

# バイオエコノミーに関する動向

平成30年7月27日

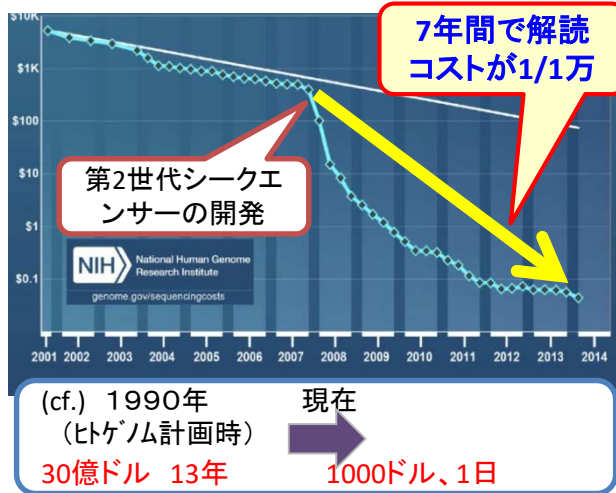
経済産業省  
生物化学産業課長

上村 昌博

- **バイオエコノミー (Bioeconomy)** という概念が国際的に提唱。
- OECDは、2030年のバイオ市場は**GDPの2.7% (約1.6兆ドル (約200兆円)) に成長と予測。**
- **バイオ×デジタル**の融合により、**生命現象を理解し、生物機能を最大限活用**をすることが可能に。

### ゲノム解読コストの低減・短時間化

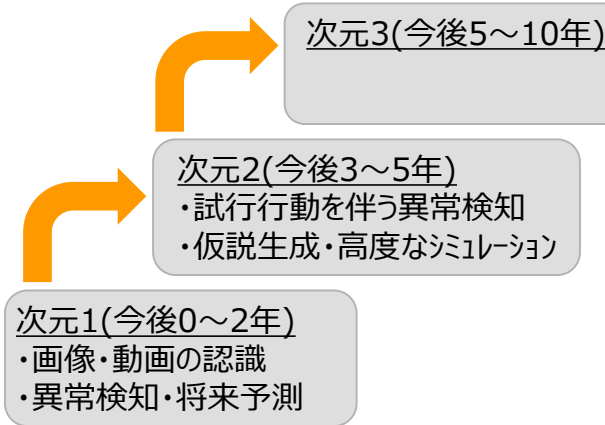
解読コストが7年前の1/1万  
(※ヒトゲノム計画時(1990年)と比して1/百万以下)



**全ての生物情報を安価にデジタル化**

### IT/AI技術の進化

ディープラーニング等によりAI技術が非連続に発展



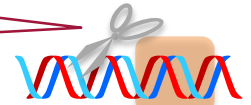
**AIによりゲノム配列と生物機能の関係解明が進みデザイン可能に**

### ゲノム編集技術の登場

デザイン通りに生物機能を合成する技術が登場

2013年初めにゲノム編集技術 (クリスパーキャス: **CRISPR/Cas**) が登場。

CRISPR/Cas9



→固有の特性を人工的に付加した生物の作製が可能に

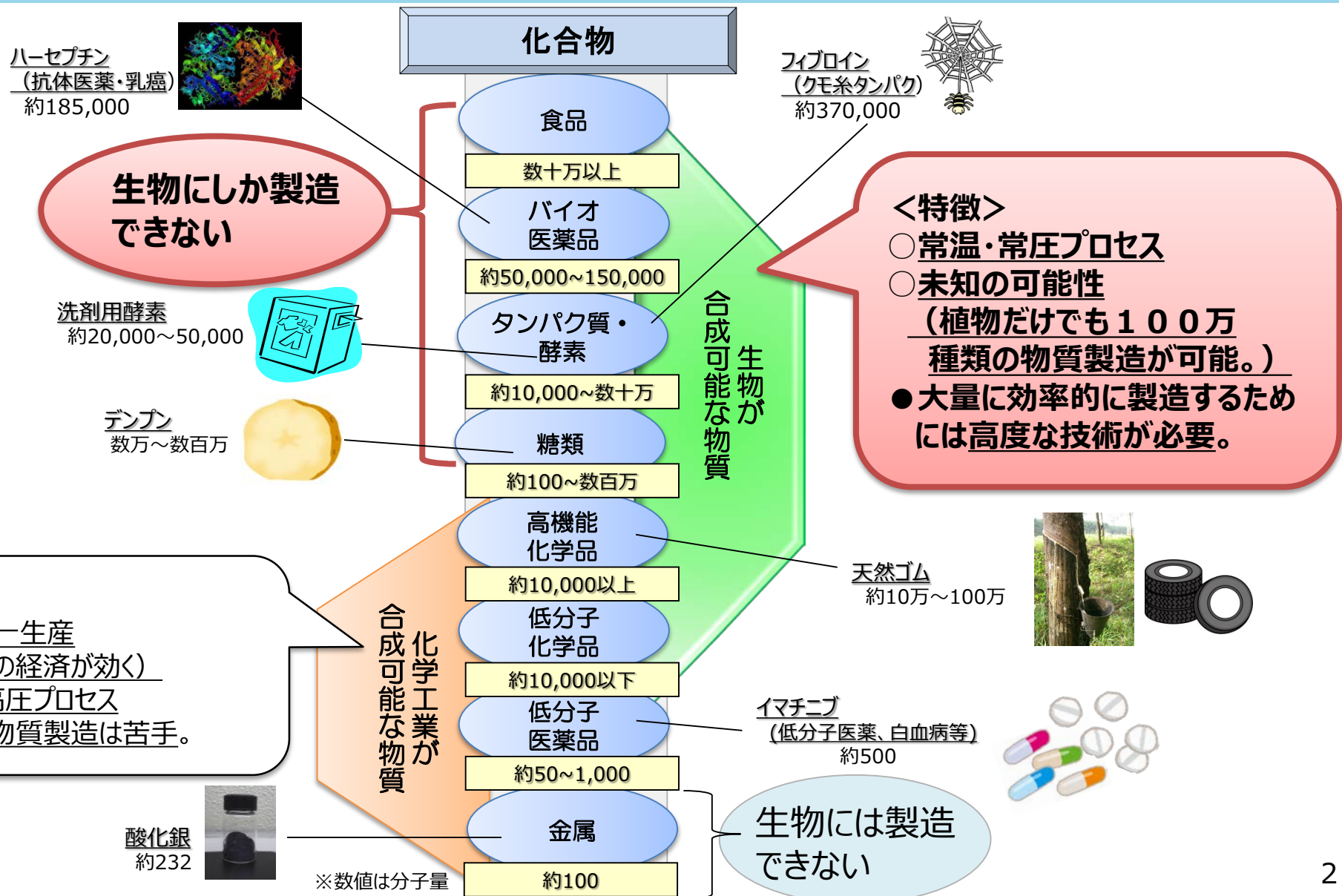
**狙った生物機能の発現が可能に**

高度に機能がデザインされ、機能の発現が制御された生物細胞 (スマートセル) を創出すること (**合成生物学**) により、これまで利用し得なかった“潜在的な生物機能”を引き出し、利用することも可能に。

スマートセル技術は、世界経済フォーラムも、10のEmerging Technologyの1つとして位置づけ  
**“Bio is the new digital” (バイオこそ、デジタルの次の革新的技術)** (MIT Media Lab founder Nicholas Negroponte)  
 デジタル技術と同様、様々な異分野と**connect**する次世代の基盤的革新技術に成長する可能性

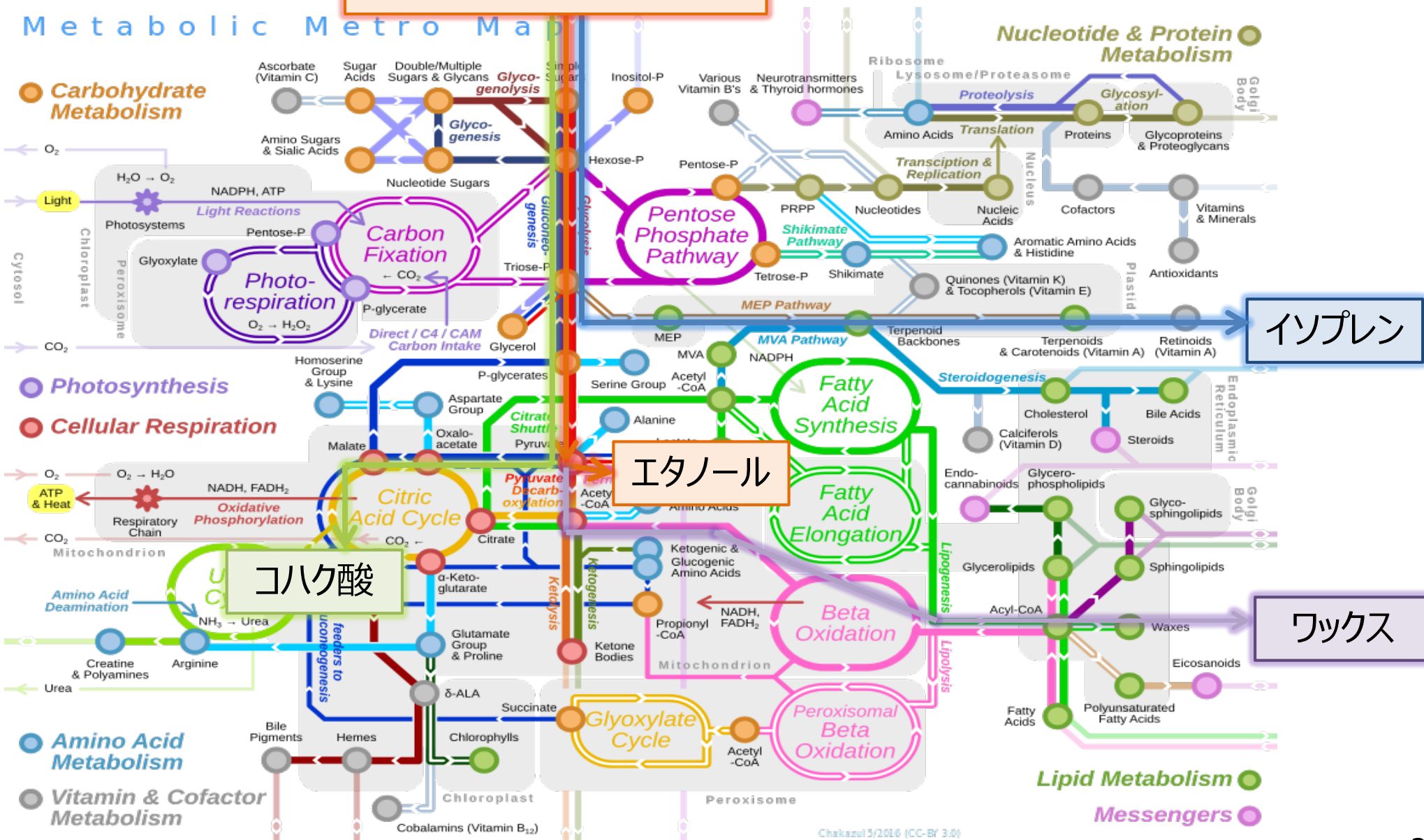
# 生物が生み出す物質の可能性

- 生物は高分子化合物、高機能品を製造することが得意。



遺伝子により生産される“酵素”の働きで、有機化合物が順次、分解・合成。

グルコース (バイオマス)



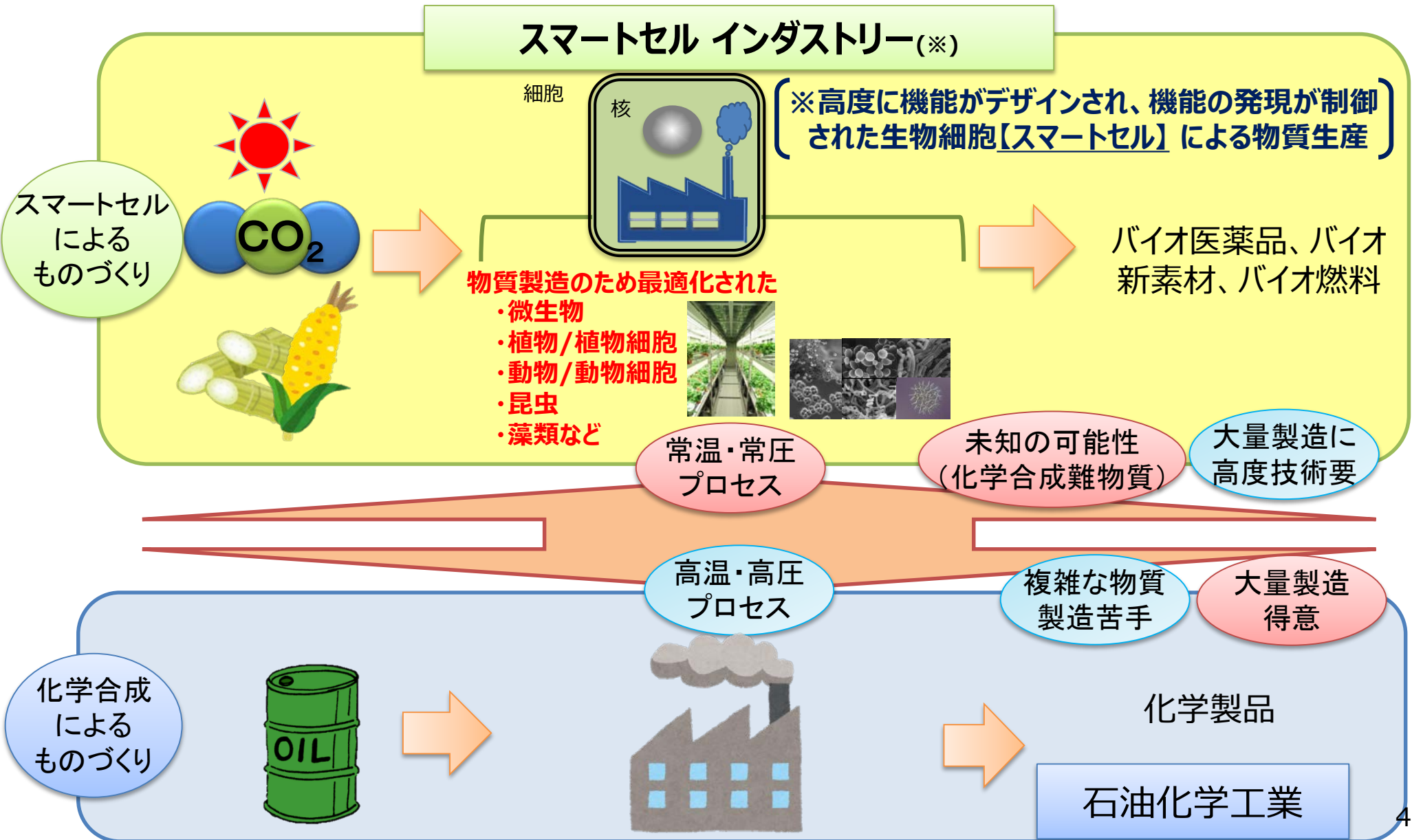
イソプレン

エタノール

コハク酸

ワックス

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。



# バイオ×デジタルが拓く世界〔生物機能の理解・活用〕

- **BD・AI** による「第4次産業革命」との融合により、健康・医療から、工業、エネルギー、農業まで、大きなパラダイムシフト。

## 【生物機能をデザイン】

### <生物情報(BD)>

- ・DNA、RNA
- ・タンパク質
- ・代謝物 等



### <高度AI・IT技術>

- ・ディープラーニング 等



## 【潜在的な生物機能の引き出し】

**スマートセル**  
(かしこい細胞)



## 【機能発現を制御】

### <最先端バイオ技術>

- ・培養・育種技術
- ・代謝制御
- ・ゲノム編集

**新産業創生**  
(スマートセルインダストリー※)

※高度に機能がデザインされ、機能の発現が制御された生物細胞【スマートセル】を用いた産業群

## 生体内で機能を発現させる

新たな医療手法の出現  
(医療技術の変革)

### 医療・ヘルスケア

従来不可能だった  
根本治療の実現

- Cf. 個別化医療の実現  
バイオ医薬品  
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

新たなものづくり、生物資源の高度利用の出現  
(広範な産業構造の変革)

### 工業(ものづくり)

超省エネ(常温・常圧)  
枯渇懸念フリー

- Cf. 人工クモ糸、香料  
機能性化学品  
医薬原料



など

### エネルギー

化石燃料からの脱却

- Cf. バイオエタノール  
バイオ燃料  
(バイオジェット、バイオガス) など

### 農畜水産業

アレルギーフリー/農薬減少  
栄養強化作物 など

- Cf. 栄養価の高い作物  
アレルギーを起こさない  
そば粉 など



# バイオ×デジタルの融合による技術革新が導くバイオエコノミー

- バイオとデジタルの融合による**生命現象理解と生物機能活用**を通じ、①**健康・未病社会**、②**炭素循環社会**、③**革新的新素材による成長社会**を実現。地球規模の課題解決に貢献。

## ①健康・未病社会

食品の健康増進・疾病予防機能を解析、「未病社会」や生体親和性の高い**健康・快適社会**を実現できる可能性

産総研アレルギーフリー卵

バイオ×食品



アレルギー物質を産出する遺伝子を除去、アレルギー低減卵を実現

腸内マイクロバイーム（微生物相）の制御に向けた創薬（武田など）

マイクロバイームが様々な疾患や体質に関係。その制御に向けた創薬が進展中。



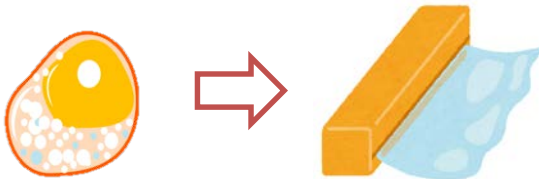
バイオ×腸内環境制御

## ②炭素循環社会 (Circular Economy)

生物の物質生産機能を解析・強化、化石資源に頼らない「**炭素循環型社会**」を実現できる可能性

バイオ×素材

カネカ「PHBH」（バイオプラスチック）  
生分解性バイオプラスチックをスマートセル生産。



三菱ケミカル「DURABIO」（バイオ素材）  
車体外装部品等に使用。光沢や発色、低変色などに優位性。

バイオ×自動車



植物由来の高機能バイオエンジニアリングプラスチック「DURABIO®」



「ロードスター」  
画像提供：マツダ株式会社

## ③革新的新素材による成長社会

生物材料の持つ機能を利用した新規素材開発による「**革新的新素材による成長社会**」を実現できる可能性

スパイバー社人工クモの糸

バイオ×衣料



鋼鉄の340倍の強靭性、ナイロンを上回る伸縮性。THE NORTH FACEのパーカーに使用・販売予定。

バイオ×情報保管

マイクロソフト社DNAストレージ

DNA配列にデータを埋め込み長期保管用ストレージとして活用。1 mm<sup>3</sup>に1 exabyte (10万Tb、フラッシュメモリの1000万倍以上)、500年以上の長期保管が可能。3年以内に実用化予定。

# 欧州各国の取組み状況

- 欧州各国のバイオエコノミー戦略策定状況 (少なくとも11か国が既に戦略を策定)



## ドイツ

「National Policy Strategy on Bioeconomy」  
(2016-2020)



## フランス

「A BIOECONOMY STRATEGY FOR FRANCE」  
(2017)



## オランダ

「Biomaterials driver of the biobased economy,  
Strategy for a Green society」  
(2013)



## ベルギー

「Bioeconomy in Flanders」  
(2013)



## イタリア

「Bioeconomy in Italy : A unique opportunity to  
reconnect economy, society and the environment」  
(2016)



## オーストリア

「BIOÖKONOMIE Hintergrundpapier」  
(2013)



## スペイン

「The Spanish Bioeconomy 2030 Horizon」  
(2015)

## NordBio (2013)



## フィンランド

「The Finnish Bioeconomy strategy」  
(2014)



## デンマーク

「Growth Plan for Foods, Growth Plan for Bio and  
Environmental Solutions」  
(2014)



## スウェーデン

「Swedish Research and Innovation Strategy for  
Biobased economy」  
(2013)



## ノルウェー

「Invest in Norway Bioeconomy Sustainable  
Innovation in Food and Bio-based Industries」  
(2016)



# アジア各国の取組み状況

- アジア各国もバイオエコノミー戦略やバイオ産業関連政策を策定



## マレーシア

「Bioeconomy Transformation Programme」

(2013)

「National Biotechnology Policy」

(2016 – 2020)

豊富な生物資源に付加価値を加えるため、熱帯農業、再生可能な生物資源、医療、工業バイオ分野で研究開発、産業振興を打ち出し、2020年に1500億リンギット（約4兆円）の市場創出を目指す。



## タイ

「THAILAND'S BIOECONOMY INDUSTRY」

(2017)

豊富な資源を持つバイオ分野ではエネルギー、医療、農業、水産、工業分野に注力、10年計画で約1兆7000億円の投資呼び込みを狙う。



## インドネシア

「Bioeconomy in the Grand Strategy of Indonesian Agricultural Development」

(2015 – 2020)

生物の多様性を生かした農業、ヘルスケア産業、森林資源からバイオエネルギー転換、CassavaやJatrophaの廃棄物からバイオ燃料の生産などに注力

欧州からの旺盛な技術開発協力



# グローバルバイオエコノミーサミット (GBS) の概要

- 本年4月にベルリンにて開催された第2回GBSには、世界70カ国以上から800名以上が参加。世界の各地域におけるバイオエコノミーの取組等を論議。
- SDGs等へのバイオエコノミーへの貢献や、日本での機能性材料開発（バイオプラスチック等）の産業的取組を紹介。研究開発や能力開発など、国際協力の重要性を確認。

## ◆日本からの主な参加者-産学官の多くの機関から参加-

本会議： 日本バイオプラスチック協会 石塚前会長  
経済産業省 江崎統括調整官

ワークショップ： JABEX / JBA、三菱ケミカル、カネカ、経済産業省 等  
他の参加者： 日立製作所、東京大学、農林水産省、JETRO、NEDO 等

## ◆GBS2015コミュニケから追加された項目

- a) 気候変動、健康への影響との関連
- b) デジタル化と融合技術
- c) コミュニケーションと信頼
- d) 教育と訓練
- e) 生物多様性
- f) 海洋のバイオエコノミー
- g) 革新的な資金調達方法
- h) 都市におけるバイオエコノミー



19-20 April 2018, Berlin, Germany

✓ **One Planet意識の下、持続可能なバイオマス利活用が重要**

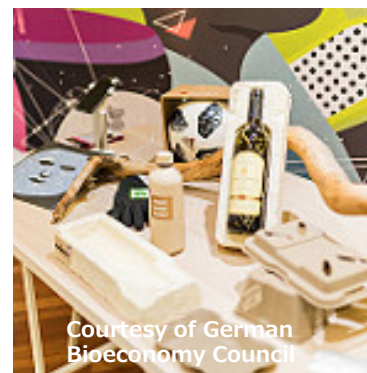
✓ **国連、世銀、OECDなど、様々な国際フォーラムにおいてバイオエコノミーが注目されることが重要**



Courtesy of German Bioeconomy Council

国際協力に向けた議論（20日午後）

## ◆展示されたバイオエコノミー商品の例



Courtesy of German Bioeconomy Council

おがくずで作った方にキノコの菌糸を生やして作られた発砲スチロールの代替品 など

→ **必ずしも難度の高い技術の開発に限らない**

(出所) JABEX/JBAの報告をもとに作成



## GBS2018におけるバイオエコノミーの定義

バイオエコノミーとは、関連する知識、科学、技術、イノベーションを含む生物資源の生産、利用、保全であり、持続可能な経済を目指してすべての経済分野に情報、製品、プロセス、サービスを提供するもの。

バイオエコノミーは、ダイナミックで複雑な社会変革プロセスであり、長期的な政策の視点を必要とする。

# 世界および我が国の社会・経済が直面する課題

- 世界では**人口増加、貧困や格差、地球規模での気候変動、食料・資源確保**などの課題に直面。
- 我が国においては経済の好循環は着実に拡大しているものの、**先進国に共通する「長期停滞」が課題**。持続可能性、地球規模での課題に対応しつつイノベーションを実現するための新たな枠組みが必要。

## Sustainable Development Goals, SDGs

持続可能な開発のための「2030アジェンダ」（2015年9月国連本部）：飢餓の削減やエネルギー確保、健康、環境保全など、**2030年に向け取り組むべき17の持続可能な開発目標**（Sustainable Development Goals, SDGs）が採択。

## パリ協定に基づく「地球温暖化対策計画」

パリ協定が採択（2015年12月COP21）：今世紀後半に人為的な温暖化ガスの排出を実施ゼロに。我が国では「地球温暖化対策計画」を閣議決定（2016年5月）、**「2030年度に2013年度比26%削減」、「2050年までに80%削減」**という目標を設定。

## 世界経済フォーラム：サーキュラーエコノミー

世界経済フォーラムで**サーキュラーエコノミーの検討プロジェクト**が進行（2014年～）。「国際競争力の向上」「持続可能な経済成長」「新規雇用創出」を目的に、EUではバイオエコノミーを含む**サーキュラー・エコノミーの実現を経済成長戦略の一つとして位置づけ**。欧州委員会がサーキュラー・エコノミーの実現に向けた新たな戦略を採択（2015年12月）。



新たなイノベーションの枠組みが必要：バイオテクノロジーが鍵

# 政府レベルの新たなバイオ戦略の策定に向けて

- 産学官とも、バイオ分野への戦略的投資が必要との認識。
- 「未来投資戦略2017」では、**バイオ分野の戦略策定を閣議決定**。（内閣府CSTIで策定中）
- バイオ戦略検討WGの検討の中間とりまとめを公表→2019年夏頃を目途に戦略策定予定

## 経済財政諮問会議

産業界代表より、**バイオ分野への研究開発投資の活性化**が提言

### 【イノベーション創出】

- 先端技術、**バイオ分野**、観光・農業等をはじめとする研究開発投資の活性化、新型の**戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）**を通じた生産性向上・歳出効率化に資する課題解決型の取組の推進。

【第4回諮問会議資料より（H29.3.30）】

## 未来投資戦略2018

Society5.0・データ駆動社会への変革に向け、**バイオ分野の研究開発や新たな機能性表示への取組の推進を明示**

### ○バイオ・マテリアル革命

- **バイオとデジタルの融合**による革新的バイオ技術の研究開発、実用化を通じた、**食による健康増進・未病社会**や**革新的バイオ素材による炭素循環社会の実現**に向けた取組を推進する。

【閣議決定（H30.6.15）】

## 統合イノベーション戦略2018

特に取組を強化すべき**主要分野**にAI技術と並んで**バイオテクノロジー**を設定

- 農業、工業及び健康・医療分野で新たな市場（**バイオエコノミー**）や**雇用を創出**

● 市場規模の拡大等具体的な目標、取組等を盛り込んだ**新たなバイオ戦略について2019年夏を目指して策定**

- 「データ駆動型」の技術開発・社会実装を世界水準にまで加速させ、新たなバイオ戦略に盛り込む目標を達成

【閣議決定（H30.6.15）】

「バイオ戦略検討WG 検討の中間とりまとめ」を公表 [H30.6.13]

第2期SIP「スマートバイオ産業・農業基盤技術」が全12課題の1つに選定 [H30-H34]

# 未来投資戦略2018（抄）

## 3. 次世代産業システム

### ii) バイオ・マテリアル革命

- **バイオとデジタルの融合による革新的バイオ技術の研究開発・実用化**を通じた、**食による健康増進・未病社会**や**革新的バイオ素材による炭素循環社会の実現**に向けた取組を推進し、飢餓、エネルギー、気候変動などの持続可能な開発目標を含めた社会課題の解決に貢献する。
- 健康の維持及び増進に寄与することが期待される**特定保健用食品や機能性表示食品等**について、本年度より5年間で科学的知見の蓄積を進め、免疫機能の改善などを通じた**保健用途における新たな表示を実現**することを目指す。
- 炭素循環社会の実現等に貢献する**革新的なバイオ素材の有用性や環境性能、国産バイオマス資源の循環性能を適切に評価するための表示や表彰等の仕組み**を来年度から創設すべく、検討を行う。
- 遺伝情報を高い精度で改変できる**ゲノム編集技術**について、その円滑かつ**迅速な産業利用を実現すべく**、本年度中を目途に、現行カルタヘナ法上の遺伝子組換え生物に当たらない範囲を明確にする。

## 当面必要な取組

- 今後、我が国の強みを活かした「データ駆動型」の研究開発・社会実装等を加速するため、当面、以下に掲げる取組の検討・推進を図ることが必要。

### 1. 研究開発

ゲノム編集等の先端技術と有用なビッグデータの取得・AI解析等を融合した「データ駆動型」の技術開発の加速

＜革新的新素材・製品の創出＞

- 「スマートセル」による化学合成が困難な有用化合物等を工業生産するための技術開発
- バイオ製品等を効率的・低コストに生産可能とするため、多種多様なデータを取得し、大量生産技術にAI解析を導入することによる、生産条件の最適化 等

＜健康・未病社会の実現＞

- 個人の健康状態・生活習慣に応じて、健康の維持・増進を図るための食生活をデザインするシステムの開発（食と健康の網羅的なデータの取得・解析等を実施）
- マイクロバイームを利用して健康増進を図る食品の開発（健常人の腸内微生物叢の網羅的なデータの取得・解析等を実施） 等

### 2. 研究環境

＜オープンイノベーション＞

- 産学官連携による、基礎から実用化の段階までの研究開発プロジェクトの推進、マネジメントの強化
- 国研や大学、企業間のデータ協調によるオープンイノベーションを推進するためのルールづくり 等

## 2. 研究環境（続き）

### <研究拠点>

- バイオとデータ科学等の異分野との融合、基礎から実用化までを対象とした、産学の連携研究拠点の整備 等

### <研究資源（生物資源、データベース）>

- データベースの統合・機械可読化の促進
- 研究者向けに加え、産業界のニーズに対応した生物資源、データの収集・整備・提供
- 個人データ等のプライバシー、セキュリティ対策。データやAIなどツールの相互運用性の確保 等

### <人材育成>

- 産業界とアカデミアの連携による、データ科学等異分野融合人材の育成、産業界等への橋渡し 等

### <バイオベンチャー>

- 企業の成長段階に応じた切れ目ない資金調達の環境整備  
（VC等とのマッチングや投資判断に必要な情報提供の充実）
- 経営人材等に関する支援、ベンチャー支援人材の発掘・資質向上 等

## 3. 産業利用（社会実装）

- ゲノム編集作物に対するカルタヘナ法、食品衛生法における取扱いの早期明確化
- ゲノム編集技術をはじめとする先端技術の国民の理解の促進
- 遺伝子組換え生物の産業利用に係る各種手続きの合理化
- 生産物質（素材）の有用性やバイオマス製品の環境性能の見える化、公共調達での利用促進
- 食の健康増進に関する研究の進展に伴い蓄積される科学的エビデンスの保健機能食品制度への反映  
機能性表示の規格化・国際標準化 等



# 機能性食品素材の創出と機能性の訴求

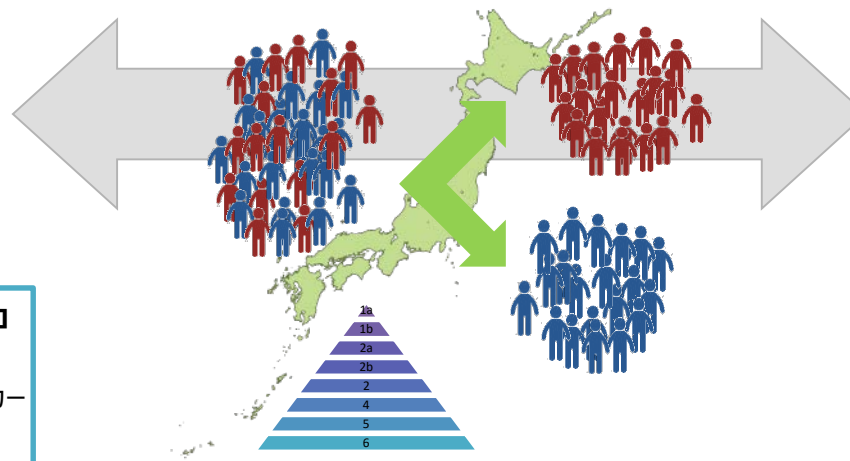
- 内因性疾患（生活習慣病、がん、認知症など）が中心となる中、医療による対症療法のみならず、健康管理・予防による進行抑制を図っていくことが不可欠。
- 機能性食品制度等の高度化に向け、**食品産業が保有する人の摂取時の試験データ等**を活用し、食の機能性成分に係る科学的エビデンスの蓄積や、**機能性評価手法の開発**等を進める。

## 軽度不調マーカ－の特定とセンシング技術の開発

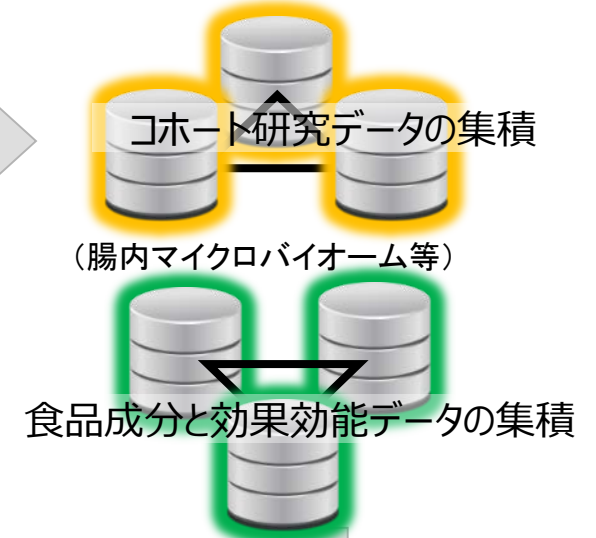


睡眠の質 遺伝子発現 活動量 腸内マイクロバイオーム  
 アミノ酸インデックス 認知機能  
 miRNA解析 ストレスマーカー 血液・尿中マーカー  
 唾液・涙液内生理活性物質 メタボローム解析

## 大規模コホート研究



## 大規模データベース化



ヘルスケアシステムの質の向上

セルフケアの食における有用素材・食材の選択幅を拡大

食材の健康面における機能の明確化・規格化



市場への訴求性（トクホ・機能性表示制度の更なる活用）

## 健康状態の指標化と「軽度体調変化判定システム」の開発

- ・健康状態や軽度不調を評価する指標の探索・確立
- ・健康状態の指標を簡便・低コストに計測する「軽度体調変化判定システム」の開発



## 腸内マイクロバイオームデータベースの構築とこれによる機能性食品の開発等

- ・日本人の健常人マイクロバイオームデータベース構築
- ・腸内環境を整える機能性食品のプロトタイプによる検証

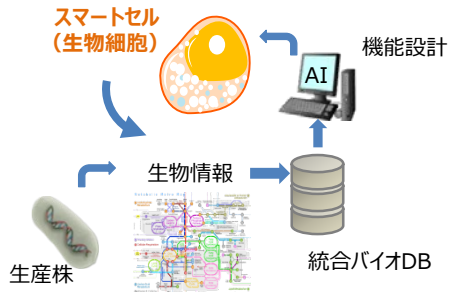


ヒト細胞の数: 30~40 兆個  
腸内細菌の数: 30~100 兆個  
ヒトの遺伝子数: 2万個  
腸内細菌の遺伝子数: 200万個

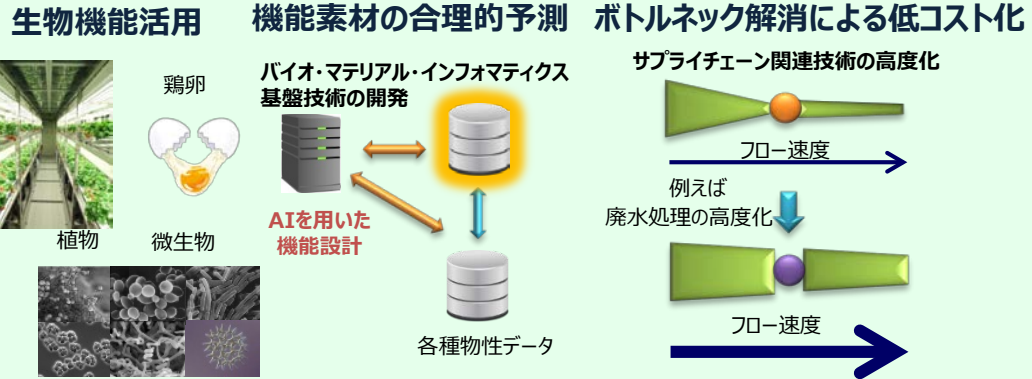
腸内マクロバイオームは、肥満、糖尿病、悪性腫瘍（肝がん、大腸がん等）、炎症性腸疾患（大腸炎等）、腸管感染症に加え、近年では、うつ、自閉症、多発性硬化症等といった中枢疾患にも強い関係性があることが明らかに  
→ **腸内マイクロバイオームがヒトの健康維持に大きく関与する可能性**

# 取組の全体イメージ

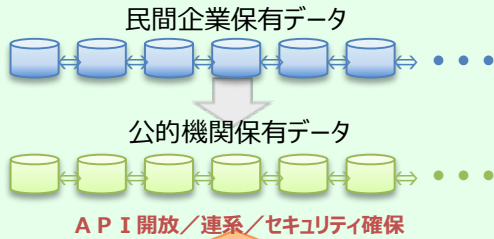
## 合理的な生物機能デザイン (NEDOスマセル事業)



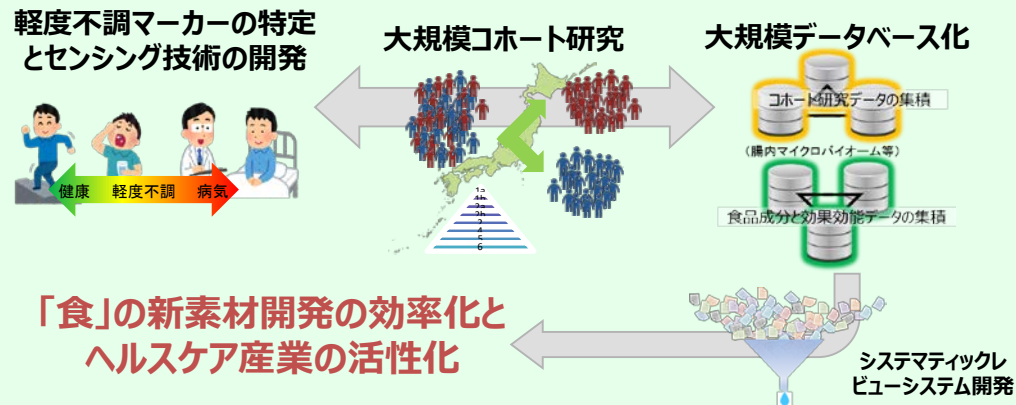
## 革新的バイオ素材・高機能品開発 (第2期SIP)



## バイオ・素材関連データベース 統合・利活用促進 (第2期SIP)



## 「食」を通じた新たな健康システムの開発 (第2期SIP)



生物機能データプラットフォーム  
フォーム構築  
(NITE/NEDO事業)

バイオ・インフォマティクス人材の育成(リカレント教育)

市場への  
訴求性確保

「食」の機能性(疾病予防効果等)の訴求  
革新的バイオ素材の表示・表彰制度の創設  
(第2期SIP)

(第2期SIP)