

16.2 バイオマス起源生成物の地域有効利用技術の開発

研究予算：運営費交付金

研究期間：平成18年度～平成19年度

担当チーム：水素地域利用ユニット

研究担当者：秀島好昭、主藤祐功、大久保天

【要旨】

バイオガスの触媒改質により水素や従来は石油等から生産されるベンゼン等の化学基礎原料の併産技術を実証し、その生成物の地域利用を検討した。実証実験データを基に、地域のバイオガスプラントを想定したバイオガス～水素生成（メタン分離）～燃料電池利用モデルの生産性・経済性および施設整備の具備条件等を精査することで、BTHプラント（Biogas to Hydrogen）の将来像を描いた。また、分散型のエネルギーを効率的に利用する方式（マイクログリッド）の試案や環境改善効果を試算することで、地域のエネルギー将来像が提案できた。さらに、併産したベンゼン（バイオベンゼン）を原料に、効率的に水素化反応を起こす装置を開発することで燃焼燃料の添加剤への利用方法を明らかにするなど応用技術を実証した。

キーワード：バイオガス、水素・燃料電池、メタン直接改質、有機ハイドライド、混合燃料

1. はじめに

農村地域からでるバイオマス資源の有効利用技術開発が「クリーン農業」へ欠かせない課題となっている。また、都市域のバイオマス利用においてもエネルギー資源の長期安定確保や地球温暖化抑制のために地域エネルギーの創出やシステム化への技術提案が必要となっている。このような背景のなか、バイオガスプラントの建設実績数は伸びている。ここで生産されるバイオガスは現地でエネルギー利用されるが、このバイオガスをクリーンエネルギーとされる水素へ改質・利用することもできる¹⁾。また、バイオガスの改質過程で石油起源同類の副生成物を生産することもできる²⁾。このため、バイオガスを改質利用する技術を確認し、改質・生産した水素エネルギーや副生成物を有効に活用した場合の化石エネルギーの代替効果を推量するなど、水素化利用技術の開発と環境・エネルギーに関しての一つの技術提案を行った。

きな施設の建設・稼働実績がある。図-1は生活系バイオマスの発生量(150m³/ton)から推算できる単位面積あたりバイオガス発生量と家畜ふん尿のバイオガス単位面積発生量(単位発生量30～40m³/tonおよび乳牛頭数200頭/km²とした)を示している³⁾。バイオガス量は、バイオガス単位発生量からそれぞれ施設内電力使用量(バイオガスの自家発電とし、前者で50kwh/t-原料、後者で10kwh/t-原料)を差引いた利用可能ガス量(可処分量)を示している。また、同図にふん尿起源バイオガスの可処分量の灯油換算を例示している。図-1より酪農系からの再生可能エネルギー量の空間密度は相対的に大きく、地域資源としての効率的な活用が期待できる。また、生活系バイオマスの再生エネルギー量の空間分布密度は小さいが、これが既に集積・拠点となっている場合には、資源の利用途は多いと考えられる。

2. バイオガス化資源と利用形態

2.1 バイオガス化資源の賦存分布

国内の食糧基地である北海道では、農林水産業から多量のバイオマス資源が産出・排出されており、とりわけ、酪農業からは年間1,600万トンの家畜ふん尿(ウエットバイオマス)が排出され、これらの処理・利用が環境面・エネルギー資源対策面から注目され続けている。この施策として、バイオガス化利用処理の継続的な研究が進むなか、バイオガスプラントの建設・稼働実績が増えている。また、都市部においても生ゴミ(ドライバイオマス)の集中処理にバイオガスプラントを導入した比較的規模が大

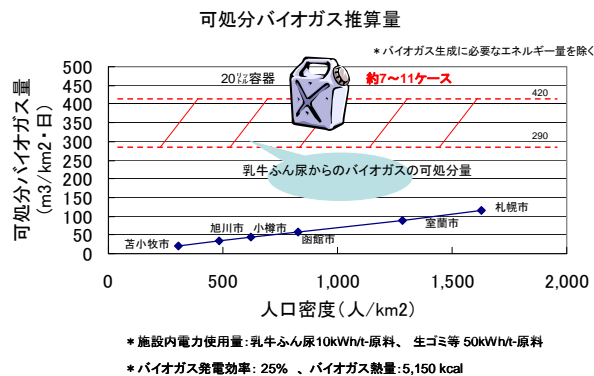


図-1 可処分バイオガス量

2.2 バイオガス生成資源の利用形態

バイオガス化利用やその技術研究は、図-2 に概要を示すようにガス体をオンサイトでエネルギー利用し、さらに、発酵後の消化物を肥料として有機的な循環を図る運用や研究が行われているほか、ガス体を車両燃料・燃焼器燃料として利用する研究が行われている。当該研究は、ガス体を資源とした地域での水素利用に向けた先駆的研究である。

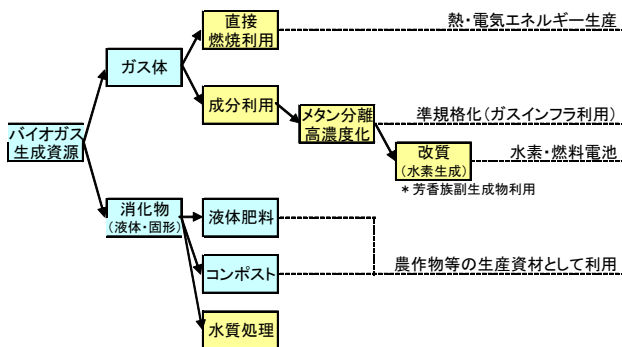


図-2 バイオガス生成資源の利用形態

3. 水素等生成技術の検証

3.1 水素・副生成物への変換技術

精製メタンを使用し、水素を生成する技術として水蒸気改質法($CH_4 + 2H_2O \rightarrow 4H_2 + CO_2$)とメタン直接改質法($6CH_4 \rightarrow 9H_2 + C_6H_6$ (芳香族のベンゼンを併産))がある。いずれも改質触媒を使った化学反応プロセスにより水素を生成する技術であるが、前者では既に商業技術としての水準にあり、後者では実用的なベンチプラントでの実証⁴⁾が進んでいる段階にある。実証試験プラント(別海BPに併設したBTHプラント(Biogas to Hydrogen))の機能概要は、①バイオガスから精製メタンを生成、②精製メタンを原料(未反応分は燃料)に水素ガスと副生成物(ベンゼン)を併産、③水素ガスを芳香族化合物の母液に添加し、有機ハイドライドに変えて貯蔵・運搬しやすい形態とする技法などを連成した機能を有する。図-3 と表-1 に直接改質法と水蒸気改質法を連成した水素製造システムの概要と物質収支の試験実績を例示した。

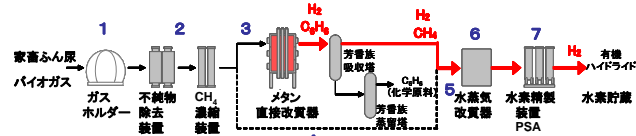


図-3 水素生成のプロセスモード(メタン直接改質連成)

表-1 バイオガス～水素の物質収支計測例

| No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--------------------------|------------------------|-------------------------|--|--|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 概略工程 | バイオガス | 不純物除去 精製メタン | 直接改質 入口 | 循環 メタン | 水蒸気改質 入口 | 水蒸気 | 水素精製 PSA出口 | 添加水素 |
| 流量 Nm ³ /日 | 200 | 108 | 437 | 300 | 120 | 144 | 220 | 29 |
| 成分 | 59% CH ₄ | 100% CH ₄ | CH ₄ 93% H ₂ 7% | CH ₄ 98% H ₂ 2% | CH ₄ 55% H ₂ 45% | 100% H ₂ O | 99.95% H ₂ | 99.95% H ₂ |

ベンチプラントの水素製造試験では、原料のバイオガスを最大 400m³/日とした運転を行い、水素を安定して製造する運転方法の確認や製造時の物質収支・エネルギー収支のデータ蓄積と分析を行った⁵⁾。

さらに、バイオガスを起源に併産したベンゼン(ここではバイオベンゼンと呼ぶ)の化学的特徴を把握したほか、図-4 に示す2 段水素化方式の装置を開発し、バイオベンゼンを効率的に水素化反応(シクロヘキサン生成反応; $C_6H_6 + 3H_2 \rightarrow C_6H_{12}$)することで転化率の高い有機ハイドライドを生成する技術を実証した。有機ハイドライドの物質収支を表-2 に例示した。

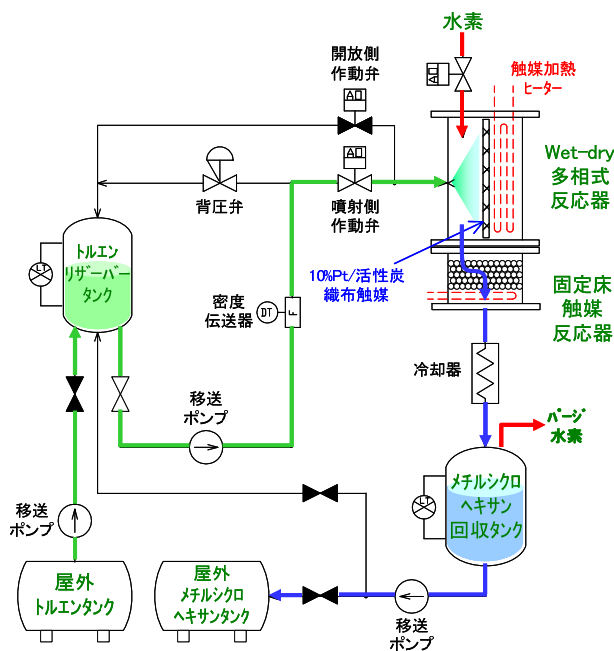


図-4 開発した2 段水素化方式

表-2 有機ハイドライドの物質収支(二段水素化方式)

| No. | 1 | 2 | 3 |
|--------------------------|--------------------------------|---|-----------|
| 工程 | 供給水素 | 供給ベンゼン | 生成シクロヘキサン |
| ガス量 [Nm ³ /d] | 85.2 | — | — |
| 液量 [L/d] | — | 113.2 | 137.1 |
| 成分 [Vol %] | H ₂ | 100 | 0 |
| | C ₆ H ₆ | 0 | 100 |
| | C ₆ H ₁₂ | 0 | 0 |
| | その他の微量成分 | 0 | 100 |
| 成分 [Vol %] | C ₆ H ₆ | C ₆ H ₆ C ₇ H ₈ C ₇ H ₁₄ | |

3.2 水素等製造プロセスの分析

バイオガスから水素を製造する方法として、水蒸気改質法のみによる方法と前述のように直接改質法と水蒸気改質法を連成してベンゼンも同時に併産する方法について、BTHプラント(ベンチプラント)の特徴や改善に向けた分析を行った。

3.2.1 水蒸気改質による水素製造

設備の稼働(プロセス進行)に必要な熱をバイオガスおよびオフガスの燃焼により供給し、必要な電力をバイオガス発電により供給するとした場合、200m³の原料バイオガスからの水素製造におけるエンタルピーフローを図-5に示す。ここで入力される物質がバイオガス、空気および水で、入力されるエンタルピーの合計は11.6GJ/日である。また、出力される物質が水素で、出力されるエンタルピーは3.0GJ/日であり、エンタルピー効率率は約26%となった。図-5によれば、水蒸気改質器における排熱が著しく大きいことがわかる。この排熱の大部分は水蒸気改質器の表面からの放射熱であり、その温度は設備周囲の温度まで低下したものであることから、この排熱を用いたエネルギー利用は困難である(なお、エンタルピー効率にはバイオガス発電機の回収熱の利用を考慮していないが、スチームボイラーにおける原料水の加温や改質器などの前工程における原料ガスの予熱に使うことができれば、さらに効率を向上させることが可能である)。

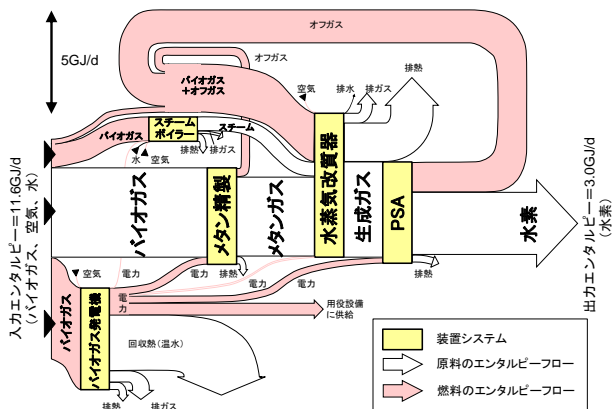


図-5 水素製造におけるエンタルピーフロー

図-6に水素製造時の物質収支等の模式図を示すが、水素を280m³/日製造するのに原料バイオガスが200m³/日、燃料バイオガスが燃焼加熱用に112m³/日、発電用に228m³/日の計340m³/日が必要であり、原料と燃料を合わせた総必要バイオガスは540m³/日となった。これは水素を1m³製造するためには約1.9m³のバイオガスが必要となるこ

とを示している。エネルギー収支をみると、バイオガスの燃焼によって得られる熱2.1GJ/日は稼働熱源として利用され、バイオガス発電による電気16kWは稼働電力として利用されているが、バイオガス発電機からの回収熱2.7GJ/日については、前述したようにスチームボイラーにおける原料水の加熱などに利用可能であり、そのような設備設計の改善が示唆される。

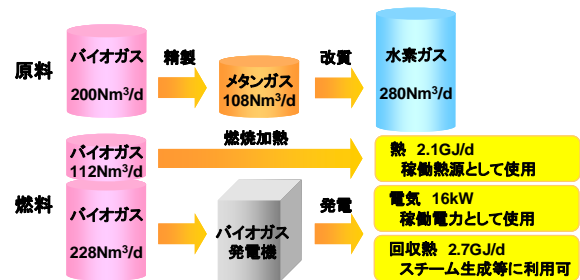


図-6 水素製造の物質収支等

3.2.2 直接改質と水蒸気改質の連成による水素等製造

設備の稼働に必要なエネルギーを前項と同様にバイオガスから賄うとし、200m³の原料バイオガスから水素およびベンゼンを併産するときのエンタルピーフローを図-7に示す。入力される物質はバイオガス、空気および水で、入力されるエンタルピーの合計は15.3GJ/日である。また、出力される物質が水素とベンゼンで、出力されるエンタルピーの合計は1.8GJ/日となり、エンタルピー効率率は約12%となった。図-7によれば、直接改質プロセスにおいては直接改質器における排熱が著しく大きいことがわかる。この排熱の大部分は直接改質器の表面からの放射熱であり、その温度は設備周囲の温度まで低下したものであることから、この排熱を用いたエネルギー利用は困難である(なお、エンタルピー効率にはバイオガス発電機の回収熱の利用を考慮していないが、水蒸気改質プロセスと同様にスチームボイラーにおける原料水の加温や各改質器などの前工程における原料ガスの予熱に使うことができれば、さらに効率を向上させることが可能である)。

図-8に水素およびベンゼン製造時の物質収支等の模式図を示すが、水素を134m³/日、ベンゼンを8.4kg/日製造するのに原料バイオガスが200m³/日、燃料バイオガスが燃焼加熱用に95m³/日、発電用に416m³/日の計511m³/日が必要であり、原料と燃料を合わせた総必要バイオガスは711m³/日となった。これは水素を1m³製造するためには約5.3m³のバイオガス、ベンゼン1kg当りでは84.6m³のバイオガスが所要となる。エネルギー収支をみると、バイ

オガスの燃焼によって得られる熱 2.0GJ/日は稼働熱源として利用され、バイオガス発電による電気 26.6kW は稼働電力として利用されているが、バイオガス発電機からの回収熱 4.9GJ/日については、前述したようにスチームボイラーにおける原料水の加熱などに利用可能であり、そのような設備設計の改善が示唆される。

当節のような物質収支・エネルギー収支の精査から、規模の大きなシステムへと進んだ場合のモデルについてもおよそ物質収支・エネルギー収支等が推計できるものとなった。

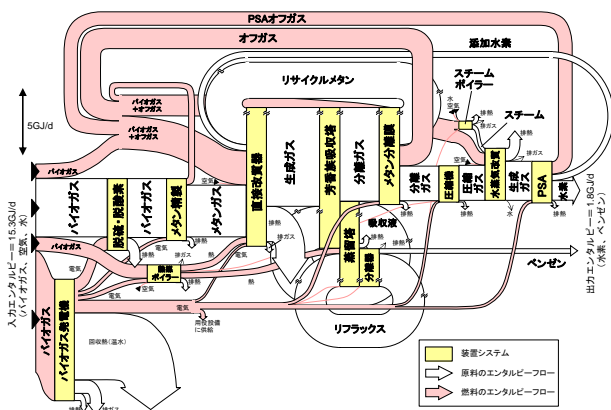


図-7 水素・ベンゼン製造におけるエンタルピーフロー

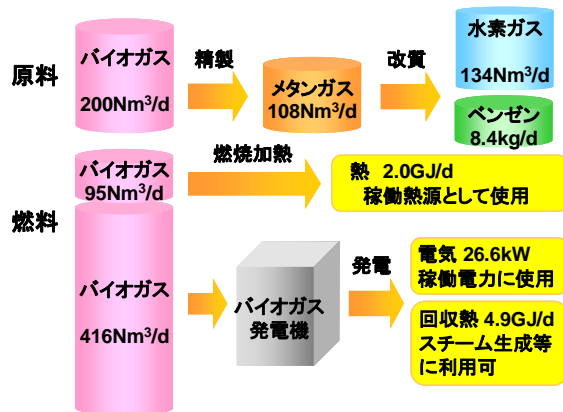


図-8 水素・ベンゼン併産における物質収支等

3.2 バイオベンゼンの特徴と水素化反応実験

従来技術の Wet-dry 多相式反応器と連結して固定床反応器 (0.5wt%白金/アルミナ触媒を充填) を設置した水素化試験を実施した (図-4 参照)。図-4 に示すとおり、上段の多相式反応器での未転化分を下段の固定床反応で転化を図り総合的に転化効率を高めるものである。水添実験前後のバイオベンゼンと生成物の成分を明らかにしたほ

か、バイオベンゼンの原料投入速度と生成物 (シクロヘキサン) の純度を分析した。

3.2.1 バイオベンゼンと水添生成物の成分

水素化実験では、ガスクロマトグラフィー分析によりバイオベンゼン～生成シクロヘキサン系に含まれる微量不純物の成分量を明らかにした。その結果を表-3 に示した。バイオベンゼンでは、アセトニトリルといった窒素化合物、プロピレンといった炭化水素が検出された。窒素化合物の生成は、バイオガス中の残留 N_2 によるものと考えられ、バイオガス中への空気混入防止策を講じることで低減できると判断する。また、プロピレン等の炭化水素はメタンの脱水素芳香族化反応により生成したものと考えられる。また、バイオベンゼン吸収液の蒸留時の混入による微量成分も検出されている。

表-3 バイオベンゼンと生成シクロヘキサンの成分

| 成分名 | 分析下限値 | サンプル | | 成分名 | 分析下限値 | サンプル | |
|-------------------|-------|------|---------|------------------|-------|-------|---------|
| | | ベンゼン | シクロヘキサン | | | ベンゼン | シクロヘキサン |
| エタンC2H6 | 1ppm | <1 | 130 | ベンゼンC6H6 | 1ppm | 96.6% | 240 |
| アセトニトリルC2H3N | 1ppm | 830 | <1 | シクロヘキサンC6H12 | 1ppm | <1 | 96.8% |
| プロピレンC3H6 | 1ppm | 3 | <1 | メチルシクロペンタンC6H12 | 1ppm | <1 | 15 |
| プロパンC3H8 | 1ppm | <1 | 190 | トルエンC7H8 | 1ppm | 3.3% | 9 |
| プロピニトリルC3H5N | 1ppm | 270 | <1 | ビシクロヘプタンC7H12 | 1ppm | 10 | 7 |
| n-ブタンC4H10 | 1ppm | <1 | 67 | メチルシクロヘキサンC7H14 | 1ppm | 3 | 3.2% |
| 1,3-シクロペンタジエンC5H6 | 1ppm | 30 | <1 | ナフタレンC10H8 | 1ppm | 150 | <1 |
| シクロペンテンC5H8 | 1ppm | 17 | <1 | デカリンC10H18 | 1ppm | <1 | 63 |
| シクロペンタンC5H10 | 1ppm | 1 | <1 | 1-メチルナフタレンC11H10 | 1ppm | 0.1% | <1 |
| n-ペンタンC5H12 | 1ppm | <1 | 13 | 1-メチルデカリンC11H20 | 1ppm | <1 | 340 |
| n-ペンタンC5H12 | 1ppm | <1 | 74 | 水分 | 1ppm | 390 | 22 |

3.2.2 水添生成物 (シクロヘキサン) の利用技術

図-9 にバイオベンゼンの原料投入速度と生成物 (シクロヘキサン) の純度を示すように、原料投入速度 138ml/min の条件で 89% の転化率、他の条件では、ほぼ 100% の転化率となり従来の多相式反応に比べて効率の良

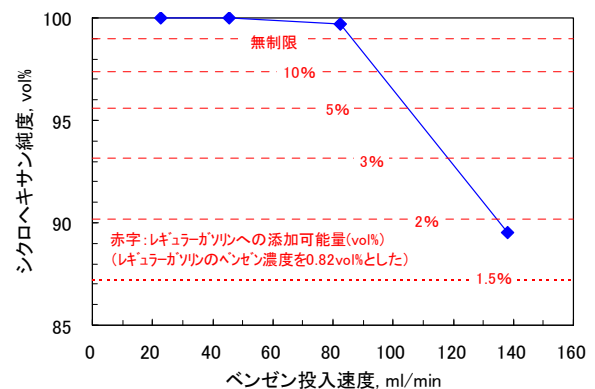


図-9 バイオベンゼン投入速度とシクロヘキサン純度

い反応方法が確認できた。また、従来方式に比較して、単位容量の水素を水添(貯蔵)するために必要な消費エネルギーの削減が確認できた⁶⁾。

生成したシクロヘキサンのガソリンへの添加を想定した場合、大気汚染防止法によりガソリン中のベンゼン含有量が1vol%以下に規制されている。前述の図-9が参照されるように、開発した2段水素化方式によって、ベンゼン投入速度82.7ml/min(反応水素速度59.2Nl/min)の条件においても、シクロヘキサン純度は99.7%に達しており、この濃度ではレギュラーガソリンに制限無く添加できる。

水添して得られるシクロヘキサン(有機ヒドライド)は燃料としての利用のほか、前述のように水素キャリアとして利用できる。現地の需要家まで安定した液体状態の有機ヒドライドで運び、その場で可逆的な反応方法で水素を取り出すことができる(前述のシクロヘキサン生成反応の可逆反応)。

図-10には、過年度に実験したトルエン～メチルシクロヘキサン系(メチルシクロヘキサン生成反応; $C_7H_8 + 3H_2 \rightarrow C_7H_{14}$)と開発した2段水素化方式によるバイオベンゼン～生成シクロヘキサン系の水添結果を示している。図-10によれば、開発した方式では溶液単位容積当たりの水素貯蔵密度は約620倍と高い効率(運搬機能)を示していることや貯蔵性能が改良されていることがわかる。シクロヘキサンはガソリンの成分にも含まれている物質であり、ガソリンと同様に取り扱うことができ、既存の石油貯蔵タンク、タンクローリー、ガソリンスタンド等のインフラを利用できるなどの利点がある。一方、シクロヘキサンの融点は6.5℃、ベンゼンの融点は5.5℃であるため、寒冷地では固化に対する対策検討が必要となる。

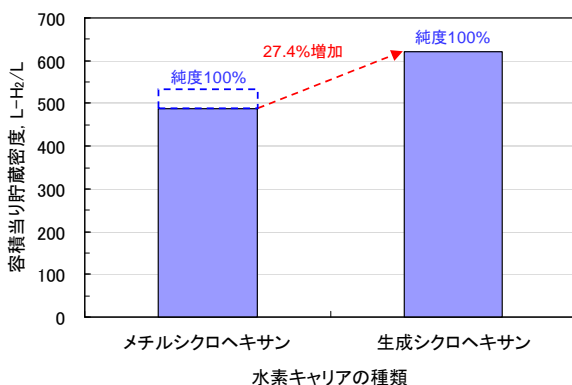


図-10 有機ヒドライドの水素貯蔵密度

4. 地域における水素利用の設計

4.1 水素製造・供給・利用の形態

地域ではバイオマスの性質や収集の特徴に応じたバイオガス化利用が行われている。そのうち、BTHシステムでのバイオマスの利用として、図-11のような水素製造・供給の形態が考えられる。その1例の絵図は図-12のように表される。

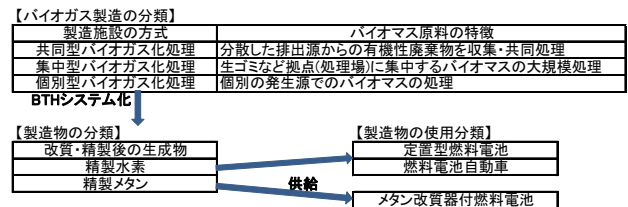


図-11 水素製造・供給の形態



図-12 燃料電池自動車への水素供給モデル概要

さらに、分散したエネルギーを効率的に使用するために、地域でのエネルギー利用ネットワークが将来には推奨される。図-13はマイクログリッドによる酪農村における電気エネルギー利用の試案図である(検討成果は後述)。マイクログリッドとは、分散型電源と負荷を自営線で結んだローカルな小規模電力システムである。通常は電力システムと1点で系統連系し、IT技術により不安定な分散型電源を制御することで、商用電力システムからの電力供給をほぼ一定として、電力システム全体に与える影響を回避する。このとき、燃料電池は負荷追従性が優れており、グリッド化したシステムでの変動電力の負担役割を期待されているほか、システム全体として効率的なエネルギー利用が計れる⁷⁾。

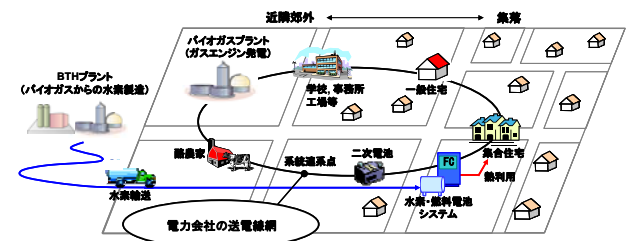


図-13 酪農村におけるマイクログリッド概念図

4.2 エネルギー利用

前節の利用形態ごとの水素製造量の算定は、大規模バイオガスプラント(乳牛1,000頭のふん尿処理等のバイオガス化処理能力)の稼働データ⁸⁾と当該BTHベンチプラント(最大500m³/日程度のバイオガスを水素化処理する能力)の実験データを照査し、両者の機能を効率的に一体化した仮想的なシステムでの水素等生産に消費するエネルギーや物質量を減ずることで、水素等供給量を推算した。さらに、水素等の利用モデル毎にエネルギー収支を検討した。前述の図-13のマイクグリッドを参照に、地域でのエネルギー利用をみてる⁹⁾。負荷(需要家)として住宅300戸、小学校、酪農家(乳牛100頭飼養)10戸、および系内にそのふん尿等を原料とする1,000頭規模のバイオガスプラントを想定し、分散型電源の一つとなるバイオガスプラントにおけるガスエンジンは65kW級4台を設置、燃料電池システムは住宅地近傍に数kW~数十kW級のを計200kW相当設置するものとした(バイオガスプラントにおけるバイオガス発生量は、副資材の投入を想定し原料投入量1tあたり40m³とした)。燃料電池に供給する水素は、系外にある乳牛2,000頭規模(100頭飼養の酪農家20戸から構成)のBTHプラントから40MPa水素シリンダーにより供給可能と試算された1日約1,560m³をマイクログリッド内の燃料電池へ輸送し、電力・熱エネルギー利用を行うものとした。試算した電源運用計画を図-14, 15に例示した。マイクログリッド内の1日の総電力需要量(需要家の時間負荷パターンの重ね合わせと累計値)から供給可能なガスエンジン発電量と燃料電池発電量を差し引き、商用電力系統から供給する電力量を求める。商用電力を一定供給とし、ガスエンジンの運転計画を決めれば、残りの電力需要は燃料電池発電からの供給となる。このときガスエンジンはほぼ定格運転とし、予測される大きな需要変化に応じた発電量の調整は4台のガスエンジンの起動・停止により行うとした。さらに予測不可能な短周期の負荷変動への対応は、負荷変動への追従性が良く、さらに部分負荷運転でも発電効率の高い燃料電池発電と二次電池により行うとともに、夕刻から夜半にかけては住宅において熱需要が増大するので、その時間帯に対応して燃料電池の発電量(コージェネレーション)を増大させることとした。

以上の電源運用計画に基づき、マイクログリッド内の電源制御を適切に行うことで、図-14, 15のように商用電力系統の負荷平準化となり、分散型電源と商用電力系統双方に有効なエネルギー利用と環境性向上が期待できる。

(付表 1月の電力収支)

| | 種類 | 電力 (kWh/day) | 備考 |
|----|------------------|--------------|--------------------------------|
| 負荷 | 一般住宅300戸 | 4,276 | 1戸あたり給湯熱量: 57.4MJ/day |
| | 小学校 1校 | 692 | 床面積: 4000m ² |
| | 酪農家10戸 | 1,355 | 1戸あたり100頭飼養規模 |
| | バイオガスプラント | 1,795 | 乳牛1000頭ふん尿処理規模 |
| | 合計 | 8,118 | |
| 電源 | ガスエンジン | 4,355 | 効率: 電気28%、熱55% (LHV) 65kW×4台使用 |
| | 燃料電池 | 1,867 | 効率: 電気40%、熱40% (LHV) 改質器なしPEFC |
| | 商用電力系統 (二次電池) | 1,896 | 系統連系 鉛蓄電池等 |
| | 合計 | 8,118 | |

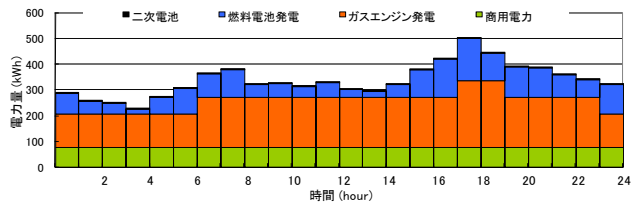


図-14 マイクログリッドの電力制御パターン(1月)

(付表 7月の電力収支)

| | 種類 | 電力 (kWh/day) | 備考 |
|----|------------------|--------------|--------------------------------|
| 負荷 | 一般住宅300戸 | 3,246 | 1戸あたり給湯熱量: 42.3MJ/day |
| | 小学校 1校 | 422 | 床面積: 4000m ² |
| | 酪農家10戸 | 1,321 | 1戸あたり100頭飼養規模 |
| | バイオガスプラント | 1,795 | 乳牛1000頭ふん尿処理規模 |
| | 合計 | 6,785 | |
| 電源 | ガスエンジン | 4,355 | 効率: 電気28%、熱55% (LHV) 65kW×4台使用 |
| | 燃料電池 | 1,866 | 効率: 電気40%、熱40% (LHV) 改質器なしPEFC |
| | 商用電力系統 (二次電池) | 564 | 系統連系 鉛蓄電池等 |
| | 合計 | 6,785 | |

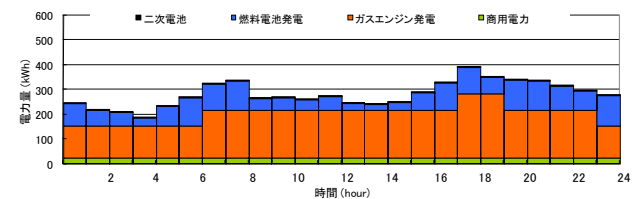


図-15 マイクログリッドの電力制御パターン(7月)

4.3 温室効果ガスの排出抑制

LCA手法を用いて、例題のマイクログリッドモデル導入前後の温室効果ガス排出量を試算した。その試算結果を図-16に示した。バイオガスプラントやBTHプラント導入前の従来型のふん尿処理である個別型スラリー処理では、原料スラリー貯留・処理・散布時にメタンや亜酸化窒素など温室効果ガスを排出する。一方、導入後においても、家畜ふん尿及び消化液運搬車両の燃料消費や圃場に散布した消化液からのガス揮散等により温暖化ガスの放出は起こるが、嫌気的プロセスでバイオマスが処理されることから、この間の温暖化ガスの放出が大きく抑制される。乳牛ふん尿を個別型スラリー処理からプラントによる集中処理とすることで、温室効果ガス排出量を約1/3程度に低減することができ、マイクログリッドでのエネルギー利用により化石燃料の代替相

当分の温室効果ガスを削減することができる。全体として温室効果ガスの削減量は年間 2,710t-CO₂ と試算される。

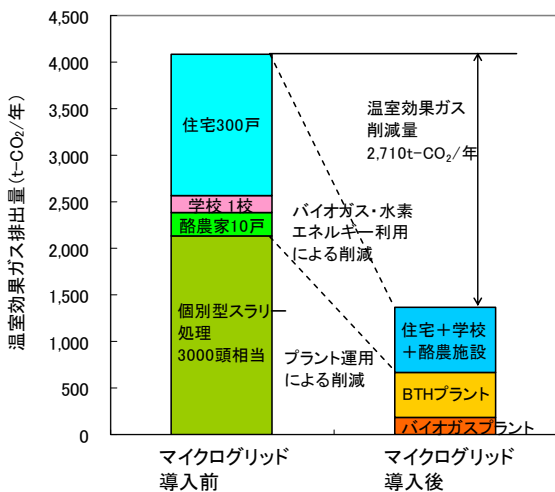


図-16 温室効果ガス排出抑制量の試算
(施設の新設・解体に伴う温室効果ガス排出量は未計上)

4.4 経済性の分析

具体的な経費、経済性は水素生産～供給・利用のシステム毎の精査が必要である。その詳細は成書⁹⁾や報文³⁾が参考とされる。経済性の分析・評価は、施設建設コストや水素製造コストを試算し、市場の買電単価や燃料用水素価格の目標値と対照する方法にて行った。図-13のような水素供給を行うシステムについて報じる。

BTHプラントの建設コストはバイオガスプラント(別海資源循環試験施設)の建設費と当該BTHベンチプラントの施工データ等を基礎に、下記の経験則¹⁰⁾よりプラントの規模に応じた建設費に補正した。また、プラントの運営費はバイオガスプラントの運営データ等を参照にしたほか、既報の技術資料を参考とした。

$$P_2 = P_1 \left(\frac{C_2}{C_1} \right)^{0.7} \dots (1)$$

ここに、P₁, P₂はそれぞれ規模C₁, C₂における建設費

図-17では有機性廃棄物の処理費がゲートフィーとなるが、その他、施設建設費の償還や運営費(修繕費、人件費、水素輸送委託費)等が必要で支出と収入が均衡するところで水素の販売費が試算される。このような考え方で、現市場とバランスを採る方策としては次の要約を得た。

①現在では、水素エネルギーの発電単価は市場の電力購入価格より割高である。また、自動車へ水素ガスを販

売する場合でも、目標値より割高である。

②プラント建設に助成があれば水素販売価格は安くなり、現在の市場価格、目標値と等値にするにはプラント規模によるが補助率(助成)30~50%と試算される(乳牛2,000頭規模前後のふん尿処理・利用)。

③環境コストを取り入れた社会システムでの運用やさらなる技術革新が望まれる。

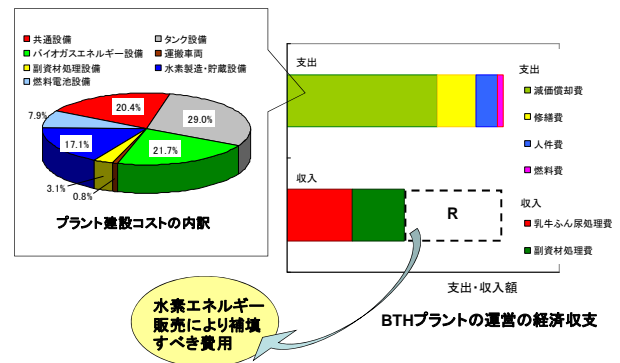


図-17 酪農村のBTHプラントの水素生産価格の推定

5. まとめ

2カ年の研究の主たる成果を要約すると以下のとおりである。

①バイオガス量 400m³/日を改質する実験等により、当該BTHベンチプラントは安定して水素とベンゼンを併産できるシステムであることが確認できた。さらに各過程・設備の詳細なエネルギーフローや物質収支を明らかにし、開発したシステムを基礎に、今後改良・規模拡大を図るための諸量を明らかにした。

②併産したベンゼンを添加原料とする水素化実験では、Wet-dry多相式反応器と固定床触媒反応器を連結した二段水素化方式を開発し、水素キャリアとしての高い効率を得た。また、ガスクロ分析により、ベンゼン～シクロヘキサン系以外の成分や微量不純物の量・起源を明らかにし、さらに、水添速度によって変わる未反応ベンゼン濃度を明らかにすることで、ガソリン等の混合燃料として利用する場合の可否・収支を明らかにした。バイオマス起源のベンゼンを水素貯蔵・運搬として利用するための生産技術の実証およびベンゼンの特性を把握したことから、バイオマスの多様変換と多用途利用の技術範囲を拡大できた。

③バイオガスから水素化を図る連携した実用プラント(BTH: biogas to hydrogen)あるいは連携した水素利用を考察すると、1)酪農地域では、バイオマス原料・消化物の集配(農家の空間分布の広さ)も条件となり、農家20戸

(乳牛頭数 2,000 頭程度)の 1 ユニットから、自立した物質・エネルギー収支状態で約 1,600m³/日の水素を需要家へ運搬できると試算されるなど、地域においても、今後、実現化が図れる技術と確認した。2) 都市域の生ゴミバイオガスプラントは、既に効率の良いバイオマスの収集法が採られており、ここでの水素化利用への発展は容易であると判断する。人口 10 万人程度の生活系の有機性廃棄物を対象とした BTH プラントを想定すると、自立した物質・エネルギー収支状態で約 4,000m³/日の水素が生産できると試算され、生ゴミプラントは、将来の有効な水素生産ステーションとし位置づけられる。

④施設建設コストや水素製造コストを試算し、市場の買電単価と対照することで、将来の BTH プラントを運営していく方法を提案した。

⑤バイオガス起電、燃料電池起電等の特徴を精査し、地域において商用電力をベースにこれら分散型電源の安全で効率的な連携利用（マイクログリッド）の例題を提案した。また、マイクログリッドを導入した場合の地域からの温室効果ガスの排出量の抑制量を試算し、環境にも適正であることを明らかにした。

本達成目標は、バイオマスとりわけバイオガスを改質することで、その利用用途を変えたり、地域に現存しなかった有益な物質を得る方法を明らかにした。水素は工業的に生産されることから、遠隔な地では遠距離輸送となる。将来の水素社会が地方でも展開されるとなれば、水素社会基盤を進展する一技術として本成果が役目をなす。

参考文献

- 1) 秀島好昭, 大久保天, 主藤祐功: バイオガス改質水素を利用した酪農村の将来像の模索, 農業土木学会誌 Vol. 74, No. 7, pp. 27-30, 2006
- 2) 大久保天, 主藤祐功, 秀島好昭: バイオガスからの水素製造及び水素貯蔵技術の実証試験と地域におけるエネルギー利用, 寒地技術論文・報告集 vol. 22, pp. 267-272, 2006
- 3) 秀島好昭, 大久保天, 主藤祐功: バイオガス起源生成水素の地域有効利用技術の開発(その 1)-非工業地域の水素生産技術-, 第 56 回農業農村工学会北海道支部研究発表会講演要旨集, pp134-139, 2007
- 4) (独) 北海道開発土木研究所: 地球温暖化対策に資するエネルギー地域自立型実証研究(平成 15~17 年度)最終年次報告書, 2006 年 3 月
- 5) (独) 土木研究所寒地土木研究所: 別海エネルギー自立型実証研究施設稼働データ集, 2008 年 3 月
- 6) (独) 土木研究所寒地土木研究所: 芳香族水素化設備運転およびデータ整理業務報告書, 2007 年 12 月
- 7) 大久保天, 秀島好昭, 主藤祐功: 起源生成水素の地域有効利用技術の開発(その 2)-システムの社会的効果と経済性の評価-, 第 56 回農業農村工学会北海道支部研究発表会講演要旨集, pp140-145, 2007
- 8) (独) 北海道開発土木研究所: 積雪寒冷地における環境・資源循環プロジェクト(平成 12~16 年度)最終成果報告書, 2006 年 3 月
- 9) (独) 土木研究所寒地土木研究所: バイオガス起源生成物の地域有効利用技術の開発-バイオガスの水素・燃料電池利用に向けた研究-研究成果報告書, 2008 年 3 月
- 10) 化学工学編集委員会編: 基礎シリーズ 化学工学入門, pp284-292, 実教出版, 1999

DEVELOPMENT OF EFFECTIVE UTILIZATION TECHNIQUES OF BIOMASS ORIGINATED PRODUCTS IN THE FARMING AREA

Abstract : Gradually, Biogas-plant has the important role of the management of waste biomass in rural area of Hokkaido. The energy system centering on hydrogen attracts attention as the next generation energy system for the low environment load and the efficiency. The study aims to develop technologies for the conversion of biogas to hydrogen, and clarify the properties of by-products after the conversion process. And furthermore, the preliminary view of regional socio-hydrogen stands on the environmental conservation is considered.

The following results are introduced throughout the study.

- 1) It is confirmed that the developed BTH (biogas to hydrogen) system is good for the co-production of hydrogen gas and Benzene in all results of experiments. The practical large BTH plant can be designed and constructed on the basis of the investigated data of material and energy balances.
- 2) The basic technologies of Benzene-utilization originated from biogas to storage and transport the hydrogen gas are substantiated. It is also clarified that the by-product (cyclohexane) from bio-Benzene is applicable as an addition of gasoline.
- 3) Two BTH plant models in rural area (dairy farming management) and urban area provided with biogas plant and a model of methane gas supply from isolate large-scale dairy farm are surveyed on view points of hydrogen gas productivity and economical balance. Proposed each model will be realized in near future.
- 4) The micro grid system consisted with base of commercial electric power and fluctuation of decentralized power sources produces the stable of power supply and the efficient consumption of electric power. It is also estimated that the introduction of micro grid system in local network brings the reduction of global warming gas exhaust.

Key words : biogas, hydrogen and fuel cell, methane direct reforming, organic hydride, mixed fuel