

16. 共同型バイオガスプラントを核とした地域バイオマスの循環利用システムの開発

研究期間：平成 18 年度～22 年度

プロジェクトリーダー：寒地農業基盤研究グループ長 秀島好昭

研究担当グループ(チーム)：寒地農業基盤研究グループ(資源保全チーム)、特別研究監(水素地域利用ユニット)

1. 研究の必要性

北海道では多量の乳牛ふん尿が排出されており、さらに、地域の有機性廃棄物を含めてそれらの処理と有効利用が大きな課題となっている。北海道は他都府県と異なり、家畜ふん尿等を肥料として利用できる広大な農地を有している。このため、家畜ふん尿を主原料とし、他の有機性廃棄物を副資材として共同利用型バイオガスプラントで処理し、その生成物であるバイオガスを再生可能エネルギーとして利用し、消化液を肥料として農地に還元利用する技術の実用化が求められている。これは食料・農業・農村基本計画(平成 17 年 3 月)、最近の各種政策等(バイオマスニッポン総合戦略、家畜排泄物処理法、食品リサイクル法、循環型社会形成推進基本法、新エネルギー法)で火急とされる開発課題である。その実現のためには、大規模酪農地域を始めとする地域バイオマスの循環利用技術の実証と提案を行うことが求められている。

2. 研究の範囲と達成目標

本重点プロジェクト研究では、消化液を農地で循環利用する営農技術を検証するため、原料の安全性の確保、施用効果の解明、経済的に自立するシステムとするための原料や生成物の効率的な搬送手法・処理技術の解明、さらに、環境・資源面からの社会システムとしての分析と評価を行うこととした。また、バイオマスを地域で効率的にエネルギー利用する技術開発として、バイオガスを水素に変換し、将来の水素・燃料電池社会へ活用する諸技術を実証する。このため、以下の達成目標を設定した。

- ① 各種バイオマスの特性・安全性とその消化液の品質解明
- ② 各種バイオマス副資材の効率的発酵手法の解明
- ③ 消化液の長期連用の各種効果と影響の解明
- ④ スラリー・消化液の物性把握と効率的搬送手法の解明
- ⑤ バイオガスの水素化技術開発と副生成物の混合燃料とする特性解明
- ⑥ バイオマスの肥料化・エネルギー化技術の開発

3. 個別課題の構成

本重点プロジェクト研究では、上記の目標を達成するため、以下に示す研究課題を設定した。

- ① バイオマスの肥料化・エネルギー化技術の開発と効率的搬送手法の解明(平成 18～22 年度)
- ② バイオマス起源生成物の地域有効利用技術の開発(平成 18～19 年度)

このうち、平成 18 年度と平成 19 年度は①、②の両課題を実施している。

4. 研究の成果

「2. 研究の範囲と達成目標」に示した達成目標に関して、平成 19 年度までに実施してきた研究と今後の課題について要約すると以下のとおりである。

(1) 各種バイオマスの特性・安全性とその消化液の品質解明

平成 19 年度までに、家畜ふん尿以外の合併浄化槽汚泥、乳牛工場汚泥、農業用浄化槽汚泥、廃乳製品、水産加工残滓等の地域で発生するバイオマスを副資材として共発酵処理し、その消化液中に含まれる重金属成分の組成変化および窒素・リン酸・カリなどの肥効成分の変化について調査・検討を行った。さらに、BDF(バイオディーゼル燃料)残渣となるグリセリン等の有機生成物・廃棄物の共発酵特性等を室内試験により把握した。その概要は、次のとおりである。

16. 共同型バイオガスプラントを核とした地域バイオマスの循環利用システムの開発

- ① 共発酵処理した副資材の総量は総処理量の15～17%であり、このことにより消化液中の灰分および有機物含有率が高まり、その結果、窒素やリン酸の含有率が高くなる。肥料成分の増加により、より効率的な消化液へと改質することが確認された。副資材の共処理による成分の変動の把握・管理方法さらに地域バイオマスの種類による品質解明は継続する必要がある。
- ② 副資材の共発酵処理により、重金属のうち銅および亜鉛の含有率は高くなったが、基準値以下の小さな値であり、消化液は安全である。含有率が高くなった成分由来の副資材を同定した。
- ③ 粗製グリセリンの成分は、グリセリン分41%、有機性不純物48%、灰分5%等からなり有害な物質の含有はない。一方、アルカリ成分が含まれが、共発酵の資材としての利用に支障はない。

(2) 各種バイオマス副資材の効率的発酵手法の解明

平成18,19年度は、副資材の発生時期および発生量に応じた共発酵処理とするもので、受入槽で原料スラリーと混合後に1日1回メタン発酵槽に所定容量の混合原料を投入した(日曜日は原料投入を休止)。すなわち、副資材共処理において投入有機物含量の調整制御やそのためのバイオマスの搬入量・手順などの調整を行わない、共処理方法でのガス発酵量の調査・検討を行った。その概要は、次のとおりである。

- ① 平成18,19年度での共発酵処理総量はそれぞれ16,250ト、18,000トであり、副資材の処理は全体量の15%と17%である。これを原料に平成18,19年度それぞれ355,300m³、373,700m³のバイオガスを生産し、これらを自家発電消費や余剰電力の売電を行った。
- ② 汚泥(脱水汚泥)は水分含量が多く、また、有機物分解が進んだ副資材でありそれ自体のガス発生量も少ないが、地域で適正に処理する必要があるバイオマスである。共発酵処理全量の約9～12%(副資材全量の約59～85%)を処理したが、発酵プロセスが停止することはなかった。
- ③ バイオガス発生の様子は特徴的で、原料投入を休止した翌日はガス発生量が低下する。すなわち、現行の投入量(有機物総量)速度と発酵・消化のシステムが均衡しており、原料投入が途絶えることでガス発生量が即座に影響を受ける。このことは実用的なプラント運転において、原料投入が連続であることや連続処理する施設規模やマスフローの設計の重要性が示唆される。上述の汚泥副資材を多量に不定期に処理した平成18年度のバイオガス発生量は、その時期に大きく変動したが、汚泥副資材をおよそ定期的に処理できた平成19年度では、相対的にバイオガス発生量の変動は少なかった。副資材の定期的な投入や制御が効率的なバイオガス発生を起こすことが示唆された。このことから、共発酵システムにおける原料と副資材の調整機能が重要である。室内(チャンバー)実験で予測するガス増量の傾向は、実プラントでは認められなかった。今後、この点の解明が残されている。
- ④ 粗製グリセリンは適切な原料スラリーとの混合率では、有機物当たりのメタンガス発生量は原料スラリー単味に比べて約3倍の高い値を示す。また、粗製グリセリンは有機物濃度が高く、高い混合割合(粗製グリセリン/原料スラリー=4～8%程度)ではガス発生量の低下や停止が室内試験で確認された。

(3) 消化液の長期連用の各種効果と影響の解明

平成18,19年度は、好気処理・嫌気処理後のスラリー等の長期連用による土壌中の肥効成分等の含有量や土壌物理性の変化を考察した。液肥等の農地への還元利用が行われてきた圃場と還元利用がなされていない対照圃場の土壌の理・化学性を比較することで、消化液利用による影響解明への知見を整理した。その概要は、次のとおりである。

- ① 散布圃場(草地)は非散布圃場(草地)に比べ、粗孔隙(大きいと余剰水(重力水)の迅速な排除と空気の混入による湿害防止に効果)、易有効水分孔隙・難有効水分孔隙(植物が吸収利用する水分保持や旱魃害の防止)が大きく土壌物理環境が相対的に良好である。また、散布圃場の表層土壌では腐植が集積している。
- ② 散布圃場の表層の塩基置換容量(CEC)は大きく、保肥力が高く、交換性塩基Ca・Kが集積する。
- ③ 営農機械の走行により土壌は堅密化し易いが、曝気スラリーや消化液施用により表層土壌の膨軟化がもたらされ、根の伸長に良好な土壌環境が形成されていると判断される。

(4) スラリー・消化液の物性把握と効率的搬送手法の解明

共発酵処理の原料スラリーとその消化液の固形分量と従来までの乳牛ふん尿を原料とするスラリーとその消化液の

固形分量を比較し、その固形分量から推算できる搬送効率を分析・評価した。その概要は、次のとおりである。

- ① 共発酵の原料スラリーの固形分はTS=7.2%から、消化後はTS=3.9%まで分解・消化が進行する。このことにより液の粘性は低下し、消化液の管路での搬送効率は高いと分析できる。
- ② 共発酵とふん尿単味の発酵処理後の消化液の固形分は顕著な差はなく(それぞれTS=3.9%とTS=3.5%)、管路輸送を想定する場合には同一仕様のシステム整備でよいと示唆された。
今後、共同研究にて搬送時のエネルギー損失等を明らかにする予定である。

(5) バイオマスの肥料化・エネルギー化技術の開発

この目標は平成22年度に実施・達成する計画であるが、その予備的な調査・研究を実施したので、その概要を下記に示す。

- ① 共同研究にて、バイオガス中の精製メタンのガス燃料利用を検討した。燃料用ガスとしての利用に問題ないことを検証できた。

(6) バイオガスの水素化技術開発と副生成物の混合燃料とする特性解明

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、乳牛飼養頭数の多い農家の個別バイオガスプラント、乳牛ふん尿等の共同型バイオガスプラントおよび生ゴミ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した。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の試算を行った。さらに、併産したベンゼン(バイオベンゼン)の特性を精査し、水素添加による有機ハイドライドとして水素運搬に供する技術と燃焼燃料の添加材として利用するなどの応用技術を精査した。

- ① バイオガス量 400m³/日を改質する実験等により、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。各過程のエネルギー効率(E%)：出口エンタルピー/入口エンタルピー)や物質収支の概要は、1) バイオガスから精製メタン製造する前処理過程で E=81%、精製メタン 1m³製造にバイオガス 1.9m³を使用、2) 水素・ベンゼン併産(直接改質法)でのエネルギー効率は E=12%、水素 1m³製造にバイオガス 5.3m³を使用、3) 水素のみの生産方式(水蒸気改質法)のエネルギー効率は E=29%、水素 1m³製造にバイオガス 0.7m³を使用などであり、さらに各過程・設備の詳細なエネルギーフローを明らかにし、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、この方式により転化率(ベンゼン(C₆H₆)→シクロヘキサン(C₆H₁₂))は100%を示し、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20～30戸(乳牛頭数2,000～3,000頭)が1ユニットと考えられ、自立した物質・エネルギー収支状態で約1,600～2,400m³/日の水素製造量が試算されるなど、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。3) 飼養頭数の多い農家のバイオガス化処理設備はメタンガス供給源としての諸量を満たし、メタンガス～メタンガス改質器付燃料電池系の利用形態が今後示唆される。

16. 共同型バイオガスプラントを核とした地域バイオマスの循環利用システムの開発

- ④ 施設建設コストや水素製造コストを試算し、市場の発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。

DEVELOPMENT OF A LOCAL BIOMASS RECYCLING SYSTEM BASED ON A CENTRALIZED BIOGAS PLANT

Abstract : In rural area of Hokkaido, the northernmost island of Japan, which is characterized by large-scale dairy farming, the management of waste biomass has become a pressing issue because of environmental conservation and renewable energy. Gradually, Biogas-plant has the important role of them. 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 five goals of development of technologies to produce safe digested slurry which is applicable to the crops for the long-term, development of efficient fermentation techniques for each biomass, clarification of the physical properties of slurry and digested slurry for efficient transportation, development of technologies for the conversion of biogas into hydrogen gas and by-products (aromatic compounds), and estimation of their use in the future. Main outputs in the study period of 2006 and 2007 are given in the below.

- 1) Digested slurry originated from the co-substrate of cow slurry, sludge of urine treatment, sludge of purification tank, waste dairy products and waste fishery products has high contents of Nitrogen and Phosphoric acid. Digested slurry after co-fermentation is good for fertilization. Contents of heavy metals in digested slurry are lower than the standard indexes. Crude glycerin is applicable for anaerobic fermentation, but it is need to control the glycerin in low content against fermentation damage.
- 2) Trouble of co-fermentation didn't appear in survey period. Otherwise, under un-controlled of co-substrate, the production of biogas doesn't increase. Regulated throwing of sources brings efficient gas production.
- 3) In the grass fields where the slurry produced by aerobic and anaerobic treatment has been fertilized for the long-term, the void volume and humus content of surface soil changes good for the grass growth.
- 4) 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.
- 5) The basic technologies of Benzene-utilization originated from biogas to storage and transport the hydrogen gas are substantiated. It is also clarified that the hydrogenerated product (cyclohexane) from bio-Benzene is applicable as an addition of gasoline.
- 6) 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.
- 7) 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, cow slurry, recycling system, hydrogen gas, methane reforming