

# JFPA

## アクアドライブシステム — 技術資料 3



社団法人 日本フルードパワー工業会

表紙 : Copyright © 福岡県朝倉町、国指定史跡の三連水車  
裏表紙 : 茨城県、袋田の滝



Copyright © 2004 by Japan Fluid Power Association

## 発刊にあたって

近年、環境・安全性・クリーン性さらにサニタリー性等は新技術開発に欠くことのできないキーワードとなっています。環境と言えばこれまで地球規模的な CO<sub>2</sub> 排出、ダイオキシン、土壌汚染、水質汚濁などの問題さらには産業廃棄物処理にからむ 3R つまり、リサイクル、リユース、レデュースが主導的に産業、社会活動において重要視されてきました。しかし、これらの問題解決の機運は直接上記の関心域だけでなく、それぞれの分野の技術開発領域で発生しています。これまで機械産業の骨格を成してきた機械や装置の駆動技術（油圧・空気圧および電気）においても、その技術が用いられる周囲の環境条件や使用条件に対して、上述の環境保全・安全性・クリーン性・省エネルギー・省資源およびゼロエミッション等の観点から厳しい検討がなされるようになってきたところです。

当工業会ではこれらの重要性に鑑み、平成 10 年度～12 年度の 3 ヶ年間には、「環境融和型水圧駆動システムに関する調査研究」、引続き平成 13 年度～15 年度の 3 ヶ年間は「アクアドライブ技術の実用化に関する研究調査」事業を推進して参りました。本事業は、日本小型自動車振興会より機械工業振興資金の補助を得て実施したものであります。この事業で提案している「アクアドライブ技術」は作動流体に従来の油・空気と違って「水道水」を用いたフルードパワー技術であります。「アクアドライブ技術」は上記の問題点を解決するための最適な技術として最近欧米においても関心が持たれています。

平成 12 年度には、3 ヶ年の事業成果を要約し、英文小冊子「Aqua Drive System」を発行し、平成 13 年 4 月のハノーバメッセ会場で配布するとともに水圧サミット会議において日本の水圧技術への取組みの実状を紹介しました。一方、国内でも会員ほか関係者に配布しましたところ日本語版の要望が強く、その関心の大きさが感じられました。そこで、委員会としては、「アクアドライブ技術」を広く普及するため、また、水圧機器・システムのユーザとメーカーが開発と実用化を進めるにあたっての技術資料として寄与することを願い、平成 13 年度に第 1 版、さらに 14 年度に第 2 版を発行しました。本事業の最終年度であります平成 15 年度には、6 年間の調査研究の成果に基づき、「アクアドライブ技術の集大成」としての第 3 版を、ここに発行することができました。本書が業界の皆様をはじめ多くの関係各位のお役に立ち、わが国の「アクアドライブ技術」の発展の一助となることを期待しております。

最後に、本事業を推進するにあたって、ご指導、ご鞭撻をいただきました経済産業省製造局産業機械課並びに日本小型自動車振興会殿に厚く御礼申し上げます。

平成 16 年 3 月 吉日

社団法人 日本フルードパワー工業会  
技術委員会 委員長 平野 謙一  
「アクアドライブ技術の実用化に関する調査研究」委員会  
委員長 山口 惇

# 目次

<b>1章</b>	<b>ADSの実用化に向けて</b>	<b>1</b>
<b>2章</b>	<b>ADS用機器の選定ガイド</b>	<b>3</b>
2.1	取扱い企業と機器一覧	3
2.2	機器の種類と仕様	6
2.2.1	水圧機器の概要	6
2.2.2	水圧機器の仕様	10
2.3	機器とシステムの材料	16
<b>3章</b>	<b>ADSの水質管理</b>	<b>17</b>
3.1	水質	17
3.2	水質評価試験	17
3.2.1	実験装置と実験方法	17
3.2.2	実験結果	18
3.3	水質の管理指針	20
<b>4章</b>	<b>ADSの実用運転</b>	<b>22</b>
4.1	高速運転	22
4.1.1	実験装置と実験方法	22
4.1.2	実験結果	24
4.1.3	シミュレーション	28
4.2	運転指針	31
4.2.1	圧力損失と流速	31
4.2.2	サージ圧力の防止	32
4.2.3	システムの構成と運転上の注意	34
<b>5章</b>	<b>ADSの応用</b>	<b>36</b>
5.1	ADSの応用分野	36
5.2	公表されたADSの応用事例	37
<b>6章</b>	<b>ADSの将来展望</b>	<b>40</b>
6.1	社会的要請とADS	40
6.2	市場規模の予測	40
6.3	ADS産業振興のために	41
	<b>委員会参加企業と大学</b>	<b>42</b>

平成10年度～平成12年度「環境融和型水圧駆動システムに関する調査研究」委員会  
平成13年度～平成15年度「アクアドライブ技術の実用化に関する調査研究」委員会

# 1章 ADS の実用化に向けて

水道水を圧力媒体として使用する液圧技術は 18 世紀末に欧州で既に存在し、大きな動力を伝達するものとして主に利用されていた。当時の水圧技術は、水の漏れによる効率の低下や水の低粘性による摩擦、摩擦、錆などによる材料の劣化など多くの問題点があった。ましてや、当時は作動水の処理や管理などはなされていなかった。

その後、水に添加剤を加えることで防錆性、耐腐食性や潤滑性を向上させた水成系の多様な作動流体がプレス機や鉱山機械などに使用されるようになった。これら水成系作動流体の大きな利点は難燃性であることで、火災の危険がもっとも心配される製鉄設備などでは多くの使用実績がある。現在、水圧駆動システムは、一般的に水成系作動流体も含んだ広い意味で、「水圧 (Water Hydraulics)」と解釈されている。

上記で述べた水圧駆動技術とは異なり、「アクアドライブシステム (ADS)」は水道水または清水のみをシステムの作動流体として使用する。ADS 技術は、単にこれまでの駆動源である油圧、空圧、電動などの単体の代替としてではなく、システム全体のメリットの向上およびこれまでのリスクを最小化するための「システム・ソリューション」の提供を目的とする。

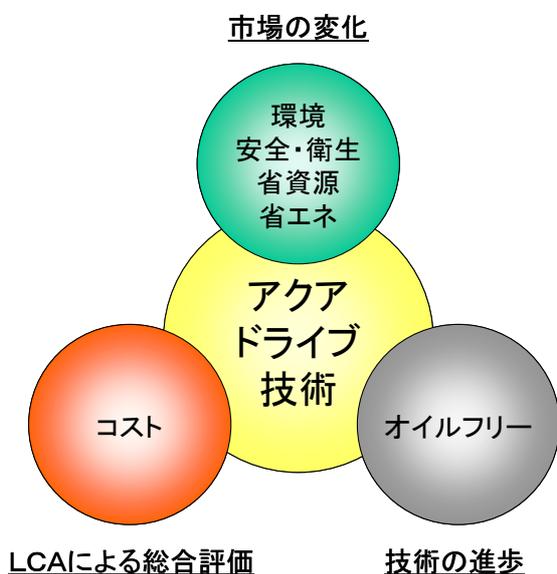


図 1.1 アクアドライブシステムを支援する 3 つの条件

- (1) 基本方針は「オイルフリー」
  - ADS は潤滑油、作動油や機械油を使用しないコンポーネントから構成されている。
  - ADS は電気、油圧や空圧など、既存の駆動技術と同等の駆動特性がある。
- (2) ライフサイクル評価 (LCA) はシステムの有効性を評価する上で中心となるコンセプト
  - 省資源、省エネルギー。
  - 環境保護、環境に調和した生産プロセスに要求される清浄性、衛生安全。
  - 初期投資費用だけではなく、サービス、メンテナンスや管理などにかかる費用を考えた、全体のコストパフォーマンス。
- (3) 「ハイテク」のバックアップ
  - セラミックス、エンジニアリングプラスチックや最新の表面処理技術など、今日の先端基礎技術を駆使。
  - 設計や分析、制御と管理などの分野におけるコンピュータ関連技術。

## 利点

- (1) 入手性：すぐに使える水道水がシステムの作動流体。
- (2) 廃棄の簡便性：使用した水は特別な廃水処理をすることなく、河川や処理場に廃棄することができる。必要に応じて水のリサイクルが可能。
- (3) 管理コストの低下：流体を購入し管理するコストが低い。
- (4) 環境負荷の低減：運転中に万一漏れたとしても、作動流体が水なので無臭、無害である。

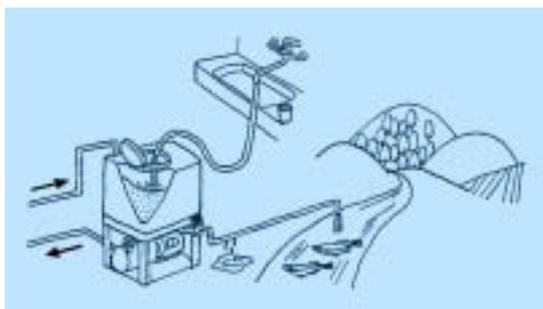


図 1.2 アクアドライブシステムの環境融和性

- (5) 製品に対する安全衛生：ADSは大変クリーンであり、衛生面を管理することが容易である。
- (6) 防火性：ADSの作動流体は不燃性を有するため、火災に対して安全であり、消防法の適用範囲外にある。すなわち、ADSは火災保険や安全管理の面から考えると、他のどの駆動システムよりも優れる。
- (7) 低圧力損失：水の粘度が低いので、配管圧力損失が少ないことやシステムを簡単に拡張できることなどが利点である。同等サイズの油圧システムに比べ、必要動力の節約が可能になる。
- (8) 早い応答性：水の剛性が高いため、力の伝達が速い。

**主たる応用分野**

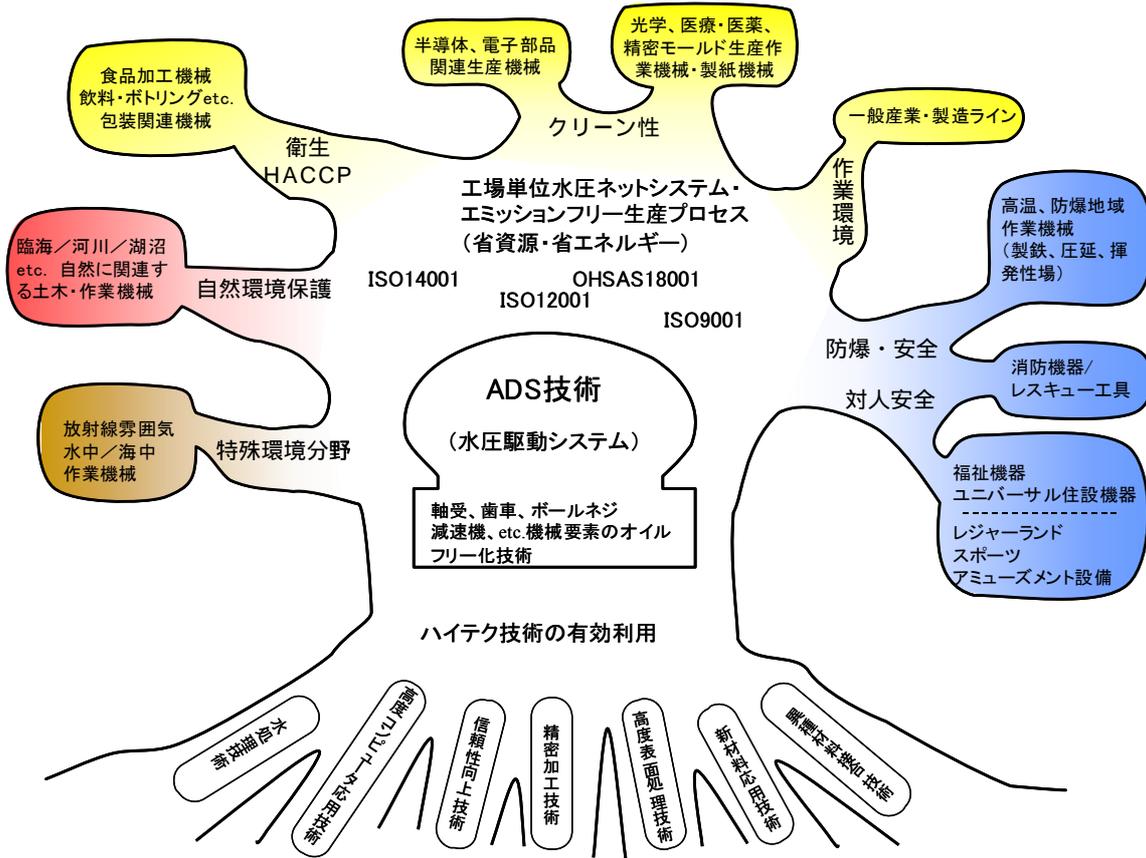


図 1.3 環境的側面と社会システムから予測する ADS の応用分野

**解決すべき課題**

- (1) 潤滑性やシール特性：水が低粘度のため、潤滑性の欠如や機器を構成する隙間からの漏れによる効率の低下、機器内の相対運動面の摩耗・摩擦の増大による効率低下、シール性低下がある。
- (2) 耐キャビテーション性：飽和蒸気圧が高いためキャビテーションや壊食が発生しやすく、材料が劣化しやすい。
- (3) 防錆性：錆びが発生しやすい。
- (4) 水質の管理維持：作動水中に細菌、スラッジ、スライムが発生したり、金属化合物が析出したりする。

これらの ADS 特有の問題は、慎重に機器の構造や材料を選定したり、コンピュータを用いた高度設計手法を適用したりすることなどで解決が可能である。また、材料や表面処理技術に今日のハイ・テクノロジーを駆使することが有用である。

## 2章 ADS 用機器の選定ガイド

### 2.1 取扱い企業と機器一覧

ADS の構成機器は、図 2.1 のように表される。

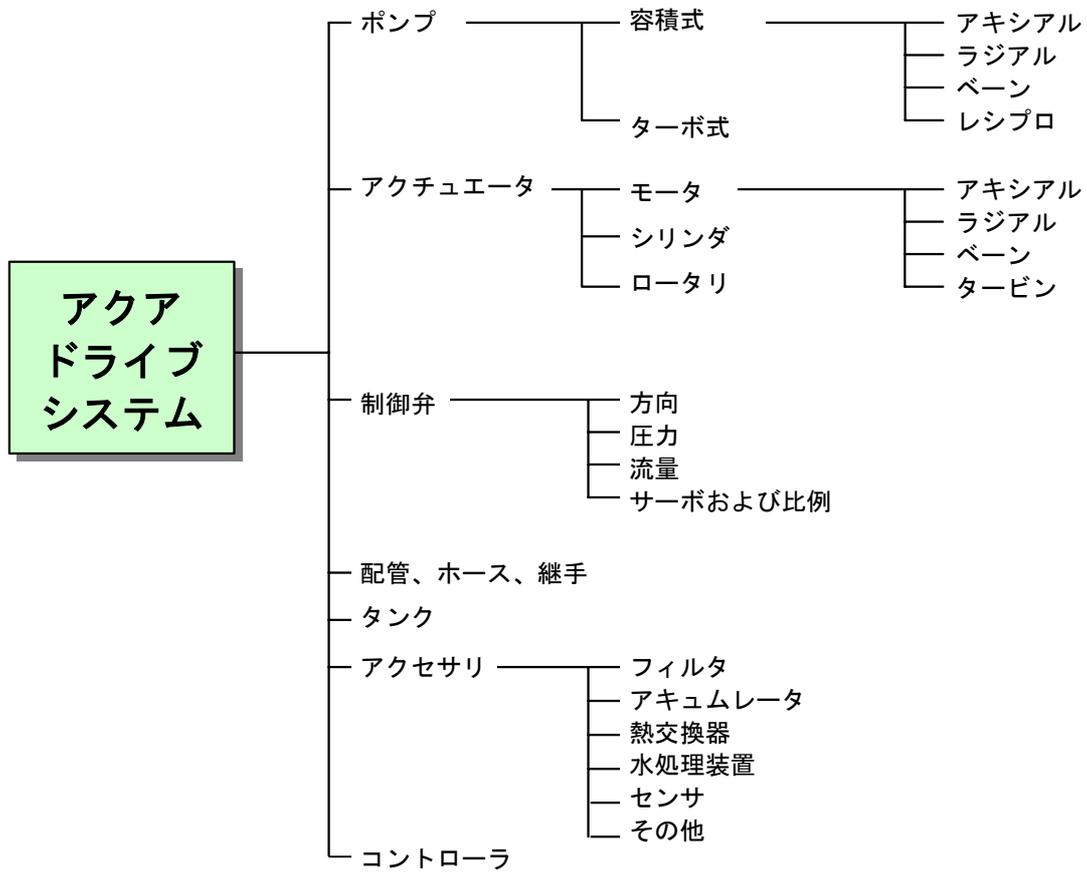


図 2.1 ADS を構成する機器とアクセサリ

わが国において ADS に用いる水圧機器とアクセサリを取扱っている企業を表 2.1 に示す。平成 15 年 9 月現在、水圧機器を取扱っている企業数は、生産、販売を含めて 64 社あり、その内訳は JFPA の会員企業が 59 社、非会員企業が 5 社である。

表 2.1 に示す水圧機器の種類は、図 2.1 と JFPA の会員名簿に記載されている機器を基に選定した。ポンプの区分の中から「ターボ式ポンプ」を除き、バルブに「カートリッジ弁」を追加した。アクセサリのうちセンサ、圧カスイッチなどは「計測器」としてまとめた。冷却器は「熱交換器」に含め、「配管材」と「継手」とを組み合わせた。「その他」はゲージコック、サージダンパ、メカニカルシールなどであり、JFPA の名簿のうち「水系作動液」は除外した。

機器の取扱い区分は、生産品目を○(●)、販売品目を△(▲)として分類した。このデータは、JFPA の会員名簿と当研究委員会による平成 13 年度から平成 15 年度までのアンケート調査、カタログ調査などに基づいて作成した。○および△は 2.2.2 項の表 2.2 から表 2.7 に概略仕様を記載した機器を表している。なお、それらはアンケート調査などに対して、各企業から回答が得られたもののみ記載した。

表 2.1 水圧機器の取扱い企業 (1/2)

製品名 会社名 (計 64 社)	水圧機器およびアクセサリ																会員資格				
	容積式ポンプ	モータ	シリンドラ	水圧ジャッキ	圧力制御弁	流量制御弁	方向制御弁	カートリッジ弁	比例弁	サーボ弁	アキユムレータ	増圧器	計測器	フィルタ	熱交換器	水圧ユニット		継手・配管材	ホース	パッキン	その他
荒木鉄工(株)			○																▲		賛
イハラサイエンス(株)							○									●	●	▲	▲	●	正
イートン機器(株)																	▲	▲			正
ASK(株)												●					●	▲		●	正
SMC(株)			○		○		○					●	●							●	正
(株)荏原総合研究所	△	○	△		△	△	△		○	○						○					賛
NOK(株)											○								●		正
オイトライブ工業(株)			●													●					正
逢坂工業(株)			●																▲		正
(株)大阪ジャッキ製作所	○		●	○													▲	▲			正
(株)オーツカ																				●	賛
かつま鋼管(株)																	●				賛
神威産業(株)																				●	正
カヤバ工業(株)	○		○									●				●					正
川重商事(株)	▲		▲									▲					▲				賛
喜多村商工(株)	○	△	○	○	△	△	△	△	▲	▲	△	○	▲	●	▲	○	▲	▲	▲	▲	賛
(株)工進精工所	○																				賛
国際興業(株)	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	賛
(株)コーヨー																	▲				正
光陽精機(株)			●																		正
(株)阪上製作所																			●		正
サンマックス(株)		●	○	○							○	○				●	▲	▲	▲		
CKD(株)					●		●					●									正
ジャパンニューマックス(株)			○													△					
(株)潤工社																	●	●			賛
新東ブレーター(株)																				●	賛
新日本製鐵(株)																				●	賛
スギノマシン(株)	○				○						○	○	▲				●	▲			
住友精密工業(株)	●																				正
太陽鉄工(株)	○		○	●																	正
タイオンテクノ(株)			△		△		△	△				▲	▲	▲		△	▲	▲			正
(株)タカコ		●																		●	正
ダンフォス(株)	△	△	△		△	△	△		△					▲		△					

備考 1) 取扱い区分の○および●は生產品目、△および▲は販売品目を表す。○および△の品目は表 2.2 から表 2.7 に概略仕様を示す。

備考 2) 会社名と機器は平成 15 年 9 月発行の JFPA 会員名簿中の水圧機器取扱い企業をベースに、当委員会独自の調査結果を加えたものである。

備考 3) 会員資格の正は JFPA の正会員、賛は賛助会員を示す。

表 2.1 水圧機器の取扱い企業 (2/2)

製品名 会社名 (計 64 社)	水圧機器およびアクセサリ															会員資格						
	容積式ポンプ	モータ	シリンダ	水圧ジャッキ	圧力制御弁	流量制御弁	方向制御弁	カートリッジ弁	比例弁	サーボ弁	アキユムレータ	増圧器	計測器	フィルタ	熱交換器		水圧ユニット	継手・配管材	ホース	パッキン	その他	
(株)トーワ機器	△		○		△	△	△						▲	▲		○	▲	▲	▲			
(株)トキメック							△															正
東海ゴム工業(株)																	●	●				賛
東都興業(株)	△	△	△	▲	△	△	△	△	△				▲	▲		▲	▲					賛
豊興工業(株)			●		○	○	●		●							○					●	正
中西商事(株)																	▲	▲	▲			賛
中村工機(株)										●									▲			正
(株)ナブコ			○		○		△		▲							●						正
日工産業(株)			▲																			賛
ニッタ・ムアー(株)																	●	●				賛
日東工器(株)	●																●					賛
日本アキユムレータ(株)											○						●					正
日本オイルポンプ(株)	●															●				▲		正
日本バルカー工業(株)			○																	●		正
日本ピラー工業(株)																				●	●	賛
日本ポール(株)														▲								賛
日本ムーグ(株)										○												正
パーカー・ハフイン日本(株)														▲			▲	▲	▲			賛
(株)パシフィックソーワ											▲											賛
日吉工業(株)																			●			賛
廣瀬バルブ工業(株)						●	○															正
ブサクアンド・ジャンボ(株)																				●		賛
ブリヂストンフローテック(株)																	●	●				賛
(株)堀内機械			○																			正
(株)増田製作所														●								正
(株)マツイ	▲		▲		▲	▲	▲				▲			▲	▲	▲	▲					正
マルヤマエクセル(株)	△				△						△					○	▲		●	●		賛
(株)三尾製作所			●																			正
三菱重工業(株)	○		○		○	○	○			○						○						正
山信工業(株)														●								賛
(株)山本水圧工業所	○		○	●	○	○	○				●	○				●	▲	▲	▲			正

## 2.2 機器の種類と仕様

### 2.2.1 水圧機器の概要

#### ● ポンプ

**構造**：ADS に使用される水圧ポンプは、システムの仕様や用途に応じて容積式ポンプまたはターボポンプから選定する。現在のところ、ADS で使用されているポンプは主に容積式である。多くの産業分野で流体輸送に広く使用されてきたターボポンプは、容積式に比べその圧力レベルが低いため、低圧駆動システムの使用に適している。

**入手性**：容積式ポンプとしては、アキシアルピストンタイプとレシプロタイプが大半を占めている。レシプロタイプは、これまでウォータージェット用などでの使用実績があり、国内の取扱いメーカーも多く、各種サイズの品揃えがある。これに対し、アキシアルピストンポンプは、海外メーカー2社の販売品扱いと国内メーカー2社による特注品扱いである。海外メーカー品はいずれも、標準品としてかなりのシリーズ化が行われており、数 L/min～400L/min 程度のもので製品化されている。ベーンタイプについては、比較的低压用のポンプ（圧力 1.75MPa、流量 40L/min）が国内メーカーから入手可能である。

**押しのけ容積**：システムに必要な流量とポンプ回転速度に見合うポンプの容量を選定することが重要である。吸込口/吐出し口の流速は、配管部の推奨流速範囲内にあることが好ましい。

**回転速度**：回転速度は以下の条件に基づいて選定する。

- ポンプと水面の相対位置
- 吸込口圧力（上限、下限）
- 吸込配管サイズと長さ、およびサクシオンフィルタの抵抗など。
- ブーストポンプの必要性
- 取付け位置

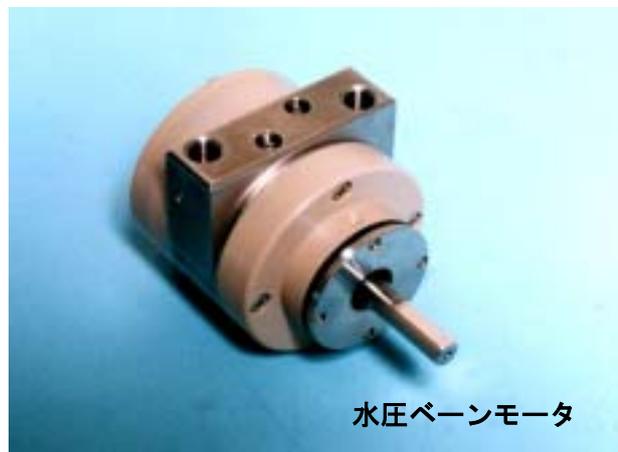
#### ● アクチュエータ

##### モータ

**構造**：容積式およびターボ式が主に用いられる。

**入手性**：アキシアルピストンタイプとベーンタイプ、揺動タイプが入手可能である。アキシアルピストンモータは海外メーカーの販売品扱いで、各種サイズのシリーズ化も行われており、数 kW～100kW 程度のもので品揃えができています。ベーンタイプについては、低速高トルクモータ（海外メーカー）と低圧用モータ（国内メーカー）が入手可能である。

**回転速度**：低い回転速度で使用する場合は、製造業者が推奨する値を下回らない範囲で選定する。適切なモータが入手できない場合、モータと減速機を組み合わせる。水潤滑形の減速機と水圧モータを組み合わせたアクチュエータが開発・市販されているので、用途に応じた広い選定ができる。



水圧ベーンモータ

## シリンダ

**構造：**作動形式から単動形と複動形という2種類のシリンダ形式がある。ラム形、シングルおよびダブルロッド形やテレスコープ形など、各種のシリンダを選定することができる。ただし、シリンダの材質やシールシステムの選定に関しては、シリンダ速度、運転条件や負荷条件などを明確にする必要がある。

**入手性：**水圧シリンダは水圧機器の中で最も取扱いメーカーが多く、水道水圧から 21MPa まで、圧力レベルとしては幅広く扱われている。標準品扱いは、3.5MPa より低い圧力レベルのものが多いが、特注品扱いは、圧力レベルが最大 14MPa あるいはそれ以上についても対応可能である。また、シリンダサイズについては、油圧と同様に、 $\phi 20 \sim \phi 250$  程度が一般的に取扱われている。水圧ジャッキについては、用途の関係から、比較的圧力レベルの高い（14～21MPa）製品の取扱いが多く、国内メーカーから容易に入手可能である。

**シリンダ速度：**油圧シリンダの推奨範囲を目安にして、水圧シリンダ速度を選定することができる。摺動抵抗が極力小さいシールシステムを備えたシリンダを選定することが望ましい。

**空気抜き：**自動的に空気が抜けるように空気抜きを取付ける、または人が手動で空気抜きしやすい場所に設ける。

**座屈強度：**取付けられた位置にかかわらず、ピストンロッドが曲がったり座屈しないよう、シリンダのストローク長、負荷の方法や取付け方に注意する。

**負荷の方法と過剰負荷：**過剰負荷または外部負荷が生じる場所でシリンダを使用する場合は、予想される最大負荷または圧力ピークを考慮した方法でシリンダを取付ける。

**圧力の増幅：**ピストン面積差によって定格圧力の制限を超えた圧力が発生しない手段を講ずる。



## ● 制御弁

**概要：**水圧制御弁は作動水の圧力、流量および方向を制御する機能に分類され、スプール形とポペット形の2種類の構造がある。

**入手性：**海外メーカーの製品を販売品として取扱っているケースが多く、圧力制御弁、流量制御弁および方向制御弁の圧力レベルは水道水圧から 21MPa を越える圧力まで対応可能で、流量の範囲も幅広い。またカートリッジ弁やサーボ弁、比例弁も入手可能で、目的に応じた水圧 ADS 回路を構成することが可能である。

**内部通路：**弁本体およびマニホールドの内部通路は、作動水が滞ることがない構造のものである必要がある。この構造は作動水の滞留によって引き起こされる水質変化や異物の堆積を防ぐ。

**電気操作弁の電気接続**：防水および防湿に関して、IEC 規格を満足させなければならない。

**ソレノイド弁の防水および防湿**：IEC529 にしたがって安全な弁を選定して、外部からの水や埃の侵入を防ぎ、弁からソレノイドへ作動水の漏れがないものにする。



水圧サーボ弁



水圧リリーフ弁

## ● 配管および継手

**入手性**：ADS 構築に際して、必要となる各種の配管・ホース・継手が入手可能である。

**配管サイズ**：流速が各配管内で下に示す推奨値となる配管サイズを選定する。

高圧ライン： 3~8m/s  
戻りライン： 2~5m/s  
吸込ライン： 0.5~1m/s

備考) 水圧と油圧の比較：水と油の物性の違いによる管路摩擦損失とサージ圧力を、同一配管に同一流量で流したと仮定して計算した。水の摩擦損失は概して油圧のその 1/2 であるが、水のサージ圧力は水撃による影響で油圧の 1.3 倍となる。水圧の摩擦損失値が油圧の場合と同等の値を許容するのであれば、水の流速は油の 2 倍までが可能となる。しかし、サージ圧力の影響を考えると、水の流量が油の 1.5~1.6 倍となるのが妥当である。したがって、配管内の流速の上限は、油圧の場合を 5~6m/s と仮定すると、水の場合は 8~10m/s となる。

**高圧ライン用配管**：上述した推奨範囲内またはそれを越えた流速にかかわらず、高圧ラインを選定する場合には、運転方法に左右されるサージ圧力の発生とあらゆるシステムのダメージの可能性を考慮する必要がある。

**ホースアセンブリ**：金具やゴムホースなどは作動水と適合性が確認されたものを選定する。

**配管の接続**：外部漏れのない形状である必要がある。管用テーパネジやシール材を必要とするような接続方法を使用しないことが望ましい。

**管継手およびホース継手**：弾性シールを用いた継手を使用する。作動水との適合性が確認されたものを選定する。

**継手の定格圧力**：システムの最高使用圧力を超える値の継手を選定する。

**配管の規格**：JIS G 3448（一般配管用ステンレス鋼管）と JIS G 3459（配管用ステンレス鋼管）に定める仕様に従うことが望ましい。

## ● タンク

**入手性**：防食あるいはバクテリアや細菌の発生抑制といった配慮が必要であるが、システムの要求に応じ、各種タンクが入手可能であり、ステンレス製、樹脂製などが一般的である。

**容積**：システム内で循環する作動水を完全に收容し、流体を安全に使用するため一定の水面レベルを維持できるタンクでなければならない。さらに、水温上昇、混入空気の分離性や汚染物質の沈降速度などを考慮した容量の選定を行う。

**水面レベル**：作動水の水面レベルが、ポンプ吸込ポートよりも高い位置にくるよう設計する。ポンプ吸込条件によっては、加圧タンクやブーストポンプを使用することが望ましい。

**内部構造**：内部構造はポンプの吸込条件に影響する。タンクに十分な空気が放出されるような作動水の循環速度とするため、ポンプの吸込側と戻り側を仕切り板やその他の方法で分離する。

**遮光性**：バクテリアや細菌の発生を防ぐため、直射日光がタンクに射し込まない構造のものを設計する。

**吸込ラインと位置**：ポンプ製造業者が推奨する吸込特性が得られる配管サイズと位置に設置する。吸込ライン用フィルタは清掃や交換を考慮した位置に取付ける。

**汚染物質の滞留防止**：タンク内の汚染物質の滞留や沈殿が起これば、錆やバクテリアの発生要因となる。したがって、汚染物質などがタンクの底や角に滞留や沈殿せず、また作動水が完全にドレンできる構造とする。

**内面仕上げ**：スラッジや糸くず、スケールやその他の汚染物質が混入した場合に、簡単に取り除けるものとする。

**エアブリーザ**：タンクが開放形の場合、ポンプが取付けられる周辺環境を考慮して、水タンクに入る空気を清浄化するエアブリーザを取付ける。ろ過精度については、空気中のバクテリアや細菌を考慮に入れて選定する。

## ● アクセサリ

**入手性**：機器あるいは製造業者により、水用として標準品が設定されているもの、特注品扱いとなるものがあるが、油圧システムと同レベルのシステムが構築できる機器の選定・入手が可能である。

### フィルタ

**ろ過**：ADS の使用圧力範囲などの運転条件に応じ、粒子状汚染物質を適切なレベル以下に抑えるためにろ過を行う。汚染レベルの表示は ISO4406 に従う。

**選定**：一般的に水圧機器の内部すき間は油圧に比べて小さいので、機器製造業者の推奨する基準にしたがってフィルタの選定を行う。フィルタを通過する際の圧力降下値は、供給者の仕様範囲内とする。

**給水**：初期段階または水面を維持するために給水する場合は、給水用に設計されたフィルタを通して作動水をタンクに満たす。給水用フィルタはシステムに既に取付けられている他のフィルタに比べ、同等もしくは精度のより高いものとする。

**ポンプ吸込ライン**：ポンプ製造業者の吸込条件に合致したフィルタを選定し、エレメント交換などのメンテナンス性を考慮した構成にする。なお、ポンプ製造業者によってはフィルタの取付けを認めていない場合があるので、製造業者の指示にしたがってシステムに適切なフィルタ構成を採用する。

## アキュムレータ

**構造**：ダイヤフラム形、ブラダ形、ピストン形などのアキュムレータがあるが、ブラダタイプが最も一般的で、油圧システムに用いられるものと同じ最高使用圧力・ガス容積のものが選定可能である。性能や機能の面でも、油圧用アキュムレータに準じて使用することができる。

**用途**：アクチュエータの作動高速化や回路の脈動減衰、衝撃吸収といった用途に、アキュムレータは有効である。

## その他の機器

**熱交換器**：自然冷却で作動水の温度が規定値を超える場合（4.2.3 項(2) 温度を参照のこと）、作動水と適合する熱交換器を使用する。凍結防止のため、必要に応じてヒータを使用する。

**エアブリーザ**：タンクが開放形の場合、ポンプが取り付けられる周辺環境を考慮して、水タンクに入る空気を清浄化するエアブリーザを取付ける。ろ過精度については、空気中のバクテリアや細菌を考慮に入れて選定する。

**水処理装置**：塩素処理、オゾン処理、紫外線処理などの殺菌処理のための装置を水圧ユニットや配管などに必要に応じて組み込むことにより、バクテリアや細菌の繁殖を防ぐ。殺菌に効果的なユニットが多種市販されており、要求される水質や運転に適切な仕様の機器を選定することができる。

**センサ**：安全なシステム運転と水圧機器の保護のために、圧力スイッチ、レベルスイッチや温度スイッチ等のスイッチを装置に設けることが望ましい。

## 2.2.2 水圧機器の仕様

表 2.2 から表 2.7 に、わが国において入手可能な水圧機器の概略仕様を示す。

これらの表は、ADS の計画者や利用者が機器を選定する時に利用できるバイヤーズガイドとして、水圧機器の取扱い企業とその概略仕様を整理したものである。記載した水圧機器は、水圧ポンプ、水圧モータ、水圧シリンダ・ジャッキ、水圧制御弁、水圧ユニット、アキュムレータおよび増圧器とした。水圧ポンプ、水圧モータ、制御弁は、それぞれタイプ毎に分類してある。表中の記号は取扱いの区分を示し、生產品目のうち、標準品を“◎”、特注品を“○”、また、販売品目を“△”で表している。表に記載した機器は、表 2.1 の○および△に相当する。

なお、正確な数値の確認ができなかった仕様については、空白または—印で示した。また、圧力仕様のうち、第 2 版に掲載した 5 段階の圧力レベルしか確認できなかった機器については、その圧力範囲を括弧を付して「(14~21)」のように示した。

表 2.2 水圧ポンプ

会社名	タイプ					最高使用圧力 (MPa)	押しのけ容積 (cm <sup>3</sup> /rev)		最大流量 (L/min)	最高回転速度 (min <sup>-1</sup> )
	アキシアルピストン	ラジアルピストン	ベーン	レシプロ	その他		最小	最大		
(株)荏原総合研究所	△					16	3.3	225	430	2,000
(株)大阪ジャッキ製作所					◎	15	28			
カヤバ工業(株)	○					21	16		24	1,800
喜多村商工(株)	△					16	3.3	225	430	2,000
				△		50	2.3	438	228	3,600
					△		80			
(株)工進精工所				◎		45			15	
(株)スギノマシン				◎		250		4,100	1,500	360
太陽鉄工(株)					◎	0.7			511	
ダンフォス(株)	△					10~16	2	80	3.6~144	1,800
	△					80	4	80	7.2~144	1,800
(株)トーワ機器			△			1.4~1.75			40	1,750
東都興業(株)	△					10~16	2	80	144	1,800
マルヤマエクセル(株)				△		50	1.1	444	275	3,600
三菱重工業(株)	○					21	23	60	100	1,800
(株)山本水圧工業所				◎		6.6~198	1.8	186	11.2	300

表 2.3 水圧モータ

会社名	タイプ					最高使用圧力 (MPa)	押しのけ容積 (cm <sup>3</sup> /rev)		最大流量 (L/min)	回転速度 (min <sup>-1</sup> )	
	アキシアルピストン	ラジアルピストン	ベーン	揺動	その他		最小	最大		最小	最大
(株)荏原総合研究所	△					16	3.1	225	430	500	2,000~4,000
			○			2			12	500	1,500
喜多村商工(株)	△					16	4.6	225	430	500	2,000~4,000
ダンフォス(株)	△					14	4	12.5	37.5	300	3,000~4,000
			△			5	160		36	15	200
東都興業(株)	△					14	4	12.5	37.5	300	3,000~4,000
			△			5	160		36	15	200

表 2.4 水圧シリンダ・水圧ジャッキ

会社名	タイプ		最高使用圧力 または使用圧力 (MPa)	シリンダ内径 (mm)	最大 ストローク (mm)	速度範囲 (m/s)	接続口径
	水圧シリンダ	水圧ジャッキ					
荒木鉄工(株)	○		14	40~200	2,500		1/8~3/4
SMC(株)	○		3.5~14	40~250		0.01~0.3	Rc1/8~1/2
(株)荏原総合研究所	△		2~14	20~300			
(株)大阪ジャッキ製作所		◎	15	54、64	700		
カヤバ工業(株)	○		水道水圧		1,280		G1/2
喜多村商工(株)	○△		14	50~100	450		Rc1/2
		○	14	50~130	2,000		Rc1/2
サンマックス(株)	◎		max.2.5	25~150	10,000	0.1	Rc1/8~1/2
		○	max.20	40~80	1,000	0.1	Rc1/8~1/2
ジャパンニューマックス(株)	◎○		max.7	20、25、30	300	0.01~0.3	Rc1/8
	◎○		max.35	20、25、35	20	0.01~0.05	Rc1/8
太陽鉄工(株)	○		0.2~14	20~250	3,500		
タイヨ-ンテクノロジ(株)	△		1	40~160			1/8-3/8
ダンフォス(株)	△		14	25~63		0.2	G1/8、1/4、3/8
(株)トーワ機器	◎		0.1~0.7、0.1~1	40、50、63、80、100	1,500		Rc1/8~3/8
	△		max.21	25~160			
東都興業(株)	△		max.16	32、40、50、63、80、100	2,000		
(株)ナブコ	○		max.21	28、40、50 他			
日本バルカー工業(株)	○		水道水圧	30~100	300	0.002~0.1	Rc1/2
(株)堀内機械	○		水道水圧~14MPa	25~400	4,000	0.008~0.3	1/8~2
三菱重工業(株)	○		10	125	2,200	0.2	Rc3/8
(株)山本水圧工業所	○		~21	240	1,000	4	Rc11/4

表 2.5 水圧制御弁 (1/3)

会社名	タイプ								定格圧力 (MPa)	流量 (L/min)	接続口径		
	圧力		流量		方向		カー トリッ ジ弁	サ ー ボ 弁				比 例 弁	そ の 他 の 弁
	リ リ ー フ 弁	減 圧 弁	流 量 調 整 弁	絞 り 弁	電 磁 切 換 弁	チ ェ ッ ク 弁							
イハラサイエンス(株)						◎				(14~21)	1/4、3/8、1/2		
SMC(株)		○								水道水圧	5	1/8、1/4	
					◎					1.5	—	1/8~2	
(株)荏原総合研究所	△									14			
			△							14			
					△					14			
						△				14			
								○		14	80		
									○	14	80		

表 2.5 水圧制御弁 (2/3)

会社名	タイプ								定格圧力 (MPa)	流量 (L/min)	接続口径		
	圧力		流量		方向		カートリッジ弁	サーボ弁				比例弁	その他の弁
	リリーフ弁	減圧弁	流量調整弁	絞り弁	電磁切換弁	チェック弁							
喜多村商工(株)	△									31.5	30	3/8	
		△								31.5	30	3/8	
			△							31.5	30	3/8	
				△						31.5	30	3/8	
					△					31.5	30	3/8	
						△				31.5	30	3/8	
	△						△			31.5	30	3/8	
△									35	275	3/8~1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>		
(株)スギノマシン	◎									(14~21)	1,500		
太陽鉄工(株)									○	水道水圧	20	1/2	
タイオンテクノロジ(株)		△								0.01~1.72		1/8~1	
					△					(水道水圧、14~21)	—	1/4	
					△					0.8~4	—	1/4~2	
					△					0~10	—	1/4~1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	
							△			0~25		3/8~1/2	
ダンフォス(株)	△									2.5~14	30/60/120	G3/8、G1/2、G3/4	
			△							14	30	G3/8	
				△						14	30	G3/8	
					△					16 (21)	30/60/120 /150	G3/8、G1/2、G3/4、G1	
						△				30	30/60	G3/8、G1/2	
								△		14	30	G3/8	
(株)トーワ機器	△									0.03~0.7		1/4	
	△									(<3.5)	20 (m <sup>3</sup> /h)	15A~50A	
		△								0.02~0.55		3/8~2	
		△								(<3.5)	60	10A~25A	
			△							(>21)	25	1/4、3/8	
					△					0.069~2	—	1/8~1/2	
					△					10		1/4~1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	
						△				0.02~1	120	3/8~1	
(株)トキメック					△					1.6~10	max.560	1/8~2	
					△					1	10	1/8、1/4	
					△					14	—	1/8	
					△					10	—	1/4~3/4	

表 2.5 水圧制御弁 (3/3)

会社名	タイプ								定格圧力 (MPa)	流量 (L/min)	接続口径		
	圧力		流量		方向		カートリッジ弁	サーボ弁				比例弁	その他の弁
	リリーフ弁	減圧弁	流量調整弁	絞り弁	電磁切換弁	チェック弁							
東都興業(株)	△									2.5~14	20~120	3/8~3/4	
			△							34.5	11.4~208.2	1/8~1	
				△						34.5	17.1~378.5	1/8~1	
				△						40	—	1/8~2	
				△						14	30	3/8	
					△					5、14	25~120	3/8、1/2	
						△				34.5	—	1/8~1	
						△				30	30、60	3/8、1/2	
						△				40		1/4~3/4	
							△			(14~21)	200	1/8~1	
豊興工業(株)									△	14	30	3/8	
	○									14	60	1/2	
(株)ナブコ			○							14	30	3/8	
	○									max.21	~200	各種	
					△					32	~25	DN3、6、10	
日本ムーグ(株)										32	~15	DN3、6	
									○	—	320		
									○	21	0.3		
									○	14	5		
廣瀬バルブ工業(株)									○	14	40		
						◎				(>21)	600	1/4~11/2	
マルヤマエクセル(株)										◎	21	350~4000	8~80A
	△									1~50	275	3/8~11/4	
三菱重工業(株)	○									21	60	1/2	
			○							21	40	3/8	
					○					21	60	3/8	
								○		21	100	3/8	
(株)山本水圧工業所	◎									60	11	3/8	
		○								(>21)	11	3/8	
			○							(>21)	11	3/8	
				○						(>21)	11	3/8	
					○					(>21)	11	3/8	
						○				(>21)	11	3/8	

表 2.6 水圧ユニット

会社名	取扱い状況	ポンプタイプ					最高使用圧力 (MPa)	ポンプ押しのけ容積 (cm <sup>3</sup> /rev)	タンク容量 (L)	電動機 (kW×pole)
		アキシャルピストン	ラジアルピストン	ベーン	レシプロ	その他				
(株)荏原総合研究所	○	△					14			
喜多村商工(株)	○	△					14	30	200	15kW×4P
ジャパンニューマックス(株)	△					○	3.5		2	
タイヨ-インタショナル(株)	△			○			0~0.9			
ダンフォス(株)	△	◎					14	4/6.3/10/12.5	27/60	
(株)トーワ機器	○						0.1~10			
	△						0.1~1			
豊興工業(株)	○						14	25	100	11×6
マルヤマエクセル(株)	○				△		50	1.1~444		0.4~45kW×4P、6P
三菱重工業(株)	○	○					18	16	400	15

表 2.7 アキュムレータ、増圧器

会社名	種類		定格圧力 (MPa)	容 積 (L)	流 量 (L/min)	接続口径
	アキュムレータ	増圧器				
NOK(株)	◎		0.44~0.83	0.5~20	—	G1/2・3/4、R3/4
	◎		6.85	0.3、0.5	—	Rc3/8
	◎		3.4~34.3	1~160	—	G3/4~G3
喜多村商工(株)	△		2.94~34.3	1~230	—	Rc3/4、フランジ継手
	△		5.88~20.6	0.1~160	—	Rc1/4、3/4、フランジ継手
		○	(14~21)	—	10	
サンマックス(株)	○		1~2.5	20	—	1/2~1
		○	1~20	—	15	1/2~1
(株)スギノマシン		◎	(14~21)	20	—	
		◎	(14~21)	—	15	
日本アキュムレータ(株)	◎		5~25	0.1~160	—	Rc3/8・3/4、M42~75
	◎		0.95	2.4	—	R1/2
	◎		15~50	0.1~160	—	Rc3/8・3/4、M42~90
マルヤマエクセル(株)	△		7~35	0.1~2	—	Rc1/2~3/4
(株)山本水圧工業所		○	500		2.5	UNF9/16

## 2.3 機器とシステムのマテリアル

ADSを計画し、そのシステムを信頼性のあるものにするためには、システムを構成する機器から配管、継手などアクセサリ類まで、使用しているマテリアルを把握しておく必要がある。

一般に水圧機器やシステムに使用するマテリアルは、耐腐食合金（ステンレス鋼、アルミニウム合金、銅合金、ニッケル合金）、樹脂、セラミックスの中から選ばれる。また、耐腐食性、耐摩耗性、耐壊食性改善のため、表面改質を行うことも多い。母材の種類、使用箇所に依りて、適切な表面処理方法（メッキ法、蒸着法、溶射法など）が選ばれる。用いるマテリアルは、金属、樹脂、セラミックスなどまで幅広く、母材には、コスト、入手性を重視して、炭素鋼が用いられることもある。

シール部材には、水に適合するマテリアルとして知られている以下のものが用いられる。

- (1) エラストマ（ゴム）：NBR、HNBR、FKM（FPM） など
- (2) サーモプラスチックエラストマ：ポリウレタン など
- (3) プラスチック：充填材入りPTFE、超高分子量PE など

このほか、固定用シールでは、金属も使用される。ポンプ、モータ、シリンダなどの運動用シールでは、特に、しゅう動特性、耐久性などが重要となる。

表 2.8 は、わが国の水圧機器に使用されているマテリアルの一覧表であり、表 2.9 は、水圧機器用シール部材に使用されるゴムマテリアルの一覧表である。これらのデータは、2.1 項で示した水圧機器の取扱い企業に対して実施したアンケート調査およびカタログ調査などによって得られたものである。

表 2.8 水圧機器に使用されているマテリアル

機器名	鉄系マテリアル			非鉄マテリアル			樹脂	セラミックス	ゴム
	ステンレス鋼	炭素鋼	鋳鉄	アルミニウム	黄銅	青銅			
ポンプ	○					○	○	○	
モータ	○						○		
シリンダ	○			○					
汎用制御弁	○	○	○	○	○	○			
比例・サーボ弁	○							○	
アキュムレータ	○	○					○		
増圧器		○							
計測・測定器	○								
フィルタ	○								
水圧ユニット	○								
配管・継手	○				○				
ホース							○		○

備考)

- 1) ステンレス鋼は、SUS304、SCS13などを示す。硬質クロムメッキ処理などを施して使用する場合もある。
- 2) 炭素鋼は、メッキまたはエポキシ樹脂コーティングなどの防錆処理をして使用する。
- 3) アルミニウムには特殊アルマイト処理などを施して使用する。
- 4) 青銅には、AIBCなどを含む。
- 5) 樹脂には、PP樹脂（アキュムレータ）、ナイロン、ポリオレフィン（ホース）などを含む。

表 2.9 水圧機器用シール部材に使用されるゴムマテリアル

機器名	使用部位	NBR、HNBR	VMQ	EPDM	FKM	IIR
シリンダ	パッキン	○				
電磁切換弁	ダイヤフラム、Oリング	○			○	
アキュムレータ	ブラダ、シール	○				○
水圧機器全般	オイルシール	○	○			
	Oリング、ガスケット	○	○	○		

記号) NBR：ニトリルゴム、HNBR：水素化ニトリルゴム、VMQ：シリコーンゴム、EPDM：エチレンプロピレンゴム、FKM：ふっ素ゴム、IIR：ブチルゴム

## 3章 ADS の水質管理

### 3.1 水質

水道水水質基準（平成4年厚生省令第69号）では、健康に関する項目29、水道水が有すべき性状に関する項目17の基準が定められている。このうち、ADSの運転に影響すると考えられる5項目（pH値、塩素イオン、硬度、蒸発残留物、一般細菌）について検討した。

### 3.2 水質評価試験

ADSにおける作動水の水質変化に及ぼすパラメータ（①運転水温、②システムの連続運転試験と運転停止、③システムの周囲温度、④エアブリーザ内のフィルタのメッシュサイズ）について追跡調査を行った。

#### 3.2.1 実験装置と実験方法

図3.1に水質実験装置を示す。図3.2は実験装置の回路図である。実験を開始する前に、装置を十分にフラッシングした。実験の期間中、新しい水を供給せず作動水を循環して使用した。東京都で水道水として供給されている水を作動水として使用した。検査箇所と検査項目は以下のとおりである。

【検査箇所】タンク内、リターンフィルタ直前、アキュムレータ接続管の途中箇所

【検査項目】pH値、塩素イオン、硬度、蒸発残留物、一般細菌



図 3.1 水質実験装置

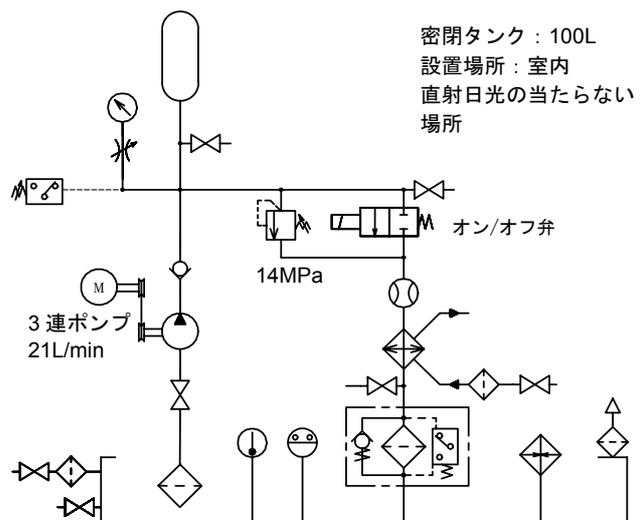


図 3.2 水質実験装置の回路図

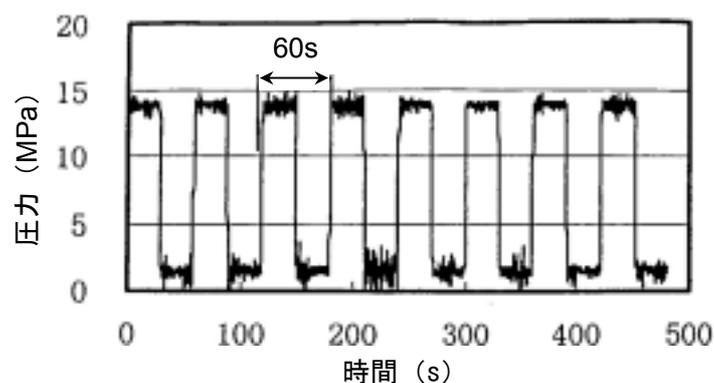


図 3.3 実験装置回路圧力（実験値）

### 3.2.2 実験結果

水温を30~32°Cに保持し、1日に約8時間、図3.3に示すような30秒毎の14MPaの負荷運転と1.5MPaの無負荷運転とを繰り返すようにして、259日間（通算運転時間 1592時間）にわたって試験を行った結果を図3.4に示す。

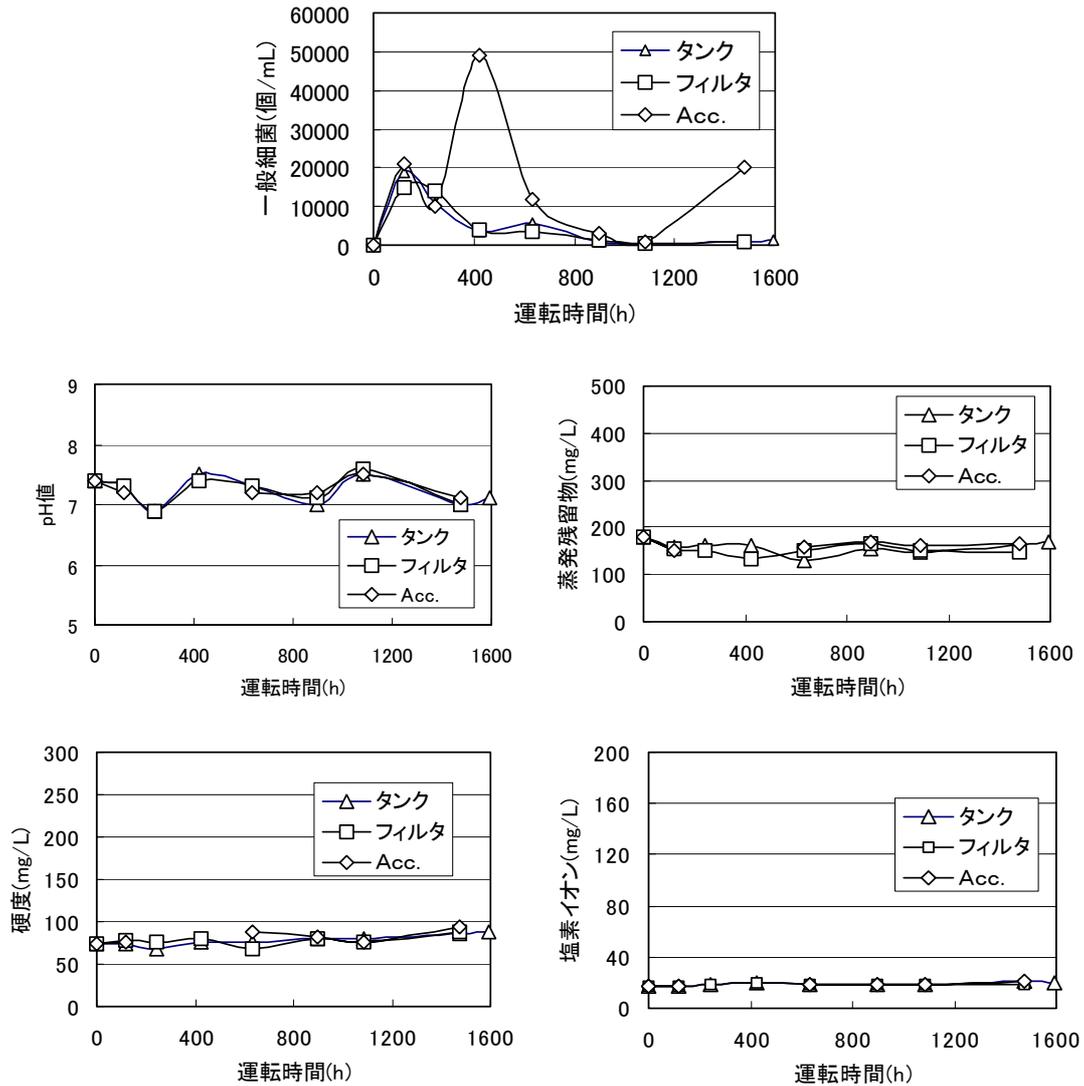


図 3.4 水質評価結果

この試験結果から、pH 値、塩素イオン、硬度、蒸発残留物については水道水基準よりもかなり小さな値のまま推移しており、大きな変化は観察されなかった。また、サンプリング個所による差異も観察されなかった。一般細菌については、4 回目のサンプリングデータを除き、サンプリング個所に関わらず初期（0 から 15 日間、120 時間まで）に繁殖が認められたが、一般細菌数はその後飢餓や枯死のため減少した。

同様な試験を、水温を 40~42℃に保持して 110 日間（通算運転時間 670 時間）にわたって行った。結果は水温 30℃の場合と同様であった。

前述の試験では、試験開始から 15 日後に最初のサンプル採取を行い、多数の一般細菌が繁殖していることを確認したが、15 日以前の状況を確認するために、水温を 40℃に保持し、図 3.3 に示した圧力波形の間欠運転を昼夜休みなく 20 日間行い、毎日サンプル水を採取して一般細菌数の推移を調べた。その結果を図 3.5 に示す。また、同図には運転を行わず、水温を 40℃に保持したまま放置した場合の細菌数の推移も比較のために示す。運転しているときも、放置したときも運転初期に一般細菌数が急激に増えることがわかる。運転しているときに比べて、放置したときに細菌数の増加が遅れているが、これはタンクの底からサンプル水を採取しているため、タンク内の水全体に細菌が拡散するまでに時間がかかったものと推測される。また、放置した場合の方が全体的に細菌数が多くなっている。

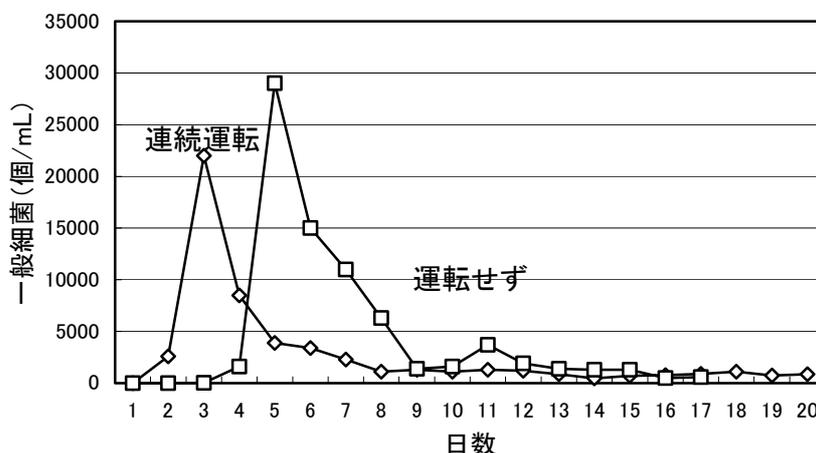


図 3.5 一般細菌数の初期変化

図 3.6 に、ADS システムの周囲の室温の影響とエアブリーザ内のフィルタのメッシュサイズが一般細菌の繁殖に及ぼす影響についての試験結果を示す。実験 1 は 2002 年 2 月 26 日~3 月 17 日までの室温の低い時期の結果であり、実験 2 は 2002 年 8 月 12 日~9 月 4 日にかけての室温の高い時期の結果である。以上の実験 1 と 2 ではエアブリーザ内にはメッシュサイズ 40  $\mu\text{m}$  のフィルタが設置されていた。実験 3 は 2003 年 10 月 27 日から 11 月 18 日にかけて行ったもので、エアブリーザ内のフィルタメッシュサイズは 1  $\mu\text{m}$  である。すべての実験において水温は 40℃に保持されている。

いずれの場合も、運転開始からすぐに細菌が増え始め、1~2 日後に細菌数は最大になり、その後減少し始め、10 日ほどで細菌数は約 4000 個/mL 以下となり、以後ほとんど変化していない。実験 3 の結果は、実験 2 の結果よりも細菌の数が少なくなっているが、実験 1 の結果よりも若干細菌数が多くなっている。実験 1 は試験時期が冬であり、室温は 15℃前後であり、実験 2 は試験時期が夏であり、室温は 30℃前後であった。したがって、図 3.6 は細菌の繁殖にはフィルタメッシュサイズよりも、室温の方が大きな影響を与えていることを示している。

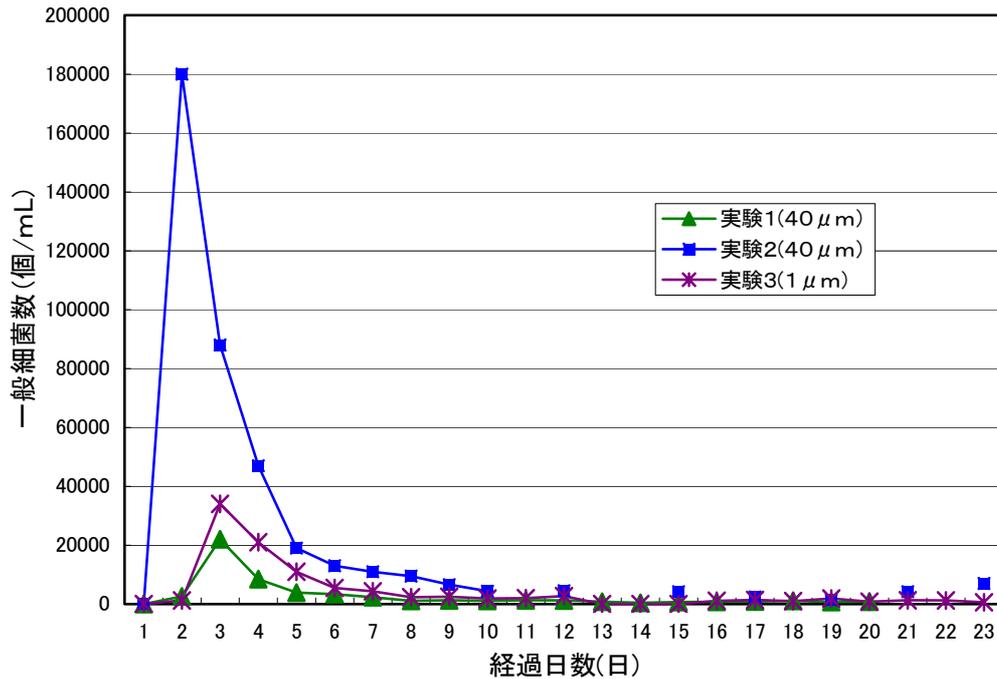


図 3.6 室温とエアブリーザ内のフィルタのメッシュサイズの影響

### 3.3 水質の管理指針

ADSに使用する水道水は、使用環境により藻類や細菌の発生および pH 値の変化が生じる可能性がある。表 3.1 に示すようなシステムに充填した水質の変化により機器に及ぼす影響を未然に防止するために作動水の管理が必要である。表 3.2 に管理項目と管理参考値を示す。

表 3.1 水質の変化と機器に及ぼす影響

水質の変化	機器に及ぼす影響
バクテリア、藻類の発生	<ul style="list-style-type: none"> <li>電磁切換弁およびリリーフ弁：スプール作動不良</li> <li>ストレーナ、フィルタエレメントの目詰まり</li> <li>シリンダ：シール性能低下</li> <li>ポンプ、モータ：ケーシング内のドレン通路の目詰まり</li> </ul>
塩素イオンの影響	塩素イオンの増加は、ステンレス鋼の応力腐食割れに影響する。
pH 値の影響	pH 値の低下により、金属に対する腐食率が大きくなる。

表 3.2 水質の管理項目と管理基準値

水質の管理項目と概要		管理参考値 <sup>1)</sup>
pH 値	値が低いと腐食の危険がある。	6.5~8.5
塩素イオン	値が高いとステンレス鋼でも腐食問題が発生する（すきま腐食）。	200mg/L 以下
硬度	硬度が高いとカルシウム沈殿の危険が増え、腐食が発生する。	300mg/L 以下
蒸発残留物	主な成分はカルシウム、マグネシウム、珪酸などの塩類および有機物で、配管系の金属腐食に関係する。	500mg/L 以下
一般細菌	バクテリアとその他微生物有機体の含有量で 1ml 中の細菌数を表す。水の汚染度合いの指標となる。	100 個/mL 以下

1) pH値と塩素イオンの値はDanfoss社水圧機器Nessieの基準値であり、硬度、蒸発残留物、一般細菌の値は日本国厚生省令第69号に定められた水道水の水質基準値である。

保守方法：ろ過装置を設けて、作動水から汚染要因物質およびバクテリアやその他の微生物有機体を除去するのが望ましい。図3.7は、作動水に含まれる物質サイズと除去方法を示す。

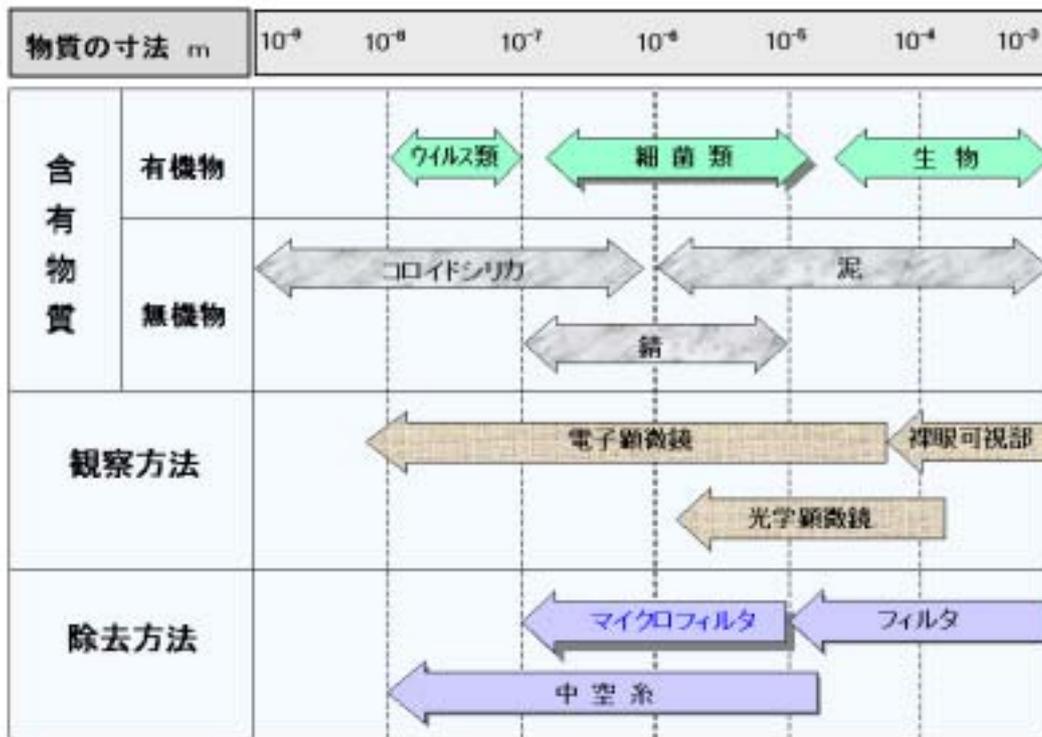


図 3.7 作動水に含まれる物質サイズと除去方法

出典) 久保田昌治：新しい水の基礎知識、オーム社  
 久保田昌治、野原一子：浄水・整水・活水の基礎知識、オーム社

## 4章 ADS の実用運転

### 4.1 高速運転

油圧精密成形機の射出・保圧工程モデルを想定した装置に水圧機器を適用し、アクアドライブ技術実用化のための課題を抽出調査することで、実用化の指針を得ることを目的として実験を行った。水圧駆動のシリンダ速度の目標値としては 4m/s 程度を想定した。これは油圧駆動の中圧領域における油圧精密成形機の一般的な射出速度に相当する。水道水を圧力伝達媒体として用いた場合にはこれを上回る運転速度の達成が期待される一方、水圧システム特有の問題が浮き彫りになると予想される。以上から、具体的には補助水圧源としてのアキュムレータとロジック弁より構成された回路を使用することにより、水圧シリンダがどの程度まで高速運転可能であるかを実験的に確認すること、ならびにシステム各部の圧力挙動を明らかにすることを主眼とした。

#### 4.1.1 実験装置と実験方法

実験装置の回路図と外観写真をそれぞれ図 4.1 および図 4.2 に示す。

実験装置は大別して、アクアドライブユニット、水圧シリンダおよび模擬負荷装置からなる。アクアドライブユニットでは 30 cm<sup>3</sup>/rev の固定容量ポンプが 15kW の電動機によりインバータ駆動され、43.5L/min (1,450 min<sup>-1</sup>での運転時) の水を供給する。回路の定格圧力は 14MPa である。ポンプ吐出側には主弁の変位によって流量が段階的に変化する流量調整型大容量ロジック弁およびアキュムレータからなる高速運転回路が接続されており、水圧シリンダにより射出・保圧工程を行う。さらに、水圧シリンダの引戻し動作を行うための電磁弁回路も併設されている。射出シリンダを想定した水圧シリンダ (シリンダ内径 40mm、ロッド径 22mm、ストローク 250mm) には、同一サイズの油圧シリンダを結合して負荷を与える。負荷装置は油圧シリンダ、油圧アンロード弁より構成され、ロード/アンロードの制御により成形機負荷を模擬する。

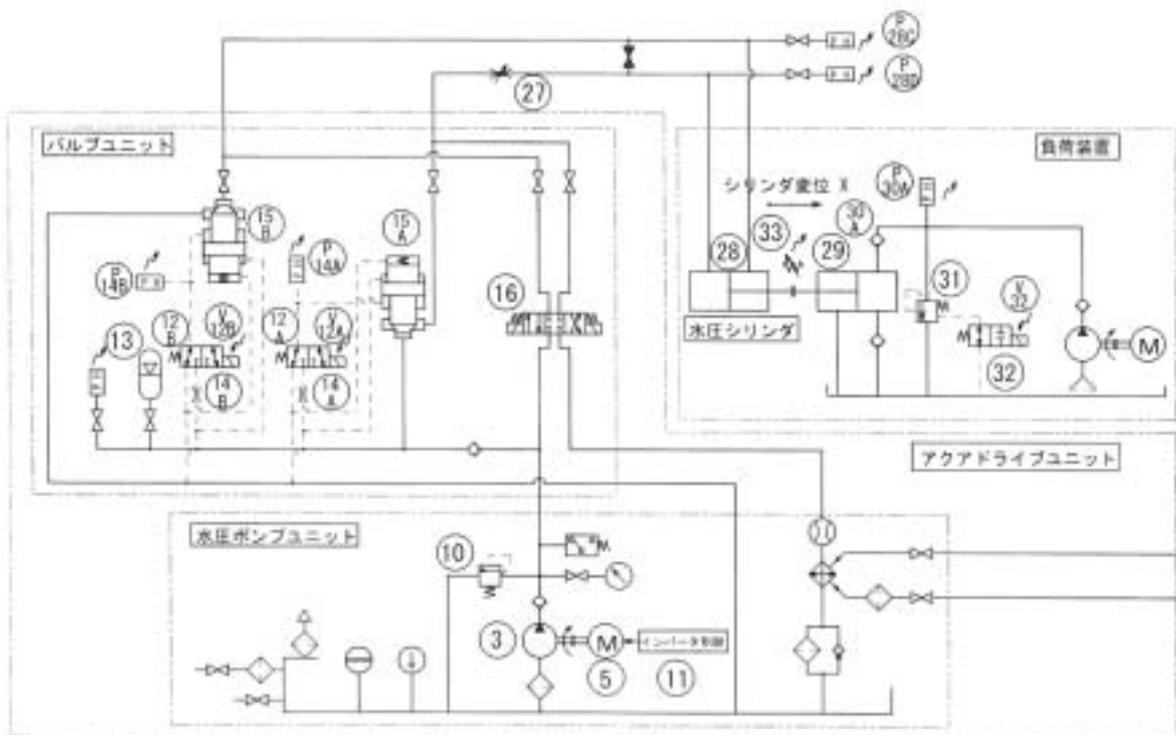


図 4.1 実験装置回路図



(a) 装置全体



(b) 負荷装置  
(水圧シリンダおよび  
油圧シリンダ)



(c) バルブユニット  
(ロジック弁および  
アキュムレータ)



(d) 模擬負荷  
(アンロード弁付き  
リリーフ弁)

図 4.2 実験装置外観

実験パラメータおよび測定項目は以下のとおりである。

(1) 実験パラメータ (図 4.1 参照)

- ・ポンプ 3 の吐出圧力：アキュムレータ 13 の蓄圧力としてリリーフ弁 10 により設定
- ・負荷シリンダ 29 の負荷圧力：リリーフ弁 31 により設定
- ・ロジック弁 15 のパイロット流量：パイロット弁 12 の固定絞り 14 の交換により設定

(2) 測定項目 (図 4.1 参照)

- ・圧力：以下の各ゲージ位置 6 点  
 ポンプ吐出圧力：P8A  
 射出シリンダロッド側およびヘッド側圧力：P28C および P28D  
 ロジック弁パイロット圧力：P14A および P14B  
 負荷リリーフ弁圧力：P30A
- ・シリンダ変位：x

図 4.3 に示される 3つの工程を動作の 1 サイクルとする。

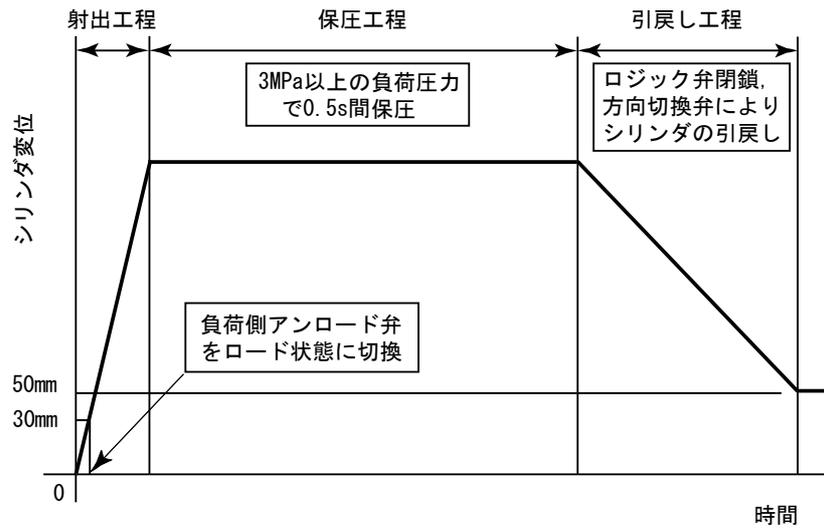


図 4.3 運転パターン

## 4.1.2 実験結果

### (1) 実験条件

実験条件は以下とした。

- ・ポンプ流量：22.5L/min
- ・供給圧力：12MPa、13MPa、14MPa
- ・アキュムレータ蓄圧力：供給圧力の 70%
- ・負荷側リリーフ弁設定圧力：15.5MPa
- ・ロジック弁パイロット部絞り径：1.0mm、1.5mm、2.0mm

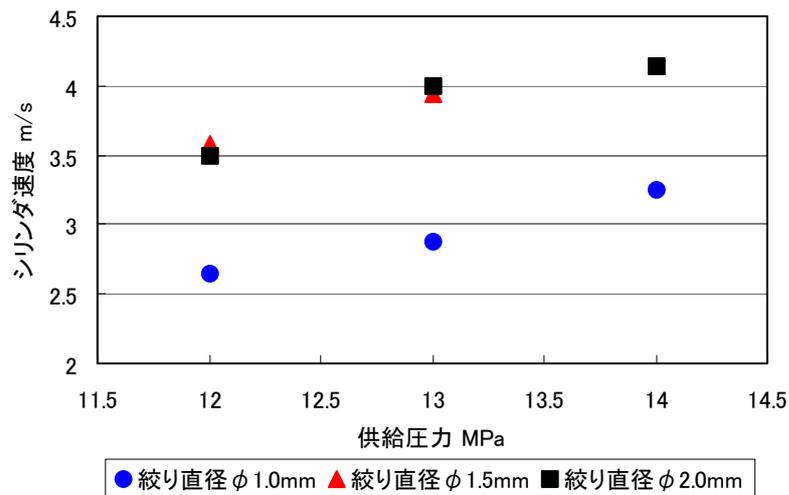


図 4.4 ロジック弁パイロット部絞り直径を変えた場合のシリンダ速度の変化

(2) 測定結果 A

図 4.4 に供給圧力およびロジック弁パイロット部絞り直径を変えた場合のシリンダ速度の変化を示す。絞り直径を大きくすることによりロジック弁の動作速度が高速化され、特に絞り直径を 2.0mm、供給圧力を 14MPa とした場合には、目標値を越える 4.14m/s のシリンダ速度が達成された。ただし絞り直径の大きさは、1.5mm 以上ではシリンダ速度の向上にはほとんど影響を与えない。以上よりアキュムレータとロジック弁の組合せは、水圧駆動の場合にもシリンダ速度の高速化に有効であることが明らかとなった。

14MPa の供給圧力において、ロジック弁パイロット部絞り直径を 1.5mm にした場合のシリンダ変位および回路各部圧力挙動の実験結果を図 4.5-1 に、対応する射出および保圧工程での時間拡大図を図 4.5-2 に示す。図 4.5-2 に見られるように、油圧シリンダのクッション効果により水圧シリンダ速度はシリンダ端で急激に減少する。今後は精密成形機の負荷をより正確に模擬するために、シリンダ端直前で高い応答性を有するアンロード弁により負荷を与える必要がある。また、シリンダが動き出した直後の水圧シリンダヘッド側およびロッド側の圧力上昇は、ロッド側のロジック弁を早めに開放動作させておくことにより抑制している点に注意する。

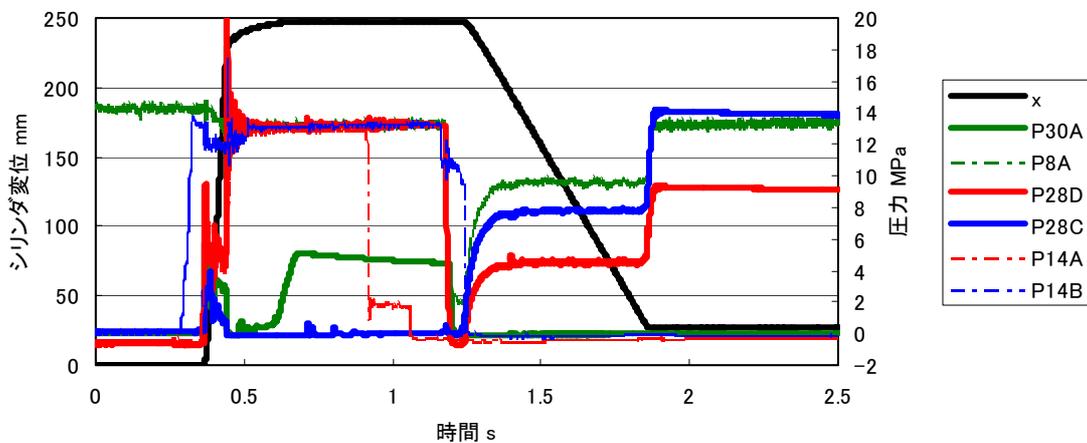


図 4.5-1 シリンダ変位と圧力波形（供給圧力 14MPa、絞り直径 1.5mm）

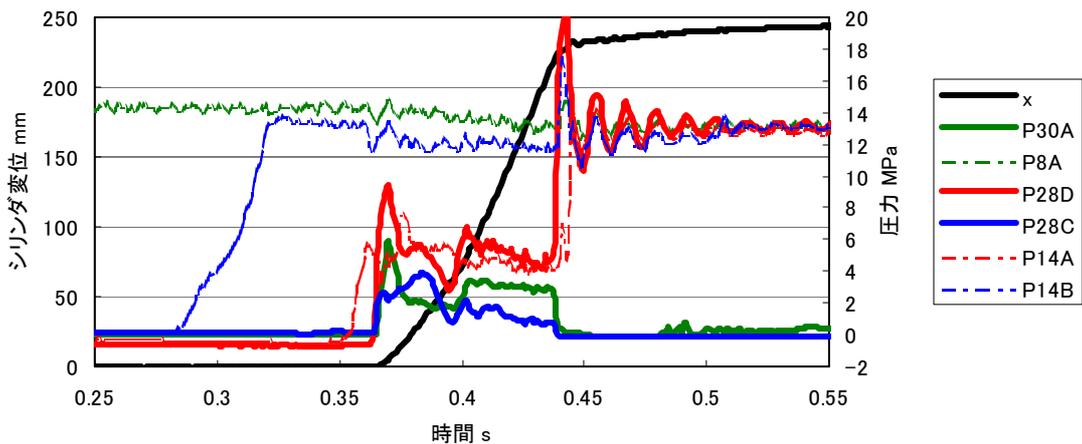


図 4.5-2 シリンダ変位と圧力波形（供給圧力 14MPa、絞り直径 1.5mm、時間拡大図）

### (3) シリンダ停止時サージ圧力の推定

シリンダ停止時に発生するサージ圧力は、水の低圧縮性を反映して油圧系の場合よりも高く、ADSにおいて実用上問題となるサージ圧力はシリンダ速度に依存するため、配管設計指針としてこれを推定することを考える。供給水圧を  $p$ 、水の密度を  $\rho$ 、射出工程でのシリンダ最大速度を  $v$  とすると、理論的な最大サージ圧力  $p_{\max}$  は次式で与えられる。

$$p_{\max} = p + \rho av$$

ただし、 $a$  はサージ圧力伝搬速度で、 $K$  を水の体積弾性係数として  $a = \sqrt{K/\rho}$  と定義した。上式で求められる理論的な最大サージ圧力と、高速運転実験においてシリンダ停止時に実際に発生した最大サージ圧力を比較したものを図 4.6 に示す。同図より理論的に求められたサージ圧力はいずれの場合も実験で得られた値を上回っており、設計時の水圧シリンダの最高速度を基に、発生する最大サージ圧力を見積もることが可能である。ただし、実験で計測されたサージ圧力は、シリンダのクッション機構が作用しているため、シリンダが完全に急停止した場合のものではないことに注意する。

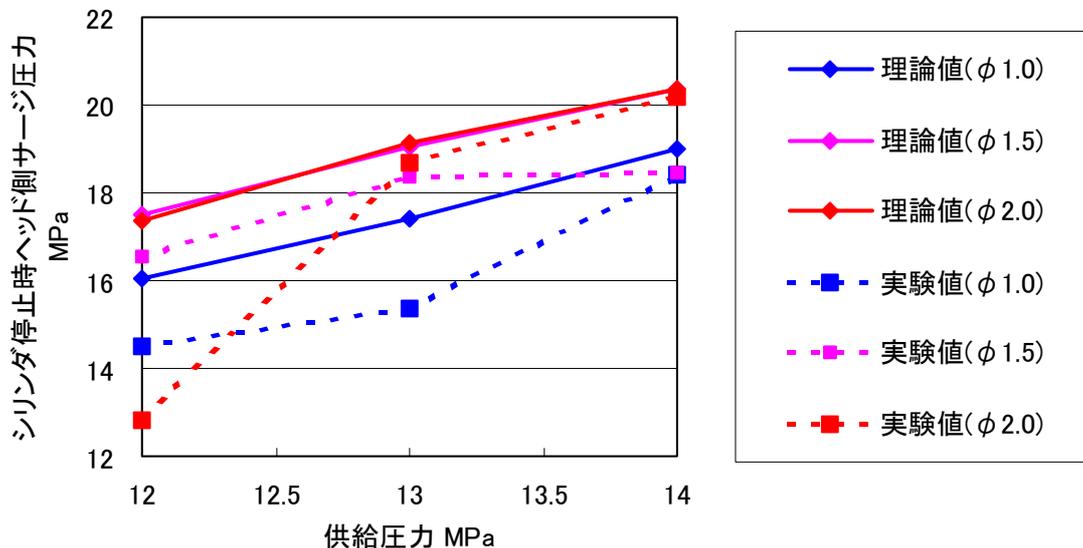


図 4.6 シリンダ停止時のサージ圧力の見積もり  $p_{\max}$  と実験値との比較

### (4) 測定結果 B

より以上の高速運転の可能性を探り、前項の測定結果を確認するため、ロジック弁の主弁構造の違いによるシリンダ速度の変化を測定した。図 4.7 は本実験で使用した水圧ロジック弁を示す図であり、図 4.1 に示した回路図のバルブユニット部分を表している。ここでは両者の識別のため、図 4.1 の場合を Form A、図 4.7 の場合を Form B と呼ぶ。

ロジック弁 Form A と Form B は、主弁部の構造、すなわち弁の開度—流量特性が異なり、結果的に Form B の方が Form A より開度—流量特性の変化が大きく、高速運転の可能性が期待された。

図 4.8 は、両弁により高速運転を行った場合の測定結果の比較である。この結果から、Form B の場合には、Form A と比較して供給圧力およびパイロット部絞り直径の実験範囲全般にわたってシリンダ速度が上昇していることがわかる。また、シリンダ停止時に発生するサージ圧力も上昇傾向にあることがわかる。

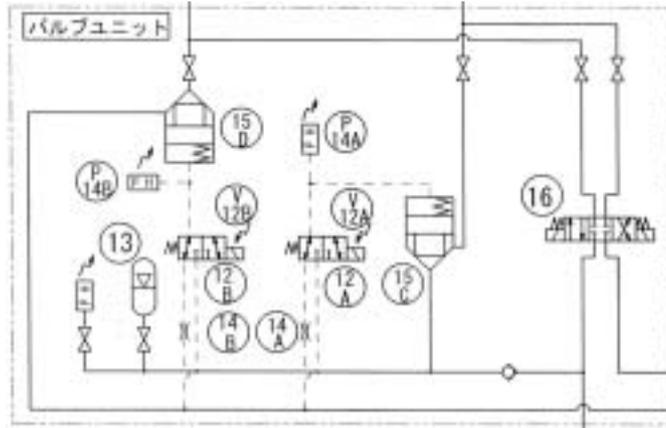


図 4.7 水圧ロジック弁 Form B のバルブユニット回路図

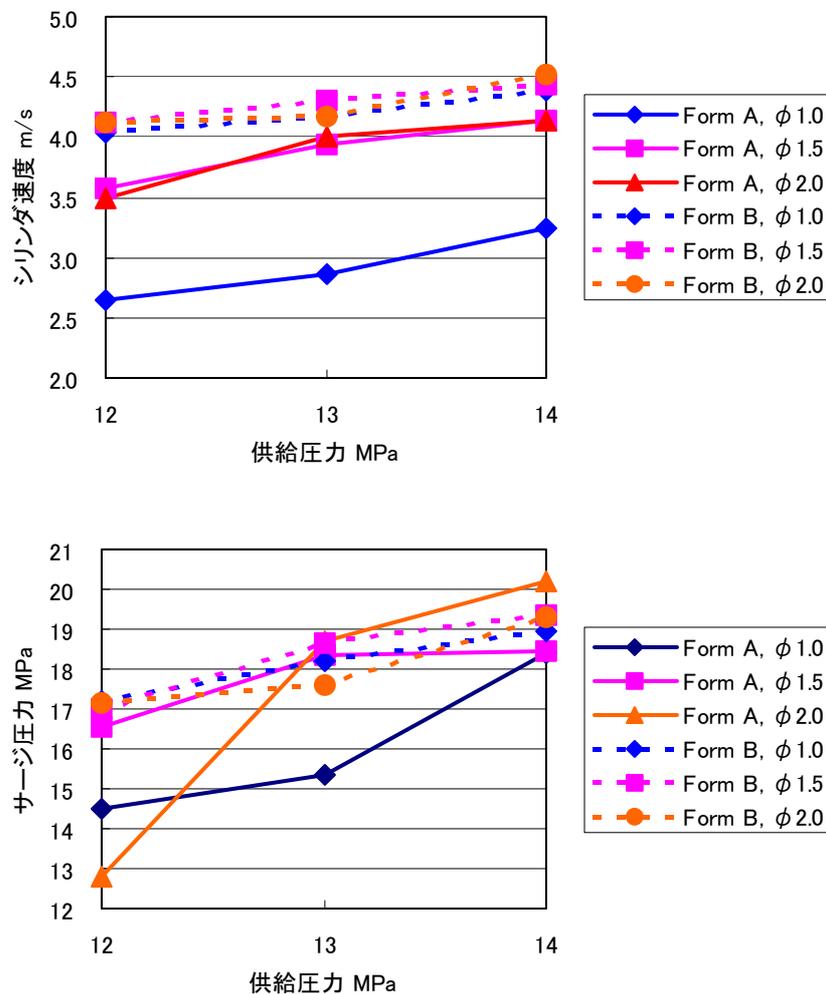


図 4.8 ロジック弁の違いによるシリンダ速度およびサージ圧力の変化

(5) 実験結果のまとめ

1. 大容量ロジック弁とアキュムレータの組合せにより、最高速度として 4m/s を越えるシリンダ速度が得られた。これは油圧分野における中圧領域の精密成形機の一般的なシリンダ速度に相当する。
2. 水圧シリンダに発生するシリンダ停止時（クッション領域）のサージ圧力は、推定が可能である。

### 4.1.3 シミュレーション

#### (1) シミュレーションモデル

射出工程において、ロジック弁のパイロット部絞り 14A の直径とシリンダ速度およびサージ圧力との関係を調べることを目的として、シミュレーション解析を行った。シミュレーションの解析対象を図 4.9 に示す。回路を構成する主要要素機器の基礎式を導出し、シミュレーションを実施した。

主要機器の基礎式の導出にあたって考慮した事項を示す。

#### (a) 水圧ポンプユニット

- ・ ポンプは一定流量
- ・ リリーフ弁のオーバーライド特性
- ・ アキュムレータ内のガスはポリトロップ変化

#### (b) 水圧シリンダ

- ・ シリンダ室内の作動水の圧縮性とシリンダ室体積の変化
- ・ 慣性力、粘性抵抗、摩擦力を含むシリンダの運動方程式
- ・ 管路の動特性

#### (c) 負荷回路と油圧シリンダ

- ・ シリンダ室内の作動水の圧縮性とシリンダ室体積の変化
- ・ クッション力は速度に比例する力と仮定
- ・ リリーフ弁作動時はオーバーライド特性を考慮してリリーフ流量を算出
- ・ リリーフ弁非作動時は絞りとしてリリーフ弁通過流量を算出

#### (d) ロジック弁 15A、15B

- ・ ポペットの運動方程式と流量特性、水の圧縮性
- ・ パイロット部絞り 14A

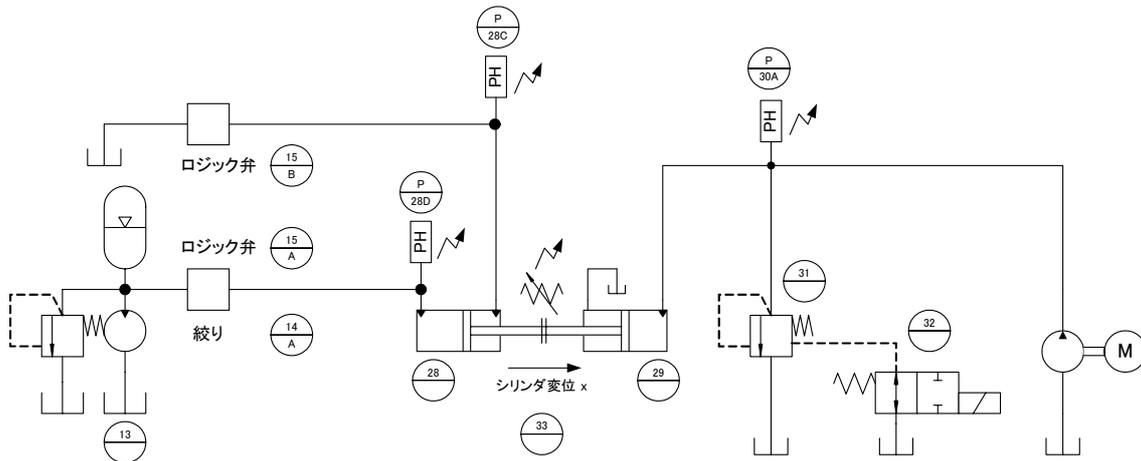


図 4.9 シミュレーションの解析対象

(2) シミュレーション結果と考察

ロジック弁が Form A である場合のシミュレーション結果の一例を図 4.10 に示す。この例は、供給圧力が 14MPa で、絞り直径が 1.5mm の場合である。

上段の図は水圧シリンダのピストン変位  $x$  を表し、下段の図は水圧シリンダのヘッド側圧力  $p_{28D}$  とロッド側圧力  $p_{28C}$ 、および負荷側の油圧シリンダのヘッド側圧力  $p_{30A}$  を表している。時刻 0 s でロジック弁 15A、15B が開くものとした。その直後からピストン変位  $x$  は増加し、230mm に到達した時点で油圧シリンダのクッションが作用し始める。クッションに到達する時刻は約 0.055s であり、その間の移動距離 230mm (フルストローククッション長=250-20) から、平均速度が 4.18m/s と求められる。また、シリンダ停止時のサージ圧力は 20.3MPa である。

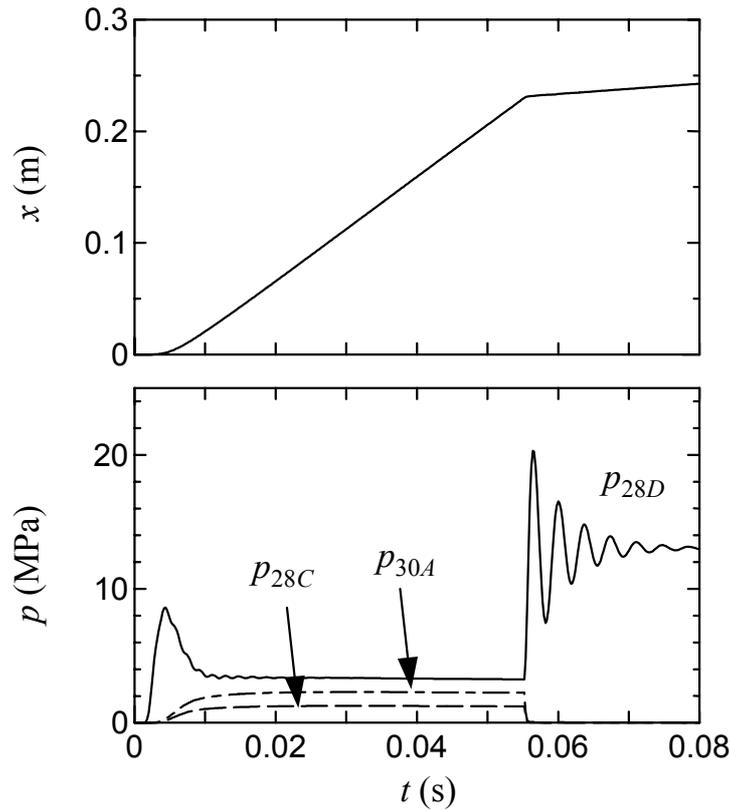


図 4.10 シミュレーション結果の一例 (Form A、供給圧力 14MPa、絞り 14A  $\phi$  1.5mm)

パイロット部絞り 14A の直径を 1.0、1.5、2.0mm と変えた場合の平均速度のシミュレーション結果を図 4.11 (Form A) と図 4.12 (Form B) に示す。また、ピストン停止時のサージ圧力のシミュレーション結果を図 4.13 (Form A) と図 4.14 (Form B) に示す。図中の○などの記号が実験結果であり、実線などがシミュレーション結果である。クッションの強さは、Form A と Form B で同じ値を用いた。供給圧力が同じ場合、絞り径が小さいほど、速度およびサージ圧力とも減少する傾向があることがシミュレーション結果でも再現できた。一方、絞り径が同じ場合には、供給圧力が高いほど、速度とサージ圧力が増加する傾向にあることが、再現されている。図 4.14 におけるシミュレーション結果と実験結果との相違については今後の課題となる。

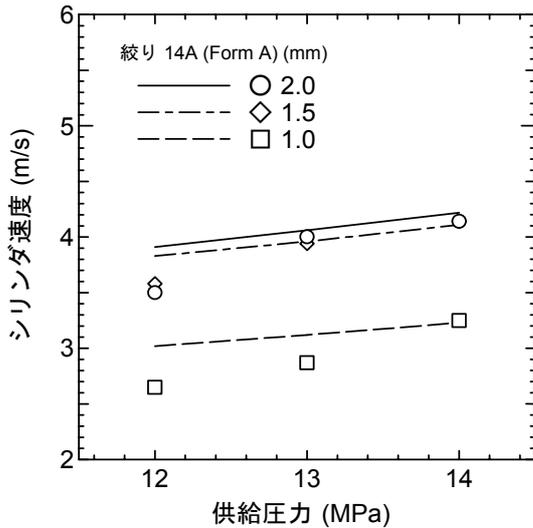


図 4.11 シリンダの平均速度 (Form A)

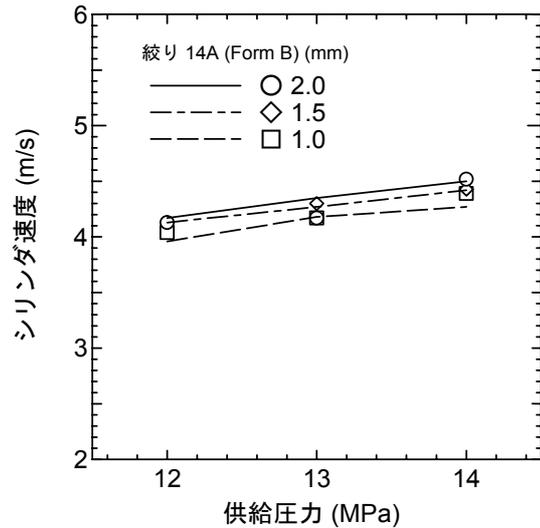


図 4.12 シリンダの平均速度 (Form B)

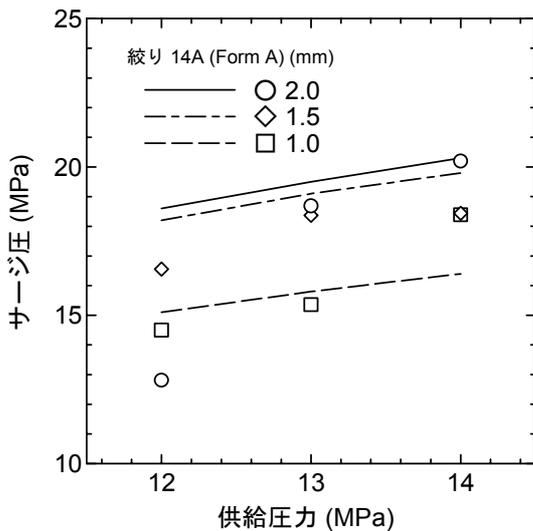


図 4.13 シリンダ停止時のサージ圧力 (Form A)

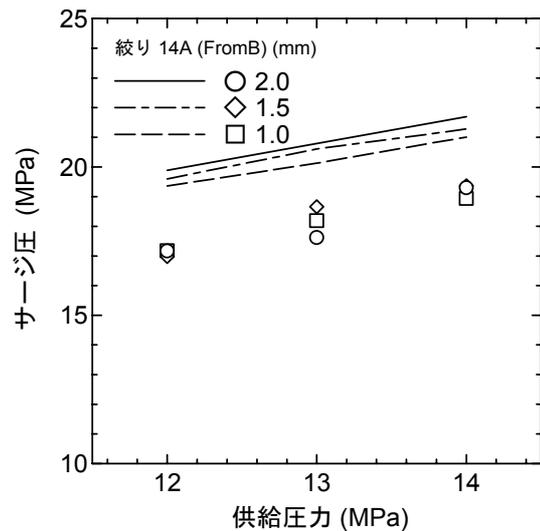


図 4.14 シリンダ停止時のサージ圧力 (Form B)

## 4.2 運転指針

### 4.2.1 圧力損失と流速

水は粘度の低い流体であり、作動油の場合に比べて管路内での圧力損失はより少ない。したがって、作動水としての水の利点は以下のとおりである。

- 管路の内径を小さくできる。
- アクチュエータとポンプを離して設置する場合でもエネルギーロスが小さい。

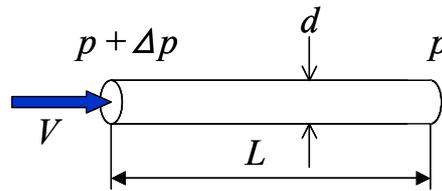


図 4.15 管路

同じ内径で同じ長さの管路に作動油と作動水が流れる場合に生じる圧力損失を比較する。内径  $d$ 、長さ  $L$  の管路に密度  $\rho$ 、動粘度  $\nu$  の流体が流速  $V$  で流れているとき、圧力損失  $\Delta p$  は次式で表される。

$$\Delta p = \frac{\lambda \rho L}{2d} V^2$$

管摩擦係数  $\lambda$  はレイノルズ数  $Re = Vd/\nu$  とすると以下のように表される。

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (\text{層流の場合}) \quad \lambda = \frac{0.3164}{\sqrt[4]{Re}} \quad (\text{乱流の場合})$$

水圧管路の流れを乱流とし、油圧管路の流れを層流と仮定すると、それぞれの圧力損失比は次式で表される。添え字  $w$  は水圧、 $o$  は油圧を示す。

$$\frac{\Delta \rho_w}{\Delta \rho_o} = \frac{\lambda_w \rho_w}{\lambda_o \rho_o} = 6.46 \left( \frac{Q}{d} \right)^{3/4} \quad (\text{式 4.1})$$

また、作動水、作動油の流れが共に乱流と仮定すると、圧力損失の比は次式で表される。

$$\frac{\Delta \rho_w}{\Delta \rho_o} = \frac{\lambda_w \rho_w}{\lambda_o \rho_o} = 0.474 \quad (\text{式 4.2})$$

水圧管路の圧力損失  $\Delta p_w$  と油圧管路の圧力損失  $\Delta p_o$  の比を表 4.1 に示す値を用いて計算した。その結果を図 4.16 に示す。

表 4.1 計算に用いた値

	作動水	作動油
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	1,000	880
$\nu$ (m <sup>2</sup> /s)	$1.0 \times 10^{-6}$	$34.0 \times 10^{-6}$

縦軸は圧力損失の比、横軸は流量  $Q$ 、管路の内径  $d$  をパラメータにとった。スケジュール 80 の管路で呼び径が 1/8 から 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> の範囲で算出した。式 4.1 の結果を実線で表し、式 4.2 を破線で表す。

いずれの場合も圧力損失の比は 1 より小さい。この結果から、水圧管路は油圧管路よりも圧力損失が小さいことが判る。

水の動粘度が低いので、水圧管路の圧力損失は小さく、動力伝達管路として優れている。ポンプと制御弁やアクチュエータを離して設置する駆動システムや径の小さな管路を持つコンパクトなシステムに水圧の応用が適している。

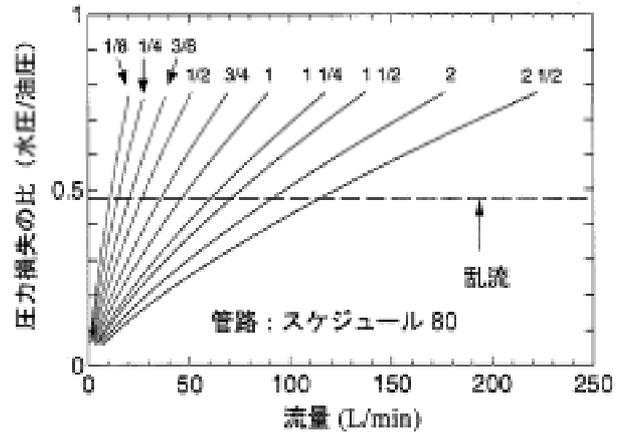


図 4.16 管路に生じる圧力損失の比

## 4.2.2 サージ圧力の防止

### (1) サージ圧力

液圧システムの流速が大きく、急激なシステムの運転と停止を行う場合は、サージ圧力の発生に注意する必要がある。ADS では作動水の特性的ため、油圧に比べてサージ圧力が大きくなる。このため、高速動作を行う一方、過大なサージ圧力の発生が予測される場合には、設計段階でシステムの水圧回路や構成機器に工夫することが望ましい。たとえば、比例弁やサーボ弁などの制御機器を用いたショックレス駆動などが考えられる。

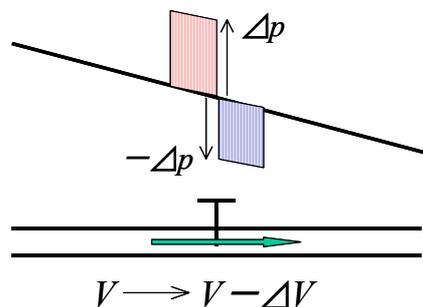


図 4.17 弁の急激な閉鎖によるサージ圧力の発生

### (2) シリンダ駆動回路におけるサージ圧力の実験とシミュレーション解析

図 4.18 に示すサージ圧力の実験装置を使用した。流速は 9.05m/s である。図 4.19 のパターンでサーボ弁を閉じた。サージ圧力  $\Delta p$  はポート B の過渡圧力波形から測定した。

図 4.20 に実験結果とシミュレーション結果を示す。シミュレーション結果は実験結果を十分に再現していることがわかる。

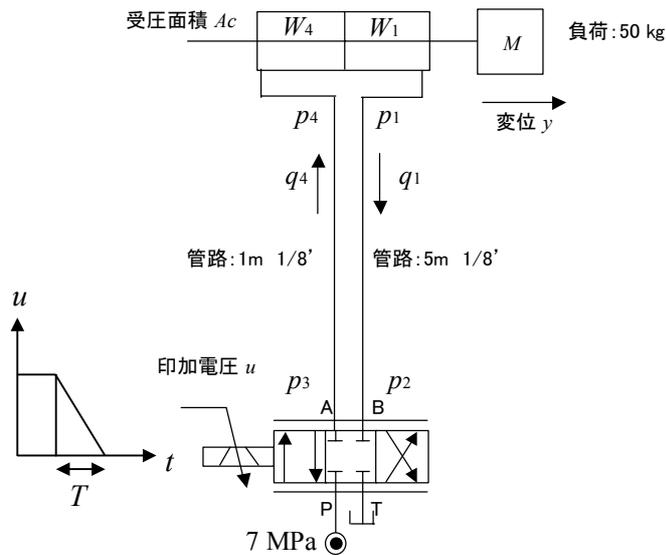


図 4.18 サージ圧力の実験装置の概要

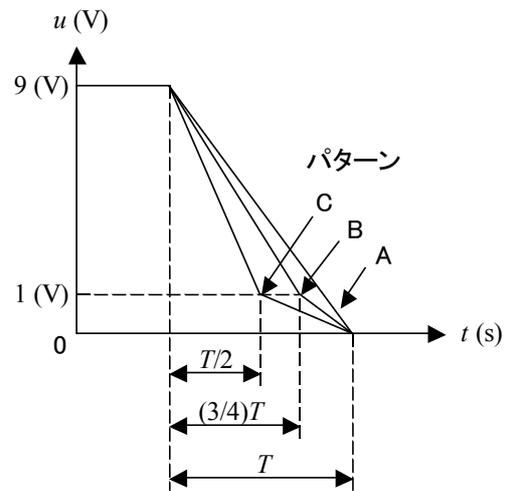


図 4.19 折れ線操作のパターン

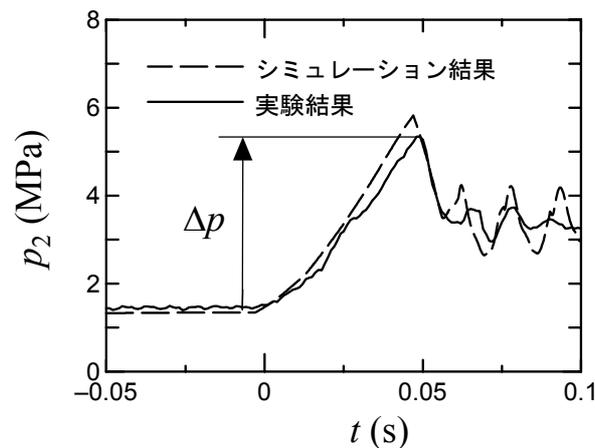


図 4.20 サーボ弁圧力 P2 のシミュレーション結果と実験結果の比較 (パターン A)

### (3) サージ圧力の抑止法

実験とシミュレーション解析により次の知見が得られた。

- ① サーボ弁の弁操作時間を長くすることにより、サージ圧力が抑制される。
- ② 折れ線形弁操作を採用すれば、効果的にサージ圧力が抑制され、折れ点の時間および印加電圧(弁開度)を調整することによって、発生するサージ圧力を最小化することができる。

### 4.2.3 システムの構成と運転上の注意

#### (1) フィルトレーション

- ・ 給水フィルタ：運転初期および水面維持のための給水時には、異物の混入を防ぐため、給水フィルタを介してタンクに作動水を満たすことが望ましい。また、使用頻度の少ない系統から給水するときは十分な排水を行い、赤水および赤錆などの混入を避けなければならない。
- ・ ろ過装置（フィルタ）：作動水から汚染要因物およびバクテリアやその他の微生物有機体を除去するため、水圧回路やシステム構成に応じ、供給ラインや戻りライン、サクションラインには適宜、ろ過装置を備えるものとする。また、そのようなろ過装置の目詰まりを監視できるシステムが望ましい。
- ・ エアブリーザ：ろ過精度は、大気中の細菌も考慮に入れて選定するのが望ましい。中空紙フィルタ（1ミクロン以下）を用いてもよい。
- ・ フィルタ圧力損失の監視：作動水を適切にろ過することは、水圧機器の寿命を長くすると共に、システムの十分な性能を発揮する上で重要となる。フィルタの圧力損失が監視できるシステムが望ましい。

#### (2) 温度

- ・ システムの温度：システムの凍結を防止し、蒸気発生を抑制するため、水温は+5°C～45°Cとする。
- ・ 機器の温度：各装置製造業者が運転温度を指定している場合、その温度範囲内で装置を使用する。システムの運転温度をユーザが指定する場合には、機器の運転温度範囲を考慮しなければならない。各機器の表面温度は人が接触できる限度を超えないものとする。
- ・ 温度制御：適切な温度範囲でシステムを運転することが難しい場合、状況に応じて適切な対策を講じる。作動水は0°Cで凍結するので、システムを寒冷地で使用する場合、あるいは周囲温度が氷点以下になる場合には、加熱器等を取付けてシステムのいずれの箇所においても凍結が生じないようにする。また、タンクの温度上昇によって作動水が蒸発するような場所でシステムを使用する場合には、タンク形状の変更または熱交換器の取付けなどが必要となる。特に、シリンドラや揺動モータなど、作動水が循環しないような箇所に対する対策は重要である。

#### (3) 試運転時の注意

- ・ フラッシング：作動水への異物混入による問題を未然に防ぐために、配管や継手、機器は、附着している油やゴミを十分除去した上でシステムに組込む。さらに、水圧ユニットや配管などの異物を除去するため、新規にシステムを駆動する場合には必ずフラッシングを実施する。フラッシングの水温は、フラッシング効果を高めるために運転可能な範囲でなるべく高く保つ方がよい。

#### (4) 始動時の注意

- ・ ドライ運転の防止：ドライ運転による損傷を防止するため、ポンプは常に作動水が供給されている状態で運転する。
- ・ 空気抜き：最初にシステムを運転する場合には、機器の保護や所定の性能を得るために、水圧ユニットや配管、アクチュエータ等の空気を完全に抜く。

(5) その他の注意点

- ・ 定期点検：ポンプなどからの振動によって配管の締付けがゆるむことがある。作動水の漏れや空気の吸込を防ぐために、定期的に点検を実施して継手部や配管のネジ部の増し締めを行う。
- ・ 整備：エアブリーザ、フィルタなどは清浄性を保つために定期的に整備する。
- ・ 作動水の交換：使用頻度や使用環境、水質管理方法によっても水質変化は異なるが、その状況に応じ定期的に作動水の交換を行うものとする。
- ・ 三連プランジャーポンプにおける脈動、騒音：三連プランジャーポンプは、低速回転で使用されることが多いので、脈動による弊害がシステムに発生する可能性がある。この場合、アキュムレータ、ゴムホースなどの脈動の防止対策やポンプユニットを分離して装置を構成することが望ましい。
- ・ 長期停止：システムを長期停止する場合には、作動水中にバクテリアや細菌の繁殖を防止するため、作動水の水抜きまたは殺菌剤の添加などの処置を実施することが望ましい。長期停止後にシステムを始動する場合には、バクテリアや微生物有機体、固形粒子等の堆積物により、フィルタエレメントの目詰まりやオリフィス・チョークの目詰まり、しゅう動部のかじり等が発生する可能性がある。運転開始時には、吸込み圧力が正常値であるか確認する。特にフィルタエレメントの圧力損失に注意し、必要に応じエレメント交換を行うものとする。作動水の蒸発などによりタンクの水位の低下が危惧されるシステムでは、水位が既定範囲内にあることを確認する。
- ・ 機器・ユニットの保管：機器やユニットの保管については、供給者の指示に従う。海外の機器メーカーは、保管や貯蔵を行う場合に、機器内部の腐食や凍結を防止するため不凍液を封入する場合が多い（例えば、モノプロピレングリコール）。使用時には不凍液を十分洗い流した上で使用する。

## 5章 ADS の応用

### 5.1 ADS の応用分野

ADS の応用分野としては、一般に食品機械、医療・介護装置、原子力施設などがよく知られている。図 5.1 は、2.1 節の水圧機器取扱い企業に対して水圧機器の適用分野を調査した結果である。調査は、アンケート調査とし、応用分野としての可能性が考えられる 9 分野とその他の分野の計 10 分野を示し、適用の有無を問う方法とした。回答総数 50 のうち 8 割強の回答に記入があった。

適用分野の回答件数は合計 123 であり、その内訳は、図 5.1 に示すように回答件数の多い順に上位から ①食品、②船舶・海洋、③土木、④医療・介護となっている。この 4 分野で全体の約半数を占め、5 位の原子力以降 9 位のレジャー、薬品まで続いている。

「その他」の分野としては、以下のような内訳であった。

- (1) 一般産業機械：7 件（機械、産業機械、タイヤ成形機、射出成形機、クランプ装置）
- (2) 洗浄：5 件（洗浄、消火、高圧噴霧、高圧水装置）
- (3) 一般工業設備：4 件（一般工業、製造工場、一般 FA、鉄鋼、自動車）
- (4) 半導体関連：4 件（半導体製造装置、半導体モールド装置、電子）
- (5) その他：3 件（工作機械クーラント配管、プール、研究）

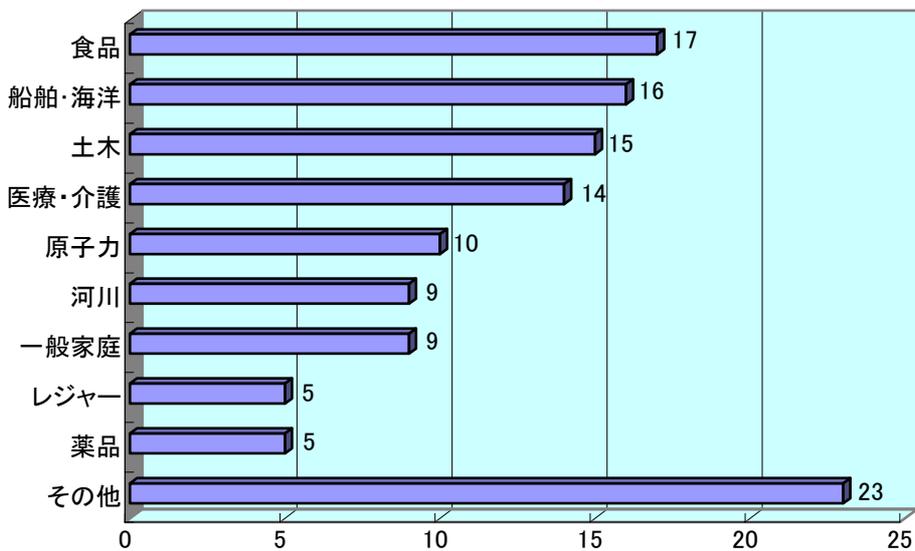


図 5.1 水圧機器の応用分野

アンケートに回答のあった各適用分野の具体的な装置名称は、以下のようなものである。

- (1) 食品：食品加工機械
- (2) 医療・介護：リフター、介護用入浴装置、歯科医療器
- (3) レジャー：プール可動床昇降装置
- (4) 河川：魚道ゲート駆動、高圧洗浄機
- (5) 土木：杭打ち機、水圧トレンチ
- (6) 船舶・海洋：機関室局所消火システム
- (7) 原子力：冷却水循環装置、廃棄物処理装置
- (8) その他・一般産機：ハイドロフォーミングマシン

以上のほか、次に示す需要分野も ADS の適用分野として可能性がある。

海水淡水化装置、製紙機械、ホームエレベータ、シールド掘削機、ディスク専用成形機、水中開発機械、舞台装置・遊戯機械、包装機械、レスキュー機器

一般的にこれらの需要分野において水圧システムに要求する項目は、安全性、環境性、清浄性、低圧、周辺コスト、パワー密度、屋外/水場などが考えられる。アンケートにおいて水圧システム使用する理由を確認した結果、多くの回答が環境への影響の少なさを上げていた。

- |     |                          |       |
|-----|--------------------------|-------|
| (1) | 環境（環境保全）                 | : 8 件 |
| (2) | 安全性、クリーン性                | : 4 件 |
| (3) | 作動液の入手が容易、圧力源（水道水）の入手が容易 | : 2 件 |
| (4) | 漏洩時の汚染がない                | : 2 件 |
| (5) | 廃液の処理が不要                 | : 1 件 |
| (6) | 放射能で変異しない                | : 1 件 |

## 5.2 公表されたADSの応用事例

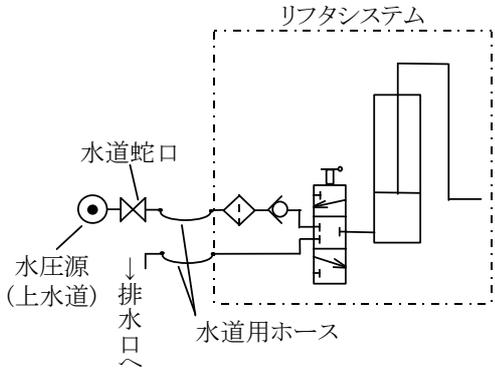
表 5.1 は、2002 年までにわが国の新聞、雑誌などに公表された ADS の応用装置に関する一覧表である。開発機関は、企業のほか大学の研究室や、複数企業が集まった研究委員会などである。応用事例として、まだ実用化されていない研究段階のものも含まれている。

これらの中から、実用化段階の事例に関する外観写真、概略仕様などを表 5.2 に数例紹介する。

表 5.1 公表された ADS の応用事例

No.	名称と開発機関・企業名	出典誌・紙(公表年月日)	用途・応用分野および特徴
1	水圧リフト ・カヤバ工業(株)	油空圧技術、Vol.39、 No.13、(2000.11)	介護・福祉機器 ・水道水圧駆動
2	鶏胸肉自動脱骨機 ・(株)前川製作所	日刊工業新聞、 (2001.2.16)、ほか	食品一次加工 ・装置の水洗浄、漏電心配なし、 HACCP対応
3	水圧フォークリフト ・三菱重工業(株)	フルードパワーシステム、 Vol.32、No.2 (2001.3)	運搬用産業車両（バッテリーフォーク） ・油による汚染防止が必要な環境
4	半導体成形水圧プレス ・NEDO	平成 12 年度新規産業創 造型提案公募事業成果 報告、(2001.3.27)	半導体成形 ・圧力分布の均一化
5	水圧昇降機 ・サンマックス(株)	日本工業新聞、 (2001.6.14)、ほか	昇降装置 ・汚れが少なく、災害活動にも威力、 最高使用圧力1MPa以下の機器構成
6	水圧ドアエンジン ・日本バルカー工業(株)	フルードパワー、 Vol.15、No.3 (2001.7)	自動スライドドア ・水道水圧のみで開閉、 低騒音、省エネ、安全
7	入浴介助装置 ・日本バルカー工業(株)	フルードパワー、 Vol.15、No.3 (2001.7)	入浴介助リフター ・水道水圧で作動、中間停止可能
8	水門用水圧駆動システム ・水門の風土工学研究会	小冊子「水門用水圧駆動 システム」、(2001.8)	河川水門 ・環境にやさしく、パワフルで安全
9	水道水の水圧を動力源と したモータ ・東京工業大学	日経産業新聞、 (2001.10.29)	介護機器 ・電気不使用、水道水圧を動力源
10	入浴介助器 ・ライン工業(株)	日経産業新聞、 (2001.11.08)	介護・福祉機器 ・給排水の水圧を動力として使用
11	パワーシリンダ ・ファルコム(株)	日刊工業新聞、 (2002.2.08)	サーボモータ駆動のパワーシリンダ ・環境配慮で油圧から水圧への転換
12	半導体封止装置 ・TOWA(株)	日経産業新聞、 (2002.12.03)、ほか	半導体封止装置 ・環境対策

表 5.2 ADS の応用事例  
その 1 : 水道水圧利用例

No.	名称および概観写真	概略仕様 (回路)																								
1	<p>名称 : 水圧リフト</p>  <p>資料提供 : カヤバ工業(株) 【表 5.1 : No.1】</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>仕様</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>駆動源</td> <td>水道圧力 (0.2MPa 以上)</td> </tr> <tr> <td>積載荷重</td> <td>体重 100kg 以下</td> </tr> <tr> <td>全長</td> <td>最縮時 1.7m/最伸時 3.0m</td> </tr> <tr> <td>昇降ストローク</td> <td>1.3m (プールの水深 1.1~1.3m に対応)</td> </tr> <tr> <td>重量</td> <td>総重量 32kg (シリンダ本体 18kg)</td> </tr> <tr> <td>昇降切換</td> <td>手動切換弁 (上昇・下降・停止)</td> </tr> <tr> <td>椅子水平移動</td> <td>手動にて回転</td> </tr> <tr> <td>プールへの設置方法</td> <td>2種類の方式から選択 (プレート方式、ソケット方式)</td> </tr> </tbody> </table> 	項目	仕様	駆動源	水道圧力 (0.2MPa 以上)	積載荷重	体重 100kg 以下	全長	最縮時 1.7m/最伸時 3.0m	昇降ストローク	1.3m (プールの水深 1.1~1.3m に対応)	重量	総重量 32kg (シリンダ本体 18kg)	昇降切換	手動切換弁 (上昇・下降・停止)	椅子水平移動	手動にて回転	プールへの設置方法	2種類の方式から選択 (プレート方式、ソケット方式)						
項目	仕様																									
駆動源	水道圧力 (0.2MPa 以上)																									
積載荷重	体重 100kg 以下																									
全長	最縮時 1.7m/最伸時 3.0m																									
昇降ストローク	1.3m (プールの水深 1.1~1.3m に対応)																									
重量	総重量 32kg (シリンダ本体 18kg)																									
昇降切換	手動切換弁 (上昇・下降・停止)																									
椅子水平移動	手動にて回転																									
プールへの設置方法	2種類の方式から選択 (プレート方式、ソケット方式)																									
2	<p>名称 : 水圧ドアエンジン</p>   <p>資料提供 : 日本バルカー工業(株) 【表 5.1 : No.6】</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>仕様</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>駆動源</td> <td>水道水圧 (0.2MPa 以上)</td> </tr> <tr> <td>適用水圧</td> <td>0.3MPa</td> </tr> <tr> <td>適用ドア重量</td> <td>20kg 以下</td> </tr> <tr> <td>最大開閉速度</td> <td>250mm/s</td> </tr> <tr> <td>クッション性能</td> <td>10~100mm/s (閉じ側可変)</td> </tr> <tr> <td>開閉力</td> <td>58N</td> </tr> <tr> <td>作動音</td> <td>40dB 以下</td> </tr> <tr> <td>耐久回数</td> <td>20 万回以上</td> </tr> <tr> <td>安全機能</td> <td>挟まれ時、外部ブラケットの固定が解除</td> </tr> <tr> <td>外部電源</td> <td>不要</td> </tr> <tr> <td>作動温度範囲</td> <td>0~60°C (結露なきこと)</td> </tr> </tbody> </table> <p>適用 : 電気が使用できない場所や、安全性が重要な場所 (温泉・風呂、病院・福祉施設、工場施設・研究施設、危険物倉庫 (油・有機溶剤等))</p>	項目	仕様	駆動源	水道水圧 (0.2MPa 以上)	適用水圧	0.3MPa	適用ドア重量	20kg 以下	最大開閉速度	250mm/s	クッション性能	10~100mm/s (閉じ側可変)	開閉力	58N	作動音	40dB 以下	耐久回数	20 万回以上	安全機能	挟まれ時、外部ブラケットの固定が解除	外部電源	不要	作動温度範囲	0~60°C (結露なきこと)
項目	仕様																									
駆動源	水道水圧 (0.2MPa 以上)																									
適用水圧	0.3MPa																									
適用ドア重量	20kg 以下																									
最大開閉速度	250mm/s																									
クッション性能	10~100mm/s (閉じ側可変)																									
開閉力	58N																									
作動音	40dB 以下																									
耐久回数	20 万回以上																									
安全機能	挟まれ時、外部ブラケットの固定が解除																									
外部電源	不要																									
作動温度範囲	0~60°C (結露なきこと)																									

その2：工場内生産機械

No.	名称および概観写真	概略仕様（回路）												
3	<p>名称：鶏胸肉自動脱骨機</p>  <p>資料提供：(株)前川製作所 【表 5.1 : No.2】</p>	<p><b>（機能）</b> 鶏の上半身を胸肉、ササミ、およびガラに分割加工する装置である。本装置は、ターンテーブルの割出昇降部と加工機部から構成され、食品の安全と衛生の十分な確保のため、頻繁な洗浄作業が行われる。</p> <table border="1" data-bbox="799 548 1433 846"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>仕様</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>処理能力</td> <td>Max.900 羽/時間</td> </tr> <tr> <td>ADS 仕様</td> <td>圧力 割出昇降部 7MPa 加工機部 2MPa</td> </tr> <tr> <td>構成機器</td> <td>ポンプ、モータ、シリンダ、サーボ弁、方向切換弁、その他</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>（ADS 適用メリット）</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 洗浄に対する、耐水性の向上（ショートや錆付きが無い、HACCP 対応）</li> <li>・ 小型高出力で機器配置が容易</li> <li>・ 食品に対する衛生管理面の向上</li> <li>・ 駆動源の一元化によるメンテナンスの簡略化</li> </ul>	項目	仕様	処理能力	Max.900 羽/時間	ADS 仕様	圧力 割出昇降部 7MPa 加工機部 2MPa	構成機器	ポンプ、モータ、シリンダ、サーボ弁、方向切換弁、その他				
項目	仕様													
処理能力	Max.900 羽/時間													
ADS 仕様	圧力 割出昇降部 7MPa 加工機部 2MPa													
構成機器	ポンプ、モータ、シリンダ、サーボ弁、方向切換弁、その他													
4	<p>名称：半導体成形水圧プレス</p>  <p>資料提供：NEDO 【表 5.1 : No.4】</p>	<p><b>（機能）</b> 半導体製造の後工程において、半導体素子の外部を樹脂封止するために用いられるプレス装置である。</p> <table border="1" data-bbox="799 1305 1433 1715"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>仕様</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>プレス力</td> <td>Max. 980kN</td> </tr> <tr> <td>プレス速度</td> <td>成形時 0.01~20mm/s 高速移動時 75mm/s</td> </tr> <tr> <td>成形有効ストローク</td> <td>150mm</td> </tr> <tr> <td>ADS 仕様</td> <td>圧力 13.7MPa 流量 52L/min</td> </tr> <tr> <td>構成機器</td> <td>ポンプ、シリンダ、サーボ弁、方向切換弁、アキュムレータ、その他</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>（ADS 適用メリット）</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 環境負荷の低減</li> <li>・ 装置のコンパクト化が可能（小形高出力）</li> <li>・ 水圧シリンダの直圧方式により均一な樹脂皮膜の成形が可能</li> <li>・ 高精度の位置/速度/圧力の制御が可能</li> </ul>	項目	仕様	プレス力	Max. 980kN	プレス速度	成形時 0.01~20mm/s 高速移動時 75mm/s	成形有効ストローク	150mm	ADS 仕様	圧力 13.7MPa 流量 52L/min	構成機器	ポンプ、シリンダ、サーボ弁、方向切換弁、アキュムレータ、その他
項目	仕様													
プレス力	Max. 980kN													
プレス速度	成形時 0.01~20mm/s 高速移動時 75mm/s													
成形有効ストローク	150mm													
ADS 仕様	圧力 13.7MPa 流量 52L/min													
構成機器	ポンプ、シリンダ、サーボ弁、方向切換弁、アキュムレータ、その他													

## 6章 ADS の将来展望

### 6.1 社会的要請と ADS

技術、あるいはその学問体系である工学は、根源的に真理を探究する科学とは異なり、与件のもとに最適解を追求する性格を持っている。科学技術の成果として、20 世紀の製造業は規模、品質の両面に亘り著しい発展を成し遂げたと言える。しかしながら、21 世紀を目前とする頃から、その大量生産、大量消費に付随する環境破壊、資源枯渇などの問題が顕在化し、これらの問題への対応、解決の必要性が理解され、徐々にではあるが消費者の行動に反映されるようになってきている。このことは、21 世紀は環境の世紀と言われるように、結果として、工業製品を生み出す産業活動の与件の見直しを強いることとなった。換言すれば、人間に合わせた産業への転進が必須となったのである。工学教育、技術者教育に必須の観点である。

この世界的パラダイム変化は、機械産業の基盤技術にも波及する。無段変速特性をもつ駆動方式は、それぞれに個性の強い原動機と負荷との間を取り持ち優れた制御特性を実現できるから、各種製造装置・作業装置の基幹技術として必須であり、現状では、油圧駆動、空気圧駆動および電気駆動の 3 方式が広く用いられている。しかしながら、21 世紀の工業与件に対する適合性の観点から、水道水を作動流体とする水圧駆動（ADS）の優位性が認識できる。換言すれば、我々の水道水を作動流体としている水圧駆動は、身近な環境である安全、清潔、衛生を保障し、人間はもとより動植物とも共存しうる機械技術である。

このような技術の在り方を先取りして、我が国においては、水道水を作動流体とする水圧駆動への関心が以前から強く、関連する大学、学会、工業会等での活動が行われてきた。水圧駆動の実用化を推進する活動として、日本フルードパワー工業会の「環境融和型水圧駆動システムに関する調査研究（平成 10～12 年度）」、「アクアドライブ技術の実用化に関する調査研究（平成 13～15 年度）」は特筆に値する。ここに、この 6 年間の調査研究の主要な成果を記しておく。第 1 は、研究委員会として、水質管理と水圧駆動特性に関する実験を計画し実行したことが挙げられる。まず、水質管理については、実験結果をも踏まえて管理指針をまとめてある。また、射出成形機やダイキャストマシンなどの油圧精密成形機の射出・保圧工程をモデル化した実験回路において、ロジック弁制御による高速運転を実現し、特にサージ圧に着目して、その予測および低減法について検討してある。これにより、システムの設計法、制御手法を含めた ADS の実用化への指針を与えている。第 2 は、バイヤーズガイドとしての資料収集である。仕様までを記載した機器の製造者・販売者リストに加え、材質についてもアンケート調査結果を示し、さらに ADS の実例を加えて、ユーザの便宜を図ってある。第 3 は、「アクアドライブシステム—技術資料」の刊行である。エンドユーザ、母機メーカーへの ADS 啓蒙活動に寄与するとともに、その英文版（第 2 版となる）を刊行して、我が国の取組み状況を世界へ発信するものである。

### 6.2 市場規模の予測

ADS の現状として、水圧駆動を組込んだ実証装置として、2002 セミコンジャパンに半導体封止装置、2003 国際食品工業展示会に鶏胸肉自動脱骨機等が出展され、問題意識のある関係者の注目を集めたことが特記できる。しかしながら、その広範な実用化には高いハードルを克服しなければならない段階にある。

ADS の実用化を検討する際に、ADS 特性に適合する応用分野を選定し、それらに採択される駆動システムとしての市場規模を予測することが必要となる。各種調査結果を用いると、ADS 採用可能性が高い機械・装置分野は、下記の 15 分野となろう。すなわち、

水門・河川用ゲート、ホームエレベータ、射出成形機、海水淡水化装置、原子力設備、ディスク専用成形機、半導体モールド装置、食品機械、介護機器（リフト、ベッド）、

シールド掘削機、製紙機械、包装機械、舞台装置・遊戯機械、レスキュー機器（放水銃）、水中開発機械（順不同）

他方、ADS の普及には、技術上の課題の解決とそれに伴う認知度・関心度の向上が強く関係することは言うまでもない。この観点から課題を整理すると、

低温対策、防食/腐食、シール技術、信頼性/寿命、イニシアルコストの低減、メンテナンス評価、水質管理技術、LCA 評価

となろう。デルファイ法を適用して、これらの課題が水圧技術の普及に支障とならない程度にまで改善される時期、すなわち改善所要期間を予測した。本委員会委員を含む専門家を対象とした結果は、個別技術で対応可能な課題での 3 年から複合技術での 8 年となった。

さらに水圧駆動、油圧駆動、空気圧駆動および電気駆動の 4 駆動方式間での特性評価、それは水圧駆動が成熟した時点での環境性に重きを置いた数値評価を適用することになるが、最終的に、市場規模が 600 億円に達するのは 6 年後の 2010 年、1,000 億円は 2012 年頃となる。結論として、既成市場に対する油圧駆動、空気圧駆動、電気駆動との適正な市場配分のもとに、さらに新規応用分野を考慮すれば、ADS は 1,000 億を上回る市場を 1012 年には容易に獲得できるであろう。

### 6.3 ADS 産業振興のために

現在、実用化の黎明期にある ADS が上記の成長を実現するためには、個人から団体レベルでの有機的な産学官連携が必要となる。主要事項を以下に示す。

まず、水圧機器メーカー、母機メーカーそれにエンドユーザを結ぶ双方向の連携の環を構築することである。日常生活でのなじみに基づき、エンドユーザにとって、環境・安全・清潔等々のキーワードで特徴付けられる ADS は、理解しやすくまた魅力的である。一方、機器メーカーは機器単体ではなく、エンドユーザの要求を満たすシステムを母機メーカーに提供しなければならない。この両サイドからの働きかけは、必ず、母機メーカーを巻き込む好循環の連携を構築する。

すでに述べた課題の解決とシステムとしての ADS の提供には、機器メーカー間はもとより、機器メーカーと材料メーカーとの連携も必要となる。ADS の使用圧力は、水道配管網圧力から 14MPa 以上の高圧に及ぶ。圧力レベルに応じた適切な材料と加工法の選択およびシステム構成の開発には、それぞれの分担協力を依存する。

技術者教育やユーザへの啓蒙活動は、新しい技術の振興を図るうえで大切である。特に若手の研究者、技術者の育成には、独創的な機器あるいはシステムの開発を呼びかけることがよい。

最後に官の役割であるが、国民の環境保全、安全確保に寄与する技術である ADS を振興するための施策、例えば規制の見直し、公的資金での助成等が望まれる。

以上

## 委員会参加企業と大学

### 平成 10 年度～平成 12 年度「環境融和型水圧駆動システムに関する調査研究」委員会

平成 10 年度（7 社）

（株）荏原総合研究所 カヤバ工業（株） 豊興工業（株） 油研工業（株）  
（株）ナブコ （株）トキメック 喜多村商工（株）

平成 11 年度（10 社）

（株）荏原総合研究所 カヤバ工業（株） 豊興工業（株） 油研工業（株）  
（株）ナブコ （株）トキメック 喜多村商工（株） （株）不二越  
（株）山本水圧工業所 （株）タカコ

平成 12 年度（10 社）

（株）荏原総合研究所 カヤバ工業（株） 豊興工業（株） 油研工業（株）  
（株）ナブコ 喜多村商工（株） （株）不二越 （株）山本水圧工業所  
（株）タカコ （株）阪上製作所

### 平成 13 年度～平成 15 年度「アクアドライブ技術の実用化に関する調査研究」委員会

平成 13 年度（16 社）

（株）荏原総合研究所 カヤバ工業（株） 豊興工業（株） 油研工業（株）  
（株）ナブコ 喜多村商工（株） （株）不二越 （株）山本水圧工業所  
（株）タカコ （株）トキメック 太陽鉄工（株） 廣瀬バルブ工業（株）  
川崎重工業（株） NOK（株） TACO（株） 日本バルカー工業（株）

平成 14 年度（16 社）

（株）荏原総合研究所 カヤバ工業（株） 豊興工業（株） 油研工業（株）  
（株）ナブコ 喜多村商工（株） （株）不二越 SMC（株）  
（株）タカコ （株）トキメック 太陽鉄工（株） 廣瀬バルブ工業（株）  
（株）カワサキプレジジョンマシナリ NOK（株） TACO（株） 日本バルカー工業（株）

平成 15 年度（16 社）

（株）荏原総合研究所 カヤバ工業（株） 豊興工業（株） 油研工業（株）  
（株）ナブコ 喜多村商工（株） （株）不二越 SMC（株）  
（株）タカコ （株）トキメック 太陽鉄工（株） 廣瀬バルブ工業（株）  
（株）カワサキプレジジョンマシナリ NOK（株） TACO（株） 日本バルカー工業（株）

### 平成 10 年度～平成 15 年度委員会参加大学

上智大学理工学部 横浜国立大学工学部

### 平成 15 年度参加委員氏名

委員長：山口 惇、副委員長：池尾 茂、幹事：宮川新平、事務局：三浦吉成

委員（あいうえお順）：井口 務、伊藤和寿、井上隆文、大橋 彰、籠田周作、小西康夫、斉藤真一、  
真田一志、上達政夫、高牟禮辰雄、竹崎 渉、寺岡崇志、中溝全俊、中村啓二、兵藤訓一、  
山科智四郎、吉田雅雄、渡邊健一

### 事務局 （社）日本フルードパワー工業会

（注）本事業は、補助金 50%と参加企業分担金 50%で実施しました。

本冊子の内容または製品に関するお問い合わせは、JFPA 事務局までお願いします。



この事業は、オートレースの補助金を受けて実施したものです。

平成 16 年 3 月 発行

発行人 弘 光 進

発 行 所

社団法人 日本フルードパワー工業会  
〒105-0011 東京都港区芝公園 3 丁目 5 番 8 号  
機械振興会館 311 号室

TEL : 03-3433-5391

FAX : 03-3434-3354

URL : <http://www.japan-fluid-power.or.jp/>

E-mail : [jfpa@japan-fluid-power.or.jp](mailto:jfpa@japan-fluid-power.or.jp)



社団法人 日本フルードパワー工業会

〒105-0011

東京都港区芝公園3丁目5番8号

機械振興会館311号室

TEL : 03-3433-5391

FAX : 03-3434-3354

URL : <http://www.japan-fluid-power.or.jp/>

E-mail : [jfpa@japan-fluid-power.or.jp](mailto:jfpa@japan-fluid-power.or.jp)