

を用いて、管内に充水した浸出溶液(JWWA Z 108:2004)の残留塩素濃度や各種水質の経時変化(連続24時間)を計測した。

表-4 供試管

	管種	内面仕様	布設年度	口径(mm)
a	CIP	NL	S30	200
b	SP	CL	S41	200
c	SP	LE	新管	200

注1) 管種のCIPは高級铸铁管を、SPは鋼管を示す。  
注2) 内面仕様のNLは無ライニングを、CLはセメントモルタルライニングを、LEは液状エポキシ樹脂塗装を示す。

③管の水理特性・老朽度と残留塩素減少に係る調査(フィールド調査)

管路の錆と残留塩素濃度の低下に着目して、既存管路の状況、水質及び水理状況、残留塩素の減少量等のデータを収集するために、Y事業体Y及びK事業体の調査対象管路の上下流において、平常時、滞留時、流速設定時(流速5cm/sec、10cm/sec)に分けて、残留塩素濃度、懸濁物質、電気伝導度、水圧等を、約1週間にわたって連続計測した。

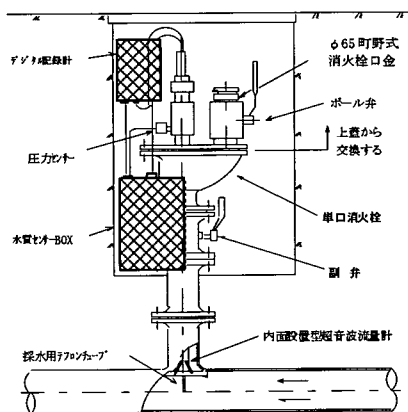


図-27 水理・水質計測機器(消火栓設置状況)

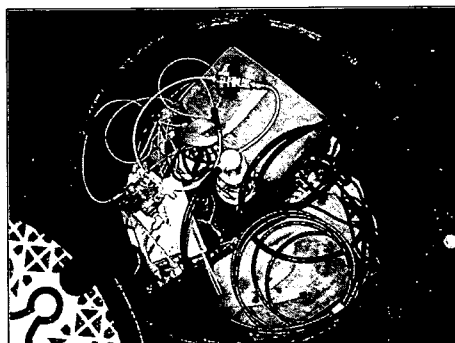


写真-1 水理・水質機器設置状況

表-5 対象管路

	事業体名	管路名称	管種	内面仕様	布設年度	口径(mm)	延長(m)
a	Y	U	DIP	CL	S50	300	490
	Y	U	SP	CL	S40	300	307
	Y	U	CIP	NL	S30	200	277
b	Y	U	DIP	CL	S50	300	490
	Y	U	SP	CL	S40	300	307
	Y	U	DIP	CL	H18	100	277
c	Y	F	CIP	CL	S31	250	203
d	Y	N	CIP	CL	S31	250	200
e	Y	K	CIP	CL	S31	100	203
f	K	D	DIP	CL	S41	100	1250
g	K	M	DIP	CL	H3	100	390

注1) 管種のCIPは高級铸铁管を、DIPはダクタイル铸铁管を、SPは鋼管を示す。  
注2) 内面仕様のNLは無ライニングを、CLはセメントモルタルライニングを示す。

(2) 管路における水質劣化防止対策技術の開発(消石灰注入による水質劣化防止効果に係る調査(フィールド調査))

消石灰(及び炭酸ガス)注入による水質劣化防止効果、すなわち水質改善による腐食性の抑制効果を、水道事業体の実施設等において検証した。

ダクタイル铸铁製の新管から切り取った铸铁及びモルタルの試験片を、φφ40mmの試験管路内に設置し、流速0.6m/secで通水した。調査期間は6か月で、試験片の質量の経時変化(腐食度)を計測した。

調査箇所は、消石灰を注入している事業体と注入していない事業体における浄水場出口と配水地点とした。なお、両浄水場とも水源は河川水である。

調査箇所:

- a) 消石灰注入あり  
C 浄水場(M事業体) + M 配水池(N事業体)  
(注) M 配水池は、C 浄水場から受水して配水している
- b) 消石灰注入なし(I事業体)  
T 浄水場 + N 公園

(3) 管路の水質面における評価診断手法の開発

老朽管路における水質劣化のメカニズムを解明するための調査研究の成果を基に、老朽管路が水質に及ぼす影響について、水道事業体の既存の評価診断事例等を参考に検討を行った。

## 2. 管路の老朽度診断技術に関する研究

管路の更新や維持管理を行う場合、管路の現状を正確に把握することが重要である。管路の現状把握には、管周辺を掘削して行う管体調査が主に実施されているが、多額な掘削コスト等が支障となっている。本研究では、(1)統計的手法を用いた管路の老朽度診断手法(間接診断)の開発、(2)管路の効率的な現地診断技術(直接診断)の研究、(3)管路の老朽度面における評価手法の開発に取り組み、これらの3つの研究成果を総合的かつ体系的に組み合わせることにより、管路施設の老朽度や更新の必要性を水道事業体が総合的に診断・評価することのできる手法の開発研究を行った。

### (1) 統計的手法を用いた管路の老朽度診断手法の(間接診断)の開発

F 水道事業体の水道管路マッピング情報のメッシュデータ(3033メッシュ:1メッシュ 250m×250m)を活用し、配水管路の修理件数の有無が、管路の材質や埋設年度、土質・地形分類といった要因にどのような影響を受けているのか、統計的な分析(数量化理論Ⅰ類及びⅡ類)を試み、安全性評価モデル及び漏水リスク評価モデルを構築した。

また、構築したモデルを実際の更新計画に活用させるために、モデルの汎用性を検証した。検証方法としてはS事業体のデータ(878メッシュ:1メッシュ 350m×500m)に評価モデルを適用し、同様の統計解析を試みた。

### (2) 管路の効率的な現地診断技術(直接診断)の研究

#### ① 衝撃弾性波法によるダクタイル鋳鉄管の老朽度評価手法に関する基礎研究

まず初めに、健全供試管を研究対象として、異なる弾性波の入力方法や受信方法を用いた計測を行い、計測方法の違いが弾性波特性値に与える影響について検討した。また、異なる管厚の供試管を対象として、得られた弾性波測定値と管厚の関係を比較することにより管厚推定方法の検討を行った。

次に、外面腐食を生じて減肉(管厚減少)が部分的に進行した鋳鉄管及びダクタイル

鋳鉄管の掘上経年管を対象として衝撃弾性波法の老朽度評価への適用性を検討した。なお、これらの管は複数の水道事業体から提供を受けたものである。

表-6 供試管一覧

	口径 (mm)	管種	布設 年度	内面 仕様	事業 体名
a	150	ダクタイル鋳鉄管	S49	CL	T
b		ダクタイル鋳鉄管	S50	CL	T
c		高級鋳鉄管	S35	CL	O
d		ダクタイル鋳鉄管	S47	CL	O
e		鋳鉄管	T15	NL	Y
f		鋳鉄管	S27	NL	K
g		ダクタイル鋳鉄管	S52	CL	K

注) CLはセメントモルタルライニングを、NLは無ライニングを示す。



写真-2 供試管C)の外観  
(ショットブラスト後)

#### ② 磁気飽和渦流探傷法による配管検査システムの性能確認

磁気飽和渦流探傷法は、磁性のある金属管を対象とし、渦電流を用いて供試管に非接触で欠陥の検出が可能な技術である。

まず、健全供試管(φ900mm)として、管内面にモルタルライニングが施されたダクタイル鋳鉄管に対して模擬欠陥を設け、それら欠陥に対する検出能力を確認した。

次に、N水道事業体から提供を受けた掘上経年管(φ500mm及びφ1350mm)を用いて、土壌腐食を模した擬似欠陥に対する検出能力や、現地調査時に管内面の砂などの堆積物によって検出コイルと試験体表面の距離が大きくなる場合について、検出性能の変化を調査した。

表-7 供試管一覧

	口径 (mm)	管種	管厚 (mm)	CL厚 (mm)	形態
a	900	ダクタイル鋳鉄管	15	8	新管
b	500	ダクタイル鋳鉄管	9	6	掘上
c	1350	ダクタイル鋳鉄管	24	12	経年管

注) CL厚は、セメントモルタルライニング厚を示す。

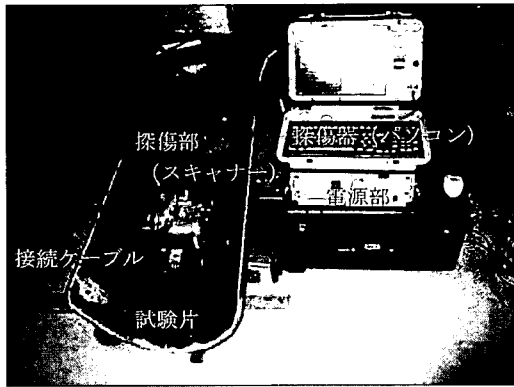


写真-3 磁気飽和渦流探傷機器の概要

③管路診断技術の到達レベルマップの作成  
 管路の機能診断に関する既存技術の情報を、文献や関連メーカーへのヒアリング等により収集し、調査対象や調査項目で分類した上で、それらの実用化レベルを3段階評価で整理した。

(3) 管路の老朽度面における評価手法の開発

① 水道用硬質塩化ビニル管路の評価・診断技術の研究

塩ビ管の漏水事故が多発していることを受け、塩ビ管路のTS継手管について、複数の水道事業体から提供を受けた掘上経年管における継手部の亀裂発生に関する実態調査を実施した。その調査結果から、亀裂発生原因が水圧変動による疲労破壊と推定されたため、同現象を促進して再現する試験として脈動水圧試験を実施した。

また、掘上経年管等による調査を踏まえて、S水道事業体の既設管路において、側視可能な管内カメラにより、管内面からTS継手の既知・未知の破損、補修部分の確認及びTS継手の新仕様と旧仕様の識別が可能か否かの検証を実施した。

表-8 供試管一覧

	口径 (mm)	管路	布設年度	事業体名
a	100	VP管/旧JIS規格TS継手	S47年頃	F
b	75	VP管/新JIS規格TS継手	S50年頃	S
c	100	VP管/R/R継手	S50年頃	N

表-9 検証管路概要

	口径 (mm)	管路	布設年度	延長 (m)	事業体名
a	100	VP管/TS継手	S48年頃	約10	S

② 水道用バルブ類点検データの分析及び評価

○水道事業体から水道用バルブ類（制水弁）の点検補修記録データ（調査台数224台）を、また、P水道事業体からも水道用バルブ類（制水弁）の日常点検データ（調査台数1,024台）の提供を受け、不具合の内訳や使用年数と不具合率の関係などの分析及び評価を行った。

C. 研究結果

1. 老朽管路における水質劣化とその防止策等に関する研究

(1) 管路における水質劣化メカニズムの解明

① 水質と残留塩素減少に係る調査(ラボ実験)

水質の良質さ、浄水処理の程度が、水質由来の残留塩素濃度の低減に係る傾向が認められた。また、浄水場で採取した浄水では、採水初期の比較的短い時間において残留塩素の低下速度が大きく、ある程度時間が経過すると低下速度は小さくなった。さらに管路末端部で採取した浄水では残留塩素濃度の低下速度が極めて緩慢になっていたことから、水質由来の残留塩素濃度の低下は一定時間を経過すれば反応が収束し、管路末端部では水質由来の影響が小さくなることが明らかとなった。

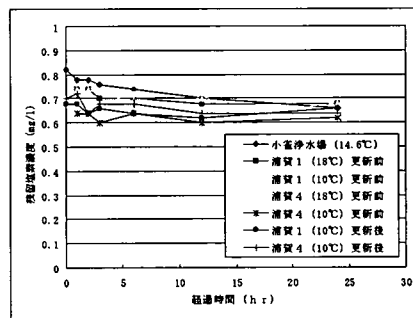


図-28 水質由来の残留塩素濃度の経時変化

水道管路内の残留塩素濃度減少は、経過（滞留）時間に支配され、一般的に次の一次反応式で示される。

$$C_t/C_0 = \exp(-k \cdot t)$$

ここに、

$C_0$  : 初期残留塩素濃度

$C_t$  : t 時間経過後の残留塩素濃度

k : 残留塩素濃度消費速度係数 ( $\text{hr}^{-1}$ )

T : 滞留 (経過) 時間 (hr)

また、残留塩素濃度消費速度係数 (k) は水中又は管壁等の被酸化物の多少に左右されることも知られている。

こうしたことから、原水の種類や処理方法の異なる 15 事業体 56 浄水場から採取した浄水を 10°C の水温に調整して試料とし、残留塩素濃度や各種水質の経時変化 (連続 24 時間) を測定した。

表-10 に、測定結果から得られた k 値を、浄水方法及び水源種別ごとに整理した結果を示す。地下水を水源とする急速ろ過 (除マンガン処理) の k 値が最も低く、ダム湖を水源とする活性炭処理+急速ろ過の k 値が 0.0116 と最も高い。

また、水源と浄水方法の組み合わせたときのおおよその k 値は、河川を水源とする高度処理 (オゾン+粒状活性炭) の場合には 0.006 程度、ダム湖を水源とする高度処理では 0.012 程度、その他では 0.010 程度であった。

表-10 浄水方法及び水源種別毎の k 値

浄水方法	水源種別	データ数	平均値	標準偏差
塩素のみ	地下水	30	0.0104	0.0080
	河川水	10	0.0064	0.0027
	湖沼水	3	0.0051	0.0018
オゾン+活性炭	ダム湖	2	0.0113	0.0025
	ダム湖+河川水	9	0.0072	0.0029
	河川水	13	0.0084	0.0036
活性炭+急速ろ過	ダム湖	3	0.0116	0.0015
	ダム湖+河川水	15	0.0073	0.0043
	河川水	20	0.0095	0.0051
急速ろ過	ダム湖	30	0.0088	0.0043
	ダム湖+河川水	12	0.0077	0.0021
	ダム湖+地下水	3	0.0042	0.0011
	地下水	12	0.0034	0.0019
緩速ろ過	ダム湖	3	0.0097	0.0013

## ②管材質と残留塩素減少に係る調査 (ラボ実験)

管内面の状況 (ライニングの有無、錆こぶの有無等) の水質影響を、既存管路から撤去した管を用いて調査した。

残留塩素濃度の経時変化について、無ライニング鑄鉄管とライニング鋼管とを比較

すると、無ライニング鑄鉄管は明らかに残留塩素濃度の減少速度が大きい傾向が見られた。

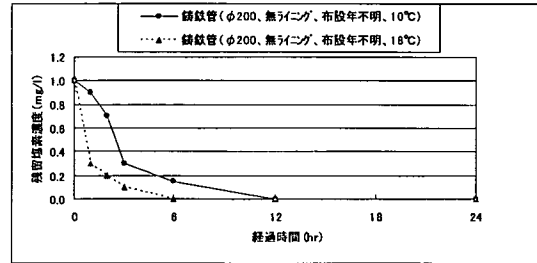


図-29 管材質由来の残留塩素濃度の経時変化 (無ライニング鑄鉄管)

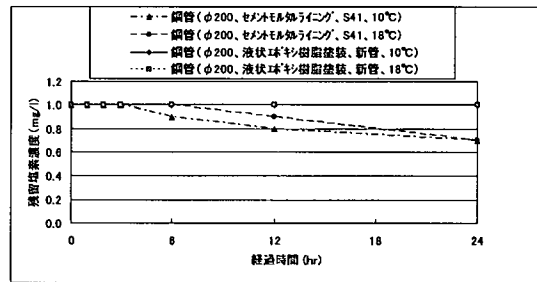


図-30 管材質由来の残留塩素濃度の経時変化 (ライニング鋼管)

無ライニング鑄鉄管における k 値は 0.1495~0.4467 を示し、上述の「水質と残留塩素減少に係る調査」によって得られた水質由来の k 値に対して 15~40 倍となった。モルタルライニングのある経年管の k 値は 0.0128~0.0154 であり、水質由来の k 値とほぼ同程度となった。

以上の結果から、k 値を指標にして内面に錆こぶが生じている無ライニング管路を同定できる可能性があることが示唆された。

## ③管の水理特性・老朽度と残留塩素減少に係る調査 (フィールド調査)

Y 事業体における管路 U では、実管路における調査では、無ライニング鑄鉄管路では、水が滞留した場合、残留塩素濃度が著しく低下するが、流速が 10cm/sec 程度あれば、ライニングのある管路と残留塩素濃度の消費に差が見られなかった。

また、同事業体における管路 F は、無ライニング鑄鉄管路であるが、常時流速が 10cm/sec 程度あり、残留塩素の低下はほとんど見られなかった。

これらの結果から、残留塩素は、管内面状

況だけでなく、水理要件が大きく影響することが考えられる。

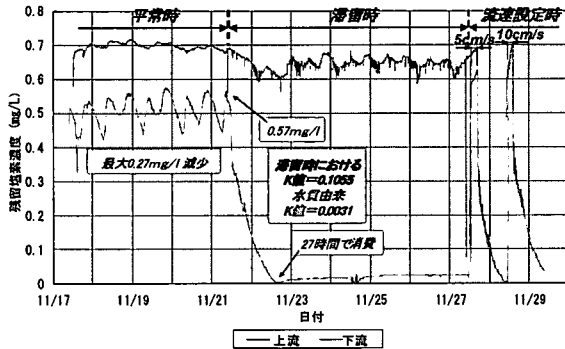


図-31 残留塩素濃度計測結果 (Y事業体/管路U 無ライニング鑄鉄管)



写真-4 管内カメラ調査 (Y事業体/管路U 無ライニング鑄鉄管)

K事業体では、管材料の仕様の変遷から、多くの事業体で存在すると考えられる直管部はライニング、異形管部が無ライニング

の管路(管路D)における残留塩素の減少について、直管部および異形管部共にライニングされている管路(管路K)との比較調査を行った。異形管が無ライニングの場合でも、残留塩素の減少速度は比較的小さく、5cm/sec程度の流速があれば、直管部および異形管部ともにライニングされている場合との大差は見られなかった。

この調査結果からも、管路の内面状況だけでなく、水理要件の影響が無視できないことが示唆される。

### (2) 管路における水質劣化防止対策技術の開発 (消石灰注入による水質劣化防止効果に係る調査(フィールド調査))

管の腐食防止対策として消石灰注入を行っている管路においてダクタイト鑄鉄管等のテストピースを用いた腐食量調査を行ったところ、消石灰注入による腐食速度の抑制効果が確認された。また、消石灰注入による残留塩素の低減抑制が確認され、水質劣化防止効果のあることが示唆された。

### (3) 管路の水質面における評価診断手法の開発

管種、流速、残塩対策の有無等の項目による簡易診断(スクリーニング)と管内カメラ、水理・水質調査等による直接診断を組み合わせた、水質面において問題を抱えた管路を抽出するための評価診断手法の素案を明らかにすることができた。

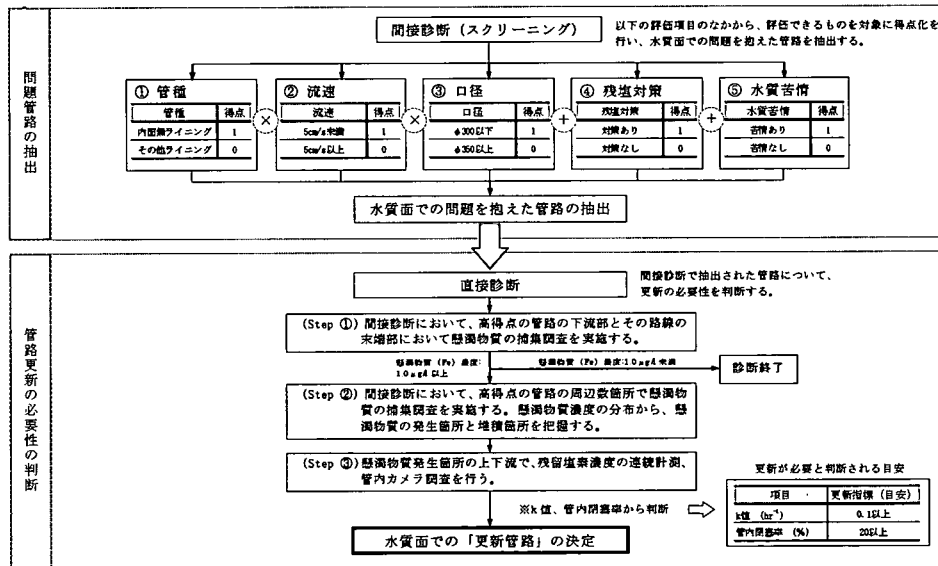


図-32 管路の水質面における評価・診断手法(素案)

## 2. 管路の老朽度診断技術に関する研究

### (1) 統計的手法を用いた管路の老朽度診断手法（間接診断）の開発

F 事業体のデータを用いて配水管路の安全性評価を目的とした数量化 I 類及び II 類による統計的分析を行い、配水管修理件数の有無及び漏水量の各々を外的基準にした、安全性評価モデル及び漏水リスク評価モデルを構築した。

また、構築した配水管路の安全性評価モデル及び漏水リスク評価モデルを S 事業体のデータに適用してその汎用性を検証した結果、これらの評価モデルは S 事業体においても有効であり、汎用性の高いことを確認した。

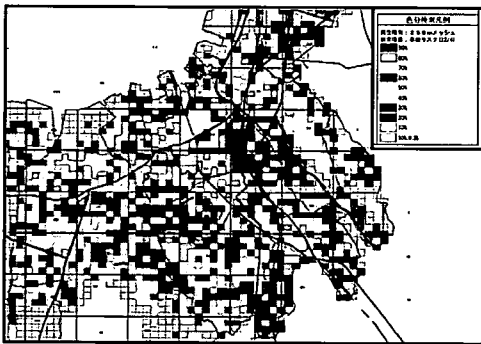


図-33 F 事業体における事故リスク評価モデルによる診断結果

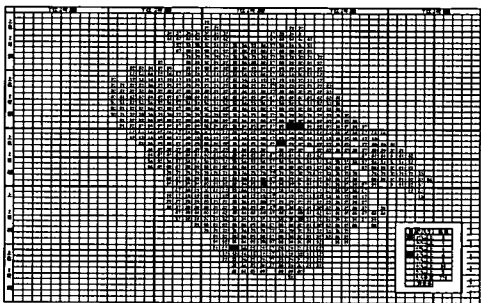


図-34 S 事業体における事故リスク評価モデルによる診断結果

### (2) 管路の効率的な現地診断技術（直接診断）の研究

#### ① 衝撃弾性波法に基づくダクタイル鋳鉄管の老朽度評価手法に関する基礎研究

健全供試管を用いた実験結果により、管厚が減少するとともに、管のピーク周波数が低周波側に移動することが確認できた。管厚とピーク周波数の減少傾向にはある程

度の規則性があるため、対象とする管のピーク周波数を求めることにより、ダクタイル鋳鉄管の管厚を定量的に評価することが可能であることが確認できた。

次に、掘上経年管を用いた実験により、外面腐食を生じた管においても、管厚が減少するとピーク周波数が下がり、健全管を用いた場合と同様の傾向を示した。また、管外面に付着した腐食生成物が本手法に与える影響は小さいことが確認された。さらに、部分的な減肉の位置がピーク周波数に与える影響は小さく、本手法は減肉の位置に関わりなく管の減肉の程度を評価できる可能性のあることが明らかとなった。

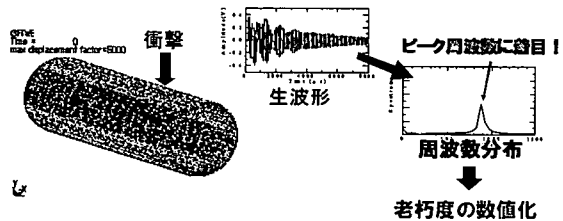


図-35 衝撃弾性波法

#### ② 磁気飽和渦流探傷法による配管検査システムの性能確認

健全管である管内面にモルタルライニングが施されたダクタイル鋳鉄管などについて、内面のライニングの上から管体内外面の腐食などの欠陥を検出することが可能であることが確認できた。

次に、掘上経年管を用いた実験結果により、掘上経年管を用いた場合と健全管の場合とでは検出性能に大きな違いは認められなかった。検出可能な最小欠陥形状は、一例を挙げると、口径φ500mmの供試ダクタイル鉄管においてはφ5mm×深さ4.5mm(管厚の50%)、若しくはφ10mm×深さ3mm(管厚の30%)であった。また、管理設場所における調査を模して、埋設管内に砂等が堆積して調査装置と管体の密着が十分に図れない場合を想定した実験では、不陸の影響を受けないように合板で養生するなど、調査装置の走査性を考慮した対策が必要であることが明らかとなった。

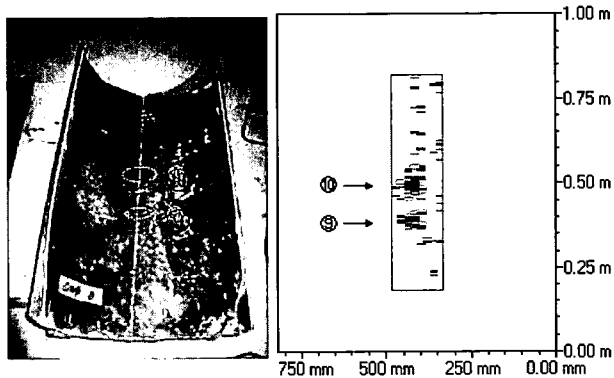


図-36 探傷結果の一例 (φ500)

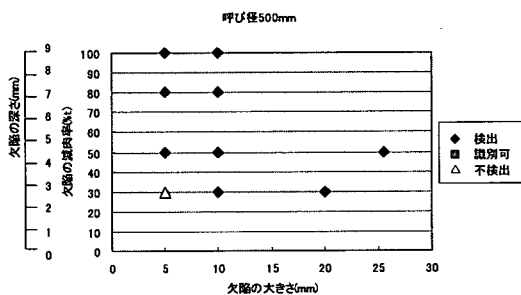


図-37 掘上経年管 (φ500) における欠陥検出性能

③管路診断技術の到達レベルマップの作成  
 管路診断に関する既存技術を取りまとめたことにより、現在どのような調査・診断方法が実用化又は研究されているか、また、どの部分の診断技術が充実しているかを容易に把握することが可能となった。

### (3) 管路の老朽度面における評価手法の開発

#### ①水道用硬質塩化ビニル管路の診断技術の研究

掘上経年管の調査により、塩化ビニル管の老朽度診断を行うための指標となる現象の一つとして、1979年のJIS規格改定前の旧仕様のTS継手において、高い割合で継手に亀裂が発生していることが判明した。

次に、S水道事業体の既設管路における管内カメラ調査により、TS継手の新仕様、旧仕様の違いを、内面のストッパー部分の幅により確認することができた。また、TS継手の内面亀裂は、今回の調査箇所では観察されなかったが、継手内面の異物付着や接着剤の塗布状況(接着剤のはみ出し)等の

鮮明な観察が可能だったことから、管内カメラによる調査は、これらの有無を十分に確認することが可能であると判断された。



写真-5 TS継手内面接着剤の塗布状況(接着剤のはみ出し)

#### ②水道用バルブ類点検データの分析及び評価

バルブ類の点検データを分析した結果、図-38に示すように、使用年数30年で不具合率が5%を超え、40年を超えると急増して25%に達し、さらに45年で不具合バルブは設置数の1/3を超えることが判明した。

また、仕切弁については、口径φ500mm以下では不具合率が小さく、比較的大きな口径(φ700mm~φ1200mm)で不具合の出る確率が大きくなることが明らかとなった。なお、バタフライ弁は、口径との関連を見出せなかった。

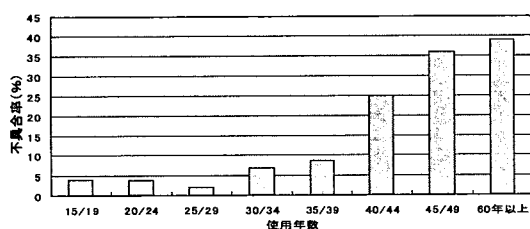


図-38 使用年数と不具合率の関係

### D. 考察

#### 1. 老朽管路における水質劣化とその防止策等に関する研究

水質由来の残留塩素濃度の減少傾向を残留塩素濃度減少速度係数(k値)で示すとおよそ0.01程度であった。

無ライニング管路における調査(フィールド調査)では、水が滞留した場合のk値は0.11、流速が10cm/sec場合は0.02であ

った。

布設後年数の経過したライニングの無い管路では、水が滞留した場合、残留塩素濃度の減少量が極端に大きくなることが確認された。

また、ライニングの施された比較的新しい管路の  $k$  値は 0.01 程度で、水質由来の  $k$  値とほぼ同じ値であった。

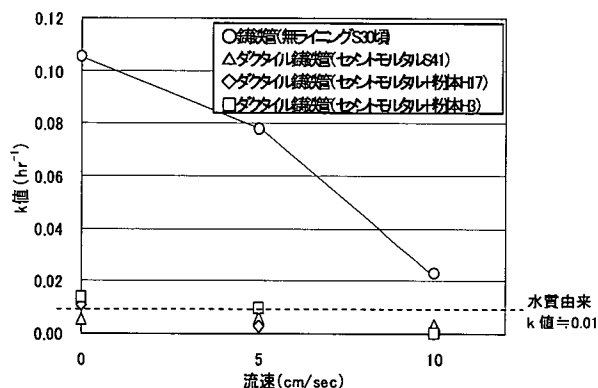


図-39 流速と  $k$  値の関係

残留塩素及び懸濁物質の捕捉量に着目して、管路における水質劣化メカニズムを明らかにする研究を行った。

管路内における水質劣化は、管内面のライニングの有無と流速の有無の影響を強く受ける。特に、ライニングがなく、流速の遅い管路では、内面に錆こぶが形成され、堆積物も多く、その結果として、残留塩素濃度の減少や懸濁物質が多くなるなどの水質劣化が懸念されることが明らかになった。

## 2. 管路の老朽度診断技術に関する研究

管路の老朽度診断技術に関する研究では、老朽管路の機能面での実態把握のための技術開発を行った。

- ・ 経年管比率、土壌の腐食性、世帯数等と事故件数の関係について、数量化理論による統計的解析を行い、配水管の安全性評価モデル及び漏水リスク評価モデルを構築した。また、構築したこれらの評価モデルは、汎用性があることを確認した。
- ・ 管路の効率的な現地診断技術（直接診断）として、新管及び部分的に腐食した

掘上経年管を用いて衝撃弾性波法の基礎的な研究に取り組み、実管路への適用可能性を確認した。また、有望既存技術として磁気飽和渦流探傷法の性能確認を新管及び掘上経年管を用いて実施し、有効な手段であることを確認した。

- ・ 管路の老朽度面における評価（間接診断）として、適切な管路更新に向け、管路が有する機能の実態を把握し、管路更新の際の判断指標となる診断技術として、水道用硬質塩化ビニル管路の診断技術を開発した。
- ・ また、管路システムとして管と同等に重要な設備であるバルブ類に関して、その使用年数と不具合率の傾向を見出し、また、予防保全のための分析に必要な日常点検項目を確認した。

## E. 結論

本研究を実施することにより、以下の項目について明らかとなった。

- 主成分分析及びクラスター解析により、日本全国の原水を水質面からグループ分けし、かつ、水質を統合化した数値で表現し、水質マップとして示すことができた。これにより、全国の事業者が自己の水道原水水質を客観的に評価することが可能となった。
- 実証実験により膜ろ過システムの原水変動に対する水質安定性、「鉄系凝集剤+膜ろ過システム」の優れた処理水量の安定性、膜ろ過システム及び鉄系凝集剤の有効性などを確認し、今後さらに適用の幅が広がる可能性を示すことができた。
- 浄水施設の LCA 評価を手順化した「浄水施設を対象とした LCA 実施マニュアル」の作成、及び VOC 計による水道原水の異臭味物質の迅速検知とその対応手法を提案した。
- 上記成果を統合することにより、原水水質を把握し目標浄水水質を設定することで、適切な浄水システムを選定することのできる手法を策定した。
- 管の内面仕様や水理状況等から、水質劣化の大きな管路を抽出するための手法を明らかにすることができた。



- 適切な管路施設の更新に向け、管路が老朽化した状況を把握し、管路更新の際の優先度の判断指標となる、統計的手法を用いた管路の老朽度診断手法（安全性評価モデル等）や効率的な管路の現地診断技術（衝撃弾性波法、磁気渦流探傷法等）について、適用の可能性を確認することができた。

多くの浄水施設が本格的な更新時期を迎える今後において、水道事業者が新しい浄水システムを構築し、施設更新を円滑に進めるためのガイドラインを示すことができた。また、管路施設については、機能の劣化した施設の更新を支援するため、更新の優先度を明らかにするための実用的な手法を示すことができた。

今後、本格的な更新時期を迎える日本の水道システムにおいて、水道事業者における活用を図るため、本研究で得られた数々の知見を技術マニュアル集等として取りまとめることとしている。

## F. 研究発表

- M. Fujiwara, S. Itoh, H. Nagaoka, H. Kondo and K. Hara, Detecting and Removing Odor-causing Compounds in Water Source, 2nd IWA-ASPIRE Conference and Exhibition, 2007
- M. Fujiwara, A. Koizumi, G. Funahashi, N. Iwase and T. Hatanaka, Pipeline Diagnosis through Examination of Water Quality Degradation, 2nd IWA-ASPIRE Conference and Exhibition, 2007
- M. Fujiwara, New Research Project on Drinking Water Quality Management, 第4回日米水道水質管理及び下水道技術に関する政府間会議, 2007
- 藤原正弘、「*e-Water II*プロジェクトについて」、環境衛生工学研究、2007、Vol.21、No.3、pp.107-110
- 五十嵐倫子、伊藤雅喜、藤原正弘、「水質に応じた最適浄水システムの構築に関する研究」、環境衛生工学研究、2007、Vol.21、No.3、pp.111-114
- 横田治雄、古米弘明、松井佳彦、藤原正弘、「浄水処理システムにおける水質変換および浄化機能の解析・評価に関する研究」、環境衛生工学研究、2007、Vol.21、

No.3、pp.115-118

- 新飯田豊、滝沢智、藤原正弘、「浄水施設を対象としたライフサイクルアセスメントに関する研究」、環境衛生工学研究、2007、Vol.21、No.3、pp.119-122
- 長岡裕、伊藤禎彦、藤原正弘、「水道水源における臭気原因物質の検出及び除去に関する研究」、環境衛生工学研究、2007、Vol.21、No.3、pp.123-126
- 近藤博幸、藤原正弘、滝沢智ほか、「浄水施設を対象としたライフサイクルアセスメントに関する研究」、第58回全国水道研究発表会講演集、2007、pp.84-85
- 五十嵐倫子、藤原正弘、伊藤雅喜ほか、「水質に応じた最適浄水処理システムの構築」、第58回全国水道研究発表会講演集、2007、pp.286-287
- 八木澤修、藤原正弘、小泉明ほか、「老朽管路における水質劣化に関する研究」、第58回全国水道研究発表会講演集、2007、pp.412-413
- 岩瀬伸朗、藤原正弘ほか、「管路の老朽度診断技術に関する研究」、第58回全国水道研究発表会講演集、2007、pp.338-339

## G. 知的財産権の取得状況

なし

健全な水循環の形成に資する浄水・管路技術に関する研究

平成17年度～19年度 総合研究報告書（1／2）

## 参考資料

「安全でおいしい水を目指した高度な浄水処理技術の確立に関する研究」  
（浄水技術部門）

詳細報告資料

安全でおいしい水を目指した高度な浄水処理技術の確立に関する研究

## 目 次 (1/2)

<b>I 総論</b> -----	1
1. 背景と目的 -----	1
2. 基本方針-----	2
2. 1 研究課題 -----	2
2. 2 研究期間 -----	2
3. 研究実施体制 -----	2
<b>II-1 浄水システム委員会</b> -----	1-1
1. はじめに-----	1-1
2. 浄水システム委員会の研究概要-----	1-1
2. 1 研究課題および研究目的-----	1-1
2. 2 研究実施体制 -----	1-1
2. 3 活動内容 -----	1-2
2. 3. 1 水質に応じた処理方式の構築-----	1-2
2. 3. 2 合同実験 -----	1-3
2. 4 活動報告 -----	1-3
3. 水質に応じた浄水システム選定手法の構築-----	1-6
3. 1 浄水処理システム選定の考え方-----	1-7
3. 1. 1 浄水システム選定手法 -----	1-7
3. 1. 2 処理システムの類型分け -----	1-8
3. 1. 3 データ収集と事前検討 -----	1-9
3. 2 望ましい浄水水質のレベル別設定-----	1-15
3. 2. 1 目標浄水水質レベルの考え方-----	1-15
3. 2. 2 目標水質の設定 -----	1-16
3. 2. 3 目標水質レベルの設定値 -----	1-18
3. 3 プロセス群の選定 -----	1-19
3. 3. 1 フローデータ解析 -----	1-19
3. 3. 2 プロセスデータ解析 -----	1-84
3. 3. 3 水質毎のプロセス群選定 -----	1-168
3. 4 追加設備の検討 -----	1-177
3. 4. 1 追加設備の判定 -----	1-177
3. 4. 2 塩素注入による塩素酸・臭素酸濃度-----	1-184
3. 5 最適浄水システムの選定手法 -----	1-188
3. 6 コスト・スペース・維持管理性・LCA の評価-----	1-199
3. 6. 1 コスト・スペース・維持管理性・LCA-----	1-199
3. 6. 2 粉末炭と粒状炭のコスト比較-----	1-213
3. 7 新技術の紹介 -----	1-216

3. 8 ケーススタディ (適用例)	1-232
3. 9 浄水システム選定手法と各委員会成果のかかわり	1-249
3. 9. 1 はじめに	1-249
3. 9. 2 各委員会の研究内容	1-249
3. 9. 3 浄水システムの選定方法	1-251
4. 合同実験	1-272
4. 1 実験目的	1-272
4. 2 実験方法	1-272
4. 2. 1 連続運転	1-272
4. 2. 2 排水処理実験方法	1-284
4. 3 結果	1-288
4. 3. 1 連続実験 RUN1	1-288
4. 3. 2 連続実験 RUN2	1-298
4. 3. 3 連続実験 RUN3	1-306
4. 3. 4 金属、有機物、及び 50 項目分析結果	1-314
4. 3. 5 薬品洗浄	1-316
4. 3. 6 連続実験に関する考察	1-317
4. 3. 7 排水処理実験に関する結果及び考察	1-321
4. 4 まとめ	1-335
添付資料	1-336

<b>II-2 水質評価委員会</b>	2-1
1. はじめに	2-1
1. 1 全体背景	2-1
1. 2 活動概要	2-1
1. 3 水道事業体から見た本書の活用意義	2-1
2. 研究概要	2-3
2. 1 研究課題	2-3
2. 2 研究目的	2-3
2. 3 研究実施体制	2-3
2. 4 研究概要	2-3
3. 水質データ及び関連情報の収集	2-5
3. 1 水道統計水質編	2-5
3. 2 他機関による水質関連情報	2-5
3. 3 事業体直接提供データ	2-5
4. 原水水質の分類、解析 (得点化とグループ化)	2-8
4. 1 解析方法	2-8
4. 1. 1 クラスタ解析	2-8
4. 1. 2 主成分分析	2-8

4. 1. 3	採用データ	2-8
4. 2	水道統計データを用いたクラスター解析による原水水質の分類(グループ化)	2-9
4. 2. 1	対象データ	2-9
4. 2. 2	クラスター解析条件	2-9
4. 2. 3	解析結果	2-10
4. 2. 4	結果総括	2-12
4. 3	事業者提供データを用いた主成分分析及びクラスター解析による原水水質の得点化とグループ化	2-13
4. 3. 1	分析条件	2-13
4. 3. 2	主成分分析比較結果	2-14
4. 3. 3	代表条件の主成分分析結果	2-14
4. 3. 4	クラスター解析結果	2-17
4. 3. 5	主成分分析とクラスター解析結果の照合	2-18
4. 3. 6	考察	2-19
4. 4	まとめ	2-23
4. 5	本成果に基づく水道原水水質特性確認方法	2-25
4. 5. 1	主成分得点算出と所属グループ(クラスター)の確認方法	2-25
4. 5. 2	原水水質と採用浄水システムの関係把握	2-30
5.	浄水システムと原水水質の関係整理、解析	2-31
5. 1	目的	2-31
5. 2	原水水質と浄水水質の解析方法	2-31
5. 3	原水水質と浄水水質の解析結果	2-33
5. 3. 1	高除去率型	2-34
5. 3. 2	除去効果有型	2-37
5. 3. 3	低除去率型	2-39
5. 3. 4	副生成物生成型	2-40
5. 3. 5	広範囲分布型	2-41
5. 4	原水水質データを利用した浄水システムの推定方法	2-42
5. 4. 1	累積分布の差が大きい水質項目の選定方法	2-42
5. 4. 2	浄水システムの推定方法	2-43
5. 5	浄水システムの推定結果	2-44
5. 5. 1	累積分布の差が大きい水質項目の選定結果	2-44
5. 5. 2	累積分布のパターン認識による浄水システムの推定結果	2-46
5. 6	まとめ	2-51
第5章 付録	浄水システム推定マクロ	2-52
6.	事業者ヒアリング(原水水質障害対応事例調査)	2-55
6. 1	目的	2-55
6. 2	ヒアリング概要	2-55
6. 2. 1	アンケート調査およびヒアリング調査の方法	2-55

6. 2. 2	アンケート調査先浄水場	2-55
6. 2. 3	調査のまとめ	2-56
6. 3	恒常的、季節的な原水水質の問題点について	2-57
6. 3. 1	内容概要	2-57
6. 3. 2	各内容とその対処方法について	2-58
6. 4	突発的な原水水質の異常について	2-63
6. 4. 1	内容概要	2-63
6. 4. 2	各内容とその対処方法について	2-64
6. 5	ヒアリング事例紹介	2-66
6. 5. 1	水源、導水路	2-66
6. 5. 2	浄水場（取水口～）	2-66
6. 5. 3	浄水場（薬品混和池～ろ過池）	2-66
	添付資料	2-67

<b>II-3</b>	<b>機能評価委員会</b>	3-1
1.	はじめに	3-1
2.	機能評価委員会の研究概要	3-1
2. 1	研究課題および研究目的	3-1
2. 2	研究実施体制	3-1
2. 3	活動内容	3-2
2. 3. 1	研究内容	3-2
2. 3. 2	研究フロー	3-3
2. 4	活動報告	3-5
3.	研究報告	3-6
3. 1	水質項目別性能評価	3-6
3. 1. 1	検討方法	3-6
3. 1. 2	処理性影響因子の評価	3-8
3. 1. 3	個別水質項目に関する処理モデルの構築	3-15
3. 1. 4	まとめ	3-25
3. 2	濁質除去性能評価	3-27
3. 2. 1	検討方法	3-27
3. 2. 2	調査対象施設の概要	3-28
3. 2. 3	濁度処理影響因子の評価	3-30
3. 2. 4	重回帰分析による濁質処理のモデル化	3-35
3. 2. 5	まとめ	3-48
3. 3	臭気除去性能評価	3-51
3. 3. 1	検討方法	3-51
3. 3. 2	粉末活性炭方式における臭気除去影響因子の評価	3-53
3. 3. 3	粉末活性炭方式における臭気除去のモデル化	3-54

3. 3. 4	粉末活性炭以外の方式における臭気除去性能の評価	3-58
3. 3. 5	まとめ	3-59
3. 4	水道統計による水質と浄水方法の関連性検証	3-60
3. 4. 1	ジェオスミン、2-MIB	3-60
3. 4. 2	濁度、色度	3-68
3. 4. 3	過マンガン酸カリウム消費量	3-75
3. 4. 4	まとめ	3-78
3. 5	その他の研究成果	3-79
3. 5. 1	ヒアリング調査	3-79
3. 5. 2	設計指針と実績値の比較	3-86
3. 5. 3	全国水道研究発表会講演集からの情報	3-91
4.	まとめ	3-92

※参考

目 次 (2 / 2)

<b>II-4</b>	<b>環境評価委員会</b>	4-1
1.	はじめに	4-1
2.	環境評価委員会の研究概要	4-1
2. 1	研究課題及び研究目的	4-1
2. 2	研究実施体制	4-1
2. 3	研究目標	4-2
2. 4	活動報告	4-2
3.	研究報告	4-4
3. 1	LCAにおける目的と調査範囲の設定	4-4
3. 1. 1	目的の設定	4-4
3. 1. 2	調査範囲の設定	4-4
3. 2	データ収集	4-18
3. 2. 1	構成素材データ	4-18
3. 2. 2	原単位	4-19
3. 2. 3	データの収集書式の設定	4-24
3. 2. 4	段階別データの収集方法	4-26
3. 3	事業期間、耐用年数の設定	4-28
3. 4	計算・集計	4-28
3. 5	結果と考察	4-29



3. 6 「浄水施設を対象とした LCA 実施マニュアル」の作成-----	4-37
4. まとめ-----	4-38

## II-5 臭気評価委員会 ----- 5-1

1. はじめに-----	5-1
2. 臭気評価委員会の研究概要 -----	5-1
2. 1 研究課題および研究目的 -----	5-1
2. 1. 1 研究課題 -----	5-1
2. 1. 2 研究目的 -----	5-1
2. 2 研究実施体制 -----	5-1
2. 3 活動内容 -----	5-2
2. 3. 1 研究内容 -----	5-2
2. 4 活動報告 -----	5-3
2. 4. 1 委員会開催報告 -----	5-3
3. 研究報告-----	5-6
3. 1 臭気原因物質等に関する検出・評価方法の検討について -----	5-6
3. 1. 1 合同実験 -----	5-6
3. 1. 1. 1 実験概要 -----	5-6
3. 1. 1. 2 実験結果および経過 -----	5-6
3. 1. 1. 3 ガスクロマトグラフ VOC 測定装置の臭気成分検出基本性能 -----	5-7
3. 1. 1. 4 原水連続測定結果 -----	5-33
3. 1. 1. 5 迅速検知の課題と展望 -----	5-50
3. 1. 1. 6 まとめ -----	5-54
3. 1. 2 水質予測モデルによるシミュレーションについて -----	5-55
3. 2 臭気原因物質等に関する対策技術の整理について -----	5-59
4. まとめ-----	5-60

# I 総論

## 1. 背景と目的

今日、わが国の水道は97%を越える高普及率を達成しており、社会の基幹施設として機能している。平成16年6月に発表された「水道ビジョン」が指摘しているように、今後とも水道は環境保全を考慮しつつ、安全・安心な水を持続的に安定して供給していくことが必要不可欠となっており、一旦事故等が発生すると大きな影響を与えるため、適切な施設の更新と維持管理が必要不可欠である。

しかし、水道ビジョンが示しているように日本の高度成長期を支えてきた浄水施設の内相当数が、今後10年以内に更新の時期を迎える。さらに、人口の減少等から水需要の伸びは期待できず、水道事業体の経営に大きな影響を及ぼしている。

一方、今後15年程度で水道事業体職員の半数以上が退職する見込みであり、技術の継承が急務であると共に、省力化・効率化が図れる施設に更新することが必要である。また、水源について考えてみると水源水質は浄水施設建設時と比較すると、河川表流水からダム貯留水やダム放流水の比率が多くなると共に、周辺の開発などにより悪化している。さらに、クリプトスポリジウムのように、塩素による消毒が効果のない病原性微生物の問題などがあり、近年のボトル・ウォーターの消費量の伸びなどを考えると、需用者のニーズは安全でおいしい水であり、これらを満足する新しい技術に対する要求は高まっている。

上記のような理由から、施設更新を行うに当たり、水道事業体ではその地域に最も適した浄水処理技術を選択するためのガイドラインが求められている。また、平成12年に施設基準が性能基準化されたことに伴い、各水道事業体は、原水水質などその地域に最も適した水道施設を設けることが可能となり、その具体的な指針が求められている。

また、退職職員の急増を考えると、浄水場の維持管理に関する技術の継承や省力化・効率化のために機械化、コンピュータ化の適切な指針が求められている。

一方、2-MIB やジェオスミンの臭気物質の濃度は水質基準が決められ、その除去が必要になっていると共に、安全でおいしい水を求める需用者のニーズに応えるため、その他の臭気原因物質等による水源汚染が水道事業にとって大きな問題となっている。

以上のような背景を受け、原水条件に応じた最適な浄水プロセスを示すことにより、水質基準への適合、消費エネルギー等の低減、排水処理施設からの汚濁物質低減、維持管理における省力化を図るとともに、未知の臭気原因物質等を特定すること及び除去方法を研究することは、安全・安心な水を安定して供給するために不可欠であり、これらにより現在更新時期を迎えている水道施設の効率的な更新を図り、安全・安心でおいしい水を安定して供給することが出来る。

本研究は、平成17年度～19年度において厚生労働科学研究費補助金（地域健康危機管理研究事業）を受け実施した。上記に示した各種の原水条件に応じた最適浄水処理プロセスの選定指針の作成、おいしい水を目指した臭気原因物質等の検知と除去方法等の各種研究を実施することにより、需用者が求めている安全でおいしい水を供給する効率的な浄水技術の選定手法を確立し水道事業体を支援することを目指すものである。

## 2. 基本方針

### 2. 1 研究課題

本研究では、次の課題につき研究を行った。

#### (1) 原水条件に応じた最適浄水システムに関する研究

日本全国の原水水質を水質項目によりグループ分類を行った。その後、単位浄水プロセスの組み合わせによる浄水システムについて、浄水水質の安全性、維持管理性、省エネルギー、環境負荷低減を考慮した LCA 的観点、排水、汚泥処理プロセス、監視・計装システム等の項目により評価し、最適な浄水プロセスの指針の検討を行った。

#### (2) おいしい水を目指した臭気原因物質等に関する研究

臭気原因物質としては、従来、2-MIB、ジェオスミンが代表的物質として挙げられているが、これらが検出されていない原水に対しても、浄水処理後、又は、給水末端にて、臭気が発生するケースがある。これは、原水中に含まれる臭気原因物質等が、塩素処理により変性し、何らかの臭気物質を生成している可能性がある。

より安全でおいしい水を供給するために、未知の臭気原因物質をできるだけ早く検出し、取水方法の変更、浄水処理の強化等により、安全性・快適性の向上を図る研究を行った。

### 2. 2 研究期間

本研究は平成 17 年度～平成 19 年度の 3 年間にわたって実施した。

## 3. 研究実施体制

本研究を実施するため、下記の各委員会を設置した。

#### (1) 調整委員会

本研究の円滑な推進のための委員会で、本研究に参画する国立保健医療科学院、大学、水道事業体、企業、関連団体の代表者により構成する。

#### (2) 研究評価委員会

本研究の総合的な推進を図り、各研究課題に関する研究の基本方針、研究内容の事前審査や評価及び成果を総合的に検討するため、学識者の代表を中心とする委員会である。

#### (3) プロジェクト委員会

具体的な研究計画の調整を図ると共に、必要な情報交換やその他本研究に関連する諸業務を行うため、参加企業の代表を中心とする委員会である。

#### (4) 総合研究委員会

研究課題に関する研究を円滑に推進するため、「調整委員会」の下に設置する委員会で、本研究に参画する国立保健医療科学院、大学、水道事業体、企業等の代表者により構成する。

また、本委員会の元に 5 つの研究委員会を設け研究を推進した。

##### ①浄水システム委員会

原水水質、目標とする浄水水質、維持管理性、及びコスト等を考慮した適切なシステムの選

定手法、システムの評価に関する研究を行う。

②水質評価委員会

原水・浄水水質及び原水水質に影響を与える因子に関するデータを幅広く収集し、原水水質の分類・評価・解析に関する研究を行う。

③機能評価委員会

浄水処理プロセスごとに水質等の面から評価を行い、浄水処理技術の確立を図ることを目的とした研究を行う。

④環境評価委員会

環境に優しい水道の実現に資することを目的として、上水道分野におけるライフ・サイクル・アセスメント（LCA）手法を確立するための研究を行う。

⑤臭気評価委員会

おいしい水を目指して、臭気原因物質等に関する検出・評価方法についての検討、対策技術の選定手法の確立に関する研究を行う。

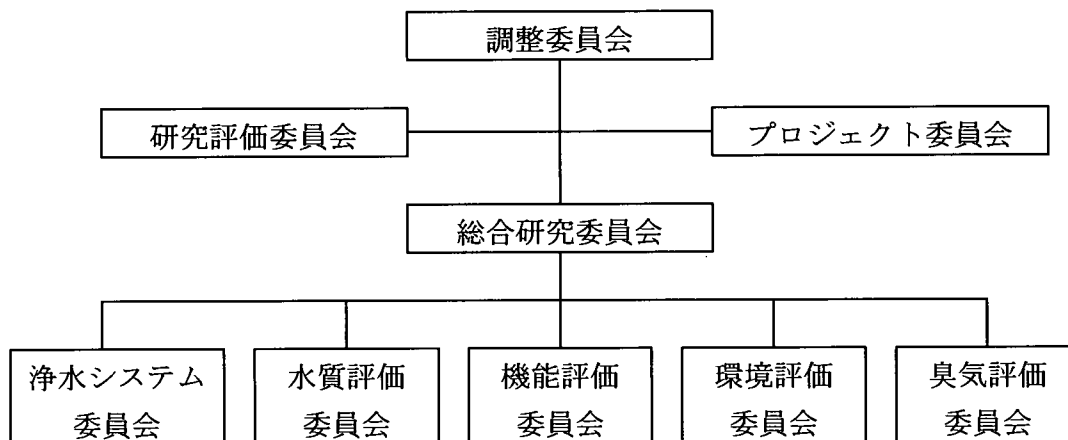


図 3-1 研究実施体制図