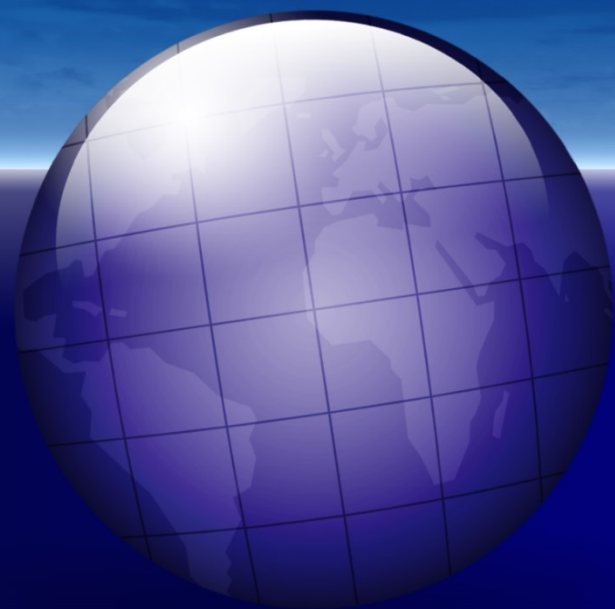


革新的環境技術シンポジウム 2015

2015年 12月 18日

バイオリファイナー技術開発 の現状と展望



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／グループリーダー代行, 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, 事業部副部長

乾 将行

新規産業: バイオリファイナリー

非可食
バイオマス



C6糖 6

C5糖 5

増殖**非**依存型
バイオプロセス
(RITE Bioprocess®)

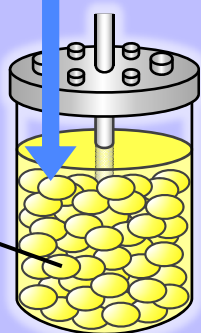
反応槽に微生物を
高密度充填し反応する

混合糖完全同時利用可

醗酵阻害
物質耐性

菌体触媒
(**非**増殖)

高生産性



バイオ燃料

- ・エタノール
- ・イソブタノール
- ・ブタノール 他



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
- ・芳香族類
カルボン酸
アミン等

自動車部材、包装材、電気製品部材、
炭素繊維、各種樹脂等



バイオリファイナリー市場予測



世界市場拡大

Global biorefinery market is expected to reach **\$ 1128.17 billion** by 2022 growing at a CAGR of 12.57%.

Global Biorefinery Products Market Outlook (2014-2022) Published: Aug.-2015.

Global biorefinery market to surpass **\$ 790 billion** by 2019.

Biorefinery Market Report 2015-2019 Published: Oct.-2015.

バイオリファイナリー

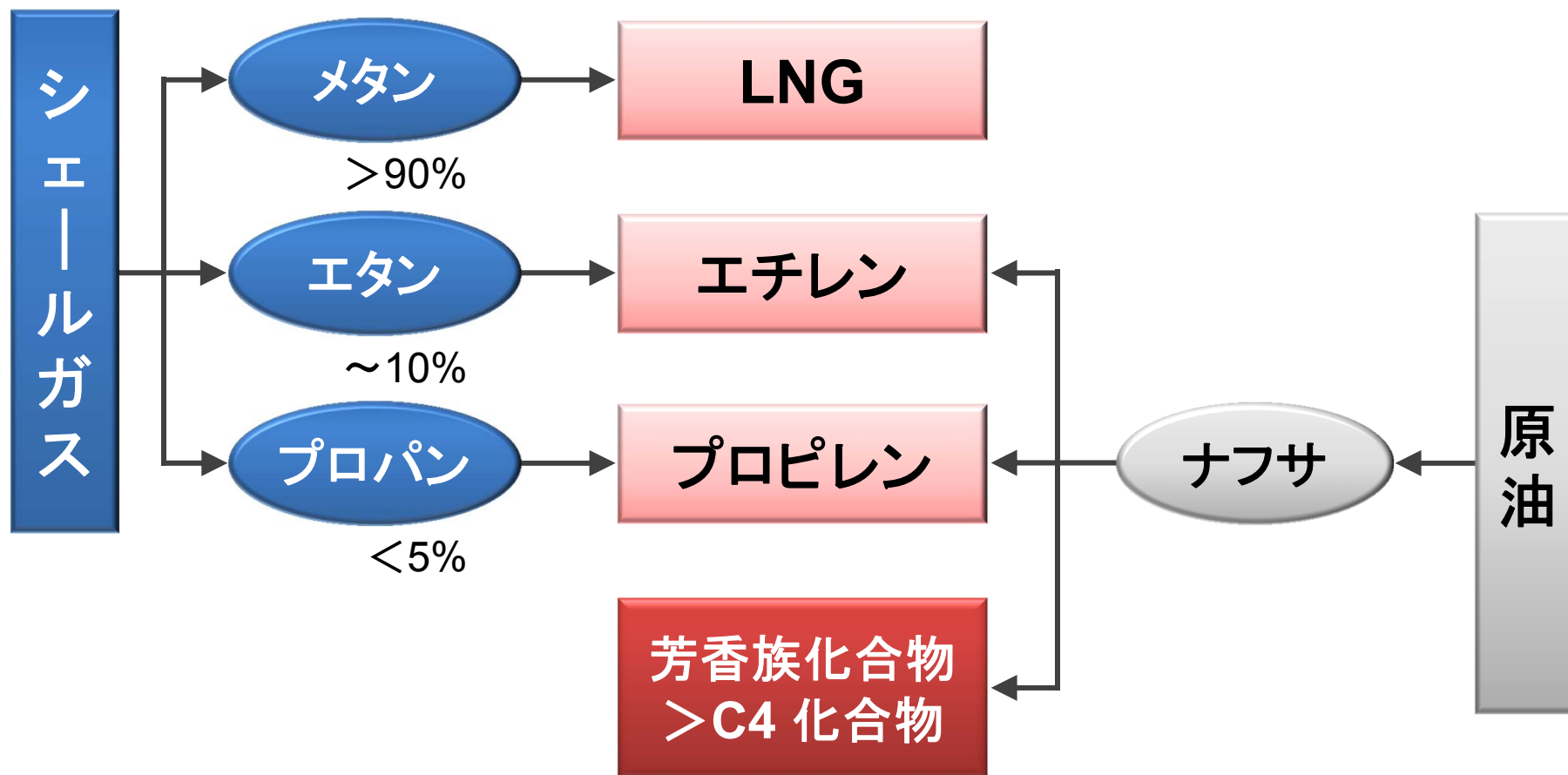
1. バイオ燃料..... **high volumes low margins**

バイオアルコール(エタノール、ブタノール等)
バイオディーゼル

2. グリーン化学品... **lower volumes higher margins**

C3～C6化合物
アミノ酸
芳香族化合物等

シェール革命による化学産業への影響



芳香族化合物及びC4以上の化学品は、シェールガスからの生成は難しく、
今後、価格上昇が予想される。

CO₂排出量削減からもバイオマスからの製造技術確立が期待される。

バイオリファイナリーの動向(2015年)

米国・海外

- ・再生可能燃料基準(～2016)発表、目標値を下方修正(米国)
- ・3ヶ所目の大規模セルロースエタノール工場(11万KL)が稼働(米国)
- ・原油安に伴い、バイオエタノール価格
\$1.5/gallon に低下(米国)
- ・バイオプラスチック世界生産能力、2020年に1700万トンと予測

日 本

- ・2020年オリンピックを目指した
バイオジェット燃料導入検討委員会開催
- ・グリーン化学品やバイオプラスチック開発進展、採用が拡大
- ・バイオプラスチック国内市場は2014年に4万8千トンに拡大

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

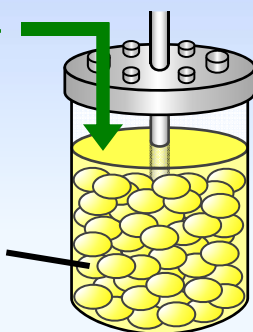
特許 JP3869788 DE602004026192.0 JP4927297
JP4451393 DK1647594 US7598063
US7368268 FR1647594 EP1291428
EP1647594 GB1647594 JP4294373
CH1647594

混合糖完全同時利用可

C5, C6糖

醗酵阻害
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

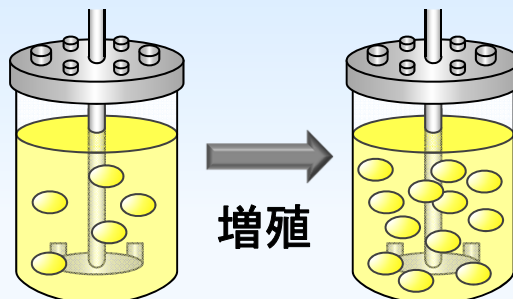
微生物が増殖しないため、

- 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。

従来の醗酵法

微生物が増殖しながら物質を生成する



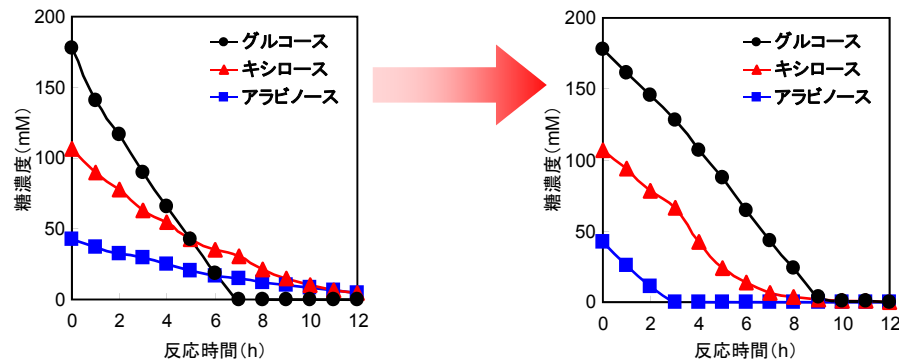
- 微生物が増殖するため、スペースが必要であり巨大な反応槽が必要となる。
- 生産(反応)時間は微生物の増殖に依存する。

非可食バイオマスを原料とする 必須要素技術の基礎確立

混合糖完全同時利用

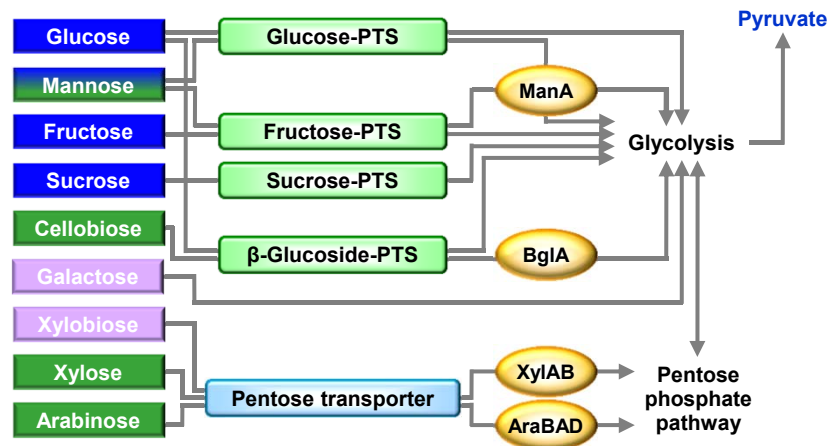
ペントーストランスポーターの導入による混合糖同時利用能の向上(増殖非依存型バイオプロセス(RITE Bioprocess®))

Pentose transporter 遺伝子(*araE*) 導入

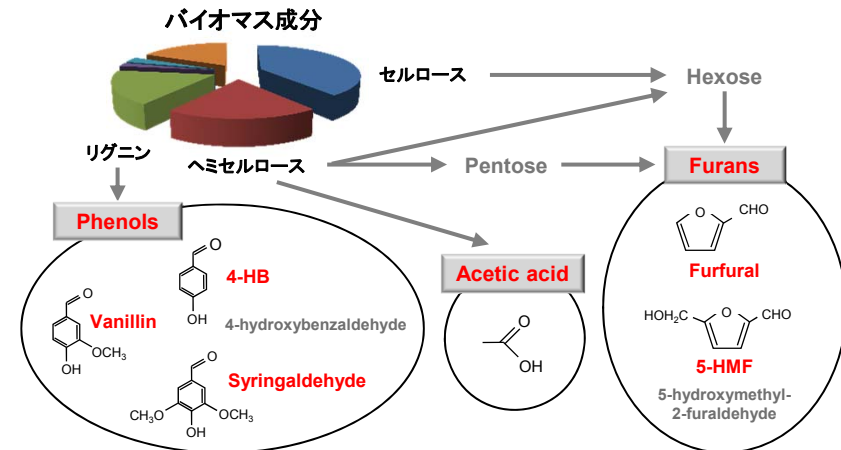


RITE論文: *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **85**:105-115. 2009.

C. glutamicum R株による糖代謝利用能



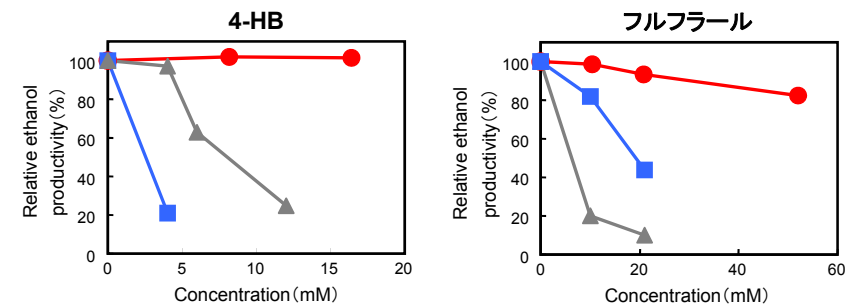
醗酵阻害物質耐性



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

バイオマス由来の発酵阻害物質

● RITE Bio-Process ■ ザイモナス菌 ▲ アルコール酵母

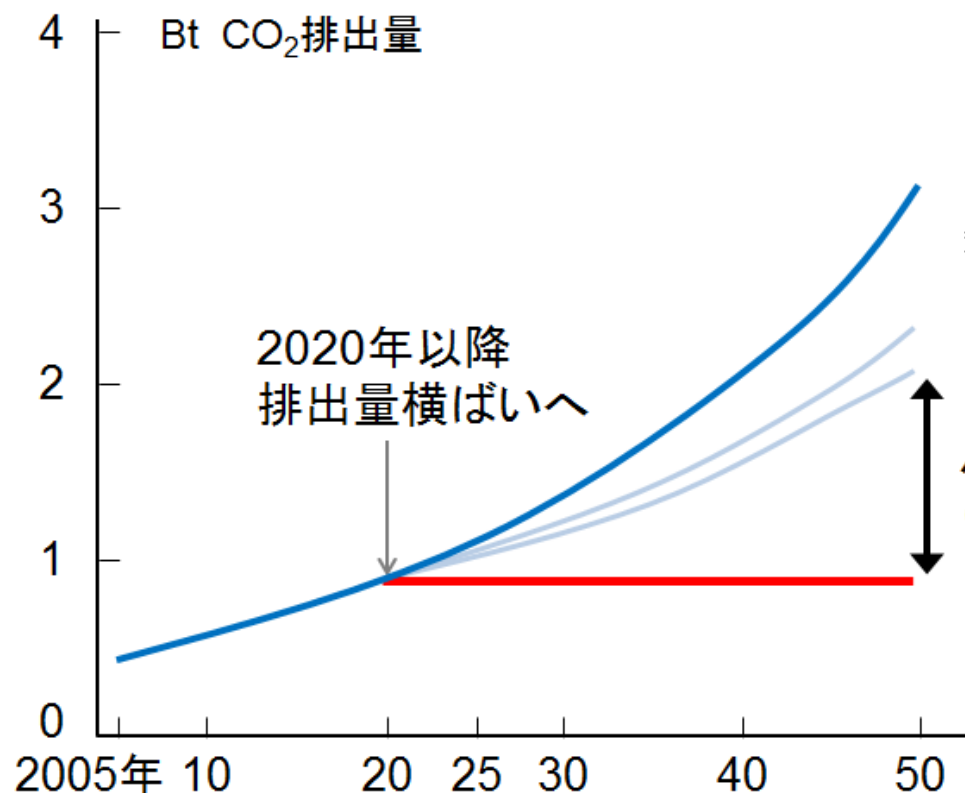


RITE論文: *Appl. Environ. Microbiol.* **73**:2349-2353. 2007.

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

バイオ燃料生産技術の開発

背景; 国際航空のCO₂排出削減対策



(注) ICAOの環境国際会議資料などから作成
出典: 日本経済新聞 2013年6月21日

ICAO: 国際民間航空機関の目標

- ① 2050年までに燃料効率の年率2%改善
- ② 2020年以降CO₂排出量を増加させない

食料資源と競合しない
バイオジェット燃料
への期待



石油からのジェット燃料製造

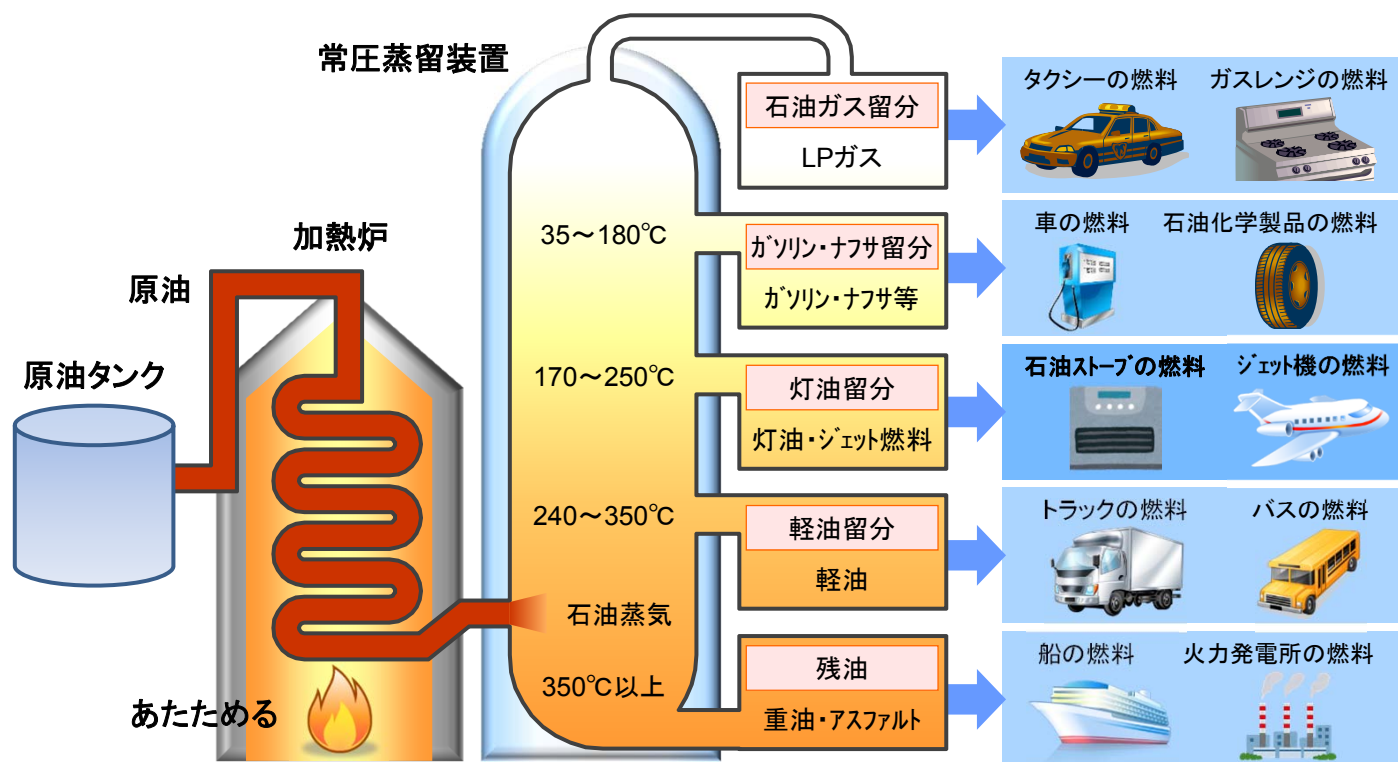
現在使用されているジェット燃料は石油を沸点別に分留して得られた灯油留分から製造されており、炭素数がC10～C15の鎖状炭化水素と芳香族化合物を主成分とする炭化水素の混合物。

**ジェット燃料: 融点が-47℃以下、
引火点38℃以上等の厳しい規格有。**

石油系ジェット燃料の平均的組成

直鎖飽和炭化水素	28%
分岐鎖飽和炭化水素	29%
環状飽和炭化水素	20%
芳香族化合物	18%

常圧蒸留装置のしくみ

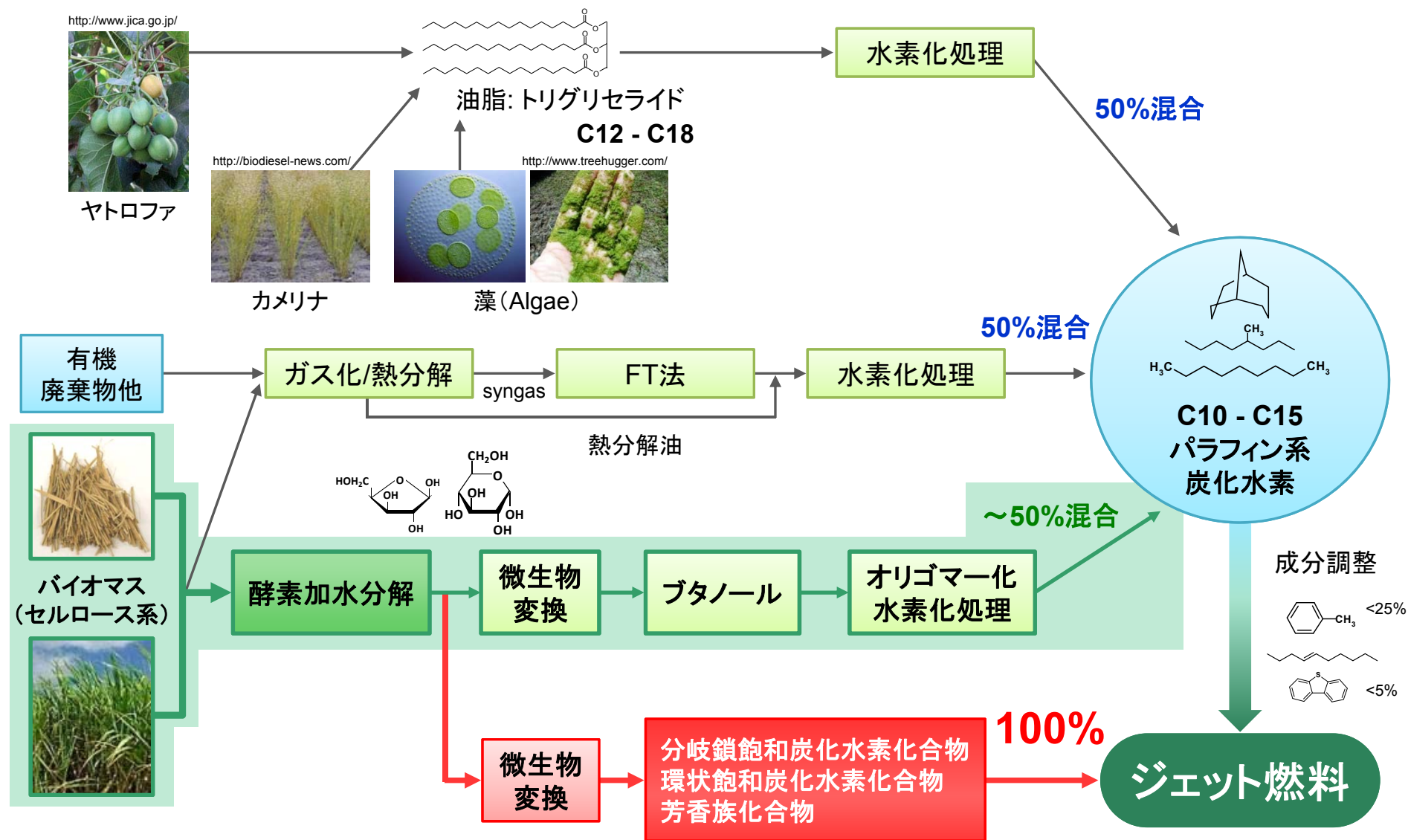


ガソリン: C5～C12

ジェット燃料: C10～C15

ディーゼル燃: C10～C20

2020年 東京オリンピックでの導入を目指して



バイオブタノール製造技術

原料バイオマス

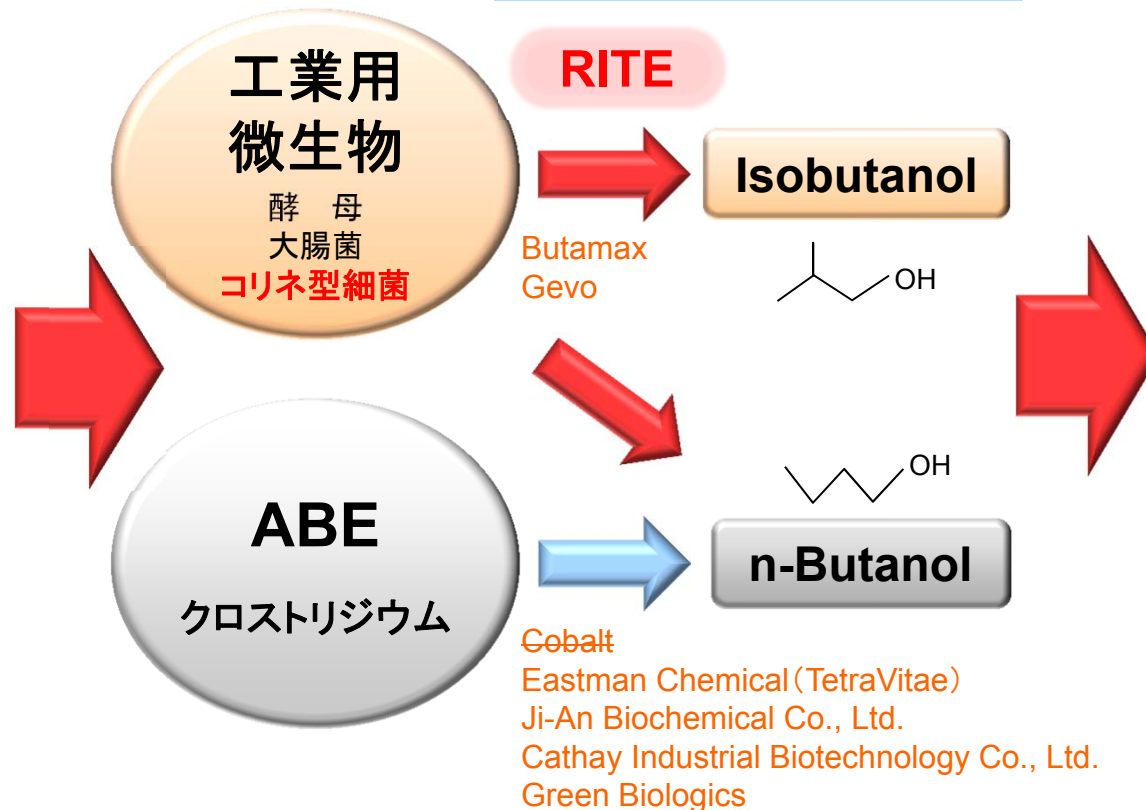
非可食バイオマス



食糧系バイオマス

製造技術 (微生物変換)

METI「国際共同研究開発
プロジェクト(H27~31年)」



オリゴマー化

ジェット燃料

米海軍、米空軍

ディーゼル燃料

ジブチルエーテル

ガソリン添加剤

ブチルゴム

LANXESS 脱水→ブチレン

PET

東レ パラキシレン→テレフタル酸
Coca-Cola

アクリレート類

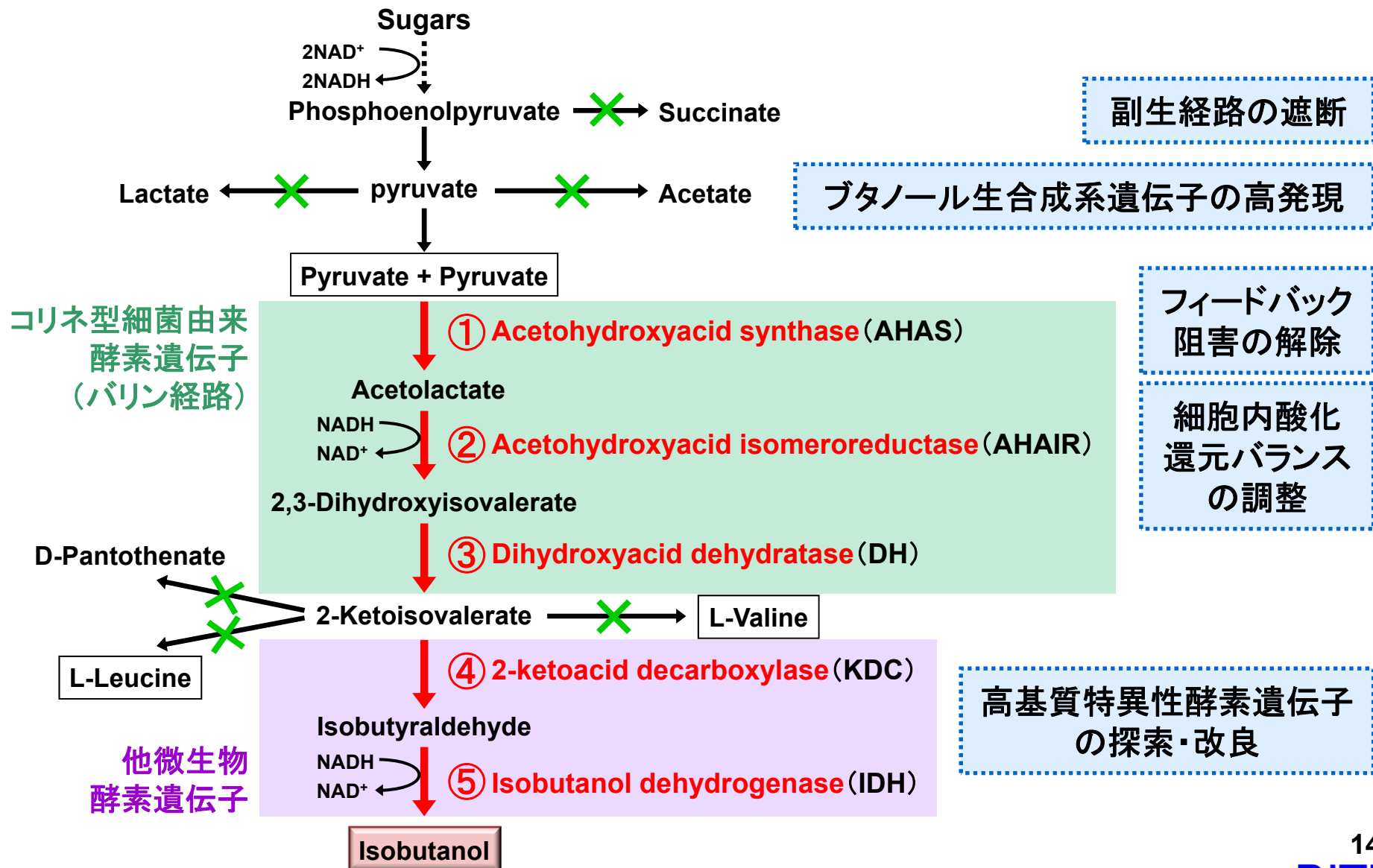
アセテート

溶剤

グリコールエーテル

ABE: アセトン・ブタノール・エタノール醗酵法

コリネ型細菌におけるイソブタノール合成経路



生産性比較: イソブタノール生産

Microorganisms	Isobutanol (g/L)	Isobutanol productivity (g/L/h)	Aerobic/ Anaerobic	KDC	ADH
<i>Escherichia coli</i> ¹⁾	22	0.20	Micro-aerobic	<i>kivD</i>	<i>adh2</i>
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> ²⁾	0.63	0.007	Aerobic	<i>aro10</i>	<i>adh2</i>
<i>Bacillus subtilis</i> ³⁾	5.5	0.09	Micro-aerobic	<i>kivD</i>	<i>adh2</i>
<i>Synechococcus elongatus</i> ⁴⁾	0.45	0.003	Aerobic	<i>kivD</i>	<i>yqhD</i>
<i>Corynebacterium glutamicum</i> ⁵⁾	13	0.26	Shift to oxygen deprivation	<i>kivD</i>	<i>adh2</i>
<i>Corynebacterium glutamicum</i> ⁶⁾	27	0.53	RITE bioprocess	<i>kivD</i>	<i>adhP</i>

1) *Nature* **451**:86-90. 2008.

2) *Biotechnol. Biofuels* **5**:65. 2012.

3) *Microb. Cell Fact.* **11**:101. 2012.

4) *Nat. Biotechnol.* **27**:1177-1180. 2009.

5) *Appl. Environ. Microbiol.* **77**:3300-3310. 2011. (Germany)

6) *Biotechnol. Bioeng.* **110**:2938-2948. 2013. (RITE)

kivD : *Lactococcus lactis*

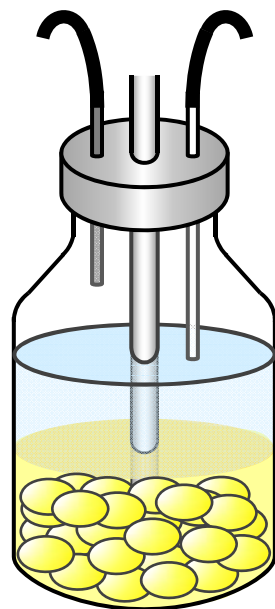
aro10: *Saccharomyces cerevisiae*

adh2: *Saccharomyces cerevisiae*

yqhD: *Escherichia coli*

adhP: *Escherichia coli*

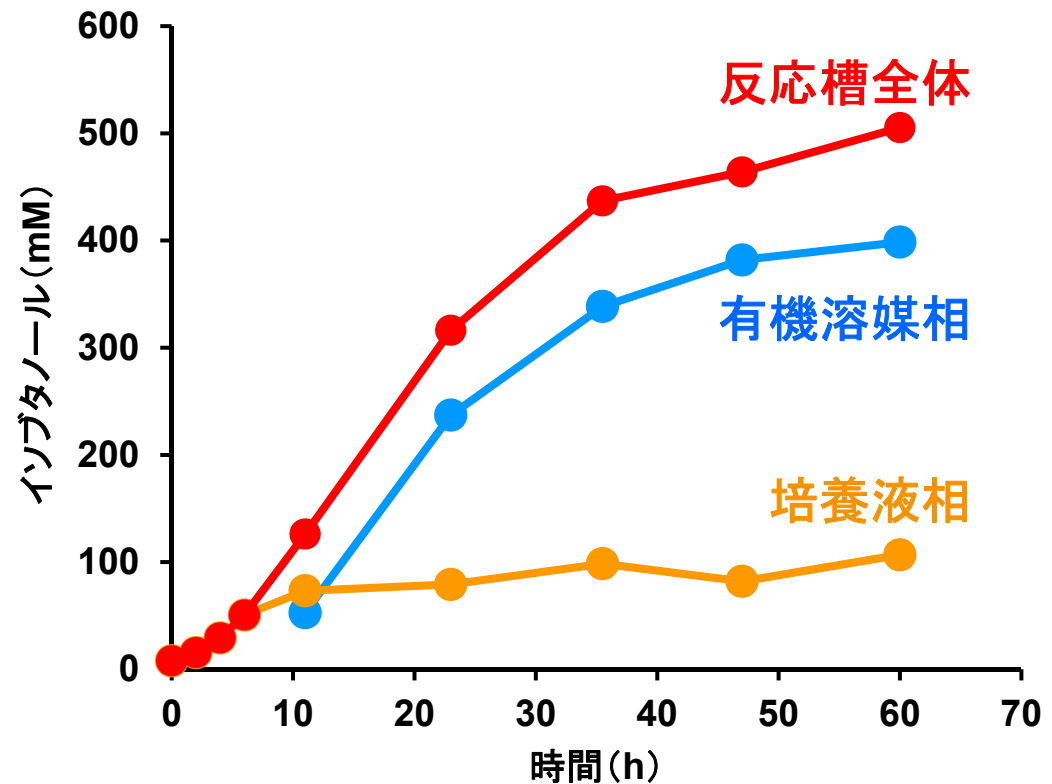
二相反応系を用いたイソブタノール生産



二相反応系

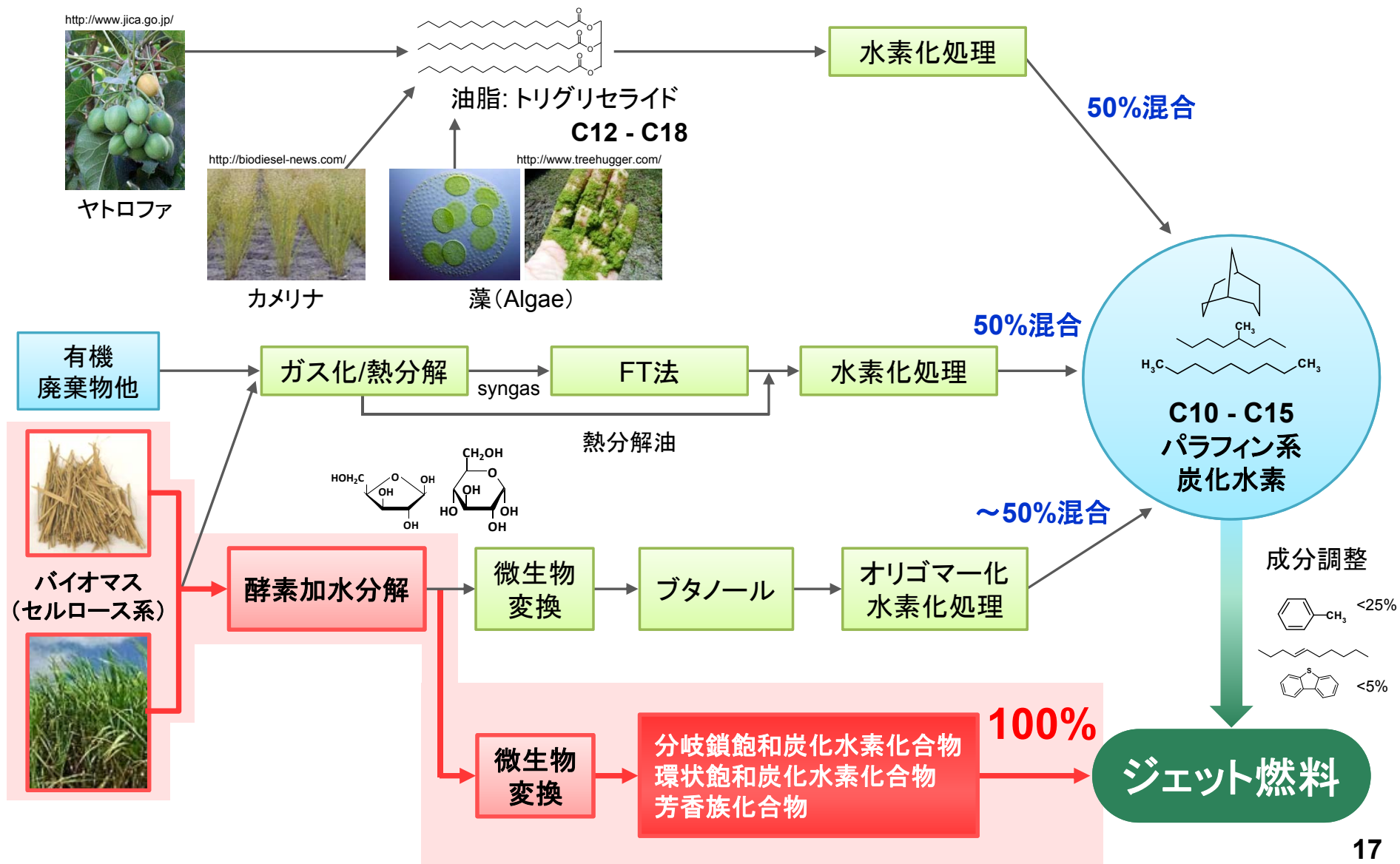
有機溶媒相

培養液相



	イソブタノール(mM)	生産性(mol/mol%)
RITE Bioprocess [®]	240	57
RITE Bioprocess [®] + 二相反応系	505	78

2030年 100%グリーンジェット燃料導入を目指して



グリーンジェット燃料製造法の比較



	油脂抽出法	ファルネセン ／脂肪酸 発酵生産法	RITE法
外部からの水素供給 の必要性	必要	必要	不要
製造できる 炭化水素化合物	飽和炭化水素化 合物のみ	1種類の飽和炭化 水素化合物のみ	飽和炭化水素と 芳香族化合物
認可されているジェット 燃料との混合比率	50%	10% (ファルネセン)	100%利用

既存のグリーンジェット燃料は最大で50%までしか混合できない

**RITE法は、外部からの水素供給が不要で、飽和炭化水素
と芳香族化合物の両方を製造可能な世界初の
低コスト・低炭素型100%グリーンジェット燃料製造法**

社会へのインパクト

CO₂排出削減効果:

4,000万トン(2020年)、8,000万トン(2030年)

2020年までに6%(国際航空運送協会IATA目標)、
2030年までに12%をグリーンジェット燃料に代替と仮定。

経済効果:

2030年までに開拓する世界市場は1兆6,800億円。

2030年のグリーンジェット燃料の販売価格を106円/L
(米国 EIA Annual Energy Outlook 2014予測)、普及率12%と仮定。



100%グリーンジェット燃料製造法(RITE法)

非可食バイオマス



C6糖



C5糖



グリーン
ジェット燃料
生産菌

RITE Bioprocess

分岐鎖飽和炭化水素
化合物

環状飽和炭化水素
化合物

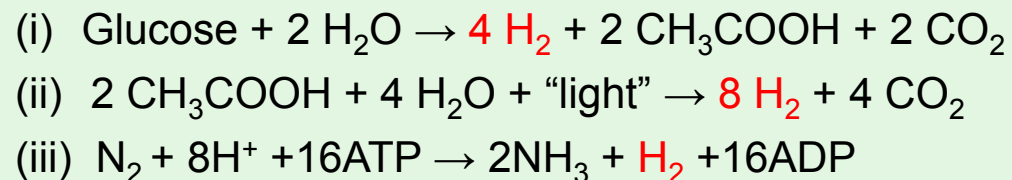
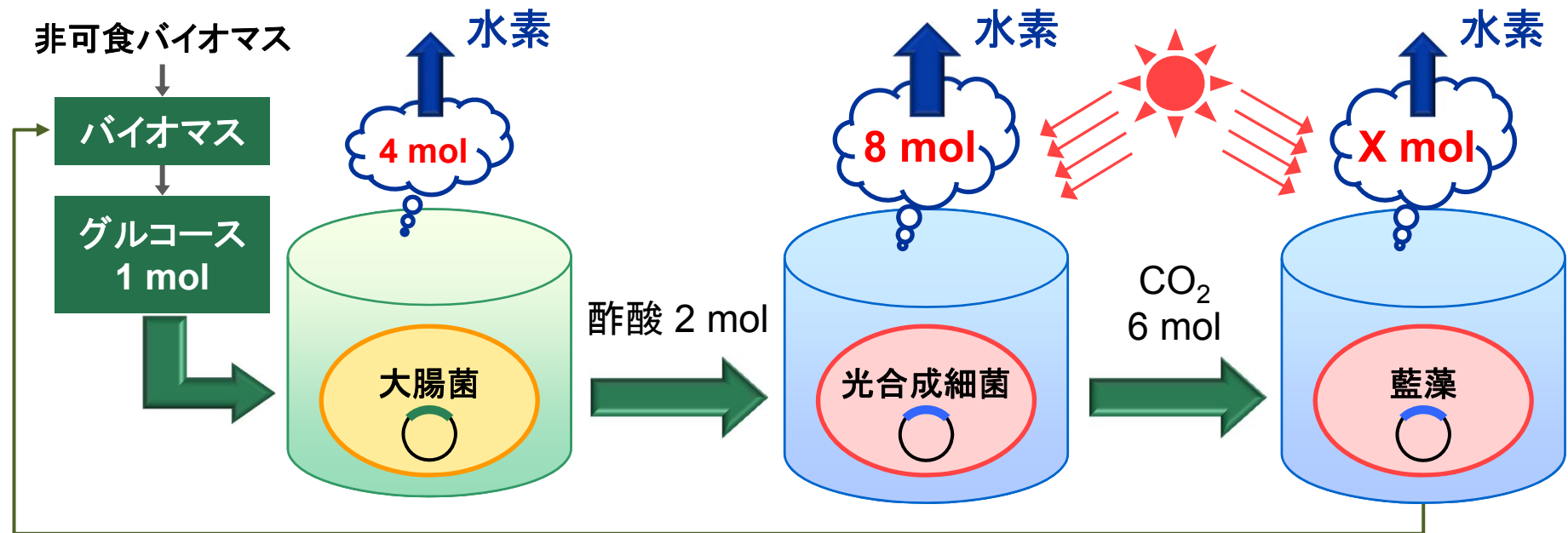
芳香族化合物

100%グリーンジェット燃料

CO₂フリー・グリーン水素生産

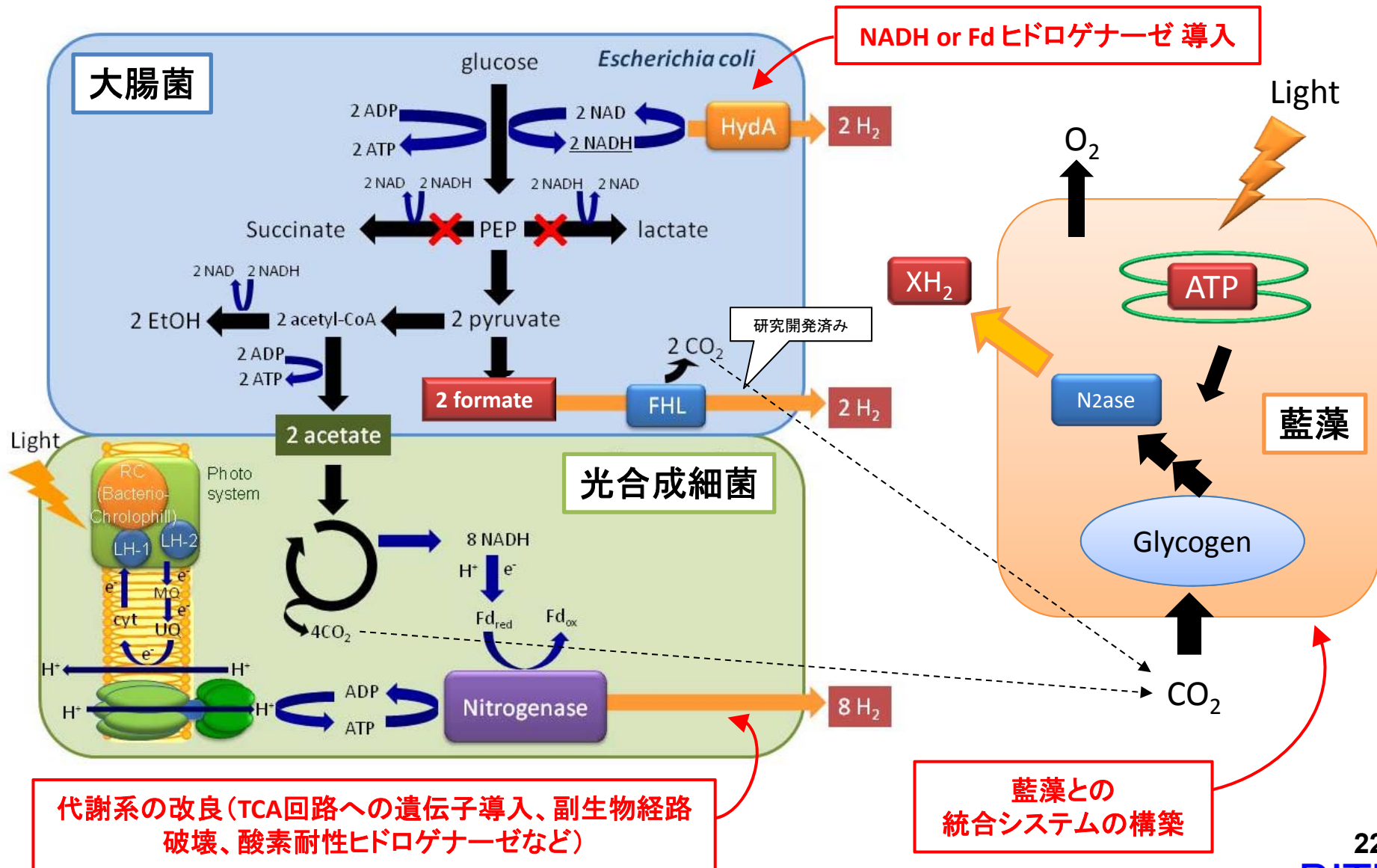
METI「国際共同研究開発プロジェクト(H27～31年)」

目標: 嫌気性細菌、光合成細菌、藍藻の統合により、CO₂フリー・理論収率
12mol以上のグリーン水素生産を目指す。



藍藻菌体を
バイオマス原料
としてリサイクル

CO₂フリー・グリーン水素生産システム



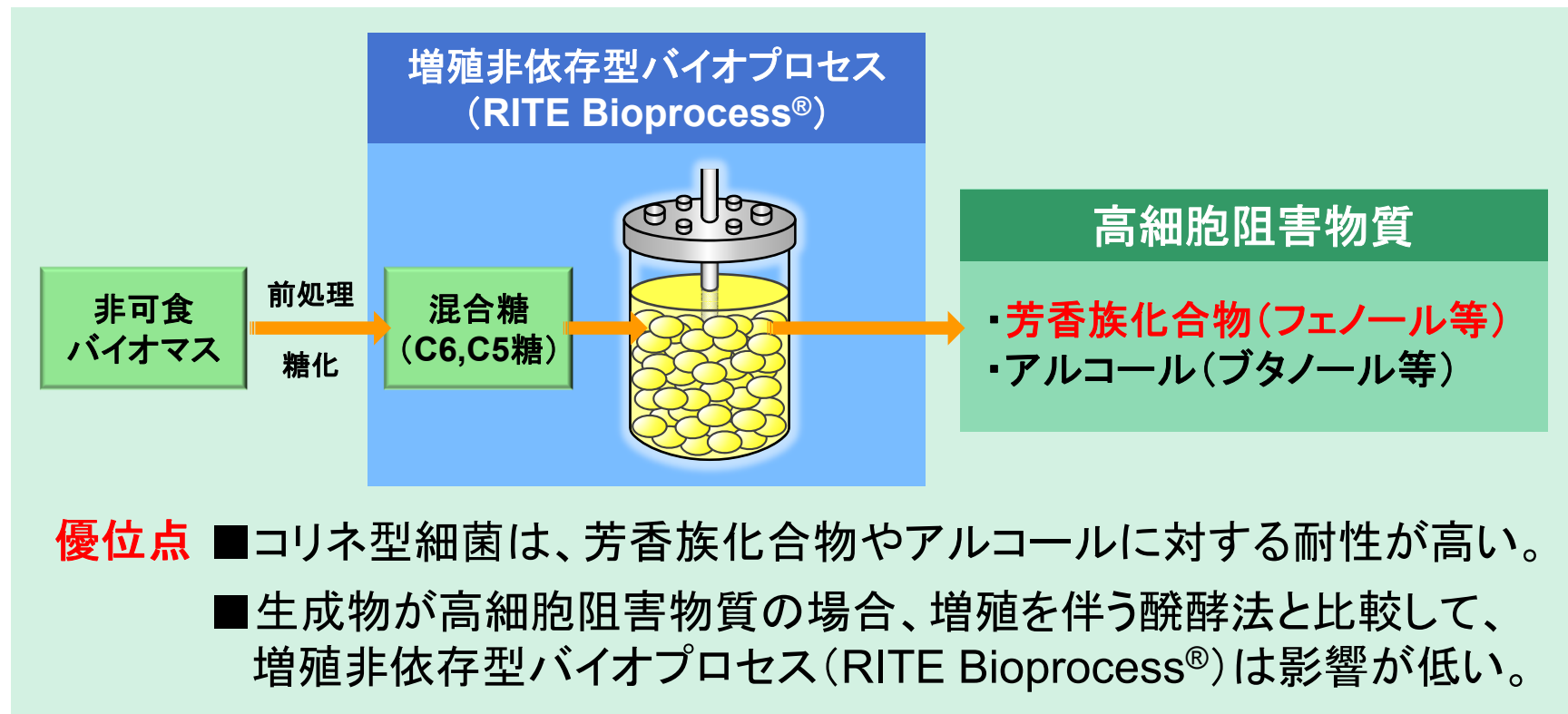
グリーン化学品生産技術の開発

高細胞阻害物質の生産技術確立への挑戦

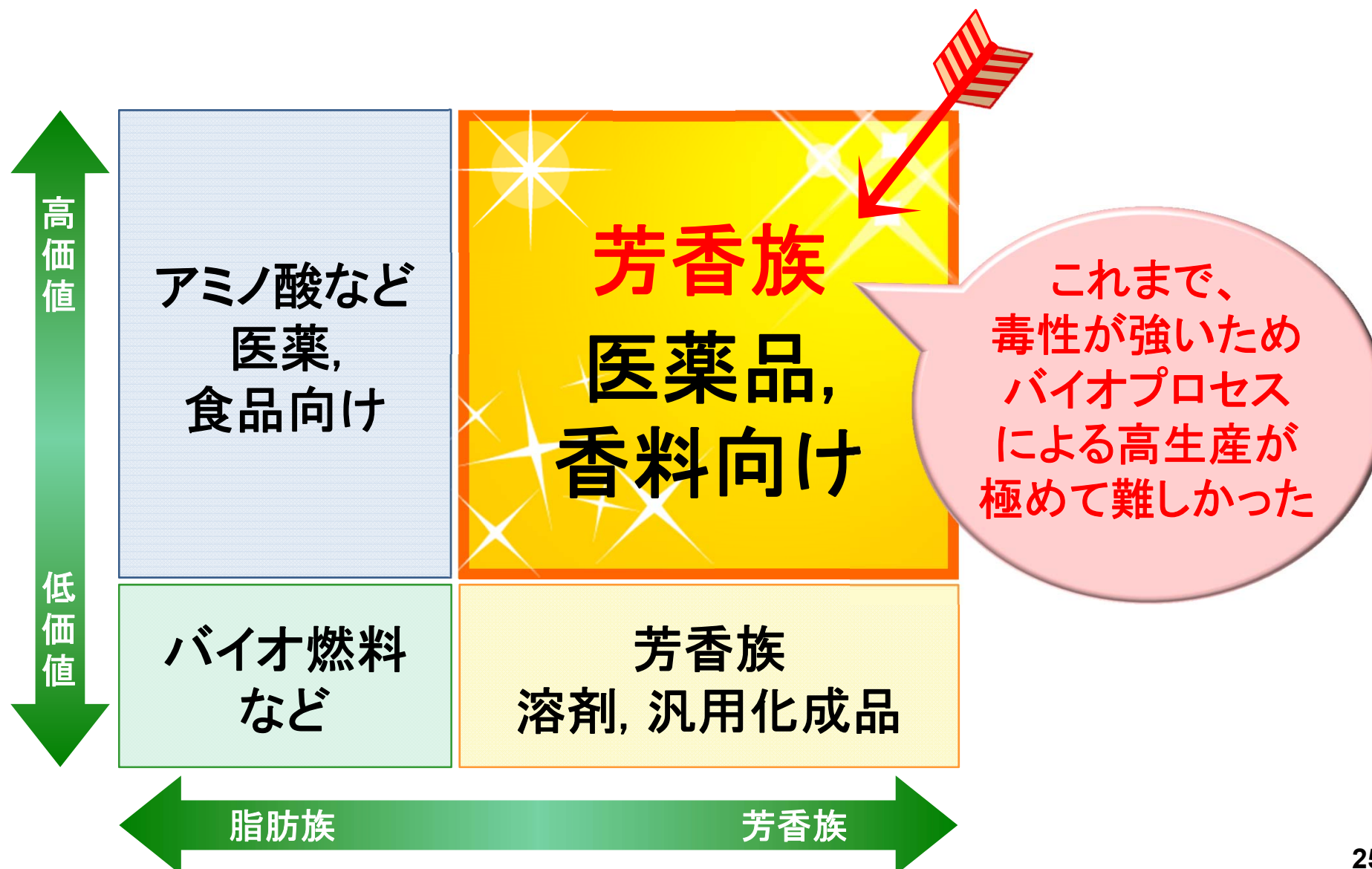
高細胞阻害物質を
増殖を伴う醗酵法で
生産する場合の課題

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



ターゲット; 高付加価値 “芳香族化合物”



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、ポリスチレン等)
- ・液晶ポリマー原料
- ・合成繊維原料(ポリエステル、ナイロン)
- ・合成ゴム原料(スチレンゴム等)

2. 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

3. 医薬・農薬、香料の原料

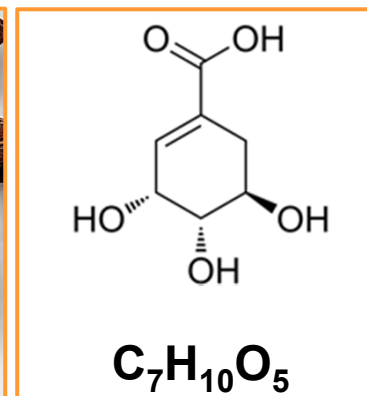
芳香族化合物前駆体: シキミ酸の用途、製造法



シキミの花



シキミの実



シキミ酸

シキミ酸の需要

- ・インフルエンザ治療薬タミフル (oseltamivir) の原料
緊急のインフルエンザ対策のためタミフルの備蓄が必要→原料のシキミ酸が不足。
- ・3つの不斉炭素原子を有する環状ヒドロキシ酸
→様々な医薬品、化成品、化粧品、農薬等の合成原料。

シキミ酸の製造方法

従来はシキミ(ハッカク)の乾燥果実より抽出、精製 → 高コスト、低収量。

→ 安価な再生可能原料からの高生産バイオプロセスが望まれている。

生産性比較: シキミ酸生産

宿主	生産量	収率	反応時間	研究グループ
<i>Escherichia coli</i> SP1.1pts/pSC6.090B	71 g/L ¹⁾	27%	60 h	Frost JW., 2003. (Michigan state university)
	85 g/L ¹⁾ (+ Yeast extract)	33%	41 h	
<i>Escherichia coli</i> AR36	43 g/L ²⁾ (+ Yeast extract)	43%	30 h	Gosset G, Bolivar F., 2013. (メキシコ国立自治大学)
<i>Bacillus subtilis</i> ID36	20 g/L ³⁾	—	90 h	Iomantas et al., 2002. (味の素)
<i>Citrobacter freundii</i>	10 g/L ⁴⁾	—	100 h	Shirai M. et al., 2001. (東レ)
<i>Corynebacterium glutamicum</i>	141 g/L	51%	48 h	RITE

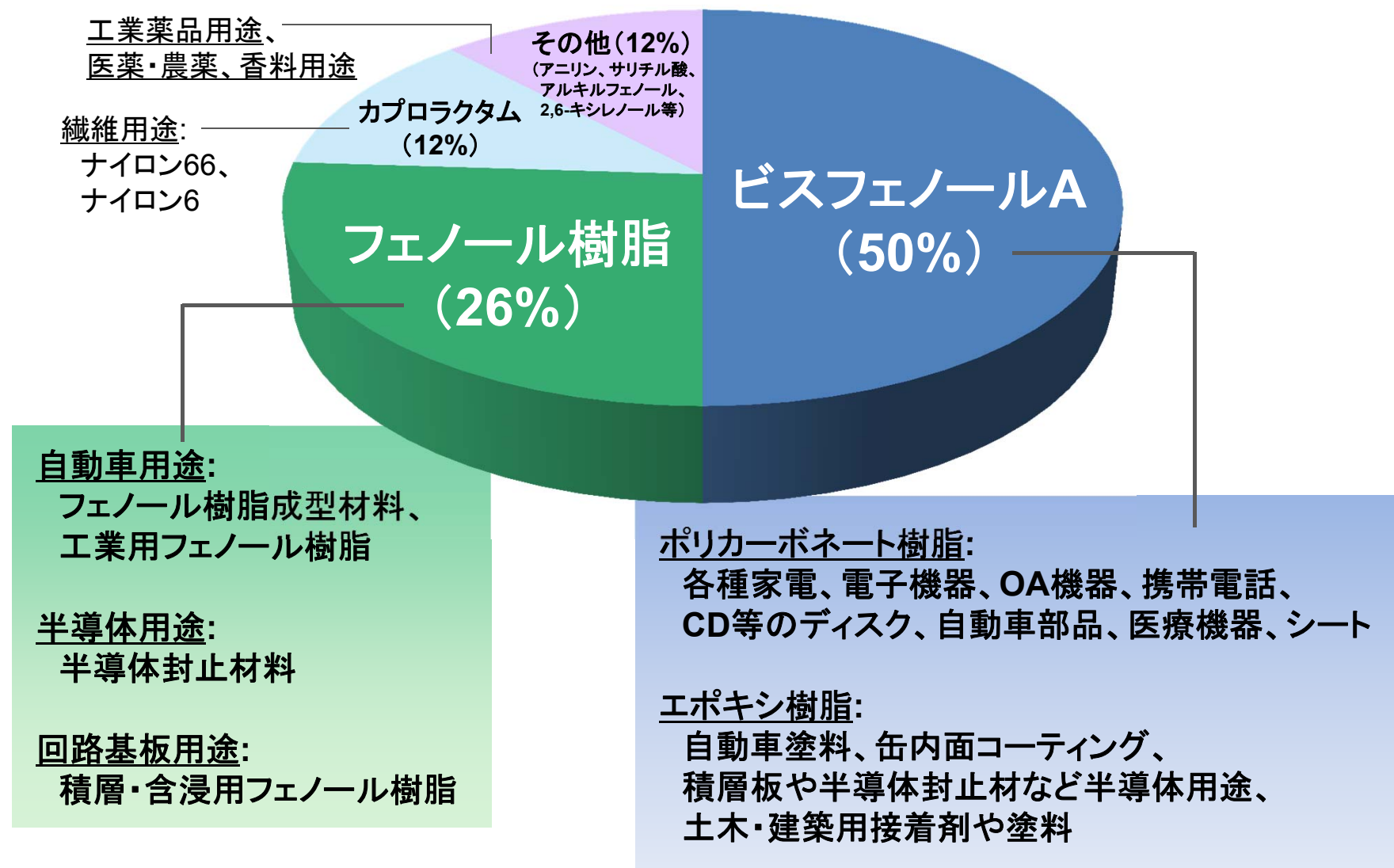
1) Chandran et al., (Michigan州立大) *Biotechnol. Bioeng.* **19**:808-814. 2003.

2) Rodriguez et al., (メキシコ国立自治大学) *Microbial. Cell Factories* **12**:86. 2013.

3) Iomantas et al., US Patent 6436664 (Ajinomoto co., inc) Method for producing shikimic acid. 2002.

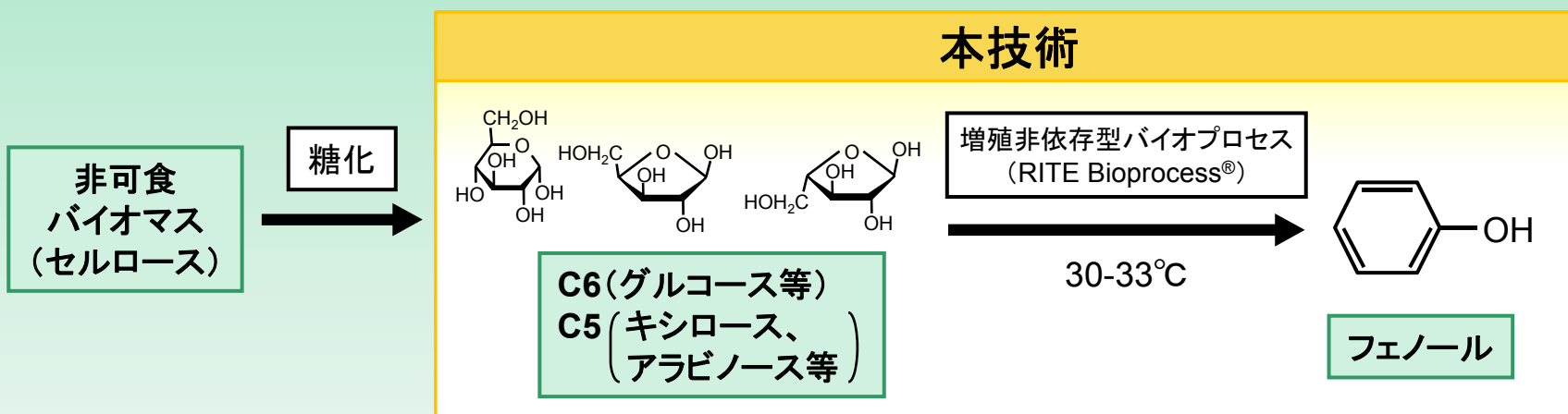
4) Shirai et al., EP 1092766 (TORAY) Microorganisms belonging to the genus citrobacter and process for producing shikimic acid. 2001.

世界のフェノール用途内訳(2013年度)

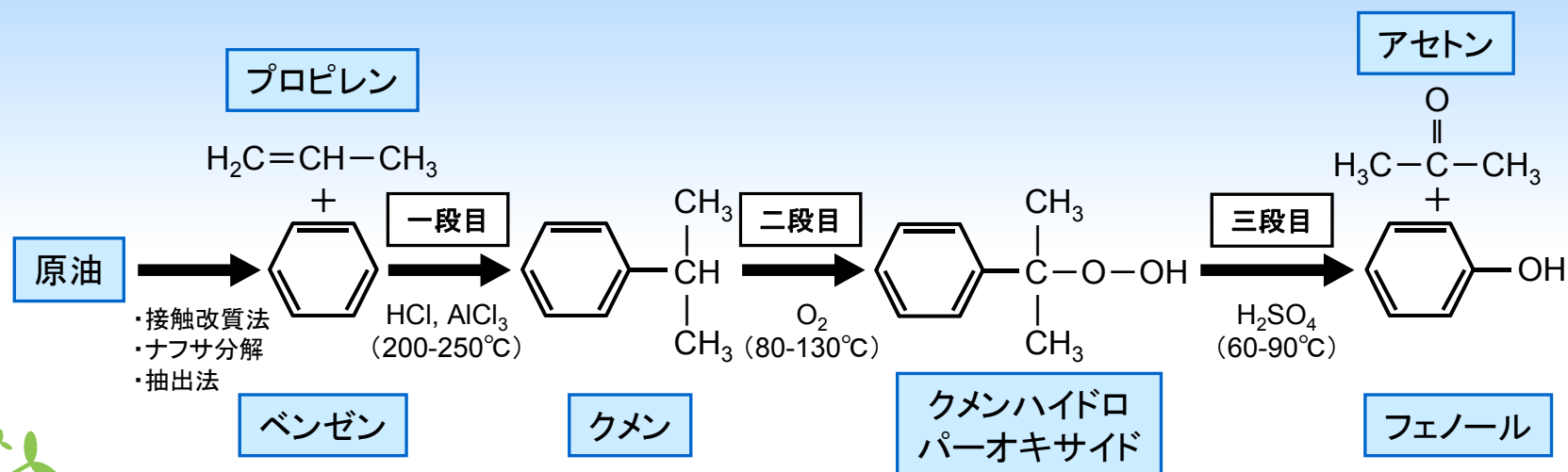


バイオマス由来フェノール生産法 vs 現在の工業的フェノール生産法

(A) バイオマス由来フェノール生産法



(B) 現在の工業的フェノール生産法 (クメン法)



バイオマス由来フェノール生成プロセス (二段反応方式)

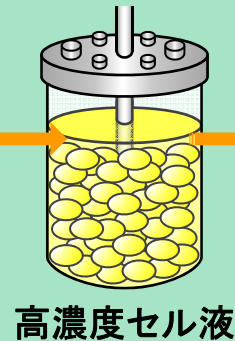
第1段反応

増殖非依存型プロセス (RITE Bioprocess®)
(多段階反応)

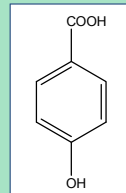
非可食
バイオマス

前処理
糖化

混合糖
(C6,C5糖)



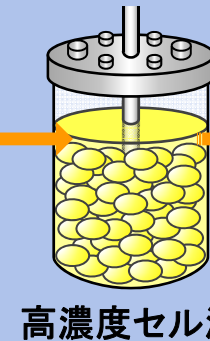
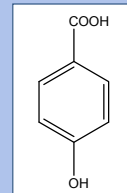
4-ヒドロキシ
ベンゾエート
(4HBA)



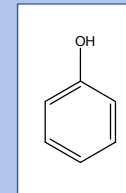
第2段反応

One step 菌体反応

4-ヒドロキシ
ベンゾエート
(4HBA)



フェノール



回収・精製

IC₅₀濃度相対比

	増殖への 阻害度	増殖非依存型バイオプロセス (RITE Bioprocess®)への阻害度
フェノール	1	1 / 3
4-HBA	1 / 10	1 / 20

グリーンフェノール開発(株)の設立

【設立目的】 世界初のバイオマス由来フェノール生産の早期事業化

【会社概要】

商 号	グリーンフェノール開発株式会社
所在地	京都府木津川市
株 主	住友ベークライト株式会社、RITE
代表取締役	小川富太郎(住友ベークライト株式会社 代表取締役顧問)
事業の概要	グリーンフェノール生産プロセスの実証事業 グリーンフェノールの製造・販売

【経緯】

2010年2月: 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(GP組合)を設立。
2014年5月: GP組合を組織変更して「グリーンフェノール開発株式会社」を設立。
2015年1～3月: NEDO実用化ベンチャー支援事業補助金の交付を受け、パイロットプラント(500L反応槽)を千葉県かずさ地区に建設、実証研究。

【今後の展開】

2015年～2017年: NEDO戦略的省エネルギー技術革新プログラムの交付を受けて、住友ベークライト(株)の静岡工場にパイロットプラントを移設し、バイオ変換技術の開発、濃縮精製技術の開発を実施予定。
2018年～: バイオマス由来フェノールの本格生産開始(予定)。



バイオマス由来フェノール製造 パイロットプラント



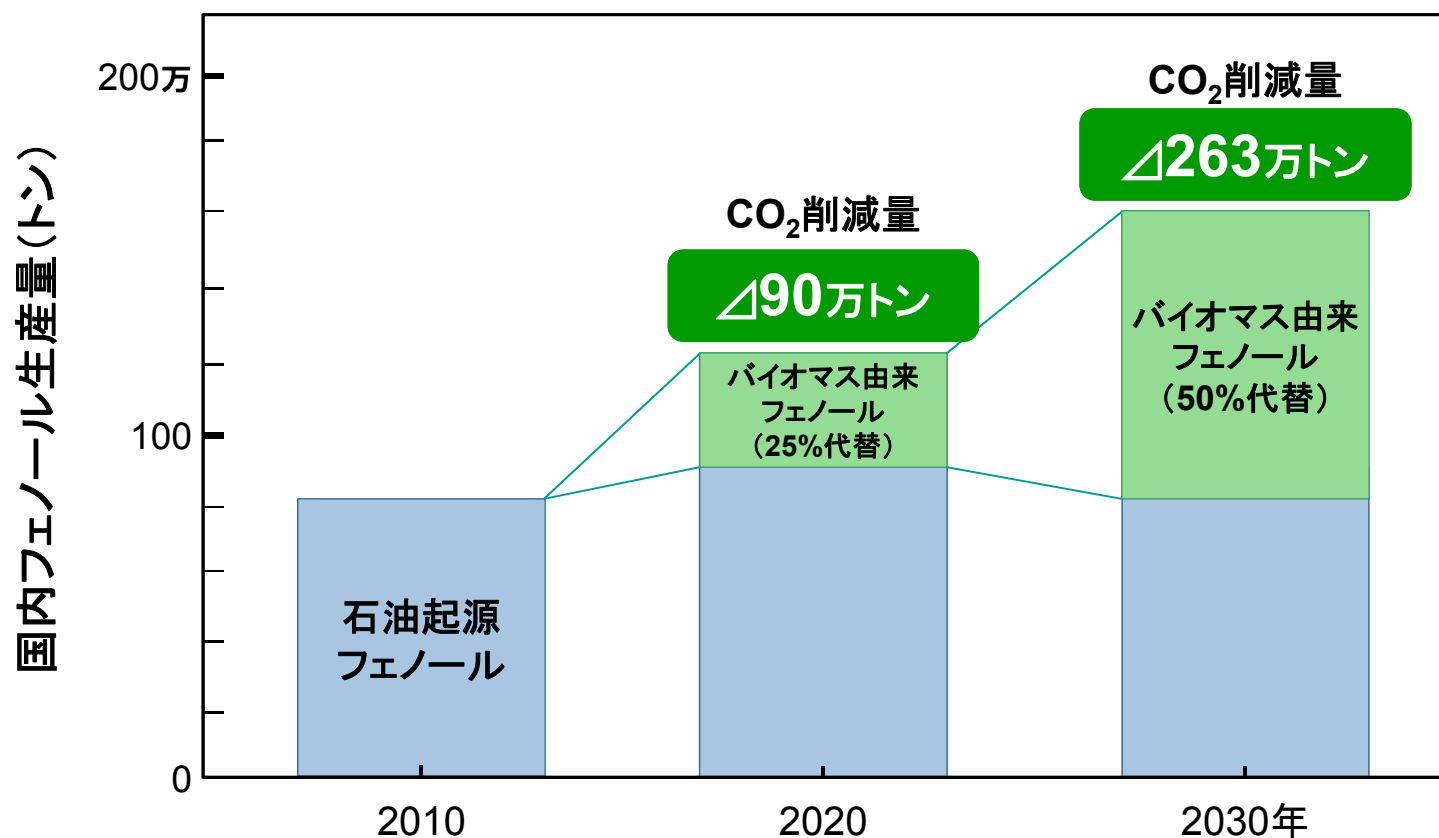
石油代替効果によるCO₂排出抑制

世界

2030年、フェノールの世界生産量の50%をバイオマス由来フェノールに置換えた場合、約2600万トンのCO₂を削減可能。

日本

バイオマス由来フェノールへの置換によるCO₂排出抑制効果。



生産性比較: L-アラニン生産

菌 株	最終濃度 (g/L)	最大生産性 (g/L/h)
<u>増殖プロセス</u>		
- <i>Corynebacterium glutamicum</i> AL107 (1994) ¹⁾ ※増殖→酸素供給制限条件	71	1.1
- <i>Escherichia coli</i> ALS929 (2006 University of Georgia) ²⁾ ※増殖→嫌気条件	88	5.7
- <i>Escherichia coli</i> ZX132 (2007 Florida Univ.) ³⁾	114	4
<u>非増殖・非通気プロセス</u>		
- RITE バイオプロセス (<i>C. glutamicum</i>) ⁴⁾	235	10.3

1) JP6277082. 1994.

2) *Biotech. Lett.* **28**:1695-1700. 2006.

3) *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **77**:355-366. 2007.

4) *Appl. Environ. Microbiol.* **78**:4447-4457. 2012.

生産性比較: L-バリン生産

菌 株	最終濃度 (g/L)	最大生産性 (g/L/h)
<u>通気・増殖プロセス</u>		
- <i>Brevibacterium lactofermentum</i> No.487 ¹⁾	31	0.8
- <i>Brevibacterium flavum</i> AA54 (1992) ²⁾	55	0.6
<u>通気・非増殖プロセス</u>		
- <i>Corynebacterium glutamicum</i> ³⁾	50	1.2
<u>非通気・非増殖プロセス</u>		
- RITEバイオプロセス (<i>C. glutamicum</i>) ⁴⁾	227	13.8

1) *Agric. Biol. Chem.* **39**:1319-1322. 1975.

2) JP4045160. 1992.

3) *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **79**:471-479. 2008.

4) *Appl. Environ. Microbiol.* **79**:1250-1257. 2013.

生産性比較: D-乳酸生産

生産株	研究グループ	最終濃度 (g/L)	対糖収率 (%)	生産培地
<i>Lactobacillus lactis</i> ¹⁾	インド国立化学研究所	110	73	栄養培地 (Cane sugar)
<i>Lactobacillus plantarum</i> ²⁾	神戸大	74	78	栄養培地 (MBS+Glc/Xyl)
<i>Sporolactobacillus sp.</i> ³⁾	上海交通大学	207	93	栄養培地 (Peanut meal)
<i>Bacillus coagulans</i> QZ19 ⁴⁾	フロリダ大	90	96	栄養培地 (LB)
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> OC2 ⁵⁾	豊田中研、東大	62	62	栄養培地 (YPD)
<i>Escherichia coli</i> TG114 ⁶⁾	フロリダ大	120	98	最少培地 (+Glc)
<i>Escherichia coli</i> B1103-070 ⁷⁾	江南大	118	87	最少培地 (+Glc)
RITEバイオプロセス <i>Corynebacterium glutamicum</i> ⁸⁾	RITE	125	86	最少培地 (+Glc)
RITEバイオプロセス <i>Corynebacterium glutamicum</i> ⁹⁾	RITE	264	95	最少培地 (+Glc)

1) *Biotechnol. Lett.* **32**:517-520. 2010.

2) *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **92**:67-76. 2011.

3) *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **89**:1009-1017. 2011.

4) *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A* **108**:18920-18925. 2011.

5) *J. Biosci. Bioeng.* **101**:172-177. 2006.

6) *Biotechnol. Lett.* **28**:1527-1535. 2006.

7) *Curr. Microbiol.* **62**:981-989. 2011.

8) *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **78**:449-454. 2008.

9) RITE (unpublished)

まとめ

RITE Bioprocess

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

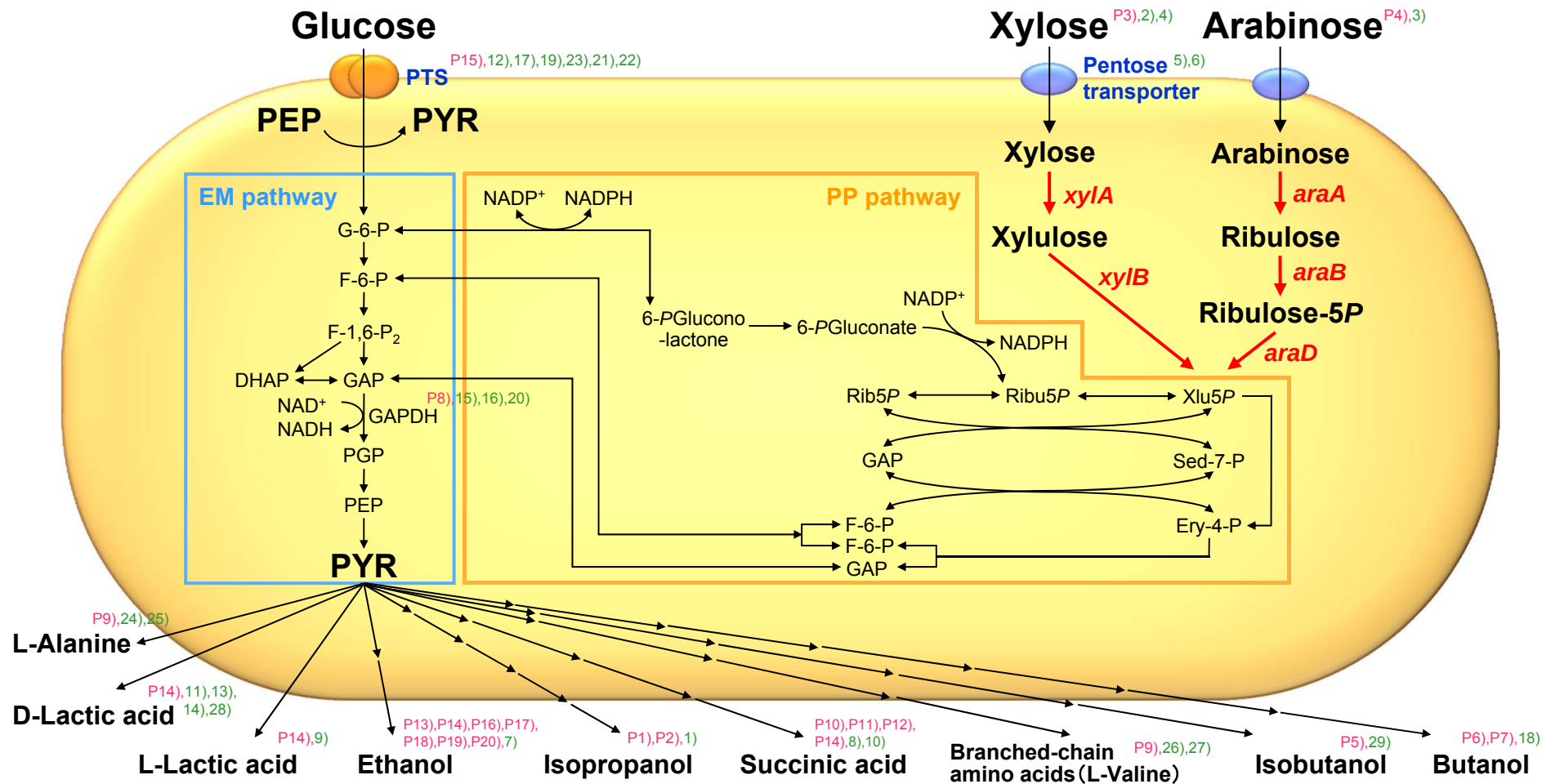
バイオ燃料生産技術の開発

- ・バイオブタノール(バイオジェット燃料用)(METI国際共同PJ)
- ・100%グリーンジェット燃料(NEDO先導プログラム)
- ・バイオ水素(METI国際共同PJ)

グリーン化学品生産技術の開発

- ・グリーンフェノール(グリーンフェノール開発(株))
- ・グリーン芳香族化合物(ポリマー・香料・化粧品等の原料)

鎖状化合物生産技術開発



Patent application / registration by RITE

P1) WO2009028582	P11) WO2005010182A1
P2) WO2009131040	P12) US7368268
P3) PCT/JP2009/060637	P13) JP4294373
P4) JP2009050236(A)	P14) JP3869788
P5) JP2009083668	P15) JP4171265
P6) JP2009039031	P16) EP1291428A1
P7) JP2009183259	P17) US7598063
P8) JP2007295809	P18) CN1436240
P9) JP2007043947	P19) IN209524
P10) EP1647594A1	P20) JP2002510689

Publication by RITE

1) Appl. Microbiol. Biotechnol. 77 :1219-1224. 2008.	11) Appl. Microbiol. Biotechnol. 78 :449-454. 2008.	21) Biochem. Biophys. Res. Commun. 289 :1307-1313. 2001.
2) Appl. Environ. Microbiol. 72 :3418-3428. 2006.	12) Microbiology 155 :3652-3660. 2009.	22) J. Biosci. Bioeng. 92 :502-517. 2001.
3) Appl. Microbiol. Biotechnol. 77 :1053-1062. 2008.	13) J. Bacteriol. 191 :4251-4258. 2009.	23) Microbiology 149 :1569-1580. 2003.
4) Appl. Microbiol. Biotechnol. 81 :691-699. 2008.	14) Appl. Microbiol. Biotechnol. 83 :315-327. 2009.	24) Appl. Microbiol. Biotechnol. 87 :159-165. 2010.
5) Appl. Environ. Microbiol. 75 :3419-3429. 2009.	15) J. Bacteriol. 191 :968-977. 2009.	25) Appl. Environ. Microbiol. 78 :4447-4457. 2012.
6) Appl. Microbiol. Biotechnol. 85 :105-115. 2009.	16) Appl. Microbiol. Biotechnol. 81 :291-301. 2008.	26) Appl. Environ. Microbiol. 78 :865-875. 2012.
7) J. Mol. Microbiol. Biotechnol. 8 :243-254. 2004.	17) Appl. Microbiol. Biotechnol. 78 :309-318. 2008.	27) Appl. Environ. Microbiol. 79 :1250-1257. 2013.
8) J. Mol. Microbiol. Biotechnol. 7 :182-196. 2004.	18) J. Mol. Microbiol. Biotechnol. 15 :16-30. 2008.	28) Appl. Microbiol. Biotechnol. 97 :6693-6703. 2013.
9) Appl. Microbiol. Biotechnol. 68 :475-480. 2005.	19) Microbiology 154 :264-274. 2008.	29) Biotechnol. Bioeng. 110 :2938-2948. 2013.
10) Appl. Microbiol. Biotechnol. 81 :459-464. 2008.	20) J. Mol. Microbiol. Biotechnol. 8 :91-103. 2004.	

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.
- Lett. 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. (in press)
- Appl. Microbiol. Biotechnol. (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.

The cover of AEM

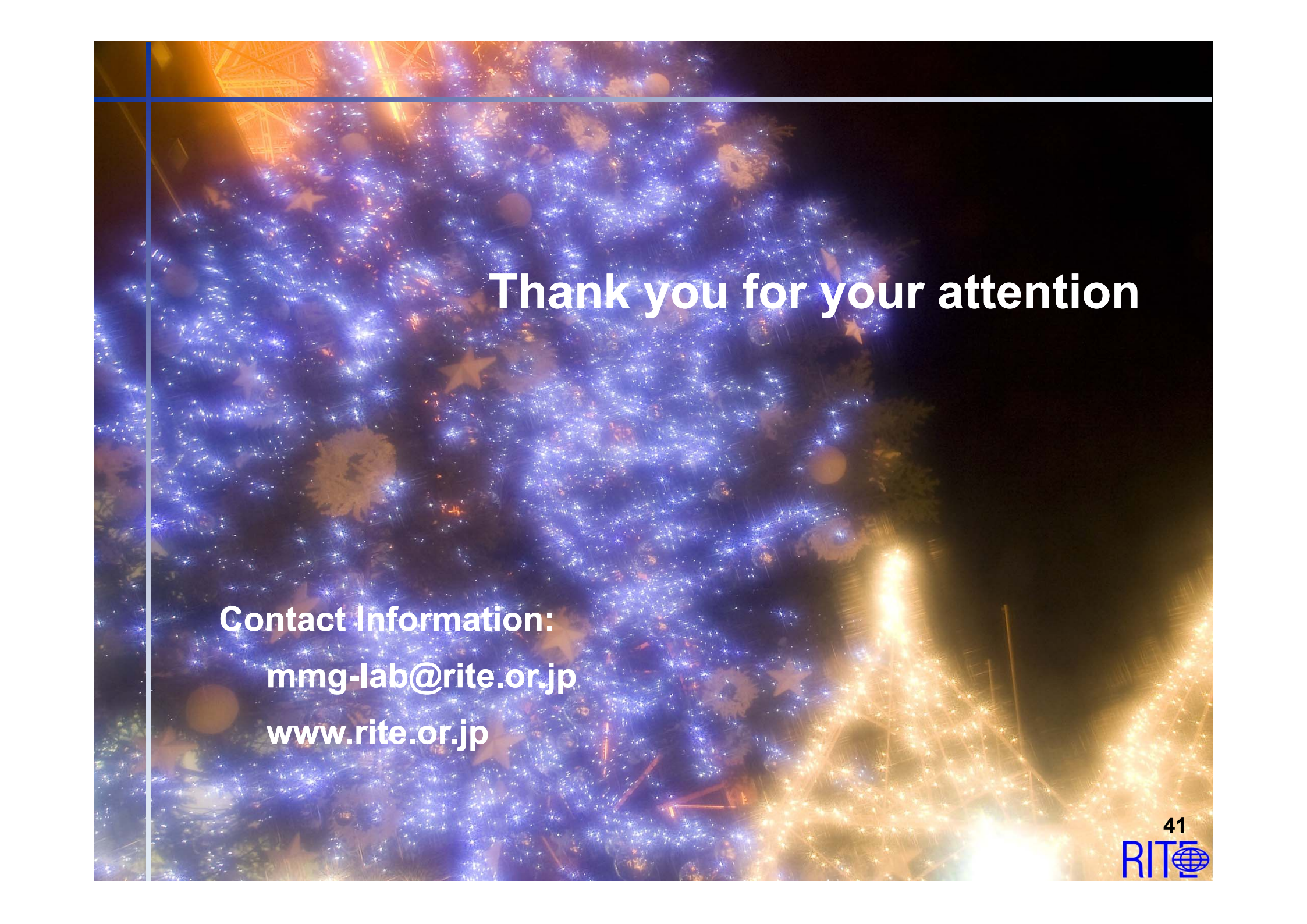


The cover of MM



C. glutamicum R





Thank you for your attention

Contact Information:

mmg-lab@rite.or.jp

www.rite.or.jp