資料1－4

クリーンエネルギー戦略会議
バイオ生産によるGHG排出削減

B2i Bacchus Bio innovation

Driving The Bio Revolution

取締役　近藤昭彦

（神戸大学　副学長、　理化学研究所　CSRS副センター長）

バイオものづくりの特徴：化学にはない長所がある

(1)化学産業プロセスからの脱却：高機能プラスチック原料の例

従来：石油を原料とした
高温・高圧プロセス

バイオものづくり

原料

植物由来の糖等

バイオ技術を駆使して
細胞機能を設計・改変

微生物
（大腸菌等）

発酵生産
常温・常圧プロセス

高効率な
工業生産を実現
（10万トン規模）

最終製品

→ 石油依存からの脱却、世界のエネルギー供給構造の変革、環境負荷低減

(2)化学プロセスでは生産困難な物質の生産：抗マラリア剤の例

従来：ヨモギから抽出
（工業生産不可）

バイオものづくり

原料

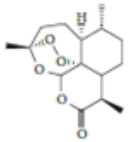
植物由来の糖等

バイオ技術を駆使して
細胞機能を設計・改変

微生物
（植物等）

発酵生産
常温・常圧プロセス

抗マラリア剤の
安定供給・低価格化



→ 超省エネ（常温・常圧）プロセスの実現、資源の枯渇懸念からの脱却

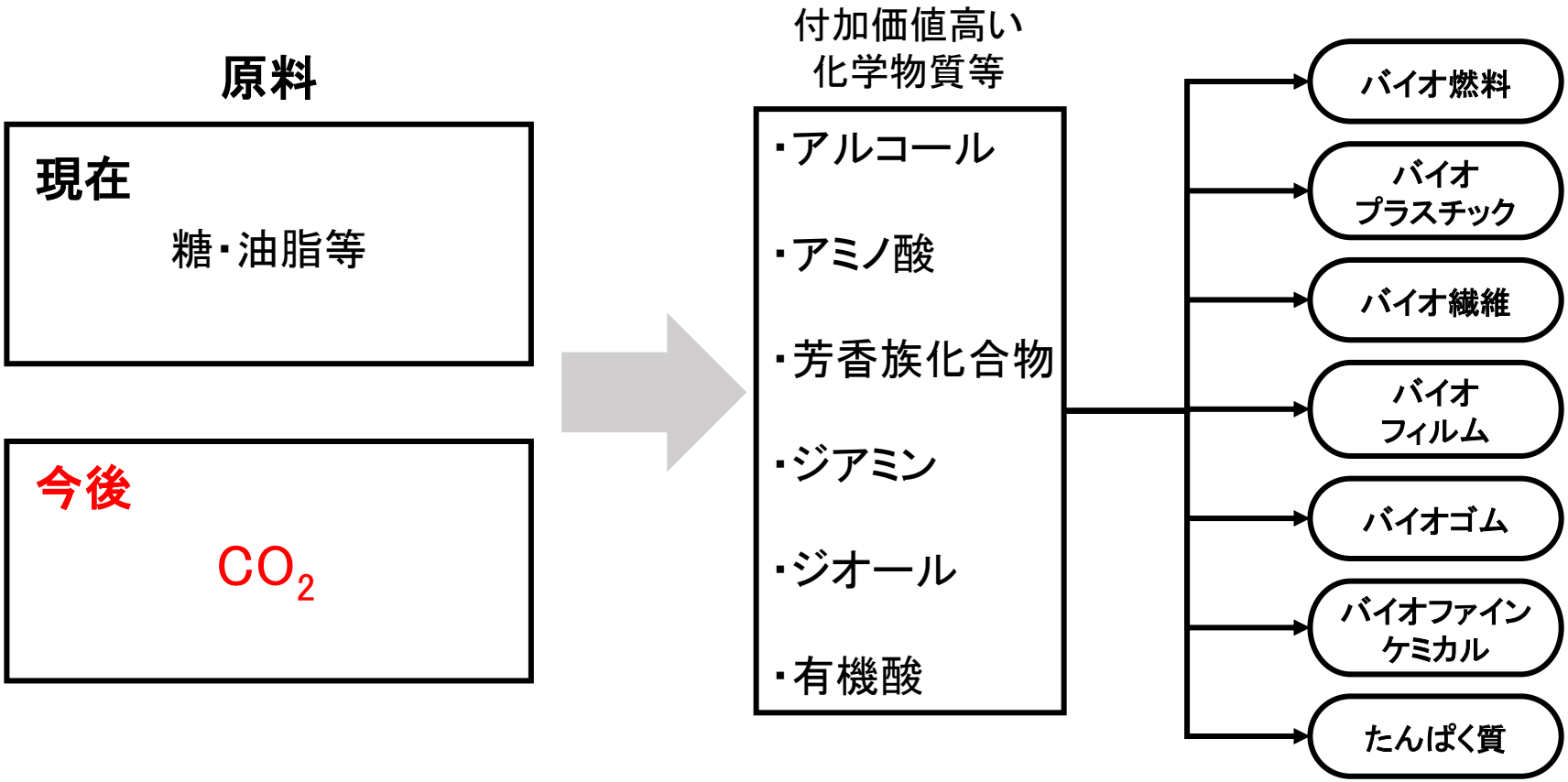
【課題】

・原料となる植物由来の糖や油脂の大半が輸入

・原料となる植物の栽培のためには、広大な土地が必要。

→ 国内のCO_2を原料として使えないか

バイオものづくりの特徴：　多様な物質生産に応用可能

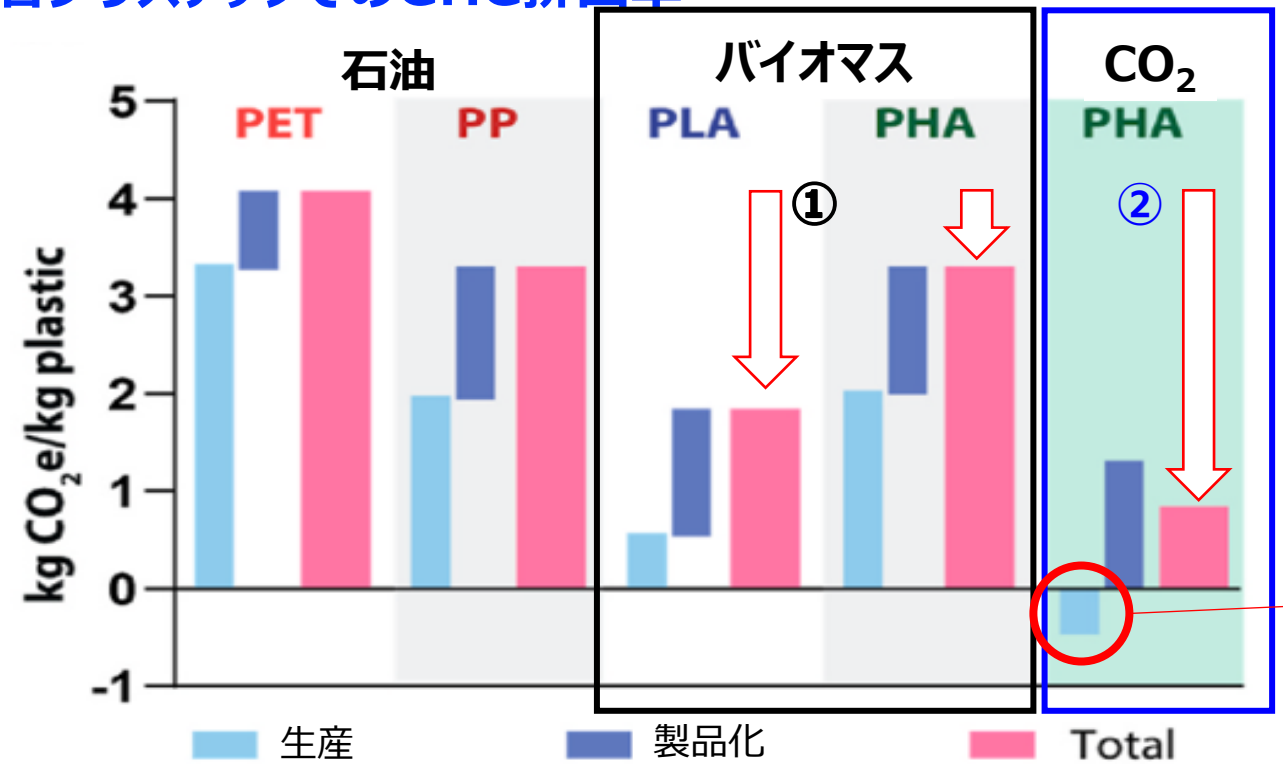


→化学合成には向かない複雑な物質の生産も可能。
素材、繊維、燃料、食品など適応可能な分野は広い。
CO_2排出削減、さらにCO_2吸収のポテンシャル大

GHG排出削減効果： ガス培養時の *C. necator* の優位性

各プラスチックでのGHG排出率

Nangle et al., Metab Eng (2020)
Zheng et al., Nature climate change (2019)
Posen et al., Environ Sci Tech (2016)



生産工程においてはCO_2吸収により、生産すればするほどCO_2を削減

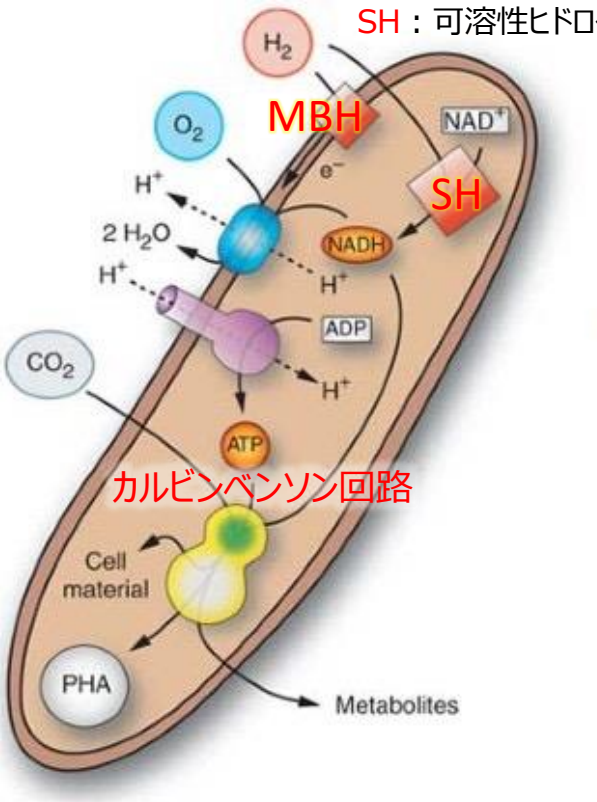
① バイオマス資源由来のバイオものづくりでも、化石資源プロセスと比べて省エネだが、生産培養に必要なエネルギー投入のため、少なからずCO_2排出はある。（再エネ利用等の電気のグリーン化で低減可能）

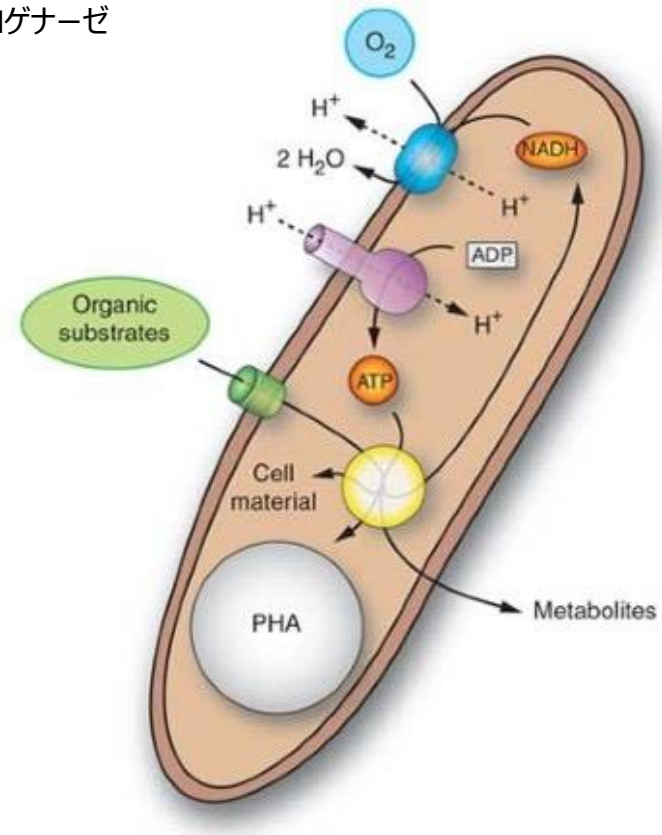
② 生産工程をCO_2からの直接生産にすることで、原料生産段階でのCO_2吸収の効果が見込めるため、さらにバイオマス由来のバイオものづくりと比べて約1/3以下のGHG削減効果が期待できる。

水素細菌 *Cupriavidus necator*（カプリアビダス・ネカトール）

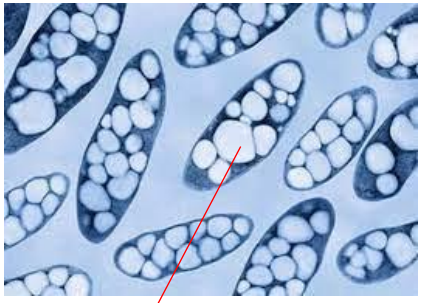
Pohlmann *et al*. Nat Biotechnol (2006)

MBH: 膜結合型ヒドロゲナーゼ
SH：可溶性ヒドロゲナーゼ





*C. necator*の透過型電子顕微鏡写真



ポリヒドロキシアルカン酸（PHA）

様々な微生物がエネルギー貯蔵物質として蓄積する生分解性の天然ポリマー

化学合成独立栄養条件
（CO_2, H_2存在下）

従属栄養条件
（フルクトースなど糖存在下）

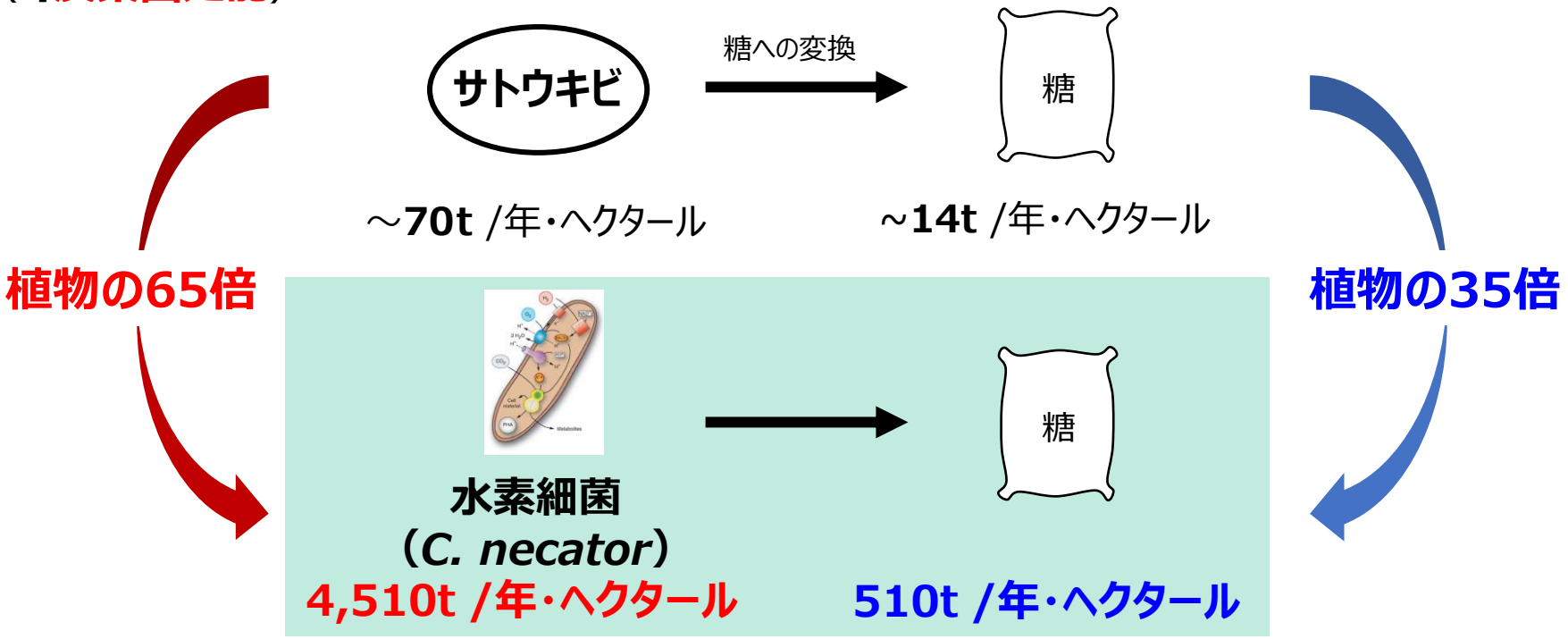
（参考）面積当たりの炭素固定機能の比較

太陽光とCO_2を利用した面積あたりの糖生産効率の比較

Nangle. et al., Metab Eng (2020)

面積当たりの
太陽光－資源変換効率※
（≒炭素固定能）

面積当たりの
糖の生産効率
（≒物質生産効率）

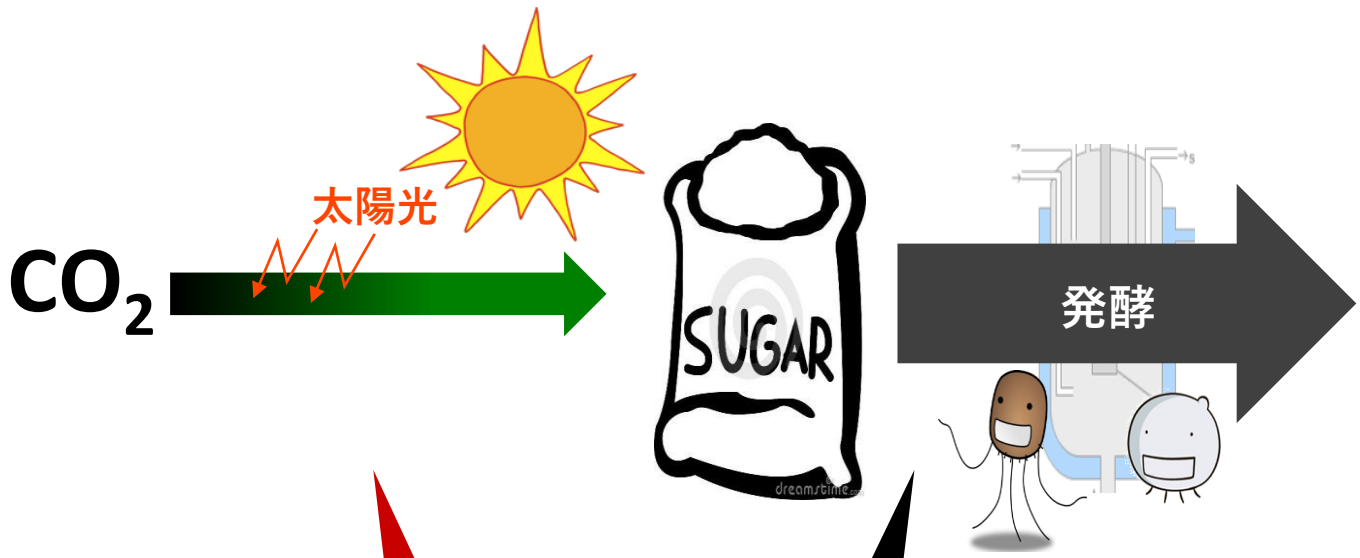


ゲノム編集・合成プラットフォームの活用により、微生物機能を高めることで、
炭素固定能、物質生産効率のさらなる向上が期待できる。

※水素細菌については太陽光発電由来水素を用いた場合の変換効率

律速段階はCO_2の固定化機能

植物による光合成は、広く拡散したCO_2を濃縮・固定。
→効率向上のためには、より高いCO_2固定化機能をもつ微生物の開発が必要



<植物の場合>

CO_2 から 糖
0.035 g/L/h

<<

糖 から エタノール
12.7 g/L/h

水素細菌を用いていかに効率向上できるか

S. elongatus PCC7942

S. cerevisiae

ゲノム合成・編集プラットフォームの活用

（バイオ×デジタル×ロボティックス）

バイオ×デジタル分野： 核心はゲノム合成・編集技術

①DNAシークエンシング技術
（ゲノム情報蓄積）

最近の7年間で解読費用が1/10,000に

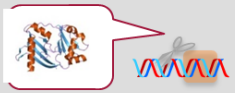
ヒトゲノム計画時（1990年）
13年、30億ドル
→
現在
1日、1000ドル

②IT/AI技術
（生物情報解析、生物機能デザイン）

ディープラーニングなどの
IT・AI技術が実用レベルに

③ゲノム合成・編集技術
（新規生物機能の実現）

次世代型のゲノム編集技術（CRISPR/Cas）が登場（2013年）。より容易に遺伝子を切断・編集可能に



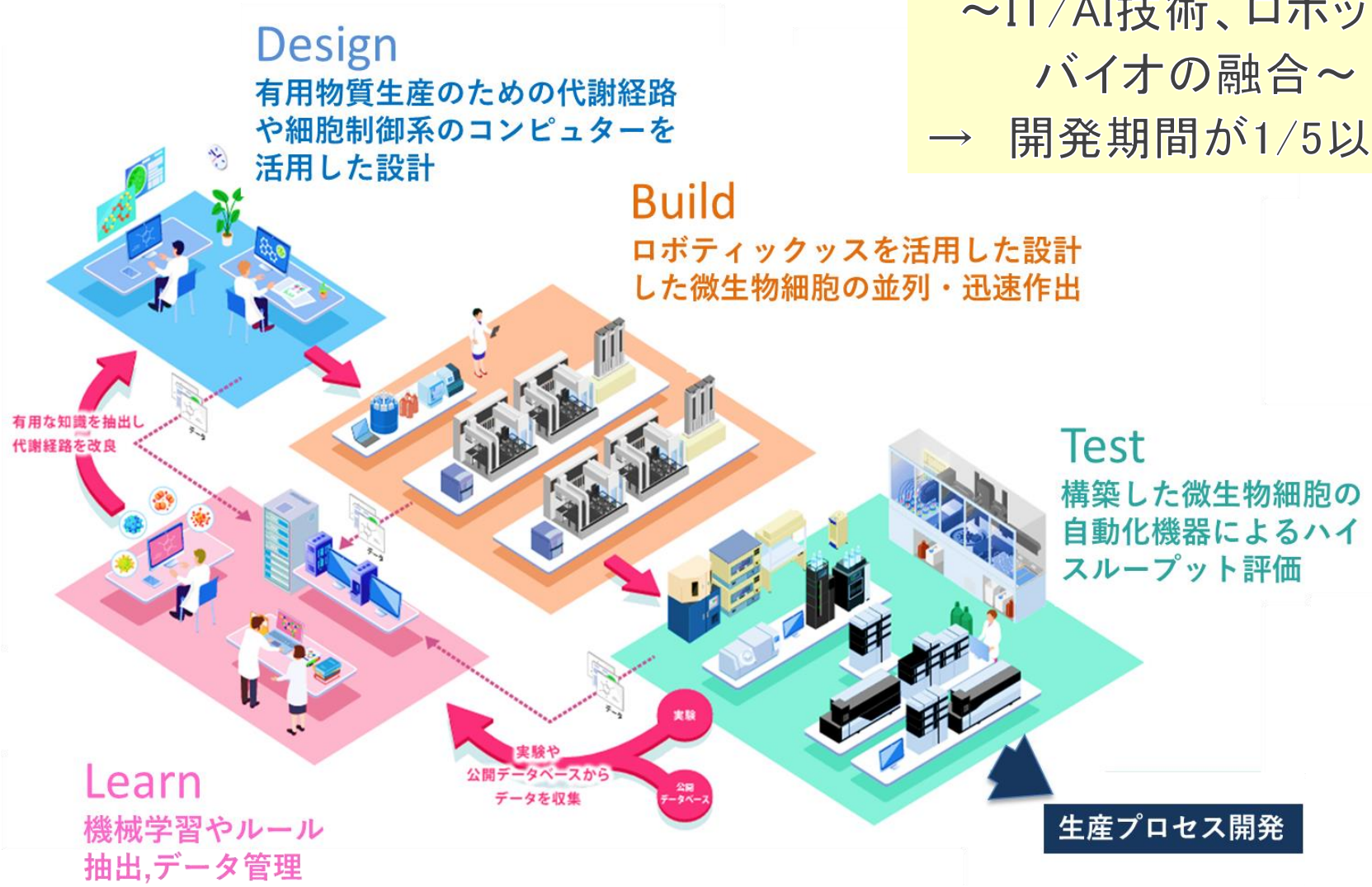
CRISPR/Cas

●上記3分野の技術革新を融合する先端バイオ工学により、今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になった。
●ビッグデータやロボット技術の活用による自動化、IoT化による**開発速度の飛躍的向上が可能**となった。
●米国を中心に、飛躍的に民間投資が拡大しつつある。

→ゲノム合成・編集プラットフォームを最大限活用することで、
グリーン成長にも寄与する**バイオものづくりの拡大を加速することができる**

日本勢の強み：㈱Bacchus Bio innovationの設立：アジア地域で唯一のバイオファウンドリ

～IT/AI技術、ロボットとバイオの融合～
→ 開発期間が1/5以下に



（参考）バイオファウンドリによるバリューチェーン変革

IT関連製品のバリューチェーン変革

垂直統合の時代 （1960年代～1970年代）

- 最終製品 企画 （ニーズ探索）
- 半導体（マイクロプロセッサ） 企画
- 半導体（同上） 回路設計
- 半導体（同上） 製造
- 最終製品 生産・マーケティング・販売

IBM / Texas Instruments

半導体ファウンドリーの時代（現在）

- 最終製品 企画 （ニーズ探索）
- 半導体（マイクロプロセッサ） 企画
- 半導体（同上） 回路設計
- 半導体（同上） 製造 【半導体ファウンドリ】
- 最終製品 生産・マーケティング・販売

パソコンメーカー → AMD
スマホメーカー → Qualcomm
高性能PC、AI、暗号資産マイニング → NVIDIA

tsmc
資本とノウハウを集約し、TSMC中心のエコシステムへ（TSMC世界シェア：約60%）

パソコンメーカー / スマホメーカー / 高性能PC、AI、暗号資産マイニング

バイオ製品のバリューチェーン変革

垂直統合の時代 （1890年～2010年）

- アンメット・ニーズの探索
- プロダクト（分子）設計 候補物探索
- 生産技術の開発・最適化
- 生産 （パイロットスケール）
- 生産 （デモスケール）
- 商業生産・マーケティング・販売

DuPont / Bayer / BASF

大手企業だけでなく、バイオ燃料や化学物質等のバイオベンチャー（1995年～2010年）も垂直統合型モデルを採用していた

米国における近未来 （イメージ）

- アンメット・ニーズの探索
- プロダクト（分子）設計 候補物探索
- 生産技術の開発・最適化
- 生産 （パイロットスケール）
- 生産 （デモスケール）
- 商業生産・マーケティング・販売

DuPont / Bayer / BASF

DNA合成企業
Twist Bioscience

統合型バイオファウンドリ
amyris / GINKGO BIOWORKS™ THE ORGANISM COMPANY / Bacchus Bio innovation

CDMO （製造受託企業）

U Minnesota	LBNL ABPDU		MBI	CPI	G.Tech
Tate & Lyle	Fermic	ARD Pomacle	BPF	BBEU	Praj

DuPont / Bayer / BASF

（参考）合成生物学スタートアップへの投資の状況 (米国)

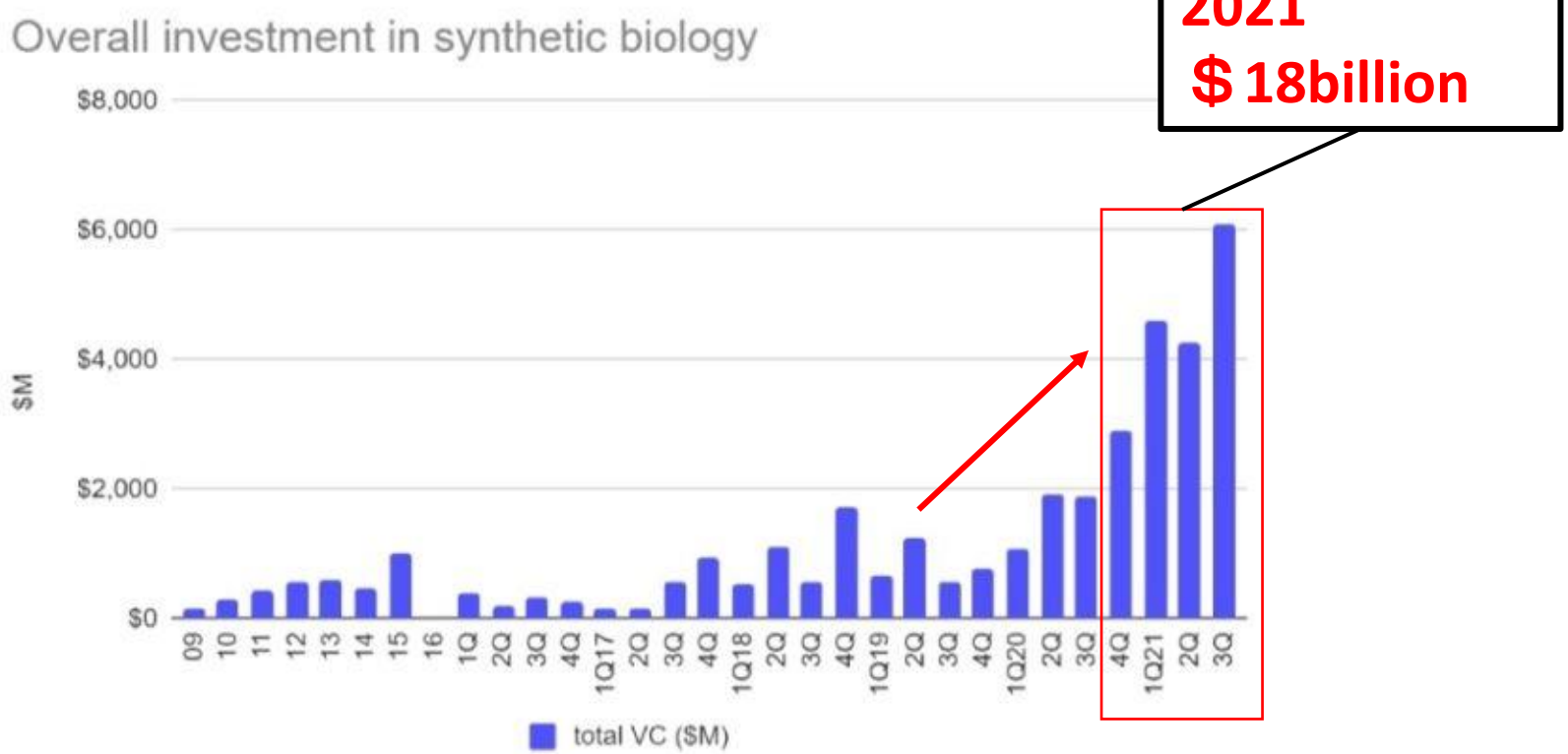
2021年第3四半期までの1年間で、約18億ドル（約2兆円）が投資されている。

synbiobeta

3Q 2021 Synthetic Biology Venture Investment Report

1 Synthetic biology overall investment trends

After two massive quarters of fundraising in 2021, Q3 saw synthetic biology startups hit a huge new all-time high of $6.1 billion – 33% higher than the previous record. The total amount of funding going to synthetic biology startups in total so far this year hit $15 billion.



（参考）中国政府の合成生物学研究への支援例

中华人民共和国中央人民政府
www.gov.cn

简 | 繁 | EN | 注册 | 登录

国务院 | 总理 | 新闻 | 政策 | 互动 | 服务 | 数据 | 国情 | 国家政务服务平台

首页 > 新闻 > 滚动

国家合成生物技术创新中心核心研发基地在津启动建设

2019-12-27 20:19 来源：新华社 【字体：大 中 小】 打印

新华社天津12月27日电（记者 周润健）27日，国家合成生物技术创新中心核心研发基地在天津市空港经济区启动建设。研发基地占地130亩，总建筑规模约18万平方米，总投资约20亿元，计划于2022年投入使用。

国家合成生物技术创新中心是科技部推动建设的第三家国家技术创新中心，今年11月初正式获得科技部批复。中心由中国科学院与天津市人民政府共建，中国科学院天津工业生物技术研究所牵头，组织高校院所、投资机构、会员企业等共同建设的一个综合性、开放性、先进性的国家科技平台。

天津市科技局有关负责人介绍说，按照建设方案的总体规划，天津将为国家合成生物技术创新中心配套建设核心研发基地。基地包括研发试验、创新孵化、综合管理和生活服务四大区域，重点建设科技基础设施平台、产业前沿关键技术研发平台、孵化转化与服务平台、创新创业中心、国际联合中心、知识产权运营管理中心和科教融合中心。

基地建成后，将与中国科学院天津工业生物技术研究所一起形成集科技研发、国际交流、科教融合、创新孵化和生活服务等功能于一体的现代化创新平台。

【我要纠错】 责任编辑：李润发

国家合成生物技术创新中心核心研发基地项目主体完工

（来源：天津港保税区天津空港经济区）

【打印】 【关闭】

Copyright 2012 All Rights Reserved 中国科学院天津工业生物技术研究所 版权所有
通讯地址：天津空港经济区西七道32号，邮编：300308
电话：022-84861997/84861977，传真：022-84861926，邮箱：tib_zh(AT)tib.cas.cn
京ICP备05002857号

中国政府は、約20億元（＝約360億円）を投じ、国家プロジェクトとして、天津に合成生物学の一大研究拠点を整備中。

http://www.gov.cn/xinwen/2019-12/27/content_5464585.htm
http://www.tib.cas.cn/xwzx_104015/ttxw/202112/t20211204_6287982.html

今後に向けた課題と提言

■バイオものづくり（合成生物学）技術は、GHG排出削減の大きな切り札。
米国や中国などがしのぎを削っている。
→国家プロジェクトとして、バイオものづくりに大胆な投資を今こそ行うべき。
官民による研究開発支援や生産投資を拡大すべき。

■バイオものづくりの市場は今後急速に拡大。産業としても重要。
→グリーン成長をきっかけに、
成長産業としてのバイオの発展につなげる視点が重要。

■鍵を握るのは、微生物開発を効率的に行うための、
微生物開発のバイオファウンドリー企業の育成が鍵になる。
→日本としてはプラットフォーム技術の高度化に重点を置くべき。

■発酵生産技術は、日本の「宝」であり、競争力が高い。
→日本の長所を活かすため、生産技術への支援も重要。

（参考）バイオものづくりの成長性と期待

【世界の大きな潮流】バイオエコノミー：バイオテクノロジーを利用した経済

OECD (2009)　The bioeconomy to 2030.

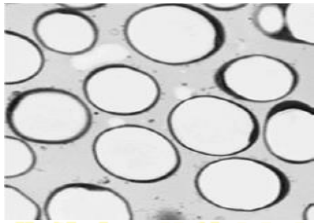
バイオエコノミーの急拡大：バイオテクノロジーの近年の急速な発展により、それを利用した産業規模は**約200兆円**（OECD加盟国、2030年予測）→ **200-400兆円**（マッキンゼー2020）に成長する見通し。**農業**、**健康**、**工業**の幅広い産業に多大なインパクトを与える。

SDGs「Sustainable Development Goals（**持続可能な開発目標**）」の設定（2015年、国連）：SDGsへの取り組みが世界経済の拡大を支える。また、ESG経営が企業の成長に極めて重要との認識が浸透しつつある。

（参考）バイオによる高機能性の付与（生分解性の例）

生分解性プラスチック

カネカ GreenPlanet™



微生物体内に蓄積されたPHBH

- 優れた物性と極めて高い生分解性を有するプラスチック代替素材
- 2019年末で5,000トン/年規模で生産
- 統合イノベーション戦略推進会議「バイオ戦略2019」における具体的取り組み課題。

JST news, Oct. 2014

独自的シーズ展開事業「委託開発」　開発課題「植物資源由来生分解性樹脂」

生分解プラの大量生産「微生物工場」で成功

土肥理事長とカネカ、24年の苦闘の成果

プラスチックは製品として米国で約100年前に誕生した。日本で日用品として出回ってから半世紀になる。軽くて強く、加工が簡単で使い易いなど、メリットが多い。しかし原料として石油資源を大量に消費することや、自然界に廃棄物として長期間残存し、たくさんの生物に害を及ぼしてしまうことが大きな問題になってきた。これらを解決すると期待されるのが「微生物工場」による生分解性プラスチックの大量生産技術。その裏では微生物を相手に実用化への苦労の日々が続いた。生分解性プラスチックが、地球生命圏の救世主になる日は来るのだろうか。

カネカ高砂工場所にあるPHBHの実証設備

PHBHを原料とする製品の数々