

..... 第3章

水圧の世界

「新・水圧技術：ADS（Aqua-Drive-System）」で機械を動かす

1.	まえがき	64
2.	ADS はこんなところで使われる	66
2.1	食品加工機械に最適	66
2.2	クリーンが大切な半導体関連産業	66
2.3	放射性環境への応用	67
2.4	家庭内高齢化対応のムーバブル住宅設備	68
2.5	消防自動車でこんなことに使える	68
2.6	レジャー設備やテーマパークで	69
3.	水圧の始まりはイギリス産業革命	69
4.	そして、今どうして 「水圧?」：新たなる装いで	71
5.	「ADS とは?」の前に少し知って おきたい単純な疑問	72
5.1	水圧による動力の伝達	72
5.2	水で機械は錆びないか	72
5.3	機械の潤滑は?	73
6.	ADS が要求されるのはこんな理由	74
7.	ADS はこんな仕組みで動く	74
7.1	ポンプとモータの構造的特徴	74
7.2	制御弁の構造的特徴	76
7.3	ADS 機器の組み合わせ	77
7.4	インテリジェントな ADS	77
8.	ADS が「環境調和、省エネルギー、省資源、水の有効利用」 へ貢献する「コージェネレーションとの融合」	79
9.	ADS の未来	80
10.	あとがき	80

1. まえがき

地球温暖化、その影響は気候や生態系そして人間社会のあらゆる面で不安と恐怖を与えています。夏の集中豪雨と猛暑、そして突然日本近海で発生する台風、冬では突然の豪雪と暖冬というように気候や季節に極端な現象として経験することがしばしばです。「環境と省エネルギー」が地球温暖化防止対策にとって、従来以上に重要な社会的、技術的課題となっています。更に、資源の供給安定性が低いために化石燃料の消費は極めて不安定な状況に陥っています。化石燃料の過度の使い方によっては地球温暖化をもたらします。また石油の産出地域が極めて局所的であり、時には地域の政情、宗教上などの不安定な要因のために、燃料のコストが日常生活に直接影響を及ぼしています。そして、地球温暖化がもたらす豪雨と干ばつは人間が生きるための飲料の確保に大きな不安を与えています。生活用水、特に飲料水の不足は人間の生きる道を閉ざしてしまう深刻さをはらんでいます。近年「水サミット」が開催され、飲料水の確保と偏在の均衡化が課題となり、「水の確保と有効利用」もエネルギーの安定供給化と並んで重要となっています。有名な海外誌「フォーチュン」は「21世紀の水は20世紀の石油のような存在になるに違いない。水が各国の豊かさを決める物資となるであろう」と語っています。このような環境下でこれからお話をする「水を作動流体として水の有効利用を可能ならしめる ADS」は、省エネルギー、環境対策に貢献する新・技術であり、今どんなところで活躍し始めているか、まずはその触りを紹介するために、原理と二、三の応用例を挙げて説明しましょう。

ADS の原理は「水鉄砲」

図1は子供の時に遊んだ竹筒で作った水鉄砲です。左端の握りを押すと先端の穴から水が勢よく出てきます。今はプラスチックで、こんな遊び道具はないかもしれませんね。

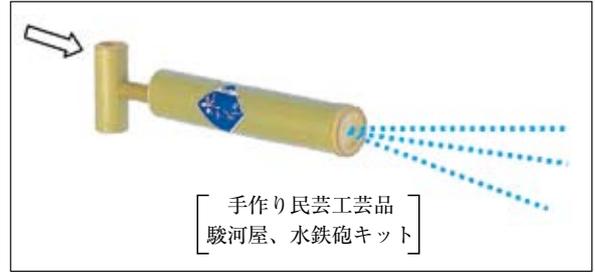


図1 水鉄砲

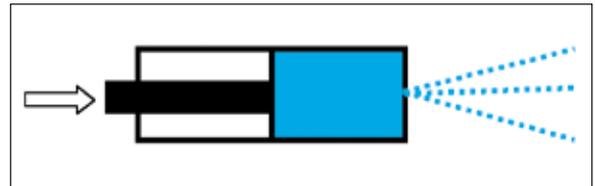


図2 水鉄砲の内部の様子

図2に水鉄砲の内部の様子を説明しています。左の棒を右に押すと竹筒の右半分の水が穴から勢よく出てきます。強く押せば水は遠くまで届きます。これは図3に示される「パスカルの原理」の応用です。一定の容器に閉じ込められた流体にWの力を掛けると、容器内の圧力Pは四方に均等に伝達されます。圧力を利用して、小さな力で大きな力を発生させます。いうなれば「ジャッキ」です。車を修理したり、タイヤを交換する時、車体を持ち上げる機械です。

液体であれば作用は同じです。最近は油圧駆動となっています。

さて、この原理を仕事に使うことを考えると図4に示す絵がそれです。ホースで繋げば、どこで

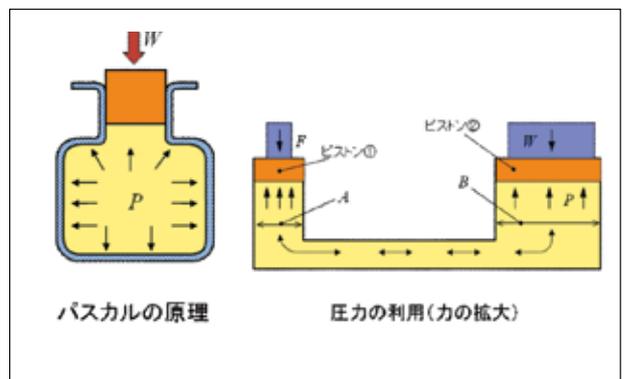


図3 パスカルの原理と増圧機構

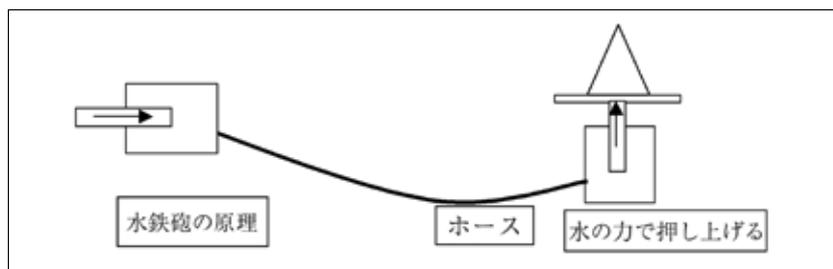


図4 力をホースで伝達する

も自由にエネルギーが伝達され、機械などを動かすことができる便利な道具となります。

「閉じ込めた容器（竹筒）の中の水に水鉄砲のような力を与えて、その力をホースによって必要な所へ、必要なだけ流体のエネルギーを伝達して機械を動かす」のが液圧技術です。流体に「油」を使えば「油圧」、水を使えば「水圧」と呼びます。これから説明する技術は後者の「水圧」です。水に強い機械技術です。

今では、機械といえば「油」が付き物です。ここで、説明する水圧技術には作動流体に「水道水」を使うので「油成分」は一切存在しません。だから機械自身を「清潔丸洗い」できます。「清潔水洗い、丸洗い」は鬚そりの宣伝文句だけではないのです。これまでの電気駆動では、防水構造や漏電対策をしても機械自身を清潔に洗浄するために機械を分解し、濡れては具合の悪い電気部品は取りはずさなくてはならないのです。

水圧駆動を採用した機械はそのような手間は省けるし、洗浄の際にわざわざ機械自身を分解・組み立てを行うために生産ラインを停止させることもありません。生産が終わり次第そのまま洗浄できるので効率の良い生産活動が可能なのです。

水圧技術の歴史は、後で詳しく触れますが、イギリス産業革命の頃（18世紀末）すでに発明され、その後100年の長い年月の間、産業に利用された時期がありました。機械を動かすのに、石炭を燃やしてボイラーの蒸気の力を利用していました。しかし、蒸気では大きな力を出すのが大変でした。そこで蒸気力でポンプを駆動して水圧を発生させました。しかし、当時ステンレス鋼はなく、鉄では水と接触すると機械の材料が錆びたり、油のような「べと付き（粘性という）」がないので、

こすれる所がすぐに痛んだり、隙間から水が漏れたりしました。この様に鉄を材料とする機械に「水」は不向きだったのです。この頃の水圧技術を「旧・水圧技術」と呼んでいます。その後、鉱物油が発見され油が水にとって代わり、油圧技術が誕生し、著しい進歩を遂げ現在に至っています。さて、ここで説明する「水圧技術」は、当時の水圧技術が抱えていた多くの課題（錆、漏れ、摩擦・摩耗など）に対し、材料など現在のハイテク技術（ステンレス鋼、セラミックス、特殊高度表面処理）を駆使し、当時の「旧・水圧技術」と一線を画した全く新しい水圧技術です。これを「新・水圧技術：ADS (Aqua-Drive-System)」と呼んでいます。

新・水圧技術（これ以降は呼称を簡略して「ADS」と呼びます）は作動流体に「水道水」を用いることを述べました。従って、流体が漏れても環境を汚すことはありません。きれいな製品を作る時、クリーンで、衛生的で環境性の優れた製造ラインを構築することができます。例えば、食品、医療・医薬、化粧品、半導体などでは重要な、安全・衛生的でクリーンな雰囲気を作ることができます。

ADSとはどのような技術か、同じ液体でも流体が「水（ADS）と油（油圧）でここが違う」を説明する前にまずはこんな所で使われ始めていることを知ってほしいのです。なぜなら ADSの技術開発が始まってからまだ20年、その応用は、ここ数年で実用化され始めたところだからです。ADSは全く新しい技術であり、世に十分知られていないのです。そしてなぜまた水圧なのかは後述するとして、その代表的応用例を写真で見て、まずは「なるほど」と理解して欲しいのです。

2. ADS はこんなところで使われる

2.1 食品加工機械に最適

食品の安心・安全は近年の大きな関心事です。特に、衛生面の「食の対応」は人間が生活する上で十分に注意を払わねばなりません。輸入食品の農薬汚染に対する食の安全・衛生対策は必須です。そのため、食の製造工程における殺菌、滅菌そして菌を持ち込まない、などの衛生対応が必要なのです。ADSの採用は食品機械の丸洗い洗浄を可能にします。機械といえば本質的には油を使って、部品の錆び止めや潤滑を行いスムーズに動かすのが相場です。使う立場にとって、使いやすい機械が設定できます。

ADSには「油成分」は一切使われていません。食品機械を見たことがあるでしょうか。機械自身の本体素材はステンレス鋼が相場です。従って、本体その物は清潔です。ADSを採用した例を図5に示します。上の図は水中のベルトコンベアで、図中右端にホースで送られる水圧の力で回転する「水圧モータ」がベルトを駆動しています。下の図ではそのコンベアで野菜を洗浄しながら搬送しています。2008年4月フルードパワー国際

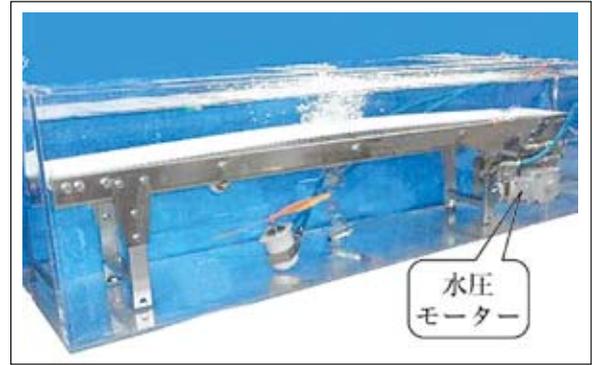


図5 水中コンベアと野菜を洗浄、搬送している様子 (2008年4月23日：テレビ東京で放映)

見本市での展示がテレビ東京「ワールドビジネスサテライト」の「トレンドたまご」で紹介されました。

2.2 クリーンが大切な半導体関連産業

常にクリーンな場が要求される半導体関連産業。IT技術はナノレベルへの挑戦、つまりゴミとの戦

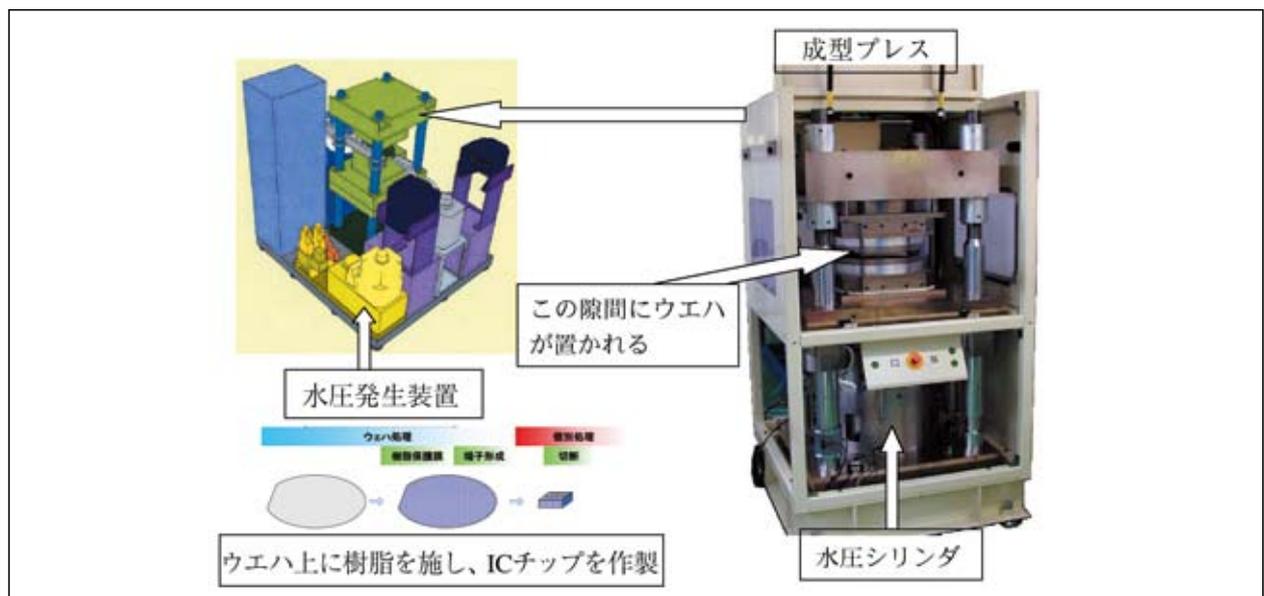


図6 精密成型装置

いです。ADSは、作動流体に「水道水」、「純水」レベルの流体を採用しているのでゴミや汚れとは無縁です。

ここでは、半導体ICチップ生産ラインの応用例を示します。ICチップをウエハにマウントした後、ウエハ上に埋め込まれたチップを樹脂材料で保護するため薄膜を精密プレスで成型します。

図6には成型工程にADSとプレスを組み込んだ様子を模式的に示しました。図中下部にウエハに保護膜を生成した様子を示します。このウエハを小さい四角形状のチップ（ウエハレベルチップサイズ）にカットしてITチップができあがります。この様な作業は、クリーンルームで行われます。

2.3 放射性環境への応用

近年化石燃料による発電が二酸化炭素排出の視点から問題とされ、火力発電所においては排出の削減のための発電効率向上の努力がなされています。一方、これまで社会的な側面から注目、関心、課題を持たれてきた原子力発電ですが、二酸化炭素排出が極めて少ない発電手段であるとの認識が国内外とも急速に高まっています。特に、ヨーロッパにおいては、デンマーク、ドイツ、イギリスなどこれまで消極的であった国々が政策の転換に至っています。皆さんもテレビを見たり新聞を読んだりしてご存じでしょうか。日本はこの分野

において世界で最も優れた技術を保有しています。地震国日本は多くの課題を経験してきました。新潟の刈羽発電所は多くの信頼性に対する策を乗り越えようとしています。これらの技術は世界から注目され、この分野に関連する企業は今後益々忙しい時期を迎えるでしょう。さて、そのような社会的背景は「技術の革新、向上と長い経験で蓄積された優れた技術の集積」があって初めて実現されます。特にこの分野は安全を第一として、設備性能の高効率化、高寿命化、発電の使用率の向上などに対する努力が必要です。発電効率向上対応には蒸気タービンの高効率化、長寿命化対応には、炉心等の安全設計を基に、各機器やシステムの常なる安全監視・検査技術の向上、炉心対応においては冷却水ポンプの運転管理、更には発電上極めて重要な燃料棒の信頼性ある駆動制御等様々な視点からの安全、保守管理が重要な日常の作業となります。更に、発電機能が終了した燃料棒の廃棄処理、発生する多くの放射性廃棄物の処理、そして発電能力が終わり、寿命を迎えた廃炉作業があります。

以上説明したように、原子力発電に関わる中で、対放射性的の視点からADSが有望視されています。それは「水」が対放射性的の特性を持っているからです。沸騰水型発電所において炉心の燃料棒の駆動にすでに「水圧技術」が使用されています。図7にその様子を模式的に示しました。燃料棒を炉心に

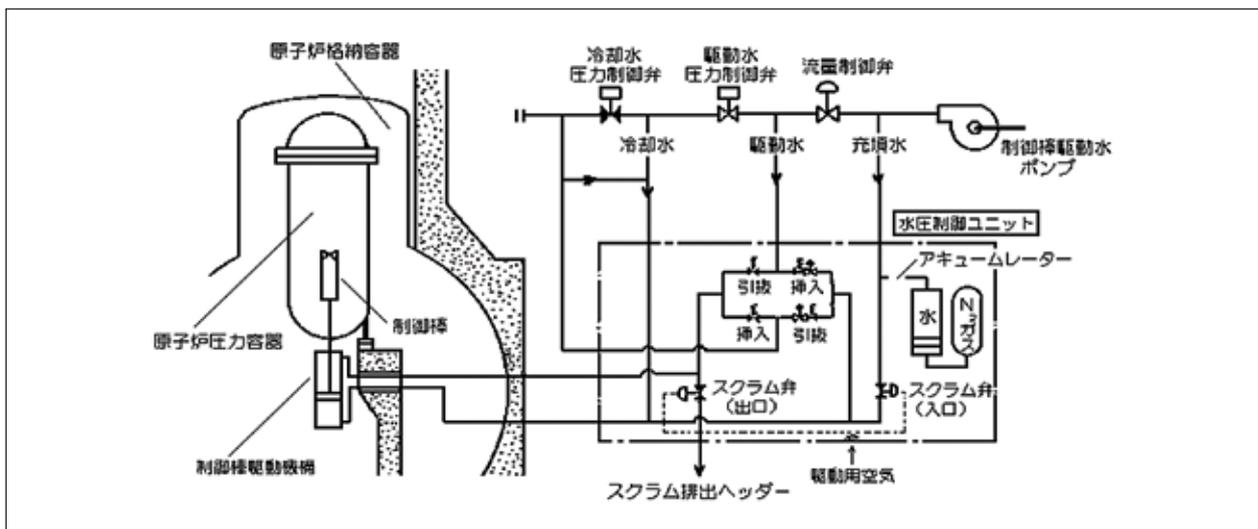


図7 制御棒駆動水圧系統図（日本原子力発電株式会社 1997年プレスリリース）

挿入したり、引き抜いたりして核反応の促進、抑制、停止など重要な機能を果たしています。およそ185本の燃料棒を水圧シリンダと制御弁の組み合わせで個別に制御している膨大なADS技術です。

その他、使用済みの燃料棒の貯蔵が青森県六ヶ所村の設備で行われていますが、貯蔵は水槽の中です。これらの作業機械の一部にも既に水圧技術が使用されています。発電所寿命向上のためには、設備の中心である炉壁の状況を定期的に速やかに点検する必要があります。炉心内は放射性物質を含んだ水で満たされています。このような環境下では全水圧マニピレータの構築が期待されています。

2.4 家庭内高齢化対応のムーバブル住宅設備

日本の人口構成は、早晚高齢化社会を迎えます。高齢者の快適な生活のためには住宅のバリアフリーが欠かせません。図8は、ADS技術の住宅設備への応用の可能性を模式化したものです。①玄関の上りがまち ②台所のシンク ③トイレの便座 ④風呂の床や洗い場 ⑤ホームエレベータ ⑥台所の床下収納庫、など昇降機能の用途があります。これらの住宅設備は概ね「水場」であることから、ADSとの相性がいいのです。電動もいい

ですが、ADSは漏電事故の可能性は全くありません。高齢者だけでなく、身体障害者への対応にも適しています。図9は化粧台の昇降機能を水道配管からの圧力をそのまま利用して開発された実用例です。



図9 洗面台高さ調整付化粧台(泉工業(株))

2.5 消防自動車でこんなことに使える

消防自動車には火災鎮火を目的とする火災放水車と人命救済などを目的とするレスキュー自動車があります。火災放水車は大量の水を放水するため

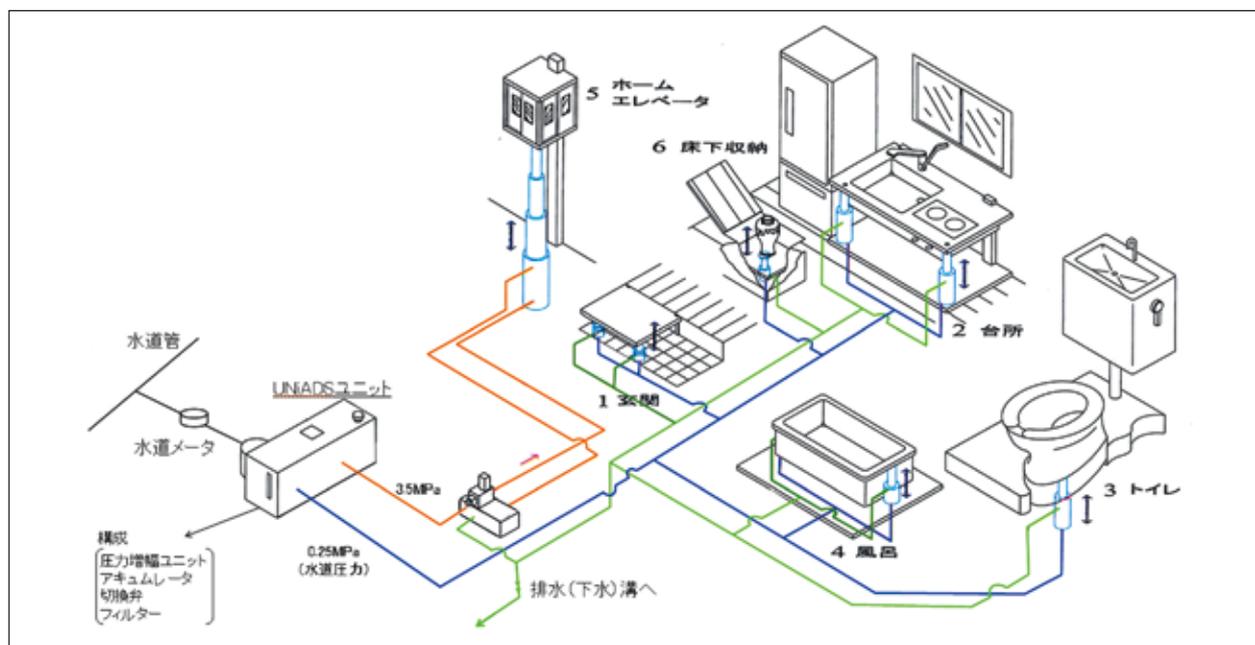


図8 バリアフリー対応ムーバブル住宅設備システム

に遠心ポンプを用いています。一方、レスキュー自動車は梯子の伸縮や救助のための工具を具備しています。これらの動作は通常、容積式ポンプの高圧油圧駆動です。最近、海外では消防自動車は放水用の遠心ポンプと容積式の高圧水供給可能な水圧ポンプを同時に搭載し、レスキュー機能と放水機能を併せ持ち、消火・人命救助を同時に可能としています。従来のレスキュー自動車にしても火災現場での救済活動に「油」よりも「水」の方が安全です。国内では法規で「油圧式」としています。初期の器具の導入の際、水圧式はなかったためです。しかし、徐々に全水圧式自動車が普及すると予測されます。

2.6 レジャー設備やテーマパークで

近年、大規模なテーマパークが話題です。大きな池の中から怪物が突然現れたりする、アトラクションの動きに空気圧や水と油の混合流体の駆動技術が使用されています。安全面、環境汚染などを考えると ADS が最適です。今後検討される可能性は大きいでしょう。

既に ADS が利用されているレジャー装置では、プールの深さを調整して、大人、子供、シンクロナイズ、水球などの多目的利用が可能な可動床設備があります。

3. 水圧の始まりはイギリス産業革命

水圧を機械の手段として初めて考案したのは Bramah (英国:1795年) の水圧プレスです。図 10 は、当時考案した水圧プレスで、特許として申請されています。右の握りを駆動すると、下の小シリンダに圧力が発生し、その圧力は本体中央部の大シリンダに伝達されます。シリンダ面積拡大分だけ力は増幅され、大きな力が発生します。液圧といえば現在では、通常油圧技術をさすようになりましたが、液圧の歴史は水圧技術から始まったのです。驚くことに、当時は現在の「電気会社」なら

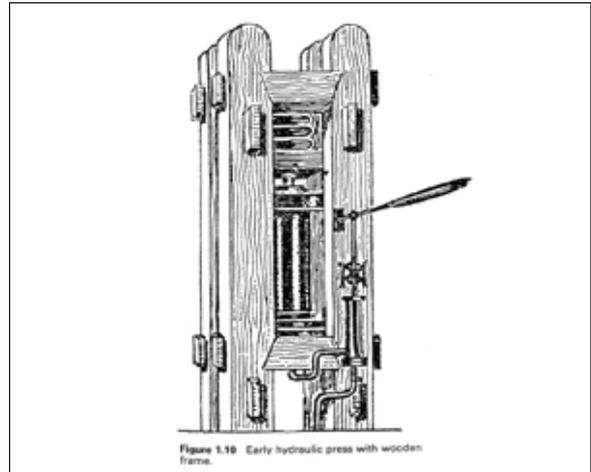


図 10 Bramah の水圧プレス

ぬ「水圧供給会社」が存在していました。ロンドン、グラスゴー、マンチェスター、ハルなどの都市には、現在の水道管のように 5 インチ管が地下に埋設され、市内中に張り巡らされていました。圧力はおよそ 5MPa です。各市内の特定な場所にポンプステーションが設けられ、高圧水を供給していました。当時、大きな動力を出せる手段は水圧をおいて他になかったのです。

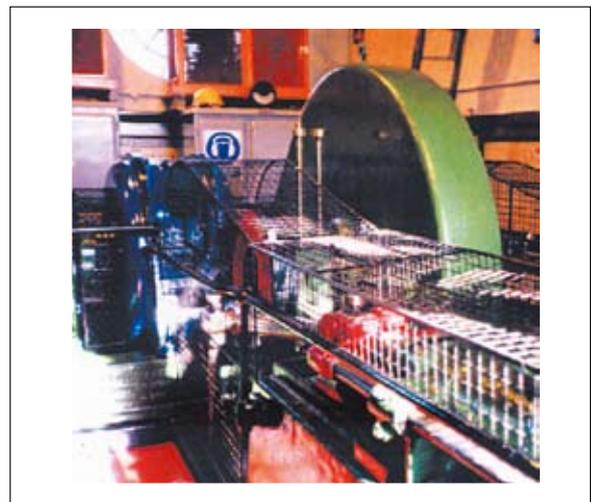


図 11 一本プランジャー形往復動水圧ポンプ

石炭でボイラーを炊き、蒸気を作って動力にします。蒸気機関は、当時の有力な動力源でした。図 11 は、イギリスのブリストル市に現存する当時の水圧ポンプです。現在でもメンテナンスが行き届いて、運転可能です。図 12 にあるように今でも水門を駆動しています。水門の他、川の中心を



図 12 水圧シリンダにより駆動される水門
(図 11 の水圧ポンプから圧力水を受ける)

軸として橋が架けられ、その軸を回転させて、船が通る時には、車道を遮断します。湾に通ずる運河をせき止める水門を駆動します。これらはすべてが当時のまま、今も作動しています。筆者は切換弁を作動して水門を動かしてみました。当時にタイムスリップし、感動したのを覚えています。

こうしてイギリスに端を発した水圧技術は、ヨーロッパ大陸に広がっていきました。図 13 は、

ベルギーのフランス国境に近い MONS 市にあるリフト式ロック設備です。1888 - 1919 年に設置されましたが、18 世紀のイギリスの技術が色濃く残っています。機能性のみならず、その優雅さゆえに高く評価され世界遺産に登録され、日本でもテレビで放映されました。それを見た筆者は、テレビ会社に問い合わせ、当地を訪問しました。写真は筆者が撮影したものです。およそ千トンの船を 50 メートルの高さに上げて、山を越え、隣の運河へと船を積み荷と共に移動させていました。



図 13 リフト式備船(しょうせん)ロック設備

図 14 はシステム全体を模式的に示しました。河川の落差を利用してタービンを回転させ、ポンプ

を駆動します。発生圧力水は運河と備船箱を密着させ、仕切り扉をシールで密着させて水もれを防止します。船を昇降させる二本のシリンダは連通管で接続、わずかな水位差により質量差を作り、上り、下りの昇降動作を作り出しています。全てが自然の力です。日本の水循環は落差の世界です。太陽電池や風力発電もいいですが、日本の地の利を利用し、水資源で地域を活性化することにも ADS は貢献できるのです。

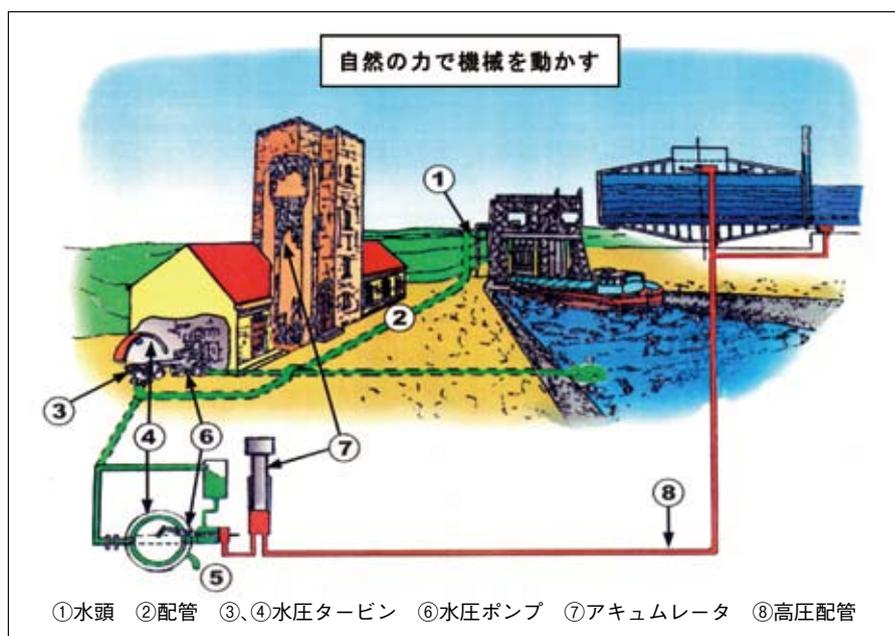


図 14 ロック式備船設備の仕組み

4. そして、今どうして「水圧?」: 新たなる装いで

今、地球環境保護が最重要課題です。二酸化炭素の削減目標とその達成に世界中が躍起になっています。2005年の226億トン、2050年にはおよそ半分、130億トンに削減すること約束しています。石炭や鉱物油による発電、産業や輸送、一般民生からの二酸化炭素排出を含め、グローバルにその削減の解決に当たっています。

全体の二酸化炭素の発生の現状を図15に示します。産業分野で36%、運輸・交通で20%、そして業務関連で18%、家庭関連が13%と続いています。CO₂削減を推進していくためには社会システム、つまり約束事や規制を作り、地球規模的に努力しないと実現は不可能です。環境に対する関心は、国内では1953年頃から発生した熊本県の水俣湾周辺のメチル水銀中毒事件や、少し遅れて1956年頃をピークに富山県、神通川流域に発生した公害病に端を発しています。環境汚染問題は今や、単に地域的環境汚染にとどまらず、もっと大きな地球温暖化問題へと拡大してきました。この様なプロセスを経て、人類の環境保護・調和に対する意識

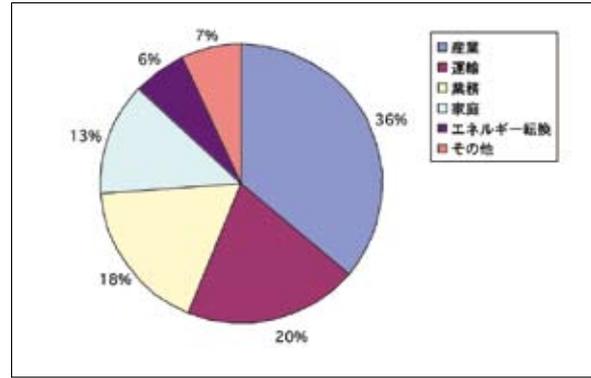


図15 産業別 CO₂ の排出

は著しく高まりました。将来に向け、環境調和だけでなく省資源、省エネルギー、将来に起こるとされている水不足から水の有効利用等を考えたとき、安全・快適な生活実現のためには社会システムの変革とそれを支える技術革新が極めて重要となります。近年それを理解し、実現するための「キーワード」がそこそこ見受けられ、民間・国家総規模で実行に移されています。図16に「キーワード」と社会システムの構築や規制、それに係る技術などをまとめました。「モノ作り立国日本」にとってはどのキーワードも見逃すことはできません。

さて、図16をもう少し詳しく見てみましょう。

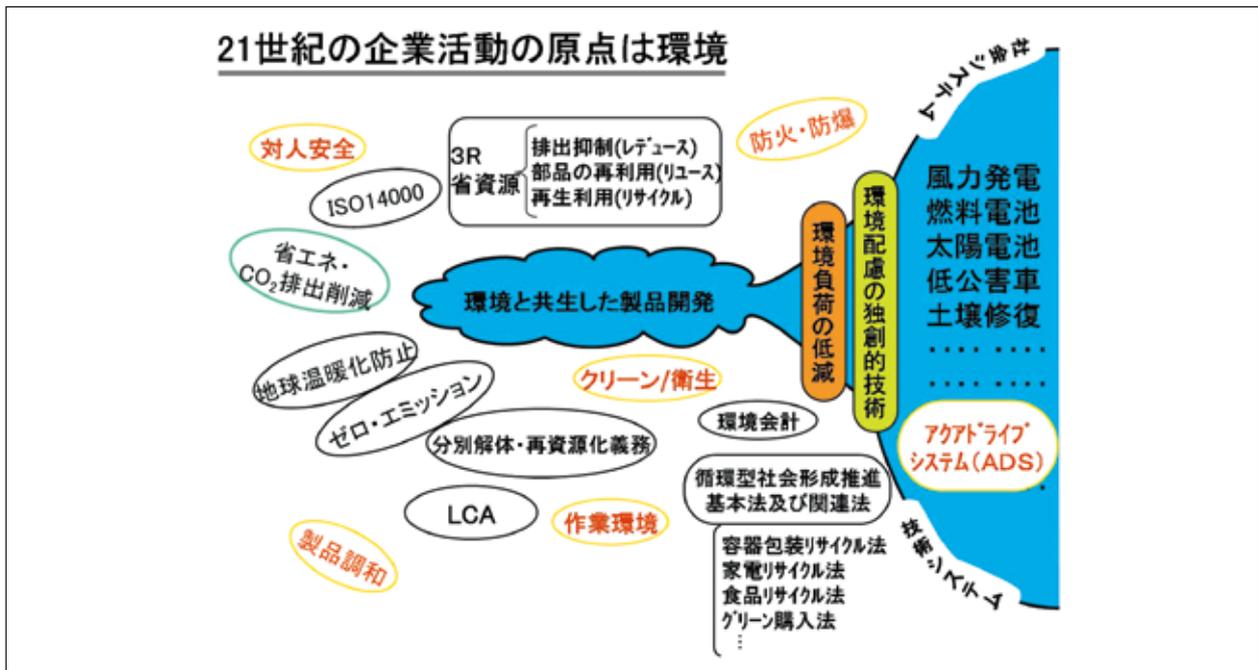


図16 環境を支える「社会及び技術システム」

中心部に「環境と共生した製品開発」があり、その周りに、多面的に環境に係るキーワードを記述しました。大気・空気の汚染、土壌の汚染、水の汚染などがあります。省資源の視点から廃棄物を有効に利用しようとする3R（リデュース、リユース、リサイクル）、循環型社会を推進しようとする法律や規制、LCA（Life-Cycle-Assessment）は製品が製造されてから廃棄されるまで、外部の環境にどのような影響を与えるか、あるパラメータの基に評価する方法です。具体的には投入されるエネルギー、各種資源使用量、排出する窒素酸化物、二酸化炭素など10項目程度が数値として採用されています。国際標準規格（ISO）のISO 9000（品質保証）、ISO 14000、ISO 22000（作業環境）などそれぞれの目的に対応する規格が制定されています。これらのキーワードは「環境負荷の低減」、「環境配慮の独創的技術」の重要なテーマとなっており、具体的には風力発電、燃料電池、太陽光発電などがあります。そしてここで提案説明するADSの技術が必要となってきます。これらの実現には右図上部と下部に記述する「社会システム（決まりや規制等の仕組みの構築）」、そして、それを支える「技術システム」の二つの要素を同時に進めて行かなくてはなりません。技術ばかり進んでしまうと前述したように、生み出された製品、製造プロセスにより公害が発生してしまいます。

以上のような社会的背景から「CO₂削減・省エネルギー」は、今後の重要なキーワードとなっています。

5. 「ADSとは？」の前に少し知っておきたい単純な疑問

5.1 水圧による動力の伝達

動力を伝える最もよく知られているやり方としては電気方式が一般的です。電動は電圧と電流を調節します。ADSは、流量と圧力を使った流体動力の伝達です。基本的原理は「パスカルの原理」です。現在液体を使った動力の伝達では油圧技術

がよく知られています（油圧技術編を参照）。水も油も液体であるので多くの類似点があります。しかし、油と水ではご存じの通り、よく言われる「水と油は混ざらない」が常識で、いかに物性が異なるか、を実感できます。

ここでは、ADSと油圧技術がいかに異なるか、この点に注目して説明します。

作動流体「水」の物理的性質は理科年表などの資料などで公表されていますが、ここで要約しておきます：

- ①粘性（水と鉱物油のおよそ1/30）
- ②蒸気圧（50℃で鉱物油のおよそ10⁷倍）
- ③空気含有率（飽和含有率で鉱物油のおよそ1/5）
- ④体積弾性係数（鉱物油のおよそ2倍）
- ⑤熱伝導率と比熱（前者は鉱物油のおよそ4～5倍、後者では1.5倍）

それに水の場合、鉄系金属だと錆びてしまいます。これだけ油と水の物性値が異なると「ADS特有の構造と材料」が必要になります。

5.2 水で機械は錆びないか

錆は水と空気が存在すると発生することが一般的に知られています。錆を進行させるものを「電解質」と呼んでいます。電解質はイオンを含んでいて、直流電流をイオンの動きによって運び、電流を流す性質を持っています。つまり錆は電気と深い関係にあります。錆の発生には水や空気、酸などの電解質が電気化学的に金属と反応することによって起こります。この電気分解が行われるときの液体が電解質です。電解質が金属に触れると、金属の電子が電解質に奪われて金属が溶けます。これが錆の原因です。原理的模式を図17に示します。

このような錆が発生しないように酸化物の薄い皮膜を作って、表面を保護します。これは不導体皮膜と呼ばれ、ステンレス鋼が錆び難いといわれるのは、この現象を利用しているからです。鋼にクロム（Cr）を添加すると、鋼の表面にクロム・鉄合金の不導体皮膜ができ、耐食性が大幅に向上します。この不導体皮膜を利用して、耐食性に優れているステンレス鋼が利用されます。実際のス

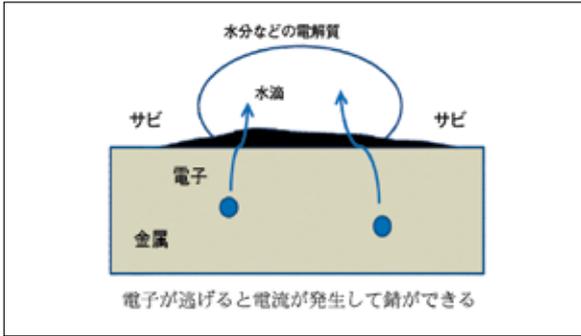


図 17 錆の生成模式図

ステンレス鋼には、さまざまな鋼種があります。よく使われる通称 18-8 ステンレスは、18 質量%の Cr と 8 質量%のニッケル (Ni) を添加したもので、JIS (日本工業規格) では SUS304 と表記されます。

ADS 機器は主体的構造金属にステンレス鋼を用いています。ステンレス鋼は鉄と比べて錆び難く、見た目も綺麗で清浄感、清潔感があります。食品、医薬、医療、半導体産業で広く採用されているので、このような分野へ ADS 機器が採用されても違和感は少ないですが、幾分は高価となります。現在開発されている ADS 機器ではステンレス鋼の他セラミックス、工業用プラスチックを利用したり、金属の表面に特殊な処理をして、金属をコーティングし錆が発生しないように工夫しています。

5.3 機械の潤滑は？

「ミシン」の油差しは ADS ではどのように

防錆技術のもう一つの重要な知識として「潤滑」があります。ADS は油のように粘性がないので機械の中で互いに向き合って動く部分があると、その部分が擦れあい、どちらかに傷が付き、そのうち磨耗して動きに滑らかさがなくなってしまいます。家庭で裁縫の時に使う「ミシン」ですが、このミシンを購入すると必ず付属に「油差し」が付いてきます。時間が経つにつれて油が切れて、やはり動きに渋さが出てきて上手に裁縫ができなくなります。これは上述した動く部分と固定部分の狭い隙間にあった油の膜が切れて、互いに接触するためです。この時「油差し」でその部分に油を添加するとミシンは再びスムーズに動きます。自

転車でも時々回転部分などに油をさすのはこのような目的からです。

それでは油の代わりに「水」の場合はどうなるのでしょうか。狭い隙間での水の膜は油の膜より薄く、切れ易く、機械はすぐに摩擦で動かなくなり易いと考えられます。水は油に比べて粘性が小さいので、狭い隙間では流体が留まりにくく、蒸発して条件を更に悪くします。そのため ADS の場合は、特別な構造や、材料の組み合わせに工夫が必要になります。まず構造的には、相対的に動く部分や二面間で互いに接触しないような構造が必要です。それが「静圧軸受」と呼ばれる構造で、その原理を図 18 に示しました。相対する二面の一方から小さい孔 (絞り) を設けてここから圧力水を供給します。するとこの孔から供給された圧力水により二面間に力が発生して上部の荷重を支えます。この仕組みは ADS の様な粘性の非常に小さい液体を用いる精密機器には有効な基本技術です。

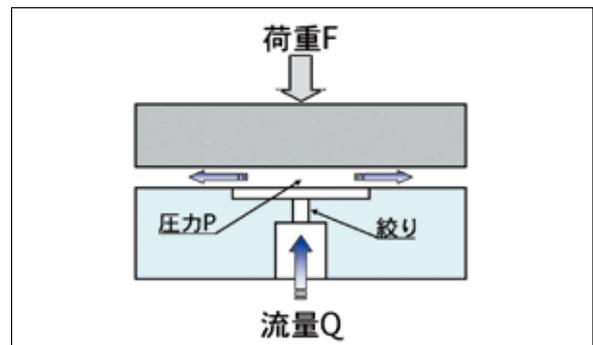


図 18 静圧軸受の基本原理

その他の方法として、互いにすべり易い材料の組み合わせが考えられます。基本的には同じ金属の組み合わせは、長い経験から直ぐに摩擦・磨耗が発生してよくないことが常識となっていますので、互いに異なる材料の組み合わせが必要です。水圧機器には相当の力が作用するので併せて剛性も考慮しなくてはなりません。セラミックスは圧縮に強いのですが引っ張りに弱いので、現状での構造材料はステンレス鋼が基本です。ステンレス鋼の表面に特殊処理をしたり、樹脂を金属と一体成型するなどの方法が取られています。樹脂の中では PEEK (ポリ・エーテル・エーテル・ケトン) と呼ばれている材料が最も使用されています。

6.ADS が要求されるのはこんな理由

産業機械の動力源としては電動、油圧、空気圧が一般的です。①電動が一番よく知られた機械の駆動方式です。コンピュータとの接続も容易であり、取り扱いが便利です。②油圧は小さくても大きな力を出せます。だから飛行機や車に搭載されています。③空気圧は工場内の空気源を利用できるので、簡単な機械の駆動を簡便に、低コストで利用できます。冒頭で ADS の食品機械と半導体関連への応用について説明しました。なぜ、それらの分野で ADS が適するのでしょうか。表1は食品、半導体それぞれの分野で電動、油圧、空気圧を使用した場合の課題です。食品では衛生が絶対条件で、滅菌、殺菌、消毒などの作業が重要です。つまり洗浄の容易な機械であることが望ましいのです。

空気圧は力が弱く、エネルギーの消費効率が良くないので省エネルギーの点で課題があります。

半導体では電動では力が弱く、直線運動の必要な時には回転を直線運動に変換する他の機械要素が必要で機械の大型化を招くことになります。

油圧では油漏れによる周囲の汚れ、油の温度変化で粘性が変化して製品の完成度の繰り返し精度に影響を及ぼします。こんな時 ADS が課題を解決してくれます。表1は、以上の課題を検討した結果、ADS を採用した実例に基づいています。

7.ADS はこんな仕組みで動く

ADS の、先に説明した錆やすい、粘性が小さいので漏れやすい、そして擦れ合う部分が傷みやすいなど油圧機器と異なる点に注目してその仕組みを説明します。

7.1 ポンプとモータの構造的特徴

ポンプとは高圧水を作り出す機器であり、モータはその高圧水の流体エネルギーを受けて回転機能を生み出す機器です。

図19はポンプの構造を、図20はモータの構造を模式的に表しています。基本的構造は、油圧機

表1 水圧採用の主たる理由 (食品と半導体関連機械)

分野 それぞれの課題	食品加工機械 (2MPa)	半導体関連機械 (14MPa)
	電動・油圧・空圧の3種混合	油圧・電動のどちらか
電動	<ul style="list-style-type: none"> ●衛生上、洗浄の際、分解などの作業にコストが発生 ●洗浄等による電動モータの漏電、損傷 ●小型化の限界、駆動源の統一 ●駆動源を装置の上部に設置 (洗浄の際に水を避ける) ●防水・防滴・防塵 (電気規格の規制: IP 規格…) 	<ul style="list-style-type: none"> ●大型化 (コンパクト性に欠ける) ●直圧式に不向き (ボールねじなどを採用、寿命) ●ボールネジ、リンク機構の組み合わせで制御精度が低下
油圧	<ul style="list-style-type: none"> ●油漏れ対策 ●洗浄のため、加工作業と分離設計 (電動と同様) ●衛生上適さない (製品イメージの低下) ●消防法、安全管理者、保険の規制 	<ul style="list-style-type: none"> ●クリーン性に欠ける (クリーンルームに設置) ●漏れに対するリスク (対策にプロセスを停止できない) ●油温変化が再現性、制御精度に影響 (水の粘性温度依存性が極めて小さい)
空気圧	<ul style="list-style-type: none"> ●大型化 ●低いエネルギー効率 ●オイルミスト・消音対策 	

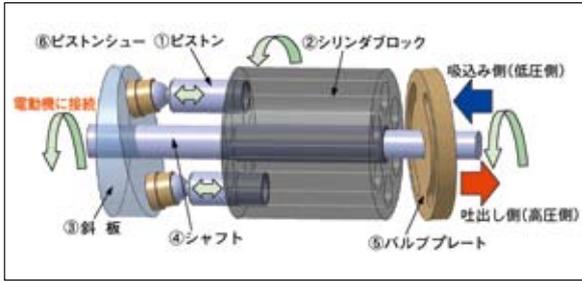


図 19 水圧ポンプの動作原理

器と同様ですが、動作を理解するためにここに示します。

図 19 においてポンプは軸を原動機（ここでは電動機）に接続（左側）して回転させると図中の右側の吸い込み口から水を吸い込んで高圧水を吐き出します。②のシリンダブロック内には数本の穴が軸と平行に設けられています。

その穴には、その数だけピストン①が挿入されています。そのピストンはシリンダブロックの回転とともにその先端部がある角度をもった斜板③の上で滑りながら回転します。ピストンが斜板に沿って、下から上へ回転する時に水を吸い込み、上から下へ回転する時に水が高圧となって、吐き出し口から供給されます。図 20 のモータはポンプの作用と全く逆動作を行います。ポンプによって吐き出された高圧水はモータの図中のピストンに

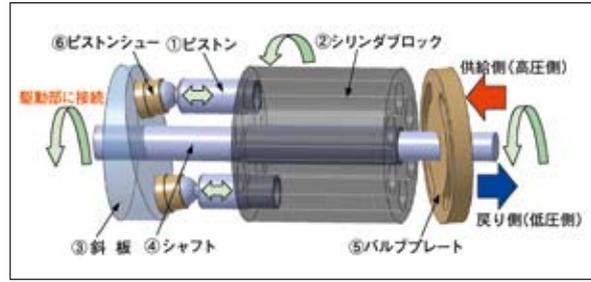


図 20 水圧モータの動作原理図

作用します。その力はピストンの先端にあるピストンシュー⑥に伝達されます。その力によってピストンシューは斜板上で回転力を発生し、モータ軸を回転させます。この様な一連の動作を「水」と「油」とを比較して、粘性の著しく異なる場合にどのような仕組みとなっているか簡単に触れます。図 21 にポンプとモータの共通する構造断面を示します。図中、4か所に摺動部が記述されています。①スリッパ（ピストンシュー）-斜板 静圧軸受、②ピストン-シリンダブロック摺動部、③シリンダブロック-ケーシング摺動部、④ポートプレート-シリンダブロック摺動部。これらの摺動部は互いに金属とプラスチックの組み合わせになっており、薄い水膜で摩擦を最小限に留めています。ポンプ、モータのいずれも「静圧軸受」と「単純なすべり軸受」のいずれも面接触で構成されています。

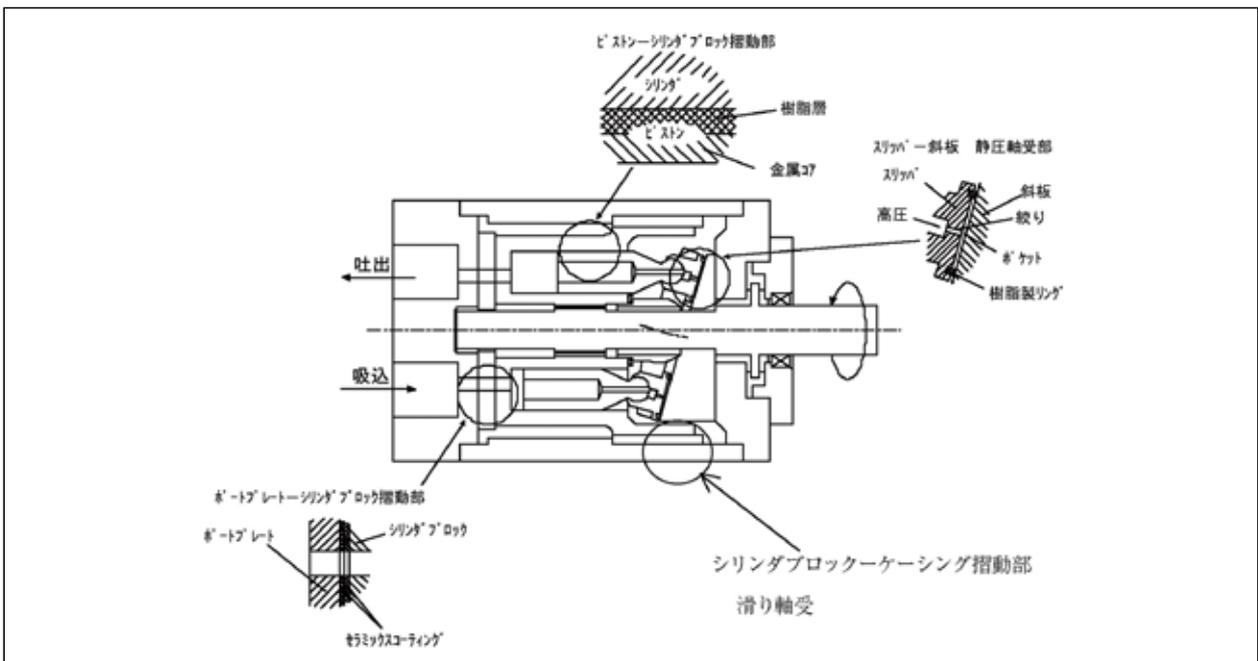


図 21 水圧ポンプ、モータの共通構造模式図

7.2 制御弁の構造的特徴

図 22 に ADS において、「水」の流れ方向を制御する方向切換弁の構造断面を模式的に示します。高圧供給側 P に先に説明した水圧ポンプから高圧水が供給されます。記号 A,B は駆動される機械装置内の ADS 機器に接続されます。直線運動の場合は水圧シリンダ、回転運動の場合には水圧モータに接続されます。仕事を終えた水は排水口 T から貯水タンクへ戻ります。高圧水の流れは糸巻き状の「スプール」と呼ばれる部品が左右に動くことによって、スプールにある溝と弁ケーシングで構成される開口部を通過して A や B に流れて機械を動かします。

a) 図はスプールが左右どちらにも動いていないので、高圧水はブロックされて、水圧シリンダや水圧モータは動きません。しかし、b) 図ではスプールが左に動くとき、高圧水は P から A に流れ、例えばシリンダに流れ込むとシリンダは直進します。反対にスプールが右に動くとき P は B に接続され、シリンダは前述と逆方向に動きます。この様にスプールが左右に動くことによって、機械の運転は

前進、後進、正転、逆転等の動作を高圧水の力でを行います。

このスプールと呼ばれる部品を「いかにしてスムーズに動かすことができるか」で、この方向切換弁の機能の善し悪しが決まります。

重要な部品である「スプール」は油圧の場合には数ミクロンという狭い隙間の中を油の粘性を生かして、非常に滑らかに動きます。しかし、「水」では、粘性が小さいので油圧機器よりも更に隙間を狭くしないと、水の漏れる量が大きくなって、シリンダやモータに流れて行く量が減って効率が低下します。そこで ADS の場合は、その隙間をもっと狭くしなければなりません、狭くすると今度はスプールが周囲の壁と接触して、滑らかに動きません。そこで弁の場合もポンプやモータと同様スプールを静圧軸受作用で流体により支えて、周囲の壁と接触しにくいように工夫されています。図中スプールの両端に静圧軸受が設けられています。しかし、これは非常に高度な工作技術が必要です。

以上、ポンプ、モータ、弁などの ADS 機器には水の特質を配慮した構造や材料の選定、高度の表面処理技術や工作加工技術を駆使しているのです。

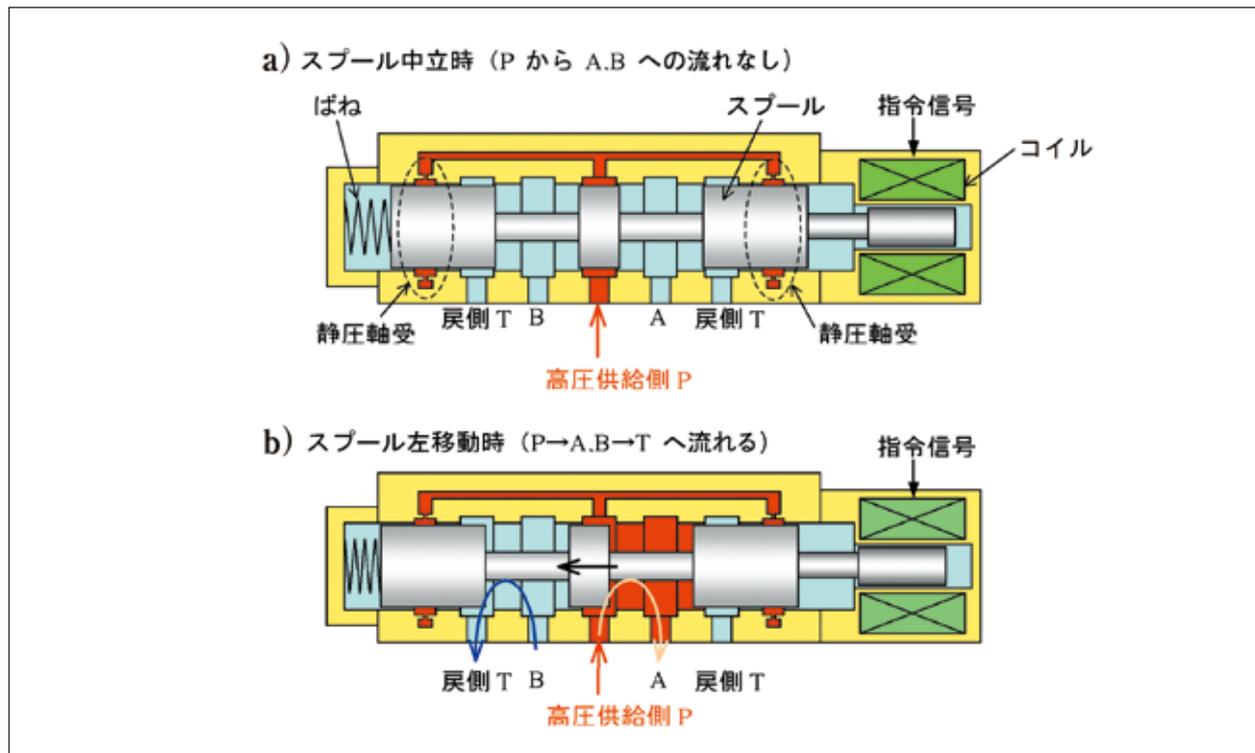


図 22 ソレノイド比例制御切換弁の構造断面

7.3 ADS 機器の組み合わせ

先にポンプ、シリンダ、切換弁の基本構造を説明しました。

機器の組み合わせで機械を動かす方法は油圧や空気圧と同様なので詳しい記述はしませんが、全体を理解するために最も基本的な回路を示します。図 23 の左下のポンプを電動モータなどの原動機によって駆動して高圧水を供給します。高圧水は流体のごみを除去するためにフィルタを通して、先に説明した切換弁に供給されます。高圧水はシリンダの左の部屋に流入するとシリンダは右へ作動します。左へ作動させるには先に説明した切換弁のスプールを反対へ移動させることによって流体をシリンダの右の部屋に供給すればよいのです。ポンプからの流体圧力はリリーフ弁と呼ばれる弁で一定に調整されます。回転運動が必要な場合には、シリンダの代わりに水圧モータを設置します。直線運動、回転運動を目的によって組み合わせ、多くの機械の自動化に貢献しています。更に、一歩進んで IT 技術を使い、インテリジェントなロボティクスの構築が可能となります。

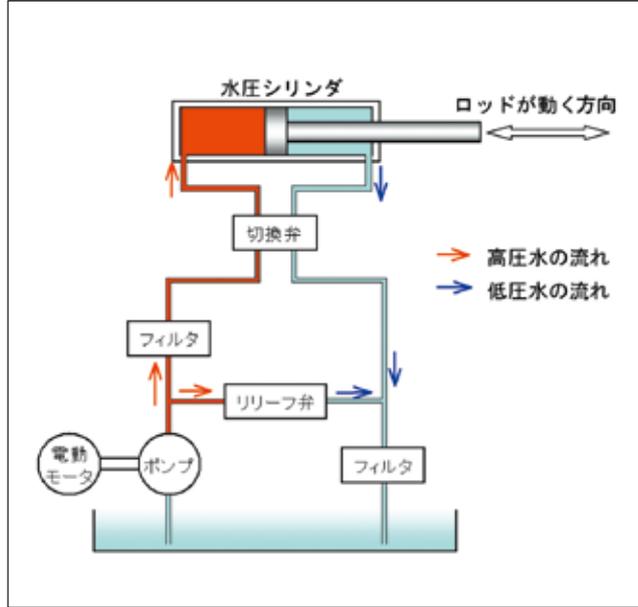


図 23 ADS 回路

7.4 インテリジェントな ADS

図 24 は、これまで記述した ADS 機器を組み合わせ、更に IT 技術を使うことによって構成した一例を模式的に示しました。基本的な構成は先の図 23 と同様ですが、まずは水圧シリンダ 2 本と水圧

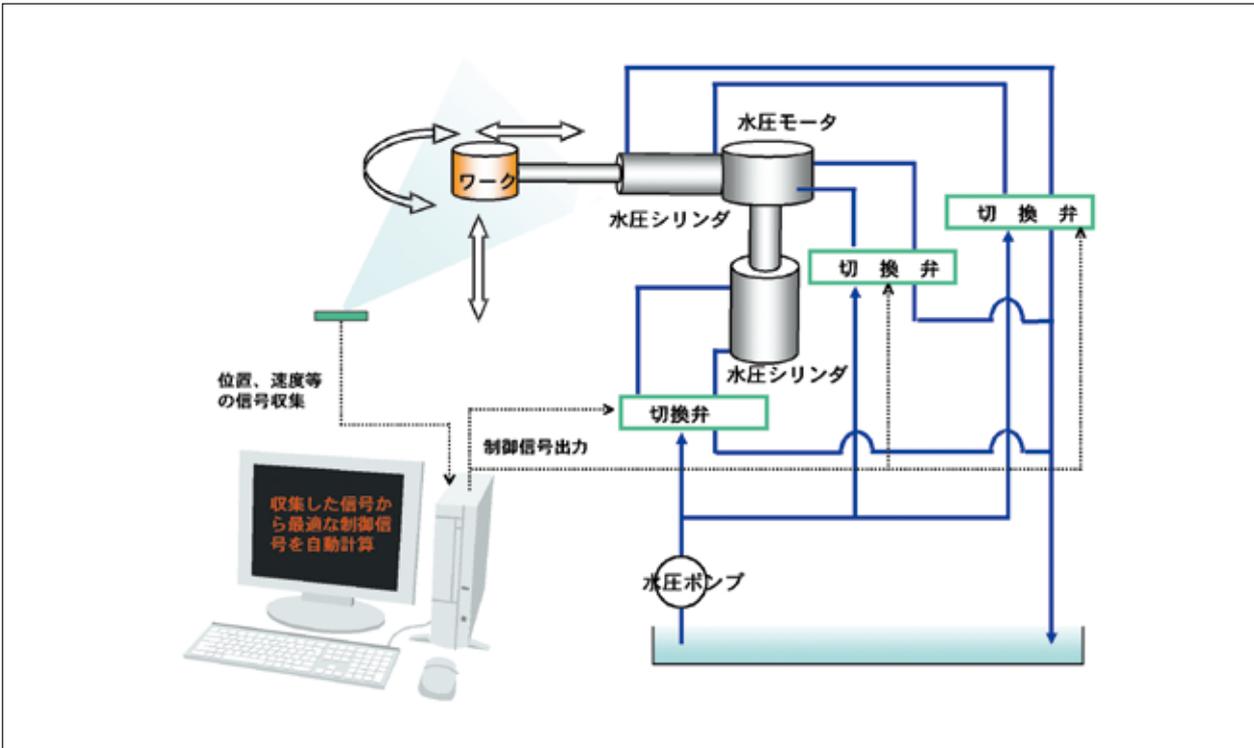


図 24 ADS ロボティクスの概念構築概要

モータ1個を組み合わせたロボティクスを構成しました。切換弁は図22のような簡単な構造ではなく「水圧サーボ弁」を使用し、高度な機能と「水」の特質を配慮した構造を有しています。サーボ弁の基本断面構造を図25に示します。この弁は、以下の三つの重要な機能部分の集合体です。①トルクモータと呼ばれ、ソレノイドと永久磁石を持ち、入力の電気信号でフラップを駆動する部分、②ノズルとフラップからなり、スプール両端面と連通しているノズル内圧力はフラップに応じて変位することから、スピールの動きを制御する部分、③スピールの動きによって高圧水の流れ方向と流量を微妙に制御する部分。

スプールは図22に示した切換弁と同様、本質的に、静圧軸受け構造となっており、スムーズに動くことができます。ここでは先の切換弁と重要な点で異なります。サーボ弁では静圧軸受けで利用された「水」は単純に排出されることなく、スピールを本体から浮上させた後、更にノズル部に流れます。ノズル部ではスピールの動作に重要

な圧力を制御するためにこの流体が再利用されています。PCからの信号がトルクモータに入力され、ソレノイドの磁力と永久磁石の組み合わせによって調整され、フラップは左右に駆動します。制御弁の入力信号は、実際の動きの指令値と目標とする理想の値をPCによって算出、その差を指令値としてトルクモータに入力します。

本構造は油圧サーボ弁と基本的に類似していますが、「水」の物性値を配慮した構造となっているところが異なる点です。

冒頭の応用例で半導体精密成型プレスを説明しましたが、このプレスの制御にここで説明した「ADSサーボ弁」が採用されています。この種の高度制御に利用され、実機に搭載され、現在も現場で動いた例は世界でこの機械が初めてです。

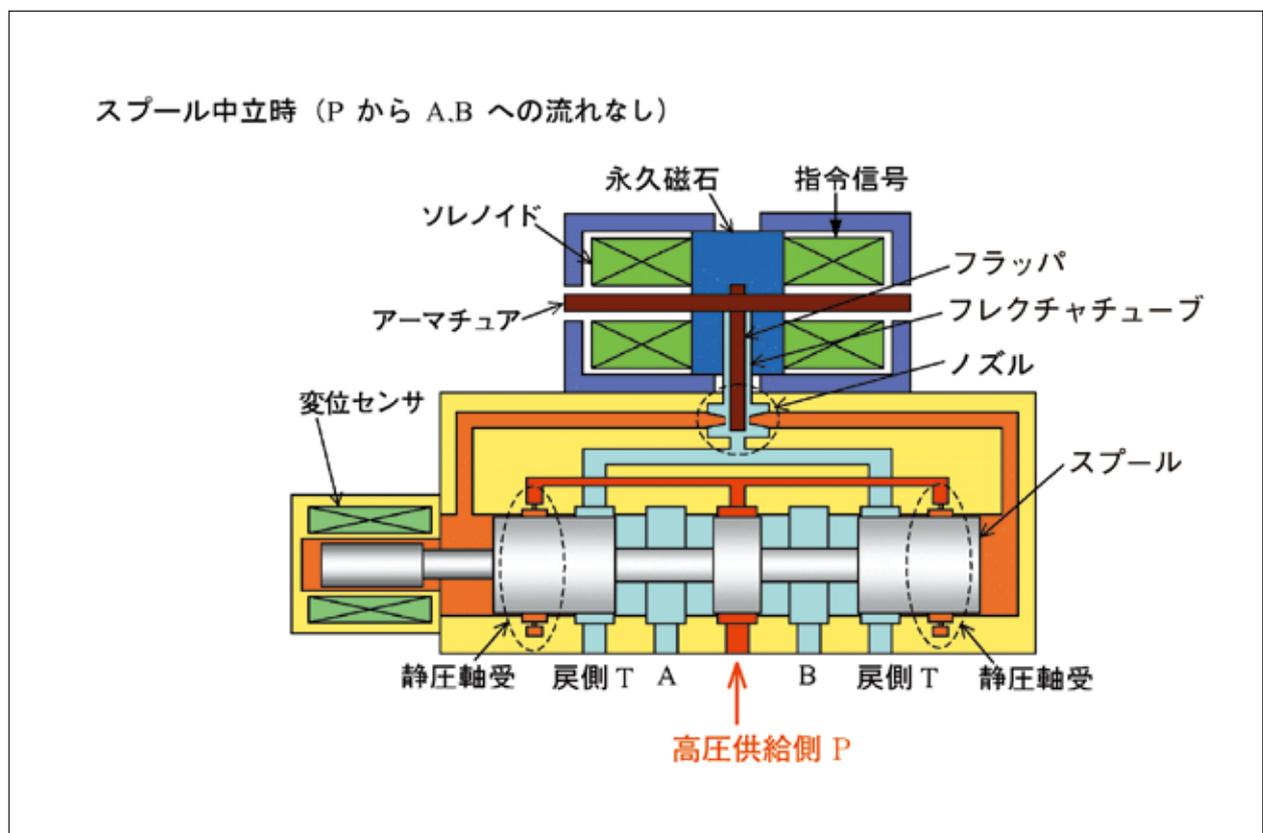


図 25 水圧サーボ弁の構造断面図

8.ADSが「環境調和、省エネルギー、省資源、水の有効利用」へ貢献する「コージェネレーションとの融合」

近年、地球温暖化防止対策として「二酸化炭素の削減と省エネルギー」が緊急課題となっています。地球規模では、単なる技術革新だけでは解決できません。特に環境問題は、ややもすると経済活動と相反する状況に置かれ、その対策は置き去りにされがちです。従って、技術革新は社会システムの構築とともに経済の活性化にも繋がるような状況を創造していかなければならない難しい局面があります。この様な世相を反映し、グローバルに風力発電、太陽光発電、燃料電池、電気自動車など多くのテーマが推進されるべく努力が重ねられています。結果的には技術革新が重要です。二酸化炭素の排出は、先に述べましたが、産業の中では電力、鉄鋼、化学などにおいて多いと報告されています。その中では原子力発電が、二酸化炭素排出対策として

注目されています。ADS技術がこのような社会的背景のもとに前述した解決課題の一つとして関心が高まっているのです。それは「ADSとコージェネレーションとの融合」です。多くの産業分野で排熱の有効利用から蒸気を利用した発電が注目され、これまでも多くの実績を作ってきました。蒸気タービンシステムは、熱、蒸気、復水、など「水」が基本的な仲介物理量であり、水を作動流体とする「ADS」との相性に優れています。図26はADSを火力発電所で発生する一部の蒸気や水を利用して水圧ポンプを駆動し、工場で利用される機械を駆動することを想定した全体像です。従来は発電された電気を利用して機械を動かしていましたが、ここで示した様に、蒸気を利用し電気を介することなく、直接ADSの動力源となれば、エネルギーの伝達効率は向上します。排熱の利用は、省エネルギーにもつながっていきます。さらに、ADSは環境的に安全・衛生的で、クリーンな特性を併せ持っています。今後、実現化されるものと思われます。また、近い将来深刻な問題となるであろう「水不足」に対応する「水の有効利用」にも繋がります。

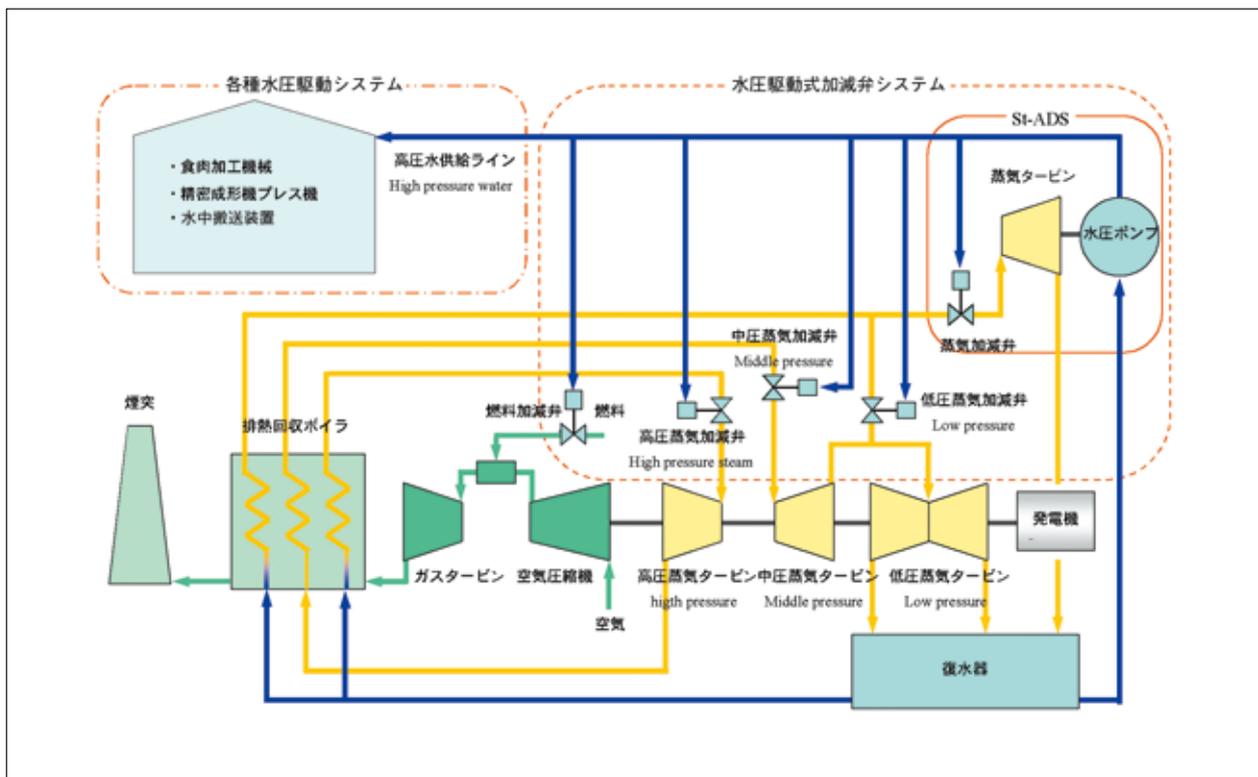


図 26 ADS と「コージェネレーション」

9. ADS の未来

図 27 は ADS が創る未来像です。ADS は自然の力を利用した駆動エネルギーを創造し、そのエネルギーをさらに熱や蒸気の形で有効利用でき、環境を汚染せず、水のリサイクルを自然の中で比較的局所的に実施できます。ADSはこの様に自然の中に溶け込み、モノ作りや人間生活の中にまで調和可能な新技術なのです。

10. あとがき

フルードパワー技術の中でも ADS は地球環境の中で自然と調和します。今後の人間社会の安全を確保しながら快適な生活を創造する「イノベーション」であり、未来の社会システム構築に貢献できると確信しています。

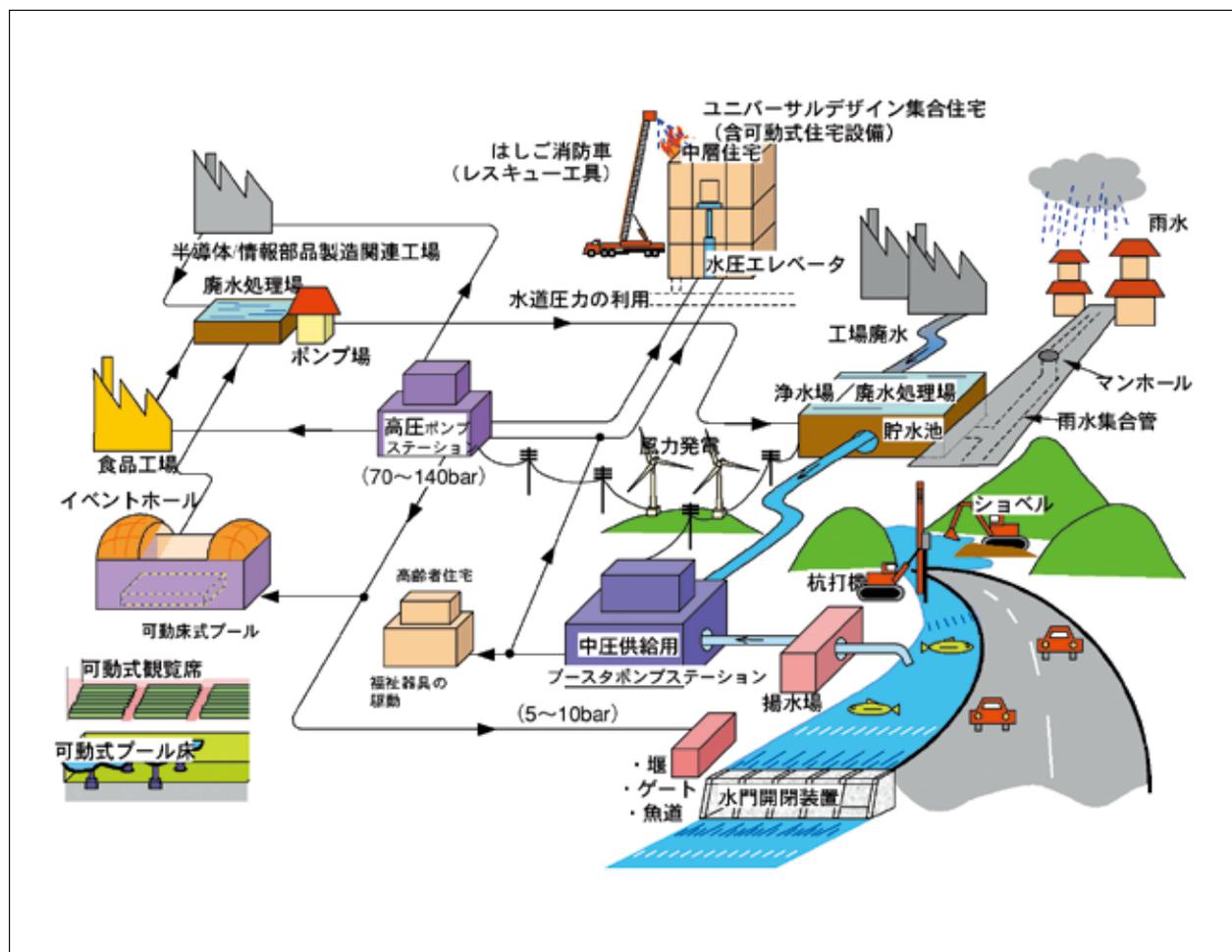


図 27 ADS が未来に貢献するネットシステム