

から排水されていることが明らかである。また、弁差圧が正圧から陰圧へと移行する逆圧の過程においては、正圧状態であっても逆流が発生していた。これは減圧式逆流防止器の機構が一次側弁差圧の差圧を利用して逃がし弁のバネを圧縮させ排水口を密閉するようになっているが、一次側弁差圧が逃がし弁のバネ圧よりも小さくなり、逃がし弁の排水口が開放され、全体としては正圧になっているが、二次側からの水圧により逆流が発生したものと考えられる。両側弁異常時では、二次側弁異常時とほぼ同様の逆流が発生しているが、先にも述べたとおり一次側への逆流が確認されている。φ1mm の真鍮で行った両側弁異常時における実験では、真鍮が比較的強度が低いため、二次側弁において他のバネ式逆止弁でも確認された降伏現象（弁差圧が一定以上の陰圧になると急激に逆流量が減少）に伴い、二次側流量の逆流量が急激に減少した。このため全量が逃がし弁から排水され、一次側への逆流は認められなかった。加圧タンク圧力 0.4MPa で行った実験では、それぞれの材質の針金で行った加圧タンク圧力 0.2MPa の場合と同様の結果であった。

### 3) 負圧状態

負圧状態における弁正常時及び弁異常時（ピアノ線）の弁差圧と一次側流量の挙動を図 15 に、弁差圧と二次側流量の挙動を図 16 に、両側弁異常時の時系列による弁差圧と流量の挙動を図 17 に示す。図 15 の弁差圧と一次側流量の挙動から弁正常時では、弁差圧が陰圧状態で瞬間的に微小な逆流が発生するが、その後の流量は 0 となった。この瞬間的に発生する微小な逆流は、逃がし弁を密閉するためにバネを押さえていたダイアフラム上の一次側の水が逃がし弁のバネに押し戻され逆流したものであると考えられる。一次側弁異常時では、弁差圧が陰圧状態で逆流が確認された。しかし、数値が継続してばらついていて、二次側で逆流が認められないことから逃がし弁からの空気吸入によることが分かる。二次側弁異常時では、弁正常時とほぼ同様の挙動であった。両側弁異常時は、一次側弁異常時と同じく逆流が認められた。但し、両側弁異常時の場合、図 17 から明らかなように一次側弁異常時と同様な数値の継続的なバラツキが認められたが、二次側からも逆流が発生し、逃がし弁からの排水も認められなかったため、二次側の逆流の全量が一次側へ逃がし弁からの空気吸入とともに逆流しているものと考えられた。しかし、逃がし弁からの空

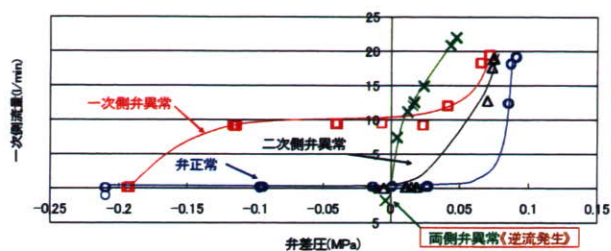


図 12 逆圧状態における弁差圧と一次側流量の挙動（加圧タンク 0.2MPa）

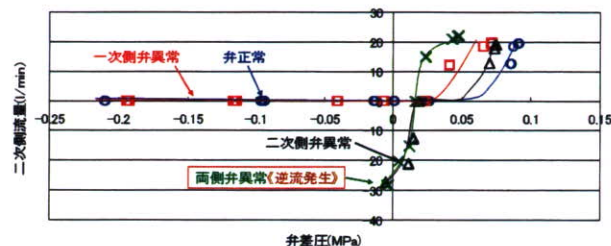


図 13 逆圧状態における弁差圧と二次側流量の挙動（加圧タンク 0.2MPa）

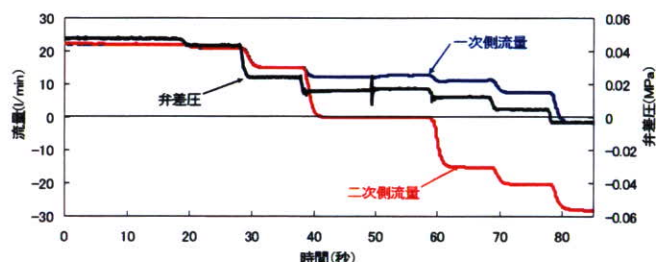


図 14 逆圧状態における両側弁異常時の時系列による弁差圧と流量の挙動

気吸入の影響により、一次側の正確な流量計測ができないことから、供試器具一次側に設置した透明管に二次側の水槽の水が負圧発生に伴い流入するか目視することとした。その結果、やはり透明管への流入を確認し、このとき逃がし弁からの排水は発生していなかった。このことから、逃がし弁からの排水検知による弁異常検知方法も基本的には有効であるが、まれな条件下では必ずしも十分な方法ではないと考えられる。次に、図 16 の弁差圧と二次側流量の挙動から、弁正常時、一次側弁異常時ではいずれも陰圧下で逆流は発生しなかった。二次側弁異常時では逆流は発生するものの図 15 から一次側への逆流は認められなかった。両側弁異常時では、逆流が確認され、先にも述べたが、全量が一次側へ逆流していた。なお、 $\phi 1\text{mm}$  の真鍮の針金で行った実験でも逆流が認められた。また、加圧タンク圧力を  $0.4\text{MPa}$  とした場合も同様の結果であった。

#### 4) 物質収支

各作動状況の逃がし弁からの排水量の実測値と一次側流量と二次側流量の差から計算した計算値を表 3 に示す。さらに排水量の実測値と計算値の物質収支を比較するためには、中間室容量を実測値から除く必要がある。そこで、弁正常時の逆圧状態における排水量の実測値は、中間室容量と等しいと考えられ、また、計算値は 0 点調整後の誤差にほぼ相当すると考えられることから、弁正常時の逆圧状態における実測値から計算値を引いた値を換算係数とし、各作動状況における実測値から換算係数を除いて、実測値に対する計算値の割合を計算した。その結果を表 4 に示す。正圧状態及び逆圧状態では、実測値と計算値の差は最大で  $+6.5\%$ 、最小で  $0.0\%$  とほぼ一致していた。負圧状態においては一次側弁異常時及び両側弁異常時で空気吸入

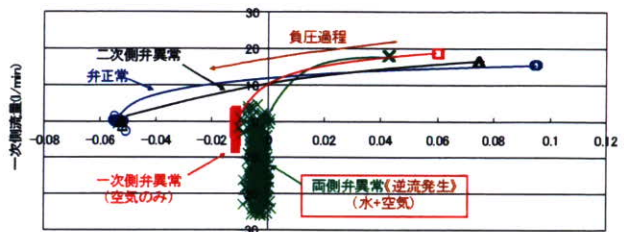


図 15 負圧状態における弁差圧と一次側流量の挙動 (加圧タンク  $0.2\text{MPa}$ )

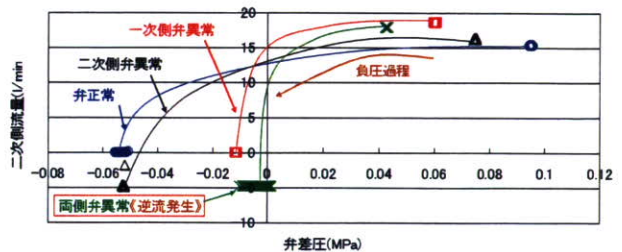


図 16 負圧状態における弁差圧と二次側流量の挙動 (加圧タンク  $0.2\text{MPa}$ )

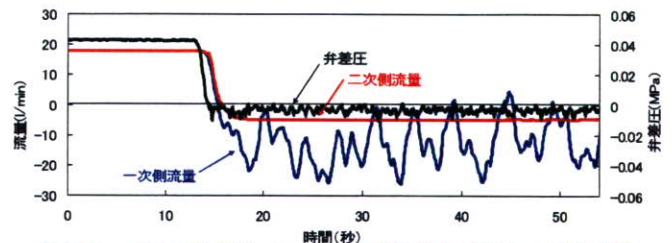


図 17 負圧状態における両側弁異常時の時系列による弁差圧と流量の挙動

表 3 各作動状況の逃がし弁からの排水量 (I) (計算値と実測値)

|      | 弁正常      | 一次側弁異常   | 二次側弁異常   | 両側弁異常    |
|------|----------|----------|----------|----------|
| 正圧状態 |          |          |          |          |
| 計算値  | 排水なし     | 5.08321  | 排水なし     | 3.06275  |
| 実測値  |          | 5.13215  |          | 3.15501  |
| 逆圧状態 |          |          |          |          |
| 計算値  | 0.09000  | 6.27312  | 9.98853  | 17.54185 |
| 実測値  | 0.38786  | 6.57056  | 10.09994 | 17.36603 |
| 負圧状態 |          |          |          |          |
| 計算値  | -0.08500 | -2.53483 | 3.74546  | -5.57325 |
| 実測値  | 0.24003  | 0.05644  | 4.09278  | 0.45788  |

表 4 換算後の排水量実測値に対する計算値の割合

|      | 弁正常   | 一次側弁異常  | 二次側弁異常 | 両側弁異常   |
|------|-------|---------|--------|---------|
| 正圧状態 | —     | 1.049   | —      | 1.065   |
| 逆圧状態 | —     | 1.000   | 1.018  | 1.027   |
| 負圧状態 | 0.887 | -39.634 | 0.988  | -11.521 |

の影響により大きな誤差が生じている。弁正常時と二次側弁異常時では、弁正常時における値が比較的小さいため、-11.3%と誤差が若干大きい、ほぼ一致しているといえる。なお、両側弁異常時における逃がし弁からの排水は負圧実験終了に伴う排水である。

### 3.2 現実に即した実験条件における圧力及び流量データの取得方法の検討

#### 1) 正圧状態

正圧状態での吐水過程において減圧式逆流防止器における緩やかなバルブ操作（開閉動作約 12 秒）を行った場合の弁差圧と一次側流量の挙動を図 18 に、同じく弁差圧と二次側流量の挙動を図 19 に、急激なバルブ操作（開閉動作約 1 秒）を行った場合の弁差圧と一次側流量の挙動を図 20 に、同じく弁差圧と二次側流量の挙動を図 21 に示す。なお、図中の矢印は弁差圧と流量の変化方向を示している。図 18、図 19 から緩やかなバルブ操作による弁差圧と流量の挙動が、3.1 項において図 9、図 10 に示した正圧状態での弁差圧と一次側流量の挙動、弁差圧と二次側流量の挙動とほぼ同様の挙動を示していることが確認された。しかし、図 20、図 21 から急激なバルブ操作を行った場合の弁差圧と流量の挙動では、弁差圧の変動に比べ、流量が追従できていない現象が認められた。つまり、最低作動弁差圧の時に流量が発生せず、バルブの全開状態における弁差圧が発生した後に流量が発生していた。これは、今回実験に用いている圧力センサーの応答速度が、0.1 秒であるのに対し、電磁流量計流量センサーの変換器のダンピング時定数（100%のステップ状入力に対する出力変化が 63.2%まで変化するのに要する時間）が 0.5 秒であることが原因のひとつとして考えられた。そこで、流量計のダンピング時定数を 0.1 秒に改善した予備的実験を行ってみたが、結果として急激なバルブ操作を行った場合の流量の立上り時のプロットが非常に少なくなり、最低作動弁差圧の特定はやはり困難であった。

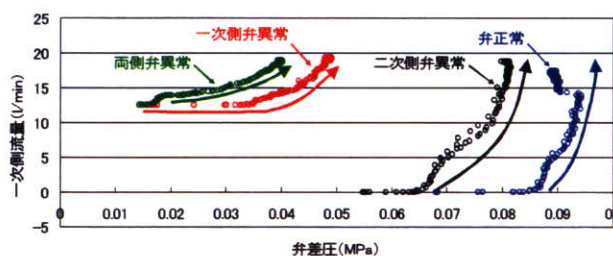


図 18 緩やかなバルブ操作による弁差圧と一次側流量の挙動（減圧式逆流防止器、正圧状態、加圧タンク圧力 0.2MPa）

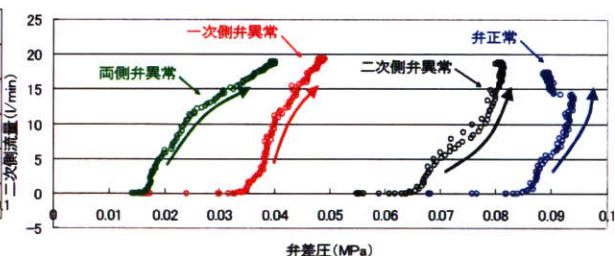


図 19 緩やかなバルブ操作による弁差圧と二次側流量の挙動（減圧式逆流防止器、正圧状態、加圧タンク圧力 0.2MPa）

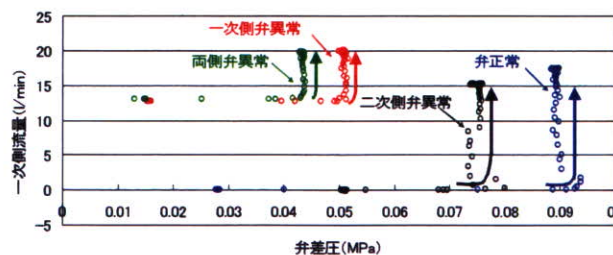


図 20 急激なバルブ操作による弁差圧と一次側流量の挙動（減圧式逆流防止器、正圧状態、加圧タンク圧力 0.2MPa）

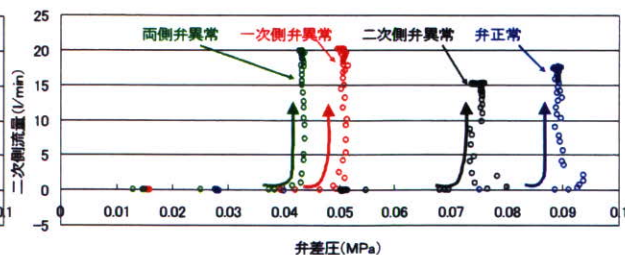


図 21 急激なバルブ操作による弁差圧と二次側流量の挙動（減圧式逆流防止器、正圧状態、加圧タンク圧力 0.2MPa）

## 2) 逆圧状態

逆圧過程において減圧式逆流防止器における緩やかなバルブ操作（開閉動作約 12 秒）を行った場合の弁差圧と一次側流量の挙動を図 22 に、弁差圧と二次側流量の挙動を図 23 に、急激なバルブ操作（開閉動作約 1 秒）を行った場合の弁差圧と一次側流量の挙動を図 24 に、弁差圧と二次側流量の挙動を図 25 に示す。図 22、図 23 の緩やかなバルブ操作を行った場合の弁差圧及び流量の挙動からは、3.1 項の図 12、図 13 に示した段階的にバルブ操作をした場合の弁差圧及び流量の挙動とほぼ同様の結果となった。さらに、図 24、図 25 の急激なバルブ操作を行った場合の弁差圧及び流量の挙動についても緩やかなバルブ操作を行った場合の結果と比較し、データのバラツキは大きいですが、同様の結果となった。

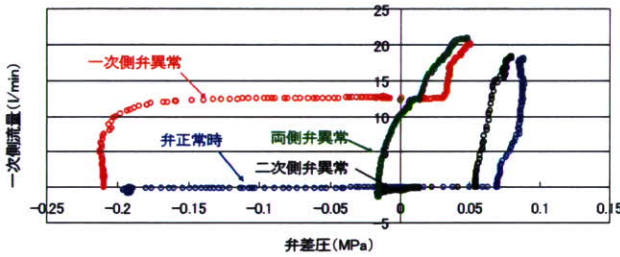


図 22 緩やかなバルブ操作による弁差圧と一次側流量の挙動（減圧式逆流防止器、逆圧状態、加圧タンク圧力 0.2MPa）

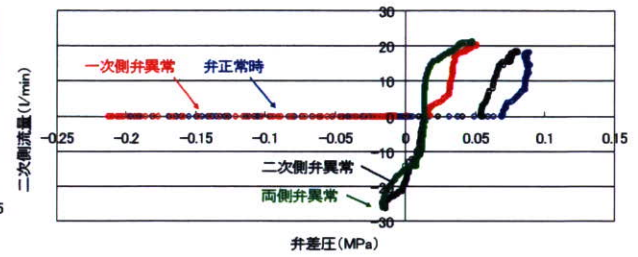


図 23 緩やかなバルブ操作による弁差圧と二次側流量の挙動（減圧式逆流防止器、逆圧状態、加圧タンク圧力 0.2MPa）

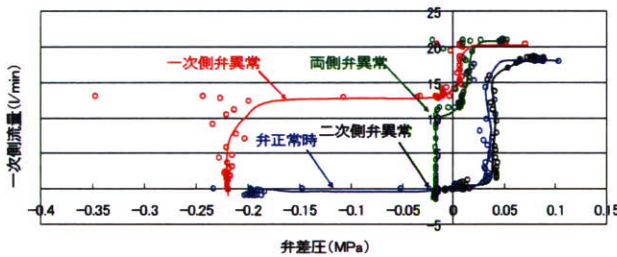


図 24 急激なバルブ操作による弁差圧と一次側流量の挙動（減圧式逆流防止器、逆圧状態、加圧タンク圧力 0.2MPa）

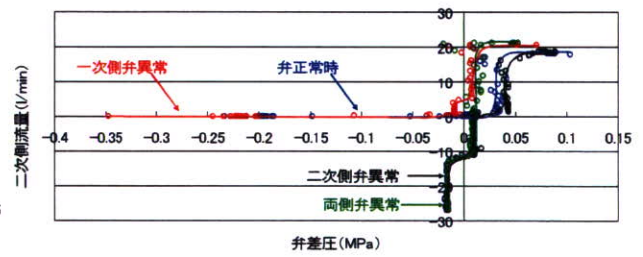


図 25 急激なバルブ操作による弁差圧と二次側流量の挙動（減圧式逆流防止器、逆圧状態、加圧タンク圧力 0.2MPa）

## 3) 負圧状態

負圧過程において減圧式逆流防止器における緩やかなバルブ操作（開閉動作約 12 秒）を行った場合の弁差圧と一次側流量の挙動を図 26 に、弁差圧と二次側流量の挙動を図 27 に、

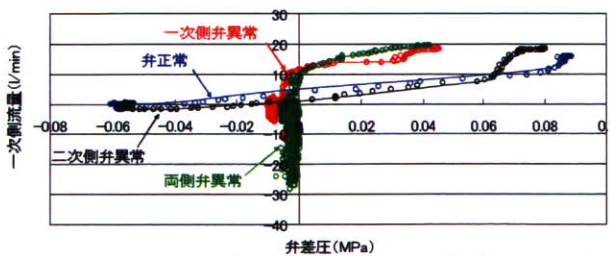


図 26 緩やかなバルブ操作による弁差圧と一次側流量の挙動（減圧式逆流防止器、負圧状態、加圧タンク圧力 0.2MPa）

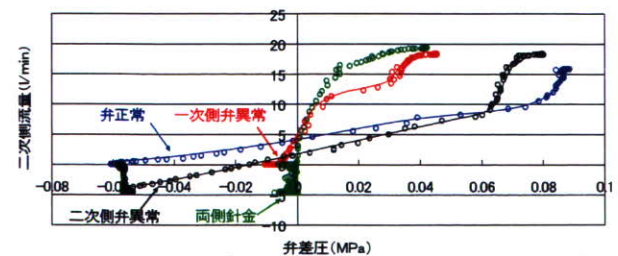


図 27 緩やかなバルブ操作による弁差圧と二次側流量の挙動（減圧式逆流防止器、負圧状態、加圧タンク圧力 0.2MPa）

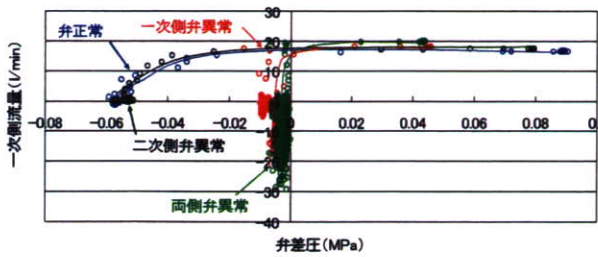


図 28 急激なバルブ操作による弁差圧と一次側流量の挙動（減圧式逆流防止器、負圧状態、加圧タンク圧力 0.2MPa）

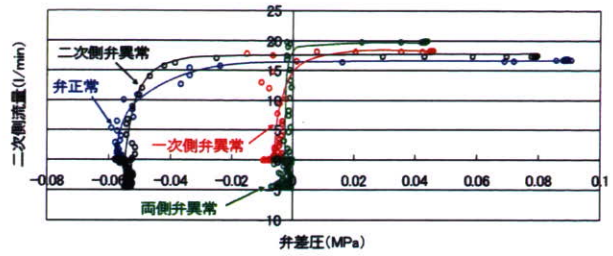


図 29 急激なバルブ操作による弁差圧と二次側流量の挙動（減圧式逆流防止器、負圧状態、加圧タンク圧力 0.2MPa）

急激なバルブ操作（開閉動作約 1 秒）を行った場合の弁差圧と一次側流量の挙動を図 28 に、弁差圧と二次側流量の挙動を図 29 に示す。図 26、図 27 の結果と図 28、図 29 の結果から、緩やかなバルブ操作の場合と急激なバルブ操作の場合とを比較すると急激なバルブ操作の場合のほうが弁差圧データに対する流量データの反応速度が遅いことが分かる。しかし、当然のことながら負圧状態が安定期になるとその後のデータの挙動はほぼ同様である。

### 3.3 弁変位置計測による単式バネ式逆止弁異常検知方法の有効性の検討

弁異常検知手法に関しては、これまで弁差圧と流量の計測による方法を中心に研究を行ってきたが、その他に弁変位置を直接的に計測する手法を活用することも有効であると考えられる。このため、平成 17 年度に弁変位検知センサー付単式バネ式逆止弁を開発し、平成 18 年度に弁正常時及び弁異常時（針金：φ1mm）における挙動解析を行った。ここでは、単式バネ式逆止弁の異常検知手法として最も有効なデータの組合せを検討するため、平成 18 年度の実験結果の整理を行った。

平成 18 年度に行った実験結果として図 30 に単式逆止弁における弁変位と弁差圧の挙動を、図 31 に弁変位と流量の挙動を示す。これらから以下のことが言える。

- (1) 弁正常時における正圧状態の場合では、最低作動弁差圧以下で弁変位は 0 であり、それ以上で弁変位は負方向に増大する。逆圧状態の場合は、弁変位は 0 である。
- (2) 弁正常時における正圧状態の場合では、弁変位の負方向の増大に伴い、正流量が増大する。逆圧状態の場合では、流量は 0 となる。
- (3) 弁異常時（異物噛み）における正

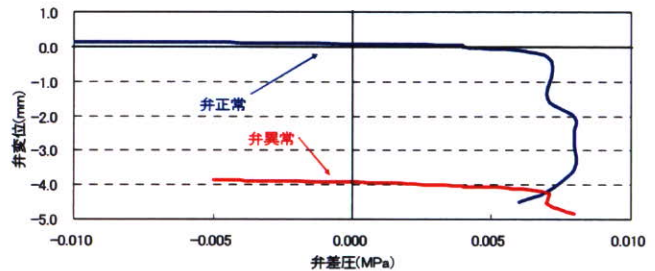


図 30 単式逆止弁における弁変位と弁差圧の挙動（加圧タンク 0.4MPa）

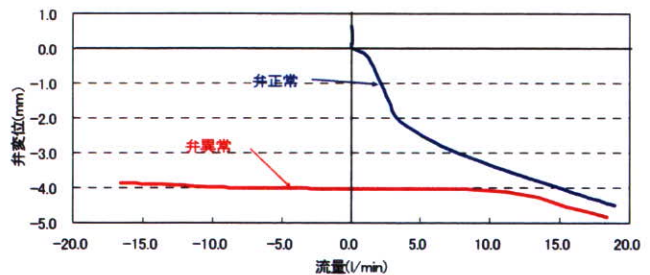


図 31 単式逆止弁における弁変位と流量の挙動（加圧タンク 0.4MPa）

表 5 各作動状況での弁変位置検知実験結果

|     | 弁正常          |              | 弁異常 |
|-----|--------------|--------------|-----|
|     | 弁変位          | 弁差圧          | 流量  |
| 弁変位 | 0            | 負            | 負   |
| 弁差圧 | 負～最低作動弁差圧(正) | 最低作動弁差圧以上(正) | 負～正 |
| 流量  | 0            | 正            | 負～正 |

圧状態の場合では、最低作動弁差圧以下でも異物噛みに相当する負の弁変位が発生する。逆圧状態の場合は、弁差圧が負方向に増大すると弁変位が若干正方向に移動する傾向があった。

- (4) 弁異常時（異物噛み）における正圧状態の場合では、流量が0でも弁変位は負となる。逆圧状態の場合は、弁変位が負で逆流が発生した。これらを表にまとめると表5のとおりである。

### 3.4 異常検知装置付逆流防止装置作成のためのフィージビリティスタディ

これまでは主に弁差圧と流量による異常検知方法、弁変位検知センサー付単式逆止弁による異常検知方法に関する研究を行った。ここでは、これらの装置を量産した場合の装置化の例と想定価格を示すとともに、異常検知性能では若干劣ると考えられるが、より安価で装置化が期待できる異常検知装置付逆流防止装置の例を示す。それぞれの方式の特徴及び想定価格を表6に、装置の概略

表6 各方式の特徴と想定価格

| 方式 | それぞれの特徴  | 想定価格※1                       |
|----|--|------------------------------|
| 1  | 逆流防止器の一次側と二次側に差圧計を設置し、流量計を通常は一次側に、減圧式逆流防止器の場合は一次側及び二次側に設置し、差圧と流量を計測し、異常検知するソフトを備え、異常の場合は赤ランプが点灯する。警報方式は設置場所に対応して変更する。警報方式は方式1と同じ。(図32 方式2概略図を参照) | 10万円/一基(差圧計、流量計が高価となる)       |
| 2  | 逆流防止器に弁体変位検出装置と流量計または差圧計を取付け、異常検知するソフトを備える。価格を考慮し、弁体変位検出装置のみを取り付け、弁が開いている時間で異常検知する方式もある。(図33 方式1概略図を参照)  | 8万円/一基(弁体変位検出装置のみの場合は5万円/一基) |
| 3  | 逆流防止器の一次側と二次側に差圧計を設置し、差圧が0になった場合に異常検知するソフトを備える。警報方式は方式1と同じ。(図34 方式3概略図を参照)   | 7万円/一基                       |
| 4  | 逆流防止器の一次側に流量計を設置し、逆流を監視するソフトを備える。警報方式は方式1と同じ。(図35 方式4概略図を参照)   | 5万円/一基                       |

※1 想定価格は量産した場合の目標である。

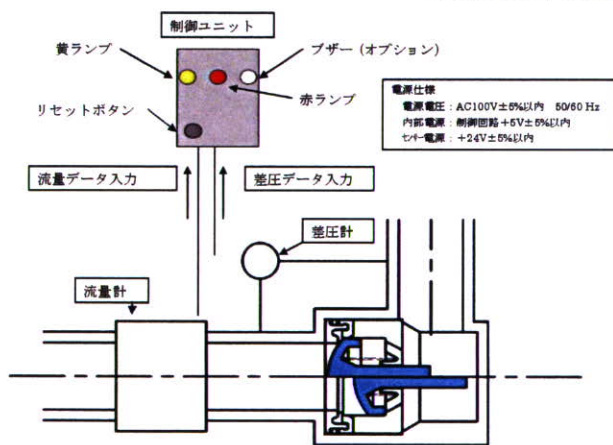


図32 方式1の概略図

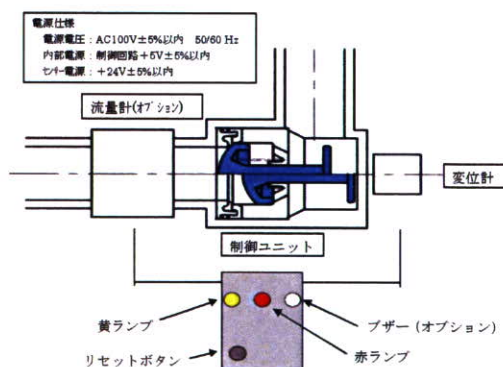


図33 方式2の概略図

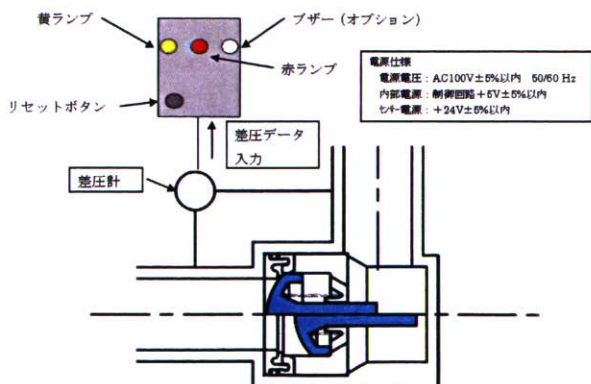


図34 方式3の概略図

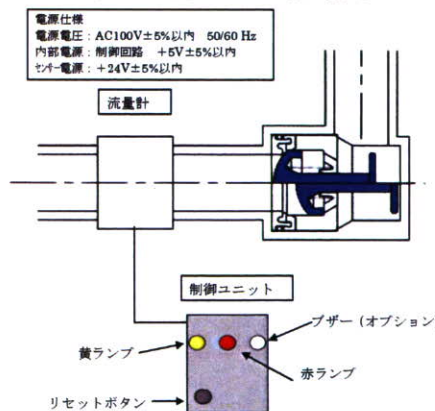


図35 方式4の概略図

図を図 32 から図 35 に示す。

## 4 考察

### 4.1 弁差圧及び流量による減圧式逆流防止器の異常検知手法開発

3.1 項の実験結果から弁差圧と一次側流量による一次側弁異常時の異常検知条件を模式化した図を図 35 に示す。正常時の場合、正圧下では最低作動弁差圧以下で流量は 0 であり、それ以後正方向に上昇する。逆圧及び負圧による陰圧下では、それぞれ挙動は微妙に異なるものの最終的に 0 となる。一方、一次側に弁異常がある場合、正圧下では領域 1 に位置し、常に正流量が発生する。陰圧下では、逆圧時と負圧時で挙動が異なり、逆圧時には領域 2 に位置し、負圧時には主に領域 4 に位置する。なお、弁差圧と二次側流量における挙動は図 36 の弁正常時と同様の挙動であった。

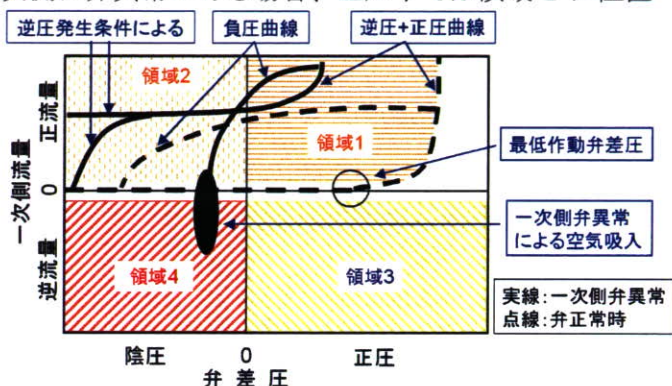


図 35 弁差圧と一次側流量による一次側弁異常の異常検知条件

次に弁差圧と二次側流量による二次側弁異常時の異常検知条件を模式化した図を図 36 に示す。正常時の場合、図 35 の一次側流量の場合と同じく、正圧下では最低作動弁差圧以下で流量は 0 であり、それ以後正方向に上昇する。逆圧及び負圧による陰圧下では、それぞれ挙動は微妙に異なるものの最終的に 0 となる。二次側に弁異常がある場合、正圧下では領域 1 に位置し、最低作動弁差圧以下で正流量が発生する。陰圧下では、逆圧時と負圧時で挙動が異なり、逆圧時には領域 4 に位置し、負圧時にも最終的に領域 4 に位置する。また、正圧下ではあるが、逆圧過程においては、領域 3 に位置する。なお、弁差圧と一次側流量の挙動は、図 35 の弁正常時の場合と同様であった。

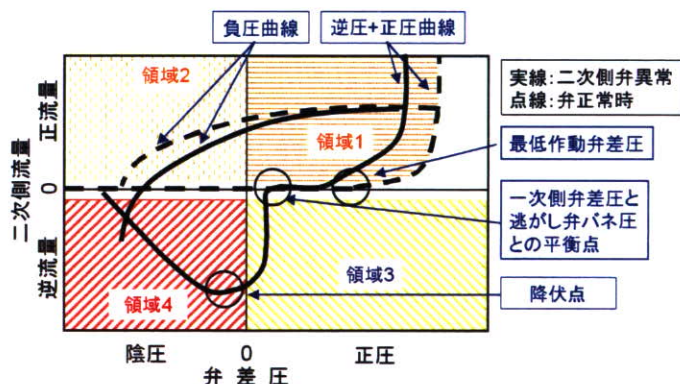


図 36 弁差圧と二次側流量による二次側弁異常の異常検知条件

両側弁異常時では、弁差圧と一次側流量の挙動は、一次側弁異常時とほぼ同様の傾向となるが、逆圧状態において領域 4 に位置する場合があります、この場合は二次側から一次側に対し

表 7 各弁異常条件における異常検知条件の比較

|             | 正常               | 一次側弁異常             | 二次側弁異常             | 両側弁異常              |
|-------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| <b>正圧状態</b> |                  |                    |                    |                    |
| 弁差圧         | 正                | 正                  | 正                  | 正                  |
| 一次側流量       | 0~正<br>(最低作動弁差圧) | 常に正                | 0~正<br>(最低作動弁差圧以下) | 常に正                |
| 二次側流量       | 0~正<br>(最低作動弁差圧) | 0~正<br>(最低作動弁差圧以下) | 0~正<br>(最低作動弁差圧以下) | 0~正<br>(最低作動弁差圧以下) |
| <b>逆圧状態</b> |                  |                    |                    |                    |
| 弁差圧         | 負                | 負                  | 負(一部正)             | 負                  |
| 一次側流量       | 0                | 正~0                | 0                  | 正~負                |
| 二次側流量       | 0                | 0                  | 負                  | 負                  |
| <b>負圧状態</b> |                  |                    |                    |                    |
| 弁差圧         | 負                | 負                  | 負                  | 負                  |
| 一次側流量       | 0※1              | 負(空気)              | 0※1                | 負(空気と逆流水)          |
| 二次側流量       | 0                | 0                  | 負                  | 負                  |

て逆流が発生している。弁差圧と二次側流量の挙動では、二次側弁異常時と同様の傾向を示している。

これらのそれぞれの異常検知条件をまとめると表 7 のとおりである。このように図の領域のいずれに位置しているかを判別することで異常検知が可能である。しかし、どちらかの流量のみでは異常の発生場所の特定までは出来ないため、それぞれの判定図を作成し、組み合わせて判断することで、一次側弁異常、二次側弁異常等の異常原因を特定することが可能となる。

また、これまでの他のバネ式逆止弁と同様の一種類の弁差圧（一次側弁差圧、二次側弁差圧または弁差圧）と一種類の流量（一次側流量または二次側流量）の組合せで異常検知可能な範囲の検討を試みた。別紙 1 は、それぞれの組合せで異常が生じた場合に起こるそれぞれの状況を表したものである。判別不可能とは弁正常時と同様の挙動を示している場合を指す。別紙 1 の結果から、一次側への逆流が検知可能である一次側流量と通常の設定下において日常的な管理が可能な正圧状態の異常検知ができる弁差圧または二次側弁差圧の組合せが最も実用に適した組合せであると考えられる。

#### 4.2 現実に即した実験条件における圧力及び流量データ取得方法の検討

3.2 項の結果から正圧状態における最低作動弁差圧を用いた異常検知の判定は、緩やかな吐水過程では可能だが、急激な吐水過程では非常に困難である。この問題を解決するには、現在使用している圧力計及び流量計の応答速度を改善するか、吐水側水栓の開閉を緩やかにするかである。圧力計については 0.1 秒間隔、流量計についてはダンピング時定数で 0.5 秒と非常に高速でのデータ収集を行っており、これをさらに改善することは現段階でコスト面等を考えても実用化に向けて不利である。したがって、より現実的な方法は開栓速度を緩やかにする方法を活用することが有効であるものと考えられる。しかし現在、給水装置には様々な水栓が開発され、電磁弁、シングルレバー水栓等の開栓速度が非常に速いものが多い。したがって、このような通常使用される水栓による異常検知については判定不能として処理し、異常点検用の操作方法を設定した、特定の水栓を用いて日常的な弁異常検知を可能とする方法が有効であると考えられる。

また、逆圧または負圧状態における弁差圧及び流量による異常検知に関しては、最低作動弁差圧のような数値的な判定ではなく、領域的な判定となるため、急激な水圧状態の変化にもデータのバラツキはあるものの判定は可能である。

#### 4.3 弁変位量計測による単式バネ式逆止弁異常検知方法の有効性の検討

弁変位量検知による異物噛みの場合の異常検知方法としては 3.3 項で整理した結果から表 8 のとおりである。

したがって、異物噛みによる異常検知に関してはいずれの組合せでも有効な手法であると考えられる。しかし、今回実験は行っていないが、仮に弁異常状態が異物噛みではなく、逆止弁に傷がついている場合を想定すると弁変位が発生しない状態で逆圧等による逆流が発生することが考えられる。この場合の異常検知方法は、弁差圧のみによる方法または流量のみによる方法とな

表 8 弁変位量検知方法を組合せた異常検知方法（異物噛み）

| 組 合 せ        | 異 常 検 知 方 法                            |
|--------------|--|
| 弁変位と弁差圧による方法 | 弁差圧が負～最低作動弁差圧の範囲において弁変位が負である場合、弁異常となる。 |
| 弁変位と流量による方法  | 流量が負～0の範囲において弁変位が負である場合、弁異常となる。        |



り、それぞれの異常検知方法の長所と短所を整理すると表9のようになる。

この結果から弁変位と弁差圧の組合せによる方法は、不確実的な要素が大きいですが、早期発見の観点からは優れた方法であるといえ、

弁変位と流量による異常検知方法では早期発見はできないが、確実な異常検知が期待できるものと考えられる。

表9 弁変位置検知方法を組合せた弁異常検知方法の長所と短所  
(弁に傷がある場合)

| 組合せ                     | 長所  | 短所   |
|-------------------------|---|--|
| 弁変位と弁差圧による方法<br>(弁差圧のみ) | ・弁異常時には静水状態で逆止弁一次側と二次側の弁差圧が0になるため、これを異常として検知することで通常の使用状態において異常検知が可能である。 | ・陰圧状態となった場合に、逆流が発生しているかどうかの区別ができない。<br>・通常の使用状態において水撃作用等により、弁正常時であっても一次側と二次側の弁差圧が0付近になる可能性がある。 |
| 弁変位と流量による方法<br>(流量のみ)   | ・確実な逆流の検知が可能である。  | ・通常の使用状態(正圧)においての異常検知ができない。  |

#### 4.4 異常検知装置付逆流防止装置作成のためのフィージビリティスタディ

3.4項で示した各異常検知装置付逆流防止装置は、最低価格の方式で目標量産価格が5万円となっており、今回実験で用いた単式逆止弁の8倍程度の金額となり、現時点では実用化のための適切な価格設定になっているとはいえない。このため、逆流発生時における被害想定を行い、費用対効果を検討した上で設置することが必要である。また、今後更なるコスト低下に向けた技術的な検討も必要である。さらには、現段階で提案した試作案は、有線で非常警報を行う方式であるが、非常警報の送信先として24時間体制で適切かつ速やかな対応を構築できる組織でなくてはならない。このような組織の役割を事業体が自ら行うのか、別組織に委託して行うのか等、非常時における維持管理体制の検討も今後必要であるものと考えられる。

## 5 まとめ

現在、一部の都市ではφ75mmの増圧ポンプが使用開始されるなど直結給水方式はますます拡大している中で、循環式の風呂釜のような給水用具からの逆流事故も各地で数例起きており、逆流に対しては様々な対策を講じる必要に迫られている。特に、増圧直結給水方式では増圧ポンプの保守点検時、また受水槽を用いた給水方式でも受水槽やポンプの清掃・点検時に、立て管内で負圧が発生する可能性があり、直結している給水用具から水質的に変化した水を引き込む恐れもある。

そのため、クロスコネクションや逆圧あるいは負圧の発生を未然に防止することが肝要となってくるが、完全な予防法が確立されていないのが現状である。このような状況では、適切な逆流防止装置を適正に設置することがより重要となるが、やはり異物噛み等の異常による逆流の恐れを完全に払拭することは困難である。

今年度は、主に異常検知方法の実用化に向けた研究を行い、以下の結果が得られた。

弁差圧及び流量による減圧式逆流防止器の異常検知手法の開発では、減圧式逆流防止器であっても両側弁異常時には逆流の可能性があり、異常検知が必要であること、同様のバネ式逆止弁である単式逆止弁や二重式逆止弁と比較し、弁差圧と流量による異常検知方法は複雑な判定にはなるが異常検知可能であること等を明らかにした。

現実に即した実験条件における圧力及び流量データの取得方法の検討では、急激な吐水

状態における弁異常の検知は困難であるが、異常点検用の操作方法を設定した水栓を用いることで対応が可能になること、逆圧、負圧状態においては急激な水圧変化があっても特に支障がないことを明らかにした。

弁変位量計測による単式バネ式逆止弁異常検知方法の有効性の検討では、弁変位と弁差圧、弁変位と流量による異常検知方法の組み合わせについて異常状態によるそれぞれの異常検知条件等を明らかにした。

異常検知装置付逆流防止装置作成のためのフィージビリティスタディでは、いくつかの異常検知装置の例を示したが、装置化にあたり最も単純な異常検知装置であっても適切な価格設定まではまだ課題が残ること、異常時における維持管理体制の構築について今後、検討が必要であること等の課題を整理した。

これらのことから、未だいくつかの課題は残るものの異常検知装置付逆流防止装置の実用化に向けた成果が得られた。現段階では、逆流防止装置における異常監視は、定期的点検に頼っているのが現状だが、即時的な対応は困難である。この異常検知装置付逆流防止装置が実用化されれば、弁異常に伴う逆流の危険性を大幅に軽減することが期待できる。今年度は本研究の最終年度に当たるが、残る課題の解決に向け今後も検討を重ね、これまでの研究結果等とあわせ、更なる逆流防止システムの構築に向けた研究を進め、安全、安心な水道行政に寄与することとしたい。

#### 参考文献

- 1) 株式会社タブチホームページ ([http://www.tabuchi.co.jp/products/pdf/p3\\_9/genatsu.pdf](http://www.tabuchi.co.jp/products/pdf/p3_9/genatsu.pdf))

## 減圧式逆流防止器異常検知手法の組合せ(1)

|                      |  | 弁正常                                | 一次側弁異常                              | 二次側弁異常                  | 両側弁異常                               |
|----------------------|--|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| 一次側流量及び二次側流量による異常検知  |  |                                    |                                     |                         |                                     |
| 正圧                   |  | 一次側流量と二次側流量が等しい                    | 一次側流量が正、二次側流量が0                     | 判別不可能                   | 一次側流量が正、二次側流量が0                     |
| 逆圧                   |  | 一次側流量と二次側流量が0                      | 一次側流量が正、二次側流量が0                     | 一次側流量が0、二次側流量が負         | 一次側流量が0から負、二次側流量が負                  |
| 負圧                   |  | 一次側流量と二次側流量が0、但し、一次側流量に瞬間的に微小な逆流あり | 一次側流量が負、二次側流量が0、但し、一次側流量のデータにバラツキあり | 一次側流量が0、二次側流量が負         | 一次側流量が負、二次側流量が負、但し、一次側流量のデータにバラツキあり |
| 一次側流量及び弁差圧による異常検知    |  |                                    |                                     |                         |                                     |
| 正圧                   |  | 最低作動弁差圧以下で流量0、以上で正流量               | 一次側流量が常に正の流量                        | 一次側流量が最低作動弁差圧以下で正の流量    | 一次側流量が常に正の流量                        |
| 逆圧                   |  | 一次側流量が0                            | 一次側流量が正から0                          | 判別不可能                   | 一次側流量が正から負                          |
| 負圧                   |  | 一次側流量が最終的に0                        | 一次側流量が負、但し、一次側流量のデータにバラツキあり         | 判別不可能                   | 一次側流量が負、但し、一次側流量のデータにバラツキあり         |
| 一次側流量及び一次側弁差圧による異常検知 |  |                                    |                                     |                         |                                     |
| 正圧                   |  | 一次側最低作動弁差圧以下で0、以上で正                | 一次側流量が常に正                           | 判別不可能                   | 一次側流量が常に正                           |
| 逆圧                   |  | 一次側流量が0                            | 一次側流量が正から0                          | 判別不可能                   | 一次側流量が正から負                          |
| 負圧                   |  | 一次側流量が最終的に0                        | 一次側流量が負、但し、一次側流量のデータにバラツキあり         | 判別不可能                   | 一次側流量が負、但し、一次側流量のデータにバラツキあり         |
| 一次側流量及び二次側弁差圧による異常検知 |  |                                    |                                     |                         |                                     |
| 正圧                   |  | 二次側最低作動弁差圧以下で0、以上で正                | 一次側流量が常に正                           | 一次側流量が二次側最低作動弁差圧以下で正の流量 | 一次側流量が常に正                           |
| 逆圧                   |  | 一次側流量が0                            | 一次側流量が正から0                          | 判別不可能                   | 一次側流量が正から負                          |
| 負圧                   |  | 一次側流量が最終的に0                        | 一次側流量が負、但し、一次側流量のデータにバラツキあり         | 判別不可能                   | 一次側流量が負、但し、一次側流量のデータにバラツキあり         |

減圧式逆流防止器異常検知手法の組合せ(2)

| 弁正常                  |                        | 一次側弁異常               | 二次側弁異常               | 両側弁異常                |
|----------------------|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 二次側流量及び弁差圧による異常検知    |                        |                      |                      |                      |
| 正圧                   | 最低作動弁差圧以下で流量0、以上で正流量   | 二次側流量が最低作動弁差圧以下で正の流量 | 二次側流量が最低作動弁差圧以下で正の流量 | 二次側流量が最低作動弁差圧以下で正の流量 |
| 逆圧                   | 二次側流量が0                | 判別不可能                | 二次側流量が負の流量           | 二次側流量が負の流量           |
| 負圧                   | 二次側流量が0                | 判別不可能                | 二次側流量が負の流量           | 二次側流量が負の流量           |
| 二次側流量及び一次側弁差圧による異常検知 |                        |                      |                      |                      |
| 正圧                   | 一次側最低作動弁差圧以下で流量が0、以上で正 | 一次側最低作動弁差圧以下で正の流量    | 判別不可能                | 一次側最低作動弁差圧以下で正の流量    |
| 逆圧                   | 二次側流量が0                | 判別不可能                | 二次側流量が負の流量           | 二次側流量が負の流量           |
| 負圧                   | 二次側流量が0                | 判別不可能                | 二次側流量が負の流量           | 二次側流量が負の流量           |
| 二次側流量及び二次側弁差圧による異常検知 |                        |                      |                      |                      |
| 正圧                   | 二次側最低作動弁差圧以下で0、以上で正の流量 | 判別不可能                | 二次側最低作動弁差圧以下で正の流量    | 二次側最低作動弁差圧以下で正の流量    |
| 逆圧                   | 二次側流量が0                | 判別不可能                | 二次側流量が負の流量           | 二次側流量が負の流量           |
| 負圧                   | 二次側流量が0                | 判別不可能                | 二次側流量が負の流量           | 二次側流量が負の流量           |

## Ⅱ－3 給水末端システムの管理方法に関する研究；

### 1. 給水末端システムの管理方法の研究

主任・分担研究者 中村 文雄 (財) 給水工事技術振興財団  
研究協力者 若松 亨二 (株) 日水コン

#### 1. 研究の目的

本研究は、給水末端での水質や水圧・流量の異常、給水装置の異常等の対応を行うために、給水末端で取得可能なデータの整理と管理システムのあり方の検討、取得データに基づく異常判定や異常予測への活用方法の検討、給水末端システムの維持管理・リスク管理に関する体制整備等の検討を行う。

このうち本年度の研究は、想定する給水末端システムについて、現行法制度下での課題等を整理した上で、水道事業者及び需要者の投資効果や費用負担の面から、その実現可能性を検討し、水道システムとしての有用性を評価することを目的とする。

#### 2. 研究の方法

本年度の研究は、図1に示す3カ年研究の最終年度であり、これまでの成果を踏まえ、実現可能性についての検討を行う。具体的には、平成18年度に想定した維持管理システムの体制と管理対象となる給水末端のモデルを設定し、経済性の面から検討を行う。

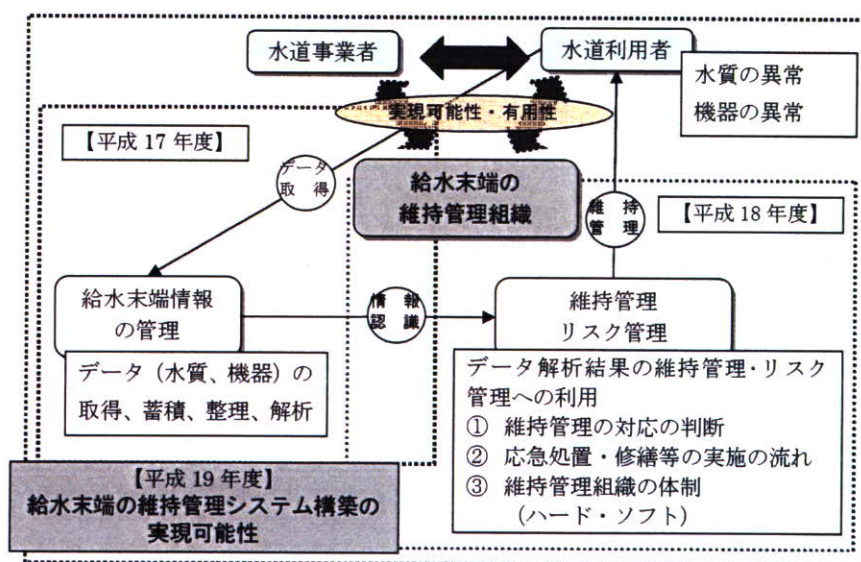


図1 3カ年の研究と本年度研究

#### 2.1 維持管理システムの設定

本研究の検討対象とする給水末端の維持管理システムは、次の3ケースを想定する。

- ① 私有財産としての給水末端の維持管理システム（費用負担：需要者）

- ② 上記①案の条件で水道事業者との情報共有を図る（費用負担：需要者、水道事業者は情報利用に対する対価を負担）
- ③ 給水末端システムの維持管理組織と水道施設の維持管理組織の連携（給水末端を含む水道システムとしての維持管理）を図る（費用負担：水道事業者、需要者は水道料金として負担）

## 2.2 モデルケースの検討

モデルケースの検討は、以下の事項を設定して各案について、現行法制度化での課題、及びメリット・デメリットの整理、構築費用・運営費用の算出、その費用に基づく需要者や水道事業者の費用負担の試算を行なう。さらに、維持管理システムの構築により回避されると想定されるリスクを設定して、費用便益比の試算を試みる。

設定する事項：組織体制、業務内容、必要設備

## 2.3 実現可能性について

モデルケースの検討結果から、各ケースの費用面からの実現可能性について考察する。また、費用対効果の観点から、水道システムにおける給水末端の維持管理システムの有用性について評価を行なう。

## 3. 研究結果

### 3.1 維持管理システムの設定

維持管理体制は、次に3つの方法を考えることとする。

図2は、給水装置が私有財産であることから、基本的に給水末端の管理を独立した維持管理組織により行い、必要に応じて水道事業者との連携を行う方法とする。この場合、利用者は、給水末端の維持管理に対するサービスの対価を直接維持管理組織に支払うこととなる。

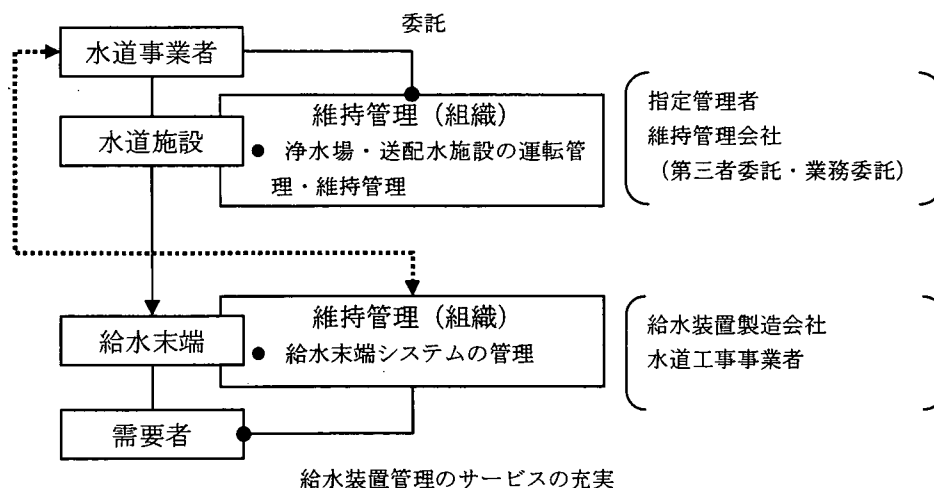


図2 維持管理の方法（ケース1A）

図3は、ケース1Aを基本とした上で、給水末端の維持管理組織と水道事業者（水道施設の維持管理組織を含む）との情報共有等の連携を図る方法である。この連携は、組織間での協定等が必要と考えられるが、強制力や責任の所在等に曖昧さが残る可能性がある。この場合もケース1Aと同様に、利用者は、給水末端の維持管理に対するサービスの対価を直接維持管理組織に支払うこととなる。

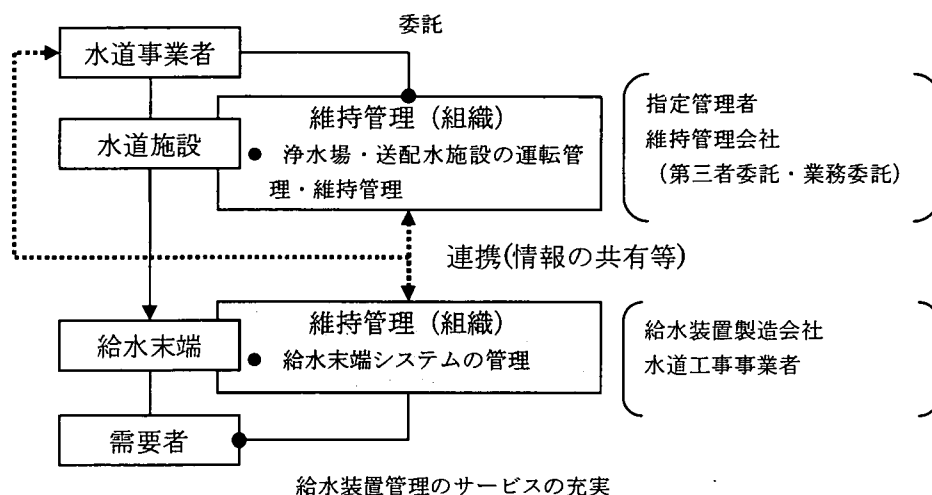


図3 維持管理の方法（ケース1B）

図4は、ケース1Bの連携をさらに進めて、給水末端も含めた水道システムとしての連携を行う方法である。この水道システムとしての連携は、維持管理組織との契約に基づくことが必要であり、また、水道水の供給責任を有する水道事業者が主体的な立場になる必要がある。そのため、給水末端の維持管理サービスの対価は、水道料金と併せて水道事業者が徴収する方法が適していると考えられる。

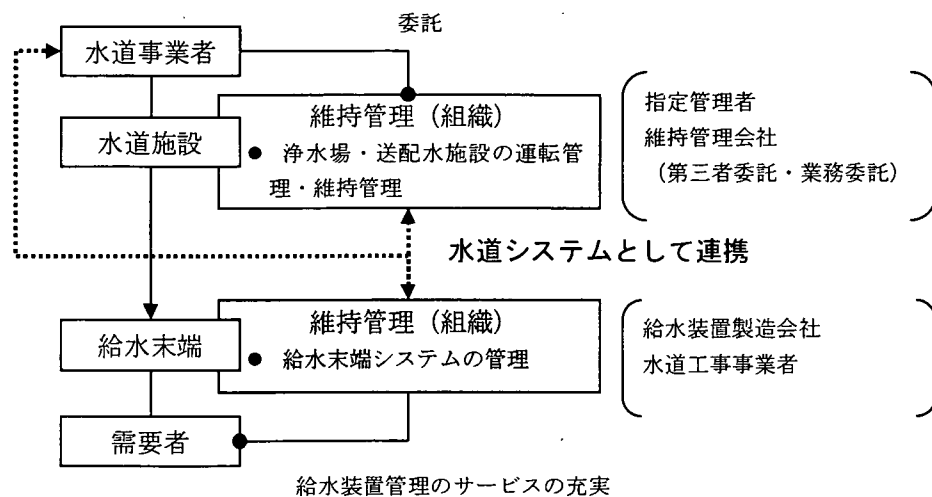


図4 維持管理の方法（ケース2）

これらのうち、ケース1 Aとケース1 Bについては、給水末端の維持管理組織の位置づけが、水道事業者から独立した組織であるため、以下の比較検討ではケース1として扱い、水道事業者との連携は、給水末端側の情報を対価をもって水道事業者に提供することに限定することとする。

ケース1とケース2について、長所・短所等の比較を行うと表1となる。

ケース1は、現行法制度内で対応可能な方法であるが、水道事業者の関与できる範囲が限定されるため、水道水の安全性確保のために水道システムとしての対応が難しい。ケース2は、水道システムとして水源～給水末端までの一貫した維持管理システムの実現につながるものとなり得るが、私有財産である給水装置に対する関与の面で現行法制度での対応が難しい部分が残る。

また、いずれの組織体制においても、水道利用者が給水末端の維持管理の必要性を認識して、そのサービスを受ける（対価を払う）ことが、このシステムを成立させる前提となる。このためには、利用者や水道事業者をはじめとする関係者の認識を高めること、給水末端の維持管理サービス内容の充実を図ること、さらには、法制度面の整備が必要である。



表1 維持管理体制2ケースの比較表

| 項 目         |       | ケース1  | ケース2   |
|-------------|-------|---|--|
| 概要          | 組織体制  | <ul style="list-style-type: none"> <li>給水装置の維持管理のノウハウを有する会社等（給水装置製造会社や水道工事事業者等）により構成する維持管理組織（会社、事業組合等）</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>同左</li> <li>水道事業者、または管理受託事業者との連携（一体的な組織、委託等）</li> </ul>                               |
|             | 業務内容  | <ul style="list-style-type: none"> <li>水道利用者（需要者）に対するサービスとして行う業務</li> <li>給水装置での水質連続モニタリング</li> <li>水質異常に対する対応（給水装置部分のみ）</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>同左</li> <li>異常対応において、水道事業者との連携（情報共有等）</li> <li>水道事業者が行う給水装置に関する業務の全部または一部</li> </ul>  |
|             | 必要設備  | <ul style="list-style-type: none"> <li>中央監視設備</li> <li>末端モニタリング設備</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>同左</li> <li>水道事業者との情報共有・連携に必要な設備</li> </ul>   |
| 関係者         | 水道事業者 | <ul style="list-style-type: none"> <li>基本的には、給水装置（私有財産部分）のみ業務対象とし、利用者の要望がある場合、水道事業者への仲介（問合せ、報告、指導要請等）を行う</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>同左</li> <li>給水末端の維持管理システム事業者は、水道事業者と委託</li> <li>給水原価に組入れて、利用者から水道料金として徴収する</li> </ul> |
|             | 利用者   | <ul style="list-style-type: none"> <li>利用者は、水質監視・異常対応のサービスの対価として、料金を支払う</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>利用者は、水質監視・異常対応のサービスを水道サービスの一つとして選択し、水道料金の徴収と併せて支払う。</li> </ul>                        |
| 特徴          | 長所    | <ul style="list-style-type: none"> <li>現行法制度内で対応可能</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>水源～給水末端までの一貫した維持管理システム（につながる）</li> </ul>  |
|             | 短所    | <ul style="list-style-type: none"> <li>水道事業者の関与できる範囲が限定されるため、給水末端システムの独立した維持管理システムとなる</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>現行法制度で対応できにくい部分がある</li> </ul>   |
| 実現可能性における課題 |       | <ul style="list-style-type: none"> <li>関係者（水道事業者、利用者を含む）の意識</li> <li>利用者が維持管理サービスの価値（対価を払う意義）を認識</li> <li>水道システムとして蛇口からの水の水質に対する安全性確保</li> <li>維持管理サービスの内容の充実を図ること</li> <li>法制度面の見直し</li> </ul> |  |

### 3.2 モデルケースの検討（経済性の検討）

経済性の面から実現可能性を検討するために、費用対効果の検討を行う。費用対効果の検討は、水道水の安全性確保（リスク管理）の面から、リスク発生に伴う損失を便益として見込み、費用便益比の算定を試みる。

#### 3.2.1 リスク管理面からの費用便益比算定の考え方

費用便益比の算定は、表2に示すモデル地域を設定し、損益上利益（粗利）が見込める設備投資や料金設定が可能であると仮定する。なお、実際の事業として成立するには、一般管理費等も考慮した費用が必要であり、事業としての採算性までは考慮していない。

表2 モデル地域の条件及び収益・費用の概算

| 項目   |           | 単位    | 費用・数量   | 備 考                            |
|------|-----------|-------|---------|--------------------------------|
| 条件   | 人口        | 人     | 50,000  |                                |
|      | 戸数        | 戸     | 16,667  | 世帯人数3.0人                       |
|      | 各戸のモニター設備 | 円     | 30,000  | 耐用年数5年                         |
| 年間収益 | サービス料金    | 円/月・戸 | 500     |                                |
|      | 料金収入      | 千円    | 100,002 | サービス料×12ヶ月×戸数                  |
|      | 情報提供・その他  | 千円    | 5,000   | 水道事業者等への情報提供の対価                |
|      | 計         |       | 105,002 |                                |
| 年間費用 | 人件費       | 千円    | 8,000   | 管理要員として1人を見込む                  |
|      | 設備(中央)    | 千円    | 2,813   | 初期投資額50,000千円、耐用年数16年(残存価額10%) |
|      | 設備(各戸)    | 千円    | 90,002  | (各戸モニター設備費用×戸数) / 耐用年数5年       |
|      | 計         | 千円    | 100,814 |                                |

費用と便益の考え方は、次のとおりとして表3のように費用便益比を算定した。（「費用対効果マニュアル」（平成19年 厚生労働省）を参考資料とした。）

- 費用 (C) : システム (中央・末端) の初期投資額、維持管理費 (人件費等)
- 便益 (B) : 水質異常に気が付かずに水道水を使用し続けることによる被害 (健康被害など) ⇒ 1割の人がそのことを回避するために飲料水 (1リットル/人日) としてボトルドウォーターを使用すると想定
- 現在価値への換算係数 : 割引率を4%として耐用年数に応じて算出
- 費用便益費 (B/C) : 計測期間を50年間として費用と便益を計算

### 3.2.2 試算結果と考察

前項で示した条件により、費用便益比を算出すると表3のとおりとなる。費用便益比は1.46となり、費用対効果はある程度期待できる結果となった。

表3 費用便益比の試算

| 項目     |           | 単位  | 費用/便益   | 換算係数  | 総費用/総便益   | 備考              |
|--------|-----------|-----|---------|-------|-----------|-----------------|
| 費用 (C) | 人件費       | 千円  | 8,000   | 21.48 | 171,840   | 1人              |
|        | 設備(中央)    | 千円  | 50,000  | 1.85  | 92,500    | 耐用年数16年         |
|        | 設備(各戸)    | 千円  | 500,010 | 4.83  | 2,415,048 | 耐用年数5年          |
|        | 計         | 千円  |         |       | 2,679,388 |                 |
| 便益 (B) | 影響戸数      | 戸   | 1,667   |       |           | 全世帯             |
|        | リスク回避する割合 | %   | 10      |       |           | 仮定              |
|        | ボトルドウォーター | 円/人 | 36,500  |       |           | 100円/1ℓ、1ℓ/人日使用 |
|        | 便益        |     | 182,537 | 21.48 | 3,920,884 |                 |
| 費用便益比  | B/C       |     |         |       | 1.463     |                 |

この試算結果には、いくつかの仮定条件が含まれているため、それらの仮定条件の変化に対する結果への影響（感度分析）を検討する。

- 事業規模：給水人口 50,000 人（全戸がサービスを受けるものと仮定）
- 各戸のモニター設備の単価及び料金設定：モニター設備 30,000 円/戸⇒使用料金として、500 円/戸月\*と設定）  
※ 維持管理システムのサービス料金として、利用者が支払い可能な金額の想定（東京ガスのガス漏れ等の異常検知・通報サービス（493 円/月）等を参考）
- 給水末端の水質異常による事故の頻度とリスクとしての認識：10%の仮定の妥当性

#### 1) 事業規模について

他の条件を固定（初期条件）して、給水人口を 2,500～100,000 人まで変化させた場合の費用便益を計算すると図5となり、利用者が 1 万人を超えると費用便益比は 1 を超え、利用者が 6.5 万人を超えると費用便益比は 1.5 を超える。

このことから、事業規模としては、1 万人以上を確保することが最低条件であると考えられる。

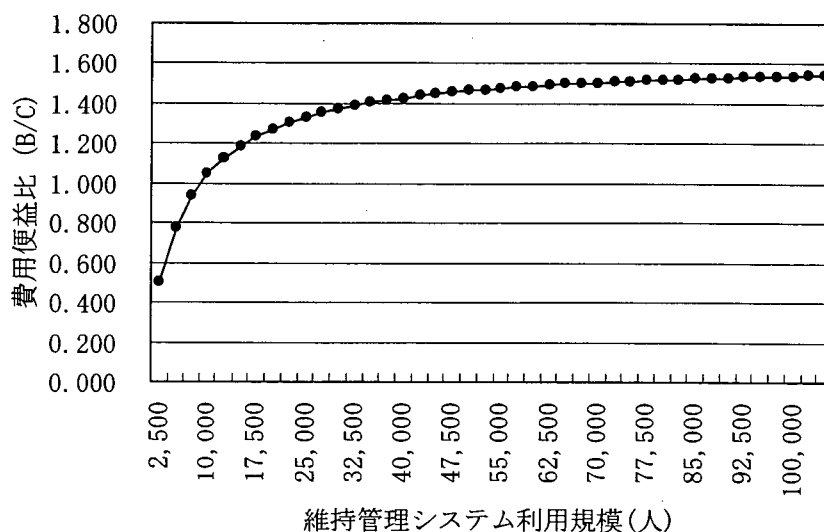


図5 事業規模と費用便益比

2) モニター設備の単価及び料金設定について

事業規模と同様に他の条件を固定（初期条件）して、料金設定を100～2,150円／月まで変化させた場合の費用便益を計算すると図6となり、利用料金が500円／月を超えると費用便益比は1.5を以下となり、利用料金が800円／月を超えると費用便益比は1.0以下となる。

このことから、利用者5万人の場合、料金設定としては、800円／月以下とすることが最低条件であると考えられる。なお、料金は、サービスの対価として利用者が妥当と判断するかどうかの問題であり、料金に見合ったサービスが伴わなければ成立しないのは言うまでもない。

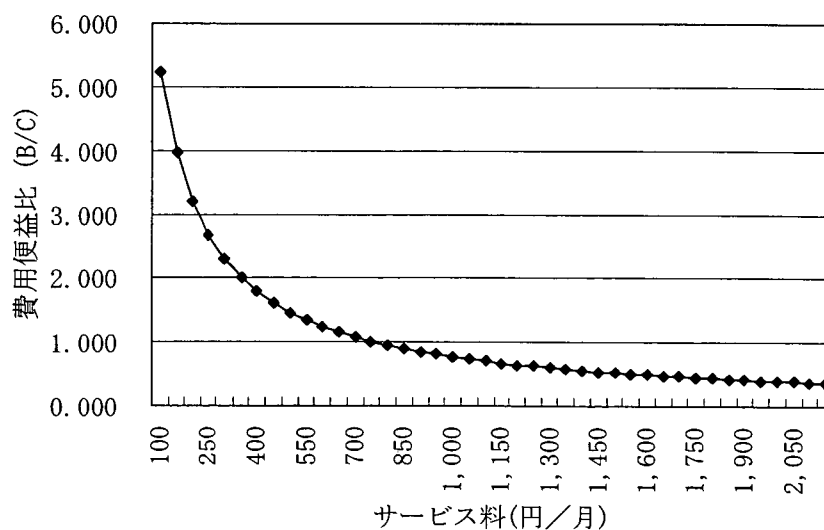


図6 料金設定と費用便益比