

# 科学技術動向

2003  
10

No.31

## 科学技術トピックス

### ▶ ライフサイエンス分野

- ①中国における植物科学研究推進政策
- ②白内障の発症原因解明

### ▶ 情報通信分野

- ①JJAP と電子出版

### ▶ ナノテク・材料分野

- ①グラファイトナノ構造を炭素系微小電子源として利用することに成功

### ▶ エネルギー分野

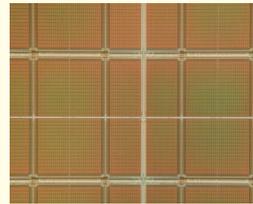
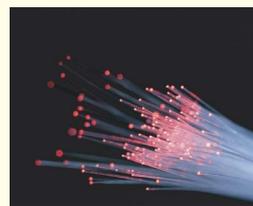
- ①糖類を原料とする微生物燃料電池に関する報告

### ▶ 製造技術分野

- ①欧州の産官共同研究で、携帯機器用のRF MEMS スイッチを開発

**特集 1** ブロードバンド時代の  
次世代コンテンツ配信技術

**特集 2** 世界における上下水道処理技術と  
水事業民営化の動向



## 科学技術トピックス

### ライフサイエンス分野

4

#### ①中国における植物科学研究推進政策

今年7月発行の日本植物生理学会学会通信誌到北京大学生命科学院の教官から寄せられた論文には、中国の植物科学研究推進政策の動向が詳述されている。それによれば、以前の中国では、作物増産や耐病性向上を目指す品種改良研究などが重視され、国際的に評価される論文を海外学術誌に掲載することは軽視されていた。しかし1990年代の遺伝子組換えによる分子育種実用化を契機に、同国の基礎研究の遅れが認識され、この拡充のための大型研究計画や大学などの改革を進めた結果、今では海外学術雑誌へ投稿や国内学術誌の英語化など成果を積極的に海外へ発信するようになった。今後、中国は植物科学研究をバネとしてバイオテクノロジー分野で飛躍的に発展する可能性があり、動向を注目する必要がある。

#### ②白内障の発症原因解明

大阪大学の長田教授のグループは、水晶体の細胞核の分解を担っているデオキシリボ核酸分解酵素が欠損することで白内障が発症することを明らかにした(Nature, Vol.424, 1071-1074)。この酵素はDLADと呼ばれる核酸分解酵素であり、DLAD遺伝子欠損マウスは白内障の症状を示し、その状態は加齢により進行した。眼球の大きさは正常マウスと類似していたが、水晶体には本来除去される細胞核および細胞内小器官が残っていた。本研究で作成されたDLAD遺伝子欠損マウスがヒト白内障の病態モデルとして、白内障の予防および治療法の開発に利用されることが期待される。

### 情報通信分野

5

#### ①JJAPと電子出版

学術論文誌のインターネット上での出版、「Web出版」が1995年頃から欧米中心に急速に広まっている。国内でも2002年頃からこの試みが各学会で始まり、投稿から掲載まで最短で数日を目標に編集出版している例もある。応用物理学会の英文刊行誌であるJJAP (Japanese Journal of Applied Physics) では数年前から出版プロセス電子化の検討を進め、本年8月から「Web投稿」受付を開始し、9月から「Web先行出版」へ移行した。かつて高温超伝導が世界の注目を集めた際にJJAPは非常に重要な役割を果たした。最近では、バイオテクノロジーとナノサイエンスに関する投稿が目立って増加しており、今回の「Web投稿」「Web先行出版」化により今後益々、世界の主要論文誌としての地位を高めていくと期待される。

### ナノテク・材料分野

5

#### ①グラファイトナノ構造を炭素系微小電子源として利用することに成功

スタンレー電気(株)と静岡大学の研究グループは、グラファイト(黒鉛)ナノ構造を炭素系微小電子源として利用することに成功した。グラファイトナノ構造は、グラファイト基板を水素プラズマでエッチングすることにより作製され、表面にナノオーダーの微細な凹凸が数多く存在する。本構造を利用することにより、高電圧・大電流使用に耐える小型冷陰極源作製の可能性が示された。

## エネルギー分野

6

## ①糖類を原料とする微生物燃料電池に関する報告

微生物が糖類を代謝する際に直接電力を発生する微生物燃料電池に関する研究報告が、米国マサチューセッツ大学の Derek R Lovley 教授らにより行われた。これは、微生物が糖類を代謝する際に発生する電子を、理論量の 83% まで取り出して電極に送り込むという効率の良い微生物燃料電池である。現段階では出力が小さく、また微生物を投入してから安定した発電状態に達するまでに百時間オーダーの時間を要するため、実用化の水準には至っていないが、電極を改良するなどの方法により、この時間を短縮する可能性があると考えられている。バイオマスの効率的なエネルギー化の一方法として今後の進展が期待される。

## 製造技術分野

6

## ①欧州の産官共同研究で、携帯機器用の RF MEMS スイッチを開発

CEA - LETI (仏原子力庁の電子技術情報研究所) と伊仏合弁の ST マイクロエレクトロニクス社は、グルノーブル近郊の共同研究施設 (Crolles 1) において、RF MEMS スイッチを標準的な CMOS 回路 (相補型トランジスタ構造) の上に製造する技術を開発した。この MEMS スイッチは、2 種の材料を貼り合わせ、それらの熱的性質の違いによって変形させるバイモルフという効果を使っており、さらに静電気力を利用した保持機構によって消費電力の少ない動作が可能である。今回の共同研究の成果により、種々のシステムを 1 チップの中に集積しようとする SoC (System on Chip) に、可動部分である MEMS も集積化することが現実的なものになった。

## 特集-1

ブロードバンド時代の  
次世代コンテンツ配信技術

8

現在日本では e-Japan 戦略による通信インフラ整備により、急速にブロードバンド (広帯域) 環境が整備されつつある。

それに伴い高品位な動画をインターネットを介して見る需要 (コンテンツ配信) も急速に伸びつつあるが、動画のような大容量のデータ転送を伴う配信には、回線容量だけでなくネットワーク上流にあたるサーバー側にも能力の増強や負荷分散等、クリアしなくてはならない課題が残っているのが現状である。

またコンテンツ配信ではビジネスモデルの課題として「課金」の問題がある。ネット上のビジネスで直接一般消費者に課金する制度 (B2C モデル) は実体としての物品の移動が伴う e-コマース (ネットショッピング等) を除いてはなかなか定着していない現状もあり、事業者間取引を主体とするビジネス (B2 モデル) 領域の伸びと比較すると低い伸び率となっている。そこでネットワーク上流側の配信系からトータルに構築された B2B2C モデルとも呼ぶべき新しいビジネスモデルを構築することも望まれる。

そのようなコンテンツ配信技術を担うものとして、複数のコンピューティングリソースを結合し、必要に応じてスケラブルリソース配分を行うグリッドが一つの可能性として考えられ、その要素技術となるミドルウェア開発、アプリケーションソフトウェアの開発とともに、ハードウェアとしては光インターコネクション技術、光配線技術等の研究開発の推進が必要であると考えられる。

近年、大気汚染や温暖化問題と同様に、水への関心が高まっている。水、と一言でいっても、水源、上下水、廃水、工業用水、井戸水、海湖沼水、河川などそれぞれの環境が異なるゆえに、問題解決のための議論は複雑化している。先進国においては上下水道管の老朽化対応が議論されており、発展途上国では深刻な水不足やインフラ(上下水道)の不備が最大の問題である。

わが国でもさまざまな水問題を抱えている。例えば、井戸水への有機塩素化合物やヒ素の混入、配管の老朽化による異物混入、土壌汚染による地下水の汚染などの問題がある。そのほか、水質規制の強化、経営の効率化、情報の透明性、町村合併による広域化、不況による料金収入の伸び悩みなどの問題解決のための改善策が必要である。また、約9,000人もの市民が下痢などの症状を起こした原因が、各家庭に供給されている水道水に含有されたクリプトスポリジウムであったことから、飲料水は“購入する”あるいは浄水器を各家庭で設置する“習慣”が広まっている。当然、水道事業側としても問題解決策は講じており、例えば従来の処理方法の見直しや、生物処理、オゾン処理、活性炭処理を従来の水処理プロセスに加えた高度処理技術の導入や水源の保全などの普及を図っている。

水道処理技術は日々研究・開発されており、高度浄水処理の導入によって水質が向上したように、技術革新も進んでいる。同時にフランスからのISOの提案を受け、世界標準化への取り組みが日本でも活発に議論されるようになり、水道事業サービスへの関心が高まっている。ISOの導入によって、水質管理がさらに一層向上するのであれば、安全な水の供給を求める視点からは望ましいことである。

ヨーロッパでは水事業の民営化が進み、サービスの向上とコストダウンに力を入れている。わが国においてもこれについて議論する時期が来ると考えられるが、前提としてアメリカの例に見られるように、水事業の実状が的確に把握されることが重要である。

一方、日本ではミネラルウォーターの需要の上昇に示されるように、国民の水に対するレベルが“飲める水”から“安全でおいしい水”へと要求が上昇してきている。

これらすべてを考慮すると、これからの水道処理技術に要求されることは、単純に飲める水を作る、廃水を処理するだけではなく、品質の向上を実現するとともに、日本の風土に適する技術を確立していくことである。そして総合的なサービスの向上に向けた技術革新を進めていくべきである。問題解決のために、高度処理システムを導入するだけではなく、水源のモニタリング、海外の技術や管理システムを導入するなど、国内のみならず常に世界の動向に目を向け、必要に応じて水循環を捉えて取り組むことが望ましい。

# 科学技術 トピックス

以下は科学技術専門家ネットワークにおける専門調査員の投稿（10月号は2003年9月6日より2003年10月3日まで）を中心に「科学技術トピックス」としてまとめたものです。センターにおいて、関連する複数の投稿をまとめ、また必要な情報を付加する等独自に編集するため、原則として投稿者の氏名は掲載いたしません。ただし、投稿をそのまま掲載する場合は、投稿者のご了解を得て、記名により掲載しています。

## ライフサイエンス分野

### ①中国における植物科学研究推進政策

日本植物生理学会の学会通信誌（年3回発行）では、アジア諸国における植物科学やバイオテクノロジーに関する研究動向を、各国の研究者に執筆を依頼して紹介している。

今年7月に発行された通信誌（第88号）には、「中国における植物科学の現状」という記事が北京大学生命科学院の教官から寄せられた。そこには中国における植物科学研究推進政策の動向が詳しく述べられており、興味深い内容である。

以前の中国では、食料増産のための研究開発として、中国科学院を中心とした応用研究が重要な課題とされてきた。具体的には、作物の増産や耐病性の向上を目指した品種改良研究などが強力に推進されたのに対して、外国学術誌などで評価の高い論文を載せることは意義のあることとは捉えられていなかった。

しかし、1990年代から遺伝子組換えによる分子育種が実用化されるようになり、バイオテクノロジーに関する大型研究が国策として進められるようになった。この過程で、バイオテクノロジーの推進には分子生物学的な基礎的なバツ

クグラウンドが重要であるが、中国はこの方面で大きく遅れていることが認識されることとなった。応用のみの研究だけでは所期の目的を達成することができないので、基礎研究を強力に押し進める大型研究計画が立ち上げられた。

このように基礎研究を推進した結果、科学院のみでなく大学院における基礎研究も重視されるように変化し、大学院における研究者の研究成果が問われるようになってきた。その結果、競争的環境の構築を前提とした科学院や大学院の再構成が行われ、現在では海外での研究経験を持つ優秀な研究者を招へいすることなどにより、高いレベルの研究を目指している。植物科学分野でも、例えば遺伝学研究所の李博士らのグループはイネのゲノム解析や変異体の解析において興味ある知見を得て、Natureをはじめ評価の高い外国学術誌へ論文を発表している。研究費の配分においては、国家自然科学基金委員会（National Natural Science Foundation of China, NSFC）と中国科学技術部（Ministry of Science and Technology of China）が紹介されており、研究成果や将来性に基づく公平性の高い配分方法を現在模索している。一方、研究者の評価などに多くの問題を抱えていると述べられている。その他、植

物科学における中国国内誌「植物学報」が数年前から英語論文を掲載するようになり、現在では全巻を英文で発刊するようになった。

中国は、植物科学研究推進政策の積極的な変革により、バイオテクノロジー分野において今後飛躍的に発展する可能性がある。日本でも中国の動きに注目する必要があると思われる。

（岡山大学 坂本 亘氏、  
理化学研究所 杉山 達夫氏）

### ②白内障の発症原因解明

眼の水晶体（レンズ）は、上皮細胞から分化した繊維細胞で構成されている。繊維細胞への分化は、細胞の形の変化や細胞内小器官の消失などを伴うことが知られている。特に細胞核を含む細胞内小器官の消失は、水晶体に透明性をもたらす重要な変化であると考えられているが、その分子レベルのメカニズムはわかっていなかった。大阪大学の長田教授のグループは、水晶体の細胞核の分解を担っているデオキシリボ核酸分解酵素が欠損することで白内障が発症することを明らかにした（Nature, Vol.424, 1071-1074）。

この酵素はDLADと呼ばれる核酸分解酵素であり、ヒトおよびマウスの水晶体に高発現していることがRT-PCRにより観察された。植

DLAD 遺伝子を欠損しているマウスを作成したところ、そのマウスは白内障の症状を示し、その状態は加齢により進行した。また、明るさに対する反応が正常マウスに比べて低下していた。遺伝子欠損

マウスの眼球の大きさは正常マウスと類似していたが、水晶体には本来除去される細胞核および細胞内小器官が残っていた。これらの結果は、DLAD 遺伝子の欠損が原因で白内障を発症している患者が

存在する可能性を示唆している。本研究で作成された DLAD 遺伝子欠損マウスは、ヒト白内障の病態モデルとして今後研究上で広く利用されることが期待される。

## 情報通信分野

### ① JJAP と電子出版

学術論文誌のインターネット上での出版、「Web 出版」が急速に広まっている。これは 1995 年頃海外で始まり、2000 年頃からは Web 上に一次出版として公開する「Web 先行出版」が一般的になりつつある。国内でも 2002 年頃からこの試みが各学会で始まり、投稿から掲載まで最短で数日を目標に編集出版している例もある。いまや、学術論文誌は、学術的内容の独創性、意義はもちろんであるが、それに加えて情報伝達のスタイルに関する新しい魅力を競う世界規模の競争に入りつつある。

応用物理学会の英文刊行誌である Japanese Journal of Applied Physics (JJAP) は、日本からの科学技術情報の主要な発信元として欧米の主要論文誌と肩を並べアジアからの投稿者にとっても魅力

ある論文誌とすることを目指し、数年前から出版プロセス電子化の検討を進めてきた。そして、2 年前から Web 上で迅速に論文審査を行う「Web 審査」プロセスを Regular Paper で実現した。さらに投稿者からの要望が強い Web 上での論文投稿を受付ける「Web 投稿」受付を本年 8 月から開始した。また、9 月からは「Web 先行出版」の第一段階を開始し、来年度からは Letter において本格的運用を開始する。これらの完成により JJAP において「Web 版を主にし、紙版を従にする」出版の電子化改革が本格化する。

JJAP は 1962 年に物理学会と応用物理学会が共同で刊行を開始し、以来、世界の先端科学、先端産業を支える情報源として機能してきた。2000 年からは応用物理学会の責任編集となり、物理系学術誌刊行協会 (IPAP) から発行されている。かつて、高温超伝導が世

界の注目を集めた際に JJAP は非常に重要な役割を果たした。現在は、バイオテクノロジーとナノサイエンスに関する投稿が目立って増加している。

また、JJAP の 2002 年度 Web 版の年間ダウンロード数は 46 万件を数えており、来年度予定される Web 版の閲読有料化の影響が少なければ、「Web 投稿・Web 先行出版」によってさらに増加するものと期待されている。JJAP は、今回の出版プロセス電子化の成果を大いに活用するとともに、世界水準の研究者からなる国際的な編集委員会による迅速かつ上質な査読システムによって、日本だけでなく、アジアから世界への科学技術情報の発信基地として、重要な役割を担っていくことが期待される。

(JJAP 編集委員長)

阪大 伊東 一良氏)

## ナノテク・材料分野

### ① グラファイトナノ構造を炭素系微小電子源として利用することに成功

近年、医療分野や生体観測に適応する小型 X 線源開発のため、電子源を小型化しようとする研究が進められている。しかしながら、従来の金属電極を加熱する熱電子放出型の電子源では小型化は難し

く、炭素系材料での微小電子源開発が進められていた。

カーボン (炭素) 系微小電子源の開発において、カーボンナノチューブ (CNT) などの炭素系電子源を小型 X 線管として応用することが試みられているが、現状では高電圧・大電流で安定に動作する冷陰極源は開発されていない。CNT で電子源を実現しようとすると、電流を大きくするために高

電圧をかけた場合に、CNT と基板界面の付着力が弱いと、CNT が強い静電力によって剥離するという問題点が生じる。また、CNT と基板界面に直列抵抗成分が存在するため、電圧を上昇しても放出電流値が飽和するという問題点があり、実用化が困難であった。

スタンレー電気(株)と静岡大学の研究グループは、CNT の様な特殊な構造ではなく、カーボンのよ

り一般的な結晶構造で、面状に結合した炭素が幾重にも積層しているグラファイト（黒鉛）に微細な構造を形成し、微小電子源として利用することに成功した（第64回応用物理学学会学術連合講演会）。このグラファイトナノ構造は、グラファイト基板を水素プラズマでエッチングすることにより作製され、表面にナノオーダーの微細な凹凸が数多く存在する。先鋭化されたグラファイト相に電界が集中すると、容易に電子放出が起こることが知られているが、ナノス

ケールのグラファイトは端の割合が、全体に対して大きいことから電子源として有利に働いている。本構造により、高電圧・大電流使用が可能な小型冷陰極源作製の可能性が示された。本冷陰極源では高電圧で使用しても、CNTの様に電流値が飽和したり、劣化する傾向は認められず、本冷陰極源を利用することにより、短パルス・高輝度X線の発生が可能となった。また、このグラファイトナノ構造電子源を利用して3極構造のパルスX線源を製作し、負のパル

ス電圧を印加して高速透過画像計測への応用実験を行なった結果、およそ0.01msの時間分解能を有する高速透過画像計測が可能となることがわかった。本技術が非破壊検査やX線構造解析にも適応可能であることが示された。

本冷陰極源は、短パルス・高輝度X線源としてだけでなく、サブミリ波源等へ応用できる可能性を有しており、炭素系微小電子源の大電流用電子源として実用化に向けた今後の研究の進展が期待される。

## エネルギー分野

### ① 糖類を原料とする微生物燃料電池に関する報告

微生物が糖類を代謝する際に直接電力を発生する微生物燃料電池に関する研究報告が行われた（NATURE BIOTECHNOLOGY Published online 7 September 2003）。これまでに、微生物発電の報告例はいくつかあったが、何れも効率は極めて低かった。

米国マサチューセッツ大学のDerek R Lovley教授らは、微生物が糖類を代謝する際に発生する電子を、理論量の83%まで取り出して電極に送り込む、効率の良い微生物燃料電池の作成に成功した。

Lovley教授らは、旧原子力兵器研究所跡地の土壌修復を目的と

する実験を行っている最中に、電極の表面に付着したある微生物（*Rhodospirillum rubrum*）の作用によって、電子が効率よく電極に伝達されることを見出した。電解質膜で隔てられた二つの槽の片方にこの微生物を入れ、それぞれの槽に導線で繋いだ固形グラファイトの電極を投入し、微生物槽に糖質原料を投入したところ、菌の生育と同時に効率良く電子の取り出しが行われた。1.85mM濃度<sup>①</sup>に保たれた389  $\mu$ molのグルコースから742クーロンの電氣量を得た（理論量は900クーロン）。また、グルコース濃度を10mMに上げた場合に、電極1m<sup>2</sup>あたり31mA、265mVの出力を得た。

この微生物はグルコースの他、フルクトース、キシロースなどの

### 用語説明

#### ①モル濃度

1リットルの溶液中に含まれる溶質のモル数

バイオマスを構成する様々な糖類を原料として発電することが出来るため、バイオマスの有効活用が可能と期待されている。現段階では、微生物を投入してから安定した発電状態に達するまでに百時間オーダーの時間を要するため、実用化の水準には到っていないが、電極を改良するなどの方法により、この時間を短縮する可能性があるとしている。バイオマスの効率的なエネルギー化の一方法として今後の進展が期待される。

（味の素(株) 都河 龍一郎氏からの投稿をもとに作成）

## 製造分野

### ① 欧州の産官共同研究で、携帯機器用のRF MEMSスイッチを開発

携帯機器などの無線通信デバイス用に、高周波数帯域で動作でき

るスイッチ等の可動部分を微細に作製する技術は、MEMS（Micro Electro-Mechanical Systems）のなかで、特にRF MEMS（Radio Frequency MEMS）と呼ばれている。この技術は、種々のシステムを1チップの中に集積しようと

するSoC（System on Chip）の中に、可動部分であるMEMSも集積化することを狙っており、携帯機器市場の伸びが著しいことに加えて、これまでの半導体製造技術の蓄積が有効に生かせるという意味でも各国の半導体産業が将来の

発展を期待している分野である。

CEA - LETI (仏原子力庁の電子情報技術研究所) と伊仏合弁の ST マイクロエレクトロニクス社は、グルノーブル近郊の共同研究施設 (Crolles 1) において、RF MEMS によるスイッチを標準的な CMOS 回路 (相補型トランジスタ構造) の上層に製造する技術を開発した。この成果により、SoC への MEMS スwitch の集積が現実的なものになった。

この共同研究における MEMS スwitch は、2 種の材料を貼り合わせ、熱的性質の違いによって変形させるバイモルフという効果を使っている。可動部分は、窒化シリコンとアルミニウムから成る梁 ( $400 \times 50 \mu\text{m}$ ) から成っており、

信号ラインとの間に  $3 \mu\text{m}$  のエアギャップが設けられている。接続する窒化チタンの抵抗加熱によって、窒化シリコンとアルミニウムの梁がバイモルフ効果により変形し、信号ライン上の金の突起と接触してスイッチがオン状態になる。スイッチが一旦オンになると、電圧が印加されることで発生する静電気力によって梁が接触位置で保持されるため、これ以上の加熱電流が不要になる。このような静電気力を利用した機構により、消費電力の少ないスイッチ動作が可能になった。試作した MEMS スwitch は、約  $200 \mu\text{s}$  のスイッチング動作をさせるために、 $2\text{V}$  以下で  $20\text{mA}$  が必要であり、起動エネルギーは  $8 \mu\text{J}$  であった。た

だし、静電気力の維持に必要な電圧は  $15\text{V}$  であり、今後、これを  $10\text{V}$  以下に低減する改良を行なう。信頼性に関しては、不具合や接触劣化無しに  $10$  億回以上のスイッチングができ、携帯機器で使用される  $2\text{GHz}$  の周波数帯域での挿入損失や漏洩度も低いことが確認されており、実用に近い技術と考えることができる。

CEA - LETI と ST マイクロエレクトロニクス社は、今後の産官共同研究で、ウエハレベルでのパッケージング (半導体デバイスを実装するための包装) 方法の開発や、作製工程の効率化による費用対効果の向上など、さらに実用に向けた開発を進めていく予定である。



## 特集①

# ブロードバンド時代の 次世代コンテンツ配信技術



客員研究官 小笠原 敦

## 1. はじめに

最近日本では e-Japan 戦略での急速な通信インフラの整備により、ADSL や光ファイバの普及が進展し、世界で最も安価なブロードバンド（広帯域）ネットワーク利用環境の実現や、インターネット利用が総人口の半数以上（2002年12月末54.5%）に達する状況となった。

それに伴いストリーミング映像等の動画を、インターネットを介して見る需要も急速に伸びつつある。今後放送と通信の融合が進めば更にその需要は高まり、またハイビジョン映像等大容量高精細画

像のコンテンツ（リッチコンテンツ）配信への要求も高まることから、そこで障壁となる技術的問題を解決することが急務となっている。

特に日本は放送技術、映像技術で世界トップレベルを維持しており、また画像コンテンツにおいても世界的に高い評価を得る映画、アニメーションからゲームに至るまで高レベルのコンテンツが多数存在する。

2003年7月2日に発表された e-Japan 戦略Ⅱでも、8月8日に発表された e-Japan 重点計画においても、コンテンツの活用はデジ

タル家電とともにこれからのネット社会において日本が先導的立場に立つための重要な要素として挙げられており、ネットワーク上流の配信技術から下流の端末機器に至るまで統合的な“強み”を活かせるように問題点をクリアしておくことが必要である。

そしてこのコンテンツ配信の革新が従来のネットワークの概念、体系を転換する可能性についても言及し、その中でいかにして日本が技術的にもビジネス的にも競争力を持つかということについて述べて行くこととする。

## 2. 大容量データ配信における問題点

高精細動画等、非常に情報量の多いコンテンツ（リッチコンテンツ）を配信する上で最も問題となってくるのは、大容量データ転送時のボトルネックである。

特に従来はギガbpsにもおよぶ高速なバックボーンの回線の速さとPCの速度、家庭に直結するLast One Mileの速度差があまりにも顕著であったため目立たなかったが、家庭内のPCのCPUの演算速度が3GHzにも達し、またLast One Mileの通信回線の速度がADSLや光ファイバ（FTTH）によって数Mbps～100Mbpsに向上したため、コンテンツ送出側の相対的な能力の低さが目立ってきたことが挙げられる。

図1はそれを模式的に描いたものであるが、Last One Mileに意識を奪われ、ネットワーク上流のサーバー側のボトルネックを十分に意識していなかったことがわかる。

現在の環境ではこのサーバーのハードウェアとしての絶対的な能力不足、サーバー周辺のネットワークの細さによる見かけ上のサーバーの能力不足、そしてもう1つはアクセス状況の変動によるサーバーの能力変動が、利用者の不満を募らせる要因となっている。放送と違って自分の好みの時間に見られるストリーミング映像も、自分に都合のよい時間は他の多くの人も都合のよい時間であることも多いことからサーバーへの負荷が

集中し、快適に見ることができないという状況が起きている。サーバーの負荷集中の問題も、能力不足によるアクセス速度低下の問題とともに非常に大きな問題である。

具体的な事例としては文部科学省関連でも、宇宙開発事業団（：NASDA、10月1日より宇宙航空研究開発機構：JAXA）がHⅡロケットの打ち上げを中継しているが、アクセスが殺到するとなかなかサーバーにつながらない、つながってもコマ落ちの大きい不十分な映像しか見ることができないといった問題が起きている。これは打ち上げという非常に過大なピークが一時期に訪れるという特殊な状況下の例ではあるが、サーバー

能力の効率的な確保、負荷分散の効率的な手法の必要性が浮かび上がってくる。

そしてこれからさらに高精細で大容量のコンテンツを配信しようとする両者とも一段と大きな問題となってくるのである。

このサーバー能力と負荷変動に対応するため大容量・大規模サーバーが必要となるとすれば、投資体力のある一部企業しか進出できないこととなる。

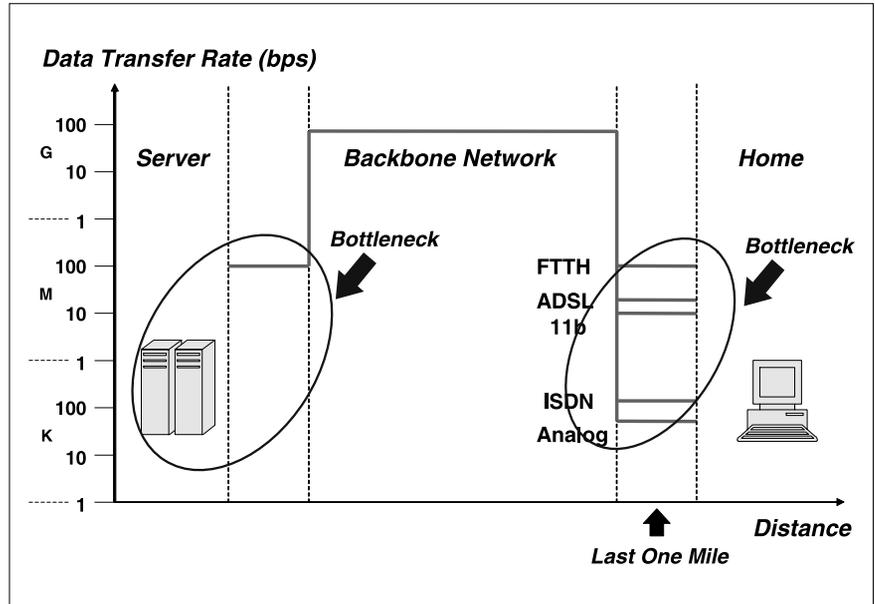
コンテンツビジネスを立ち上げて日本の産業の新しい柱の1つに据えるならば、活性化を促すためにベンチャー企業の参入や、中小企業の参入が欠かせない。その投資負担を低減することも重要な要素として挙げられる。

90年代後半から立ち上がりかけた初期のITビジネスがバブルに終わった理由の大きな原因の1つ

の過剰投資は、この負荷変動に対応するために投資体力以上の設備を保有しなくてはならなかったこ

とが理由の一つとして挙げられている。これも解決しなくてはならない大きな障壁の1つである。

図表1 ネットワークのボトルネック (概念図)



科学技術政策研究所作成

### 3. ボトルネック解消のための技術

#### 3-1

#### サーバー能力の向上

##### (a) プロセッサの高速化・広メモリ帯域化

最も基本となるのは核となるプロセッサのさらなる高速化、広メモリ帯域化である。特に3次元グラフィックスに適したプロセッサは一般のPCに使われる汎用のプロセッサと比較して、動作周波数の高さとともに、より広いメモリ帯域の確保やベクトル化が要求される。日本は世界最高速のスーパーコンピュータ、地球シミュレータに見られるように米国よりも優れたベクトルプロセッサの技術を有している。また、ゲーム機のプロセッサも128ビットクラスの高ビット(PCで主流のインテルPentiumプロセッサは32ビット)で、ベクトルプロセッサを有するものもあり、3次元グラフィック

に適したプロセッサ技術の保有としては世界で最も進んでいると言える。

これらの技術を進化、転用して安価なサーバーを構築することも可能なオプションの1つである。

##### (b) 並列・分散処理化

サーバーのパフォーマンスを向上させるためのもう一つの手法は並列・分散処理の導入である。

並列・分散処理を強化した単一のプロセッサを開発することも一つの手法であるが、複数のプロセッサを結合してクラスタを形成し、高い処理能力を得るのもコスト的にも優れた手法である。

#### 3-2

#### 負荷変動への対応

##### (a) コンテンツ配信ネットワーク(CDN)

サーバーそのものの能力ととも

にもう一つの大きな問題である負荷変動に対応する技術の1つとして考えられたのがコンテンツ配信ネットワーク(CDN)である。これはScience & Technology Journal 9月号で三菱総研の西角直樹が解説しているが、コンテンツサーバーをキャッシュサーバー(一般的にはミラーサーバー)として分散配置し、それらを経路制御することによってユーザーから最も近いサーバーにアクセスさせ、高速化を図るというものである。この技術は米国のアカマイ社が推進している。

##### (b) グリッド

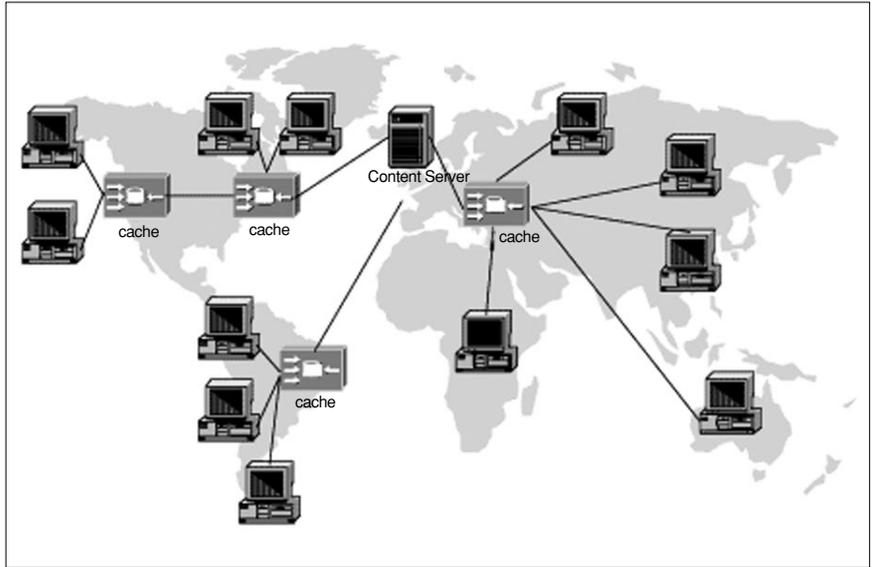
コンテンツ配信ネットワークはサーバー群が独立して個々にデータの処理を行うものであるが、ネットワークを介して複数のコンピュータ、あるいはプロセッサを結合し、計算規模に応じてスケラブルに並列、分散処理を行う手

法もある。それがグリッドコンピューティングであり、ネットワークに接続された複数のコンピュータをそのCPUリソース、メモリー空間を共有することにより1つの巨大なコンピュータとして使用するものである。グリッドの実現のためにはコンピュータだけでなく、高速ネットワークインフラの進展も必要となる。

アカマイ社のコンテンツ配信ネットワークの方式、キャッシュサーバーによる分散処理ではユーザーから見たコンピュータ空間はそのキャッシュサーバーの持つ処理能力の範囲内であり、世界中の何箇所かにキャッシュサーバーが存在していれば、その数だけの独立空間となる。例えば世界中の数十万人が同時に参加するようなコンテンツを想定した場合、実際には数千人ずつの独立空間になってしまうのであるが、グリッドによる分散処理ではユーザーが認識するコンピュータ空間はその数十万人分そのものとなる。

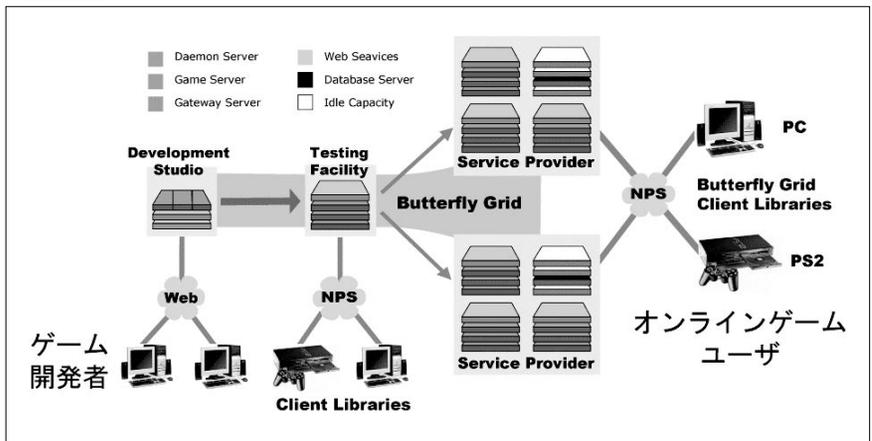
同じ負荷分散を図るのでもキャッシュサーバーによる分散とグリッドによる分散では大きく異なる。時間的な変化や、利用者とのインタラクティブな要素の無いコンテンツではキャッシュでもグリッドでも大差は無いが、利用者が参加し有機的に影響を与え合うコンテンツ（公的な電子政府による政治への参加、教育への利用から

図表2 コンテンツ配信ネットワーク (CDN)



ATT 資料より抜粋

図表3 ゲーム機用グリッドサーバー (IBM)



私的な娯楽のネットワークゲームに至るまで) では大きな差を生むことになる。

またグリッドコンピューティングでは、実際に必要なコンピューティングリソースをサービス事業者が買う形態となる（電気料金の

ように) ため、アクセスピークを見越した過大なサーバー投資をする必要がなくなる。このことはベンチャーや中小企業の事業参入を容易にすることにもつながる。

## 4. グリッドコンピューティング技術の背景

グリッドコンピューティングはこれまでは主に大学や国立研究機関の大型コンピュータやスーパーコンピュータを高速回線で接続した科学分野での HPC (High Performance Computing) を目的として開発されてきた。

近年では、米国 NSF の Tera Grid Project や NIH の Biomedical Informatics Research Network

(BIRN) の大規模プロジェクトが立ち上がり (巨理誠夫、科学技術動向 2002年9月既報)、高速通信回線を用いたハイエンドな HPC 分野でのグリッド研究は急速に進展しつつある。

米国での IT 関係の研究開発はブッシュ政権発足後 2002 年から HPCC、NII、NGI、IT2 といった個々の研究開発がまとめられ、NITRD

(Networking and IT R & D) と総称されているが、通信ネットワーク技術と情報システム技術のさらなる融合を象徴しているともいえる。そしてその1つの大きな柱がグリッドコンピューティングなのである。

また米国は積極的に標準化を進め、異機種分散環境ミドルウェアの Globus Toolkit を推進している。

そしてハイエンドな領域だけでなく、ビジネス領域にも急激にグリッドコンピューティングの波が訪れつつある。

IBMは2000年頃からB2B領域でのグリッド応用に本格的に取り組み、Globus ToolkitをWebサービスに拡張したOGSA (Open Grid Architecture)を提案した。

当初は専門家の間では非常にエキサイティングな反応を持って迎えられたものの、一般の関心は意外に低いものであった。それは企業内のイントラネットの範囲内では比較的早い次期に実現するが、そこから先はネットワークの整備が必要でまだ遠い先の話という印象だったからであった。

ところが、急速なブロードバンド回線の普及と、コンテンツ配信における送出サーバー側のボトルネックの問題、サーバーの負荷分散の必要性の増大がグリッドコンピューティングへの要求を一気に高めることとなる。

米国の最新の動向としては、Oracleはこの2003年9月8日からサンフランシスコで開催された「ORACLEWORLD」でグリッドコンピューティング技術を取り入れた「Oracle Database 10g」(gはグリッドを意味)を発表し、また同時に講演を行ったHP (Hewlett Packard)のフィオリー

ナCEOもサーバーのグリッド化を今後3～5年以内に急速に進めるとの講演を行なった。IBMだけでなく米国のIT企業全体に急速に波及していることが裏付けられている。

日本でも2003年7月1日に文部科学省による「グリッド研究開発推進拠点(NAREGI)」の開所式が行われた。これは「我が国の情報通信分野での国際競争力強化のため、新世代コンピューティングシステム環境の実現を目指す」というコンセプトのもと、国立情報学研究所(所長:末松安晴)を中核拠点として2003年4月から5ヵ年計画で開始されている「超高速コンピュータ網形成プロジェクト(ナショナルリサーチグリッド・イニシアチブ:通称NAREGI「ナレギ」)」の研究開発拠点として新設されたものである。単独のスーパーコンピュータの代わりに複数のコンピュータリソースを有機的に結合したグリッドコンピューティングによるHPC(High Performance Computing)環境を実現して次代を担うナノテクノロジーやバイオテクノロジーのアプリケーション研究開発を行い、新規通信原理からエレクトロニクスデバイス、光デバイスまで、また分子から創薬までといった産業応用に非常に近い分野に至るまでを

カバーした産学官連携プロジェクトである。

また経済産業省でも2003年7月15日に「ビジネスグリッドコンピューティングプロジェクト」を発足させ、グリッドコンピューティングを中心としたミドルウェア開発支援を行うこととなった(推進委員会委員長:村岡洋一早稲田大学副総長)。

経済産業省においても情報システム分野における国際競争力はグリッドコンピューティング技術が鍵になるとしてプロジェクト化を決定した。現在情報システム分野においては、インテルに代表されるMPU(Micro Processing Unit)、マイクロソフトのWindowsに代表されるOSの世界のみならず、データ配信用サーバーではIBM、HP(Hewlett-Packard)が、データベースではオラクルが支配し、ネットワークの上流から下流に至るまで米国に圧倒されている。

しかしグリッドコンピューティングが科学技術計算だけでなくビジネス領域にまで一般化されてくれば、その時がコンピュータアーキテクチャー、ネットワークアーキテクチャーの転換期であり、日本がトップに立つ好機としてプロジェクトを開始することとなったのである。

## 5. 日本の研究開発の方向性

IBM、HP等の米国製のサーバーを用い、アカマイ社のコンテンツネットワークを用いるのは一つの解であるが、冒頭でも述べたように日本は来るべき本格的なブロードバンドネットワーク時代を迎えるにあたり、世界のIT産業をリードできる高度な3次元グラフィックス技術やアニメやゲームに代表される独自の映像コンテンツを数多く有している。またデジタル家電機器の開発でも先端を走っ

ており、光通信技術も世界のトップレベルにある。これら情報系技術、通信技術、エレクトロニクス技術等を統合的に活かすのにグリッドは非常に可能性を持った技術である。

このグリッドをサーバーに使う概念には大きく分けて2つあるが、1つは事業者側の複数のサーバー間でグリッドを構成して負荷分散を図る方法(ネットワーク上でグリッドを構成するものからデ

ータセンター内でクラスタを形成するものも含む)、もう1つはユーザー側(クライアント側)のコンピューティングリソースも取り込んで大規模なグリッドを構成する技術である。

特にユーザー側のコンピューティングリソースも取り込む方式では、デジタル家電に組み込まれたプロセッサやホームサーバーとして提案されている機器を核としてグリッドを構成することが可能と

なる。そしてこれらの機器を高速の光回線を介して結合すると、極論すれば日本全体で高速で大規模なグリッドを実現することも可能になる。

コンテンツの発信という観点からも、米国が支配するPCのプロセッサではなく、日本が強みを発揮するゲーム機やデジタル家電機器のプロセッサを接続し、世界トップの技術を持つ半導体レーザ等の光技術、e-Japanで推進された光ファイバーネットワークで高性能なサーバーシステムを構築することができるようになるならば、日本独自の高精細画像処理技術、アニメやゲームコンテンツ等の発

信基地として日本全体がサーバーとしての機能を持ち、非常に大きな意味を持つてくるのである。

そのようになれば、米、欧、アジア3極への高速ネットワークのハブとしての日本の役割は格段に高くなる。

特に高精細な動画コンテンツの配信においては回線の距離に起因する遅延が問題となってくる。例えば米国から日本を経由して東南アジア方面に高精細画像コンテンツを送ると信号遅延によりQoS (Quality of Service: 通信品質) 確保が困難となる。

日本は米、欧、アジアに比較的等距離にあり(欧州は東側へ貫

通するルートの確立が前提であるが)、コンテンツ配信を行う上で中心的な役割を担うのに最適な位置にある。米国の例を見るまでもなく、情報発信の中心やトラフィックの中心には副次的な情報も含めて経済活動の上で非常に重要な情報が集積する。これは非合法的な個人的な情報の収集や企業の情報の収集という意味ではなく、どのような情報がどのような地域に流れているか、という統計的にマスマなデータであっても経済的な価値が高いということである。その経済的波及効果は非常に大きい。

## 6. グリッドコンピューティングの要素技術研究開発

グリッドコンピューティングを構成する要素技術として、冒頭に挙げた文部科学省のNAREGIではHPC向けではあるが、

- ①グリッド基盤ソフトウェア研究開発
  - グリッド環境における資源管理の研究開発
  - グリッドプログラミング環境の研究開発
  - グリッドアプリケーション開発用ソフトウェア及び環境の研究開発
  - グリッドソフトウェアの統合・運用技術の研究開発
  - ナノシミュレーションのグリッド環境への対応に関する研究開発
- ②ネットワーク利用技術開発
  - ネットワーク通信基盤の研究開発

が挙げられ、研究機関としては

産：富士通、日立製作所、日本電気等

学：国立情報学研究所、分子科学研究所、東京工業大学、

大阪大学、九州大学等  
官：独立行政法人産業総合研究所、ITBLプロジェクト等

が参加している。

また、経済産業省のビジネスグリッドコンピューティングプロジェクトではやはり富士通、日立製作所、日本電気の三社が加わって2003年度中にもプロトタイプを開発し、2004年度には実証実験を、2005年に製品化という非常にスピード感溢れるスケジュールとなっている。

これらのプロジェクトで取りあげられているグリッドコンピューティングを直接構成するソフトウェア技術(ミドルウェア、アプリケーション技術)とともに、現在でも日本が非常に高い競争力を持つデバイス技術やハードウェアの研究開発も同時に強化する必要がある。

グリッドをさらに効率よく発展させるためには光技術の育成が欠かせない。光ルーティングの開発等長距離大容量の基幹系の充実もさらに推進が必要であるが、家庭への光ファイバ(FTTH: Fiber

to the home)導入でも現在の100MbpsレベルからGbpsレベルへの一段の飛躍が必要である。

またプロセッサ内部のデータ転送、プロセッサ-メモリ間、チップ間、ボード間等、コンピュータ内部の配線の光化の促進も非常に重要な要素技術の1つとなってくる。

米国ではその先手を打つように、2003年9月11日にDARPA (Defense Advanced Research Project Agency)がIBMとアジレントテクノロジーズ(HPの計測器・デバイス部門の分社)に4年間で3000万ドルを「マルチプロセッシングサーバーのTera bps光接続技術」の研究にファンディングすると発表した。DARPAは2010年にマイクロプロセッサ間を40Tera bpsで接続するHPCS (High Productivity Computing System)イニシアチブの一環だとしているが、この技術をチップ間、ボード間からさらに距離を長く、さらに民生用途に波及するならば、非常に高性能なクラスターサーバーや、グリッドサーバーが実現することとなる。

日本はファイバによる光通

信技術、長距離通信用レーザや VCSEL（面発光レーザ）等光デバイスでも世界のパイオニアであり、先端を走ってきたが、この光分野での優位性を維持するためにも米国を上回る研究開発を推進す

る必要がある。

また、IPv6 のように日本発の技術を核とした情報家電ネットワークの構築、さらには情報家電やゲーム機等を統合するミドルウェア、それに適した端末の OS 開発

等、ソフトウェアとハードウェアを統合したアーキテクチャの先導的な開発が重要な要素技術となると思われる。

## 7. おわりに

これから需要の高まる大容量コンテンツ配信（高精細動画コンテンツ等）を中心に要素技術としてのグリッドコンピューティング技術を核とした分散処理から光技術の重要性の議論を展開してきたが、最も重要な事はこれらの技術が米国の ARPA-NET に始まった草創期から 30 年以上続いているインターネットの概念、ネットワークの概念を大きく転換するきっかけとなり得るといふところにある。

現在のインターネットの体系では、TCP/IP をはじめとするプロトコル（手順）等、基本的な技術、IP アドレスとドメインネームを管理する最上位のルートサーバーから配信のためのサーバーシステム、そして端末の OS やハードウェアとしての PC に至るまで米国が圧倒的な優位性を持っている。

しかし従来のサーバー・クライアントモデルから、コンピューティングリソースを共有するグリッドモデルに移行するならば、次世代のネットワークもコンピュータも従来の延長上ではなく、IPv6 やデジタル家電等の日本発の技術を核に道を切り拓くことも可能であろう。そしてコンテンツも含めた総合力で優位性を確保することも不可能ではなくなる。技術的には不特定多数のユーザー（クライアント）側のコンピューターリソースを取り込んでグリッドを構成し、配信制御等まで行うのは現在では非常に困難を伴うが、範囲の狭いクラスターサーバー的なものから段階的に技術課題を克服してい

行くことは可能と思われる。

また技術だけでなく日本企業のビジネス構造転換の点からも大きな意義がある。現在日本ではエレクトロニクス業界が自動車業界と並んで高い国際競争力を維持しているが、一般の家電機器、AV 機器は中国の台頭もあって非常に利益率が低下しつつある。

また一時期期待されたネットビジネスの大半も、サービス対価を支払うという一般消費者向けの B2C ビジネスはなかなか理解が得られず、また本文中にも記載したサーバー能力確保のための過大投資によって利益確保の点では大変厳しい状態にある。

一方ネットワーク上流の配信に関わる部分を受け持つ IBM や HP 等の米国企業は高い収益性を保っている。

これはネットビジネスの収益の根源である課金が、リアルな商品の移動を伴う e コマースを除いては B2C 領域では受容され難いということの意味しているのである。

そこで日本では大容量コンテンツ配信を中心に、従来米国に独占されていたネットワーク上流の B2B（事業者間ビジネス）領域に積極的に進出をはかり、元々の基盤である家電機器等の C（消費者）領域のビジネスと統合することによって、従来の日本型でも米国型でもない、新たな B2B2C モデルともいえる領域を開拓するという方向性もあるのではないだろうか。

現在日本の家電メーカーでは

家庭にホームサーバーを置くことを提案しているが、一般消費者にとって一見すると機能がわかり難く、比較的高価な機器を導入するインセンティブは何か？ という問題がある。そこで例えばホームサーバーの余剰能力を貸し出すことによって、供出した分のコンピューティングリソースを電子マネーでキャッシュバックすることによりインセンティブを与え、普及のドライビングフォースとする、といったことも B2B2C モデルの 1 つの事例として考えられる。

文部科学省のプロジェクト NAREGI でグリッドを構築するミドルウェアの研究開発から新しいナノテク、バイオのアプリケーション開発がカバーされ、経済産業省のビジネスグリッドプロジェクトで B2B 領域でのミドルウェア開発からアプリケーション開発がカバーされている。

そこにコンテンツ配信を中心に C 領域をもカバーするプロジェクトがあっても良いのではないかと思われる。

そしてそのネットワークの変革を実現するためのソフトウェア技術の研究開発は勿論のこと、光技術（通信、光配線、光接続、光ルーティング）やデジタル家電を包括した統合的なコンピュータアーキテクチャーの研究開発、ビジネスモデルの開発も含めて、ブレークダウンされた個々の要素技術の研究開発を推進することも重要と思われる。

## 特集②

# 世界における上下水道処理技術と水事業民営化の動向



環境・エネルギーユニット 浦島 邦子

## 1. はじめに

言うまでもなく、水はあらゆる生命にとって不可欠であり、生命維持に決定的な要素である。近年、水への関心が高まっている。たとえば、先進国においては上下水道管の老朽化対応が各国で大きな課題となっている。中国では大気汚染が最大の環境問題とわかれてきたが、水質汚染がこのところクローズアップされている。上海近郊の太湖では生活廃水や工場廃水によってアオコが大量発生し、国家プロジェクトが進めら

れている<sup>1)</sup>。発展途上国では深刻な水不足と資金不足によるインフラ（上下水道）の不備が大きな問題であり、これには公的資金のみならず、先進国からの資金導入によるプロジェクトが不可欠である。

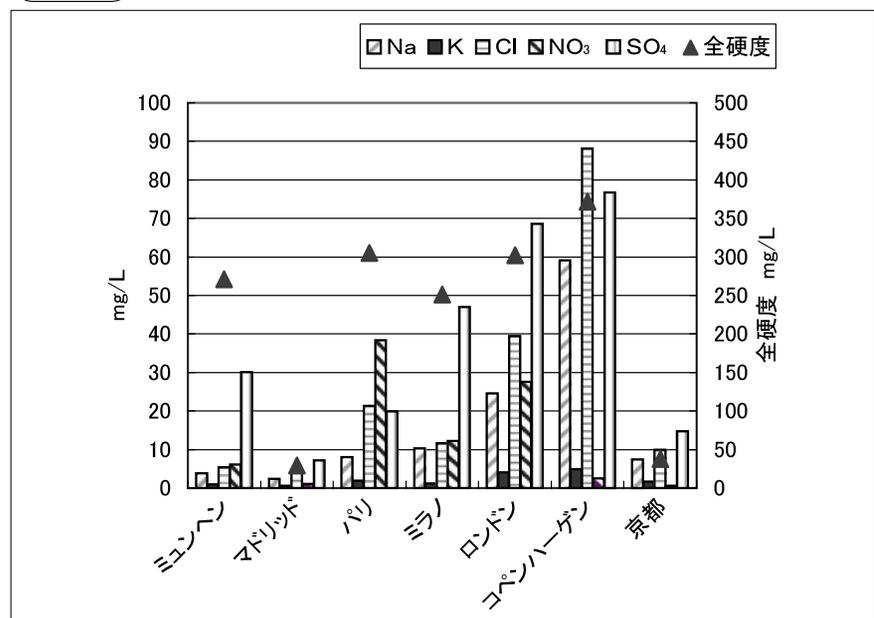
最近、欧州では上下水道事業分野で民営化が進められており、大手企業がこれに参入している。さらにこれらの企業はエネルギーや通信などのインフラへも参入、マルチ企業としての戦略を推進して

いる。この背景には、世界的に景気が低迷する中、従来地方自治体が手がけていたインフラ市場が有望な事業として注目されるようになっていことがあげられる。さらにこれらの企業は、自国で確立したサービスなどのノウハウを有用して、他国へも進出することを視野に入れている。本稿では、このような問題意識に立ち、各国の水事業および水処理技術の現状について述べる。

## 2. 水処理技術の現状

世界を見ると、水道水をそのままの状態煮沸もなしに飲む習慣がある国は、いったい日本以外にいくつあるだろうか。むしろ、そういう習慣がない国、地域のほうが多い。国によって水質が違ふこと、また地域によってもその差があることから、当然上水道の処理技術は場所によって違ふ。図表1に各国の水道水中の無機イオン成分比較を示す<sup>2)</sup>。

図表1 各国の水道水中の無機イオン成分比較



浄水.comよりデータを引用し、動向センターにて作成

### 2-1

#### 上下水道を巡る最近の状況

都市部や産業地域では、有害物質や細菌類による汚染が深刻化し、水の安全性の問題がクローズアップされている。当然、水源の汚染までモニタリングされるよう

になってきている。水を管理する自治体は、従来よりもさらに安全で効率的な浄化技術・システムへ関心をもちはじめている。

元来、わが国は水質および水源には非常に恵まれた国であった。20年以上前、ミネラルウォーターやお茶を購入する人は少数であった。しかしいまや、水道水を飲むなら煮沸するか、浄化装置を通す家庭も多く、また飲むならミネラルウォーターという家庭も増えている。

おいしい水を得るには、まず水源の保全が当然であるのはいうまでもないが、現実問題として湖沼やダム、河川など水道水源の富栄養化に起因する水道水の異臭味、有機塩素化合物による地下水の汚染、浄水処理過程でのトリハロメタンの発生など多くの問題が発生している。また、O157<sup>①</sup>などの問題から塩素投入量が増え、結果として水道水は“おいしくない”“まずい”ということになってしまった。このような問題を解決するには、国や地方、企業や住民など総力を挙げての努力が必要であり、一朝一夕に改善ができるものではない。

## 2-2 水処理技術の現状

場所によって水質が異なることから、図表2に示すように目的に応じてさまざまな技術が使用されている。

浄水場での上水処理および下水処理として、凝集、沈澱、ろ過、消毒が基本となっているが、これは水中の濁り成分の除去に主眼がある。ただし、この処理方法ではかび臭いなどの問題を解決することはできない。また塩素が効かないクリプトスポリジウム<sup>②</sup>による水道汚染がわが国でも発生し、被害者が多数出たことから、塩素に替わる他の処理方法が検討されている。

わが国においても関西地方の自治体は、水道水のかび臭さなどに対処する必要があったことから、

### 用語説明

#### ① O157

大腸菌は、家畜や人の腸内にも存在し、ほとんどのものは無害であるが、このうちいくつかのものは、人に下痢などの消化器症状や合併症を起こすことがあり、病原性大腸菌と呼ばれている。病原性大腸菌の中には、毒素を産生し、出血を伴う腸炎や溶血性尿毒症症候群（HUS）を起こす腸管出血性大腸菌と呼ばれるものがある。腸管出血性大腸菌は、菌の成分（「表面抗原」や「べん毛抗原」などと呼ばれている）によりさらにいくつかに分類され、「O157」はこの腸管出血性大腸菌の一種で、毒素により出血性腸炎を起こすことから、正式には「腸管出血性大腸菌 O157」と呼ばれている。

#### ② クリプトスポリジウム

人や感染性腸炎の病原体検索で、下痢症、腹痛、発熱、嘔吐などの症状を引き起こす原因となる原虫。塩素殺菌では効果がないため、先進諸国では水道水やプール遊泳による集団感染が毎年のように発生。国内でも1996年に水道水による大規模な集団感染を経験した。

図表 2 各水処理に必要な技術

	処理技術	目的
上水・用水	薬品法、ろ過膜法、紫外線法、オゾン法、塩素法、活性炭法	浮遊性物質・溶解性物質の除去、殺菌、滅菌、発癌物質除去
下水・廃水	活性汚泥法、ろ過膜法、紫外線法、オゾン法、塩素法、活性炭法	浮遊性物質・溶解性物質の除去、殺菌、滅菌、発癌物質除去
河川・湖沼水	生物膜法、ろ過法、ろ過膜法	浮遊性物質・溶解性物質の除去、アンモニア性窒素の硝化

科学技術動向センターにて作成

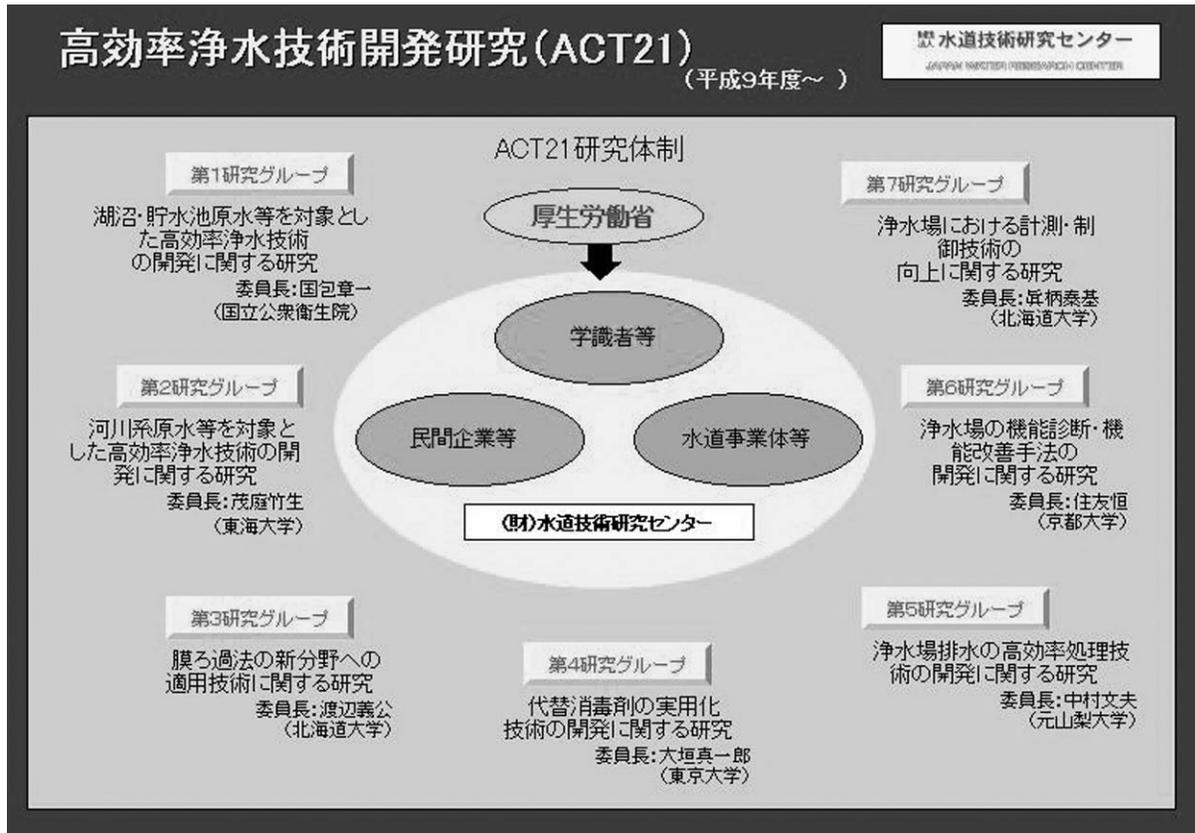
早くから高度浄水処理技術に関心を持ってきた。厚生省は昭和63年3月に「高度浄水施設導入ガイドライン」を作成し、このような高度処理施設を設けようとする水道に対して国庫補助制度を発足させた。このガイドラインによると、高度浄水施設の定義は「通常の浄水処理方法では十分に対応できない臭気物質、トリハロメタン前駆物質、色度、アンモニア性窒素、陰イオン界面活性剤等の処理を目的として導入する活性炭処理施設、オゾン処理施設及び生物処理施設をさすものとする」としている。つまり、これらの高度浄水施設を従来の施設に単独あるいは組み合わせて付設し、問題解決を図るものである<sup>3)</sup>。

このプロジェクトとして、これまで厚生科学研究費などによる研究開発が進められている。平成9年度からは、5年計画で総額約13

億円かけて高効率浄水技術開発研究（ACT21）が、（財）水道技術研究センターを主体として企業（45社）、大学などの参加の下に進められた。その一覧を図表3に示す<sup>4)</sup>。

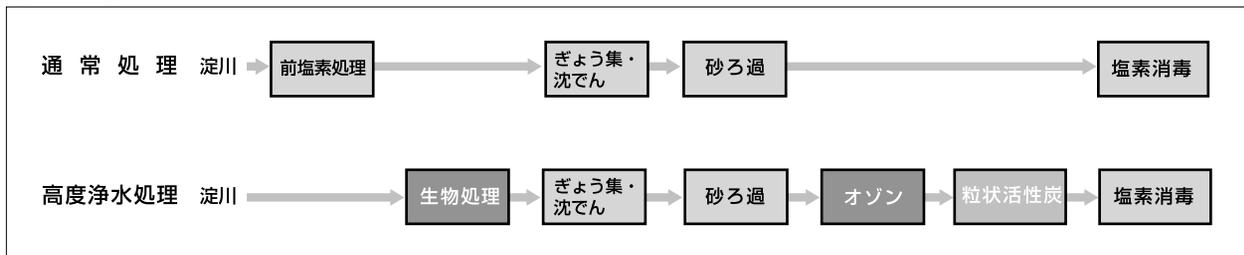
「高度浄水処理システム」は塩素剤の使用を少なくし、水中の有機物を除去するものである。従来の浄水処理プロセスに「生物処理」「オゾン処理」「活性炭処理」を組み入れたシステムである。これは、通常行われている標準的な処理よりも、処理水の水質を向上させるために、有機物を高度に除去したり、標準的な処理では十分に除去できない窒素、リン等を除去するために行うもので、同時に内分泌攪乱物質（環境ホルモン）もほとんど除去する。図表4は上水道の高度処理の一例である。処理フロー中にはpH調節用薬剤の注入などもあるが、ここでは省略している<sup>5)</sup>。生物処理は、水中に含まれる各

図表3 高効率浄水技術開発研究 (ACT 21)<sup>3)</sup>



財団法人 水道技術研究センター資料

図表4 高度浄水処理システムの例



種の物質を微生物の働きによって分解または凝集させ、水を浄化する方法である。生物処理は原水中のアンモニア性窒素を効果的に除去でき、また臭気なども除去できるので、その後に加える塩素の量を減少させることができる。高度浄水施設の生物処理の方式としては、浸漬ろ床方式（ハニカム方式）、回転円板方式、生物接触ろ過方式の3方式がある。さらに、生物処理と活性炭を組み合わせた方式も実用化されている。活性炭はその細孔構造により比表面積が非常に大きく、微生物が繁殖しやすい。この繁殖した微生物により、活性炭層は生物処理の効果も持つよう

になる。このような効果を持った活性炭を生物活性炭と称し、これによる処理を生物活性炭処理と言う。活性炭処理が塩素処理より前にある場合などは、この生物活性炭処理が新しい方式として注目されている<sup>3)</sup>。

オゾン処理は主に殺菌、脱臭、脱色を目的として行われているが、オゾン酸化によって生ずる副反応生成物を除去するために、その後段に活性炭処理を設けなければならない。オゾン処理は特にコストが高いため、その低減に向けて、高濃度のオゾンを発生させるオゾナイザ（オゾン発生装置）の開発が要求されている<sup>6,7)</sup>。

活性炭はその吸着作用による臭気物質の除去、トリハロメタンや全有機ハロゲン化合物などの除去、農薬などの微量有害物質の除去に効果がある。能力の低下した活性炭を再生する活性炭再生設備（加熱法による再生炉）も実用化されており、活性炭使用量が多い場合には経済的である。

以上のような生物処理、オゾン処理および活性炭処理によって、トリハロメタン生成の原因となっている物質の70%以上が除去され、塩素要求量の低減にも大きな効果を発揮している。また、通常処理では除去困難であった界面活性剤も90%以上除去されている。

### 3. 国際標準化の進展

最近、フランスが「飲料水供給と下水道に関するサービス活動の標準化」をISOに提案した。これは今後予想される世界的な水不足に対処しつつ、顧客に最適な価格で良好なサービスを継続し提供する上下水道のサービス業務活動の指針策定である。しかし、この提案書はフランス規格がメインであり、このまま国際規格となると日本の規格の見直しを迫られることもありうる。また、ISO規格が自国基準に近い国の企業にとって海外進出に有利となることから、現在の日本における上下水道の維持管理（年間約3兆円）が大きな影響を受ける可能性がある。そこでこの国際規格の作成に積極的に関与することを国内対策会議で決議し、国際会議の場を通じ多くの提案をしてきている。詳細を図表5に示す。

また国内でもISO/TC224国際規格化の動きを積極的に受け止め、国内の水道事業体の効率化、透明性確保のために、国内サービス規格（ガイドライン）をつくる動きも出てきている。国際的に用いられている業務指標により現在

図表5 ISO/TC224に関する国際会議

期日	国際会議	内容
2001・04	フランスが提案	上下水道サービス事業の国際規格化
2002・09	第1回ISO/TC 224 総会(パリ)	提案内容説明、スケジュール調整
2003・01	WG4 ウイーン会議	下水道分野討議・日本案提出
2003・03	パリ会議 (WGs)	事務局案に対する対案・日本案提出
2003・05	WG4 リスボン会議	下水道分野討議・日本案提出
2003・07	WG3 カナダ・バンフ会議	上水道分野討議・日本案提出(業務指標)
2003・09	第2回ISO/TC 224総会(オタワ)	国際規格案 総枠決定
2004・09	第3回ISO/TC 224 総会(マケラッシュ)	加盟国へ国際規格案提示、認証手続き
2006・07	ISO/TC 224 国際規格	発効予定

の運営状況を分析し、自分自身の業務状況の把握や経年比較が容易にできる。サービスの質、効率性が数値として常に追求され、結果としては水道事業自体の向上につながると予想される。

このISO/TC224が上下水道の関係者にとって注目されているもうひとつの理由は、WTO（世界貿易機関）との関係である。ISOは本来民間の任意の規格であり、使うか使わないかは民間の自由意思により決定されるものである。現在政府間で交渉されているWTOサービス交渉で、環境サ

ービスについての合意がなされると、国または自治体が発注する、ある一定金額（中央政府の調達では約2,100万円、地方公共団体は約3,300万円）以上の物件については、WTO-TBT協定（国際規格が存在する場合は、国内法より推奨されるとする取り決め）により、全て国際規格に基づいたものを発注しなければならない可能性が生ずる<sup>8)</sup>。

果たして他国の実情はどうなっているのか。以下に各国の上下水処理状況と運営状況を述べる。

### 4. 各国の水事業と技術の現状

#### 4-1

#### ドイツ

ドイツでは、シーメンス社によるオゾナイザの開発によって、古くから上水の殺菌用としてオゾンが使用されている。オゾンは、自然界に存在する物質の中でフッ素に次ぐ強力な酸化力を持ちながら、自然分解して酸素に戻り残留毒性を持たないため、その酸化力を利用して水や大気の脱臭・脱色や難分解性有機物の生物分解性を

高めることによって消毒・殺菌などに利用されている。また、プールの殺菌用としてオゾンが使用されており、1983年には1,057か所で使用されていた。オゾンは、原則として活性炭と組み合わせる用いられる。図表6にオゾナイザの内部写真を示す。現在、ドイツでは水道水源保全に力を入れている。また塩素注入は行っていない。

民営化の現状として、ドイツの電力とガスの大手メーカーのRWE社が、イギリスの水道事業大手のThames Water社を買収

図表6 オゾナイザの内部



し、世界のインフラ（上下水道）市場に照準を当てている。さらに、最近では2001年9月にRWEが米国最大の民間水道会社American Water Worksを9,120億円で買収

した。北米市場は年間10兆円とも言われ、また今は60～120兆円の老朽化の改善・改築事業があると見込まれている。

4-2

フランス

フランスでは高度浄水処理と膜処理が盛んであるが、ここでは他の技術動向について具体例を用いて以下に述べる。

現在フランスではエコロジーシステムとして、バイオトリートメント技術が注目されている。これは、1960年代にドイツで考案されたバイオテクノロジーを応用した廃水浄化システムで、約10年前から実施されている。自然環境の中で、バクテリアによる浄化作用を利用し、電力を一切使用せず、また化学的処理を行わずに植物によって廃水を浄化するのが特徴である。この技術はアメリカ、イギリス、オランダ、デンマーク、オーストリアなどでも普及発展している。5年前仏全土で約20カ所であったプロジェクトが、現在では約100カ所で進行中である。この技術は、主に数人規模の家庭用廃水処理用に検討されているが、工場からの廃水にも対応すべく、研究開発中である。

フランスは、水事業において小規模の自治体が多く、その約75%が民間委託である。これは、コンセッション／アファーマージ方式と呼ばれる基本的な管理権限を自治体に残した民間委託によって、自治体・公社が資産・管理責任を持ち、事業運営のみを民間企業に委託している。そして、Vivendi, Suez, Saurの上位3社で国内市場の90%を独占しているのが実情である。ノウハウ、資本の蓄積がこの事業には欠かせず、それらを備えている企業が優位となるからである。民営化率は上水が78%、下水が74%に達している。その一

方で最近 Vivendi 社がプラハの上下水道会社 PVK の全株を購入していることから、じわじわとヨーロッパの市場を開拓していることがわかる<sup>9)</sup>。しかし、このような民営化によって地区間での水道水の価格、品質の格差が生じていることから、最近、政府でも水政策に関する検討を開始しはじめた。本件を担当するエコロジー・持続可能な開発を担当する大臣は、EUでの水枠組み取り決めを受けて、フランス国内の水政策について詳細に検討するため、全国的な討議を開催している。討議は、全国、地方レベルで、産・官のみならず一般市民も交えて、各団体、市民集会、インターネットを用いたアンケートなどによっても意見が収集される<sup>10)</sup>。

4-3

イギリス

イギリスでは古くからプールの殺菌に紫外線が使われていた。紫外線は、ウイルスに対する殺菌効果がほかの方法よりも強いために、小児麻痺の伝染予防として広まった。紫外線は残留性が全くなく、大腸菌、一般細菌、カビ、酵母、ウイルス等に有効であり、トリハロメタン等の有害物質の生成がないことから水質への影響もほとんどない。紫外線処理は、原水を装置内に通し、紫外線によって秒単位で殺菌処理する方法である。しかし、濁度のある水においては紫外線が透過しないために効果が無い。そこで塩素処理法が開発され、多くの国で使用されるようになったが、副生成物としてトリハロメタンの発生する弊害から、1960年代からは紫外線に加えてオゾンが使用されるようになった<sup>11)</sup>。

スコットランドの水道でクリプトスポリジウムが発生し、住民のみならず管理関係者も連絡体制の不備で大混乱に陥った。英国で

は、1989年までは10の水管理公社によって水事業は運営されてきたが、それ以降、設備投資の公的資金不足によって公社の事業の担当部分を民営化した。Thames Water (英) がこれら民営化された市場を占有していたが、2000年1月 RWE (独) に買収された。現在では民営化率はほぼ100%となっている<sup>12)</sup>。

4-4

オランダ

オランダには、KIWA 水質研究所があり、主に水を中心として環境・エネルギーに関する研究をしている。ここでは、飲料水や産業水の水質調査および管理、環境調査、水に関わる人材の調査、パイプライン設置などに関する事業および情報提供などを行っている<sup>13)</sup>。特に最近、国を挙げて水質向上に取り組んでいる。そういった中で、電気・ガス・水道サービスを事業としている Nuon 社は、米国の大手水サービス会社を2001年はじめに買収している。隣国フランスと同じような動きが見られる。

4-5

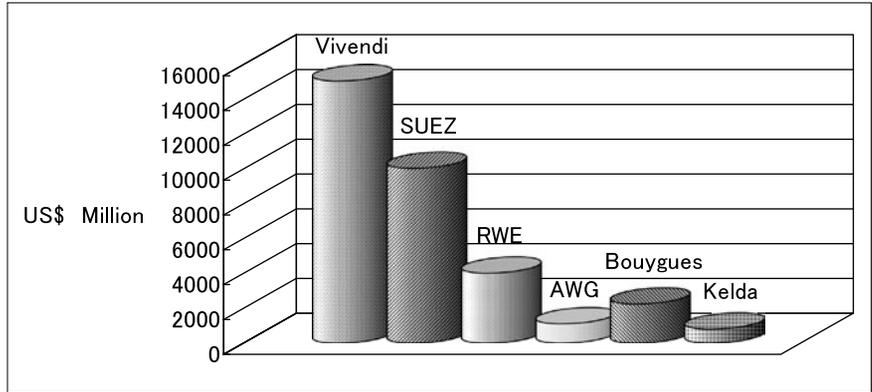
アメリカ

ヨーロッパよりもだいぶ遅く、アメリカにおいてオゾン使用に関するガイドラインを制定したのは1986年であった。アメリカでは、水質規制強化に伴う施設増強、老朽化施設の更新などの問題から、上下水道施設に対する資金と需要が増大していたが、1990年には連邦補助金が廃止されてしまったために、民間資金の活用を積極的に取り入れるようになった。1992年には公の施設に対し税の優遇措置が5年から20年となった。US フィルターは米国最大の水処理メーカーであったが、1999

年4月には Vivendi 社(仏)が 9,720 億円で買収した。また水処理薬品最大手である Nalco および米国2位の民間水道会社 United Water 社が、Suez(仏)によって 1999年6月に 6,120 億円で買収された。これは、ヨーロッパ勢によるアメリカ市場への参入を意味し、世界の水処理市場をも支配したことになる。事実、世界130カ国、3億6千万人の民営化上下水道市場において、Vivendi, Suez, RWE の仏・独3社で約80%のシェアを占有、急速に寡占化が進行している。図表7に各社別水処理事業の売上比較を示す。

公益事業への民間資金導入のための規制緩和により、民営化率は上水は35%、下水は28%となっている。また一方では水道事業民営化契約解消の問題が起きている。これは、実際アトランタ市で起こったもので、1997年には市は United Water 社と20年2,200万ドルで契約、公営時には5,000万ドルだった経費が、民営化によって2,800万ドルも節約された。ところが、実際事業を開始してみると、予想以上にひどい老朽化、不正確な統計数字での契約が数多く発見された。たとえば、メーター補修が1,200箇所といわれていたものが、実際は11,200箇所、本管破損は100

図表7 水処理会社の売り上げ



吉村氏からの提供資料

箇所といわれていたものが、実際280箇所、消火栓修理は730箇所が実際は1,630箇所、さらには労組対策や不払いが市の関連施設だけで500万ドルあったことから、2002年1月には United Water が施設の老朽化対策、そして契約内容違反から契約を解消してしまった。それによって、再公営化のための資金が4,800万ドルかかり、市と企業、両者にとっては大きな痛手となった。

最近米下院に上下水道プロジェクトに5年間で250億ドルを支出する法案が提出された。これは、上下水道の脆弱性評価および分析、インフラ資金不足を改善するための革新的な方法の検討、水源の保護、新汚染物質の規制およびインフラ整備などの項目も取り組まれている。また、高度処理技

術として使用している塩素に関して、殺菌剤/消毒副生成物規制などの項目も重点課題として提案されている。

最近、EPAのミーハン3世・水質担当長官補は、水を効率的に利用する製品を推奨する国のプログラムについてEPAが検討していることを公表した。今後10年間に、36を超える州で干ばつがなくても水不足が生じると予想されていることから、水不足には全国的な関心が集まっている。国のプログラムでは、節水型製品に関する情報を提供すること、より節水型の製品を生産するよう事業者を促すこと、卸売業者や小売業者による販売促進を推奨することなどにより、水利用の効率性の向上を目指す<sup>14)</sup>。

## 5. まとめ

日本は水質および水源には非常に恵まれ、水源や上下水管理などは十分行われていると信じられてきた。しかし、O157、クリプトスポリジウム、井戸水の有機塩素化合物やヒ素の混入、配管の老朽化による異物混入、塩素投入による副生成物の発生、トリハロメタンの発生など、上下水ともに処理管理プロセスを見直さなければならない問題が生じている。その他上下水道事業の諸問題として、老朽

化施設の改善、水質規制の強化による技術力の向上、経営効率の向上、情報開示の徹底、町村合併による広域化、不況による料金収入の伸び悩みなどがあげられる。また、土壌汚染による水質の低下や汚染も長い間指摘されている。平成14年度末現在の日本全国を対象にした下水道水環境保全率は、27.6%であり、最も値が高かったのが滋賀県の71.8%なのに対し、最も低かった群馬県は1.3%と、

地域によって相当な差がある状況となっている<sup>15)</sup>。水、と一言でいっても、水源、上下水、廃水、工業用水、井戸水、海湖沼水、河川などそれぞれの環境が異なるゆえに、問題解決のための議論は複雑化している。

水道処理技術は日々研究・開発されており、高度浄水処理の導入によって水質が向上したように、技術革新も進んでいる。同時にフランスからのISOの提案を受

け、世界標準化への取り組みが日本でも活発に議論されるようになり、水道事業サービスへの関心が高まっている。ISOの導入によって、水質管理がさらに一層向上するのであれば、安全な水の供給を求める視点からは望ましいことである。

ヨーロッパでは水事業の民営化が進み、サービスの向上とコストダウンに力を入れている。わが国においてもこれについて議論する時期が来ると考えられるが、前提としてアメリカの例に見られるように、水事業の実状が的確に把握されることが重要である。

一方、日本ではミネラルウォーターの需要の上昇に示されるように、国民の水に対するレベルが“飲める水”から“安全でおいしい水”へと要求が上昇してきている。

これらすべてを考慮すると、これからの水道処理技術に要求されることは、単純に飲める水を作る、廃水を処理するだけではなく、品質の向上を実現するとともに、日

本の風土に適する技術を確立していくべきである。そして総合的なサービスの向上に向けた技術革新を進めていくべきである。問題解決のために、高度処理システムを導入するだけではなく、水源のモニタリング、海外の技術や管理システムを導入するなど、国内のみならず常に世界の動向に目を向け、必要に応じて水循環を捉えて取り組むことが望ましい。

### 謝 辞

本稿は、国連テクニカルアドバイザーである吉村和就氏の当所内での講演を元に、取材を進め執筆いたしました。講演ならびに資料提供及び多くのディスカッションをしてくださった、同氏に多謝いたします。

### 参考文献

- 1) 日経エコロジー、2003年5月号、P38-41
- 2) <http://www.jousui.com/info/good-b2.html>

- 3) <http://www005.upp.so-net.ne.jp/wanatra/Nw3/26koudoshori.htm>
- 4) 財水道技術研究センター発行資料
- 5) 沖縄県企業局発行『北谷浄水場・高度浄水処理施設』より
- 6) クボタホームページ  
<http://www.kubota.co.jp/>
- 7) 伊藤泰郎著、オゾンの不思議―毒と効用のすべて ブルーバックス、講談社
- 8) 水道協会雑誌、第72巻8号 p88
- 9) Station d'epuration A LITS (Curiennes)
- 10) <http://www.environnement.gouv.fr/actua/com2003/juin/26-debat-eau.htm>
- 11) <http://www.senlights.co.jp/gijyutu/poolseries2.htm>
- 12) <http://www.envix.co.jp>
- 13) 「KIWA WATER RESEARCH」  
<http://www.kiwa.nl/en/home.asp>
- 14) <http://www.senlights.co.jp/gijyutu/pool3.htm>
- 15) [http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha03/04/040922\\_.html](http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha03/04/040922_.html)



## 科学技術動向研究センターとは

平成13年1月より内閣府総合科学技術会議が設置され、従来以上に戦略性を重視する政策立案が検討されています。科学技術政策研究所では、戦略策定に不可欠な重要科学技術分野の動向に関する調査・分析機能を充実・強化するため1月より新たに「科学技術動向研究センター」を設立いたしました。本センターでは、第2期「科学技術基本計画」に示されたライフサイエンス、情報通信等の重点分野の最新動向に係る情報の収集や今後の方向性についての調査・研究に、下図に示すような体制で取り組んでいます。

センターがとりまとめた成果は、適宜、総合科学技術会議、文部科学省へ政策立案に資する資料として提供いたします。

センターの具体的な活動は以下の3つです。

### 1

#### 「科学技術専門家ネットワーク」による科学技術動向分析

わが国の産学官の研究者を「専門調査員」に委嘱して（2002年度実績約2800人）、インターネットを利用して科学技術動向に関する幅広い情報を収集・分析する体制「科学技術専門家ネットワーク」を運営しています。このネットワークを通じ、専門調査員より国内外の学会、学術雑誌などで発表される研究成果、注目すべき動向や今後の科学技術の方向性等に関する意見等を広く収集いたします。

これらの情報に、センターが独自に行う調査・研究の結果を加え、

毎月1回、「科学技術動向」としてまとめ、総合科学技術会議、文部科学省を始めとした科学技術関係機関等に配布いたします。なお、この資料は <http://www.nistep.go.jp> において公開します。

### 2

#### 重要科学技術分野・領域の動向の調査研究

今後、国として取り組むべき重点事項、具体的な研究開発課題等を明確にすることを目的とし、重要な科学技術分野・領域に関するキーテクノロジー等を調査・分析します。

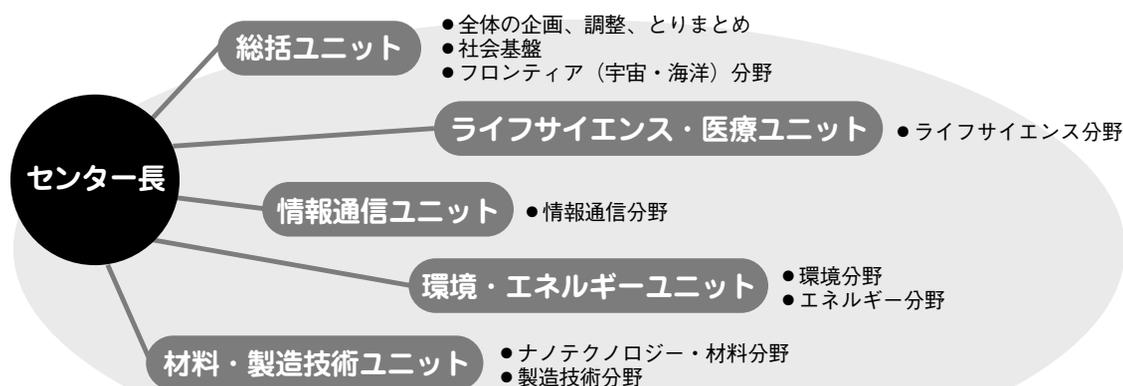
さらに、重要な科学技術分野・

領域ごとの科学技術水準を欧米先進国と比較し、わが国の科学技術がどのような位置にあるのかについての調査・分析も行います。

### 3

#### 技術予測に関する調査研究

当研究所では、科学技術の長期的将来動向を総合的に把握するため、デルファイ法による技術予測調査をほぼ5年ごとに実施しています。これは、今後30年間の重要技術を抽出して、重要技術の重要性評価や実現予測時期を分析するものであり、センターは、多くの専門家の協力により本調査を引き続き実施いたします。



\*それぞれのユニットには、職員その他、客員研究官（非常勤職員）を配置。

\*センターの組織、担当分野などは適宜見直しを行う。

---

# SCIENCE & TECHNOLOGY TRENDS

**October 2003**  
(NO.31)

## Science & Technology Foresight Center

National Institute of Science and  
Technology Policy (NISTEP)  
Ministry of Education, Culture, Sports,  
Science and Technology

※このレポートについてのご意見、お問い合わせは、下記のメールアドレスまたは電話番号までお願いいたします

なお、科学技術動向のバックナンバーは、下記の URL にアクセスいただき「報告書一覧 科学技術動向・月報」でご覧いただけます。

## 文部科学省科学技術政策研究所 科学技術動向研究センター

---

連絡先：〒 100 - 0013 東京都千代田区霞が関 1 - 3 - 2  
電話 03 - 3581 - 0605 FAX 03 - 3503 - 3996  
URL <http://www.nistep.go.jp>  
Email [stfc@nistep.go.jp](mailto:stfc@nistep.go.jp)

- ▶ Life Sciences
- ▶ Information & Communication Technologies
- ▶ Environmental Sciences
- ▶ Nanotechnology & Materials
- ▶ Energy
- ▶ Manufacturing Technology
- ▶ Infrastructure
- ▶ Frontier

Science & Technology Trends

科学技術動向

《2003年10月号》

文部科学省 科学技術政策研究所  
科学技術動向研究センター