

栽培海藻バイオマスを使用した 発酵法による水素生産の可能性について

横浜国立大学 教育人間科学部
谷生 重晴



なぜ海藻バイオマスか！

- 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
- バイオマスはCO₂ニュートラルエネルギー
- 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
- 使用時にCO₂を分離回収・貯留すれば、大気中のCO₂濃度を減ずることも可能
- 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

コンブは陸生バイオマスより生産性が高い

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	C3	34.0
トウモロコシ	塩原	C3	26.5
キャッサバ	ジャワ	C3	41.0
テンサイ	カリフォルニア	C3	42.4
テンサイ	札幌	C3	22.0
コンブ*	北海道羅臼	—	149

水分を含む重量

70%
約20t

栽培期間
12ヶ月

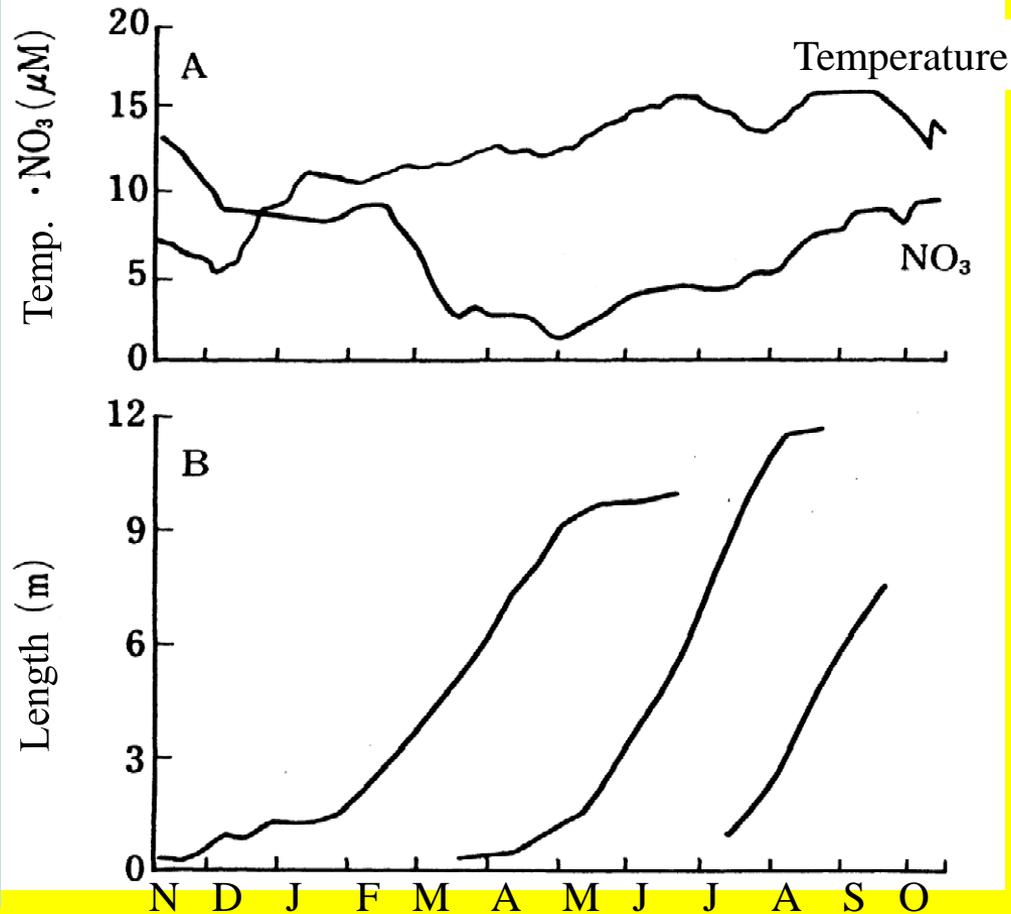
80%
約30t

栽培期間
7ヶ月

村田吉男、植物の生産性、「バイオマス」生産と変換（上）、柴田/木谷編、学会出版センター
*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

海藻の収穫時期と収穫量

ジャイアントケルプ *Macrocystis angustifolia*

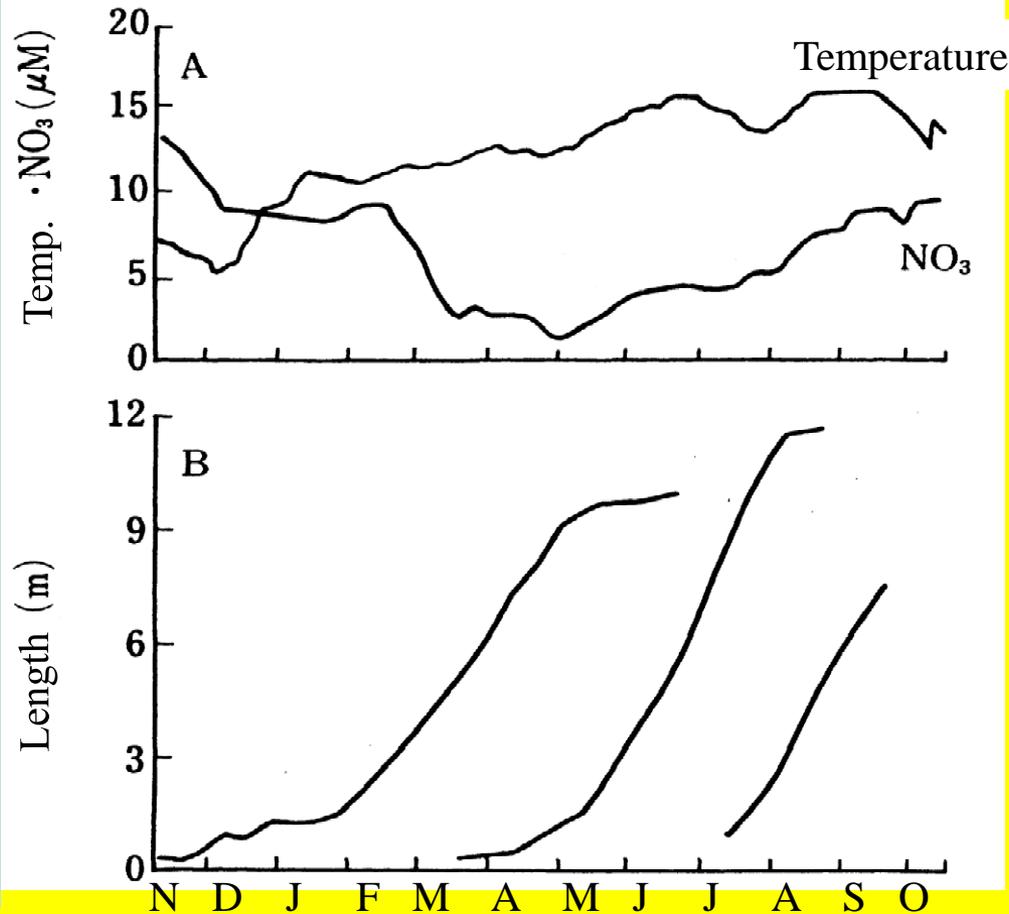


コンブとワカメ

	本養殖月	収穫月	収穫量 t/ha
羅臼 コンブ	3	8	140
三陸 ワカメ	10 ~ 11	3	100
鳴門 ワカメ		2 ~ 3	80

海藻の収穫時期と収穫量

ジャイアントケルプ *Macrocystis angustifolia*

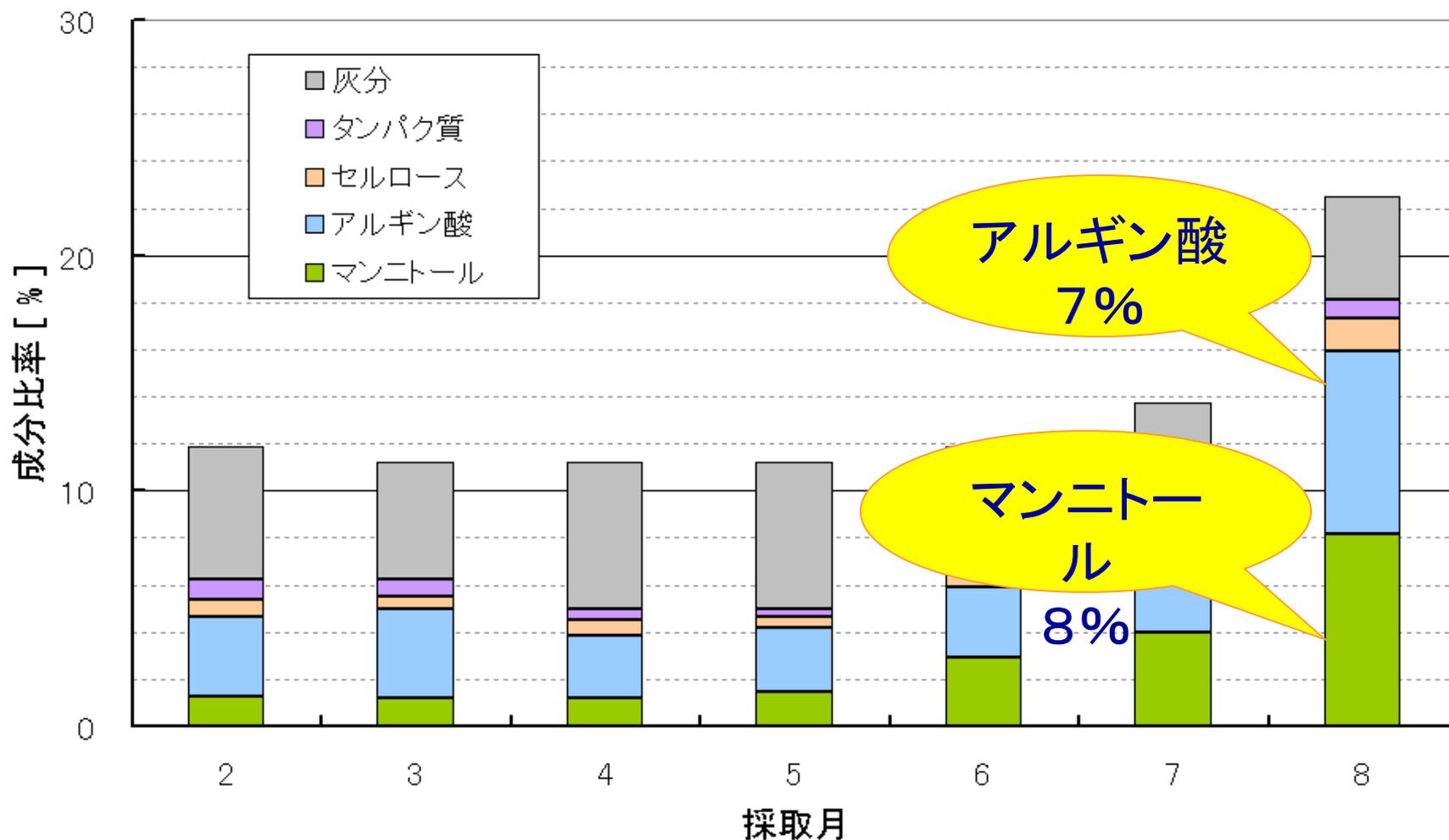


コンブとワカメ

	本養殖月	収穫月	収穫量 t/ha
羅臼 コンブ			140
三 ワカメ			100
鳴門 ワカメ		2 ~ 3	80

異作物が
年2回
収穫可能

コンブの月別マンニトール含有率

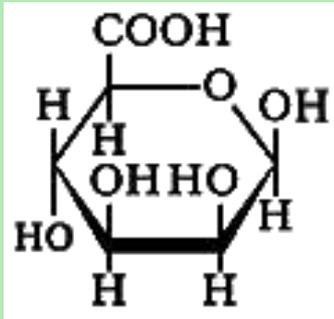


マンニトールとアルギン酸の理論最大水素収率

Mannitol



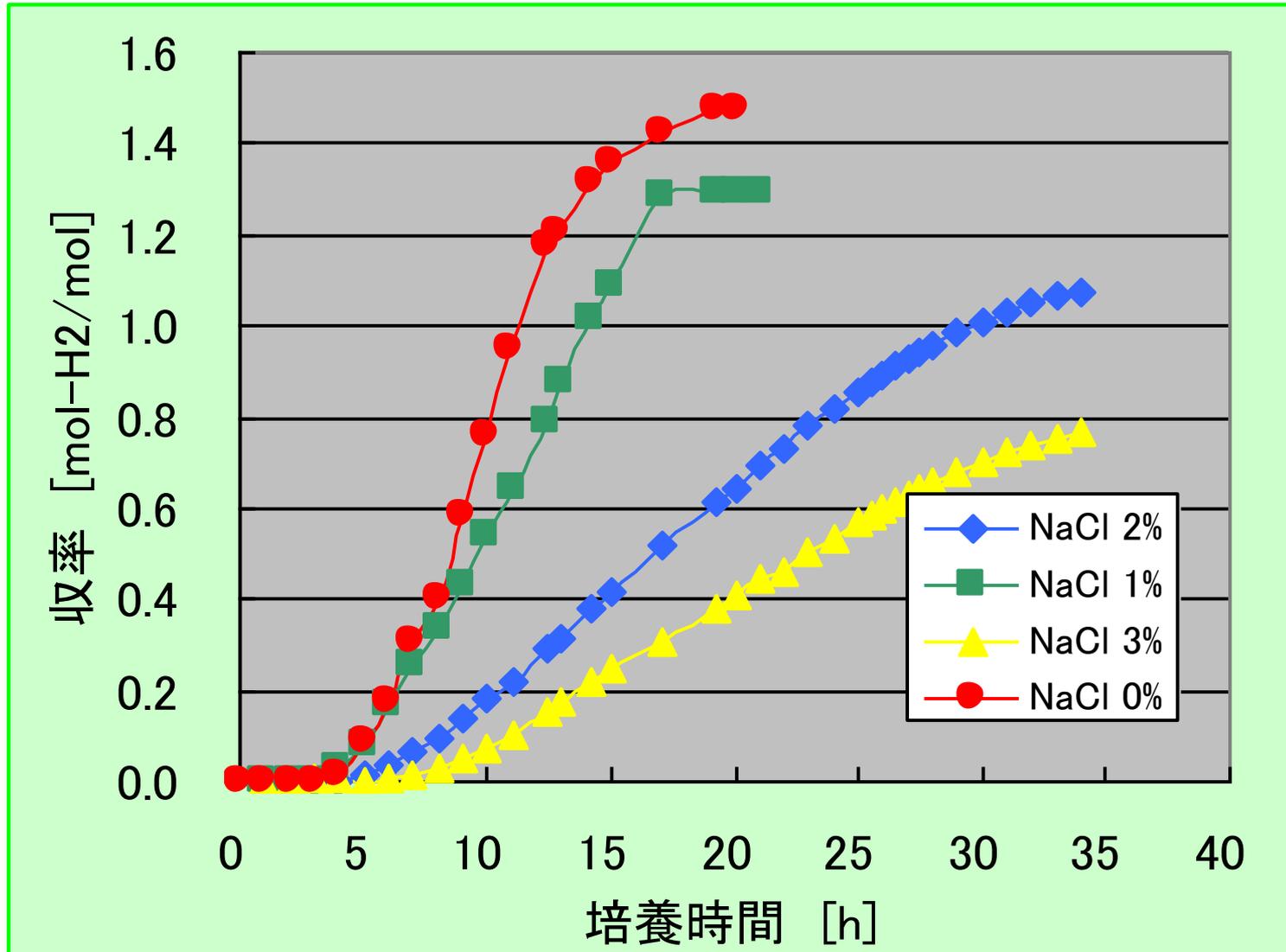
Alginate acid



Glucose



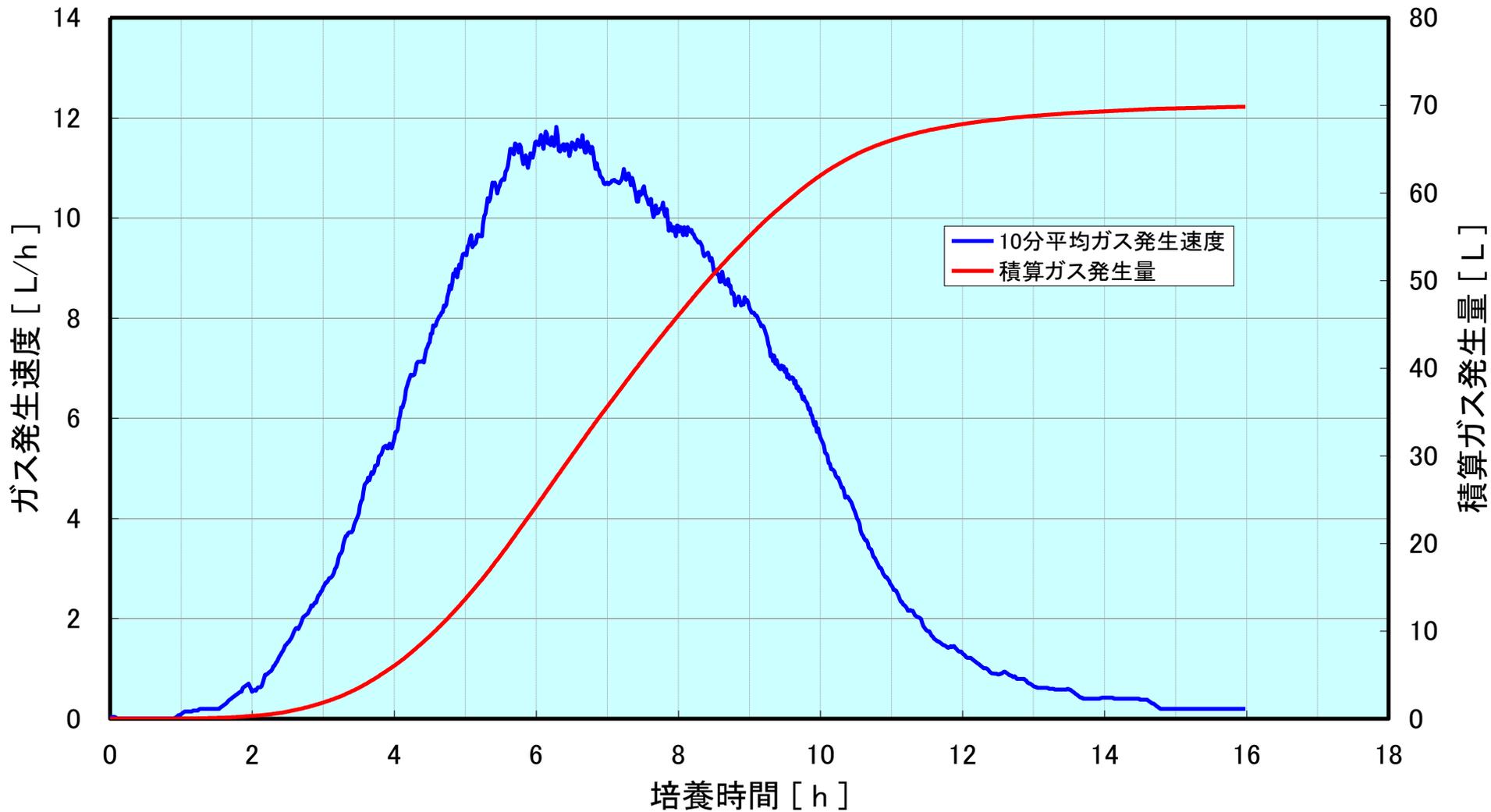
マンニトールを基質とした *E. aerogenes* の水素発生と塩濃度の影響



マンニトールからのガス発生 Man 1

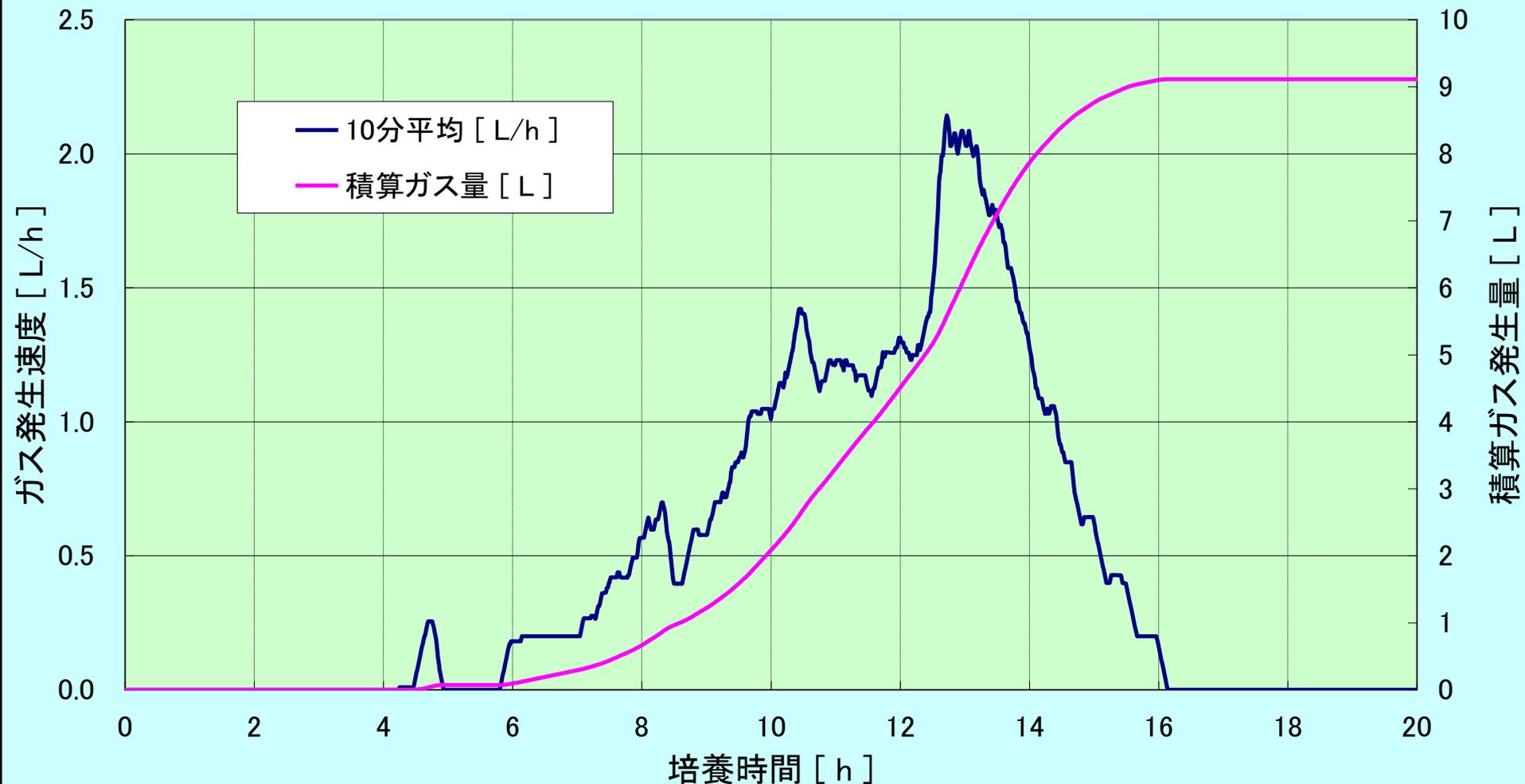
マンニトールからのガス発生 水素収率2.45

Man 1, 38.8°C, 5L YNU嫌気, 2%, pH5.90, 2010/08/11



アルギン酸分解水素発生 Alg 6

アルギン酸分解水素発生 2010/08/20
38°C、5L 培養液、Alg 6、水素収率 0.7



計算に当たっての仮定

- (1) 燃料電池出力 : $0.6 \text{ m}^3\text{-H}_2/\text{kWh}$ (純水素燃料電池の変換効率を47%と仮定)
- (2) 燃料電池価格 : 60kW出力が4M¥と仮定
- (3) 自家消費動力 : 10 kWh/ton-algae (攪拌、ポンプなどの動力として)
- (4) 売電価格 : 20 ¥/kWh (水素価格を 33.3 ¥/m^3 と仮定)
- (5) プラント建設費 : 10 ton/dayの処理プラントを基準に、0.6乗で建設費が上昇すると仮定
- (6) プラント償却 : 10年間の均等償却とする
- (7) プラント稼働日数 : 300 day

計算に当たっての仮定2

- (8) プラント人件費 : 100t/dまで6M¥、1,000t/dでは18M¥、
100~1000t/dまでは大きさに比例して増加すると仮定
- (9) 海藻の購入単価 : 1,500 ¥/ton-wet algae
- (10) CO₂削減量 : 発電効率30%のディーゼル発電機を使用する島嶼町村を仮定
- (11) CO₂クレジット : 1,500 ¥/ton-CO₂と仮定
- (12) 海藻栽培網設置撤去 : 140 k¥/km (ワカメ栽培のデータを使用)
- (13) 年間収穫量 : 300 ton-wet/ha (3毛作を仮定)
- (14) 海藻購入単価 : 1,500 ¥/ton-wet (種付け、収穫の機械化により労働負担が減ると仮定)

海藻水素生産の経済性付与のための改善策

建設費と減価償却

処理規模	10	100	t/d
発酵装置(10t/d)	40,000	159,243	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*	46,000	183,129	k¥
稼働日数	300	300	day
償却費(10年)	4,600	18,313	k¥/yr

*建設費の増加は基準建設費(10t/d)の0.6乗に比例

海藻栽培の経費と栽培者利益

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)	149	ton/ha
海藻生産量(ワカメ)	100	ton/ha
海藻生産量(その他)	50	ton/ha
必要栽培面積	100	ha/yr
海藻単価	1.5	k¥/ton
海藻売価	45,000	k¥/yr
海藻栽培純益	37,977	k¥/yr

(鳴門漁協のデータを参考にした)

昆布の場合

	現状の収率	収率改善	収量も改善	
海藻	100	100	100	ton-algae/d
マンニトール含率	8	8	14	%-mannitol
アルギン酸含率	7	7	7	%-alginate
燃料電池出力	0.6	0.6	0.6	m ³ -H ₂ /kWh
自家消費動力	10	10	10	kWh/ton-algae
水素収率(Mannitol)	2.5	3.8	3.8	mol/mol
水素収率(Alginate)	0.7	1.5	1.5	mol/mol
売電価格	20	20	20	¥/kWh
操業日数	300	300	300	day
水素生産量	925,552	1,523,371	2,365,217	m ³ /yr
発電量	1,542,587	2,538,951	3,942,028	kWh/yr
消費動力	1,000	1,000	1,000	kWh/d
売電可能量	1,242,587	2,238,951	3,642,028	kWh/yr
売電収入	24,852	44,779	72,841	k¥/yr
償却費(10年)	18,313	18,313	18,313	k¥/yr
プラント人件費	6,000	6,000	6,000	k¥/yr
海藻単価	1,500	1,500	1,500	¥/ton
海藻購入費	45,000	45,000	45,000	k¥/yr
総支出	69,313	69,313	69,313	k¥/yr
年間売上利益	-44,461	-24,534	3,528	k¥/yr
CO ₂ 削減量	1,363	2,243	3,482	ton-CO ₂ /yr
クレジット収入	2,044	3,364	5,223	k¥/yr

海藻水素生産の経済性付与のための改善策

建設費と減価償却

	10	100	t/d
処理規模	10	100	t/d
発酵装置(10t/d)	40,000	159,243	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*	46,000	183,129	k¥
稼働日数	300	300	day
償却費(10年)	4,600	18,313	k¥/yr

*建設費の増加は基準建設費(10t/d)の0.6乗に比例

海藻栽培の経費と栽培者利益

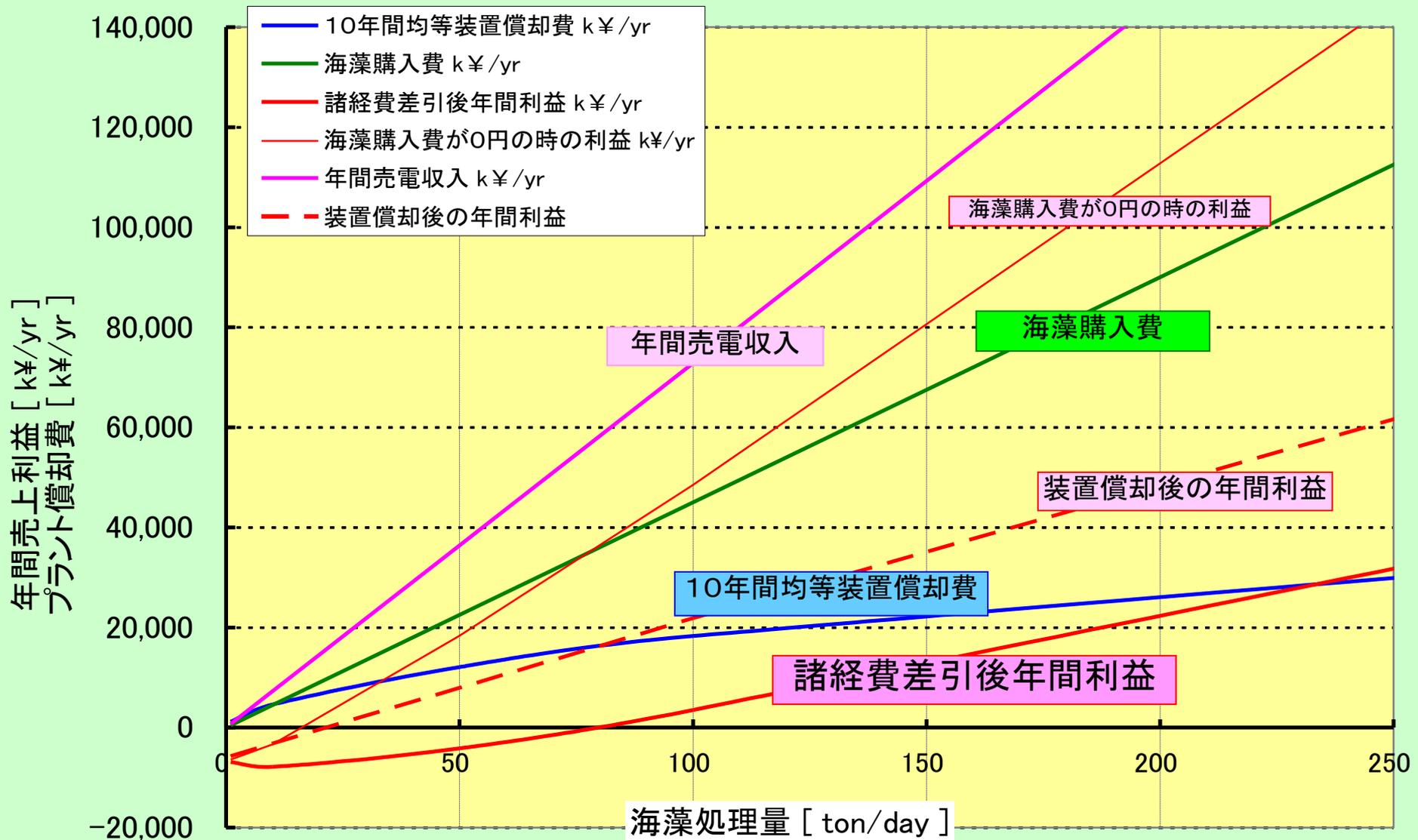
アンカー・ロープ	140	k¥/km
ロープ間隔	2	m
ロープ総延長	5,100	m
アンカー・ロープ	700	k¥/ha
償却費(10年)	70	k¥/ha・yr
海藻生産量(コンブ)	149	ton/ha
海藻生産量(ワカメ)	100	ton/ha
海藻生産量(その他)	50	ton/ha
必要栽培面積	100	ha/yr
海藻単価	1.5	k¥/ton
海藻売価	45,000	k¥/yr
海藻栽培純益	37,977	k¥/yr

(鳴門漁協のデータを参考にした)

昆布の場合

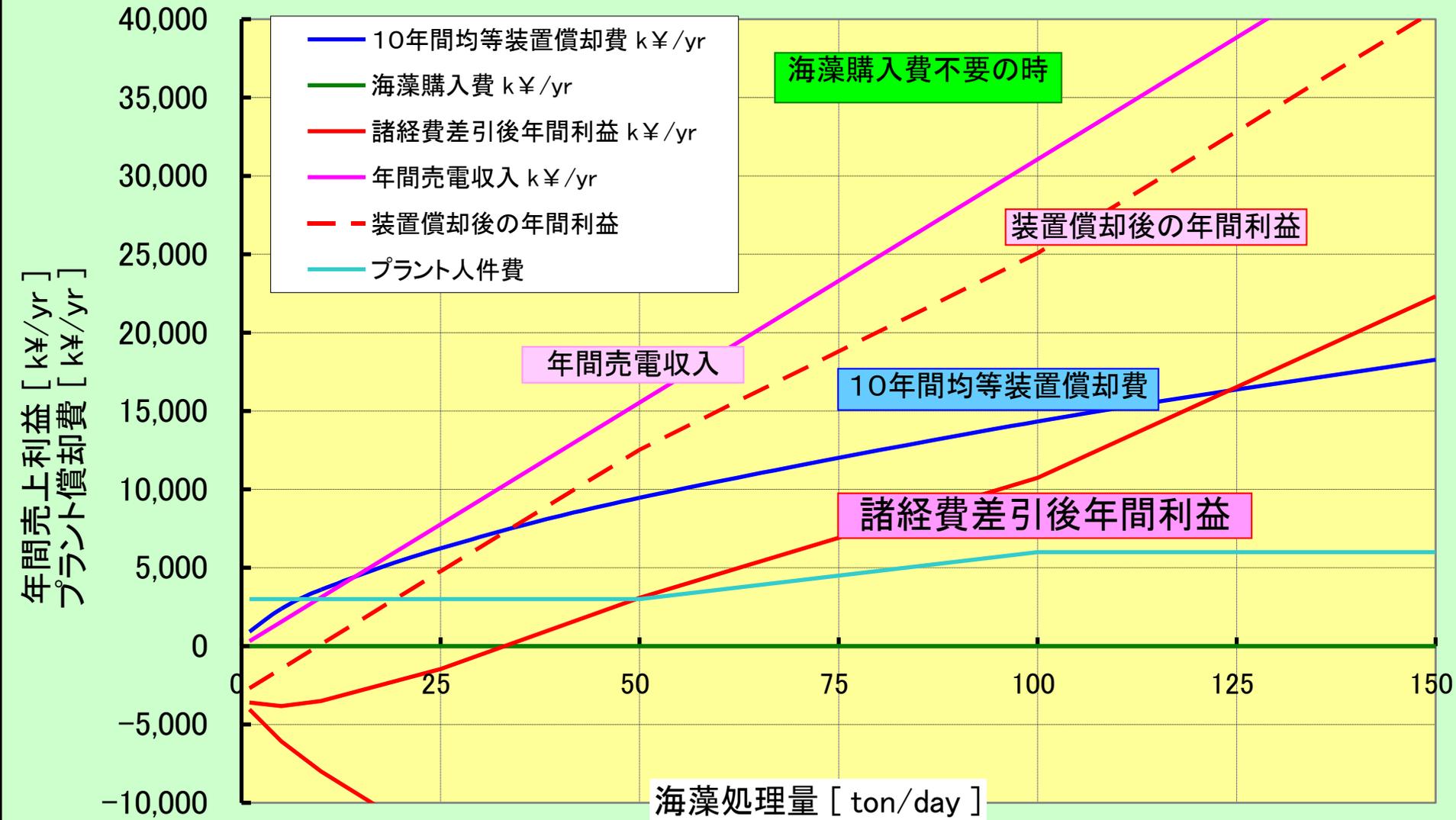
	現状の収率	収率改善	収量も改善	
海藻	100	100	100	ton-algae/d
マンニトール含率	8	8	14	%-mannitol
アルギン酸含率	7	7	7	%-alginate
燃料電池出力	0.6	0.6	0.6	m ³ -H ₂ /kWh
自家消費動力	10	10	10	kWh/ton-algae
水素収率(Mannitol)	2.5	3.8	3.8	mol/mol
水素収率(Alginate)	0.7	1.5	1.5	mol/mol
売電価格	20	20	20	¥/kWh
操業日数	300	300	300	day
水素生産量	925,552	1,523,371	2,365,217	m ³ /yr
発電量	1,542,587	2,538,951	3,942,028	kWh/yr
消費動力	1,000	1,000	1,000	kWh/d
売電可能量	1,242,587	2,288,951	3,642,028	kWh/yr
売電収入	24,852	44,779	72,841	k¥/yr
償却費(10年)	18,313	18,313	18,313	k¥/yr
プラント人件費	6,000	6,000	6,000	k¥/yr
海藻単価	1,500	1,500	1,500	¥/ton
海藻購入費	45,000	45,000	45,000	k¥/yr
総支出	69,313	69,313	69,313	k¥/yr
年間売上利益	-44,461	-24,534	3,528	k¥/yr
CO ₂ 削減量	1,363	2,243	3,482	ton-CO ₂ /yr
クレジット収入	2,044	3,364	5,223	k¥/yr

海藻－水素生産の規模と採算性



現状の収率での採算性

現状の収率で廃棄ワカメを利用



刈り取り作業の効率

調査事例	刈り取り作業効率				
	親縄長 (m)	刈取り量 (kg)	人数 (人)	作業時間 (分)	効率 (kg/人・h)
大槌	2,400	900	2	210	129
広田(a)	3,300	1,300	5	80	195
		1,150	3	120	192
広田(b)	5,400	1,200	2	120	300
田老・刈取り	2,400	2,300	2	240	288
田老・加工場					

調査事例	ボイル・塩もみ加工作業効率			
	処理量 (原藻kg)	人数 (人)	作業時間 (分)	効率 (kg/人・h)
大槌	900	4	90	150
広田(a)	2,450	3	160	306
広田(b)	1,200	2	130	277
田老・刈取り				
田老・加工場	40,000	12	480	417

■ 鳴門わかめ

● 基本データ

生産量: 7,742トン

全国第3位

生産額: 1,146百万円

1日100ton処理で
約100日分

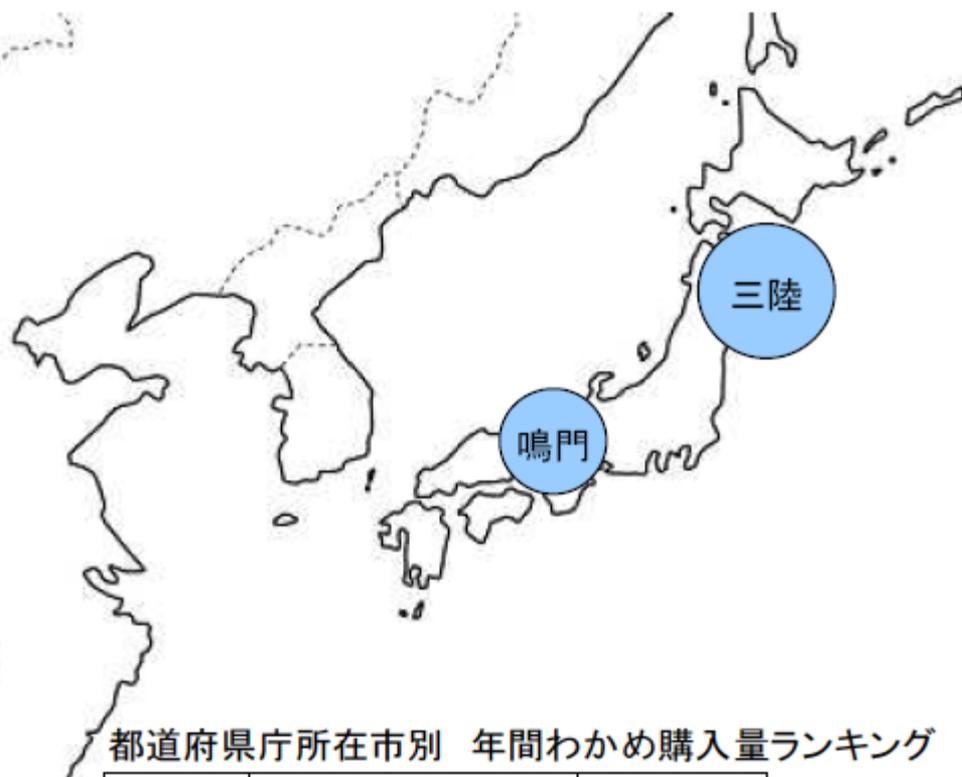
経営体数: 359

1経営体あたり
約300万円

※漁業・養殖業生産統計年

収穫期: 1月下旬~4月下旬
(最盛期は2~3月)

● 二大わかめ産地のひとつ！ 県民に愛される鳴門わかめ



平成17年における養殖わかめの国内生産量は約6万3千トン。

このうち、徳島産は約7千7百トンで、鳴門は三陸に次ぐわかめの大産地です。

また、都道府県庁所在市別に調査された1世帯当たりの年間わかめ購入量(平成16～18年平均)ランキングで、徳島市は全国第2位！とくしまブランドとして、鳴門わかめが県民に愛されている姿がうかがえます。

都道府県庁所在市別 年間わかめ購入量ランキング

順位	都道府県庁所在市	購入量(g)
1	盛岡市	2,347
2	徳島市	2,174
3	福島市	2,089
	全国平均	1,371

総務省 統計局 家計調査

徳島県水産課

徳島県水産研究所

● 鳴門わかめの養殖ロープ 全部つなげると四国一周

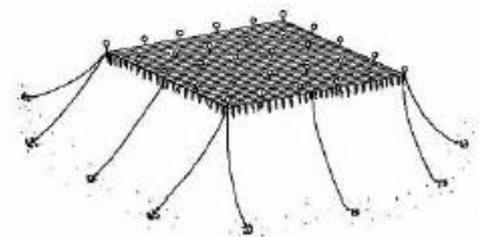
鳴門わかめが養殖されている養殖ロープを全部つなげると1,048km！
なんと、四国をぐるり一周してしまうくらい長いんです！



徳島県水産課

鳴門わかめ養殖風景

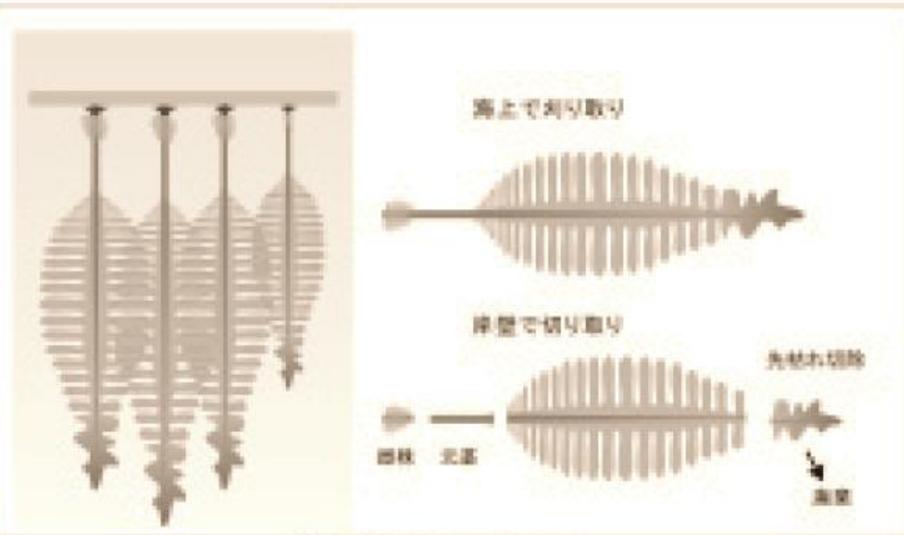
徳島県水産研究所



養殖セット

平成17年の統計による

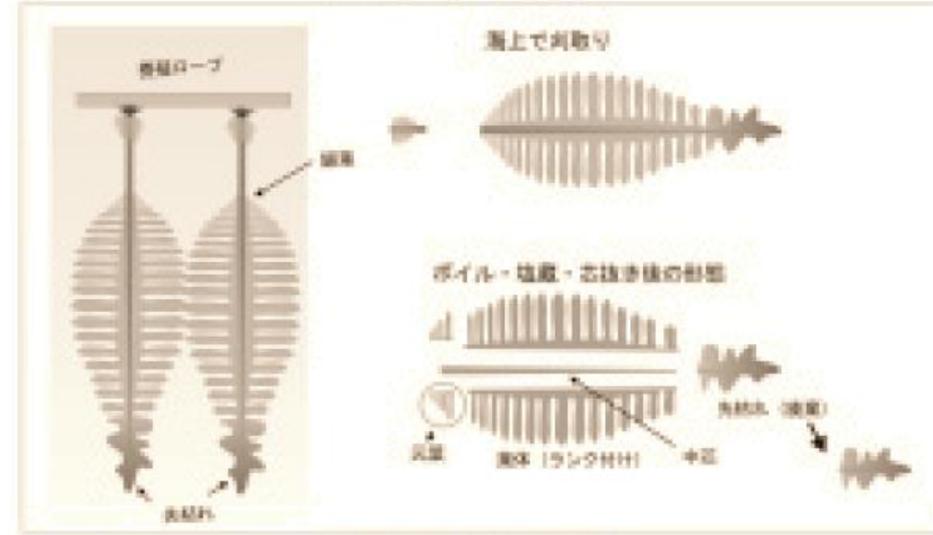
採取ワカメの後処理



原藻生出荷の場合

原藻生出荷の場合：

- ・入荷基準に従って選別、切除などに家族総出での作業が必要。
- ・生出荷であっても陸揚げ後の作業負担は大きい。
- ・生出荷例では、陸揚げ後岸壁にて選別、雌株元茎切除、先枯れ切除を行う。



自家加工の場合

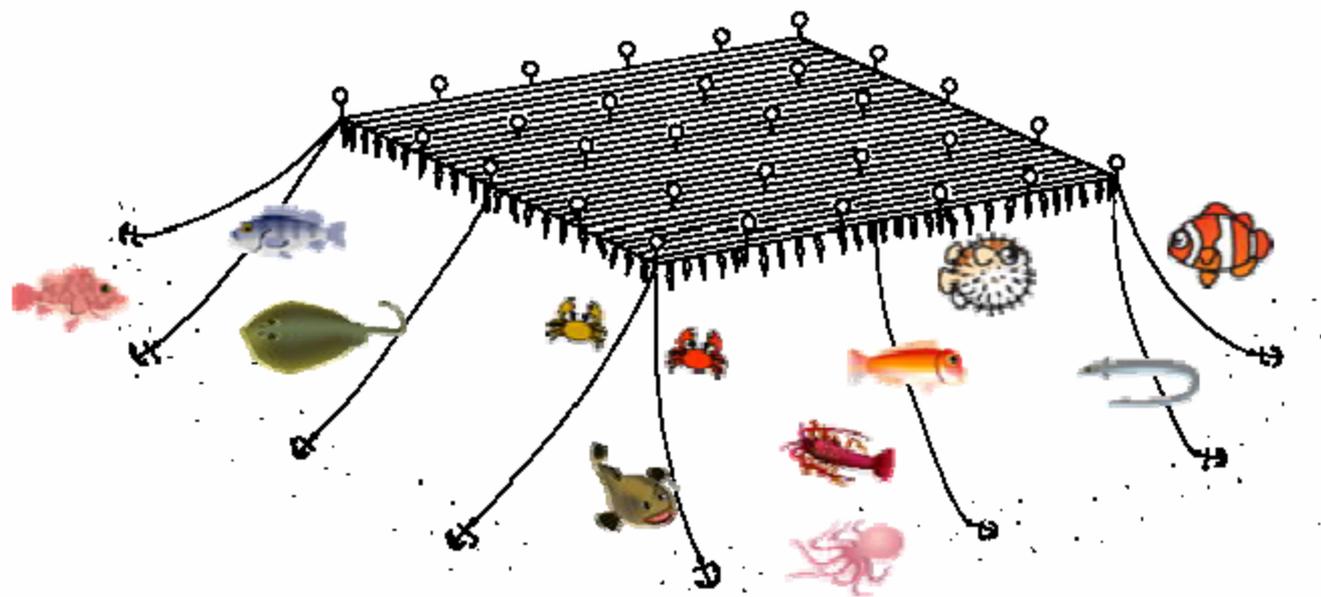
自家加工の場合：

- ・塩蔵・芯抜き作業時間の割合が突出。
- ・家族と雇用者の延べ時間も投下労働時間に加算されている。
- ・ワカメ収穫とそれに続く出荷作業は、一時期に労働が集中する。

鳴門では製品と廃棄部分が等量発生する！

● わかめ養殖イカダは 魚たちのエサ場、隠れ家

わかめの密生した養殖イカダには、陸上の森と同じように様々な機能があります。そのひとつが、魚たちのエサ場や絶好の隠れ家になっていることです。わかめ養殖が終了し、養殖イカダを撤去すると、そこでは多くの魚が獲れるそうです。また、草木と同様に、わかめにも、地球温暖化の原因となる二酸化炭素などを吸収する働きがあります。



ワカメの刈り取り方法各種



(2)前屈みで茎を持つ
岩手県大槌地区



(2) 折ロープを吊り上げて刈り取り
岩手県広田地区



(2) ワカメ刈取り作業
岩手県田老地区



(2) ワカメ陸揚げ・刈取り
徳島県鳴門地区

岩手の取込方図解

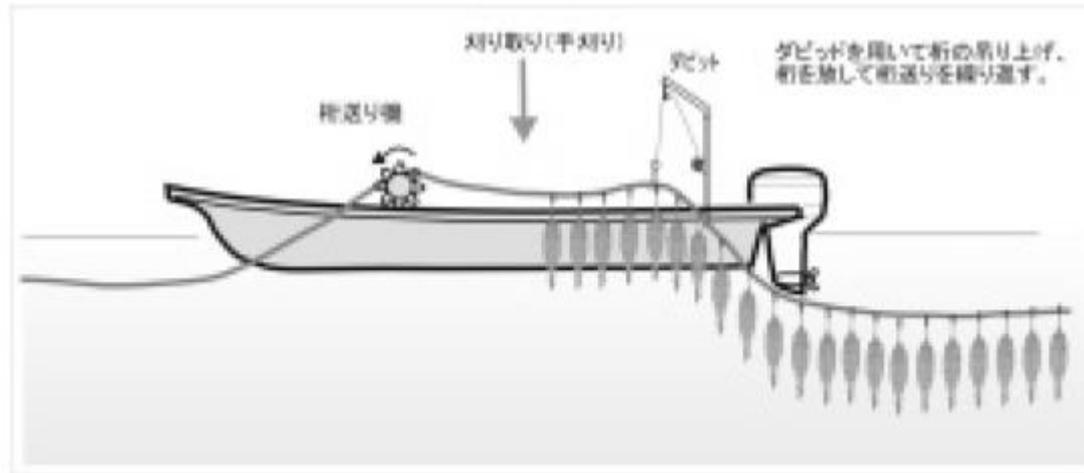


Fig. 17 ワカメ刈取り模式図 (田老地区)



(4) ワカメ刈取り作業(胴の間)



(5) 雄株切取り

広田地区 雄株を切り取った後雌株を切り取る

鳴門地区の取り込み方法2種



(1) ワカメ取込み作業



(2) 横張りロープとの結合を切除



(3) 2本目のロープ取込み作業

(a) サイドから養殖ロープを取り込む例



(1) 船首より養殖ロープごと取り込み



(2) 養殖ロープを吊り上げて落とし込む



(3) 吊りロープの玉掛け

(b) 船首から養殖ロープ2本を取り込む例

ワカメの陸揚げ、切り落とし、刮ぎ落とし作業



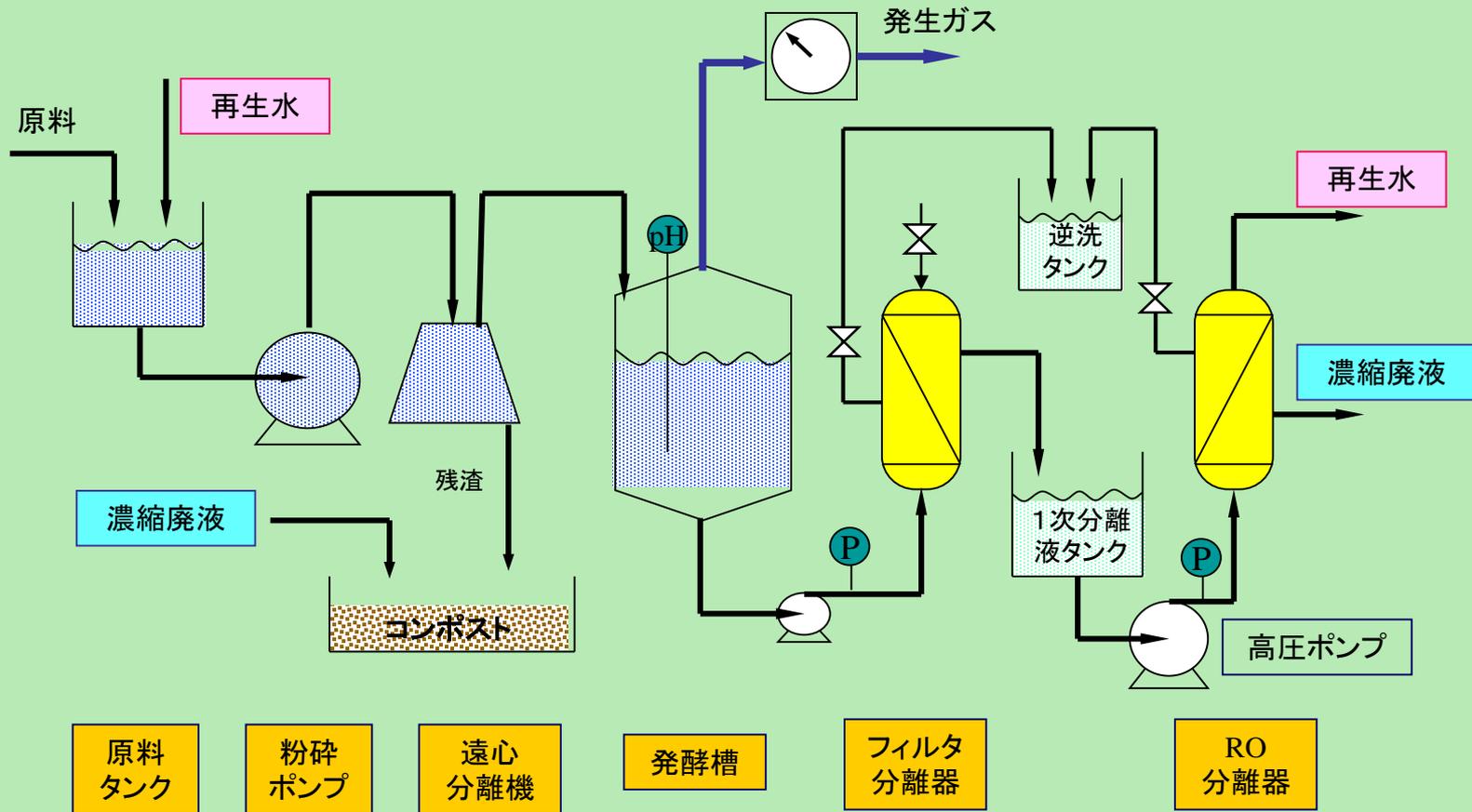
ワカメの陸揚げ、切り落とし、刮ぎ落とし作業



メカブなど廃棄部分

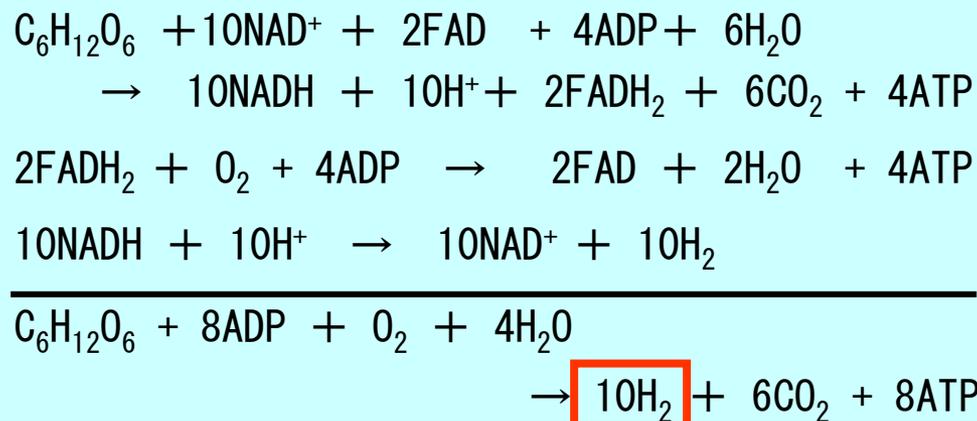
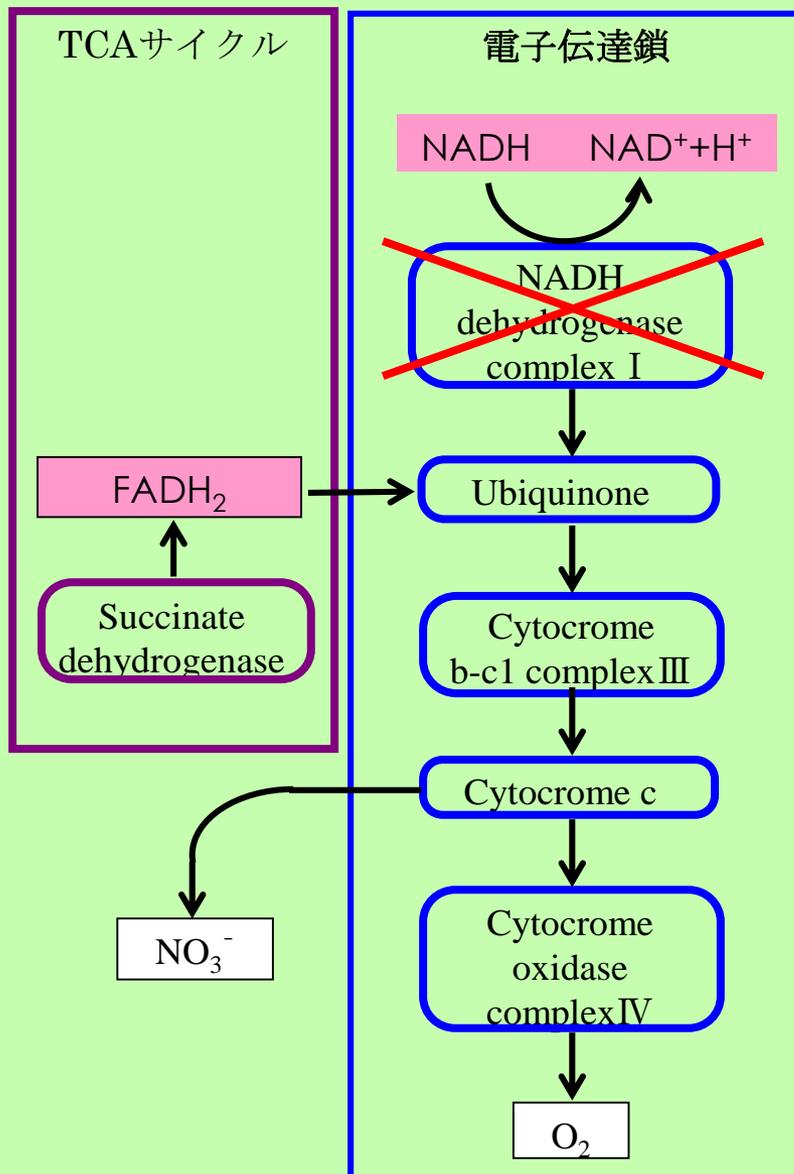


二段膜分離式廃液再生利用プラント



遺伝子操作による水素収率改善の戦略

NADH水素発生をさせながらTCAサイクルを働かせる戦略



電子伝達鎖のNADHデヒドロゲナーゼ複合体を遺伝子操作で破壊し、微好気状態で行き場の無いNADHから最大10モルの水素を得る