解説

先端的科学技術と環境問題

福岡 雅子*

1. はじめに

バイオテクノロジーの進歩により治療困難であった病気の治療が可能となり、コンピュータの開発により情報の処理が簡単に速く行えるようになるなど、技術の進歩で、生活、産業などさまざまな面で、水準の高い活動が可能となった。今後さらに研究が進むと、がんやB型肝炎、遺伝病の治療が可能となり、通信システムがより発達することなどが期待される。

最近では、それらの研究を行う場として筑波学術研究都市、関西文化学術研究都市をはじめ、技術開発を進めるための研究機関が各地に立地する傾向にある。特に、民間レベルの研究機関は企業間の競争もあって、従来の研究内容をより先端的なものに変更することも含めて急速に増加していると考えられる。

一方、先端的科学技術の研究・利用を行う際には、事故、人為ミスなどによる環境への影響の可能性があり、十分な施設の設置と慎重な管理が必要であると考えられる。これらの先端的科学技術の研究・利用に伴って生じる可能性のある環境問題を把握し、環境への影響をなくすようそれらの問題への対応を検討することは、先端的科学技術が発展するために不可欠なものといえ、今後の重要な課題であると考えられる。

以下の文章は、これらの状況の中で環境問題に取り組む人に先端的科学技術を紹介し、新たな環境汚染の防止を進めるための参考とする目的でまとめた。

2. 先端的科学技術の概要

2.1 先端的科学技術の定義

科学技術の進歩に伴い高度な技術への要求が高まり、先端的科学技術のさらなる研究・開発が必要とされている。先端的科学技術は一般的に、既存技術の複合化

すなわち知識・情報集約を行い、新しい機能を持たせることで高付加価値化したさまざまな製品の生産を行うものである。

すなわち先端的科学技術は、

- 知識・情報集約を主要な手段とする
- 高付加価値の添加を目的とする
- テンポの早い研究開発を行う

という特徴を持った科学技術と定義ができる。

2.2 先端的科学技術の分野

先端的科学技術の分野を対象・目的などによって分類すると、エレクトロニクス、バイオテクノロジー、新材料、その他に分けることができる。また、技術の段階別には、図-1に示すものが考えられる。すなわち、新製品・新物質を開発する場合に最も基礎になる技術（基礎技術）、それらを開発するための技術（開発技術）、開発されたものを生産するための技術（生産技術）、利用するための技術（利用技術）である。このうち、基礎技術以外のものは応用技術と考えられる。また、新材料の利用がエレクトロニクスの基礎と

図-1 先端科学技術の分類

* 地域計画・建築研究所
Masako FUKUOKA

表1 先端的科学技術の研究分野の分類及びその目的・対象、個別技術

	研究分野	主な目的・開発対象	基礎的研究・技術	開発技術	生産技術	利用技術
エレクトロニクス	集積回路	超LSI	情報科学	電子工学	イオン注入、薄膜形成、エッチング	ソフトウェア
	オプトエレクトロニクス	光情報・光通信・光計測技術		光 学	薄膜形成	
	コンピュータ	人工知能、スーパーコンピュータ		計算機言語、知識工学 オプトエレクトロニクス	メカトロニクス	
	テレコミュニケーション	高度情報通信システム				
	オートメーション	OA、HA、FA				
	メカトロニクス	ロボット、家電				
バイオテクノロジー	ファインケミカルズ	医薬品、化粧品、塗料、農業	バイオサイエンス	遺伝子組換え 細胞融合 クローニング	細胞培養 クローニング バイオリアクター	医療技術
	食料	品種改良、栽培技術 微生物蛋白		遺伝子組換え 細胞融合	細胞培養 組織培養	
	環境保全	水処理技術 重金属除去	バイオエシックス	スーパーバグの発見		バクテリアリーチング
	新素材	ファインセラミクス	電子材料、光学材料、医用材料	窯業技術	微粒子化	窯業技術
新合金		電子材料、光学材料	金属工学	結晶制御、イオン注入、薄膜形成		
高分子		エンジニアリングプラスチック 繊維強化プラスチック	高分子化学	可塑剤・充填剤開発	成形技術	
複合素材		電子材料、光学材料	ファインセラミクス、新合金、高分子			
その他	資源 エネルギー資源	核エネルギー、太陽熱・地熱利用 バイオマス	物理学	バクテリアリーチング		エレクトロニクス バイオテクノロジー
	宇宙	人工衛星、宇宙ロケット	エレクトロニクス			
	海洋	海洋牧場	バイオテクノロジー			

表2 先端的科学技術の今後の市場規模

(単位:億円)

	成長率 (%)	1985 (実績値)	1986	1990 (予 測 値)	1995	2000年 (予 測 値)	予 測
エレクトロニクス・情報関連*	12.1	18,000		32,000	57,000	100,000	野村 総研
新素材	9.7	2,000		3,000	5,000	8,000	
その他 (バイオテクノロジー、 エネルギー、宇宙開発 など)	16.6	1,000		2,000	4,000	10,000	
バイオテクノロジー産業市場**							日本 経 済 新 聞 社
〔業種別〕							
医薬品業						36,000	
化学						20,000	
酒類・食品業						19,000	
〔市場分野別〕							
バイオエレクトロニクス						27,000	
食品						13,000	
医薬品						12,000	
バイオテクノロジー産業市場	23.4		1,940			37,000	

資料：NRI 予測資料1987/88年（野村総合研究所）

*P.92 **P.147より引用

なるように、利用技術が次のステップの基礎技術になっている場合も多い。

表1に、先端的科学技術の主な分野及び技術を示す。

先端的科学技術利用の今後の市場規模の見通しは、表2のように考えられている。予測機関によって値に

差があるが、年成長率10～20%程度は見込まれる。

3. 先端的科学技術の研究・利用に伴う環境問題の特徴

先端的科学技術の研究・利用は、従来の科学技術を利用した産業と開発内容、使用物質などの条件が異なり、もたらされる環境問題の特徴も違ったものとなると考えられる。

先端的科学技術の研究・利用を行う上で生じる環境問題の全般的特徴を整理すると、次のようになる。

○今までに経験したことのないような環境問題が起こる可能性がある。

○先端的科学技術は有効な部分だけを先進的に、研究・利用するため、不明点が多いまま実験などが行われる傾向にあり、発生する環境問題も不明点が多くなる。

○用いる物質が多様であり、それぞれの物質に応じた対応を行う必要がある。また、それらの物質の多くは未規制である。

。それぞれの物質の使用量が微量なため、慎重に管理を行えば環境問題を引き起こすことはないと考えられるが、ひとたび環境を汚染した場合、除去・回収などが難しい。

。発がん、遺伝的障害など、影響がすぐに現れないが、将来的になんらかの影響が起こりうる物質を扱う場合がある。その場合、影響がすぐに現れないため、長期的汚染となる可能性がある。

4. バイオテクノロジーと環境汚染

ここでは、先端的科学技術の中でバイオテクノロジーを取り上げ、環境汚染との関わりをみる。

4. 1 バイオテクノロジーの主な内容

バイオテクノロジーは、基礎研究で開発された遺伝子組み替え、細胞融合などの技術を用いて有効な物質を生産することを目的としている。開発・生産の例を以下に示す。

(1) ファインケミカルズ（医薬・化学）

。酵素、ホルモンなどの生産技術

インシュリン、インターフェロンなどのヒトなどの生体内でしか生産されない酵素や、ホルモンの生産機能を持たない微生物に遺伝子組換えを行うことでそれらの生産を可能とする。これによって、がんや糖尿病などの治療薬を大量に生産することが可能となる。また、がん、糖尿病に限らず、治療が困難な疾病に対して効果のある生化学物質を開発し生産する研究が行われている。

。バイオリアクターの開発

バイオリアクターは、「遺伝子組換え技術などによって開発した微生物や酵素などの生体触媒を固定して、選択性が高く高生産性で反応を行なうことのできる反応器」ということができる。

主として医療診断用に利用する酵素や微生物を用いた物質測定装置の開発が進められている。

遺伝子組換え技術などによって、有用な物質を生産するように改良された微生物や動植物、ヒトの細胞などの有用な物質の大量生産について研究・利用されているのが細胞大量培養技術である。大量生産を行なう反応器、培養槽もバイオリアクターの一つと考えられる。

。微生物農業の開発

特定の害虫などに病気をもたらし生存不可能な状態にするなどの影響を与える病原ウイルスを発見、開発し、現在の化学物質による害虫駆除の弊害をなくすこ

とを目的とする。しかし、いずれにせよ農業の使用は生態系を破壊する要因となり、その点の検討も必要であるとされている。

。その他

化粧品、合成洗剤、塗料などの分野でのバイオテクノロジーの応用も進んでいる。

(2) 食料

。遺伝子組換えによる品種改良

異なった種の植物の持つ特性を併せて有用な植物をつくることができるように、遺伝子組換え技術により品種改良を行う。現在、オレンジとからたちの合成種であるオレタチ、トマトとじゃがいもの合成種であるポマトなどが開発され、実用化に向けて研究中である。ポマトでは、1つの苗を植えれば地上部で実を、地下でいもを生産することで高収穫が期待されている。

。組織培養

植物の組織の一部分だけを取り出し、組織培養を行なってもとの植物を生産する技術の研究を行なう。植物の工業的生産を可能にし、食料生産を人工的に制御することを目的としている。

(3) 環境保全

。排水、廃棄物の微生物処理

有機物をエネルギー源としている微生物を利用して排水の処理を行うことは現在も実施されているが、現在用いられている微生物よりも効率の良い微生物や生存可能な環境の範囲の広い微生物の開発が研究されている。

。バクテリア・リーチング

金属を栄養源などとして生存する微生物を利用し、金属を採集する方法をバクテリア・リーチングという。この方法に関しては、現在、有用な微生物（スーパーバグ）を発見し、それらの微生物の反応を早める生存環境などを開発することが研究課題となっている。バクテリア・リーチング技術によって、排水中の重金属を回収することなどが行えるばかりでなく、鉱山から効率よく金属を採集することができるようにと考えられている。

4. 2 環境汚染の可能性

環境汚染の可能性として、バイオテクノロジーの研究・利用にともない、環境汚染物質が

。研究・生産のために用いられる

。生産・使用される

。有効な物質の生産の結果副産物としてできてしまう

ことが考えられる。実験室などの閉鎖系において処理が行われれば問題はないが、ひとたび事故、廃棄・排出、環境放出実験、使用などで開放系に出された場合環境汚染が起きることが想定される。

(1)研究・生産のために用いられた場合

研究・生産のために用いられた場合、バイオハザードが考えられる。

バイオハザードとは、有害な微生物が実験室などから環境中へ洩れ出したり、研究者に感染したりして起こる障害をいう。

バイオハザードの防止のために、特に組換えDNA実験について微生物の種類によって実験室の設備、実験に用いる微生物などの規定（組換えDNA実験指針）がある。

図-2に、組換えDNA実験指針に規定されている最も厳しいレベルの施設を示す。なお、組換えDNA実験指針は対象となる研究機関を管轄する複数の省庁によってそれぞれ規定されているものであるが、内容的にはほぼ同様のものとなっている。施設によるハード面の環境汚染防止（物理的封じ込め）に加え、実験に用いる微生物自体を一般環境では生存の不可能なものとする（生物学的封じ込め）ことも規定されている。

事故の可能性は残されるが、閉鎖系での利用である限り環境汚染の可能性は少ないといえる。

(2)生産・使用される場合

環境汚染物質を生産・使用することは道義的には行ってはならないことであり、それらに対する監視、規制が必要であるが、微生物農薬のように、特に開発段階で安全性の実証が課題となるものがある。その過程で、環境放出実験は避けられない。EPAでは遺伝子組換え生物の屋外実験の申請に対し、安全性を審査するな

どの規制を設けている。我国では、現在、農林水産省及び環境庁で遺伝子組換え生物の屋外利用などの開放系利用のための指針を検討中である。

(3)副産物としてできてしまう場合及びいずれかの段階で廃棄物となる場合

副産物として環境汚染物質が生成された場合、或は、研究・生産のために用いられた環境汚染物質が不要となって廃棄物となった場合、それらの物質の処理を適正に行わねばならない。

4. 3 バイオエシックスへの期待

バイオエシックスとは、生命倫理学ともいわれ、生命を扱う際の倫理上の問題を考える分野であり、体外授精、脳死、遺伝子操作などの倫理を取り扱っている。

この研究分野は、バイオテクノロジー関連の専門家自らがバイオテクノロジーの研究・利用に際して侵してはならない自然の法則などを考えていくものである。この中には、環境への影響に関する検討も含まれ、バイオテクノロジーと環境の関わり方が考えられている。したがって、バイオエシックスの研究成果を用いていくことで、バイオテクノロジーによる環境への影響を未然に防止することが期待できる。

5. お わ り に

先端的科学技術研究・利用機関による周辺環境の汚染などの影響の防止策としては、施設を高性能化し、環境汚染物質の開放系への拡散を防止するハード的な方法と、研究・利用者がルールを持ち、それを守るソフト的な方法が考えられる。

それらを支援する意味で、新しい物質に対するリスクアセスメント手法の確立や廃棄物などの処理責任を明確にするといった監視体制の整備が不可欠といえる。

また、先端的科学技術の分野にバイオエシックスをはじめとした倫理学を確立し、開発者自らが環境問題の専門家を交えて環境汚染の防止を検討していくことが望ましい。

先端的科学技術の研究・利用の目的はもとより環境汚染ではない。従来の技術では解決できなかった諸問題の解決とより快適な未来社会の創造のための技術である。したがって、今後も、環境問題を取り扱う人が、門外漢であるという理由で先端的科学技術の内容を理解することを敬遠したり、先端的科学技術分野の人が自分の研究を優先して環境を省みないことがないように望むものである。

図-2 P4レベル実験室
(完全密閉型グローブボックスを使用)
(DNA組換え実験指針における規定)