

2013/05/07 エネルギー総合工学研究所で報告

現有バクテリアの実用性および

発酵水素生産の経済性試算

2012年 HESS大会(広島)
予稿集に一部記載

沖縄の糖蜜による水素生産の採算性 1

糖蜜処理量・発酵槽容積と建設費

2010/11年期糖蜜	久米島製糖	大東糖業	沖縄製糖	宮古製糖	石垣島製糖	
糖蜜生産量	1,572	2,879	3,450	4,431	2,665	ton/yr
操業日数	300	300	300	300	300	day
糖蜜処理量	5	10	12	15	9	ton/d
含糖率	37	40	40	37	39	%
希釈倍率	9	10	10	9	10	times
発酵液体積	47	96	115	133	89	m ³ /d
平均滞留時間	2	2	2	2	2	hr
発酵槽体積	4	8	10	12	8	m ³
糖蜜売価	2,000	500	1,750	1,600	1,300	¥/ton

建設費と減価償却

処理規模	10	t/d
発酵装置(10 m ³)	50,000	k¥
脱硫、租精製装置	2,000	k¥
燃料電池(60kW)	10,000	k¥
建設費*	62,000	k¥
稼働日数	300	day
償却費(10年)	6,200	k¥/yr

- 糖蜜は菓子、醸造用アルコールなどの原料になる。
- 糖蜜の価格は商社が決めている。
- 輸送費がかかるので1,500円/トン前後が商社買取価格？
- 糖濃度40%程度が引き取り条件？
- 沖縄の電気料金は25円/kWh(300kWh消費の時)

沖縄の糖蜜による水素生産の採算性 2

推算に使用した諸元

表 1 . 発酵水素生産・電力供給システムの経済性の評価

2010/11 年期糖蜜の場合		大東糖業	沖縄製糖	石垣島製糖	
1	糖蜜年間生産量	2,879	3,450	2,665	ton/yr
2	糖蜜1日処理量	10	12	9	ton/d
3	糖蜜の含糖率(還元糖含む)	40	40	39	%
4	糖蜜希釈倍率	9	8	9	times
5	発酵液体積	86	92	80	m ³ /d
6	発酵液平均滞留時間	2	2	2	hr
7	必要な発酵槽体積	8	8	7	m ³
8	水素収率(グルコース)	2.5	2.5	2.5	mol/mol
9	燃料電池出力	1.5	1.5	1.5	kWh/m ³ -H ₂
10	自家消費動力	10	10	10	kWh/m ³ -fermenter
11	水素価格	59	59	59	¥/m ³ -H ₂
12	売電価格	39	39	39	¥/kWh
13	操業日数	300	300	300	day
14	水素生産量	358,276	429,333	323,353	m ³ /yr
15	発電量	537,413	644,000	485,030	kWh/yr
16	消費動力	80	80	70	kWh/d
17	売電可能量	513,413	620,000	464,030	kWh/yr

沖縄の糖蜜による水素生産の採算性 3

諸コストと利益

2010/11 年 期糖蜜の場合		大東糖業	沖縄製糖	石垣島製糖	
14	水素生産量	358,276	429,333	323,353	m3/yr
15	発電量	537,413	644,000	485,030	kWh/yr
16	消費動力	80	80	70	kWh/d
17	売電可能量	513,413	620,000	464,030	kWh/yr
18	売電収入	20,023	24,180	18,097	k¥/yr
19	償却費(10m3 装置)	6,200	6,200	6,200	k¥/yr
20	保守費(3%)	1,860	1,860	1,860	k¥/yr
21	プラント人件費	3,000	3,000	3,000	k¥/yr
22	糖蜜購入費 (単価)	1,440 (0.5)	6,038 (1.75)	3,465 (1.3)	k¥/yr (k¥/ton)
23	総支出	12,500	17,098	14,525	k¥/yr
24	CO2 削減量	508	609	459	ton-CO2/yr
25	クレジット収入	2,034	2,437	1,835	k¥/yr
26	利益(償却費含む)	9,557	9,519	5,408	k¥/yr
27	利益(償却費含まず)	15,757	15,719	11,608	k¥/yr

売電価格
39¥/kWh

沖縄の糖蜜による水素生産の採算性 4

大東糖業が売電すれば原料代が不要なので、1,242千円の黒字！！

売電価格の損益分岐点(たばこ原料代とクレジット償却費を含む)

28	売電価格[¥/kWh]	大東糖業	沖縄製糖	石垣島製糖	
29	20	-198	-2,261	-3,409	k¥/yr
30	25	2,369	839	-1,088	k¥/yr
31	30	4,936	3,939	1,232	k¥/yr
32	39	9,557	9,519	5,408	k¥/yr

水素製造コスト算出

33	ton 当たり水素生産量	124	124	121	m ³ /ton
34	水素製造コスト	16.2	13.5	17.6	¥/m ³ -H ₂
35	原料コスト(1500¥/ton)	12.1	12.1	12.4	¥/m ³ -H ₂
36	総コスト(原料費含む)	28.2	25.6	29.9	¥/m ³ -H ₂

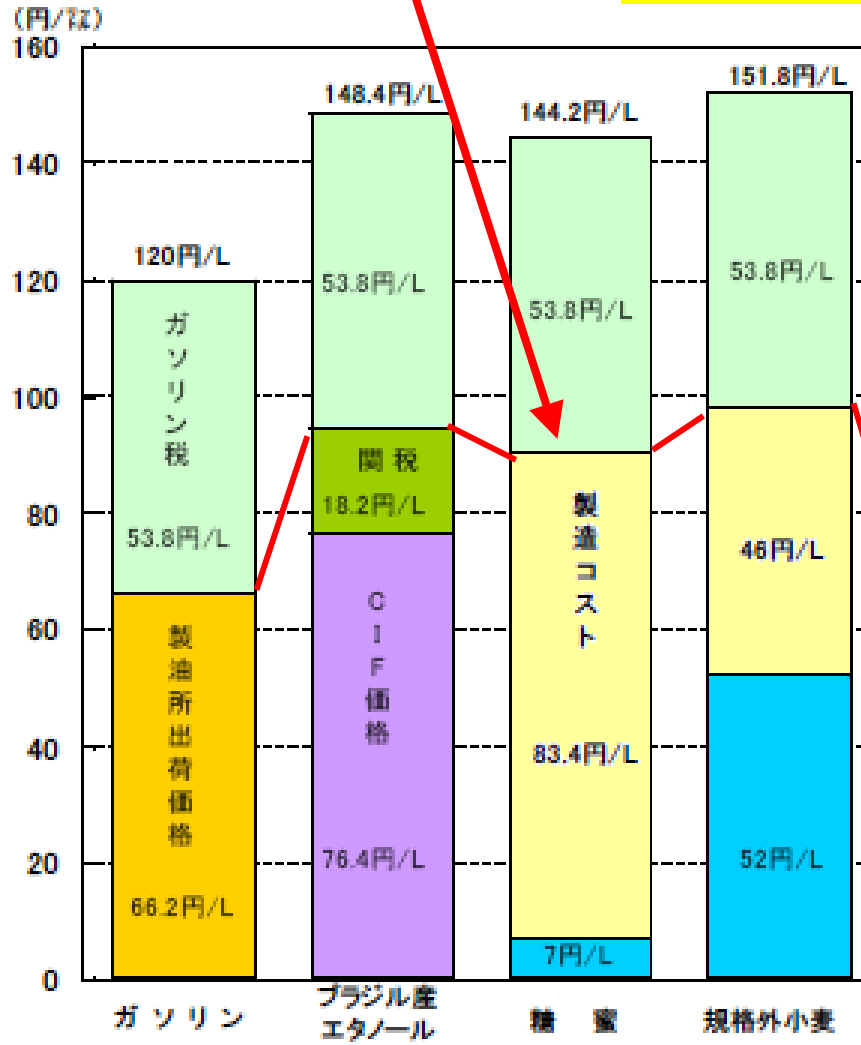
1. 糖蜜は製糖工場ごとに買い取り価格が異なっており、平成 23 年沖縄県農林水産部の報告書によると、トンあたり大東糖業では 500 円、沖縄製糖では 1,750 円、石垣島製糖では 1,300 円である。
- 一般社団法人低炭素投資促進機構が平成 24 年 6 月より公募を開始する炭素クレジットの買い取り価格は 4,000 円/ton であるから、クレジット収入計算にはこの価格を使用した。

水素製造コストは
30円/m³以下！

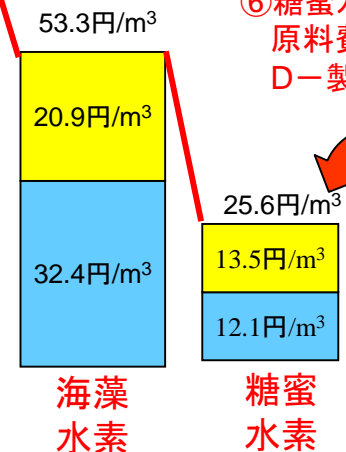
ガソリン・エタノール・発酵水素の製造コスト比較

究極目標？

宮古島は120円/L以下
が目標(償却費含まず)

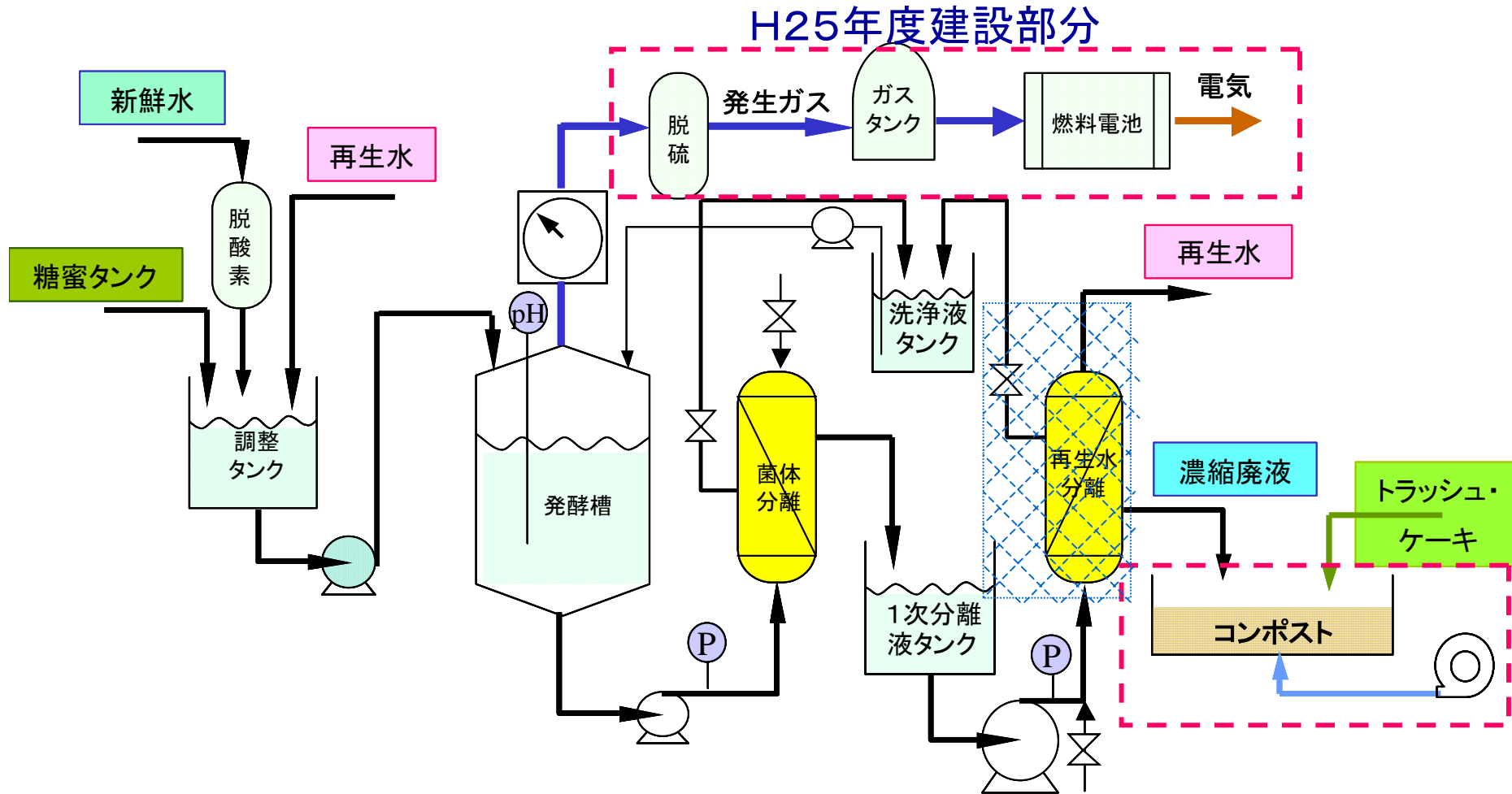


- ①ガソリン
18年5月1日現在の卸売価格(出典:石油専門商社)
- ②ブラジル産タノール
CIF価格18年3月現在(出典:経済産業省)
関税23.8%
- ③糖蜜
原料費:糖蜜2000円/トン(環境政策課試算)
=エタノール原料7円/L
(2200トンの糖蜜から720KLのエタノールを製造)
- ④規格外小麦
(財)十勝振興機構試算:小麦22円/kg
=エタノール原料52円/L
(27万トンの小麦から11600KLのエタノールを製造)
(注1)各製造コストには施設の設置コスト及びランニングコストを含む。
(注2)小売価格は、これに流通経費、消費税がかかる。
- ⑤海藻水素
既存のバクテリアを使用
(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!!

スケールアップ問題の洗出しを目指して建設する 糖蜜を原料にしたプラントのフロー図



糖蜜に含まれる各種イオン化物濃度が、膜分離に適さないほど濃いので、膜分離は省いた。

沖縄県産業振興公社のプロジェクト 完成間近の160Lパイロットプラント



沖縄県産業振興公社のプロジェクト 完成間近の160Lパイロットプラント3



糖蜜を利用した水素－電力生産

石垣島製糖の糖蜜を約5%処理する装置で発生する水素量

約2%の
処理量

生産年期	01/02	05/06	06/07	07/08	08/09	09/10	10/11	
年度	2001	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
糖蜜生産量	3,529	2,094	2,412	2,706	2,849	3,272	2,666	ton/yr
糖蜜1日処理量	588	349	402	451	475	545	200	kg/d
糖度	30.5	29.6	28.6	28.7	28.7	27.4	26.3	%
還元糖	9.3						12.7	%
希釈濃度	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	%
発酵液体積	4.5	2.6	2.9	3.2	3.4	3.7	1.95	m3/d
必要希釈水量	4.0	2.3	2.6	2.9	3.1	3.4	1.75	m3/d
平均滞留時間	2	2	2	2	2	2	2	hr
発酵槽体積	375	216	240	270	284	312	163	L
水素収率(グルコース)	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	mol/mol
燃料電池出力(HHV42%)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5		kWh/m3-H2
燃料電池出力(LHV35%)							1.05	kWh/m3-H2
水素価格	38	38	38	38	38	59	41	¥/m3-H2
売電価格	25	25	25	25	25	39	39	¥/kWh
操業日数	300	300	300	300	300	300	300	day
水素生産量	72,883	25,711	28,615	32,215	33,918	37,189	22,308	L/d
利用可能量(80%)							17,847	L/d
発電量(LHV35%)	109.3	38.6	42.9	48.3	50.9	55.8	18.7	kWh/d
燃料電池出力	4.6	1.6	1.8	2.0	2.1	2.3	0.8	kW
i-MiEV充電可能台数	6.8	2.4	2.7	3.0	3.2	3.5	1.2	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

現在の状況

- 沖縄の製糖工場で**実証プラント**建設を検討中。
- 味噌工場の煮汁を原料にエネルギー生産と水処理をかねた**プラント**の引き合いが来ている。
- 島根県海士町で、栽培海藻、自生海藻を原料にした**海藻水素発酵の教育用プラント**の建設計画が進行中。
- 経済性をさらに高めるために、収率の高い新規バクテリアの**探索**を続ける。

栽培海藻を利用した水素－電力生産

コンブを100ton/dayで処理するバッチ発酵装置での試算

保守費を建設費の3%として計上、ただし償却費は計上しない。

建設費と減価償却

処理規模	10	100	t/d
発酵装置(10t/d)	50,000	199,054	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*	56,000	222,940	k¥
稼働日数	300	300	day
償却費(10年)	5,600	22,294	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

海藻栽培の経費と栽培者利益(100t/d)

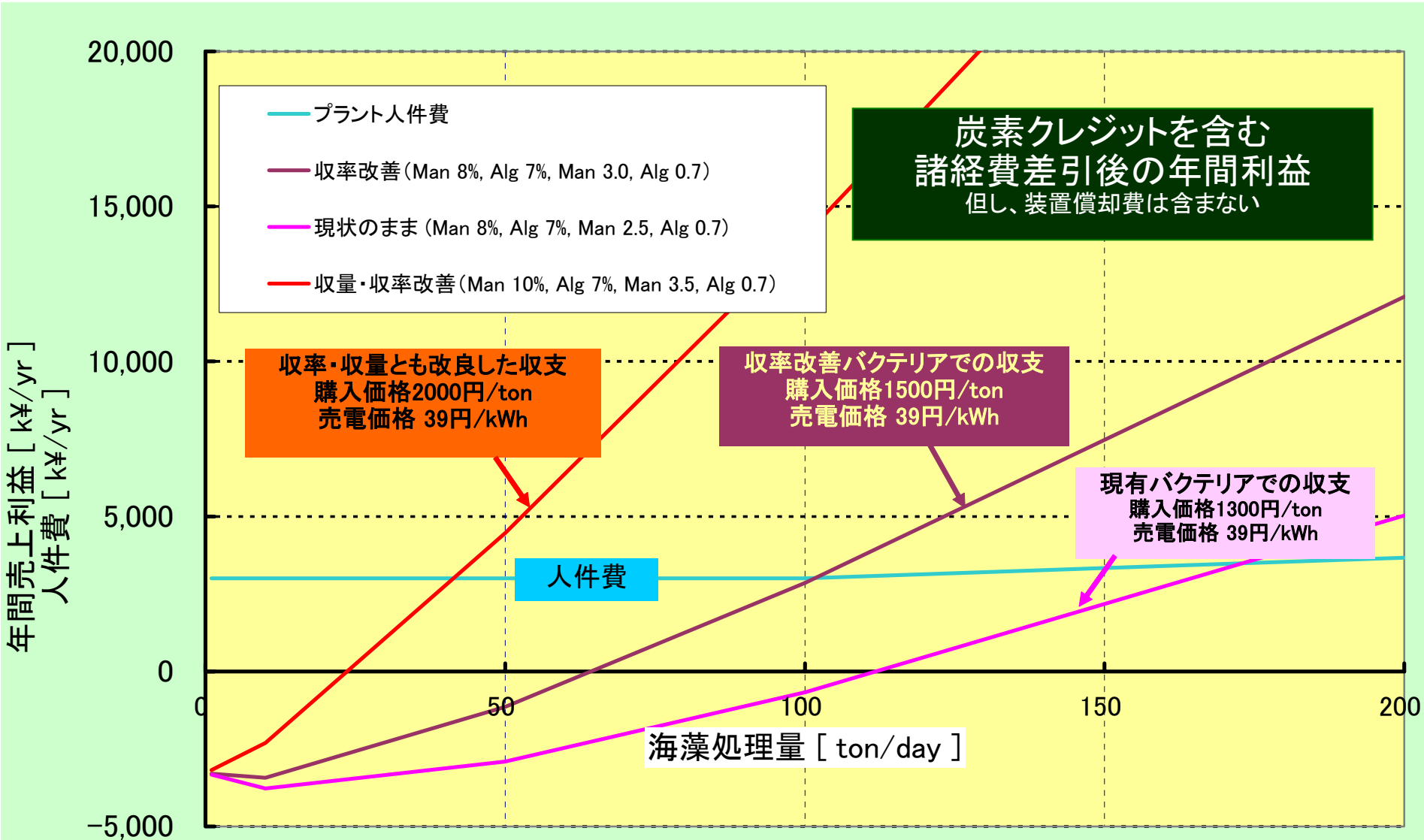
アンカー・ロープ	140	k¥/km
ロープ間隔	2	m
ロープ総延長	5,100	m
アンカー・ロープ	700	k¥/ha
償却費(10年)	70	k¥/ha・yr
海藻生産量(コンブ)	600	ton/ha
海藻生産量(ワカメ)	-	ton/ha
海藻生産量(その他)	-	ton/ha
必要栽培面積	50	ha/yr
海藻単価	1.35	k¥/ton
海藻売価	40,500	k¥/yr
海藻栽培純益	37,000	k¥/yr

(鳴門漁協のデータを参考にした)

コンブの場合

	現状の収率	収率改善	収率・収量改善	
海藻処理量	100	100	100	ton-algae/d
マンニトール含率	8	8	10	%-mannitol
アルギン酸含率	7	7	7	%-alginate
水素収率(Mannitol)	2.5	3.0	3.5	mol/mol
水素収率(Alginate)	0.7	0.7	0.7	mol/mol
燃料電池出力(53%)	1.6	1.6	1.6	kWh/m ³ -H ₂
自家消費動力	10	10	10	kWh/ton-algae
水素価格	62	62	62	¥/m ³ -H ₂
売電価格	39	39	39	¥/kWh
操業日数	300	300	300	day
水素生産量	925,552	1,073,245	1,479,399	m ³ /yr
発電量	1,480,884	1,717,192	2,367,038	kWh/yr
消費動力	1,000	1,000	1,000	kWh/d
売電可能量	1,180,884	1,417,192	2,067,038	kWh/yr
売電収入	46,054	55,270	80,614	k¥/yr
保守費(3%)	6,688	6,688	6,688	k¥/yr
プラント人件費	3,000	3,000	3,000	k¥/yr
海藻単価	1,300	1,500	2,000	¥/ton
海藻購入費	39,000	45,000	60,000	k¥/yr
総支出	48,688	54,688	69,688	k¥/yr
CO ₂ 削減量	1,308	1,517	2,091	ton-CO ₂ /yr
クレジット収入	1,962	2,275	3,136	k¥/yr
年間売上利益	-672	2,858	14,063	k¥/yr
水素製造原料コスト	42.1	41.9	40.6	¥-algae/m ³ -H ₂
水素製造諸費コスト	23.1	19.9	14.5	¥/m ³ -H ₂
水素製造コスト	65.2	61.9	55.0	¥/m ³ -H ₂

栽培海藻を使用した水素生産の規模による採算性



なぜ海藻バイオマスー水素利用か！

- 日本の自前のエネルギーを確保する
- 日本は海洋国家、専管水域は国土の12倍
- 海藻バイオマスを栽培する面積が十分ある
- バイオマスは大気中のCO₂を集めて太陽エネルギーを蓄積
- バイオマスはCO₂ニュートラルエネルギー
- 水素変換時にCO₂を分離回収・貯留(CCS)すれば、大気中のCO₂濃度を減ずることも可能
- CO₂濃度減量は太陽発電、風力発電には無い強力な利点
- 水素は燃料電池の原料、近未来のエネルギー源
- 当今の電気自動車のエネルギーに使えば、本当の意味でCO₂排出削減
- 離島のエネルギーとして最適

能登谷先生の栽培試験

実験用種苗ロープ (2011/07/09発表 依田欣文らのデータから)

海面栽培期間: 2月~7月

5mのロープにコンブの種糸を20cm間隔で25カ所差し込み種苗ロープとし、結びしろに1mを追加した。

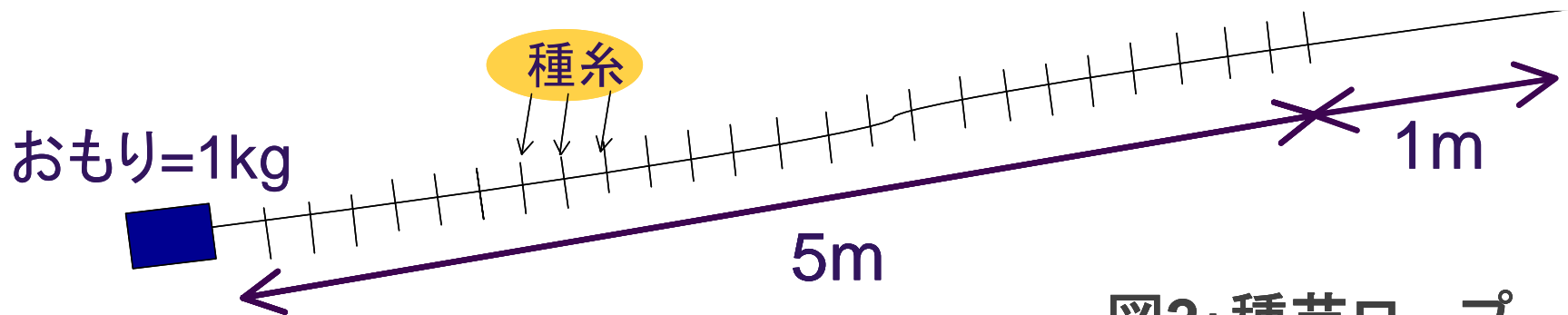
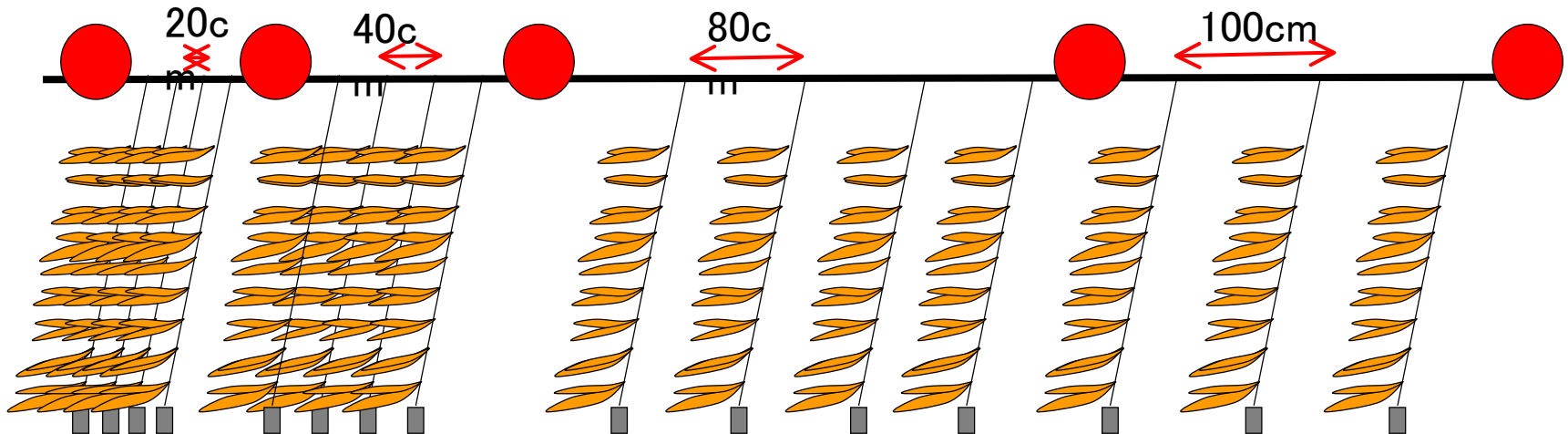


図2: 種苗ロープ



能登谷先生の栽培試験

種苗ロープで成長したマコンブ (2011/07/09発表 依田欣文らのデータから)



一節の種糸から成長したマコンブ



海士町潮早にて養殖したマコンブ
沖出しから133日経過した状態2011年6月9日撮影

コンブは陸生バイオマスより遙かに生産性が高い！

植物名	測定地	固定系	純生産量 [t/ha/yr]
ネピアグラス	プエルトリコ	C4	85.9
サトウキビ	ハワイ	C4	67.3
ソルガム	カリフォルニア	C4	46.6
トウモロコシ	イタリア	C4	34.0
トウモロコシ	塩尻	C4	26.0
キャッサバ	ジャマカ	C4	41.0
テンサイ	カリフォルニア	C4	42.4
テンサイ	札幌	C4	22.9
コンブ*	北海道羅臼	-	149
マコンブ	島根県海士町	-	600~1,000

水分を含む重量

70%
約20t

栽培期間
12ヶ月

食用でなければ
10倍近い生産性が期待できる

80%
約150t

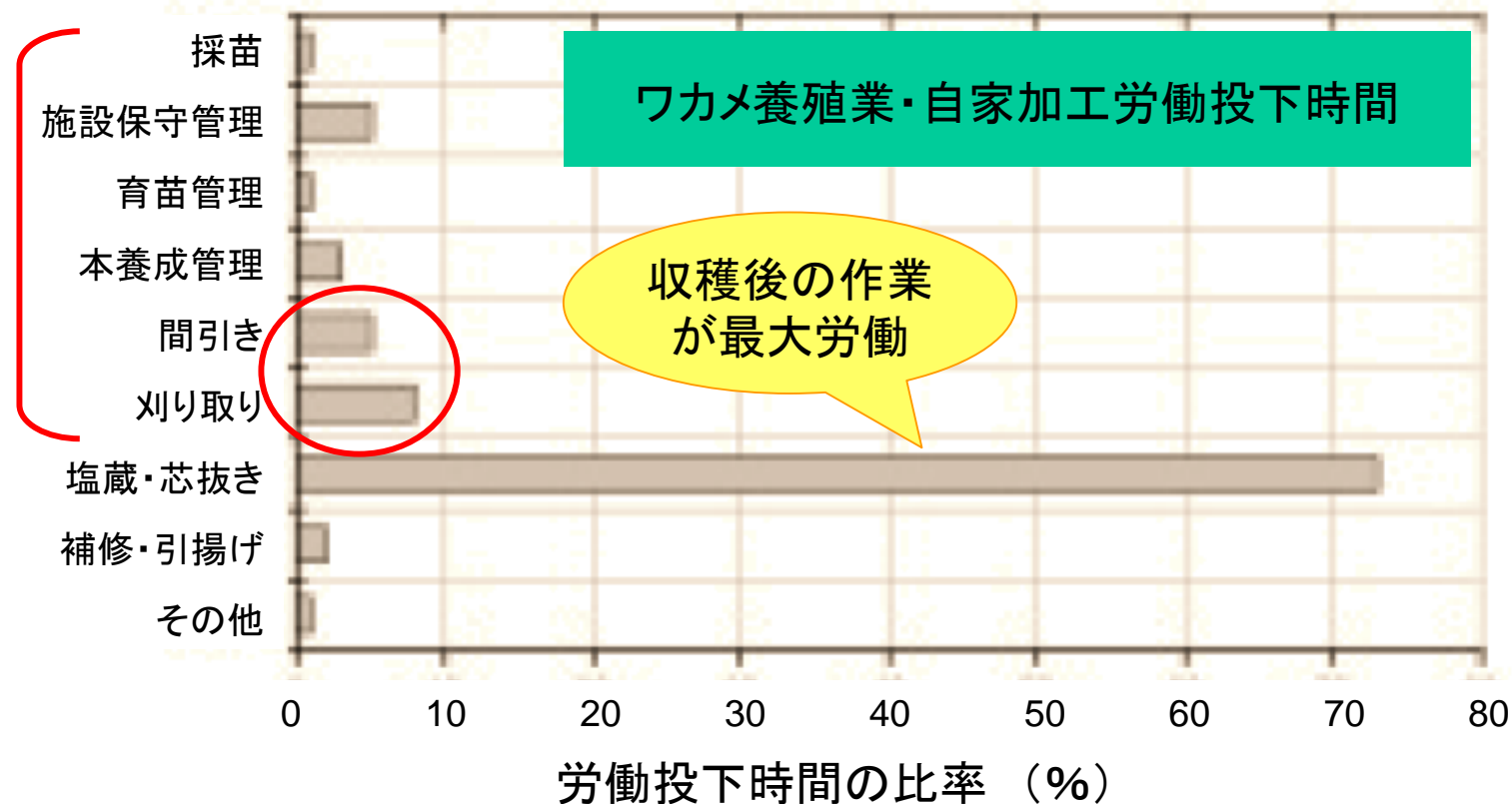
栽培期間
6~7ヶ月

2011年7月9日
応用藻類学会春季大会
発表者: 依田、能登谷
から計算

船上のワカメの状態と陸揚げ作業、切り落とし、 刮ぎ落とし作業



ワカメ栽培と自家加工における労働投下比率



自家加工では、養殖管理、摘菜にかかる時間より、加工にかかる時間の方が極めて大きい。

→ 刈り取りを機械化すれば、栽培作業は非常に楽になる！

1,500円/tonの買い取り価格でも労働意欲を殺ぐことはない。

発酵水素生産のまとめ

- 発酵槽体積はメタン発酵の1/50～1/500
- 製造コストはエタノール発酵の1/4～1/7
- 浄化槽のBOD負荷を1/3以下に減らせる
- 糖蜜なら売電価格が20円/kWhでも採算性がある
- マコンブの収穫量はサトウキビの5～10倍
- 栽培海藻が原料でも採算性が見込める
- 離島のエネルギー生産として最適
- 日本の自前のエネルギーを確保できる
- CCSの活用で大気中のCO₂濃度を減らせる
- CCSが活用できることは太陽発電、風力発電には無い強力な利点

今後の課題

- 200L規模のパイロットプラントでスケールアップ問題を調べる。
- 計算通りの水素が生産できることを確かめたあと商用スケールのプラントを建設する。
- バイオマス原料を確保するために、ソルガム、マコンブなどの栽培気運を高める。
- 経済性をさらに高めるために、収率の高い新規バクテリアの探索を続ける。

栽培海藻－水素生産の開発すべき問題

- マコンブは2月から7月、ワカメは10月から3月が栽培期間で**二毛作**が可能
- 海藻の収穫時期が短いので、海藻またはマンニトールの**保存技術開発**が必要
- マンニトールの含有率を高める**品種改良**が必要
- 栽培・収穫・その他の**機械化技術開発**が必要
- マンニトール・アルギン酸から高収率で水素発生する**新規バクテリアの探索**が必要