

## マッチングサポートフェーズ/ 乳酸駆動型水素発酵法の社会実装

この公演は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「官民による若手研究者発掘支援事業・マッチングサポートフェーズ」の成果を一部活用しています。

### 乳酸駆動型水素発酵法：

### バイオ水素と化成品原料を同時に生産する技術

バイオ水素：水素社会を形成する燃料

化成品原料：ファインケミカル事業の原料（短鎖脂肪酸など）



東京農業大学

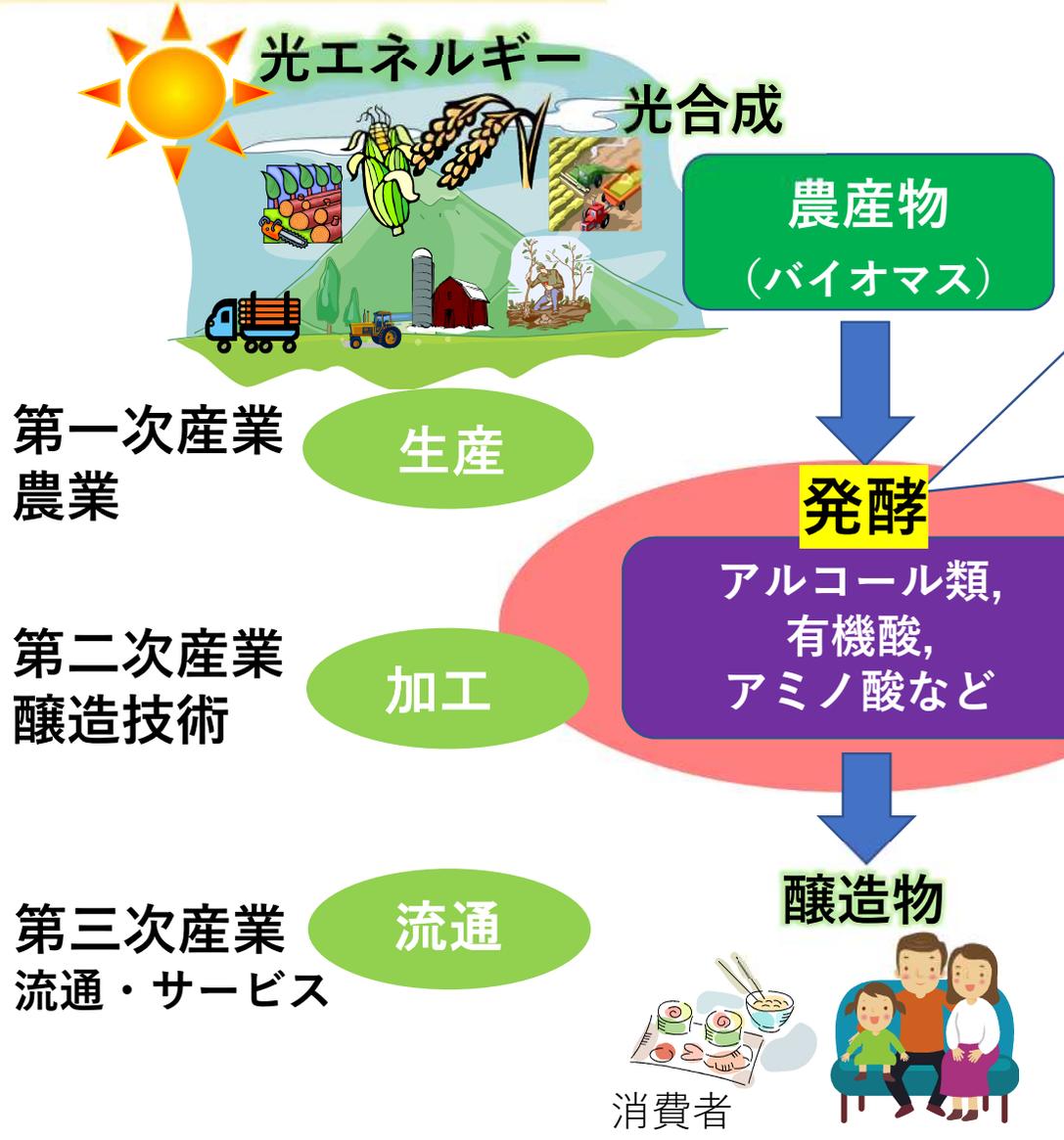
応用生物科学部

醸造科学科

大西章博



# 醸造技術とは何か？



### 醸造技術

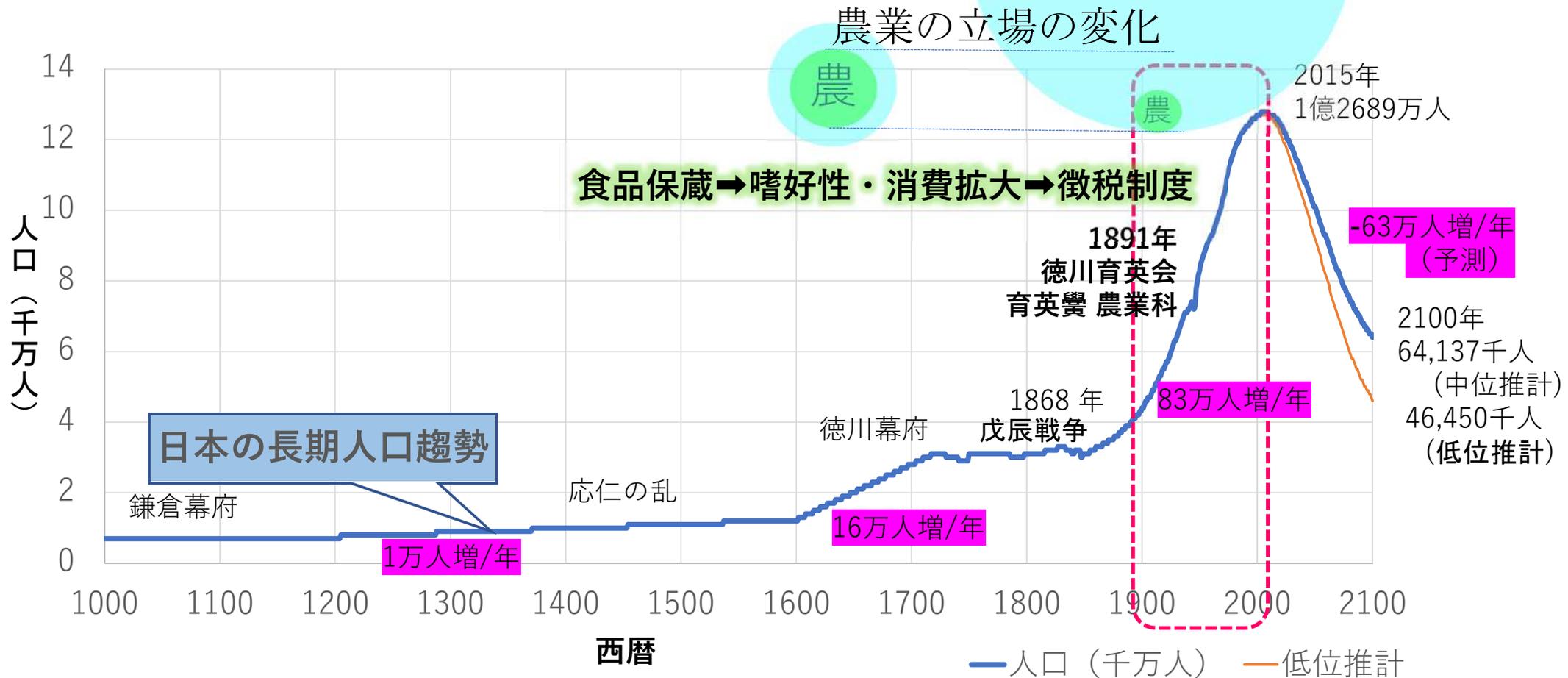
【原料】 農産物	微生物 発酵	【製品】 醸造物
米	→	清酒
牛乳	→	チーズ ヨーグルト
大豆	→	味噌 醤油 納豆

他にも食酢、味醂、ビール、ワインなど

### 農業を支える技術

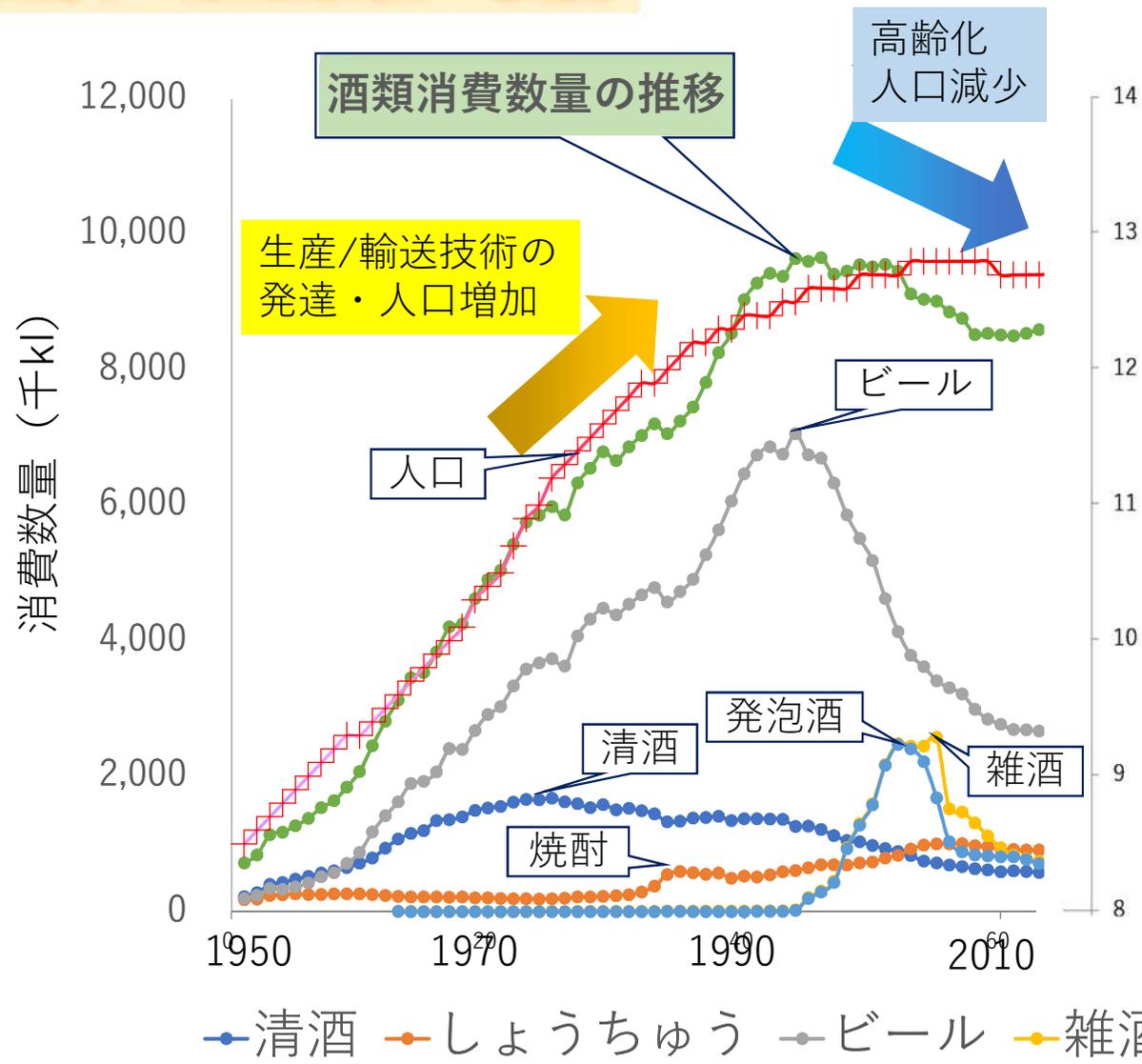
保存性、栄養、嗜好性の向上、  
需要の幅、農産物の消費拡大

# 時代の変遷と醸造技術の役割



出典：内閣府データをもとに作成  
 資料：1872年以前は、鬼頭宏「人口から読む日本の歴史」講談社（2000年）、森田優三「人口増加の分析」日本評論社（1944年）による。1872年から2004年までは総務省統計局「国勢調査」、「10月1日現在推計人口」による。2005年以降は国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口（平成14年1月推計）」。  
 注：推計値のうち、2051年から2100年までは参考推計。

# 近代の醸造技術の役割



～1990年  
人口増加と技術向上で酒類消費上昇

- この間の醸造技術の役割
- 1 消費の幅を広げて農業を支える
  - 2 日本の食生活を豊かにする
  - 3 徴税制度

1990年～  
人口減少、高齡化、飲酒適齡世代の減少  
酒類消費は減少に転じる

➔次世代の醸造技術の役割は？

# 醸造技術の次世代の役割



第一次産業    第二次産業    第三次産業

## 醸造の王道

酒類生産  
発酵食品  
調味料生産  
食品加工

## ファインケミカル産業

医薬品  
抗生物質  
化成品原料  
短鎖脂肪酸

化粧品  
洗剤  
エタノール

## 醸造技術 微生物 発酵

農薬  
肥料

廃棄物-排水処理  
環境修復

バイオ燃料  
メタン  
バイオ水素  
ジェット燃料

バイオマテリアル  
生分解性ポリマー

## 環境技術

### 演者らの役割

1. 時代の趨勢に関わらず、農業の知恵と技術と伝統を未来の国家へ伝えること
2. 近代産業に寄与する新たな技術を開発し、農業を支援すること
3. これらを支える人材を育成すること

# 新たな技術開発

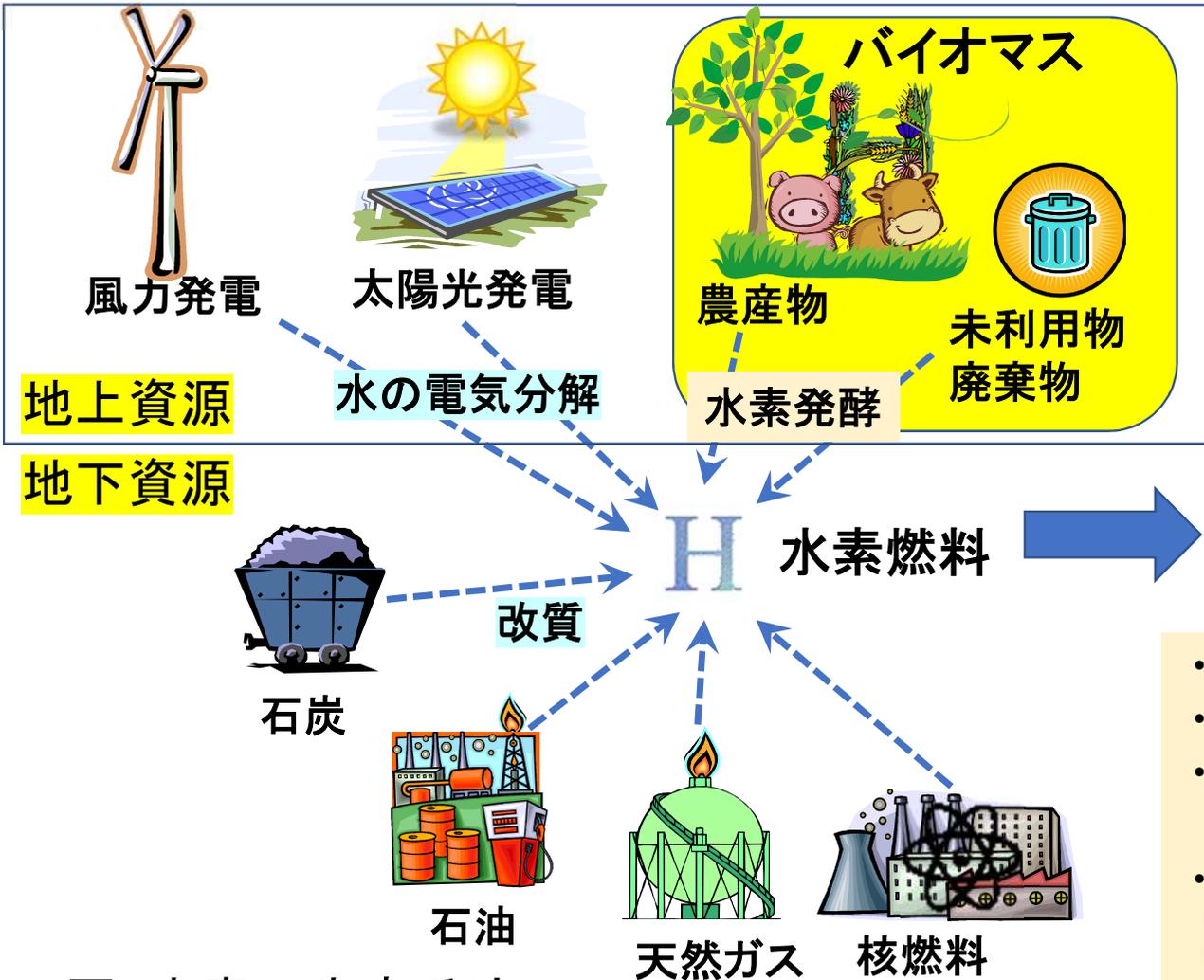
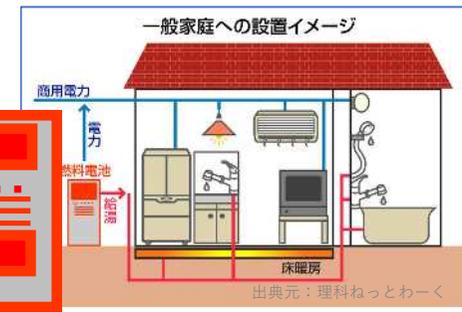


図. 水素の生産手法

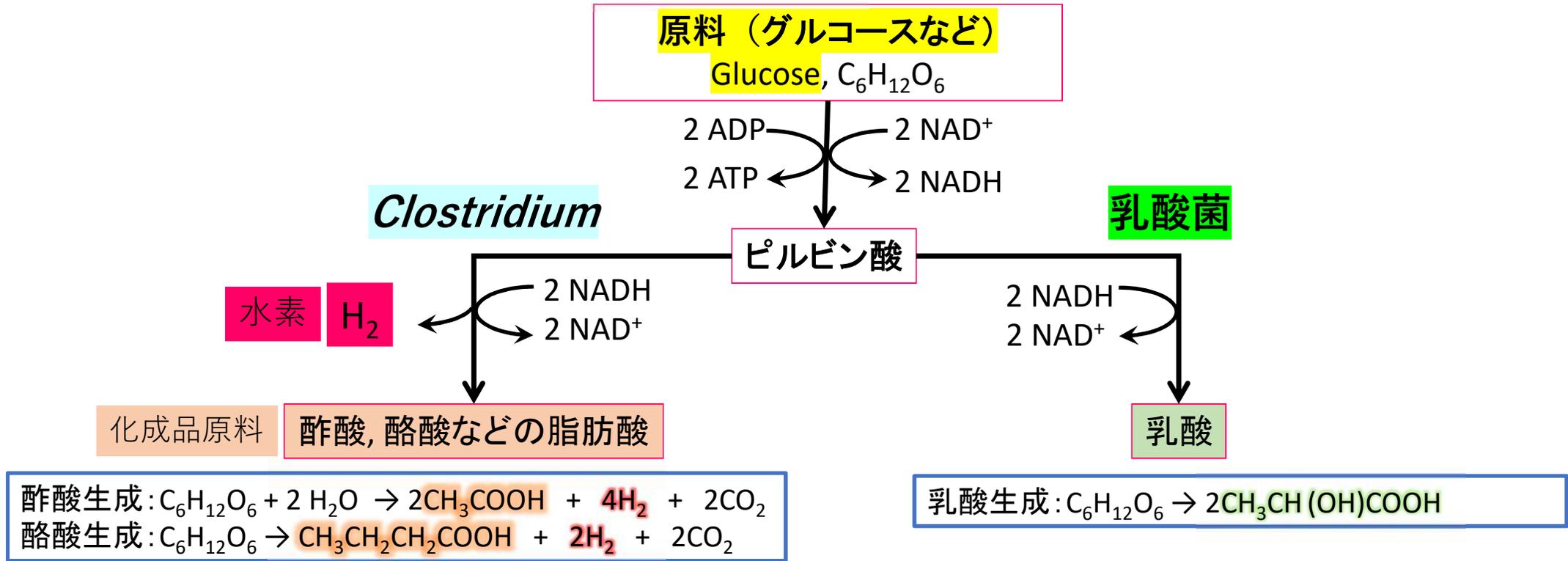
## 水素社会



燃料電池

- 水素社会実現は世界の目標
- 太陽光/風力発電による水の電気分解
- 地下資源（石炭・天然ガスなど）の改質
- 水素発酵は水素と物質生産ができる
- ➔ **水素発酵による燃料とモノ造り**

# 水素発酵のアキレス腱（致命的弱点）



## 水素発酵の特徴

- *Clostridium* 属による研究が主体
- 水素燃料と化成品原料を同時生産できる

## 水素発酵は乳酸菌で停止する

- 乳酸菌は原料を消費(餌の奪い合い)して、乳酸とバクテリオシンを生産する。
- *Clostridium* 属の水素発酵を強く阻害

# 東京農業大学の挑戦

乳酸菌に負けない  
強靱な水素発酵菌の探索

自然界の複合微生物

- 土壌
- 河川/湖沼水
- 植物
- 堆肥
- 下水汚泥
- メタン発酵汚泥

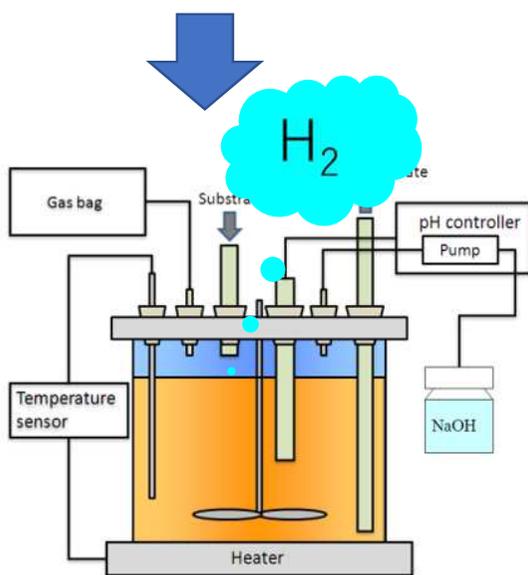


Figure . Schematic diagram of the fermenter.

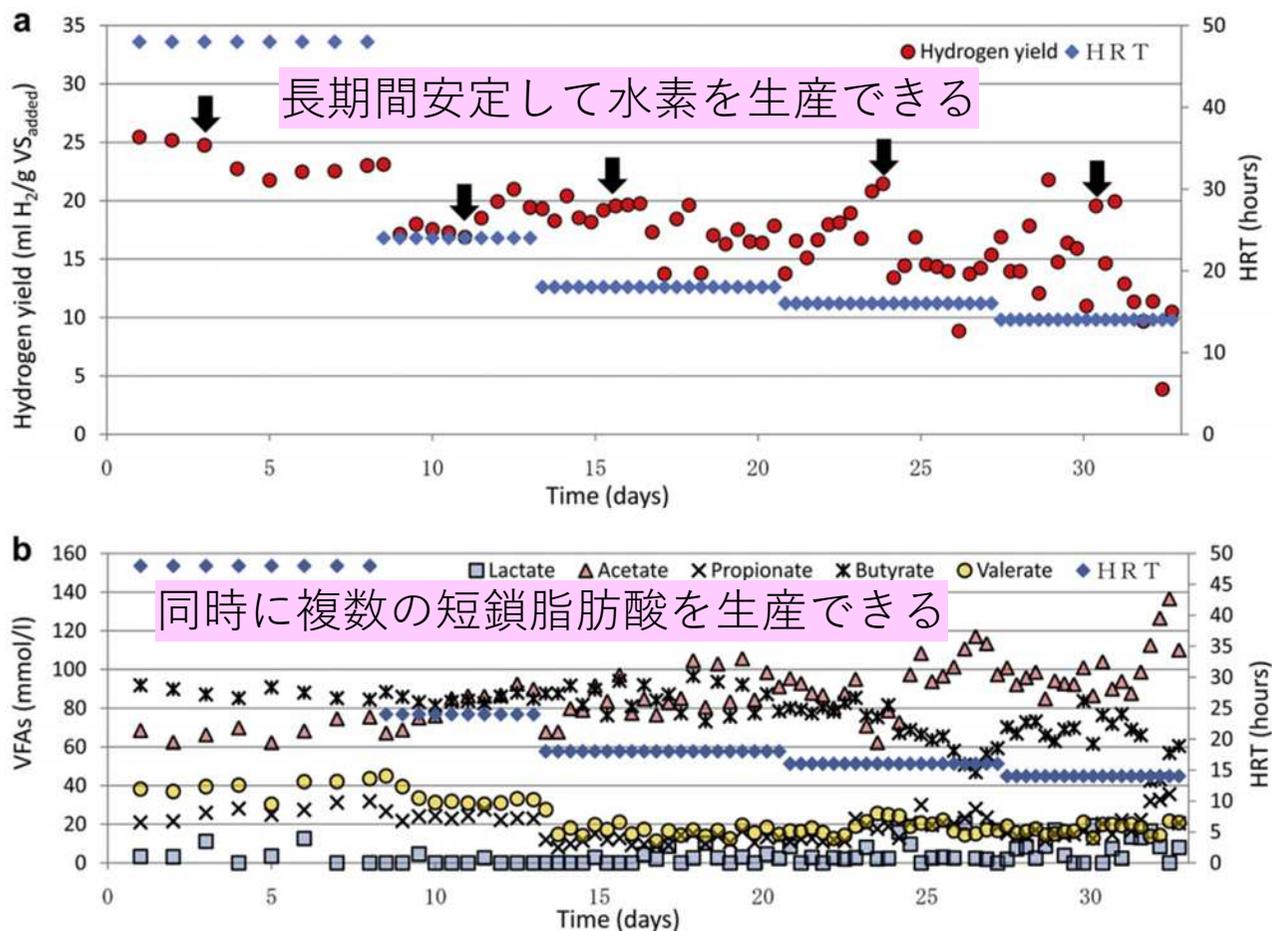
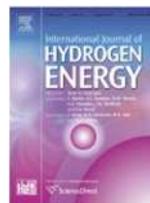


Fig. 3 – Profiles of hydrogen yield (a) and VFA concentration (b) in each HRT condition. Arrows indicate the microbial analysis sampling point in each HRT condition.



Development of a simple bio-hydrogen production system through dark fermentation by using unique microflora et. al., *International Journal of Hydrogen Energy*, 35, 16 2010, 8544–8553

# 微生物群衆構造の解析

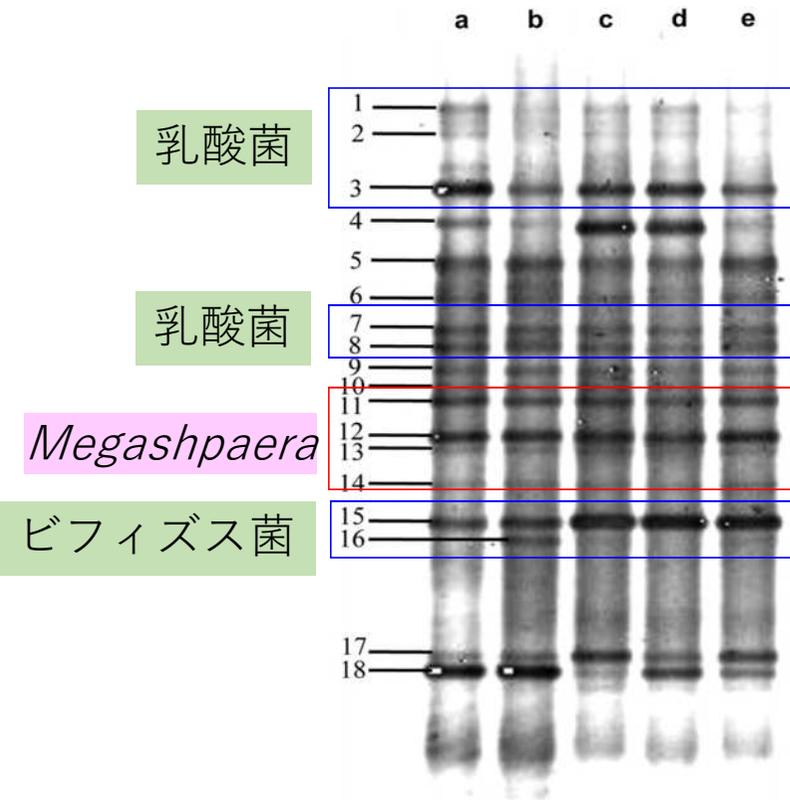


Fig. 4 – PCR-DGGE profiles of bio-hydrogen fermentation microflora collected from a sequencing batch experiment with hydraulic retention time fixed at 48 (a), 24 (b), 18 (c), 16 (d), or 14 (e) hours.

- 乳酸菌、ビフィズス菌が多数検出された
- **Clostridium** 属は居なかった

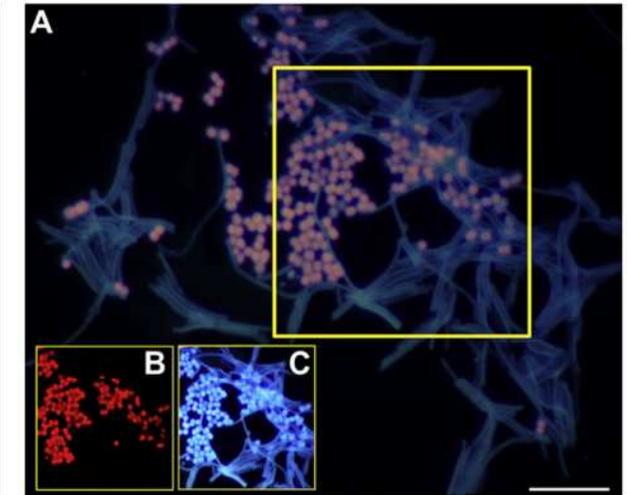
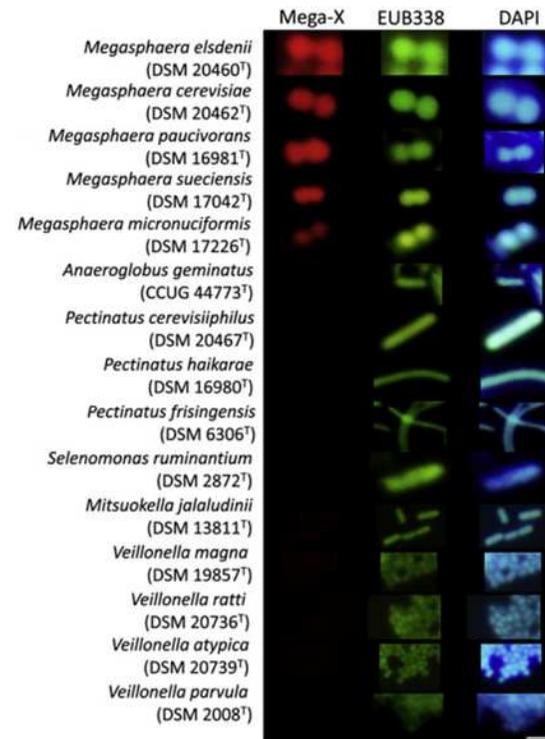
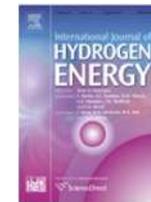


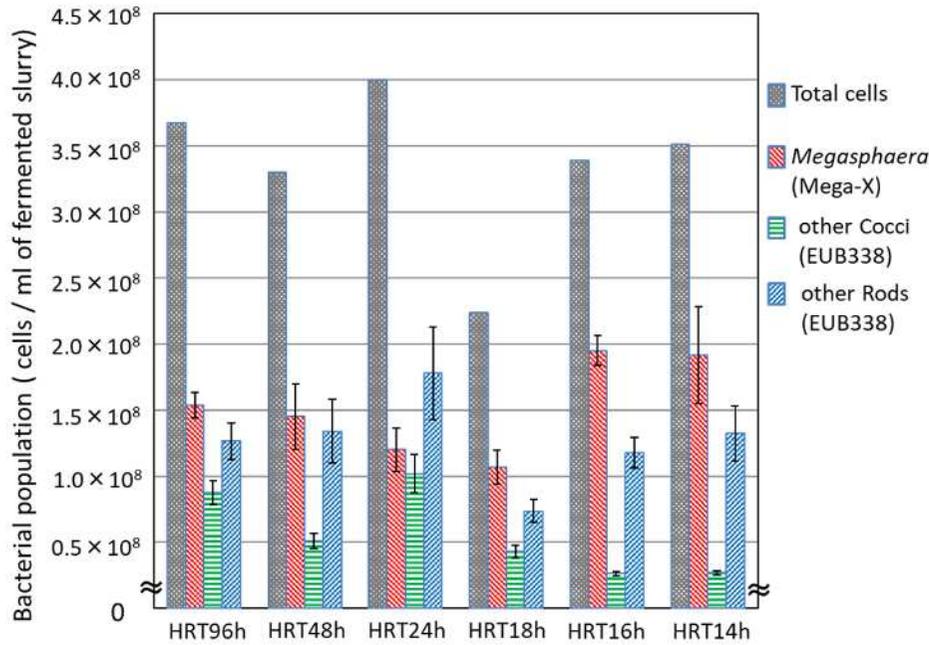
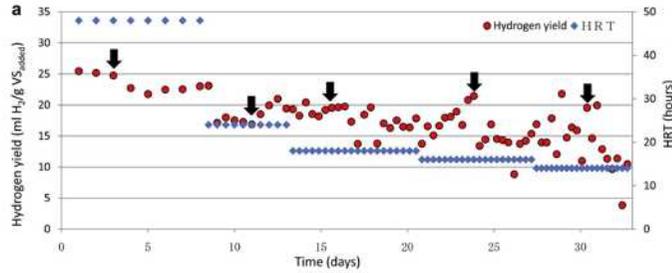
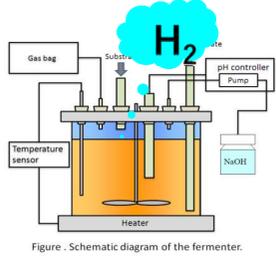
Fig. 3 – Micrographs of mixed organisms, *Megasphaera elsdenii* DSM 20460<sup>T</sup> and isolated *L. delbrueckii*, with FISH and DAPI staining. FISH probe Mega-X (Cy3 labelled) was used for *Megasphaera*-specific detection; DAPI staining was used for all cells. Fluorescence of (A) *M. elsdenii* (shown in purple) and *L. delbrueckii* Sa (shown in blue) cells from FISH probe Mega-X and DAPI; (B) *M. elsdenii* (shown in red) from FISH probe Mega-X; (C) *M. elsdenii* and *L. delbrueckii* cells (shown in blue) from DAPI. T, type strain; bar, 10 μm.

*Megashpaera*を単一細胞レベルで検出/識別/追跡する技術を開発



Ohnishi A., et al., *International Journal of Hydrogen Energy*, 37, 3, 2012, 2239–2247

# 水素生産と *Megasphaera* の動態が一致

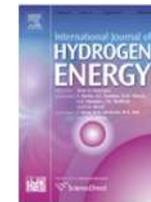


- 水素発酵過程では *Megashpaera* が優占する
- Megashpaera* が主役であると予測

# *Megasphaera* の分離

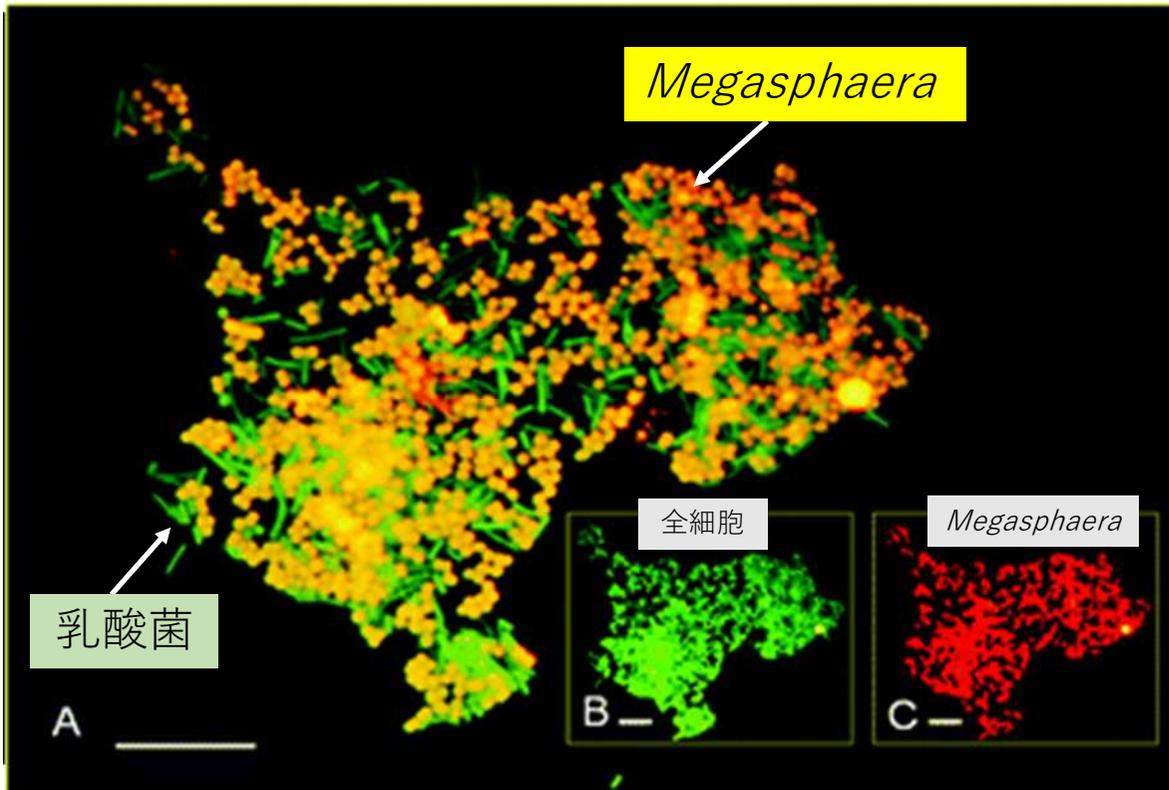


- 様々な条件と方法で嫌気性菌を個別に単離
- 個々の遺伝子と能力を評価



Ohnishi A., et al., *International Journal of Hydrogen Energy*, 37, 3, 2012, 2239–2247

# Megasphaera が乳酸消費型の水素生産菌であることを発見



- *Megasphaera* は乳酸菌との共生下で水素と短鎖脂肪酸を同時生産できる
- グルコース以外に乳酸からも水素生産できる  
(乳酸はバイオ燃料の原料にできないとされてきた)
- アクリル酸経路などが関連する

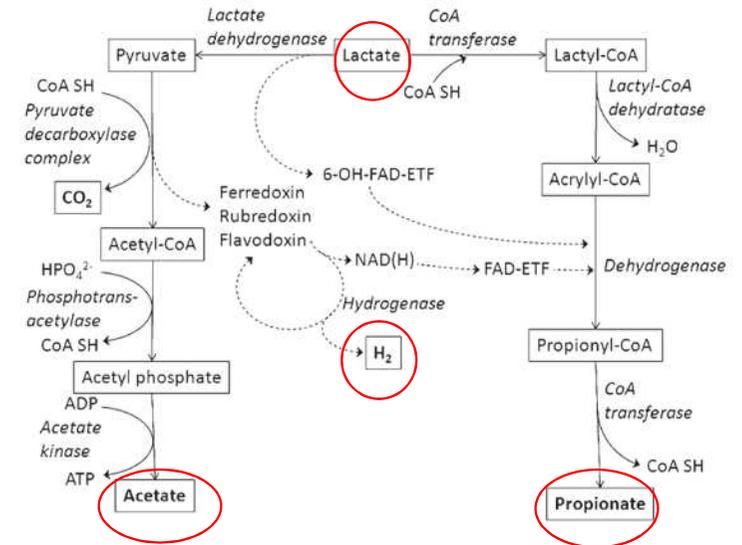
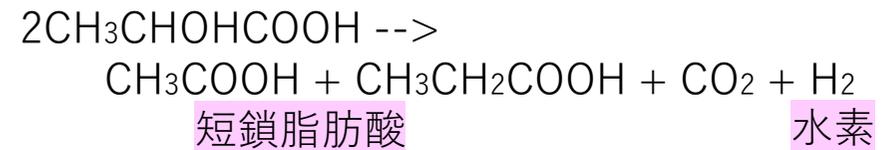


Fig. 6 Schematic representation of a putative metabolic pathway of hydrogen fermentation using lactate; 6-OH-FAD-ETF, 6-hydroxy-7,8-dimethyl-10-(ribityl-5'-ADP)-isoalloxazine; ETF, electron-transferring flavoprotein; solid arrows, reaction pathways; dashed-line arrows, transfer of reducing equivalents; boxed structures, stating materials and products; bold text, final products; italics, enzyme.



Hydrogen fermentation using lactate as the sole carbon source: Solution for 'blind spots' in biofuel production



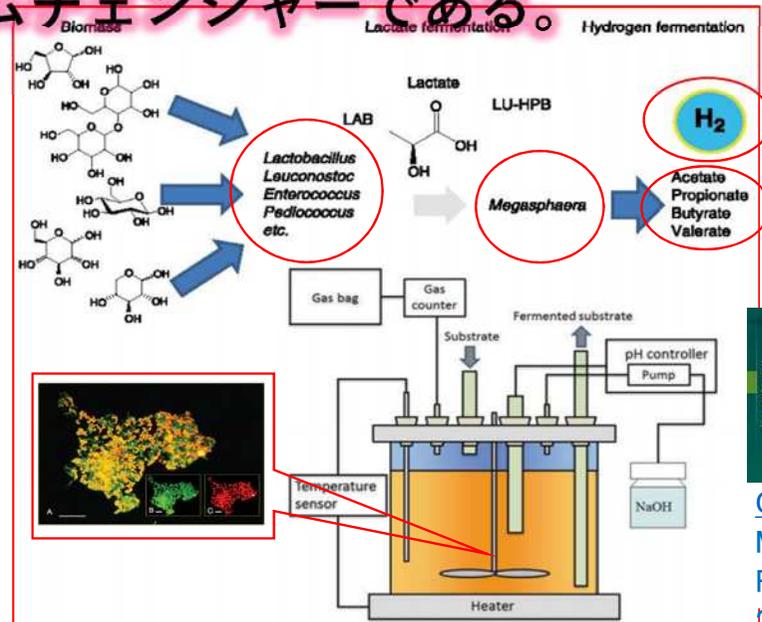
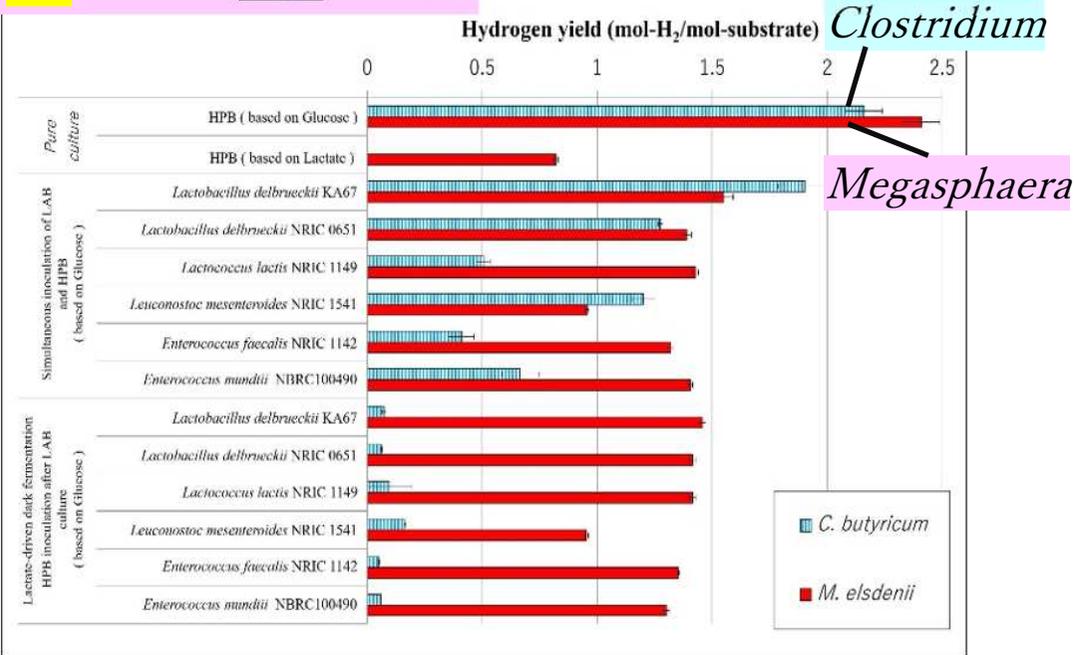
Ohnishi A., et al., *RSC Adv.*, 2012, 2, 8332-8340



**結論：水素発酵法のアキレス腱を解消し、可能性を最大限に開放する。  
 Megasphaera は水素発酵法を社会実装に導くゲームチェンジャーである。**

**水素発酵法の社会実装を実現するゲームチェンジャーである。**

1) 乳酸菌と共存できる

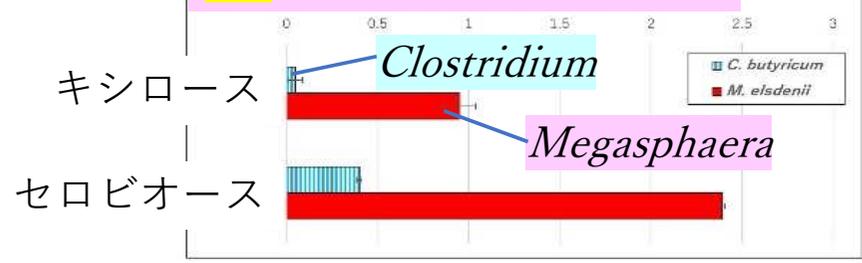


**乳酸駆動型(Lactate-driven)水素発酵法**

1) 乳酸菌存在下では *Clostridium* の水素生産は停止するが、  
*Megashpaera* は維持できる。

2) 乳酸駆動型水素発酵法は、乳酸菌のチカラを利用して  
 様々なバイオマスを利用できる。

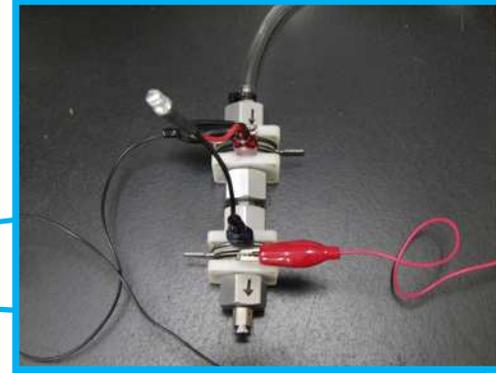
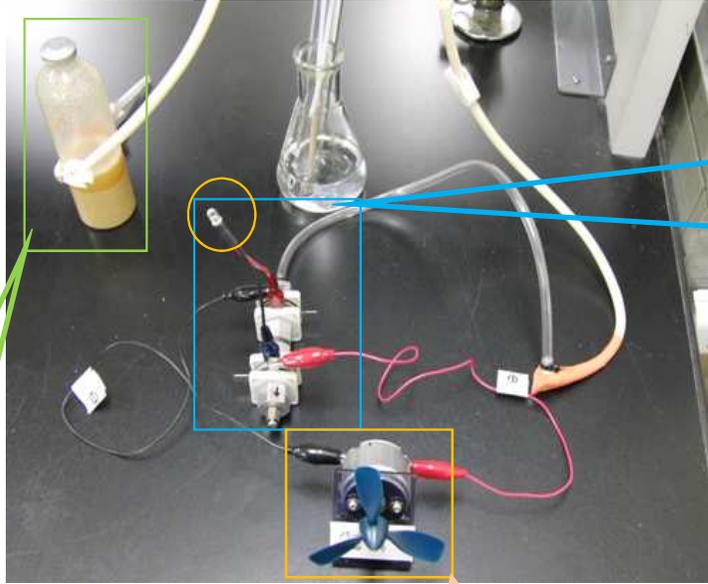
2) 乳酸菌と協力できる



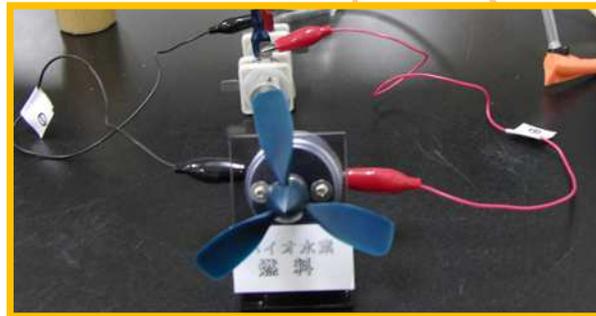
# バイオ水素と燃料電池



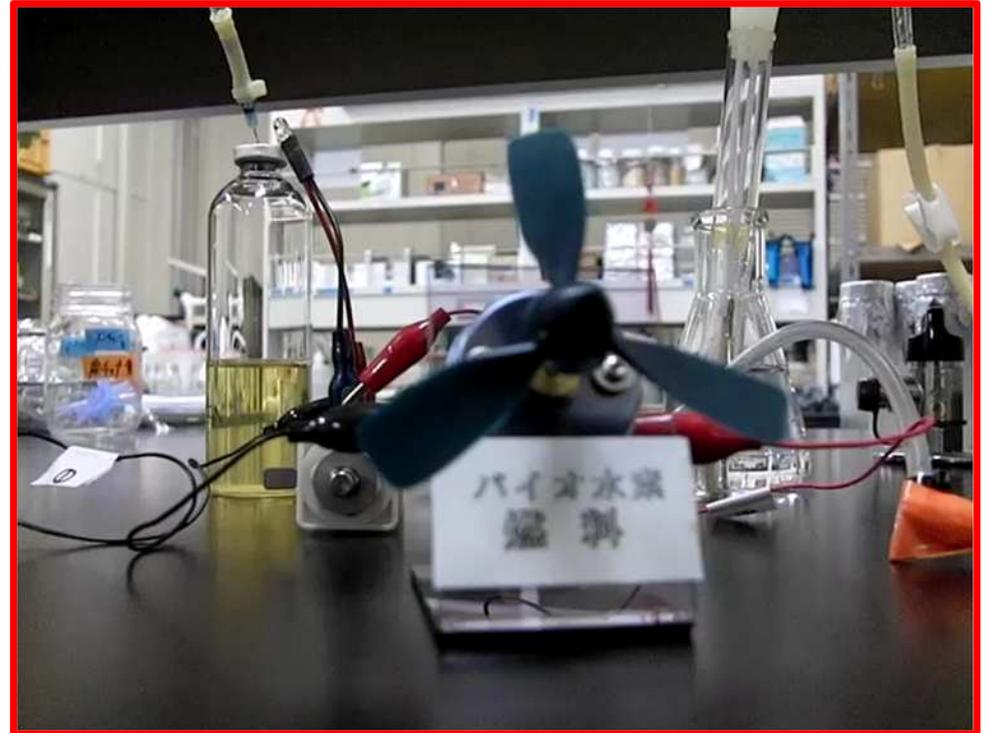
原料：農業系廃棄物  
食品系廃棄物  
(化学エネルギー)



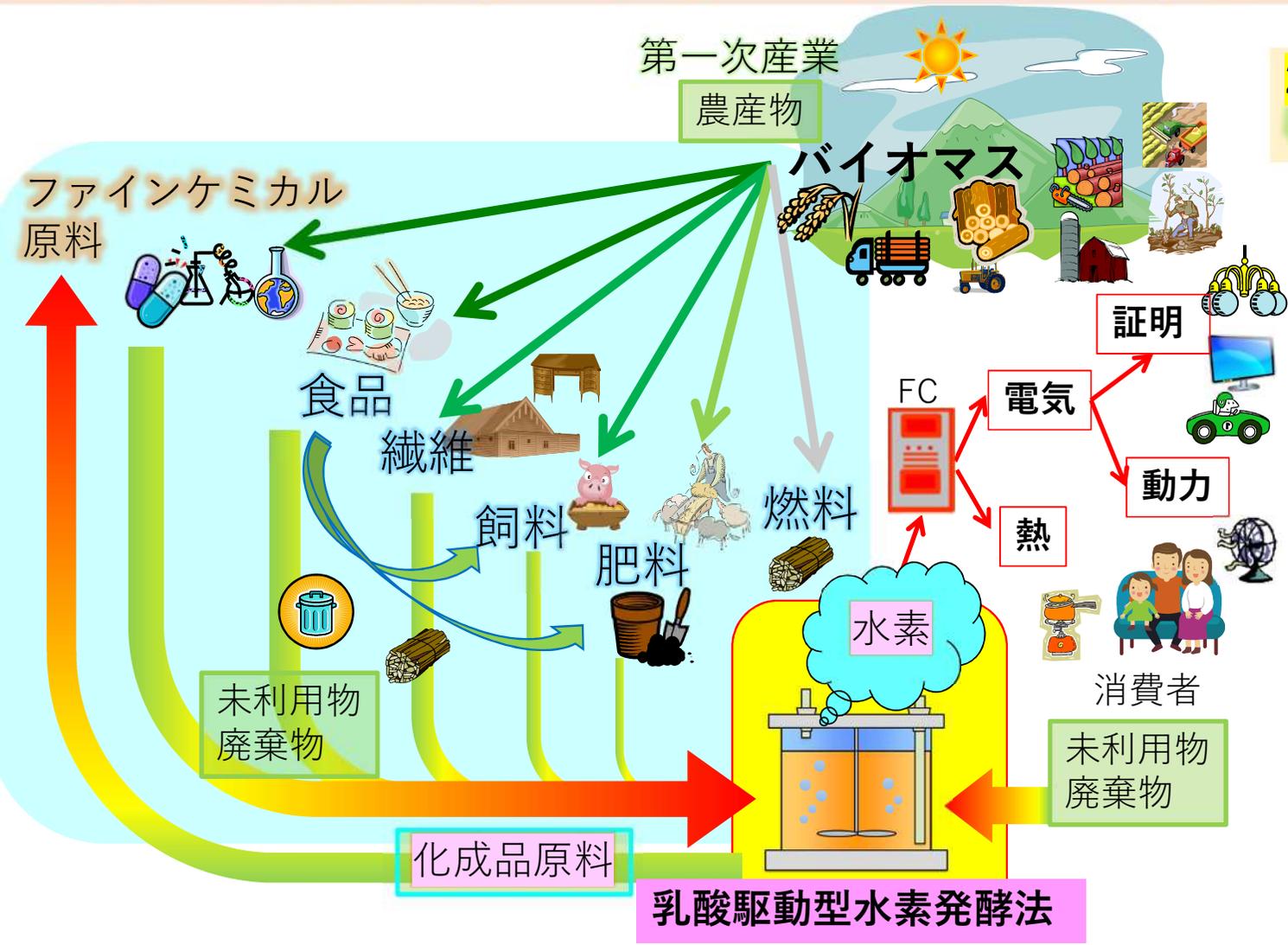
水素燃料電池と  
発酵ダイオード  
(光エネルギー)



電動機 (動力学的エネルギー)



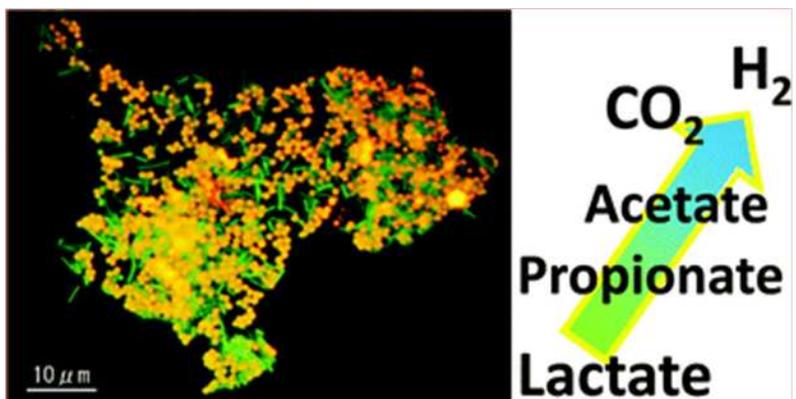
# 乳酸駆動型水素発酵法は 新たな社会システム（サーキュラーバイオエコノミー）形成に寄与する



2. 近代産業に寄与する新たな技術を開発し、農業を支援すること

### 【乳酸駆動型水素発酵法】

- 水素燃料と化成品原料の同時生産
- 農産物、未利用物を原料利用できる
- サーキュラーバイオエコノミーの基盤形成
- 新規雇用開発と地域経済活性化



これらの研究成果は、醸造環境科学研究室を卒業した大学院生と在校生の努力で達成されました。

ここに記して感謝を申し上げます。

板東 由起子  
阿部 新子  
長谷川 裕士  
村山 蘭  
小林 邑弥  
吉田 宗一郎  
岡 南海  
石川 瑞季

## 謝辞

この公演は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「官民による若手研究者発掘支援事業・マッチングサポートフェーズ」の成果を一部活用しています。