

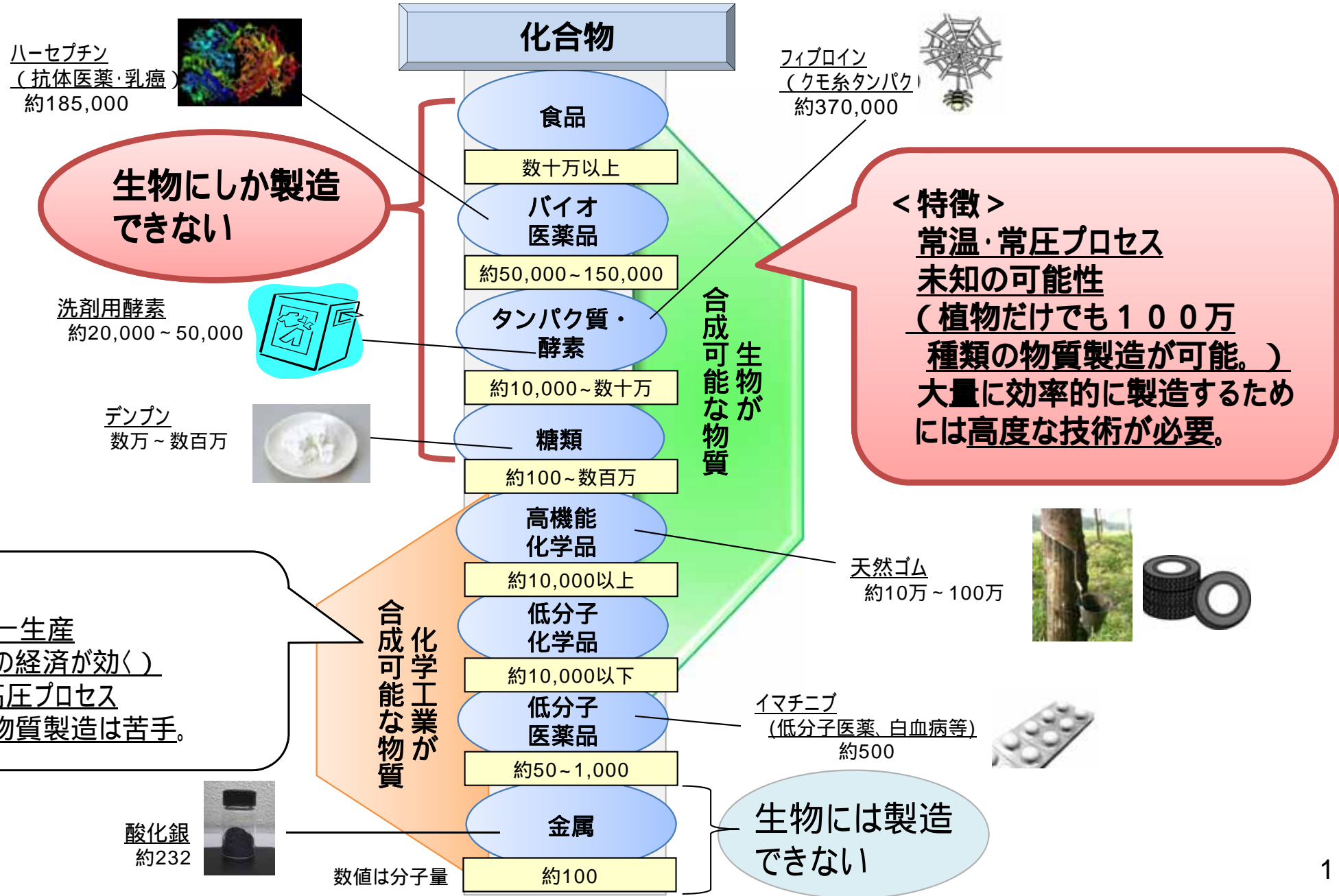
# スマートセルインダストリー (生物による物質生産)の可能性

平成 2 8 年 3 月

経済産業省  
商務情報政策局

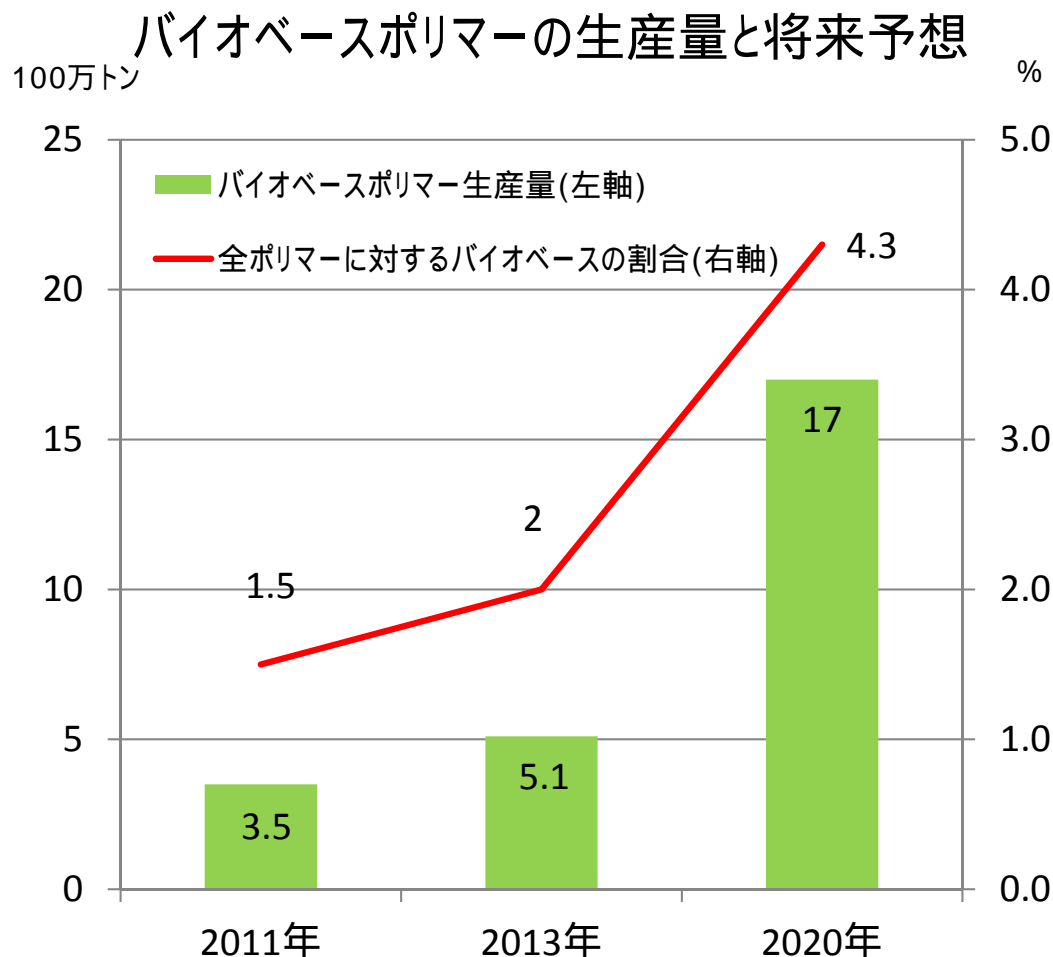
# 生物が生み出す物質の範囲のイメージ

- 生物は高分子化合物、高機能品を製造することが得意。



# 生物によるものづくりの世界市場：バイオベースポリマー

- 2013年のバイオベースポリマーの生産量は510万トン(100億ユーロ)。2020年には1700万トンに拡大する見込み。
- 海外では石油由来ポリマーから置き換わる動きがある。



出典：Bio-based Building Blocks and Polymers in the World (short version, Nova-Institute)より経済産業省作成

## 【実用化の例】

コカコーラ：PETボトル



16.5%が植物由来

三菱化学：

**DURABIO™**

光学フィルム

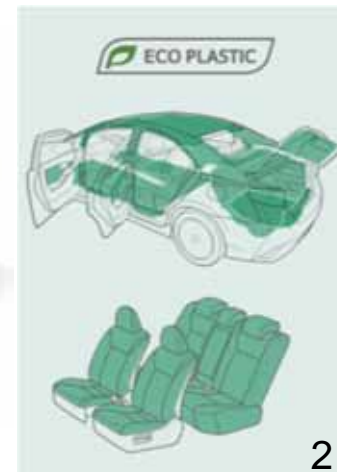


遮音壁



トヨタ：SAIの内装

車室内表面積の80%をエコプラスチック化



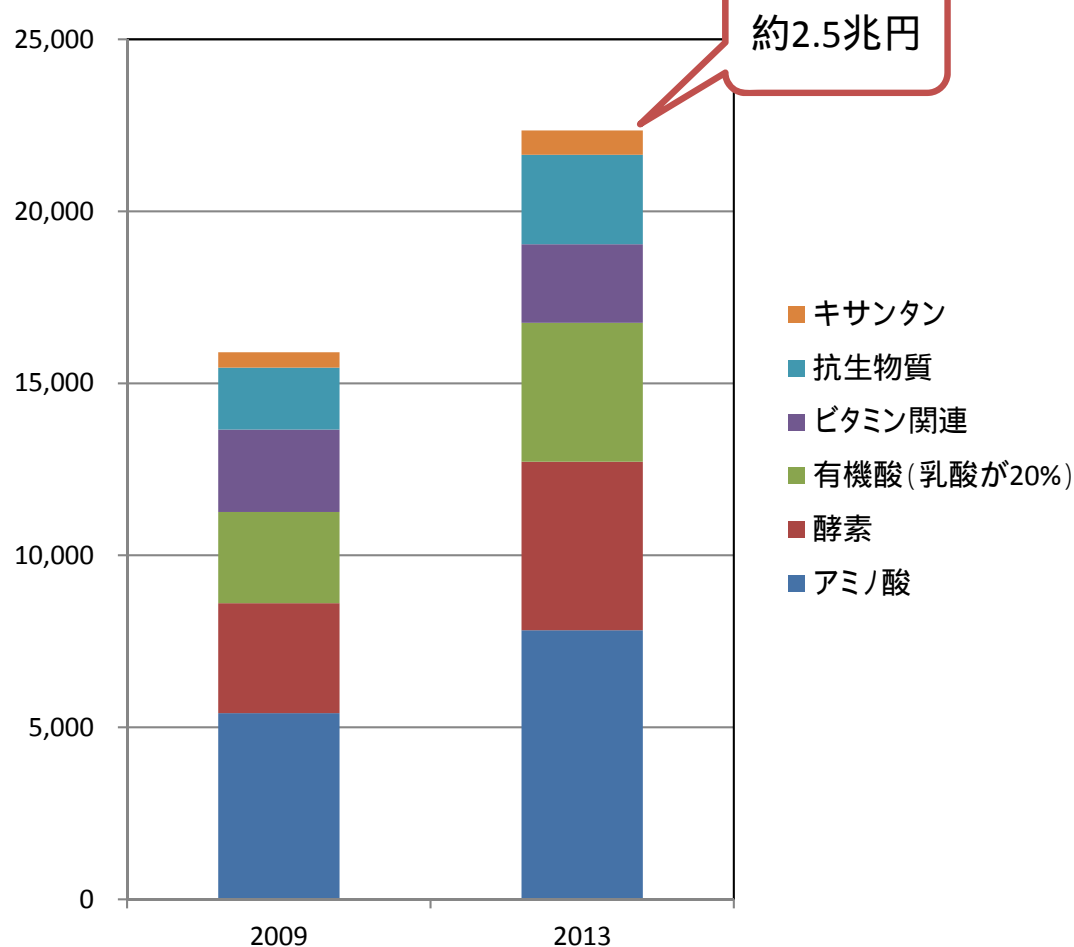
出典：<http://toyota.jp/sai/>

# 生物によるものづくりの世界市場：高機能品

- 生物にしか製造できない高機能品の市場も伸びている。2013年の生物による高機能品生産の市場は2.5兆円

## 生物による高機能品の世界市場(発酵生産)

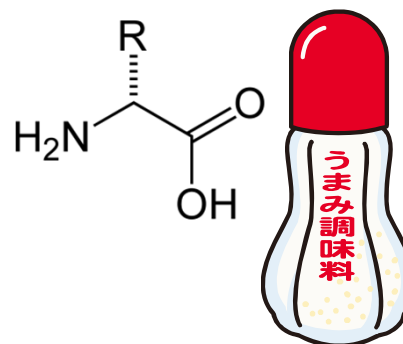
(100万ドル)



約2.5兆円

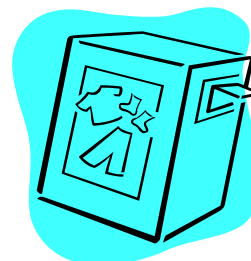
## アミノ酸

- ・食用
- ・飼料用など



## 酵素

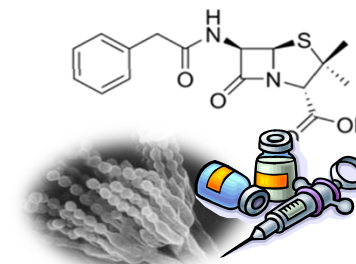
- ・洗剤用
- ・産業用など



## ビタミン関連



## 抗生物質(医薬品)



# 生物を用いて物質を製造させるための手法

- これまでの生物による物質製造を高度化させるための手法は、探す、引き出す。

有益な物質を  
製造できる  
生物を探す

- ・自然界に存在する多種多様な生物が持つさまざまな有用機能を探索する。
  - 環境中の難培養微生物の培養
  - 有用機能のスクリーニング
  - 生物や環境からの有用遺伝子資源の探索など。

生物により  
高度な物質製造を  
行うための技術

有益な物質を大量  
に製造するよう  
生物の機能を  
引き出す

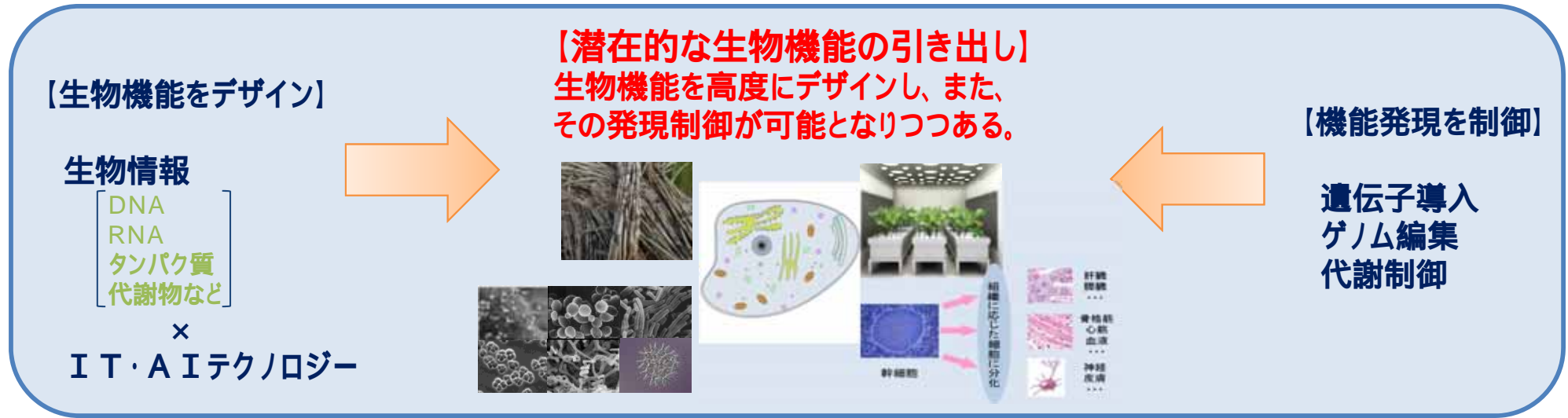
- ・育成環境を設計する
  - 温度・湿度設定
  - 栄養・水・光の与え方
  - 刺激の与え方

- ・遺伝子レベルでの設計
  - 交配による作り替え
  - 人為的な刺激による突然変異
  - 既知データをもとにした遺伝子の設計・組換え

近年のバイオテクノロジーの進展を利用することで、今後の産業競争力の源泉となり得る領域

# 最先端バイオテクノロジーが拓く世界

- バイオテクノロジーの急速な進展により、これまで利用し得なかった“潜在的な生物機能”を引き出すことが可能となり、これによって経済・社会の新たな可能性が創造されつつある。



**生体内で機能を発現させる**  
(人・動物細胞への直接適用)

**新たな医療手法の出現**  
(医療技術の変革)

Cf. 遺伝子治療  
再生医療、体内代謝制御 など

**機能物質を取り出して利用する**  
(微生物/植物/動植物細胞/藻類などへの適用)

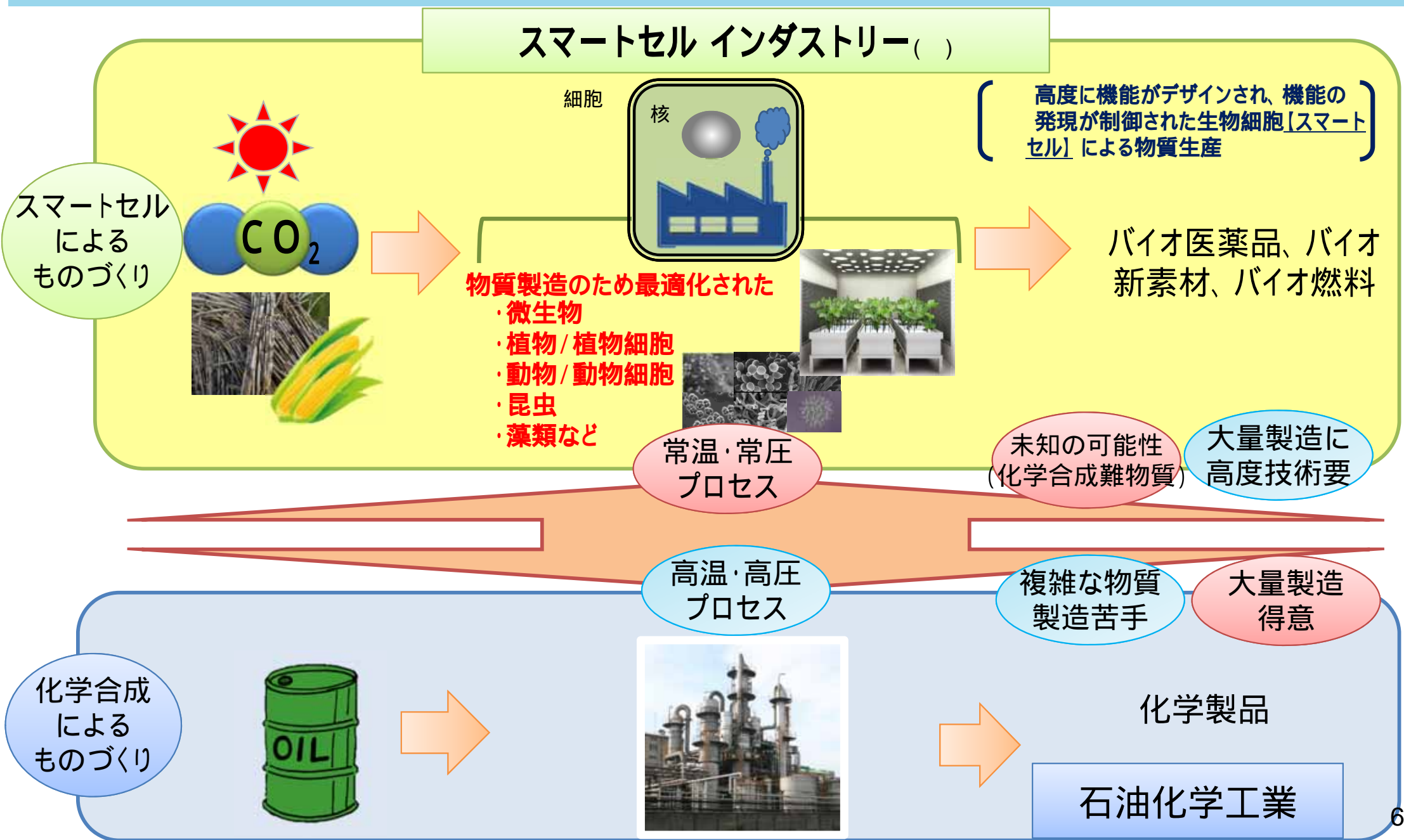
**スマートセル**  
**インダストリーの出現**  
(ものづくりの変革)

化学合成製品 → 生物機能活用製品

Cf. バイオ医薬品、バイオ新素材 (人工クモ糸、  
ゴム原料)、バイオ燃料 など

# スマートセルインダストリーの可能性

- スマートセルインダストリーは、従来に無い特徴を有し、新たなものづくりの可能性を秘める。

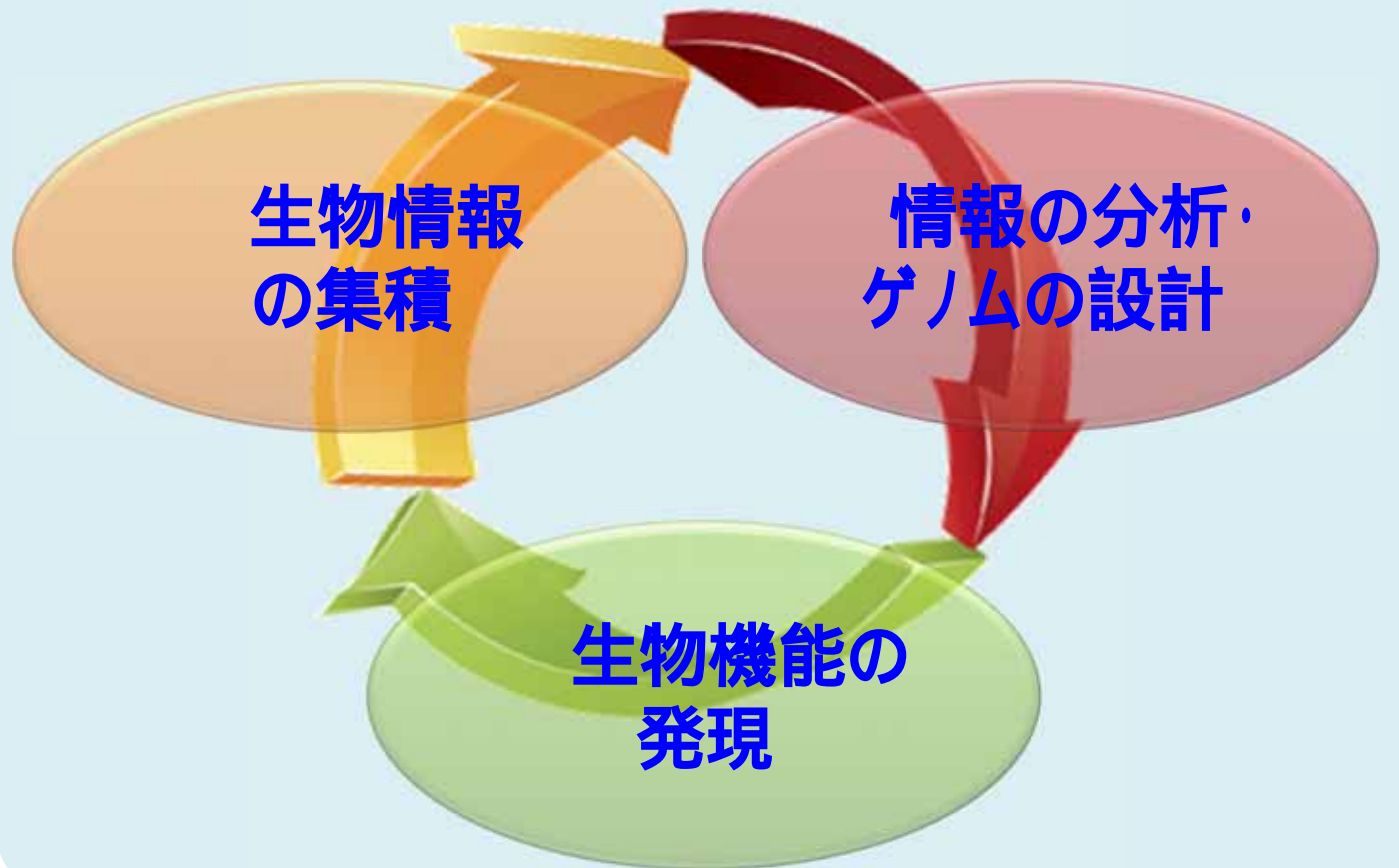


# スマートセルインダストリーを実現するコア技術サイクル

- スマートセルインダストリーを実現するコア技術は、生物の潜在能力を最大限引き出した  
( 1 ) 生物細胞 ( スマートセル ) の確立と、( 2 ) その培養・栽培。

## スマートセルインダストリーのコア技術サイクル

### ( 1 ) スマートセルの確立サイクル



### ( 2 ) スマートセルの培養・栽培





# スマートセルの確立サイクルの世界動向

- 生物情報の集積、情報の分析・ゲノムの設計、生物機能の発現

のいずれにおいても、近年、大きな技術の革新が進展。世界的に取り組みが急加速しつつある。

	従来	5年間の変化	結果	世界の動向
<b>生物情報の集積</b>	高額かつ情報が限定	DNA解析費用が <b>1 / 10</b> (7年前の1/1万) 代謝物解析の感度が <b>100倍</b> 蓄積される情報量は <b>20倍以上</b>	<b>低コスト</b> <b>網羅的</b> <b>高速</b> 解析が可能に	情報が加速度的に蓄積し、囲い込む動きがある
<b>情報の分析・ゲノムの設計</b>	組換え遺伝子の決定には経験と長い時間が必要	ディープラーニングなどの <b>IT・AI技術</b> が実用レベルに	膨大な情報を利用した <b>ゲノムの設計</b> が可能になりつつある	極めて複雑な細胞システムを制御するために、ゲノムをデザインする技術の開発が進められている
<b>生物機能の発現</b>	運任せの遺伝子導入が大半 設計通りの組換えは困難	<b>CRISPR/Cas</b> が登場 長鎖DNAの人工合成が可能に	<b>ゲノムの編集・人工合成</b> が可能になりつつある	CRISPR/Casの知財の権利化が進む 長鎖DNAを利用した組換え技術の開発が進みつつある

～ の各技術革新の統合により、生物が潜在的に有している”機能”を最大限引き出した生物細胞を、**短時間で効率的に**開発できる可能性。 → 産業応用の可能性が急拡大。

# 海外におけるスマートセルインダストリーへの取り組み例

- 海外では、遺伝子技術を用いるなどにより、機能発現能力を高めたスマートセルを利用し、生物に高機能品を製造させる動きが加速。

Amyris社(アメリカ)



生物により機能性化学原料(ファルネセンなど)を大量生産



様々な最終製品に応用されつつある。



バイオディーゼル：メルセデスベンツ  
ジェット燃料：ルフトハンザ



ゴム：クラレ、ミシュラン

化粧品原料、機能性原料などの  
上市に向けた研究開発が進む。



スクワラン：日光ケミカルズ



香料：高砂香料



界面活性剤：P&G

Evolva社(スイス)



evolva

共同研究



味の素  
高砂香料  
BASF  
Roquette  
ロレアル など

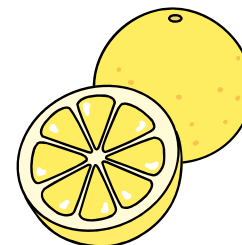
高機能品（甘味料や香料など）を生物生産



ステビア：低カロリー甘味料



レスベラトロール：機能性食品



ノートケトン、バニリン、サフランなど：香料



# 植物等の生物を用いた高機能品生産技術の開発

平成28年度予算案額 17.2億円（新規）

## 事業の内容

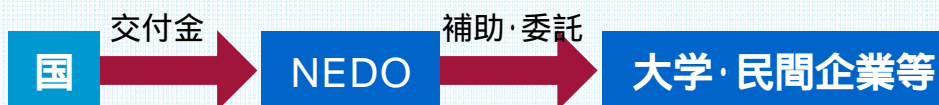
### 事業目的・概要

- 近年、植物や微生物等の生物を用いた高機能品（試薬・香料・化粧品など）の生産技術が注目されており、その市場規模は2030年には20兆円規模へと拡大することが見込まれています。
- 国内企業の競争力確保のためには、生物情報に基づく合理的な遺伝子設計と、大規模な遺伝子組換えの融合による我が国独自の技術構築が必要です。
- 遺伝子設計に必要となる精緻で大規模な生物情報（DNAや代謝物など）を高速に取得するシステム、細胞内プロセスの設計、ゲノム編集などを産業化するための技術開発を行い、これらを利用して植物等による物質生産機能を制御する事で、省エネルギー・低コストな高機能品の生産技術を開発します。

### 成果目標

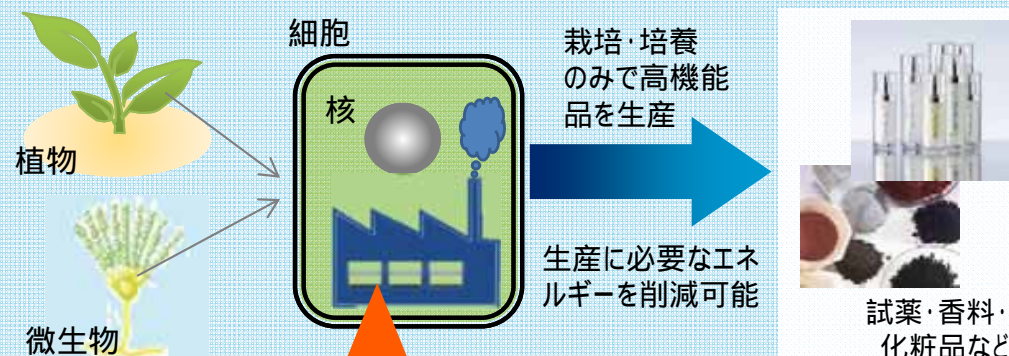
- 平成28年度から平成32年度までの5年間の事業であり、化学合成と比較して圧倒的に低コストである生物によるものづくりのための基盤を確立し、省エネ社会実現への貢献を目指します。（平成42年度の見通しとして、85.8万kl / 年の省エネを目指します。）

### 条件（対象者、対象行為、補助率等）



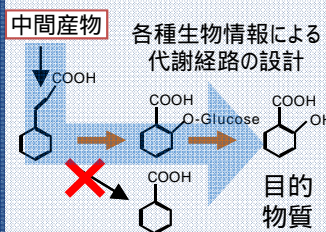
## 事業イメージ

### 植物・微生物等による生産技術の開発

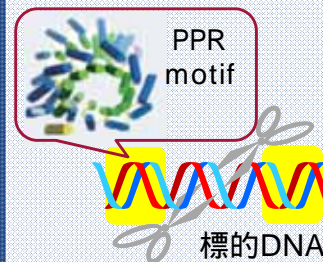


### 細胞内に生産プロセスを構築 → 物質生産工場として産業化

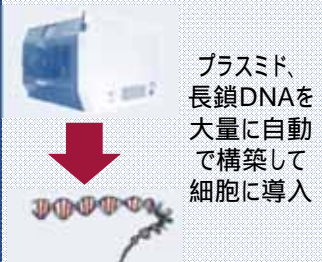
#### 情報技術を利用した細胞内プロセスの設計



#### 国産ゲノム編集技術



#### 長鎖DNA合成の自動化



### 生産効率を改善させるための技術開発



情報技術と大規模な遺伝子組換え技術を駆使し、産業上有用な化合物を生物プロセスにて生産する新たな産業の創出へ



### プロジェクト名: 植物等の生物を用いた高機能品生産技術の開発プロジェクト

#### 研究開発の目的

近年、バイオテクノロジーの発展に伴い、植物や微生物等の生物を用いた物質生産技術が注目されており、全世界で関連市場が今後急速に拡大していくと予想されている。現在、欧米を中心にその市場獲得に向けた取り組みが進められているところであり、我が国の競争力確保のためには、情報技術を利用した合理的な遺伝子設計と、大規模な遺伝子組換えの融合による我が国独自の技術構築が必要となる。

本プロジェクトでは、遺伝子設計に必要な精緻で大規模な生物情報を高速に取得するシステム、細胞内プロセスの設計、ゲノム編集などを産業化するための技術開発を行い、これらを利用して植物等による物質生産機能を制御・改変することで、省エネルギー・低コストな高機能品生産技術の確立を目指す。

#### プロジェクトの規模

- ・事業費総額 86億円(予定)
- ・NEDO予算総額 17.2億円(予定)
- ・実施期間 平成28～32年度(5年間)

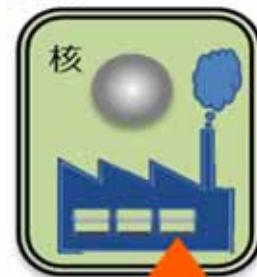
#### 成果適用のイメージ



- ・国産ゲノム編集技術の開発
- ・代謝系遺伝子発現制御技術の開発
- ・栽培・生育環境による発現制御技術の開発

- ・遺伝子配列設計システムの開発
- ・ハイスループット合成・分析・評価手法の開発
- ・情報解析システムの有効性検証

細胞



細胞内に生産プロセスを構築

栽培・培養のみで高機能品を生産



試薬・香料・化粧品など

#### 研究開発の内容

##### 研究開発項目 「植物の生産性制御に係る共通基盤技術」

植物等による物質生産機能の制御・改変及びその産業化に向けて、既存のゲノム編集技術では対応できない新規の国産のゲノム編集技術や代謝系遺伝子発現制御技術、栽培・生育環境による発現制御技術等を開発する。また、研究開発項目と連携し、開発した技術の有効性を検証する。

##### 研究開発項目 「植物による高機能品生産技術開発」

特定の生産ターゲットを設定した上で、生産させる実用植物の栽培及び遺伝子組換え技術を開発するとともに、生産性向上に寄与する遺伝子の特定・改変、環境条件の最適化を行い、実用に資する生産性を実現する。

##### 研究開発項目 「高生産性微生物創製に資する情報解析システムの開発」

DNA、mRNA、タンパク質、代謝物の階層内、階層間の制御ネットワークを推定する手法や、代謝流束推定手法、人工酵素設計手法を開発する。これら解析手法を統合し、収量が最大となる遺伝子配列を設計するシステムを構築する。さらに、本システムを用いて目的物質の生産性を検証することで、その有効性を実証する。また、長鎖DNA合成やメタボローム分析装置等のハイスループット化技術を開発する。

##### 研究開発項目 「微生物による高機能品生産技術開発」

特定の生産ターゲットを設定した上で、研究開発項目で開発した遺伝子配列設計システム等を用い、目的物質の生産性向上を狙うとともに、量産化を見据え、宿主となる微生物の培養条件等を最適化する。