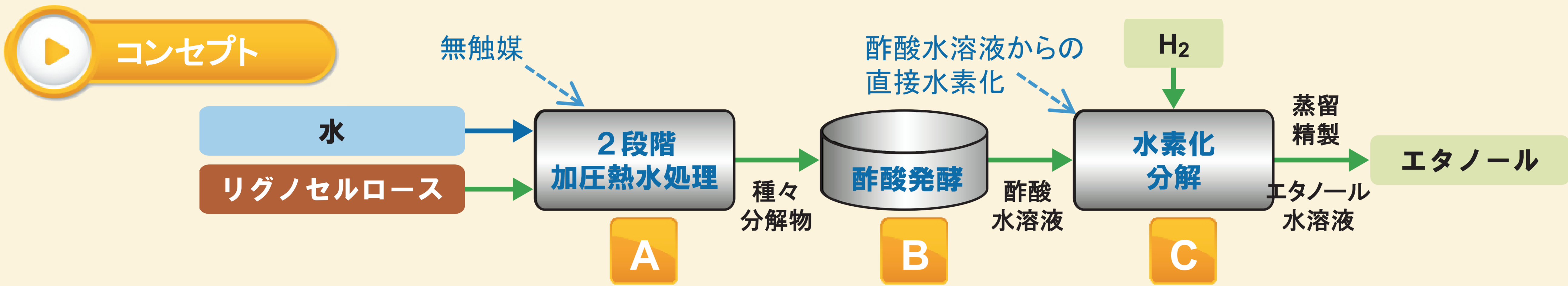


酵母を用いないエタノール生産への挑戦！ Challenging Non-Yeast Bioethanol Production !

酢酸発酵によるリグノセルロースからの先進高効率エタノール生産
Advanced Bioethanol Production by Acetic Acid Fermentation from Lignocellulosics

坂 志郎 京都大学大学院エネルギー科学研究科
Shiro Saka, Graduate School of Energy Science, Kyoto University



酵母による従来のアルコール発酵法

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2 C_2H_5OH + 2 CO_2$$

- 1/3の炭素原子がCO₂として大気に放出される。
- 天然酵母ではヘキソースしか資化されない。

酢酸発酵法

酢酸発酵: $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3 CH_3COOH$

水素化分解: $3 CH_3COOH + 6 H_2 \rightarrow 3 C_2H_5OH + 3 H_2O$

トータル: $C_6H_{12}O_6 + 6 H_2 \rightarrow 3 C_2H_5OH + 3 H_2O$

- 全ての炭素原子が酢酸に変換され、**CO₂を放出しない**。
- 多種多様な物質を酢酸、さらにエタノールへと変換できる。

A 加圧熱水処理¹⁾

セロオリゴ糖
キシロオリゴ糖
各種中性糖
ウロン酸
糖分解物
有機酸
リグニン由来物

スギの分解挙動

1段目: 230°C/10MPa 2段目: 270°C/10MPa

水可溶部中の分解物濃度 (a.u.)

処理時間 (min)

- ヘミセルロース及びリグニン由来物
- セルロース由来物

・スギ(針葉樹)の他、ブナ(広葉樹)、稲わら、ニッパ茎葉、トウモロコシ穂軸などの各種リグノセルロースを分解可能

B 酢酸発酵²⁾

→ *C. thermocellum*
→ *C. thermoaceticum* 加圧熱水処理で得た水可溶部

セロオリゴ糖
各種中性糖
ウロン酸
糖分解物
有機酸
リグニン由来物
CO₂, H₂

キシロオリゴ糖 → エタノール H₂

酢酸

流加培養による酢酸の高濃度化

基質: スギ由来の水可溶部 (60°C/pH7/N₂雰囲気)

酢酸濃度 (g/L)

発酵時間 (hr)

・流加培養の他、微生物固定化方法や中和方法などの最適化を行い、酢酸を高濃度化

C 水素化分解³⁾

直接水素化分解

$$CH_3COOH + H_2 \xrightarrow{\text{触媒}} C_2H_5OH + H_2O$$

触媒の探索

ルイス酸担持触媒による直接水素化

ルイス酸担持触媒 (Ru-Sn/TiO₂)

酢酸水溶液からのエタノール生産 (触媒量4wt%, 170°C/15MPa) (Ru : Sn : TiO₂ = 4 : 4 : 100 w/w)

酢酸濃度 (g/L)	反応時間 (hr)	エタノール収率 (mol%)
10	12	98.2
25	12	93.7
45	24	92.7
100	24	92.6

流通型装置の開発

・安価なNi-Sn/TiO₂でも良好に水素化分解可能
・流通型装置の開発により反応時間が大幅に短縮

研究開発事項

- 加圧熱水処理** ・水可溶部中の分解物の高濃度化(~45g/L)と残渣の有効利用
- 酢酸発酵** ・流加発酵や微生物固定化による酢酸の高濃度化(~40g/L)
- 水素化分解** ・安価な金属触媒の開発(Ni-Sn/TiO₂で良好な水素化活性を確認)
・流通型装置の開発(良好なエタノール変換率を達成)
- 企業との連携** ・(株)環境総合テクノスとの連携によるビジネスモデルや事業採算性の評価

【参考文献】

- 1) N. Phaiboonsilpa, et al., *J. Wood Sci.* **56**, 331-338 (2010)
- 2) H. Rabemanolontsoa, et al., *J. Chem. Technol. Biotechnol.* **91**, 1040-1047 (2015)
- 3) Y. Ito, et al., *Fuel* **178**, 118-123 (2016)

【知的財産】

US patent 8,409,832 (2013年4月2日)
特許第5498005号 (2014年3月14日)
特許第5675220号 (2015年1月9日)

【連絡先】

京都大学大学院エネルギー科学研究科
特任教授 坂 志郎
Tel : 075-753-4738 メール : saka@energy.kyoto-u.ac.jp