

革新的環境技術シンポジウム ◆

2010年12月2日

バイオリファイナリー産業の実現へ向けて

(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
セルロース



C6糖 6
C5糖 5

<RITEバイオプロセス>

(増殖非依存型バイオプロセス)

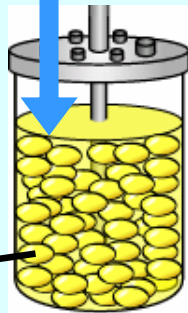
反応槽に微生物を高密度充填し
反応する。

混合糖完全同時利用可

発酵阻害物質耐性

高生産性

菌体触媒
(非増殖)



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

グリーン化学適合反応技術

バイオ燃料(エタノール、ブタノール他)

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世界動向(1): バイオ燃料

■ セルロース・エタノール: take-offから急拡大へ

原料: food → non-food

■ 次世代燃料: ブタノール

燃料特性優位: ブタノール > エタノール

【参考】DuPont ビジネスプラン表明

C₆糖原料ブタノール製造技術 2013年確立

コーン・エタノールプラント(米国等)

シュガーケーン・エタノールプラント(ブラジル、アジア等)

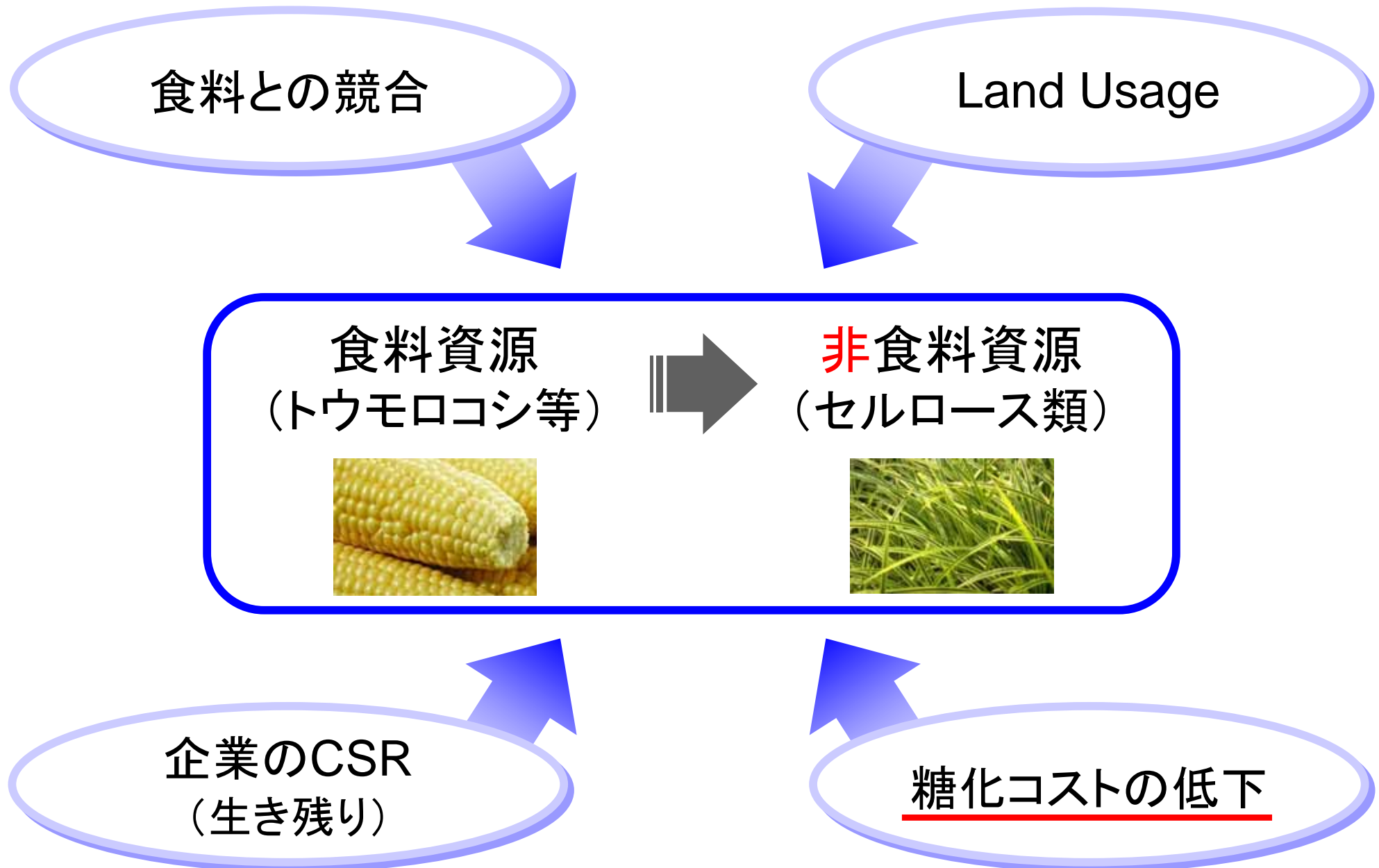
■ Advanced fuels

* 航空機ジェット燃料

セルロースエタノール実証計画 in 米国

企業	生産開始 時期		醗酵方法	生産規模 (万kL/y)	酵素供給元	微生物
POET(Broin)	2011	→ 2011	C5C6同時	9.5	Novozymes	<i>Z. mobilis</i>
Vercipia (Verenium/BP)	2010	→ 2012	2段発酵	13.6	自社酵素	<i>E.coli</i> KO11 <i>K. oxytoca</i> BW34
BP (Verenium)	2009	→ 2009	2段発酵	0.6		<i>E.coli</i> KO11 <i>K. oxytoca</i> BW34
Mascoma	2009	→ 2012	CBP	7.6	Genencor, 自社酵素	Yeast Thermophilic anaerobe
Bluefire Ethanol Inc.	2009	→ 2012	C5C6同時	7.2	酸加水分解	Yeast
Abengoa	2011	→ 2012	2段発酵	4.4	Novozymes, Genencor, Dyadic, DSM	
DuPont Danisco Cellulosic Ethanol	2012	→ 2010	C5C6同時	0.1	Genencor	<i>Z. mobilis</i>
American Energy Enterprises	2010	→mid 2010	C5C6同時	5.7	酸加水分解	Yeast
Pacific ethanol	2009	→ 4Q, 2010	2段発酵	1.0	Novozymes	Yeast Thermophilic anaerobe
KL Energy / Western Biomass Energy	2007	→ 2008	C6のみ利用	0.6	Novozymes	Yeast

“安価混合糖”の確度UP



バイオリファイナリー世界動向(2): グリーン化学品

グリーン化学品の市場規模は急拡大の推定

\$ 230 Billion in 2030

- * ベンチャー企業が主に米西海岸に多数誕生
- * 資金流入額は、IT最盛期を上回る状況

- 欧米大手化学系企業: グリーン化急ぐ
C₆糖原料発酵製品のグリーン化(混合糖原料法)への転換に注力を表明
コハク酸、乳酸、ジオール等
- ベンチャー企業: 多様な化学品の工業化可能性を提示

Green-chemical's market:\$230billion by 2030

When bio-fuel gives you lemons,
 make green-chemicals at first.



From BiofuelsDigest, partially modified

A Novel and Highly Efficient Bioprocess

RITE Bioprocess

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

High productivity

No energy loss for growth

Simple system

非増殖条件

非通気条件

低攪拌条件

燃料・化学品

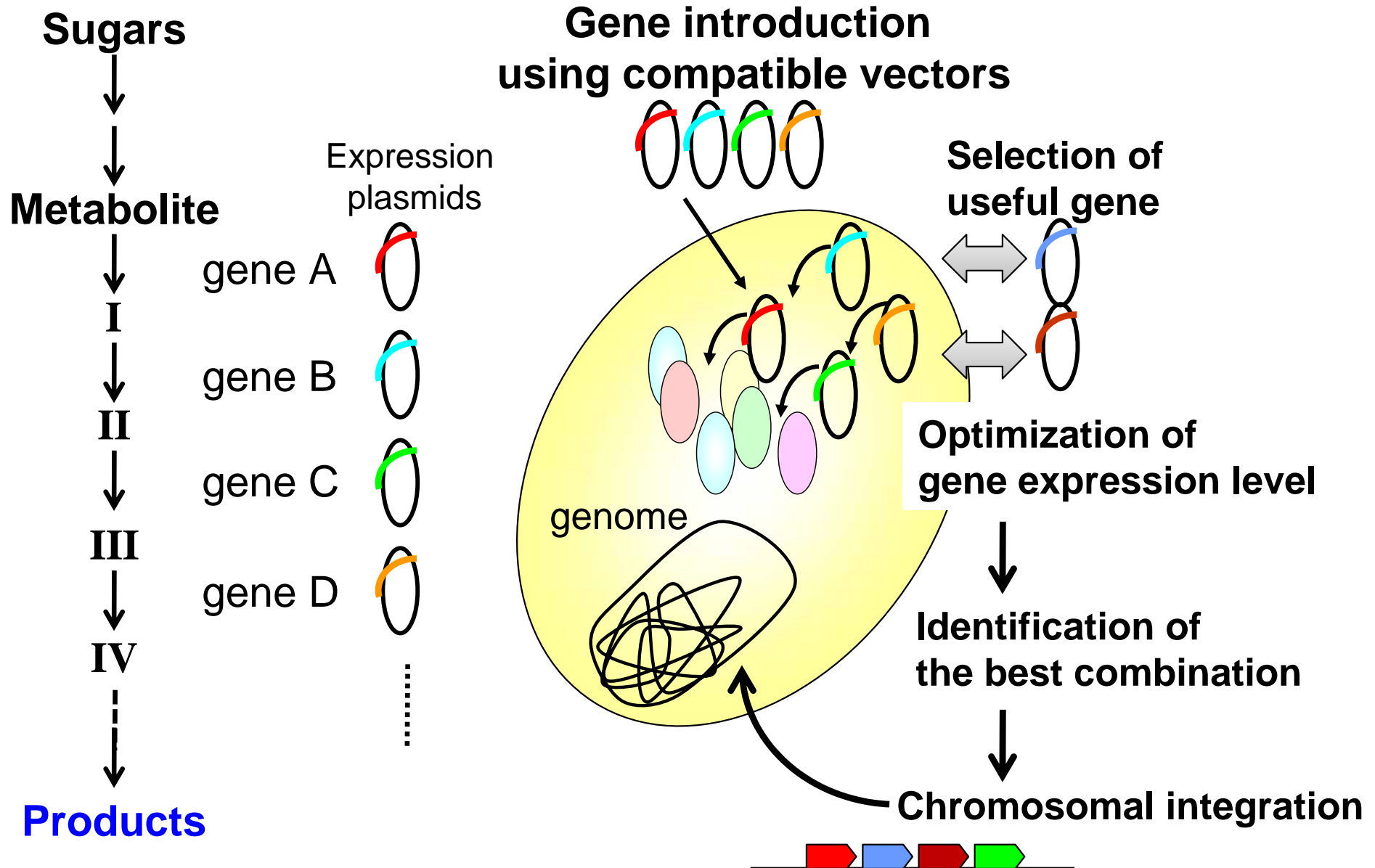
RITE strain

Corynebacterium glutamicum

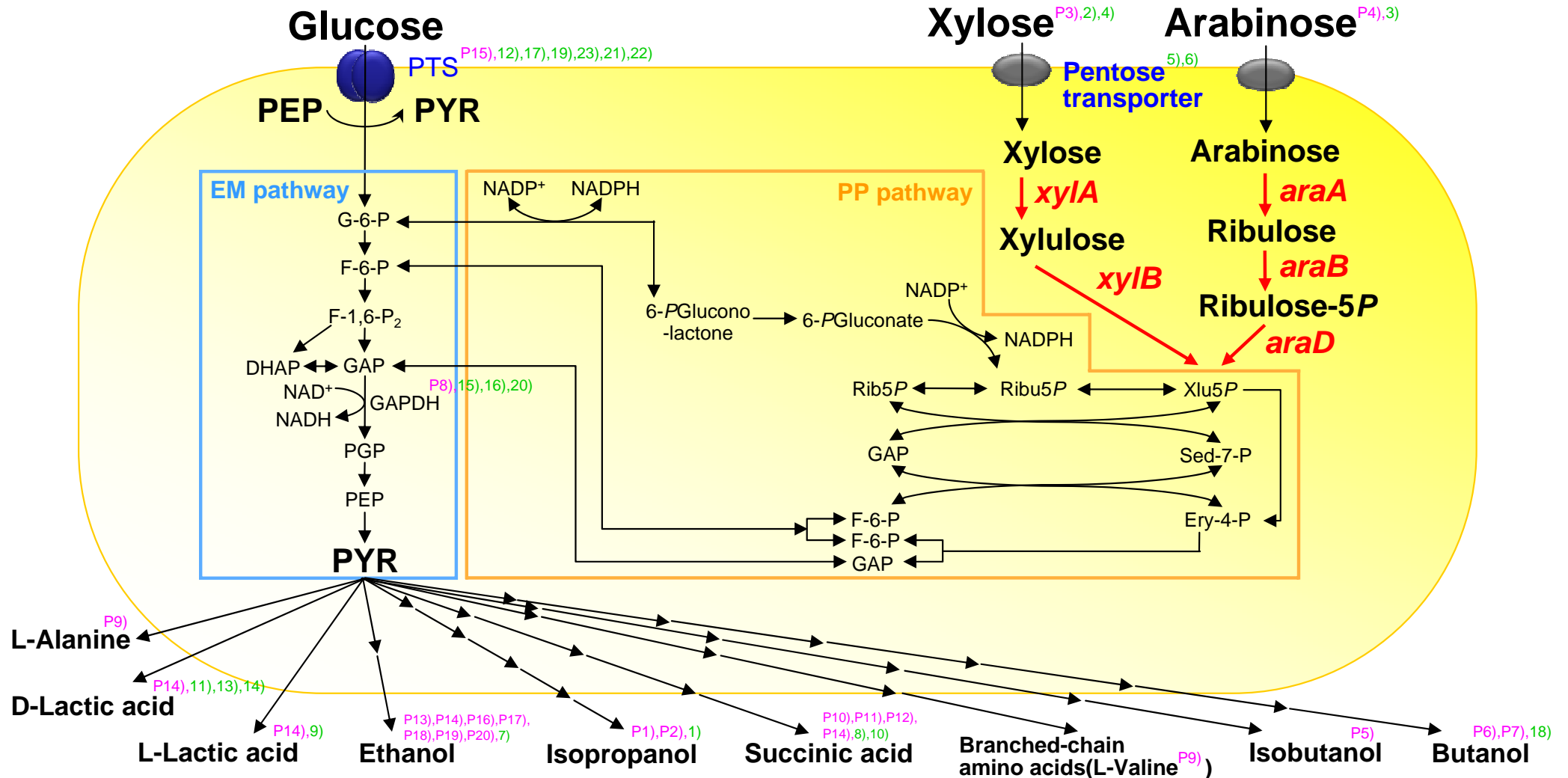
Under oxygen deprivation

- Growth-arrested
- Maintains main metabolic capabilities

Engineering of Hyper-producing Corynebacteria



鎖状化合物生産技術開発



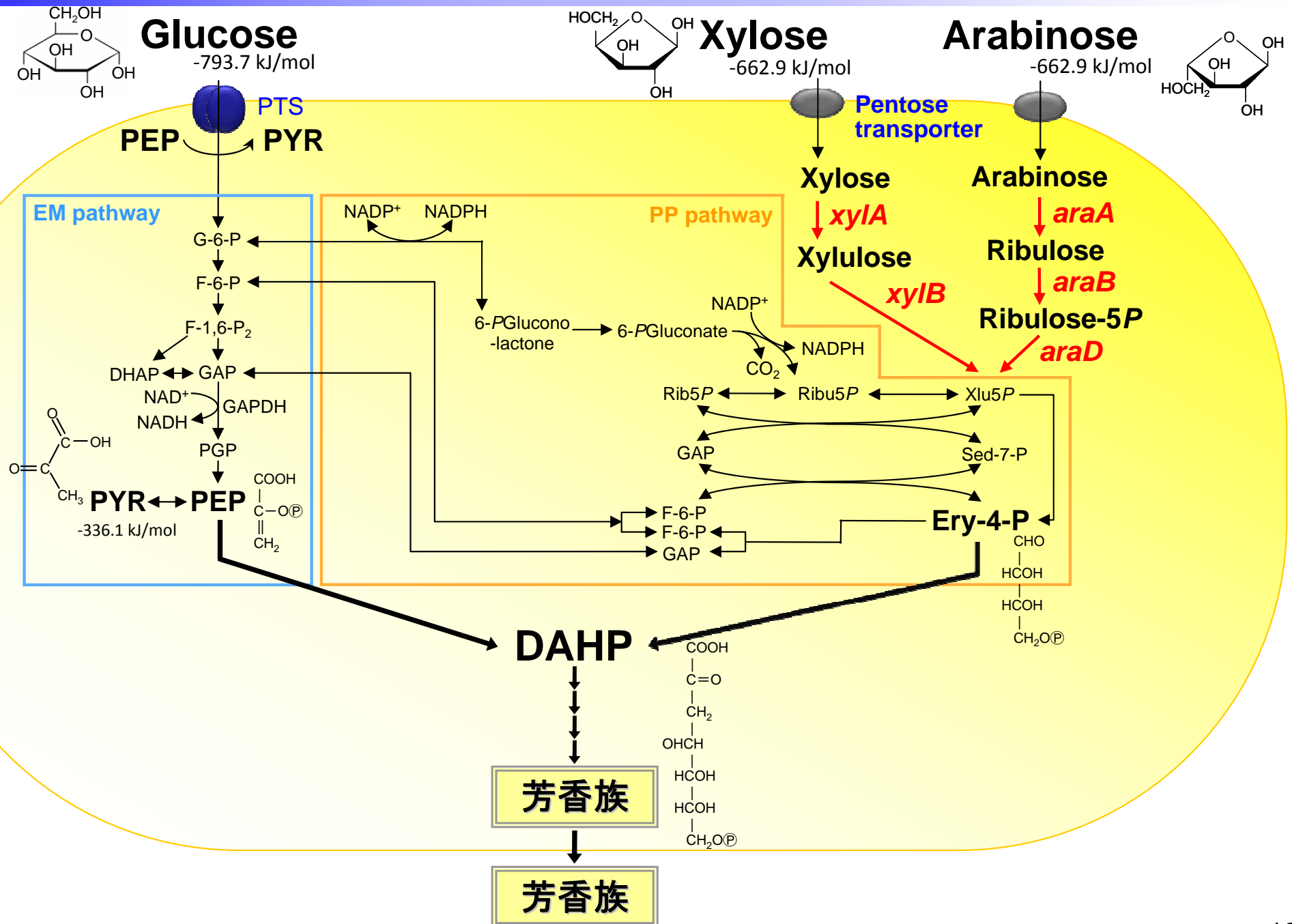
Patent application / registration by RITE

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

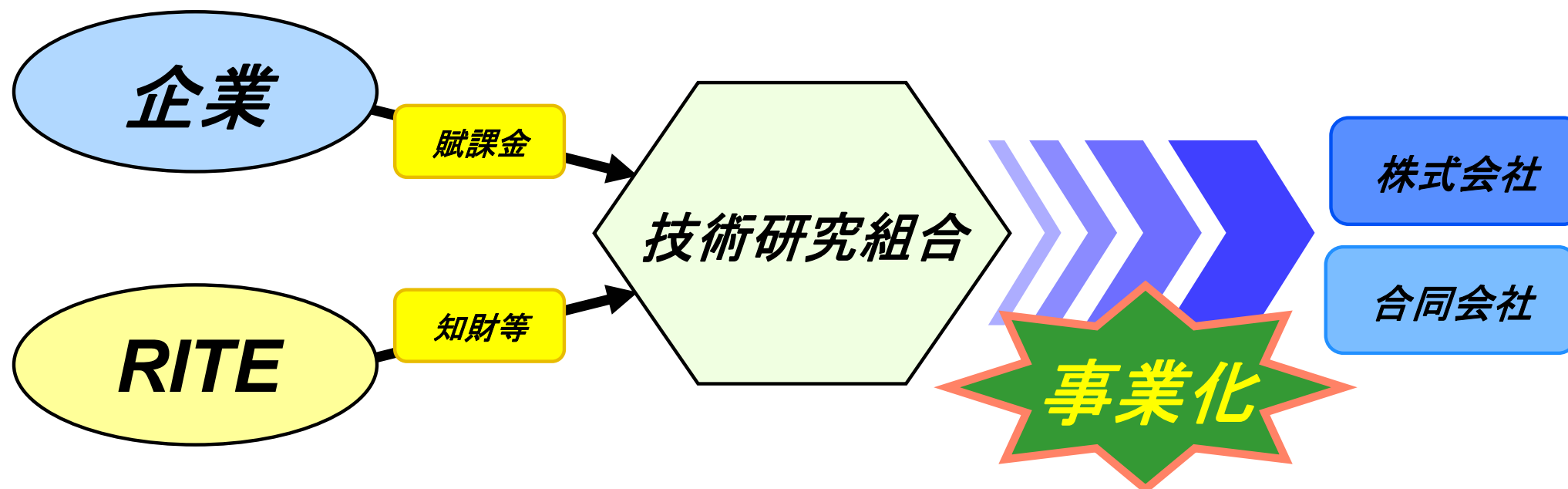
グリーン芳香族生産技術開発



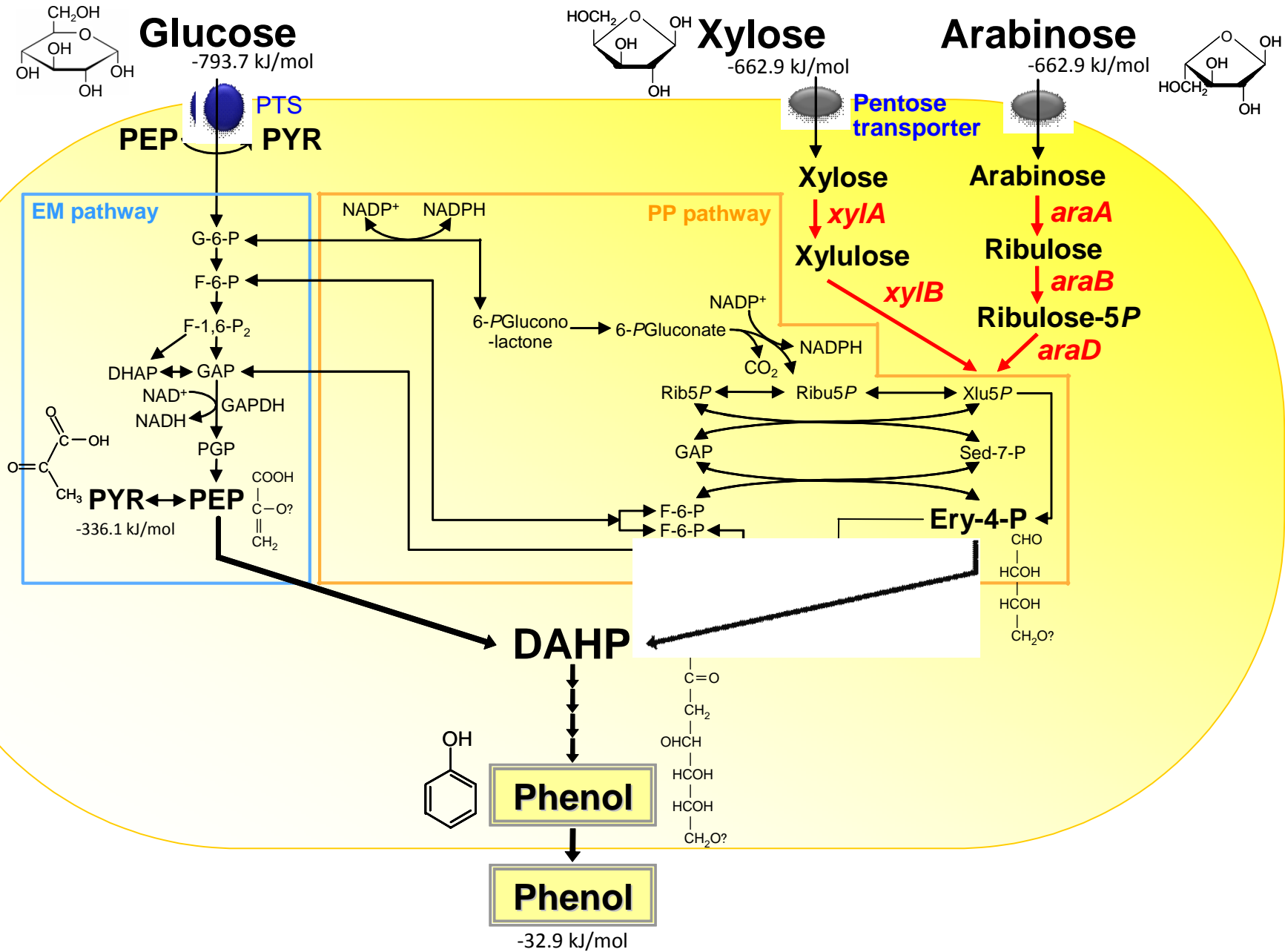
実用化に向けて: 技術研究組合の設立

■ 旧「鉱工業技術研究組合」制度改革 (2009.6)

- 企業と公的研究機関との共同研究が可能
- 2者から組合設立可能
- 共同研究終了後営利会社化し、そのまま事業化可能



グリーンフェノール生産へ向けて



グリーンフェノール生産の意義

- Green Sustainable Chemistryの実現
- 世界一の競争力の維持
強い企業力を“より強く”

(参考)フェノール樹脂

用途	現市場 (2008年・全世界)	住友ベークライトのシェア
半導体・自動車等	>2,000億円	約5割 (トップシェア)

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)	小(エタノールとの比較)	

今後の技術展開 ターゲット化合物の拡大へ

■ 既存の醗酵法では、経済的生産が極めて困難とされる物質

➡ 芳香族化合物

■ 既存の“通気強攪拌型プロセスによる製品”への挑戦

➡ アミノ酸醗酵等

“好気醗酵による産物とされている”製品群への応用

醗酵法 ∞ 化学プロセス

大きな弱点： 高固定費（初期投資が高い）

“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）



不要化

最初のターゲット： 飼料用アミノ酸

■ 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

RITEバイオプロセス

内外企業（複数）による“評価”のポイント

■ 非食料（セルロース）からの生産

混合糖類（C6、C5糖）の完全同時利用

■ 高度経済性

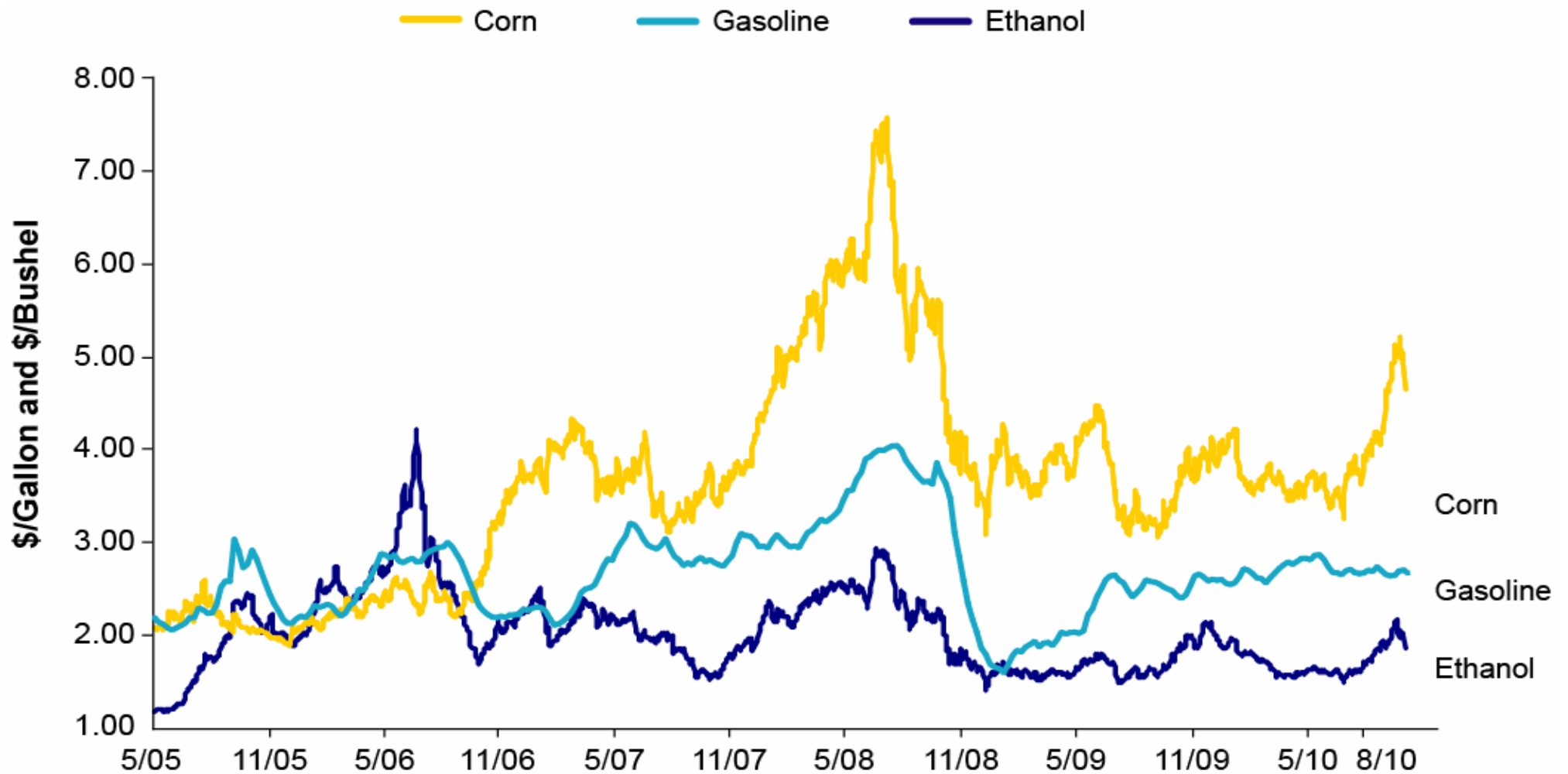
高汎用プロセス

高STY（Space/Time/Yield）： 装置コスト ↓

副生物完全抑制： 収率 ↑

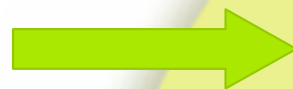
原料コスト ↓ 精製コスト ↓

バイオエタノール・ガソリン・トウモロコシ価格推移



微生物

炭素数 6ヶの糖



炭素数 5ヶの糖

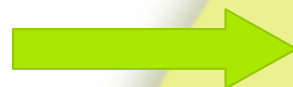


バイオ燃料

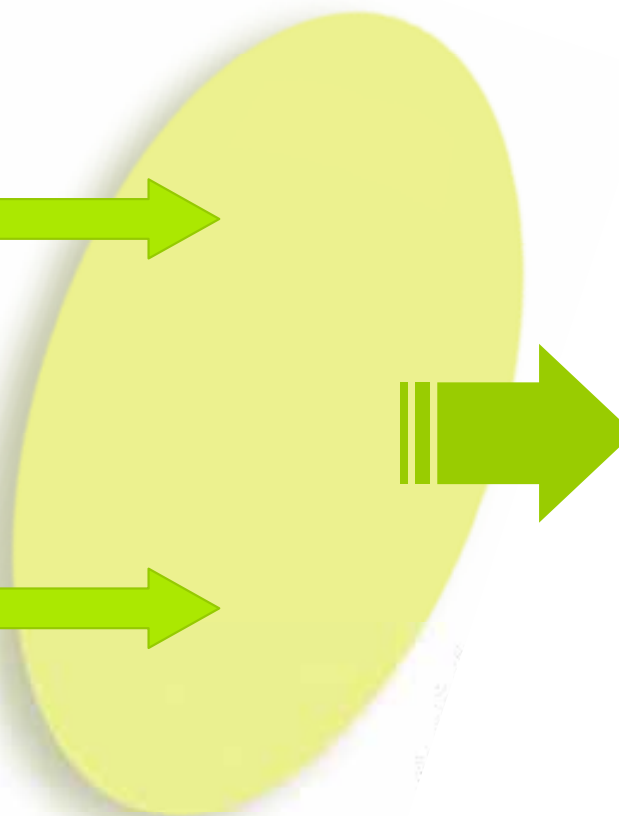
バイオ化学品

微生物

炭素数 6ヶの糖



炭素数 5ヶの糖

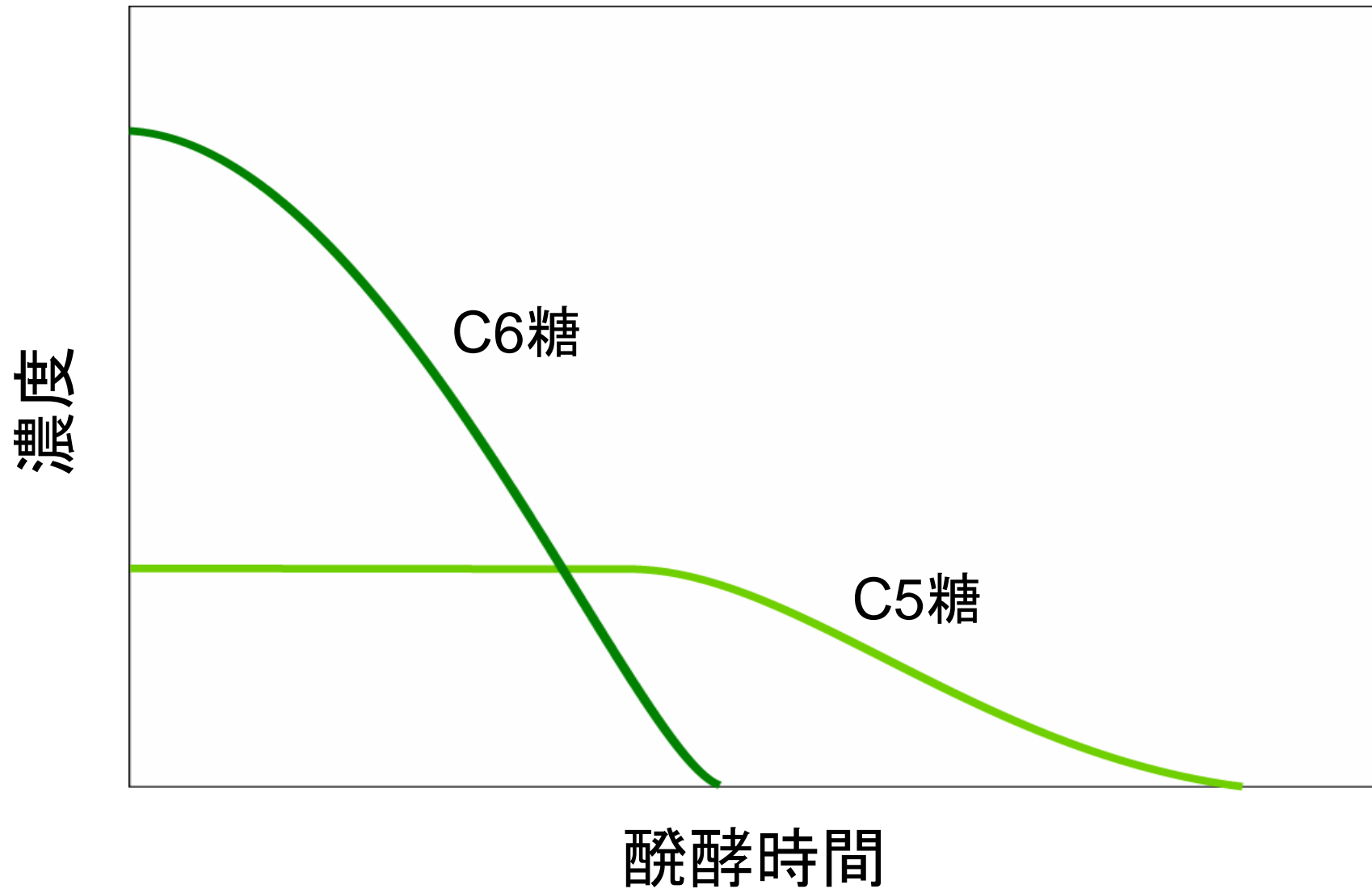


バイオ燃料

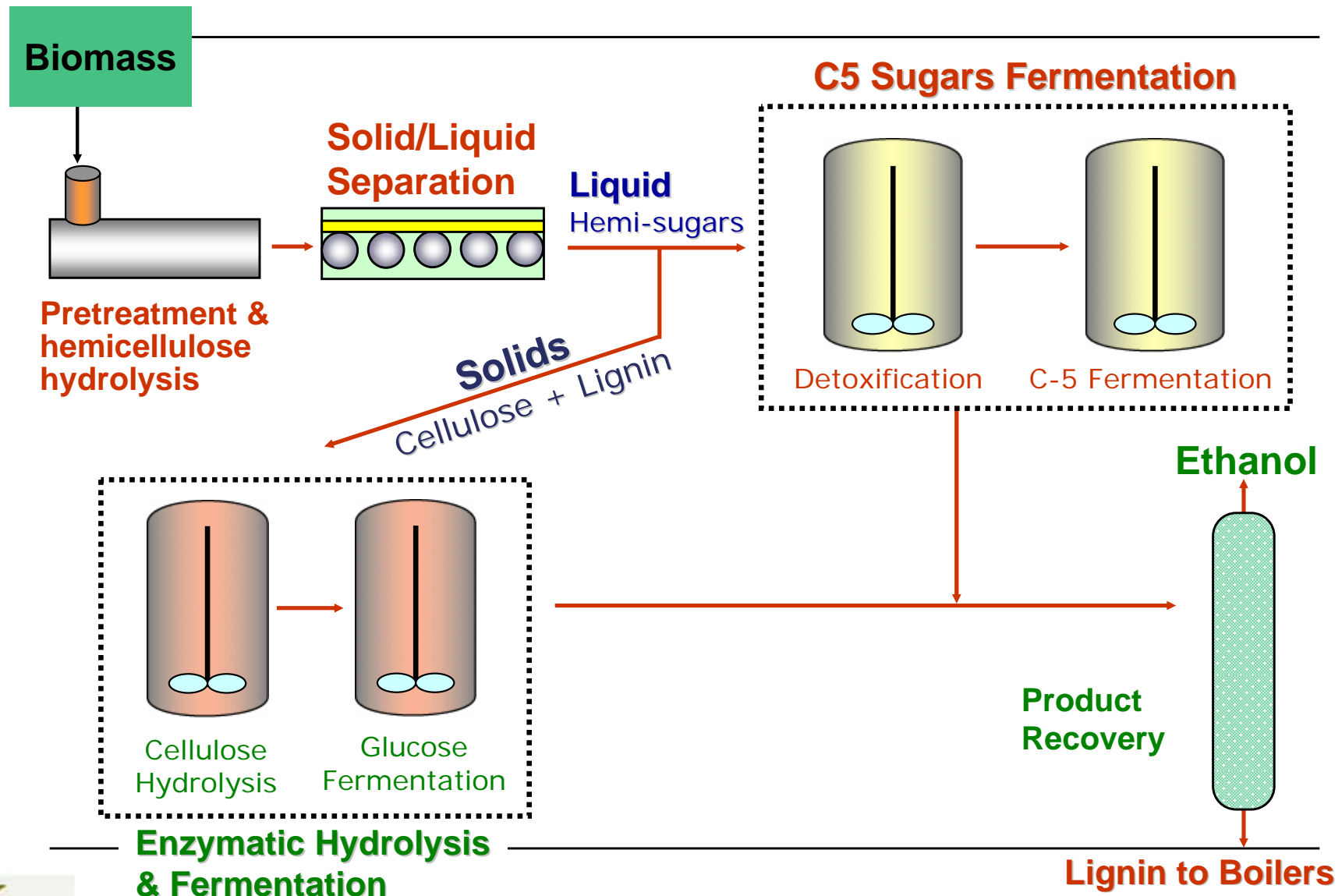
バイオ化学品



醗酵槽内のC6、C5糖濃度推移



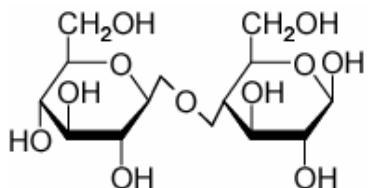
C6, C5糖の二槽発酵



Sugar Metabolism Engineering

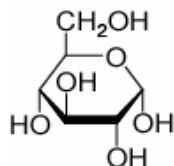
Cellulose

Cellobiose (C₆-C₆)



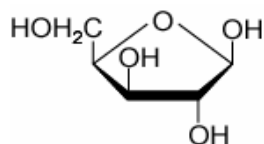
Adaptive mutant for cellobiose uptake ability ¹⁾

Glucose (C₆)

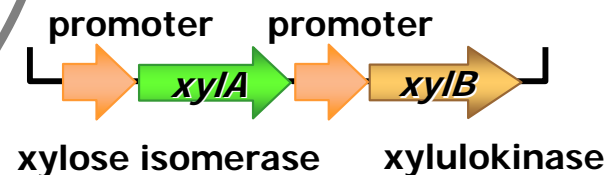


Hemicellulose

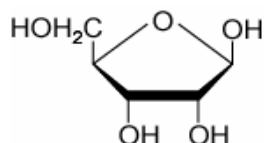
Xylose (C₅)



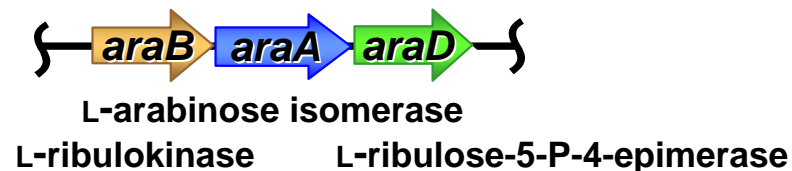
Chromosomal integration for xylose metabolic ability ²⁾



Arabinose (C₅)

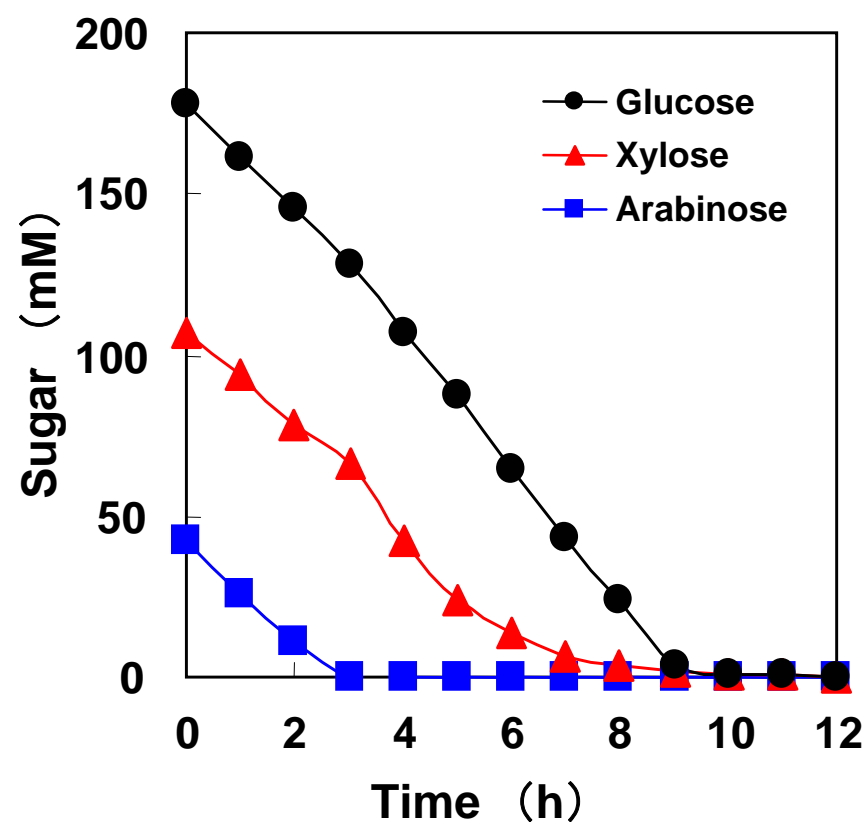
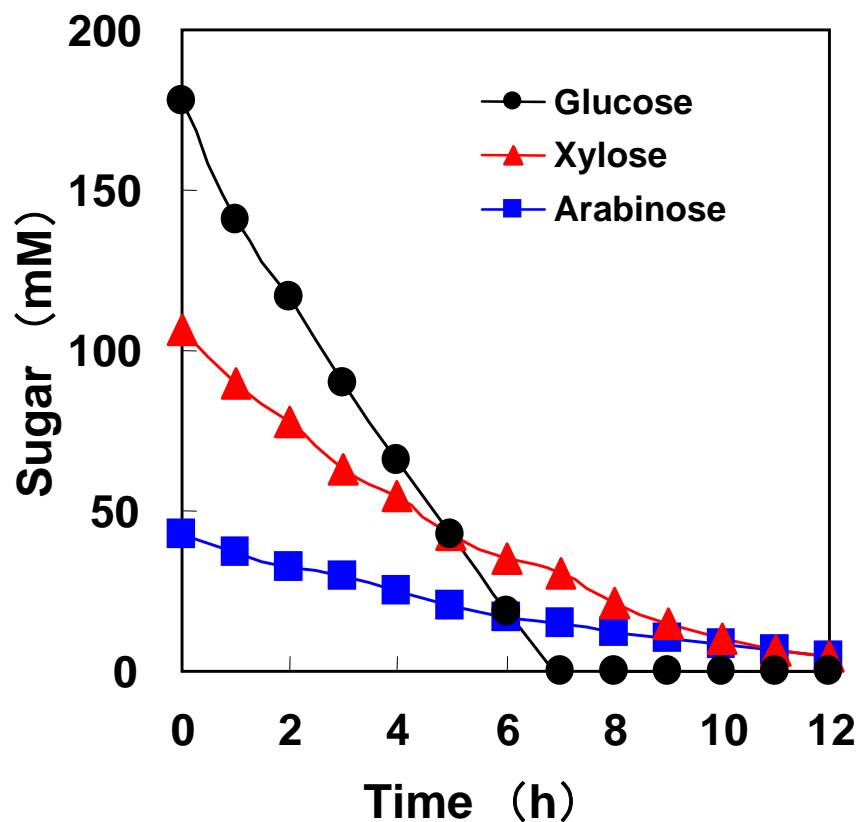


Chromosomal integration for arabinose metabolic ability ³⁾



Simultaneous Utilization of Mixed Sugars

Integration of a pentose transporter



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

Corynebacterium glutamicum

Under oxygen deprivation

- Growth-arrested

**- Maintains main
metabolic capabilities**

Corynebacterium glutamicum

アミノ酸、核酸等の工業生産に世界中で広く使用

■ 好気条件： 活発な増殖

■ 嫌気条件： 増殖停止

代謝系； 好気代謝 → 嫌気代謝系

代謝系のShift

*Corynebacterium*の類縁微生物種

同様の性質を有する

増殖非依存型バイオプロセスに関する世界の研究動向

微生物の増殖と生産Phaseの分離を図る、すなわち増殖非依存型バイオプロセスに類似する研究が始まっている。(Trends Biotechnol. (2008) 26:100-108)

■ EUの大型研究プロジェクト

コリネ型細菌の工業的重要性を認識

さらに、増殖抑制条件下での物質生産研究を開始

(Appl. Environ. Microbiol. (2007) 73:2079-2084)

2009年8月末: **“RITE知見”の追試論文発表**

我々の提唱してきた新規科学知見・技術コンセプトが、他の研究グループにより確認

昨年度RITE革新的環境技術シンポジウム講演資料より

今後の展開

バイオ燃料

セルロース・エタノール: ベンチ／パイロット研究、ビジネスプラン策定

セルロース・ブタノール: 基礎研究段階、研究加速

水素、脂肪酸: 調査研究

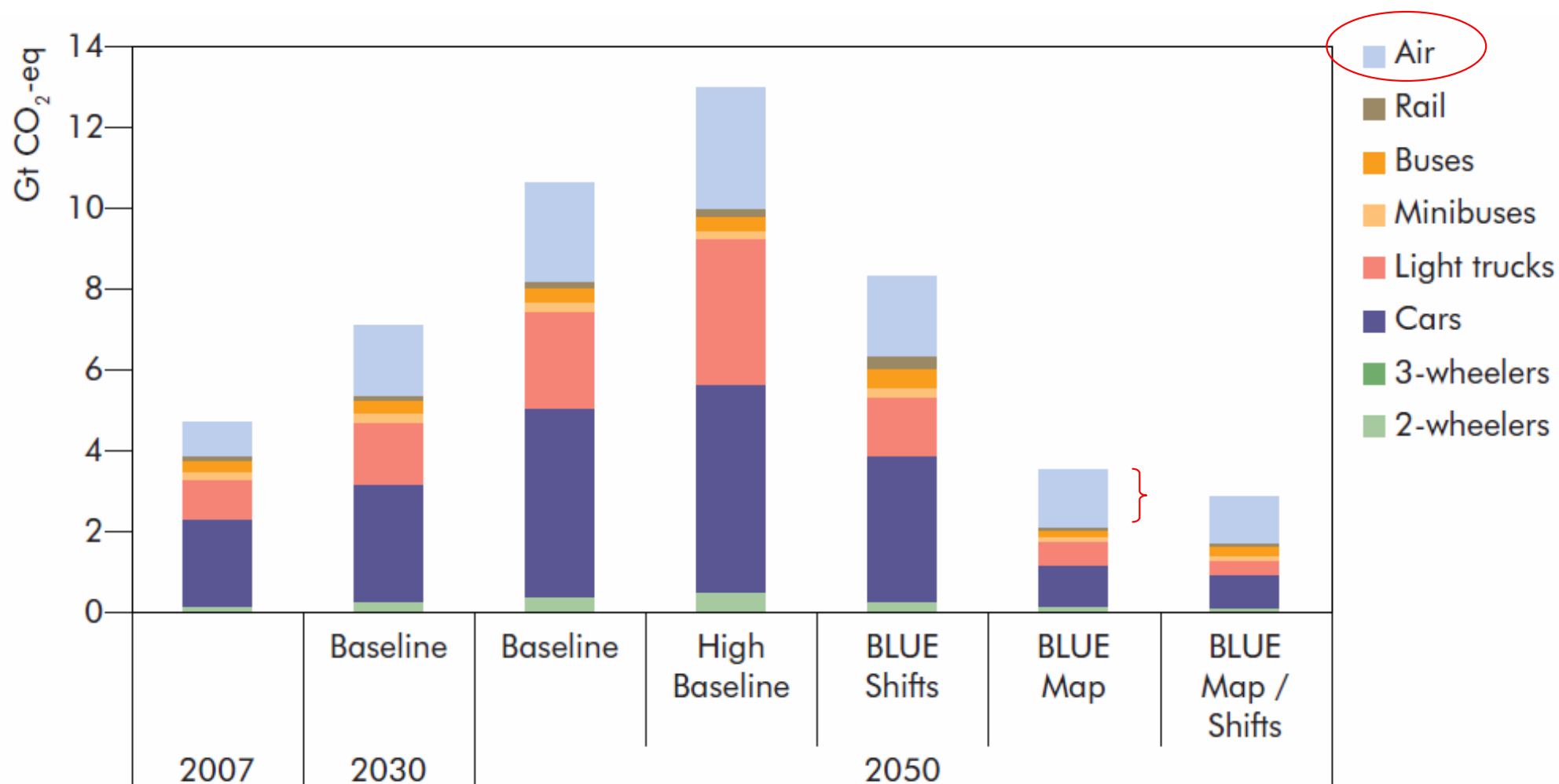
グリーン化学

技術実証生産へ全力

研究対象物質(製品群)拡大へ

- 芳香族化合物
- アミノ酸(飼料用途アミノ酸)

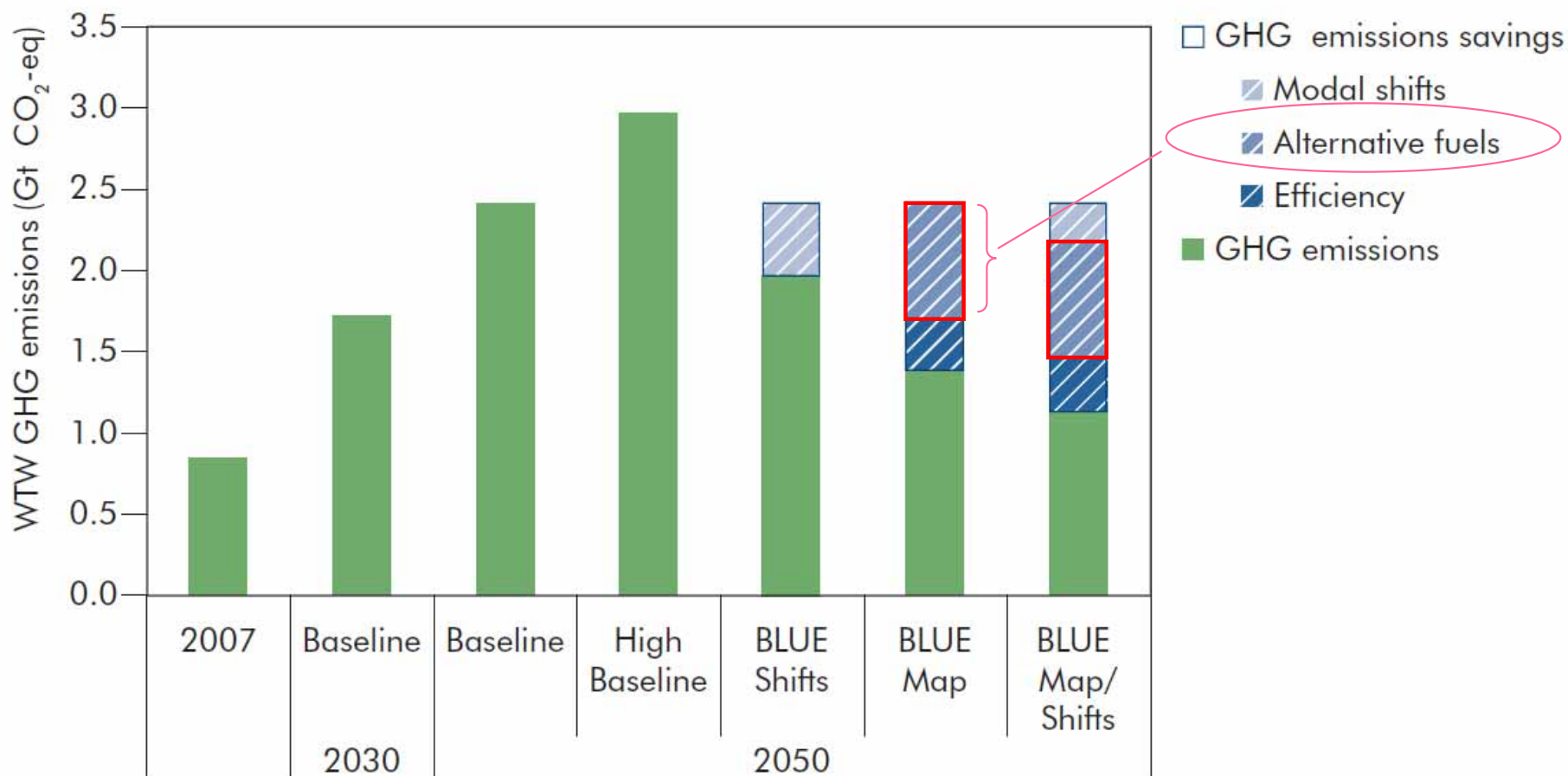
ETP2010:輸送モード別GHG排出量シナリオ



- ベースライン・シナリオでは航空部門の増加率が最も高い。
- ブルーマップシナリオでは、乗用車部門において非化石燃料への代替が進む一方、燃料転換の難しい航空部門からの排出が約4割を占める。

ETP2010:航空機分野の削減シナリオ

Figure 7.23 ▶ Aircraft greenhouse-gas emission projections by scenario



Key point

Most of the reduction potential is expected to come from alternative fuels, mainly BTL.

今後の展開

■ 基礎研究

- * 生産対象化合物の拡大

■ 工業化研究の加速

- * 技術組合の推進
- * 汎用パイロット設備の自己保有

ご清聴ありがとうございました

