

◆ 革新的環境技術シンポジウム ◆

2011年12月1日

バイオリファイナーの現状と将来像

(公財)地球環境産業技術研究機構 (RITE)
バイオ研究グループ

湯川 英明



バイオリファイナー

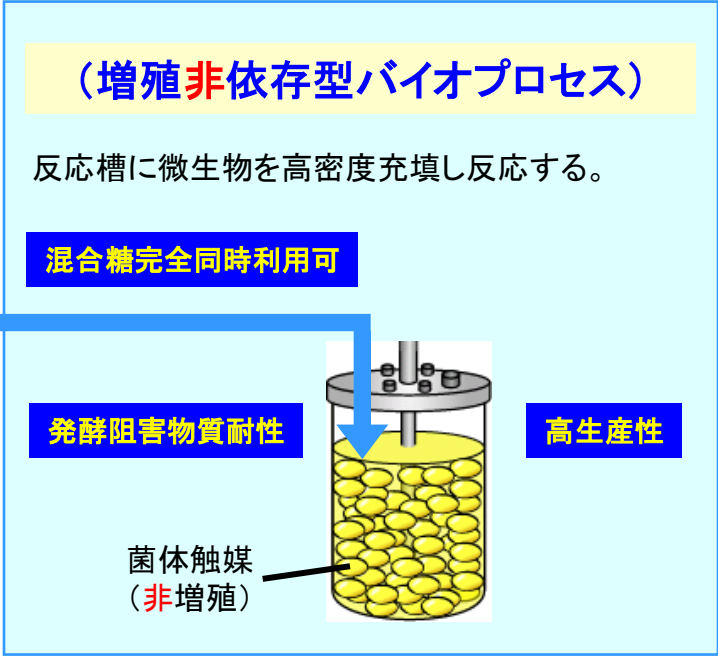
Sustainable Industry

非可食
バイオマス



C6糖  6
C5糖  5

<RITEバイオプロセス>



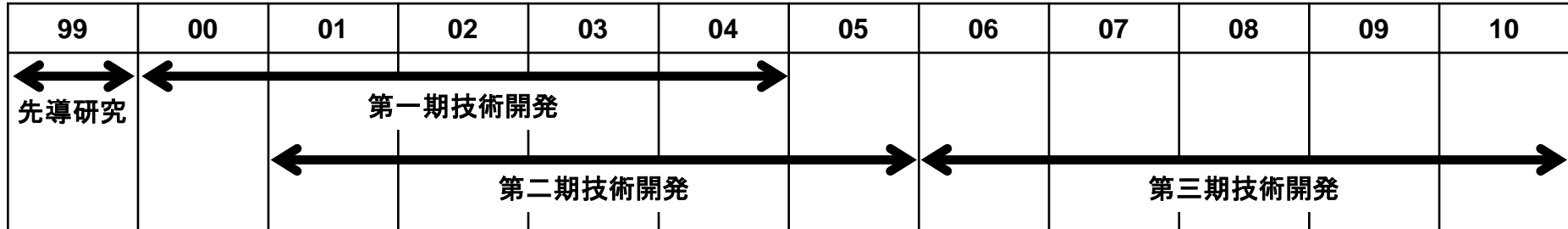
- C2
エタノール
- C3
プロパノール
- C4
ブタノール等
- 芳香族類
カルボン酸
アミン等

グリーン化学反応技術

自動車部材、包装材
電気製品部材、炭素繊維
各種樹脂 等

バイオ燃料(エタノール、ブタノール他)

技術開発経緯 (NEDO/METI支援)



総計 約65億円

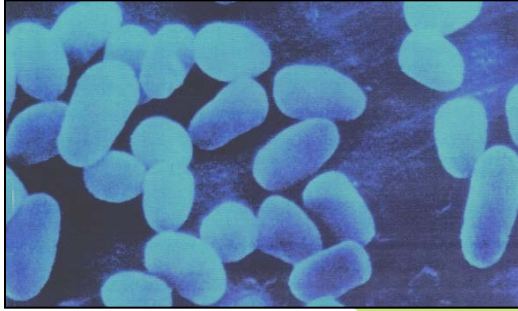
過去10年間の研究内容

コリネ菌の“隠れた性質”の発見 ↔ 解析 ↔ 新規技術コンセプトの創出

↑ ↓
【 serendipity 】

↑ ↓
実証

増殖**非**依存型バイオプロセス (RITEバイオプロセス)



コリネ型細菌の代謝改変

- ・生産能の付与
- ・副生産経路の破壊

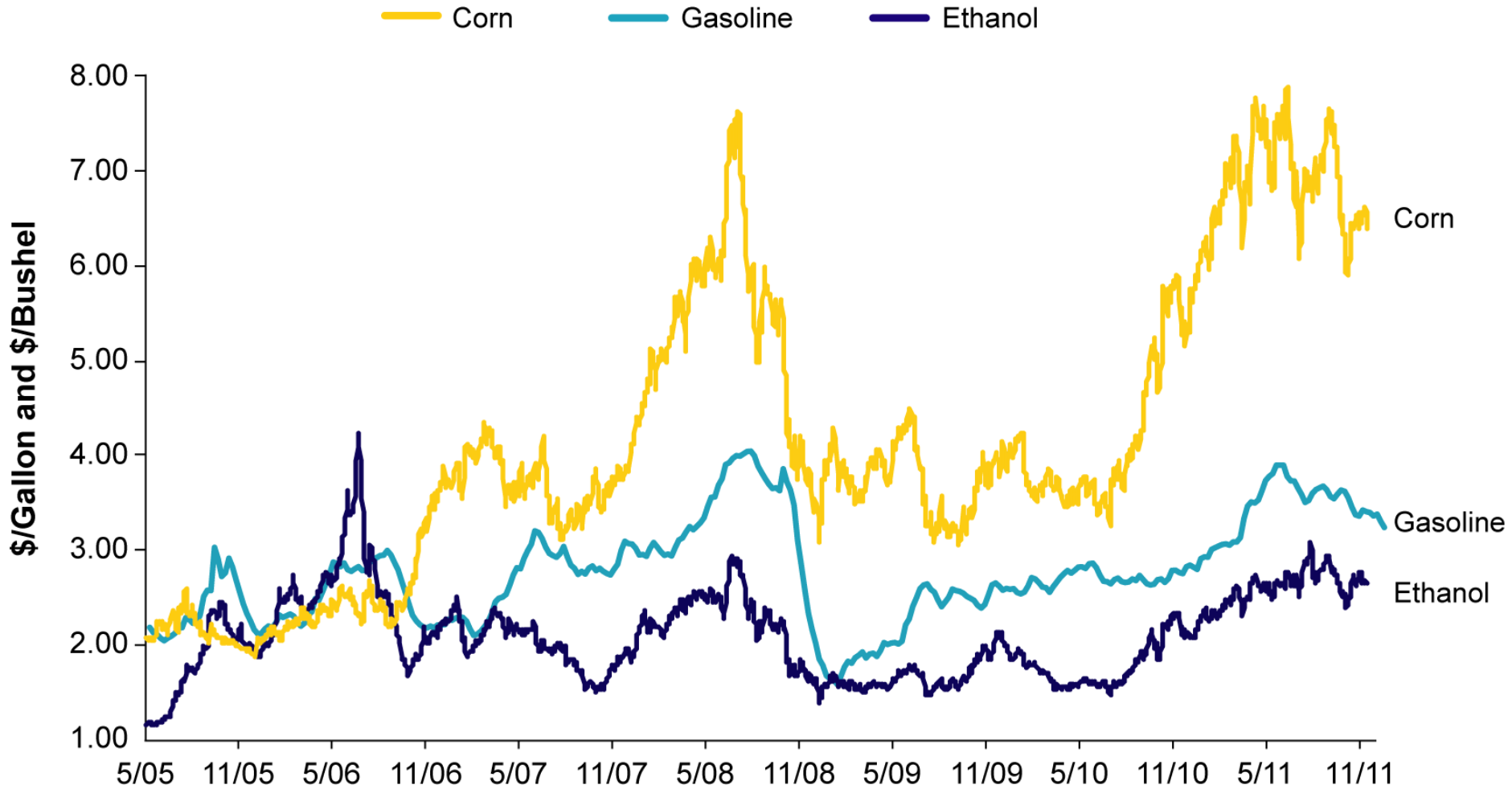
RITEバイオプロセス

- C6、C5混合糖完全同時利用
- 醗酵阻害物質耐性

- 非増殖条件
- 非通気条件
- 低攪拌条件

燃料・化学品

トウモロコシ価格推移



[出典]

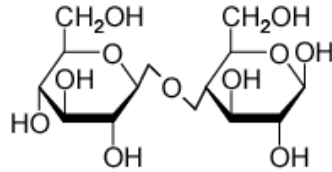
Corn, Ethanol価格: CME Group

Gasoline価格: The U.S. Energy Information Administration (EIA)

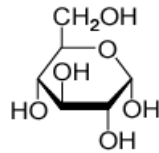
Sugar Metabolism Engineering

Cellulose

Cellobiose (C₆-C₆)



Glucose (C₆)



Adaptive mutant for cellobiose uptake ability ¹⁾

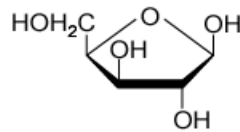


RITE strain

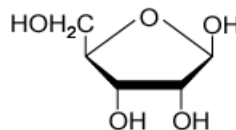
Transporter ^{4), 5)}

Hemicellulose

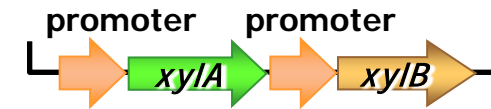
Xylose (C₅)



Arabinose (C₅)



Chromosomal integration for xylose metabolic ability ²⁾



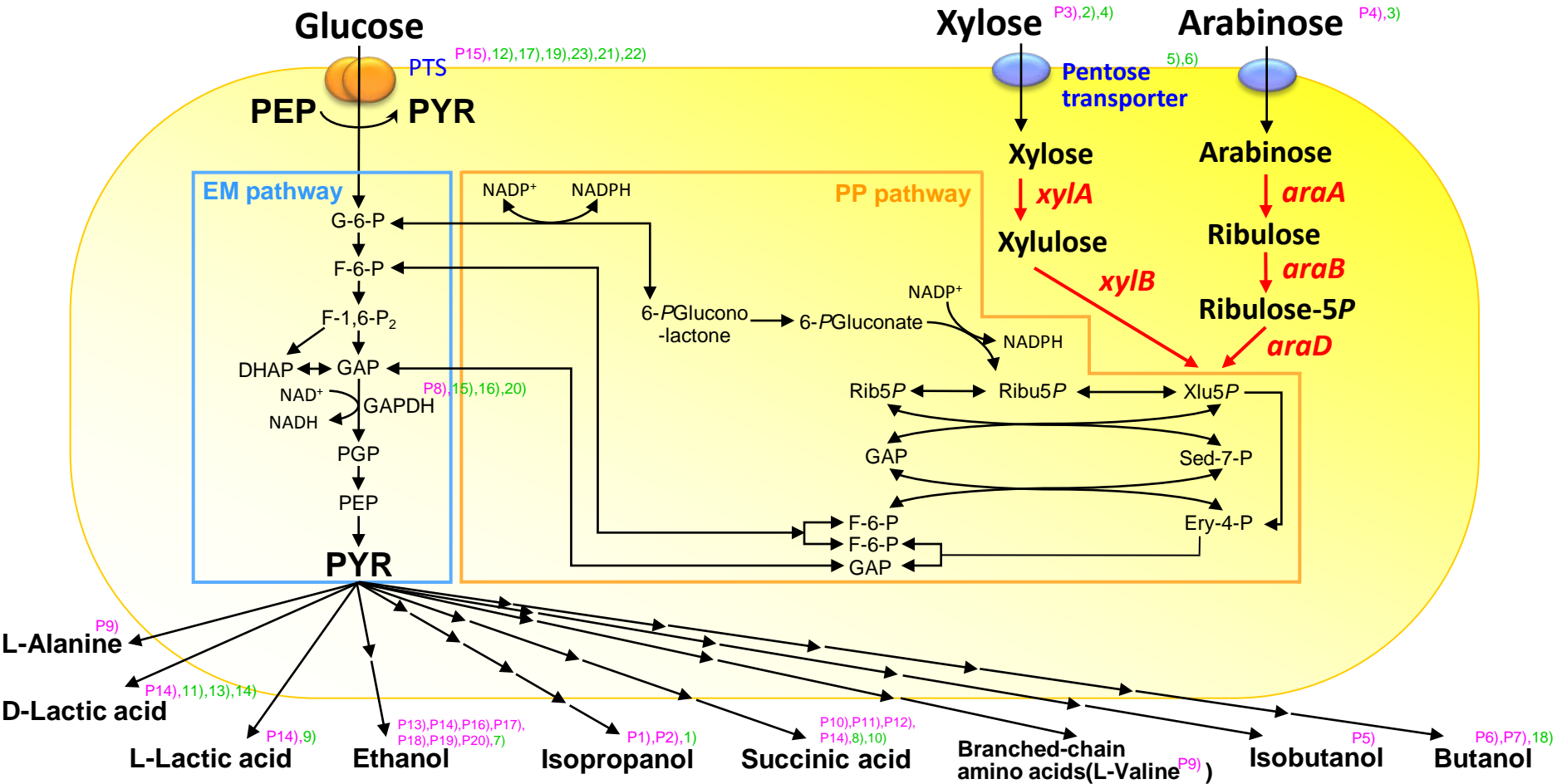
xylose isomerase xylulokinase

Chromosomal integration for arabinose metabolic ability ³⁾



L-arabinose isomerase
L-ribulokinase L-ribulose-5-P-4-epimerase

1) *Microbiology* **149**: 1569-1580. 2003. 2) *Appl. Environ. Microbiol.* **72**: 3418-3428. 2006. 3) *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **77**: 1053-1062. 2008.
4) *Appl. Environ. Microbiol.* **75**: 3419-3429. 2009. 5) *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **85**: 105-115. 2009.



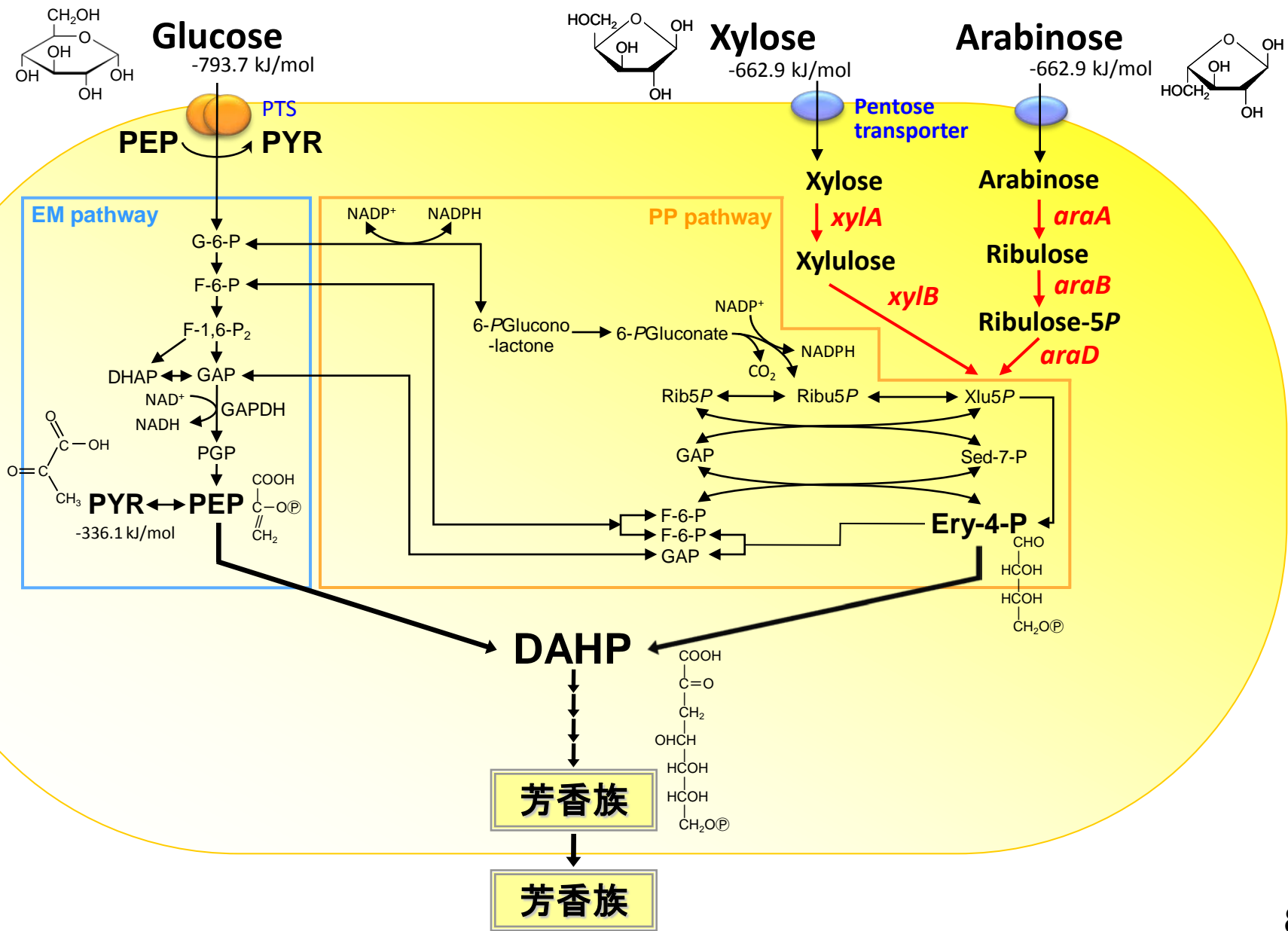
Patent application / registration by RITE

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

Publication by RITE

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

芳香族生産技術開発



Green Earth Institute株式会社

Green Earth Institute Co., Ltd.



2011年9月1日：(株)東京大学エッジキャピタル(UTECH)の協力を得て設立。

【設立理念】

- Green Earth InstituteはRITEバイオプロセスの事業化を担う
- 温暖化対策を含む地球環境の保全及び持続可能な脱化石資源社会の実現



バイオリファイナリー産業の発展を主導

Green Earth Institute株式会社

Green Earth Institute Co., Ltd.

本社： 東京大学本郷キャンパス内
「東京大学アントレプレナープラザ」6F



東京大学アントレプレナープラザ

東京大学エッジキャピタルについて

The University of Tokyo Edge Capital Co., Ltd.(UTECH)

■ なぜ、投資ファンド資金を受け入れたのか？

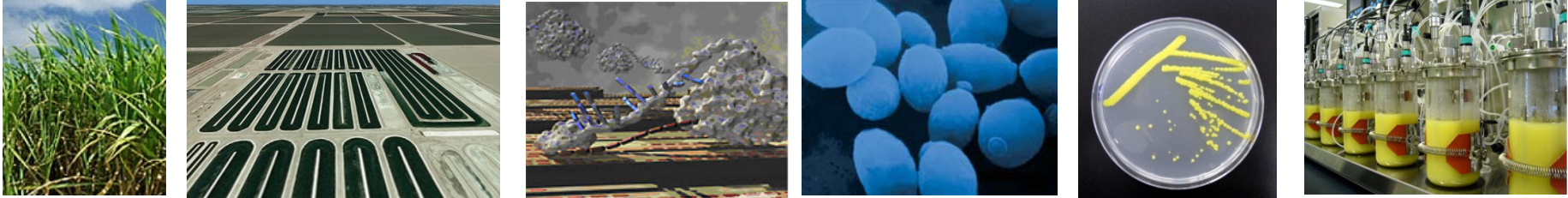
“東京大学発の『知』を社会還元へ”

インキュベーション重視

↔ (“種”を大切に育成)

■ UTECHからの投資対象として“適格”？

バイオリファイナリー:市場規模予測



- Biorefineries will generate \$ 230 Billion by 2020

World Economic Forum 2010

- Biorefineries might be worth \$300 Billion by 2030

World Economic Forum 2011

グリーンケミカルズ：市場規模予測

- Estimated to reach \$ 67.13 Billion in 2015...

Markets and Markets 2011

- ... And soar to \$98.5 Billion by 2020

Pike Research 2011

- As much as 20% of chemical industry will be biobased by 2020.

chemicalweek Dec. 2010

Biofuel gives you lemons??



Biofuels Digest

Make green-chemicals first

セルロース・エタノール 実証生産 in 米国: 遅延!

技術課題

“醗酵阻害物質”

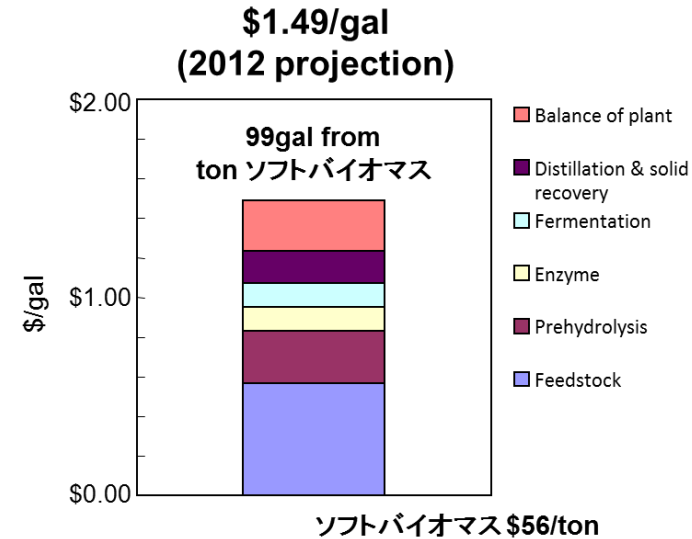
前処理条件



セルラーゼ必要量



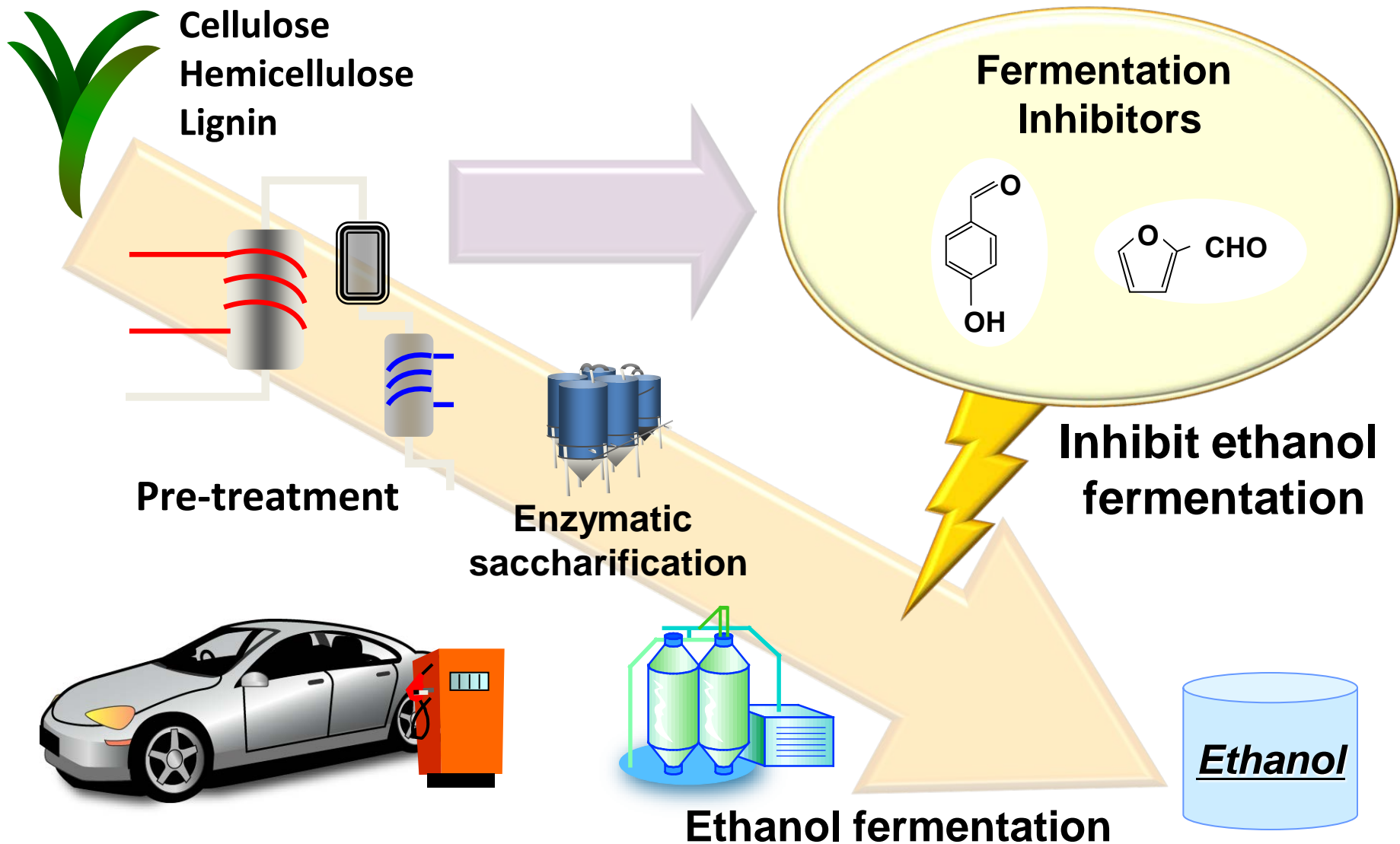
バイオマス種の多様化



エタノール生産量
69 MG/Y (26万kL/年)での試算

出典:
DOE Biomass Multi-Year Program Plan (November 2010)

What Are Fermentation Inhibitors?



Inhibitors in 各種前処理法

		I ¹⁾	II ²⁾	III ³⁾	IV ⁴⁾
Pretreatment methods		Dilute-acid	Steam explosion	Alkaline water	Supercritical water
Raw materials		Corn stover	Bagasse	Wheat straw	Cedar
Inhibitors (mM)	Acetate	43	70	28	
	Furfural	13	11		2.5
	5-HMF	2.4	3.2		3
	4-HB		0.9		
	Vanillin				5.4
	Formate		22	91	
	p-coumaric acid		2.9		
	Ferulic acid		1.1		
	Glycolic acid			17	
	Lactic acid			4.9	
	Succinate			2.5	
	Malate			1.2	
	Coniferylaldehyde				0.5

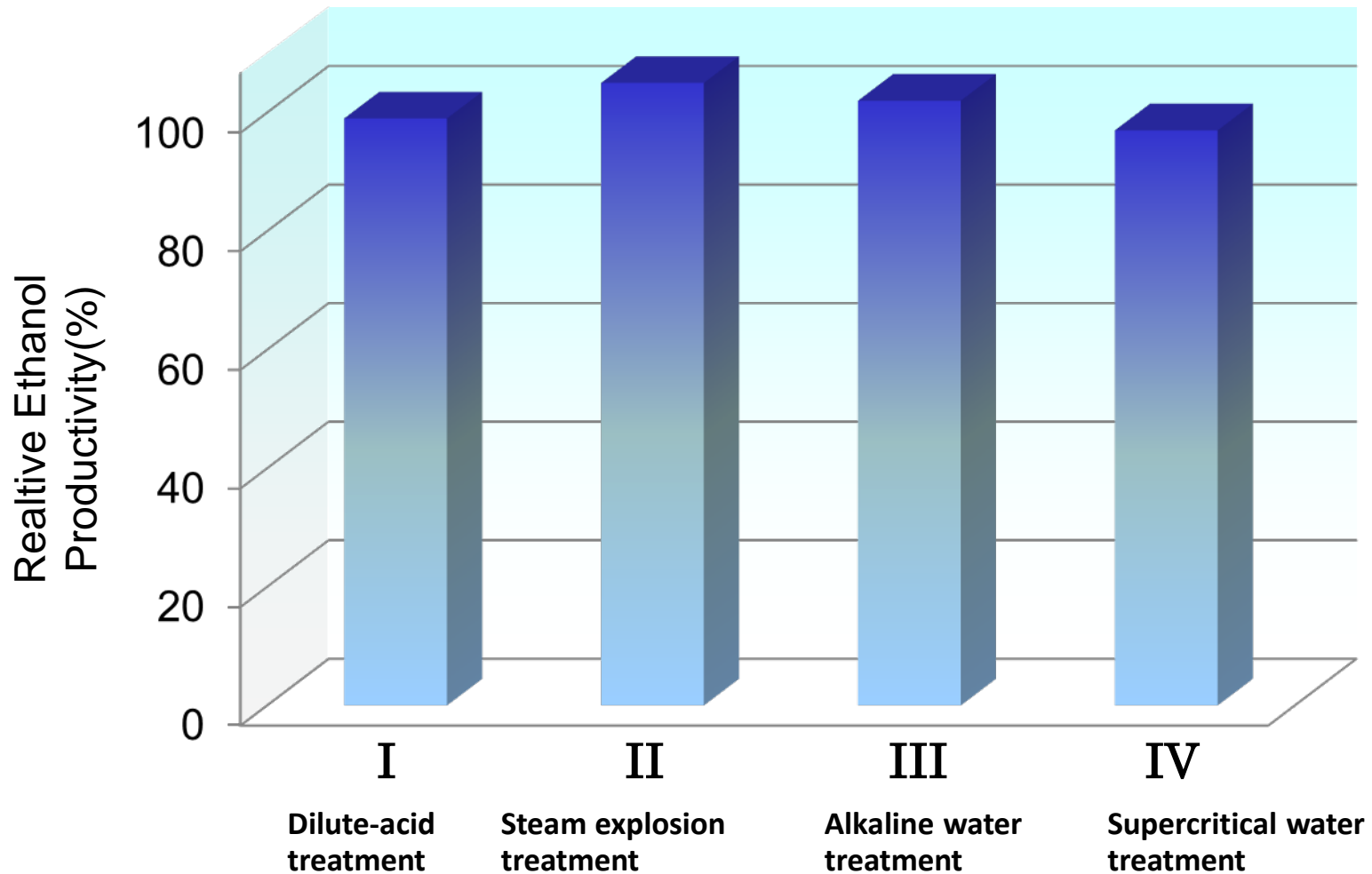
1) Nicholas et al. *Applied Biochemistry and Biotechnology* **121-124**: 379-390. 2005.

2) Martin et al. *Applied Biochemistry and Biotechnology* **98-100**: 699-716. 2002.

3) Klinker et al. *Bioresource Technology* **82**:15-26. 2002.

4) Miyafuji et al. *Applied Biochemistry and Biotechnology* **121-124**: 963-971. 2005.

高度耐性能 by RITEバイオプロセス



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

バイオ燃料：セルロース・エタノール

米国(北米)の状況：“実証生産”に遅れ

⇔“先行グループ”∞技術課題

—— “鎗矢” in 北米 ——

RITEバイオプロセスにより“正面突破”

バイオブタノール：燃料への期待大

バイオブタノール…次世代燃料としてエタノール以上に有望
優位なる特性(対エタノール)

- 発熱量 : 高 ⇒ 燃費の悪化が少ない
- 水との親和性 : 低 ⇒ 相分離の発生なし(製油所で混合可能)
- ガソリンブレンドによる蒸気圧上昇 : なし

燃料種	ガソリン	エタノール	1-ブタノール	イソブタノール
熱量比 (ガソリン:100)	100	66	84	83
オクタン価(RON)	95	120	94	109
水への溶解性		大 (任意の割合 で溶ける)	小(エタノールとの比較)	

ブタノール ベンチャー企業

Butamax



<http://www.butamax.com>

設立
基本技術
開発品
生産計画

2009年、BPとデュポンのジョイントベンチャー、本拠地 米国デラウェア州
DuPont社
イソブタノール 原料:小麦、コーン他
0.5MGY (英国 Hull 2010年、デモプラント)、商業プラント2014年以降

Gevo



<http://www.gevo.com/>

設立
基本技術
開発品
生産計画

2005年、本拠地 米国コロラド州 Denver
UCLA Liao教授、カーギル社酵母
イソブタノール 原料:コーン、サトウキビ
18MGY (ミネソタ州 2012年)

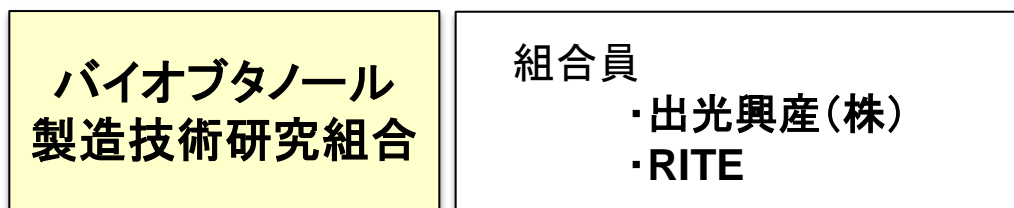
バイオブタノール製造技術研究組合を設立

H22年6月

1. 目的

RITEバイオプロセスによる非可食バイオマス由来の混合糖
(C5 & C6糖)を原料としたバイオブタノール生産技術開発

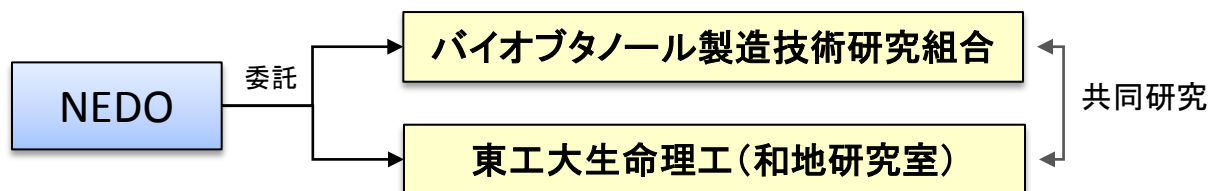
2. 開発体制



3. NEDO事業受託中

戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業 (H22～23年)

「非可食バイオマス由来混合糖からのバイオブタノール生産に関わる基盤技術開発」



グリーン化学品

Non-food原料からの生産： 早期実現へ

—— 汎用生産設備保有へ（国内設置） ——
市場開拓／技術実証

■ L-乳酸、D-乳酸

■ フェノール

■ 飼料用アミノ酸
バリン他

■ その他の化学品

コハク酸

アニリン等

グリーン化学品：主要ベンチャー企業

企業名	開発品	設立	本拠地	原料	基本技術	生産計画
NatureWorks	ポリ乳酸	1997	ネブラスカ州	コーン	(カーギル社)	第2工場タイ(2015年)
Myriant	コハク酸	2009	マサチューセッツ州	ソルガム	フロリダ大学 Ingram教授	1.4万トン(2013年)
BioAmber	コハク酸	2008	ミネソタ州	コーン	DOE開発の大腸菌、カーギル社酵母	1.7万トン(2013年)、 6.5万トン(2014年)
OPXBIO	アクリル酸	2007	コロラド州	コーン	ゲノム工学	5年以内に商業化
Verdezyne	アジピン酸	2008	カリフォルニア州	コーン、セルロース	酵母の代謝工学	未定
Genomatica	BOD	1998	カリフォルニア州	コーン他	大腸菌等の微生物代謝工学	生産中、 5MGY(2012年)
Butamax	isobutanol	2009	デラウェア州	小麦、コーン他	(DuPont社)	デモプラント稼働中 0.5MGY, 2010年
Gevo	isobutanol	2005	コロラド州	コーン	UCLA Liao教授、 カーギル社酵母	18MGY (ミネソタ州 2012年)
Cobalt	n-butanol	2005	カリフォルニア州	木質	ABE発酵、精製法	0.47MGY (ミシガン州 2012年)
Amyris	ファルネセン	2003	カリフォルニア州	コーン他	UC Berkeley、 Keasling教授	2011-2012年にブラジル、米国など
LS9	界面活性剤等	2005	カリフォルニア州	サトウキビ	脂肪酸合成技術	20,000L (2012年)

グリーン化学品ベンチャー企業(1)

NatureWorks LCC



<http://www.natureworkslc.com/>

設立 1997年 本拠地 米国ネブラスカ州
出資企業 カーギル社、PPTケミカル社(タイ)
開発品 ポリL-乳酸、 原料:コーン
生産計画 ポリ乳酸:14万トン稼働中、 2番目の工場はタイで2015年稼働予定

Myriant



<http://www.myriant.com/>

設立 2009年 本拠地 米国マサチューセッツ州 Quincy
基本技術 フロリダ大学、Ingram教授
開発品 コハク酸、D-乳酸、 原料:ソルガム
生産計画 コハク酸:1.4万トン(2013年)、D-乳酸:2008年～(Purac社で生産)

BioAmber



<http://www.bio-amber.com/>

設立 2008年 (DNP Green Technology社が名称変更) 本拠地 米国ミネソタ州
基本技術 DOE開発の大腸菌、カーギル社酵母
開発品 コハク酸、BOD(計画) 原料:コーン
生産計画 コハク酸プラント; 1.7万トン(カナダ 2013年)、6.5万トン(タイ 2014年)

グリーン化学品ベンチャー企業(2)

OPXBIO



<http://www.opxbiotechnologies.com/>

設立 2007年、本拠地 米国コロラド州
基本技術 EDGE™ (Efficiency Directed Genome Engineering)
開発品 アクリル酸、原料:コーン
生産計画 5年以内に商業化、Dowとの提携

Verdezyne



<http://verdezyne.com/Verdezyne/Company/index.cfm>

設立 2008年 (CODA ゲノミクス社から変更)、本拠地 米国カリフォルニア州
基本技術 酵母の代謝工学、ハイスループットアッセイ系
開発品 アジピン酸 原料:セルロース、コーン
生産計画 DuPontやDSM等との提携交渉中

<http://www.allbusiness.com/chemicals/commodity-chemicals-industry-organic-alcohols/16664322-1.html>

Gemomatica



<http://gemomatica.com/about/>

設立 1998年、本拠地 米国カリフォルニア州サンジエゴ
基本技術 代謝工学による*E. coli*等の微生物改良、計算機モデリング
開発品 1,4-ブタンジオール (BOD) 原料:コーン、サトウキビ他
生産計画 2011年(Talte & Lyle社)稼働中、2012年(Novamont社)で5MGY計画

グリーン化学品ベンチャー企業(3)

バイオ燃料に加えて化学品へも展開しているベンチャー企業

Amyris



<http://www.amyris.com/>

設立	2003年
本拠地	米国カリフォルニア州
基本技術	UC Berkeley、Keasling教授
開発品	ファルネセン(C15、燃料や化学品原料)、医薬品 原料:コーン他
生産計画	2011~2012年に米国、ブラジル等で商業生産計画

LS9



<http://www.ls9.com/>

設立	2005年
本拠地	米国カリフォルニア州
基本技術	微生物による脂肪酸合成技術
開発品	drop in 燃料、界面活性剤、化粧品 原料:サトウキビ
生産計画	P&Gと化学品で共同研究、~20,000 L の生産計画(2012年)

■ 飼料用アミノ酸の必要性

背景： 人口増加、蛋白源需要等

穀物飼料 ∞ 食料、BSE対策、環境対策等

■ 現状： リジン(120万t)、スレオニン(16万t)、トリプトファン(0.3万t)

食料資源からの製造

■ 今後望まれる事項

- 現使用アミノ酸のコスト低減
- 新飼料アミノ酸： バリン、イソロイシン 他

“好気醗酵による産物とされている”製品群への応用

“好気醗酵プロセス”の設備費の半分以上を占める
巨大装置 (Airコンプレッサー、攪拌モーター) 不要

固定費の大幅削減

	好気醗酵法	増殖 非 依存型 バイオプロセス*
生産規模	5.0 万t/Y	5.0 万t/Y
投資額: <u>醗酵槽周辺</u>	<u>89.3 M\$</u>	<u>16.8 M\$</u>
内訳 設備機器	19.0 M\$	3.7 M\$
付帯投資	70.3 M\$	13.1 M\$

参考とした資料 SRILレポート (Process Economic Program Report 106A, 188B)

* リジン生産をモデルとして試算



まとめ(今後の展望)

■ 新規産業バイオリファイナーの実現へ

RITEバイオプロセスによるバイオ燃料、
グリーン化学品の早期工業化を図る。

■ RITEバイオ研究グループ

研究レベルの一層の向上

↔ Green Earth Instituteの研究基盤機能

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. Biotech. 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.

Gene transformation methods

- *Mol. Microbiol.* **11**:739-746. 1994.
- *Mol. Gen. Genet.* **245**:397-405. 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.



C. glutamicum R

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.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **90**:1721-1729. 2011.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **91**:1375-387. 2011.



The cover of AEM



The cover of MM

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. Gen. 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.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **90**:1051-1061. 2011.
- *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **91**:677-687. 2011.
- *J. Bacteriol.* **193**:4123-4133. 2011.
- *Appl. Environ. Microbiol.* (in press)

ご清聴ありがとうございました

<http://www.rite.or.jp>

mmg-lab@rite.or.jp

