

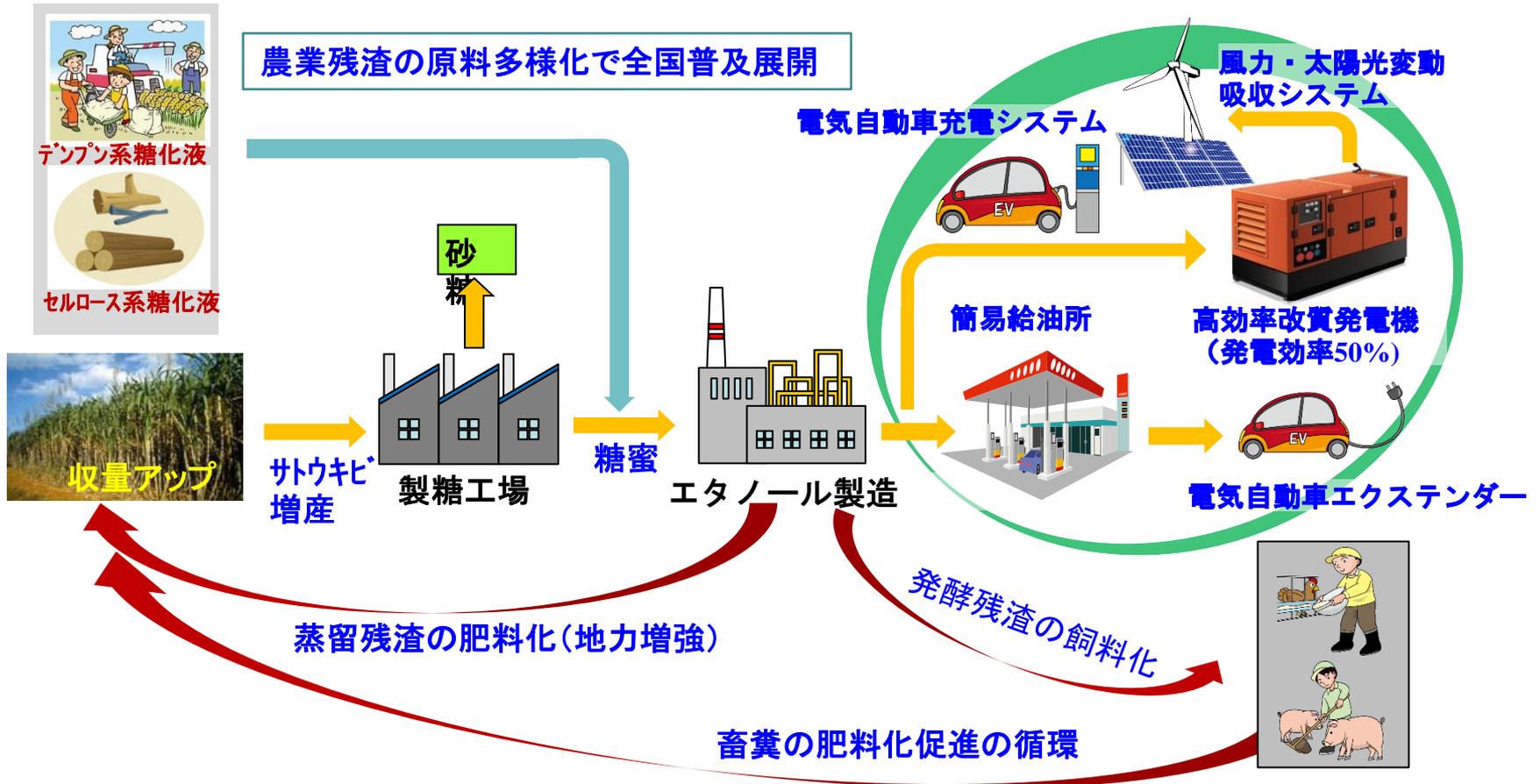
低濃度エタノール燃料使用高効率改質エンジン等  
革新的バイオエタノール利用技術の開発

研究代表者： 一般社団法人宮古島新産業推進機構

共同実施者： 株式会社日立製作所 研究開発グループ 基礎研究センター

# 島嶼型の先行普及エネルギー利用イメージ

- ① 台風が常襲し電源系統が脆弱で、化石燃料が割高な島嶼地域型として先行普及
- ② 地域特有の再生可能エネルギーと組み合わせた高効率改質発電利用システム
- ③ 地域農業の残渣原料を安価で、持続可能な低濃度含水エタノール燃料製造システム



## 事業実施体制 と 実施スケジュール

|  |
|--|
| <b>研究代表者</b><br><b>一般社団法人宮古島新産業推進機構</b>  |
| 業務の役割分担： <ul style="list-style-type: none"> <li>○実証事業における計画策定・契約・実施・成果報告書・精算に関する統括管理業務</li> <li>○事業に係る監督官庁との調整業務等</li> <li>○新規な低濃度エタノール燃料の高効率製造技術の開発・実証</li> <li>○低濃度エタノール燃料の実用化促進に係る調査研究</li> </ul> |

|  |
|--|
| <b>共同実施者</b><br><b>株式会社日立製作所 研究開発グループ</b><br><b>基礎研究センタ</b>  |
| 業務の役割分担： <ul style="list-style-type: none"> <li>○改質エンジンの高効率化及びシステム化に関する技術開発・実証</li> <li>○高効率改質エンジンの実用化促進に係る調査研究</li> </ul> |

| 実施スケジュール及び事業費実績                                     | 平成26年度          | 平成27年度           | 平成28年度           |
|---|-----------------|------------------|------------------|
| ・改質エンジンの高効率化に関する技術開発<br>・改質エンジンの部材やオイル等の規格化に関する実証試験 | —————→          |                  |                  |
| (物品費+人件費・謝金+旅費)                                     | 30,027千円        | 27,785千円         | 24,845千円         |
| ・新規な低濃度含水エタノール燃料の高効率製造プロセスの開発・実証                    | —————→          |                  |                  |
| (物品費+人件費・謝金+旅費)                                     | 14,759千円        | 22,929千円         | 20,598千円         |
| その他経費   | 45,353千円        | 59,582千円         | 66,237千円         |
| <b>事業費の総計(消費税8%含む)</b>                              | <b>90,169千円</b> | <b>110,296千円</b> | <b>111,680千円</b> |

# 低濃度エタノールを燃料とする改質エンジンシステムの開発



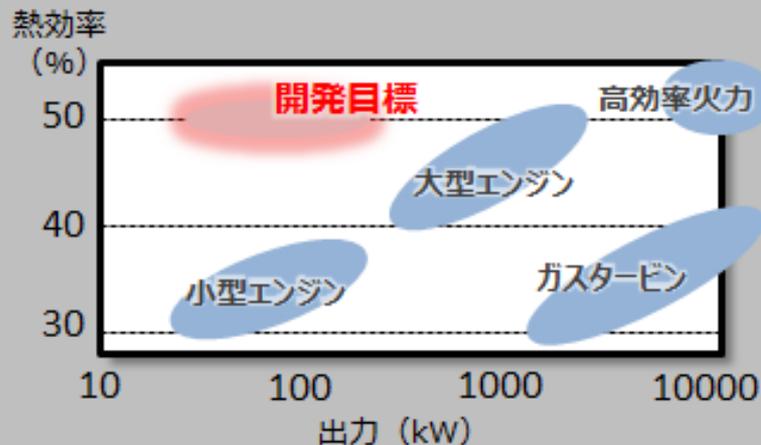
1回蒸留で得られる、40%濃度のエタノール水溶液を直接燃料に活用する。

## 検討項目

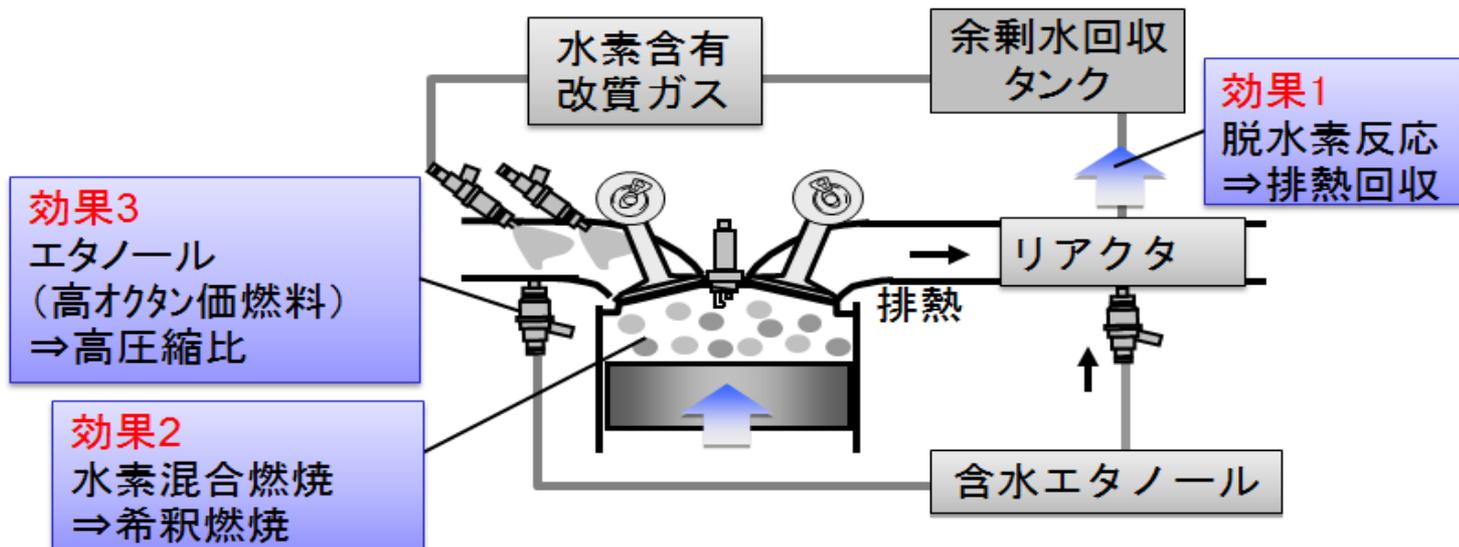
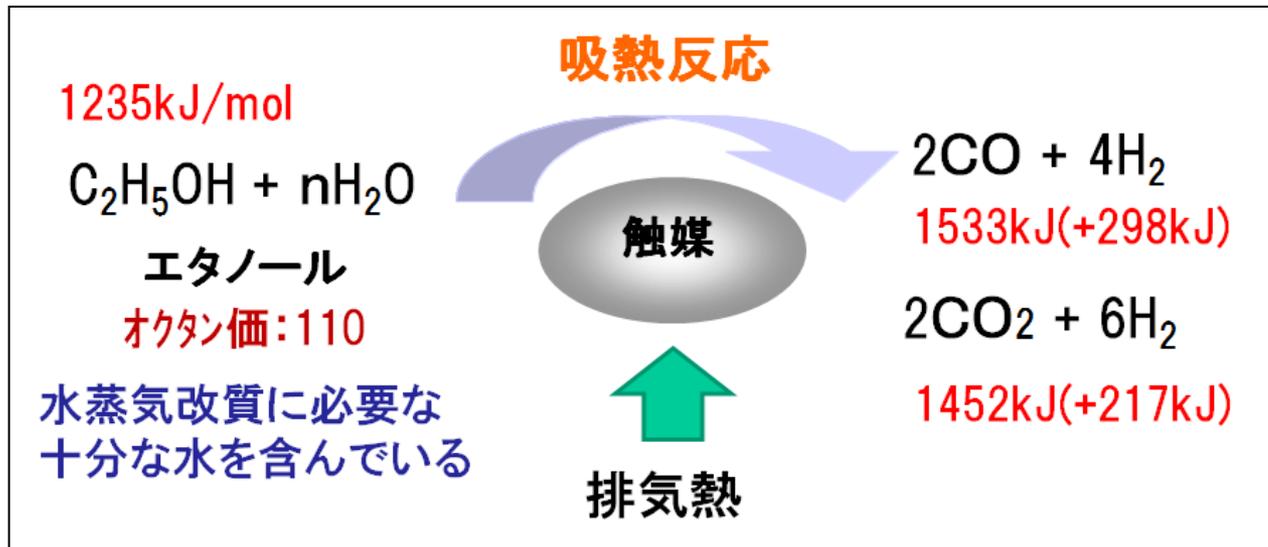
- (1) 高効率エンジンシステム
  - ・効率50%以上のエンジンシステム
- (2) 実用性の検討
  - ・含水燃料のエンジン部品等への影響調査

## 低濃度エタノール高効率エンジン技術 (株) 日立製作所

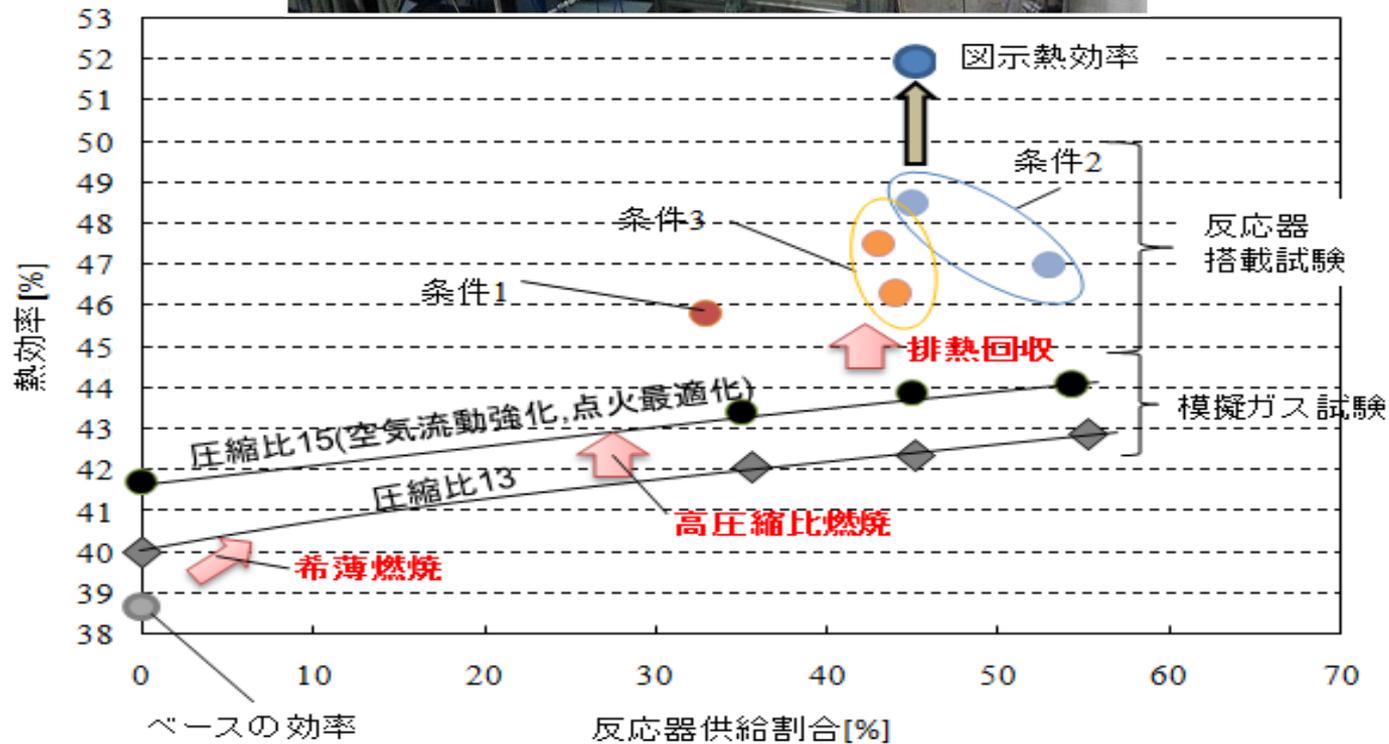
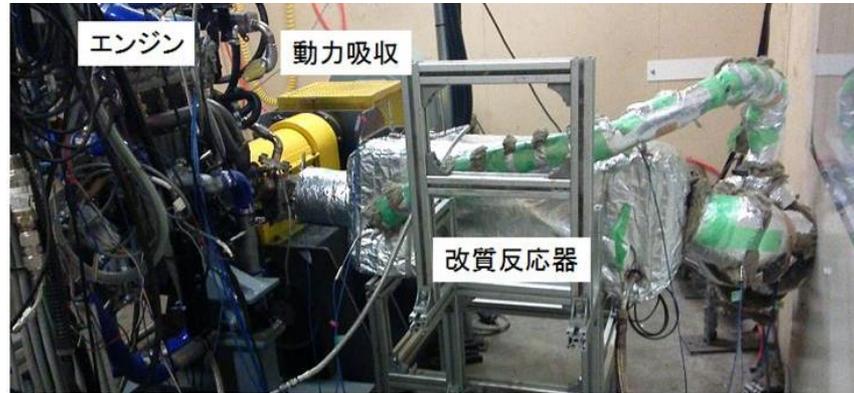
目標：熱効率50%の分散発電



# 改質エンジンの特徴



# (1) 改質エンジンの高効率化に関する検討



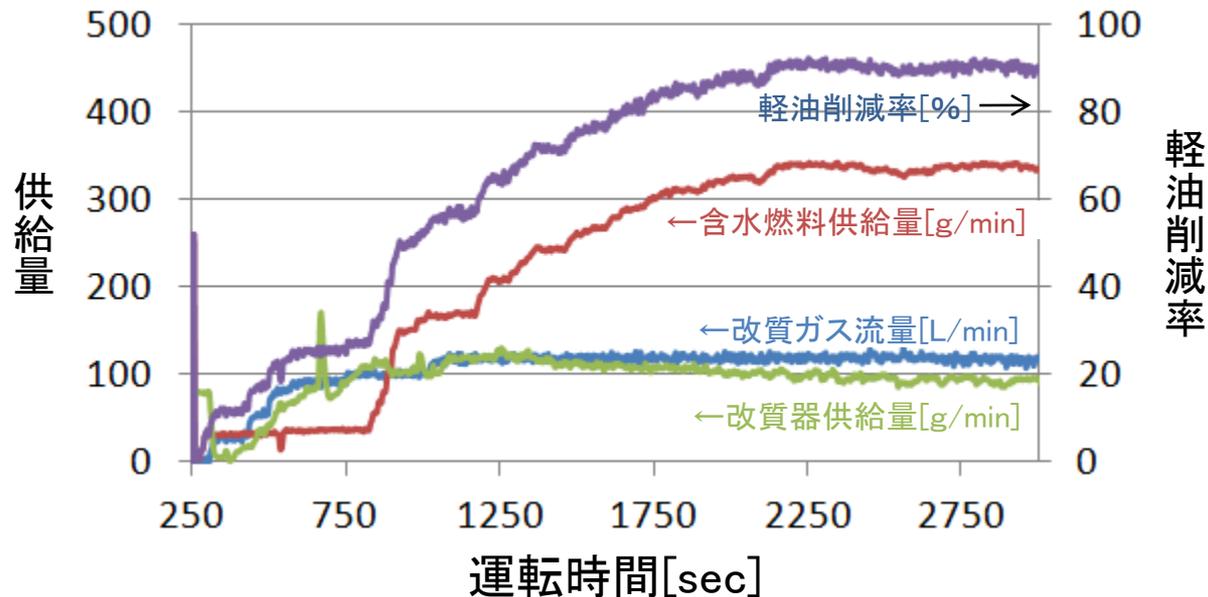
希薄燃焼、高圧縮比、水素燃焼そして改質反応で効率最大48.5%  
含水燃料の優位性を実証(図示熱効率:52%)

## (2) 改質エンジンの実用化に関する検討

### ■ システム試作と軽油削減効果の確認



- 市販の発電機を軽微に改良。反応器装着、改質ガス・含水燃料導入部等
- 筒内圧センサで燃烧状態をモニタ。異常燃烧防止。
- 補器はエンジン発電機から電源供給。自立した分散システム。



含水エタノール燃料を90%まで投入し、軽油削減効果を確認。

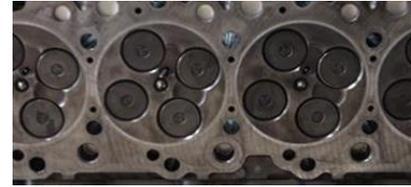
# ■ 含水燃料によるエンジン部品および排気への影響調査



カムシャフト



シリンダーライナー部



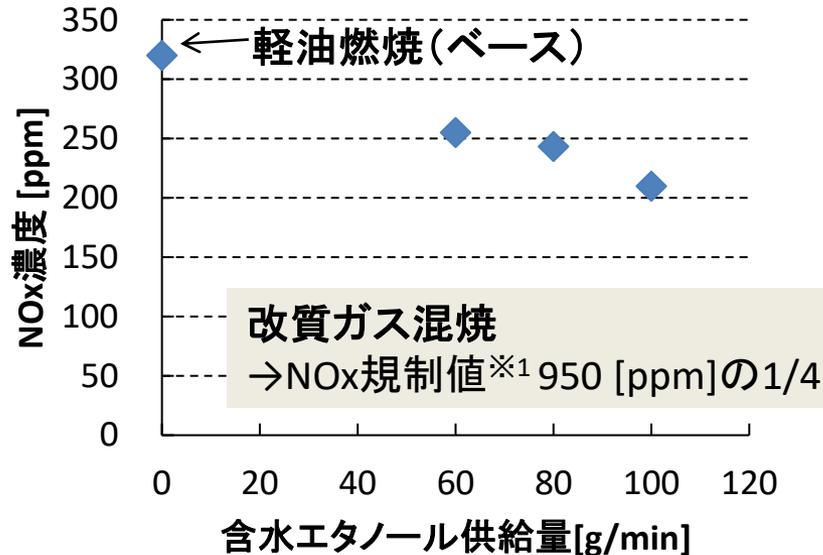
エンジンヘッド



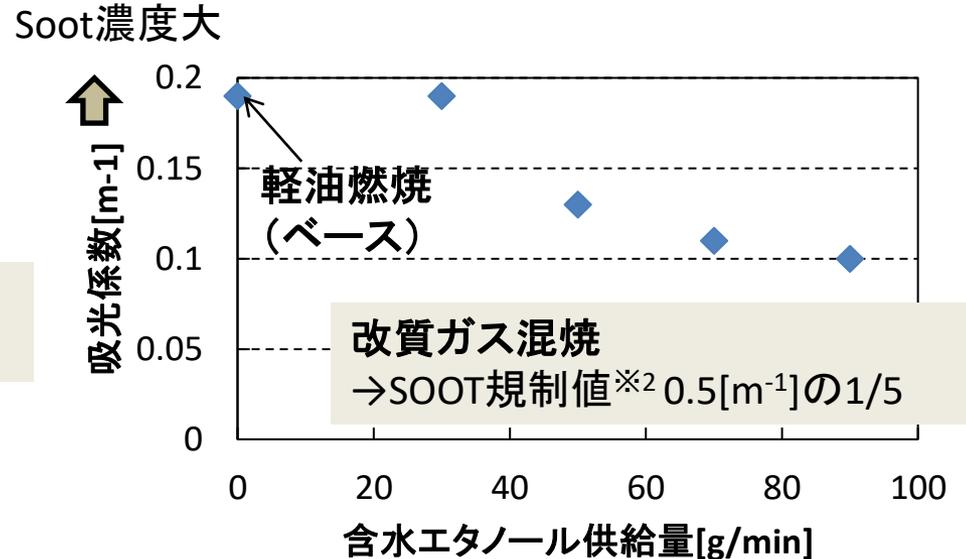
吸気管内部

定期的な部品チェックで、含水燃料による運転において、腐食や傷など部品への影響ないことを確認。

## ○ NO<sub>x</sub>排出結果



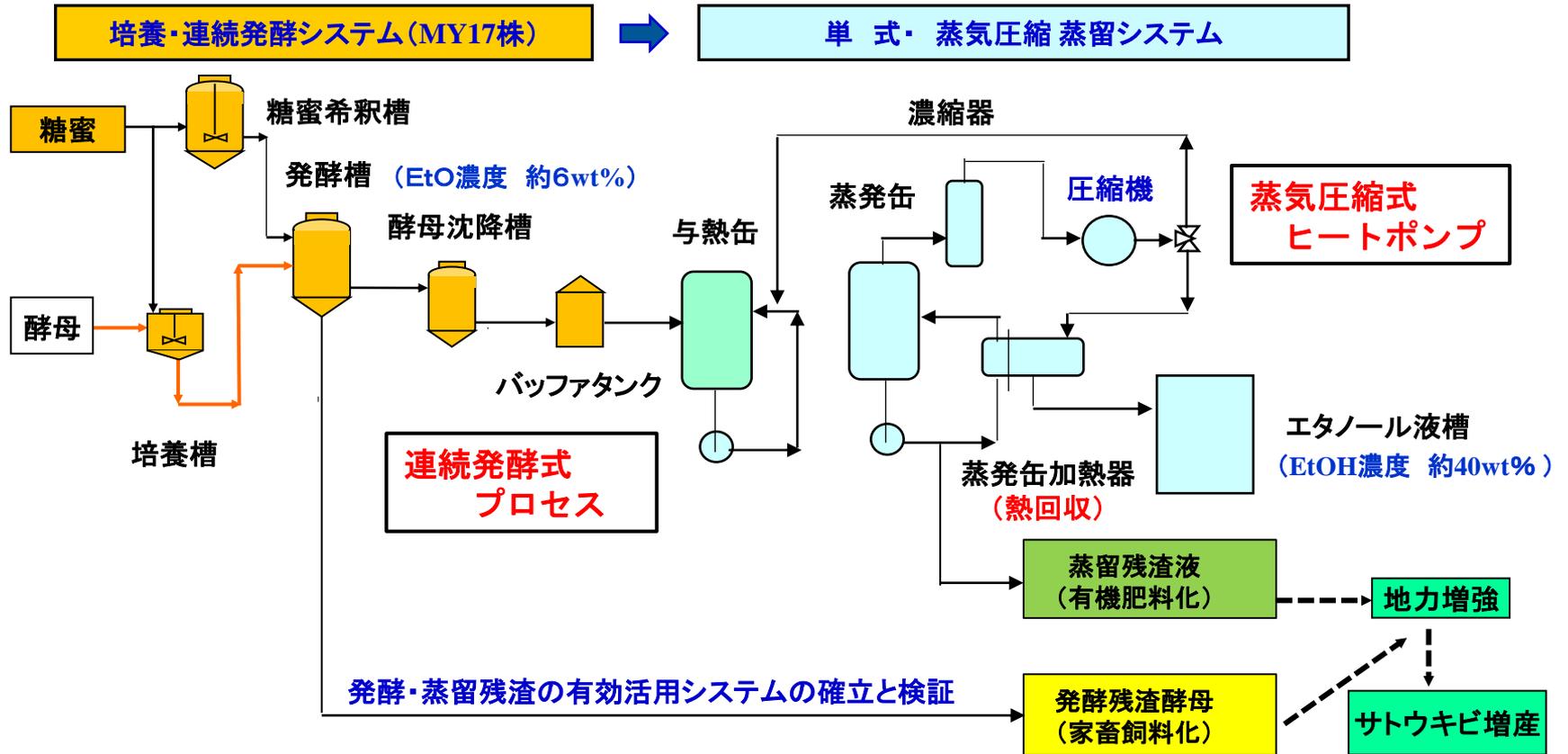
## ○ SOOT排出結果



含水燃料の供給で、NO<sub>x</sub>、すす排出量が減少。排気改善効果を確認

# 新規な低濃度エタノール燃料の高効率製造技術開発 (一般社団法人宮古島新産業推進機構)

## 生産設備概要



### 【培養・連続発酵開発システムの開発】

- ・糖蜜原料を耐熱性・耐塩性・凝集性に優れたMY17酵母で高収率で利用する回分発酵・省エネ発酵システムを開発し、メンテナンスフリーで省エネで、低コストな連続発酵システムを開発した。

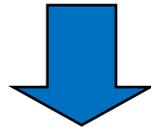
### 【単式・蒸気圧縮蒸留システムの開発】

- ・従来の単蒸留方式に比べ6割の省エネルギーシステムを開発した。

# エタノール連続発酵プロセスの開発ステップ

## 【1. 繰返し回分発酵システムの検証（平成26年度～平成27年度）】

- (1) 前培養工程の酵母生育条件の改善
- (2) 宮古島原性酵母MY17の発酵特性の把握  
(エタノール濃度、発酵収率、菌体増殖収率、菌体増殖速度など)
- (3) 発酵時間の検証
- (4) MY17酵母の凝集沈降性の改善と検証



MY17酵母の回分発酵特性の検証結果を反映

## 【2. 連続発酵システムの検証（平成28年度）】

- (1) 発酵原料投入量の最適化（希釈率、発酵滞留時間）
- (2) 発酵原料糖度の最適化
- (3) 菌体濃度と酵母菌リサイクル率との相関等を検討
- (4) エタノール生産性向上のための最適運転条件の確立
- (5) 連続発酵プロセスの設備改善

※ 糖蜜原料の2槽式連続発酵基本システムを確立！

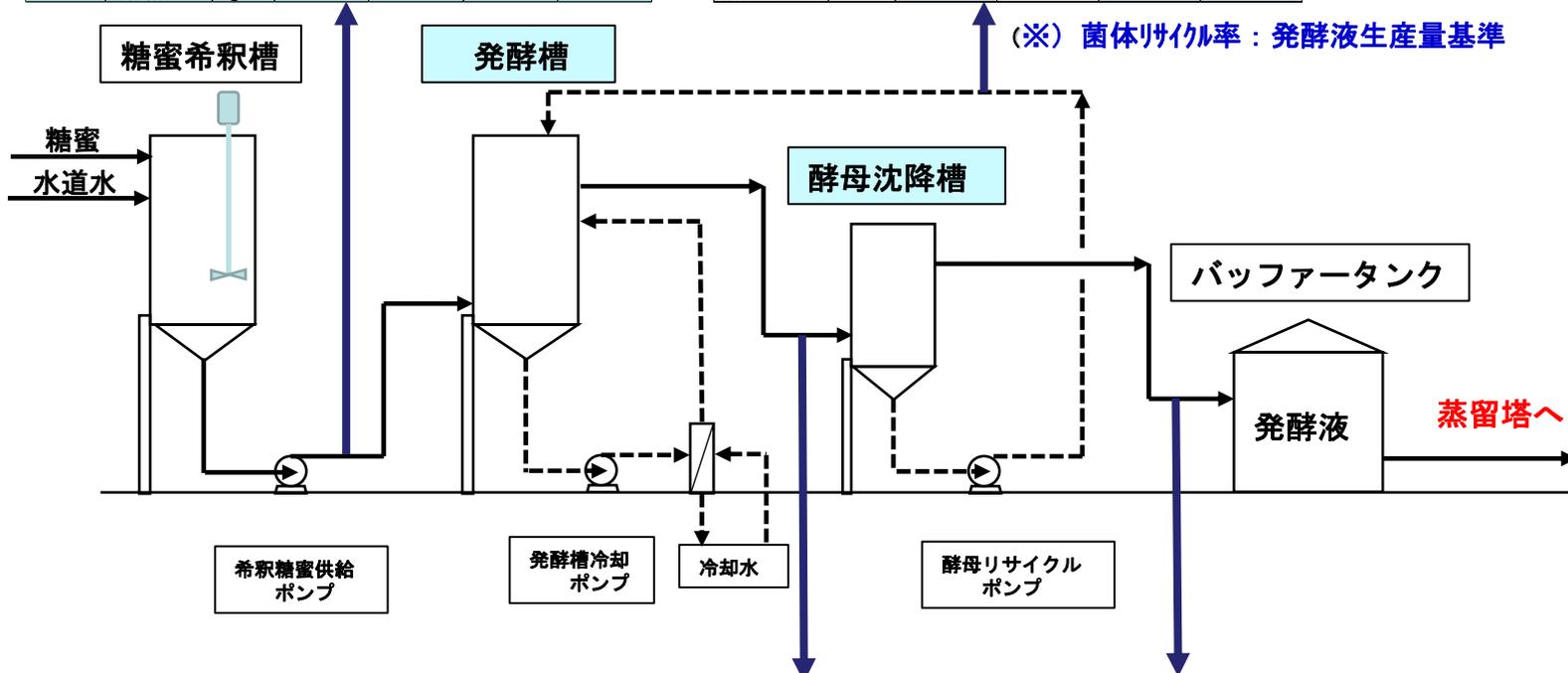
# 連続発酵システムの試験結果

発酵条件：温度38℃、通気0.04VVM

| 項目    | 単位   | 第8回運転 | 第9回運転 | 第10回運転 | 第11回運転 |
|-------|------|-------|-------|--------|--------|
| 糖液投入量 | L/hr | 60    | 38    | 60     | 60     |
| 希釈率   | 1/hr | 0.127 | 0.081 | 0.127  | 0.127  |
| 滞留時間  | hrs  | 7.9   | 12.4  | 7.9    | 7.9    |
| 全糖度   | g/L  | 157   | 160   | 157    | 159    |

|          | 単位 | 第8回運転 | 第9回運転 | 第10回運転 | 第11回運転 |
|----------|----|-------|-------|--------|--------|
| 菌体リサイクル率 | %  | 0     | 0     | 23     | 23     |

(※) 菌体リサイクル率：発酵液生産量基準

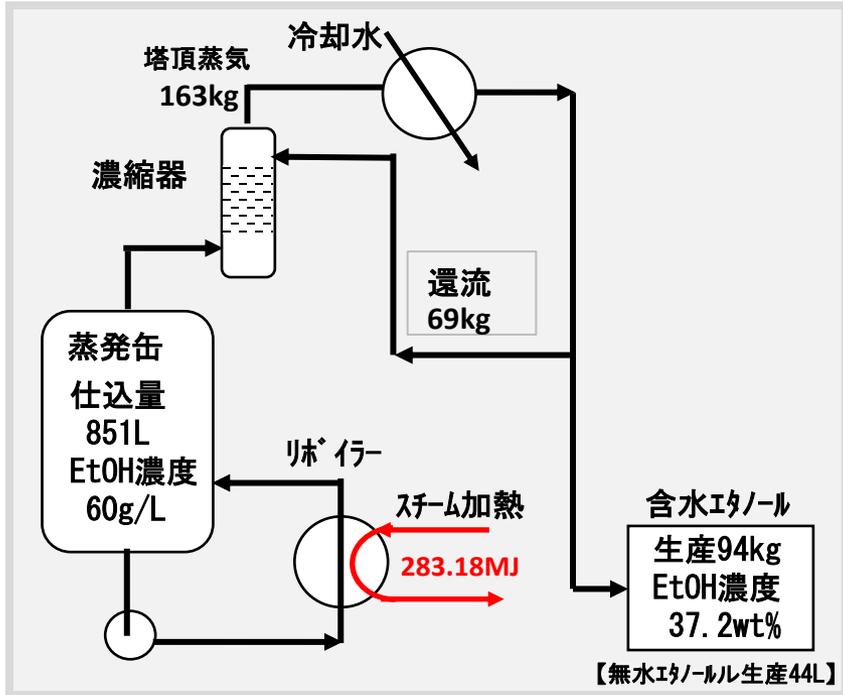


| 発酵特性 | 項目      | 単位     | 第8回運転 | 第9回運転 | 第10回運転 | 第11回運転 |
|------|---------|--------|-------|-------|--------|--------|
|      | 発酵液生産量  | L/hr   | 60    | 38    | 60     | 60     |
|      | EtOH濃度  | g/L    | 43    | 53    | 51     | 50     |
|      | 残糖      | g/L    | 57    | 36    | 47     | 49     |
|      | 菌体濃度    | g/L    | 36    | 36    | 39     | 40     |
|      | 菌数      | 億個/mL  | 1.8   | 2.2   | 2.5    | 2.4    |
|      | 発酵収率    | wt%    | 43.0  | 42.7  | 46.4   | 45.5   |
|      | EtOH生産性 | g/L/hr | 5.5   | 4.3   | 6.5    | 6.4    |

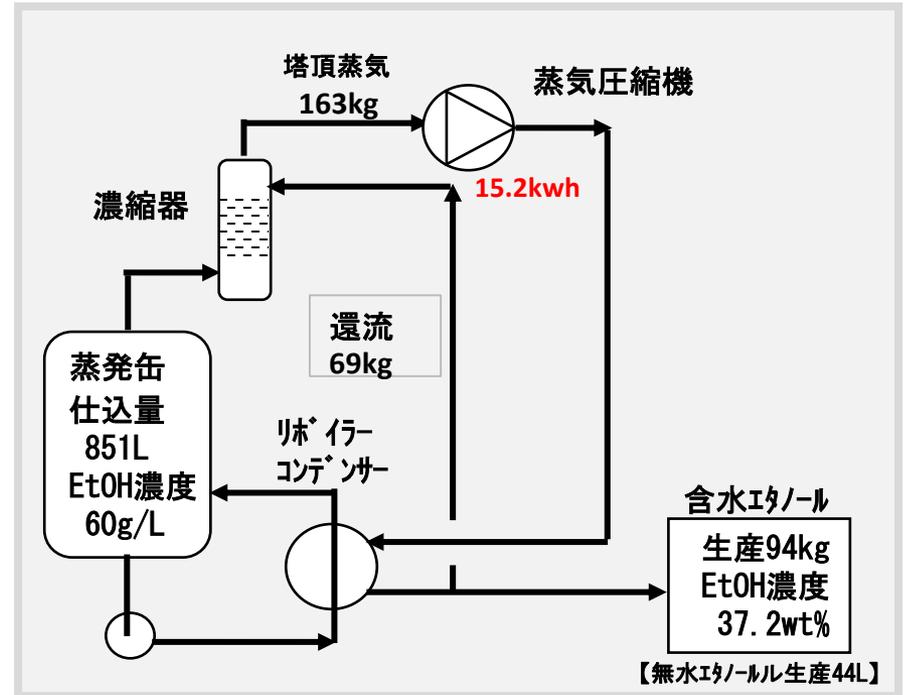
| 発酵特性 | 項目      | 単位     | 第8回運転 | 第9回運転 | 第10回運転 | 第11回運転 |
|------|---------|--------|-------|-------|--------|--------|
|      | 発酵液生産量  | L/hr   | -     | -     | 60     | 60     |
|      | EtOH濃度  | g/L    | -     | -     | 60     | 58     |
|      | 残糖      | g/L    | -     | -     | 31     | 31     |
|      | 菌体濃度    | g/L    | -     | -     | 21     | 25     |
|      | 発酵収率    | wt%    | -     | -     | 47.6   | 45.3   |
|      | EtOH生産性 | g/L/hr | -     | -     | 7.6    | 7.4    |

# 蒸留システムの省エネルギー効果

従来の蒸留法(スチーム加熱式)



開発システム



焚き上げ熱量(スチーム加熱量)

エタノール  $0.88(\text{MJ}/\text{kg}) \times 61(\text{kg}) = 53.68\text{MJ}$

水  $2.25(\text{MJ}/\text{kg}) \times 102(\text{kg}) = 229.50\text{MJ}$

合計283.18MJ

無水エタノール1Lあたり=6.44MJ

エネ対比 55%

(削減率: 45%)

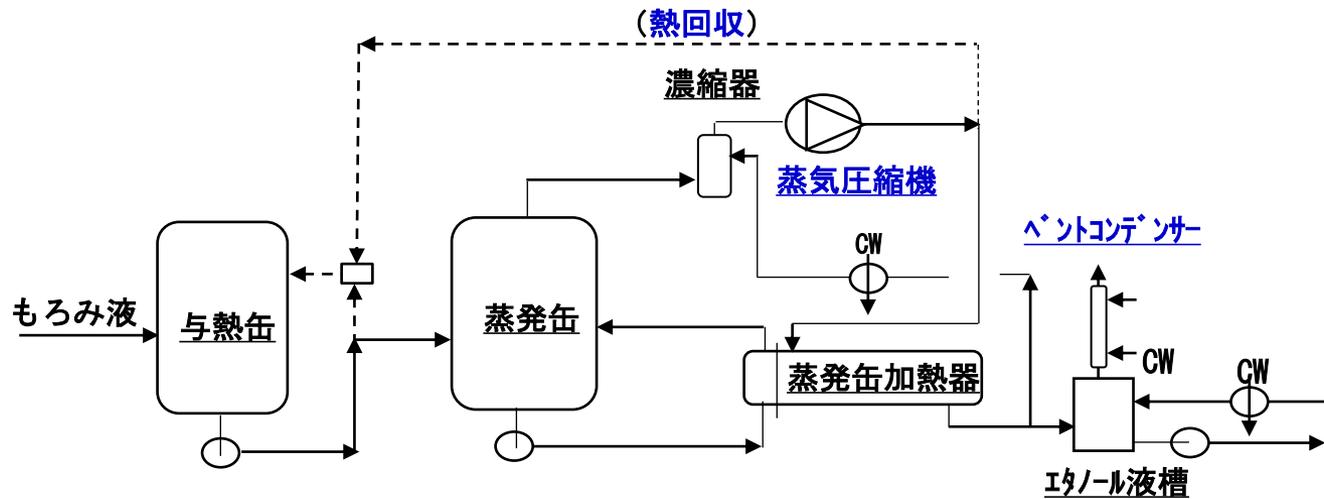
蒸気圧縮機消費電力15.2kWh

無水エタノール1Lあたり=0.345kWh(1.24MJ)

無水エタノール1Lあたり=3.54MJ

※発電効率35%として1次エネルギー換算

# 蒸気圧縮蒸留システムの試験結果



| 実証運転      |          |            | 第8回     |         | 第9回    |       | 第10回   |       |       | 第11回    |       |      |
|-----------|----------|------------|---------|---------|--------|-------|--------|-------|-------|---------|-------|------|
| 実施月       |          |            | H28年6月  |         | H28年7月 |       | H28年9月 |       |       | H28年10月 |       |      |
| 処理バッチ     |          |            | 第1回蒸留   | 第2回蒸留   | 第1回蒸留  | 第2回蒸留 | 第1回蒸留  | 第2回蒸留 | 第3回蒸留 | 第1回蒸留   | 第2回蒸留 |      |
| 運転時間      |          |            | 分       | 143     | 100    | 64    | 62     | 88    | 84    | 110     | 159   | 111  |
| 原料        | もろみ液     | L          | 580     | 612     | 612    | 619   | 851    | 759   | 819   | 744     | 808   |      |
|           | イタノール濃度  | g/L        | 45      | 45      | 52     | 52    | 60     | 55    | 61    | 56      | 58    |      |
| 含水エタノール   | 生産量      | kg         | 49.8    | 60.9    | 63.3   | 60.0  | 93.9   | 81.5  | 99.5  | 76.2    | 81.2  |      |
|           |          | L          | 57      | 69      | 69     | 66    | 102    | 90    | 108   | 90      | 92    |      |
|           |          | L/hr       | 23.9    | 41.4    | 64.7   | 63.9  | 69.5   | 64.3  | 58.9  | 34.0    | 49.7  |      |
|           | イタノール濃度  | wt%        | 41.4    | 38.1    | 36.4   | 36.9  | 37.2   | 38.2  | 39.6  | 42.2    | 40.8  |      |
| 純イタノール生産量 | kg       | 20.6       | 23.2    | 23.0    | 22.1   | 34.9  | 31.1   | 39.4  | 32.2  | 33.1    |       |      |
|           | L        | 25.9       | 29.2    | 29.0    | 27.8   | 44.0  | 39.2   | 49.6  | 40.6  | 41.7    |       |      |
| 蒸留残渣液     | イタノール濃度  | g/L        | 9       | 7       | 12     | 14    | 11     | 9     | 7     | 10      | 12    |      |
| 濃縮器還流     | 還流量      | L/hr       | 100~57  | 54~33   | 50     | 55    | 51     | 58    | 60    | 58      | 53    |      |
|           | 還流比      | -          | 4.2~2.4 | 1.3~0.8 | 0.77   | 0.86  | 0.73   | 0.90  | 1.02  | 1.71    | 1.07  |      |
| イタノール収支   | in       | もろみ液       | kg-EtOH | 26.1    | 27.5   | 31.8  | 32.2   | 51.1  | 41.7  | 50.0    | 41.7  | 46.9 |
|           |          | 含水イタノール    | kg-EtOH | 20.6    | 23.2   | 23.0  | 22.1   | 34.9  | 31.1  | 39.4    | 32.2  | 33.1 |
|           |          | 蒸留残渣液      | kg-EtOH | 4.7     | 3.8    | 6.5   | 7.7    | 8.2   | 6.0   | 5       | 6.5   | 8.6  |
|           |          | 合計         | kg-EtOH | 25.3    | 27     | 29.5  | 29.8   | 43.1  | 37.1  | 44.4    | 38.7  | 41.7 |
|           | out      | イタノール回収率   | %       | 78.9    | 84.4   | 72.3  | 68.6   | 68.3  | 74.6  | 78.8    | 77.2  | 70.6 |
|           | イタノール残留率 | %          | 18.0    | 13.8    | 20.4   | 23.9  | 16.0   | 14.4  | 10.0  | 15.6    | 18.3  |      |
| 消費電力      | 蒸留設備合計   | kwh        | 29.0    | 19.1    | 12.1   | 11.9  | 17.5   | 16.5  | 21.4  | 31.3    | 21.6  |      |
|           |          | kwh/L-EtOH | 1.120   | 0.654   | 0.417  | 0.428 | 0.398  | 0.421 | 0.431 | 0.771   | 0.518 |      |
|           | 蒸気圧縮機    | kwh        | 26.1    | 16.8    | 10.8   | 10.5  | 15.2   | 14.5  | 18.8  | 27.4    | 19.0  |      |
|           |          | kwh/L-EtOH | 1.008   | 0.575   | 0.372  | 0.378 | 0.345  | 0.370 | 0.379 | 0.675   | 0.456 |      |
|           |          | kwh/時      | 11.0    | 10.1    | 10.1   | 10.2  | 10.4   | 10.4  | 10.3  | 10.3    | 10.3  |      |

# 発酵・蒸留残渣利活用の検証

(島嶼地域農業における循環利用の基盤確立)

(1) 蒸留残渣液のサトウキビ含有・土壌由来のミネラル成分をサトウキビ圃場へ還元し、その堆肥効果、成育効果を検証した。

- ① 地元サトウキビ圃場の土壌改良剤や、地元農業高校の堆肥製造原料としても利用可能で、その堆肥効果や成育効果を確認。

(2) 醗酵残渣酵母を地元農業高校で畜産飼育の配合飼料利用を検証した。

- ① 養鶏成育試験(肉質評価まで)で優良な配合飼料として利用可能であることを実証。
- ② 養豚成育試験(肉質評価まで)でも優良な配合飼料として利用可能であることを実証。

(3) 発酵残渣酵母の有価物による生理活性効果を検証した。(高付加価値の商品化に向けて)

- ① 筑波大学にて「糖蜜発酵産物による健康長寿作用の活性効果」を線虫を用いた解析により、人間も保有する長寿遺伝子の活性効果を確認。
- ② その健康長寿作用の活性効果のラット試験による検証を平成29年度末を目途に実施中。

【検証の活性効果を学会にて発表】

Food and Nutrition Sciences, 2017, 8, 855-864, Takumi Satoh, Kazuichi Sakamoto\*

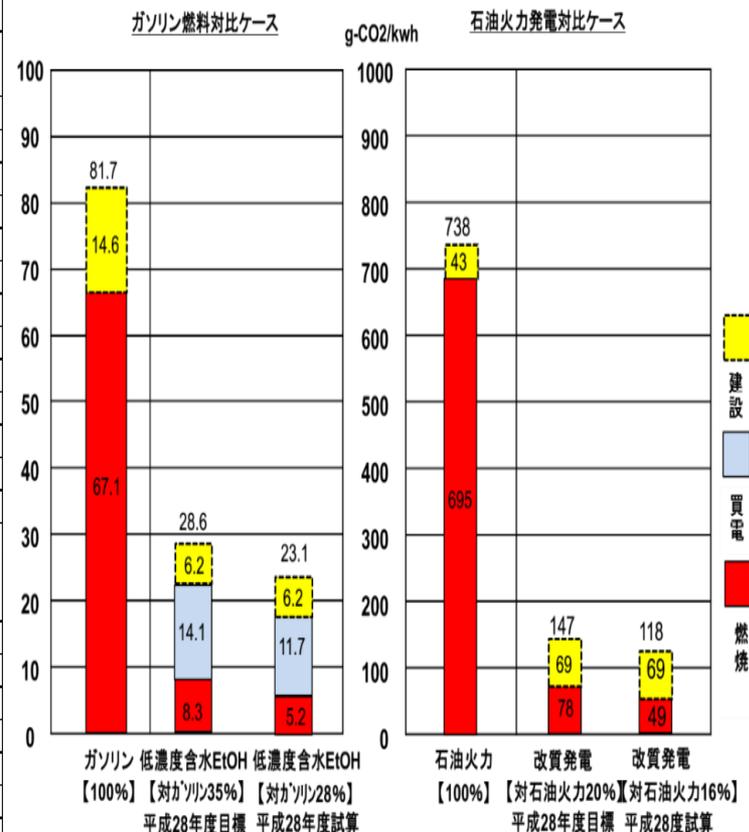
# 実用化規模におけるCO2排出削減効果の試算評価

実用化規模での温室効果ガスCO2削減効果を試算した。

- ① 低濃度含水エタノール製造事業はガソリン燃料対比で28.3%（削減率71.7%）
- ② 低濃度含水エタノール利用改質エンジン発電事業は石油火力発電対比で16.0%（削減率84.0%）

## 低濃度含水エタノール製造事業、改質発電事業の温室効果ガス排出削減効果

| 検討ケース     |          | 単位         | ガソリン燃料対比  | 石油火力発電対比 | 備考欄                 |                         |
|-----------|----------|------------|-----------|----------|---------------------|-------------------------|
| 改質発電      | EtOH熱量   | kwh/L      |           | 5.89     |                     |                         |
|           | 動力変換効率   | %          |           | 50       |                     |                         |
|           | 単位発電量    | kwh/L      |           | 2.95     |                     |                         |
| 設備費       | EtOH製造施設 | 億円         | 11.5      | 11.5     | 製造能力=4,000L/日(無水換算) |                         |
|           | 改質発電施設   | 億円         | 0.0       | 1.8      | 発電能力600kw           |                         |
|           | 合計       | 億円         | 11.5      | 13.3     |                     |                         |
| 用役原単位     | A重油      | (L/L)      | 0.044     | 0.044    |                     |                         |
|           | 電力       | (kwh/L)    | 0.501     | 0.501    |                     |                         |
| 領域別CO2排出量 | A重油      | kg/日       | 515       | 515      | CO2排出係数=2.71kg/L    |                         |
|           | 電力       | kg/日       | 1,190     | 0        | CO2排出係数=0.55kg/kwh  |                         |
|           | 水道水      | kg/日       | 8         | 8        | CO2排出係数=0.182kg/ton |                         |
|           | 疏安       | kg/日       | 2         | 2        | CO2排出係数=11.4kg/ton  |                         |
|           | 設備       | 設備費        | 百万円/日     | 0.256    | 0.296               | 償却15年、稼働日数300日/年        |
|           |          | CO2排出量     | kg/日      | 624      | 722                 | 2.439ton/百万円(その他特殊機械装置) |
|           | 合計CO2排出量 | kg/日       | 2,339     | 1,247    |                     |                         |
| 売電量       | 発電量      | kwh/日      | -         | 12,744   |                     |                         |
|           | 自家使用量    | kwh/日      | -         | 2,164    |                     |                         |
|           | 売電量      | kwh/日      | -         | 10,580   |                     |                         |
| LCA       | ガソリン対比   | ハイエタノールLCA | g-CO2/L   | 541      |                     |                         |
|           |          |            | g-CO2/MJ  | 23.1     |                     |                         |
|           |          | ガソリンLCA    | g-CO2/MJ  | 81.7     |                     |                         |
|           |          | %対ガソリン     | 28.3      |          |                     |                         |
|           | 石油火力対比   | 改質発電LCA    | g-CO2/kwh |          | 118                 |                         |
|           |          | 石油火力LCA    | g-CO2/kwh |          | 738                 |                         |
| 石油火力対比    |          | %対石油火力     |           | 16.0     |                     |                         |



# 実用化規模における事業経済性の試算評価

## 【 製造原価算出に当たっての前提条件 】

- ①バイオエタノール生産量：年間500KL（稼働年間日数200日）
- ②製造設備：宮古島市の既存製造設備（無水エタノール生産能力750kL/年）を活用し、蒸気圧縮式蒸留プロセス等の改造による運用を想定した。

| EtOH生産量 (KL/年) |         | 700             |                 | 備考欄                                |                          |
|----------------|---------|-----------------|-----------------|------------------------------------|--------------------------|
| 稼働日数 (日/年)     |         | 280             |                 |                                    |                          |
| 項目             |         | 千円/年            | 円/L、円/kg        |                                    |                          |
| 売上             | 含水エタノール | 42,000          | 60              |                                    |                          |
|                | 蒸溜残渣液   | 27,000          | 5               | 産出量 5,400 トン/年                     |                          |
|                | 乾燥酵母    | 5,200           | 200             | 産出量 26 トン/年                        |                          |
|                | 合計      | ① 74,200        |                 |                                    |                          |
| 原料費            |         | ② 3,500         | 5.0             | 糖蜜使用量(ton/Y) 3,500 単価(¥/ton) 1,000 |                          |
| 加工費            | 変動費     | 電気              | 6,275           | 9.0                                |                          |
|                |         | 燃料(A重油)         | 2,170           | 3.1                                |                          |
|                |         | 市水              | 1,820           | 2.6                                |                          |
|                |         | 薬品・副資材          | 2,450           | 3.5                                |                          |
|                |         | 変動費計            | ③ 12,715        | 18.2                               |                          |
|                | 固定費     | 人件費             | 18,400          | 26.3                               | 運転員：5名（含む残渣処理1名）、スタッフ：1名 |
|                |         | 外注費             | 5,020           | 7.2                                |                          |
|                |         | 修繕費             | 2,000           | 2.9                                |                          |
|                |         | その他固定費          | 2,150           | 3.1                                |                          |
|                |         | 原料運搬費           | 1,820           | 2.6                                |                          |
|                |         | 減価償却費           | 5,000           | 7.1                                | 設備改造費1.5億円（償却年数30年）      |
|                |         | 固定費計            | ④ 34,390        | 49.2                               |                          |
|                | 加工費計    |                 | ⑤ (=③+④) 47,105 | 67.4                               |                          |
| 製造原価           |         | ④ (=②+⑤) 50,605 | 72.4            |                                    |                          |
| 売上総利益          |         | ①-④ 23,595      |                 |                                    |                          |

## 【含水エタノール燃料事業】

- ・軽油販売価格120円/Lと想定した場合、60円/L（無水ベース）相当が目標価格（税抜、き、エネルギー比換算）。
- ・蒸溜残渣液、発酵残渣酵母の市場販売により含水エタノール販売単価（無水ベース）が60円/Lとなれば今後の商用化の可能性が出てくる。（現状の農業用水の販売価格2.5円/L、タンパク飼料販売価格200円/kg）

## 【60KW級の改質エンジン発電事業】

- ・従量電灯契約の買電系統電力単価（30円/kW）と比較し、含水エタノール（無水ベース）燃料価格が60円/Lでの発電単価が下回ることができ、消費電力が増加する需要家に対しては更に経済性が出てくる。