

革新的環境技術シンポジウム 2017
2017年12月6日

低炭素社会の実現を目指した バイオリファイナリー生産技術の開発

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

奈良先端科学技術大学院大学(NAIST) バイオサイエンス研究科／客員教授
グリーンフェノール開発株式会社(GPD)／取締役、技術部長

乾 将行

バイオリファイナリー

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

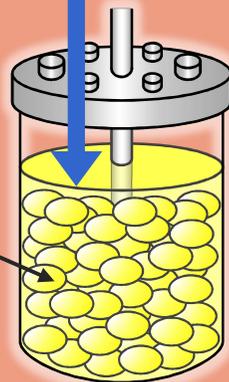
混合糖完全同時利用可

発酵阻害
物質耐性



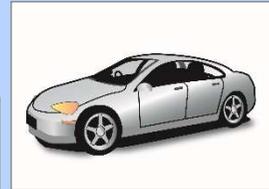
*Corynebacterium
glutamicum*

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

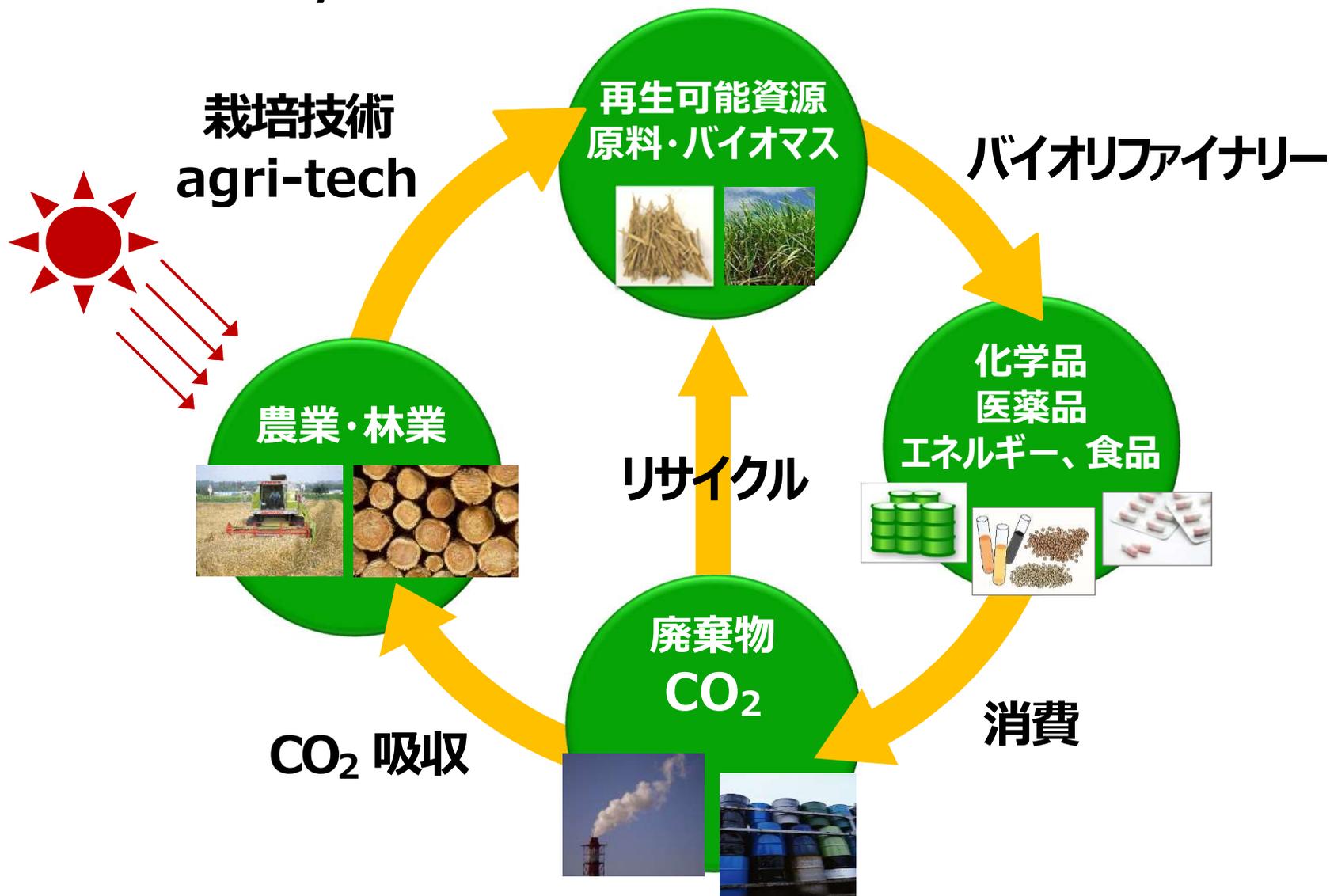
- ・C2 エタノール
- ・C3 プロパノール
- ・C4 ブタノール等
- ・アミノ酸
- ・芳香族化合物
- ・バイオプラスチック等

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



バイオテクノロジーに対する期待

- **バイオエコノミー (Bioeconomy)** という概念が国際的に提唱。OECDは、2030年の世界のバイオ市場はGDPの2.7% (約200兆円) に成長、うち約4割を工業分野が占めると予測。



出典: <http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/juyoukadai/nourin/5kai/siry03.pdf>

バイオ技術 × デジタルの融合

社会変化

情報社会
コンピューターによる自動化

Society 5.0 2030年代を目指して
超スマート社会: サイバー空間とフィジカル空間が高度に融合

新産業創出

Connected Industries
独立関係にあったものが融合、新たな付加価値の創造

出典：
内閣府
総合科学技術・イノベーション会議
経済産業省（2017年5月）

技術変化

第4次産業革命
ビッグデータを基にAIが自ら考えて最適な行動をとる

Connected Industriesの具体例 (ものづくり／バイオ／AI)

バイオ × デジタル

バイオ技術とデジタル技術の革新と融合

- ①ゲノム解読コストの低減・短時間化
- ②IT/AI技術の進化
- ③ゲノム編集技術の登場

高度に機能がデザイン・制御された生物細胞（スマートセル）の創出が容易になり、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、利用することが可能に。

バイオ × デジタルが導く Connected Industries

スマートセルが医療・ヘルスケア産業、
ものづくり産業や食品産業など
幅広い産業と融合

- ①疾病予防可能なヘルスケア産業
- ②化石資源に頼らない産業への転換
- ③革新的新素材によるものづくりの革新

増殖非依存型バイオプロセスの概念図

RITE Bioprocess®

反応槽に微生物を高密度充填し反応する

特許 JP3869788 DE602004026192.0 JP4927297
JP4451393 DK1647594 US7598063
US7368268 FR1647594 EP1291428
EP1647594 GB1647594 JP4294373
CH1647594

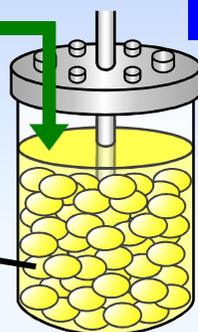
混合糖完全同時利用可

C5, C6糖

発酵阻害
物質耐性

菌体触媒
(増殖なし)

高生産性



生産物
バイオ燃料
バイオ化学品

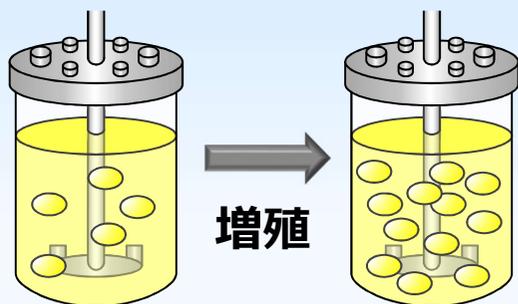
微生物が増殖しないため、

- 増殖のためのエネルギーロスがなく、原料収率が高い。
- システムが簡便である。

* RITE Bioprocessは、公益財団法人地球環境産業技術研究機構の登録商標(登録第5796262号)です。

従来の発酵法

微生物が増殖しながら物質を生成する

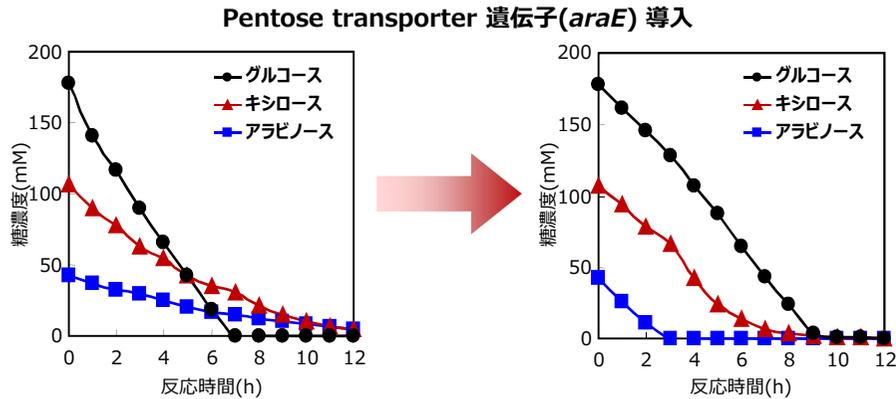


- 微生物が増殖するため、スペースが必要であり巨大な反応槽が必要となる。
- 生産(反応)時間は微生物の増殖に依存する。

非可食バイオマス为原料とする 必須要素技術の基礎確立

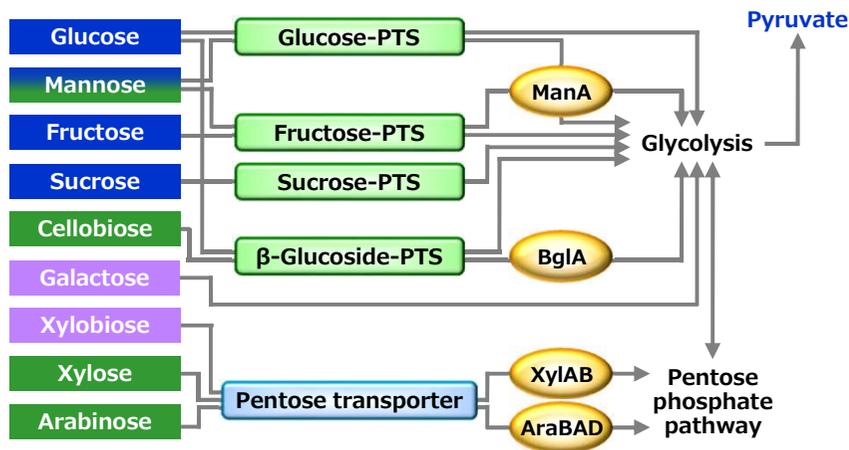
混合糖完全同時利用

ペントーストランスポーターの導入による混合糖同時利用能の向上
(増殖非依存型バイオプロセス (RITE Bioprocess®))



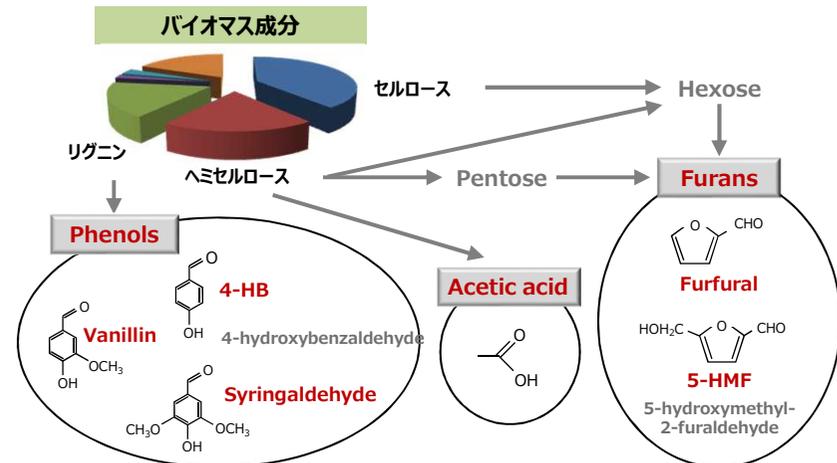
RITE論文: *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **85**:105-115. 2009.

C. glutamicum R株による糖代謝利用能



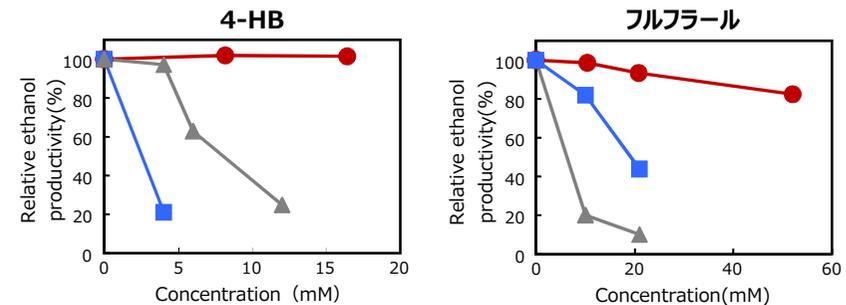
発酵阻害物質耐性

バイオマス由来の発酵阻害物質



E. Palmqvist, B. Hahn-Hägerdal. *Bioresource Technology* **74**:25-33. 2000. より改変

増殖非依存型バイオプロセス (RITE Bioprocess®) の発酵阻害物質に対する耐性



RITE論文: *Appl. Environ. Microbiol.* **73**:2349-2353. 2007.

● RITE Bio-Process ■ ザイモナス菌 ▲ アルコール酵母

Product portfolio by RITE Bioprocess®

(1) バイオ燃料

- ガソリン混合・代替
 - ・エタノール
- バイオジェット燃料
 - ・イソブタノール
 - ・n-ブタノール

・100%グリーンジェット燃料
〔 C9~C15飽和炭化水素
+ 芳香族化合物 〕

- バイオ水素

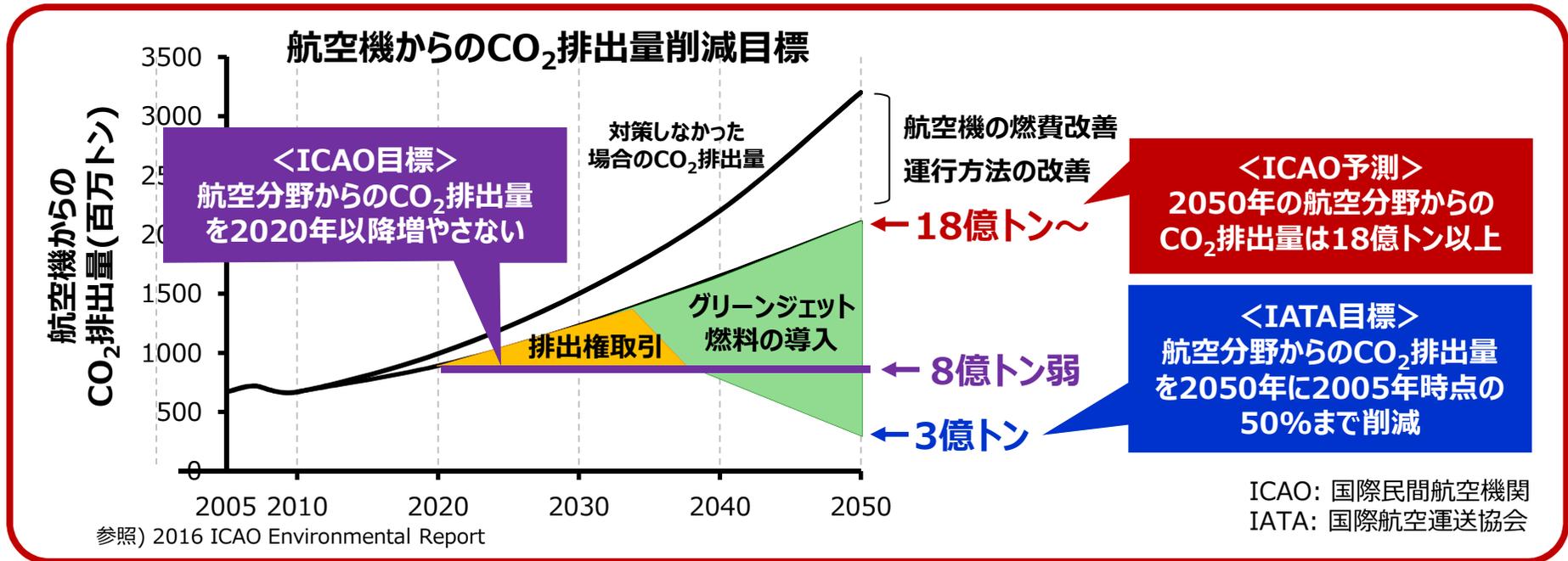


(2) グリーン化学品

- 芳香族化合物
 - ・シキミ酸 (インフルエンザ治療薬タミフル原料)
 - ・フェノール (フェノール樹脂、ポリカーボネート)
 - ・4-ヒドロキシ安息香酸 (ポリマー原料)
 - ・アニリン (石油外天然資源タイヤ原料(老化防止剤))
- 有機酸
 - ・D-乳酸、L-乳酸 (ステレオコンプレックス型ポリ乳酸)
 - ・コハク酸
- アミノ酸
 - ・アラニン (キレート剤)
 - ・バリン (次世代飼料用アミノ酸、医薬品原料、食品)
 - ・トリプトファン (飼料用アミノ酸、医薬品原料、飲料)
 - ・メチオニン (飼料用アミノ酸、調味料)
- アルコール
 - ・イソプロパノール (プロピレン原料)
 - ・キシリトール (甘味料)

バイオ燃料 生産技術の開発

国際航空における温暖化対策、ICAOで合意



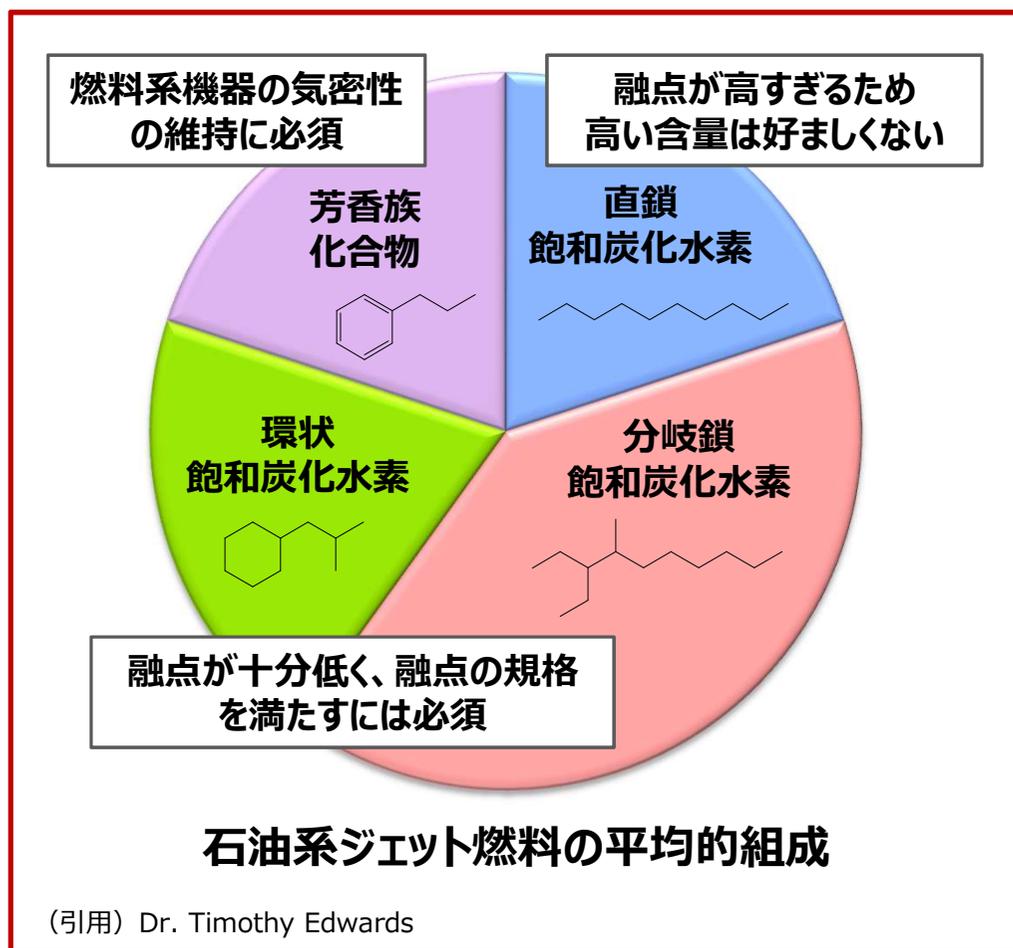
国連傘下のICAOで合意した国際航空の温室効果ガス排出削減制度 (GMBM) (出典: 日経2016.10.18)

	2021年～26年	27年～35年
対象国	自発的な参加	義務的な参加
日本への影響 (排出権の購入)	年十数億円 (当初)	年数百億円 (35年)

- ICAOでの合意により、航空会社にとってグリーンジェット燃料の導入が不可欠。
- ICAOやIATAの目標達成には2050年にジェット燃料の60%～80%をグリーンジェット燃料に代替させる必要がある。混合比率が50%までの既存のグリーンジェット燃料では目標達成は不可能。任意の割合で混合できる100%グリーンジェット燃料によって達成可能になる。

グリーンジェット燃料に要求される組成

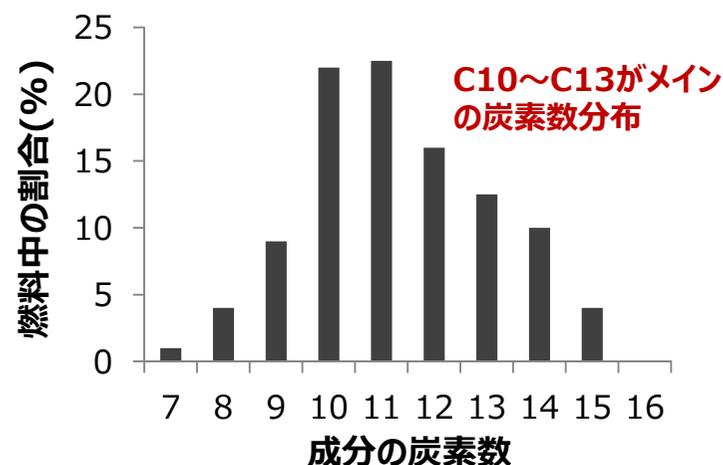
- 炭素数が9～15個の範囲にある多様な構造の分岐鎖および環状飽和炭化水素が主成分
- 芳香族成分含量が8%以上
(芳香族成分を含まないと石油系燃料との混合比率は最大でも50%まで)
- 石油系燃料と類似した炭素数分布 (特定の炭素数だけだと混合比率は最大でも10%程度)



合成炭化水素を含むジェット燃料に対する規格

- ・融点-47℃以下、引火点38℃以上
- ・芳香族成分含量: 8%以上
- ・10-50%留出温度差が15℃以上
10-90%留出温度差が40℃以上

石油系ジェット燃料の炭素数分布



Jaroslav Sarnecki. Jet Fuels Diversity. *Journal of KONES* 21:433-438. 2014.

100%グリーンジェット燃料導入を目指して

100%
green
jet fuel



Non-food biomass

Microbial
fermentation

Hydrodeoxygenation



ジェット燃料

Various linear,
branched
paraffins etc.
(C₈-C₁₆ compounds)

100%混合

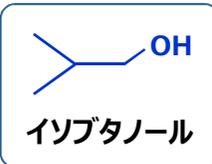
ATJ法
Alcohol-to-jet
process



Wood chips

Corn

Microbial
fermentation



Catalytic
dehydration



50%混合

Oligomerization,
hydrogenation

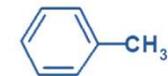
Paraffins



Cyclic paraffins



Aromatics



Olefins



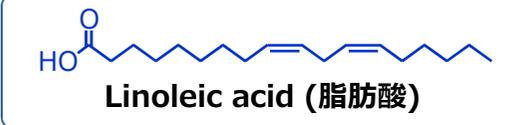
HEFA法
Hydroprocessed
esters and
fatty acids



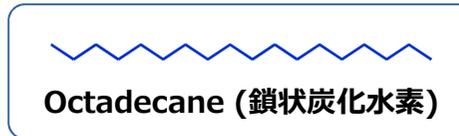
Oilseed crop

Algae

Extract fats
and oils



Isomerization,
cracking,
fractionation



50%混合

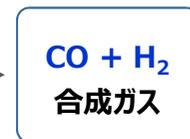
FT法
Fischer-Tropsch
conversion



Municipal
solid waste

Wood waste

Gasification



Fischer-Tropsch conversion

50%混合

参考資料: <http://cen.acs.org/articles/94/i37/boarding-Commercial-planes-take-flight.html>

本グリーンジェット燃料製造技術の優位性

- 稲わらなどの農業残渣だけでなく、食品残渣や余剰汚泥など、あらゆる非可食バイオマス为原料とできるため、潜在的生産能力が極めて高い。
- 簡易な設備と工程によって低コスト製造が可能。設備の小規模化と分散設置が可能。



製造法	石油系 ジェット燃料	ガス化 FT法	油脂 変換法 (藻類の場合)	アルコール 重合法	C15テルペン 発酵生産法	RITE技術
〔含有する成分〕 石油系燃料との 混合比率上限	飽和炭化水素 芳香族化合物	飽和炭化水素 のみ (50%)	飽和炭化水素 のみ (50%)	C12飽和 炭化水素のみ (30%)	C15飽和 炭化水素のみ (10%)	C9~C14 飽和炭化水素 芳香族化合物 (100%)
原料		制限なし	脂質のみ	糖分のみ	糖分のみ	糖分と蛋白質 (脂質も回収利用)
設備		設備費が高い	大規模な 培養槽が必要	小規模で 簡易な設備	小規模で 簡易な設備	小規模で 簡易な設備

* 国内線には航空機燃料税が26円/L (2017年3月31日までは18円/L) 課税される。

社会へのインパクト

CO₂排出削減効果

7億トン以上 (2050年)

2050年の航空機からの排出量が18億トン以上 (ICAO予測)、
普及率50%と仮定

経済効果

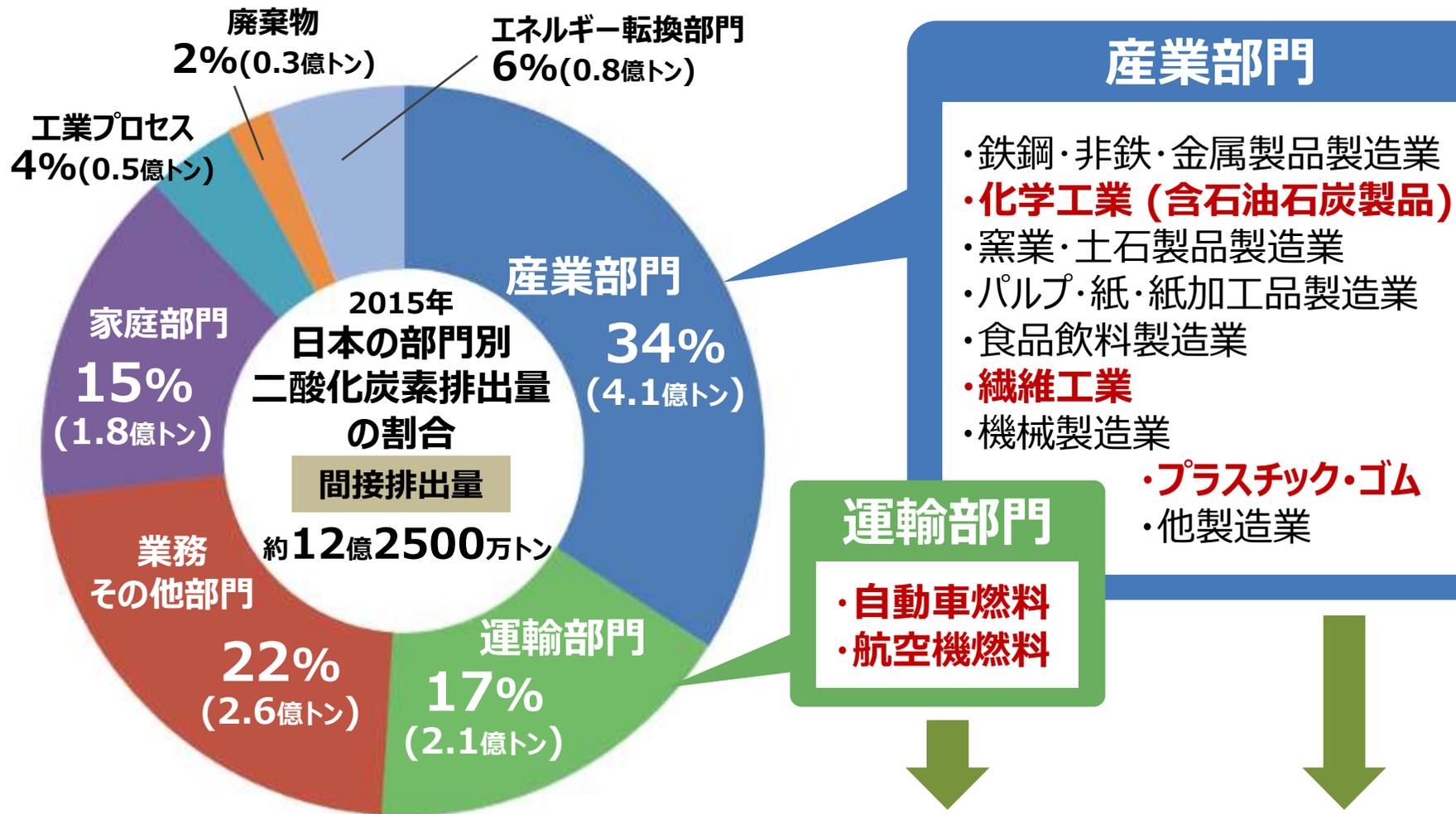
2050年までに開拓する世界市場は30兆円以上

グリーンジェット燃料の予想販売価格106円/L

(米国 EIA Annual Energy Outlook 2014 による2030年の予想価格)、
2050年における普及率50%と仮定

グリーン化学品 生産技術の開発

国内CO₂排出量の内訳



バイオリファイナリーで削減可能

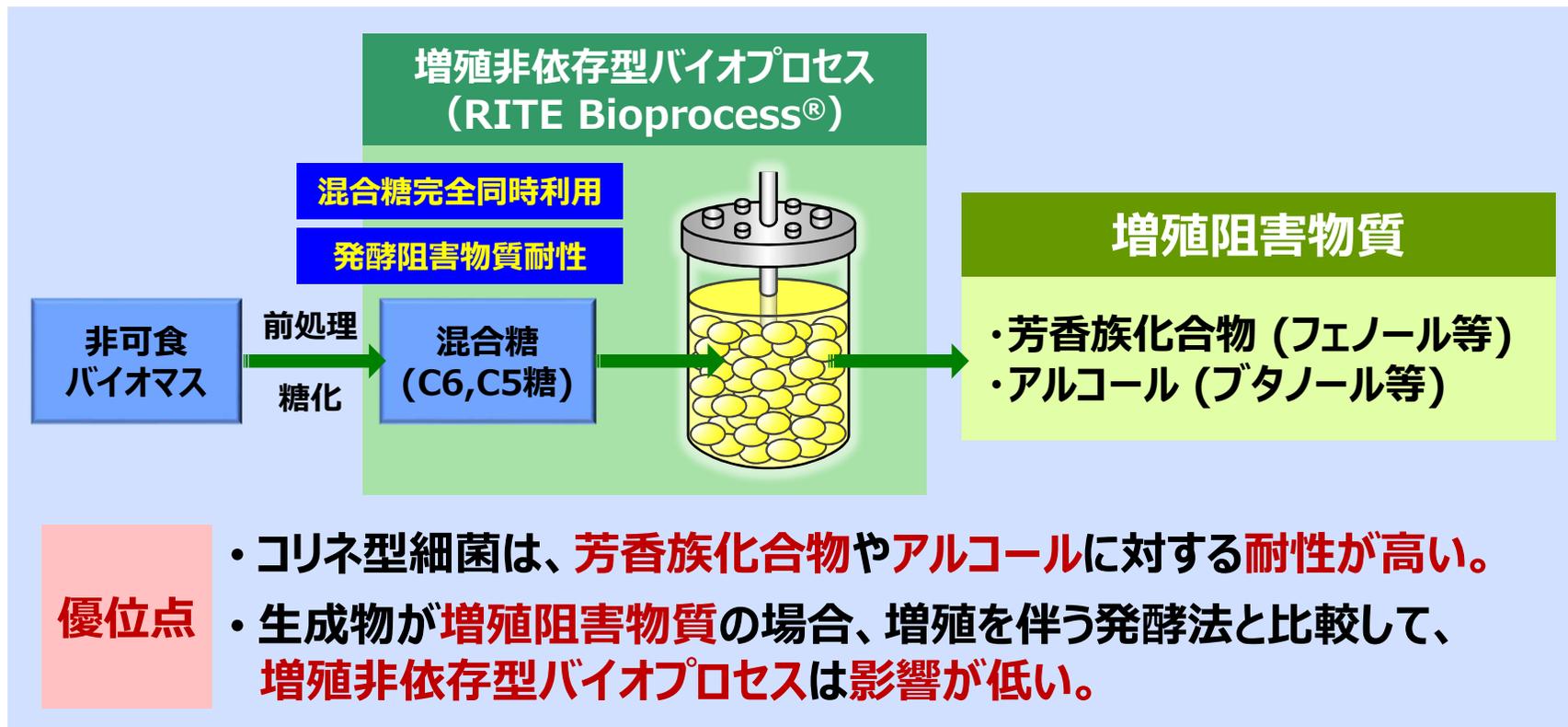
出典: 温室効果ガスインベントリオフィス (2015年度) 2017年4月発表
間接排出量: 発電のときに排出されるCO₂を各部門で配分する方法

増殖阻害物質の生産技術確立への挑戦

増殖阻害物質を
増殖を伴う発酵法で
生産する場合の課題

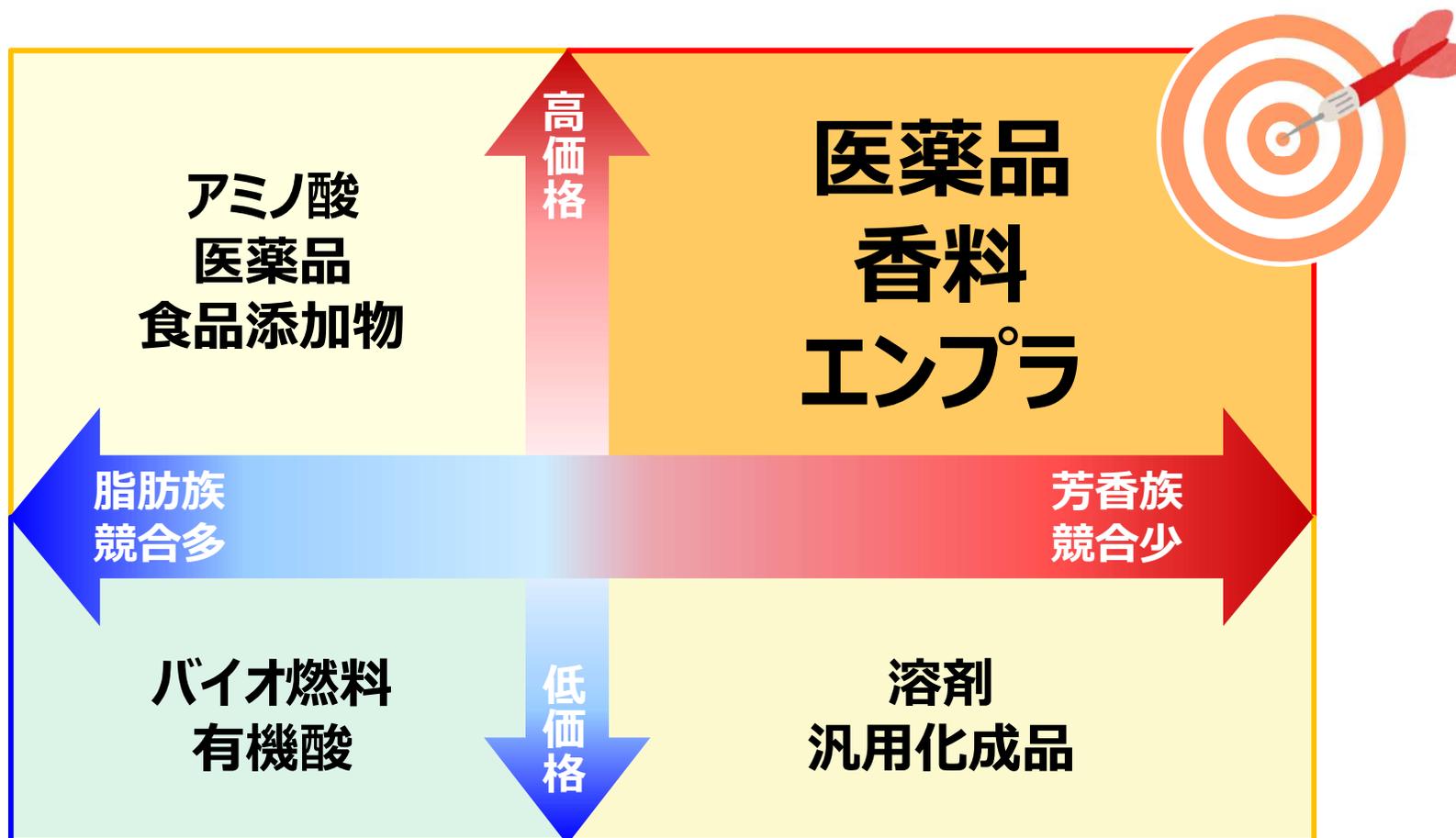
生成物による増殖阻害のため
低生産性（生成速度の低下、
最終生成物濃度の低下等）

実用生産
は非常に難



芳香族化合物を狙うのは

ターゲットは高価値な**芳香族化合物**



芳香族化合物: ベンゼン環に代表される、環状不飽和構造を持った化合物の総称

芳香族化合物の用途

1. ポリマー原料

- ・プラスチック原料
(フェノール樹脂、ポリカーボネート樹脂、エポキシ樹脂等)
- ・液晶原料
- ・合成繊維原料 (ポリエステル、ナイロン)
- ・合成ゴム原料 (スチレングム等)

2. 医薬、化粧品、香料、農薬の原料

- ・医薬品 (タミフル中間体、生理活性物質、ビタミン剤、神経作用薬等)
- ・化粧品 (色材、香水、浸潤剤、防腐剤、殺菌剤等)
- ・香料 (合成香料、オレンジ油、ローズ油、バニラ等)
- ・農薬 (殺虫剤、除草剤、光合成阻害剤、パラコート等)

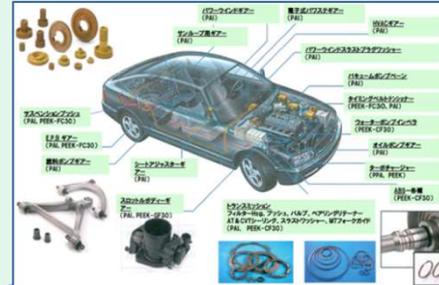
3. 工業薬品原料

- ・合成洗剤原料 (アルキルフェノール、アルキルベンゼン)
- ・塗料原料、染料、写真現像薬原料
- ・重合防止剤、可塑剤、紫外線吸収剤

市場分類

エンプラ

・家電製品の部品
や車載部品等の
機構部分に多用



香料・化粧品

・高付加価値、高価格
・市場拡大傾向

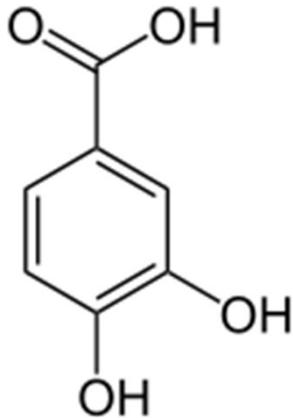


医薬原料

・高付加価値
・ニッチだが、
手堅い



プロトカテク酸 (PCA)



- ・Protocatechuic acid (PCA)
(3,4-ジヒドロキシ安息香酸)
- ・芳香族化合物異化代謝経路の中間体
- ・ベンゼン環、水酸基、カルボキシル基

用途

- 各種医薬品原料
- 香料 (バニリン) 原料
- ポリマー原料
- 食品用抗酸化剤 ■ 農薬、抗菌薬 ■ 防錆剤
- 染毛剤 ■ カテコール製造原料 ■ 飼料添加物

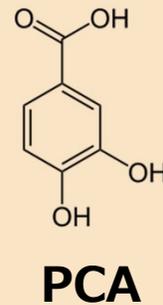


PCAの製造法

従来法 … 植物天然資源からの抽出・精製

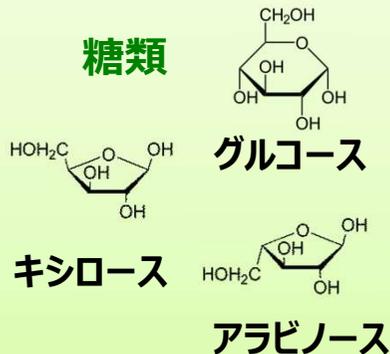


丹参 (たんじん: *Salvia miltiorrhiza* (シソ科植物))
他を原料とする

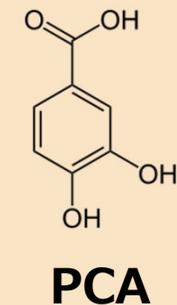


- ・低い生産性
- ・高コスト

バイオ法 … バイオマス由来糖類を原料として高効率バイオ変換



バイオ変換プロセス



バイオプロセスにより安価なバイオマスから
高付加価値化学品を高効率・大量生産

スマートセルインダストリー（経産省）

バイオテクノロジーが生み出す新たな潮流 ～スマートセルインダストリーの実現に向けて～

平成29年2月

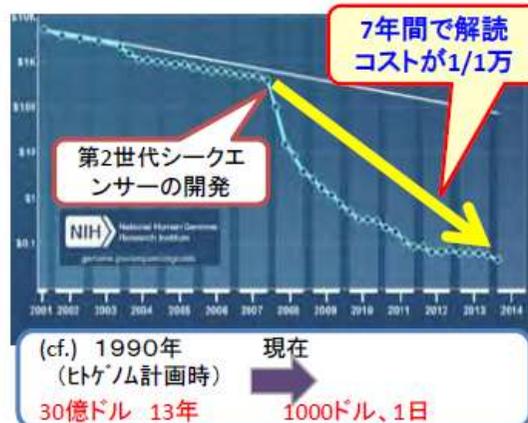
経済産業省
生物化学産業課

バイオテクノロジーの技術革新

- 近年、生物機能のデータ化が急速に進展するとともに、生物をゲノムレベルで高精度にデザインする、OECDレポートでは想定されていなかった革新的技術が登場。
- **BD・AI × バイオテクノロジー** が、**未来社会創造の新たな『駆動力』**に。

ゲノム解読コストの低減・短時間化

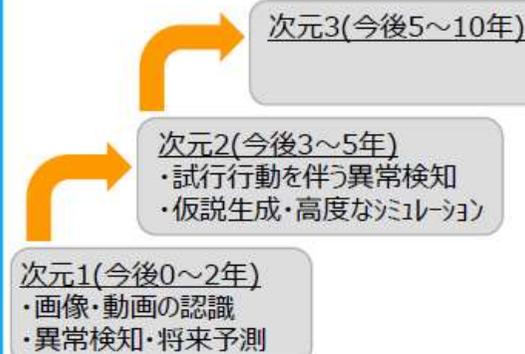
解読コストが7年前の1/1万
(※ヒトゲノム計画時(1990年)と比して1/百万以下)



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。



→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、利用することが可能に

合成生物学による スマートセルの創製

従来型細胞育種

発見 (discover)



解析 (analysis)



設計 (design)



組換え (built)



試験 (test)

スマートセル (高度に機能がデザインされた生物細胞)の創製

システム生物学ツール
新規遺伝子クラスター同定
統合オミクス解析
ゲノム解析
転写制御解析

合成生物学ツール
人工代謝パス構築
統合プラットフォーム構築
遺伝子クラスター合成
ゲノム編集

設計 (Design)

構築 (Built)

DBTLサイクル

学習 (Learn)

試験 (Test)

人工知能 (AI)
機械学習等

自動ハイスループット
アッセイ

人工的な代謝経路・遺伝子回路を計算機科学的に設計し、合成生物学により設計通りに遺伝子を合成・編集し生産細胞を創製

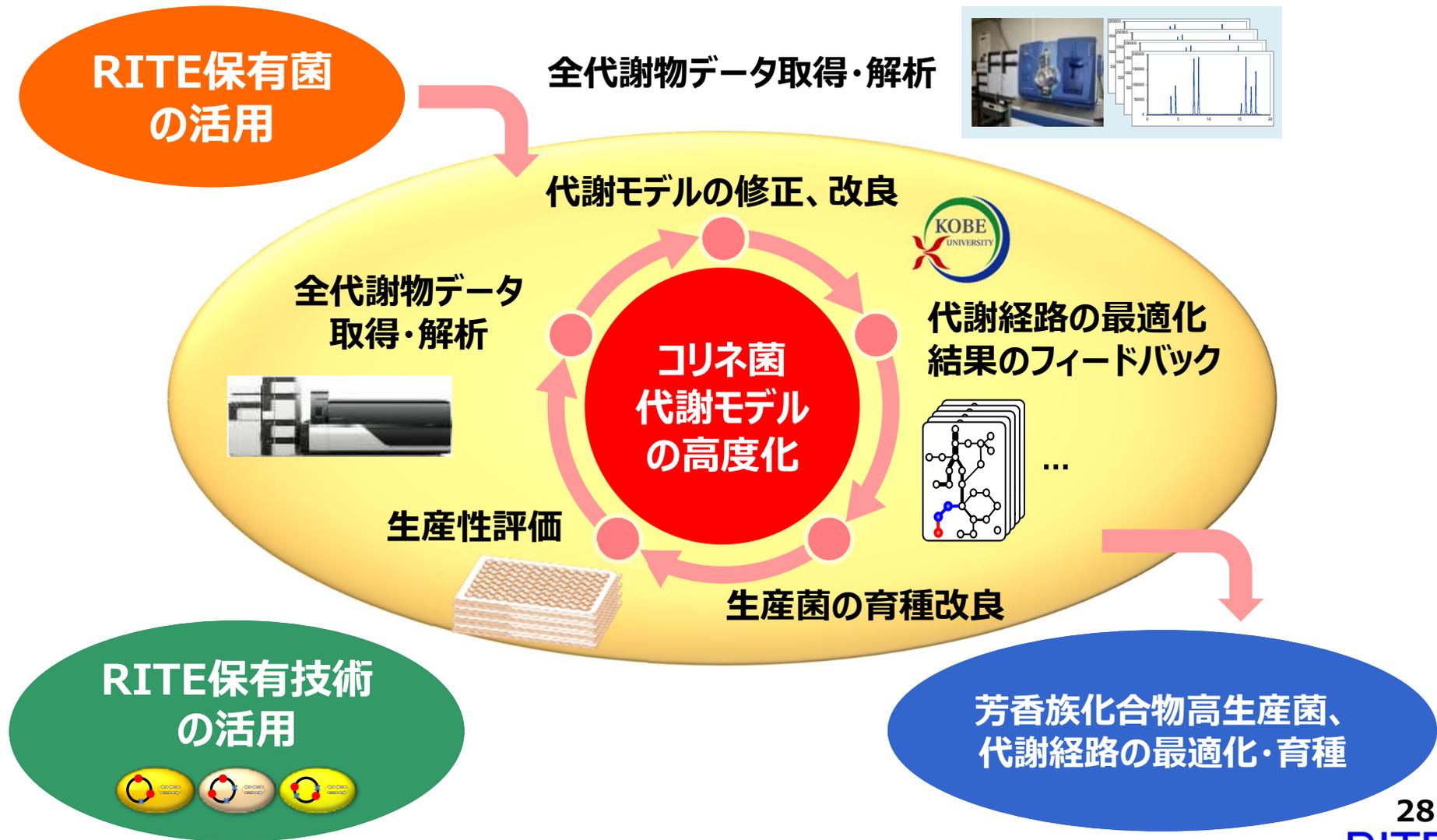
スマートセルインダストリーが拓く世界

- **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。地球規模の諸問題を解決する「第5次産業革命」に発展する可能性。



NEDO新規プロジェクト

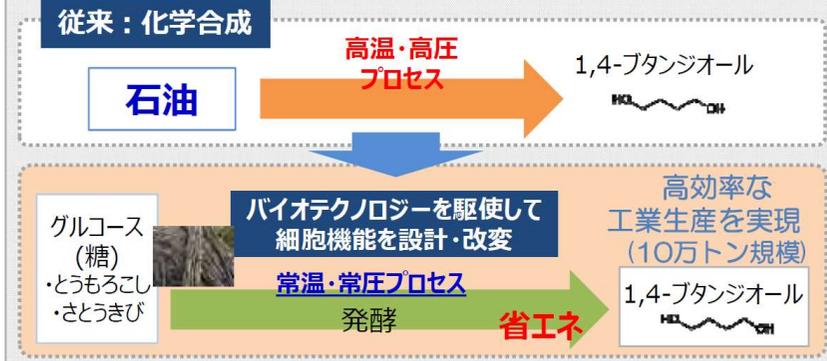
【目的】 コリネ菌の高度代謝モデルの構築と芳香族化合物生産による検証



スマートセルが変える産業の未来

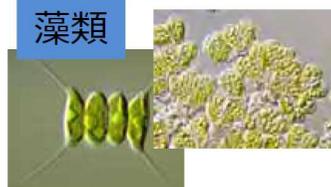
① 化学産業プロセスからの転換 (製造プロセスの抜本改革)

例 1: 1,4-ブタンジオール (高性能プラスチックの原料)



② バイオ燃料 (バイオ技術による化石燃料代替製品生産)

バイオジェット燃料



- バイオジェット燃料
- ガソリン・軽油代替燃料等

・欧米のエアラインを中心に商業利用 (2011年～)



※ 画像は一般社団法人藻類産業創成コンソーシアムのウェブサイトより

商業生産の実例

コハク酸の生産

バイオコハク酸
・DSM/Roquette、
Myriant、
BASF/Purac、
Bioamber/三井物産



香料の生産

Evolva社、ロレアル社と共同で、スマートセルによる化粧品成分の生産技術開発を実施 (2015)



ファルネセンの生産

Amyris社はファルネセン (化粧品や潤滑油の原料、ジェット燃料の原料) の高生産微生物 (スマートセル) を作製。2013年からブラジルで生産開始。



バイオエタノールの生産

バイオ技術による商業的エタノール生産のプラント建設
・DSM社とPOET社と共同 (2014年、2000万ガロン/年)

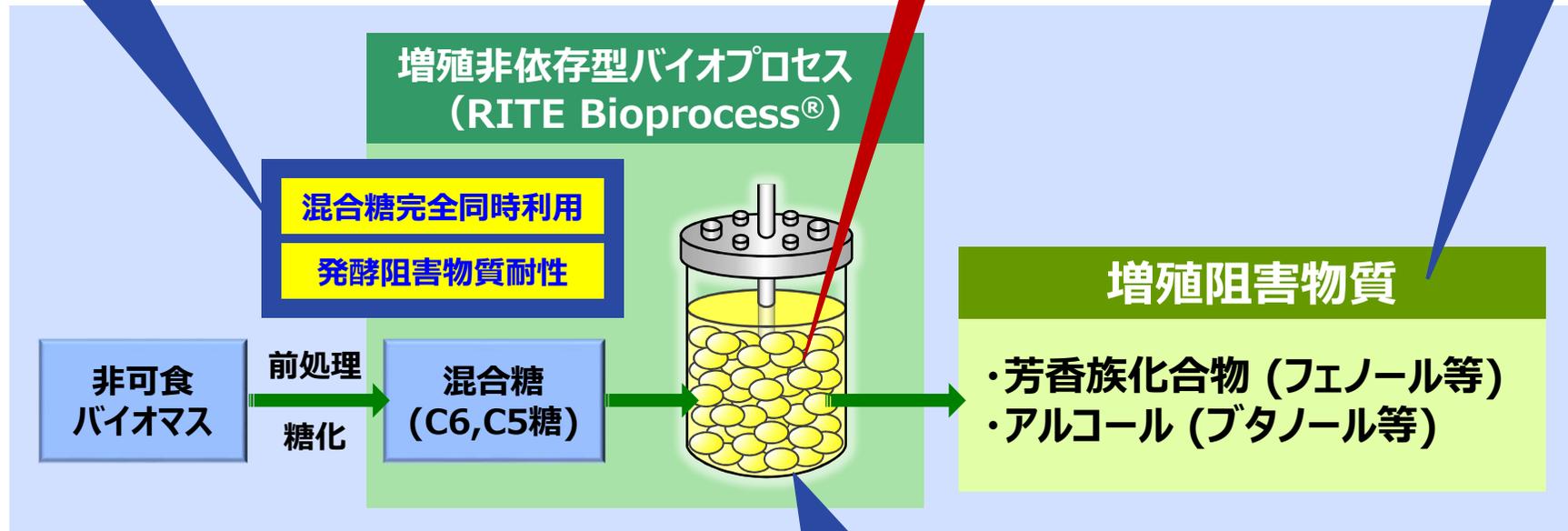


増殖阻害物質の高生産技術開発の戦略

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



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

まとめ



RITE Bioprocess

- 高生産性
- 混合糖類 (C6, C5糖) の完全同時利用性
- 発酵阻害物質への高度耐性



バイオ燃料生産技術の開発

- 100%グリーンジェット燃料
2030年 実用化目標



グリーン化学品生産技術の開発

- グリーン芳香族化合物
(ポリマー・香料・化粧品等の原料)
製造技術開発の加速

Host vector system

- *Agric. Biol. Chem.* **54**:443-447. 1990.
- *J. Industrial. Microbiol.* **5**:159-165. 1990.
- *Appl. Environ. Microbiol.* **57**:759-764. 1991.
- *Res. Microbiol.* **144**:181-185. 1993.
- *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **57**:2036-2038. 1993.
- *Plasmid* **36**:62-66. 1996.
- ACS Symposium Series 862
Fermentation Biotechnol. 175-191. 2003.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **81**:1107-1115. 2009.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **87**:1855-1866. 2010.
- *Microbiology* **156**:3609-3623. 2010.
- *J. Microbiol. Methods.* **85**:155-163. 2011.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **97**:8219-8226. 2013.
- *J. Appl. Microbiol.* **115**:495-508. 2013.

Gene transformation methods

- *Mol. Gen. Genet.* **245**:397-405. 1994.
- *Mol. Microbiol.* **11**:739-746. 1994.
- *Biotech. Lett.* **17**:1143-1148. 1995.

Gene expression system

- *FEMS Microbiol. Lett.* **131**:121-126. 1995.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **82**:491-500. 2009.
- *Letts. Appl. Microbiol.* **50**:173-180. 2010.

Chromosome engineering methods

- *J. Mol. Microbiol. Biotechnol.* **8**:243-254. 2004.
- *Appl. Environ. Microbiol.* **71**:407-416. 2005.
- *Microbiology* **151**:501-508. 2005.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **67**:225-233. 2005.
- *Appl. Environ. Microbiol.* **71**:3369-3372. 2005.
- *Appl. Environ. Microbiol.* **71**:7633-7642. 2005.
(Review)
- *Appl. Environ. Microbiol.* **71**:8472-8480. 2005.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **69**:151-161. 2005.
- *Appl. Environ. Microbiol.* **72**:3750-3755. 2006.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **74**:1333-1341. 2007.
- *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **71**:1683-1690. 2007.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **77**:871-878. 2007.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **79**:519-526. 2008.
(Mini-Review)
- *Strain Engineering* 409-417. 2011.

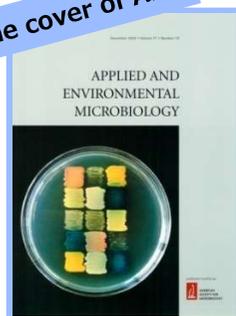
Physiology of corynebacteria

- *DNA seq.* **3**:303-310. 1993.
- *DNA seq.* **4**:87-93. 1993.
- *DNA seq.* **4**:95-103. 1993.
- *DNA seq.* **4**:177-184. 1993.
- *Gene* **139**:99-103. 1994.
- *Gene* **158**:87-90. 1995.
- *FEMS Microbiol. Lett.* **133**:239-244. 1995.
- *Biochem. Biophys. Res. Commun.* **236**:383-388. 1997.
- *Methods Enzymol.* **279**:339-348. 1997.
- *Recent Res. Devel.* **2**:429-435. 1998.
- *Genet. Anal.* **15**:9-13. 1999.
- *DNA seq.* **11**:383-394. 2000.
- *Biochem. Biophys. Res. Commun.* **289**:1307-1313. 2001.
- *J. Biosci. Bioeng.* **92**:502-517. 2001. (Review)
- *Mol. Genet. Genomics* **271**:729-741. 2004.
- *J. Mol. Microbiol. Biotechnol.* **8**:91-103. 2004.
- *Microbiology* **153**:1042-1058. 2007.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **75**:889-897. 2007.
- *Microbiology* **153**:2190-2202. 2007.
- *Microbiol. Monogr.* 349-401. 2007.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **76**:1347-1356. 2007.
- *Microbiology* **154**:264-274. 2008.
- *Mol. Microbiol.* **67**:597-608. 2008.
- *J. Mol. Microbiol. Biotechnol.* **15**:264-276. 2008.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **78**:309-318. 2008.
- *J. Bacteriol.* **190**:3264-3273. 2008.
- *Appl. Environ. Microbiol.* **74**:5290-5296. 2008.
- *Microbiology* **154**:3073-3083. 2008.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **81**:291-301. 2008.
- *J. Bacteriol.* **190**:8204-8214. 2008.
- *J. Bacteriol.* **191**:968-977. 2009.
- *Microbiology* **155**:741-750. 2009.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **83**:315-327. 2009.
- *J. Bacteriol.* **191**:2964-2972. 2009.
- *Appl. Environ. Microbiol.* **75**:3419-3429. 2009.
- *Appl. Environ. Microbiol.* **75**:3461-3468. 2009.
- *J. Bacteriol.* **191**:4251-4258. 2009.
- *J. Biol. Chem.* **284**:16736-16742. 2009.
- *Microbiology* **155**:3652-3660. 2009.
- *Microbiology* **156**:1335-1341. 2010.
- *Appl. Environ. Microbiol.* **76**:5488-5495. 2010.
- *Future Microbiol.* **5**:1475-1481. 2010. (Review)
- *Microbiology* **157**:21-28. 2011.
- *J. Bacteriol.* **193**:349-357. 2011.
- *J. Bacteriol.* **193**:1327-1333. 2011.
- *J. Biotechnol.* **154**:114-125. 2011. (Review)
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **90**:1051-1061. 2011.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **91**:677-687. 2011.
- *J. Bacteriol.* **193**:4123-4133. 2011.
- *Microbiology* **158**:975-982. 2012.
- *J. Bacteriol.* **194**:6527-6536. 2012.
- *FEBS J.* **279**:4385-4397. 2012.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **97**:4917-4926. 2013.
- *J. Bacteriol.* **195**:1718-1726. 2013.
- *FEBS J.* **280**:3298-3312. 2013.
- *J. Bacteriol.* **196**:60-69. 2014.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **98**:4159-4168. 2014.
- *Mol. Microbiol.* **92**:356-368. 2014.
- *J. Bacteriol.* **196**:2242-2254. 2014.
- *J. Bacteriol.* **196**:3249-3258. 2014.
- *J. Bacteriol.* **197**:483-496. 2015.
- *Nucleic Acids Res.* **43**:520-529. 2015.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **99**:3505-3517. 2015.
- *Appl. Environ. Microbiol.* **81**:2284-2298. 2015.
- *J. Bacteriol.* **197**:3307-3316. 2015.
- *J. Bacteriol.* **197**:3788-3796. 2015.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **100**:45-60. 2016.
- *Mol. Microbiol.* **99**:1149-1166. 2016.
- *Mol. Microbiol.* **100**:486-509. 2016.
- *J. Bacteriol.* **199**:e00798-16. 2017.
- *FEBS J.* (in press)
- *Mol. Microbiol.* (in press)

RITE bioprocess (Production of chemicals and fuels)

- *Process Biochem.* **1**:124-128. 1985.
- *Process Biochem.* **21**:164-166. 1986.
- *Process Biochem.* **21**:196-199. 1986.
- *Process Biochem.* **24**:60-61. 1989.
- *J. Industrial. Microbiol.* **5**:289-294. 1990.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **35**:348-351. 1991.
- *Catalysis Today* **22**:621-627. 1994.
- *Microbiology* **149**:1569-1580. 2003.
- *J. Mol. Microbiol. Biotechnol.* **7**:182-196. 2004.
- *J. Mol. Microbiol. Biotechnol.* **8**:243-254. 2004.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **68**:475-480. 2005.
- *Appl. Environ. Microbiol.* **72**:3418-3428. 2006.
- *Nat. Biotechnol.* **24**:761-764. 2006.
- *Appl. Environ. Microbiol.* **73**:2349-2353. 2007.
- *Microbiology* **153**:2491-2504. 2007.
- *J. Chem. Technol. Biotechnol.* **82**:693-697. 2007.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **77**:853-860. 2007.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **77**:1053-1062. 2008.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **77**:1219-1224. 2008.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **77**:1305-1316. 2008.
- *J. Mol. Microbiol. Biotechnol.* **15**:16-30. 2008.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **78**:449-454. 2008.
- *Appl. Environ. Microbiol.* **74**:5146-5152. 2008.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **81**:459-464. 2008.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **81**:505-513. 2008.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **81**:691-699. 2008.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **85**:105-115. 2009.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **85**:471-480. 2010.
(Mini-Review)
- *Biomass to Biofuel* 311-330. 2010.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **86**:1057-1066. 2010.
- *Encyclopedia of Industrial Biotechnol.* 2010.
- *Encyclopedia of Industrial Biotechnol.* 2010.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **87**:159-165. 2010.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **89**:1905-1916. 2011.
- *Biofuels* **2**:303-313. 2011. (Review)
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **90**:1721-1729. 2011.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **91**:1375-1387. 2011.
- *Appl. Environ. Microbiol.* **78**:865-875. 2012.
- *Appl. Environ. Microbiol.* **78**:4447-4457. 2012.
- *Annu. Rev. Microbiol.* **66**:521-550. 2012.
- *FEBS Lett.* **586**:4228-4232. 2012.
- *Appl. Environ. Microbiol.* **79**:1250-1257. 2013.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **97**:8139-8149. 2013.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **97**:6693-6703. 2013.
- *Biotechnol. Bioeng.* **110**:2938-2948. 2013.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **99**:1427-1433. 2015.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **99**:1165-1172. 2015.
- *Microbiology* **161**:254-263. 2015.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **99**:5573-5582. 2015.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **99**:4679-4689. 2015.
- *Appl. Environ. Microbiol.* **81**:4173-4183. 2015.
- *Bioengineered* **6**:328-334. 2015.
- *Fermentation* **2**:5. 2016.
- *Metab. Eng.* **38**:322-330. 2016.
- *Metab. Eng.* **38**:204-216. 2016.
- *Appl. Environ. Microbiol.* **83**:e02638-16. 2017.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **101**:5019-5032. 2017.

The cover of AEM



The cover of MM



C. glutamicum R



RITE バイオ研究グループ



↑
RITEバイオ研究グループ

← 奈良先端科学技術大学院大学
教育連携研究室
微生物分子機能学 (乾研究室)



Thank you for your attention

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