



技術戦略研究センターレポート

# TSC Foresight

Vol. **33**

## 微生物群の利用及び制御分野の 技術戦略策定に向けて

2019年3月

|            |                       |    |
|------------|-----------------------|----|
| <b>1</b> 章 | 微生物群の利用及び制御技術の概要      | 2  |
| 1-1        | バイオテクノロジーの進展          | 2  |
| 1-2        | 微生物群の利用               | 3  |
| 1-3        | 微生物群制御技術が貢献できる社会課題    | 4  |
| 1-4        | 微生物群制御に関連した基盤技術の発展状況  | 6  |
| <b>2</b> 章 | 微生物群の利用及び制御技術の置かれた状況  | 7  |
| 2-1        | 微生物群制御の市場規模(国内、海外)・予測 | 7  |
| 2-2        | 特許出願と論文発表             | 10 |
| 2-3        | 標準化の動向                | 16 |
| 2-4        | 国内外の政策動向              | 18 |
| <b>3</b> 章 | 微生物群の利用及び制御分野の技術課題    | 21 |
| <b>4</b> 章 | おわりに                  | 23 |

TSCとはTechnology Strategy Center(技術戦略研究センター)の略称です。

# 微生物群の利用及び制御分野の技術戦略策定に向けて

## 1章 微生物群の利用及び制御技術の概要

### 1-1 バイオテクノロジーの進展

生物機能を利用する技術（バイオテクノロジー）は、食品、健康・医療、工業等の多くの産業に活用されており、持続可能な社会を目指す上で有力な手段である。経済協力開発機構（OECD）は、2009年に公表した「The Bioeconomy To 2030: Designing a Policy Agenda」

の中で、バイオテクノロジーと経済活動を一体化した「バイオエコノミー」が、今後大きく拡大する可能性を示した。また、2015年に国連サミットで「持続可能な開発のための2030アジェンダ」（SDGs: Sustainable Development Goals）が採択され、社会課題解決に向けてバイオテクノロジーへの期待が一層高まっている。

一方、近年、IoT、AIといったデジタル技術が革命的進展を遂げ、バイオテクノロジー分野においても、ゲノム情報等のビッグデータ活用や、合成生物学の発展等の変革が起きている。そして、バイオテクノロジーとデジタル技術を融合させて、イノベーションを創出し、社会課題解決を図る取



図1 バイオとデジタルの融合により実現を目指す経済社会像

出所：「バイオ戦略検討ワーキンググループ 検討の中間とりまとめ」配布資料（内閣府，2018）

# 微生物群の利用及び制御分野の技術戦略策定に向けて

組が各国で進んでいる。

我が国では、2017年10月の総合科学技術・イノベーション会議（CSTI）の政策討議を受け、現在、バイオ戦略の策定に向けた検討が進められている。その中間とりまとめでは、バイオとデジタルの融合により実現を目指す経済社会像（ビジョン）として、「農林水産業の革新（持続可能な農林水産業）」、「革新的なものづくりによる成長社会」、「炭素循環型社会の実現」、「健康・未病社会の実現」の4分野等が示されている（図1）。

## 1-2 微生物群の利用

バイオテクノロジーの担い手の1つは、細菌（バクテリア）、酵母、菌類（カビなど）等の微生物である。これらは地球で最も古い生物であり、様々な環境に生育し、その数と種類は地球上の生物の中で最も多いと言われている。そして、微生物は様々な物質（有機物や無機物）を分解する能力に非常に優れ、これらの分解により自身の生存のためのエネルギーを生産する。また、生産したエネルギーを消費して様々な物質を生産するが、この生産物を介して共存する動植物などの他の生物に働きかけている例もある。

このような微生物の能力は、従来、発酵工業（発酵食品・飲料、医薬品、化合物原料の生産）や環境浄化などに活用されてきた。発酵食品や飲料は、有史以前から存在し、我が国でも奈良時代の記録が残っている。そして、現在、我が国では、味噌・醤油・納豆・日本酒・鰹節といった発酵食品が日常的に食され、世界有数の発酵食品大国と言われている。さらに、近年、同一環境に存在する多くの微生物（以後、微生物群）に対して、様々な作用を及ぼすこともわかってきた。

このような微生物の能力を制御する技術は、図1に示した、食のヘルスケア産業創出や生活習慣病等の予防的対応の強化等による「健康・未病社会の実現」や、環境に優しい農業と世界の食糧安定供給に寄与する「農林水産業の革新」等の社会課題の解決に貢献することが期待されている。一方、微生物利用が進んでいる発酵工業においても、現状は、培養が比較的容易な菌の単独培養もしくは少数の菌からなる複合培養に限られ、環境浄化による微生物利用も、その制御は運転ノウハウに頼っている。したがって、微生物の持つ力をより効果的に利用するために、微生物単体に加えて微生物群の能力を制御する技術開発が求められている。

# 微生物群の利用及び制御分野の技術戦略策定に向けて

## 1-3 微生物群制御技術が貢献できる社会課題

微生物群制御技術は、様々な社会課題解決に利用可能だが、代表的適用先である、健康維持、持続的耕地利用、水資源管理について概要を示す。

### (1) 健康維持

我が国の高齢化率は、2005年に世界で最も高い水準に達した。しかし平均寿命と健康寿命（日常生活に制限のない期間）の差が約10年間あり、2001年以降も緩やかではあるものの、この差が広がっている。今後、既に40兆円にものぼる医療・介護費の急増が懸念され、健康寿命の延

伸は喫緊の社会課題となっている。また、2050年には64か国において高齢者の割合が人口の30%を超えると見込まれており、近い将来、世界的にも健康寿命に対する関心が急速に高まることが予想される。

この健康維持という観点から脚光を浴びている研究分野として、腸内微生物群がある。腸内には約1,000種、100兆個程度の微生物が棲んでいると言われ、食物の分解だけでなく、ビタミン類の生合成、免疫や代謝の調節、病原体の排除など多様な役割を果たしていることが明らかになっている。さらに様々な身体・精神への影響も示されており（表1）、既に米国を中心に腸内細菌の制御による疾患治療剤の開発が進んでいる<sup>\*1</sup>。

表1 腸内微生物群が関わっている疾患や生理状態

| 疾患や生理現象(例)                      |                                         |                                          |
|---------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|
| 1 循環器疾患                         | 8 高コレステロール低下 (Lactobacillus plantarum*) | 15 老人性うつ病                                |
| 2 脳血管疾患                         | 9 菌群の恒常性維持(乳酸**)                        | 16 アルツハイマー病                              |
| 3 高血圧緩和(Lactobacillus murinus*) | 10 胃腸がん                                 | 17 パーキンソン病                               |
| 4 肥満                            | 11 慢性腎臓病                                | 18 動脈硬化 (trimethylamine-n-oxide**)       |
| 5 糖尿病(リポ多糖**)                   | 12 精神性神経疾患                              | 19 心筋梗塞 (trimethylamine-n-oxide**)       |
| 6 消化吸収ホルモン(短鎖脂肪酸**)             | 13 うつ病(セロトニン、γ-アミノブチル酸**)               | 20 免疫活性化                                 |
| 7 体脂肪分布制御(短鎖脂肪酸**)              | 14 老人性新規疾患                              | 21 抗炎症作用 (Faecalibacterium prausnitzii*) |

\*関連する菌名 \*\*疾患と関連のある菌由来の物質

出所：各種資料を基にNEDO技術戦略研究センター作成（2018）

\*1 Dover, Delaware, may 10, 2016/PR Newswire/

# 微生物群の利用及び制御分野の技術戦略策定に向けて

また、医療ではなく予防という観点から、腸内微生物群の活動を望ましい方向へ誘導するメディカルフードや、活動状況から病気の子兆を察知する技術の開発も期待されている。

## (2) 持続的耕地利用

国連食糧農業機関（FAO）は2015年に、2050年には現在よりも40%～70%の食料増産が必要であり、食糧生産持続のため、耕地の劣化を防ぎ、持続可能な土壌管理が必要と報告した。

耕地劣化の一因は、過剰な化学農薬や肥料の使用だが、生産した食料の半分を損失させる病気や害虫対策のために農薬を使わざるを得ず、また高い生産性を得るために肥料が必要という背景がある。したがって、化学肥料や化学農薬を削減するために、これらの代替となる技術開発が必要である。

微生物には植物と共生して、病害虫を抑制するもの、植物の養分や水の吸収を促進するもの、植物の生育を促進するものがあることが知られている。これまでに、このような微生物の一部が商品化されているものの、限られた微生物の利用であり、化学農薬や肥料の100%代替には至っていない。

農業に、より効果の高い微生物群を利用する技術を確立し、耕地劣化の広がりの抑制と、食糧生産性の維持への貢献が期待されている。

## (3) 水資源管理

国連環境計画（UNEP）は1999年に、2025年までに世界で3人に2人が安定的な水資源を得ることが難しくなると報告しており、今後、産業排水などを含む排水の再利用が強く求められることが予想される。

現在、一般下水では、活性汚泥と呼ばれる微生物群を利用して、排水中の有機物や無機物を微生物に消化させている。また産業排水では、化学的処理や活性汚泥処理が行われ、排水中に環境汚染物質が含まれる場合には、分解活性を持つ微生物が汚染物質の除去に利用されることもある。

このように、排水処理には微生物群が有効利用されているが、排水処理システムの効率化は、排水処理装置の運転などのノウハウに頼っている状況にある。すなわち、微生物群が本来持っている力を最大限引き出せておらず、この改善が期待されている。



# 微生物群の利用及び制御分野の技術戦略策定に向けて

## 1-4 微生物群制御に関連した基盤技術の発展状況

様々な社会課題への貢献が期待される微生物群の活用は、昨今のバイオビッグデータの蓄積とその解析の進展によるところが大きい。

例えば、ゲノム（染色体上の遺伝子が持つ全遺伝情報）では、1995年のインフルエンザ菌ゲノムの解読以降、次世代シーケンサーの登場とゲノム解析コストの低下も相まって、2000年代半ばからその情報蓄積速度が加速している。現在、米国国立生物工学情報センターに格納されている微生物のゲノム関連情報（部分的なものも含む）だけで約38,000件、米国国立医学図書館の微生物ゲノム関連論文の発表数は3,500件以上ある（図2）。図2の点線

は2000年以前と同じ率で発表された場合の論文数の推移を示す。2014年半ば頃から、論文発表の率が著しく増加していることが分かる。

また、細胞内の代謝産物と遺伝子発現を網羅的に解析する技術（メタボロームとトランスクリプトーム）とビッグデータの蓄積、このビッグデータを扱うための情報解析技術、遺伝子やタンパク質などの細胞内分子の機能解析技術、フローサイトメーター等を用いた微生物単離技術の高度化といった、関連技術の進展も微生物群の活用に大きく貢献している。

一方、現在、ビッグデータは個別に蓄積されているものも多く、複数のビッグデータを組み合わせて解析を行う等の活用は難しい。

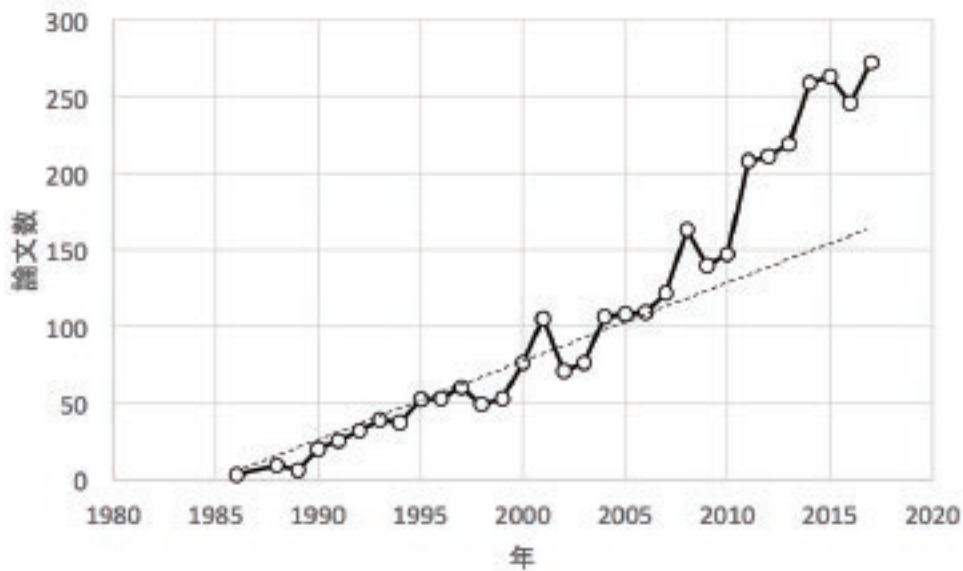


図2 米国国立医学図書館文献データベース中の微生物ゲノム関連論文の発表数  
出所：NEDO技術戦略研究センター作成（2018）

# 微生物群の利用及び制御分野の技術戦略策定に向けて

## 2章

### 微生物群の利用及び 制御技術の置かれた状況

微生物群制御技術は多くの分野に関与するため、その状況を網羅的に把握することは難しい。そこで、同技術の代表的な適用先である、(1) 食品と腸内微生物群、(2) 農業用微生物群、(3) 排水処理と微生物群に絞って、調査・分析を行った。

### 2-1 微生物群制御の市場規模 (国内、海外)・予測

#### (1) 食品と腸内微生物群

腸内微生物群関連では、食品分野で既に市場が形成されている。具体的にはプロバイオティクス（人体に良い

影響を与える微生物や、それを含む製品）やプレバイオティクス（プロバイオティクス効果を高める食物繊維、オリゴ糖などの補助成分）などである。

2016年時点で、市場の40%程度をダノン（仏）、ヤクルト（日）、ネスレ（スイス）、クリスチャンハンセン（デンマーク）、ダニスコ（デンマーク、デュポングループ）が占めている<sup>※2</sup>。また、近年、プロバイオティクスの概念が中国で広がり、ヤクルトが進出して大きなシェアをとっている<sup>※3</sup>。今後は、中国を含めたアジア市場に牽引されて、プロバイオティクス、プレバイオティクス市場が大きく伸びると予測されている<sup>※4</sup>。また、家畜飼料用のプロバイオティクス市場も形成されている。これらの市場について、2016年と2020年（予測）の規模を表2に示す。

現在のプロバイオティクス市場の中心は、乳酸菌応用製品・応用商品であり、それ以外の商品については開発余地が残されている。

表2 国内外の腸内微生物群に関連する食品市場

|              | 国内市場    |         | 国際市場（1米ドル=110円で算出） |         |
|--------------|---------|---------|--------------------|---------|
|              | 2016年   | 2020年予測 | 2016年              | 2020年予測 |
| プロバイオティクス    | 7,400億円 | 9,700億円 | 約4.7兆円             | 約7兆円    |
| プレバイオティクス    | 1,100億円 | 1,800億円 | 3,700億円            | 5,417億円 |
| 飼料用プロバイオティクス | 360億円   | 527億円   | 1,100億円            | 5,200億円 |

出所：各種資料を基にNEDO技術戦略研究センター作成（2018）

※2 Dover, Delaware, may 10, 2016/PRNewswire/

※3 日経バイオ年鑑2018

※4 MarketsandMarket (2017) Probiotics Market by Application (Functional Food & Beverages (Dairy, Non-dairy Beverages, Baked Goods, Meat, Cereal), Dietary Supplements, Animal Feed), Source (Bacteria, Yeast), Form (Dry, Liquid), End User (Human, Animal), and Region - Forecast to 2022.

# 微生物群の利用及び制御分野の技術戦略策定に向けて

## (2) 農業用微生物群

世界の人口増加に伴って食糧増産の必要性が高まることから、世界の農薬市場は、現状の約7兆円から大きく拡大すると予測されている(表3)。

農薬市場は海外の上位4社(シンジェンタ、バイエル/モンサント、ダウ/デュポン、BASF)で7割を占めている<sup>※5</sup>。化学農薬の代替として微生物を利用した製品(殺菌剤、殺虫剤、除草剤、植物成長促進等)の市場規模は、農薬市場全体の1%に満たない。しかし、上記の大手メーカーも

種子コーティング剤などの開発を進めており、今後、国際市場は年成長率10%を超える勢いで大きく拡大すると予測されている<sup>※6</sup>。なお、この分野では、上記の大手企業に加えて、ベンチャー企業がプレーヤーとなっている点も特徴として挙げられる(表4)。

一方、国内市場は、現在、多くの企業が参入しているものの、全体規模は30億円程度と非常に小さく、成長率も5%程度と海外よりも低い(表3、表4)。

表3 国内外の農薬市場

|         | 国内市場    |         | 国際市場 (1米ドル=110円で算出) |         |
|---------|---------|---------|---------------------|---------|
|         | 2016年   | 2020年予測 | 2016年               | 2020年予測 |
| 農薬市場    | 3,800億円 | 3,800億円 | 約6.8兆円              | 約9兆円    |
| 農業用微生物群 | 27億円    | 32億円    | 3,000億円             | 4,500億円 |

出所：各種資料を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2018)

表4 農業用微生物群の市場を形成する主な企業

|      | 企業名(国)                                                                                                                                                                                                           |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 国際市場 | BASF(ドイツ)、Bayer(ドイツ)、Monsanto/Novozymes BioAg(米国)、BioWorks(米国)、Certis(米国)、Marrone Bio Innovations(米国)、Koppert(オランダ)、Valent BioSciences(米国、住友化学100%出資)、Isagro(イタリア)、Syngenta(スイス)、DowDuPont(米国)、アリスタ ライフサイエンス(日本) |
| 国内市場 | 住友化学、三井物産、北興化学、アリスタ ライフサイエンス、出光興産、協友アグリ、ホクサン、SDSバイオテック、クミアイ化学、セントラル硝子                                                                                                                                            |

出所：各種資料を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2018)

※下線はベンチャー企業

※5 三菱銀行産業レポート(2017) 農業業界の動向と我が国メーカーに求められる戦略

※6 MarketsandMarket プレスリリース(2018) Agricultural microbial markets worth 6.01 Billion used by 2022)



# 微生物群の利用及び制御分野の技術戦略策定に向けて

### (3) 排水処理と微生物群

表5に、国内外の下水・排水に関する市場規模を示す。国内の一般下水の市場は2013年以降横ばいである。また、ここ数年、工業排水の利用量、再利用率ともに大きな変化はなく、産業排水の処理量と処理関連市場も横ばいであると推測される。

一方、下水及び産業排水の国際市場は拡大傾向にあり、社会状況に大きな変化がなければ、今後もこの傾向が続くと予想されている。

水環境の悪い海外では、排水の再利用に積極的であり、排水処理に膜処理が取り入れられている。膜分離活性汚泥法(MBR)は、活性汚泥処理槽に処理膜のユニットを組み合わせたものである。標準活性汚泥法と比較して、処理槽の活性汚泥濃度を高濃度にでき、処理水の水質が良好なため、処理時間の短縮、含有物質の濃度が高い排水の処理、スペースの節約、処理水の再利用が期待できる。

表6にMBR関連の市場規模を示す。MBR市場、MBR膜市場ともに10%以上の平均年成長率を示している。また、産業排水での利用は年率20%程度にまで拡大し、特にアジア市場の成長が著しい<sup>※7</sup> <sup>※8</sup>。一方、国内では、下水での利用は進んでいないが、産業排水の再利用において、MBR市場が緩やかに伸び始めている。

MBR関連の主要企業を表7に示す。MBR、MBR用膜のいずれも、多くの企業が参入しているが、日本企業が市場シェア上位に入っている。MBR用膜ユニットでは、Koch、Veolia Water、三菱ケミカルが国際市場の主要企業となっている。一方、国内ではクボタが80%のシェアを占めている。膜素材の国際市場では、2013年時点ではGE、シーメンス、旭化成、三菱レーヨン、クボタで1/3を占めていたが、2017年では主要企業に変化が見られる。また、表にはないが、最近是中国企業が国際市場に参入している。

表5 国内外の下水・排水に関連する市場

|      | 国内市場  |         | 国際市場 (1米ドル=110円で算出) |         |
|------|-------|---------|---------------------|---------|
|      | 2016年 | 2020年予測 | 2016年               | 2020年予測 |
| 下水   | 1.8兆円 | 1.8兆円   | 25兆円                | 33兆円    |
| 産業排水 | 560億円 | 560億円   | 5.9兆円               | 8.7兆円   |

出所：各種資料を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2018)

表6 MBR関連の国際市場 1米ドル=110円で算出

|         | 2016年   | 2020年予測 |
|---------|---------|---------|
| MBR市場   | 2,000億円 | 2,930億円 |
| MBR用膜市場 | 480億円   | 680億円   |

出所：各種資料を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2018)

表7 MBR関連の主な企業

|              |      | 主要企業名 (国)                                                                                                                                                    |
|--------------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MBR          | 国際市場 | クボタ (日本)、GE (米国)、東レ (日本)、Koch (米国)、Evoqua (シーメンス) (米国)、三菱ケミカル (日本)、三菱日立パワーソリューションズ (日本)、Veolia Water (フランス)、Huber (ドイツ)、Smith & Loveless (米国)、Nijhuis (英国)、他 |
|              | 国内市場 | クボタ (国内80%シェア)、三菱ケミカル、東レ、他                                                                                                                                   |
| 素材 (MF/UF 膜) | 国際市場 | BASF (ドイツ)、旭化成 (日本)、GE (米国)、ダウ (米国)、ペンテア (米国)、三菱ケミカル (日本)、住友電工 (日本)、デグレモン (米国)、日東電工 (日本)、東レ (日本)、Evoqua (シーメンス) (米国)、他                                       |
|              | 国内市場 | 旭化成、三菱ケミカル、東レ、日東電工、日本ガイシ、明電舎                                                                                                                                 |

出所：各種資料を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2018)

※7 Grand View Research (2017) "Membrane Bioreactor (MBR) Market Analysis By Product (Hollow Fiber, Flat Sheet, Multi-Tubular), By Configuration (Submerged, Side stream), By Application, And Segment Forecasts, 2018 - 2025)

※8 Global Water Intelligence (2014) Opportunities and Dynamics in the MF/UF Membrane Market worth 6.01 Billion used by 2022

# 微生物群の利用及び制御分野の技術戦略策定に向けて

## 2 -2 特許出願と論文発表

### (1) 食品と腸内微生物群

腸内微生物群による健康状態への影響に関する研究は盛んに行われている。健康状態に関係する腸内微生物も特定されており、医薬品開発も進んでいる。食品ではプロバイオティクスや発酵食品などの研究が行われており、腸内微生物の働きを介した食品の機能性とそのメカニズムなどが明らかになりつつある<sup>※9</sup>。特に乳酸菌の機能については研究開発が進んでおり、乳製品をはじめとする様々な商品が展開されているが、乳酸菌関連ではない開発研究例は少ない。海外では食事により腸内微生物群が変動することを示した研究結果もあるものの<sup>※10</sup>、食によって腸内微生物群そのものの状態を制御するといった点に着目した食品の研究開発例は非常に限られている。

#### ①特許出願

表8に、特許出願人の上位14社を示す。2007年～2016年の間に申請された腸内微生物群関連のうち食品に関する特許数は1,000件弱と非常に少ない。海外の巨大

企業に加えて、これらの企業よりも規模の小さい日本企業も上位に入っており、日本企業の商品開発力が期待できる。

図3に食品と腸内微生物群に関する特許出願数の推移を示す。2007年、2011年、2015年は全体の出願数が大きく伸びている。2011年、2015年に関しては中国からの出願数の大幅な増加が特許出願数の総数を押し上げた。

表8 食品と腸内微生物群に関する特許出願数ランキング

| 順位 | 出願人名(国)                                | 特許出願数 |
|----|----------------------------------------|-------|
| 1  | NESTEC(スイス)                            | 21    |
| 2  | ダノン(フランス)                              | 15    |
| 3  | 4D Pharma res.(イギリス)                   | 14    |
| 4  | 明治(日本)                                 | 11    |
| 5  | Mead Johnson Nut.(アメリカ)                | 10    |
| 6  | UNIV KATHOLIEKE LEUVEN KU LEUVEN(アメリカ) | 8     |
| 6  | Abbott(アメリカ)                           | 8     |
| 6  | Micro nature(アメリカ)                     | 8     |
| 9  | Seres Health(アメリカ)                     | 7     |
| 10 | Univ. Myongji(韓国)                      | 6     |
| 10 | Univ. Korea(韓国)                        | 6     |
| 10 | COMMONWEALTH SCI & IND RES ORG(アメリカ)   | 6     |
| 10 | Univ. Nanchang(中国)                     | 6     |
| 10 | JINAN KANGDUOBAO BIOTECHNOLOGY(中国)     | 6     |

出所：Darwent Patnt Indexの2007年から2016年のデータを基に NEDO技術戦略研究センター作成(2018)

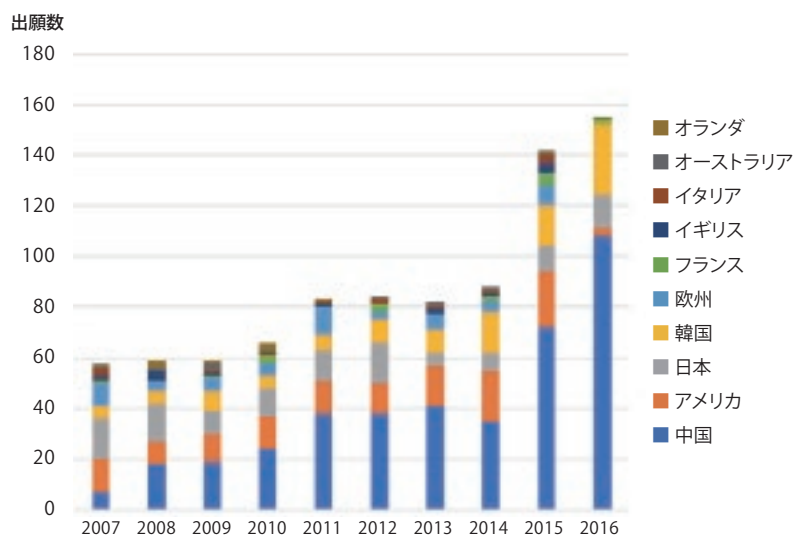


図3 食品と腸内微生物群に関する特許出願数の推移

出所：Darwent Patnt Indexの2007年から2016年のデータを基に NEDO技術戦略研究センター作成(2018)

※9 上西、瀬戸(2013) 日本調理科学会誌46、129-133

※10 Benjamino et al., (2018) Microbiome. 6, 86-.

# 微生物群の利用及び制御分野の技術戦略策定に向けて

## ②論文発表

表9に論文発表数の順位を示す。総論文数は6,000報程度で、米国とその他の国との隔たりが大きい。論文数及びコア論文数(被引用TOP1%の被引用数が多い論文数)の割合から、米国、中国、欧州で基礎研究が進んでいる

ことが分かる。なお、日本の論文数は11位、コア論文数は15位である。

図4に年度別の原著論文数の推移を示す。ここ数年の間に中国からの論文が大きく伸びていることが分かる。

表9 食品と腸内微生物群に関する論文発表数 国別ランキング

| 順位 | 国       | 論文数   | 順位 | 国       | コア論文数 |
|----|---------|-------|----|---------|-------|
| 1  | アメリカ    | 1,854 | 1  | アメリカ    | 183   |
| 2  | 中国      | 819   | 2  | イギリス    | 60    |
| 3  | フランス    | 549   | 3  | フランス    | 41    |
| 4  | ドイツ     | 393   | 4  | ベルギー    | 38    |
| 5  | オランダ    | 381   | 5  | ドイツ     | 28    |
| 6  | イギリス    | 369   | 5  | 中国      | 28    |
| 7  | カナダ     | 365   | 7  | オーストラリア | 27    |
| 8  | オーストラリア | 341   | 7  | スウェーデン  | 27    |
| 9  | フィンランド  | 279   | 9  | カナダ     | 25    |
| 10 | イタリア    | 247   | 9  | オランダ    | 25    |

出所：Web of Science™での2007年から2017年までの検索結果を基に  
NEDO技術戦略研究センター作成(2018)

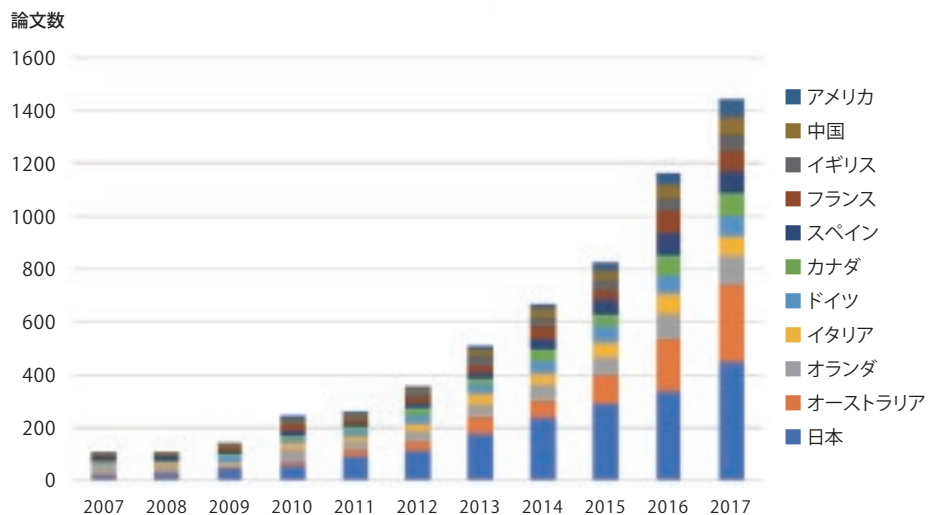


図4 食品と腸内微生物群に関する原著論文数の推移

出所：Web of Science™での2007年から2017年までの検索結果を基に  
NEDO技術戦略研究センター作成(2018)

# 微生物群の利用及び制御分野の技術戦略策定に向けて

## (2) 農業用微生物群

国内における農業用微生物群の市場は小さく、研究開発は以前ほど盛んではない。これに対して海外では、植物の根や葉に共生する微生物を用いた農作物の収量や品質の向上や化学農薬・化学肥料の低減といった考え方がトレンドとなっており、農業用微生物群の国際市場は拡大している<sup>\*11</sup>。

しかし、バイオビッグデータを活用し、植物と関係を持ちながら生存する微生物群の解析から農業生産にとって有用な微生物群をデザインする技術が国内研究者により開発され、国内外から着目されている。

### ①特許出願

表10に、特許出願人の上位10社を示す。関連分野の特許出願数は欧米の巨大メーカー及び中国からの出願が目立つものの、日本の関連企業からの特許出願数は非常に少ない。

図5に農業用微生物群に関する特許出願数の推移を国別に示す。2012年に欧州特許数が大きく増加した。中国の特許出願数は2013年頃から大きく伸びている。

表10 農業用微生物群に関する特許出願数ランキング

| 順位 | 出願人名(国)                                     | 特許出願数 |
|----|---------------------------------------------|-------|
| 1  | Bayer Cropscience(インド)                      | 109   |
| 2  | BASF(ドイツ)                                   | 79    |
| 3  | Dow Agrosciences(アメリカ)                      | 61    |
| 4  | QINGDAO AIHUALONG BIOLOGICAL TECHNOLOGY(中国) | 46    |
| 5  | Monsanto(アメリカ)                              | 32    |
| 6  | 南京大学(中国)                                    | 18    |
| 7  | 農村振興庁(韓国)                                   | 15    |
| 8  | DSM(オランダ)                                   | 13    |
| 8  | 中国科学院(中国)                                   | 13    |
| 8  | FMC(アメリカ)                                   | 13    |

出所：Darwent Patnt Indexの2007年から2016年のデータを基に  
NEDO技術戦略研究センター作成(2018)

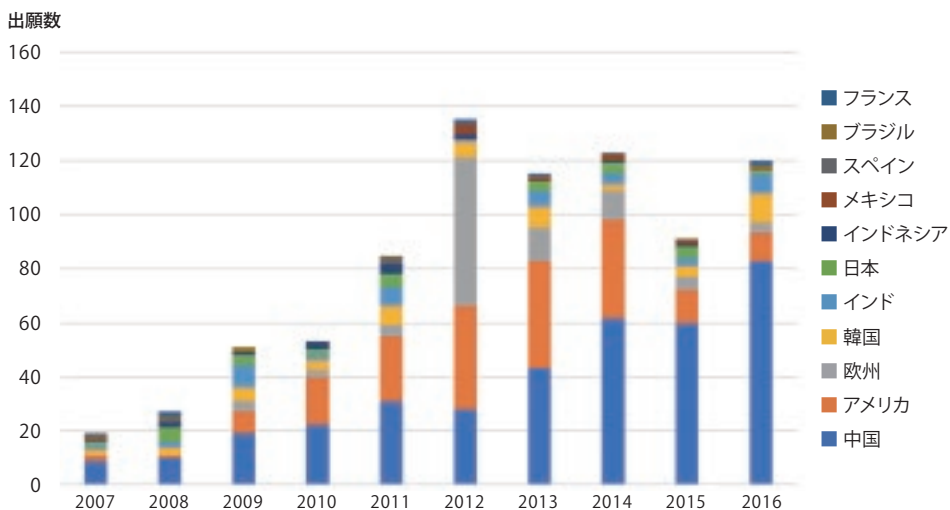


図5 農業用微生物群に関する特許出願数の推移

出所：出所：Darwent Patnt Indexの2007年から2016年のデータを基にNEDO技術戦略研究センター作成(2018)

\*11 参考文献：「日経バイオテク」2018.00.00.p4-8

# 微生物群の利用及び制御分野の技術戦略策定に向けて

## ②論文発表

表11に論文発表数の順位を示す。植物微生物（植物共生微生物）分野の論文は2007年～2017年で約8,000報である。論文数、コア論文数ともに日本は10位以内に入っており、基礎研究力は十分高い。1位の米国が論文

数、コア論文数ともに圧倒的に多いが、論文数に対するコア論文の割合では、イギリスと日本が他国よりも上であり、本分野での研究レベルが、これらの2国で高いことが伺える。

図6に農業用微生物群に関する原著論文数の推移を国別に示す。全体として緩やかに数が伸びているのが分かる。

表11 農業用微生物群に関する論文発表数 国別ランキング

| 順位 | 国       | 論文数  | 順位 | 国       | コア論文数 |
|----|---------|------|----|---------|-------|
| 1  | アメリカ    | 1951 | 1  | アメリカ    | 72    |
| 2  | フランス    | 868  | 2  | イギリス    | 36    |
| 3  | 中国      | 852  | 3  | フランス    | 34    |
| 4  | ドイツ     | 779  | 4  | ドイツ     | 30    |
| 5  | スペイン    | 558  | 5  | 日本      | 24    |
| 6  | イギリス    | 529  | 6  | オランダ    | 17    |
| 7  | 日本      | 475  | 7  | オーストラリア | 16    |
| 8  | ブラジル    | 441  | 8  | カナダ     | 13    |
| 9  | カナダ     | 423  | 8  | スイス     | 13    |
| 10 | イタリア    | 401  | 10 | デンマーク   | 12    |
| 11 | オーストラリア | 394  | 10 | 中国      | 12    |

出所：Web of Science™での2007年から2017年までの検索結果を基に  
NEDO技術戦略研究センター作成（2018）

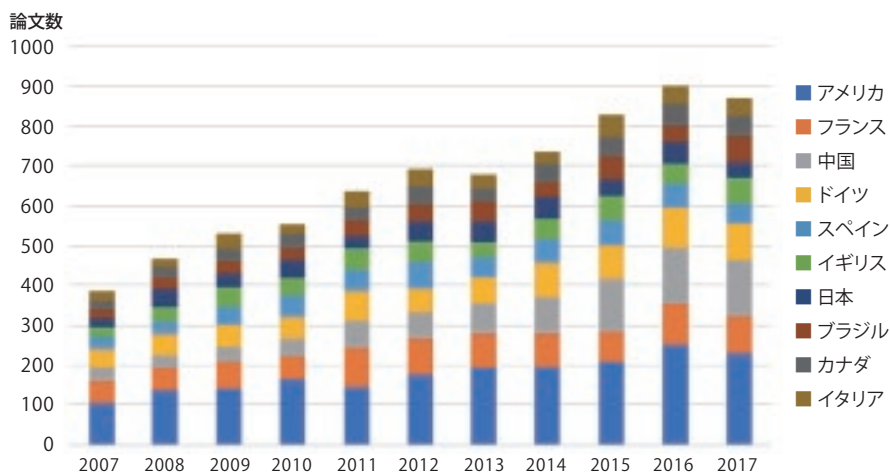


図6 農業用微生物群に関する原著論文数の推移

出所：Web of Science™での2007年から2017年までの検索結果を基に  
NEDO技術戦略研究センター作成（2018）



# 微生物群の利用及び制御分野の技術戦略策定に向けて

## (3) 排水処理と微生物群

MBRの運転の効率化や最適化に対して、これまでは運転条件の検討や膜素材の開発が主に行われてきた。新たな試みとして、現在の目視の代わりになる画像情報、バイオデータ、運転状況等の様々な情報について、AIを利用して解析するという研究開発の動きが出始めている。

### ①特許出願

表12に、特許出願人の上位10社を示す。生物を利用

した排水処理の制御に関する特許は、装置の設計や化学的処理に関するものや、特定の化学物質を分解する微生物に関するものがほとんどであり、排水処理に利用する微生物群の制御やデザインに関する特許は非常に少ない。出願人の上位を中国の企業と大学が占めているのが特徴的である。日本企業は9位にランクインしている。

図7に排水処理と微生物群に関する特許出願数の推移を国別に示す。ここ10年で中国が大きく伸びていることが分かる。

表12 排水処理と微生物群に関する特許出願数ランキング

| 順位 | 出願人名(国)    | 特許出願数 |
|----|------------|-------|
| 1  | 北京大学(中国)   | 504   |
| 2  | ハルビン工大(中国) | 362   |
| 3  | 同済大学(中国)   | 335   |
| 4  | 四川師範大学(中国) | 276   |
| 5  | 浙江大学(中国)   | 258   |
| 6  | 中国石油化工(中国) | 240   |
| 7  | 南京大学(中国)   | 232   |
| 8  | 常州大学(中国)   | 225   |
| 9  | クリタ工業(日本)  | 201   |
| 10 | 華南理工大学(中国) | 196   |

出所：Darwent Patnt Indexの2007年から2016年までのデータを基に  
NEDO技術戦略研究センター作成(2018)

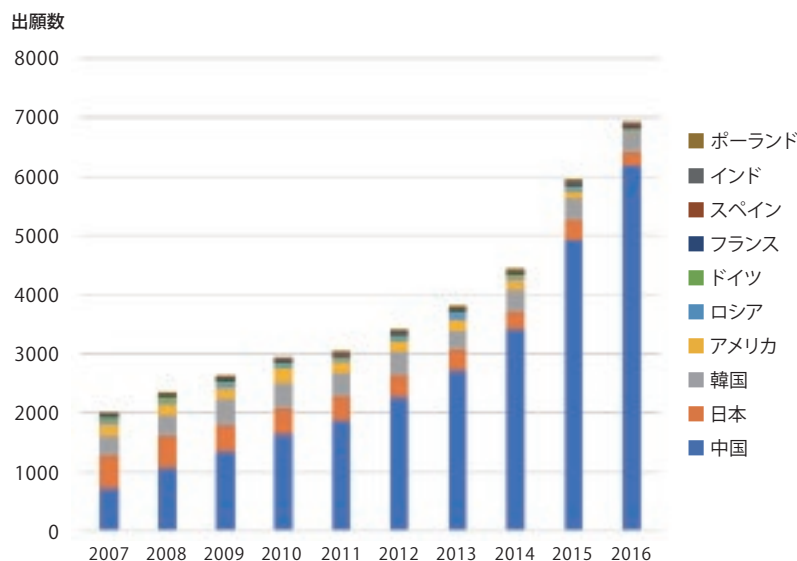


図7 排水処理と微生物群に関する特許出願数の推移

出所：Darwent Patnt Indexの2007年から2016年のデータを基に  
NEDO技術戦略研究センター作成(2018)

# 微生物群の利用及び制御分野の技術戦略策定に向けて

## ②論文発表

表13に論文発表数の順位を示す。本分野の発表論文数は約6,000報であり、論文数とコア論文数から、中国で研究が強く推進されていることが分かる。論文数では、日本

は9位に入っている。

図8に本分野に関連した原著論文数の推移を示す。2010年頃から、アメリカと中国の論文数が逆転しており、中国で盛んに研究が行われていることが示されている。

表13 排水処理と微生物群に関する論文発表数 国別ランキング

| 順位 | 国       | 論文数  | 順位 | 国       | コア論文数 |
|----|---------|------|----|---------|-------|
| 1  | 中国      | 1783 | 1  | 中国      | 21    |
| 2  | 米国      | 960  | 2  | 米国      | 10    |
| 3  | インド     | 350  | 3  | フランス    | 6     |
| 4  | スペイン    | 343  | 4  | オランダ    | 4     |
| 5  | オーストラリア | 304  | 4  | デンマーク   | 4     |
| 6  | 韓国      | 263  | 4  | スペイン    | 4     |
| 7  | カナダ     | 257  | 7  | イギリス    | 3     |
| 8  | ドイツ     | 222  | 7  | イタリア    | 3     |
| 9  | 日本      | 214  | 7  | インド     | 3     |
| 10 | イタリア    | 201  | 7  | オーストラリア | 3     |

出所：Web of Science™での2007年から2017年までの検索結果を基に  
NEDO 技術戦略研究センター作成 (2018)

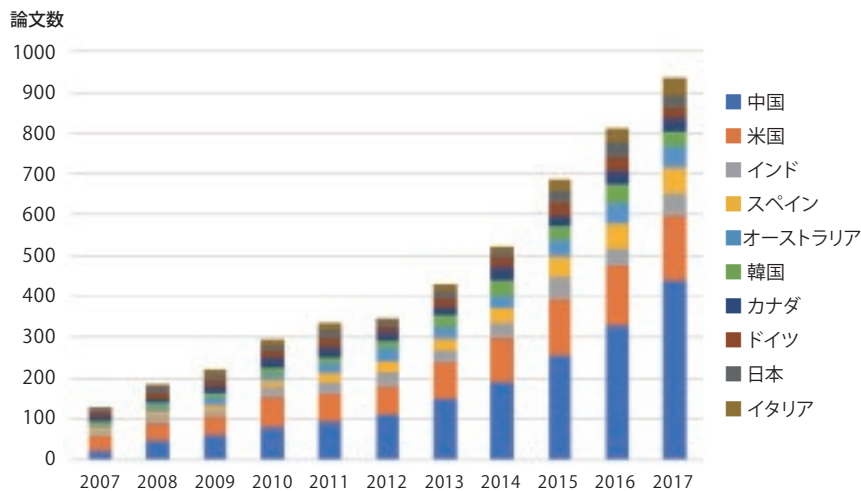


図8 排水処理と微生物群に関する原著論文数の推移

出所：Web of Science™での2007年から2017年までの検索結果を基に  
NEDO 技術戦略研究センター作成 (2018)

# 微生物群の利用及び制御分野の技術戦略策定に向けて

## 2-3 標準化の動向

強めている。

また中国も環境保全に関連した規制を強めている。

本分野に関連する標準化の動きと法令について、表14、15に示す。EUはサステナビリティの観点から規制を

表14 関連する主な国際標準

(1) 食品と腸内微生物群

| 委員会名                                                                                                                                                           | タイトル                                                | スコープ                 | 議長国       | 参加国数 | 国内関連団体     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------|-----------|------|------------|
| ISO/TC 34/SC 9                                                                                                                                                 | Food products/microbiology                          | 製造過程も含む食品、飼料中の微生物検出  | フランス・ブラジル | 34   | JFRI       |
| ISO/TC34/SC10                                                                                                                                                  | Animal feeding stuff                                | 動物用飼料(用語、試験方法、品質評価等) | イラン       | 21   | JISC/FAMIC |
| ISO/TC34/SC16                                                                                                                                                  | Horizontal methods for molecular biomarker analysis | 食品、穀類中の生体マーカー検出法     | 米国        | 25   | JISC/FAMIC |
| International Human Microbiome Standards (IHMS) consortium (EU/中国)で2015年から検討開始<br>International Metagenomics and Microbiome Standards Alliance (米)で2016年から検討開始 |                                                     |                      |           |      |            |

(2) 農業用微生物群

| 委員会名               | タイトル                                                | スコープ        | 議長国 | 参加国数 | 国内関連団体 |
|--------------------|-----------------------------------------------------|-------------|-----|------|--------|
| ISO/TC 81          | Common names for pesticides and other agrochemicals | 殺虫剤と農薬の共通名称 | 英国  | 9    | JISC   |
| 農薬、肥料の国際標準をFAOが準備中 |                                                     |             |     |      |        |

(3) 微生物を用いた排水処理

| 委員会名              | タイトル                            | スコープ           | 議長国   | 参加国数 | 国内関連団体 |
|-------------------|---------------------------------|----------------|-------|------|--------|
| ISO/TC 282        | Water Reuse                     | 水の再利用          | 中国/日本 | 23   | JISC   |
| JISB9944          |                                 | 活性汚泥処理装置の試験方法  |       |      | JISC   |
| ISO/TC147         | Water quality                   | 水質             | ドイツ   | 43   | JISC   |
| ISO/TC268/SC1     | Smart community infrastructures | スマートコミュニティインフラ | 日本    | 25   | JISC   |
| (欧州規格) 合意CWA15897 |                                 |                |       |      |        |

出所：各種資料を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2018)

# 微生物群の利用及び制御分野の技術戦略策定に向けて

表 15 関連する国内規格、国内外の法令等

(1) 食品と腸内微生物群

| 対象              | 国内    |       | 海外                                     |                                                         |
|-----------------|-------|-------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------|
|                 | 標準・認証 | 法令    | 標準・認証                                  | 法令                                                      |
| 食品の素材、加工形態、有機食品 | JAS規格 |       |                                        |                                                         |
| ハラール対応          |       |       | ハラール認証                                 |                                                         |
| 機能性食品           |       | 食品表示法 | 国際食品規格委員会指針(EU)<br>EFSA栄養/<br>健康強調表示制度 | 米国 栄養表示・教育法、<br>ダイエタリーサプリメント教育法<br>ASEANは検討中<br>タイ 食品法等 |
| 特定保健用食品         |       | 健康増進法 |                                        |                                                         |

(2) 農業用微生物群

| 対象       | 国内                     |                 | 海外                                                          |                                                                                                          |
|----------|------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          | 標準・認証                  | 法令              | 標準・認証                                                       | 法令                                                                                                       |
| 農薬       |                        | 農薬取締法、<br>食品衛生法 |                                                             | EU 残留農薬基準<br>(EC) No.396/2005、<br>農薬規制(2009/127/EC)<br>中国 第13次5か年国家食品安全計画<br>その他、各国で法令あり                 |
| 肥料       |                        | 肥料取締法、<br>食品衛生法 |                                                             | EU 改正EU肥料法<br>(EC) No 1069/2009、(EC) No 1107/2009.<br>EU肥料法で定める肥料分類に<br>下水汚泥由来の回収品の追加を準備中<br>その他、各国で法令あり |
| 農業生産工程管理 | ASIAGAP/JGAP<br>(日本策定) |                 | GLOBALGAP(ドイツ策定)、<br>ASIAGAP(日本発)、<br>VtGAP、BasicGAP(ベトナム)等 |                                                                                                          |

(3) 微生物を用いた排水処理

| 対象 | 国内    |         | 海外    |                                                                                                                     |
|----|-------|---------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | 標準・認証 | 法令      | 標準・認証 | 法令                                                                                                                  |
| 排水 |       | 水質汚濁防止法 |       | EU Water Framework Directive,<br>REACH規制(化学物質)、<br>総合的汚染防止管理指令96/61/EC<br>中国 水汚染防止法改正案、<br>環境保護税法<br>その他、各国で法令、排水基準 |

出所：各種資料を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2018)

## 2-4 国内外の政策動向

### (1) 米国での動向

米国では2007年のHuman Microbiome Project (ヒト微生物群プロジェクト) を皮切りに農業や環境に関する微生物群の解析が進められている。特に、最近の大きな動きとしては、2016年に米国の大統領府科学技術政策局が様々な生態系における微生物群の学際的研究、プラットフォーム技術の開発、人材育成を促進する目的でNational Microbiome Initiativeを立ち上げたことが挙げられる。さらに2018年にはNSFを含む23の米国連邦政府機関が連携して「省庁間微生物群戦略2018-2022 (Interagency Strategic Plan for Microbiome Research FY 2018-2022)」を作成した。現在、各政府機関及びビルゲイツ財団等の基金により数年間で440億円程度の本分野への研究投資が開始されている。農業用微生物群については、微生物群の理解の深化及び農産物の生産性などの増加への貢献に寄与することを目的とした研究プロジェクトが複数実施されている点が特徴的である。排水処理に関する微生物群研究にはNSF等により比較的小規模な研究の支援が排水からの有毒物質や病原菌の除去などに対して行われてきたが、最近、中規模の投資がDARPAにより行われた。

### (2) 欧州での動向

欧州では欧州研究開発フレームワーク計画の第7次計画(FP7)およびその後継であるHorizon2020を通して160のプロジェクト研究を推進しており、総額450億円を本分野に投資している。ヒト微生物群、農業微生物群、家畜微生物群等の研究が進められているが、特に、腸内等の微生物群という切り口からの「健康のための栄養の個別化」の研究や、「作物の生育制御や保護を目的とした植物共生微生物の研究」は最先端研究に位置づけられ、欧州研究会

議(ERC)からの助成を受けている。ECとしての排水処理に関する微生物群研究への投資は実用化研究が目立つ。

### (3) アジアでの動向

最近の特徴としては、本分野における中国の研究投資が活発化していることが挙げられる。ヒト腸内微生物に関する研究で欧米と協力関係にあること、排水処理に関する微生物群のビッグデータ解析を実施している点に中国の特徴がある。

中国以外では、韓国、シンガポールなどでの医療と関連づけたヒト腸内微生物群解析が行われている。また、2009年にアジア乳酸菌学会連合のもと、アジア11か国が参加したAsian Microbiome Projectが設立された。

### (4) 日本での動向

日本においてはヒト腸内微生物群に関するプロジェクトは、欧米の状況に比べ、スタートが5年程度遅れた。農業用微生物や排水処理に関する微生物群の研究は欧米と比較して規模が小さいというわけではなく、比較的コンスタントに研究投資がなされている分野である。

以下の表16～18に、関連する主要なプロジェクトの概要を分野別に示す。



# 微生物群の利用及び制御分野の技術戦略策定に向けて

表 16 国内外の関連研究プロジェクト例（腸内微生物群）

| 主要実施国        | 配分機関                 | プロジェクト名                                                      | 概要                                                                              | 期間              | 予算規模          |
|--------------|----------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------|
| 日本           | AMED                 | 微生物群と宿主の相互作用・共生の理解と、それに基づく疾患発症のメカニズム解明                       | 疾患等に着眼したヒト共生微生物の解析                                                              | 2016～           | 約8億円/年        |
| 日本<br>(国際連携) | JSPS                 | アジア人の食と腸内フローラと健康に関する研究                                       | アジア5か国における小学児童を対象にした食習慣と腸内微生物群の解析、アジア7か国における腸内微生物群の基盤データベースの構築等                 | 2013～2015       | 1,800万円       |
| 米国           | NIH                  | Human Microbiome Project(HMP)                                | 240人の健康人の体の5か所(鼻腔、口腔、皮膚、胃腸管、及び泌尿生殖路)における微生物群の解析                                 | 2007～2012       | 190億円         |
|              |                      | Integrative HMP                                              | 微生物群と人間の健康との関連を解析。特に妊娠と早産、炎症性腸疾患の発症、2型糖尿病の発症に重点。主に疾患もしくはその予防といった見地からの腸内微生物研究    | 2013～2016       | 60億円          |
| EU/中国        | EC                   | Metagenomics of the Human Intestinal Tract (MetaHIT)         | 腸内微生物群(特に細菌に特化)のメタゲノム解析、パイオインフォーマティクス解析ツールの開発、腸内細菌群とヒトの健康や疾患(特に炎症性腸疾患と肥満)の関連を解析 | 2008～2012       | 31億円          |
| EU<br>(国際連携) | EC他                  | International Human Microbiome Standards                     | サンプルの取得と処理、ゲノム配列の解析方法等の標準化プロトコールを検討。中国、日本、米国等の研究機関や大学も参加                        | 2011～           | 2.5億円         |
| EU           | ERC                  | My NewGut                                                    | 腸内細菌と食品の関係を栄養や疾患予防といった観点で解析する産学連携プロジェクト                                         | 2013～           | 13億円          |
| フランス         | Investments d'Avenir | Metagenopolis (MGP)                                          | 腸内細菌関連の疾患及び食品関係への展開も意識した研究を実施                                                   | 2012～2019       | 24億円          |
| カナダ          | CIHR                 | Canadian Microbiome Initiative (CMAI)                        | 第1期はHMPプロジェクトに呼応して開始、主に健康人共生微生物解析。第2期は疾患治療を目標                                   | 2007～2012、2018～ | 11億円、12億円     |
| 中国           | 科学院                  | ヒト腸内マイクロバイオーム*                                               | ヒトや家畜の腸内微生物群の解析                                                                 | 2017～2018       | 10億円<br>(*合計) |
|              |                      | 家畜腸内マイクロバイオーム*                                               |                                                                                 |                 |               |
| 韓国           | NRF                  | Korean Microbiome Diversity Using Korean Twin Cohort Project | 腸内微生物に関する双子のコホートプロジェクト                                                          | 2010～2014       | 10億円          |

\* 合計は、\*のついた国家プロジェクトの合計金額。

出所：各種資料を基に NEDO 技術戦略研究センター作成（2018）

# 微生物群の利用及び制御分野の技術戦略策定に向けて

表 17 国内外の関連研究プロジェクト例（農業用微生物群）

| 主要実施国        | 配分機関          | プロジェクト名                   | 概要                                                            | 期間        | 予算規模                      |
|--------------|---------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------|
| 日本           | MAFF          | 土壌微生物相の解明による土壌生物性の解析技術の開発 | 土壌微生物群の解析が世界に先駆けて行われた                                         | 2006～2010 | 7億円                       |
|              | JST           | 共生ネットワークの分子基盤とその応用展開      | 農業用有用微生物の研究を実施                                                | 2014～2018 | 3億円                       |
|              | 内閣府           | 最先端・次世代研究開発支援プログラム(うち1課題) | 微生物群内のネットワーク解析を実施                                             | 2011～2014 | 1.7億円                     |
| 米国<br>(国際連携) | DOE、豪州研究会議、他  | Earth Microbiome Project  | 植物上や土壌の微生物群も含む、地球上の微生物群の多様性やエコシステムの解析を目指したクラウドファンディング型のプロジェクト | 2010～2020 | 5,000億円                   |
| 米国           | NSF/USDA-NIFA | Plant Biotic Interactions | 植物と関係の深い微生物群の解析。微生物群の理解の深化及び農産物の生産性などの増加への貢献に寄与することが目的        | 2017～     | 15億円(2017年)<br>8億円(2018年) |
|              | USDA-NIFA     | EAGER                     | 動植物の表現型と微生物群の関連を解析                                            | 2017～     | 3.3億円                     |
|              | DOE-ARPA-E    | ROOTS                     | 植物-根圏微生物群の研究を実施                                               | 2017～2021 | 24億円                      |
| EU           | ERC           | PhyMo                     | 作物の生育制御や保護に重要な知見を得ることを目的とした、葉圏微生物の解析                          | 2015～2020 | 3億円                       |
|              | EC            | EcoFINDERS                | 土壌中の効果的な利用を目的とした生物解析、環境と土壌微生物群の解析等                            | 2011～2014 | 12億円                      |
| 中国           |               | 土壌微生物群イニシアティブ             | 土壌中の微生物群の解析                                                   | 2014～2018 | 44億円                      |

出所：各種資料を基に NEDO 技術戦略研究センター作成（2018）

表 18 国内外の関連研究プロジェクト例（排水処理と微生物群）

| 主要実施国 | 配分機関  | プロジェクト名                                                                                                 | 概要                                                                                                                                                                                  | 期間        | 予算規模      |
|-------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|
| 日本    | JST   | CREST「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」                                                                         | 活性汚泥などの水処理微生物群の活性を制御する技術等の開発を目的として実施                                                                                                                                                | 2009～2017 | 2億円程度     |
|       | NEDO  | 微生物群のデザイン化による高効率型環境バイオ処理技術開発                                                                            | 排水処理の高効率化とエネルギー消費の削減を目標とした研究開発                                                                                                                                                      | 2007～2011 | 7.6億円     |
| 米国    | EPA   | Research and Demonstration of Innovative Drinking Water Treatment Technologies in Small Systems (うち1課題) | 「小規模システムにおける革新的飲料水処理技術の研究と実証プログラム (Research and Demonstration of Innovative Drinking Water Treatment Technologies in Small Systems)」の中の1課題として「飲料水源から汚染物質を除去するための都市型下水活性泥用の複合吸着剤」が実施 | 2011～2016 | 6,000万円   |
|       | DARPA | BRICS(うち1課題)                                                                                            | 脱窒菌を利用した新規排水処理技術の開発                                                                                                                                                                 | 2017～     | 3億円       |
| EU    | EC    | BRAINMEM                                                                                                | MBRの運転効率の向上を目的                                                                                                                                                                      | 2014～2017 | 6000万円    |
|       |       | ROUTES                                                                                                  | 新規の活性汚泥処理方法開発プロジェクト                                                                                                                                                                 | 2011～2014 | 6億円       |
|       |       | MFC4SLUDGE                                                                                              | 排水処理による微生物発電                                                                                                                                                                        | 2013～2015 | 1.9億円     |
|       |       | iMETland                                                                                                | 排水処理による微生物発電実用化研究                                                                                                                                                                   | 2015～2018 | 4.2億円     |
| 中国    |       | 活性汚泥マイクロバイオーム*                                                                                          | 活性汚泥のビッグデータ解析プロジェクト                                                                                                                                                                 | 2017～2018 | 10億円(*合計) |

\* 合計は、\*のついた国家プロジェクトの合計金額。

出所：各種資料を基に NEDO 技術戦略研究センター作成（2018）

# 微生物群の利用及び制御分野の技術戦略策定に向けて

## 3章

### 微生物群の利用及び制御分野の技術課題

まで活用できていない微生物の能力を社会課題の解決や新しい産業に結びつけることが期待される。

#### (1) 微生物群制御技術の位置づけ

図9に、微生物群制御技術の位置づけを示す。本技術は、微生物の活動を産業利用につなげる技術であり、これ

#### (2) データに関する課題

本技術では、ビッグデータが重要な位置を占めるが、同データの取り扱いに関して、共通課題が挙げられる。図10に、本技術のデータフローと関連する主な課題を示す。

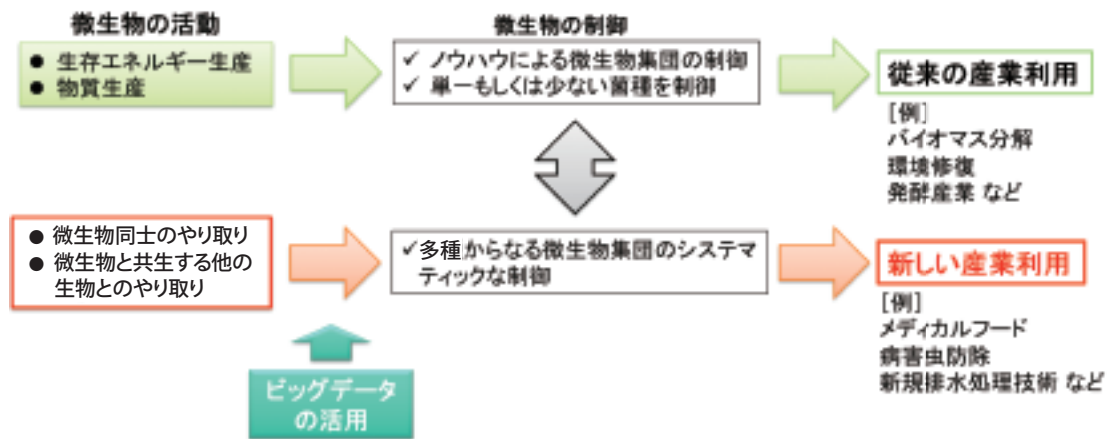


図9 微生物群制御技術の位置づけ

出所：各種資料を基にNEDO技術戦略研究センター作成（2018）

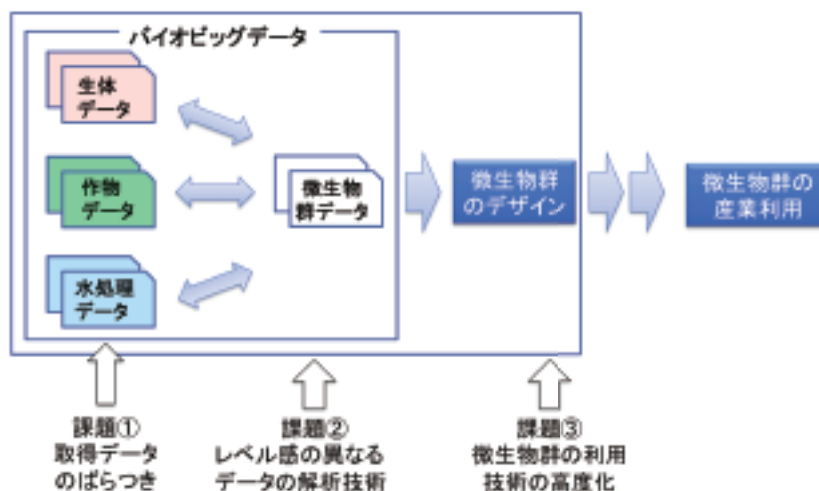


図10 データフローと課題

出所：各種資料を基にNEDO技術戦略研究センター作成（2018）

# 微生物群の利用及び制御分野の技術戦略策定に向けて

## 課題① 取得データのばらつき

バイオデータの一般的な傾向として、サンプルの状態、解析機器、解析者によってデータに差異が出てくることが挙げられる。しかし、微生物群の制御技術の開発には微生物群に関連したバイオビッグデータの新たな取得に加えて、様々な既存データの活用が望まれる。そのため取得方法や解析方法などによる差異を小さくする測定技術の開発や、測定法の標準化等の検討が必要である。

## 課題② レベル感の異なるデータの解析技術

微生物群を制御するための環境条件の予測や、最適化された微生物のデザインのためには、様々な条件下で得られたレベル感の異なるデータからノイズを除去し、データ間での相関解析を行うことができる情報解析技術の開発が、技術課題として挙げられる。

## 課題③ 微生物群の利用技術の高度化

解析データから予測される微生物群を制御するための条件から制御環境を実現するための技術の開発が必要である。また、解析データからデザインされた微生物群を人工的に作出する場合には、それに利用できる有用微生物の単離と保管が必要になる。特に人工培養が困難な菌においては、効率的な単離と、安定した培養・保管技術の開発が望まれる。

## (3) 適用先別の課題

上述のデータに関する課題は、適用先での課題に展開することができる。

表19に、本技術の代表的な適用先である3分野（①食品と腸内微生物群、②農業用微生物群、③排水処理と微生物群）について、検討すべき課題を示す。

表19 適用先別の研究課題

| 対象          | 具体的研究課題                            |
|-------------|------------------------------------|
| ① 食品と腸内微生物群 | 腸内微生物群-食品-健康の相関解析を支えるオミクスデータの取得    |
|             | 腸内微生物相関モデルの構築                      |
|             | 方法の標準化(データ取得、測定方法、解析方法)            |
|             | 標準データ構築、標準菌株の作出                    |
|             | 微生物群デザイン                           |
|             | 測定機器の高度化                           |
| ② 農業用微生物群   | 安全性評価                              |
|             | 農業用微生物群-作物-環境の相関解析を支えるオミクスデータの取得   |
|             | 方法の標準化(データ取得、測定方法、解析方法)            |
|             | 農業用微生物群相関モデルの構築                    |
|             | 微生物群デザイン                           |
|             | 測定機器の高度化                           |
| ③ 排水処理と微生物群 | 安全性評価                              |
|             | 下水処理微生物-運転条件-水質の相関解析を支えるオミクスデータの取得 |
|             | 方法の標準化(データ取得、測定方法、解析方法)            |
|             | 微生物群デザイン                           |
|             | システムの標準化                           |

出所：各種資料を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2018)

# 微生物群の利用及び制御分野の技術戦略策定に向けて

## 4章 おわりに

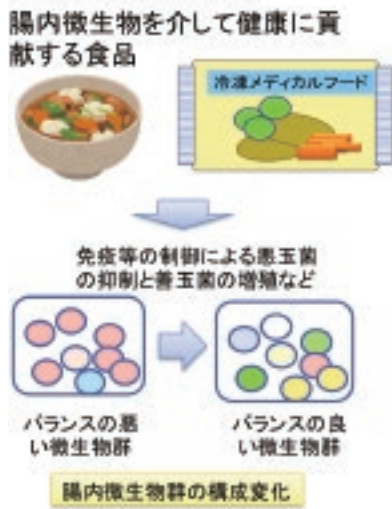
微生物は、自然環境において他の生物も巻き込んだ複雑なネットワークを形成しながら集団 (=群) として生活している。しかし、この多様な微生物からなる集団 (=群) のシステムティックな制御は難しく、その活用はノウハウに頼ってきた。すなわち、微生物群のシステムティックな制御技術を開発できれば、これまでにない様々な産業展開が期待できる。

例えば、食品のデータ、食品を摂取した時の腸内微生物

と健康データ等から健康状態の維持や病気予防に効果的な食品をデザインするなどができるようになる。また、植物の成長を助けるようにデザインされた微生物ミックスの提供や、効率的な排水処理のサービスなどの新たな産業展開が期待できる (図11)。

しかし、微生物集団のシステムティックな制御を実現するためには、微生物群の状態を集団として定性的に正確に捉える技術、その情報と他の微生物群を取り巻く環境情報を結びつける技術が必要であり、これらの技術によるデータが揃うことにより、制御ができると考えられる。したがって、この基盤技術の開発を進めることが重要である。

### ① 食品と腸内微生物群



### ② 農業用微生物群



### ③ 排水処理と微生物群

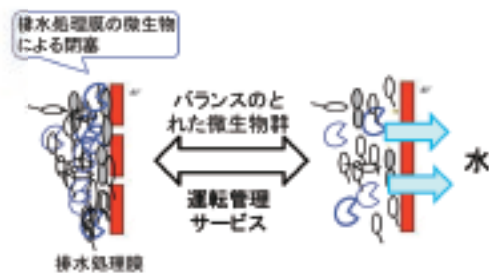


図11 微生物群の制御技術の開発により期待される産業イメージ

出所：各種資料を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2018)



技術戦略研究センターレポート

# TSC Foresight Vol.33

微生物群の利用及び制御分野の技術戦略策定に向けて

2019年3月1日発行

TSC Foresight Vol.33 微生物群の利用及び制御分野 作成メンバー

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構  
技術戦略研究センター(TSC)

■ センター長 川合 知二

■ センター次長 竹上 嗣郎  
矢島 秀浩 (2018年7月まで)

■ 新領域・融合ユニット

・ユニット長 瓦田 研介  
白井 正人 (2018年3月まで)

・研究員 西村麻里江 (2018年7月まで)  
長嶋 正紀  
南 誓子  
波多野淳一  
長谷川健太 (2018年1月まで)  
山崎 彰子 (2018年8月まで)

・フェロー 大江田憲治 株式会社セルシード社外取締役

・客員フェロー 湯元 昇 産業技術総合研究所フェロー  
八十原良彦 株式会社カネカ Health Care Solutions Research Institute  
バイオテクノロジー開発研究所(企画) 上席幹部 兼 高度専門研究者

● 本書に関する問い合わせ先  
電話 044-520-5150 (技術戦略研究センター)

● 本書は以下URL よりダウンロードできます。  
<http://www.nedo.go.jp/library/foresight.html>

本資料は技術戦略研究センターの解釈によるものです。  
掲載されているコンテンツの無断複製、転送、改変、修正、追加などの行為を禁止します。  
引用を行う際は、必ず出典を明記願います。