

学位論文題名

電力系統への影響回避に資するバイオガスプラントの
運用に関する研究

学位論文内容の要旨

1. はじめに

バイオガスプラントによる家畜ふん尿処理は、従来の堆肥化処理や液肥化処理と比較して温室効果ガス排出量が少なく、酪農業における環境負荷の低減に効果的である。しかし、現状においてバイオガスプラントの経済的な自立経営が難しいことから、その普及は順調に進んでいるとはいえない。バイオガスプラントの多くは、自ら生産したバイオガスを燃料にプラントオンサイトにおいてコージェネレーションを行い、その電力の自家消費後の余剰電力を電力会社に売電して収入の一部としている。そのため、売電単価の引き上げや全量買取り制度の適用等が求められている。しかし、バイオガスプラントの経営に必要とされる売電(逆潮流)であるが、電力系統側からすれば不都合なものとなる。なぜならば、日本の電力系統は、発電所から需要家への一方の電気の流れを前提に運用されており、系統より制御不能な逆潮流に対応した十分な制御機能を備えていないからである。それゆえ、今後、分散型電源の逆潮流が系統内に増加すれば、電力系統の安定運用が困難となる可能性が指摘されている。再生可能エネルギー法が可決され、今後バイオガスプラントの加速的な普及が期待されると同時に無視できない問題である。こうした電力系統への影響を回避するため、先ず分散型電源からの電力供給を需要に応じて平準化し、系統への逆潮流を抑制することが重要となる。その観点から従来のバイオガスプラントの運転方法を見直し、プラントの余剰バイオガスをボンベ貯蔵し、それを地域の需要地に運搬、各需要家においてエネルギー利用を行う方法とすることで、バイオガスエネルギー利用を平準化し、電力系統へのバイオガス発電の逆潮流を抑制することが考えられる。また、同様な方法において、バイオガスを精製したバイオメタンや、さらにそれを改質したバイオ水素を需要家に供給すれば、ガスエンジンより高効率な燃料電池の導入が可能となる。

本研究は、このようなガス貯蔵・運搬によるプラント運用を実用プラントの実証データを基礎に定量化し、電力系統へ影響を与えないバイオガスエネルギー利用方法の具体的な提案を行うことを目的とする。そこで、現在稼働中のバイオガスプラントから供給されるバイオガスを用いて、実用規模設備におけるバイオメタン及びバイオ水素の製造を実証した。そして、そこで得られた物質収支及びエネルギー需要等のデータを基礎として、ガス貯蔵・運搬によるプラント運用システムの環境性及び経済性を最大とする最適化を行い、従来のバイオガスプラント運用との比較及び評価を行った。また、その結果をもとに、地域需要家におけるバイオガスエネルギー利用方法やバイオガス発電とともに普及が予想される太陽光発電との協調運転について提案した。

2. 実用規模プラントにおけるバイオメタン及びバイオ水素の製造

北海道道東の別海町において、乳牛1,000頭のふん尿処理規模の共同型バイオガスプラント及び堆肥化施設を一体とした別海資源循環試験施設の実用運転を実施してきた。本施設は2000年の建設以来運転を継続しており、積雪寒冷地における共同型バイオガスプラントの運用を実証した。本研究において検討するモデルの基礎を別海資源循環試験施設とし、その定式化に必要な設備の基本仕様及び運転データを取得した。別海資源循環試験施設におい

て生産されるバイオガスを用いて、バイオメタン及びバイオ水素の製造実験を実施した。バイオガス 200Nm³/day を膜分離装置により精製し、メタン濃度 99%以上のバイオメタン 108Nm³/day を製造した。さらにそのバイオメタンを水蒸気改質設備に導入し、水素濃度 99.95%のバイオ水素 280Nm³/day を安定的に製造した。

3. ガス貯蔵・運搬によるバイオガスエネルギー利用システムの最適化及びその評価

実用プラント設備の仕様と実証データを用いて、従来のバイオガスプラントの後段に、バイオガス貯蔵設備、バイオメタン製造・貯蔵設備、バイオ水素製造・貯蔵設備をそれぞれ一体的に装備したプラントのシステム設計及び運転状況の定量的なシミュレーションを実施した。本研究では、以上の各プラントに対応して、モデル 1: プラントより生産したバイオガスを貯蔵・運搬し、地域の需要家においてガスエンジンの燃料として利用する方法、モデル 2: プラントより生産したバイオガスを精製したバイオメタンを貯蔵・運搬し、地域の需要家においてガス改質型燃料電池の燃料として利用する方法、モデル 3: プラントより生産したバイオガスを精製及び改質して製造したバイオ水素を貯蔵・運搬し、地域の需要家において純水素型燃料電池の燃料として利用する方法をそれぞれ設定し、それらモデルの運用を線形計画問題として定式化して、環境性：温室効果ガス排出削減量の最大及び経済性：プラント経営収支の最大をそれぞれ目的関数とするプラント運転方法の最適化を行った。そして、従来のバイオガスプラント運用を含め比較・検討し、各モデルとの優位性を評価した。その結果、モデル 1 が環境性及び経済性ともに従来のバイオガスプラント運用より優れ、最も優位となることが示された。しかし、この場合でもプラント経営収支はマイナスを示し、プラントの経済的自立運転は困難と示唆された。そのプラント経営収支をプラスとするためには、現状のプラント建設費を約 20%低減する必要があると考えられる。

以上の試算はプラントの 1 日単位の電力及び熱需要に対する収支を制約条件としたものであった。そこで、最も優位と評価されたモデル 1 を対象に、さらに具体的な状況を試算するため、プラントの電力及び熱負荷の 1 日の時間変動を考慮した環境性を最大とする最適化を実施した。この場合の最適なプラント運転は、熱需要にガスエンジン回収熱供給を対応させた運転を行うものとなり、プラント電力需要の約 1/4 を電力系統から購入する方法となった。すなわち、系統電力を購入して逆潮流を行わない運転方法が、結果的に環境性を最大化する最適運転となった。また、そのとき乳牛 1,000 頭規模のプラントから地域の需要家へ供給可能なバイオガス量は 973Nm³/day となった。その利用に見合う需要家の電力需給を示し、モデル 1 における逆潮流を回避したバイオガスエネルギー利用の全体像を提示した。

4. 太陽光発電とバイオガス発電の協調運転の提案

バイオガス発電とともに同地域に太陽光発電の導入が促進されれば、その逆潮流または発電変動を抑制するため、両者の協調運転が重要となる。モデル 1 の導入により地域にもたらされるコージェネレーションを太陽光発電に対する調整力として利用し、マイクログリッドや配電系統内における潮流制御を行う方法を提案した。

5. まとめ

本研究は、電力系統への影響を回避するバイオガスエネルギー利用方法として、プラントで発生するバイオガスをプラント内需要と地域の需要家に振り分けることでバイオガスエネルギー利用を平準化し、逆潮流を抑制する方法を提案した。また、本モデル 1、モデル 2 における環境性及びプラントの経済性は、従来のバイオガスプラント以上の優位性が試算され、実効性のある方法との結論を得た。

学位論文審査の要旨

主査	特任教授	近江谷	和彦
副査	教授	木村	俊範
副査	教授	野口	伸
副査	准教授	清水	直人

学位論文題名

電力系統への影響回避に資するバイオガスプラントの 運用に関する研究

本論文は7章からなり、図81、表22、引用文献135編を含む総頁数178の和文論文であり、別に参考論文4編が添えられている。

バイオガスプラントによる家畜ふん尿処理は、従来の堆肥化処理や液肥化処理と比較して温室効果ガス排出量が少なく、酪農業における環境負荷の低減に効果的である。しかし、現状においてバイオガスプラントの経済的な自立経営が難しいことから、その普及は順調に進んでいるとはいえない。バイオガスプラントの多くは、自ら生産したバイオガスを燃料にプラントオンサイトにおいてコージェネレーションを行い、その電力の自家消費後の余剰電力を電力会社に売電して収入の一部としている。しかし、日本の電力系統は、余剰電力のような系統への逆潮流に対応した十分な制御機能を備えていない。そこで、従来のバイオガスプラントの運転方法を見直し、バイオガスのボンベへの貯蔵、バイオガスからバイオメタンへの精製、さらにそれを改質したバイオ水素への製造を行うことで、それらを地域の需要地に運搬、各需要家におけるエネルギー利用が可能となり、その結果、バイオガスエネルギー利用を平準化し、電力系統へのバイオガス発電の逆潮流を抑制することが考えられる。

本研究は、このようなガス貯蔵・運搬によるプラント運用を実用プラントの実証データを基礎に定量化し、電力系統へ影響を与えないバイオガスエネルギー利用方法の具体的な提案を行うことを目的とする。

1. 実用規模プラントにおけるバイオメタン及びバイオ水素の製造

北海道道東の別海町において、乳牛1,000頭のふん尿処理規模の共同型バイオガスプラント及び堆肥化施設を一体とした別海資源循環試験施設の実用運転を実施してきた。本施設は2000年の建設以来運転を継続しており、積雪寒冷地における共同型バイオガスプラントの運用を実証した。本研究において検討するモデルの基礎を別海資源循環試験施設とし、その定式化に必要な設備の基本仕様及び運転データを取得した。別海資源循環試験施設において生産されるバイオガスを用いて、バイオメタン及びバイオ水素の製造実験を実施した。バイオガス $200\text{Nm}^3/\text{day}$ を膜分離装置により精製し、メタン濃度99%以上のバイオメタン $108\text{Nm}^3/\text{day}$ を製造した。さらにそのバイオメタンを水蒸気改質設備に導入し、水素濃度99.95%のバイオ水素 $280\text{Nm}^3/\text{day}$ を安定的に製造可能であることを確認した。

2. ガス貯蔵・運搬によるバイオガスエネルギー利用システムの最適化及びその評価

実用プラント設備の仕様と実証データを用いて、従来のバイオガスプラントの後段に、バイオガス貯蔵設備、バイオメタン製造・貯蔵設備、バイオ水素製造・貯蔵設備をそれぞれ一体的に装備したプラントのシステム設計及び運転状況の定量的なシミュレーションを実施した。本研究では、以上の各プラントに対応して、モデル 1: プラントより生産したバイオガスを貯蔵・運搬し、地域の需要家においてガスエンジンの燃料として利用する方法、モデル 2: プラントより生産したバイオガスを精製したバイオメタンを貯蔵・運搬し、地域の需要家においてガス改質型燃料電池の燃料として利用する方法、モデル 3: プラントより生産したバイオガスを精製及び改質して製造したバイオ水素を貯蔵・運搬し、地域の需要家において純水素型燃料電池の燃料として利用する方法をそれぞれ設定し、それらモデルの運用を線形計画問題として定式化して、温室効果ガス排出削減量の最大及びプラント経営収支の最大をそれぞれ目的関数とするプラント運転方法の最適化を行った。そして、従来のバイオガスプラント運用を含め比較・検討し、各モデルとの優位性を評価した。その結果、モデル 1 が環境性及び経済性ともに従来のバイオガスプラント運用より優れ、最も優位となることが示された。しかし、この場合でもプラント経営収支はマイナスを示し、プラントの経済的自立運転は困難と示唆された。そのプラント経営収支をプラスとするためには、現状のプラント建設費を約 20%低減する必要があると考えられる。

3. 太陽光発電とバイオガス発電の協調運転の提案

バイオガス発電とともに同地域に太陽光発電の導入が促進されれば、その逆潮流または発電変動を抑制するため、両者の協調運転が重要となる。モデル 1 の導入により地域にもたらされるコージェネレーションを太陽光発電に対する調整力として利用し、マイクログリッドや配電系統内における潮流制御を行う方法を提案した。

本研究は、電力系統への影響を回避するバイオガスエネルギー利用方法として、プラントで発生するバイオガスをプラント内需要と地域の需要家に振り分けることでバイオガスエネルギー利用を平準化する方法が最適であることを明らかにした。また、本モデル 1、モデル 2 における温室効果ガス削減効果及びプラントの経済性は、従来のバイオガスプラント以上の優位性が試算され、実効性のある方法との結論を得た。この成果は新たな視点からのバイオガスプラントの運営方法の提案ということで学術的に高く評価されるとともに、今後のバイオガスプラントの普及に貢献できるものと考えられる。

よって、審査員一同は、大久保 天が博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。