

Fig. 8 Electric conductivity censor

3.2 測定方法

研究室における通常の水道使用に伴う、流量、圧力、電気伝導度の変化を24時間以上連続でデータをパソコンのハードディスクに連続的に収納するものとし、後ほどデータの解析を行うものとした。

流量計、圧力計、電気伝導度センサーから出力されるデータは電圧である。A/Dコンバータはその出力電圧をデジタルデータに変換し、ハードディスクにExcelファイルで見ることができるCSV形式で保存していく。その出力電圧を下記に示す換算式に代入すると、流量、圧力、電気伝導度が求められる。なお、流量計が0ch、圧力計が1ch、電気伝導度センサーは2ch、3chがA/D変換器に接続されている。

4 水理学的異常検出の検討

4.1 水理学的異常現象検出の概要

管内の水の流れは、ベルヌーイの定理やダルシー・ワイズバッハの式によって、示されている。ダルシー・ワイズバッハの式は管内摩擦による損失や形状損失による損失水頭を求めるのに使われている。そのダルシー・ワイズバッハの式を変数部分と係数部分に分けた式に変換し、その係数部分を損失水頭係数 λ とにおいて、その係数を比較することで水理学的異常の検出が可能かどうかを検討した。

4.2 水理学的異常現象検出の原理

ベルヌーイの定理は式(4.1)に示すように速度水頭、圧力水頭、位置水頭の合計である全水頭 E はどの断面においても等しくなる。しかし、管の摩擦や形状によりエネルギーが損失される。その損失は式(4.2)のように示され、式(4.3)に変換することができる。式(4.3)では、摩擦損失係数 f 、形状損失係数 k 、管長 l 、管径 d 等の管固有の値を括り、係数部分と変数部分に分けて示している。式(4.4)は、その管固有の値を損失水頭係数 λ とし総損失水頭と流量の関係を示している。つまり、流量が変化しても損失水頭係数 λ は常に一定の値を示すことをあらわしている。

$$\frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\rho g} + z = E (= const) \quad (4.1)$$

$$h_f = f \frac{l}{d} \frac{v_1^2}{2g} + k_e \frac{v_2^2}{2g} + k_o \frac{v_3^2}{2g} \quad (4.2)$$

$$= \left(f \frac{l}{d} \frac{1}{2gA_1^2} + k_e \frac{1}{2gA_2^2} + k_o \frac{1}{2gA_3^2} \right) Q^2 \quad (4.3)$$

$$h_f = \lambda Q^2 \quad (4.4)$$

h_f : Total loss of head f : Friction loss factor k_e : Entrance loss head coefficient
 k_o : Exit loss coefficient l : Length of pipe d : Diameter of pipe v_n : Velocity of flow
 g : Gravity acceleration A_n : Cross section Q : Flow rate λ : Loss head coefficient

4.3 実験による検証

摩擦損失係数 λ は、管固有の値であるため理論的には変化せずに一定の値を示すはずである。そこで、蛇口の開け具合により流量を変化させ、損失水頭係数 λ をそれぞれ求めた。損失水頭係数 λ は、式(4.5)が示すように蛇口を閉じたときの圧力水頭を全水頭とし、式(4.6)が示すように蛇口を開けたときの速度水頭と全水頭の差から総損失水頭を求め、式(4.7)に示すように総損失水頭を流量の2乗で除すことによって求められる。

$$H = \frac{P}{\rho g} \quad (4.5)$$

H : Total head (但し, 蛇口を開けていない状態)

$$h_f = H - \frac{v}{2g} \quad (4.6)$$

$$\lambda = \frac{h_f}{Q^2} \quad (4.7)$$

実験は, 蛇口を開ける前に圧力水頭を測定し, その後測定したい流量を出すように蛇口を調整し, 水を流し続け流量が一定になってきたら, 水を1分間流し続け, 10Hzでサンプリングを行った。

式(4.7)によって損失水頭係数 λ を求め, その1分間の平均を求める。それをそのときの流量(1分間の平均流量)における損失水頭係数 λ とした。

また, そのときのレイノルズ数を求め層流, 乱流による影響があるのかどうかを検証した。レイノルズ数は, 式(4.8)により求め, その1分間の平均を求めた。それをそのときの損失水頭係数における λ レイノルズ数(1分間の平均レイノルズ数)とした。

$$R_e = \frac{dv}{\nu} \quad (4.8)$$

R_e : Reynolds number ν : kinematics viscosity

4.4 検証結果

Fig. 9にレイノルズ数と損失水頭係数 λ の関係を示し, Fig. 10に流量と損失水頭係数 λ の関係を示した。

Fig. 9からは, この実験では全て乱流域であったことが分かった。この実験での最小流量が乱流であることから, 水道は乱流であることが分かったため, 検討は全て乱流域で行うことにした。

Fig. 10からは, 流量が0.2 m³/hr以上のときは損失水頭係数 λ が17hr²/m⁵程度の一定値を示していることが分かる。また, 流量が0.3 m³/hr未満の場合は管内の圧力が一定にならないことと流量が安定しないことから損失水頭係数 λ が一定値を示さなかった。1日の流量変化の調査結果から水道の通常使用では流量が0.3~0.6 m³/hrであることが分かっており, この実験の結果より水道の通常使用の範囲であれば, 損失水頭係数 λ が一定値を示すことが分かった。

以上の結果から, 管内に異常が無い状態で損失水頭係数 λ を前もって求めておき, 生活などの一般的な水道の利用状態での損失水頭係数 λ をそれと比較することで, 管内の異常を検出することが可能となる。つまり, 管内に何らかの異常があった場合に損失水頭係数 λ が, 異常のない状態での損失水頭係数 λ より大きくずれる。

よって, 損失水頭係数 λ を監視することで, 管内での異常を検出の可能性が示唆された。

4. 5 まとめ

管内の水の流れは、ベルヌーイの定理やダルシー・ワイズバッハの式によって、示されている。ダルシー・ワイズバッハの式は管内摩擦による損失や形状損失による損失水頭を求めるのに使われている。そのダルシー・ワイズバッハの式を変数部分と係数部分に分けた式に変換し、その係数部分を損失水頭係数 λ とにおいて、その係数を比較することで水理的異常の検出が可能かどうかを検討した。

その結果、水道の通常使用の範囲であれば、損失水頭係数 λ が概ね一定値を示すことが分かった。それより、管内に異常が無い状態で損失水頭係数 λ を前もって求めておき、それと通常の水道の利用状態での損失水頭係数 λ を比較することで、管内の異常を検出することが可能になることが実験から示された。

5 水道の使用に伴う出力パターンの解析

5.1 水道の使用に伴う出力パターンの解析の概要

水道の使用に伴う圧力水頭、速度水頭、電気伝導度の変化がそれぞれパターン化されているかどうかを経時変化の測定によって確認を行う。また、損失水頭係数 λ が通常利用下ではどのような変化を示すかを検証した。そして、そのパターンの特性を用いて異常検出の可能性について検討を行った。

5.2 経時変化の測定

平成 15 年 11 月 14 日（金）から 17 日（月）の 4 日間と 12 月 18 日（木）から 26 日（金）の 9 日間に圧力水頭、速度水頭、電気伝導度の経時変化の測定を行った。測定期間中は、蛇口の使用に特に規制をかけず、通常の水道利用状態での経時変化を測定するように実施した。また、平日と休日の違いについても検証が行えるように休日をはさんだ。

5.3 経時変化の測定結果

平成 15 年 12 月 19 日（金）、21 日（日）に測定した圧力水頭、速度水頭、電気伝導度の 1 日の経時変化を Fig. 11 と Fig. 12 にそれぞれ示す。両日は、測定期間中の平日の変化と休日の変化の特徴をそれぞれ示している。

圧力水頭の変化についてみると、いずれの測定日においても、Fig. 13 の概念図に示すような 2 つの変動パターンの組み合わせとなっていることがわかる。1 つは、建物全体の水使用に起因すると考えられるもので、圧力水頭が徐々に低下し、その後上昇する現象が 1 日に数度程度繰り返されており、その頻度は休日では平日に比べて少なかった。これらの変動は、受水槽における水位が厳密に一定ではなく、ある程度の幅を上下しているためか、あるいは受水槽から蛇口までの間に複数階での水の供給があり、それによる圧力損失がこの現象を引き起こしたのではないかと推定された。

もう 1 種類の変動は蛇口の使用に起因するもので、圧力水頭が急激に減少し、直ちに元に戻るようなパターンである。これは蛇口が開かれたことによって管内に流速が生じ、管

内の摩擦に起因する損失水頭が上昇する代わりに圧力水頭が減少したためである。速度水頭は蛇口を全開にした状態（流量は約 0.9m³/hr）で 0.6m 程度を示すが、蛇口を開けたときの圧力水頭の低下の大きさに比べて無視できるほど小さくなっている。

また、流速の発生によって損失水頭係数 λ が求められるが、実験のときには一定値を示したものの、通常の水道利用では一定値を示さなかった。

Fig. 11 と Fig. 12 の電気伝導度の変化をみると、蛇口をひねったときにみられる圧力水頭のわずかな変動に連動する小刻みな変動と、Fig. 12 の 18:00 以降にみられる大きな変動の 2 種類があることがわかる。前者の小刻みな変動を細かく見ると、管内に流れが生じているときだけ低下し、流れがなくなると元に戻っていることから、水流に起因する電磁誘導が原因で電気伝導度センサーからの出力が変動したものと推定された。後者の大規模な変動は、瞬間的に通常時の 2 倍程度の値を示しており、また、管内の流れにも連動していなかったことから、何らかの水質異常が生じたためと推定されたが、その原因は不明である。

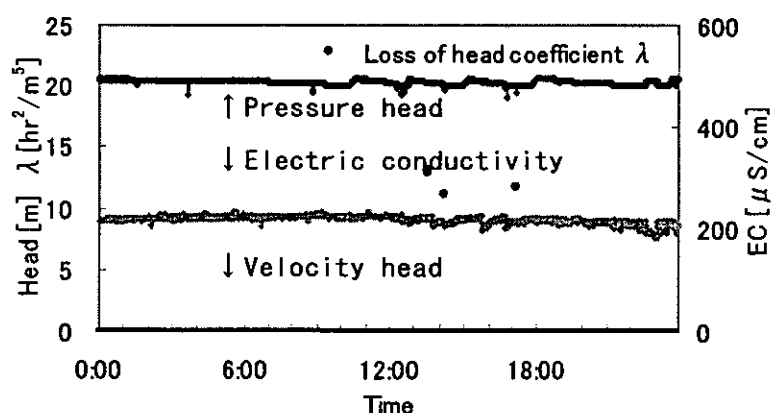


Fig. 11 Change of water head and EC (03.12.19 Fri)

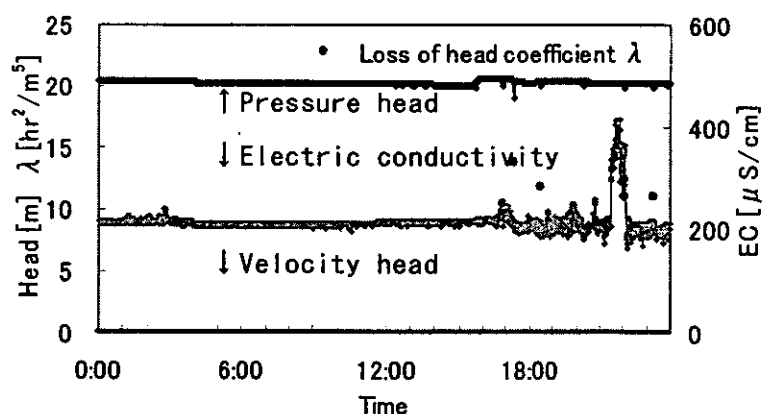


Fig. 12 Change of water head and EC (03.12.21 Sun)

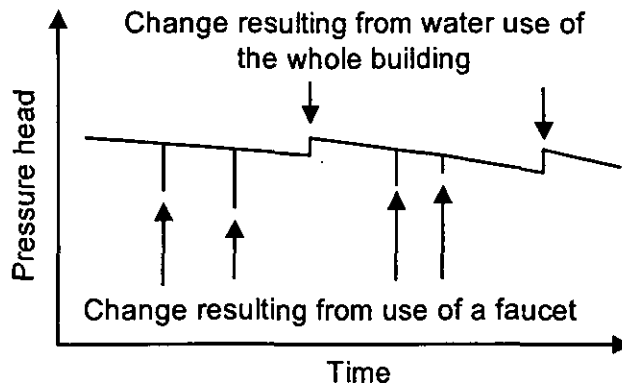


Fig.13 Conceptual figure of change of pressure head

5.4 圧力水頭の変動の原因について

Fig.11 及び Fig.12 に各水頭と電気伝導度の1日の経時変化を示したが、圧力水頭が段階的に変化していることがわかる。この変化はこの日に限った現象ではなく、平日にはよく見られており、その原因について考察を行った。

高置水槽の水面制御は、タンク内の水面が所定の低水面まで低下した時点で揚水ポンプを稼働させて給水し、そして所定の高水面に達したときポンプを停止させ給水を停止するという、ポンプを制御することによって行われている。Fig.14 が示すように水面が電極棒 E_2 の下端より低下した時点が、ポンプを稼働させるために設定した低水面となり、水面が電極棒 E_1 の下端に接触し始めるときがポンプを停止すべき設定の高水面となる。

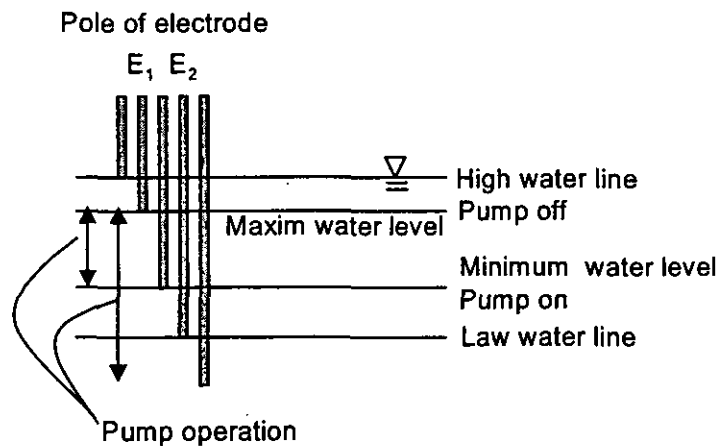


Fig.14 Float-less water surface control system

圧力水頭の変動幅は、大体 0.9m であることが分かっている。これに水槽の断面積 6.09 m^2 ($2.1\text{m} \times 2.9\text{m}$) を乗じると、一回の水面の上下動による建物全体の水の使用量は $5,481\text{L}$ と計算される。1回あたりのフラッシュ量を 20L とすると知られている。274回トイレの水を流すことになる。実験を行った建物内には男女あわせて30の便器があるが、便器1つあたり使用回数は約9回と計算された。平日には3~4時間ごとに圧力水頭の段階的変動があるが、計算結果によると3~4時間に1つの便器で9回水が流されたということになり、水

量の面からは、概ね妥当であることがわかった。

6 結論及び今後の課題

本研究では、蛇口の使用に伴う圧力水頭、速度水頭、電気伝導度の経時変化の測定を行い、そのデータをもとに、蛇口付近に設置した各センサーからの出力パターンの解析を行った結果、以下の結論を得た。

- 1) 圧力水頭の変動は、蛇口の使用に起因するものと、建物全体の水の使用に起因するものの2種類に分類できた。
- 2) 建物全体の水使用に起因する圧力水頭の変動には、屋上にある貯水タンクの水位が一定でないことと、貯水タンクから蛇口までの間にある途中階への水供給による圧力損失が考えられ、建物全体の水の使用量を推定できる可能性が示唆された。
- 3) 速度水頭の変動は圧力水頭の変動に比較するほど無視できることが分かった。
- 4) 電気伝導度の大幅な増加（通常時の2倍程度）が検出され、電気伝導度のモニタリングにより何らかの水質異常を検出できる可能性が示唆された。
- 5) エネルギー保存則を用い、圧力水頭、速度水頭のバランスをとることにより、貯水槽から蛇口までの摩擦損失に起因する損失水頭を計算し、管内の物理的な異常を検出する可能性が示された。

研究発表

- 1) 蘇武政文、長岡 裕：給水システムにおける異常現象の検出に関する基礎的研究、第31回土木学会関東支部技術研究発表会講演集、VII-58、(2004、3月)
- 2) 蘇武政文、長岡 裕：給水システムにおける異常現象の検出に関する基礎的研究、第55回全国水道研究発表会、(2004、6、17)(投稿中)

参考文献

- 1) 久保田 昌治：水の常識 水問題研究会編，史輝出版，pp111-117
- 2) 田中 實：わが国の水道水の実態と問題点 ECO INDUSTRY 9月号，pp36-46，2002
- 3) 空気調和・衛生工学会編：給水，オーム社，pp32-36，pp46-48，pp102-107，1999.7.20
- 4) 中井 多喜雄・木村 芳子：給排水・衛生設備のメンテナンス，学芸出版，pp20-49，1999.4.20
- 5) 中井 多喜雄・木村 芳子：給排水・衛生設備の技術，学芸出版，pp10-65，pp164-171，1993.9.20
- 6) 松浦 良平：現代無機化学講座 溶液の化学，技報堂，pp200-208，1971.4.10
- 10) 梶山 正登：新版物理学概論（下巻），日刊工業新聞社，pp37-46，1992.3.25
- 11) フォトサイエンス化学図録，数研出版，pp140-141，2000.4.1
- 12) 海部 富雄：理科年表 平成14年度版，丸善，pp516-517，2001.11.30
- 13) 志田 正二：化学辞典，森北出版，pp826-827，1981.3.9
- 14) 椎貝 博美：水理実験法，森北出版，pp56-64，1976.11.20
- 15) 藤嶋 昭：電気化学測定法（上），技報堂出版，pp37-42，1985.8.15
- 16) 鮫島 實三郎：物理化学実験法，裳華房，pp239-250，1984.6.5
- 17) 高橋 實：絵解きでわかる電気回路，オーム社，2001.2.20
- 18) 羽賀 三雄：過渡現象の考え方・解き方，東京電機大学出版局，pp38-56，1993.5.20
- 19) 玉虫 伶太 高橋 勝緒：エッセンシャル電気化学，東京化学同人，pp111-118
- 20) 玉虫 伶太：電気化学第2版：東京化学同人，pp59-65
- 21) 日本化学会編：実験化学講座9 電気・磁気，丸善，pp191-197
- 22) 見有 哲久：Visual Basic パーフェクトマスター6.0，秀和システム，2001.8.1
- 23) CONTEC <<http://www.contec.co.jp>>

II-1-6. 水質変換装置の給水システムへの影響と対策 ; 水質変換装置などの給水システムへの導入方法

分担研究者 森 一晃 国立保健医療科学院水道工学部室長

研究要旨

一般的に逆流防止装置として利用されている逆止弁について、現在の構造材質基準では負圧性能試験を実施しなくて良いことになっている。逆止弁については、負圧による逆流防止を想定しておらず、逆圧による逆流を止める能力のみが求められていると考えられる。本研究では、バキュームブレーカに対して行っている試験方法を改良し、3種類の逆止弁について、負圧性能試験を実施し、負圧に対する逆流防止機能等を評価・検討した。直結給水の拡大や汚濁物質を内部に含有している浄水器等が給水システムに組み込まれる事例が増加してきていることから、負圧逆流に対しても配慮する必要があると考えられる。

1 研究目的

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増えている。しかし、それに伴い直結されている給水装置から水質的に変化した水の配水本管への逆流といった危険性も大きくなり、配水本管に逆流した時には広域的な水質汚染が起きる事も考えられるため、適切な逆流防止の措置をとることが求められている。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ており、一部の商品については逆流事故も発生している中で、給水システムとして起こりうる危険性に適切に対応した逆流防止措置をとる必要があると考えられることから、特に負圧逆流に着目した実験を行い逆流防止装置の性能評価・検討を行う。

2 研究方法

一般的な逆流防止器である逆止弁を中心に、逆流防止器の適切な設置を含めた、効果的な逆流防止のあり方を考えるために、負圧性能試験を各逆流防止器に適用し性能評価・検討するものである。

実験方法

<実験概要> 逆流を防止するために、一般的には逆止弁を設けるが、現在の構造及び材質の基準上では、負圧に対しての逆止弁の有効性は想定されておらず、試験方法も無い状況である。そのため、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基にして、バキュームブレーカに対して行なっている試験を改良し、供試用具に-85kpaから

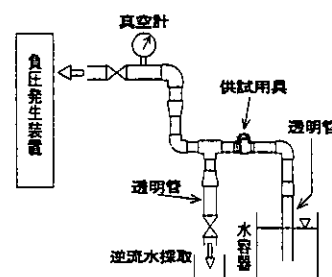


図-1 実験配管図(横配管)

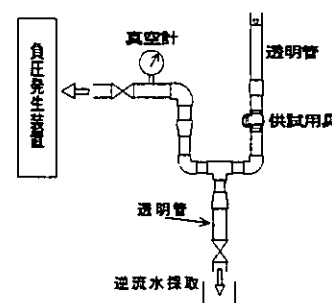


図-2 実験配管図(縦配管)

－5kpa までの段階的な負圧をかけ、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透明管の水位変化で確認することとした。また、逆流のあるものについては、透明管内の水位の変化と逆流水が弁体を超えたものは逆流量を計測することで逆流状況を判断した。なお、供試用具のスイング式、リフト式、ばね式逆止弁については市販されている新品を用いた。

<条件設定> 負圧の値は米国のバキュームブレーカ規格である「ASSE1001」より最大負圧として－85kpa、「給水装置の構造及び材質の基準」及び空気調和・衛生工学会規格「HASS211・215」より－54kpa、また微小な負圧が発生した状況を考え－30kpa、－5kpaとした。

<配管方法> 配管は、各逆止弁と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（図-1、図-2参照）、横配管については供試用具の下流側に目盛付透明管を配管し水容器に埋没させ、立ち上がり縦配管については供試用具上部に水を満たした目盛付透明管を配管した。

3 研究結果

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、逆流が生じたものもあった。また、スイング式逆止弁が一般的に用いられる立ち上がり縦配管においても、微量ではあるが逆流を生じるものがあった。スイング式逆止弁については、高負圧時の方が微小負圧時より、水位上昇が大きく逆流量も多い傾向が見られた。リフト式逆止弁に関しては、構造上立ち上がり縦配管での設置は不適なので、横配管のみの試験としたが、一部の製品においては水位上昇が見られた。また、高負圧時よりも微小負圧時の際に水位上昇が大きくなる傾向が見られた。ばね式逆止弁に関しては、横配管において逆流を生じる製品は少なかったが水位上昇を生じる製品があり、また縦配管においては微量ながら逆流を生じる製品があった。逆流するものは高負圧時より微小負圧時の際により逆流し、水位が変化する傾向が見られた。表-1から表-3は、実験開始

表-1 スイング式逆止弁逆流状況

メーカー	口径	横配管				縦配管			
		-85Kpa	-54Kpa	-30Kpa	-5Kpa	-85Kpa	-54Kpa	-30Kpa	-5Kpa
A社	φ15	C2	C1	B	A3	B3	B3	B3	B2
	φ20	A3	A3	A2	A2	B1	B1	B1	A
	φ25	B	B	B	A3	B3	B2	B1	A
B社	φ15	B	B	A3	A1	C	B2	B1	B1
C社	φ15	C2	C2	C2	C2	C	C	C	C
	φ20	B	A3	A3	A3	B1	B1	B1	B1
	φ25	C2	B	A3	A3	B1	B1	B1	A
C社	φ15	C2	C2	C1	C1	C	B2	B1	A
	φ20	A1	A1	A1	A1	B1	B1	B1	B1
	φ25	C2	C2	B	A3	B3	B2	B2	B1

表-2 ばね式逆止弁逆流状況

メーカー	口径	横配管				縦配管			
		-85Kpa	-54Kpa	-30Kpa	-5Kpa	-85Kpa	-54Kpa	-30Kpa	-5Kpa
B社	φ15	A3	B	B	A3	B2	B2	B1	B1
	φ20	A1	A1	A1	A2	A	A	A	A
	φ25	A1	A1	A1	A1	A	A	A	A
C社	φ15	A2	A2	A3	B	B1	B1	B1	B1
D社	φ15	A3	A3	A3	A3	B1	A	A	A
	φ20	A1	A1	A1	A1	A	A	A	A
E社	φ15	A1	A1	A1	A3	A	A	A	A
	φ20	A1	A1	A1	A1	A	A	A	A
	φ25	A1	A1	A1	A1	A	A	A	A
E社	φ15	A1	A1	A1	A1	A	A	A	A
	φ20	A1	A1	A1	A2	A	A	A	A
	φ25	A1	A1	A1	A1	A	A	A	A
F社	φ15	A1	A1	A1	A1	A	A	A	A
	φ20	A3	B	C1	C1	B1	B1	B2	B2
	φ25	A1	A1	A1	A1	A	A	A	A
G社	φ15	A1	A1	A1	A1	B1	A	A	A
	φ20	A1	A1	A1	A1	A	A	A	A
	φ25	A1	A1	A1	A1	A	A	A	A

表-3 リフト式逆止弁逆流状況

メーカー	口径	横配管			
		-85Kpa	-54Kpa	-30Kpa	-5Kpa
C社	φ15	A2	A1	A1	A1
D社	φ15	A1	A1	A1	A3
	φ20	A2	A2	A2	A3
E社	φ15	A1	A1	A1	A1
	φ20	A1	A1	A1	A1
	φ25	A1	A1	A1	A1

逆流状況の評価方法

横配管時	縦配管時
A1: 透明管内水位変化なし(逆流なし)	A: 逆流なし(透明管内水位変化なし)
A2: 透明管内水位変化あり(1～10mm未満)	B1: 逆流あり(水位変化1～10mm未満)
A3: 透明管内水位変化あり(10mm以上)	B2: 逆流あり(水位変化10～30mm未満)
B: 弁で止水(止水機能あり)	B3: 逆流あり(水位変化30mm以上)
C1: 弁からの逆流あり(透明管まで)	C: 弁一次側透明管に溜まる程度の逆流
C2: 弁一次側透明管に溜まる程度の逆流	

5 分後のデータである。評価は、横配管と縦配管を分けて考え、逆流防止が期待出来るものを横配管、縦配管ともに「A」とし、横配管において弁体で逆流が止まるもの、縦配管において微量ながら逆流するものを「B」とし、逆流防止が全く期待出来るものを「C」とする。

4 考察

実験の結果から、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。また、口径と逆流の相関性は認められなかった。リフト式逆止弁やばね式逆止弁では高負圧時には逆流しないが、微小負圧時に逆流するケースがまま見られ、微小負圧の影響が無視できないことが分かった。これは微小負圧時の際には、逆流防止のためのばねやコマが正常に機能せず、高負圧時よりも弁と弁体の密着性が悪くなり隙間が生じ、そこから漏れが発生し逆流するのではないかと考えられる。

5 結論

本研究の実験から得られた結論としては、負圧に対して逆止弁の多くは逆流の可能性があると考えられる。ばね式、リフト式逆止弁については微小負圧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や立ち上がり縦配管においても逆流が発生することがあり、これらの現象に対し十分な配慮を払う必要がある。現在、一般的な逆流防止器である逆止弁だが、現在の基準では逆止弁に対しては負圧性能試験を実施しなくてよいことになっており、負圧による逆流を防止する必要はなく、逆圧による逆流を止める能力のみが求められている。その観点からみると本試験においては、多くの逆止弁がその役割を果たしていると思われるが、直結給水の拡大や汚濁物質を内部に含有している浄水器等が給水系統に組み込まれる事例が増加してきていることから、負圧逆流に対しても配慮する必要があると考えられる。また、吐水口空間に匹敵する安全性を有する減圧式逆流防止器を使用すれば安全性は高まるが、費用や設置場所の面などで難しい場合には、タイプの違う逆止弁の組み合わせ等により逆流リスクを軽減できると考えられる。しかし、ばねやコマは経年劣化が見られることと、長期間の使用によってゴミ噛み等が発生した時は、逆流の危険性が高くなるために、適切なメンテナンスが必要となる。実際に施工されたものに関しては維持管理が難しいが、今後は給水システム全体として維持管理の枠組みを作り、適切な維持管理を行なうことが益々重要となってくると考えられる。

6 健康危険情報

特に記載する事項なし。

7 研究発表

- 1) 古賀誠一・森一晃・国包章一：浄水器等による水質汚染リスクに関する検討。第54回全国水道研究発表会（2003.3）、pp474～477
- 2) 中沢裕貴、森 一晃、国包章一：直結給水の拡大と逆流防止器の設置によるリスク軽減方策の評価・検討。第55回全国水道研究発表会（2004.6）（投稿中）

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 給水工事技術振興財団技術アドバイザー

委員

森一晃 国立保健医療科学院水道工学部施設工学室長

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

佐竹哲夫 東京都水道局給水部給水装置課長

石井則行 横浜市水道局営業部泉営業所長

氏家寛 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

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、濁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(通称“アクアハウス”)を構築することを目的として研究を行う。具体的な項目は、以下に記す。

- (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

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ている。3カ年計画の2年目に当たる本年度は、初年度の調査研究で着目した水道水圧を利用する家庭内利用機器について、プロト機を製作して実験的

な検討を行い、その実用性を確認した。

(研究委員会の構成)

別表 3

(倫理面への配慮)

本研究では、細かい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、平成14年度において、公表された文献・データ等を引用して調査を実施したため、個人の家庭に対し直接的な調査は実施しなかった。また、今後も実施する予定はないため、倫理面への配慮については、特に必要性はないと考えている。

C. 研究結果

1. 要素技術の検討

初年度(平成14年度)の研究において、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。これらの結果を元に、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、本年度は、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)、および、窓を利用した貯水システム(アクアウインドウ)の構築に的を絞り、装置を製作して実験的検証を行うこととした。

1-1. カーテン開閉システム(アクアカーテン)の検証

本研究で検討を実施するカーテン開閉システム(アクアカーテン)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。

本報では、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駆動シリンダの基礎データを取得した。

1-2. 貯水システム(アクアウインドウ)の検討

1 段目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、アクアカーテンとの連携化も比較的容易である。

さらに、アクアカーテンに用いた水道水圧駆動シリンダを転用することで、アクアウインドウ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。

2. シリンダ性能試験

カーテン開閉、および窓開閉に用いる水道水圧駆動シリンダの基本的な性能を把握するため、実験装置を製作して試験を行った。

2-1. 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、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ることとした。主な改良点は、シリンダ入口孔径の拡大で、これにより、シリンダにおけるトータルな圧力損失を減少させ、シリンダの最低駆動圧力を低く設定できると考えた。

製作した実験装置フローを図1に示した。シリンダの両端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タ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。また、シリンダ下部にはカーテンレールを取り付け、実際にカーテンを吊るした状態で開閉実験を行える構造とした。試験水には水道水を用いた。

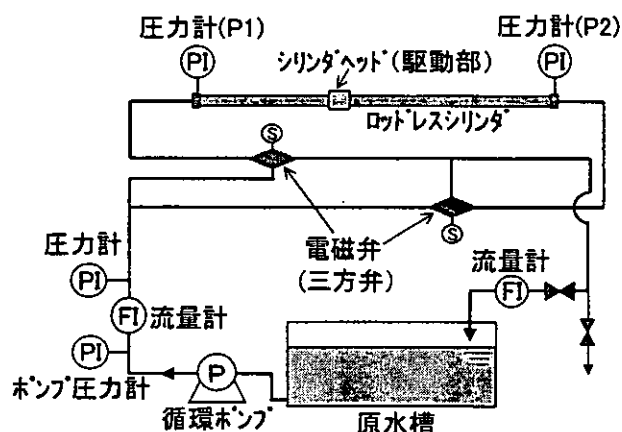


図-1 実験装置フロー

2-2. 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。この時、一般家屋における水道水圧を考慮し、

ポンプ設定圧力は0.15～0.55MPaの範囲とし、その圧力範囲で得られたシリンダ内流量(1.5～12L/min)で実験を行った。

2-3. シリンダ実験結果および考察

2-3-1. シリンダ入口径の影響

シリンダ入口圧力とシリンダ内流量の関係を比較すると、入口径が4mmの場合、同じ圧力での流量は、入口径が9mmの場合と比較して小さかった(図2)。この時、シリンダ内流量に対するシリンダ入口/出口圧力差を比較すると、4mm径では流量の増加とともに圧力差が直線的に大きくなったが、9mm径ではほぼ一定で推移することがわかった。これより、本実験で設定した流量範囲であれば、シリンダ入口径を配管径(8mm)よりも若干大きくすることで、シリンダ入口での圧力損失はほとんど生じないと考えられた。以上の結果より、これ以降の実験は、シリンダ入口径を9mmとして実施することとした。

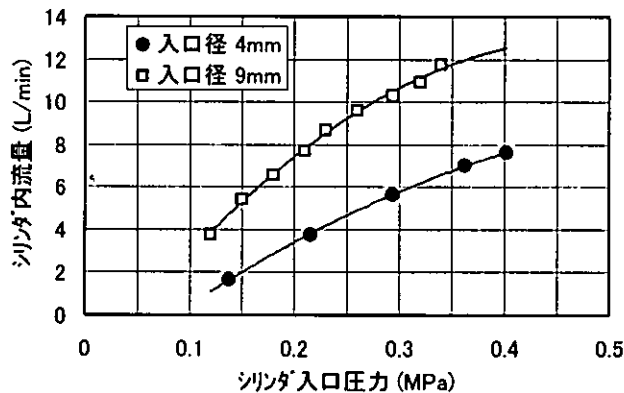


図-2 シリンダ入口圧力とシリンダ内流量の関係
—シリンダ入口径の影響—

2-3-2. ポンプ圧力がシリンダヘッド速度に与える影響

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。

一方、シリンダ入口/出口の圧力差とシリンダヘッド速度の関係を図示すると、ポンプ圧力が大きくなっても圧力差は0.11～0.12MPaの範囲でほぼ一定であったが、シリンダヘッド速度は直線的に増加していた(図3)。これより、本実験の圧力範囲であれば、シリンダ内での圧力損失はほとんど生じていないことがわかった。したがって、ポンプ圧力とシリンダヘッド速度の関係が直線的にならなかったのは、シリンダ

までの配管による圧力損失が大きいためであることが示唆された。このため、実装置化の際には、使用水量を考慮し、シリンダ入口の圧力損失低減とともに、シリンダまでの配管抵抗をいかに低くできるかが設計上の大きなポイントになることがわかった。

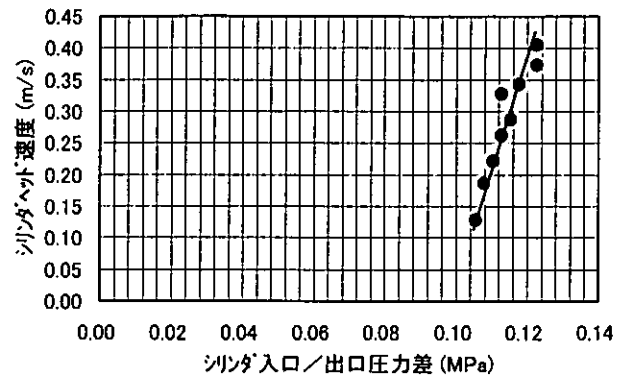


図-3 シリンダ内での圧力損失とシリンダヘッド速度の関係

2-3-3. ポンプ圧力がシリンダヘッド荷重に与える影響

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(4.91cm²)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、以下の計算式より、約0.1MPaであると試算された。

$$\text{シリンダ内での圧力損失(MPa)} = 50(\text{N}) / 4.91 \times 10^{-4}(\text{m}^2) \times 10^{-6} \approx \underline{0.1\text{MPa}}$$

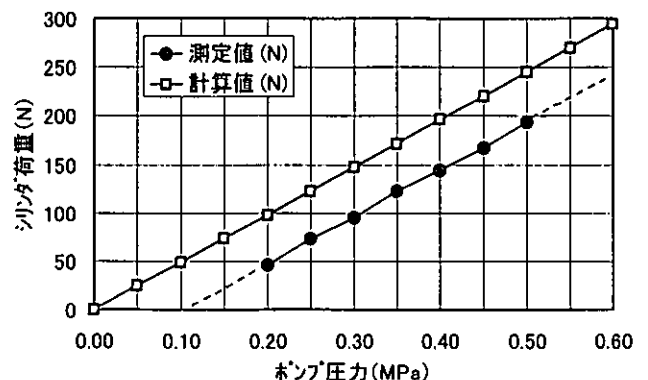


図-4 ポンプ圧力とシリンダ荷重の関係

したがって、本実験に用いたシリンダを駆動させるためには、少なくとも0.1MPa以上の水圧が必要であることがわかった。

2-3-4. 水道水圧によるシリンダの駆動確認

ポンプを用いた試験では、ポンプ圧力が常に一定に保たれているため、データの再現性を確保できる。しかし、実際の水道水圧は、水の使用量による増減、地域差などがあることから、必ずしもシリンダ駆動に必要な水圧が得られるとは限らない。そこで、確認のために、実際の水道水圧を用いてシリンダの駆動確認を行った。データの比較には、シリンダの性能劣化の影響を避けるため、本実験実施時とシリンダの駆動回数がほぼ同じ時に行ったポンプ試験の結果を用いた。

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ないことがわかった(表1)。但し、供給水圧に対するシリンダ入口圧力は、ポンプ試験の場合よりも水道水圧試験での減少割合は大きかった。これは、水道水圧試験時の配管長が約5mであったのに対して、ポンプ試験では2m程度であったことから、シリンダまでの配管による圧力損失の違いが数字として現れたと推察された。

以上の結果より、0.2MPa程度の水道水圧が得られれば、内径25mmのシリンダの場合、現状の構造でも駆動は可能であることがわかった。なお、本試験の結果からも明らかなように、配管内での圧力損失は、配管の長さ按比例して大きくなるため、家屋内にシリンダを設置する際には、給水栓からシリンダまでの配管の長さ、太さ等を十分に考慮する必要がある。

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

2-3-5. シリンダの耐久性の確認

シリンダの耐久性について確認した。往復動を1回として、様々な条件下で実験を行った同一シリンダの3,000回、および5,000回駆動後のシリンダ入

口圧力とシリンダヘッド速度の関係について図示すると、5,000回駆動後では、3,000回駆動後と比較して、同一圧力でのシリンダヘッド速度が遅くなっていることがわかった(図5)。ただし、ポンプ圧力が高くなるほどその差は小さくなり、0.55MPaではほぼ同じシリンダヘッド速度であった。これは、ガス駆動用のシリンダを転用したことで、1)シリンダ内部に塗布されているグリースが溶出したこと、2)シリンダヘッドのパッキンの磨耗といった理由により、シリンダヘッドの最低駆動圧力が徐々に大きくなったためであると推察された。

以上より、一定条件での繰り返し試験から得られた結果でないため確実なことは言えないが、数千回程度の駆動であれば、シリンダ性能の低下をほとんど生じることなく、ガス圧駆動シリンダを水圧駆動用に転用することが可能であると判断された。

なお、アクアハウスにおいては、シリンダ通過後の水を風呂水として再利用することを想定しているため、駆動性を向上させる目的でシリンダ内面に用いるグリース等は、水質を低下させる恐れが強く、その使用は困難であると考えられる。このため、シリンダを通過する水を潤滑剤としてとらえ、水が介在することで滑らかに駆動するシリンダを開発し、再度、その駆動性について確認する必要がある。

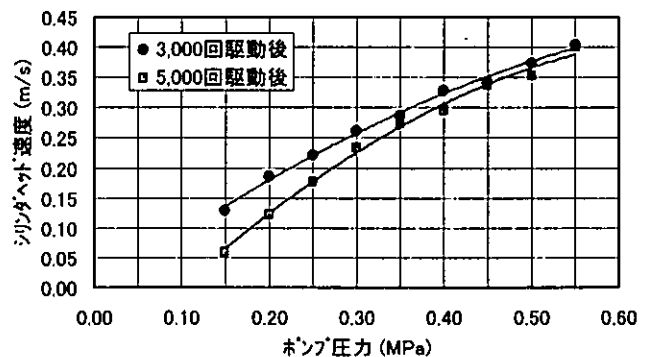


図-5 シリンダの駆動回数がシリンダヘッド速度に与える影響

2-4. 水道水圧駆動シリンダの仕様

上述の実験結果より、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。ここで、シリンダヘッド速度については、カーテン駆動用として想定した場合、実用の際、実験者が“感覚的に”快適であろうと判断した数値である。用途によっては、もっと遅い速度に設定した方が適している場合もあるため、あくまでも目安であることを付け加えておく。今後、さらに実験データを収集することにより若干の仕様変更は考えられるが、基本的な性能としては、表2にまとめた値を満たしておく必要があると考えられる。

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)

2-5. 水道水圧駆動シリンダの構造について

本実験に使用後、駆動性に不良が生じたシリンダを分解し、その構造を確認した。その結果、シリンダヘッド内面には、シリンダチューブ表面との抵抗を下げるためか、黒色の特殊なグリースが塗布されていた。また、シリンダヘッド、内部移動子のそれぞれに強力なマグネットが4個ずつ取り付けられており、内部移動子は、これら磁石をピストンで挟み込み、ピストンパッキン(リング)でシールするという単純な構造であった。さらに、内部移動子がシリンダチューブ内をスムーズに移動できるよう、シリンダ内面、内部移動子の両方に多量のグリースが塗布されていた。このため、本シリンダ内に水を入れて駆動させたことで、内部移動子とシリンダチューブ内面に水が入り込み潤滑性が低下したこと、あるいは、グリースの一部が流出したことなどの理由により、駆動回数の増加とともにシリンダの性能が低下したと考えられた。ところで、目視によれば、ピストンパッキンの劣化はほとんど生じていなかったが、これは、パッキン表面がグリースで保護されていたためであると推察された。

以上より、水道水圧駆動専用のシリンダ構造として、基本構造はガス圧駆動のものを踏襲し、内部移動子は、水が介在することによって滑らかに移動できるパッキン、およびシリンダ内面の材質を選定する必要がある。その際、シリンダ内面で水と接触する部材については、塩素を含んだ水道水が常に存在することを考慮し、市販の給水装置、給水用具に汎用されている、耐塩素性に優れた材質の中から選定することが望ましいと思われる。

なお、前述の材質選定を含め、水道水圧駆動専用のシリンダの詳細設計については、専門メーカーを交えての技術的検討が必要となるため、本年度は実施することが出来なかった。本件については、今後の検討課題とした。

2-6. 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し、小便器の洗浄を自動的に行い、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。

2-6-1. 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。

2-6-2. 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6)。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いことがわかった。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。