

沖縄糖蜜の発酵水素生産パイロットプラント運転報告 I

谷生重晴^{*1,2}、林俊宏¹、藤澤慎悟¹、長谷川幸教²、権谷(佐藤)さおり²

¹株式会社バイオ水素技術研究所、²バイオ水素株式会社

E-mail: tanisho@ynu.ac.jp

Fermentative Hydrogen Production from Molasses by a Pilot Plant Constructed in Okinawa, Report I

Shigeharu Tanisho^{1,2}, Toshihiro Hayashi¹, Shingo Fujisawa¹, Yukinori Hasegawa², Saori Gontani²

¹Institute of BioHydrogen Technology, ²BioHydrogen Technologies, Inc.

Abstract

A pilot plant for fermentative hydrogen production from molasses was constructed in Okinawa. The plant has a 200L fermentation vessel that can ferment 160L volume of culture liquid continuously. The plant is expected to produce hydrogen at a speed of 22m³-H₂/hr by treating 200kg/day molasses under cultivation at 2 hours of hydraulic retention time. The plant is still under the performance examination by the fed batch continuous fermentation, i.e., 80L from 160L of fermented liquid was replaced by 80L fresh culture once a day. The results agreed with the expectation such as ca. 1,500L biogas production a day from 3.5% sugar concentration. The biogas contained 53% of hydrogen.

Keywords: Hydrogen production, Power production, Fermentation, Molasses, Biogas

1. まえがき

サトウキビを原料にした蔗糖の生産では、結晶化できない糖分が液体残渣として発生する。廃糖蜜または糖蜜と呼ぶ液体残渣は、沖縄県全体では毎年 2 万数千トン発生しており、33%前後のスクロース(蔗糖)と合わせて 9%程度のグルコースとフラクトースを含んでいる。そのため、古くから本土に運ばれエタノールなど発酵工業の原料として利用されてきた。しかし、多くは沖縄本島以外の島嶼部で発生するため輸送コストが高くなり、商品価値は低い。近年、温暖化防止のために、再生可能エネルギーの重要性が認識され、自動車燃料としてのバイオエタノール使用が世界中で盛んになったことから、宮古島では E3 用エタノールの製造原料として使用され、バイオマスエネルギー源として注目されるようになった。

糖蜜は発酵水素生産の原料としても非常に良質であり、筆者は安定した高速水素発酵を目指して長年研究を続けてきたが、2004 年に、多くの糖類、糖類似物およびデンプンから非常に高速で水素を発生するバクテリア *Clostridium* 属 HN001 株を発見し¹⁾、近年の燃料電池の進歩により、このバクテリアを使用すれば離島などでは現在の発生速度で十分に経済性を持つ地産地消型の電力源になることが分かった。

本発表では、沖縄県産業振興公社の補助金で、糖蜜 - 水素発酵の経済性を実証するべく糸満市に建設した 160L パイロットプラントの試運転結果について報告する。

2. 沖縄県の糖蜜発生量と水素生産、発電可能量

沖縄県ではサトウキビ生産が年々少なくなっているが、平成 24/25 年期は前期より栽培面積がわずかではあるが増えて約 1 万 3 千ヘクタールで栽培され、1 ヘクタールあたり平均収穫量は 52 トン、生産量は約 67 万 5 千トンであった²⁾。製糖方法には、スクロースだけでなくグルコースとフラクトースも一緒に結晶化する含蜜製糖法とスクロースだけを結晶化する分蜜製糖法があり、生産されたサト

ウキビは、含密糖の原料として5万4千トン、分蜜糖の原料として62万1千トンが使用された。糖蜜は分蜜製糖法において発生し、原料処理量の約12%が粗糖に、約3%が糖蜜になる。そのため、表1に示すように、沖縄県全体では平成24年12月から平成25年3月までの24/25年間に1万9千367トンの糖蜜が発生した。ただ、糖蜜は分蜜糖製糖工場のある島でしか発生しないので、沖縄本島、伊是名島、久米島、南大東島、北大東島、宮古島、石垣島に限られる。南大東島を例とすれば、粗糖生産量6,406トン、糖蜜発生量2,094トンである。

筆者の研究室で発見された高速で発酵水素発生するバクテリアの*Clostridium*属HN001株は、グルコースから2.5mol-H₂/mol-glucoseの収率で水素を発生する³⁾ので、いま、表1の(4)行に示した推定糖濃度の糖をグルコースに換算して水素生産可能量を計算すると、

沖縄県全島の水素生産可能量

$$= 19,367 \times 0.419 / 0.18 \times 2.5 \times 22.4 = 2,524,596 \text{ Nm}^3$$

南大東島の水素生産可能量

$$= 2,094 \times 0.458 / 0.18 \times 2.5 \times 22.4 = 298,372 \text{ Nm}^3$$

となり、沖縄県全体では約252万Nm³の、南大東島では約30万Nm³のバイオ水素を糖蜜から生産することが出来る。

表1 . 沖縄県の平成24/25年期の製糖実績と平成21年度電力需要

		沖縄本島	伊是名島	久米島	南大東島	北大東島	宮古島 ⁷⁾	石垣島	合計
(1)	甘蔗糖生産量 [ton]	14,977	1,248	4,482	6,406	1,757	38,339	8,434	75,643
(2)	糖蜜産出量 [ton]	4,609	386	1,256	2,094	567	8,332	2,123	19,367
(3)	平均糖度 ¹⁾ [%]	34.5	33.0	31.8	36.8	35.5	32.6	25.6	32.9
(4)	推定糖濃度 ²⁾ [%]	43.5	42.0	40.8	45.8	44.5	41.6	34.6	41.9
(5)	水素生産可能量 ³⁾ [Nm ³]	623,034	50,437	159,428	298,372	78,498	1,077,482	228,529	2,524,596
(6)	水素発電可能量 ⁴⁾ [MWh]	935	76	239	448	118	1,616	343	3,787
(7)	各島電力消費量 ⁵⁾ [MWh]	-	8,032	49,831	8,873	4,381	255,130	265,489	591,736
(8)	電力代替可能率 [%]	-	0.9	0.5	5.0	2.7	0.6	0.1	0.5
(9)	代替可能日数 [日]	-	3.4	1.8	18.4	9.8	2.3	0.5	1.8
(10)	CO2排出削減量 ⁶⁾ [ton]	841	68	215	403	106	1,455	309	3,408

1)糖度はショ糖(スクロース)の濃度で、製糖期の平均値が平均糖度。

2)糖蜜にはグルコースとフラクトースが平均9%含まれているので、各社の平均糖度に9.0を加えた量を発酵可能糖濃度とした。

3)グルコース換算で計算した。水素収率2.5mol/l-mol-glucose。

4)1Nm³の水素で1.5kWhの電力が得られるとした。

5)沖縄県商工労働部産業政策課が発酵した「沖縄県エネルギービジョン」p.125から抜粋。平成21年度の消費量。

6)ディーゼル発電に対するCO2削減量を0.90kg-CO₂/kWhとする。

7)宮古島の甘蔗糖、糖蜜の生産量は宮古島と伊良部島の合計である。

トヨタ、ホンダなど自動車メーカーは、2015年からの燃料電池車の販売を目指しており、量産可能な燃料電池が開発を終えつつある。自動車の燃料電池は、100kWの出力があるので、エネルギー変換効率が60%で発電しても大きな出力を得ることが出来る。バイオ水素を自動車用燃料電池で使用すれば、非常に効率の良い発電が可能になる。そのため、1m³の水素で1.5kWhの発電をするなら、南大東島ではバイオ水素で44万kWhの電力が供給できる(表1の(6)行参照)。この島の平成21年度における電力需要は887万kWhであった⁴⁾ので、島の全電力の5%を賄う量と等しい(表1の(8)行)。家庭の電灯のみに使用するなら一月以上の電力を供給できるであろう。沖縄本島を除く離島の生産地なら、半日から18日間の電力を賄えるほどの発電量になる。さらに、製糖会社自社で発電すれば、多くの製糖会社にとっては糖蜜として販売するより販売収益が多くなる可能性がある。糖蜜の産出量は収穫期毎、製糖会社毎に異なるが、年間を通して連続発酵するなら、発酵槽はわずか10m³前後で各生産地の産出量を全量処理するに足る十分な規模になる。文献5,6では、10m³の発酵プラントを5,200万円、燃料電池を1,000万円、建設費は合計6,200万円と見積もっていたが、トヨタの燃料電池自動車が500~600万円販売される見通しであることから、燃料電池の購入価格を500万円と改めて、発酵水素-発電プラントの建設費を5,700万円と見積り、売電価格を平成24年度のバイオガス発電の電力会社買取り価格39円に設定すると、南大東島を例にすれば炭素クレジットも含む総収入は1,845万円に上り、設備償却費(10年均等償却)、保守費(建設費の3%)、人件費(1人)など支出を合わせて1,041万円と見積も

っても804万円の利益が発生する。南大東島では糖蜜がトン当たり500円で農家に販売されており、糖蜜の販売収益はわずか105万円しかないので、エネルギーとして販売する方が会社の経営に利する可能性が高い^{5,6)}(これらの計算方法の詳しい説明は参考文献5, 6に記載している)。ただし、糖蜜の売買価格は離島ごとに異なっており、生産量が少ない島では水素発電しても設備償却費を負担できるほどの収入にはならないところもある。そのため、全ての生産地、製糖会社に適した糖蜜の利用方法になるということではない。

3. パイロットプラントの建設と試運転結果

筆者らは、これまでの机上計算を実証するべく、現在、沖縄県糸満市に、発酵槽体積 200L、発酵液体積 160Lで 1日 200kgの糖蜜を連続発酵処理し、22m³の水素を生産して発電するパイロットプラントを、沖縄県産業振興公社の補助金を得て建設しているところである。発酵水素生産に使用する *Clostridium* 属 HN001 株は、増殖速度が極めて速いので、実験室では発酵基質の平均滞留時間がわずか 1 時間という非常に短い連続操作でも、十分に発酵反応が進んで 5L-H₂/L-culture・h という速い速度で水素発生した⁶⁾。

パイロットプラントではまだ発酵試験をしているところで発電には至っていないが、1日に1回、160Lの発酵液から半分の80Lを抜き取り、新たに80Lの新しい培養液を加える半回分連続発酵で、図1に示すようなバイオガス発生データを得ることが出来た。試運転初日はフィード液の一部流出があり第3日目はpHコントローラのトラブルでえ培地pHが10まで上昇したために、完全な成功データにはならなかったが、フィードの糖濃度が3.5%になるよう操作したので、計算では1,400Lのガス発生が期待され、ほぼ計算通りのバイオガス量を繰り返し生産することに成功した。ただ、半回分操作では、バイオガス中の水素濃度は53%で、連続培養より水素濃度は低かった。

現在、平均滞留時間約6時間の連続フィード運転を試しているところであるが、装置の手直しなどが完了すれば、順次フィード流量を増やして平均滞留時間2時間での発酵操作を行い、22m³/dayの水素生産を検証する予定である。

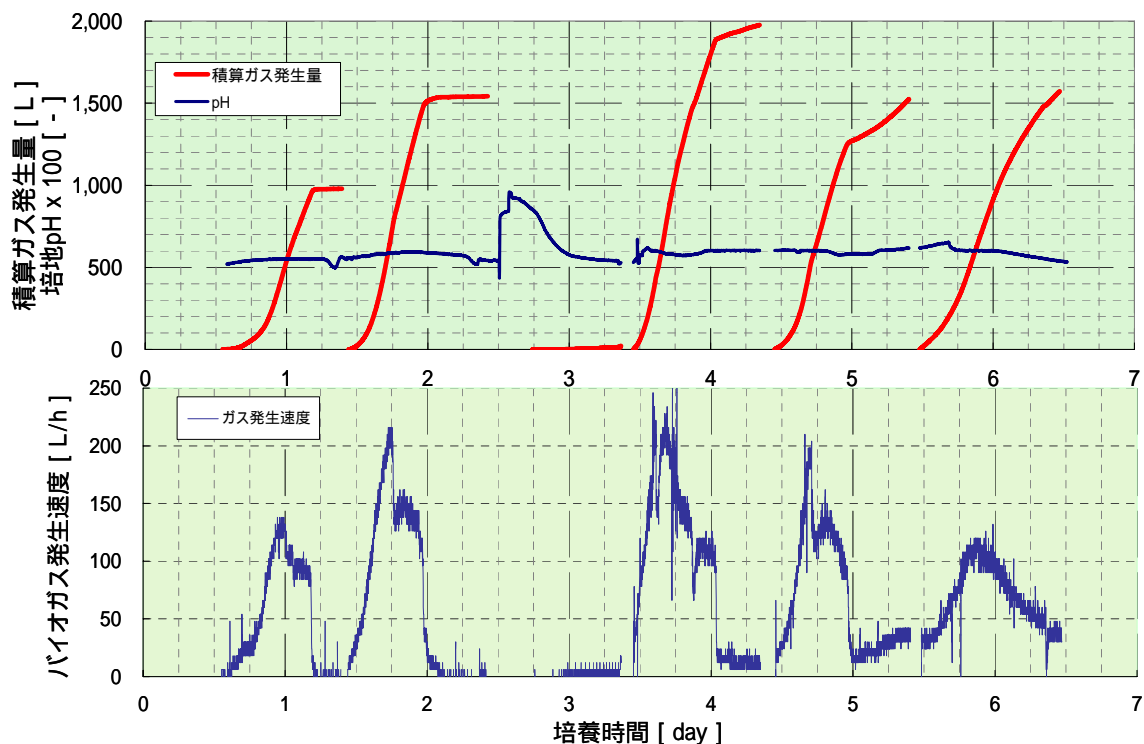


図1. 半回分運転の発酵ガス発生量とガス発生速度。第1日の培養液は80Lであるが、第2日目に80Lの新鮮培地を加えて160Lの発酵液量とし、第3日目以降は、80Lの発酵廃液を抜き取った後、新鮮培地を80L加える方法で半回分連続操作を行った。



写真 1. 沖縄県糸満市に建設した 160L 糖蜜 - 発酵水素生産パイロットプラント。

参考文献

- 1) 谷生重晴、西山大樹、PCT出願、公開番号W02008111608、米国特許登録番号、US8241882。
- 2) 沖縄県農林水産部、平成24/25年期さとうきび及びび甘しゃ糖生産実績。
- 3) H. Nishiyama and S. Tanisho, 16th World Hydrogen Energy Conference, Lyon, France, in CD ROM, (2006).
- 4) 沖縄県商工労働部産業政策課、沖縄県エネルギービジョン、H22、p.125。
- 5) 谷生重晴ら、第32回水素エネルギー協会大会予稿集、(2012)。
- 6) 谷生重晴、第140回水素エネルギー協会定例研究会予稿集、(2013)。