

●●●● 第1章 ●●●●

油圧の世界

1.	まえがき	6	10.	船舶の分野	24
2.	自動車の分野	7	10.1	はじめに	24
2.1	はじめに	7	10.2	トロール漁法における自動曳網システム	24
2.2	パワーステアリングと油圧	7	10.3	トロールウインチ制御装置の構成機器	24
3.	二輪車の分野 (サスペンション)	9	10.4	トロールウインチ制御装置の作動	25
3.1	はじめに	9	10.5	トロールウインチの張力制御	25
3.2	モトクロスレース用サスペンション	9	10.6	試験操業データ	25
3.3	減衰力調整サスペンション	10	11.	工作機械の分野	26
3.4	二輪車用電子制御式ステアリングダンパ	10	11.1	はじめに	26
4.	農業機械の分野	12	11.2	工作機械に使用される油圧技術	26
4.1	はじめに	12	11.3	おわりに	27
4.2	HSTの基本構成と特長	12	12.	半導体の分野	28
4.3	小型トラクタ	12	12.1	はじめに	28
4.4	コンバイン	13	12.2	真空加圧式ラミネータ機	29
4.5	おわりに	13	12.3	真空ホットプレス機	29
5.	特装車の分野	14	13.	環境・省エネの分野	30
5.1	コンクリートミキサ車って?	14	13.1	風力発電とは?	30
5.2	油圧ってすごい!	14	13.2	風力発電機と油圧	30
5.3	ミキサ車の問題点	14	13.3	動力伝達系の油圧機器	30
5.4	電子制御でいいことづくし!!	15	13.4	ピッチ系の油圧機器	31
6.	荷役・運搬機械の分野	16	13.5	ヨー系の油圧機器	31
6.1	はじめに	16	14.	ロボットの分野	32
6.2	フォークリフトの操作	16	14.1	油圧レスキューロボット	32
7.	土木・建設機械の分野	18	14.2	油圧パワーアシスト装置	33
7.1	はじめに	18	15.	マイクロ液圧の分野	34
7.2	双腕型油圧ショベル「ASTACO」	18	15.1	はじめに	34
7.3	双腕作業機の未来	19	15.2	ECF	34
8.	鉄道の分野	20	15.3	ERF 及び MRF	35
8.1	はじめに	20	15.4	あとがき	36
8.2	セミアクティブ振動制御	20			
8.3	ダンパの構造	21			
8.4	おわりに	21			
9.	航空機の分野	22			
9.1	ジェットエンジンの燃料システム	22			
9.2	システムの概要と燃料システム内部の発熱	22			
9.3	低発熱燃料ポンプ開発	23			

1. まえがき

身近な油圧

擦り減ったタイヤ交換やスキー場でのチェーン装着の際に、なぜこの小さな油圧ジャッキで何トンもの車が持ち上がるのだろうかという疑問を持った方はいませんか？海外旅行や出張で飛行機を利用した際に、主翼の近傍に座った方は、何度となくフラップが低い音ととも動いている様子や主翼に沿って這っている細く長い管のようなものを不思議な光景として眺めたことはありませんか？豪華客船や石油タンカーのような大きな船がどうやって舵を取っているのか不思議だと思ったことはありませんか？高速道路で山間部を走っている際に、数キロに及ぶトンネルの内部を丸い形だなど感じたことはありませんか？

小さな油圧ジャッキはパスカルの原理を利用したもの、飛行機のうなり音は油圧の運転音で、細く長い管は油圧作動油を導いている配管と呼ばれるもの、大型船の舵は油圧装置で制御されており、高速道路の丸いトンネルは油圧装置を内部に組み込んだ円形のトンネル掘削機の仕業です。

このように、私たちの生活と油圧とは切り離せない関係にあります。そのルーツは同じ液体で動く水圧ですから、二千年以上の歴史があります。しかし、現在のような油圧が確立したのは、油圧作動油が豊富に供給されるようになる20世紀後半からです。油圧はこの油圧作動油の出現で潤滑性能が飛躍的に向上し、油圧の可能性が無限に広がっていくこととなります。

油圧装置とは

油圧装置の基本は、電動機またはエンジンに直結したポンプが、タンクから吸い上げた油を、各種バルブを経由してモータやシリンダといったアクチュエータに送り込むものです。油圧装置の多

くは、一定回転の電動機とポンプの組み合わせの中で、ポンプを可変制御したり、バルブに比例機能やサーボ機構を付加することにより、油圧装置の省エネ化やアクチュエータの制御性を向上させてきました。

最近では、ポンプの回転数そのものをインバータ制御することにより、大きな省エネ効果を実現させたり、応答の速い電動サーボモータでポンプの回転数を制御することで、回路に必要な流量や圧力を制御する油圧装置も増えてきており、従来の油圧装置の概念とは油圧機器も含め、様変わりしています。

油圧の将来

省エネ、地球温暖化対策としては、電動サーボモータによるポンプ回転数制御が大きく貢献するでしょう。また、土壌汚染対策としては、生分解性作動油がもっと普及していくでしょう。さらに、印加電界や印加磁界により流体の物性などが変化し、特有な機能が発現する機能性流体の研究が進めば、マイクロ油圧としての展望が開けるでしょう。

自動車がハイブリッド車から電気自動車へと徐々に移行していくように、油圧もパスカルの原理という特徴を活かしながら、地球環境に優しい装置へと移行していかなければなりません。

そのためには、将来を担う多くの人々が、油圧に興味を持ち、油圧を理解していただきたいと考えております。本誌をお読みにになり、油圧に対するファンが増え、油圧の発展に貢献していただければ幸いです。

2. 自動車の分野

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。

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。ドライバーは重ステ（パワステ非装着の意味）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2～3kg程度の操舵力で良く、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）。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。

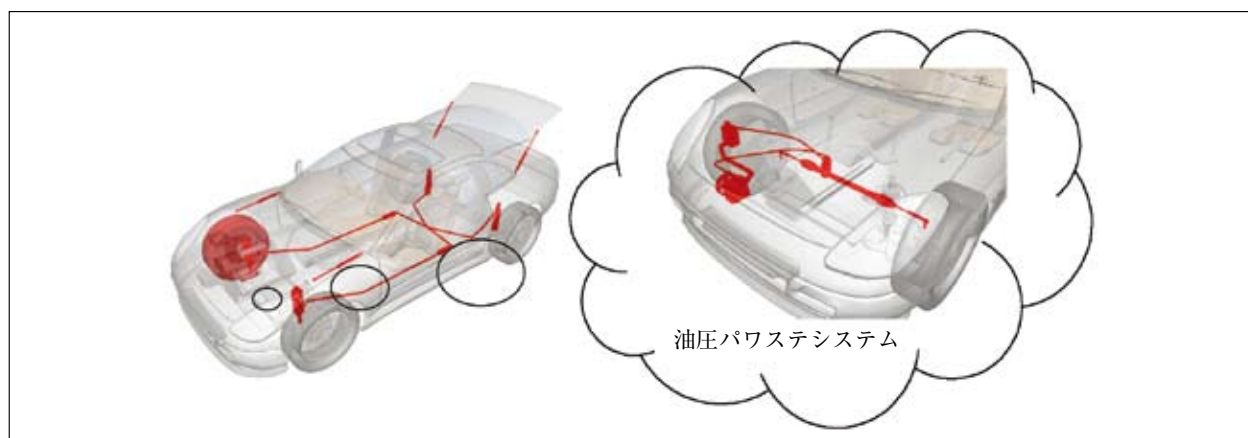


図1 油圧パワステシステムは自動車の油圧システムの一つ

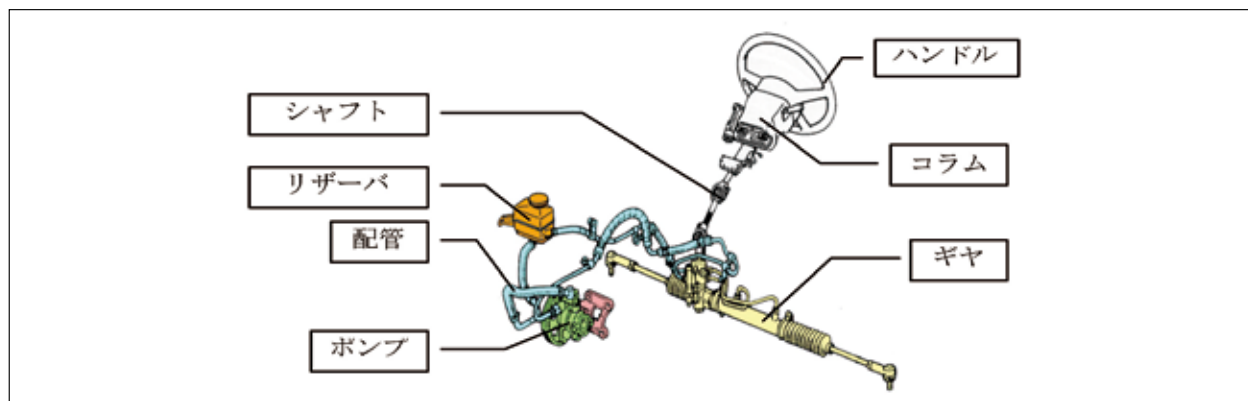


図2 油圧パワステの構成

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。パワステには小型で静粛性に優れた何枚かの羽（ベーン）を使ったベーンポンプが一般的です（図3）。

ギヤの中には、低剛性部（バネ）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

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。システムの圧力は最大で15MPaに達し、ポンプは8000rpmを超え、油の温度は130℃を超えることもあります。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。

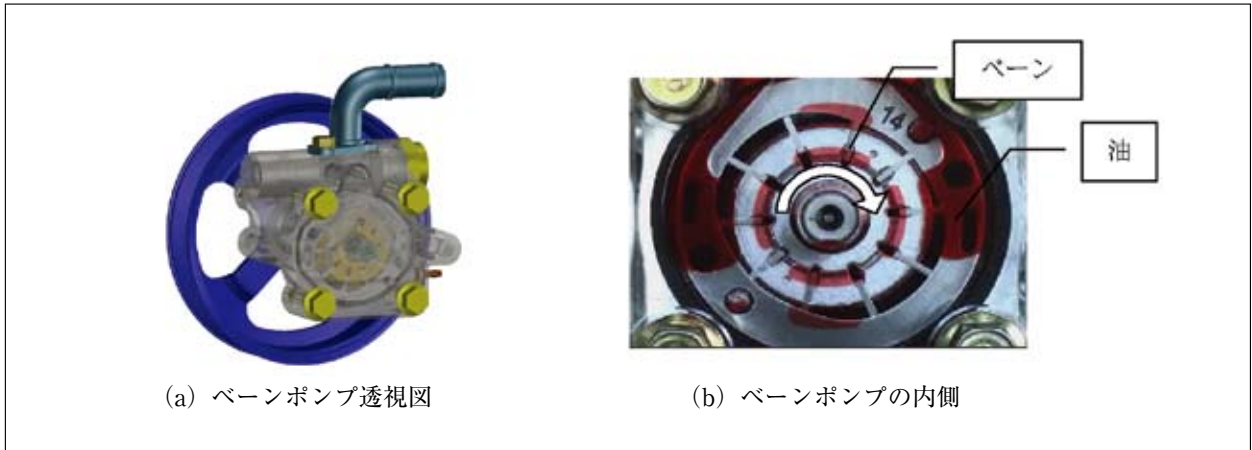


図3 油圧パワステ用ベーンポンプ

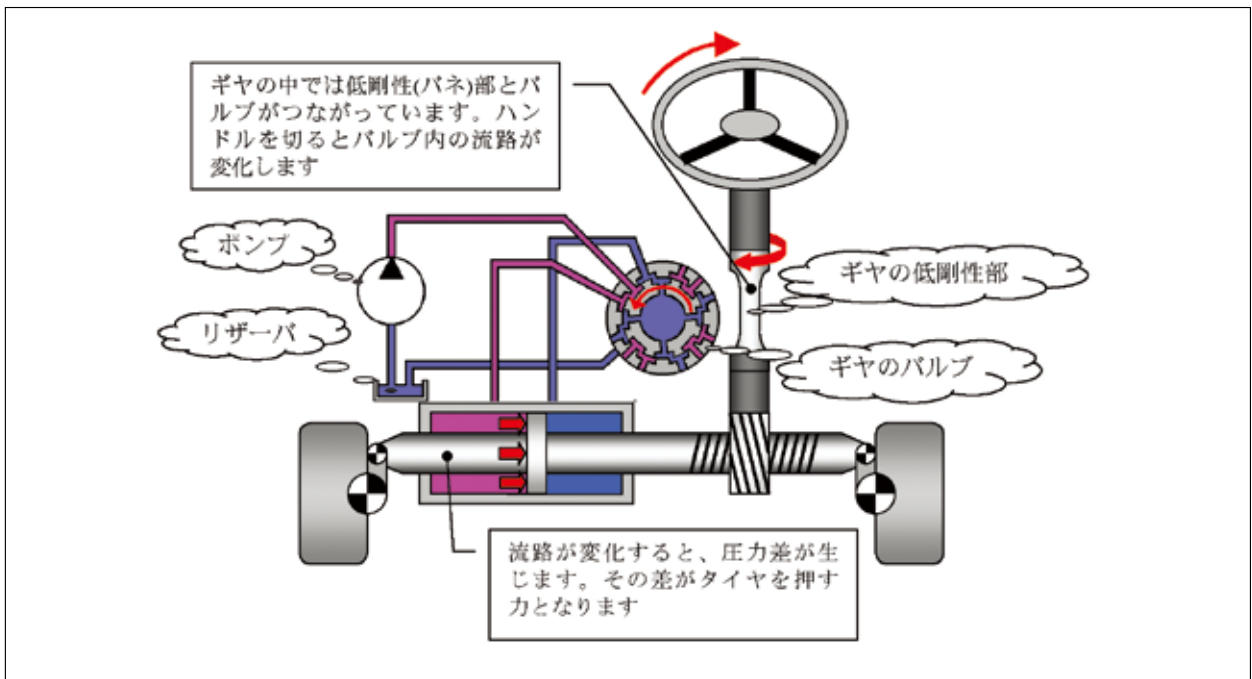


図4 油圧パワステ作動原理

3. 二輪車の分野 (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のでしょうか？ 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価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言えば「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だけでなく、極めて優れたセンス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



図5 モトクロスレース用フロントフォーク

たコースを専用設計されたオートバイでスピードを競うレースです。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用されるが故に、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いけません。

図5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6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持つものです。



図6 ジャンプするモトクロスライダー

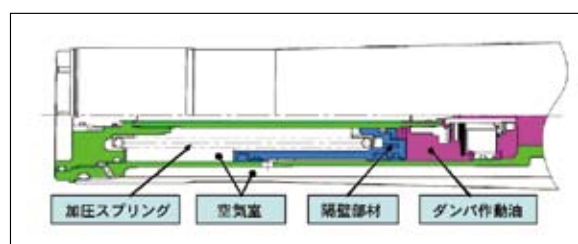


図7 フロントフォークのダンパ内部の加圧部構造

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。更に図7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8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8 減衰力調整バルブ付リヤサスペンション

図9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。

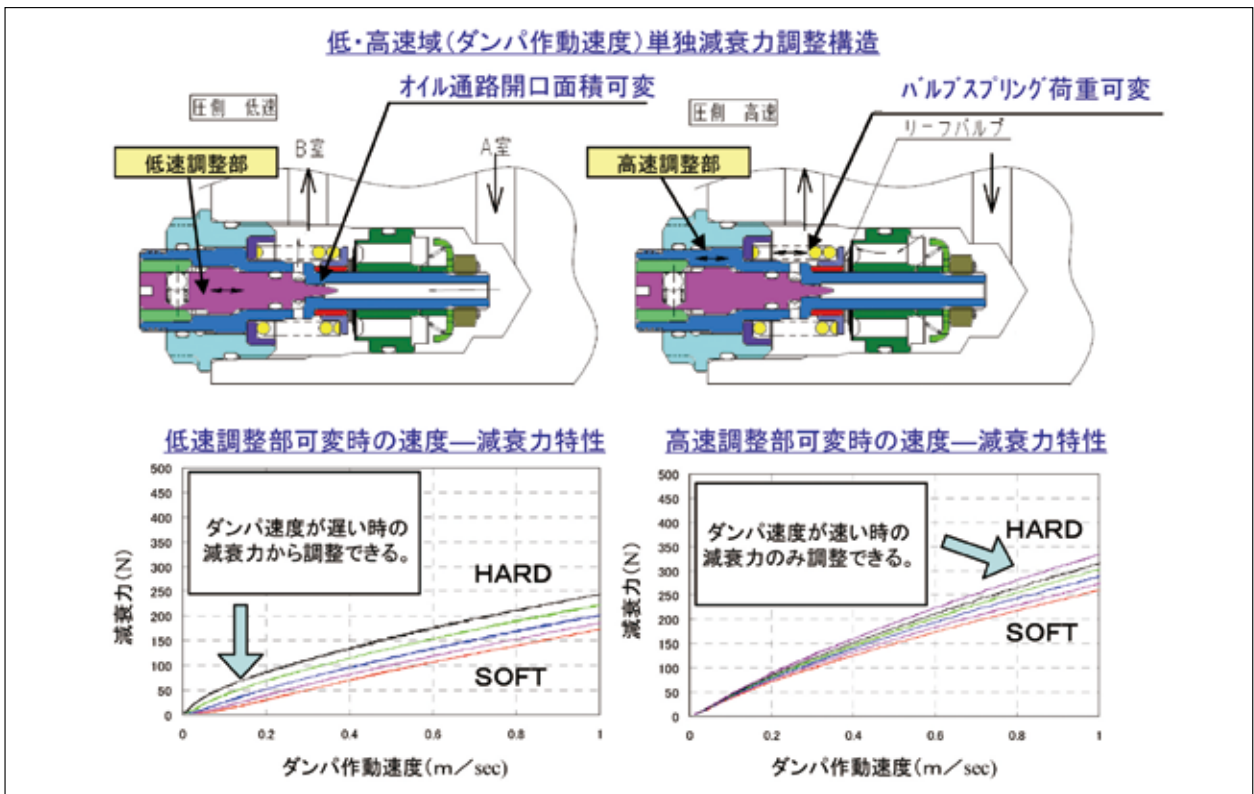


図9 バルブ構造と調整部操作時の減衰力特性



図 10 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 10 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 11 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。

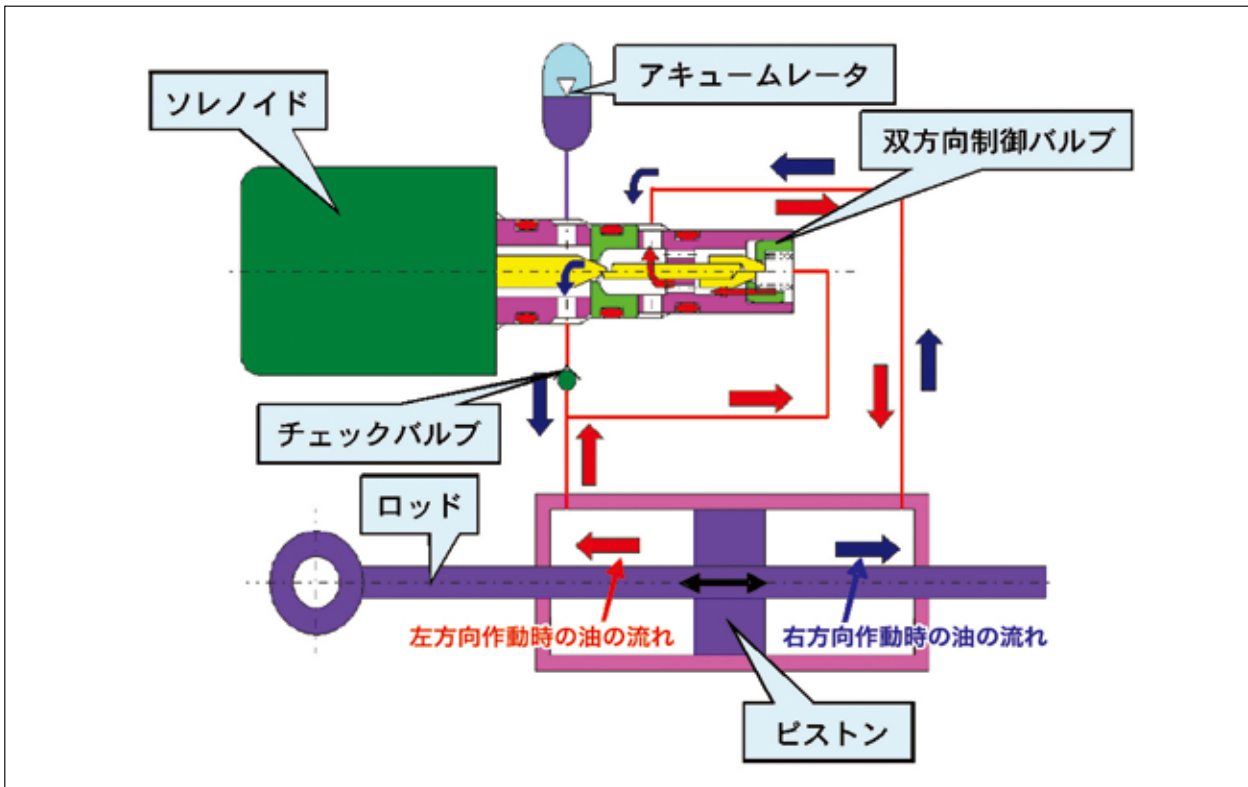


図 11 ステアリングダンパの油圧システム

4. 農業機械の分野

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固定容量形モータを接続した閉回路構成が主流です。図12に示すようなポンプ、モータが一体構造の一体型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に分別されません。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

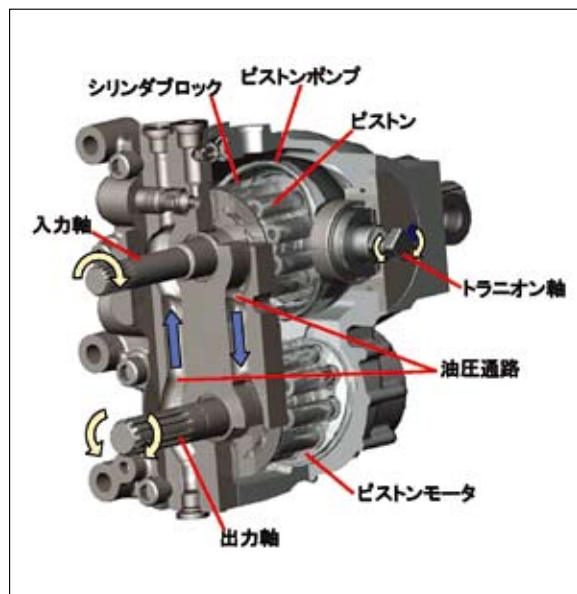


図12 一体型HSTの構造

4.3 小型トラクタ

(a) HST搭載のメリット

図13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、圃場間の移動やトレーラ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13 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積をコントロールさせています。(図 14 参照)

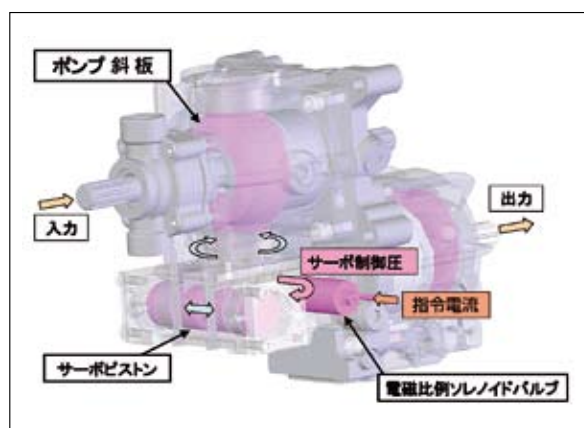


図 14 電子制御サーボレギュレータ搭載 HST

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事により、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事や、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事が可能となります。

4.4 コンバイン

(a) HST 搭載のメリット

稲麦専用の自脱型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 15 自脱型コンバイン

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す、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. 特装車の分野

5.1 コンクリートミキサ車って？

図 16 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柔らかく、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に、ドラムを回し、内部のブレードで攪拌しながら運搬しています。（図 17）

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、さら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。



図 16 コンクリートミキサ車

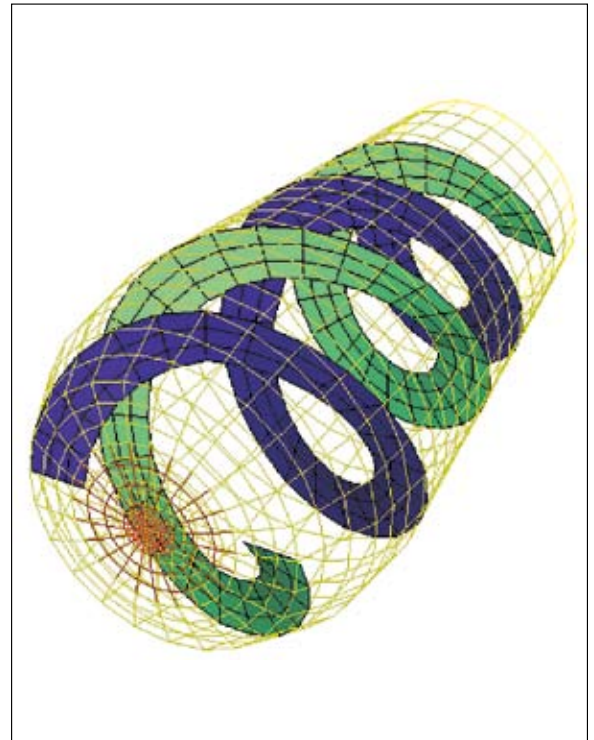


図 17 ドラム内部ブレード

排出前混練やドラム内部洗浄作業は、作業者の勤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」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。(図18、図19)

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。

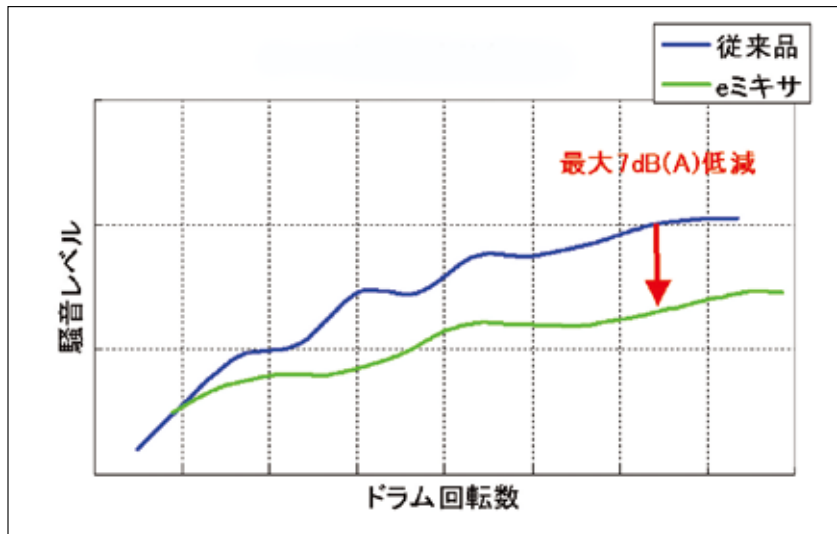


図18 騒音比較

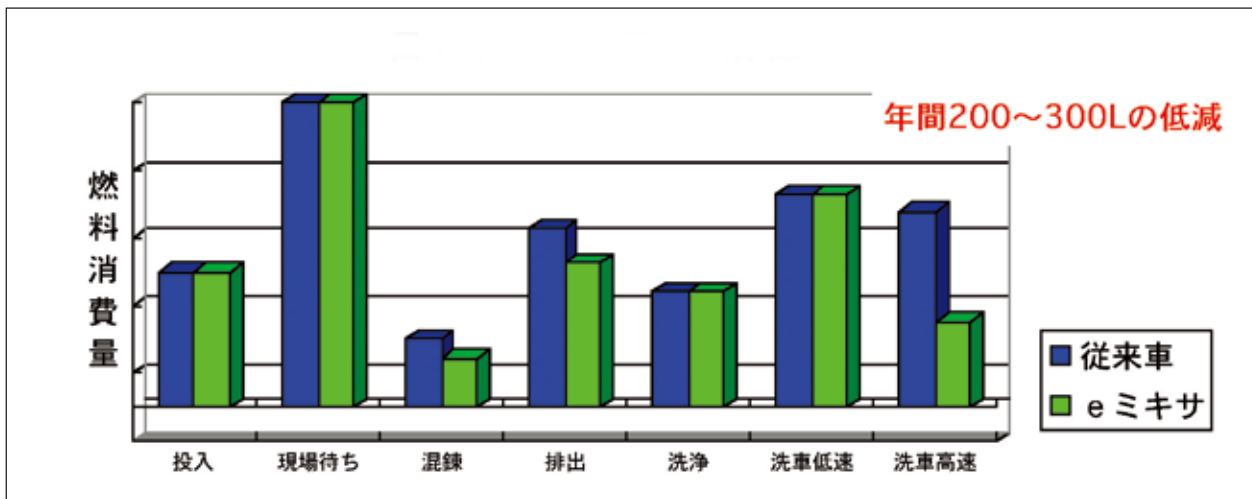


図19 作業毎の年間燃料消費量比較

6. 荷役・運搬機械の分野

6.1 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20)

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。

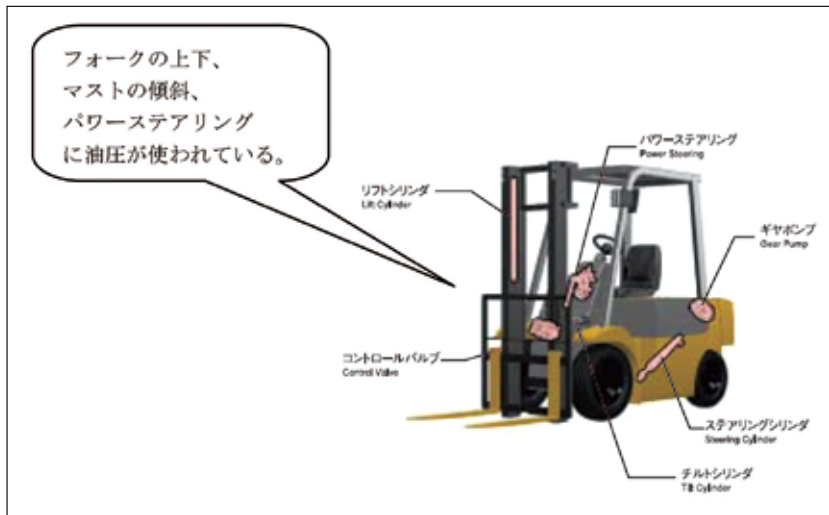


図20 フォークリフトに装着される油圧機器

6.2 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 springs 力とスプール切り換えで発生する油圧反力によりオペレータは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21)

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、この圧力でスプ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、

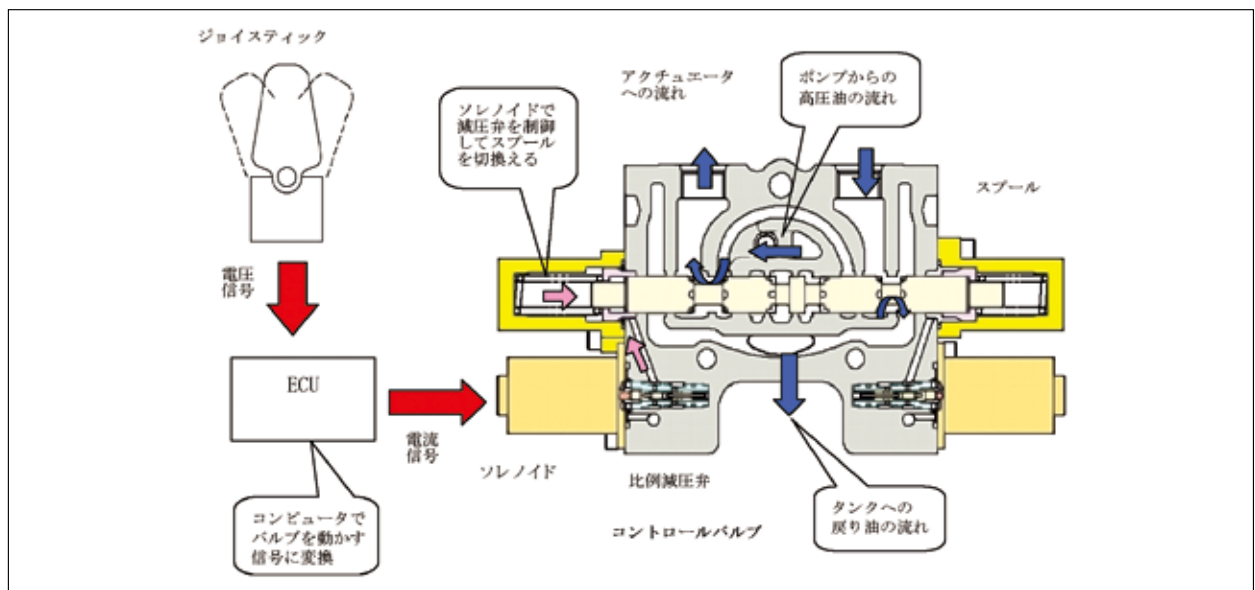


図21 電磁比例制御

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。

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言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、国際標準化 (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。(図 22)

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、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が進められています。

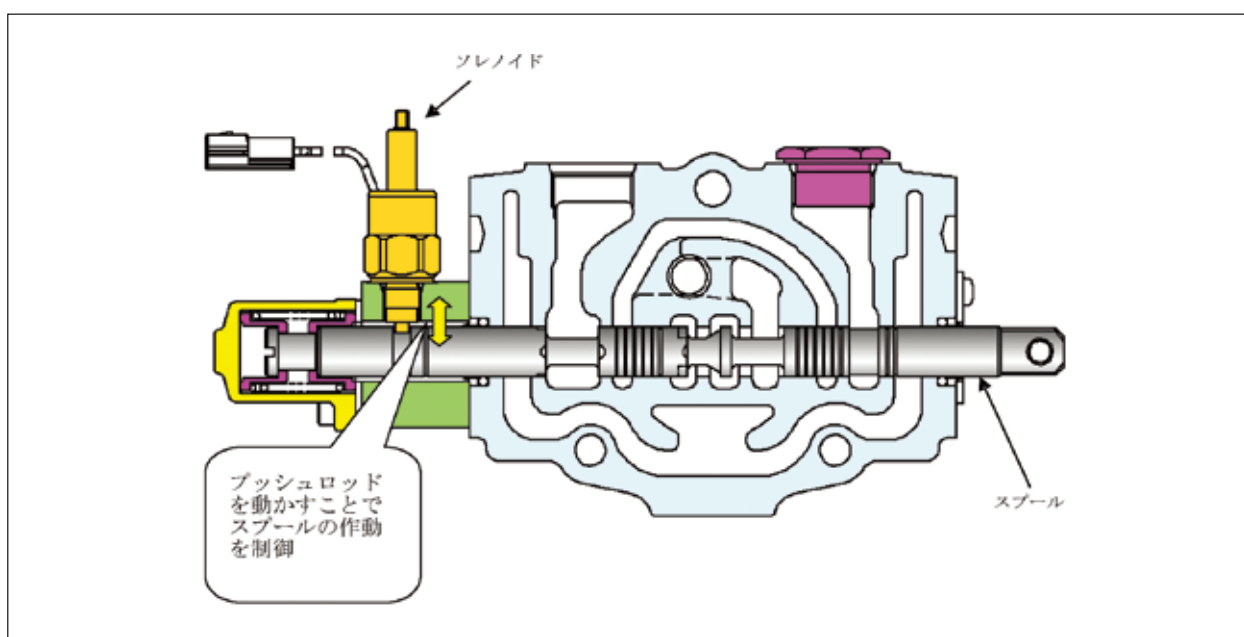


図 22 スプールロック機構

7. 土木・建設機械の分野

7.1 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23に示す双腕型作業機です。

7.2 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23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本の腕をもち、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23 ASTACO

特徴1. 複雑な作業が可能

ASTACOは左右2本の腕をもち、「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24）

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25）



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24 複雑な作業



図 25 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 26)



図 26 両立した作業

7.3 双腕作業機の未来

ASTACO は自由度が多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 27)



図 27 活躍できる分野

8. 鉄道分野

8.1 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 28 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対策が有効ですが、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が、②の対策と矛盾するので両立が困難です。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。

8.2 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。従って、車体が揺れているときには車体の揺

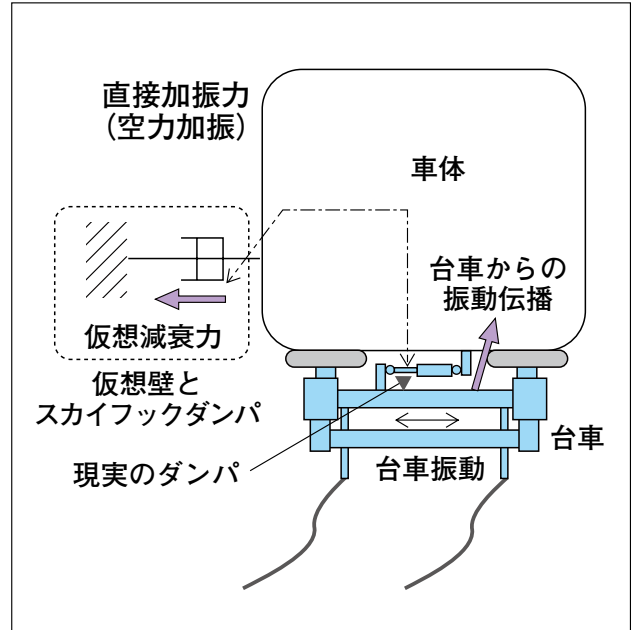


図 28 車体に伝わる振動とスカイフックダンパ

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のが困難になります。

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すれば、車体については仮想ダンパが付いているのと同じ事になります。

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。

8.3 ダンパの構造

図 29 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差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。従って、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。

8.4 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。

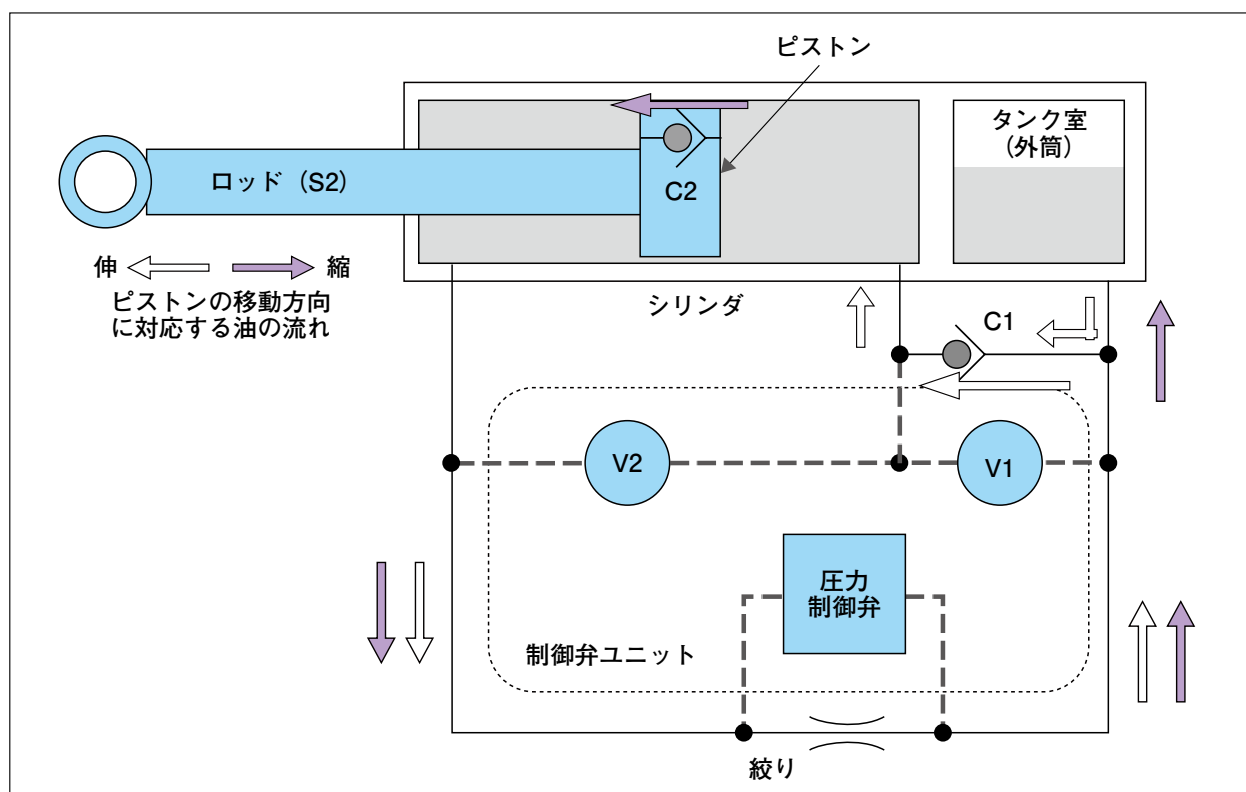


図 29 可変減衰ダンパの構造

9. 航空機の分野

9.1 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、一对の圧縮機とタービン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 30 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以下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。高圧圧縮機で更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。

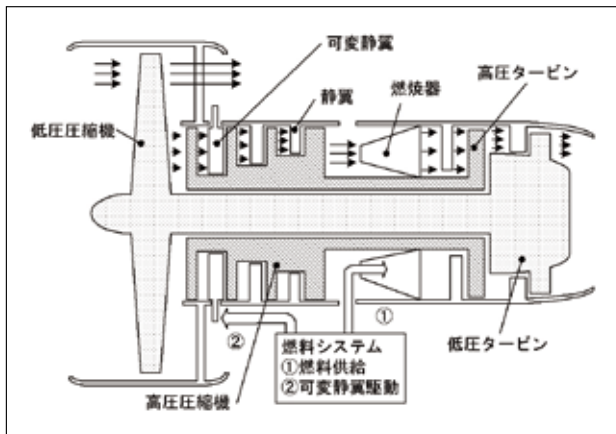


図 30 ジェットエンジンの構成要素概要

（注：矢印は空気の流れを示す。）

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の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回避するために圧縮機の変静翼機構や可変

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。

9.2 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量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ています。

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 31 に示すような構造となっています。

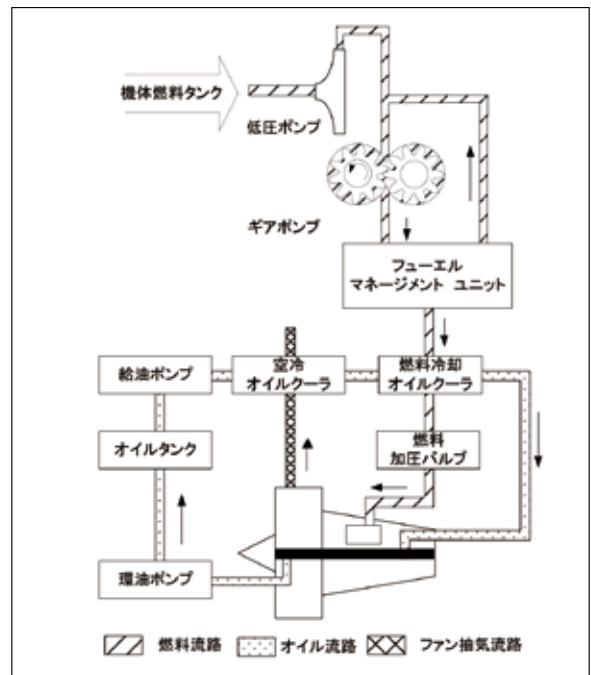


図 31 燃料システム及び潤滑システム

9.3 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、小型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。

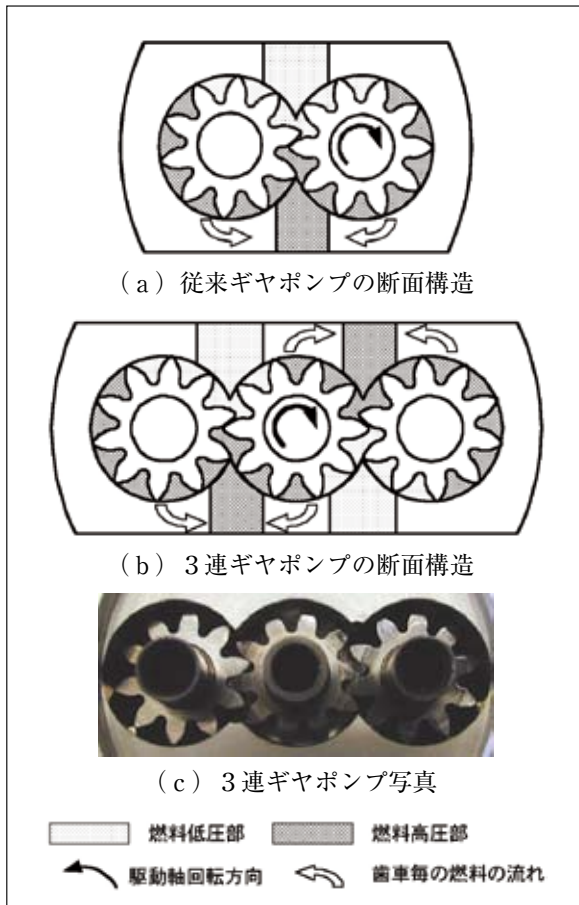


図 32 3連ギヤポンプの構造

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32に示します。

従来のギヤポンプは図32(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32(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32(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32(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事で、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事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、並列及び直列の切り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り替えシステム系統図を図33に示します。

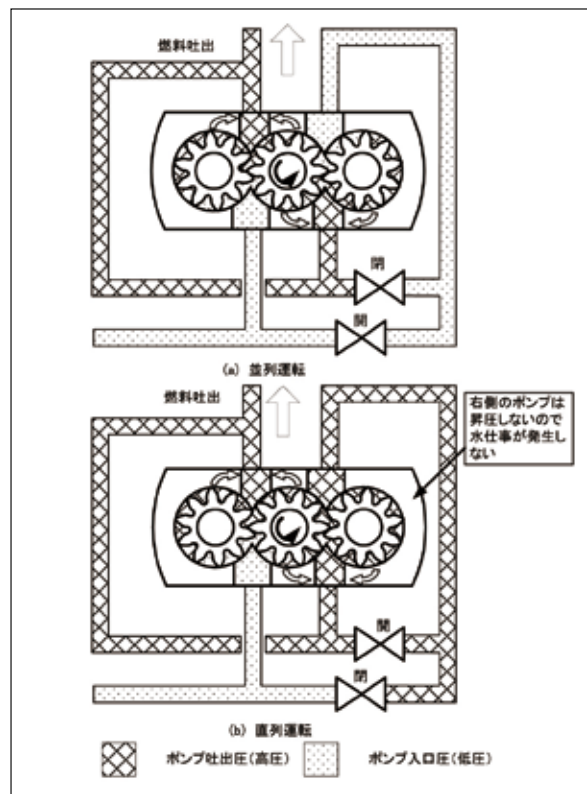


図 33 3連ギヤポンプ/切り替えシステム系統図

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。

10. 船舶の分野

10.1 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が(独)水産大学校漁業練習船「耕洋丸」(図34)に搭載されました。



図34 (独)水産大学校漁業練習船「耕洋丸」

10.2 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、漁労長の経験やカン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35に、関連機器構成を図36に示します。

図36の中の可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

いて概要を説明します。

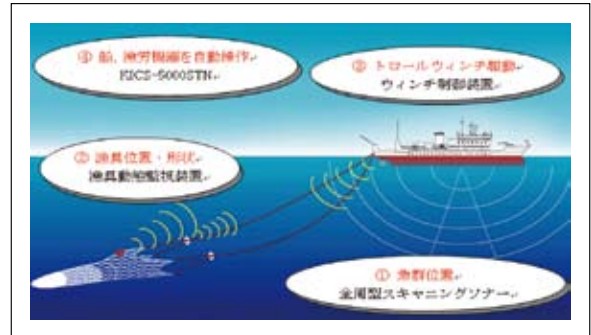


図35 自動曳網システム概念図

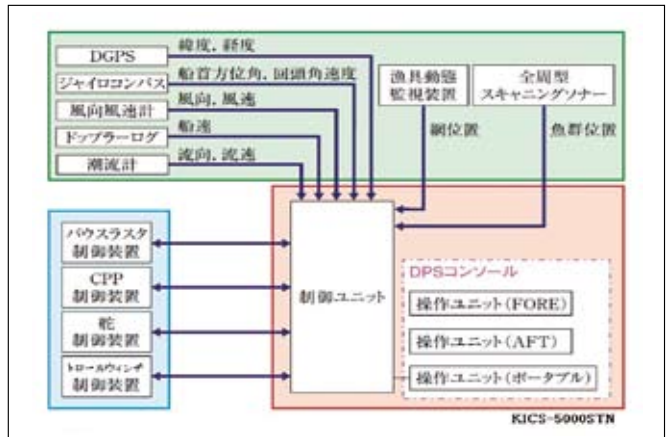


図36 自動曳網システム関連機器構成

10.3 トロールウインチ制御装置の構成機器

その主要構成機器は以下のとおりです。



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37 トロールウインチの外観

- ①ワイヤの繰出し・巻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

長さ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38に示します。

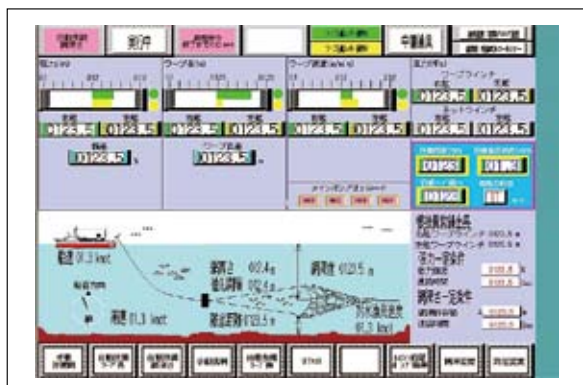


図38 操作画面の一例

10.4 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36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。

10.5 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39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

に組込まれたワイヤ長さ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。

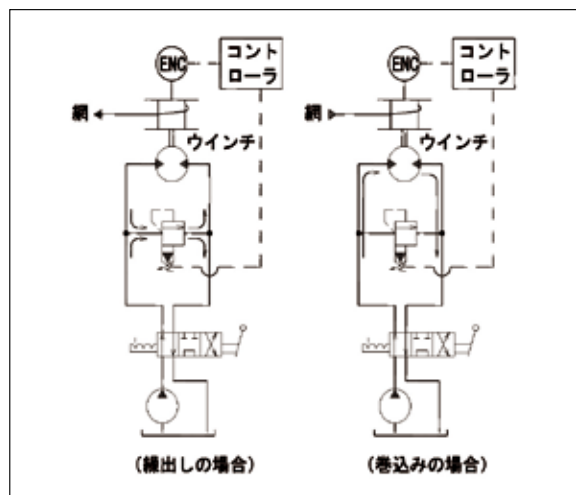


図39 オートテンション回路

10.6 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40に示します。

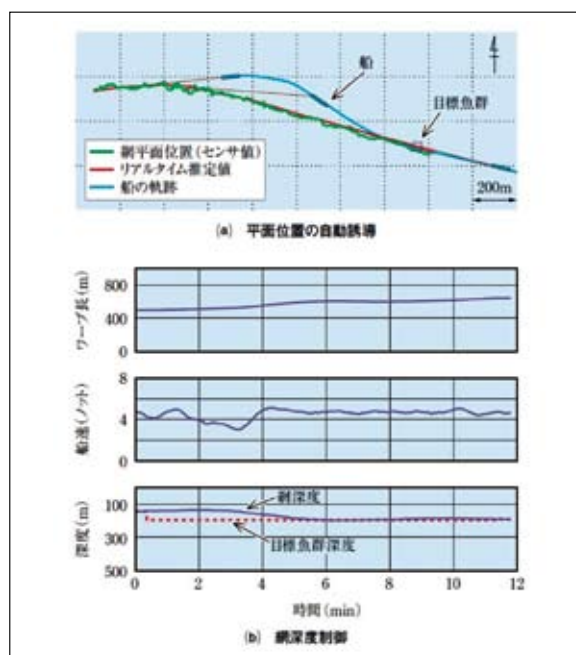


図40 船と網の平面位置の軌跡及び網深度制御のデータ

11. 工作機械の分野

11.1 はじめに

人類最初の道具はご存知の通り、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、銚、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遡ることができます。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。

11.2 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41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。

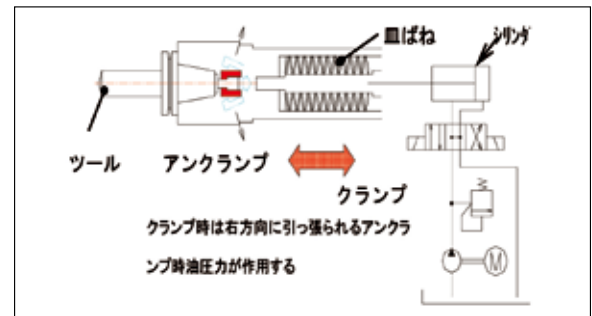


図41 自動工具交換装置

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り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。「可変容量型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、可変容量ポンプが使用され、圧力保持時、ポンプ吐出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更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用した場合、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ため問題点があります。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42に紹介します。

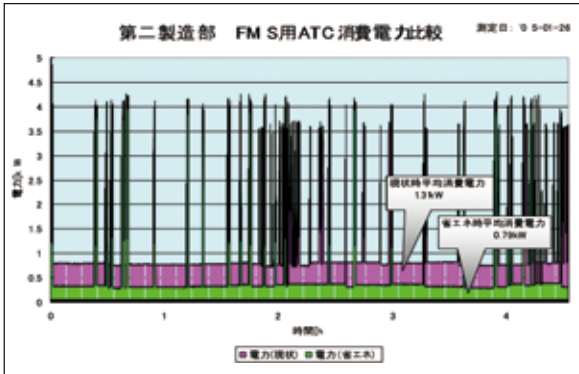


図42 ATCの消費電力比較

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43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。

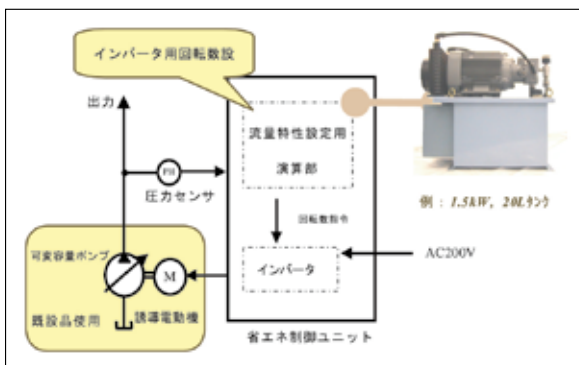


図43 省エネ油圧ユニットシステム構成

2) 小型パワーパッケージ

近年の工作機械では対環境に対する取り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、汚いという間違ったイメージがあります。このイメージをなくすため、小型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。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、小型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、加工中は皿バネによりツール（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力が作用します。皿バネを押し上げた後、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

械用の小型パッケージの用途例としてバ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44 MCバレット

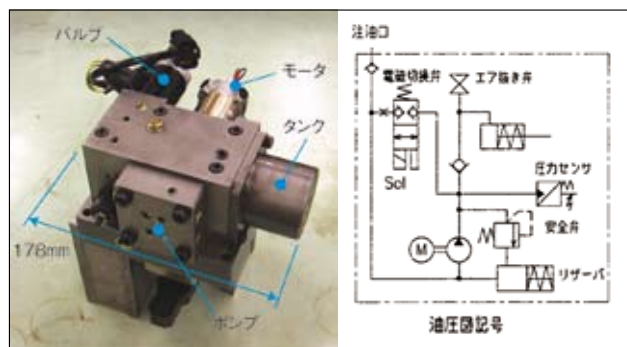


図45 小型パッケージと回路図

11.3 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り組みを行っていきます。

12. 半導体の分野

12.1 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 46）。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・プレーヤー、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 46 携帯電話の利用例

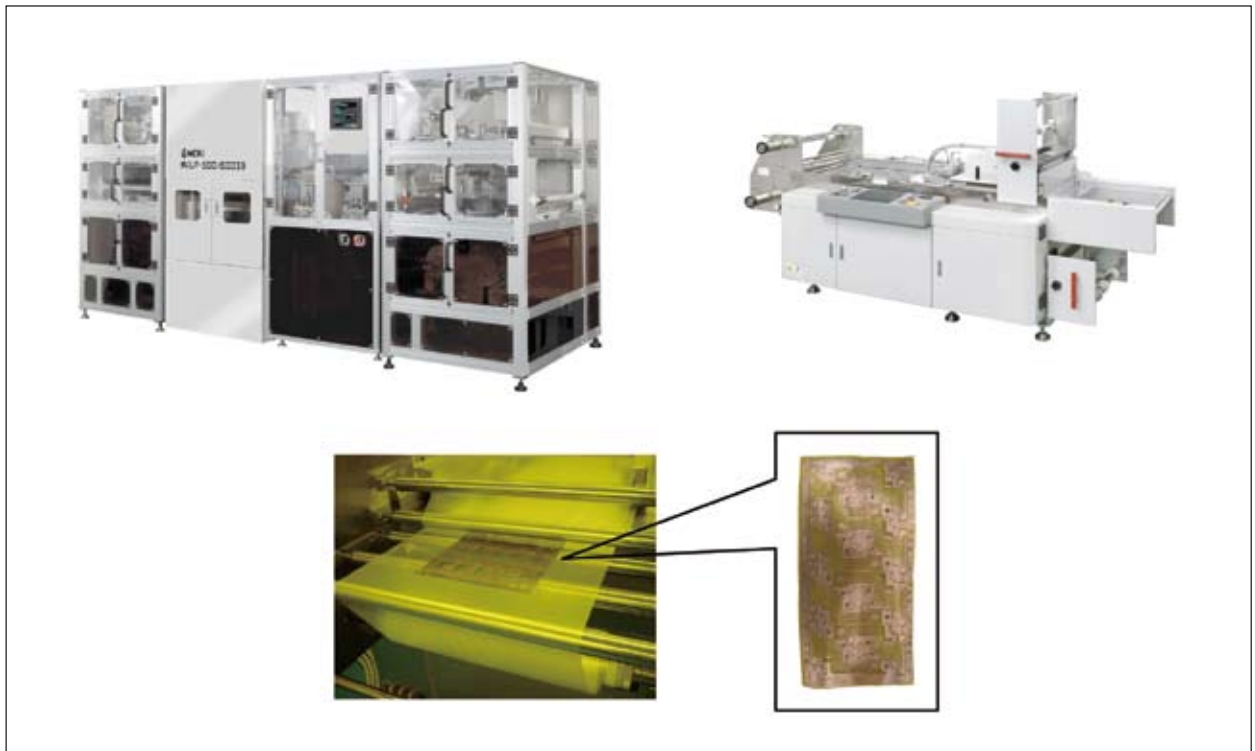


図 47 真空加圧式ラミネータ

12.2 真空加圧式ラミネータ機

図 47 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、真空の技術が取り入れられています。

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。

理科系の方なら誰もが知っているパスカルの原理が応用されています。

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。

12.3 真空ホットプレス機

図 48 の機械は真空ホットプレス機です。この機械には油圧、真空の技術が取り入れられています。

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、一度に何百枚もの基板、カードを製造するための機械です。



図 48 真空ホットプレス機

13. 環境・省エネの分野

13.1 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言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10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49に風車の全体を示します。また、図50に風車の頭になるナセルを示します。

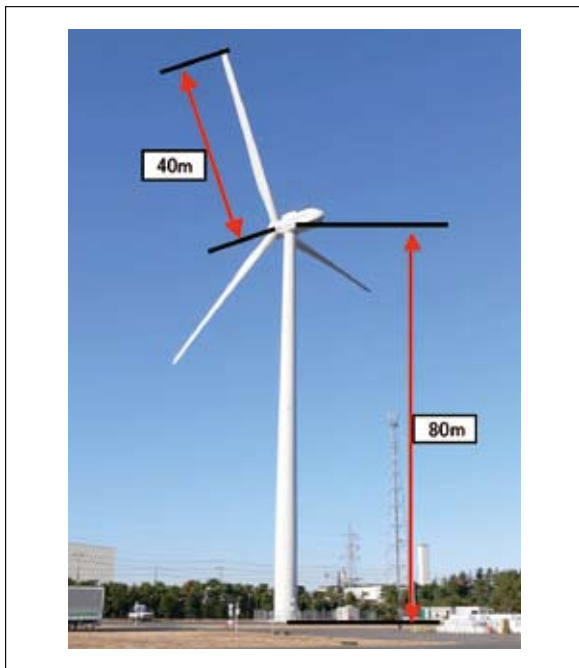


図49 風車全体



図50 ナセル

13.2 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51にそれぞれの位置を示します。

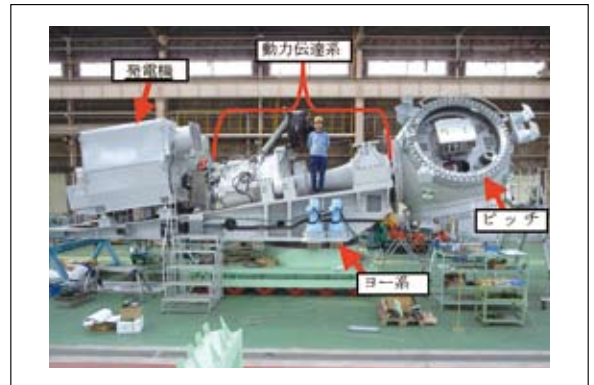


図51 動力伝達

13.3 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、増速機と呼ばれる歯車装置に伝えられます（図52参照）。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、その箱のなかには約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のと、増速機が発する熱を冷やす働きをします。ポンプにて油を吸出し、ラジエータ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。



図 52 増速機

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 53 参照）。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ず（図 54 参照）。電動モータ、ポンプ、バルブなどから構成され、ブレーキキャリアに油を送ります。

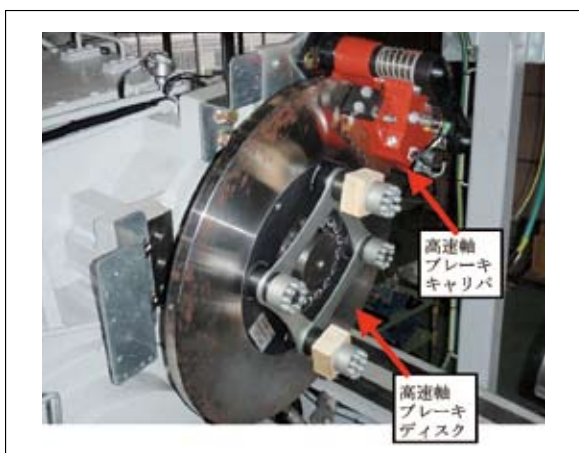


図 53 高速軸ブレーキ



図 54 油圧ユニット

13.4 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。

13.5 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 55 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。

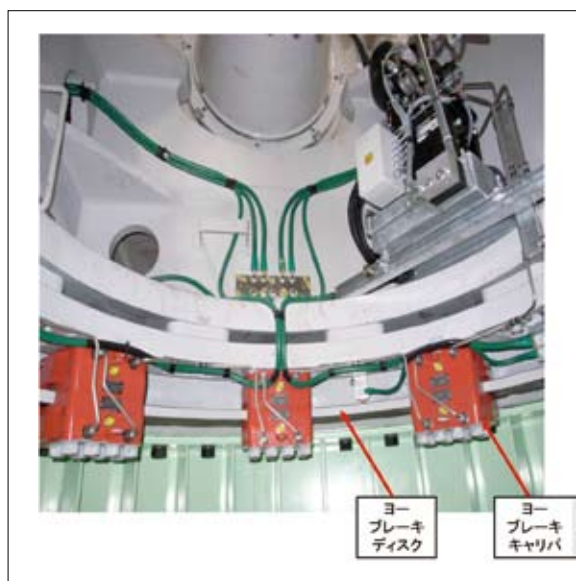


図 55 ヨーブレーキ

14. ロボットの分野

14.1 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56）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。

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。



図 56 油圧レスキュー双腕ロボット『援竜』

一般に土木建機は中央に1本のアームしか持っていないませんが、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7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

14.2 油圧パワーアシスト装置

米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 57）。BLEEX には 40 個以上のセンサーが両脚に内蔵され、姿勢などの情報を検知し演算処理することで、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 57 油圧パワーアシスト装置 BLEEX

(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)

15. マイクロ液圧の分野

15.1 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1立方cm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、その流体に印加された外部刺激（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 などと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（磁性流体 or 磁気粘弾性流体）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1立方cm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、チェック弁の代わりに管路内流体慣性を応用して、0.3MPaを得られる（体積が1.5立方cmの）マイクロポンプを開発しています。

15.2 ECF

これに対して、ECFは、純粋な絶縁オイルであり、針-リング対（図58参照）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15年前に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（電気流体力学）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に新型の針-リング電極対（図58参照）を用いて、ECFとしてフッ素系の高性能FF101を採用すると、0.008立方cm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0.096立方cm）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一立方cmで3MPaが得ら

れることとなります。現在、マイクロ液圧システムを目指し、これを用いて、体積1立方cm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ため、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が、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。

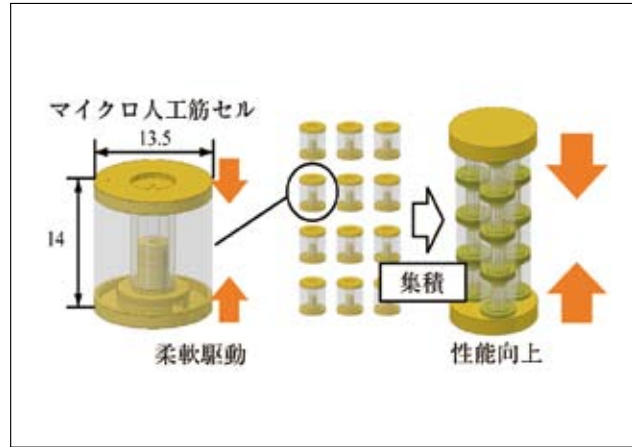


図60 人工筋セルの集積化

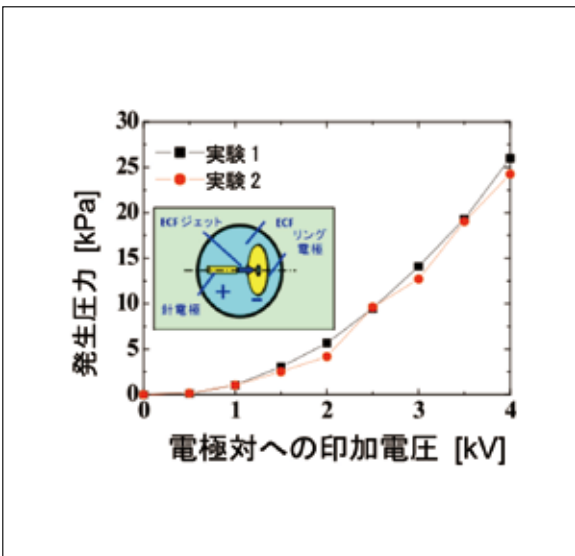


図58 ジェット発生器の圧力特性

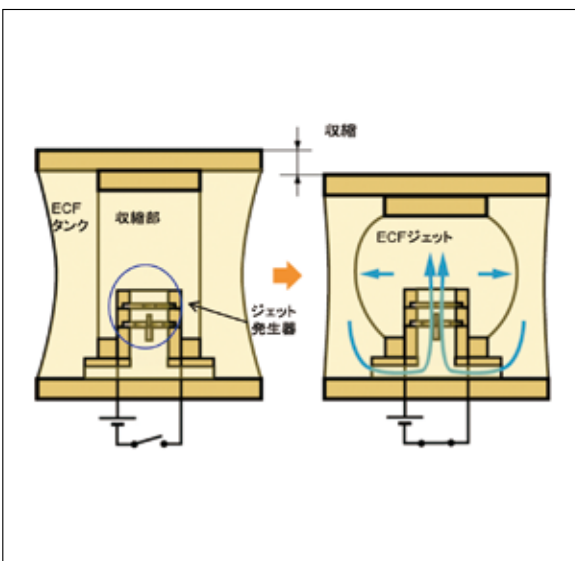


図59 ECF人工筋セルの駆動原理

現在、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59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60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はマイクロ液圧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。

15.3 ERF 及び MRF

また、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E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。これを二段に設ければ、三方弁としても構成できます。図61に粒子分散系ERF（左）と均一形ERF（右）の特性を、2ポートバルブに応用した場合として、横軸に流量、縦軸に圧力を取り示します。図62は液晶に代表される均一形ERFを用いたマイクロバルブの構成例であり、図63はそのMEMS（微小電子機械システム）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。ペローズのような柔軟なアクチュエータを駆動するとき、ERFバルブは比較的長い流路を必要とするので、バルブを柔軟にできれば応用範囲も広がるということで、FERVとよぶERFバルブが試作されています。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。

15.4 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、今後の展開が楽しみな領域です。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 眞一：アクチュエータから見た機能性流体，日本ロボット学会誌，24-4，pp.25/31，(2006)
- 2) 横田 眞一，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)

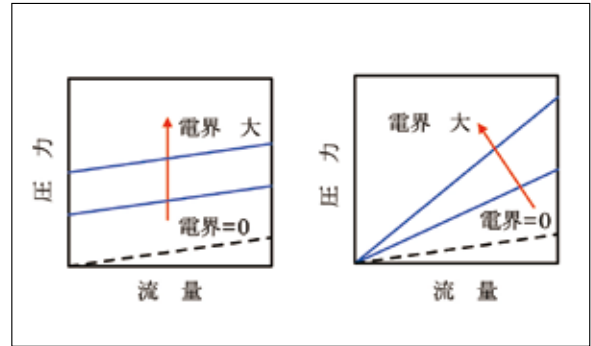


図 61 粒子分散系 ERF と均一系 ERF の特性の相異

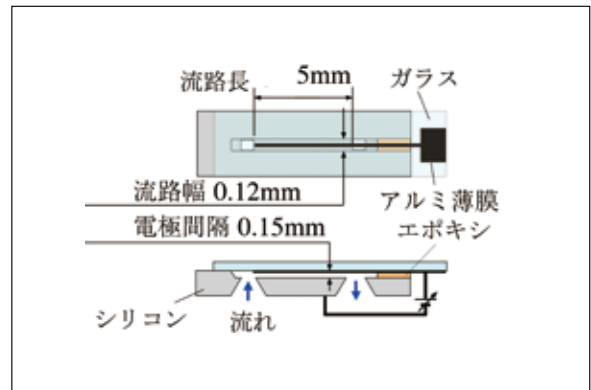


図 62 MEMS 技術を用いて試作した 2 ポートマイクロバルブ

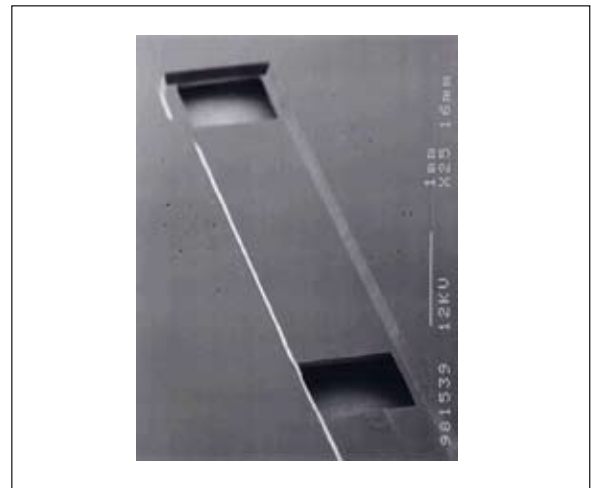


図 63 試作した 2 ポートマイクロバルブ