

## 2. 浄水器に関する実験

省令に拠ると、浄水器・活水器が必ずしも「逆流防止に関する基準」を満足する必要がない点に着目し、浄水器からの逆流が給水システムに及ぼす影響について基礎的実験を行った。(浄水器に関しては、平成14年4月1日から家庭用品品質表示法に基づく品質表示が義務付けられているが、この中に逆流防止に関する規定はない)

実験は、表-2に挙げる2種の浄水器を用い、それぞれについて、実際の使用状況を模擬した配管を作製し、所定の条件(表-3参照)で得られる逆流水の水質試験を行った。

表-2 実験に用いた浄水器

	浄水器 A	浄水器 B
形式	ビルトイン型浄水器 II 型	浄水器 I 型
ろ材	不織布、繊維状活性炭 抗菌性粒状活性炭、中空糸膜フィルター	抗菌性不織布、繊維状抗菌活性炭、 機能性セラミックス
標準ろ過流量	約 5.0L/min	26L/min
ろ過能力	濁度 30,000L、残留塩素 40,000L	200,000L
カートリッジ交換時期	12ヶ月以内または 30,000L 以内	12ヶ月

表-3 実験条件表

	実験 1 (浄水器 A を用いた実験)	実験 2 (浄水器 B を用いた実験)
逆流手段	負圧発生装置、吸引機	負圧発生装置
通水量 <sup>※-1</sup>	ろ過能力の 50%、100%	ろ過能力の 10%
滞留時間 <sup>※-2</sup>	17 時間	17 時間、65 時間
内蔵逆止弁の状態 <sup>※-3</sup>	1mm の針金を噛み込み	針金の噛み込み無し
配管材料	管路部はステンレス鋼管	
滅菌処理	採水ピンはチオ硫酸ナトリウムを加えて高圧蒸気滅菌、管路部については事前に十分な洗管を実施	

〔測定項目〕①一般細菌数(標準寒天培地法)②TOC(燃焼酸化法)③遊離残留塩素(DPDによる吸光光度法)④濁度(透過光測定法)⑤pH値(ガラス電極法)⑥金属類(ICP質量分析法)⑦水温

今回の実験からは、懸念されたるろ材等の流出や、逆流水中から多数の一般細菌の検出はされなかった。既存の報告書等で浄水器内部に滞留した水からは、残留塩素の消費により一般細菌が繁殖することが報告されている。浄水器 A では、中空糸膜によって水栓からの一般細菌の流出が阻止できる構造になっているが、逆流側には機能しないため、浄水器 A、B 共に逆流中からは、多数の一般細菌が検出されることが予想された。しかし、今回の実験では実施時期が冬場であったことや、ろ材の銀による抗菌作用等の要因により、一般細菌の繁殖自体が抑制されたものと考えられる。

実際に浄水器を用いた実験からは、浄水器が、金属類等の非溶解性分の除去に有効である反面、その蓄積性により、適切な維持管理や逆流防止措置が行われない場合、蓄積された物質が健康上好ましくない濃度で配水本管側に逆流する可能性があることが示唆された。

### 3. 逆流防止器の負圧による逆流に対する防止性能評価

近年、水道管の既存水圧利用が省エネルギーとなる点や受水槽設置に伴う衛生面での問題を解消できることから、受水槽を用いない直結給水が普及している。また、浄水器、活水器、タンクレストイレ、循環式風呂釜、ディスポーザーなど直結する給水用具自体も高度化し、一部の商品については逆流事故も発生している。そのため、不適切な施工・管理等が行われた場合、建築物内の給水システムのみならず、水道配水管系統への影響も懸念され、逆流のリスクが高くなっている。日本においては、逆流の恐れのあるところでは逆止弁や負圧破壊装置等の逆流防止器を設けることとなっているが、具体的な設置基準を策定するまでには至っておらず、水道事業者ごとに逆止弁の設置等に関して指導を行っている状況である。また、使用されている各種の逆止弁については、逆圧に対する逆流防止性能は構造・材質基準で規定されているが、負圧に対しては特に規定がされていない。しかし、負圧による逆流は断水時などに起きており、数都市で逆流事故も発生しているため、本研究では、減圧式逆流防止器や複式逆止弁などの各種逆流防止器に対して負圧性能試験等を実施し、各機器の特性をつかみ、給水方式と逆流水の危険度に応じた、リスクの少ない効果的な逆流防止法を検討することとした。

本研究では「給水装置の構造及び材質の基準」の負圧破壊性能試験をアレンジし、供試用具に $-85\text{kPa}$  から $-5\text{kPa}$  までの段階的な負圧をかけ、瞬時・1分・3分・5分の経過時間毎の逆流状況を計測し、各設定負圧に対して逆流防止器の有効性を水容器に入れた透明管の水位変化で確認することとした。(図-4) 配管は、各逆流防止器ともに横配管と立ち上がり縦配管の2種類を検討することとし、供試用具の下流側に目盛付透明管を水容器に埋没させた。また、逆止弁故障の原因の一つとして、水道水中の異物によるゴミ噛みが考えられるため、各逆流防止器の弁座と弁体間にワイヤーを噛み込ませ負圧実験を行った。なお、逆止弁に噛み込ませるワイヤー径は、 $\phi 13\text{mm}$  給水管に $0.8\text{mm}$ 、 $\phi 20\text{mm}$  に $1.0\text{mm}$ 、 $\phi 25\text{mm}$  に $1.2\text{mm}$  とし、供試用具については市販されている新品を用いた。

実験の結果、単式逆止弁全体としては負圧に対して絶対的な逆流防止性能を期待することは出来ないと言える。ばね式、リフト式逆止弁については微小負圧時の際に逆流が生じることがあり、またスイング式逆止弁横配管に関しては、ほとんどの製品において水位上昇がみられ、スイング式逆止弁立ち上がり縦配管においても逆流が発生することがあった

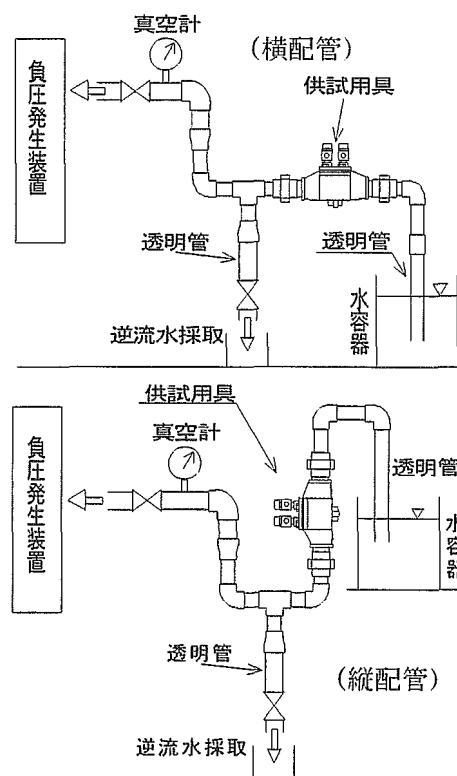


図-4 実験配管図

が、口径と逆流の相関性は認められなかった。

減圧式逆流防止器は、本実験条件下では横配管・縦配管ともに水位上昇は殆ど見られなかった。複式逆止弁も横配管・縦配管ともに殆どの製品で水位上昇は無かったが、一部の製品においては水位上昇が発生したものがあつた。二重式逆止弁は一部の製品で、わずかな水位上昇が発生したものがあつたが殆どの製品においては横配管・縦配管ともに水位上昇は見られなかった。減圧式逆流防止器は一次側のみワイヤーを噛ませた状態では、水位上昇は殆ど見られず、一次・二次逆止弁両側にワイヤーを噛ませた場合でも排水口から吸気することにより、水位上昇があつてもそこからさらに上昇が継続するようなことはないため、一次・二次両側の弁に不具合が生じても逆流防止機能が期待できるが、一部の製品では日本水道協会規格の基準以上の水位上昇が見られた。複式逆止弁、二重式逆止弁は一次側のみにワイヤーを噛ませた場合は、正常な状態での試験結果と比較して大きな変化はないが、一部の製品においては、微小負圧時にかなりの水位上昇が計測された製品もあつた。吸排気弁は、構造上横配管は不適なため垂直設置状態のみで実験を行ったが、ワイヤーが無い状態での実験では、吸排気弁はどの機器についても水位上昇がみられ、2機器では吸排気弁一次側まで逆流が起こつた。

今回の基礎的な実験から、逆止弁が2個内蔵されている逆流防止器の多くは負圧による逆流に対しても有効であると考えられる。ただ、製品によってはゴミ噛みが無い時や一次側のみにゴミ噛みがある状態でも逆流が生じ、また微小負圧時にのみ逆流が生じる製品もあつたので、これらの現象に対し十分な配慮を払う必要がある。微小負圧時の逆流の原因としては、圧力差が小さいため弁体と弁座が密着せずに隙間が出来るのではないかと考えられる。横配管と縦配管で差が出た製品も見られたが、配管方法による違いであるかどうかについては改めて検討する必要がある。吸排気弁は負圧に対して吸気はするが、吸気量が少なければ、確実に逆流を防止できるとは言えず、吸排気弁は単独での使用は避けるべきであり、他の逆止弁タイプの逆流防止器と併用することが望ましい。

#### 4. 逆流防止器の組み合わせによる給水システムとしての逆流防止性能評価

3での逆流防止器単体での実験結果を踏まえ、実際の集合住宅をイメージした給水システムを図-5のように模擬的に配管し、逆流防止器を組み合わせた実験を行い、効果的な逆流防止方法を模索した。本実験では、上流側に減圧式逆流防止器や二重式逆止弁、立て

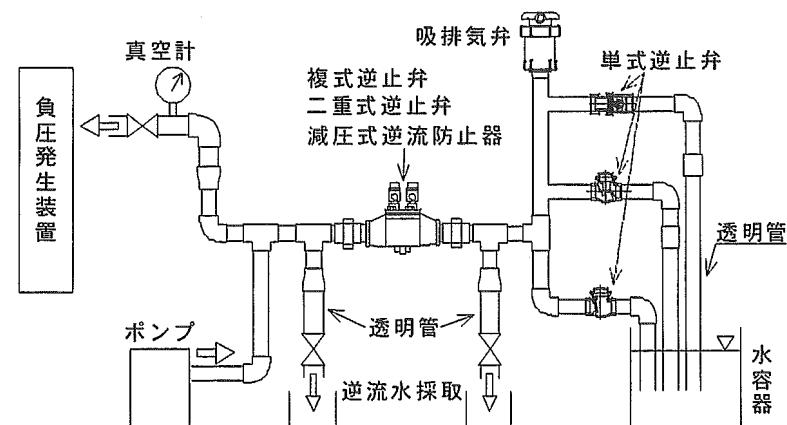


図-5 実験配管図 (組み合わせ)

管の上部に吸排気弁を設置し、末端に各戸単位での逆止弁をイメージしたばね式、リフト式、スイング式とタイプの違うφ15mm 逆止弁を設置した。設定した負圧は上記実験と同様に、-85kPa、-54kPa、-30kPa、-5kPa とし、5分経過後の逆流状況を確認することとした。末端の単式逆止弁は、平成15年度研究の単式逆止弁に対する負圧性能試験において逆流を起こした製品を使用し、吸排気弁は、3の実験において一番逆流を生じたd社のφ20mmの製品を用い、減圧式逆流防止器、二重式逆止弁、複式逆止弁は逆流防止器内の一次側逆止弁のみにワイヤーを噛ませた状態と一次・二次逆止弁両側にワイヤーを噛ませた状態で実験を行った。また、単式逆止弁は本実験を行った後、逆止弁として逆流防止機能があることを確認するため、逆流防止性能試験(3kPa)を実施した。

まず、上流側である一次側に減圧式逆流防止器を用いた場合、減圧式逆流防止器内の一次・二次逆止弁両側にワイヤーを噛ませた状態でポンプから水を流すと、圧力差が生じず減圧式逆流防止器の排水口のバルブが閉じずに排水口から水が流れ出る結果となった。一次・二次逆止弁両側にワイヤーを噛ませたφ20mm二重式逆止弁、φ20mm吸排気弁、φ15mm単式逆止弁の組み合わせによる実験において、吸排気弁手前のバルブを閉め、吸排気弁が作動しない二重式逆止弁と単式逆止弁だけの状態では、末端の逆止弁から瞬時に逆流を生じた。しかし、吸排気弁手前のバルブを開き吸排気弁が作動している状態では、透明管内の水位上昇はあるものの逆止弁で逆流が止まり、単式逆止弁6製品中4製品で単式逆止弁より一次側に逆流を生じず、1製品でも殆どの条件で逆流を生じなかった。ここで、単式逆止弁の機能調査のため、逆流防止性能試験(3kPa)を実施したところ、今回逆流を起こしたスイング式逆止弁は、水を全く保持することが出来ず、逆止弁自体が故障していると考えられる。また、リフト式逆止弁においては、-30kPaの時のみ逆流を生じる結果となった。

本実験から、減圧式逆流防止器内の逆止弁に異常が生じている時は、排水口から水が流れ出てしまい下流側にほとんど水が流れなくなるため、機器に異常が生じたまま使用することは難しく、ゴミ噛みによる逆流には対応できると考えられる。本実験で用いた単式逆止弁は、平成15年度に実験において激しく逆流を生じていた製品であり、吸排気弁も逆流防止器単体での実験で逆流を起こした製品であったが、単式逆止弁と吸排気弁とを併用することによって、十分な逆流防止機能を持つことが分かった。しかし、逆流防止性能基準を充たさない逆止弁に関しては、負圧によっても激しい逆流を生じたため、逆止弁としての本来の機能を持っていない製品に関しては、逆流防止器の組み合わせによっても逆流を防止することは出来ず、逆流防止効果は全く期待出来ない。立ち上がりの配管に吸排気弁を用い、各戸に単式逆止弁を設置しただけでも、各々を単体で使用する時よりも、かなりの逆流防止効果が期待できることが分かったため、タイプの違う逆流防止器を組み合わせで使用して、リスクを軽減することは重要かつ必要なこととなる。

別表 - 2

水有効利用のための給水システム構築に関する研究委員会

委員名簿

(任期 平成 14 年 11 月 5 日～平成 17 年 3 月 31 日)

委員長

中 村 文 雄 (財)給水工事技術振興財団技術アドバイザー

委員

伊 藤 雅 喜 国立保健医療科学院水道工学部水道計画室長

杉 山 俊 幸 山梨大学工学部土木環境工学科教授

松 井 佳 彦 岐阜大学工学部社会基盤工学科教授

長 岡 裕 武蔵工業大学工学部都市基盤工学科助教授

諏 訪 勝 東京都水道局給水部給水装置課長

石 井 則 行 横浜市水道局建設部技術監理課長

井 本 芳 宏 千葉県水道局技術部副技監兼給水課給水装置室長

山 川 泰 二 全国管工事業協同組合連合会技術参与

酒 井 一 夫 給水システム協会技術委員

## Ⅱ-2 家屋内での水有効利用と環境負荷低減に関する研究

分担研究者 藤原 正弘

厚生労働科学研究費補助金(健康科学総合研究事業)  
分担研究報告書

家屋内での水有効利用と環境負荷低減に関する研究  
分担研究者 藤原 正弘 財団法人 水道技術研究センター 理事長

研究要旨

水道として生活に密着している「水」は、流域圏の大きな水循環系を構成する重要な要素となっており、個別の利用形態から地域循環まで、健全な水循環を形成する上で欠くことのできないものである。このような水循環系での水道水の利用において、従来の浄水工程では、原水となる河川、湖沼及び地下水の水質悪化に伴う処理コスト、処理エネルギーの増加、湯水への原水確保と節水対策など、また使用後の環境側面としては、下水道の負荷の増加、放流先の水環境系への環境負荷の増大等、多面的な影響を考慮する必要に迫られている。

これらの課題に対応するためには、水道水利用の原点である各家屋等で、生活用水の利用を量、質の両面から合理化し、節水を促進することで、健全な水循環を確保することが必要である。

このような背景から、本研究では、水の有効利用(多段階利用、未利用エネルギー活用等)を通じて、河川や下水道への負荷のみならず、エネルギー消費量を軽減した健全な水循環を確保するため、家屋内での水の有効利用手法について検討を行うものである。

A. 研究目的

家屋内における水の有効利用、ならびに水道水が有する未利用エネルギー等の有効活用を図ることにより、水使用量の削減と環境負荷低減を達成した水有効活用型ハウスを構築することを目的として研究を行った。具体的な項目は、

- (1)ライフスタイルの変化等を含めた家屋内における水使用の実態把握
- (2)節水を意識した家屋スケールでの水の多段階利用モデル(水有効利用モデル)の構築
- (3)家屋内での水使用行為(各使用段階)における水質目標値の考察
- (4)未利用エネルギー(水道水圧等)を駆動力とする家庭内利用機器(カーテン、窓の開閉装置等)の考案と実用性の評価
- (5)構築した水有効利用モデルのLCA的手法による環境負荷低減効果の試算

の5つである。

なお、本プロジェクトで構築を目指した水有効活用型ハウスは、水道水を積極的に利用することで環境負荷の低減を達成しようという概念に基づいていることから、「アクアハウス」と命名した。

B. 研究方法

本研究は産学官の共同プロジェクトとして実施しているが、その実施に当たっては、学識者、水道事業体、および民間企業からなる「家屋内での水有効利用と環境負荷低減に関する研究委員会」を設置し、

種々の審議、検討を重ねながら研究開発を推進した。3カ年の研究期間において、初年度(平成14年度)は、文献調査、各委員へのヒアリング調査等により、家屋スケールでの水循環による水利用の合理化を達成するための方策を見出すとともに、本研究における技術的な検討課題について整理し、研究の方向性を明確に示した。2年目(平成15年度)は、水道水圧を利用する家庭内利用機器について、実験装置を製作して実験的な検討を行い、その実用性を確認した。最終年度(平成16年度)は、プロト機を用いた実験により、アクアハウスの実現性について検証するとともに、本研究を総括した。

(研究委員会の構成)

別表3

(倫理面への配慮)

本研究では、家庭内での水需要量や水質などの実態把握が必要となるが、これらについては、公表された文献・データ等を引用したため、個人の家庭に対し直接的な調査は実施しなかった。このため、倫理面への配慮については、特に必要性は生じないと考えている。

C. 研究結果

1. 研究の方向性と研究課題

水使用の最小単位である家屋内での水利用に着目し、そこにおける水使用状況の実態、ならびに現

在行われている水の有効利用方法等に関して文献調査を行った。また、家屋内での水有効利用に関して、各委員に対するヒアリング、および意見交換を行い、それぞれの業界における動向を確認し、これら調査結果の内容を精査した。

本結果を元に、アクアハウス内での水有効利用モデルの概念を以下のように設定した。

- 1 段目－水道水圧の利用(水道が有する未利用エネルギーの活用)
- 2 段目－風呂水などに利用
- 3 段目－洗濯用水・トイレ洗浄水

上述した概念の中で、1 段目における水道水圧の利用方法に関してさらに調査、検討を行った結果、実現可能と思われる様々な機能、システム等に関するアイデアが見出された。これらの中から、技術的、コスト的に比較的实现性が高いと考えられる、水道水圧駆動シリンダを用いたカーテン開閉システム(アクアカーテンと称する)、および、窓を利用した貯水システム(アクアウインドウと称する)に関して、装置を製作して実験的検証を行った。

また、構築した水有効利用モデルをもとに、LCA 的な手法により、アクアハウスが普及した場合の環境負荷低減効果についての数値化を試みた。

### 1-1. アクアカーテン/ウインドウシステムの概要

#### 1-1-1. カーテン開閉システム

本研究で検討を実施するカーテン開閉システムは、水道水圧で駆動するロッドレスシリンダをカーテンレールに適用し、光センサ、またはタイマーによりシリンダへの給水ラインの水流切り替えバルブを制御することで自動的にカーテンを開閉するシステムである。本システムは、介助機器としての機能を備える他、野外の明るさの変化、時間設定によってカーテンの開閉を行うことで、不在時にあたかも人がいるかのように見せかけられるため、防犯性の向上も併せて期待できる。

#### 1-1-2. ウインドウ貯水システム

風呂水に用いる温水製造用として、また、1 段目のシリンダで使用した水の貯水槽として、リビング、寝室等の窓を利用することを考えた。窓を二重ガラス(ペアガラス)構造として、その内部空間を貯水槽として活用する。窓を貯水槽として用いることで、以下のような効果が期待できる。

- (1) 新たな貯水タンクの設置が不要
- (2) 太陽熱による温水製造が可能
  - 湯沸しのための消費エネルギーを低減
- (3) 断熱効果に優れる＝冷暖房効率の向上
- (4) 二重ガラス化、貯水による防犯性の向上
- (5) 槽内バブリングによるオブジェ的な機能

これより、家屋の省エネルギー、快適性向上、環境

負荷低減に貢献できると考えられる。また、水道水圧駆動カーテン開閉システムとの関係化も比較的容易である。

さらに、カーテン開閉システムに用いた水道水圧駆動シリンダを転用することで、本貯水窓の開閉システムとしても用いることができる。シリンダ利用により、水を貯水して重量が増加したサッシの開閉を容易に行うことができる他、サッシを閉じるのに利用した水をそのままシリンダに入れた状態でバルブを閉じておくことにより、サッシのロックシステムとしても活用できる。

ここで、水圧駆動カーテンを“アクアカーテン”、本貯水窓を“アクアウインドウ”とそれぞれ称する。アクアカーテン、およびアクアウインドウの概要を図 1 に示した。両者を組み合わせて用いることで、より完成された家屋内での水道水圧駆動システムを形成することが出来る。

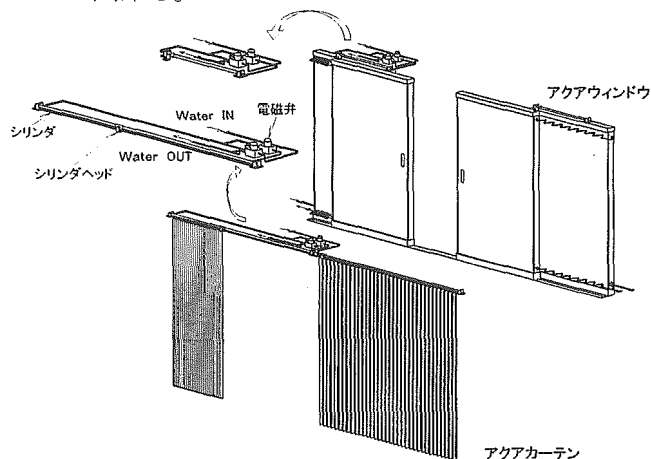


図 1 アクアカーテン/ウインドウシステムの概要

## 2. カーテン開閉システムの検証

### 2-1. シリンダ性能試験

アクアカーテン、およびアクアウインドウの開閉に用いる水道水圧駆動シリンダに必要な基本性能を把握するため、市販のガス圧駆動シリンダを水道水圧で駆動できるように改良し、実験装置を製作して種々の試験を行った。また、ガス圧駆動シリンダの性能試験結果から、水圧駆動専用シリンダの仕様を設定した。そして、本仕様に基づいて試作した水圧駆動専用シリンダを用いて同様の試験を行い、その性能を把握した。

#### 2-1-1. 実験装置

現在までのところ、水圧で駆動するシリンダの市販品は非常に少なく、カーテンや窓の開閉に適したコンパクトな構造の既製品を見いだすことが出来なかった。このため、本実験では、内径 25mm の市販のガス圧駆動シリンダを水圧で駆動できるよう改良して用いた。製作した実験装置フローを図 2 に示した。



シリンダの両端(入口径 9mm)から水が出入りできるよう配管し、三方弁を介して水の流入方向を切り替えるシステムとした。なお、家屋内への適用に考慮し、本装置の配管は、内径8mmのポリエチレン製チューブを適用した。シリンダの両端にはリミットスイッチを取り付け、シリンダヘッドが往復運動できるようになっている。試験水には水道水を用いた。

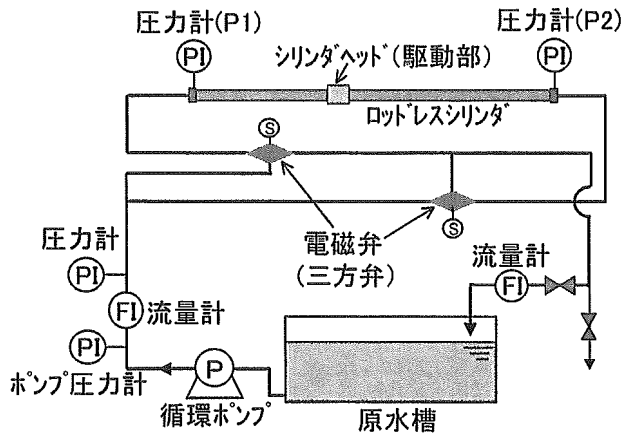


図2 実験装置フロー

### 2-1-2. 実験方法

ポンプ圧力(供給水圧)に対するシリンダ入口/出口圧力を測定し、供給水量(シリンダ内流量)とシリンダヘッド速度の関係を把握することにより、カーテン駆動に必要な最低水量、および最低駆動圧力を確認した。また、ポンプ圧力に対してシリンダが発生する力(シリンダ荷重)をバネばかりを用いて測定した。これらの結果を元に、実用上の最低駆動圧力(=給水栓における必要最低水圧)、および必要最低流量(=実用に適したシリンダヘッド速度)を設定した。そして、ガス圧駆動シリンダの実験結果より、一般家屋に適した水圧駆動専用シリンダの仕様を設定した。本仕様に基づき、水圧駆動専用シリンダを試作して前述と同様の試験を行い、その実用性を確認した。

### 2-1-3. ガス圧駆動シリンダを用いた実験結果

実用上の供給水圧に相当するポンプ圧力と、シリンダヘッド速度の関係について検討した。ポンプ圧力を変化させて、各圧力でのシリンダヘッド速度を測定した。測定は、シリンダヘッドが1ストローク(1.78m)移動する時間を計測することにより求めた。その結果、ポンプ圧力が大きくなるにしたがって、シリンダヘッド速度は二次式的に増加することがわかった(図3)。

次に、ポンプ圧力に対してシリンダが発生する力(シリンダ荷重)の関係について検討した。ポンプ圧力を0.20~0.55MPaまで段階的に変化させてシリンダ荷重を測定した。シリンダヘッドと、実験装置本体

に固定したバネばかりを滑車を介してワイヤで結び、各圧力において駆動させたシリンダヘッドが停止した時のバネばかりの値を読み取った。その結果、ポンプ圧力の増加とともにシリンダヘッド荷重は直線的に増加したが、シリンダ断面積(4.91cm<sup>2</sup>)とポンプ圧力の積から求めた計算値と比較して、いずれのポンプ圧力においても50N程度、実測値は低いことがわかった(図4)。これより、シリンダ内での圧力損失は、約0.1MPaであると試算された。

さらに、水圧が0.15~0.2MPaの範囲で変動する給水栓に実験装置の配管を接続し、水道水圧によりシリンダを駆動させた。実験時の平均水圧は0.2MPaであった。その結果、ポンプ試験の結果と比較して、シリンダヘッド速度、およびシリンダ荷重に大きな違いは見られず、水道水圧により駆動できることを確認した(表1)。

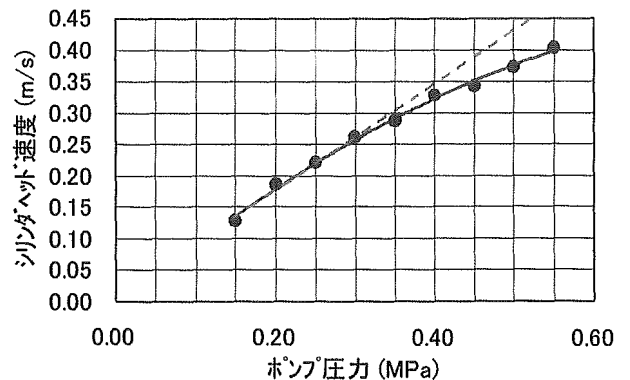


図3 ポンプ圧力とシリンダヘッド速度の関係

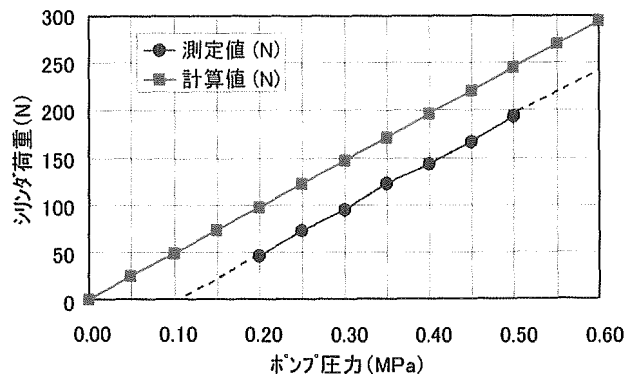


図4 ポンプ圧力とシリンダ荷重の関係

表1 水道水圧試験結果

測定項目	水道水圧試験	ポンプ試験
水道元圧/ポンプ圧力 (MPa)	0.20	0.20
シリンダ入口圧力 (MPa)	0.16	0.19
シリンダ出口圧力 (MPa)	0.02	0.02
シリンダ内流量 (L/min)	3.0	3.5
シリンダヘッド速度 (m/s)	0.11	0.12
シリンダ荷重 (N)	45.1	45.7

以上の試験結果に基づき、一般家屋に適用する水道水圧駆動シリンダの仕様を表2のように設定した。

表 2 一般家屋向け水道水圧駆動シリンダの仕様

項目	仕様
最低駆動圧力(MPa)	≥0.1
シリンダヘッド速度(m/s)	≥0.2
シリンダ径 (mm)	用途による(カーテン開閉用なら 25mm 以下)
シリンダ材質	ステンレス
シリンダ構造	ロッドレスタイプ、シリンダ内側はグリース未使用
シリンダ内部パッキン等材質	給水装置、給水用具に汎用されている材質が適当
シリンダ配管材質	給水装置/用具汎用品(ポリエチレン、ステンレス他)

#### 2-1-4. 水圧駆動専用シリンダの試作と性能把握

##### (1) アクアシリンダの基本性能

これまでの検討結果から、ガス圧駆動シリンダをそのまま水圧駆動用として転用出来ることを確認した。これより、水圧駆動専用シリンダ(以後、“アクアシリンダ”と称する)の基本構造は、ガス圧駆動シリンダの構造を踏襲すればよいと判断した。しかし、ガス圧駆動シリンダ内面には多量の潤滑剤(グリース)が塗布されているため、これをそのままアクアシリンダとして用いることは、シリンダ通過水にグリースが溶出する可能性が高いため困難である。そこで、シリンダ通過水の水質劣化を防止するため、本実験に用いたガス圧駆動シリンダ内面のグリースを除去して、アクアシリンダを試作し、本シリンダを用いて駆動試験を行い、その性能を把握した。

初めに、シリンダ内部移動子のピストンパッキン材質を変更した場合について駆動試験を行った。次に、別の材質で、ピストンパッキン外径をガス用と比較して 0.2mm、または 0.3mm 小さくして抵抗を軽減した場合についても駆動試験を行い、その性能を確認した。ここでピストンパッキンをサイズダウンしたのは、本シリンダがガス圧駆動用であることから、シリンダチューブ内径に対してピストンパッキンを若干大きくしてシール性を向上させ、これによる駆動性の低下を補うため、グリースを多量に塗布する、という概念で設計・製作されていると推定したからである。アクアシリンダでは、ガス圧駆動用ほどのシール性は要求されないため、水のリークによるシリンダ性能の大幅な低下が無い範囲でピストンパッキンを小さくすれば、内部移動子の駆動抵抗を極力少なくできると考えた。なお、シリンダ内部移動子の概略を図5に示した。

試作1~3の各々のシリンダを用いて、ポンプ圧力とシリンダヘッド速度の関係を把握した。その結果、

試作1、および2については、いずれの圧力においても、ガス圧駆動シリンダと比較してヘッド速度は小さかった。これは、試作1で用いたピストンパッキンの外径がガス圧駆動用と同じであったこと、およびパッキン材質が、高温高压下(例えば、40MPa以上、200°C)で駆動する油圧シリンダに使用されるものであるため、水を作動流体とするアクアシリンダには適当でなかったことによると推測された。また、試作2では、パッキン材質をガス圧、油圧シリンダとしては低圧(5~10MPa)で駆動するタイプに使用されるものに変更し、パッキン外径も小さくしたが、シリンダの駆動性能に与える影響は小さかった。

一方、材質を別の低圧駆動用のものに変え、パッキン外径をさらに小さくした試作3では、図6に示した通り、ガス圧駆動シリンダとほぼ同様の性能を有していた。これより、内部移動子のピストンパッキンのサイズがシリンダの駆動抵抗に与える影響は大きいことがわかった。今後、より詳細にパッキンサイズに関する検討を行うことで、さらにシリンダの駆動性能を向上できると思われた。なお、材質に関しては、試作2で使用した超高分子量ポリエチレンが食品衛生法に準拠していることから、アクアシリンダのピストンパッキン用として適当であると考えられた。

以上より、シリンダ内部移動子のピストンパッキンの大きさを最適化することにより、水道水圧で十分な性能を発揮するアクアシリンダを開発できる可能性が示唆された。

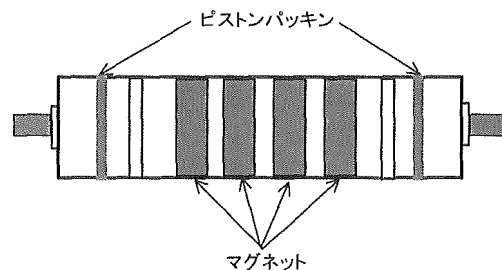


図5 シリンダ内部移動子の概略

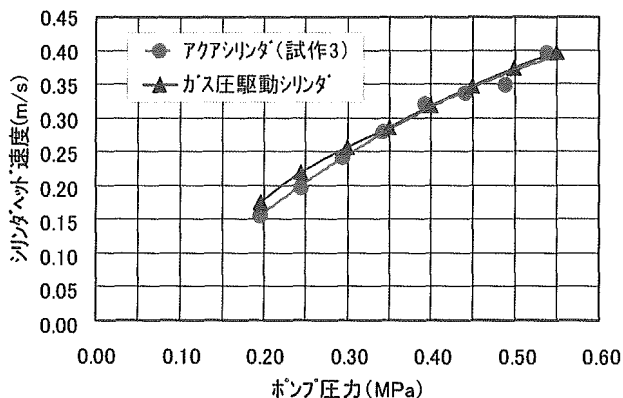


図6 試作アクアシリンダとガス圧駆動シリンダの性能比較

なお、試作3のアクアシリンダが発生するシリンダ荷重を測定した結果、低圧でのシリンダ荷重は、アクアシリンダの方がガス圧駆動シリンダよりも若干大きかったが、ポンプ圧力が0.4MPa以上では、両者にほとんど差は見られなかった(図7)。また、ガス圧駆動シリンダでは、ポンプ圧力が大きくなるにしたがって、シリンダ荷重が計算値とほぼ並行に増加したのに対し、アクアシリンダでは、ポンプ圧力が大きいほど計算値との差が開いていく傾向にあった。これは、ピストンパッキンを小さくしたことで、高压側ほどシール部分に生じた漏れが大きく、これによりロスが生じたためであると推察された。しかし、シール性が良好なガス圧駆動シリンダと比較して、その値はほぼ同等であり、シリンダ性能を大幅に低下させるような漏れは生じていないと思われた。

以上の結果より、表2に示した一般家屋向け水道水圧駆動シリンダの仕様をほぼ満足するアクアシリンダを試作することができた。今後、ピストンパッキンのサイズ、および材質の他、外部移動子のパッキン材質、構造等に関してより詳細な検討を行うことにより、アクアシリンダの性能をさらに向上できると考えられた。

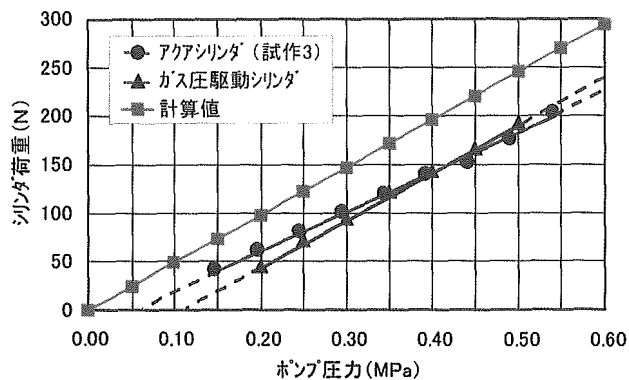


図7 試作アクアシリンダのシリンダ荷重 (ガス圧駆動シリンダとの比較)

## (2) アクアシリンダの耐久性確認

試作したアクアシリンダの耐久性について確認を行った。各種試験に用いて500回程度駆動させた試作3のアクアシリンダを用いて、一定圧力で繰り返し駆動させ、駆動回数がシリンダヘッド速度に与える影響について検討を行った。

ポンプ圧力を0.5MPaに設定してアクアシリンダを繰り返し駆動させ、新品時からの総駆動回数が1,000回、2,000回、および3,000回駆動後のポンプ圧力とシリンダヘッド速度の関係を比較した。その結果、駆動回数を重ねるほど、同一圧力でのシリンダヘッド速度は大きくなる傾向にあった(図8)。これは、駆動回数が増えるほど、ピストンパッキンとシリンダロッドの馴染みが良くなったためではないかと推察さ

れた。なお、今回測定を行った圧力範囲であれば、いずれの圧力においても、3,000回駆動後の新品時に対するシリンダヘッド速度の増加割合はほぼ同等であったことから、ピストンパッキンの劣化等は生じていないと考えられた。また、一般家屋への適用を考えた場合、今回実施した試験のように、0.5MPa程度の比較的高い圧力で、シリンダを連続的に繰り返し駆動させるといった使い方は想定していないことから、試作したアクアシリンダは、実用上の耐久性は十分に備えていることが示唆された。これより、試作したアクアシリンダの耐久性を確認することができた。

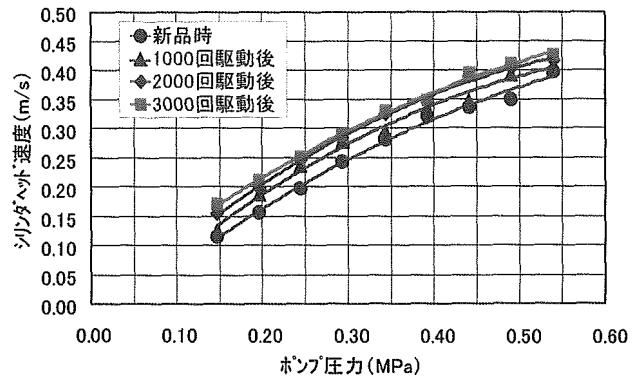


図8 シリンダ駆動回数がシリンダヘッド速度に与える影響(アクアシリンダの耐久性)

## 2-1-5. 発電機能付自動水栓の適用可能性検討

本研究では、水道水圧駆動シリンダによるカーテンや窓の開閉システムを検討しているが、これらシリンダが駆動する際に発生する水流を利用して、発電用水車による発電が可能かを検討した。

発電機能付自動水栓(アクアエナジー式 小便器自動洗浄システム AMU-132SM 埋込型を一部流用、INAX社製、以下、自動水栓)を2で用いたシリンダ試験装置に取り付け、シリンダ通過水による発電が可能かを確認した。本自動水栓は、赤外線センサにより人を感じ、小便器の洗浄を自動的にを行い、洗浄で発生する水流により羽根車を回して発電を行い、そこで発生した電気を蓄電し、センサの作動電源として利用するシステムである。

本実験では、実機におけるカーテンの自動開閉を想定し、本自動水栓に汎用的な光センサ(PK-L1, ワンダーキット製)を組み合わせ、光センサによる水栓(バルブ)の開閉が可能であるかの確認も行った。なお、自動水栓の取り付け位置は、シリンダ通過水の排出経路とした。

### (1) シリンダ通過水による発電の確認

シリンダを0.25MPa(流量: 6.0 L/min)で駆動させた場合、わずかながら電圧が計測され、発電が認められた。しかし、本実験に用いた自動水栓の発電機は、適正流量が12~16L/minであったことから、

十分な発電量が得られなかったと推察された。なお、カタログによれば、適正流量が 5~8L/min、あるいは、それ以下のタイプも市販されていることから、得られる流量に応じて発電機のサイズを選択することが可能である。

## (2) 流量と発電量の関係

自動水栓を通過する水の流量と発電量の関係について検討した。本実験では、ポンプから直接、自動水栓に水を通過させ、ポンプ流量を様々に変えて、発生電流、および発生電圧をテスター(デジタルマルチメーター CMD-27D)により計測した。

その結果、ポンプ流量が 6.5L/min までは電流値はほとんどゼロであったが、本値を超えたあたりから急激な電流値の上昇が見られ、その後は流量に比例して直線的に増加することがわかった(図 9)。この時、発生電流と電圧の値から計算により求めた発電量は、表 3 の通りであった。

以上より、本自動水栓に適用されている発電機は、一定以上の流量が得られないと発電が行われなことがわかった。これより、シリンダの適用先の流量変動をきちんと把握し、適切な発電機を選択することが重要であると考えられた。

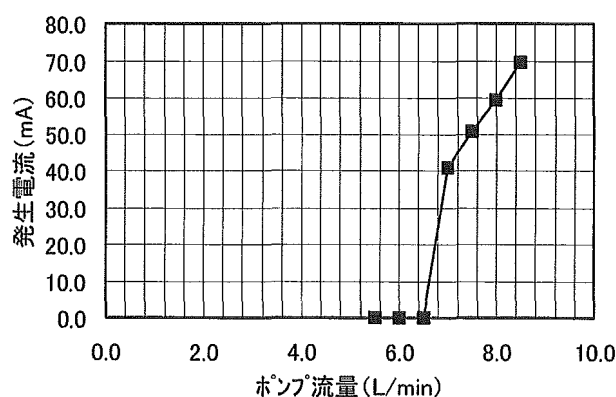


図 9 ポンプ流量と発生電流の関係

表 3 ポンプ流量と発電電力の関係

ポンプ流量 (L/min)	発電電力 (W)
5.5	0.00000010
6.5	0.00000048
7.0	0.27
7.5	0.38
8.0	0.50
8.5	0.65

## 3. ウィンドウ貯水システムの検討

水槽を用いた基礎実験の結果、水槽内面の汚染は見られず、貯水の昇温効果を確認することができた。そこで、アクアウィンドウプロト機(以後、プロト機と称する)を製作し、これを用いてアクアウィンドウの実用性について検証を行った。

## 3-1. プロト機の概要、および設置

製作したプロト機の概略図を図 10 に示した。本実験では、二酸化チタンの塗布によるウィンドウ内面の汚染防止効果を確認するため、一方(左側)のウィンドウ内面に二酸化チタンを塗布して、未処理のウィンドウ(右側)と比較試験を行った。この時、ウィンドウのガラスには、家の外側にあたる部分に厚さ 8mm のフロート板ガラス(単板、紫外線透過率 50%)を、家の内側にあたる部分には、厚さ 4mm+4mm の合わせガラス(強化ガラス、紫外線透過率 0.3%)を使用した。ここで、家の外側に当たる部分に単板ガラスを用いたのは、二酸化チタンは紫外線の存在により触媒効果を発揮するため、紫外線阻止率が 99%以上の合わせガラスを使用すると、ウィンドウ内面に紫外線が届かず、二酸化チタンの触媒効果が期待できないと考えたからである。なお、貯水部の厚さは 8mm で、本ウィンドウ 1 枚あたりの貯水量は約 11L である。

なお、ウィンドウを家屋に取り付けての実験が困難であったため、実験用プレハブを建設し、ここに改良型プロト機を設置して検討を行った。実験は、フロート板ガラスの破損を避けるため、ウィンドウ内に水を半分の高さまで貯水して行った。この時の貯水量は約 5.2L であった。

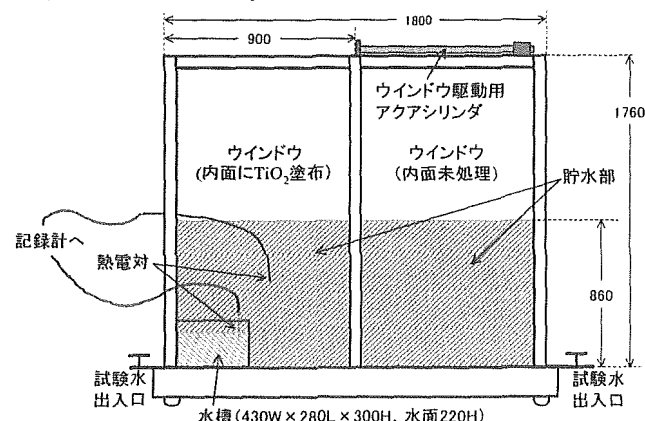


図 10 アクアウィンドウプロト機の概略図

## 3-2. 貯水温の経時変化

ウィンドウ貯水の水温の経時変化を把握した。また、外気温、プレハブ内室温、およびウィンドウ前面に設置した水槽(430W×280L×220H、貯水量≒26.5L)の温度変化についても測定を行った。各温度の計測は熱電対を用いて行い、記録計(Model4370 μR1800 記録計、横河電機社製)によりデータを自動記録した。

その結果、晴れて日射量が多い日は、ウィンドウ貯水は外気温よりも高い温度まで昇温できることがわかった(図 11)。しかし、日射量の減少とともに、表面積の大きいウィンドウ内の水温は急激に低下した。これより、昇温したウィンドウ貯水は、ウィンドウに太

陽光が当たっている時間帯に浴槽、または保温性の高い水槽に送水する必要があるものと思われた。

参考までに、ある程度水温が上昇した時点で貯水を入れ替え、1日に2回、昇温試験を行った結果、いずれも35℃程度まで昇温できることを確認した。したがって、日射時間の長い夏場の晴天時では、一日に数回、または連続的に温水製造が可能であると考えられた。

次に、日射のない雨天時は、外気温とほぼ同じ温度で安定し、昇温の効果は見られなかった(図12)。本結果より、気温の高い夏場を除いて、曇天、雨天時のアクアウインドウによる温水製造は困難であると推察された。

以上より、日射量の大小が貯水温の上昇を左右する最も大きな要因であることが明らかとなった。

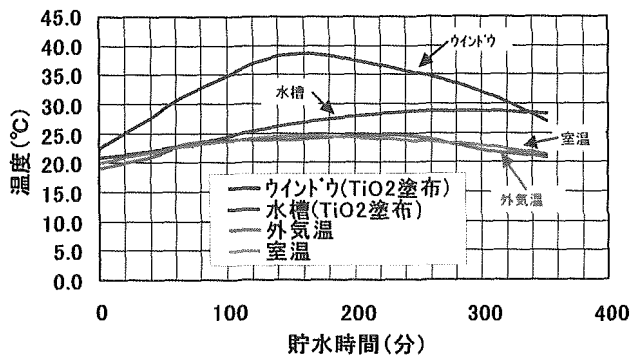


図11 アクアウインドウ貯水温の経時変化(晴天時)

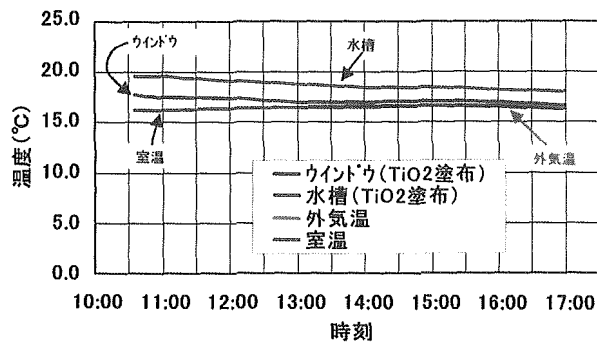


図12 アクアウインドウ貯水温の経時変化(雨天時)

### 3-3. ウインドウ貯水の残留塩素濃度の経時変化

ウインドウ貯水の残留塩素濃度の経時変化について確認した。なお、使用した水道水中の残留遊離塩素濃度が0.2mg/L以下であったため、試薬の次亜塩素酸ナトリウム(NaClO)を添加して、遊離塩素濃度を0.3mg/L以上に調製してから実験を行った。

その結果、日射量の多い晴天時では、二酸化チタンを塗布した側(塗布側)では、初期濃度によらず、貯水温の上昇とともにウインドウ内の遊離塩素濃度は急激に減少し、実験開始から1時間程度でほぼゼロになることがわかった(図13)。二酸化チタンが未塗布の側(未塗布側)では、遊離塩素濃度の減少割合

は塗布側に比べて緩やかであったが、貯水後3時間程度でゼロとなった(図14)。

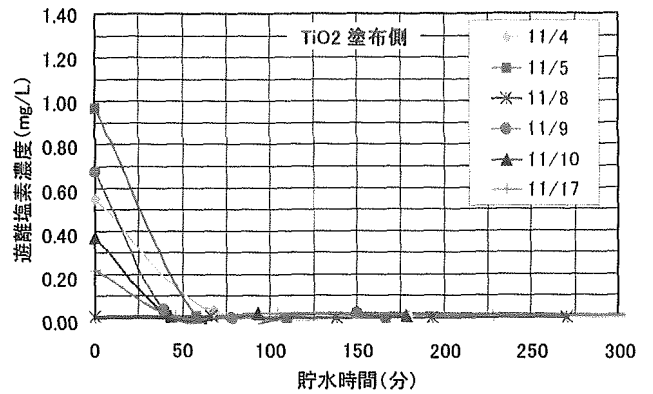


図13 アクアウインドウ貯水の遊離塩素濃度の経時変化(晴天時、塗布側)

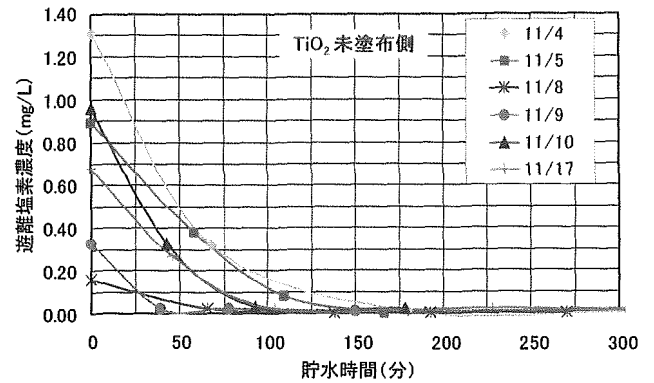


図14 アクアウインドウ貯水の遊離塩素濃度の経時変化(晴天時、未塗布側)

次に、結合塩素については、塗布側、未塗布側いずれにおいても、遊離塩素と比較して緩やかに減少し、貯水後5時間を経過しても残留は認められたが、その濃度は0.1mg/L以下と低かったことから、水道水レベルの水質を保持することは困難であると推察された(図15、16)。

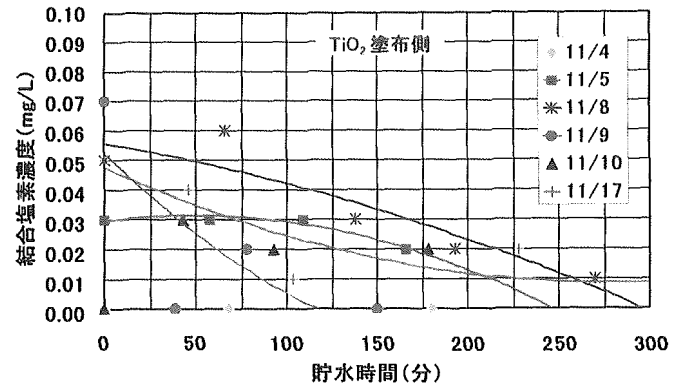


図15 アクアウインドウ貯水の結合塩素濃度の経時変化(晴天時、塗布側)

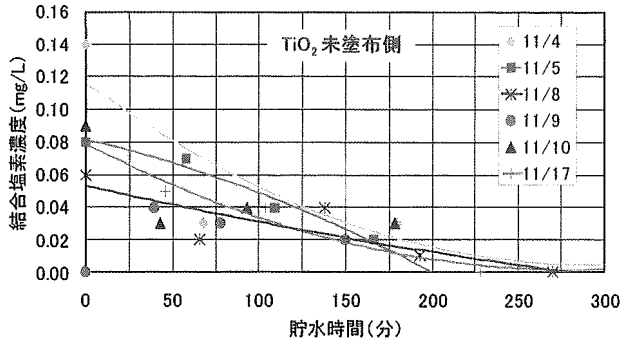


図 16 アクアウインドウ貯水の結合塩素濃度の経時変化(晴天時、未塗布側)

一方、ほとんど日射が無い雨天時においても、塗布側の方が、未塗布側と比較して遊離塩素濃度の減少割合は大きかった(図 17)。これは、晴天時と同様、二酸化チタンの触媒効果によるためであると考えられたが、塗布側での結合塩素濃度の経時変化には規則性が無く、水槽を用いた基礎実験の結果から推定された、結合塩素が遊離塩素に変換するといった現象は確認できなかった(図 18)。

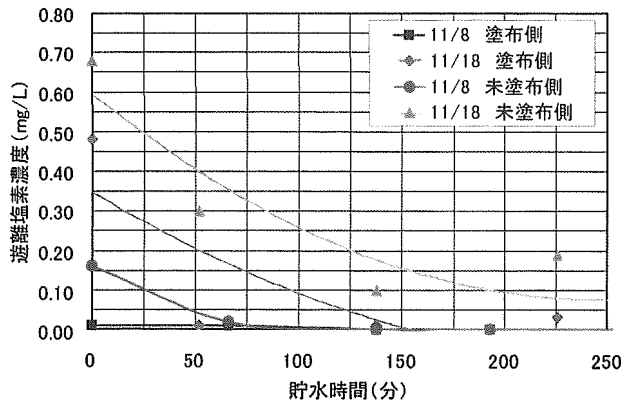


図 17 アクアウインドウ貯水の遊離塩素濃度の経時変化(雨天時)

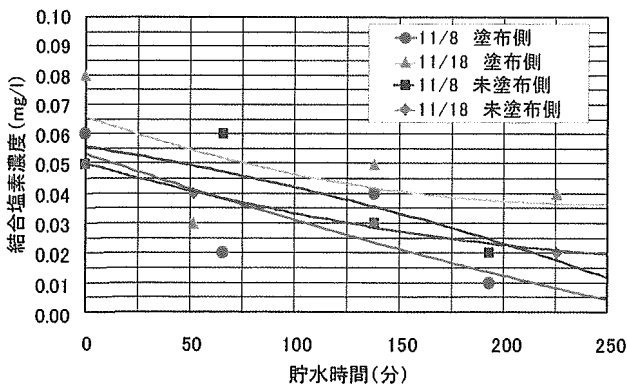


図 18 アクアウインドウ貯水の結合塩素濃度の経時変化(雨天時)

以上より、残留塩素濃度の減少は日射量、すなわち貯水温の上昇と大きく相関することがわかった。また、ウインドウ内面の汚染防止を目的として塗布した二酸化チタンは、その触媒効果によって遊離塩素濃度を急激に減少させる可能性が高いため、残留塩素による貯水の汚染防止効果は期待できないと思われた。

ところで、本検討では、ウインドウ内の貯水量を半分にして実験を行ったため、満水時に比べて塩素が揮散しやすい条件であったと推定された。アクアウインドウを実用化するには、ウインドウ内をほぼ満水にして温水製造を行うことを想定しているため、本実験結果よりも塩素濃度の減少速度は小さくなると予想された。

### 3-4. ウインドウ内面の汚染状態の把握

目視による観察の結果、二酸化チタンの塗布/未塗布に関わらず、約3ヶ月の試験期間では、藻の発生、水垢の付着といったウインドウ内面の汚染は確認されなかった。これは、通常の貯水タンクのように連続的な貯水を行わず、ほぼ毎日、塩素が残留する水道水を出し入れしたため、ウインドウ内を汚染する微生物の発生条件が整わなかったためではないかと推察された。なお、外気温が高い夏場のデータを取得することが出来なかったため、アクアウインドウ実用化の際には、四季を通じた長期試験により、ウインドウ内面の汚染発生が無いことを再度確認する必要がある。

### 3-5. プロト機によるアクアカーテン/ウインドウシステムの実現性の検討

#### 3-5-1. 水道水圧による駆動試験結果

図 19 に示したプロト機を用いて、ウインドウに水を半分貯水した状態で、水道水圧(0.15~0.2MPa の範囲で変動)により駆動試験を行った結果、カーテン、およびウインドウのいずれも開閉出来ることを確認した。特に、本プロト機のアクアウインドウは、100kg 以上の重量であったにもかかわらず、水道水圧で十分に駆動(開閉)させることができたことから、本プロト機のウインドウよりも軽量な実際のサッシの開閉であれば、アクアシリンダを問題なく適用できると考えられた。ただし、安全性を考慮すれば、アクアウインドウの実用化の際には、人がはさまれた場合の非常停止機能などを装備しておく必要がある他、稼動しない固定窓のみを貯水槽として利用するという方法も考えられる。このため、アクアウインドウをどのように家屋へ組み込むかについては、個々の住宅の設計や用途に合わせて適切に判断する必要があるものと思われた。

ところで、サッシを閉めるのに用いた水をシリンダに入れた状態で、シリンダへの送水管に取り付けた



バルブを閉めて密閉すると、人の手でサッシを開けることは不可能であった。これより、本シリンダは、サッシ開閉と併せて、ロック(施錠)システムとしての利用の可能性も確認することができた。

また、ウインドウ内に水を満水にしても、窓ガラスのたわみ、ゆがみは生じなかった。

以上の結果より、アクアカーテン/ウインドウシステムの実現性について確認することができた。



図 19 アクアカーテン/ウインドウシステムプロト機

#### 4. 水質目標値の設定について

アクアハウスでは、図 20 に示した通り、水道水圧駆動機器との連携による多段階利用を達成したいと考えている。1段目でカーテン、ウインドウの駆動に利用したアクアシリンダ通過水は、水の昇温を目的としたアクアウインドウに貯水され、外気にほとんど触れることなく、一日に一度、または連続的に風呂まで送水することを想定している。このため、水が移動している間に汚染物質が流入する可能性は極めて低いと考えられることから、風呂水として利用されるまで水の劣化はあまり生じず、水道水の水質レベルを保っていると推察された。したがって、1 段目(シリンダ)から2 段目(風呂水)に移行する際の水質指標

として押さえておくべき項目は、残留塩素濃度の一項目のみで良いと判断した。

前述までの検討で、アクアウインドウに貯水した水の塩素濃度は急激に減少し、ほとんど残留しないことを確認している。しかし、約 3 ヶ月の試験期間では、ウインドウ内に微生物、藻などの繁殖は見られなかった。これは、昇温した貯水はウインドウから排出され、塩素を含んだ水と置換されるため、ウインドウ内は微生物等が繁殖しにくい環境になっているためではないかと推定された。これより、アクアシリンダの駆動に用いる水、およびウインドウ内に貯水する水は、水道水質基準を満たす残留塩素を含んだ水道水であれば良いと考えられた。

また、3 段目以降で浴槽排水をそのまま洗濯用水、トイレ洗浄水等として利用する場合には、誤飲、あるいはエアロゾル生成の可能性が少ないこと、さらに、一般家庭において、煩雑な水質分析操作を強いることは実質的に不可能である、といった理由から、水質目標値として明確な基準を設けることはあまり現実的でないと思われた。以上より、アクアハウスにおける水の多段階利用においては、各使用段階における水質目標値は特に設ける必要は無く、水道水質基準を満たす残留塩素を含有する水道水を1段目で使用することで、比較的安全な水の使いまわしが可能であることを確認した。

ただし、家屋内で発生した各種排水を処理して、これを再利用水としてトイレ洗浄、散水などに用いる場合には、既存の雑用水の用途別水質目標値<sup>1)</sup>等を参考に、これらの基準を満たす水質が得られる、一般家屋に適した処理システム(水質変換装置)を構成する必要がある。このような一般家屋用の排水再利用システムは、すでに市販されているものもあるため、これらを適切に組み合わせることで、さらなる家屋内での水の有効利用を達成することができる。

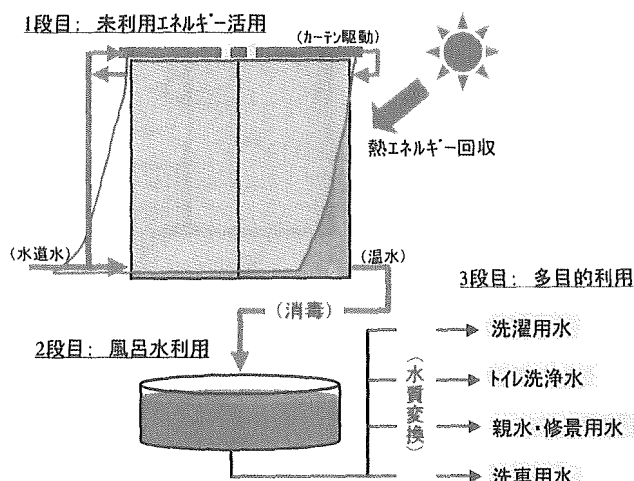


図 20 水道水圧駆動機器との連携による多段階利用の一例

## 5. 家屋内での水道水圧利用技術に関する検討

### 5-1. 一般家屋におけるアクアシリンダの展開

本研究で実験的検証を行ったアクアシリンダは、一般家屋の中で、アクアカーテン/ウインドウ開閉の他にも様々な用途に適用できると考えられる。ここでは、どのような家庭内利用機器へアクアシリンダが展開できるかについて検討を行った。

初めに、アクアシリンダの駆動力が水道水圧であることから、浴室、台所、トイレといった、すでに水道を利用している場所での活用が考えられる。例えば、浴室での利用方法としては、すでに介護機器としての実用化例がある入浴介護用リフトの駆動に水圧シリンダが適用されている。しかし、このような介護機器としての実用化例は、病院や社会福祉施設といった場所に設置することを念頭に開発されたものが多いため、これをそのまま一般家屋に利用することは難しいと思われる。このため、一般家屋に適した大きさ、機能、デザイン等、開発的要素は十分に残されていることから、アクアシリンダの適用先のひとつとして考えることができる。この他、浴室と同様、湿気が多い洗面所においては、電動式の採用が困難であることから、洗面台の昇降システムなどにはアクアシリンダが適当であろう。

また、台所での使用例としては、流し台の昇降システムの駆動に利用できると考えられる。これらは、体格に合わせて適当な高さに流し台を上下させられるという概念から、手動でハンドルを回して昇降させるタイプの他、電動式のもの家電メーカーなどによ

ってすでに製品化されている。流し台の他、壁付け、または床下収納庫の稼動にもアクアシリンダを適用できる可能性が高い。

さらに、トイレでは、現在、電動式が主流の便座ふた開閉にアクアシリンダが適用できる他、新たな用途として、要介護者の立ち上がりを補助するために、便座そのものをアクアシリンダによって上下させるといった利用方法も考えられる。この時、アクアシリンダの駆動に用いた水は、そのままトイレ洗浄水として活用することもできる。この他、洗面所と同様に、洗面台を上下させる用途も考えられる。

一方、家屋全般に利用できる例として、段差解消システムが挙げられる。玄関や浴室の入口といった場所での段差を解消するため、床を上下させようという発想であり、電動モーター式の製品化例がある。ただし、屋外や浴室で用いることを考えると、電動式では感電等の心配があるが、この駆動源をアクアシリンダに置き換えることで、安全性は格段に向上する。同様に、アクアシリンダの適用先としては、ドアや雨戸の開閉、ガレージ(シャッター)の開閉等、屋外で電気の利用が困難なシステムの駆動源が挙げられる。

以上、見てきたように、一般家屋において、アクアシリンダを適用できると考えられる家庭内利用機器、システムは数多く存在する。上述した適用先をある家屋の見取図<sup>2)</sup>にあてはめてみると図 21 のようになる。このように、家屋内のあらゆる場所にアクアシリンダを展開できる可能性が示唆された。

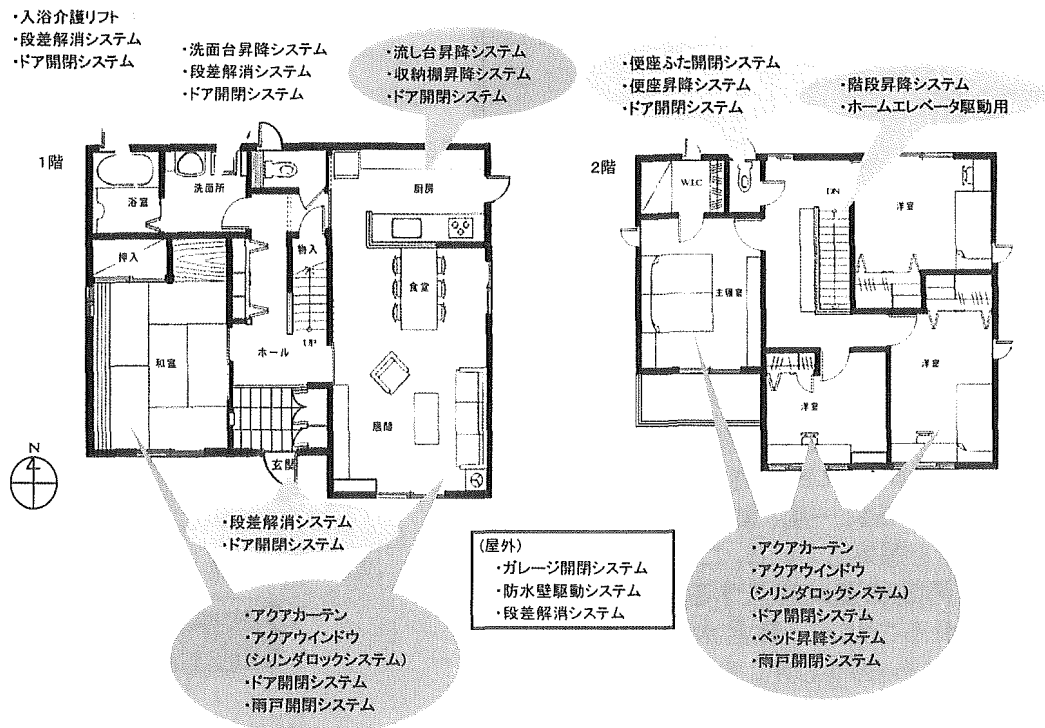


図 21 一般家屋におけるアクアシリンダの展開



## 5-2. 水が有するエネルギーを利用した駆動システムの検討

ここでは、水が有するエネルギーを利用した駆動システムについて検討を行った。本項では、水が有するエネルギーとして、これまでに実験装置を用いて検討を実施した水道水圧の他、水の重量にも着目した。水道水圧を利用した駆動システムの例としては、アクアシリンダ利用のホームエレベーター、および階段昇降機を、また、水の重量を利用した駆動システムとしては、つるべ式エレベーターをそれぞれ想定した。これらを市販されている電気式ホームエレベーターの仕様に基づいて基本仕様を設定し、こ

れを満足するのに必要な水量、流量等を概算して、その実現性を判断した。

その結果、一般の給水栓流量では、アクアシリンダ式ホームエレベーターの実用化は、電気式エレベーターと比較して、昇降速度が遅いため困難であるが、流量の大きなアクアシリンダシステム専用の給水ラインを確保することにより、実現可能性は高くなる。一方、アクアシリンダ式階段昇降機については、介護用等に用途を限定すれば、給水栓に直結して用いるタイプでも、実現性は比較的高いと思われた。本試算の結果については、表4にまとめた。

表4 水利用駆動システムと電気式ホームエレベーターの仕様比較

項目	電気式ホームエレベーター <sup>3),4)</sup>	アクアシリンダ式ホームエレベーター	アクアシリンダ式階段昇降機	つるべ式エレベーター
駆動方式	電気式	アクアシリンダ式	アクアシリンダ式	重量式
積載量	150~200 kg	150 kg	100 kg(椅子を含む)	150~200 kg
定員	2~3名	2名	1名	2~3名
昇降速度	20 m/min	12 m/min	6 m/min	20 m/min
昇降行程	最大 10 m	6 m	5 m(高低差 3m)	6 m
シリンダ径	使用せず	100 mm	82 mm	使用せず
必要流量	使用せず	94.2 L/min	31.8 L/min	使用水量による
使用水量	使用せず	47.1 L	26.5 L	水槽重量による
特徴他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電動機容量：2.0~2.6kW</li> <li>・価格：250~300万円</li> <li>・年1回の法定点検義務付け</li> <li>・1日20回の使用で、電気代は350~750円/月(カタログ値)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・一般家屋の給水栓流量では、昇降速度が遅く、適用困難</li> <li>・昇降速度が3m/min程度であれば実現可能性有り</li> <li>・停電時の駆動可能</li> <li>・シリンダの形状により、導入コストが高くなる可能性大</li> <li>・駆動に用いた水は、風呂水等として再利用する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・昇降速度を半分にすれば実現性高い</li> <li>・曲線には対応難(電気式は製品有)</li> <li>・停電時の駆動可能</li> <li>・導入コストは比較的安い</li> <li>・駆動に用いた水は、風呂水等として再利用する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水槽容量により、必要流量、使用水量は変動(重りとの兼ね合い)</li> <li>・停電時の駆動可能</li> <li>・駆動に用いた水は、風呂水等として再利用する</li> </ul>

## 6. LCA的概念に基づく環境負荷低減効果の試算

### 6-1. 水有効利用モデルの構築

これまでの検討結果をもとに、水道水圧を有効に活用し、家屋内での多段階利用を達成した“アクアハウス”における水有効利用モデルの構築を試みた。軽量鉄骨造の戸建住宅を例として、アクアカーテン/ウインドウシステムを各部屋の窓に配置した場合の給水配管の取り回しについて、建築学的な観点から検討を行い、モデルハウスの見取図<sup>5)</sup>にその配置計画図を示した。本計画図から、給水配管における最大損失水頭を計算し、アクアシリンダ駆動に必要な最低水道本管圧力を算出した。なお、風呂水を洗濯用水、トイレ洗浄水としてそのまま、あるいは処理して再利用することを想定し、再利用水の配管、および処理装置の配置についても本計画図にその一例を示した。

作成したアクアハウスにおける水有効利用モデルの給水配管図を図22に示した。本給水配管図では、アクアシリンダへの給水配管を通常の家屋内給水配管と別系統として、それぞれについて損失水頭を算出した。損失水頭は、空気調和・衛生工学会の規格である「給排水衛生設備基準・同解説(SHASE-S206-2000)」に示されている「新給水負荷単位」の計算方法に則り計算を行った。

その結果、家屋内配管、およびアクアシリンダ用配管での損失水頭は、それぞれ0.11MPa、0.08MPaと見積もられた。これに、シリンダの駆動に必要な圧力が0.20MPaであると仮定すれば、アクアシリンダを駆動させるのに必要な最低水道本管圧力は、

$$0.08 \text{ MPa} + 0.20 \text{ MPa} = \underline{0.28 \text{ MPa}}$$

となる。

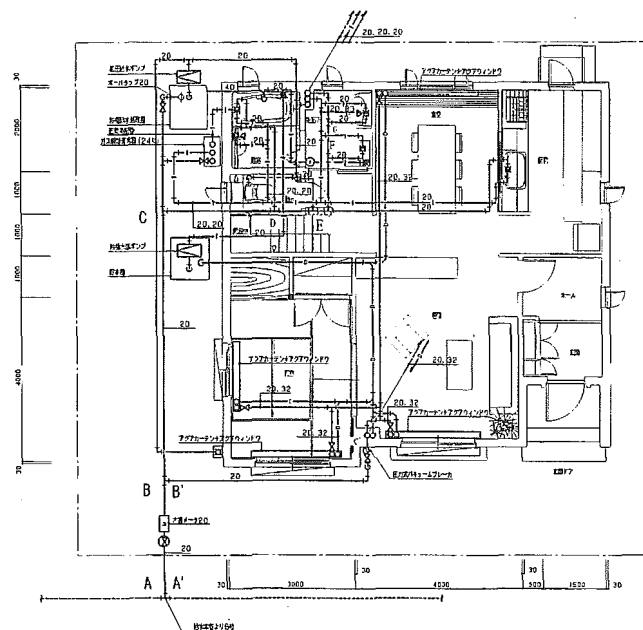
また、アクアシリンダ用の給水配管を持たない一

般家屋にアクアシリンダを適用する場合は、家屋内給水配管における損失水頭の計算結果から、

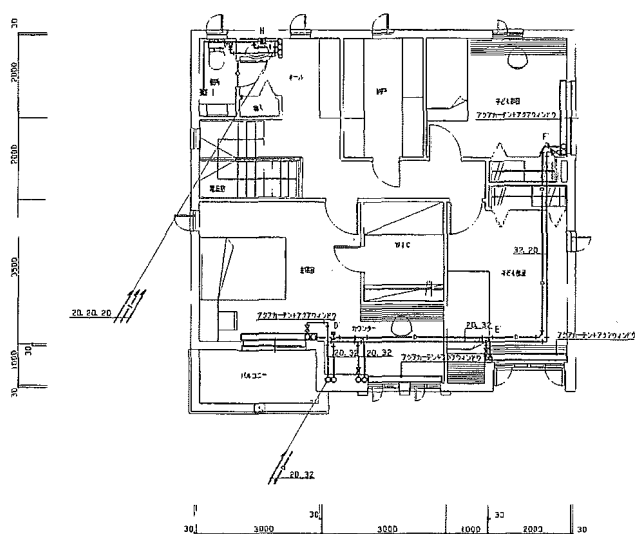
$$0.11 \text{ MPa} + 0.20 \text{ MPa} = \underline{0.31 \text{ MPa}}$$

の水道本管圧力が必要になると試算された。

以上、アクアハウスにおける水有効利用モデルの一例を構築し、給水配管での損失水頭を試算した結果、アクアシリンダの駆動に必要な給水本管圧力は0.3MPa程度であったことから、一般家屋へのアクアシリンダの普及は、比較的容易であることを確認することができた。ただし、配水管における最低水圧については、法律による規制が行われていないため、地域によっては0.3MPa程度の給水管圧力を得られない可能性もあることを認識しておく必要がある。



1階平面図



2階平面図

図22 アクアハウスにおける水有効利用モデルの給水配管図<sup>6)</sup>

6-2. 構築した水有効利用モデルの環境負荷低減効果の試算

6-1 で構築した水有効利用モデルをもとに、アクアハウスが普及した場合のエネルギー消費量、環境負荷低減効果等について、LCA 的な手法により数値化を試みた。本試算では、アクアウインドウにおける温水製造を付加した場合に、浴槽水の湯沸しで消費するエネルギー量を算出した。そして、一般家屋における浴槽水の湯沸しにおけるエネルギー消費量との比較から、CO<sub>2</sub>の排出削減量を試算した。

図22に示した給水配管図に示されているアクアウインドウの中で、南側に面した5箇所、および東側、西側に面した各1箇所の合計7箇所で、南側では1日に2回、東西では1回の温水製造を行うと仮定した。製造した温水は、地下に設置された保温性に優れた貯水槽に送水して一時的に貯水した後、浴槽へ送水することとし、一時貯水、および送水による水温の低下は無いものとした。ウインドウから一時貯水槽への送水は自然流下により行い、一時貯水槽から浴槽へは、ポンプを用いて送水するフローとした。風呂水の昇温は、ガス給湯器を用いて行い、使用燃料は都市ガスとした。これらを含め、その他のCO<sub>2</sub>排出量の算定条件は、表5に示した。

本算定条件によれば、アクアウインドウにより、35℃の温水を220L作ることができるため、一般家庭の浴槽水(150~200L)をまかなえることになる。したがって、アクアウインドウ温水(35℃、220L)をすべて浴槽水に用いると仮定した。そして、アクアウインドウを配したアクアハウス、ならびに同じ家屋でアクアウインドウを用いない場合(一般家屋)での風呂水を42℃まで昇温するのに必要なそれぞれのガス消費量から、CO<sub>2</sub>の排出量を算出した。なお、いずれの条件においても、浴槽に貯めた水を追い炊きにより昇温するものとし、浴槽からの放熱は生じないことを前提として、以下の通り試算を行った。

(アクアハウスにおける浴槽水昇温時のCO<sub>2</sub>排出量)

35℃・220L(220kg)の水を42℃まで7℃上昇させるのに必要な熱量は、

$$220 \times 10^3 \text{ (g)} \times 7 \text{ (}^\circ\text{C)} = 1,540 \text{ (kcal)}$$

となるが、ガス給湯器の熱効率が80%であるため、実際に必要な熱量は、

$$1,540 \text{ (kcal)} \div 0.8 \times 4.186 = 8.06 \text{ (MJ)}$$

となる。したがって、これに都市ガスのCO<sub>2</sub>排出係数を掛けると、CO<sub>2</sub>排出量は、

$$8.06 \text{ (MJ)} \times 0.0513 \text{ (kgCO}_2\text{/MJ)} = \underline{0.41 \text{ (kgCO}_2\text{)}}$$

となる。なお、昇温におけるガス消費量は、都市ガスの単位発熱量が

$$41.1 \text{ (MJ/Nm}^3\text{)} \div 4.186 = 9,818 \text{ (kcal/Nm}^3\text{)}$$

なので、

$$1,925 \text{ (kcal)} \div 9,818 \text{ (kcal/Nm}^3\text{)} = 0.196 \text{ (Nm}^3\text{)}$$

となり、浴槽水の昇温時間は、追い炊き時のガス消費量が 10,000 (kcal/h) なので、

$1,925 \text{ (kcal)} \div 10,000 \text{ (kcal/h)} \times 60 \text{ (分)} \approx 12 \text{ (分)}$   
となる。

(一般家屋における浴槽水昇温での CO<sub>2</sub> 排出量)  
18°C・220L (220kg) の水を 42°Cまで 24°C上昇させるのに必要な熱量は、

$$220 \times 10^3 \text{ (g)} \times 24 \text{ (}^\circ\text{C)} = 5,280 \text{ (kcal)}$$

となるが、ガス給湯器の熱効率が 80%であるため、実際に必要な熱量は、

$$5,280 \text{ (kcal)} \div 0.8 \times 4.186 = 27.63 \text{ (MJ)}$$

となる。したがって、これに都市ガスの CO<sub>2</sub> 排出係数を掛けると、CO<sub>2</sub> 排出量は、

$$27.63 \text{ (MJ)} \times 0.0513 \text{ (kgCO}_2\text{/MJ)} = \underline{1.42 \text{ (kgCO}_2\text{)}}$$

となる。なお、昇温におけるガス消費量は、

$$6,600 \text{ (kcal)} \div 9,818 \text{ (kcal/Nm}^3\text{)} = 0.672 \text{ (Nm}^3\text{)}$$

となり、浴槽水の昇温時間は、

$$6,600 \text{ (kcal)} \div 10,000 \text{ (kcal/h)} \times 60 \text{ (分)} \approx 40 \text{ (分)}$$

となる。

(アクアハウスによる CO<sub>2</sub> の排出削減量)

上記の計算結果より、アクアウインドウを採用した場合、同じ構造の家屋と比較して、1回あたりの浴槽水の湯沸しにおける CO<sub>2</sub> の排出量を

$$1.42 - 0.41 = \underline{1.01 \text{ kg}}$$

削減することができると見積もられた。仮に、1日に1

回、同じ条件で浴槽水を沸かすとすれば、年間の CO<sub>2</sub> 排出削減量は約 350kg となる。これは、一般家庭における年間の CO<sub>2</sub> 排出量<sup>8)</sup> が約 3,500 (kg-CO<sub>2</sub>/世帯/年、ガソリン消費による排出を除く) であることから、アクアウインドウによる温水製造により、一般家屋からの CO<sub>2</sub> 排出量を最大で約 10%削減できることになる。

なお、一時貯水槽から浴槽への送水に風呂水ポンプを用いることを想定しているが、表 5 に示した仕様のポンプを用いる場合、送水に必要な電力量を試算すると約 0.0092 (kWh)となる。よって、送水ポンプの電力消費による CO<sub>2</sub> 排出量は、0.0029 kg と試算できる。これは、アクアウインドウ採用による CO<sub>2</sub> 排出削減量と比較して3桁程度低い値であったことから、今回の CO<sub>2</sub> 排出削減量の試算には含めなかった。

以上の試算結果より、アクアウインドウによる温水製造機能を備えたアクアハウスの普及によって、風呂水の湯沸しに伴う CO<sub>2</sub> 排出量を1世帯あたり年間で約 10%削減できる可能性が示唆された。家屋の立地条件やアクアウインドウの貯水総量、季節、天気等により、温水製造の効率は変動するが、アクアハウスが目指した環境負荷低減効果については確認することができた。

表 5 CO<sub>2</sub> 排出量の算定条件

設定項目	設定条件
アクアウインドウ仕様	(1)1階居間(南側) : ①2000×900×2面 (2)1階和室 : ②(南側) 2000×900×2面 ③(西側) 1000×600×2面 (3)2階主寝室(南側) : ④(バルコニー側) 2000×750×2面 ⑤(カウンター側) 1000×700×2面 (4)2階子ども部屋 : ⑥(南側) 1000×700×1面 ⑦(東側) 1000×900×2面 *ペアガラス間隔(貯水部厚さ)は、いずれの窓も8mmとした
ウインドウ貯水量	①② 144(L/1面)×2(面)×2(組)=576(L) ③ 48(L/1面)×2(面)=96(L) ④ 120(L/1面)×2(面)=240(L) ⑤⑥ 56(L)+{56(L/1面)×2(面)}=168(L) ⑦ 72(L/1面)×2(面)=144(L)
貯水条件/温水製造量	・南側の窓では1日に2回、温水製造を行う(東西側は1回のみ) ・温水製造量=576(L)×2(回)+240(L)×2(回)+168(L)×2(回)+96(L)+144(L)≈220(L/日)
温水製造条件	秋季(10~11月)の晴天時、貯水温度(実測値平均) : 18°C → 35°C (17°C上昇)
送水方法	・アクアウインドウから一時貯水槽までは自然流下(送水、貯水に伴う温度低下無しと仮定) ・一時貯水槽から浴槽まではポンプにより送水(送水に伴う温度低下無しと仮定)
ガス給湯器仕様	・ガスふろ給湯器24号(YUMEX YRUF-V2405AW, INAX製、屋外設置・壁掛型) ・ガス消費量(追い炊き時) : 11.6kW (10,000kcal/h) ・ふろ部熱効率 : 80%
ガスの種類/単位発熱量 <sup>7)</sup>	都市ガス / 41.1(MJ/Nm <sup>3</sup> )
CO <sub>2</sub> 排出係数 <sup>7)</sup>	0.0513 (kgCO <sub>2</sub> /MJ)
送水ポンプ仕様	家庭用風呂水ポンプ (最高揚程 : 4.5m, 定格容量 : 40W, 揚水量 : 16L/分・揚程1mの時)
浴槽水温度	・アクアハウス : 35°C→42°Cに7°C昇温 (水量 : 220L) ・一般家屋 : 18°C→42°Cに24°C昇温 (水量 : 220L)

## D. 考察

本研究により、水道水圧等、水道が有する未利用エネルギーを有効に活用し、家屋内での多段階利用を達成すること、および、各段階における水質目標値を明確にすることで、安全で衛生的、且つ快適な家屋内水循環が形成できる可能性が示唆された。したがって、家屋スケールでの水循環(多段階利用)を達成し、水使用を合理化することで、水の有効利用や環境負荷低減が推進され、以下のような効果が期待される。

- (1) 水道原水の取水量抑制による河川環境への影響低減と、需要水量の日変動抑制による浄水場の安定運転
- (2) 家庭排水の削減による下水道への負荷低減や、水道水圧などの未利用エネルギー活用による電力エネルギー等の消費量減少にともなう環境負荷低減
- (3) 家屋内における再利用水の安全性の向上、および衛生面の確保

## E. 結論

未利用エネルギーである水道水圧の利用に着目し、水道水圧で駆動するシリンダシステムについて検討を行った結果、一般的な家屋の給水栓圧力(0.2MPa程度)で滑らかに駆動する水道水圧駆動シリンダ(アクアシリンダ)を試作することが出来た。また、温水製造、ならびにアクアシリンダで使用した水の貯水槽に利用する窓貯水システム(アクアウインドウ)に関しては、プロト機を用いた試験の結果、40℃程度の温水製造が可能であることを確認した。これら機器を備えたアクアハウスにおける水有効利用モデルの一例を構築し、LCA的手法を用いて、アクアハウスのCO<sub>2</sub>排出削減量を試算した。その結果、アクアウインドウにおける温水製造により、風呂水の湯沸しに伴うCO<sub>2</sub>排出量を削減できる可能性が示唆された。なお、アクアハウスにおける水の多段階利用においては、各使用段階における水質目標値は特に設ける必要は無く、水道水質基準を満たす残留塩素を含有する水道水を1段目で使用することで、比較的 안전한水の使いまわしが可能であることを確認した。以上より、家屋内での水有効利用と環境負荷低減に関する様々な知見を得ることができた。

## F. 健康危険情報

特に記載する事項無し。

## G. 研究発表

### 1. 論文発表

特に記載する事項無し。

## 2. 学会発表

1) 第55回全国水道研究発表会講演集、pp.86-87 (2004.6)

発表論文名：「水道水圧を利用した駆動シリンダの検討—家屋内での水有効利用と環境負荷低減に関する研究—」

著者氏名： 坂下大地、西村達也、藤原正弘、岸俊幸、紀谷文樹

2) 第56回全国水道研究発表会(2005.6.発表予定)

発表論文名：「家屋内での水有効利用と環境負荷低減に関する研究—水道水圧エネルギーの有効利用について」

著者氏名： 山本健司、藤原正弘、坂下大地、紀谷文樹

## H. 知的財産権の出願・登録情報

### 1. 特許取得

以下の発明について出願を行った。

1) 発明の名称：「建築物用採光窓及び建築物用採光窓を用いた水道水利用システム」

出願人：(株)荏原総合研究所

出願番号：2003-272554

2) 発明の名称：「水圧による被開閉物駆動装置及び水利用設備」

出願人：(株)荏原総合研究所

出願番号：2003-114910

### 2. 実用新案登録

特に記載する事項なし。

### 3. その他

特に記載する事項なし。

## (参考文献)

- 1) 厚生省通知、再利用水を原水とする雑用水道の水洗便所揚水の水質基準等の設定について、厚生省環計第46号(昭和56年4月)
- 2) 積水ハウス株式会社 木造住宅“SHAWOOD”モデル住宅見取図
- 3) 積水ハウス株式会社 ホームエレベーター“のり愛号”カタログ
- 4) 積水ハウス株式会社 ホームエレベーター“スイ〜とホーム”カタログ
- 5) 積水ハウス株式会社 軽量鉄骨住宅“We’s Dyne”モデル住宅見取図
- 6) 神奈川大学工学部・建築学科・紀谷研究室・2004年度卒業論文、「家屋内での水有効利用と環境負荷低減に関する研究」より抜粋
- 7) 住環境計画研究所、家庭用エネルギー統計年報2000年版
- 8) 環境省地球環境局、地球温暖化対策地域推進計画策定ガイドライン、参考資料(平成15年6月)