



バイオガスを利用した水素・燃料電池地域社会

— 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 —

技術士（農業部門） 秀島好昭

1. はじめに

北海道では恵まれた土地資源を活かし、大規模な専業農業が行われている。また、地域の気候に適した特徴的な農業が実施され、北海道南部や内陸部では水稲や畑作、夏でも冷涼な北海道東部や北部では大規模な酪農業が展開されている。国内での食糧生産基地として北海道は躍進しているが、農業・酪農業からでるバイオマス資源の利用技術開発が今後の「クリーン農業」や「北海道農業のスタンダード化」へ欠かせない課題となっている。また、21世紀初頭の現在では、石油等資源の生産調整・先細りからエネルギー資源確保の競争が顕在化し、さらにエネルギー利用の双極として地球温暖化ガス排出権のトレードオフが構想されるなど、これからのエネルギー利用を地域でも真剣に考えていくべき時期となっている。

農業のうち、特に酪農業からでる家畜ふん尿量は全国で年間9,000万トﾝであり、そのうち約2,000万トﾝが北海道で排出される。北海道では家畜ふん尿の有機的資源としての利用について早くより研究等が行われ、今日ではその処理・利用に嫌気過程が導入されてバイオガス利用処理などエネルギー利用と有機資源利用が一体となった家畜ふん尿利用システムが散見できる。①北海道開発土木研究所では酪農家が共同で利用する集中型のバイオガスプラントを建設し、寒冷地におけるそのエネルギー利用と有機資源の利用について環境面も含め研究を実施してきた。

バイオガス施設の規模が大きい場合、施設の運営に必要なエネルギーに加え余剰のエネルギーが生産

できる。例えば、余剰の起電力は電力会社へ販売が可能である。一方、電力需要は通年で大きく変化を示さないが、熱需要は北海道のような寒冷地においても夏場は激減することから通年における効率的なエネルギー利用技術の検討が必要である。また、寒冷地では夏・冬の総エネルギーの差違は特徴的で、エネルギーの蓄積・再生技術の開発も重要である。このような背景下、「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」（研究期間：平成15～17年度）を国土交通省の指導を得ながら実施し、家畜ふん尿起源のバイオガスから水素を生成する技術、地域の環境改善効果に与える影響の検討および酪農村地域の水素エネルギー（燃料電池）の将来利用を模索することとしている。従来の工業的製造法による水素生成と異なり、家畜ふん尿起源のバイオガスから水素の生成とその利用研究は、世界的にも国内的にも類が少なく、また、北海道発の技術シーズを活かした新規性と独自性の強い実証研究である。

2. 実証研究の概要

当該研究での具体的な技術開発は、バイオガスからメタンを精製～精製メタンから水素を生成～その水素を効率的に貯蔵し、また、必要な時期・場所で水素を再生する技術の確立～地域における燃料電池の利用までのプロセス技術開発と一連技術の実証である。この実証研究を通じて、当該技術が社会システムとして成立する具備条件や寒冷地に適用する際の諸課題について検討することとしている。

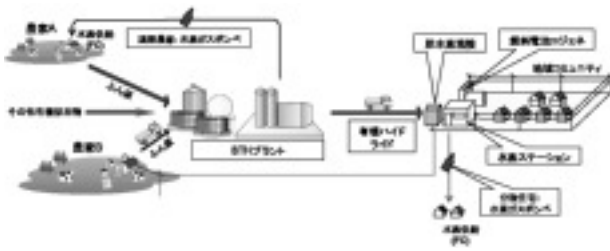


図-1 酪農村での水素エネルギー利用例模式

有機資源からバイオガスを得る従来技術は完成していることから、開発すべきプロセス技術は、水素の生成・貯蔵（輸送）および再生・燃料電池利用（自動車燃料利用）に大きく二分できる。すなわち、原位置での発電利用方式を除くと、図-1のようにプラントで水素を生成し、それを輸送に最適な形にして出荷する段階、さらにそれを所定の場所でエネルギー利用する段階の二つである。

(1) 水素製造

図-2および写真-1に示したように、水素の生成では、従来技術として確立されている水蒸気改質法 ($CH_4 + 2H_2O \rightarrow 4H_2 + CO_2$) に代り、反応プロセスで炭素を固定し二酸化炭素を排出せずにベンゼン (C_6H_6) を主成分とする芳香族を副生成するメタン直接改質法をも取り入れている ($6CH_4 \rightarrow 9H_2 + C_6H_6$)。この副生成物のベンゼンは繊維原料等として使用できる利点がある。いずれも反応管中の温度(圧力)を制御し、触媒機能を利用した水素生成方法であり、制御技術の検証に加え、このプロセスでのマテリアルバランス・エネルギーバランスの最良化が



写真-1 バイオガスから水素を生成する設備

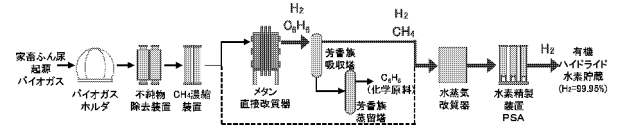


図-2 水素生成プロセス

課題である。

バイオガスは天然ガスと異なり、約60%のメタンガスと40%程度の二酸化炭素で構成されるほか、硫化水素・アンモニアガス・酸素など水素生成に障害となる微量のガスが含まれているのでこれを除く前処理設備を設けている。また、直接改質法での前述の化学反応は100%生じるのではなく、一部の水素生成と残りが未反応メタンとなることから、これらを分離し、未反応メタンを再度、原料としてリサイクルする特徴的なアイデアを導入している。燃料電池等で利用する水素純度は高く(99.99%純度程度)、このため後段には水素精製装置(PSA方式という圧力変動により水素ガスを選択採取する)を設け、水素純度を高めている。

表-1に水素製造の実験例を示したが、当初のデザインどおりの成果が得られている。表-1では、バイオガス1m³から約1.1m³の水素ガスが製造され、これは燃料電池自動車を12km走行させるエネルギーに相当する。換言すれば、牛1頭の毎日のふん尿から約1.6m³のバイオガスを発生できることから、燃料電池自動車を20km弱走行できる。「馬力」に代る、新しい「牛力」である。飼育頭数の多い地域では、馬鹿にできない地域水素エネルギー源として、期待がもてる。これからは、水素製造のプロセス技術としての完成度を確証する実証試験が残されている。

(2) 水素の貯蔵・再生

燃料電池原料の水素供給では適当な水素貯蔵方法

表-1 前処理・水素生成における物質収支の事例

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
工程	バイオガス	精製メタン	膜分離オフガス	直接改質入口	リサイクルメタン	水蒸気改質入口	スチーム	PSA出口	PSAオフガス	添加水素	直改オフガス
流量 Nm ³ /d	200	108	82	437	300	120	144	220	204	29	適宜調整
成分	59% CH ₄	100% CH ₄	90% CO ₂	CH ₄ 98% H ₂ 7%	CH ₄ 98% H ₂ 2%	CH ₄ 55% H ₂ 45%	100% H ₂ O	99.95% H ₂	CO ₂ & H ₂	99.95% H ₂	-

や運搬方法の選定が必要である。実用的な方法として、高圧での貯蔵、液体化した貯蔵、水素貯蔵合金を利用する方法および有機ハイドライド法がある。当該研究では、常温で安定して、かつ、効率的に水素貯蔵と運搬ができる有機ハイドライド法のプロセス技術を精査することとしている。この方法では単位容積の500倍以上の容積の水素を貯蔵することが可能である。積雪寒冷地で使用することを考慮し、凝固点が低く -30°C でも固化しないトルエン (C_7H_8)～メチルシクロヘキサン (C_7H_{14})系を有機ハイドライド法に採用している。

図-3の水素貯蔵の方法のように、反応室の触媒上においてトルエンに水素を付加させ、前述の化学式のように水素原子が多く付いたメチルシクロヘキサンに変える。この反応は可逆的であり、所定の場所に運んだ有機ハイドライド(メチルシクロヘキサン)を同様な触媒反応室で噴霧する(約 300°C 、 0.1MPa の環境)ことで、水素とトルエンに分れ、その水素は燃料電池等のエネルギー源として、また、トルエンは水素を添加する材料としてリサイクル利用する。

写真-2に水素添加・脱水素等設備の全容と図-4には水素の貯蔵・再生のプロセスを示した。

表-2に水素貯蔵・水素供給における物質収支の一例を示した。ここでは、 $120\text{Nm}^3/\text{日}$ の水素貯蔵能力、また、 $240\text{Nm}^3/\text{日}$ の脱水素(水素供給)能力を

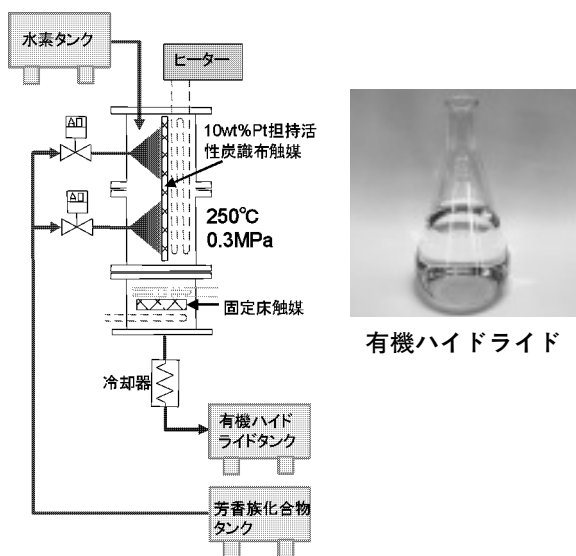


図-3 水素添加の原理



写真-2 水素添加・脱水素・(燃料電池)設備

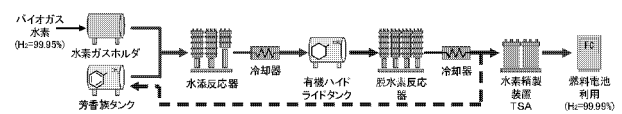


図-4 水素の貯蔵・再生のプロセス

表-2 水素添加・脱水素工程での物質収支

No.	1	2	3	4	5	6	7
工程	供給水素	供給トルエン	生成メチルシクロヘキサン	供給メチルシクロヘキサン	TSA入口水素	回収トルエン	TSA出口
流量 (ガス) Nm^3/d (液) L/h	最大 153	24.2	22.0	33.9	301	36.9	最大 292
成分	99.95 % H_2	100% % C_7H_8	C_7H_{14} 79.2% C_7H_8 20.8%	C_7H_{14} 100%	H_2 97% 芳香族 3%	C_7H_8 70.5% C_7H_{14} 29.5%	99.99 % H_2

試験し、そのシステム能力を検証できた。

(3) 燃料電池の利用

燃料電池メーカーは家電、自動車等の分野ごとに低廉化技術開発や寒冷地環境での適用性改善など技術開発が進められている。当該実証試験では、来る水素社会の構図を検討するほかに、実際の酪農業における燃料電池の利用を検証するために、10kw級の燃料電池を整備し、負荷変動と有機ハイドライドからの水素の再生について試験を行っている。写真-3に燃料電池群を示した。図-5は、燃料電池の稼働性をみたものである。酪農家の乳牛生産における平均的な所要電力はおよそ10kw相当であり、低負荷(2-3kw)、中負荷(4-6kw)、高負荷(7-8.5kw)の変動で、間断なく有機ハイドライドから脱水素できることなど検証できた。

3. 地域への貢献

前述までの実証研究の内容は、地域の自然エネルギー



写真-3 燃料電池

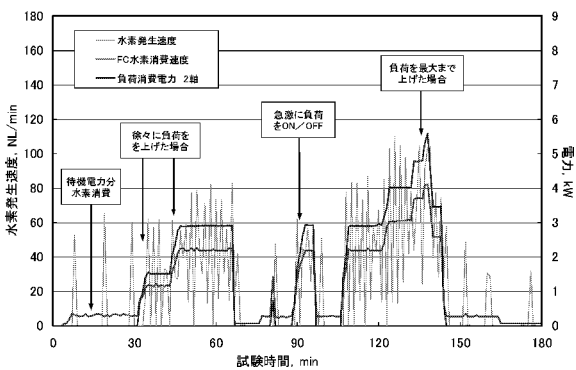


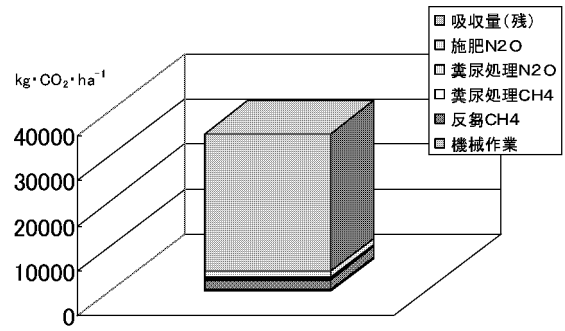
図-5 負荷変動に対する水素供給追従性

ギーの開発やそれに伴う新しい産業の創出を意図するところは多くの分野と同類である。一方、地域で利用度が低い廃棄物資源をプロセス化した技術で利用することにより、環境の保全・改善にも繋がる。21世紀のエネルギー利用技術では、この双対の地域・地球環境へのインパクトも重視する必要がある。

図-6は環境会計手法(LCA)で眺めた、当該BTHプラント処理でのふん尿処理のインベントリ、ライフサイクルフローである。従来のふん尿(スラリー)の処理に比べ、嫌気発酵プロセスとエネルギー化により二酸化炭素相当の地球温暖化ガスの



図-6 ライフサイクルフロー (BTHプラント処理)



牧草地の二酸化炭素当量の収支

図-7 牧草生産における二酸化炭素相当収支

負荷が大きく削減されると試算されている。

図-7は酪農(餌料とする牧草生産管理)における二酸化炭素ガス相当の収支等の試算を示している。森林と違い牧草のライフスパンは短い、図の収支では二酸化炭素を吸収する側となっている(多くは光合成固定)。温暖化ガスを挙げたこの例のように、従来の農法を正しく評価し、持続的な農業を継続することが地域の環境を維持する一つの選択肢でもある。換言すると、資源を循環・再生利用する無理のないサステナブルな農業へのシフトとこれを支援する革新技术の開発が必要に思える。

4. おわりに

当該研究で建設したシステムでは、北海道の先行した基礎成果を応用したり(例えば、NEDO事業や大学の学術的成果を参照)、プラントメーカー等やコンサルタントの英知が組み合わさってできている。革新的技術開発ではこのような分野を超えたアイデアの構成と推進するためのオルガニゼーション創りが益々重要と考える。

当該実証研究の完了に向けて、関係各位のご支援をこれからもお願いしたい。