

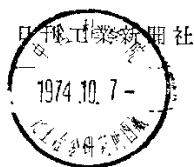
工業用水と廃水処理

岡本 剛／後藤克己／諸住 高 著

81.1911
342

工業用水と廃水処理

岡本 克
後藤 住
諸 岡



序　　文

本書は、工業用水と廃水処理の科学について全般的な知識を与えることを意図して書かれたものである。本書の前身である『工業用水と廃水処理』が工業化学全書の一冊として発刊されたのは今から8年ほど前のことである。

しかし、私どもが水資源の保全や、用、廃水による腐食障害などに関心をもって研究や実際の調査活動を始めたのは終戦後間もなくのことであった。ことに当時日本の唯一の残された資源地としての北海道に住む私どもとして、もし北海道で資源の開発や工業化を進めることになるならば、それはあくまでも自然との一体性を保ったものでなければならなかったと考えたのである。そして今は亡き大蔵武博上を初め何人かの同志とはかって、まず石狩川を初め道内主要河川の水質の実態調査を始めた。やがて本州にさがけて北海道には大気や水を対象とする公害対策審議会も発足することとなった。しかし、現実の日本の工業開発は、乏しい国内資源よりは、豊富な国外資源を輸入して本州中央地区に大工業地帯をつくり、活発な生産活動をすすめることにより、大きな経済効果をおさめることになった。それと同時に、かねて北海道で工業開発がすすめられた場合に私どもの危惧した問題が、広く本州中央地区でとりあげられる結果となった。

今や、環境の科学や工学は広く一般科学技術者の関心をもつべき重要な課題となった。しかし、このような学問は、いわゆる境界領域に属するために手頃な参考書も少ないようである。

今回、共同執筆者の一人である後藤克己博士が多忙な中で旧書にくまなく手を加えられ、新たに御自身の研究成果をふくめて内外の文献の紹介をされ、ここに茨を新たにして発刊されることになった。

この機会に、本書の生まれるにいたった背景をあきらかにするとともに、広く大学や高専方面の学生諸君や工場技術者に、本書に対する関心を求めたいの

である。水の科学技術のような環境科学はあくまでも総合的で地道な研究を必要とするものであり、本書を通してこの方面に興味をもち、実際活動の端としていただくなれば望外のよろこびであり、水の科学的研究ひとすじに生きられた大蔵博士もさぞ満足されるものと信ずる。

1972 年 10 月

岡 本 潤

目 次

I 工業用水概論

第1章 天 然 水

1.1 気 象 水	1
1.2 地 表 水	2
1.2.1 河 川 水	2
1.2.2 湖 沼 水	3
1.3 地 下 水	4
1.4 海 水	4
1.5 わが国の水質の特徴	5

第2章 水中のおもな不純物とその性質

2.1 水質試験と結果の表わし方	7
2.1.1 水質試験に当っての注意事項	7
2.1.2 濃度の表示法	8
2.2 炭酸ガス, pH, 酸度およびアルカリ度	9
2.2.1 炭酸ガスの溶解度	9
2.2.2 炭酸の解離と pH	10
2.2.3 pH と pH 緩衝能	12
2.2.4 酸度およびアルカリ度	12
2.2.5 炭酸による障害	13
2.2.6 炭酸ガスの除去	13
2.3 酸素および窒素	11
2.3.1 酸素および窒素の溶解度	14
2.3.2 酸 素	16
2.3.3 窒 素	17

2.4 カルシウム, マグネシウムおよび硬度	17
2.4.1 硬度の定義	17
2.4.2 硬度の表わし方	17
2.4.3 硬度の種類	18
2.4.4 硬度成分にもとづくスケール生成	19
2.5 鉄, マンガンおよびアルミニウム	24
2.5.1 鉄	24
2.5.2 マンガン	28
2.5.3 アルミニウム	29
2.6 ナトリウムおよびカリウム	30
2.7 ケイ酸	30
2.7.1 ケイ酸の化学的性質	31
2.7.2 天然水中のケイ酸の状態	32
2.7.3 ケイ酸による障害	33
2.8 硫酸および硫化物	33
2.9 窒素化合物	34
2.10 その他の微量成分	35
2.11 水中のコロイド物質, 濁度および色度	36
2.11.1 濁度, 透視度および透明度	37
2.11.2 色 度	38
2.11.3 濁度および色度の除去	39
2.12 臭 味	39
2.12.1 異臭味の強さ	39
2.12.2 臭味物質に対する感覚の個人差	40
2.12.3 異臭味の原因	40
2.13 酸化還元電位	42

第3章 工業用水の一般的処理方法

3.1 凝 集 法	49
3.1.1 粒子の大きさと沈降性との関係	50
3.1.2 微粒子の帯電現象	50
3.1.3 コロイドの凝結	55

3-1-4	高分子による架橋作用	57
3-1-5	凝 集 剤	58
3-1-6	凝集効果の試験法	62
3-1-7	凝集剤としてのアルミニウムイオンの性質	63
3-1-8	水の凝集処理に影響を与える諸因子	65
3-1-9	凝集沈殿処理装置	67
3-1-10	凝集剤の電解的添加方法	69
3-2	汙 過	72
3-2-1	緩速汙過と急速汙過	72
3-2-2	急速汙過の例	73
3-2-3	汙 材	74
3-2-4	集 水 装 置	76
3-2-5	プレコート汙過	77
3-2-6	汙材の組合せによる汙過効率の増大	77
3-3	イオン交換	77
3-3-1	イオン交換の原理	77
3-3-2	イオン交換の歴史	78
3-3-3	イオン交換反応の平衡	80
3-3-4	イオン交換樹脂の酸性と塩基性	80
3-3-5	イオン交換樹脂の製造原理	82
3-3-6	イオン交換樹脂の選択性の順序	84
3-3-7	イオン交換樹脂の架橋度	85
3-3-8	巨大網状構造樹脂	85
3-3-9	イオン交換樹脂の性能	86
3-3-10	イオン交換樹脂の再生操作	87
3-3-11	イオン交換による軟化	88
3-3-12	脱アルカリ軟化	89
3-3-13	イオン交換樹脂による純水製造	89
3-3-14	イオン交換樹脂使用上の問題点	92
3-4	イオン交換膜とその応用	94
3-4-1	イオン交換膜	94
3-4-2	イオン交換膜電解による脱塩の原理	94
3-5	ば っ 気	95
3-5-1	ばっ気の方法	95
3-5-2	ばっ気装置	96

3-6 脱 気	98
3-6-1 物理的脱気法	98
3-6-2 化学的方法による溶存酸素の除去	98
3-7 イオン封鎖	100
3-7-1 縮合リン酸塩	100
3-7-2 有機物	102
3-8 塩素処理および滅菌処理	103
3-8-1 水と塩素との反応	103
3-8-2 アンモニアとの反応	103
3-8-3 その他の滅菌法	105
3-9 その他の方法	105
3-9-1 吸 着	105
3-9-2 逆浸透法	106
3-9-3 電流、磁場などによるスケール防止	107

第4章 おもな不純物の除去方法

4-1 軟 化	111
4-1-1 石灰ソーダ法	111
4-1-2 リン酸塩法	112
4-1-3 イオン交換法	112
4-2 ケイ酸の除去	112
4-2-1 イオン交換法	113
4-2-2 金属水酸化物による方法	114
4-2-3 蒸 留 法	114
4-2-4 石灰ソーダ法またはリン酸塩法による軟化のときに マグネシウム塩を併用する方法	114
4-2-5 脱ケイ性ろ過材	115
4-3 鉄およびマンガンの除去	115
4-3-1 酸 化 法	115
4-3-2 接 触 ろ 過	119
4-3-3 凝 集 法	120
4-3-4 石灰ソーダ法	121
4-3-5 イオン交換法	121

目	次	5
4.4 硫化水素	122	
4.4.1 ばっ気法	122	
4.4.2 塩素による酸化	122	
4.4.3 その他の方法	123	
4.5 臭味の除去	123	

第5章 用水処理法各論

5.1 飲料水および一般工業用水	125
5.1.1 殺菌	127
5.1.2 残留塩素の除去	128
5.2 ボイラ水の管理	129
5.2.1 ボイラ水およびボイラ給水の水質基準	129
5.2.2 缶外処理	129
5.2.3 缶内処理と缶水調整	133
5.3 冷却水の管理	138

II 廃水概論

第6章 水質汚濁

6.1 公共水の汚濁の原因	141
6.1.1 自然現象にもとづく水質汚濁	141
6.1.2 農業および林業によるもの	142
6.1.3 鉱業によるもの	143
6.1.4 工業によるもの	143
6.1.5 家庭からの廃棄物による汚濁	144
6.2 廃水による被害の種類	144
6.2.1 美観およびレクリエーション上の問題	144
6.2.2 湖沼および河川の富栄養化	144
6.2.3 公衆衛生上の問題	146
6.2.4 水産業および農業に及ぼす害	146
6.2.5 構造物に与える害	146
6.2.6 工業用水に与える害	147
6.2.7 廃水処理に及ぼす害	147

6・3 水質汚濁の指標となる測定項目	147
6・3・1 pH	147
6・3・2 濁度および透視度	147
6・3・3 懸濁物	148
6・3・4 溶存酸素	148
6・3・5 COD	148
6・3・6 BOD	149
6・3・7 汚濁度の生物学的判定	151
6・4 魚類に対する廃水の影響	155
6・4・1 致死濃度と嫌忌濃度	155
6・4・2 50%生存濃度	156
6・4・3 混合物の毒性	158
6・4・4 魚に対する安全限界	158
6・5 稲作に対する廃水の影響	160
6・6 廃水の水質規制	160
6・7 問題となる廃水の水質	165

第7章 廃水処理の方法

7・1 はじめに	169
7・2 生物酸化法による廃水処理	170
7・2・1 はじめに	170
7・2・2 生物酸化の反応	170
7・2・3 生物酸化過程における細胞数の変化	171
7・2・4 生物化学的酸化反応の速度	172
7・2・5 速度定数の求め方	172
7・2・6 酸素消費速度に対する温度の影響	175
7・2・7 BOD曲線の対数表示	175
7・2・8 自浄作用	176
7・2・9 散水汙床法	178
7・2・10 間欠的砂汙過	180
7・2・11 酸化池	181
7・2・12 活性汚泥法	181
7・2・13 生物酸化法の問題点	186
7・3 嫌気性分解法	187

7-3-1 嫌気性分解	187
7-3-2 嫌気性分解過程に起きる変化	187
7-3-3 温度の影響	189
7-3-4 嫌気性分解に必要な時間	189
7-3-5 嫌気性分解を阻害する物質	190
7-3-6 嫌気性分解処理装置	190
7-4 中 和	191
7-5 酸化剤による処理	192
7-6 電 解 酸 化	193
7-7 還元法による処理	194
7-8 沈降分離および凝集処理	194
7-9 浮 上 分 離	195
7-10 イオン交換	196
7-11 濃縮燃焼と湿式燃焼	198
7-12 地下浸透処理	201
7-13 金属イオンの除去	201
7-13-1 中和による沈殿	201
7-13-2 イオン化傾向の差を利用する方法	205
7-13-3 その他の方法	206
7-14 界面活性剤	207
7-15 リン酸の除去	209
7-16 放射性物質の除去	210
7-16-1 放射性物質を含む水の種類	210
7-16-2 放射性物質の最大許容濃度	211
7-16-3 放射性元素の除去	211
7-17 廃水中から有用物の回収	212

III 用水・廃水に共通した諸問題

第8章 用、廃水における腐食とその対策

8-1 緒 論	215
8-2 腐食速度の実用単位と許容値	215

8.3 金属の腐食挙動を支配する諸因子	217
8.3.1 pH と溶存酸素濃度	217
8.3.2 Langelier 指数と腐食	219
8.3.3 細菌腐食	221
8.3.4 その他の不純物による腐食	224
8.3.5 温度の影響と高温水腐食	225
8.3.6 流動の影響	228
8.3.7 金属腐蝕抑制剤の影響	229
8.4 防食対策	231
8.4.1 耐食材料	231
8.4.2 構造設計による解決	233
8.4.3 環境処理	233
8.4.4 インヒビタ	234
8.4.5 表面被覆	235
8.4.6 カソード防食	236

第9章 生物による障害と対策

9.1 はじめに	241
9.2 生物による障害の種類	241
9.2.1 湖沼や貯水池における藻類の異常発生	241
9.2.2 スライムの生成	242
9.2.3 硫酸還元バクテリアによる障害	242
9.2.4 着床性生物	242
9.3 生物による障害の防止	243
9.3.1 栄養のシャ断	243
9.3.2 日光のシャ断	243
9.3.3 毒物の添加	243
9.3.4 その他の方法	245
9.4 スライムの除去	245

第10章 用、廃水処理の今後の問題点

10.1 工業用水の再使用	247
---------------------	-----

10・1・1	再使用にもいろいろの型	247
10・1・2	再使用の有利な点	248
10・1・3	重要性を増す水の再使用	248
参 考 書		249
索 引		巻 末

I 工業用水概論

第1章 天 然 水

化学的に純粋な水は天然には存在しない。天然の蒸留水ともいべき雨水ですら、大気中のちりをはじめ、つねに食塩などの無機塩類、酸素、窒素、炭素ガス、硝酸、亜硝酸などを含んでいる。工場地帯の降雨はまた、しばしば硫酸や亜硫酸を含んでいる。

地表を流れる水は、雨水に比べると、はるかに多くの不純物を含んでいることが多い。また、地下水になれば、さらに多くの不純物を含むのが普通である。このような水をそのまま工業用水として使用すると、スケール生成、腐食など、いろいろな障害の原因となることがあるので、ここに水処理が必要になる。

上の例からもわかるように、天然水の水質は水源の種類によって、かなりはっきりした特徴を示す。水処理装置の設計あるいは運転に当っては、このような特徴をよく理解しておくことが重要なので、水源をいくつかの種類に分類し、それぞれの特徴を述べよう。

1.1 気 象 水¹⁾

大気中の水蒸気、雲、霧、雨、雪などとして存在する水を気象水と呼ぶ。気象水はきわめて純粋であると思われがちであるが、台風時の降雨など、海から運ばれた塩分のため、30~50 mg/l にも及ぶ蒸発残物を含むことがある。雨水中の不純物含量は風向、風速などの気象条件や地理的条件によって左右され、また降りはじめと降り終りでも水質は異なる。

雨水のガス含量は、窒素、酸素、および炭酸ガスではほぼ飽和か、やや過飽和の値を示す。一般に、雨水は上空から降下するにつれて温度が上昇するが、温度上昇に伴って気体成分の溶解度が低下するので、ガスの放出が起きる。このときガスの放出が不完全であると過飽和になるのである。純粋な水は常温において $pH 7.0$ を示すはずであるが、雨水の

pH は 5.5~7.0 とやや酸性の値を示す。これは主として雨水中に溶解した炭酸ガスにもとづくものである。

わが国の平均降雨量は1年間約 1,700mm で、世界平均の 743mm に比べると2倍以上の降雨量に恵まれている。このため、わが国は、最近まで比較的水には恵まれていたが、工業の発展とともにしだいに良質の水が得がたくなり、新聞紙上をにぎわすような公害問題がしばしばおきるようになった。

1.2 地 表 水

地表水とは文字どおり地表に存在する水のこと、河川水と湖沼水とに大別できる。水が鉱物、岩石、土壌などと接触すると、これらのいろいろな成分が溶解する。したがって、地表水の水質は地質環境に大きく支配される。天然水には多かれ少なかれ炭酸ガスが含まれているが、炭酸ガスは岩石や土壌からいろいろな成分が溶け出すのを促進する。

2.2.1 項で述べるように、大気と平衡にある水の炭酸ガス濃度はわずか 1mg/l 程度に過ぎない。しかし、炭酸ガスは土壌や水の中の有機物の分解によっても供給されるので、炭酸ガスが過飽和になっていることが多い。

1.2.1 河 川 水²⁾

河川水の水質は、その流域の地質とか地形、あるいは人為的な環境に支配される。大きな河川では上流と下流とで地質環境の異なることが多いが、この場合には水質も上流と下流でいちじるしく異なるのが普通である。また、大きな河川では右岸と左岸、あるいは表水と底水とで水質・水温などを異にすることがある。また、河口近くでは海水が河川の底部に入り込んでいることが多い。海水の影響は思わぬほど上流まで及んでいることがあり、しかもこれが潮汐の影響を受けるので、取水に当たって十分注意しなければならない。

わが国の河川水の一つの特徴は溶解塩類の少ないことである。これは降雨量の多いことと地理的な条件で河川が比較的短いことに起因している。

河川水は、通常、地下水に比べ溶解成分が少ないので、この点では工業用水としてすぐれている。しかし、一方において気象条件の影響を受けやすく、降雨後に濁度の上昇を見ることが多い。また、水温や水質は季節的にも変動する。一般には溶解成分は渇水期に多くなる傾向がある。したがって、水処理装置の設計に当っては水質や水温の変動を十分考慮し、最悪の状態になったときにも対応できるようにしておかなければならない。

最近はまだ、河川水の人為的な汚染が各地で問題となっている。たとえば、上流に金属鉱山があれば、硫酸、鉄、マンガン、亜鉛、カドミウム、銅などの有害成分を含む廃水が混入するし、炭鉱からは石炭や粘土などの微粒子を含む廃水が放出される。また、製鉄工場や化学工場などから排出する廃水もいろいろな有害成分を含んでいるので、これらの廃水が混入した水の処理は多くの困難を伴う。

火山とか温泉などの自然条件によって水質の悪化する例も少なくない。たとえば、北海道の十勝岳から流れ出る美瑛川は、火山の影響で酸性が強く、硫酸イオンやアルミニウムイオンを多量に含み、工業用水あるいは農業用水としての使用が不適格になっている。

1.2.2 湖 沼 水³⁾

湖沼水の水質は季節的にあまり変化せず、また一般に濁度が小さいので、工業用水として適している。しかし、深い湖では、水質や水温が深さによっていちじるしく異なることがあるので、どの深さから取水するかが大きな問題となる。

深い湖では、夏季、表水は暖められるが深部までは熱が伝わらないので、水温はある深さのところで急に变化する。この部分を水温躍層 (thermocline) または変水層 (metalimnion) と呼ぶ。また、水温躍層より上の部分を表水層 (epilimnion)、下の部分を深水層 (hypolimnion) と呼ぶ。また、このように層に分かれる現象を成層 (stratification) といっている。

表水層では、対流、風などによるかきまぜ作用のため、水温や水質の深さによる変化は小さく、溶存酸素も豊富である。これに対し、深水層では熱量の補給がないため、夏季でも非常に低温である。たとえば、洞爺湖では深さ 20m ぐらいから下の層では夏季でも水の密度が最大になる 4°C に近い水温を示す。底水層では対流がほとんどないため表面からの溶存酸素の補給がない。したがって、微生物の作用で水中の有機物が酸化分解を受けると、溶存酸素の量が不足となり、かわって硫化水素を発生するような微生物が現われるようになる。このため深水層は還元性となり、Fe²⁺ や Mn²⁺ イオンが安定に存在できるようになる。このような現象は、微生物の繁殖のための栄養塩の多い湖、すなわち富栄養湖によく見られ、貧栄養湖ではあまり明確には現われない。

冬が近づいて表水の温度が 4°C 近くになると湖全体に対流が起き、湖水はよくかきまぜられる。さらに表水の温度が低下すると、水の密度は再び低下するため、表層水の温度が深層水の温度よりも低いという逆の成層をすることになる。春になって表層水が暖められると湖はもう一度かきまぜられて夏を迎える。

富栄養湖では日中は炭素同化作用のため、湖水中の炭酸ガスが消費される。このため湖水の pH が上昇し、また酸素が放出されるため溶存酸素が過飽和になることもある。また、富栄養化が進むと有害な藻類が発生して、異臭味の原因となったり、浄水器の目づまりを起こしたりするので、富栄養湖の水を使用する場合には注意しなければならない。

1.3 地 下 水

雨水や地表水が地下に集積したものが地下水である。地下水の水温や水質の季節変動は、地表水に比べるといちじるしく小さいのが普通である。地下水は一般にきれいで、細菌や濁りなども少ない反面、まわりの土壌や岩石との接触時間が長くなるため、地表水に比べ溶解塩類の多くなる傾向がある。地下水は、地下の環境により、流動している場合と停滞している場合とがあり、停滞している地下水には多量の第一鉄イオンを含むものが多いので注意を要する。

地下水の水質の特徴は、溶存酸素が少ないことである。また有機物が分解するような環境では一般に還元性で、多量の第一鉄イオンを含むことがある。有機物が分解すれば炭酸ガスが発生するので、地下水には炭酸ガスや重炭酸イオンを含むものがある。また嫌気性のふんい気では有機物が分解すればメタンガスが発生するので、メタンガスを伴う地下水が各地で知られている。

1.4 海 水⁴⁾

表 1.1 塩素量 19‰ の海水の組成 (‰, g/kg)³⁾

Cl ⁻	18.980
Br ⁻	0.065
SO ₄ ²⁻	2.649
HCO ₃ ⁻	0.140
F ⁻	0.001
H ₂ BO ₃	0.026
Mg ²⁺	1.272
Ca ²⁺	0.400
Sr ²⁺	0.013
K ⁺	0.380
Na ⁺	10.556
計	34.482

海水は多量の塩類を含んでいるので、その用途はほとんど冷却水に限られている。

海水中の塩類の総濃度は場所によって異なるが、各成分間の比率はほとんど一定である。したがって、ある特定の成分を測定すれば、他の成分の濃度は計算によって推定できる。このための基準としてはハロゲンイオンを用いるのが便利である。海洋学ではハロゲンイオンの総量を塩素イオン濃度に換算し、これを塩素量 (chlorinity) と呼びパーミルという単位で表わす。パーミル (per mille) というのは千分率 (g/kg に等しい) のこ