

別添 1

厚生労働科学研究費補助金

健康科学総合研究事業

家屋内での水有効利用と環境負荷低減に資する
給水システム構築に関する研究

平成14年度～16年度 総合研究報告書

主任研究者 中村 文雄

平成17(2005)年3月

厚生労働科学研究費補助金(健康科学総合研究事業)
家屋内での水有効利用と環境負荷低減に資する給水システム構築に関する研究
平成14年度～16年度 総合研究報告書

目次

I. 総合研究報告書

家屋内での水有効利用と環境負荷低減に資する
給水システム構築に関する研究

主任研究者 中村 文雄

1. 研究体制	1
2. サブテーマⅠ 水有効利用のための給水システム構築に関する研究	3
3. サブテーマⅡ 家屋内での水有効利用と環境負荷低減に関する研究	25

厚生労働科学研究費補助金(健康科学総合研究事業)
総合研究報告書

家屋内での水有効利用と環境負荷低減に資する給水システム構築に関する研究

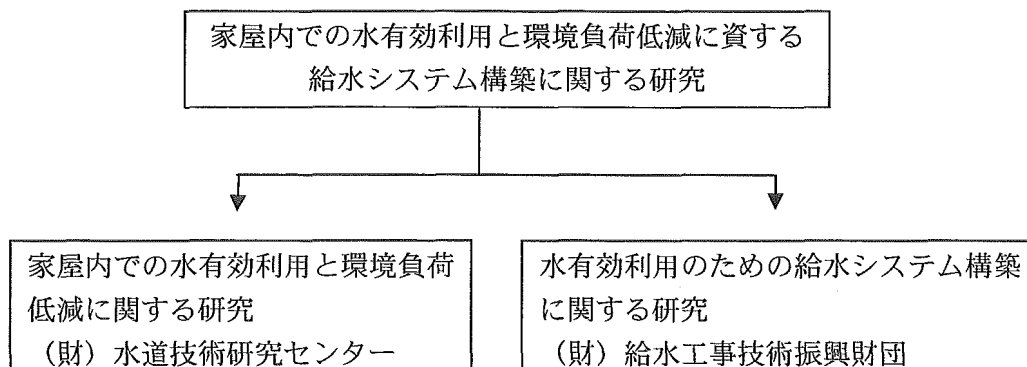
主任研究者 中村 文雄 財団法人給水工事技術振興財団技術アドバイザー

1、研究体制

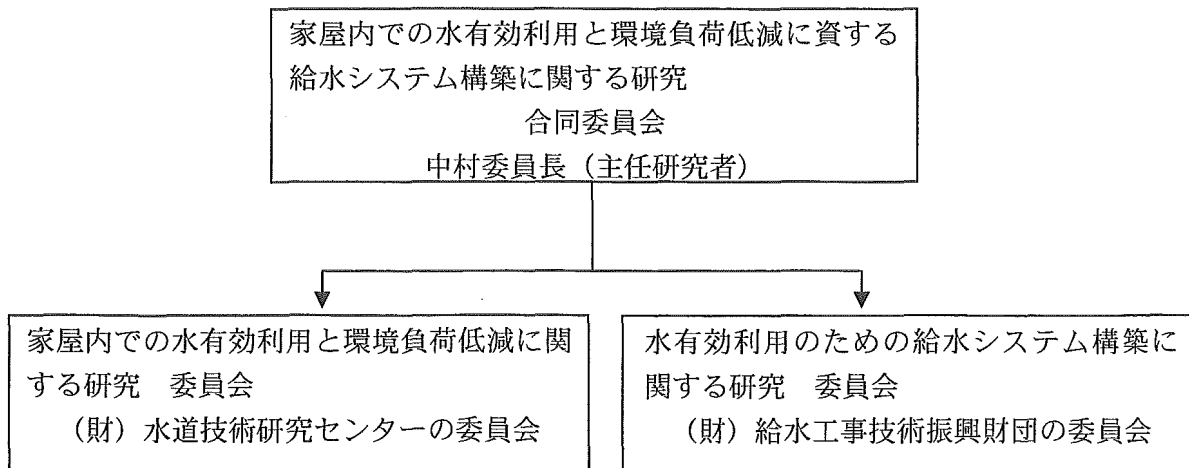
標記の課題を研究するに当たっては、水道水利用の原点である各家屋等における生活用水利用に対する量、質の両面からの合理化と、節水の促進等に基づく健全な水循環を考慮する必要がある。そこで、本研究では、下図に示す2つのサブテーマと対応する研究委員会からなる研究体制を立ち上げ、一方では、水の有効利用(節水とエネルギー活用)を通じて河川や下水道への負荷のみならずエネルギー消費を軽減した健全な水循環を構築することを目的として、居住環境に応じた水の有効利用手法(家屋スケール)についての研究開発を行い、他方では、家屋内での水の循環使用に伴って生ずる衛生的問題を回避するため、給水装置・用具の機能不全に由来する漏水および水質汚染等の事故事例の解析や、異常水流・異常水質等の早期検出に基づく給水システムの維持・リスク管理方法の検討等により、望ましい給水システムの構築方法を研究することとした。

したがって、以下において、各サブテーマ毎にその研究成果を報告する。

○研究体制



○委員会構成



サブテーマⅠ 水有効利用のための給水システム構築 に関する研究

主任・分担研究者 中村 文雄

分担研究者 杉山 俊幸

分担研究者 松井 佳彦

分担研究者 長岡 裕

分担研究者 伊藤 雅喜

サブテーマⅠ；水有効利用のための給水システム構築に関する研究

主任・分担研究者 中村文雄 財団法人 給水工事技術振興財団 技術アドバイザー
分担研究者 杉山俊幸 山梨大学工学部教授
分担研究者 松井佳彦 岐阜大学工学部教授
分担研究者 長岡 裕 武蔵工業大学工学部助教授
分担研究者 伊藤雅喜 国立保健医療科学院室長

研究要旨

本研究では、①給水装置・用具の機能不全に由来する漏水等の事故事例の調査・解析や、②異常水流・異常水質・異常水撃(水圧、音、振動)等の早期検出方法の開発、③逆流防止装置・器具の機能・特性などに関する研究を実施した。その結果、給水システム内における事故・工事の実態と望ましい給水システムの維持管理の方向性を明らかにし、また、不適切な装置工事や給水システム内における給水装置・用具の機能不全に由来する水質等異常現象の早期検出と迅速対応の可能性をより具体化し、水質異常による衛生的問題発生未然防止の可能性を高める事が出来た。したがって、これらの研究成果を基礎として、水利用の合理化・有効利用の目的に合致した安全性の高い給水システムの構築が可能となるものと考えられた。

A. 研究目的

健全な水循環を形成するためには、水道水利用の原点である各家庭等での水利用の合理化・節水・有効利用を促進する必要があるが、ここでは、水量への対応に加えて、衛生的な問題発生を回避するために水質の安全性確保が担保されなければならない。このような視点に立って、本研究では、給水システムの維持管理方法およびリスク管理方法の確立と、安全性の高い望ましい給水システムの構築方法について研究する事を目的として、①給水装置・用具の機能不全に由来する水質汚染等の事故事例の解析と維持管理に関する調査、②異常水流・異常水質・異常水撃(水圧、音、振動)等の早期検出方法の開発、③水質変換装置の給水システムへの影響 などに関する研究を実施することにした。

B. 研究方法

学識者、水道事業者および民間企業からなる「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」を設置し、研究計画その他に関して審議・検討を重ねた上で研究を実施してきた。初年度(平成14年度)は、大別して、(a)給水システムの維持管理方法、(b)リスク管理方法に焦点を当てて研究をスタートさせた。前者では、都市Aの給水システム内の事故・工事の実態を調査・解析すると共に、水道事業者および管工事組合(計471団体)に事故等に関するアンケート調査(回収率; 62.6%)を実施した。一方、後者では、「水撃作用(水圧(音・振動)変動異常)の検出方法」「水量、水質(EC,ORP)異常の検出方法」「濁度・懸濁粒子数・吸光度等を指標とした給水システム内の水質異常の検出」「水質変換装置などの給水システムへの導入方法」など4テーマの実験計画・実験装置の作成と基礎的な実験をスタートさせた。2年目(平成15年度)は、(a)給水システムの維持管理方法に関する研究では、6大都市における事故事例解析とアンケート調査表の解析を行った。また、(b)給水システムのリスク管理方法に関する4研究では、基礎的な実験結果に基づいて実験装置および解析方法の改良・改善を行って研究を実施してきたが、その結果、①水撃作用の自動判定システム構築の可能性や、②建物全体の水の使用量の推定および水質異常検出の可能性、また、③“濁りモニター 2号機”による濁度変化異常の検出の可能性が明らかれ、さらに、④負圧に対して逆止弁の多くは逆流の可能性があり、浄水器等の給水システムへの組み込みに配慮が

必要であることが指摘された。最終年度（平成16年度）は、(a) 給水システムの維持管理方法の検討では、都市Bにおける配水圧力と事故件数との相関性を明らかにすると共に、調査・解析結果に基づいて給水装置・用具および給水システムの維持管理のあり方に関する検討を行なった。また、(b) 給水システムのリスク管理に関する4テーマの研究では、平成14～15年度の実験結果に基づいて実験装置および解析方法の改良・改善を行った上で、水圧・水量・水質の異常現象検出装置の検出感度・解析方法の検討、および、逆流防止装置の機能に関する検討を行った。また、各研究の総括を行った。

（研究委員会の構成）

別表1

（倫理面への配慮）

給水システムにおける事故事例等調査においては、全国の水道事業者及び管工事業者組合等公共的団体が把握している総体的事故件数及び事故内容に関しての調査を実施し、給水用具の製造メーカーに対しては、既に公表している範囲のデータを収集するものであり、倫理的な問題は生じない。

C. 研究結果

前述のように、本研究は、大別して、(a) 給水システムの維持管理方法に関する研究と、(b) 給水システムのリスク管理方法に関する研究に焦点を当てて研究を実施してきた。そこで、以下においては、この分類に基づいて研究成果の概要を報告する。

1. 給水システムの維持管理方法に関する研究結果；

給水システムの維持管理に係わる研究として、①都市の給水システムにおける事故・工事の発生状況と発生要因に関する基礎的研究、②水道事業者・管工事組合に対する事故・工事関連事項のアンケート調査、および、給水装置・用具製造業団体に対する維持管理関連事項のアンケート調査、③調査・解析結果に基づいて給水装置・用具および給水システムの維持管理のあり方に関する検討を行った。

1-1 給水システムの事故工事発生状況・要因に関する基礎的研究（主任・分担研究者； 中村文雄）

1-1-1、地区による事故発生状況の差と、重回帰分析による事故発生件数の推定

平成14年度には都市A、平成16年度には都市Bにおける各地区の事故発生状況の調査・解析を行った。両都市において、地区毎にの給水人口や世帯数、面積などが異なるため各地区の工事発生件数は異なる。一方、各地区の1000世帯当り、給水人口1000当り、水道メーター数1000当り、給水量 10^6m^3 当り、および、面積 1km^2 当りの事故工事件数を求めると、地区間の変動幅がかなり平滑化されている傾向が認められ、これらは、当該地区の給水系事故工事数を決定する因子として作用していることを示唆していると考えられた。そこで、都市Bの平成14年度データを用いて、各地区の給水系事故工事総数を目的変数とし、各地区の単位（世帯数、給水人口、水道メーター数、給水量、面積）当りの事故工事数を説明変数として重回帰分析を行なった。求められた重回帰式は下記の通りである。

$$\text{事故工事総数} = 71.6427X_1 - 5478X_2 - 30.798X_3 + 95.208X_4 - 39.864X_5 - 96.565 \quad \dots \quad (1)$$

ここで、 X_1 = 世帯数 (x 1000)、 X_2 = 人口 (x 1000)、 X_3 = 水道メーター数 (x 1000)

X_4 = 給水量(10^6m^3)、 X_5 = 面積 (km^2)

また、この重回帰式に基づく各地区の事故工事発生件数の推定値と実際値との対応関係を図-1に示す。

図-1に見るように、両者は決定係数=0.9280、重相関係数=0.9633の相関関係にあり、1%危険率で有意レベルにある。換言すれば、重回帰式(1)により各地区の給水系事故工事件数がほぼ確実に推定されてい

ると言える。この現象は、都市Aでも認められたことであり、両都市に共通した現象であることが確認された。

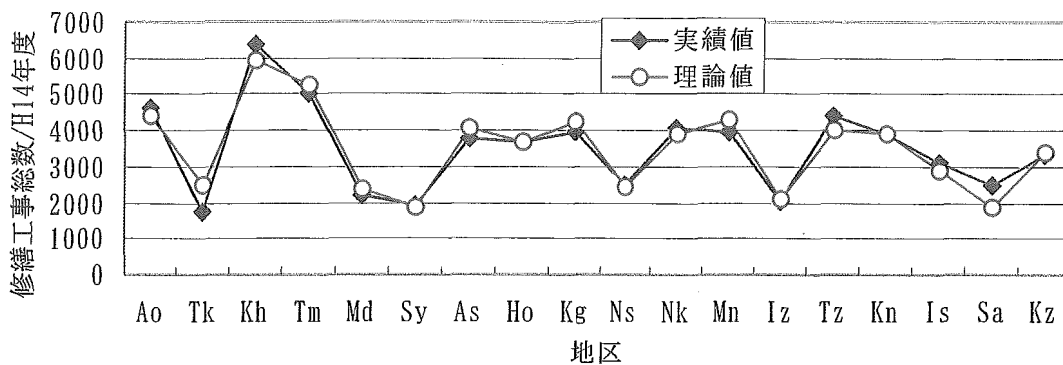


図-1 重回帰式による事故工事件数の実際値と推定値

1-1-2、事故工事発生の季節性と周期性

平成14年度は都市A、平成15年度は6都市、平成16年度は都市Bを研究対象として、事故工事件数の月変動に関して解析した。その結果の1例として、都市Bの6地区における経月変動を図-2に示すが、事故工事件数は、4月から徐々に増大し、高温期の8～10月にピークをとり、その後徐々に低下し、1～2月頃にやや増大して再び低下する傾向をもつ事が認められた。このような変動傾向は、他の12地区においても、また、高緯度地域に位置する都市Sを除く、都市Aおよび5大都市においてほぼ共通に認められた。また、経年変動は、上記の経月変動を反復する周期的な変動性を持つ事が認められており、6都市の平成11～13年度のデータに対する調和解析からは、都市Bの事故工事件数の月変動は下記の周期関数式(2)でシミュレートできた。

$$\begin{aligned} \text{事故工事総数} = & 6.89 - 283.91 \cos(K_i \times \pi / 6) + 9.39 \cos(2 K_i \times \pi / 6) + 47.61 \cos(3 K_i \times \pi / 6) \\ & + 586.99 \sin(K_i \times \pi / 6) + 281.26 \sin(2 K_i \times \pi / 6) - 147.94 \sin(3 K_i \times \pi / 6) \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

ここで、 K_i ; 各月の固有値 (-5 ~ +6)

なお、この式による都市Bの事故工事件数理論値の月変動は図-3に示す通りであり、図-2に示される変動傾向とは良好な対応関係を示している。

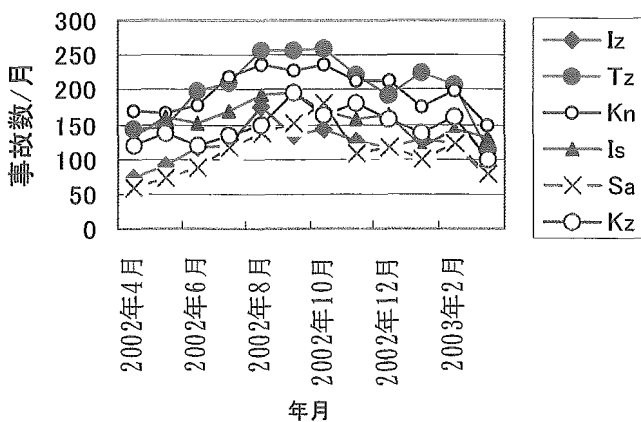


図-2 6地区における事故工事件数の月変動

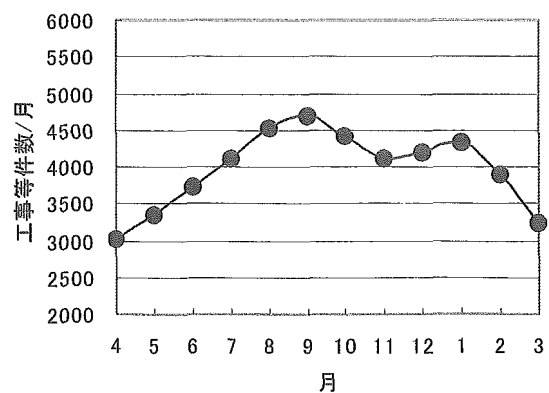


図-3 周期関数式(2)によるシミュレーション結果

1-1-3、事故工事発生への影響因子に対する検討

上記のように、都市の事故工事発生には季節性と周期変動性が認められた。そこで、平成14年度と平成16年度には、中緯度地域に位置する都市A、都市Bを研究対象とし、給水システムの事故数への影響因子として給水量、気温、配水圧力を取り上げて、その影響程度を検討した。

(1) 給水量の影響

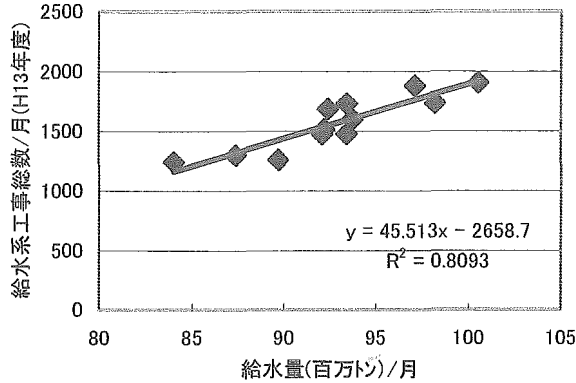


図4 給水量と給水系工事数との関係

都市Aにおける月毎の給水系事故数と給水量との関係を検討した結果を図4に示すが、給水系事故数は給水量と有意の相関性を持ち、給水量に正比例して事故数が増大する事が認められる。この現象は、都市Bにおいても認められた。なお、給水量と給水系個別事故数と給水量に関して相関分析を行なった結果、「メーター上流地中」「メーター下流地中」「屋外配管漏水」「屋内配管漏水」「器具漏水」「トイレ漏水」「ポンプ関係」などと相関性を持ち、「器具交換」「調査」「その他」とは相関性を持たないと判断された。

このように、給水量と給水系個別事故の多くとは正の相関性を示しているが、両結果を併せ考える時、給水量は夏季における給水系事故数の増大の一因となっていることを示唆していると考えられた。

(2) 気温の影響

都市Aにおける気温と月単位の事故工事総数との関連性を検討した。図5は、その月の最低気温が0℃近傍以下となった2001年1～4月、2001年12月～2002年3月の8ヶ月間の給水系事故工事数/月と気温との関係をプロットしたものである。また、図6は、2001年、5～11月の高温期7ヶ月間における給水系事故工事件数と、その月の最高気温との関係をプロットしたものである。

これらの図から明らかなように、気温が低くなるほど事故工事数が高くなり、-6～0℃の範囲内では、給水系事故は2次曲線的变化を示し、最低気温が-4.0℃以下になると事故数が急増することが認められる。一方、気温が5℃以上になるほど事故数が多くなり、1次回帰直線で有意に近似できる変化を示している。また、年間の平均気温と事故工事件数との関係は、5～10℃を凹とする2次曲線近似可能な変動を持つ事が認められた。

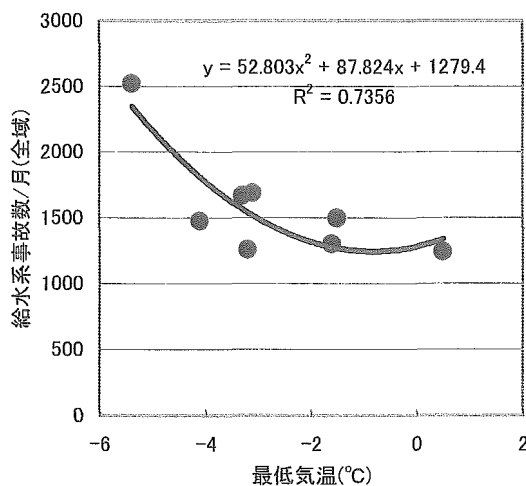


図5 最低気温と排水系事故総

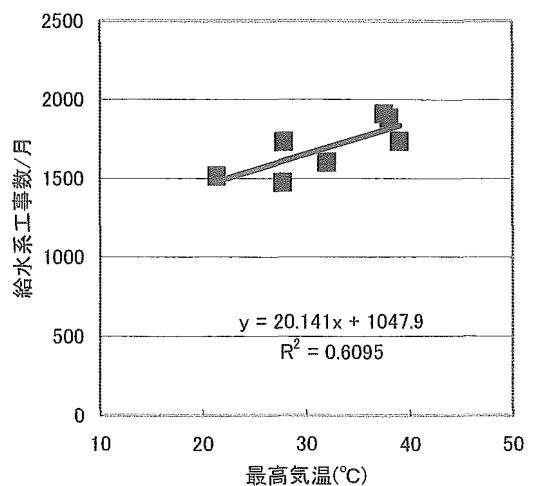


図6 最高気温と給水系事故総数

(3) 配水圧力の影響

平成 14 年度の研究において、都市 A における各地区の給水系事故工事数は、総じて、比較的高い配水圧力で給水されている地域の人口・件数・面積と有意の相関性を持つ傾向が認められた。しかし、より多くの事例の検討を行なう必要があると考えられた。そこで、都市 B におけるより多数地点のデータ(254 の計測点)における「最大圧力」「最小圧力」「平均圧力」の平成 14 年度の日平均圧力データを用いて、両者の関係を検討した。

単位(1000 世帯、給水人口 1000 人、1000 メータ、給水量 10^6m^3 、面積 Km^2) 当りの「事故工事総件数」および単位当りの「破裂・漏水件数」と、各年平均圧力との単相関性を検討した結果、各単位当たりの工事件数と各圧力との相関性の順位はほぼ下記の順となっており、総じて、面積 Km^2 当りおよび給水人口 1000 人当りの事故工事件数との相関性が高かった。

面積 Km^2 当り > 給水人口 1000 人当り > 1000 世帯当り > 1000 メータ当り ≧ 給水量 10^6m^3 当り

しかしながら、単位当りの事故工事件数と年平均圧力との間の単相関性は概して高くはない。そこで、この関係を更に確認するために、圧力グループと事故工事グループとに分けて正準相関分析を行った。

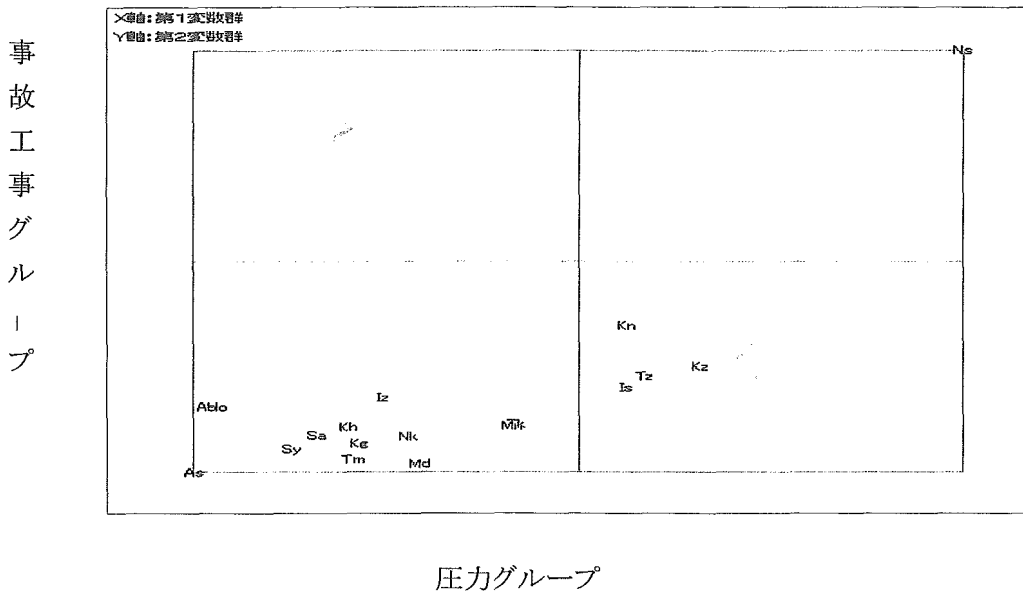


図-7 圧力グループと事故工事グループとの関係

図-7は、正準得点に基づいてプロットした圧力グループと事故工事グループとの関係を示している。このプロット図に見るように、全体として右肩上がりの明らかな傾向が認められる。すなわち、各地区の年平均圧力と各単位(1000 世帯、給水人口 1000 人、1000 メータ、給水量 10^6m^3 、面積 Km^2) 当りの「破裂・漏水件数」とは相関性が高いものと判断された。

1-2 アンケート調査と給水システムの維持管理のあり方に対する検討

当研究委員会では、「水有効利用のための給水システム構築に関する研究」と言うタイトルの下で研究を実施してきているが、その研究内容は、大別して、(a) 給水システムの維持管理方法、(b) 給水システムのリスク管理方法に焦点を当ててきた。前者では、事故・故障発生要因に関する基礎的研究に加えて、給水システムの維持管理方法に関する検討を行なうべく、平成 14~16 年度にかけて、2 回のアンケート調査を実施してきた。

アンケート調査の調査対象および調査項目の概要は下記に通りである。

1-2-1、アンケート調査

(1) 水道事業者・管工事組合に対する事故・工事関連事項のアンケート調査

調査は、給水人口が概ね 5 万人以上の水道事業者を対象に全国 398 の事業者を無作為に抽出、依頼し、260 の事業者から回答を得た(回答率は、65.3%)。調査は、平成 15 年 1 月から 3 月にかけて実施し、事故等の調査対象期間は、平成 11 年度から平成 13 年度に発生した事例とした。アンケート項目は、①給水装置使用材料等の調

査、②給水装置の漏水等事故の年度別調査、③給水装置における事故事例調査、④給水装置に起因した水質異常調査、⑤給水装置の修繕、需要者からの問合せ等の調査、⑥給水装置における事故事例等の実態調査文章回答の6項目とした。

(2) 給水装置・用具製造業団体に対する維持管理関連事項のアンケート調査

この調査は、給水用具毎に、それぞれの製造者で構成する各団体に対し、給水装置・用具の性能・特性・維持管理等に関するアンケート調査表を送付し、回答を依頼した。アンケート調査表送付団体は、①給水栓、弁類;2団体、②温水器類;2団体、③洗浄便器類;1団体、④浄水器類;1団体 の合計6団体である。

調査は、平成16年3月に実施した。

1-2-2, 給水システムの維持管理の現状と問題点、および維持管理のあり方の検討 (ワーキンググループ)

本年度は本研究の最終年度に当たるので、「水有効利用のための給水システム構築に関する研究」の研究委員会内にワーキンググループを立ち上げ、ここで、上記のアンケート調査結果に基づいて給水システムの維持管理の現状と問題点を整理すると共に、各委員からは「水道事業体」「管工事業者」「給水装置メーカー」「第三者;外部に依頼」の立場に立った給水システムの維持管理の方向性に関する各人の意見を文書の形で述べて戴き、それらの結果に基づいて維持管理のあり方について総括した。ここでは、その総括に関連する問題点の概要を示す。

(1)水道事業体の給水システム維持管理への関与度

図-8は水道事業体直轄の調査・修繕の実施状況を示している。公道→私道→宅地内になるにつれ実施率が低下する傾向はあるが、水道事業体の大部分(100~70%)は、給水装置における漏水等の調査・修繕を実施している。ただし、図-8に見るように、「調査」を直営で実施している水道事業体の割合は約60%、「修繕」を直営で実施している水道事業体の割合は約25%であり、残りは委託で処理している。

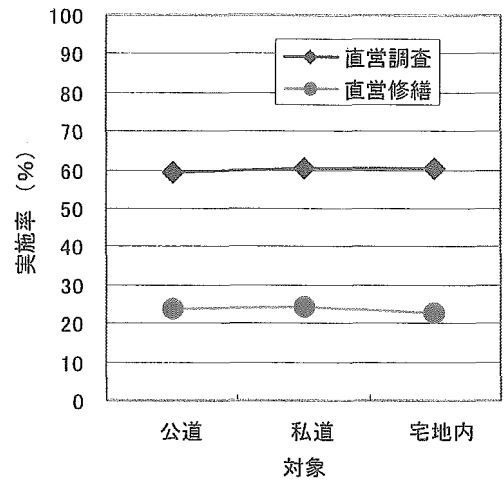


図-8 事業体直轄の調査・修繕の実施状況

なお、委託先として、「公道」では、調査専門会社;60.3%、指定工事店や管工事組合;24.1%、サービス公社;6.0%であり、「私道」もこれに順ずるが、「宅地内」では指定工事店や管工事組合に委託する例が多かった。すなわち、給水システムにおける修繕・工事等の維持管理は指定工事店や管工事組合への依存度が高い。

(2)水道事業体と指定工事業者との関係

前記(1)の様に、宅地内の修繕・工事の約80%は指定工事店や管工事組合に委任されており、指定工事店等の役割は極めて重要である。しかしながら、先に導入された規制緩和による市場原理導入は新規業者の参入に寄与している事は事実であるとは言え、一方において、需要者・工事業者・水道事業者間の意識に「負の変化」をもたらしていることも事実である。とりわけ、水道事業体からの指摘にあるように、工事業者と事業体との関係の希薄化、指導の不徹底、無断改造工事の横行、市外指定業者によるメンテナンス不徹底、需用者への説明不徹底、不良材料の使用など、給水システムの維持管理の観点からすると大いに問題とするべき現象が出現している。

したがって、給水システムの確実な維持管理を行うという観点からは、需要者・水道事業体・指定工事業者との連携を強化し得る何らかの方策または制度を導入する必要がある。

(3)給水装置・用具の定期点検頻度、および、需要者による日常の維持管理

給水装置・用具製造業団体に対する維持管理関連事項のアンケート調査結果のうち、76種の給水用具に対する定期点検の必要性の有無、および、定期点検頻度に関して回答を得た結果を基にして求めた全給水用具に対する定期点検頻度の比率(%)を図9に示す。給水用具全体で見れば、点検不要と考えられている用具は約17%で

あるが、約 83%は定期点検を必要とし、このうち、1年に 1 回以上の点検を必要とすると考えられている用具は、全体の約 60%を占めている。すなわち、給水装置・用具製造業団体は、大部分の給水装置・用具に対して定期点検が必要と考えている。

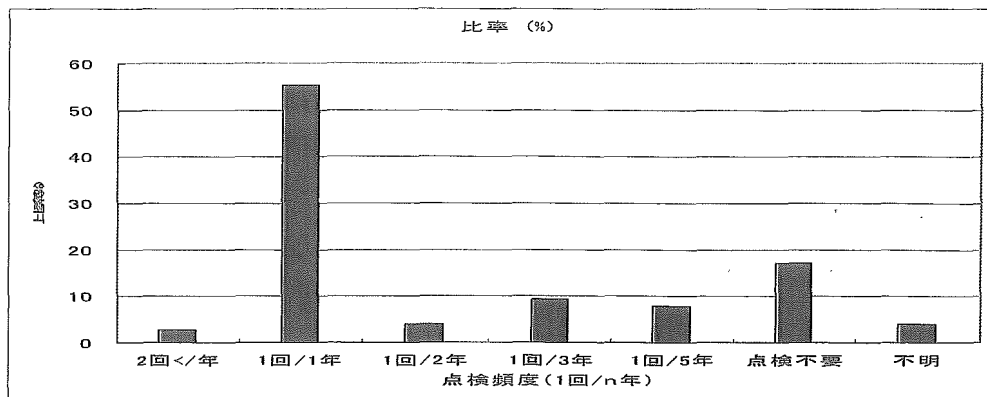


図 9 給水装置メーカーが必要と考える給水用具全体の定期点検頻度比率(%)

給水システムの維持管理と言う観点からとりわけ重要と考えられる事は、上記のように、①給水装置・用具メーカーが「需要者による日常的な維持管理の必要性」と、「専門家による装置・用具の定期点検の必要性」を指摘しているにしても、②多くの需要者は、維持管理のための知識を殆ど持たず、メーカーが指摘する「日常的な維持管理項目」すら確実に実行することが困難なものが多いと考えられることである。

アンケート調査結果に対する検討結果、および、上記のような問題点から、今後、給水システムの維持管理のために努力して行くべき方向として、下記の 3 点を指摘した。

- 1, 需要者・水道事業者・工事業者・製造業者の間の連携強化
- 2, 需要者の給水システム維持管理への支援体制(制度)の確立
- 3, 定期的巡回点検システムの立ち上げ

2、給水システムのリスク管理に関する研究

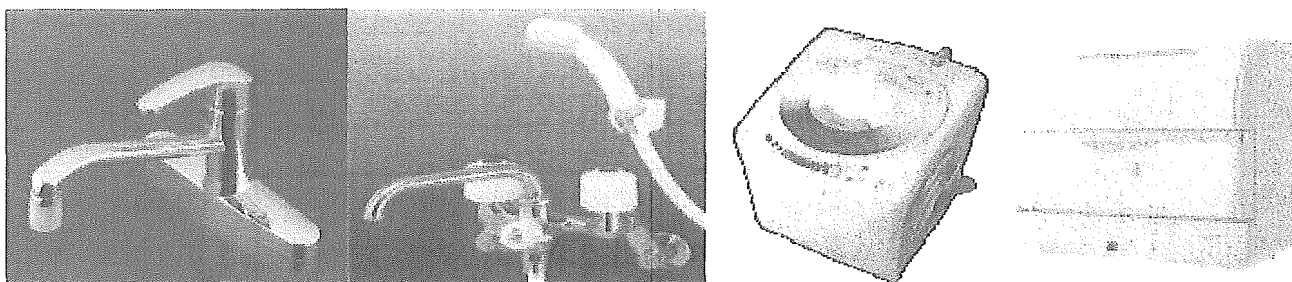
2-1 水撃作用(水圧(音・振動)変動異常)の検出方法 (分担研究者 ; 杉山俊幸)

キッチン、浴室、洗面所などで「ドン!」「ガン!」「コン!」などと聞こえる原因不明な異音や衝撃音、もしくは、原因不明の漏水やシャワーの温度が急に変化するなどといった現象、これらはすべて水撃現象により発生する音や現象である。シングルレバー方式の蛇口や浴室のシャワー/カランの切り換え等の混合水栓、および、全自動洗濯機や食器洗い乾燥機といった「電磁弁内臓で給水の急閉止を伴う家電製品」が急速に普及したことが原因として挙げられる(図1)。さらに、近年の建築物の高層化や大型化、三階建て住宅の普及で住宅密集度が増加し、多くの地方自治体は給水圧力や給水量を増大せざるを得なくなりつつある。これらのことから水撃現象が引き起こされるケースが増加し、その結果として、給水管の振動とこれに起因する騒音などによる住環境の悪化、さらには、給水管の破裂や疲労破壊が生じる可能性が高くなってきている。

本研究では、一般家屋内での水撃作用の発生を比較的簡単に検知できる方法(システム)を開発・確立することを目的とした。具体的には、給水管の振動・波動の継続時間や減衰性状、および、スペクトル解析の実施により振動・音の卓越周波数やスペクトルのピーク値、位相差分スペクトル等を算出する。そして、平常時(水撃作用が生じていない時)と比較して、これらの値があらかじめ設定した閾値を越えた場合に「水撃作用の発生」という警告を発するような装置とすることを目指している。

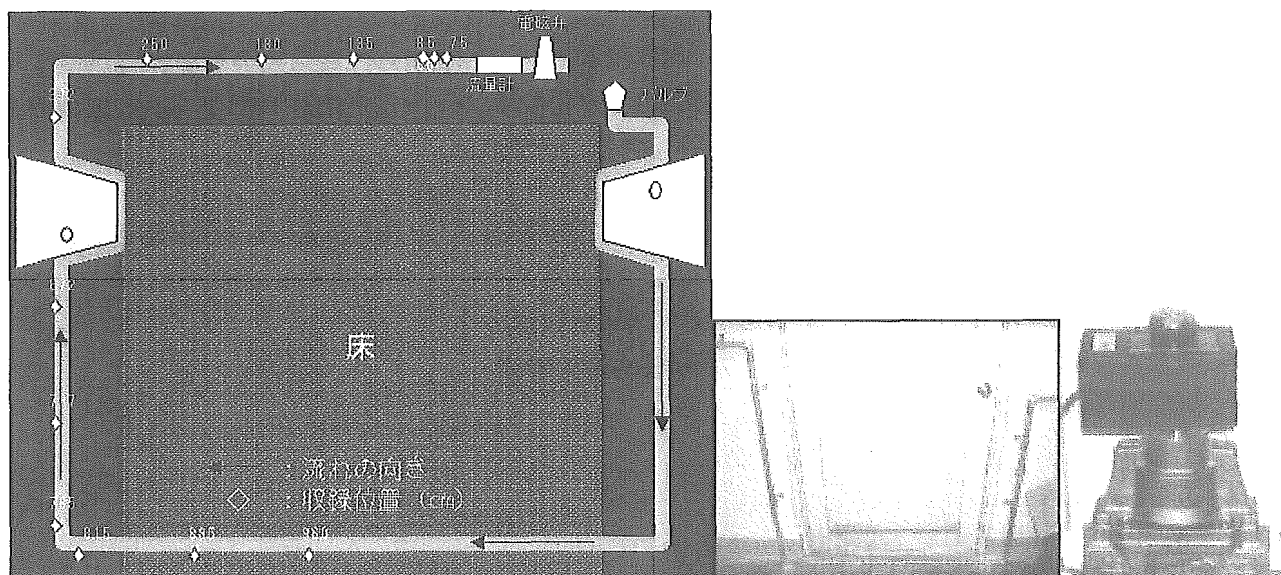
目的とする装置を開発するための実験として、スチール製給水管を一般家屋を想定しながら設置し、電磁弁

で給水を急閉止することにより発生する水撃作用に伴って生じる給水管の振動データを収録し解析することを試みた(図2)。また、ハンマーで与えた衝撃による給水管の振動の収録・解析も行い、水撃作用発生時とハンマーで与えた衝撃との管の振動特性の違い(図3)から、水撃作用が発生しているか否かを、ファジィ演算を用いて判定するシステムの構築を試みた。



シングルレバー方式蛇口 シャワー／カラン切換混合水栓 全自動洗濯機 食器洗い乾燥機

図1 水撃作用を発生させる可能性のある器具・機器



スチール製給水管の配置図

給水管配管状況

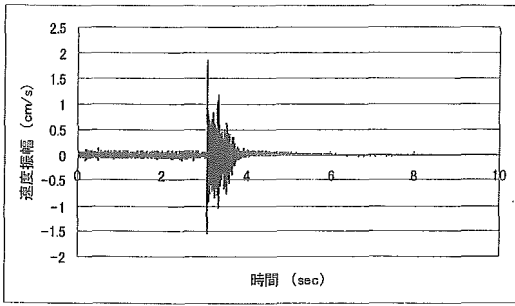
電磁弁

図2 実験装置の概要

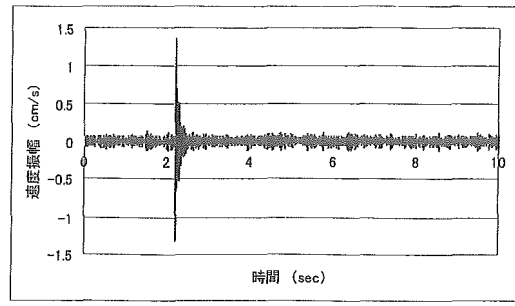
その結果、以下の結論が得られた。

- 1)水撃作用発生時の給水管の振動波形の位相差分スペクトルを調べ位相差の割合を求めたところ、測定位置によらずほぼ一定の範囲にあり、ハンマーで与えた衝撃によるものとは異なった範囲にある(図4)。
- 2)評価項目を「継続時間」と「位相差の割合」の2つにしぼり、「位相差の割合」の判定への影響度を大きくしてファジィ演算に組み込むことで、「水撃作用が発生しているか否か」の判定システムを構築することができた。
- 3)チェック用に新たに収録した水撃作用とハンマーで与えた衝撃の速度波形データに、本研究で構築した水撃作用発生の有無の判定システムを適用したところ、100%の精度で判定することができた(表1)。

なお、今後の課題としては、①スチール製以外の給水管の水撃作用発生時の振動特性の把握とそれに伴う判定システムの改良、②本研究で取り扱えなかった水撃作用発生時の音についての特性の把握などが挙げられる。これらの特性をシステムの中に組み込むことで、最終的には、発生している水撃作用の危険度までも判定できるようなシステムとする必要がある。

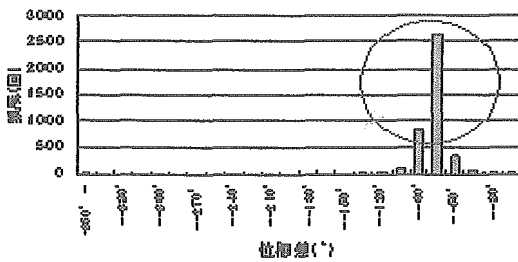


水撃作用発生時の振動速度波形

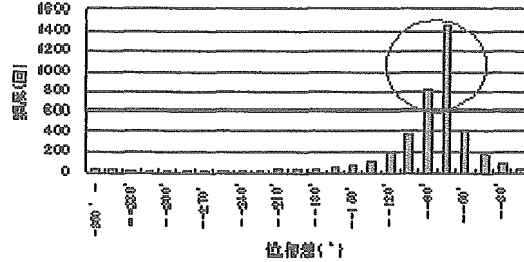


ハンマーで衝撃を与えた場合の速度波形

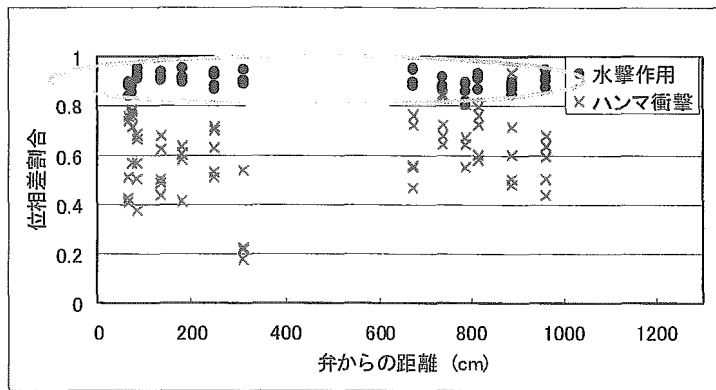
図3 実験により得られた給水管の速度波形の一例



水撃作用発生時の位相差の分布



ハンマー衝撃時の位相差の分布



位相差割合と電磁弁からの距離の関係

図4 水撃作用発生時およびハンマー衝撃時の位相差の分布と位相差割合と電磁弁からの距離の関係

表1 構築したシステムの有効性のチェック結果

ファジイ判定	水撃作用	ハンマー衝撃	・水撃作用により振動が発生した27データ中27データで「水撃作用検出」と判定 ・ハンマー衝撃による振動21データ中21データで「発生していない」と判定
水撃作用検出	27	0	
発生の可能性あり	0	0	
発生していない	0	21	

2-2 濁度・懸濁粒子数・吸光度等を指標とした給水システム内の水質異常の検出 (分担研究者;松井佳彦)

2-2-1. 背景と目的 ; 給水栓水質を簡易な装置により常時監視し, 水質に対する異常な変動を検出することにより, 事故等による水質異常の検出する技術の可能性を検討するために, 濁度(吸光度)を管内にインラインで設置したセンサーで計測する装置の試作し, 実試験を行った。昨年度までの成果として, 長期間連続使用による光学系の汚れと光電変換系の安定性のため, 濁度の絶対値自体の計測は難しかったが, 濁度の相対変化率を指標とす

ることの可能性が示されている。さらに、長期間連続使用による光学系の汚れと光電変換系の安定性の改善を目的として、試作2号機では光電変換系の装置部品を変えたとともに、散乱光のみならず透過光も同時計測可能とした。1号機では濁度の大きな変化が見られたが、この2号機ではより安定した出力が得られた。しかし、通水停止状態に比べて、給水栓を開けて通水し圧力が上がった状態では、濁りモニターの出力値(みかけの濁度)が上昇した。この時、透過光強度はほとんど変化しなかったことから、光学系が原因ではないことがわかった。昨年までの検討では、濁りモニタ1号機の出力値が示す濁度変化率の最大値は3.2度であったが、2号機では10分間の濁度変化の最大値は1.51度、5分間の濁度変化の最大値は2.78度が得られた。このことから、濁りモニタ2号機の安定性が示され、さらに5分間の濁度が3度以上上昇するケースは異常状態として検出することが可能なことがわかった。また、濁度に対する透過光の変化は小さいため、透過光強度自体を濁りの指標として使用することは難しいことがわかった。

今年度は①光学セルの改良、②改良型光学セルによる長時間通水実験と被圧下耐久実験、③模擬濁質を用いた濁度検出実験について検討を行った。

2-2-2、実験装置 ; 給水管と同一径の管型セルにより流水状態で水道水の透過光と散乱光濁度を測定する原理試作器(トレンド出力濁りモニター)を製作した。光源は赤色LED680nmで、内径13Φフローセルにおいて光ファイバーより光を管内に照射し、90度散乱光を光ファイバーより入射しSi-フォトダイオードモジュールでアナログ電気信号に光電変換する(図1、写真1参照)。

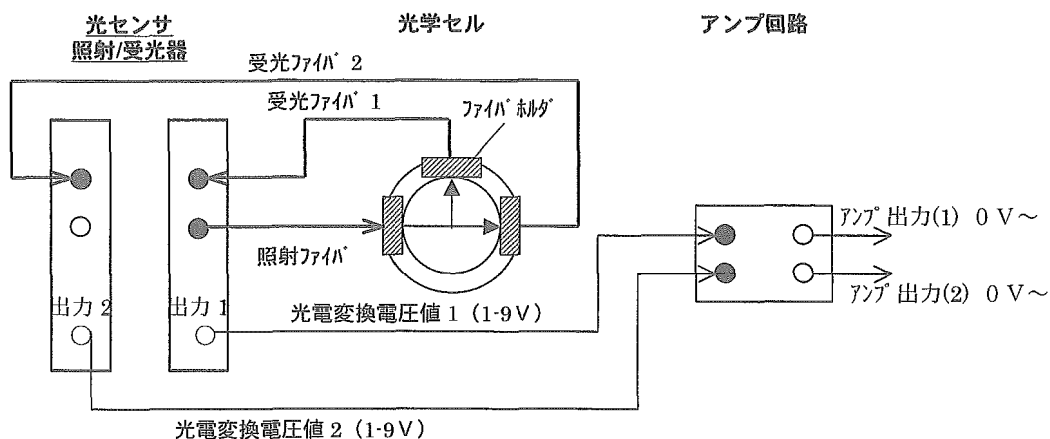


図1 装置構成の模式図

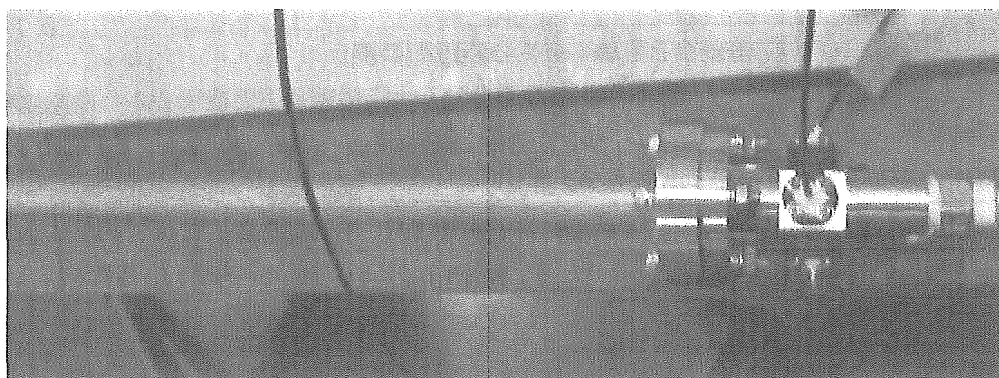


写真1 濁りモニター2号試作器の改良型光学セル部

2-2-3、実験結果 ; 透過光濁度は感度が低かったが、散乱光濁度は濁度1度を十分に検知する感度を有した(図2)。しかし、長時間の通水を行う場合は、光学セルの汚れなどで濁度の絶対値の測定は達成されなかった。濁度が上昇した場合の水質異常を、時間当たりの濁度の変化率で表すと、清澄な水道水を通水した場合は±1度/2分以内であり(図3)、濁度1度以上の突発的な上昇があるような水質異常が検出可能と思われる。模擬実験として濁度1度の錆粉末を添加した際の濁度変化率は±1.37度/2分以上であった。

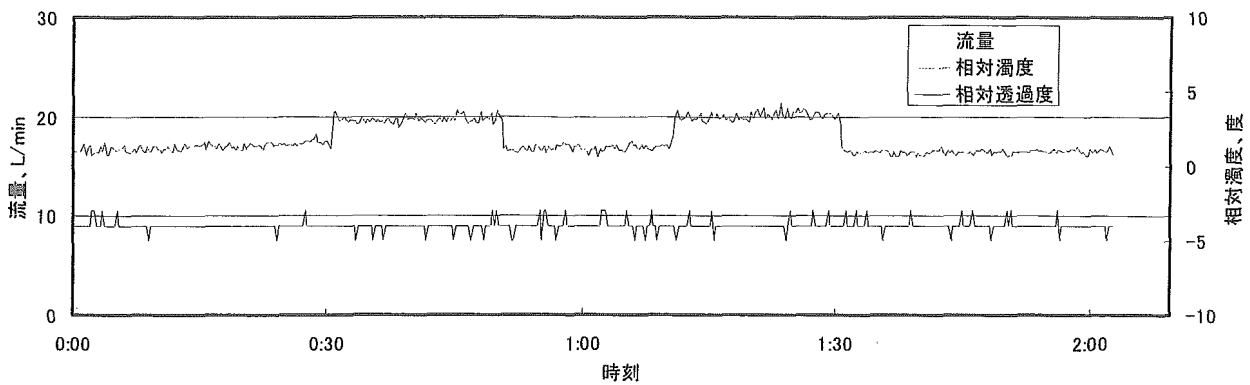


図2 錆粉末添加実験(添加濁度2度, 装置構成:濁りモニター→バルブ)

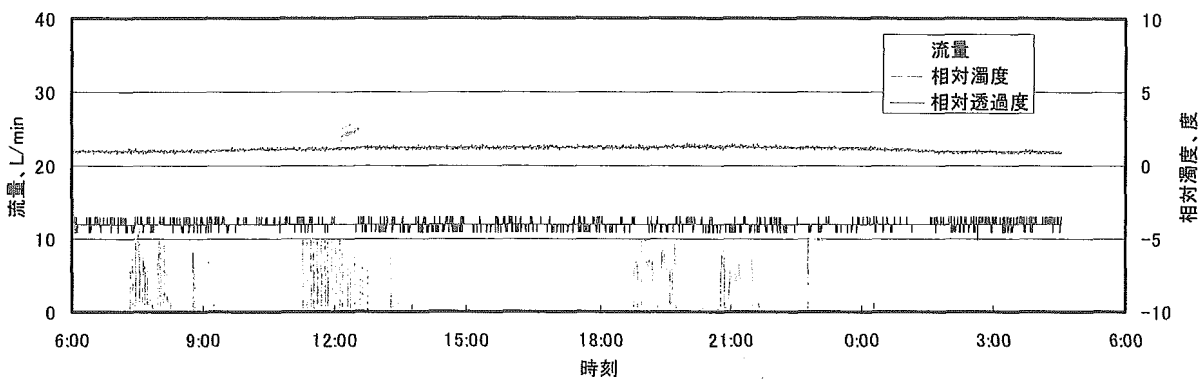


図3 水道水通水長時間実験(装置構成:濁りモニター→バルブ)

2-2-4、まとめと今後の課題 ; 今後は以下のような検討が必要と思われる。□濁度水質異常がを評価する指標:濁度変化率は長期間のセルの汚れに影響を受けずに、突発的な濁度異常を検出可能である。しかし、濁度がゆっくり上昇するような場合は、この指標では水質異常が検出できない。光源、電気回路、セルなどを含めた装置全体の実環境下でのテスト:今回の実験は長くても1週間であり、1日ごとのあるサイクルでバルブを開閉をおこない試験を行った。実環境ではさらに1年以上の長期間実験を行い、その間に発現する諸所の問題点を解決する必要があると思われる。

2-3 リスク管理目的に合致した異常現象の検出方法に関する基礎的研究 ;

- ・ ……水量、水質(EC,ORP)異常の検出方法 (分担研究者 ; 長岡 裕)

2-3-1. 研究目的 ; 近年、給水栓からの逆流、貯水槽における水質悪化、経年劣化などに起因する水道水質の異常などの事故が報告されているが、これらを検知するシステムの開発は未だ十分であるとはいえない。本研究は各戸の水道メーター付近に設置した流量計、圧力計、電気伝導度センサーによって、給水システムの異常を速やかに検出し、ユーザーに警報を発するシステムの構築を目的とする。各センサーを組み合わせた異常検出システムを試作し、蛇口の使用に伴う各センサーからの出力の変化パターンを解析するとともに、本システムを用いた水質異常の検出の可能性について検討した。

2-3-2. 実験装置および実験方法 ; 実験装置の概要を図1に示す。装置は本学の 5 階建ての建物(受水槽水道)の 1 階および中2階に設置した。蛇口付近において、蛇口の利用に伴う流量、圧力、電気伝導度およびORPの変化を同時に測定するシステムとなっている。流量計としては 10Hz の応答性のある電磁流量計を、圧力計としては応答速度 2ms 以下のデジタル圧力計を使用した。電気伝導度センサーは交流発振器を用いた自作のものであり、水質の変動に応答する感度を備えたものとした。各検出器からのデータは 10Hz 程度で A/D 変換し、長時間連続的にパソコンに取り入れるものとした。測定は通常の研究活動下において実施した。

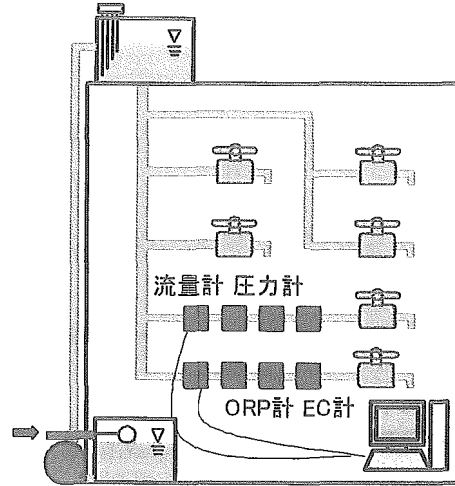


図1 実験装置の概要

実験は、以下の2テーマについて実施した。

①平日と休日における、各センサーからの出力の日間変動パターンの測定。

②圧力計および流量計からの出力から、漏水を検出する可能性の検討。

②はセンサーの上流側の位置において、穴(2.5, 2.0, 1.5, 0.85mm)を開けたり、管を接続するネジを緩めることによって意図的に漏水を発生させ、水を流し続けた状態における流量計および圧力計からの出力を解析することにより行った。

漏水の検出は以下の方法に依った。

貯水槽から蛇口までの流れに、ベルヌーイの定理を適用すると以下の式を得る。

$$H = \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} + z + h_f \quad (1)$$

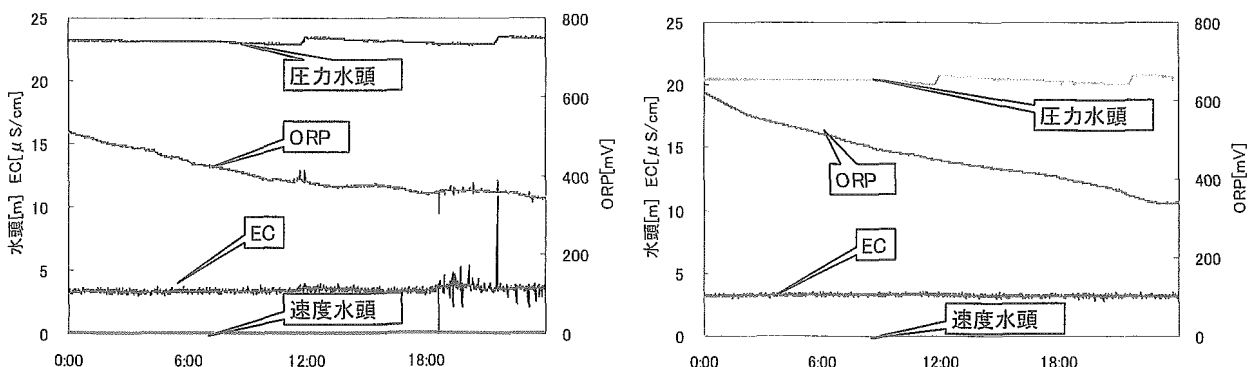
ここに、 H :全水頭 v :流速 p :圧力 z :位置水頭 h_f :管内損失水頭 ρ :水の密度 g :重力加速度。また、

摩擦損失水頭に関して、ダルシーワイズバッハ式を変形した式(2)を定義し、管路に特有の係数である損失水頭係数 λ を計算することによる漏水の検出を検討した。

$$h_l = \lambda Q^2 \quad (2)$$

ここに、 λ :損失水頭係数 Q :流量。

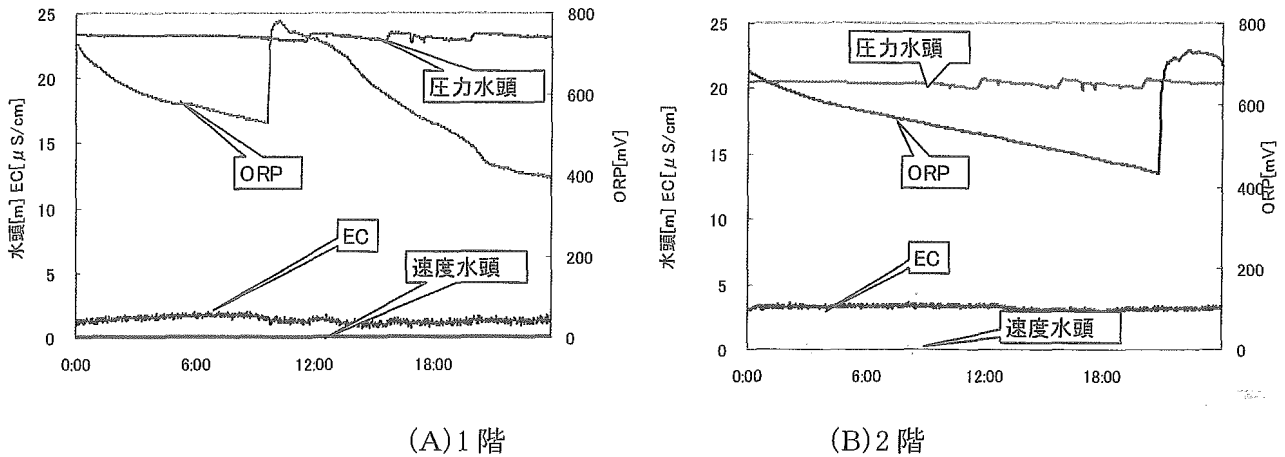
2-3-3. 実験結果 ; 図2に、休日におけるセンサーからの出力結果の一例を、図2に平日におけるセンサーからの出力結果の一例を示す。



(A) 1階

(B) 2階

図2 休日におけるセンサーからの出力の経時変化



(A) 1階 (B) 2階
 図3 平日におけるセンサーからの出力の経時変化

圧力水頭は、貯水槽内の水位変化に対応した、次第に低下した後、急に上昇するパターンと、蛇口の使用に伴う、小刻みな低下の2つのパターンを示した。これらより、特定の蛇口の使用頻度だけでなく、建物全体の使用水量の把握が可能であることが示唆された。

ORPは、管内の水の滞留に伴う残留塩素低下により、時間経過とともに低下し、蛇口の使用とともに値が上昇するパターンを示した。

図4は、損失水頭係数と蛇口からの流量の関係を示したものであるが、漏水の無い状態では損失水頭係数の値が一定なのに対し、漏水の穴が 2.0mm以上で値に変動がみられ、損失水頭の監視によって漏水を検出する可能性が示された。

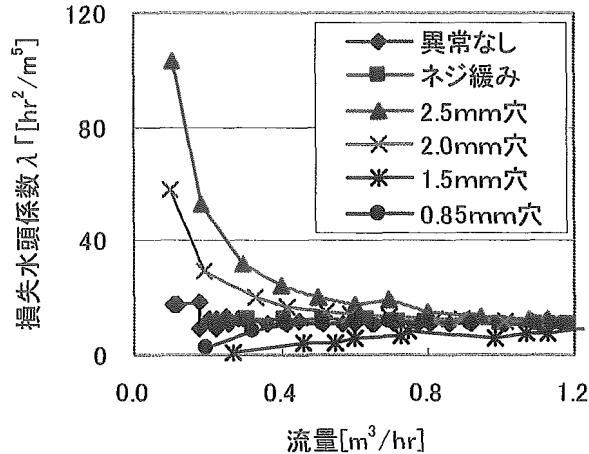


図4 さまざまな漏水状態における蛇口からの流量と損失水頭係数との関係

2-3-4. まとめ ; 貯水槽水道において、蛇口付近で電気伝導度、ORP、流量、圧力の各センサーを備えた異常検出装置を設置することにより、漏水現象の検出および残留塩素などの水質異常の検出が可能であることを示した。

2-4 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;伊藤雅喜）

2-4-1. はじめに

近年、直結式の給水が拡大していく中で、給水装置の高度化、多様化の動きが活発化し、水道管へ直結して使用する給水用具も普及してきている。しかしながら、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、断水時などに負圧による逆流が起きており、数都市で逆流事故も発生している。

本研究では単式逆止弁、複式逆止弁、減圧式逆流防止器などに対して負圧破壊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した。このほか浄水器、活水器のリスク評価として、水道事業者の取り扱いの実態を把握するためにアンケート調査の実施、浄水器の浸出試験や逆流防止試験による安全性の評価も行った。以下では逆流防止器の負圧条件下における逆流防止性能評価についてまとめる。

2-4-2. 実験方法

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 kPa から -5 kPa までの段階的な負圧をかけ、所定時間経過後の逆流状況を調べた。各設定負圧における逆流防止器の下流側に設置した水容器に入れた透明管の水位変化を計測し、逆流防止性能を評価した(図-1)。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の間にワイヤーを噛み込ませ負圧実験を行った。逆流状況は A:水変化なし、B:水変化 3mm 以下、C:水位変化 3~75mm、D:水位変化 75mm~逆流防止器まで、E:逆流防止器を超える、の5段階で評価した。

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-2 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 $\phi 15\text{mm}$ 逆止弁を設置した。設定した負圧は上記実験と同じで、5分経過後の逆流状況を確認することとした。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。本実験では逆流防止機能の有無(透明管内の水位上昇のみ、

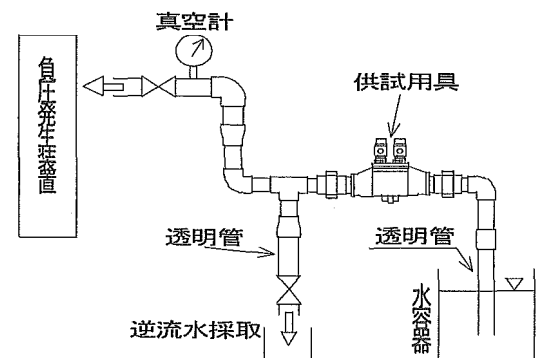


図-1 実験配管図の例(横配管)

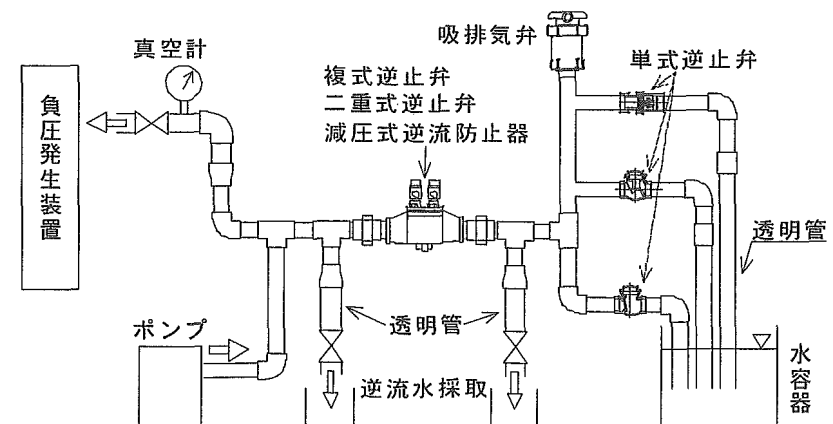


図-2 組み合わせシステムの実験配管図

または単式逆止弁で逆流防止)で評価を行った。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(3 kPa)を実施した。

2-4-3. 結果と考察

3種類の単式逆止弁について実験を行った結果、総合的には単式逆止弁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。

表-1 に減圧逆流防止器の結果の一例を示す。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(B まで)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。

表-1 減圧式逆流防止器の性能(5分経過後逆流状況)

メーカー	口径	横配管(水平設置)				縦配管(垂直設置)			
		-85kPa	-54kPa	-30kPa	-5kPa	-85kPa	-54kPa	-30kPa	-5kPa
ワイヤー:無									
a社	φ20	A	A	A	A	A	A	A	A
b社	φ20	A	B	A	B	A	A	A	A
c社	φ20	A	A	A	A	A	A	A	A
ワイヤー:一次側のみ									
a社	φ20	A	A	A	B	A	A	A	A
b社	φ20	B	A	A	B	A	A	A	A
c社	φ20	A	A	A	A	A	A	A	A
ワイヤー:一次側・二次側両方									
a社	φ20	C	B	A	A	A	A	A	A
b社	φ20	C	C	C	C	C	C	C	C
c社	φ20	A	A	A	A	A	A	A	A

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。

表-2 逆流防止器組み合わせによる単式逆止弁の逆流防止実験結果

メーカー名	口径	配管位置	形式	-85kPa	-54kPa	-30kPa	-5kPa	3kPa
				5分経過後	5分経過後	5分経過後	5分経過後	逆流性能試験
α社	φ15	横	スイング式	○	○	○	○	△
β社	φ15	横	スイング式	○	○	○	○	○
β社	φ15	横	ばね式	○	○	○	○	○
γ社	φ15	横	スイング式	○	○	○	○	○
γ社	φ15	横	リフト式	○	○	×	○	△
γ社	φ15	横	スイング式	×	×	×	×	×

集合住宅を想定した複数の逆流防止器を組み込んだ給水システムとしての評価実験では、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。

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、ゴミ噛みによる逆流には対応できると判断できる。単式逆止弁単体では逆流を起こすことがある機器でも、吸排気弁を併用することによって、システムとし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、逆流防止器の組み合わせによっても逆流防止効果を期待することは出来ない。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。

2-4-4. 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。特に、直結増圧式の給水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、立て管内で負圧になる可能性があり、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おそれがある。そのため、クロスコネクションの防止と逆圧による逆流防止にも十分に注意し、逆流防止対策を講じることが必要である。ゴミ噛み等が発生した時は、今回の実験でも明らかになったように、逆流の危険性が高くなるため、逆流防止器手前にストレーナーを設置し異物のゴミ噛みを防ぎ、給水システム内にタイプの違う逆流防止器を組み合わせ使用することで、かなりのリスクを軽減することになると考えられる。施工済みの給水装置についてはメンテナンスが難しいが、より安全で安心して使用できる給水システム作りのために、定期点検や交換を含めた適切な維持管理を行うことと、複合的な逆流防止対策を講じることがますます重要となってくると考えられる。

D. 考察

給水システムの維持管理に関する研究;

(1) 都市の給水システムにおける事故・工事の発生状況と発生要因に関する基礎的研究結果から、①各地区の事故工事件数は、単位(世帯数、給水人口、水道メーター数、給水量、面積)当りの事故工事数を説明変数とする重回帰式により推定可能な事、②高温期の8~10月にピークをとる周期的変動性を持つ事、および、③配水圧力との相関性を持つ事を明らかにした。これらのことは、配水圧力などの人為的操作による給水システム内事故発生防止の可能性をも示唆していると考えられ、更なる検討を行う必要があると考えられる。

(2) アンケート調査および給水システムの維持管理のあり方に対する検討結果から、①給水用具の故障頻発箇所、重点的 point 点検部位及び点検時期・頻度、平均的耐用期間・交換時期や望ましい保守点検時期等の明確化と、②給水システムの維持管理方法確立の可能性を指摘できた。これらの結果は、給水システムの維持管理体制の確立に資するものとなると期待される。

給水システムのリスク管理に関する研究;

4 分担研究者による研究成果を要約すると、下記の通りとなる。(1)水撃作用(水圧(音・振動)変動異常)の検出方法に関する研究結果では、ファジー演算を用いた水撃作用判定システムを構築し、100%の精度で水撃作用の発生を判定できた。(2)濁度・懸濁粒子数・吸光度等を指標とした給水システム内の水質異常の検出方法に関する研究結果から、濁度1度以上の突発的な上昇があるような水質異常が検出することが可能となった。(3)水量、水質(EC, ORP)異常の検出方法に関する研究結果から、蛇口付近で電気伝導度、ORP、流量、圧力の各センサーを