

生物機能活用技術分野

環境制約、エネルギー制約、資源制約を乗り越え、我が国が持続可能な成長を続けるためには、工業プロセスや環境・エネルギー関連分野でのバイオテクノロジーの利用を促進し、循環型産業システムの実現に寄与することが重要である。具体的には、微生物や植物の機能を活用した効率的な生産プロセスによる CO2 排出削減や高品質・高付加価値製品等の有用物質の生産、廃棄物・有害物質の削減、環境中有害物質の除去などが挙げられる。

今後、持続可能な社会に貢献する、バイオテクノロジーを基盤とした多様なものづくりや環境対応といったニーズがますます高まると考えられることから、これらの実現に向けた取組みを促進するため技術戦略マップを策定した。

なお、欧米では 'green biotech' 'red biotech' 'white biotech' と呼んでバイオテクノロジーを分類する考え方があり、それぞれ主に農業分野、医薬品分野、工業分野をターゲットとしている。この分類では、本分野は 'white biotech' に最も近く、一部 'green biotech' や 'red biotech' を含むものとなっている。

生物機能活用技術分野は、昨年度まで「グリーンバイオ分野」として取りまとめてきたが、本分野のターゲットをより明確に表す名称となるよう変更した。

生物機能活用技術分野の技術戦略マップ

．導入シナリオ

(1) 生物機能活用技術分野の目標と将来実現する社会像

資源制約を克服し、環境と調和した持続的な経済・社会の実現と、安全・安心な国民生活を実現するため、バイオテクノロジーを活用した環境に優しい製造プロセスや循環型産業システムの創造を推進する。

微生物や植物等の生物機能を活用することにより、化学プロセスでは生産できない高付加価値品、医療用材料、化成品、機能性食品等の高効率で環境負荷を低減したモノ作り技術や、食料と競合しないバイオ燃料の生産技術、及び高効率な環境浄化技術を開発する。

多様な製品におけるバイオテクノロジーを利用したモノ作りの実用化及びバイオテクノロジーによる環境浄化・再資源化システムの構築を通し、環境に調和したモノ作り社会・循環型産業システムの実現に寄与する。

(2) 研究開発の取組み

研究開発の推進については、開発目標を戦略的に設定するとともに、効率的な研究開発体制を構築することが重要である。

微生物利用分野では、発酵産業の伝統的な育種等の手法を基盤とした技術を有する強みを活かし、様々な有用物質やバイオ燃料生産に活用できる共通基盤技術の開発を進めるとともに、微生物群の構成や配置等の制御により高効率な環境浄化システムの構築に向けた技術開発を行っている。

植物利用分野では、大学等のモデル植物を用いた基礎研究の高度な知見を実用植物を用いた産業技術として活用するため、工業原料、バイオ燃料及び高付加価値物質の生産に資する組換え植物の開発やプロセス制御技術、栽培システムを構築する基盤技術開発を行っている。

動物個体・細胞利用分野では、現在推進しているプロジェクトはないものの、今後のタンパク質医薬等の拡大に伴って新たな課題が明らかになる可能性がある。

なお、農林水産省においては、イネゲノムを中心に食糧生産、品種開発等を目的とした遺伝子機能解明やバイオマス利用技術の開発を行っている。

(3) 関連施策の取組み

生物機能活用技術分野の目標や将来像を実現するためには、研究開発と並行して、遺伝子組換え体に対する国民理解の促進、知的基盤の整備、標準化等の事業化を推進する制度・体制を整備することが必要である。

〔実用化促進〕

・遺伝子組換え作物の栽培面積は世界的に急増し、2007年には1.14億haとなり、遺伝子組換え作物の商業栽培国は23カ国となっている【参考資料 図表1】。

そのうち、米国では5,770万haが栽培され、遺伝子組換え作物種子を市場に導入している企業（モンサント社、デュポン社など）等が植物バイオテクノロジーの産業技術開発を牽引している。一方、我が国においては、現在遺伝子組換え作物の商業栽培は行われていない。こうした背景の下、我が国における遺伝子組換え体に対する国民理解の促進及び安全性評価の制度整備が求められている。

- ・農林水産省においては、2007年に「遺伝子組換え農作物等の研究開発の進め方に関する検討会」を立ち上げ、研究開発・実用化を重点的に進める分野の選定や、実用化に向けた研究システムの改革を行うこととしている。

〔調達促進〕

- ・バイオマス由来のプラスチック等、生物機能を用いたプロセスにより生産された製品の「グリーン購入法」に基づく調達品目としての追加の検討。

〔規制・制度改革〕

- ・遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律（カルタヘナ法）の的確な執行体制の整備。

〔基準・標準化〕

- ・海外では、バイオマスを原料とし、かつ生分解性を有するプラスチックをラベリング等により差別化している例が見られる。しかし、バイオマス由来と、生分解性の各特性は、いずれも十分に価値を有するものであることから、バイオ由来ポリマーのバイオマス含有量と生分解性のそれぞれに関して標準化を検討することが重要である。
 - バイオマス由来のプラスチックについては、バイオマス含有量測定法の標準化を推進する。
 - 生分解性プラスチックについては、微生物酸化分解試験方法の我が国発の国際規格（ISO）が2007年に成立しており、引き続き微生物嫌気分解試験方法の国際標準化を着実に展開する。

〔知的基盤整備〕

- ・生物遺伝資源ライブラリー及びデータベースの充実。

〔特許化〕

- ・特許技術出願動向調査をはじめ、我が国において推進中の研究開発に関し、研究テーマの企画段階から関連論文及び特許状況のサーベイ実施および研究開発の実施段階における特許出願と事業化構想等、特許に関する戦略的取組の実施。

〔国際連携・協力〕

- ・生物多様性条約に基づく、日本企業による途上国遺伝資源に対するアクセスの促進。

〔他省庁との連携〕

- ・総合科学技術会議が推進するライフサイエンスPT、社会還元プロジェクトの下での関係府省間における適切な連携の実施。

〔プロジェクト等との連携〕

- ・植物機能を活用したモノ作り基盤技術開発に係る2つのプロジェクト間での、遺伝子高発現技術やモデル植物を用いた基盤技術と実用作物への技術展開に関する情報交換の実施。

(4) 海外での取組み

欧米では、遺伝子組換え作物種子を市場に導入している企業等が植物バイオテクノロジーの産業技術開発を牽引している。大手化学企業による植物を用いた治療薬・試薬生産技術の開発が行われ、商品化や商業栽培の申請がなされている。また、微生物によるバイオプロセスで化学品等の生産が進められている。

欧米ではバイオエタノールの製造プラント事業も活況である。欧米各社は、国家プロジェクトの下、年間数千～1万kL規模のプラントを製造予定である【参考資料 図表2】。

米国ではエタノール、ポリマー原料など基礎化学品に関して、化石資源から再生可能資源への転換が国を挙げて実施され、企業での取組みも多く、世界をリードしている。米国政府はバイオマス利用に関連するプロジェクトとして、2007年に「ガソリン使用量を10年で(2017年までに)20%削減する」ことを目標とする「Twenty in Ten Initiative」を発表し、この計画に基づき大きく3種類のプロジェクトに多額の投資が行われている。

Biomass R&D Initiative

セルロース系バイオマスをバイオ燃料の中間体に転換する技術開発、バイオマス製品の多様化、バイオマス原料の生産、バイオマスに関する戦略的ガイダンスの解析。

セルロース系エタノール関連プロジェクト

セルロース由来エタノール製造プラント建設、小規模セルロース系バイオリファイナリー開発、バイオマス-エタノール変換微生物開発、バイオエネルギー研究センター設置、セルロース系エタノール生産用酵素開発。

Joint Research

バイオ燃料資源の開発。

欧州では、科学技術に関する総合的なプログラム(Framework Programme)を3～4年単位で実施している。2006年12月にはFP7が策定され、2007年～2013年の取組が開始されている。FP7においては材料や化学物質などの高付加価値製品の生産ため、バイオマス、バイオ触媒、微生物・酵素等の開発及び改良、バイオによる環境修復(バイオレメディエーション)及びクリーンなバイオプロセスの開発や改良、農工業廃棄物・副産物の活用を行うこととしている。

(5) 民間での取組み

微生物を用いたバイオプロセスについて、日本発技術の世界市場における占有度合はきわめて高い。日本古来の発酵技術から進化したアミノ酸、食品に加えて、化学プロセ

スでは合成が困難な医薬品中間体、ビタミン類など付加価値の高い精密化学品分野全般での優位性が目立つ。さらに、汎用化学品ではアクリルアミドが従来の化学合成プロセスを代替して環境に優しい製造法として伸張中である【参考資料 図表3】。

植物による有用物質の生産について、我が国では遺伝子組換え作物に対する社会的受容が得られず商業栽培が行われていない。産業の出口としての市場が形成されないため、民間企業の開発意欲を維持するのが難しい状況にある。近年では、閉鎖型人工環境を利用して、植物による高付加価値有用物質生産技術の開発が進められている。

(6) 改訂のポイント

- 現在の経済産業省の研究開発とその関連施策を示すととも当該分野の目標との関係を明記した。

・技術マップ

(1) 技術マップ

導入シナリオを踏まえた上で、今後必要となる技術課題を抽出・俯瞰した技術マップを作成した。技術マップは、ニーズに従い、主に「物質生産」とエネルギー・環境問題の解決に資する「環境対応」に分けて整理した。さらに、前者を、宿主別に「微生物を活用した物質生産」、「植物を活用した物質生産」及び「動物細胞を活用した物質生産」に分類した。また、後者を「エネルギー生産技術」と有害物質及び難分解性物質処理技術等を含む「環境維持・修復技術」に分類した。

今年度のローリング結果を踏まえ、特に食料と競合しないセルロース・ヘミセルロース系バイオマス为原料に生物機能を活用した汎用化学品やエネルギー等生産技術の他、遺伝子工学の利用、バイオ発電を中心に、国又は民間において取り組まれるべき重要度が高いと考えられる技術を以下の考え方で追加選定した。

(2) 重要技術の考え方

日本の競争力：日本の産・学における研究開発動向や技術力を踏まえ、現在、我が国が技術的に競争力優位であると考えられる技術

今回追加した技術の中で、生物機能を活用したエネルギー生産技術の中のバイオ発電技術において、特に酵素電池では高機能酵素、電極界面分子、電池部材等が、微生物電池では電池部材等が、競争力ある技術と位置づけられる。

産業上の波及効果：共通基盤性が高く、他分野への波及も含め、波及効果の高いと考えられる技術

今回追加した技術の中で、生物機能を活用した環境維持・修復技術において、難分解性物質の高分解能菌・酵素の探索・改良、汚泥からのリン回収・資源化システムが、波及効果の大きい技術と位置づけられる。さらに、これらの技術は日本の競争力ある技術としても位置づけられる。

ブレイクスルー技術：バイオテクノロジーを活用した物質生産を実施する上で、

市場インパクトが大きく、かつ技術的な難易度が高いと考えられる技術

生物機能を活用したエネルギー生産技術の中で、廃棄物利用における処理対象物（油脂等を含む）の適応拡大、自然物利用における水の分解による水素の収集・利用方法が、ブレイクスルー技術と位置づけられる。

（３）改訂のポイント

➤ 生物機能を活用した物質生産

植物を活用した物質生産においては、多様な実用作物での開発段階へ移行しつつあることを踏まえ、次世代型遺伝子工学の分野で実用植物への効率的な遺伝子導入方法、実用植物の葉緑体への遺伝子導入技術を追加した。また、生産率・生産量向上に関する技術を、生産率向上に関わる組織培養技術とした。

➤ 生物機能を活用したエネルギー生産技術

セルロース・ヘミセルロース原料の糖化・発酵の分野で、前処理と酵素糖化との組み合わせによる効率化、全体プロセスのシステム化とスケールアップ、省エネ・低コスト廃棄物処理システムを追加した。バイオ燃料生産技術として、新たにバイオディーゼル関連技術を技術マップに追記し、酵素法エステル交換の実用化、副生グリセリン原料の有用物質化、含油廃水の処理を追加した。次世代型バイオマスからのエネルギー生産技術として、新たにバイオ発電技術について検討を行い、技術マップ、技術ロードマップに追記した。この分野で、高機能微生物・酵素（探索・改良・機構解明）、電極界面分子設計の高度化（電極材、高機能固定化、界面分子レベル設計、電子移動効率化への界面設計、他）、電池システムの構築（部材開発、バイオマス供給技術、微小化技術、蓄電システム構築）を追加した。

➤ 生物機能を活用した環境維持・修復技術

難分解性物質の高分解能菌・酵素の探索・改良において嫌氣的脱塩素化を行う嫌気性細菌の形質転換系の確立、及び汚泥からのリン回収・資源化システムを追加した。

．技術ロードマップ

（１）技術ロードマップ

技術ロードマップは、技術マップに準じて、ニーズに従い、主に「物質生産」とエネルギー・環境問題の解決に資する「環境対応」に分けて整理した。さらに、前者を、宿主別に「微生物を活用した物質生産」、「植物を活用した物質生産」及び「動物細胞を活用した物質生産」に分類した。また、後者を「エネルギー生産技術」と有害物質及び難分解性物質処理技術等を含む「環境維持・修復技術」に分類した。

技術マップで抽出した重要技術を中心に、その解決に至るまでの要素技術等の進展を時間軸に沿って展開し、ロードマップとして集約した。今年度のローリング結果を踏ま

え、各種技術が目指す将来像を示すとともに、それを実現するためにはいつまでに開発に着手して実用化できればよいかという視点でプロットした。特に食料と競合しないセルロース・ヘミセルロース系バイオマス为原料とした生物機能を活用した汎用化学品やエネルギー等生産技術の他、バイオ発電を追加し、遺伝子工学の利用、環境修復等を改訂した。

(2) 改訂のポイント

➤ 生物機能を活用した物質生産

微生物を活用した化学品生産では、2010年までに達成されるとした多くの技術の達成時期を2013～2015年まで延ばした。一方、新機能・有用微生物の創出の開始時期を2015年から2013年に早め、廃棄物系の低級有機資源の利用の開始時期を2008年とした。

動物細胞を活用した蛋白質生産では、蛋白質医薬の生産性の目標値を現実的なレベルに引き上げた。また、トランスジェニック動物の重要性が低下したので、記述量を減らした。

産業への効果では、各種化学品のバイオプロセスの確立を2010年までとするのは厳しく、2015年まで延ばした。

➤ 生物機能を活用したエネルギー生産技術

バイオエタノール創出技術としては、特に、セルロース・ヘミセルロース为原料とした場合の技術については、セルラーゼ・ヘミセルラーゼの探索・改良とともに、ブレイクスルー技術となる糖化・発酵工程の一段階化技術の開発により、2012年までに基本プロセスが確立されることとしていたが、米国の開発の進展、日本の開発研究の現状を考慮し、各要素技術の確立を2012年に、また基本プロセスの確立を2015年とした。また、バイオ発電技術によるエネルギー生産は2025年を目標としている。

廃棄物の有効利用によるエネルギー生産技術としては、固体メタン発酵システムの確立時期を1年程度早めた。

➤ 生物機能を活用した環境維持・修復技術

技術マップに追加した、難分解性物質の高分解能菌・酵素の探索・改良において嫌氣的脱塩素化を行う嫌気性細菌の形質転換系の確立、及び汚泥からのリン回収・資源化システムは、2015年に確立するとしている。また、バクテリアリーチングの研究期間を2011年まで延ばした。

・ 応用事例

生物機能を活用したコモディティ物質生産に係る技術概観図【応用事例 図1-1】
改訂した技術マップの中で、特に対象化学品としてコモディティに焦点を絞り、コモディティに関わる技術について詳細な技術課題と技術開発の方向性を図示した。こ

れを基に、技術マップ（1-1. 生物機能を活用した物質生産【微生物を活用した物質生産】及び2-1. 生物機能を活用した物質生産【バイオエタノール等】）を見直した。

ここでは、物質生産を一貫したシステムと捉え、製造ルートとその多様性、それぞれの工程における技術課題、廃棄物、量的な視点等を加え、実用化に向けた具体的な課題の抽出を実施した。さらに、工程ごとに技術ステージ（既存技術、短期達成型有望技術、長期研究型有望技術）を分類し、技術開発の性格を明示した。

生物機能を活用したコモディティ物質生産に係る開発工程表【応用事例 図1-2】とコモディティについて作成した技術概観図【応用事例 図1-1】に沿って、それぞれの技術開発のステップアップ時期を想定し、開発工程表を作成した。これを基に、技術ロードマップ（1. 生物機能を活用した物質生産、及び2. 生物機能を活用したエネルギー生産技術）を見直した。

ここでは、多様な製造ルートを考慮し、それぞれの製造ルートが開発ステージごとにどのようなタイミングでどんな技術開発を実施、完了し、ステージアップして、実用化に結びつけるかという具体的な視点でプロットした。特に、エタノールに関しては、進行中の実用化プロジェクトとの整合性を考慮した。

・その他の改訂のポイント

ベンチマーキングの策定

- グリーンバイオ分野の特許出願技術動向を用いて、特許動向を把握し、国際的な比較分析を行った。【生物機能活用技術分野の国際競争ポジション】

生物機能活用技術分野の導入シナリオ

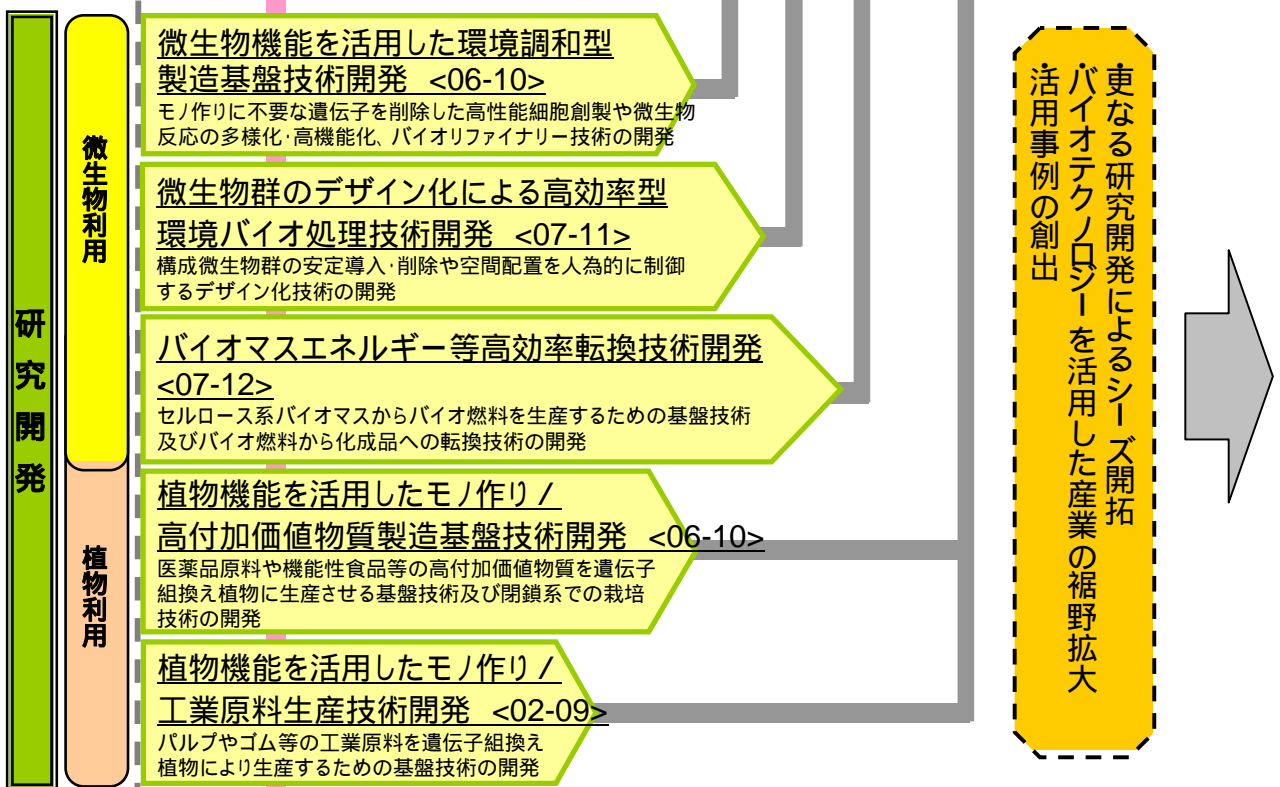
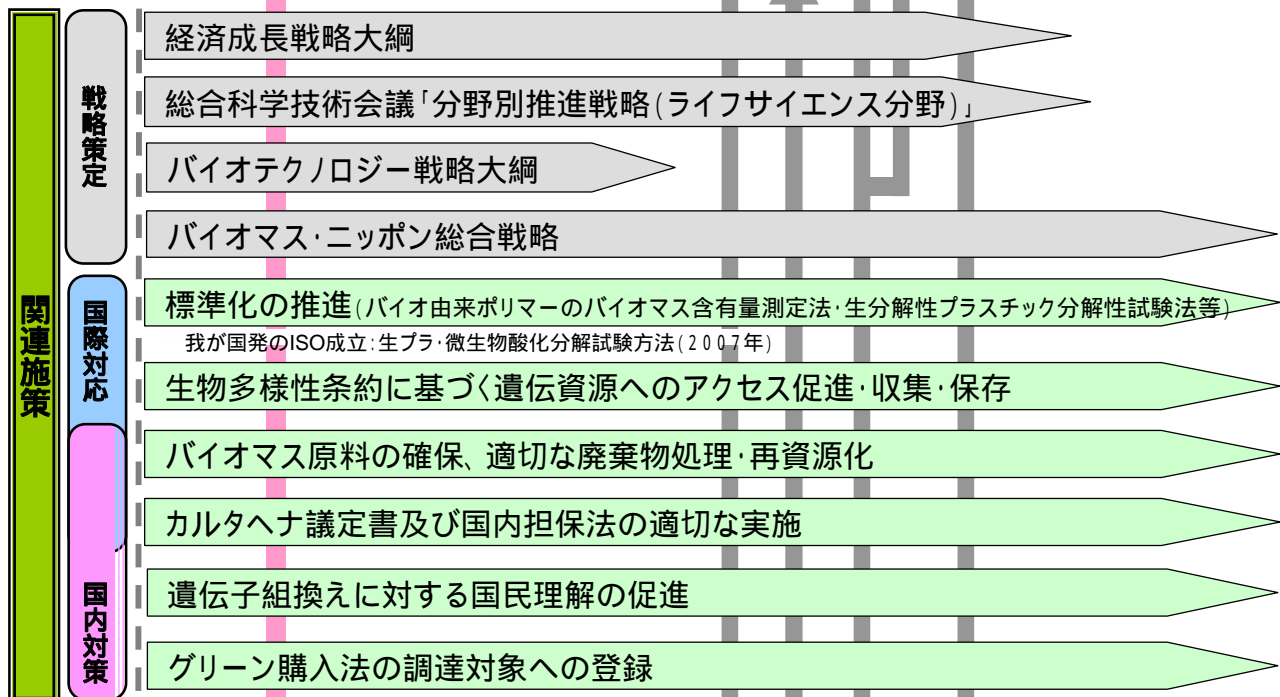
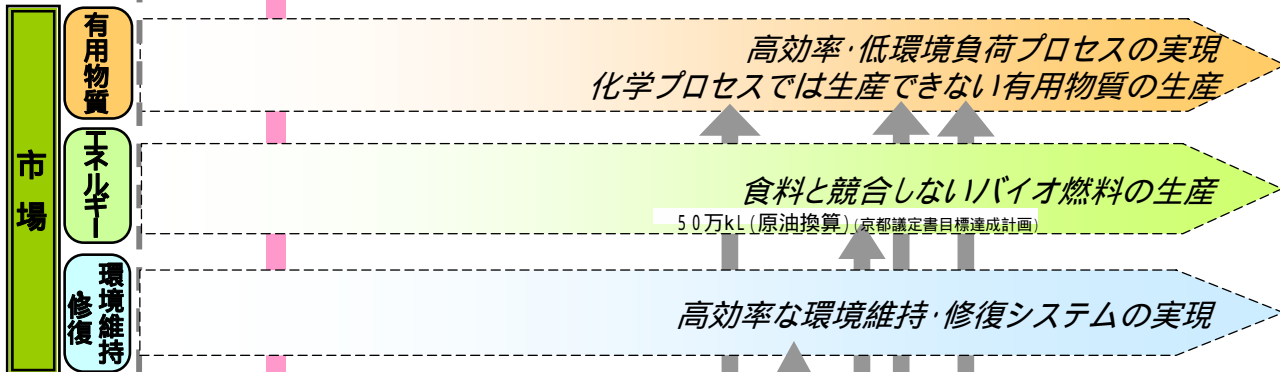
2008(現在)

2010

2015

2025

目的

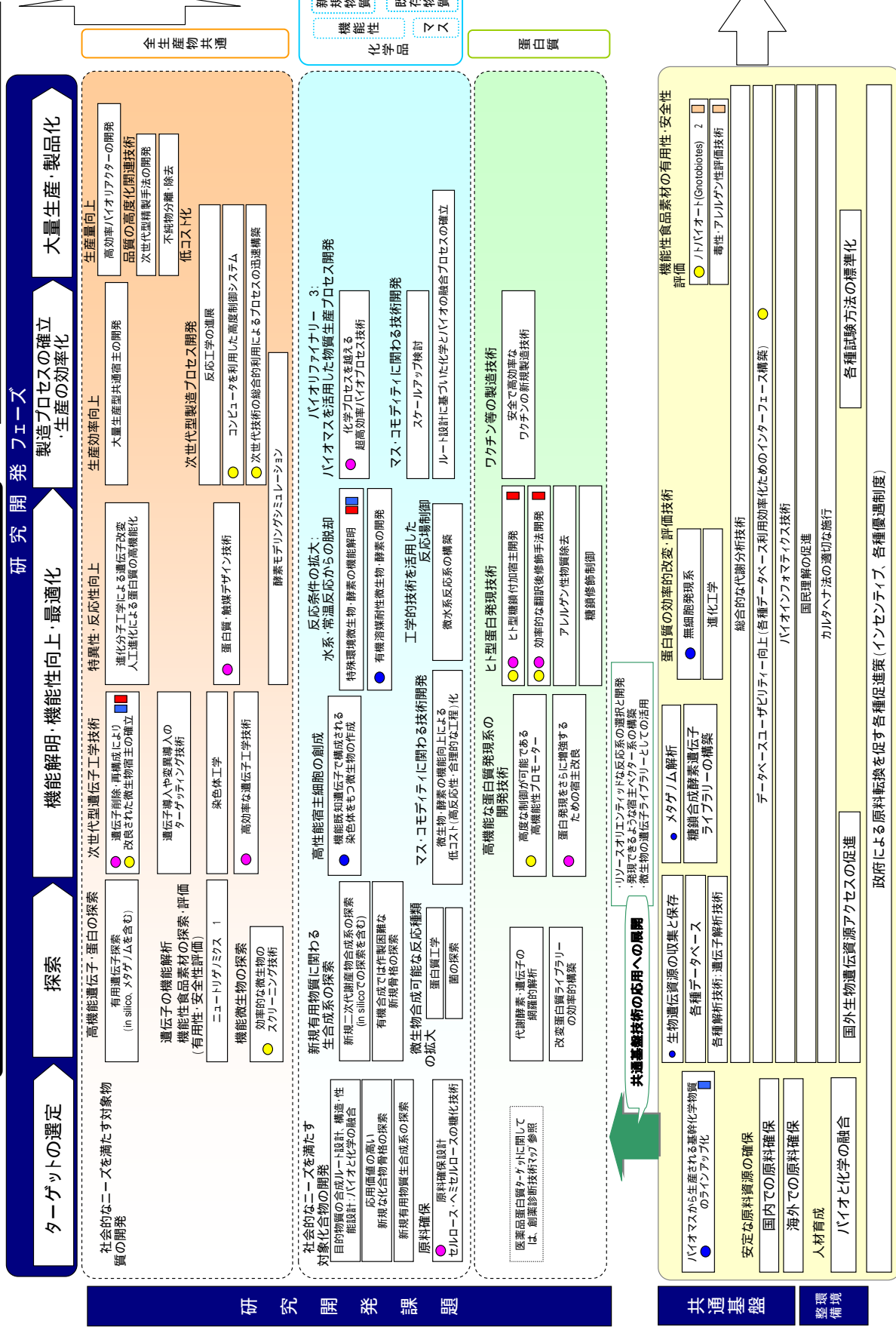


更なる研究開発によるシーズ開拓
バイオテクノロジーを活用した産業の裾野拡大
活用事例の創出

生物機能を活用した環境調和型モノ作り循環型産業システムの実現

生物機能活用技術分野の技術マップ(1/6)

1-1. 生物機能を活用した物質生産 [微生物を活用した物質生産]



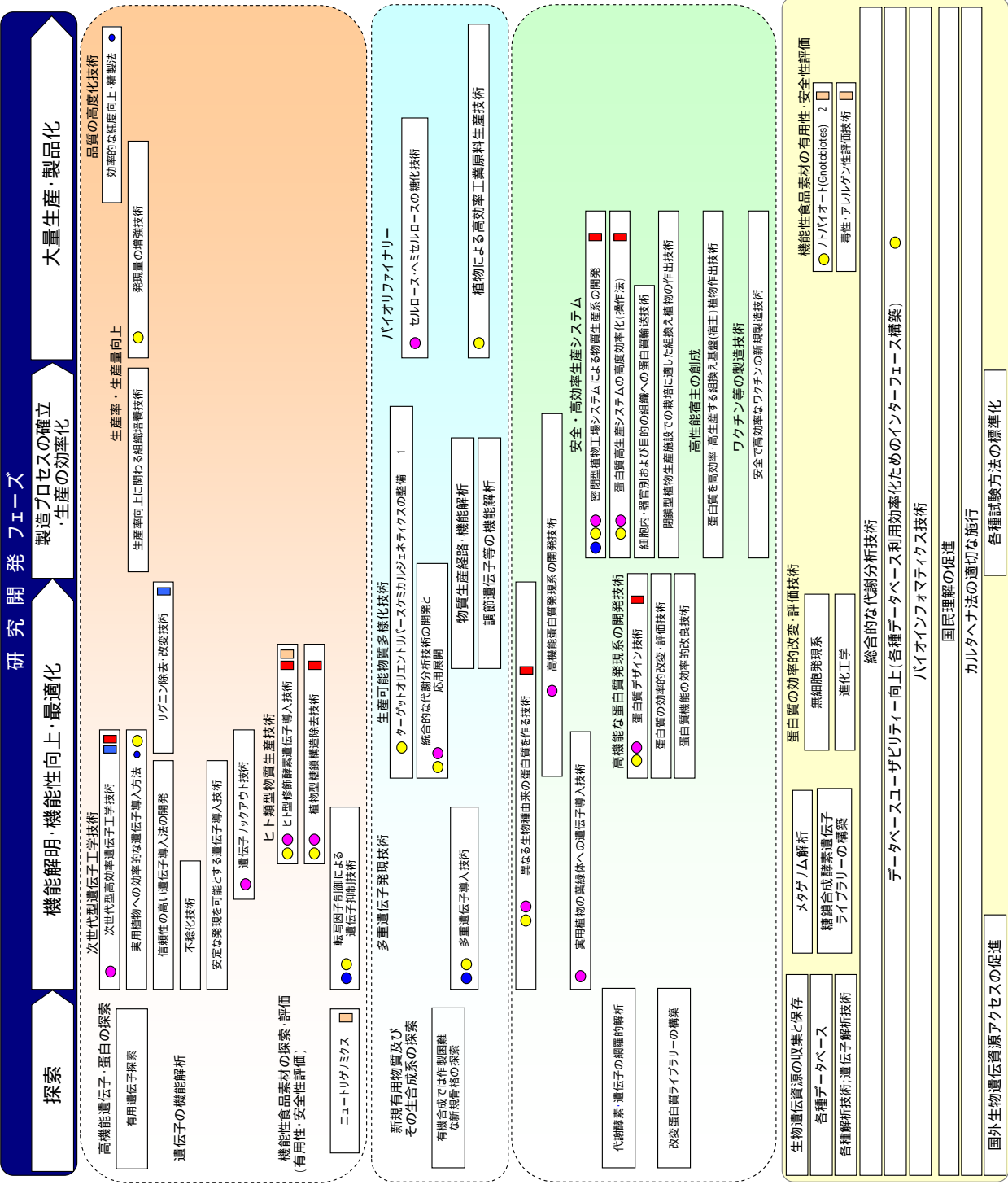
1. ニュートリゲノミクスは食品成分の摂取に伴って起こるmRNAやタンパク質の発現量の変動を網羅的に解析する手法であり、分子栄養学の研究によって導き出された栄養素のシグナル伝達経路の阻害を検証するとともに、これまで未だ明らかでなかった遺伝子を効果的に探索して、新たな阻害の標的と見られる「遺伝子」を探索することによって、病気発症後の治療ではなく、発症前の境界域(半健康期)を対象とした予防(プラベナティブ)における影響因子を探索することができると期待されている。

2. ノバイオオート(Genobiotics)とは、無菌又は無菌であった動物をいりますが、微生物が存在する場合はその構成成分が完全にわかっている動物のこと。

3. バイオリファイナーとは、バイオマス資源を有効利用した物質生産をさす。

生物機能活用技術分野の技術マップ(2/6)

1-2. 生物機能を活用した物質生産 [植物を活用した物質生産]



生物機能を活用した高度モノ作り社会・循環型産業システムの創造

全生産物共通 化学品 蛋白質

研究開発フェーズ

機能解明・機能性向上・最適化

大量生産・製品化

研究開発課題

共通基盤

整備

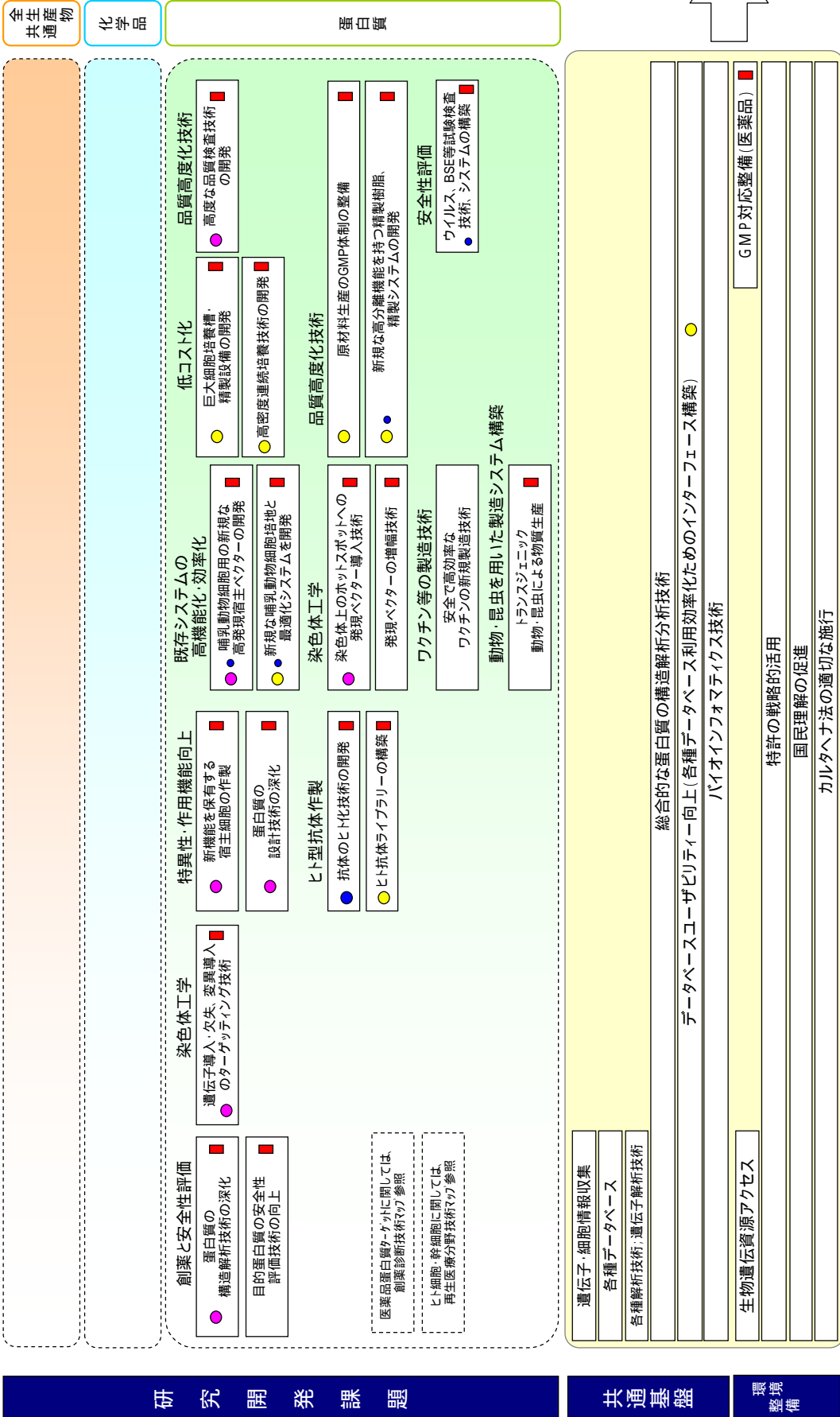
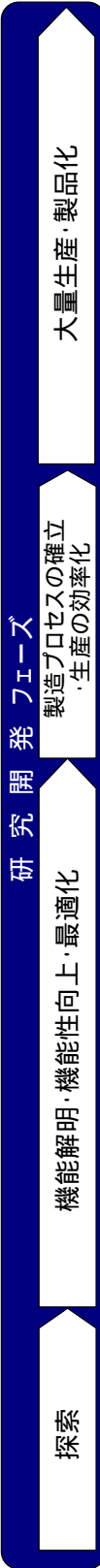
1 ターゲットオリエントリバーシステムは、植物に作らせたオリエンティン系糖鎖に対して、出発点である体内の糖鎖から最終産物あるいは目的物質であるものが合成されるまでに関与するすべての代謝系に関与する糖鎖・遺伝子を特定する。この合成の全体像がわかると、生体外で物質の合成が可能となる。

2 ノトバイオ(Notobio)とは、無菌又は無菌であった動物をしめすが、微生物叢が存在する場合はその菌叢が完全にわかっている動物のこと。

生物機能活用技術分野の技術マップ(3 / 6)

1 - 3 . 生物機能を活用した物質生産 [動物細胞を活用した物質生産]

重要技術		対象となる産業
<ul style="list-style-type: none"> ● 強 ● 弱 	<ul style="list-style-type: none"> ● 日本の競争力 ● 産業上の波及効果 ● プレークスルー技術 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 化成品に特化した技術 ■ 医薬品に特化した技術 ■ 機能性食品に特化した技術



生物機能活用技術分野の技術マップ(5/6)

2-2. 生物機能を活用したエネルギー生産技術(廃棄物を利用したエネルギー生産)

重要技術
日本の競争力
産業上の波及効果
ブレークスルー技術

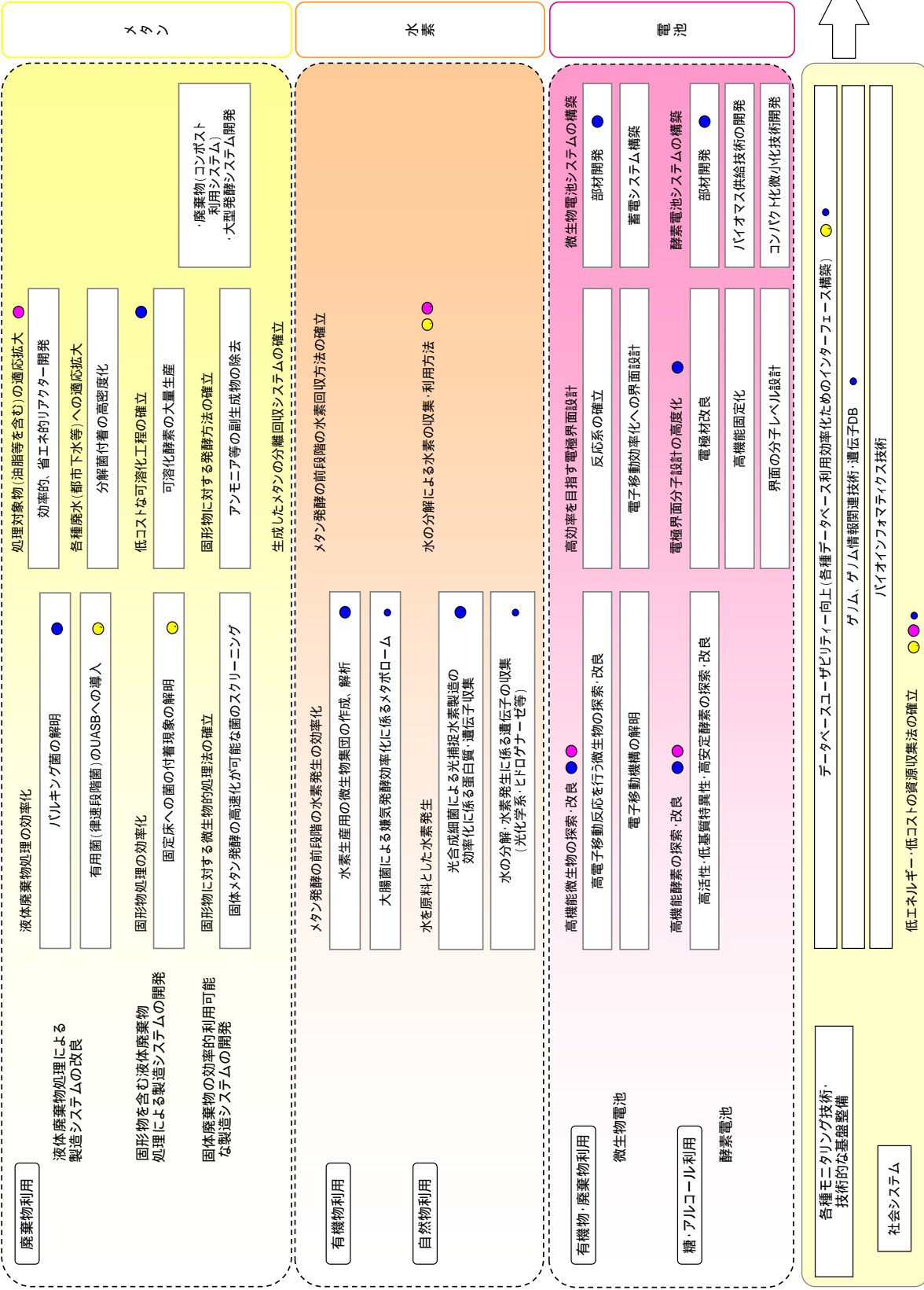
強 ●
弱 ○

研究開発フェーズ

有用生物・有用酵素の探索・改良

プロセス技術の確立

基本システムの構築



廃棄物の有効利用によるエネルギー生産

次世代型バイオマス
のエネルギー生産

研究開発課題

基礎

環境
整備

循環型産業システムの創出・生物機能を活用した高度モノ作り社会の創出

生物機能活用技術分野の技術マップ(6/6)

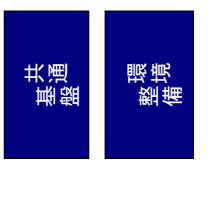
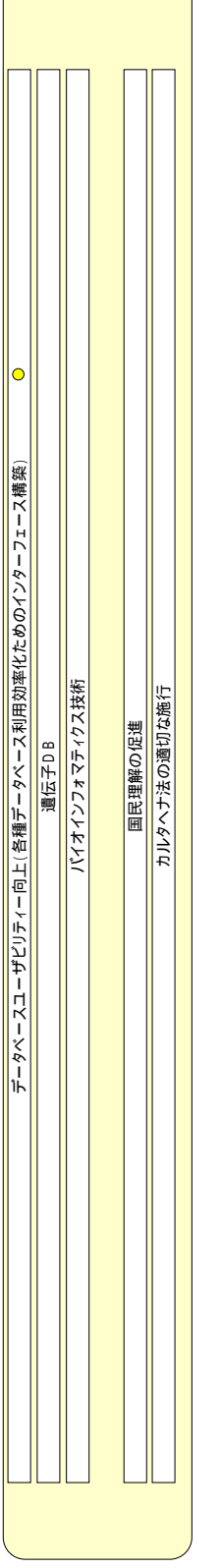
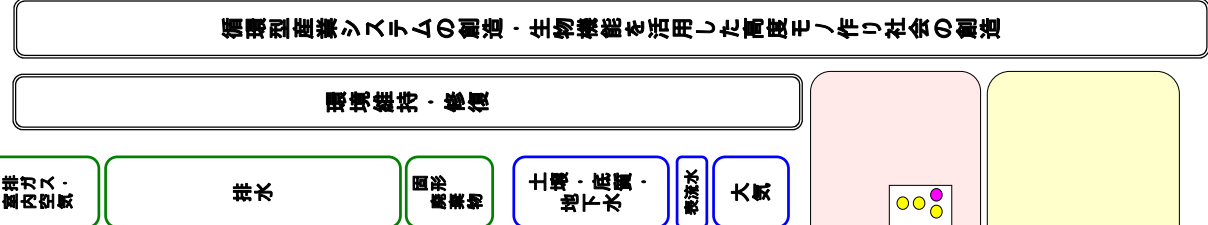
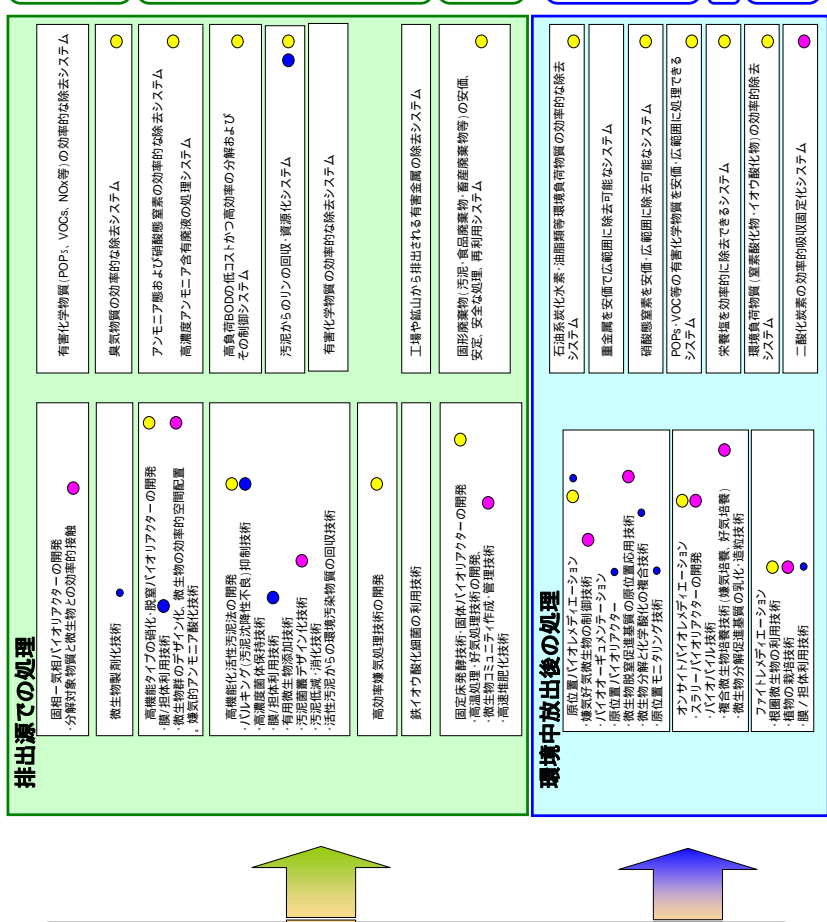
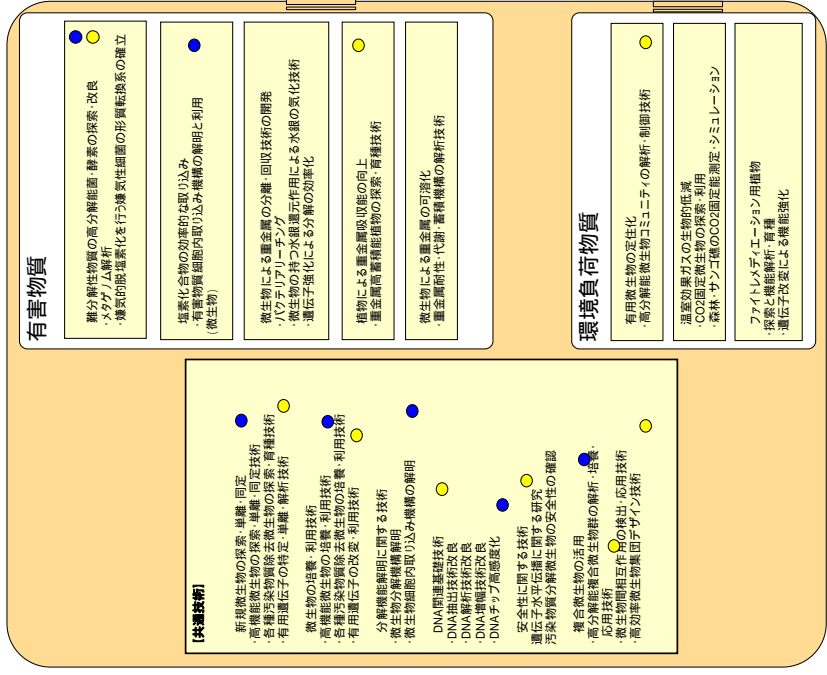
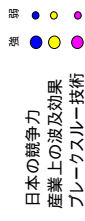
3. 生物機能を活用した環境維持・修復技術

研究開発フェーズ

有用生物・遺伝子の探索・改良

プロセス技術

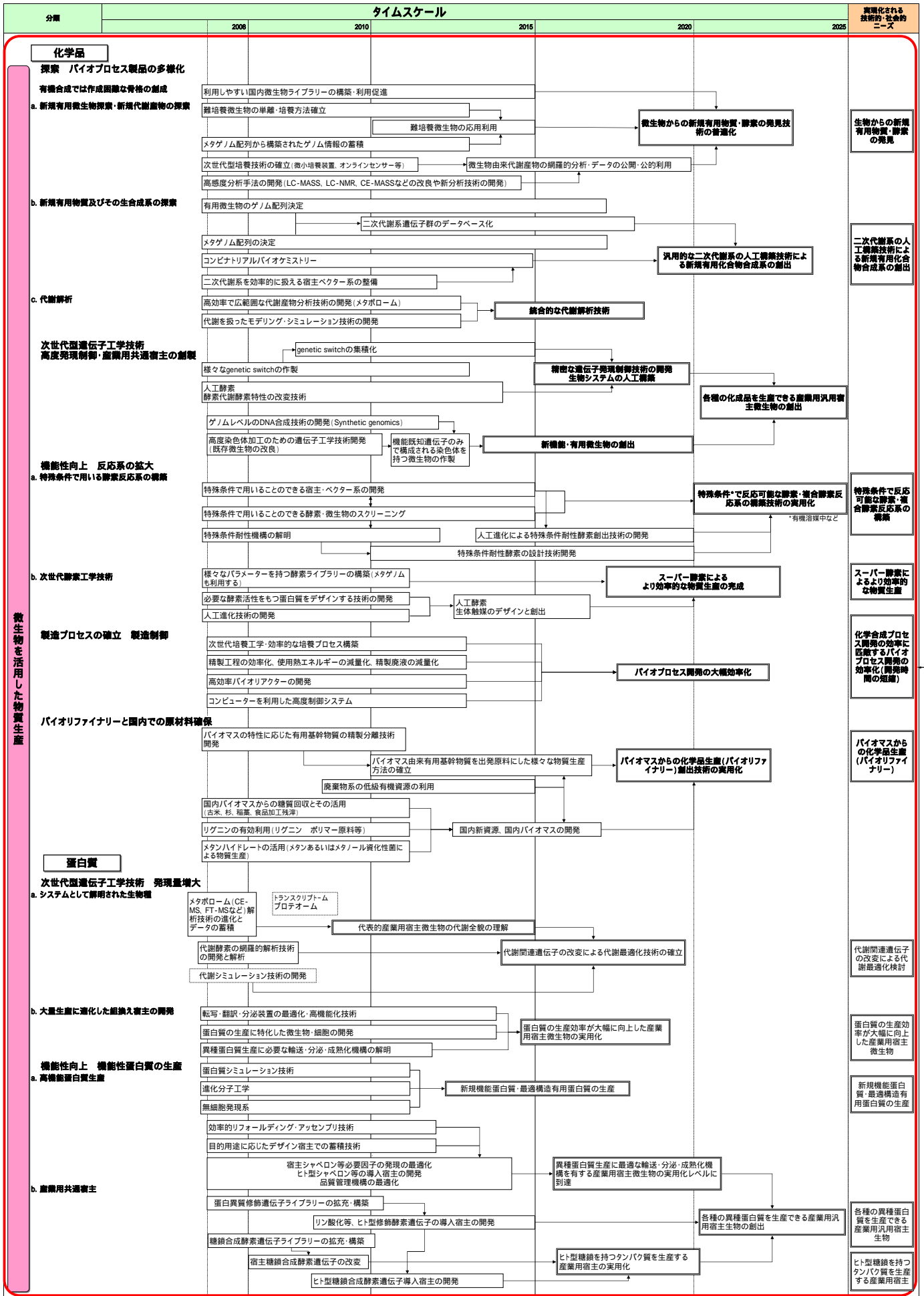
基本システムの構築

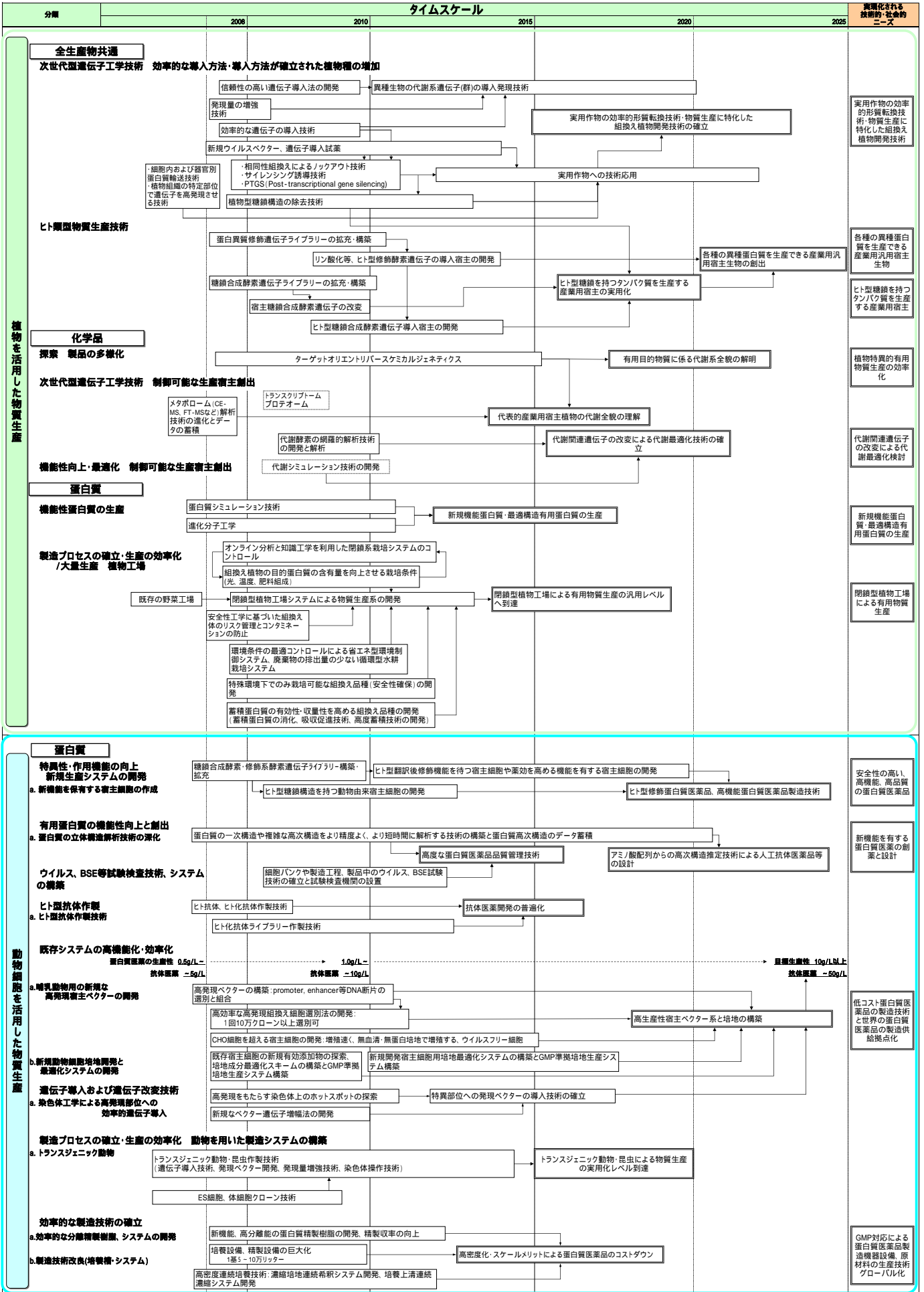


【1. 生物機能を活用した物質生産】
1-1) 物質生産技術

生物機能活用技術分野の技術ロードマップ

□ □ □ : 物質生産をする為の宿主
□ □ □ : 生産物質の種別
□ □ □ : 開発技術
□ □ □ : 技術到達目標

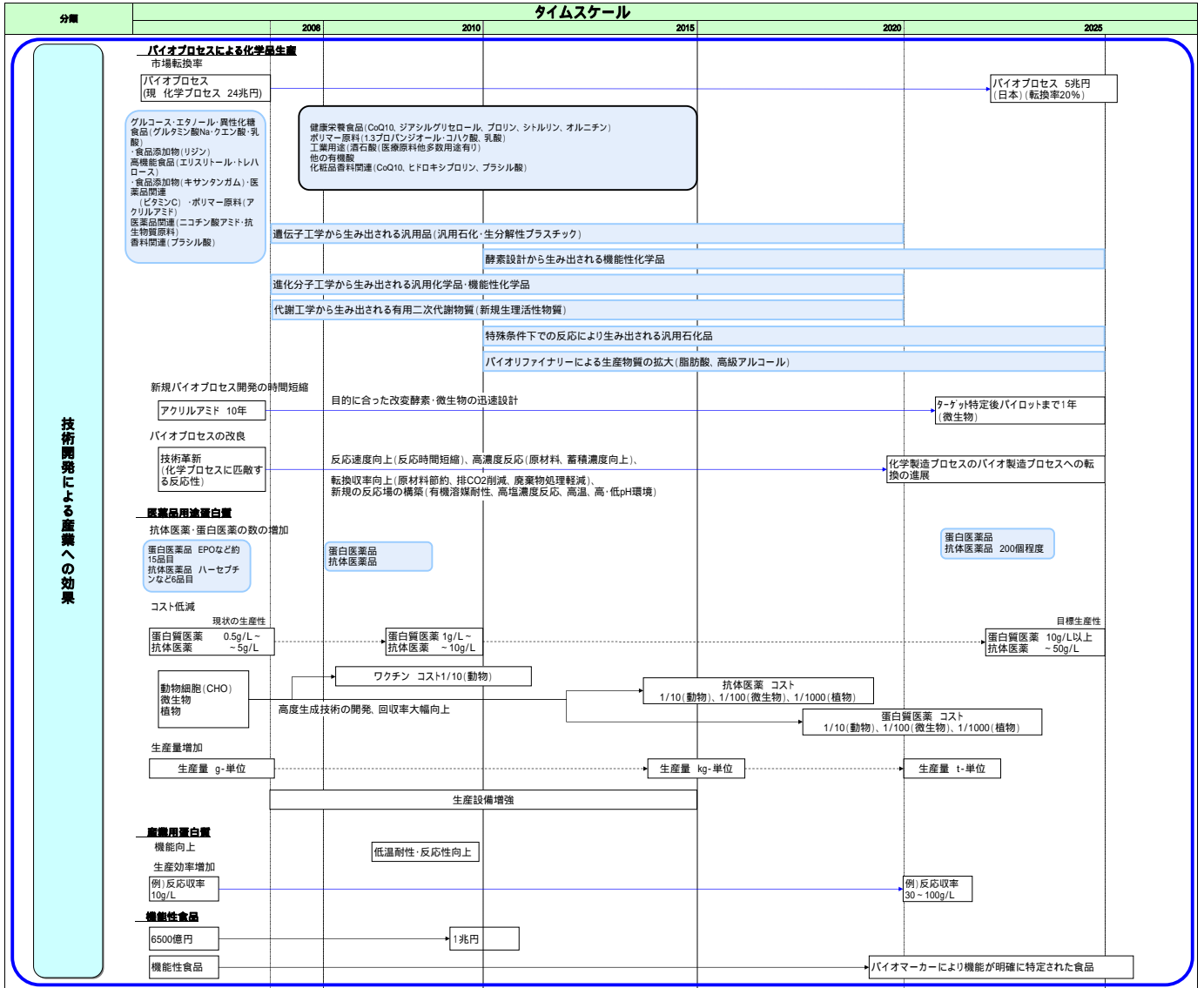




生物機能活用技術分野のロードマップ

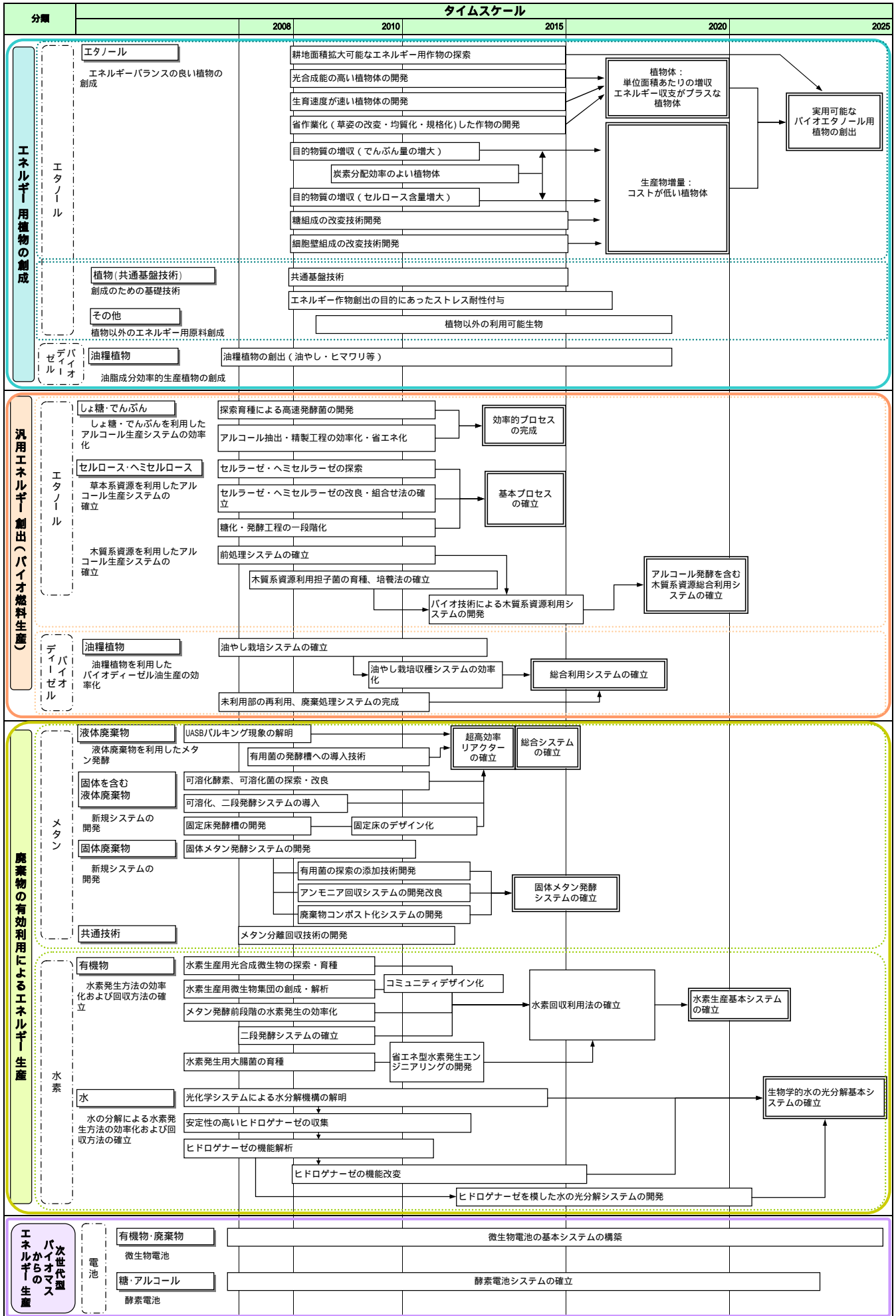
- : 産業への効果
- : 製品例
- : 技術目標レベル

1-2) 産業への効果



- : 目的別の種別
- : 生産する物質
- : 利用する素材
- : 開発技術

【2. 生物機能を活用したエネルギー生産技術】

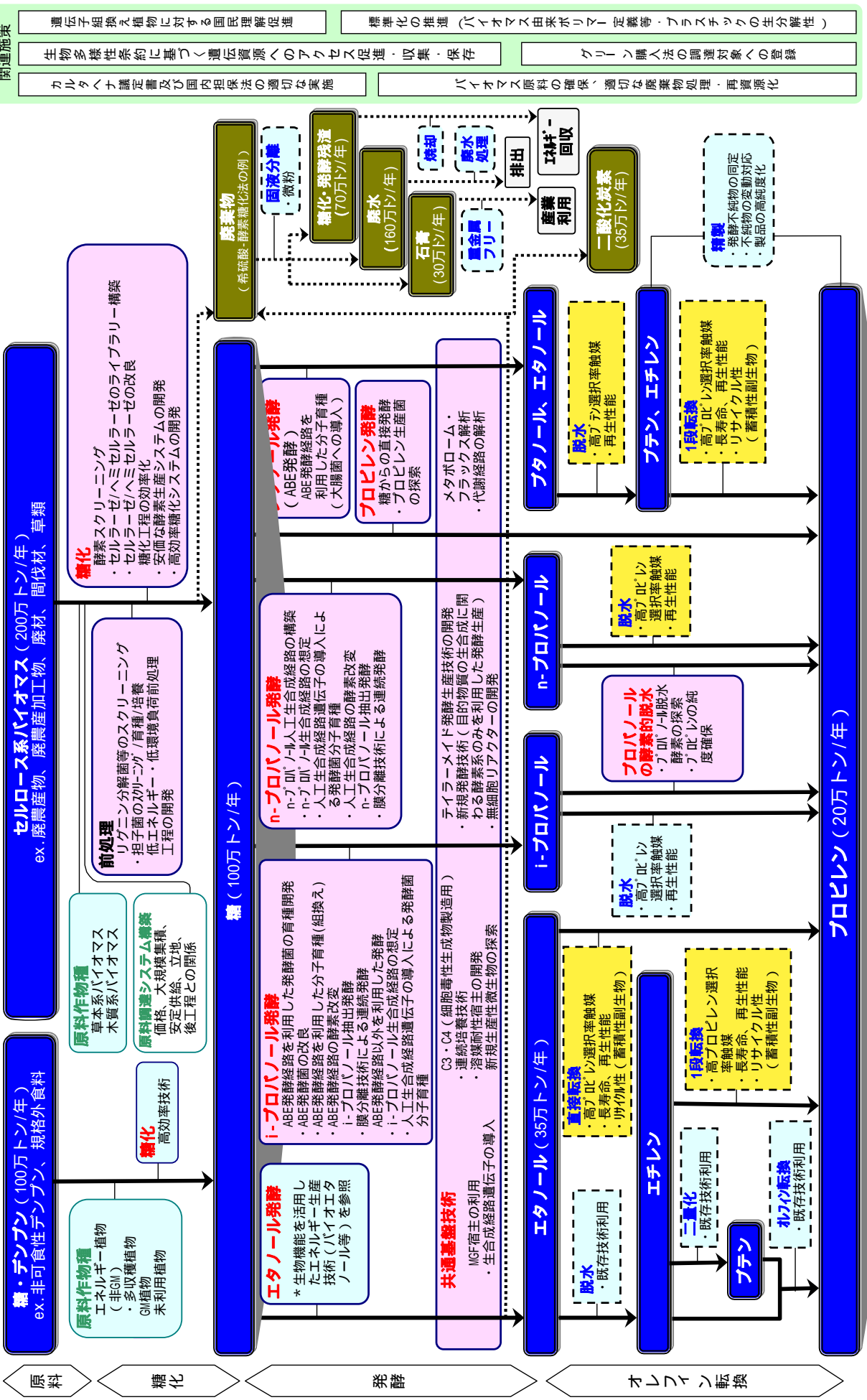


生物機能を活用した個別コモディティ物質生産(プロピレン・ブタノール・エタノール) 技術概観図

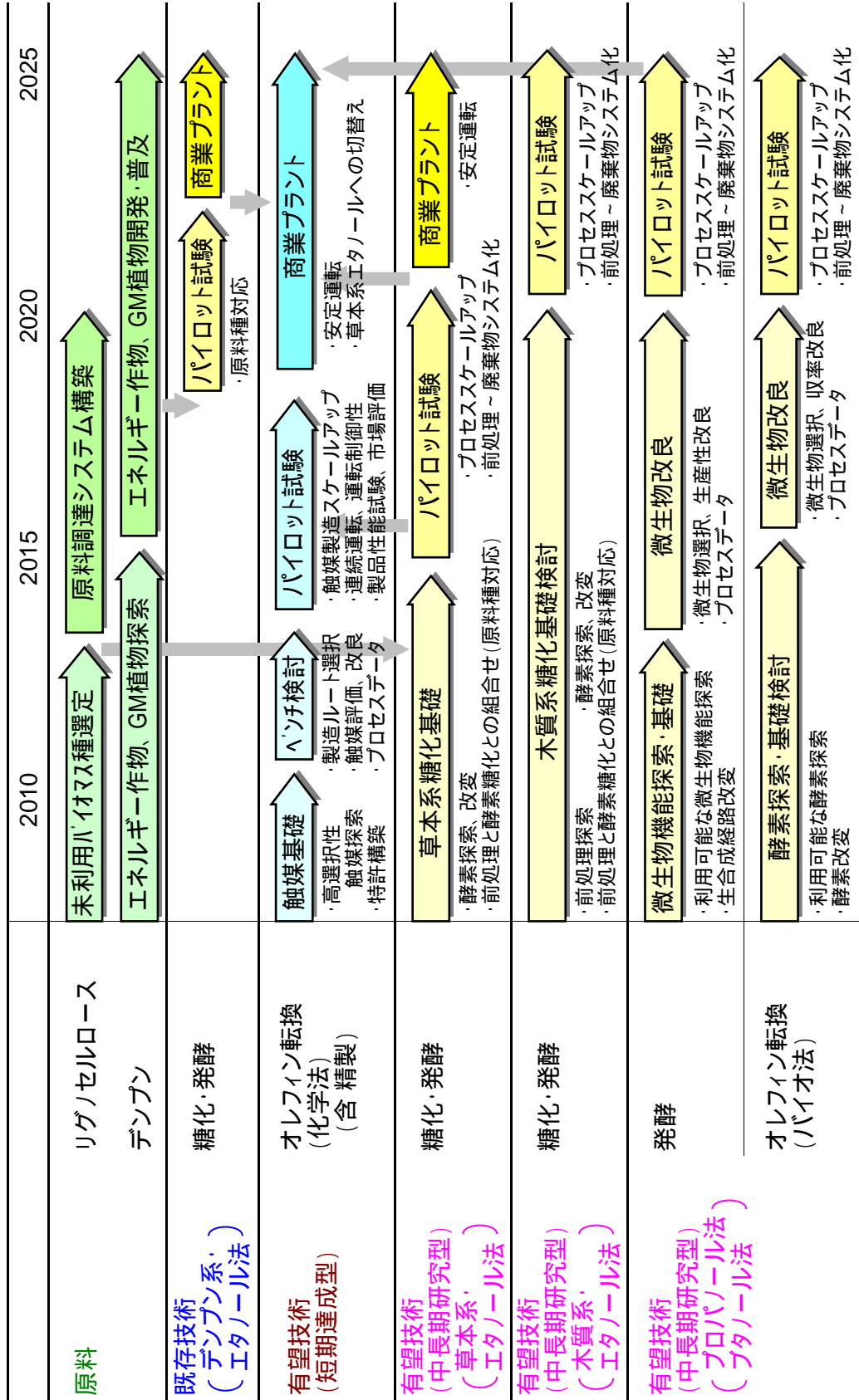
検討の前提
 ・規模：発酵アルコール 35万トン/年、プロピレン 20万トン/年
 ・原料：糖・デンプン系及びセルロース系の非可食性原料
 ・技術：酵素糖化工程後田、化学転換工程も利用可能
 ・時期：2025～2030年に実用化

既存技術
 有望技術(短期達成型)
 有望技術(中長期研究型)

バイオ法
 化学法



開発工程表(生物機能を活用したコモディティ物質生産)



(注) ▲ : 判断時期

生物機能活用技術分野の国際競争ポジション

日米欧中の四カ国及び PCT に出願された特許 出願人国籍解析

日米欧中の四カ国と PCT にて出願された特許をファミリー単位で解析し、出願人国籍別に出願数を比較した。これらの、特許検索に用いた検索式は、特許庁「平成 17.18 年度 重点 8 分野の特許出願状況調査報告書 - ライフサイエンス分野 - 」を参考とした。

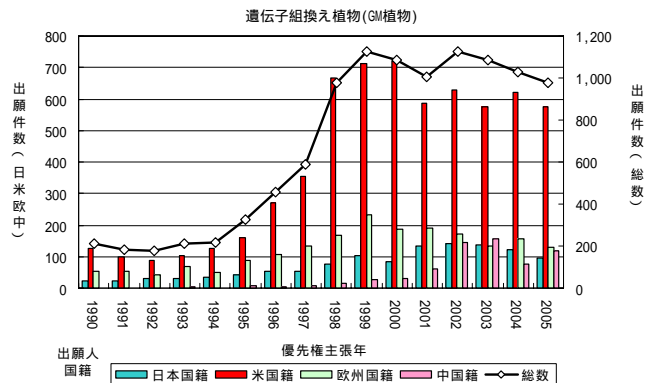
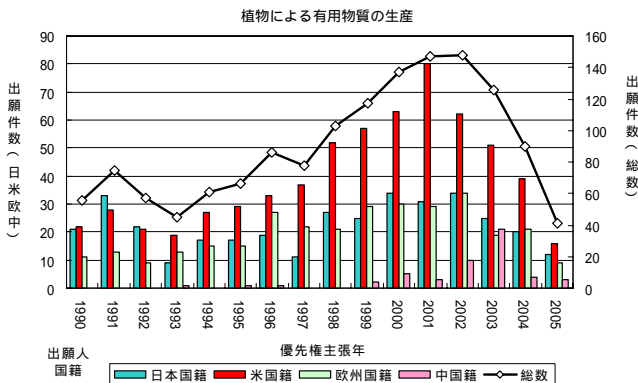
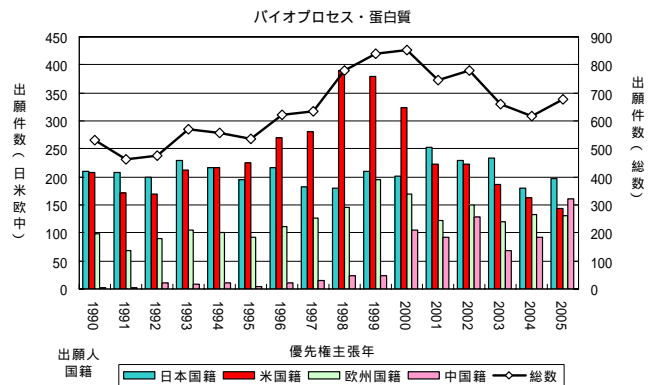
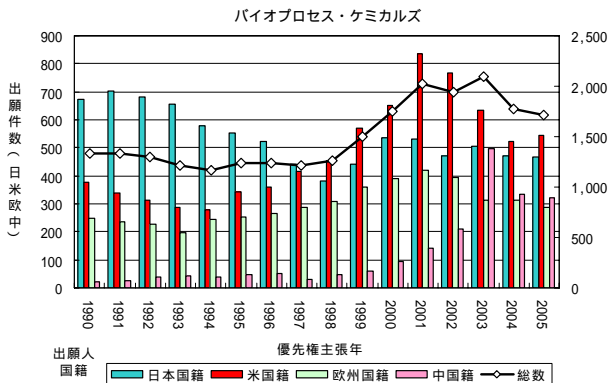
「バイオプロセスによる物質生産技術」に関する特許出願動向は、他のバイオ分野と比較して、日本の特許出願シェアが高い分野である。しかしながら、近年米国からの出願が増加し、日本の優位性にかげりが見られる。

なお、微生物を用いた物質生産は、物質生産工程の一工程となることが多く、公開資料のみで市場を語る事が困難である。参考資料図表 3 に示したように、バイオ技術により生産された物質の中で、日本の技術によるものが多数存在する。

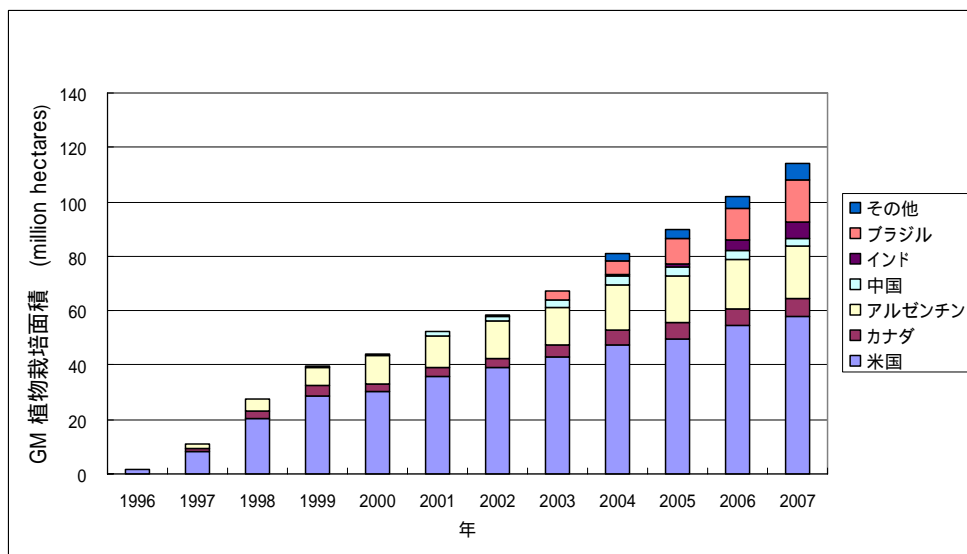
「バイオプロセスによる物質生産技術（蛋白質）」に関する特許出願動向は、日本の出願数は、一定した分野であると考えられる。

「植物による有用物質生産」に関する特許出願動向は、2001 年までは米国において急激に特許出願が増加し、特許出願シェアも米国が突出していた。しかしながら、2001 年以降、米国の出願に減少傾向が見られる。

「GM 植物」に関する特許出願動向は、米国の圧倒的優位が続いている。



図表1 GM植物 栽培国別年次推移



出典: ISAAA報告

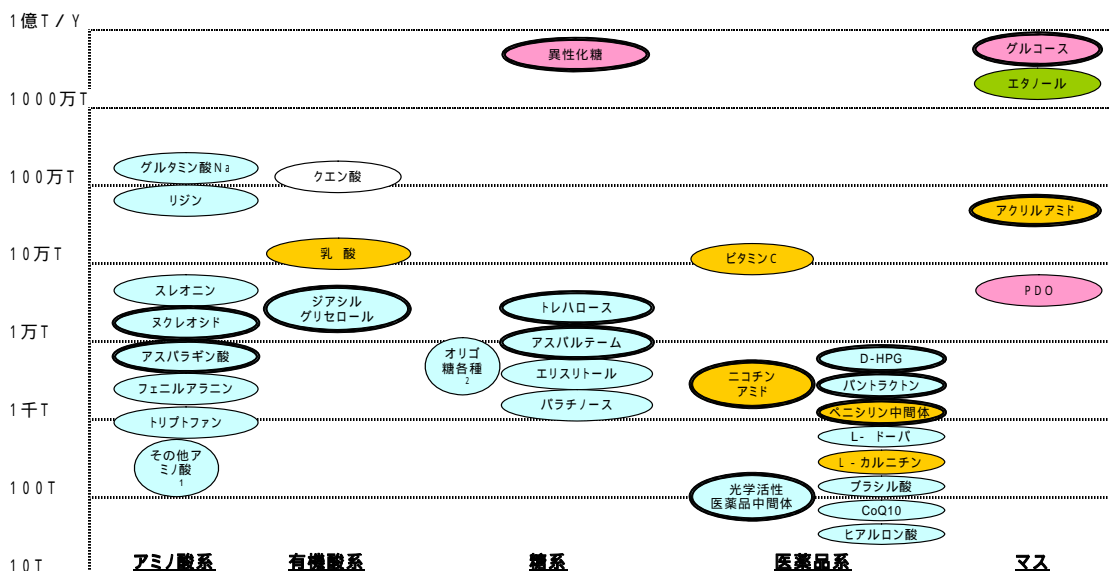
図表2 セルラーゼ利用バイオエタノール製造プラント事業

企業名 (国籍)	助成上限額	エタノール生産量	バイオマス処理量	提携先
Abengoa Bioenergy (スペイン)	7,600万ドル	4,300万L/年	700t / day	Novozymes
POET (旧Broin) (米国)	8,000万ドル	11,750万L/年	842t / day	Novozymes, DOE /NREL, DuPont
Iogen Biorefinery Partners (カナダ)	8,000万ドル	6,800万L/年	700t / day	Shell

米国エネルギー省が助成を発表した事業

出典: NEDO調査

図表3 バイオプロセスで生産される製品の生産規模とトップシェア国



1 その他アミノ酸
アルギニン、システイン、ヒスチジン、イソロイシン、プロリン、バリン

2 オリゴ糖
ガラクト、フラクト、ニゲロ、イソマルト、マルト、乳糖、オリゴ糖

日本 EU 中国

米国 ブラジル

二重線 酵素法
一重線 発酵法

(色別はトップシェア国を示す) 日本発の技術

出典: (株)三菱化学テクニサーチ調査