



- 市場性の説明
 - 三浦市のメタン施設など
 - 釜石市の試み
 - ベルリンの水素バス
 - カナダの水素ハイウエー、ノールウエーの水素街道
 - 中国の水素自動車推進計画
 - アメリカのロードマップ
 - 日本の水素ロードマップ
 - 水素の製造コスト
- 事業費配分の妥当性



水素発酵の新規性

- ・ 燃料電池という高効率エネルギー変換システムに適した技術
- ・ 水素発酵は、エタノール発酵、メタン発酵に比べてまだ20年程度の研究歴

水素発酵の優位性

- ・ メタン発酵に比べて極めて高速発酵
- ・ エタノール発酵に比べてエネルギー利用効率が高い
- ・ エタノール発酵、メタン発酵に比べて装置がシンプル、小型

特許取得菌株の優位性

- ・ 中低温では多くのチャンピオンデータを持つ
- ・ 代謝産物組成がシンプル


IPHE (International Partnership for the Hydrogen Economy)で発表
特許取得菌の性能と代表的水素発酵菌の一覧



	培養法 ^{*1)}	pH	温度	基質	収率 ^{*2)}	発生速度		著者
		[-]	[°C]		[mol/mol]	[mmol/L·h]	[mmol/g·h]	
絶対嫌気性細菌								
<i>Clostridium</i> sp. No 2	B	6	36	glucose	2	24	—	1994 Taguchi et al. ²⁾
<i>C. paraputrificum</i> M-21	B	—	37	GlcNAc	2.5	31	—	2000 Evvyernie et al. ³⁾
Mesophilic bacterium HN001	B	6	47	glucose	2.4	160	44	2006 Nishiyama et al. ⁴⁾
<i>C. butyricum</i> LMG1213t	C	5.8	36	glucose	1.5	22	—	1986 Heindrichx et al. ⁵⁾
<i>Clostridium</i> sp. No 2	C	6	36	glucose	2.4	21	—	1990 Taguchi et al. ⁶⁾
通性嫌気性細菌								
<i>Enterobacter aerogenes</i> E.82005	B	6	38	glucose	1	21	17	1987 Tanisho et al. ⁸⁾
<i>E. cloacae</i> IIT-BT 08	B	—	36	sucrose	3	35	29	2000 Kumar et al. ⁹⁾
<i>E. aerogenes</i> E.2005	C	6	38	molasses	0.7	36	17	1993 Tanisho et al. ¹⁰⁾
<i>E. aerogenes</i> HU-101 m AY-2	C	—	37	glucose	1.1	58	—	1998 Rachman et al. ¹¹⁾
高温細菌								
<i>Thermotoga maritima</i>	B	—	80	glucose	4	10	—	1994 Schröder et al. ¹²⁾
<i>Thermotoga elfii</i>	B	7.4	65	glucose	3.3	3	5	2002 van Niel et al. ¹³⁾
<i>Caldicellulosiruptor saccharolyticus</i>	B	7	70	sucrose	3.3	8	12	ibid. ¹³⁾
<i>Clostridium thermocellum</i>	B	—	60	cellobiose	1	7	14	2006 Islam et al. ¹⁴⁾
<i>Thermococcus kodakaraensis</i> KOD1	C	6.8	85	pyruvate	2.2	9	59	2004 Kanai et al. ¹⁵⁾
複合培養								
<i>C. butyricum</i> IF013949 + <i>E. aerogenes</i> HO-39	C	5.2	36	starch	2.6	53	—	1998 Yokoi et al. ¹⁷⁾
sewage sludge	C	5.7	35	glucose	1.7	30	—	1999 Lin et al. ¹⁸⁾
sewage sludge	C	—	35	sucrose	1.5	298	—	2004 Lee et al. ²⁰⁾

*1) B: batch, C: continuous *2) [mol/mol]-monosaccharide]

IPHE (International Partnership for the Hydrogen Economy)で発表
特許取得菌の性能と代表的水素発酵菌の一覧



	培養法 ^{*1)}	pH	温度	基質	収率 ^{*2)}	発生速度		著者
		[-]	[°C]		[mol/mol]	[mmol/L·h]	[mmol/g·h]	
絶対嫌気性細菌								
<i>Clostridium</i> sp. No 2	B	6	36	glucose	2	24	—	1994 Taguchi et al. ²⁾
<i>C. paraputrificum</i> M-21	B	—	37	GlcNAc	2.5	31	—	2000 Evvyernie et al. ³⁾
Mesophilic bacterium HN001	B	6	47	glucose	2.4	160	44	2006 Nishiyama et al. ⁴⁾
<i>C. butyricum</i> LMG1213t	C	5.8	36	glucose	1.5	22	—	1986 Heindrichx et al. ⁵⁾
<i>Clostridium</i> sp. No 2	C	6	36	glucose	2.4	21	—	1990 Taguchi et al. ⁶⁾
通性嫌気性細菌								
<i>Enterobacter aerogenes</i> E.82005	B	6	38	glucose	1	21	17	1987 Tanisho et al. ⁸⁾
<i>E. cloacae</i> IIT-BT 08	B	—	36	sucrose	3	35	29	2000 Kumar et al. ⁹⁾
<i>E. aerogenes</i> E.2005	C	6	38	molasses	0.7	36	17	1993 Tanisho et al. ¹⁰⁾
<i>E. aerogenes</i> HU-101 m AY-2	C	—	37	glucose	1.1	58	—	1998 Rachman et al. ¹¹⁾
高温細菌								
<i>Thermotoga maritima</i>	B	—	80	glucose	4	10	—	1994 Schröder et al. ¹²⁾
<i>Thermotoga elfii</i>	B	7.4	65	glucose	3.3	3	5	2002 van Niel et al. ¹³⁾
<i>Caldicellulosiruptor saccharolyticus</i>	B	7	70	sucrose	3.3	8	12	ibid. ¹³⁾
<i>Clostridium thermocellum</i>	B	—	60	cellobiose	1	7	14	2006 Islam et al. ¹⁴⁾
<i>Thermococcus kodakaraensis</i> KOD1	C	6.8	85	pyruvate	2.2	9	59	2004 Kanai et al. ¹⁵⁾
複合培養								
<i>C. butyricum</i> IF013949 + <i>E. aerogenes</i> HO-39	C	5.2	36	starch	2.6	53	—	1998 Yokoi et al. ¹⁷⁾
sewage sludge	C	5.7	35	glucose	1.7	30	—	1999 Lin et al. ¹⁸⁾
sewage sludge	C	—	35	sucrose	1.5	298	—	2004 Lee et al. ²⁰⁾

*1) B: batch, C: continuous *2) [mol/mol]-monosaccharide]

47 °C

160 mmol/L·h = 3.6 L/L·h

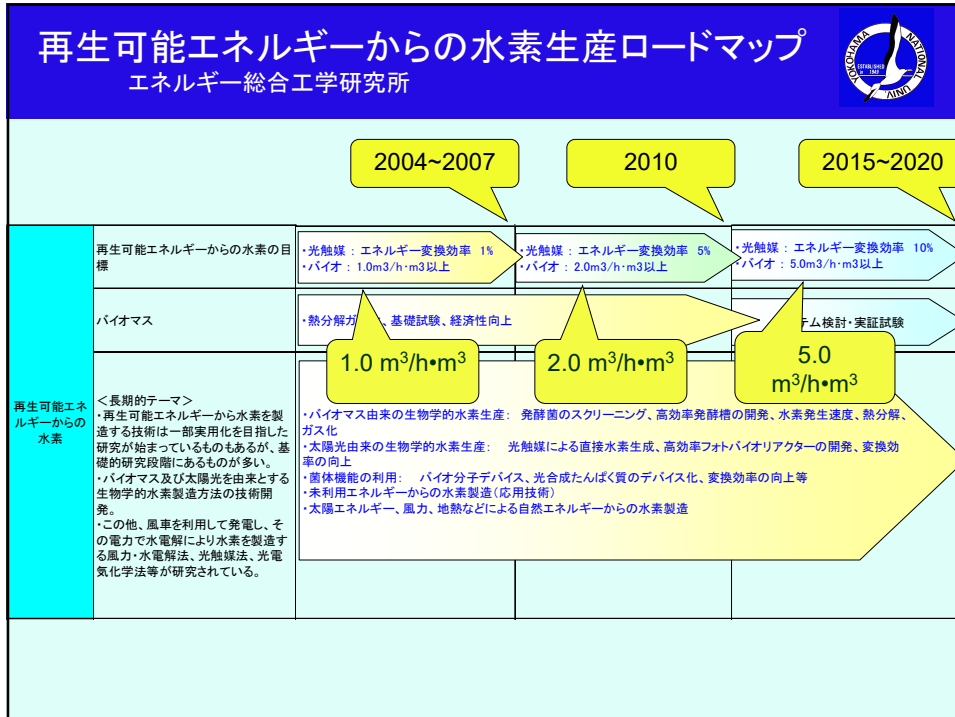
44 mmol/g·h = 1.0 L/g·h

65 ~ 80 °C

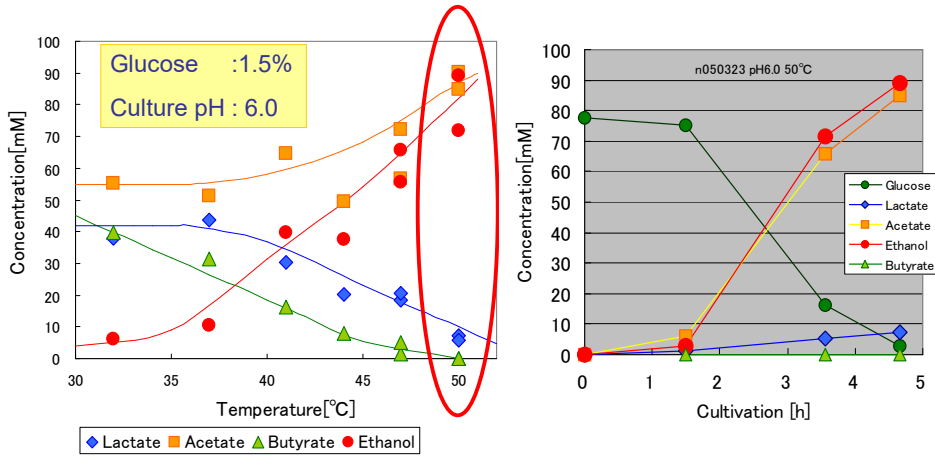
4 mol/mol

59 mmol/g·h = 1.3 L/g·h

10 mmol/L·h = 0.22 L/L·h



培養温度による代謝産物の変化



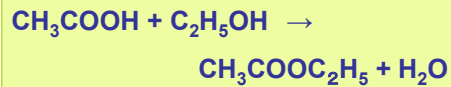
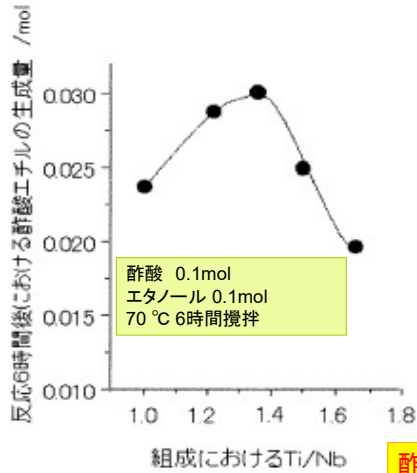
50 °Cではほぼ酢酸とエタノールだけを等量代謝生産する
酢酸エチルとして分離回収すれば、商品化と共に廃液量を減量出来る

7

Ti-Nb固体酸触媒によるエステル化反応



【図 3】



温度	T	70	C
自由エネルギー	ΔG	-6.393	kJ/mol
平衡定数 =	K	9.400	

	沸点 [C]
酢酸	117.8
エタノール	78.3
酢酸エチル	76.8

酢酸エチルの方がエタノールより沸点が低い！！

酢酸エチルの水への溶解度は小さい！

新規スクリーニング株一覧



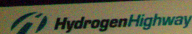
List of newly isolated strain

Sample name	Culture [L]	pH [-]	Temp. [°C]	Feed Conc. [%]	H2 Prod. [L/L]	Max rate [L L ⁻¹ h ⁻¹]	Yield [mol-H ₂ /mol]
HN001	0.35	6.00	47	2.0	6.23	3.61	2.18
HN001	0.35	6.00	47	1.5	4.90	3.34	2.25
MZ9-2	0.7					2.93	2.59
HH06-2-2	0.7					2.92	2.13
HH01-4	0.7	6.00	48				2.14
3F-3-2	0.7	6.00	48				2.15
3F-3-1	0.7	6.00	48				2.18
ON2-1-3	0.7	6.00	48	1.5	3.83	2.36	1.84
HH06-2	0.5	6.00	49	1.5	5.49	2.22	2.40
HH01-2	0.7	6.00	48	1.5	5.02	1.98	2.48
ON2-3	0.6	6.00	49	1.5	4.79	1.96	2.24
HH01-1-2	0.7	6.00	48	1.5	4.06	1.93	1.96
HH06-2-1	0.7	6.00	48	1.5	4.47	1.91	2.18
MZ11-1	0.7	6.00	48	1.5	4.72	1.75	2.32
ON2-1	0.6	6.00	49	1.5	4.80	1.65	2.24
HO10-1-3	0.7	6.00	48	1.5	4.85	1.51	2.38
HH01-1	0.5	6.00	49	1.5	4.95	1.49	2.15

Glucose 2.0%のとき
3.6 L/L・h

発生速度 2.9 L/L・h
水素収率 2.6

カナダのHydrogen Highway 計画



British Columbia

The BC Hydrogen Highway™ :
Moving in the Right Direction

Allison Setton
Hydrogen & Fuel Cells Canada
May 2, 2007

H2 & FC 2007 Int. Conf. 2007/5/2

The Road to Commercialization

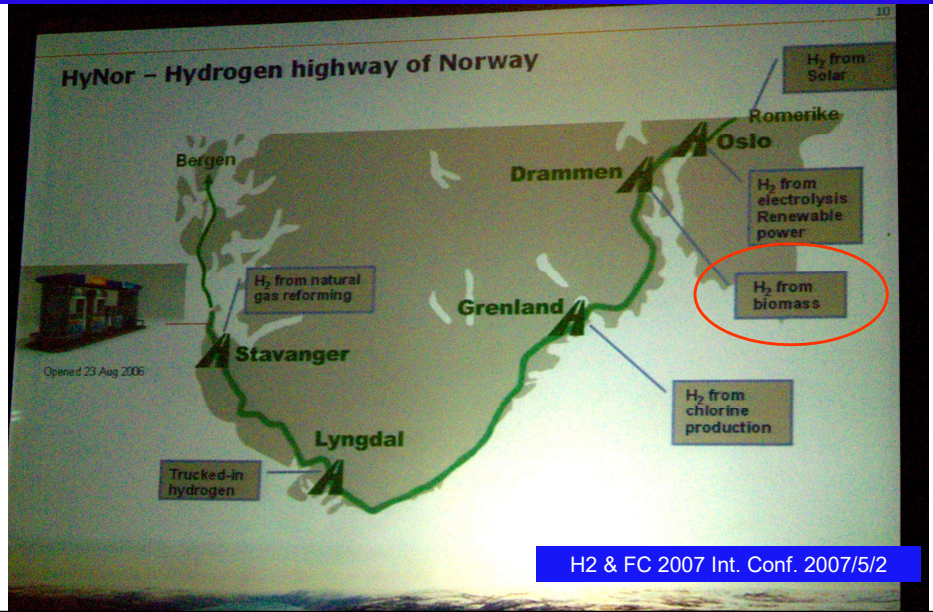
- Coordinated demonstration, deployment and market development program
- Framed to take advantage of the 2010 Winter Games 'spotlight'
- Seven highly visible locations
- Multi-agency effort
 - Lead by Natural Resources Canada



Vancouver airport

Natural Resources Canada / Ressources naturelles Canada

ノルウェーのHydrogen Highway計画



ベルリン市街を走る水素自動車 2007/5/8





「めくみから まちの未来を創る エネルギー」
を基本理念とし、新エネルギーの導入を進めます。

新エネルギーの導入効果

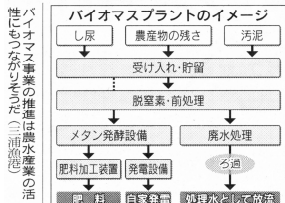
導入プロジェクト		導入可能性	CO ₂ 削減効果 (kg-CO ₂ /年)	省エネ効果 (原油換算 ㎥/年)
太陽光発電	統合小学校 30kW	○	7,888	6
	統合中学校 30kW	○	7,888	6
	新魚市場 ^(注1) 112.5kW	○	27,133	20
	新市庁舎 30kW	○	7,888	6
風力発電	和山牧場 (大規模) 45,000kW	◎	36,571,500	21,985
	和山牧場 ^(注2) (2,000kW未満) 1,920kW	○	1,215,000	730
	楯ノ水平牧場 ^(注2) (2,000kW未満) 1,800kW	○	1,386,558	833
廃棄物発電	釜石市工コタウン事業 10,000kW	◎	909,273	14,011
コージェネレーション	病院 250kW	◎	13,636	267
クリーンエネルギー自動車	100台	○	10,617	33
合計		-	40,157,361	37,877

導入可能性：◎：期待点で導入の可能性が高い。○：期待点で導入が有望である。
 (注1) 新魚市場は100kW太陽光発電と12.5kW風力発電のハイブリッド。
 (注2) 和山牧場(2,000kW未満)と楯ノ水平牧場(2,000kW)について、風力発電規模については前者が大きいものの、置単1基当たりの規模は後者が大きく、発電効率も後者のほうが高いため、CO₂削減効果は後者のほうが大きくなる。



2006年(平成18年)9月28日(木曜日)

魚や野菜 無駄なく肥料・燃料に



バイオマス事業の推進は農水産業の活性化につながる。三浦漁港。

新プラントの名称は「バイオマスセンター」を軸に検討中。バイオマスセンターは、化石燃料以外の生物資源を効率的に生かすエネルギーのこと。今年度、施工業者は「八公開補」で選定された。

新プラントは最新のメタンガス発酵設備や脱窒素装置、肥料加工装置などで構成。受け入れる農水産物残さやし尿、下水汚泥を電力や肥料などに再処理する。昨年実施した試算によると、一日当たり三・四tの肥料と、四千六百六十六kWhの電力を作り出すことが出来たという。発生する電力は

神奈川県三浦市の第三セクター、三浦地域資源ユース(三浦農久社長)は、二〇〇八年にバイオマス(生物資源)プラントを新設する。魚や野菜の加工残さや家庭から出るし尿、浄化槽汚泥を肥料や電力などに加工する設備を整える。新エネルギー分野の研究を進めると同時に、資源循環型の街づくりを促し、地域経済活性化を目指す。

三浦にバイオマス施設 地域資源ユース 10年稼働目指す

度中に建設された基本計画をまとめた。〇八年着工、一〇年の稼働開始を目指す。建設地は三浦漁港の一角にあり、地味な補修工事で、施工業者は「八公開補」で選定された。

エネルギー効率、酢酸エチルの価値



(2) 有力なものとして進められている新エネルギーのバイオエタノールとの比較
エネルギーの利用効率の試算

	収率	加工効率	使用効率	総合利用効率
発酵水素	0.25	圧縮 0.8	FC 0.6	0.12
発酵エタノール	0.90	精製 0.5	内燃機関 0.2	0.090

*近未来における見込みとして、新微生物の発見により、発酵時の生成効率が0.4に上がる可能性は高い。それには、これまで谷生研究室が培ってきたノウハウが大きくものをいうと考えられる。それによって、発酵水素推進の流れを加速し、不動のものにできると考えている。
 *発酵水素生成における加熱エネルギーは計算除外している。これはロスを最小限に減少させることで極限の効率を追求していく予定である。

(3) 副生物「酢酸エチル」の市場

(14906の化学商品2006より：添付資料として送付します)
 用途は、塗料、印刷インキ、接着剤の溶剤または原料など
 価格：塗料用途で130-140円/kg
 年間取扱量：輸出されている量だけでも3千トン
 →これらの用途に利用できると考えられる。

食品製造残さの発生量

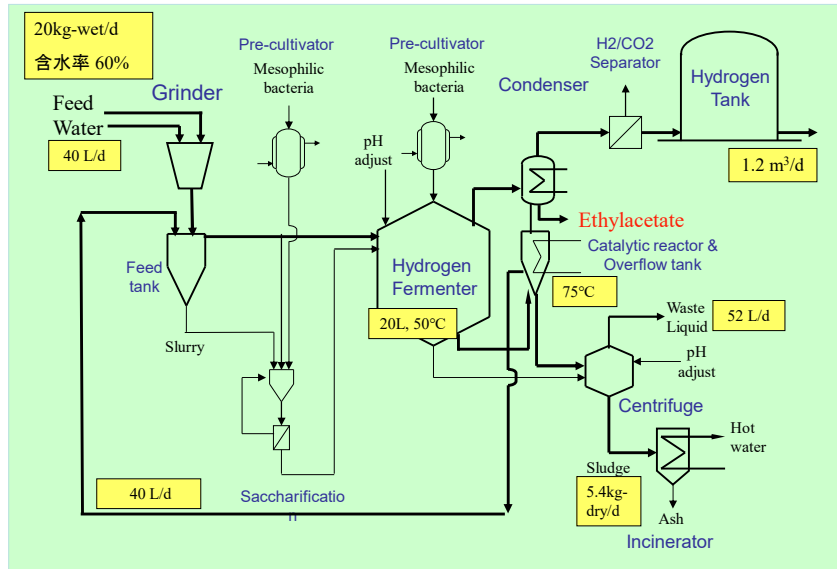


食品製造副産物発生量および処理内容

区分	事業所数	発生量(千ト)	減量化(%)	再生利用(%)			焼却等(%)
				肥料化	飼料化	その他資源化	
畜産食料品	96	86.6	7.2	9.9	32.8	4.5	45.7
水産食料品	65	26.5	10.1	13.2	50.3	3.7	22.7
農産加工	25	41.7	85.5	10.2	2.2	0.4	1.6
調味料	69	39.7	7.8	26	21.3	31.1	13.8
糖類	11	263.6	48.2	0.7	33.8	10.3	7.1
精穀・製粉	26	119.2	0.3	0.3	96.3	3.1	0.1
パン・菓子	106	24	8.3	10.2	58.7	3.6	19.2
動植物油脂	11	59.9	0	17.5	81.5	0.3	0.6
その他の食料品	168	135	16	12.8	50.7	7.8	12.7
清涼飲料	46	120.9	25.2	51.7	14	5.6	3.5
酒類	90	302.9	28.9	1.3	52.1	1.3	16.4
茶・コーヒー	25	3.4	0	97.6	0.2	0.1	2.1
主要製品計	738	1223.4	24.7	11.2	43.9	6.1	14
その他	175	75.5	5.4	22.8	12.8	12.4	46.6

引用資料「食品製造業に於ける食品製造残さの飼料化に関する状況調査」(社団法人食品需給研究センターと
 社団法人配合飼料供給安定機構の共同調査、H16年9月)

改良高効率連続発酵プロセスフローチャート



わが国の水素導入ロードマップ

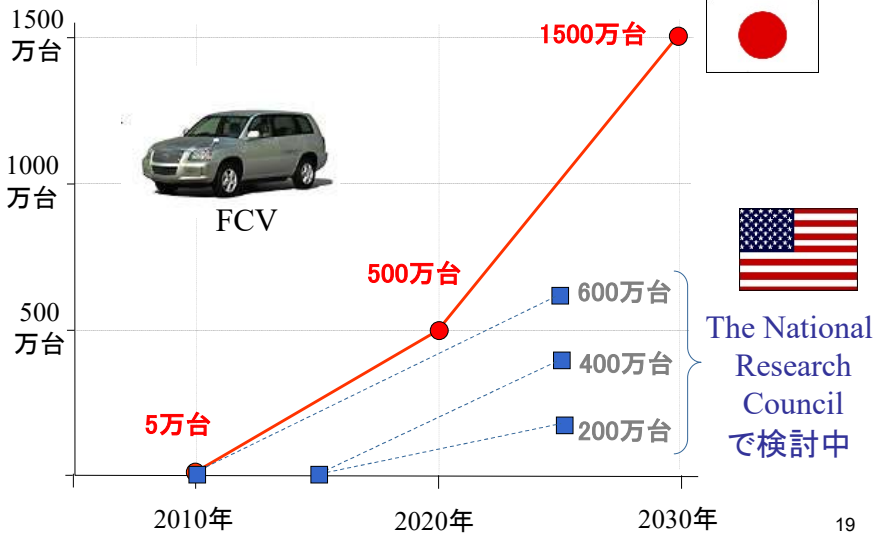
—エネルギー総合工学研究所—



	2005 導入期	2010 普及期	2020 本格普及期	2030
製造・供給	副生水素精製効率向上 化石燃料改質技術高度化 石炭原料水素製造 電解水素製造効率向上 システム高度化	バイオマス原料水素製造 再生可能エネルギー利用水電解	CO ₂ 分離回収 再生可能エネルギー利用水電解効率の向上	光触媒利用 太陽光直接水分解 熱化学水分解
輸送	高圧水素輸送設備の高度化 液体水素輸送効率の向上 基準緩和+ボイルオフ低減	新規貯蔵材料による輸送	パイプライン輸送の検討	パイプライン輸送
貯蔵	35MPa→水素高圧化→70MPa 水素液化効率の向上 メタハイ・ケミハイ 新規材料吸蔵量向上	新規材料実用化	高圧水素容器の高度化 液体水素容器の高度化 ボイルオフ低減技術の向上 新規材料実用化進展	
燃料電池水素	自動車用 (効率)50% (コスト) → 定置用 (効率)32% (コスト) → 水素 (コスト)100円/m ³ N	→ 60% (コスト) → 70円/m ³ N	→ 4,000円/kW → 60円/m ³ N	→ 40万円/システム → 50円/m ³ N
	(40円/m³N)			

日本とアメリカの燃料電池自動車普及シナリオ

資源エネルギー庁とDOEのロードマップから



19

発注者側の経済性試算 (概算)



● 廃糖蜜 3,500 ton/年・工場

- 収率 1 のケース・・・130,000m³の水素生産/年・工場
- 収率 2 のケース・・・260,000m³の水素生産/年・工場
- 収率 3 のケース・・・390,000m³の水素生産/年・工場

● 水素価格80円/m³とすると水素販売収入

- 収率 1 のケース・・・1010万円/年・工場
- 収率 2 のケース・・・2020万円/年・工場
- 収率 3 のケース・・・3030万円/年・工場

現状の廃糖蜜販売価格 1,500円/ton
収入 525万円/年・工場

● プラント建設コスト 6,000万円とすると

- 収率 1 のケース・・・5年で償却 (不可)
- 収率 2 のケース・・・3年で償却 (可?)
- 収率 3 のケース・・・2年で償却 (可)

● ランニングコスト

蒸気 (低温廃熱源)	.....	0円/年
NaOH (CO ₂ /H ₂ 分離用)	.....	0円/年
汚泥引き取り (有効活用した場合)	.....	0円/年
人件費	.....	600万円/年
定検費用	.....	50万円/年
Fe ³⁺	5万円/年
合計		655万円/年

● 建設費回収後の工場の利益 (収率2.5)

水素売価80円/m³と仮定: 1870万円/年・工場
水素売価50円/m³と仮定: 970万円/年・工場

目標

将来の水素価格低落への対応の為

- ① 収率のアップ (3以上)
 - ② シンプル・低コストなプラントの設計・製作
- (プラント建設コスト3,000万円)