

特集

エネルギー・資源の現状と将来

バイオテクノロジーと一次エネルギー創造

村野 文 男*

Fumio Murano

1. 概 論

1. はじめに

遺伝子組換え技術，細胞融合技術，細胞大量培養技術，組織培養技術，およびバイオリクター技術の五大要素技術を核としたバイオテクノロジーは，1980年代後半から21世紀にかけての技術革新の基礎を担う技術領域のうちのひとつとみなされている。

バイオテクノロジーの産業上の応用は，医薬品を中心とした「High Value, Low Volume」の生産分野で開花しつつあるが，その一方で，他の産業分野，例えばエネルギー関連分野においても着実に進展しつつある。

2. バイオテクノロジーの技術の体系

バイオテクノロジーは，バイオロジー（生物学）とテクノロジー（技術）とを合わせた語で，その定義は

必ずしも確定してはいない。

例えば，米国議会技術評価局（OTA）は，「生物体（または生物体の部分）を利用して生産物を作ったり，修飾したり，植物や動物を品種改良したり，特殊な目的のために微生物を開発したりする技術」と「物質を生産する技術」に限定しており，急速に適用分野を拡大している今日のバイオテクノロジーの定義としてはやや狭いものとなっている。

しかしながら一方で，バイオニクス（工学上の問題解決に生物のシステムや方法の知識を応用する技術）、あるいはバイオミメティクス（生体の持つ優れた機能に学びこれを模倣しつつ，生産・利用の両面で自然よりも優れた材料や反応系を構築する技術）等に関連する技術の概念が提唱され始めており，これらの技術領域とバイオテクノロジーとの関連を整理する必要がある。

ここでは，「生体の構造と機能に学ぶ三つの基幹技術」として，図-1に示すように体系化した。

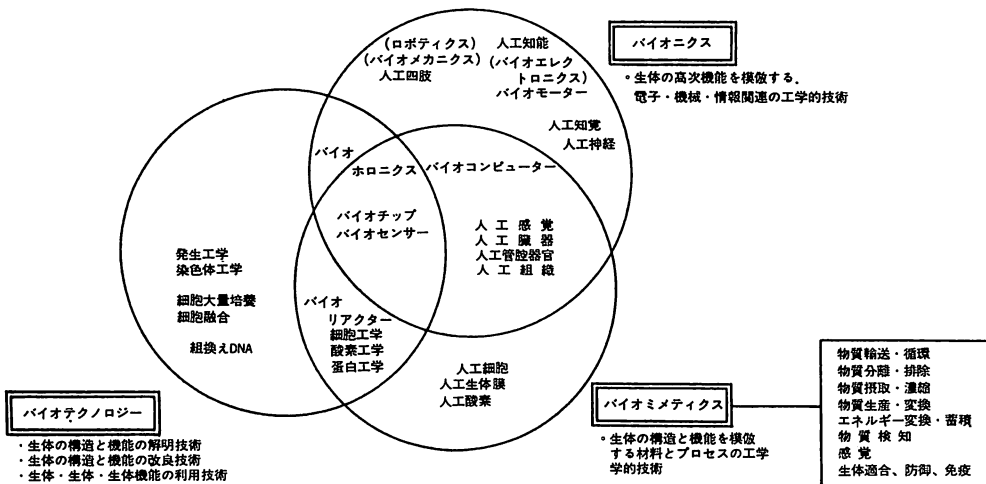


図-1 生体の構造と機能に学ぶ三つの基幹技術

* (株) 村野村総合研究所技術戦略研究部主任研究員
〒247 鎌倉市梶原 4-7-1

(出所) NRI

これらの技術領域内の内で、具体的な研究成果が得られ、産業へ応用されている技術はバイオテクノロジーであり、バイオニクス、バイオミメティクスに関しては多くのものが概念形成が図られるとともに、国の研究機関における基礎的研究開発が着手され始めている。

例えば国の大きな政策の1つとしてはヒューマン・フロンティア・サイエンス・プログラム (HFSP) がある。通産省・工業技術学院・科学技術庁が中心となり、当面の重点分野として以下の研究項目を上げている。

- ・脳の高次機能の解明 (知覚・認知機能、運動・行動制御機能及び記憶・学習機能の内基礎的なもの)
- ・生体機能の分子論的解明 (遺伝情報発見機能、分子認識・応答機能、形態形成及びエネルギー変換機能)

昭和62年度は具体的な事業内容、実施主体等について、国際的FSを実施し、将来的には、国際的な研究機関の設立を目指している。

3. バイオテクノロジーのエネルギー分野への適用側面

バイオテクノロジーの産業化という視点で捉えれば、農林水産分野、食品産業分野、医薬品産業分野等と比較して、エネルギー分野への応用例は、必ずしも多くはない。

それは一つには、エネルギー問題は公共性が高い分

野であり、かつ、国のエネルギー政策とも密接に関連していることも、その一つの要因であろうと考えられる。しかしながら、実用化にはまだ距離はあるものの基礎研究段階から、一部応用段階にあるものも見られ始めている状況にある。

バイオテクノロジーがエネルギー分野へ適用される局面は、極めて概括的にまとめれば表1のように整理することが出来よう。

つまり、その適用領域は大きくは以下の3つに区分されよう。

1) 一次エネルギー資源の創造

この領域へのバイオテクノロジーの取り組みは、エネルギーを創造する際に利用される一次エネルギー資源を作り出すことがターゲットであり、ウラン、原油、バイオマス (含む微生物) 等のエネルギー資源の創造技術がターゲットとなっている。原油価格が低下している折りから、オイルショック時直後のように研究のインセンティブは、現在、あまり高まってははいないが、エネルギー安全保障の観点に立てば、エネルギー資源の多様化は極めて重要な課題である。

2) エネルギーの変換・改質

エネルギー資源を、生物を介してエネルギー物質に変換、ないしはその物質を改質する技術であり、エネルギー資源の多様化や、クリーンエネルギーの創造に寄与する技術である。

3) エネルギーの管理・制御技術

生産したエネルギーを効率よく、安全かつ安定的に

表1 バイオテクノロジーのエネルギー関連分野への適用側面の例

エネルギー資源創造技術	エネルギー変換・改質技術	エネルギー管理・制御技術
<ul style="list-style-type: none"> ・生物学的ウラン回収 ・微生物学的原油2,3次回収 ・バイオマス(含む微生物)生産 ・ ・ 	<p><エネルギー変換> (化学変換)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・メタン発酵 ・アルコール発酵 ・光合成細菌 ・微生物水素生産 ・石油植物 ・微生物学的石炭液化 ・ (電気変換) ・微生物電池 ・太陽微生物電池 ・ (物理変換) ・熱分解 ・ <p><エネルギー改質></p> <ul style="list-style-type: none"> ・原油・石炭の微生物脱硫 ・原油・石炭の微生物脱窒素 ・ 	<ul style="list-style-type: none"> ・各種バイオセンサー ・バイオチップ * 細胞間情報伝達モデル * 神経伝達モデル * 立体視モデル ・ ・ ・ ・

(出所) NRI

* バイオミメティクス領域

利用・供給することに寄与する技術であり、その適用領域としては発電・変電・配電・系統制御・保守運用等が想定される。

しかしながら、研究の本来の目的は、必ずしもエネルギーの管理・利用への応用を意図したものではなく、電子・機械・情報関連の工学的技術開発の成果を、当該分野へ活用しようとする考え方である。

II. 各 論

概論の項で述べたが、バイオテクノロジーとエネルギーとの係わりは、極めて広範にわたる。そこで以下では、過去に行ってきた調査・実験研究の内から、一次エネルギー資源創造技術に焦点を当てて、研究事例の概要を述べる。

○微生物による原油2, 3次回収技術

1) 原油回収と微生物

油田は、一言でいえば、地中に原油が封じ込まれた地層(貯油層)のことを指す。通常、貯油層に存在する原油には、地中にとどまっている水の圧力やガスの圧力によって、油井から自噴する作用があり、この作用を利用した回収を一次回収という。一次回収の技術で得られる原油の可採量は油層の条件によって埋蔵量の5-70%とさまざまであり、平均では30-35%に過ぎないといわれている。

原油の可採量増加を図るべく、水や天然ガスの流体を貯油層に圧入して原油を油井に押し出す二次回収技術も開発されているが、例えば水を用いる水攻法を適用したとしても、その平均回収率は30-35%に過ぎないといわれている。これは、原油が毛細管現象によって地層中に残留してしまうためである。

そこで、回収されずに貯油層内に残留する原油の新しい回収技術として、原油の流動性を高める原油回収法、EOR (Enhanced Oil Recovery) が実施され始めている。油層内の圧力、粘度、界面張力、等の状況を人工的に変化させ、原油をより多く回収しようとする、火攻法、ケミカル攻法、ミッシブル攻法などがこれに相当する。

EORでは、油層内条件を変えるために、熱を加えたり、ガス、アルカリ物質、有機物質、ポリマー、サーファクタントなどが注入されたりするが、いずれもコストが高くつく傾向にある。

一方、微生物の分野では、古くから発酵の過程で、アルコール類、ガス類、あるいは多糖類や界面活性剤様の物質を産生することが知られていた。加えて、近

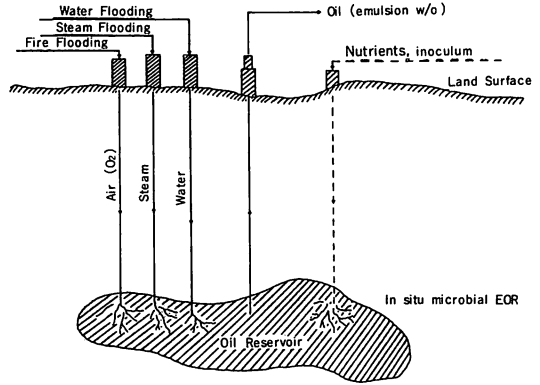


図-2 EOR法およびMEOR法による原油2, 3次回収の概念図

(出所) Naim Kosaric ら「BIOSURFACTANTS AND BIOTECHNOLOGY」1987

年にいたり、油層中の過酷な条件下でも生育する微生物の存在が知られるようになり、微生物の機能や生産物を利用して原油の回収を行う試み—MEOR (Microbial Enhancement of Oil Recovery) がなされるようになってきた。

これらを概念的に示したものが図-2である。

MEORには、基本的に二つの方法がある。一つは、原油の流動性を増強する物質(ポリマーや界面活性剤)の微生物生産を地上で行い、油井へ注入する方法(地上法)であり、他の一つは、微生物を直接油井へ圧入し、油層内で物質生産、あるいは原油分解、ガス発生を行わせる方法(地下法)である。

MEORに期待される側面には、以下の諸点がある。

- ① 微生物生産によって注入化学物質が安価に、しかも大量に作れる可能性がある。
- ② 化学合成品に比べて微生物によって生産される注入物質(ポリマーや界面活性剤など)の方が優れた物性を有する可能性がある。
- ③ 微生物による注入物質の生産に使用される原料は、非石油系の物質を用いることができ、原料価格が石油価格に左右されない。
- ④ 微生物自体に原油分解能があり、原油の粘度を直接低下させる能力が期待できる。
- ⑤ 原油の嫌気分解に並行して産出するガス、有機酸は貯油層内の内圧を高めると共に、原油の粘性を低下させるといった相乗効果が期待できる。
- ⑥ 遺伝子操作等のニューバイオテクノロジーの技術を用いて、微生物の生育・物質生産などの機能を飛躍的に向上させることが期待できる。

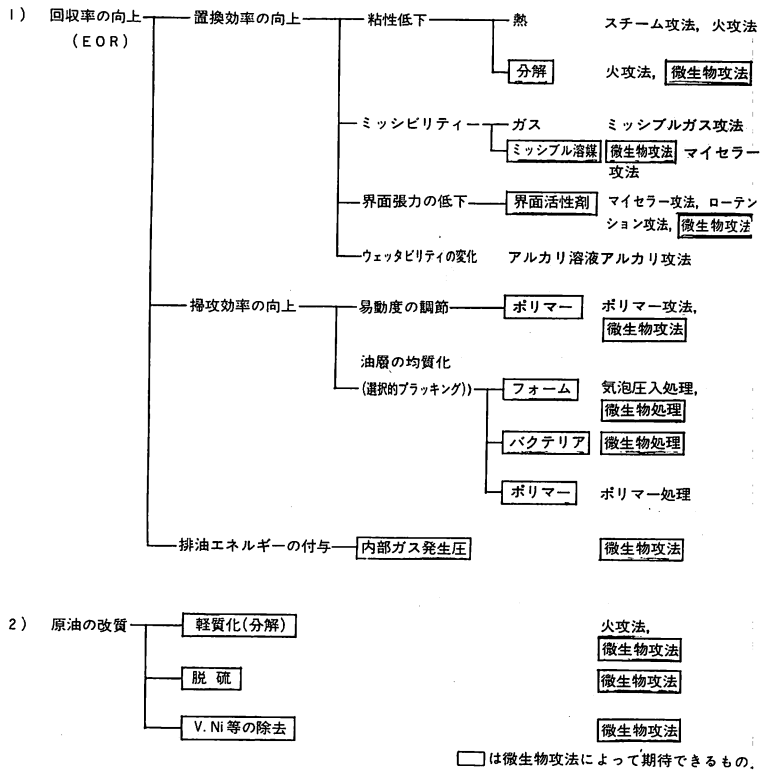


図-3 EORおよび原油改質における微生物の主な機能と役割 (出所) NRI

MEORは、火攻法、ケミカル攻法、ミッシブル攻法などに対して微生物法と呼ばれるが、十分なフィールドテストがなされていないために、技術的、経済的に不確定要因が多く、実用化に向けては、今後の研究の積み重ねに待つところが大きい。

2) EORにおける微生物の役割

EORの諸技術には、各々に適応する効果的な油層条件があり、したがってまた原油回収コストにも大きな幅がある。

EOR技術を、油層に影響を与える主な機能から分類し、かつ、EOR技術の中で、微生物攻法 (MEOR) がどのように位置付けられるかを示したものが図-3である。

微生物の代謝産物でEORに有用な生成物には、次のようなものがある。

- ① 界面活性剤
- ② ポリマー
- ③ アルコールやアセトンなどのミッシブル溶媒
- ④ CO₂やCH₄などのガス
- ⑤ 気泡剤
- ⑥ 酢酸などの有機酸

このような代謝生成物を地上で生産し、地下に圧入すれば原油の回収増加が図れるであろうし、あるいはまた、微生物が油層中において生存、増殖しながらこれらの生成物を代謝していけば、同じように原油の回収が期待できる。(参考までに、界面活性剤注入に伴う原油回収機構を図-4に示す)。

また、注入した微生物が、原油中の重質部分のみをその場で軽質化したり、アロマトックなイオウ分を水溶性にしたり、重質油中に含まれるニッケル (Ni) やバナジウム (V) を取り除くことが出来れば、原油の性状も変わり、質も高まることになる。

微生物攻法の魅力は、その技術的有効性とコストパフォーマンスとにある。

技術的有効性については、例えば、微生物の代謝産物であるキサントガムが、化学合成によるポリアクリルアミドに比べて、ケミカル攻法の一つであるポリマー攻法において有効であることは実証済みである。他にも、微生物由来の代謝物の方が、これまでEORにおいて使用されてきた種々の化学合成品に比べて有効である可能性もあり、遺伝子操作等による微生物の改質によって、よりよい代謝生成物を生み出得る可能

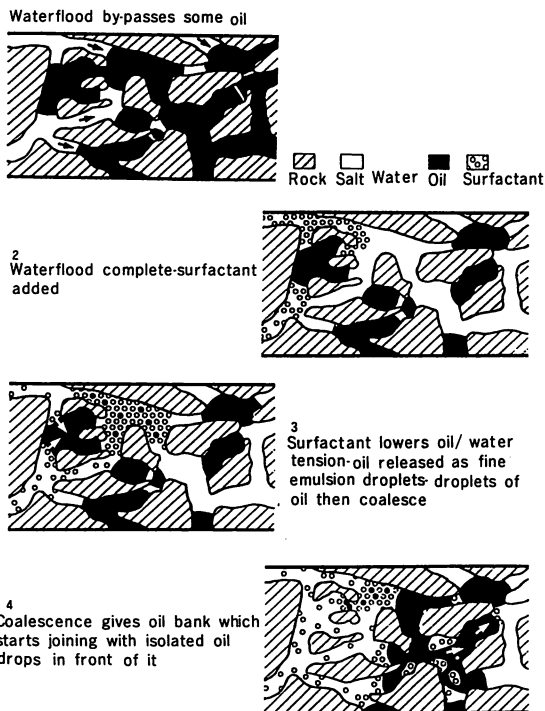


図-4 界面活性剤注入に伴う原油回収機構

(出所) Naim Kosaric ら「BIOSURFACTANTS AND BIOTECHNOLOGY」1987

性もある。

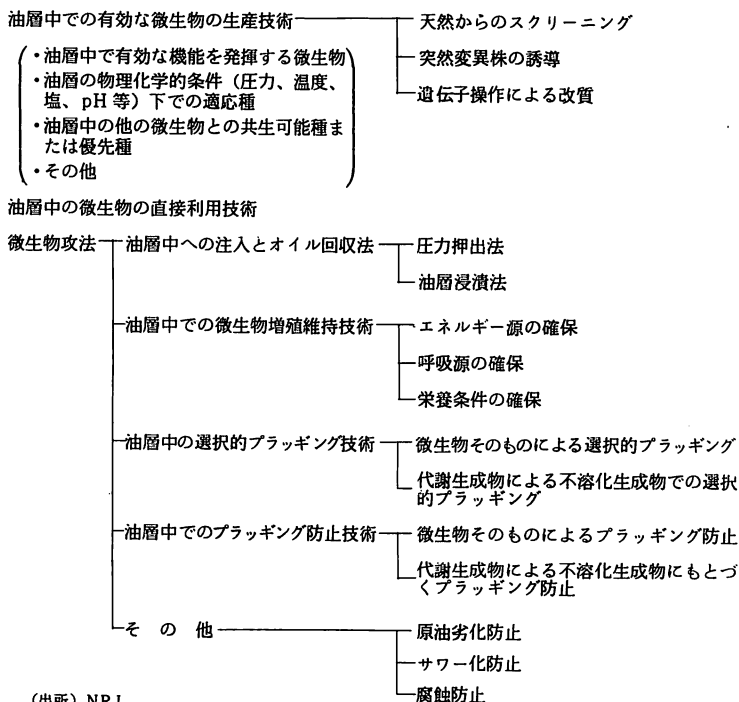
コストパフォーマンスについていえば、MEORの地下法が今までのケミカル攻法のように、化学合成品を工場から運んで圧入するのではなく、地下で安価な栄養源の下で微生物を増殖させ、かつ有用な代謝産物を生成させるわけで、相当なコストダウンが図れると思われる。また、微生物を地下で原油の回収を行わせながら、原油の改質も同時に進行させることが可能となれば、原油回収後の改質行程の簡略化も期待され、原油精製過程も併せてのコストダウンが図れることになるであろう。

3) EORにおける微生物利用技術の体系

EOEにおける微生物利用の技術は、大きくは地上法と地下法に区分される。

地上法での微生物利用には、これまで、EOE技術の一つであるマイセラー攻法で用いる界面活性剤の微生物合成（バイオサーファクタント）での利用と、マイセラー攻法で用いられるポリマーの微生物合成（バイオポリマー）での利用とがある。

また、ガスと水に起泡剤を加えた気泡圧入法は、EOEの技術として実際的ではないといわれているが、これを選択的にブラッキング技術として活用する場合



(出所) NRI

図-5 地下法の微生物利用技術体系

(出所) NRI

に起泡剤の微生物合成が考えられる。

現在使われている界面活性剤、ポリマー、起泡剤はいずれも化学合成品であり、化学合成品と微生物合成品の性能、コストの比較が重要である。

地下法における微生物利用の技術体系については図-5にまとめたが、大きく分けると、油層中で有効な機能を発揮する微生物を作り出す技術と、その微生物を使った微生物攻法技術となる。

油層中での微生物の有効な機能については、すでに図-3に示したが、実際には、次のようなことが要求されるであろう。

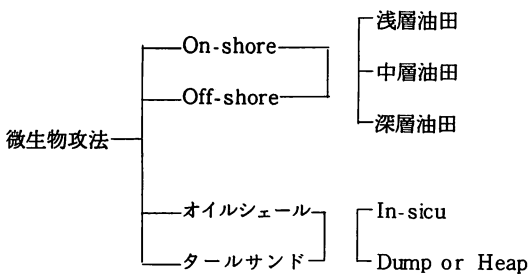
- ① 図-3に示した機能をできるだけ多く持つ微生物であること。
- ② 油層の物理化学的条件、すなわち、温度、圧力、塩分、pH、その他の油層条件に適応できる微生物であること。

これらの要求を満たす微生物を生産する技術としては、天然からのスクリーニング、突然変異株の誘導、遺伝子操作による育種、油層中の微生物の直接利用、といった技術があるが、現在の所、天然からのスクリーニングが中心であり、一部で、油層中の微生物の直接利用を検討しているところがある（この場合、微生物は注入しない）。

突然変異株の誘導、遺伝子操作による育種の技術は、有望な微生物の種類や特性、およびその作用メカニズム等が解明されないと、具体的な研究開発に着手するのが困難である。

有望な微生物のスクリーニングも、例えば、ガス発生があるもの、界面活性剤作用のある物質を産生するといった現象面からのものであり、微生物の同定や、その作用メカニズムは殆ど解明されていない。

微生物攻法が応用できるのは、30mから5,000mの深さの貯油層の原油に対してであり、これを適用対象



(出所) NRI

図-6 微生物攻法の適用対象

別に分類すれば、図-6のようになる。

MEORの研究は、資源小国であるわが国が、産油国に対するバーゲニング・パワーという点からも取り組むべき重要研究課題であると考えられる。

4) MEORのフィールドテストの実施状況

MEORのフィールドテストは、Zobellの行った“プロジェクト-43A”を契機として、1950年代から1960年代にかけて、米国、東欧、ソ連を中心として実施されたが、十分な技術的検討が加えられないまま終わっている。

表2 国別MEORフィールドテスト実施状況(1982年)

国名	フィールドテスト油井数
ポーランド	18
ハンガリー	10
チェコスロバキア	6
ルーマニア	9
オランダ	2
米国	178

(出所) NRI

表2は、国別でのMEORのフィールドテストの公表ベースでの実績を、1982年の時点で見ただけのものである。米国が178の油井に対するテストを実施しており最も多い。1984年時点では、米国では200以上の油井でMEORのフィールドテストが実施されているとみられ、MEORの開発ポテンシャルは米国が他を圧して高いであろうことが予想される。

5) 研究現状

MEOR研究を行っている中心国は、北海油田への適用をターゲットとした英国と米国である。後者では、エネルギー省が中心となり、1979年から研究が開始され1982年に一応の成果が得られた。これを評価しフィージビリティの高い技術であると判断し、昨年(1987年)に再開されている。