

淨水技術實務

給水技術士施工技術書
安全飲水處理基本技術
水廠工程人員案頭必携

丹保憲仁・小笠原紘一共著

科技用書

現代環境
主要參考

淨水技術實務

給水技術士施工技術書
安全飲水處理基本技術
水廠工程人員案頭必携

丹保憲仁・小笠原紘一共著

賴 耿 陽譯著
復漢出版社印行

中華民國七十五年十月出版

淨水技術實務

原著者：丹保憲仁——小笠原紘一

譯著者：賴耿陽

出版者：復漢出版社

地址：台南市德光街六五一號

郵政劃撥：〇〇三二五九——三號

發行人：沈岳林

印刷者：國發印刷廠

版權所有
翻印必究

平裝 二〇〇元
精裝 二〇四元

本社業經行政院新聞局核准登記局版台業字第〇四〇二號

序

本書的宗旨在使讀者瞭解確保水龍頭流出淨水的技術。近年人們很關心飲水的安全、衛生，實有必要正確瞭解都市用水的巔境和技術。

技術書常有一大堆困難的數學式，但本書以高中理科教育程度為知識基礎，解說有關水的各種環境現象和淨水操作，使關心水廠運作的人士瞭解技術。

本書是依問題配列，可挑讀必要部份，很快瞭解，當手冊用。本書若蒙給水配管技術人員，或建築設計師，乃至水廠人士置於座右，提供方便的資料，實編者望外之幸。

本書在日本全國簡易水道協議會的機關刊物「水道」以「中小規模水廠技術者的水質管理基礎」為題，從1981年9月到1984年7月分32次連載，重新編輯成書，以便各界人士應用。

編 者

1986年5月

第一章 水資源與水的利用

1.1 前言

近年大都市及其近郊為應付枯水所致的水不足，建設大規模水道，確保廣域水源。以往的下水道都盡量在靠海處放流，並推行廣域化，這有利於保持良好的河川水質，却使水只用1次就棄海，一旦上游部清淨的水源不足，就無水可用。在這種情況下，不直接把下水棄海，再度放回河川，在下游用為各種用途的水源。欲把用過的水用為自來水原水的話，須用很多經費和能源，利用各種淨水技術，謀求水質的安全（圖1.1）。

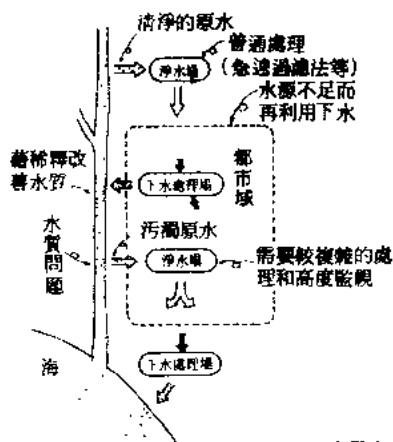


圖 1.1 水量與水質的關係

在未來可依存於乾淨水源的中小規模自來水，如何維持其良好狀態乃一重要問題，為此須以前瞻性保全水源而維持水質的安全。

在水質不大好的中小規模自來水，要研究如何改善水質，並檢討連

通近隣狀態良好的自來水，改善事態，謀求來自供水的安全與安定。水源不足的小規模自來水有時不得不劃入廣域自來水中。中小規模的自來水素來是在既有條件下努力，確保居民的健康和方便，今後須對應更複雜化的環境條件，需要更賢明的選擇。

在小規模自來水，水源污濁時，常不易單獨應付，有必要成為大規模自來水的一部份，以便能採用高級技術，包括淨水技術者的問題，都要力求完美（圖 1.2）。

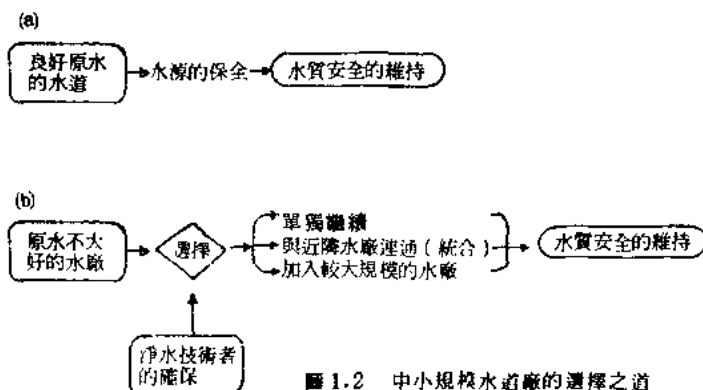


圖 1.2 中小規模水道廠的選擇之道

1.2 水的循環

1.2.1 水的大循環

地球上的生物全靠水維持生命，水是從天成雨、雪降下（降水），下雨的一部份滲入成為地下水，一部份直接往河川成為地表水（河川水或湖沼水等）流出，吾人的生活是利用地下水或地表水，地下水的一部份又成為地表水，地表水的一部份成為地下水，複雜往來，滋潤生命，滲入地上或地下的不純物而流出海，入海的水被太陽照射，成為水蒸氣升空，不久冷卻成水滴，成為雨降回地上，如此構成水的大循環（圖 1.3）。

促成水大循環的是來自太陽的熱能，太陽使海、地上的水蒸發，從海水等作成真水（宛如大規模的水處理裝置），也把水移到水源地帶（宛如泵浦）。



地球上人人用水，用過的劣質水藉太陽和海的大自然機構（淨水裝置、泵浦）再生，單是日本周圍每年就製造 6000 億 m^3 的淡水，輸送於國土上。

藉太陽和大洋不斷再生，又藉太陽運到數千 m 高山的斜面，落到地上的淡水在回到大海的途中被吾人利用。

圖 1.4 地球上各種形態之水的存在量，吾人利用的常是淡水。淡水

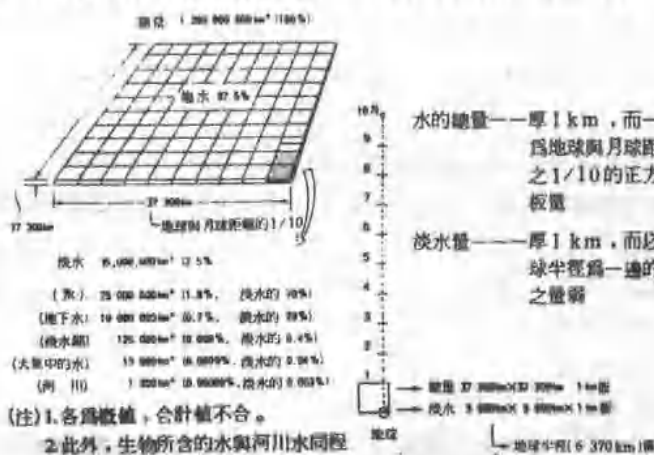


圖 1.4 地球上的水量

大半為南極與北極的冰，但遙不可及，因而吾人主要用雨水回歸大海途中的河川水、湖沼水、地下水等淡水。

水的循環速度如何？日本河川最長只 200~300 km，地表水 1~2 天便出海，地下水約 1~2 年才出海。在空中成水蒸氣存在的期間最長約 10~15 天（圖 1.5）。

因而在太陽泵浦，淨水場的水循環最快約 2 週可使淡水再生巡迴，此期間若有氣象變動，循環會加速或減緩，洪水或枯水即以河川流量表現此種水循環速度的快慢。

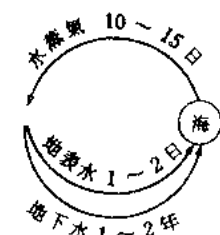
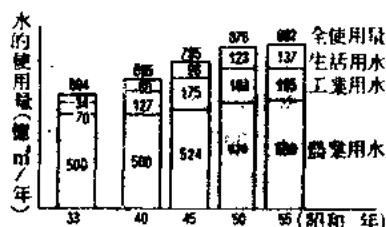


圖 1.5 水的大循環速度

1.2.2 水利用與水循環

在此大循環中，以山上流下的水為原水，吾人用為自來水，利用量最大的是農業用水，其次為工業用水、生活用水（圖 1.6），在此只談生活用自來水。



（注）昭和 50、55 年值為國土廳，其他為建設省的資料

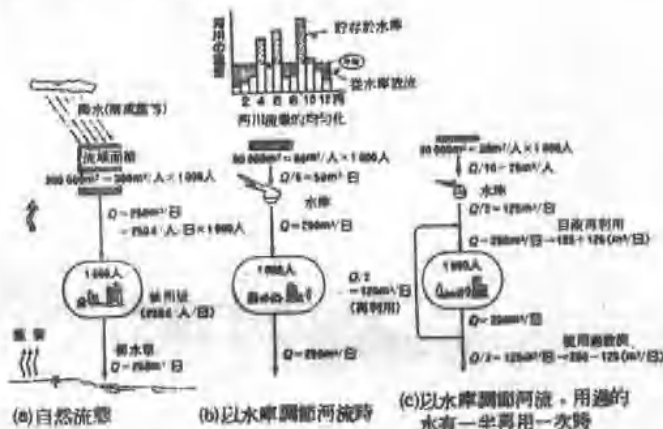
圖 1.6 各用水使用量的推移（日本）

在河川上游取水的話，常為乾淨水，水質接近太陽再生的水，吾人建設水管供應水質適合飲用的水。以水管輸送而用過的水最後成為下水，再回到河川，在某大流域中，水利用規模較小而且居上游時，較可利用豐富的上等水，隨時可取得必要量的水，只經較簡單的處理，即可供水。也可利用緩流而量少的乾淨地下水，容易達成日本水道法第一條揭示的目的「廉價供給清淨而豐富的水」。

每人每天平均需要 250ℓ 的生活用水。在日本之類貿易風（monsoon）地帶，夏冬河川流量少，春秋多。在枯水期，集水域 1km^2 只有約 $0.01\text{m}^3/\text{sec}$ 的水流出河川，每 1 在上游須有約 300m^2 水源池，才能獲得必要的水。

都市大而人口多的話，上游集水面積相對不足，每人無法確保上述面積，得不到必要的水。

對策是用水庫等貯存春秋較多的融雪或颱風雨，在枯水期放出，彌補不足的水量。在日本的平均河川，枯水期的流量與平均流量相差約5倍，若作成水庫而使河川流量完全均勻的話，每人在上游有約60m²的水源地，即可運用自來水（圖1.7）。



為使流域的下雨不馬上流出，確保森林等地表面的厚植，或積極造林，減少每人必要的上游面積是水資源基本的保全對策。若上游有良好的森林，下雨的不少部份一度貯存於地下，效果如同水庫，大火山區等的降水量大都一度貯存地下，河川流量不變，如此把雨水貯存地下而利用乃保持水源的最好形態，此效果不只是水量，水質也可保持清潔，所以，水源林的維持在水利用上是最重要的對策。

如此，雨成為地下水或地表水流行的途中，人們從水管取水支持都市、村落的生活。

日本的地下水常清潔而良質，但因地形複雜而小規模，不易成為大量水的水源，大都局限於小規模的水利用，所以自來水源大都為表流水（河川水、湖沼水）。

運到都市的水供飲用、洗滌、溶解、搬運、溫度調整等，以洗滌

爲例，水溶解臉上污物而以水搬運；沖水廁所的水是利用水的大搬運力，溶化污物的性質也保持便器清淨。

如此利用水的各種性質的結果，附加各種不純物，成爲下水流出下游，通常，在此種下水的污濁成分中，在河川立即分解或沈澱而使河水急速劣化者在下水處理場除去後，排出河川或沿岸。

在下水處理場等無法除去的很多成分或其他自然或田園等廣大面積的人類活動產生的成分直接流入海中。水藉太陽蒸餾成爲水蒸氣而再生，再回到水源地域（圖 1.8），水源地域面積不足，無法依都市的需要充分供給新水時，須再利用下水或把海水淡水化。

這些方法是集中大量人工能源進行太陽在海上的工作，以小規模循環迅速使水巡迴。以化石能量（石油等）、核能，取代土地的不足，維持必要的快速水循環。

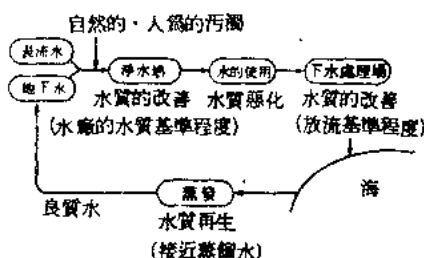


圖 1.8 水的利用與水質的再生

1.3 水的不純物

1.3.1 水的性質與不純物

水是氫(H) 2 原子與氧(O) 1 原子組成分子式 H_2O 的化合物，水的一部份分爲 H^+ 與 OH^- 之類陽離子（氫離子），陰離子（氫氧基離子），pH是表示 H^+ 濃度的指標，水中的 H^+ 與 OH^- 濃度（模耳濃度）乘積爲 $10^{-14} (mol/l)^2$ ，

亦即

$$[H^+] \times [OH^-] = 10^{-14} (mol/l)^2$$

$[H^+]$, $[OH^-]$ ：氫離子與氫氧基離子的模耳濃度(mol/l)。

〔注〕模耳濃度：溶液1 l中所含溶質以化合物模耳數表示的濃度。

例：單位為 mol/ℓ 或 M 。

氫(H)的原子量為1，氯(Cl)的原子量為35.5，氯化氫(鹽酸)(HCl)分子量為 $1 + 35.5 = 36.5$ ，溶液 1ℓ 中含 $36.5g$ HCl 的溶液(鹽酸)模耳濃度為 $1\text{mol}/\ell$ 。

H^+ 為 $10^{-5}\text{mol}/\ell$ (此時為 $pH5$)時， OH^- 只為 $10^{-9}\text{mol}/\ell$ ， H^+ 為 OH^- 的 $10^{-5} \div 10^{-9} = 10^4 = 10000$ 倍濃度， H^+ 表示酸性， OH^- 表示鹼性，此時， H^+ 居優勢而成酸性水， H^+ 為 $10^{-7}\text{mol}/\ell$ 時， OH^- 也須為 $10^{-7}\text{mol}/\ell$ ，酸的 H^+ 與鹼的 OH^- 相等，此水成中性。

表示酸性、鹼性的 pH 是 $[H^+] = 10^{-x}\text{mol}/\ell$ 時的 x 值， x 小於7時為酸性，大時為鹼性，7表示中性。

圖1.9為水的構造模式，分子記號為 H_2O ，水分子的 H 不只與本身的 O 牢牢結合，也與近隣的水分子的 O 鬆結合(圖1.10)，亦即氫原子的電子也常運動到相隣水分子的氧原子，致使相隣的水分子間相吸引，此種鬆結合稱為氫鍵，造成水有某種粘性，此稱水的粘性。

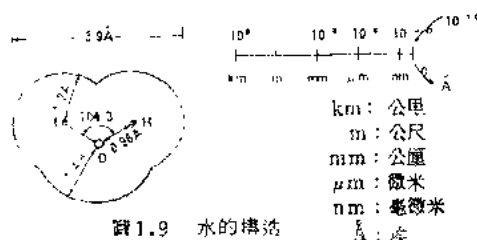


圖1.9 水的構造

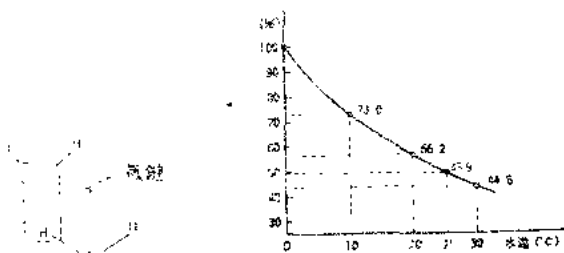


圖1.10 水分子的結合 圖1.11 水粘性的變化(0°C的粘性為100時的比)

水的粘性在溫度從 0°C 升到 25°C 時，減小約一半（圖 1.11），這表示熱帶或夏天的水比寒帶或冬天的水稀疎一半，因而，欲洗淨自來水的急速過濾池時，夏天需要的流量約為冬天的 2 倍，否則，過濾的砂不充分膨脹，洗淨效果不好。

普通物質是固體密度大於液體，水却是液體密度比固體（冰）大，所以冬天時冰飄於水表面，冰塊浮於水，這是由於水為液體時，圖 1.12 的 Y 形構造彼此糾纏，冰却整齊配列，分子間間隙反而增大。

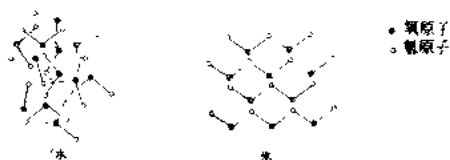


圖 1.12 水分子在液體（水）固體（冰）的配列

不只水，所有分子都一直有稱為熱運動的細振動，溫度下降時，此運動漸鈍化，分子間的間隔減小，因而，密度隨之增大，水的密度在 4°C 成最大，在此以下時，局部成冰的構造，密度反而減小（圖 1.13）。

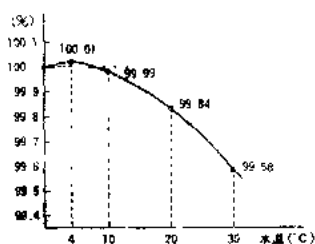


圖 1.13 水密度的變化
(0°C 的密度為 100 時的比)

溫度增高時，密度減小，在大氣壓下，達 100°C 時，熱所致的分子運動比分子與分子的引力強，結合狀態破壞，成為氣體（水蒸氣），此時需要切斷結合的大能量， 1g 水需要約 539cal 熱量（這與使水升溫 539°C 所需熱量相同）。

同樣，成為冰而牢牢結合的水分子加熱，使分子激烈振動而成液體（水）時（使 0°C 的冰成為 0°C 的水）， 1g 水需要約 80cal 的熱量，如此，溫度不變，狀態改變所用熱量稱為潛熱，改變同狀態水溫的熱量稱為顯熱，使常溫的水 1g 升溫 1°C 的顯熱量為 1cal 。

各種不純物溶入水中，形成吾人實際使用的水，表 1.1 依起源或水處理分類水中不純物。

表 1.1 水中不純物與其起源

不純物 區分 起源	懸濁性成分	膠質性成分	溶 解 性 成 分			
			氣 體	非離子性	陽離子性	陰離子性
無機 起源	無機性 土壤及 岩石	粘土, SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MnO_2	CO_2		Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+}	HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , CO_3^{2-} , OH^- , HSO_4^- , H_2BO_3^- , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , F^-
	大 氣		N_2 , O_2 , CO_2 , SO_2		H^+	HCO_3^- , SO_4^{2-}
有 機 起 源	動植物 死 骸 (表上) 有機性廢物	植物性色素 有機性廢物	CO_2 , NH_3 , O_2 , N_2 , H_2S , CH_4 , 臭氣成分	植物性色素 有機性廢物	Na^+ , NH_4^+	Cl^- , HCO_3^- , NO_3^- , NO_2^- , OH^- , HS^-
	動植物 生物體	魚類, 藻類 , 微生物 , 藻類				
	化學工 業製品		DDT, BHC, PCB 等的石油化合物為主體			

水質通常指這些不純物的種類和量。

水中不純物依其存在狀態分為固體、液體、氣體三狀態，依其尺寸（大小）大別分為懸濁質、膠體質、溶解質。

懸濁質通常有細孔徑 $0.45 \mu\text{m}$ (0.00045mm) 濾紙所濾除的尺寸，與一般的濁度大致對應，此種懸濁成分來自雨水所致土壤（無機質及有機質）的流出、產業、都市廢水等的有機、無機成分。

尺寸 $1 \mu\text{m} \sim 1\text{nm}$ 的不純物稱為膠質 (colloid)，水中膠質成分種類很多，粘土質等無機濁質，以色度表示的有機着色成分（泥炭地水中的腐黑物 (humins) 等），細菌、病毒等微生物屬此類，它們為通常淨水場處理的不純物代表性成分。

膠質成體的特色是以燒杯等取水而照射光線時，其光路會浮白，此稱 Tyndall 現象，在顯微鏡下，可看出膠質粒子被布朗運動（熱運動）水分子衝撞而無秩序運動。不過在普通顯微鏡下很難觀察此種膠質宜用限外顯微鏡、雷射顯微鏡。

此種膠體粒子的特色是表面帶同種類電荷，粒子相斥而不彼此合體，安定分散於水中（圖 1.14），水中膠質為中性 pH，常帶負電荷，包括粘土、玻璃粉、氧化矽、有機物、細菌等，鋁、鐵等膠質會因 pH 而使其電荷正負大變化。利用鋁的凝集處理是藉有正電荷的鋁膠質，中和自然存在的負膠質粒子電荷而集塊。

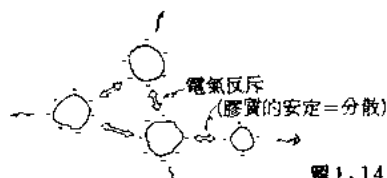


圖 1.14 膠質粒子的分散

通過濾紙的成分常稱為溶解性成分，前述的膠質有時區分為溶解性物質。含有膠質的溶液有時稱為膠質溶液，通常對應於含 $1\mu\text{m}$ 以上懸濁質的粗懸濁液，稱為膠質懸濁液。

真正意義的溶解性成分是水中原子或離子之類與水分子相隣而大小差不多的成分。它們的舉動與水分子出雙入對，不易分離，這些成分中，無機成分大都成為正離子、負離子存在水中，此離子在水中搬運電荷，所以，存在（溶入）的離子性無機成分愈多時，電傳導度愈高。

溶於水中的成分不全成為離子，自來水原水之類不純物極少的水，無機物有時也以塩（正離子與負離子結合成的中性化合物）形存在。

此種非離子性的溶解性成分大都成為有機成分，在都市排水或產業廢水等流入的河川等，含有生物難分解性的複雜有機物，分解性良好而尚未分解終了單純有機物等，前者進入自來水中可能引起各種問題，DDT、BHC、PCB 等氯化有機物常成問題。後者是下水處理不充分而流入水源，在水中分解而使水腐敗，增殖細菌或微生物，威脅水源的衛生，此成分以 BOD（生化耗氧量）。

另一溶於水中的成分是氣體，主要為空氣的主成分氧（ O_2 ）、氮（ N_2 ）、二氧化碳（ CO_2 ）等，這些氣體溶於水的比率（溶解度）極低，空氣中占 21% 的氧也只溶解 10 ppm，水中微生物分解少許有機物也會用完有限的氧，使水嫌氣化（水中失氧的狀態）而腐敗。深湖底或冰覆蓋的淺湖等常缺氧而嫌氣化的原因在此。水嫌氣化時，大部份生物死亡，水中或水底的有機物腐敗（嫌氣分解），發生甲烷氣（ CH_4 ）、硫化

氫氣(H_2S)，放出惡臭。空氣中的二氧化碳溶於水成碳酸，所以雨水呈pH5.6 弱酸性乃正常狀態。二氧化硫等造成大氣污染使大氣中的雨水含硫酸，pH降為2或3，稱為酸性雨，在石灰岩少的地域(北歐、日本)等，會降低河水的pH，造成大問題。

1.3.2 水的利用與不純物

人必要的水內容大別分為

①維持生命必要的水。

②文明生活必要的水(生活用水、公共用水、產業用水等)。

維持人生命是每人每天需2~2.5ℓ，此量會因運動或作業量而增加數倍。都市生活必要的水量是1人1天200~450ℓ，其中家庭用水(一般家庭用水)用於調理、洗衣、洗澡、洗手、沖水廁所、澆水等，日本是每人每天200ℓ。

由表1.2可知都市規模愈大時，1人1天使用量愈大，理由是大都市的家庭用水使用量比小部落高，公共用(醫院、學校、車站等)，產業用(工業、商業等)水占全水量的比率增加，反映於居民1人的供水量。

依水的作用分類為生命維持用水，物質的溶解、洗淨用水、搬運用水、溫濕度調節用水等。

自來水常以一系統的供配水設施把都市用水送到市民家中，水質須適合所有用途，因而供給的水即為可飲用的水，此種水可安心用於其他所有用途。

自來水須滿足飲用水的水質標準，日本水道法的水質基準值示於表1.3。

決定水質的因子可分類如下：

①動物所致的污染(氮化合物、氫離子、過錳酸鉀消費量、大腸菌群、一般細菌等)。

表1.2 水廠規模別1人1日的給水量
(昭和58年度)(單位:ℓ/人/日)

給水人口的水廠規模		日最大給水量	日平均給水量
上水	100萬人以上	515	418
	50~100萬人	486	389
	25~50萬人	485	376
	10~25萬人	454	356
	5~10萬人	474	361
水道	1~5萬人	462	336
	1~0.5萬人	480	328
平均		483	374
簡易水道		385	267

表 1.3 自來水的水質基準

說 明	項 目	基 準 值
不含被病原生物污染或懷疑被病原生物污染的生物或物質	硝酸性氮及亞硝酸性氮	10mg/ℓ 以下
	氯離子	200
	有機物等 (過錳酸鉀消費量)	10
	一般細菌	100 / ml
	大腸菌群	檢不出
不含氟、汞及其他有毒物質	氟離子	檢不出 *
	水 銀	"
	有機磷	"
不含超過容許量的銅、鐵、氟、酚類及其他物質	銅	1.0 mg / ℓ 以下
	鐵	0.3 "
	錳	0.3 "
	鋅	1.0 "
	鉛	0.1 "
	六價鉻	0.05 "
	鎘	0.01 "
	砷	0.05 "
	氟	0.8 "
	鈣、鎂等 (硬度)	300 "
	蒸發殘留物	500 "
	酚類	0.005 "
	陰離子界面活性劑	0.5 "
不呈異常酸性或鹼性	pH 值	5.8 ~ 8.6
無異常臭味, 但消毒所致的臭味除外	臭 氣	無異常
	味	"
外觀幾乎無色透明	色 度	5
	濁 度	2
(暫定的水質基準)	三鹵甲烷	0.1 mg / ℓ 以下
	三氯乙烯	0.03 "
	四氯乙烯	0.01 "
	三氯乙炔	0.3 "

(注) *用所定的分析法

②有機、無機的有毒物質（氫、汞、有機磷、六價鉻、砷、氟、鉛、酚類、鎘等）。

③有損外觀的有害物質（鐵、錳、濁度、色度、味、臭、陰離子界面活性劑等）。

④表示水正常程度的總合指標項目（pH、硬度、蒸發殘留物等）。

表 1.4 為各種水質項目的意義與其內容。

這些項目中，生物試驗——特別是細菌學試驗的檢出感度高於其他項目，敏感表現水源或自來水設施內因排泄物等所致的污染。最常用的指標為大腸菌群，大腸菌群存在直接表示水被動物排泄污染。水系傳染病的傷寒、霍亂等病原菌甚少於大腸菌，在水中的壽命也短，所以，在大腸菌幾乎消滅的狀態，可說不會發生水系消化器系傳染病。

自來水用戶常直接抱怨的只是外觀、感覺上的問題，引起健康障礙的有害物成問題的只是發生極重大人身事故時，因而，水質成分——特別是分次微量而長期成問題的有毒有害成分須有專門性的檢討。

水質基準項目中的六價鉻、砷、氟、有機磷、汞、鎘等是因發生重大健康障礙才附加。雖藉水質試驗檢定水的安全，也只是分析的項目，很難完全否定毒物的存在，要盡量使自來水水源隔離可能有此種污染成分混入的流域，利用上游清澄的溪流或地下水。

自來水需要量增多後，很難只依賴此種污染機會少的水源，只好把取水口降到下游，依需水量的增大，強化水處理，確保自來水的安全。有充分水質管理能力的大水廠也許可應付到某種程度，中小水廠就難充分應付。

水廠規模擴大到超出可得清澄水質的界限量時，無異是自來水的自發行為，雜用的水即使依賴附近的河川、水池或其他通常的公共水源，不加給水量也常是確保良質飲水的要件。

1.3. 水質基準

表 1.3 的水質基準（日本厚生省令）規定自來水應有的水質，日本以水道法規定自來水的水質須在此省令數值以下，為維護人的安全，須遵守此數值。但是，其他國家未必都以法律規定自來水等的水質須如何，而採用依據各種觀念（定義）的數值。

此觀念可區分為四：