

4) 管内懸濁物質成分分析結果

①ランゲリア指数改善側調査箇所結果

ア) フィルターへの付着物量は、比較的少なかった。

イ) 付着物のほとんどは、アルミニウムと鉄であった。

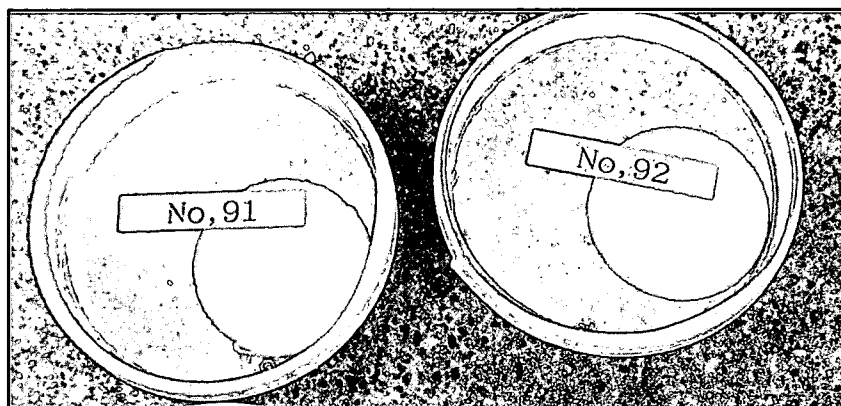


写真 3. 6. 18 C 浄水場出口懸濁物質捕集フィルターの状況

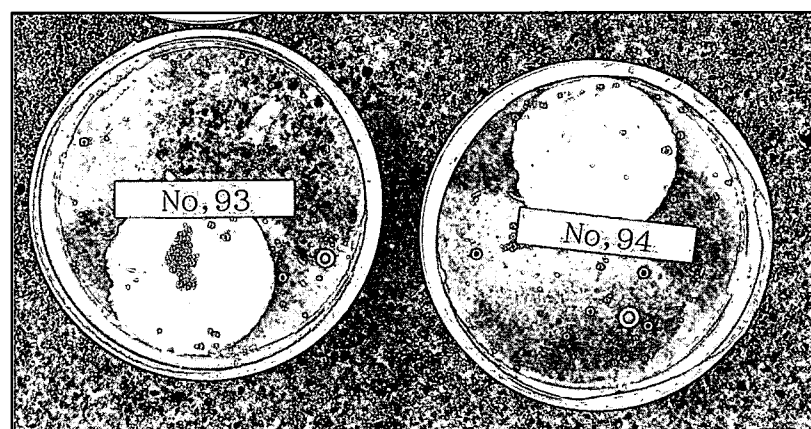


写真 3. 6. 19 W 配水池下流懸濁物質捕集フィルターの状況

表 3.6.26 ランゲリア指数改善側懸濁物質捕集調査結果（その1）

調査箇所 No.	フィルター No.	調査前 質量 g	積算ろ過量 ml	乾燥後 フィルター 質量 g	強熱後 フィルター 質量 g	強熱質量 g	Al mg	Fe mg	Mn mg	Mg mg	Ca mg
C浄水場	No.1-1	0.1552	173017.2	0.1581	0.1561	0.0020	0.686	0.039	0.005	0.020	0.128
	No.1-2	0.1556	138129.1	0.1593	0.1578	0.0016	0.658	0.033	0.005	0.017	0.118
	小計		311146.3			0.0036	1.344	0.072	0.010	0.036	0.245
W配水池	No.2-1	0.1552	390582.8	0.1533	0.1513	0.0020	0.776	0.201	0.012	0.023	0.132
	No.2-2	0.1546	415889.8	0.1452	0.1429	0.0023	0.785	0.212	0.012	0.024	0.124
	小計		806472.6			0.0043	1.560	0.413	0.024	0.046	0.256

表 3.6.27 ランゲリア指数改善側懸濁物質捕集調査結果（その2）

調査箇所 No.	フィルター No.	強熱質量 μg	Al $\mu\text{g/L}$	Fe $\mu\text{g/L}$	Mn $\mu\text{g/L}$	Mg $\mu\text{g/L}$	Ca $\mu\text{g/L}$					
C浄水場	No.1-1	0.01173	3.964	78%	0.223	4%	0.029	1%	0.113	2%	0.738	15%
	No.1-2	0.01144	4.771	79%	0.241	4%	0.033	1%	0.123	2%	0.853	14%
	小計	0.01160	8.735	79%	0.464	4%	0.062	1%	0.236	2%	1.591	14%
W配水池	No.2-1	0.00512	1.989	68%	0.517	18%	0.030	1%	0.058	2%	0.339	12%
	No.2-2	0.00548	1.890	68%	0.510	18%	0.030	1%	0.057	2%	0.298	11%
	小計	0.00531	3.879	68%	1.027	18%	0.060	1%	0.115	2%	0.637	11%

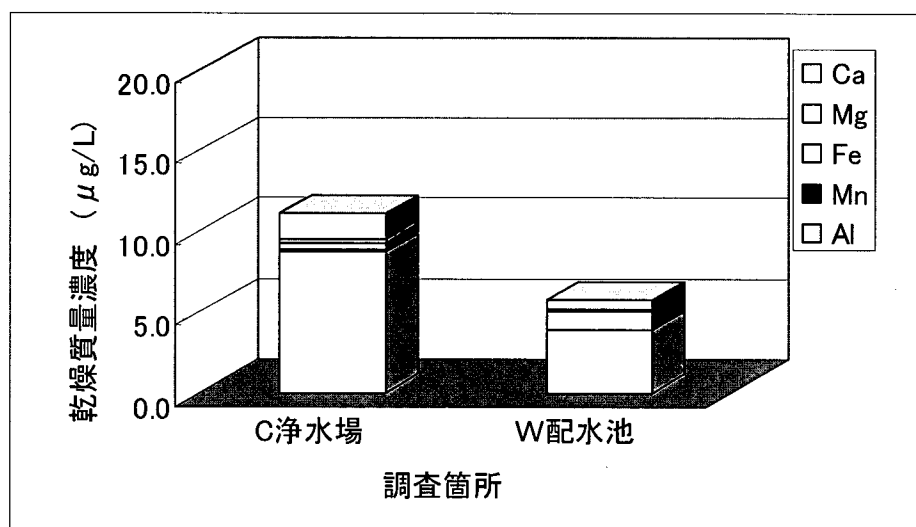


図 3.6.21 ランゲリア指数改善側懸濁物質濃度

②ランゲリア指数未改善側調査箇所結果

- ア) フィルター付着物の色がどの地点でも濃かった。
- イ) 付着物のほとんどは、アルミニウムと鉄であった。
- ウ) 流速が 5cm/sec 程度の O 保育所では付着物量が多かった。
- エ) N運動場では、付着物量が他の地点より少なかった。

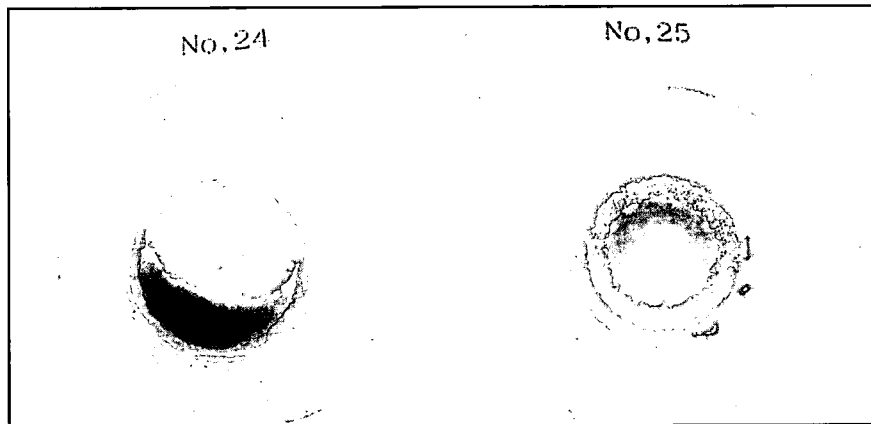


写真 3. 6. 20 T 浄水場出口懸濁物質捕集フィルターの状況

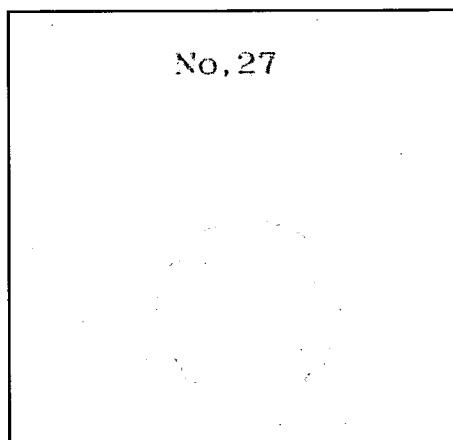


写真 3. 6. 21 N 運動場下流懸濁物質捕集フィルターの状況

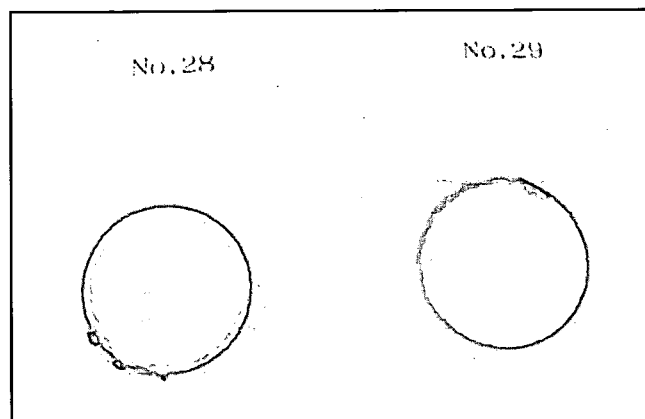


写真 3. 6. 22 O 保育所前懸濁物質捕集フィルターの状況

表 3.6.28 ランゲリア指数未改善側懸濁物質捕集調査結果（その1）

調査箇所	フィルター	調査前 質量	積算ろ過量	乾燥後 フィルター 質量	強熱後 フィルター 質量	強熱質量	Al	Fe	Mn	Mg	Ca
No.	No.	g	ml	g	g	g	mg	mg	mg	mg	mg
T浄水場	No.3-1	0.1418	206490				4.922	1.380	0.351	1.055	0.517
	No.3-2	0.142	226498				5.162	1.161	0.356	0.807	0.366
	小計		432988				10.083	2.541	0.707	1.862	0.884
N運動場	No.4-2	0.1415	218012				0.292	0.021	0.113	0.036	0.013
O保育所	No.5-1	0.142	194315				8.446	4.618	0.747	0.143	1.211
	No.5-2	0.1415	191169				5.651	3.527	0.562	0.833	0.666
	小計		385484				14.097	8.145	1.309	0.977	1.877

表 3.6.29 ランゲリア指数未改善側懸濁物質捕集調査結果（その2）

調査箇所	フィルター	強熱質量	Al	Fe	Mn	Mg	Ca					
No.	No.	μg	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L					
T浄水場	No.3-1		23.834	60%	6.684	17%	1.698	4%	5.107	13%	2.504	6%
	No.3-2		22.788	66%	5.124	15%	1.573	5%	3.564	10%	1.618	5%
	小計		46.623	63%	11.808	16%	3.271	4%	8.671	12%	4.122	6%
N運動場	No.4-2		1.341	61%	0.519	24%	0.098	4%	0.164	8%	0.061	3%
O保育所	No.5-1		43.467	56%	23.767	30%	3.844	5%	0.737	1%	6.231	8%
	No.5-2		29.559	37%	18.447	23%	2.941	4%	4.359	5%	3.483	4%
	小計		73.025	53%	42.215	31%	6.785	5%	5.096	4%	9.715	7%

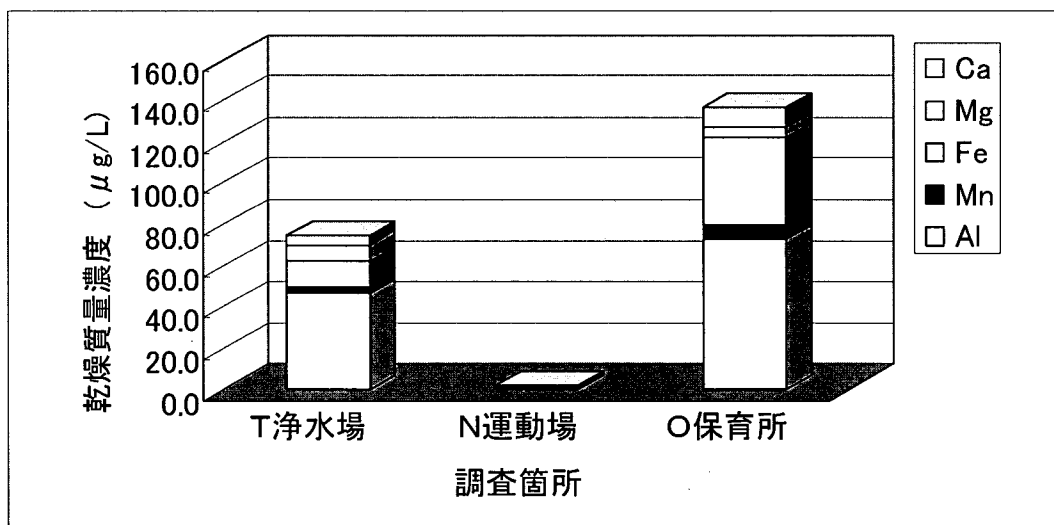


図 3.6.22 ランゲリア指数未改善側懸濁物質濃度

5) 水質分析結果

①ランゲリア指数について

ア) N取水口で平均-1.9が消石灰・炭酸ガス注入したC浄水場浄水は平均で-0.8と約半分に改善されていた。

イ) I市が平均-1.9、M市が平均-0.8と約2倍の差があった。

②カルシウム硬度について

ア) I市が平均24mg/L、M市が平均70mg/Lと約3倍の差があった。

③pH値について

ア) I市で平均7.4、M市で平均7.6であった

④硫酸イオン（腐食性イオン）について

ア) I市が平均9.3mg/L、M市が平均47mg/Lと約5倍の差があった。

⑤残留塩素濃度について

ア) ランゲリア指数を改善しているM市の方が、残留塩素減少量が少なかった。

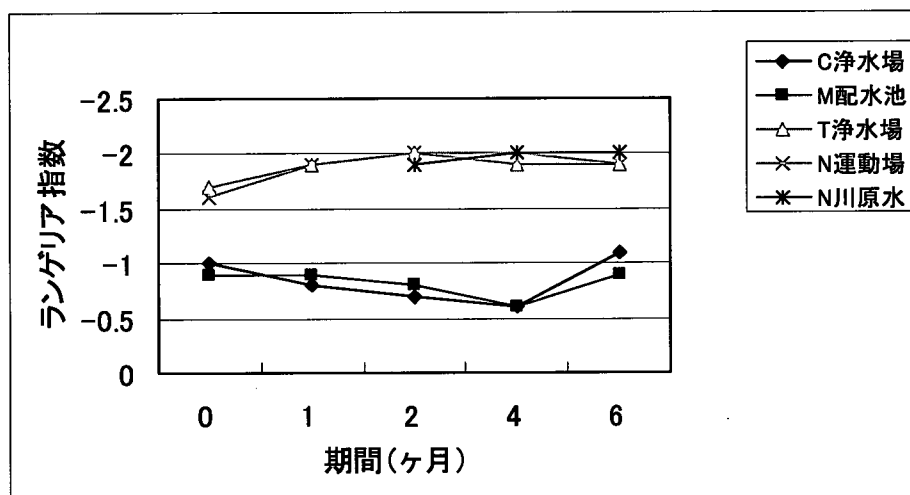


図 3.6.23 ランゲリア指数の変化

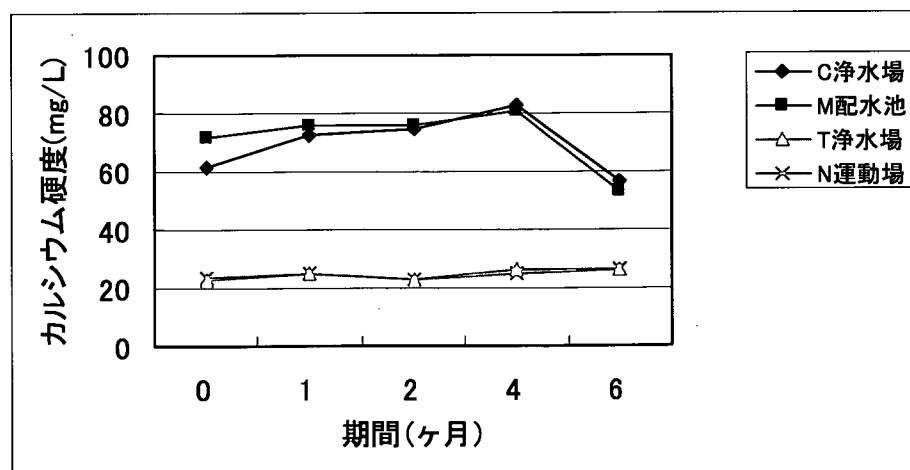


図 3.6.24 カルシウム硬度の変化

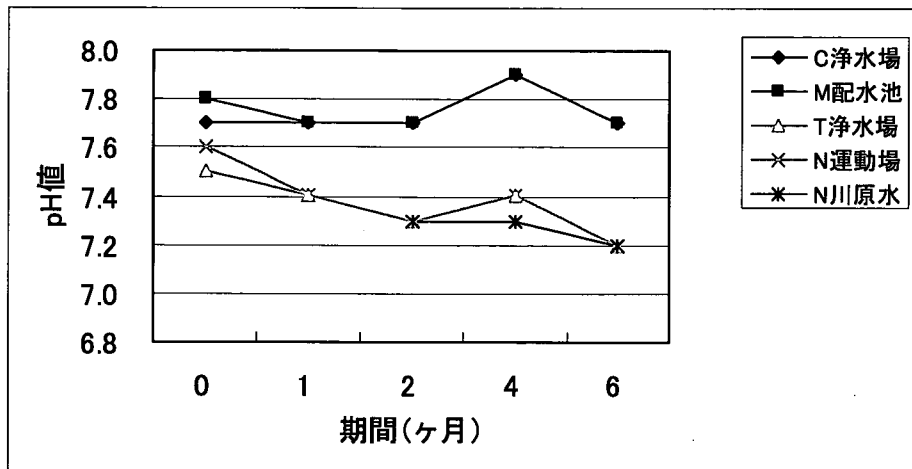


図 3. 6. 25 pH 値の変化

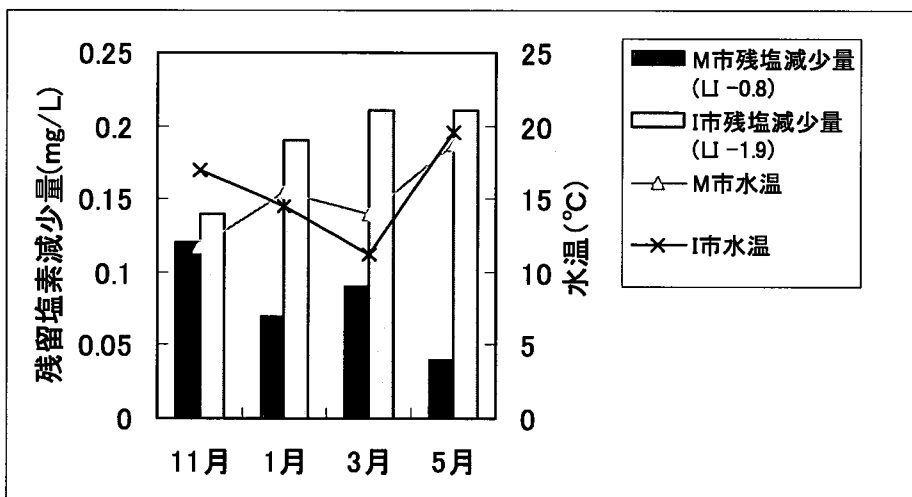


図 3. 6. 26 残留塩素減少量と水温の変化

表 3.6.30 水質分析結果 (C 浄水場、M 配水池)

分析項目	単位	2006年			2007年			2007年			
		C	M		C	M		C	M		
pH	—	11/9	11/10	12/13	12/13	1/11	1/11	3/13	3/13	5/15	5/15
		7.7	7.8	7.7	7.7	7.7	7.7	7.9	7.9	7.7	7.7
水温	°C	13.6	11.7	13.6	12.3	16.7	15.5	13.4	14.0	13.5	20.4
総アルカリ度	mg/L	32.0	36.0	42.1	40.0	39.7	38.1	43.1	41.0	33.3	37.8
総酸度	mg/L	1.6	1.7	3.3	2.9	2.5	2.4	1.8	1.5	1.9	1.9
遊離炭酸	mg/L	1.4	1.5	2.9	2.6	2.2	2.1	1.6	1.3	1.7	1.7
カルシウム硬度	mg/L	61.4	71.5	72.3	75.6	74.7	75.7	83.1	80.4	56.4	53.4
総硬度	mg/L	68.5	79.4	85.8	83.1	82.5	83.6	83.1	89.6	63.1	59.4
蒸発残留物	mg/L	129	152	172	165	184	174	195	181	127	119
鉄	mg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
アルミニウム	mg/L	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	<0.05
溶解性シリカ	mg/L	25.4	31.3	39.7	41.9	48.5	45.1	48.1	47.7	24.3	22.7
塩素イオン	mg/L	8.6	9.9	9.7	9.7	10.1	10.2	10.8	10.8	7.4	7.4
硫酸イオン	mg/L	39.6	48.7	50.6	49.6	52.6	48	57.1	57.6	30.2	28.5
溶存酸素	mg/L	8.9	8.8	9.0	9.0	9.1	9.0	9	9.1	9	9
電気伝導率	μS/cm	174	205	205	211	222	217	237	243	163	154
ランゲリア指数	—	-1	-0.9	-0.8	-0.9	-0.7	-0.8	-0.6	-0.6	-1.1	-0.9
残留塩素	mg/L	0.64	0.55	0.61	0.63	0.56	0.50	0.57	0.48	0.61	0.57

注) 鉄とアルミニウムは定量下限値。

表 3.6.31 水質分析結果 (T 浄水場、N 運動場)

分析項目	単位	2006年		2006年		2007年		2007年		2007年	
		T	N	T	N	T	N	T	N	T	N
pH	—	11/13	11/13	12/15	12/15	1/15	1/15	3/15	3/15	5/15	5/15
		7.5	7.6	7.4	7.4	7.3	7.3	7.4	7.3	7.2	7.2
水温	°C	16.4	17.0	13.3	13.3	14.5	14.5	11.3	11.2	18.1	19.6
総アルカリ度	mg/L	24.3	23.7	25.0	25.0	22.3	21.7	24.9	23.7	23.5	22.5
総酸度	mg/L	2.7	2.1	3.6	3.6	3.1	3.3	2.6	2.6	3.4	4.1
遊離炭酸	mg/L	2.4	1.9	3.2	3.2	2.8	2.9	2.3	2.3	3	3.6
カルシウム硬度	mg/L	22.7	23.2	24.7	24.7	22.7	22.9	26.0	24.8	26.3	26.2
総硬度	mg/L	30.2	30.2	32.4	32.4	30.2	30.2	34.0	32.3	35.1	34.4
蒸発残留物	mg/L	70	73	84	80	87	88	94	97	98	92
鉄	mg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
アルミニウム	mg/L	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
溶解性シリカ	mg/L	17.1	17.8	21.2	19.9	23.1	25.8	23.1	22.5	17	17.9
塩素イオン	mg/L	10.6	10.6	10.8	10.8	10.6	10.5	20.5	19.8	14.1	14
硫酸イオン	mg/L	9.4	9.3	9.8	9.0	9.1	9.2	8.2	8.2	11.1	11
溶存酸素	mg/L	8.8	8.8	9.0	8.9	9.0	9.1	9	9.1	8.8	8.9
電気伝導率	μS/cm	108	109	113	109	110	109	149	143	132	130
ランゲリア指数	—	-1.7	-1.6	-1.9	-1.9	-2	-2	-1.9	-2	-1.9	-1.9
残留塩素	mg/L	0.56	0.58	0.68	0.56	0.61	0.50	0.74	0.53	0.85	0.64

注) 鉄とアルミニウムは定量下限値。

表 3.6.32 水質分析結果 (N 取水口)

分析項目	単位	2007 年	2007 年	2007 年
		N 取水口	N 取水口	N 取水口
		6/19	8/22	11/21
pH	—	7.3	7.3	7.2
水温	°C	18.8	13.8	17.0
総アルカリ度	mg/L	13.3	14.0	11.9
総酸度	mg/L	2	2.5	2.7
遊離炭酸	mg/L	1.8	2.2	2.4
カルシウム硬度	mg/L	37.3	44.1	42.6
総硬度	mg/L	45.5	53.5	50.5
蒸発残留物	mg/L	128	162	120
鉄	mg/L	0.04	0.07	0.06
アルミニウム	mg/L	0.25	0.36	0.25
溶解性シリカ	mg/L	34.8	41.3	31
塩素イオン	mg/L	5.8	6.2	6.4
硫酸イオン	mg/L	40.3	49.4	47.5
溶存酸素	mg/L	9.1	9.1	9
電気伝導率	μ S/cm	144	164	157
ランゲリア指数	—	-1.9	-2.0	-2

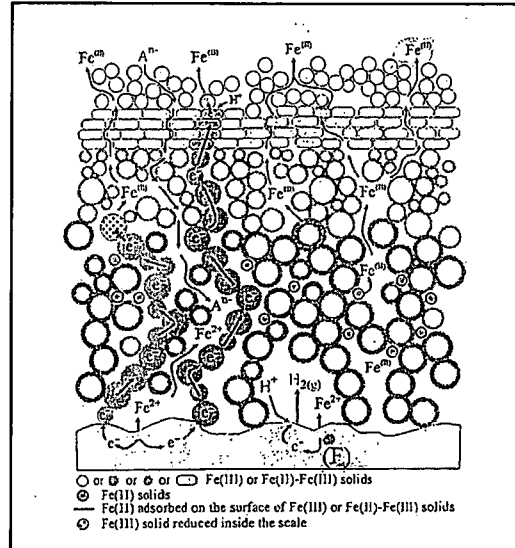
(8) 考察

各結果について消石灰法の理論や公開事例等から考察を行った。

1) 水道水中における鉄腐食と炭酸カルシウム皮膜形成について

水道水（溶存酸素を含む水）における鉄の腐食は、錆の発生を伴って進行する。腐食反応で溶出した Fe^{2+} は、錆層を通過して水中（沖合い）に拡散していくが、錆層はその拡散障壁となり、腐食速度を抑制するものとする。ただし、腐食による錆は、黒皮(Fe_3O_4)といわれる酸化膜のように緻密でなく、腐食抑制の働きは比較的弱い。文献調査から得た論文でも同様なことを述べている※4。(図 3.6.27 に示す。)

ここで、水道水のランゲリア指数を調整し、炭酸カルシウムの析出を促した場合について考えると、錆層の生成と同時に炭酸カルシウムが析出し、粗雑な錆層の隙間を埋める形になる。



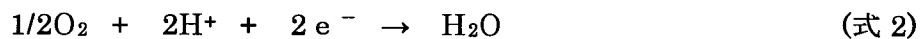
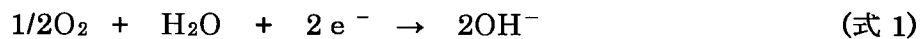
出典 : P.Sarin etc, JOURNAL OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING ASCE, APRIL 2004

図 3.6.27 錆層内モデル

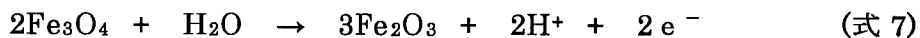
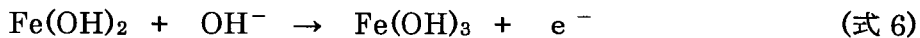
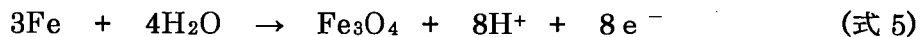
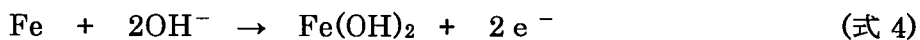
鉄の腐食生成物は多様な形態が存在する。以下一例を示す。

鉄は、局部電池を形成しつつ、次の反応によって腐食が進行する。

<カソード反応 (O₂ の還元) >



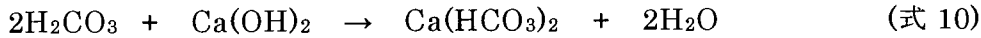
<アノード反応 (Fe の酸化) >



(式 1)、(式 2)の通り、鉄材の局部電池のカソード部では、OH⁻の生成、またはH⁺の消費反応が起こり、沖合いの水に比べてpHが上昇する。その結果、ランゲリア指数は上昇し、沖合いの水よりも炭酸カルシウム析出傾向が強くなる。そのときの反応は、(式 8)のように表される。



この炭酸水素カルシウムは、水道水への消石灰と炭酸ガス注入によって生成され、その生成反応は、(式 9)、(式 10)のように表される。また、炭酸水素カルシウムは、水道水の原水（自然水）中にも存在している。



このことから、沖合いの水のランゲリア指数がマイナスの場合でも、カソード近傍の水のランゲリア指数はプラス側になり、炭酸カルシウムの析出が起こることが充分ある。

この場合、pHの上昇（＝ランゲリア指数上昇）は、電極反応速度に依存する。この電極反応は鉄の腐食反応であり、すなわち、pHの上昇は鉄の腐食速度に依存する。言い換えれば、鉄の腐食速度が高ければ、炭酸カルシウムの析出が起こり易く、腐食速度が低ければ炭酸カルシウム析出は起こり難いといえる。

こうして析出した炭酸カルシウムは、 O_2 の還元反応に対する障壁として、あるいは、電気抵抗として作用すると考える。

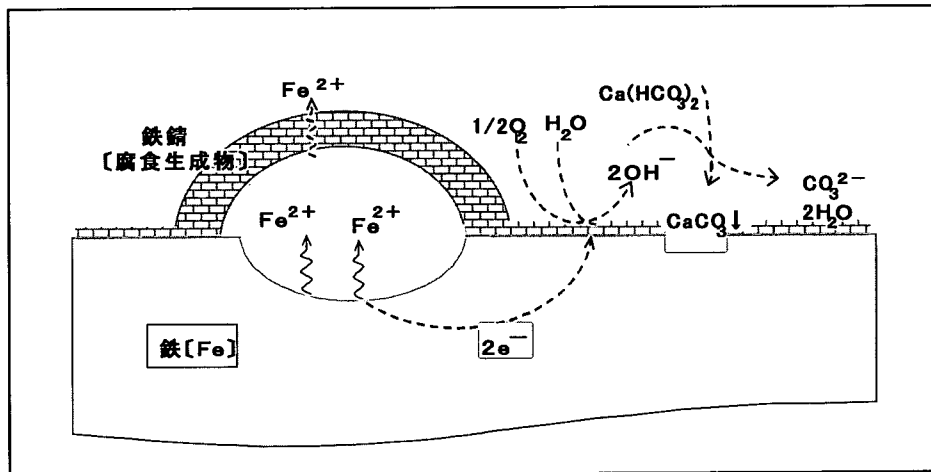


図 3.6.28 鉄の腐食による炭酸カルシウム析出モデル

鉄の腐食速度が高くなり炭酸カルシウムの析出が起こると、腐食速度は低くなる。更に、腐食速度が低くなると、析出した炭酸カルシウムは溶解し始め、また腐食速度が高くなるといった、腐食速度の自己制御機能を持つような形となる。

ここで、水（沖合い）のランゲリア指数が高い場合と低い場合について考えると、当然であるが、腐食速度が同じとしてもランゲリア指数が高い水の方が炭酸カルシウム析出量は多くなり、より腐食を抑制する。

本試験結果である、試験片外観の差異や試験片表面への一部高濃度カルシウムの検出現象は上記のメカニズムと一致している。さらに、鍍層の奥（鑄鉄素地表面近傍）にカルシウムが存在することは、米子市水道局での発表と同じ現象である※5。鍍層の奥への炭酸カルシウムの析出の詳細メカニズムは今後の研究課題である。

2) 管内観察について

管内カメラ撮影観察で管内面に白いものが付着していた点であるが、測定平均流速が 0.53m/sec と、アメリカ水道協会が発表している「炭酸カルシウム皮膜形成に有効な流速」0.6m/sec※1 とほぼ一致している。さらに、和歌山市水道局で発表された水管橋鋼管内部調査※6でも炭酸カルシウムが確認されている。しかし、今回の白い付着物の成分分析は行なっていないので、カルシウムであるかどうかは不明である。今後、水道工事等による堀上時に確認されることを期待したい。

3) 懸濁物質について

フィルターの付着物の色では、流速が異なっていたがランゲリア指数改善側の方が薄かった。ランゲリア指数改善の前後での比較等の確認が今回できなかったため、明確な評価はできない結果であった。

しかし、消石灰法採用している和歌山市水道局※6は、給水栓での同捕捉手法で鉄濃度分析を行い、鉄溶出量の抑制を確認したと報告している。

よって、腐食性改善で鉄溶出を抑制することは懸濁物質量の特に鉄溶質低減には効果あると考えられる。

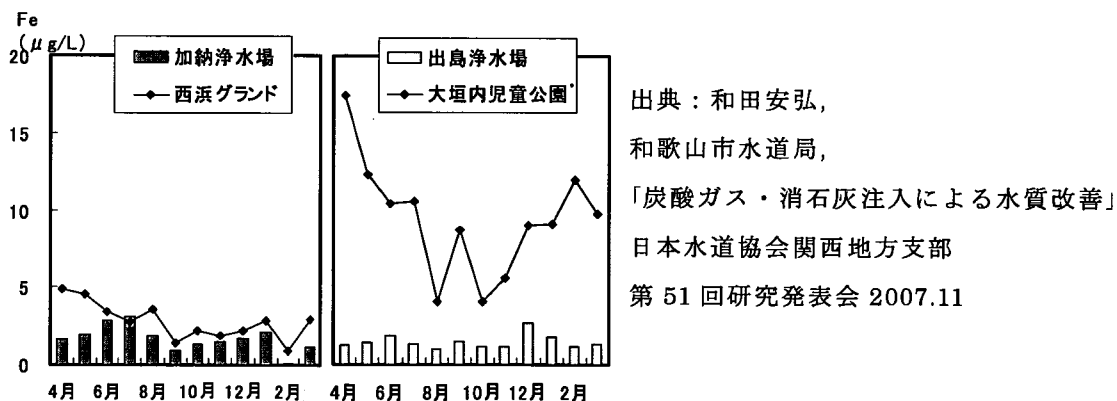


図 3.6.29 Fe の推移

4) 残留塩素濃度の低下と低下抑制実例について

残留塩素の減少の原因は、水温、有機物、pH、無機物（鉄、マンガン等）等の水質面や滞留時間等水理条件が関係し発生していると一般的に言われている。

ここでは、腐食との関係について考える。

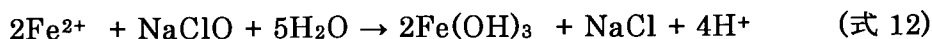
「3.6.3.1 ラボ実験」におけるランゲリア指数と残留塩素濃度の試験結果（図 3.6.11）から鉄（Fe）と残留塩素が反応しているものと考えられる。

この反応は、(式 11)、(式 12)のように表される。

<鉄の腐食反応>



<残留塩素の減少反応>



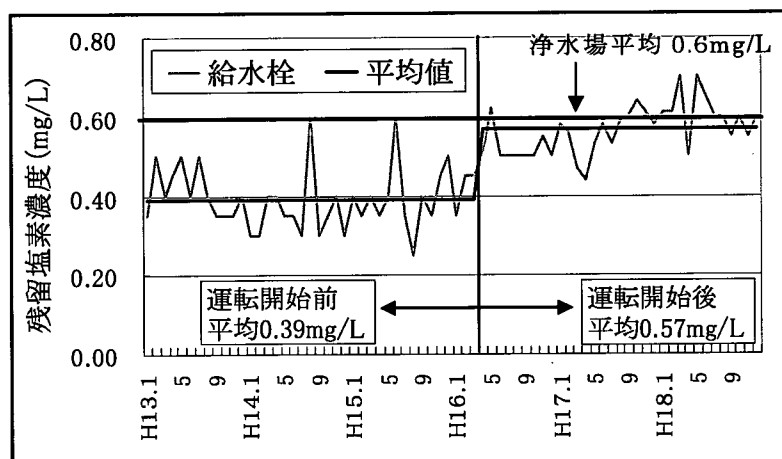
つまり、腐食によるアノード反応で溶出した Fe^{2+} が次亜塩素酸ナトリウムと酸化還元反応※7,8 を起こして、次亜塩素酸ナトリウムは消毒力がない塩化ナトリウムに変化する。

図 3.6.26 でも、ランゲリア指数が改善されている方が、水温が上昇しても残留塩素の減少量としては小さい結果となっている。

さらに、図 3.6.30 に示すように M 市において、浄水場出口（平均）で 0.6mg/L が、十数 km 先の給水栓において消石灰法導入前に 0.39mg/L であったが、導入後 0.57mg/L と高くなっており、残留塩素の減少量が小さくなったと報告をしている。

※9

効果が現れたのは、図 3.6.30 から推測すると数ヶ月で出ていると推測される。また、距離として十数 km を有する配水管網において濁水苦情件数が1年後には7割減少していると報告している。※9



出典：若林賢一他：第 58 回全国水道研究発表会 2007.5, P256~P257

図 3.6.30 残留塩素濃度の経時変化

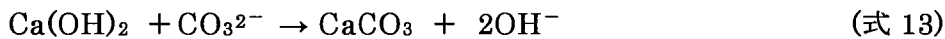
よって、残留塩素濃度減少において消石灰注入での水道水のランゲリア指数改善は、ラボ実験及びフィールド実験結果、また事業体での結果とも合致することから、抑制の効果があることが確認できた。

5) モルタル片について

写真 3.6.11 表面分析結果 (⑥～⑧) では、表層からのカルシウム濃度の減少深さはランゲリア指数改善側の方が小さかった。この現象は、モルタルからのアルカリ分溶出および中性化によるものと考えられる。

ダクタイル鋳鉄管におけるモルタル層のアルカリ分溶出および中性化のメカニズムを考える。モルタルとは、セメントと砂を配合して水で練り強度を発現させたものであり、ここでセメントとはポルトランドセメントを指す。

ポルトランドセメントの主成分は酸化カルシウム化合物 ($\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) で、水と接触すると水酸化カルシウムが生成されることが分かっている。(式 13)、(式 14)に示すようにこの酸化カルシウムが、水中の炭酸塩と反応し、中性化および脱カルシウムが起きる。



モルタルの劣化は、中性化～脱カルシウム～多孔質化～強度低下～崩壊というような過程を経るものと考えられる。ただし、これらは順次段階的に進行するだけでなく、それぞれが重複して起こる。

ここで、(式 13)はモルタル中のアルカリ分の中性化反応、(式 14)はモルタルからの脱カルシウム反応である。

(式 13)は、前述のモルタル中のアルカリ分 $[\text{Ca(OH)}_2]$ が溶出し、水中の炭酸 $[\text{H}_2\text{CO}_3]$ 、炭酸水素カルシウム $[\text{Ca(HCO}_3)_2]$ 、炭酸水素イオン $[\text{HCO}_3^-]$ や炭酸イオン $[\text{CO}_3^{2-}]$ と反応して炭酸カルシウム $[\text{CaCO}_3]$ として析出するものである。

モルタル中のアルカリ分 $[\text{Ca(OH)}_2]$ 溶出は、水に消石灰 $[\text{Ca(OH)}_2]$ を添加することと同じであり、水の pH や総アルカリ度およびカルシウム硬度が高いほど炭酸カルシウム $[\text{CaCO}_3]$ が析出しやすくなる。

ここで炭酸カルシウムの析出は、pH が上昇しやすいアルカリ分 $[\text{Ca(OH)}_2]$ 溶出部分で多く起こり、 Ca(OH)_2 の表面や細孔を覆うように析出すると考えられる。

このように析出した炭酸カルシウムは、アルカリ分 $[\text{Ca(OH)}_2]$ と水中の炭酸 $[\text{H}_2\text{CO}_3]$ との反応およびアルカリ分の溶出の障壁 (妨げ) となり、その結果、中性化の進行 (脱カルシウム) を防止する役割を果たすと考える。

地下水のように遊離炭酸が高い場合は、(式 14)のように炭酸水素カルシウムの形となり溶出していく。

本試験結果で中性化または、脱カルシウム反応は起きていることは判るが、表層でのカルシウム濃度の違いは示されておらず、炭酸カルシウム析出は確認できなかった。より長期の試験期間が必要であったと思われる。

しかし、ランゲリア指数改善側の方が、モルタル試験片腐食減量が少なく、表層カルシウム濃度減少深さが小さいことから、中性化または、脱カルシウム反応の抑制に寄与できたものと考えられる。

今回老朽管として、シールコートが全て剥した状態のモルタルを試験片として調査したが、今後、一部剥した場合や粉体塗装の場合での研究、調査が必要である。

(6) まとめ

消石灰注入※10による水質劣化防止技術として以下のことが確認された。

- 1) 口径φ100老朽管（铸铁管）にランゲリア指数 -1.9 の溶液と -0.2 の溶液を充填した残留塩素濃度測定結果では、前者のk値 0.42 に対し後者は 0.25 と約40%低減された。
- 2) 実際に配水されているランゲリア指数が -1.9 の浄水と -0.8 の浄水を通水させての铸铁片、モルタル片の腐食度比較では、ランゲリア指数 -0.8 の方が、铸铁で約2割、モルタルで約1/8に腐食抑制された。
- 3) ランゲリア指数 -0.8 の方が、铸铁片の錆層奥にカルシウムの付着が確認され、鉄の溶出を抑制するものと考えられることが判った。
- 4) ランゲリア指数 -0.8 の方が、モルタルの脱カルシウム（中性）化が抑制された。
- 5) ランゲリア指数改善することで懸濁物質中の鉄含有量の抑制が期待できることが判った。

消石灰注入による水道水のランゲリア指数改善は、水質劣化の原因となる水道配管の腐食を抑制でき、水質劣化現象である残留塩素濃度減少の抑制、懸濁物の低減が期待できる。よって、水道配管の寿命の延命化、配管更新費の遅延化が期待できると考えられる。

※4：P.Sarin 他：JOURNAL OF ENVIROMENTAL ENGINEERING ASCE/APRIL2004

※5：本田恵祥他：米子市水道局、ランゲリア指数調整による配水管の腐食抑制効果、水道協会雑誌 2006.5

※6：和田安弘：和歌山市水道局、炭酸ガス・消石灰注入による水質改善、日本水道協会関西地方支部 第 51 回研究発表会 2007.11

※7：L.Kiene 他：Wat.Sci.Tech.Vol.38,No.6,pp.219-227,1998.IAWQ

※8：I.FRATEUR 他：FREE CHLORINE CONSUMPTION INDUCED BY CAST IRON CORROSION IN DRINKING WATER DISTTRIBUTION SYSTEMS, Wat. Res. vol33, No8, pp1781~1790,1999

※9：若林賢一他：第 58 回全国水道研究発表会 2007.5,P256~P257

※10：消石灰注入を行う場合は、注入率を水質分析から求め、設備規模を算出し必要なスペースを確保する必要がある。尚、総アルカリ度と総硬度がそれぞれ 80mg/L asCaCO₃ 程度有する水質の場合は炭酸カルシウム析出の懸念があるので留意すべきである。

3.6.4 管路における塩素注入に係る調査結果

(1) 目的

老朽管路による水質劣化(残留塩素濃度の減少)に対し、更新を行う必要があるが、投資の優先順位から、しばらくはその管路を使用しなければならない状況も生じる。

更新までの対応策の一つとして、管路(特に、配水池や圧力調整池等の追加注入適地がない場合でも容易に対応できるもの)への直接注入方法に的を絞って、その使用実態を把握するためのヒアリング調査及び注入装置の製品に関する調査を実施した。

(2) 使用実態を把握するためのヒアリング調査

1) 調査対象

ヒアリング調査は、平成 17 年度に実施した「管路における塩素注入に係る調査(アンケート調査)」において、以下の設問に対し「管路での追加塩素」を実施していると回答した 20 事業体を対象とした。管路での追加塩素を実施していると回答した事業体を表 3.6.33 に示す。

【参考：平成 17 年度に実施したアンケート調査の内容】

設問 3-1(管網末端部等での残留塩素濃度の大幅な低減現象はありますか)で「ある」とお答えの場合に、実施した対策は何ですか。該当するものに○を付けてください。また、○を付けたものについて、その優先順位を付けてください。

対策：①洗浄・排水、②管路更新、③管網形態の変更(行き止まり管の解消等)
④管路での追加塩素処理、⑤その他()、⑥特に何もしていない

表 3.6.33 管路での追加塩素を実施していると回答した事業者

No.	事業者名	優先順位	給水人口 (千人)
①	B市水道局	1	1,515
②	K市上下水道局	1	1,464
③	H市水道局	1	477
④	G市水道局	1	254
⑤	O市水道局	1	106
⑥	S市水道課	1	51
⑦	T市水道局	1	29
⑧	M町水道事業	1	9
⑨	K水道企業団	1	—
⑩	K企業庁水道局	2	2,713
⑪	N市上下水道局	2	432
⑫	Z市水道局	2	354
⑬	R市水道局	2	112
⑭	Y市建設水道部	2	13
⑮	D町水道課	2	11
⑯	U市水道局	3	988
⑰	A市水道局	3	441
⑱	A市上下水道部	3	313
⑲	M市上下水道局	3	305
⑳	I水道企業団	3	214

2) ヒアリング内容

対象事業者に対して、以下の①～⑤の質問についてヒアリングを行った。

質問①) 管路での追加塩素を実施していますか。

→ 管路で注入しているかの再確認

質問②) 管路での追加塩素の目的は何ですか。

- ・おいしい水（残留塩素の低減化）
- ・消毒副生成物の抑制
- ・末端残留塩素確保対策

質問③) 管路での追加塩素を実施するにあたり、解決しなくてはならない課題はありますか。

質問④) 管路での追加塩素実施後、その効果について何らかの調査等（効果の検証等を目的としたもの）を実施したことがありますか。

質問⑤) 管路での追加塩素の実施に満足いく結果が得られていますか。

3) 調査結果

ヒアリング調査を実施した 20 事業者のうち、配水管路（流量計室含む）中で追加塩素を実施していたのは、④G 市水道局、⑭Y 市建設水道部および⑯U 市水道局の 3 事業者であった。3 事業者へのヒアリング結果を表 3.6.34 に示す。

その他の事業者では、追塩機器の設置場所やメンテナンス等を考慮して、配水池やポンプ所周りの管路において追加塩素を実施（液中ポンプ等を使用）していた。

また、追加塩素の目的について、「残留塩素と低減化」と回答したのは、②K 市上下水道局、⑨K 水道企業団および⑰A 市水道局の 3 事業者、「消毒副生成物の抑制」と回答したのは、⑰A 市水道局および⑲M 市上下水道局の 2 事業者、それ以外の事業者では、「末端残留塩素確保対策」と回答しており、老朽管路の更新までの対応（延命策）と回答した事業者はなかった。

配水管路中で追加塩素を実施していると回答した事業者のうち、⑯U 市水道局では、「全自動滅菌装置」という自動残留塩素測定機、制御盤、記録計、滅菌装置、薬液タンクがセットになった装置を活用し、配水管路末端部における残留塩素濃度の自動制御を行っており、満足のいく結果が得られているとの回答があった。

表 3.6.34 管路における塩素注入に係るヒアリング調査結果

- 設問① 管路での追加塩素を実施していますか。
- 設問② 管路での追加塩素の目的は何ですか。
- 設問③ 管路での追加塩素を実施するにあたり、解決しなくてはならない課題はありますか。
- 設問④ 管路での追加塩素実施後、その効果について何らかの調査等（効果の検証等を目的としたもの）を実施したことがありますか。
- 設問⑤ 管路での追加塩素の実施について、満足のいく結果が得られていますか。

事業者名	No.④ G 市水道局
設問①	配水池以外に、管路中で 1 箇所だけ追加塩素を実施している。ある程度使用水量がある地域の先に、約 3km（口径：φ150、管種：ダクタイル鋳鉄管、布設年度：昭和 54 年）使用者がいない管路があり、その後、管末に民家約 20 戸、斎場が位置しており、使用水量が少なく、滞留のため残塩が少なくなる。追加塩素（ポンプ注入式）とドレン排出を併用して管末残塩を確保している。
設問②	管網末端における残留塩素確保対策。
設問③	市販次亜塩素酸ナトリウム（有効塩素約 12%）では残塩濃度の制御が難しいので、概ね 1/100 に希釈して常時注入を行っている。
設問④	定期的に（2～3 回／週）残塩測定を行っている。
設問⑤	管末残塩の確保では満足のいく結果であるが、コスト面では（主に人件費）多くの負担がある。

事業体名	No.⑭ Y市建設水道部
設問①	配水池で1箇所、ポンプ施設で2箇所、管路の流量計室で1箇所の計4箇所を実施している。管路の流量計室での実施状況は以下のとおり。 ○流量計室内管路のサドル分水栓から注入ポンプを用いて、追加塩素を実施している。 ○注入期間は、塩素消費量の多い夏場の2ヶ月間で、下流側の残留塩素濃度を週に1回測定（巡回）し、その結果をもとに注入塩素量を決定している。
設問②	管網末端における残留塩素確保対策。
事業体名	No.⑯ U市水道局
設問①	管路での追加塩素処理は、1箇所実施している。⇒「全自動滅菌装置」を使用 ○追加塩素処理は、K空港へ給水するための単一管路（口径：φ250～φ200、管種：ダクタイル鋳鉄管（モルタルライニング+粉体塗装）、布設年度：平成13年～16年、延長：約10km）の途中で実施している。 ○計画の段階から、給水末端で残留塩素が確保できないことが想定されたことから、給水開始時から追塩装置を設置し、運転している。 ○装置は残留塩素濃度が0.6mg/l以下になると作動するように設定されており、日中何度も作動している。
設問②	管網末端における残留塩素確保対策。
設問③	無人の施設であるため、異常があった場合の対処方法が課題であった。対処方法としては、24時間遠隔監視通報システムを実施し、業者に保守点検業務として委託している。
設問④	実施前、実施直後に残留塩素濃度の測定を行い、効果を確認した。また、追塩する前の残留塩素濃度については、常時、残留塩素計で記録し、追塩後の残留塩素は、定期点検で1箇月に1回測定している。
設問⑤	現在まで、何のトラブルもなく正常に機能しており、満足のいく結果が得られている。ただし、延長が10kmにも及ぶ単一管路は他になく、今後、新たに同装置を採用する予定はない。
(参考)	「全自動滅菌装置：OAC（オアック）」（オーヤラックス株式会社製） オアックは、水中の残留塩素濃度を正確に、しかも連続的に測定・コントロールするために、自動残留塩素測定機、制御盤、記録計、滅菌装置、薬液タンクをセットにした総称。 ビル、集合住宅、学校、工場などの二次滅菌や、浄水場、簡易水道、プールなどの水の消毒に幅広く用いられている。