

3. 2 圧力センサー

圧力センサーには長野計器（株）の GC61 デジタル圧力計を用いた。このデジタル圧力計は信頼性の高い蒸着形半導体圧力センサーを内蔵しており、各産業機械・設備における油圧・水圧ライン等の監視・制御用として使用できる。また、デジタル表示の伝送器+スイッチをコンパクトに一体化しており、ループチェック、スケーリング機能などを搭載している。その仕様を以下に示す。

仕 様			
・ 圧力レンジ (最大圧力表示)	0～0.5Mpa (0.500)	0～ 5Mpa (5.00)	0～ 50Mpa (50.0)
	0～ 1Mpa (1.000)	0～10Mpa (10.00)	-0.1～0.5Mpa (0.500)
	0～ 2Mpa (2.000)	0～20Mpa (20.00)	-0.1～ 1Mpa (1.000)
	0～3.5Mpa (3.50)	0～35Mpa (35.0)	-0.1～ 2Mpa (2.000)
・ 表示範囲	圧力レンジの-10～110%F. S. または表示値-1999～6000		
・ 許容最大圧力	圧力レンジの 2 倍 (35Mpa 以上は 1.5 倍)		
・ 出力	コンパレータ出力 NPN オープンコレクタ 2 出力 応答性 : 5ms 以下 出力容量 : 30VDC 80mA max 切断差 : ヒステリシス : 可変 ウィンドコンパレータ : 1%F. S. 固定 デイレー : 0～2.00 s (ON, OFF 共)		

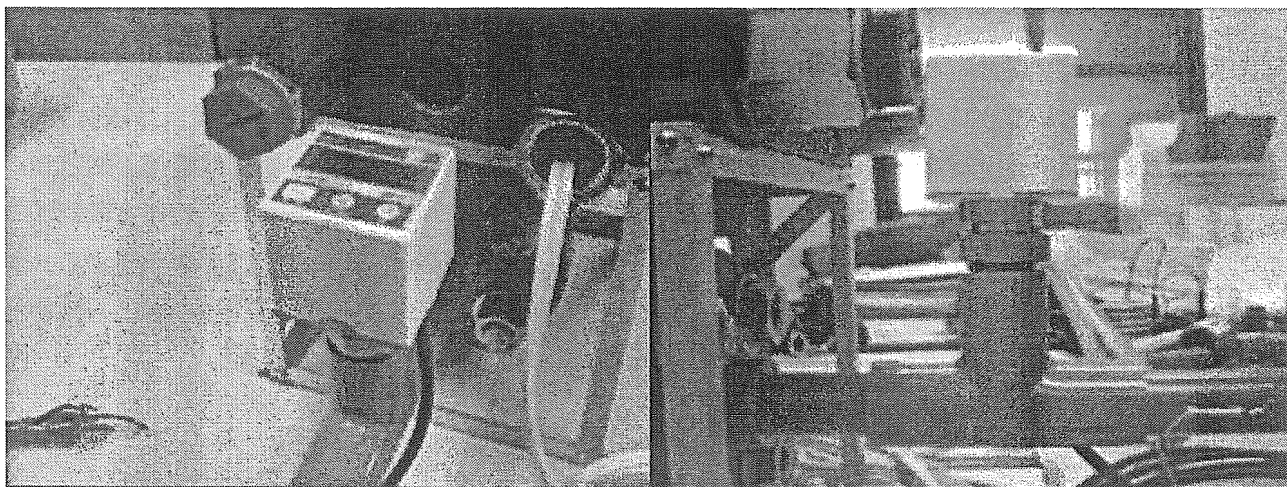


図 3.2.1 デジタル圧力計とT字コネクタ

図 3.2.2 デジタル圧力計の全景

3. 3 電気伝導度センサー

電気伝導度センサーは、電磁流量計およびデジタル圧力計とともに用い水道水の電導度の変化を見るものである。このセンサーは、今回の実験で用いる内径 13mm の塩ビ管に対応させるために自作とした。

3. 3. 1 電気伝導度センサーの原理

電気伝導度 (electric conductivity) は、電気の流れやすさを示すものであり、イオンによる電荷輸送の大きさを比較するための量として用いられる。電気伝導度は、溶液に浸かっている電極間を電気抵抗と

して考える。それに電気を流したとき、その区間の電気抵抗が求まることによって式 3.3.1 から電導度が求まる。

$$k = \frac{1}{R_x} \frac{l}{A} \quad (\text{式 3.3.1})$$

(但し k : 電導度 R_x : 溶液の抵抗 l : 電極間の溶液柱の長さ A : 溶液柱の断面積 とする)

また、電気伝導度は断面積 1 cm^2 、距離 1 cm に相対する電極間にある溶液の 25°C に於けるものをいい、単位は S/cm を用い水道水の測定では $\mu \text{ S/cm}$ を用いる。

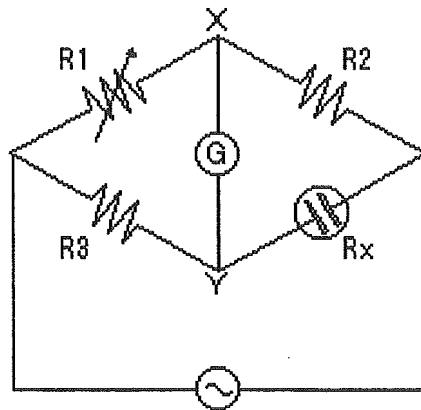


図 3.3.1 ホーイストンブリッジ

以上を実験によって求めるには図 3.3.1 に示すホーイストン・ブリッジを用いる。ホーイストン・ブリッジを用いることによって未知抵抗値がより正確に測れることが知られている。電源は交流にする。

ホーイストン・ブリッジは図 3.3.1 に示すように可変抵抗 R_1 を調整して X, Y 間に電気が流れないようにして未知抵抗 R_x を求める。求めるためには X, Y 間に電気が流れているかいないかを確認するために X, Y 間に検流計 G または電圧計をはさみ、それぞれの針が動かなくなることを確認する。また、ホーイストン・ブリッジは向かい合う抵抗の積が互いに等しくなるという性質を持っているので、これから式 3.3.3 のように示され、既知抵抗の R_1, R_2, R_3 から未知抵抗 R_x が求まる。

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} R_3 \quad (\text{式 3.3.2})$$

未知抵抗 R_x が求めれば、式 3.3.1 にそれを代入することで電気伝導度 k が求まる。これを式に示すと式 3.3.4 になる。

$$k = \frac{R_1}{R_2 R_3} \frac{l}{A} \quad (\text{式 3.3.3})$$

3.3.2 電気伝導度センサーの回路

可変抵抗 R_1 の部分を不可変抵抗に変え、 X, Y 間の電位差から逆算して未知抵抗 R_x を求めるものとした。

まず、既知抵抗 R_1, R_3 を流れる電流 I_1, I_3 を求める。 I_1, I_3 はそれぞれオームの法則から式 3.3.10、式 3.3.11 のように求められる。

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + R_2} \quad (\text{式 3.3.10})$$

$$I_3 = \frac{E}{R_3 + R_x} \quad (\text{式 3.3.11})$$

式 3.3.10 および式 3.3.11 より X 、 Y でのそれぞれの電位 V_x 、 V_y を求めると次のようになる。

$$V_x = R_1 \frac{E}{R_1 + R_2} \quad (\text{式 3.3.12})$$

$$V_y = R_3 \frac{E}{R_3 + R_x} \quad (\text{式 3.3.13})$$

式 3.3.12 と式 3.3.13 より $X Y$ 間の電位差 V を求める。

$$V = V_x - V_y = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_x} \right) E \quad (\text{式 3.3.14})$$

式 3.3.14 を整理すると未知抵抗 R_x が求まり、その結果を式 3.3.1 に代入することで電気伝導度 k が求められる。

$$R_x = \frac{ER_3(R_1 + R_2)}{(R_1 + R_2)V + ER_1} - R_3 \quad (\text{式 3.3.15})$$

$$k = \left(\frac{ER_3(R_1 + R_2)}{(R_1 + R_2)V + ER_1} - R_3 \right)^{-1} \frac{l}{A} \quad (\text{式 3.3.16})$$

以上より電気伝導度 k が求められた。この回路では、 $X Y$ 間に電位差が生じているため $X Y$ 間に電気が流れ純粋な $X Y$ 間の電位差が測定できないかと考えられるが、この回路に使われている抵抗値 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_x が、 $X Y$ 間の内部抵抗より小さく抑えることで $X Y$ 間に電気が流れなくなり、正確な $X Y$ 間の電位差が測定できる。

3. 3. 3 電気伝導度センサー接液部

電気伝導度センサーの接液部は内径 13mm の塩ビ管の内側に金属の極板 2 枚を貼り付ける構造とした。その際の、極板の面積を決めるとともに極板の塩ビ管に貼り付ける方法を検討した。

幅 1mm 長さ 7mm のステンレス板を極板に用いるステンレス板とともに切り取り、両端部を直角に折り曲げ、最両端部に糸をセロテープでつけ塩ビ管に開けた直径 2.0mm の穴からその糸を引っ張った。引っ張る際に、極板部分の接着する部分にエポキシ樹脂を塗り塩ビ管に接着するようにした。これにより、極板は塩ビ管にしっかりと接着され、穴から出ているステンレス板を折り曲げることによって仮に管内で極板が外れても流されなくなり、またその折り曲げた部分に導線をはんだ付けすることで極板の意味をなすものとなった。

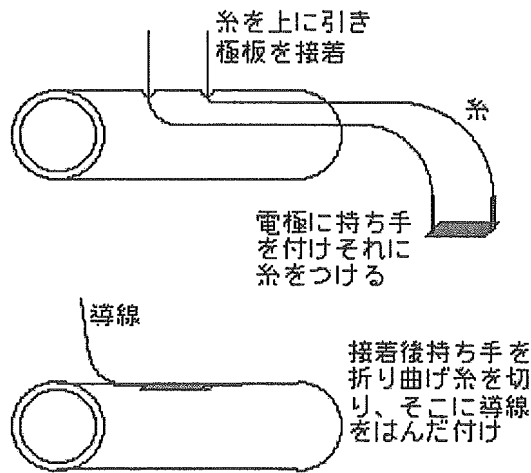


図 3.3.1 伝導度センサーの設置方法

3.3.4 電気伝導度センサーの設計

回路の設計を行ったが、これを詳細に決めていく。この回路に用いる抵抗器は、一般に抵抗値の精度が要求される場合に用いられ、信頼性が高く雑音が少ないとされている酸化金属皮膜抵抗器を用いることにした。そして、極板に使うステンレス板を加工のしやすい厚さ 0.1mm のものを使うため極板間の距離が 1.28 cm となり、それを基に各抵抗器の抵抗値を決めていく。また、水道水の電気伝導度は一般に $200 \mu\text{S}/\text{cm}$ 程度とされていることを考慮に入れた。

$$R_1 = 1.0\text{k}\Omega \quad R_2 = 10.0\text{k}\Omega \quad R_3 = 5.1\text{k}\Omega$$

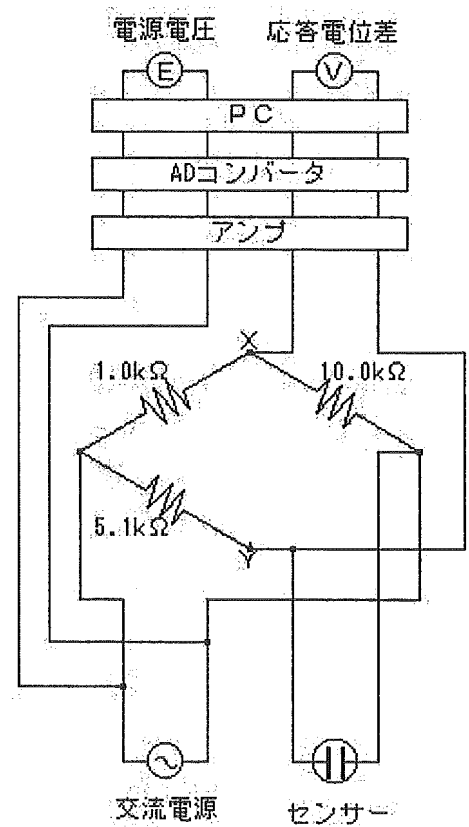


図 3.3.4.2 電気伝導度センサー回路

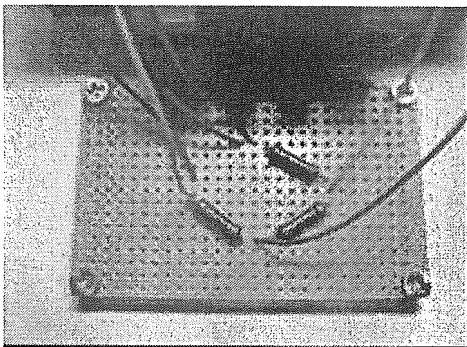


図 3.3.4.1 電気伝導度センサー回路

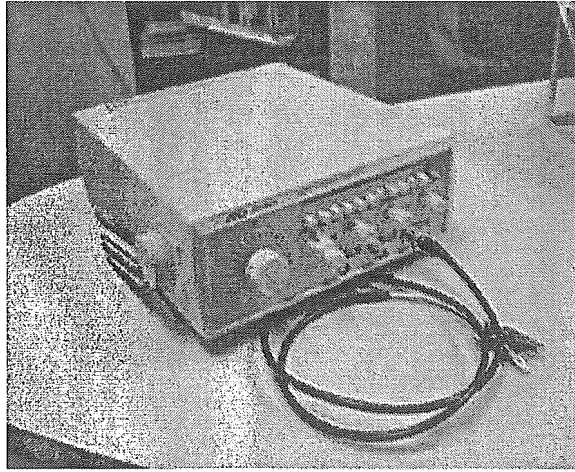


図 3.3.4.3 交流発信機図

3. 4 実験装置の全体構成

3. 4. 1 実験装置の設置場所

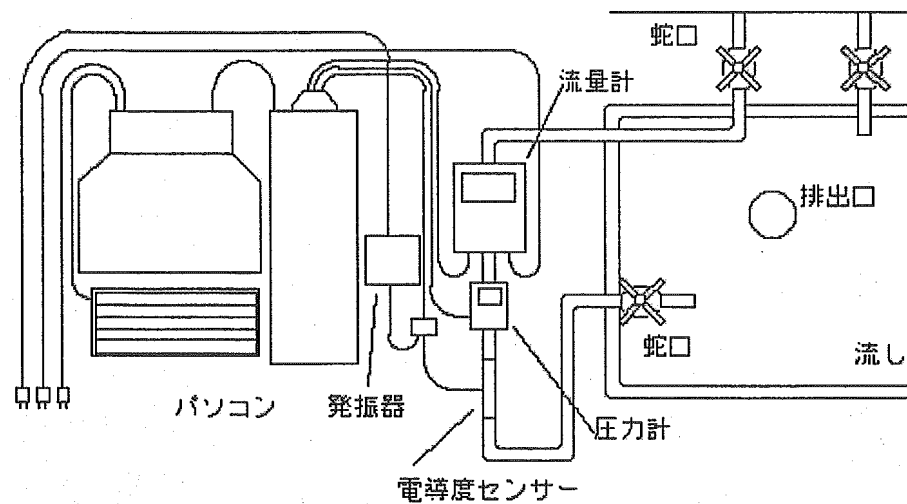


図 3. 4. 1 実験装置の全体図

<蛇口>

実験装置は図 3. 4. 1 に示すように配置する。使用する蛇口は武蔵工業大学水圏環境工学研究室内にあるものを使う。そこには、3 つの蛇口があり、そのうちのひとつを実験用に用いることにする。現状の蛇口では流量計につながる塩ビ管との接続が困難なため、現在下を向いている蛇口を横に向けられる蛇口に換える。こうすることによって、塩ビ管との接続が滑らかになる。蛇口と塩ビ管の接続方法は、現在ホースを用いる案とフレキシブルに動く水道管を用いる案とがあり、それぞれ一長一短あって、ホースの場合安価に収められるが水圧に耐えられるかが疑問であり、フレキシブル水道管は高価であるが塩ビ管との接続部をネジで締めるので水圧には耐えることができると考えられる。

<配管>

配管の仕方は流下方向順述べると蛇口を出た水道水は流量計、圧力計、電導度センサーの順に通り最後に設置した蛇口から出るといったものである。蛇口から流量計に達するまでの配管は、蛇口にホースかフレキシブル水道管を設置し塩ビ管に接続する。接続したあとは塩ビ管用 135° コネクタでつなぎ、流量計の直前では直角コネクタで流量計のほうに流すようにする。流量計と圧力計の接続は、圧力計の

設置の仕方がT字コネクタであるため、そのまま流れることになる。圧力計から電



図 3.4.2 設置のイメージ

導度センサーも同様にそのまま流れる。電導度センサーより先は、直角コネクタを2つ使いヘアピンカーブをする。これは、流しに水を流すために行う処置である。ヘアピンカーブをした塩ビ管は直角コネクタで右に傾斜しながら上がっていき、135°コネクタでつながり水平になったところで蛇口を設置する。以上が配管の仕方であった。

<配線>

流量計、圧力計、電導率センサーの各測定器はアンプ、ADコンバータを通してパソコンにてデータを処理する。そのため、パソコンを各測定器のそばに設置することにする。電導率センサーの場合は発振器が必要なため、これもまた近くに設置する。

3. 4. 2 データ取得方法

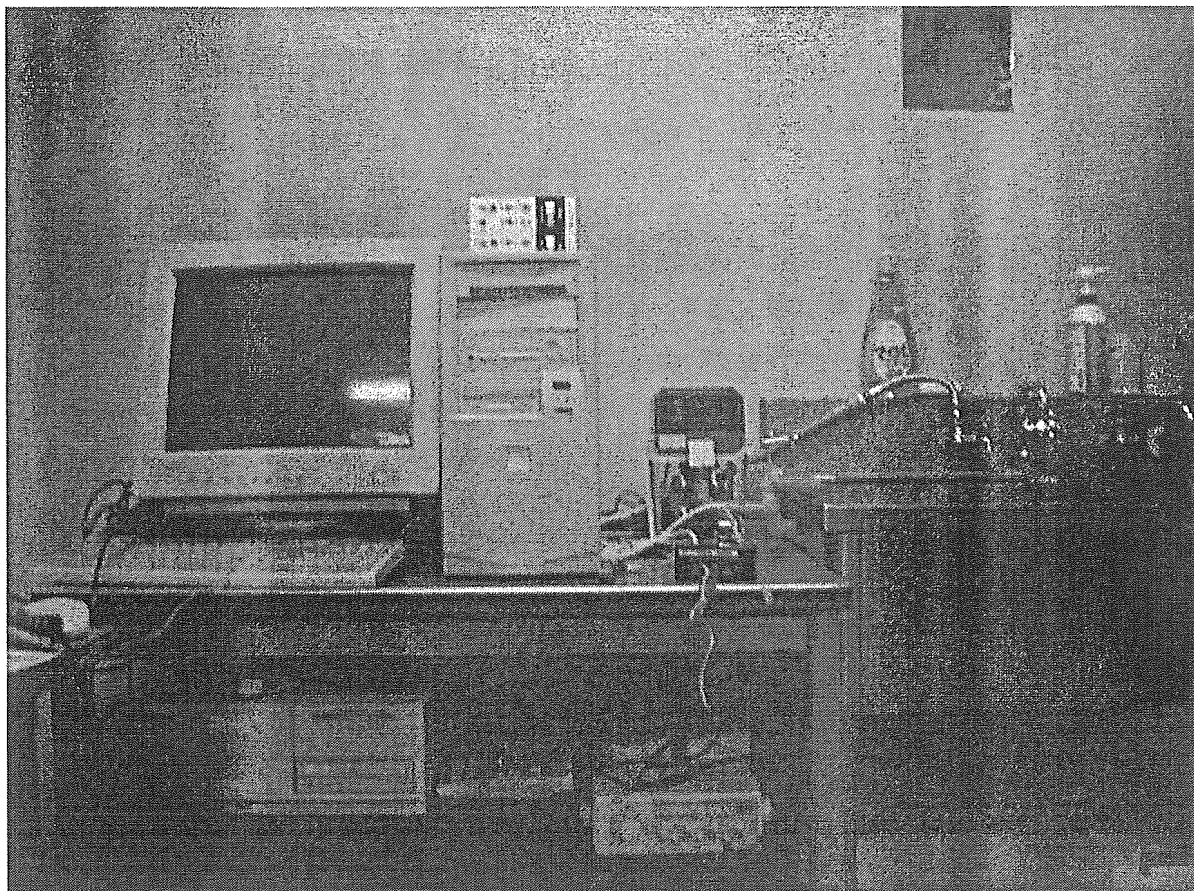


図 3.4.3 実験装置の全体図

実験装置の全体図を図 3.4.3 に示す。実験装置は通常の水口に設置されているため、研究室における通常の水道使用に伴う、圧力、流量、電気伝導度の変化を 24 時間以上連続で取得するものとする。データは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する。

1. はじめに

近年、建築物の高層化・多様化等に伴い、浄水器、活水器等の設置等給水システムの高度化の動きが活発化してきている。しかし、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、直結する水道配水管系統への影響が懸念される。

このため、水道の給配水システムの安全性の確保や直結給水を進めていく上での障害とならないための対応方策等の検討を行う必要がある。

そこで、本年度は、浄水器について、負圧による逆流が発生した場合に着目し、給水システムに与える影響を検討するため、基礎的実験を実施した。

2. 浄水器に関する実験

実験は、表-1 に挙げる 2 種の浄水器を用い、浄水器 A を用いた実験を実験 1、浄水器 B を用いた実験を実験 2 とした。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-2 参照) で得られる逆流水の水質試験を行った。

表-1 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

[実験手順]

実験 1. 浄水器 A を用いた実験 (図-1 参照)

所定の通水量 (50%、100%) に達した直後のろ過水及び水道水を採水し、下記に挙げる測定項目について試験を行った。その後通水を停止し、17 時間の滞留を開始した。17 時間後、以下に挙げる 2 種の採水方法にて逆流水を採水し、これらについても同様の試験を行った。

採水方法

- a. 図-1 に示す状態で負圧発生装置を用い、-54kPa の負圧を発生させ逆流水を得る方法。(試料名：逆流水 a)
- b. カートリッジからの逆流水が、配管部の水によって希釈されないように、吸引機を用いて直接カートリッジ内部からの逆流水を得る方法。(試料名：逆流水 b)

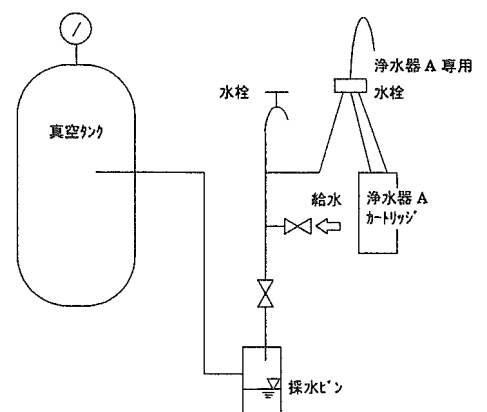


図-1 実験 1 配管略図

実験 2. 浄水器 B を用いた実験 (図-2 参照)

所定の通水量 (10%) に達した直後のろ過水及び水道水を採水し、下記に挙げる測定項目について試験を行った。その後通水を停止し、17 時間及び 65 時間の滞留を開始した。滞留終了後、それぞれについて負圧発生装置を用いて -54kPa の負圧を発生させ逆流水を採水し、試験を行った。

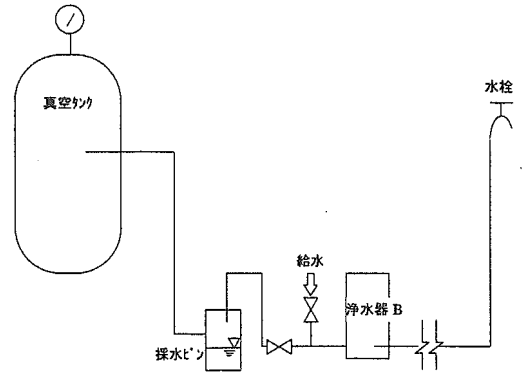


図-2 実験 2 配管略図

〔測定項目〕

- ①一般細菌数 (標準寒天培地法) ②TOC (燃焼酸化法) ③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

表-2 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 ^{※-1}	ろ過能力の 50%、100%	ろ過能力の 10%
滞留時間 ^{※-2}	17 時間	17 時間、65 時間
内蔵逆止弁の状態 ^{※-3}	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	
洗管処理等	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	

※-1 通水量による逆流水の水質の差異を検討するため、浄水器 A は、ろ過能力の 50%、100%分を通水した 2 種類を準備した。一方、浄水器 B は実験期間の都合上、ろ過能力の 10%分を通水したもののみ準備した。

※-2 17 時間滞留は、昼間 7~8 時間浄水器を使用後、翌日の使用まで滞留することを想定した。65 時間滞留は、土曜~日曜日に使用されない場合等連続して 3 日間滞留することを想定した。

※-3 2 種の浄水器について、事前に逆流防止性能を本実験の負圧条件 (-54kPa) で確認したところ、浄水器 B では逆流が発生したが、浄水器 A では発生しなかった。意図的に逆流を発生させるため、浄水器 A の逆止弁に、ゴミ噛みを想定し、針金を噛み込ませ、逆流が起こりうる状態に調整した。

3. 実験結果

実験 1. 浄水器 A を用いた実験

水質試験結果を表-3 に示す。残留塩素については、50%、100%通水分ともに、98%程度の高い除去率を示している。残留塩素の消費により、カートリッジ内部での一般細菌の増殖が懸念されたが、最大値でも 10 個/ml であった。TOC については、水道水に比較し、逆流水 a, b で 1.2~2.3 倍程度の値の増加が見受けられた。また、逆流水 b における濁度が 20 度(50%通水)、24 度(100%通水)と高い値を示した。これは、ろ過機構に捕捉されていた濁質成分が、吸引機を用いて直接カートリッジ内部の水を逆流させることで、剥離・流出したものと考えられる。

表-3 一般細菌、TOC 等の水質試験結果

項目	水質基準値	ろ過能力の 50%通水した浄水器				ろ過能力の 100%通水した浄水器			
		水道水	ろ過水	逆流水 a	逆流水 b	水道水	ろ過水	逆流水 a	逆流水 b
一般細菌(個/ml)	100 個/ml 以下	0	0	0	10	2	0	0	5
残留塩素(mg/L)	—	0.44	0.01	0.06	0.01	0.41	0.01	0.04	0.02
濁度(度)	2 度以下	0.2	0	1	20	0	0	1.4	24
pH	5.8~8.6	7.3	7.2	7.0	7.2	7.1	7.1	7.1	7.0
水温(°C)	—	12.0	12.0	20.5	21.0	12.0	12.0	20.5	20.5
TOC(mg/L)	—	1.6	1.4	1.9	3.7	1.5	1.2	2.1	3.1

金属類の測定にあたり、逆流水 b については、濁度が高く、非溶解性の金属が多く含まれることが予想されたため、0.45 μm のメンブランフィルターろ過処理を行ったものと、未処理のもの 2 種類を測定した。図-3 に示すとおり未処理の場合は鉄が基準値の 35 倍~100 倍程度検出されたほか、マンガン、アルミニウムについても基準値(快適項目値)の 3~30 倍程度検出された。ろ過処理を行ったものについては概ね水道水の測定値に近い値であった。一方、逆流水 a については、100%通水した浄水器において鉄が基準値の 1.2 倍検出された以外は基準値以下であった。

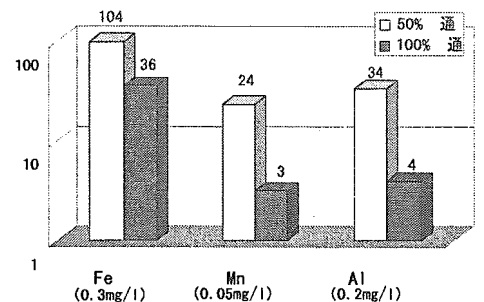


図-3 逆流水 b (未処理) 中に含まれる主な金属類の対基準
※ カッコ内は基準値 (Al は指針値)

実験 2. 浄水器 B を用いた実験

水質試験結果を表-4 に示す。実験 1 同様、残留塩素は 90%以上除去されているが、一般細菌は滞留時間の長短に依らず、すべてのケースで検出されなかった。TOC については、17 時間滞留時の逆流水では、水道水に比較して 1.8 倍程度の値の増加が見られたが、65 時間滞留時の逆流水では、水道水とほぼ同じ値であった。

表-4 一般細菌、TOC 等の水質試験結果

項目	水質基準値	17 時間滞留			65 時間滞留		
		水道水	ろ過水	逆流水	水道水	ろ過水	逆流水
一般細菌(個/ml)	100 個/ml 以下	0	0	0	0	0	0
残留塩素(mg/L)	—	0.4	0.02	0	0.32	0.02	0
濁度(度)	2 度以下	0.3	0.2	1.1	0.3	0.1	0.5
pH	5.8~8.6	7.2	7.1	7.1	7.3	7.4	6.8
水温(°C)	—	7.8	8	17.8	9.5	9.1	18.2
TOC(mg/L)	—	1.8	1.4	3.3	2.0	1.9	2.1

金属類の結果は、すべてのケースにおいて、水質基準値を下回り、実験 1 の逆流水 b (未処理) で得られたような鉄やアルミニウムの高濃度の検出はなかった。これは、浄水器 A、B のろ過機構の違いに加えて、採水方法、通水条件が異なることが影響したと考えられる。

基準値は下回るものの、原水に比べて逆流水での値が亜鉛で 2.0~7.0 倍程度、マンガンで 5.0~5.7 倍程度の値を示した(図-4, 5 参照)。

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増殖することが報告されている。しかし、今回の実験からは、懸念されたろ材等の流出や、逆流水中から水質基準値を超える一般細菌は検出されなかった。しかし、銀については、実験 1 の結果を図-6 に示す通り、ろ過水や各逆流水で N. D. ~0.02 mg/l であった。なお、実験 2 については、65 時間の逆流水について 0.0004mg/l 検出されたほかは、定量下限値以下であった。

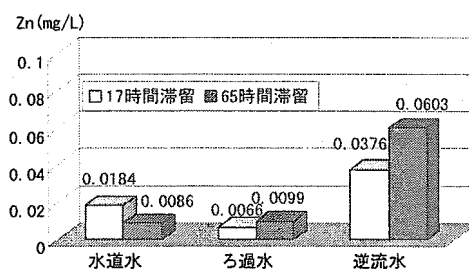


図-4 Zn濃度

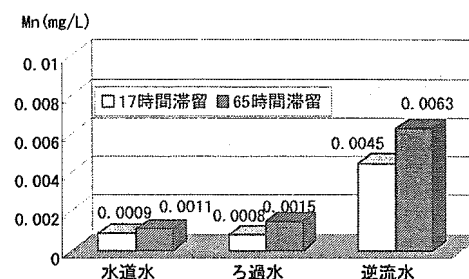


図-5 Mn濃度

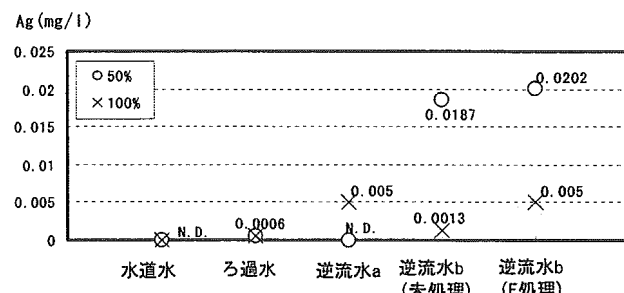


図-6 実験1における銀の濃度

(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

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

鈴木慶一 東京都水道局営業部給水装置課長

青木光 横浜市水道局営業部給水装置課長

前田真宏 千葉県水道局技術部配水課給水装置室長

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、渇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（節水、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う。具体的な項目は、以下に記す。

- (1) 家屋スケールでの水の有効利用における用途別水質の考察と、水質を確保するための殺菌機能を有した水質変換(改善)装置の研究
- (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の構築
- (3) 家屋内における再利用水の水質目標値の設定
- (4) 未利用エネルギー(水道水圧、熱等)を駆動力とする水質変換機器、家屋内機器(シャッターの開閉、換気扇駆動用モータ、昇降機等)の考案と、これらにより達成された環境負荷低減率の評価手法の研究
- (5) 家屋スケールの水の有効利用量、水質情報などを収集するとともに、住民の節水意識を高揚させるため、家屋内水利用状況や水道事業者の情報をお互いに公開する計装機器の開発研究

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、水道事業者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 カ年計画の初年度に当たる本年は、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、次年度より行う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。

(研究委員会の構成)

別表3

(倫理面への配慮)

本研究では、細かい需要水量、水質の把握が必要となり、一般家庭での水使用量等を入手する際には、住人に対して事前に研究内容等を説明し、調査員には守秘義務を課すなどデータに関する取り扱い等の細部に亘って配慮していく。

C. 研究結果

1. 各委員に対するヒアリング調査の結果

家屋内での水の有効利用に関して、各委員に対するヒアリングを行い、各業界における動向を確認するとともに、本プロジェクトにおける検討項目について意見交換を行った。これらのヒアリング結果をまとめると、各委員が共通して重視している項目は、「循環」と「水の有効利用」であった。特に、「水の有効利用」では、水道元圧の利用、水道水が有する熱エネルギーの利用等、従来から水道が持っていたにもかかわらず、これまでにあまり使われなかった未利用エネルギーの活用方法に注目が集まっていた。また、水を有効に利用することは、幅広い意味で、水の循環利用の一部を形成するためには欠くことのできないものである。そこで、本プロジェクトにおいては、委員会での了承のもと、水道が有する未利用エネルギーの活用方法を中心に検討を行うこととした。

2. 研究の方向性と研究課題

2-1. 研究の方向性

「家屋内での水有効利用と環境負荷低減に関する研究」と題する本プロジェクト(“アクアハウスプロジェクト”と称する)では、家屋内における水の有効利用(水道水が持つ未利用エネルギーなど)による環境負荷低減を図ることにより、河川や下水道への負荷、エネルギー消費を軽減した健全な水循環を確保することを目的としている。そこで、文献調査、および各委員に対するヒアリング等の結果を精査し、本プロジェクトにおける研究の方向性を明確にした。

その結果、家屋内での水の有効利用を特徴とする、通称“アクアハウス”の実現に不可欠と思われる以下の3つの課題、すなわち、①水の有効利用、②水質目標値の設定、③多段階利用の達成を目指して検討を行うこととした。

これらの課題と、後述する研究課題(要素技術)の関係を整理し、次のような家屋内での水循環を考えた。水の有効利用を図るため、未利用エネルギーを活用した水利用機器を1段目に据え、これら機器で使用した水を風呂水に再利用し、さらに簡易な水質変換装置を介して洗濯用水、トイレ洗浄水の順に使いまわすという循環・再利用システムである。このように、未利用エネルギーを活用する水利用機器を1段目に使用することで、多段階利用も同時に達成することができる。また、家屋内で水を循環・再利用する際の明確な指標がなかったため、過去には循環

式浴槽(24時間風呂)、加湿装置などを発生源としたレジオネラによる集団感染等、深刻な問題も発生している。そこで、本研究では、それぞれの使用段階で必要な水質目標値を設定することも研究課題の一つとして取り上げ、安全で衛生的、且つ快適な家屋内水循環の形成を目指すこととした。

なお、実験装置による技術的な検証は、未利用エネルギーである水道水圧を利用した水利用機器に関して行うこととした。

2-2. 研究課題

本研究では、“アクアハウス”の構築に必要な以下の要素技術について、次年度以降、実験装置による技術的な検討を行い、その実現可能性を検証する。

(1)水道水圧の有効利用

水道水は、配水管の末端まで確実に水を輸送するため、常に0.2MPa程度の水圧を有している。また、小規模受水槽の衛生問題や、木造3階建てが建築可能になったことから、直結直圧式の対象範囲が拡大し、配水管内の水圧は増加する傾向にある。そこで、水道水の有する未利用エネルギーとして水道水圧に着目し、家屋内での有効利用方法について検討した。その結果、水道水圧を家庭内利用機器の駆動力として活用すること、および発電用水車の回転力として利用することを考えた。

水圧駆動システム(アクアドライブシステム=ADS)は、油圧、空気圧に代わるクリーンで安全な技術として、主に3Mpa以上の圧力で駆動する機器の開発が中心に行われてきた^{1),2)}。また、水道圧領域(0.25MPa以下)のADSは、作動流体として、生活に密着した「水道水」を用いることから万人に受け入れられやすく、新しい設備機器として、特に福祉、住宅設備への適用が期待されている技術である。すでに、プール施設向け介護用リフト、防水壁駆動用としての実用化例はあるが、家屋内利用機器への適用は、開発がスタートした段階である。

一方、発電用水車を組み込んだ機器については、自動水栓等、いくつかの実用例があるが、発電容量が小さいためその用途は限られていた。しかし、すでに給水管への実用例があることから、安全性の面で受け入れられやすいため、適用先に応じて若干の仕様変更をすることで、様々な機器へ導入できると考えられる。

以上のような理由から、1)水道水圧駆動機器、2)

水車利用発電に関して実験装置による技術的な検討を行うこととした。次年度以降で実施する予定の具体的な実験項目については以下に記す。

1) 家屋内における水道水圧駆動機器の検討

水道水圧(0.2MPa程度)により駆動できると考えられる機器、例えば、ドア、カーテン、便座等の駆動源として利用することを想定し、実験を行う。水道水圧で滑らかに駆動するシリンダの開発を中心に、既存機器との代替を考慮して構造(デザイン)的な検討も併せて実施する。その適用例のひとつとして、カーテン開閉システムの検討を行う。本システムは、水道水圧駆動の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替えバルブを制御することで、自動的にカーテンの開閉を行うシステムである。野外の明るさ、あるいは時間設定によって開閉を行えるため、留守時の防犯性向上といった付加価値も生み出せる。なお、光センサの電源は、以下に述べる水車利用発電で供給することを想定している。

2) 水車利用発電の検討

発電用水車を組み込んだ自動水栓などの実用化例にあるように、通水時に水圧が開放されることによって生じた運動エネルギーを電気エネルギーに変換することで、未利用エネルギーの有効活用を図る。適用先に応じた発電方法、蓄電技術等について精査、実験装置による技術的な検証を行い、最終的には、発電→蓄電→水質変換装置の駆動用電源への利用、といったシステム構築を目指す。

なお、水車利用発電については、比較の実用化例が多く、水車の構造、材質、発電効率等、これまでに蓄積されたデータが多いと考えられるため、それらを積極的に活用しながら検討を進める。

さらに、前述の水道水圧駆動機器との連携化についても可能性を探る。

上記 1)、2)で検討、確立した機器、システムについては、モデルハウスに組込んで試験することにより、その実用性を確認する予定である。

(2) 水道水が有する熱エネルギーの利用方法

① 水道水が有する熱エネルギー

水道水が有するエネルギーのひとつとして、熱エネルギーが考えられる。水道水がもともと所有している熱エネルギーは、気温の高い夏場には冷却用として、打ち水などに利用されてきた。また、最近では、屋根に散水することで家屋全体を冷却しようとする

試みなどもなされており、水の新しい利用方法として注目されている。しかし、利用した水の回収・再利用を含めたシステムとしなければ、水の使用量を増加させる新たな要因となることに注意しなければならない。この他、熱交換によって水温を使用目的別に振り分けて使用する、水の温度差を利用した冷暖房器具などのアイデアも出されたが、本プロジェクトにおいては情報収集にとどめ、実験による技術的な検証は行わないこととした。

② 排水などが有する熱エネルギー

外部からエネルギーを与えられ、水温を高くして浴槽水、炊事用水などとして利用されている水、あるいはその排水が所有する熱エネルギーを効率的に回収、再利用することができれば、未利用エネルギーの活用という点から、さらに進んだ家屋内水循環を構築できると思われる。しかし、このようなシステムを構築するためには、家屋内の給水管はもとより、風呂、流し台などの給湯設備、給排水設備そのものの設計、配置等から再検討しなければならない。このため、本プロジェクトでは技術的検証は行わず、これらに関する研究例を紹介するのにとどめた。

(3) 多段階利用における検討課題

本研究で示した多段階利用の例では、1 段目で使用した水を2 段目で風呂水として再利用する場合、ある程度の水量を確保するために、水質変換を行った後の水を一時的に貯水できるシステムとする必要がある。次に、3 段目のトイレ洗浄水には、雨水の利用も考えられるが、その利用方法については、(社)公共建築協会、(社)空気調和・衛生工学会などがすでに計画基準を示しているため、これらを参考に、一般家屋に適したシステムについて精査する。また、家屋内で多段階利用を達成するためには、通常の給水管の他に、新たに再利用水の配管等を敷設する必要が生じるが、その際には、誤飲、誤用の防止が出来るよう通常の水道配管との差異を明確にし、安全な配管設備が構築できるよう配慮する。

なお、3 段目以降で発生する排水の再利用については、処理装置の導入コスト、メンテナンス性等の点から、家屋単位での実現性に乏しいため、ここではその概念を提案するのにとどめた。

(4) 水質目標値の設定

家屋内での水の多段階利用において、それぞれの使用段階で設定した水質目標値を達成できる水質変換方法について精査し、処理フローを決定する。

そして、家屋向けに適した、コンパクト性、易メンテナンス性、安全性を備えた水質変換装置の概念設計を行う。

水質目標値の設定に際しては、各使用段階で求められる水質レベルが異なるため、それぞれの水使用行為ごとにどの程度の水質が必要かを明確にすることが重要である。しかし、本プロジェクトの中で、すべての水使用行為について実験的な検証を行った上で、水質目標値を設定することは困難である。このため、過去の研究結果をもとに作成された雑用水の用途別目標水質、あるいは、水使用行為と水質のグレードとの関係等を参考に、各使用段階での水質目標値を設定することとする。

(5)環境負荷低減効果の数値化

次年度以降、本プロジェクトで考案、確立した装置、機器等を組込んだ“アクアハウス”モデルについて、LCA 的な手法により、一般的な家屋と比較した場合のエネルギー消費量、環境負荷低減効果等の数値化を試みる。また、浄水処理から家屋内での水有効利用までを含めたトータルな環境負荷低減効果についても試算を行う予定である。

本検討では、北九州市水道局が所有する配水管理システムで収集した流量－圧力の関係等のデータを活用する。本データは、配水管、給水管等から取り出せるエネルギー量の換算などに利用できる他、四季別、曜日別、昼夜別、地域別の水使用状況の特徴なども明らかにできると考えられる。

なお、現在までに北九州市から入手したデータの一部を解析した結果を以下に示した。本データは、2箇所の配水ブロックにおいて、5秒単位で収集した流量と圧力の値である(平成14年12月4日、平日のデータ)。いずれのブロックも一点注入を行っており、流量は注入点で、圧力はメインの配水管末端でそれぞれ測定している。各配水ブロックの詳細については、表1に示した。両ブロックの流量と圧力(水頭)の関係を図1(沼ブロック)、図2(井出浦ブロック)にそれぞれ示した。これを見ると、沼ブロックでは、朝(7～8時)と夕方5時頃から夜10時頃までの水使用量が大きく、平日の一般家屋における水使用の特徴を良く表している。一方、井出浦ブロックのグラフでは、いくつかの時間帯で流量が急激に増加してい

るが、これは、ブロック内に存在する大型スーパーの受水槽に水が流入していることを表しており、一般家屋が多い沼ブロックとは明らかに違う流量変動を示すことがわかった。

また、井出浦ブロックの18:30～19:30のデータを拡大すると図3のようになり、流量が増えると水頭(配水管内圧力)が低下することがはっきりと示されていた。さらに、本データを流量×水頭×9.8m/s²の計算式により電力(kW)に換算すると、その経時変化は図4のようになる。ここから、給配水に必要なエネルギーを差し引いた残りの分が、現状では使われていないエネルギー、すなわち、取り出せるエネルギーとして算出できる。

以上、現在までに得られたデータの解析例を紹介したが、引き続き同様の検討を行い、最終的にはCO₂換算で“アクアハウス”構築による環境負荷低減効果の数値化を目指す。

表1 各配水ブロックのブロックデータ

配水ブロック名	沼	井出浦
配水面積(ha)	378.6	935.3
給水人口(人)	18,210	27,221
給水戸数(戸)	7,353	10,133
配水管延長(km)	37.315	78.340
高低差(最高/最低, m)	47.9/3.27	13.9/2.1
受水槽数(基)	72	68
(受水槽経由の給水戸数, 戸)	(1,895)	(1,845)
ブロックの特徴	一般家屋が多い	大型スーパーが存在

(平成14年12月4日、平日のデータ)

(6)水利用状況把握のための計装機器の検討

本研究で確立した水の多段階利用システムで用いる水道水圧駆動機器、水質変換装置等の運転管理システムと、住民の節水意識を高揚させることが出来る情報提供(リアルタイムな水道料金、節電料金表示等)が可能な計装機器について検討を行う。また、水道事業者と一般家庭の間で、双方の情報交換が可能な計装機器についても検討を行い、その実現性を確認する。

以上までに述べてきた(1)～(6)の実験、および検証を行い、“アクアハウス”の実現を目指す。

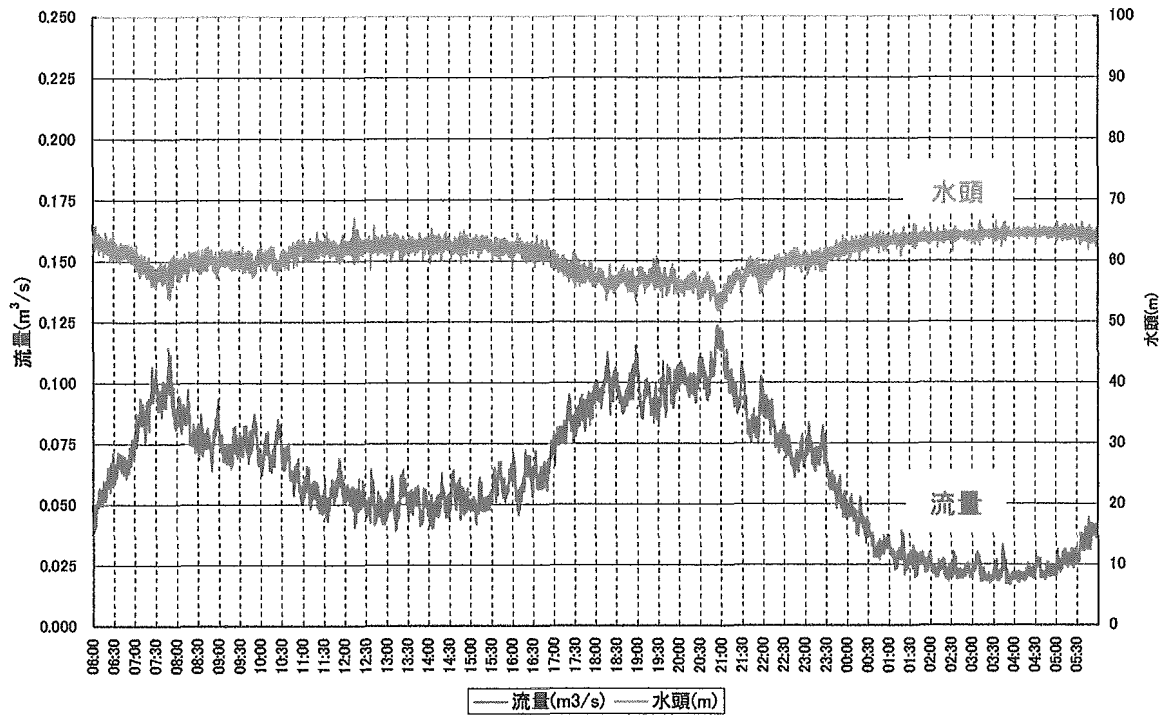


図1 沼ブロックにおける流量と圧力(水頭)の経時変化(平成14年12月4日データ)

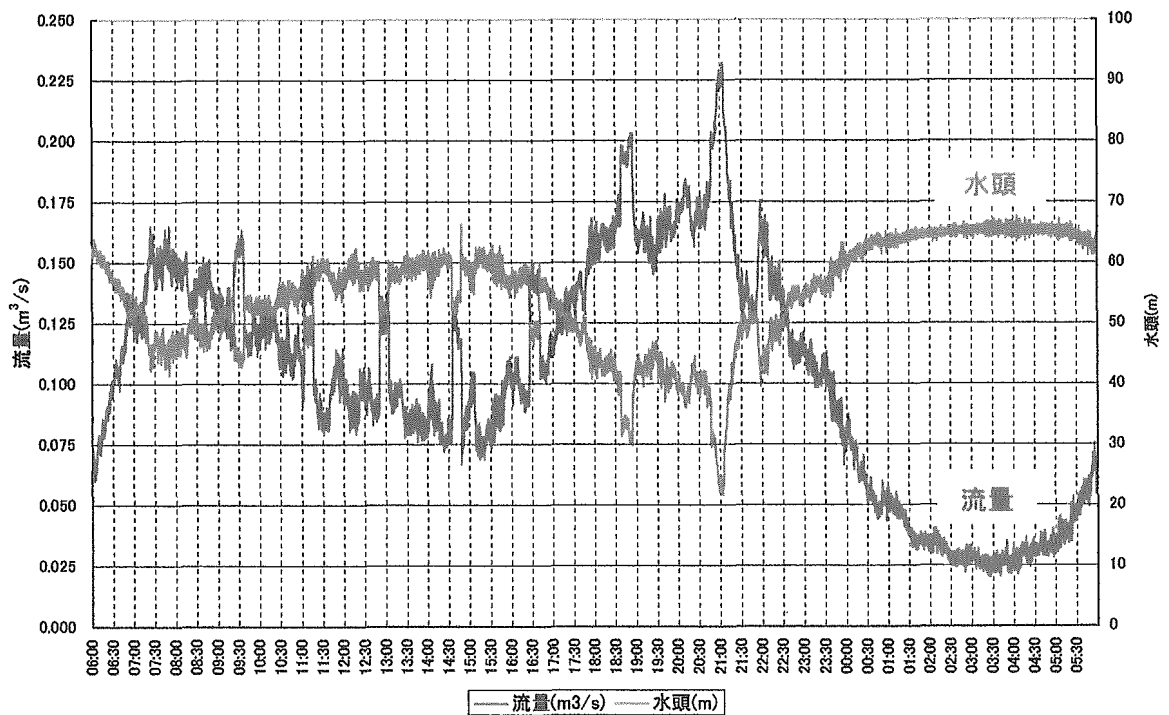


図2 井出浦ブロックにおける流量と圧力(水頭)の経時変化(平成14年12月4日データ)

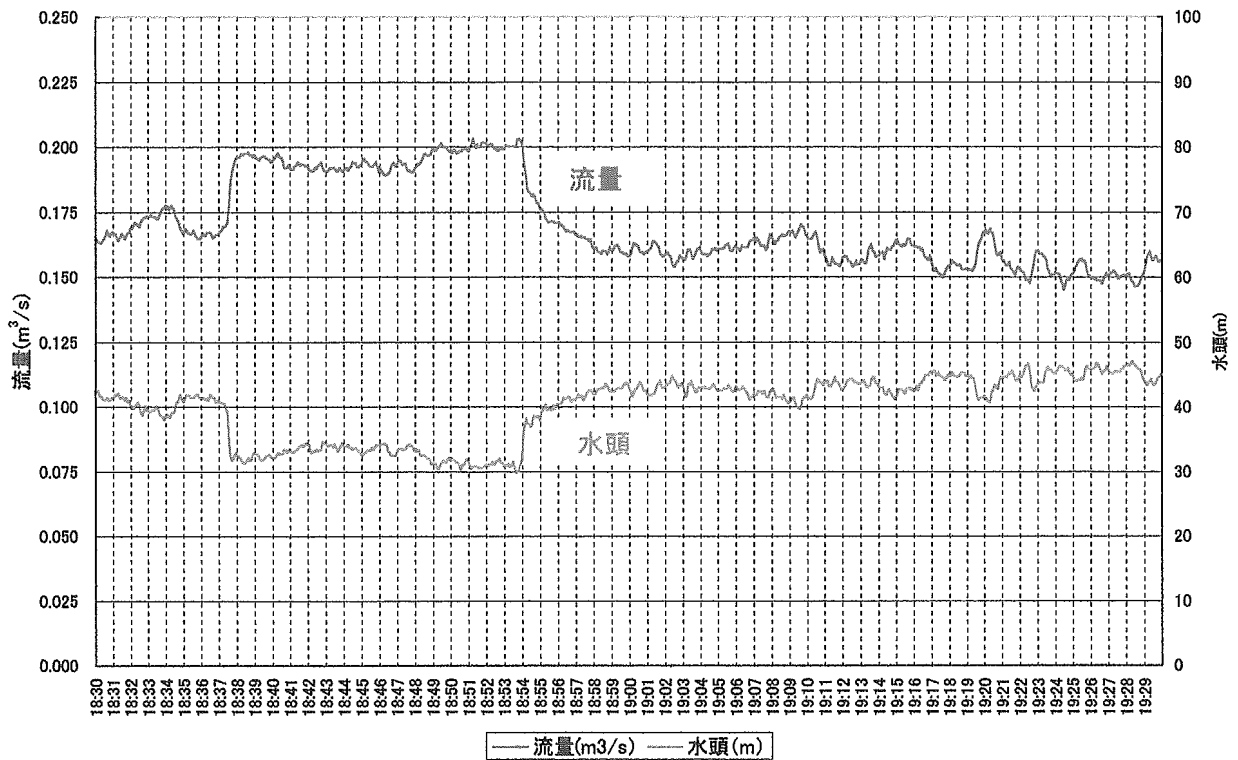


図3 井出浦ブロックにおける流量と圧力(水頭)の経時変化(18:30~19:30の拡大図)

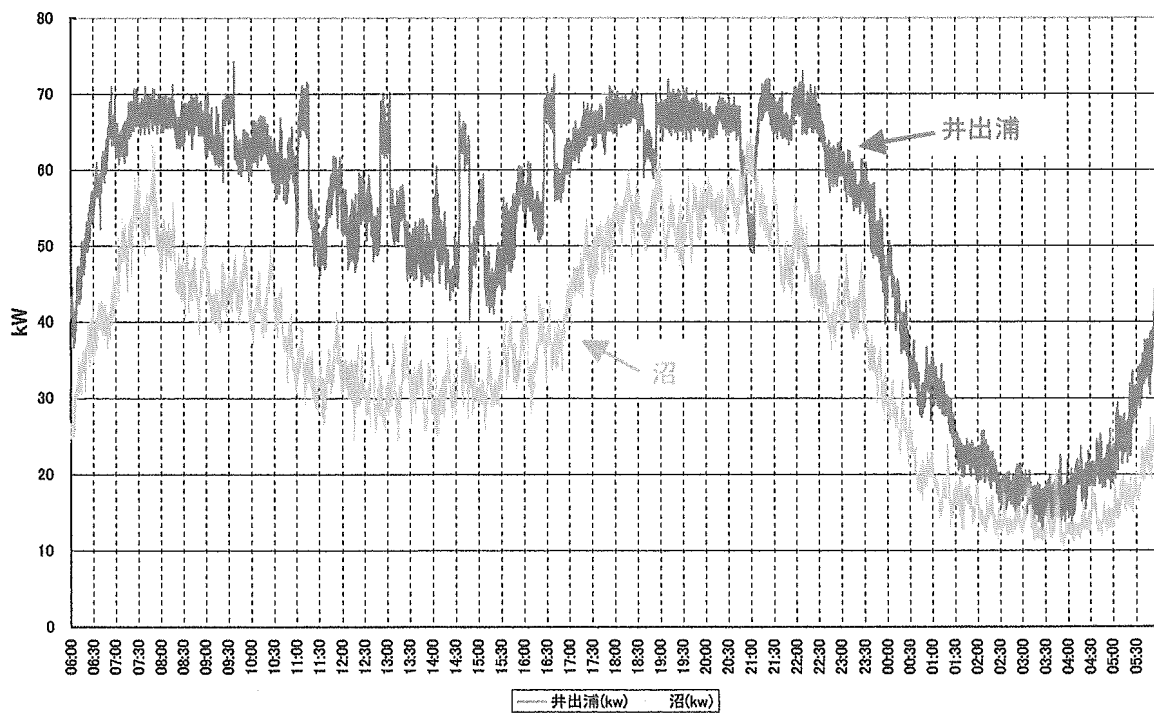


図4 流量と圧力(水頭)から試算した配水管内エネルギーの経時変化(上 : 井出浦, 下 : 沼)

2-3. 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

ここでは、生活用水使用の現況を用途別、地域別に社会的背景も含めて精査し、家屋内における水使用の実態を把握することにより、本プロジェクトにおける検討課題を明らかにした。

2-3-1. 生活用水使用の現況

水道により供給される水の大部分を占める生活用水は、一般家庭用の飲料水、炊事用水、洗面・入浴用水、洗濯用水、便所の水洗用水などの家庭用水、および事務所、ホテル、レストラン、公衆トイレ、噴水等で使われる都市活動用水に大別できる。生活用水は、水道普及率の上昇、ならびに文化水準、生活水準の向上とともに増加する傾向にあり、平成元年から平成11年までの10年間で、年平均1.0%の伸びであった。参考までに、平成11年における使用量は、有効水量ベースで約143億 m^3 /年、平成11年度末での水道普及率は96.4%となっている。

生活用水の使用量を左右する要因として、気候、生活様式、経済社会活動の変化等が挙げられる。これを上水道事業の月別一日平均給水量から見ると、気温の高い夏季に増加し、気温の低い冬季に減少する傾向があり、最大使用量となるのは7月から9月にかけてである。また、給水人口規模別の上水道の一人一日平均給水量(有効水量ベース)は、一般に給水人口の多い大都市ほど大きくなる傾向が見られた。これは、大都市ほど水洗トイレの普及率が高いこと、就労者、就学者により昼間人口が増加するなどの理由によると考えられる。しかし、給水人口が5万人以下の中小規模の地域における一人一日平均給水量の伸び率は、給水人口が多い地域のそれと比較して高く、人口規模の違いによる水使用量の差は小さくなる傾向にあることがわかった。

生活用水使用量を給水人口で除した一人一日平均使用量の平成7年(1995年)度値は、有効水量ベースで322L/人・日であった。これを他国と比較してみると、突出した北米の平均値(425L/人・日)に比べれば低いものの、ヨーロッパの平均値(280L/人・日)よりも高く、アジア全体の平均値(132L/人・日)、あるいは、アフリカの平均値(63L/人・日)よりも極めて高い値であった。気候や生活様式の違いから一概には言えないが、同じ先進国であるヨーロッパのデータを見る限り、水の使用形態を見直すことにより、安全でおいしい水を確保しつつ、使用量

の削減を達成することは充分可能であると考えられた。エネルギー資源の中で唯一、国内での自給が可能な水資源を長期に渡って安定して確保していくために、健全な水循環の構築が不可欠であることが明白となった。

2-3-2. 地域別の生活用水使用特性

地域別の生活用水使用量の経年変化を見ると、多くの地域でその伸び率は緩やかだが、人口が多く、多様な産業が混在している関東臨海地域では、平成5年ごろまで急激な伸びを示しており、その後はほぼ横ばいとなっていた。これは、日本の経済状況の推移と同様の傾向を示していることから、生活水準が向上したことで飲食店、デパート、ホテルといった産業が活発化し、都市活動用水の需要が増加したことにより、生活用水使用量の増加につながったと推定される。

また、水道普及率が99.9%と全国1位の沖縄では、全水使用量に占める生活用水使用量の割合は約6割で全国平均に比べて極めて大きい。これは、1年を通して温暖であること、ホテル、レジャー産業等が盛んで都市活動用水の使用量が大きいことなどの要因によるものと推定された。このことは、生活用水の一人一日平均使用量からも推測することができ、沖縄が全国で最大(364L/日)であるのに対し、夏でも冷涼で冬は厳しい寒さとなる北海道は、261L/日と全国で最も小さい。したがって、気候が生活用水使用量を大きく左右する要因のひとつであると考えられた。

その他地域も含めた生活用水の地域別使用現況について、その概要を表2にまとめてみると、都市活動の活発な都市部(関東、近畿の臨海ブロック)、人口が増加している地域(関東、近畿の内陸ブロック)、あるいは、気候的に暖かい地域(南九州ブロック、沖縄)では、一人一日平均使用量が高い傾向にあることがわかった。

なお、北九州ブロックでは、平成6年の大渇水に境に、それまで増加を続けていた一人一日平均使用量がほぼ横ばいとなっていた。福岡市では、この渇水で実に295日の給水制限が行われた。このため、住民の節水意識が向上し、生活水準が向上しても、生活用水使用量の増加に結びつかなかったと考えられた。一方、最近の20年間で渇水が頻発している四国の一人一日平均使用量は、全国平均と比較して高くなっており、ここ数年の推移を見ても増