



アジアの都市の飲用水事情と浄水器の開発

The Drinking Water Situation in Asian City
and the Development of Water Purifier工学博士 石川 精一
Seiichi Ishikawa

1. 緒言

二、三十年前までは、ミネラルウォーターは当然のことながら、お茶さえも自動販売機では売られていなかったが、今では、途上国でもミネラルウォーターを利用している状況にある。わが国では、水道水問題に端を発し、安全な水、おいしい水、さらには体に良い機能水と人の要望も高度で多様なものとなっている。

アジアの都市を始め、世界の浄水処理では Al 系凝集剤による凝集沈殿処理、砂ろ過による固液分離、塩素消毒が一般的であるが、水道原水の水質や管渠、維持管理等の問題で、安全に飲める水道水は少ない。そこで、膜処理を主体とした飲用水の製造・販売等の水ビジネスが展開されつつある^{1,2)}。しかし、わが国での飲用水の製造とは異なって、外国での製造は様々な課題がある。本報告では、アジアの都市の飲用水質事情を紹介し、飲用水製造における課題と対策について述べる。

2. 飲用水基準

2.1 日本の水道水質基準

塩素処理生成物やクリプトスポリジウム、環境ホルモン、ダイオキシン類、農薬等の問題が提起され、平成 16 年 4 月 1 日から新たな基準が施行されることになった³⁾。水質基準は 13 項目が追加、9 項目が削除されて 50 項目となった。その他、27 の水質管理目標設定項目、40 の要検討項目及び 101 の農薬類の目標値が設定された。

2.2 「おいしい水」の基準

昭和 60 年、厚生省「おいしい水委員会」は、「お

いしい水」として表 1 の要件を示した⁴⁾。

表 1 「おいしい水」の要件

水温	(°C)	最高 20°C ≥
蒸発残留物	(mg/L)	30-200
硬度	(mg/L)	10-100
遊離炭酸	(mg/L)	3-30
臭気強度	(度)	3 ≥
KMnO ₄ 消費量	(mg/L)	3 ≥
残留塩素	(mg/L)	0.4 ≥

昭和 63 年、橋本奨は、「おいしい水」の指標 (O index) を示し、2 以上で「おいしい水」とした⁵⁾。

$$O \text{ index} = (\text{Ca} + \text{K} + \text{SiO}_2) / (\text{Mg} + \text{SO}_4)$$

北九州市水道局においても、平成 5 年、表 2 のような指標を示し、100 を超えるほど「よりおいしい水」としている。

表 2 「よりおいしい水」の指標

①	(2 - 色度) / 5
②	(0 - 臭気強度) / 3
③	(3 - KMnO ₄ 消費量) / 3
④	(0.4 - 残留塩素) / 1
⑤	(0 - トリハロメタン) / 0.1
⑥	(100 - 総硬度) / 300
ただし、10-100 の範囲は 100 とする。	

$$(\text{①} + \text{②} + \text{③} + \text{④} + \text{⑤} + \text{⑥}) \times 10 + 100$$

2.3 医療用水の基準

例えば、透析用水について、平成 19 年に開催された第 52 回日本透析医学会総会学術委員会で提案された基準は、細菌数 100,000 CFU/L 未満、エン

ドトキシシ 50 EU/L 未満である⁶⁾。

3. アジアの都市の飲用水質

3.1 水道水

表 3 アジアの都市の水道水質

	A国	B国①	B国②	C国
pH	7.40	7.12	7.13	7.74
濁度 (度)	6.0	0.0	0.0	0.3
色度 (度)	0.0	6.0	2.5	1.9
TOC (mg/L)	4.8	2.8	2.7	0.8
EC (mS/m)	38.8	12.0	11.6	14.6
Ca (mg/L)	-	9.0	8.6	15.0
Mg (mg/L)	9.08	1.50	1.61	5.22
K (mg/L)	4.77	-	-	-
NO ₃ -N (mg/L)	1.90	-	-	0.51
NO ₂ -N (mg/L)	0.005>	-	-	-
PO ₄ -P (mg/L)	0.20>	-	-	0.20>
SO ₄ (mg/L)	49.1	-	-	22.0
F (mg/L)	0.25	-	-	0.01>
Cl (mg/L)	20.3	-	-	4.0
Br (mg/L)	0.1>	-	-	-
Al (mg/L)	-	0.19	0.17	2.05
Cd (mg/L)	0.012	-	-	-
Pb (mg/L)	0.020	-	-	-
Cu (mg/L)	0.005	0.012	0.015	0.020
Zn (mg/L)	0.011	0.064	0.023	0.273
Fe (mg/L)	0.055	0.061	0.032	0.600
Mn (mg/L)	0.010	0.010	0.007	0.006
T-Cr (mg/L)	0.167	-	-	-
Ni (mg/L)	0.011	0.039	0.026	-
一般細菌(個/mL)	300	-	-	-
大腸菌 (個/mL)	検出	-	-	-

(-: 測定しなかった。□内: 日本の水道水質基準値または目標値を超えている。以下の表も同様。)

表 3 に A 国、B 国及び C 国⁷⁾の水道水質の一例を示した。浄水処理は、河川水を沈殿池に導入して、その後 Al 系凝集剤で凝集沈殿処理を行っているが、日本の水道水に比べ、濁度や色度が高く、TOC が大きな試料もある。

A 国では、Cr や Ni メッキを行う自動車整備や Hg を用いる金細工、染色等が盛んであるが、排水処理や水質監視が行われていないので、水質汚染に繋がっている。Cd や Pb、T-Cr、Ni 等の金属濃度も高く、原水から除去できていない。また、TOC で示されるように、有機物が多いため塩素が消費されてしまい、一般細菌が多く、大腸菌も検出されている。B 国では Ni が日本の水道水質目標値を、C 国では Al が基準値を超えている。

3.2 地下水

表 4 に A 国の家庭井戸水水質の一例を示した。

表 4 A 国の井戸水の水質

	井戸水①	井戸水②	井戸水③
pH	7.07	7.16	7.14
濁度 (度)	6.0	7.5	3.2
色度 (度)	0.9	0.6	25.5
TOC (mg/L)	11.1	9.7	12.6
EC (mS/m)	72.8	86.6	142
Mg (mg/L)	21.0	23.4	38.6
K (mg/L)	10.7	15.2	21.2
NO ₃ -N (mg/L)	2.08	6.19	2.57
NO ₂ -N (mg/L)	0.005>	0.005>	0.005>
PO ₄ -P (mg/L)	1.10	1.40	1.00
SO ₄ (mg/L)	9.00	17.4	1.90
F (mg/L)	0.05>	0.05>	0.05>
Cl (mg/L)	30.7	35.2	116
Br (mg/L)	0.1>	0.1>	0.1>
Cd (mg/L)	0.011	0.010	0.015
Pb (mg/L)	0.005>	0.005>	0.005>
Cu (mg/L)	0.010	0.020	0.041
Zn (mg/L)	0.016	0.019	0.014
Fe (mg/L)	0.020	0.063	1.30
Mn (mg/L)	0.245	2.14	1.98
T-Cr (mg/L)	0.120	0.148	0.139
Ni (mg/L)	0.052	0.025	0.023

濁度や色度は水道水質基準値を超えており、TOC も日本の中小都市を流れる河川程度で飲用にはならない。し尿の地下浸透が行われているためと考

えられる。この地域では、ミネラルウォーターを飲用水に使用し、水道水は料理や洗濯に、井戸水は洗濯やシャワー、便所用に使用している。

住宅以外に豆腐工場(1ヶ所)、パン工場(1ヶ所)、病院(2ヶ所)、小学校(1ヶ所)、中学校(1ヶ所)があり、これらの排水の影響も考えられる。また、CdやFe、Mn、T-Cr、Ni等の金属汚染も見られる。

3.3 ミネラルウォーター

表5にA国、表6にB国⁷及びC国⁷のミネラルウォーター水質の一例を示した。

表5 A国のミネラルウォーターの水質

	A国①	A国②	A国③	A国④
pH	6.68	7.85	7.64	7.79
濁度 (度)	0.2	0.0	0.6	0.2
色度 (度)	1.5	0.0	0.0	1.0
TOC (mg/L)	0.3	0.9	0.9	0.4
EC (mS/m)	29.4	22.0	13.3	22.6
Ca (mg/L)	-	487	144	7.6
Mg (mg/L)	7.59	328	142	27.5
Na (mg/L)	-	140	62.7	26.4
K (mg/L)	2.15	0.05>	0.05>	-
NO ₃ -N (mg/L)	0.73	1.37	5.53	0.30
NO ₂ -N (mg/L)	0.005>	0.005>	0.005>	0.005>
PO ₄ -P (mg/L)	0.58	0.05>	0.05>	0.05>
SO ₄ (mg/L)	1.65	5.12	2.63	0.85
F (mg/L)	0.05>	0.05>	0.05>	0.05>
Cl (mg/L)	1.8	12.7	3.1	1.0
Br (mg/L)	0.1>	0.1>	0.1>	0.1>
Al (mg/L)	-	-	-	-
Cd (mg/L)	<u>0.012</u>	0.001>	0.001>	<u>0.011</u>
Pb (mg/L)	0.005>	<u>0.030</u>	<u>0.021</u>	<u>0.013</u>
Cu (mg/L)	0.005	0.479	0.005>	0.005>
Zn (mg/L)	0.010	0.335	<u>1.07</u>	0.001>
Fe (mg/L)	0.007	0.001>	0.001>	0.039
Mn (mg/L)	0.006	0.043	0.044	0.009
T-Cr (mg/L)	0.112	0.014	0.012	0.013
Ni (mg/L)	<u>0.036</u>	0.005>	0.005>	-

表6 B国及びC国のミネラルウォーターの水質

	B国	C国
pH	7.16	7.41
濁度 (度)	0.1	0.1>
色度 (度)	0.5>	0.5>
TOC (mg/L)	0.5	0.2
EC (mS/m)	61.1	28.2
Ca (mg/L)	6.5	0.1>
Mg (mg/L)	1.12	0.05
NO ₃ -N (mg/L)	0.73	0.18
NO ₂ -N (mg/L)	0.020	0.005>
PO ₄ -P (mg/L)	0.12	0.12
SO ₄ (mg/L)	8.00	0.05>
F (mg/L)	0.06	0.08
Cl (mg/L)	9.0	7.0
Br (mg/L)	0.1>	0.1>
Al (mg/L)	<u>2.70</u>	<u>1.70</u>
Cu (mg/L)	0.005>	0.045
Zn (mg/L)	0.001>	0.004
Fe (mg/L)	0.001>	0.001>
Mn (mg/L)	0.005>	0.005>
Ni (mg/L)	0.005>	0.008

ミネラルウォーター中にも金属類が検出され、Al、Cd、Pb、Zn及びNiが日本の水道水質基準値または目標値を超えている。A国の②、③はCaやMgを多く含むが、C国のものは少なかった。

金属類は陽イオン交換樹脂で除去できそうであるが、実際には、CaやMg等に食われて除去できない。また、RO膜を使用するとミネラル分も除かれてしまう。著者らは、ミネラル分を残し有害金属類を除去する方法を検討している。

4. 浄水器の例

浄水器の製造において、飲用水製造に適した膜の選択が必要である。図1に示すように、MF膜の段階で細菌類を、UF膜ではウイルスも除去できるものがある。NF膜ではSO₄等の比較的大きなイオンを除去できるものがあり、RO膜はNaやClイオンを99%以上除去可能であるため、海水の淡水化に利用されている。飲用水製造用にはUF膜、NF膜、

RO 膜が利用されているが、RO 膜ではおいしい成分も除かれ、また、体にも良くない。

現状では、各処理部品を組み合わせただけの浄水器が多く、洗浄を圧力の増加を見て行ったり、使用期間を決めて膜を交換している。これでは、コストがかかり、また、洗浄に薬剤を使用するため、膜の劣化や環境に負荷をかける。今後は、膜処理システム全体について工夫し⁸⁾、ファウリングを起こさず、低コストで長寿命のものを製造する必要がある。ここで、著者らが係わった浄水器の問題点等を示し、最後に、著者らが開発した膜処理システムを紹介する。

大きさ・孔径	1.0^{-6} cm 1A	1.0^{-7} cm 10A	1.0^{-8} cm 100A	1.0^{-5} cm 1000A	1.0^{-4} cm 1μm	1.0^{-3} cm 10μm
分離対象	CL ⁻ OH ⁺ H ⁺ Na ⁺ Ca ²⁺	しょ糖	フミン酸	各種ウイルス	コロイドシリカ	油エマルジョン ラテックス 大腸菌 ブドウ状球菌
膜分離法					精密ろ過膜 (MF)	
					限外ろ過膜 (UF)	
						ナノろ過膜 (NF)
						逆浸透膜 (RO)

図1 各種膜のろ過可能物質

4.1 スーパー浄水アクア

北九州市が平成9年に開発した、水道水を原水とした、活性炭、フィルター、特別なNF膜及び紫外線ランプから成る浄水器で、おいしい成分は通し、味を悪くする成分や重金属、化学物質等の有害成分を除く優れた浄水器で、最大10 L/minの処理水が得られる⁷⁾。

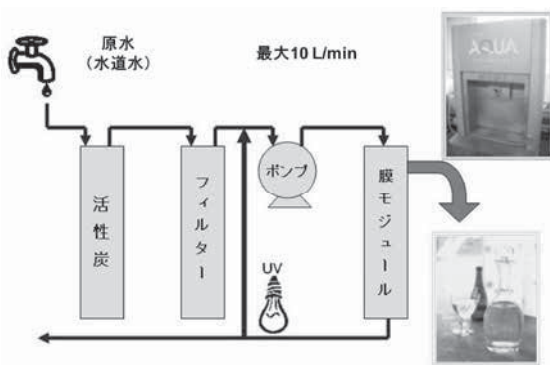


図2 スーパー浄水アクア

1 L 当たり 5 円程度で提供でき、厚生省「おいしい水」の要件を満たし、O index が 3.7、北九州市

水道局「よりおいしい水」の指標が 113 であった。しかし、非常に高額で、販売能力にも問題があつて普及しなかったが、販売価格を家電製品程度に抑えるか、リース等を使えば、今でも十分普及すると思われる。

4.2 B 国の浄水器

フィルター、活性炭、NF 膜、キレート樹脂の構造で、最大 1.3 L/min の処理水が得られる B 国製浄水器について、北九州市の水道水及び河川ろ過水を原水としたときの浄化能と工程別浄化能を調べた⁷⁾。

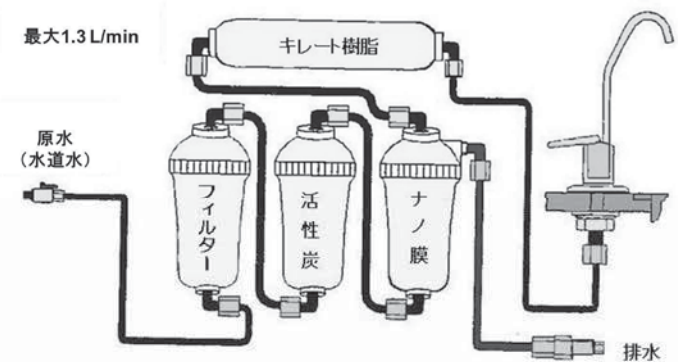


図3 B 国の浄水器

水道水を原水とした場合、硬度や蒸発残留物、NO₃-N、NO₂-N、有害物質の総トリハロメタン、おいしさに関する成分である SO₄ の除去が悪かった。また、浄水器内での一般細菌の増殖が見られた。

河川ろ過水を原水とした場合、硬度や NO₃-N、NO₂-N、SO₄、Cl の除去率は悪かったが、細菌類も除去でき、わが国の水道水質程度に浄化できた。

濁度、色度、TOC、NO₃-N、NO₂-N、Fe 及び一般細菌は活性炭の段階で除去され始め、濁度、色度、Fe、一般細菌及び大腸菌は膜の段階で 100% 除去された。

4.3 D 国の浄水器

フィルター、活性炭及び NF 膜からなる D 国製の浄水器で、B 国都市の水道水を処理した結果、色度や TOC、硬度、多くの金属類を除去できたが、Fe や Mn は除去できず、Mn 及び Ni は日本の水道水質目標値をクリアできなかった。NF 膜の選定に問題があると考えられる。

4.4 長寿命・多目的浄水器

エアレーション及び二重分離タンクを前処理とし、ファウリングが生じ難いようろ過水で二方向から定期的に洗浄する膜処理システムを試作した。

UF膜を用いて、高濃度の有機物や金属類を含む人工原水をろ過したところ、6ヶ月間、有機物やイオン、金属類によるファウリングを防ぐことができた。また、RO膜を用いて、海面埋立廃棄物処分場の場内水をろ過したところ、ファウリングを生じることなく可動することができた。

図4に示すように⁹⁾、本膜処理システムに異種類の膜を並列に連結し、それぞれのろ過割合を変えることにより、種々の原水に対し、目的に応じた水質の水が得られる。簡素な構成で、ファウリングや細菌等の増殖を防ぎ、膜や配管の耐久性や寿命、メンテナンス性を大幅に向上させることができ、環境をも考慮した汎用性に優れた膜処理システムを提供できる。

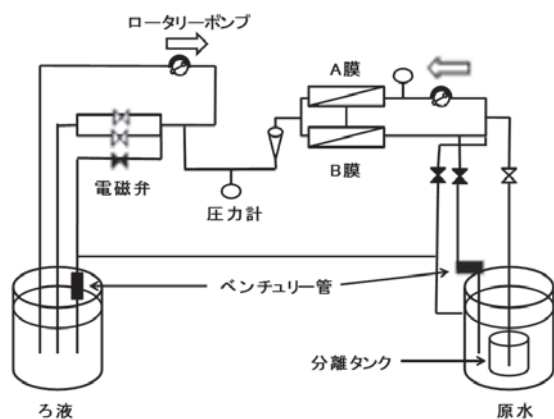


図4 著者らが開発した浄水器

5. 結語

顔に吹き出物が沢山できていた B 国の博士課程の学生が卒業時にはすっかりきれいになっているのを見て、水や食べ物の影響かなと思った。また、著者は途上国の高級ホテルでシャワーを浴びて目がかゆくなったことがあった。途上国の平均寿命は短く、種々の病気を持っている人も多いと思われる。日本の技術を生かして、安全でおいしい水を提供したいものである。

アジアの都市で浄水器を普及する場合、最も注意を払わなければいけないのは有害金属の除去と細

菌等の増殖である。前者については、適切な NF 膜の選択や例えば RO 膜と UF 膜の併用が考えられ、後者については、御社の光触媒を活用することなどが考えられる。

謝辞

膜処理及び医療関係資料を提供していただいた K サイエンスサービス山中邦彦氏に深謝いたします。

参考文献

- 1) 段野孝一郎：最近の水ビジネス市場と主要プレーヤーの動向、
https://www.jbic.go.jp/wp-content/uploads/topics_ja/2014/04/20640/danno_20140317.pdf (2014)
- 2) 水ビジネス国際展開研究会：水ビジネスの国際展開に向けた課題と具体的方策、
<http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004625/pdf/g100426b01j.pdf> (2010)
- 3) 安藤正典：水道水質基準改正の概要、食品衛生学雑誌、45 (2)、J-151-J155 (2004) .
- 4) おいしい水研究会：おいしい水について、水道協会雑誌、54 (5)、76-83 (1985)
- 5) 橋本奨：健康な飲料水とおいしい飲料水の水質評価とその応用に関する研究、空気調和・衛生工学、63 (6)、463-468 (1989)
- 6) 秋葉隆、川西秀樹、峰島三千男、政金生人、友雅司、川崎忠行、西沢良記：透析液水質基準と血液浄化器性能評価基準 2008、透析会誌、41 (3)、159-167 (2008)
- 7) 伊藤聖恵、石川精一、江口芳夫、江口英範：活性炭-ナノ膜を用いた発展途上国向け浄水器の開発、第 41 回日本水環境学会年会講演集、pp.454 (2007)
- 8) 金成泰、山中邦彦：逆浸透膜自動洗浄機構付逆浸透装置、及び該装置を使用した純水の製造法、特許第 3701012 号 (2005)
- 9) 山中邦彦、石川精一：浄水装置、特許第 5563604 号 (2014)