

油圧ショベルにおける最適油圧システムの開発

Development of Optimum Hydraulic System for Hydraulic Excavator

岡部信也* Nobuya Okabe

本技術は、油圧ショベルの油圧システムに関するものである。一般の油圧ショベルは6種類のアクチュエータをもち、これらにより作業機、旋回、走行(前後進、操向)を単独又は複合して操作できるようになっている。しかし、従来技術では特に複合動作時に各動作のスピードや独立性が不十分になり、能率が落ちて運転者の負担も増大するという欠点があった。

本技術はこの欠点をほぼ完全に解消できるもので、同時にシステム自体がシンプルであり、省エネルギー面でも優れた特長をもっている。

1 緒言

油圧ショベルは、多能性、経済性のメリットを生かして、建設機械に占める比率を年々高めてきている。国内のいわゆる油圧ショベル化率(国内で稼動する主要掘削積込み機械中の油圧ショベルの割合)は、昭和58年度には60%にも達しており、我が国はもとより全世界的な傾向として定着している。

油圧ショベルの多能性は、油圧ショベルの自由度の大きさによるところが大きい。油圧ショベルには、一般に言われるバックホウタイプで6自由度がある。すなわち、旋回、ブーム、アーム、バケット、走行(右)、走行(左)の6種のアクチュエータ(油圧シリンダや油圧モータ)により、これらに対応した部分を個々に駆動できる。又はローディングショベルでは、更にボトムダンプ式と言われるバケットの開閉を行なうことができ、自由度は7自由度となる。

図1に、バックホウタイプ油圧ショベルの外観と各アクチュエータを示した。他の主要建設機械、例えば、ブルドーザは走行(右)、走行(左)とブレードの上下の3自由度(チルトドーザはチルト動作が加わり4自由度)、トラクタショベルは、4自由度である。したがって、油圧ショベルは2～3自由度

多いことになる。

一方、油圧ショベルを経済的な施工機械としている理由の一つに、油圧駆動による軽量化が挙げられる。油圧駆動は(伝達馬力/重量)が大きく、またオーバロードをリリーフ弁などによりカットできるため構造部分の軽量化ができ、この結果ショベルは、機械式から油圧式に替わり(作業量/重量)は3～5倍と大幅に向上した。

多能性、経済性いずれの性能でも、油圧ショベルにとって油圧システムは支配的であり、油圧システムの高性能化が、すなわち油圧ショベルの高性能化と言える。

2 OHS(Optimum Hydraulic System)開発の背景

2.1 油圧ショベル用油圧システムに要求される性能

油圧ショベルは作業機械であり、究極的には建設工事の作業単価を下げる必要がある。燃料効率(仕事量/燃料消費量)向上はもちろんのこと、修理コストの低減、オペレータの疲労低減、運転の容易化、環境適合化、低価格化、多能化など、すべて作業単価の低減に寄与するものである。

したがって、油圧ショベルの油圧システムには、当然このような広い観点からの性能が要求されることになる。

主なものとしては、

- (1) 6～7自由度をオペレータが意のままにコントロールできること、各動作が独立して操作でき、しかも各アクチュエータのスピードが運転しやすく、能率的であること。
- (2) 油圧システムの損失が少ないこと、配管や各エレメントのロスが少ないこと。
- (3) エンジン馬力を油圧ショベルの仕事に変換するための効率が良いこと。
- (4) 信頼性、耐久性に優れていること。
- (5) 製造コストが低いこと。

これらの要求性能の中には互いに相反する性格をもつものもあり、すべてを満足する油圧システムはあり得ない。性能の尺度についても絶対的なものはなく、相対的に考える必要がある。例えば、上述(1)の性能を満足させるためには、6～7個の独立したポンプ、コントロールバルブなどの駆動系が必要になるが、かりに6個のアクチュエータが完全に独立したとしても、オペレータが同時に6個の動作を正確に行なうことはできないであろう。またこのシステムでは、(2)のシス

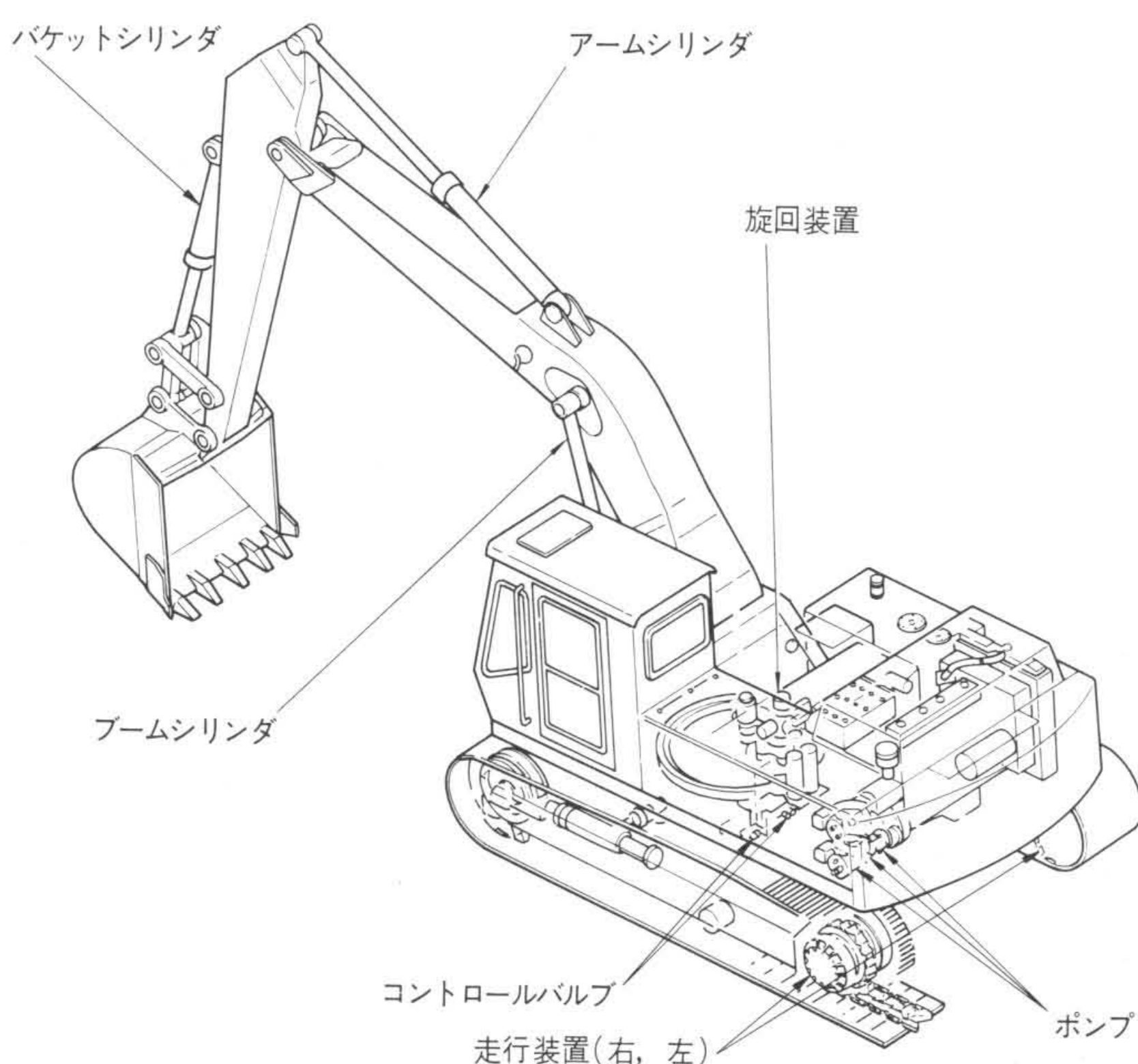


図1 油圧ショベルの構成 油圧ショベルは、アクチュエータが多い。

* 日立建機株式会社土浦工場

テム損失が大幅に増大すると思われる。したがって、実用上は3動作程度が独立なら良いということになるであろうし、またコスト、信頼性などの点からも、6個の独立した駆動系をもつことは実用的ではないと言えよう。

2.2 従来の油圧システム

油圧ショベルの動力伝達は、一般的には開回路の油圧システムにより行なわれる。

エンジン出力は、駆動される油圧ポンプによってすべて油圧出力に変換され、圧油はコントロールバルブを介して各アクチュエータを駆動する。フロントアタッチメントのアクチュエータには、油圧シリンダが用いられ、走行、旋回などのアクチュエータは油圧モータが使用される。

油圧ポンプは油圧ショベルの大きさによって、小形系は固定容量型(ギヤポンプなど)、中形系以上は可変容量型(ピストンポンプなど)が多く採用されており、個数2～3個が一般的

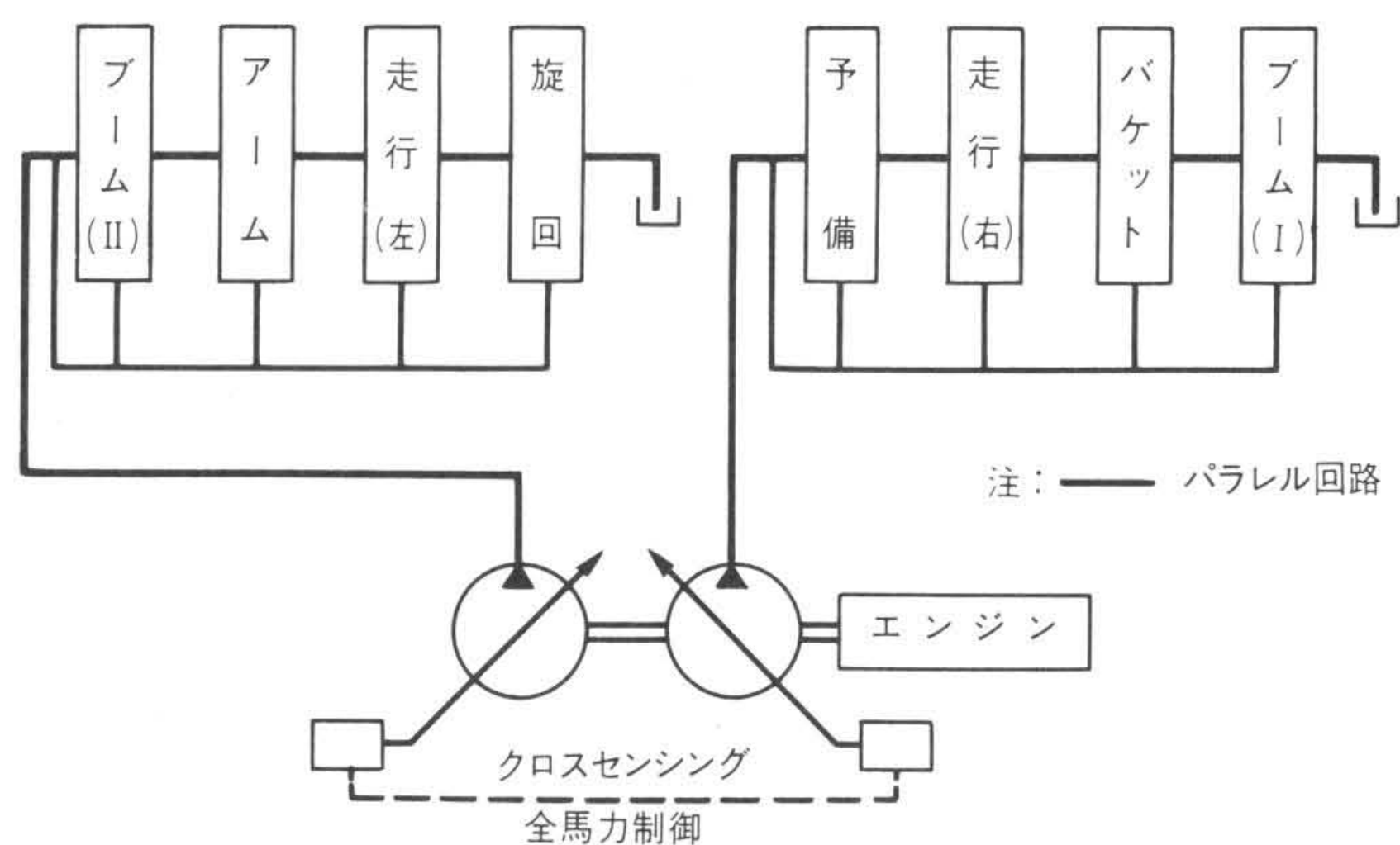


図2 2P2V(2ポンプ2バルブ)油圧システム 最も一般的なもので平行回路である。

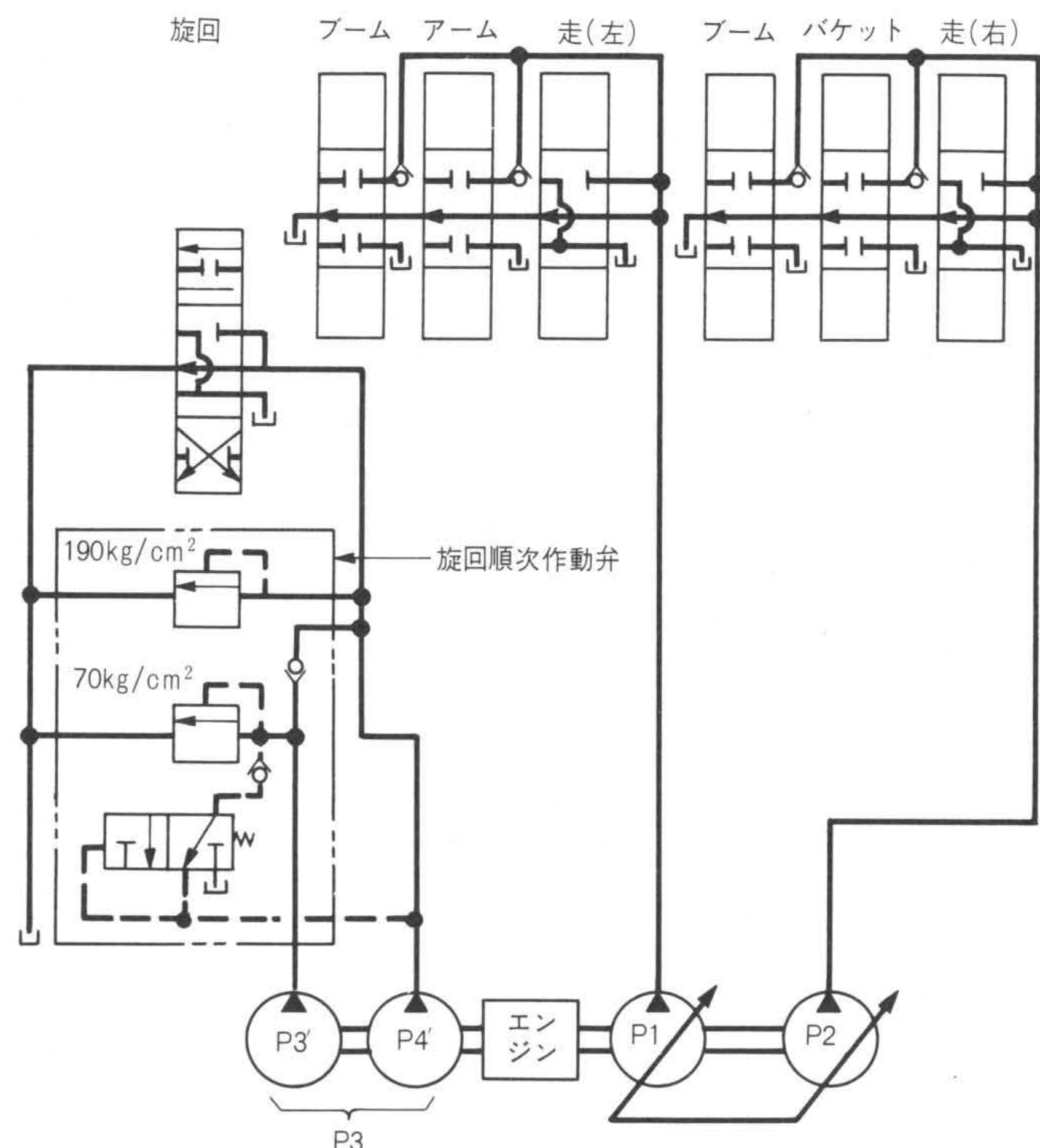


図3 3P3V(3ポンプ3バルブ)油圧システム 旋回回路が独立となっている。

である。

コントロールバルブには、平行回路が用いられており、一部アームの増速などにタンデムを併用したものがある。油圧シリンダ用のコントロールバルブは、クローズドセンタ、油圧モータ用はオープンセンタとなっており、カウンタバランスバルブが併用されている。

図2に、最も一般的な2ポンプ2バルブ(2P2V)方式の油圧回路を示す。油圧ポンプは2個あり、それぞれに対応してコントロールバルブがある。コントロールバルブは、すべて平行回路となっている。また油圧ポンプは、可変容量型であり、エンジン出力を広い圧力域にわたって有効に伝達できる。

本油圧システムの特徴は、システムが単純でロスが少なく、コントロールバルブも平行回路のため、複合動作時リリーフなどの損失が少なく、構成が単純なため、信頼性、経済性に優れていることである。反面、油圧ポンプが2個のため、2動作は完全に独立して行なうことができるが、3動作以上では、互いの独立性が失われる。3動作以上の複合動作は、コントロールバルブを平行回路にすることにより実用上かなりカバーしているが、各アクチュエータのスピードが平行回路のため作動圧により影響を受け、作動に不確実性が出る欠点がある。

例えば、走行中アームを動かすと、アーム側のポンプの圧油がアームと走行(左)に分流し、走行(左)のスピードが低下し走行が惰行する結果となり、また旋回中にアームを動かすと旋回が速度変化する、といった不具合がある。

一方、平行回路のため、慣性の大きい旋回とブーム上げを同時に操作した場合、圧油はブームと旋回に分流され、旋回がリリーフすることなくブーム上げ作動圧により加速されるため、エネルギー損失がなく全体にスピーディな動きが得られる利点がある。

図3に、3ポンプ3バルブ(3P3V)方式の油圧回路を示す。P3, P4'ポンプは、固定容量のギヤポンプで旋回の加速時のリリーフ損失を低減させるため、圧力によって順序作動するようにしたもので、動きは1ポンプに相当する。

本油圧システムでは、油圧ポンプが3種あり、それぞれに対応してコントロールバルブがある。コントロールバルブはすべて平行回路となっている。図2の2P2V方式との差は、旋回回路に専用のポンプとコントロールバルブを設けたことで、これによって旋回の独立操作が可能となり、旋回を含む3動作が独立して行なえる利点がある。

一方、ポンプが追加されたことにより部品点数が増加し、回路損失も増大して信頼性、経済性の点でも不利となる。また旋回は旋回体の慣性が大きいため定常速度になるまで時間がかかり、加速時には常にリリーフして馬力を損失するため、他の動作との複合動作時、他の動作スピードが低下してしまう欠点がある。前述の旋回とブーム上げ時に、エネルギー損失が増えスピードも低下する欠点が出る。

3 OHSの概要

最近、日立建機株式会社から発売された油圧ショベルUH07-7(全装備重量18.5t, エンジン出力115PS, バケット容量0.7m³)など、7型シリーズに搭載されたOHS油圧システムは、上述の背景を踏まえ、新しい考えのもとに油圧ショベルの要求性能を広範囲にわたってカバーするため開発されたものである。表1に7型シリーズのUH045-7とUH07-7の概略仕様を、図4にUH07-7の外観を示す。

表1 7型シリーズの概略仕様 OHS (Optimum Hydraulic System)を搭載した日立油圧ショベルの概略仕様を示す。

機種	UH045-7	UH07-7
項目		
全 装 備 重 量	11.9t	18.5t
バ ケ ッ ト 容 量	0.45m ³	0.7m ³
エ ン ジ ン 馬 力	85PS/2,200rpm	115PS/1,950rpm
走 行 速 度	3.6km/h	3.8km/h
最 大 掘 削 深 さ	5,475mm	6,550mm
最 大 掘 削 力	6.9t	10.7t



図4 UH07-7の外観 OHS油圧システムを搭載したUH07-7の外観を示す。

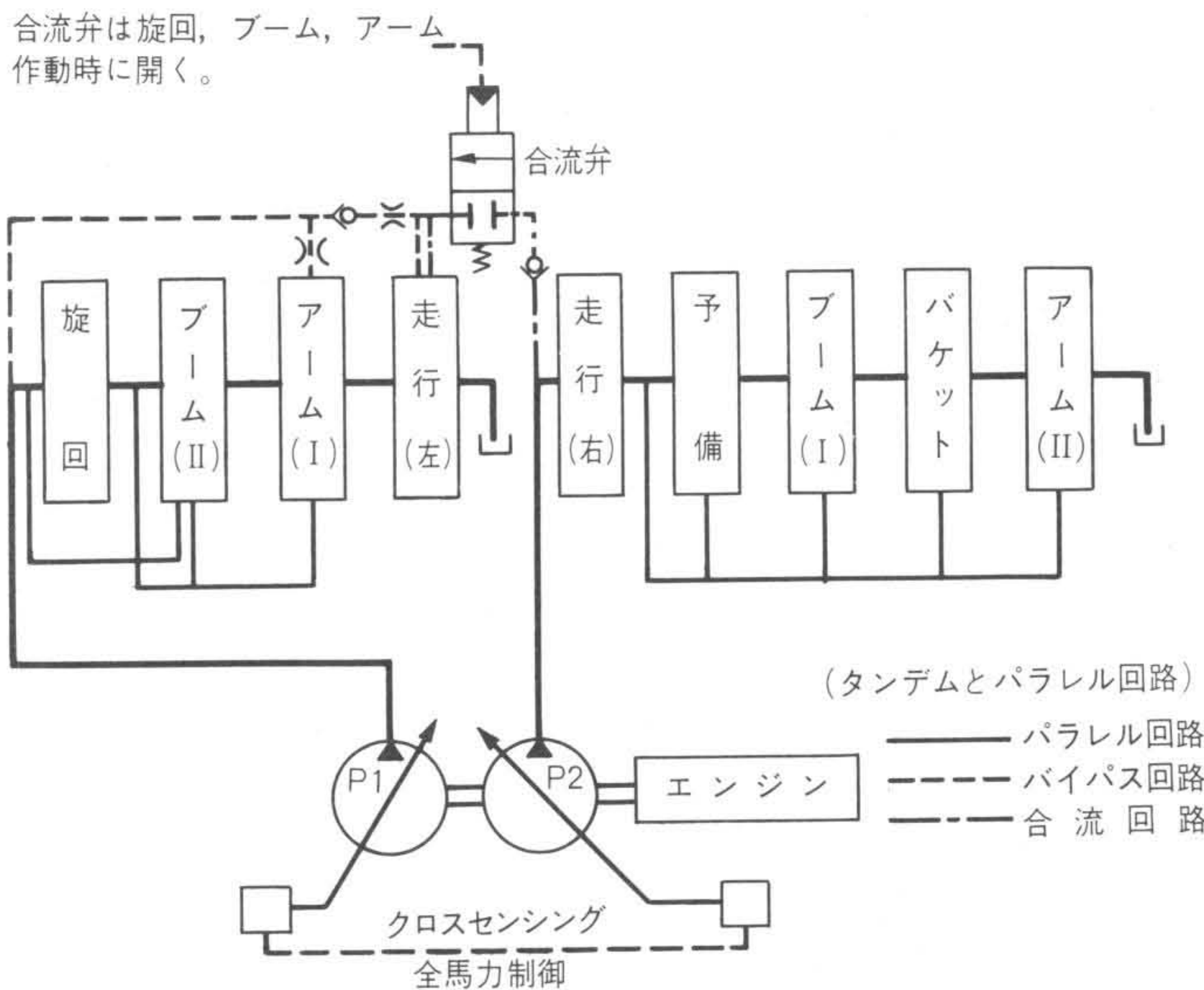


図5 OHS油圧システム パラレル回路とタンデム回路の組合せを基本としている。

OHSは、和訳すると最適油圧システムといった意味である^{1),2)}。図5に、OHS油圧システムの基本油圧回路を、図6に旋回の油圧回路を示す。

以下に、OHSの構造とその特徴について述べる。
(1) 全体の構成は2P2V方式で、図2に示すものと同構成

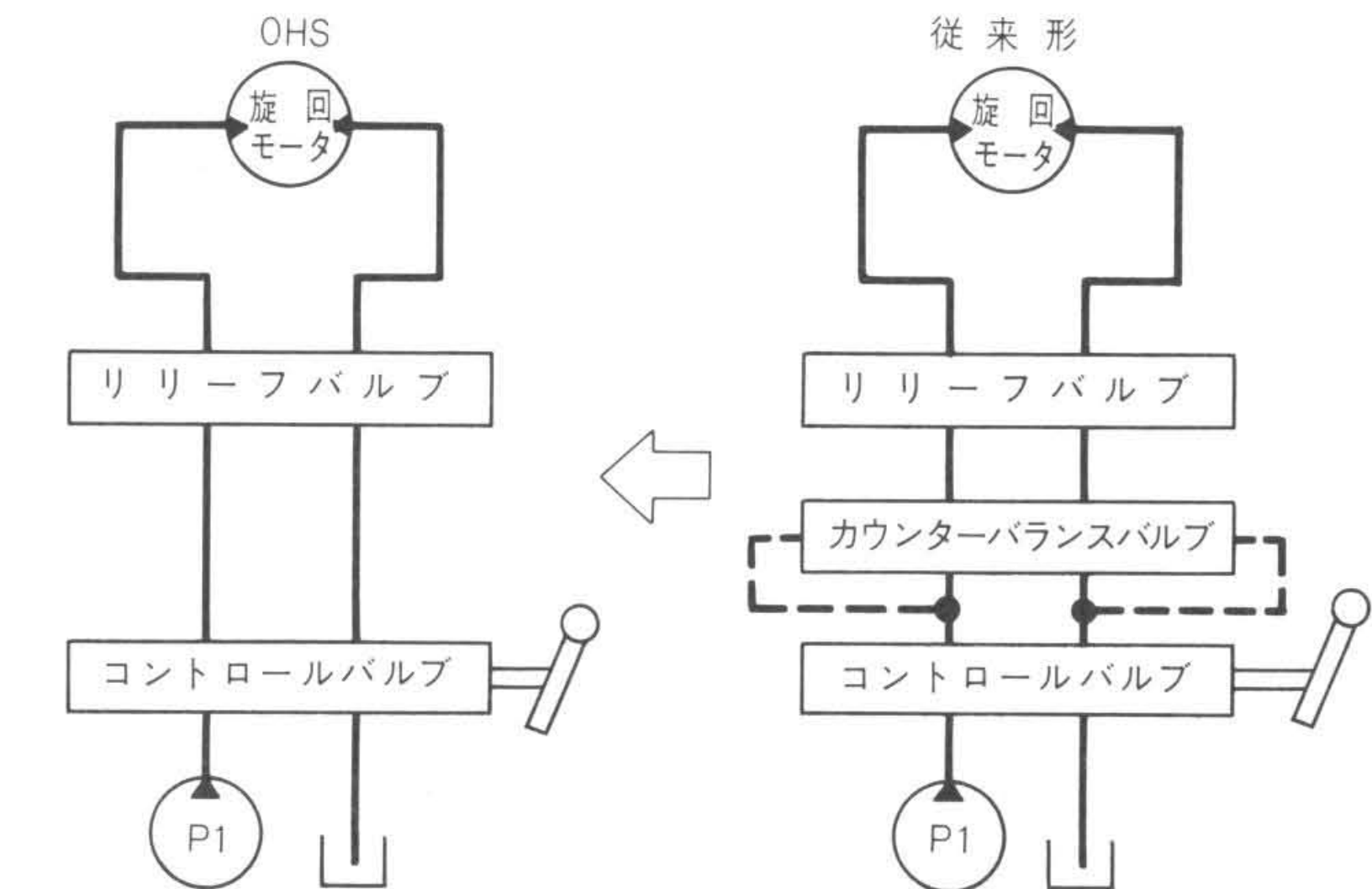


図6 OHSの旋回油圧回路 OHSではオン-オフ的に動くカウンタバランスバルブがないので、旋回制御性が大幅に向上した。

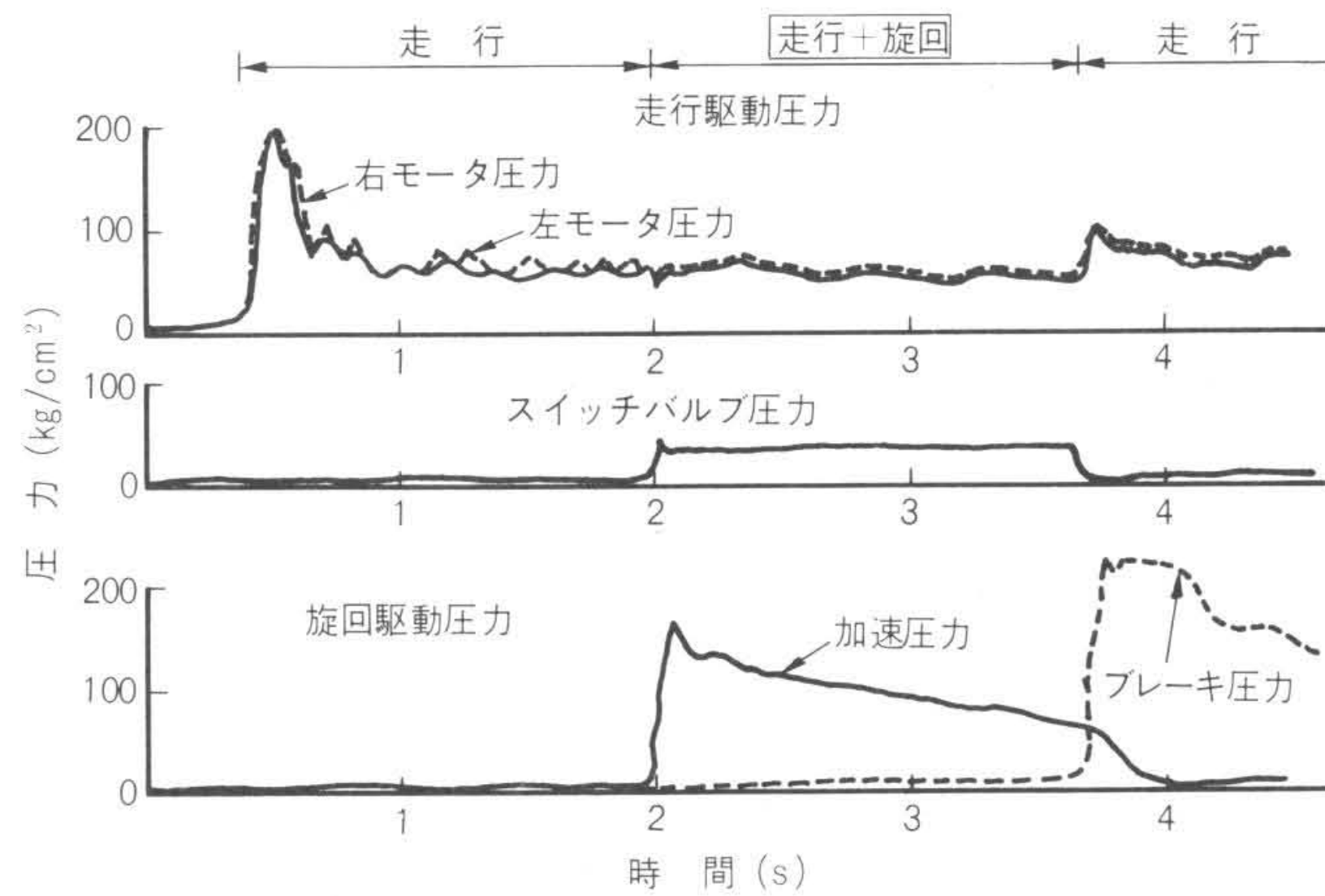


図7 OHS作動圧力波形 走行と旋回の複合動作が円滑に行なわれている。

で、シンプルな構成である。このためポンプの損失馬力が小さく、構成部品も少なく、システムの信頼性が高い。

(2) コントロールバルブに最大の特徴があり、コントロールバルブは、パラレル回路とタンデム回路の組合せとなっている。

パラレル回路では各アクチュエータ用のバルブが並列となっている。複合動作時は同じコントロールバルブの二つ以上のバルブが同時に操作されるわけであるが、各アクチュエータの作動圧が等しいときは、圧油は2等分されて供給されるが、一方のアクチュエータの圧力が上昇すると、そちらへは圧油の供給割合が減ってきてスピードが落ち、遂には動きが止まる場合も出てくる。しかし、逆に圧力がうまくバランスしているときは、一つのポンプでたくさんのアクチュエータを同時に動かせる利点もある。

一方、タンデム回路では、コントロールバルブの上流位置にあるバルブが優先的に圧油を利用し、そのときは下流には流さない。このため複合動作時には、上流バルブ(アクチュエータ)が優先的に動き、下流は動かない。このため、上流側のアクチュエータにとっては動きは確実になる。欠点としては下流が動かないことと、一つのポンプで一つのアクチュエータしか駆動できないことである。

OHS油圧システムのコントロールバルブでは、このパラレルとタンデムを組み合わせ、油圧ショベルとして最適な動きとるように構成している。

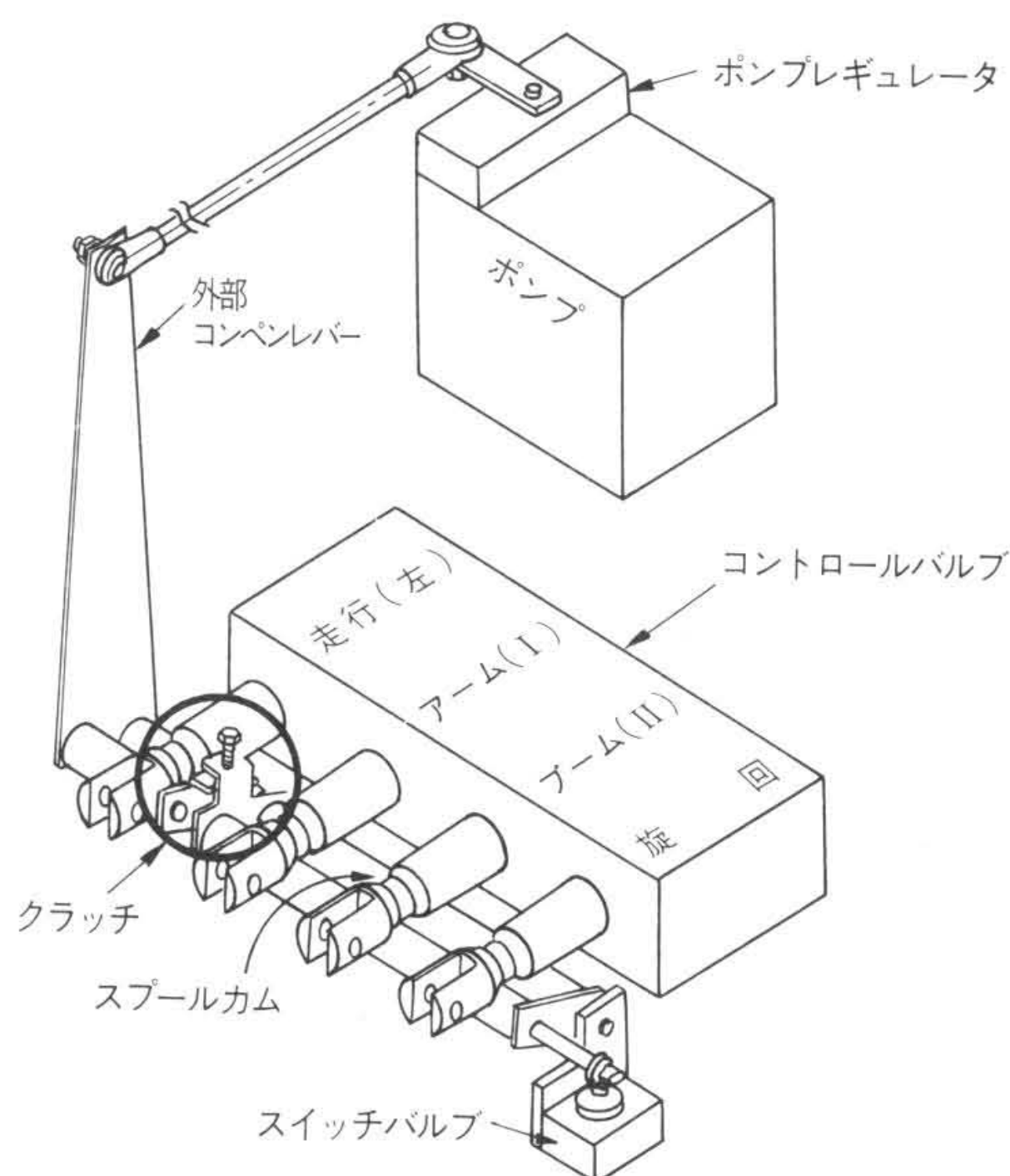


図8 合流検出方式 走行複合動作時、合流弁を連通される機構を示した。同時に外部コンペン制御の補足説明にも使用される。

(3) 上記組み合わせだけでは、油圧ショベルのすべての複合動作を確実にこなわせることができないため、これを補う絞りをもったバイパス回路を設けている。これによりタンデム回路の上流にあるアクチュエータを確実に作動させながら、下流のアクチュエータも同時に作動させることができる。

(4) 走行と、他のアクチュエータの同時作動を可能にするため、更に合流回路をもっている。またこの回路の途中には流れを断続する合流弁を設けて、複合動作時だけ回路が開くようになっている。これによって、走行と、例えば旋回を同時に行なっても走行は直進し、旋回も確実に作動させることができる。

図7に、走行中に旋回を同時に行なった場合の圧力波形を示す。旋回スタートと同時に旋回圧力がたち、合流弁を作動させるスイッチバルブが作動し、左右走行モータの駆動圧力は等しくなるが、圧力低下はなく走行が進行されていることが分かる。

図8に、合流弁を作動させるメカニズムを示す。コントロールバルブは先の図5の左側のブロックを示しており、各ス

プールの端面に設けたカムによって、旋回、アーム(I)、ブーム(II)のいずれかが作動したとき、スイッチバルブを作動させるようになっている。スイッチバルブから出る信号圧力によって、図5の合流回路にある合流弁が開き合流回路が開かれる。一方、図8中に円で囲んで示すクラッチ機構があり、走行単独動作ではスイッチバルブは作動しないようになっている。外部コンペンレバーは省エネルギーのための機構であり後段で説明する。

(5) ブームとアームについては、2P2V合流方式とし、作業スピードのアップを図っている。

(6) 前出の図6によって、旋回用システムの構成と特徴について述べる。従来の油圧回路を右側に示すが、従来は旋回モータをコントロールバルブとカウンタバランスバルブによって制御していた。OHSでは旋回モータ及びコントロールバルブの改良によってカウンタバランスバルブを廃止し、コントロールバルブだけ制御するように構成した。作動圧によりオン-オフ的に動くカウンタバランスバルブがなくなったため、微速制御性が飛躍的に向上した。

図9に、旋回モータのブレーキ圧力が従来回路では急激に変化し、新回路では一定に制御されている様子を示す。このため、旋回停止時に発生した振動やギクシャクがなくなり、バケット内の荷こぼれや荷振れが激減した。

図10、11に2～4種のアクチュエータの複合動作時のポンプとコントロールバルブの油圧回路を示す。3、4の例について説明する。例えば、図10の旋回と走行の同時作動時では左ポンプの圧油は優先的に旋回モータに流れ、余剰油が走行モータ(左)へ流入する。一方、右ポンプの圧油は走行モータ(右)に供給されるが、同時に合流回路を通して走行モータ(左)にも供給される。旋回とブーム上げの場合には、左ポンプの圧油は旋回とブームに供給され、右ポンプの圧油はブームに供給される。左ポンプの圧油は、旋回加速中は必要な量だけ旋回に残り残りはすべてブームに流れるため、旋回が加速中にリリーフすることがない。旋回とブーム下げの場合には、ブーム下げは自重で下がるため、圧力がたたないので前例のように左ポンプを平行に仕様すると旋回が加速しなくなる。すなわち、圧油はすべてブーム下げに流れることになる。この弊害をなくすため、旋回とブーム下げの場合にはブームは右ポンプだけで駆動するようになっている。

図11の、走行とブーム又はアームの場合、回路は図10の旋

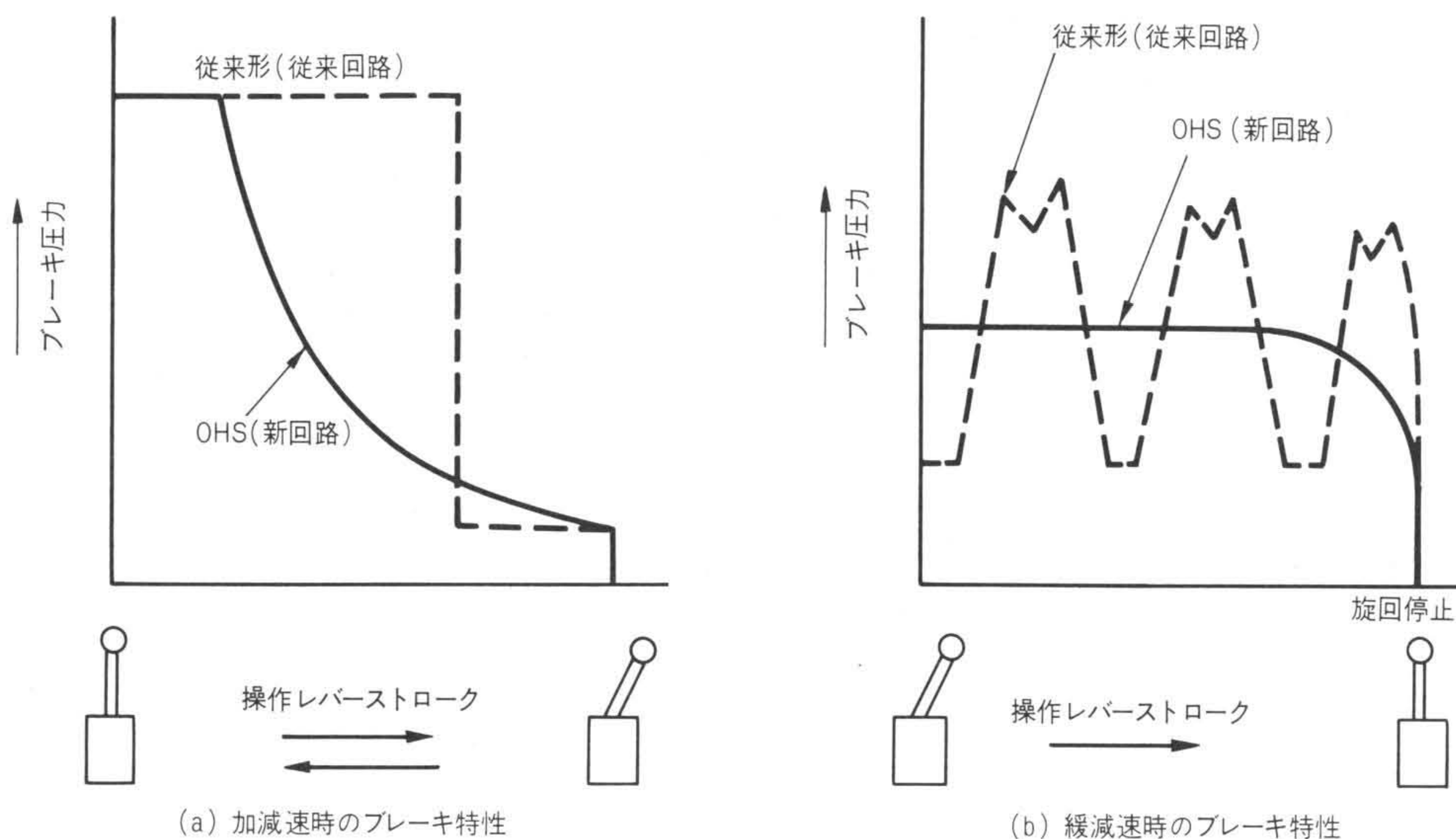
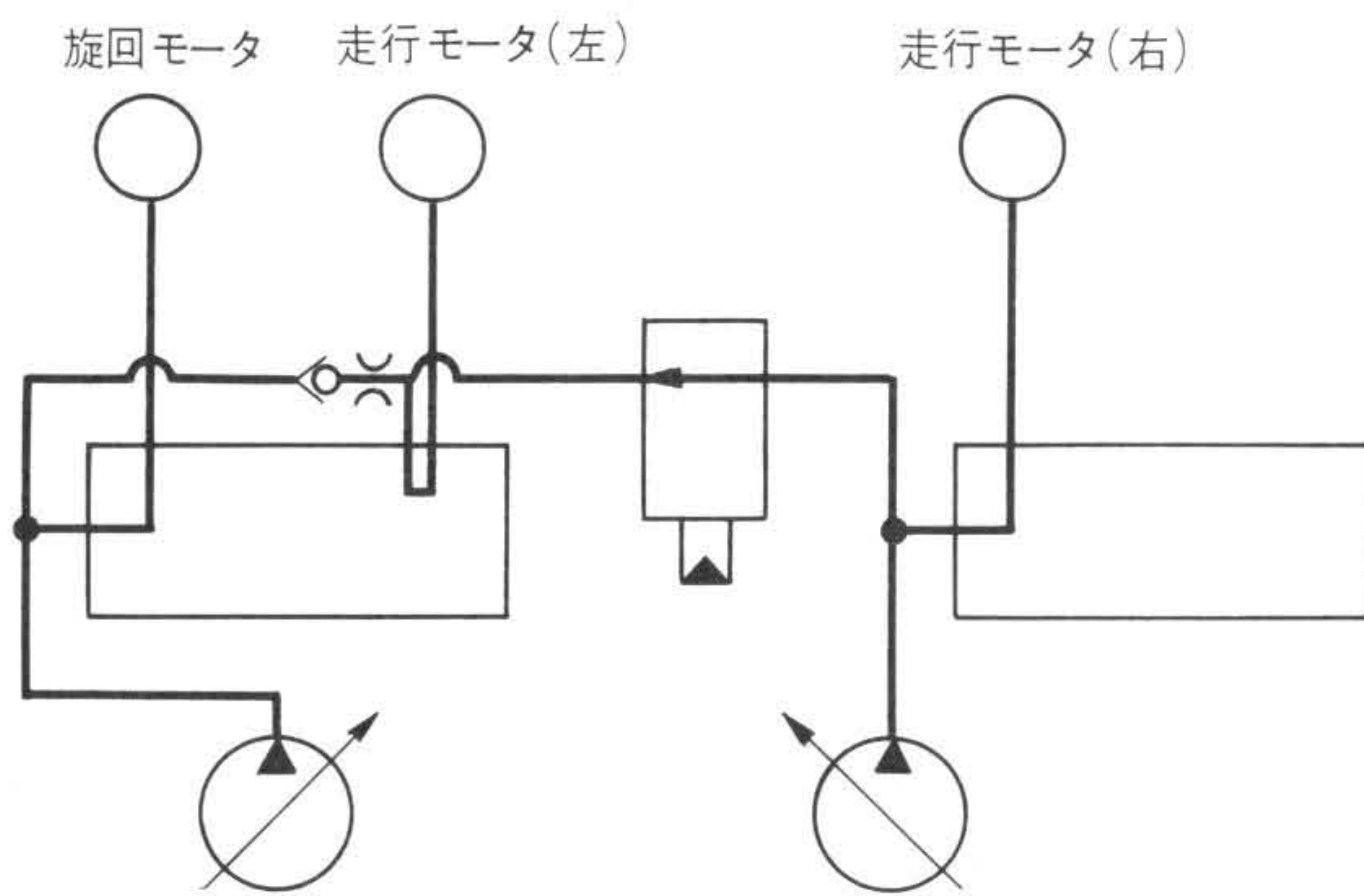
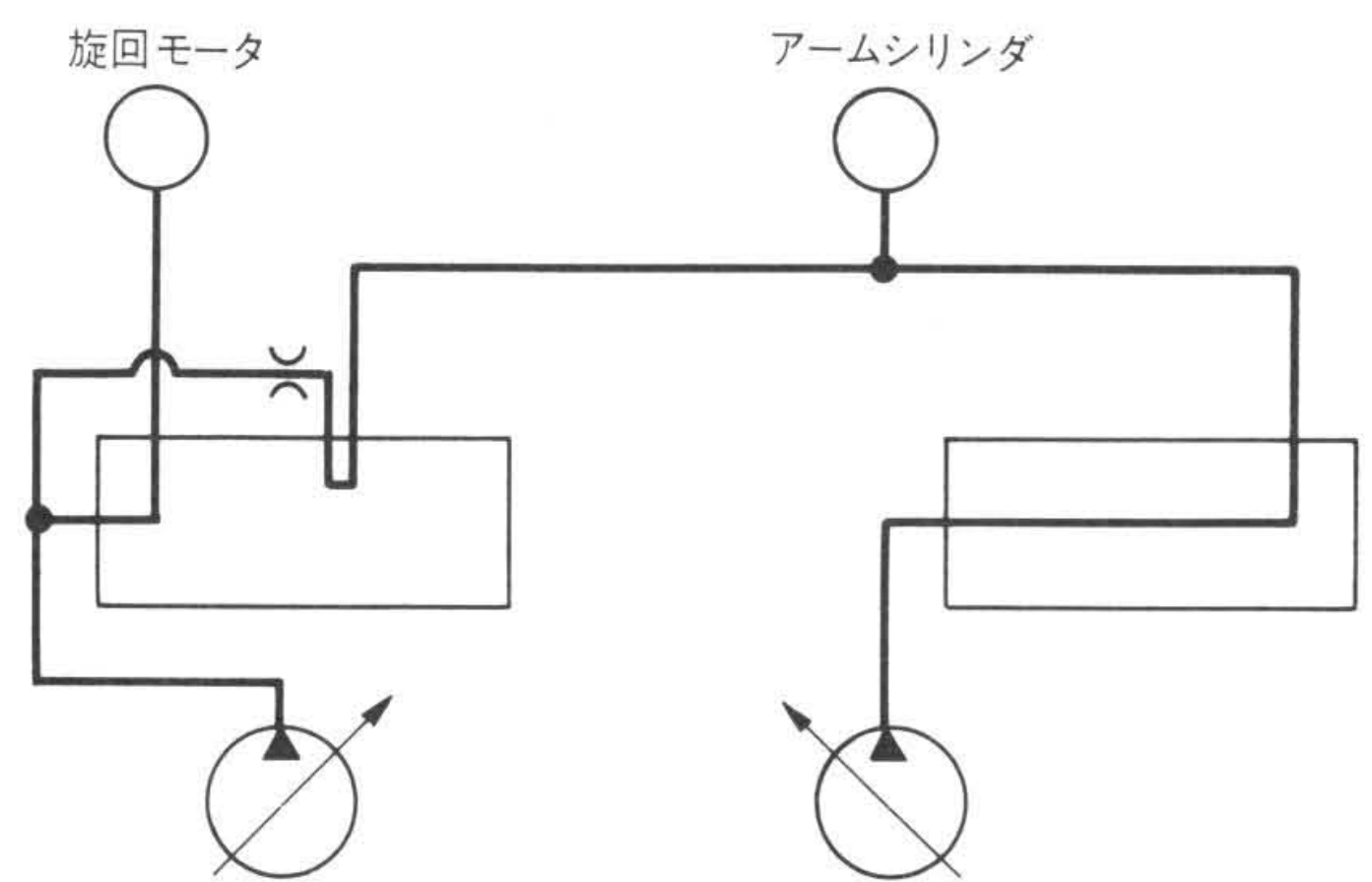


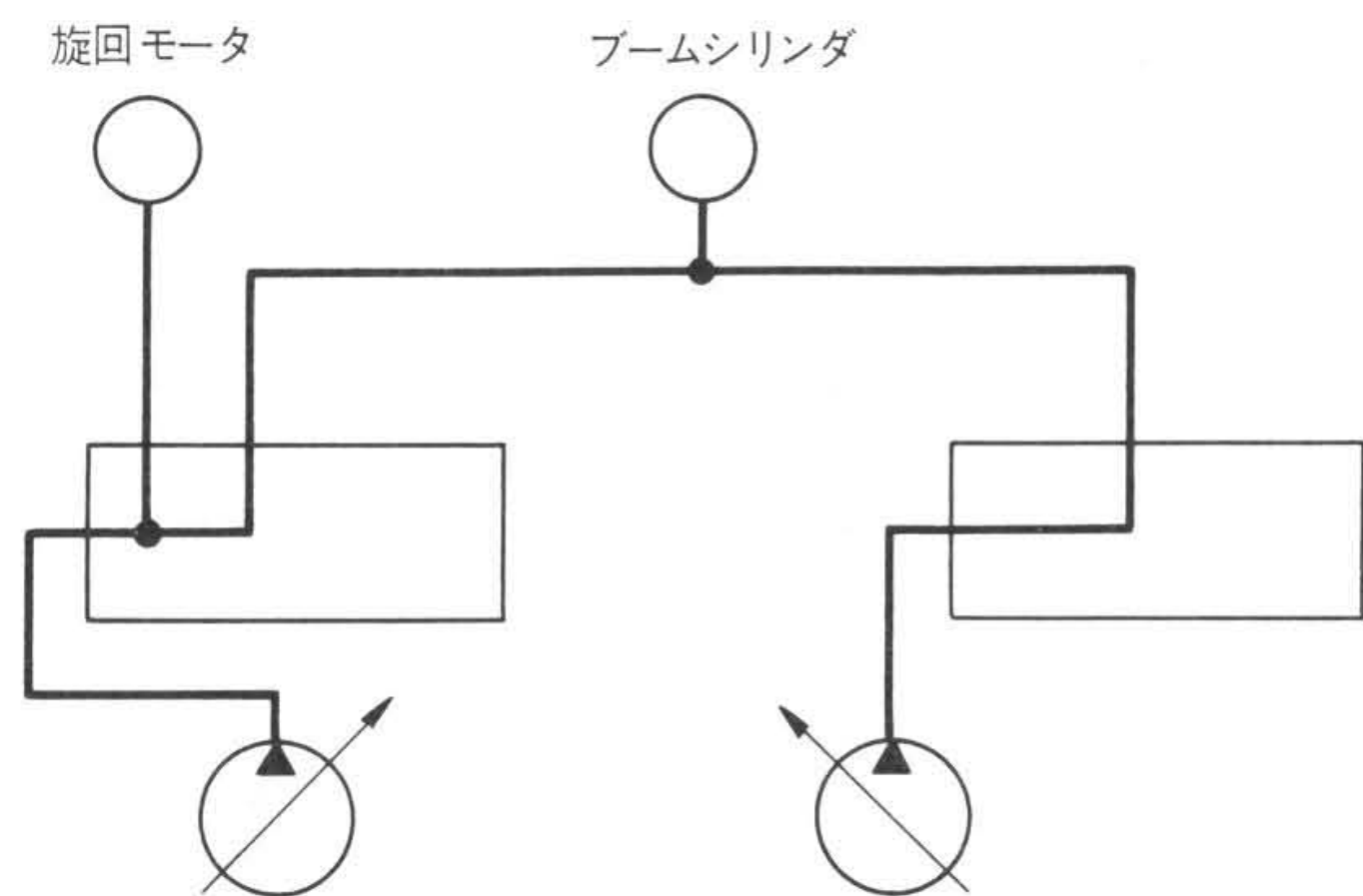
図9 旋回ブレーキ特性比較 OHSは旋回減速が円滑に制御される。



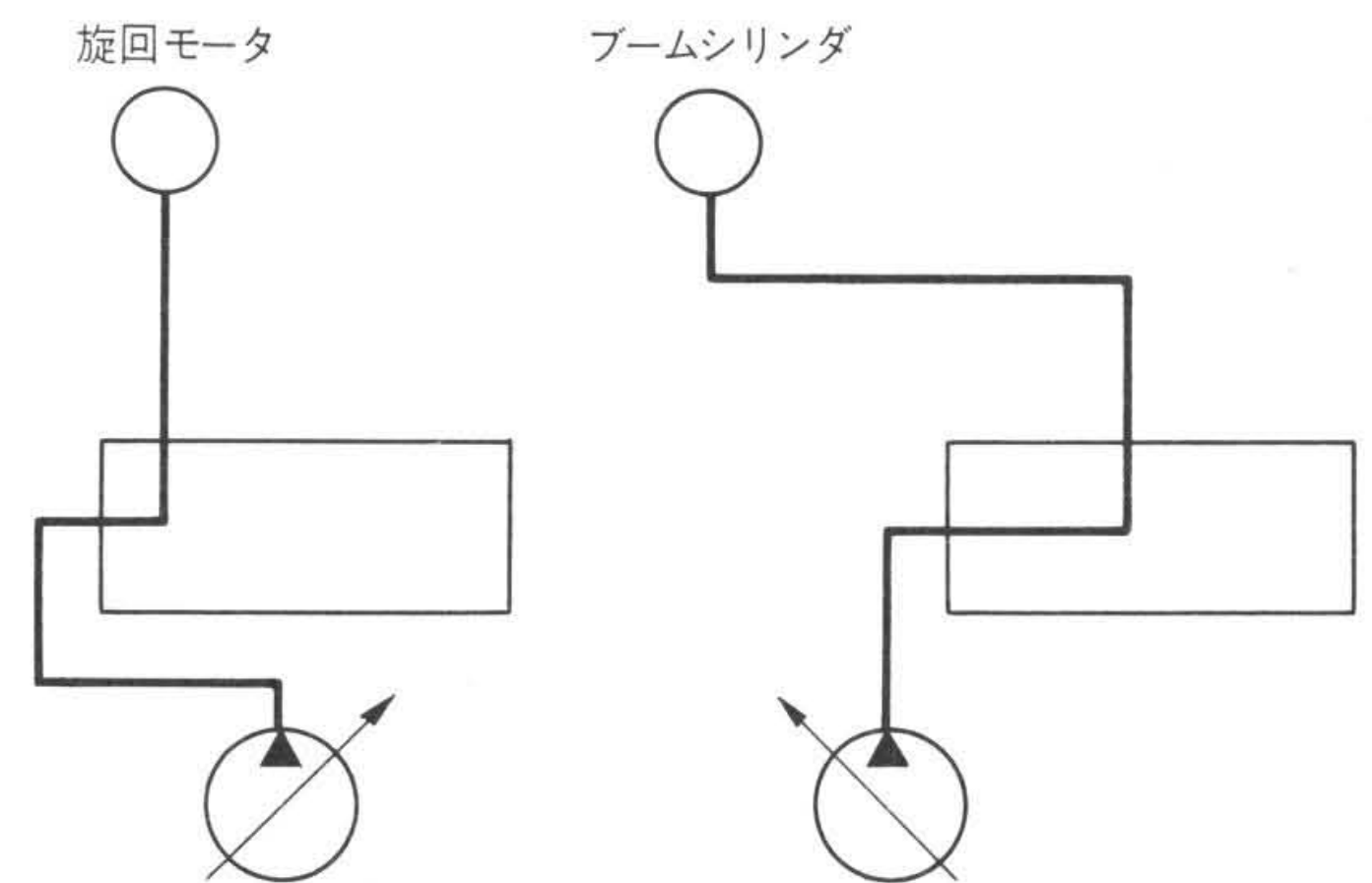
(a) 旋回と走行



(b) 旋回とアーム



(c) 旋回とブーム上げ



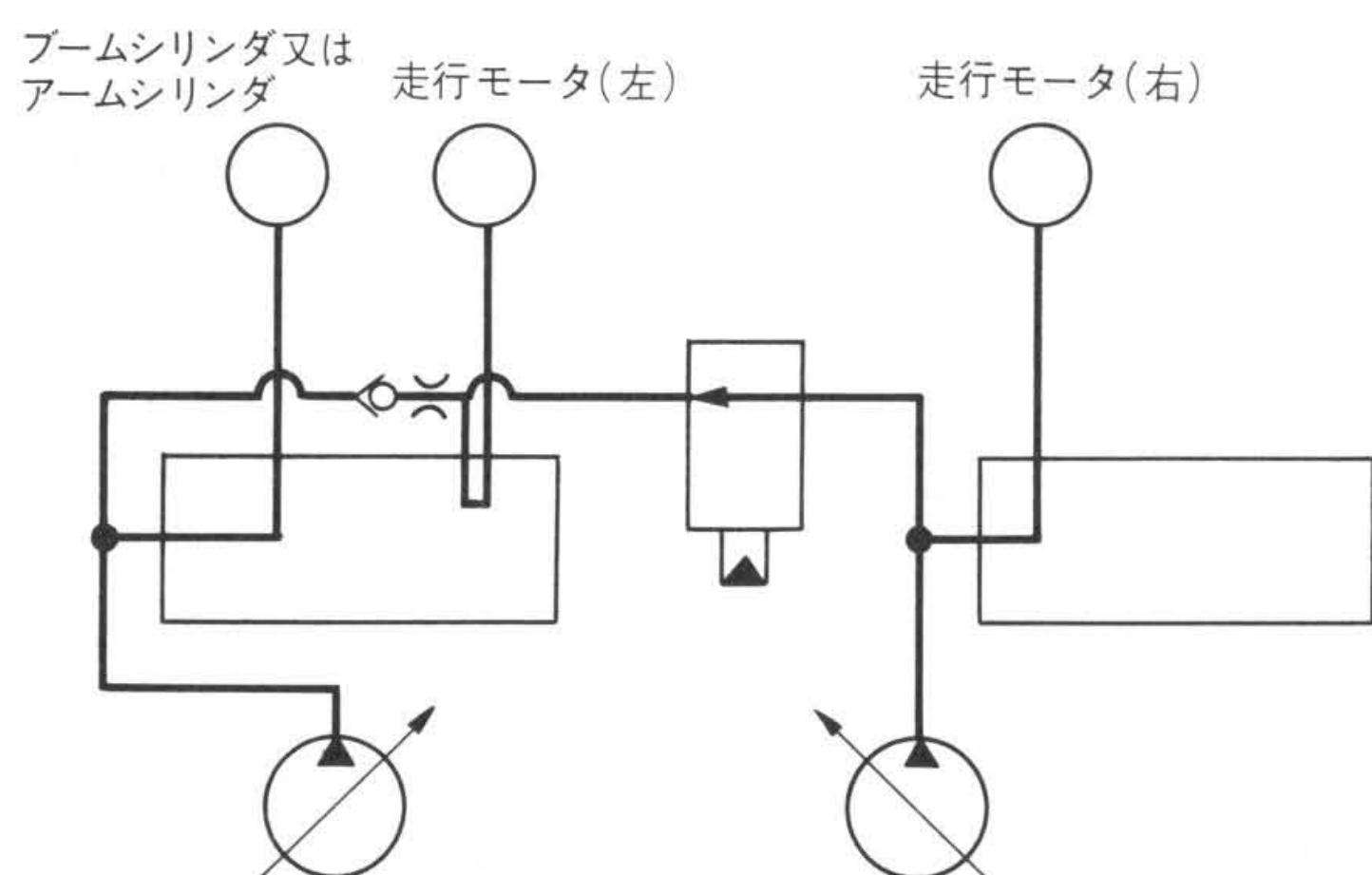
(d) 旋回とブーム下げ

図10 OHS複合動作時の油圧回路(1) 3~2種動作時の回路を示している。

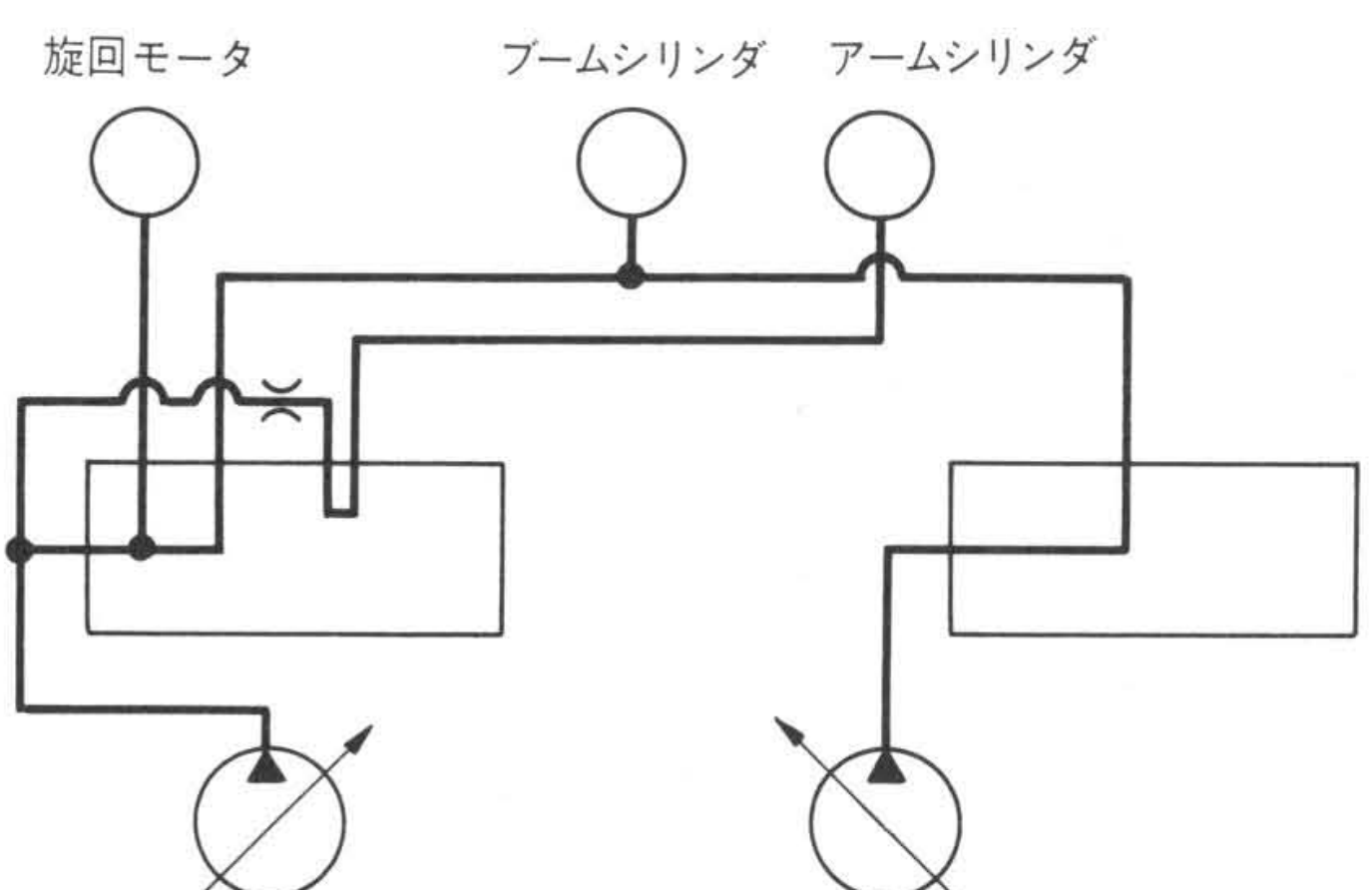
回と走行の場合と同じになる。旋回、ブーム、アームの3動作では、左ポンプの圧油は旋回とブームに優先的に供給され、余剰油はバイパス回路を通してアームに供給される。右ポンプの圧油はブームに全量供給される。旋回、ブーム、アーム、バケットの四つのアクチュエータの同時操作では、右ポンプは旋回、ブームに優先的に圧油を供給し、余剰油をアームに

供給し、右ポンプはブーム、バケットに圧油を供給する。いずれの場合でも、余剰油の流れるバイパス回路には絞りとチェックバルブが入っており、逆流による弊害を防ぐとともに、油圧ショベルの平均的な動作パターンを考慮して、複合動作に最適になるように絞りの強さを設定してある。

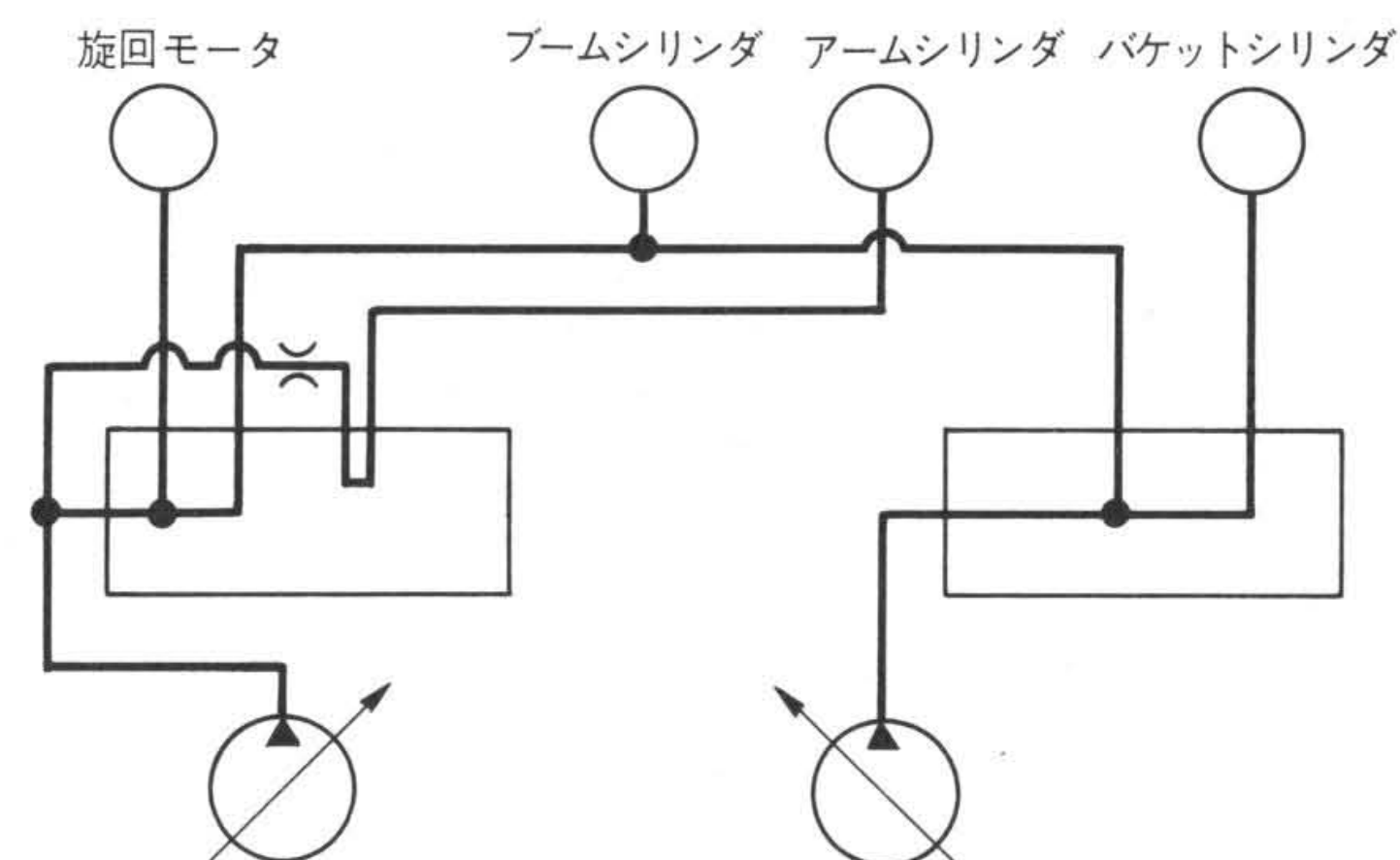
表2に油圧ショベルで想定される各アクチュエータの単独



(a) 走行とブーム上げ又は走行とアーム



(b) 旋回、ブーム及びアーム



(c) 旋回、ブーム、アーム及びバケット

図11 OHS複合動作時の油圧回路(2) 3種以上動作時の回路を示している。

表 2 各動作別性能比較 OHSは、従来の2ポンプ2バルブ、3ポンプ3バルブ方式に比べ、性能が格段に向上した。

		OHS	2P2V	3P3V
単独	旋回	○	○	×
	ブーム・バケット	○	○	○
	アーム	◎	△	△
旋回⊕	走行	○	○	○
	ブーム	○	○	×
	アーム	○	△	◎
走行⊕	バケット	○	○	○
	走行	○	×	○
	ブーム	○	×	×
旋回微操作性	アーム	○	×	×
	バケット	△	△	△
	ブーム⊕アーム	○	○	○
フロント3動作		○	○	○
旋回⊕フロント2		○	○	○
旋回⊕フロント3		○	○	△
旋回微操作性		◎	△	△

注：記号説明 ◎ (特に優れている。), ○ (優れている。), △ (普通), × (やや劣る。)

表 3 各油圧システムの比較 OHSは、各動作の独立性が高い。

	2P2V OHS	2P2V	3P3V
旋回独立性	○	△	◎
走行独立性	◎	×	×
旋回微操作性	○	×	×
アームスピード	○	×	×
省エネルギー	◎	◎	×

注：記号説明 ◎ (特に優れている。), ○ (優れている。), △ (普通), × (やや劣る。)

及び複合動作について、各油圧システムの性能比較を示した。単独動作は主にスピードを評価したものであるが、従来遅かったアームスピードが、2ポンプ合流のため約2倍にスピードアップされている。また3P3Vでは旋回ポンプの容量に制約があり、旋回スピードが遅い欠点があった。旋回と他のアクチュエータの複合動作では、従来の2P2Vや3P3Vのもっていたそれぞれの特長だけを生かしたものとなっている。走行との複合動作は、従来の欠点を完全に排除しておりOHSの大きな特長となっている。旋回とフロント3アクチュエータの4動作では、3P3Vシステムでは旋回が加速中リリースするため、他のアクチュエータスピードが落ちる欠点があったが、2P2Vを基本としたOHSにはこの欠点がない。旋回微操作性は既述したように、カウンタバランスバルブを廃止し、コントロールバルブだけで制御するようにしたので飛躍的に性能が向上している。

表3に、OHSと従来の二つの一般的な油圧システムの主な項目についての比較を示す。要約すると、

- (1) 旋回が独立
- (2) 走行が独立
- (3) ブーム、アームが2速で速い。

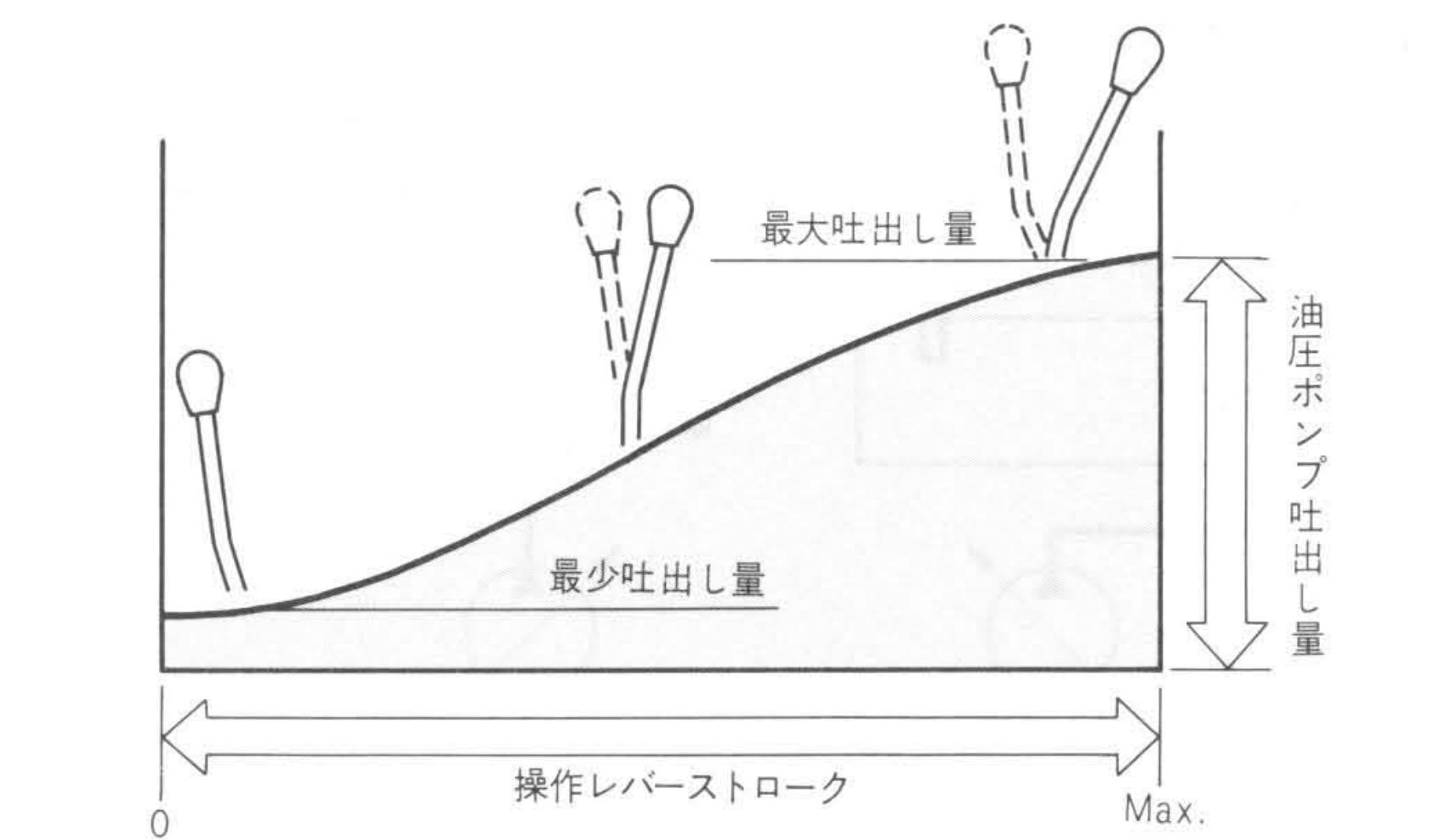


図12 外部コンペン制御 ポンプ吐出し量をバルブスプールの動きに対応して変化させている。

- (4) 旋回の微操作性が優れている。
- (5) 油圧システムの効率が高い。
- (6) 構成がシンプルであり、信頼性高くメンテナンスコストが安い。

以上、OHS油圧システムの回路構成を中心に特徴を述べたが、このほかにOHSには、省エネルギーを図るためのFPSシステム(Fuel Saving Pump System)を採用している。

- すなわち、
- (1) クロスセンシング式全馬力制御(Cross-sensing Summation System)

2個のポンプの和でエンジン全馬力を吸収するようにしたもので、1ポンプが働いていないときは、他方のポンプで全馬力を吸収できる。

- (2) 外部コンペン制御
- ポンプ吐出し量をコントロールバルブのスプールの動きに比例して変化させる。コントロールバルブ不使用時には、ポンプの吐出し量をほぼゼロとし、コントロールバルブのメータリング時の絞り損失も減少させるシステムである。図8に作動機構を、図12に性能を示す。

- (3) リリースカットオフ制御
- リリース時のポンプ吐出し量をカットする制御である。

4 結 言

従来の油圧ショベル用油圧システムは、6種のアクチュエータを複合操作した場合、各アクチュエータを独立して自在に操作することが不可能であった。この改善のために、コントロールバルブのタンデム化、配列の変更、合流回路、バイパス回路の設置などを行ない、基本的には単純な2ポンプ2バルブのシステム構成で、ほぼすべての複合操作を可能としたOHS油圧システムを開発した。

OHSは種々の要求性能をバランス良く満足するものとして、当分の間、油圧ショベル用として主流をなしてゆくと考ええる。しかし、ユーザーニーズや技術は、時とともに変化するものであり、今後とも、より良い油圧システムの開発に努力する考えである。

参考文献

- 1) 岡部：新しい油圧ショベル用油圧システム，産業機械，No. 400，32～34(昭59-1)
- 2) 岡部：油圧ショベルの新油圧システム「OHS」，油空圧化設計，22-7，49～54(昭59-7)