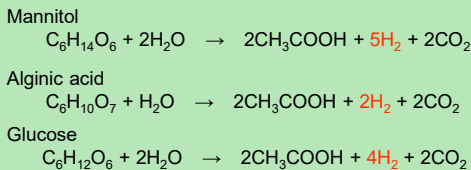


海藻バイオマス水素生産の経済性試算と海藻品種改良の課題

○谷生重晴^{1,2}, 長谷川幸教², 林俊宏²

¹横浜国立大学名誉教授, ²バイオ水素株式会社 E-mail: tanisho-shigeharu-fx@ynu.ac.jp

各種糖による発酵の理論最大水素収率



多くの細菌は乳酸、酪酸、エタノールなどを酢酸と同時に代謝生産するので、水素収率は1~2.5mol/molが普通である。

- ◆ グルコースを基質として理論最大収率で水素発生するバクテリアは *Thermotoga maritima* だが、発生速度が遅い。
- ◆ 収率が 2.5mol/mol-glu.程度であれば、水素生産コストは実用性に近い低コストになる。
- ◆ マンニトールからも 2.5mol/mol-man.の収率で水素発生するバクテリアが見つかった。
- ◆ 将来、もっと高収率のバクテリアが発見される可能性はある。
- ◆ 海藻利用に都合の良い海水水素バクテリアも既に発見されている。
- ◆ アルギン酸はあまり良い水素基質ではない。

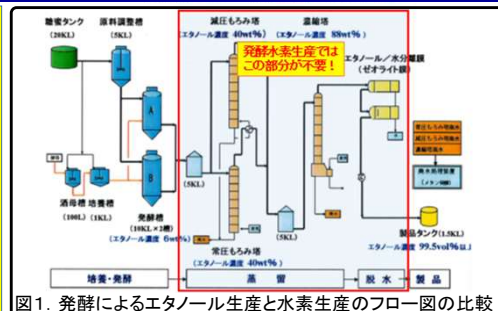


図1. 発酵によるエタノール生産と水素生産のフロー図の比較



仕様
 発酵槽体積: 200L
 発酵液体積: 160L
 置換条件: 80L
発酵条件
 温度: 40°C
 pH: 5.0~5.5
 発酵原料: 廃糖蜜
 糖濃度: 約40%
 水素生産目標: 24Nm³/d
 使用バクテリア:
Clostridium sp. HN001
 または 新規発見菌叢

写真 1. パイロットプラント概観

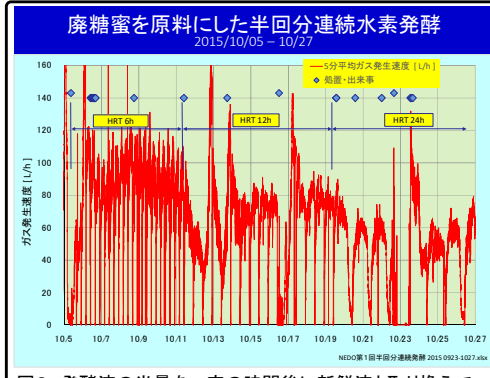


図2. 発酵液の半量を一定の時間後に新鮮液と取り換えて、発酵生産を長期間続けた結果。発生ガスの約50%が水素。処置印の内一段高い3か所は、アルカリ再生処理をした記録。

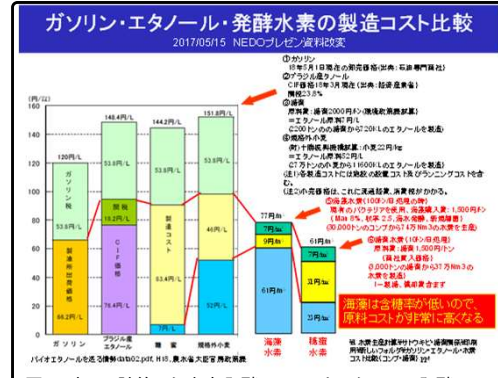


図3. 表2で計算した水素発酵のコストとエタノール発酵コストとを比較した図。海藻の運転コストが廃糖蜜より安いのは、市水の代わりに海水を使用するから。

表1. 培養でpH調節に必要な苛性ソーダ量とコスト

NaOHの販売額と生産量から計算した価格	pH 6.0		pH 5.0		
	必要NaOH量 [kg/m ³ -H ₂]	pH 6.0	pH 5.0	E.a.	
E.aerogenes	0.43	2.603,103	48.6	7.1	41.9
C.acetobutylicum	0.23	2,749,894	48.6	7.4	43.8
C. HN001	0.9	133,687	48.3	7.4	43.5
平均			48.3	7.4	43.5

経産省生産動向統計より

表2. コスト計算に使用した諸元と計算

含糖率、水素収率、原料価格が及ぼす製造コストの比較	100	100	100
① 原料処理量	100	100	100 ton r.m/d
② 糖質含有率	4	8	12 %glu. Equiv.
③ 含水率	80	80	80 %
④ 水素収率(Glucose)	1.35	2.50	2.50 mol/mol
⑤ 原料購入単価	0	1500	1500 ¥/t
⑥ 平均滞留時間 HRT	3	3	3 h
⑦ 発酵糖濃度(wt%)	4	4	4 %
⑧ 自家消費電力	10	10	10 kW/h/t-solu.d
⑨ 操業日数	300	300	300 day
⑩ 処理量	4000	8000	12000 kg-glu/d
⑪ 必要水量	16	112	208 t/d
⑫ 全流動量(①+⑪)	116	212	308 t/d
⑬ 発酵槽容積(⑩/⑦)	15	27	39 m ³
⑭ 消費電力(⑧x⑬)	145	265	385 kW/h/d
⑮ 水素生産量(④x⑩)	672	2,462	3,793 m ³ /d
⑯ 水素生産量(④x⑫)	201,600	738,462	1,120,000 m ³ /yr
⑰ 水素製造原料コスト(①x⑤/⑫)	0	61	40 ¥/m ³ -H ₂
建設費	39,992	57,425	71,850 k¥
⑱ 償却費(10年均等)	3,999	5,742	7,185 k¥/yr
⑲ 保守費(建設費の3%)	1,200	1,723	2,155 k¥/yr
⑳ 動力費(⑨x⑫x⑰)	870	1,590	2,310 k¥/yr
㉑ 市水費(⑫x⑰/10)	0	0	0 k¥/yr
㉒ プラント人件費	3,000	3,000	3,000 k¥/yr
㉓ 総支出(⑱+⑲+⑳+㉑+㉒)	9,069	12,055	14,650 k¥/yr
㉔ 運転コスト(㉓/⑰)	45.0	16.3	13.1 ¥/m ³ -H ₂
㉕ 運転コスト(償却費含まず)	25.1	8.5	6.7 ¥/m ³ -H ₂
㉖ 原料コスト	0.0	60.9	40.2 ¥/m ³ -H ₂
㉗ NaOHコスト	7.4	7.4	7.4 ¥/m ³ -H ₂
㉘ 水素生産コスト	32.5	76.9	54.2 ¥/m ³ -H ₂

各種原料 コンブによる発酵水素生産コスト試算 2017 0513.xlsx*コンブ・C.a.1500,12.2.5 (2)

表3. 海藻栽培を魅力あるものにするために必要な開発

海藻栽培の経費と栽培利益(100t/㊦)	140	141
アンカーロープ	140	141
ロープ間隔	1 m	
ロープ総延長	10,100	
アンカーロープ	1,414	
償却費(10年)	141	
海藻生産量(コンブ)	300	
海藻生産量(ワカメ)	300	
海藻生産量(その他)	150	
海藻生産量(全)	750	
必要海藻量	30,000	
必要栽培面積	40	
海藻単価	1.50	
海藻売価	45,000	
海藻栽培利益	39,344	

- 米作に劣らぬ高収入になる技術保証
- 単位面積当たりの収穫量を高める栽培技術の開発(300t/haが目標)
- 収穫時期の異なる海藻の栽培技術開発(年3毛作が目標)
- 種苗沖張作業の自動化・収穫の自動化・出荷作業の軽労働化など機械・技術開発
- 乾燥と微粉化による収穫物の低コスト貯蔵技術の開発

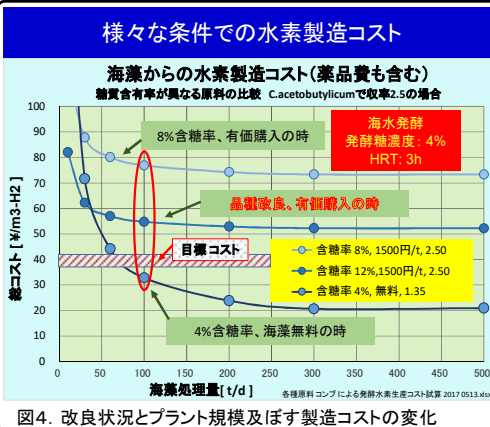


図4. 改良状況とプラント規模及ぼす製造コストの変化

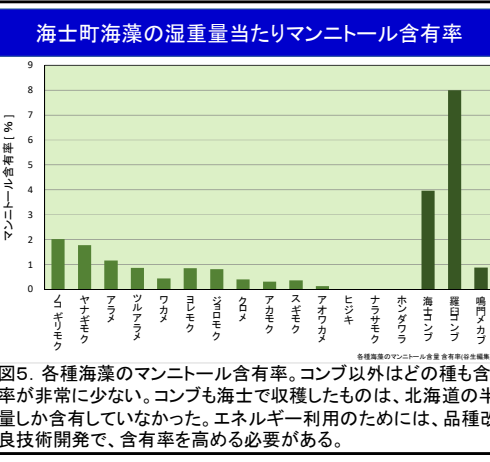


図5. 各種海藻のマンニトール含有率。コンブ以外ほとんどの種も含有率が非常に少ない。コンブも海士で収穫したものは、北海道の半量しか含有してなかった。エネルギー利用のためには、品種改良技術開発で、含有率を高める必要がある。

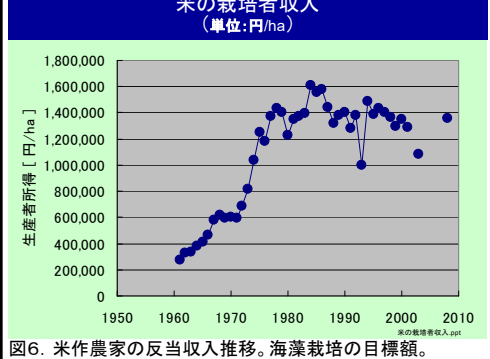


図6. 米作農家の反当収入推移。海藻栽培の目標額。

- ### 海藻を原料とする水素生産で求められる改良・開発
- 原料コストを下げるための改良・開発
 - コンブのマンニトール含有率を高める品種改良をする
 - 高い収率で水素発生する新規バクテリアを探索する
 - 海藻の買い取り価格をできるだけ低くする
 - 運転コストを下げるための改良・開発
 - 水素発生速度の速い新規バクテリアを探索する
 - 年間を通じて原料が収穫できるように、色々な海藻のマンニトール含有率を高める技術開発をする
 - 薬品コストを下げるための改良・開発
 - 有機溶媒を主代謝物とし、有機酸の代謝物量が少ない水素発生バクテリアを探索する
 - 有機溶媒を主代謝物とし、水素収率の高いバクテリアを探索する
 - 海藻生産者が満足するための開発課題
 - 米作農家並の収入を得られるように、海藻の反当収量を高める(目標300ton/ha)
 - 沖出し、収穫などの作業が軽労働になるよう、機器・栽培法を開発する

まとめ

- 発酵水素生産は、発酵エタノール生産より安いコストでバイオマスからエネルギー生産できる。
- 使用するバイオマスの種類によっては、実用化に非常に近い状況にある。
- マンニトールを含有する海藻を使用すれば、日本のエネルギーを自前で生産することも考えられる。
- そのためには、いろいろな海藻のマンニトール含有率を10%以上に高める品種改良が必要である。
- 生産性を高めるために、反当収量300t/ha程度の高密度栽培技術が必要である。
- エネルギー生産のためには、極めて大規模栽培になるので、沖出し・収穫・出荷などの機械化が必要である。

以上の理由により、日本応用藻類学会の皆様のご協力を切にお願いする次第である。

参考文献

- 1) 谷生重晴ら, 沖繩糖蜜の発酵水素生産パイロットプラント運転報告 II, 第34回水素エネルギー協会大会予稿集, 2014
- 2) 谷生重晴ら, 発酵水素生産のコスト試算と低減の試み, 第36回水素エネルギー協会大会予稿集, 2016
- 3) 西山弘樹, 谷生重晴, 中温水素発菌による発酵水素生産の研究, 第2回 国際水素燃料電池展 (FC EXPO 2006)
- 4) H. Nishiyama and S. Tanisho, Fermentative Hydrogen Production by a Newly Isolated Mesophilic Bacterium HN001, 16th World Hydrogen Energy Conference, Lyon, France, in CD ROM, 2006.
- 5) 谷生重晴, 第140回水素エネルギー協会定例会報告 広島予稿集, 2013
- 6) 谷生重晴, 発酵法によるバイオマス水素生産パイロットプラントの運転報告, 粉体技術, Vol.6, No.8, 2014
- 7) 谷生重晴, 海藻バイオマスを使用した水素生産とCO₂排出削減評価, バイオ水素とキャリア開発の最新線 植田充美監修, CMC出版, 2015
- 8) 農水省農林水産技術会議事務局編, バイオマス変換計画, 1991年, 光琳