

..... 第 1 章

油圧の世界

1. はじめての油圧..... 6	11. 航空機の油圧..... 32
1.1 はじめに..... 6	11.1 ジェットエンジンの燃料システム..... 32
1.2 油圧の歴史..... 6	11.2 システムの概要と燃料システム内部の発熱..... 32
1.3 油圧の概要..... 6	11.3 低発熱燃料ポンプ開発..... 33
1.4 おわりに..... 10	12. 船舶の油圧..... 34
2. 自動車の油圧..... 11	12.1 はじめに..... 34
2.1 はじめに..... 11	12.2 トロール漁法における自動曳網システム..... 34
2.2 パワーステアリングと油圧..... 11	12.3 トロールウインチ制御装置の構成機器..... 34
3. 二輪車の油圧 (サスペンション)..... 13	12.4 トロールウインチ制御装置の作動..... 35
3.1 はじめに..... 13	12.5 トロールウインチの張力制御..... 35
3.2 モトクロスレース用サスペンション..... 13	12.6 試験操業データ..... 35
3.3 減衰力調整サスペンション..... 14	13. 工作機械の油圧..... 37
3.4 二輪車用電子制御式ステアリングダンパ..... 14	13.1 はじめに..... 37
4. 農業機械の油圧..... 16	13.2 工作機械に使用される油圧技術..... 37
4.1 はじめに..... 16	13.3 おわりに..... 38
4.2 HST の基本構成と特長..... 16	14. 半導体分野の油圧..... 39
4.3 小型トラクタ..... 16	14.1 はじめに..... 39
4.4 コンバイン..... 17	14.2 真空加圧式ラミネータ機..... 40
4.5 おわりに..... 17	14.3 真空ホットプレス機..... 40
5. 特装車の油圧..... 18	15. マグネシウム成形機の油圧..... 41
5.1 コンクリートミキサ車って?..... 18	15.1 はじめに..... 41
5.2 油圧ってすごい!..... 18	15.2 マグネシウム成形機..... 41
5.3 ミキサ車の問題点..... 18	15.3 おわりに..... 42
5.4 電子制御でいいことづくし!!..... 18	16. 射出延伸ブロー成形機の油圧..... 43
6. ゴミ収集車の油圧..... 20	16.1 はじめに..... 43
6.1 はじめに..... 20	16.2 射出延伸ブロー成形法..... 43
6.2 ゴミ収集車の種類..... 20	16.3 おわりに..... 44
6.3 ゴミ収集車と油圧..... 21	17. 風力発電の油圧..... 45
6.4 基本的な油圧システム..... 21	17.1 風力発電とは?..... 45
6.5 油圧システムの変遷..... 21	17.2 風力発電機と油圧..... 45
6.6 おわりに..... 22	17.3 動力伝達系の油圧機器..... 45
7. 荷役・運搬機械の油圧..... 23	17.4 ピッチ系の油圧機器..... 46
7.1 はじめに..... 23	17.5 ヨー系の油圧機器..... 46
7.2 フォークリフトの操作..... 23	18. 環境・省エネ分野の油圧..... 47
8. 土木・建設機械の油圧..... 25	18.1 はじめに..... 47
8.1 はじめに..... 25	18.2 ペットボトル減容機..... 47
8.2 双腕型油圧ショベル「ASTACO」..... 25	18.3 最新技術..... 47
8.3 双腕作業機の未来..... 26	19. ロボットの油圧..... 48
9. トンネル掘削用自由断面掘削機の油圧..... 27	19.1 油圧レスキューロボット..... 48
9.1 はじめに..... 27	19.2 油圧パワーアシスト装置..... 48
9.2 自由断面掘削機の種類..... 27	19.3 災害対応ヒューマノイドロボット HYDRA..... 49
9.3 自由断面掘削機の特徴..... 28	20. マイクロ液圧..... 50
9.4 他機種紹介..... 28	20.1 はじめに..... 50
9.5 山岳工法..... 29	20.2 E C F..... 50
9.6 おわりに..... 29	20.3 E R F 及び M R F..... 51
10. 鉄道の油圧..... 30	20.4 あとがき..... 52
10.1 はじめに..... 30	
10.2 セミアクティブ振動制御..... 30	
10.3 ダンパの構造..... 31	
10.4 おわりに..... 31	

1. はじめての油圧

1.1 はじめに

油圧はあまり社会の表舞台で活躍することがありませんので一般にはなじみの薄いものと思われます。しかし、油圧の使われているところについては2節以降にその事例が紹介されていますのでおおよそお分かりいただけるものと思います。ここでは、なじみの薄い油圧を初めて学ぼうとする人を対象に、油圧の基本的なことについて、できるだけ分かりやすく解説したいと思います。

1.2 油圧の歴史

油圧の歴史は、水の利用技術の歴史にさかのぼることができます。紀元前3000年ごろの古代エジプトではナイル河から水をくみ上げるために、水車や原始的な揚水装置を考え出しました。紀元前250年ごろにはアルキメデスによって、筒にぴったり収まったねじを回して水をくみ出すねじポンプが作られています。

今日のポンプに関する基本的な構造、機能についてのアイデアは、1600年ごろに生まれています。ラメリのロータリポンプ(1588年)、セルビエのギヤポンプ、ウイングポンプ(1593年)などが有名です。

油圧の基本原理となるパスカルの原理がパスカルによって発見されるのが1653年です。ただし、その実用性が証明されるのは、140年後にブラマーが水圧プレスを発明した1795年のことです。

1900年代に入って石油精製法が発達し、よい潤滑油が作られるようになると、潤滑性がよい、さびを防止するなどの性質によって、水の代わりにこの油を使用する油圧機器が作られるようになります。1900年ごろトーマの発明によるアキシャルピストンポンプとピストンモータを組み合わせた油圧伝動装置、ウイリアムズとジャネとの共同開発による油圧伝動装置、ショウの発明によるラジアルピストンポンプ、ピストンモータなどが現れます。1925年にはビッカースにより平衡形ベーンポンプが発明さ

れます。その後、多くの改良と工業化への努力が積み重ねられ今日の油圧機器工業へとつながってきます。この油圧技術の歴史を表1.1に示します。

表1.1 油圧の歴史

年代	出来事
BC255	アルキメデスのねじポンプ
1588	ラメリのロータリポンプ
1593	セルビエのギヤポンプ
1593	セルビエのウイングポンプ
1653	パスカルの原理
1738	ベルヌーイの定理
1795	ブラマーの水圧プレス
1845	アームストングの水圧クレーン
1850	アームストングの蓄圧器
1900	トーマのアキシャルピストンポンプ
1903	ウイリアムズとジャネの油圧伝動装置
1907	ショウのラジアルピストンポンプ・モータ
1925	ビッカースの平衡形ベーンポンプ
1956	油圧機器工業会発足（現フルード・パワー工業会）
1970	日本油圧協会設立（現フルード・パワーシステム学会）

1.3 油圧の概要

1.3.1 油圧とは

油圧装置を人間にたとえれば、油圧ポンプが心臓で、シリンダや油圧モータが手足ということになります。

一般には、電動機やエンジンで油圧ポンプを駆動して、油タンクから油をくみ上げてこれを制御部である油圧制御弁に送り、ここで仕事の方向や速度を、自由に制御して、アクチュエータと呼ばれるシリンダや油圧モータで機械的運動や仕事を行わせる一連の装置あるいは方式を総称して油圧といいます。

1.3.2 油圧の特徴

なぜ油圧が使用されるのかといいますと、油圧には次のような特徴があるからです。

油圧の利点としては、

- ① 大きな力が比較的簡単に得られ、その制御が容易にできる。
- ② 運動の速度を広範囲かつ連続的に無段変速す

ることができる。

- ③電気、油圧、空気圧の信号で、遠隔操作や自動操作が容易にできる。
- ④入力信号に対する応答性がよく、運動方向の切換え、停止が容易である。
- ⑤いろいろな動きの同期や連続運動をさせることが容易で、自動化や省力化を図ることができる。
- ⑥管、継手によって連結するために、取付け位置が自由であり、比較的场所をとらない。
- ⑦過負荷に対する安全装置が簡単で確実にできる。

一方、油圧の問題点としては、

- ①温度変化によって油の粘性が変わるので、精密な制御が難しい。
- ②電気配線に比べると、油圧の配管作業は容易とはいえない。
- ③摺動部分の摩耗、ごみの混入などによって油が汚れ、機能の低下をきたす。
- ④配管の継手部などから油漏れが発生し、環境汚染、火災の危険がある。

などが挙げられます。

油圧の特徴をよく理解することにより、機械式や電気式に比べて油圧式が最適であるところに使用することが大切です。

1.3.3 油圧の基礎事項

(1) 単位

運動や力などの物理量を測定するには、全て一定の基準の大きさを定めておき、”その基準量と比べてどのくらいか”というように測定します。この基準量を基本単位あるいは単位といいます。

油圧で用いる単位は、全て国際単位系(SI)と“JISで定める併用してよい単位”を用いて表します。国際単位系(SI)の構成は基本単位と接頭辞からなっています。接頭辞はSI単位の十進の倍量・分量単位を作成するために用います。表1.2にSI基本単位、表1.3にSI接頭辞、表1.4によく使われるSI単位と併用してよい単位を示します。

油圧でよく使われるSIの組立単位(基本単位を組み合わせて作ることができる単位)には次のようなものがあります。

表1.2 SI基本単位

量	名 称	記 号
長 さ	メートル	m
質 量	キログラム	kg
時 間	秒	s
電 流	アンペア	A
熱力学的温度	ケルビン	K
物 質 量	モル	mol
光 度	カンデラ	cd

表1.3 SI接頭辞

倍数	接頭辞	記号	倍数	接頭辞	記号
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ⁻¹	デシ	d
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁻²	センチ	c
10 ¹²	テラ	T	10 ⁻³	ミリ	m
10 ⁹	ギガ	G	10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ⁶	メガ	M	10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ³	キロ	k	10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ²	ヘクト	h	10 ⁻¹⁵	フェトム	f
10	デカ	da	10 ⁻¹⁸	アト	a

表1.4 SI単位と併用してよい単位

量	単 位		
	名 称	記 号	定 義
体 積	リットル	l, L	1l=1dm ³ =10 ⁻³ m ³
質 量	トン	t	1t=103kg

力 : ニュートン [N] 1N=1kg・m/s²

圧力 : パスカル [Pa] 1Pa=1N/m²

仕事 : ジュール [J] 1J=1N・m

動力 : ワット [W] 1W=1J/s=1N・m/s

(2) 力と圧力

力には、質量に作用する慣性力、油の粘性による粘性力、摩擦力などがあります。力の単位として用いられるニュートン [N] は“質量1kgの物体に1m/s²の加速度を生じさせる力”と定義され、

(力) = (質量) × (加速度) と表されます。

したがって、力の単位は次のようになります。

力の単位 : ニュートン [N]

$$1[\text{N}] = 1[\text{kg}] \times 1[\text{m/s}^2] = 1[\text{kg} \cdot \text{m/s}^2]$$

また、“単位面積あたりに作用する流体の力”を圧力といいます。圧力の単位としてはパスカル [Pa] が用いられます。

いま、面積 A [m^2] に力 F [N] が作用しているとすれば、圧力 p [Pa] は式(1)のように表されます。

$$p = F/A \quad \dots\dots\dots (1)$$

したがって、圧力の単位は次のようになります。

圧力の単位：パスカル [Pa]

$$1[\text{Pa}] = 1[\text{N}]/1[\text{m}^2] = 1[\text{N}/\text{m}^2]$$

油圧では高い圧力を扱いますのでメガパスカル [MPa] を使うのが一般的です。Mの意味を表1.3で確認しておいて下さい。

地球上においては、空気の重さからくる力を受けています。これを大気圧と呼びます。標準気圧は、 101325 Pa (1013.25 hPa ：ヘクトパスカル)です。圧力は測り方によって絶対圧力とゲージ圧力があります。絶対圧力は完全真空を0とした圧力の大きさをいい、ゲージ圧力は大気圧を0とした圧力の大きさをいいます。油圧で用いるのは、ゲージ圧力です。絶対圧力とゲージ圧力の関係を図1.1に示します。

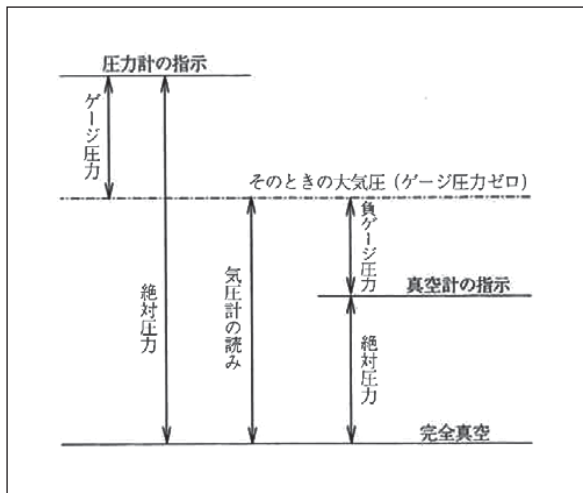


図1.1 絶対圧力とゲージ圧力

(3) パスカルの原理(油圧の原理)



油圧における圧力伝達の原理を示すパスカルの原理は、次のように表されます。

“密閉した容器内の静止液体の一部に加えられた圧力は、どの方向にも等しい大きさで作用し、かつ容器の各面に垂直に作用する。”(図1.2)

この油圧の基本原理の応用を、油圧ジャッキモデルを例に説明します。

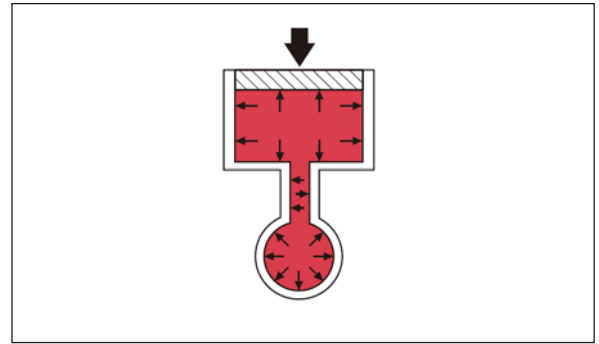


図1.2 パスカルの原理

図1.3の油圧ジャッキモデルにおいて、ピストン a_1 の断面積を A_1 [m^2]、ピストン a_2 の断面積を A_2 [m^2] とします。

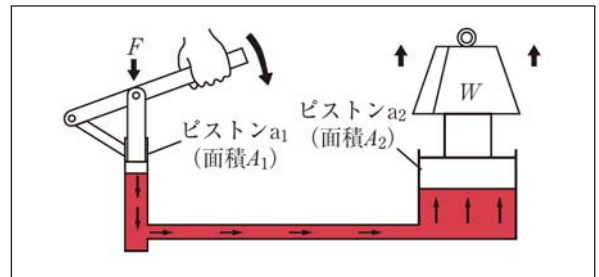


図1.3 油圧ジャッキモデル

ピストン a_1 に F [N] の力を加えて、ピストン a_2 の荷重 W [N] と釣り合うようにすると、密閉容器に発生する圧力 p は、

$$p = F/A_1 \quad [\text{N}/\text{m}^2] \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$p = W/A_2 \quad [\text{N}/\text{m}^2] \quad \dots\dots\dots (3)$$

式(2)と式(3)から

$$p = F/A_1 = W/A_2$$

この式を変形して

$$W = F \cdot A_2 / A_1 \quad [\text{N}] \quad \dots\dots\dots (4)$$

式(4)から、ピストンの面積比を大きくすれば、小さな力で大きな荷重を支えることができます。



1.3.4 油圧装置の原理

図1.4を用いて油圧装置の成り立ちを説明します。

(a)において、パスカルの原理で説明したように、ハンドポンプのレバーを下げるとそれに見合った分だけシリンダの重りを上げることができます。

この際、ハンドポンプにおいてレバーの動きによる機械的エネルギーを流体エネルギーに変換し、油を介してエネルギーを伝達し、シリンダにおいて流体エネルギーをシリンダの動きという機械的エネルギーに変換して、重りを上げるという仕事をしたことになります。

(b) になると、油タンクとチェック弁が加わり、ハンドポンプのレバーの上げ下げを繰り返すことができるようになります。ハンドポンプのレバーを上げると、油タンクから油がポンプに流れ込み、

レバーを下げると油はシリンダの方へ流れて行って重りを上げます。実際の油圧ジャッキの原理がこれに当たります。ここで、チェック弁は油の一方方向の流れは許しますが、逆方向へ流さない機能を持っています。ただし、このままでは重りを下げることができません。

(c) と (d) になると、油圧ポンプと油圧制御弁が加わり、連続的な動きで、シリンダの重りを上下に往復運動させることができるようになります。油圧ポンプは電動機などで駆動され連続的に油を送り出しています。(c) の状態では油圧制御弁が切り換えられていない状態ですので、油は油圧制御弁を素通りしてタンクに戻り、シリンダへは行きません。この状態では、重りは動きません。(d) のように油圧制御弁を下側に切り換えますと油はシリンダに流れ込み、重りが上昇します。油圧制御弁を逆側に切り換えますと、油の流れが油圧制御弁の中で方向が逆になり、今度は重りが下降します。これを繰り返すことによって、重りが往復運動することになります。ここで、リリーフ弁は回路の圧力が上がりすぎないようにするための回路の安全装置です。これが基本的な油圧装置の原理図です。

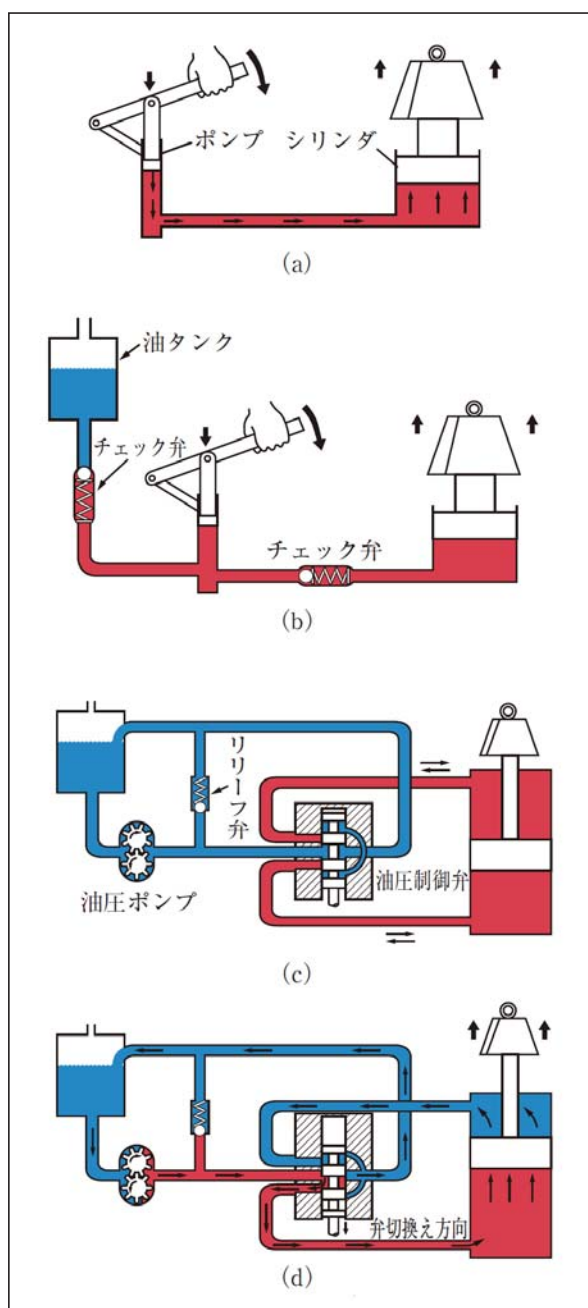


図1.4 油圧装置の原理

1.3.5 油圧装置の基本構成及び油圧機器

油圧装置の基本構成を図式化して表しますと図1.5のようになります。

ここで、構成要素の機能を示しますと、次のようになります。

- ① 油圧ポンプは機械的エネルギーを流体エネルギーに変換する働きをする機器。
- ② 油圧制御弁は流体エネルギーを持った油の圧力、流量及び方向を制御する働きをする機器。
- ③ アクチュエータは流体エネルギーを機械的エネルギーに変えて仕事をする機器。

以上①～③の油圧機器に油タンク、フィルタ、アキュムレータ、クーラ、管路などの附属機器が付随して一連の装置を形成しています。

一般に、駆動源には電動機やエンジンを使用します。油圧ポンプは電動機などの機械的エネルギーを受けて回転し、油タンクの油を吸い上げ、送り

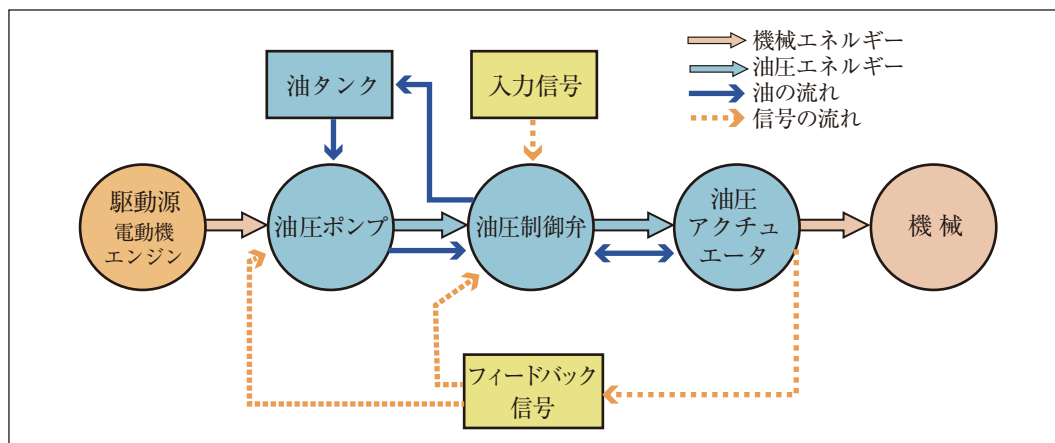


図1.5 油圧装置の基本構成

出すことにより高圧で流れる流体エネルギーに変えてアクチュエータに送ります。アクチュエータでは再び機械的エネルギーに変えて機械に仕事をさせます。この機械の仕事を目的に合ったように制御するのが油圧制御弁です。アクチュエータで仕事に変換された油は低圧油となり、制御弁を経由して油タンクに戻され、再び油圧ポンプに送られます。

1.3.6 油圧機器の種類

油圧機器にはいろいろな構造や機能をもっているものがあります。これらを機能や用途面から分類しますと図1.6のようになります。

1.4 おわりに

“油圧ってなに？”という人を対象に分かり易さを優先させてまとめたつもりです。初めて油圧を学ぶ人の参考になれば幸いです。

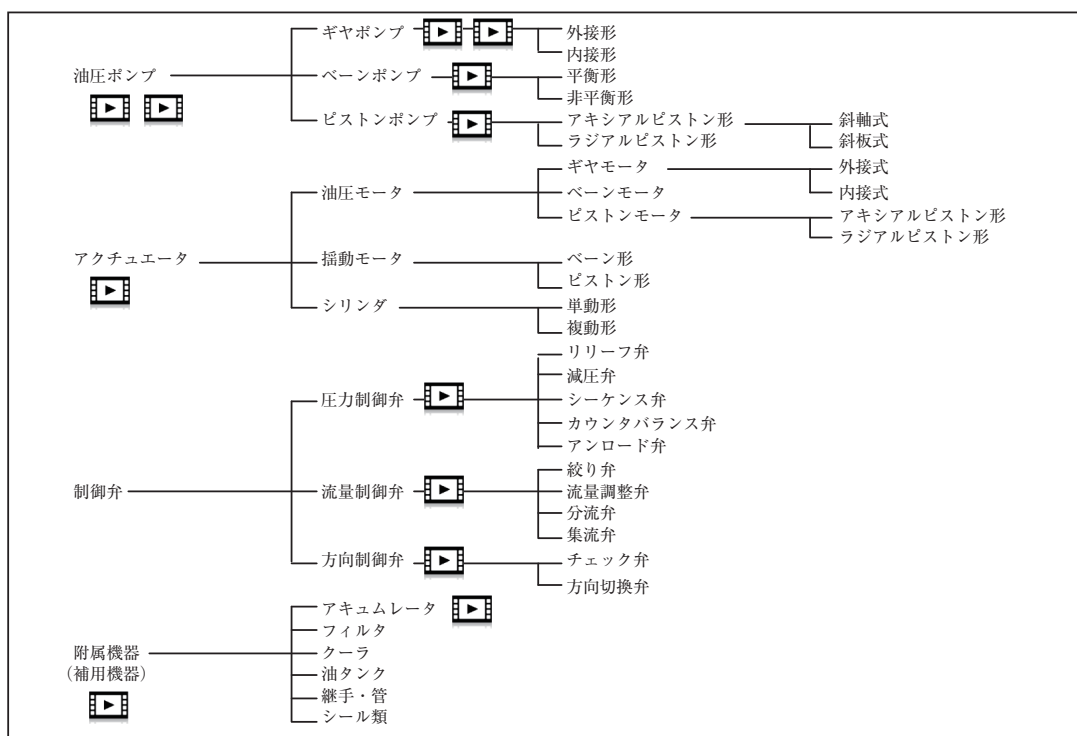


図1.6 油圧機器の種類

2. 自動車の油圧

2.1 はじめに



自動車には「走る」・「曲がる」・「止まる」の三つの基本機能があります。ドライバーの意思通りに、これらの基本機能が安定して充たされることによって、快適なドライブが可能となります。ステアリングの機能はこれら基本機能の一つ「曲がる」であり、タイヤの切れる向きと大きさを調整しています。ドライバーがハンドルを切るときの力を操舵力といいます。この力を補助するシステムに油圧が使われ、油圧パワーステアリング(以下パワステ)と呼ばれています(図2.1)。

パワステはおよそ30年くらい前から、普通乗用車にも普及を始めました。現在では、町で見かける乗用車の9割以上で標準装備されるほど一般的な

ものとなりました。

2.2 パワーステアリングと油圧

パワステは存在を意識しないほど当たり前のものとなりましたが、ハンドルの向こう側で非常に大きな力を発生してドライバーを補助しています。ドライバーはパワステ非装着車では大きな操舵力を必要とします。ところがパワステシステムがある車なら1トン以上もある普通乗用車の方向を変えるのに20~30N程度の操舵力でよく、簡単にハンドルを切ることができます。

この大きな力を生み出す油圧パワステのシステム構成を説明します(図2.2)。ハンドルの先を見てみると、コラム、シャフトからギヤとつながってその先にタイヤがあります。ギヤは配管類を通じてポンプ、リザーバとつながっています。ドライバーはこれらの機器を使ってタイヤの向きを変えるわけです。

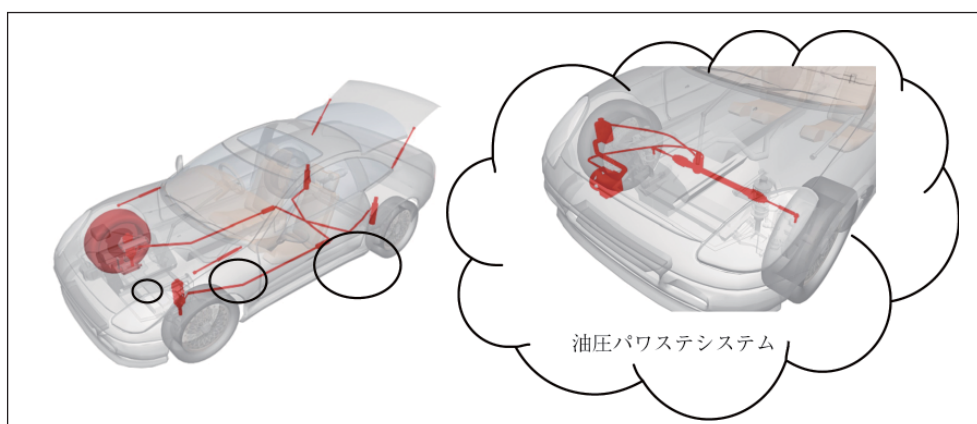


図2.1 油圧パワステシステムは自動車の油圧システムの一つ

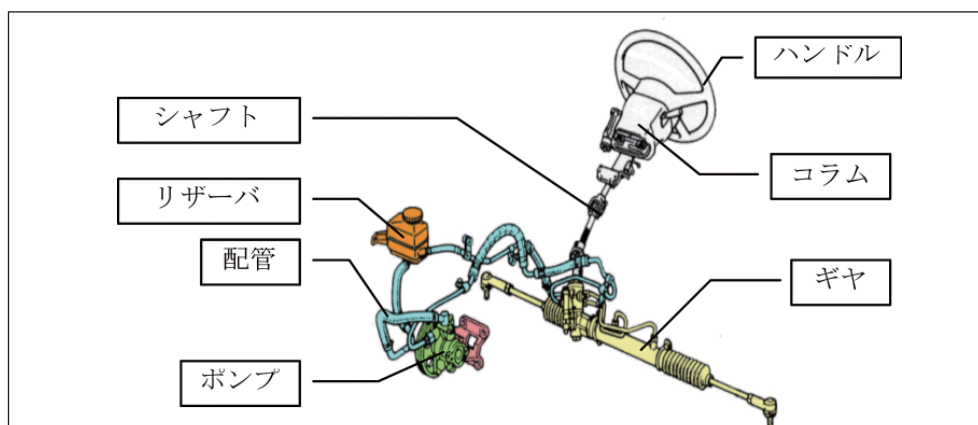


図2.2 油圧パワステシステムの構造

エンジンで駆動するポンプはタンクから油を吸い込みギヤに送り込みます。パワステには小形で静粛性に優れる何枚かの羽（ペーン）を使ったペーンポンプが一般的です(図2.3)。

ギヤの中には、低剛性部（ばね）とコントロールバルブが内蔵されていて、タイヤを押す力の大きさと向きをコントロールしています。ドライバーがハンドルを切ると、バルブが動いて通路の幅が変化します。このため油の流れる方向、大きさが変化して、流れの中に圧力の高低差が生じます。

この圧力差がギヤの先についているシリンダの

左右に導かれて、タイヤを押す力となります。直進走行ではバルブ内の通路の幅は均一であり、圧力差は生じません(図2.4)。

パワステは最初に述べたように、自動車の基本機能を担い、かつ安全にも直結しているため、厳しい使用環境でも壊れない頑健さが必要です。システムの圧力はトラック等の商用車においては最大で20 MPaに達し、乗用車用ポンプは8000rpmを超え、油の温度は130℃となることもあります。車が工場で組み立てられてからスクラップになるまで壊れないように設計されています。

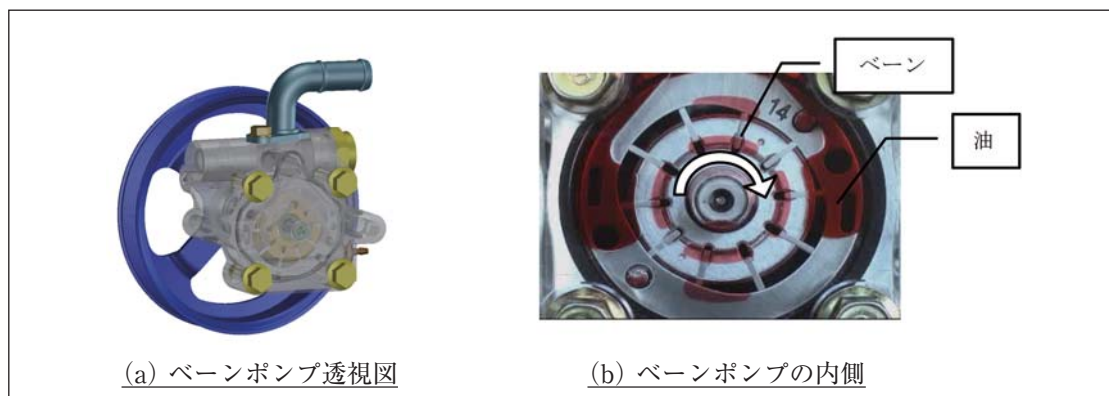


図2.3 油圧パワステ用ペーンポンプ

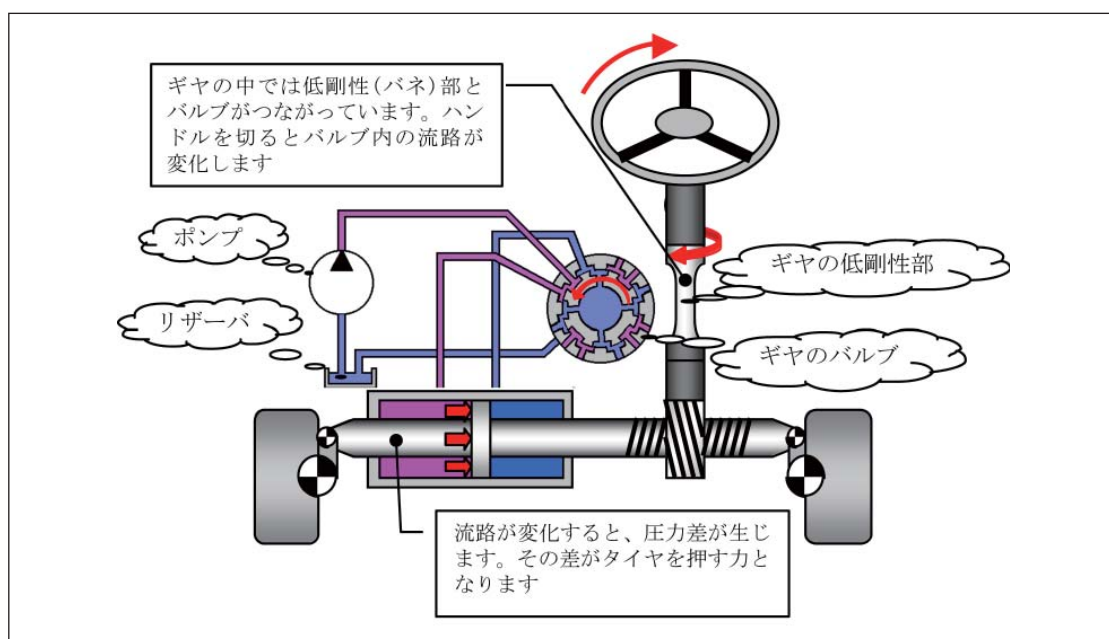


図2.4 油圧パワステ作動原理

3. 二輪車の油圧 (サスペンション)

3.1 はじめに



「二輪車のサスペンション」と聞いて、皆さんはどのようなイメージを持たれるでしょうか？ 乗り心地を良くするためのもの、車両に付いていることは知っているが普段は意識することがないもの、またオートバイに興味がある方なら華やかなレース用車両に装着されたスペシャルパーツや、アフターマーケットで市販されている高額な製品を思い浮かべるのではないのでしょうか。いずれにしても、その働きは油圧の教科書的にいえば「路面からの振動エネルギーを熱エネルギーに変換し、吸収する」であり、普段あなたが乗るオートバイも300km/h近いトップスピードを出すレース用オートバイも本質は同じです。

しかしながらサスペンションは単なるエネルギー変換器だけでなく、その働きは車両の運動特性に重要な意味を持ちます。また、その開発には台上試験はもちろんのこと、極めて優れたセンサーを持つ人間を相手にしなければいけない所に、底の見えない奥深さがあり、面白さがあります。

3.2 モトクロスレース用サスペンション

「ジャンプ着地の衝撃を見事に吸収する最強の足」

モトクロスレースは、山野の荒れ地に設定されたコースを専用設計されたオートバイでスピード



図3.1 モトクロスレース用フロントフォーク

を競うレースです。コースには大ジャンプ走行を伴う凹凸路もあり、非常に過酷な環境下で使われるが故に、モトクロス車に採用されるサスペンションは、最強のサスペンションでなければなりません。

図3.1に示すフロントフォークは、二輪車用サスペンション構造の中でも最強の構造部材です。図3.2のようにジャンプしたモトクロスライダーが着地時に車体が受ける衝撃とライダーが受ける衝撃をみごとに吸収する、緩衝器（ダンパ）としては最高の衝撃吸収性能をもつものです。

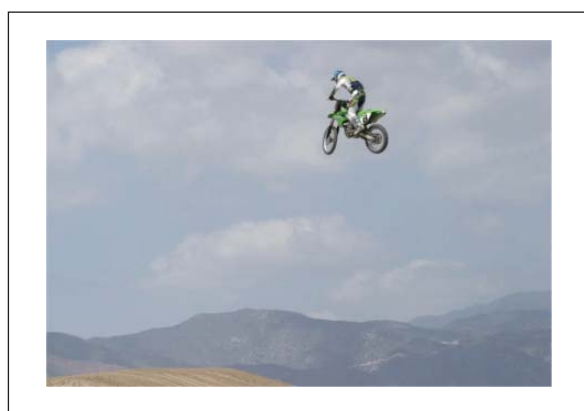


図3.2 ジャンプするモトクロスライダー

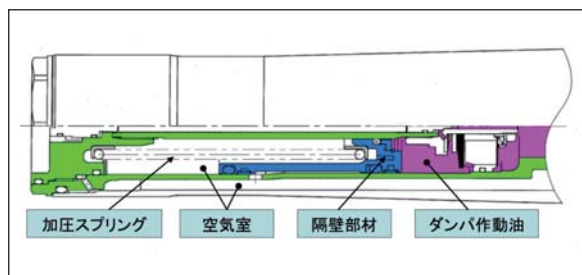


図3.3 フロントフォークのダンパ内部の加圧部構造

フロントフォークのダンパ構造は、減衰力応答性能を極限まで向上させるための工夫がされています。さらに図3.3に示すようにダンパ内の作動油が隔壁部材を介してスプリング荷重で加圧されることで、作動油の圧縮性による圧力伝達応答遅れを少なくし、ダンパ作動初期から高い減衰力を安定して発生させることを可能としているのです。

3.3 減衰力調整サスペンション

「ライダーの好みの乗り心地に最適調整できる足」
オートバイの乗り心地を決定するにあたり、サスペンションのチューニングは重要です。一般的にオートバイの乗り心地はライダーの体重、ライディングにより異なるものであり、人それぞれに合った好みが存在します。その乗り心地の好みに合わせ各種路面の凹凸に対応できるように最適調整できるサスペンション構造も採用されています。

図3.4の減衰力調整バルブ付サスペンションは、ダンパの作動速度域（低速・高速）に応じて、それぞれ独立に減衰力が調整できるものです。

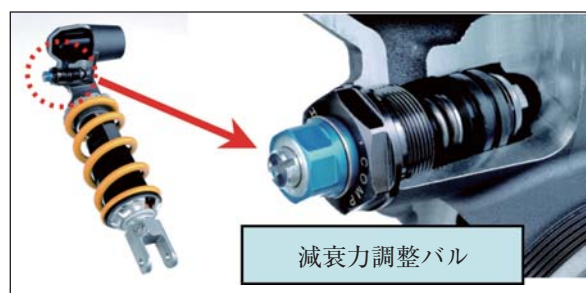


図3.4 減衰力調整バルブ付リヤサスペンション

図3.5に減衰力調整バルブの構造と調整部を操作した場合の減衰力の変化を表すグラフを示します。

サスペンションがゆっくりとした動きをする路面状況や走行状態で乗り心地を調整したい場合は低速調整部を、サスペンションが速い動きをする路面状況や走行状態で乗り心地を調整したい場合は高速調整部を調整します。この操作により各々の走行状況下におけるサスペンションの硬さをソフト～ハードまで無段階で調整することが可能です。

3.4 二輪車用電子制御式ステアリングダンパ

「高速直進安定性と軽快なハンドリング性の両立化」

近年、二輪車は動力性能の向上が著しく、高いシャシ剛性とタイヤグリップを有する車両が市販されています。高速走行時の路面外乱により、キックバックと呼ばれる操舵軸まわりの振動が発生するため、振動防止に操舵軸に減衰抵抗を与えるステアリングダンパが装着される場合があります。

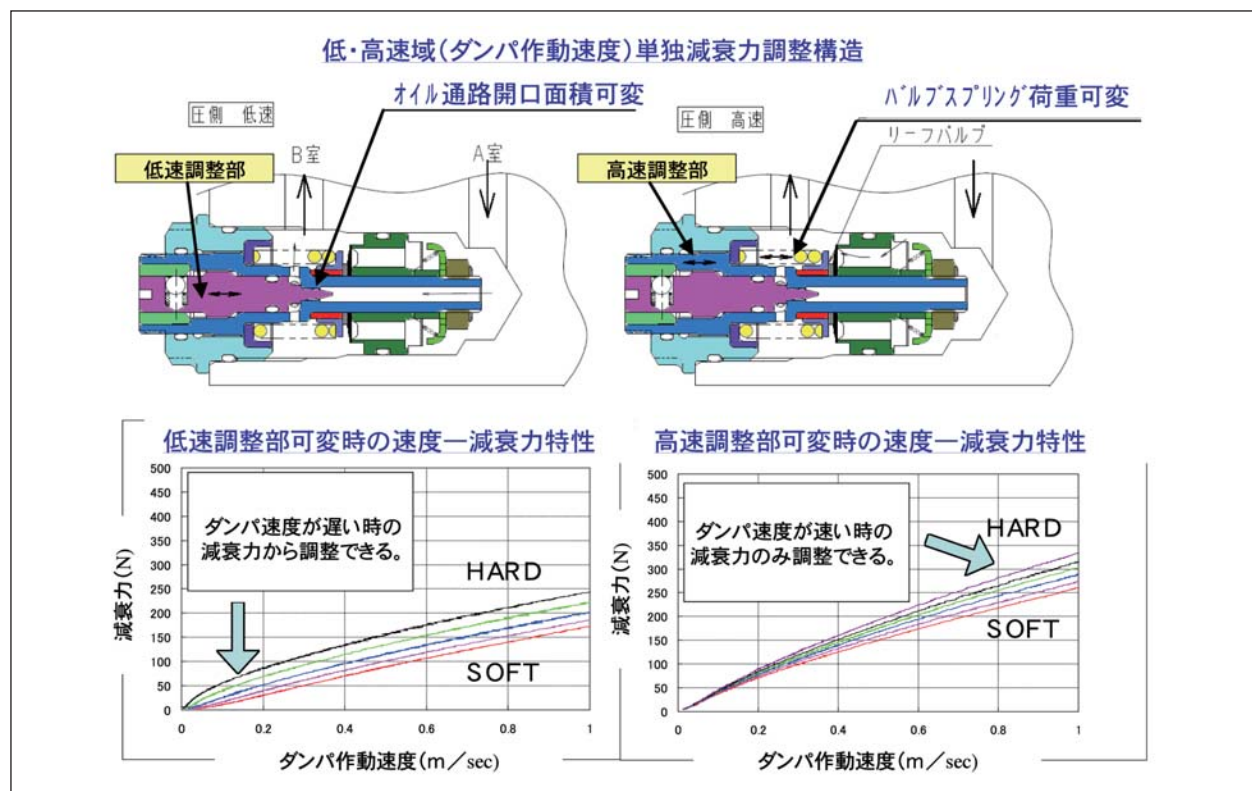


図3.5 バルブ構造と調整部操作時の減衰力特性



図3.6 二輪車用電子制御式ステアリングダンパ

従来のステアリングダンパでは、耐キックバック性確保に必要な減衰力を発生させると低速走行時に減衰力過剰となり、軽快な操縦性を阻害してしまう問題がありました。この問題を解決させる

ため、減衰力を走行状態に応じて可変にする図3.6の電子制御ステアリングダンパが採用されています。その卓越した高速安定性と軽快なハンドリングが多くのユーザーの支持を集め、今や必要不可欠な存在となりつつあります。

図3.7に電子制御式ステアリングダンパの油圧システム図を示します。ハンドル操舵に連動して作動するダンパは双方向制御バルブを備え、ここで発生する差圧を利用して必要な減衰抵抗を発生させています。その差圧調整を車速等の電子情報に基づき、絞り部を電氣的に可変させることで車両の状態に応じて適切な減衰抵抗を与える油圧システムとなっています。

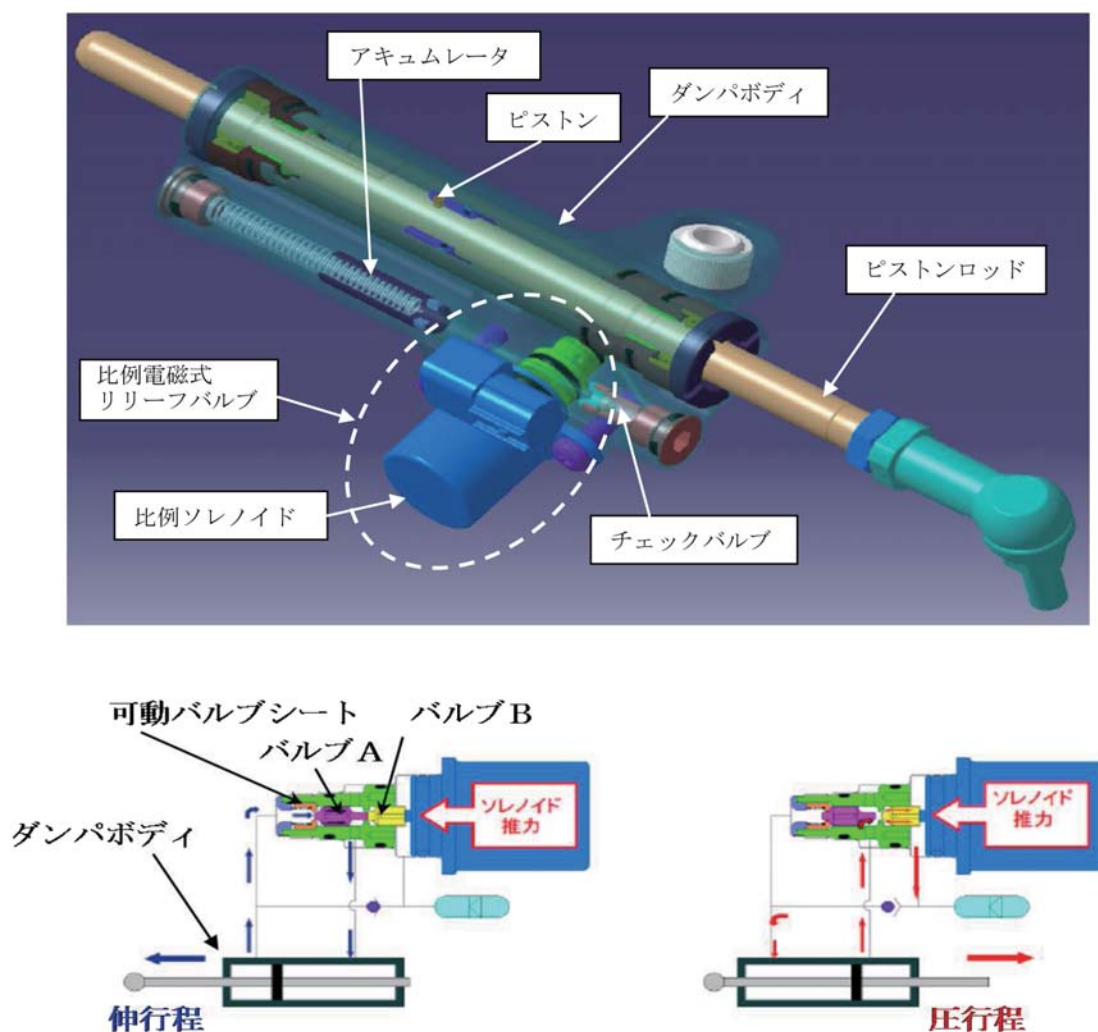


図3.7 ステアリングダンパの油圧システム

4. 農業機械の油圧

4.1 はじめに

農作業に利用されている農業機械の代表例には次のものがあります。

- (1) 耕耘整地用機械(トラクタなど)
- (2) 栽培管理用機械(田植機など)
- (3) 収穫用機械(コンバインなど)
- (4) 乾燥・調整用機械
- (5) 穀物加工用機械

これらの農業機械には油圧シリンダや油圧バルブ等、多くの油圧機器が使用されていますが、ここでは走行装置として使用されている油圧変速装置(HST: Hydro-Static Transmission)の話をします。

4.2 HSTの基本構成と特長

HSTの基本構成は油圧可変容量形ポンプと油圧定容量形モータを接続した閉回路構成が主流です。図4.1に示すポンプ、モータが一体構造の一体形HSTとポンプ、モータが別々に配置され、油圧配管で接続している分離型HSTに分別されます。ピストンポンプは入力軸を介し、エンジンなどの原動機に接続され、シリンダブロックの回転によりピストンが往復運動し作動油を吐出します。ピストンポンプより吐出された作動油は油圧通路を通り、ピストンモータへ供給され、動力を出力軸に伝達します。

ピストンポンプは吐出流量や吐出方向をトラニオン軸の操作ひとつで変化させる事が可能であり、油圧モータの出力回転速度、回転方向を容易に変化できるため、以下の特長があり、車両の操作性が向上します。

- ① 出力回転数をゼロから最大まで無段変速できる
- ② 出力軸の回転方向を連続的に正逆転できる
- ③ 閉回路構成によってダイナミックブレーキが得られる

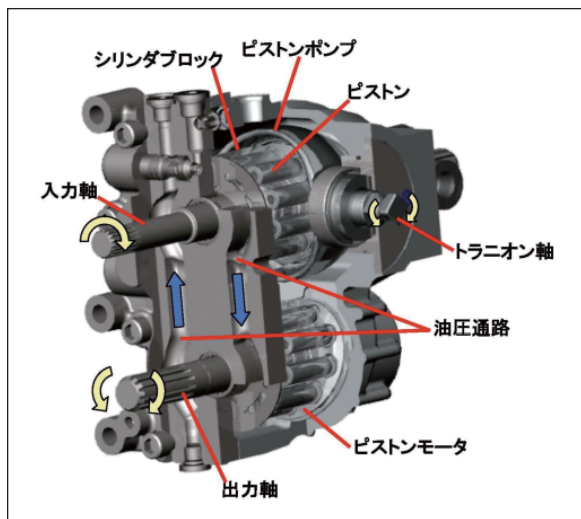


図4.1 一体形HSTの構造

4.3 小型トラクタ

(a) HST搭載のメリット

図4.2に示す小型トラクタは農作業から軽土木作業まで幅広い用途に使用されており、一般の車両と大きく異なるのは、作業中の速度が遅く、作業内容によって適正な作業速度があります。一方、圃場間の移動やトラレーけん引を行う場合は、高速走行が要求されるといった特長があります。



図4.2 小型トラクタ

マニュアルギヤシフト式では変速段数を多く持ち頻繁なギヤチェンジ操作が必要なため操作性が悪く、自動車のようなオートマチック変速機はノークラッチで変速ができ操作性は良いですが、自動

車などに比べ、低速で高負荷の作業から高速で低負荷の走行まで幅広い変速領域が求められるトラクタは、複雑な構造となりコストが高くなります。そのため、操作性が良くオートマチック変速機より安価なHSTを搭載する車両が多く見られます。

(b) 操作性の向上と省エネ

近年では、電子コントローラにより速度制御を行う電子制御HSTを搭載した車両が製品化されています。

従来は車両の操作ペダルやレバーに連結された、斜板のトラニオン軸を操作し、車両の速度を変化させていますが、電子制御HSTは車両に搭載された電子コントローラからの電流信号により電磁比例ソレノイドバルブを駆動させ、ソレノイドバルブにより作り出された制御圧力に応じたサーボピストンの変位によりポンプ容量をコントロールさせています(図4.3参照)。

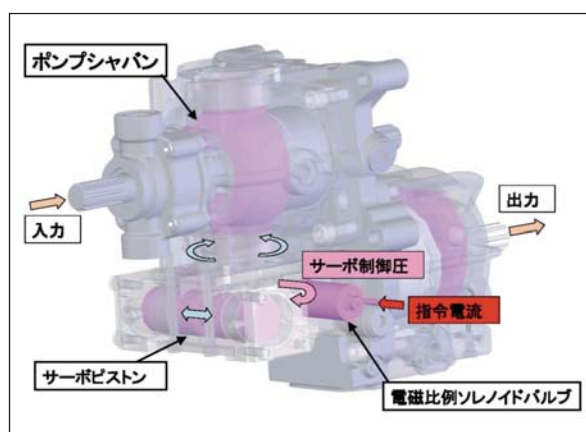


図4.3 電子制御サーボレギュレータ搭載HST

このような電子制御HSTは、HST負荷圧力、出力回転速度、エンジン回転速度、ペダル変位等に取り付けられたセンサからの電気信号をコントローラに取り込むことにより、多彩な制御が可能となります。車両の必要出力に応じた適正な斜板傾角に制御し、エンジン馬力消費を抑制することや、エンスト防止機能、オートクルーズ機能など、車両の操作性や省エネを向上することが可能となります。

4.4 コンバイン

(a) HST搭載のメリット

稲麦専用の自脱形コンバインの乗用タイプは多くがHSTを搭載しています(図4.4参照)。



図4.4 自脱形コンバイン

HSTを搭載するメリットとしては、急な傾斜のある圃場の出入りでは超低速で走行し、畦際での作業は注意深く低速で走行し、圃場の中心部では最高速度で作業するといったように、圃場の場所によって速度を無段階に調節できます。

また、土壌や稲の状態により、微妙な作業速度の変化を必要とする場合の速度調節や、圃場の入口や付近など狭い場所での刈取作業や方向転換時は前後進を頻繁に繰り返し、少しずつ方向を変えていくため、ノークラッチで前後進を切り替えられるHSTは、操作性が極めて良いものになっています。

4.5 おわりに

農業機械の走行用としてHSTは、その特長から多く採用されていますが、自動車等の他分野では伝達効率の良いCVTなどの機械式無段変速機が多く採用されてきており、油圧駆動装置としても、伝達効率の向上、騒音レベルの改善等の基本性能を向上していく必要があります。

また、一部の車両で採用されているHSTと機械式変速機の組合せで、それぞれの長所(無段変速と高効率)を生かしたHMT (Hydro- Mechanical Transmission) など、効率化、省エネに向けた、油圧技術の開発や製品化が期待されます。

5. 特装車の油圧

5.1 コンクリートミキサ車って？



図5.1の写真のような車を街中で見かけたことがありますか？これが、コンクリートミキサ車(以下、ミキサ車)です。このミキサ車は生活に必要不可欠なビル・橋・トンネル造りなどに使われるコンクリートを運搬する車です。

普段、皆さんが目にするコンクリートは固まった状態だと思います。しかし、製造直後のコンクリートはやわらかく、流動性があります。この、やわらかい状態のコンクリートを「生コンクリート(以下、生コン)」と呼んでいます。

生コンは時間経過と共に性状が変化し、最終的には固体化します。そのため、なるべく製造直後の状態を保持できるよう、ドラムを回し、内部のブレード(図5.2)で搅拌しながら運搬しています。

5.2 油圧ってすごい！

生コンは粘っこい性質をしています。そのため、生コンの入ったドラムを回すには大きな力が必要になります。そこで活躍するのが油圧ポンプ・モータです。車両に搭載するため、大きさ・重さの制限を受け、更に高トルクを要求されるミキサ車には油圧機器が必須なのです。

5.3 ミキサ車の問題点

しかし、問題点も少なからずあります。生コンを排出する前にドラムを高速で回し、練り混ぜる必要があります。ドラムを高速で回すには、エンジン回転を上げるため、うるさく、燃料も多く消費します。

また、ドラム操作のレバーが車両後方にあり、走行中、木の枝などに引っかかり、ドラムを排出側に回して、生コンを路上にこぼすこともありました。

排出前混練やドラム内部洗浄作業は、作業者の



図5.1 コンクリートミキサ車

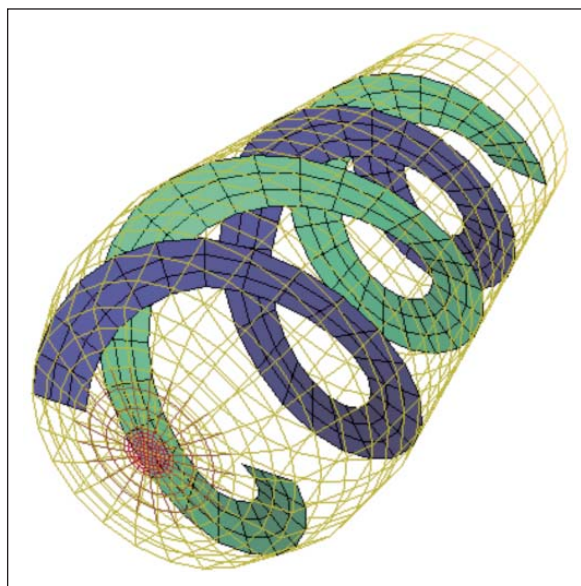


図5.2 ドラム内部ブレード



勘やコツで行われており、人によるばらつきの原因にもなっていました。

5.4 電子制御でいいことづくし!!

そのような問題を解決するため、油圧とエレクトロニクスのコラボレーション製品を開発しました。それが、「eミキサ」の愛称で親しまれている「電子制御ミキサ車」です。油圧のパワーとエレクトロニクスの頭脳を併せ持ち、従来の問題点を一気に解決しました。

油圧モータに1速、2速切替え機能を持ち、低負荷時には従来の半分のエンジン回転ですみます。これにより、低騒音・低燃費となりました。

車両が走行状態になると、電子頭脳でドラム回転が走行モードに切り替わります。ドラムは自動的に正転側で回り、誤動作などはありません。

混練・洗浄はボタン一つで決められた動作を実行します。人によるばらつきもなく、作業者はボタン一つの自動作業で、楽になります。

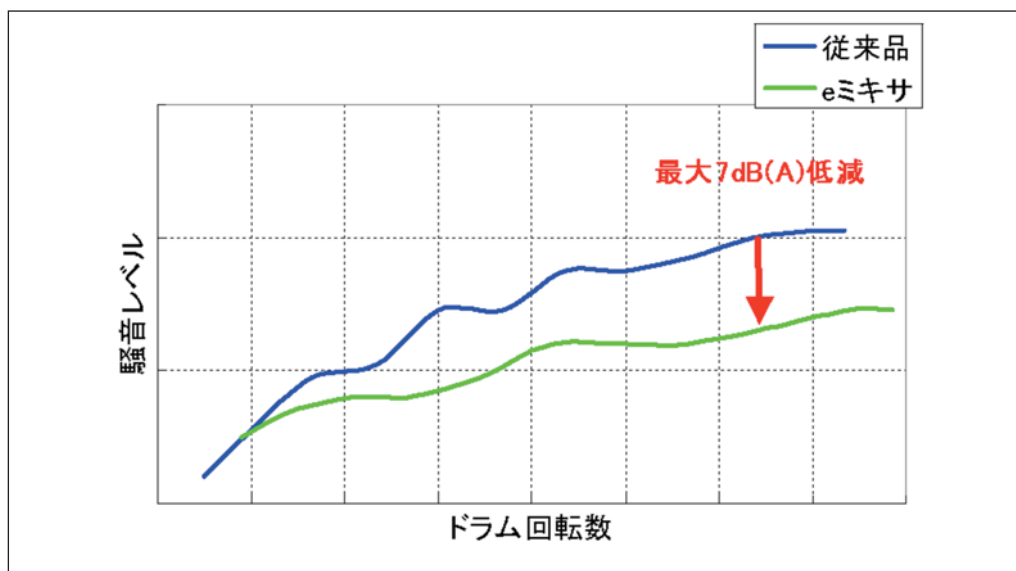


図5.3 騒音比較

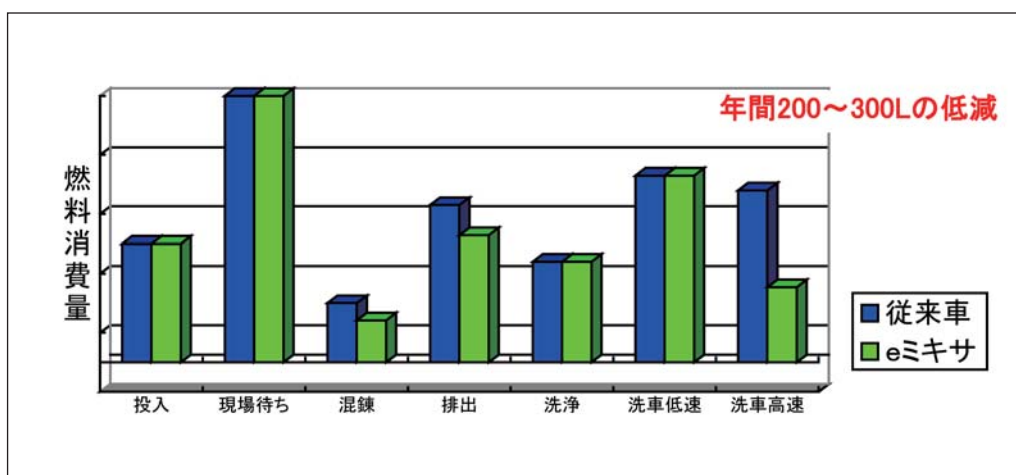


図5.4 作業ごとの年間燃料消費量比較

6. ゴミ収集車の油圧

6.1 はじめに



毎日、大量のゴミが家庭やオフィスから発生します。そのゴミを収集し、焼却施設などに運搬する車両が、図6.1に示すゴミ収集車と呼ばれるものです。

皆さんも、ゴミ収集車がゴミ集積所にやって来て、ゴミの回収作業をしているところを目にしたことがあると思います。この時、ゴミは車両の後部のホッパー内にある積込み装置に投入され、圧縮プレートで荷箱に押し込まれているのです。その際、ゴミを圧縮する装置は油圧で制御され、限られた荷箱の空間に、効率よく押し込まれていきます。

6.2 ゴミ収集車の種類

私たちが目にするゴミ収集車は、ゴミの積込み方式により大きく分けて回転板式とプレス式の2種類があります。

(1) 回転板式

ホッパー内に投入されたゴミを回転板で救い上げて、押込板で荷箱内に押し込む方式です。

図6.2のように、

- ①反転作動では回転板が右回転しはじめます。
- ②かき込み作動では後部のホッパーの底部にあるゴミを回転板でかき上げ、押込板の前に運びます。
- ③押し込み作動では上部にある押込板でゴミを荷箱へ押し込みます。

回転板は、油圧モータで、押込板は油圧シリンダで制御されます。

(2) プレス式

ホッパー内に上下する圧縮板があり、ゴミをプレスしてからかき上げて荷箱内へ積み込む方式です。

図6.3のように、

- ①反転作動では圧縮板の先端を持ち上げます。
- ②1次圧縮作動では圧縮板をスライドさせて下げて行き、ゴミを圧縮します。
- ③2次圧縮作動では圧縮板の先端を下げてホッパーの底部にゴミを押し付けて圧縮します。
- ④押し込み作動では圧縮したゴミをかき上げて荷箱内へ積み込みます。

圧縮板は油圧シリンダで制御されます。



図6.1 ゴミ収集車

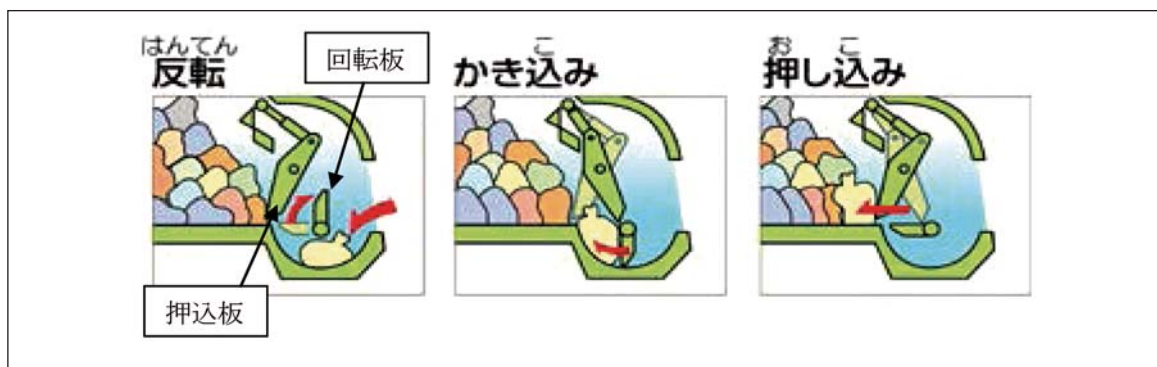


図6.2 回転板式

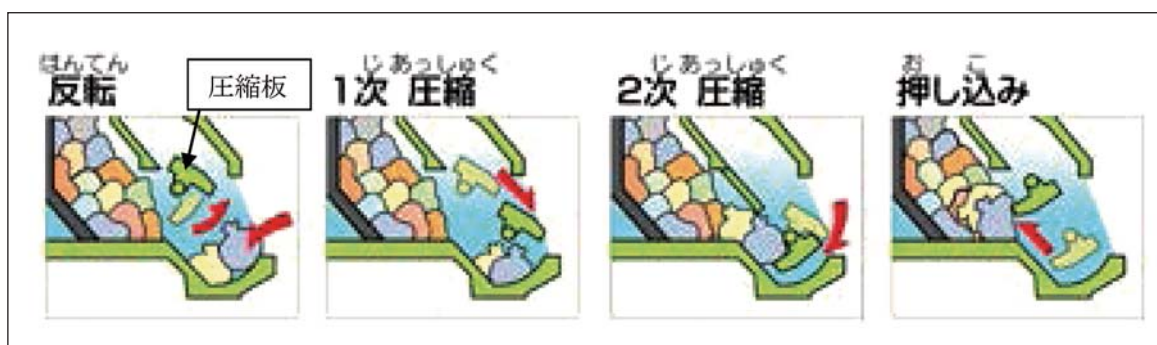


図6.3 プレス式

6.3 ゴミ収集車と油圧

ゴミ収集車には、効率よく多くのゴミが荷箱に積み込める機能が要求されます。また、圧縮するための装置には回転作動、直線作動が要求されます。そのため、パワーの制御と、動作の方向を容易に制御できる油圧が使用されています。

6.4 基本的な油圧システム

ゴミ収集車の油圧システムは、主として次の油圧機器で構成されています。

また、図6.4が基本的な油圧機器の構成です。

- ①油圧ポンプ：エンジンなどの原動機にPTO（パワー・テイク・オフ〈英: Power take-off〉は、車両駆動用のエンジン動力を作業機の駆動のために取り出す機構のこと。）を介し接続され、入力軸が回転することで作動油を吐出し、シリンダや油圧モータを作動させます。
- ②方向切換弁：油圧ポンプから吐出された作動油の方向を制御し、シリンダや油圧モータの

運動方向を変えます。

- ③圧力制御弁：システムの圧力を制御し、積み込み能力を適切に制御します。
- ④シリンダ：直線運動により、押込板を上下運動させゴミを適切に圧縮します。
- また、ゴミの排出時にホッパーを開閉させます。
- ⑤油圧モータ：回転板式の回転板の動きを制御します。回転板に適切なトルクを与え、ゴミを適切に圧縮する機能を持っています。

なお、回転板と押込板などの圧縮装置は、お互いが干渉しないよう、作動の開始と終了を制御しなければなりません。このため、装置の位置をリミットスイッチで検出し、その信号で方向切換弁を作動させ、適切に制御しています。

6.5 油圧システムの変遷

使用されている油圧ポンプは、主として、固定容量形のギヤポンプと、可変容量形ピストンポンプに大別されます。ギヤポンプはシンプルな構造であり安価であるというメリットがあります。

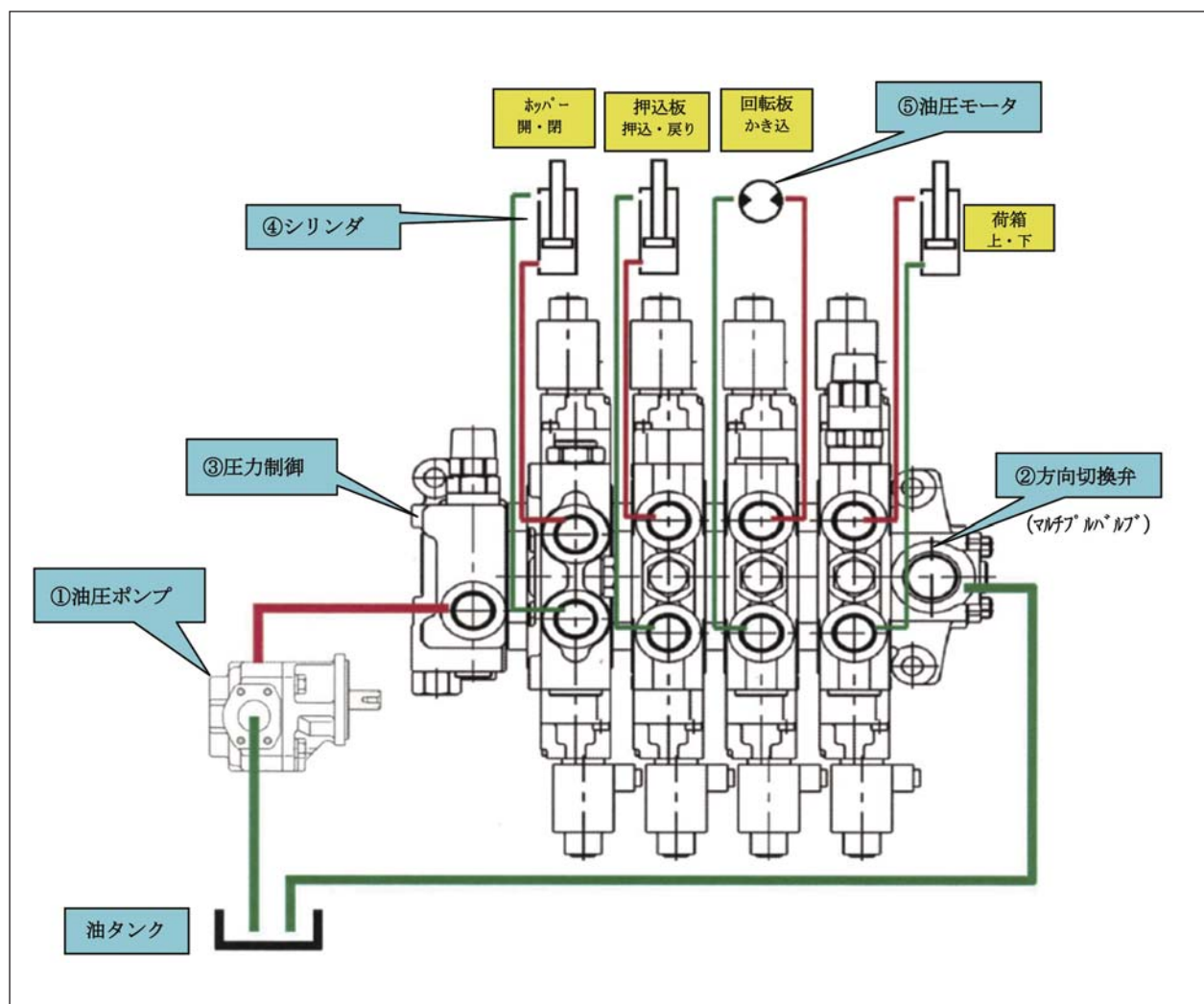


図6.4 基本的な油圧機器の構成(例)

一方、省エネへの対応には可変容量形ポンプが有利であることから、可変容量形ポンプが使用されているケースもあります。可変容量形ポンプを使用するメリットとしては次のようなことがあります。

- ① ポンプは一定流量に達すると、それ以上増えないように制御することができます。これにより、エンジン回転数を増加させても、積み込み装置の速度は変わらないため、アクセルをふかすことがなく、騒音低減に有効です。
- ② 圧力が一定値まで上昇すると、ポンプは必要な圧力を保持しつつ、吐出量を小さくします。これにより省エネ性の向上に有効です。

6.6 おわりに

私たちが目にするゴミ収集車には、積み込み装置を制御するため油圧システムが採用され、多くの油圧機器が活躍しています。

ゴミ収集車は私たちの生活と密接な関係があるため、住宅街で稼働する機会が多く、また、運転される頻度の高い車両でもあります。

このことから、油圧機器には、低騒音化と省エネのための効率の向上が期待されています。

7. 荷役・運搬機械の油圧

7.1 はじめに



重量物のハンドリングを仕事の目的とする、クレーンやフォークリフトがこの分野の代表的な機械です。図7.1にフォークリフトに装着される油圧機器を示します。

フォークリフトにおけるメカトロ技術の応用は比較的早く1980年代前半にはオペレータの作業負荷を軽減するために荷役操作を電子制御する方式が登場しています。

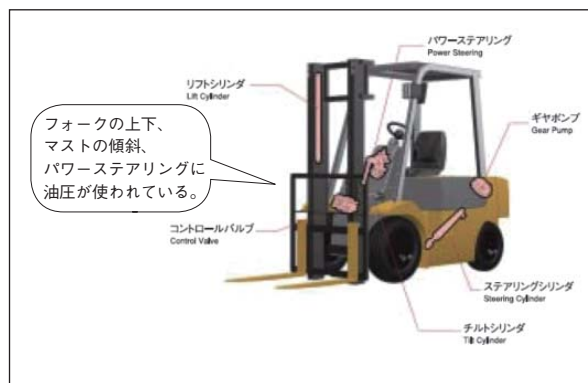


図7.1 フォークリフトに装着される油圧機器

7.2 フォークリフトの操作

通常、フォークリフトの操作レバーはハンドルの右側に一列に配置されており、コントロールバルブのスプールを直接押し引きする機械式リンクが使用されています。

機械式リンクでは、スプールを中立に戻すためのリターンスプリング力とスプール切換えで発生する油圧反力に対抗しなければなりません。このレバーを指先で操作できるようにして、オペレータの作業負荷を軽減するシステムにメカトロが活用されています。(図7.2)

ジョイスティックからの信号をECU (Electric Control Unit) で演算処理してコントロールバルブのソレノイドにレバーの操作角に応じた電流を出力します。ソレノイドは電流を力に変えて、減圧弁で力に比例した圧力に変換し、この圧力でスピールのストロークを決定します。こうしてオペレータの指先の操作だけで、必要な力とスピードで荷物を動かすことができるのです。また、静かに動かしたいとき、素早い操作を行いたいなどの操作モードもソフトウェアで簡単に変更できるのが特徴です。

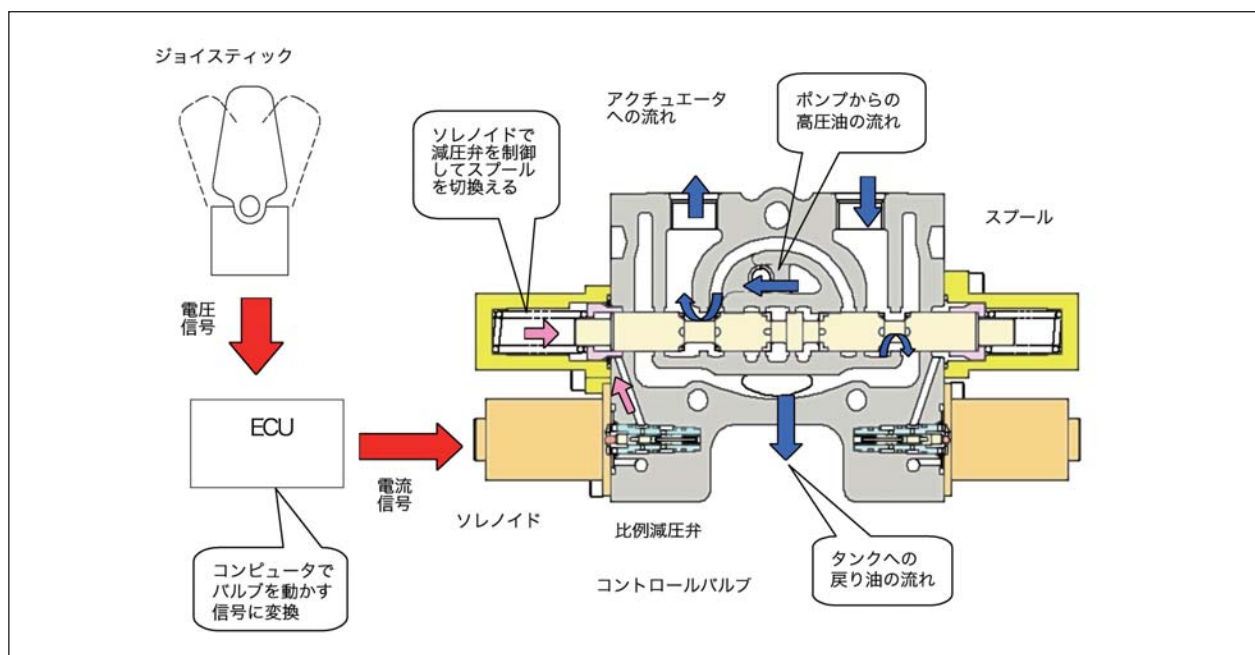


図7.2 電磁比例制御

ただし、日本国内での実施例は少なく、作業者の快適性を重要視するといわれているヨーロッパでの普及率が高いのが特徴です。

最近では、フォークリフトの安全性を高めるためにメカトロ技術を応用する傾向が高まっています。後輪の車軸に配置した油圧シリンダを電子制御して、ハンドル操作時の車体の傾きを制御することで転倒を防止する方法や、荷役作業中の事故を防止するための安全機構などにメカトロ技術が応用されています。オペレータがシートに座らずに、レバーを操作して荷役作業を行うことによる人身事故を防止する目的で、このような状態で操作をできないようにする安全機構が、国際規格化(ISO)される動きがあります。

コントロールバルブのスプールをソレノイドによって機械的にロックする方法とポンプから送られてきた油を、そのままタンクに戻すことで油圧シリンダを動かなくする方法などが、すでに実用化されています。

また、チルトを任意の位置で止められるオートレベリング装置なども、コントロールバルブで実現されており、フォークリフトの操作のし易さに貢献しています。フォークリフトには、ガソリン

やLPGを燃料とする内燃機関を走行及び油圧ポンプの動力源とするエンジン車と、バッテリーに充電された電気で行用モータと油圧ポンプ用モータを駆動するバッテリー車があります。

バッテリー車は、排出ガスゼロ、低騒音という環境への配慮要求の高まりに合わせて需要が高まっています。これに合わせて歯車の噛み合いバックラッシュをほぼゼロにし低騒音化を図ったゼロバックラッシュタイプのギヤポンプ(図7.3)も採用されています。

また、バッテリー車では、操作状態に応じてモータの回転数を制御して、ポンプからの吐出流量を変化させる方法は、古くから実施されていました。モータ回転数制御を更に進化させて必要な流量だけをポンプから吐出させるなど、作業の効率化、バッテリー持続時間の延長が今後の研究開発課題です。

エンジン車では、操作性や安全性を向上させるためにメカトロ技術が使われていることは、述べてきましたが、排ガス減少など環境にやさしい技術開発としてハイブリッド化や油圧回生、燃料電池等の省エネ技術の開発も進められています。

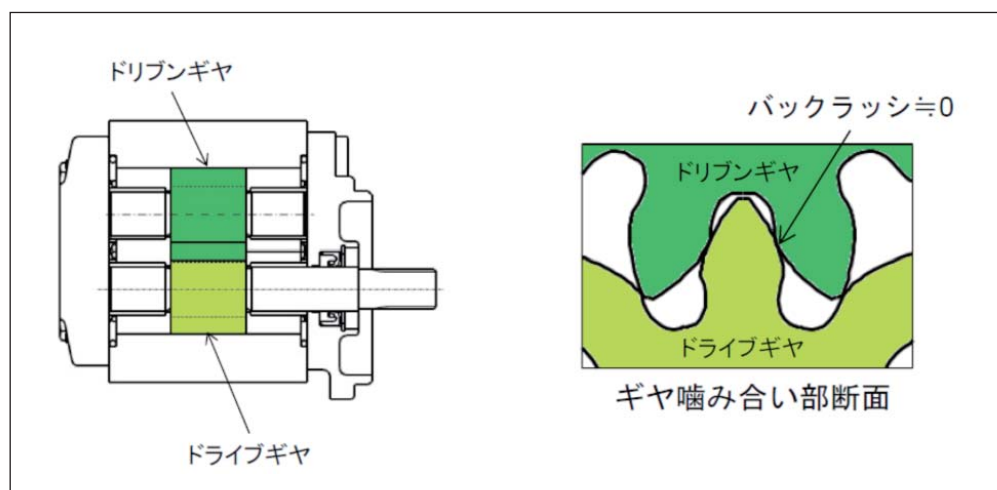


図7.3 ゼロバックラッシュタイプのギヤポンプ

8. 土木・建設機械の油圧

8.1 はじめに



力強い腕で大地を切り開き、さまざまな道具を付け替えることにより都市土木からビルの解体、果ては地雷の除去にまで適用される油圧ショベル。今や世界中のあらゆる作業現場で見ることができるお馴染みの機械ですが、これだけパワフルで器用な腕を2本持てばもっと色々なことができると考えたことはありませんか。テレビアニメで見るようなロボットを連想させる、そんな機械が日本の建設機械メーカーによって開発され、現在テストが続けられています。それが図8.1に示す双腕型作業機です。

8.2 双腕型油圧ショベル「ASTACO」

この機械はASTACO (Advanced System with Twin Arm for Complex Operationの略称) と呼ばれており、スペイン語でザリガニを意味します。図8.1からわかるように通常の油圧ショベルの車体左右前方に2本の腕を有し、運転席はその真ん中にあります。本機は建物の解体やスクラップ処理作業を対象として開発しました。

この機械は形もユニークですが、目的の作業を有効に行うために以下に示すいくつかの特徴ある機能・システムを有しています。



図8.1 ASTACO

特徴1. 複雑な作業が可能

ASTACOは左右2本の腕を有し、「掴みながら対象物を切る」「支えながら、対象物を引っ張り出す」「長い対象物を折り曲げる」といった、1本の腕のみでは不可能な複雑な作業を行うことができます。(図8.2)

また、操作方式もユニークで通常の油圧ショベルと異なり、1本の操作レバーで片方の腕を操作することにより両フロント同時操作を実現しています。さらに操作方式、レバーの構成・配置を工夫することによってオペレータによる直感的な操作を実現しており、長時間作業時の疲労軽減を図っています。(図8.3)



掴みながら切る



支えて、引っ張り出す



長いものを折り曲げる

図8.2 複雑な作業



捜査レバー



運転姿勢

図8.3 操作方式

特徴2. 繊細な作業

本機は先端アタッチメントの把持力制御機能を有しており、オペレータの指示に従って掴む力が自在にコントロールされます。鋼材などの硬い材料を掴む際は大きな力で掴みますが、塩化ビニールやプラスチックなど軟らかく壊れやすい材料を掴む場合はそれらを壊さないように柔らかく掴むことができます。ASTACOは繊細さとパワーを両立した作業が行えるのです。(図8.4)



繊細作業

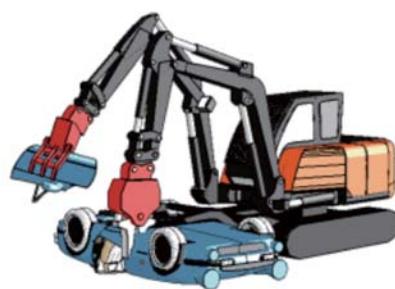


大出力作業

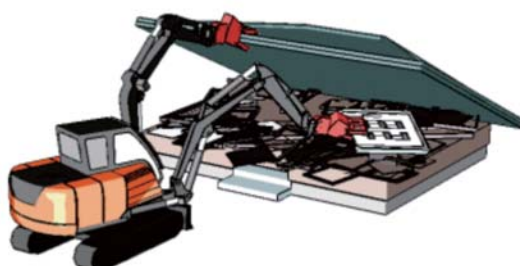
図8.4 両立した作業

8.3 双腕作業機の未来

ASTACOは自由度が大きい割には直感的に操作でき、操作自体は数日で慣れることができます。また、双腕を駆使してトタンの折り曲げや不定形構造物の任意箇所切断など、単腕では困難あるいは不可能な複雑な重作業を行うことが可能です。今後は実用化に向けて、更に実現場でのフィールドテストを行っていくのと同時に、災害復旧や原子力発電所解体など大型重機が活躍できる分野への拡大を図っていきます。(図8.5)



作業イメージ図(自動車解体)



作業イメージ図(災害救助・復旧)

図8.5 活躍できる分野

9. トンネル掘削用自由断面掘削機の油圧

9.1 はじめに



道路、鉄道といった交通網は、日常はもとより、災害時などの緊急事態においても、その利便性を求められています。特に、日本の国土の70%以上を山地が占めていて、鉄道や高速道路、利便性を向上させるためのバイパス等は直線が望ましいため、必然的にトンネルが占める割合は高くなります。

山の下を通るトンネル、いわゆる山岳トンネルにおいて、最初に行う施工は掘削で、大きく分けて二つの方式があります。爆薬による爆発力を利用した発破掘削方式(図9.1)と、自由断面掘削機などの掘削機を使用する機械掘削方式(図9.2)です。

ここでは、自由断面掘削機について説明します。

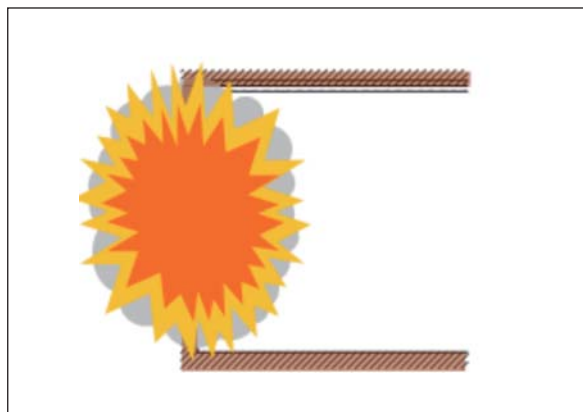


図9.1 発破掘削方式

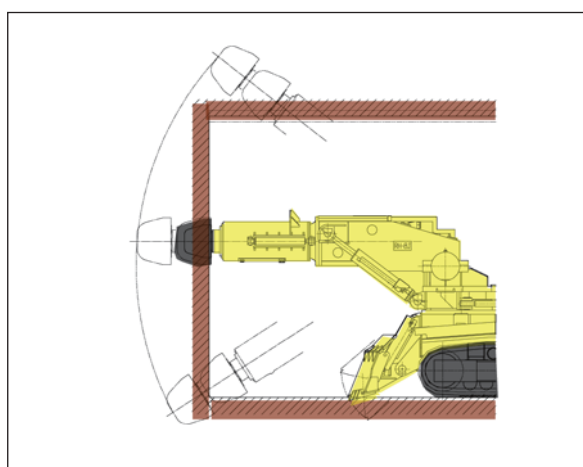
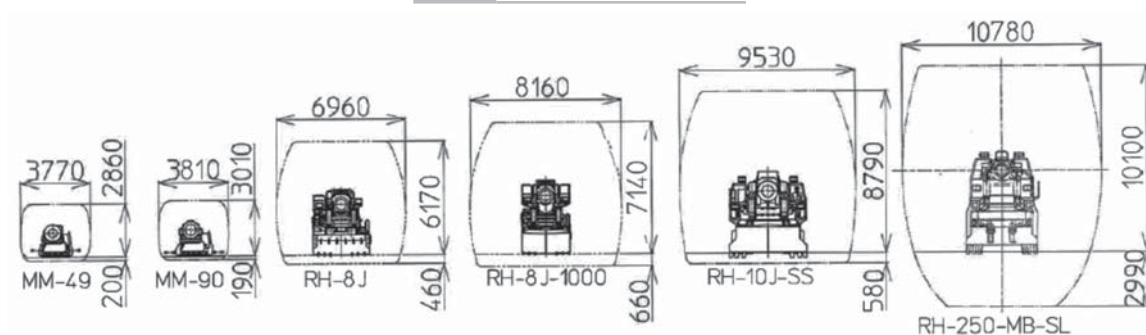


図9.2 機械掘削方式

9.2 自由断面掘削機の種類

自由断面掘削機の主な機種と比較表を表9.1に示します。

表9.1 自由断面掘削機の種類



機 種	電動機出力 (kW)	機体寸法 (m)	掘削寸法 (m)	機体質量 (ton)
ミゼットマイナー MM-49	49	H1.7×W2.0×L7.9	H2.8×W3.8	24
ミゼットマイナー MM-90	90	H1.7×W2.0×L8.0	H3.3×W3.8	25
ブームヘッダー RH-8J	240	H3.2×W3.0×L12.2	H6.2×W7.0	54.5
ブームヘッダー RH-8J-1000	240	H3.2×W3.0×L12.9	H7.1×W8.1	55.5
ブームヘッダー RH-10J-SS	330	H3.9×W4.2×L22.2	H8.8×W9.5	120
ブームヘッダー RH-250-MB	250	H5.5×W4.2×L21.6	H9.0×W9.0	105
ブームヘッダー RH-250-MB-SL	250	H5.1×W3.9×L23.1	H10.0×W10.7	120

9.3 自由断面掘削機の特徴

ここでは図9.3に示した自由断面掘削機「RH-8J」を例に、その特徴について説明します。

RH-8Jは、高さ6～7m程度までの自動車及び鉄道用山岳トンネルで使用されています。

動力源は400V交流電源で、カッターは240kW電動機+減速機、その他のアクチュエータには、55kW電動機+可変容量形ピストンポンプ1台と、固定容量形3連ギヤポンプで油圧を供給しています。

掘削はカッターブーム先端のカッターヘッドを回転させ、カッターブームで岩盤に押付けることにより行います。カッターブームは、上下、旋回、カッタースライド(ブーム先端が伸びる)の組合せで自由な作動領域を確保しています。それぞれが油圧シリンダで作動され、カッターヘッドを岩盤に、12トン程度の力で押付けます。各シリンダの回路には特殊なカウンターバランス弁を配置し、掘削力を常に維持できるようにしています。

また、掘削の抵抗などからカッターブームの作動速度が遅くなった場合、作動速度に合わせた適正なポンプ吐出流量をコントロールする、可変容量形ピストンポンプを用いた省エネ設計となっています。

振動対策として、バルブスタンドの下に防振ゴムを配置し、バルブスタンドを振動から保護しています。

走行はクローラで行い、トンネル現場の荒れた路面でも安定した走行を可能としています。アクチュエータは一般のクローラと同様の、クローラ用減速機付き油圧モータを採用しています。

機体の前後に装備された、フロントリガー、アウトリガーを油圧シリンダで掘削時に張り出すことにより、機体を安定させて掘削反力を受けています。

ケーブルリールは、長さ100mのケーブルを巻いたドラムで、油圧モータにより自由に巻取り、繰出しを可能としていて、機体に追従したケーブル長さを調整することができます。

操作は全て有線式の操作リモコンで行なうことができ、持ち運べることから、操作者は安全なところから掘削可能で、また作動範囲に他の作業員がいないか等の確認性に優れています。

9.4 他機種紹介

図9.4に、RH-8J以外の自由断面掘削機を紹介します。

- ① RH-10J-SS：カッター電動機出力330kWの最大級の掘削機。硬岩掘削に適し、大断面で用いられる。
- ② RH-250-MB-SL：最大の特長は、本体のフレームにもスライド機構を有していることで、掘削効率が高い。



図9.3 RH-8J 全体



①RH-10J-SS

②RH-250-MB-SL

③ミゼットマイナー

図9.4 他の機種

③ミゼットマイナー：水路トンネル等の小断面トンネルに用いられる小型掘削機。

9.5 山岳工法

図9.5に代表的な工法であるNATM（新オーストリアトンネル工法）を紹介します。

この工法は、主に山岳トンネルに用いられ、図9.5に示す機械類を用い、掘削した部分を素早く吹き付けコンクリートで固め、ロックボルトを岩盤奥深くまで打ち込むことにより（図9.6参照）、地山自体の保持力を利用してトンネルを保持する工法です。

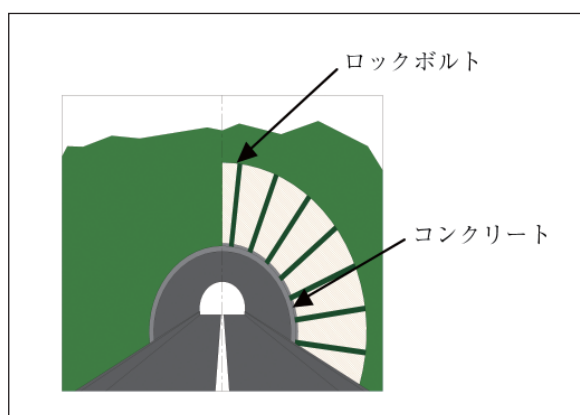


図9.6 トンネル断面図

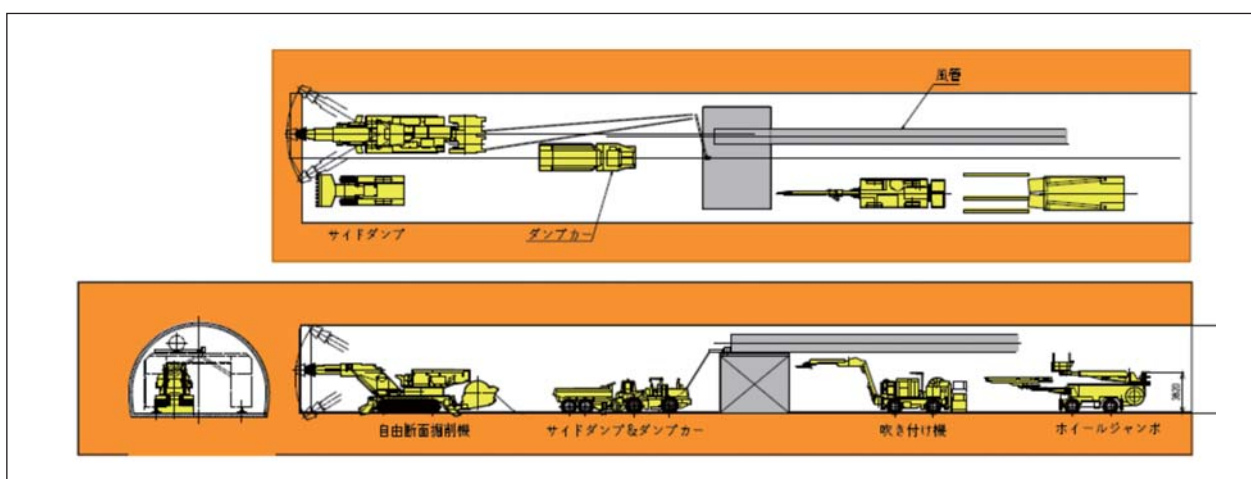


図9.5 NATM(新オーストリアトンネル工法)

9.6 おわりに

掘削機は、岩石掘削という激しい振動・粉塵などの非常に劣悪な環境で使用される機械で、その掘削能力はもとより、タフさも求められる機械

ですが、長年の実績からハード面の完成度は高く、ソフト面では自動掘削システムも完成しています。今後は、建設機械業界のICT対応をより一層進めて行きたいと考えています。

10. 鉄道の油圧

10.1 はじめに



新幹線は最高速度300km/hという高速運転を行っていますが、同程度の速度を実現しているヨーロッパを始めとする諸外国に比べると、乗心地の観点では厳しい地形的・環境的ハンディキャップの下で運行されています。

新幹線が揺れる主な原因は、図10.1のように次の2つです。

- (1) 線路の狂いから台車を伝わってくる振動
- (2) 高速走行時の空気力（圧力）変動で車体が直接揺らされる現象

前者を抑えるためには、①車体を重くし、②ばねやダンパを弱めにして車体に伝わる力を小さくするなどの方策が有効ですが、日本では環境問題（地盤振動）を抑えるために軽量化が必要な上、曲線が多くて遠心力を受けるので②も困難です。後者を抑えるためには、ばねやダンパを強くする必要があります。また、これはトンネルの中で発生するので、大平原を走るなら問題ありませんが、日本のような地形では大きな問題です。

10.2 セミアクティブ振動制御

新幹線は1996年に営業列車として世界初の振動制御を採用して、この難題を解決しました。当時、空気圧で強制的に振動を抑えるアクティブ方式と、ダンパの特性制御で振動を抑制するセミアクティブ方式が研究されていましたが、コスト・パフォーマンスの良いセミアクティブ方式が最初に実用化されました。

セミアクティブ方式で用いた制御方式は「スカイフックダンパ」と呼ばれるものです。

車体と台車の間に設けられているダンパは、伸縮する時の速度に対して抵抗力を発生する部品です。したがって、車体が揺れているときには車体

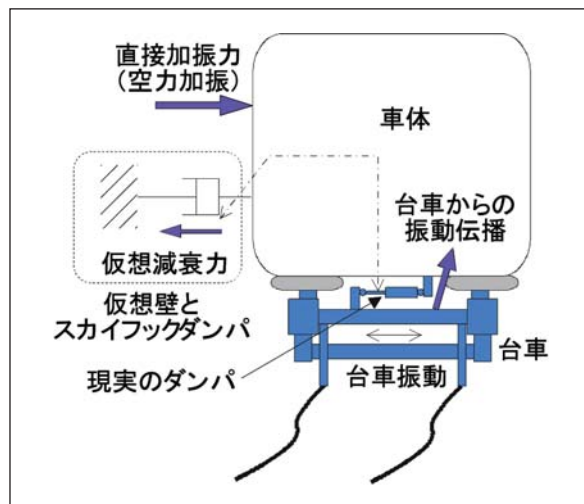


図10.1 車体に伝わる振動とスカイフックダンパ

の揺れを抑えるように働きますが、台車の揺れを車体に伝える通路にもなります。このため、台車から車体に伝わる振動が主体のときは弱く、車体に直接作用する空気力が主体のときは強く利かせるのが有利です。高速になるほど両者の差は大きく開いていくので、両方を満足する適当な値を見つけることが困難になります。

ここで、車体の側に動かない壁があるものとして、壁と車体の間にダンパを取り付けると、台車からの振動伝達がないので、ダンパを強くするほど車体の振動が抑えられることになります。このような仮想ダンパは現実には存在しませんが、実際についているダンパの発生力を自由に変えられるなら実現可能です。車体の振動加速度を積分して振動速度を計算し、仮想ダンパの減衰係数をかけた値（仮想ダンパの発生力）を車体－台車間のダンパで発生させれば、車体については仮想ダンパが付いているのと同じことになります。

この仮想ダンパを空中に取り付けているという意味で「スカイフックダンパ」と呼びます。スカイフックダンパは台車の振動と無関係に力が発生しますが、ダンパは「抵抗力」しか発生できないため、実際のダンパは台車の振動状況によっては必要な方向の力を発生できない場合があります。

このようなときには次善の策として、ダンパの抵抗力を最小にして台車の振動を車体に伝えないようにします。これをKarnoppの方法といいます。

10.3 ダンパの構造

図10.2にダンパの構造を示します。ダンパは油を満たしたシリンダ内でピストンが動くときに押し出される油の流れを絞ることで抵抗力を得ています。ピストンとシリンダの端に逆止弁が付いており、ダンパが縮むときにはシリンダ端の逆止弁C1が、伸びるときにはピストンの逆止弁C2が閉じます。この結果、どちらの方向に動いても作動油はロッド側の口から出て、シリンダ端の逆止弁から吸い込まれる一方通行の流れとなり、絞りで発生した圧力で抵抗力が発生します。このとき、ロッドの断面積をシリンダ面積の1/2にしておくと、伸び縮みの受圧面積が等しくなり、同じ力が発生します。この形式をユニフロー型といいます。

このダンパに破線で囲んだ制御ユニットを取り付けたものが本システムの可変減衰ダンパです。2個の電磁弁V1,V2で逆止弁をバイパスすると、ピストン側では伸側の抵抗力が発生しなくなり、シ

リンダ端側では縮側の抵抗力が発生しなくなりますが、反対方向の抵抗力は通常どおり発生します。したがって、スカイフックダンパの発生力の方向により2個の逆止弁のどちらかを開くように制御すると、指定した方向の力だけが発生し、前述したKarnoppの方法を実現できます。

抵抗力の大きさは、絞りと並列に設けた制御弁で圧力を制御すると変えることができます。

10.4 おわりに

セミアクティブ振動制御装置は特にトンネル内の動揺に対して大きな制振効果を発揮します。搭載比率は徐々に増加しており、2007年度末で全新幹線車両の半数弱になりましたが、最近登場した新幹線車両では、ほぼ全車両にこの装置が取り付けられ、また、古い車両でも改造して取り付けるなど、普及が進み乗り心地の向上に寄与しています。

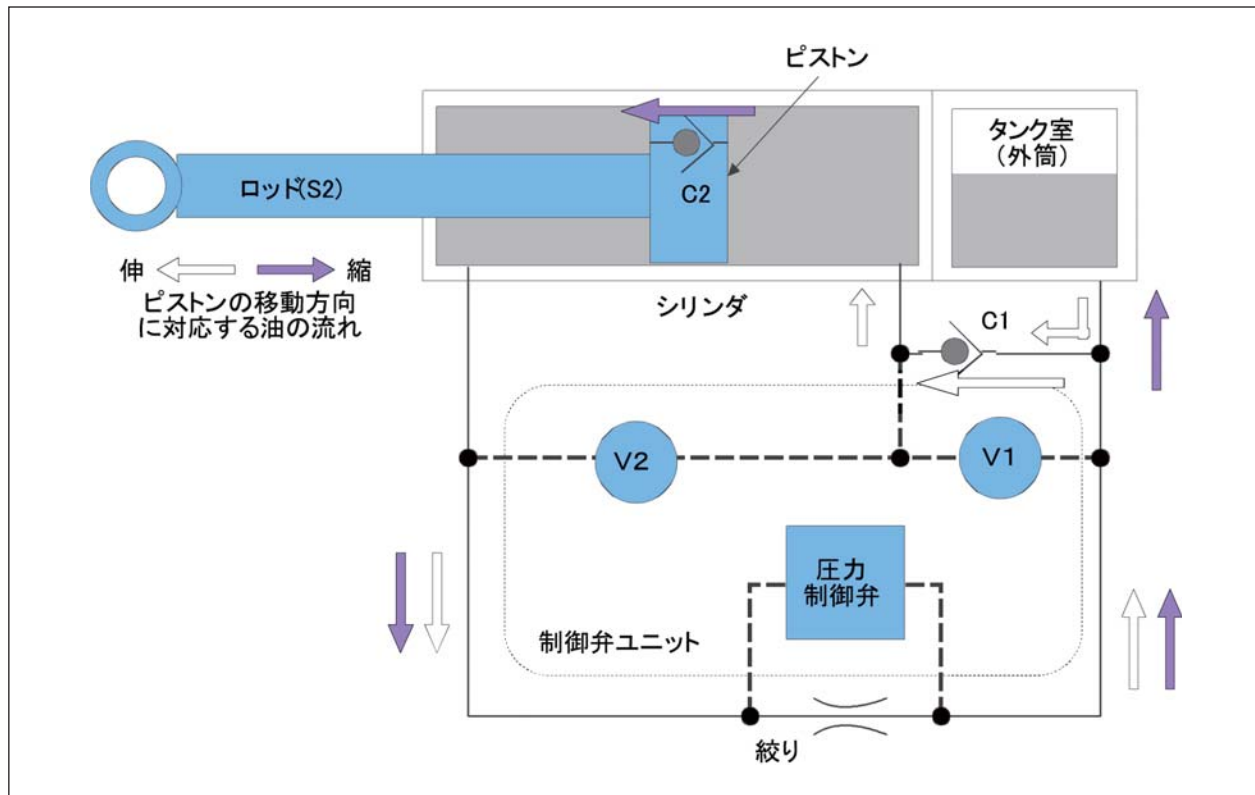


図10.2 可変減衰ダンパの構造

11. 航空機の油圧

11.1 ジェットエンジンの燃料システム

航空用ターボファン・ジェットエンジン（近年、開発される航空用のジェットエンジンの大部分は、ターボファン・ジェットエンジンのため、以下ジェットエンジンといいます。）は、一対の圧縮機とタービンとを有する複数の回転系と燃焼器から構成されています。図11.1にジェットエンジンの構造の概要を示します。ジェットエンジンは次のように作動します。まず、ファンと呼ばれる低圧圧縮機で入口の空気を吸い込み、吐き出す反動により推力を発生するとともに高圧圧縮機に空気を圧縮して送り込みます。高圧圧縮機でさらに空気を圧縮し燃焼器に高圧の空気を送り込み、そして、燃焼器で燃料を燃焼させます。そこで発生した高温高圧の燃焼ガスのエネルギーを高圧タービンで回収して高圧圧縮機を駆動し、更にその後流で低圧タービンによって高圧タービンで回収されなかった燃焼ガスのエネルギーを回収し、ファンを駆動します。

ジェットエンジンの燃料システムは、ジェットエンジンに、運用される全ての飛行条件（機速、高度、大気温度）で安定して作動が可能なように燃料を供給して、ストールと呼ばれる圧縮機の失速を

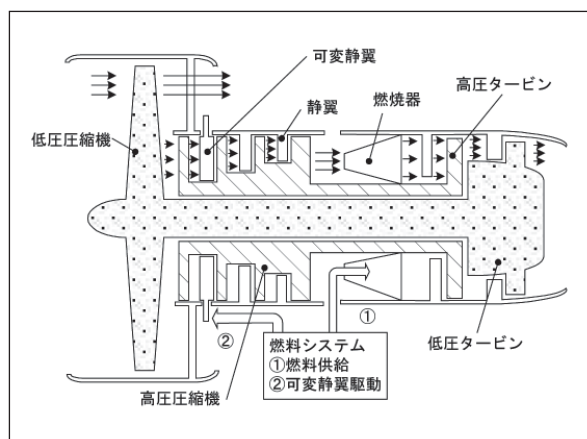


図11.1 ジェットエンジンの構成要素概要

(注：矢印は空気の流れを示す。)

回避するために圧縮機の可変静翼機構や可変抽気機構の制御を行いながら、必要なエンジン推力をコントロールする複雑な機能を有しています。燃料システムは、航空用燃料を作動油とした精密な油圧機器であり、航空用であるため、信頼性、軽量化、耐環境性が一般の油圧機器に比べ非常に重視されているのが特徴です。

11.2 システムの概要と燃料システム内部の発熱

近年、数値解析技術の進歩や耐熱合金の進歩など様々な技術革新により、ジェットエンジンの推力及び燃料消費率が大幅に向上しています。そして、燃料システムにおいても推力向上と燃料消費率の向上に対応して、従来に比べ非常に広い範囲(最小燃料流量と最大燃料流量の比で1:40程度以上)の燃料流量の制御が必要となってきました。この進歩により、近年、従来のジェットエンジンでは問題とならなかった燃料システム内の燃料制御によって生じる発熱を原因としてジェットエンジンの燃料消費率を低下させる問題が発生し、そ

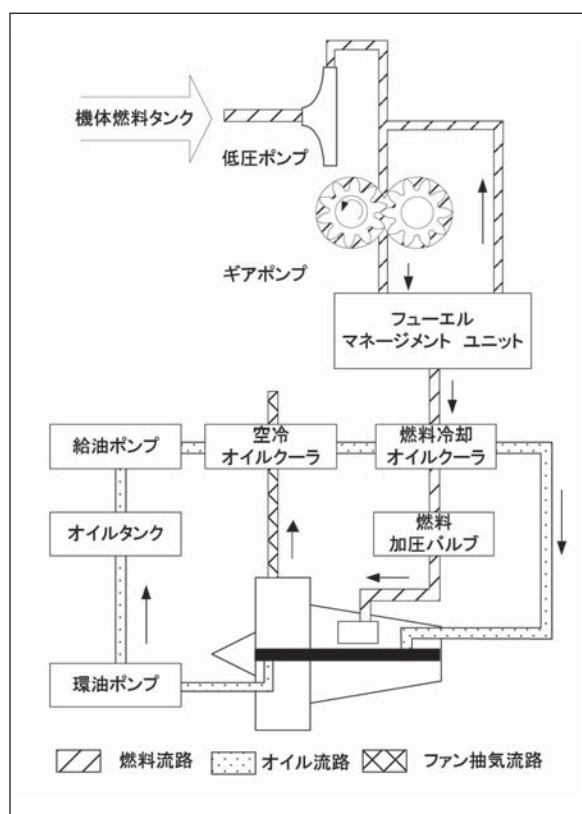


図11.2 燃料システム及び潤滑システム

の克服のために燃料システムの研究開発が広く行われています。ジェットエンジンの燃料システムと潤滑システムは、一般に図11.2に示すような構造となっています。

11.3 低発熱燃料ポンプ開発

構造が単純で信頼性に実績のあるギヤポンプを使用して、小形軽量化が可能であり吐出流量を2段階に変えることができることを特徴とした独自の可変容量機構をもつ機械油圧式の3連ギヤポンプシステムを開発しました。

従来のギヤポンプと3連ギヤポンプの断面構造の比較を図11.3に示します。

従来のギヤポンプは図(a)のように二つの歯車で構成されているのに対し、3連ギヤポンプは、図(b)のように三つの歯車により構成されています。従来のギヤポンプの二つの歯車が図(a)に示される二つの矢印(⇒)それぞれに沿って吐出流量を吐き出すのと同様に、3連ギヤポンプでは、図(b)の四つの矢印(⇒)に沿って吐出流量を吐き出すため、同じ歯

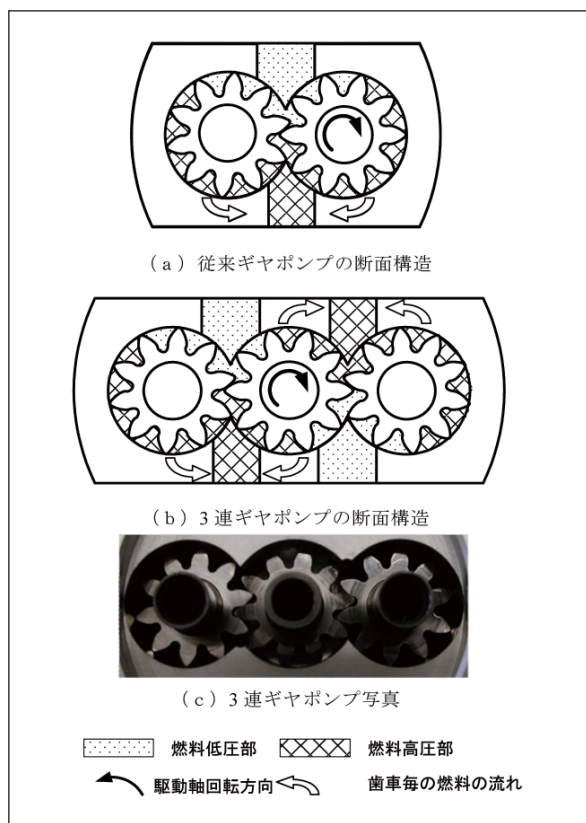


図11.3 3連ギヤポンプの構造

車を使用して回転数が同じ条件では、従来のギヤポンプの2倍の吐出流量を吐き出すことができます。

今回開発した可変容量機構をもつ3連ギヤポンプでは、二つのギヤポンプを並列運転から直列運転と切り替えて吐出流量を半分にすることで、燃料が大量に必要な航空機の離陸時には並列運転で大量の燃料を供給し、燃料消費が少なく内部循環による発熱が問題となる高空巡航時には、二つのポンプを直列にすることで内部循環流量を半減して燃料温度上昇を低減することが可能となります。

また、並列及び直列の切替え機構も可変絞り2個により構成できるため、従来の燃料システムに対して、ほとんど構造を変更することなく低発熱の燃料システムが実現できます。そして、機器の構造に大きな変更がないことから、確立された燃料システムの信頼性を損なわずに低発熱化を実現できます。3連ギヤポンプ及び切替えシステム系統図を図11.4に示します。

3連ギヤポンプシステムを実在するエンジンに搭載した場合、空冷オイルクーラの省略による大幅な重量軽減と燃料消費率の改善を見込むことができるため、商品化を目指し研究を進めています。

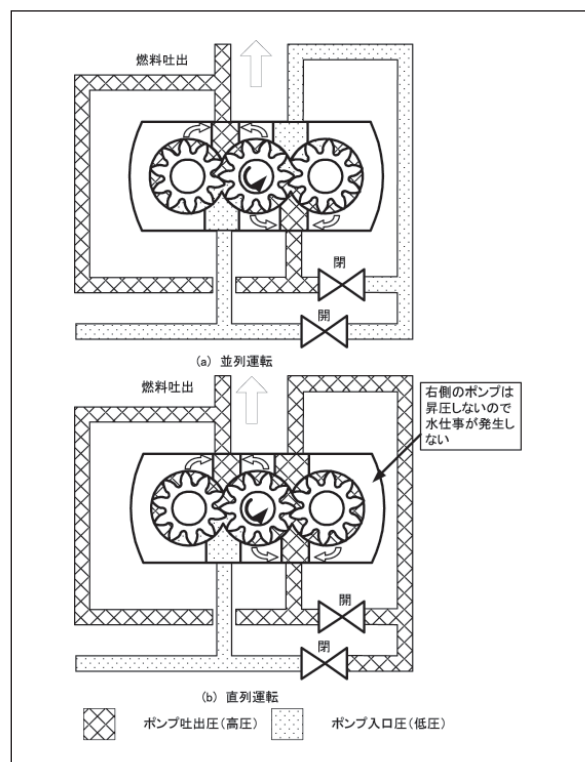


図11.4 3連ギヤポンプ／切替えシステム系統図

12 船舶の油圧



12.1 はじめに



漁船で魚を獲る方法の一つに、船を操船しながらトロールウインチを操作して、数百から数千メートルの2本のワイヤの先につけた網を、目標とする魚群に誘導して魚を獲るトロール漁法があります。

これまで網を魚群に誘導するのは漁労長が行っていましたが、この度、自動的に的確に誘導できる、世界初の自動曳網システムを（独）水産大学校漁業練習船「耕洋丸」（図12.1）に納入しました。



図12.1 （独）水産大学校漁業練習船「耕洋丸」

12.2 トロール漁法における自動曳網システム

魚群の位置は魚群探知機などで正確に把握できますが、網位置や網深度の制御は潮流や船速の影響を考慮する必要があり、漁労長の経験や勘に基づく卓越した技量が必要です。

この自動曳網システムは、目標魚群位置を入力すると、漁船の位置や網の位置などを計測し、船速と船の方位（プロペラ及び舵で制御）及びトロールウインチを総合的に制御することで、網が目標位置（緯度、経度、深度の3次元位置）を確実に通過するようにできるシステムです。

この自動曳網システムの概念図を図12.2に、関連機器構成を図12.3に示します。

図12.3の中の変ピッチプロペラの翼角制御（CPP）、舵及びトロールウインチなどは油圧を用いています。次にトロールウインチ制御装置につ

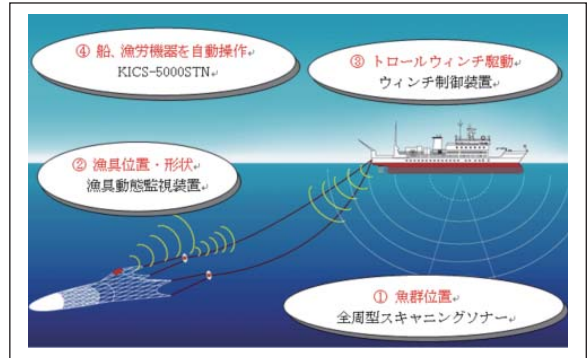


図12.2 自動曳網システム概念図

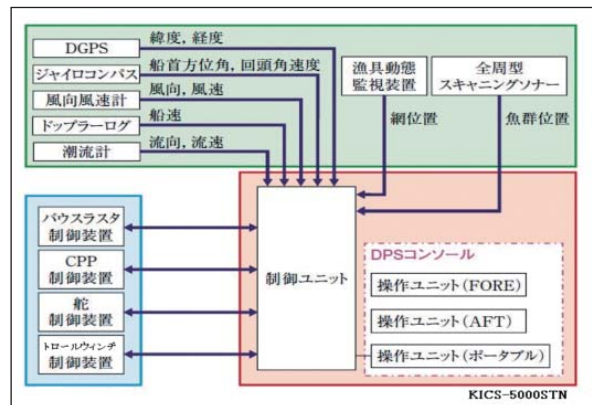


図12.3 自動曳網システム関連機器構成

いて概要を説明します。

12.3 トロールウインチ制御装置の構成機器

トロールウインチの外観を図12.4に示します。

その主要構成機器は次のとおりです。

- ① ワイヤの繰出し・巻き込み用トロールウインチ（船体左右に各1台設置）
- ② トロールウインチの速度制御用バルブユニッ



左右のウインチがトロールウインチ、中央はネットウインチ

図12.4 トロールウインチの外観

ト(各ウインチに1台ずつ設置)

③ 油圧源であるポンプユニット1式

④ 上記①～③を制御しているコントロールスタンド1式

トロールウインチにはワイヤ張力計や、ワイヤ長を計測するセンサを内蔵しています。バルブユニットには速度制御のために回路圧力を任意にセットできる電磁リリーフ弁を組み込んでいます。ポンプユニットには低振動・低騒音で定評が高い、スクリュウポンプを使用しています。また、コントロールスタンドには、CPUが内蔵され、タッチパネルで操作できるようになっています。操作画面の一例を図12.5に示します。

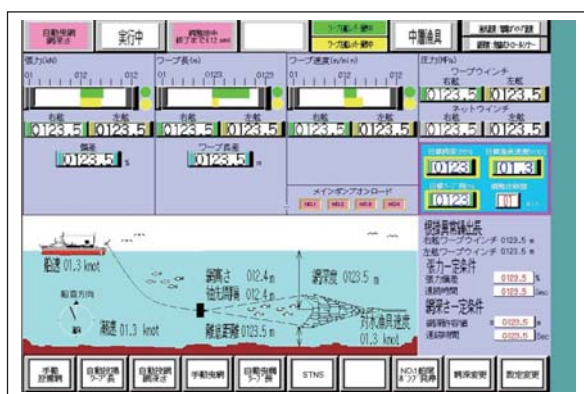


図12.5 操作画面の一例

12.4 トロールウインチ制御装置の作動

従来の漁船では、網を曳いている間、潮流や風、船の針路変更などにより、左右ワイヤの張力に差が生じ、常に網口を全開にすることができず、効率良く魚を獲ることができませんでした。本制御装置では、右トロールウインチは図12.3の中のKICS-5000STNからの指令に従い右ワイヤ張力及び長さを制御しています。その間、左トロールウインチは、右ワイヤの張力と同じになるように、繰出し、巻き込み作動します。そのため、左右ワイヤの張力同調が図られ、常に網口は全開に保たれます。同時に、網深度も右トロールウインチへの指令値に制御されます。

12.5 トロールウインチの張力制御

曳網中、左ワイヤは常に左右のワイヤ張力を同調させるために、電磁リリーフ弁を用いたオートテンション回路を採用しています。この回路を図12.6に示します。この回路を採用したことにより、左ワイヤの微速繰出し、巻き込みが極めてスムーズな作動になりました。もちろんトロールウインチに組み込まれたワイヤ長を計測するセンサの信号で、常にワイヤの動きを見ながら、回路のリリーフ弁圧力を変化・追従させています。このように、本システムでは、オートテンション回路により張力制御を行い、スムーズな微速性能が得られ、油圧のメリットが十分発揮できました。

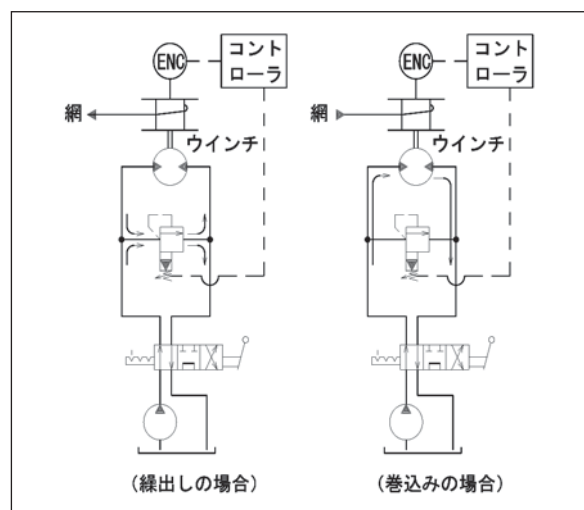
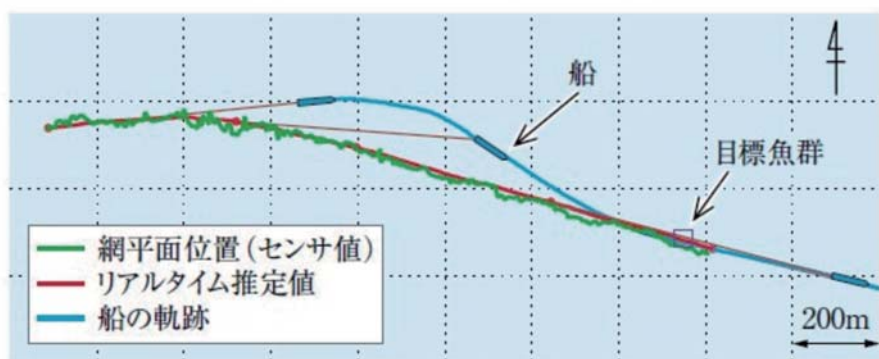


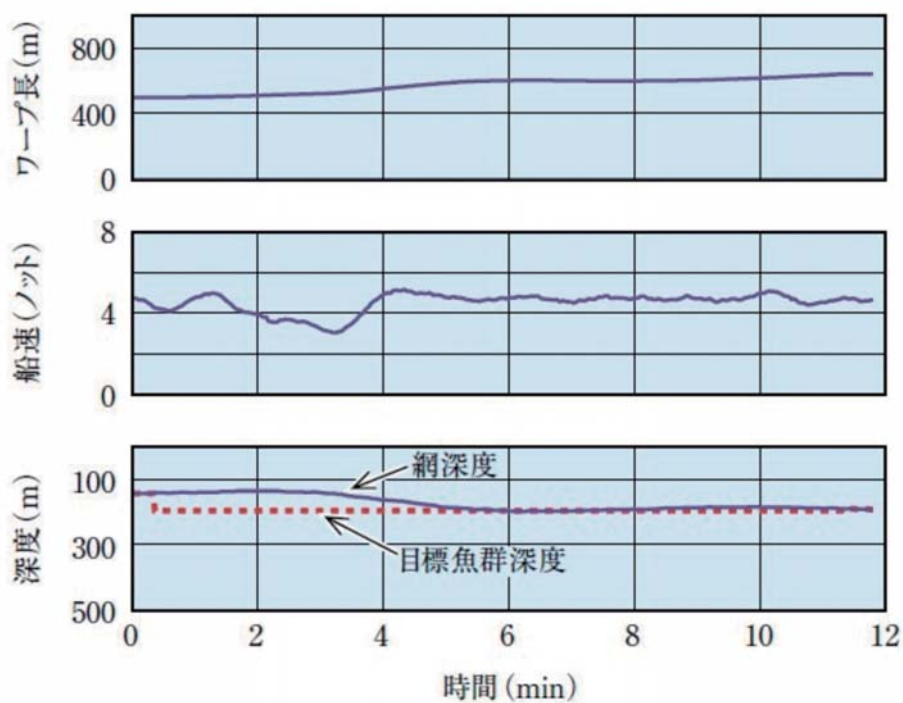
図12.6 オートテンション回路

12.6 試験操業データ

東シナ海で行った操業において、魚群に網が的確に当たったことが確認されました。船と網の平面位置の軌跡及び網深度制御のデータを図12.7に示します。



(a) 平面位置の自動誘導



(b) 網深度制御

図12.7 船と網の平面位置の軌跡及び網深度制御のデータ

13. 工作機械の油圧



13.1 はじめに

人類最初の道具はご存知のとおり、石や骨、木の枝などが使われ、穴を掘ったり、物を切ったりするのに槍、鉋、弓、錐、斧などのさまざまな道具が使われてきました。弓を回転することにより火をおこす弓ギリなどは現在のボール盤や旋盤の遠い祖先といえるでしょう。工作機械の起源は古代エジプト文明まで溯ることができます。工業生産としての工作機械そのものは1770年代のイギリス産業革命で蒸気機関や紡績機械を製造する必要性から次々と発明され、19世紀後半までにその基礎が築かれたといわれています。日本における工作機械産業の発達は1950年代で、欧米からの製造技術を基に数値制御技術の応用開発に取り組んだことにより、世界屈指の工作機械生産国になったといわれています。工作機械に使用される油圧機器はこのように進歩する工作機械の自動化をサポートする役割を担い、工作機械産業と共に歩んできました。道具にもさまざまな種類があるように工作機械にも回転する主軸に工作物を取り付ける旋盤や穴あけ加工を行うボール盤、正面や側面を一度に加工することができるフライス盤など多種多様な種類があります。今回はその中でも文字通り機械加工の中心となる機械、マシニングセンタを例に取り、使用される油圧機器を紹介します。

13.2 工作機械に使用される油圧技術

マシニングセンタは複数の異なる加工物を粗加工から仕上げ加工まで工具を交換しながら自動的に加工していきます。マシニングセンタ(MC)とは「フライス削り、中グリ、穴あけ及びねじりを含む複数の切削作業ができ、かつ、加工プログラムに従って工具マガジンまたは同様の格納装置から工具を取り出し、自動交換できる」と定義されています。この中で「工具を取り出し、自動交換できる」と「複数の切削作業ができ」とありますが油圧機器は主にこのよ

うな自動化、無人化を支える装置としてかかわっています。油圧装置はコンパクトでありながら比較的大きな力を得られ、また1つの供給源(油圧ユニット)で電磁弁などを組み合わせることにより複数のアクチュエータを駆動することができるため図13.1に示すATCと呼ばれる自動工具交換装置(ツールチェンジ)やパレットのクランプ装置に使用されています。

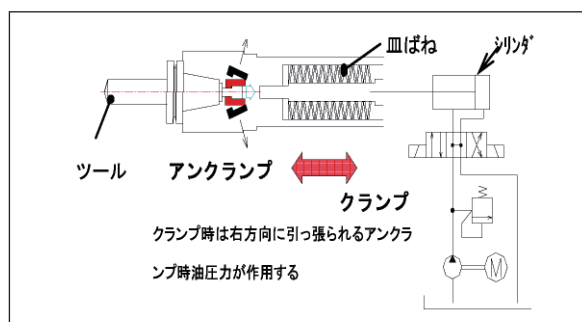


図13.1 自動工具交換装置

近年では加工精度やスピードの向上、操作性の追及だけでなく環境や省エネルギーを考慮した機械作りが期待されています。

1) 省エネルギー化

ISO 14001認定工場の増加など環境問題に対する取組みは全国的に広がっています。工場設備の消費電力削減も課題のひとつとして取り上げられ、MCなど設置される工作機械に搭載される油圧機器、特に油圧ユニットは省エネ化が要求されています。「可変容量形ポンプ省エネユニット」を例にとり、油圧における省エネの方向性について説明します。従来の省エネ形油圧ユニットは、可変容量形ポンプを使用し、圧力保持時、ポンプ吐出し量を可変機構により最小限に抑えることで、大幅な省エネ効果を実現しています。しかし、上述していますように最近ではさらなる省エネを目的に誘導電動機の回転数制御技術を取り入れた省エネに取り組んでいます。誘導電動機を軽負荷で使った場合、効率が下がるため圧力保持時に電動機効率の低下による動力損失が大きいという問題点があります。この動力損失を低減させるため流量を必要としない圧力保持時には電動機の回転数を必要最小限にすることにより、ポンプの特性も含め、

電動機効率特性を考慮した回転数制御により大幅な省エネを実現することが可能になります。

これはATCなど、運転サイクルにおいて待機状態（圧力保持）の多い機械にはかなり有効な対策といえます。実用例における省エネ効果についてある工場内設備のMC用ATCで実際に省エネユニットを取付け評価した結果を図13.2に紹介します。

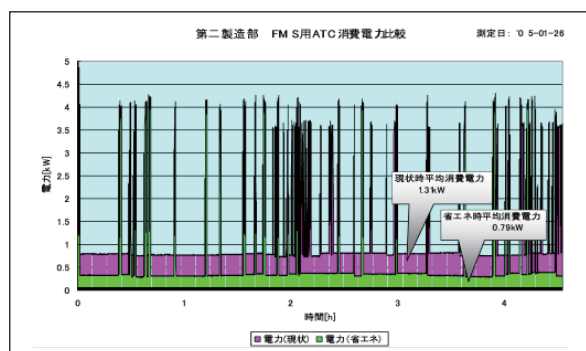


図13.2 ATCの消費電力比較

その結果、全工程の平均消費電力で40%の削減が達成されました。図13.3のようにインバータ＋回転数指令演算コントローラ＋圧力センサを組み合わせた回転数制御技術と可変ポンプの組合せにより、効率的な運転が可能となり大幅な省エネが実現できます。

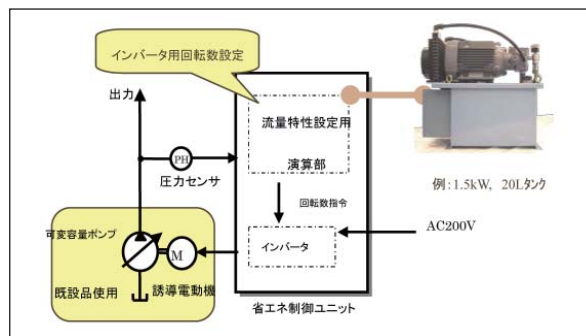


図13.3 省エネ油圧ユニットシステム構成

2) 小形パワーパッケージ

近年の工作機械では対環境に対する取組みも顕著になってきています。油圧機器には油圧＝油漏れ、汚いというイメージがあります。このイメージをなくすため、小形パワーパッケージで配管などがなくタンク等を一体化したパッケージ開発にも取り組んでいます（図13.4、図13.5）。もちろん、見た目だけではなく配管を極力なくすことにより、油漏れも

削減でき、小形化による設置面積削減で機械全体のコンパクト化が図れ、これにより省資源効果を得ることが可能です。また、油圧の特長を活かし回路中にチェック弁やアキュムレータ等を搭載することにより、必要な時だけポンプを回すことが可能となり、工作機械全体の消費電力削減にも効果があります。MC主軸クランプを例にあげると、加工中は皿ばねによりツール（刃物）をチャッキングし加工終了後、ツール交換時にアンクランプ動作として油圧が作用します。皿ばねを押し上げた後、駆動電源を遮断しポンプを停止してもチェック弁により圧力を封じ込めるのでアンクランプ状態を保持できます。この他にも工作機械用の小形パッケージの用途例としてパレット交換や刃物台クランプ/アンクランプにも採用が期待できます。



図13.4 MCパレット

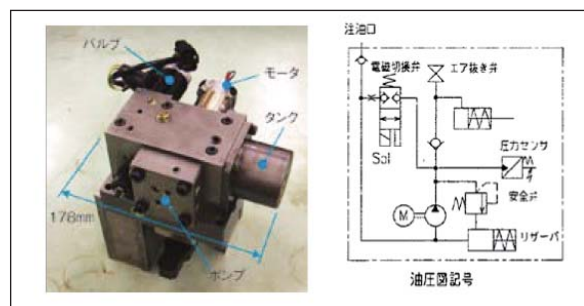


図13.5 小形パッケージと回路図

13.3 おわりに

「マザーマシン」としての重要性は新たな角度から再認識されつつあります。環境、エネルギー問題に配慮した機械作りに期待が寄せられており、当然これに搭載される油圧機器も省エネや環境を念頭に置いた製品開発が進められており、地球環境の改善に寄与しています。古い油圧に対するイメージを払拭し、今後もさまざまな取組みを行っていきます。

14. 半導体分野の油圧

14.1 はじめに

半導体分野で使用されている機械の代表例として真空加圧式ラミネータ機とホットプレス機があります。これらは、誰もが日常生活でなじみのある製品の中に利用されている電気回路用の回路基板を製造する機械です。

携帯電話で利用されている箇所は、折りたたみ式なら折りたたみ式ヒンジ型基板、スライド式ならスライド型ヒンジ基板、カメラ付きなら超小型薄型グラフィック、超小型薄型CPUなどです（図14.1）。その他に、デジタルカメラ、デジタルオーディオ、腕時計、パソコン、テレビ、DVDレコーダ・プレイヤー、ゲーム機などでも利用されています。また、ICチップ入りのカード類で通勤通学に利用されるICカード定期券、ICクレジットカードを製造するためにも利用されています。

これらの製品を作るためには大量生産が必要不可欠です。カードなら一度に約100枚、CPUなら一度に約50～60枚作ります。フィルムと基板を圧縮、圧着させて製造するので、押しつぶす力が必要です。小さなものでも30トンの力が必要ですし、大きなものなら1,000トン以上もの力を必要とします。そのため、どうしても油圧力に頼らなければこれらの製品はできません。

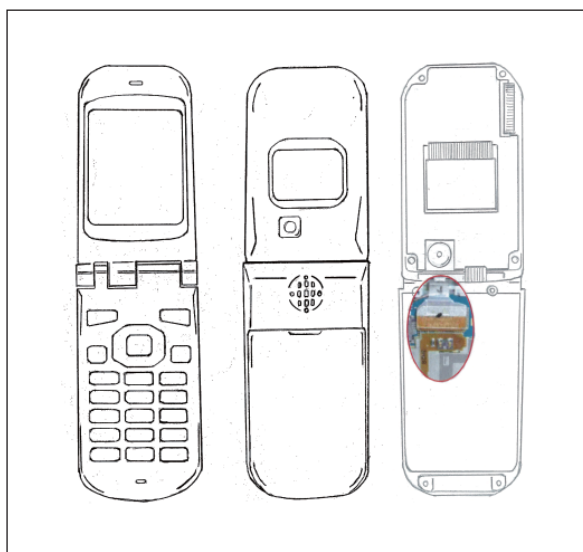


図14.1 携帯電話の利用例

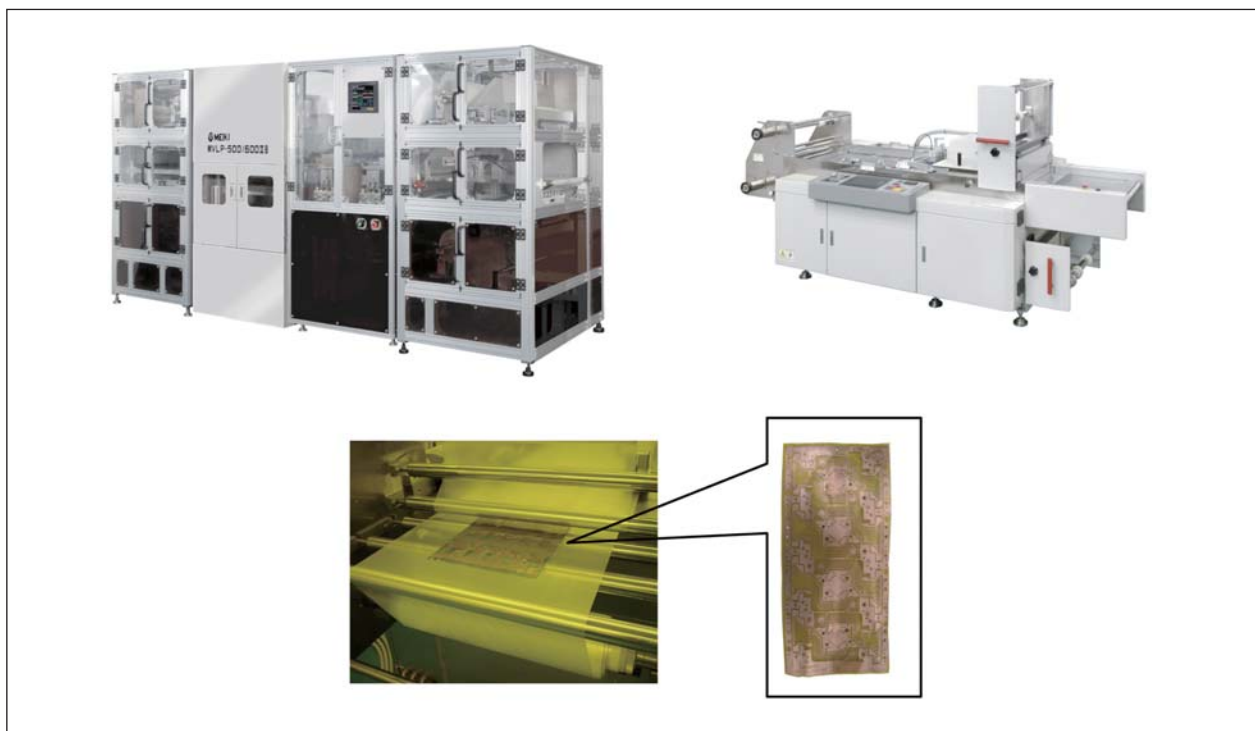


図14.2 真空加圧式ラミネータ

14.2 真空加圧式ラミネータ機

図14.2の機械は真空加圧式ラミネータ機です。この機械には油圧、空気圧、真空の技術を取り入れています。

主にフィルムを回路基板の凹凸に追従させながら貼り付けることを目的とした機械です。フィルムを貼り付ける時に気泡が混入しないように真空にして、真空エリアに製品がありながらエア加圧によってゴムを風船のように膨らませながら均一な圧力で回路基板の凹凸にフィルムを追従させ貼り付けることを可能にした機械です。

ここには、第1節で説明したパスカルの原理が応用されています。

百枚もの基板、カードを製造するための機械です。油圧を使用し、大きな力を発生させ積み重ねられた回路基板などを一度に圧縮、圧着させ大量生産します。通常、ライン化されて何台もの機械が並列に配置され、全自動にて生産されます。



14.3 真空ホットプレス機

図14.3の機械は真空ホットプレス機です。この機械には油圧、真空の技術を取り入れています。

ラミネータ機よりも大きな機械で、何段もの棚が真空チャンバー内に設置されており、一度に何



図14.3 真空ホットプレス機

15. マグネシウム成形機の油圧



15.1 はじめに

近年、地球温暖化抑止の観点で製品の軽量化とリサイクル化を目的とした開発が盛んに行われています。これらを達成する手段のひとつとして、マグネシウム合金（以下Mg合金という）が注目されており、その採用が拡大しております。

Mg合金は、アルミニウム合金と比較して密度は2/3と軽く、凝固は非常に早く（約1.5倍）、生産性が良い特性を持っています。

しかし、Mg合金は燃焼し易く、取り扱いが難しいという欠点があります。

ここでは、この欠点を克服したもので、安全で自動化が容易な成形法であるチクソモーディング法のマグネシウム成形機の油圧制御システムについて説明します。

15.2 マグネシウム成形機

マグネシウム成形機の外観を図15.1に、また、Mg合金を材料とする部品の応用製品の例として、一眼レフカメラの外装部品を図15.2に示します。

Mg合金を採用する目的は、軽量・金属感・放熱・リサイクル等であり、応用製品には、この他に携帯電話、ノートパソコンなどがあります。



図15.2 一眼レフカメラの外装部品

15.2.1 チクソモーディング法

Mg合金の原料チップは、電動モータで回転するスクリュによって前方に移送されながら、シリンダの外周部に取り付けられたヒーターによって加熱されます。（図15.3 射出部構造を参照してください。）

加熱された原料は、流動性の良い高温度の液状の状態（スラリーと呼ばれる）のまま大気に触れさせることなく、スクリュを前進させることによって金型内に充填されます。

この成形方法をチクソモーディングと呼んでいます。

Mg合金は、凝固速度が非常に速いので、短時間に成形する必要があります。このため射出速度は、プラスチック成形に比べて約10倍です。



図15.1 マグネシウム成形機

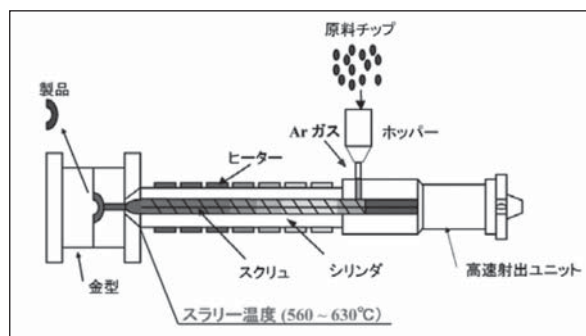


図15.3 射出部構造

15.2.2 油圧制御システム

金型内に充填されたMg合金は、数ms～数十msという短時間で凝固、流動停止するため、スクリュを高速で前進させる必要があります。この動作は、油圧駆動方式のほうが電動駆動方式よりも優れており、油圧が使われています。

例えば、型締力2200kNクラスのマグネシウム成形機のスクリュの前進出力は瞬間、数100kWを必要としますが、アキュムレータと油圧サーボ弁を用いる油圧制御システムとすることによって容易に達成できます。

この油圧化の例を図15.4に示します。

アキュムレータは、高圧の作動流体を蓄えておく機器で、瞬時に大流量を放出することができます。

また、油圧サーボ弁は、作動流体を高速、高精度にコントロールするために、流量を制御するスプールの位置決めはマイナー閉ループ制御としています。

その他、成形品にバリが発生しないように、射出シリンダの供給側と戻り側に油圧サーボ弁を用いてブレーキ性能を高めています。

15.3 おわりに

地球温暖化抑止の動きの中で、Mg合金の材料を使った製品化の例を取り上げました。

樹脂材料の成形機では、省エネルギー性、再現性などの点で、全電動モータ駆動方式が優れているとされていますが、マグネシウム成形機のように高速射出では油圧駆動方式の方が優れており、実用化されています。

油圧が応用できる分野は、他にもまだ沢山あると思います。

一人でも多くの若者が油圧システムに興味を持ち、油圧化の推進者になることを期待しています。

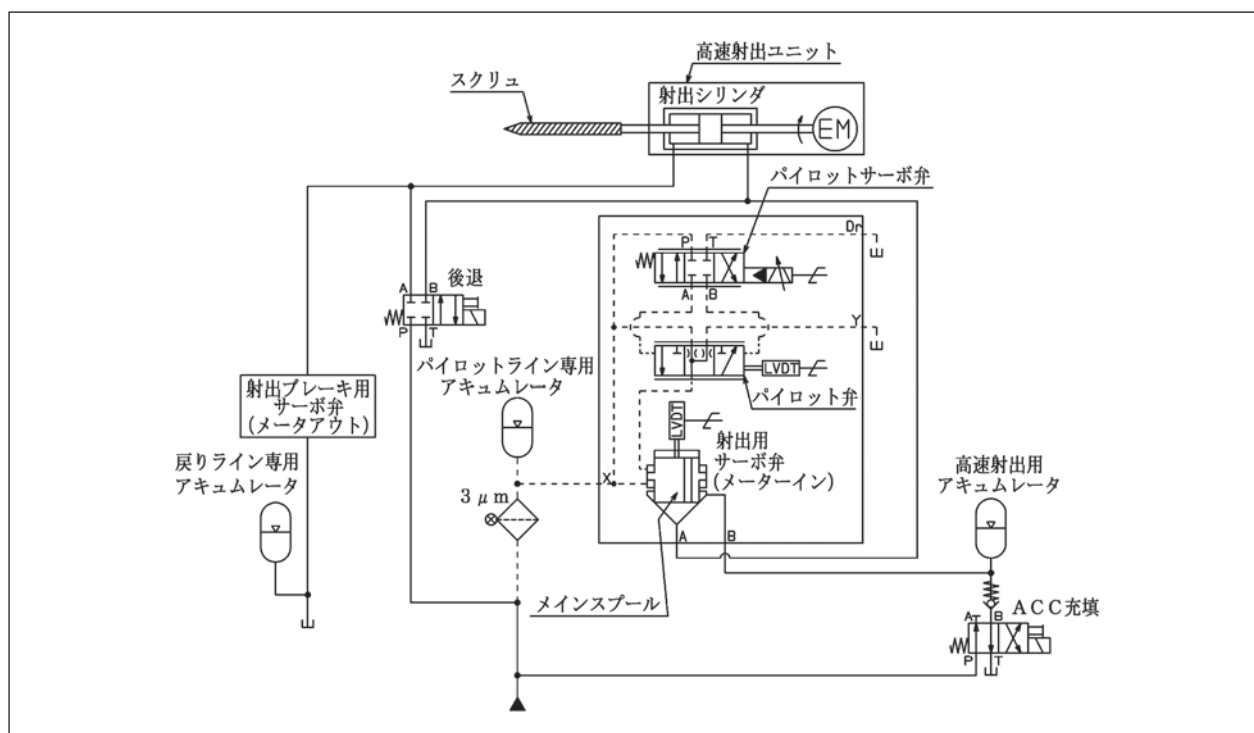


図15.4 高速射出の油圧制御システム（例）

16. 射出延伸ブロー成形機の油圧

16.1 はじめに



今日では飲料ボトル、洗剤容器、医薬品容器、化粧品ボトル等、身の回りで多くのプラスチック容器が見られます。これらの素材はプラスチックで、特性としての長所である使いやすく、燃やしても有毒ガスを発生せず安全で、またリサイクルが可能で地球環境の保護にやさしい取組みが行われています。

ここでは、最も大量に作られているペットボトルの成形機について説明します。

16.2 射出延伸ブロー成形法

ペットボトルを作るには、射出成形でプリフォームという筒状の成形品を作り、それをブロー金型に挿入し、内側からエアーを吹き込んで膨らませることによって所定の形状にしています。

現在、ペットボトルの成形方法は2通りがありま

すが、ここではプリフォームを作る工程とブロー成形の工程を連続して行い、プリフォームを再加熱する必要を無くしたエネルギー効率の高い「射出延伸ブロー成形法」を紹介します。

図16.1は成形機の外観を示しています。ペットボトルを成形する仕組みは動画をご覧ください。

このペットボトル成形機は、大部分が油圧で駆動されています。ペットボトルの素材は、ポリエチレンテレフタレート（通称PET）ですが、これを溶かし、金型内に充填する一連の射出動作は射出成形機と同じです。

その他、プリフォームを作る金型の上下方向への開閉動作、プリフォームを膨らませるブロー金型の開閉動作も油圧で制御しています。

テーブルの回転は電動で制御しています。

ペットボトルのように大量に消費される容器には、特にハイサイクルで生産性の高い成形機が要求されます。

これを実現するために、プリフォームを作る金型の開閉動作にコムニカ弁が使われています。コムニカ弁とは、切換弁にマイコンを搭載し、デジタルインジケータを見ながら押しボタン操作により、スプールの切換速度とスプール位置を調整で



図16.1 射出ブロー成形機の外観

（資料提供：(株)青木固研究所）

きるようにしたバルブです。ショックレス動作に不可欠な加速・減速時間がそれぞれ独立して設定できます。また高速・低速の調整も上昇・下降でそれぞれ独立して設定できます。このコムニカ弁により、ショックの無いハイサイクル運転を実現しています。

また、コムニカ弁は調整した結果をメモリに記憶させ、そのデータを他の成形機のコムニカ弁に転送することによって、成形機の調整時間を短縮しています。

16.3 おわりに

ペットボトルは、1977年にキッコーマン醤油の容器が始まりだそうですが、最近はワインボトル、ウイスキーボトルもプラスチック容器になり拡大の一途をとっています(図16.2)。

射出延伸ブロー成形は今後も大きく伸びると思いますが、駆動源の油圧も引き続き、省エネルギーで、安全・安心で、地球環境にやさしいシステムの提供を目指します。



図16.2 ペットボトルの種類

17. 風力発電の油圧

17.1 風力発電とは？

昨今、地球温暖化というキーワードは世界中で最も注目されているといっても過言ではありません。地球温暖化の最大の要因は、化石燃料から排出される二酸化炭素であり、それを減らすには石炭や石油を燃やして発電する火力発電を減らして、風力発電や太陽光発電などの自然エネルギーを利用した発電方式が求められています。日本では太陽光発電の方が主流でしたが、この約20年間で風力発電も日本各地に建設されるようになりました。風力発電は、風を受けたローター(プロペラ)が回転し、その回転力で発電機を回転させて電気を作り出します。

風車の大きさは年々大型になっています。最近最も一般的になってきているのは、2000kWという発電能力で、全高は120m、ローターの直径は80mという巨大なものです。図17.1に風車の全体を示します。また、図17.2に風車の頭になるナセルを示します。

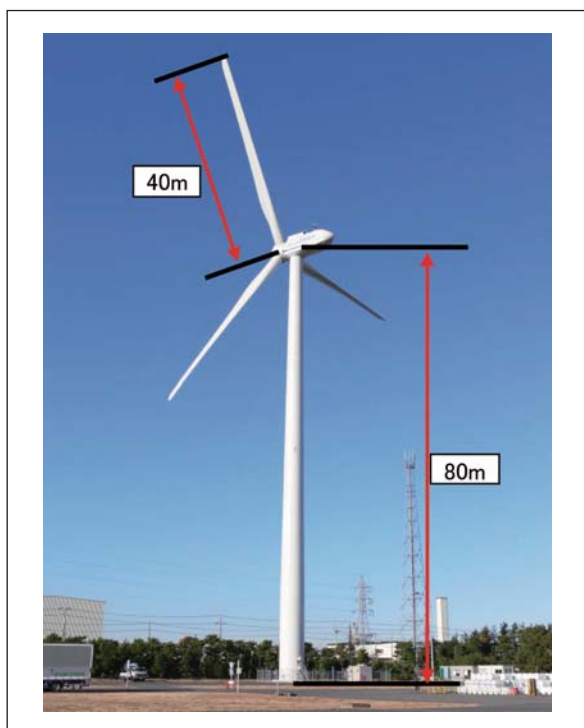


図17.1 風車全体



図17.2 ナセル

17.2 風力発電機と油圧

風力発電機の動くところは、大きく分けて3つあります。1つは発電機に回転を伝える「動力伝達系」、1つはブレード(羽)の角度をかえる「ピッチ系」、そして風の吹いてくる方向に、ナセルの向きを変える「ヨー系」です。それぞれに油圧機器が使われています。図17.3にそれぞれの位置を示します。

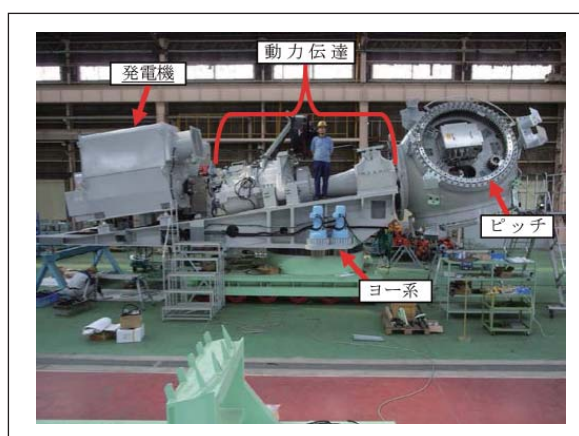


図17.3 動力伝達

17.3 動力伝達系の油圧機器

ローターから伝えられた回転力は、増速機とよばれる歯車装置に伝えられます(図17.4参照)。歯車の組合せにより、回転の速度を高めます。つまり、発電機が発電できる速さまで「増速」する装置です。この増速機は、重さが約20トンあり、その箱の中には約300リットルの油が入れています。この油は、歯車を潤滑してスムーズに回転させると、増速機が発する熱を冷やす働きをします。ポ

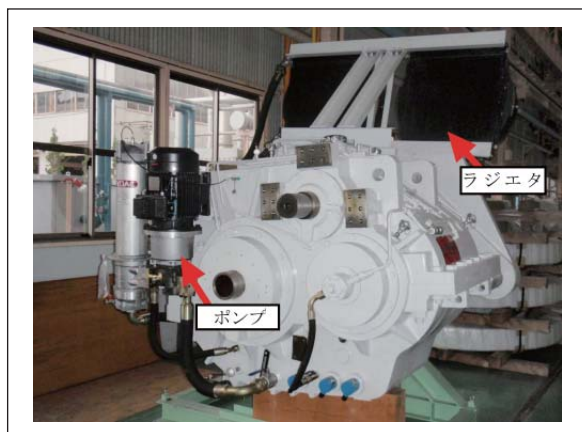


図17.4 増速機

ンプにて油を吸い出し、ラジエターで油を冷やしてから、増速機に戻します。戻す際には、歯車に油を吹き付けます。

回転系を停止させるための高速軸ブレーキが1個ついています。これは増速機と発電機の間にあります。通常は使用しませんが、停電などの非常時にのみ作動して回転を停止させます（図17.5参照）。

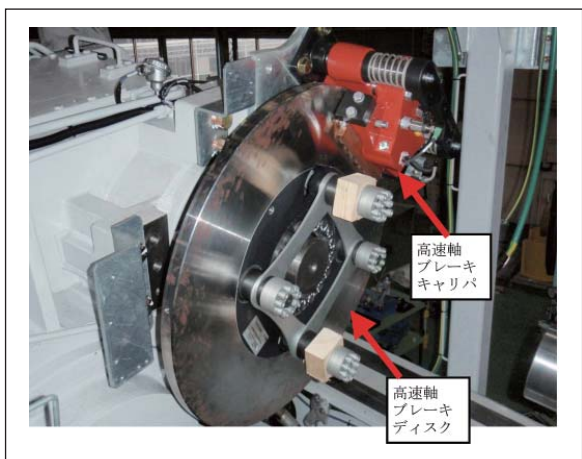


図17.5 高速軸ブレーキ



図17.6 油圧ユニット

ブレーキの摩擦材は、焼結合金という特殊なものです。油圧は、油圧ユニットから供給されます（図17.6参照）。電動モータ、ポンプ、バルブなどから構成され、ブレーキキャリパに油を送ります。

17.4 ピッチ系の油圧機器

風力発電機は、ブレード（羽）のピッチ角度を調整することにより、ローターの回転する速度を調整します。このブレード角度を調整する機器に、油圧が使われることがあります。油圧シリンダの出し入れする動きを回転に変えるリンク機構により、ピッチ角度を調整します。

油圧でピッチ角度を変える方式の他に、電動モータでピッチ角度を変える方式もあり、風力発電機のメーカーにより異なります。

17.5 ヨー系の油圧機器

風の向きは常に変化します。風力発電機には風向計と呼ばれるセンサがあり、風向きを常に測っています。このデータを自動計算し、最適な向きにナセルの向きを動かします。動かすのは電動モータですが、動かした後はブレーキにて固定します。これは自動車に使われているブレーキと基本的には同じ機構ですが、巨大なものです。図17.7の大きなブレーキ5～10個で鉄の円盤（ヨーブレーキディスク）を挟み込み、固定する働きをします。この力は約1000kN-mになり、長さ1mの棒の先に100トンの錘をつけたときのモーメントに相当します。

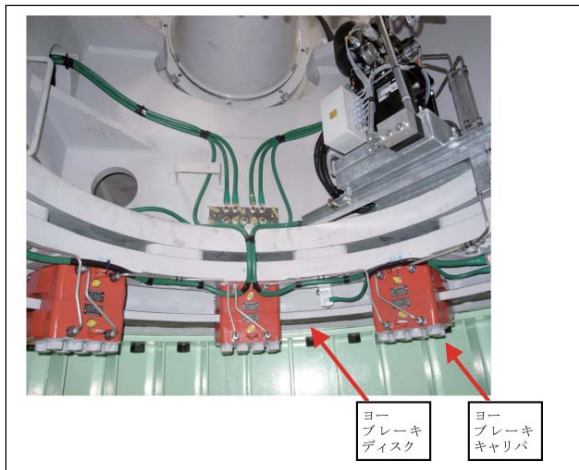


図17.7 ヨーブレーキ

18. 環境・省エネ分野の油圧

18.1 はじめに



3Rという言葉を知っていますか？3Rとは、リデュース(減らす)、リユース(繰り返し使う)、リサイクル(再資源化する)の頭文字をとった言葉です。この3Rの分野でも油圧が活躍しています。

油圧の強みは簡単に大きな力を発生させることができることです。この大きな力を利用して、人力では不可能な圧縮・破碎を行い、空き缶、ペットボトル、廃プラスチック、紙、金属切りくず等、様々なものが油圧で処理されています。

18.2 ペットボトル減容機

みなさんが飲み終わったペットボトルは回収され、服や樹脂製品等としてリサイクルされていることはご存知かと思います。このペットボトルのリサイクルの中でも、油圧が活躍しています。

市町村等で回収されたペットボトルはリサイクル工場へと搬送されます。ペットボトルはそのままだと1m³あたりの重量が約30kgとかさばるものなので、ペットボトルの搬送に必要なトラックの台数が多くなってしまい、地球環境への負荷が大きくなってしまいます。

そのため回収されたペットボトルは一旦中間処理施設に運ばれます。中間処理施設ではペットボトルを圧縮し、ボールという塊にして出荷します。このボールを作るときに油圧が使われています。

回収されたペットボトルから異物を取り除き、図18.1のペットボトル減容機で圧縮します。この減容機は80tの力でペットボトルを圧縮し、図18.2のボールを作ります。このボールの寸法は約1m角で、重量は約250kgになります。ペットボトルの本数にすれば、8000～9000本になります。

このようにペットボトルを圧縮して、効率よくリサイクル工場へ搬送しております。

18.3 最新技術

図18.1のペットボトル減容機には最新技術である数値制御の油圧ポンプが使われています。

従来の油圧ではポンプを常に一定回転で回しておき、圧力・流量調整弁を使用して機械を制御していました。そのため圧力・流量調整弁で損失が発生し、減容機の待機中もポンプを回すので無駄なエネルギーを使ってしまうという問題がありました。

数値制御を行うポンプでは、ポンプの力と回転数をコンピュータからの命令で自由に変化させることができます。ポンプで直接、圧力・流量を制御できるため、調整弁が不要になり、調整弁で生じる損失をゼロにすることができました。また減容機の待機中にはモータの回転数をほぼゼロにすることで、待機中の消費エネルギーを大幅に削減することができました。



図18.1 ペットボトル減容機



図18.2 ペットボトルのボール

19. ロボットの油圧

19.1 油圧レスキューロボット

2007年に新潟を襲った中越沖地震の被災地において、クローラ走行式油圧レスキュー双腕ロボット（図19.1）が出動要請を受け、瓦礫などの除去作業で活躍しました。この油圧ロボットの開発目的は、人が簡単に近づけない危険地域での重作業や人命救助を遠隔操作で行なうことにあります。1号機のT-5は2000年に水圧駆動方式で発表され、2号機のT-52で一回り大きな仕様へと変更された後、消防救助訓練や雪害現場での検証評価を踏まえ、2007年7月にサイズダウンのT-53『援竜』（幅1.4m、奥行2.32m、高さ2.8m、重量2.95トン）としてお目見えしました。

一般に土木建機は中央に1本のアームしか持っていませんが、2本の油圧マニピュレーター（アーム部に6軸、ハンド部に1軸の自由度）をキャビンの左右に備え互いに協調し合うことで、車両の方向転換や後退もせず、頭部とハンド部のCCDカメラでモニターしながら片腕で100kgまでの障害物を自在に

撤去できます。旧型に比べ新型T-53『援竜』の特徴は、全体的に小型化を図り機動性を向上させ、同期動作制御を採用することで他の自由度の制約を受けずにターゲットへ迅速に真っ直ぐハンド部を移動してオペレーターの直感的な操作を支援できることにあります。また、遠隔操作装置はジョイスティックを含むコントローラーと3つのモニターから成り、トランクへの収納が容易で移設するのに便が良くなっています。ディーゼルエンジンの燃料をタンク全量まで補給すれば6時間ほど稼働でき、公道で走行のための自動車登録もできます。

今後の課題として、あらゆる現場に対応するよう悪路やぬかるみ地での駆動性能を高める検討が必要とされ、これにより災害現場のみならず建設土木や廃棄物リサイクル分野への適用が期待されます。

19.2 油圧パワーアシスト装置

米国国防総省高等研究計画局（DARPA）からの資金援助を受け、カリフォルニア大学バークレー校ロボット人間工学研究所は油圧パワーアシスト装置BLEEX（バークレー下肢外骨格）を開発しました（図19.2）。BLEEXには40個以上のセンサが両脚に内蔵され、姿勢などの情報を検知し演算処理す



図19.1 油圧レスキュー双腕ロボット『援竜』

ることで、大腿部と下腿部にそれぞれ取り付けられた油圧シリンダへの作用力を決定しています。外骨格装置45kgに加えて、油圧源とそれを駆動するエンジンを収めたバックパックの重量32kgは、あたかも2.3kg程度の負荷にしか感じられないといえます。生みの親であるカゼルーニ教授は、「油圧を用いたBLEEXは、電動や空気圧のパワースーツに比較して、長時間にわたりパワーが必要で迅速な作業に適しており、災害復旧現場での救助隊員、兵士、消防士は重い荷物を遠距離まで運ぶことが楽にできる」と語っています。



図19.2 油圧パワーアシスト装置BLEEX

(資料提供：カリフォルニア大学バークレー校
ロボット人間工学研究所)

19.3 災害対応ヒューマノイドロボットHYDRA



国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託を受け東京大学、千葉工業大学、大阪大学、神戸大学で開発された各腕8自由度、各脚6自由度、腰2自由度、首1自由度及び各手5自由度をもつ、世界で最も人間に近い稼働部位をもつ(41自由度)油圧駆動ヒューマノイドロボット(図19.3)です。

Hydraという名前は、首を除く全軸が油圧であることから「油圧」の英語「Hydraulics」、また水素燃料電池を使うことから、「水素」の英語「Hydrogen」に由来しています。手は4指構成で、親指以外の3指は屈曲伸展の1自由度、親指はこれに加えて内転外転の1自由度をもちます。手首、足首、肩関節、股関節は2自由度閉リンク機構でユニバーサルジョイントを駆動する構造です。直動形油圧アクチュエータと閉リンク機構で駆動する軸は最大トルクが関節角度によって変化します。

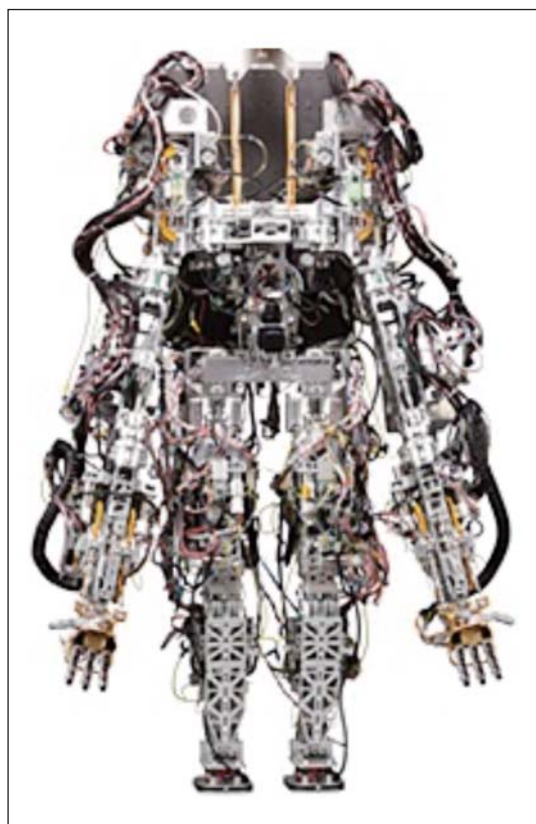


図19.3 ヒューマノイドロボットHydra

(資料提供：国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO))

20. マイクロ液圧

20.1 はじめに

機械にはアクチュエータが必要であり、電動、油圧、空気圧が現在の主流です。アクチュエータは応用によって電動、油圧、空気圧などが使い分けられるべきです。油圧は大きな力あるいはパワーが必要なところで本領を発揮していますが、大きいところであればどこでもというわけにはいかないようです。例えば、数百トンの大型ダンプは油圧では限界があります。電動にその場を譲らざるをえないのです。

では、小さいところではどうでしょうか。マイクロマシンの領域ではいま、電動が幅を利かせています。しかし本当に電動が向いているかという問いはあまりなされていません。マイクロの領域でも、液圧駆動は優位性、可能性があると考えて、流体とくに液体駆動のマイクロマシン、マイクロアクチュエータの創成を試みています。「マイクロマシン」の定義は、いくつかありますが、我々は、マイクロ部品で体積 1cm^3 以下のマシンを構築することを目指しています。

従来のバルブにはじまる油圧コンポーネントは、機械的可動部、摺動部があり、隙間の制御がマイクロでは難しいことから、そのままではマイクロに向いているとはいえません。それではマイクロアクチュエータを実現するためには、どのような方法が考えられるでしょうか。ひとつ考えられるのが「機能性流体」です。「機能性流体」と呼ばれる液体がこの数十年で浮かび上がり、近年いくつかの応用が試されつつあります。機能性流体とは、その流体に加えられた外部刺激（電場あるいは磁場）によりその物性を変化させる、あるいは機能を示すもので、ERF（電気粘性流体）などがよく知られています。電界により表面張力を変化させるElectro-wettingなども広義の機能性流体と考えられます。ERFは電界をかけると見かけの粘度が変化する流体です。機能性流体をマイクロアクチュ

エータに応用すると、例えばERFでは、機械的可動部、摺動部が不要で、隙間の制御に当たるものが電場の制御によりできます。

我々は現在、ERF、MRF（磁気粘性流体）及びECF（電界共役流体）に興味をもって可能性を探っています。

ERFあるいはMRFは見かけの粘度が変わる液体（固体粒子の懸濁液を含む）であり、粘度変化を利用し、マイクロ液圧システムを構成するためには、マイクロポンプが必要となります。液圧で用いられるような高圧を 1cm^3 内で発生させるマイクロポンプを開発するのはなかなか難しいですが、ある企業と共同で、チェック弁の代わりに管路内流体慣性を応用して、 0.4MPa が得られる（体積が 1.3cm^3 の）マイクロポンプを開発しています。

20.2 ECF

ECFは、純粋な絶縁オイルであり、針ーリング状電極対（図20.1参照）などの電極間に電界をかけると、電極間に強力なジェットを発生するものです。これは20年前に我々の研究グループで発見したもので、広く海外特許も押さえています。このジェットによる圧力を用いることにより、タンクレス、ポンプレスのマイクロ液圧アクチュエータを構成できます。このECFジェットが生じるメカニズムはまだ十分に明らかにされていません。広くはEHD現象に分類されるものと考えられていますが、原理解明の検討は始めており、低電圧領域では、誘電率を介してマクスウエル応力がジェット発生に関係していることが、理論、実験の両面から明らかにされ始めています。また、直感的には液体非平衡プラズマのなんらかの影響があるのではないかと考えられています。

このECFに針ーリング状電極対（図20.1参照）を用いて、ECFとしてふっ素系の高性能なFF-101EHA2を採用すると、 0.008cm^3 当たり 0.025MPa を発生するジェット発生器を再現性よく開発することができました。これを12段（体積 0.096cm^3 ）で 0.3MPa の圧力が得られます。繋ぐ管路部分を除く単純計算だと体積 1cm^3 で 3MPa が得られることになります。

現在、マイクロ液压システムを目指し、これを用いて、体積 1cm^3 以下のソフトアクチュエータを駆動しています。このECFアクチュエータの興味深いところは、微小化特性です。寸法を小さくするほど、パワー密度が急激に高くなるのです。流体の場合、基本的には粘性をもっているので、隙間が狭いと粘性の影響で、ロスが増加して動きにくくなると考えられますが、電界下でのECFではそれが認められません。マイクロに大変向いている特性を有していると考えています。

現在、MEMS技術（集積回路技術を発展させた微細加工技術）により製作することができ、高い吐出圧力を得るため針ーリング状電極対に近い形状で高アスペクト比をもつ、図20.2に示す三角柱ースリット形電極対（TPSE）を提案し、新しいMEMSプロセスを開発して、ECFマイクロポンプの試作に成功しています。実験の結果、電極対を平面・3次元集積化することで、ECFマイクロポンプの出力パワーの体積密度を向上できることを確認しています。

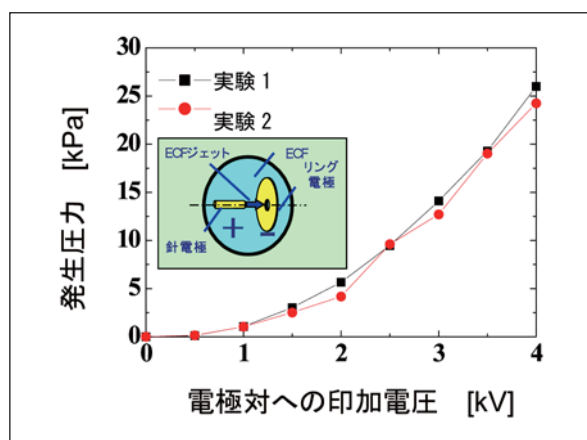
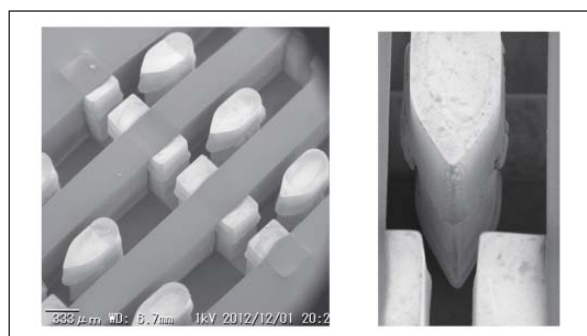


図20.1 ジェット発生器の圧力特性



MEMS技術により試作した
図20.2 三角柱ースリット形電極対（TPSE）

また、ECFジェット圧力の応用のひとつとして、マイクロ人工筋セルに代表される、拮抗形ソフトアクチュエータを数種類試作しています。図20.3はマイクロ人工筋セルの概要で、ECFジェットにより、内側のチューブが軸方向に伸びます。このセルは図20.4のように集積化が容易で、所望の変位及び力の人工筋を構成できます。ECFはマイクロ液压以外の応用も広く可能であり、マイクロモータ、マイクロ局所クーリング、CPU強制液冷用平面ポンプ、センサ（世界で初めての液体マイクロレートジャイロ）を提案、試作しています。

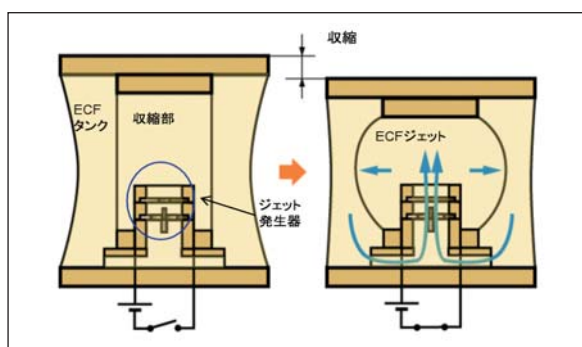


図20.3 ECF人工筋セルの駆動原理

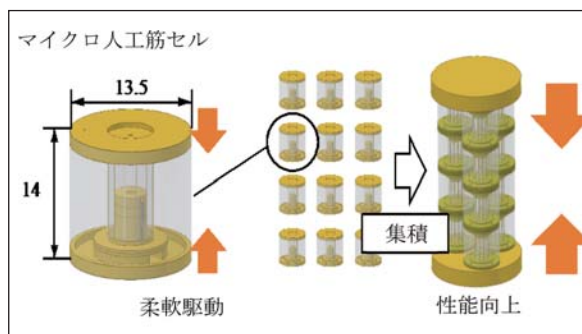


図20.4 人工筋セルの集積化

20.3 ERF及びMRF

ERFあるいはMRFを用いてマイクロバルブが実現できます。これは、平行平板内に流体を流して、平行平板間に電界（ERFの場合）または磁界（MRFの場合）をかけることにより、見かけの粘度を変化させ、通過に必要な差圧を変化させ、バルブとして機能させます。図20.5に粒子分散系ERF（左）と均一系ERF（右）の特性を、横軸に流量、縦軸に圧力を取り示します。MRFの特性は、粒子分散系

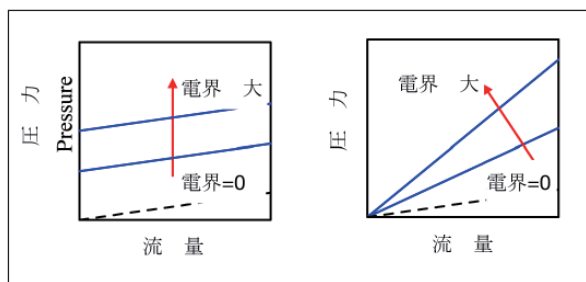


図20.5 粒子分散系ERFと均一系ERFの特性の相異

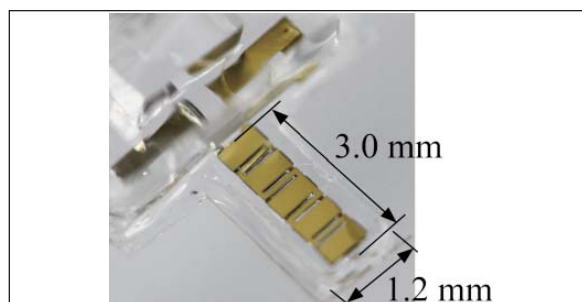


図20.7 MEMS技術を用いて試作したFERV

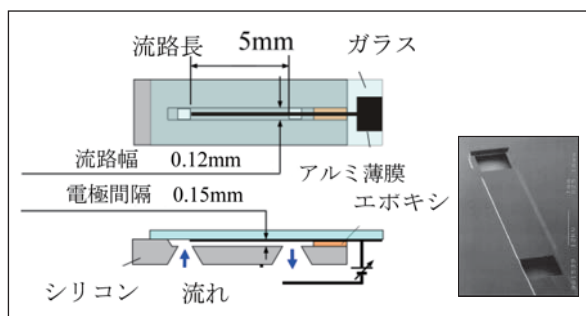
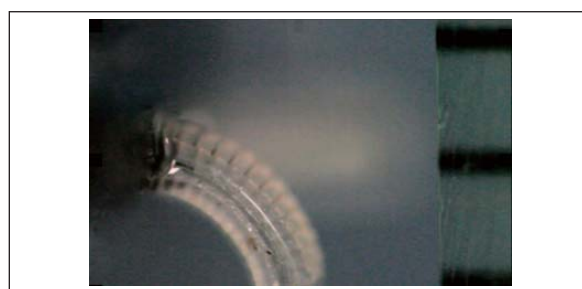


図20.6 MEMS技術を用いて試作した2ポートERマイクロバルブ

図20.8 MEMS技術を用いて試作した交流圧力駆動
1.6mm長ERマイクロフィンガ

ERFで電界の代わりに磁界を変化させたようなものになります。これを二段に設ければ、三方弁としても構成できます。

図20.6は液晶に代表される均一系ERFを用いたマイクロバルブのMEMS技術による試作例です。この場合粒子を含んでいないので、マイクロ化に限界はありません。しかし液晶は大変高価です。マイクロ化が進めば、使用する量は少なくなるので、問題は少なくなるでしょう。また、ゴム製の柔軟なソフトアクチュエータを駆動するときに、比較的長い流路を必要とするERFバルブを柔軟にできれば、応用範囲も広がるので、図20.7のように電極対を流れの方向に分割しそれをゴムチューブにより接続した構造のFERVとよぶERFバルブをMEMS技術により試作しています。

また、ERFマイクロバルブをERFの往復する流れに合わせて開閉し一方向の流れに直すことで配管系を小形化した交流圧力源システムを提案、MEMS技術を用いて試作し、図20.8に示すように長さ1.6 mmのソフトフィンガを実現しています。

バーチャルリアリティの実現及びリハビリ装置などの反力の発生に、ERFの粘性のアクティブ制御を直接利用する試みもあります。

20.4 あとがき

マイクロ液圧は、従来技術の延長上にはありませんが、少しの工夫で、その壁を乗り越えられると考えられ、今後の展開が楽しい領域です。将来、マイクロロボティクスあるいはミメティクスマシンに興味がある方が、マイクロ液圧に興味をもって研究を進めてもらえることを期待しています。

参考文献

- 1) 横田 真一：アクチュエータから観た機能性流体，日本ロボット学会誌，24-4，pp.25/31，(2006)
- 2) 横田 真一，吉田 和弘：機能性流体を用いたマイクロアクチュエータ，電気学会誌，127-5，pp.282/284，(2007)
- 3) 吉田 和弘：機能性流体の応用事例：次世代フルードパワーシステムを目指して，フルードパワーシステム，45-4，pp.168/172，(2014)