

日立建設機械の油圧の現状

Hydraulic Equipment and Its Applications to Hitachi Construction Machinery

安 部 克 郎* 森 川 巖*
Katsurô Abe Iwao Morikawa

要 旨

建設機械における油圧の重要性は日ごとに増しつつあり、機器の性能、応用技術の向上は誠にめざましいものがある。日立建設機械においても油圧に関する新技術を次々と採用し、その成果を上げている。そのすべてをここに示すことはできないが、最近の研究、開発の一部をここに紹介する。

トラクタ系についてはフローデバイダバルブ、スプール弁に関する基礎的研究、油圧ドーザアタッチメントなどについて、ショベル系ではUH03油圧ショベルについて述べ、あわせて、建設機械の油圧の特殊性について言及する。

1. 緒 言

建設機械における油圧機器の比重は非常に大きく、また油圧を利用する分野の増大もめざましいものがある。10年前の建設機械と今日のものとを比較すれば、そのあまりの違いにただ驚くだけである。これは油圧機器の進歩により、その信頼性が増し、過酷な条件で使用されても十分な耐久性を持つようになって来たからである。建設機械の売上高の増加とともに油圧機器の使用量も増大し、油圧ポンプ、油圧シリンダ、切換弁、高圧ゴムホースなどは、数量、金額ともに最大の大口需要元となった。したがって、建設機械のメーカーと油圧機器のメーカーの連係は深く、建設機械専用の機器の開発なども盛んに行なわれている。以下、日立建設機械に関する油圧応用例の一部をここに紹介する。

2. 建設機械に使用される油圧の特長

建設機械に使用される油圧は、おのずから建設機械の持っている特性に左右されるものになってくる。すなわち

- (1) 移動式のものが多く、限られた容積の中にすべて収めなければならず、重量もあまり大きくとれない。
- (2) 作業が大地相手であるため、湿気、土砂、ゴミなどの非常に多いところで動かされ、また過負荷もひん繁にかかる。
- (3) 機械に対して経験、知識の少ない運転者によって動かされることが多く、十分な整備、点検は期待できない。
- (4) 量産品であるため、価格に対して強い制限があり、高価なものは使用できない。

これらの事情により、必然的に高圧(100~200 kg/cm²)を使用してコンパクトに設計し、作動油のリザーブなどもポンプ1分間吐出量またはそれ以下のものしかないものが多い。また密閉形リザーバを使用して、外部からの異物の侵入を防ぐなどの工夫をしているものも多いが、フィルタの管理などの完全を期せないのも、これらの異物に弱い精密な機器は不適當である。

油圧回路は分析すれば大別して次のようなものになる。

- (1) ポンプ+手動切換弁+油圧アクチュエータ
- (2) 手動レバーの操作力の軽減のための油圧倍力装置
- (3) 湿式油圧クラッチの操作用油圧

また建設機械は、相手が大地であり、負荷の大きさ、形状、仕上の形状などが千差万別であるため、簡単な自動制御系では実用的でなく、現状においては、人間の目と手による操作に頼らざるを得ない訳である。これに対して、油圧の全面的な採用により画期的な制御装置をもった建設機械の開発が進められている。これとは別

* 日立製作所足立工場

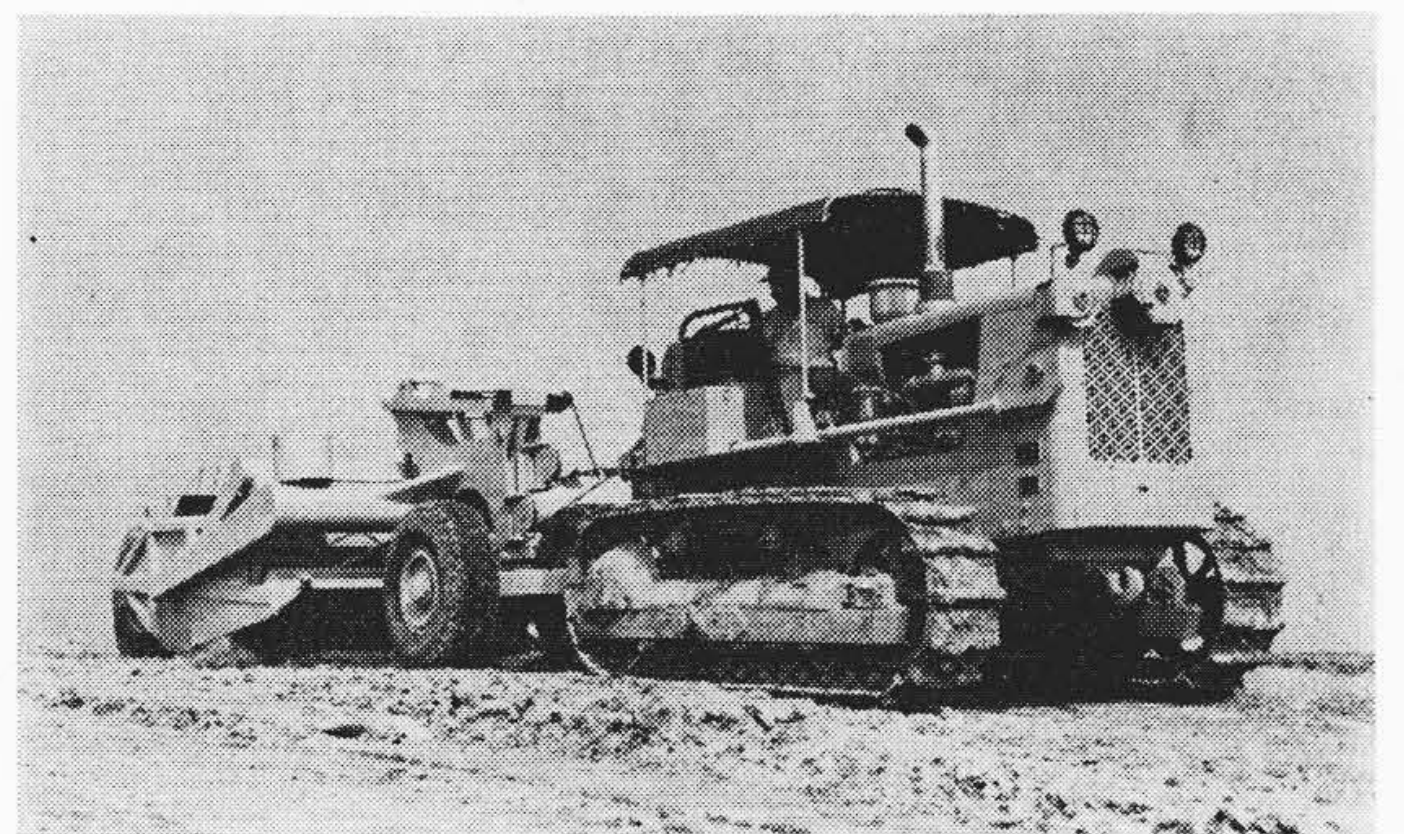


図1 スクレーパーをけん引中の T09 トラクタ

に、現状の建設機械のレイアウトをそのまま維持して改善改良を進める研究開発も行なわれている。限られたスペース、重量、金額で設計、製作される機械であるため、配管も含めて限度一杯の使用をされており、油漏れ、焼付、騒音、回路抵抗、などの細かい、地味な研究がかなり大きな部分を占めている。したがって建設機械は油圧機器に限らず、机上の設計計算だけでは実際の使用条件を完全にカバーすることが不可能であり、新開発のものについて厳重な実車テストが必ず実施されることも大きな特長といえる。新機種の製作の時はもちろん、部分的な小改造に至るまで実車による確認が行なわれている。たとえを購入品の油圧ポンプに置くならば、採用決定に至るまでのプロセスは次のようになる。

- (1) 設計仕様に基づく、候補の選定と見積り合わせ
- (2) 設計仕様および過去の実測データに基づく標準負荷の推定とこれに従った等価負荷によるベンチ耐久テスト
- (3) 実車に装置しての長時間にわたる実車耐久テスト
- (4) 台数の限定されたパイロット機による販売およびフォローアップ
- (5) 採用決定

このようなプロセスを踏んで決定したものでも数多い機械の中には極端な悪使用条件による故障、品質管理上のミスに基づく偶発的故障などを皆無にすることは困難であり、これの改善には製造者として日夜苦勞しているところである。

3. トラクタ系の油圧

トラクタはいわばベースマシンであり、搭載した原動機(主として内燃機関)により強力なけん引力を出すもので、ゴムタイヤ式のものとクローラ式のものがあるが、ここではクローラ形のものについて述べる。図1にその一例を示す。現在製作、販売しているシリーズは表1に示した5機種である。この前方に排土板装置(ドーザ

表 1 日立トラクター一覧表					
トラクタ型式		T13	T09		J D450 J D350
エンジン出力(PS)		150	100	72	58 45
ブルドーザ	形 式	T13	T09	—	J D450 J D350
	自 重 (t)	17.5	11.2	—	6.0 4.5
	牽引出力 (PS)	120	80	—	7.6 5.2
ショベル	形 式	—	T S09	T S05	J D450 J D350
	自 重 (t)	—	14.3	10.2	7.0 5.1
	バケット容量 (m ³)	—	1.5	1.2	0.9 0.6

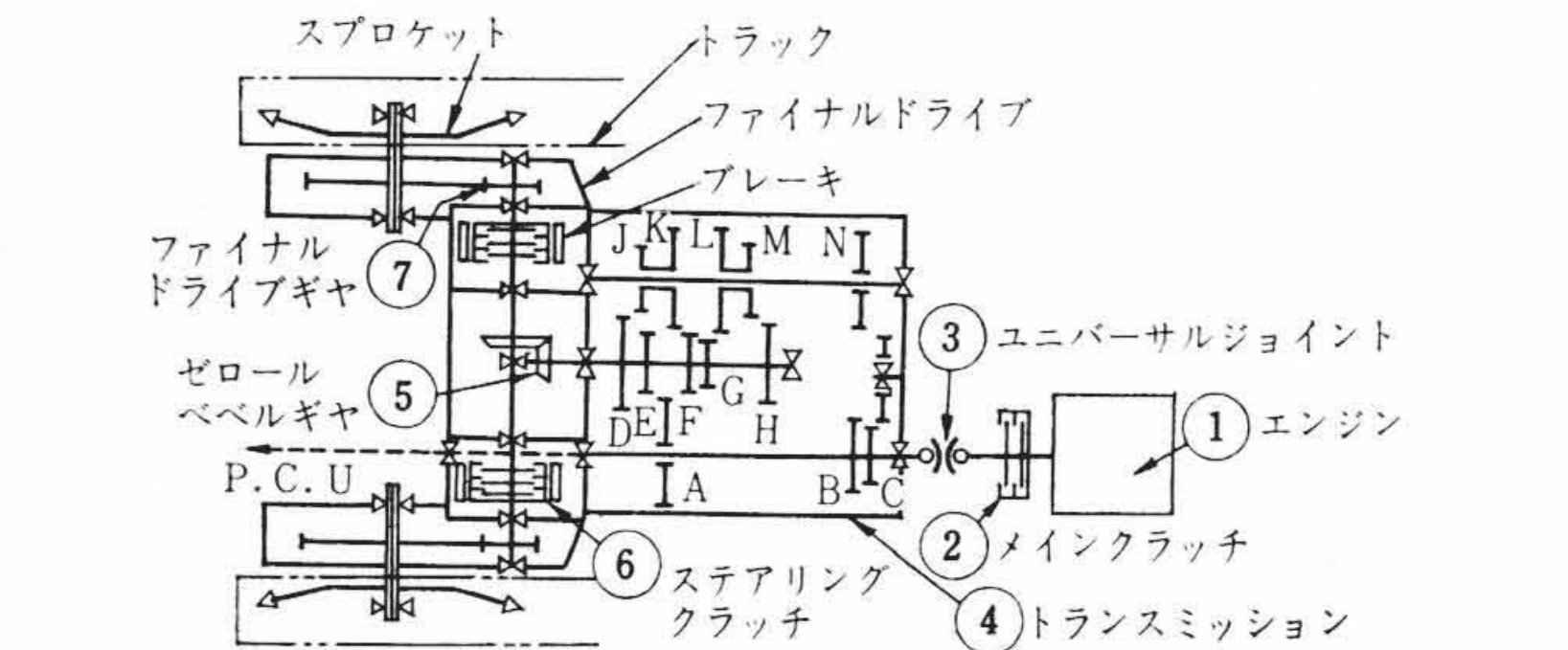


図 2 トラクタの動力伝達系統図(T09)

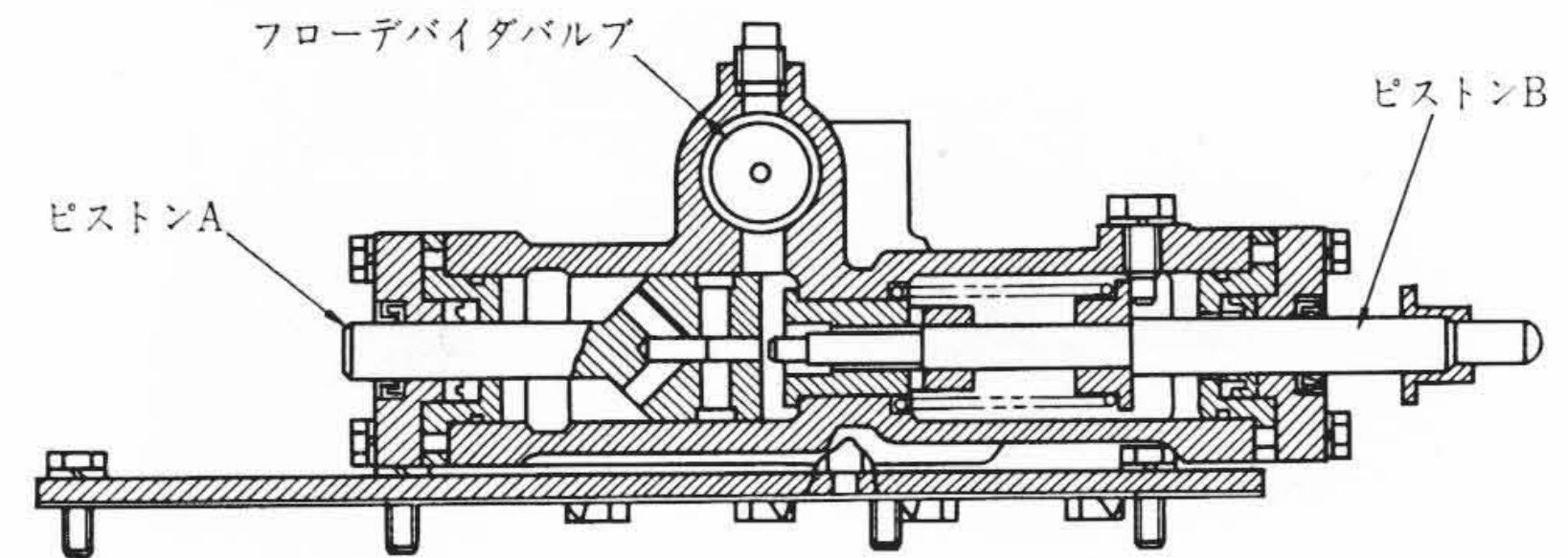


図 3 ステアリングクラッチブースタ

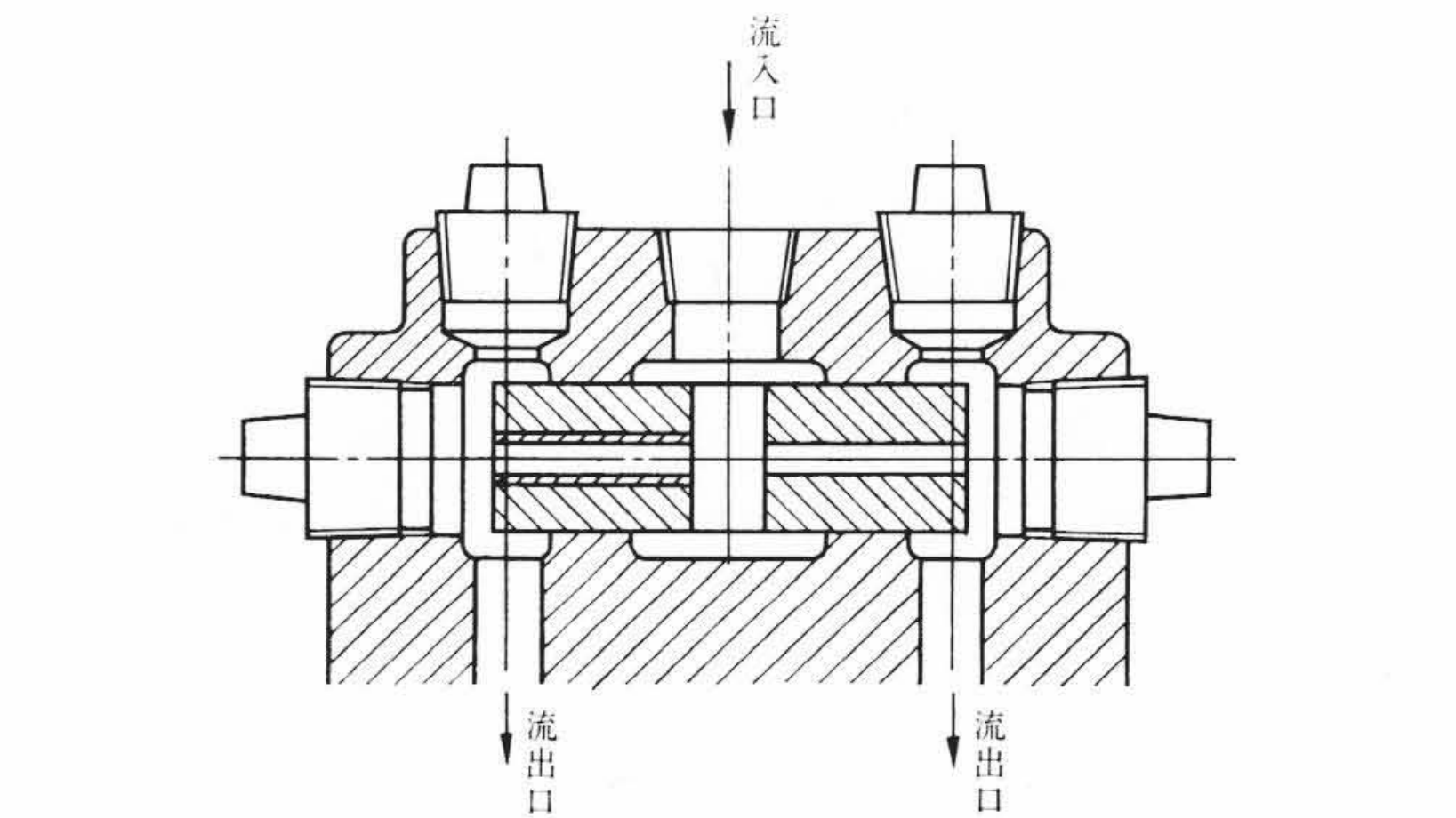


図 4 フローデバイダバルブ

アタッチメント)を取り付けるとブルドーザとなり、バケット装置を取付けるとトラクタショベルとなる。また車体後方には、ウインチ、リッパ、バックホーなどのアタッチメントがつく。

3.1 トラクタ本体

図 2 はトラクタの動力伝達系の一例である。走行、停止の切換えはメインクラッチ(大形のものでは湿式複板のものが多い)およびブレーキにより、操向はステアリングクラッチおよびブレーキによって行なわれる。これらのクラッチ、ブレーキは大形のものになると操作力が大きくなって、人力のみでは操作できなくなる。自重が 10t 以上のものでは普通 1 個所以上に油圧式の倍力装置をつけている。図 3 はその一例で、T09 トラクタのステアリングクラッチ用の油圧倍力装置を示す。これは作用面積の異なるピストン A、B に働く油圧力の相違を利用して倍力作用をさせるものでいわゆる対称形バイラテラルサーボである。特に大形になると、このような油圧装置が数個つく場合があるが、これらはお互いに独立に操作されるので、

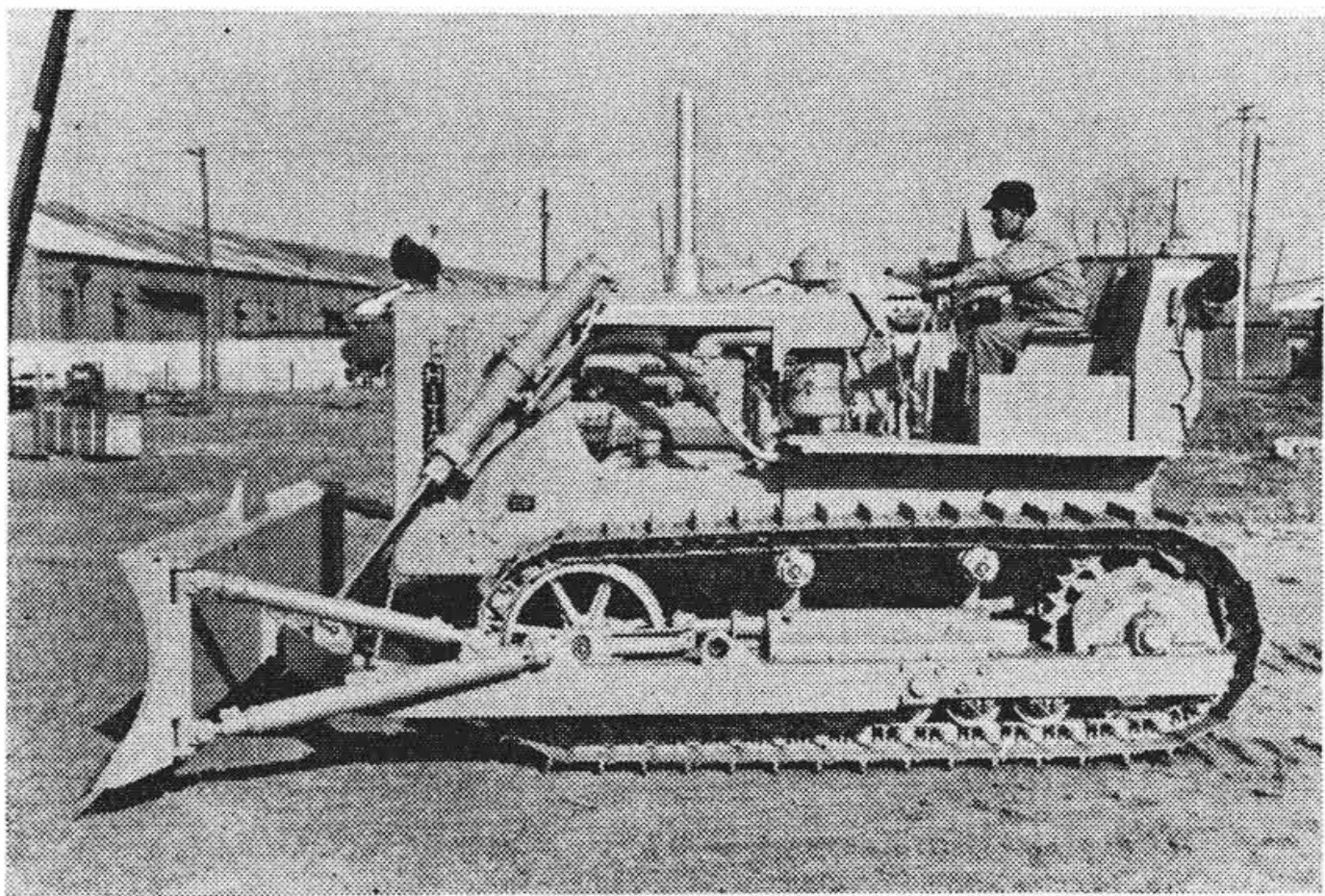


図 5 T09 形油圧ブルドーザ

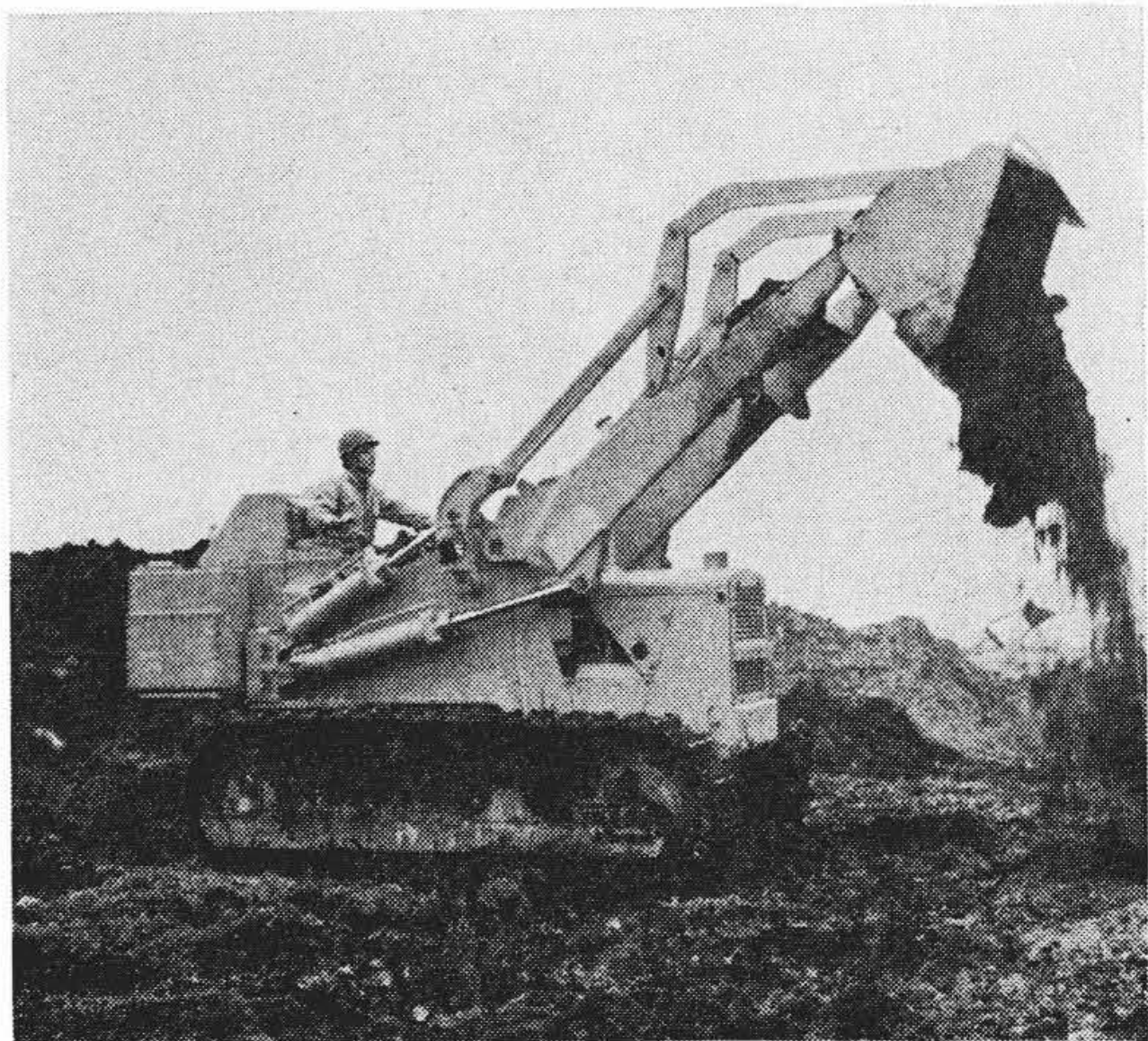


図 6 T S09 形トラクタショベル

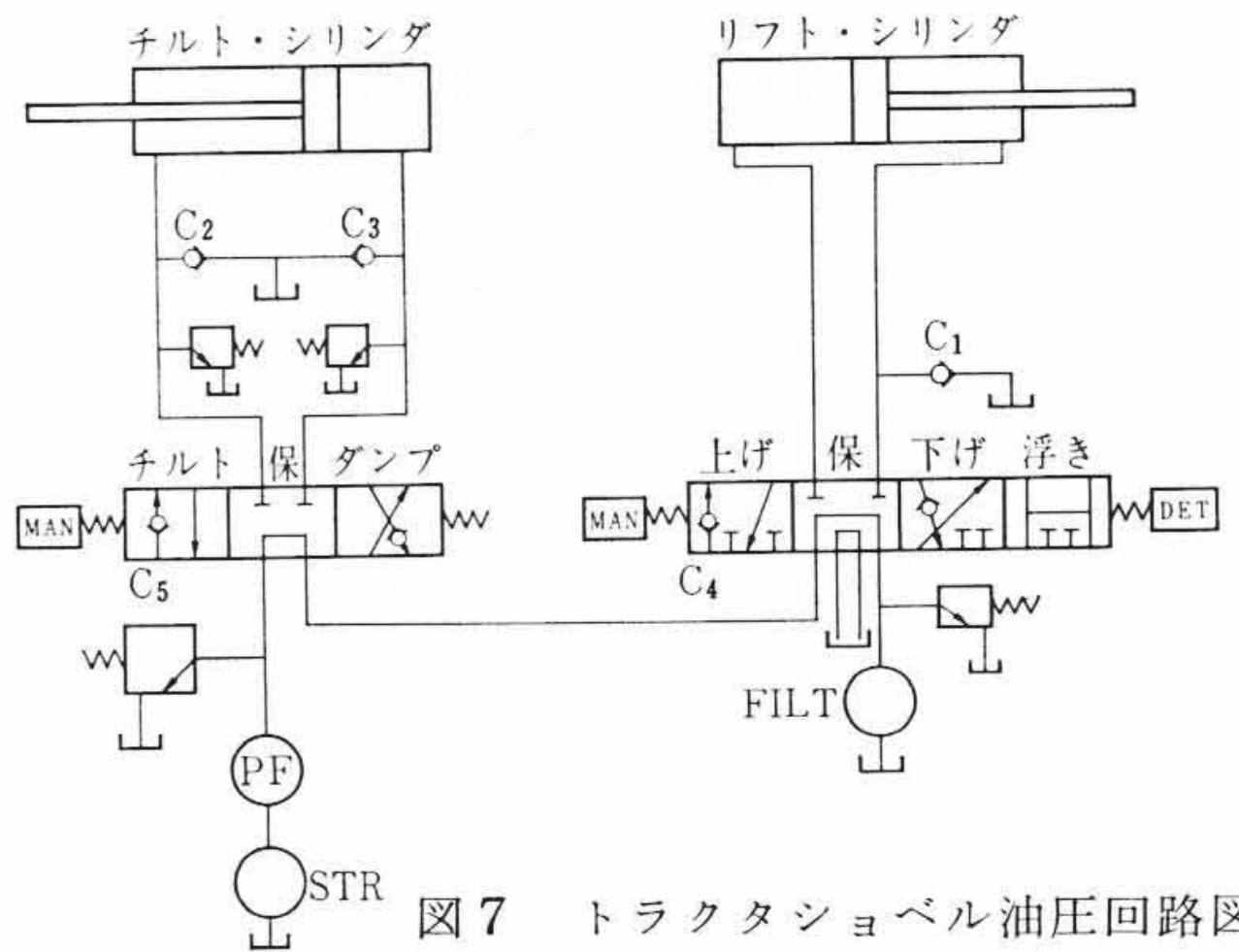


図 7 トラクタショベル油圧回路図

1 個の油圧ポンプで、すべてに供給することはむづかしい。2~3 個のポンプを使い、複雑なバルブにより、油の分配を行なってきたが、構造を簡単にし、部品点数を減らし、原価的にも有利にするために、構造簡単なフローデバイダバルブの開発を行なった。図 4 がフローデバイダバルブの断面図である。これにより高価複雑な市販のフローデバイダバルブを使用しなくても安価で信頼性の高いものが得られたが、これは建設機械の性格にマッチした油圧機器開発の典型と言える。

3.2 油圧ドーザ・アタッチメント、トラクタショベル

トラクタの前部に排土板装置を取り付け、油圧ドーザ、バケット装置をつけたものがトラクタショベルで、その外観を図 5 および図 6 に、トラクタショベルの油圧回路図を図 7 に示す。図から明らかなように、油圧回路としては、ごく簡単なものであるが、大形のものにおいては、大容量のギヤポンプ (300 l/min 以上) を比較的高速 (1,500 rpm) で使用する関係上、ギヤポンプの歯先の周速が早くな

り、キャビテーションが問題になってくる。またポンプの寿命についても問題が多いがこれに関しては、試作ポンプによる具体的な問題究明のための研究が行なわれた。また水分、ゴミの多いところで使用されるので、密閉形の油圧タンクを使用しており、大容量のものは装着するスペースがないため、小容量（ポンプ1分間吐出量の1/2～1/5）のものを使用しているが、タンク内圧の上昇、ポンプキャビテーションの発生などの問題がある。しかしそれらは、地道な研究により、解決されている。操作バルブに関しては、大流量のもの（スプール径は38mm程度にもなる）が、ブルドーザ運転時に非常にひん繁に人力で操作されるために、スプールの操作力の軽減に関する研究が行なわれた。特にスプールが油の流れを遮断するときにかかるスプールの軸方向に働く油のモーメントに起因する

力の軽減は重要な問題である。この研究においては、スプールの肩部の形状を図8のように各種変えて、その場合にどのような力が働くかを実測によって求めている。ここで注目すべきことはスプールによって流れが遮断される場合に、流れが、スプール側から外へ向っている場合（流出締切）と外からスプール側に流れ込んでいる場合（流入締切）とは大きな差があること、またその特性はスプールの肩部の形状により、大幅に異なることが実験的に確かめられたことである。

図7で、逆止弁 C_1 は、リフトシリンダのロッド側に負圧が発生するのを防止するための吸込弁の役割をする。すなわち、「下げ」ポジションでは、バケット装置の自重によって、リフトシリンダは急速に動き、ポンプからの供給量が間に合わないため、ロッド側に負圧が生じ、作動油中に溶けていた気体が分離して気泡が発生する。この気泡はシリンダの運動の円滑性を阻害する。これを防止するために、負圧によって逆止弁 C_1 が開き、タンクから油を直接吸上げて、ポンプからの供給量の不足分を補うのである。さらに、密閉式のタンク内の圧力上昇も防止している。

チルトシリンダ側の逆止弁 C_2 、 C_3 も同様の目的で装着されている。

また逆止弁 C_4 は微細な動作（インテグレーション性能）を行なわせるために必要なものである。すなわち「上げ」ポジションにした瞬間、ポンプから供給されていた油の圧力が十分上昇するまでの間、バケット装置の自重のために、逆に「下がる」のを防止するものである。逆止弁 C_5 も同様の働きをする。このように、総体的にがんじょうでラフなものでありながら、微妙な操作性が要求されるのも建設機械の特長の一つである。

さらに油圧ドーザの場合、排土板の自重を利用して、油圧シリンダのロッド側とヘッド側の油を短絡して急降下させる特殊なバルブがある。これを装着すれば、従来排土板が最上位置から地上に到着するのに約1.2～1.3秒を要していたものが、約70%程度に減少し、排土板の降下にその自重を利用しているケーブル式ブルドーザに近いものになり、油圧ドーザの性能向上に大きな成果をあげている。

3.3 購入品

油圧機器はその性質上、購入部品、外注部品に依存する度合いが大きい。この場合、表面的な仕様が合うからといって、市販品をそのまま使用することは危険である。その理由は、油圧機器メーカーの

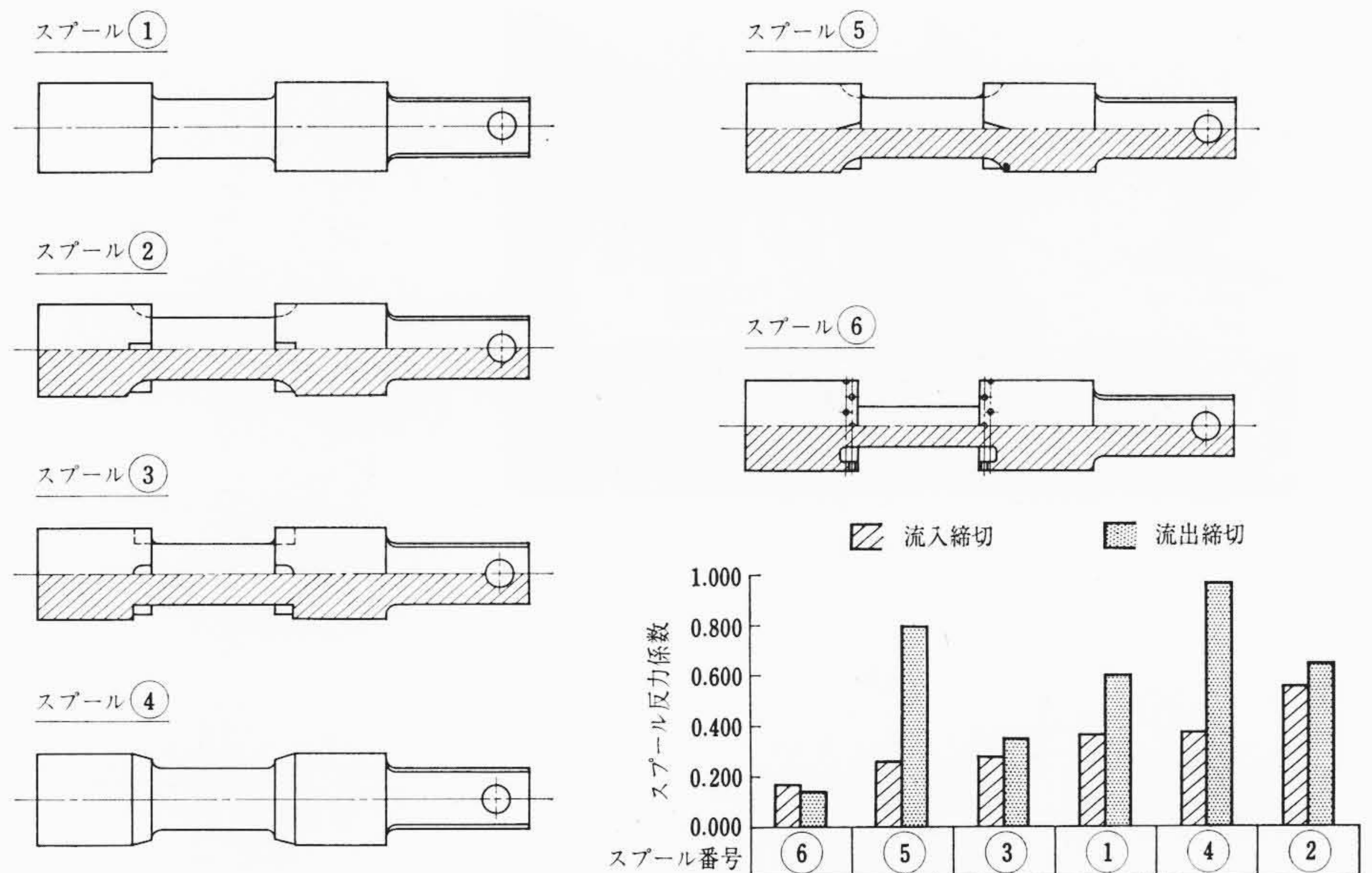


図8 スプールバルブの締切時におけるスプール反力

建設機械に対する認識が必ずしも十分でないからである。油圧機器がもともと、航空機、工作機械などに端を発したことを考えれば、それらよりもはるかに過酷なデューティサイクルが要求される建設機械に適合しないのは当然である。たとえば、油圧ポンプの軸受寿命をとってみると、ほかの用途に使用された場合には数千時間の計算寿命があっても、建設機械のデューティで使用した場合の計算寿命は百時間に満たないといった場合もある。事実、初期にはこうした原因によるトラブルが多かった。現在では、油圧機器メーカーとの協力により、機械にマッチしたものを特別に設計する場合が多く、したがってトラブルも解消している。機器の試験についても、前述したように従来のベンチ試験に満足せず、実車試験ないしは、実車と等価の状態で試験することが行なわれている。たとえば、油圧シリンダについていえば、単に一次的にピストンロッドを伸縮させるのではなく、実車と同じ状態のフレーム、重錘などを再現して、二次元、三次元的な負荷試験を実施している。こうして性能を確認した上で、なお実車による耐久試験を行なうのである。いずれにせよ、油圧機器メーカーとの技術上の協力関係は非常に重要なものになっている。

3.4 その他

このほか、バックホアタッチメント、リッパなど、油圧を利用した機種があるが、内容的に重複する面が多いので省略する。

4. ショベル系の油圧

ショベル系の油圧については、トラクタ系とやや趣を異にしている面がある。すなわち、スペースの面ではトラクタ系よりやや余裕があり、また回路的にも定型化するほど形式の煮つまっている面がある。このような点に焦点を合わせて説明する。

4.1 油圧ショベル

日立製作所ではすでに長い歴史を持つ機械式ショベルを製作、販売してきたが、これと併行して、小形の全油圧式ショベル(UH03)の製作も行なっている。この油圧ショベルは、油圧回路の面でも各種の新機軸を持っているので、以下これについて説明をする。

4.1.1 構造

図9はUH03油圧ショベルの外観、図10は構造図である。エンジンに直結された2個のギヤポンプから出た圧力油は2個のコントロールバルブを経てブーム、バケットシリンダ、走行右、

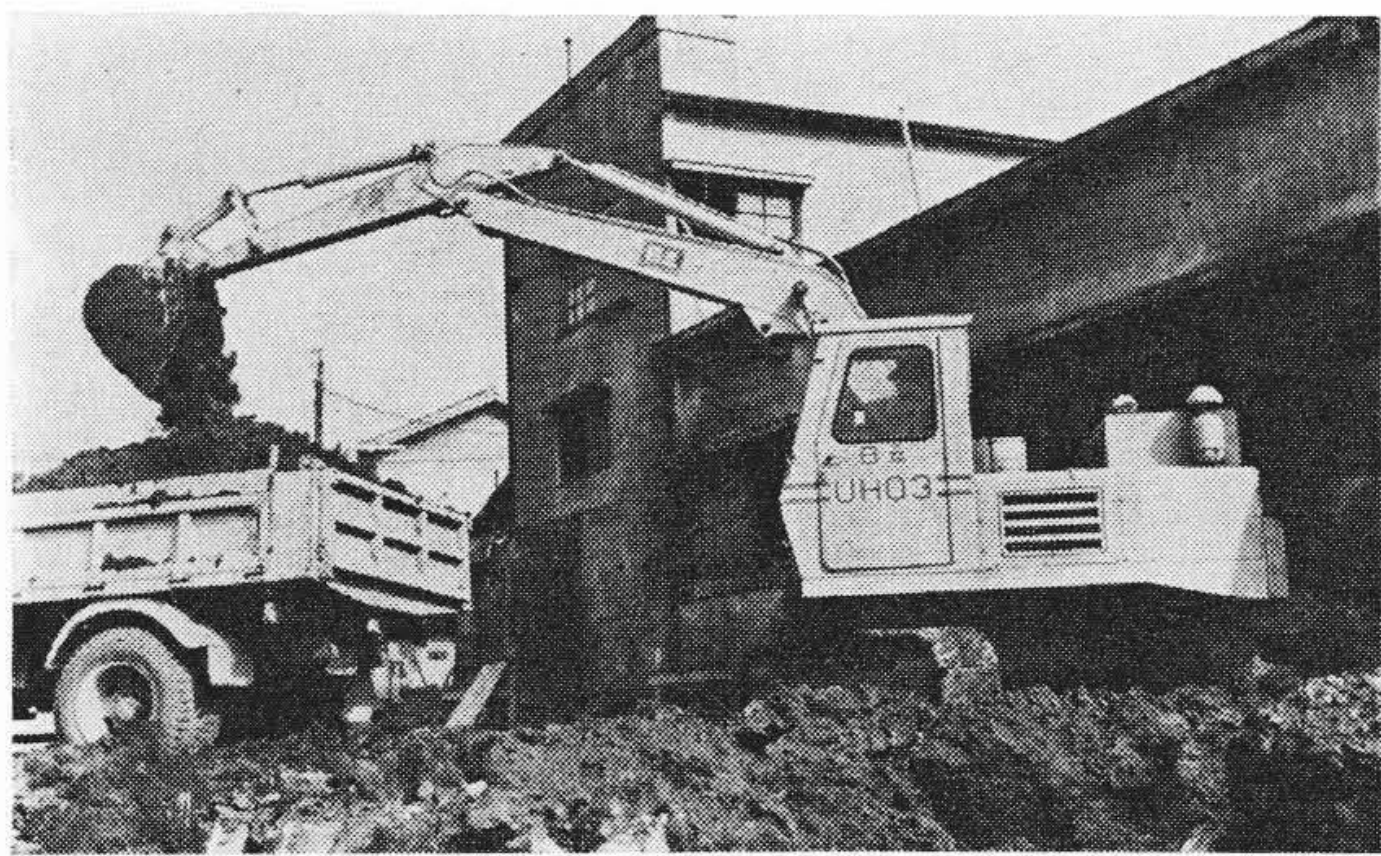


図9 UH03 油圧ショベル

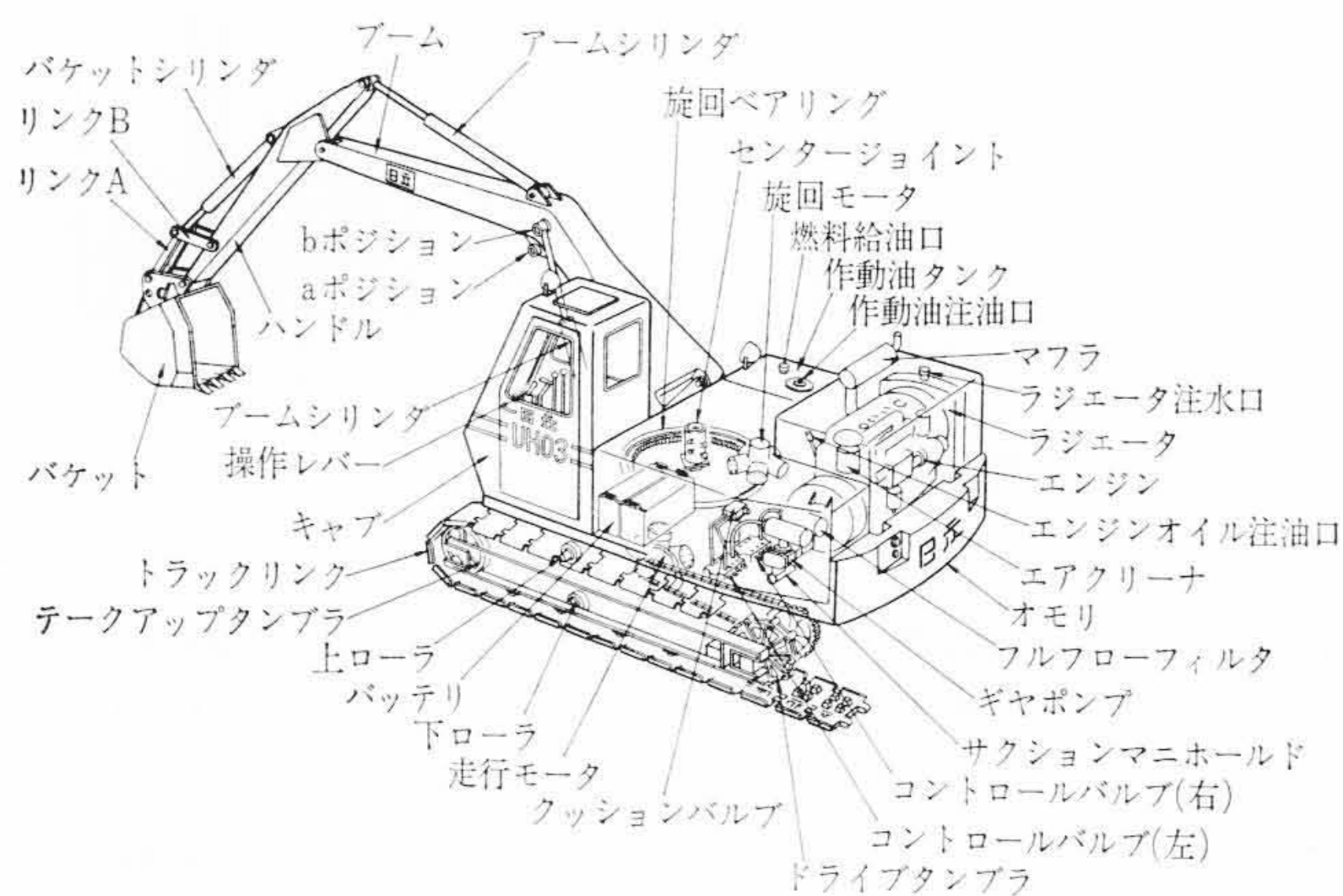


図10 UH03 構造図

走行左モータ、アームシリンダ、旋回モータを駆動し、オイルクーラにて冷却されてオイルタンクへ帰る構造になっている。

図11に油圧回路図を示す、油圧は2系統からなりギャポンプ右でブーム、バケット、および走行右を駆動し、ギャポンプ左で走行左、アームおよび旋回を駆動する。

コントロールバルブは左右とも並列回路になっているので随意に左右の系統の組合せ運転ができる。同一系統内のコントロールバルブを2本以上同時に操作したときは負荷の軽い方のシリンダまたはモータが働くことになるが、この場合は弁を半開の位置にして送り込む油の負荷を増し同時に働くような運転を行なうことができる。

この油圧回路の開発(特許出願中)、はショベルの諸性能の向上に大きく貢献できただけでなく、油圧技術上の問題として(a)作動油への空気混入防止、(b)作動油のゴミの除去、(c)作動油の温度調節などを解決できた。次にこれらの点について述べる。

4.1.2 作動油の空気混入防止

作動油には一般に容積比で10%程度の空気が混入しており、この量は油の圧力が増すとさらに多くなる。容積変化の大きい空気の混入は、機器作動の時間的なずれ、絞り部分での振動、騒音などを引き起こし、機器の効率低下を招き、また気泡の急激な圧縮による高温化は作動油の劣化を促進することとなる。

油圧系統各部の混入空気量を測定することはむづかしいが、混入空気が気泡となって最も現われやすいのは、高圧部から低圧部への減圧点、すなわちリリーフバルブのタンクポート側である。空気の混入に対して、配管の継手部分や、シャフトのシール部分が完全であるかどうか、作動油タンクの油量が十分であるかどうか、使用油が作動油として適当であるかどうかなど、もちろん十分検討されなければならないが、リリーフバルブで現われる気泡は、再びポンプに吸込まれないように、低圧側で除去しなくてはならない。

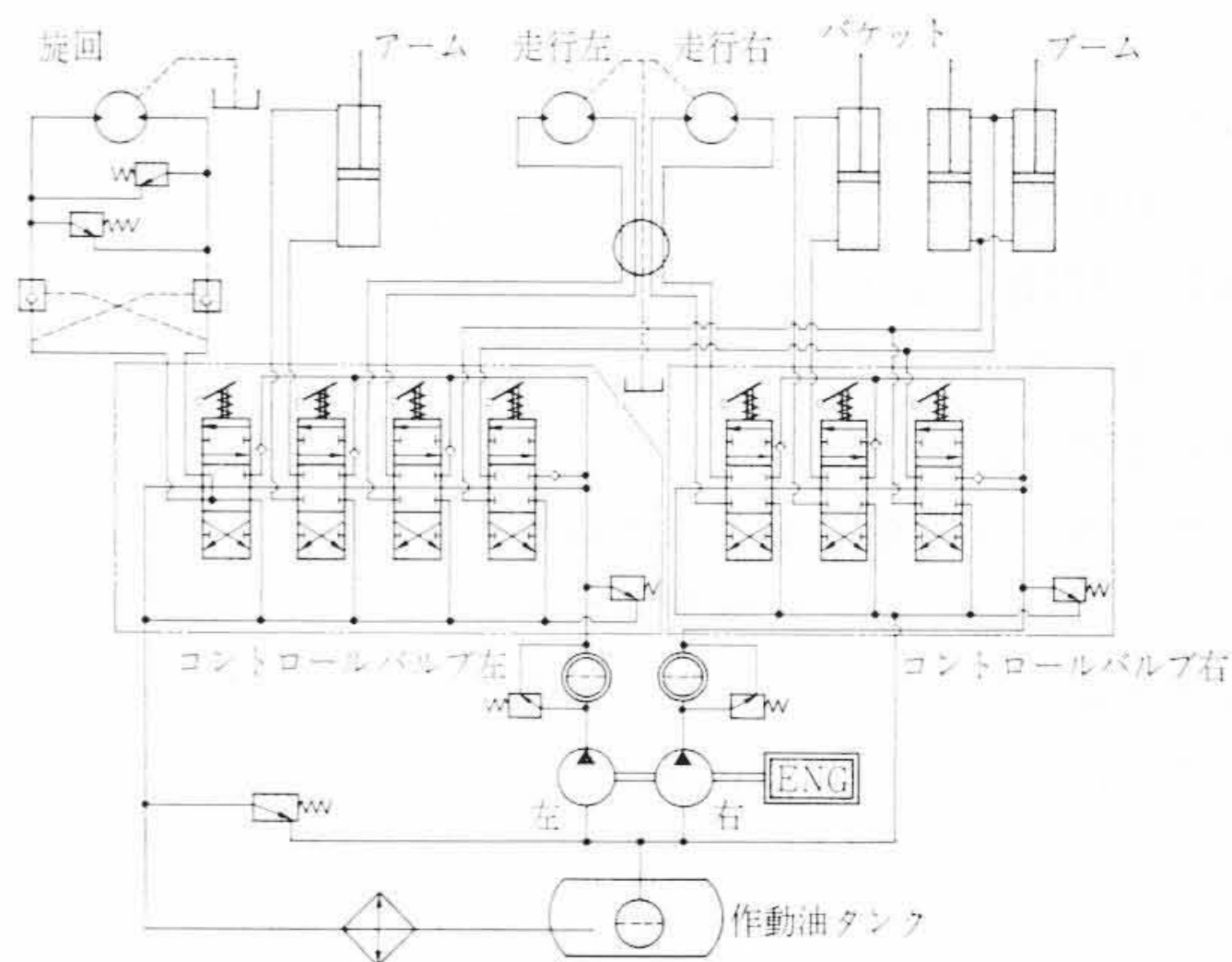


図11 油圧回路図

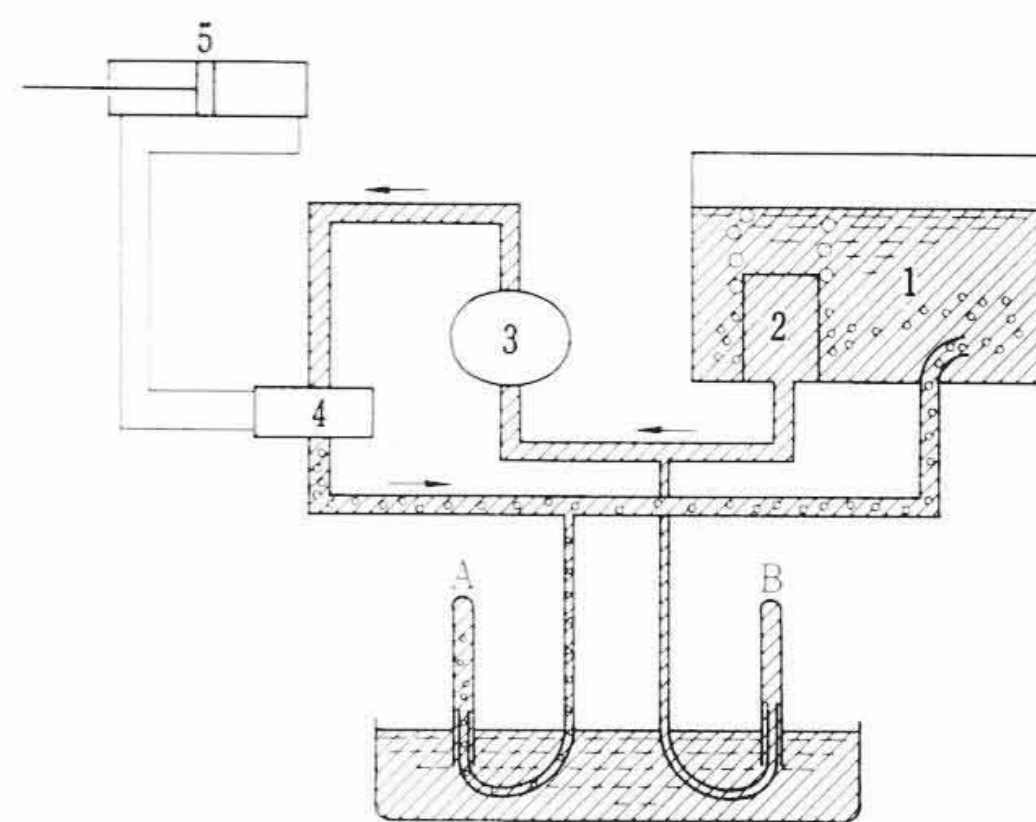


図12 タンク性能実験略図

UH03油圧ショベルでは、実機において、次のような実験を行ない作動油タンク性能を確認している。図12は実験の略図である。A、Bは作動油を満たしたビュレットを逆さに立てたものであるが、Bはポンプの吸込み側から、Aはバルブ作動油タンク間から作動油を分流している。この実験によれば、無負荷、すなわち、バルブ内を油が通過するだけでは、A、Bとも混入気泡は認められず、また、圧油全量をリリーフバルブを通した場合は、Bにはやはり混入気泡は見られない一方、Aには、油量の0.43%の気泡を集めている。すなわち、Aに現われる気泡は作動油タンク内のサクションフィルタ表面で、10数mm大の気泡にまとめられ、作動油表面に浮かび出ている。

これは、作動油タンク形状、油量、サクションフィルタの形状、あらさ、表面積などから、フィルタ表面の吸込み速度が適当な速度となり、完全に混入気泡を分離していることを示している。

4.1.3 作動油のゴミの除去

作動油のゴミの除去の方法としては、④沈殿⑤濾過の2通りの方法が採られている。

沈殿ではタンク容積を大きく、吸入流速を遅くするように大形のストレーナを装備する。

濾過法ではタンク内のストレーナのほかポンプ出口に10μのフルフローフィルタを装備してギャポンプから発生するゴミを除去する。

フルフローフィルタは油の温度が低く粘度が高くなれば機能が低下するので油の温度を次に述べる方法で調節し、常に最適の温度に保つ構造としてある。

4.1.4 作動油の温度調節

作動油の油温が低く粘度が高くなればリリーフバルブ、フィルタなどの機能の低下や、ポンプのキャビテーションの発生、流れ損失の増加による出力低下などをきたす。また油温が高すぎるとパッキング、シールなど有機質部品の劣化をまねくだけでなく、

粘度低下のため潤滑性が落ちポンプ、モータなどのしゅう動部品の異状摩耗をきたす。これらの理由から運転中の油温を $30\sim 70^{\circ}\text{C}$ 程度になるよう寒い時の暖機運転の時間の短縮と、暑い時の油の冷却を十分にやり、またコントロールバルブの絞り運転を少なくし発熱を極力押えるように2系統の並列油圧回路を採用した。すなわち、図11の回路図に示すように、コントロールバルブ右のもどり回路はポンプ吸込側に直結とし、コントロールバルブ左のもどり回路には、バルブクーラ間回路からポンプ吸込側に至る。リリーフバルブを組込んだバイパス回路を設けた。このリリーフバルブは、クーラの油粘度の抵抗により開閉する。

4.2 その他

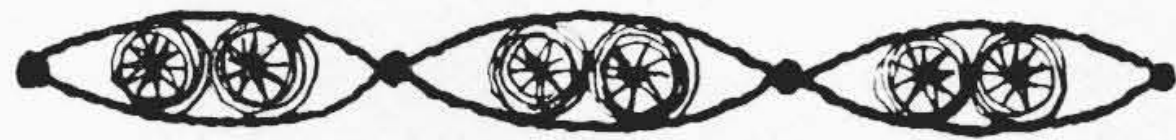
このほかに、ショベル系の油圧利用機種は、アースドリル、トラッククレーンの油圧式アウトリーガ、ショベルバケットの油圧によ

るチルティングなどあるが、紙面の都合で省略する。

5. 結 言

以上、日立建設機械に関する油圧の最近の成果の一部を紹介したが、これらの不断努力により開発された新機軸は順次実機に採用され日立建設機械の評価を高めている。たとえば、日立ブルドーザの優秀な操作性は定評となっており、またUH03油圧ショベルの急激な売上の伸びとなって表わされている。

ここで考えなければならないことは、建設機械に油圧を採用していく際に、単なる油圧化（在来の非油圧式の機械の一部を油圧で置きかえたもの）から脱却して、油圧機械化（レイアウト決定の当初から油圧の利用を基本として計画し、油圧の特長を完全に発揮させ得るもの）への移行を推進することであろう。



新 案 の 紹 介



登録実用新案第768458号(特公昭39-32794)

中 川 清

負 荷 時 電 圧 調 整 器

この考案は、負荷時電圧調整装置より変電所内用の電力を引き出せるようにしたものであり、図において1は励磁変圧器、2はこの一次巻線、3はタップ付二次巻線、4はタップ切換器、5は直列変圧器、6,6'は二次巻線3に設けた所内電力引出用リード線である。

通常変電所における所内電源は、主変圧器より引き出して所内変圧器で降圧して使用しているが、これでは所内変圧器を別に設けねばならず不経済であった。

この考案では電力負荷の変動による電圧降下を補償するために使用している負荷時電圧調整器の励磁変圧器1部分の二次巻線3に所内電力引出用のリード線6,6'を設けて引き出すようにしたものである。

この考案によれば、励磁変圧器の二次巻線のタップ切換に関係なく所要の所内電力を得ることができるし、所内変圧器を設置する必要がなくなるため高圧側の配線が容易になる。

(白土)

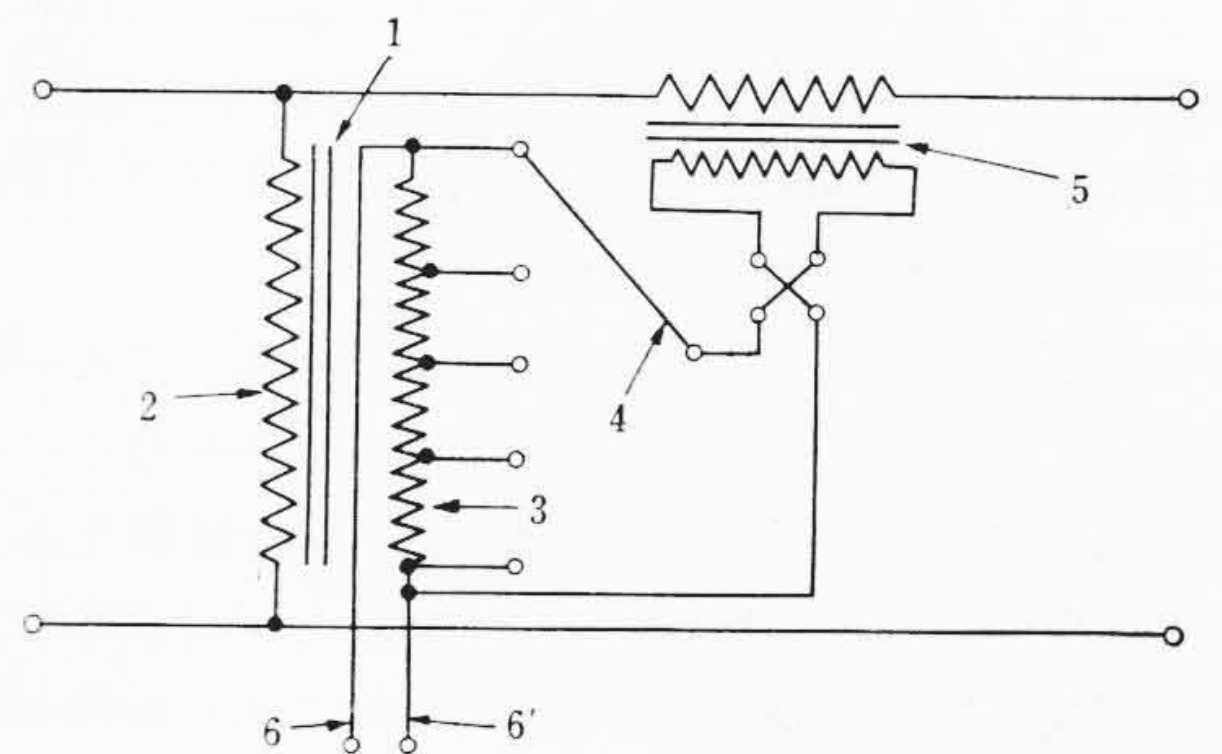


図 1