

厚生労働科学研究費補助金

がん予防等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15年度 総括・分担研究報告書

平成16年3月

主任研究者	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	森	一晃
分担研究者	藤原	正弘

厚生労働科学研究費補助金
がん予防等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15年度 総括・分担研究報告書

目 次

I. 総括研究報告書

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	1
中村 文雄	

II. 分担研究報告書

II-1. 水有効利用のための給水システム構築に関する研究	9
-------------------------------	---

II-1-1. 給水システムの維持管理に関する研究(1) ; 大都市における給水システム関連事故・工事に対する検討〔2〕	11
中村 文雄	

II-1-2. 給水システムの維持管理に関する研究(2) ; 給水装置における事故事例等の実態調査結果 (財) 給水工事技術振興財団	33
--	----

II-1-3. 給水システムのリスク管理に関する研究(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	65
杉山 俊幸	

II-1-4. 給水システムのリスク管理に関する研究(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における 水質異常の検出;トレンド出力型濁りモニターの試作と評価	83
松井 佳彦	

II-1-5. 給水システムのリスク管理に関する研究(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)異常等の検出	93
長岡 裕	

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	109
森 一晃	

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	115
藤原 正弘	

参考資料	131
------	-----

I. 総括研究報告書

厚生労働科学研究費補助金(がん予防等健康科学総合研究事業)
総括研究報告書

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

研究要旨

本研究は、「水有効利用のための給水システム構築に関する研究」「家屋内での水有効利用と環境負荷低減に関する研究」のサブテーマに分けて行なわれたが、その概要は下記の通りである。

(Ⅰ) 水有効利用のための給水システム構築に関する研究

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を目的として、①給水管・給水装置に由来する漏水および水質汚染等の事故事例の解析や、②異常水流・異常水質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計画・実施しているが、これらの研究・開発により、水利用の合理化・節水・有効利用の目的に合致した望ましい給水システムが構築されるものと期待される。本年度は、6都市における漏水等の事故事例解析や、給水装置における事故等の実態調査の解析を行うと共に、水圧・水量・水質の異常現象検出のための実験装置作成・改良とその検出感度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。

(Ⅱ) 家屋内での水有効利用と環境負荷低減に関する研究

水道水としての利用は、下水道への負荷や消費エネルギー等の環境負荷が大きく、極力低減することが重要な課題となっている。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庭等で、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。本研究は、水の有効利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、居住環境に応じた水の有効利用手法についての研究開発を行っている。これらの開発により、家屋スケールにおいて、水使用の合理化が図られ、水道原水の取水量抑制による河川環境への影響低減や水道が持つ未利用エネルギーの活用により電気エネルギー等の環境負荷低減効果が期待される。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。

分担研究者

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

森 一晃 国立保健医療科学院水道工学部
施設工学室長

藤原 正弘 (財)水道技術研究センター理事
長

A. 研究目的

水道として生活に関わる「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、個別の水利用形態から地域循環まで、

健全な水循環を形成するうえで、欠くことのできないものである。また、水道水としての利用は、下水道への負荷や消費エネルギー等の環境負荷が大きく、極力低減することが重要な課題となっている。

これらの課題に対応するため、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。本研究では、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、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う。また、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

管・給水装置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。

B. 研究方法

本研究は、2つのサブテーマに分けて実施しているが、これを実行するための研究体制として、別表1に示すように、合同研究委員会の下に2つの研究委員会を設置し、両研究委員会で各サブテーマの実質的な研究計画、研究方法その他のを審議・検討してきた。

2つのサブテーマでの研究方法は下記の通りである。

(Ⅰ) 水有効利用のための給水システム構築に関する研究

学識者、水道事業体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いる。3カ年計画の2年目に当たる本年度は、6都市における漏水等の事故事例解析や、給水装置における事故等の実態調査の解析を行った。また、水圧・水量・水質の異常現象検出ための実験装置作成・改良とその検出感度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。

(Ⅱ) 家屋内での水有効利用と環境負荷低減に関する研究

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。

(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、全国の水道事業体及び管工事業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。また、家屋スケールでの水循環の研究では、家庭内での水需要量や水質などの

実態把握が必要となるが、これらについては、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

2つのサブテーマの研究結果の概要は下記の通りである。

(Ⅰ) 水有効利用のための給水システム構築に関する研究

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方法を検討する目的で、2種類の事故事例解析を行った。

6大都市の給水システムにおける事故事例を解析した結果、事故総数の経月変動は12ヶ月単位の周期的な変動を反復していること、大多数の都市の事故発生が最少となる月は2月中旬～3月下旬、最大となる月は8月初旬～9月下旬であり春季の1.5～2.5倍に増大すること、周期的変動には気温や季節が関連していることが明らかとなった。

また、回収されたアンケート調査表に対する解析から、全国の水道事業体の給水装置使用材料、漏水・破裂の管種・箇所・原因、給水用具の故障、水質異常、需要者への対応などの実態が明らかとなった。なお、給水装置の耐用年数、維持管理方法等に関するアンケート調査を実施中(一部解析)である。

2. 給水システムのリスク管理方法に関する研究結果；

2.1 水撃作用「水圧(音・振動)変動異常」の検出方法；一般家屋内での水撃作用の発生検知方法の開発を目的とし、本年度は、3種類の給水栓を用いた止水に関する実験を実施し、振動波形の収録位置、水撃作用発生時の振動波形特性などを検討した。また、計測した給水管の振動波形から水撃作用発生の有無に関する自動的判定システムの構築・改善の検討、および、そのための基礎データの収集を試みた。

2.2 水量、水質(EC、ORP等)異常の検出方法；各戸の水道メータ付近に設置した流量計、圧力計、水質センサーにより速やかに異常を検出し、ユーザーに警報を発するシステム開発を目的としているが、本年度は、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。その結果、

果、建物全体の水の使用量、および、水質異常の検出の可能性を明らかにした。

2.3 濁度・懸濁粒子数・吸光度等を指標とした水質異常の検出方法； 給水栓での水質異常の検出を目的として、濁度・吸光度・懸濁粒子数を管内にインラインで設置したセンサーで計測する技術開発を行う。今年度は、散乱光量と前方透過光量の測定と比較を可能とする“濁りモニター2号機”の試作と通水実験を行い、10分間の濁度変化が1.51度以上、5分間の濁度変化が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であることを明らかにした。

2.4 水質変換装置の給水システムへの影響； 不適切な施工、管理等が行なわれた場合、給水システムのみならず、直結する水道配管系統への影響が懸念される。本年度は、3種類の逆止弁について負圧性能試験を実施し、負圧に対して逆止弁の多くは逆流の可能性を持つことを明らかにし、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性を指摘した。

(Ⅱ) 家屋内での水有効利用と環境負荷低減に関する研究

1. 要素技術の検討

初年度（平成14年度）の研究において設定したアクアハウス内での水有効利用モデルの概念、すなわち、1段目－水道水圧の利用、2段目－風呂水などに利用、3段目－洗濯用水・トイレ洗浄水への利用、といった多段階利用の中で、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。

その結果、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。

2. シリンダ性能試験

水道水圧の利用に着目し、水道水圧で駆動するシリンダシステムについて、ガス圧駆動のロードレスシリンダを用いて実験装置を製作し、水道水を用いてシリンダの性能試験を行った。

その結果、ガス圧駆動のシリンダを転用しても、一般的な給水栓の圧力（0.2MPa程度）での駆動は可能で、数千回程度の駆動であれば、シリンダ性能の低下もほとんど生じないことがわかった。

また、一般家屋向け水道水圧駆動シリンダの仕様をある程度、設定することができた。さらに、水道水圧駆動シリンダと光センサ、発電機能付自動水栓等とのシステム化の可能性を見いだすことができた。実際の配水管理データを用いた解析の結果、本シリンダの実用性についても確認することができた。

3. プロト機によるアクアカーテン／ウインドウシステムの実用性の検討

シリンダで使用した水の貯水槽としての利用を考えているアクアウインドウに関しては、水槽を用いた予備試験の結果から、窓ガラス内面の汚染防止には、二酸化チタンコーティングによる光触媒効果が有効である可能性が示唆された。貯水した水の昇温も併せて確認できたことから、アクアウインドウを貯水槽として利用することにより、環境負荷低減効果が期待できると考えられた。

なお、試作した二重ガラスサッシを用いた貯水試験では、懸念された窓ガラスのたわみは生じず、アクアウインドウを貯水槽に適用できる可能性も確認できた。

4. 水質目標値の設定について

水質目標値に関しては、1段目のシリンダ通過水が2段目の風呂水として利用されるまでに、汚染物質の流入等は考えにくく、水質の劣化はほとんど生じないと推定されたことから、新たな目標値を設定する必要性は低く、残留塩素濃度の変化を抑えておけば良いと判断した。

D. 考察

サブテーマ(I)からは、①給水システム内における事故・工事の実態や需要者＝水道事業者＝管工事業者間の相互関係の実態の明確化と、望ましい給水システムの維持管理法確立の可能性、②不適切な装置工事や、給水システム内における管・装置類の異常発生とこれらに由来する水質異常の早期検出と迅速対応の可能性の具体化、③水質異常による衛生的問題発生の未然防止の可能性、④水質変換装置の給水システムへの組み込みの際の留意点などが示唆された。

一方、サブテーマ(Ⅱ)の研究からは、家屋スケールでの水循環(多段階利用)を達成し、水使用を合理化することで、水の有効利用や環境負荷低減が推進され、①水道原水の取水量抑制による河川環境への影響低減と、需要水量の日変動抑制による浄水場の安定運転、②家庭排水の削減による下水道への負荷低減や、水道水圧などの未利用エネルギー活用による電力エネル

ギー等の消費量減少にともなう環境負荷低減、③家屋内における再利用水の安全性の向上、および衛生面の確保、といった効果が期待され、安全で衛生的、且つ快適な家屋内水循環が形成できる可能性が示唆された。

E. 結論

2つのサブテーマの研究から、以下の結論が導かれた。

(I) 水有効利用のための給水システム構築に関する研究

本研究では、①給水管・装置に由来する漏水等の事故事例の解析や、②異常水流・異常水質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した。その結果、給水システム内における事故・工事の実態の明確化と望ましい給水システムの維持管理法確立の可能性、不適切な装置工事や給水システム内における管・装置類の異常発生とこれらに由来する水質異常の早期検出と迅速対応の可能性がより具体化し、水質異常による衛生的問題発生の未然防止の可能性などが示唆された。したがって、これらの研究をより発展させることにより、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と維持・リスク管理が可能となるともの考えられた。

(II) 家屋内での水有効利用と環境負荷低減に関する研究

水の有効利用による使用量の削減と、環境負荷低減を達成できる“アクアハウス”の構築を目指し、その概念を設定するとともに、装置を製作して実験的検証を行った。その結果、水道水圧で駆動するシリンダシステムの実用性について確認することができた。また、シリンダで使用した水の貯水槽としての利用を考えているアクアウインドウに関しては、環境負荷低減効果が期待できること、貯水槽として適用できる可能性をそれぞれ確認することができた。

さらに、水質目標値に関しては、1段目のシリンダ通過水を風呂水として利用する場合には、残留塩素濃度の変化を抑えておけば良いと判断した。以上の要素技術の検討結果から、アクアハウスの実現性をより明確にすることができた。

F. 健康危険情報

特に記載する事項なし。

G. 研究発表

各分担研究報告書にも個別に記載しているが、それらをまとめて、以下に示す。

既発表

- 1) 森 一晃、国包章一、青木 光：給水装置の高度化に伴う給配水システムへの影響の検討、きゅうすい工事、中村文雄、一都市における給水工事・事故の発生状況と事故発生数の推定、きゅうすい工事、4(2)、pp18-23(2003, 1)
- 2) 中村文雄：一都市における給水工事・事故の発生状況と事故発生数の推定、きゅうすい工事、5(1)、pp8-11(2004, 1)
- 3) 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)
- 4) 山岸貴行、松井祐介、村瀬良太、松井佳彦、井上隆信、松下拓、；給水栓末端における濁度水質モニター、平成15年土木学会中部支部研究発表会講演概要集 pp.603-604 (長野、2004, 3)

発表予定

- 1) 中村 文雄、林 武治：一都市における給水工事・事故の発生状況と発生数の推定、第55回全国水道研究発表会、(2004, 6, 16) (投稿中)
- 2) 中村文雄、林 武治、花田裕己：給水装置における事故事例等の実態調査、第55回全国水道研究発表会、(2004, 6, 16) (投稿中)
- 3) 杉山俊幸、中村文雄、松本正文：給水管の止水時の振動特性の把握、平成16年度土木学会全国大会第59回年次学術講演会(第VII部門、上下水道管理セッション) (2004, 9) 投稿中
- 4) 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)
- 5) 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, 17) (投稿中)
- 6) 坂下大地、西村達也、藤原正弘、岸俊幸、紀谷文樹；水道水圧を利用した駆動シリンダの検討一家屋内での水有効利用と環境負荷低減に関する研究、第55回全国水道研究発表会、(2004, 6, 16) (投稿中)

H. 知的財産権の出願・登録情報

分担研究報告書にも個別に記載しているが、それらをまとめて、以下に示す。

1. 特許取得

以下の発明について出願を行った。

- 1) 発明の名称：「水圧による被開閉物駆動装置
及び水利用設備」

出願人：(株)荏原総合研究所

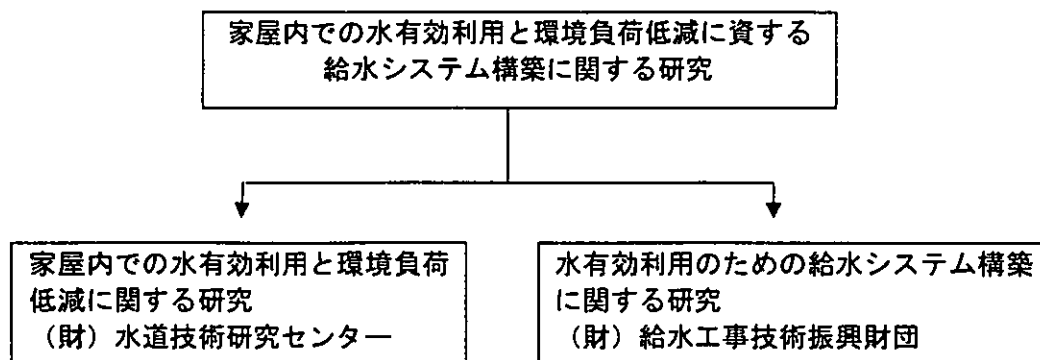
- 2) 発明の名称：「建築物用採光窓及び建
築物用採光窓を用いた水道水
利用システム」

出願人：(株)荏原総合研究所

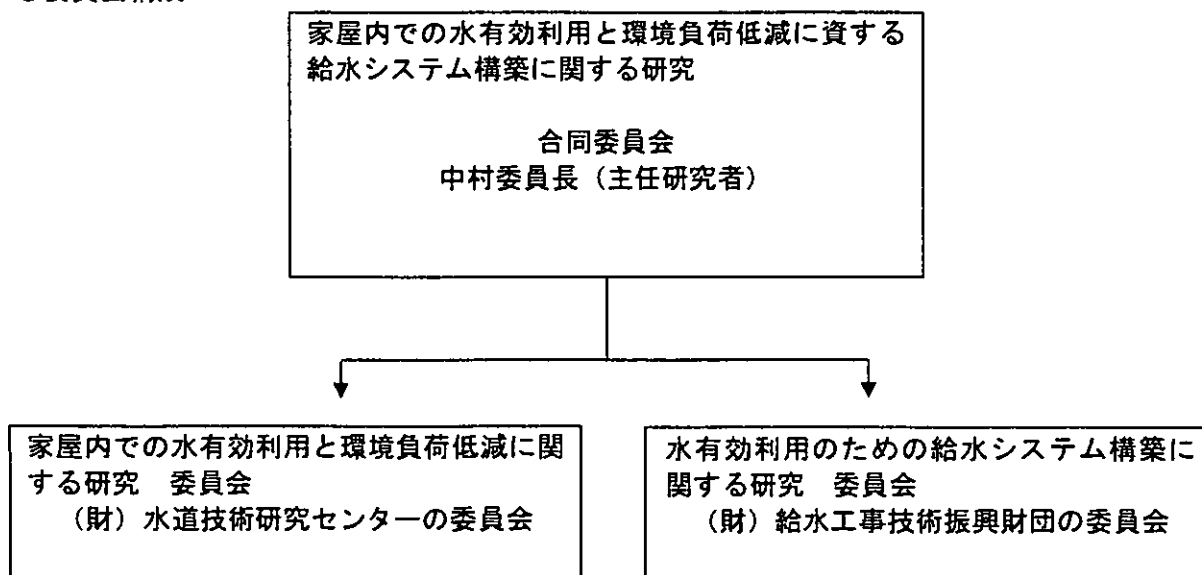
(別表1)

研究体制

○研究体制



○委員会構成



Ⅱ. 分担研究報告書

Ⅱ-1 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	森	一晃

厚生労働科学研究費補助金(がん予防等健康科学総合研究事業)
分担研究報告書

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	森 一晃	国立保健医療科学院室長

研究要旨

本研究では、①給水管・装置に由来する漏水等の事故事例の解析や、②異常水流・異常水質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した。その結果、給水システム内における事故・工事の実態の明確化と望ましい給水システムの維持管理法確立の可能性、不適切な装置工事や給水システム内における管・装置類の異常発生とこれらに由来する水質異常の早期検出と迅速対応の可能性のより具体化、水質異常による衛生的問題発生の未然防止の可能性 などが示唆された。したがって、これらの研究をより発展させることにより、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と維持管理・リスク管理が可能となるともの考えられた。

A. 研究目的

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、給水管・給水装置に由来する漏水および水質汚染等の事故事例の解析研究や異常水流・異常水質等の早期検出方法の開発研究をベースとする維持・リスク管理方法の検討等により、安全性の高い、望ましい給水システムの構築方法を研究する。

B. 研究方法

学識者、水道事業体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いる。3ヶ年計画の2年目にあたる本年度は、6都市における漏水等の事故事例解析や、給水装置における事故等の実態調査の解析を行うと共に、水圧・水量・水質の異常現象検出ための実験装置作成・改良とその検出感度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。

(委員会構成)

別表2

(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、全国の水道事業体及び管工事業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

本研究では、表記のサブテーマの中の主要テーマについて各分担研究者がそれぞれ分担して研究を実行しているが、本年度においては、給水システムの維持管理面の研究として、「大都市における給水システム関連事故・工事に対する検討②」、「給水装置における事故事例等の実態調査結果」の2テーマの研究を、リスク管理面の研究として、「水撃作用(水圧〔音・振動〕変動異常)の検出方法に関する研究」、「濁度・懸濁粒子数・吸光度等を指標とした給水システム内における水質異常の検出；トレンド出力型濁りモニターの試作と評価」、「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)異常等の検出)」、「水質変換装置などの給水システムへの導入方法」の4テーマの研究、合計6つのテーマで研究を行った。

以下に、それらの研究成果をまとめて示す。

Ⅱ－1－1. 給水システムの維持管理に関する研究(1)；

大都市における給水システム関連事故・工事に対する検討【2】

主任・分担研究者 中村文雄 (財)給水工事技術振興財団 技術アドバイザー

1、はじめに

平成14年度には、関東地区の大都市Aにおける2001年1月～2002年3月にかけての給水系および排水系事故件数について検討し、いくつかの特徴的な傾向を見出した。これらのうち事故数と外囲環境との関連性に関しては、(1)給水系事故の61%は漏水事故であるが、事故総数は高温期に増大する傾向があること、(2)排水系事故の80%は管路閉塞事故であるが、事故件数は高温期に低下する傾向が認められこと、(3)したがって、月単位の給水・排水系事故総数と気温との関係をプロットするとき、給水系事故数は凹形の2次曲線的な変化を示し、排水系事故数は負の勾配を持つ1次直線的な変化を示すこと、などの特徴が認められた。

これらの結果を踏まえ、本年度は、給水系事故発生防止策の検索の観点から、他の都市でも同様な傾向が認められるか否かを検討することとし、まず、各都市の給水システムにおける事故・工事件数の季節および気温依存性の検討と、周期変動性の検討を行うこととした。

2、調査対象都市と解析データ

調査対象都市の選択に当っては、①給水システムにおける事故・工事の記録がなされていること、②地域的に離れている（気温差の存在の可能性）こと、③直営、もしくは、管工事業団体との連携を持って給水システムの維持管理に当たっていること、等を考慮した。

表-1は、選択した6都市（都市-S、T（I報の都市Aにデータを追加して再解析）、Y、N、K、H）の位置する緯度、解析に利用したデータの提供元、データの規模（年平均事故数）、給水人口千人当りの事故・修繕・工事（以下、事故と略記）数を示している。

表-1 調査対象都市の所在位置、解析データの期間とその規模

	都市-S	都市-T	都市-Y	都市-N	都市-K	都市-H
緯度（°）	43.03	35.41	35.26	35.11	35.00	33.35
使用データの 出所	水道緊急 センター	メンテナン スセンター	事業体	事業体、 修繕センター	事業体	水道サービ ス公社
使用データ年 度	H11～14	H13～14	H11～13	H11～14	H11～14	H11～14
平均事故数/年	6,004	19,671	47,122	19,763	11,623	1,933
事故数/千人/年	3.3	2.4	13.5	8.7	8	1.4

各都市は、緯度；33.35°～43.03°の範囲内に位置している。解析データは事業体および維持管理センター（事業体と管工事組合が関与）から提供を受けているが、事故数/給水人口千人/年に示される大きな差は、各事業体および維持管理センターの給水システム事故への関わり方に差があることを示唆している。なお、都市-Kのデータはメータ上流の漏水事故件数を、都市-Hのデータは宅内給水管（官民境界からメータまでの間の）漏水修理件数のみを示しており、いずれも、メータ下流の事故件数を含んでいない。

したがって、提供されたデータが各都市の給水システムにける事故件数の実態をどの程度反映しているかは不明である。しかし、本解析が目的としている事故件数の年間変動性および季節・気温依存性の解析に対しては、このことが特段の問題にはならないと考えている。なお、データ解析に当って、発生件数が極めて少ない事故やシステム内事故と関連性の少ない統計項目は解析から除外した。

3、解析結果

3-1、各都市の事故総数に対する解析

各都市における事故全体的傾向を把握するため、まず、総事故数の解析を行った。

図-1 および図-2 は、都市-N と都市-S の事故総数/月の経月変動を示している。

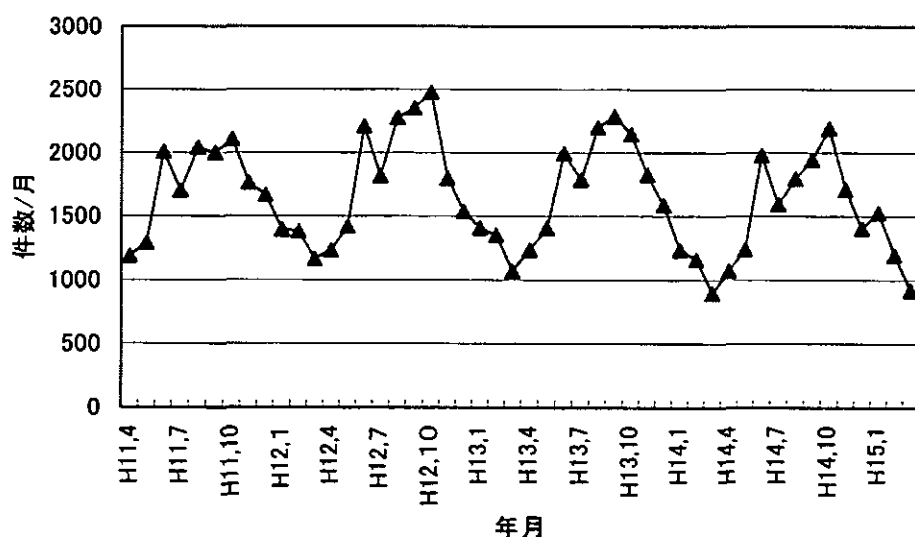


図-1 都市-Nにおける事故総数の経月変動

都市-Nにおいては、月当りの事故件数は1000～2500件/月の範囲内で変動しているが、春期に少なく、夏期に多いと言う年単位の周期的変動を反復している事が認められる（図-1）。なお、毎年6月に異常なピークが反復出現しているが、これは「水道週間」時に行われてきた上下水道局による「水栓弁またはパッキンの無料サービス」に起因するものであるとのことである。

一方、都市-Sは高緯度地に位置しているため、冬季（12月～3月）に凍結・漏水等の事

事故数が急増するが(図-2)、その程度は年毎に変動し、また、春～秋の期間における事故数は総じて少ないと言う特徴がある。この変動の様相は、前述の都市-N(図-1)とはかなり異なるが、年単位の周期的変動性を持っていると言える。

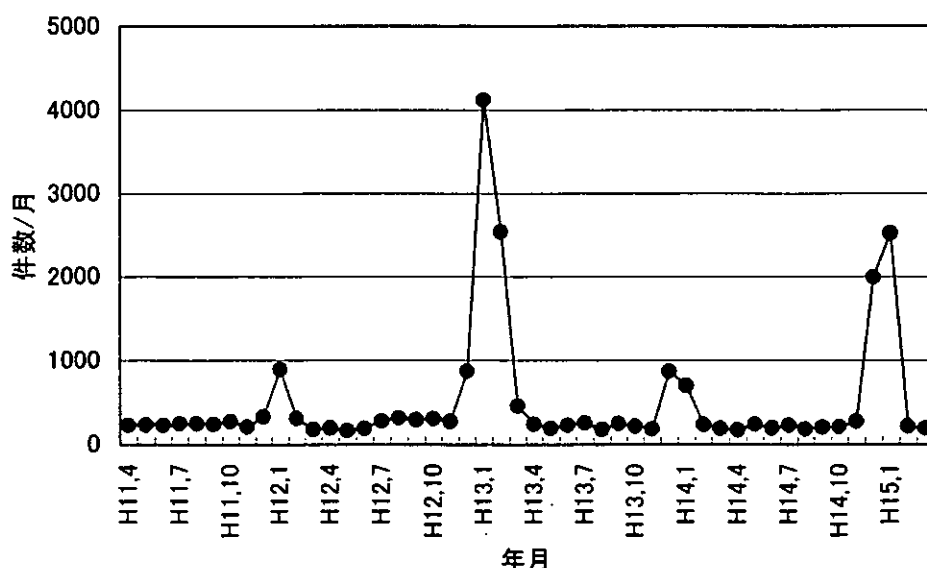


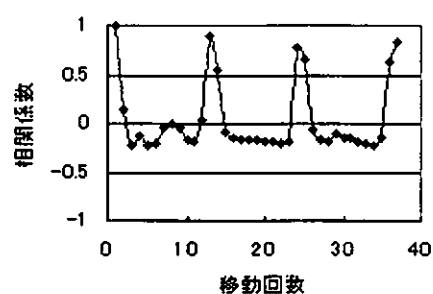
図-2 都市-Sにおける事故総数の経月変動

このように事故発生件数の経月変動の様相は、都市により大きく変動するものと予想される。そこで、6都市の総事故件数の時系列データに対して、12ヶ月遅れを単位とする自己相関性の検討を行った。その結果を図-3に示す。

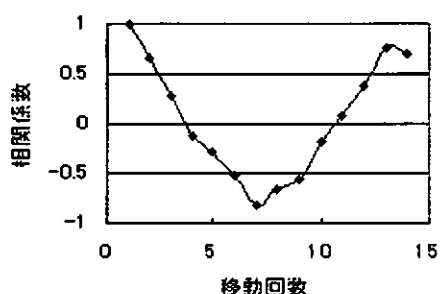
都市により解析対象期間に差があるために(表-1参照)横軸の間隔に差があるが、図-3に見るように、各都市の事故発生総数の経月変動は、比較的綺麗な12ヶ月単位の周期性を持っていることは明らかである。ただ、都市-Sの場合はやや特異な経月変動をとっているため(図-2)、他の5都市のコレログラムとは全く異なった様相を示している。換言すれば、都市-S以外の5都市の「事故発生総数/月」の経月変動は、周期的変動の強度に若干の差が存在するとは言え、図-1に示す都市-Nの経月変動とほぼ同様な緩やかな三角波的増減を示す変動性を持ち、12ヶ月単位の周期的な変動を反復していると言える。

このように、いずれの都市でも、給水系事故発生には12ヶ月単位の周期変動が認められるが、このような周期変動性の発現にはそれを誘引する因子が存在するはずである。この因子を明らかにする事は給水系事故発生の防止策につながるものと期待されるが、その為には、まず、給水系事故の発生頻度の高い時期・期間を明確にする必要がある。

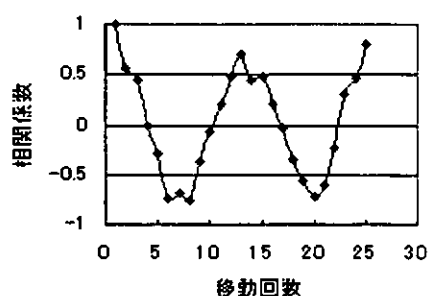
そこで、周期的変動のピーク時期を明らかにすることを目的として、各時系列データの周期関数式を求めて、発生事故数の経月変動をシミュレートすることにした。ここでは、各都市の解析対象期間中の「総事故数/月」に関する時系列データを用いることとし、解析に際しては、一旦、回帰分析から検出される傾向変動成分を除去して定常時系列とした後、調和解析を行った。



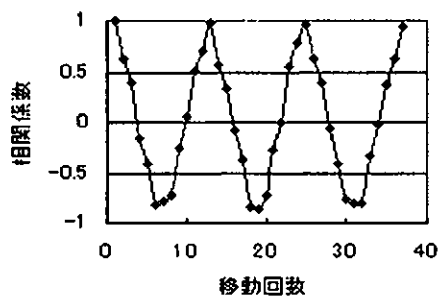
都市-S



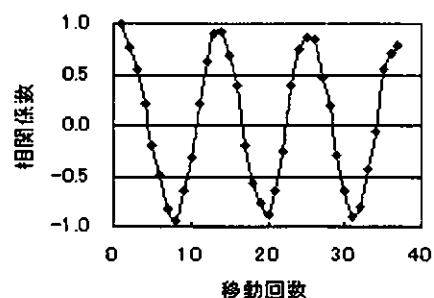
都市-T



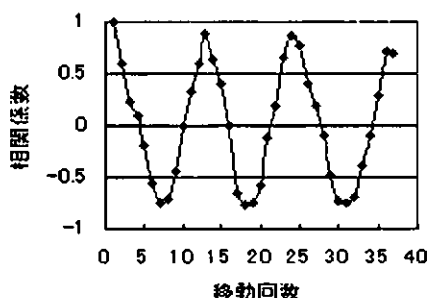
都市-Y



都市-N



都市-K



都市-H

図-3 各都市の総事故数/月のコレログラム

一般の周期関数は次式のフーリエ級数で表される。ここで、フーリエ係数 a_0 a_n b_n を決定する事によって周期関数を求める事が出来るが、 n は任意の整数である。 n を大きくすると細かい変動性おも反映できることになるが、全体の傾向が見にくくなるという欠点もある。そこで、この解析では、全体の変動傾向の概要とピーク位置を見やすくすることを意図して、 $n=3$ と設定して周期関数式を導いた。なお、各時系列が図-3 のような周期的変動を示すとは言え、各月単位の事故数には変動がある。そこで、各月の平均値、平均

値+3σ、平均値-3σに対応する a_0 a_1 a_2 a_3 b_1 b_2 b_3 を求め、各月の平均値とその変動幅（平均値±3σ）が求められるようにした。

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx)$$

$$\text{ここで、 } a_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) dx$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos nxdx$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin nxdx$$

使用した周期関数式の基本形は下記の通りである。なお、 K_i は、各月の固有値（-5～+6）である。

$$a_0 + a_1 \cos(K_i x \pi / 6) + a_2 \cos(2K_i x \pi / 6) + a_3 \cos(3K_i x \pi / 6) \\ + b_1 \sin(K_i x \pi / 6) + b_2 \sin(2K_i x \pi / 6) + b_3 \sin(3K_i x \pi / 6)$$

表-2 は、各月の平均値に対応する各都市のフーリエ係数； a_0 a_1 a_2 a_3 b_1 b_2 b_3 をまとめて示している。また、図-4 は、これら係数を用いて各都市毎に計算した結果（●）と、実際値（解析対象期間中の月毎の平均値；○）との関係を示している。

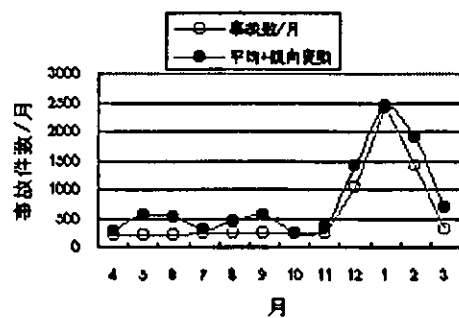
図-4 から、周期関数式に基づく各都市の計算値と実際値とはほぼ対応している事が認められ、計算値は実際の給水系事故の発生状況を良くシミュレートしていると考えられる。

この前提でこの図を見るとき、下記のことが認められる。

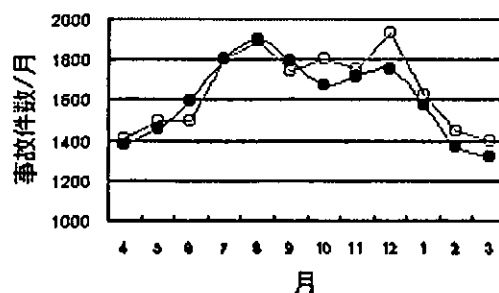
- (1) 都市-Sでの事故発生件数がピークに達するのは12月～2月である。この都市は高緯度地域に位置しており、解析対象期間（平成11年4月～15年3月）の4年間におけるこの時期の平均気温は0～-5℃（図-5参照）、最低気温は-10～-15℃である。また、事故件数

表-2 各都市のフーリエ係数

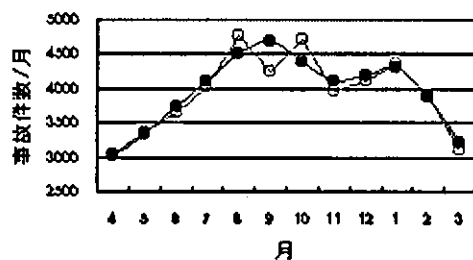
係数	都市-S	都市-T	都市-Y	都市-N	都市-K	都市-H
a_0	60.47	20.35	6.89	23.06	3.08	1.49
a_1	-548.22	-7.92	-283.91	46.91	15.74	-16.02
a_2	188.56	56.27	9.39	18.86	-13.06	-12.09
a_3	78.98	-61.02	47.61	128.74	-7.02	9.09
b_1	-396.42	228.89	586.99	517.84	213.33	46.21
b_2	514.97	65.49	281.26	-10.66	10.07	-0.14
b_3	-360.78	-1.48	-147.94	-47.49	14.44	0.41



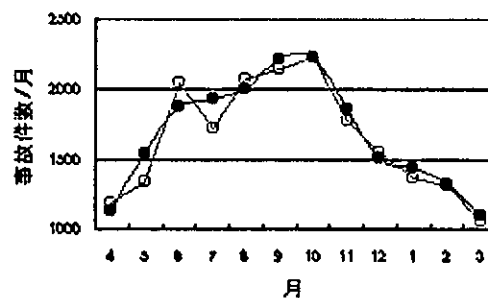
都市-S



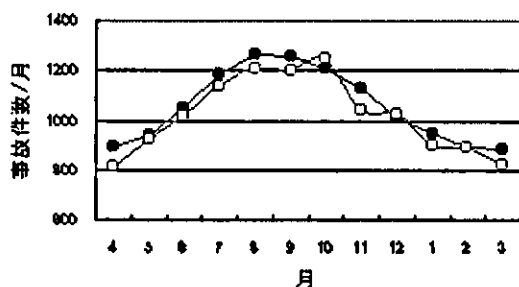
都市-T



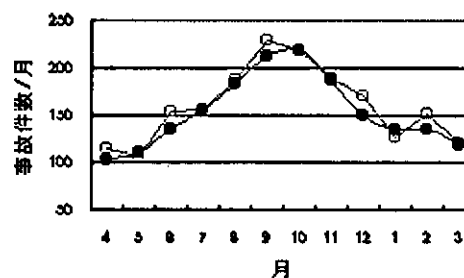
都市-Y



都市-N



都市-K



都市-H

図-4 周期関数式に基づく各都市の事故件数/月の計算値と実際値（月平均値）との関係

/月の内、「凍結」の占める割合が圧倒的に多く、このピークは主として「凍結」によるものである。

なお、表-3 は、都市-S における「凍結事故」と他の事故との相関関係を示しているが、「屋内配管の漏水等」および「トイレ・下水故障」が「凍結事故」と有意の相関性を持っており、これら事故もこのピークに関与してことが示唆されている。

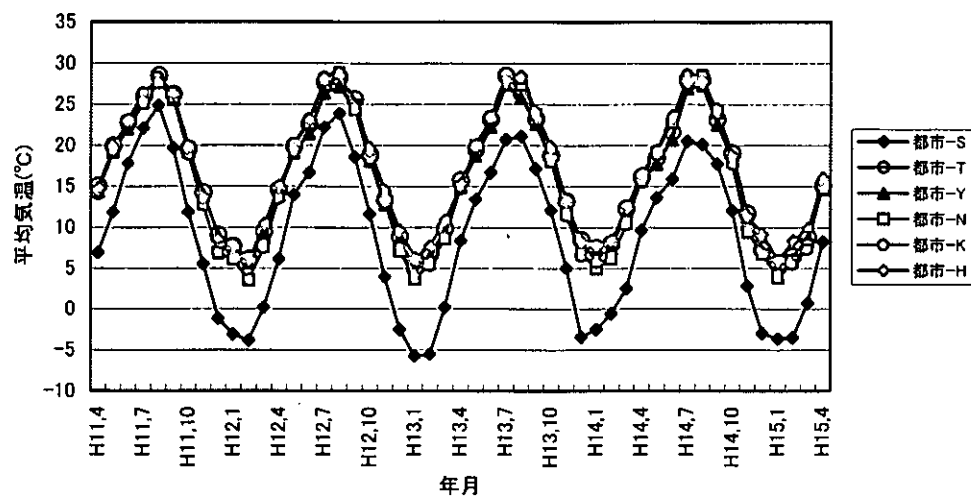


図-5 解析対象期間の4年間における6都市の平均気温

表-3 都市-Sにおける「凍結事故」と「他の事故」との相関性

事故項目	凍結
公道	[]
宅内地漏水	[]
水抜き栓漏水、故障	[]
屋内配管の漏水等	[**]
蛇口の故障、出っ放し	[]
ボイラー、受水槽	[]
凍結	-
その他給水装置故障	[]
苦情計	[]
トイレ、下水故障	[*]
その他	[]
単純合計	[**]

[**] ; 1%危険率で有意、[*] 5%危険率で有意、[] ; 相関性なし

(2) 都市・T、Y

両都市の事故件数/月の経月変動は互いに類似していることが認められる。すなわち、8～9月に最大のピークが出現し、12～1月のやや低いピークが出現している。

そこで、都市・Tと都市・Yにおける両ピーク時と、立上り時の4月における発生件数の多い代表的事故の平均発生件数/月をまとめて下表に示す。表に見るように、前記の都市・Sのような特定の事故が卓越して発生しているとは考えにくく、時期変化に応じた各種事故の相対的増減によりピークが形成されているように思われる。