

糖蜜を利用した水素生産の経済性試算

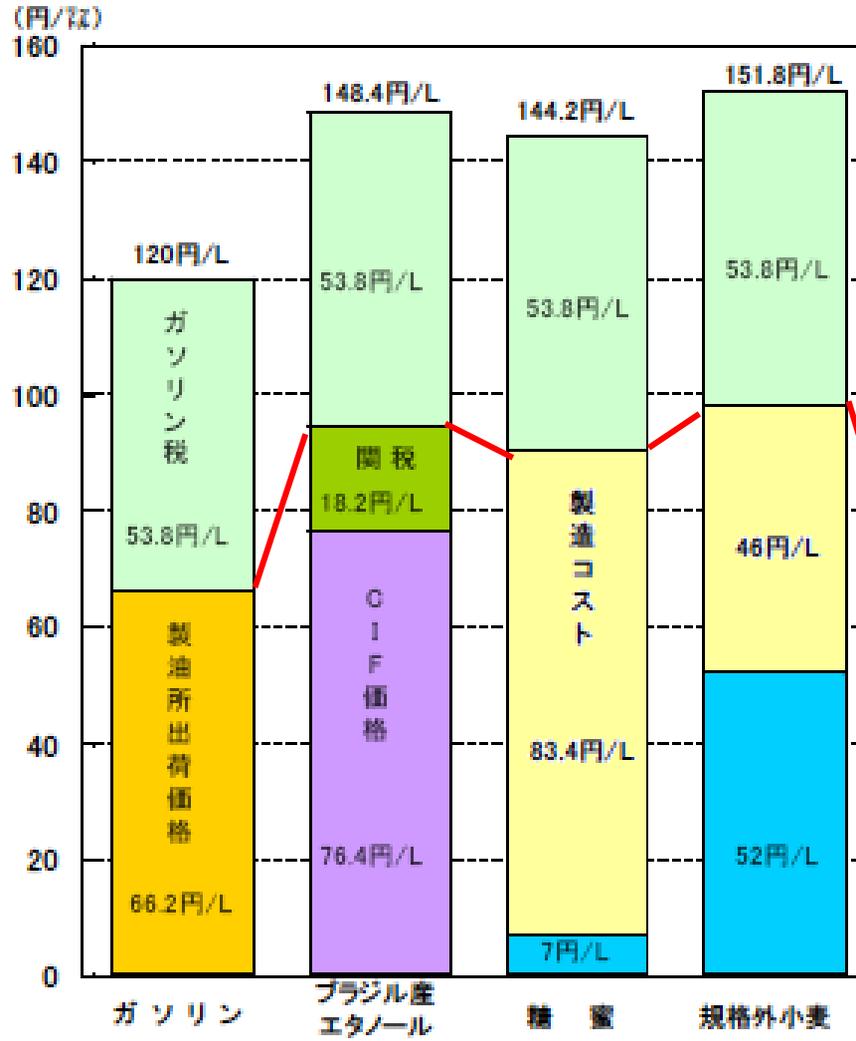
バイオ水素株式会社 取締役

横浜国立大学 名誉教授

谷生 重晴



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

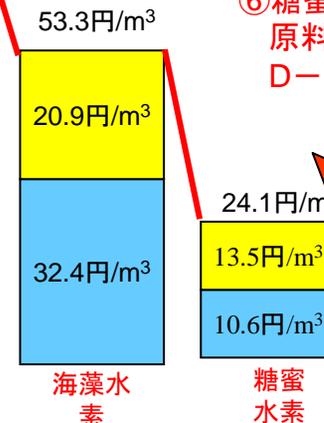
現有のバクテリアを使用

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

⑥糖蜜水素

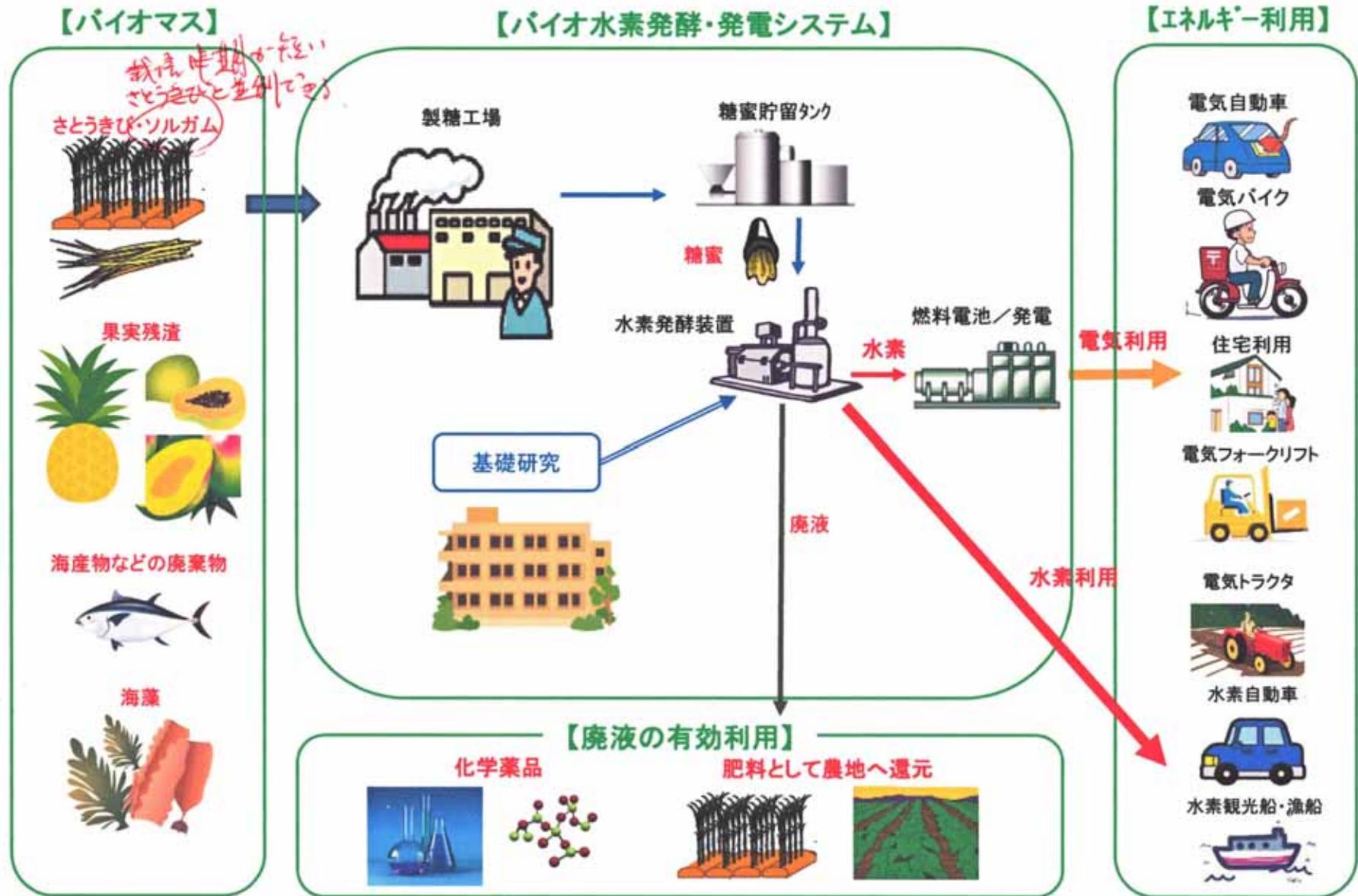
原料費:糖蜜1,500円/トン(商社買入価格)

D-製糖、償却費含まず

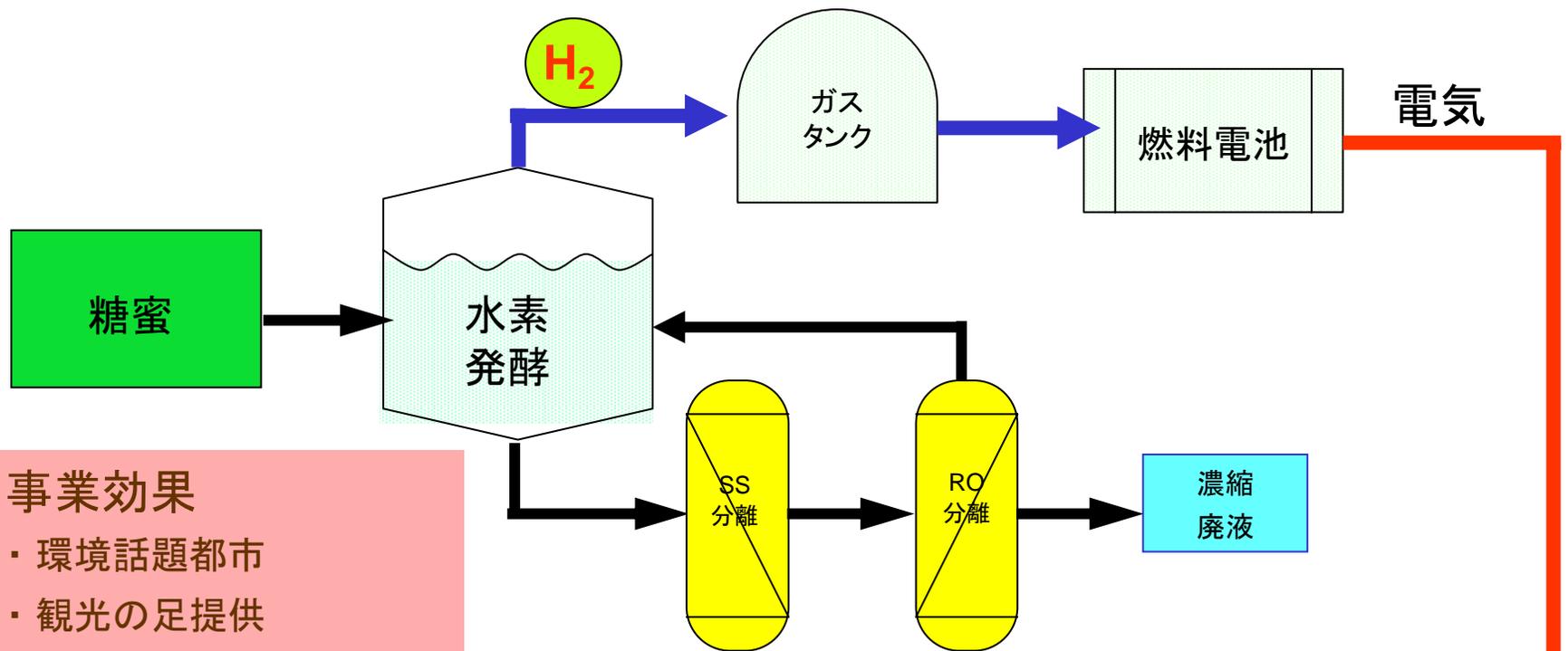


糖蜜からの水素製造はきわめて低コスト!!

発酵水素エネルギー事業構想図



糖蜜からの水素生産事業の概要



事業効果

- ・ 環境話題都市
- ・ 観光の足提供
- ・ 経済価値向上



糖蜜からの水素生産事業のスケジュール

- 第一ステップ（1988～2010年、NEDO、JST）
フラスコからベンチプラントスケール実験（1～10L発酵槽）
糖蜜原料から連続水素生産に必要な基礎データを取得
- 第二ステップ（2012年 費用:50百万円程度）
小型パイロットプラント建設（100～500L発酵槽）（沖縄県）
実証プラント建設のための実験・検証
- 第三ステップ（2013～14年 費用:200百万円程度）
実証プラント建設（1～5m³発酵槽）（沖縄県）
小型プラントの改造により商業プラント建設のための実験・検証
- 第四ステップ（2014～2015年）
水素生産商業プラントの建設

家庭またはスタンドの電気自動車用充電器



EV・PHEV充電用 充電インフラ
エルシーヴ

モードスリー

ELSEEV Mode3

2012年1月発売予定

パブリック エリア向け	スタンド タイプ	プライベート エリア向け	壁面取付 タイプ
----------------	-------------	-----------------	-------------

スタンドタイプは、
経済産業省「平成
23年度クリーンエ
ネルギー自動車等導
入対策費補助金」の
補助対象機種です。

各種電気自動車・スクーター



ミリュール



FAST DOLPHIN



ベーカリー



i-MiEV



弁当販売

MINICAB-MiEV

市役所に急速充電スタンドを設置

2012年02月28日 朝日新聞ニュース

日立市は27日、第3庁舎駐車場に電気自動車用の急速充電スタンドを1台設置した。電気自動車の所有者は開庁時間内に利用できる。充電費用は当面の間、無料。市によると、県内の自治体による設置は初めてといい、30分の充電で80%充電でき、最大で約120キロ走行することができる。

充電スタンドの設置は、地球温暖化対策として、二酸化炭素を排出しない電気自動車の普及を進めるのがねらい。市内の平沢土地区画整理組合が電気自動車の購入にと寄付した1200万円で日産リーフ3台を公用車に導入した。



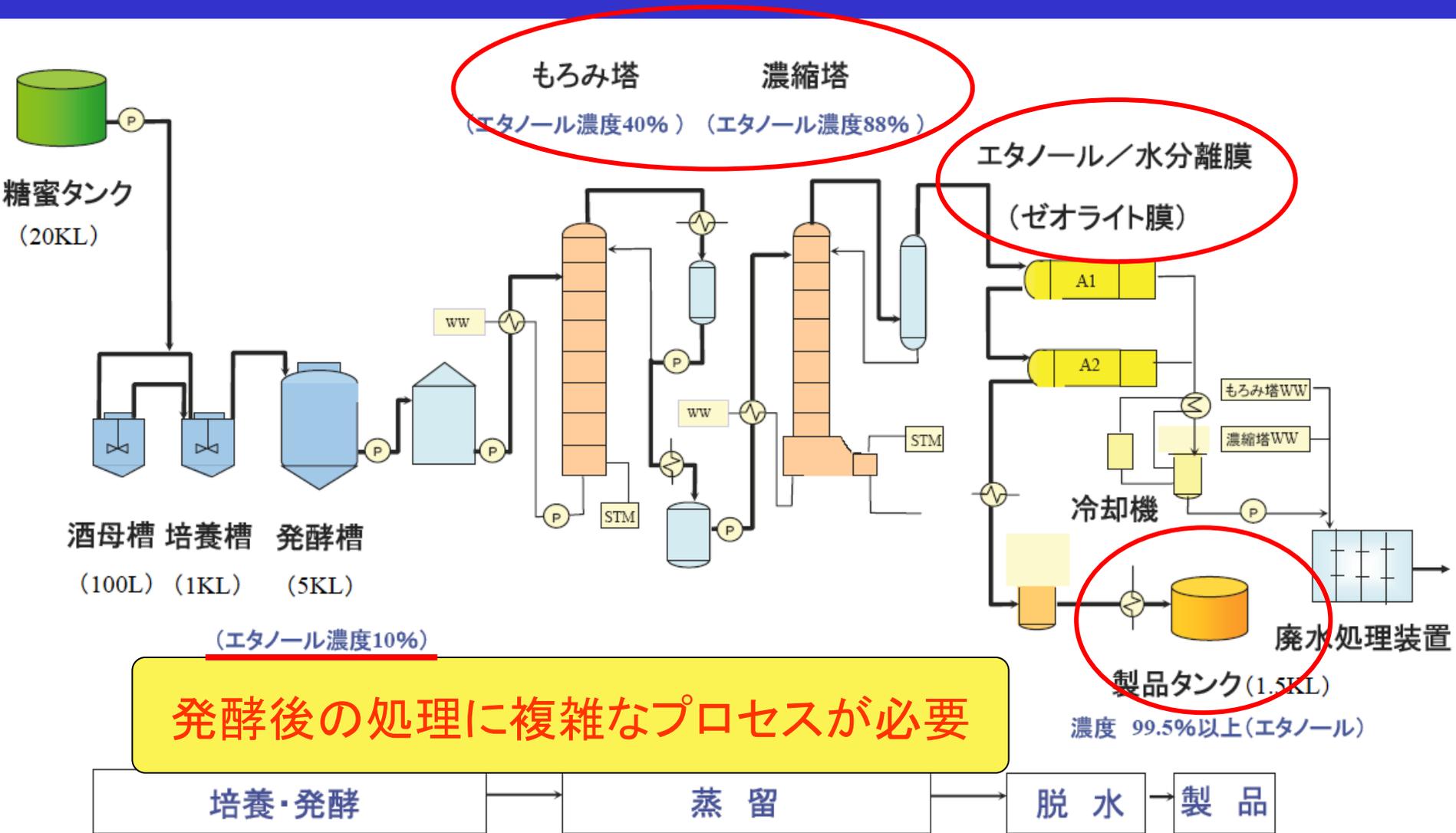
バイオマスエネルギー変換における 水素変換の優位性

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

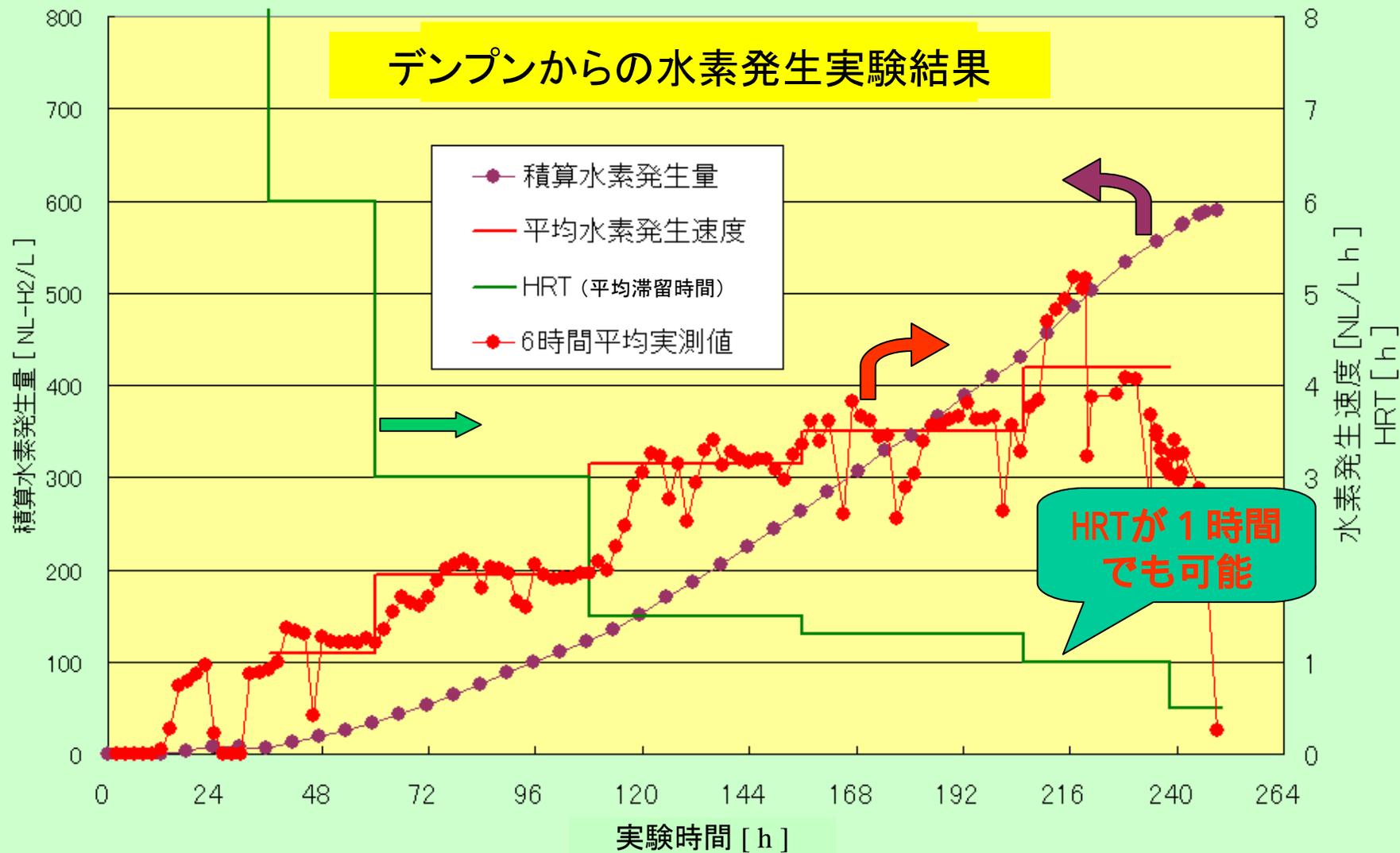
原料バイオマス	燃料化技術
木質系・草本系	高温ガス化
	液化 (BTL Biomass to Liquid)
資源系作物	バイオディーゼル (BDF Biodiesel Fuel)
ウェット系 (食品・農海産物・尿尿)	バイオエタノール (エタノール発酵)
	バイオメタン (メタン発酵)
	バイオ水素 (水素発酵)

宮古島のバイオエタノール生産設備概要

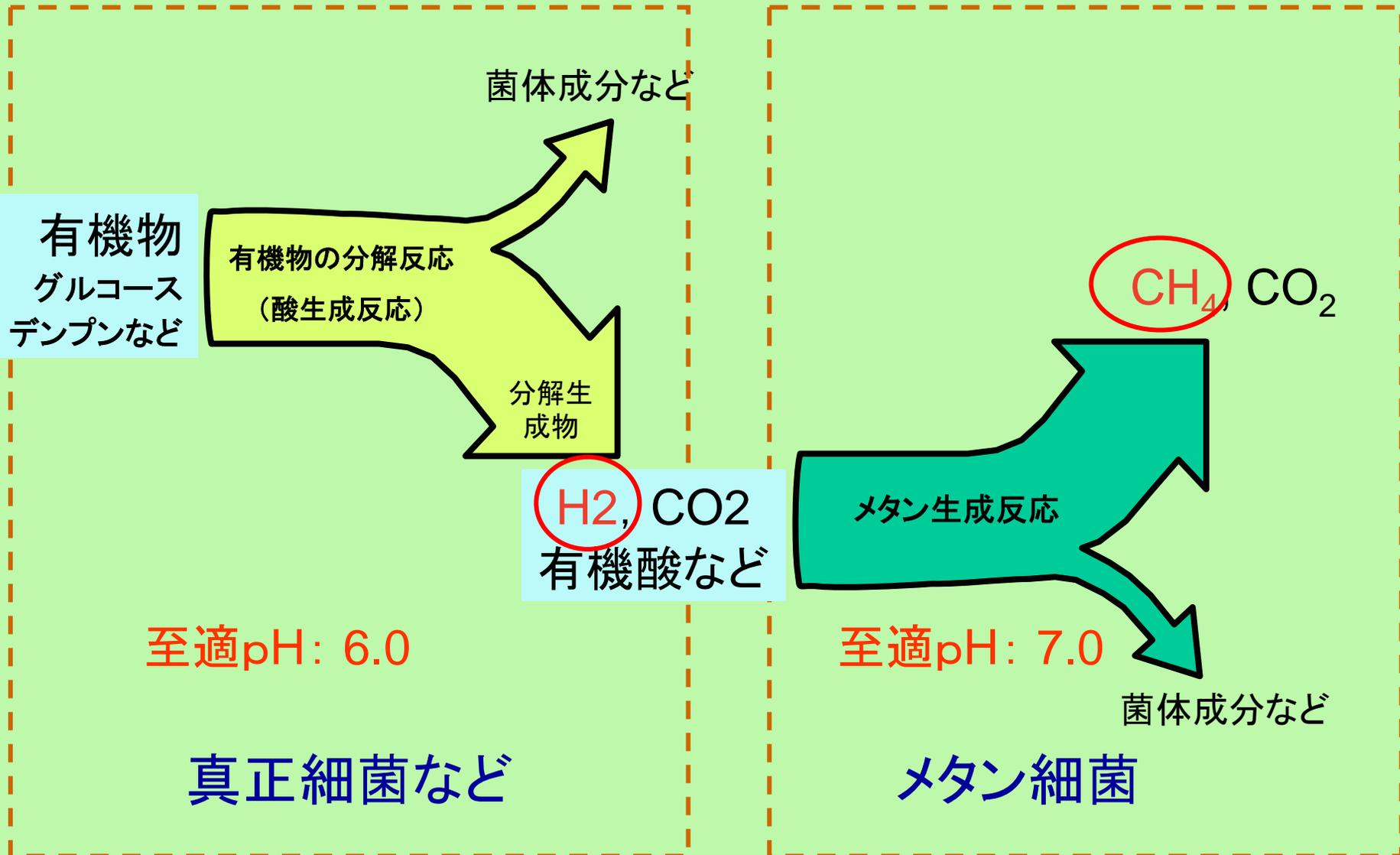


HN001株の水素発生速度とHRTの関係

デンプンからの水素発生実験結果



メタン発酵と水素発酵の関係



メタン二段発酵に必要な設備仕様

食品残飯 10[t/d]、希釈水 10[t/d]のケース (NEDO報告書)

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 [m]

水素発酵に
4日使用

私の持つHN001菌なら
HRT 2時間で十分

- ・ 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]

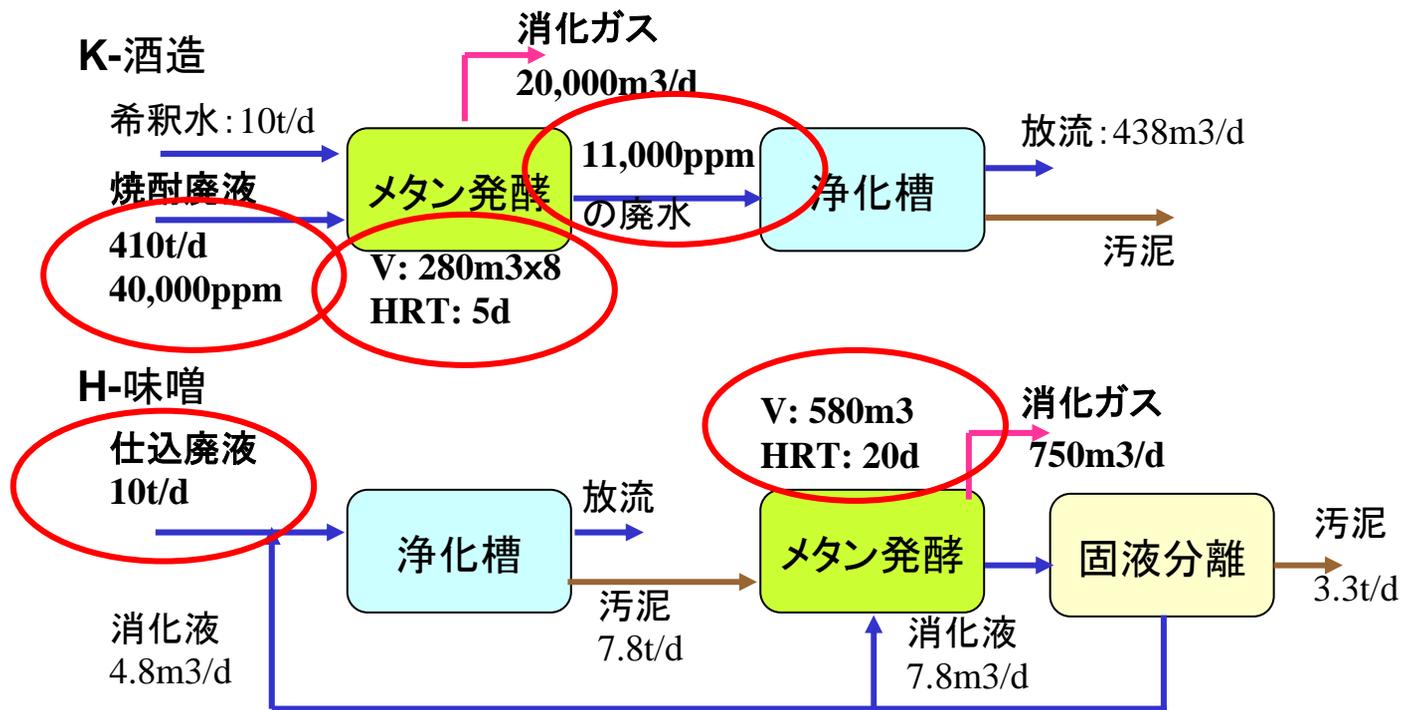
二段発酵でも
11日必要

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

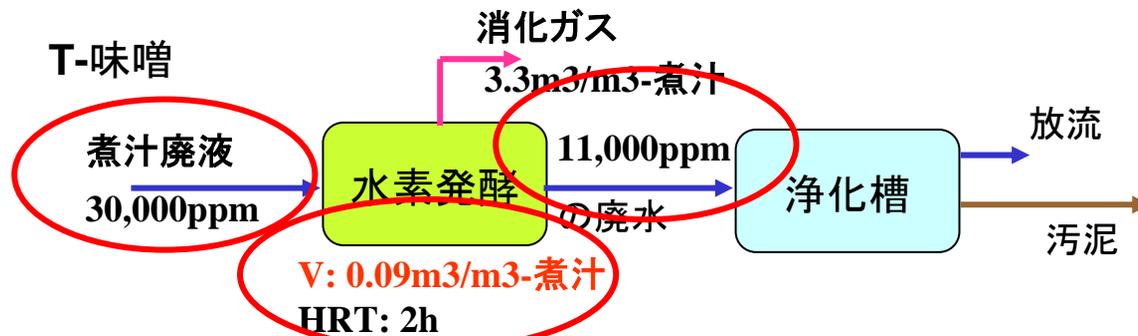
水素槽

水素発酵・メタン発酵の処理能力比較

メタン発酵の例

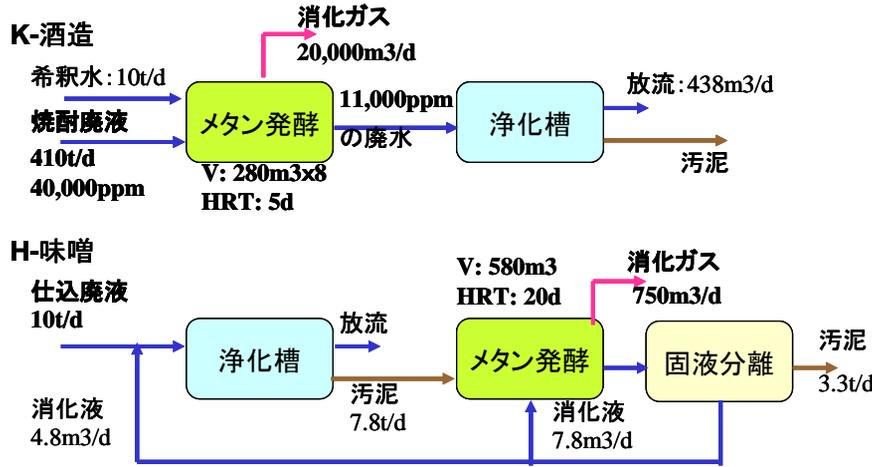


水素発酵の例

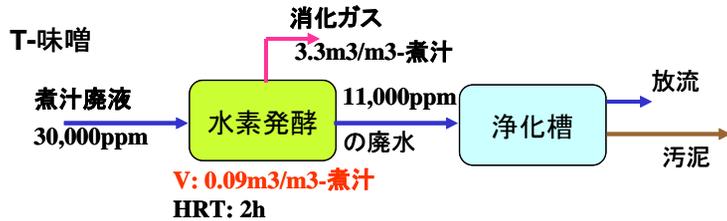


水素発酵・メタン発酵の処理能力比較

メタン発酵の例



水素発酵の例



廃液 処理量	発酵槽規模			BOD 改善度
	ton/day	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

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

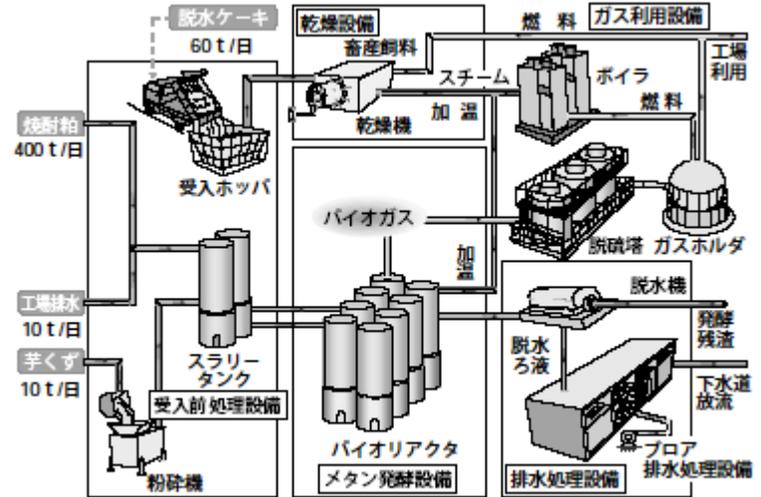


写真-1 霧島酒造焼酎粕リサイクル施設全景

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

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。

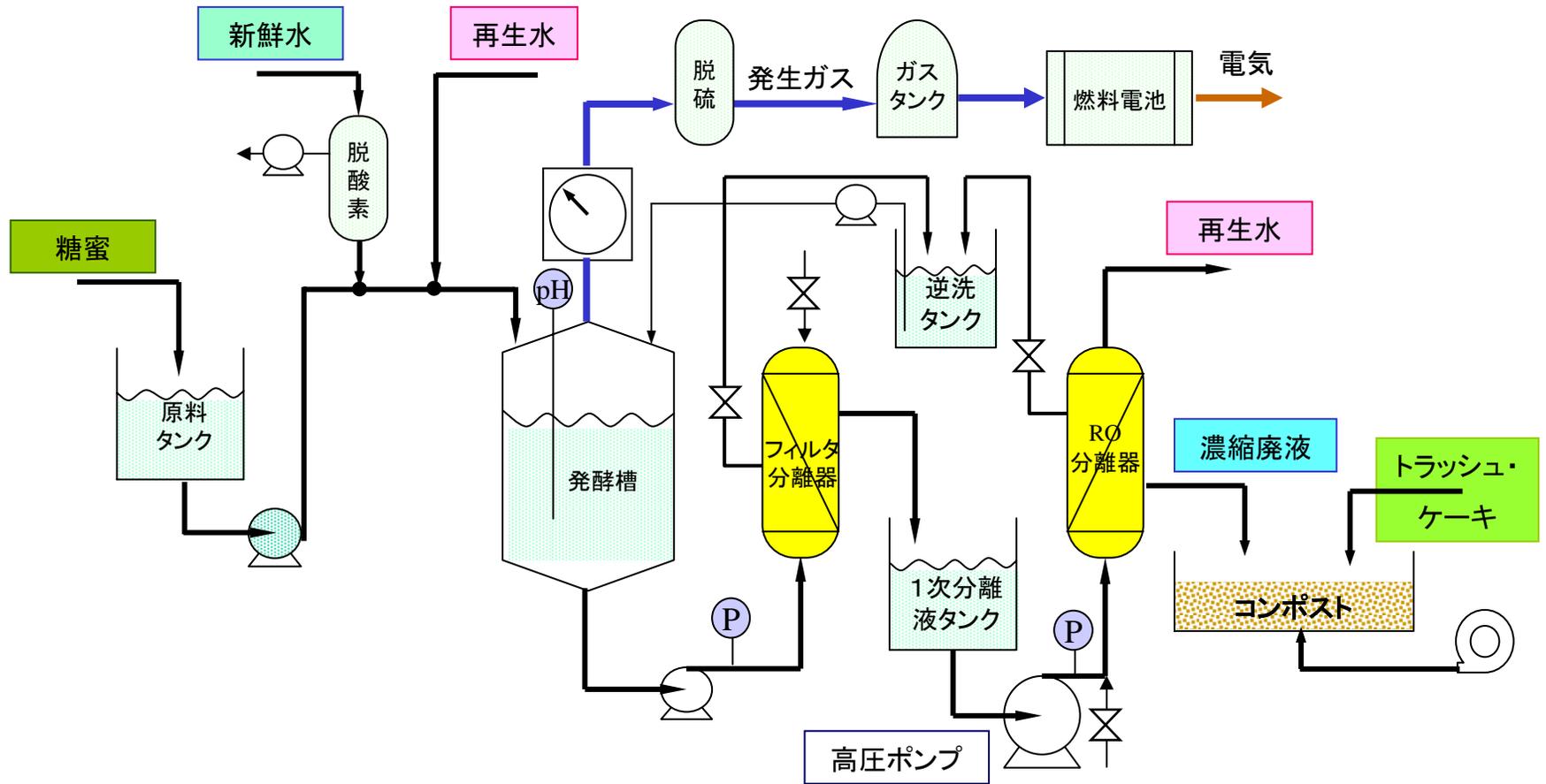
水素生産で経済性が見込めるか？



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

膜分離式廃液再生利用プラント



糖蜜を全量水素生産に使用した時の試算

* 糖蜜生産量は日本分蜜糖工業会資料による

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									
			久米島製糖	大東糖業	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	ton/yr
発酵装置(10t/d)	30,000	119,432	k¥	糖蜜処理量	5	8	11	10	12	13	12	ton/d
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	times
建設費*	36,000	143,319	k¥	発酵液体積	43	72	87	83	97	108	94	m3/d
稼働日数	300	300	day	平均滞留時間	2	2	2	2	2	2	2	hr
償却費(10年)	3,600	14,332	k¥/yr	発酵槽体積	4	7	8	7	9	9	8	m3
*建設費の増加は基準建設費(10t/d)の0.6乗に比例すると				水素収率(グルコース)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	mol/mol
糖蜜売却利益 1,500円/トンと仮定				燃料電池出力	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	kWh/m3-H2
糖蜜売価	1.5	k¥/ton		自家消費動力	10	10	10	10	10	10	10	kWh/m3-ferme
久米島製糖	2,412	k¥/yr		水素価格	38	38	38	38	38	38	38	¥/m3-H2
大東糖業	3,623	k¥/yr		売電価格	25	25	25	25	25	25	25	¥/kWh
沖縄製糖	4,886	k¥/yr		操業日数	300	300	300	300	300	300	300	day
				水素生産量	198,606	341,556	365,392	326,582	425,181	463,566	397,224	m3/yr
				発電量	297,909	512,334	548,088	489,874	637,772	695,348	595,836	kWh/yr
				消費動力	40	70	80	70	90	90	80	kWh/d
				売電可能量	285,909	491,334	524,088	468,874	610,772	668,348	571,836	kWh/yr
(B) 南大東島の砂糖生産量				売電収入	7,148	12,283	13,102	11,722	15,269	16,709	14,296	k¥/yr
サトウキビ搾量	68,419	ton/yr		償却費(10m3装置)	3,600	3,600	3,600	3,600	3,600	3,600	3,600	k¥/yr
商品砂糖生産量	7,680	ton/yr		保守費(3%)	1,080	1,080	1,080	1,080	1,080	1,080	1,080	k¥/yr
糖蜜生産量	2,415	ton/yr		プラント人件費	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	k¥/yr
糖濃度	45	%		糖蜜購入費	0	0	0	0	0	0	0	k¥/yr
水素生産量	341,556	m3/yr		総支出	7,680	7,680	7,680	7,680	7,680	7,680	7,680	k¥/yr
燃料電池出力	1.5	kWh/m3-H2		CO2削減量	263	453	484	433	563	614	526	ton-CO2/yr
発電量	512,334	kWh/yr		クレジット収入	395	679	726	649	845	921	789	k¥/yr
消費動力	80	kWh/d		利益(償却費含む)	-138	5,282	6,148	4,691	8,434	9,950	7,405	k¥/yr
売電可能量	488,334	kWh/yr		利益(償却費含まず)	3,462	8,882	9,748	8,291	12,034	13,550	11,005	k¥/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	大東糖業	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	k¥/yr
25	3,462	8,882	9,748	8,291	12,034	13,550	11,005	k¥/yr
30	4,892	11,339	12,369	10,635	15,088	16,892	13,865	k¥/yr
糖蜜売却益	2,412	3,623	4,886	4,671	5,441	6,074	5,294	k¥/yr

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	m3/ton
水素製造コスト	22.1	13.5	12.8	14.1	11.2	10.3	11.8	¥/m3-H2
原料糖蜜	12.1	10.6	13.4	14.3	12.8	13.1	13.3	¥/m3-H2
コスト(原料費含む)	34.2	24.1	26.2	28.4	24.0	23.4	25.1	¥/m3-H2

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

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

(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

石垣島製糖

3,529
12
36
8
94
2
8
2.5
1.5
10
38
25
300
,224
,836
80
,836
,296
,600
,080
,000
0
,680
526
789
7,405
,005
製糖
8,146
11,005
13,865
5,294

4,716	6,929	7,000	7,071	9,771	9,877	5,294
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

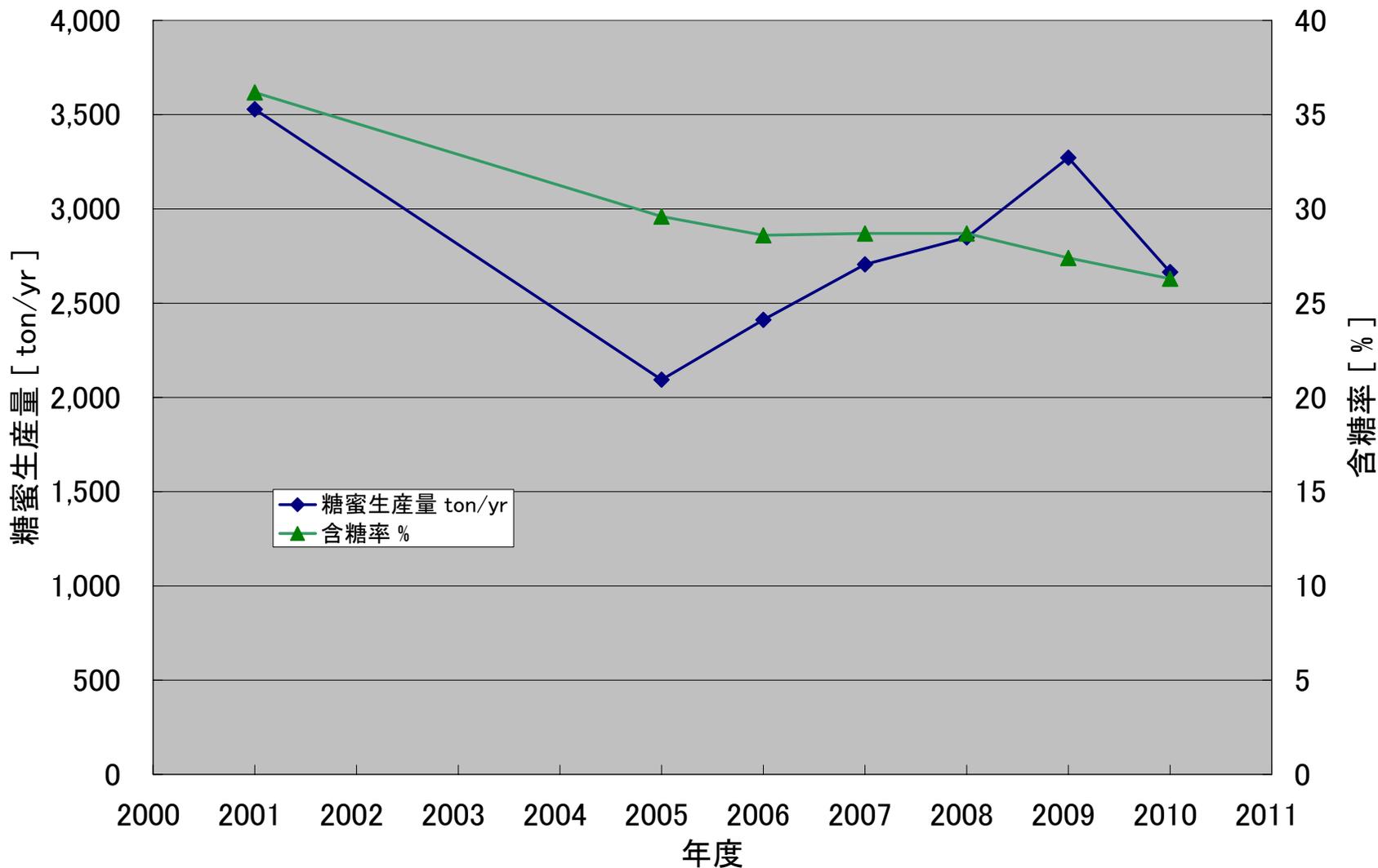
ton当たり水素生産量	124	141	112	105	117	114	113
-------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

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

石垣島製糖の糖蜜産出量と糖度の経年変化

2001年度は日本分蜜糖工業会、2005年度以降は沖縄県農林水産部データ

石垣島製糖の糖蜜生産量と含糖率の変化



糖蜜を全量水素生産に使用した時の試算

2010/11年期のデータの時

建設費と減価償却

処理規模	10	100	t/d
発酵装置(10t/d)	30,000	119,432	k¥
脱硫、粗精製装置	2,000	7,962	k¥
燃料電池(60kW)	4,000	15,924	k¥
建設費*	36,000	143,319	k¥
稼働日数	300	300	day
償却費(10年)	3,600	14,332	k¥/yr

*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

糖蜜売却利益

糖蜜売価	1.5	k¥/ton
久米島製糖	2,358	k¥/yr
大東糖業	4,319	k¥/yr
沖縄製糖	5,175	k¥/yr

(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

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

保守費を建設費の3%として計上。

沖縄県農林水産部資料による

2010/11年期中糖蜜の場合	久米島製糖	大東糖業	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	1,572	2,879	3,450	2,746	3,900	4,431	2,665	ton/yr
糖蜜処理量	5	10	12	9	13	15	9	ton/d
含糖率	29	36	33	29	30	29	26	%
希釈倍率	8	9	8	8	8	8	8	times
発酵液体積	42	86	92	73	104	118	71	m3/d
平均滞留時間	2	2	2	2	2	2	2	hr
発酵槽体積	4	8	8	7	9	10	6	m3
水素収率(グルコース)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	mol/mol
燃料電池出力	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	kWh/m3-H2
自家消費動力	10	10	10	10	10	10	10	kWh/m3-ferme
水素価格	38	38	38	38	38	38	38	¥/m3-H2
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	142,318	319,761	350,980	243,479	360,360	399,775	218,056	m3/yr
発電量	213,478	479,641	526,470	365,218	540,540	599,662	327,084	kWh/yr
消費動力	40	80	80	70	90	100	60	kWh/d
売電可能量	201,478	455,641	502,470	344,218	513,540	569,662	309,084	kWh/yr
売電収入	5,037	11,391	12,562	8,605	12,839	14,242	7,727	k¥/yr
償却費(10m3装置)	3,600	3,600	3,600	3,600	3,600	3,600	3,600	k¥/yr
保守費(3%)	1,080	1,080	1,080	1,080	1,080	1,080	1,080	k¥/yr
プラント人件費	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	k¥/yr
糖蜜購入費	0	0	0	0	0	0	0	k¥/yr
総支出	7,680	7,680	7,680	7,680	7,680	7,680	7,680	k¥/yr
CO2削減量	189	424	465	323	477	530	289	ton-CO2/yr
クレジット収入	283	636	698	484	716	795	433	k¥/yr
利益(償却費含む)	-2,360	4,347	5,579	1,409	5,875	7,356	480	k¥/yr
利益(償却費含まず)	1,240	7,947	9,179	5,009	9,475	10,956	4,080	k¥/yr

24000

糖蜜売却と比べた売電価格の損益分岐点(ただしプラント償却費含まず)

売電価格[¥/kWh]	久米島製糖	大東糖業	沖縄製糖	球陽製糖	翔南製糖	宮古製糖	石垣島製糖	
20	232	5,668	6,667	3,288	6,907	8,108	2,535	k¥/yr
25	1,240	7,947	9,179	5,009	9,475	10,956	4,080	k¥/yr
30	2,247	10,225	11,692	6,730	12,042	13,804	5,626	k¥/yr
糖蜜売却益	2,358	4,319	5,175	4,119	5,850	6,647	3,998	k¥/yr

ton当たり水素生産量	91	111	102	89	92	90	82	m/ton
水素製造コスト	30.8	14.6	13.3	18.9	13.2	12.1	20.8	¥/m3-H2
原料糖蜜	16.6	13.5	14.7	16.9	16.2	16.6	18.3	¥/m3-H2
コスト(原料費含む)	47.3	28.1	28.1	35.8	29.4	28.7	39.1	¥/m3-H2

糖蜜生産量の5%を使用したときの水素生産量

石垣島製糖の糖蜜を5%処理する装置で発生する水素量

生産年期 年度	01/02	05/06	06/07	07/08	08/09	09/10	10/11	
	2001	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
糖蜜生産量	3,529	2,094	2,412	2,706	2,849	3,272	2,665	ton/yr
糖蜜1日処理量	588	349	402	451	475	545	444	kg/d
含糖率	36.2	29.6	28.6	28.7	28.7	27.4	26.3	%
希釈濃度	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	%
発酵液体積	5.3	2.6	2.9	3.2	3.4	3.7	2.9	m3/d
必要希釈水量	4.8	2.3	2.6	2.9	3.1	3.4	2.6	m3/d
平均滞留時間	2	2	2	2	2	2	2	hr
発酵槽体積	444	216	240	270	284	312	244	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/m3-H2
自家消費動力	10	10	10	10	10	10	10	kWh/m3-ferment
水素価格	38	38	38	38	38	38	38	¥/m3-H2
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	52,963	25,711	28,615	32,215	33,918	37,189	29,074	L/d
発電量	79.4	38.6	42.9	48.3	50.9	55.8	43.6	kWh/d
消費動力	4.44	2.16	2.40	2.70	2.84	3.12	2.44	kWh/d
i-MiEV充電可能台数	5.0	2.4	2.7	3.0	3.2	3.5	2.7	台

I-MiEVの蓄電量16kWhで130km走行

日産リーフの蓄電料24kWhで200km走行