

第10章 上下水道政策

第1節 概要	172
第2節 組織	172
第3節 全体計画・主要目標	174
第1項 「Singapore Green Plan 2012～Sustainable Singapore Blueprint」	174
第2項 「PUB Long Term Water Plans」	174
第4節 上水道	175
第1項 貯水池	175
第2項 輸入水	175
第3項 下水再生水「NEWater」（ニューウォーター）	176
第4項 海水淡水化	177
第5節 下水道	177
第1項 大深度トンネル下水道システム計画	178
第2項 膜分離活性汚泥法	178
第6節 水需要抑制への取組	179
第7節 水関連産業の新たな展開—世界に発信する水産業	179
第1項 グローバル・ハイドロ・ハブ	179
第2項 国際水週間の開催	180
第8節 今後の展望	180

第1節 概要

シンガポールは、年間降水量が約 2,400mm に達する多雨地域に位置するものの、国土が狭小であることに加え、最も標高の高いブキティマ高地でも 163m しかない平坦な地形で、水源林等も少なく、保水・貯水能力が乏しい。効率的に取水できるような大きな河川もない。他方、シンガポールは狭い国土に 547 万人が暮らす超過密都市であり、政府の積極的な産業誘致もあって水需要は増加の一途をたどっている。シンガポールでは、1965 年の独立以来、国内の水源だけでは全ての消費量を賄うことができないため、供給の一部を隣国のマレーシアからの輸入に依存してきた。しかしながら、水の安定的な供給は国家の命運に関わる問題であり、政府は、水源の開発や循環利用の推進に積極的に取り組んでいる。

図表 10-1-1-1 「シンガポール国内の水源」

(出所: Public Utilities Board ホームページ)

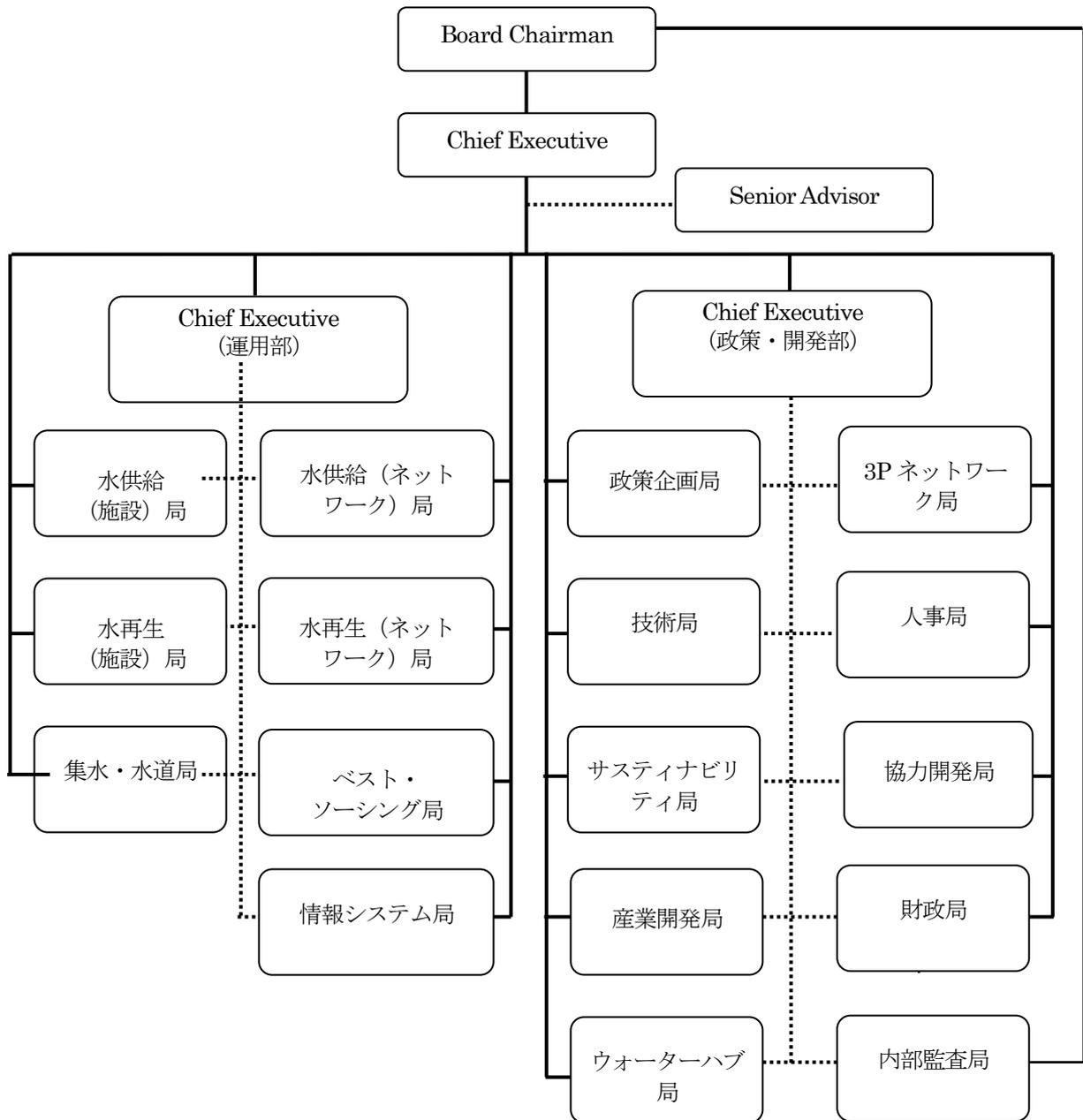


第2節 組織

シンガポールにおいて、上下水道政策の全般を一元的に所管している機関は、環境・水資源省 (MEWR: Ministry of the Environment and Water Resources、2004 年 9 月 1 日に「環境省」から改称) の管下にある公益事業庁 (PUB: Public Utilities Board) である。

PUB は、水、電気、ガスの供給機関として 1963 年に設置され、ライフライン基盤の整備の面からシンガポールの発展に寄与してきた。2001 年 4 月には、21 世紀を見据えたコスト削減とサービス向上を目指し、大幅な組織改編が行われた。電気及びガス部門が民営化されるとともに、旧環境省の内局であった下水道関連部門が PUB に移管され、さらに、PUB は通商産業省から環境省の管下に位置づけられた。また、2004 年 10 月の内部組織の改編により、高度処理再生水を担当する水再生局が、下水道局から独立した。これらの一連の組織改編により、PUB は、水関連政策全般を所掌する機関となり、現在、上水から下水に関する水政策全般の企画・立案や、水処理施設の建設・管理・運営等の幅広い分野を担いながら、シンガポールにおける安定的な水供給の実現を目指している。

図表10-2-1-1 「公益事業庁(PUB)組織図」 (出所：公益事業庁 Website)



出所：公益事業庁 Website (2014年7月1日現在)

第3節 全体計画・主要目標

第1項 「Singapore Green Plan 2012～Sustainable Singapore Blueprint」

2002年8月に、環境水資源省から発表、2006年に改訂された「Singapore Green Plan 2012」では、持続可能な社会の実現のために、大気、水、廃棄物処理、自然保全、公衆衛生、国際協力の各分野で設定された到達目標を示しながら、環境に関して国が進むべき方向性が定められた。

このうち、水に関する分野については、①雨水を貯水池に集める集水地域の国土に占める割合を50%から67%に引き上げること、②海水の淡水化や下水の再生利用といった新たな水資源確保の手法で、シンガポールにおける水需要の少なくとも25%を賄うこと、③国際基準を満たす水質での水供給を引き続き行うこと、④一人当たりの一日の家庭用飲用水の使用量を155リットルまで引き下げること等が掲げられた。

その後、これら目標値については概ね達成されている。①「集水地域の国土に占める割合」については、2011年末に67%を達成し、現在は目標値を90%としている。②「海水の淡水化や下水の再生利用の国内水需要に対する供給割合」については、合計40～55%程度を賄えるところまで来ている。④「1人あたり1日の家庭用飲用水の使用量」は、2013年時点で151リットルまで達成できている。

さらに、2008年には、シンガポール政府は、国家開発省(MND)、環境水資源省(MEWR)、財務省(MOF)、運輸省(MOT)、通商産業省(MTI)合同で「持続的発展に向けた省庁横断委員会(IMCSD :Inter-Ministerial Committee on Sustainable Development)」を設置し、2009年には、シンガポールが持続的な社会発展の実現に向け、2030年までに目指す青写真「Sustainable Singapore Blueprint」を発表、2014年11月には改訂版が発表された。

この中で、②「海水の淡水化や下水の再生利用の国内水需要に対する供給割合」を、2060年までに80%（海水の淡水化25%、下水の再生利用55%）、④「1人あたり1日の家庭用飲用水の使用量」2020年までには147リットル、2030年までには140リットルという新たな目標値を定めている。

第2項 「PUB Long Term Water Plans」

2010年6月、シンガポール政府は、2060年までの水需要の予測とその対応策に関する計画を発表した。国全体の水需要が、発表当時の2010年の水需要である一日173万 m^3 から¹、2060年までに一日346万 m^3 に倍増すると予測する一方、下水の再生利用や海水淡水化による造水能力を強化し、これら2つの手法による水需要に対する供給割合を、現在の40%から80%に向上させることを見込んでいる。

図表10-3-2-1 「PUB Long Term Water Plans における水需要・供給の予測」

	2010年	2060年
全水需要（一日当たり）	173万 m^3	346万 m^3
内、家庭用	45%	30%
内、非家庭用	55%	70%

¹ 2014年現在の水需要は約191万 m^3 となっている。

造水による供給比率	40%	80%
下水再生	30%	55%
海水淡水化	10%	25%

第4節 上水道

上水道は、イギリスの植民地であった1857年、慈善家のタン・キム・セン氏による寄付金を元に建設が始まり、1867年に完成したトムソンロード貯水池(現マクリッチ貯水池)と給水設備に端を発する。現在、送配水管の総延長は約8,000km以上に及び、水道普及率は100%に達している。また、シンガポールの水道水は世界保健機関(WHO)の飲料水水質ガイドラインを満たし、蛇口から直接飲用に供することができる。

先述のように、狭小で平坦な国土であるシンガポールでは、自然降雨のみにより水需要を満たすことは不可能であり、早くは第二次世界大戦前から、貯水池の建設やマレー半島からの送水が行われるなど、水資源の確保は、国の重要な課題となってきた。現在、シンガポールにおける水供給の調達源は、①貯水池、②隣国マレーシアからの輸入水、③下水再生水「NEWater」(ニューウォーター)、④海水淡水化となっており、これらは、「4つの蛇口」(Four National Taps)と呼ばれている。

第1項 貯水池

平坦な国土であるため、大規模なダムによるものではなく、多くは、河口や入江を閉鎖することによる淡水貯水池となっている。

2008年11月に、シンガポールで15番目の貯水池として運用を開始した「マリーナ貯水池」(Marina Reservoir)は、「マリーナ・バラージ」(Marina Barrage)と呼ばれる堰を、シンガポール川等が注ぐマリーナ湾口に設置し、その内陸部側を貯水池としたものである。マリーナ貯水池の運用が開始されたことにより、シンガポールの国土のうち、新たに6分の1の面積が、雨水の集水可能地域となり、この貯水池単体で、現在のシンガポールの水需要の約10%に比べられる規模となっている。また、2009年12月に開設された「ポンゴール貯水池」と「セラングーン貯水池」では、淡水化作業を終え、2011年7月より運用を開始した。

このように、現在、シンガポール国内には、17箇所の貯水池が設けられ、これら全てを合わせると、国土に占める集水可能地域は、67%に達成している。さらに、シンガポール政府は、「Variable Salinity Plant」と呼ばれる最新技術の導入を進め、海岸線付近からの集水を行うことで、2060年までに集水地域の割合を90%にまで高めることを計画している。

第2項 輸入水

シンガポールの上水道の大きな特徴は、国内の水源だけでは不足する原水の一部を、隣国マレーシアのジョホール州から購入していることである。シンガポールとジョホールを結ぶジョホール海峡には、地上及び地下に複数の送水管が設置され、シンガポールに向け

て送水している。

マレーシアのジョホール州からの原水の取水は、1961年に締結されたテブラウ川・スクダイ川を水源とする「The Tebrau and Scudai Rivers Water Agreement」と、1962年に締結されたジョホール川を水源とする「The Johor River Water Agreement」に基づいており、それぞれ2011年、2061年までの有効期間が設定されている。これらの協定では、シンガポールは一日当たりそれぞれ8,600万ガロン（約39.1万 m^3 ）、2億5,000万ガロン（約113.7万 m^3 ）の原水を、1,000ガロン当たり0.03リンギット（1 m^3 当たり約0.2円）で輸入することができるとされており、このうち12%相当量については、浄水加工した水をジョホール州が1,000ガロン当たり0.5リンギット（1 m^3 当たり3円）で購入する権利を有することとなっている²。

これらの協定のうち、1961年に締結されたものについては、2011年に期限を迎え、シンガポール政府は、下水再生、海水淡水化、貯水池による国内の水調達源の多様化と強化を図ってきたことを背景に、これを更新せず、ジョホール州にある水処理施設4か所をマレーシア側に譲渡した。

第3項 下水再生水「NEWater」（ニューウォーター）

シンガポールでは、下水を高度処理し、再利用する計画が進められ、既に2003年2月から、原水としての実用化が始まっている。「NEWater」（ニューウォーター）と名付けられたこの水は、下水処理場で通常の処理が終了した水に、更に3段階の浄化処理³を施し、飲用可能な水準まで高度処理した再利用水である。

PUBと旧環境省の共同プロジェクトとしてニューウォーターの開発研究が始まったのは、1998年である。研究の主な目的は、再利用水の原水としての利用の可能性を検討することであった。2000年5月には、一日当たり産水能力1万 m^3 のパイロット施設がベドック下水処理施設の下流に建設され、2年間にわたって実証研究が行われた。マレーシアとの水源の問題に関する交渉が難航する中、2002年7月には、専門委員会から、ニューウォーターがシンガポール及び世界保健機関（WHO）の飲料水水質基準を満たしているという報告がなされ、政府は2003年2月からニューウォーターを原水として利用することを開始する旨を発表した。

現在、シンガポール国内では、4か所⁴のニューウォーター工場が稼働し、全水需要の約30%を供給している。シンガポール政府は、PUB Long Term Water Plansにおいて、全供給量に占めるニューウォーター由来の原水を、2020年までに40%、2060年までに55%に引き上げる方針を示している。チャンギ地区では2か所目となるニューウォーター工場

² マレーシア・ジョホール州への上水の再販は、ジョホール州内の浄水場で浄水加工した水をシンガポールへ送水する過程で、各戸に配水する仕組みとなっており、シンガポールから再度送り返す手間を省く効率的な配水方法となっている。

³ ①中空糸膜による精密ろ過、②逆浸透ろ過、③紫外線による殺菌の3段階を経る。これらのうち、①と②については、日系企業の技術が大きく貢献している。

⁴ 2003年ベドック、クランジ、2007年ウルパンダン、2010年チャンギの4か所。チャンギが最大で、ウルパンダンがこれに次ぐ。

が建設されており、2016年までに完了が予定されている同工場では、1日当たり約22.8万m³の産水能力が見込まれている。

ニューウォーターは、その大部分が、工業用水として直接供給され、冷房装置の冷却水や半導体製造工場での超純水等として利用されている。また、その一部は、貯水池に放水され、雨水等と混合された後、通常の浄化処理を経て一般家庭にも給水されている。この手法は、間接飲用化（Indirect Potable Use）と呼ばれ、米国各地で20年以上の実績があり、貯水池の水と混合することで心理的な抵抗感を軽減するとともに、処理過程で失われたミネラル分を添加できるという利点がある。放水されるニューウォーターの全消費量に対する割合は、当初は1%未満であったが、現在は平均2.5%まで引き上げられている。

なお、ニューウォーターの飲料水としての利用については、国民の理解促進を図るため、2003年に「NEWater Visitor Centre」が開設された。ここでは、ニューウォーターの製造過程を見ることができるとともに、特に子ども達に対し、ニューウォーターの安全性や節水といった水にまつわる教育機能が提供されている。

第4項 海水淡水化

2005年9月、シンガポールの西に位置するジュロン工業団地に隣接するトゥアス地区で、シンガポールでは初めてとなる海水淡水化プラントが、操業を開始した。海水の淡水化については、PUB自体がプラントを所有するのではなく、民間企業が自己資本で建設・運営し、造水した水をPUBに売る、DBOO（Design-Build-Own-Operate）方式と呼ばれるPFIの手法が採られている。トゥアス地区のプラント（SingSpring）では、一日当たり13万6,000m³が生産されている。また、2013年には、同じくトゥアス地区に、一日当たりの処理能力31万8,500m³を有する2か所目となるプラント（Tuaspring）が完成している。これによりシンガポールでは、現在の水需要に対して、海水淡水化による供給が全水需要の25%まで達成できるようになったが、2060年を目標とし、水需要の増加がさらに見込まれる将来においても、水需要の25%の供給ができることを目指している⁵。

第5節 下水道

シンガポールにおいて、初めて本格的な下水道システムが完成したのは、1917年のことである。これは、当時の市の中心地域を3つに分けてそれぞれに下水路と下水ポンプを設置し、集めた汚水をアレキサンドラ通りに建設した下水処理施設でろ過処理し、シンガポール川に放水するというものであった。その後、1930年代に建設されたキム・チュアン下水処理施設とセラングーン汚泥処理施設や1961年に建設されたウル・パンダン下水処理施設などの既存処理施設の拡張と併せ、1979年から1985年にかけては、ベドック、クランジ、セレーター、ジュロンの4つの下水処理施設が新たに建設された。

⁵ Tuaspringプラントは、アジア最大規模の逆浸透海水淡水化プラント。海水淡水化の製造コストは、ニューウォーターに比べ、約1.5倍と言われる。新たな技術の利用やエネルギー効率の改善によって、Tuaspringプラントでの製造コストは、Singspringプラントより約4割も安くなっている。

シンガポールの下水道システムは、汚水と雨水の流れを分離する分流式を採用している。汚水は地下水路で処理施設に運ばれ、雨水は排水路から川や貯水池に流れ込んでいる。現在、シンガポールにおける下水道の普及率は100%に達している。

なお、シンガポールにおける下水処理施設は、2001年に、水の再利用という観点を強調した「Water Reclamation Plants」（水再生プラントの意）に改称された。

第1項 大深度トンネル下水道システム計画

先述したとおり、水資源に乏しく、下水を再利用する取組が進められているシンガポールでは、下水をどのように効率的に集めるかが、重要な課題となる。そこで、政府は、既存の下水道施設に替わる21世紀における下水処理を担う新たなシステムとして、「大深度トンネル下水道システム」（DTSS: Deep Tunnel Sewerage System）の整備を進めている。これは、従来の処理施設とその周辺地帯（周辺地域の環境維持のための緩衝帯）の有効活用やジョホール海峡への放水路の撤去による同海峡の水質改善、処理施設の集約による処理能力の向上と経費削減を目的とした、全体で30年間余りを要する大型プロジェクトである。

1999年から2008年まで行われた第1期事業では、シンガポール東部に48kmに及ぶ大深度トンネルと、その終端にチャンギ下水処理場が建設された。処理された水は、深海放水パイプライン（5kmのものが2本敷設されている。）によりシンガポール海峡に放水されるとともに、同じチャンギ下水処理場の上部に設けられたチャンギ・ニューウォーター製造工場で、再生処理が行われている。また、これに続く第2期事業では、シンガポールの中央から西側に向けて大深度トンネルが建設され、西部トゥアス地区に処理場が建設される予定である。第2期事業は2013年から始まり、2022年までに完成する予定となっている。

このシステムでは、下水を集める大深度トンネルが自然流下を利用していることから、中継ポンプの設置が不要であり、また、下水処理場を集約することで、狭小な国土の有効利用に繋がるものである⁶。

第2項 膜分離活性汚泥法

現在、シンガポールでは、効率的で、より高度な下水処理の方法として、膜分離活性汚泥法（MBR: Membrane Bioreactor）の実用化に取り組んでいる。これは、従来から下水処理に用いられている汚泥処理槽に、汚泥と水を分離する膜を浸して処理水を得る方法で、従来の方法に比べ、より良質の処理水が得られるとともに、処理施設をコンパクトに収めることができるものである。2003年から、日系企業3社の技術を利用した実験プラントが設置され、2006年には、デモンストレーションプラントの運用が開始された。それらの結果から実用化の目途がついたため、ジュロンおよびチャンギ下水処理場内へMBRプラン

⁶ 2009年までの第1期事業でチャンギ下水処理場が完成したことにより、キム・チュアン処理場とベドック処理場が2008年と2009年に閉鎖され、2011年には、セレーター処理場が閉鎖されている。

トの建設が計画され、さらに、チャンギ下水処理場には、新たに産業排水処理施設も併設される予定である。

第6節 水需要抑制への取組

シンガポールでは、これまで述べてきたような水需要に対応できる国内の供給源確保の方策に加え、水需要そのものの縮減にも、積極的に取り組んでいる。「Sustainable Singapore Blueprint」では、一人一日あたりの水使用量を、2020年までに147リットルに、さらに2030年までに140リットルに抑制することが掲げられ、各種の対策が講じられている。例えば、家庭用水については、2006年に「10リットル・チャレンジ」と呼ばれる一日10リットルの使用量の縮減を目指す取組が開始され、地域社会のボランティア組織の活動等を通じた啓発活動が行われている。また、非家庭用水については、2008年から「10%チャレンジ」プログラムが開始され、効率的な水利用を行う施設への補助金交付等により、施設ごとの水使用量を10%減らす取組が展開されている。

国民への意識付けの観点からは、水に関する活動（水辺でのレクリエーションや美化運動）に積極的に関与させ、水に対するオーナーシップ意識の醸成に努めている。

また、具体的な節水に対する経済的インセンティブを与えるため、家庭用水については、使用量が多くなるほど、料金単価と水保全税率が高くなるよう、設定されている⁷。具体的には、1m³当たりの料金単価（水道料金）が、月間使用量40m³以下のときは1.17シンガポール・ドルであるのに対し、40m³を超えるときは1.40シンガポール・ドルとなっている。水保全税も同様に、月間使用量40m³以下のときは税率が30%であるのに対し、40m³を超えるときには税率が45%となっている。

図表10-6-1-1 「水道料金表」（出所：公共事業庁 Website）

カテゴリー	使用水量 (m ³ /月)	料金 (cents/m ³)	水保全税 (%)	下水料金 (cents/m ³)
家庭用	1～40	117 (93.6 円)	30	30 (24.0 円)
	40以上	140 (112.0 円)	45	30 (24.0 円)
非家庭用	All units	117 (93.6 円)	30	60 (48.0 円)
船舶用	All units	192 (153.6 円)	30	60 (48.0 円)

第7節 水関連産業の新たな展開－世界に発信する水産業

第1項 グローバル・ハイドロ・ハブ

シンガポールでは、これまでの長年の水資源開発への取り組みにより、国内外の企業による水関連産業の集積が見られる。政府は、これを更に発展させ、シンガポールを最先端

⁷シンガポールにおける上下水道料金は、電気及びガス料金とともに、Singapore Power Ltd によって徴収される。上下水道料金の中には、水保全税が組み込まれ、メーター口径による基本料金制ではなく、各家庭の水道施設数（蛇口数）による定額徴収と、使用水量の従量料金制となっている。

の水関連技術の開発拠点とし、新たに開発された技術を世界に向けて輸出する「グローバル・ハイドロ・ハブ」としての地位を確立させることを目指している。

2006年5月には、環境水資源省に「環境・水産業開発委員会」(EWI: Environment and Water Industry Development Programme Office)が設置され、①能力開発、②国際化、③産業分野開発を3つの主要戦略として、2015年までに水処理部門単体のGDP貢献額を2003年比で3倍に、また、雇用者数を2倍にするとともに、世界の水市場の3%のシェア獲得を目標として掲げている。

- ①「能力開発」: アイディアの概念化から商業化に至るまでの技術基盤の発展のための施策(将来性のあるR&Dへの投資、実用化・商品化に向けた資金援助や実証実験施設の提供等)を実施。
- ②「国際化」: PUB Consultants Private Limitedによる輸出支援、コンソーシアム形成、途上国におけるコンサルティング業務等を実施。
- ③「産業分野開発」: 水関連産業におけるR&D拠点の誘致等を行うとともに、途上国の実務担当者向けの研修実施やR&D機関が入居する「Water Hub」と呼ばれる施設を設置。

これらの実施にあたっては、環境水資源省とPUBの他、経済開発庁(EDB)や国際企業庁(IE Singapore)、シンガポール国立大学(NUS)、ナンヤン工科大学(NTU)等が参加して推進している。

第2項 国際水週間の開催

シンガポールでは、2008年から「シンガポール国際水週間」(SIWW: Singapore International Water Week)が、毎年開催されている。これは、各国の水担当大臣、行政、国際機関、産業等の関係者が参加し、水問題解決のためのハイレベル会合「Water Leaders Summit」、水関連産業の見本市「Water Expo」⁸、各種ビジネスフォーラム等が行われるものである。開催期間中には、R&D投資・協力案件の契約や協定が多数締結されている。

2012年以降は2年に1度の開催となり、次回は、2016年7月10日～14日に開催が予定されている。

第8節 今後の展望

シンガポールにおいては、増加する水需要に対する国内の水源を用いた自給体制を確立することは、国の安全保障の観点からも、長年、重要な課題となってきた。

シンガポールにおいては、下水は、あくまでも「Used Water」であり、再利用すること

⁸ 第6回目となった2014年6月の開催時は、地方自治体から東京都、横浜市、神戸市、広島県、福岡市が出席参加した。

が可能な資源であると捉えられている。マレーシアからの原水輸入に関する協定が期限を迎える 2061 年までには、完全自給しようとする姿勢が鮮明に感じられる。また、その過程で、世界から優れた水関連の研究開発拠点を呼び込み、そこで生まれた新たな技術を世界に向けて売り出すというビジネスモデルを確立しようとする、政府の戦略的な国家発展の取組の一端を窺わせている。成長を続けるシンガポールのイメージとも重なるこの動きは、今後、ますます加速するものと考えられる⁹。

参考文献及び Website

- ・シンガポール政府・公営事業庁 <http://www.pub.gov.sg>
- ・シンガポール政府・国家社会福祉審議会 <http://www.ncss.org.sg>

⁹ 様々な水資源を活用しようと、現在、地下水活用についての調査も実施されている。