

糖蜜を利用した水素生産の経済性試算

バイオ水素株式会社 取締役

横浜国立大学 名誉教授

谷生 重晴



燃料電池開発の現状



2012/2/28

ホンダFCXクラリティー

究極エコカー―量産化へ

ホンダコストなお課題

ホンダは16日、新型燃料電池車の生産を開始した。水素を燃料に水しか排出しない「究極のエコカー」は、量産への準備段階に入った。ただ、インフラ整備や製造コストの削減など、普及にはなお課題が横たわり、量産化は各社がしのぎを削る電気自動車が行先しそうだ。(鈴木暁子)

16日には栃木県高根沢町のホンダ四輪新機種センターで1号車の完成式典があった。新型燃料電池車「FCXクラリティ」は、水素燃料をタンク(171リットル)に満タンにして620キロ走れるといい、最高時速は160キロ。7月から米国で月6000台(約6万5千円)の3年契約でリースを始める。

ホンダは今秋から日本でもリースを開始。3年間で計200台を日米でリースする計画だ。

05年発売の旧型燃料電池車「FCX」より大幅なコスト削減を実現した。生産ラインでは、心臓部の燃料電池セル数百枚を機械で組み立てる。水素タンク関連の部品を74%



「FCXクラリティ」は量産しやすさを考慮し、水素タンクを車体の下から設置できるようにした=栃木県高根沢町

程も半減させた。専用設計のためコストは1台数千万円以上するが、量産車体なら2千万円程度になる。福井威夫社長は「実用化とはまだいえないが、その第一歩だ」と強調した。

ホンダに対抗するように、

トヨタ自動車も今月、新型燃料電池車を発表。満タン(156リットル)で走れる距離は830キロと旧型の2.5倍で、日本でも年内にリースする予定だ。日産自動車も10年代初頭に燃料電池車を日米で投入予定。スズキも米ゼネラル・モーターズ(GM)と共同開発を進める。

だが、燃料電池車が普及するには課題も多い。国内の水素ステーションは首都圏中心に14カ所しかない。燃料補給にインフラ整備は不十分だ。まだコストも高く、ホンダ

のリース料も、もうけを度外視した設定だ。福井社長は「普及には価格が1千万円を切る必要がある」とするが、その時期は「10年以内」と述べるにとどめた。

ガソリン価格の高騰で、トヨタや日産は、燃料電池車の開発要員の一部をハイブリッドや電気自動車の開発に振り向け始めた。業界内には「電池が進化して、燃料電池車の時代はこないかもしれない」との見方がある。

三菱自動車や富士重工業は09年、日産は10年に電気自動車を発売する。各社は09年以降に、主要部品のリチウムイオン電池を量産する。三菱は電気自動車の目標価格を、国

の補助金を入れて250万300万円とする。燃料電池車よりも現実的な価格に置く。トヨタの渡辺捷昭社長も今月、「小型電気自動車も量産化を目指す」と宣言した。ただ、電気自動車も、電池のコスト低減やインフラ整備が課題になる。

福井社長は「500キロ走るための水素の充填は数分で済むが、電気自動車の充電は一晩かかる」と指摘する。各社は当面、どの技術にも応用できる自動車用電池の開発にしのぎを削ることになりそうだ。

ホンダFCVを量産化

2008/06/16

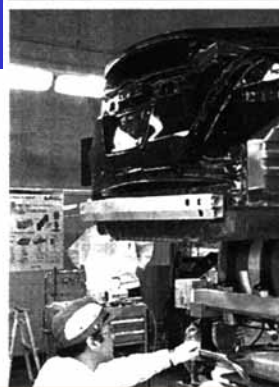
究極エコカー―量産化へ

ホンダコストなお課題

ホンダは16日、新型燃料電池車の生産を開始した。水素も半減させた。専用設計の

専用設計のためコストは1台数千円以上するが、量産車体なら2千万円程度になる。福井威夫社長は「実用化とはまだいえないが、その第一歩だ」と強調した。

ホンダは16日、ホンダ四輪新機1号車の完成式新型燃料電池車「FCV」は、水素(171リットル)を620キロ走れ、高時速は160キロ、米国内で月600台の3年契約を始める。ホンダは今秋リースを開始。00台を日米でリースする計画だ。



ホンダFCVを量産化 2008/06/16

トヨタ自動車も今月、新型燃料電池車を発表。満タン(156リットル)で走れる距離は830キロと旧型の2.5倍で、日本国内にリースする予定だ。日産自動車も10年代初頭に燃料電池車を日米で投入予定。スズキも米ゼネラル・モーターズ(GM)と共同開発を進める。

の補助金を入れて250万300万円とする。燃料電池車よりも現実的な価格に置く。トヨタの渡辺捷昭社長も今月、「小型電気自動車も量産化を目指す」と宣言した。ただ、電気自動車も、電池のコスト低減やインフラ整備が課題になる。

だが、燃料電池車が普及するには課題も多い。国内の水素ステーションは首都圏中心に14カ所しかない。燃料補給のインフラ整備は不十分だ。まだコストも高く、ホンダのリース料も、もうけを度外視した設定だ。福井社長は「普及には価格が1千万円を切る必要がある」とするが、その時期は「10年以内」と述べるにとどめた。

ガソリン価格の高騰で、トヨタや日産は、燃料電池車の開発要員の一部をハイブリッドや電気自動車の開発に振り向け始めた。業界内には「電池が進化して、燃料電池車の

福井社長は「500キロ走るための水素の充填は数分で済むが、電気自動車の充電は1晩かかる」と指摘する。各社

燃料電池バス運行のニュース

燃料電池バスなど運行

JX日鉱日石エネルギー、まず16日から路線バス1、東京ガスなど13社で構成する「水素供給・利用技術研究組合」は7日、東京都心と羽田・成田間、及びに向けたインフラ構築

け、まず16日から路線バス1台はリムジンバスを運行する東京空港交通（東京・中央）が羽田空港と新宿駅西口、東京シ

空港の間で燃料電池で動くバス、ハイヤーの運行などにも生かす。

経済産業省からの受託事業「水素ハイウェイプロジェクト」の一環で自動車メーカーの協力も得

ティエアターミナルをそれぞれ結ぶ路線で1日1往復する。来年1月以降は燃料電池ハイヤーの運行も始める。

素を取り出しバスなどに充填するII写真。JXエネルギーは製油所から出る水素を東京・杉並の拠点まで運び対応。また出光興産が来年1月に成田空港内の拠点を開設する予定だ。

都心と羽田・成田間

2010/12/08

JXや東ガス

普及めざし実証実験



水素供給は、東ガスが東京・大田の既存の天然ガス供給拠点と併設し、その場で都市ガスから水素を取り出しバスなどに充填するII写真。JXエネルギーは製油所から出る水素を東京・杉並の拠点まで運び対応。また出光興産が来年1月に成田空港内の拠点を開設する予定だ。

各社は供給拠点の運営方法やコスト、付近住民からのアンケートなども実施し、将来の実用化に生かす考えだ。

燃料電池に使用する水素とガソリンの エネルギー量比較



ガソリンの燃焼熱: 38.7 MJ/L

水素の燃焼熱: 285.9 kJ/mol

= 12.8MJ/Nm³

= **1/3** ガソリンの燃焼熱

ガソリンエンジンの利用効率: 20%

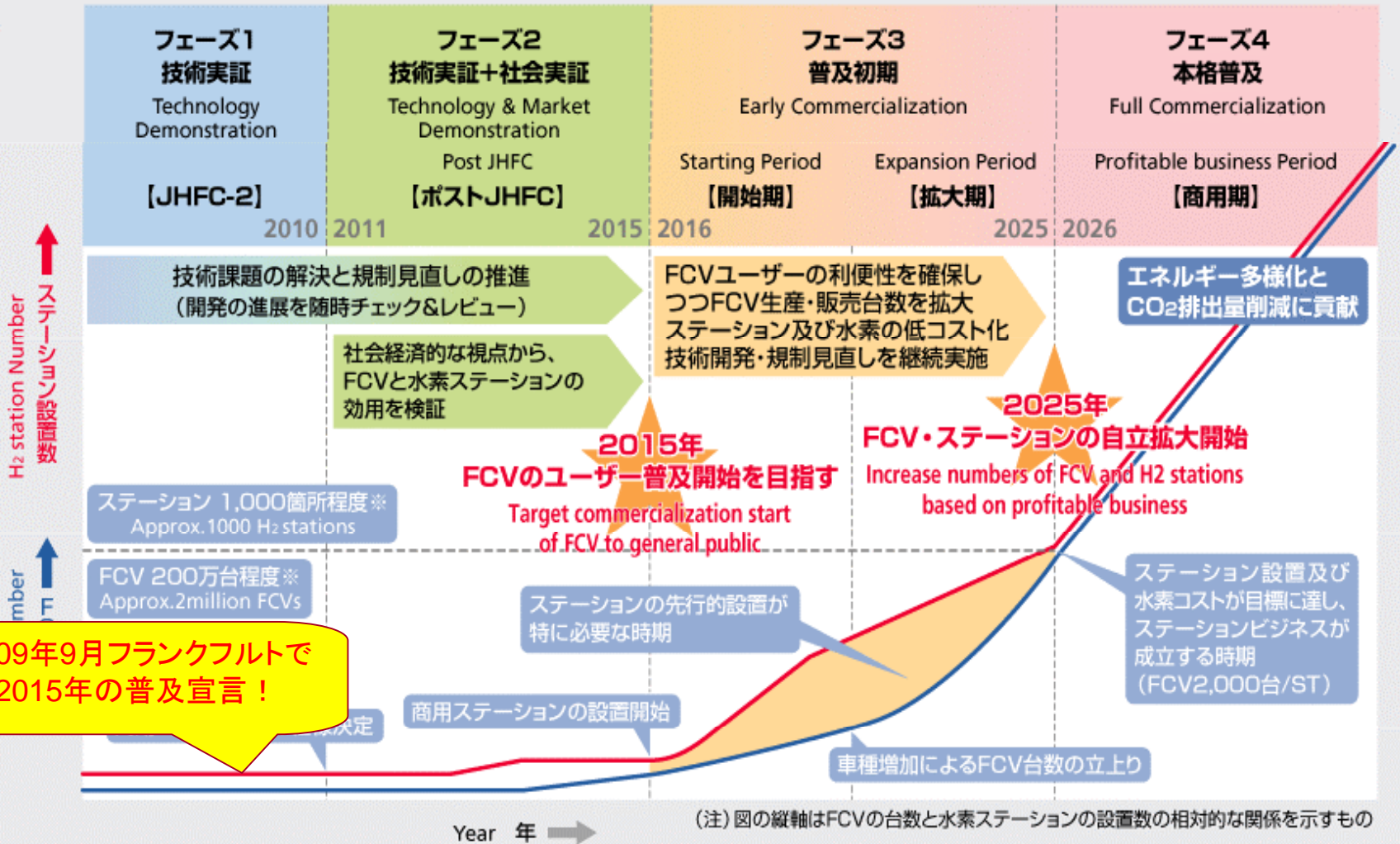
FCVのエネルギー利用効率: 60%

= **3** 倍の効率

依って自動車燃料としての水素は

1 Nm³-H₂ = 1 L-Gasoline

最近の燃料電池自動車普及シナリオ



※前提条件:FCVユーザーのメリット(価格・利便性等)が確保されて、順調に普及が進んだ場合

燃料電池車推進宣言 水素スタンドの建設計画

燃料電池車の水素供給拠点

11/01/14
15年までに100カ所

13社が目標

自動車やエネルギーの

大手13社は13日、燃料電

池自動車に水素を供給する
スタンドを2015年

東京ガスの水素スタンド

(東京都荒川区)



目標づくりにはトヨタ
自動車やJX日鉱日石エ
ネルギー、東京ガスなど
自動車、ガス、石油元売
りの大手がそろって参
加。燃料電池車は二酸化
炭素(CO₂)排出量を
ガソリン車の半分から3
分の1程度に減らせる利
点があり、政府も昨年末
とめた「エネルギー基本
計画」で15年に普及を始
めるとしている。

水素スタンドは現在、
国内に14カ所しかない。
1カ所当たりの建設費用
は6億円。

までに100カ所程度整
備するとの目標を公表し
た。設置場所は東京、名
古屋、大阪、福岡の四大
都市圏で、経済産業省も
各社を支援する方針。政
府とメーカー各社は15年
からの燃料電池車の本格
投入を計画しており、早
期のスタンド整備で協調

バイオマスエネルギー変換における 水素変換の優位性

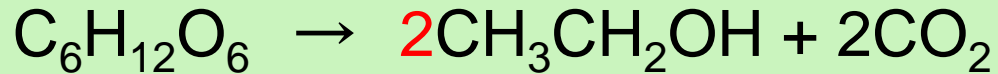
エタノール・メタン・水素変換の 比較

バイオマスの燃料化技術

原料バイオマス	燃料化技術
木質系・草本系	高温ガス化
	液化 (BTL Biomass to Liquid)
資源系作物	バイオディーゼル (BDF Biodiesel Fuel)
ウェット系 (食品・農海産物・尿尿)	バイオエタノール (エタノール発酵)
	バイオメタン (メタン発酵)
	バイオ水素 (水素発酵)

各種発酵エネルギー生産の理論変換効率

エタノール発酵



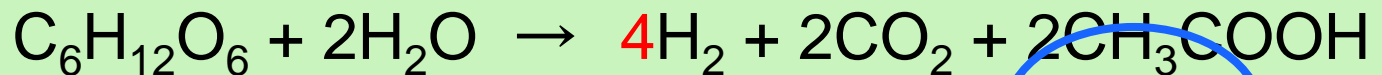
$$\eta_{\max} = (2 \times 1371.3) / 2817 \times 100 = 97.4 \%$$

メタン発酵



$$\eta_{\max} = (3 \times 882.4) / 2817 \times 100 = 94.0 \%$$

水素発酵



$$\eta_{\max} = (4 \times 285.9) / 2817 \times 100 = 40.6 \%$$

バイオマス/エネルギー変換の効率比較

最終エネルギー利用形態を電力とした場合

エタノール

原料 → 発酵 → 濃縮分離 → 火力発電 → 総合効率

メタン

原料 → 発酵 → 脱硫 → ディーゼル発電 → 総合効率

水素

原料 → 発酵 → 脱硫 → 燃料電池発電 → 総合効率

総合効率は次の式で評価する。

$$\text{総合効率} = \text{理論発酵効率} \times (1 - \text{処理エネルギー}) \times \text{実効発電効率}$$

バイオマス-発酵のエネルギー変換効率比較

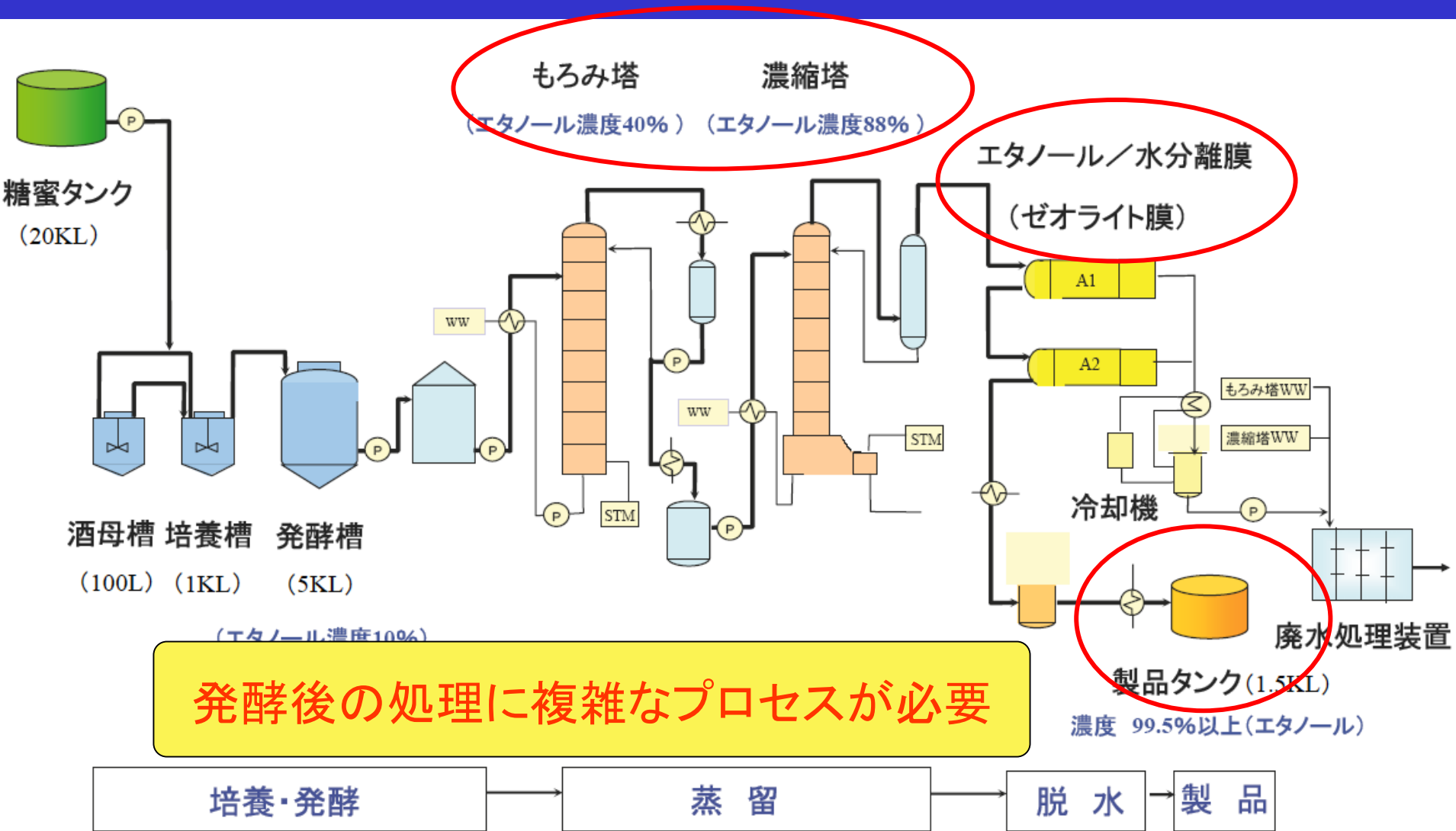
同じ原料から燃料を製造して同じ利用形態にしたときの効率の比較

- 理論効率： 発酵における目的物質のグルコースからの理論収率
- 処理エネルギー： 使用状態に加工するために必要なエネルギーの生産物が持つエネルギー量に対する割合
- 発電効率： それぞれに適した発電方法で使用した時のエネルギー変換効率

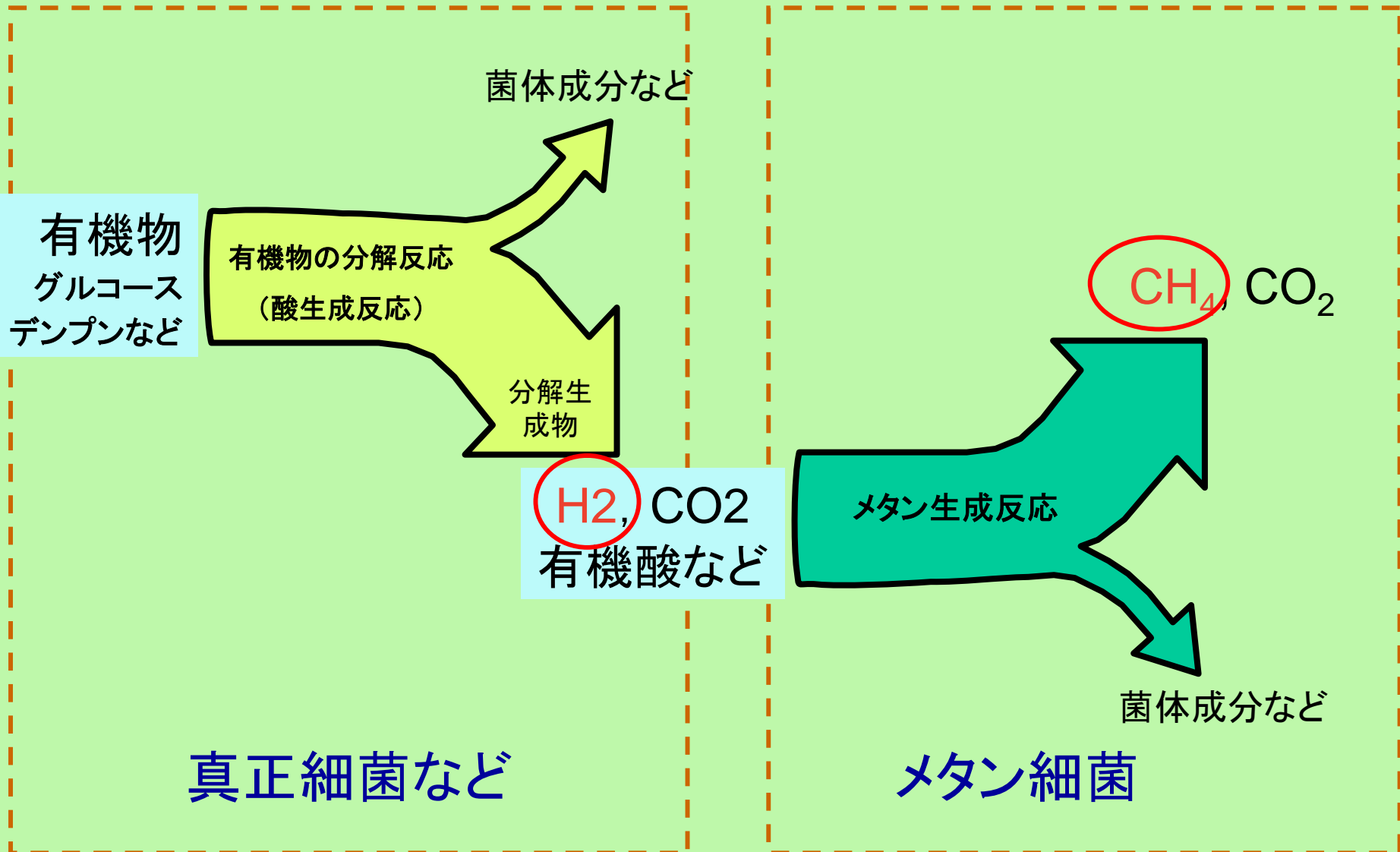
総合効率 = (理論効率 × (1 - 処理エネルギー) × 発電効率) × 100

	理論変換効率 [%]	処理エネルギー [%]	発電効率 [%]	総合効率 [%]	発電方法
エタノール発酵	97.4	25	30	21.9	火力発電
メタン発酵	94.0	10	30	25.4	ディーゼル発電
水素発酵	40.6	10	60	21.9	燃料電池発電

宮古島のバイオエタノール生産設備概要



メタン発酵と水素発酵の関係



二段発酵規模 10t/d ケースに必要な設備仕様

食品残飯 10[t/d]、希釈水 10[t/d]

可溶化水素醗酵タンク(R1)

- ・ 全容量: 120 [m³]
- ・ 運転容量: 81 [m³]
- ・ L/D: 1.1 (5.5 [m])
- ・ 翼径: 2500 [mm]
- ・ 翼形状: 45° 傾斜タービン翼
- ・ 翼板サイズ
- ・ 翼先端速
- ・ 攪拌回転
- ・ 攪拌動力: 34.29 [kW] (37 [kW])
(溶液を水相当とし、永田式による)

主メタン醗酵タンク(R2)

- ・ 全容量: 320 [m³]
- ・ 運転容量: 222 [m³]

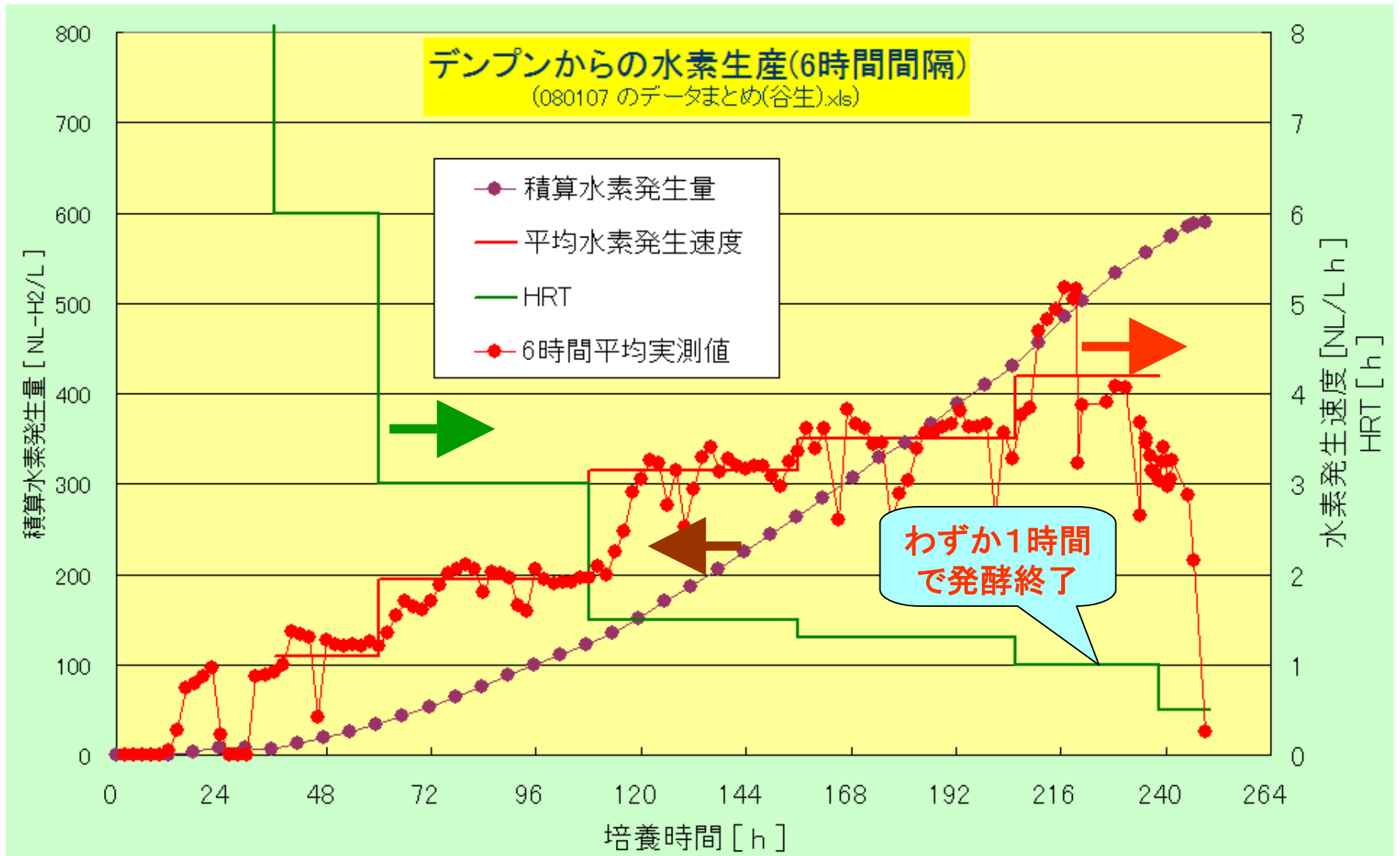
私の持つHN001菌なら
HRT 2時間で十分

二段発酵でも
11日必要

水素発酵だけならメタン発酵に比べ、
装置をきわめて小型化できる

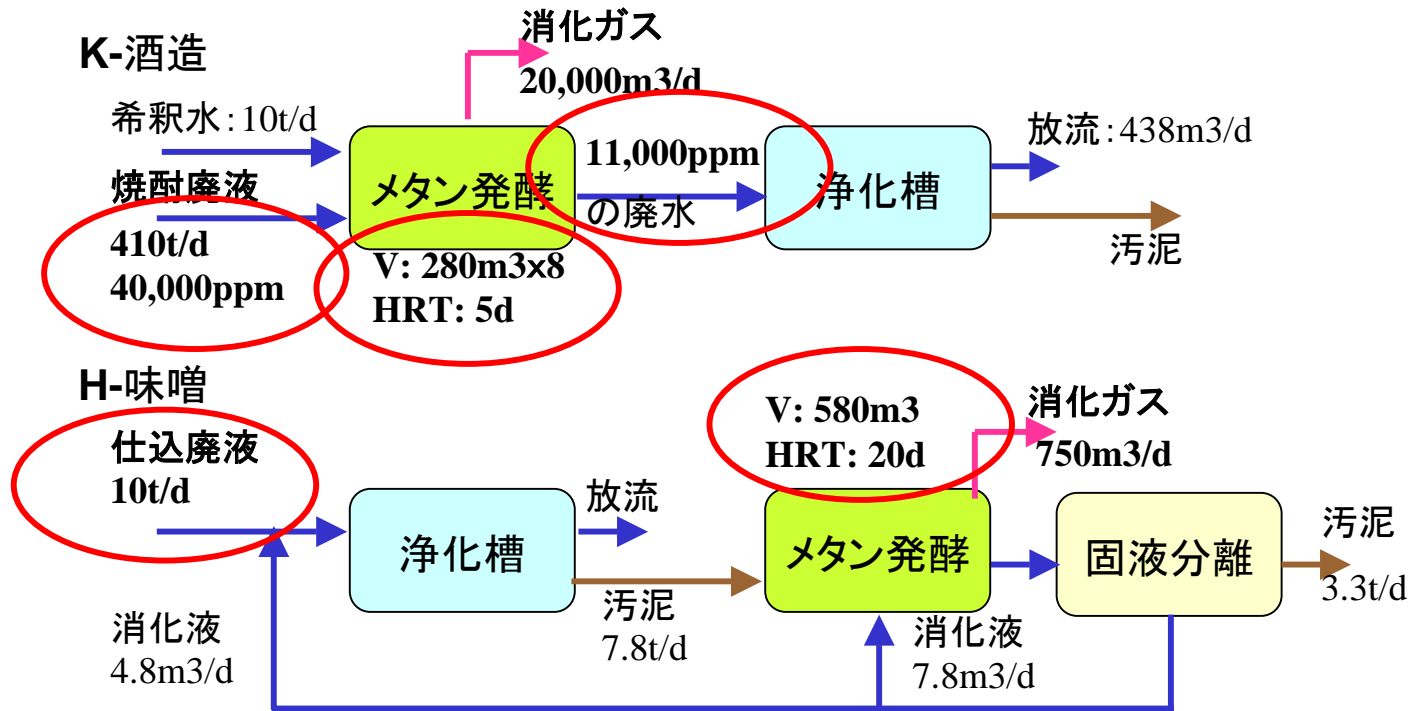
槽/水素槽

HN001株の水素発生とHRTの関係

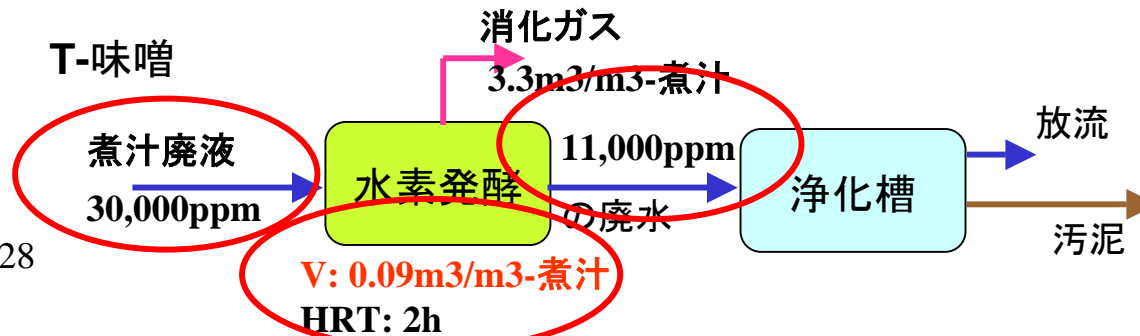


水素発酵・メタン発酵の処理能力比較

メタン発酵の例

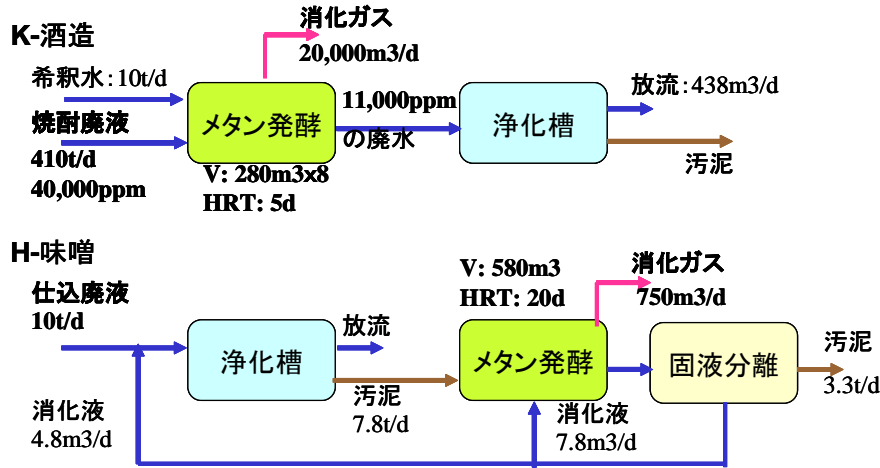


水素発酵の例

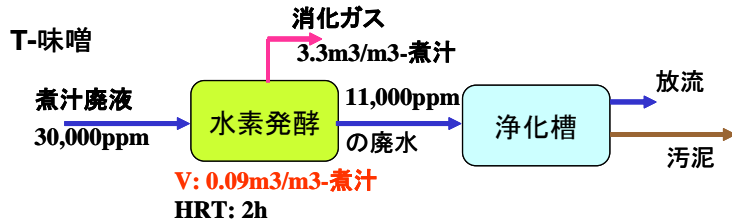


水素発酵・メタン発酵の処理能力比較

メタン発酵の例



水素発酵の例



	廃液 処理量 ton/day	発酵槽規模		BOD 改善度	
		m ³	m ³ /t・d ^{*1}	比容積 ^{*2}	入口/出口
メタン発酵 K-酒造	410	2240	5.5	55	40,000 11,000
メタン発酵 H-味噌	10	580	58.0	580	-
水素発酵 T-味噌	1	0.1	0.1	1	30,000 11,000

*1 処理量1トン/日あたりの発酵槽容積

*2 水素発酵のトンあたり容積を1としたときの比容積

*3 処理量1トン/日あたり発生する消化ガスの量

*4 発酵槽容積あたり1日に発生する消化ガス発生量

霧島酒造のメタン発酵設備諸元と写真

項目	条件・実績
処理対象物	芋焼酎粕 400t/日 芋くず 10t/日
メタン発酵リアクタ設備	TDAPR方式 リアクタ容量：280m ³ × 8槽 HRT：5日
バイオガス発生量	20,000 N m ³ /日 (CH ₄ 60%, CO ₂ 40%)
排水処理設備	浸漬膜活性汚泥方式
脱臭設備	下部散水式生物脱臭方式
飼料化設備	気流乾燥方式 脱水ケーキ 60t/日 処理 乾燥製品量 10t/日

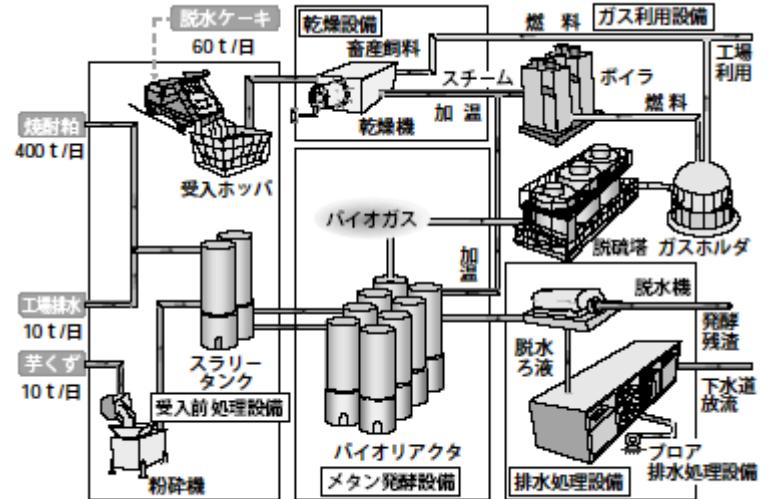


図-4 システムフロー図



写真-1 霧島酒造焼酎粕リサイクル施設全景

発酵エネルギー生産の優劣

バイオマスの三種の発酵エネルギー生産法は、
変換効率はほぼ同じであるが、

1. エタノール生産は装置が複雑でコストがかさむ。
 2. メタン生産は水素生産より装置が巨大になる。
 3. 水素生産はコンパクトな装置で可能である。
- という理由で、水素生産に優位性がある。

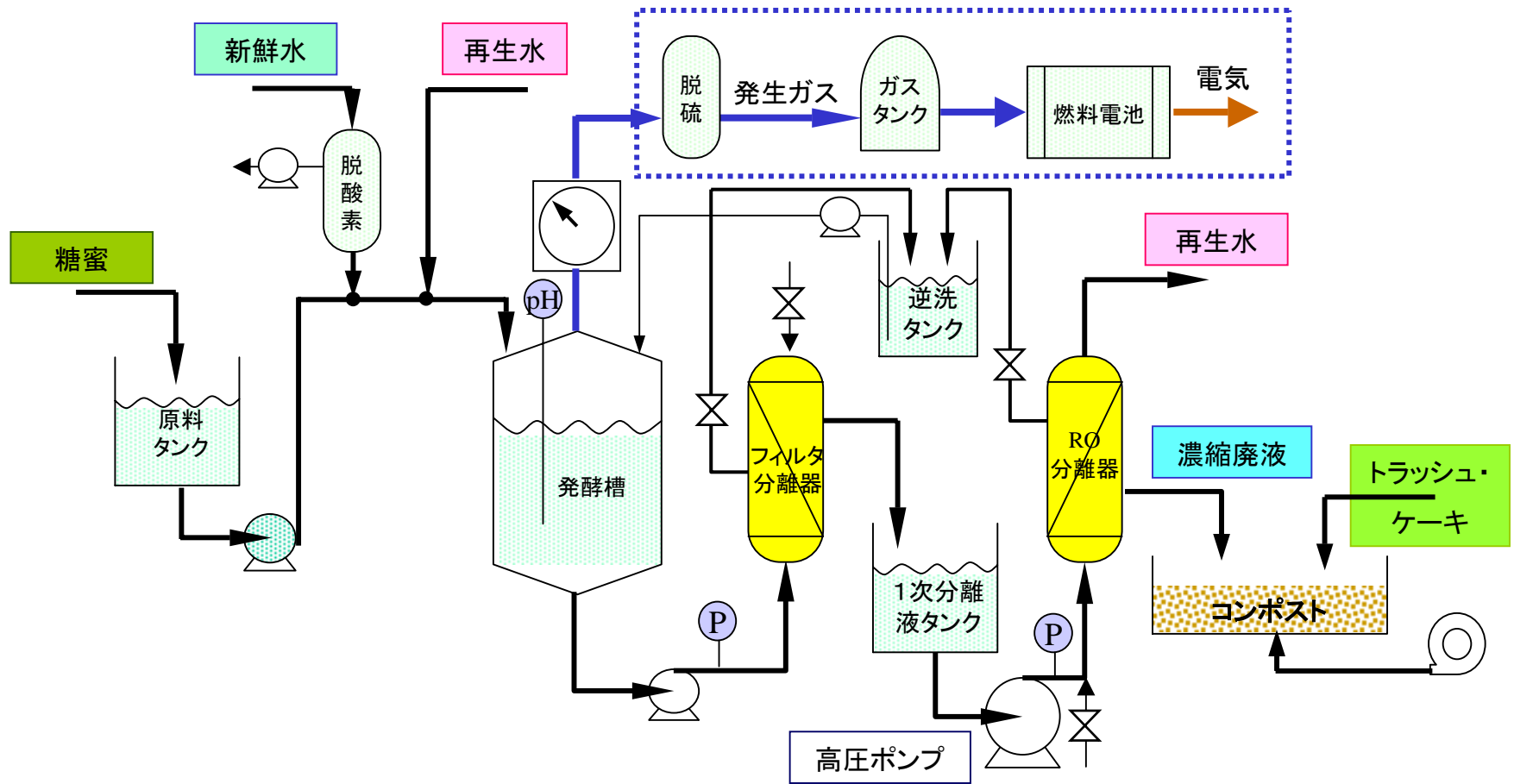
水素生産で経済性が見込めるか？



糖蜜-水素生産の経済性試算

糖蜜を原料にしたプラントのフロー図

二段膜分離式廃液再生利用プラント



全量水素生産に使用した時の試算

保守費を建設費の3%として計上。

建設費と減価償却			2001/02年期糖蜜の場合								
	10	100	t/d	久米島製糖	大東製糖	沖縄製糖	球陽製糖	翔南製糖	宮古製糖	石垣島製糖	
処理規模	10	100	t/d	糖蜜生産量	1,608	2,415	3,257	3,114	3,627	4,049	3,529
発酵装置(10t/d)	30,000	119,432	k¥	糖蜜処理量	5	8	11	10	12	13	12
脱硫、租精製装置	2,000	7,962	k¥	含糖率	40	45	36	34	38	37	36
燃料電池(60kW)	4,000	15,924	k¥	希釈倍率	8	9	8	8	8	8	8
建設費*	36,000	143,319	k¥	発酵液体積	43	72	87	83	97	108	94
稼働日数	300	300	day	平均滞留時間	2	2	2	2	2	2	2
償却費(10年)	3,600	14,332	k¥/yr	発酵槽体積	4	7	8	7	9	9	8

*建設費の増加は基準建設費(10t/d)の0.6乗に比例するとした

糖蜜売却利益

糖蜜売価	1.5	k¥/ton
久米島製糖	2,412	k¥/yr
大東製糖	3,623	k¥/yr
沖縄製糖	4,886	k¥/yr

水素収率(グルコース)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
燃料電池出力	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
自家消費動力	10	10	10	10	10	10	10	10	10
水素価格	38	38	38	38	38	38	38	38	38
売電価格	25	25	25	25	25	25	25	25	25
操業日数	300	300	300	300	300	300	300	300	300
水素生産量	198,606	341,556	365,392	326,582	425,181	463,566	397,224		
発電量	297,909	512,334	548,088	489,874	637,772	695,348	595,836		
消費動力	40	70	80	70	90	90	80		
売電可能量	285,909	491,334	524,088	468,874	610,772	668,348	571,836		
売電収入	7,148	12,283	13,102	11,722	15,269	16,709	14,296		
償却費(10m3装置)	3,600	3,600	3,600	3,600	3,600	3,600	3,600		
保守費(3%)	1,080	1,080	1,080	1,080	1,080	1,080	1,080		
プラント人件費	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000		
糖蜜購入費	0	0	0	0	0	0	0		
総支出	7,680	7,680	7,680	7,680	7,680	7,680	7,680		
CO2削減量	263	453	484	433	563	614	526		
クレジット収入	395	679	726	649	845	921	789		
利益(償却費含む)	-138	5,282	6,148	4,691	8,434	9,950	7,405		
利益(償却費含まず)	3,462	8,882	9,748	8,291	12,034	13,550	11,005		

(B) 南大東島の砂糖生産量

サトウキビ圧搾量	68,419	ton/yr
商品砂糖生産量	7,680	ton/yr
糖蜜生産量	2,415	ton/yr
糖濃度	45	%
水素生産量	341,556	m3/yr
燃料電池出力	1.5	kWh/m3-H2
発電量	512,334	kWh/yr
消費動力	80	kWh/d
売電可能量	488,334	kWh/yr

(D) 南大東島の電力を水素発電で賄った時

人口	1,386	人
世帯	633	軒
消費電力	10	kWh/d・軒
必要電力量	3,650	kWh/yr・軒
賄い可能世帯数	134	軒

糖蜜売却と比べた売電価格のプラント償却費を含む損益分岐点

売電価格[¥/kWh]	久米島製糖	大東製糖	沖縄製糖	球陽製糖	翔南製糖	宮古製糖	石垣島製糖
20	2,033	6,426	7,128	5,947	8,980	10,208	8,146
25	3,462	8,882	9,748	8,291	12,034	13,550	11,005
30	4,892	11,339	12,369	10,635	15,088	16,892	13,865
糖蜜売却益	2,412	3,623	4,886	4,671	5,441	6,074	5,294

CO2排出量計算原表

重油エネルギー	10,000	kcal/kg
重油エネルギー	11.9	kWh/kg
比エネルギー	0.084	kg-pet./kWh
発電効率	30	%
石油消費量	0.28	kg-pet./kWh
炭酸ガス発生量	0.88	kg-CO2/kWh

ton当たり水素生産量	124	141	112	105	117	114	113
-------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

ton当たり水素生産量	124	141	112	105	117	114	113
水素製造コスト	22.1	13.5	12.8	14.1	11.2	10.3	11.8
原料糖蜜	12.1	10.6	13.4	14.3	12.8	13.1	13.3
コスト(原料費含む)	34.2	24.1	26.2	28.4	24.0	23.4	25.1

全量水素生産に使用した時の試算

保守費を建設費の3%として計上。

建設費と減価償

処理規模
発酵装置(10t/d)
脱硫、租
燃料電池
建設費*
稼働日数
償却費(
*建設費の

糖蜜売却

糖蜜売価
久米島製
大東製糖
沖縄製糖

(B) 南大

サトウキビ
商品砂糖
糖蜜生産
糖濃度
水素生産
燃料電池
発電量
消費電力
売電可能

(D) 南大

人口
世帯
消費電力
必要電力
賄い可能世帯数

石垣島製糖

3,529
12
36
8
94
2
8
2.5
1.5
10

(D) 南大東島の電力を水素発電で賄った時

人口	1,386	人
世帯	633	軒
消費電力	10	kWh/d・軒
必要電力量	3,650	kWh/yr・軒
賄い可能世帯数	134	軒

38
25
300
,224
,836
80
,836
,296
,600
,080
,000
0
,680
526
789
7,405
1,005

製糖

8,146
11,005
13,865
5,294

CO2排出量計算原表

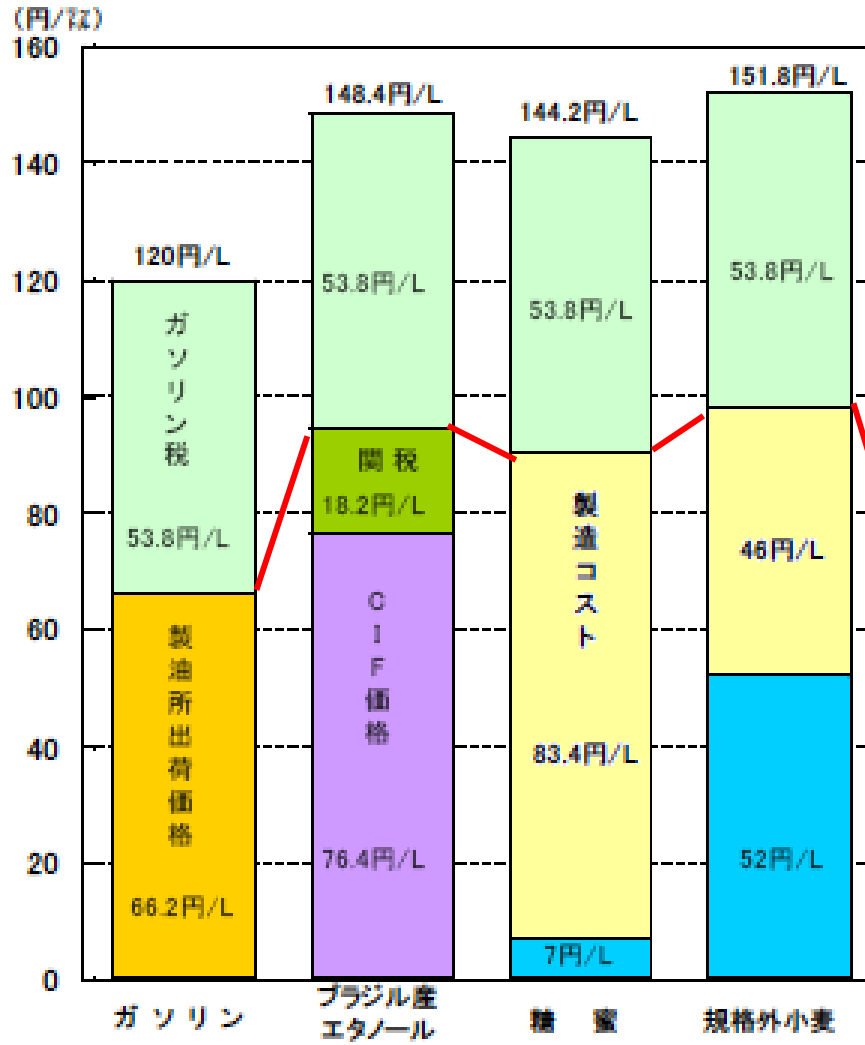
重油エネルギー	10,000	kcal/kg
重油エネルギー	11.9	kWh/kg
比エネルギー	0.084	kg-pet./kWh
発電効率	30	%
石油消費量	0.28	kg-pet./kWh
炭酸ガス発生量	0.88	kg-CO2/kWh

4,716	5,929	7,000	7,971	9,771	9,977	5,294
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

ton当たり水素生産量	124	141	112	105	117	114	113
-------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

ton当たり水素生産量	124	141	112	105	117	114	113
水素製造コスト	22.1	13.5	12.8	14.1	11.2	10.3	11.8
原料糖蜜	12.1	10.6	13.4	14.3	12.8	13.1	13.3
コスト(原料費含む)	34.2	24.1	26.2	28.4	24.0	23.4	25.1

ガソリン・エタノール・発酵水素の製造コスト比較



①ガソリン

18年5月1日現在の卸売価格(出典:石油専門商社)

②ブラジル産エタノール

CIF価格18年3月現在(出典:経済産業省)

関税23.8%

③糖蜜

原料費:糖蜜2000円/トン(環境政策課試算)

=エタノール原料7円/L

(2200トンの糖蜜から720KLのエタノールを製造)

④規格外小麦

(財)十勝振興機構試算:小麦22円/kg

=エタノール原料52円/L

(27万トンの小麦から11600KLのエタノールを製造)

(注1)各製造コストには施設の設置コスト及びランニングコストを含む。

(注2)小売価格は、これに流通経費、消費税がかかる。

⑤海藻水素

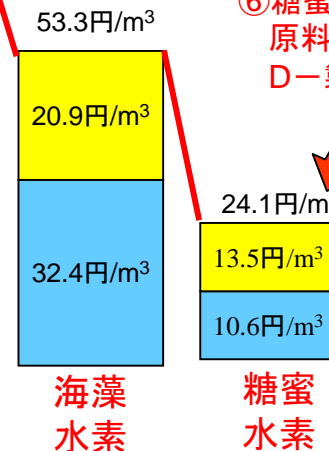
現有のバクテリアを使用

(Man 8%, Alg 7%, Man 2.5, Alg 0.7)

⑥糖蜜水素

原料費:糖蜜1,500円/トン(商社買入価格)

D-製糖、償却費含まず



糖蜜からの水素製造はきわめて低コスト!!

1/100処理量の装置で発生する水素量

2001/02年期糖蜜の場合	久米島製糖	大東製糖	沖縄製糖	球陽製糖	翔南製糖	宮古製糖	石垣島製糖	
糖蜜生産量	1,608	2,415	3,257	3,114	3,627	4,049	3,529	ton/yr
糖蜜処理量	54	81	109	104	121	135	118	kg/d
含糖率	40	45	36	34	38	37	36	%
希釈倍率	8	9	8	8	8	8	8	times
発酵液体積	429	725	869	830	967	1,080	941	L/d
必要希釈水量	386	652	782	747	870	972	847	L/d
平均滞留時間	2	2	2	2	2	2	2	hr
発酵槽体積	36	61	73	70	81	90	79	L
水素収率(グルコース)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	mol/mol
燃料電池出力	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	kWh/m ³ -H ₂
自家消費動力	10	10	10	10	10	10	10	kWh/m ³ -ferme
水素価格	38	38	38	38	38	38	38	¥/m ³ -H ₂
売電価格	25	25	25	25	25	25	25	¥/kWh
操業日数	300	300	300	300	300	300	300	day
水素生産量	5,296	9,108	9,744	8,709	11,338	12,362	10,593	L/d
発電量	7.9	13.7	14.6	13.1	17.0	18.5	15.9	kWh/d
消費動力	0.36	0.61	0.73	0.70	0.81	0.90	0.79	kWh/d

1/10処理量の装置で発生する水素量

2001/02年期糖蜜の場合	久米島製糖	大東製糖	沖縄製糖	球陽製糖	翔南製糖	宮古製糖	石垣島製糖	
糖蜜生産量	1,608	2,415	3,257	3,114	3,627	4,049	3,529	ton/yr
糖蜜処理量	536	805	1,086	1,038	1,209	1,350	1,176	kg/d
含糖率	40	45	36	34	38	37	36	%
希釈倍率	8	9	8	8	8	8	8	times
発酵液体積	4.3	7.2	8.7	8.3	9.7	10.8	9.4	m ³ /d
必要希釈水量	4	7	8	7	9	10	8	m ³ /d
平均滞留時間	2	2	2	2	2	2	2	hr
発酵槽体積	358	604	724	692	806	900	785	L
水素収率(グルコース)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	mol/mol
燃料電池出力	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	kWh/m ³ -H ₂
自家消費動力	10	10	10	10	10	10	10	kWh/m ³ -ferment
水素価格	38	38	38	38	38	38	38	¥/m ³ -H ₂
売電価格	25	25	25	25	25	25	25	¥/kWh
操業日数	300	300	300	300	300	300	300	day
水素生産量	52,962	91,082	97,438	87,089	113,382	123,617	105,926	L/d
発電量	79.4	136.6	146.2	130.6	170.1	185.4	158.9	kWh/d
消費動力	3.58	6.04	7.24	6.92	8.06	9.00	7.85	kWh/d