

革新的環境技術シンポジウム2021

2021年12月1日

**カーボンリサイクル技術の
実用化を目指した
グリーンバイオプロセスの開発**

公益財団法人地球環境産業技術研究機構(RITE)

バイオ研究グループ／グループリーダー、主席研究員

乾 将行

Presentation Outline

(1) はじめに

- カーボンニュートラルの動向
- RITEバイオプロセス

(2) 研究開発

- バイオ燃料; バイオジェット燃料生産
- グリーン化学品; 芳香族化合物生産

(3) 基盤技術開発

- NEDOスマートセル
- NEDOMーンショット

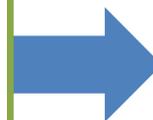
(4) 実用化事業

- GEI (Green Earth Institute株式会社)
- GCC (グリーンケミカルズ株式会社)

2050年カーボンニュートラル宣言 背景と目標

背景

- 世界的な脱炭素化の潮流の加速
- 宣言時、**123か国と1地域**が、2050年までにカーボンニュートラルを実現することを宣言（その後も増加）
- 各国とも、グリーン分野の研究開発支援や先端技術の導入支援などを積極的に実施



宣言

2020年10月26日の第203回臨時国会における所信表明演説にて、菅総理が「2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」ことを宣言



目標

- **【中期目標】2030年度** までに、温室効果ガスの排出量を**26%削減**（2013年度比、宣言時）
→ 2021年4月の気候変動サミットで**46%削減**に上積み
- **【長期目標】2050年度** までに、温室効果ガスの排出量を**80%削減**
→ 2050年にできるだけ近い時期にカーボンニュートラルを実現

2050年までのカーボンニュートラルを表明した国
(125カ国・1地域、2021年4月時点)

125カ国・1地域

※全世界のCO2排出量に占める割合は39.0% (2017年実績)



Created with mapchart.net

バイオリファイナー

非可食
バイオマス



C6糖 6
C5糖 5

RITE Bioprocess®
(増殖非依存型バイオプロセス)

反応槽に微生物を
高密度充填し反応

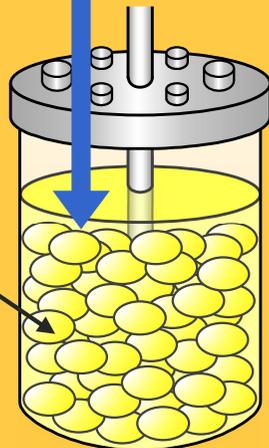
混合糖完全同時利用可

発酵阻害
物質耐性



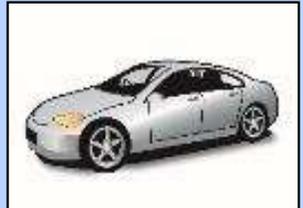
*Corynebacterium
glutamicum*

高生産性



バイオ燃料

- ・エタノール
- ・ブタノール
- ・水素
- ・ジェット燃料



グリーン化学品

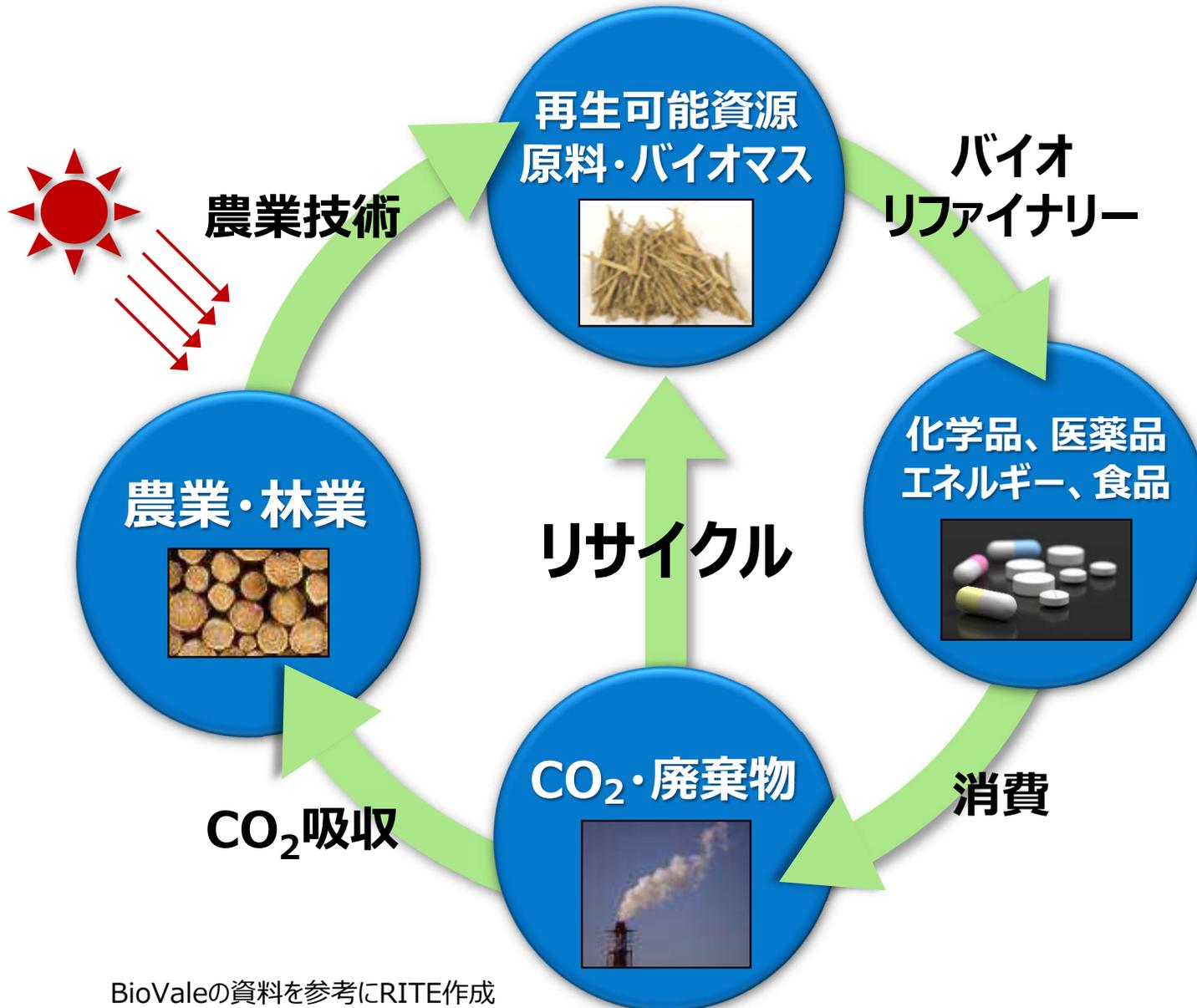
- ・C2エタノール
- ・C3プロパノール
- ・C4ブタノール等
- ・アミノ酸
- ・芳香族化合物
- ・バイオプラスチック等

自動車部材、包装材、電気製品部材、
炭素繊維、各種樹脂等



バイオエコノミー (Bioeconomy)

Bioeconomy : バイオ技術に基づく産業、循環型社会とバイオ産業が融合



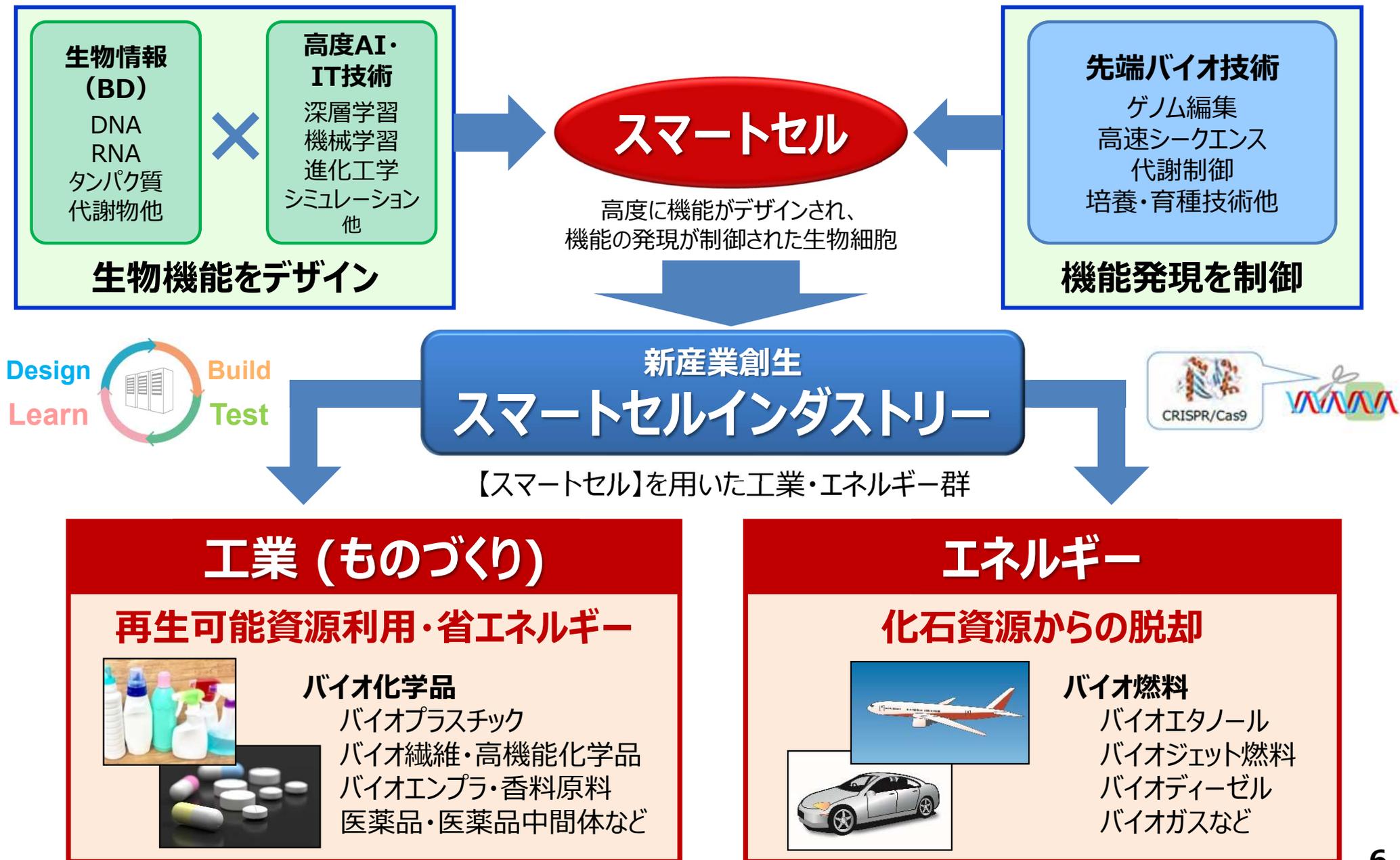
バイオ技術が
貢献する市場は
**2030年に
200兆円規模**

OECD加盟国全
GDPの2.7%と予測

工業分野では全体の
39%を占める

出典：経産省

バイオ×デジタルが変える工業／エネルギー分野



RITE バイオ研究グループのコア技術

非可食 バイオマス 原料利用

農産廃棄物



未利用 食品廃棄物等



みかん脱汁液



焼酎粕



古紙



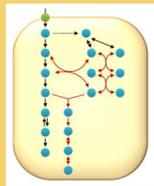
ふすま



コーヒーかす

遺伝子組換え 技術

スマートセル創製技術
(人工代謝経路設計)



ゲノム
編集技術



コリネ型
細菌



酵素機能
改変技術



ミューター技術
(進化の加速)

- ・スマートセル創製技術
(NEDOスマートセルPJ)
- ・酵素機能改変技術
(農研機構 SIP PJ)
- ・ゲノム編集技術
- ・ミューター技術

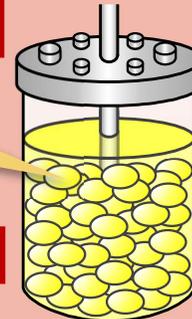
バイオプロセス

RITE Bioprocess®
(増殖非依存型バイオプロセス)

反応槽に微生物を
高密度充填し反応

混合糖完全同時利用可

**発酵阻害
物質耐性**



高生産性

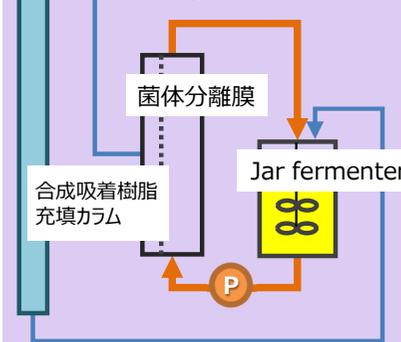
**増殖非依存型
バイオプロセス**

- ・発酵阻害物質耐性
- ・混合糖完全同時利用可
- ・増殖阻害物質
(芳香族化合物、アルコール等)
に対する高耐性

工学的 生産手法

(膜透過液)

菌はJar~菌体分離膜
を循環



・連続反応システム

AI制御

並列化



実証

・AI制御バイオプロセス
(NEDOものづくりPJ)

適応分野

バイオ燃料

ジェット燃料



ガソリン添加剤



H₂

グリーン化学品

ポリマー原料



香料原料



医薬品原料



化粧品原料



繊維原料



飼料添加剤



塗料原料



接着剤原料



生分解
プラスチック原料

アルコール類の微生物生産

エタノール

n-ブタノール

イソブタノール

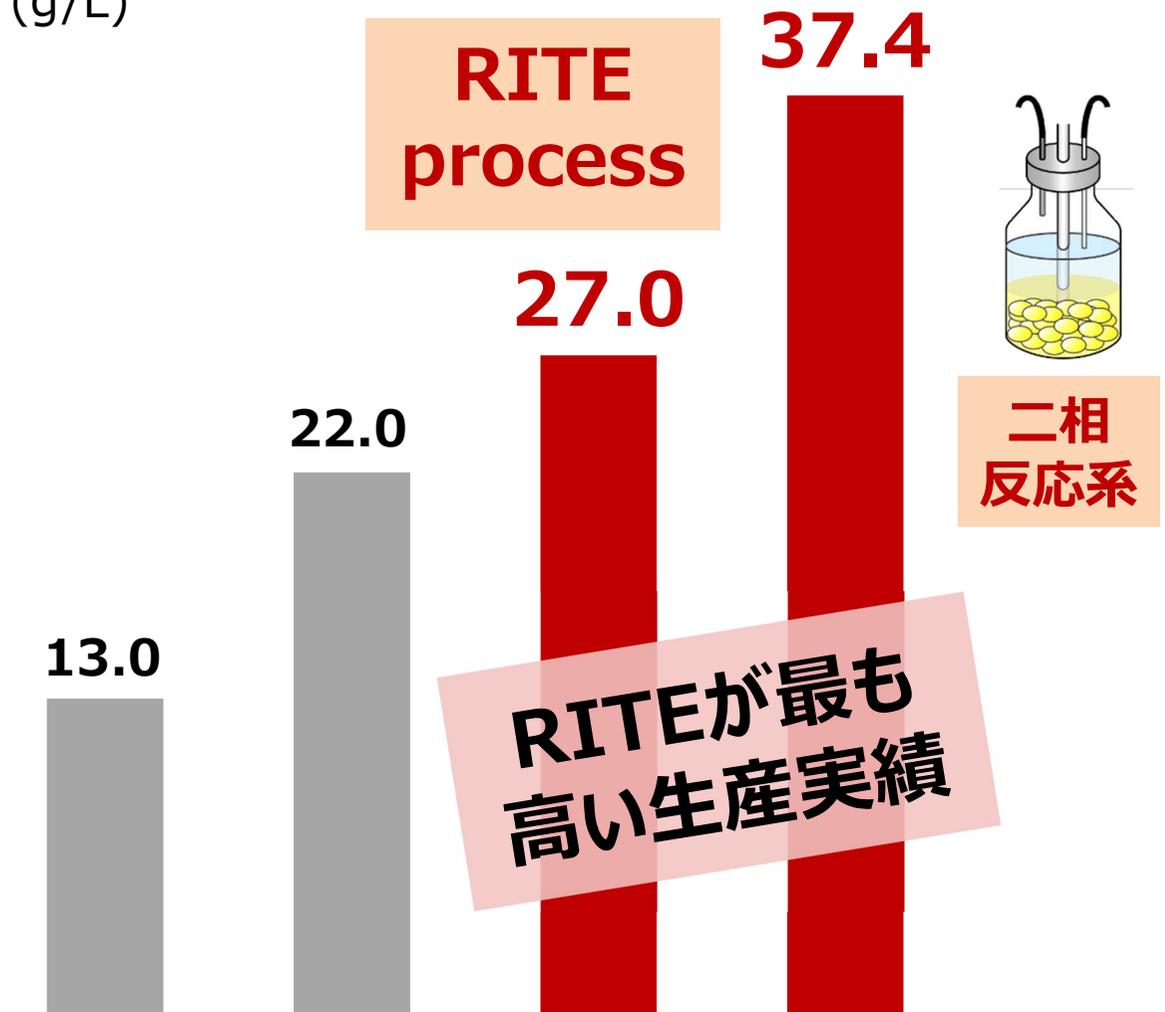
ディーゼル
燃料

ガソリン
添加剤

ジェット
燃料

イソブタノール生産濃度

(g/L)



10万着で飛ばそう!

Fly for it!
一着なら、もっと飛べる。

RITEの技術を利用し、古着から製造した 日本初の純国産バイオジェット燃料を搭載したフライトが実現

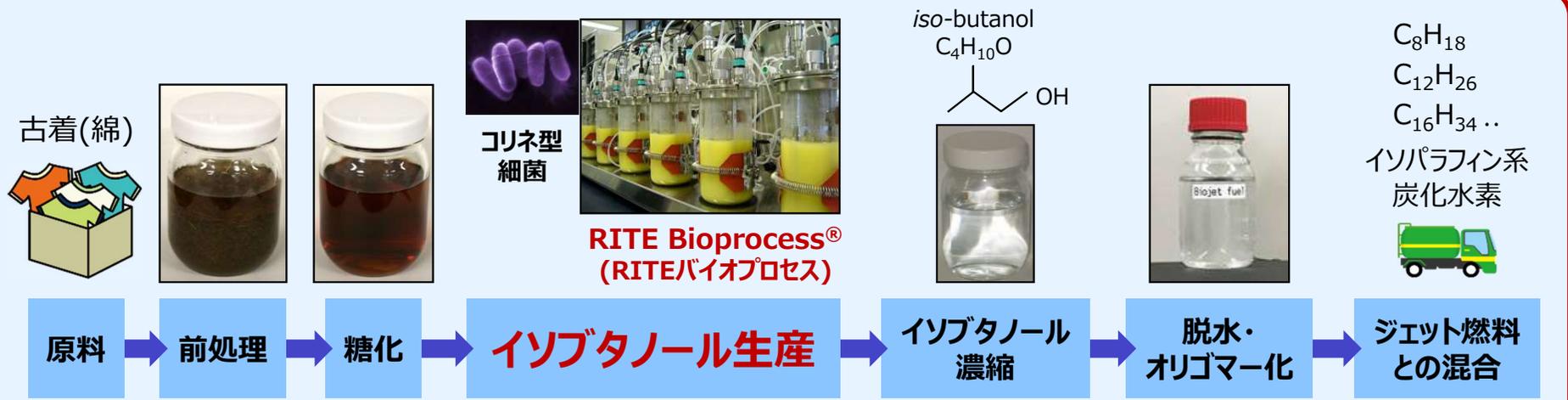


1. 服を集める

日本環境設計株式会社の協力のもと、全国から古着を回収。

2. ジェット燃料をつくる

RITEが開発したバイオプロセスを使用し、GEI社の技術的サポートのもと、衣料品から国産バイオジェット燃料の製造に挑戦。



"RITE Bioprocess" is a registered trademark of RITE.

3. 飛行機を飛ばす!



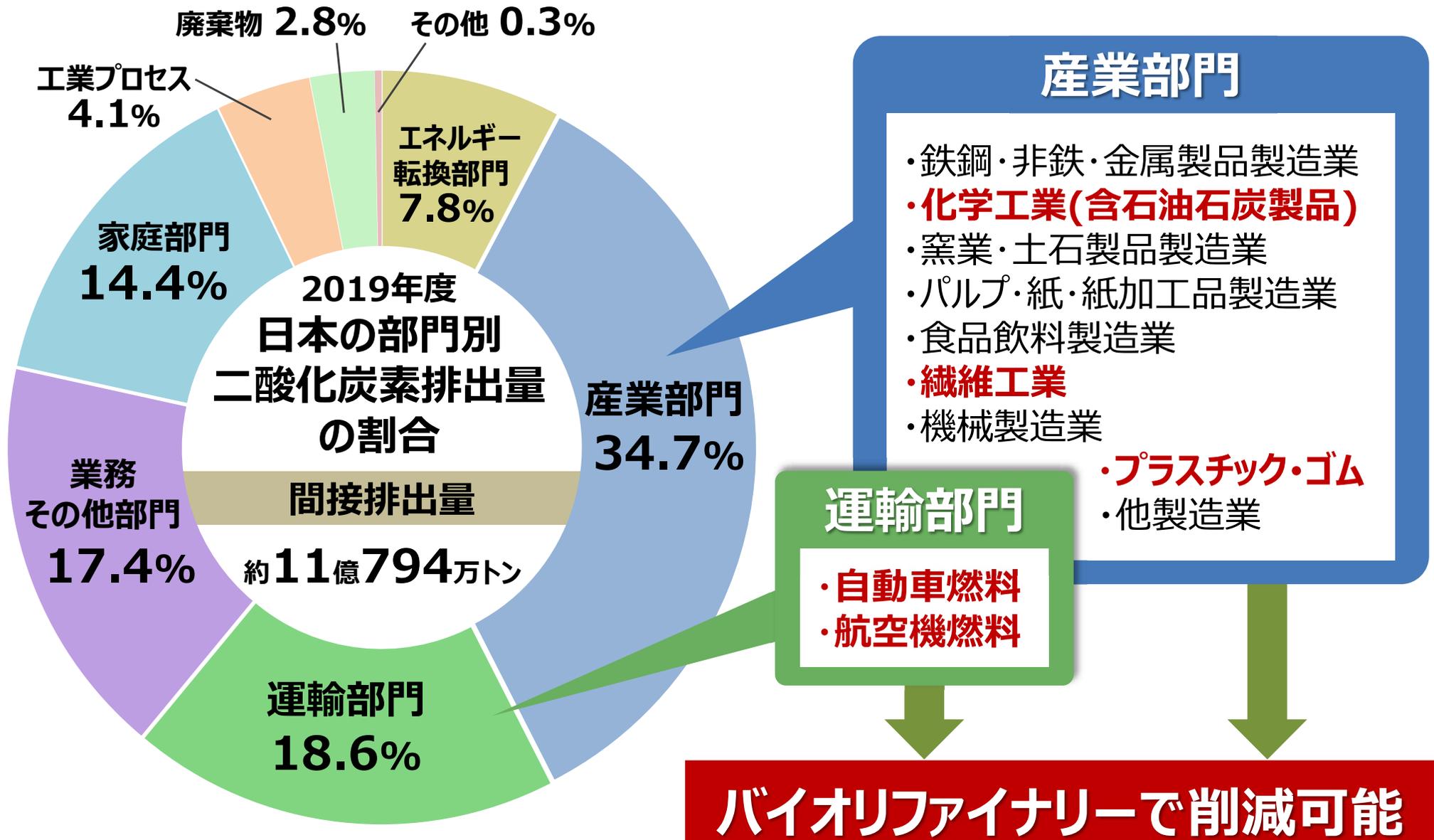
2020年3月、バイオジェット燃料の
国際規格である
ASTM D7566 Annex5 Neat
の適合検査に合格 !!



このバイオジェット燃料を搭載 した商用フライトが実現!

【搭載便】
日時：2021年2月4日(木)
便名：JL319便 (東京(羽田)発、
福岡行、定刻13:00発)
機材：ボーイング 787-8型機

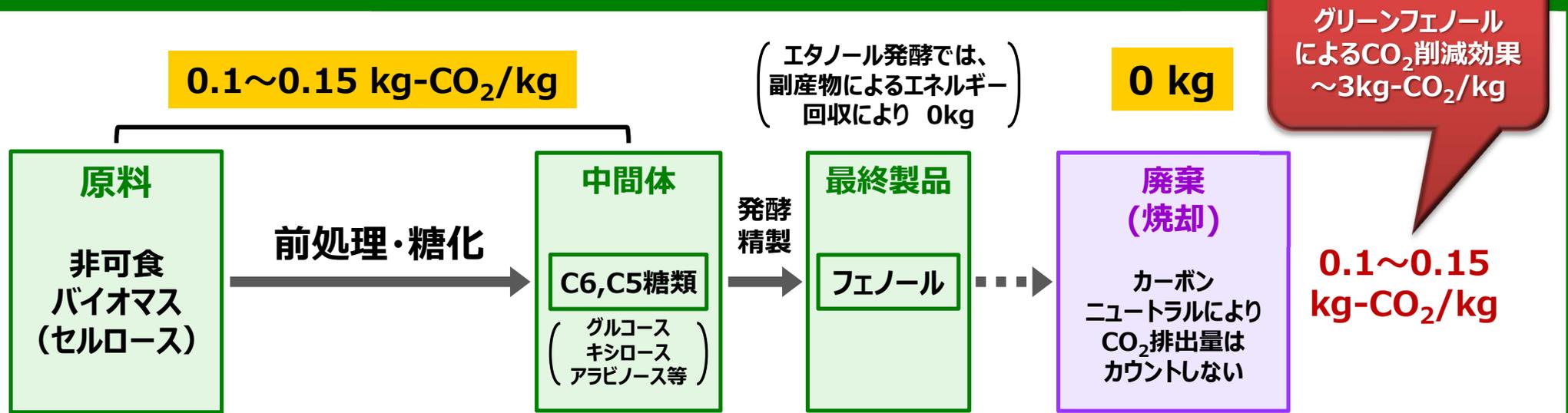
国内CO₂排出量の内訳



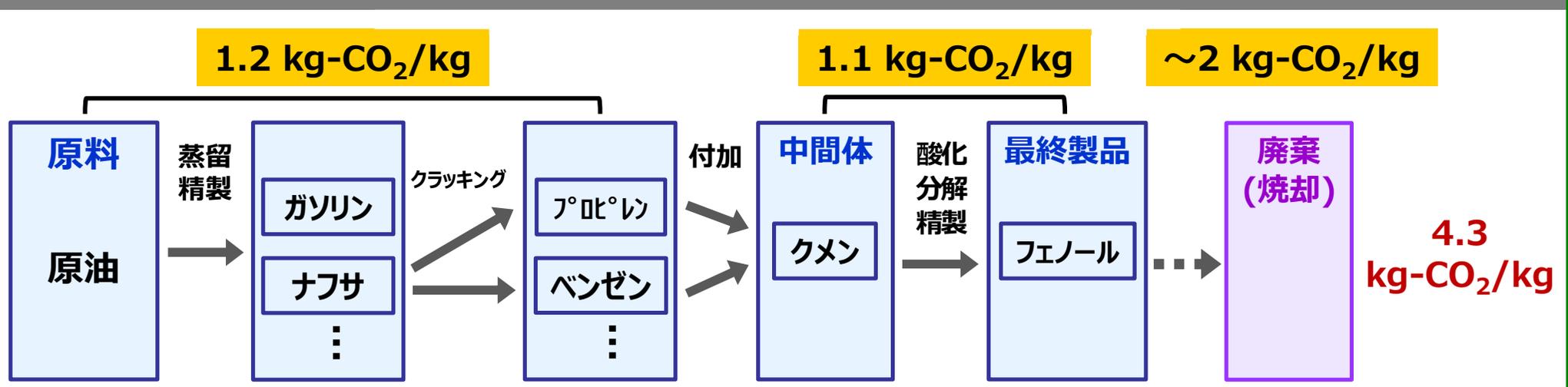
「温室効果ガスインベントリオフィス」資料を参考にRITE作成

グリーンプロセスと石油化学における フェノール製造時のCO₂排出量比

グリーンプロセスによるフェノール製造 1)



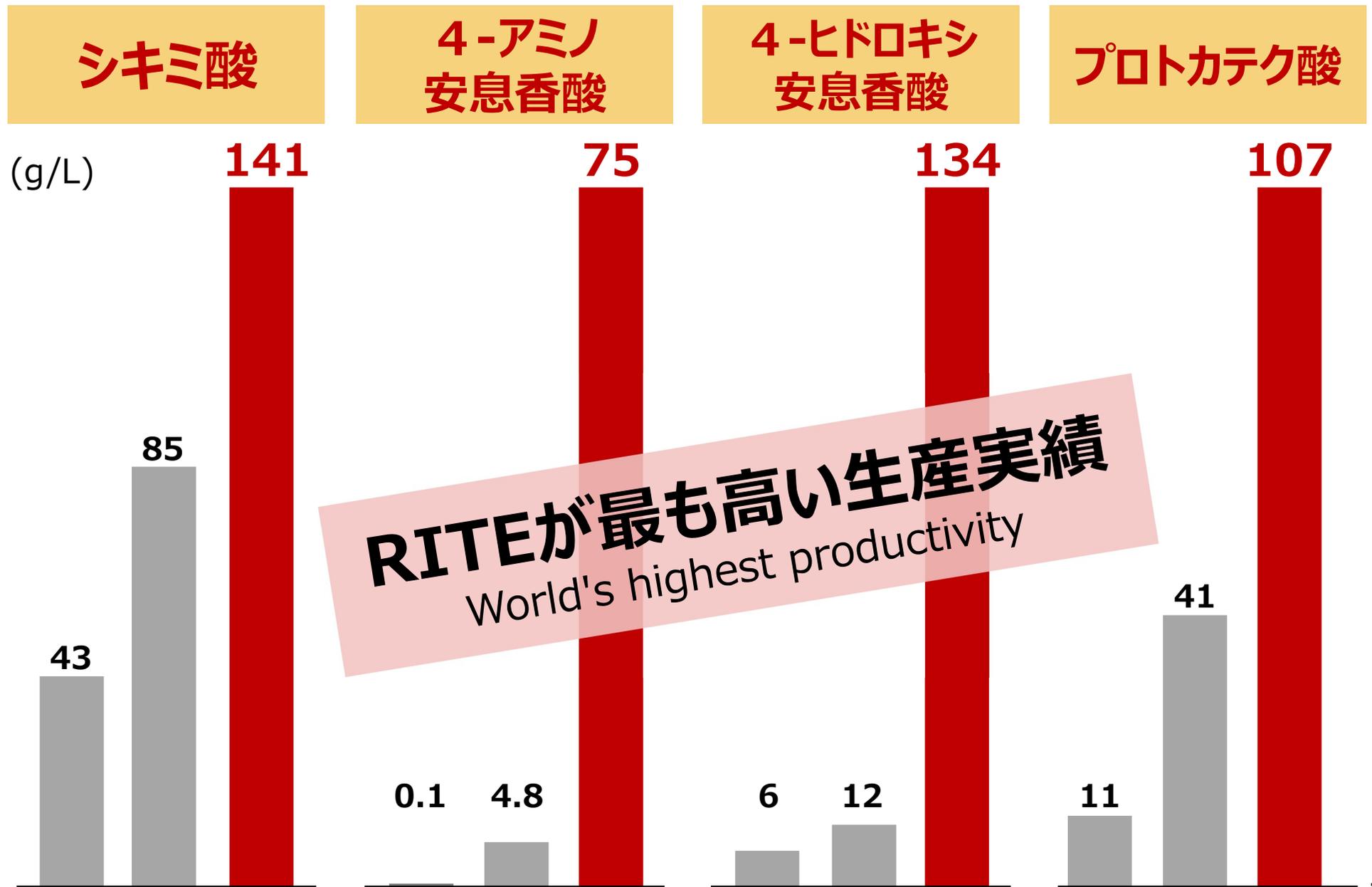
石油化学プロセスによるフェノール製造 2)



1) *Journal of Japan Society of Energy and Resources*, 30:9-14. 2009. AIST論文を参考に作成

2) 経産省 カーボンフットプリント制度試行事業CO₂換算量共通原単位データベースver.4.01(国内データ)を参考に作成

RITEの競争力(競合研究との生産濃度比較)



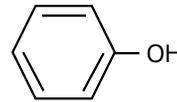
RITEが最も高い生産実績
World's highest productivity

パイロットプラントで生産試験

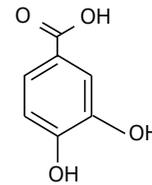


開発品ラインナップ

フェノール

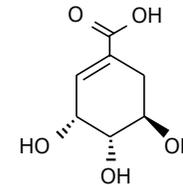


プロトカテク酸



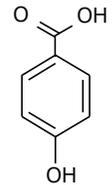
植物由来プロトカテク酸
Plant-derived protocatechuic acid
純度 > 99% (HPLC)

シキミ酸



植物由来シキミ酸
Plant-derived shikimic acid
純度 > 99% (HPLC)

4-HBA



植物由来4-ヒドロキシ安息香酸
Plant-derived 4-hydroxybenzoic acid
純度 > 99% (HPLC)

増殖阻害物質の高生産技術開発の戦略

非可食バイオマス由来糖化液の利用に必須な技術を唯一保有

スマートセル技術の導入による更なる生産性向上

「増殖非依存型バイオプロセス」+「高耐性コリネ型細菌の利用」により増殖阻害物質の高生産を実現

増殖非依存型バイオプロセス (RITE Bioprocess®)

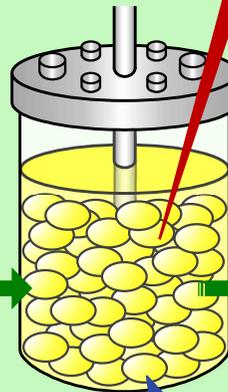
混合糖完全同時利用

発酵阻害物質耐性

非可食
バイオマス

前処理
糖化

混合糖
(C6,C5糖)

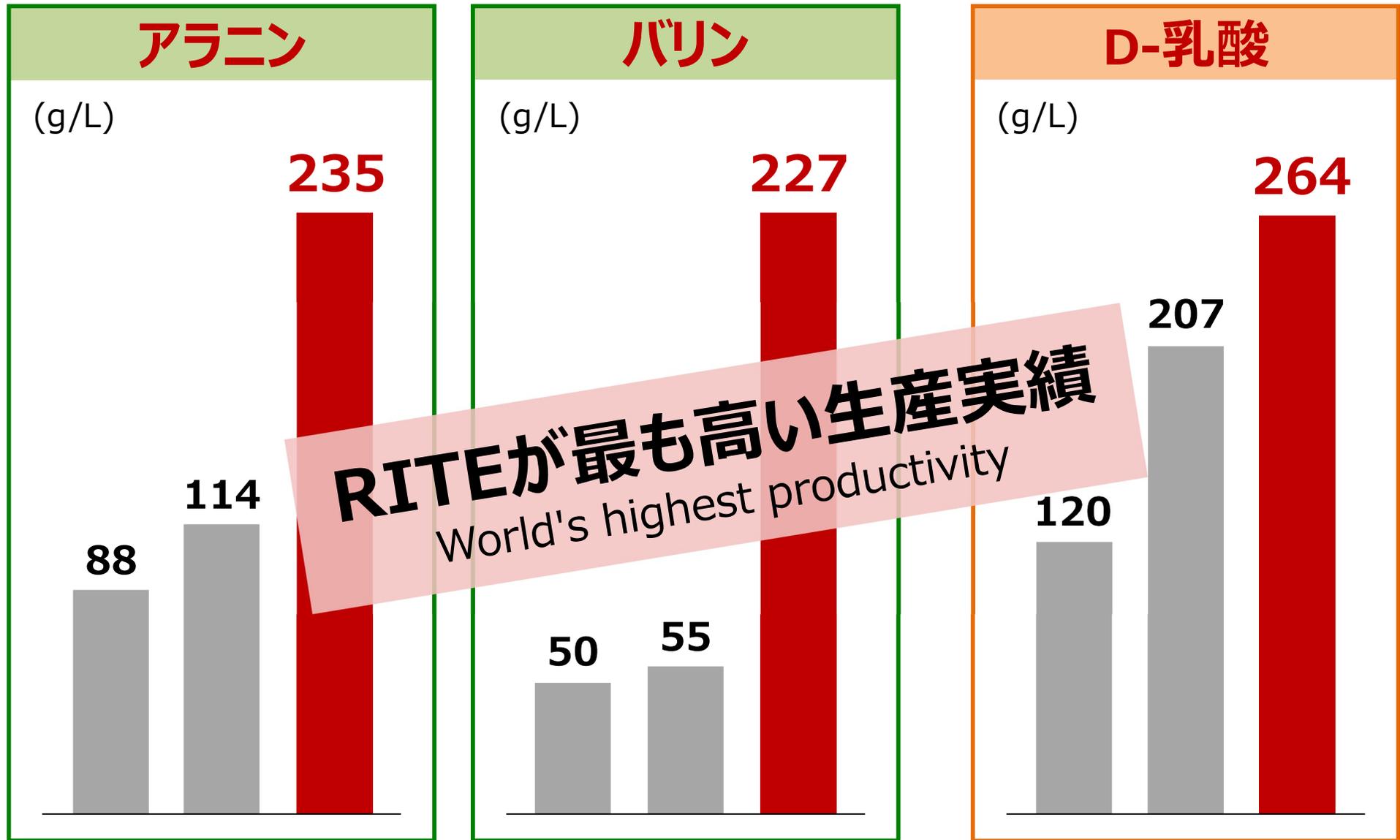


増殖阻害物質

- ・芳香族化合物(フェノール等)
- ・アルコール(ブタノール等)

工学的手法(膜リアクター等)とミューテーターによる生産物耐性株の取得による高生産の実現

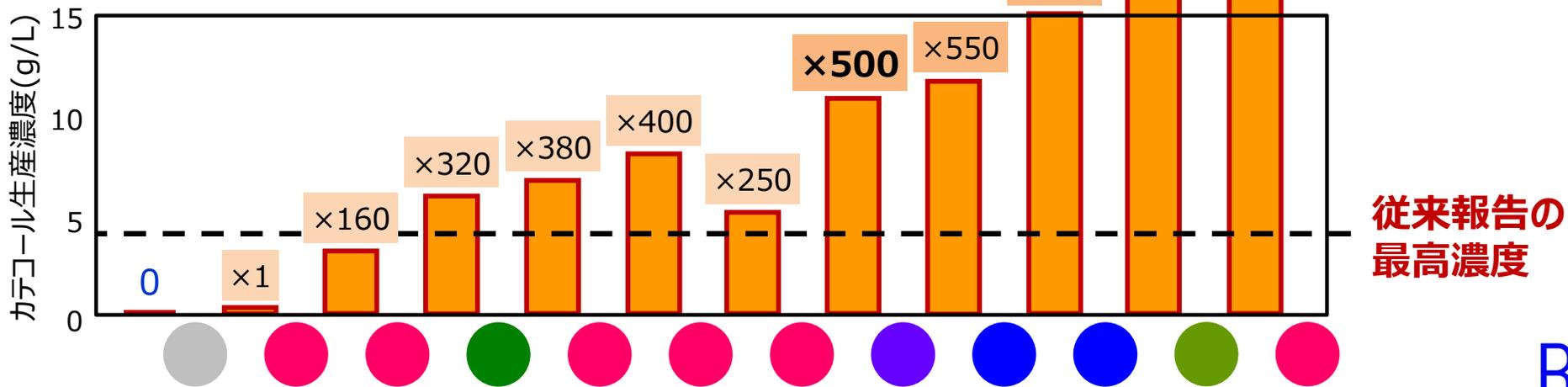
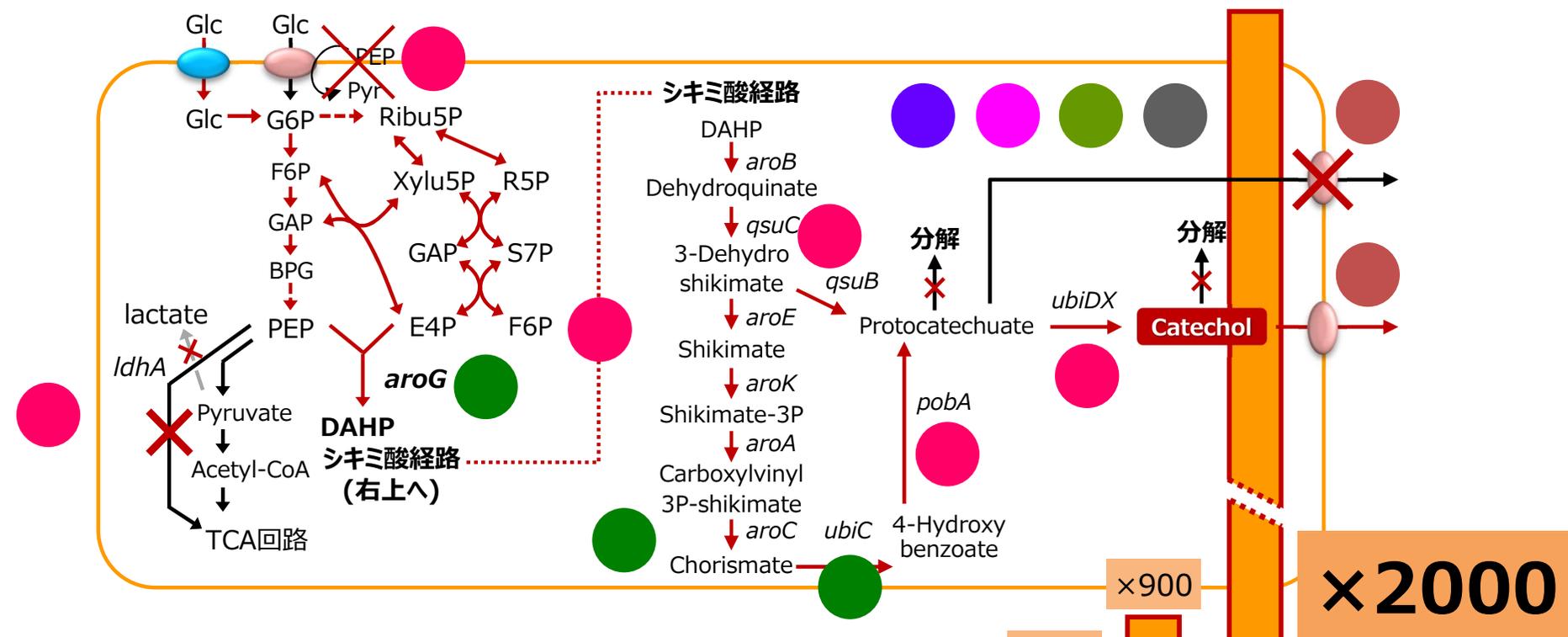
グリーン化学品の微生物生産



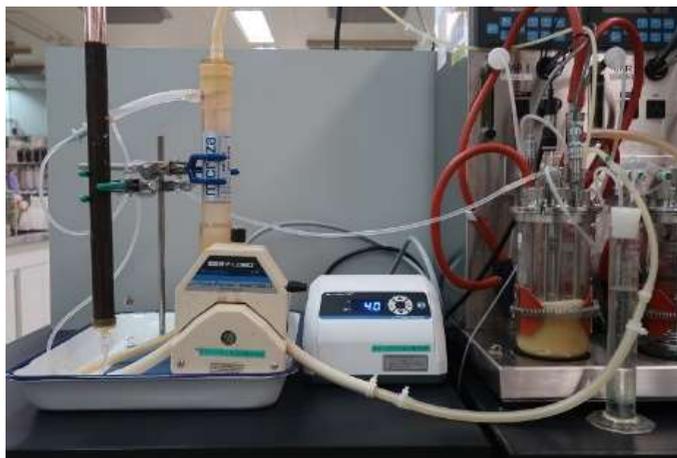
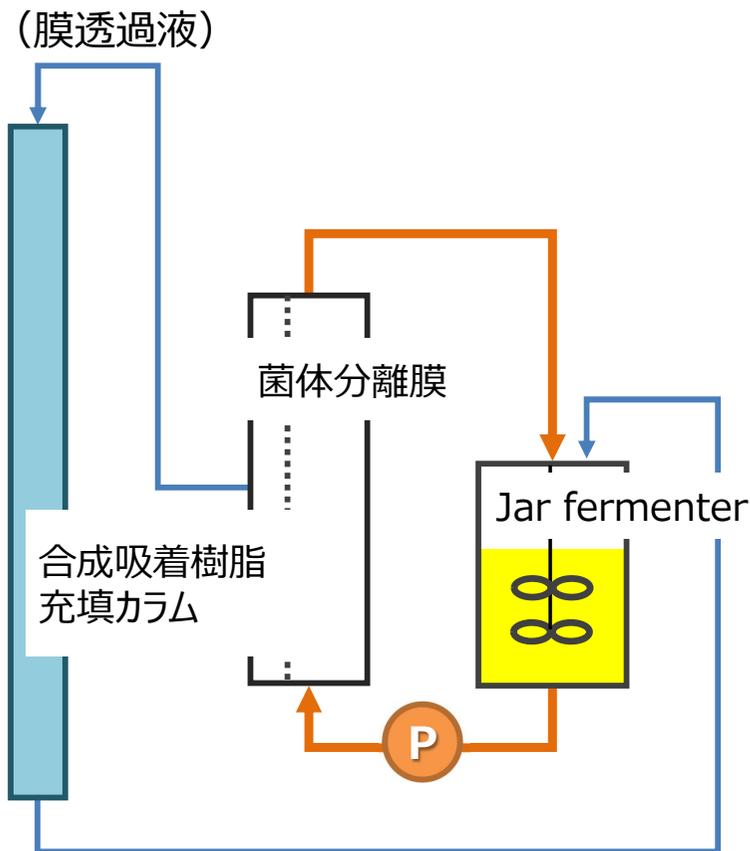
海外の複数の国で生産プロジェクトが進行中

スマートセル設計システムによる カテコール生産株の創製

各スマートセル設計システムから提案された代謝改変指針により順次生産性が向上

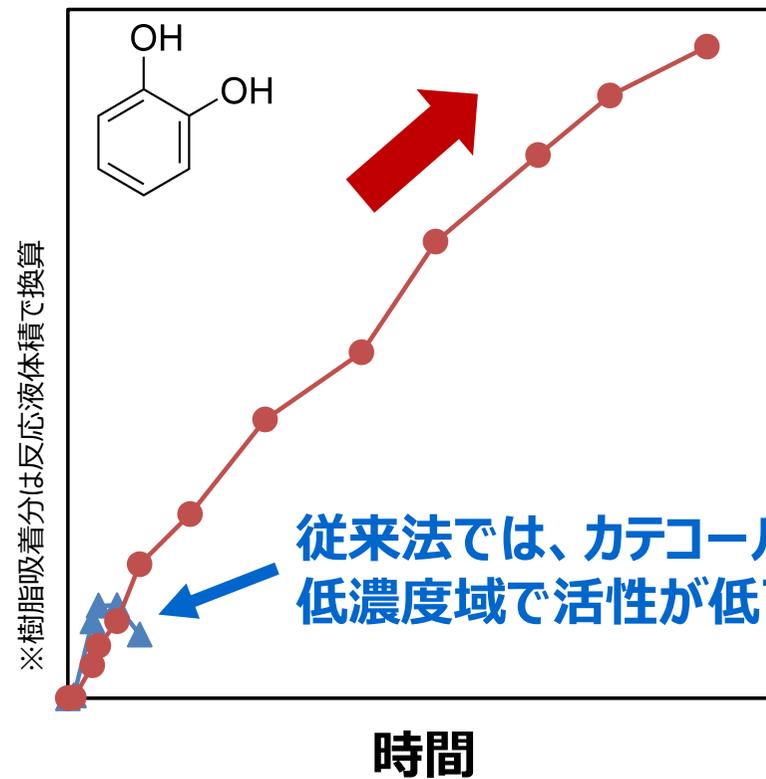


工学的手法を利用したカテコールの高生産例



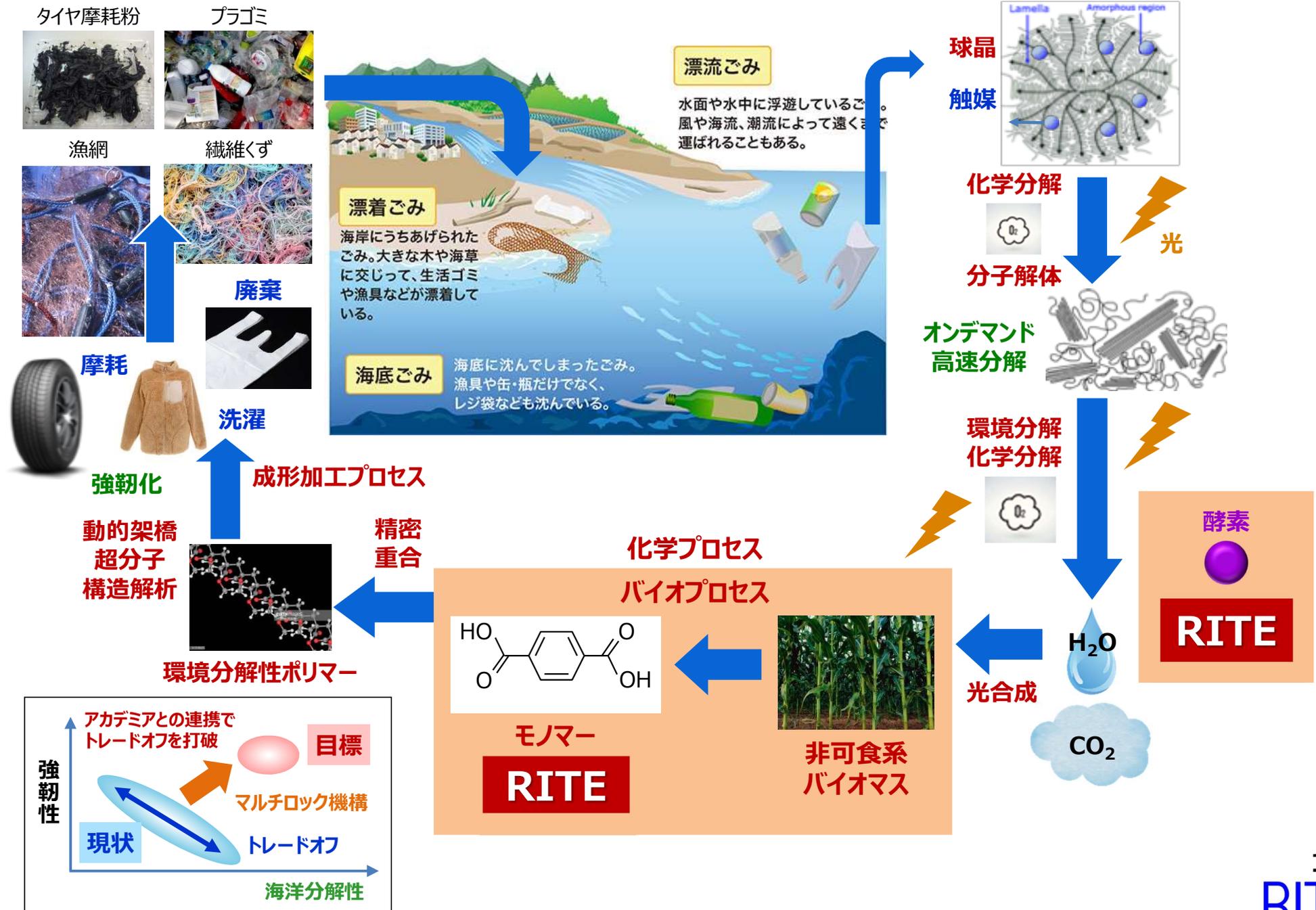
工学的手法によりカテコールを回収除去しながら生産することで高活性が持続し、高生産を達成

カテコール生産濃度



ムーンショットプロジェクト

非可食性バイオマス为原料とした海洋分解可能なマルチロック型バイオポリマーの研究開発



非可食性バイオマスを原料とした バイオモノマー生産プロセスの開発



漁網



衣類



プラスチック



タイヤ

ポリマー

ポリアミド
ポリグリコール酸
など

ポリエステル
ポリアミドなど

ポリエステルなど

ポリイソプレン
ポリブタジエン
ポリウレタンなど

モノマー

グリコール酸
アジピン酸
ε-カプロン酸など

コハク酸
1,4-ブタンジオール
アジピン酸など

テレフタル酸
フタル酸
2,5-フランジカルボン酸
エチレングリコールなど

イソプレン
ブタジエン
ポリオール
イソシアネートなど

再生可能
な原材料

非可食
バイオマス



C6糖 6

C5糖 5

RITE Bioprocess®
(増殖非依存型バイオプロセス)

反応槽に微生物を
高密度充填し反応する

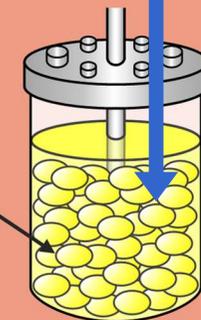
混合糖完全同時利用可

発酵阻害
物質耐性



*Corynebacterium
glutamicum*

高生産性



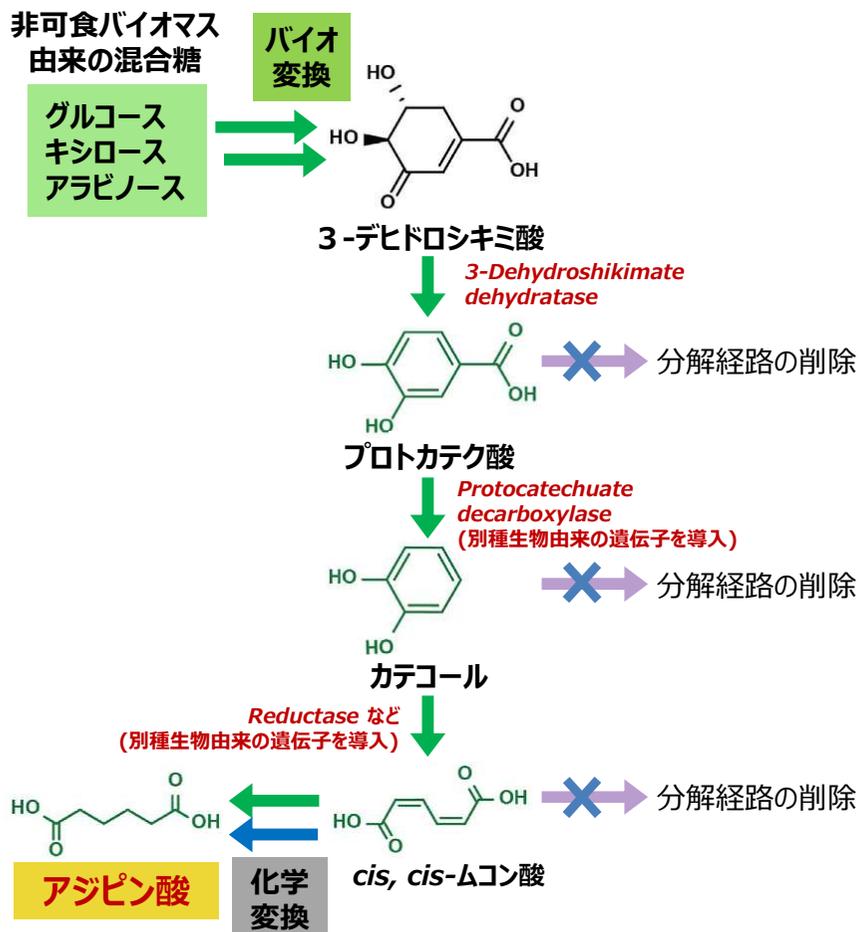
バイオモノマー
生産プロセス

生産したバイオモノマーはマルチロック型バイオポリマー原料として使用

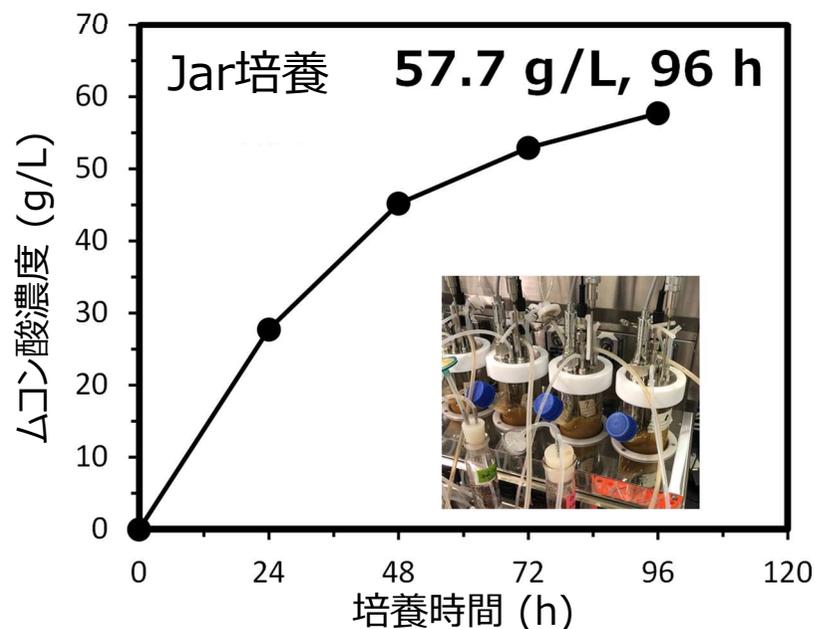
非可食性バイオマス原料からアジピン酸 前駆体であるcis,cis-ムコン酸のバイオ生産

- ポリアミドやポリエステル(漁網・釣具、繊維などの用途)向け原料モノマー、アジピン酸の前駆体となるcis,cis-ムコン酸のバイオ生産に成功。
- アジピン酸生成酵素について様々な遺伝子を探索中。

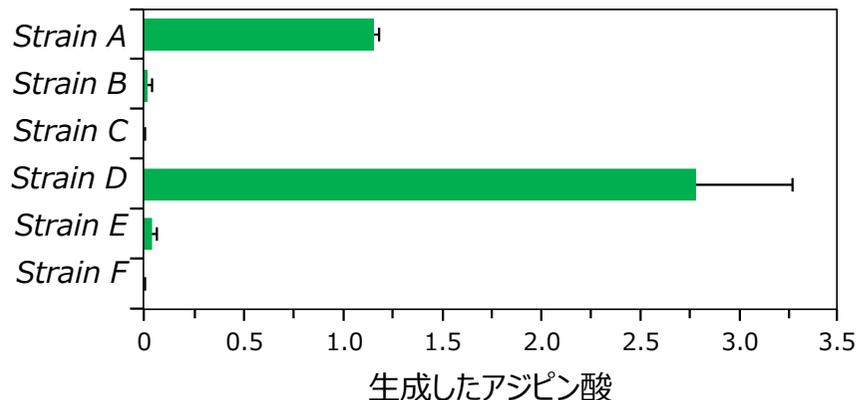
アジピン酸の人工代謝経路



前駆体cis,cis-ムコン酸の生産



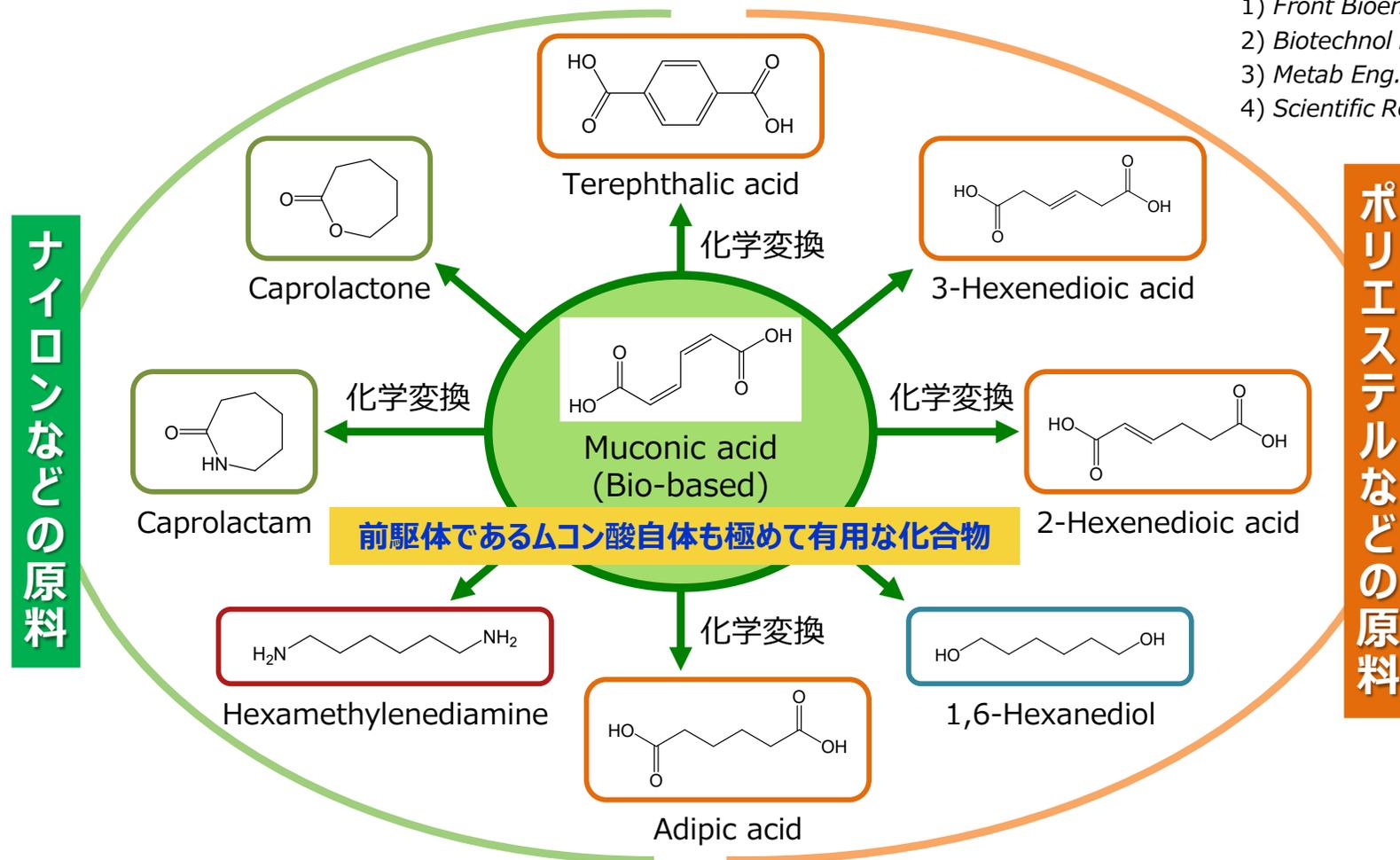
アジピン酸生成酵素の探索



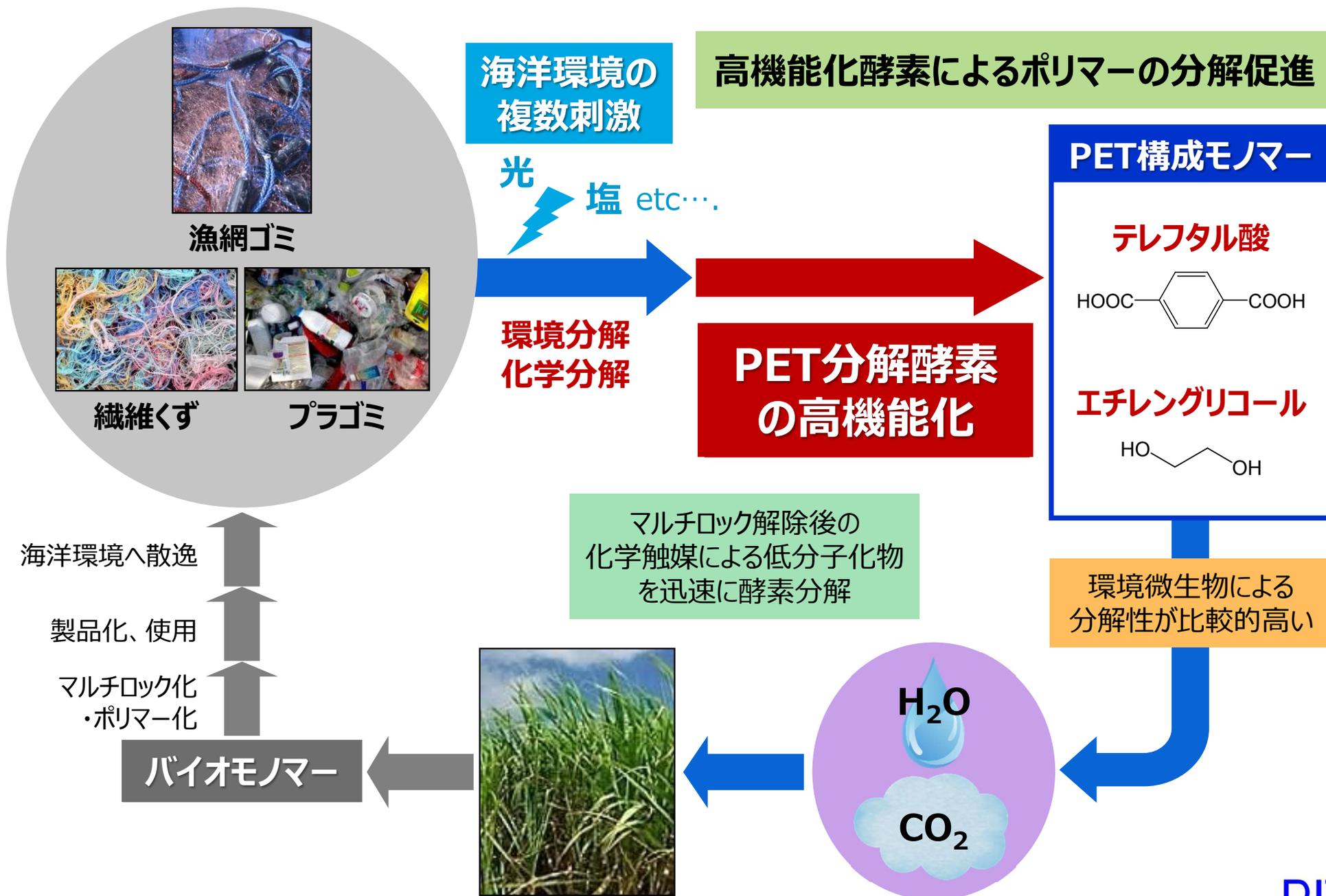
cis, cis-ムコン酸の生産性比較と広い用途

宿主	生産量	時間	研究グループ
<i>Escherichia coli</i> ¹⁾	64.5 g/L	120 h	Choi <i>et al.</i> , 2019. (イン八大、韓国)
<i>Escherichia coli</i> ²⁾	36.8 g/L	48 h	Niu <i>et al.</i> , 2002. (ミシガン州立大、アメリカ)
<i>Pseudomonas putida</i> ³⁾	22 g/L	104 h	Bentley <i>et al.</i> , 2020. (国立再生可能エネルギー研究所、アメリカ)
<i>Corynebacterium glutamicum</i> ⁴⁾	54 g/L	168 h	Choi <i>et al.</i> , 2018. (イン八大、韓国)
<i>Corynebacterium glutamicum</i>	57.7 g/L	96 h	RITE

- 1) *Front Bioeng Biotechnol.* **9**:7:241. 2019.
- 2) *Biotechnol Prog.* **18(2)**:201-211. 2002.
- 3) *Metab Eng.* **59**:64-75. 2020.
- 4) *Scientific Reports*, **8**:18041. 2018.

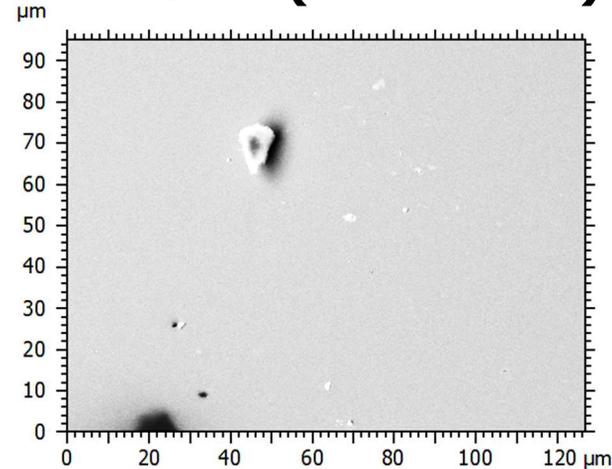


マルチロック型分解機構の開発 「ポリマー分解酵素の高機能化」

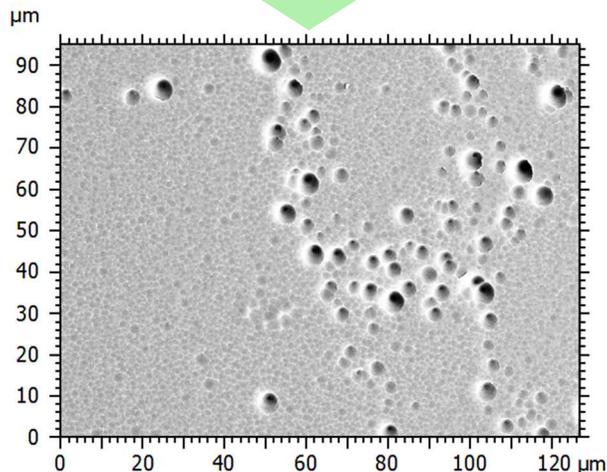


PET分解酵素によるPETフィルム分解と、 改変による活性向上

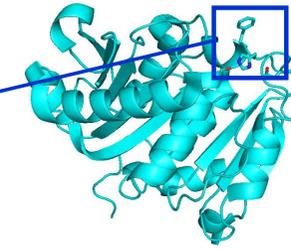
PETフィルム(コントロール)



PET分解酵素を発現させた
コリネ型細菌で処理

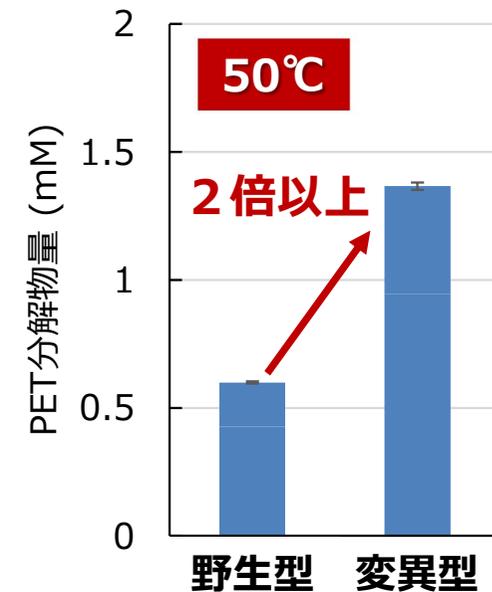
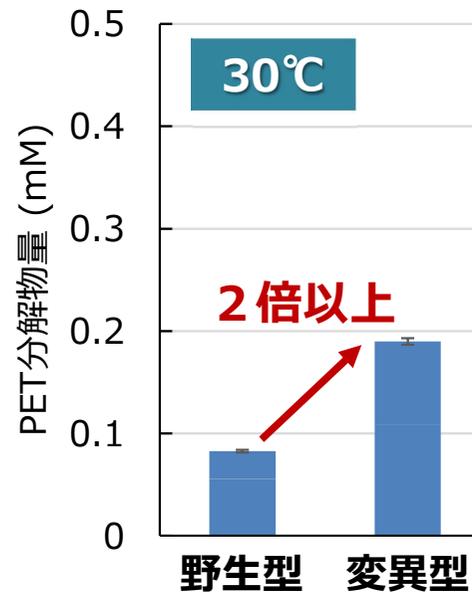


高活性型に
なるよう改変



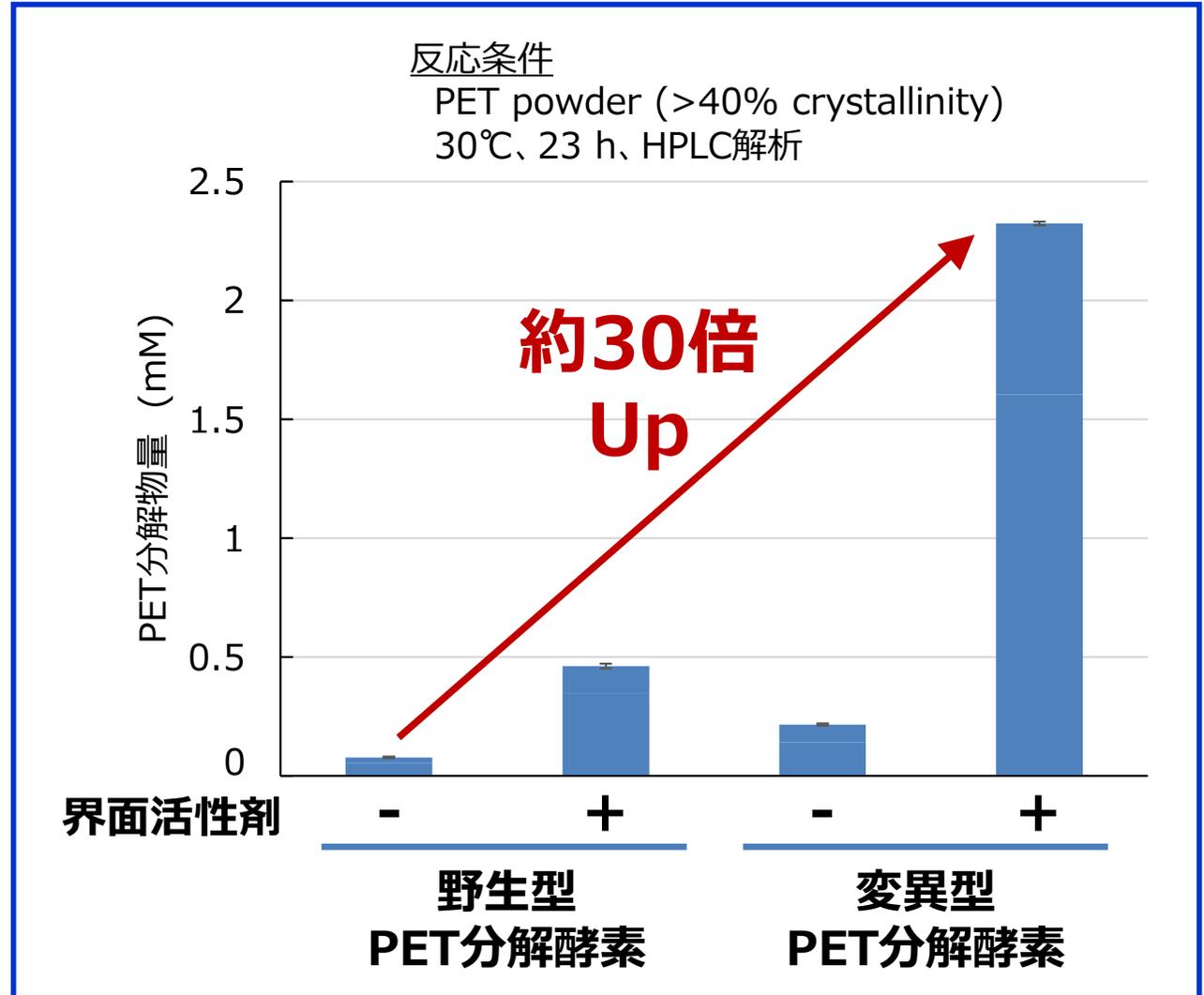
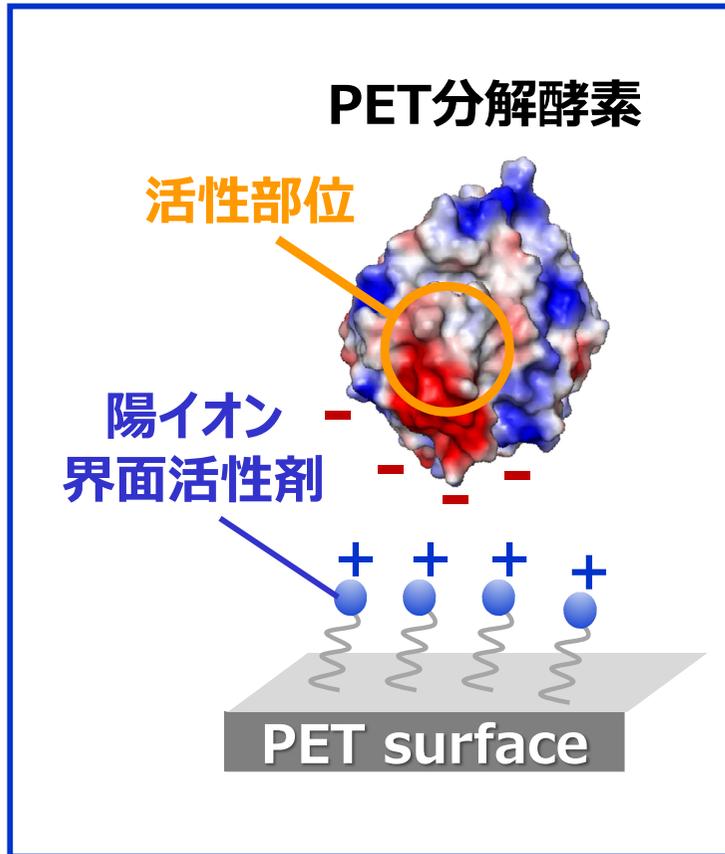
反応条件

PET powder (>40% crystallinity)
30°C or 50°C、23h、HPLC解析



耐熱性を維持したままPET分解活性が
2倍以上に向上
(常温～高温で活性向上に成功)

PET分解酵素活性への 陽イオン界面活性剤添加の効果



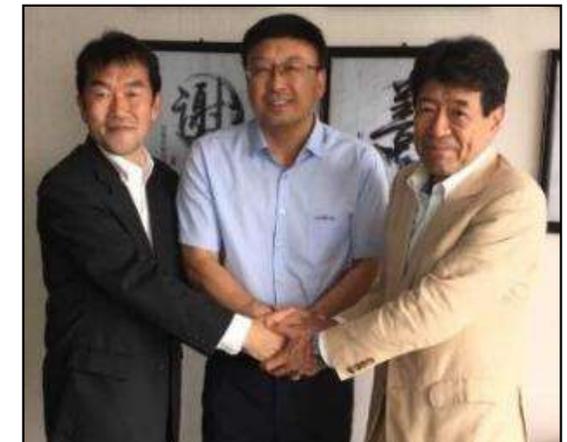
ごく低濃度の陽イオン界面活性剤を添加した結果、
野生型酵素と比べて約30倍と顕著な活性向上に成功

Green Earth Institute(株) (GEI)

設立目的	RITE Bioprocessの事業化
設 立	2011年9月1日
代表取締役	伊原 智人
本 社	東京都文京区本郷7-3-1 東京大学アントレプレナーラボ
研 究 所	千葉県木更津市かずさアカデミアパーク
事業内容	非可食バイオマスを原料とした バイオ燃料・化学品の生産
製 品	【アミノ酸】 工業用、食品用アミノ酸 (アラニン、バリン) 海外での商用生産を実施中 【バイオ燃料】 ブタノールを原料とした 「JALバイオジェット燃料フライト」プロジェクト 国産バイオジェット燃料の製造に成功 【化粧品原料】 化粧品用エタノールの国内販売実施



Green Earth 研究所

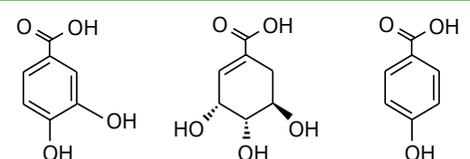


海外メーカーとのコラボレーション

右 = RITE本庄専務理事
左 = GEI伊原代表取締役

グリーンケミカルズ(株) (GCC)

(グリーンフェノール開発(株)から社名変更)

設立目的	グリーン化学品の事業化
設立	2014年5月27日〔RITEと住友ベークライト(株)で設立したグリーンフェノール・高機能フェノール樹脂製造技術研究組合を組織変更して設立〕
代表者	代表取締役社長 林 茂 (住友ベークライト(株))
本社	京都府木津川市木津川台9-2(RITE内)
拠点	<ul style="list-style-type: none"> ・ RITE内 ・ 住友ベークライト(株)静岡工場内
事業内容	グリーンフェノール開発で培った技術を基盤に、各種グリーン化学品の製造技術に展開し、早期事業化を目指す。
開発品	<div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <div style="text-align: center;">プロトカテク酸</div> <div style="text-align: center;">シキミ酸</div> <div style="text-align: center;">4-HBA</div> </div> </div>



パイロット生産設備



グリーンフェノールモノマー/樹脂



グリーンフェノール樹脂材料成形品



地球環境産業技術研究機構
(RITE)

住友ベークライト株式会社

住友ベークライト(株)



グリーンケミカルズ(株)(GCC)

Thank you for your attention

**Contact Information: mmg-lab@rite.or.jp
www.rite.or.jp**