできる	リリーフ弁、オーバーロードリリーフ弁
⑤	メカトロ化対応も可能	電磁弁、電磁比例弁、電子制御コントローラ
⑥	動力系の摩耗が少なくメンテナンスが容易	油圧作動油、フェルタ

油圧技術の利点を活用した油圧ショベルには以下の特徴がある。

(1) パワー密度（出力／重量）が高いので小型化が可能で効率が良い

油圧ショベルで使用される油圧機器のパワー密度は、他の機械部品や電機部品にくらべて非常に大きい。使用されるアクチュエータ（入力エネルギーを物理的運動に変換するもの）の代表として、油圧モータ（回転運動）と油圧シリンダ（直線運動）があるが、油圧シリンダの場合、わずか 150 mm の直径でも 34.3MPa（350kgf/cm²）の圧力で使用すれば約 62ton の力を出ることができる。空圧や電気方式ではとてもできない。さらに油圧の場合瞬時に切替えができ、応答性も良い。同様に油圧ポンプや油圧モータも電動モータに比較して低回転高トルクであり、大トルクを必要とする油圧ショベルには最適である。またパワー密度が高いので、機械式ショベルに対し小型化が可能である。

(2) 動力分散や伝達が容易にできる

油圧ポンプで発生させた圧油は油圧ホースでコントロールバルブに送られて分配され、配管や油圧ホースで各アクチュエータへ送られる。接続を配管やホースで行うため各アクチュエータは任意の場所に設置できる。また必要に応じてバルブやポンプの追加も可能であり、多種のアタッチメントの装着も可能となる。

アクチュエータ毎に一つの切替えバルブを使用するが、それぞれに複数のアクチュエータを同時に動かすことが出来るようにバルブの内部回路は構成されている。

(3) 速度制御が容易にできて応答性も良い

油圧ショベルに使用するコントロールバルブは、通常スプールの出し入れで方向と流量を制御できるようにしている。バルブ内の高圧回路に接続するスプールの前後の動きで接続面積を変化させて流量（速度）を制御している。このことから操作レバーの傾動量にスプールの動作量が比例するようにパイロット油圧又はロッドで繋がれる。油圧は圧縮性が高いことから、ロッドで接続されると同様にレバー動作に機敏に反応するので応答性も良い。

(4) 過負荷防止が個別に関単にできる

油圧ショベルのコントロールバルブには、通常メインリリーフバルブが装着されている。このバルブ

は、シリンダなどアクチュエータに掛かる圧力が動作時に規定以上に大きくなったりした場合に、作動圧を逃がすための機能を有する。またシリンダやモータが停止した状態でショベルに外力が掛かり、アクチュエータ及び油圧回路内に異常圧が掛かった場合に備えて、回路やアクチュエータを保護するためのオーバーロード用リリーフバルブ（異常高圧回避安全弁）が必要に応じて装着されている。このように油圧ショベルは大地を相手に作業をすることから常に過負荷が掛かることが想定されるため、上述した2つの目的のための安全弁を個別に装着している。同様なのが油圧モータについても考えられることから、この場合は、モータ自体にブレーキバルブを装着して過負荷を防止している。

(5) メカトロ化対応も可能

油圧ショベルが国産化されてしばらくは、電子技術は油圧ショベルには、ほとんど使用されていなかった。しかしその後の技術の進歩により、現在では油圧ショベルのポンプ流量制御やエンジン制御などで電子制御が多く使われるようになった。さらに最近では情報処理技術なども使われるように進化してきている。油圧と制御技術は相性が良くメカトロ化に適している。現在の油圧ショベルのほとんどは、メイン（動力）系とパイロット系の2系統あり、パイロット系の低圧小流量でメイン系大流量回路を動かすシステムを取っている。ポンプやバルブなどの制御を行うパイロット系を電子制御することでメカトロ化が容易にできる。

(6) メンテナンスが容易である

油圧ショベルの稼働時間に相応して摩耗する部分として、走行部のアイドラ、ローラ、フロント部各ピン及び掘削バケットなどがある。これらに関しては国産化された頃に比べ、給脂部の無給脂化が図られて、現在ではバケットを除けば、日常の給脂点検を行っていれば、ほとんど分解定期整備（オーバーホール）は不要である。また油圧機器についても作動油の汚れや量を点検し、規定された時間ごとにオイル・フィルタを交換すれば、ほとんどメンテナンスが不要なまでに耐久性が向上している。一方整備を行う場合でも油圧ショベル構成部品はユニットで比較的容易に着脱でき、現地で直ぐに復帰できるようになっている。更に現在では、油圧やエンジンなど動力系の異常情報は、IT 情報化され GPS データで離れた場所から把握できるようになってきている。

以上のように油圧ショベルは油圧技術の特長や利点を生かし、建設機械の主役になっている。日本の市場で成熟して普及した要因を上げると以下のようなる。

①他の建設機械には無い多くのアタッチメントを有し、多用途の使用ができる。

②小型（車体重量 0.5t）から大型（車体重量 850t）までシリーズ化されている。

③故障も少なく経済性が高い、またサービス性も良い。

④パワープラントとしての使用も可能で応用性が高い。

3 | 油圧ショベルの進化と背景

3.1 油圧ショベルの誕生

3.1.1 機械式ショベルの歴史

建設機械は、もともとその名前の通り建設用の道具や器具が機械に進化したものである。その歴史をたどれば、それまでは牛馬などを動力源として行っていた建設工事が、18世紀後半（産業革命時代中期）に英国で高性能な蒸気機関が発明され、その後、列車、船舶、建設機械などに蒸気機関が使われはじめたことに端を発する。

その中で油圧ショベルの元となる機械式蒸気ショベルは、1838年、W.S.Otis（米）によって開発されたと言われている。その構造はレール走行式で作業部が180度回転する方式であった。（図3.1参照）

その後1884年に、Whitaker（英）が、初の全旋回式ショベルを開発し、3年後にマンチェスタ運河工事で大量に使用された。ほぼ同じ頃の1886年にもOsgood（米）が全旋回式ショベルを造っている。その後、ディーゼルエンジンが使われ始める1930年頃までの一世紀にわたり蒸気式ショベルが鉄道工事や鉱山開発または大型工事などで活躍した。

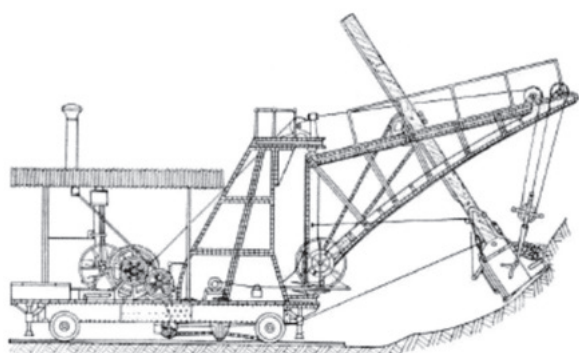


図 3.1 世界最初の機械式蒸気ショベル（1938 年）

一方、1903年にThew Lorain Shovel社（米）により初めて電気ショベルが開発され、その後、海外及び国内において、大型のショベルのほとんどは電動式が採用されている。

更に、1912年に初めてクローラ式パワーショベルが開発され、レール走行式に比べ移動が容易になった。また1914年にガソリンエンジンを搭載したショベルが、P&H社（米）によって開発されたが、その

後1930年代にはエンジン特性の違いからディーゼルエンジンに替わっている。

日本における建設機械の導入は、明治の初め頃から始まり、生糸、石炭、造船などの運輸インフラのための港湾、運河工事、鉄道工事などで海外の浚渫機や削岩機などが導入され、機械力での工事が行われるようになった。そして明治29年（1896）に河川法が制定され、淀川や利根川改修工事などで本格的な機械化施工が始まった。中でも明治42年（1909）から始まった信濃川大河津分水工事においては、仏製ラダーエキスカベータや掘削土砂を運搬する傾斜式土運車（鍋トロ）などが多く使われた。この工事の後半に初めて英国製スチームショベルが輸入され使用された。

第一次世界大戦が始まった翌年の大正4年（1915）にBucyrus社（米）のスチームショベルを大倉組が南満州鉄道撫順炭鉱の露天掘り用で輸入して使用している。この頃から大型土木工事や鉱山などの大型掘削においてスチームショベルが輸入され多く使われるようになった。撫順炭鉱で使われた採掘機械は世界最先端設備であり、この現場に大正13年（1924）、Bucyrus社（米）の電気ショベル103Cが投入された。これに刺激を受け、神戸製鋼が昭和5年（1930）にBucyrus50Bをモデルにした国産初の電気ショベル50K（図3.2参照）が開発された。

昭和初期の大恐慌により雇用確保の観点から機械化は一時中断になるが、第二次世界大戦における資源開発で再び機械開発も活発化して日立製作所（現日立建機）の大型電気ショベル120H（図3.3）や小松製作所（現コマツ）の国産初のブルドーザ（図3.4）などが開発された。

戦後になり、昭和23年（1948）に建設省が新設され、建設機械整備費が予算化され、在来の機械も整備して国土復興に役立てると同時に、戦時中に技術開発してきた国産ディーゼルエンジンを搭載したブルドーザや機械式ショベルの開発と国産化も始まった。そして昭和24年（1949）には神戸製鋼所（現コベルコ建機）から15K（図3.5）、日立製作所（現日立建機）からU05（図3.6）が発売され、この後、昭和50年代まで機械式ショベルが進化普及する。これらの機械式ショベルは、主にインフラ整備等で多く使用され国土復興に貢献した。

また昭和26年（1951）には電源開発が設立され、水資源活用と発電のための大型ダムの建設が始まっ



図 3.2 神戸製鋼所 50K 電気ショベル (1930)

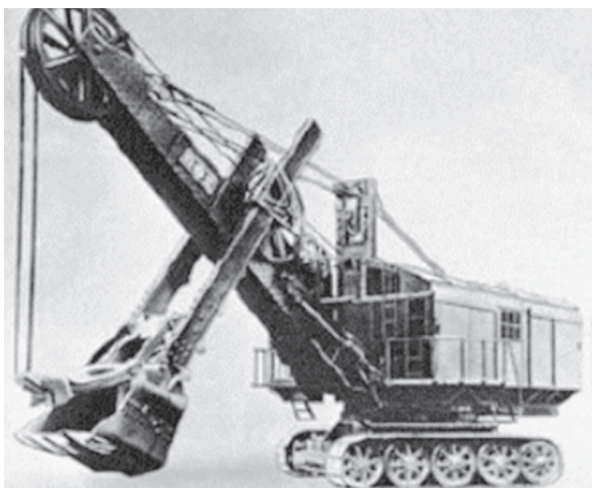


図 3.3 日立製作所 120H 電気ショベル (1942)

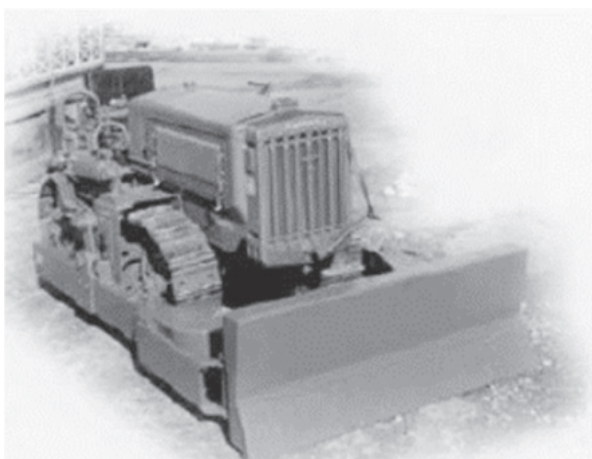


図 3.4 小松製作所 G40 国産初のブルドーザ (1943)

た。昭和 28 年 (1953) に着工した佐久間ダムは日本で初めて機械化施工が導入されたダムと言われている。しかしこれらの工事で使われたショベルは、Bucyrus (米国) 150B 電気ショベル等であり、まだ日本での大型ショベルは無く、昭和 32 年 (1957) に日



図 3.5 神戸製鋼所 15K (1949)



図 3.6 日立製作所 U05 (1949)

立製作所が開発した U23 電気ショベルが最初である。

このように、戦後復興に伴い、機械式ショベルを始めブルドーザやダンプなど建設機械の国産化は、戦後に活発化してきたが、技術的には、まだまだ海外製品の方が優位であった。

3.1.2 油圧ショベルの誕生

油圧ショベルは、蒸気エンジンを利用した機械式ショベルが開発されて 110 年後の 1948 年に Carlo & Mario Bruneri 兄弟 (伊: 後に仏 SICAM 社に特許譲渡) によって初めて開発された (図 3.7)。遅れて 1951 年に Poclain 社 (仏) が、牽引式油圧ショベルを、1954 年にはデマーグ社 (米) も全油圧ショベル (図 3.8) を開発した。

海外で油圧ショベルが開発された当時、まだ日本は、機械式ショベルの開発をスタートした所であり、その後約 10 年遅れて 1961 年 (昭和 36) に、新三菱重工業 (現キャタピラージャパン) が海外との技術提携により、初めて国産化したのがユンボ Y35 (図 3.9)



図 3.7 初の油圧ショベル



図 3.8 Demag 油圧ショベル B-504

であった。

昭和 40 年（1965）には、純国産技術により油圧ショベル UH03（図 3.10）が日立建機から、またその 2 年後には加藤製作所から HD350（図 3.11）と次々に国内主要メーカーが油圧ショベルを開発し、市場投入してきた。

機械式ショベルの場合は、ウインチとワイヤーロープを使って掘削バケットを動かすが、運転操作が複雑で操作レバーも重いことから熟練を要し、大変な疲労を伴うものであった。油圧ショベルの場合は機械式に比べ運転操作が簡単なことと操作も機械式に比べれば軽いこと、また日本の狭い現場でも使い勝手が良いことから次第に機械式ショベルに替わって普及していった。



図 3.9 新三菱重工業 Y35



図 3.10 日立建機 UH03



図 3.11 加藤製作所 HD350

3.2 日本における油圧ショベルの開発

昭和 35 年（1960）、貿易・為替自由化の大綱が決定され、9 月から 275 品目の輸入自由化が発表され、産業機械の 90% 以上が自由化されることになった。これを契機に昭和 36 年（1961）以降、日本において油圧ショベルの国産化が本格化してきたが、技術的には海外には遅れをとっていたこともあり、海外のショベルメーカーと技術提携して生産する会社が多く、純日本の技術で開発したのは日立製作所（現日立建機）と加藤製作所の 2 社であった。1960 年代に油圧ショベルの開発・生産に取り組んだメーカー及びその概況を表 3.1 に示す。

国内で初めて作られた油圧ショベルは新三菱重工業（現キャタピラー三菱）の Y35 である。（図 3.9 参照）

表 3.1 国内各社の油圧ショベル開発時期とその概況

発売年	メーカー名	開発	提携先	当初発売モデル
1961	新三菱重工業	技術提携	(仏) シカム社	Y35 (0.25m ³)
1963	油谷重工	技術提携	(仏) ボクレン社	TY45 (0.3~0.6m ³)
1964	日本製鋼所	技術提携	(独) O & K 社	RH5 (0.5m ³)
1965	日立製作所	独自	—	UH03 (0.35m ³)
1967	住友重機械工業	技術提携	(米) リンクベルト社	H200 (0.3m ³)
	石川島コーリング	技術提携	(米) コーリング社	スクーパ 505SK (3~3.8m ³)
	加藤製作所	独自	—	HD350 (0.35m ³)
	神戸製鋼所	技術提携	(米) P & H 社	H208 (0.3m ³)
1968	久保田鉄工	技術提携	(独) アトラス社	KB30R (0.3m ³)
	小松製作所	技術提携	(米) ビサイラス社	15H (0.4m ³)

(注) メーカー名は当時の名称で記載

仕様は総重量 8.3t、バケット容量 0.25m³、エンジン（三菱 KE36）出力 36ps/1,800rpm、油圧 95kgf/cm²、吐出流量 120 ℓ /min で、ギヤーポンプを使用した 1 ポンプ 1 バルブ方式（詳細は第 4 章で説明）であった。

引き続いて 1963 年に油谷重工（1999 年に合併してコベルコ建機となる）がフランスのボクレン社と技術提携による開発を行い、ホイール式油圧ショベル TY45 を発売した。次の年の 1964 年には、日本製鋼所がドイツの O&K 社と同様の開発で、RH5 を発売した。

翌年の 1965 年には、既に機械式で 5,000 台以上の納入実績の技術と経験を生かし、純国産技術で初めて日立製作所（現日立建機）が UH03 を発売した。（図 3.10 参照）当時日立は、機械式ショベルを主力に製造しており、油圧ショベルの開発では、新三菱重工業に先を越されていた。油圧ショベルの需要が高まり、各社が海外メーカーとの技術提携を進め、過当競争が始まった中、日立は「品質第一」、「純国産化技術による新製品の開発」という方針を掲げ開発を進めた。主な仕様は、総重量 9.4t、エンジン（いすゞ DA220）、出力 58ps/1,800rpm、油圧 140kgf/cm²、油圧システムもギヤーポンプを使用した 2 ポンプ 2 バルブ方式（詳細は第 4 章で説明）に改良されて使いやすく、先行の技術提携モデルを凌駕するものであった。

1967 年には、純国産技術で加藤製作所が HD350 を、米国のリンクベルト社の技術で住友重機械工業が H200 を、同じく米国のコーリング社の技術で石川島コーリングがスクーパ 505K（走行と旋回は機械式でローディングフロントは油圧式）を、更に、米国 P&H 社の技術で神戸製鋼所が H208 をと、国産メーカーが次々に発売した。

そして翌年には、ドイツのアトラス社との技術提携で久保田鉄工が KB30R を、それまでブルドーザで先

行していた小松製作所も米国ビサイラス社との技術提携で 15H を発売した。このように 1961～1968 年の 8 年間で欧州や米国で先行していた油圧ショベル技術が日本の市場に一気に導入され、熾烈な戦いが始まった。当時海外には、ドイツのリープヘル社、デマーグ社、イタリアのプリネル社（後のフェアット社）など、油圧ショベルを製造していた会社は他にも多くあった。

その後、日本は高度成長期を迎え、建設機械需要は拡大して行くが、それまで掘削積み機械の主役であった機械式ショベルは徐々に油圧ショベルに置き換えられて行った。そして油圧ショベル国産化後 15 年程して生産中止となった。（図 3.12 参照）

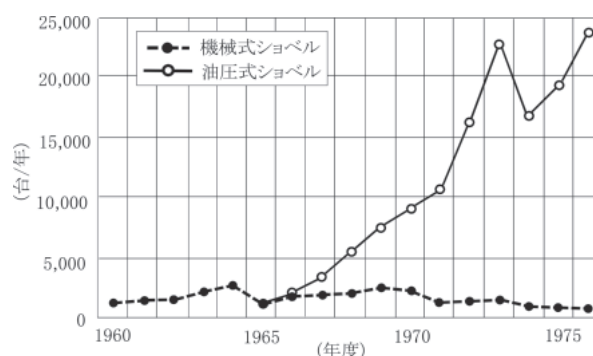


図 3.12 機械式ショベルと油圧ショベルの生産台数推移 (通産統計)

一方油圧ショベルについては、各社が市場ニーズを捉えて製品の技術改良を積極的に進め、質、量ともに日本製が世界を凌駕するようになって行く。1973 年頃から日本の技術で進化した油圧ショベルが海外に出て行くようになり、それまで進めてきた技術提携が足かせになって徐々に技術提携を解消して行くことになった。そして 1970 年代の終わり頃には日本メーカー全てが日本独自の技術で開発した製品へと変化させた。

その後高度成長期を迎えて建設需要が高まり、油圧ショベルの普及に拍車がかかった。それまでの日本での土木工事は、国土復興のための治山・治水工事や食料増産などのための開墾・干拓工事が主流で、大型掘削機とブルドーザやダンプによる土量運搬が主役であった。

3.3 社会ニーズに対応した油圧ショベルの進化

油圧ショベルの国産化が始まった頃は、高速道路網構築や下水道工事などがスタートした年代でもあった。このような社会背景から建設機械に関するニーズは大きく変化してきた。油圧ショベルの進化はこのような社会背景によるところが大きい。別紙添付資料に「社会の変化と油圧ショベルの主要技術開発の歴史」を示すので参考にして頂きたい。

以下、油圧ショベルの進化を説明するに当たり、技術の発展に応じて、揺籃期（戦後～1977）、確立期（1978～1985）、発展期（1986～1999）、成熟期（2000年以降）に分けて述べる。

3.3.1 揺籃期における技術の進化（戦後～1977）

戦後の日本経済は、約10年の復興期を経て、高度成長期（1955～1973）となっていたが、この高度成長を支えたのは鉄鋼、造船、自動車、電気機械、化学などの部門である。しかし一方では、この時期には食糧増産のための八郎潟開拓工事（1957～）や、従来からのダム建設（1960年代前半～奥只見、御母衣、黒部など）に加えて、産業基盤整備としての河川、道路、空港、ビルなどの整備事業、更にはオリンピック（1964）に向けての新幹線工事や国立競技場などの工事が積極的に行われた。昭和37年（1962）には阪神高速、中央自動車道、また昭和40年（1965）には、国内最初の高層建築と言われている霞が関ビルの工事も始まった。

このような背景を受け、国産化された油圧ショベルが多く使われるようになった。更に都市型道路工事や干拓工事での排水路工事などのニーズを受け、ホイール式の開発、又は湿地でも使用できる低接地圧型ショベル（三角シュー付き）など使用現場からのニーズに対応して新規開発などもあり、需要増加の一途をたどった。中でも低接地圧型ショベルは、従来ブルドーザでは使用されていた三角シューを参考に、油圧ショベル用として開発され、干拓工事や田圃整備などで多く使用された。

1973年から始まった第1次オイルショック（石油危機）で1次的に需要が低下するもその後の景気対策

を受け、更に需要は増加して70年代後半には建設機械産業の売上高は1兆円を突破したが、その要因は油圧ショベルの増加であった。

開発当時の油圧ショベルは、ほとんど車体重量10t以下の小型機であったが、油圧ショベルの掘る・吊る・運ぶ・ならすといった利便性の高さから、ニーズが高まり徐々にブルドーザからショベルに替わって行った。またそれに併せて、もっと大きな製品が求められるようになってきた。また当時は、エンジンやポンプなど建設機械専用機器はほとんどなかったが、油圧ショベルの生産台数増加に併せて、それぞれの専門メーカーも開発に協力するようになってきた。そして昭和43年（1968）に川崎重工業で国産初の可変容量型ポンプが開発され、日立建機からそのポンプを搭載したUH06（16t級）が発売され、より大きな仕事ができるようになった。この可変容量型アキシャルポンプの出現で油圧ショベルの性能が飛躍的に向上した。

これ以降油圧ショベルのシリーズ化が始まり6t級、40t級、23t、30t級と次々に開発された。更に大型ショベルでは1973年以降60t、100t、170t級が発売され、マイニング（採鉱・採掘）機械で先行する欧米を急追する製品となった。また一方1971年には、より狭い現場に対応できる車体重量6t以下のミニショベルも開発発売された。

昭和40年代は、先に述べたようにブルドーザ工法から油圧ショベルを使った工法への移り変わりの時代でもあった。油圧ショベルは土砂を運搬する機能は低いダンプカーに積んで運ぶことで運搬機能が補完できることから急激に普及が進んだ。これに伴い、国内油圧ショベルメーカーも開発と販売に注力した。当時、国内での競合メーカーは10社以上あり、熾烈な販売競争を余儀なくされた。特に日本のユーザは故障したら原因を究明しないと修理費を払ってくれない。クレームや値引き要請も多い。これらに対応できないメーカーの製品や、故障が多く信頼性の低い機械は買ってくれない。このようなことから各メーカーはクレームを分析し、改善すると同時に他社との性能比較を常に行い、より高性能な機械の開発提供に力を注いだ。従って当時は2～3年に1回モデルチェンジを行っていた。

この時期における油圧ショベルの進化の状況を挙げると

- (1) 油圧回路可変容量型2ポンプ2バルブシステムが確立し、複合性が大幅に向上した。
- (2) 走行性能が重視され、足回り部品無給脂化と走行モータ直結及びシューイン化（走行モータ部をリンクシュー幅内に格納してモータ部を保護する

方法)などによる耐久性向上。

- (3) 基本仕様であるエンジン馬力、掘削力、掘削範囲、車体安定性及び総重量などは変化し続けた。
- (4) エンジンでは予燃焼式から直噴式への転換による省エネ化がスタートした。

などであるが、これらは単に本体メーカーだけの力ではなく油圧機器メーカーや部品供給メーカーが密接にタイアップして研究努力してきた成果と言える。

3.3.2 確立期における技術の進化(1978～1985)

公共投資により第一次石油危機を乗り越えて一時景気回復したものの昭和54年(1979)から原油価格の高騰により第二次石油危機を迎えた。国内の景気は低迷し、政府の財政立て直し指向もあり建設投資が低迷した。土木建設工事費の低減を図るため、油圧ショベルにも低燃費や工期短縮のための作業量向上が求められた。このような背景から小松製作所は昭和57年(1982)に、省エネ油圧システムの第1弾として、ニュートラル時に発生するパワーロスを低減して省エネ化を図ったPC200-2を発売した。第2弾として、昭和59年(1984)には、世界で初めて油圧システムにコンピュータを組み込み、メカトロを駆使したエンジン制御システムを採用したPC200-3を発売した。他の各メーカーも同様に省エネや低騒音化などの分野で革新的な技術を商品に折り込み、日本のハイレベルなエレクトロニクス技術は世界を凌駕していった。

1980年代の国内経済は、石油危機はあったものの全体的に見れば比較的、安定成長期であったと言えるが油圧ショベル販売は土木建設工事の縮小に伴い伸び悩んでいた。このような背景の中、ショベル製造の各メーカーはそれまで結んでいた技術提携契約を解消して輸出に力を入れるようになった。

しかし昭和59年(1984)、欧州市場において、欧州メーカーからダンピング提訴をされ数10%のダンピング課税がかけられることになった。この対応としてEC委員会に提訴取り下げを申し入れると同時に機種ごとに最低輸出価格(フロアプライス制度)を決めることで解決を図ってきたが、この対応には5年間を費やした。しかしこのことは、既に日本製の油圧ショベルが技術的に欧州メーカーに対して品質の高さでも優れているという証明でもあった。

一方米国市場においては、管理設作業などで油圧ショベルが使われることが多かったが、当初は、力不足で旋回動作もギクシャクする、操作レバーが重いなどのクレームが発生した。これらの問題の解決を図る

ために、油圧システムの改良や油圧パイロット式レバーの開発などをいち早く行い、逆に評価を上げることができた。このように日本の「ユーザ意見を真摯に取り込み、改善を図る」と言う姿勢が海外においても評価される技術開発に繋がっている。当時も今も「クレームこそ宝の山」と言われる所以である。

しかし海外事業は、その後、円高(1985)や貿易摩擦などがあって、国内生産して輸出する直接貿易から、海外での合弁会社設立を含む現地生産や技術供与、そして製品の相互補完を含むグローバルアライアンスと進んで行くことになる。

1970年代にシリーズ化が完成した中小型油圧ショベルは、1980年代に入り技術開発の方向が、「シリーズ拡大」から「新たな市場環境に対する個々の技術開発」へと大きくシフトした。

国内においては、建設工事に占める都市型工事のウェートが高まり、多様化、多機能化、低騒音低振動化などのニーズが一層高まった。また都市においては建築後60年近くたったビルなどを解体して高層化するためのスクラップ&ビルトの関連工事も出てきた。建設現場は3K(きつい、汚い、危険)現場などと言われ、これらを払拭するには高齢者や女性でも運転操作ができてしかも安全性の高い製品が求められるようになってきた。このような背景を受けた、この時期の国内における施工環境、要望、とそれに対する技術的対応の状況を表3.2に示す。

表 3.2 建設機械の施工環境等と技術的対応

施工環境・要望	技術的対応
3K 改善 ・きつい ・汚い ・危険	操作性向上(新油圧システム、油圧パイロット操作)
	居住性向上(運転室の騒音低減、低振動化、空調)
	安全性向上(操作パターンの統一、視界性向上)
	整備性向上(モニタシステム、メンテナンス間隔延長)
施工費低減	省エネ、作業量向上(新油圧システム、モード切替)
周囲環境改善	低騒音、低振動、排ガス低公害化
都市化対応	小型化、多機能化(小旋回、深掘りアタッチメント)
多機能化	マグネット仕様、解体フロント、ハンドリングアタッチメント、クレーン仕様
全般	電子制御化

この時期に油圧ショベルを進化させた特筆すべき技術は以下の通りである。

- (1) 操作性の改良（新油圧システム（OHS システム等）、油圧パイロット操作化）
- (2) 省エネルギー技術（エンジンポンプ同時制御（E-P 制御）、モード切替え、エンジンスピードセンシング（電子 OLSS など）
- (3) メカトロ化（省エネ、低騒音化、操作性向上、維持修理費向上の支援）
（注）（1）～（3）の詳細は第4章：主要技術の開発と発展を参照）
- (4) 超小旋回型機の開発（ミニショベル～小型ショベルに波及）
- (5) 多機能化（テレスコピック型深掘りクラムシェル、分解型ショベル、コンクリート破碎アタッチメント、自動車解体機、スライドアーム、マグネット仕様機、クレーンアタッチメント、ロング解体仕様機などの出現）

3.3.3 発展期における技術の進化（1986～2000）

1985 年のプラザ合意を期に日本は円高不況に陥り、輸出産業は大打撃を受け町工場の倒産が続出した。このショックを和らげるために 1986 年に政府により、公共事業拡大などによる内需拡大策が取られた。併せて公定歩合引き下げや長期的な金融緩和策を打ち出した。この施策により長期景気拡大が図られたが、一方では株価や土地の急激な上昇を生み出した。このバブル経済も 1991 年 2 月に崩壊することになるが、この間の約 4 年間は、建設機械の生産高は油圧ショベルを中心に大きく伸びた時期であり、GDP に占める建設投資額の割合は約 19% までアップした。しかしバブル崩壊後は徐々に低下し、2000 年には 14% まで下がり、その後 2004 年頃には 10% 位までになっている。このようにバブル崩壊後は建設投資額の低下に伴い、国内ではスクラップ＆ビルトの工事は増加してきたものの全体で見れば、民間需要の低下と公共事業費削減の影響を受け、それまで油圧ショベルを購入していたユーザも仕事量の縮小から購入が難しくなってきた。そこで工事で必要な時に機械を借りて使用する「レンタル」方式に変化してきた。これまでは 3 割強であったレンタル比率は、5 割強へと急増した。これに併せてミニショベルにおいても同様の傾向をたどってきた。（図 3.13 参照）

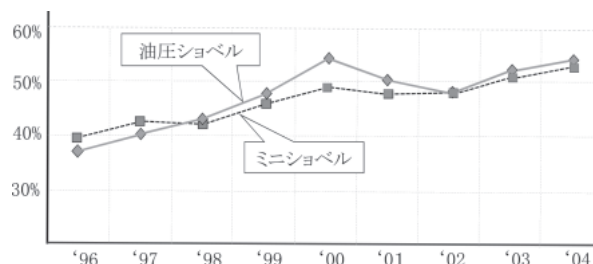


図 3.13 レンタル需要比率の推移
（出展：（社）日本建設機械工業会）

一方、輸出比率は 1990 年度 23% であったが、その後の世界的な好況を受け 1990 年半ば頃には日本の油圧ショベルメーカーの世界シェア（国内需要と日本から出荷した OEM も含む完成車を合せた額の世界需要に占める割合）は一時、70% 以上になった。しかしその後日本市場の縮小と海外での現地生産化により 2002 年頃には 40% に低下した。

この技術発展期における技術開発は、情報化、自動化、メカトロ化、レンタル化、低コスト化、環境規制、安全性の向上といった課題にこたえる方向で行われた。特に 1990 年に発生した雲仙普賢岳の噴火に端を発し、建設工事の無人化施工の機運が一気に高まった。そして 1995 年から油圧ショベルを中心とした、遠隔運転による無人化施工が始まった。これを契機に油圧ショベルが災害復旧用として多く使われるようになってきた。また 1996 年からは排ガス規制もスタートした。油圧回路はメカトロ技術を取り入れて省エネ化、複合性の向上などの面で進化した。更に運転席も転倒に対する安全性向上や視界性向上などの性能のみならず外観デザインも大きく進化発展した。これらの主な状況は以下の通りである。

- (1) レンタルやライフサイクルを考慮した耐久性の向上（メンテナンスフリー、無給油プッシュなど）
- (2) 機械の高級化（キャブ・ウェート・カバーなど丸型形状（図 3.14 参照）焼付け塗装、居住性向上等）
- (3) 多機能化の進展（後方小旋回型ミニショベル登場、特別仕様機やアタッチメントの拡大、作業モード選択、ロードセンシング技術の発展）
- (4) 環境関連規制への対応（排ガス 1 次規制対応、周囲騒音低減、EMC（電磁波）障害の低減、有害化学物質の使用排出制限、フロンガス使用制限と表示、リサイクル化の推進など）
- (5) 電子化の進展（車体制御技術に加えモニタ表示や故障情報表示など）
- (6) 安全性の向上（運転席転倒保護構造^{*1}（図 3.14 参照）シートベルト装備、バックミラー、ゲートロックレバーなど）などである。

またこの時期はグローバル化対応としての世界統一仕様化や生産のグローバル化、アライアンスの促進などが図られた。なお将来を見据えた省エネ・低公害化建機の研究として電池式やハイブリッド式又は代替燃料式などの研究がスタートした時期でもあった。

* 1:ROPS=Roll-Over Protective Structures (JISA8910, ISO3471)



図 3.14 転倒時保護構造運転席と機械の高級化(出典: 日立建機)

3.3.4 成熟期における技術の進化 (2001～2007)

2000～2002年の日本経済は、第3次平成不況とも言われた。1997年のアジア通貨危機、金融危機の影響もあり、2001年のIT景気があったとはいえ、経済はデフレ状態で厳しい状況にあった。一方世界を見ると2000年頃からBRICs（ブラジル、ロシア、インド、中国）が経済的に台頭してきた。これを受けて2002年以降、世界同時好況となってきた。国内の需要はほぼ横ばいで推移していたものの海外の需要に引っ張られて生産台数は増加した。建設機械全体で見ると2003年には、海外向け出荷台数が国内向けを初めて上回った。それに加えて、各メーカーが、現地生産を進めていることを考慮すれば、日本の油圧ショベルは、圧倒的な比率で世界シェアをとっているといえる。各メーカーは、「製品に対する、厳しい日本のユーザーで評価された製品を海外で現地生産する」と言う海外戦略をとり、これが製品の信頼性向上をもたらし、海外

ユーザーの評価を徐々に向上させていったと言える。海外生産の進め方としては主要コンポーネントであるエンジン、油圧機器、電子部品、精密機械部品を日本から出荷して、それ以外の部品の製造や組立作業は現地で行うことで製品の機能や信頼性を担保している。

この結果、1990年半ばでは70%であった世界シェアが、その後低下したものの徐々に復活し、2007年度には日本オリジン（完成車＋OEM＋日本製コンボ搭載機）の油圧ショベルは約80%となっている。油圧ショベルの世界需要は1990年の9.4万台/年に対し2007年では21.3万台/年と2.3倍の伸びがあり、販路はBRICsをはじめアジア・オセアニアや途上国が特に多く、日本以外の全ての地域で伸びてきた。

このような状況の中で、油圧ショベルに課せられる技術的課題とそれに対する開発技術としては以下の内容が上げられる。

- (1) 資源価格高騰による省エネ技術の推進（電動ショベル、ハイブリッド型ショベル、バイオ燃料の採用）
- (2) 地球温暖化抑制のための排出ガス規制に対する対応（2001年2次規制、2006年オフロード法（3次規制）並びに2011年以降の規制への準備、エンジンインタークーラ、コモンレール式燃料噴射技術、クルドEGR技術などによる省エネ技術を含めた排出ガス低減技術）
- (3) 高度情報通信を使ったグローバルな機械管理（KOMTRAXなどGPSを使用した機械や稼働の状態を世界規模で一元遠隔管理できるユーザーサポート技術）
- (4) 世界規格（ISO）に準じた安全な製品や世界に先駆けた視界性向上技術（転倒保護構造キャブ（ROPS）の促進や後方監視カメラ等）

このように2000年以降では、日本の油圧システムは成熟して技術的に世界をリードしていると言っても良いが、一方で環境面、安全面を中心に、将来に向けて世界の中でリードを保つ技術開発を積極的に進めている。油圧ショベルは、国産化当初は掘削積み込み機であったが、2000年以降災害復旧や地雷処理などにも使用されるようになってきた。今やロボット化が一番進んでいる建設機械となり、技術及び販売面で世界をリードしている。

3.4 開発技術のグローバル展開

1961年に国産化された油圧ショベルは、約25年の間に日本のマーケットで鍛えられ、世界の競合品に負けない性能をもった機械に進化した。その結果、徐々

に欧米にその技術が認められ、輸出されるようになった。それに伴い日本各メーカの生産高や世界シェアも増加してきた。

以下日本の油圧ショベルのグローバル展開による需要、生産高、シェア及び世界展開におけるアライアンス状況を説明する。

3.4.1 グローバル展開と生産高推移

建設機械のグローバル展開の経過について、図 3.15 に示す。

油圧ショベルの輸出が本格化したのは、技術が確立してきた 80 年代の中頃からである。それまでも各メーカは主にアジアを中心に独自で展開していた。先に述べたように欧州とのダンピング問題や米国とのグレー問題（当時米国と新車の完成品は出荷できない契約になっていたが稼働時間の少ない「ほぼ新車」が輸出業者を通じて新古車として出荷された）などによる摩擦があったが、製品の使いやすさなどから徐々に輸出が拡大して行った。そして欧州を皮切りにミニショベルも輸出されるようになった。90 年代初めには、油圧ショベルの需要の半分は日本であり、それに輸出分を加味すると世界の 70% 近いシェアがあったと推定される。しかし 1991 年、バブル経済の崩壊に伴って国内需要が減少し、海外展開を加速させるも海外需要も減少した。一方、90 年代後半からは中国の市場開放政策もあり、各メーカが中国への進出を積極的に進めるようになった。現在は第 2 次グローバリゼー

ションを迎え、世界的なアライアンスを行うと共に、地域に密着した戦略が求められている。

なお、油圧ショベルが国産化されて以降のわが国の建設機械関連の生産高を図 3.16 に示す。

建設機械の生産高は、1965 年の約 1,100 億円から 1990 年には 2 兆円を超え、大幅な増加となった。この間、日本経済は急速に成長し、社会資本の整備充実が図られ、国産化後約 25 年の揺籃期を経て技術を進化、確立させた油圧ショベルを中心に建設機械の輸出も大きく伸長した。

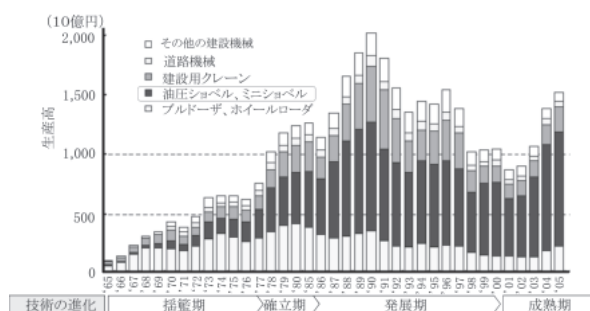


図 3.16 建設機械生産高の推移（出典：経済産業省「生産動態統計」）

3.4.2 世界の地域別需要とシェア

油圧ショベル及びミニショベル等の掘削積込み用機械が建設機械の中で全体の 6 割以上を占めるが、これら掘削積込み機械 5 製品の世界地域別需要を見ると図 3.17 の通りである。

	年代	キーワード	主な輸出国	輸出製品
輸出黎明期	60年代	スポット輸出、戦後補償制度金融(円借款等)	フィリッピン、インドネシア、ビルマ等	トラクタ 機械式ショベル
	70年代前半	代理店経由の商売 海外提携先の活用	中東、アジア向け	トラクタ ホイールローダー
	70年代後半	メーカ独自で海外進出	アジア	油圧ショベル
輸出拡大期	80年代	油圧ショベルの積極的輸出拡大 ↓ 欧州によるダンピング提訴、米国のグレー問題		油圧ショベル ミニショベル
第1次グローバリゼーション期	90年代前半	ナショナリズムによる完成車輸入禁止 ↓ 円高と併せて海外展開の加速		
地域市場規模変革期	90年代後半	アジア通貨危機 / 中国の市場開放策 ↓ メーカの中国進出 / 海外工場の有効活用		
第2次グローバリゼーション期	現在	メーカの市場対応の二極化(新たな合従連衡時代) (日米欧建機メーカの生き残りをかけた経営戦略が活発化) グローバル化戦略 VS 地域密着戦略		

図 3.15 建設機械の海外展開の歴史（グローバル展開）

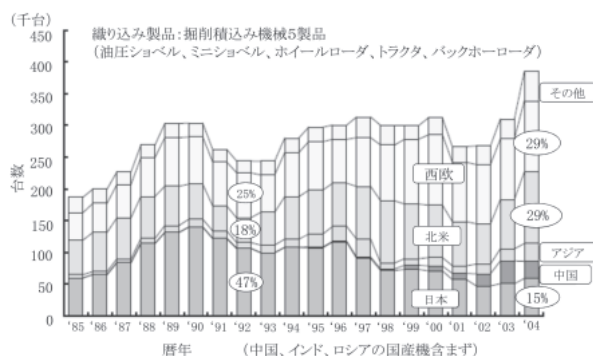


図 3.17 掘削積込み機械 5 製品の世界需要の推移
(出典：建機工)

1980 年代後半は世界需要が大きく伸び、1990 年には 30 万台／年と急成長している。その要因は日本であり、経済成長に合せて急拡大したことが挙げられ、世界需要の半数を占めるに至った。1997 年のアジア通貨危機による第二次平成不況を契機に日本市場は低下しているが、アジア特に中国の市場が増加したことにより 2004 年で見ればアジア、北米、西欧がそれぞれ 3 割の市場となっている。そして世界全体の市場で見れば 1990 年の 30 万台から 40 万台／年に迫るまで伸びてきている。このような市場の中、油圧ショベルを含めた日本メーカの、主要建設機械の世界シェアの推移を見ると図 3.18 のようになる。

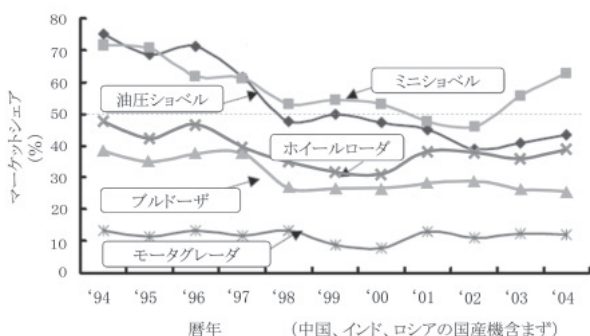


図 3.18 日本メーカの主要建設機械世界シェア推移
(出展：建機工、経産省生産動態調査より推定)

シェアの推移は、日本から完成車で出荷したもの、OEM（相手先ブランド）で出荷したものの他に、コンポーネントを 51% 以上出荷して現地産したものも出荷台数に含まれている。

最近の現地産においては日本製のエンジン、油圧機器、電子部品、精密機械部品などのコンポーネントを使用して生産されることが多いが、51% 以下の場合が多く大半は日本からの出荷台数には該当しない。従って現地産が活発になった 90 年代後半から油圧ショベルのシェアは見かけ上低下しているが、これらを加味すると実質的なシェアは 80% 以上あると言われている。

一方、それに比べミニショベルは比較的完成車で出荷されることが多く世界のトップを確保している。

3.4.3 世界の主要油圧ショベルメーカ

世界でトップになった油圧ショベル及びミニショベルであるが 2000 年以降一段と競合が激しくなっている。特に最近、大市場を抱えた中国メーカの台頭が著しい。現在世界でミニ及び油圧ショベルを製造しているメーカを挙げると以下ようになる。

(1) 油圧ショベルメーカ

国内	小松、キャタピラージャパン、日立建機、コベルコ建機、住友建機、加藤製作所 IHI 建機、ヤンマー建機
欧米	CAT、Deere、Terex、Liebherr、VOLVO、CNH、JCB
韓国	Doosan（旧大宇重工）、Hyundai（現代重工）
中国	三一重工（SANY）、柳工機械 など
更に現地メーカを含めると世界の総数は 30 社を超える。	

(2) ミニショベルメーカ

国内	クボタ、コマツ、ヤンマー建機、日立建機、キャタピラージャパン、コベルコ建機 IHI 建機、竹内製作所、北越工業
欧米	BOBCAT、CAT、JCB、VOLVO
韓国	斗山、現代重工
中国	玉柴 など
更に現地メーカを含めると世界の総数は 40 社を超える。	

3.4.4 グローバルアライアンス

国産化が始まった時は、欧米の先進メーカとの技術提携に基づく国産化をスタートさせたメーカが 8 社、純国産化でスタートしたメーカは 2 社であった。1970 年後半に油圧ショベルの技術が確立されると同時に技術提携が解消された。その後 1980 年代になると日本製品の海外輸出が本格的に行われるようになった。そしてダンピング問題などで貿易摩擦があり、また急激な円高などで輸出採算が悪化してきた。そこで各メーカは完成車輸出から現地生産へのシフトを加速させた。日本製の油圧ショベルが普及するにつれ、欧米のメーカも市場の変化を認識したが、一方で技術力の差を認めざるを得なかった。

一方、日本企業にとっては世界の建設機械総合メー

2000年代になると、中国が市場経済の仲間入りをしたことからアジアの地域の市場が拡大し、アジア、

こうした中で、建機大手の企業グループは、世界統一仕様化、グローバル調達、為替リスクの回避、製品の相互供給などにより、規模の拡大とコスト低減を視野に新たなアライアンス構築を進めている。(第二次グローバリゼーション)

その概要を図 3.19 に示す。

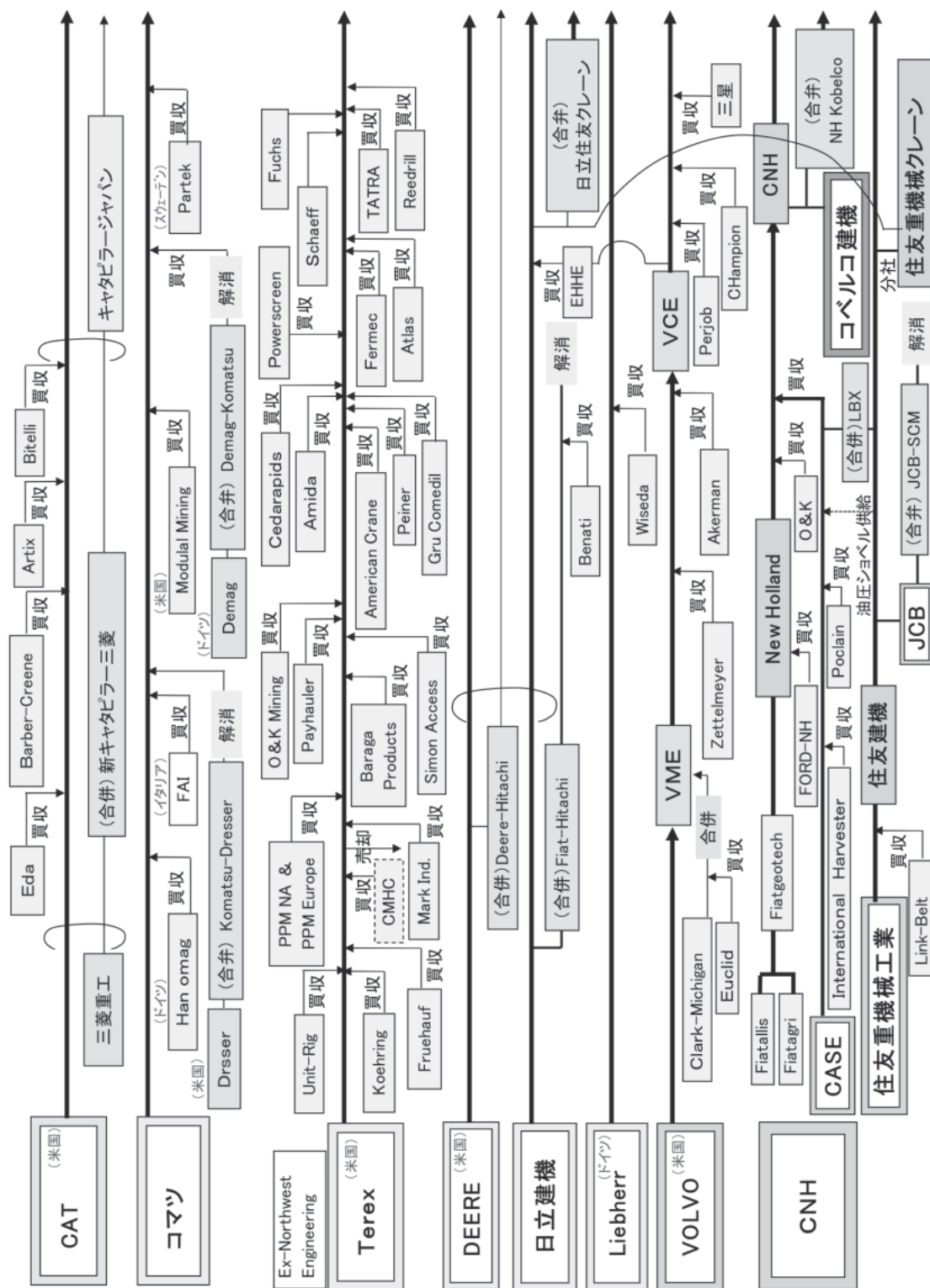


图 3.19

4 | 油圧ショベル主要技術の発展

油圧ショベルが国産化され、進化発展してきた背景には以下のことが挙げられる。

- ・戦後の日本の国土復興において産業基盤構築が重要な課題であり、インフラ整備や土木建築などの需要が旺盛で、ほとんど海外製品が使用されていた。しかし海外の製品の修理などを積極的に行い、知識をつけて行った。
- ・早期復興のためには、機械化施工が必要であり旧建設省などの支援もあって、日本の機械製造メーカーが競って建設機械の開発製造に着手した。
- ・当初試作された製品は性能・耐久性でみて満足できるものではなかったが、「機械化施工の需要と進歩」に合わせてユーザの意見を取り込み、各メーカーとも性能改善に努力した。
- ・当初日本では油圧技術が不十分であったが、油圧機器メーカーと車体開発メーカーの協力で油圧技術が急速に進歩した。
- ・日本の土木建設工事は海外に比べ小規模で狭隘な場所も多く、大型の機械式ショベルなどは使用しにくかったことから、国土に併せて比較的小型の使いやすい油圧ショベルが普及するようになった。

このような背景があって戦後、日本の復興を担う建設工事で、国産化された油圧ショベルは技術的に進化を遂げ急成長してきた。この技術の進化で最も重要な要因は、製品に対する「ユーザの意見やクレームに対して真摯に向き合う態度、或るいは完全性に対する自発的なこだわり」と言う日本人独自の気質と文化であった。これがあつたればこそ、あくなき改善の継続が他国に比して、自然且つ容易にできたのであろう。これ以降、油圧ショベルの部位ごとの進化の状況と技術の内容について述べる。

4.1 主要構造物の進化

油圧ショベルの主要構造物としては、大きく別けて下部走行体、上部旋回体、フロントに別けられる。この中でも特に技術面で改善が図られてきた「下部走行体」「操作レバー」「フロント構造物」の進化に

ついて述べる。

4.1.1 下部走行体の進化

油圧ショベルは、ブルドーザと違い、その場所にあつて腕（フロント部）と旋回動作で仕事をする機械である。下部走行体（図 2.11 参照）の機能としては「作業場所の移動」である。従って使用される頻度は全体の稼働時間の 1/3 以下と見られている。油圧ショベルが国産化された時は、機械式ショベルを参考に鋳鋼性の爪付トラックシューを駆動輪で回して走行する構造であった。駆動はトラックフレームセンター両サイドに配置した走行モータから駆動輪までをチェーンで連結して回していた（図 4.1 参照）。また上下ローラの軸受け部は砲金（銅と錫の合金）を使用したグリース給脂方式であった。

当時、走行部（足回り）の使用頻度は少ないとはいえ稼働 1,000 時間程度で分解整備（オーバーホール）が必要であった。このような中、国産化されて約 9 年の 1970 年頃には、足回り部品の軸受け部の無給脂化（オイルシール等を利用して軸受け摺動部にオイルを封じ込め、給脂をなくした）が進められ、耐久性及びメンテナンス性の向上が図られた。その後すぐに、駆動用走行チェーンを無くして走行モータを駆動軸に直接させたダイレクトドライブ式が開発され耐久性が向上した。また駆動輪もショベル型（図 4.1 参照）からブル方式（スプロケット方式）に改善された。更に走行時に駆動モータが損傷しないような配置改善等が図られてきた。

走行装置には、大きな走行力（トルク）が必要で、当時はモータに減速機を取付けて使用していたが、1977 年頃には、走行装置用の低速大トルクモータが国産化され、このモータを採用することで走行モータ（装置）がトラックリンクの幅の中の納まる「シューイン式」となり大幅な耐久性の向上が図られるようになった。

その後、専用遊星減速機や高圧モータの開発等で「低速大トルクモータ」から「高圧モータ+遊星減速機」方式（現行）へと進化して行った。（図 4.1 下部走行体の進化と変遷を参照）

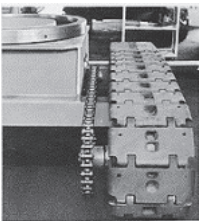
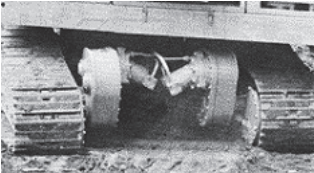
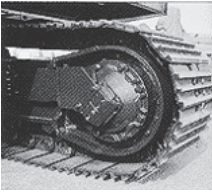
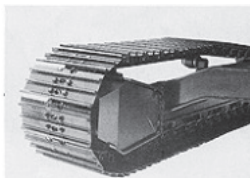
西暦	方式	形状	特徴
1961	走行モータ： チェーン駆動式		チェーン駆動式、ショベル式の爪付トラックスュー採用（通称：ショベル足） 
1970	ローラ等無給脂化		(ショベル足型駆動輪)
1971 1973	走行装置：初期直結式 ショベル足⇒プル足		油圧モータと減速機を利用した直結駆動方式。減速機が大きく出っ張っていて損傷しやすい。
	走行装置：直結式改良型		初期型に比べ、減速機や走行モータが邪魔にならないようにレイアウトされた改良型。（地面との隙間を大きくしている）
1977	初期シューイン型		シュー幅内に低速大トルクモータ（国産開発品）を配置しモータの損傷を防止。但し配管などはフレームの外側に出ている。
1986	現在のシューイン型		高圧モータと遊星減速機を利用した一体型走行装置をシュー幅内に配置。配管もフレーム内に格納して損傷防止。モータは2速切替型を採用。

図 4.1 下部走行体の進化と変遷

4.1.2 操作レバーの進化

油圧ショベルの掘削動作には、油圧ショベルの概要の「2.6.2 基本動作」で説明したようにフロントであるブーム、アーム、バケットを同時に且つ状況に応じ、繊細に動かすことが必要になる。その操作を行うための操作レバーは重要なアイテムと言える。油圧ショベルが国産化された当時は、油圧切替え弁（コントロールバルブ）の各スプールと床に立ち上げた操作レバーをコネクティングロッドで直接接続した床立ち6本式レバー（通称は走行用の2本は除いて、床立ち4本レバーと言う）であった。

掘削作業には、ブーム、アーム、バケットに加え旋回動作が必要であるが、このうち2本を手で動かし、もう2本はレバーの下部に足踏みペダルを付けて足を

使って操作していた。しかし足を使用しての操作は手に比べ細かい操作ができないことから複合動作には運転技術にかなりの馴れが必要であった。1977年頃にこれを解決した床立ち2本レバーが開発された。（図4.2 操作レバーの進化参照）

2本レバーが開発され、従来のそれぞれのレバーを前後に動かしていた方式に比べ、2系統を前後左右で操作することが可能となり、複合操作性は一段と向上した。その後コントロールバルブ操作力の低減などもあり、スタンド式2本レバーが開発されたことで更に使いやすくなった。

そして1980年代中に、米国又は国内からの操作力低減要望などを受け、当時大型機などで一部採用されていた、コントロールバルブの操作を低圧の油圧で行

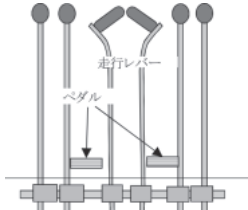
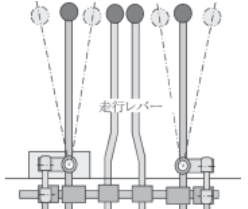
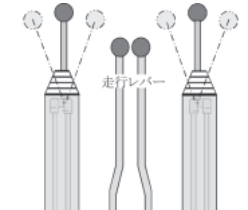
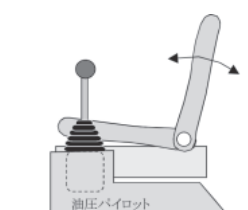
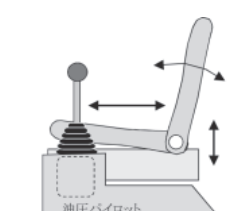
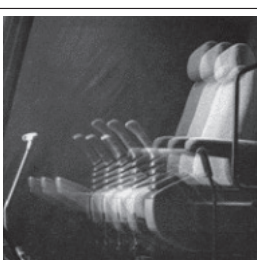
西暦	方式	形状	特徴
1965	床立式 4 本レバー 		両手両足で4本のレバーを操作する4本レバー式。レバー方向は前後のみ。足を使用するレバーは微操作が難しい。
(1977)	床立式 2 本レバー 		1 本のレバーに前後・左右の 2 操作方向を割付（走行除く）床立ちなのでストロークは大きい。操作力は軽減し操作性も向上した。
(1983)	スタンド式 2 本レバー 		操作レバー（走行除く）をスタンド上に設置。レバーが短くなりストロークが小さくなったため使いやすくなった。
(1986)	アームレスト式 2 本レバー 		バルブの操作を機械式（ロッド接続）から油圧パイロット方式に改良してシート両サイドに設置。更に乗り降り時の操作レバー接触による誤動作防止（安全性）のため、ゲートロックレバーを標準装備。
(1990)	W スライドシート式 2 本レバー 		操作レバーに対しシートが前後するため、体形に合わせたシート位置決めが可能。また同時にレバー・シート全体がスライドし、オペレータの前後方向位置を調整できるようになった。

図 4.2 操作レバーの進化

う「油圧パイロット式」の専用操作レバーが開発された。これにより一段と操作力を軽減できたため腰掛け用シートに肘を置きながら操作できるようになり運転者の疲労低減が図られた。それ以降は、油圧システムのほとんどでパイロット式が採用されるようになり、現在では、小型ミニショベルまで普及してきている。油圧パイロット方式は更に進化し、現在ではシート肘掛部にシートと一体化しながらもシートの位置調整が可能ようになっており操作力も小さく疲労もほとんど

ど感じないようになっている。（図 4.3 操作レバーの操作力・操作量・モーメントの推移参照）

なお、現在では油圧パイロット式が主流ではあるが、ミニショベル等では一部電気レバーが採用されている製品も出てきている。

図 4.3 のように開発当初の 4 本レバーは、操作力は 6kgf あったが次第に低減され 2 本レバー（UH07-7）では操作力は半減された。それでも片手で 2 本の操作レバーを同時に動かすため疲労が感じられた。

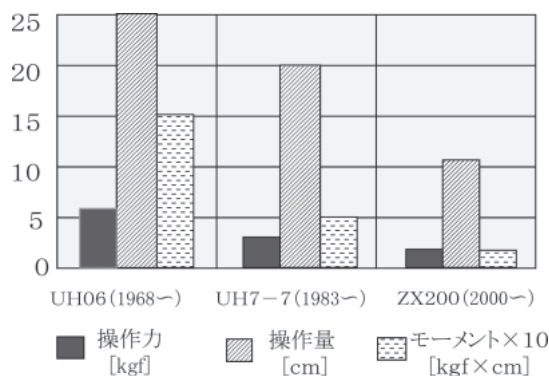


図 4.3 操作レバーの操作力・操作量・モーメントの推移 (20t 級) (資料提供：日立建機)

その後、油圧パイロット式に変わり、更に操作力は当初の 1/3 にまでなると同時に操作量、操作モーメントも改善され現在ではほとんど疲労を感じないようにになっている。

操作レバー方式が 4 本式から 2 本式に変わった当時はまだ、操作レバーに関する統一規格が存在しなかったため、油圧ショベルメーカーは、各社独自の考え方でレバーの割付けをしていた。その後、業界基準を作り JIS 化 (JIS レバー) を設定したが、法的規制もなく現在までその名残りが存在している。

その代表的な例を「図 4.4 2 本レバーの操作方式の違い」に示す。

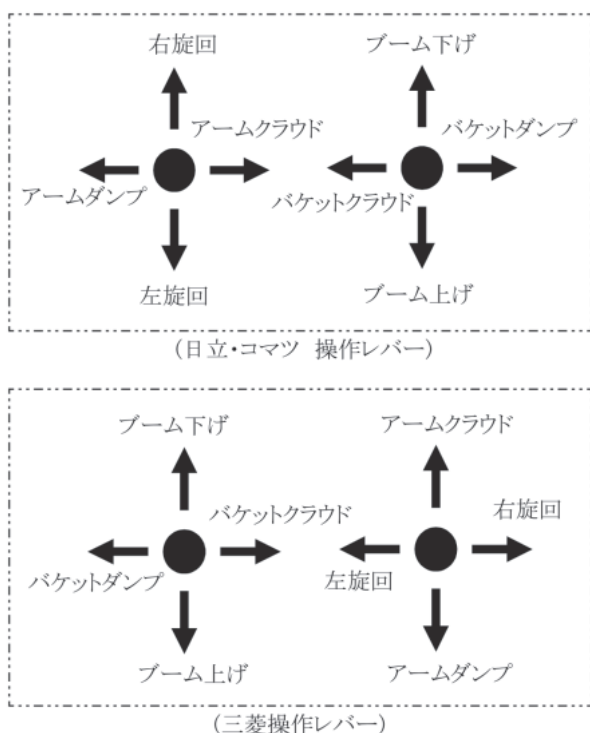


図 4.4 2 本レバーの操作方式の違い

操作方式の違いは、安全性等を考慮すると JIS 方式に統一すべきではあるが、運転者の慣れなどから「自分の馴れた操作方式」への要望が今でも強い。現在も統一化を進めながらも一方で誰が乗るか判らないレンタル機などにはユーザが使いやすい操作方式に簡単に切り替えられる「マルチレバー」も開発されてきている。

4.1.3 フロント構造物の進化

油圧ショベルを構成する主要構造物は、開発当初から厚板鋼板を用いた溶接構造で設計製作されてきた。大きな構造物としてはトラックフレーム、旋回主フレームとフロントであるブーム・アーム・バケットなどがあるが、これらの部品には、掘削動作時に各ヒンジピンを介して大きな負荷が加わる。特にフロントの各構造物には、大きな荷重が掛かり亀裂などの損傷が発生しやすい。

フロントの各部はピンで接続されているが、このピン部は油圧シリンダを操作させると常に負荷を受けながら回転摺動する。そのため各ピンの回転部には高負荷を受けられる鉄製ブッシュ等が使用されており常にグリース等を注入して焼き付き防止を図っている。(図 4.5 参照)

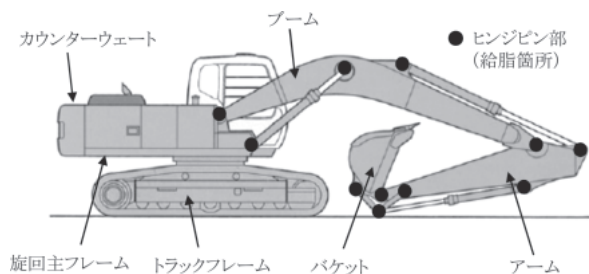


図 4.5 主要構造物と給脂箇所

なお、フロント構造物が損傷する原因としては以下が考えられる。

- (1) 掘削などの作業において、急激な動作で地面や岩石などにバケットを衝突させることがある。
- (2) 作業中に、各ヒンジピン部周辺に繰り返し (交番) 荷重や大きな荷重が発生する。
- (3) 給脂不足になるとピン部が早期に摩耗する。また場合によっては焼き付きを起す。

油圧ショベルのフロント部の動作は、重量物があることからエネルギー値が大きく、故意に衝突させれば通常の数倍の力が掛かり早期に壊れる。またシリンダ速度も速くなってきておりストロークエンドでの衝撃も大きい。

このような背景から今まで以下のような改善が成さ

れてきた。

- ・各ピン部などで衝撃等により応力集中が発生しやすい部位を焼鋼化して応力集中を減らす。
- ・ストロークエンドでスピードを減速する構造の油圧シリンダの採用などである。

一方、それに合わせて給脂不足の解消、給脂間隔の延長のための構造改善等が行われてきた。

従来からヒンジピンについては表面を高周波焼き入れ又は浸炭焼き入れを行い硬度をアップし、同様に相手側も鋼製ブッシュを使用して焼き付き防止を図っていたが、50～100 時間間隔でグリース給油が必要であった。これを怠ると焼き付きや早期摩耗を起す。定期的なグリスアップは作業者の負担になる。またレンタルで使用する場合は給脂を怠るなどの問題があり、メンテナンスフリー化や給脂時間の延長のニーズが高かった。その中でも特にバケット部は常に土砂や水にさらされることから損傷しやすかった。そこで考案されたのがピン摺動部への土砂の侵入防止策である。(図 4.6 バケットピン部の土砂侵入防止策参照)

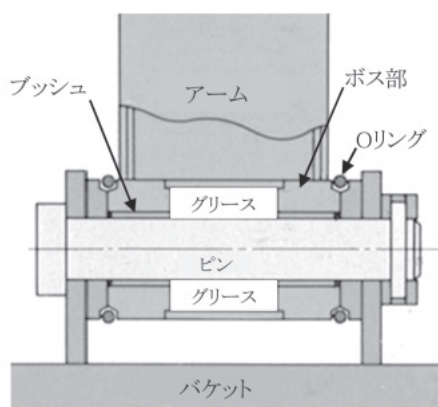


図 4.6 バケットピン部土砂侵入防止

この方法は、アームとバケットのボス部にOリングを入れることで外部からの土砂流入を防止するとともにアーム内部に貯蔵したグリースの流失を抑えて長時間給脂状態が保てるようにしたものである。

これでかなり給脂間隔等は改善されたが、それでもグリースの流失などで無給脂とはならなかった。その後 1995 年頃に日立建機では「HN ブッシュ」が開発され採用されるようになった。「HN ブッシュ」は含油焼結合金製ブッシュであり、ピンは従来のものが適用できる。含油焼結合金とは、鉄、銅、その他元素の粉末を成形して焼き固め、真空チャンバーを使用して潤滑油を含浸した合金である。表面は浸炭焼き入れをして従来の鋼製ブッシュと同程度の固さを有する。HN ブッシュの作動原理を図 4.7 に示す。

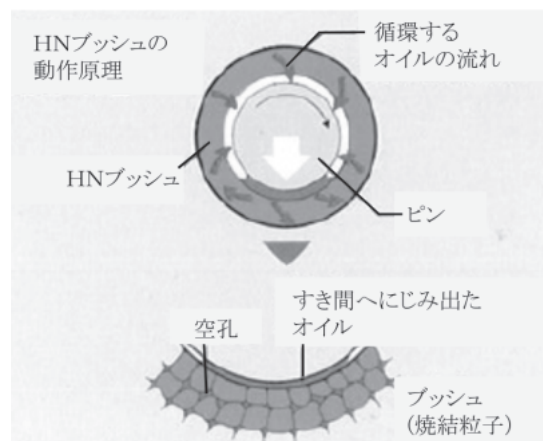


図 4.7 HN ブッシュ作動原理 (出展：日立建機)

HN ブッシュでは焼結合金内の空孔に含浸した高粘度潤滑油が、回転の摩擦熱でピンとブッシュの隙間に滲み出て摺動面を潤滑する。この 2 つの技術改革により無給脂とまではいかないが従来の約 5 倍まで給脂無しで使用できるようになった。一方、グリースが流れ出ないため、回転によりアーム先端のボス部とバケット端面が摩擦により摩耗する。そこで端面に WC (タングステンカーバイト) を溶射して硬度を上げ、摩耗を軽減する技術も採用されてきている。

4.2 油圧システムと制御システム

油圧ショベルにおける油圧システムとは、原動機であるディーゼルエンジンの機械（回転）エネルギーを油圧エネルギーに変換して各アクチュエータに伝達し、機械エネルギーとして使用するシステムであり、それを効率良く動かすようにコントロールするのが制御システムである。機械エネルギーを油圧エネルギーに変換する機器は油圧ポンプであり、油圧エネルギーを機械エネルギーに変換する機器はアクチュエータと呼ばれ、油圧シリンダやモータ等がある。一方、油圧を伝達する機器としては、タンク、配管、ホース、フェルタなどがある。更に、油圧を制御する機器としては、方向制御弁、圧力制御弁、流量制御弁などが挙げられる。通常、油圧ショベルの場合、シリンダ及び油圧モータ等のアクチュエータを使用して掘削などのほとんどの作業が行われる。

油圧ショベルにおける油圧及び制御システムに求められる機能としては以下が挙げられる。

- ・フロント部及び本体部の 6 動作（走行左右・旋回・ブーム・アーム・バケット）をオペレータの意のままに操作できること。
- ・6 動作を同時に操作（複合動作）できること。ま

国産化以前	揺籃期 1965～	確立期 1978～	発展期 1986～	成熟期 2000～
★ ①固定容量 1P-1Vシステム	★ ②固定容量2P-2Vシステム ★ ③可変容量2P-2Vシステム ★ ⑤3Pシステム ④可変容量型ポンプの制御 (2)外部コンベン流量制御(メカ)	★ ⑦OHSシステム ④可変容量型ポンプの制御 (2)外部コンベン流量制御(油圧) ★ ⑧電子OLSSシステム ⑥コントロールバルブ制御 (1)リリーフカットオフ制御 (2)ブーム合流・アーム再生回路	★ ⑨E-P制御システム ★ ⑩ELLEシステム ★ ⑪CLSSシステム	★ ⑫掘削 再生回路

図 4.8 主な油圧システム及び制御システムの開発状況
 (*: 記号で「P」はポンプ 「V」はバルブ 「E」はエンジンを意味する)

たインチング（微操作性、即動性など）やメータリング（レバー操作量に比例した動作性）性が良いこと。

- ・エンジン出力を効率良く油圧に変換して作業機を駆動できること。
- ・悪環境（温度、湿度、気圧、粉塵等）においても、連続的に使用可能で且つ堅牢であること。
- ・ランニングコストも含め、コストパフォーマンスが高いこと。

油圧ショベルは、当初は海外技術を導入して国産化されたが、その4年後に純国産技術の油圧システムが考えられ、その後より使いやすく効率の良い製品を目指してさまざまなシステムが考案され進化発展してきた。図 4.8 に、その主な油圧システム及び制御システムを示す。

油圧ショベルにとって油圧システムと油圧制御システムは、動力伝達の基本である。国産化後約 20 年で、ほぼその基本ができたと言える。なお回路システムと制御システムの違いは以下の通りである。

その代表的な例を上記表の順番に従って説明する。

4.2.1 固定容量型 1 ポンプ 1 バルブ (PF1P-1V) システム

日本で最初に生産された「三菱ユンボ Y35」に搭載された油圧システムを図 4.9 に示す。エンジンには 1 個のギヤーポンプ（固定容量型：一般に PF ポンプと言う）を直結してそこで発生する圧油を 6 連型の切替弁（以下コントロールバルブと言う）に流す。

上記のシステムにおいては、コントロールバルブは図 4.10 の平行（並列）回路が組み込まれている。これによりバルブ①のスプールを使用している場合、圧油 P はバイパス回路を通してバルブ②に流れるため

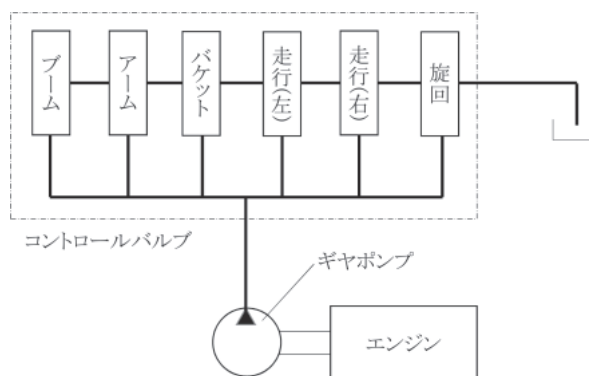


図 4.9 1 ポンプ 1 バルブ (1P-1V) 油圧システム

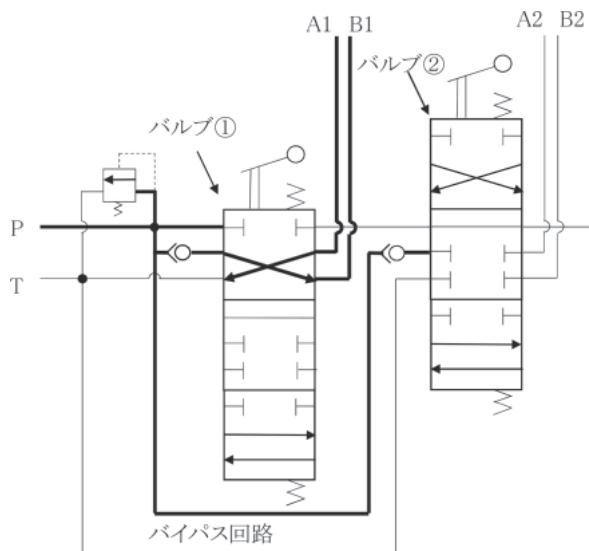


図 4.10 平行（並列）回路

バルブ①及び②とも同時に使用することができる。各スプールはオープンセンタ式（図 4.27 参照）が採用されており操作レバーによるスプールの押し具合でアクチュエータ側 A1、B1 への供給流量は変化するようにになっている。

Y35 の仕様は、エンジン出力 36ps、油圧 $P=95\text{kgf/cm}^2$ 、流量 $Q=120\text{ l/min}$ で油圧馬力としては 25ps ($P \times Q/450$) であり、現在のミニショベルに該当する製品である。当時は国内に類似の商品がなかったため好評を博したが、実際の作業においては以下の弱点があったと推定される。

①複合動作が難しい。

油圧ポンプが 1 個で、その油量をパラレル回路で接続して動かしていることで理論的には各アクチュエータを同時に動かせる構造ではある。とは言え負荷の掛かり具合で圧力の低い方に多くの油が流れることから、状況によっては片方が停止する。また複合動作を行うと単独動作時には 100% 流れていた流量が半減するため動作速度が急激に変化する。まして、3 複合動作をすると更に操作が難しくなる。これらの状態をオペレータの運転技量で修正しながら使用しなければならず、熟練を要し疲労も伴っていたと推定される。

②負荷状況でエンストする。

油圧ショベルで負荷の大きい動作は「走行」と「ブーム上げ」である。走行は 2 つのモータを同時に動かすことで大きなパワーが必要になる。またブーム上げも負荷モーメントが大きい。以上からブーム上げと走行を同時に可能にするには大きなパワー（エンジン）が必要になるが、大きなパワーにすると各単独動作が速くなりすぎるためエンジンは少し小さく設定している。当時、パワー配分をするための制御油圧機器も少なく、結局は使用状況によってエンストが発生する構造となっていた。

4.2.2 固定容量型 2 ポンプ 2 バルブ (PF2P-2V) システム

1965 年に日立製作所（現：日立建機）が純国産技術で日本初の油圧ショベル UH03 を開発した。

国産された UH03 は海外技術導入で製造された Y35 の欠点である操作性を各段に向上させるとともにパワーもアップした製品である。UH03 の仕様で見ると、エンジン出力 50ps、油圧 $=140\text{kgf/cm}^2$ 、流量 $Q=104\text{ l/min} \times 2$ ケで油圧馬力は 65ps であった。この時に採用されたのが図 4.11 の本システムである。

本油圧システムでは、複合性能を良くするために固定容量型（PF 型）の 2 連ギヤーポンプを装備して、それぞれ個別にコントロールバルブに接続している。3 連及び 4 連のコントロールバルブについて見ると、各々のバルブ内はパラレル回路が組み込まれており、複合性は悪いが、直進性が必要な走行は 2 ポンプになり左右別々の回路となったことから、左右の負荷に違

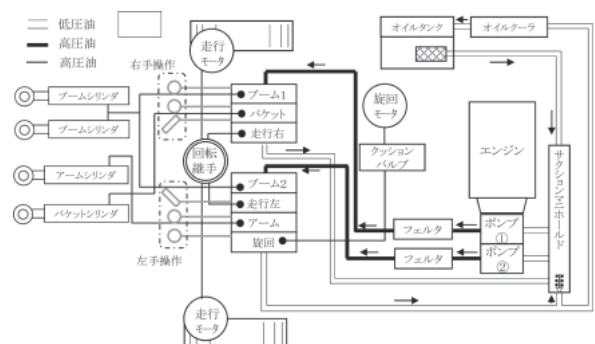


図 4.11 固定容量型 2 ポンプ 2 バルブ (PF2P-2V) 油圧システム

いがあっても影響はない。これ以外にも本システムでは 1PIV 方式に比べ、以下に述べるように性能が大幅に改善されている。

- (1) ブームシリンダは、2 本のシリンダを使用しており必要流量も大きいことと、右バルブのバケット動作でブーム上げ側の流量が低下しても左側から合流して補填している。実際にはブームレバーはリンク機構を用いてレバーを 2 段で引くようになっており、1 段目で右バルブが全開し更に 2 段目まで引くと左側バルブのブーム 2 から合流されるようになっている。従ってアーム動作や旋回、ブーム動作を複合させる時はブームレバーを 1 段だけ引くことで確実に複合できる。
- (2) 複合頻度の多いブームとアーム、アームとバケット、旋回とブーム 1 がそれぞれ別ポンプ駆動になっているため、同時操作が確実に行えるようになり操作性が格段に良くなった。
- (3) パワーが必要でない旋回やバケット回路は、ポンプを 2 つに分けたことから、それぞれエンジン出力の半分の流量しか供給しない。逆にその分を、パワーが必要なブームや走行回路及び複合動作のスピードアップに使用できることから作業性能が大幅に向上した。
- (4) 本製品ではエンジン出力に対し油圧馬力が大きくなっている。通常油圧馬力がエンジン出力を超えるとエンストを起す。従ってエンジンの特性や使用環境などを考えて油圧負荷馬力は、エンジン出力内で設計されるのが一般的である。油圧馬力が最大になるのは、2 ポンプを最大圧力で使用した場合で、走行時、複合動作時、2 ポンプ合流しているブームのフル動作時である。本製品では、負荷状態はエンジン音などで把握できる、油圧負荷が最大になる頻度は少ないとの考えから、エンジン出力を上回った油圧馬力を出すよう

にしていたためエンストも発生する構造であった。ちなみに Y35 と UH03 の場合で比較すると「油圧馬力 / エンジン出力」の比は、それぞれ 0.7 と 1.3 となっている。なお現在では負荷に応じて流量を制御してエンジン出力内に抑えているため、エンストはしない構造に進化している。

これ以外にも、キャビテーション防止機能の向上、高圧フェルト装着、旋回急停止防止のためのブレーキバルブ装着など安全性や信頼性を向上させる工夫が施された。

純国産化ということでは、2年後の 1967 年に加藤製作所が HD350 を開発しているがこれもほぼ同様のシステムを採用している。

4.2.3 可変容量型 2 ポンプ 2 バルブ (PV2P-2V) 油圧システム

本油圧システムは、前述と同じ 2P-2V 方式で 1968 年に日立 UH06 で最初に採用されたが、図 4.12 に示すように、油圧ポンプが固定容量型 (PF 型) からアキシャルプランジャerp (ピストン) ポンプ (PV 型) に進化したものである。さらに本システムには、当時、国産の PV ポンプが少ない中、(株)川崎重工業 (当時) の協力を得て、省エネルギー技術として画期的な発明である外部コンベン制御 (4.2.4 の (2) で説明) が開発採用されている。

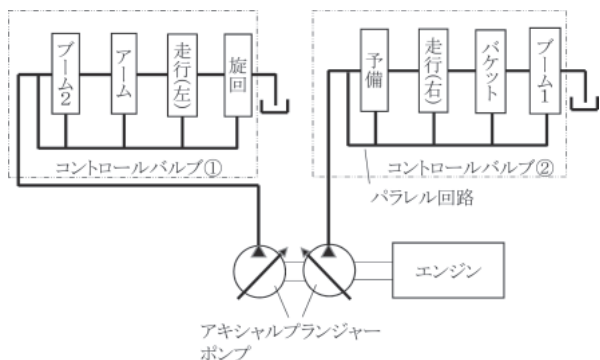


図 4.12 可変容量型 2 ポンプ 2 バルブ (PV2P-2V) 油圧システム

この方式は、従来の油圧負荷に関係なく回転数に比例して一定の流量を吐出する固定容量型 (PF 型) に対し、吐出流量を状況に応じて変化させることが可能な可変容量型 (PV 型) ポンプを採用したものであるが、このシステムにより油圧ショベルの性能を飛躍的に向上させ、これが油圧ショベルの基本原理となり進化の基礎となった。現在でもミニショベルも含めほぼすべての油圧ショベルに PV 方式が採用されている。

PV 方式を採用するメリットは

- (1) エンジン馬力の使用率が高まり、その分同じ性能ならエンジンを小型化できる。
- (2) 油圧出力が自由に変えられるため、効率や作業性が向上する。
- (3) 馬力一定制御など、ニーズに応じて幅広いポンプ制御が可能となる。
- (4) アキシャルプランジャerpポンプを使用することで、高圧化や大馬力化が容易となる。
- (5) ポンプ単品はコストアップするが、全体システムとしてはコスト低減が可能となる。

以上のことが挙げられるが、このポンプを使用するための制御方式について以下詳細説明する。

4.2.4 可変容量型ポンプの制御

(1) 馬力一定制御

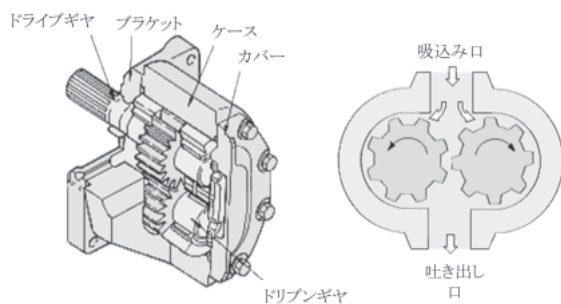
可変容量型ポンプにおいてはエンジン馬力に対し、油圧馬力がオーバーしてエンストを起さないようにポンプ馬力を一定に制御するシステムが採用される。本方式を説明するに当たり、まず固定容量型 (PF) ポンプと可変容量型 (PV) ポンプの違いを比較する。

① PF 方式と PV 方式の比較

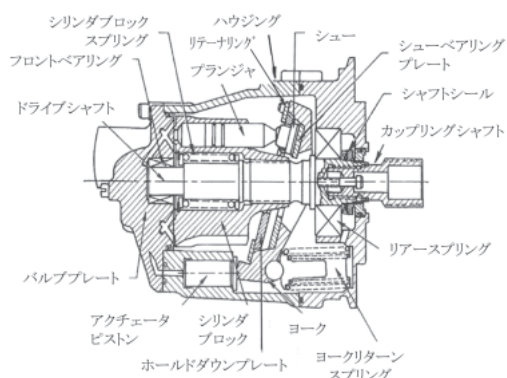
油圧ポンプには、図 4.13 の①のギヤーポンプに代表される固定容量型ポンプ (PF 型) と、②に示す可変容量型プランジャerpポンプ (PV 型) がある。可変容量型ポンプには斜板 (ヨーク) の角度を変えて流量を変化させるものとドライブシャフトの角度を変えて流量を変化させる斜軸式がある。プランジャerpポンプの特徴は、ギヤーポンプに比べ構造的に高圧で使用できることである。

可変容量ポンプ作動原理は、図 4.13 の③に示すようにドライブシャフトと一体になったシリンダブロック内に複数 (通常は 8 ~ 9 本) のピストン (プランジャerp) が配置されており、シャフトが回転するとブロックも一緒に回転しながら、バルブプレート (固定) の流入位置にくると油を吸込み、排出位置になると油を吐出す構造である。吐出流量を調整するのは斜板 (固定) であり、この斜板の角度を変化させることによりシリンダブロック内のピストンの動くストロークが変わることから吐出量も変化する。ピストンの先端は球面状でそれをシューで包んで斜板に平面接触させ、回転時はシューが滑りながら動く。斜板角度の変化は球面部で受けて動く構造となっている。(②の構造図参照)

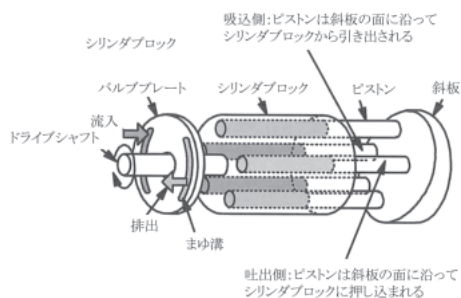
油圧ショベルを純国産化した 1965 年頃には可変容量型ポンプの国産品はほとんどなかった。油圧ショベルの高圧化、効率化を図るためには、ショベルの特



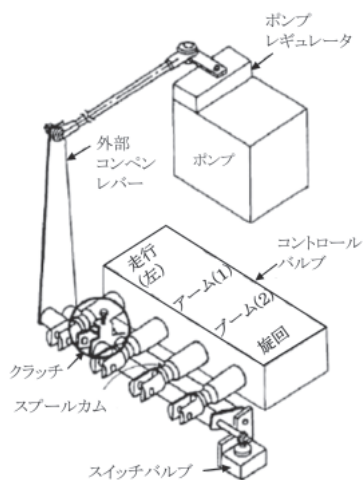
①固定容量型ポンプ (PF型)



②可変容量型プランジヤポンプ (PV型)



③ポンプの作動原理:斜板の変化で流量変化



④外部コンペン式PVポンプ

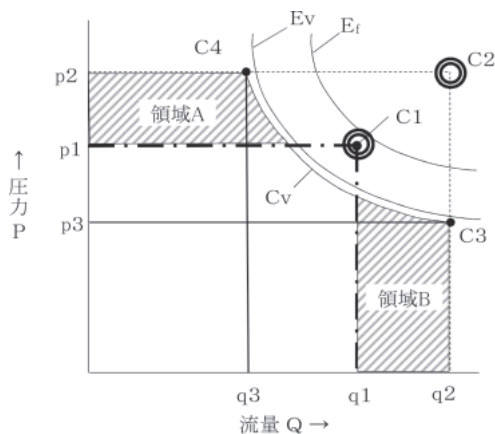
図 4.13 固定容量型油圧ポンプと可変容量型油圧ポンプ

性に合わせた PV ポンプの開発がどうしても必要だった。そこで日立建機(株)は、川崎重工業(株)に依頼して専用のプランジヤポンプを開発した。当時はパイロット油圧で斜板を制御する技術がなかったためアイデアを絞り、図 4.13 の④に示すようにバルブのスプールの動きをカムで検出し、レバー等を介して機械的にポンプの斜板に繋いで制御する方式であった。

当時、海外の文献でもショベルの動きに合わせて斜板を自由に変化させ、油の吐出量を自動的に調整する機構はなく、世界初の技術と言える。ポンプ開発に当たっては、何度も試作品を作り昼夜を分かたぬ努力を重ね、約 1 年という短期間で完成させたとのことである。

油圧ショベルでは、開発当初 (1950～1960 年代中頃) までは固定容量型ポンプが採用されていたが、60 年代後半から、よりパワーの大きい油圧ショベルのニーズが高まり、それに伴い高油圧化が必要になってきた。それに対応して可変容量型ポンプの採用が始まった。油圧ショベルの場合は掘削動作において常に負荷が変化し一定ではない。従って作業に必要な負荷 (圧力×流量) の最大値で設計すると大型の機械になってしまう。この対応策としては、速度 (流量) を少なくすることで大きな力 (圧力) を出せるポンプを使用することにより、車体やエンジンのコンパクト化を図ることが考えられた。このためには可変容量型ポンプが最適であった。このような背景から現在では、車体重量 1t 以下の超ミニショベル (通称：マイクロショベル) の一部を除いてはほとんど可変容量型のポンプが採用されている。可変容量型ポンプを使用した場合にエンストを起さないように油圧馬力とエンジン馬力のバランスをとるには、圧力と流量の関係を制御する必要がある。そこで、図 4.14 に固定容量型 (PF 型) と可変容量型 (PV 型) ポンプの「流量－圧力線図」を模式的に示して説明する。なお、双方とも流量は 2 ポンプの合計流量を示す。

PF 型ポンプにおいては、油圧ポンプの最大馬力 $C1$ (ps) は、 $[p1 \text{ (kgf/cm}^2) \times q1 \text{ (ℓ/min) / 450}]$ で計算されるが、この馬力がエンジンの出力曲線 $E1$ の範囲内ないとエンストを起す。同様に PV 型ポンプの場合でも最大馬力 $C2$ は同様に $[p2 \times q2 / 450]$ で計算され、最大流量で且つ最大圧力を出そうとすると、エンジン最大出力 E_v を超えるためエンストが発生する。そこで圧力が $p3$ まで上昇したら、ポンプレギュレータからの指令圧でポンプの斜板角度を制御して吐出量を低下させることで、油圧馬力 C_v がエンジン出力 E_v を超えないように、 E_v 曲線に沿った一定馬力制御を行い、エンストを防止する。そして負荷圧が



Ef: PF方式でのエンジン出力曲線
 q1: 同上方式での最大流量
 p1: リリーフ圧力
 C1: 最大油圧馬力
 Ev: PV方式でのエンジン出力曲線
 q2: 同上方式での最大流量
 p2: リリーフ圧力
 p3: 馬力一定制御開始点の圧力
 Cv: 油圧馬力曲線
 C2: 最大油圧コーナー馬力
 C3: 馬力一定制御開始点の油圧馬力
 q3: 馬力一定制御終了点の圧力
 C4: 馬力一定制御終了点の油圧馬力

領域A: PV方式にした場合にC1の馬力で圧力を増加して使用できる範囲
 領域B: PV方式にした場合にC1の馬力で流量増加する範囲

図 4.14 PF・PV 方式の流量—圧力線図

p2 リリーフ圧状態までアップした場合は、流量は q3 まで低下する。なお、ポンプの最大油圧コーナー馬力 C2 とは、一般的に PV 方式での油圧馬力の目安を言う。油圧コーナー馬力が大きい方が変速域も大きく有利ではあるが、機器の大型化やコストアップにもなるため通常は、エンジン出力の 2 倍前後になっている。

両方式のエンジン出力の利用度を比較すると、PF 方式では、最大圧力時にのみエンジン出力を 100% 使用しており、通常は負荷圧が上がらないことが多いことからエンジン馬力に余裕がある。一方 PV 方式では負荷圧 p1~p2 の間でもエンジン出力に合わせた流量吐出をするため領域 A の範囲も利用が可能となる。同様に流量でも領域 B の範囲も使用できる。この出力の利用度の差は PV 方式の場合、PF 方式の 60~80% (C1/C2) のエンジンで同等の作業量が得られ、エンジン小型化が図れる。また従来の方式に比べ PV 方式では、運転中いかなる負荷に対してもエンストが起こらないことからオペレータの負担が軽減されている。

② 可変容量型ポンプの馬力制御

エンジン馬力の利用率は、可変容量型ポンプ (PV ポンプ) の出現で向上したが、その後、可変容量型ポンプを 2 台使用した各種の馬力制御方式が開発され、更に向上した。その制御方式を図 4.15 に示す。

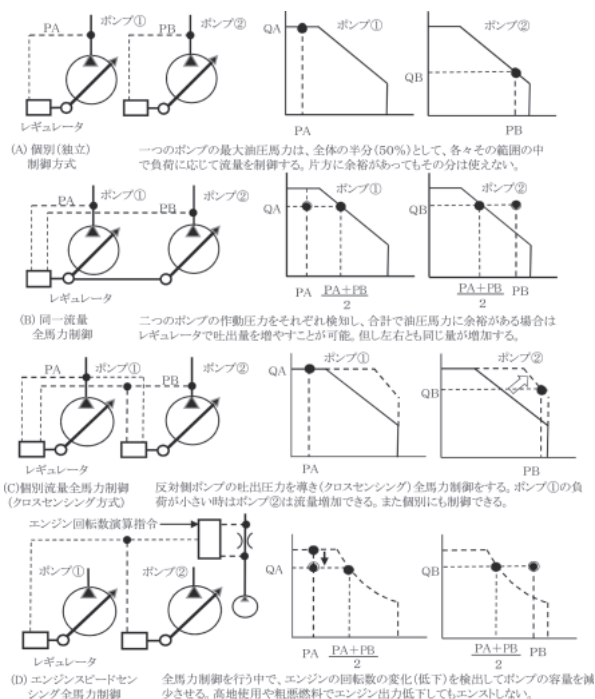


図 4.15 可変容量型ポンプの馬力制御方式

PV ポンプを 2 台採用した初期段階においては、(A) 図のようにエンジン出力の半分に対応するポンプを選定して、各々が個別に自己圧 (自分のポンプが発生させる圧力) を検知して馬力一定制御を行う個別 (独立) 制御方式であった。その後、エンジン出力をより有効に利用できる全馬力制御 (全ての油圧負荷を合計してエンジンの所定馬力内に制御する機構) へと移行して、その後更に負荷によるエンジン回転数の変化を検出して全馬力制御するエンジンスピードセンシング方式が開発され、現在に至っている。

(B) ~ (D) の全馬力制御方式は、2 つのポンプの油圧馬力の合計がエンジン出力を超えない範囲で制御される。従って一つのポンプが軽負荷の場合には、流量が全体に増加したり又は、他方のポンプの流量を増加させたりすることができる。従ってより多くの馬力を吸収させることになり、全体としてエンジン出力の利用度が向上する。

(2) 外部コンペン式流量制御

コントロールバルブは、操作レバーの操作量に応じて各スプールからアクチュエータに流れる流量を変化させるが、可変容量型ポンプの場合、各スプールからの使用流量 (バルブの解放度) に応じてポンプ吐出流量を変化させることが可能で、このことがスムーズな動作 (メタリング特性) や省エネにつながる。バルブが操作されていない場合はポンプ吐出量を最低にし

て、複合動作等で大きな流量を必要とする場合はポンプ吐出量をポンプの最大馬力まで出すようにする。1968年に発売された日立UH06で可変容量型2P2Vシステムが採用され、世界で初めて外部コンベン式制御方式（メカニカル式）が登場した（注1及び図4.13の④参照）。その後、1980年頃から外部コンベン式制御は、メカニカル式から油圧式へ転換され、各種制御方式が考えられ、採用されるようになってきた。油圧式ポンプの流量制御には2つの方法がある。その制御方式を図4.16に示す。

（注1：特許0864109 油圧ショベル操作用ポンプの制御装置、出願日：昭和43年9月6日、発明者：安倍克郎、柿沼三郎、宇埜正晃）

図4.16のネガコン制御（ネガティブコントロール）はオープンセンタ回路のセンターパイパスラインの最下流に絞り抵抗を設けて、そこを通過する流れ流量を絞りの背圧として検出し、ポンプにフィードバックすることで、その流れ流量が一定になるようにポンプを制御する方式である。従ってポンプの吐出流量は（必要流量＋流れ流量）分だけとなり、無駄な流量を吐出しないため省エネとなる。システムの構成はシンプルで且つ、ダンピングが効いて作動が滑らかであるが負荷変動によるメータリング特性への影響は免れない。

一方、ポジコン制御（ポジティブコントロール）は

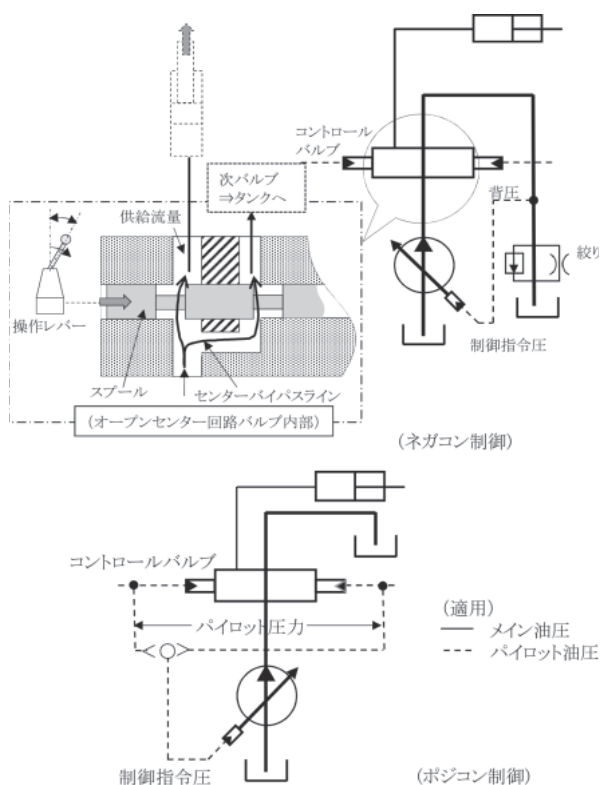


図 4.16 油圧ポンプの外部コンベン制御方式

コントロールバルブへの操作指令圧であるパイロット圧力を検出して、必要消費流量を予測して可変ポンプにフィードバックさせ吐出流量をコントロールする方式である。ネガコンと同じように無駄な吐出流量が無いので省エネになる。回路の安定性は良好であるが、ショベルの操作性がポンプの制御特性に依存するため、負荷特性とのマッチングが重要となる。

このように1960年代終わりから1970年代にかけて、国産の油圧ショベルでは、機械の耐久性の向上に加えて、可変容量型ポンプ採用による高圧化・小型化、負荷に応じた外部からコンベン制御による効率化及び省エネ化の技術が開発され進化した。

4.2.5 3P（ポンプ）システム

油圧ショベルの動作は、2P-2V化により複合性などが改善されたが、旋回と他の動作との複合性が悪いなどの問題がまだあった。そこで考えられたのは3ポンプシステムである。複合作業の中でも旋回動作と他の動作を同時に行うことは非常に多い。例えば掘削した土を地切り（地面からバケットが上げること）すると同時に旋回を行いながらブーム、アーム動作も行いダンプカーに積み込む動作は作業時間を短縮する上で重要である。その際に旋回動作ができなかったり、他の動作をした時に旋回動作が変化したりすると使い勝手も悪く且つ危険でもある。そこで考えられたのは旋回動作を独立するために専用ポンプをもう1ヶ追加した3ポンプシステムである。欧米では早くから「3P-3V」システムが採用されてきていたが、日本においては「2P-2V」システムの改良で旋回の独立性を確保する開発が進められてきた。しかし現在は、ミニショベル等で1部3Pシステムを採用している機械もある。図4.17に2Pシステムと3Pシステムの比較図を示す。

図4.17に示すように3Pシステムでは、旋回との複合性を良くするために旋回専用ポンプを設け他のポンプに影響されないで流量を確保し、安定した動作をするようにしている。これは旋回動作の場合、他の操作を行った時にその影響で速度変化をおこすと危険につながるからである。しかし3Pシステムの場合、旋回に必要なエネルギー（出力）を常に確保して、残りのエンジン出力で他の動作を制御することから、通常ポンプは固定容量型の小さなものが採用されるが、それでもエネルギー効率は悪くなりコストも高くなる。

このような事情もあり、一時は3Pシステムも採用されたが、1980年代になり、旋回動作を含めて2ポンプシステムでまかなう、より効率的で複合性の良い「OHS油圧システム」（4.2.7参照）などが登場してき

た。現在、3P システムは構成が簡単のため、ミニショベル等で多く採用されている。

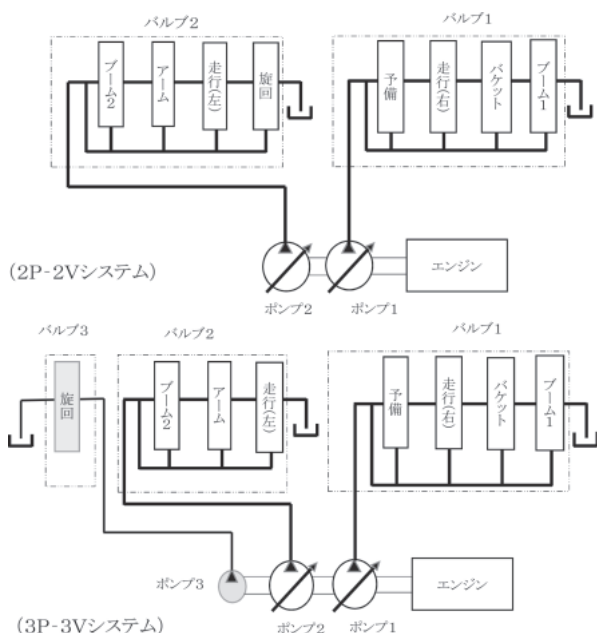


図 4.17 2P-2V システムと 3P-3V システムの比較

4.2.6 コントロールバルブ制御

油圧ショベルの油圧回路については国産化以降、種々の構造的特性や使用者の意見への対応の結果として、様々な回路構成が開発されてきた。この背景には 1965 年以降、国内の油圧ショベルメーカーが多く出てきたこと、ミニショベルが市場に登場して、ミニショベル専門メーカーを含めると更に多くのメーカーが出現したこと、彼らがそれぞれ独自の開発を行い、より高性能で使いやすい製品を出して国内シェアを確保すべく、熾烈な競争を展開したことなどがあった。その開発のキーワードは、先に述べたポンプ制御とコントロールバルブによる「操作性の向上」、「省エネとスピードアップ」であった。以下では、コントロールバルブ制御の技術進歩について説明する。

(1) リリーフカットオフ制御

油圧ショベルは、稼働中に過大な負荷に遭遇すると、動きが止まり、力だけを出しているリリーフ状態になる。リリーフカットオフ制御は、この時にリリーフ圧力の直前でポンプ流量を減じることで、エネルギー損失を抑えて、発熱低減（省エネ）や騒音低減を図る制御である。本制御は 1982 年頃から各油圧ショベルメーカーで採用されるようになった。

(2) ブーム合流回路

ブームの上下動作を行うブームシリンダは、フロント部の根元に配置されることから作動モーメントも大きく他のシリンダに比べ大きな力が必要になる。そのためミニショベルなど一部を除いて 2 本のシリンダを配置する場合が多い。従って掘削動作においてはブームシリンダに大きな流量を供給する必要がある。そのため図 4.18 に示すように必要流量の大きいボトム側には 2 ポンプを合流させて使用し、負荷及び必要流量の小さいロッド側には 1 ポンプを使用するよう回路構成することが多い。また場合によってはブーム上げ時に発生するロッド側の油をアーム側回路に入れて「アーム伸び側」の増速用として使用する場合もある。

(3) アーム再生回路

油圧ショベルで掘削する場合には、アームシリンダ及びバケットシリンダはフロントの形状と構成から考えて、シリンダを伸ばす（クラウド）方向で大きな力が求められる。通常、油圧シリンダの力は、受圧面積に比例するが、シリンダの配置構造から、伸ばす方が縮める（ダンプ）方向に比べ約 2 倍ある。従って伸ばす方向では、力は約 2 倍出るものの、同じ流量を供給しても速度が半分に落ちることになり、同じ速度を確保するには 2 倍の流量が必要になる。なかでもアームシリンダはストロークも長く、太さも太いことから、その差が顕著に表れる。そこで考えられたのがアーム再生回路である。図 4.18 にその構成と説明を示す。

通常、アームの自重は、アームが垂直状態になるまではアームシリンダを引き出す方向に掛かっており、排出側に圧力が掛かってくる。一方ポンプからの供給流量は、上述のように排出側の約 2 倍必要になることから、油の供給が追い付かない状態になる。そこで排出側から供給側だけに油が流れる回路を作ること、アーム下げ（クラウド）動作を速くするように改良した。これによってアームシリンダの速度のバランスが良くなる。

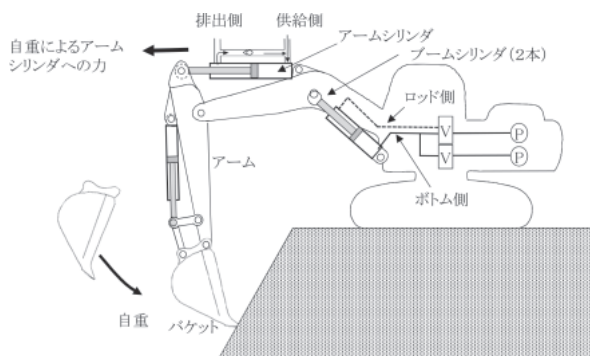


図 4.18 ブーム合流回路とアーム再生回路

4.2.7 OHS システム

1983 年に OHS システム (Optimum Hydraulic System) が日立建機によって考案され、日立 UH-7 型に搭載された。当時の建設市場は国土開発型から都市開発型に移ってきており、それに伴って工事の内容も急速に多様化してきた。油圧ショベルの使われる用途も解体作業、深掘り掘削作業、狭隘な現場での作業、吊り荷作業など様々で、複合作業も多く、繊細な動きを求められるようになった。

このような背景を受け、当時は以下のような技術課題の解決が求められていた。

- ① 2P-2V 方式でかなり操作性は改善されたとは言え、コントロールバルブに平行回路 (図 4.10 参照) を採用しているため、同一バルブ内での複合作業が悪い。
- ② 他のアクチュエータを操しながら走行すると蛇行する。
- ③ 旋回の微操作性が悪くなる。
- ④ コントロールバルブの絞りロスが大きい。

などである。具体的現象としては、直進走行中に旋回やフロント動作をすると走行モータへの送油量が変化して蛇行する、旋回中にフロント動作をすると旋回速度が急変するなどであった。これらの課題の改善を行ったのが OHS システムである。この OHS システムの油圧回路を説明する前に、油圧回路構成で基本となる 3 つの回路について説明する。

(1) パラレル回路

4.2.1 油圧回路システムの図 4.10 でも説明しており、パラレル回路ではバルブのすべてのスプールに P (ポンプからの高圧) が接続されており、どのスプールも同時に操作することはできるが、流量はそれぞれの負荷に応じて、少ない負荷側に多く流れる。この時スプールの開度 (操作量) を加減すれば基本的に流量の調整は可能であるが、油圧ショベルのように負荷が絶えず変化する場合は、それを運転手が加減して行うことは難しい。また各スプールに絞り等を入れることが多い為、絞りロス (油圧回路の流量調整のため、通過面積を小さくする (絞る) ことで発生するエネルギー損失) も大きい。

(2) シリーズ回路

シリーズ回路の場合、図 4.19 のようにバルブ①のアクチュエータからの戻り油 (A1) を下流のバルブ②の P ポートに送ることにより負荷の如何に関わらず、2 つ以上のアクチュエータを同時に作動させることができる。複合作動時に全てのバルブがポンプのフル流量を使用できるが、各アクチュエータの作動圧力は合算し

たものがポンプ圧力になるため、個々のアクチュエータの作動圧力は小さくなる。

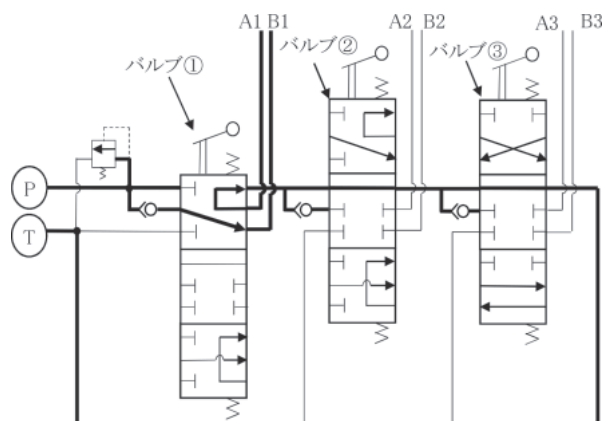


図 4.19 シリーズ回路

(3) タンデム (優先) 回路

図 4.20 の回路のように、バルブ①のスプールをフル操作している時は、それより下流のバルブ②又は③の P ポートは遮断されるため作動しない。同時に 2 動作をさせた時でも必ず上流側が優先して作動する。スプールが中間域であった場合は、上流の残りの圧油で下流側は作動する。この回路は、一つ一つのアクチュエータを確実に作動させるときに使用される。

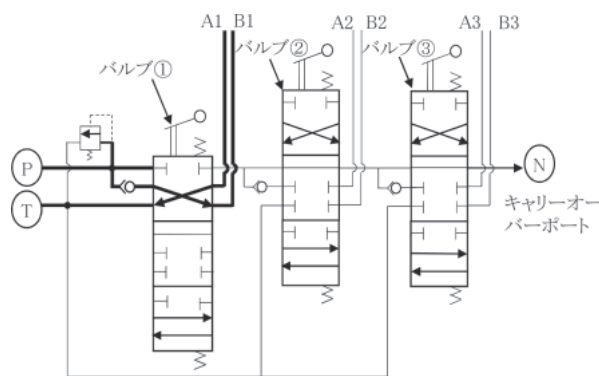


図 4.20 タンデム (優先) 回路

(4) OHS 油圧回路

OHS 油圧回路は、2P-2V 方式で、先に説明した (1) パラレル (並列) 回路と (3) タンデム (優先) 回路を組み合わせ、さらに複数の絞りを有するバイパス回路 (負荷補償回路) 及び 2 ポンプを合流させて使用できる合流回路から構成される。その回路を図 4.21 に示す。

左側 P1 用コントロールバルブは、旋回を優先として走行 (左) 回路をタンデム (優先) 構成にして最下流に配置し、それ以外をパラレル回路で構成している。アーム (1) 及び走行 (左) にはバイパス回路があり、それぞれ絞り弁を介してポンプと接続している。

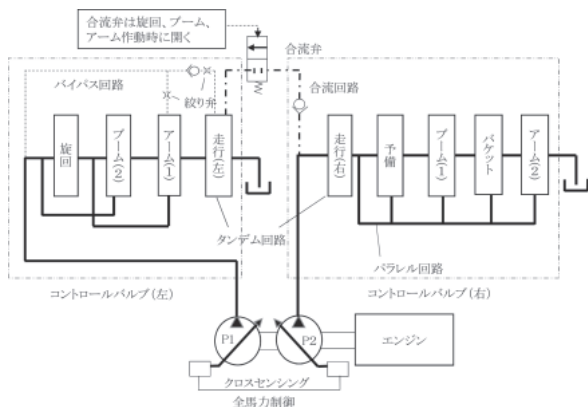


図 4.21 OHS 油圧回路

右側 P2 用コントロールバルブは、走行（右）をタンデム（優先）構成にしてそれ以外はパラレル回路にしている。P2 と走行（左）の間に合流回路があり、旋回、ブーム、アームのバルブ作動時には合流弁が開き P2 から走行（左）に圧油が供給できるようになっている。

この回路で複合性や微操作性、更には走行蛇行などの問題が大きく改善された。その具体的作動例について説明する。

①走行と旋回の複合（図 4.22 (a) 参照）

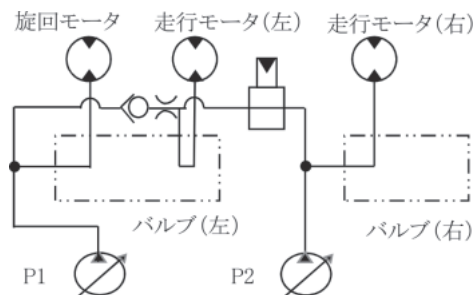
走行中に旋回すると、上流にある旋回が走行（左）に優先して作動する。走行圧が旋回圧より低い場合でも旋回は絞りにより加速圧が確保される。一方、走行（左）には P1 の圧油の 1 部がバイパス回路を介して供給され、さらに P2 から合流回路を介して供給されるため走行は多少の速度低下はあるものの、従来のように蛇行することなく直進できる。

②旋回とアームの複合（図 4.22 (b) 参照）

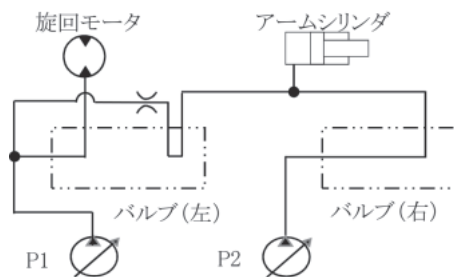
旋回はアーム（1）に対しても同様に優先して作動する。アーム作動圧が低い場合でも絞りにより作動圧は確保され、従来のように旋回加速が鈍くなったり、速度が急変することはない。一方アームについては、P2 側のアーム（2）と P1 側バイパス回路からアーム（1）に余剰油が供給され合流しているため確実に動作する。

③旋回とブーム、アーム及びバケットの複合（図 4.22 (c) 参照）

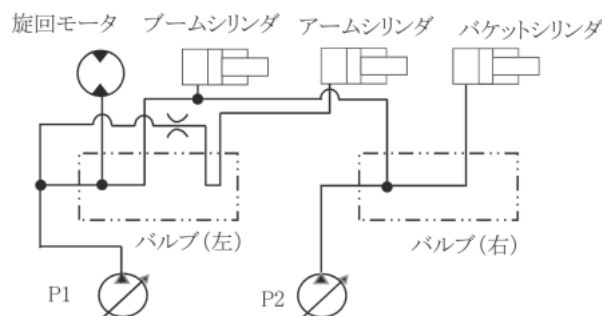
油圧ショベルの代表的な作業である掘削積み込み作業で良く使われる複合作業である。掘削動作においては「2.6.2 掘削の基本動作」の図 2.17 で示す通り 3 動作の複合が必要であり、それに加えて旋回との複合も必要になってくる。OHS の油圧システムにおいては 2 ポンプシステムで合流弁やバイパス回路更には優先回路等を利用してそれぞれの動作が他の動作と複合しながら旋回とアームの独立性を高めている。



(a) 走行と旋回



(b) 旋回とアーム



(c) 旋回、ブーム、アーム及びバケット

図 4.22 OHS システム複合操作時の油圧回路

④アームシリンダのパワーアップ

4.2.6 の (3) アーム再生回路（図 4.18 参照）で示す排出側から供給側への合流を、OHS システムの場合は、アームシリンダの伸び側へのみ 2 ポンプを合流して行うようにした。そのため 1 ポンプで戻り油を再生して増速するより、パワーが倍増になり、よりスピードアップさせることが可能となっている。

⑤旋回微操作性の改善

油圧ショベルの旋回体は慣性が高いため、減速停止時などに旋回モータ回路が負圧になり、キャビテーション（油の流速の急激な変化により、油内部に溶解している空気が気泡となり、異音や異常圧を起させる現象を言う）が発生すると逸走し、制御性を失う危険がある。図 4.23 に従来技術による旋回回路と OHS の旋回回路を示す。

従来技術では、逸走防止のため、旋回モータに供給される供給量と排出される圧油をコントロールバルブとカウンターバランスバルブにより制御していた。カウンターバランスバルブは1次側の圧油を旋回モータに供給した分だけ排出させるため、キャビテーションは防止できるが、圧油がON-OFF的（切り替え動作が急）に動作をするため減速時にショックが生じたり、停止時に揺れ戻りが生じたりして微操作性が不十分であった。これに対しOHSの旋回回路では、コントロールバルブの切替えタイミングの変更と大容量のメイクアップバルブ（負圧になるとタンクから油を吸い込む）の設置によりキャビテーションの防止が可能となり、動作が滑らかになると同時にコントロールバルブだけで起動停止の制御ができるようになった。ただどうしても揺れ戻しは少し出てしまうという問題があるが、その後揺れ戻しを防止する慣性負荷用圧力制御弁などの採用により、更に旋回微操作性は向上した。

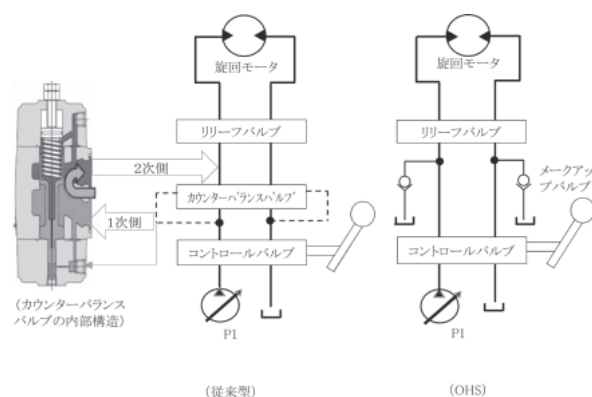


図 4.23 旋回回路の比較

以上のように、OHSシステムは従来の2P-2V方式の利点を残して各アクチュエータに対し実用上ほぼ完全な分流制御を実現した。この結果、掘削作業以外の細かな作業も正確且つ安全に効率よく行えるようになり、油圧ショベルの多様化が格段に進んだ。例えば従来、人に頼っていた仕上げ作業や、荷役等に細かな作業の機械施工化が進み、工期の短縮や3K（きつい、危険、きたない）職場と言われた工事現場での作業者の負担軽減や安全化に貢献した。さらに運転の容易化により、高齢者や未熟練オペレータ、女性オペレータの進出を促進した。また複合動作時の操作レバーの微操作頻度の減少により燃費も向上した。

OHSシステムは海外でも、油圧システム効率の高さ、複合操作性、旋回操作性、アームパワーなど高く評価され、国産油圧ショベルの優位性を確実なものとした。

4.2.8 電子OLSSシステム

1980年代に入り景気低迷の影響を受け、土木工事における工費低減の重要性が高まり、建設機械にも低燃費や工期短縮のための作業量向上のニーズがより高まった。

このニーズに対応して1984年にコマツが、世界初のメカトロを駆使したエンジン制御システムである「電子OLSS」を開発した。油圧ショベルはディーゼルエンジンを動力源にしているが、低燃費化を図る上ではエンジンの性能やエネルギーロスの改善、油圧システムの効率化が重要であった。油圧回路では、エネ軽負荷運転でのエネルギーロスが多く発生していることが判明していた。これらを解決するためには作業状況に応じて油を分配供給するロードセンシングシステム（4.2.10で詳細説明）の採用や作業内容に応じてエンジン回転数等を選択するシステムが有効である。そこで従来の油圧システムやエンジン制御を個別に行う方式から、これらをトータルに行うことが効果的であり、そのためにはコンピュータ制御が不可欠であった。そこで従来の油圧システムを変更し、ロードセンシングシステムとコンピュータ（マイコン）を使って、エンジン回転数とポンプ吐出量の同時制御や作業内容に合わせてモード切替できる省エネ油圧システムOLSS（Open Center Load Sensing System）を開発した。これ以降各社とも制御にマイコンを組み込み各社各様の省エネシステムを開発して行くようになった。

主な特徴は、コンピュータ制御によるエンジンスピードセンシング全馬力制御（TVCバルブ）、ネガコン制御（NCバルブ、ジェットセンサ）、リリーフカットオフ制御（COバルブ）及びポンプの入力トルク（エンジン回転数）を3段階に切替えるモード切替えスイッチなどである。（図4.24参照）

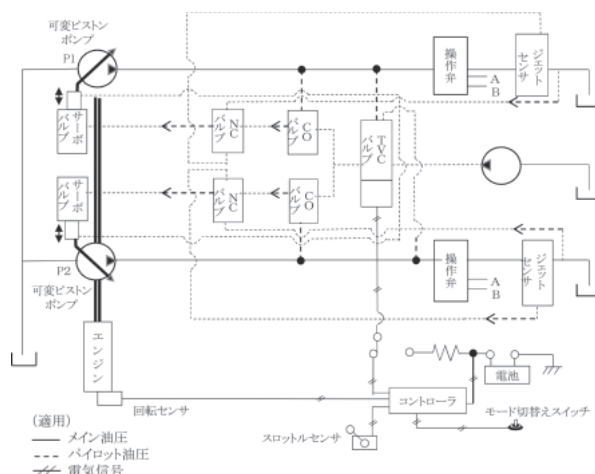


図 4.24 電子OLSSシステム（コマツPC-3型）

4.2.9 E-P 制御システム

1985年には、同様の制御システムを搭載した日立EX200が開発された。これはエンジン回転数とポンプ吐出量を作業の内容に応じて選択できるものでE-P制御システムと名付けられている。従来技術では、エンジンは、オペレータの燃料レバー操作によって回転数が制御され、油圧ポンプはレギュレータを介して機械的に容量制御されると言う具合に、それぞれが別個に制御されていた。このような個別制御では、エンジンとポンプの組み合わせは一義的に決まってしまうため、燃費や騒音及び作業性の面で不十分であった。例えば、ここ一番、もっと作業量が欲しいときにパワーが足りないとか、燃費や騒音の低減のためにエンジン回転を絞ると軽作業でも作業スピードが落ちてしまうといった不満や、細かい作業などで、もっと微操作性を上げてほしいなどの改善要望があった。

そこで、E-P 制御システムでは、エンジンとポンプを同時に制御する方式で、予めエンジン回転数とポンプ容量の最適組合せ（モード）を複数決めておき、コンピュータ制御により、オペレータが選択する作業状に合わせ、最適マッチングを提供できるようにした。

そのシステム図を図 4.25 に示す。

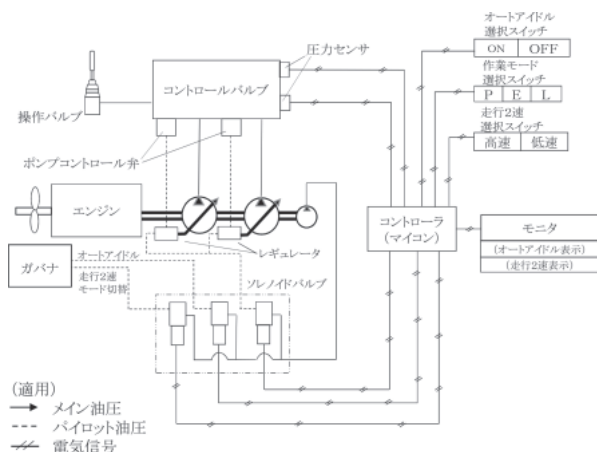


図 4.25 E-P 制御システム（日立 EX200）

コントローラの入力は、オペレータが作業の状況に合わせて操作する作業モード、走行2速、オートアイドルの各スイッチ信号と、機械の状況を検出する圧力センサ信号で、出力はモニタ表示とソレノイドバルブ駆動信号である。ポンプは、最大容量2段切替え機能付きで、ソレノイドバルブからのパイロット圧でそれぞれの最大傾斜角を選択できる。また無負荷時は、外部コンペン機能により最小傾斜角となる。一方、エンジン回転数は、ソレノイドバルブからのパイロット圧でガバナを付加的に制御することにより、3段階に設定できる。また燃料レバーは、そのまま機能するようになっている。

次に、E-P 制御システムでのエンジンとポンプ流量の関係を図 4.26 に示す。

従来機（a）では、作業時は燃料レバーの操作に応じ、線上のある1点で（エンジンフル回転では②相当）で作業をしていた。これに対し、容量2段切替え機能とエンジン回転3段階設定機能のあるE-P制御システムでは、図（b）に示すように①～⑥の6点で作動することができる。この各作動点は、省エネ、作業効率、作業精度、騒音値などに対するオペレータの要求に応じて選択すればよく、自動的に最適な制御が可能となる。

本システムでのオペレータの選択モードに対応するエンジンとポンプの作動例を表 4.1 に示す。

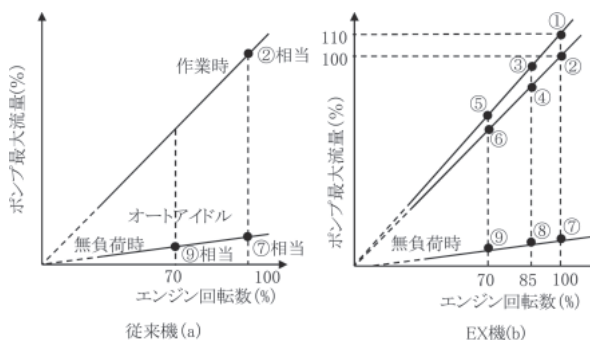


図 4.26 エンジンとポンプの制御

表 4.1 E-P 制御の作動例

オペレータの 選択 オペレータ操作	掘削モード		P (Power-Mode)		E (Economy-Mode)		L (Light-Mode)	
			作業量重視		高効率の作業重視		精度重視	
	走行		高速	低速	高速	低速	高速	低速
無負荷 (作業待ち)	オート アイドル	ON	⑨	⑨	⑨	⑨	⑨	⑨
		OFF	⑦	⑦	⑧	⑧	⑨	⑨
掘削			②	②	③	③	⑥	⑥
走行			①	④	③	⑥	⑤	⑥
走行 + 掘削 (複合操作)			②	④	③	⑤	⑥	⑥

作業モードは、作業量重視のPモード、効率重視のEモード、精度重視のLモードがあり、走行は、各掘削モードで高速、低速の選択ができる。また、オートアイドルは、作業待ちなど無負荷時に自動的にエンジン回転を下げ、騒音低減、省エネを図るものである。

オペレータが掘削積込みなどで大作業量を意図し、Pモード・高速・オートアイドルONを選択すると、無負荷時は⑨、掘削作業では②、単独走行時は①、掘削と走行の複合動作時では②となり、油圧ショベルの最大能力が発揮できる。また燃費や低騒音を意図して、Eモードを選択した場合には、エンジン回転数を最大効率点付近に設定した回転数（85%程度）に低下させるとともに、ポンプ容量が増大して③となり、中負荷作業での作業速度の低下を防止しつつ、燃費減と騒音低減が可能となる。さらに仕上げ作業や荷役作業などで、微操作性を重視してLモードを選択した時には、エンジン回転数及びポンプ容量とも低下して⑥となり、ゆっくりと確実に動作する。ちなみにPモードとEモードを比較するとEモードの方が燃費で15%程度、騒音で3dB（A）ほど良くなる。

4.2.10 ロードセンシングシステム

1990年代になると、さらに油圧ショベルが建設現場でいろいろな作業に使われだした。これに伴い

- ・多様化するアタッチメントへの対応性の向上
- ・更なる複合操作性の向上
- ・自動制御化への対応性向上
- ・省エネ

などのニーズから、電子制御ロードセンシング（圧力補償式、負荷補償式とも呼ぶ）システムが使われ出した。本システムは1980年代には、いち早くコマツが採用していたが、ミニショベル等でも使用されるようになった。以下ロードセンシングシステムについて説明する。

(1) ロードセンシングシステムの基本的な構成と作動

ロードセンシングシステムでは、従来のオープンセンタシステムではなくクローズドセンタ方式を使用するが、まず両者の違いについて双方を比較しながら説明した後にロードセンシングシステムについて述べる。

(2) オープンセンタシステム

オープンセンタ式では、中立時においても常にポンプからバルブ内に高压油が流れていて必要に応じ、スプールを開いて使用する。図4.27にオープンセンタ

式コントロールバルブの中立時とスプールを開いた時の状態を示す。一方、これに対し、高压油が必要になった時に初めてポンプからバルブに油を流して使用する方式をクローズドセンタ式と言う。

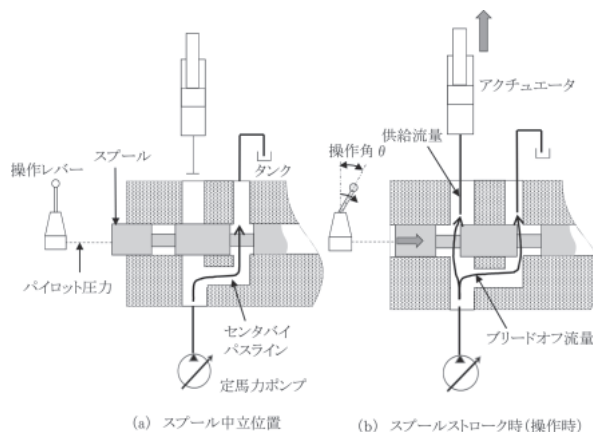


図 4.27 オープンセンタ式バルブ

オープンセンタ式では、スプール中立位置（a）で、ポンプ吐出量はセンタバイパスラインを経由してタンクへ流れる。操作レバーを操作してスプールを変位させると、センタバイパスラインが絞られ、ポンプからアクチュエータへの回路が開く。操作ストロークを更に増すと、ポンプからタンクへ逃げている流量（ブリードオフ流量）が減少すると同時に、アクチュエータへの流量が増し、操作量に応じたアクチュエータ速度が得られる。ある操作ストロークに達すると、センタバイパス回路が完全に閉じられ、すべての流量がアクチュエータに流れる。

ブリードオフ流量は、負荷（圧力）によっても変化する。このため、同一の操作量でも負荷の変動（増大）によって速度が変化（減少）してしまう特性がある。（図4.28を参照）

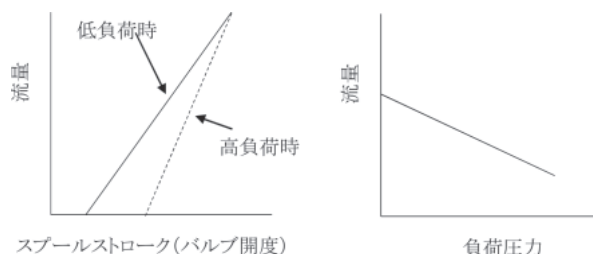


図 4.28 オープンセンタシステムの特性

更に、複数のアクチュエータを同時に操作した場合には、作動油（圧油）は負荷の軽いアクチュエータにより多く流れるため、操作性を悪化させる。前述のOHS油圧システムもオープンセンタシステムを採用

しているが、これらの問題点を改善すべく多くの回路上の工夫がなされている。

(3) ロードセンシングシステム

オープンセンタ方式は前述のように、同一の操作レバー角度であっても負荷により速度が異なったり、複数のアクチュエータを同時操作すると負荷の軽い方が優先的になったりする欠点がある。それを解決するために考えられたのがロードセンシングシステムである。

ロードセンシングシステムでは、コントロールバルブはクローズドセンタ式で圧力補償弁を備えている。圧力補償弁は図 4.29 に示すように、スプール弁（絞り）前後の圧力差（差圧 $\Delta P = P_{IN} - P_L$ ）を目標値（目標ロードセンシング（LS）差圧：以下目標 LS 差圧と言う）に保つ働きをする、ここで P_{IN} = スプール上流の圧力、 P_L = 負荷圧力を表す。

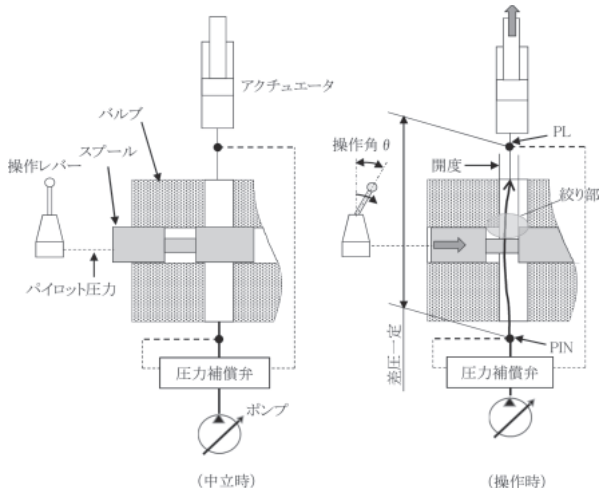


図 4.29 ロードセンシングシステムのバルブ動作（中立時と操作時）

図 4.29 の右図において、絞りを通過する流量 Q は、理想的には

$$Q = c \times a \sqrt{2g \times \Delta P / \gamma}$$

（ここで、 c :流量係数、 a :絞り開度、 g :重力加速度、 γ :油の比重）

に従うため、差圧（ ΔP ）を圧力補償弁によって一定に保つことができれば、通過流量はスプール弁の絞り開度、すなわちストロークによって決まり、負荷圧力には依存しなくなる。よって図 4.30 に示すように、負荷に関係なく操作レバーの操作量に応じたアクチュエータの速度が得られることになり、操作性が向上することになる。

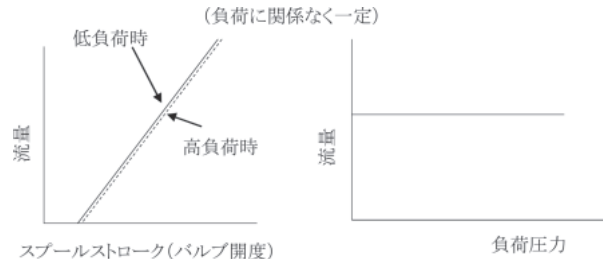


図 4.30 ロードセンシングシステムの特性

一方、ポンプの吐出圧力は、ロードセンシングポンプシステムで制御される。図 4.31 に一般的なロードセンシングシステムの回路例を示す。

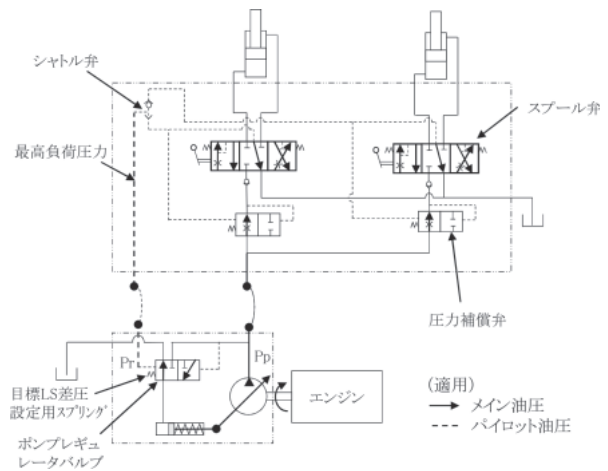


図 4.31 ロードセンシングシステムの回路例

図 4.31 において、各スプールを作動させた内の、最大負荷圧力 P_r がシャトル弁により検出され、それがポンプレギュレータへ導かれる。ポンプはレギュレータバルブのスプリング力によって、常にポンプ圧 P_p が最高負荷圧力 P_r に対し、目標 LS 差圧（一般的には 1MPa 程度）分だけ高くなるように制御されている。

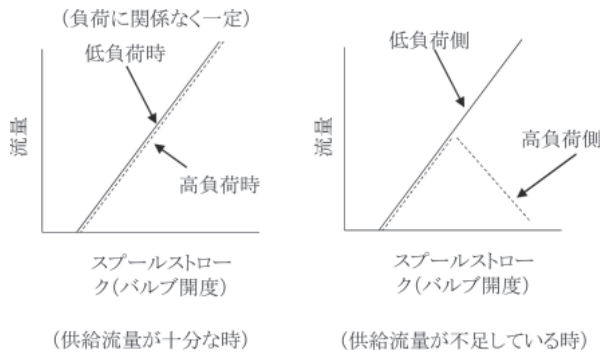
すなわち、ロードセンシングシステムは、最高負荷圧力に対する圧力補償をポンプ制御で行い、最高負荷圧力より低い負荷圧力の圧力補償を各バルブの圧力補償弁で行っていることになる。

先に述べた通り、ロードセンシングシステムにより、負荷に関係なく操作レバーのストロークに比例した良好な操作性が得られるが、このシステムでは以下の2つの大きな問題がある。

①サチュレーション

油圧ショベルのような、一定馬力制御で個々のアクチュエータがフルに近い馬力を配分するシステムでは、複数のアクチュエータを同時に操作した場合、

ポンプの供給油量が不足してしまう。(この状態をサチュレーション状態と言う) サチュレーション状態では適正な差圧 ΔP が得られないため、圧力補償弁が適正に機能せず、作動油は負荷圧力の低いアクチュエータ側に流れてしまうので負荷圧力の高いアクチュエータの速度が極端に遅くなり、結果として複合操作性が悪くなる。この様子を模擬的に図 4.32 に示す。



②慣性負荷の駆動

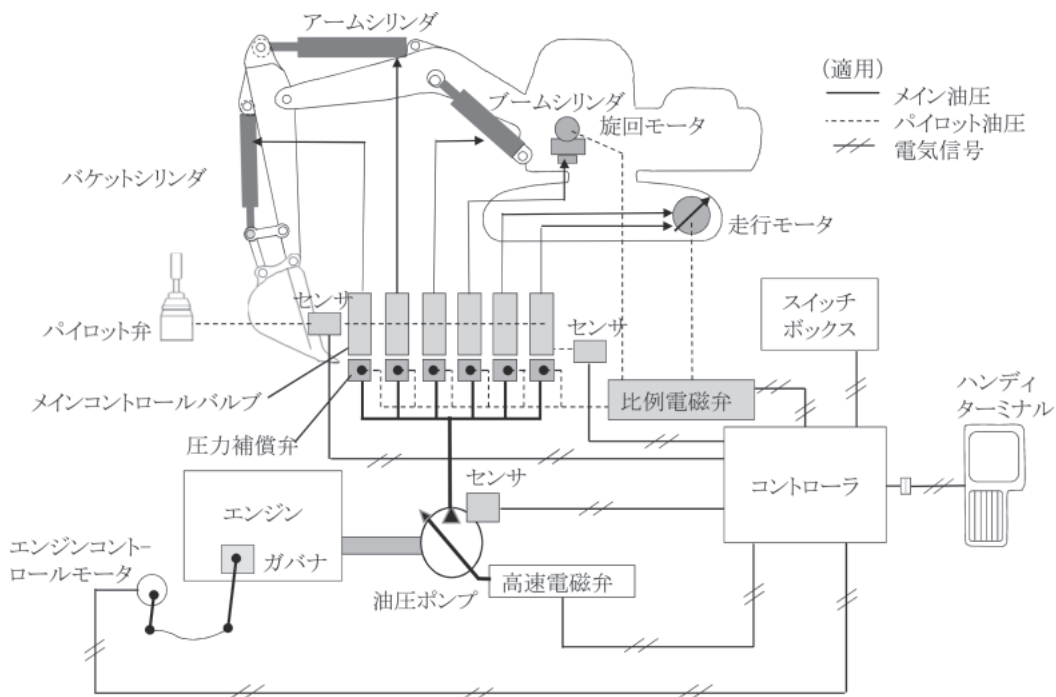
ロードセンシング制御は、操作レバーの操作量に応じて正確に圧油を送るシステムで、そのためにスプール上流の圧力 PIN を目標 LS 差圧分だけ高く保つよう

に制御している。しかし慣性負荷の大きい旋回モータの場合、旋回速度の変化よりも起動停止時に発生する圧力変化により、起動時のショックや加速時のハンチングなどが発生する。

このように、ロードセンシング回路についても、油圧ショベルの回路構成面でも、長所も多いが短所もあり完全無欠な理想的回路とは言い難い。従って現在は、オープンセンタ方式も含め油圧回路は、これらの回路に改良を加えながら各社独自の考え方で使用されている。

4.2.11 ELLE システム

1990 年に市場からの多用途性、複合操作性の向上、省エネなどのニーズに対応してロードセンシングシステムを応用した日立 EX200-2 型 ELLE システム (Electronic Load-sensing Excavation System) が登場した。ELLE システムは、従来の 2 ポンプ方式から 1 ポンプ方式にして、必要流量に応じて自由に設定して分配することで複合性、省エネ化、自動化への対応性向上を追求したロードセンシングシステムであり、E-P 制御、コントロールバルブ制御は、総合的に専用コントローラで電子制御している。このシステム概要を図 4.33 に示す。



各スプールには、それぞれ圧力補償弁が設けられ、図 4.34 に示すようにスプール前後の差圧をスプリング力で決定するとともに、付加的に比例電磁弁を介して個別に制御が可能となっている。

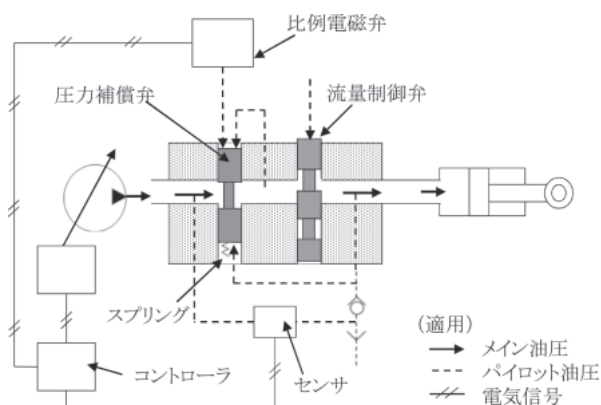


図 4.34 ELLE システムの圧力補償弁の作動

ELLE システムでは、従来のロードセンシングシステムの差圧制御などを電子化（コントローラ）している。切替バルブの上流と下流の差圧を、センサで把握してコントローラに入力している。同様に各スプールの比例電磁弁信号もコントローラに入れ、これらの情報をもとにコントローラで総合的に演算してポンプに指令している。

このように制御を電子化した ELLE システムの特徴として以下が挙げられる。

(1) ノンサチュレーション制御が可能となっている

ロードセンシングシステムの課題であるサチュレーションを解消するためコンピュータを使用して圧力補償弁の作動圧力を、差圧 ΔP にバランスさせるように制御（ノンサチュレーション制御）している。これにより、差圧が目標差圧まで達していない場合でも正確な分配制御が可能となっている。この結果、サチュレーション状態になった場合、全体の動きは減速するものの、各アクチュエータへ供給される圧油は、操作レバーの操作量に応じて分配され、複合操作性は確保される。

(2) 流量の個別配分の設定が可能となっている

アクチュエータ供給流量の最大値は、従来システムでは油圧ポンプの最大値で決まるが、ELLE システムでは各バルブの、スプールの開口面積を調整することで任意に決められる。従って図 4.35 のように機械の仕様に応じてアクチュエータ供給流量を最適に調整できる。また予備スプールを使用して各種のアタッチメ

ントを使用する時、スプールストロークを調整することにより、各アタッチメントに適合した流量調整が容易に行える。

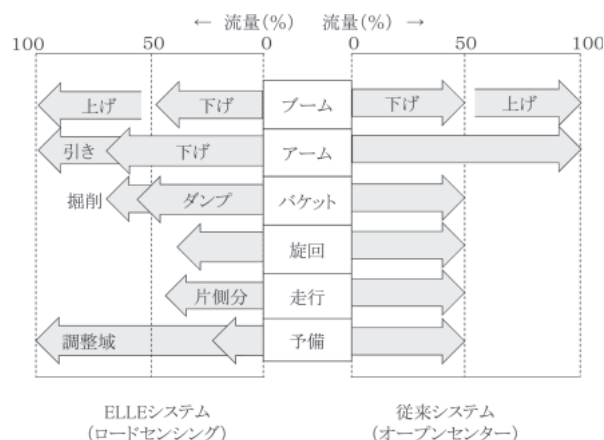


図 4.35 流量配分の例（従来システムとの比較）

(3) 慣性負荷制御が可能となっている

旋回動作は、停止時に大きな慣性負荷が掛かり、スムーズな停止をするためにはこのことを考慮した回路構成が必要である。ELLE システムでは、旋回動作時の作動圧が高い場合には停止時の慣性負荷も高いことから、作動圧に比例して流量が変化する慣性負荷用圧力補償弁及び制御システムの開発により、好適な旋回制御を実現している。

(4) ELLE システムの評価

ELLE システムはコンピュータを使うことにより、油圧ショベルによる掘削作業などが、素人のオペレータでもある程度の操作が容易にできるシステムである。しかし従来はある程度オペレータの技量で行っていた複合動作などが逆に今までと違い機械側で行うため熟練したオペレータからはかえって自分の思い通りに動かないとの批判が多く出た。これらの例も含めて油圧ショベルの回路システムは機械の大きさや各開発メーカーの思惑なども絡み、今まで説明した油圧システムが混在して現在に至っている。

4.2.12 CLSS システム（コマツ PC-6 型）

1993 年にコマツから PC200-6 が発売された。この機械も前項で説明した ELLE と同様にロードセンシングシステムを採用して複合操作性の向上を図ったもので CLSS（Closed center Load Sensing System）と呼ばれている。その概要図を図 4.36 に示す。

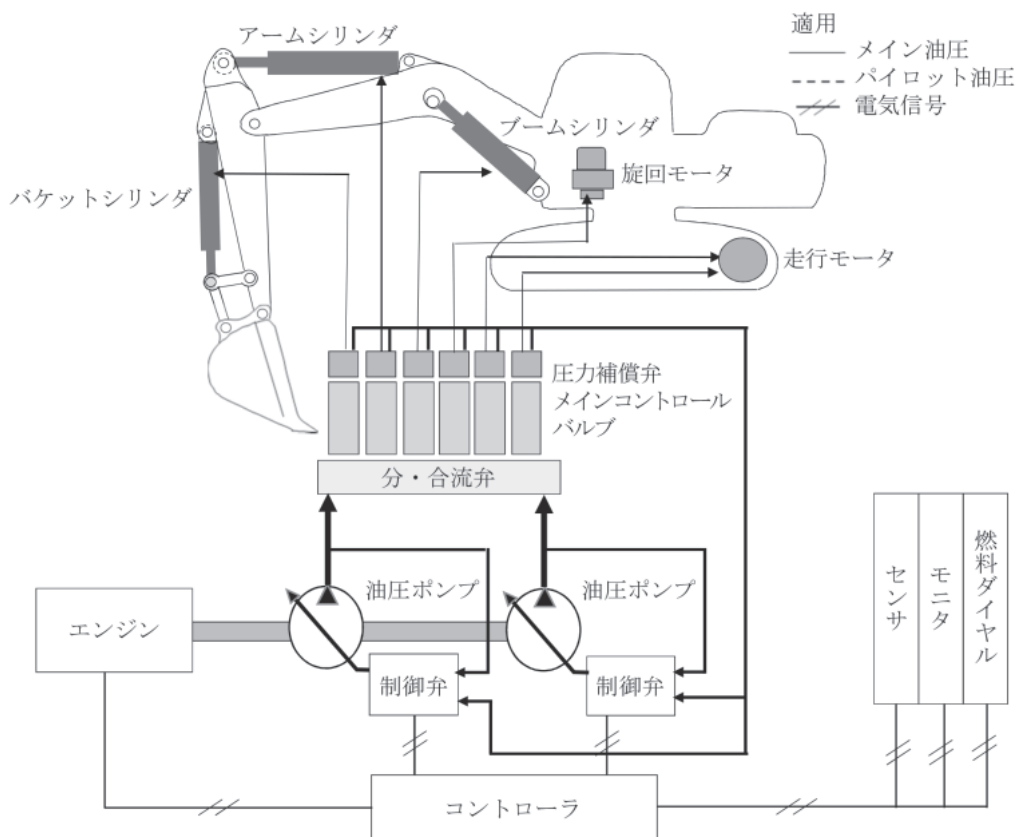


図 4.36 CLSS システムの概要 (コマツ PC200-6)

CLSS の特徴は、1 ポンプの ELLE とは異なり、2 ポンプを用いた圧力補償付ロードセンシングシステムである。これにより作業レバーストロークが、ハーフでもフルでもポンプから出た油の全量がアクチュエータに行き渡るようにできると、2 つ以上のアクチュエータを同時操作しても負荷の大きさに影響されることなくレバー操作量に応じてポンプ吐出量が各々に分配できるようになったことである。

このように ELLE システムや CLSS システムでは、ロードセンシングシステムとコンピュータ制御の活用により、ユーザの作業ニーズや省エネに対応できるように考えて開発されている。特に 1990 年代以降、作業内容に応じた「作業モード選択」以外にも種々の機能を備えた油圧ショベルが開発された。以下にその例を挙げると、動きを滑らかにする機能を実現する微操作モード (ソフトモード)、溝掘削で壁に押し付けながら掘削が出来る「溝掘削モード」機能、ブーム・アーム・バケットの動作を記憶させておきコンピュータでプレイバックさせる機能、土砂がバケットに付着して落ちない時にフロントに振動を与えることができる機能などがあるが、そのほかにもブームと旋回のバランス (流量配分) をスイッチで選択できるような便

利さを備えている。更に全自動直線掘削 (ならし作業)、狭隘な場所での 3 方向範囲設定、シリンダエンドでのショックを和らげる電子クッションなど、ロボット化を見据えた各種の制御技術が開発された。

しかしこれらのコンピュータを利用した技術は、最終的には機械を運転するオペレータが必要と感じるか否かで判断され、彼らにとって必ずしも必要機能でない場合も多くある。またオペレータの運転技量を妨げることにともなかねない。このような背景があって、2000 年代になって油圧ショベルの制御技術は、自然にあるべき姿に落ち着いて現在に至っている。1990 年代に進化した電子制御技術は 2000 年代には情報化が加わり更に進化発展することになるが、詳細は 4.3 項で説明する。

4.2.13 油圧システムの適用状況

今まで説明してきた通り、より使いやすい (複合性・操作性) 油圧システムを追求してきたが、現在では各油圧ショベルメーカーが機械の大きさなどを考慮して個別に選択採用している。油圧システムを大別すると表 4.2 のようにオープンセンタ式とクローズドセンタ式になる。

表 4.2 油圧システムの分類と適用モデル及びメーカー（1 部推定）

分類	基本構成	適用モデル	主な適用メーカー
オープンセンタ	OHS 系	2P2V、パラ・タン回路、合流回路、バイパス回路＋絞り（流量制御弁）	油圧ショベル
	3 ポンプ系	3P3V、パラ・タン回路、連通回路＋絞り	ミニショベル
クローズドセンタ	純油圧制御	ロードセンシングシステム、圧力補償弁 / ポンプ油圧制御、ノンサチュレーション制御	ミニショベル
	電子制御併用	ロードセンシングシステム、圧力補償弁 / ポンプ油圧制御、ノンサチュレーション制御	油圧ショベル

（注記）①パラ・タン回路：パラレル回路・タンデム回路

②適用メーカーは添付資料（3）世界の建設機械のアライアンス状況を参照

オープンセンタ式は、油圧ショベルでは OHS 系に、ミニショベルでは 3P 系にほぼ集約されている。

クローズドセンタ式（ロードセンシングシステム）は、油圧ショベルではポンプやバルブの制御に電子制御を併用した方式、ミニショベルでは、純油圧制御方式が主に使われている。さらに各種制御技術としては、今まで説明したモード切替、スピードセンシング、ポジコン / ネガコン、リリーフカットオフ制御が、ほぼ例外なく組み込まれている。

4.2.14 技術革新した油圧機器

油圧ショベルの進化は、今まで述べたように油圧システムの進化によるところが大きいですが、システムだけ

では最適な動作は出来ない。個々の油圧機器の国産化してからの進化発展があって成し得ている。本項では進化の過程は省略するが、現在採用されている主な油圧機器について説明する。

（1）主要油圧機器

油圧ショベルに使用されている主要機器（油圧機器以外も含む）の配置を図 4.37 に示す。

油圧ショベルに使用される主な油圧機器には図 4.37 に示すように、油圧ポンプ装置、コントロールバルブ、パイロットバルブ、走行装置、旋回装置、油圧シリンダなどが挙げられる。その構造や特徴について以下に述べる。

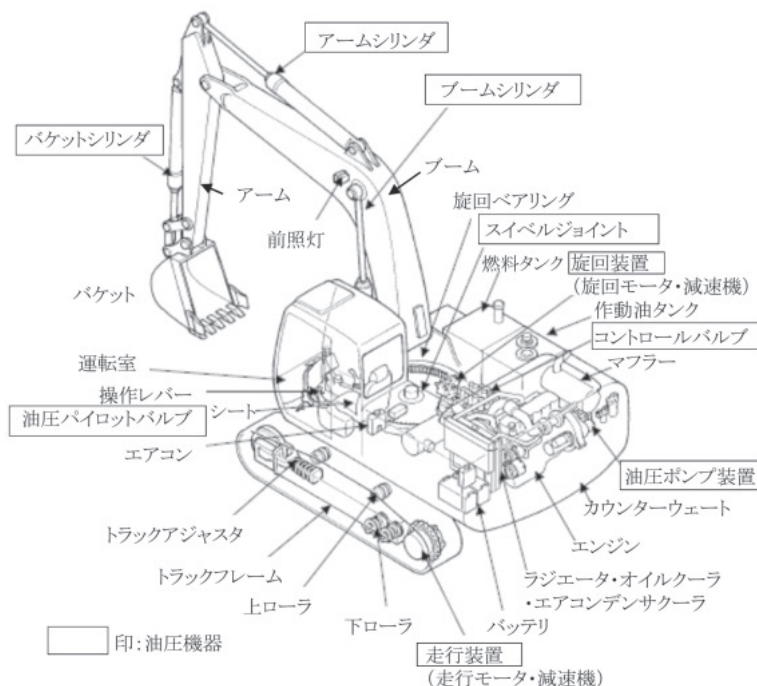


図 4.37 油圧ショベル主要機器の配置図

①油圧ポンプ装置

油圧ポンプ装置は、図 4.38 に示すようなエンジンの回転動力を伝えるカップリング、トランスミッション、メインポンプ 1、2 及びパイロットポンプなどから構成される。ポンプは油圧ショベルが開発された頃には、3.2.2 (1) で説明した定容量型 (PF 型) のギヤーポンプが使用されたが、その後油圧の高圧化が進み可変容量型 (PV 型) のポンプが多く使用されるようになった。ギヤーポンプの場合、その構造及び使用する材質などから通常 20.6MPa 程度が限界であり、現在では小型のミニショベルでも PV 型ポンプが主流となっている。また国産化された当時は、バルブなどの制御は機械式操作レバーが採用されていたが、その後油圧を使用してバルブを制御するようになり、更にはポンプの流量調整にも油圧が必要になったことから、これらの制御を受け持つパイロットポンプが一体で組み込まれるようになった。

このような経緯もあって、ポンプ装置は 1970 年代頃には油圧機器メーカーの標準品を採用されることが多かったが、その後油圧システムの高度化に伴い複雑な制御部品も一体化する必要性から各メーカーとも独自の装置を開発するようになってきた。

図 4.38 は可変容量型斜軸式アキシャルプランジャーポンプで、1 個のハウジング内にポンプ 1 とポンプ 2 が組み込まれている。パイロットポンプ 3 はギヤーポンプである。ポンプとバルブの制御のためのポンプ吐出圧センサ 4、5 やポンプコントロール圧センサ 8、9 などを周囲に装備している。

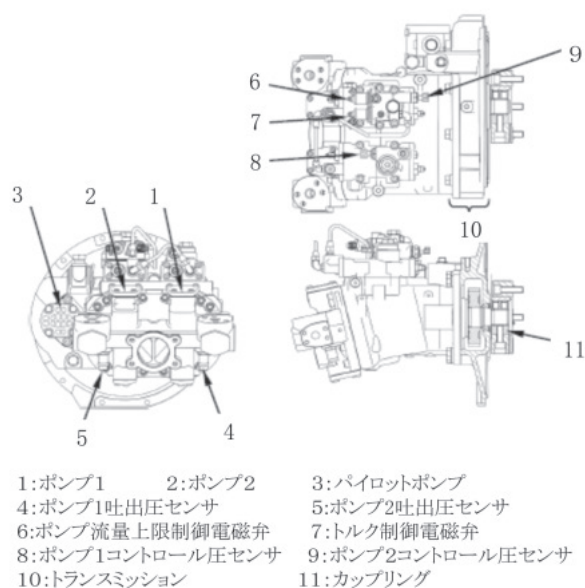


図 4.38 ポンプ装置

図 4.39 にポンプの内部構造を示す。

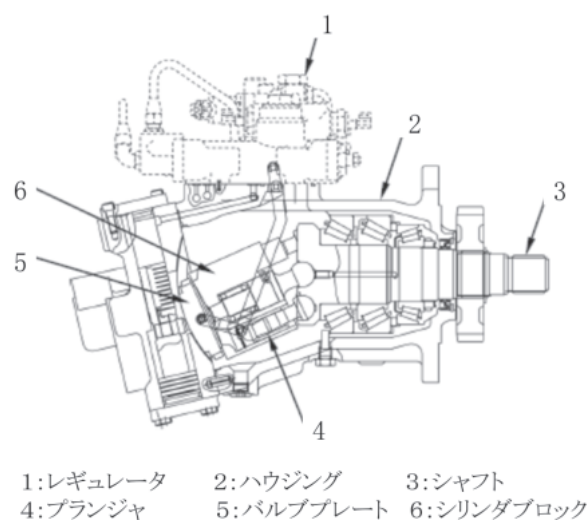


図 4.39 メインポンプ

各ポンプのシャフト 3 は、7 本のプランジャ 4 を介してシリンダブロック 6 につながっている。シリンダブロック 6 の片端は、バルブプレート 5 と摺動する。各ポンプは、吐出量制御用のレギュレータ 1 を備えている。次にポンプの吐出原理を図 4.40 で、ポンプ吐出量を変化させる制御を図 4.41 で説明する。

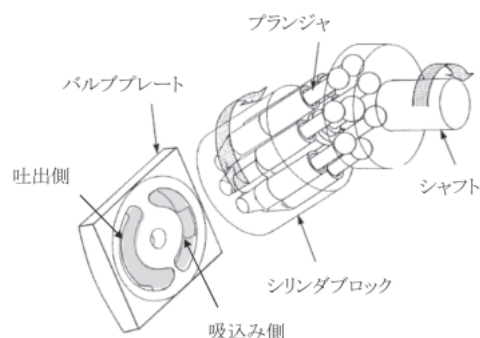


図 4.40 ポンプ吐出原理

図 4.40 において、シャフト回転によりシリンダブロックが回転し、シリンダブロック軸の傾きによりプランジャが往復運動を行い、バルブプレートの吸入側からプランジャ内に流入した油は圧油となって吐出側から吐き出される。

次にポンプの吐出量制御は、図 4.41 において、シリンダブロック 3 の傾転角 α を変化させ、プランジャ 2 の作動ストロークを増減させて行われる。シリンダブロック 3 の傾転角の変化は、サーボピストン 6 の上

下により行われる。バルブブロック 4 はサーボピストン 6 とピン 5 で連結されている。バルブプレート 4 はハウジングで円弧上にガイドされている。

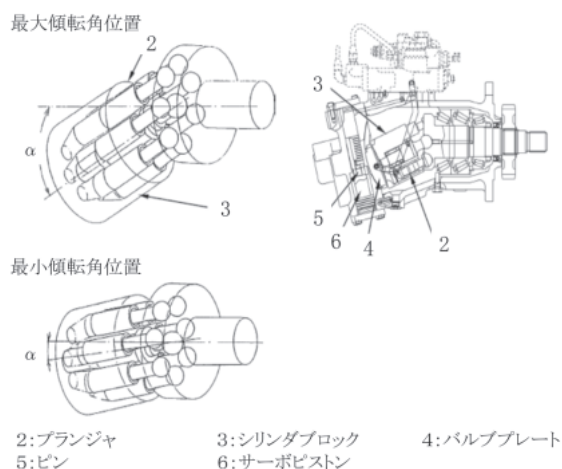


図 4.41 ポンプの吐出量制御

図 4.39 で説明したレギュレータ 1 は各種信号圧を得てサーボピストン制御回路を開閉し、シリンダブロックの傾転角を変えてメインポンプの流量を制御する。レギュレータの主な制御機能は「外部コンペン制御」、「リリーフカットオフ制御」、「スピードセンシング制御」である。スピードセンシング制御とは 4.2.4 の (1) で説明した馬力制御の一つでメインコントローラが、エンジンの目標回転数と実際の回転数をデータとして演算し、エンジン回転数が下がっていると、ポンプのレギュレータはトルク制御電磁弁からパイロット圧を受け、ポンプ吐出量を減少させエンストを防止する。

②コントロールバルブ

コントロールバルブは、オペレータにより直接操作されるもので、油圧回路の圧力、流量、流れの方向を制御し、アクチュエータを動かすための基幹部品である。油圧システムの進化に伴ってバルブ回路が複雑化しており、現在では油圧機器メーカーが標準的に生産するバルブでは対応できなくなっている。従ってバルブは現在では、油圧ショベルメーカーが直接に、あるいは油圧機器メーカーが本体メーカーの特殊仕様に合わせて開発した製品が採用されるようになった。

油圧システムで説明した 2P2V システムの代表的なコントロールバルブの外観図を図 4.42 に示す。

国産化された当時のコントロールバルブは、2つの個別のバルブが横に並べられて使用されていたが、最近では2つのバルブを縦にして一体化、コンパクト化を図ったり、横に並べていたバルブを縦に配置するなど

工夫がなされてきている。バルブ本体には、各ポートに切替え用スプールが組み込まれているほかに、メインリリーフ弁、オーバロードリリーフバルブ、連通弁、再生弁、合流弁、流量制御弁、バイパスカット弁など、関連する機能部品が一体で組み込まれている。

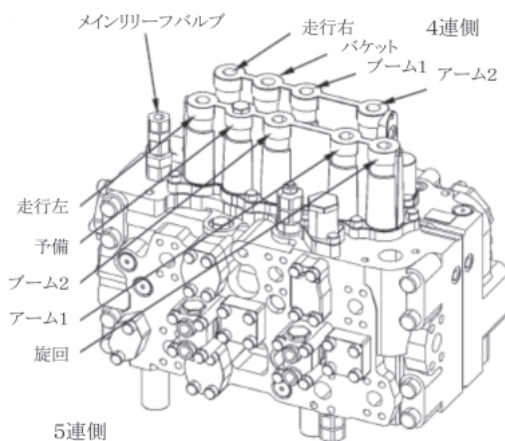


図 4.42 コントロールバルブ

③パイロットバルブ（リモコン弁）

パイロットバルブは、コントロールバルブのスプールを動かすためのパイロット圧を制御するための弁で、リモコン弁とも呼ぶ。PPC (Pressure Proportional Control) 機能を持ち、操作レバーの操作ストロークに応じた圧力を出力する。油圧ショベルに使用されているリモコン弁には走行レバー用などに使用される前後2方向に動く2ポート式と作業用操作レバーに使用される前後左右4方向に動く4ポート式がある。図 4.43 にパイロットバルブの構造及びストロークー出力線図を示す。

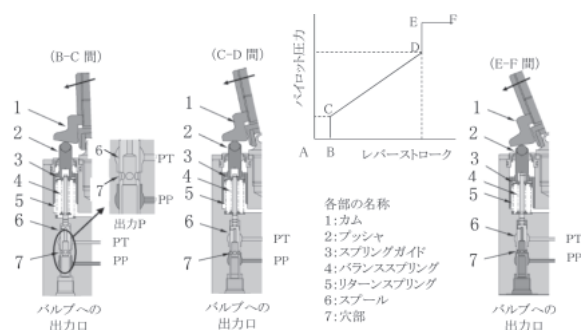


図 4.43 パイロットバルブの構造とストロークー出力線図

操作時にはポート PP には常にパイロット圧が掛かっているが、操作を行わない（中立時及びレバー遊び時：B - C 間）時には、コントロールバルブへの出

力口には圧油は流れない。操作レバーを少し傾けると(C-D間)カム1が傾き、プッシャ2が押し込まれる。プッシャ2とスプリングガイド3は一体となり、リターンスプリング5を押し下げて下方に動く。この状態は、スプール6の穴部がポートPPにつながるまで続く。

さらに操作レバーを傾けると、スプール6の穴部がポートPPに達し、ポートPPの圧油はスプール6の底部に作用してスプール6を上方に押し上げようとする。スプール6に作用する圧油の力がバランススプリング4のパネ力より小さい時は、バランススプリング4は縮まらず、スプール6は押し上げられずに、コントロールバルブへの出力口の圧力は上昇し続ける。さらに出力口圧力が上昇すると、スプール6を押し上げる力が増大する。この力がバランススプリング4のパネ力より大きくなるとスプール6はバランススプリング4を縮めて上方に移動する。そしてスプール6が上方へ移動すると、穴部7が閉じてポートPPからの出力口に油が流れなくなり、出力口の圧力上昇が止まる。

このようにスプール6が押し下げられた量だけバランススプリング4が圧縮されて、この時のパネ力とスプール6に作用する圧力が出力口の圧力となってバルブに作用する。

フルストローク時(E-F間)においてはプッシャ2と連結しているスプリングガイド3がケーシングの段付き部に当るまで動く。この時、スプール6はプッシャ2によって直接押される。したがって、出力口ポートの圧力が上昇してもスプール6の穴部は閉じず、出力口ポートの圧力は、PPポート圧力と同じになる。

このように油圧パイロットバルブは、単に操作レバーの操作角に比例した圧油を送る機能だけではなく、油圧ショベルの機能や動きが最適になるようにストロークと出力の関係を追求して開発されてきたものであり、これが油圧ショベルの操作性の良さの一部を担っている。

④ 走行装置

走行装置は国産化後、暫くは図4.44-①の写真のように油圧モータと平歯車式減速機を組み合わせた形で製造された。その後、国内技術の進化を得て現在は、走行モータと減速機を一体にした図4.44-②の右図に示すような専用型走行装置として製造されている。

油圧ショベルの走行は、車体が重いことと方向変換(ステアリング)が、クローラの片側を停止させ、もう片側の駆動輪を動かして、停止側を滑らすことで行われるという機構ゆえに、速度は、それほど求められないがタイヤ方式などに比べると非常に大きな力が必要になる。

国産化された1970年代には、低速で力が出る油圧モータは国内には存在しなかった。そこで各社とも減速機を組合せて大トルクが出るように工夫した。しかしながらどうしても駆動軸に直結するため図4.44-①の写真のようにモータや減速機が出っ張ってしまい、不整地や障害物がある現場ではモータ等が損傷することが多かった。

1977年に、当時フランスで開発されていた低速大トルクモータをモデルとした油圧ショベル専用の走行モータを日立建機が開発して、減速機無しで駆動できるようになった。それ以降、油圧機器メーカー及び車体メーカーが低速大トルクモータを次々に開発するようになってきたが、その後は、信頼性や汎用性を考慮して遊星減速機と組み合わせた方式が主流となった。走行モータの国内開発に加えて油圧ショベルで使用されるポンプやバルブなど機器類の開発が日本の油圧技術を向上させたと言える。

なお図4.44-②の走行装置の構造は、アキシアルプランジャモータを減速機に内蔵したもので、減速は3段式の遊星歯車を使用している。またモータ内部の構造は図4.45に示す。

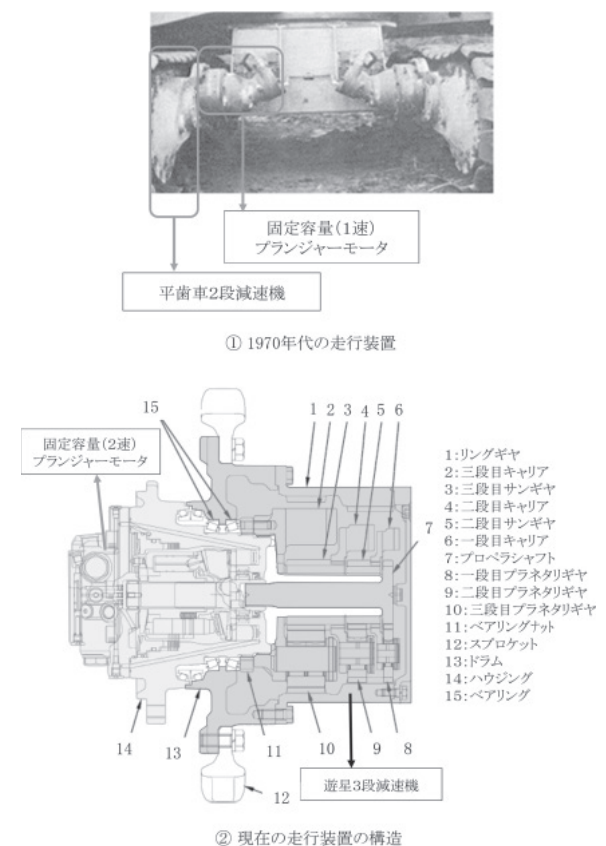


図 4.44 走行装置の進化と現在の構造

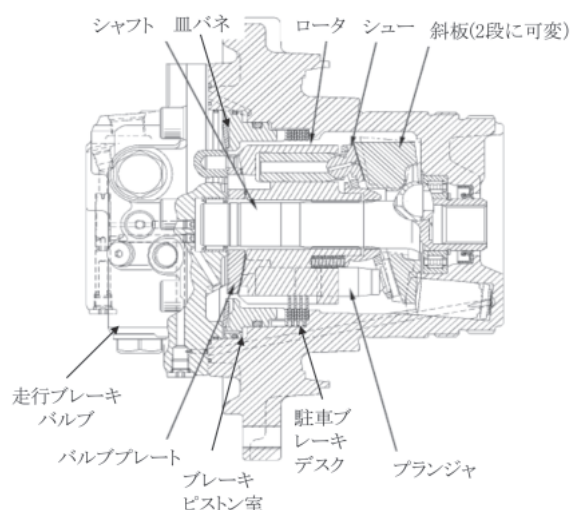


図 4.45 走行モータ内部構造とブレーキバルブ

図 4.45 において斜板の傾きは、高速及び低速の2段に切替できるようになっている。駐車ブレーキは湿式多板型ディスクブレーキで、ブレーキ解除圧油がブレーキピストン室に入ると、ブレーキを解除するネガティブ構造で、走行時以外は皿バネにより常時自動的にブレーキ ON の状態になる。

一方、走行減速機は図 4.44 にあるように、遊星3段減速で走行モータの回転を減速し、スプロケットを介して履帯を回転させる。走行モータ軸とプロペラシャフト7はスプラインで接続されている。回転は1段目プラネタリギヤ8、1段目キャリア6、次に2段目サンギヤ5、2段目プラネタリギヤ9、2段目キャリア4、更に3段目サンギヤ3、3段目プラネタリギヤ10、3段目キャリア2を介し、リングギヤ1に伝達される。走行モータのハウジング14は、トラックフレームに固定されていると共にベアリングナット11により3段目キャリア2にも固定されている。リングギヤ1、ドラム13及びスプロケット12はそれぞれボルトで連結されていてリングギヤ1と一緒に回転する。

モータにはブレーキバルブが直結され、中にはカウンターバランスバルブ、チェックバルブ、オーバロードリリーフバルブ、シャトルバルブなどが内蔵されており、降坂時にショベルが自重で逸走しないように回路構成している。

⑤旋回装置

旋回装置は、走行装置を縦型にしたと考えて良い。旋回装置は図 4.46 に示すように、旋回モータ、旋回減速機及びバルブユニットで構成される。また減速機には遊星減速機を用いている。

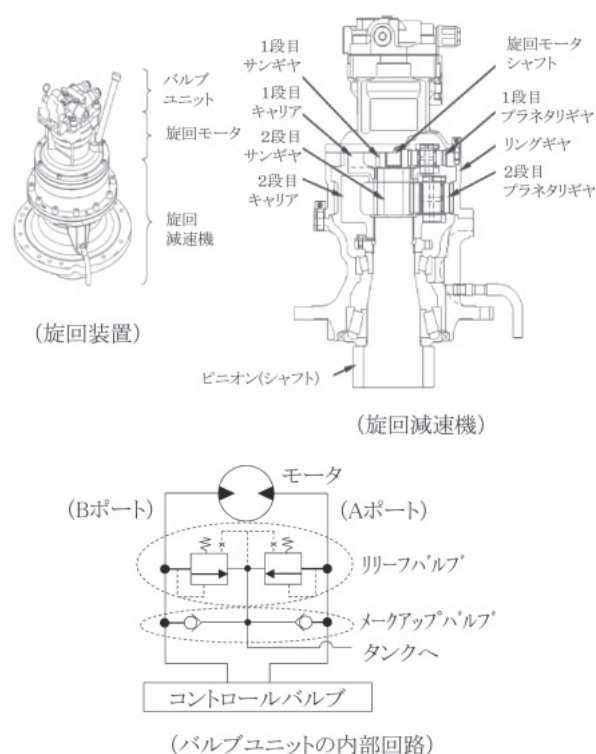


図 4.46 旋回装置と減速機内部構造 (20t級の例)

旋回減速機の最終軸はピニオンになっており上部旋回体の中心部に配置され、旋回ベアリングの内側にあるギヤと噛み合っている。旋回モータを回すことにより、地面に設置されている下部走行体に対し上部旋回体が回転をする。旋回停止時に回転をゆっくり減速させるために、モータ上部にバルブユニット（ブレーキバルブとも言う）を装着している。停止時の慣性力でA又はBポートに発生する高圧を、リリーフバルブでタンクへ逃がすことで緩やかに停止する。しかしこの時にリリーフで逃げた油を補充しないとキャビテーションが発生するため、メークアップバルブが組み込まれタンクから油が補充される。バルブユニットは、あくまでも旋回停止時の減速動作として装着されるもので、停止した後は、走行モータと同様にモータ内部の内蔵された湿式多板型ディスクブレーキで保持される。

⑥油圧シリンダ

油圧シリンダは、ポンプから供給される油圧のエネルギーを、直線運動に変換するアクチュエータである。図 4.47 にその構造を示す。大きく分けるとシリンダロッド、シリンダヘッド部、ピストン部、シリンダチューブで構成される。

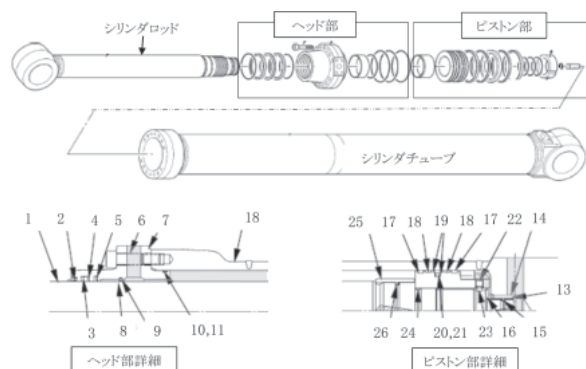


図 4.47 油圧シリンダの構造

油圧シリンダは、過去からいろいろな産業分野で広く使用されており、ここで特段論ずべきアクチュエータでもないが、使用する現場が屋外であり、負荷も過酷であることから、今まで幾多の改善がなされてきた。その中でも特にヘッド部のシール構造は、河川での使用や塵埃の多い現場での使用を考え、一般のシリンダでは無い軸受けブッシュ (8) やダストシール (2) を入れて塵埃の巻き込み防止を図っている。更に油洩防止するため、メインシールの2重化 (4, 5) を図って安全性を向上させている。一方ピストン部にも中央にメインシールアッセン (19~21) を配置し、左右からの高圧油の他室への流入を防ぐとともに、その両サイドにはスライドラングを組み込み、シリンダの横荷重を支えるようにしている。

油圧ショベルの各シリンダは作動速度が一般に早い (一般に3~5秒程度) このためシリンダストロークエンドではケース後部やヘッド部とピストンが衝突し衝

撃を受け、また大きな音を発生する。そこでクッションベアリング (14) (15) を装着して両端部に近づいたら、このクッションベアリングで流入穴 (通過面積) を小さくすることで速度を落とすようにしている。

このように油圧ショベルの進化は、油圧機器の技術革新があつて成し得ていると言っても良い。1970年代から日本の油圧機器メーカーと本体メーカーが、ともに協力してきた結果である。しかしその後1980年代後半から本体メーカーは、国内において過酷な価格競争を強いられて、油圧機器コンポーネントの内製化 (自社内で製造する) が進むようになってきている。特に電子化技術の導入進化に併せて油圧制御技術も高度化してきており、油圧機器も含めて総合的開発が求められてきている。

4.3 電気システムと電子制御化技術

油圧ショベルが国産化された1965年当時の運転席には、エンジンを始動するスタータスイッチやエンジンの状態監視のためのエンジン油圧計、水温計、エンジン回転計などが電気関連設備として設置された。その後、油圧回路の進化に合わせて、ポンプ制御やエンジン回転制御など電子制御システムが必要になり、開発され搭載されてきた。更にその後も、ユーザの作業ニーズによるモード選択機能や安全確保のための機能など、次々に新しい機能が盛り込まれて現在にまで至っている。その電気・電子関連の進化の概要を表4.3に示す。

表 4.3 電気・電子関連の進化の具体例

	1965~	1983~	1986~	1990~
エンジン始動及び関連部位の監視	アナログ計器装備 油圧計、水温計 電流計 (充電用) 始動スイッチ 始動用ヒータスイッチ	モニタ液晶化 (エンジンオイル、水量、 バッテリー液、燃料など 項目追加) オートアイドル機能	エンジン回転制御の 電子化 (コントロール ダイヤル)	液晶モニタの進化 (機械情報表示)
アクセサリ	前照灯、室内灯ワイパー	前照灯の2段切替え		
安全喚起・環境	ホーン	室内ヒータ装備	エアコン装備 旋回警報装置のオプション装備	稼働情報通信システム、盗難防止システム
各種電子制御	—	—	ポンプエンジン制御 作業モード切替え 走行モード切替え E-P 制御 (マイコン使用)	ロードセンシングシステム (各センサー設置とコンピュータによる制御)

上記のように、エンジンの始動や運転状態を監視する部分については、80年代中頃から、液晶モニタが採用され始めた。その3年後位から、複合性や省エネなどが電子制御されるようになってきた。これらの電子化の内容と目的を整理すると図4.48のようになる。

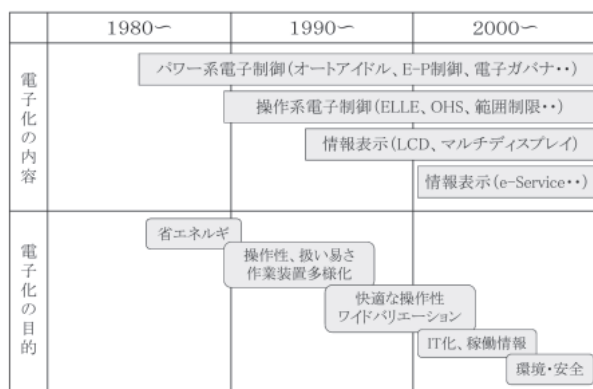


図 4.48 中型油圧ショベルの電子制御化の経緯（日立建機の例）

電子化の流れを、20t 級油圧ショベルでみると、まずパワー系の電子制御から始まった。コマツは、1984年にPC-3型に「電子OLSSシステム」を開発し搭載した。このシステムでは、不稼働時にエンジン回転を自動的にアイドル回転数までに下げ、省エネや低騒音化を図るオートアイドル（オートディセル）、エンジンスピードセンシング、ポンプの入力トルクを選べるモード切替えが可能となり、本格的な電子化がスタートした。

1986年発売の日立EX-1型には、エンジンとポンプを同時に制御して省エネ、低騒音化、操作性向上を図る「E-P制御」がパワー系の電子制御として開発され搭載されている。

操作系の電子制御として、1990年に登場した日立ELLE（ロードセンシング）システムでは、ポンプと操作スプールに設けた圧力補償弁を電子制御することにより、各動作の必要流量の制御を行った。（詳細は4.2.7 ELLEシステムを参照）それ以外にも開発された電子制御の例として、ミニショベルなどでフロントが運転席に干渉する危険範囲にきたら自動的に停止する干渉防止システムなども挙げられる。

運転席の計器盤は、「表4.3 電気・電子関連の進化の具体例」でも判るように1990年頃には液晶モニタ（LCD）のセグメント表示が用いられるようになった。その後2000年代に入り情報量が増え、計器モニタはLCDのドットマトリックスのマルチディスプレイ

イが用いられるように進化した。これにより故障時は、トラブルシュート画面に切り替えることが可能となり、オペレータやサービス員がトラブル判断しやすくなった。この詳細は「4.3.2 運転席情報表示モニタの進化」で説明する。また2000年代には、トラブル情報や稼働情報を、GPSを使用してメーカーやユーザが管理できるシステムが構築され始めたが、この詳細は「4.3.4 IT化による機械管理の進化」で説明する。

4.3.1 電子制御システム

(1) 電子コントロールシステムの構成

電子制御システムが1980年代中頃から油圧ショベルの制御に多く使われ出してきたが、そのシステムについて具体的説明をする。まずは、電子コントロールシステムの基本構成を図4.49に示す。

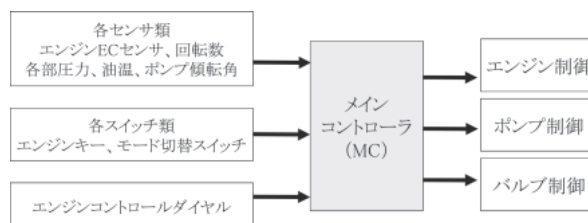


図 4.49 電気コントロールシステムの基本構成

本体各部に回転数や負荷圧力、油温及びポンプ傾転角を把握するためのセンサを装備している。オペレータが選択をする作業モードやエンジン回転数（エンジンコントロールダイヤル）の情報と各センサから送られてきた情報を基に、メインコントローラ（MC：Main Controller）で演算する。演算結果に基づきエンジンコントローラ（ECM：Engine Control Module）を介してECモータやポンプ吐出量（比例電磁弁によるパイロット圧制御）などの制御を行う。

(2) エンジン制御

図4.50にエンジン制御システムの一例を示す。

エンジン制御には、エンジンコントロールダイヤル制御、モード切替え制御、オートアイドル制御、その他制御などがある。例えばモードスイッチを選択するだけで、MCからECMを介してエンジンの回転数を、あらかじめ設定されたモード回転数に設定できる。また最近のモデルではECモータでメカニカルガバナレバを駆動する方式から、電子ガバナ方式に変えて排ガス規制対応を行っている。

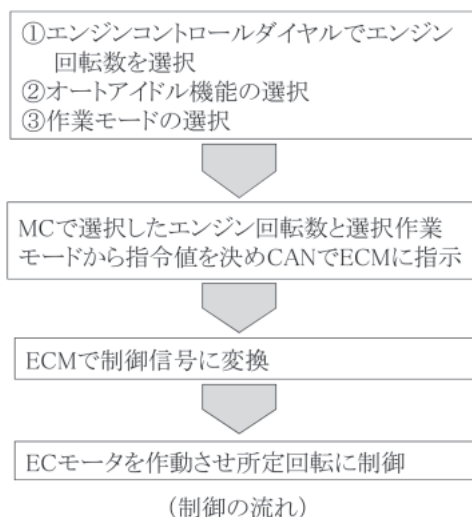
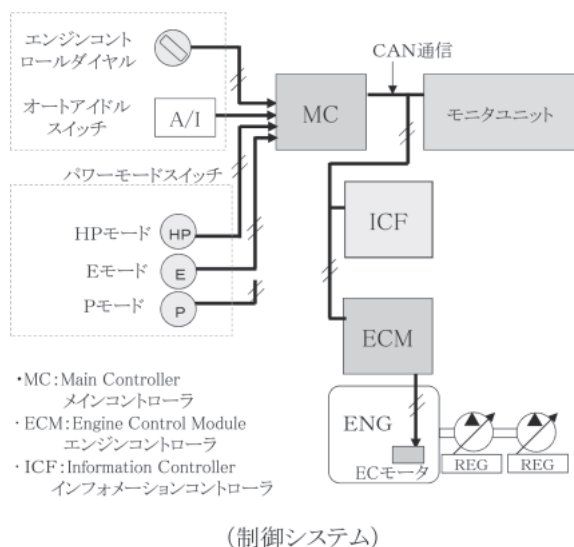


図 4.50 エンジン制御システム例

(3) ポンプ制御システム

図 4.51 にポンプ制御システムの一例を示す。

ポンプ制御には、エンストを防止するためのスピードセンシング制御（トルク制御電磁弁経由）を始めとして、各種アタッチメントの装着時に使用される流量制限制御（ポンプ1及びポンプ2流量上限制御電磁弁経由）やトルク制限制御（トルク制御電磁弁経由）などがある。例えばスピードセンシング制御では図のようにエンジンの回転数が低下した場合、回転センサからECMを介してメインコントローラ（MC）に信号が送られMCからの指令でトルク制御電磁弁を介してポンプレギュレータを作動させバランスさせる。

同様に油圧の負荷が増大した場合は、各ポンプ吐出圧センサからの電気信号をMCにて演算してエンストを起さないようにポンプに指令されP-Qラインが制御される。

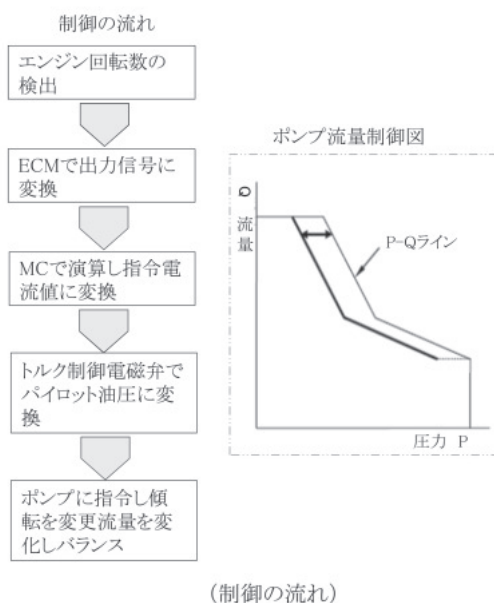
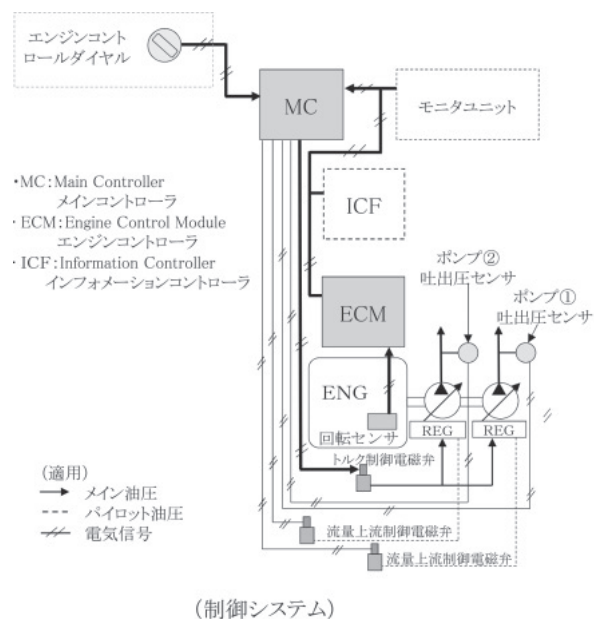


図 4.51 ポンプ制御システム例（スピードセンシング制御）

(4) バルブ制御システム

図 4.52 にバルブ制御関連機器とその系統図の一例を示す。

バルブ制御は、電磁弁ユニットを介してコントロールバルブを制御するものでパワーデギング制御・オートパワースhift制御（電磁弁ユニットSC経由で一時的にリリーフ圧を上げる）、アーム再生制御（SC経由）、走行モータ傾転切替制御（SI経由）、使用するアタッチメントの必要流量に合わせて吐出量を調整する予備流量制御などがある。

これらの制御には、操作パネルに配置されるモードスイッチなどを選択することにより制御機能が作動す

るもの（パワーデキングや走行モータ傾転切替え制御など）と予め設定されていて負荷圧などから自動的にMCで計算されて制御指令されるもの（アーム再生など）がある。

例えば図 4.52 で、パワーデキングスイッチを入れるとMCから電磁弁SGを介してメインリリーフ圧を一時的にアップさせ、スイッチを押したときのみに掘削力がアップして力強い作業が可能となる。また走行は最もパワーを必要とするが、フロントを動かしながら走行するとポンプパワーがエンジンパワーを超えてエンストをする。そこで負荷圧力とポンプ吐出圧力からのセンサ信号のデータを、MCで演算し、その結果

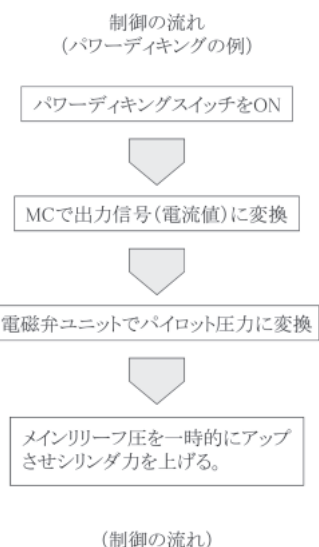
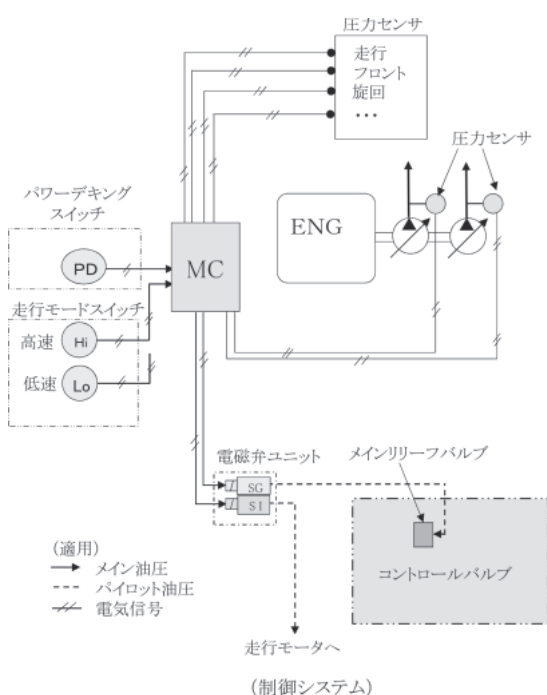


図 4.52 バルブ制御システム例

に基づいて電磁弁 SI を介して走行モータを低速に切替えバランスさせる。この場合、走行速度は若干遅くなるが複合動作は可能となる、

このような電子制御には、通常 DC24V (ミニショベルの1部は DC12V) の電気を使用しており、一般汎用 AC100V では使用できない。またコントローラは、ショベルの走行時及び作業時の振動 (約 5~10G) に耐える必要がある。以上のことから製品ごとに個別に開発されている。なお、油圧バルブ等の制御は、制御用ポンプ (パイロットポンプ) 回路が構成されており、制御用電気出力はこの油圧制御回路を介して本体を制御することになる。国産化当時には、操作バルブは機械式レバーであったが、その後油圧パイロット式になり格段に軽くなって使いやすくなった。

4.3.2 運転席情報表示モニタの進化

油圧ショベルに電子制御が組み込まれてくるに連れて、運転席のモニタも進化発展してきた。国産化当初はエンジン状態を監視するための水温計、エンジン油圧計、回転計などが個別に運転席に配置されていた。その後、1980 年代になると機械各部の異常を知らせるセンサが搭載され、各計器類と一体化して監視モニタとして装備されるようになった。図 4.53 に運転席情報表示モニタ (操作含む) の例を示す。

1990 年中頃から、機械式燃料レバーの電子化 (ダイヤル化) や作業モードスイッチ追加及び表示モニタの電子化などを受け、表示操作系部品の一体化が図られた。そして 2000 年以降も各メーカは独自の機能を付加して開発しているが、運転席の視界確保を図るためには「小型で見易く且つ幅広い情報を表示する」ことが求められ、目的により切り替えて表示する「マルチ切替式」に進化している。

4.3.3 稼働情報管理システム

1990 年頃から油圧ショベルの電子制御が使われるようになり、エンジンや油圧回路の状態診断やトラブルチェックを行うためには、電気系と油圧系の両方を見て判断する必要性が出てきた。そのためにメーカは、専用の診断器を準備して対応をしてきた。その後 2000 年頃から、表示モニタにマルチディスプレイが使われるようになり、これを使用すると情報量が多くても、モニタ表示画面を切替えて表すことにより、機械の状態などを把握することが可能となった。(図 4.53 参照)

これにより、機械管理に必要な稼働時間や燃料の量などはもちろん、稼働時刻や稼働時の負荷状況並びに

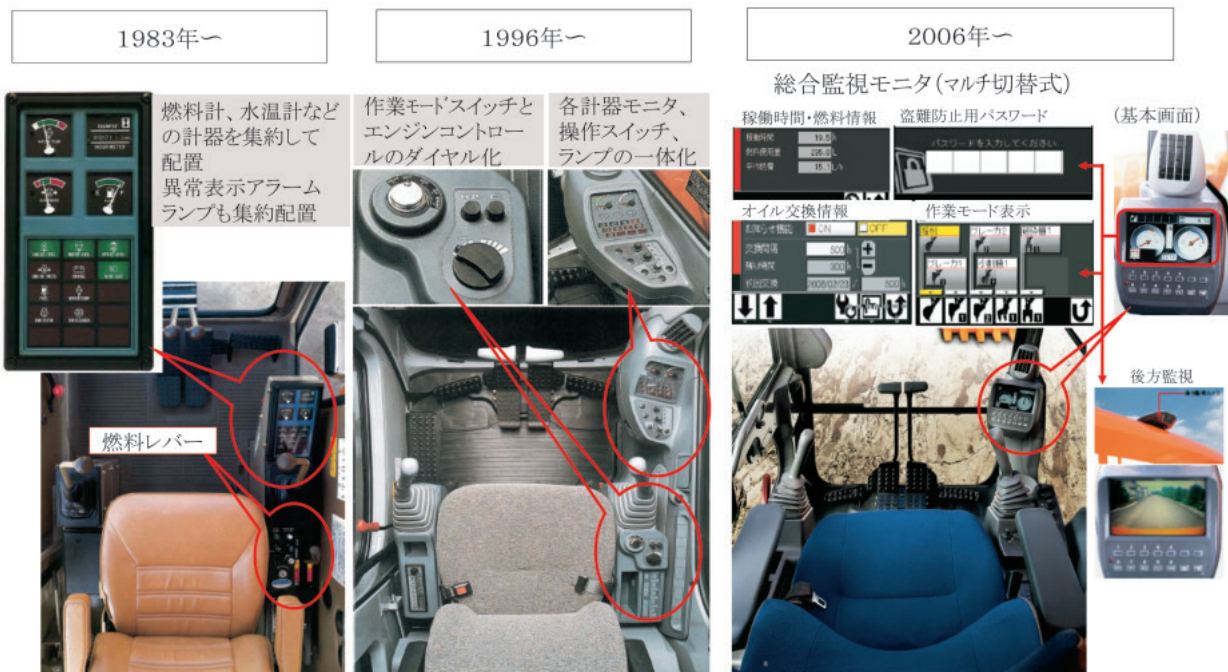


図 4.53 運転席情報表示モニタの進化 (20t 級の例)
(出展：日立建機)

設定圧力、吐出量など必要な項目について、センサを付けてデータを取り、それを蓄積することが可能になった。

4.4 IT化による機械管理の進化

1990 年頃から車体の電子制御が進み、更にマルチディスプレイとなり、車体に機械の稼働履歴など多くの情報が蓄積されるようになったが、この情報の有効活用を図るための開発に各メーカーが積極的に取り組んできた。その例を「日立 e-Service」と「コマツ KOMTRAX」の例で説明する。

4.4.1 日立 e-Service の例

2000 年に発売した ZX200 は「e-ショベル」と称され、業界で初めて低軌道周回衛星 (LEO) を使用する通信機能を車体に搭載したものである。これにより IT 化 (情報化) が始まった。すなわち蓄積された稼働情報の遠隔での把握や稼働現場の位置把握ができ、メーカーとユーザの双方に画期的なメリットをもたらした。そのシステムの概要を図 4.54 に示す。なお本システムでは車体システム、データ転送システム、WEB システムの 3 要素で構築されている。

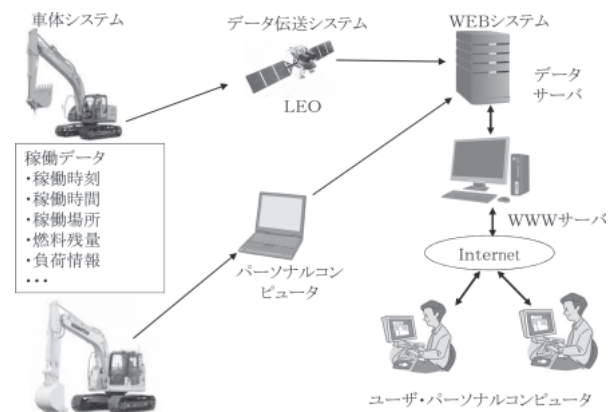


図 4.54 油圧ショベルの稼働管理システム (日立 e-Service) (出展：日立建機)

(1) 車体システム

車体システムの全体構成を図 4.55 に示す。

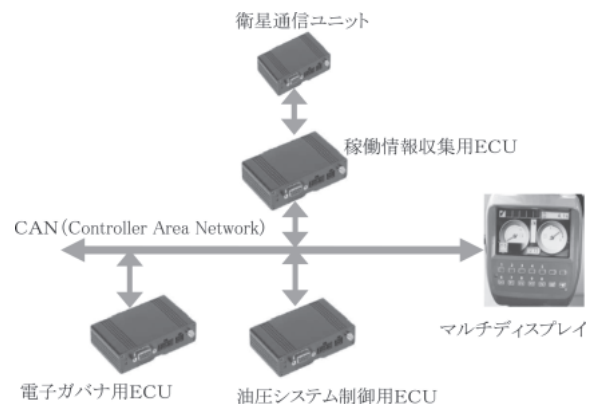


図 4.55 油圧ショベルの車体内コントロールシステム例 (出展：日立建機)

車体内には、エンジン制御用電子ガバナECU (Electronic Control Unit)、油圧システム制御用ECUを備えており、これらが情報を授受して車体全体を制御している。更にこれらのユニットと「稼働情報収集用ECU」がCAN (Control Area Network) により有機的に結ばれている。

(2) データ転送システム

車体の稼働情報収集用ECUに蓄積された稼働データの回収には、パーソナルコンピュータを接続して車体から直接ダウンロードする方法と通信手段を用いた転送方法とがある。通信手段としては、LEO (低軌道周回衛星)、静止衛星、携帯通信 (地上波) などがあるが、本システムの場合は車体に蓄積されたデータは車体の通信端末から静止通信衛星などを介して地上局に送られる。

(3) WEBシステム (稼働管理)

WEBシステムは、送られてきた稼働データを格納し、これらのデータを使用して比較又は分析を行うデータサーバと、これらの情報をWEB上に公開するWWWサーバなどで構成される。ユーザや販売ディーラーは登録したIDとパスワードを用いてログインすることで、WEB上から機械のデータを閲覧できる。またデータサーバは修理点検用情報サーバ (図示なし) ともリンクしている。

4.4.2 コマツ KOMTRAX (コムトラックス)

2001年にコマツが「KOMTRAX」を油圧ショベルに標準装備し、更に進化させている。日立「e-Service」を更に進化させ、GPS機能を標準装備してグローバルに展開していることと、ユーザに対するサポート内容を充実させたことが特徴となっている。図4.56にその基本システムの概要を示す。

(1) 基本システム

車体システムの全体構成を図4.56に示す。

車体の情報は、コントローラA及びBからKOMTRAXターミナルに入力される。また車体の位置がGPSデータからアンテナを介してKOMTRAXコントローラに入力される。これらの情報は低軌道通信衛星や携帯電話通信 (地上波) を介してデータサーバに送られインターネット経由で顧客やメーカに配信される。

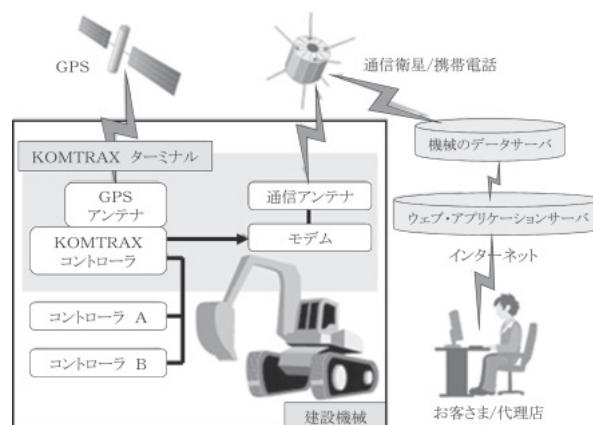


図 4.56 油圧ショベルの稼働管理システム (コマツ KOMTRAX) (出展：コマツ)

(2) 稼働管理システム

このシステムでは、GPSを搭載した機械を、世界のすべての国に提供することで、世界で稼働する機械の一元管理を可能とした。これにより世界のどの地区にどんな機械が動いていて、またその機械の状態はどのようなになっているかが一目で判るようになっている。さらに保守管理、車両管理、稼働管理、車両位置管理、省エネ運転支援、帳票作成などのユーザが必要とすると思われるデータや情報をサポートしている。その概要を図4.57に示す。

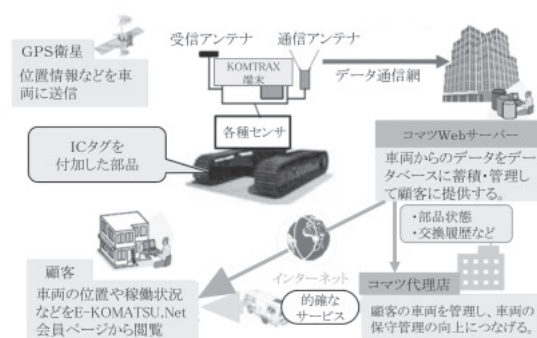


図 4.57 コマツ KOMTRAX の機械情報の活用例 (出展：コマツ)

4.4.3 盗難防止システム

1990年頃から日本の油圧ショベルの技術が向上するにつれて、海外での市場も拡大してきたが、汎用性が高く高価な日本製の油圧ショベルは中古車市場でも価格がさほど下がらない状況であった。このような背景から油圧ショベルの盗難が大きな問題となっていた。そこで1990年中頃から暗証番号 (テンキー) による方式や電子キーなどが準備されてきた。しかしレンタル会社のように不特定で複数の人が使用する場合は暗証番号方式では番号の伝達などが難しかった。そ

ここで2000年の日立「e-Service」がスタートしたことを契機にインターネットを利用した盗難防止システム「e-Guard」が考えられるようになった。e-Guard システムはGPSシステムを利用して、予め稼働範囲を決めておき、万一盗難されてそのエリアから出た場合にはエンジンが始動しない、設定範囲から出たことをメールでユーザーに配信する、盗難時にはGPS機能で追跡できるなどの機能を有している。

このように2000年を契機に油圧ショベルにはIT機能が採用されてきて、現在も進化をしている。まだミニショベルなどでは採用していない製品もあるが、油圧ショベル以外の建設機械でも採用が進んでおり日本の技術はハード面のみならずソフト面でも世界をリードしている。

4.5 燃費低減及び排ガス対応技術

油圧ショベルに使用されるエンジンは、ほとんどがディーゼルエンジンである。その理由としては

- ・低回転高トルクである。
- ・燃費が良い（ガソリンに対し約70%）
- ・トルクがフラットである。（回転数の変化に対しトルク変化が比較的小さい）
- ・CO₂、CO、HCの排出量がガソリンエンジンに比較して少ない（NO_x、PM、黒煙排出は大きい）などが挙げられる。ディーゼルエンジンの歴史については、2008年の国立博物館の技術の系統化調査で報告されているため本稿では省略する。

油圧ショベル（車体重量6t以上の中型系）で採用されてきたディーゼルエンジンは概ね表4.4のように分類できる。なおミニショベルの場合は、主要メーカーが、もともとエンジン製造を行っていたこともあり、ほとんど国産自社ブランドエンジンが多く、その他メーカーも国産エンジンを使用している。

表 4.4 ディーゼルエンジンの採用状況分類（中型以上）

開発経過分類	エンジンメーカー	使用車体製造メーカー
海外技術	キャタピラー	キャタピラー・ジャパン
	カミンズ	日立（80t級）
国産化技術	コマツカミンズ	コマツ、コベルコ（80t級）
純国産化技術	日野	コベルコ
	いすゞ	日立、住友
	三菱	加藤、コベルコ、日立（50t級）

4.5.1 油圧ショベルのエネルギー損失

油圧ショベルは、軽油を燃料にしているが、軽油の燃料エネルギーを変換又は伝達する過程でかなりの部分が損失として失われる。図4.58にエネルギー損失を構成機器ごとに表わす。

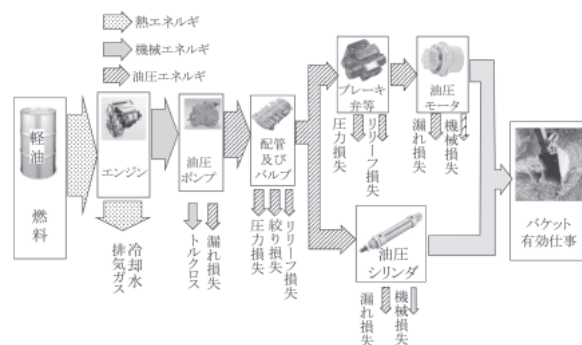


図 4.58 油圧ショベルのエネルギー損失

軽油の持つ熱エネルギーは、ディーゼルエンジンで機械エネルギーに変換されるが、その段階で2/3程度は熱として冷却水や排気ガスに放出される。その後エンジンの機械エネルギーを油圧に変換して、最終的には油圧モーターや油圧シリンダで機械エネルギーに再度戻して仕事を行うことになる。この間で各機器や配管等で圧力損失、漏れ、回転抵抗などでエネルギー損失があり、最終的な仕事として有効に使われるのは軽油投入エネルギーの10%以下と言われている。油圧関連でのエネルギーロスは、4.2項で説明した回路システムの進化で低減が図られてきたが、一番損失の多いのはエンジンであり、省エネを図るためにはエンジン効率の向上が重要であった。このような背景の中、ディーゼルエンジンでの省エネ化は表4.5にあるように燃焼方式の変更や過給機（ターボ）の採用などが図られてきた。1996年以前は燃費低減技術のウェートが大きかったが、1996年以降は排ガス規制をクリアしながら省エネ（燃費改善）が求められるようになってきた。現在までに主に採用されてきた技術と目的・背景を表4.5に示す。

表 4.5 ディーゼルエンジンでの採用技術の経過

年代	採用技術の変化	目的・背景
1979～	燃焼方式予燃焼⇒直接噴射	燃費向上
1983～	過給機（ターボ）付き	小型高出力化
1996～		排ガス1次規制
2000～	インタークーラ	排ガス2次規制
2006～	コモンレール式燃料噴射、クールド EGR システム	排ガス3次規制
2011～	DPF（マフラーフェルタ）	排ガス4次規制

燃費を向上させるためには、燃料噴射技術に加え、吸気系の制御を行うエアーマネジメント技術も重要である。主な技術に、直接噴射方式や排出ガスのエネルギーを利用してエンジンの吸気を増大させるターボチャージャーなどが挙げられる。また排気ガス（NO_x、HC、CO、PM）規制が厳しくなった3次規制からはコモンレール式燃料噴射、クールドEGRを採用している。更に2011年からの4次規制ではPM（粒子状物質）を低減するためにDPF（Diesel particulate filter）が必要となっている。以下にこれらの主な技術について説明する。

4.5.2 コモンレール式燃料噴射装置（電子ガバナ）

排出ガス3次規制対応で採用されるようになった技術である。燃料ポンプで超高压（≒160MPa）の軽油をコモンレールに送り、電子制御にて気筒ごとに、1,000分の1秒単位の噴射タイミングで適正噴射量をインジェクタから噴射するシステムである。噴射量の最適化により、高出力化や不完全燃焼によるPM（黒煙）の低減及び低燃費化が図れる。図4.59を参照されたい。

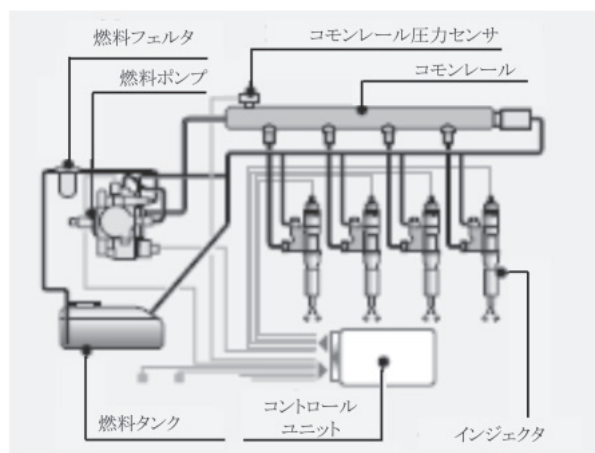


図 4.59 コモンレール式燃料噴射装置

4.5.3 インタークーラ付きターボチャージャー

インタークーラは、ターボチャージャーで圧縮された高温になった吸入空気を一気に冷却する装置である。このようにすることにより、更に高密度の空気が得られる。高密度の吸入空気がシリンダに送り込まれると、エンジンの燃焼効率は高まり、燃費が向上し、CO₂の排出量が低減される。図4.60を参照されたい。

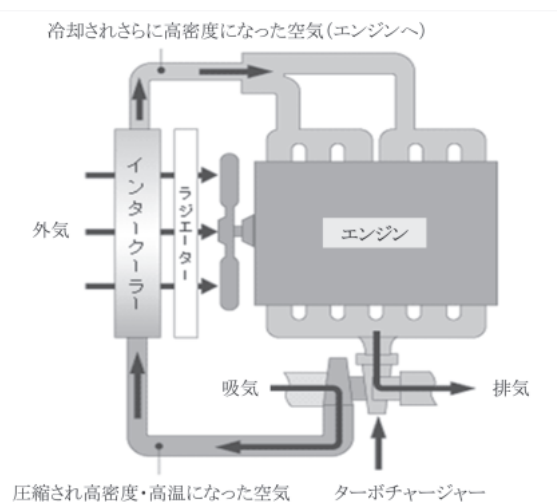


図 4.60 インタークーラ付きターボチャージャー

4.5.4 クールドEGR（Exhaust Gas Recirculation：排出ガス再循環）

EGRは、排出された排気ガスの1部を、再び吸入空気と混合することにより、燃焼室内の酸素濃度を下げて燃焼をゆるやかにし、NO_xを低減させる技術である（図4.61参照）。

この時に燃焼室内の空気温度を上げないため、冷却水を利用したEGRクーラが装備されている。またターボチャージャー付きの場合には、吸気ポート圧力の方が排気のそれより高くなり還流ができない事態を生ずることから、吸気量を調整するバルブ等が装備され、エンジン回転数等により制御されている。

本システムは2006年度の排ガス3次規制でNO_x低減が求められ、その後採用されるようになった。

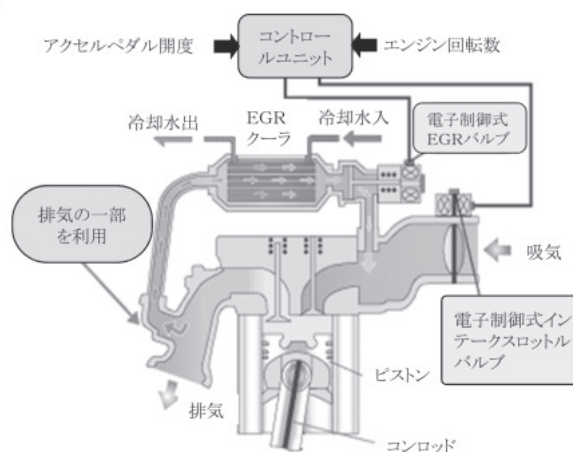


図 4.61 クールドEGR

4.5.5 マフラーフィルタ (DPF)

マフラーフェルタは、エンジンから排出されたPM（ディーゼルエンジンから排出される粒子状物質）を除去するための濾過装置で、マフラ内にセラミックフィルタが装備されており、これがPMを捕集する。溜まったPMはマフラーフィルタ内で再燃焼され、セラミックフィルタは再燃焼により再生される（図4.62参照）。セラミックフィルタと触媒を組み合わせることにより、酸化されやすい一酸化炭素や炭化水素、粒子状物質を除去するものもある。この触媒方式ではフィルターの前段に強力な酸化触媒を置くことで、排出ガス中の窒素酸化物（ NO_x ）を、より二酸化窒素（ NO_2 ）の多い状態にし、二酸化窒素の強力な酸化能力でPMを燃焼させる効果がある。

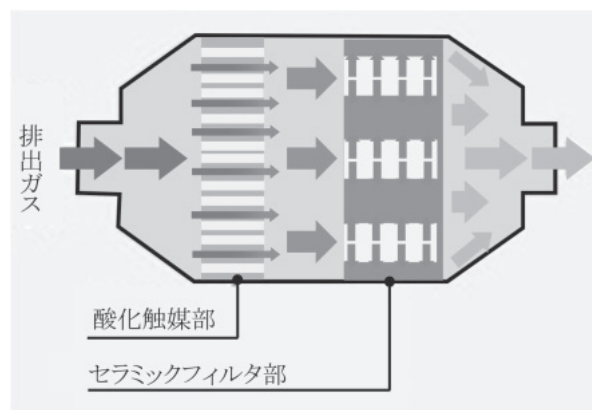


図 4.62 酸化触媒付きマフラーフィルタ (DPF : Diesel Particulate Filter)

5 | 普及を支える応用技術

1965年に国産化が始まった油圧ショベルは、掘削・積み込み作業で広く使われるようになったが、その後約10年を経て、その使いやすさから、バケット掘削以外での幅広い作業で使いたいとのユーザーニーズが出現してきた。これに対応して、種々のフロントやアタッチメントが開発され、使用されるようになった。また本体も、使用する現場に応じて様々なタイプが開発された。

このようなニーズに応じて日本のメーカーが積極的にユーザーの求める応用製品を開発したことが、油圧ショベルの国内普及の要因である。現在では油圧ショベルの半分は、掘削を主にした土木工事以外で使われるようになってきている。またこの応用技術により標準機も技術的にレベルアップし、日本製油圧ショベルの評価を上げる要因にもなっている。以下その標準機をベースにした応用技術製品を説明する。

5.1 作業に併せたフロントバリエーション

5.1.1 土木工事の作業領域を拡大する応用製品

機械式ショベルの生産が中止になり油圧ショベルが土木工事の中心になってきた1975年頃から、都心における掘削工事や送電線工事における基礎掘削において、掘削土砂を地上に上げるためアームが垂直に伸びるテレスコピック型深掘りクラムシェル要望が出てきた。(図5.1参照)

都心工事でテレスコピック型クラムシェルを使用する場合は、地下に掘削機を入れて掘削し、揚土する位置に予め土砂を寄せる必要がある。それに使用するのがフロント部の高さを抑えたショートリーチ型ショベルである。(図5.2参照)

更に河川工事においては、より作業半径が大きい製品が求められ、掘削バケットを小さく軽くしてリーチを大きくしたスーパーロング型ショベルも、この頃出現している。(図5.3参照)

これらの製品は、フロント部が重いことなどから、作業速度や安全弁設定圧力等に配慮した油圧系統での改良工夫が施され、また本体部にも安定性を考慮した追加ウェイトや特殊なガード等もメーカーにより考慮されている。



図 5.1 テレスコピック型クラムシェル
(出典：日立建機)



図 5.2 ショートリーチ型ショベル
(出典：加藤製作所)

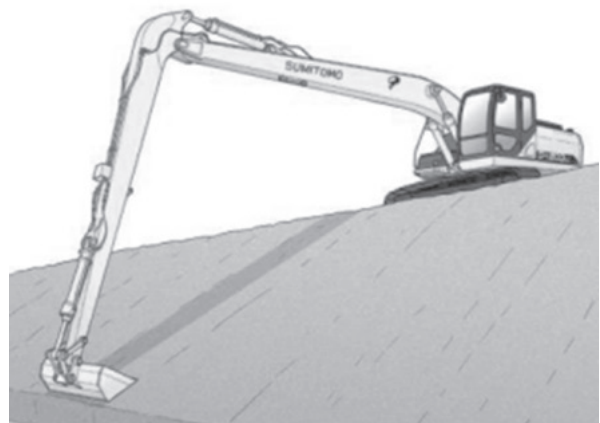


図 5.3 スーパーロング型ショベル
(出典：住友建機)

5.1.2 解体作業で使用するアタッチメントと応用機

1980 年頃になると首都圏においてコンクリート構造物の解体工事が増えてきた。それまでコンクリートを解体するには油圧ブレーカ（ノミを打撃振動させてコンクリートを割る装置）を使用していたが、騒音振動が多く、工事をする際に周囲から苦情が多く発生していた。それに対応するために考案されたのが油圧シリンダを利用してコンクリートを圧砕するコンクリート破砕機である。当時、解体をあまり行わない欧州には類似の製品は無く、日本の技術及びニーズにより考えられた製品である。（図 5.4 - ①②参照）

同様に 1980 年代中頃には、1950 年代以降にコンクリート造りで作られていた自動車道路が、乗り心地や騒音などの理由からアスファルト造り道路にリニューアルする工事が増加してきた。この作業で道路のコンクリート又はアスファルトを掘り起して破砕するために道路専用の破砕機が開発された。（図 5.4 - ③参照）当初解体用のこれらのアタッチメントはショベル本体製造メーカーが開発したが、その後市場が増えるとともにアタッチメントを専門に開発販売するメーカーが現れ、現在ではほとんどが専門メーカーで開発販売している。



①コンクリート用 ②鉄筋鉄骨用 ③道路用
図 5.4 解体用各種アタッチメント（開発当初品）
（写真出典：日立建機）

1961 年に特区認定により 100m 以上のビルが認可され、また 1981 年には新耐震基準の導入が盛込まれた建築基準法改正が施行されたことにより、これを契機に都心でのビルの建替え工事が活発化してきた。これを受けて油圧ショベルを用いて高いビルを解体する工事が増え、ロングリーチの解体機（ハイリフト）の開発が始まった。（図 5.5 - ①参照）

これ以降各メーカーは、効率の良い解体作業を目指して、より高くまで届くフロント、より大きなコンクリート破砕機を、次々に開発してきた。特に 2000 年頃から 30m を超える建物の解体が多くなり、それに合わせて解体ハイリフトフロントに専用の油圧ショベルが開発されるようになった。2005 年には、コベルコ建機（株）から地上 65m まで解体ができる SK3500 が発売されギネスブックに登録された。（図 5.5 - ②参照）

解体用機械は、破砕機で発生する数百トンの破砕荷重を支えることから、通常の掘削機と違いフロントに加わる荷重は非常に大きい。従って構造物の設計は十分な強度をもってバランス良く行う必要がある。日本のメーカーは、FEM（Finite Element Method）解析を強度計算に取り込んだり、実負荷試験を行ったりしてこれらの課題を克服して構造物に対する信頼性を高め、モノ作り技術で世界に負けない製品を生み出してきた。またロング解体機では通常先端部が運転席では見えない。そこで運転席を上に向けたチルト式キャブ（図 5.5 - ③参照）、輸送時の分解性を考慮した構造など、ユーザーニーズを綿密に取り入れた開発をして、世界をリードする解体仕様油圧ショベルを完成させた。

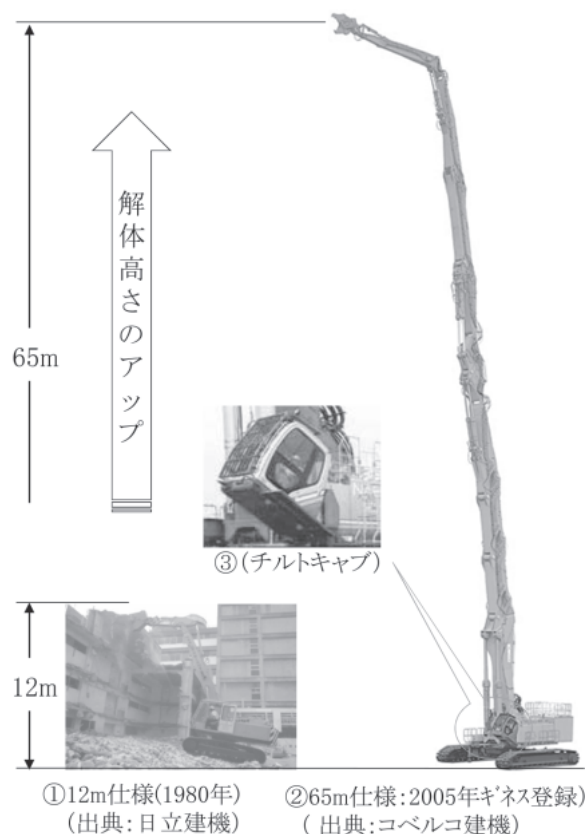


図 5.5 解体用ハイリフトの進化

5.1.3 スクラップ業及び林業作業など土木作業以外で普及貢献する油圧ショベル

油圧ショベルの技術が確立し、性能が向上してきた 1980 年代の中頃からは、先に述べた解体作業やクレーン作業といったような、本来の土木作業以外に普及し始めた。その要因はショベルが「人間の腕のように 3 関節で、その動きが滑らかなことにある。この油圧ショベルの機能を生かしてスクラップ用ハンドリング機、マグネット仕様機（図 5.6 - ①参照）、自動車解体機、基礎機械、林業仕様機（図 5.6 - ②参照）など

様々な分野に普及して行った。

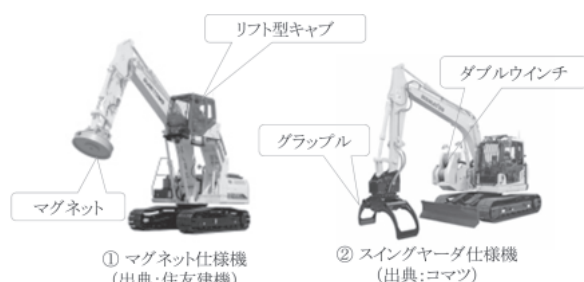


図 5.6 マグネット及び林業仕様機

5.1.4 狭い現場で稼働できる超小旋回型及び側溝掘り型フロント

油圧ショベルが国産化され、その6年後にはミニショベル（重量6t以下）が国産化された。ミニショベルの発想は、都市土木や農業、林業の省力化ニーズから生まれたと言われている。当時はホイール走行体の後部にフロント部がスイングできるタイプ（海外輸入品）で使われていた。1971年に全旋回できるクローラ式のミニショベルが開発されて、その後農機、建機、林業機械のメーカーが次々にこの分野に参入し、シリーズの拡大及び高性能化を進めた。1970年代後期には国内にミニショベルのメーカーは20社ほどあった。1980年代に入ると都市部を中心に、クローラ幅内で旋回できる超小旋回型のニーズが発生した。これは上部旋回体がクローラ幅内で旋回出来れば工事に占有幅が小さくて済む、旋回時に後ろを気にしないで旋回できる、ことからである。この先駆けとなったのが、1980年のレンタルのニッケンが自社用に開発した「コーヒークップ型ショベル」である。この機械はホイール式であるが、旋回機能を2重に持っていてコーヒークップのような動きができ、トラックの車幅内で旋回ができる。（図5.7-①参照）これをきっかけに車幅内で旋回できるショベルのニーズが高まった。

その後、1983年に小型建機専門メーカーである日産機材（その後ハニックス工業に社名変更）から、今日の超小旋回型油圧ショベルの原型となるS & B22（図5.7-②参照）が開発され発売された。同機は、機器のレイアウトを工夫して、車体後端半径内に収め、更にフロント部はオフセットブーム（2分割ブームにして先端ブームを左右にスイングできるタイプ）を採用し、ブームを左右にスイングすることでフロント部の旋回半径も車幅内寸法内に収めている。これにより1988年にS & Bシリーズは（財）日本発明振興協会の発明大賞を受賞している。

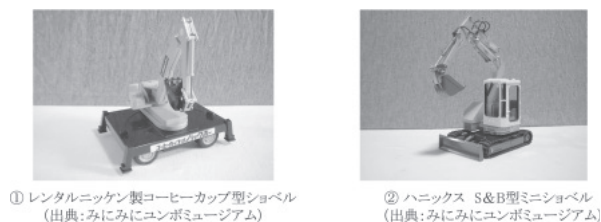


図 5.7 超小旋回型ショベルの発祥

ミニショベルの開発当初は、クローラは鉄シュータイプであったが、市街地のアスファルト路面で使用されることが多いことから、1980年にはゴムクローラタイプが開発され広く使われるようになった。

このように超小旋回型及び後方超小旋回型ショベル（第2章油圧ショベルの分類参照）は日本の作業現場の状況や安全意識の高さから生まれたニーズであり、それに日本人のきめ細かい設計マインドが重なり開発できた製品と言える。その後、製品が増加するにつれ小旋回型の定義を業界団体である（社）日本建設機械工業会で決めている。現在では、小旋回型はミニショベルにとどまらず、中型ショベルでも開発されている。

5.1.5 信頼性の高いマイニング用大型油圧ショベル

大型油圧ショベル（40t以上）は1970年代には、欧米が市場をリードしていた。日本では、1973年日立建機が国産技術でUH20（50t級）を開発して市場導入した。当時大型油圧ショベルは、採石現場や浚渫現場で使われた。採石現場では発破（ダイナマイト）で爆破させ、崩した碎石をダンプに積み込む作業に使われた。そのため地面より上に崩れた碎石を一気に積み込むローディングフロントとダンプ機能付きバケットが有効である。積み込みの際はバケットの底辺を水平に前に出してバケット内に碎石を取り込む必要がある。そのためローディングショベルには水平にバケットを動かす機構が開発され装備されている。国内においてはその後1975年に75t級、1979年に157t級が日立建機から発売、更に1995年以降には更に大きな550t級、800t級がコマツ、日立建機（図5.8参照）などから発売され、海外マイニング市場でテレックス（図5.8参照）、リープヘル、キャタピラーなどと競合している。特に大型油圧ショベルの場合は、ほぼ24時間フル稼働することも多く、油圧機器や構造物などの信頼性と耐久性が求められるが、日本製品は油圧ショベルのノウハウが生かされ、現在は世界の中で高い評価を受けている。現在世界のマイニング市場で使われているショベルの台数は2,000台以上と推定されるが、その半分は日本製品と推定できる。



世界最大:Terex O&K TME400 (1100t)



日本最大:日立建機EX8000 (780t)

図 5.8 世界及び日本で最も大きい大型油圧ショベル
(出典: Terex、日立建機 H/P)

5.1.6 油圧ショベルを利用した特別仕様機

1985 年以降、日本のマーケットにおいて油圧ショベルを利用した特別仕様機が次々に開発された。

これらの商品が生まれた背景としては、市場からの油圧ショベルに対する信頼性が高いこと、油圧システムの適合性が高い、ことが挙げられる。日本における油圧ショベルの位置付けは、いかなる要望にも応えられる油圧システムを持った油圧ユニットとも言える。図 5.9 に油圧ショベルを利用した特別仕様機の主なものを紹介する。

(1) 自動車解体機

自動車を廃棄処分する際に、エンジンや配線又はボディなどに分離選別する機械で、アーム先端のカッタ

で自動車の裏側から押えて引きちぎる機械である。油圧ショベルに押え装置とカッタを追加で装着している(図 5.9 ①参照)。

(2) 分解型ショベル

鉄塔基礎工事や災害復旧工事で道路の無い山岳地帯に油圧ショベルを運べるように簡単に分解できるようにしている。ヘリコプターの能力に合わせて 1~2t 程度にまで分解できる(図 5.9 ②参照)。

(3) リーダレス基礎機械

3 関節ブームの先端に油圧オーガ、スクリー、バイプロ(振動型杭内装置)を装着して仮設基礎杭の打設を行う機械である。アーム先端部を垂直動作させるためには油圧回路の複合性と微操作性が要求され、コンピュータを使い自動制御している(図 5.9 ③参照)。

(4) 泥上掘削機

沼地や河川に機械を入れて掘削するショベルである。機械が沈まないように走行体はフロート型になっており水中でも浮く。東南アジアを中心に河川改修工事などで使用される(図 5.9 ④参照)。



①自動車解体機



②分解型ショベル



③リーダレス基礎機械



④泥上掘削機



⑤テレスコピック型クレーン



⑥ロータリカッタ式地雷処理機

図 5.9 油圧ショベルを利用した特別仕様機 (画像提供: ①コマツ、その他日立建機)

(5) テレスコピック型クレーン

油圧ショベル本体を使用してジブ伸縮型移動式クレーン（10t 以下）として製品化されている。荷振れを起こさないように旋回速度は遅くしている。また吊り荷重検出表示、シリンダ安全弁装着などクレーン構造規格に準じて作られている（図 5.9 ⑤参照）。

(6) ロータリカッタ式地雷処理機

世界で一番普及している対人地雷処理機である。アーム先端に装着されたロータリカッタで地面に埋設されている対人地雷を回転破壊させる。カッタやフロント部は地雷爆破にも耐えるように設計されている。また運転席は特殊な超強化キャブと防弾ガラスなどで設計されており運転者をガードしている。世界約 10 か国に納入され地雷除去に活躍している（図 5.9 ⑥参照）。

5.2 油圧ショベルを利用したクレーン仕様機

1980 年代に入り、北海道・東北を中心に排水溝造成工事などで油圧ショベルが広く使われるようになってきた。しかし現場は足場が悪く、掘削して排水用の U 字溝を埋設するためのクレーンの設置が難しい現場が多く出てきた。そこでユーザから、油圧ショベルで U 字溝を吊って埋設したいとの要求があり、アームの中にウインチを埋め込んだクレーン仕様の油圧ショベルが開発された。このクレーンはアイデアを創出したユーザの名前を付けて「奥山式クレーン」と名付けられた。（図 5.10 - ①参照）

当時から日本の中では労働安全衛生法でクレーンに関する規制があり、製作する場合はその構造規格に準拠する必要があったが、奥山式クレーンはこれに準拠させて開発されていた。



図 5.10 油圧ショベルのクレーン仕様機

このクレーンが考えられ開発されたのは、当時から既に油圧ショベルが使い勝手の良さや旋回動作などの微操作性で十分な機能を有していたからに他ならな

い。その後、油圧ショベルによるクレーン作業は形を変えて進化し、2000 年には労働衛生法によるクレーン構造規格等の関連規格が整備され、「屈曲ジブ付きクローラクレーン」として正式に認可された。このことにより図 5.10 - ②のような、バックホーでありながら作業モードを切り替えることで、作業半径と吊荷荷重から許容安定荷重を演算（ML）して転倒防止を図る機能をもった移動式クローラクレーンとして使用できるようになった。これは世界には無い日本独自の規格であり、日本の技術でしか成し得ないものである。またこの機能が可能になったのは日本の油圧ショベルの技術が高いことの証明でもある。これにより油圧ショベルは、掘削と吊荷が出来る機械として進化し、土木関連作業の安全に寄与している。国内では現在この規格に準じて出荷台数の 60% 以上はクレーン機能付きで販売されているが、残念ながら海外では吊荷に関する安全規格が違うためクレーン仕様は出荷されていない。

5.3 安全性を重視した強化キャブと各種オプション

油圧ショベルが進化し普及している要因として、基本機能の技術レベルが高いことは当然であるが、それに加えて油圧ショベルを安全で使いやすい製品にするための付帯する技術や装備品の進化も重要な役割を果たしている。その主なものを紹介する。

5.3.1 運転者の安全を確保する強化キャブ（運転席）

1980 年代中頃から油圧ショベルが建設工事で世界的に多く使われ出すにつれ、ショベルの転倒事故も多く発生するようになってきた。これは油圧ショベルが主に地面から下を掘削する事が多く、掘削により足元の地盤が崩壊することや、不整地や瓦礫などの上に登って足元路盤の不安定な状態で作業を行うことが原因である。転倒しそうになると運転者の心理としてドアから飛び降り、その結果自分の機械の下敷きになって死亡すると言う事例が多く発生してきた。また落石や解体作業時での破砕物が運転席に飛散して運転者に怪我を負わせる事例も多くなってきた。これらの事故を防止するため欧州で 1990 年中に ISO 規格が制定された。海外に輸出する機械はこれに準拠した対応を迫られた。日本においても状況は同様であり、数年遅れて JIS でも ISO に準拠した規格が定められている。規格には転倒時保護構造（6t 級以下（TOPS）と 6t 超え 50t 未満（ROPS）の 2 種類）、頭上からの落下物に対する防御、周囲からの飛散物に対する防御などの規格がある。

運転席を強化するには、強固な部材で骨組みすることが求められるが、視界性が悪くなる。日本のメーカーは、出来るだけ視界性を良くしながらしかも骨組みで強度を確保する構造を追求し、現在では視界性も良く且つ強度基準に準拠した運転席が装備されている。

運転席の骨組み構造を図 5.11 - ①に、キャブの強度試験状況を図 5.11 - ②に示す。



①ROPS対応キャブの骨組み
(出典:コマツPC200-10)



②ROPS基準による強度試験
(出典:施工技術総合研究所)

図 5.11 運転席の骨組み構造と ROPS 強度試験

5.3.2 周囲作業者の注意喚起や安全作業を支援するオプション

最近の油圧ショベルには、作業時安全を図るために以下のような装置が開発され装備出来るようになっていく。

- (1) シートベルト……転倒時などに作業者の飛び出し等を防止する。
- (2) 非常脱出ハンマ…水没した際に運転席のガラスを割って脱出するためのハンマ。
- (3) 旋回警報装置……旋回レバーに連動して警報音を鳴らして周囲に注意喚起する装置。
- (4) 走行警報装置……走行レバーに連動して警報音を鳴らして周囲に注意喚起する装置。
- (5) 後方監視カメラ…バックミラーで確認できない後方（ウェート後部）を、カメラ映像により運転席で確認する装置。

5.4 日本のショベルが普及した背景

1965 年から、海外からの導入技術と国産技術開発の二通りの方法で、油圧ショベルが開発されて進化を遂げ、今や世界の中で技術面、販売面双方でトップを走っている。技術面で言えば国産化して約 20 年後の 1980 年代中頃には世界のトップにあったと言える。

その背景と要因には以下のことが挙げられる。

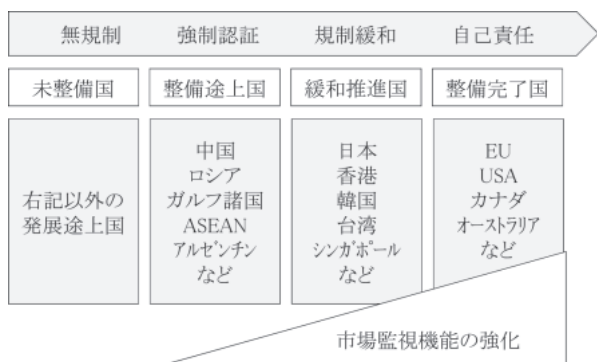
- (1) 日本の高度成長期の中で国策として産業基盤整備や都市開発などが積極的に行われたが、その中であって建設機械需要が高まり、日本の国土事情や工事内容に最適の油圧ショベルを提供すべく各メーカーが開発にしのぎをけずった。
- (2) 油圧ショベルの開発には、日本に主要重工業メーカーを含め 10 社以上が名乗りを上げ、過当競争が始まったことにより、ユーザ意見を取り込み、性能改善や新規開発などを積極的に行うなど切磋琢磨を余儀なくされた。その中でより高性能な油圧システムの研究と進化があった。
- (3) 本体開発メーカーと油圧機器メーカーが積極的に開発に協力し、油圧ショベルに適合した油圧機器の開発を進めた。その後、1980 年代の後半からは、各メーカーは海外展開を積極的に推進して普及に務めると同時に、以下の取り組みを積極的に行った。

- ①国内における土木関連以外の市場を対象とした油圧ショベル特殊機や応用機の開発推進による国内市場の拡大。
- ②海外障壁に対する積極的な対応と現地生産化の推進。
- ③省エネ化推進と IT を利用した製品高度化。

その結果、2000 年以降も油圧ショベルの技術及び生産高で世界のトップを走っている。しかし 2000 年後半から中国・韓国勢が伸びてきており、技術面では日本に及ばないもののコスト競争で台頭してきている。

6 | 安全及び環境基準の変遷と対応

安全や環境に関する問題は、世界共通の課題であり、グローバルな戦略を考える上では世界のルールを考慮する必要がある。しかし現実には世界各国が共通の規制の中で製品開発や環境への取り組み等を行っている状態ではない。安全規制体制の世界的潮流としては、図 6.1 に示すように、無規制⇒強制認証⇒規制緩和⇒自己責任の流れとなり、市場が安全性を監視することになる。



(出典：欧米における製品安全体系とマインド)

図 6.1 安全規制体制の世界的な潮流
(出展：建設の施工企画)

図 6.1 で判るように、日本の安全規格にもとづいて製造された機械でも、欧米に輸出する場合は、自ら輸出先の規格や規制に準拠させなければ販売はできない。油圧ショベルを海外に輸出するようになってからは、

常に海外の規制等を把握して設計や製造を行ってきた。1991 年に ISO 規格が制定されて、現在ではこれに準じて製造販売されることが多いが、現実にはその国の規制も考慮した対応が必要になってくる。図 6.2 に「安全に係る日本及び世界の規制・規格」の概要を示す。

WTO（世界貿易機関）の発足により、加盟国は TBT 協定（貿易の技術的障害に関する協定）で、WTO 加盟国が自国内で新たな規格を策定する際は、関連する国際規格がある場合は新規格の基礎に用いることが義務付けられ、国際標準の「優位性」「優先性」が確立されている。これにもとづき日本でも常に ISO 規格との比較を行い、整合を図っている。ISO 規格は欧州の EN 規格が基本となって制定されている。

油圧ショベル（建設機械）に係る規制は、安全と環境に関する内容が多いが最近では「電子・電気機器における特定有害物質の使用制限有害物質規制 (ROHS)」などにも準拠しなければ輸出が難しい状況である。

日本においては、安全に関しては労働安全衛生法とそれを補完する施行令、安全衛生規則及び構造規格などで細かく規制されているが、2007 年に厚生労働省より「機械の包括的な安全基準に関する指針」が示され、製品安全や労働安全に関して、危険性又は有害性等の調査（リスクアセスメント）の実施をするようになっている。これも ISO の A 規格に準拠したものである。

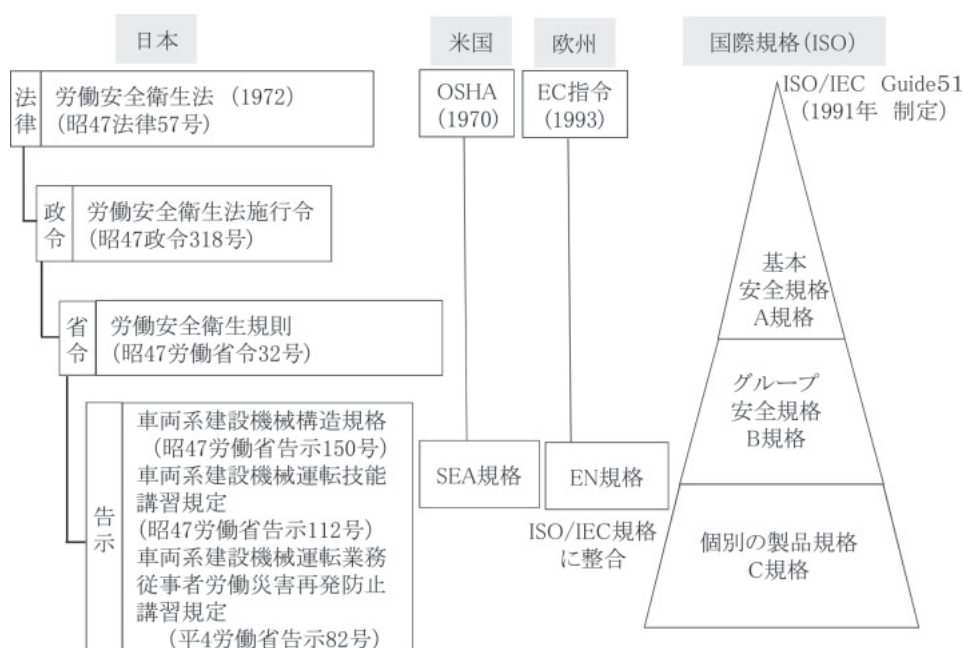


図 6.2 安全に係る日本及び世界の規制・規格

労働災害における死亡事故でみると、油圧ショベル等を使用する建設業は、他の業種に比べて年々減少しているものの製造業などに比べれば多い。(図 6.3 参照)

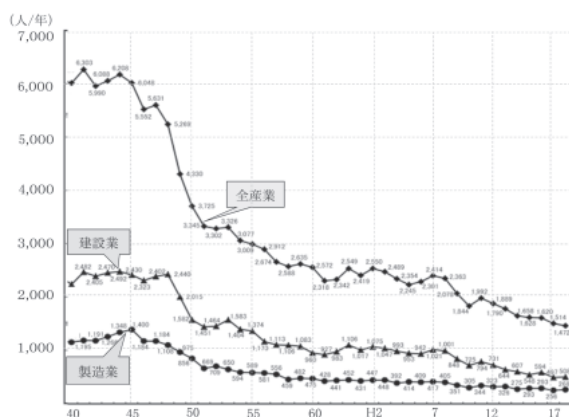


図 6.3 死亡災害発生状況の推移

一方、環境面で見ると、建設部門で排出される CO₂ は、国内全排出量の約 1% にあたり、その多くは動力源であるディーゼルエンジンから出る排気ガスによるものである。

油圧ショベルが国産化された当時は、生産に当たっては特に大きな規制はなかったが、進化発展とともに安全や環境に絡む規制も制定強化されてきており、各メーカーはこれらを遵守してモノづくりをしてきた。

その主な規制と変遷について以下に述べる。

6.1 機械の安定性に関する取り組み（リフティングマグネット、解体機、林業機）

油圧ショベルの国産機が普及し始めた 1972 年、油圧ショベルも含めた「車両系建設機械」の構造規格が労働省（当時）から出された。その内容は、機械の製造に当たって基本となる安定度の基準、フロント等構造物の強度、油圧の安全弁の装備、周囲に注意を促す警報装置の装備、機械の能力を示す銘板の取り付けなど製造者が遵守すべき事項であった。その後 1990 年に油圧ブレーカの普及に伴い、解体用機械として「ブレーカ」が規制対象に追加された。

油圧ショベルの安全に関する規格としては、「ISO」の中で EN474「Earth-moving machinery Safety（土木機械）」が国際規格として規定されている。また JIS でも ISO 規格に準じて JIS A8308 が規定されている。しかし応用機や特殊機が増加するに応じて関連する事故も増えてきている。このような背景を踏まえ、油圧ショベルのマグネット仕様機の規定、油圧ショベルを利用したクレーン作業の認可、解体仕様機に関する規制改正、更に最近では林業仕様機の増加などを受けて、死亡災害の状況を見ながら安全に係わる規格の制定や通知が出されてきている。（詳細は図 6.3 及び 6.4 参照）

これらの規格は日本独自の規制であり、国際的に整合はしていない。しかしクレーンの規制を始めこれらの規格は世界の規格よりは厳しいものとなっている。

S40年	S45年	S50年	S55年	S60年	H2年	H7年	H12年	H17年	H22年	H25年
1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015
◎	★				★					★
油圧ショベル 国産化開始	①車両系建設 機械構造規格				②車両系建設機械 構造規格1部改訂				⑤労働安全衛生法 及び衛生規則改訂	
					③油圧ショベルク レーンに関する見解		★		★	★
					④油圧ショベルマグネッ ト仕様機に関する通知				⑥林業用機械に関する 労働安全衛生規則改正	

- ①1972年(S47): 油圧ショベル等車両系構造規格制定(安定度基準、強度、ブレーキ、安全弁、警報装置、仕様表記など規定)
- ②1990年(H2): 構造規格改正(油圧ブレーカが対象として追加された)
- ③2000年(H12): 油圧ショベルのクレーン仕様が「屈曲ジブ式クレーン」として規定(事務連絡による)
- ④2007年(H19): 油圧ショベルのマグネット仕様機の「移動式クレーン」として規定(厚労省基発による)
- ⑤2015年(H25): 労働安全衛生法及び労働安全衛生規則等で「解体仕様機」の構造、安定度、運転資格、定期検査等規定
- ⑥2016年(H26): 林業仕様機に関する規則改正

図 6.4 油圧ショベルの安全に関わる国内規制の状況

日本の技術の発展には、これらの安全追求の姿勢にも与っていると言って良い。

6.2 燃料消費量規格と省エネ型油圧ショベルの普及促進

1997年に採択された京都議定書の締結を受け、地球温暖化の防止を図るために日本国内で業界毎にCO₂排出抑制の取り組みが本格化した。建設業でも国交省を中心に取り組みが強化され、その中でも建設機械から排出されるCO₂削減が求められるようになった。建設機械で排出されるCO₂を削減するには「燃料消費量の少ない建設機械の普及促進」と「従来の軽油燃料を使わない建設機械の開発」などの気運が高まった。中でも建設機械の約6割の販売台数を締める油圧ショベル(含むミニショベル)での取り組み強化が求められていた。このような背景から業界団体である社団法人日本建設機械化協会(現:日本建設機械施工協会)を中心に2000年から燃料消費量測定方法の検討がスタートした。

6.2.1 燃料消費量基準と運用

油圧ショベルの場合は、土質や使い方で燃料消費量が大きく変化することから比較が難しい。そこでまず燃料消費量を測定するための動作基準などを決める必要があった。そこで日本建設機械化協会の中の機械部会油圧ショベル委員会で基準作りを進めた。当時まだ世界の中で、油圧ショベルの燃費測定基準は規定されておらず、案を策定後、「世界貿易機関(WTO)/貿易の技術的障害に関する(TBT)協定」の適正実施基準(CGP)に基づく意見受付公告を行った上で、「実掘削作業に替わる代替試験方法」をJCMAS規格(国家規格JISを補完する団体規格)として制定した。しかしこの方法は実掘削負荷を反映できていないため、2001~2003年に負荷を掛けての実証や同一地盤での模擬動作試験などを行って、試験での誤差等を確認した。その後、模擬試験による試験動作基準と評価基準を見直し、WTO等への通知等を同様に言い、JCMAS第2版として制定した。

その後2000年頃から省エネ油圧ショベルとしてハイブリッド型ショベル等が研究開発され、またエンジンを電動モータに置き換えた電動式ショベルも普及し始めた。これらの背景から、従来の「燃費測定基準」は「エネルギー消費量基準」と名を変え、2010年にJCMAS第3版に改定されている。このように省エネ技術では、日本が技術面や規格作りで世界をリードしており、現在この規格を世界基準にするように働きかけている。なお、JCMASでは現在油圧ショベルの他にホイール

ローダ、ブルドーザについても規定されている。

図6.5に油圧ショベルの燃費測定における模擬動作(標準作業)の状況を参考に示す。

図のように、実作業に即した動き、「アーム水平引き⇒バケット掘削⇒ブーム上げ+旋回⇒バケット放土⇒アーム伸ばし+ブーム下げ+旋回」の模擬動作を3回実施して使用した燃料を測定して1サイクル当たりの平均消費量を測定する。

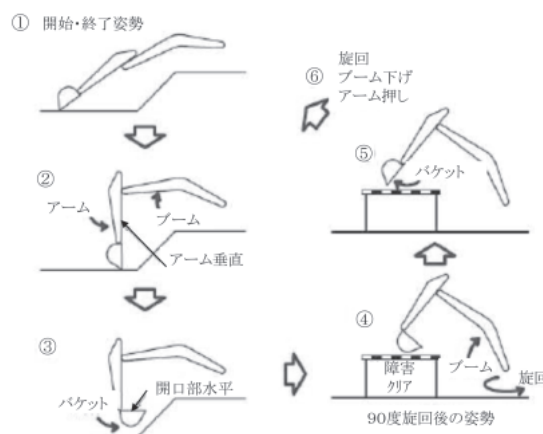


図 6.5 燃費測定における模擬操作パターン

この燃料消費量基準値は、排ガス規制値(後述6.6参照)2006年基準に適合した製品の中で最も良い燃費基準値(kg/標準作業)をトップランナー値として、その基準値に達している製品は星印3ヶ「★★★」、85%達成している製品には星印2ヶ「★★」の表示をしたラベルを機械に貼り付けて、国交省が推進する「低炭素建設機械認定制度」の2020年度目標における目標燃費基準を達成していることが判っている。(図6.6参照)



図 6.6 2020年度燃費基準値達成認定ラベル

この制度は、国交省でその運用や届け出処理が行われ国交省HPに掲載されると同時に普及支援策などが講じられている。この申請に当たっては省エネルギーを図るために機械に具備すべき機構が示されており、今まで日本で開発された省エネルギー技術を採用することが義務付けられている。(表6.1参照)

表 6.1 認定に必要な油圧ショベルの省エネルギー機構（37kW 以上～75kW 未満）

	機 構	機 能
◎	省エネモード	作業速度に応じてエンジンの回転数を制御する、もしくは作動部に供給される油圧を切換えることで燃料消費量を節約する機構を有すること
○	アイドリング制御	作動部の操作レバーが中立である時のエンジン回転をアイドル回転とする機構を有すること
○	可変容量型油圧ポンプ	作動部の負荷を検知して、油圧を調整できるポンプを有すること
○	油圧全馬力制御機構	作動部の作業状態に対応して変化する油圧ポンプの負荷を検知して、当該油圧ポンプの合計馬力をエンジン馬力以内に制御する機構を有すること
○	多連弁機構	油圧ポンプから供給される油圧を複数の作動部の作動状況に対応して調整する機構
○	高压対応油圧機器	20MPa 以上の油圧を供給できる油圧ポンプ

注 1) 認定機械にあっては、上記機構のうち、◎印の機構を具備し、かつ○印の機構を 4 機構以上具備していること。

一方、ショベルを使用する建設工事では、機械による省エネ化だけではなく、省エネ運転のための施工方法なども研究されている。

世界における統一した測定基準が無いため、世界の油圧ショベルの性能を比較したデータは存在しないが、2006 年にオランダ軍が世界の 20t 級油圧ショベル 10 台を集めて性能比較を行った結果、日本の製品がトップであったと報じられている。（図 6.7 参照）



オランダで発行されている建機専門誌『Bouw Machines』が実施した世界10社20tクラスの油圧ショベル性能評価比較記事。作業量・燃費ともにZX210-3が1位になった。

図 6.7 ショベル性能比較を報じた雑誌
（出展：日立建機 HP）

6.2.2 省エネ型ハイブリッド油圧ショベルの開発と普及促進

1999 年、コベルコ建機が、国からの受託研究としてハイブリッド型油圧ショベルの開発を行った。当時、既に自動車ではトヨタからプリウスが販売され CO₂ 削減による低炭素社会の構築の柱として脚光を浴びていたが、建設機械は生産台数や削減効果などから考えて、まだ各企業が独自で研究開発する状態にはな

かった。油圧ショベルの場合、自動車と違いエンジン回転数は固定して使用すること、作業時のエネルギーの回生が少ないこと、などからあまり効果が期待できなと考えられていた。しかしコベルコ建機の開発の効果に見るべきものがあつたこと、2003 年のイラク戦争による原油価格の高騰などの背景が他企業の開発を促進した。ハイブリッド型油圧ショベルの開発、バッテリー駆動型油圧ショベルの開発、商用電源型電動油圧ショベルの開発普及などが各企業独自で行われるようになった。特にハイブリッド型ショベルは、コベルコ建機に続き、コマツ、日立建機などが積極的に進めた。その結果 2006 年にはコベルコ建機がモニタ機を発表、2008 年にはコマツがハイブリッド型油圧ショベルを上市した。しかし市場価格と原価の差が大きく赤字での販売であった。そこで経済産業省の普及補助金制度などの支援を受けて普及に努めた。現在では日本の主要メーカ（コマツ、日立、住友、コベルコ）がハイブリッド型油圧ショベルを販売するようになったが、欧米及び中国、韓国の各メーカはまだ研究段階にあり、製品としては販売していない。ハイブリッド型油圧ショベルの基本システム例を図 6.8 に示す。

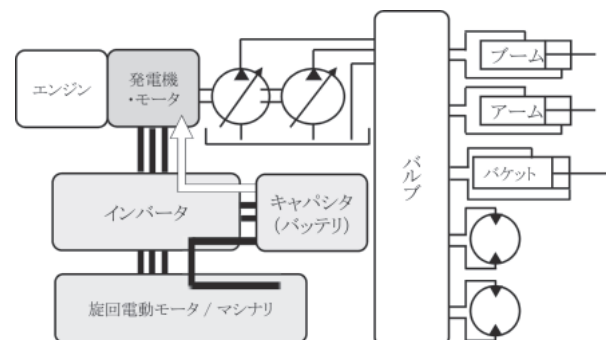


図 6.8 ハイブリッド型油圧ショベルのシステム例

図 6.8 に示すようにハイブリッド自動車と同じようにエンジンとポンプの間に発電機・モータを組み込み、エンジン馬力が不足する場合はキャパシタからの電力でモータを介してパワーを補う。油圧ショベルの場合、最大油圧馬力とエンジン最大馬力を超えないように設計されるが、回転数や圧力によってはエンジン馬力に余裕がある領域が多くある。この状態においてはモータ・発電機部分は発電を行い、キャパシタにエネルギーが充電される。更に旋回動作での減速域でも旋回電動モータからキャパシタにエネルギーが回生される。通常油圧ショベルの基本動作においては、「掘削動作」と「ブーム上げ+旋回複合動作」は最大負荷となるが、それ以外の「土砂放土」や「旋回単独動作」「ブーム下げ+旋回動作」などではエンジンエネルギーに余裕があり充電となる。これらの機能により適用エンジンのサイズダウンや燃料消費量の低減などが可能となり概ね 25～40%の省エネが図れる。

ハイブリッド型ショベルでは、油圧コンポーネント以外に発電機モータ、電動式旋回モータ、電気エネルギーを蓄電するためのキャパシタやインバータなどが変更又は追加され、運転席のモニタも専用型に変更になる（図 6.9 を参照）。なお、エネルギーの保存用の蓄電器には、バッテリーやキャパシタが使用されるが、発電機モータの瞬発性を考え一般的にはパワー密度の高いキャパシタが使われることが多い。

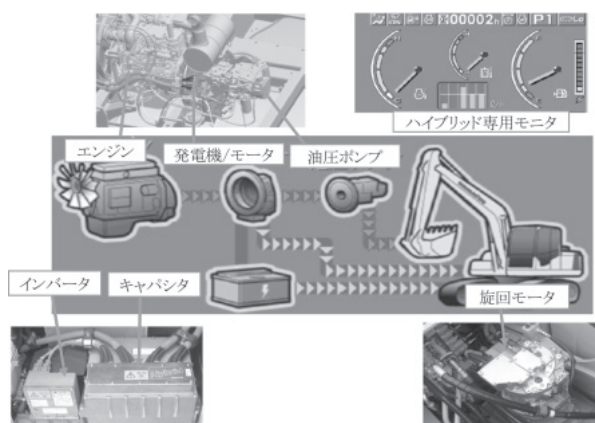


図 6.9 ハイブリッド型ショベル主要機器（コマツ PC200-8）
（出典：2008.VOL. 54 N0161 PC200-8 ハイブリッドショベルの紹介）

ハイブリッドショベルの特徴としては、省エネ以外にエンジン小型化に伴う低騒音効果もあり CO₂ 削減も含めて環境に配慮した次世代型油圧ショベルと言える。

コマツは、販売と同時に中国市場で積極的に販売してきた。これは油圧ショベルの年間平均稼働時間が日本の 3～4 倍あると言われる中国では、燃料費の低減

効果が大きくイニシャルコストが高くても受け入れる素地があったことによる。一方日本の市場でも先に述べたように経済産業省の補助金や国交省の支援効果もあり確実に伸びてきている。

6.3 排ガス規制、低騒音規制

地球温暖化を防止するためには、6.2 項で説明した省エネ型油圧ショベル等の普及により、燃料使用量の低減を図ることと、エンジンの燃焼技術を高めて排出される有害排気ガスを少なくすることが重要で、世界全体の課題となっている。また同様に世界共通のテーマとして油圧ショベルからの騒音の問題も大きな課題であり、以下この二つについてその概況と取り組みを述べる。

6.3.1 排出ガス規制

大気汚染防止に対する規制は、大気汚染が深刻になり始めた 1955 年に米国で制定された The Air Pollution Control Act（大気汚染防止法）、そしてエンジンから排出されるガスについての規制は、1963 年制定の Clean Air Act（大気浄化法）が最初と考えられる。そして 1970 年には米国で施行された自動車の排気ガス規制法、通称「マスキー法」である。この規制によれば排出ガス中の有害物質である CO（一酸化炭素）、HC（炭化水素）、NO_x（窒素酸化物）を、1975～76 年型モデルから 1970～71 年型の 10 分の 1 にしなければならなかった。この法律は、あまりもの厳しさから「絵に描いたモチで終わるだろう」と言われ、業界では達成不可能とする声がほとんどであった。しかし日本の本田技研工業の CVCC エンジンがこの基準を達成して高い評価を受け、日米で大ヒットとなった。大気汚染防止に関する規制も、最初は工場のばい煙規制から始まって自動車の排気ガス規制に展開されたが、建設機械からの排出量も看過できない水準に達してきたことから、建設機械の排気ガス規制へと拡大してきた。

建設機械のディーゼルエンジンから排出される NO_x、PM（浮遊粒子）は、ガソリンエンジンに比較して多く、排気ガス規制ではこれらの排気ガス成分を段階的に減らすように求めている。図 6.10 に示すように、米国では、1966 年に Tier1 規制が始まり、その後 Tier2（第 2 次規制）、Tier3（第 3 次規制）を経て、2011 年からは Tier4（第 4 次規制）になっている。欧州でも同様に段階的な規制を行っており、Stage1 から Stage2、Stage3A、Stage3B（Tier4A レ

国	規制名称	実施時期	規制値 (g/kw*h)				実施年																		
			Nox	HC	CO	PM	96	97	98	99	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	
日本	建設省認定制度 第1次	1997/4/1	9.2	1.3	5.0	-		第1次規制																	
	建設省認定制度 第2次	2003/10/1	6.0	1.0	3.5	0.20						第2次規制													
	建設省認定制度 第3次	(2009/1/1)	3.6	0.4	3.5	0.17											第3次規制								
	オフロード法(130-560kw) (特定特殊自動車排出ガスの規制)	2008/10/1	3.6	0.4	3.5	0.17										Tier3相当									
	オフロード法(130-560kw) (Tier4A相当)	2011/1/1	2.0	0.19	3.5	0.02														Tier4A相当					
	オフロード法(130-560kw) (Tier4B相当)	(2014/1/1)	0.4	0.19	3.5	0.02																			
米国	EPA Tier1 ((130-560kw)	1996/1/1	9.2	1.3	11.4	0.54	Tier1																		
	EPA Tier2 ((130-560kw)	2002/1/1	6.4		3.5	0.20						Tier2													
	EPA Tier3 ((130-560kw)	2006/1/1	4.0		3.5	0.20								Tier3											
	EPA Tier4A ((130-560kw)	2011/1/1	2.0	0.19	3.5	0.02															Tier4A				
	EPA Tier4B ((130-560kw)	2014/1/1	0.4	0.19	3.5	0.02																			
EU	DG Ⅲ Stage1(130-560kw)	1998/1/1	9.2	1.3	5.0	0.54		Stage1																	
	DG Ⅲ Stage2(130-561kw)	2002/1/1	6.0	1.0	3.5	0.20						Stage2													
	DG Ⅲ Stage3A(130-562kw)	2006/1/1	4.0		3.5	0.20									Stage3A										
	DG Ⅲ Stage3B(130-563kw)	2011/1/1	2.0	0.19	3.5	0.025															Stage3B				
		DG Ⅲ Stage4(130-564kw)	2014/1/1	0.4	0.19	3.5	0.025																		

図 6.10 日米欧の排気ガス規制の推移と規制値

(注記：規制はエンジン出力別に決められているが、1 番台数が多い 130kw-560kw を記載している。それ以外のサイズは約 1 ～2 年遅れて規制が掛かっている)

ベル) を定めている。

日本における排気ガス規制のスタートは、1991 (平成 3) 年の建設省 (現：国土交通省) の第一次排出ガス対策型建設機械指定制度であった。1996 年からは直轄工事における指定製品の使用原則が打ち出された。スタート時は、「トンネル工事用建設機械 7 機種 (バックホー、トラクタショベル、コンクリート吹き付け機、ドリルジャンボなど) が対象であったが、翌年には主要土工機械 3 機種 (油圧ショベル、トラクタショベル、ブルドーザ) が、その翌年には普及台数の多い建設機械 5 機種 (発電機、空気圧縮機、油圧ユニット、ローラ類、ホイールクレーン) が規制対象に追加された。

その後、第 2 次指定制度が 2003 年に実施されて PM (浮遊粒子) が新たに追加され、基準も米国 EPA の Tier2、欧州の Stage II とほぼ整合するレベルになった。加えて 2 次規制開始以降に製造された機械で規制値に準拠していない場合は、使用できなくなると言う、いわゆる製造規制に変わった。

2006 年に、「特定特殊自動車排出ガスの規制等に関する法律 (通称：オフロード法と言う)」が施行され EPA Tier3 に近いレベルの基準となった。これに伴い国交省の 3 次規制ではオフロード法に適合していれば国交省の 3 次規制をクリアしていると判断されることとなった。日本におけるオフロード法では、製造メーカーが事前に関係省庁 (環境省、国交省、経産省) へ届け出ることが必要で、認証されれば自動車と同様に適

合ワッペンを貼ることになっている。(図 6.11 参照)



オフロード法ワッペン 国交省基準適合ワッペン

図 6.11 適合ワッペンの例 (3 次規制車)

欧米の規制と日本の規制で大きく違うのは、欧米は原動機だけの規制となっているのに対し、日本の場合は車両としての技術基準が決められている。すなわち原動機を車体に搭載した状態での排気ガス測定や欧米の規制には無いフリーアクセル試験 (原動機を無負荷の状態から急加速する際に発生する黒煙値の測定) が規定されており、世界で一番厳しい規制と言っても良い。このように規制に当たっては、国際整合の動きはあったが、現在でも米国、欧州、日本で規制値の統一は図られていない。しかし 4 次規制ではほぼ同レベルである。また排ガス規制は中国や途上国などでは遅れており、油圧ショベルを販売する場合はその国の規制値や燃料事情など加味して搭載するエンジンを決める必要性が求められている。

6.3.2 低騒音規制

日本の騒音・振動規制としては、1968年に騒音規制法、1976年に振動規制法が制定され、生活環境を保全すべき地域の騒音・振動が規制された。当時環境省の調査によれば、公害の中で騒音に対する苦情は常に上位であり、その中でも建設作業に関連する苦情は工場騒音について2位を占めていた。このような背景から1976年に旧建設省で「建設工事に伴う騒音振動対策技術指針」が策定され、機種毎、出力毎に騒音と振動の基準値を定め、基準値を満足した建設機械を「低騒音型建設機械（1983年指定開始）」または「低振動型建設機械（1996年指定開始）」として型式認定し、旧建設省の直轄工事では、この基準値をクリアした機械の使用が義務付けられた。その後1997年には「低騒音型・低振動型建設機械の指定に関する規定」が施行され、騒音基準値を騒音規制法と整合させる、測定方法を国際規格と合せる、など「低騒音型建設機械」の指定制度が全面改正された。

当時、既に欧州（EU）においては、図6.12に示すように、従来の「前後左右方向での測定」から「車体を囲む半球面の立体6地点での測定」に変わっていたが、日本も同様の測定方法に変更し、更に実作業を模擬した動作（ダイナミックな動作）で測定するようになり、出力範囲や基準値の差は若干差があるものの測定方法ではEU規制（ISO6395:2008）と同様となった。

現在でも、欧州以外の米国、豪州など世界の中では排ガス規制と同様に整合化できていないのが実情であるが、日本の製品は各国の規制値をクリアして輸出している。

ちなみに、日本の規制値と低騒音型ショベルの国内認定を示すワッペンを図6.13に示す。

年度	1089	1997	2002
欧州	西独、仏規制	EU規制 (スタティック)	EU規制 (ダイナミック) EU新規制
狙い	騒音寄与度の大きいエンジン系の低騒音化	実作業時の低騒音化	バラツキを考慮した規制強化
稼働条件	定置でエンジンHiアイドル	作業サイクルを模擬した条件	
規制地点	車体機側より前後左右方向7m高さ1.5m	車体を囲む半球面での立体6地点	
日本	指定制度開始('83) 指定制度改正('97)		

図 6.12 欧州及び日本の騒音測定方法に変遷

低騒音	定格出力 (出力)	新基準値 (模擬動作時)	旧基準値 (定置ハイアイドル時)
		音響パワー レベル値 dB(A)	7m4方向のエネルギー 平均値 dB(A)
	$P < 55$	99	70 (99) *
	$55 \leq P < 103$	104	73 (105) *
	$103 \leq P < 206$	106	76 (107) *
	$206 < P$	106	79 (109) *
超低騒音	低騒音型の基準値より6dB以上下回るものを言う。		

(注) 旧基準は「音圧レベル(音の大きさ)」で測定されていたが新基準からは「音響パワーレベル(音源から放射される全音響パワー)」での表示になった。
*印()内は、音圧レベルを音響パワーレベルに換算した場合の数値を示す。



(低騒音ワッペン)



(超低騒音ワッペン)

図 6.13 日本における低騒音基準（1997年基準）と認定ワッペン

6.4 日本における油圧ショベルの運転資格及び定期検査

労働安全衛生法第5章第1節の「機械等に関する規制」で、クレーンやエレベーターが特定機械として決められている。油圧ショベル等はここで言う特定機械には該当しないが、危険な場所で使用する機械として、第42条（譲渡の制限）の中の別途政令で規定されている。すなわち「規格又は安全装置を具備しなければ、譲渡し、貸与し、又は設置してはならない」機械として「労働安全衛生法施行令第13条第3項第9号の別表-7」に油圧ショベルを含めた車両系建設機械の多くが規定されている。

そして、これらに該当する機械を運転するためには「運転資格」が必要になる。また機械の安全を確保するために所有者には「特定自主検査（定期的に資格者が検査する）」が義務付けられている。以下にその内容を説明する。

6.4.1 運転資格

労働安全衛生法61条で、「事業者は、クレーンの運転その他の業務で、政令で定めるものについては、都道府県労働局長の当該業務に係る免許を受けた者又は都道府県労働局長の登録を受けた者が行う当該業務に係る技能講習を修了した者その他厚生労働省令で定める資格を有する者でなければ、当該業務に就かせてはならない」となっており車両系建設機械のほとんどは決められた教習機関で資格を取って運転する必要がある。建設機械関連の運転資格には、①クレーン ②移動式クレーン ③車両系建設機械（整地等） ④車両系建設機械（基礎） ⑤車両系建設機械（解体） ⑥不整地運搬車 ⑦小型移動式クレーン ⑧高所作業車 ⑨小型車両系建設機械

(機体質量 3t 未満) ⑩締固め用機械 ⑪ショベルローダー等があるが、油圧ショベルに関連する資格としては、その作業や機械の大きさにより車両系建設機械の(整地)(解体)や小型車両系建設機械が該当する。整地には「運搬・積込及び掘削」などの機械も含まれる。

安全な作業を行うための資格の分類としては、以下があり、それぞれ該当作業を行う場合はその資格証を携帯しなければならないことになっている。(表 6.2)

表 6.2 建設機械に係る関連資格の分類

資格	内 容
免 許	国家試験に合格すると免許証が交付されるもので、移動式クレーン運転士免許証など 20 数種類ある。
技能講習	都道府県労働局の登録教習機関(教習所)で講習を修了すると技能講習修了証が交付されるもので、車両系建設機械運転技能講習修了証や玉掛け技能講習修了証など 30 数種類ある。
特別教育	事業者が責任をもって行う教育で、一般的には教習所が事業者に代わって実施しており、小型車両系建設機械運転特別教育修了証やローラ運転特別教育修了証など 40 数種類ある。
安全衛生教育	危険又は有害な業務に現に就いている者に対し、その従事する業務に関する安全又は衛生のための教育を行うための資格で、車両系建設機械運転業務安全教育修了証(再教育)や木造物解体作業指揮者などがある。

6.4.2 定期検査

労働安全衛生法及び施行令で建設機械と荷役運搬機械及び高所作業車等については、定期自主検査(年次・月次など)を行うことが規定されている。これは自動車というところの車検制度に似ている。定期自主検査を行わなければならない機械のうち、建設機械(油圧ショベルなど)や荷役運搬機械(フォークリフトなど)等、特定の機械については、1 年以内に 1 回(不整地運搬車は 2 年に 1 回)、一定の資格を持つ検査者が行う検査を受けなければならないが、この検査を「特定自主検査」という。特定自主検査の方法としては、ユーザが自社で使用する機械を、資格を持つ検査者に実施させる「事業内検査」と、ユーザの依頼により登録検査業者が実施する「検査業者検査」とがあり、検査を済ませた機械には、それを証する検査済標章(ステッカー)を貼付しなければならないことになっている。また特定自主検査の検査記録は 3 年間保存しなければならない。

特定自主検査の対象機械は労働安全衛生法(以下「安衛法」という。)第 45 条第 2 項に定められた機械等で、安衛法施行令第 15 条第 1 項「定期に自主検査を行うべき機械等」により定められている。図 6.14 に定期検査の中で特定自主検査の必要な機械を示す。

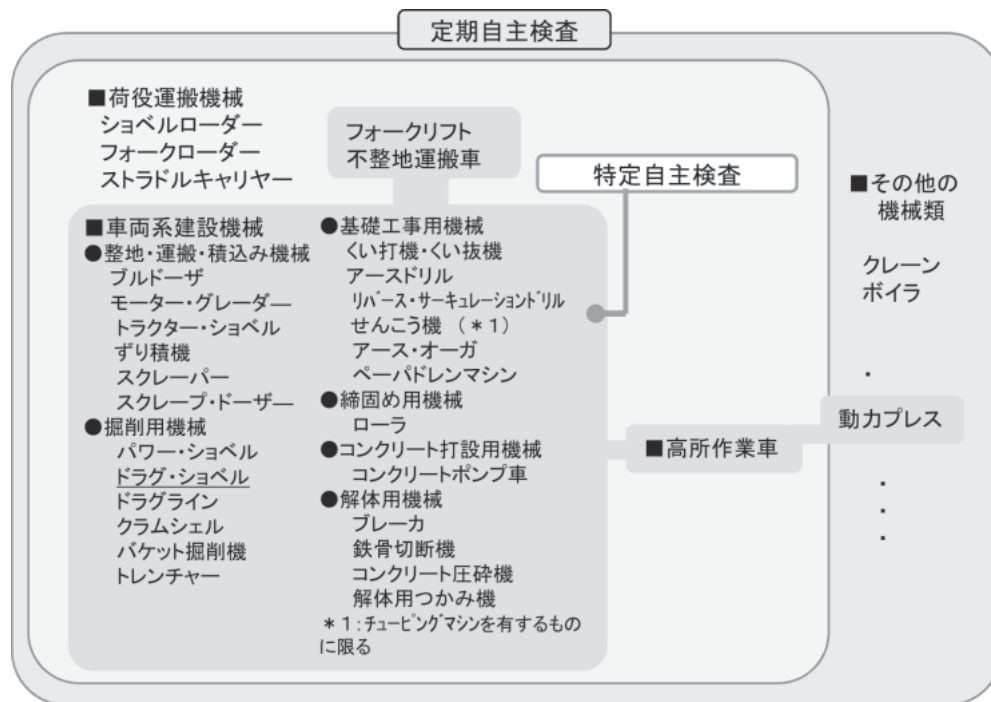


図 6.14 特定自主検査対象機械(出展:建設荷役車両安全技術協会)

7 | 結びに

戦後の日本は、国土の復興や保全、道路や新幹線及び下水道などのインフラ整備による産業基盤の整備、そして都市や地下開発などが積極的に行われ高度成長を遂げてきた。これらを支えたのが機械化による建設土木工事の推進であったと言える。戦後間もない日本においては、建設機械の開発技術も乏しく海外技術や海外製品に頼っていた。このような背景の中、国の支援もあり建設機械の国産化が始まった。そして機械式ショベルとしては大型のものや日本の国土に合ったものが導入されたほか、ブルドーザやトラクタショベルなども次々に国産化されていった。

油圧ショベルは論文でも述べているように1960年代に登場してくる。折しも日本に油圧技術が普及し始めた時代であったが、主要な油圧機器は未だ限られていた。油圧ショベル本体メーカーは油圧機器メーカーとの協力で開発を進めた。この時代は耐久性、信頼性よりも機能の確かさが優先された。その後、この油圧ショベルが機械式ショベルやブルドーザの領域を凌駕し、やがてそれらを代替して建設機械のトップになって行くことになったが、その根底には3関節を持った作業装置による幅広い作業への適応性とアタッチメントの豊富さ、更には技術の進歩によって可能となった機械の操作性の良さがあった。特に日本においては、上述のように油圧ショベル本体メーカーと油圧機器メーカーとの共同開発が自発的にスムーズにスタートしたが、これは両者にとって益する結果をもたらした。また、厳しい日本のユーザの無理難題ともいえる要請に真摯に応えようとする、揺るがない姿勢があった。これらはいずれも、日本人が歴史を通じて培ってきた文化と日本人固有の気質が与って大きい。いわば他人がまねのできない日本人の財産ともいえるべきものである。その結果として、本来の目的である土砂の掘削作業以外の幅広い分野で使われる機械が日本で生まれた。

現在、世界の市場でトップとなった日本の油圧ショベルであるが、途上国の追い上げが厳しい。技術面ではリードしているもののコスト面では負けており予断を許さない状況と言える。現在でも災害復旧などに使われる双腕型ショベル（図7.1）なども出てきているが、今後更に継続して日本の技術で世界をリードして行くためには市場ニーズからの製品開発に加えて、以下の取り組みが重要と考える。

- (1) 技術シーズを融合進化させた新世代ショベルの開発による活用領域の拡大

- (2) 地球環境に貢献できるハイブリッド技術等による省エネ技術の普及促進
- (3) 世界での競争に勝つモノづくり技術の強化とグローバルな取り組み



図 7.1 双腕型油圧ショベル（出典：日立建機）

本論文では、日本における油圧ショベルに関連する技術の進化・発展の経過について報告しているが、油圧ショベルは建設機械の中で人間の動作に一番近い動きをする機械である。現在国内で進められている災害復旧関連ロボットに進化する機能を秘めた製品でもある。油圧ショベルが建設分野以外の領域で発展を見せ、将来、人や災害復旧に貢献するロボットが開発され、また、宇宙開発や海底開発などで遠隔操縦される日本製の油圧ショベル型ロボットが出現することを夢見ている。そうして、それらを担う次代の技術者に、本報告が些かなりとも貢献できれば望外のことであり、筆者の欣快これに過ぎるものはない。今後の油圧ショベルメーカー及び関連するサプライヤの努力に期待したい。

最後に本論文を作成にあたり、協力を頂いた皆様に感謝の意を表したい。

（参考文献）

- ・ JOURNAL for CIVIL ENGINEERS 2009.8 第2回機械化土工のあゆみ 岡本直樹
- ・ Yamazaki 建設機械史の画期（土工教室）
- ・ 建設の施工企画 '07.1 日本における建設技術の推移 渡部務
- ・ 建設の施工企画 '08.1 建設機械の歴史 岡本直樹
- ・ 建設の施工企画 '08.7 建設機械の規制・規格のグローバル化と安全性の向上 難波義久
- ・ 日本工業出版 油圧ショベル大全（著：岡部信也）
- ・ 日本建設機械化協会 20年史 建設機械産業のあゆみ
- ・ 不二越技報 VOL. 56 No2 通巻121号 ショベル用

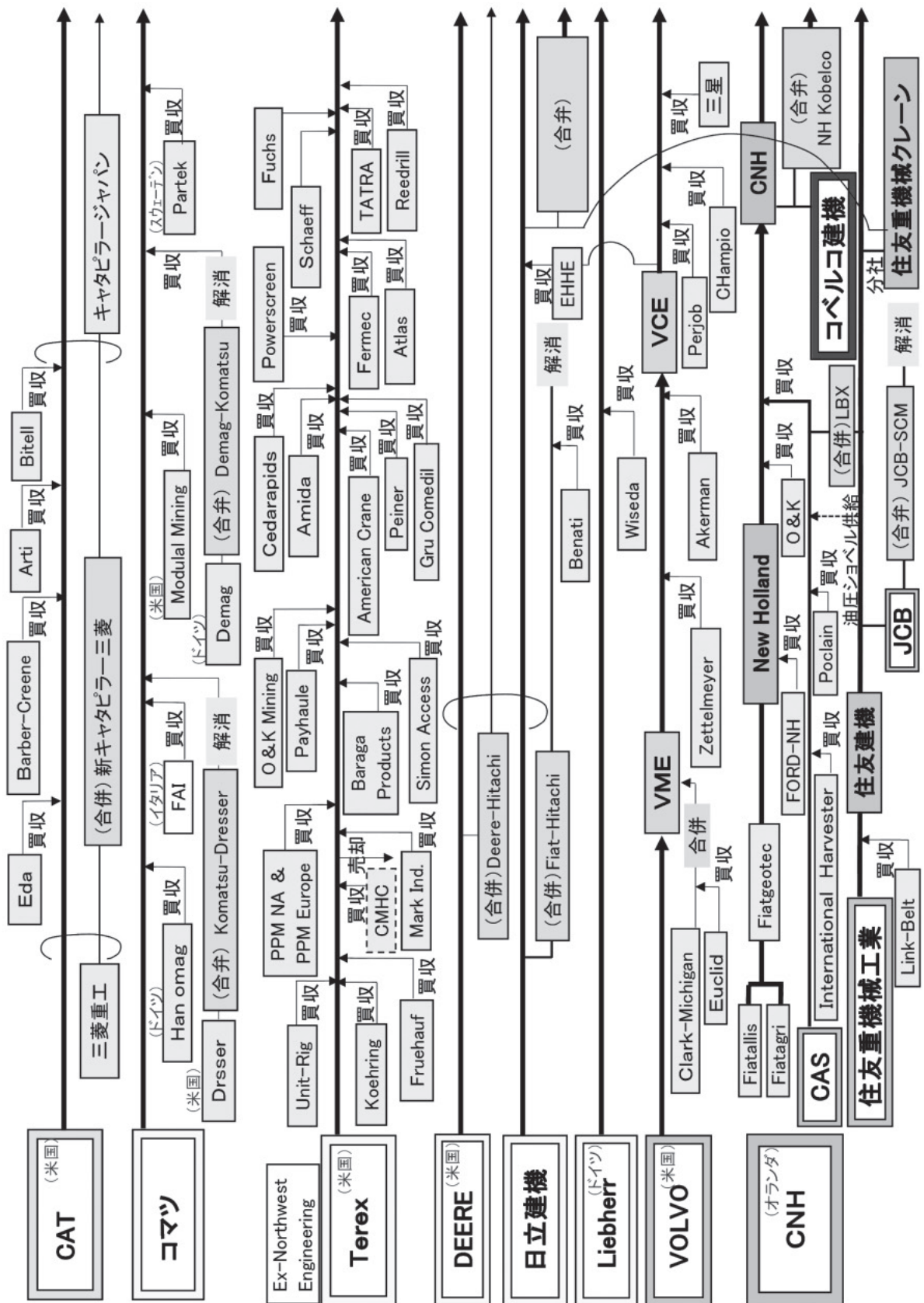
油圧回路の変遷とロードセンシングシステム 浜
本智

- ・建設機械 2003. 10 日立建機の盗難防止対策 =
Zaxis-Guard の紹介 足立宏之
- ・日立評論 2012. 05 純国産技術による油圧ショベル
第1号「UH03」 田中利昌

油圧シヨベルの主要技術の系統図と社会背景

[illegible]

建設機械メーカーの世界規模でのアライアンス状況



油圧シヨベルの技術 産業調査資料 所在確認

番号	名 称	製作年	制作者	資料種類	資料現状	所 在 地	選定理由
1	油圧シヨベル (ユンボ) 型式名 Y35	1961	新三菱重工業 株式会社	量産品	展示	キャタピラージャパン 株式会社明石工場	Y-35 は、昭和36年(1961)にフランスのユンボ社と技術提携にて生産された国産初の油圧シヨベルです。戦後、日本の国土開発に貢献した建設機械の先駆けであり、今でもその商品名の『ユンボ』が油圧シヨベルの代名詞として親しまれています。
2	油圧シヨベル 型式名 UH03	1965	日立建機 株式会社	量産品	展示	日立建機株式会社 土浦工場	昭和40年(1965)に初めて日本独自の設計で開発された純国産油圧シヨベルです。それまでに販売されていたY35の油圧システムを変更して複合動作時の操作性改善や動作速度のアップなどが大幅に改善され作業能力が向上した。また、意匠的にも現在の油圧シヨベルの原型になっている。