

8) 日本給水用防錆剤協会から提供された資料

リン酸塩系防錆剤の防錆効果の結果を示す資料や、注入濃度について述べられた資料など、給水用防錆剤に関する様々な資料が提供された。

9) Robert M. Powell, A FINAL REPORT FOR EVALUATION OF CORROSION INHIBITORS, 1994

この論文は、アメリカ・フロリダ州西海岸にあるパインラス郡水道(PCWS)が、1993年6月21日から1994年2月28日の間「腐食インヒビターの評価」について、種々のインヒビターを評価するため行った様々な実験の結果を報告するものである。

10) e-Journal AWWA

この文献は、1994年と2001年に、アメリカの水道事業者たちに対して、彼らのリン酸塩系インヒビターの使用に関して行われた調査の結果が報告されている。調査対象はポリリン酸塩、オルトリン酸塩、オルトリン酸亜鉛、およびリン酸塩の混合物を含めたリン酸塩系インヒビターといった使用の普及しているものであった。

11) Richard E. DeBlois, THE USE OF PHOSPHATE IN WATER TREATMENT FOR SEQUESTERING AND CORROSION CONTROL, 2002

この論文は、リン酸塩類の基本的な役割と、それらの水処理における適用方法について概観している。この中で、オルトリン酸塩、オルトリン酸塩/ポリリン酸塩混合剤、オルトリン酸亜鉛、ポリリン酸塩、ポリリン酸亜鉛、ケイ酸塩/リン酸塩混合剤についての特徴のあらましが、それぞれ説明されている。

12) 伊藤隆太, 重合ケイ酸ナトリウムの安全性-ラットによる経口亜急性毒性-, 東邦医学会雑誌 Vol.22, No2, 1975

この論文は、給水給湯配管材料の内面腐食抑制剤に主体として使用される重合ケイ酸塩ナトリウムにおけるラットでの亜急性毒性試験を実施し、得られた安全量について説明されている。

3. 2 文献から抽出した成果と課題

以下に文献から抽出した成果と課題について示す。

1) 日本給水用防錆剤協会, 給水用防錆剤の手引, 1987

・赤水防止に一旦使用され始めると、相当の長期にわたって使用が継続することに加え赤水が発生する以前から予防的に使用される場合もある。

給水用防錆剤は安全性が明らかな範囲内で使用すべきものであるから、その使用は赤水発生後の赤水防止を目的とすることが妥当である。そのため赤水発生後、給水用防錆剤の使用を開始した後は、色の消退をみて出来るだけ早い時期に使用濃度を定常時濃度に下げ以降注入を継続するが、最終的には管の布設替え等の恒久対策を行なうべきである。

また予防的使用は未だ給水用防錆剤を使用する必要のない状態であるので原則として行わないようにすべきである。

- ・給水用防錆剤は、建築物所有者等が建築物の使用者および利用者の利便に資するという目的で使用されるものであるが、本来使用者や利用者は建築物内の給水栓水を水道から供給されたそのままの水と考えて利用している。そのため水質の変化が建築物の使用者の業務内容に影響を及ぼすことも考えられるので、建築物所有者等は給水用防錆剤の使用を開始するに当たり使用者との間に合意形成を行うべきである。

また不特定の建築物の利用者は防錆剤を含有する水を知らぬ間に利用する結果となるので、利用者の納得を得るという観点から、洗面所など不特定の利用者が飲用する可能性のある場所に給水用防錆剤に関する表示を行うことを検討することが望まれる。

- ・使用基準に示していない「直接注入法」が依然として一部で用いられている。また初期濃度期間が不明瞭であるため、定常時濃度への移行が遅延する傾向にある。

- ・給水用防錆剤は、液体または固体状のものを缶入または袋詰・箱詰にした状態で販売されている。これらの製品を購入時の品質を保ちながら使用するためには、購入後も適切に管理することが必要である。そのため建築物内に給水用防錆剤専用の保管場所を設けるとともに、保管場所には表示等を行わない汚染、汚損、変質等が生じないように十分に配慮し、適切に保管すべきである。

- ・一般に「バイパス法」は「揚水ポンプ連動法」に比べ、濃度が不安定になる傾向があるので、「バイパス法」を用いる場合は濃度管理に十分注意する必要がある。

- ・注入初期濃度期間は防錆剤適用の目安である3月を超えないこととし、使用開始後3月を経ても赤水防止効果が認められない場合は、一旦使用を中止して錆除去を行うべきである。また注入初期濃度期間内であっても赤水防止効果が認められた場合は、その時点で直ちに定常時濃度以下にすべきである。

- ・給水用防錆剤を使用する建築物においては、所有者等の責任のもとに給水栓水の濃度検査を行いながら適切に使用状態を管理することが必要である。しかし、建築物所有者等の認識が必ずしも十分ではなく、また日常的に容易に測定できる手段が未だ十分に整備されていないため、使用基準どおりに定期検査が行われていない例がある。

- ・適切な濃度管理を行うには、使用基準に示す定期検査の実施に加え、注入装置等関連機器の点検をも毎日行う必要がある。近年簡易測定機器が徐々に開発普及してきているので、将来的には検査回数を注入初期で毎日、定常時で7日以内ごとに1回程度行い、より高いレベルでの濃度管理が行われることが望まれる。

- ・給水用防錆剤に関する管理業務には注入装置の作動状況の点検の如く日常的に励行すべき業務が含まれているので、防錆剤の管理を行う者は建築物に常駐していることが望ましい。しかしながら必ずしも建築物に常駐しているとは限らないので、そのような建築物においても給水用防錆剤の管理が適切に遂行されるよう、防錆剤管理責任者の責務等を定める必要がある。

- ・給水用防錆剤の適正使用および管理を遂行するためには製造・販売業者が適正な品質の製品を利用者に提供する必要がある。現在旧厚生省が示した品質規格に基づき製造・販売業者において自主検査が行われているが、今後は製造・販売業者が保存する試料について、公的あるいは準公的機関が定期的に抽出検査を行う体制を整備するこ

とにより、さらに高いレベルの品質管理を達成するべきである。また厚労省が必要と認める時に検査命令、立入検査、収去検査等を製造・販売業者に対して行うことができる仕組みを確立することが望まれる。

・今後新たな給水用防錆剤が開発されることは十分考えられる。そのため安全確保の観点から、その場合の対応策について検討しておく必要がある。また給水用防錆剤の主成分のみに留まらず、製品についてもより高いレベルの安全性を確保する手段を講じる必要がある。

安全性の確保のため行われる安全性試験は、その製品を製造または販売することによって利益を得る製造・販売業者の負担で行われるべきであり、それにより関係業者に社会的責務の認識を浸透させる。

・建築物における赤水対策の有効な手段として、今後、給水用防錆剤の使用は益々普及していくことと考えられる。給水用防錆剤は、人が日常的に摂取する水に添加されるものであるから、品質については極めて厳しい管理が必要である。品質管理を厳正かつ円滑に進めるためには業界内部における自主的行動が不可欠であり、また適正使用の普及のためには、販売業者と使用者との接触の場において品質や使用方法等に関する正確な情報が適切に伝達される必要がある。

このような意味で、給水用防錆剤の製造・販売業者は、品質管理等において重要な役割を担っている。しかしながら旧厚生省が給水用防錆剤の使用基準を示したことを販売促進の材料としている実態も一部にあり、製造・販売業者に対し、給水用防錆剤の適正使用に関する社会的責務の認識を促し、健全な育成を図る必要がある。

・環境負荷について

公共用水域の富栄養化防止のため、水質汚濁防止法による排水基準ではリンの一般排出基準を日間平均値 8mg/L、最大値 16mg/L と定めており、ナショナルミニマムとしての性格を有するこの基準を満たすことは給水用防錆剤の社会的適用の目安とする。一般排出基準の算出根拠は、原単位をリン(P)として 1.8g/人・日、用水量を 290L/人・日、年間における日間平均値の変動幅を 1.5 倍として 9.3mg/L という値を得て、これに沈殿法によるリンの除去率 14% を考慮して日間平均値を 8mg/L、日間における変動幅を 2.0 倍として最大値を 16mg/L としたものである。

リン酸塩系防錆剤の注入初期濃度の最大値 15mg/L、定常時濃度の最大値 5mg/L(各々P₂O₅として)は、リン(P)として各々6.55mg/L、2.18mg/Lに相当する。

事務所の在勤者の水使用量を平均 100L/人・日とすると、リン酸塩系防錆剤由来のリン排出量は、注入初期で最大 0.66g/人・日、定常時で最大 0.22 g/人・日となり、これを一般排出基準の算定に用いられた原単位 1.8g/人・日と比較すると、注入初期で 1 人 1 日排出量の 36.4%、定常時で 12.1% を占めることになる。

建築物内にリンの排出源となる他の用途がある場合は一般排出基準を超えることも考えられるので、この場合は防錆剤の選定、使用量等につき十分配慮すべきである。

2) 武田 福隆, 給水用防錆剤の効果, 水処理技術 Vol.29, No6, 1988

・リン酸塩系防錆剤の防錆効果について

表 3-1 にリン酸塩系(1種1号)防錆剤の比例注入法による赤水解消効果を示す。

表 3-1 リン酸塩系(1種1号)防錆剤の比例注入法による赤水解消効果

項目	防錆剤注入前	防錆剤注入 3日後	防錆剤注入 10日後	基準値
色度(度)	28	10	5	5以下
濁度(度)	4	2	1未満	2以下
鉄(mg/L)	0.85	0.8	0.14	0.3以下
リン(P ₂ O ₅ mg/L)		3.93	6.91	*15以下

*注: リン(P₂O₅)の基準値は給水栓から採った水で初期注入時は 15mg/L 以下、定常時は 5mg/L 以下である。初期注入時というのは赤水がとまるまでの期間のことである。

表 3-1 より色度は 28→10→5 と急激に低下し、濁度も 4→2→1 未満と減少してきていることがわかる。鉄は最初はあまり減少しなかったが、10 日目には格段と減少している。反対に増加しているのはリンで、最初 3.93mg/L であったのが 10 日目では 6.91mg/L になっている。おそらくこれは最初、管内で割合多量に沈着し、時間とともに沈着の割合が減少してきたことによるものと思われる。測定された水中のリン含有量の変化から、10 日間で 15-6.91=8.09mg/L の P₂O₅ が管壁に沈着し、被膜化したものと思われる。色度および鉄の減少、リンの減少から、赤水の解消・皮膜形成の効果が認められる。

以上より給水用防錆剤はその使用が時宜を得ていれば、単に鉄イオンの発色を防止するだけでなく、鉄管の腐食を抑制する作用もすることがわかる。

3) 武田 福隆, 給水用防錆剤の効果(続), 水処理技術 Vol.30, No1, 1989

・ケイ酸塩系防錆剤の防錆効果について

以下に 5 つ施設に関するケイ酸塩系防錆剤の防錆効果の結果を示す。

表 3-2 : 築後 14 年、3 階建ての社宅

試験項目	採水月日	S61.9.23	S61.9.23	S61.10.28	S62.3.14	S62.9.22	S62.11.19	S63.1.29	S63.3.15	S63.5.17	水質基準 厚労省令
	場所	受水槽	202号室	203号室	103号室	302号室	202号室	202号室	202号室	305号室	
色度(度)		1	12	2	1	1	1	0	2	1	5度以下
pH値		7.1	7.4	7.9	7.7	7.3	7.6	7.7	7.5	7.4	5.8~8.6
塩素イオン(mg/L)		16.1	15.1	12.3	11.3	15.0	10.6	11.9	13.2	10.7	200以下
ケイ酸(mg/L)		22.3	24.2	42.4	32.1	27.2	25.4	30.2	31.3	28.8	
鉄(mg/L)		0.01	0.74	0.25	0.04	0.07	0.09	0.02	0.16	0.07	0.3以下
電気伝導率(μS/cm)		228	232	229	185	252	195	180	190	180	
備考		注入前		管洗浄 注入開始							

表 3-3： 築後 15 年、5 階建てのマンション

試験項目	採水月日 場所	S62.9.20 受水槽	S62.9.20 5F台所	S62.9.20 5F台所	S62.10.18 5F台所	S62.12.18 5F台所	S63.2.23 5F台所	S63.4.21 5F台所			水質基準 厚労省令
色度(度)		3	25	5	3	3	3	3			5度以下
pH値		7.4	7.5	7.6	7.7	7.6	7.6	7.7			5.8~8.6
塩素イオン(mg/L)		15.6	16.7	15.7	23.1	31.0	39.1	21.6			200以下
ケイ酸(mg/L)		16.8	16.7	18.5	29.1	24.8	23.1	16.2			
鉄(mg/L)		0.04	0.84	0.25	0.30	0.30	0.24	0.23			0.3以下
電気伝導率(μS/cm)		229	234	234	294	32	320	270			
備考		注入前		管洗浄 注入開始							

表 3-4： 築後 13 年、6 階建ての事務所ビル

試験項目	採水月日 場所	S62.11.8 受水槽	S62.11.8 1F洗面所	S62.11.12 車庫手洗所	S62.12.4 2F洗面所	S63.2.12 2F洗面所	S63.4.8 2F洗面所	S63.6.3 2F洗面所			水質基準 厚労省令
色度(度)		2	18	2	3	3	3	2			5度以下
pH値		7.4	7.4	7.8	7.9	7.9	8	8			5.8~8.6
塩素イオン(mg/L)		26.2	25.9	25.0	30.2	40.3	36.4	19.0			200以下
ケイ酸(mg/L)		22.1	22.1	35.9	38.5	34.8	34.7	35.2			
鉄(mg/L)		0.07	0.96	0.12	0.19	0.17	0.15	0.12			0.3以下
電気伝導率(μS/cm)		310	302	300	312	340	370	235			
備考		注入前		管洗浄 注入開始							

表 3-5： 築後 15 年、4 階建ての事務所ビル

試験項目	採水月日 場所	S62.7.5 直結水	S62.7.5 403号室	S62.7.15 403号室	S62.11.30 405号室	S63.2.12 405号室	S63.4.8 405号室				水質基準 厚労省令
色度(度)		2	20	1	1	1	1				5度以下
pH値		7.4	7.3	8.2	8.2	7.9	7.5				5.8~8.6
塩素イオン(mg/L)		26.8	18.8	16.8	18.4	26.9	28.6				200以下
ケイ酸(mg/L)		15.4	16.0	25.9	26.3	30.8	29.2				
鉄(mg/L)		0.07	2.49	0.04	0.16	0.15	0.09				0.3以下
電気伝導率(μS/cm)		300	222	260	260	260	347				
備考		注入前		管洗浄 注入開始							

表 3-6： 築後 13 年、9 階建ての事務所ビル

試験項目	採水月日 場所	S62.11.23 玄関原水	S62.11.23 管理人室	S62.11.30 管理人室	S63.2.23 管理人室	S63.4.5 管理人室	S63.6.3 管理人室				水質基準 厚労省令
色度(度)		1	20	1	1	1	1				5度以下
pH値		7.3	7.4	8.6	7.9	7.5	8.4				5.8~8.6
塩素イオン(mg/L)		26.2	26.0	28.5	36.1	28.0	15.5				200以下
ケイ酸(mg/L)		19.3	16.9	31.2	27.2	20.7	25.6				
鉄(mg/L)		0.00	1.11	0.13	0.13	0.08	0.05				0.3以下
電気伝導率(μS/cm)		305	315	292	300	311	240				
備考		注入前		管洗浄 注入開始							

上記データでは注入を開始したその日から色度、鉄が非常に少なくなっているが、これは注入開始前に洗浄剤で管内の浮き錆を除去してから注入を始めているからである。従って注入開始当日の効果は洗浄剤の効果と考えてよく、洗浄結果を永続させるもの、それが給水用防錆剤であると考えてよいだろう。

各表における色度、鉄の減少からケイ酸塩系防錆剤も単に色を抑えるだけでなく鉄の溶出も抑えていることが良くわかる。

つぎにケイ酸塩系防錆剤は強アルカリであるが、規定どおり注入していれば水質基準の pH 値内に収まるということもわかる。また、電気伝導率を見ても注入によって

大きく変動することはないことがわかる。各表における電気伝導率の変化は、防錆剤注入によるものでなく、浄水場原水ならびに浄水の水質変化によるものである。

表 3-4 と表 3-5 は、注入後の色度が 3 度とか 5 度で効果がそれほど出てないように見えるが、これはマンションと事務所ビルとの水の使用量の違いによるものだろう。マンションでは風呂もあり洗濯もあるのに対して、事務所ビルではせいぜいトイレの水くらいであろうからマンションに比べ、事務所ビルの配管内の滞留時間はずっと長く、そのためマンションよりも効果が出にくいのであろうと思われる。

給水用防錆剤はある程度以上の管内流速がなければ 5~15mg/L というような希薄な濃度ではその効果は現れず、効果をあらしめるためには管内に水を滞留させてはならない。静止水では mg/L 単位の濃度では全然効果がなく、g/L 単位でやっと効果が現れる。

4) 武田 福隆, 給水用防錆剤の効果 (続), 水処理技術 Vol. 30, No2, 1989

・配管内の流速と腐食抑制の関係について

大きな水槽に水を貯め、この水をポンプで、内面にテストピースを設置した管の中の流速を変えて循環し、水槽の水は 1 日 1 回取り替える、という方法で実験した。実験に使用した給水用防錆剤は、ケイ酸塩系防錆剤で注入濃度は SiO₂ として 7.5mg/L である。表 3-7 にその結果を示す。

表 3-7 配管内の流速と腐食抑制の関係

流速(m/s)	腐食量(mdd)
0.5	78
1.0	63
1.5	48
2.0	33
2.5	18
3.0	3

表 3-7 より流速が大きくなるほど腐食は抑制されることがわかる。

・ケイ酸塩系防錆剤注入による 11 年間の実績

これは昭和 50 年から昭和 60 年までの実績で、建物は相当古く、防錆剤を注入するまで 2 回も配管替えの工事を行っている。年間 3~6 回の水質試験の年平均をとって並べると表 2 のようになる。注入期間中、注入前のような赤水は見られなかった。

表 3-8 にその結果を示す。

表 3-8 11 年間の実績

項目 \ 年	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
色度(度)	4.5	4.3	3.6	3.5	3.3	2.0	1.0	1.3	2.3	3.1	4.3
鉄(mg/L)	0.32	0.22	0.22	0.18	0.19	0.16	0.16	0.13	0.25	0.16	0.23

・注入を中止した場合について

これは猪股亀三郎氏が昭和 59 年 11 月に建築物環境衛生技術研究会において発表されたデータである。

表 3-9 注入中止・再開による防錆効果

項目	月日			11.19	11.22	11.29	12.6		12.13	12.2	12.27
	場所	11.7									
色度(度)	受水槽	0	十一月十六日 停止 十二月七日 再開	1	1	1	1	1	0	0	
	高置水槽	3		2	4	4	4	3	3	1	
	給水栓	3		16	26	38	70	44	24	2	
鉄(mg/L)	受水槽	0.05		0.05	0.08	0.08	0.06	0.07	6.07	0.08	
	高置水槽	0.06		0.08	0.22	0.19	0.24	0.24	0.30	0.24	
	給水栓	0.28		1.13	1.32	1.92	3.60	2.65	1.65	0.26	
pH	受水槽	7.0		7.1	7.1	7.0	7.0	7.1	6.9	7.1	
	高置水槽	7.0		7.0	7.1	7.0	6.9	6.9	6.9	7.0	
	給水栓	7.1		7.1	7.1	7.0	6.9	6.9	6.9	7.1	

実験によると中止 3 日目から赤水が再発し、注入を再開後 3 週間で赤水が止まったということである。注入率は SiO₂として 5mg/L である(表 3-9 参照)。なお注入点は受水槽と高置水槽との間であり、注入点から高置水槽までの高さは 47m である。

・給湯設備の赤水防止について

これはボイラーにおける給水用防錆剤(ケイ酸塩系防錆剤)の防錆効果について実験を行ったもので、その結果については表 3-10 に示す。

実験で用いたボイラーは鉄製、配管は銅管で、水量は 5~8m³/d、4~5m³/d、3~4m³/d の 3 種。慢性の赤水状態であった。そこにケイ酸塩系防錆剤をボイラーへの補給水用配管にポンプにより圧入し、その前後における鉄と銅の含有量を測定した。

なお給水用防錆剤の注入濃度は、初期には SiO₂として 7.25mg/L、定常時には SiO₂として 2.18mg/L であった。

実験の結果、表 3-10 に示すように 3 例とも劇的に鉄、銅が減少し、赤水は解消した。

表 3-10 給湯設備における防錆効果

		注入前	注入後
鉄(mg/L)	5~8m ³ /d	1.14~1.29	0.21~0.12
	4~5m ³ /d	3.18	0.36~0.20
	3~4m ³ /d	1) 1.05	0.83~0.05
		2) 0.93	0.39~0.07
銅(mg/L)	5~8m ³ /d	0.78~0.88	0.06~0.04
	4~5m ³ /d	0.88	0.27~0.06
	3~4m ³ /d	1) 0.07	0.03~0.00
		2) 0.02	0.03~0.00

5) 武田 福隆, 給水用防錆剤の効果(続), 水処理技術 Vol.30, No3, 1989

・給水用防錆剤による皮膜の形成について

内径約 40mm の管に軟鋼板(spcc)を設置して S 市水道水を約 2 ヶ月間 20cm/s の流速

で一過式の通水テストを行い、0.8mg/L(P_2O_5 として)の防錆剤を注入したものと、注入しないものとを、テストピースの表面を電子顕微鏡で撮影してその差異を検討した。結果は以下に示すようであった。

- a. 実験前のテストピースの表面では、研磨による條痕が写っていた。
- b. 2ヶ月間の防錆剤注入ゼロのテストピースの表面では、若干の粒状になった物質が見えるが、それらは粒が不揃いの上まばらで、條痕が見えていた。
- c. 2ヶ月間の防錆剤注入0.8mg/Lのテストピースの表面では、大きさの大体揃った粒状の物質がびっしりと並び、條痕は見えなくなっていた。

実験より給水用防錆剤の注入によって、被膜の生成することが明白となった。しかし、どの防錆剤を使用しても均一な被膜ができるとは限らず、この実験と平行して行われた別のメーカーの同種の防錆剤による実験では、被膜は均一ではなかった。これは防錆剤の製法の違いにより、製品の化学構造あるいは化学成分に差異が生じ、それが被膜形成に影響するものと思われる。

6) 柳田 和久, 防錆剤による赤水対策, 建築設備と配管工事, 1988

・給水用防錆剤選択の利点

以下に給水用防錆剤選択の利点について示す。

- a. 安全性については厚労省で品質規格を決めさらに使用基準も決めているので、品質規格に適合した商品、使用基準を守ればまず問題が起こることは無いと判断できる。
- b. ランニングコストが必要であるが、初期費用も他の方法に比較して安いことや、2ヶ月に1回水質検査を実施することで安心度が増す面がある。
- c. 薬剤の場合は、効果がない場合は簡単に使用を中止し他の方法に変更することができる。

・製品による溶解度の差について

ガラス容器に上水 500mL を入れた中に防錆剤 50g を入れ、室温で1ヶ月間静置する。1ヶ月後に防錆剤を取り出してその残量を測定して、防錆剤の溶解度を調べた。

結果は表 3-11 に示すように製品により違いが見られた。溶解速度が速いと濃度管理が困難となる。

表 3-11 製品による溶解度の差

	1ヵ月後の溶解度 (g)
シリホス	5
A社	30
B社	15
C社	16

* 「シリホス」は製品名である。

・製品による皮膜強度の差について

ガラス容器に上水 500mL を入れた中に防錆剤 10g を入れ、さらに錆びた釘(5cm)を 2 本入れ室温に静置して 2 週間後に赤水になる程度とさらにガラス容器にできた皮膜を手の指で擦った場合の皮膜強度を調べた。

結果は表 3-12 に示すように、防錆皮膜はシリホスがかなり強固であったが、ほかの A 社 B 社 C 社は指で擦るだけで比較的簡単に落ちた。また色度、濁度も測定した結果、数値で示すような差になっていた。

表 3-12 製品による皮膜強度の差

	2週間後の色度	2週間後の濁度	皮膜の強度
シリホス	3度	2度	かなり強度
A社	10度	4度	ザラザラと落ちた
B社	7度	3度	落ちた
C社	8度	3度	落ちた

・水質検査の結果

つぎに「シリホス」採用後 1 週間目と 1 ヶ月目。それ以降は 2 ヶ月に 1 回の割合で行われた水質検査の結果を示す。

表 3-13 水質検査のデータ

	基準	シリホス 採用前	シリホス 採用後 1週間目	シリホス 採用後 1ヶ月目	シリホス 採用後 3ヶ月目
PH	5.8以上8.6以下	7	7	6.6	7
鉄分	0.35mg/L以下	0.6mg/L	0.28mg/L	0.28mg/L	0.25mg/L
色度	5度以下	6度	1度	1度	1度
濁度	2度以下	2度	1度	1度	1度
P ₂ O ₅	定常5mg/L以下		4.5mg/L	3.2mg/L	2.0mg/L

7) 尾川 毅, 給水用防錆剤による赤水対策と管理上の留意点, 建築設備と配管工事, 1987

・赤水防止作用の 1 つとして皮膜形成があげられるが、この効果を発揮するには、管内を一定以上の流速で水が流れている必要がある。

・「錯塩の形成」・「皮膜の形成」・「吸着と分散」作用によって赤水が防止されるのであるから、防錆剤は連続的に注入しなければ効果を発揮しない。

・給水用防錆剤は、赤水防止に効果を発揮し、しかも安価であることから、その使用が長期化する傾向がある。

・安全試験の結果、現行の基準で使用されている限り、求められた最大影響量と比較しても安全であると結論されるが、いずれの場合にも大量に投与されたマウス、ラッ

トが死亡していることは留意しなければならない。

- ・水に異物を連続的に添加することについては、その建物の利用者すべてに、その目的、作用、生じうる結果(一時的に赤水が激しくなることを含む)などが理解され、使用について同意が得られている必要がある。また、不特定多数の者が利用する建物では、利用者への告知の方法も決定されていることが望まれる。

- ・品質規格に適合したものであっても、その使用を誤ると必ずしも安全でないことに留意する必要がある。例としては、防錆剤の輸送、保管(販売店、建物とも)時に雨ざらしになるなどにより汚染されるケースが考えられる。

- ・日本給水用防錆剤協会では、メーカーより提供された資料を審査し、厚生労働省品質規格に適合する製品には「給水用防錆剤品質規格適合品」の証紙の貼付を行っている。また、品質規格適合品を販売する事務所を対象に給水用防錆剤販売店登録制度を行っている。給水用防錆剤を使用する建物は、これら制度を熟知し、活用することが望まれる。

- ・注入方法において、濃度管理を行えない方法(バイパスを設けず揚水管の途中に設置する、タンクに直接防錆剤を投入するなど)で注入してはならない。また、水の使用量に関係なく注入する方式は、夜間に給水栓における防錆剤濃度が異常に高くなるので決して使用してはならない。

- ・給水用防錆剤を使用する際に最も重要なのが給水栓における防錆剤の含有率を適正に保つことである。そして、注入装置が正しく作動し、防錆剤が適正に含有されていることを確認するために、2ヶ月以内ごとに1回定期的に含有率を検査しなければならない。なお、さらに高度な安全性を確保するためには、給水中に異常な味を感じた場合、防錆剤を補充した場合、あるいは、異常を感じなくとも1週間に1回や毎日など手軽に防錆剤の含有率をチェックできる体制が整っていることが望ましい。

- ・注入初期濃度期間の目安はおおむね3ヶ月であり、これを過ぎても効果が現れない場合には、管洗浄などの措置をとることが望ましい。

- ・最も効果を発揮できる含有率は基準値より小さいので、効果がないからと言って注入量を増加させても赤水が改善されないばかりか、健康影響も懸念されることに注意しなければならない。

- ・防錆剤は、最終的には人の口に入るものであるから、その管理は食物と同じように扱う必要がある。例えば、屋根、施錠できるドアを備えた専用の保管庫に保管する、高温多湿は避けるなどの配慮は少なくとも必要である。

- ・注入装置については、定期的に内部の洗浄、機能の確認などを行わなければならない。

- ・防錆剤は、定期的に補充するものであるが、補充の際には使用量をチェックし、前回補充時からの使用水量と照らし合わせて必要以上に防錆剤が注入されていないかどうか検査すべきである。

- ・特にリン酸塩系防錆剤を使用する場合には、湖沼、内湾など閉鎖性水域をはじめとする公共用水域における富栄養化など環境への配慮が必要である。

8) 日本給水用防錆剤協会から提供された資料

・リン酸塩系防錆剤の防錆効果について

以下にリン酸塩系防錆剤の防錆効果の結果をいくつかを示す。

表 3-14 : 新宿区 S ビル 平成 5 年設置

	H5.8.4	H5.9.17	H5.11.5	H6.7.29	H7.8.21	H8.8.22	H9.8.8	H10.8.5	H11.2.17	H11.2.25	H11.8.19
pH	7.6	7.6	7.4	7.2	7.2	7.3	7.2	7.2	7.1	6.9	7.2
Fe	1.42	0.25	0.26	0.43	0.20	0.20	0.17	0.20	0.30	0.30	0.10
濁度	3	1未満	1未満	2	1以下	1	1以下	1以下	2	1	1以下
色度	40	3	2	5	4	4	4	5	5	3	3
P ₂ O ₅		9.0	5.0	4.5	4.5	4.0	4.0	4.0	3.0	3.5	4.0

表 3-15 : 台東区 F ビル 平成 5 年設置

	H5.9.2	H5.9.16	H5.10.5	H6.9.12	H7.9.8	H8.9.17	H9.9.26	H10.9.4	H11.9.30
pH	7.4	7.4	7.4	7.2	7.4	7.0	7.1	7.0	7.0
Fe	0.45	0.53	0.45	0.1未満	0.09	0.11	0.30	0.06	0.06
濁度	1	1未満	1未満	1未満	1未満	1	1以下	1以下	1以下
色度	9	6	6	1.5	1	2	4	2	1
P ₂ O ₅		4.0	3.2	2.5	3.0	3.5	3.0	3.5	3.5

表 3-16 : 杉並区 T ビル 平成 7 年設置

	H7.7.10	H7.7.28	H8.8.25	H9.7.4	H10.8.11	H11.7.9
pH	7.1	7.3	7.1	7.2	7.1	7.3
Fe	0.30	0.04	0.01	0.01	0.09	0.02
濁度	3	1以下	1以下	1以下	1	1以下
色度	14	2.5	1	2	3	2
P ₂ O ₅		5.0	5.0	5.0	5.0	4.0

表 3-17 : 港区 S ビル 平成 7 年設置

	H7.7.14	H7.9.6	H8.7.5	H8.8.5	H9.7.16	H10.7.13	H11.7.6
pH	7.5	7.1	7.2	7.6	7.3	7.3	7.4
Fe	0.50	0.20	1.80	0.30	0.24	0.10	0.1未満
濁度	3	1	2	1	1.5	1未満	1未満
色度	20	4	12	2	4	2.8	2.1
P ₂ O ₅		5.0	5.0	5.0	5.0	3.0	5.0

表 3-18 : 台東区 K ビル 平成 7 年設置

	H7.7.19	H7.8.1	H8.12.14	H8.7.16	H9.7.16	H10.7.31	H11.7.21
pH	7.4	7.4	7.0	7.0	7.1	7.2	7.1
Fe	3.64	0.61	0.29	0.27	0.29	0.23	0.18
濁度	25	4.0	1未満	1.0	2.0	1未満	1未満
色度	62	9.0	3.0	4.0	4.0	2.8	2.4
P ₂ O ₅		5.0	1.5	3.0	5.0	3.0	5.0

表 3-19 : 品川区 N ビル 平成 8 年設置

	H8.4.19	H8.5.2	H8.5.7	H8.5.10	H8.5.24	H9.4.25	H10.4.21	H11.4.27
pH	6.8	7.1	7.1	7.1	7.1	7.0	7.1	6.7
Fe	1.89	0.30	2.72	1.34	0.28	0.30	0.28	0.12
濁度	8.0	2.0	9.0	4.0	1.0	2	1未満	1未満
色度	12	5.0	23.0	12.0	3.0	5.0	3.6	1.3
P ₂ O ₅		4.0	3.5	5.0	5.0	2.0	3.0	3.0

表 3-20 : 品川区 I ビル 平成 8 年設置

	H8.4.23	H8.5.8	H8.5.17	H9.4.24	H10.4.21	H11.4.27	H11.6.28
pH	6.9	7.0	7.0	7.3	7.1	6.8	7.1
Fe	4.28	0.20	0.20	0.12	0.26	0.69	0.1未満
濁度	35.0	1.0	1未満	1.0	1.2	2.4	1未満
色度	57	2.0	3.0	2.0	2.9	6.2	1未満
P ₂ O ₅		5.0	4.5	1.5	2.5	4.0	4.0

表 3-21 : 港区 Y ビル 平成 8 年設置

	H8.12.9	H9.1.8	H9.12.18	H10.12.15
pH	7.1	7.3	7.1	7.2
Fe	0.30	0.04	0.01	0.01
濁度	3.0	1以下	1以下	1以下
色度	14	2.5	1.0	2.0
P ₂ O ₅		5.0	5.0	5.0

表 3-22 : 杉並区 K ビル 平成 10 年設置

	H10.7.30	H10.4.3	H10.4.21	H10.5.12	H11.3.12
pH	6.8	7.3	6.9	7.3	7.1
Fe	0.57	0.30	0.17	0.24	0.1未満
濁度	2.2	2	1未満	1未満	1未満
色度	6.8	4.8	2.6	1.5	1未満
P ₂ O ₅		3.0	3.0	4.5	2.5

表 3-23 : 横浜市 K0 ビル 平成 2 設置

	H2.11.10	H2.12.10	H3.2.15	H3.3.26	H3.7.19	H3.11.29	H4.11.26	H5.11.6	H6.2.24	H7.2.7	H8.2.1
pH	7.0	6.7	6.9	6.7	7.1	7.4	6.9	7.4	7.1	7.2	7.6
Fe	0.98	0.12	0.93	0.17	0.11	0.15	0.49	0.03	0.01	0.1	0.1
濁度	2.0	0.1	0.7	0.2	0.2	1	1	0.1	0.1	1	1
色度	80	1.0	18.0	1.0	2	1.0	8.6	2	3	1	1
P ₂ O ₅		3.0	3.0	3.0	3.0	3.5	3.5	3.0	2.5	2.0	2.0

H9.2.4	H10.2.6	H11.2.3
7.1	6.8	6.8
0.10	0.12	0.1
1	1	1
2	1	1
4.0	2.5	3.0

・給水用防錆剤の注入濃度について

注入濃度については、多くの場合、定常時注入濃度(5[mg/L])でも十分に効果が見られているので、初期注入濃度(15[mg/L])を廃止しても良いのではないかという意見がある。

・給水用防錆剤の注入方法について

注入方法については、揚水ポンプの作動とともに防錆剤を注入するインターロック方式は、給水量に関係なく注入を行うので、より安定した濃度管理のためには廃止したほうが良いのではないかという意見がある。

・ケイ酸塩系防錆剤について

ヨーロッパなどではケイ酸塩系防錆剤はほとんど使用されておらず、給水用防錆剤そのものの安全性から考えても、リン酸塩系防錆剤に比べ安全係数が低いケイ酸塩系防錆剤を廃止しても良いのではないかという意見がある。

9) Robert M. Powell, A FINAL REPORT FOR EVALUATION OF CORROSION INHIBITORS, 1994

・アメリカ・フロリダ州西海岸にあるパインラス郡水道(PCWS)が、1993年6月21日から1994年2月28日の間「腐食インヒビターの評価」について、種々のインヒビターを評価するため様々な実験を行った。

以下は、この研究から達せられたいくつかの結論である。

- a. 試験されたすべてのインヒビターの溶存固体の主要な成分は、リン、ナトリウム、およびカリウムである。少ない成分としてはカルシウムとマグネシウムを含んでいる。
- b. 試験されたすべてのインヒビターのオルトリンの全リンに対する初期の比率は、たとえ全リン含有量がかなり類似していても大きく変化した。そのため、オルトリン酸塩の全リン酸塩に対する比率は、11%から47%まで変化した。
- c. すべてのインヒビターのオルトリン酸塩と全リン酸塩の比率は、5°Cから40°Cの温度上昇と恒温放置時間により増大する。また、それらと同様なインヒビターの希釈した溶液は、希釈していない溶液より高い割合でポリリン酸塩からオルトリン酸塩に転化する傾向を、配水システムを通じて測定した。
- d. 配水システムにおけるインヒビターの転化を概算するため、種々のインヒビターの1.0mg/L溶液が、5°C、20°C、および40°Cで、2週間恒温放置された。オルトリン酸塩は時間とともに直線的に増大した。5) パインラス郡水道へのインヒビターの注入によって、腐食試験ループに取り付けられた銅と鉛クーポンの腐食割合を減少させた。
- e. 測定された腐食割合は、インヒビターの供給割合とオルトリン酸塩含有量に依存した。オルトリン酸塩含有量が低い時には、より高いインヒビター供給割合が必要であり、オルトリン酸塩含有量が高い時には、同様の銅と鉛の腐食割合を生じるために、より低いインヒビター供給割合が必要であった。そのため、初期に低いオルトリン酸塩と全リン酸塩を持つインヒビターは、より高い供給割合を必要とする。
- f. 高い転化の割合によりオルトリン酸塩含有量が高い場合は、腐食割合を抑制するインヒビターの能力の低下を引き起こす。転化による性能低下の可能性は、試験研究の結果から証明されている。
- g. 種々の実験で測定された腐食割合には、大きい変動性がある。これは、水質パラメータの変化、運用上の問題、および実験誤差により説明できる。しかし、インヒビターの注入は、銅および鉛クーポンの腐食割合を、コントロールクーポンで測定された腐食割合より40%以上減少させた。
- h. 0.59mg/Lから0.88mg/Lの PO_4 と等しいリン酸適用量(重量で85%)の注入が、販売業者から提供されたインヒビターと同様か、またはそれ以上の銅と鉛クーポンの腐食割合を示す。リン酸による処理は、もし他の水質パラメータへの有害な影響がなく、効果的であると証明されるならば、他のインヒビターよりずっと安価である。

なお結果に関する図・表については付録1を参照とされたい。66ページに「表のリスト」を、67ページに「図のリスト」を示す。

10) e-Journal AWWA

・1994年と2001年に、アメリカの水道事業者たちに対して、彼らのリン酸塩系インヒビターの使用に関して調査がされた。調査対象はポリリン酸塩、オルトリン酸塩、オルトリン酸亜鉛、およびリン酸塩の混合物を含めたリン酸塩系インヒビターといった使用の普及しているものであった。

調査の結果を以下に示す。

- a. 回答者たちの多くが、ある種の環境下でポリリン酸塩の混合剤が金属腐食に対して有害であると証明されたことからポリリン酸塩/オルトリン酸塩の混合剤からオルトリン酸塩に変更した。
- b. 多くの水道事業者たちが、リン酸塩系インヒビターを使用していたが、それぞれの環境におけるインヒビターの適応性をはかる科学的な試験はほとんど行われていなかった。
- c. リン酸塩系インヒビターを選定する場合、ほとんどの公共事業体では、販売業者の情報や他の施設における化学的な成功を示す報告書に依存しており、それは大きな公共事業体でさえ同様で、その管理者の多くは彼らの使用しているリン酸塩系化学薬品の正確な性質を知らなかった。
- d. 多くの公共事業体がそれぞれの水環境における化学薬品の有効性を試験しないでインヒビターの添加にかかる相当な費用を負担していることを指摘する。

以上より、水道事業者たちは、リン酸塩系インヒビターの使用に対して注視し、リン酸塩使用の理由と、そして信頼性のある情報およびそれぞれの水の条件におけるリン酸塩選定の基準について考察する必要があるという結論が得られた。

11) Richard E. DeBlois, THE USE OF PHOSPHATE IN WATER TREATMENT FOR SEQUESTERING AND CORROSION CONTROL, 2002

・リン酸塩類の基本的な役割と、それらの水処理における適用方法について概観されている。

つぎにオルトリン酸塩、オルトリン酸塩/ポリリン酸塩混合剤、オルトリン酸亜鉛、ポリリン酸塩、ポリリン酸亜鉛、ケイ酸塩/リン酸塩混合剤についてそれぞれ、特徴のあらましを説明する。

a. オルトリン酸塩

オルトリン酸塩は、腐食インヒビターとして広く認められている。オルトリン酸塩と二価の金属イオンが、配管の内部表面上に薄い皮膜を形成する。これらのオルトリン酸塩による金属塩類は、非常に不溶解性の物質である。(すなわち、鉛とカルシウム)。オルトリン酸塩は金属イオンの封鎖をしない。そして、分解された無機性の炭素(DIC)とアルカリ度が、その性能に影響を及ぼす。

オルトリン酸塩は、いくつかの異なるリン酸塩の原材料を通して得ることができる。モノリン酸ナトリウム(MSP)は、腐食抑制のためのオルトリン酸塩を生じるために使用できる。これは乾質性で、かつ中性で、安全な製品であるが、混和と取り扱いが必要となる。液体状のオルトリン酸塩も利用することができる。これらの液状製品は、MSP、ジリン酸ナトリウム(DSP)、ジリン酸カリウム(DKP)を含む。最も一般的なオルトリン酸塩の源は、リン酸(H_3PO_4)である。リン酸は、36%または75%の溶液濃度の酸として利用することができる。最も一般的なものは36%のものである。ナトリウムやカリウムを含むリン酸塩類と違って、リン酸は有害物質で、輸送と適用の両方に特別な取り扱いが必要となる。

b. オルトリン酸亜鉛

オルトリン酸亜鉛は、1970年には飲用水処理を認められていた。これらの腐食インヒビターは、一般的に亜鉛塩から組立てられている、例えば、塩化亜鉛または硫酸亜鉛、そしてリン酸と混ぜられたものである。これらの製品の溶液は、 $pH < 1.0$ であるので、適切な身体を保護する機器(PPE)と特別な輸送と取り扱いが必要となる。

塩化物に基づく製品と、硫酸塩に基づく製品の、これら2つのタイプのオルトリン酸亜鉛には、それぞれ長所と短所がある。

塩化亜鉛から製造されたオルトリン酸亜鉛は、非常に高い溶解性を示すが、塩化物がステンレス鋼を腐食させる。塩化物イオンに耐える移送機器(輸送)と貯蔵タンク、給送機器を必ず手配することが重要である。加えて、リン酸に塩化亜鉛を混ぜる間ずっと塩酸(HCl)を生じる可能性がある。塩化化合物に基づく製品は、大気腐食の原因となりうるという提言もされている。

硫酸塩に基づくオルトリン酸亜鉛は、溶解性が低く、特にカルシウムを多く含む水で製造された場合に、沈殿物の問題を経験するはずである。塩化物イオンと違って、硫酸イオンは、ステンレス鋼を腐食させず、特別な移送機器(輸送)と貯蔵タンク、給送機器を必要としない。

オルトリン酸亜鉛は、腐食性の高い水(低・中度の硬度とアルカリ度の水)において高い有効性を示すことが証明されている。これらの水は一般に軟水で、弱酸性を示す。オルトリン酸亜鉛にとって最適なpH域は、 $pH 7.3 \sim 7.8$ の間である。pHが8.0以上となると、リン酸亜鉛の沈殿物を生じる可能性がある。オルトリン酸亜鉛技術の唯一の弱みは、亜鉛が汚水処理施設の負荷の原因となってしまうことである。

c. ポリリン酸亜鉛

これらの製品は、腐食抑制はもちろん、ある程度の金属イオンの封鎖と/またはカルシウムの安定化を必要とする、腐食性のあまり高くない水に適用される。ほとんどの製品は、オルトリン酸塩とポリリン酸塩の組み合わせによりできる。腐食保護は、ポリリン酸塩からオルトリン酸塩への再水和(転化)の結果、線状のポリリン酸亜鉛により得られる。それらは、銅制御に有効であり、カルシウムの安定化を目標とする硬水において多くの成功をしている。アメリカ水道協会(AWWA)による最近の研究で、ポリリン酸塩は銅制御の役割を果たすが、鉛製の配管にとっては有害であるとの提言がされた。この研究は、オルトリン酸塩は鉛制御には有効であるが、銅制御にはあまり

有効ではないということも明らかにした。ポリリン酸塩に比べてオルトリン酸塩の割合が増すほど、鉛制御の傾向を示す。

オルトリン酸亜鉛と同様に、これらの製品は、亜鉛が污水处理施設の負荷の原因となる。

d. オルトリン酸塩／ポリリン酸塩混合剤

腐食性の水と、スケールの発生する水の両方を克服するため、オルトリン酸塩／ポリリン酸塩混合剤は、金属イオンの封鎖と腐食制御を行う。これらは様々な割合で混ぜられたオルトリン酸塩とポリリン酸塩から構成されている。オルトリン酸塩を多く含む混合剤は、より多くの腐食保護が得られ、その上、ポリリン酸塩濃度が高いほど硬度(カルシウム)と鉄、そして／またはマンガンの封鎖が高まり、結果として色の付いた水を抑える。オルトリン酸塩／ポリリン酸塩混合剤は、硬度の高い水において銅の腐食抑制に非常に効果的である。

オルトリン酸塩／ポリリン酸塩混合剤は、様々な水の化学的性質において非常に効果的であり、広い pH 域で使用することができる。硬度が高く、腐食性を示す水における有効性には限界がある。これらの製品は、ポリリン酸塩の注入量が多すぎると、水栓に鉛の残留物が堆積してしまうので注意が必要である。

e. 直鎖状ポリリン酸塩

この種類のポリリン酸塩インヒビターは、ナトリウムとポリリン酸カリウムから成る。(すなわち、トリポリリン酸塩、ヘキサメタリン酸塩、ポリリン酸塩)。

この技術は、非常に硬度が高く、そして／または、金属イオンの封鎖が必要となる鉄や、マンガンが多量に含む水に適用される。これらの直鎖状ポリリン酸塩は、効果的な金属イオン封鎖剤であり、実際に管壁の堆積物の抑制／除去に使用されることがある。これらの製品は水流 (C-Factor) や水質を改善するため、管状堆積物を効果的に減少させるのに使用されている。

適切な管理と注入のもとで、これらの製品は非常に効果的に正常な腐食抑制と硬度の封鎖、管壁の増強を維持することができる。どのポリリン酸塩についても、過注入は鉛の溶解を促進し、水栓における鉛の凝縮を高める。そのため、これらの製品の使用には十分なモニタリングと、継続した最適化が必要となる。

f. ケイ酸塩／リン酸塩混合剤

これらの製品は、良好な金属イオンの封鎖と、適度な腐食抑制をもたらし、そして様々な水質に作用する。リン酸塩は、配管表面を保護する沈殿物を形成するため金属と結合し、その上、ケイ酸塩が保護の隙間を埋め、配管表面の強い酸性を示すアノード部を覆うことにより保護を強化する。

良好な腐食保護は、ケイ酸塩／リン酸塩が混ぜられた製品の使用により得られる。これらの製品は、一般的にほかの技術と同等の処理結果を得るためには、他よりも多くの注入量が必要となる。また一般的に、ケイ酸塩に基づく製品は費用のかかる技術の1つである。

- ・要望する結果を得るには、技術の選択は適切な注入量を算出するのと同じくらい重大である。
- ・濃縮したリン酸塩の腐食抑制に関して、ある議論がされているが、それでも広範囲の水の化学的性質を伴う多くの都市システムにおいて、よく機能することが証明されている。
- ・製品の選定には概略のルールがあるが、一方の場所で効果があっても、他の場所ではたとえ似たような水質であっても効果がないかもしれない。
- ・リン酸は、要望される製品であるかもしれないが、酸による危険性があるため、混合されたリン酸塩が選定されるだろう。
- ・最良の腐食技術は、意図する処理目標と、処理された水の特徴の徹底的な理解、そして製品の利用可能な特性により選定される。

12) 伊藤隆太, 重合ケイ酸ナトリウムの安全性-ラットによる経口亜急性毒性-, 東邦医学会雑誌 Vol.22, No2, 1975

給水給湯配管材料の内面腐食抑制剤に主体として使われる重合ケイ酸ナトリウム(NaPS)($\text{Na}_2 \cdot n\text{SiO}_2$)を 200,600,1800ppm の各濃度を水道水中に溶解し、常時飲水可能な給水ビンにより、両性の WISTAR ラットに 3 カ月間自由摂取させた。

3 カ月の飼育期間中は一般症状、体重、尿の有意的変化および死はなかった。600ppm 雌雄に白血球の若干減少、200 と 600ppm 雌で s-GPT の増加、1800ppm のアルカリフォスファターゼ値上昇がみられたほかは、組織学的変化はほとんどなく、いずれの濃度においても用量と相関性ある特異的变化はなかった。

以上の結果のうち 1800ppm 雄で若干のアルカリフォスファターゼ値上昇を考慮すべき変化とすれば、NaPS の安全量の上限は 1800ppm と 600ppm の間であると考えられ、有効防錆濃度を 10ppm としても、安全域は 60-180 倍と考えられる。

3. 3 米国における給水防錆剤としてのリン酸塩の使用状況^{1) 2)}

給水防錆剤として使用されるリン酸塩は大別すると、オルトリン酸塩(Orthophosphate)とポリリン酸塩(Polyphosphate)がある。米国では、このほかオルトリン酸亜鉛およびポリリン酸亜鉛の使用が認められている。米国では腐食防止効果を期待する場合、前者が多く使われるが、日本ではポリリン酸塩が主に用いられている。

ポリリン酸塩は硬度成分を多く含む硬水のスケール防止剤として広く使われてきた。多くのポリリン酸塩は化学量論濃度(stoichiometry)より遙かに低い濃度でも所定の効果が得られることが、古くから知られており、このような効果のことを限界濃度効果("threshold effect")と呼ばれている。例えば、200ppm の硬度(as CaCO_3)を有する水の場合、理論的にはヘキサメタリン酸ナトリウム(Sodium hexapolyphosphate:SHMP)を 500ppm 必要とするが、実際には 2-4ppm の SHMP でスケール抑制効果が得られる。このような threshold effect は結晶成長の初期に何らかの効果を発揮するものと考えられている。

一方、ポリリン酸塩が金属イオンとキレート効果によって結合して水溶性の化合物を形成する効果がある。このような効果は金属封鎖効果(Sequestering effect)と呼ばれ、赤水

に対してはさび色を消失させる効果があるとされている。

また、オルトリン酸塩は金属イオンと反応して不溶性の沈殿を形成することにより、赤水防止効果を有するとされている。実際の赤水防止には水質条件によってオルトリン酸塩とポリリン酸塩を混合したものが使用されている。

このほか1991年に銅・鉛規制法(Lead and Copper Rule)が制定され、水中の鉛・銅イオン濃度が水質基準を上回る事態に達した場合は、何らかのアクションを取らなければならないが、オルトリン酸塩を注入することにより、リン酸塩が鉛や銅と反応して不溶性の皮膜を形成することにより、鉛管や銅管からの溶出を防止することができるかとされている。さらに、最近では水系感染症を防止する目的で、消毒剤としての塩素の濃度を高める傾向にある。その結果、配管材料の腐食を高める可能性が指摘されており、このような場合にもリン酸塩の注入が腐食を抑制することが期待できるとされている。

このように、米国においては給水防錆剤としてリン酸塩が広く使用されている。健康への問題を考慮すれば、給水配管系に注入しうる防錆剤の薬品は極めて限定されたものになる。その最も代表的な薬剤はリン酸塩であり、オルトリン酸塩およびポリリン酸塩はこのような目的に最も広く使われている。

3. 4 リン酸塩の安全性と濃度規制²⁾³⁾

3. 4. 1 リン酸塩の最大使用レベル

リン酸塩は米国の浄水場で赤水防止を目的として広く使用されている。赤水防止に使用されるリン酸塩はオルトリン酸塩、ポリリン酸塩、およびポリリン酸塩とオルトリン酸塩の混合物で、注入濃度は1ppm程度と一般に微量にすぎない。微量のリン酸塩の注入は人の健康への問題はないが、人の健康と安全性への影響を考慮して適用濃度が規制されている。

飲料水処理用に用いるリン酸塩は、リン酸、オルトリン酸塩および縮合リン酸塩の大きく三つのカテゴリーに分類できる。NSF (National Sanitary Foundation International) による最大使用水準は下表の通りである。なおこれらの物質はFDA (Food and Drug Administration)によって使用が認められているものである。

Phosphate	NSF Maximum Use Level
<u>Phosphoric Acids:</u>	
36% Phosphoric Acid	27.0 mg/L
75% Phosphoric Acid	13.0 mg/L
80% Phosphoric Acid	12.0 mg/L
85% Phosphoric Acid	12.0 mg/L
<u>Orthophosphates:</u>	
Monosodium Phosphate (MSP)	13.0 mg/L
Disodium Phosphate (DSP)	15.0 mg/L
Trisodium Phosphate (TSP)	17.0 mg/L
Monopotassium Phosphate (MKP)	14.0 mg/L
Dipotassium Phosphate (DKP)	36.0 mg/L

Tricalcium Phosphate (TCP) 12.0 mg/L

Condensed Phosphates:

Sodium Acid Pyrophosphate (SAPP) 12.0 mg/L
 Sodium Trimetaphosphate (STMP) 11.0 mg/L
 Tetrasodium Pyrophosphate (TSPP) 14.0 mg/L
 Sodium Tripolyphosphate (STP) 13.0 mg/L
 Tetrapotassium Pyrophosphate (TKPP) 17.0 mg/L
 Tetrapotassium Pyrophosphate, 60% Solution 29.0 mg/L
 Sodium Hexametaphosphate (SHMP) 12.0 mg/L

3. 4. 2 NSF/ANSI Standard 60-2003e ³⁾

NSF/ANSI Standard for Drinking Water Additives-Drinking water treatment chemicals- Health effects

(飲料水添加物の NSF/ANSI 基準 - 飲料水処理薬剤 -健康影響)

この基準は飲料水に直接、添加されるか、処理した水に存在することを意図した水処理薬品に対して健康影響の要件を含む。

この基準には水処理に使用する種々の化学薬品について規定されているが、腐食・スケール制御、軟水化処理、沈殿、金属封鎖および pH 調整用の薬品に関しては NSF/ANSI 60-2003e Table 5.1 にリストアップされている。給水防錆剤関連の薬品を抜粋して下表に示す。

Chemical type (primary use)	Synonyms	Formula	Molecular weight	Preparation method	Typical use level (mg/L)	Chemistry-specific analyses
dipotassium orthophosphate	potassium phosphate, dibasic	K_2HPO_4	174.2	method B annex B section B3.3	18.4 ⁵	metals, radionuclides, fluoride
disodium orthophosphate	sodium phosphate, dibasic	Na_2HPO_4	142.0	method B annex B section B3.3	14.9 ⁵	metals, radionuclides, fluoride
monosodium orthophosphate	sodium phosphate, monobasic	NaH_2PO_4	120	method B annex B section B3.3	12.6 ⁵	metals, radionuclides, fluoride
monopotassium orthophosphate	potassium phosphate, monobasic	KH_2PO_4	136.1	method B annex B section B3.3	14.3 ⁵	metals, radionuclides, fluoride
phosphoric acid	orthophosphoric acid	H_3PO_4	97.9	method D annex B section B3.3	13.8 ⁵	metals, radionuclides, fluoride

potassium tripolyphosphate	KTPP	$K_5P_3O_{10}$	448.4	method A, annex B, section B 3.2	15.7 ⁵	metals, radionuclides, fluoride
sodium acid pyrophosphate	SAPP	$Na_2H_2P_2O_7$	222.0	method A, annex B, section B3.2	11.7 ⁵	metals, radionuclides, fluoride
sodium polyphosphate, glassy	SHMP, sodium hexametaphosphate	$(NaPO_3)_n \cdot Na_2O$ typically n=14	Variable	method A, annex B, section B3.2	10.7-11.9 ⁵	metals, radionuclides, fluoride
sodium silicate	activated silica	$Na_2O(SiO_2)_n$ typically n=3	@n=1	method A, annex B, section B3.2	16.0	metals
sodium trimetaphosphate	metaphosphoric acid, trisodium salt	$Na_3P_3O_9$	306	method A, annex B, section B3.2	10.7 ⁵	Metals, radionuclides, Fluoride
sodium tripolyphosphate	STPP pentasodium tripolyphosphate	$Na_5P_3O_{10}$	368	method A, annex B, section B3.2	12.9 ⁵	metals, radionuclides, fluoride
sodium zinc polyphosphate glassy	-	$(MPO_3)_n \cdot M_2O$ M=Na and/or 2n at 1:05	variable	method A, annex B, section B3.2	12.3-13.6	metals, radionuclides, fluoride
sodium zinc potassium polyphosphate	-	$(MPO_3)_n \cdot M_2O$ M=Na, K 2n at 1: 1:05	variable	method A, annex B, section B3.2	13.7-14.1	metals, radionuclides, fluoride
tetrapotassium pyrophosphate	TKPP	$K_4P_2O_7$	330.34	method A, annex B, section B3.2	17.4 ⁵	metals, radionuclides, fluoride
tetrasodium pyrophosphate	TSPP, sodium pyrophosphate, tribasic	$Na_4P_2O_7$	266	method A, annex B, section B3.2	14.05 ⁵	metals, radionuclides, fluoride
tripotassium orthophosphate	potassium phosphate, tribasic	K_3PO_4	212.27	method A, annex B, section B3.2	22.4	metals, radionuclides, fluoride
trisodium orthophosphate	Sodium phosphate, tribasic	Na_3PO_4	163.94	method A, annex B, section B3.2	17.3	metals, radionuclides, fluoride