

科学技術動向

科学技術動向研究

循環型社会に求められる
廃棄物の再生資源化技術

P.1

P.11

災害リスクガバナンスに基づく
防災研究の新たな課題

P.2

P.23

トピックス

ライフサイエンス分野

P.3

- 1 ヒトインフルエンザウイルスの易感染性要因の実験的証明
- 2 大学発のがん治療薬の研究成果に医師主導治験を実施

情報通信分野

P.5

- 3 高性能スーパーコンピュータ導入国のグローバル化

環境分野

P.6

- 4 国連環境計画(UNEP)が地球環境資源の過剰消費状況を警告

エネルギー分野

P.7

- 5 欧米における第二世代バイオ燃料の研究開発体制

ナノテク・材料分野

P.8

- 6 白金触媒を用いないヒドラジン燃料電池で高出力密度を達成

社会基盤分野

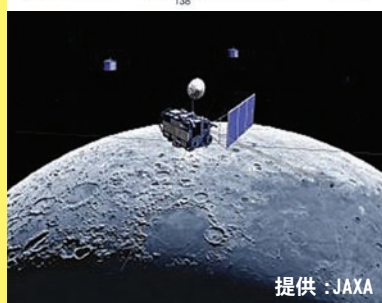
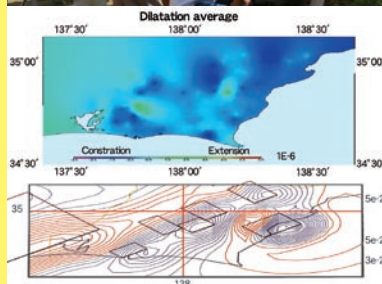
P.9

- 7 東海地震の発信源と見なされるアスペリティ4ヶ所を特定

フロンティア分野

P.10

- 8 月周回衛星「かぐや」による月の裏側の重力場の直接観測



提供: JAXA

循環型社会に求められる 廃棄物の再生資源化技術

環境への影響など多くの関心を集める廃棄物問題だが、廃棄物は日常生活にともない大量に発生し、建築・建造物に代表される膨大なストック物も最終的には廃棄物となることから現代の物質文明の一つの象徴といえる。1990年代後半に社会問題化した焼却によるダイオキシン類の生成と排出は、焼却処理要素技術の改善に直接的な影響を与えたほか、循環型社会の形成を進める一つの契機ともなった。循環型社会において、廃棄物の効率的な排除と処理・処分は安全で快適な社会の必須の都市サービスであり、第3期科学技術基本計画の重要な政策課題の一つとしても、環境と調和する循環型社会の実現が挙げられている。

近年のキーワードである3R (Reduce, Reuse, Recycle) を推進すると予想される技術は、温暖化防止を背景に、多様なエネルギー供給パスの確保を組み込んだ持続型社会の形成を実現させる技術である。原油の価格高騰や枯渇の懸念から化石資源への依存度を低減することの必要性が一層認識されるようになり、従来は効率の面から必ずしも注目されなかったバイオマス素材としても活用する、バイオマスエネルギーへの注目が高まっている。地球温暖化対策がすべての分野で急がれる今、バイオマスなどの利活用を推進し、二酸化炭素 (CO₂) の排出削減を進めることが急務である。バイオマスの多くは廃棄物系バイオマスであり、廃棄物処理に係わる側からの取り組みが求められる。さらに、資源の循環利用による天然資源の消費抑制にも大きな役割を果たす。すでに一部実用化している循環型社会に求められる廃棄物処理技術として、資源化を考慮した場合、循環利用率が比較的低い生ごみや食品廃棄物が一つの焦点となる。そこで注目されるメタン発酵では、ガスが回収された後に液状、固形状の残渣が生じるため処理・処分を環境上適正に行う技術的工夫が要求される。これについての改善があって初めて、環境配慮型の再生資源化技術になると言えよう。ガス化は熱分解によっても生じ、エネルギー利用などへの適用が可能な水素などの可燃性ガスを取り出すガス化改質技術プロセスが一部実用化まで至っているほか、高度化を目指す研究開発が進められている。さらに、超臨界・亜臨界技術を応用した、有機性の有機物回収やプロセスの高速化などに向けた検討も行われている。

廃棄物の再生資源化において再生のための技術とともに重要なことは、再生物が有効に利用されることである。すなわち利用先が確保されることによって初めて資源循環のサイクルが形成される。廃棄物は原料組成において均一でない。前処理工程を必要とし、処理後になお発生する残渣の処理・処分を含めた総合技術としなければ、環境技術として完結しない。よって、技術開発および政策に向けて以下の提言をする。

① 安全を含めた総合的な観点でシステム設計を行うべきであり、前処理や残渣処理などおよび安全への配慮を高めた総合システムであるべきことを認識する必要がある。② 処理とリサイクルの効率を考慮すべきであり、再生資源化に要するエネルギーとコストを見積もり適切な評価を行うよう誘導していくことが必要である。③ 再生物の利用拡大を図るべきであり、科学的に適正な安全性評価にたち、また利用面での制約をできる限り取り除いて再生・資源化物の用途を拡大するべきである。

災害リスクガバナンスに基づく 防災研究の新たな課題

我が国では、近年、想定外の地域で大きな被害をもたらす震災が頻発するとともに、東海、東南海、南海、南関東、首都直下型などの大規模地震リスクの切迫性が高まりつつある。気候変動に関する政府間パネル(IPCC)は、地球温暖化などの世界的な規模の気候変動を原因とする洪水や暴風雨の被害が増加するものと予測している。これらに加え、津波・高潮、火山、雪氷、竜巻等のリスクも避けて通れないものとして、地域によっては複合的な災害(マルチハザード)への対策が求められている。一方、急速に進みつつある少子・高齢化や地域コミュニティの脆弱化などの社会構造の変化は、上記の災害リスクの不確実性の高まりと相まって、既往の防災政策や防災戦略に大きな変革を迫っている。

災害リスクの不確実性および社会構造の変化を踏まえ、多元的ネットワーク(防災に関わる主体の多様性とその関係ネットワークの多元性を活かし不確実性に対処すること)や防災政策の包括性・統合性(個々の防災対策を包括的に捉え、防災以外の各種政策との関係を考慮して対策を統合化すること)の視点から現状の防災政策の課題および災害リスクマネジメントの転換が必要である。防災政策にイノベーションを誘発する新たな枠組みとして災害リスクガバナンスの概念を考えるべきである。災害リスクガバナンスは「多様な主体の社会的な相互作用(災害リスク情報に基づくリスクコミュニケーション)と社会ネットワークの形成による協働を通じて、災害リスクを協治すること」と定義される。災害リスクガバナンスを実現させるためには、①災害リスク情報の多元性と横断的共有、②多様な利害関係者による熟慮ある対話と討議に基づく社会的意思決定、③社会関係や私的インセンティブを活用した、社会の多様な組織や個人による水平的かつ非制度的な協働の仕組みの構築、の3つの要件が求められる。

災害リスクガバナンスに基づいて新たに、「社会科学融合減災技術」の研究開発が重要となる。具体的には、災害リスクガバナンスの3要件に対応し、①統合的リスク評価手法、②参加型災害リスクコミュニケーション手法、③包括的・統合的な防災対策や災害対応方策、④分散・相互運用型災害リスク情報プラットフォーム技術と社会的運用手法の研究領域を、重点的かつ一体的に推進すべきものと考えられる。

同研究開発は、早期に社会に還元されるべき社会的なミッションを有するイノベーション25に基づく「災害リスク情報プラットフォーム」の利活用研究と一体的に行われることが求められる。また、社会的なミッションを強く帯びた新たな研究開発の推進に際しては、研究開発型の独立行政法人や大学が主体となり、関連行政機関や地方自治体、企業、NPO、住民組織等とも密接に連携・協力して取り組むことが必要である。

ヒトの季節性インフルエンザは、北半球および南半球共に冬季に流行することが知られているが、その理由についての確認実験はなされていなかった。米国マウントサイナイ医科大学の研究者らは、2006年にモルモットを用いてヒトインフルエンザ感染モデルを確立し、今回さらに冬季の低気温や相対湿度の低下がウイルス感染を増長させることを実験的に証明したと、2007年10月19日版の PLoS Pathogens で発表した。温度については、低温で遥かに感染率が高く、湿度については、低湿度で感染率が高いという結果が得られ、冬季における低温や相対湿度の低下がインフルエンザの感染率を高める主要因であることが確認された。今後、地域的あるいは世界的な季節性インフルエンザ流行のメカニズムも解明され、有効な感染対策につながることを期待される。

トピックス / ヒトインフルエンザウイルスの易感染性要因の実験的証明

ヒトの季節性インフルエンザは、北半球および南半球共に冬季に流行することが知られている。その理由について、冬季においては室内などの狭い空間で人同士が接触する機会が増加すること、人の免疫力が低下すること、温度や相対湿度が変わること、紫外線量が低下すること等の諸説が挙げられているが、これらのいずれについても、その確認実験はなされていなかった。ヒトインフルエンザウイルスの個体間の伝播に関する実験は、これまで主にマウスを用いて行われてきたが、ウイルスの恒常的な伝播が起こらないなど、感染モデルとしては不十分なものであったため、感染伝播と周辺環境との因果関係については仮説の域を出なかった。

米国マウントサイナイ医科大学の研究者チームは、2006年にモルモットを用いた実験でヒトインフルエンザ感染モデルを確立し¹⁾、今回さらにこのモデルを用いて、冬季の低気温や相対湿度の低下が同ウイルスの感染を増長することを実験的に証明して、2007年10月19日版の PLoS Pathogens に発表した²⁾。

研究チームは、ヒトインフルエンザウイルス (Influenza A/Panama/2007/99 株) を用いて、経鼻感染させたモルモットの群と非感染の群をそれぞれの飼育箱に入れ、感染群から非感染群へ通気するように隣り合わせで7日間置き、その間に温度を5℃～30℃、相対湿度を20%～80%に変動させ、各状態で非感染群がどれだけ感染したか

を調べた。その結果、温度については、5℃の時の感染率が20℃および30℃の時と比較して遥かに感染率が高いことが明らかになった (湿度35%の場合、5℃および20℃では感染率100%に対して30℃では0%。湿度50%の場合、5℃では感染率100%に対して20℃では25%であった)。一方、相対湿度については、35%以下の低湿度の時が最も感染率が高かった (温度20℃の場合、湿度が20%～35%では感染率が100%であったのに対し、湿度50%では25%、湿度80%では0%であった)。研究チームはこれらの結果により、冬季における低温や相対湿度の低下が、インフルエンザの感染率を高める主要因であることが確認できたと述べている。また、温度あるいは相対湿度の変化がもたらす感染率の高低は、それぞれ別のメカニズムによるものであると推測しており、その解明には今後、気象データと合わせたヒトでの疫学調査を行うことが必要であると指摘している。

インフルエンザ流行の季節性は一般的に知られたことであり、経験的に環境温度や湿度を上げるなどの感染防止対策も採られている。本実験で易感染性の環境要因が確認されたことにより、今後、地域的あるいは世界的な季節性インフルエンザ流行のメカニズムも解明され、より有効な感染対策につながることを期待される。

(専門家ネットワーク 都河龍一郎氏の投稿による)

参 考

- 1) Lowen et al. The guinea pig as a transmission model for human influenza viruses. Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America. June 27, 2006. <http://www.pnas.org/cgi/reprint/103/26/9988>.
- 2) Lowen et al. Influenza virus transmission is dependent on relative humidity and temperature. PLoS Pathogens. October 19, 2007. http://pathogens.plosjournals.org/archive/1553-7374/3/10/pdf/10.1371_journal.ppat.0030151-L.pdf.

大阪大学微生物病研究所の目加田教授と福岡大学医学部の宮本准教授らは、2007年12月から、卵巣がんの新しい治療薬 CRM194 の医師主導治験を開始する。従来日本では、製薬企業主導治験のみであったため、採算面で問題がある場合などは治験が実施されなかったが、2003年からは医師主導治験により医師が主体で治験を実施し、医薬品の効果を確認できるようになった。卵巣がんは、抗がん剤がよく効くがんであるが、初期の自覚症状がないため来院したときは転移を伴っている場合が多く、新規抗がん剤の開発が求められている。目加田教授は、無毒化したジフテリア由来のタンパク質 CRM197 が卵巣がんの細胞増殖因子 HB-EGF を阻害して卵巣がんの増殖抑制を示すことを明らかにし、2004年からは CRM197 の卵巣がん治療薬の治験に向けての研究を実施してきた。医師主導治験制度下の初の大学発新薬が誕生するか注目される。

トピックス 2 大学発のがん治療薬の研究成果に医師主導治験を実施

大阪大学微生物病研究所の目加田英輔教授と福岡大学医学部の宮本新吾准教授らは、2007年12月から、卵巣がんの新しい治療薬の医師主導治験を開始する¹⁾。今回、大阪大学での研究成果、すなわち、卵巣がん患者に対して、ジフテリア菌由来のタンパク質 CRM197 (クリム 197) ががんの増殖を抑える効果があるのか等を、福岡大学病院で確かめることになった。抗がん剤などの既存の治療法では改善効果がみられない卵巣がん患者十数人が対象である。

治験とは、国の承認を得て医薬品の製造や販売等をするために必要なデータを集める、人を対象にした臨床試験である。これまで日本では、製薬企業主導の治験（治験依頼者が企業、実施者が医療機関）のみであったが、薬事法の改正により、2003年から医師・医療機関が主体となって実施する医師主導治験が開始された。

このケースは、基礎研究から開発に向けての全ての段階を大学中心で実施しており、これが、新制度の医師主導治験において、初の「大学発新薬」となるかという点が注目される。

医師主導治験は、国内や海外の最先端医療の新規治療法などや、海外ではすでに使用されている医薬品であっても国内での採算性や実施の困難さなどで、製薬企業が治験を行えない場合に、医師自ら治験を実施し医薬品の効果を確認できるという点に大きなメリットがある。その結果として、海外で先行して使用されている医薬品の日本への導入時期を早め、患者数の少ない医薬品や最先端技術を用いた治療法などの開発を推進できると考えられる。

我が国の卵巣がんの罹患率は、1975年以降緩やかな増加傾向にあり、年齢別では40歳代から増加し、50歳代前半でピークとなりその後横ばいになり、80歳以上でまた増加する²⁾。罹患率は同じ婦

人科がんの乳がんよりも低い。しかし、卵巣は腹部にあるので腫瘍ができて初めはほとんど自覚症状が無く、患者の三分の二以上は転移した状態で初めて病院を訪れるという²⁾。そのため有効な治療として、外科手術に加えて抗がん剤による治療が必須となっている。

卵巣がんは抗がん剤が比較的によく効くと言われているが、がんの転移や再発などで長期の使用をすることにより、抗がん剤に耐性を示すがん細胞が出現し、抗がん剤が効かなくなることが起こる。そのため、新規の抗がん剤の継続的な開発が強く求められている。

目加田教授らは、卵巣がんの増殖に、細胞の増殖因子 HB-EGF が重要な役割を果たしていることを発見し、HB-EGF を卵巣がんの標的にした医薬品の開発を目的とした基礎研究を続けて来た。その研究過程において、ジフテリア菌の生産する毒素を無毒化したタンパク質 CRM197 が、HB-EGF に結合して増殖活性を阻害することを見出した。さらに、ヒト卵巣がん由来の細胞を接種して腫瘍を形成したマウスに対して、CRM197 が顕著な腫瘍の増殖抑制を示すことを明らかにした。

これらの成果により、「革新的ながん治療法等の開発に向けた研究の推進—がんトランスレーショナル・リサーチ事業の推進—（文部科学省）」に、目加田教授をプロジェクトリーダーとする研究課題が採択（2004～2008年度実施）され、CRM197 が実際に卵巣がん治療薬として使用できるかどうかを明らかにする研究が行われてきた。

平成19年度からの治験開始は当初の目標通りであり、治験実施において重要な CRM197 の製剤化は、ワクチン製造の実績のある財団法人阪大微生物病研究会が協力した。

参 考

- 1) 「阪大発新薬、医師主導治験を実施へ——福岡大と、卵巣がん向け」日本経済新聞（2007年11月23日朝刊）
- 2) 国立がんセンター がん情報サービス (<http://ganjoho.ncc.go.jp/public/cancer/index.html>)

現在の世界のスーパーコンピュータの性能の順位を示す TOP500 リストが、2007 年 11 月 12 日、米国ネバダ州レノ市で開催されたスーパーコンピュータに関する国際学会 SC07 で発表された。前回リスト（第 29 回：6 ヶ月前）との性能値比較では、1 位が約 1.7 倍、500 位も約 1.5 倍に向上している。今回リストでは、上位 10 位までに新たな 5 システムがランク入りし、5 位以内に欧州やアジアからの新システムが初めてランク入りするなど、上位の様相が大きく変化した。2 位のドイツ、4 位のインド、5 位のスウェーデンのシステムは、初めての TOP500 登場で 5 位以内に入った。近年、5 位以内に米国以外のサイトがこのように多く登場した例は無く、6 ヶ月前の前回リストでは米国が上位 5 位までを独占していた。

トピックス 3 高性能スーパーコンピュータ導入国のグローバル化

現在の世界のスーパーコンピュータの性能の 500 位までの順位を示す TOP500 リストの最新版（第 30 回）が公開された¹⁾。今回は、上位 10 位以内に新たな 5 システムがランク入りした。また、これまで米国に独占されていた 5 位以内に欧州やアジアからの新システムがランク入りし、上位の様相が大きく変化した。前回リスト（第 29 回：6 ヶ月前）との性能値比較では、1 位が約 1.7 倍（第 29 回の前回比は 1 倍）、500 位も約 1.5 倍（第 29 回の前回比も 1.5 倍）に向上している。

TOP500 リストは、リンバックベンチマーク^注性能に基づいたもので、必ずしも実際の動作環境でのシステム性能を反映しているとは言えないが、世界のスーパーコンピュータの導入動向を知る指標として多用されている。1993 年 6 月以降、毎年 6 月と 11 月に発表されている。今回の第 30 回目のリストは、2007 年 11 月 12 日に米国ネバダ州レノ市で開催されたスーパーコンピュータに関する国際学会 SC07 で発表された。

今回、上位 5 位入りしたシステムとその性能を見ると（右図）、2 位にドイツ、4 位にインド、そして 5 位にスウェーデンのシステムが入っている。これら 3 つのスーパーコンピュータは、いずれも今回初めて TOP500 リストに登場したものである。近年では 5 位以内に米国以外のシステムがこのように多く登場した例はなく、前回リストでは米国が上位 5 位全てを占めていた。

2 位のドイツのユーリッヒ研究所は国立のスーパーコンピューティングセンターで、第 28 回リストで 13 位であった既存システムも保有している。今回のシステムは既存システムとは別の追加導入であり、汎ヨーロッパでの共同使用も計画されている²⁾。

4 位のインドのタタ・サンズ社のシステムも初めての高ランク入りであり、現在のアジアのシステムでは最高位になる。過去には 5 位以内に日本以外のアジア勢が登場することは無かった。インドは 2003 年 6 月以降にこのリストに登場しているが、最高位でも 88 位（2005 年 6 月）にとどまっ

ていた。しかし今回、リスト内に登録されたシステムの性能を合計すると、インド全体として前回から約 4 倍に増強されていることになる。4 位のシステムの使用目的としては、短期的にはニューラルシミュレーション、分子シミュレーション、流体力学、衝突シミュレーション、デジタルメディア関係などの研究開発を、長期的にはファイナンスモデルリング、地球物理信号処理、天気予測、医学画像、ナノ技術、ドラッグデリバリーなどの研究開発をターゲットにしている³⁾。

5 位のスウェーデンのシステムは政府機関が保有し、防衛用途に用いられるとある¹⁾。

なお日本は、東京工業大学の GSIC Center（56.4 TFLOPS）が 16 位にランクされているものが現在の最高位である。

TOP500 リスト上位 5 位のシステムと性能

順位	設置機関と所有国	性能 (TFLOPS)
1 位	DOE/NSA/LLNL, United States	478.2
2 位	Forschungszentrum Juelich (FZJ), Germany	167.3
3 位	SGI/New Mexico Computing Applications Center (NMCAC), United States	126.9
4 位	Computational Research Laboratories, TATA SONS, India	117.9
5 位	Government Agency, Sweden	102.8

（網かけは米国外）

出典：参考文献¹⁾

注 リンバック (LINPACK : LINEar equations software PACKage) ベンチマーク：主に浮動小数点演算のための連立一次方程式の解法プログラムであり、これによるベンチマークテスト結果は、スーパーコンピュータからワークステーション、パーソナルコンピュータに至るまで数多くの計算機にわたり登録されている。測定結果は 1 秒あたりの浮動小数点演算数として表示される。

資 料

- 1) <http://www.top500.org/>
- 2) <http://www.fz-juelich.de/portal/index.php?index=721&cmd=show&mid=537>
- 3) http://www.tata.com/tata_sons/releases/20071113.htm

国連環境計画 (UNEP) は 10 月 25 日、地球環境アウトルックの最新版 (GEO-4) を発表した。土壌劣化、生物多様性の損失、水や漁業など地球環境資源の過剰消費に関する惨状がより鮮明になり、これらが気候変動問題以上に強い論調で警告されている。特に人間の生活を支えるために必要な地球環境資源量の要求量が、地球の生物学的供給限界の 1.39 倍に達しており、社会システムや経済構造について、ライフスタイルの変化を含めた根本的な変革を必要としている。GEO-4 により、これまでの気候変動問題中心の議論から、より包括的な地球環境問題へと議論が広がるきっかけになるものとして注目されている。

トピックス 4 国連環境計画 (UNEP) が地球環境資源の過剰消費状況を警告

国連環境計画 (UNEP: United Nations Environment Programme) は、地球環境アウトルック (Global Environment Outlook) の最新版 (GEO-4) を、10 月 25 日、ナイロビとニューヨークで発表した¹⁾。

GEO-4 は、約 390 人の専門家による執筆とそれ以外の 1000 人以上のレビューを経てまとめられたものであり、環境問題全般に関する国連の報告書として最も包括的なものと位置づけられている。2002 年に発表された GEO-3 との違いは、土壌劣化、生物多様性の損失、水や漁業など地球環境資源の過剰消費に関する惨状がより鮮明になり、これらが気候変動問題以上に強い論調で警告されている点である。GEO-4 では、気候変動についてはもちろん最優先で取り組むべき問題であるが、もはや政治的な意思決定とリーダーシップによる政策議論へ移行したとされている。これは、気候変動に関する政府間パネル (IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change) が、地球温暖化問題が人為的活動に起因するものとほぼ断定したことを受けている。なお、温室効果ガスの削減目標と気候変動への適応に関するアプローチについては、国連開発計画 (UNDP: United Nations Development Programme) から新たな枠組みが提唱されている²⁾。

GEO-4 によれば、人間一人当たりの生活を支えるために必要な地球環境資源量 (フットプリント) の現在の要求量は 21.9 ヘクタール / 人であり、この数字は地球の生物学的供給限界である 15.7 ヘクタール / 人の 1.39 倍に達している。したがって、社会システムや経済構造について、ライフスタイルの大胆な変化を含めた根本的な変革が必要な事態であると強調している。

水についてもいくつかの過剰消費状況が指摘されている。現在利用可能な水源のうちの約 70% は灌漑に利用されているが、飢餓対策として将来必要な食料生産量 (2050 年までに倍増) を鑑みれば、灌漑利用水の増加に伴って水源が逼迫する。飲み水については、発展途上国で 2025 年までに 50% の使用増加が見込まれており、これに対応していくための社会的負担がますます上昇する。水質に

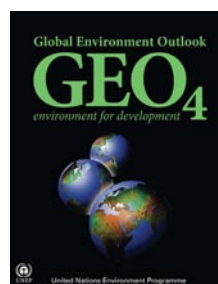
ついては、微生物病原体や過剰な栄養分で汚染された水の摂取が改善されずに病気や死につながる問題がより深刻になると懸念されている。

生物多様性における現在の絶滅危機は、生物誕生以来 6 度目のピークにあたるが、人為的活動に起因する点が過去 5 回との違いである。今回の絶滅速度は最速で、化石に残された過去の記録と比べ約 100 倍の速さである。現在、脊椎動物のグループのうち、30% 以上の両生類、23% の哺乳類、12% の鳥が、絶滅の危機に瀕している。生態系への外来種の侵入も、問題が大きくなっている。例えば、偶然に船で持ち出されたクラゲが別の海域の生態系に侵入し、商業的漁場を壊滅させた例などが報告されている。

食料問題だけでなく生物多様性にも関わる問題として、魚の乱獲が強調されている。世界の魚の消費量は 1961 年から 2001 年までに 3 倍以上になったが、漁獲量は 1980 年代から停滞、あるいは減少傾向にある。世界の漁業はこれまでの各国の助成金政策によって過剰な漁獲能力を保有しており、持続可能な漁獲量に対して 250% の過剰率であると見積もられている。

GEO-4 は、これまでの気候変動問題中心の議論から、大気、生物多様性、土地利用、水や漁業資源など、より包括的な地球環境問題へと議論が広がるきっかけになるものと考えられ、その点において注目される報告書である。

GEO - 4



出典：参考資料¹⁾

参 考

- 1) 国連環境計画 (UNEP) GEO ホームページ資料：
<http://www.unep.org/GEO/index.asp>
- 2) 国連開発計画 (UNDP) 「人間開発報告書 2007/2008」資料：
<http://www.undp.or.jp/hdr/pdf/release/2007-2008.pdf>

米国エネルギー省 (DOE) は、2007年10月にバイオエネルギー研究3拠点の具体的体制を明らかにした。今後5年間に総額4億ドルの研究資金を投入し、セルロースからのバイオ燃料変換技術の基礎研究を加速する計画である。一方、欧州委員会は、第7次欧州フレームワーク計画におけるバイオ燃料の戦略的基礎研究を推進すべく、2007年11月に戦略的研究アジェンダを公表した。このアジェンダは産学官の関係者が多数参画するバイオ燃料テクノロジープラットフォームによって作成され、各国の研究開発プログラムとの整合も図られている。

トピックス 5 欧米における第二世代バイオ燃料の研究開発体制

食料と競合しないセルロース原料からの効率的なバイオ燃料変換技術 (第二世代バイオ燃料) の研究開発投資が世界的に活発化している中で¹⁾、米国と欧州から相次いで具体的な計画が発表された。

米国エネルギー省 (DOE) は、セルロースからの効率的なバイオ燃料変換技術の研究開発を加速する目的で、2006年8月にバイオエネルギー研究拠点構想を発表したが、公募の結果、3拠点が選定された。このほど2007年10月に、具体的な体制が明らかにされ (図表1)、全体で、18大学、7国立研究所、民間企業等が参画することとなった。セルロース原料となる植物としては、スイッチグラス、ポプラ、トウモロコシ茎・藁を想定し、分子生物学的アプローチによる植物体構造の解明と糖質転換可能な品種改良、ゲノミクス研究によるセルロース分解酵素 (セルラーゼ) などのテーマに絞った基礎研究に、今後5年間で約4億ドルの研究資金が投入される。

米国では「10年後の2017年までにガソリン消費量を20%削減する」という目標を達成するために、2012年までにガソリンと価格競争力のあるセルロース系エタノール等の第二世代バイオ燃料の実現が求められている。これに対応してDOEでは、「Multi-Year Program Plan」を公表し、選定された3拠点を中心に、基礎研究を加速する計画である。

一方、欧州委員会は、世界的なコスト競争力を持つ欧州産業の確立を目指した「バイオ燃料のためのEU戦略 (2006年4月)」に基づき、2007年11月に戦略的研究アジェンダを公表した³⁾。第7次欧州フレームワーク計画 (FP7:2007~13年) では、第二世代バイオ燃料変換技術が優先課題の一つにあげられており、戦略的基礎研究推進スキーム「ジョイントテクノロジーイニシアチブ」の環境として、バイオ燃料テクノロジープラットフォー

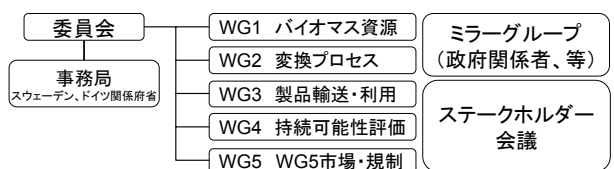
ム (バイオ燃料 TP) が、このアジェンダを作成した。バイオ燃料 TP は、スウェーデンとドイツのエネルギー関係省庁を事務局とする委員会と5つの個別テーマを検討するワーキンググループで構成されている (図表2)。大学・公的研究機関に加え、自動車、石油、林産等の欧州主要産業やNPOなど、産学官の幅広い関係者が参画し、その数は大学21、公的研究機関34、民間企業79、その他1である。欧州では、「ERA-NET Bioenergy」と呼ばれるコンソーシアムを通じ、各国独自の研究開発プログラムと、上述のアジェンダとを整合化させる工夫もなされている。

図表1 米国バイオエネルギー研究センター概要

	Bioenergy Science Center (BESC)	Great Lakes Bioenergy Research Center (GLBRC)	Joint Bioenergy Institute (JBEI)
所在	テネシー州 オークリッジ	ウィスコンシン州 マジソン	CA州 サンフランシスコ
中心機関	オークリッジ国立研究所	ウィスコンシン大学	ローレンスバークレー国立研究所
共同研究機関	ジョージア工科大学、ジョージア大学、テネシー大学、ダートマス大学、Samuel Roberts Nobel 財団、ブルックスヘブン国立研究所、国立再生可能エネルギー研究所、ArborGen, Diversa Co., Mascoma Co.	ミシガン州立大学、フロリダ大学、イリノイ州立大学、アイオワ州立大学、オークリッジ国立研究所、パンフィックノースウェスト国立研究所、Lucigen Co.	スタンフォード大学、UCバークレイ校、デービス校、サンディエゴ国立研究所、ローレンスリバモア国立研究所
概要	スイッチグラスとポプラを対象に、分子生物学的アプローチで、容易に糖質転換可能な植物細胞膜を有する植物と最適酵素開発	トウモロコシ茎・藁、スイッチグラス・ポプラを対象に、ゲノミクス研究 (遺伝子・タンパク質構造・代謝解析) と全体システム評価 (持続可能性、経済性、教育システム)	(短期) セルラーゼ、微生物エタノール耐性、リグノセルロース合成解明 (中期) 細胞膜合成酵素解明 (長期) 単一反応器での燃料生産
備考	州政府6500万ドル負担 民間等1200万ドル負担	州政府1億ドル負担	

出典：参考文献²⁾

図表2 欧州のバイオ燃料テクノロジープラットフォーム



出典：参考文献³⁾

参 考

- 1) 科学技術動向 2007年6月号「エネルギー資源作物とバイオ燃料変換技術の研究開発動向」：
http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt075j/0706_03_featurearticles/0706fa01/200706_fa01.html
- 2) DOE プレスリリース：
http://www.sc.doe.gov/News_Information/News_Room/2007/Bioenergy_Research_Centers/index.htm
- 3) 欧州委員会バイオ燃料TPホームページ：<http://www.biofuelstp.eu>

固体高分子形燃料電池 (PEFC) は、現在、最も実用化に近い燃料電池システムとして実証試験の段階にある。しかし、水素イオン伝導形の PEFC では、電解質膜が強酸性のため、電極触媒には耐触性に優れた白金しか使えない。今回、白金を電極触媒に使用しない PEFC において、水素燃料電池並みの出力が達成された。この燃料電池は、ヒドラジン (N_2H_4) を燃料とし、安価な電極触媒として燃料極側にニッケル、空気極側にコバルトを使用できる。ヒドラジンを大量生産する場合は、窒素と水素から直接合成して生産コストを低減できる可能性がある。電池の性能と耐久性のさらなる向上などの課題はあるが、水素燃料電池より安価で安全性の高い燃料電池として実用化が期待される。

トピックス 6 白金触媒を用いないヒドラジン燃料電池で高出力密度を達成

固体高分子形燃料電池 (PEFC) は実証試験の段階にあり、現在のところ、最も実用化に近い燃料電池システムとされている。従来から研究開発が進んでいる水素イオン伝導形の PEFC では、電解質膜が強酸性であるため、電極触媒材料には耐触性に優れた白金しか使えない。水素を燃料とする燃料電池では、水素の製造過程で多量のエネルギーを消費する問題もあり、一方、水素以外の改質ガスを燃料とするシステムでは一酸化炭素による電極触媒の性能低下が起こるなどの問題がある¹⁾。

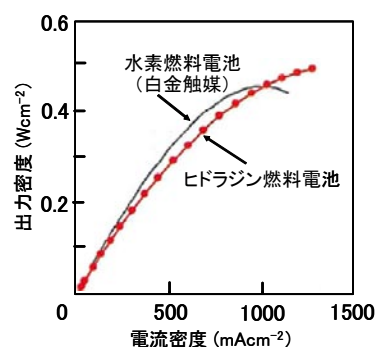
ダイハツ工業(株)は、(独)産業技術総合研究所と協力して、ヒドラジン (N_2H_4) を燃料とし、電極触媒材料として白金を使用しない PEFC において、水素を燃料に使った PEFC 並みの出力を達成した²⁾。このヒドラジン PEFC では、カチオン (水素イオン: H^+) ではなく、アニオン (水酸基イオン: OH^-) を伝導する電解質膜が使われ、 OH^- が空気極から燃料極に伝導して起電力が生じる。アルカリ性電解質膜を用いることによって、白金より安価な電極触媒として燃料極側にニッケルを、空気極側にコバルトを使用することができる。この他、セパレータなどの構成部材にも安価な材料を用いることができる。性能試験では、最大出力密度は $500\text{mW}/\text{cm}^2$ であり、水素燃料電池並みの出力を達成した (図表)。可燃性の高いヒドラジンを利用する際の安全性を確保するため、ヒドラジン水溶液である水加ヒドラジン ($\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) を燃料に用いている。水加ヒドラジンは濃度 80 質量% 以上で危険物第 4 類第 3 石油類に指定される物質であるが、ここでは濃度を 5 質量% に抑えている。さらに安全性を高めるため、燃料タンク内ではこれを固体化させておき、燃料電池の発電時には、再度、適量の液体に戻して供給できるシステムを開発した。

ヒドラジン燃料電池の理論起電力は 1.56V と、水素燃料電池のその 1.23V に比べて 25% 以上も高く、今後さらに出力密度の向上が可能である。将来、ヒドラジンを大量生産する場合は、窒素と

水素から直接合成する方法により生産コストを下げる必要がある。一方、ヒドラジンを燃料に使う場合の炭酸ガス排出負荷も水素を製造する方法に依存することになるため、炭酸ガス削減効果は水素燃料電池と大きくは違わないと見積もられている。今後、水素燃料電池より安価で安全性の高い燃料電池として実用化が期待される。

本 PEFC の研究開発課題としては、燃料を固体化させるポリマーの性能向上、電池の性能と耐久性のさらなる向上などがある。しかし、資源の安定供給に不安のあるレアメタル³⁾である白金を電極触媒に使用しないことは大きな特長である。水素燃料電池に比べて、大幅なコスト削減のポテンシャルがあると考えられる。

固体高分子形燃料電池出力の比較



参考資料²⁾ の掲載図を改変

注 ヒドラジン：アンモニア原料から造られる無色透明の、水に溶けやすく、引火しやすい液体燃料。人工衛星や宇宙探査機の姿勢制御用の燃料として使われている。

参 考

- 1) 科学技術動向、2007年7月号、No.76、p.10
- 2) <http://www.daihatsu.co.jp/wn/070914-1f.htm>
- 3) 科学技術動向、2007年10月号、No.79、p.25

東海地域は、前兆現象である地殻やプレートの動きを数mm単位で把握可能な世界最高水準の観測網が整備されている。(独)防災科学技術研究所の松村正三研究参事は、静岡大学理学部の里村幹夫教授らの協力により、東海地震の震源域内で強い地震を引き起こすとされるアスペリティ(固着域)が静岡県中西部に4ヶ所あることを初めて特定し、2007年10月26日、仙台国際センターで開催された(社)日本地震学会秋季大会で発表した。アスペリティ周辺に予知状況監視をより集中させることにより、東海地震の効果的な防災対策を行う上でより実践的な道筋を示すことが期待される。

トピックス 7 東海地震の発震源と見なされるアスペリティ4ヶ所を特定

1976年に(社)日本地震学会で東海地震発生の可能性が言及された研究発表を契機として、1978年に地震予知と地震による災害防止・軽減を目的に「大規模地震対策特別措置法」が施行された。その後、東海およびその周辺地域の地震予知のために気象庁、(独)防災科学技術研究所、国土地理院、(独)産業技術総合研究所、静岡県、東京大学、静岡大学などが協力して、地震計や体積歪み計、GPSなどの観測機器類を設置し、地殻やプレートの動きを数mm単位で把握することが可能な、世界最高水準の前兆現象の観測網が整備されてきている。

(独)防災科学技術研究所の松村正三研究参事は、静岡大学理学部の里村幹夫教授らの協力により、東海地震の震源域内で強い地震を引き起こすとされるアスペリティ(固着域)が、静岡県中西部に4ヶ所あることを初めて特定し、2007年10月26日、仙台国際センターで開催された(社)日本地震学会秋季大会で発表した。

アスペリティとは「突起」を表す言葉で、地震学では「固着域」などと呼ばれ、陸側プレートと海側プレートの境界面がしっかりとくっついている領域である。常時はプレート間に働くずり応力に抵抗しエネルギーを蓄積しているが、ずり応力がある大きさを超えると、この部分が大きくずれて地震波を発生させる。このアスペリティ位置の特定が可能となれば、地震発生の確率が高い場所を予知できるため、防災対策上有効となる。

里村教授らは、2004～2006年の間にGPS大学連合^{注1)}が展開してきた稠密GPS観測網とGEONETによる全地球測位システム(GPS)観測網による観測データを解析して、地表の収縮・膨張変動による面積歪パターン(図表1)を求めた。

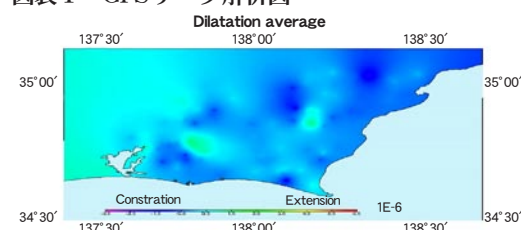
一方、松村研究参事は、想定震源域のうち、浜名湖周辺で2000～2005年に一時的なスロースリップ^{注2)}(マグニチュード7.2弱相当)が起き、静岡県中西部のアスペリティ内で、このスロースリップによる付随した準静的滑りが発生して、周辺に応力が集中したと推定した。想定震源域内で発生したマグニチュード1.5以上の地震数を、

1996年以前の10年間と、スロースリップが起きた期間を含む1999年以降の5年間について比較したその結果、静岡市中部、焼津市、榛原郡川根町、天竜川河口周辺の4ヶ所の領域600～700km²でのアスペリティ境界面を挟んだ上下のプレート内領域で、地震数は1.5～3倍に増加し、その他の領域では5～8割程度に減少していたことをつきとめた。

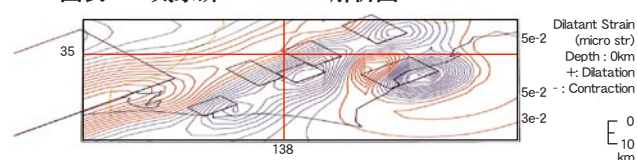
また、一般に地下のプレート間が滑ると地表にゆがみが生じ、膨張や収縮が発生するとされている。松村研究参事は地震活動変化に基づいた推定アスペリティ4ヶ所のスリップベクトルなどを、気象研MICAP-G^{注3)}を用いたモデルに組み入れて解析した面積歪パターン図(図表2)を求めたところ、図表1とほぼ一致した。このことから、地殻変動と地震活動という独立した観測結果より、4ヶ所のアスペリティの存在が裏付けられた。

アスペリティ周辺に予知状況監視をより集中させることにより、東海地震の効果的な防災対策を行う上でより実践的な道筋を示すことが期待される。

図表1 GPS データ解析図



図表2 気象研 MICAP-G 解析図



松村研究参事が地震活動変化から推定したアスペリティと浜名湖北西部のスロースリップ(表紙カラー図参照)

提供：(独)防災科学技術研究所

注1：全国の大学の地殻変動研究者で構成された組織

注2：地震動を伴わないゆっくりとした地殻変動

注3：気象研究所が開発した地殻変動解析ソフトウェア

月周回衛星「かぐや (SELENE)」が月の裏側の重力場の直接観測に世界で初めて成功した。月は自転周期と公転周期が同期しているため、地球に対する月の表裏は固定されており、一般に、衛星が月の裏側にいる時はその運動を地上から観測することができない。そのため、月の裏側の重力場について、従来の観測では十分な精度が得られなかった。「かぐや」では、極軌道(高度約100km)で月を周回する主衛星が月の裏側にいる時、楕円軌道(遠月点高度約2400km×近月点高度約100km)で月を周回する子衛星「おきな」が、地上の臼田宇宙空間観測所(長野県佐久市)と主衛星との間の信号を中継する「4ウェイドップラー観測」と呼ばれる手法を用いて、月の裏側の重力場データを取得する。「かぐや」は月表面の元素分布、地形・表層構造、重力場、磁場等を詳細に観測する計画で、月の裏側の地下構造のほか、月の誕生と進化などのさまざまな科学的謎が解明されるものと期待される。

トピックス 8 月周回衛星「かぐや」による月の裏側の重力場の直接観測

2007年11月12日、(独)宇宙航空研究開発機構(JAXA)は、月周回衛星「かぐや (SELENE)」が月の裏側の重力場の直接観測に世界で初めて成功したと発表した。

地球や月の重力場は、極軌道等を周回する衛星の運動を観測することで推定できる。周回衛星の軌道は楕円軌道で近似できるが、地下の物質の密度分布が一様でないため、衛星の軌道は楕円からずれ、このことから、重力場を求めることができる。

月は自転周期と公転周期が同期しているため、地球に対する月の表裏は固定されており、一般に、衛星が月の裏側にいるとき、地上から衛星が見えなくなってしまう、その運動を観測することができない。従来は、月の裏側の重力場について、衛星が表側にいる時の観測データのみから求めていたため、十分な精度が得られなかった。

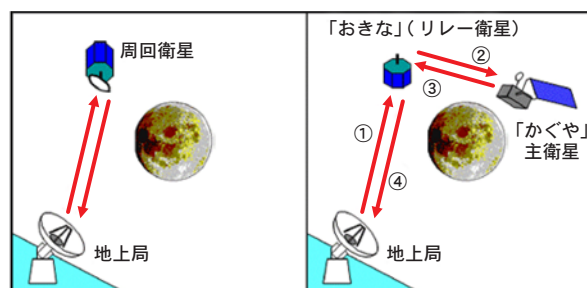
極軌道(高度約100km)で月を周回する「かぐや (SELENE)」主衛星が月の裏側にいる時、楕円軌道(遠月点高度約2400km×近月点高度約100km)で月を周回する子衛星「おきな」(リレー衛星)が、地上の臼田宇宙空間観測所(長野県佐久市)と主衛星との間の信号を中継する「4ウェイドップラー観測」(図表参照)と呼ばれる手法を用い、地上局が送信し、主衛星が折り返し送信してきた信号が、主衛星の運動のため、元々の周波数からずれること(ドップラーシフト)を利用して、主衛星の軌道を決定することにより、月の裏側の重力場が求められる。なお、「おきな」は2007年10月9日、主

衛星から分離され、また「かぐや」主衛星は10月18日、高度約100kmの周回軌道に投入された。

月は、海と呼ばれる平らな地形が表側だけに広く分布しており、月の表側と裏側とでは表面の構造に大きな違いがある。「かぐや」によって月の裏側の重力場が直接観測できるようになったため、月の裏側の地下構造の解明にも着手できる。

「かぐや」は、ハイビジョンカメラによる月面の撮影にも成功し、その後、ハイビジョンカメラによる「地球の出」、「地球の入り」の撮影にも成功している。「かぐや」は、今後、月表面の元素分布、地形・表層構造、重力場、磁場等を詳細に観測する計画である。取得された観測データから、月の誕生と進化等のさまざまな科学的謎の解明がなされるものと期待される。

「かぐや」の4ウェイドップラー観測



出典：JAXA

参 考

- 1) 「月周回衛星『かぐや (SELENE)』による月の裏側の重力場の直接観測について」
(<http://www.isas.jaxa.jp/j/topics/topics/2007/1112.shtml>)
- 2) 「月の重力場地図を作る」(<http://www.isas.jaxa.jp/j/forefront/2005/iwata/index.shtml>)

循環型社会に求められる 廃棄物の再生資源化技術

川本 克也
客員研究官

1 はじめに

第3期科学技術基本計画の重要な政策課題の一つに、環境と調和する循環型社会の実現が挙げられている。近年多くの関心を集める廃棄物問題もまた、循環型社会と密接不可分の関係にある。

廃棄物は、さまざまな社会の活動および人の日常生活における物の流れにともなって大量に発生する。その効率的な排除と処理・処分は近代における必須の都市サービスであり、時代の変遷とともに主たる目的を公衆衛生の確保、環境の保全、循環型社会の形成というように変えてきた。また、我が国の年間物質収支(2004年度)からは、19億トン強にのぼる物質投入のうち約半分の量が建物やインフラ施設として蓄積すると推定

されている¹⁾。このようなストックの典型である建築・都市構造物なども、いずれは廃棄物化する。

3R (Reduce, Reuse, Recycle) という概念で第一優先となる廃棄物の発生抑制は、ものの流れの言わば上流側での対応であり、廃棄物対策の基本である。一方で、生活や生産活動から日々排出される廃棄物の処理を進めることと同時に、物質やエネルギーの再生を図り、これらを両立させる下流側での対応も循環型社会の形成において重要である。発生抑制とともに再利用・再生利用を並行させた取り組みが現実的と思われる。

また、地球温暖化対策がすべての分野で急がれる今、バイオマスなどの利活用を推進し、二酸化炭

素(CO₂)の排出削減を進めることが急務である。我が国の場合、バイオマスの多くは廃棄物系バイオマスであり、廃棄物処理に係わる側からの取り組みが求められる。さらに、資源の循環利用による天然資源の消費抑制も大きな役割を果たす。

このような状況を踏まえて、本稿では、循環型社会の形成・実現という命題を与えられたときに廃棄物処理にどのような展開の方向性があり、実際にどのような事例が現れているのかをみることによって、近未来の廃棄物再生資源化技術を考えるとともにそれにともなう課題を述べる。

2 廃棄物とその処理技術の変遷

2 - 1

量と質の変化

(1) 廃棄物とは

廃棄物とは不要物または汚物と定義されるが、具体的には工業製品や農産物などの「もの」であり、物質である。廃棄物の質と量はその時々の経済の状況、人々のライフスタイルあるいは新たな製品の導入などに応じて変化する。諸要因が総合化された結果とし

て、一般廃棄物および産業廃棄物の排出量がどのように変化したのかを図表1に示す。一般廃棄物量は1995年以降あまり変化がないが、1975年と比較すると20%程度増加している。1人1日あたりの排出量(原単位)については、1985年以前が1,000 g/人・日前後、その後増加し1990年以降は1,100 g/人・日前後で推移したが、2001年からは減少している(1985～2000年は、人口増以上に排出量が増加したことによる)。

なお、ここで言う原単位は事業系一般廃棄物を含む量であり、純粋に家庭から出されている原単位はおおむね700～800 g/人・日程度である。一方、産業廃棄物についても、同様に1985年から1990年にかけて大きく増加した後は、大きな変化はない。現在、排出量年間4億トンのうちの約半分が循環利用されている。

また、質的な特性を表わす指標の一つとして、ごみ(一般廃棄物)の発熱量の推移を図表2に示す。

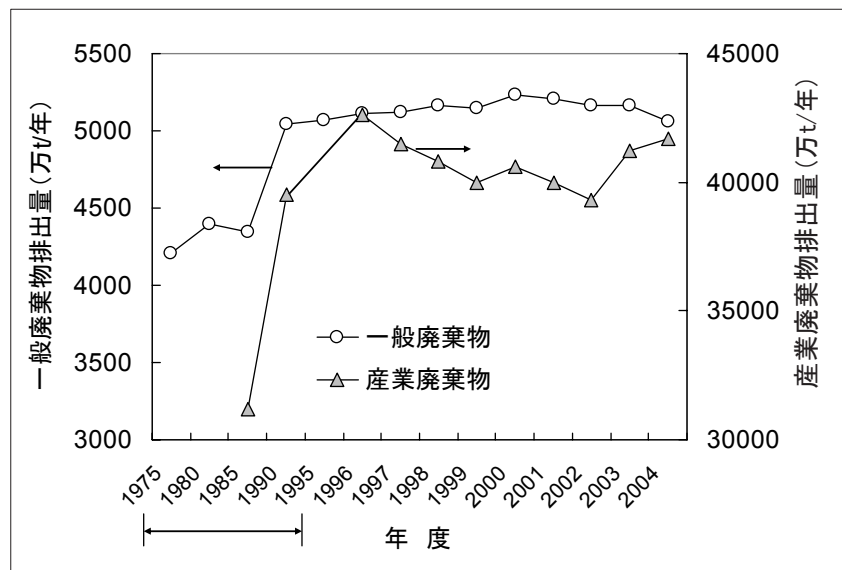
ごみの発熱量は、自治体により値の違いはあるものの一貫して増加している。これは、紙類の使用量、包装材などとしてのプラスチック材料の使用量の増加に起因すると思われる。

(2) バイオマス

バイオマスは①廃棄物系バイオマス、②未利用バイオマスおよび③資源作物の3つに区分される。それらの賦存量と利用率(炭素量換算)は、廃棄物系バイオマスが2億9,800万トンで利用率72%、未利用バイオマスが1,740万トンで利用率22%という現状にあり、現在は資源作物はほとんどない³⁾。

図表3に、各種バイオマスの賦存量と利用率の概略値を示す。廃棄物系バイオマスは、品目によって産業廃棄物であるもの、または一般廃棄物と産業廃棄物の両者を含むものがある。このうち、未利用の割合の比較的高い食品廃棄物、廃棄紙、建設発生木材、加えて、未利用分は若干であるが製材工場等残材が、循環利用を推進する上での直接の対象になり得る。水分が多く、また発生場所が地域的に偏りやすい家畜排せつ物、同じく水分の多い下水汚泥(2,250万トンが未利用量)を除くと、上記4項目の未利用バイオマス量は3,240万トン余りである。しかし、現在利用用途のある廃棄物系バイオマスであっても、必ずしも有効または有用な用途が開かれていない。廃棄物系バイオマス量の年間の賦存量は湿潤重量で約3億2,700万トン、乾燥重量で約7,600万トンと見込まれている。エネルギー換算では約1,270 PJ(ペタジュール)に相当し⁴⁾、これは原油換算で約3,280万キロリットルとなり、また、我が国全体の一次エネルギー供給量22,751 PJ(2005年度)の約5.6%に相当する量である。

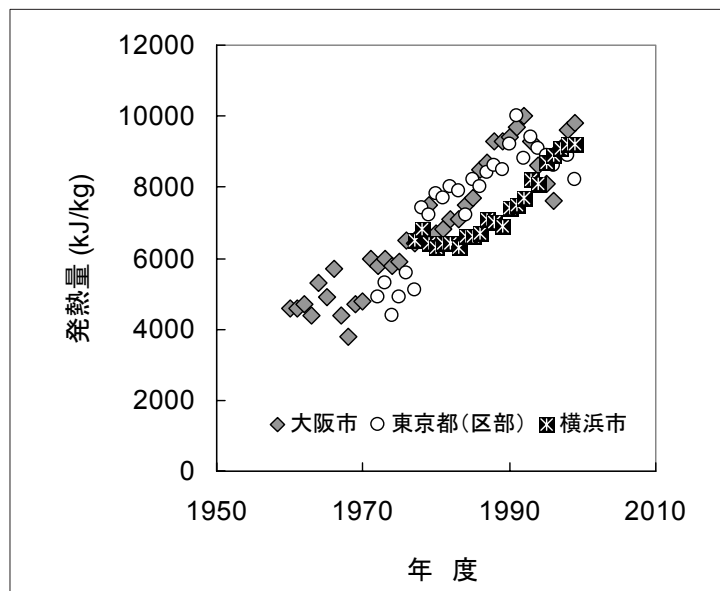
図表1 一般廃棄物および産業廃棄物量の経年変化



(1975~1995年度の間は5年おきのデータ。)

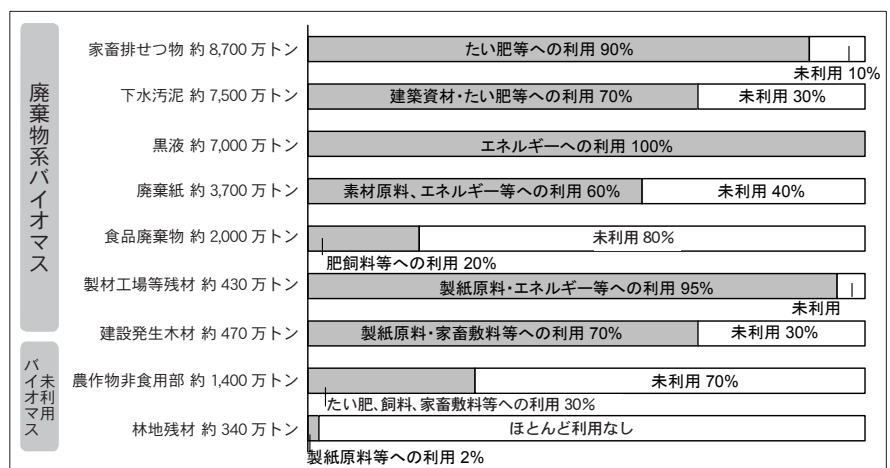
出典：参考文献¹⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表2 ごみの発熱量(低位発熱量)の経年変化



出典：参考文献²⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表3 我が国のバイオマス賦存量と利用の内訳



出典：参考文献³⁾

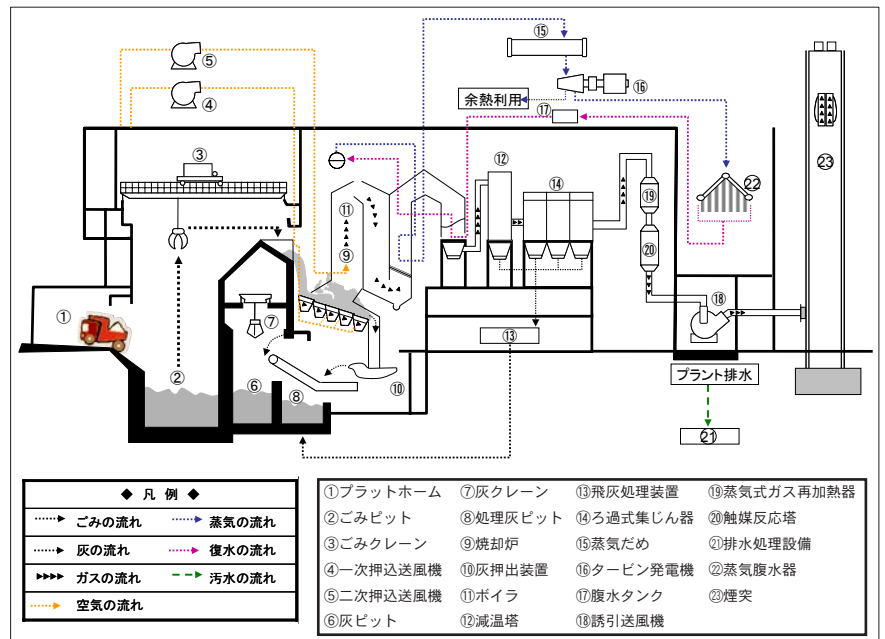
廃棄物処理技術の変遷

(1) 焼却処理技術の変遷

焼却処理の直接的な目的は、廃棄物を高温で燃焼処理することによって腐敗防止と安定化をはかり、合わせて減量と減容を進めることである。しかし、歴史的にみて広く焼却処理に求められる機能と役割として、衛生上適切な処理から始まり、減量・減容とともに、環境負荷の低減、さらに資源化など、時代の要請に応じて変化をしてきた。近年、特に大きな転換をもたらしたのがダイオキシン類の問題であった。循環型社会への動向と相まって、ガス化溶融炉などの新しい方式が導入され、また資源化への期待が一層高まることとなった。ごみ焼却施設数も次第に減少し、2005年度末現在で1,320であり、1998年度比で25%減少している。この数は、海外諸国と比較すると非常に多い。我が国では、図表4に例示するような規模の大きい全連続式施設数が約40%を占め、処理能力では80%強を占めている。このような大規模施設では、焼却炉以外の排ガス・排水処理設備、残渣(灰)の取り扱い設備、発電のための設備など多様な設備が設けられ、それらの方がより設備点数として多い。技術的には温度(Temperature)、滞留時間(Time)、十分な混合攪拌性(Turbulence)という3Tの徹底が、二次燃焼空気の注入方法の改良、人工知能の活用による高度な制御などのさまざまな技術的工夫によって進められている。

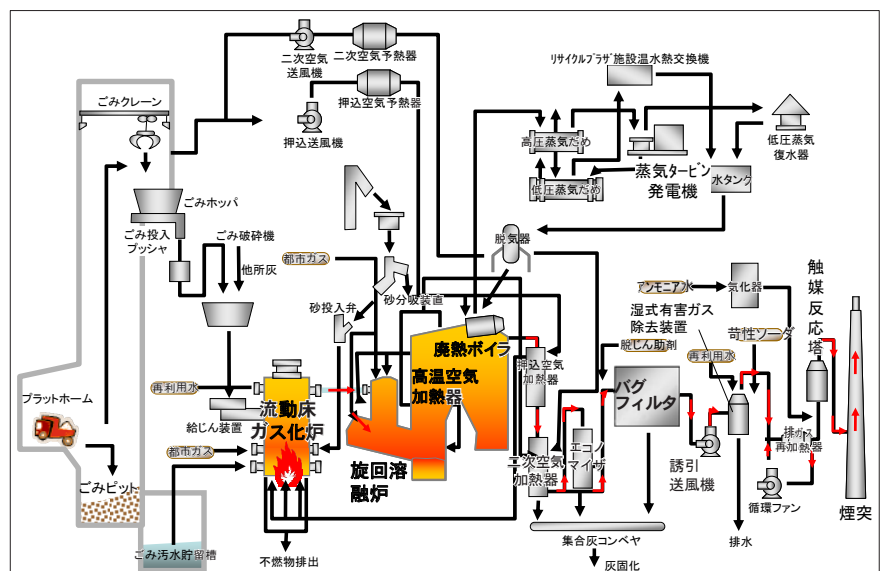
廃棄物を処理する目的では焼却の効果は大きい。しかし、焼却物量の10%程度発生する焼却灰、および3%程度発生する飛灰の処理が必要になる。これらを埋め立て処分する場合、処分場の確保、飛灰中有害物質溶出対策としての

図表4 典型的な全連続式ストーカ炉型焼却施設の構成例



出典：参考文献⁵⁾

図表5 典型的なガス化溶融施設（流動床ガス化方式の場合）の構成例



出典：参考文献⁵⁾

薬品処理が課題となり、また金属類の回収利用の向上、発電効率の向上(現在は総じて低い)などの課題も多い。

(2) ダイオキシン問題の影響

ダイオキシン類とは、ポリ塩化ジベンゾ-パラ-ジオキシンのうち4~8塩化物(PCDD)、ポリ塩化ジベンゾフランのうち4~8塩化物(PCDF)、およびポリ塩化ビフェニル(PCB)のうちPCDD、PCDFに類似の性状を有するダイオキシン様PCBである。これらは、次のような特徴をもつ環境

汚染物質である。一般に長期残留性、高蓄積性、種々の毒性という性状をもち、非常に低濃度で多様な環境影響を及ぼすが確実な予測が難しい。かつての農薬使用にともなう排出も含め日常的な廃棄物処理過程から非意図的にダイオキシン類は排出され、環境への進入パターンが従来の産業公害とは異なっていた。1990年代中頃から非常に大きな問題となり、その後、燃焼性の向上や発電の高効率化などの技術の向上、集じん設備をバグフィルターに変更するなどの排ガス処理技術の向上などが焼却処

理要素技術として直接的な改善効果をもたらした。その他、いくつかの市町村にわたって広域的に一般廃棄物の収集・処理を行うことでダイオキシン類の削減や資源化を進めようとする広域処理、さらには焼却への安易な依存を見直して循環型社会の形成を進めることの契機にもなったと考えられる。次に、大きな影響となったガス化溶融処理について述べる。

(3) 溶融処理およびガス化溶融炉

ダイオキシン問題を契機にガス化溶融炉(図表5)の開発と導入が進んだ。これには、次のような特徴がある。

- ① 溶融工程において1,300～1,400℃での高温燃焼により、ダイオキシン類を低減でき、排出量を極小にできる。
- ② ガス化工程が還元雰囲気であることから、ごみ中に含まれる金属分の回収と有効利用が可能となる。
- ③ 空気比(燃焼に理論上必要な空気量に対する実際の空気量の比)が低くなり、排ガス量が削減されることから、排ガス処理設備などの付帯設備を小型化できるとともに発電効率が向上する。
- ④ ごみのもつ熱量が十分にあれば、この熱量によって溶融が行え、外部からの追加エネルギーの投入は不要である。また、建設と維持管理の経費が、一般的なストーカ炉と灰溶融炉の組み合わせに比較すると安価になる。

なお、ガス化溶融における溶融という工程は高温の完全燃焼を起こさせるものである。さらに一歩進めて、同様に高温で、雰囲気の制御などによりガスの組成を改質して、一酸化炭素や水素のようなエネルギー源や化学合成原料として利用価値のあるガスを取り出す

のがガス化改質である。このガス化改質は、ごみ焼却施設への適用例が若干みられる段階である。

2 - 3

循環型社会への移行と技術の流れ

(1) 循環型社会の形成

従来の廃棄物処理は、環境に影響のないように行うが、一方向型の処理・処分にとどまるというものであった。しかし、近年、地球温暖化対策としてのCO₂の排出削減および物質とエネルギーの再生利用が重要課題であるとの社会共通の認識が進み、この考え方が従来の考え方を変革してきた。このため、2-2で述べたように焼却処理自体がエネルギーや資源の再生・回収を積極的に進めるように改善が図られてきた。

一方、廃棄物中に含まれる有害物質への対策においても、2004年5月に発効した残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約(POP条約)に基づく対策など、地球規模に及ぶ化学物質の広がりとそのリスクの低減という視点から技術的な進展が図られてきた。PCB廃棄物の処理がその典型である。電池や蛍光管などに含まれる水銀、建材をはじめ多くの製品に含まれるアスベスト、あるいは感染性廃棄物などの対象についても、処理・処分技術の開発と導入が進められてきた。

3Rに寄与するという観点からは、原材料などの使用率の向上や製品の長寿命化などを内容とするリデュース(reduce)、複写機の部品などにみられるリユース(reuse)を指向する技術がある。さらに、リサイクル(recycle)時の解体のしやすさや再資源化の可能性を向上させるように配慮した設計手法の開発などがある。

再資源化、すなわち再生利用技術としては、容器包装廃棄物に分

類される廃ペットボトルや廃プラスチックを対象としてさまざまな技術が開発されている。廃プラスチックを再度成形品に加工利用する材料リサイクル、廃ペットボトルを再びペットボトル原料として用いる「ボトル to ボトルリサイクル」、高炉での還元剤として廃プラスチックを用いる利用方法、コークス炉で廃プラスチックを熱分解して油やコークス炉ガスを工業原料とする利用方法などが開発されてきた¹⁾。これらに関連する技術は3章で詳細に述べる。しかし、近年、ペットボトルに代表されるように、廃棄物が中国などへ輸出される量が増加している。このような状況は、国内での優れた再生資源化技術を活かせなくするだけでなく、資源循環全体をゆがめる懸念がある。

循環型社会システムの構築を目指した全体的な指標として、資源生産性(=GDP/天然資源等投入量)、循環利用率(=循環利用量/(循環利用量+天然資源等投入量))および最終処分量の3つが挙げられる。2010年度までに、各々を約39万円/トンに増加、約14%に向上、約2800万トンに減少させることが目標とされている¹⁾。循環型社会形成のための廃棄物再生資源化技術に求められる条件として、① 廃棄物の適正な処理を確実に果たせること(処理の有効性と実用性)、② 再生資源化物としてのエネルギー源もしくは素材を効率よく生産できること(再生過程の有効性と実用性)、③ 再生に必要なエネルギーまたはコストが適正であること(経済性)、④ 環境負荷を極力低くできること(低環境負荷)、⑤ 再生資源化物が有効に利用されること(再生物の有用性)、を挙げることができる。具体的な指標化は慎重に行われるべきであるが、今後は、わかりやすい技術の評価が求められると考えられる。

(2) バイオマスの利活用技術

我が国では、2002年12月に「バイオマス・ニッポン総合戦略」が閣議決定された。また国際的には、京都議定書が発効し、実効性のある地球温暖化対策の実施が喫緊の課題となり、さらに原油価格の高騰などを背景に化石資源への依存度を低減することの必要性が一層認識されるようになり、バイオマスエネルギーへの注目も高まる状況にある。2006年3月には「バイオマス・ニッポン総合戦略」が改定された⁶⁾。

改定された同「戦略」の中で、「バイオマス・ニッポン」実現の具体的な目標が技術的、地域的、全国

的観点から整理されており、技術的観点からは、含水率の低いバイオマスをエネルギーへ変換する技術としては直接燃焼とガス化プラントなど、含水率の高いバイオマスをエネルギーへ変換する技術としてはメタン発酵など、バイオマスを製品に変換する技術としてはバイオマス由来のプラスチック化について、それぞれ変換効率または原料価格に関する目標が掲げられている。

これを受け、環境省ではバイオエタノールに関連する技術、バイオディーゼルに関連する技術が重点的な技術開発の対象とされている。また、経済産業省による技術

戦略マップ 2007 の中に 3R 分野のロードマップがあり、金属資源 3R 以外のその他の主要 3R 技術にバイオマス関連技術が示されている(図表 6)。

図表 6 より、微生物の機能を応用する発酵技術と熱化学的原理に基づく燃料化技術、および既存の発電を一層高効率化することがバイオマス利活用の主要な開発目標であり、バイオマスの再生資源化技術としてはメタン・エタノール発酵技術の向上、水素発酵技術の開発、高効率のガス化と液体燃料化などが重要な課題になると考えられる。以下、これらについて具体的にみていく。

図表 6 バイオマスを対象とする経済産業省による個別技術の戦略マップ

大分類	小分類	重要テーマ	短期 ~2006年 2007年 2008年 2009年 2010年	中期 2015年 2020年	長期 2025年 2030年
(木質系・食品系・畜産系・下水汚泥系) バイオマス系	発電技術(木質系)	高効率小規模発電	高効率発電		
		石炭湿焼発電	①②③ 石炭湿焼発電		
	発酵技術	エタノール発酵(木質系)	①②③	高効率エタノール発酵技術	
		メタン発酵(食品/畜産/汚泥系)		高効率メタン発酵技術	
		水素発酵(食品/汚泥系)	③		水素発酵技術
		堆肥化(食品/畜産系)	②	堆肥化技術(大規模での高品質化)	
	燃料化技術	高効率BDF製造(食品系)	③ BDF製造		
		ガス化技術(木質/汚泥系)	①②③	ガス化改質+燃料化(GTL 水素製造)技術	高効率ガス化改質+燃料化(GTL 水素製造)
		物質・エネルギー-併産 コプロダクション技術		CO ₂ フリーな水素とカーボンのコプロダクション 燃料製造とエネルギー(電力、熱)のコプロダクション	物質・エネルギー-再生の化学製造プロセス技術(ガス化)
		家庭用エネルギー転換(食品系)			家庭用エネルギー転換技術(メタン、水素などへの転換)
	その他	リグノフェノールの用途開発(木質系)		リグノフェノールの用途技術	

出典：参考文献⁷⁾

3 循環型社会に求められる廃棄物再生資源化技術

3 - 1

各技術の概要と比較

循環型社会において望まれる要件を備え、将来的に有望と考えられる廃棄物再生資源化技術の概要と比較を図表 7 に示す。各技術については、次節以後で述べる。

図表 7 廃棄物再生資源化技術の比較

評価項目	生物機能の活用技術	ガス化技術	高温・高圧流体技術
主な対象物	・食品を主とする湿潤系バイオマス：年間約 2,000 万トン	・木質、紙などを主とする乾燥系バイオマス：年間約 1,600 万トン（一般廃棄物 5,000 万トン）	・食品、動植物残渣などの湿潤系廃棄物。木質への適用も検討。有害廃棄物への適用も可とすることが特徴。
再生物	・メタンを主とするバイオガス ・水素 ・バイオマスプラスチック	・水素、一酸化炭素 ・メタノール ・液体燃料	・メタン発酵原料などの中間物、化学品
技術原理とシステムの評価	・微生物による水素発酵、メタン発酵、エタノール発酵、乳酸発酵 ・バイオガス化と焼却のシステム化	・熱分解、ガス改質（高温から低温へ） ・ガスエンジン発電機、燃料電池などのシステム化 ・メタノール製造、液体燃料製造とのシステム化	・特殊な流体による反応の高速・高効率化 ・メタン発酵、ガス改質などのシステム化
コスト性	・従来技術とおおむね同等であるが、回収エネルギーの有効利用ができれば有利	・低温化の方が要するエネルギーの低減となり有利 ・熱分解チャーを熱源に利用することで全体コストを低減可能	・亜臨海流体の適用が、要する熱と加圧エネルギーの低減となって超臨界より有利
実用化の展望と課題	・一部実施あり。分別が容易でないため、一般廃棄物処理施設への拡大が課題。 ・プラスチック製品価格の低減	・高温改質方式は実施があるが、低温方式、液体燃料化とのシステム化が今後の展開。	・一部実施あり。材料の高圧、腐食環境への耐性などが課題。

科学技術動向研究センターにて作成

生物機能の活用技術

(1) バイオガス化

循環利用率が比較的低い資源として、生ごみ(厨芥)や食品廃棄物が一つの焦点となる。バイオマス系循環資源という観点でみた場合、生ごみ、木くず、汚泥、家畜排泄物などは廃棄物発生量の約半分を占めている。水分および有機物を多く含むため、循環利用率は16%であり、焼却や脱水による減量化率は53%にとどまっている。現状での循環利用例の多くは堆肥や飼料としての農業分野であるが、これが最適な利用手段かどうかについては疑問である。

このような中で、生ごみや紙ごみに対しメタン発酵法によるバイオガス化を行ってメタンガスを回収する方法が検討されている。濃厚な有機性廃液や下水汚泥スラリーなどのメタン発酵は従来から適用されている技術であり、ここには技術的な新規性はない。しかし、水分含有量が相対的に少ない固形状廃棄物への適用においては、今後各種の改良などが必要である。

ただし、メタン発酵ではガスが回収された後に、液状および固体状の残渣が生じるため、環境への配慮として、この処理・処分を適正に行うことが望まれる。液状残渣とは、消化液と言われる高濃度の発酵後廃液である。下水汚泥などの減量率は現在40～50%程度が上限であることから、有機成分の分解率ならびにエネルギー効率を向上させる必要がある⁸⁾。一方、固体状残渣については、他の可燃性廃棄物とともに焼却することによって減量化する方法が効率向上の方向性の一つである。図表8は、バイオガス化と焼却を組み合わせた事例において、エネルギー回収効果を解析した例である。この方法によると、バイオガ

スと焼却の熱利用両方による発電が最新の効率のよい設備を用いて行えるため、焼却に発電を組み合わせただけの仕組みより、エネルギーの回収を効果的に行える。民間の廃棄物処理施設ですでに導入例がみられる。ごみの全量を焼却した場合と生ごみの一部を分別してメタン発酵させた場合のエネルギー収支を、ある条件で(バイオガスについては、ガスエンジンによって発電を行うと仮定)計算した例によると、発電量は約16%増加すると見積もられている。

ただし、焼却においては、ダイオキシン類をはじめ大気汚染対策を十分に採るべきであることは言うまでもない。

(2) 水素発酵およびエタノール発酵

図表6の戦略マップでは、中長期的技術として発酵技術の中の水素発酵の発展を予測しているが、これは来るべき水素社会を想定しているためと思われる。

有機化合物が嫌気性条件においてメタン発酵をする過程で、酸発酵の段階において水素が発生する。例えば、グルコースを基質とする場合、 $C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 4H_2 + 2CO_2$

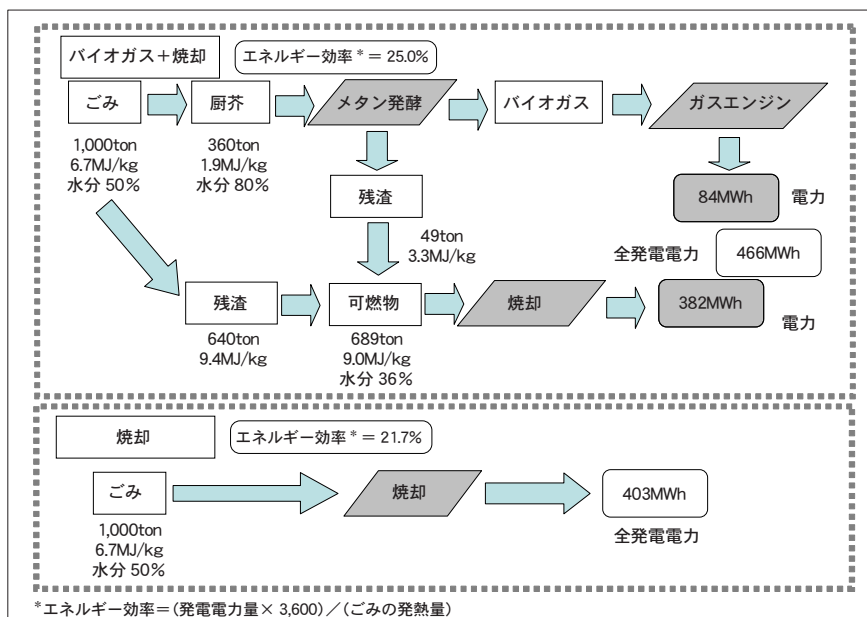
である。嫌気性条件下で水素を生成する細菌は数多く存在し、*Clostridium* 族、*Enterobacter* 族などがその代表である。

しかし、水素発酵は通常遷移的な過程であるために不安定である。安定した回収量を得るためには、培養のための環境条件を最適な範囲に整える必要がある。水素発酵技術の向上および実用化を目指す展開のポイントは以下のいずれかの点であると考えられる。

- ①混合微生物を用い、その環境条件を最適化し、水素回収の長期持続を図ること。
- ②水素発酵能の高い微生物を単離し、その能力を有効利用すること。

したがって、混合微生物から水素生成を効率よく進行させる発酵技術、回収するプロセス、あるいは水素生成能の高い微生物の探索などに関して研究開発が行われている。規模の大きな主な研究プロジェクト例¹⁰⁾として、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構を中核とし、民間企業および(独)産業技術総合研究所で行われた「有機性廃棄物の高効率水素・メタン発酵を中心とした二段発酵技術研究開発」(2001～2005年度)、東北大学を中核として行われた

図表8 メタン発酵プロセスによるエネルギー回収効果の試算例



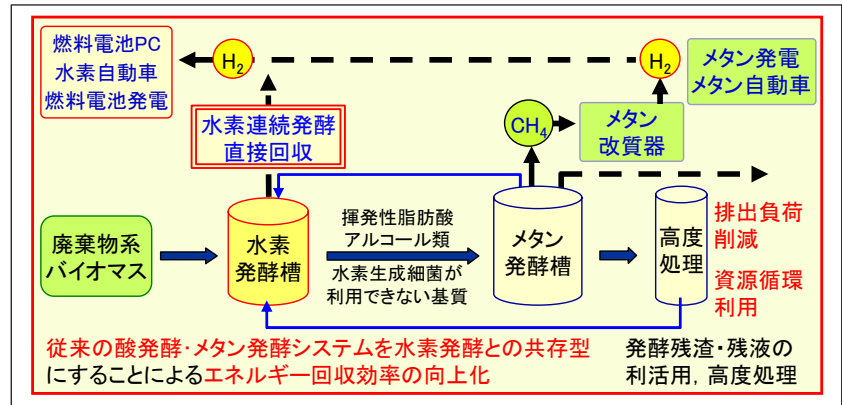
出典：参考文献⁹⁾

「葛巻バイオガス高度利用コジェネレーションシステムの開発」、および(独)国立環境研究所による技術開発事業「バイオ資源・廃棄物等からの水素製造技術開発」(2003～2007年度)などがある。また、その他の研究機関または民間企業による水素生成菌に関する研究例も多い^{11,12)}。図表 9(a) (b) に、(独)国立環境研究所の開発した水素・メタン 2 段発酵プロセスの開発概念と、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構による実規模の 1/10～1/100 規模のシステム構成を示す。(独)国立環境研究所の開発では、水素およびメタンガスを回収するとともに、窒素およびリンといった富栄養化塩類の除去も同時に目標としているところに特徴がある。図表 10 は、食堂からの生ごみを原料とした、約 150 日間にわたる連続的な水素回収の試験結果である。濃度が約 50vol% の水素ガスが継続して得られている。また、メタン発酵後の消化汚泥を水素発酵リアクターに返送することによって、系内の pH をほぼ一定に保つことが重要な条件因子であることも明らかにされた。

一方、バイオマスからのエタノール製造に関しては、いわゆるエコ燃料の導入目標が原油換算50万キロリットル(輸送用燃料全体の約0.6%)と設定されており、バイオエタノール、バイオディーゼル(BDF)、バイオマス液化燃料(BTL)などの技術的検討が活発に行われている。我が国では廃棄物系バイオマスからの製造も目指され、建設廃木材を原料としたエタノール製造プラントが、2007年1月から大阪府内で年産1,400キロリットルの規模で稼働中である。近辺から収集された廃木材は、破碎後加圧下で希硫酸により加水分解される。特に、糖であるセルロースとともにヘミセルロースを発酵基質として利用することが

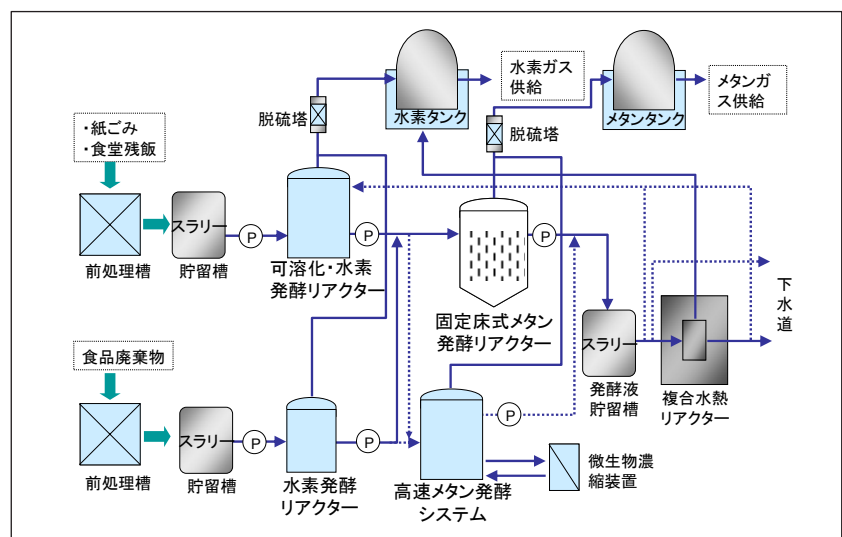
図表 9 水素・メタン 2 段発酵プロセスの開発概念の例

(a) (独)国立環境研究所による開発概念



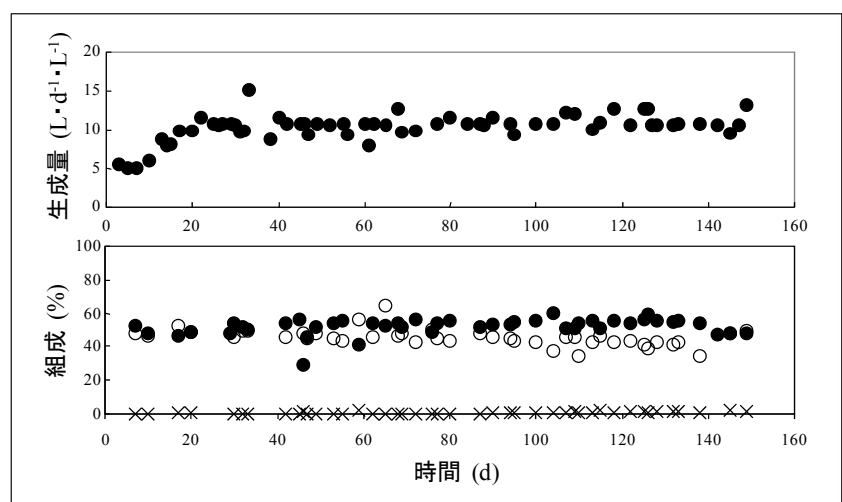
出典：(独)国立環境研究所

(b) (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構によるシステム構成



出典：(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構

図表 10 水素発酵リアクターの長期試験における発生ガス組成と水素生成量
(速度)


$$(\bullet : \text{H}_2, \text{:CH}_4, \text{O :CO}_2)$$

出典：参考文献¹³⁾

可能な菌を用いていることが特徴である¹⁴⁾。その他、岡山県内において、未利用の製材廃材などを原料に、特殊な酵母を用いたエタノール発酵と分離膜を用いた生成

エタノールの無水化、さらにエタノールを容積比で3%含む混合燃料であるE3の実証試験が行われている。1日のエタノール製造量は250キログラムである¹⁰⁾。

(3) バイオマスプラスチック

バイオマスプラスチックとして最も期待を寄せられているのが、植物由来の多糖類を発酵させて作られるポリ-L-乳酸(PLLA)である。PLLAは、石油由来のプラスチックに比較すると加水分解などの分解を受けやすいことから、原料であるL-乳酸などに変換することが比較的容易である。したがって、PLLAは単に環境中での生分解が容易なプラスチックであるというだけでなく、再生利用が可能なプラスチック材料とみなすことができ¹⁵⁾、素材リサイクルとしては魅力的な対象と言える。

バイオマスからPLLAを生産するには、乳酸発酵液から高純度の乳酸を得る蒸留法などで精製工程のコストを削減することが重要な課題である¹⁶⁾。安価な石油由来プラスチック製品と競合可能な製品を得るには、低コストの製造プロセスの開発として、上記PLLAからのリサイクルが有用な方法の一つとなる。

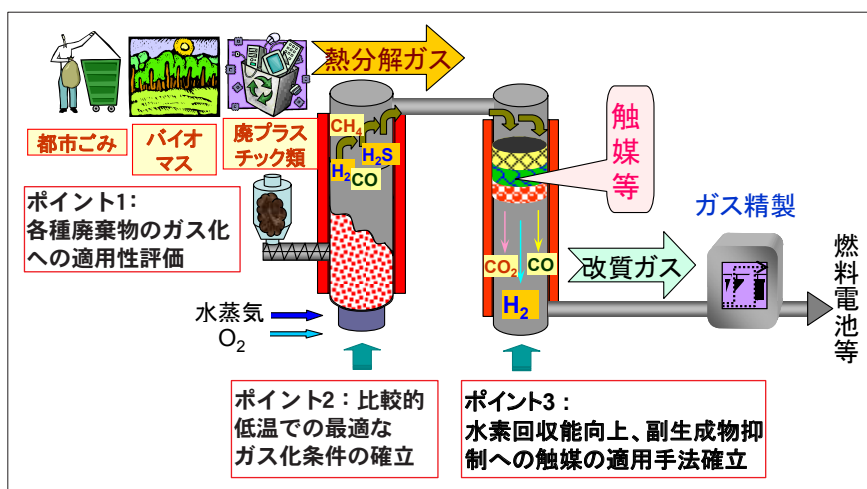
と、二次公害が抑制でき社会システムへの適合性が高いことなどに置かれた。しかし、ガス化技術は、設備費や運転費が非常に高く、酸性のタール状物質の処理ができないうなど多くの問題が残¹⁷⁾、プロジェクトとして成功とは言い難い結果であった。

しかし、前述のようにその後のガス化溶融技術の導入が進められる過程で、ガス化技術や高温溶融技術などに関し大きな向上があった。さらに、資源化や水素エネルギーへの期待もあって、ガス化技術が再度注目されるようになった。例えば、ガス化改質方式と呼ばれ、廃プラスチック類を原料に水素を合成するシステム(EUPプロセス)として、アンモニア合成用水素の製造に実用化されている例がある¹⁸⁾。この例では、流動床方式の低温ガス化炉(600～

800℃)と高温(1300～1500℃)の旋回溶融ガス化炉が直結された加圧二段構成となっている。なお、少数ではあるがガス化改質方式の一般廃棄物処理への適用例もみられる¹⁹⁾。

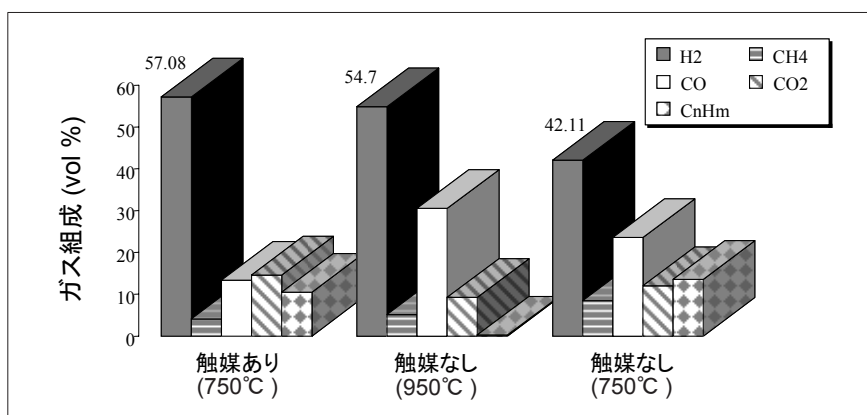
これらの方式は注目されているものの、高温溶融工程を必要とするため、原料のもつ熱量の多寡、コスト性能、プラント操作性などが制約となって、バイオマスや一般廃棄物への適用が広く進んでいるとは言い難い。そこで、バイオマス利活用の推進、水素ガスの供給源を広げるために、改質工程を中心に、従来より低温化しようという技術開発が行われている。図表11に示すよう、低温化による効率低下などの課題を触媒の適用で補うという概念で技術開発が行われている。この開発では、水素を主たる回収物質としたときの温

図表 11 ガス化改質システムの開発概念



出典：参考文献¹⁰⁾

図表 12 触媒適用の有無による生成ガス組成の違い



(横軸括弧内数字は温度を表す。CnHm：炭化水素類)

出典：参考文献¹⁰⁾

3 - 3

ガス化技術の向上

廃棄物の有効利用は1970年代にすでに重要視され、当時の通商産業省工業技術院では、1973年度から1982年度までの10年間にわたって、「資源再生利用技術システム」に関する総合研究開発プロジェクト“スターダスト’80”が実施された。同プロジェクトでは、100トン/日の都市ごみ処理能力を持つ実証プラントが横浜市内に建設され、都市ごみを分別し破碎するための前処理、厨芥類の高速堆肥化、紙ごみからのパルプ再生、紙・プラスチックごみを油やガスへ転換する熱分解ガス化など合計6つのサブシステムが含まれていた。目標は、雑多な組成の都市固形廃棄物を物質資源あるいはエネルギー資源に再生するこ

度、水蒸気・酸素注入量、触媒組成と適用量、触媒再生方法およびガス精製効果などを検討し、廃棄物またはバイオマスへの最適な適用性を見出すことが目標である。

例えば、図表 12 は、触媒としてニッケルを有効成分として 20 wt% 含み、さらに酸化カルシウムを十数% 含む場合の適用効果の例である。廃木材を対象に行った実験でこの触媒を用いると、無触媒で 950℃ の場合に得られる水素ガス濃度と同等以上のガスが、750℃ において得られる¹⁰⁾。

同様に、ガス化を要素技術とするバイオマスの利活用技術に関するプロジェクトとしては、2003～2007 年度にわたる文部科学省リーディングプロジェクト「一般・産業廃棄物・バイオマスの複合処理・再資源化プロジェクト」が進行している²⁰⁾。ここではサブテーマの一つとして、廃棄物から高効率にエネルギーおよび資源を回収するプロセス技術開発が行われ、ガス化高効率変換技術の開発、高効率ガス化システム技術の開発、高効率発電技術の開発および水素化、液体燃料合成技術の開発に取り組んでいる。

熱を用いる処理技術では、系外へ排出される排ガスに関する環境配慮が特に重要である。熱分解ガス化技術は、開放環境へ直接排ガスを放出することはない。しかし、ガスの利用手段となる燃料電池やガスエンジン発電機などに、タービンなどによる運転上の影響を与えることは避けなければならない。したがって、直接的な一般環境への排出を前提とする焼却などの場合とは考慮すべき対象は異なる。触媒の被毒を引き起こしやすい硫黄化合物(硫化水素など)やタール成分となる多環芳香族化合物類、炭素析出を起こす可能性のある炭化水素類などがここでは問題となる。このような排ガスの精製に関しては、基本的に従来の技術で対

応可能であるが、温度条件の最適化またはシステム全体での経済性の観点などから個々のケースで最適値が異なる。

3 - 4

高温・高圧流体の適用技術

高温・高圧の流体としての超臨界水および亜臨界水、あるいは超臨界二酸化炭素は、温度・圧力条件により高極性から無極性まで性状を変化させることができ、非常に特徴的な流体である。温度約 370℃ かつ圧力 22 MPa 以上の状態にある流体が、一般に超臨界超流体と呼ばれ、この状態の水は、油分や気体と混合状態にあることから、強い酸化力を有効に利用できる、有機塩素化合物などの難分解性物質や有害化学物質の分解・無害化に応用できる。一方、亜臨界状態の水は超臨界ほど高温・高圧状態ではなく穏和である。通常の水よりイオン積が大きく反応性が高いことから、加水分解反応が迅速に進む反応場に使える。従来は反応性の高い超臨界流体を物質の分解処理に用いることが主体であったが、この反応場を利用して、プラスチックのモノマー化やタンパク質系廃棄物からのアミノ酸の回収など物質回収を行う技術的検討が行われている。

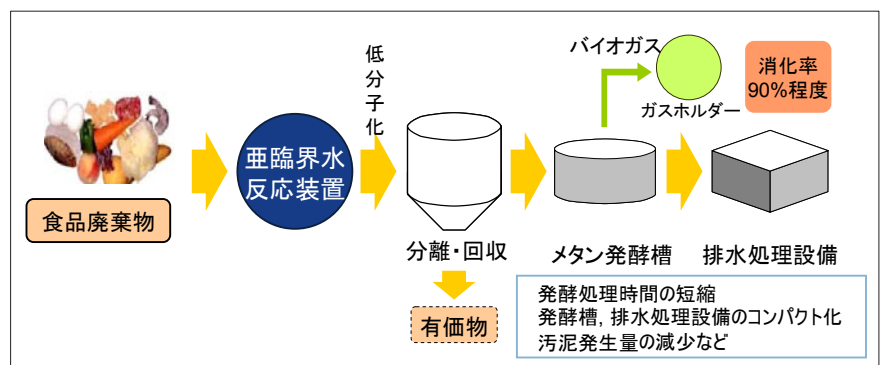
例えば、廃棄された魚肉を段階的に亜臨界水処理することによって資源化するプロセスが提案され

ている。200℃、1.6MPa 程度の条件で、約 5 分間反応させることによって、乳酸、リン酸およびヒスチジンを精製、分離、回収した後、270℃、5.5MPa 付近で約 30 分間反応させることによってピログルタミン酸、シスチン、アラニン、グリシンおよびロイシンの分離回収が行える²¹⁾。また、ポリウレタンの原料となるトリレンジイソシアネート(TDI)を対象に、残渣から回収したトルエンジアミンを元に TDI を製造する工程でも、TDI の回収に亜臨界水が用いられる。また、木質バイオマスに対し亜臨界水を適用し、分解速度を調整することでセルロースから効率よく糖類を得て、その後エタノール発酵へ進める方法などにも応用できる²²⁾。応用としては、前処理としての低分子化、有用成分の抽出、ガス化・油化などに利用できる。

図表 13 は、亜臨界水を利用して食品廃棄物中の高分子量有機化合物を低分子化し、その後メタン発酵に供する組み合わせシステムの概念である。この例では、メタン発酵において時間を要する加水分解を迅速に行い、質的にもメタン発酵に適した組成となるよう亜臨界水工程を適用している。

高温・高圧流体であることからの技術的課題もあり、反応装置類の耐久性、回収物質の分離・精製、コスト増などである。しかし、廃棄物の状態が乾燥したものは、超

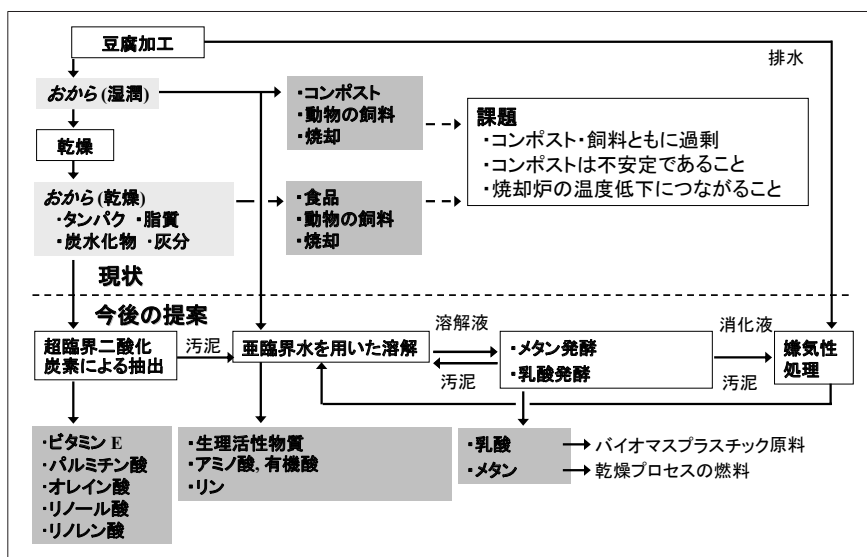
図表 13 亜臨界プロセスを応用した再生資源化の例



出典：参考文献²³⁾

臨界二酸化炭素抽出により生理活性成分などを回収することが可能である。また、水分を多く含む廃棄物では、亜臨界水を用いた可溶化により水溶性の生理活性成分などの回収が可能となり、また低分子化後のメタン発酵などへの展開も可能である。このように、廃棄物の水分や含有物などの特性に基づいて適切な処理を選択すれば、廃棄物を最大限に資源化することが可能になる。図表 14 は、このような考え方を豆腐製造工程から排出される残渣のおからに適用した場合の再生利用の流れである。

図表 14 おからの処理の現状と再生利用システムの提案



出典：参考文献²¹⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

4 課題と提言

4 - 1

総合技術としての廃棄物 再生資源化技術の課題

廃棄物を再生資源化する場合の技術的課題として、以下の点を指摘したい。まず、廃棄物を対象とする技術には、従来の生産技術のために開発あるいは利用されてきた単位操作を基礎とし、これを修正して適用する場合がある。このようなことは、廃棄物だけでなく排水・排ガス処理など他の環境技術でも行われている。最も大きな留意点は、原料組成という点において廃棄物は均一性がほとんどなく、質・量ともに変動する可能性が大きいということである。設計段階で想定した組成と実際に運転が始まって集められる廃棄物の組成が大きく異なる場合もあり、それをあらかじめ精度よく把握することが難しい。

したがって、廃棄物を扱う場合、前処理工程が重要な役割を果たす。再生資源化の中心となる発酵槽またはガス化炉などの単位プロセスの機能や効率だけでなく、前処理での廃棄物の破碎や選別、混

入異物の除去あるいは後段での精製などの操作が適切かつ効果的に機能する必要がある。

また、発酵法において述べたように、この技術は、処理後になお発生する液状、固体状の各種残渣の処理・処分を含めた総合技術としなければ、環境技術として真の意味で完結しない。現状において、これらはリサイクルに付随する必要な処理・処分とみなされて実施されている。技術開発を行う研究機関や企業などは、今後はさらに、カスケード的な利用方法や残渣の有効な再生利用方法がないかという視点で検討し、改善を図ることが望まれる。また、技術の評価を行う行政機関なども、このような総合技術としての完成度を評価の指標として重要視すべきである。

4 - 2

技術開発上の注意点

(1)安全を含めた総合的な 観点でのシステム設計

労働災害の観点からみると、例えば、2000年の100万延労働時間当たりの労働災害による死傷者数(度数率)の全産業分野平均が約

2であるのに対し、廃棄物を扱う施設は、約12である²⁴⁾。バイオマスを対象とする場合に、危険物の混入などの可能性はあまりないと思われるが、エネルギー源、あるいは燃料となる可燃性物質の回収を行うことから、それらを輸送または貯蔵する設備類に起こり得る発熱、発火などによる事故に対して、作業上の安全対策を十分に採る必要がある。ごみ固形燃料(RDF)貯蔵施設での事故例²⁵⁾、あるいはPCB処理施設において起こった事故例²⁶⁾などは、今後の安全面の対応に生かされなければならない²⁷⁾。

したがって、優れた中核技術とともに安全に対する配慮を高めた総合的観点でのシステムの設計が、技術開発の要諦として求められる。技術の導入を決定する立場にある行政または事業者は、エネルギーや素材回収の点だけに注目するのではなく、残渣の排出、安全確保の対応などに関する視点を幅広く持たなければならない。

(2)処理とリサイクルの効率の 考慮

リサイクル、廃棄物の再生資源

化において陥りやすい対応の一つに、リサイクルを目的化してしまう、ということがある。国の循環型社会形成推進基本計画において、循環利用率(循環利用量/(循環利用量+天然資源等投入量):%)が指標となり目標値(2010年度に約14%とすること)が定められていることから、この比率を向上させることは重要である。食品リサイクル法などの個別法においても、再生利用等の量に関する目標が定められている。しかし、これらの数値だけを比較するのは適当とは思われない。大量消費と大量リサイクルは、必ずしも望ましい選択ではない。

すなわち、リサイクルに投じるエネルギーや新たな資源が、資源化対象物の量に不釣り合いに大きくなるのであれば、それは考慮されるべき問題となる。本来、人為的な生産、消費には多かれ少なかれエネルギーと資源が投入される。例えば、リサイクルへのエネルギー投入に関連して、最近、ペットボトルの再生利用の例において次のような指摘がなされた²⁸⁾。ペットボトルの消費量は2004年度で約51万トンあった。そのうち分別回収量は24万トン、そして再利用量(素材として再生利用された量のことと推定される。)は3万トンであった。51万トンを製造し、24万トンのリサイクルのため処理し、残り27万トンをごみとして捨ててわずか3万トンを再利用するための石油使用量と、全体での廃棄物発生量(ペットボトルがそのまま廃棄物となった場合も含めて)双方が、1993年度のまだ全くペットボトルの回収を行っていなかった時期と比較して約7倍になると試算された。なお、27万トンの中には中国などへ有償で引き取られる量も相当量あったとみられる。詳細は省くとして、この指摘には部分的に正しいところもある。一方、再生利

用についての内容の把握が不十分であり、また現時点での天然資源から生産する場合との比較がないなど全体的には的確さを欠いた議論との見方もある。

リサイクルに要するエネルギー・資源の量およびコストと、不要物排出の負荷を減らすことの重要性は自明である。技術開発のみに焦点があるような場合に、ときとして陥りやすい投入物やコストの算定が不十分なりリサイクル・再生資源化技術の開発に対しては、適切な誘導を行っていくことが必要である。

(3) 再生物の利用拡大

廃棄物の再生資源化において再生のための技術と並んで重要なことは、再生物が有効に利用されること、すなわち利用先が存在することである。このことによって初めて、資源循環のサイクルが形成される。例えば、エネルギー回収の場合であれば、水素ガスまたはメタンなどの可燃性ガスが有効に利用されるように燃料電池システムまたは発電設備と組み合わせて運転できることが必要である。さらに、そのような施設が立地するための社会的インフラも現実整備されていなければならない。来たるべき燃料電池社会の形成においては、特にこの点が重要であろう。すでに実証試験なども行われていることから、今後は、実社会導入への現実的な検討が必要である。

廃棄物からの発電に関しては、1997年に定められた「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法(いわゆる新エネ法)」によって、廃棄物発電・熱利用、バイオマス発電・熱利用によるリサイクル型エネルギーについて推進の道が開かれた。しかし、ごみ発電の場合、発電効率は平均10%程度に過ぎず、高くとも20%強程度までである。ボイラ効率の向上など技術開発の余地はまだかなり大

きい。加えて、電力系統連携技術ガイドラインの条件である一般高圧での発電量の上限(2,000kW)が制約となり、発電能力を十分に活用できない場合もある。したがって、技術開発とともに、運用上の制約を改善することも重要である。

一方、素材リサイクルにおいて直面する課題として、再生品特に建設系再生製品の使用拡大がなかなか進まないことが挙げられる。これは、熔融炉またはガス化熔融炉において生成するスラグを用いた骨材あるいは路盤材などの製品が当てはまる。建設系再生製品については、公共の場での使用が想定されるため、環境安全上の影響が不特定多数に及ぶ可能性がある。このため、安全性に関しては十分な慎重さが要求され、また適切な評価と管理も必要となる。一般廃棄物および下水汚泥からの熔融スラグなど一部の再生品については、JIS規格などによる品質保証と環境安全面での品質管理のための試験法整備が進められており、さらに試験規格として統合的な体系作りが進められている²⁹⁾。このような規格化によって実現可能な品質保証を広く利用者に伝え、再生品に対するイメージを向上させて利用拡大を進めることが望まれる。

同様のことは、ガス化工程で生成される炭素分に富む素材を炭化物として再生品とする場合、あるいは亜臨界水による反応から生成する有価物を製品または中間体として利用する場合などにも当てはまると思われる。これらはまだ量的に少なく、一定の市場が形成されるものではない。しかし、今後は、多様な再生物の流通と使用について環境安全面などに適正な配慮をしつつ、一層促進するための社会的制度の確立が必要である。そのために、まず、言わば静脈側で廃棄物の再生資源化に携わる事業者および行政機関と、動脈側で

再生品を利用する製造業および関連する行政機関などが情報の共有と連携への意思疎通を図ることが必要である。

参考文献

- 1) 環境省編：平成19年版環境循環型社会白書，pp.168-208，ぎょうせい，東京(2007)
- 2) 廃棄物情報研究会：Fact Book 廃棄物基本データ集 2000，(財)日本環境衛生センター (2001)
- 3) 末松広行：「バイオマス・ニッポン総合戦略」とバイオマス利活用の推進，廃棄物学会誌，Vol.18，138-147 (2007)
- 4) 藤本潔：新たなバイオマス・ニッポン総合戦略について，INDUST，Vol.21，No.10，19-22 (2006)
- 5) 川本克也：廃棄物焼却技術の進展，季刊環境研究，No.143，80-89 (2006)
- 6) 農林水産省：バイオマス・ニッポン総合戦略 平成18年3月31日閣議決定：http://www.maff.go.jp/j/biomass/pdf/h18_senryaku.pdf (2006)
- 7) 経済産業省：技術戦略マップ 2007，3R分野，pp.172-193(2007)
- 8) 李玉友，西村修：メタン発酵法による廃棄物系バイオマスの循環利用，混相流 Japanese Journal of Multiphase Flow，Vol.21，No.1，29-38 (2007)
- 9) 武田信生：都市ごみ処理-今後の技術動向について-，都市清掃，Vol.59 (272)，pp.21-26 (2006)
- 10) (独)国立環境研究所：平成15，16，17，18年度環境省受託業務報告書 バイオ資源・廃棄物等からの水素製造技術開発(2004，2005，2006，2007)
- 11) 渡辺久典，吉野秀吉：小麦フスマを基質とする水素発酵における初期pH及び培養温度の影響，環境技術，Vol.35，744-751 (2006)
- 12) 片岡直明，菖蒲昌平，宮晶子，米山豊：水素・メタン二段発酵法による食堂残飯と紙ごみの処理性能解析，第18回廃棄物学会研究発表会講演論文集 2007，506-508 (2007)
- 13) C. F. Chu, K. Q. Xu, Y. Y. Li, Y. Ebie, Y. Inamori, H. N. Kong : A two-stage process for high-rate hydrogen and methane production from food waste, Proceedings and Abstracts of 11th IWA World Congress on Anaerobic Digestion, pp.96, Brisbane, Australia (2007)
- 14) 金子誠二：建設廃木材からの燃料用エタノールの製造，学会誌「EICA」，Vol.12，15-18 (2007)
- 15) 西田治男：再生可能資源材料：ポリ乳酸の循環利用について，平成19年度廃棄物学会研究討論会講演論文集，27-29 (2007)
- 16) 河本 洋：植物由来プラスチックの研究開発動向-自動車用ナノ複合ポリ乳酸の視点から-，科学技術動向 2006年8月号，No.65，13-22 (2006)
- 17) 川本克也，倉持秀敏，呉 畏：熱分解ガス化-改質によるバイオマス・廃棄物からの水素製造技術の現状と課題，廃棄物学会論文誌，Vol.15，443-455 (2004)
- 18) 昭和電工(株)：ECOANN 環境調和型アンモニア：http://www.sdk.co.jp/ecoann/index.html
- 19) オリックス資源循環(株)：最新のガス化改質施設：http://www.orix.co.jp/resource/plant/index.htm
- 20) 文部科学省：経済活性化のための研究開発プロジェクト(リーディングプロジェクト) 一般・産業廃棄物・バイオマスの複合処理・再資源化プロジェクト：http://mlp.biomass-leading-project.org/leading/index.html
- 21) 佐伯孝，川本克也：高压流体を用いた食品廃棄物の資源化技術の現状と課題，廃棄物学会論文誌，Vol.18，219-229 (2007)
- 22) 相馬隆宏：有害物質分解する”魔法の水” バイオマス燃料の製造にも期待，日経エコロジー，2007.01，51-53 (2007)
- 23) 近畿環境興産(株)：亜臨界水技術情報：http://www.rematec.co.jp/about/arinkai_2.htm
- 24) 廃棄物研究財団：平成13年度廃棄物処理等科学研究総合研究報告書 化学物質の循環・廃棄過程における制御方策に関する研究，7-1～7-38 (2002)
- 25) 環境省：ごみ固形燃料の適正管理方策について，ごみ固形燃料適正管理検討会報告書：http://www.env.go.jp/recycle/report/h15-01/all.pdf (2003)
- 26) 日本環境安全事業(株)(JESCO)：http://www.jesconet.co.jp/facility/toyota/pdf/toyotajikofinal.pdf
- 27) 松原美之，浦島邦子：消防防災に関する科学技術動向-安心・安全を目指す科学技術の特性と方向性の考察-，科学技術動向 2005年3月号，No.48，24-33 (2005)
- 28) 武田邦彦：環境問題はなぜウソがまかり通るのか，pp.12-64，洋泉社，東京(2007)
- 29) 肴倉宏史：建設系再生製品を対象とした環境安全性評価試験のシステム規格化に向けて，平成19年度廃棄物学会研究討論会講演論文集，20-24 (2007)

執筆者



客員研究官
川本 克也

(独)国立環境研究所
循環型社会・廃棄物研究センター
資源化・処理処分技術研究室
室長

http://www.nistep.go.jp/index-j.html

工学博士。民間企業勤務、大学教員などを経て現職。化学物質の環境挙動評価、廃棄物焼却処理などに伴い排出される有害物質の測定と処理性の評価などに加え、現在ではガス化改質による廃棄物からのエネルギー回収を主とする資源化技術開発にも取り組んでいる。

災害リスクガバナンスに基づく 防災研究の新たな課題

長坂 俊成
客員研究官

1 はじめに

我が国では、近年、想定外の地域で大きな被害をもたらす震災が頻発するとともに、東海、東南海、南海、南関東、首都直下型などの大規模地震リスクの切迫性が高まりつつある。気候変動に関する政府間パネル(IPCC)は、地球温暖化などの世界的な規模の気候変動を原因とする洪水や暴風雨の被害が増加するものと予測している。これらに加え、津波・高潮、火山、雪氷、竜巻等のリスクも避けて通れないものとして、地域によっては複合的な災害(マルチハザード)への対策が求められている。一方、急速に進みつつある少子・高齢化や地域コミュニティの脆弱化などの社会構造の変化は、上記の災害リスクの不確実性の高まりと相まって、既往の防災政策や防災戦略に大きな変革を迫っている。

我が国の防災政策は、これまで度重なる想定外の災害の教訓から、被害を起こさない(回避)という考えより、起こることを前提に事前・事後に被害を軽減する(減

災)という発想への転換が図られてきた。また、構造物による対策(ハード対策)中心から、避難体制や応急対応方策の整備等による対策(ソフト対策)が強化されつつある。さらに、少子・高齢化、都市化等の社会構造の変化を受け、被災後の地域経済や地域コミュニティの再生、個人や家族の生活の回復可能性を高めることを目標として、事前・事後を統合した防災政策の重要性が認識されつつある。

災害に強い社会とは、「ゼロリスク」を前提とせずに、不確実性を孕む災害リスクの特徴を個人や社会が理解し、受容すべきリスクレベルを決定し、それに基づき社会を構成する多様な主体がそれぞれ適切な対策を講じるとともに、相互に連携・協調して持続的に減災に取り組む社会であると考えられる。

したがって、防災政策の再構築に際しては、災害リスクの不確実性(uncertainty)や個人や社会の災害リスクへの対応力の脆弱性(vulnerability)、被災後の

中長期的な復興・生活再建等の回復可能性(resiliency)、社会や個人の多様性(diversity)、社会・経済と文化・伝統の相互依存性(interdependency)などを十分考慮する必要がある。

そこで、本論では、社会構造の変化や防災政策において考慮すべき多様な要素を前提として、災害に強い社会の構築の視点から、現状の防災政策の課題を分析するとともに、防災政策のイノベーションを誘発する新たな枠組みとして提唱している「災害リスクガバナンス」の背景と基本的な概念を概説し、その観点から、特に、災害リスク情報に着目した社会科学融合減災技術に関する研究開発の方向性を提案する。なお、本論では、災害リスクガバナンスとは「多様な主体の社会的な相互作用(災害リスク情報に基づくリスクコミュニケーション)と社会ネットワークの形成による協働を通じて、災害リスクを協治すること」と定義している。

2 我が国の防災政策の現状と課題 - 災害リスクガバナンスの視点から -

2 - 1

防災計画の体系とその現状

我が国の災害対策は、「災害対策基本法」および関係法律に基づき、災害予防、災害応急対策および災害復旧の各段階に応じて推進

されている。同基本法に基づき中央防災会議は、防災分野の最上位計画として「防災基本計画」を策定している(図表1)。同計画は、防

災体制の確立、防災事業の促進、災害復興の迅速・適切化、防災に関する科学技術および研究の振興、防災業務計画および地域防災計画において重点をおくべき事項について基本的な方針を示している。

特に切迫する大規模災害については、個別の被害想定に基づき防災戦略を策定し、減災目標を定めている(図表2)。例えば、首都直下地震の地震防災戦略¹⁾では、最悪ケース(風速15m/s)として人的被害約11,000人、経済被害額約112兆円と想定し、各々10年間で5割減、4割減の減災目標を掲げている。目標に対する対策としては、人的被害軽減として、住宅建物の耐震化、火災対策、密集市街地整備などが挙げられている。また、経済被害に関する対策は、復旧費用軽減対策、企業による事業継続、交通ネットワークの早期復旧対策などが課題とされている。

一方、都道府県、市町村においては、地方公共団体、指定地方行政機関、警察・消防機関、指定公共機関等の長またはその指名する職員からなる都道府県防災会議、市町村防災会議が設けられ、これが定める地域防災計画等に基づき、各種の災害対策が実施されている。

しかしながら、国や地方公共団体等が策定する防災計画には、個人のライフスタイルや家族関係、地域コミュニティの多様性を考慮した具体的な対策が示されていない。地方公共団体の中には、地域防災計画の内容に具体性と柔軟性、実効性を付与する効果を期待し、災害対策基本法上の地域防災計画とは別に、防災行動指針(アクションプログラム)を定める事例もみられる。具体的な防災行動指針の例を見ると、防災資源となる技能をもった人材の名簿づくりや、住民等のバイクを利用した被災情報の収集体制づくりなどの事前対策が盛り込まれている

ものがある。このように、災害対策基本法に基づく地域防災計画は概して形式的な記述にとどまり具体性や実効性に欠けるといった課題があり、それを補う防災行動指針の策定など、新たな計画技法の開発が課題と考えられる。

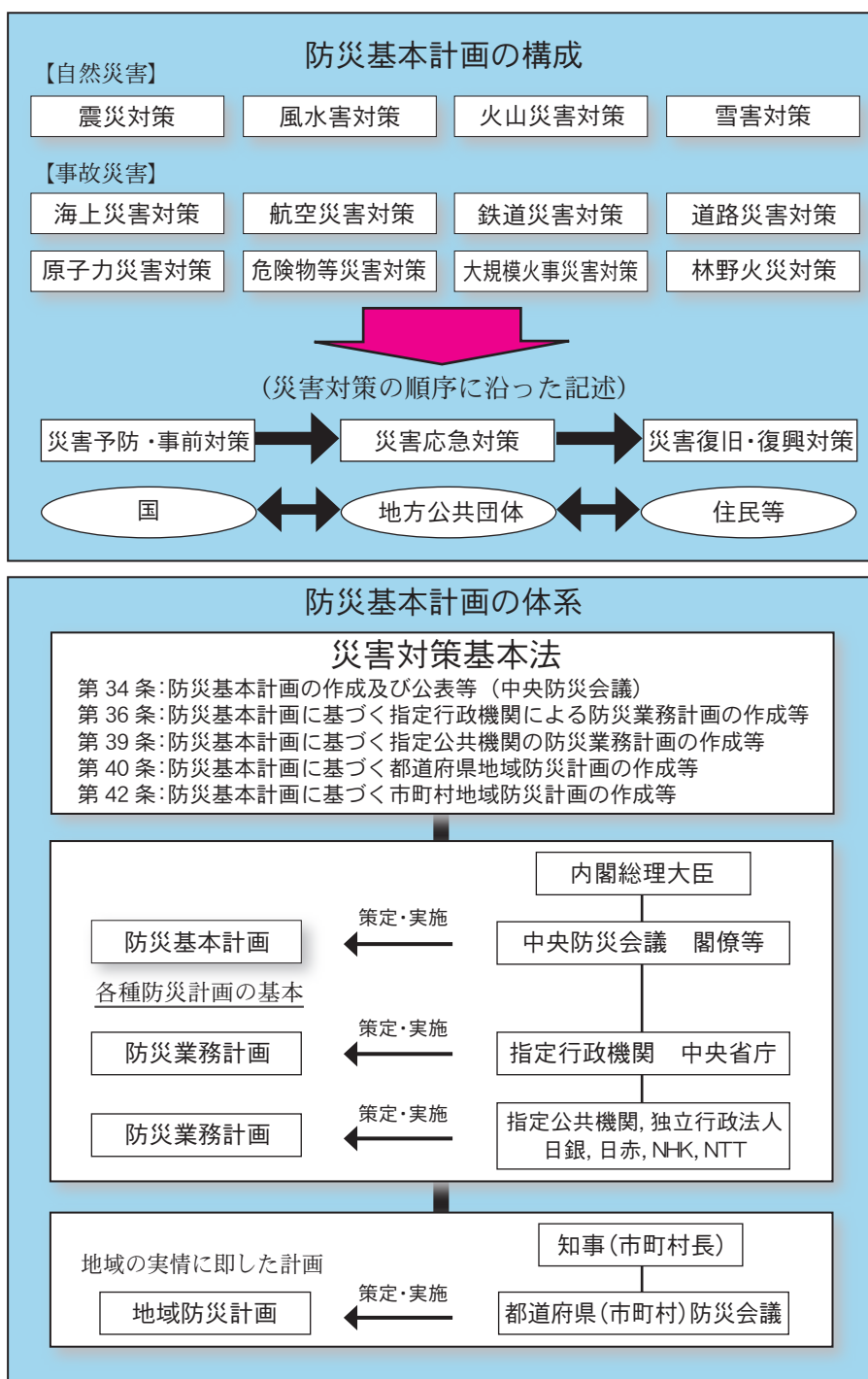
2 - 2

多元的ネットワークの 必要性

(1) 自発的な防災活動の促進

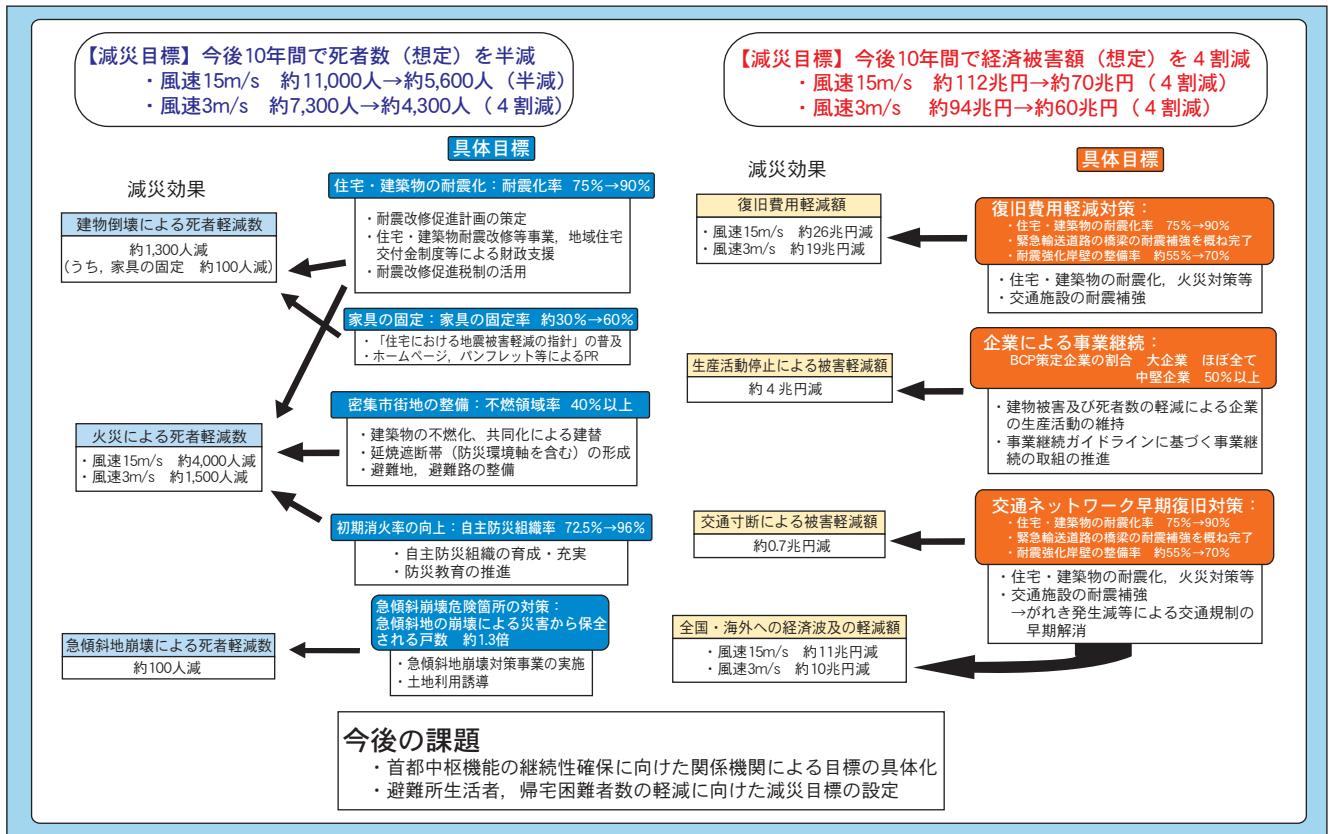
災害対策基本法は、国民に対し自発的な防災活動への参加を要請するとともに、国および地方公共団体に対して、防災・減災のために自主防災組織(住民の隣保協同の精神に基づく自発的な防災組織)の育成や、ボランティアによる防災活動の環境整備、その他国民の自発的な防災活動の促進への配慮を求めている。同法によれば、我が国の災害対策は、行政のみな

図表1 我が国の防災計画の構成と体系



出典：平成19年版防災白書

図表 2 首都直下地震の地震防災戦略



出典：平成19年版防災白書

らず多元的な主体による総合的・統合的な取り組みを前提としている。平成19年版防災白書によると、国等の防災機関については、応急対策としての情報収集・連絡等体制や広域的な対応など、相互に緊密な連携のもとに協力して実施する施策の充実が図られていることが報告されている。

しかし、現状では個人や地域コミュニティ、行政、NPO等の役割が固定化され、対策が独立に実施されているため、十分な効果を挙げているとは言い難い状況にある。例えば、災害時要援護者の安否確認や避難支援に関する対策では、すでに国によってガイドライン²⁾が整備され地方公共団体等において体制整備の取り組みが始まったところである。しかし、すでに全国の自治体等では、要援護者のリスト整備が進められているものの、市町村の中には、要援護者の安否確認や避難誘導の体制づくりについて、具体的に検討が始まっていないケースが多い。要援

護者の支援体制づくりに取り組んでいる地域においても、当該地域の在勤者といった昼間市民等を含め多元的な社会的ネットワークを前提とした体制づくりや訓練が実施される例は、まだ、ほとんど見られない。このように、現状の防災対策は、多様な社会構造に即して実行可能な社会システムとして設計されているとは言えない状況にある。

(2) 自主防災組織の現状と課題

「地域防災行政の現況」³⁾によると、町内会や自治会を単位とする住民等による自主防災組織の組織率(2005年4月1日現在)は全国平均64.5%である。組織率全国第一位の静岡県(98.5%)においても、避難訓練など自主防災活動が画一化、マンネリ化する地区がみられる。また、高齢化に伴い、全国的にも地縁的な関係に基づく自主防災活動が形骸化する傾向にある。その一方で、自主防災組織

の役割に対する期待は高まりつつある。災害時の安否確認や救助活動、避難所運営などにとどまらず、平常時には防災マップづくりや、地域固有の被害想定に基づく公民連携による防災アクションプログラムづくり、被災体験や災害対策の知恵(災害文化)を伝承するなど多様な役割が期待されている。今後、自主防災組織の多様化する役割を支援するネットワークづくりや、地域のナレッジマネジメント機能を高度化する情報共有環境の整備が課題となるものと考えられる。

(3) 多元的なネットワークによる防災活動の環境整備

近年、災害救援ボランティアによる被災者支援が、災害復旧の大きな力として寄与している。災害対策基本法(1995年12月改正)や防災基本計画(1995年7月改訂)では、ボランティアによる災害救援活動が政策的に位置づけられている。それに伴い、地方公共団体では地域防災計画に災害ボ

ランティアを位置づけるとともに、社会福祉協議会やNPO等と連携してボランティアの受入れ窓口(ボランティアセンター)を整備しつつある。「災害被害を軽減する国民運動の推進に関する基本方針」⁴⁾の中では、より幅広い連携の促進として、国の機関、地方自治体、学校、公民館、PTA、企業、ボランティア団体等、地域において、さまざまな組織が参加するネットワークづくりが重要な柱となることが指摘されている。地域によっては、行政、医療機関、社会福祉協議会、民間事業者、自主防災組織、自治会、地域メディア(コミュニティFM局やCATV)が参加して災害救援ネットワークづくりのためのNPOを設立し、災害時のボランティアセンターの運営のみならず、市内の自主防災活動を支援する平時の活動にも注力している例がある。また、直近に発生した新潟中越沖地震の柏崎市内の被災地(北条地区)では、生涯学習を目的とするコミュニティ組織が中心となり、自主防災組織や各種地域活動団体、さらには自治体や自衛隊、消防などと官民の防災ネットワークを形成し、小学校区または中学校区を単位とする広域的な自主防災活動に取り組んでいる地区も見られる。このような萌芽的な取り組みが全国で徐々に広まりつつある中で、こうした社会的なネットワークによる減災活動を支援する環境整備が防災政策の新たな課題となっている。

一方、地方自治体は大規模災害時の応急対応や復旧活動を補強するために民間事業者や業界団体等との間で、医療、食料、物資、情報、復旧活動などに関する災害時応援協定を締結している。例えば、建設業協会では、応急復旧業務のため重機やオペレーターの派遣協定(有償)を締結している例が見られる。また、生鮮スーパーや生活協同組合の流通在庫を災害時の

非常用食料備蓄に代えて供給するもの、情報関連としてはコミュニティFMやコミュニティCATVとの間で災害時の災害広報や平常時の防災意識の啓発番組を作成するなどの多様な協定が締結されている。地方自治体の中には、応急・復旧業務の量的対応や行政サービスの事業継続などを目的として、他の地方自治体との間で相互救援協定を締結している例がみられる。しかしながら、こうした各種防災協定の実効性を担保するためには、協定の当事者間の情報共有に加え、自主防災組織や一般の災害ボランティアをも含めた状況認識の統一が不可欠となることから、多様な主体による情報共有に基づく連携・協調の仕組みづくりが防災政策上必要となる。

(4) 包括的な地区自治組織の再編

多面的な社会ネットワークが防災行政とも相まって、地域防災力を高めるためには、これまでの狭い地縁関係を越えた包括的な地区自治組織のあり方が問われている。

中央防災会議の「民間と市場の力を活かした防災力向上に関する専門調査会」が取りまとめた「民間

と市場の力を活かした防災戦略の基本的提言」⁵⁾では、防災を主目的とする取り組みに加えて、まちづくり等の防災以外の取り組みを併せて行うことが、個人と地域の力を高め地域社会を変えていく力となり、地域防災力を高めることにつながると提言されている。したがって、自主防災組織を中心とした地域防災力向上のアプローチのみならず、地域コミュニティの課題を発見し解決する包括的な地区自治組織の活動や多様な生活領域で展開されている市民活動団体との多面的な社会的ネットワークを資源とする防災戦略への転換が求められる。

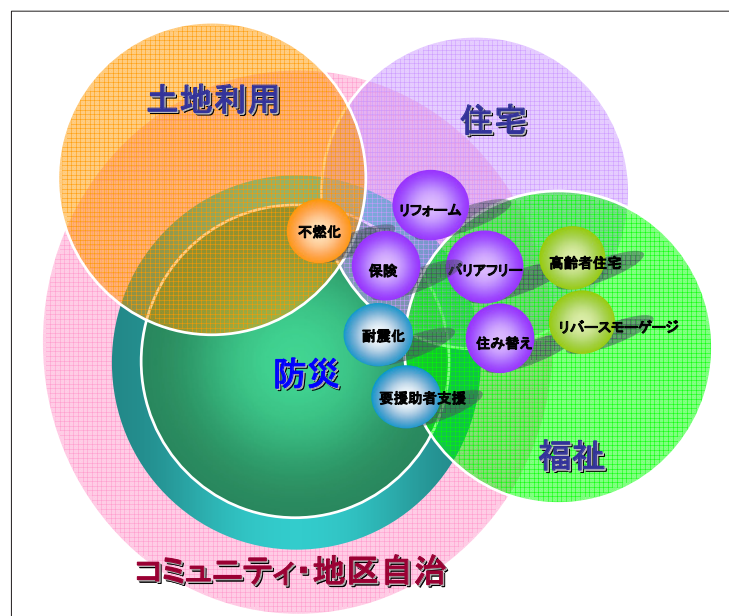
2 - 3

政策の包括性および統合性

(1) 政策の包括性および統合性の現状

防災政策は、いわゆる防災行政の枠にとどまらず、国民の生活領域全般に関わる多様な政策領域とのリンケージが不可欠となる(図表3)。現状の防災行政は、住宅の耐震化促進や自主防災組織の拡充、災害ボランティアの活動環境整備、企業の事業継続計画の策定などの事前対策に取り組んでい

図表3 防災政策と多様な政策とのリンケージ(住宅耐震化の場合)



出典：(独)防災科学技術研究所

る。しかし、今後は、社会的な脆弱性を軽減し被災者の生活再建を促進するためには、平常時の住宅政策、都市計画、地域コミュニティ政策、福祉政策、市民活動推進政策、商業・産業政策等幅広い政策領域とのリンケージもますます重要となる。

また、事後対策についても、災害の復旧・復興対策に際して、単なる原状回復という発想を超え、地域振興や被災地復興の計画的実施、被災者の生活再建対策、住宅確保対策、地域経済の復興対策等について、防災分野以外の施策との連携をはかりつつ、法律、税制、予算措置等によるさまざまな対策が国や自治体によって講じられている。

我が国の防災政策の体系的、包括的な評価は、別途、詳細な分析が待たれるところであるが、基本法の枠組みや計画体系、施策の動向を俯瞰する限りでは、一定の水準の包括性と統合性を担保している。しかしながら、被災した生活者の視点から、または、不確実性への対応の視点から防災政策を概観すると、行政、地域コミュニティ、個人等のそれぞれの防災対策は十分とはいえない。例えば、個人レベルでみると、避難のための各種ハザードマップが配布されても、捨てられてしまう等、十分活用されていないことや、避難等の経路の確認や訓練がなされていない地域が多い。こうした課題は、ハザードマップの作成手法や表現方法の改善など行政や専門家側の課題であるとともに、個人のリスククリテラシーや災害心理、地域コミュニティの災害文化の伝承などの課題でもある。また、住宅の移転や立地選定等に際しては経済的または伝統・文化的な理由も関係している場合もあるため、国や地方公共団体等はハザードマップやその活用方策に関する情報の一方的な提供にとどまらず、リスクコ

ミュニケーション(多様な利害関係者によるリスク情報に基づく討議や熟慮を通じた相互学習過程)を重視し、社会・経済的な脆弱性や文化的な価値などを包括的に考慮した上で、施策の実効性を担保する包括的・統合的な対策の取り組みが必要となる。

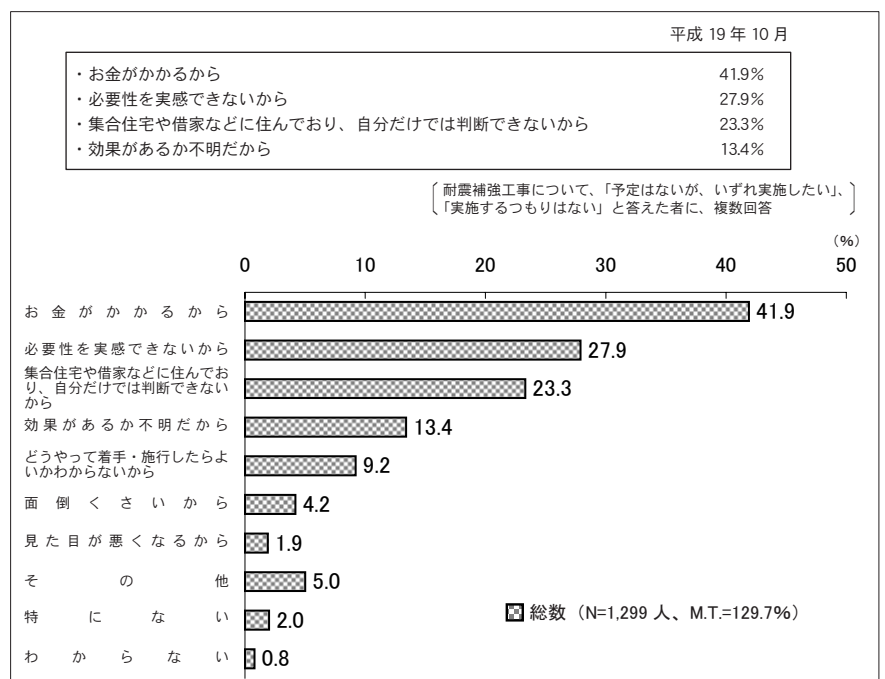
(2)住宅の耐震化施策の例

上記で指摘した防災政策の包括性・統合性の課題について、住宅の耐震化施策を事例に具体的に述べる。政府の中央防災会議では、全国の住宅総数約 4,700 万戸の 25% に相当する約 1,150 万戸の耐震性が不足すると推計している。2005 年 9 月に政府の中央防災会議で「建築物の耐震化緊急対策方針」⁶⁾が決定され、耐震化率を 10 年後に 90% とする全国目標が設定され、耐震診断、耐震改修補助制度に拡充が図られている。税制面でも住宅の耐震改修にかかる所得税、固定資産税の特例措置や住宅ローン減税が講じられた。その他、住宅金融公庫等による低利融資や、住宅性能表示制度(2000 年)の等級に基づき地震保険の保険料割引(最大 30%)が適

用された。宅地建物取引業法施行規則改正(2006 年)によって、耐震診断や住宅性能評価を受けた場合は、その内容を重要事項説明として建物の購入者や賃借人に対して説明することが義務付けられた。これらの施策は主として住宅の所有者や供給側一般を対象に展開されている。

一方、多様な生活者の視点から住居の安全確保や生活の質のあり方については、老朽住宅の改築やバリアフリー化を目的としたリフォームに併せて耐震化を促進する誘導施策も考えられる。これについては、今後、耐震化に必要な資金調達方法(例えば、リバースモーゲージや老朽マンションの立て替え融資制度など)に関する包括的な情報提供の仕組みづくりも重要な課題となる。内閣府が実施した「地震防災対策に関する特別調査」(2007 年)では、耐震補強工事を実施しない理由として、資金面や借家等の理由が挙げられている。自治体では耐震補強工事に対する補助等を行っているものの、借家に入居している賃借人に対する対策は講じられていないのが現状である(図表 4)。

図表 4 耐震補強工事をしない理由



出典：「地震防災対策に関する特別世論調査」の概要(内閣府、2007 年 11 月)

また、旧耐震基準の賃貸住宅に住み続けている賃借人の住み替えを促進する施策なども有効である。例えば、住み続けることを前提とした耐震化施策ばかりではなく、家族構成の変化に応じた借り上げ制度を活用した住み替えや、ケアつきマンションや老人向けのグループホームへの移転など、ライフスタイルやライフステージに応じた多様な住まい方に関する包括的な住宅情報の提供も、防災政策上有効と考えられる。現行の地方公共団体のホームページではそのような情報提供の例はほとんど見られない。これらの包括的な情報提供や相談システムは、今後、地方自治体のみならず公民連携のネットワークによって初めて実現可能となる。

総じて、多様な生活者の視点から防災以外のさまざまな政策領域の施策とも連携し、さらには、民間事業者のサービスやNPOなどの非営利部門が提供しているサービスとを組み合わせることで問題解決をデザインする方法が求められる。例えば、住宅メーカーや工務店、不動産仲介業者等が、行政等によって整備・提供されている各種ハザードマップや被害実績図

などの災害リスク情報を顧客に提供するためのガイドラインづくりを内閣府や(独)防災科学技術研究所、地方自治体等が連携して取り組むことが望ましい。また、民間事業者と消費者の情報の非対称性を考慮した適正な災害リスク情報の提供が民間事業者の社会貢献として市場で評価されるといったインセンティブの仕組みづくりを誘導することが望ましい。

(3)被災者生活再建支援制度 の例

防災政策の包括性・統合性は、災害発生後の被災者生活再建支援を巡る政策にも求められる。我が国の被災者生活再建支援制度は、1998年に議員立法として成立した被災者生活再建支援法に基づいている。同法は、自然災害によって生活基盤に著しい被害を受け、経済的理由等によって自立して生活を再建することが困難な者に支援金を支給することにより、自立した生活の開始を支援することを目的とする制度である。内閣府は同法の改正に向けた議論の中間とりまとめとして2007年7月に「被災者生活再建支援制度に関する検討会中間報告」⁷⁾を公表している。

これらの議論を経て、2007 年度第 168 回臨時国会において改正被災者生活再建支援法が成立した。同改正によって、国は被災者に対し見舞金の名目で使途を限定せずに住宅の再建方法に応じた定額方式(支給上限額 300 万円)で現金を支給し、被災者は支援金を住宅の新築や購入にも使えることとなった。併せて、年収(改正前は原則年収 500 万円以下)や年齢による受給制限が撤廃された。

上記の中間報告までの議論の過程では、住宅本体への支援(私有財産への公費負担)の可否が論点となっている。その他、耐震補強など事前対策や地震保険の加入、自己資金による生活再建への備えの程度など、自助努力を考慮して支給額を決定することの可否なども議論されている。しかし、同法による被災者支援は、被災者の生活再建制度の一助に過ぎないことから、引き続き、政府には、被災者や被災地域の社会的・経済的な脆弱性や中長期的な生活再建困難度などを評価した上で、自助努力へのインセンティブが働き、かつ、有効なセーフティーネットとなる包括的な支援制度の設計が求められる。

3 災害リスクガバナンスが目指すもの

3 - 1

災害リスクガバナンスの 必要性

2-2章で述べたとおり、現行の防災政策の枠組みを基礎付けている災害対策基本法は、防災行政機関による対策(公助・官助)と、個人や家庭、企業等の自己責任に基づく対策(自助)、地域コミュニティやボランティアネットワークによる対策(共助)の役割と責務を規定している。しかし、基本法上

は主体の多様性を前提としているものの、現状の防災政策は公助を中心として展開されており、公助への過度の依存性が指摘されている。特に、大規模低頻度災害リスクへの対策は、階層秩序に基づく防災行政を中心とする防災計画や防災対策のみでは不十分であり、地域コミュニティにおける共助との統合をどのように図ってゆくかという社会技術の研究開発が強く求められている。

防災政策では、防災対策を統合的なリスクマネジメントとし

て体系化する取り組みが国際的にも主流となっている⁸⁾。我が国では、阪神淡路大地震を契機として、主として企業防災を想定して、PDCA サイクルによる継続的なリスク削減に向けた取り組みの標準的な枠組みの必要性が認識され、リスクマネジメントシステム構築のための指針「JISQ2001」として標準化された。同規格は、当初は、危機発生直後の応急対応を中心とした危機管理(Crisis Management)として策定されたが、その後、事前対策や復旧対策

にも拡張された。また、企業や自治体などの当事者のリスク軽減のみならず、その対象が消費者、市民、株主、取引先などの多くの関係者のリスクを軽減することまでに拡大された。しかし、リスクマネジメントシステムは、トップダウンによる内部統制を基本としているために、多元的ネットワークを創出する枠組みが極めて弱いと思われる。

したがって、リスクマネジメントシステムの限界を補完し、水平的な社会ネットワークやそれに基づく防災対策を誘発する新たな枠組みとして、「災害リスクガバナンス」の考え方が必要となる。

3 - 2

多様な政策領域におけるガバナンス論の動向

近年、我が国および諸外国では、公共サービスの生産・供給主体は多元化してきた。そのため、行政機関による政策実施の機能は、企業やNPO等とネットワークを形成しこれを適切に維持管理することに変化していることが指摘されている⁹⁾。このように、国や地方公共団体による伝統的な統治から多様な主体を巻き込んだ協治・協働へという近年の動向を行政学では「ガバメントからガバナンス」と表現している。米国や英国では、種々の政策領域において、行政機関を中心とした多元的ネットワークによるガバナンスの有効性に関する実証的な議論や分析が行われている^{10,11)}。

我が国においては、近年の地方分権の流れの中で、国と地方自治体の役割分担にかかる補完性の原理(政策の決定と実施はそれによって影響を受ける市民やコミュニティにより近いレベルで実施されるべきであるという原則)が、地方自治体の中のガバナンス論に拡張され、地方自治体と地域のさ

まざまな主体との間で、業務委託や指定管理などが普及しつつある。さらにそれらの個別の行政契約や民間委託といった既存の方策にとどまらず、自治基本条例が指向する地区自治組織とNPOとの協働に関する制度が全国各地で実施されはじめている¹²⁾。

3 - 3

リスクガバナンスの一般的な定義

一般のリスク研究の領域においては、新技術や環境リスクに対応するために、リスクガバナンスという用語が用いられ、リスクマネジメントの概念が拡張されている。『増補改訂版リスク学辞典』第9章「リスク対応の新潮流としてのリスクガバナンスについて」では、「一定の制度化されている統治に替わって多様で分散化された利害関係者が各種のさまざまなネットワークや組織(国際、国、自治体、地域社会、NGO等)を通じてそれぞれの自律性・創発性を保ちながらも「共治あるいは協治」と表現される調整や意思決定を行って社会的なリスク課題に対応する新しいマネジメントの方向性を象徴した概念」と説明されている¹³⁾。

また、スイスを拠点とする国際的なリスクガバナンスに関する民間の研究ネットワークである International Risk Governance Council は、自然災害も含む各リスクに応じた包括的なリスク評価と管理の戦略を開発するためのガイドラインを提供することを目的として、リスクガバナンスの統合的な分析枠組みを提案している¹⁴⁾。このフレームワークは、科学的、社会的、文化的な側面とともに、利害関係者の効果的な関与のあり方、さらに、リスクと便益との関係やリスクと他のリスクのトレードオフを考慮することを要請している。したがって、こうしたアプ

ローチは、リスクマネジメントとリスクコミュニケーションの中に包摂されていた要素をリスクガバナンスという枠組みによってより明確にすることで、社会的な文脈の中でリスクの受容レベルや対策のあり方に関する意思決定の質を高度化する取り組みとして評価できる¹⁵⁾。

3 - 4

(独) 防災科学技術研究所による「災害リスクガバナンス」の考え方

(独) 防災科学技術研究所では、2006年度より、第2期の「災害リスクガバナンス研究」プロジェクトに着手し、災害リスクマネジメントの拡張というこれまでのアプローチから、統合的リスクマネジメントの枠組みを規定するガバナンス構造自体を変革するアプローチへと研究戦略の転換を図っている¹⁶⁾。このプロジェクトでは、災害リスクガバナンスを、「多様な主体の社会的な相互作用(災害リスク情報に基づくリスクコミュニケーション)と社会ネットワークの形成による協働を通じて、災害リスクを協治すること」と定義して、この「災害リスクガバナンス」を地域社会に実装するために必要な次の①～③の3つの要件を提示している。

① 災害リスク情報の多元性(専門知、経験知、地域知)と横断的共有

①は、地域のハザードや災害についての科学的知識と地域の災害文化に関する地域知、リスク軽減のための技術や手法について社会が共有していることを意味する。「災害リスク情報」は、情報の生成主体や範囲の観点から、以下の通り分類することができる。

●「専門知」

専門家、行政の持っている知識、

情報(ハザードマップ、被害想定図など)や各種工学的な対策技術、防災に関する制度、各種社会技術など

●「経験知」

災害を受けた体験・教訓など(災害エスノグラフィなど)

●「地域知」

当該地域の災害特性や、地域固有の知恵など(ヒヤリハット、伝承による災害の予兆、災害文化など)

これら3つの災害リスク情報に基づきリスクコミュニケーションが展開され、防災対策の統合化が図られる。また、災害リスクを巡る社会的な受容レベルや対策に対する個人や社会の選好なども、災害リスク情報として広義にとらえられる。

②多様な利害関係者(stakeholder)による熟慮ある対話と討議(リスクコミュニケーション)に基づく社会的意思決定(リスク選択)

②は、災害リスク軽減のための方策の選択に際して、多様な利害関係者との間で、リスクと便益との関係やリスクとリスクのトレードオフ、社会的な受容性などをも考慮し、熟慮ある対話と討議(リ

スクコミュニケーション)に基づく総合的な意思決定が行われていることを指す。

リスクコミュニケーションとは、上記①の共有された災害リスク情報に基づき、社会の状況変化に応じて、さまざまな場面で展開されるものである。単に防災行政の制度的な手続きの体系の中に位置づけられるものに限定されるものではないし、また、必ずしも制度的な枠組みによる意思決定に直線的につながるものでもない。さらに、意思決定に至るまでのリスクコミュニケーションの過程の中では、災害リスク学習(リテラシーの取得)や訓練、ナレッジマネジメントの効果が期待される。特に、インターネットの急速な発展に伴い、WEBを利用し、直接対面して行われるリスクコミュニケーションを補完する可能性は無視しえない。このような情報環境の中で、リスクコミュニケーションを支援する手法と技術の開発が求められる。

③社会関係や私的インセンティブを活用した、社会の多様な組織や個人による水平的かつ非制度的な協働の仕組みの構築

③は、災害リスク軽減のための対策を、社会を構成するさまざまな組織や個人が平時から培った信頼や規範などの社会関係やネットワーク、個人のインセンティブを活用しつつ、必要に応じて新しい仕組みを創造しながら、それぞれの能力や技術を生かしつつ協働することを意味している。

ただし、ここで留意すべき点は、災害リスクガバナンスのアプローチは、個人や利害関係者間の信頼や規範などの社会関係が蓄積されていることを前提とするものではなく、社会的なネットワークや地域コミュニティの形成を通じて、防災対策が試行錯誤的に実践される契機を生み出す可能性が多くなることである。つまり、地域コミュニティの包括的な自治基盤が脆弱な場合には、新たな公共を支える主体の形成とネットワーク化を同時に進めるという新たなコミュニティ戦略と相まってはじめて、災害リスクガバナンスが実現されることとなる。

災害リスクガバナンスは、多元的なネットワークによって創発された非制度的かつ水平的な協働が制度的な防災対策に組み込まれるなどのダイナミズムをもたらす。

4 災害リスクガバナンスに基づく防災研究の新たな方向性 ●●●●●●●●

4-1

社会科学融合による減災技術の研究開発の位置づけ

社会科学融合による減災技術の研究開発とは、第3期科学技術基本計画¹⁷⁾に基づき総合科学技術会議が策定した「社会基盤分野推進戦略」の戦略重点科学技術「社会科学融合減災技術」に該当するものである(図表5)。この技術は、文部科学省科学技術・学術審議会

研究計画・評価分科会防災分野の研究開発に関する委員会が2003年3月に取りまとめた「防災に関する研究開発の推進方策について」¹⁸⁾において、今後5年間の重点的課題として特に推進を強化する事項の一つである「社会の脆弱性とその原因の把握、経済的影響評価等、社会科学分野との連携の確立」の中に位置づけられる。また、長期戦略指針「イノベーション25」¹⁹⁾では、技術革新戦略ロードマップの具体的施策である「社会還元加速プロジェクト」の一つ

として、「災害情報通信システム」の構築が挙げられている。これを受けて(独)防災科学技術研究所は2008年度より社会還元加速プロジェクトの一つとして災害リスクガバナンスを支える「災害リスク情報プラットフォーム(仮称)」(図表6)の研究開発に着手する予定である。この研究開発は、今後、他の研究機関、大学等の社会科学融合減災技術の研究開発とも密接に連携して取り組むべきものである。

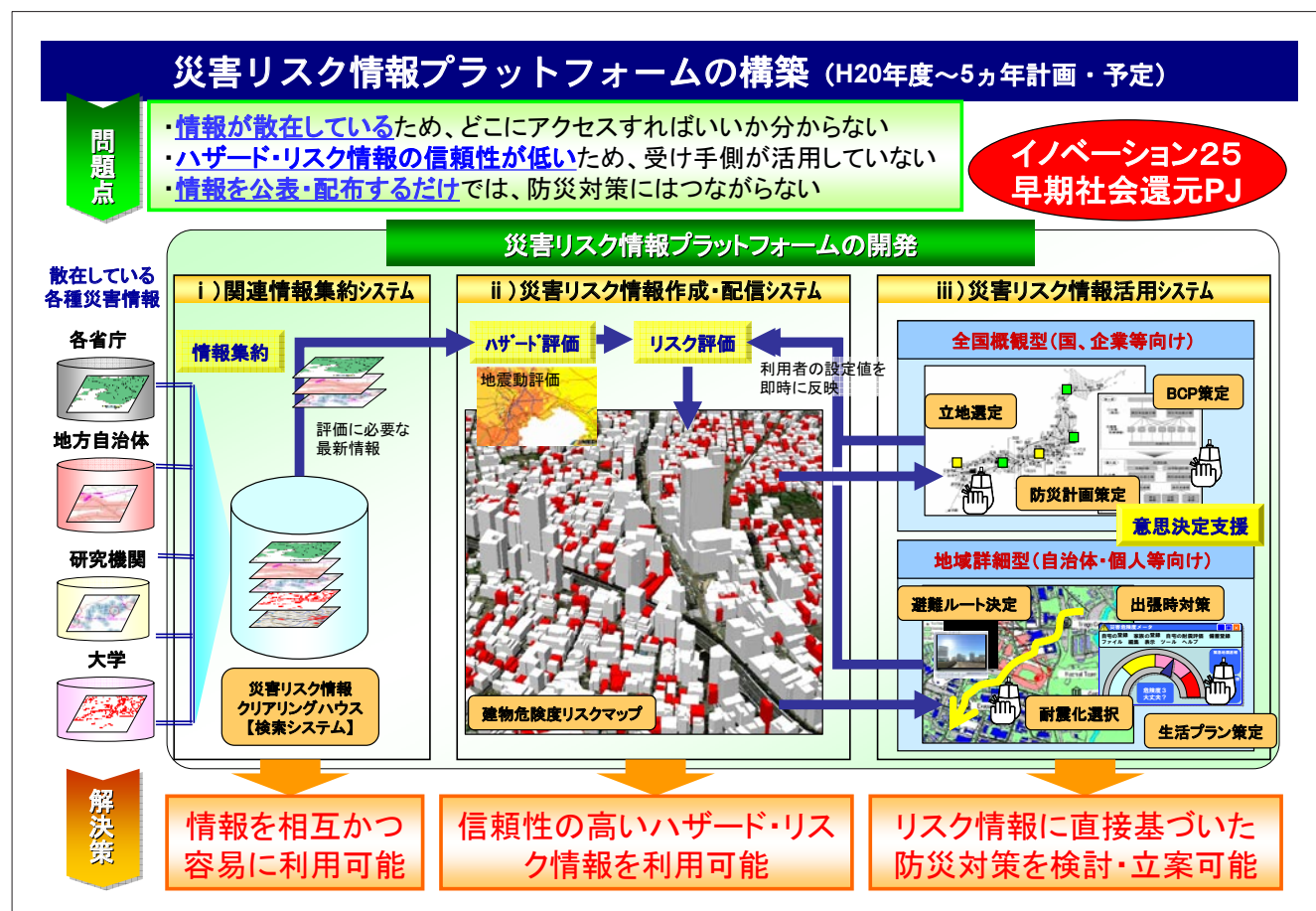
図表 5 第 3 期科学技術基本計画における防災に関する重要な研究開発課題および成果目標

①地震観測・監視・予測等の調査研究	内容	首都直下・東南海・南海地震、宮城県沖地震等巨大地震観測・調査研究・被害軽減化防災技術、防災・減災情報基盤の重点的整備・拡充、地殻活動の評価と予測に関する研究、地震調査研究、地震ハザードステーションの構築、地震予知のための観測研究
	成果目標	2010 年度までに首都直下型地震、東南海・南海地震、宮城県沖地震等巨大地震や大規模な活断層型地震等に関する重点的な調査・観測・シミュレーション等に取り組むことにより、地震発生予測や発生直後の震災把握を高度化し被害の軽減を図る。
②地質調査研究	内容	地質情報の整備とデータベース化・統合化
	成果目標	2010 年度までに、地震動予測や噴火予測に不可欠な地質情報を整備し、地震・火山災害を軽減する。また、産業立地の基盤情報とする。
③耐震化や災害対応・復旧・復興計画の高度化等の被害軽減技術	内容	大規模地震に対する構造物の耐震化等の被害軽減技術（*）、地震発生時の構造物や地盤の挙動のシミュレーション、長周期震動等に対する影響予測・対策技術、耐震工法等の開発、ロボット等の活用による施行システムの高度化、建築物の安全性の検証、地震時の鉄道脱線に関する研究
	成果目標	2010 年度までに、実大モデルによる振動破壊実験を実施し、各種構造物の地震による崩壊メカニズムや強度を解析することにより、構造物の総合的な耐震性能を解明するとともに、既存構造物の耐震診断・補強・改修を簡易に安価に実施できる技術を開発し、地震、津波による被害を大幅に低減する。
④火山噴火予測技術	内容	火山噴火予知、火山防災
	成果目標	2010 年度までに、地殻変動観測等にもとづいて火山活動度を迅速かつ確実に判定する手法を確立し、噴火物理化学モデルの構築を進め、火山災害の軽減を目指す。
⑤風水害・土砂災害・雪害等観測・予測および被害軽減技術	内容	降雨予測等を活用した水管理技術、レーダ・ライダー等の観測による土砂・風水害の発生予測技術・風水害・雪害等の自然災害の現象メカニズム解明・シミュレーション技術の確立（*）、降水予測技術の高度化、シミュレーションによる台風および局所的顕著現象の予測、沖合における波浪観測情報の処理・分析技術、土砂災害の危険度予測および被害軽減技術（*）、治水安全度向上のための河川堤防の質的強化技術
	成果目標	2015 年度までに、豪雨や強風、豪雪等による風水害・雪害等のシミュレーション技術の高度化を進め、被害の軽減を図る。 2012 年度までに都市型集中豪雨等局所的顕著現象のメカニズム解明とそれら局所的顕著現象の発生予測を行う技術を確立し、それに伴う被害の大幅な軽減を目指す。 2007 年度に、洪水による氾濫から守られる区域の割合を約 62%（2000 年：約 58%）、土砂災害から保全される戸数を約 140 万戸（2002 年：約 120 万戸）に向上する。
⑥衛星等による自然災害観測・監視技術	内容	災害監視衛星技術、災害監視無人航空機システム
	成果目標	2015 年度までに衛星観測監視システムを構築し、防災・減災に役立つ観測データを継続的に提供することにより、国民の安全・安心の確保に貢献する。 2012 年度までに、無人航空機システムを運用に供し災害発生時におけるタイムリーかつ詳細な現場情報の収集・提供を可能とする。
⑦災害発生時の監視・警報・情報伝達および被害予測等の技術	内容	即時的地震情報伝達、災害情報共有システム・災害情報の収集伝達手法、リアルタイム海底地震観測、様々な用途の建物・施設における火災時の安全確保、相互依存性解析等を活用した多様な災害の危険度および被害の波及の評価・周知技術（*）、大規模地震時の危険物施設等の被害軽減、被害状況の初期把握技術
	成果目標	2010 年度までに、デジタル双方向通信技術等を活用して、危険箇所を明確に示した情報を、避難に必要な時間を確保して、従来よりも最大で 1 時間程度早期に提供することにより、国民の生命を守ることを可能とする。 各種災害等に対する社会の脆弱性発見や、二次・三次的被害も含めた被害予測のための社会科学の観点を踏まえた解析手法を 2015 年度までに確立する。災害発生時の防災情報伝達を高度化させ、初動対応の迅速化・適正な判断を可能とするとともに、主体的で迅速・的確な自助・共助による避難行動等を可能とさせる技術を 2010 年度を目途に確立する。また、地域ごとの総合的な防災力を向上させる、最適な対策計画と復旧戦略の立案手法を確立する。
⑧救助等の初動対応、応急対策技術	内容	現場の消火・救助活動・消防装備の飛躍的向上、大規模災害時等の消防防災活動支援情報システム、特殊災害に対する消火方法・安全確保、化学物質の火災爆発防止と消火、緊急支援物資や被災者の迅速な輸送・経済活動の早期回復を支援する技術
	成果目標	現下の社会情勢や国民のニーズに対応するため、先端科学技術等による消防防災科学技術の高度化のための戦略について調査検討を行い、2015 年度までに災害の種類に応じ、①過密都市空間における火災時の安全確保、②大規模自然災害時等の消防防災活動、③特殊災害に対する安全確保、④化学物質の火災爆発防止と消火、⑤危険物施設の安全性向上（耐震性及び経年劣化対策）を実現する。 2008 年度までに緊急・代替輸送支援システムを開発し、地方自治体など関係者による事前の緊急・代替輸送計画の策定や発生時における迅速な緊急・代替輸送の実施に貢献するとともに、2010 年度までに災害時においても国際輸送・経済活動を維持又は早期回復を行うことができる国際交通基盤のリスク管理手法を開発し、我が国の国際交通機能の信頼性向上を図る。
⑨災害に強い社会の形成に役立つ研究	内容	災害時における事業継続マネジメント力の向上に関する研究（*）、地域防災力向上に資する災害リスクマネジメントに関する研究、マンマシン系としての地震時安全方策、大深度地下空間の利用
	成果目標	2011 年度までに、地域社会に対する総合的なリスク評価を行う手法を構築するとともに、災害発生時の組織運営などに関する標準的な危機対応システム等を構築することにより、様々な災害による被害予測を一元的に実施する。また、モデル事業を行い、防災研究の成果を地域の防災活動に活かす。
⑩施設等における安全確保・事故軽減等の技術	内容	危険物保安に関する研究、設備安全性計画技術
	成果目標	2010 年度までに、危険物施設に関する技術基準を性能規定化し、新技術・新素材の迅速かつ円滑な導入を推進するとともに、危険物施設の安全対策手法を多様化し、多発する危険物施設の事故の低減を図る。 2010 年度までに製鉄所各施設の安全性計測および評価方法の基盤技術を開発し、安全性の確保を目指す。

（*）：一部のみ戦略重点科学技術

出典：分野別推進戦略（2006 年 3 月 28 日、総合科学技術会議）

図表6 (独)防災科学技術研究所における災害リスク情報プラットフォームの研究開発



出典：(独)防災科学技術研究所

4 - 2

社会科学融合減災技術に関する研究領域と想定される研究テーマの例

第3期科学技術基本計画・分野別推進戦略(社会基盤分野)では、社会科学融合減災技術は「地域の自助・共助力を含む総合的な防災力の向上のために、相互依存性を勘案して各種災害に対する社会の脆弱性把握や、社会経済等への影響を評価するとともに、危険度を周知する技術。災害時の行政、企業、交通輸送等の事業の継続能力確保する技術。」と定義されている。なお(独)防災科学技術研究所では、社会科学融合減災技術を、社会科学分野の種々の知見を融合するとともに、理学・工学分野の知見や技術をも融合する社会技術として捉えている。

社会科学融合減災技術の研究に求められる学問分野は、これまで防災研究に直接寄与してきた危機管理、リスク分析、災害心理、災害情報、都市計画、土地利用計画、保険・基金制度、自主防災、災害ボランティア、復興等の分野に加え、災害リスクガバナンスの3要件の視点から、地方行政、地区自治、市民活動、市民参加・協働、地域コミュニティ、住宅政策、福祉、金融、地域振興、地域経済、産業、地域情報化、コミュニケーション、合意形成、意思決定などの研究領域も重要性が高まるものと考えられる。

これらのさまざまな分野の知見が求められる融合研究領域として、特に、以下の①～④の研究領域が重要であり、その中で想定される研究テーマを例示する(図表7)。

①統合的リスク評価手法

地震、津波、火山、土砂災害、風水害等の各種ハザード情報や災害リスク情報(専門知、経験知、地域知)を統合し、個人や地域コミュニティ等の相互依存性や社会・経済的脆弱性を総合的に判断できるリスク評価手法に関する研究

②参加型災害リスクコミュニケーション手法

上記①のリスク評価結果に基づき、また、参加型のリスク評価の過程において、地方自治体や個人、地域コミュニティ、事業者等が、災害に対する社会・経済的脆弱性を相互に理解するとともに、さまざまな政策領域を包括・統合した各種防災対策や災害対応方策を創発するためのリスクコミュニケーション手法に関する研究

③包括的・統合的な防災対策や災害対応方策

平時の地域社会に形成された社会関係(多元的ネットワーク)や地域コミュニティに蓄積された多様な地域資源を活用し、上記②で開発された各種防災対策や災害対応方策を実施するための社会的方策に関する研究

④分散・相互運用型災害リスク情報プラットフォーム技術と社会的運用手法

災害リスクガバナンスの実現を促進する災害リスクの分散・相互運用型情報プラットフォームの構築とその社会的な運用手法に関する研究

図表 7 特に重要な融合研究領域と想定される研究テーマの例

<p>①統合的リスク評価手法</p> <ul style="list-style-type: none"> ・マルチハザード・マルチリスクを考慮した統合的地域リスク評価手法 ・相互依存性を考慮した個人や地域コミュニティ、企業等の自然災害に対する社会・経済的な脆弱性評価手法 ・ライフスタイルやライフステージに応じた個人の中長期的災害リスクシミュレーション手法
<p>②参加型災害リスクコミュニケーション手法</p> <ul style="list-style-type: none"> ・個人や地域コミュニティが災害リスク情報(専門知、経験知、地域知)を共有し、リスク認知を高める手法 ・個人や地域コミュニティのリスク受容性やリスクトレードオフ、費用便益等を考慮した防災対策を検討する合意形成手法 ・多元的ネットワークがコミュニケーションを通じて防災対策の意思決定を行う手法
<p>③包括的・統合的な防災対策や災害対応方策</p> <ul style="list-style-type: none"> ・防災政策の包括性・統合性を高度化する防災計画やアクションプランの参加協働型策定技法 ・多元的ネットワークが情報を集約し災害時の状況認識を統一し連携・協調する自律・分散型の災害対応手法 ・災害リスクを考慮した総合的なリスクライフプランニング手法
<p>④分散・相互運用型災害リスク情報プラットフォーム技術と社会的運用手法</p> <ul style="list-style-type: none"> ・各種災害リスク情報の相互利用技術とそれに基づき多元的ネットワークが包括的・統合的な防災情報を提供する協働モデル ・分散相互運用環境を用いた参加型の統合的リスク評価シミュレーション技術 ・平時の包括的な地区自治や地域コミュニティ形成を支援する地域情報プラットフォーム上で住民等の災害体験やヒヤリハット、リスク認知等の情報を蓄積し、地域知に変換するナレッジマネジメント手法

出典：(独)防災科学技術研究所

5 おわりに

本論では、災害リスクの不確実性および社会構造の変化を踏まえ、多元的ネットワーク化と防災政策の包括性・統合性の視点から、防災政策の課題および災害リスクマネジメントの転換の必要性を述べた。防災政策を再構築する新たな枠組みとして災害リスクガバナンスの概念が必要であり、それに基づく新たな研究課題として「社会科学融合減災技術」が重要である。個人や地域社会、地方自治体、企業等の多元的ネットワークの相互依存性や社会・経済的脆弱性を考慮した統合的なリスク評価手法やそれらに基づく災害リスク情報に着目した研究課題が求められている。

「災害リスクガバナンス」の概念を社会システムとして実現するための研究開発は、個々の研究課題を単独で実施するものではなく、一元的な研究開発マネジメントに基づき、一体的に推進するべきと考えられる。研究開発の推進に際しては、公的な研究機関や大学に

とどまらず、関連行政機関や地方公共団体、企業、NPO、住民組織等とも密接に連携・協力することが必要である。一連の研究開発を整合的かつ効果的に推進するためには、多分野の研究者や実務家が密接に連携する必要がある。社会的なミッションを設定し、多様な領域の知見を融合し、課題解決型の研究開発をコーディネートするためには、その能力を有するプロジェクトマネジャーの養成とネットワーク形成などの研究環境の整備が必要であり、これらは研究開発型の独立行政法人や大学等が主体となって連携し、推進するべきである。

参考文献

- 1) 首都直下地震の地震防災戦略、中央防災会議決定、2006年4月
- 2) 災害時要援護者の避難支援ガイドライン、内閣府、2006年3月
- 3) 地域防災行政の現況、消防庁、2006年3月
- 4) 災害被害を軽減する国民運動の
- 5) 民間と市場の力を活かした防災戦略の基本的提言、中央防災会議、2004年10月
- 6) 建築物の耐震化緊急対策方針、中央防災会議決定、2005年3月
- 7) 被災者生活再建支援制度見直しの方向性について - 被災者生活再建支援制度に関する検討会中間報告、内閣府、2007年7月
- 8) Ikeda, S., Fukuzono, T., & Sato, T. (Eds) (2006) A Better Integrated Management of Disaster Risks Toward Resilient Society to Emerging Disaster Risks in Mega-Cities, <http://www.terrapub.co.jp/e-library/nied/index.html>
- 9) 宮川公男他編著(2002)パブリック・ガバナンス - 改革と戦略、日本経済評論社
- 10) ゴールドスミス他(城山英明他監訳)(2006)ネットワークによるガバナンス - 公共セクターの

新しいかたち, 学陽書房

- 11) Lyall,C.,&Tait,J. (2005) New Modes of Governance Ashgate Pub. ,UK
- 12) 斎藤誠(2004)、自治基本条例の法的考察, 年報自治体学第17号, 59-62
- 13) 池田三郎(2006)、リスク対応の戦略・政策・制度, 日本リスク研究学会編『リスク学辞典』, 阪急コミュニケーションズ, 307-311
- 14) International Risk Governance Council (2005) White Paper on Risk Governance, http://www.irgc.org/IMG/pdf/IRGC_WP_No_1_Risk_Governance_reprinted_version_.pdf
- 15) Renn,O. (2007) Components of the Risk Governance Framework:The Tolerability of Risk: A New Framework for Risk Management,Earthcan,London,7-19
- 16) Nagasaka,T. (2006) New mode of risk governance enhanced by an e-community platform: Abetter integrated management of disaster risks Toward resilient society to emerging disaster risks in mega-cities. Terra, Tokyo, pp89-107, <http://www.terrapub.co.jp/e-library/nied/index.html>
- 17) 第3期科学技術基本計画、総合科学技術会議、2006年3月28日
- 18) 防災に関する研究開発の推進方策について、科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会、2006年7月
- 19) 長期戦略指針「イノベーション25」、閣議決定、2007年6月1日

執筆者



客員研究官

長坂 俊成

(独)防災科学技術研究所

防災システム研究センター

災害リスクガバナンス研究プロジェクト

ディレクター

<http://risk.bosai.go.jp/risk/>



慶應義塾大学助教授を経て2004年より現職。現在、eコミュニティプラットフォーム（地域社会の情報共有や協働を支える社会的な情報基盤）を活用した新たなコミュニティ形成と災害リスクガバナンスに関する実践的研究に取り組んでいる。所属学会：日本リスク研究学会常任理事、地理情報システム学会理事、日本災害情報学会、日本公共政策学会ほか。

科学技術動向研究センターとは

2001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2001年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。当センターでは、「科学技術基本計画」の策定に資する最新の科学技術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しております。

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

我が国の産学官の研究者を「専門調査員」に委嘱し、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「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会合、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しています。なお、この資料は <http://www.nistep.go.jp> においても公開しています。

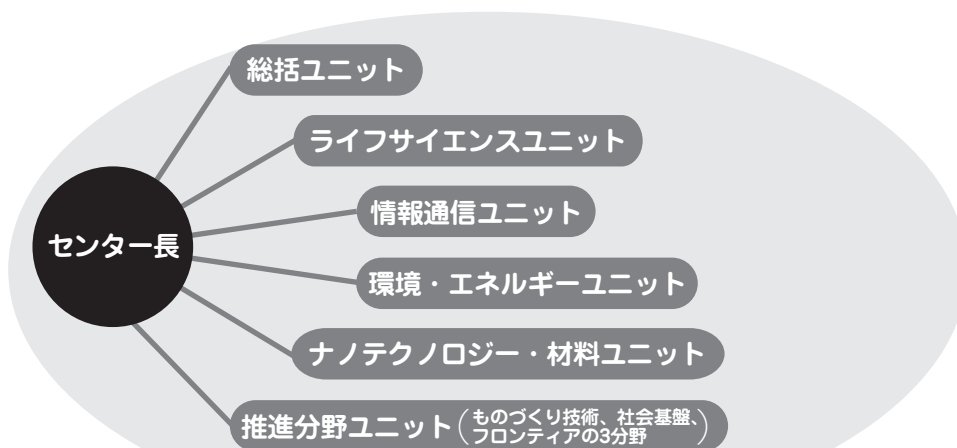
2 重要科学技術分野・領域の動向の調査研究

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、我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、デルファイ法を中心とする科学技術予測調査をほぼ5年ごとに実施しています。2005年には2年間にわたった「科学技術の中長期的発展に係る俯瞰的予測調査」を報告しました。



*それぞれのユニットには、職員の他、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。

（2006年4月現在）

SCIENCE & TECHNOLOGY TRENDS



Science & Technology Foresight Center

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

科学技術政策研究所は、平成 20 年 1 月より
千代田区霞ヶ関の中央合同庁舎第 7 号館へ移転します。

◎新住所◎

〒 100-0013

東京都千代田区霞ヶ関 3-2-2

中央合同庁舎第 7 号館東館 16 F

電 話 03-3581-0605

F A X 03-3503-3996

(電話番号および F A X 番号は変更ございません)

詳しくは当所ホームページ

<http://www.nistep.go.jp/notice/new-address.pdf> をご覧ください

移転に伴い当所ホームページおよび電子メールを

以下の期間停止しますのでご了承ください。

(平成 19 年 12 月 28 日から平成 20 年 1 月 3 日)

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
「科学技術動向・月報一覧」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 - 0005 東京都千代田区丸の内 2 - 5 - 1

【電 話】 03 - 3581 - 0605 【FAX】 03 - 3503 - 3996

【U R L】 <http://www.nistep.go.jp>

【E-mail】 stfc@nistep.go.jp



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

科学技術動向2007年12月