

平成 29 年度

日本水道協会 専門別研修

報告書

研修生氏名：金森 裕

所属先：札幌市水道局藻岩浄水場管理係

研修先国名：ドイツ共和国・マルタ共和国・シンガポール共和国

研修期間：2018 年(平成 30 年) 2 月 17 日(木) ～ 28 日(水)

報告書作成年月日：2018 年(平成 30 年) 4 月 26 日(木)

目 次

1 研修の概要	頁
(1) 目的	3
(2) 日程	3
(3) 研修先	4～5
2 研修内容	5
3 研修活動報告	
ドイツ共和国	
(1) ベルリン上下水道公社とベルリンについて	6～8
(2) 水源について	9
(3) 浄水処理について	10～13
(4) 下水処理について	13～16
マルタ共和国	
(1) マルタ共和国と水道サービスコーポレーションについて	16～17
(2) 海水淡水化について	17～25
(3) 帯水層と New Water (再生水)について	26～30
シンガポール共和国	
(1) シンガポールの情勢と公益事業庁について	31～34
(2) 貯水池について	34～37
(3) Bishan-Ang Mo Kio 公園について	37～40
(4) 海水淡水化施設について	40～42
(5) NEWater (再生水)について	42～45
4 研修結果	
(1) ベルリンについて	45～46
(2) マルタ共和国について	46～47
(3) シンガポール共和国について	47
5 総括	47～48
6 参考	48

1 研修の概要

(1) 目的

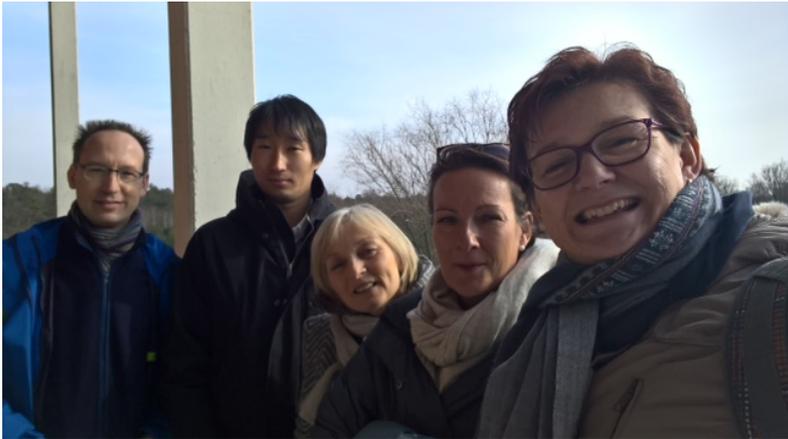
札幌市の上流には支笏洞爺国立公園があり、豊かな自然が今もなお、多く残されている。国立公園内に多く積もった雪を水資源として活用できることから、極めて恵まれた環境にある。しかし、そこを流れる豊平川で札幌市の配水量の約98%を賄っているため、仮に水源・水質が汚染された時や自然災害などが起きた際、浄水処理が極めて困難となる場合がある。今日、他河川からの送水事業等を進めているが、それらのみでは大きなリスクに対応し難い。現状を打開する為には、更なる水源の確保やその保護は欠かせない。

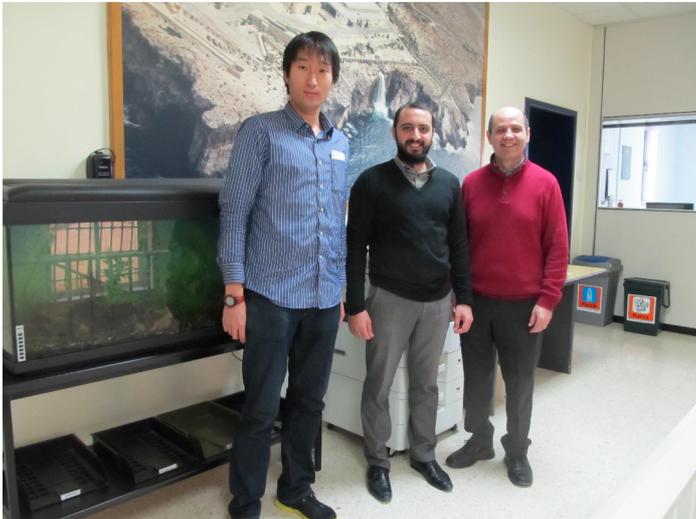
本研修では、他国において、水源・水質の汚染や自然災害等のリスクをどのように管理しながら浄水処理を行っているかを把握する。また、水源の確保や保護、膜を用いた水処理には多くの労力とコストが伴うが、それらを実施するにあたりどのようにして消費者の理解を得ているかを明らかにし、本市の施策推進の一助とする。

(2) 日程

2018 年	行動予定	便名	宿泊地
2月			
15日 木	新千歳 ⇒ 羽田	AD0020 (12:20~14:00)	東京
16日 金	●最終打ち合わせ(日本水道協会) 10:00~		東京
17日 土	成田 ⇒ シンガポール	SQ011 (14:55~21:40)	空港泊
18日 日	シンガポール ⇒ フランクフルトAM	SQ326 (13:55~20:30)	
	フランクフルトAM ⇒ ベルリン	ICE292 (21:14~1:28)	
19日 月	フランクフルトAM ⇒ ベルリン		
		●BWB (Berliner Wasser Betriebe) 見学(Waterworks Friedrichshagen)	
20日 火	●BWB (Berliner Wasser Betriebe) 見学 (Waterworks Beelitzhof)		
	ベルリン ⇒ ミュンヘン	ICE1009 (18:05~22:03)	ミュンヘン
21日 水	ミュンヘン ⇒ マルタ	KM307 (12:40~14:55)	マルタ
22日 木	●WSC (Water Service Corporation) 講義・見学(Pembroke Reverse Osmosis)		マルタ
23日 金	●WSC (Water Service Corporation) 講義・見学(Pembroke Reverse Osmosis)		マルタ
24日 土	マルタ ⇒ フランクフルトAM	KM2800 (13:30~16:10)	
	フランクフルトAM ⇒ シンガポール	SQ325 (21:55~翌17:15)	機中泊
25日 日	フランクフルトAM ⇒ シンガポール		シンガポール
26日 月	●PUB (Public Utilities Board) 見学(Marina Barrage・AMK-Bishan Park)		シンガポール
27日 火	●PUB (Public Utilities Board) 見学 (NEWater visitor centre)		シンガポール
28日 水	シンガポール ⇒ 羽田	SQ632 (08:05~15:35)	
	羽田 ⇒ 新千歳	ANA077 (19:00~20:35)	

(3) 研修先

ドイツ共和国 (2/19~20)	
英語表記	日本語表記
BWB (Berliner Wasser Betriebe) Contact: Ute Sofia Müller de Flor Email: Ute.MuellerdeFlor@bwb.de Address: Neue Jüdenstraße 1 10179 Berlin TEL: +49-30-8644-6037	ベルリン上下水道公社 担当者: ウーテ ソフィア ミュラー デ フロール Eメール: 左記 住所: ノイェ ユーデンシュトラーセ 1 10179 ベルリン 電話: 左記
	
【写真1: 右からグロリア氏、イボンヌ氏、ウーテ氏、私、アンドレア氏】	

マルタ共和国 (2/22~23)	
英語表記	日本語表記
WSC (Water Service Corporation) Contact: David Sacco Email: David.Sacco@wsc.com.mt Address: Triq Hal Qormi, Hal Luqa LQA 9043 TEL: +356-2244-2212	水道サービスコーポレーション 担当者: デイビット サッコ Eメール: 左記 住所: ハルム通, ルア ルア 9043 電話: 左記
	
【写真2: 右からデイビット氏、カイル氏、私】	

シンガポール共和国 (2/26~27)	
英語表記	日本語表記
PUB (Public Utilities Board) Contact: Eric SOH Email: Eric_SOH@pub.gov.sg Address : 40 Scotts Road #22-01 Environment Building Singapore 228231 TEL : +65-6731-3968	公益事業庁 担当者 : エリック ショー Eメール : 左記 住所 : 40 スコット通 22-01 環境ビル シンガポール 228231 電話 : 左記
	
【写真 3 : 現地で担当頂いたリンコルン氏(右) 私(左)】	

2 研修内容

2018年3月	訪問先	研修内容
19日(月)	ベルリン上下水道公社 (ドイツ共和国)	・ベルリン上下水道公社の概要
20日(火)		・Friedrichshagen 浄水場の概要と視察
22日(木)	水道サービスコーポレーション (マルタ共和国)	・海水淡水化のセオリーについて
23日(金)		・海水の導水とその前段処理について ・Pembroke RO plant の見学
26日(月)	公益事業庁 (シンガポール)	・エネルギーのリカバリーについて
27日(月)		・Pembroke RO plant の見学 ・Mellieha 下水処理場の見学
		・シンガポールの水事情について
		・マリーナ貯水池の見学・説明
		・Bishan-Ang Mo Kio 公園の視察
		・NEWater について
		・NEWater Visitor Centre の見学

3 研修活動報告

ドイツ共和国

(1)ベルリン上下水道公社とベルリンについて



【写真 4:ベルリン上下水道公社 本局】

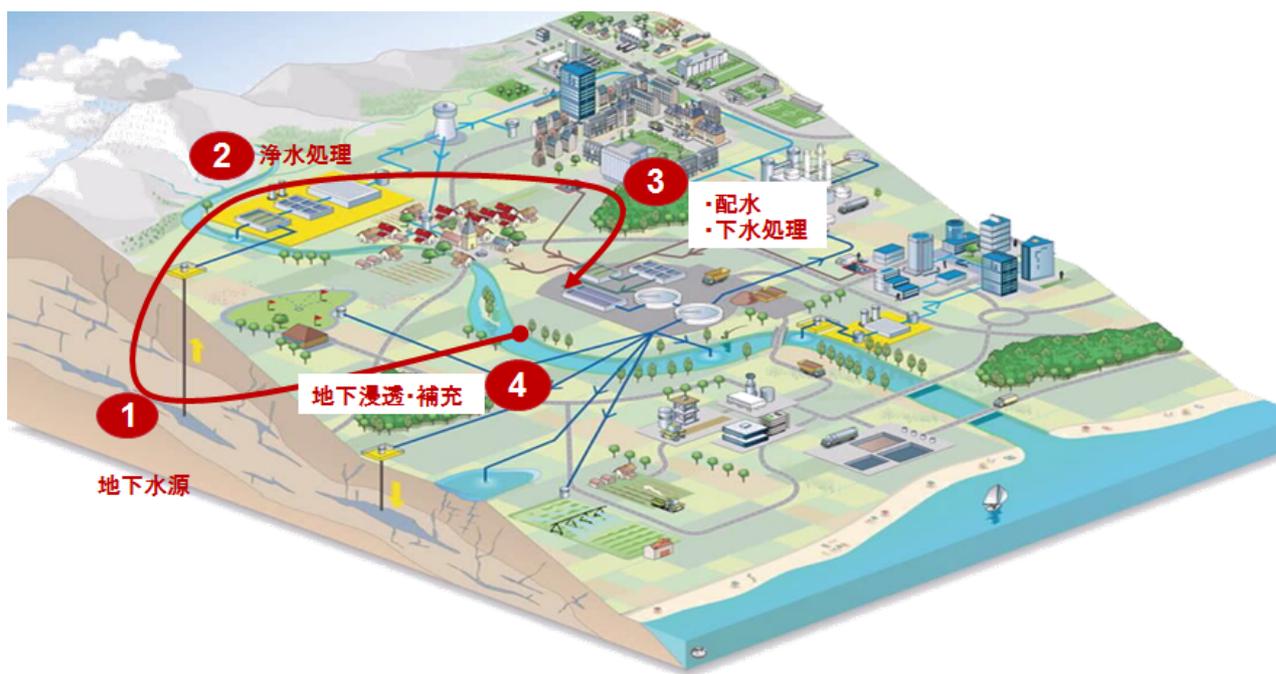
Berliner Wasserbetriebe (BWB : ベルリン上下水道公社)は 1994 年に設立された組織であり、ベルリンの上下水道の全般を管轄している。(職員は約 4600 人)

首都ベルリンはドイツ最大の都市であり、人口は約 360 万人である。水需要は日平均 58 万 m³ 程である。面積は約 892 km² (東西に約 45km、南北に約 38km)である。ベルリンの周辺にはたくさんの湖や沼があり、それらの多くは水源保護区域に指定されている。その面積はベルリンの約 25% (221 km²)にも及ぶ。水源保護区域やシュプレー川等から浸透した水がベルリンの地下に潤沢に存在している。ベルリンではそれを水源としており、地下 30~170m 付近から取水を行っている。また、取水用の井戸とは別に観察用の井戸が設けられ、地下水源の水質やその水位をモニタリングしている。そのデータを基に、政府は取水量に制限をかける場合があるようだ。汲み上げられた地下水は 9ヶ所の浄水場で処理された後、ベルリン各地へ給水される。また、家庭等から出された排水

はベルリンやその周辺にある 6ヶ所の下水処理場で処理される。処理水は河川に放流され、下流の水源保護区にある湖等へ合流している。そこで再び地下浸透が行われ、帯水層に水が還元されている。ベルリンではこのような循環サイクルが繰り返されている。

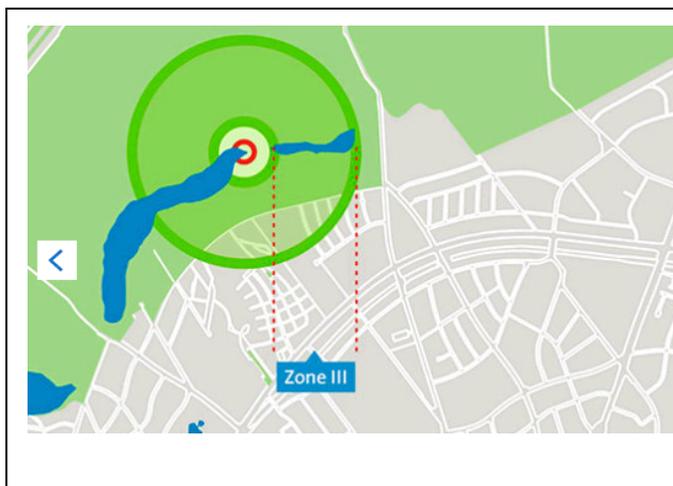


ベルリン水循環



地下浸透には微粒子、バクテリア、ウイルス、寄生虫、生物分解性化合物等を取り除くことができるという多くのメリットがある。ベルリンの地下水は水質が綺麗であるため、基本的にそのまま飲むことが可能である。それは水源保護区域内での活動が制限されていることによる。その区域は以下の3つに分けられる。

	<p>ZONE I</p> <p>井戸から半径約10m以内の区域を指す。取水に関係ある活動以外は厳禁であるため、水道関係者のみしか立ち入りができない。</p>
	<p>ZONE II</p> <p>井戸から半径約10～100mの範囲を指す。人間や動物が常に駐留すること、土(上層部)の除去やその破壊を伴う行為、建物の建設と改装、掘削、水源に影響を及ぼす液体の輸送・保管及び舗装されていない土壌での駐車、洗車、車の修理等が禁止されている。</p>



ZONE III

井戸から半径約 2.5km の範囲を指す。非分解性または分解性の低い化学物質と放射性物質を避けなければならない。ここを汚染したり、地下水の味を損なう可能性があるものの持込、使用は厳しく禁止されている。団地、工業施設、商業施設等は、公共下水道に接続しない限り建設はできない。また、未舗装の場所で駐車、洗車、車の修理等はできない。

ベルリンでは警察が水源保護区域の監視を行っている。ZONE I 以外の範囲においては、規制を守りさえすれば基本的に入場が許可されており、湖等での遊泳や遊覧船の往来等が可能だ。ただし、船舶に関しては、日常点検や2年に1度の検査は義務となっているようだ。また、Tegel 湖等、市街地の下流で且つ人の出入りが頻繁な場所においては、表層水中にリンや硝酸が多く含まれているため、藻等が発生しやすい環境にある。そのような場所には、表層水専用の処理施設が湖の手前に設けられており、凝集沈殿法によって処理されている。処理済みの表層水は、湖や川へ再び放流される。(表層水処理プラントはベルリンに3ヶ所)



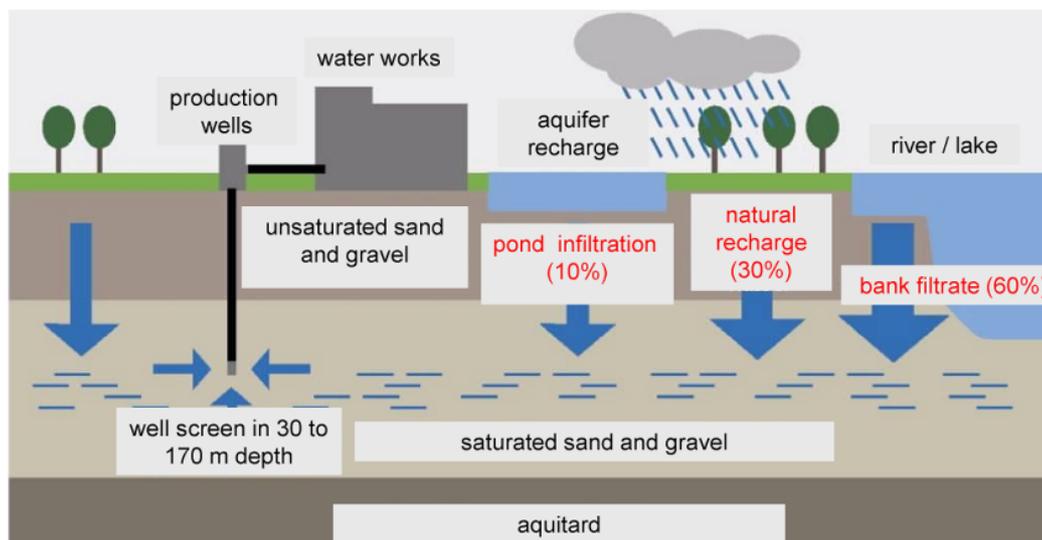
Tegel surface water treatment plant

【写真 5】

(2) 水源について

ベルリンの飲み水は基本的に全てが地下水を処理したものであり、地下水は以下の3種類の水で賄われている。

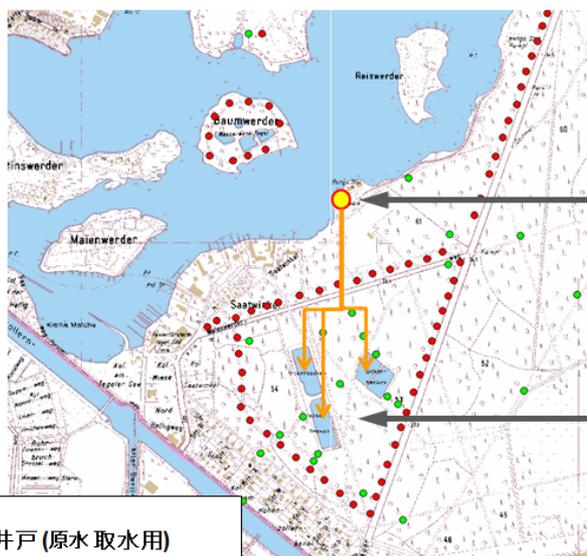
- ① 川や湖からの涵養：60%
- ② 雨水の涵養：30%
- ③ 人工池からの涵養：10%



尚、人工池からの涵養については、以下で Tegel 湖を例に挙げて説明を行う。

基本的にベルリンでは湖を取り囲むように取水用の井戸が設けられており、トータルで約 650ヶ所存在する。(下記の赤点部が取水用井戸) 下の図を見ると湖から少し離れた部分に人工池が設けられており、それを取り囲むように取水用の井戸(約 40 台)が設置されていることが把握できる。取水ポイント近くに効率良く地下水を浸透させるためにこのような池を設けており、そのような人工的な涵養は 1950 年代後半から行われている。この池にはスクリーニングした Tegel 湖の水を導いているが、夏場は藻が発生するため更にマイクロストレーナー(28 μm)を通した後、池へ導水している。

Tegel湖における人工的な地下水補充



- 井戸(原水 取水用)
- 井戸(水質・水位 監視用)



スクリーニング



Infiltration pond (浸透池)

(3) 浄水処理について

ベルリンでは、地下水源は綺麗であり取水後に飲むことが可能であるが、その原水には鉄やマンガンが多く含まれている。それらを除去するため、エアレーションを行い不溶性の酸化物をつくらせている。反応槽で析出した酸化物を沈降させた後、急速ろ過池を通している。ろ過池では、バクテリアを用いた処理を行っており、反応槽で除去しきれなかった鉄やマンガンはその作用で処理している。また、そこには硝化バクテリアが生存しており、アンモニアを除去することができる。ベルリンの地下水は水質が綺麗であることから、ろ過後に塩素を添加していない。その水は配水池へ送られた後、給水ポンプで各家庭に直接送られている。水が給水エリアの末端まで到達するには、おおよそ 12~48 時間要するようだ。尚、管理室(写真 19・20)では、基本的に給水圧力をメインに把握しており、ベルリンの各地点で 4~6bar 程になるように管理している。

ベルリンでは給水エリアの 104 の地点で採水を行い(一般家庭も含む)、2 週間毎に水質検査を行っている。また、井戸においても 1 週間毎に採水し水質検査を実施している。これらにより、塩素消毒無しで適切に配水の水質基準を満たすことができる。

ベルリンには 9ヶ所の浄水場が存在するが、今回、ベルリンの東側に位置する Friedrichshagen 浄水場(処理能力：23 万 m³/日)を訪問させて頂いた。その浄水場付近にはベルリン近郊で最大のミュッゲルゼー湖があり、その湖を囲むように約 215 の井戸(取水用)が設置されている。(取水量：40~125 m³/h/井戸)

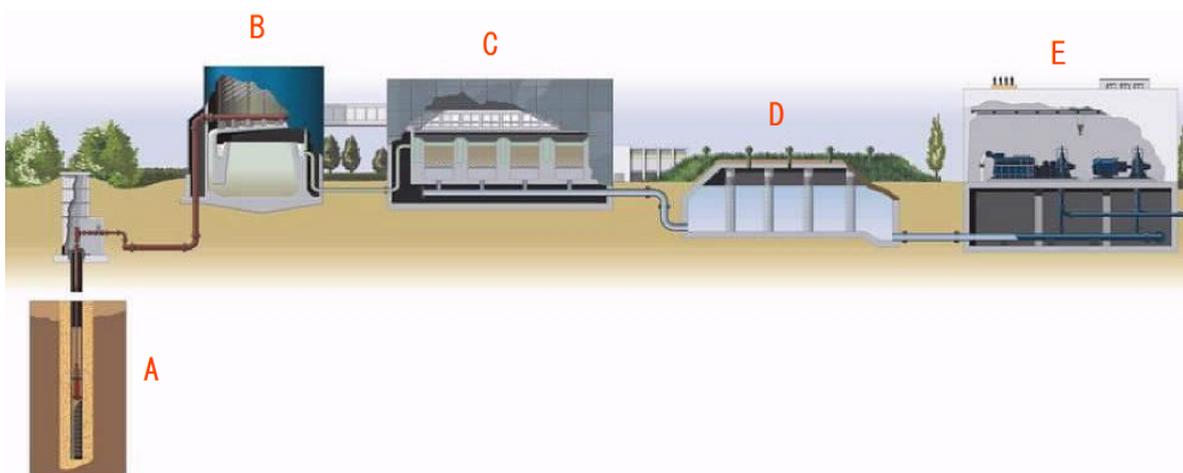
以降でその浄水処理の工程について述べる。



【写真 6：Friedrichshagen 浄水場】



【写真 7：ミュッゲルゼー湖】



A 深井戸 (写真 8～10)

9つの浄水場で約650の井戸を管理しており、地下30～170mの地点から採水している。井戸は主に垂直に掘られていて、40～400 m³/h/well で取水することが可能である。スクリーンが目詰まりして取水量が低下した場合はサクシオンを高圧水と空気を用いて洗浄している。

※ポンプ更新：10～20年 井戸の使用期間：30～40年

B 反応槽 (写真 11～14)

地下水には鉄とマンガンが多く含まれている。それらを除去するため、原水をノズルで噴射しそれに酸素を含ませる。酸化反応によってそれらの物質が析出し沈降する。

C 急速ろ過池 (写真 15)

反応槽で沈降しきれなかった鉄やマンガンをバクテリアの作用で除去する。

※1 砂：アンストラサイト 0.60m厚 ・ シリカ 1.4m厚

※2 洗浄：1～2週間/回(水とエアを使用)

D 配水池 (写真 16・17)

配水池は貯留機能だけでなく、配水量とのバランスをとる役割としても使われている。

E 給水ポンプ場 (写真 18)

飲み水を消費者に届けるための施設である。停電時であっても、ディーゼル発電機によりポンプ等の電力をカバーできるようになっている。

給水圧はベルリンの全ての地点で4～6bar程度になるように調整している。給水エリアの末端まで配水するには12～48時間程度かかる。



【写真 8：井戸】



【写真 9：井戸ポンプ】



【写真 10 : 井戸内部スクリーン】



【写真 11 : 反応槽】



【写真 12 : 反応槽内①】



【写真 13 : 反応槽内②】



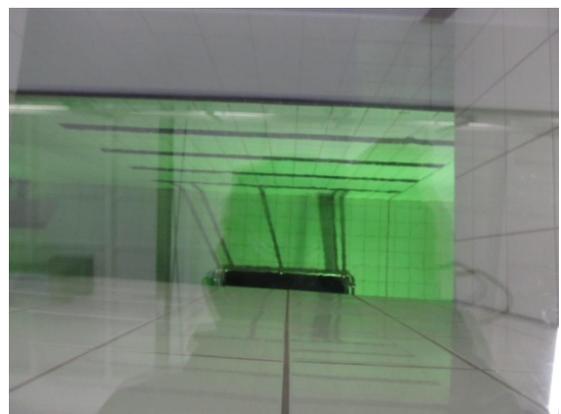
【写真 14 : 反応槽内 作用】



【写真 15 : 急速ろ過池】



【写真 16 : 配水池】



【写真 17 : 配水池 内部】



【写真 18：給水ポンプ】



【写真 19：管理室】



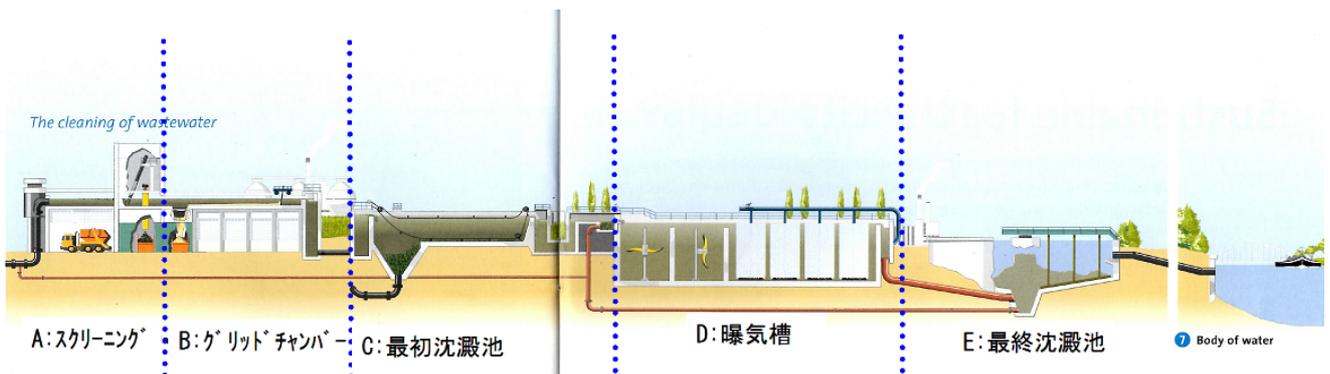
【写真 20：管理室モニター】

(4) 下水処理について

ベルリンには 6 ヶ所の下水処理場が存在し、処理量は約 65 万 m³/日である。それらの 1 つの Ruhleben 下水処理場(能力 247,500 m³/日)をこの度、訪問させて頂いた。ここでは日本の下水処理と同様、好気生微生物を含んだ活性汚泥を用いて有機物等を除去する活性汚泥法が用いられている。ただし夏場は、放流地点より下流にある Tegel 湖等へ及ぼす影響を考慮し、UV ランプで殺菌(写真 31)した後、河川へ処理水を放流しているとのことだった。

発生した汚泥は機械脱水(写真 32~34)された後、焼却処分される。(写真 35) 燃焼時に発生した蒸気でタービンを回転させて発電している。これにより、この下水処理場の約 55%の電力を賄うことができる。また、その排熱をこの施設の暖房等で使用したり、プール等の他の施設へ供給したりしている。

以下は下水処理のフローである。



A スクリーニング (写真 21・22)

ポンプで汲み上げられた汚水は、スクリーニングにかけられる。紙や布、木、プラスチック等の大きいものはそこで除去される。それらはスクレーパーで集められ、コンテナに入れられる。

B グリットチャンバー (写真 23・24)

スクリーニングで除去できなかった砂や小石等は沈砂池で沈降させる。それらはかき寄せ機でかき集められる。その後、ホッパーに入り、コンテナに送られる。(流速は約 30cm/sec)

C 最初沈澱池 (写真 25・26)

軽くて溶解していない物質はこの池の底に沈む。また、表面に浮いている汚泥はスクレーパーで集められ、底に溜まった物質と共にホッパーへ運ばれる。そこに集められた汚泥はポンプで処理施設まで圧送される。ここで機械的に処理された水は曝気槽に送られる。(流速は約 1.5cm/sec)

D 曝気槽 (写真 27・28)

水に溶け込んでいる有機物(リンと窒素の化合物等)を好気性のバクテリアや微生物を用いて減らしていく。

E 最終沈澱池 (写真 29・30)

ここで活性汚泥は数時間で沈降する。ホッパーに溜まった活性汚泥には微生物等が含まれており、生物処理で再使用するため、それらは曝気槽に戻される。不要な分は汚泥処理場にまわされる。処理水は河川へ放流されるが、夏場はUV ランプで殺菌した後、河川へ放流している。



【写真 21 : スクリーニング①】



【写真 22 : スクリーニング②】



【写真 23 : グリットチャンバー①】



【写真 24 : グリットチャンバー②】



【写真 25 : 最初沈澱池①】



【写真 26 : 最初沈澱池②】



【写真 27 : 曝気槽①】



【写真 28 : 曝気槽②】



【写真 29 : 最終沈澱池①】



【写真 30 : 最終沈澱池②】



【写真 31 : UV ランプ】



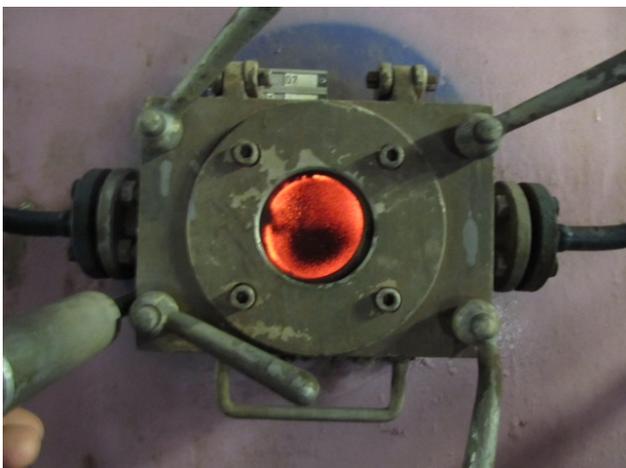
【写真 32 : 脱水機①】



【写真 33 : 脱水機②】



【写真 34 : 脱水後の汚泥】



【写真 35 : 汚泥の焼却炉】

マルタ共和国

(1) マルタ共和国と水道サービスコーポレーションについて

Water Service Corporation (WSC: 水道サービスコーポレーション) は 1992 年に設立され、マルタ諸島で飲料水を生産し、配水している。マルタ国民の約 42 万人と毎年訪れる 160 万人以上の観光客のニーズに応えるため、年間で約 3100 万 m^3 の良質の水を生産している。この水の約 60%は、3つの海水淡水化プラントでつくられており、残りの約 40%は、帯水層からの水で賄われている。

浄水処理された水は基本的に高台にある配水池に送られる。マルタ共和国にはトータルで24の配水池(総容量40万m³)があり、配水管延長はトータルで2136km以上に及ぶ。Luqaにある管理室からリアルタイムで水の生産、貯蔵、供給を制御・監視している。2003年10月に下水処理セクションがWSCに組み込まれたことにより、上水の生産から下水の廃棄までを担うこととなった。また今日は、EUからの支援プロジェクトの一環として、膜などを用いて廃水をリサイクルする施設(New water 施設)の建設を行っている。従業員は1000人程であり、本社はLuqaのTriq Qormiにある。また、マルタ共和国を大きく4つの地域(マルタ島は北、中央、南、Gozo 島)に分けて管轄しており、各地域に技術者と技術スタッフが配置されている。

(2) 海水淡水化について

マルタには3つの海水淡水化プラント(Pembroke、Cirkezza、Ghar Lapsi)があり、年間で約1800万m³の淡水を製造している。



施設名	生産量(m ³ /年)
Pembroke	10,303,745
Cirkezza	2,912,954
Ghar Lapsi	5,406,272

※2016年のデータ

今回はその1つのPembrokeのプラントを訪問させて頂いた。スペックは次頁のとおりである。

Pembroke - Reverse Osmosis plant

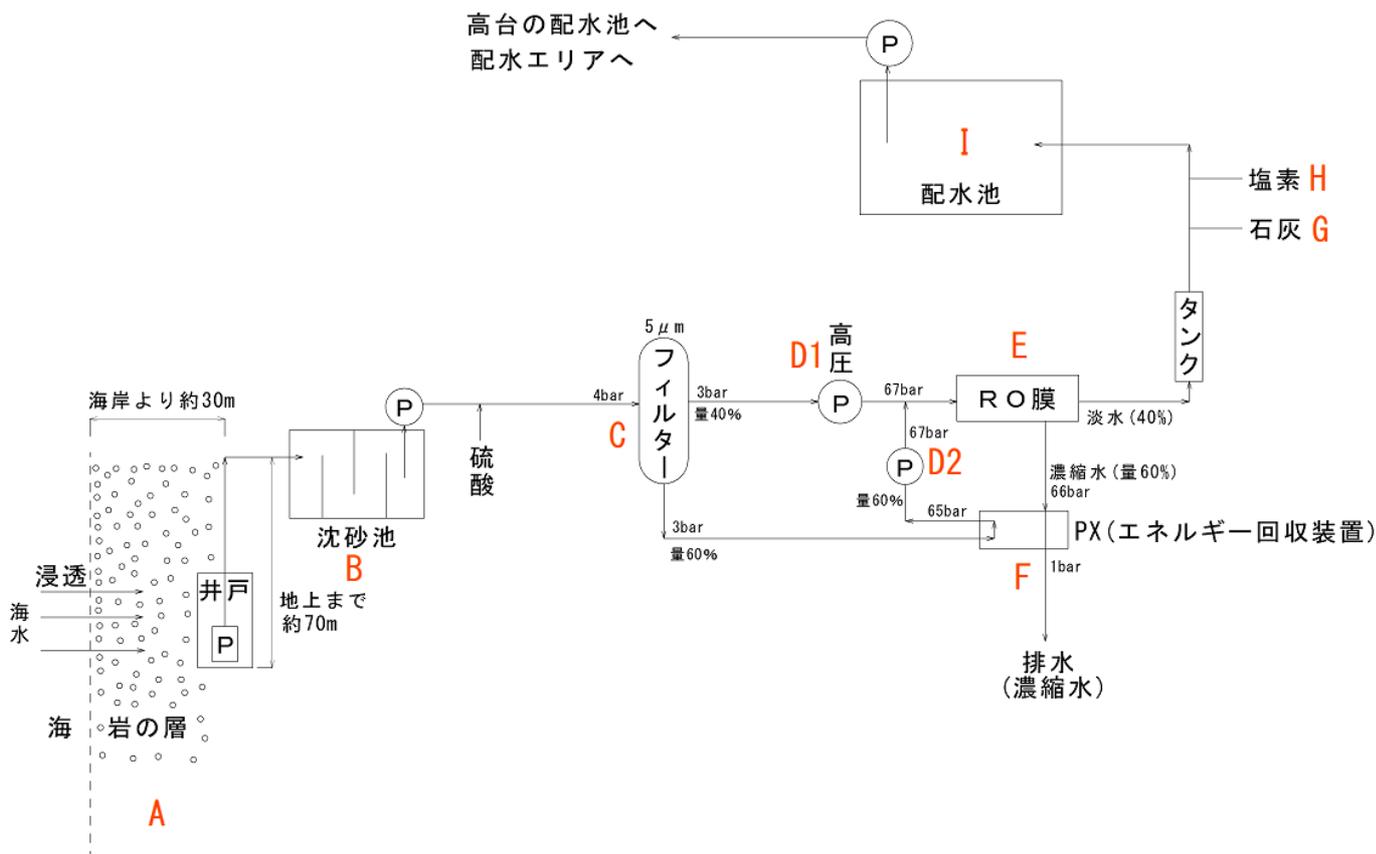


【写真 36 : Pembroke RO plant】

- ・ 浄水処理能力: 54,000m³/day
 - 6 台×4,400m³/day/RO ユニット
 - 6 台×4,600m³/day/RO ユニット
- ・ RO 膜(1 ユニット当たり) : 45 本
 - ※ 7 カートリッジ/本
- ・ 運用圧力(RO 膜) : 67bar
- ・ 井戸ポンプ : 24 台(地下約 20m に設置)
- ・ 井戸の位置(海岸からの距離) : 約 30m
- ・ 井戸の深さ : 約 70m
- ・ エネルギー回収率 : 45%



【写真 37】



A 取水設備 (写真 38~41)

Pembroke には 24 の井戸が海岸に沿って掘られている。井戸は海から 30m 程離れており、井戸と海との間には荒い岩の層がある。海水はそこを通過して井戸に流れ込ため、大きい不純物は取り除かれる。ポンプで汲み上げられた水は沈砂池に送られる。

B 沈砂池・導水ポンプ (写真 42~43)

導水ポンプの下に沈砂池があり、そこには迂流壁が設けられている。そこを通過する際にある程度、沈砂される。沈砂後の水は導水ポンプにより、前段ろ過フィルターへ送られるが、その途中で注入ポンプにより H_2SO_4 (98%) が添加される。これは海水 (PH=7.4) に含まれるカルシウム分が前段ろ過フィルターや RO 膜に付着し、目詰まりするのを防ぐためだという。添加後に PH=6.4~6.7 になるようにしている。

- ・導水ポンプ : 7 台 (6 台常用・1 台予備)
- ・薬液注入ポンプ (H_2SO_4 用) : 2 台 (1 台予備)

C 前段ろ過 (写真 44~46)

RO 膜の目詰まりを防ぐため、RO 膜の通過前に $5\mu m$ のフィルターでろ過している。材質は『ポリプロピレン』である。このフィルターの洗浄は行っていない。通過する水の状態によるが、おおむね 1~3 ヶ月周期でフィルターを交換している。ここを通過した海水の 40% は高圧ポンプへ、60% はエネルギー回収装置へまわされる。

D1 高圧ポンプ (写真 47)

フィルターを通過した海水の 40% は高圧ポンプへ送られる。RO 膜を通過させるため、約 3bar で流入してきた海水をこのポンプで一気に約 67bar まで昇圧させている。まだ圧力を高めることは可能であるが、このプラントで一番エネルギー効率の良い圧力がこの値であること、また、RO 膜の耐久面を考慮するとこの圧力が最適であるようだ。

D2 循環ポンプ (写真 47)

循環ポンプは、エネルギー回収装置で濃縮水(RO 膜を通過できなかった塩分濃度の高い水)よりエネルギーを受け取った海水を更に昇圧して RO 膜へ送るものである。エネルギー回収装置で約 3bar から 65bar 程度まで高められた海水は循環ポンプにより約 67bar まで昇圧される。

E RO 膜 (写真 48~49)

逆浸透を利用して脱塩するフィルターである。取水した海水に対し、淡水化できる割合は約 40%である。残 60%は RO 膜を通過できなかった濃縮水であり、それは依然としてエネルギーが高まった状態(約 66bar)であるため、エネルギー回収装置へ送られる。基本的に普段、膜の逆洗浄等を行われておらず、薬液洗浄のみである。

F エネルギー回収装置 (写真 50) (※エネルギー回収装置に関しては別途説明を行う。)

ここへ送られた約 66bar の濃縮水は、フィルターを通過した約 3bar の海水と合流する。これらの 2 物体が直接ぶつかることで、海水の圧力が約 65bar まで高められる。一方、約 66bar あった濃縮水の圧力は約 1bar まで圧が下げられる。圧力が高まった海水は、循環ポンプを経由することでさらに約 67bar まで昇圧された後、高圧ポンプの系統の海水と合流して RO 膜へ送られる。尚、低圧となった濃縮水は海へ排出される。

G 石灰注入設備 (写真 51~52)

RO 通過後の水はタンクを経由して配水池に送られる。生成された淡水にはミネラル成分が含まれていないため、配水池手前で石灰を添加している。また、これを入れることにより送水管内部(配水管)に石灰の膜ができ、塩素による腐食をおさえられるようだ。

H 塩素注入設備 (写真 53~54)

配水池手前で石灰と共に塩素ガスを注入している。末端までの塩素濃度を考慮し、浄水池内で塩素濃度が約 1.0ppm となるようにしている。

I 送水ポンプ・配水池 (写真 55)

RO 通過後の水は石灰と塩素を添加された後、場内にある配水池に送られる。送水ポンプで高台にある配水池とその途中にある給水エリアに直接、給水している。現状で送配水が 1 つの管でなされているが、近い将来、送配水を分ける計画があるという。

淡水化された水は、高台にある配水池で、帯水層からの水と混合される。

※水道水の割合 6(RO 膜) : 4(帯水層)



【写真 38 : 井戸と場内への導水管】



【写真 39 : 井戸ポンプ室】



【写真 40 : 井戸ポンプ・モーター】



【写真 41 : 井戸ポンプ 新品】



【写真 42 : 沈砂池と導水ポンプ】



【写真 43 : 導水ポンプ・モーター】



【写真 44 : 前段ろ過フィルターの容器】



【写真 45 : 前段ろ過フィルター 使用前】



【写真 46 : 前段ろ過フィルター 使用后】



【写真 47 : 高圧力ポンプ(左)と循環ポンプ(右)】



【写真 48 : RO 膜①】



【写真 49 : RO 膜②】



【写真 50 : エネルギー回収装置】



【写真 51 : 石灰注入設備】



【写真 52 : 石灰溶解槽】



【写真 53 : 塩素注入設備】

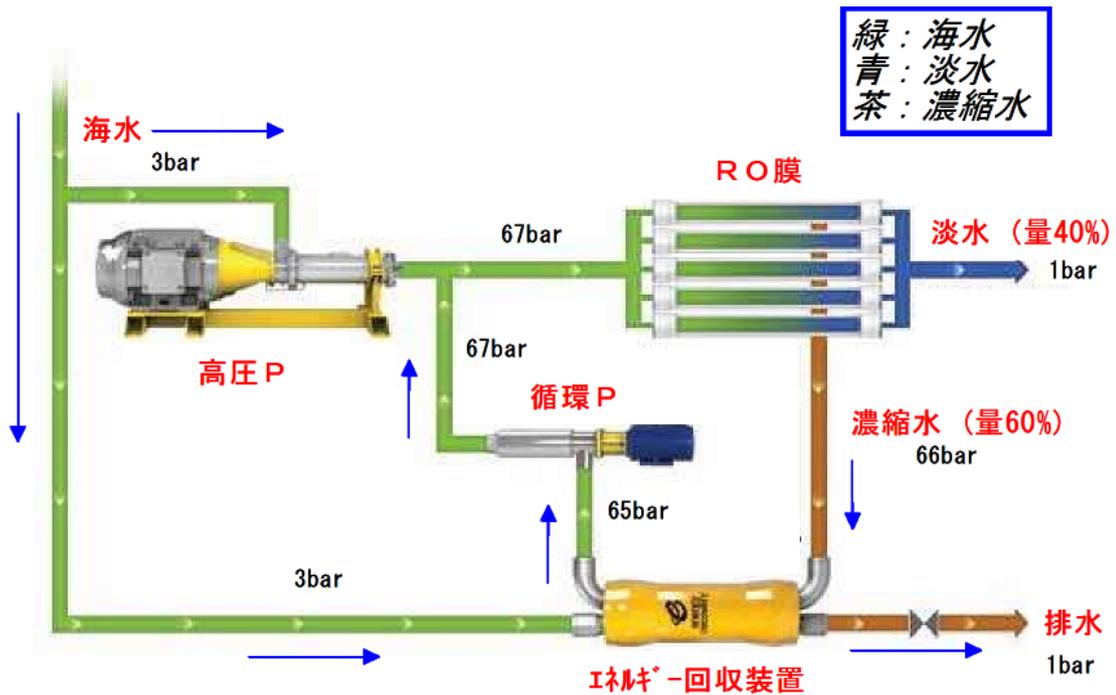


【写真 54 : 塩素ガスボンベ 予備】

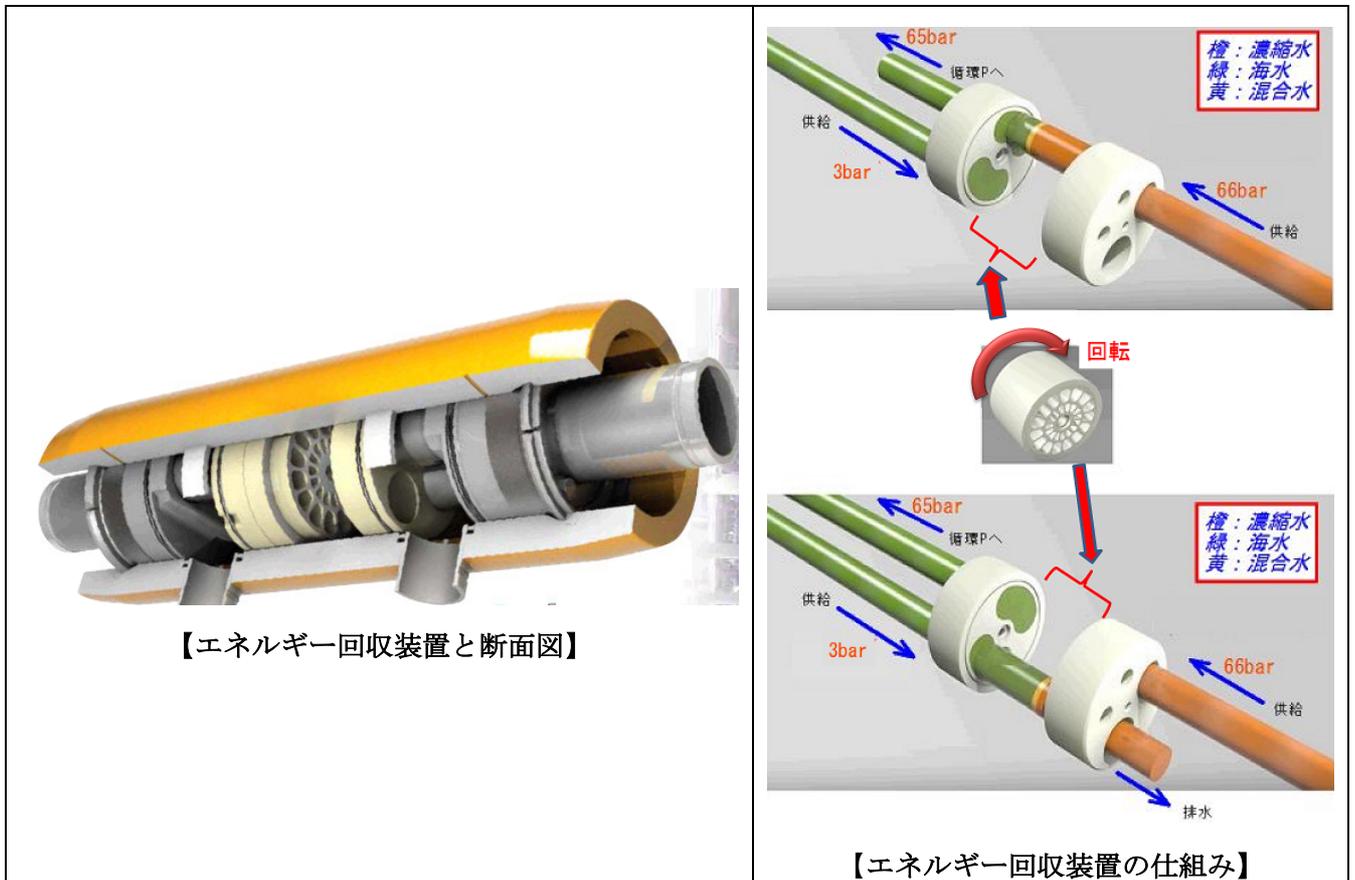


【写真 55 : 送水ポンプと配水池 (ポンプ下部)】

エネルギー回収装置について



エネルギー回収装置は、RO膜を通過できなかった濃縮水(高圧水)からエネルギーを回収するものである。上の図のように、この回収装置へ送られた濃縮水はその装置へ入流してきた海水と合流し、直接的に海水へエネルギーを受け渡す。圧が高められた海水は循環Pへ送られ、更に昇圧された後にRO膜へ送られる。これがエネルギー変換の一連の流れである。



【エネルギー回収装置と断面図】

【エネルギー回収装置の仕組み】

旧エネルギー回収装置では、濃縮水を高圧ポンプの軸に接続されているタービン(羽根車)に当て、そのポンプの回転力に換える方法(ターボチャージャー方式 or ペルトンホイール方式)がとられていた。それらのエネルギー変換はファンを介して行われており、その変換効率は75~85%程度である。一方、新エネルギー装置の場合は、直接的に物体同士でエネルギー交換を行っているため、その変換効率は97%程と極めて高い。近い将来、マルタの全てのROプラントにこのエネルギー回収装置が導入する予定とのことだった。以下がエネルギー変換装置(新旧)の使用電力比較である

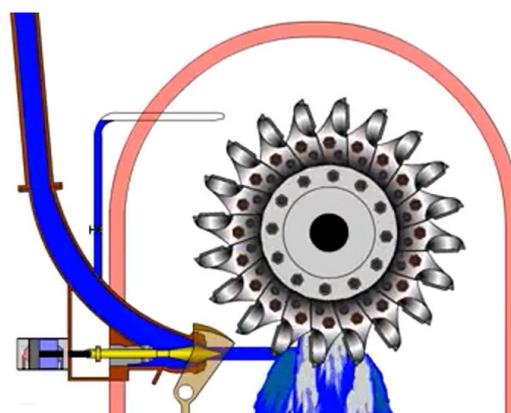
※ 1装置で4200 m³/日を生産した場合

	使用電力 (kW/m ³ /台)	費用 (€/日/台)
旧装置	3.4	1722
新装置	2.7	1344
差	0.7	378

(※ 1€=約132円)



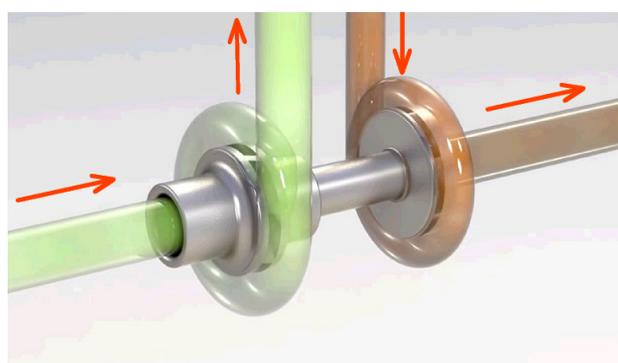
【写真 56 : ペルトンホイール式 高圧ポンプ】



【ペルトンホイールの仕組み】

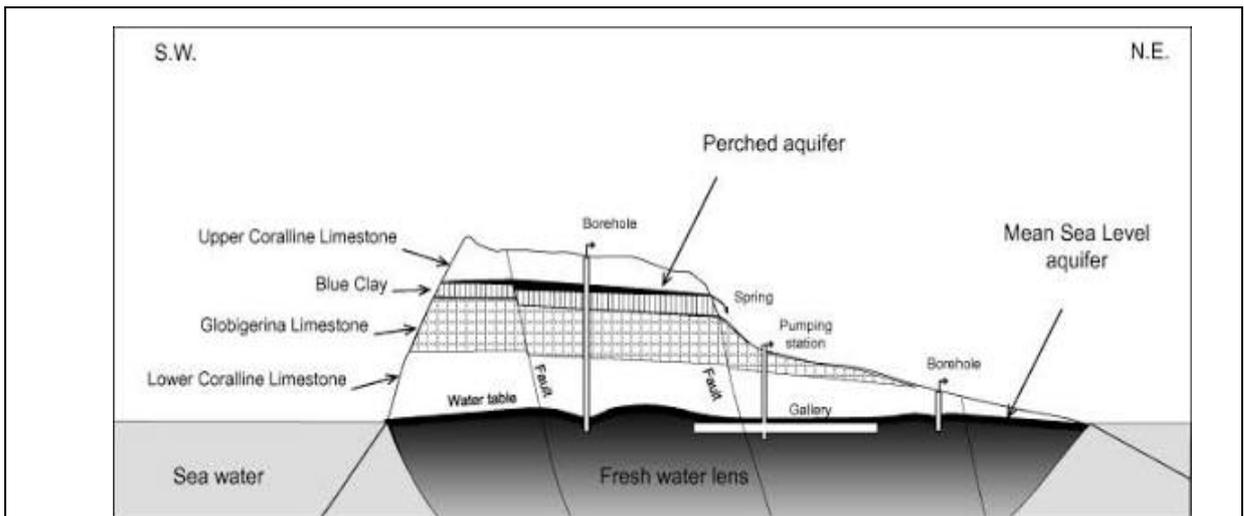


【写真 57 : ターボファン型 高圧ポンプ】



【ターボファンの仕組み】

(3) 帯水層と New Water (再生水) について



【マルタの帯水層】



【写真 58：帯水層内の導水トンネル】

基本的に地表から帯水層まで垂直にサクシオン管を挿入し採水しているが、取水範囲を増やすため、横方向へトンネルを掘っている場所もある。

※トータル距離：約 42km

マルタは岩できた島あり、それらは下記の 5 層に分けられる。基本的に石灰岩(サンゴ)の層に帯水されている。

[(*上層から) 石灰岩(サンゴ) ・石灰岩(有孔虫) ・青粘土・緑砂・石灰岩(サンゴ)]

帯水層は、マルタ島に降り注いだ雨が長い年月(40 年以上)をかけてそれらを浸透してできたものであり、地下約 150m 付近に存在する。帯水層の水面は海拔 1~4m の位置にあり、上の図のように淡水が海水を押し下げることによって存在している。マルタの水道水の約 40% (約 1200 万 m³/年) はそこから賄われており、WSC により UF 膜処理+塩素処理した後に配水している。

基本的に掘削及び地下水の利用は、政府機関であるマルタ資源局(Malta Resources Authority)の認可がないと実施できない。今日、地下水の枯渇が懸念されているため、いかなる者も帯水層から取水する目的で新たに掘削することは認められていない。(マルタの水道を担っている WSC も含む。)

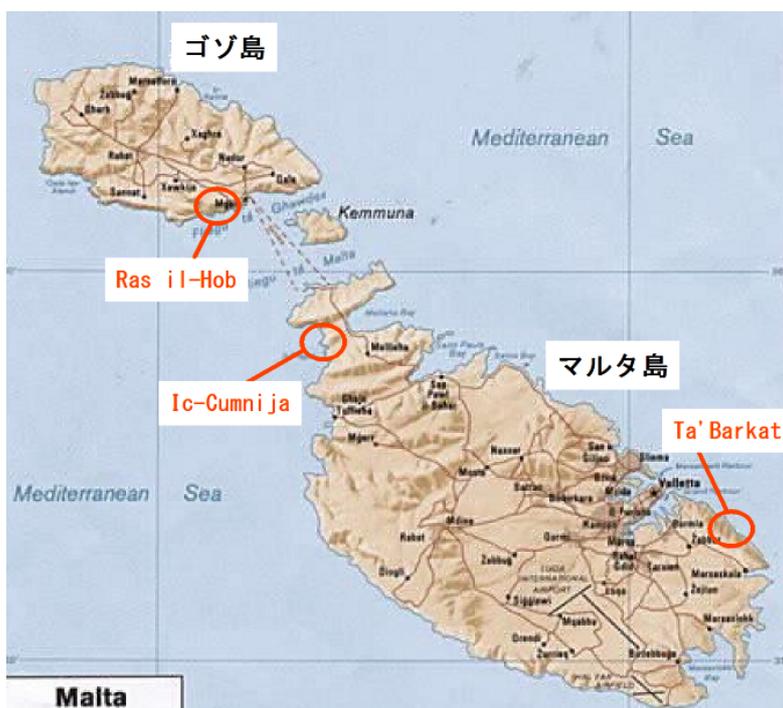
マルタ資源局が今まで許可したボアホールに関しては、明確な規定がないため基本的に取水制限は行われていない。ある井戸からの過度な取水により他の井戸に明らかに影響を及ぼしている場合や平均海水面水位を割るような井戸については、使用を停止することが法的に謳われているが、明確な判断基準がないためそれらの法律は上手く機能していないようだ。

上記以外にも、帯水層の汚染の問題がある。過度な取水により海水が浸入するほか、農業で使用された農薬や化学肥料の成分(硝酸塩等)が帯水層に混入する可能性がある。それらの物質に関しては当然、マルタ独自の規定が存在するのであろうと思ひ、カイル氏にその規定について伺った。

しかし、現状ではマルタ独自の規定はなく、基本的にEUの規定で定められているものに関してはそれらの使用は認められているという。EUの規定がマルタの情勢に完全にマッチしているのであれば良いが、おそらくそうとは言い切れない部分があるのではないだろうか。それらの物質が帯水層まで到達するまでには長い年月がかかるが、仮に今後も長期的に帯水層を使用していくことを視野に入れているのであれば、場合によってはそれらに関するマルタ独自の法等を早急に整える必要があるのではないかと感じた。

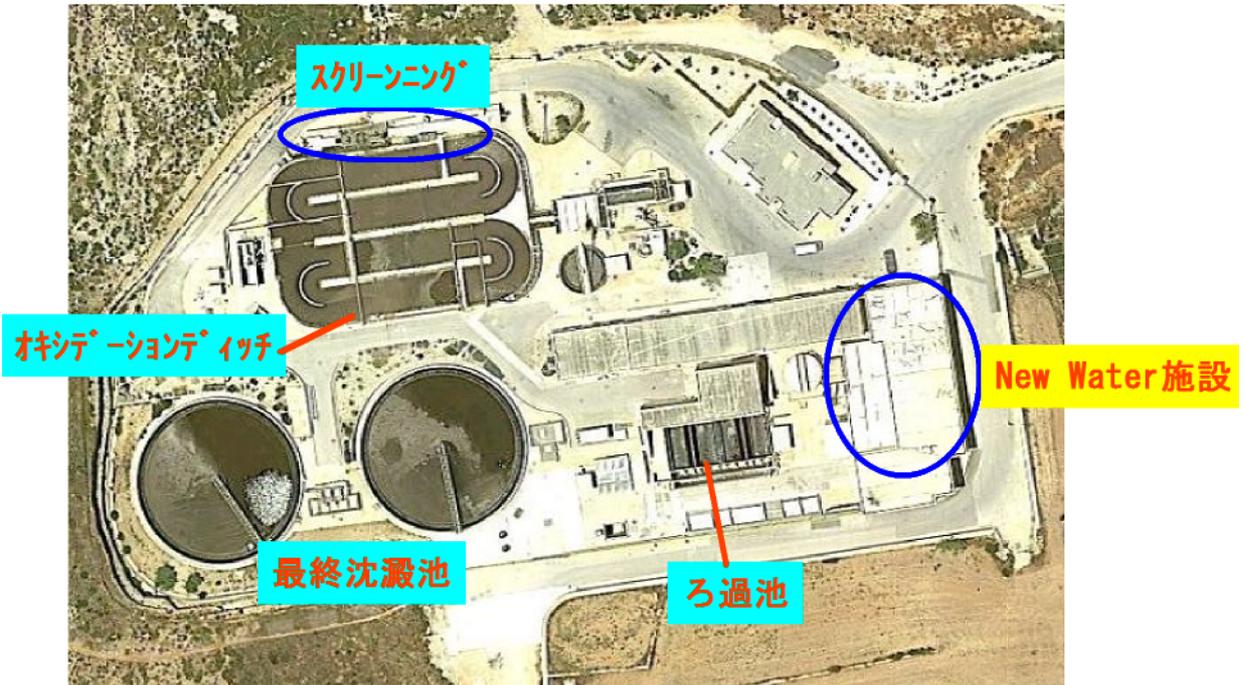
マルタの水道水の約60%は海水を淡水化して生成したものであるため高コストである。(残りの約40%の水道水はからのもの。) 政府は帯水層の枯渇を懸念し、水道水などの利用を国民に呼びかけてはいるが、農業関係者や工場等は高コストな水を使用したくないが故に、彼らの中には依然として違法な掘削を行っている者もいるようだ。その取締りはマルタ資源局(Malta Resources Authority)と警察が行っており、帯水層へボアホールを掘った者には、掘削に使用した機器の没収、€20,000~€50,000(1€=約132円)の罰金または12~18ヶ月の禁固刑(酷い場合は全て)が科せられる。違法な掘削を防ぐ対策として、New Water(再生水)の使用を彼らに促すことが挙げられる。再生水は、下水をOD法(オキシデーションディッチ方式)で処理した後、UF膜とRO膜、UVランプを通して高度に処理した水であり、その施設は下水処理場の敷地内に併設されている。石灰を加えられた再生水は高台にある配水池に送られ、その下流にある専用の消火栓を介して利用されている。現在、その水を生産できる施設はマルタ島に2ヶ所、ゴゾ島に1ヶ所存在し、それらのプラントは、送水先の配水池の水位によって起動と停止を行っている。

再生水の生産能力は以下のとおりである。



施設名	再生水 生産能力(m ³ /日)
Ta' Barkat (マルタ南部)	9,600
Ic-Cumni ja (マルタ北部)	6,400
Ras il-Hobz (ゴゾ島)	3,200

今回はマルタ北部にある Ic-Cumni ja 下水処理場を見学させて頂いた。



【写真 59 : Ic-Cumni ja 下水処理場】



【写真 60 : オキシデーションディッチ】



【写真 61 : 最終沈澱池①】



【写真 62 : 最終沈澱池②】



【写真 63 : ろ過池】



【写真 64 : UF 膜①】



【写真 65 : UF 膜②】



【写真 66 : RO 膜】



【写真 67 : RO 膜用高圧ポンプ他】



【写真 68 : UV 装置】



【写真 69 : 消石灰注入設備】



【写真 70：送水ポンプ】

再生された水は帯水層からの水よりも格段に綺麗であり農業に適していることから、政府としてはその点を農業関係者にアピールしているという。また、水道水よりも高度に処理された水ではあるが、以下の表を比較するとその使用料金は、通常の水道料金よりもかなり低価格に抑えられていることが把握できる。

再生水(灌漑用)の料金表

サービス料	m ³ /年	€/m ³
25€/年	2500>	0.20
	2500~5000 以下	0.60
	5000<	0.80

(※ 1€=約 132 円)

水道料金表 (※家庭・居住者用以外)

サービス料	m ³ /年	€/m ³
130€/年	≤168	1.9950
	169~40000	2.3750
	40000<	1.6625

(※ 1€=約 132 円)

基本的に帯水層への違法にボアホールを掘削する場合であっても、多くの初期投資がかかり、その原価償却にはそれなりの時間を要する。また、そのボアホールが発見された場合は重い刑を科せられるが、そのようなリスクを冒すより再生水を使用した方が得策と思われるような料金設定にしているのでないだろうか。再生水の利用は帯水層への負荷を減らすだけでなく、農業関係者がそれを使うことにより、長い目でみれば結果として帯水層へ澄んだ水を還元することに繋がる。現在は再生水を灌漑目的でのみ使用されているが、今後は生産量や給水エリアを拡大する等して、工業用や飲料用等でも利用しようと考えているようだ。

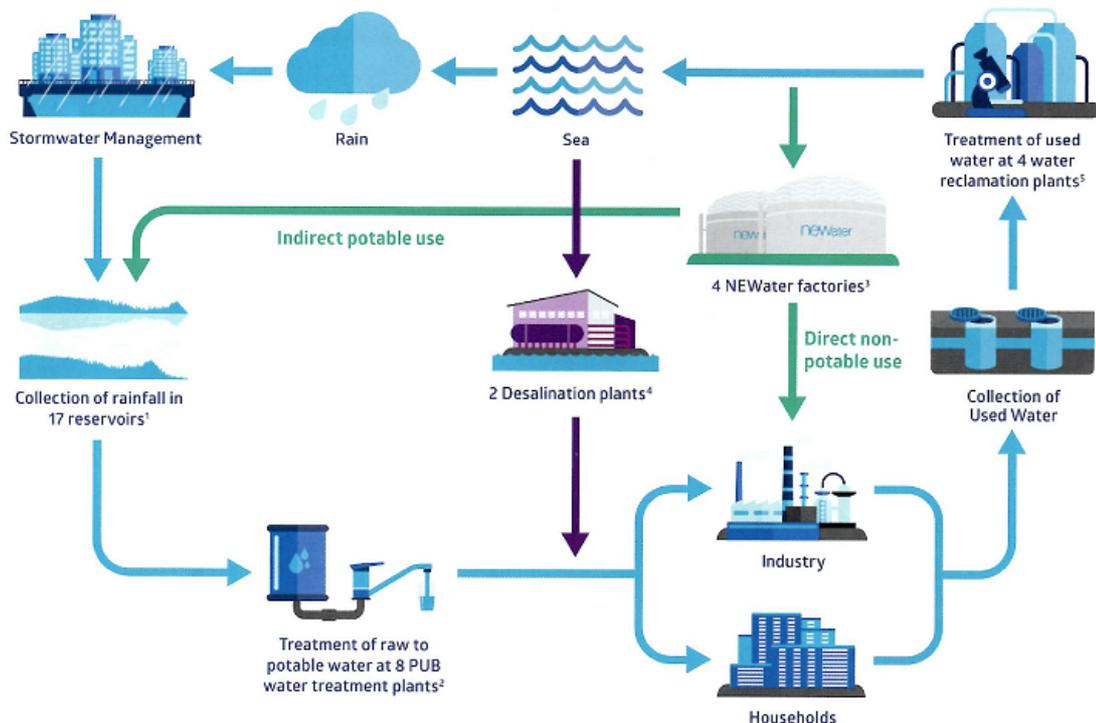
シンガポール

(1) シンガポールの情勢と公益事業庁について

シンガポール共和国はマレー半島の南端にあり、赤道から 137km 程北へ位置する島国である。そこに約 560 万人が暮らしている。国土は約 710k m² (東京 23 区と同程度) であり天然資源が不足していることから、基本的に他国からの輸入に頼らざるを得ない状況である。今日のシンガポールの上下水道の概要は以下の通りである。

シンガポールの上下水道の概要

- ・シンガポールの配水量：約 200 万 m³/日 (45%：家庭分 55%：非家庭分)
- ・一人あたりの水消費量：約 143 L/日
- ・NEWater : 約 80 万 m³/日 (40%)
- ・海水淡水化：約 50 万 m³/日 (25%)
- ・原水の輸入：マレーシアのジョホールバルより約 114 万 m³/日まで取水可能
- ・貯水池：17 ケ所
- ・浄水場：8 ケ所
- ・海水淡水化施設：2 ケ所
- ・NEWater 施設：5 ケ所
- ・下水処理場：4 ケ所



シンガポールは 1826～1963 年までイギリスの植民地であるが、1963 年に独立を果たし、マレーシアに統合された。しかし、マレー人と華人との間で格差や意見の対立が生じたことから、独立運動が活発となり 1965 年にマレーシアから独立するに至った。シンガポールの年間平均降水量は約 2300 mm に達するが、国土が狭く保水能力に乏しいことから独立後もマレーシアからの水供給に頼らざるを得なかった。シンガポールとマレーシアのジョホールバルの間にはコーズウェイと呼ばれる橋があり、1923 年にイギリスによって建設されたものである。マレーシアからは、それに備え付けられたパイプラインで原水を供給している。(計 3 本 内 2 本はマレ

ーシアからの原水供給用 内1本は浄水をジョホールバルへ返送するためのもの。)



マレーシアからの水供給に関する合意は、イギリスの支配下であった 1927 年から結ばれているが、イギリスから独立後に密接に関与しているものは、1961 年とその翌年に締結された合意 (Johor River Water Agreement) である。前者は、2011 年に失効しているが、マレーシアのテブラウ川、スクダイ川、グヌン・プライ流域、ポンティアン流域から独占的に取水してよいという内容であった。後者はジョホール川から最大で約 114 万 m^3 /日を取水してもよいというもので、これは 2061 年まで有効である。基本的に 1,000 ガロン当たり 0.03 リンギット (1 リンギット=約 30 円) で購入することとなっていたが、2007 年にマレーシア側からその 20 倍の 0.6 リンギットの額を提示され、2011 年よりシンガポールはその額で原水を購入している。しかし、今日、マレーシアは更に当初の 100 倍 (3 リンギット) の金額を要求しており、その点に関して両国間で摩擦が生じている。その合意が失効する 2061 年以降には遅くともその単価となることが予想される。国内の水供給が途絶えればシンガポールの存亡にかかわることから、シンガポールはマレーシアに頼らず、水需要の全てを賄う準備を早急に進めている。その事業は環境水資源省の一部である Public Utilities Board (PUB:シンガポール公益事業庁)で行っている。(PUB は 1962 年に水、電気、ガスの供給する役割を担っていたが、2001 年よりシンガポールの上下水道全般を統括している庁となっている。) その対策として、集水エリアの拡大や NEWater 政策 (下水を高度処理した再生水を使用する。)、海水淡水化を行っている。2060 年には今の水需要の倍になると見込まれており、それまでに NEWater や海水淡水化でその量を確保しようとしている。

	現在	2060 年
生産量	約 200 万 m^3 /日 (需要 ⇒ 家庭 : 45% 他 : 55%)	約 400 万 m^3 /日 (需要 ⇒ 家庭 : 30% 他 : 70%)
NEWater (再生水)	40%	55%
海水淡水化	25%	30%

また、それらの事業によって将来の水需要へ対応していただくだけではなく、政府は節水にも力を注いでいる。現状で 1 人あたりの水消費量が約 143 L/日であるが、2030 年までに 140L/日にすることを目標としている。PUB のホームページ等を閲覧した際、随所に節水を指南する説明や動画等を数多く見ることができる。



【写真 71】

子供向けのゲームアプリ (iPhone/iPad 用) が存在する。楽しみながら子供に節水習慣を学ばせるように仕向けている。



DIY Video: "How to fix a leak?"

WATCH VIDEO

【写真 72】

無駄な水を極力減らすために、漏水の修理方法 (DIY) を指南している。



【写真 73 : 節水コマ①】

節水コマを無料配布している。



【写真 74 : 節水コマ②】

節水コマの取り付け方を動画で指南している。

生活習慣を変える工夫について



Monitor your water bills

Check your water bill to monitor your family's water consumption. If your consumption is more than the average, re-look your family water usage habits.

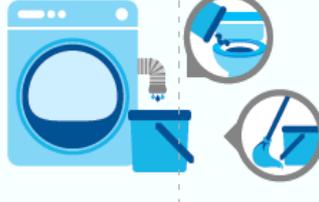
水道料金の請求書をチェックする。平均以上の消費量の場合は水を使う習慣を見直す。



Take shorter showers

Keep showers to under 5 minutes and turn off the tap while soaping.

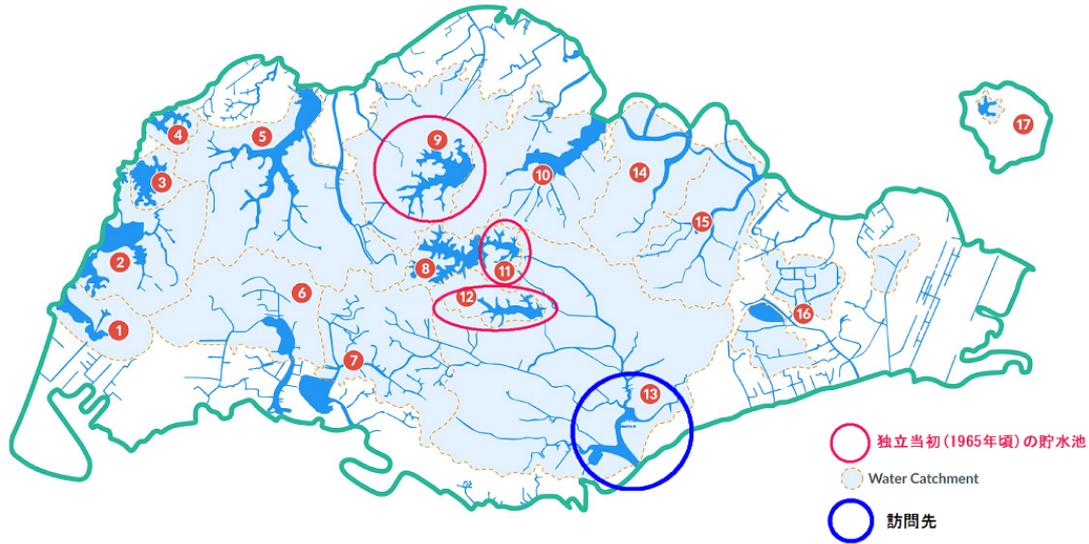
5 分以内のシャワーを心がる。また、石鹸で洗っている最中は蛇口を閉める。

 <p>Wash in a filled sink Wash vegetables and dishes in a filled sink instead of under a running tap.</p>	<p>野菜や皿を洗う時は水道を出しっぱなしにしないで、シンクやボールに水を満たして洗う。</p>
 <p>Wash on a full load Fill your washing machine on a full load.</p>	<p>洗濯する場合は、最大量の洗い物を入れて洗う。</p>
 <p>Reduced flush Use reduced flush for liquid waste.</p>	<p>トイレ洗浄の際の水を減らす。 (使用水量を分別できるものにする。)</p>
 <p>Repair leaks promptly Repair leaks and dripping taps immediately to prevent water wastage.</p>	<p>水を浪費ないように直ちに水漏れを修理する。</p>
 <p>Reuse Collect rinse water from the washing machine for flushing the toilet or mopping the floor.</p>	<p>洗濯機で使用した水をトイレやフロア清掃の際等に利用する。</p>

(2) 貯水池について

シンガポールは国土が狭く保水能力に乏しいため、降雨があっても直ぐに海へ排出されたり洪水となったりしてきた。経済の発展に伴って増加した水需要に対応するため、1970年代から今日まで集水域を拡大してきた。シンガポールには現在、17ヶ所の貯水池が存在し、それらによってシンガポールの国土の2/3に降る雨を集水することができる。1965年の独立当初は下記の3ヶ所のみしか貯水池がなく、当時の水需要の約20%しか賄うことができなかった。次は貯水池の位置図(現在)である。

- 1 Tengoh Reservoir 5 Kranji Reservoir 9 Upper Seletar Reservoir 13 Marina Reservoir 16 Bedok Reservoir
- 2 Poyan Reservoir 6 Jurong Lake 10 Lower Seletar Reservoir 14 Punggol Reservoir 17 Tekong Reservoir
- 3 Murai Reservoir 7 Pandan Reservoir 11 Lower Peirce Reservoir 15 Serangoon Reservoir
- 4 Sarimbun Reservoir 8 Upper Peirce Reservoir 12 MacRitchie Reservoir



今回、Marina 貯水池を訪問してきたので、以下でその概要について述べる。



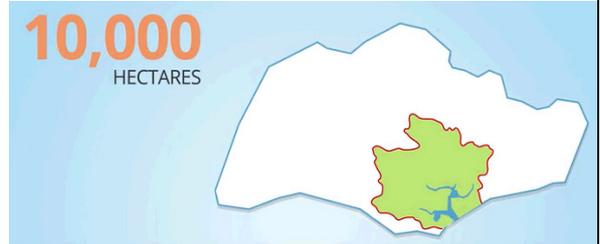
【写真 75 : Marina Barrage①】



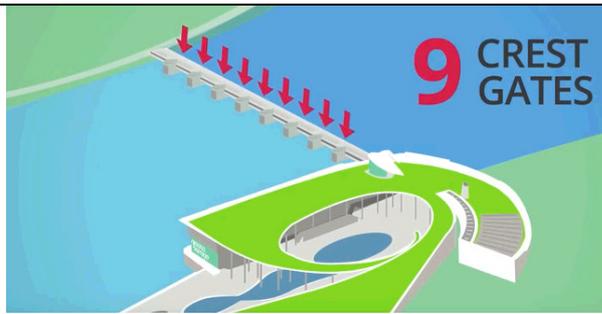
【写真 76 : Marina Barrage②】



【Marina 貯水池の集水域①】



【Marina 貯水池の集水域②】



【Marina 貯水池 水門】



【Marina 貯水池 排水ポンプ】

2008年に完成した Marina 貯水池は、Marina 海峡を Marina Barrage と呼ばれるダム(全長約 350m)でせき止めてできたものであり、そこへはシンガポール川、スタムフォード運河、ロコール運河、カラン川、ゲイラン川の水が流れ込んでいる。集水域は、約 10,000ha でシンガポールの全集水面積の約 6分の1に相当する。それは以下の3つの役割を担っている。

- ・貯水池（シンガポールの約 10%の水需要を担う。）
- ・洪水調整池（チャイナタウン、ゲイラン地域等の低地の洪水を緩和）
- ・レクリエーション

満潮時等、貯水池内よりも海水面が高い際に洪水調整等を行う場合は、ダムのゲートを開放できないため、ダム横に備え付けられた7台の巨大な排水ポンプを用いて排水される。以下の通りである。尚、そのポンプは1台でオリンピック用のプール(約 2,500 m³)を1分で空にできる能力を持つ。

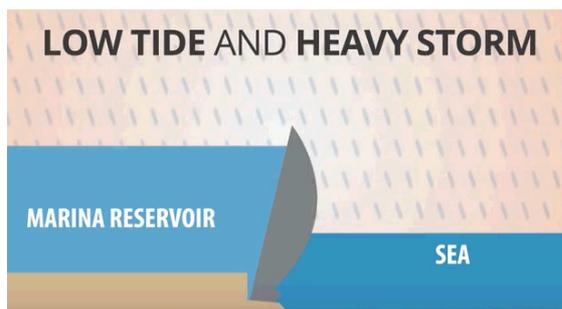


【海水面 > 貯水池水位】



【ポンプでの排水時】

逆に、貯水池の方が海水面より高い際に貯水池の水位を変更する場合は、ダムゲートを開閉することによって調整を行う。



【海水面 < 貯水池水位】



【ゲートによる排水】

最も注目すべきは、シンガポールの貴重な給水源となるエリアであるが、国民の憩いの場としてそこを提供している点である。そこでのルールを守りさえすれば、ボート、ウィンドサーフィン、カヤック、ドラゴンボート・釣り等の様々なレクリエーションを行うことが可能である。一部、それらを行えない貯水池も存在するが、ほとんどの貯水池で同様の事を行うことができる。給水源となる箇所ではあるが、それらを開放し、水は自身の生活と密接に関わっており欠かせないものであるという認識をより国民に浸透させることを意図している。

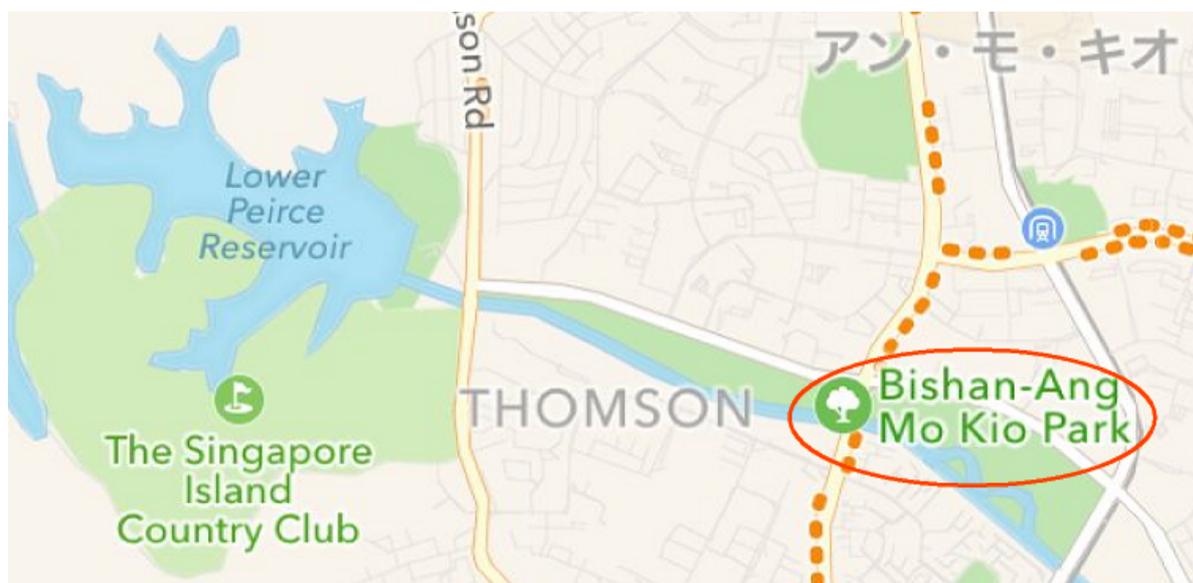


【写真 77 : Marina 貯水池③】

貯水池以外にも私が今回、初日に訪問した『Bishan-Ang Mo Kio 公園』も国民の生活に溶け込むような場所となっている。次にその公園について説明を行う。

(3) Bishan-Ang Mo Kio 公園について

私は大都会の中心にある Bishan-Ang Mo Kio 公園を訪れた。ここは、Lower Peirce 貯水池と Marina 貯水池との間を流れるカラン川の河川敷の一部であり、1988 年に建設された公園である。





大都会にありながら 62ha もの広さがあり、緑地帯が広がっている。10 年程前までは、カラン川はコンクリートの護岸に覆われた直線的な川であり、その公園の脇を流れていた。(写真 78)

今日、政府は、川や貯水池を集水するためのものとして捉えるだけではなく、国民の生活の一部でもあると認識している。それらが人々にとって身近な存在となることで、水源に感謝し、そこを綺麗に保たなければならないという意識を広めようと考えている。そのため、彼らは住宅地の近くにある川や貯水池をより綺麗で親しみやすいレクリエーションエリアに変える政策を 2006 年から行っている。(現在までに 20 ヶ所程をそのような場所に変化させているが、2030 年までにトータルで 100 ヶ所以上を改修予定している。)それが『ABC (Active, Beautiful, Clean) Waters』というものであり、PUB と NPB(国家公園庁)とが共同でこの公園の改修を 2009~2012 年にかけて手掛けた。水路を周囲の公園に溶け込ませ、より多くのレクリエーションエリアをつくり、人々をウォーターフロントに近づけるように再設計された。公園の脇にあった水路は、公園の中央を通るルートに変更され、その周りに様々なレクリエーション設備が設けられている。また、水路を人工的な構造から自然の小川のような状態に戻している。(写真 79~81)ここは集水域の一部であるが、大雨の際はこの公園自体が遊水池のような役割を果たす。ここには広大な緑があり、鳥やトンボ、カワウソ等、様々な動物が生息している。私は大都会に緑化された大きな公園が存在することや街中を流れる川であるが水がとても澄んでいることにとっても驚かされた。所々に小さな中州があり、そこには水質の改善が得られる植物を選定し植えられている。橋の上から川を見下ろした際でも、多くの小魚が生息していることを把握できるぐらい水が澄んでいた。それは、シンガポールの多くの学生等が『ABC Waters』について学び、このような場所を維持するボランティア活動等に定期的に参加していることによる。自然環境が整う背景には、沢山の人が水源について学び、それに関わろうとする動きがある。



【写真 78 : Bishan-Ang Mo Kio 公園 (旧)】



【写真 79 : Bishan-Ang Mo Kio 公園 (現状①)】



【写真 80 : Bishan-Ang Mo Kio 公園 (現状②)】



【写真 81 : Bishan-Ang Mo Kio 公園 (現状③)】



【写真 82 : 中州】



【写真 83】



【写真 84 : 公園を維持している団体】

(4) 海水淡水化施設について

シンガポールが掲げる水の生産量拡大方法の1つに海水の淡水化がある。現在、海水淡水化プラントはシンガポールの Tuas 地区に2つ存在し、トータルで約25%の水需要に相当する100mgdを生産することが可能である。基本的に PUB でこれらの施設の所有と運営を行っていない。PUB の要求水準に合うように Hyflux 社の子会社である SingSpring 社が海水淡水化施設のデザインから運営までを自社の資本で行い、生成した淡水を PUB に売るという契約を PUB との間で交わしている。今後、海水淡水化施設だけでなく、NEWater 生産 plant でもそのような契約方法がとられるものと思われる。2060年までに海水淡水化により想定水需要の30%を確保しようと計画している。現在は海水を淡水にするのに3.5kWh/m³のコストがかかっているが、より低コストにするため、電気による脱塩方法等を模索している。

- **SingSpring Desalination Treatment** : 最大 136,380 m³ / 日
 操業 : 2005～ (20年契約) 販売価格 : 0.78 S\$ / m³

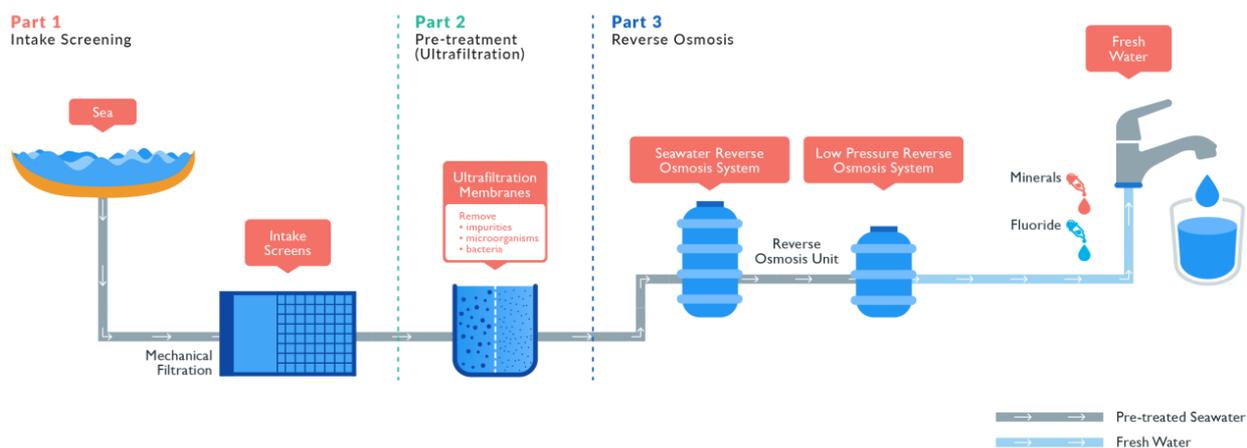


【写真 85 : SingSpring Desalination Treatment】

- Tuaspring Desalination Treatment : 最大 318,500 m³ / 日
 操業 : 2013 ~ (25 年契約) 販売価格 : 0.45 S \$ / m³



【写真 86 : Tuaspring Desalination Treatment】



Part1:取水とスクリーニング

水深約 50m の位置から取水され、藻や大きな不純物はスクリーンで除去される。システム内のパイプや他の物に影響を与える可能性のある微生物等を阻止するため、塩素を添加する。

Part2:前段処理

水中の小さな不純物や微生物、細菌を取り除くため、UF 膜を通過させる。

Part3:逆浸透

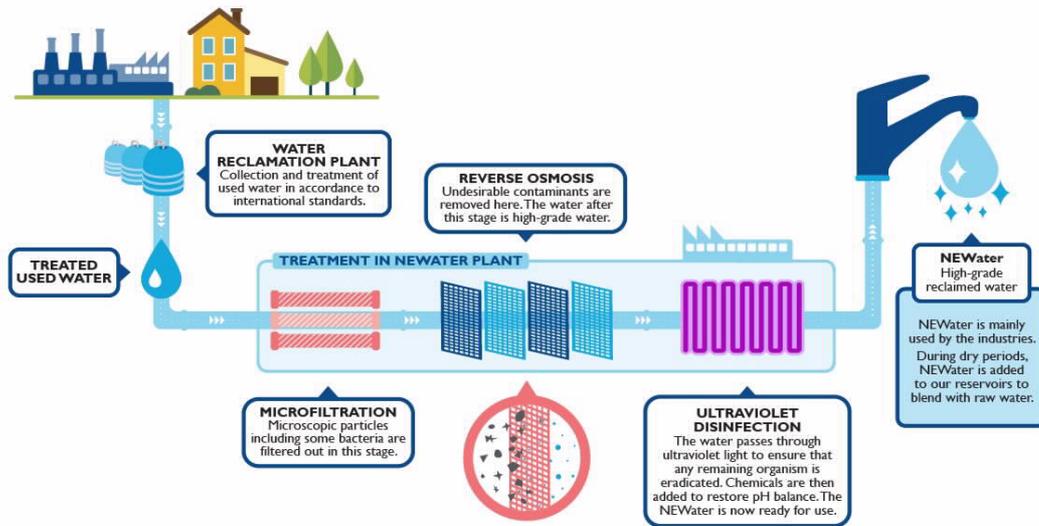
逆浸透膜を通過させた後、生成後の水にミネラルとフッ化物を添加している。その後、PUB

が所管する配水池に送水され、そこから一般家庭等に配水される。

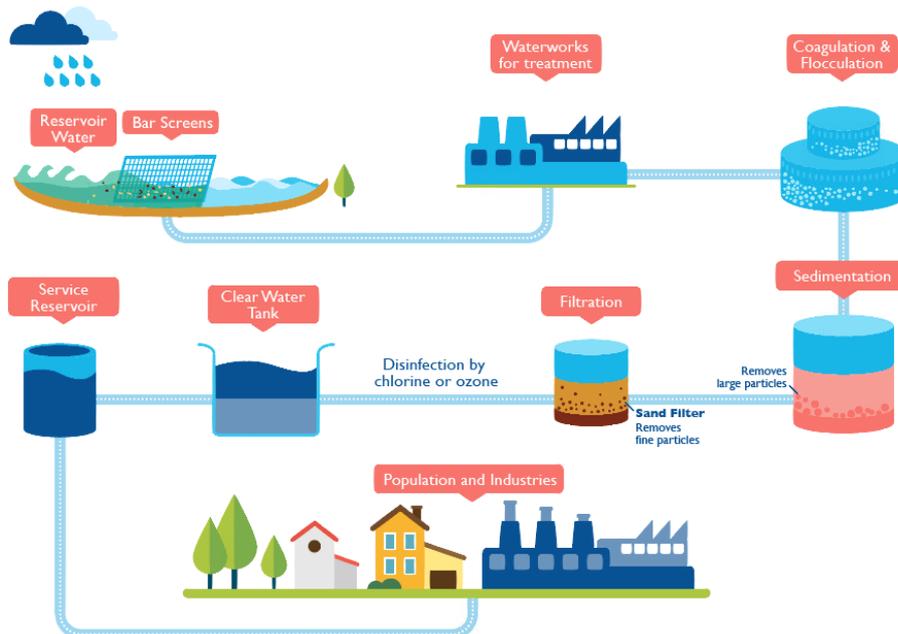
(5) NEWater (再生水) について

シンガポールが掲げる水の生産量拡大方法の 1 つに NEWater (再生水) の利用がある。

NEWater とは、下水処理した水を膜や UV を用いて更に高度に処理した水のことである。現在はシンガポールには 5 つのプラントがあり、今日の水需要の約 40% を賄うことが可能である。政府は 2060 年までに NEWater によって想定水需要の 55 % を確保しようと計画している。1970 年頃から NEWater をつくる案は存在したが、当時は膜の信頼性やコストの面からなかなか実現することが困難であった。2000 年 5 月に再生水のプラントを完成させ、2001 年から NEWater を導入している。再生水の生成工程は、下水処理後の水を MF 膜と RO 膜に通し、更に UV ランプを用いて殺菌するという流れである。(以下が再生水生成工程)



生成された水は通常の水道水よりも綺麗であるため、主にジュロン地区にある半導体製造関連の工場等に供給している。余った水は空調の冷却水として用いられ、貯水池に送られたりしている。貯水池へ流入した再生水は貯水池に溜まった雨水と共に通常の浄水処理(急速濾過)が行われ、飲料用水へと変化する。(以下は通常の飲料用水の生成工程)



再生水は様々な水質試験にクリアしており、当然、WHO が掲げる飲み水の基準を満たしている

が、原水は下水であるため直接飲むには抵抗がある人々が多いと思われる。私が今回訪問した『NEWater Visitor Centre』は訪問者にそのような不安要素を解消してもらい、再生水の有用性について少しでも理解してもらうこと意図して2003年に建設された施設である。ここは年間何十万人もの人々が訪れる場となっている。再生水についてパネルや展示物を用いて分かりやすく学べるほか、シンガポールの水事情を交えながら再生水を製造するに至った経緯についても把握することが可能である。訪問した人全員にPRのため、NEWater ボトル(非売品)が渡される。私もこれを頂き試飲してみたが、純水のようにほぼ無味無臭であり、飲んでいて然程不安を感じることはなかった。



【写真 87 : NEWater ボトル①】



【写真 88 : NEWater ボトル②】

私は平日に NEWater Visitor Centre を伺ったが、その際、沢山の小学生の団体が次々にこの場所を訪れていることにとても驚かされた。それは、シンガポールが直面している問題やそれを解消するための対策等、シンガポールの現状について学ぶことが教育カリキュラムの中に盛り込まれているからだという。幼少期からそれらの事情について学習することは再生水を広める意味でもとても有益と思われる。シンガポールの増加する水需要に再生水という手段で対応していくためには、現状よりも国民の理解を広めることが必要なのは間違いない。再生水は水資源の少ないシンガポールにとってそれを解消する可能性を秘めた水源であり、それをPRすることは欠かせない。



【写真 89 : NEWater Visitor Centre ①】



【写真 90 : NEWater Visitor Centre ②】



【写真 91】



【写真 92】



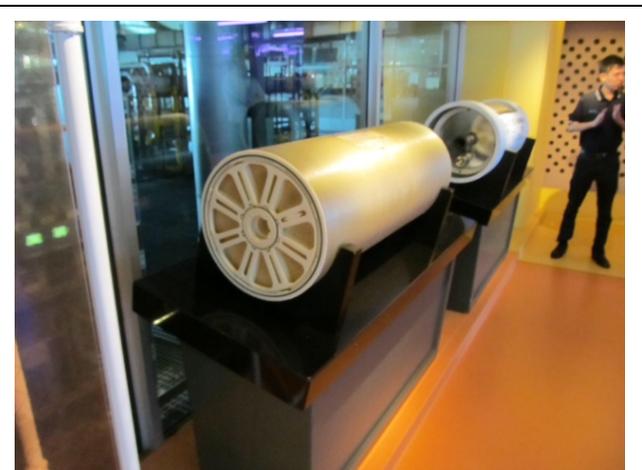
【写真 93】



【写真 94 : MF 膜】



【写真 95 : RO 膜①】



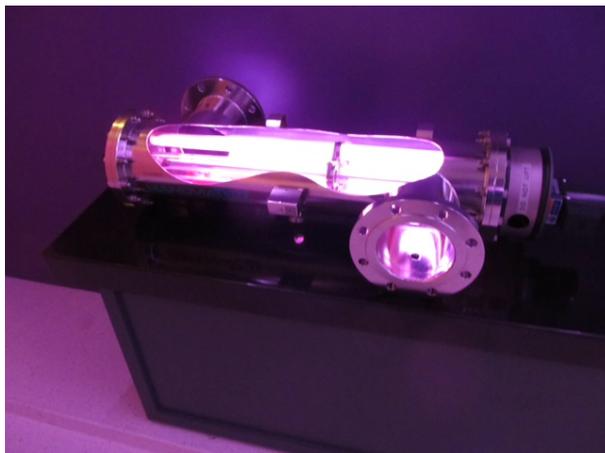
【写真 96 : RO 膜②】



【写真 97 : RO 膜 断面図】



【写真 98】



【写真 99 : UV ランプ】



【写真 100】

4 研修結果

(1) ベルリンについて

ベルリンでは日本の浄水処理方法やその考え方とは異なり、如何に薬品を使用せずに自然に近い状態の飲料用水を提供できるかということに対して力を注いでいると感じた。

専門別研修で海外を訪問する以前は、日本以外の浄水処理について把握する機会に乏しかったため、基本的に日本の浄水処理を尺度としてしか他国を見ることできなかった。従って、ベルリンの浄水処理を見た際、凝集剤や塩素を使用しないことに戸惑いを覚える部分があった。しかし、ベルリンに到着直後にホテルで水道水を飲んだ時や浄水場見学で処理直後の水を試飲した際の感覚を思い起こした時、私の疑念をほぼ拭い去ってくれた。それは日本とは異なり水道水からはカルキ臭等が全くせず、味がとてもクリアであることに驚きを覚えたことに起因する。ドイツの水の循環サイクルで欠かせないのが『自然浄化作用の利用』という点である。ドイツでは天然の湧水のように表層水が涵養し再び地表に現れるまでの間を第1の処理工程として掲げている。ベルリンに数多くある湖や沼等をそのエリアとして利用しているが、更に人工的に表層水を涵養さ

せる試みも行われている。今日、膜等の浄水技術を駆使さえすれば直接的に帯水層へ水を戻すことも可能ではあるが、ベルリンではそのような場合であっても、自然の浄化能力を利用しようという点は現状で崩していない。ベルリンの水需要と帯水層への水供給量とが現状で上手く釣合っているからなせる業であることには変わりはないが、直接的に帯水層へ水供給をせずに敢えて涵養をする点をみれば、如何に自然の浄化能力が大切であるかを把握することは容易いであろう。約350万人が生活するベルリンで、地下水源の大半を汚染がほぼ無い状態で今日使用できていることは世界的に見ても稀ではないだろうか。それでいて水源保護区域とは言いながら、完全に隔離されたエリアではなく、一部の狭いエリアを除きさえすれば人々がそこへ立ち入ることが可能である。ルールさえ遵守すればレクリエーション等の目的でそこを利用することができる。当初、水源保護区域がベルリンに存在するとわかった時、皆が立ち入ることができない完全に隔離されたエリアであろうと思っていたが、実際はそうでなかったことにとっても驚きを感じた。水源保護と市民の生活とが上手く共存している背景には、ベルリン市民に水源と共存していこうという意識が根強くあるからではないだろうか。学校等ではベルリンの水循環サイクルについて学ぶことは習慣化されているという。今回の研修ではその教育カリキュラム等の内容までは迫ることはできなかったが、今後、札幌で水源の確保等を行っていく際、市民への意識付けという部分でベルリンから学ぶべきことが多くあるのではないかと思われた。また、札幌では現状で水源をほぼ豊平川に依存しているが、札幌はその扇状地に立つ都市であることから地下水位が高い傾向にある。ベルリンのようにほぼ汚染の無い状態で容易に地下水を利用できるかどうかは不明であるが、地下水が豊富に存在しているため、場合によってはそれを第2の水源として利用できる可能性があるのではないかと感じた。

(2) マルタ共和国について

マルタ共和国では、地下水の過剰摂取によって生じる塩害や過去に使用された肥料や農薬による帯水層の汚染が問題となっていた。その負担を軽減するため、逆浸透膜による海水淡水化の割合を増やしたり、下水処理用水を更に高度処理した再生水を灌漑用として提供したり等の対策がとられていた。海水から生成する淡水の割合を増やそうとした場合、一番ネックとなるのが生成する際のコストである。それは、淡水化する際に用いられる逆浸透膜を通過させるためには莫大なエネルギーが必要となるからだ。マルタではそこで用いたエネルギーを如何にして回収し、どれだけ低コストで淡水をつくることができるかということに重点を置いていると感じた。

仮に海水淡水化により、帯水層への負担を現状よりも軽減できたとしても、ドイツのように地下へ水を還す習慣を構築しなければ現状はさほど改善されない。それは、マルタ共和国の年間降水量が250～450mmにしか満たないことによる。また、マルタ共和国は地中海のバカンス地として栄え、今日、年間160万人以上の観光客が訪れる国となっている。私がマルタを訪れた際は温暖な時期ではなかったが、それでもかなり多くの観光客がこの国を訪れていることに驚きを隠せなかった。彼らの水需要に対応することで、帯水層の塩化に拍車がかかったのではないだろうか。当然のことながら彼ら向けの食物をつくるという観点からいっても、より多くの水を消費しなければならない。農業関係者等はそれらに対応するために以前よりもより帯水層へ負担をかけざるを得ない状況に陥っているものと推測される。今日、マルタでは帯水層へ水を還元するサイクルを確立するため、下水処理した水を膜と紫外線を駆使して更に処理し、大口の使用者である農業関係者に灌漑用水を提供するという手段を行っている。今後、その供給をそれ以外の範囲にも広げていくと思われる。新たな技術を柔軟に取り入れ、帯水層への負担をカバーしよう姿勢がマルタでは垣間見えた。その一方で、マルタには帯水層の使用等に関する明確な基準が少なかったり、農業で使用する農薬や肥料に関しても独自の規定がなかったりした点に関し、少々疑問を感じた。長期的な視野で帯水層を適切に使用しようとした場合、技術的な改善策以外に法的な縛りも欠か

せないのではないかと感じた。

今後、札幌で新たな水源を模索する場合、再生水自体が新たな水源の1つとなりうるのではないかと思われた。また仮に、ドイツのように地下水源を新たな水源と位置付けた場合であっても、再生水を地下への還元用として利用できる可能性があるのではないかと感じた。

(3) シンガポール共和国について

PUB を訪問した際、マレーシアから出来るだけ早く資源的な面で独立をしなければならないという危機感がとても伝わってきた。マレーシアからの独立当初、シンガポールにある川や池は酷く汚染され、原水として使うには厳しい状態であった。急激に発展するシンガポールの水需要に対応するため、政府は国民の生活スタイルや彼らの意識を改善し、それらの水質環境を整えながら集水エリアの確保に努めてきた。それでもこれから見込まれている水需要に対応していくためには、東京 23 区と同等の面積しかないシンガポールにとって更なる集水域拡大には限界がある。その国土の中でこれ以上の水源を確保していくためには、海水淡水化や下水の再利用という道しか現状では残されていないと思われる。マルタ共和国と情勢は異なるが、両国共に水需要が急激に増加し、それに伴って別な水源を模索している点では似ている。その2か国を比較した場合、技術的な面からいえば思った程の差は感じられないが、国家の置かれた境遇に関して国民が把握する機会に決定的な差があると思われる。シンガポールに関して言えば、その状況を把握する機会が色々な場面で設けられている。それは私が NEWater Visitor Centre を訪問した際に、多くの小学生の集団がここを見学に来ているという点からも伺える。政府が掲げる教育カリキュラムの中でそれらについて学ばなければならないと謳われているからだ。国民の生活をより良い方向へ導く際、どのようにしたらその政策について少しでも彼らの理解を得られるか等、シンガポール政府は常にそのような事を模索していると思われる。情報提供の場を増やし、情報伝達がある程度軌道にのった後は、法の整備とそれに基づく実行というプロセスが確立している。シンガポールを見た時、厳しい法を国民に課しているというイメージも少なくはないが、先見の明を持った主導者が国民をより良い方向へ導くためにはやむを得ない部分も中にはあるのではないだろうか。今後、豊平川の代替となる水源の確保を進めていく上で、シンガポール政府のその手法から多く学ぶべきところがあるのではないかと思われた。

マルタ共和国とシンガポール共和国が現状で行っている下水の再利用という観点は多くの場所において水源拡大の可能性を秘めている事業である。水源に乏しい両国だからこそ、そのような政策を行わざるを得なかったといえればそれまでもかもしれないが、とても有効な案であることには変わりはない。それを飲み水として使用する場合、通常の飲料用水以上に澄んだ水とはいえど元を辿れば下水という意識が常に付きまとう。おそらくそれを払拭するためには相当な時間がかかるであろう。現状、マルタでそれは灌漑用であり、シンガポールにおいてメインは工業用であるが、今後の国の情勢等によっては、再生水を直接的に飲み水の一部として利用する場合もあり得るのではないだろうか。その際、それぞれの政府はどのような手法で国民の理解を広めていくのかを長い目で把握する必要があるのではないかと感じた。

5 総括

今回の研修は、研修テーマ・訪問先の選定・訪問先とのアポイントメント等、全てを基本的に自力で行うというもので非常に大変なものであった。国内では日本語以外の言語を使う機会が少ないため、意識しないとなかなかその他の言語は身につかないものである。現状の実力でどの程度、英語でコミュニケーションを図れるかを把握することがこの研修への参加目的の1つであった。訪問先では基本的に英語でのやり取りであったが、説明の趣旨や質問の意図を把握できても、

それに対して相手が理解し易いかたちで返答することが困難であった。その現状を痛感できたことや他国の状況を把握することができたことは、私にとって非常に有意義な経験だったと思われる。その改善点を基に更なる語学力アップを図っていこうと考えている。また今回、訪問先へ何う以前は、日本以外の浄水処理を把握する機会に乏しかったことから、そこを基準としてしか他国を見ることができなかつた。そのため、他の浄水処理方法等に疑念を抱く部分も多々あつたが、必ずしも日本の浄水処理方法等が絶対であるとは言えない部分があり、他国から学ぶ余地がまだまだ残されているのではないかと改めて認識できるようになった。今回の研修を終えて、より中立に近い境地から自国や他国の水問題等を把握できるようになったことは、私にとって最もプラスとなった点だと思われる。これを機に、引き続き他国が抱える水問題等を把握しながら、日本の状況と照らし合わせていきたいと考えている。

この度、訪問を快諾して頂きましたベルリン上下水道公社、マルタ水道サービスコーポレーション、シンガポール公益事業庁の方々に御礼申し上げます。また、このような貴重な機会を与えて下さいました公益社会法人日本水道協会研修国際部の皆様、札幌市水道局の方々に心から感謝申し上げます。

6 参考

- ・ベルリン上下水道公社 パンフレット 『Water for Berlin』
- ・ベルリン上下水道公社 ホームページ (<http://www.bwb.de/content/en/html/index.php>)
- ・マルタ水道サービスコーポレーション パンフレット 『Not Simply Water』
- ・マルタ水道サービスコーポレーション ホームページ (<http://www.wsc.com.mt/>)
- ・Pelton Turbine/Wheel Working & Design (<https://www.youtube.com/watch?v=rf9meqw2SQA>)
- ・エネルギーリカバリー社 ホームページ (<http://www.energyrecovery.com/>)
- ・シンガポール公益事業庁 パンフレット 『OUR WATER, OUR FUTURE』
- ・シンガポール公益事業庁 ホームページ (<https://www.pub.gov.sg/>)