

調 査

第75号
(2005年1月)

内 容

水循環の高度化に関する技術動向と展望 水処理ビジネスの新たな展開

治水、利水、環境のバランスをとりながら水資源の効率的な利用を進めることが大きな課題になっている。水循環の高度化をキーワードに、その任い手である水処理ビジネスで進展中の大きな変化を探る。

水循環の高度化に関する技術動向と展望

水処理ビジネスの新たな展開

【要 旨】

- 1．都市型水害の増加、淡水資源の稀少化への懸念、一層の高度化が求められる環境対策など、水資源をとりまく課題が複雑さを増している。治水、利水、環境のバランスを取りながら、質・量両面から水資源を効率的に確保・利用するために、水循環の高度化を進める取り組みがますます求められるようになってきている。
- 2．水資源の循環利用を考えるうえでは、政策的に低価格に設定されている水道料金との比較において経済合理性を確保することが最大の課題である。この点、わが国の産業部門は排水処理レベルを改善する過程で様々な工程転換を進め長期間に亘り水資源の回収率を上昇させてきた実績がある。ここで培われた経験・ノウハウは今後の水循環の高度化を考えるうえで大きな財産である。
- 3．水循環の高度化に寄与する技術面に目を向ければ、確立した技術の組合せを競う性格が強い水処理技術にあって、近時、膜処理の広がりや高度化、バイオマスエネルギーの利用を含めた污泥処理技術の進展が注目される。膜処理は、世界的な需要の拡大と市場環境の変化を受けて価格低下が進み、伝統的な海水淡水化など造水分野から浄水処理、そして下排水処理に適用分野を拡大している。また污泥処理も、民生と官公需で方向性は異なるものの、経済性を改善すべくエネルギー回収など付随効果を追求する方向が鮮明になっている。また、表流水と並んで水循環の重要な構成要素である地下水についても、近時は政策的な対応の影響も加わり、雨水貯留・浸透、有効利用、浄化など多面的に企業活動が活発化している。
- 4．わが国の水処理ビジネスは、官公需における性能発注へのシフトや民需における更なる効率性追求といった国内市場環境の変化、膜メーカーとエンジニアリングメーカーとの連携強化やリース機能の活用、エネルギーとの接点拡大などに伴うバリューチェーンの見直し、質量両面で水問題が深刻さを増す中国など海外市場への展開などを主因に、現在大きな転換期を迎えている。個々の技術は優れているものの、官主導の市場特性に縛られ、コスト効率など総合力でみた競争力に劣るといわれてきたビジネス像は早晩大きく修正され、ユーティリティビジネスとしての性格を強めていくものと考えられる。今後は、水循環の高度化がもたらす便益とリスクを総合的に評価し、水処理ビジネスが持つ潜在力を一層引き出すような政策的な対応が重要となろう。

[担当：政策企画部 たけがはら 竹ヶ原 けいすけ 啓介 (e-mail : ketakeg@dbj.go.jp)]

【目次】

【要旨】	2
はじめに	4
第1章 水資源を巡る諸問題	5
1. 水資源を巡る様々な論点	5
(1) 防災（治水）	5
(2) 稀少資源化（利水）	6
(3) 質を巡る問題（環境）	8
(4) 問題の複雑さ	9
2. 水循環の高度化と技術	10
第2章 水資源リサイクル	11
1. 水資源リサイクルに向けた課題	11
2. 工業用水にみるリサイクル対応	12
(1) 産業部門の状況	12
(2) 更なる進展と水平展開の可能性	16
第3章 循環利用高度化を支える技術	19
1. 循環利用高度化を支える技術	19
2. 膜処理の高度化	20
(1) 膜処理	20
(2) 膜処理とビジネス環境	22
(3) コスト動向	22
(4) 膜メーカーとエンジニアリングメーカーとの連携	25
3. 排水処理の高度化とバイオマス資源の利活用	25
(1) 民需の汚泥対策	25
(2) 下水道の汚泥対策	27
(3) バイオガス化の可能性	30
4. 地下水の有効利用	33
(1) 地下水涵養に向けた新たな動き	33
(2) 地下水の有効利用	34
(3) 必要となる「浄化」	36
第4章 水処理ビジネスの新たな展開	40
1. これまでの水処理ビジネス像	40
2. 水処理ビジネス像の変化	41
3. おわりに	43
引用文献・参考文献	45

はじめに

水は、その多様な機能の裏返しとして、安全性（治水）、資源性（利水）、環境問題と様々な問題を形成している。水を巡る諸問題に総合的に対処するため、「健全な水循環系の確立」が大きな政策課題に掲げられている所以である。本稿では、水問題の様々な側面のバランスを取りながら、質・量両面から水資源を効率的に確保・利用することを水循環の高度化と位置づけ、これに貢献する水処理ビジネスの現状と変化を考えることを目的としている。

第1章では、前提となる水問題の様々な側面を概観する。第2章では、長年にわたり水循環を進めてきた産業部門の動向を整理し、続く第3章でこうした取り組みを支える技術動向を、近時変化が著しい膜処理と汚泥対策、地下水対策について整理する。第4章では、水循環の高度化に資する技術供給主体である水処理ビジネス像が大きく変わりつつある状況について考える。

第1章 水資源を巡る諸問題

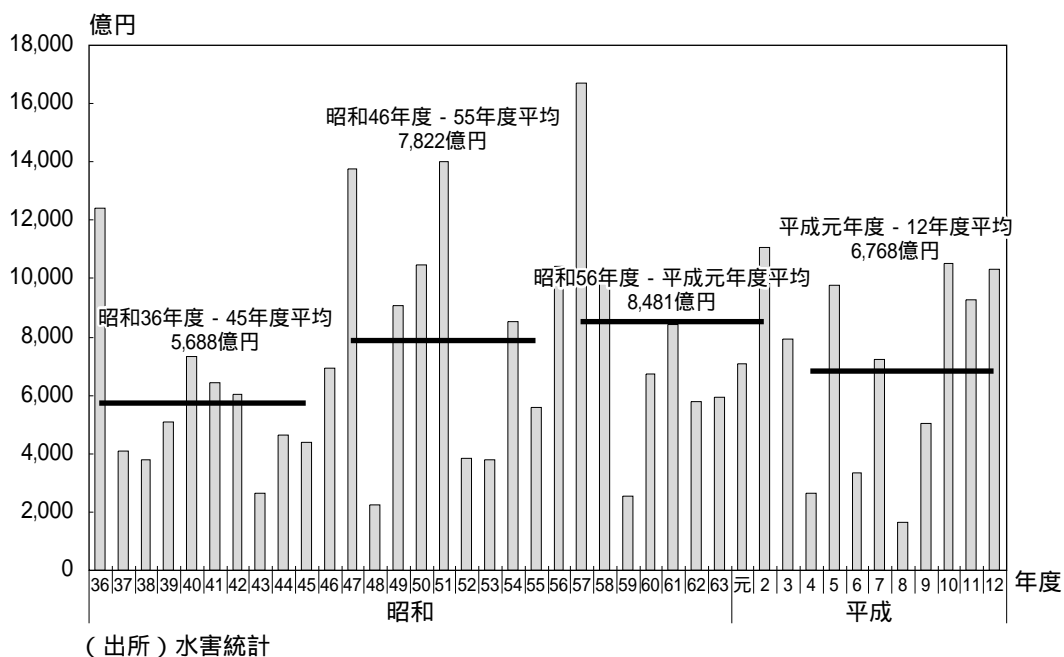
1. 水資源を巡る様々な論点

健全な水循環系は、「流域を中心とした一連の水の流れの過程において、人間社会の営みと環境の保全に果たす水の機能が、適切なバランスの下に、ともに確保されている状態」と定義されている¹。もともと自然環境のなかで循環している水について改めて「健全な循環」が問題になるのは、治水や利水という伝統的な課題の変化に加え、これらと自然環境保全からの要請とのバランスを取ることが難しくなっているためである。

(1) 防災（治水）

わが国における水害は、昭和35年の治山治水緊急措置法の制定、同法に基づく治水事業の進展から昭和40年代の前半に減少傾向にあったが、その後都市内の中小河川を中心とする水害が頻発するようになり、被害も長期増加傾向を示してきた（図表1-1）。特に近年では、平成11年の福岡市、東京都、同12年の名古屋市、同16年の相次ぐ台風による各地の水害など、大規模な都市型水害が頻発するようになって防災対策としての治水が改めてクローズアップされている。

図表1-1 水害額の推移（平成7年価格）



1. 関係省庁の連携を進めるために98年8月に発足した「健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会議」。

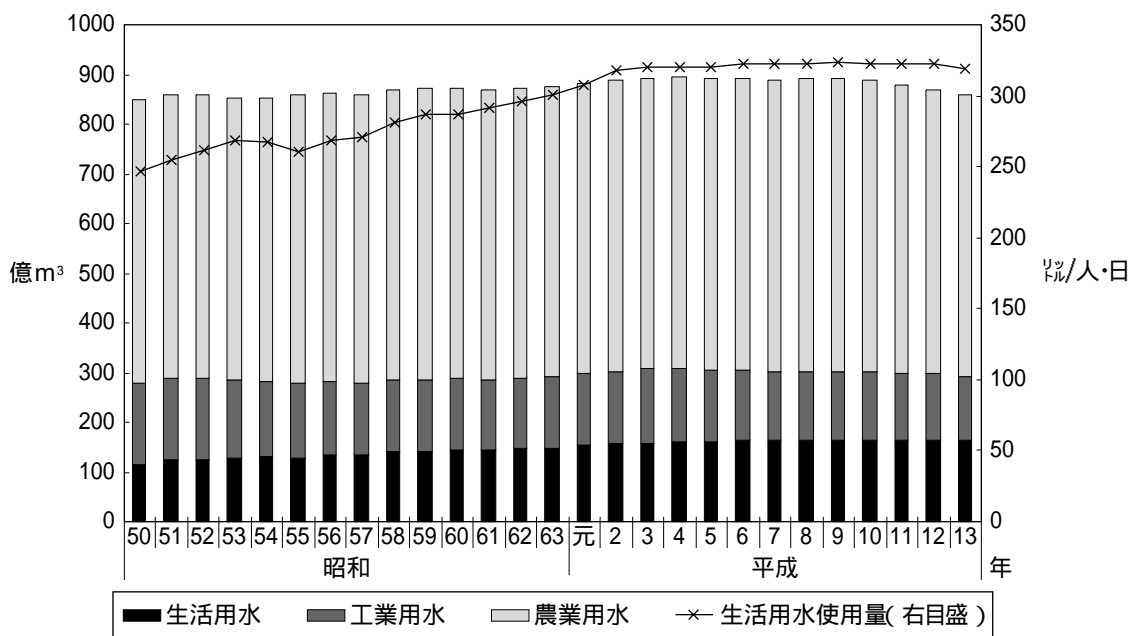
都市型水害が増加している背景には、戦後一貫して進展した都市化に伴い、低地地帯での市街化が進んだことや、土地利用の変容により流域がもつ雨水の保水機能が減少し、豪雨時に雨水が短時間で流出（洪水流出量が増加）するようになったことなどの長期的かつ構造的な問題に加えて、その結果ともいえるヒートアイランド化現象の影響が指摘されている²。

平成16年5月には、後記の「特定都市河川浸水被害対策法（平成15年法律第77号）」が制定され、都市河川流域における新しい浸水被害対策に新たな政策的対応が図られることになった。今後、特定河川とその流域において、河川管理者、下水道管理者、地方公共団体が一体となって総合的な浸水被害対策が進められることになるが、これは治水が依然として大きな政策課題であることを端的に示すものといえるだろう。

（2）希少資源化（利水）

わが国は現在年間900億 m^3 弱の水資源を使用している（取水量ベース）と推計されている。生活様式の変化を反映して人口1人あたりの平均使用量は微増傾向にあるものの、総量としては用途を問わず安定的に推移している（図表1-2）。一時的な渇水期や離島などの特定地域は別にして、わが国は水資源量の恒常的な不足に直面してはいない。マクロレベルでは降水量や賦存量³の相対的な少なさが指摘されているが、実感を持ちにくく、また水不足を人

図表1-2 わが国の水消費量の推移



（出所）国土交通省「日本の水資源」

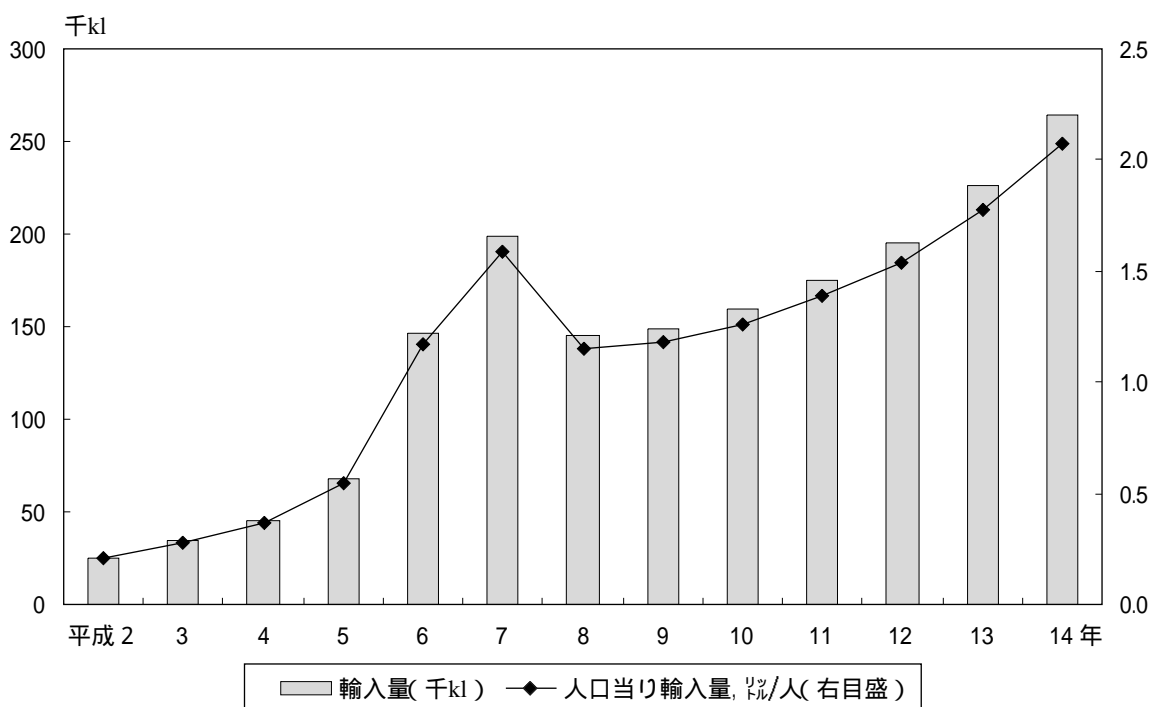
2．内山 [2003]

3．降水量から蒸発散量を引いたものに地域面積を乗じた値で、人間が最大限利用可能な理論上の値。

口増加によって水ストレス状態⁴に陥る地域の問題だと考えれば、わが国とは無縁の話にも聞こえる。

他方、将来的な水資源不足への懸念も指摘されている。淡水が希少資源であるというのは、いまや国際的な共通認識になりつつあるが、これが日本にも影響するという指摘である。日本は海外からの資源輸入に大きく依存しており、水もその例外ではない。近時増加が著しいミネラルウォーターという直接的な水輸入（図表1-3）もさることながら、輸入される食料品等の生産に使用される水を - 間接的に - 大量に輸入している点が注目されている（図表1-4）。世界的な水不足の進展は、こうした「仮想水」⁵の確保を困難にし、食糧難など間接的な形でわが国に重大な影響を及ぼしかねないという問題である。資源としての淡水を確保できるかどうかという量的な問題は、後にみるように海水淡水化技術の高度化による調達コストの低下との兼ね合いで考える必要があることから、単純に不足のみを強調するのは問題ではあるが、長期的にみて日本の水収支が見た目ほど安泰ではないというのは事実であろう。

図表1-3 ミネラルウォーター輸入量



（出所）日本の水資源等より作成

4. ファルケンマーク (M.Falkenmark) による「水不足のない状態」、「水ストレス状態」、「水不足状態」という3区分の一つ。人口1人当たり年間更新可能淡水有効水量が1,000m³以上1,700m³未満の状態をいう。
5. Virtual Waterの邦訳。ある財を、その生産に使用された水資源量に換算したもの。輸入国で、もしその財を国内で生産していたとしたらどれだけの水資源を消費したことになるかを論じる際になどに用いられる概念。

図表 1 - 4 輸入食料由来の仮想水

品目	輸入量(千t/年)	水資源原単位(m ³ /t)	仮想水量 (億m ³ /年)
米	749	2,500	18.7
麦類	27,589	1,000	275.9
豆類	5,066	1,000	50.7
肉類(牛肉)	974	7,000	68.2
計			413.5

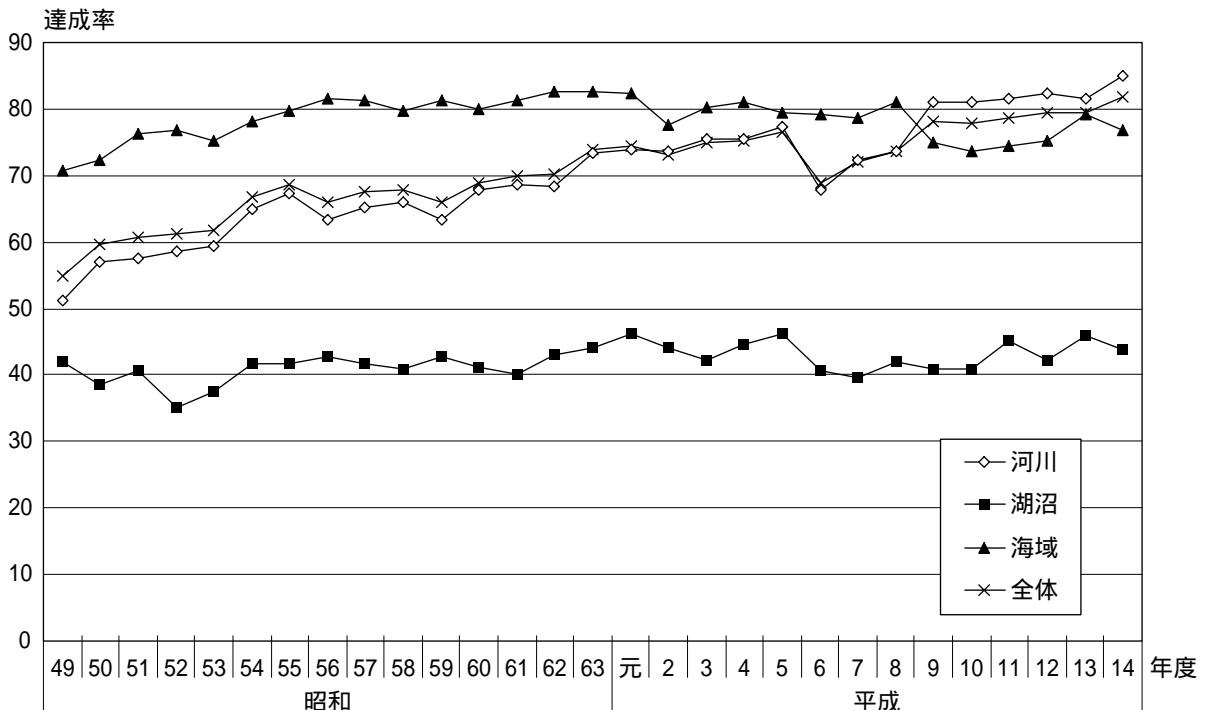
(出所) 第3回世界水フォーラム事務局「世界の水と日本」(2003/2) 10頁より転載

(3) 質を巡る問題 (環境)

治水・利水が水循環を主に量的な側面から扱うのに対し、質的な側面を問うのが環境である。水は様々なものを溶かし出し、自然流下するという性質を持つため、家庭や企業からの廃棄物の非常に安価な排出手段として利用されてきた。自浄作用を上回る廃棄物投入の結果が産業公害としての深刻な水質汚濁問題であった。

この産業公害を克服する過程で、産業部門における工程転換や排水処理が進んだことが大きく寄与する形でわが国の水質への環境負荷は大きく低下している。図表 1 - 5 で近時の腐敗性物質による環境負荷をみると、生活用水の7割程度をカバーする河川水について環境基

図表 1 - 5 水質基準達成率の推移



(出所) 環境省資料

(備考) 1. 河川はBOD、湖沼及び海域はCOD

2. 達成率(%)=(達成水域数/あてはめ水域数)×100

準の達成率は長期間に亘り上昇を続けている。しかし、これをもって水質問題が解決されたかといえばそうではない。かつてBOD排出総量の8割を占めていた工業起源の汚染が2割程度にまで減少した現在、水質汚染の論点は、生活起源の水質汚染、いわゆる排出者を特定できないノンポイント汚濁に移っている⁶。河川と対照的に湖沼水域の環境基準達成率が低位に留まっていることもその表れといえるだろう。また、化学物質管理や、後にみるように地下水汚染への対策という面でも本格的な対応は始まったばかりであり、水質面だけをみても環境対策としてもなお多くの課題が指摘されている。これに加えて、より大きな問題として今後は生態系の保全という観点からの環境対策が加わってくる。

(4) 問題の複雑さ

水問題を考える際の難しさは、こうした治水、利水、環境に関する多様な側面への対応が、相反する要素をはらんでいることである。治水を徹底した基盤整備によって進めることは、対応次第では水資源の多段階利用を妨げ、生態系に深刻な影響を及ぼすなど、安全面でのメリットを上回るデメリットを利水面や環境面で引き起こすことになる。利水を重視する場合も、また環境を重視する場合も同様であり、一つの側面に過度に傾斜すれば全体でみた場合に必ずしも好ましくない結果をもたらす。加えて、個々の対策についても、例えば、雨水の地下浸透が集中豪雨による浸水被害の軽減や地下水涵養といった便益をもたらす一方、地下水量があまりに増加すると、今度は地下施設に防災上の問題を生じるなどその効果の評価は一様ではない。

こうした水を巡る多面的な課題の縮図といえるのが都市である。都市部の人口増加や市域の拡大は、水との関わりでも多くの問題を引き起こしている。都市の拡大や水消費を支えるための開発行為により水源地域で自然破壊が進む一方、都市内部では、浸透域である緑地面積の減少や流域下水道システムの整備が進み、都市独自の水源になりうる雨水が自然循環と切り離されたまま利用されずに流出してしまっている。これに伴い、河川流量が減少して水辺空間が失われ、地下水位が低下するなどの現象が生じる一方、上記のようにヒートアイランド化の影響から局所的な豪雨による都市型水害も増加している。また、産業構造の転換に伴い再開発を進める過程で、深刻な土壌・地下水汚染問題が発覚する事例も数多く報告されている。現在大きな政策課題となっている都市再生を考えるうえでも、健全な水循環をどのように確保していくかは、大きな論点といえるだろう。

6. 中西(1994)

2 . 水循環の高度化と技術

大量生産・大量消費・大量廃棄型の社会システムによる様々な弊害が明らかになり、現在、循環型社会の形成が大きな課題となっているが、これを水資源にあてはめたものが冒頭の健全な水循環系の確立といえるだろう。治水、利水、環境という異なる側面のバランスを取りながら、質・量両面から水資源を効率的に確保・利用していくという課題の解決は全ての主体を巻き込む非常に大きな問題である。

水循環の高度化を3R（リデュース・リユース・リサイクル）に例えるならば、水資源使用量を抑制し、水源地域への過度の依存を改めること、一度利用しただけで流出させてしまうのではなく、水質に応じた多段階の利用を進めること、最終的に下排水になった水を再生して利用すること、が主要な取り組みといえる。水道水などへの依存度を下げるといのは、単に節水に努めるというよりも、雨水や下水処理水、（地域にもよるが）地下水など、これまで十分に活用されていなかった水資源の利用を拡大することである。これらを都市内部の安定した水源として利用し、既存の水道と併せて多段階に有効活用できれば、その効果は非常に大きい。水源確保や造水に係る環境負荷やコストの低減、水辺空間の再生による景観の向上やヒートアイランドの緩和といった環境面に加え、サテライト式に防災用水が確保されるなど、多くの面で都市機能を向上させ、社会的に大きなメリットがある。

水循環の高度化を進めるためには、造水、排水処理、循環利用を妨げる阻害要因の排除など様々な面で経済合理性のある技術の提供が不可欠である。水循環の高度化という大きな課題に対して、現在水処理ビジネス界はどのような対応を進めているのか、それが伝統的なビジネスモデルにどのような影響を与えるのか、以下ではこうした点を概観していくことにしたい。

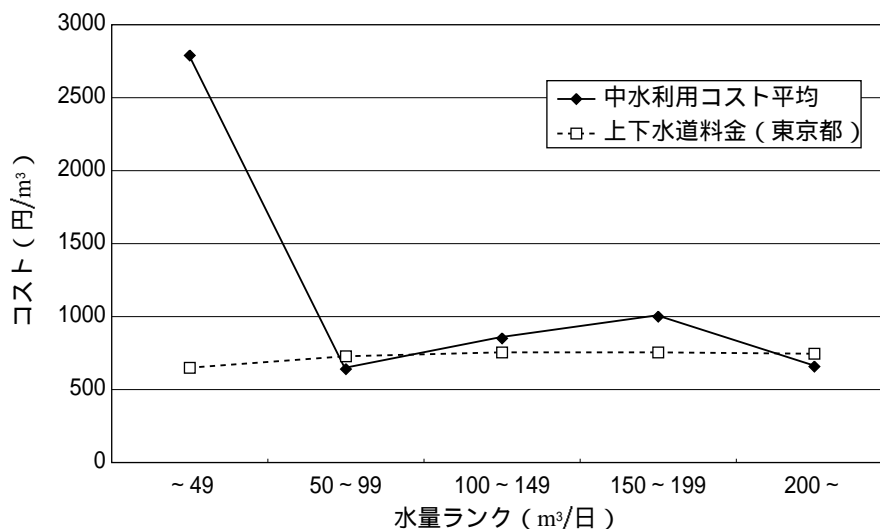
第2章 水資源リサイクル

1. 水資源リサイクルに向けた課題

産業用水であれ、生活用水であれ、使用された水を再生して利用できれば様々な社会的・経済的な効果がある。しかし、文字通り水のリサイクル事業であるため、その実施には通常のリサイクル事業と同様に越えなければならない幾つかの条件がある。なかでも最も重要なのは、再生された水資源の利用コストが水道料金を十分に下回ることである。これは、一般のリサイクル事業において再生品（エネルギー、マテリアル）が市場性を持つかどうかという、いわゆる「出口問題」のアナロジーである。水資源の場合、想定される用途によるが一般に高度なリスク管理が必要とされる一方、バージン材である水道料金が政策的に低価格に設定されており、その分一般のリサイクルに比べてハードルは高い。排水の再生処理には、膜、オゾン、活性炭などを用いた高度処理が必要であり、これに処理場から需要家までの配管コストまで加味すると、水資源リサイクルに経済性を持たせるのは著しく困難になってしまうだろう。

実際、生活用水を再生して中水利用する場合には相当な使用量があり規模のメリットを活かせない限り水道料金を下回るのは困難であると試算されている（図表2-1）⁷⁾。下水処理

図表2-1 中水利用コストと上下水道料金



(出所) 国土交通省「日本の水資源」平成13年版

7. 例えば、(社)空気調和・衛生工学会(1997)による造水コスト(LCC)試算によれば、膜処理による排水再利用の造水コストでは800m³/日の処理でも上下水道料金(東京)を下回ることが出来ないとされる。但し、この試算は後述するその後の膜処理コストの低減などを織り込んでいない点には留意が必要である。

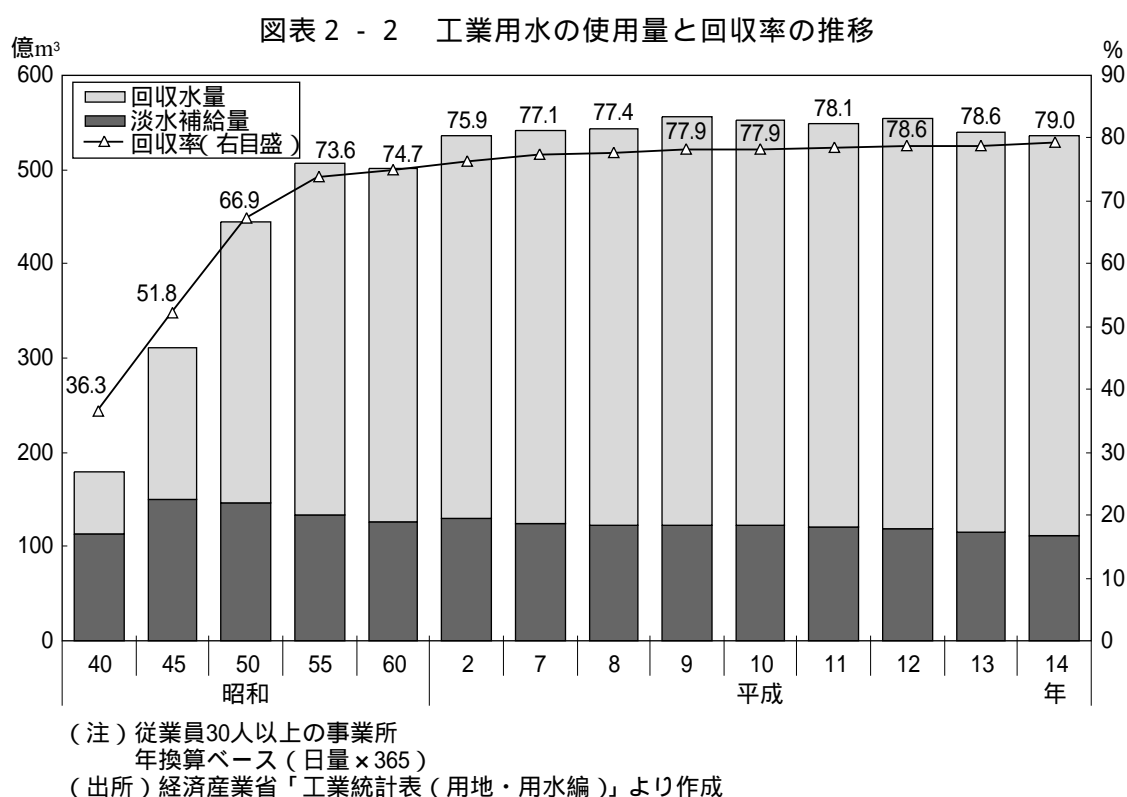
水自体は、全国1,845の下水道終末処理場から年間130億 m^3 も発生しているが、その大部分は処理場内での利用（消泡水や洗浄水）に留まっており、今のところ場外での利用は1.9億 m^3 と発生量の1%程度に過ぎない⁸。

2．工業用水にみるリサイクル対応

(1)産業部門の状況

産業部門の状況はどうだろうか。産業部門は、取水量ベース129億 m^3 と全国の水利用の約15%程度を占めるに過ぎないが、実際の使用量はその4倍以上である500億 m^3 を超えており、その大部分を循環利用で補っている。図表2 - 2は、産業界が長期間にわたって水の循環利用を進展させてきた推移をみたものである。工業用水の使用量自体、昭和50年代の半ば以降ほぼ横ばいになっていること、回収率（回収水量 / 工業用淡水使用量）は足下で8割程度にまで上昇していることが分かる。

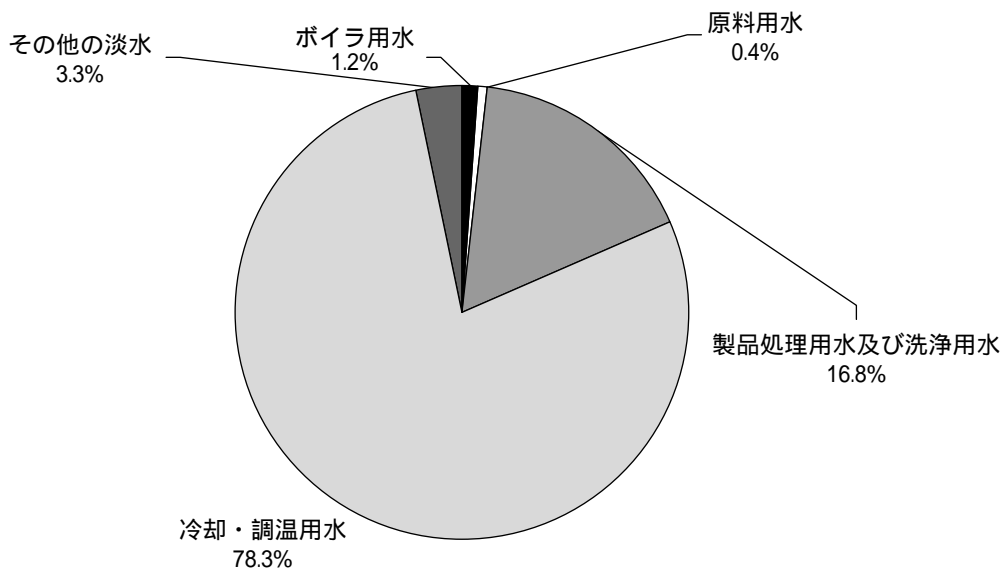
水資源の用途は、図表2 - 3にみるように様々であるが、このうち冷却水用途の割合が最も高い。冷却水として使用する場合、循環利用は相対的に容易であると考えられることが



8．国土交通省「日本の水資源」平成16年度版を参照。

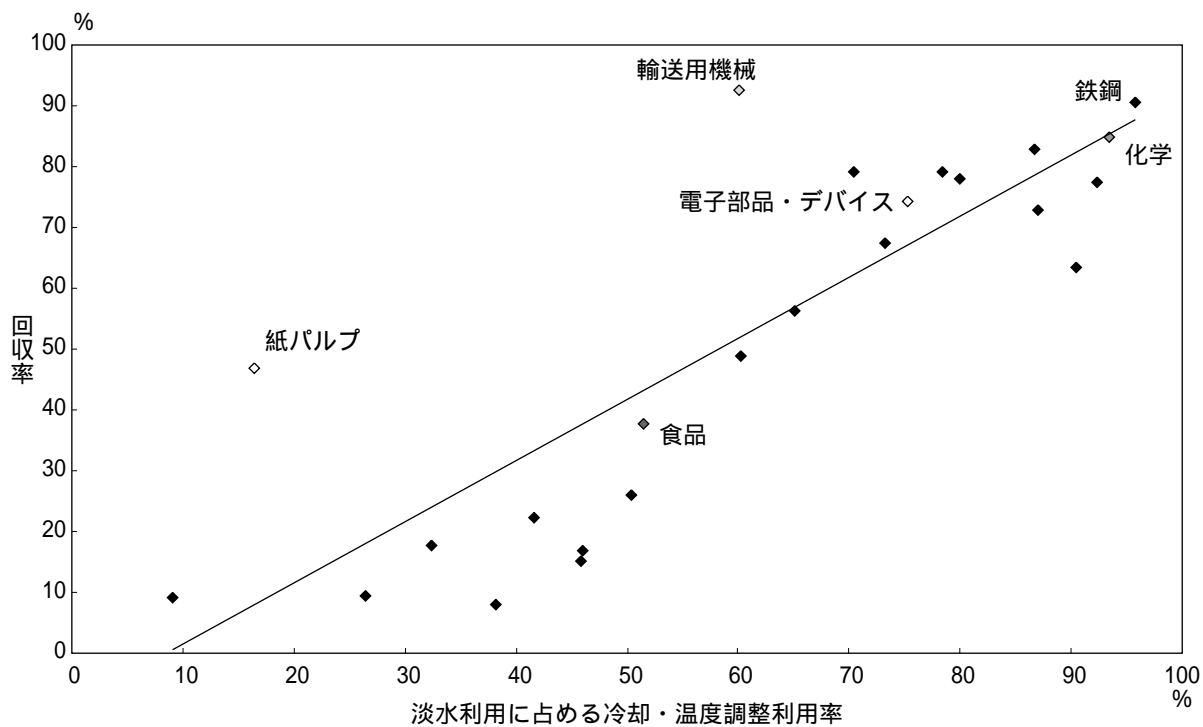
ら、この割合と淡水回収率との関係を産業別にプロットしたのが、図表 2 - 4 である。一見して分かるように、冷却水としての使用割合と回収率の間には高い相関関係がみてとれる。淡水使用量は業種による偏りが大きく、上位 3 業種（化学、鉄鋼、紙パルプ）だけで全体の 7 割を、また上位 5 業種（先の 3 業種に輸送用機械と石油・石炭）で同 8 割強を占めている（図表 2 - 5）。そこで、こうした使用量の大きな産業について冷却水使用率と回収率と

図表 2 - 3 工業用水の用途別構成



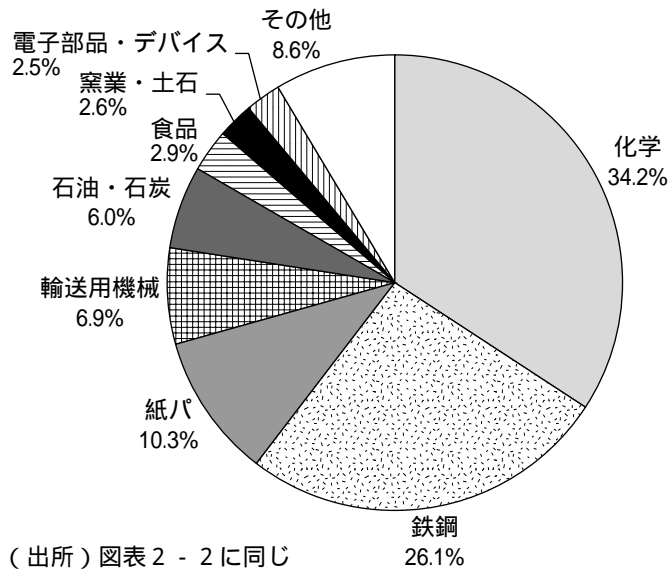
(出所) 図表 2 - 2 に同じ

図表 2 - 4 冷却水用途と回収率との関係



(出所) 経済産業省「工業統計表(用地・用水編)」平成14年版より作成

図表 2 - 5 工業用水の業種別構成



の関係をみてみると、用水を大量に使用しているとはいえ、化学や鉄鋼などは大部分が冷却用途であり高い回収率を維持していること、紙パルプと輸送用機械がトレンドを離れて高い回収率を示していること、対照的に大量の排水を出しながら食品業界での回収率が総じて低位に留まっていることなどが分かる。

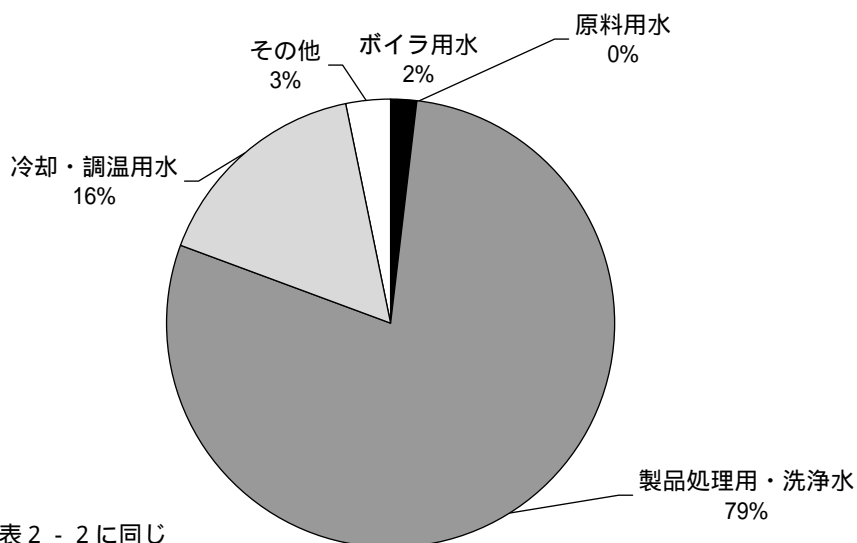
紙パルプ産業の淡水使用の構成は、図表 2 - 6 にみるように、工程水の割合が高い。製紙工場では、パルプに残存したリグニンの除去や抄紙工程において大量の水が使用されるが、これらの用水は使用するにつれて薬品などにより汚れていく。紙パルプ産業の水循環は、こうした排水の処理を高度化する工程転換のなかで進められてきた。しかも、それをコスト削減に結びつけてきた点に特徴があるといえるだろう。その中心となったのが黒液の回収率改善である。回収された黒液はバイオマスエネルギーであり、現在パルプ製造工程だけでなく抄紙工程の一部までカバーしている。また、現在急速に進展している塩素 (elementary chlorine) から二酸化塩素に代替する漂白プロセスの転換 (脱塩素化 (ECF化)) も同様である。ECF化は、廉価な塩素ガスから高価な二酸化塩素への切り替えを意味しており、単純に考えればコスト増になるはずだが、実際には、高価な二酸化塩素の使用量を抑えるべく、現場では漂白効率を高めるためのプロセス転換が進められてきた。これに ECF化による排水レベルの向上、すなわち処理薬剤の投入量減少が加わることでトータルコストの低減を実現している⁹。

他方、古紙の原料使用率が右肩上がり続けるなかで、従来製紙原料として用いてこ

9 . ECF化はこれに加えて、クロロホルムやVOCの排出量を大幅に減らすなど、環境対策面でも大きな効果がある。

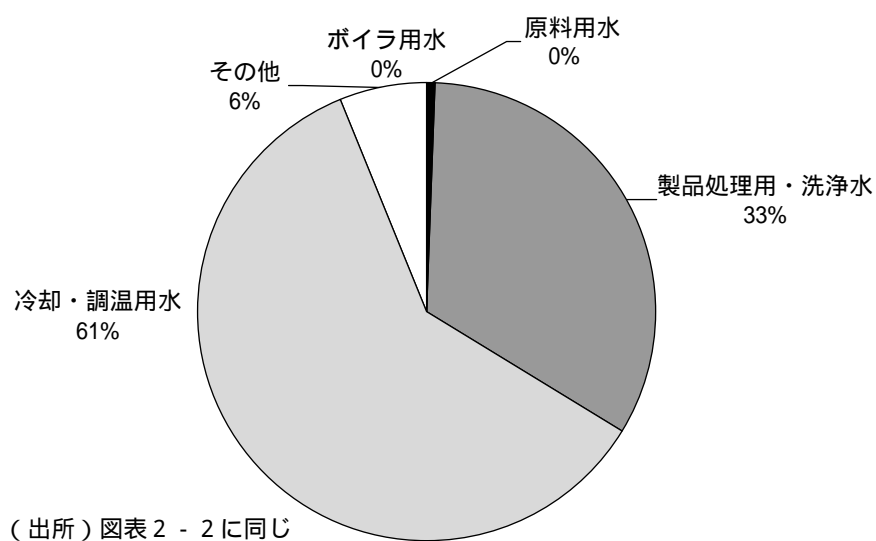
かった低質の雑古紙の使用量拡大に伴うBOD、SSの増加が紙パ業界にとって新たな問題になっている。

図表 2 - 6 紙パルプ産業の用途別淡水使用量



輸送用機械、とりわけ自動車産業では、図表 2 - 7 にみるように 6 割を占める冷却水の循環利用を推進するのに加え、3 割強の工程水、とりわけ塗装洗浄水の多段階使用を進めることによって水使用量の削減・回収率の向上を進めてきた。近時、水性塗料への転換が進んでいることも、塗装洗浄水の利用可能性を広げるものといえるだろう。実際、トヨタ自動車(株)では、塗装の品質向上による水洗工程の廃止、漏れ対策や循環利用を中心とした対策を進め、総量の減少に加えて、2003年度には車両組立工場の水使用量を4.1m³/台にまで低下させている¹⁰。

図表 2 - 7 輸送用機械産業の用途別淡水使用量



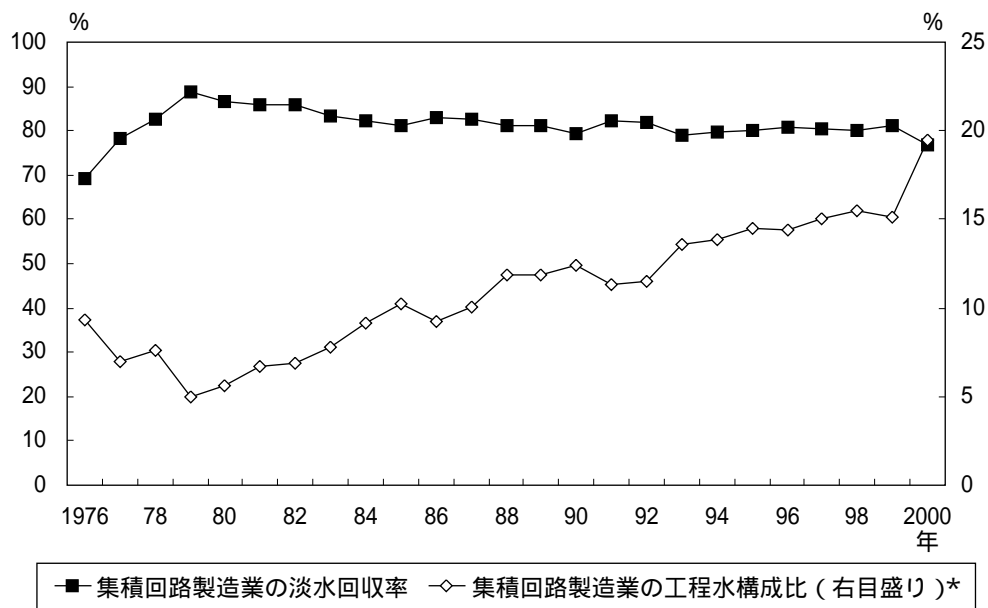
10. トヨタ自動車(株)Environmental&Social Report2004 31頁参照。

これに対して、食品業界の場合、排水の大部分は食品関連の有機性排水であることから再生利用に向けた技術的なハードルは低いと考えられるものの、循環利用は低位に留まっている。これは、中小企業が多い業界構造、そもそも再生利用した場合の用途確保が困難（食品加工に与えるイメージ）などといった特殊な要因が影響しているものと考えられる。いずれにしても、食品業界から排出される産業廃棄物の8割は排水の生物処理に係る余剰汚泥といわれており、この処分費圧縮には大きなニーズがあると考えられることから、潜在的には有望な市場といえるだろう。

(2) 更なる進展と水平展開の可能性

数ある産業部門のなかで、最も循環高度化に積極的なのが半導体など電子産業であるといわれる。主要産業間で比較すると、電子産業は淡水使用量が相対的に少ないうえに、回収率も工程水として利用ウエイトが上昇する中で高い水準を維持している（図表2-8）。回収された排水は、汚染が希薄なものは処理後に再びプロセスに回り、それ以外のものについても他の用途にカスケード利用される。系外に排水しないクローズドシステムの採用も行われている。こうした取り組みに価値が認められるのは、使用されているのが高価な超純水であり、その造水コストとの対比で水リサイクルに経済性が認められることと同時に、ユーザー工場の大型化に伴う水使用量の増大が環境に与える影響の大きさをユーザーが自覚し、配慮するようになったためである。

図表2-8 集積回路製造業の淡水回収率と工程利用率の推移

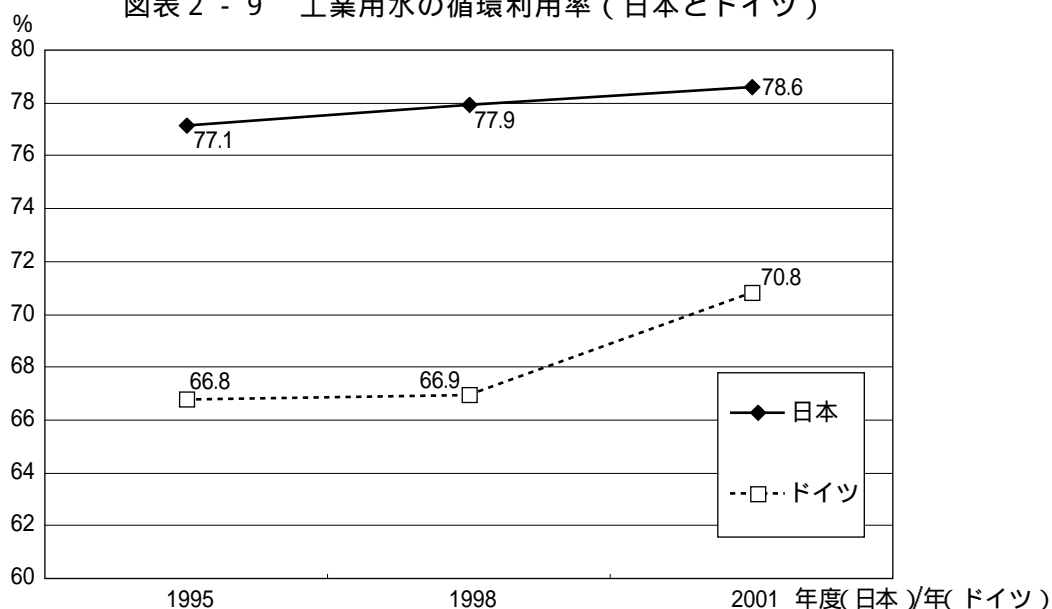


* 工程水構成比 = 製品処理用水及び洗浄用水/淡水使用量
産業分類の改訂に伴い最近期まで延長していない。
(出所) 工業統計(用地・用水編)より作成

電子産業の排水対策に関する新しい動向として、薬剤による洗浄 超純水によるすすぎというプロセス自体の見直しがある。例えば、栗田工業(株)では、電子産業分野向けに従来の洗浄プロセスを見直し、薬剤を使用せずに機能性水によって洗浄するという新技術を投入している。ここでいう機能性水とは、超純水に特定のガスを溶かし付加価値を持たせたもの（水素水やオゾン水など）である。これに代替することで、薬品使用量が削減されるというコストメリットのほか、洗浄使用後の機能水には有害成分が少ないため再利用が容易になるという¹¹。こうした追加的な措置が可能になるのも、高価な超純水を用いた洗浄との対比が前提になっているからだといえるだろう。この点、超純水とは比較にならない低価格の水道料金などと対比される分、一般の産業排水や生活排水の再利用、下水処理水の利用拡大のハードルは高い。リサイクルコストの削減を進めるとともに、エネルギー回収など付随効果を増やして経済性を改善していくことが必要である。

一般的に水資源に恵まれたわが国では欧州に比べて水使用量の抑制や循環利用のインセンティブが低いといわれる。また、排水が濃度で規制されるため、規制物質を用水で希釈するメリットが大きくなり、循環利用率は技術レベルよりも取水権に規定されるといった規制体系の影響や、さらには工業用水の需要量確保を要請されて必要以上に取水せざるをえない事情があるなどといった問題も指摘されている。水使用量の多寡を考えるうえで比較可能な原

図表 2 - 9 工業用水の循環利用率（日本とドイツ）



(出所) 工業統計表(用地・用水編) Statistisches Jahrbuch2003より作成

11. 栗田工業(株)HP (<http://www.kwi.jp/product/index.html>) を参照。

単位は判然としないが、工業用水の循環利用率をみると、例えばドイツの2001年の平均値が70.8%程度であり、わが国の水準が上回っている（図表2 - 9）。技術的な限界まで循環利用されているとまではいえなくとも、わが国の産業部門では、紙パルプや輸送用機械に代表されるように、構造的に回収が困難な業態も含めて、水資源投入を環境管理項目とし、循環利用やカスケード利用を通じて投入水資源量の抑制を進める対応が定着しているといえるだろう。産業部門での経験・ノウハウは生活用水も含めたわが国の水資源循環を考えるうえで大きな財産である。

第3章 循環利用高度化を支える技術

1. 循環利用高度化を支える技術

こうした対応を支えているのが水処理ビジネスの技術力である。水処理技術は、浄水処理であれ排水処理であれ、基本的に汚濁物質等を物理・化学・生物学的に処理するプロセスである。除去される物質には、それぞれ対応する処理技術が確立しており、水処理メーカーは、原水の性状や処理水準に応じて、様々な選択肢のなかから最適な処理プロセスを構築していく（図表3-1）。その競争力は、個々の装置の性能もさることながら、目標となる処理

図表3-1 水処理技術の体系

区分	主要な要素技術	概要
物理化学的処理	・スクリーニング	廃水中の異物・固形物を除去する前処理
	・pH調整	廃水に酸又はアルカリを添加して中和する処理
	・凝集沈殿	薬品を廃水に添加して、微細なコロイド粒子を凝集させて取り除く処理
	・磁気分離	廃水中の磁性体を添加して、懸濁物質を除去する処理
	・浮上分離	廃水中の比重の軽い液体や粒子を水面に浮上させて回収する処理。浮上のさせ方により、自然浮上法、加圧浮上法、常圧浮上法に分類
	・ろ過・吸着	ろ過材や吸着材を利用して廃水中の懸濁物質や溶解物質を除去する処理
	・膜分離	微細孔をもつ膜によって廃水をろ過し透過水と濃縮水に分離する処理
	・酸化処理	CODやBODを除去する処理で、UV酸化、オゾン酸化、塩素酸化など様々な手法に分類
	・フェライト化	廃水中の含有金属をフェライト化する処理
	・熱処理	廃水中の有機物を高温・高圧下で空気により酸化させる湿式法、熱によって固体の水分を気化蒸発させて除去する乾式法などに分類
	・イオン交換	イオン交換機能を有する樹脂に水を通して、水中のイオンを交換樹脂に反応・吸着させて除去する処理
	・溶媒抽出	廃水と溶媒を接触させて水中の汚濁物質を溶媒側へ移動、抽出して除去する処理
生物化学的処理	・浮遊型活性汚泥	活性汚泥と廃水を混合、ばっ気し食物連鎖を通じて浄化する処理
	・嫌気・好気	活性汚泥によって廃水中の有機物に加えて、窒素やリンを除去する処理
	・固定床活性汚泥	接触基材などに微生物を固定し、これに廃水中の有機物を吸着・分解させる処理。接触ばっ気、散水ろ床、回転円盤などに分類される。
	・光合成細菌	紅色非硫黄細菌や緑色細菌などの光合成細菌によって廃水を浄化する処理
	・酵母	酵母によって廃水を浄化する処理
	・脱窒・脱りん	微生物を用いた脱窒・脱りんの総称で、循環式活性汚泥法、凝集剤添加活性汚泥法などに分類
	・固定床式嫌気性処理	セラミックやプラスチック成形物を充填材として反応槽に設置し、この充填材の表面に嫌気性菌を付着・増殖させ廃水を浄化する処理
	・流動床式嫌気性処理	セラミックやプラスチック成形などの粒径担体を反応槽に充填・通水により流動させ、表面に付着した嫌気性菌により廃水を浄化する処理
・UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)	嫌気性細菌自体が持つ凝集・集塊機能を利用し沈殿性のよいグラニュー状の汚泥(菌体群)を形成し、反応槽内に保持する処理	

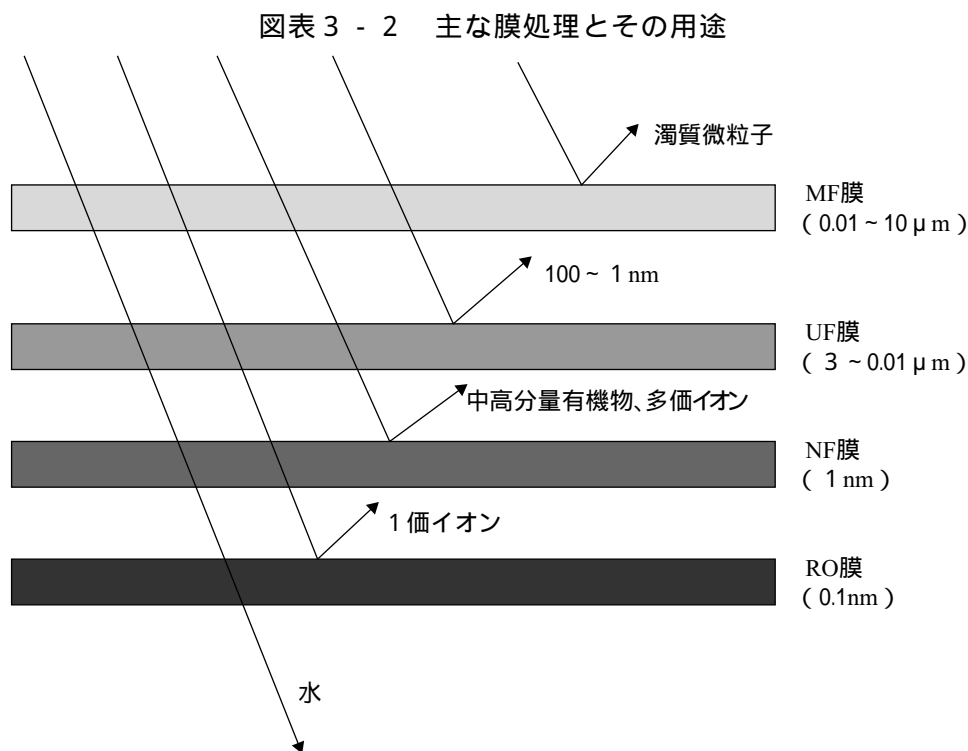
(出所) 環境機器2001/2号8頁「産業排水処理の基礎知識」より作成

水質をいかに効率的に達成できるかで決まる。ここでいう効率性とは、事実上低コストに置き換えてもよい。プロセス構築に際してのポイントは、処理に必要なスペースやエネルギー、事後的な維持管理費などの圧縮に加え、分離された固形物である汚泥の処理方法など多岐に亘る。このうち、今後の水循環のあり方に大きな影響を与えそうな技術動向として、膜処理技術の高度化、バイオマスエネルギー利用も含めた汚泥処理技術の進展を挙げることができる。

2 . 膜処理の高度化

(1)膜処理

確立した技術の組合せを競う性格が強かった造水技術にあって、例外的に大きな技術革新とみられているのが膜処理である。膜処理とは微細孔を持つ膜により排水を圧力差でろ過する処理手法の総称である。膜の種類に応じて、精密ろ過膜（Microfiltration: MF）、限外ろ過膜（Ultrafiltration: UF）、ナノろ過膜（Nanofiltration: NF）、逆浸透膜（Reverse Osmosis: RO）等に分類され、それぞれ分離される物質に対応している（図表3 - 2）。



(出所) 吉村二三隆「これでわかる水処理技術」、栗原優「期待される膜利用水処理技術」等より作成

膜処理が開発されたのは、1960年代初頭といわれ、海水やかん水の淡水化、半導体製造プロセス用の超純水製造などのハイスpek的な分野を中心に導入されてきた。ところが、93年に米国でクリプトスポリジウム原虫による食中毒事件が発生、塩素消毒の限界が露呈したことから飲料水製造への膜処理導入が欧米を中心に拡大し、更に近時は水資源の有効活用という観点から下排水の処理への適用が本格化するなど、マーケットの裾野は大きく広がりをみせている。淡水化プラントだけをみても、2001年末時点で全世界に納入されたプラント数は15,233ユニット、3,240万m³/日の能力に達しているという¹²。

わが国の状況も同様であり、平成8年に埼玉県で発生したクリプト原虫による集団感染が一つの契機となって、近時、新たな素材やモジュールが開発・投入され、膜ろ過浄水プラントが規模・数共に増加するなど水処理の様々な局面への利用が進んでいる。

浄水処理への適用では、計画段階も含めて全国で300件を超え、計画1日最大給水量の総計は約21万m³に達している。既に10万t規模の膜処理浄水プラントを稼働させている欧州などと異なり、わが国の施設は最大給水量2500m³未満の小規模水道が大宗を占めているが、拡大テンポは急速であり、また、今後は全国で浄水場施設の更新が進むのに合わせてより規模の大きな施設の増加が見込まれている。

大規模な浄水処理施設に膜処理の利用を進めるためには、従来の小規模施設の単なる拡大版に留まらず、省エネルギー、省スペース、省資源化、原水の多様な性状に対応しつつ生産性向上を図るための工夫（他のプロセスとのハイブリッド化等）、安全性と効率性を両立した運転・管理などの改善に加え、将来の更新時におけるモジュールやユニットの互換性（標準化）の確保、使用済み製品の再資源化・適正処理の確保といった長期的な対応が必要になってくる¹³。わが国では、これらの課題に対応した産学官の連携による共同研究開発が長期に亘って続けられている。一連のプロジェクトは、「膜利用型浄水システム開発研究（MAC21）」（平成3～5年度）に始まり、その後、「膜利用型新高度浄水技術開発研究（高度処理MAC21）」（平成6～8年度）、「高効率浄水技術開発研究（ACT21）」（平成9～13年度）を経て、現在「環境影響低減化浄水技術研究開発（e-Water）」が平成14年度から3カ年計画で進められており、膜ろ過技術の浄水処理への適用拡大に大きく貢献してきた実績は、今後のわが国の展開を占ううえで大きな意味を持つといえるだろう¹⁴。

12. (財)造水促進センターHP (<http://www2.newweb.ne.jp/wd/wrpc-j/index.htm>) を参照。

13. 湯浅(2003)などを参照。

14. e-WATERの概要については、(財)水道技術研究センターHP (<http://www.jwrc-net.or.jp/suishitsu/index.html>) を参照。

また、下排水処理への適用についても、例えば平成15年1月に東京都下水道局が芝浦水再生センターにおいてわが国で初となるオゾン耐性膜ろ過法による再生水製造システム¹⁵を発注するなど新たな動きがみられる。これは、従来の品川駅東口地区や大崎地区に加えて、汐留地区への再生水の供給を本格化するにあたり、再生水水質を一層向上させる取り組みであり、同センターの供給能力日量7,200m³のうち4,300m³にこのシステムが導入されている。膜処理技術が、造水分野から浄水処理への拡大に留まらず、下排水処理にも広がりつつあることを示す端的な事例といえるだろう。

(2)膜処理とビジネス環境¹⁶

膜処理のビジネスは、膜技術に対応して、大きく RO・NF膜の領域と、UF・MF膜の領域の2つに分類できる。前者は、溶解成分（RO）、中～高分子量有機物、多価イオンを（NF）除去でき、海水淡水化や超純水の製造、硬水の軟水化などといった高度な処理に用いられる。後者は、懸濁物質など溶解していないものを除去する目的で使用され、その用途は上水の除濁や下排水処理など、より一般的である。市場環境としては、かつて多くの企業がRO・NF領域を手がけていたが、その後の競争激化で淘汰が進み、現在RO・NF領域のベンダーとして展開している国内膜メーカーは、東レ(株)、東洋紡(株)、日東電工(株)の3社となっている。他方、UF・MF分野は、現在世界的に数十社がひしめきあう激戦区となっている。この領域はfabrication（加工）技術の勝負となるため差別化は容易でなく、韓国や中国からの新規参入も多いため、今後ベンダーの集約化が進むものと予想されている。

(3)コスト動向

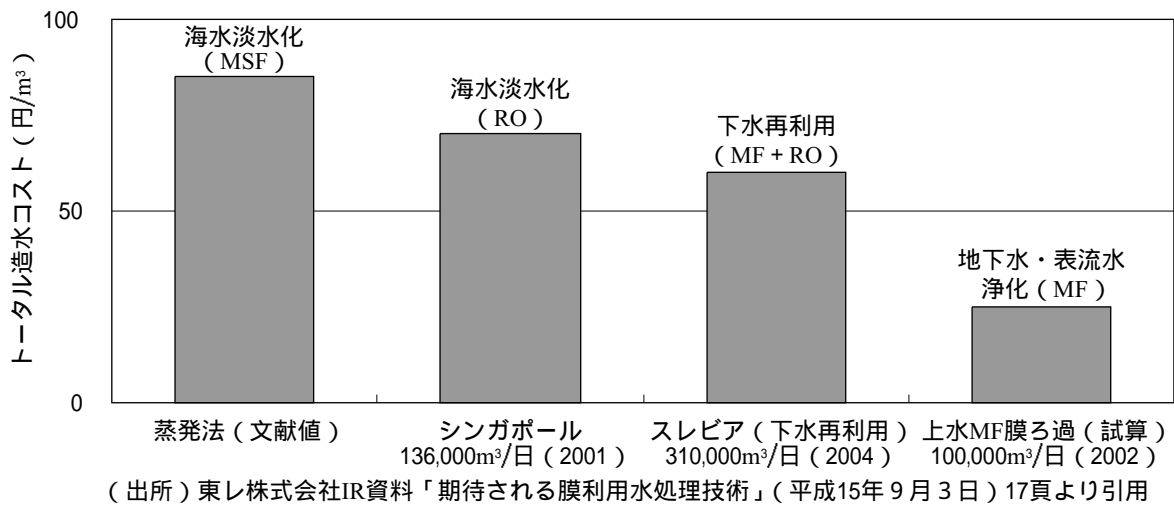
本稿の主題である水循環の高度化という観点で注目されるのは、世界的に膜処理の拡大・普及が進む原因となっている膜のコスト低下である。この点については、水質汚濁問題に悩む中国で膜処理が拡大していることに伴う量産効果の影響が指摘されているが、これと並んで膜メーカーやエンジニアリングメーカーによる技術革新や市場環境の変化の影響も大きい。

図表3-3は、技術別の水道水造水コストを比較したものである。ここからいえることは、まず一言で膜処理といっても、原水の水質に応じて処理コストは様々であるという点で

15. 東京都下水道局と造水促進センターが共同で確立したもので、生物膜ろ過設備、オゾン設備、膜ろ過設備により構成される。水質の安定性、省スペース化、ハイブリッド化によるコスト低減などを特徴としている。詳細は、水道機工(株)HP（http://www.suiki.co.jp/topic/topic_0301b.htm）を参照。

16. 本節の記載は東レ(株)栗原 優専任理事へのヒアリングに負うところが大きい。

図表 3 - 3 技術別の水道水造水コストの比較



ある。地下水・表流水という（相対的に）清浄な原水を相手にする方が、海水や下水などを処理するよりも低コストで済むというのは理解しやすい。しかし、ここで注目すべきなのは、最も高度な処理といえる海水淡水化のコストですら、既に100円/m³を切る水準にまで低下していることであろう。RO膜だけをみれば、シンガポールなどの最新プラントでは50¢/m³（1\$ = 100円換算で55円/m³）というデータも出始めているといわれる¹⁷。冒頭で見た世界的な淡水資源不足への視点も、このデータに照らせば若干の修正が必要かも知れない。地球上の水資源の大部分を占める海水から、少なくとも臨海地域であればミネラルウォーターよりもはるかに低廉なコストで淡水を製造することが可能な時代を迎えているという事実は無視できない。

ROによる海水淡水化コストはこの10年程の間に1/3程度へと急激に下落したといわれるが、こうしたコスト低下をもたらしたのは、市場の変化と技術革新の進展である。

市場の変化とは、まず水処理プラントの取引形態が伝統的なビジネスモデルである設備の売り切り（検収が終わったらそれで終わり）から大きく変わったことである。設備の売り切りでは、どうしても安全サイドに立って余裕のある設計をせざるを得なかったところが、BOO、BOTなどの新しい事業形態が定着するのに伴い、20年単位でO&M事業での収益をカウントできるようになり、イニシャルコストの低下をもたらしている。次に規模の経済が働いているのも間違いない。以前であれば日量5,000トン、10,000トン程度が大きなプラントといわれていたが、現在は「水工場（water factory）」という文字通り、日量何十万トンクラスのものが増えつつある。最近の事例をみると、UAEの227千m³/日（Abu Dhabi）

17. クウェート（スレピア）の下水再利用プラント（MF + RO）は農業用水使用であるが、規模の巨大さも手伝って（1プラントで120万人分の生活水量を造水）、公称47¢/m³に到達しているといわれる。

同170千m³/日 (Fujairah)¹⁸など給水人口に換算すれば100万人に迫ろうかという巨大なRO海水淡水化プラントが完成するなど、倍々ゲームで規模拡大が進んでいることが分かる¹⁹。

技術面では、膜の化学構造（素材）や形態（物理的構造）の変更による性能改善、処理プロセスの高度化などがコスト低減に大きく貢献している。性能改善は、その用途により方向が異なり、例えば、高圧化による回収率（水の収率）の上昇が進むRO海水淡水化プラントでは、膜の高耐圧化が主要な課題であるのに対し²⁰、それ以外のプラントでは総じて低圧化や低ファウリング²¹など効率化（ランニングコストの低下）に向けた技術開発競争が続けられている。加えて、プロセス上の改善が加わる。現在、膜処理技術は、個々の膜の単純な優劣比較の時代を超えて、組合せの妙を競うIntegrated Membrane System（IMS）の時代を迎えているといわれる。例えば、伝統的な技術と膜処理の組合せ（砂ろ過による前処理とRO膜）や、異なる膜の組合せ（MF膜による前処理とRO膜）など、多様な選択肢のなかに膜処理を最適な形で組み込むことによって効率的に目標とする水質を確保するという対応が主流になる。こうした組合せ技術によって、膜処理の効率性（費用対効果）を改善することができるかどうか、競争力を大きく左右する時代に入ったといえるだろう。

例えば、RO膜モジュールのデファクトスタンダードとなっている架橋芳香族ポリアミドスパイラルエレメント²²において、ダウケミカル、ハイドラノーティクスと並んで世界3大ベンダーである東レ^株では、独自の技術として「高効率2段階海水淡水化システム（BCS）」を開発している。これは、従来の1段階法（収率40%）から生じる濃縮海水（濃度5.8%程度）を昇圧させて（6.5MPa 9.0MPa）2段階目のRO膜を透過させ収率（最終収率60%）を向上させるものであり、取水容量を少なくすると共に、総造水コストの削減（20%程度）にもつなげる技術である²³。このシステムを稼働させるには、高圧で運転するRO膜が必要になり、これを供給できるかどうか競争力に直結する。同社によれば、こうした高耐圧RO膜の製造は、日本が進んでいる分野であるという。

18．国際脱塩協会（International Desalination Association）HPより。

19．ちなみに、こうした造水能力は4倍すれば生活水量に換算できる。つまり、227千t/dであれば、90万人超の生活用水を供給できる能力があると考えられる。

20．脱塩率×透過流束（操作圧力で基準化）で見れば、70年代の95×0.2が今日は99.5×2.0と大幅に向上しており、海淡するのにエネルギーは1/10に低減している。加えて、今後大きな技術的な課題としてホウ素除去の重要性が指摘されている。

21．ファウリングとは、膜に阻止された微生物などが付着することによる汚れの意。

22．スパイラルモジュール（spiral wound（type）module）とは、平膜流水路の中にネット状のスペーサーを挿入して、のりまき状に成形加工したもの。エレメントは、膜とその支持体及び流路材を一本化し、圧力容器に納めるように成形加工した部品のこと。

23．東レ^株HP（<http://www.toray.co.jp/products/mizu/index.html>）を参照。

こうしたユニットを提供するため、ベンダーは総合膜メーカーとしての性格を強めていかざるを得ず、この過程で事業再編や戦略的な提携が増加するものと見込まれる。

(4)膜メーカーとエンジニアリングメーカーとの連携

高度処理のキーテクノロジーである膜処理には多くのメリットがあるが、その一方で、価格低下が急速に進展しているとはいえ、過剰なスペックは、装置のイニシャルコストの高さだけでなく、動力費用などランニングコストを押し上げ、利用拡大の芽をつんでしまう。処理水質に応じて多様な膜が提供されるようになっている今日、今まで以上に膜メーカーとエンジニアリングメーカーとの密接な連携が求められているといえるだろう。例えば、大規模な膜ろ過浄水の最大手である水道機工(株)では平成14年12月に東京都羽村市から国内最大規模の浄水用膜ろ過装置を受注しているが、その決め手となったのは、クリプトスポリジウム対策にターゲットを絞り低コスト化を実現したろ過膜を膜メーカーと共同で開発したことであったとされる²⁴。また、水道機工(株)に対しては、平成16年7月に東レ(株)が出資比率を20%から51%に引き上げるとともに、東レ(株)及び東レエンジニアリング(株)の国内における水処理システムプラント事業を統合している。総合膜メーカーである東レ(株)の戦略事業部門である水関連エンジニアリングが厚みを増すことになった本件は、今後の膜メーカーとエンジニアリングメーカーとの関係を占ううえでも象徴的な事例といえるだろう²⁵。

3．排水処理の高度化とバイオマス資源の利活用

排水処理を汚濁物質の分離プロセスと考えれば、必然的に分離された固形物（汚泥）の処理が必要になる。排水処理やその循環のフィージビリティを考える場合、当然のことながらその過程で生じる汚泥処理コストまで含めて検討しなければならない。まず、汚泥処理の現状を産業排水と下水道処理とに分けて概観してみよう²⁶。

(1)民需の汚泥対策

産業排水の場合、その8割が有機性排水であり、生物学的処理の活性汚泥法によって処理

24．日経産業新聞平成15年2月26日付15面

25．平成16年4月29日水道機工(株)ニュースリリース (<http://www.suiki.co.jp/>) を参照。

26．以下は有機汚泥を念頭においた記述である。実際には有機汚泥以外に発生する無機汚泥も大きな問題になっているが、現時点でこれに対する有効な対策が見受けられないため本稿では取り上げていない。

されているといわれる。企業のコスト削減ニーズはユーティリティ部門に対しても極めて強く、排水規制の強化を受けて排水の発生を抑制すべく工程自体を見直すなど防衛的反応も盛んである。その一つに下水道利用がある。わざわざ除害設備を新設するよりも普及率が上昇してきた下水道への接続を選択した方がコスト的にも安くすむためである。産業排水処理事業は、こうしたユーザーを相手にする以上、再生利用・発生活泥処理等をトータルでみた費用対効果が厳しく問われる。従って、この分野でのビジネスは、排水処理設備の更新時期を捉え、優れたハードを、省エネ、省スペースなどによるランニングコストの低減や循環利用による環境負荷の低減といったメリットと併せて総合的に売り込んでいくことが重要となる。

汚泥処理は、こうした費用対効果を考えるうえでの重要なファクターである。事業所における排水工程のランニングコストの過半が事実上汚泥処理関連（電力費、薬品費、汚泥処分費）と考えられるためである。特に、処分費、すなわち脱水ケーキの最終処分費用は処分場の逼迫から高騰を続け大きな負担となっており、ここに民需の汚泥処理ニーズの背景があるといえよう。ダイオキシン問題を契機に汚泥の自社焼却は困難となり、またロンドン条約96年議定書を踏まえた廃棄物処理法施行令の改正等により海洋投棄も不可能となるため、汚泥は産業廃棄物として大規模施設での焼却・埋立する処理体系に乗らざるをえないが、これに要する費用は都市部で5万円/トン、地方部でも1.5万円/トンと高額であり、この費用を低減するニーズは大きい。

現在、水処理ビジネス業界からは、こうした負担を軽減するために、汚泥発生抑制に向けたエンジニアリング的対応（処理工程の見直し）の強化や発生活泥の脱水効率の改善、汚泥発生抑制装置の開発といった産業排水向け汚泥対策が多数提供されている。特に最近の傾向として、減容化率の上昇やシステムの小型化を通じたコスト削減効果を前面に打ち出すケースが多い。図表3-4は、いくつかの代表的な事例を概観したものである。

活性汚泥法の返送汚泥ラインに改良を加えるものとして、例えば、返送汚泥の一部を薬品処理する技術（オルガノ株）、オゾン処理する技術（栗田工業株）、超音波処理する技術（株荏原製作所）、電解次亜塩素酸による処理技術（水道機工株）、好熱菌の生成する耐熱性酵素による技術（株神鋼環境ソリューション）などがある。こうした処理を施さない場合に比べて、追加処理工程の薬品費や動力費などは増加するものの、余剰汚泥発生量の抑制により処理費が大幅に圧縮され、コストメリットを発揮するというコンセプトである。

汚泥生成自体を抑制するものとして、例えば株クラレでは、独自に開発した微生物固定担体PVAゲル（商品名：「クラゲール」）を開発・投入している。これは、ポリビニルアルコール（PVA）を原料とする直径4ミリ程度の球体であり、表面のみならず内部にまで高密度に

図表 3 - 4 汚泥発生抑制に向けた様々なシーズ

対応	企業名	内 容
余剰汚泥可溶化による汚泥減容	オルガノ	汚泥可溶化剤(「セピアD200」)などの薬品処理により余剰汚泥の細胞壁を破壊し、生分解しやすいように改質して曝気槽に返送し分解する技術。
	栗田工業	返送汚泥の一部をオゾン処理することで生分解しやすいように改質し、曝気槽に返送・分解する技術(「バイオリター」)。
	荏原製作所	返送汚泥に超音波処理を施すことで嫌気性処理と同程度の減容化を可能にする技術(独1WEtec社からの技術導入)。下水処理プロセスでは、消化の前工程に導入することで消化ガス(バイオガス)発生量を大幅に増加させる効果もあり。
	水道機工	余剰汚泥を構成する微生物を電解槽において次亜塩素酸(HC10)によって死滅させ、これを曝気槽に返送することで生物処理する技術(「スイオー電解式汚泥削減システム」)。
	ユニチカ	活性汚泥槽にセラミック製ビーズを詰めた装置を取り付け、装置内のビーズの回転により余剰汚泥を破碎し、曝気槽に返送(「ミル破碎式汚泥減容化システム」)
	神鋼環境ソリューション	好熱菌の生成する耐熱性酵素により汚泥を減容化する技術。従来沈殿槽から引き抜いていた余剰汚泥を好熱菌処理槽で可溶化し、曝気槽に全量返送することで発生量を大幅に減少させるシステム(「S-TEPROCESS(エステプロセス)」)
汚泥発生抑制	プリオ	特殊ミキシング装置による水圧と有機汚泥可溶化剤(「パクラス」)により余剰汚泥の細胞壁を破壊し可溶化を促進させる技術。可溶化後は過飽和まで空気を溶け込ませたうえで曝気槽に返送し、有機余剰汚泥の90%程度を減少させる(「シェルトシステム」)。
	クラレ	ポリビニルアルコール(PVA)を原料とする直径4ミリの球体に微生物を高濃度で生育させる担体を開発(PVAゲル「クラゲール」)。単位あたりの処理能力が高く、省スペース化が可能であり、更にこれと膜処理(中空糸膜)を組み合わせることで余剰汚泥発生量を極小化するシステムを提供。
汚泥含水率低減による減容	協和エクシオ	大量酸素供給技術により曝気槽で土壌菌を高密度に培養、曝気槽内の食物連鎖を極大化することでMLSS(汚泥濃度)を一定に保ちながら余剰汚泥発生量をゼロにする厨房排水用技術(「NBCシステム」)。
	月島機械	スクリープレス方式(ねじ状の内部構造を利用して汚泥を絞り出す方式)に、独自の漸減ピッチテーパースクリー機構等を組み合わせることで、低含水率・低回転の汚泥脱水を可能にする技術。
	JFEエンジニアリング	JFEと東京都が共同開発したろ布ろ過汚泥濃縮技術を用いた汚泥濃縮システム。従来の比重差を利用する遠心濃縮、重力濃縮方式と異なりろ布ろ過で行うことから、動力費などの運転費用の削減に加え、希薄汚泥の濃縮が可能になるなどの特徴を有する(「ロフコン」)。

(出所) 各種報道、ホームページ等から作成

微生物が生息できる構造になっている。このため単位量あたりの処理能力が極めて高いうえに、省スペース化できるという特徴がある。同社では、このPVAゲルと膜処理(中空糸膜)を組み合わせることで余剰汚泥の発生量を極小化できる排水処理システムを提案している²⁷。

(2) 下水道の汚泥対策

産業排水における汚泥対策が、発生量の抑制中心に進められているのに対し、下水汚泥の場合は、排出源での抑制対策が取れず、むしろ下水道の普及に伴って汚泥発生量は増加基調

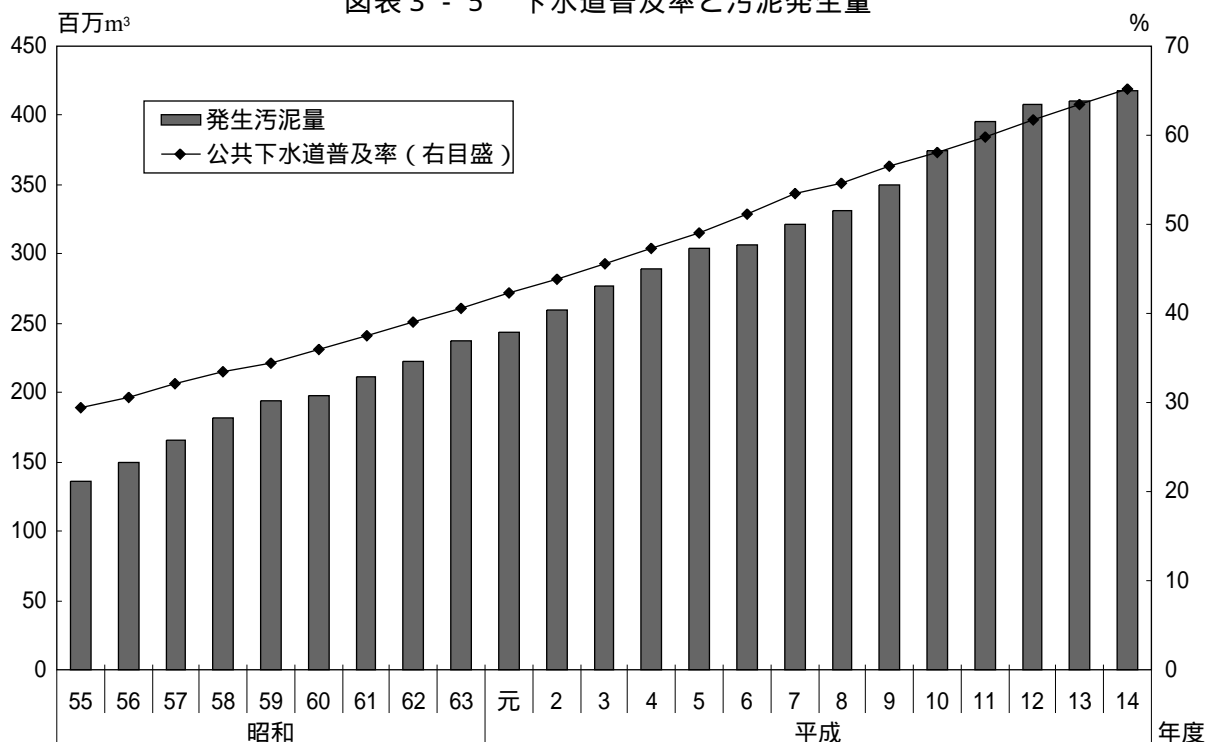
27 . (株)クラレHP (http://www.kuraray.co.jp/products/pva_gel.html) を参照。

にあることから（図表3 - 5）、高効率脱水などの減量化に加え、セメント原料化やレンガなどの建材利用、コンポスト化、炭化など様々なリサイクルが実施されている。昭和50年前後には発生汚泥の8割以上が埋立処分（海面・陸上）に回っていたが、現在その割合は4割程度にまで低下している。図表3 - 6は、このリサイクルの状況をみたものである。現状、年間210万DSトン発生する下水汚泥のうち、約60%（126万トン）が有効利用されており、埋め立て処分に回るのは38%にまで減少している。有効利用の内訳は緑農地利用が24%（29万トン）、建設資材が77%（97万トン）であり、このうち建設資材の6割弱はセメント原料利用である。

このように一見順調に見える下水汚泥対策であるが、実際には様々な制約を抱えている。

主力の建設資材については、建材に加工した場合のコストが大きな制約になっている。例えば焼却灰利用レンガの製造原価は市販品の3倍程度ともいわれており、リサイクル事業全般につきまとう再生品の出口（市場性）問題を抱えている。セメント利用の拡大は、こうした出口問題が少ないことの裏返しといえるが、セメント生産量自体が建設投資の長期低迷を受けて減少を続けているなか、大幅な拡大は期しがたい²⁹。

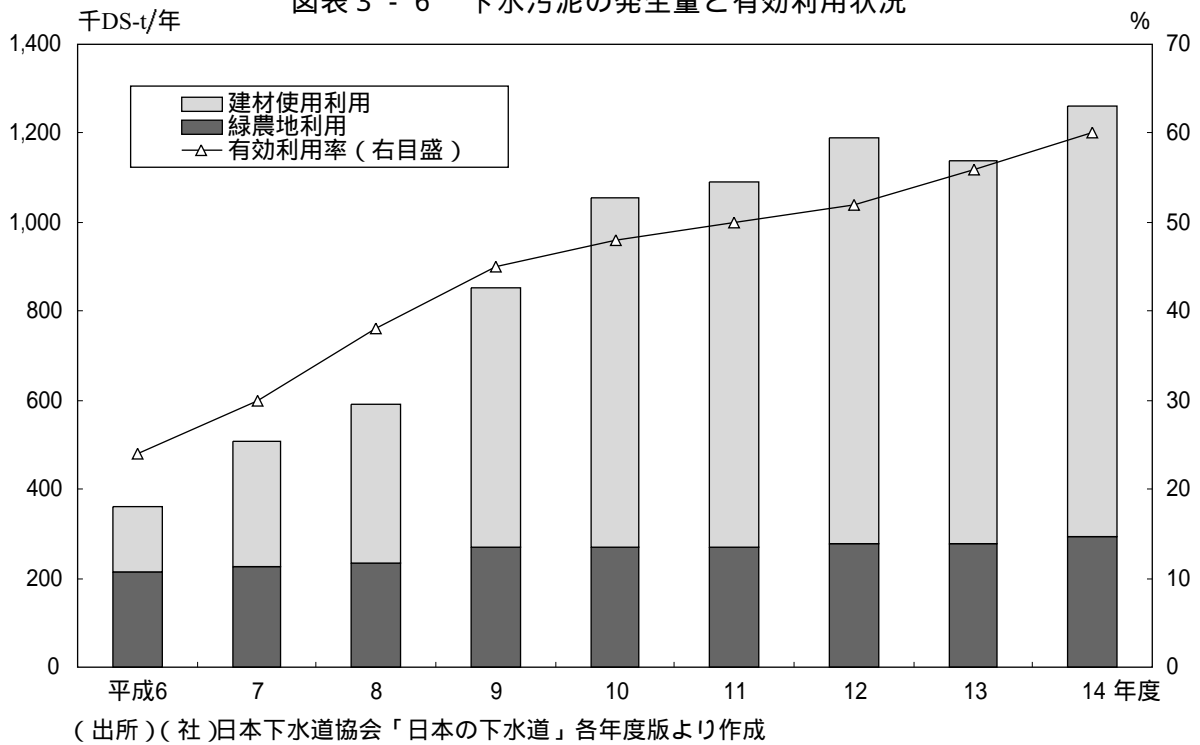
図表3 - 5 下水道普及率と汚泥発生量



(出所)(社)日本下水道協会「下水道統計」

29. セメント産業がリサイクルクラスターにおいて果たしている大きな役割や今後の見通し等については、小林 [2003] を参照。

図表 3 - 6 下水汚泥の発生量と有効利用状況



緑農地利用の場合、コスト以上に問題視されているのが品質への懸念からくる市場受容性の問題である。一部で堆肥化の名の下に汚泥の不適切な処理が行われたことの影響もあり、需要家サイドには汚泥を原料とする堆肥については警戒感が強い。加えて、平成11年には肥料取締法が改正され、同12年10月から汚泥を原料に含む堆肥がそれまでの特殊肥料から普通肥料へと変更されたことにより、堆肥製造者の負担が一挙に重くなったことの影響も無視できない。有害物質を含有するおそれがある肥料として、下水汚泥やし尿汚泥、工業汚泥等を原料にする場合は、農林大臣の登録を得なければ販売することが出来なくなり、この登録のために、有害物質含有量についての公定基準を満たすこと、銘柄毎の食害試験調査の実施と害がないことの証明が新たに必要となった他、登録後も(独)肥料飼料検査所によるモニタリング下に置かれるなど、堆肥製造者の負担は一挙に重くなっている。食品リサイクル法への対応など、有機性廃棄物の再資源化傾向が強まっていることも、下水汚泥の緑農地利用にとっては競合品の増加という形でマイナスに働いているものと思われる。事実、処理業者のなかには汚泥受入を取りやめたケースも報告されている。

このように、コンポスト化、建材とも再生品に十分な市場性があるわけではなく、また今後の拡大にも限界があるため、下水汚泥対策として新たな対策の必要性が高まっているのが現状といえよう³⁰。国土交通省下水道部では、下水道技術開発プロジェクト「SPIRIT21」の開発テーマの一つとして汚泥利用を掲げ、「下水汚泥資源化・先端技術誘導プロジェクト（LOTUSプロジェクト）」を立ち上げて汚泥リサイクル用途の拡大に向けた取り組みを促している³¹。

(3) バイオガス化の可能性

産業排水における汚泥発生量の抑制によるコスト削減ニーズ、下水汚泥処理の新たな方向性の模索という課題に対して、一つの有力な選択肢となりつつあるのが嫌気性処理の活用である。これは、嫌気性菌により排水中の有機物を分解させる方法であり、汚泥発生量を削減するだけでなく、その分解過程でメタンガスを主成分とするバイオガスが発生し、これを燃料として利用できるというメリットがある。

嫌気性処理自体は、特に新しい処理手法というわけではなく、下水処理場では発生した汚泥を嫌気発酵させてバイオガス（消化ガス）を回収し処理場内のエネルギーとして利用する試みが古くから行われていた。しかし、活性汚泥法に比べて大量かつ高濃度の有機性排水処理に強く運転費用も低廉であるという特性がある一方、効率性の問題や発酵残さの処理、スペースなどの問題を抱えていた。

ところが、近時、発酵阻害要因の除去などを通じた発酵効率の改善、生成されるバイオガスの精製や濃縮技術の改善など、処理プロセスでの技術革新が進んでおり、マイクロガスタービンの登場など発電部門の進歩と相俟って急速にフィージビリティが上昇している（図表3-7）。

産業界では、汚泥発生量の抑制、コジェネ等を介したエネルギー回収と2重のコスト削減に着目しており、既に高濃度の有機性排水を大量に発生する産業を中心に採用が進んでいる。典型例がビール業界であり、現在、アサヒ、麒麟、サッポロ、サントリーのビール4社はほぼ全てのビール製造工場において嫌気性排水処理を導入しており、発生したバイオ

30. その一つに汚泥に含まれるりん（T-P）の回収がある。りん鉱石は、もともと鳥の糞などが長期間を経て鉱石化したものであり、有限であることは間違いない。また他の元素、例えば窒素が大気を經由した循環を形成するのに対し、りんは基本的に陸から海への一方通行であり、ほとんどリカバーされない。したがって、長期的には必ずりんの回収が大きな課題になってくるだろう。

31. 下水汚泥資源化・先端技術誘導プロジェクト：LOTUS（Lead to Outstanding Technology for Utilization of Sludge Project）

図表 3 - 7 嫌気性排水処理技術の変遷

		第 1 世代 浮遊法	第 2 世代 UASB法*1	第 3 世代 EGSB法*2
微生物	利用形態	浮遊	グラニューール状	グラニューール状
	大きさ(粒径)	< 10um	0.3~5mm	0.3~3mm
	濃度(wt%)	0.5~1	5~7	7~10
許容COD負荷(kg/m ³ /日)		~5	~15	~30
負荷変動能力		×		
消費電力(除く原水ポンプ)				
敷地面積(同量処理)		×		
余剰汚泥量(投入CODcr1t当たり)		~50	10~25	10~25
回収エネルギー(重油換算 L/t)		220~250	270~310	270~310

*1 UASB : Upflow Anaerobic Sludge Blanket

*2 EGSB : Expanded Granular Sludge Bed

(出所) 廣田「高効率型嫌気性排水処理について」紙パ技協誌第55巻第1号89頁(2001年1月)より抜粋

ガスからボイラーや燃料電池を用いてエネルギー回収を行っている。いずれも伝統的な活性汚泥法では高濃度かつ負荷変動が大きいビール排水に効率的に対応できないことから転換を進めてきたものであり、動力費や汚泥処理費の削減につながる環境対策の成功例といえるだろう。

こうした嫌気性発酵技術の導入による排水処理(汚泥発生抑制)の裾野が広がりをみせている。例えば、製紙業界でも日本製紙(株)がICリアクター³²を導入して製紙排水からのエネルギー回収を進めている。同社は、昭和56年に国内パルプ工場としては初めて嫌気性排水処理装置を江津事業所において導入し、バイオガスの回収による省エネを進めていたが、平成12年により大規模かつ高効率な設備に更新している。さらに、同社では現在勇払工場において国内初の試みとしてクラフトパルプ製造工程排水の嫌気性発酵にも着手している。これは、従来の高濃度廃液と異なり、低濃度(COD1,000mg/L程度)の排水からメタン発酵を通じてエネルギー回収しようとする新たな取り組みである³³。製紙工場での利用に際しては排水中に木材に含まれる殺菌成分への対応など斯業特有の課題も抱えているが、この技術が確立するとメタンガス発電によるエネルギーコストの削減効果に加えて、COD負荷が大幅に低下するなど排水処理にも大きな進歩をもたらすことになると期待されている。製紙業界では、先にみたように排水処理高度化に向けた黒液回収や漂白プロセスの見直しなど一連の工程転換の努力によって回収率の上昇を達成してきたが、こうした取り組みが広がれば、更なる回収率の上昇も期待できるであろう。また、先行するビール業界でも、アサヒビール(株)が、(株)アサヒビールエンジニアリングと住友重機械工業(株)の2社と共同で低濃度排水の嫌気性排水処

32 . Internal Circulation (内部循環)。

33 . 日本製紙(株)の取り組みについては、HP (<http://www.np-g.com/news/news03110701.html>)等を参照。

理システムを開発し、他産業への販売を計画しているなどの動きもみられる³⁴。

同様に、下水処理場においても、これまで主に衛生的観点から実施されてきた嫌気発酵処理を大幅に拡大する動きが始まっている。先のLOTUSプロジェクトでは、平成17年度から最大4年間をかけて「スラッジ・ゼロ・ディスチャージ技術（処分よりも低コストでリサイクルする技術）」と、「グリーン・スラッジ・エネルギー技術（下水汚泥等のバイオマスエネルギーを活用して商用電力価格と同等かそれ以下の電気エネルギーを生産する技術）」の2分野について集中的な技術開発を進めることになっている。このベンチマークとなる開発目標コストが平成16年8月に公表されている（図表3-8）³⁵。

図表3-8 LOTUSプロジェクトによる開発目標コスト

技術	目標価格（コスト）	備考
スラッジ・ゼロ・ ディスチャージ技術	・脱水汚泥：16,000円/t以下 （現物量ベース） ・焼却灰：8000円/t以下（現物量ベース）	評価にあたっては、処分価格の変動を考慮（左記は平成13年度価格をベースにしたもの）。
グリーン・スラッジ・ エネルギー技術	・対象処理場の契約種別に応じた 全国年間平均 電力料金（評価時の料金）以下	全国の電力会社10社における契約種別（低圧、高圧A、高圧B）ごとの電力料金の単純平均。平成16年の全国年間平均電力料金（予定）は、低圧で10.42円/kWh、高圧Aで10.16円/kWh、高圧Bで8.78円/kWh。

（出所）国土交通省

国土交通省では平成16年11月までに技術提案を集め、同17年3月末までに技術提案に関する技術要望を集約したうえで、平成17年度から研究開発期間に入る予定である。産業界からは、既に様々な提案が行われているが、ターゲットとなる価格水準を設定したうえでの挑戦であることから、厳しいコスト管理を問われる産業排水の世界で改良された技術がどのような形で下水汚泥処理を変えていくのか大いに期待される。

バイオマス・ニッポン総合戦略は、2010年を目途に廃棄物系バイオマスの80%を利活用するという野心的な目標を掲げており、汚泥は廃棄物の中で最大の構成要素でもあることから、そのエネルギーとしての活用は今後が大いに期待できる領域といえるだろう。究極的には、下排水処理や食品廃棄物処理を担うバイオガス化プラントと再生水利用を複合化し、水リサイクルを介した都市内有機性廃棄物のゼロエミッション化という動きにまで発展する可能性を秘めていると考えられる³⁶。また、そこまでいかずとも、現在、流域単位でのバイオ

34．アサヒビール㈱研究成果レポート（<http://www.asahibeer.co.jp/research/report/0011/index.html>）を参照

35．国土交通省HP（http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha04/04/040917_.html）を参照。

36．例えば、鹿島建設㈱（http://www.kajima.co.jp/tech/env_eng/suidou/tyu01.shtml）などを参照。

マス資源の利活用が各地で盛んに議論され、上流部における家畜ふん尿や農業集落排水汚泥と並んで、下流部のプロジェクトとして下水汚泥と食品廃棄物（加工残さなど）を組み合わせたバイオガス化処理が検討されることも多い。バイオマス資源利用によって生じる経済性が下水処理水の利用促進につながるケースも少なからず登場することが期待される。

4．地下水の有効利用

これまで表流水を対象に水循環の高度化に関する技術動向をみてきたが、もう一つの重要な要素として地下水がある。地下水は、過去の過剰取水による地盤沈下や塩水化への反省から現在でも多くの自治体で汲み上げが規制されているが、近年の地下水位上昇を検証する必要がある。以下、潜在的に極めて重要な水源の一つである地下水の涵養、利用、浄化の側面を概観してみよう。

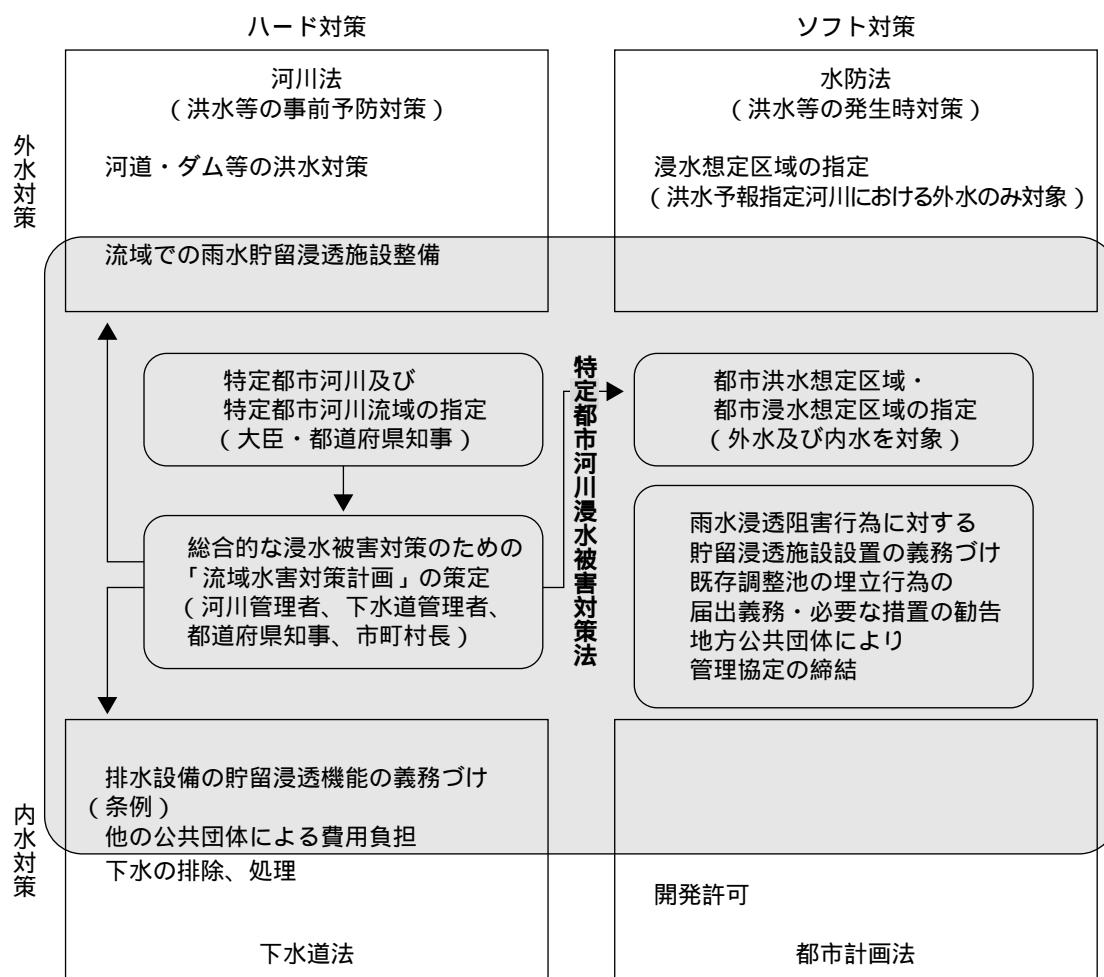
(1) 地下水涵養に向けた新たな動き

都市化の進展に伴い、河川改修による安全度の向上を上回るペースで洪水負荷が増大している事態を踏まえて、雨水の貯留や浸透による流出抑制が必要であるという指摘はかねてからなされていた。しかし、外部効果は大きいものの費用に見合う直接的な便益に結びつきにくい防災対策の常として、これまでのところ十分な進展はみられていない。実際、水資源としての雨水利用は、相対的に低コストであるため潜在的な活用可能性の高さを指摘されながらも、大型公共施設を中心に極めて限定的されており³⁷、反対に開発行為に伴い調整池が埋め立てられるなど浸透域の減少が続いてきた。

都市河川流域における浸水被害対策として従来の治水対策を統合した新たなスキームの構築を目指して平成16年5月に施行された「特定都市河川浸水被害対策法」は、この問題に大きな変化をもたらす可能性がある。同法は、著しい浸水被害の発生や市街化の進展で浸水被害の防止が困難な河川を「特定都市河川」に、また特定都市河川の流域と下水道の排水区域を合わせた地域を「特定都市河川流域」に指定するとともに、当該地域を対象に「流域水害対策計画」の策定を始め、河川管理者、下水道管理者、地方公共団体、住民・事業者が一体となって広範な浸水対策を導入するための様々な仕組みを構築するものである（図表3-9）。

37．雨水利用は、99年末で全国934施設 700万m³/年の利用にとどまっている。

図表 3 - 9 特定都市河川浸水被害対策法の概要



(出所) 国土交通省

この法律により、山林における宅地造成や土地の舗装など雨水浸透阻害行為に対して貯留浸透の設置が義務づけられ、また指定地域内の住民や事業者に対しても雨水貯留浸透の努力義務が課せられることになった。

ここ数年の屋上緑化の進展を受けて、雨水利用のかん水設備、小規模施設や一般住宅でも利用可能な低コストの雨水貯留・ろ過設備などといった分野で企業活動が活発化しているが、特定都市河川浸水被害対策法の施行は、こうした動きを更に活性化させている。これも広義には水循環高度化に関連したビジネスとして捉えることが出来るだろう。

(2) 地下水の有効利用

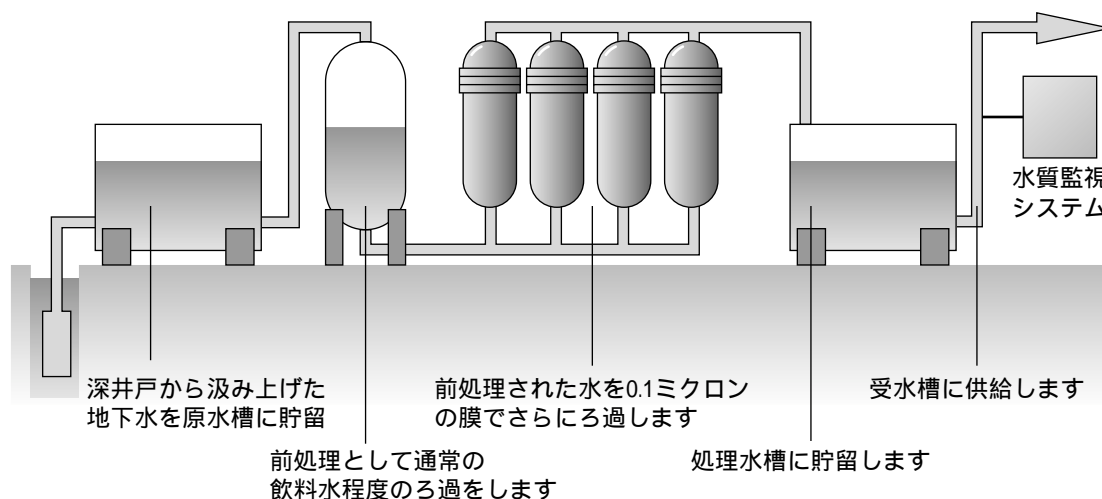
雨水の地下浸透は地下水の涵養につながる。非常に長期のスパンで考える必要はあるものの、地下水位が十分に回復すれば、現在の表流水に対する過度の依存を改め、一定レベル、すなわち年間の涵養量の範囲内で地下水を有効に活用していくことが水循環の高度化にとっ

て有効な対策になる。地下水は、もともと水量が安定しており水温の変化も少ない上、利用地点で取水できるなど、表流水にはない特徴を備えており、海外では水源として重要な役割を担っている。また、地下水位の上昇が地震時の液状化リスクを高め、地下街や地下鉄などといった構造物の強度に与える影響が懸念されていることも、今後地下水の有効利用という問題を真剣に検討しなければならない要因の一つである。

例えばJR東日本では、トンネル内に漏出する地下水を目黒区の立会川に送水する設備を設置し、河川水質の改善につなげる取り組みを行っている。地下構造物があるために阻害された水循環（浸透 地下水 河川）を取り戻し、同時にこれまで下水道への排出に必要であったコスト削減にもつなげようという優れた事例である。

また、更に興味深い事例として、(株)ウェルシィを挙げるができる。同社は深井戸からの揚水に上水膜処理モジュールを組み合わせたオンサイト型の給水システム（「地下水膜ろ過システムWAシリーズ」）を開発・提供する企業である³⁸。そのコンセプトは、高度な地下水調査・検査技術を基盤に、適正規模の自立分散型システムの提供を通じて環境保全や防災対策に寄与するというものである。具体的には、図表3-10にみるような設備により、膜処理した良質な地下水を供給、水道に代替し、同社が投資回収期間内の水量や水質を保証する形になっている。膜処理に使用されるのは、三菱レイヨン(株)と共同開発したMF膜（0.1μm）で

図表3-10 ウェルシィの地下水膜ろ過システム



安全設計
万が一、システムに異常が発生した時は自動停止し、全量水道水に切り替わります。

(出所) 株式会社ウェルシィ

38 . 同社ホームページ<http://www.wellthy.co.jp/>を参照。

あり、O-157、クリプトスポリジウムなどが完全除去される。先にみた膜処理の進展を巧みに取り入れたシステムといえるだろう。

このサービスの意義は、表流水への一元的依存を避け、厳密な原水の検査を通じて地下水質のモニタリングのカバレッジを広げるなどといった環境面もさることながら、平時には水道水を併用しつつ相当部分を代替することによる経済的なメリットをもたらし、渇水時やライフライン断絶など災害時には文字通りオンサイトの分散型水源となり良質な水の供給拠点として稼働できるという防災面にある。あたかも防火壁が平時にキャッシュフローを生み、有事には本来期待される災害対策の効果を発揮するようなものであり、防災対策と経済性を考えるうえで一つのモデルを提示している。実際、同社のサービスは、揚水規制のない地域における病院や鉄道ターミナルなど緊急時に水が大量に必要となる事業主体を中心に導入が広がっている。

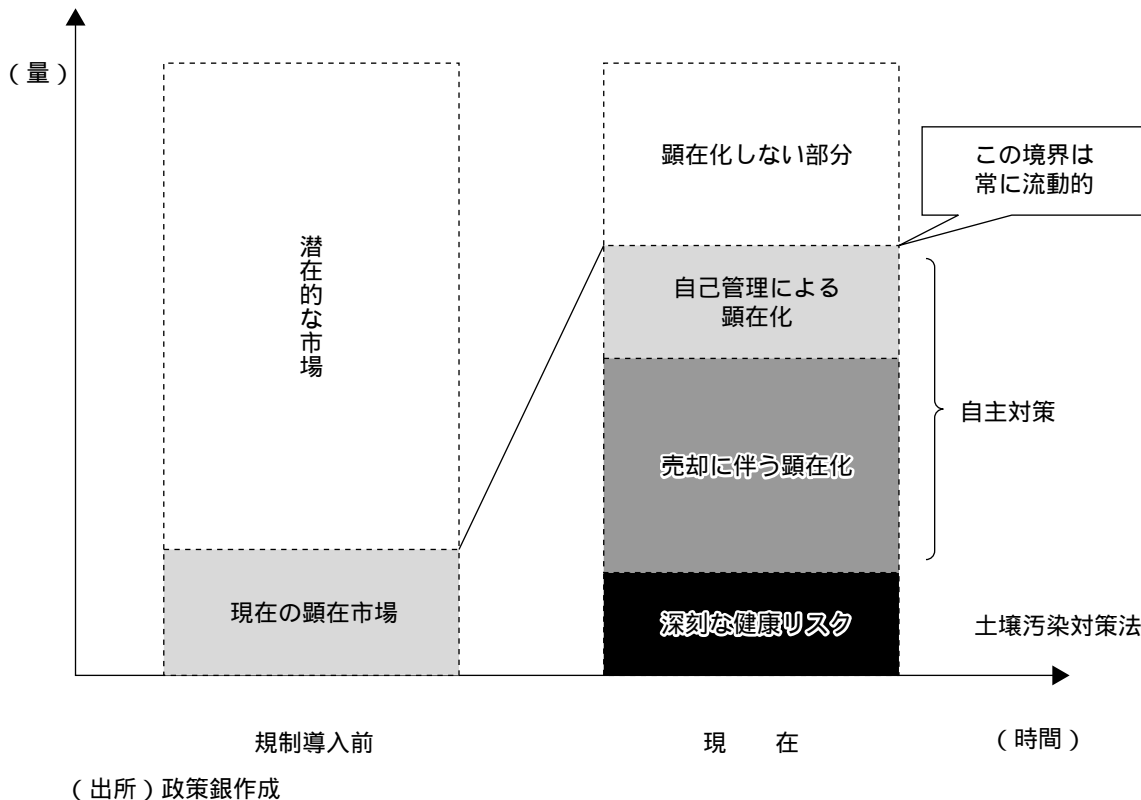
このモデルは、地下水が無料であり水道料金との差額が平時に投資償還資源となるという前提で組み立てられている。しかし、地下水は日本の民法では私水と位置づけられているが、時代と共に公水的な管理が求められるようになってきた。こうした公水か私水かという根本的な問題が横たわっているほか、地下水を水源とした専用水道が無計画に乱立・過剰採取という事態につながることを懸念する声もある。地下水の適正配分については、かねてより個別法や条例などによりバラバラの感がある規制体系を改め、採取許容量を割り当てるなど利用計画を策定する必要性が指摘されているが、同社のサービスが持つ便益を一層発揮するためにも、将来こうした大きなフレームワークが導入され、そのなかに明確に位置づけられることが重要といえるだろう。

(3)必要となる「浄化」

地下水を水源として捉える場合、量の問題と並んで質の問題が無視できない。有害物質や硝酸性窒素、病原性微生物などによる地下水汚染への対応である。なかでも、揮発性有機化合物（VOC）などによる（土壌）地下水汚染は、遊休地再開発の阻害要因となるなど現在政策、企業経営の両面で大きな課題になっている。

地下水汚染への対応は、水質汚濁防止法による汚水の地下浸透禁止やモニタリングといった予防策と、土壌汚染対策法による地下水経由での有害物質暴露への対策が法律により定められているが、実際には直接規制のカバレッジは狭く、多くは土地取引や再開発などを契機に発覚する民主導の案件が大半を占めているといわれる（図表3-11）。

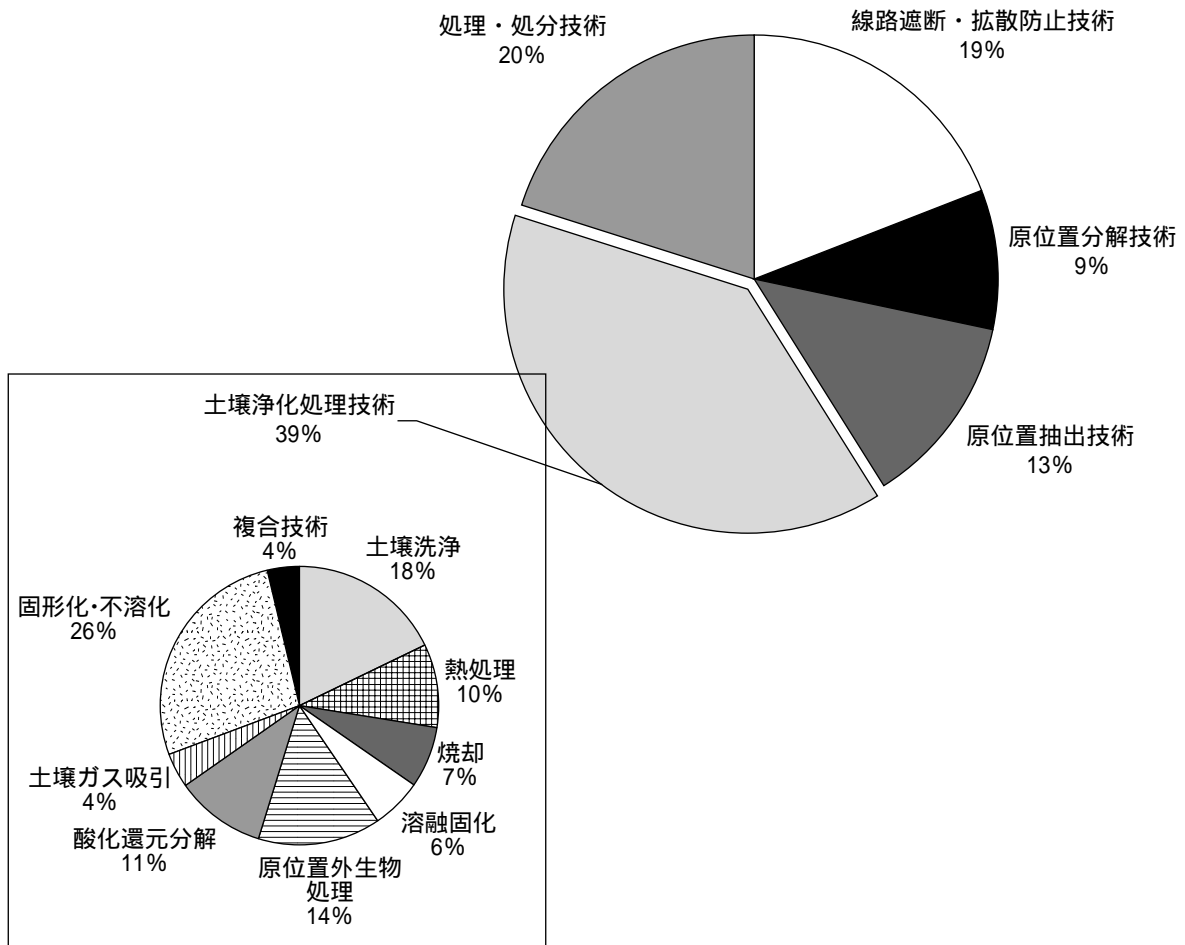
図表 3 - 11 土壌・地下水汚染対策市場の現状



規制により顕在化させる汚染を健康被害に直結する一部に限定し、大部分を土地取引等に係る自主対策に委ねる市場構造になったことにより、現在、汚染対策ビジネスは厳しい価格競争に直面している。土壌汚染問題を広く規制し、厳しい浄化対策を求める欧米式の法律と異なり、自主対策を中心とするわが国の市場では、不安定な需要を刺激し対策に向わせる必要があるためである。浄化サービスを提供する企業には、低コストで効率的な浄化技術の開発・投入、高度なリスクマネジメント支援サービスの提供などの取組みが恒常的に求められることになる。

この分野でも、新技術の開発・投入は枚挙に暇がない。図表 3 - 12は、(社)土壌環境センターが会員企業に対して実施した土壌・地下水汚染対策の手法別構成をみたものである。地下水汚染対策は、このうち原位置分解や原位置抽出や、土壌浄化処理技術中に分類される揚水曝気処理など各種オンサイト処理が適用されると考えられる。近時の動向としては、メンテナンスフリーの浄化手法といわれる透過反応壁工法や、特殊な鉄粉を用いた鉄粉法など新たな手法の投入が相次ぐ原位置処理技術の高度化が目につく。なかでも注目されるのがバイオ処理の高度化である。バイオ処理は、地中の微生物を活性化させ、有害物質を分解・無害化する対策の総称である。汚染地下水の汲み上げや汚染土壌の掘削を伴わない原位置処理が可能であり、コスト的に有利と期待されながら、これまでは分解プロセスが途中でペースダ

図表 3 - 12 土壌・地下水汚染対策市場の現状



(出所) 平田健正「土壌・地下水汚染の修復技術開発と課題」より作成
(原典(社)土壌環境センター「土壌・地下水汚染対策事例等調査」)

ウンし、なかなか浄化完了に至らないという問題を抱えていた。ところが、最近の研究により分解過程に寄与する微生物の種類が特定されたのを受けて、分解プロセスをコントロールすることが可能になってきた。例えば、栗田工業(株)は、分解ペースを効率的にコントロールしてバイオ処理による浄化対策の効率を大幅に改善させている(地下水浄化加速技術)。このブレイクスルーの影響は大きく、もともと物理的な改変や輸送を伴わない原位置処理のメリットを引き出すことで、今後の土壌・地下水汚染対策の加速が期待される。

土壌・地下水汚染対策の技術は、ここ数年、汚染浄化の効率性をめぐる激しい競争にさらされるなかで、様々な進化を遂げてきた。今後の関心事は、浄化費用の低下がどこまで進むかであろう。費用の低下は、潜在的な需要を刺激する一方、過度に進んでしまうと市場拡大の効果を減殺し、企業の参入意欲や研究開発の意欲を減退させてしまう両刃の剣でもあるからである。

浄化対策のコストは、その代替手段の有無や価格水準にも大きな影響を受ける。代表的な

代替手段である掘削除去費用が、最終処分場の逼迫から上昇を続けていること、上でみたような新技術の投入によって浄化費用が数年前の数分の一レベルにまで低下していることなどから、この先も浄化費用が低下方で推移するとは考えにくい。今後は、より安定した事業環境の中で、工場跡地の再開発などに浄化技術が一層活用されるようになることが望まれる。地下水まで含めた水の高度循環を考えれば、土壌・地下水浄化技術は、リスク管理のレベルを規定するキーテクノロジーといえる。

第4章 水処理ビジネスの新たな展開

1. これまでの水処理ビジネス像

これまで漠然と水処理ビジネスという言葉を使ってきたが、実際には、水資源に関連する産業の裾野は広く、ユーザーに位置づけられる飲料製造業を別にしても、上水、工業用水、地下水などの供給（造水）、下排水処理、地下水浄化など複数の事業領域に跨り、業態も機械、薬品の製造・販売から、エンジニアリング、汚染浄化や調査分析などのサービスに至るまで多様である。これを統一的に束ねたカテゴリーは存在せず、従って、その市場規模等についても評価はまちまちである。例えば、水道供給に係る配管工事などを含めるかどうかで事業規模は大きく変わってしまう。

図表4-1は、環境省による「わが国の環境ビジネスの市場規模及び雇用規模の現状と将来予測についての推計」から、明示的に水処理に係る部分を取り出したものである。この推計によれば、わが国の水処理ビジネスの市場規模は、年間5兆円規模であり³⁹、排水処理施設の建設や機器の据え付けを主力に、今後も安定した成長が予想されるものの、環境ビジネス全体の成長率に比べれば低位に留まるという姿になる。土壌・地下水汚染対策の一時的な増加を除けば、成熟した装置（関連）産業という姿が浮かび上がってくる。実際、わが国の水処理ビジネスは、キーテクノロジーである装置で優れた技術を持ちながら、巨大ではある

図表4-1 水処理ビジネスの市場規模

	金額（億円）			平均伸び率（％）	
	2000	2010	2020	00 - 10	10 - 20
環境防止装置	49,030	64,039	65,085	2.7	0.2
装置及び汚染防止用資材の製造	7,392	15,482	15,583	7.7	0.1
排水処理用	7,297	14,627	14,728	7.2	0.1
土壌・水質浄化用（地下水を含む）	95	855	855	24.6	0.0
サービスの提供	7,545	12,720	13,665	5.4	0.7
排水処理用	6,792	7,747	7,747	1.3	0.0
土壌・水質浄化用（地下水を含む）	753	4,973	5,918	20.8	1.8
排水処理設備	34,093	35,837	35,837	0.5	0.0
資源有効利用（2水供給）	475	945	1,250	7.1	2.8
水処理ビジネス計	49,505	64,984	66,335	2.8	0.2
環境ビジネス市場規模総額	299,444	472,266	583,762	4.7	2.1
水処理ビジネス構成比	16.5	13.8	11.4	-	-

（出所）環境省「わが国の環境ビジネスの市場規模及び雇用規模の現状と将来予測についての推計」より作成

39. 少々古いが、日本機械工業連合会と日本産業機械工業会による「環境ビジネスに関する調査研究報告書」（平成9年度）によれば、水関連産業の事業規模総額7兆2千億円のうち、水質汚濁防止関連が5兆1千億円と集計されており、概ね見合う水準である。

が数々の規制、指針、資格制度に象徴される官主導の市場特性に縛られ、コスト効率など総合力でみた国際競争力に劣るといわれてきた。

2．水処理ビジネス像の変化

しかし、こうした伝統的な水処理ビジネス像は、以下にみるような幾つかの要因から現在大きな転換点を迎えており、早晩大きく修正を迫られることになる。

第1に水処理を巡る国内市場環境が大きく変化していることである。主力だった官公需は、これから上下水道インフラの本格的な更新期を迎えるなかで、財政制約から大きく変質しようとしている。平成14年4月には改正水道法が施行され、浄水場の運転管理や水質管理といった技術上の業務について技術的に信頼できる第三者への委託が制度的に可能となり、水道事業の民間委託の機運が一挙に盛り上がりを見せているし、また東京都や横浜市などでは下水道事業（消化ガスによる発電設備など）へのPFIの導入が始まっている。平成12年に公布された「水道施設の技術的基準」に代表されるように、現在官公需においても、施設の詳細な設計仕様や運営を規定した委託から、求められる性能を設定して具体的な対策は事業者の自主性に委ねる性能発注へのシフトが進展している。コスト削減圧力が強まる一方の民間需要については、一層の費用対効果の改善につながる提案型の対応が求められているほか、市場の厚みを増すために従来主たるターゲットとしていなかった中小規模の事業者の需要掘り起こしに向けた努力も続けられている。水処理ビジネスは、これまで弱点とされてきた総合的なシステム技術により効率性を競う時代に突入したといえるだろう。

第2に、こうした市場環境の変化を受けて、水処理に係るビジネス像が大きく変容している点である。先に見た膜メーカーとエンジニアリングメーカーの融合や、バイオマスに代表されるエネルギー産業との接点の拡大など、水処理というカテゴリー自体が広がりを見せていることに加え、個々の企業レベルでも伝統的なビジネスモデルを修正する動きが本格化している。

バリューチェーンの見直しの例として、例えば、オルガノ^(株)では、従来のビジネスモデルを発展させ、メーカー機能を持つエンジニアリング企業への展開を進めており、これをメンテナンス事業の強化と並ぶ収益源に位置づけている。これは、システムを構築する標準装置の内製化を進め、その付加価値を取り込むに留まらず、エンジニアリング機能をモジュール化することにより、ユーザーに対してより低コストで優れたサービスの提供を可能にする体制を整える趣旨である。このための基盤として、国内いわき工場の整備に続き、平成16年10

月には中国蘇州市に水処理一貫工場（オルガノ（蘇州）水処理有限公司）を完成させるなど体制整備を着々と進めている⁴⁰。

また、処理設備の販売・メンテナンス事業に留まらず、設備は自社で所有し、リースやレンタル機能を活用してユーザーには「清浄な水」の提供を進めるという動きも本格化している。この分野で長い実績を有するのが日本電工(株)である。同社では、イオン交換樹脂を充填した排水処理装置をユーザーに貸し出し、処理能力に達した時点でこれを回収、洗浄して再び貸し出すという回収リサイクル事業を展開している。特に30年以上の実績があるクロム酸回収では国内シェアの52%を占め、これを化学薬品原料にリサイクルするシステムを構築している。ユーザー産業はオンサイトで排水処理するよりも低廉なコストでクロム酸廃液を処理でき、同社はリサイクル関連で入口、出口共に安定した収入を確保するという成功モデルである。同社では、規制強化に対応して平成12年から同種のサービスをハウ素排水にも適用しており、事業は堅調に拡大していると伝えられている⁴¹。

栗田工業は、トラックなどに搭載可能なコンテナに収納した純水製造システム「DEMISYA（デミシャ）」を利用した純水・超純水製造システムのリース事業を行っていたが、平成14年からは電子産業のユーザーの工場内に自社の設備として超純水製造システムを設置して、ユーザーからは超純水の使用量に応じた料金を徴収する「超純水供給契約（水売り）事業」を行っている。

こうしたリース・レンタル機能を活用したモデルは、ユーザー産業にとって水処理関連設備の投資負担軽減と設備のオフバランス化というメリットをもたらし、設備のメンテナンスや回収物質の処理（リサイクルも含む）が水処理の専門業者の手に委ねられ、ユーザーは本業に集中できるというメリットのほか環境対策の観点からも大きなメリットがあると考えられる。

メーカー機能の取り込みによるエンジニアリング・ノウハウのユニット化、リース機能を活用した「清浄な水」機能の提供などの対応には、強固な資本力が必要となる。現在でも水処理装置市場は資本金100億円以上の企業による寡占化が進んでいるが、今後、こうした傾向は一層強まる可能性がある。いずれにしても、様々な技術的な対応はもとより、異業種とのアライアンスを含めたバリューチェーンの見直し、これまで分離していた処理装置、膜、薬品などの製造機能と、これらを組み合わせるエンジニアリング機能との統合といった新しい動きは、まさに水処理を総合的に競う時代に突入している市場環境の変化を反映しており、

40．オルガノ(株)HP（<http://www.organo.co.jp/>）を参照。

41．日本電工(株)環境システム事業部HP（<http://www.nippondenko.co.jp/esystem/index.htm>）を参照。

ユーティリティビジネスへの転換という新たな展開を予感させる。

第3が、海外展開の可能性である。冒頭にもみたように、現在世界的に淡水資源の希少化が指摘されているが、問題は量的な不足に留まらず、産業活動の拡大に伴い貴重な表流水や地下水の汚染が進展する質の面がより深刻さを増しているといわれる。かつて深刻な水質汚濁問題を経験したわが国に蓄積された水処理技術の適用可能性は高いと思われるが、実際には高コストが障害となっている。しかし、これまでみてきたような水処理ビジネスの総合力強化に向けた取り組みは、海外への生産拠点移転も含めてグローバルに展開しており、今後、わが国水処理技術の比較優位性に変化をもたらす可能性もある。

わが国の水処理ビジネスは、既に主要プレーヤーの地位を獲得している海水淡水化に加えて、排水処理分野でも中国などをメインターゲットに活動を始めている。また、ユニット生産拠点の海外移転によるコスト削減や進出している日系企業などへの提供が中心であるが、国内市場での競争を通じて価格競争力やサービス形態の多様化が進展すれば、事業の裾野が一層広がっていくことが期待される。

3．おわりに

国際的な問題である淡水資源の希少化、都市型水害の増加や土壌・地下水汚染というより差し迫った脅威への対応など、様々な観点から水循環の高度化の必要性が指摘されている。本稿では、この問題を解決するための技術を提供する水処理ビジネスの観点から概観してきた。現実問題として考えれば、水循環の高度化にとって最大の課題はコストである。この点、水処理ビジネスに蓄積されている技術やノウハウは、現在進展している変化も含めて、コストという制約要因を緩和する方向に働くことが期待でき、わが国が水循環の高度化を効率的に進めるうえで貴重な財産である。

一方、治水・利水と環境保全という課題をバランス良く達成するためには、こうした企業サイドの技術的な対応と並んで社会的な意識の高まりやシステムの整備が重要であることはいうまでもない。

水問題を総合的に捉える重要性はかねてから指摘されてきたところであり、政策サイドの対応も「流域管理」をキーワードに統合化の方向に向かっている。平成10年に設置された、環境省、国土交通省、厚生労働省、農林水産省、経済産業省の関係5省による「健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会議」により、都市再生プロジェクトとして寝屋川流域と神田川流域を対象とする水循環系再生構想が策定され、また、平成15年には「健全な水循環系

構築のための計画づくりに向けて」の公表・これに基づく各地域での具体的な検討が始められるなど、既に省庁の枠組みを超えた統合的な対応が進められている。更に、先にみた特定都市河川浸水被害対策法が従来の治水対策を統合した新たなスキーム構築を目指しているのも、個別政策レベルにおいて水循環の持つ多様性への配慮が進んでいることの表れといえるだろう。今後も、表流水と地下水、河川と下水道の関係なども含めて水系全体を包括的に対象とする政策対応が推進されることが期待される。

こうした流域単位で水循環をトータルに捉える政策対応の進展は、水循環がもたらすメリットやリスクの総合的な評価を可能にし、これをもとに、広域的な視点からどこでどのような対策を講じるのが最も効率的かというデザインと、そのための費用分担のあり方の検討も具体化していくものと考えられる。環境省で議論されている水質保全分野における経済的手法の活用⁴²も、水循環の高度化がもたらす費用と効果を把握し、費用負担者と受益者との利益調整を図ろうとするものであり、こうした文脈に位置づけられるものといえるだろう。

安全・安心、環境保全、景観など金額換算が困難な面も含めて水循環の高度化がもたらす便益を総合的に評価する視点は、これまでみてきたような水処理ビジネスが持つ潜在力を引き出す方向に働く。反対に、例えば水道事業の民間委託に関して一部で観察されるように、上水供給という部分だけを切り出し、これに係るコスト削減のみを追求するような部分均衡的なアプローチをとってしまうと、せっかくの水循環の高度化に向けた様々な技術革新も、単なる選択肢の一つにしか位置づけられず活用されずに終わりがかねない。

これからわが国は、高度成長期に整備された建築物や社会インフラの本格的な更新期を迎える。この機会を捉えて水循環の高度化をどのように国土にビルトインしていけるか、政策、ビジネスの両面から大いに注目すべきテーマであろう。

42．環境省「水質保全分野における経済的手法の活用に関する検討会」が、水質改善に係る費用負担のあり方について税・課徴金、分担金、排出量取引の各手法について論点整理を行っている。

引用文献・参考文献

- 井本和秀 [2003] 『膜濾過装置の現状と課題』資源環境対策Vol.39 No.13
- 内山勝久 [2003] 『都市の温暖化』(宇沢・國則、内山編「21世紀の都市を考える」東京大学出版会収録)
- 岡崎稔、鈴木宏明 [2002] 『超純水のはなし』日刊工業新聞社
- 科学技術庁資源調査会編 [1987] 『都市の雨水を考える』大蔵省印刷局
- 金子孝文、清水博 [2003] 『英仏におけるPPP / PFI動向調査』日本政策投資銀行「地域政策調査」Vol.11
- 環境機器 [2001] 『排水・汚泥対策完全ガイド』2001 / 2環境機器
- 栗原優 [2003] 『期待される膜利用水処理技術』東レ株式会社IR資料
- 国土交通省土地・水資源局水資源部編 [各年度版] 『日本の水資源』
- 後藤藤太郎 [2004] 『水と命を支える技術との取り組み』日東電工技報85号 (42巻)
- 小林幹昌 [2003] 『素材型産業を核として資源循環クラスターの展開』日本政策投資銀行「調査」55号
- (社)日本下水道協会 [各年度版] 『日本の下水道』
- 世界水ビジョン川と水委員会 [2001] 『世界水ビジョン』山海堂
- 第3回世界水フォーラム事務局 [2002] 『世界の水と日本』第3回世界水フォーラム事務局
- 竹ヶ原啓介 [2002] 『都市再生と資源リサイクル』日本政策投資銀行「調査」33号
- 中西準子 [1994] 『水の環境戦略』岩波新書
- 荻原清子 [1990] 『水資源と環境』日本交通政策研究会研究双書 6
- 平田健正 [2004] 『土壌・地下水汚染の修復技術開発と課題』産業と環境 2004. 9.
- 廣田真、牧田雄介 [2001] 『高効率嫌気性排水について』紙パ技協誌第55巻第1号
- 藤縄克之監修 [1998] 『地下水問題とその解決法』環境新聞社
- 本橋敬之助 [2001] 『水質浄化マニュアル 技術と実例』海文堂
- マルク・ド・ヴィリエ [2002] 『ウォーター世界水戦争』共同通信社
- 松永是、倉根隆一郎 [1999] 『おもしろい環境汚染浄化のはなし』日刊工業新聞社
- 山田國廣 [2002] 『水の循環』藤原書店
- 湯浅晶 [2003] 『浄水処理における膜濾過技術の現状と今後の方向』資源環境対策Vol.39 No.13
- 吉村二三隆 [2002] 『これでわかる水処理技術』工業調査会

和田安彦、三浦浩之 [2002] 『水を活かす循環環境都市づくり』技報堂出版

その他 関係各機関、企業のホームページ、環境報告書など

『調査』既刊目録

最近刊の索引

- ・ 75(2005. 1) 水循環の高度化に関する技術動向と展望
- ・ 74(2005. 1) 日本企業の設備効率向上に向けた取り組みと課題
- ・ 73(2005. 1) 設備投資計画調査報告(2004年11月)
- ・ 72(2004. 12) 最近の経済動向
- ・ 71(2004. 12) 人的資本の蓄積と生産性の変化
- ・ 70(2004. 10) 中国国内物流の現状
- ・ 69(2004. 9) 循環型社会における塩化ビニル樹脂の可能性
- ・ 68(2004. 9) 設備投資計画調査報告(2004年 6月)
- ・ 67(2004. 8) 日本のイノベーション能力と新技術事業化の方策
- ・ 66(2004. 7) 最近の経済動向
- ・ 65(2004. 6) 企業の資金調達動向
- ・ 64(2004. 4) LCA(ライフ・サイクル・アセスメント)
による温暖化対策の改善
- ・ 63(2004. 4) 90年代以降の企業の研究開発動向
- ・ 62(2004. 4) デフレ下の資本財価格低下と設備投資への影響
- ・ 61(2004. 4) 都市環境改善の視点から見た建築物緑化の展望
- ・ 60(2004. 3) コスト面からみた資本、労働の動き
- ・ 59(2003. 12) 最近の経済動向
- ・ 58(2003. 10) 設備投資計画調査報告(2003年 8月)
- ・ 57(2003. 9) 中国による対日直接投資と中国人留学生による日本での起業
- ・ 56(2003. 9) 資源循環型社会で注目される生分解性プラスチック
- ・ 55(2003. 7) 素材型産業を核とした資源循環クラスターの展開
- ・ 54(2003. 6) ブロードバンド時代のデジタルコンテンツ・ビジネス
- ・ 53(2003. 5) 企業の温暖化対策促進に向けて
- ・ 52(2003. 4) 地方民鉄の現状
- ・ 51(2003. 3) 設備投資計画調査報告(2003年 2月)
- ・ 50(2003. 1) 設備投資計画調査統計集(1990年度以降)
- ・ 49(2002. 12) 最近の経済動向
- ・ 48(2002. 12) 食品リサイクルとバイオマス
- ・ 47(2002. 11) 中国の経済発展と外資系企業の役割
- ・ 46(2002. 10) 将来不安と世代別消費行動

分野別の索引

〔 設備投資アンケート 〕

設備投資計画調査

- | | |
|-------------------------------|---------------|
| ・ 2004・2005年度 (2004年11月) | 73(2005. 1) |
| ・ 2003・04・05年度 (2004年 6月) | 68(2004. 9) |
| ・ 2002・03・04年度 (2003年 8月) | 58(2003. 10) |
| ・ 2002・2003年度 (2003年 2月) | 51(2003. 3) |
| ・ 設備投資計画調査統計集(1990年度以降) | 50(2003. 1) |
| ・ 2001・02・03年度 (2002年 8月) | 45(2002. 10) |
| ・ 2001・2002年度 (2002年 2月) | 37(2002. 3) |
| ・ 2000・01・02年度 (2001年 8月) | 28(2001. 10) |
| ・ 2000・2001年度 (2001年 2月) | 21(2001. 3) |
| ・ 1999・2000・01年度 (2000年 8月) | 15(2000. 10) |
| ・ 1999・2000年度 (2000年 2月) | 7(2000. 3) |
| ・ 1998・99・2000年度 (1999年 8月) | 2(1999. 10) |
| ・ 1998・1999年度 (1999年 2月) | 254(1999. 3) |

〔 経済・経営 〕

最近の経済動向

- | | |
|-----------------------------------|---------------|
| ・ 我が国産業構造の中期見通し | 72(2004. 12) |
| ・ 国際商品市況の上昇が企業の投入・
産出行動に与える影響 | 66(2004. 7) |
| ・ 資金循環と金融を中心とする日本経
済の中期シナリオの検討 | 59(2003. 12) |
| ・ 日本経済の持続可能性に向けた中期
シナリオの検討 | 49(2002. 12) |
| ・ グローバル化と日本経済 | 38(2002. 7) |
| ・ デフレ下の日本経済と変化への兆し | 31(2001. 12) |
| ・ デフレ下の日本経済 | 26(2001. 7) |
| ・ 今次景気回復の弱さとその背景 | 19(2001. 3) |
| ・ ITから見た日本経済 | 12(2000. 8) |
| ・ 90年代を振り返って | 4(2000. 1) |
| ・ 設備投資と資本ストックを中心に | 258(1999. 7) |

* 当行のWebページ (<http://www.dbj.go.jp/report/>) では、『調査』発刊開始(1973年)以来の全目録を掲載しており、2001年 4月発行の第26号以降については全文をご覧頂くことができます。

* 『調査』入手のご希望については、調査部総務班 (Tel : 03 - 3244 - 1840 e-mail : report@dbj.go.jp) までお問い合わせ下さい。

日本経済一般

- ・ 人的資本の蓄積と生産性の変化 71 (2004. 12)
- ・ コスト面からみた資本、労働の動き 60 (2004. 3)
- ・ 日本企業の生産性と技術進歩 44 (2002. 8)

金融・財政

- ・ 企業の資金調達動向 65 (2004. 6)
 - 銀行借入と代替的な資金調達手段について -
- ・ 邦銀の投融资動向と経済への影響 41 (2002. 8)
- ・ 社会的責任投資 (SRI) の動向 40 (2002. 7)
 - 新たな局面を迎える企業の社会的責任 -
- ・ 近年の企業金融の動向について 35 (2002. 3)
 - 資金過不足と返済負担 -

設備投資・企業経営

- ・ 日本企業の設備効率向上に向けた取り組みと課題 74 (2005. 1)
 - 意識調査と財務データからみた特徴 -
- ・ デフレ下の資本財価格低下と設備投資への影響 62 (2004. 4)
 - 財別・産業別価格データによる計測 -
- ・ 設備投資・雇用変動のミクロ的構造 43 (2002. 8)
- ・ ROAの長期低下傾向とそのミクロ的構造 30 (2001. 12)
 - 企業間格差と経営戦略 -
- ・ 日本企業の設備投資行動を振り返る 17 (2000. 11)
 - 個別企業データにみる1980年代以降の特徴と変化 -

消費・貯蓄・雇用

- ・ 将来不安と世代別消費行動 46 (2002. 10)
- ・ 労働分配率と賃金・雇用調整 34 (2002. 3)
- ・ 家計の資産運用の安全志向について 16 (2000. 10)
- ・ 企業の雇用創出と雇用喪失 6 (2000. 3)
 - 企業データに基づく実証分析 -
- ・ 消費の不安定化とバブル崩壊後の消費環境 1 (1999. 10)
- ・ 人口・世帯構造変化が消費・貯蓄に与える影響 248 (1998. 8)
- ・ 資産価格の変動が家計・企業行動に与える影響の日米比較 244 (1998. 7)
- ・ 近年における失業構造の特徴とその背景 240 (1998. 4)
 - 労働力フローの分析を中心に -

貿易・直接投資

- ・ 変貌するわが国貿易構造とその影響について 29 (2001. 11)
 - 情報技術関連 (IT) 財貿易を中心に -

海外経済

- ・ 中国による対日直接投資と中国人留学生による日本での起業 57 (2003. 9)
 - 中国経済の活力を日本に取りこむために -
- ・ 中国の経済発展と外資系企業の役割 47 (2002. 11)
- ・ 米国の景気拡大と貯蓄投資バランス 8 (2000. 4)
- ・ 米国経済の変貌 255 (1999. 5)
 - 設備投資を中心に -
- ・ アジアの経済危機と日本経済 253 (1999. 3)
 - 貿易への影響を中心に -

〔 産業・技術・環境 〕

最近の産業動向

- ・ 主要産業の生産は、素材、資本財産業を中心に減少へ 27 (2001. 7)
- ・ 内需の回復続き、多くの業種で生産増加 13 (2000. 8)
- ・ 輸出はアジア向けで堅調、内需は回復に力強さがみられず 5 (2000. 1)
- ・ 全般的に緩やかな回復の兆し 260 (1999. 8)

技術開発・新規事業

- ・ 日本のイノベーション能力と新技術事業化の方策 67 (2004. 8)
 - カーブアウト等による新産業創造 -
- ・ 90年代以降の企業の研究開発動向 63 (2004. 4)
- ・ 製造業における技能伝承問題に関する現状と課題 261 (1999. 9)
- ・ 最近のわが国企業の研究開発動向 247 (1998. 8)
 - 技術融合 -
- ・ わが国企業の新事業展開の課題 243 (1998. 7)
 - 技術資産の活用による経済活性化への提言 -
- ・ 日本の技術開発と貿易構造 241 (1998. 6)

環境

- ・水循環の高度化に関する技術動向と展望 75 (2005. 1)
 - 水処理ビジネスの新たな展開 -
- ・LCA(ライフ・サイクル・アセスメント) による温暖化対策の改善 64 (2004. 4)
- ・都市環境改善の視点から見た建築物緑化の展望 61 (2004. 4)
 - 屋上緑化等の技術とコストを中心に -
- ・素材型産業を核とした資源循環クラスターの展開 55 (2003. 7)
 - リサイクルビジネスの高度化に向けて -
- ・企業の温暖化対策促進に向けて 53 (2003. 5)
 - 先進的温暖化対策への取り組み事例から -
- ・食品リサイクルとバイオマス 48 (2002. 12)
- ・使用済み自動車リサイクルを巡る 36 (2002. 3)
展望と課題
- ・都市再生と資源リサイクル 33 (2002. 2)
 - 資源循環型社会の形成に向けて -
- ・環境情報行政とITの活用 32 (2002. 1)
 - 環境行政のパラダイムシフトに向けて -
- ・家電リサイクルシステム導入の影響 20 (2001. 3)
と今後
 - リサイクルインフラの活用に向けて -
- ・わが国環境修復産業の現状と課題 3 (1999. 10)
 - 地下環境修復に係る技術と市場 -
- ・欧米における自然環境保全の取り組み 256 (1999. 5)
 - ミティゲーションとビオトープ保全 -

化学・バイオ

- ・循環型社会における塩化ビニル樹脂の可能性 69 (2004. 9)
 - 建材用途拡大と使用後処理の多様化 -
- ・資源循環型社会で注目される生分解性プラスチック 56 (2003. 9)
 - “バイオマス由来”の特性で広がる用途展開 -
- ・わが国化学産業の現状と将来への課題 14 (2000. 9)
 - 企業戦略と研究開発の連繋 -

自動車・電機・電子・機械

- ・わが国電気機械産業の課題と展望 42 (2002. 8)
 - 総合電気機械メーカーの事業再編と将来展望 -
- ・わが国半導体製造装置産業のさらなる 23 (2001. 3)
発展に向けた課題
 - 内外装置メーカーの競争力比較から -
- ・労働安全対策を巡る環境変化と機械産業 10 (2000. 6)
- ・わが国自動車・部品産業をめぐる国際 9 (2000. 4)
的再編の動向

- ・わが国半導体産業における企業戦略 259 (1999. 8)
 - アジア諸国の動向からの考案 -
- ・わが国機械産業の更なる発展に向けて 257 (1999. 5)
 - 工作機械産業の技術シーズからみた将来展望 -

エネルギー・新エネルギー

- ・分散型電源におけるマイクロガスタービン 24 (2001. 3)
 - その現状と課題 -

運輸・流通

- ・中国国内物流の現状 70 (2004. 10)
 - 進出日系企業の視点から -
- ・地方民鉄の現状 52 (2003. 4)
 - 輸送密度の相関分析 -
- ・物流の新しい動きと今後の課題 25 (2001. 3)
 - 3PL(サードパーティ・ロジスティクス)からの示唆 -
- ・消費の需要動向と供給構造 18 (2000. 12)
 - 小売業の供給行動を中心に -

情報・通信・ソフトウェア

- ・ブロードバンド時代のデジタルコンテンツ・ビジネス 54 (2003. 6)
 - 映像コンテンツ流通を中心に -
- ・ケーブルテレビの現状と課題 22 (2001. 3)
 - ブロードバンド時代の位置づけについて -
- ・エレクトロニック・コマース(EC)の 246 (1998. 8)
産業へのインパクトと課題

医療・福祉・教育・労働

- ・少子高齢化時代の若年層の人材育成 39 (2002. 7)
 - 企業外における職業教育機能の充実に向けて -
- ・労働市場における中高年活性化に向けて 11 (2000. 6)
 - 求められる再教育機能の充実 -
- ・高齢社会の介護サービス 249 (1998. 8)

本号の内容についてのお問い合わせは、執筆担当者までお願い致します。

なお、当行のWeb ページ (<http://www.dbj.go.jp/report/>) では『調査』に関する読者アンケートのフォームを掲載しております。今後の『調査』刊行に際して参考とさせていただきたく、皆様のご感想やご意見などお聞かせ願えれば幸いです。

2005年1月31日

ISSN 1345-1308

調 査 第 75 号

編 集 日 本 政 策 投 資 銀 行
調 査 部 長 荒 井 信 幸

発 行 日 本 政 策 投 資 銀 行

〒100-0004
東京都千代田区大手町1丁目9番1号
電 話 (03) 3244-1840
(調査部総務班直通問い合わせ先)
e-mail: report@dbj.go.jp
ホームページ <http://www.dbj.go.jp>

(印刷 SSP)