

◆ 革新的環境技術シンポジウム ◆

2012年12月5日

バイオリファイナリーの世界動向と 実用化に向けた取り組み

(公財)地球環境産業技術研究機構 (RITE)
理事・バイオ研究グループリーダー

湯川 英明



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

米国バイオリファイナリー

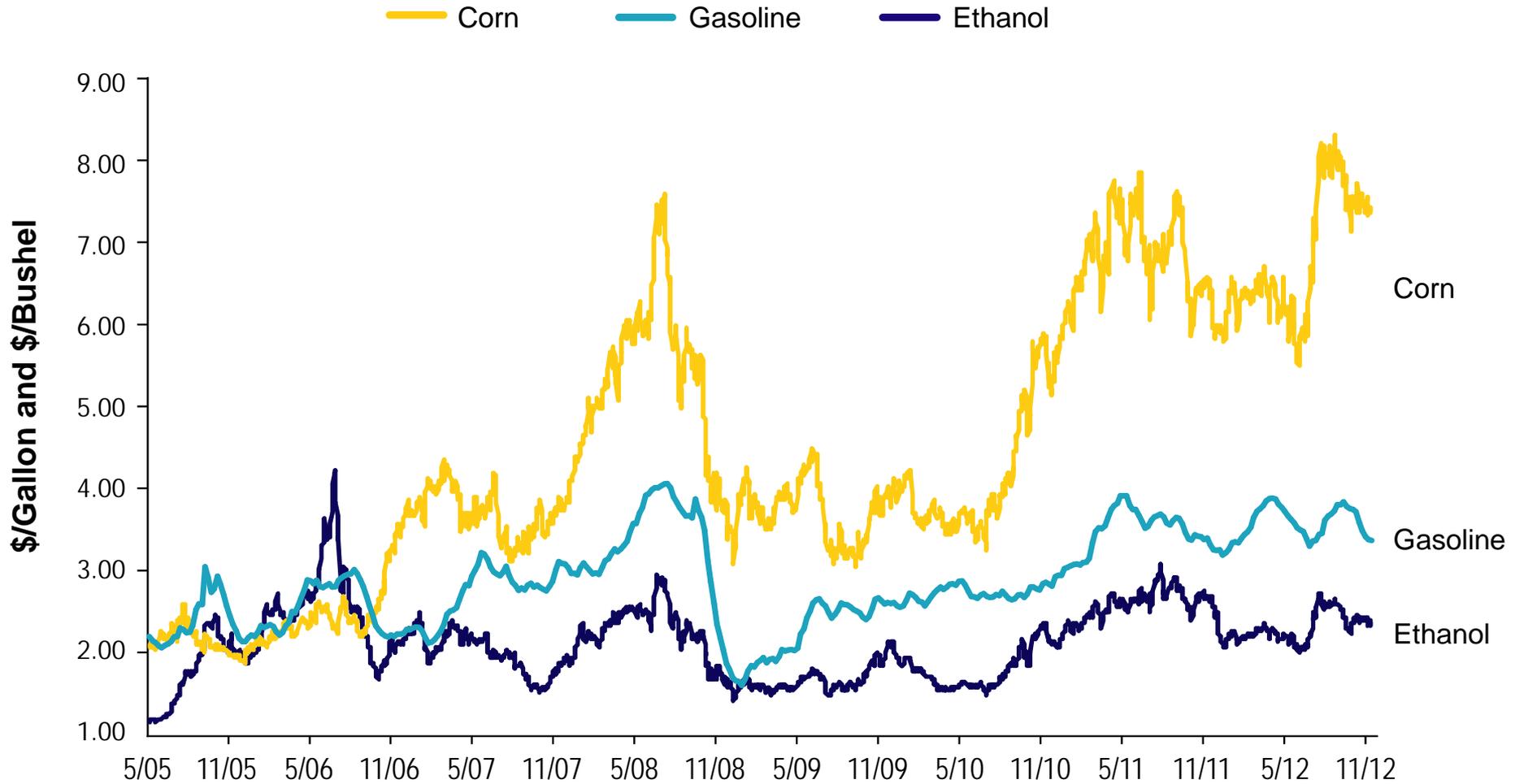
現状・背景

バイオ燃料：コーンエタノールへの強い非難

・セルロースエタノール

市場導入計画に大幅遅れ

トウモロコシ価格推移

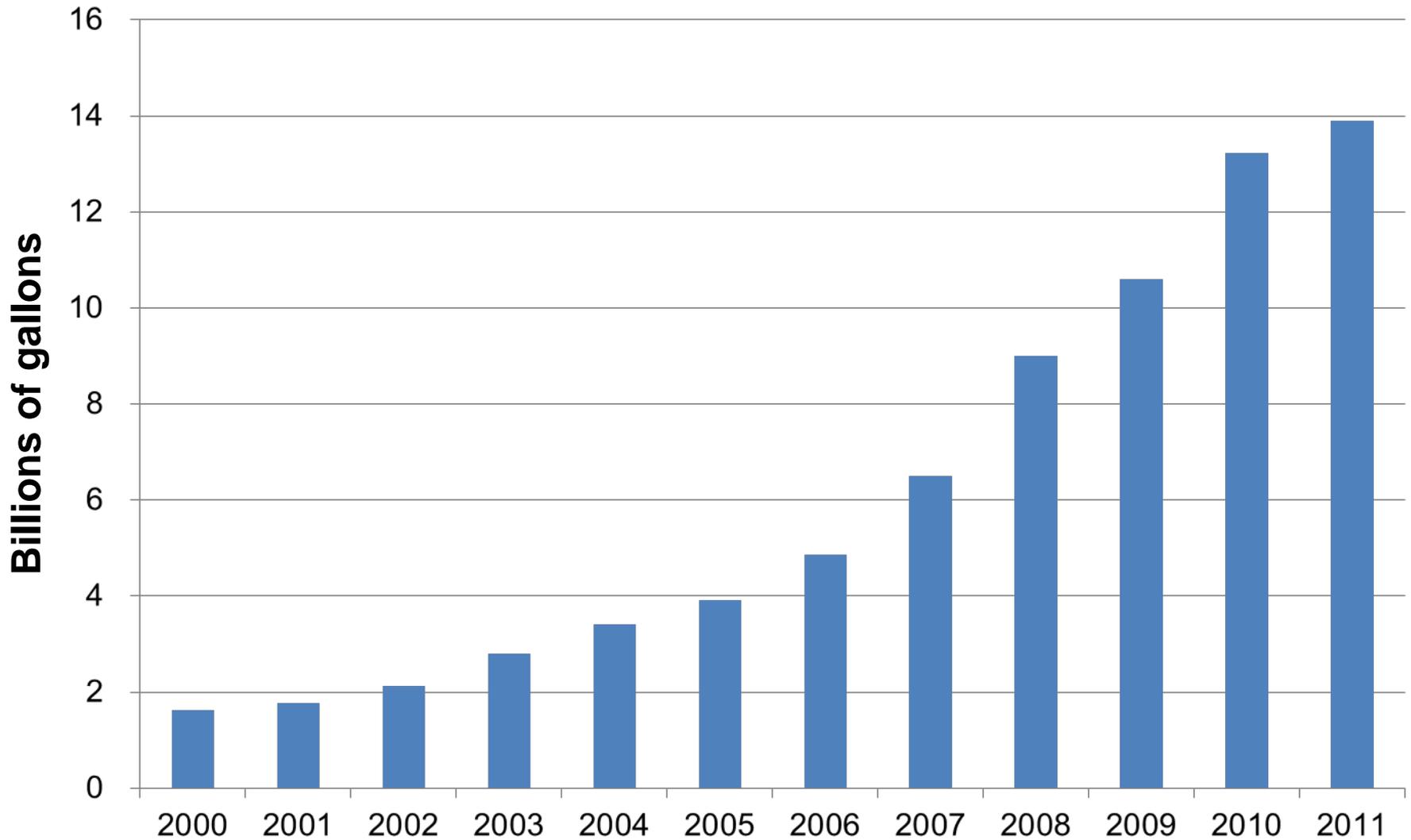


[出典]

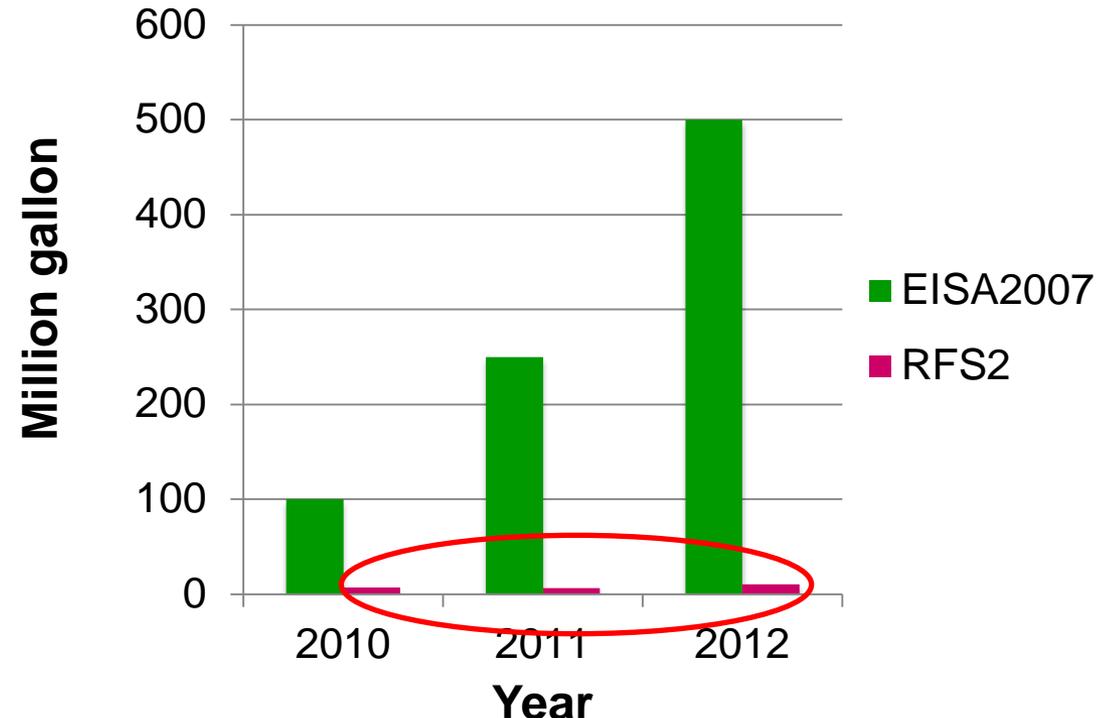
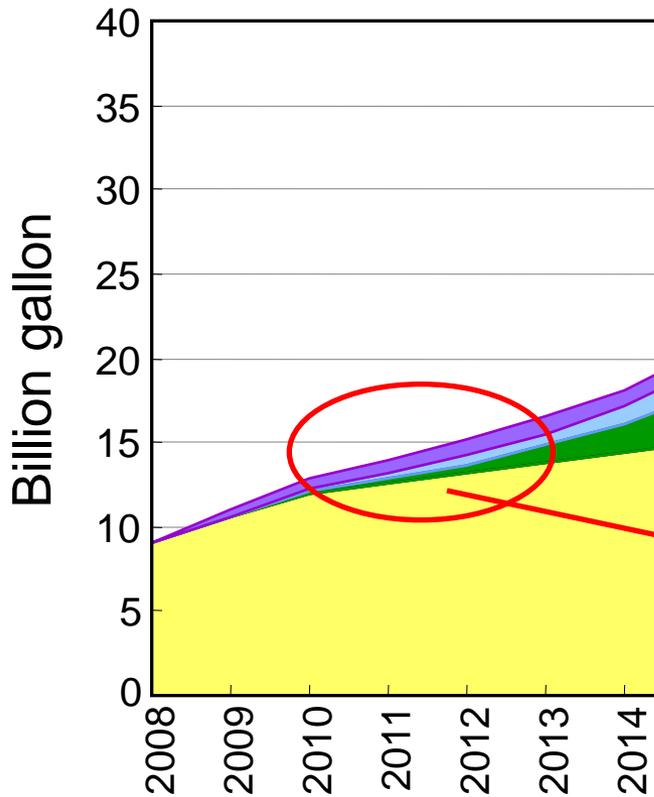
Corn, Ethanol価格: CME Group

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

US Ethanol Production from Corn



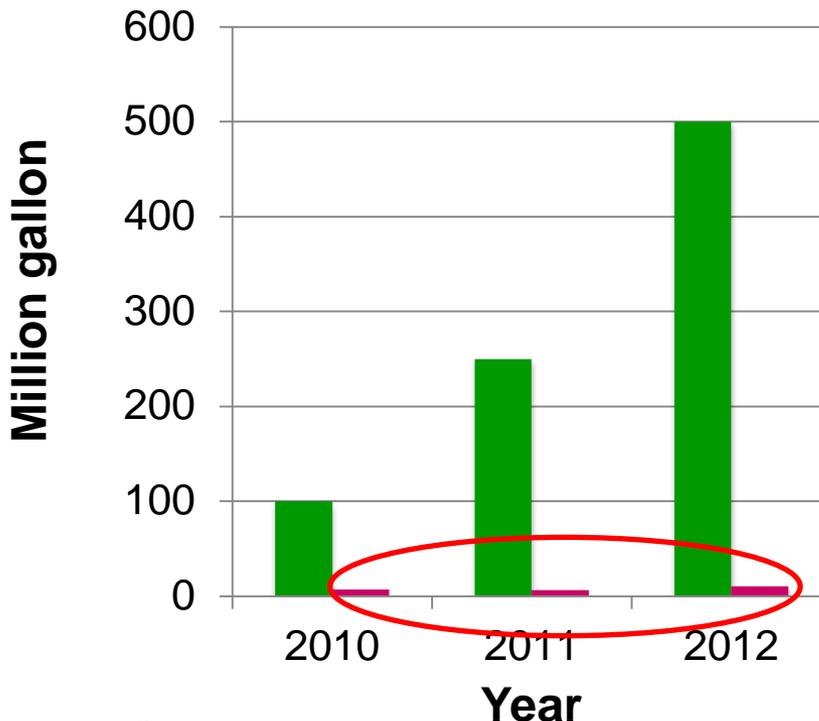
バイオ燃料導入計画 in 米国



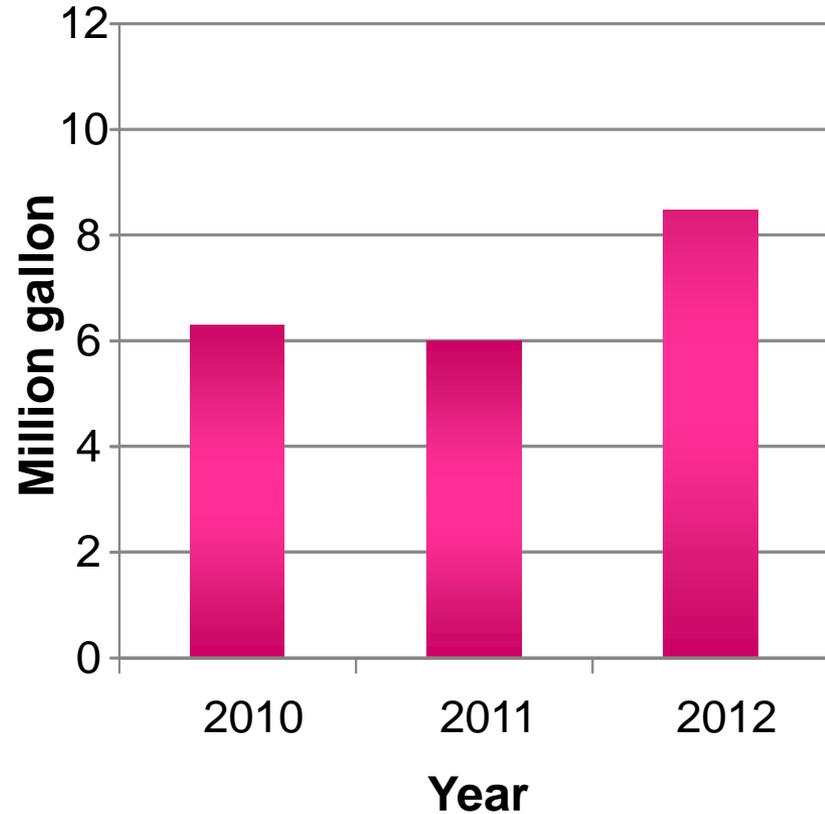
出典: Energy independent and security act of 2007 (EISA2007)
Renewable Fuel Standard (RFS2)

セルロース系バイオ燃料の製造量は、2010年7月～2012年3月の間で「ゼロ」

バイオ燃料導入計画 in 米国



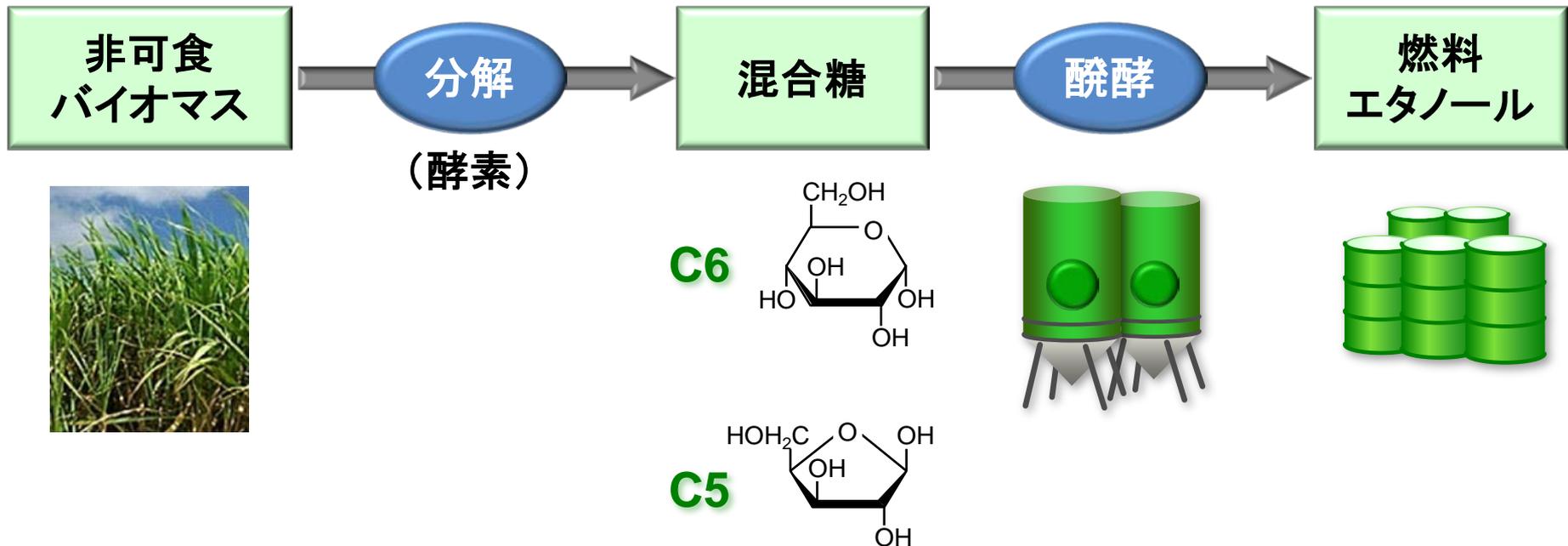
出典: Energy independent and security act of 2
Renewable Fuel Standard (RFS2)

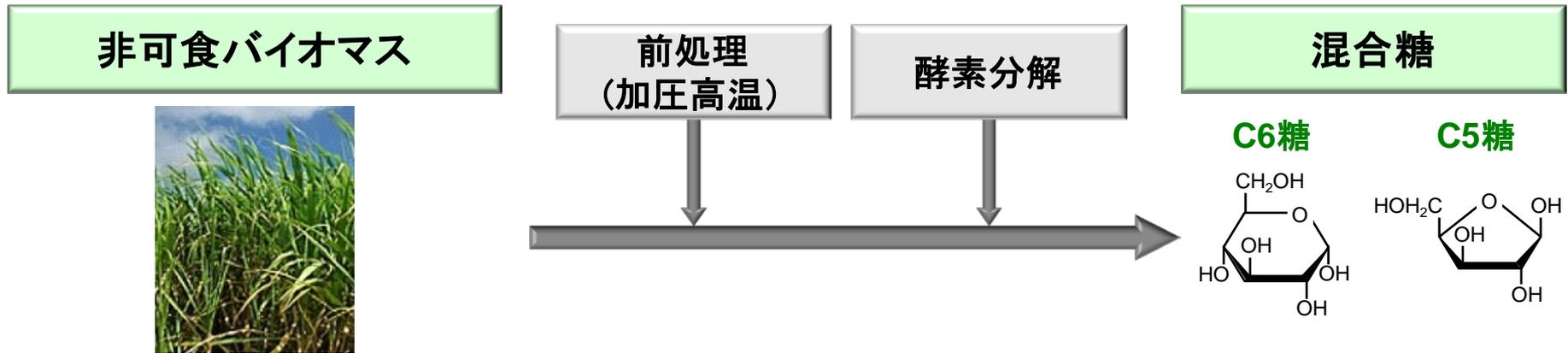


出典: Renewable Fuel Standard (RFS2)

セルロース系バイオ燃料の製造量は、2010年7月～2012年3月の間で「ゼロ」

バイオ燃料エタノール製造法





“天文学的”な酵素コスト

厳しい前処理

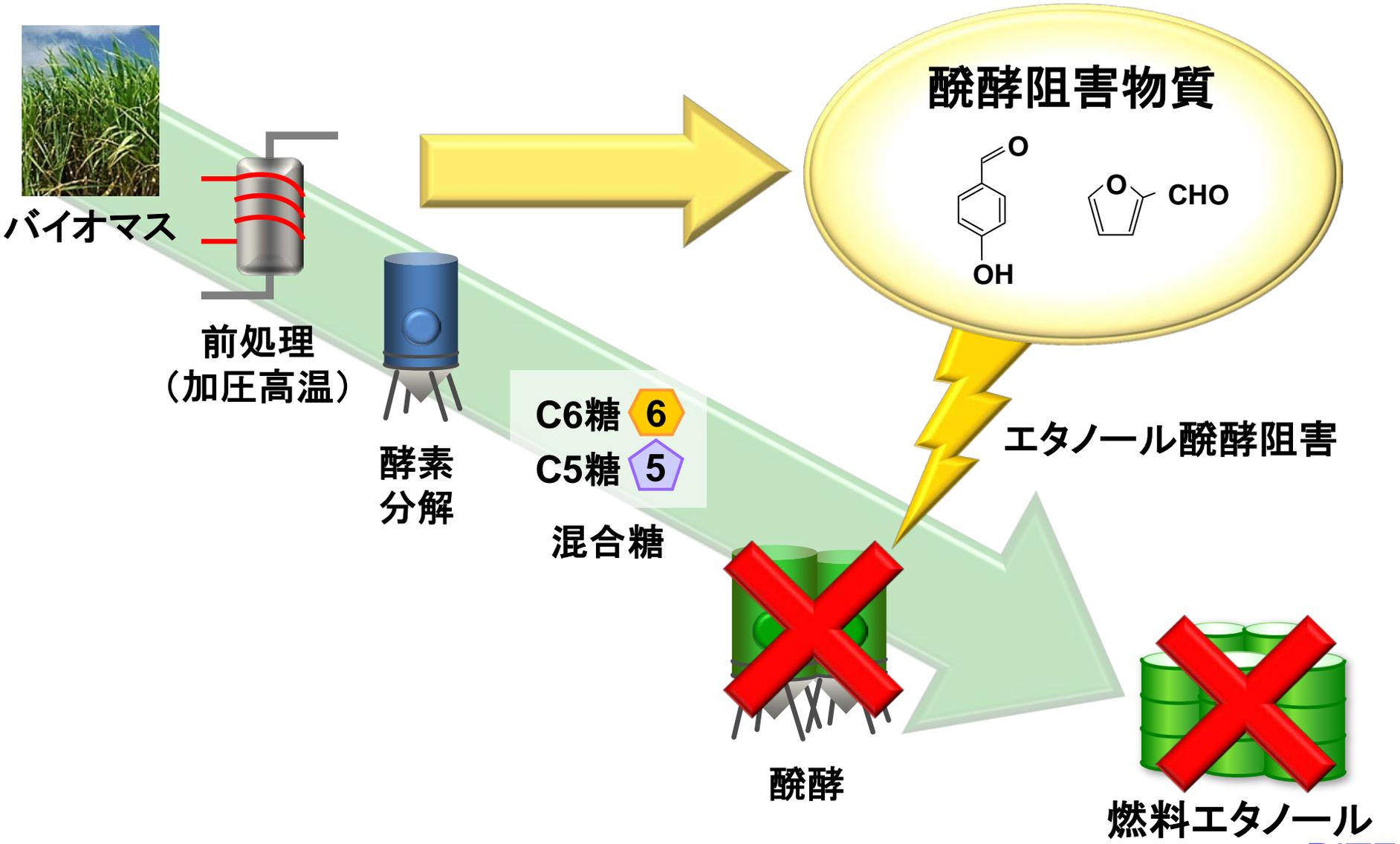
- * 必要酵素量：少
- * 醜酵阻害物質生成量：多

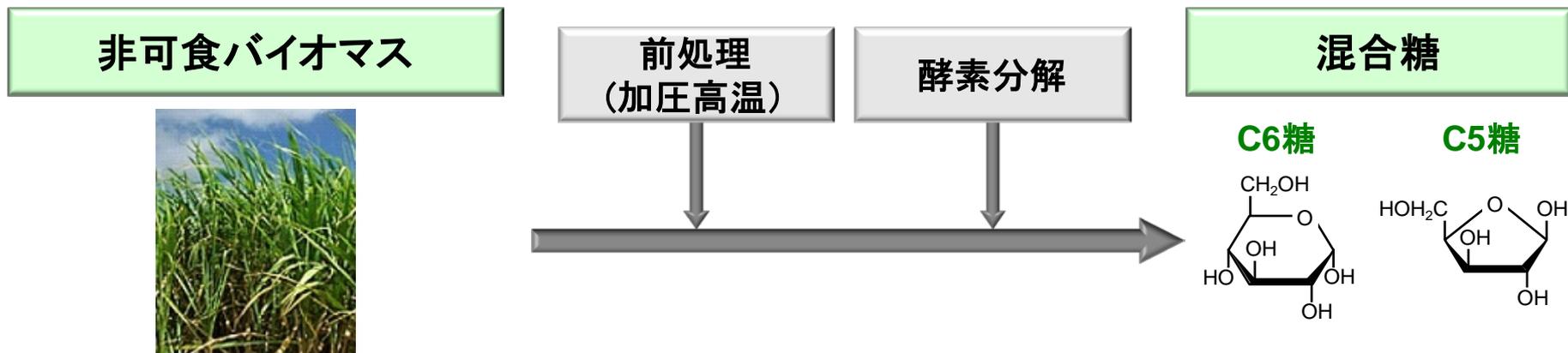
trade off

穏やかな前処理

- * 必要酵素量：多
- * 醜酵阻害物質生成量：少

工業化に障害：醱酵阻害物質





“天文学的”な酵素コスト

厳しい前処理

- * 必要酵素量: 少
- * 醱酵阻害物質生成量: 多

trade off

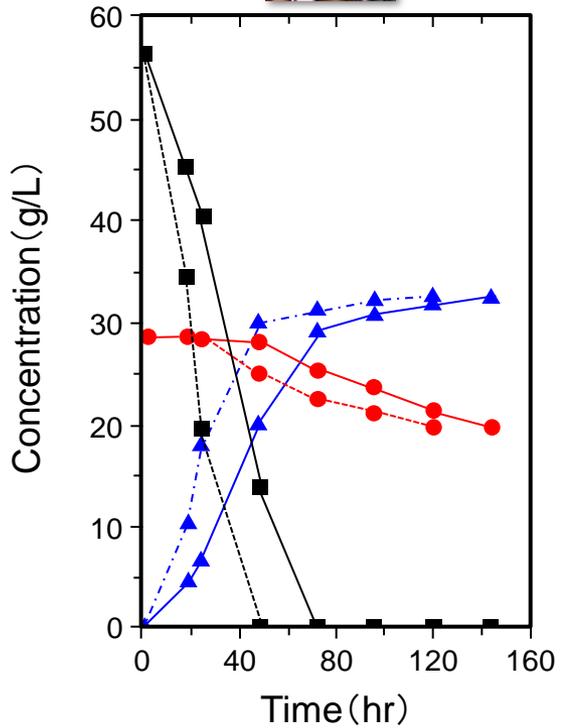
穏やかな前処理

- * 必要酵素量: 多
- * 醱酵阻害物質生成量: 少

実液混合糖 (C6糖, C5糖) からのエタノール生成

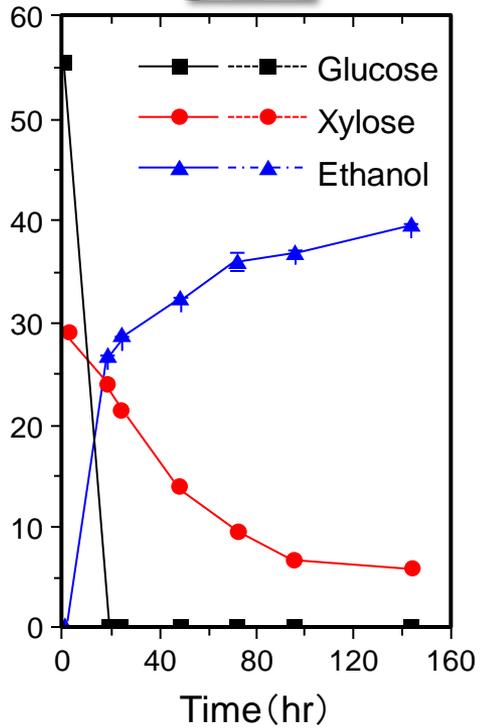
ザイモモナス

(*Zymomonas mobilis*)
(AX101)
(Zhang M(NREL))



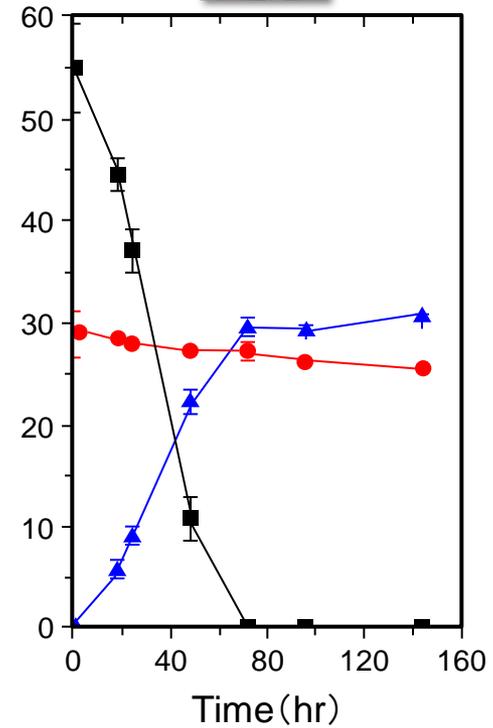
酵母

(*Saccharomyces cerevisiae*)
(424A(LNH-ST))
(Ho NW(パデュー大))



大腸菌

(*Escherichia coli*)
(KO11)
(Ingram LO(フロリダ大))



Bruce E Dale et al., *Biotechnol. Biofuel.* 3:11. 2010.

“日暮れて道遠し” 発酵阻害物質対策

■ 工学的処理

各種溶剤抽出、イオン交換レジン処理等の報告多数

■ 耐性菌開発

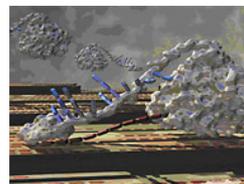
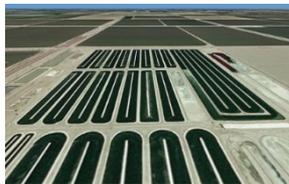
阻害機構の解析は進捗するも
実効性ある耐性機能付与には高い壁

実証計画 in 米国

| 企業 | 生産開始時期 | 州 | 生産規模 (MGY) | 原料 |
|----------------------------|--------|-------|---------------|--------------------|
| POET-DSM Advanced Biofuels | 2013 | アイオワ | 25 | 農業残渣 |
| Bluefire Renewables | 2013 | ミシシッピ | 19 | 都市ごみ 木質残渣 |
| Abengoa Bioenergy | 2013 | カンザス | 23 | スイッチグラス 農業残渣 |
| BP Biofuels | 計画中止 | フロリダ | 36 | 農業残渣 |
| DuPont Cellulosic Ethanol | 2014 | アイオワ | 30 | コーンストーバー |
| Mascoma | 2013 | ミシガン | 20 | Wood chips 農業残渣 |

MGY: million gallons per year (3785KL)

25MGY=9.5万KL



グリーン化学品

ベンチャー企業の急速な台頭

- 豊富な資金獲得
- 大企業との連携進展

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

主要グリーン化学品ベンチャー企業

| 企業名 | 開発品 | 設立 | 原料 |
|---------------------|--------------------|------|-----------|
| NatureWorks | ポリ乳酸 | 1997 | コーン |
| Myriant | コハク酸 | 2009 | ソルガム |
| BioAmber | コハク酸 | 2008 | コーン、サトウキビ |
| Genomatica | ブタンジオール | 1998 | コーン、サトウキビ |
| OPX Biotechnologies | アクリル酸 | 2007 | コーン |
| Verdezyne | アジピン酸 | 2008 | コーン、サトウキビ |
| Gevo | イソブタノール | 2005 | コーン |
| Amyris | ファルネセン | 2003 | コーン、サトウキビ |
| LS9 | 脂肪酸(ディーゼル油、界面活性剤等) | 2005 | コーン、サトウキビ |

BioAmber



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

| | |
|---------|------------------------------------|
| 本拠地 | 米国ミネソタ州 |
| ターゲット製品 | コハク酸 |
| 原料 | コーン |
| 生産計画 | 1.7万トン(カナダ 2013年)、6.5万トン(タイ 2014年) |
| 提携企業 | 三井物産、三菱化学、LANXESS、PTTMCC、Solvay |

Gemomatica



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

| | |
|---------|--------------------------------------|
| 本拠地 | 米国カリフォルニア州 |
| ターゲット製品 | 1,4-ブタンジオール(BOD)、ブタジエン |
| 原料 | コーン、サトウキビ |
| 生産計画 | 1.8万トン(イタリア、2013年、Novamont社) |
| 提携企業 | 三菱化学、Gruppo M&G、Tate & Lyle、Novamont |

Gevo



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

| | |
|---------|---|
| 本拠地 | 米国コロラド州 |
| ターゲット製品 | イソブタノール(化学品、ジェット燃料用) |
| 原料 | コーン |
| 生産計画 | 5.4万トン(米国 2012年) |
| 提携企業 | 東レ(PET)、LANXESS(ブチルゴム)、Total、Coca Cola(PET) |

RITEの取り組み



コリネ型細菌の代謝改変

- ・生産能の付与
- ・副生成経路の破壊

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

増殖**非**依存型バイオプロセス

燃料・化学品

Green Earth Institute株式会社

Green Earth Institute Co., Ltd.

【設立理念】

- 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

経営理念と設立経緯

● 経営理念

公益財団法人地球環境産業技術研究開発機構(RITE)が開発したRITEバイオプロセス技術を活用し、非可食バイオマス原料からのグリーン化学品およびバイオ燃料の事業化を進めることにより、新産業となるバイオリファイナリー産業の早期実現と発展を主導する。

● 社会的使命と設立趣旨

RITEバイオプロセスの事業化を担うことを通じて、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に貢献し、バイオリファイナリー産業の発展を主導するという社会的使命をRITEと共に担うものである。



米エネルギー省との共同研究成果 —CRADA*契約—

非可食バイオマスからバイオ燃料
エタノールの経済性ある製造の実現へ

* *Cooperative Research and Development Agreement*



セルロースエタノール共同研究開発契約

Cooperative Research and Development Agreement (CRADA)

NREL、本田技研、GEI社が共同でセルロースエタノールの経済的な生産技術開発を実施する3-yearCRADAを締結(発効日2012年4月)。

Collaboration Team



Dr. John Ashworth



Andy Aden



Dan Schell



Nancy Dowe



Dr. Ling Tao



Green Earth
Institute



Dr. Hideaki Yukawa



Dr. Masayuki Inui



Dr. Toru Jojima



Yoshikazu Fujisawa



Takahiro Iwata



Takahiro Gunji



Kenji Okamoto



NREL (米国再生可能エネルギー研究所):

1974年設立

バイオ燃料生産技術開発における中心的な研究機関



Pretreatment and enzyme hydrolysis of cellulose



corn stover



pretreated corn stover



horizontal pretreatment
reactor

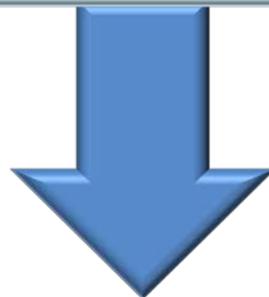


enzymatic hydrolysis
reactors



RITEバイオプロセス

▶ 醗酵阻害物質に全く影響を受けない



- ▶ 非可食バイオマスからの経済性あるバイオ燃料生産の実現
- ▶ 温暖化対策に大きく寄与

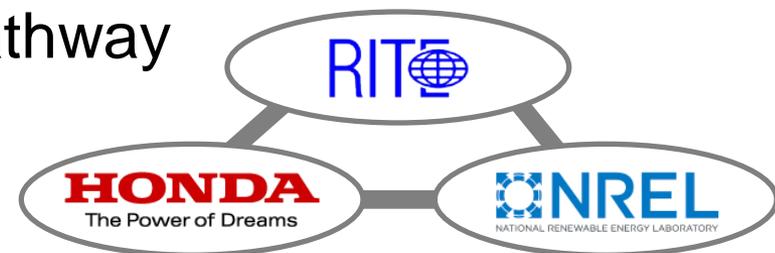


研究成果発表：大反響

■ 2012年4月4日

NRELのウェブサイトで発表

International Collaboration Results in New,
More Efficient Bioconversion Pathway



■ 2012年8月14日

米国工業微生物学会 (SIMB) で、DOE (NREL) との
セルロースエタノール共同研究成果を発表



Dr. Yukawa



Ms. N. Dowe (DOE/NREL)



かずさプラント

生産実証と技術のブラッシュアップ “世界展開への足掛かり”

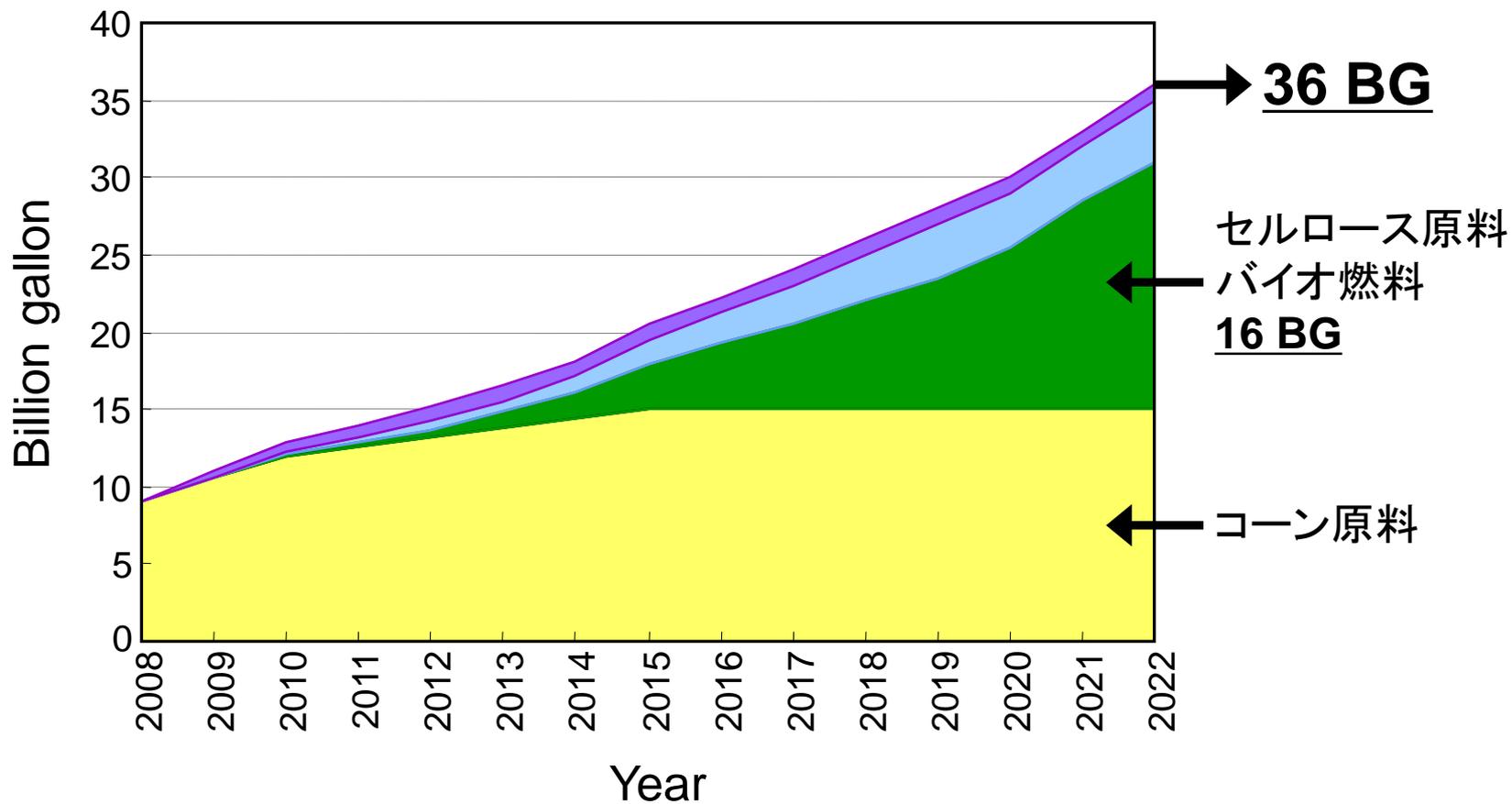


敷地面積： 1.8ha（平地 1.0ha） 竣工予定： 平成25年11月

建設地： 千葉県木更津市 かずさアカデミアパーク

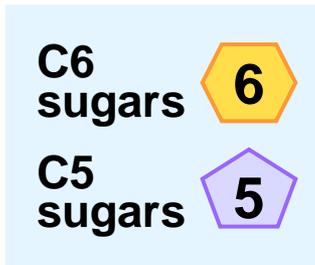


バイオ燃料導入目標 in 米国



US - Japan: International Collaboration Realization of Biorefineries

Non-food



RITE Bioprocess



RITE strain

Biofuels



Ethanol, Butanol, etc.

Green Chemicals

Lactate, Succinate, Propanol, Aromatics, etc. Amino acids (Feed use; Methionine, etc.)

Automobile materials, Packing material, Polymers Electric parts, Carbon fiber, Various resin, Chemical building blocks, etc...



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

▶ RITEバイオプロセス
(増殖非依存型バイオプロセス)

コリネ型細菌の“隠れた特性”を認識し研究開発を実施

EUの大型PJ: コリネ型細菌の工業的重要性に注目

研究開発の“場”: 既存の好気条件(通気攪拌型バイオプロセス)

しかしながら、コリネ型細菌の“隠れた特性”の工業的優位性を認め、研究を開始 (Appl. Environ. Microbiol. 73:2079-2084. 2007)



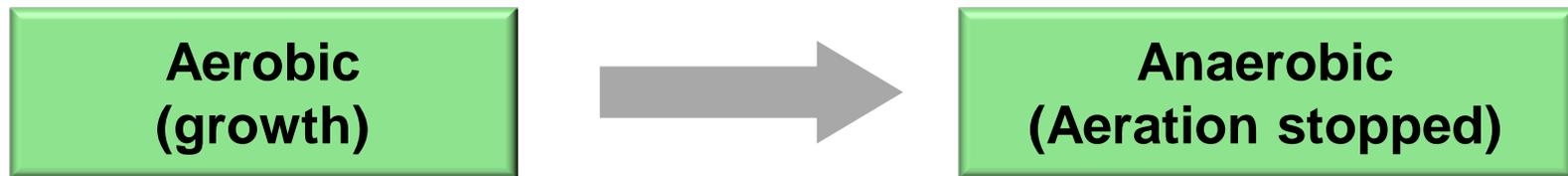
2009年8月末: “RITE知見”の追試論文発表



続々と研究域を拡大

One German group, recognized the merits of the RITE bioprocess

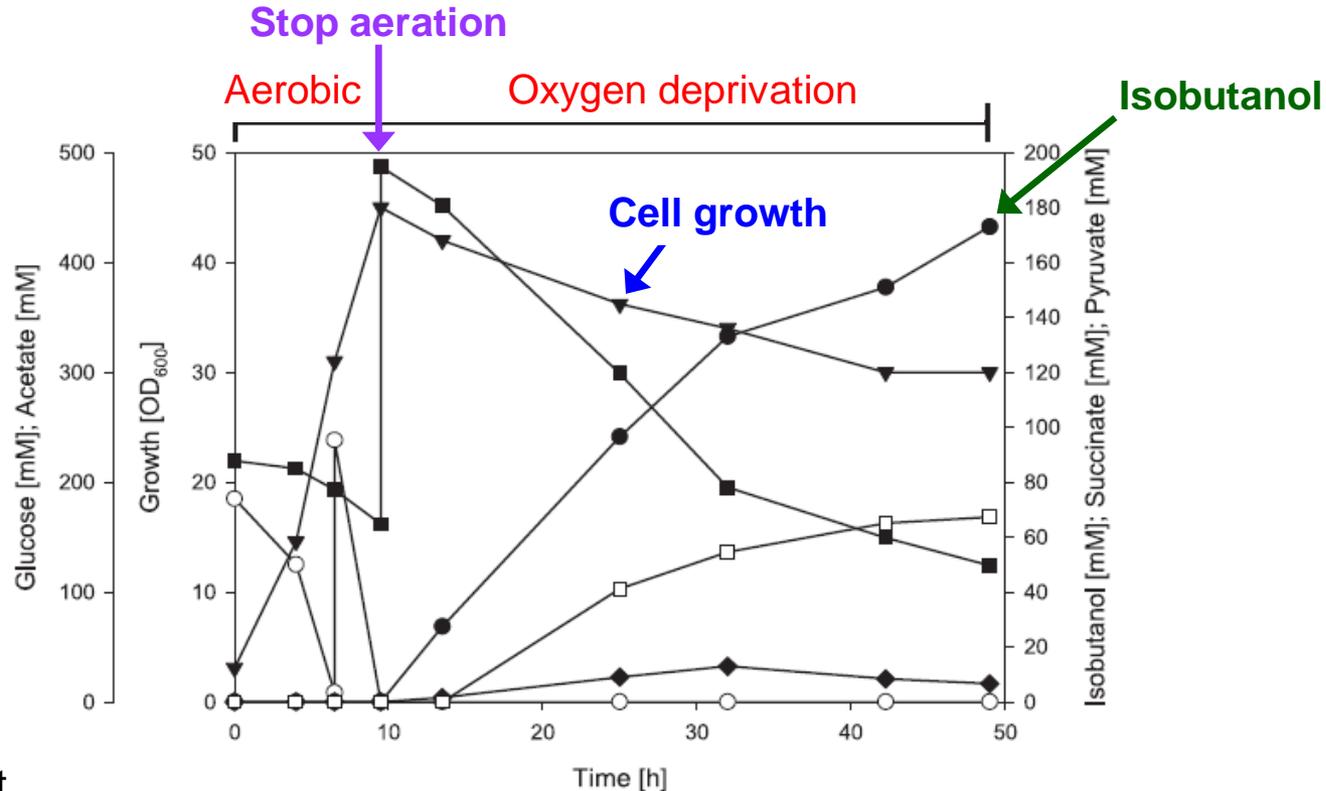
C. glutamicum ATCC 13032 (Germany)



After the aeration stop

- Cell growth arrested
- Increase lactic acid production

Another German group produced isobutanol by applying the principle of the RITE bioprocess



Result

- Aeration stopped at 10 h
- Isobutanol produced after aeration stopped (175mM. 48h)

Blombach, Wendisch, Eikmanns *et al. Appl. Environ. Microbiol.* **77**: 3300-3310. 2011.

EU: コリネ型細菌の主要研究者



Institut für Biotechnologie 1 (IBT-1)



Dr. em. Hermann Sahn
September 5, 1942



Dr. Lothar Eggeling



Dr. Michael Bott
2007-
Head of IBT1



Dr. Bernhard Eikmanns
2000- University of Ulm

Regulation of central carbon metabolism
→ Functional analysis of transcription factors



Dr. Reinhard Krämer
1998 Apr- University of Cologne (Köln)

Transport of amino acids
→ Analysis of transporters
→ Osmotic stress response
→ Cell division

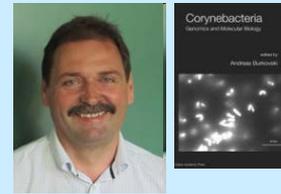


Dr. Petra Peters-Wendisch
2008- University of Bielefeld



Dr. Volker F. Wendisch
2008- University of Bielefeld

marriage



Dr. Andreas Burkovski
2005 Oct-
Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

Export of GluGlu
→ Regulation of nitrogen metabolism



Dr. Alfred Pühler
September 28, 1940



Dr. Andreas Tauch

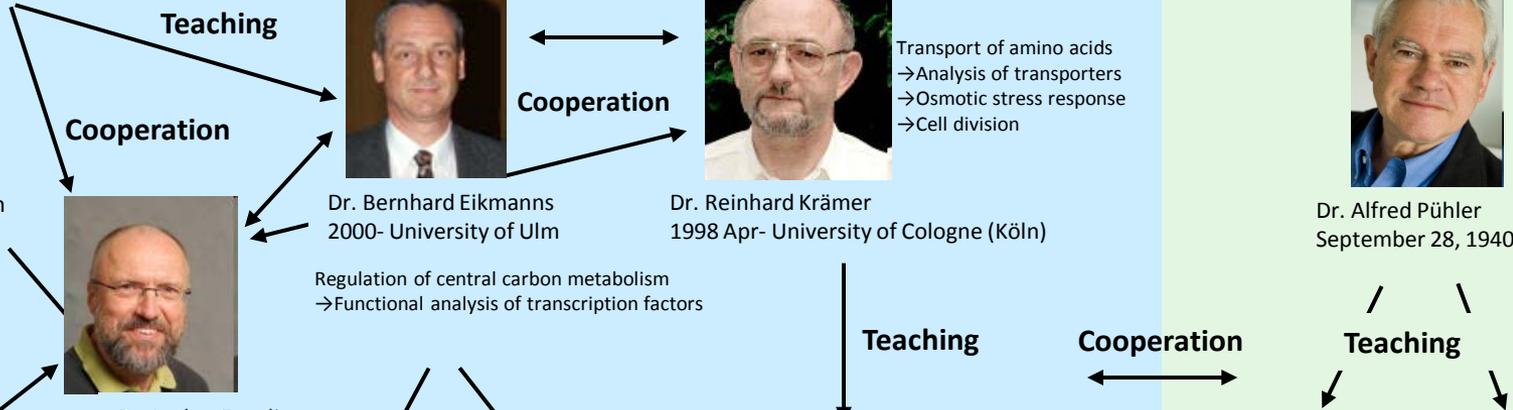


Dr. Jörn Kalinowski

Cooperation

Biochemistry and Molecular biology

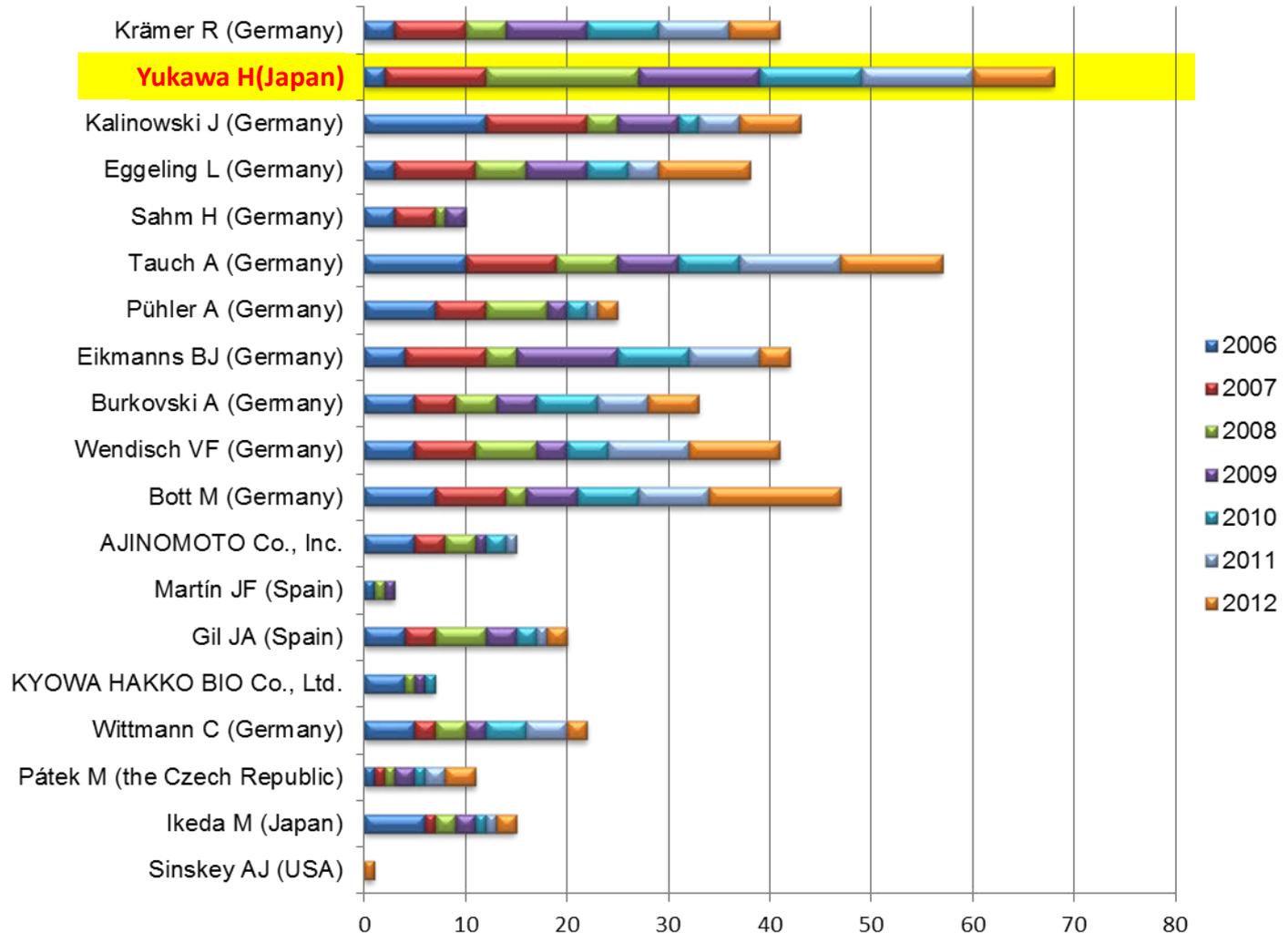
Bioinformatics



Published papers about *Corynebacterium*

Numbers of published corynebacterial papers after 2006

| Ranking | Name | Numbers of papers |
|---------|------------------------------|-------------------|
| 1 | Krämer R (Germany) | 117 |
| 2 | Yukawa H (Japan) | 102 |
| 2 | Kalinowski J (Germany) | 102 |
| 4 | Eggeling L (Germany) | 98 |
| 5 | Sahm H (Germany) | 95 |
| 6 | Tauch A (Germany) | 89 |
| 7 | Pühler A (Germany) | 85 |
| 8 | Eikmanns BJ (Germany) | 77 |
| 8 | Burkovski A (Germany) | 77 |
| 10 | Wendisch VF (Germany) | 61 |
| 10 | Bott M (Germany) | 61 |
| 12 | AJINOMOTO Co., Inc. | 50 |
| 13 | Martín JF (Spain) | 43 |
| 13 | Gil JA (Spain) | 43 |
| 15 | KYOWA HAKKO BIO Co., Ltd. | 41 |
| 16 | Wittmann C (Germany) | 40 |
| 17 | Pátek M (the Czech Republic) | 38 |
| 18 | Ikeda M (Japan) | 34 |
| 19 | Sinskey AJ (USA) | 33 |



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

➡ 研究グループとしては喜ばしい反面、競争激化を覚悟

➡ 国際的評価

2011年度 米国工業微生物学会 Fellowship Awardを
日本人研究者として初の受賞



ご清聴ありがとうございました

Contact Information:

mmg-lab@rite.or.jp

www.rite.or.jp