

招待論文

下水道とエネルギー

東京都下水道局計画部技術開発課長

中里卓治

1 はじめに

エネルギー問題は古くて新しいテーマだ。最近では、94年12月に総合エネルギー対策推進閣僚会議で「新エネルギー導入大綱」が決定され、2000年に40万kWの新エネルギーの導入目標を掲げた。続いて95年度末には、建設省都市局下水道部が「下水処理場におけるエネルギーの効率的利用に関する調査」を発表し、下水処理場における夜間電力活用型下水道システムや、コジェネレーション、太陽光発電について検討した。96年度末には通産省が「2,000年に向けた総合的な省エネルギー対策」を発表し、川崎市も「川崎市新エネルギービジョン」を発表している。東京都も96年度末に「東京都環境基本計画」を発表し、都市レベルでのエネルギー問題の重要性を訴えている。

これらのレポートに共通することは、エネルギー問題が、エネルギーの節約や価格など、オイルショックの時代に注目されたテーマだけにとどまらず、地球環境問題、都市防災、健康で安全に生活できるまちづくり、など、広範な分野とかかわっているという認識である。

一方、下水道事業は、都市部での普及が進み、建設から維持管理へと事業展開がシフトしつつある。また、東京では、地下水の取水規制や地価の高騰、産業構造の変化などで、工場の地方移転が進み、結果的に、公共事業部門が都市部のエネルギー大量消費者となっている。特に、下水道の普及とともに、下水道のエネルギー消費が伸びている。

以上のことから、下水道事業でのエネルギー利用は都市の重要なテーマになっている。

2 エネルギーの有効利用

2-1 東京都におけるエネルギー消費の実態

東京都のエネルギー消費量は^①、93年度には推定1億8千万Gcal(重油換算2千万kl)で、全国エネルギー消費の5.5%を占めている。この内訳は、燃料油43%、電力31%、都市ガス20%、LNG5%、その他1%である。図1のエネルギー部門別需要の推移をみると、家庭部門では都市ガスが50%を占め、電力35%、燃料油10%、LPG5%と続いている。一方、運輸部門では燃料油が大部分を占めている。また、業務(オフィス)部門では、電力が66%、都市ガス21%、燃料油10%、LNG3%、産業部門では電力が37%、都市ガス32%、燃料油26%、LNG5%となっている。これらのなかで、家庭部門と業務(オフィス)部門の電力が過去20年で3倍程度増加している反面、産業部門の燃料油が1/6も減少している。これは、東京の産業構造がエネルギー多消費型から第三次産業へ移行してきたことを示唆している。

東京都におけるエネルギー消費の特徴は、

- (1) 電力と都市ガスの比率が高いこと、
- (2) 土地面積当たりのエネルギー需要密度が高いこと、
- (3) エネルギーの一次供給基地が都内にほとんどないこと、

などが挙げられる。東京都は、面積比率では全国の0.6%を占めるにすぎず、狭い地域に大量のエネルギーが投入されている。このことは、高効率なエネルギー消費が期待される反面、ヒートアイランド現象など、都市化に伴う弊害も予期される。なお、東京都内に設置されている電力会社の発電施設は、火力発電所が2箇所、水力発電所が1箇所、電力供給能力は127万kW、消費電力の6%にすぎない。不足する分は、千葉、茨城、福島、新潟などの大規模な発電所から送電されてくる。

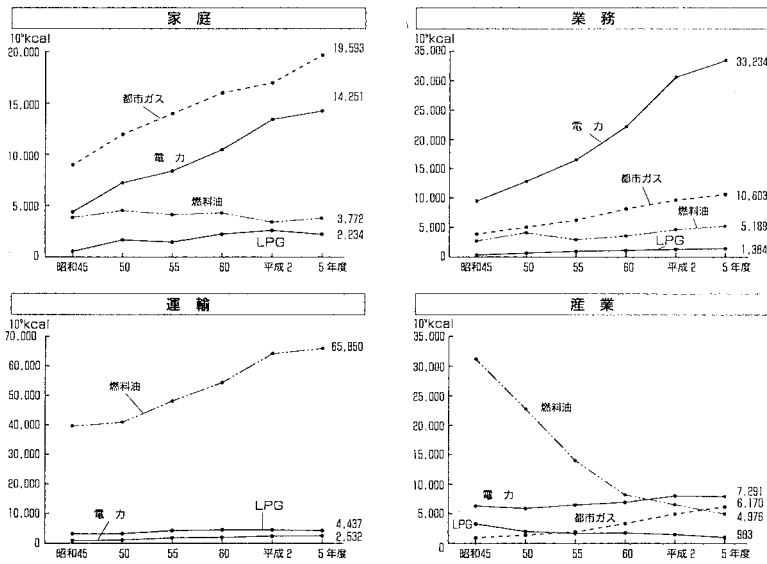


図1 エネルギー部門別需要の推移(推計)^①

2-2 東京都の資源エネルギー対策の体系

東京都では、「生活都市東京構想」において「環境と調和した循環型社会の形成」を重要課題の一つとして位置づけており、次のようなエネルギー施策を掲げている。

- (1) 東京エネルギービジョン」を策定し、エネルギー需給の長期展望と地域に存在する新エネルギーの導入を図る。
- (2) 地球温暖化やエネルギー利用による環境負荷を軽減するため、省エネルギーを推進する。
- (3) エネルギーの域内供給、災害時のライフライン確保の観点から、自立分散型新エネルギーの活用を図る。

以上の長期目標を実現するために、以下の体系を作った。

- (1) 資源・エネルギー対策の総合的推進。
- (2) エネルギーの安定供給の確保と環境安全対策
- (3) 地域に即したエネルギー開発
- (4) 資源・エネルギーの有効利用
- (5) 普及啓発の推進
- (6) 災害・緊急時の対応

2-3 下水道事業と電力

下水道事業の電力消費は、主にポンプ所のポンプ揚水電力と下水処理場の水処理・汚泥処理電力で構成される。95年度の電力使用量は、ポンプ所79MWh、処理場

630MWhで、合計709MWhであった。一方受水量は、89年から95年度までの間は、92年度の30億m³/年をピークにわずかに減少の傾向にあり、95年度は25億m³/年にまで落ちた。受水量に対する電力原単位は、95年度で0.28kWh/m³であった。この間、電力費は年間110億円を前後している。

下水道施設における省エネルギーの努力は、施設の機能・構造にかかわる分野と、施設の運転・管理にかかわる分野とで進められている。ポンプシステムに対しては、ポンプ所の沈砂池を省略してポンプ揚程を低くした吹かし上げポンプ所の導入で、施設建設費の削減と、運転時の省エネルギーが期待されている。一般的なポンプ所の運転においては、降雨時を除き、高水位運転を行うことで揚程を短くして電力の節約に努めている。

水処理施設では、エアレーションタンクへの送風動力が主な電力の消費であることから、送風機の高効率化や、微細気泡散気板、機械ばつきシステムなど、高効率・省エネルギー機器が採用されている。また、嫌気好気法の採用など、水処理能力を向上して消費エネルギーを押さえる運転方法も取り入れられている。さらに、下水処理のボトルネックとなっている重力式最終沈澱池をある種の膜に置き換えて省略し、処理行程を短縮しようとする研究が進んでいる^②。この技術が実現すると、水処理工程が短縮されるだけでなく、MLSS濃度を上昇すること

ができ、その結果生物反応槽の縮小、返送汚泥ポンプや汚泥かき寄せ機が削減できる。

汚泥処理では、スケールメリットを期待した汚泥処理施設の統廃合や、高効率の遠心脱水機が実用化されている。また、造粒調質濃縮法、古紙添加脱水法など、従来の汚泥濃縮脱水法を変える技術も採用されはじめており、ますますの省エネルギー化が期待できる。汚泥焼却においては、汚泥の高カロリー化や流動床焼却炉の技術進歩で、安定した自燃ができるようになり、燃料の大幅な節約となっている。また、汚泥の性状に適した高分子凝集剤の選定や、脱水機、焼却炉の適切な台数制御で、省エネルギーを実現した例もある。

ポンプ揚水量や処理水質、脱水ケーキ発生量などのアウトプットを変えずに、省エネルギーを実現するには、現状の下水処理システムを見直し、工程の省略や変更など、抜本的な技術開発が望まれている。このように、下水処理の隘路を見出し、そこに新技術を投入することが、パラダイム的な省エネルギーを実現することにつながる。省エネルギーを推進することと工程の成熟とは、表裏の関係にある。

3 新エネルギー

3-1 太陽光発電

太陽光発電は、再生可能な太陽光エネルギーを直接発電するもので、地表のどこでも設置することができ、メンテナンスもほとんど手がかからず、複雑な機器を必要としない。

しかし、太陽光のエネルギー密度は、日本では1kW/m²程度であり、高効率の太陽電池を用いても、変換効率15%が上限で、出力は0.15kW/m²となる。このため、下水処理に活用しようとするとかかなり大きな土地が必要となる。

東京都では、新エネルギー・産業技術総合開発機構と共同で、東村山浄水場において95年から太陽光発電のフィールドテストをはじめた。このシステムは、発電規模70kWで、太陽電池の面積は510m²、電力会社と系統連系をして薬品注入設備に電力を供給している。

住宅向けの出力3.1kWの標準的な太陽光発電システムは、23 m²程度の面積を必要とするが、標準的な住宅の屋根面積の1/3程度であり、実用的である。また、電力料金体系も、下水処理場や浄水場などの大需要家に比べ、住宅は小口料金体系のため2倍近い設定になっている。これは、太陽光発電導入にあたって有利な条件である。

表1 太陽光発電のkWh当たりの発電コストの推移³⁾

	93年	96年	電力会社供給価格
住宅用	185~235	70~90	22~26
公共施設用(30)	272~325	120	13~18

表1における太陽光発電のkWh当たりの発電コストの推移³⁾によると、93年から96年の4年間に、住宅用、公共施設用(30kW)ともに、太陽光発電は60%ものコスト低下が生じた。しかし、電力会社供給価格は、kWh当たり住宅用で22円から26円、公共施設用で13円から18円と安く、太陽光発電との間には住宅用で3.3倍、公共施設用で7.7倍もの乖離がある。なお、住宅用の発電コストが公共施設用よりも安いのは、住宅用の方が規格化や量産化が進んでいる結果である。

太陽光発電の普及には、太陽電池の1層の高効率化と太陽電池を取り付ける方法の改善が望まれる。太陽電池を作るために費やしたエネルギーを、太陽電池から取り出せる電気エネルギーの何年分で取り返せるかをエネルギー・ペイバック・タイム(EPT)と呼ぶ。図2によれば⁴⁾、多結晶シリコンで作った太陽電池を使って東京近郊に発電所を作ったとすると、EPTは5.5年程度になる。注目すべきは、太陽電池をすえつけるための架台や土木工事に太陽光発電の半分の製作エネルギーが投入されていることだ。この傾向は、安価なアモルファス太陽電池を用いると一層大きくなる。つまり、フィルム状の軽量太陽電池の採用や、架台構造の工夫によっても、太陽光発電のEPTを改善できる余地がある。住宅用太陽電池のなかには、屋根瓦に組み込んで架台の負担を軽減した物も提案されている。

3-2 燃料電池

燃料電池は、都市ガスや消化ガスを改質して作った水素と、空気中にある酸素とを反応させて発電する方法である。燃料電池発電の構成は、図3⁵⁾に示すように、脱硫機、改質器、CO変成器、燃料電池、それに直交変換装置から構成される。燃料電池の長所としては、小規模でも発電効率が大规模の火力発電所並みの40%を実現できることや、排ガスがクリーンであること、騒音振動が少ないことなどである。また、排熱は、給湯や暖房に利用できる。

東京都では、三園浄水所に出力200kWの常圧水冷式リン酸型燃料電池を設置し、都市ガス13Aを43m³/h投入し、200kWhの電力と90℃の高温水を得ている。電力は、

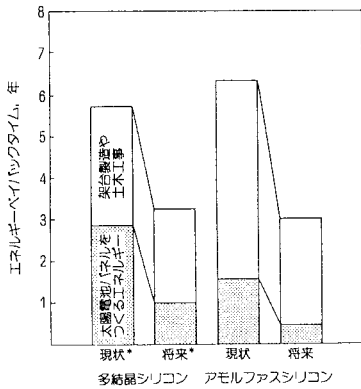


図2 太陽電池システムのエネルギー・ペイバックシステム(EPT)[®]

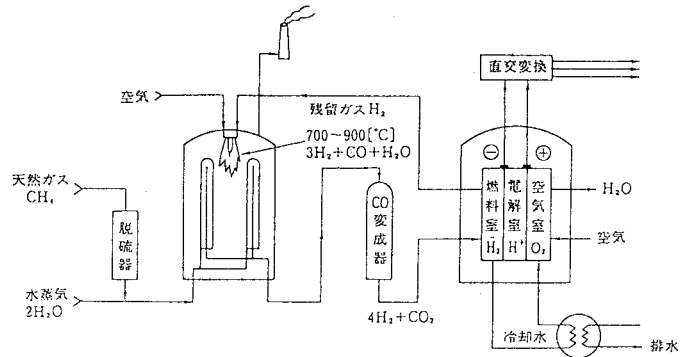


図3 燃料電池システム[®]

消毒用の次亜塩素酸ソーダ製造設備で利用され、高温水は浄水所から発生するスラリーの加温用に使われ、全ての熱効率は80%に達している。

燃料電池は、すでに82年に東京電力が五井火力発電所内に4800kWの実証プラントを建設して運転している実績がある。下水道では、燃料として消化ガスを利用できる。この場合には、消化ガスの脱硫や改質方法、発生する高温廃熱の利用方法などを工夫し、都市ガスを燃料に利用して発電する場合を上回る利点を見出す必要がある。現在、消化ガスを用いた燃料電池の実用化研究が、大阪市と横浜市で進められている。

燃料電池発電の発電原価はkWh 当たり100円程度であり、実用化に向けてのコストダウンが最大の課題となっている。

3-3 廃棄物発電

東京都における廃棄物発電では、清掃工場でのごみ焼却発電が大規模に行われている。東京都では、年間530万トンのごみを収集し、この内320万トンを焼却している。95年度には、都内の15の清掃工場でごみ焼却発電を行っており、発電出力は合計12万kWを有し、5億7千万kWhを発電し、清掃工場の使用電力の90%をまかなっている。このうち2億3千万kWhの余剰電力を電力会社に売却し、18億円の収入をえている[®]。また、ごみ発電で発生する排熱は、品川区八潮団地と練馬区光が丘団地の二ヶ所で地域暖冷房事業に卸熱供給を行っている。94年度には、ごみ焼却発電の水冷復水器からの排熱を7万5千Gcal供給し、8千万円の収入をえた。一般に、ごみの発熱量は約2,000kcal/kg程度なので、都の清掃工場から発

生する熱エネルギーは、重油換算すると年間70万klにもものぼる。なお、ごみ焼却発電は、燃焼ガスに塩化水素が含まれるため、安全のためボイラ蒸気温度を350℃までしか上げられず、発電効率に制約がある。このため、ガスタービン発電と組み合わせて350℃の壁を越えるスーパーごみ発電などの試みが行われている。

一方、下水汚泥ケーキは年間百万トン発生し、この内80万トンを焼却し、20万トンを埋め立て処分している。高分子汚泥ケーキの低位発熱量は、約1,000kcal/kgなので、ごみに比べて下水汚泥の廃棄物燃料としてのウエイトは、焼却量1/4で、発熱量で1/2、あわせて1/8の規模となる。

下水の汚泥焼却発電は、97年の春から、東京都の東部汚泥処理プラント(写真1)で始まった。ここでは、300t/日の処理能力をもつ流動焼却炉に廃熱ボイラを設け、350℃30kg/cm²の過熱蒸気を発生し、これで出力800kWの発電機を駆動するものである。この装置を導入して、以下の効果が得られた[®]。

- (1) 所内動力の自給。この規模の焼却炉は、1基当たり1,000kW程度の電力消費が見込まれるが、これを自給する。
- (2) ヒートアイランドの抑制。焼却炉からの排熱を電力に変換することにより、排熱量を削減する。この焼却炉では、排熱の5.5%が電力エネルギーに変換される。
- (3) CO₂削減。一般の火力発電所では、1kWhの電力を発電するのに86gのCO₂を排出する。この焼却炉では、800kWhの発電をすることにより、1時間に69kgのCO₂を削減できることになる。さらに、汚泥は自然するので、今までに必要としていた補助燃料から発生す

るCO₂も削減できる。

なお、このような汚泥焼却発電が実用化に至った背景には、以下の五つの条件がある。

- (1) ライフスタイルの変化による汚泥の高カロリー化
- (2) 高含水率を実現させた脱水技術の進展、
- (3) 安定した白熱を実現させた焼却技術の進展
- (4) 環境問題の高まりやエネルギー回収の気運
- (5) 汚泥処理集約化によるスケールメリット

汚泥焼却発電は、ごみ焼却発電に一步近づくものであり、廃棄物発電の有力な一員として期待されている。

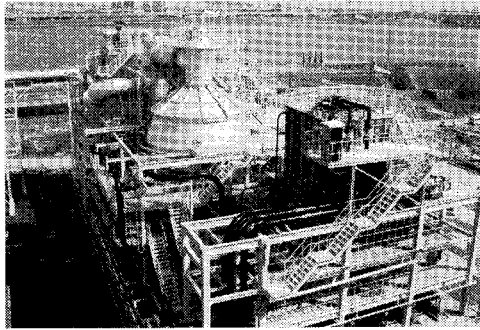


写真1 東部汚泥処理プラント

4 カスケード利用

4-1 下水熱

都市で消費された熱エネルギーは、排気と下水の形で系外に捨てられている。このため、下水道は都市から大量の排熱を下水の形で収集している。この結果、下水の水温は冬季には15℃程度で海水や河川水より暖かい。また、夏季にはせいぜい25℃程度で、大気が30℃を超えるのに比べると冷たい。その上、一日に500万トンもの下水が東京の地下を流れて、都内12ヶ所の下水処理場に集められており、結果的に都市排熱が自動的に集積されている。この下水の特徴を生かして、下水熱による地域冷暖房事業が進んでいる。下水熱を熱源とする地域冷暖房事業は、以下の特徴を持つ。

- (1) 省エネルギー効果大きい。東京都区部の下水から温度差5℃で熱を取り出すとすると、低品位ではあるが年間900万Gcal、重油換算で約100万klものエネルギーが利用できる。
- (2) 大気汚染物質の排出を削減できる。ヒートポンプを用いて、下水に含まれる都市排熱を冷暖房熱源に再利用すると、重油を燃やしたり冷凍機で冷暖房するのに比べて、CO₂で50%、NO_xで50%、SO_xで65%程度

の削減率が期待できる。

- (3) 冷却塔が不要のため、水資源の節約、騒音防止、都市の温暖化を抑制できる。

このように、下水熱の利用は都市規模でのエネルギー循環利用であり、次の二つの展開がある。

その一つは、下水道施設内利用から、一般の需要家を対象とした地域熱供給事業への展開である。下水熱は87年に落合処理場で初めて、管理棟2千m²、年間400Gcal程度の空調負荷として利用された。その後、毎年利用施設を広げ、97年時点では都内9ヶ所の下水道施設で順調に稼働している。これに対して、94年7月からは、通産省の認可事業として、東京ドーム付近の後楽地区業務・商業ビルなど7棟、床面積28万m²を供給対象とし、下水熱を利用した地域熱供給事業を開始した。当年年間1万Gcal、最終的には年間4万Gcalの熱需要を見込んでいる。(写真2)96年度には、一次エネルギー換算の個別熱源熱需要が1万1千Gcal必要であると見込まれていたが、下水熱を利用することにより8千Gcalの使用で済み、エネルギー削減率は30%を実現した^⑧。



写真2 後楽地区熱供給事業用ヒートポンプ

もう一つの展開は、熱源水が下水処理水から未処理下水(生下水)へ移行していることだ。熱供給は狭い地域の方が好ましい。熱を供給する距離が長くなると、地域導管の建設コストやその間での熱放散が大きくなる。このため、熱供給プラントと熱需要家との距離は短い方が有利であり、限界的な距離は500mから数kmといわれている。そこで、広範囲に下水熱を利用しようとすると、身近に流れている未処理下水を利用する方が有利になる。未処理下水の利用は、この間精神的に進められてきており、下水による腐食や汚損の問題に対して、チタンを用いたシェルアンドチューブ方式の熱交換器が実用化されている。未処理下水が熱源水として利用できるようになったので、都内に点在している下水ポンプ所での熱供給

が現実的になっている。先ほどの後楽地区の熱供給事業は、その一例である。今後の方向としては、さらに下水道を上流にさかのぼり、下水管さよから直接に熱を回収したり、家庭やビルごとに未処理下水から熱回収するシステムの可能性が考えられる。この関係は、下水の再生水利用が、下水処理場を経由した地区循環と家庭やビルを単位にした個別循環に区分されることと類似していて興味深い。エネルギーの循環利用は、都市のなかで多様なループで実現されるべきである。

4-2 コージェネレーション

コージェネレーション(熱電併給)の定義は、電気または動力と有効な熱エネルギーの二つのエネルギーを、単一エネルギー源から連続的に生産する操作であり⁹⁾、ディーゼルエンジンやガスタービンエンジンで発電した後、排熱を冷暖房、給湯などの熱需要に利用するものが多い。コージェネレーションの特徴は、

- (1) 熱効率が高いこと。発電後の排熱を冷暖房や給湯に利用するので、熱効率が80%にも達する。
- (2) 需要地域に設置できること。大規模発電システムは、遠隔地に設置することが多く、送電変電での損失を免れない。
- (3) 分散型であること。総合効率が高いので、比較的小規模な発電でも経済的に成立する。このため、需要に応じた分散配置が可能であり、平時の経済性ととも、震災時の自律分散電源としての機能が期待されている。などである。一方、コージェネレーションの欠点は以下の通りである。

- (1) 近くに安定した熱需要がないと成立しない。一般には、安定した熱需要である病院やホテル、業務ビルにコージェネレーションを設置するケースが多い。
 - (2) 故障や点検のため電力供給が停止することがある。これを防ぐには、電力会社との系統連系が必要である。
 - (3) 初期投資が必要。自前で発電設備を有すると、資金、メンテナンス要員、安全管理が求められる。
- コージェネレーションそのものは、新しい概念ではなく、すでに個別のビルやスーパーマーケットなどで、経済的な理由で採用されている。コージェネレーションの下水道事業への展開は、下水道施設やその回りの地域で安定した熱需要が見出せることが必要条件となる。

従来、ポンプ所や下水処理場の非常用発電機は、電力会社の給電が停止したときに利用するために設置されてきた。このため、非常用発電機は、稼働率が非常に悪く、平時に利用していないと非常時にも安心して利用で

きない。そこで、非常用発電機の常用化が考えられる。このクラスの発電機は、規模があまり大きくないため発電効率が低かったため、常用化をすると新たな運転費用がかかるおそれがあった。しかし、コージェネレーションを導入して総合効率を高められれば、電力会社供給に比べて採算が取れる可能性がある。

汚泥焼却発電や燃料電池、消化ガス発電についても同様であり、コージェネレーションを絡ませるのが、事業成立の前提になる可能性がある。さらに、汚泥焼却炉よりも高温を取り扱っている汚泥溶融施設や汚泥焼却施設から発生する高温排熱も、発電熱源として積極的に活用することが大切だ。

なお、電力を大量に消費するセメント業界では、コスト削減の一環として割安な電気を自家発電で調達する動きが起こっている¹⁰⁾。セメント業界の生産額に占める購入電力使用額の割合は3.25%で、産業界平均の1.28%よりもかなり高い水準にある。97年の春に、日本セメントの土佐工場では出力3万kW規模、住友大阪セメントの赤穂工場では10万kWの火力発電所を建設し、自家発電率を大幅に高めている。この動きは、紙パルプや鉄鋼などにも広がっており、電力大口需要家は、工場の電力をできるだけ自前でまかなおうという姿勢が高まっている。このような動向に、エネルギーの大消費者である下水道事業も無関心ではいられない。

5 まとめ

- (1) 下水道はエネルギー大量消費型事業なので、省エネルギー対策を十分に尽くすべきである。省エネルギーには、下水道システムを変更する根本的なアプローチと、与えられた施設を木目細かく分析して進めていく方法の二つがある。前者は時間とコストはかかるが抜本対策が取れる。後者は即効性があり広範囲に進められるが、劇的な効果は期待できない。それぞれ異なる手法である両者を並行して省エネルギー対策を進めることが大切だ。
- (2) 下水道施設を地域の視点で見直し、地域への熱供給やヒートアイランド対策のかかわりを考慮することも重要である。これまで、下水道施設は、中水道の供給や下水熱による熱供給事業、施設の上部利用、水辺空間の回復、はたる祭りなどで地域性を発揮してきた。コージェネレーションでの地域への電熱供給の可能性は、エネルギー大量消費者である下水道施設が、地域と一体になって運営されていく将来像を示唆している。

- (3) ごみ焼却発電が示すように、下水道施設も、これまでの電力会社からの買電・辺倒の時代から、太陽光発電、燃料電池、汚泥焼却発電、コジェネレーションなど、いろいろな選択肢をとりうる時代に入ろうとしている。このような選択肢は、エネルギーの多様性を前提としており、適材適所でもっとも好ましいエネルギーの組み合わせ（ベストミックス）が求められている。この組み合わせは、技術の進歩、規模、地域性、時間などで変化する。多様な選択肢の存在は、震災や大停電時の下水道施設の強靱さを増す。一方、電力会社の送電線潮流制御のような考えが、下水道施設のなかで生まれる可能性もある。
- (4) エネルギー問題は、エネルギーにとどまらない。エネルギー利用は、資源の循環利用や環境保護、まちづくりと直結している。エネルギーを投入して浄化された下水処理水で、街の緑や水辺空間を回復し、風の道を作って、ヒートアイランド現象を押さえられるかもしれない。下水汚泥焼却灰から製造されるレンガや骨材は、落ち着きのある街並みを作り出すかもしれない。リサイクルの街並みは、誇りある地域文化を生み出すかもしれない。下水道にとって、より少ないエネルギーで、下水を処理して多くの下水道リサイクル製品を世に出すことが求められている。

6 おわりに

下水道とエネルギーを論じてみると、下水道の多様性を改めて認識する。

下水道が都市における大きなエネルギー需要家である事実は、あまり知られていない。その上、下水は都市の中でもっとも大きな物流でもある。東京都で一日に500万トンもの下水を収集・揚水し、10時間もかけて処理している。汚泥処理は一日3000tにも及ぶ脱水ケーキを焼却処分している。この水量は、多摩川や荒川など東京都を流れる河川の水量よりも多く、汚泥量は都市ごみよりも多い。従って、これらを選び、処理するエネルギーは膨大であり、下水道事業は都内有数のエネルギー需要者

となっている。

一方、下水道は都市の排熱や有機物を収集する。これらの潜在的なエネルギーは膨大であり、下水熱利用や汚泥焼却発電を進めることにより、都市の新しいエネルギー源を発掘することができる。いわば都市油田の出現といっても良いだろう。

都市にエネルギーを供給し、都市からエネルギーを発掘するには、大小さまざまな制御システムが必要になる。下水道では、現在個別のシステムが出そろった段階であるが、これらのシステムが、都市の最適解を目指して相互に連動することが大切である。

この論文は、EICA事務局の勧めにより発表の機会を得ました。ここにお礼申し上げます。

参考文献

- ① 東京都生活文化局：97TOKYO資源・エネルギー情報、5(1997)
- ② 大同均、鈴木和夫、福永和久、宮坂邦夫：活性汚泥混合液のダイナミックろ過、第34回下水道研究発表会論文集、日本下水道協会、647-649(1997)
- ③ 東京電業協会技術部会：電業経営 6月号、(社)東京電業協会、29-37(1997)
- ④ 小宮山宏：地球温暖化問題に答える、東京大学出版会、77(1995)
- ⑤ 省エネルギーの進め方、電気計算、64(11)、41(1996)
- ⑥ 東京都清掃局：96年度東京都清掃局事業概要、(1997)
- ⑦ 岩本日出男、水上啓、中村功：汚泥焼却設備への廃熱回収蒸気発電設備の導入、用水と排水、39(2)、47-51(1997)
- ⑧ 石鍋廣二：未処理水を利用した後楽一丁目地区地域冷暖房事業、下水道設備第63号、17-22(1997)
- ⑨ 電気学会：電気工学ハンドブック、853
- ⑩ 日本経済新聞：97年7月26日