

環境調和型社会における上下水道システム技術

System Technologies for Water and Sewage Treatment in an Environmentally Harmonious Society

加藤 孝夫

KATO Takao

上下水道事業は都市の生活用水を確保し、水環境を保全する活動を通じて環境問題に貢献してきた。しかし、エネルギー消費や自然環境の保全の観点では、外部環境に影響を与える側面もある。自然の水循環は、上下水道による都市への水の供給と回収を主体とした人工的水循環に変化し、水の浄化と輸送のためにはエネルギーを消費する。上水道、下水道では多くの汚濁物質を除去して水を浄化しているが、除去しきれない一部の汚濁物質は、河川や海へ排出されてしまう。これら外部環境に対する影響と、上下水道事業本来の目的である人間の安全で豊かな生活環境を確保する活動との調和を図ることにより、上下水道事業は、環境調和型社会によりふさわしい事業展開ができると期待できる。

ここでは、上下水道の環境への影響を、“水の視点”、“物質の視点”、“エネルギーの視点”で整理し、システム技術による環境調和型社会へのブレークスルーについて述べる。

Water and sewage treatment are activities that contribute to preservation of the water environment. However, they also have external environmental effects. For example, they consume energy and have an impact on the natural environment. In an environmentally harmonious society, it is important when implementing water supply and sewage treatment to consider the balance of these activities and the environmental effects.

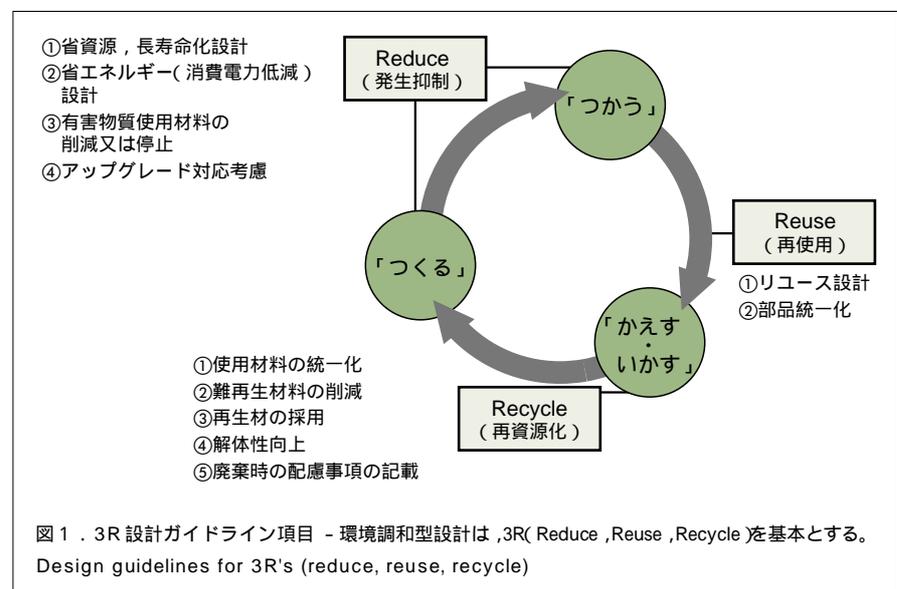
This paper analyzes the effects on the environment from three viewpoints - the viewpoint of water, the viewpoint of substances, and the viewpoint of energy - and shows how system technologies have brought about a breakthrough in dealing with environmental problems.

環境調和型社会とは

環境への配慮、環境と調和した活動が、21世紀の重要なキーワードになっている。地球温暖化防止のため、二酸化炭素(CO₂)など地球温暖化ガスの排出を抑制する活動をはじめ、大気や水環境の汚染を防止する動き、天然資源の採取や廃棄物の放棄による自然環境の悪化を抑える動きなど様々な活動が推進されている。

国際的には、地球温暖化を防止するための施策として“気候変動枠組防止条約”が2002年批准を目指している。また、海洋汚染防止のためのロンドン条約や有害物質の越境移動を禁止したバーゼル条約などが既に締結されている。

わが国では、産業構造審議会が“循環社会ビジョン”の中で、“Reduce(リデュース：廃棄物の発生抑制) -



Reuse(リユース：部品・製品の再使用) - Recycle(リサイクル：原材料としての再資源化)を基本とした循環型社会の構築”を基本理念として示し、環境基本法、及び循環型社会形成推進法

として具体的に法整備をしている。当社でも、3R(Reduce ,Reuse ,Recycle)設計ガイドラインに基づいた取組みをしている(図1)。

地球環境を保全し、持続的に発展さ

せるためには、環境への影響はできるだけ抑えなければいけない。しかし一方で、生活の質や豊かさを低下させることなく社会を築いていきたい。21世紀の目指すべき社会は、人の活動と環境が調和した社会であるはずである。

この特集では、環境へ与える負荷を減らし、人間の営みと環境との調和を目指し、それを実現する社会を“環境調和型社会”であると定義している。したがって、環境調和型社会の構築のためには、環境への負荷をいかに低減させるかという観点と、環境と人間の営み(経済)のトレードオフ問題をいかに“調和”という形で解決できるかという二つの観点が重要となってくる。

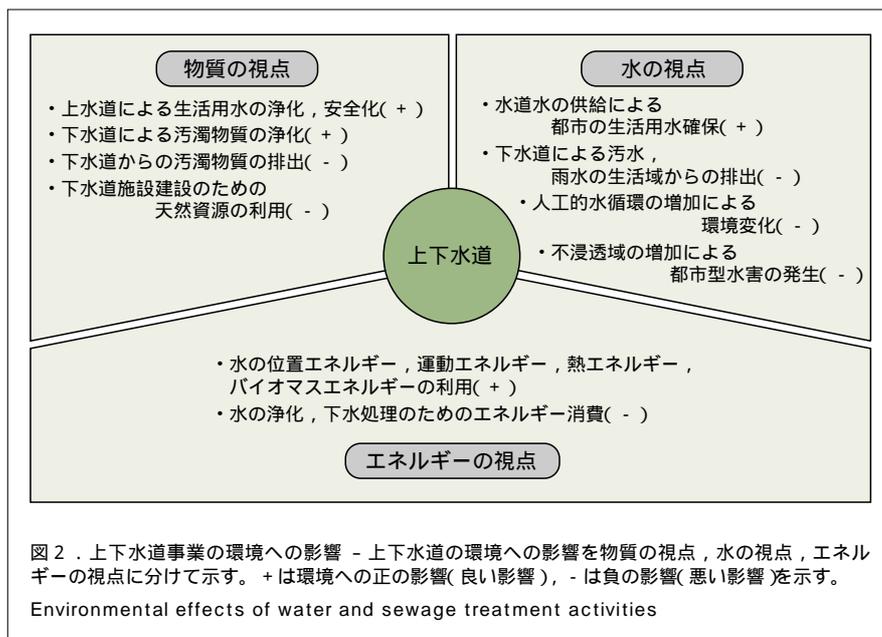
環境調和型社会における上下水道

上下水道の環境側面

上水道は、河川や地下水から原水を取水し、電気などのエネルギーや薬品などの化学物質を使用して水を浄化した後、ポンプなどでエネルギーを消費して各家庭に水を供給している。

下水道は、家庭から出る生活排水や雨水など汚濁物質を含んだ水を、電気などのエネルギーを使用してきれいな水に処理して、河川や海に放流している。水を処理した結果として残る汚泥は、安全に処理され再利用も図られている。このように上下水道は、生活環境、水環境を整備する事業であるが、その営みのなかでそれを取り巻く外部環境に対して影響を与え、また外部環境からの影響を受けて事業を進めている。

環境調和型社会における上下水道のあり方として、まず上下水道が外部環境に対してどのような側面で影響を与えているかという環境側面についての検討が必要である。すなわち影響度の高いものを特定し、その影響の著しい環境側面に着目して、環境への影響をどうすれば減らしていけるかという環境影響負荷の低減の取組みをしていくことになる。また、上下水道の計画段



階では、著しい環境側面について、建設から運用、廃棄に至るライフサイクルでの環境影響評価を実施して、その計画の環境への影響を総合的に判断することが必要とされている。

ここでは、水の流れに着目した“水の視点”、移動する様々な物質に注目した“物質の視点”、水を移動させ、処理するために使われる“エネルギーの視点”に着目して、環境への影響を整理してみる。三つの視点で整理した結果を図2に示す。各視点で見た上下水道の姿を図3に示す。

水の視点

海の水が蒸発して雲となり、雨となって地上に降り注ぎ、地下に浸透し、川となり、また海に至るサイクルが大自然の水循環である。都市への人口集中による都市化は、この水循環に大きな影響を与えている。上水道は、自然の水循環の一部をバイパスさせて、人の暮らしに必要な水を供給し、下水道を利用して河川や海に戻している。大都市の水道水の供給量は、その地域の年間降雨量を上回る場合も珍しくない。

雨水は森林の保水能力によりゆっくりとしたサイクルで河川へ流れていた。しかし、都市化により土地の使われ方

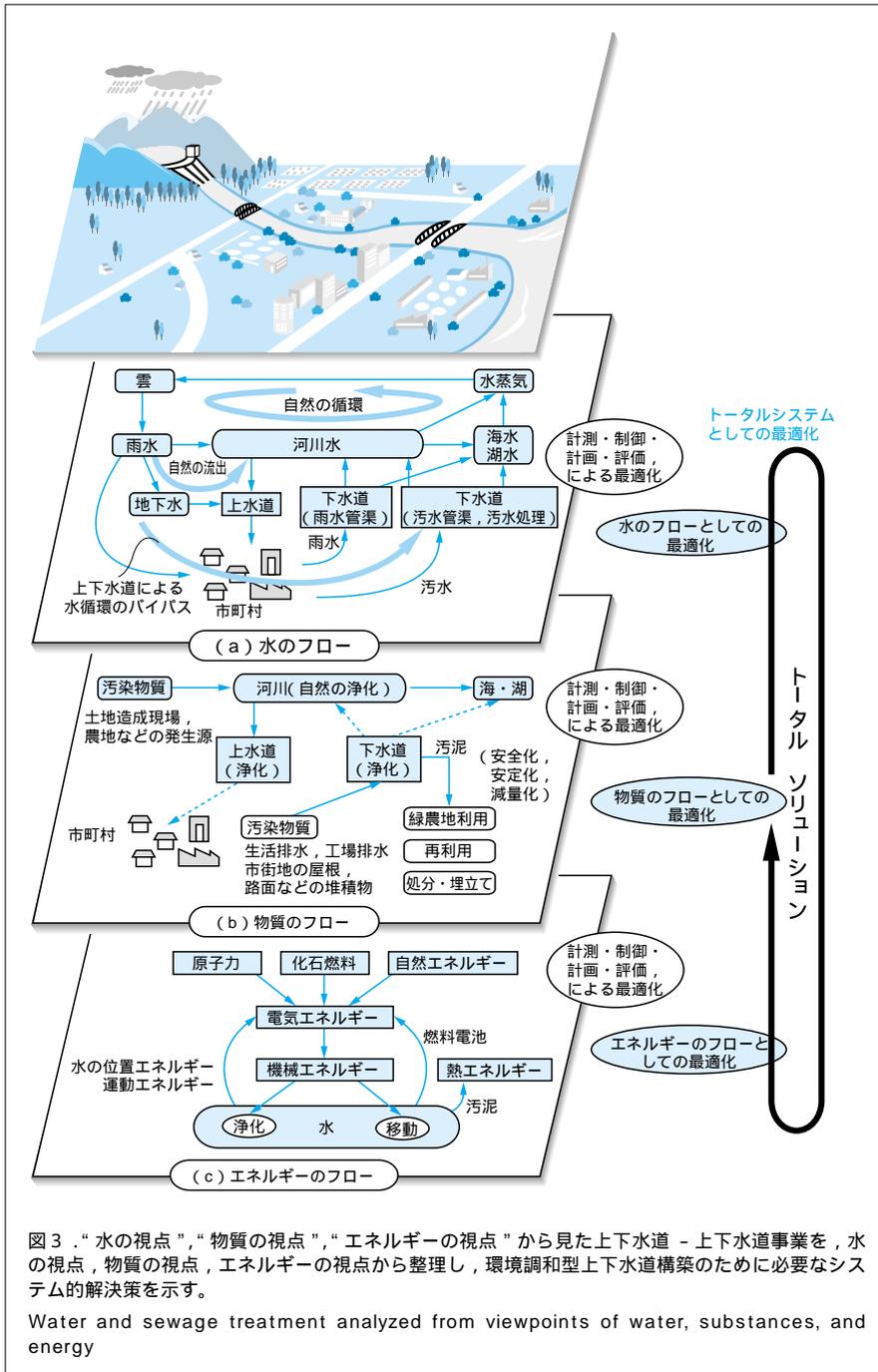
が変化し、地表面がコンクリートで覆われることにより、降った雨は下水道から河川へと急激な流出をもたらした。大都市では、雨が浸透しない区域の割合(不浸透域)が90%を超える地域もある。都市の生活環境整備のために、自然の水循環を改変してきたのであるが、“水環境の保全”対“生活環境の整備”や、“水環境の保全”対“住民安全のための治水”のバランスをいかにとるかといったことが重要となってくる。

物質の視点

水の流れに乗って、様々な物質が移動している。ふん尿、洗濯・風呂・食器洗いの水など生活の結果として発生する汚濁物質が、下水道に流れる。家庭の生ごみを粉砕して下水道に流すべきか否か、なども討議されている。

下水処理場では、汚濁物質と水を分離し、汚濁物質を安定化、安全化、減量化している。水質汚濁防止法に基づいた排出基準により処理・放流されるが、すべての汚濁物質が除去できるわけではなく、河川に放出されてしまう汚濁物質もゼロにはできない。

また、生活排水と雨水を一つの管渠(かんきょ)で集める合流式下水道では、雨天時に浸水を避けるために放流する



雨水に、生活排水の一部が混ざってしまうという問題もあり、改善が必要となっている。

汚濁負荷の発生原因は、家庭、工場など 特定できるもの(point source)と、雨が不特定の汚染物質を収集してしまうもの(non-point source)に分けられるが、微量でも人体に影響のある化学物質などの存在も明らかになり、汚染物質の排出と移動の管理が重要となって

きている。

上下水道の施設建設でも、天然資源を採取して土木構造物、機械・電気設備を建設し、施設の更新や廃棄にあたっては、その一部を廃棄物として処理している。この物質の利用サイクルでも、発生抑制、再使用、再利用など環境への影響を最小限に抑える工夫が必要となる。

エネルギーの視点

エネルギーの視点で見れば、上下水道の建設から運用、廃棄に至るライフサイクルでのエネルギーについて考えなければならないが、その比率が圧倒的に大きい運用時のエネルギーについて、特に注目する必要がある。

上水道では、取水から浄水そして配水に至る水輸送に必要なエネルギー、浄水場の浄水プロセスで必要とするエネルギーがある。

下水道では、下水処理場での水の浄化プロセスで必要とするエネルギーや下水処理場までの水輸送のためのエネルギー、また除去した汚濁物質を安全・安定に処理し減量化するための汚泥処理プロセスで消費されるエネルギーがある。

一方、上下水道の水はそれ自体エネルギーを持っており、水の流れを利用した水力発電、下水の熱エネルギーを利用した未利用エネルギー活用システム、バイオマスエネルギーを活用した燃料電池などへの利用が始まっている。

環境調和型社会へのシステム技術によるブレイクスルー

環境調和型上下水道構築への道

上下水道は水環境に対して大きな正の影響を持つ一方、自然の水循環の改変、エネルギーの消費、残存汚濁物質による環境への負荷といった負の環境側面も持っていることがわかる。これらの環境側面について、環境負荷の低減と環境以外の評価すべき項目(経済性、安全性など)とのトレードオフ問題の解決を図っていかなければならない。また、排出する汚濁物質を削減するためにはエネルギーの消費が伴うため、環境負荷低減の観点だけで見ても“汚濁削減かCO₂削減か”というトレードオフの構造がある。

これら複数の評価項目間の調和をと

った解決策を、俯瞰(ふかん)的視点から検討することが、環境調和型上下水道構築への道程である。このような俯瞰的視点から計画を立案し、実施していく際に有効な技術がシステムの最適化技術を代表とするシステム技術である。個別の道程での問題解決手法については、この特集で述べる個々の論文に譲ることとして、ここでは問題解決方法の基本的枠組み、基本的視点をまず以下に示し、ブレイクスルーのための共通的なシステム技術手法について次項以降で概観する。

・ライフサイクル思考

問題解決の検討にあたっては、建設、

運用、更新、廃棄にわたるライフサイクル全体を見通した視点と思考様式が要求される。環境負荷やコストなどの評価の際、建設時だけとか運用時だけといった視点にこだわることなく、常にライフサイクルを見通した評価・分析を心がける必要がある。

・広域思考

解決策の検討にあたっては、広域にわたる上下水道施設全体を見通した最適解を求める必要がある。エネルギー消費の最適化を求める際にも、個々の施設ごとの局所的最適解ではなく、全体最適を常に心がける必要がある。

・トレードオフ思考

環境への負荷と経済性、利便性、安全性など異なる評価項目に対して、どのように折り合いを付けて最適解を求めるかというトレードオフ思考が必要である。

環境にも経済的にもベストな解が見つけれれば申し分ないが、多くの場合、経済性を増やすと環境への影響が悪くなり、環境への影響を良くすると経済性が悪くなるといったトレードオフの領域で折衷的な最適解を求めなければならない場合が多い。この場合、各々の重要性の重み付けやどうしても譲れない事項の検討などが必要となる。

とーくとーく “ 環境調和型社会 ”



環境調和型社会ってどんな社会なの？

- Q 環境問題って何が問題なの？
- 地球環境(温暖化)と地域環境(水環境、植生)の問題があるね。
- Q 環境問題はしたら解決するの？
- エネルギーを使いすぎないこと！ 川や海を汚さないこと！ 自然を壊さないこと！ つまり、環境への影響をできるだけ少なくすることがたいせつなんだ。そのためには、エネルギーの使用量を減らしたり、環境に影響のある薬品などの使用を抑えることがたいせつなんだよ。
- Q 環境問題の解決は進んでいるの？
- 人類の大きな課題として進めているけれど、なかなか難しいね。環境への影響を小さくする技術を開発しなければいけないことと、経済活動との調和が必要だからね。
- Q 経済が低迷しても困るね。その両立はできないの？
- それが“環境調和型社会”なんだ。だけどその両立は、アメリカが京都議定書の離脱宣言をしているように、結構難しいことなのかもしれない。

環境調和型社会は、エネルギーの使用量を減少させて、経済活動は維持、成長できる社会を目指しているんだよ。

経済活動を“ものを作って、売ったり買ったりする”活動から“機能・サービスを買ったり売ったりする”活動に替えていけば、機能やサービスが入っている器を作るエネルギーが減って、同じ経済活動ができるんだ。それから同じ機能・サービスをできるだけエネルギーを使わないで行う工夫もたいせつだよ。



環境調和型社会になって上下水道はどう変わるの？

- 上下水道は、社会にとってもたいせつな施設(インフラ)だね。だけど上下水道も環境になるべく影響を与えないように作って(建設)、使って(維持管理)いかなければいけないんだ。環境に影響を与えないためには、そこに施設を作ったときにどれだけ環境に影響を与えるかを前もって調べる(評価)必要があるんだ。国が、干拓なんかをやるときに“環境アセスメント”って言ってやっているのが有名だね。アセスメント(評価)と言っても、そもそもどんな影響があるかわからないんだからそれを調べる(特定)ことから始めないといけないし、エネルギーの使用と化学物質の使用のように、異なる影響をどうやって総合的に判定(評価)するかも難しいんだよ。だから、上下水道の計画を行うときには、環境への影響を調査する仕事もたいせつになってくる。
- 上下水道の施設を建設するときは、環境に影響の少ない施設にすることも考えないといけない。エネルギーを使いすぎないで、水をきれいにできる施設がいいね。塩素消毒なんかも、薬品を使わないで紫外線で消毒する方法も出始めているんだ。また、IT(情報技術)の活用も、人やものの移動が少なくなって環境にやさしくなるんだ。施設の運用では、エネルギーや薬品の使用をできるだけ抑える工夫が必要だね。

■ 計測・制御の技術

環境への影響を客観的に把握するためには、環境の状態を計測することが必須であり、水質・水量を計測するためのセンサ技術など計測・分析の技術が重要となる。また、使用エネルギー量を減らして、水質向上を図るためには、的確な制御が必要である。

プロセス値の計測は環境影響評価

の基礎データとなるものであり、評価の精度向上のためにも計測技術は重要である。また、きめ細かな計測値を基にした制御は、施設的能力を最大限に引き出すことができ、制御しない場合に比べ、小さな容量の構造物・機械で済むこととなる。したがって、計測・制御技術は、環境調和のためのソフトウェア技術として極めて有力な技術と言える。

■ システム・マネジメントの技術

環境への影響を評価し、経済性などの多目的な評価項目に照らし合わせてもっとも適切な解を求める。この作業は、システム最適化問題そのものである。環境調和型上下水道の計画・設計・施工・運転・管理各々の場面で、システム技術、マネジメント技術はその力を発揮する。

とーくとーく “ 環境調和型社会 ”



環境調和型上下水道の実現に必要な技術ってどんなの？

- まず環境に影響の少ない材料を見つけることが重要だよ。鉛を使わない“ はんだ ”や、燃やしたときにダイオキシンなどが発生しないように塩素の化合物を使わない電線(エコ電線)が開発されているよ。

冷蔵庫やプリント基板を洗ったりするのに使っていたフロンというガスは、地球温暖化を促進するので使用しなくなったよね。電気を絶縁する性能がすごく良い六フッ化硫黄というガスがあって、大きな変電所などではよく使われていたんだけど、これも地球温暖化ガスに指定されて、今、代わりになるガスがないか探しているんだけどなかなか見つからないんだ。窒素やCO₂を代わりに使えないか研究中だよ。



システム技術がどうして環境調和社会に役だつの？

- システム技術とは、システムを計画・設計・運用・分析・評価したりするときに使う技術だよ。システムのモデリング、システムの最適計画、計測・制御技術、評価技術などがある。
- 下水処理場では、微生物を利用して汚濁物質の処理を行っているけれども、微生物の活性化のために空気を水中に吹き込んでいるんだ。この空気を吹き込むのに、とてもエネルギーを使っている。だからエネルギーの使用量を抑えて、十分な処理ができるようなシステムを作る必要があるんだ。
- そのために、空気の吹き込み量と処理された水の水質の関係を式に表すモデリング、エネルギーの使用を抑えて、処理性能を保つための計画を立てる最適計画、実際の水質を計る計測技術、計った水質を基に空気の吹き込み量を調節する制御技術といったシステム技術を駆使する必要があるんだ。
- 環境と調和した活動をするためにシステム技術は強力な味方だね。



ライフサイクルアセスメントって何？

- ライフサイクル(Life Cycle)は、一生にわたってという意味で、ある製品が生まれたときから、使用して廃棄されるまでのすべての期間にわたってという意味だよ。また、アセスメント(Assessment)は、評価という意味なんだ。

ライフサイクルアセスメントは、ライフサイクルにわたって、環境への影響を定量的に評価する方法を言うんだ。

代表的な評価方法として、ライフサイクルにわたるCO₂発生量を評価する方式をLCACO₂と言うんだよ。



トレードオフ問題ってなに？

- トレードオフとは、こちらを立てれば、あちらが立たずという状態を言うんだよ。レストランに行くとき、“おいしくて”、“安い”お店にみんな行きたいよね。だけど、一般的においしい店は安くないことが多いし、安い店はおいしくないことが多いでしょ。つまり、おいしいことと安いことは、トレードオフの関係にあるんだよ。

こんななかで、みんなおいしいことと安いことにどこかで折り合いをつけているんだよね。

このときの折り合いのつけ方は、各自のおいしいことと安いことの価値の重きの置き方によって変わってくるでしょ。だから、コンピュータで、あなたの好みのおいしくて、安いお店を見つけるときには、おいしいことの重みづけ0.7、安いことの重みづけ0.3とか言うように重みづけをすれば、機械的に求めることができるんだ。このやり方を、多目的最適化って言うんだよ。

下水処理場の運転方式を変えた場合、エネルギー消費量や水質はどのように変わるかなどの正確なシミュレーションは、計画段階から維持管理段階まで幅広い利用価値がある。

予測される水需要に対し、最小のエネルギーで、安定した安全な水供給が可能な広域水運計画も実用化されている。リスクマネジメントの視点を加味した最適化も重要となってくる。

■ エネルギーの移動・変換・蓄積の技術

環境への負荷削減で、現実的に取り組まなければならないもっとも大きな項目は、エネルギー使用量の削減である。しかし、汚濁負荷など水質に対する負荷を増大させないためには、実質的に利用するエネルギー量を削減することはできない。この両者を満足する解決策は、エネルギー変換効率の向上、エネルギーの輸送や蓄積の際に熱として失われるエネルギーを限りなく小さくすることである。エネルギーの移動・変換・蓄積に関する技術は、環境対策のキー技術である。

■ 情報の収集・処理・伝達の技術

汚濁物質による環境負荷を低減することは、環境に影響のある物質と影響のない物質を分離することであると言える。

トリハロメタンの検出、クリプトスポリジウムの検出など観測により物質を特定する情報を得て、影響の大きな物質を分離するという作業が基本である。このような情報の収集とその利用は、環境対策に極めて重要である。加えて、情報を収集することにより、エネルギーの消費を削減することもできる。IT(情報技術)の発展により、人の移動が少なくなり、地球温暖化防止に貢献できるという話は有名である。

運用・維持管理において、様々な情報を収集・処理・伝達することは、環境調和型上下水道において、必要不可欠である。

■ 物質系の最適化技術

上下水道の施設で利用する土木構造物、機械、材料、薬品などの物質を、環境への影響の少ない物質に替えていくこともたいせつである。建設から廃棄までのライフサイクルで検討して、物質系の最適化を図ることが重要である。電気設備でも、エコマテリアルの開発・適用など物質系の技術も開発が進められている。

環境調和型社会を目指して

■ 製品提供からライフサイクルサポートへ

環境調和型社会構築のための思考様式としてライフサイクルの視点を挙げた。このことは、当社の事業行動としても、思考様式を変革していかなければいけないと考えている。従来は、製品を供給するという視点に立ちがちであったが、今後は上下水道事業の計画、建設から運用、更新、廃棄に至るライフサイクルにおいて、当社の持つシステム技術を駆使したライフサイクルサポートを行っていきたいと考えている。

■ 新しい社会での貢献

環境調和型社会を目指すためには、省エネルギー・廃棄物の利用など個別の配慮にとどまることなく、社会全体の思考様式、行動様式を環境調和型社会にふさわしいものに変えていく必要がある。その思考様式、行動様式は「大量生産・大量消費・大量廃棄型の使い捨てを基本とするライフサイクルや価値観の転換」と言えるだろう。ものを消費する社会から機能を使う社会への転換

と言ってもよい。

この点についても、徐々に変革の必要があるだろう。その一例として、ASP(アプリケーションサービスプロバイダー)のように、通信回線を利用して、必要なときに必要な機能(アプリケーションプログラム)を提供する事業形態が、将来を示唆しているのではないだろうか。

新しい環境調和型社会は、監視制御システム製品という箱ものを供給する事業形態から、監視制御機能を必要なときに必要なだけ提供する事業形態に変わってくるであろうと思われる。その一つが、ASPとして通信回線を利用することで、必要な監視制御機能を必要なときに提供する方式である。お客さまは、監視制御システムという設備投資をすることなく、契約によりサービスを受けることができる。その実現には、技術的、制度的検討が必要であるものの、PFI方式^(注1)によるエネルギー供給と同様に、新しい事業形態として検討していきたい。

関係各位の力強いご指導をいただき、新しい時代の上下水道事業に貢献していく所存である。

(注1) Privale Finance Initiativeの略。公共施設などの建設、維持管理、運営などを民間の資金、経営能力及び技術能力を活用して行う手法のこと。



加藤 孝夫
KATO Takao

社会インフラシステム社 社会・産業システム事業部 公共システム技術第二部長。公共システムのエンジニアリング業務に従事。電気学会、計測自動制御学会会員。環境システム計測制御学会評議員。技術士(電気・電子部門、水道部門、総合技術監理部門)。
Public & Industrial Systems Div.