

調査・資料

デンマークのバイオガス増産政策と関係主体間の連携
—新しい取組を事例に—

浅井 真 康・高 井 久 光*

要 旨

世界有数の畜産品輸出国であるデンマークでは、大量排出される家畜排せつ物の有効利用を目的に1970年代からバイオガス利用の技術開発が進められ、畜産農家を中心にバイオガスプラントが広く普及してきた。しかし、2007年の経済危機以降、畜産農家の投資能力が低下し、バイオガス生産を巡る状況に大きな変化が生じている。そこで本研究では、新たなモデルとなる「エネルギー会社参入型」のホルステル・バイオガスプラントおよび「自治体主導型」のソルロー・バイオガスプラントという2つのバイオガスプラントを事例とし、バイオガス増産政策下における、持続可能なバイオガス生産システムの構築に向けた「農家」、「自治体」、「エネルギー会社」という3主体の役割や連携を明らかにすることを目的とした。具体的には、まず現地聞き取り調査を行い、得られた情報をInstitutions of Sustainability (IoS) 枠組を用いて整理し、取引コスト節約戦略という観点から主体の関係性や調整について分析した。

プラント設立には環境影響評価の実施や周辺住民との協議等が必要であり、稼働前の探索コストや交渉コストは高くなる。しかし、これらは長期稼働には不可欠であり、結果的にモニタリングコストの削減に貢献する。またプロジェクト実施には、公害や気候変動緩和といった地域全体の問題意識の共有や利害関係者を調整する人材確保の重要性も示された。他方、長期契約や排せつ物管理へのボーナス支払い等の畜産農家への経済的インセンティブといった工夫も見られた。先進事例を扱った本研究によって持続可能なバイオガス生産システムの構築へ向けた成功因子が示唆された。

キーワード：バイオガス、家畜排せつ物、再生可能エネルギー政策、取引コスト、デンマーク

1. はじめに

天然資源の枯渇が深刻化し、集約的な土地利用がもたらす温室効果ガス排出や水質汚濁の緩和が重要視される中、地域資源を効率的に利用・循環するシステムの構築は世界共通の課題である。そのためには、地域内における再生可能資源を所有する主体と、それを利用する主体、つまり複数の関係主体間で行われる資源を介した連携を明確に把握し、推進する必要がある。

本研究で取り扱うデンマークは世界有数の豚肉・乳製品の輸出国として大規模な畜産部門の発展を遂げてきた。その一方で、大量に排出される家畜排せつ物を有効利用するためにバイオガス生産技術の開発が進められ、畜産農家を中心にバイオガスプラントが採用されてきた。特に複数の畜産農家が主導的に投資・運営を行う大規模な集中型バイオガスプラントは、地域のエネルギー安全保障を高め、雇用の創出による地域活性化、さらに家畜排せつ物の適正管理や温室効果ガス排出削減等による環境保全効果等に大きく貢献している

原稿受理日 2017年2月20日、早期公開日 2017年6月30日、

*デンマーク・オーフス大学工学研究所

ことが報告されている (Lybæk, 2014)。

他方、これまで主に畜産農家を中心に発展してきたバイオガス部門であるが、2007年の経済危機以降⁽¹⁾、彼らの投資能力が著しく低下したことから、バイオガス生産を巡る状況に大きな変化が生じてきている⁽²⁾。具体的には2012年のバイオガス増産政策が決議され、バイオマス由来エネルギー固定買取制度の単価増額や天然ガス配給網へ精製バイオガスへの配給認可等、豊富な投資力を持つエネルギー会社のバイオガス部門参入への経済的インセンティブがもたらされた。さらには、気候変動緩和や環境保全活動における自治体レベルの活動が求められる中で、これまでバイオガスプラント建設に関して行政手続きを請け負う等のどちらかといえば受け身であった自治体が主導となり、EU助成金を援用しながら地域内の未活用バイオマスを利用したバイオガス生産に取り組む動きが出てきた。つまり、エネルギー会社や自治体といった新たな主体が従来の農家間レベルでのバイオガス生産に参入することで、エネルギー配給網の拡張や自治体レベルでの未利用資源のエネルギー化等が実施され、より広域的で持続可能なバイオガス生産システムの構築が進められている。

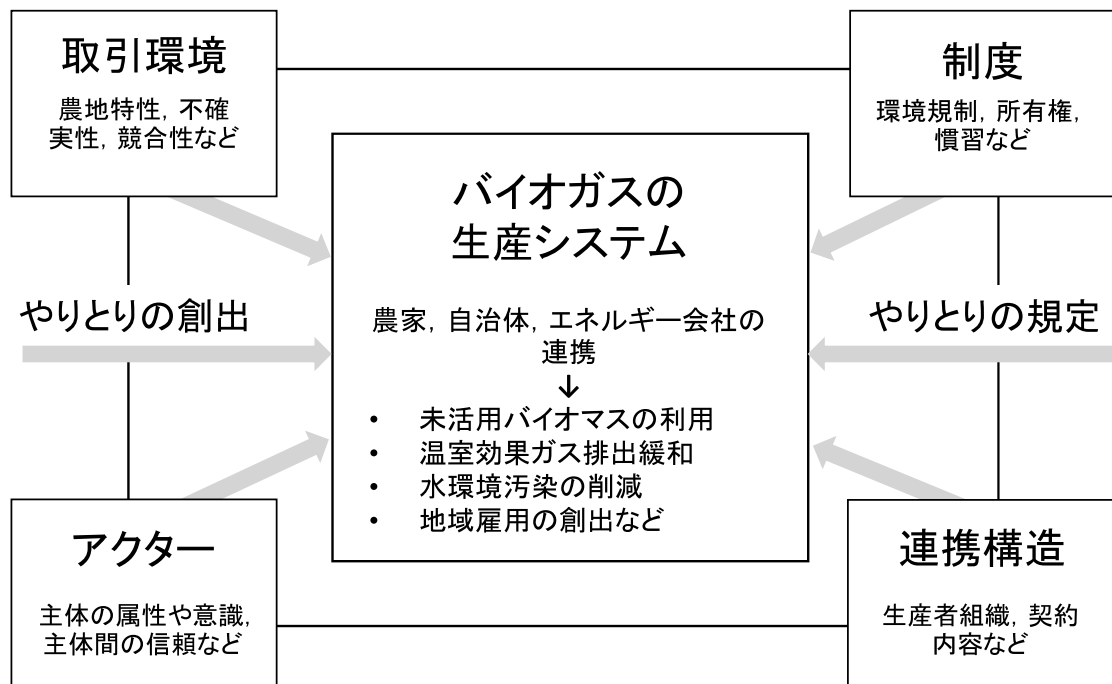
そこで本研究では、上記のような新たなモデルとなりうる「エネルギー会社参入型」および「自治体主導型」であるデンマーク国内2つのバイオガスプラントの取組を事例とし、取組に関わる農家、自治体、エネルギー会社等の主体が地域内のバイオマスを介してどのように関係し、調整を行っているのかを制度的側面、社会経済的側面、環境側面等から明らかにすることを目的とする。そのために、Institutions of Sustainability 枠組と呼ばれる分析枠組を用いて事例調査結果の整理を行い、そしてバイオガス生産にかかる取引コストの抑制という観点から、関係主体がどのような工夫を行ってきたのかを考察する。これらの一連の過程を明らかにすることは、持続可能なバイオガス生産システムの構築に向けて不可欠であり、日本における取組にも参考になる点が多いものと考えられる。

2. 分析および理論的枠組

本研究では、持続可能なバイオガス生産システムにおける関係主体間の連携を理解するための分析枠組として Institutions of Sustainability (IoS) 枠組を用いる。IoS 枠組とは、ドイツ・フンボルト大学の Konrad Hagedorn が社会・生態システムにおける資源利用の主体間連携を分析する新しい枠組として提案したものである (Hagedorn et al., 2002)。特に地域資源を取り巻く社会・自然環境、制度・政策、利害関係者の意識、技術・市場条件等に関する経緯と現状に関して、またそれぞれの対応関係について情報を整理する手段として有効であり、持続可能な資源利用に関する学際的な研究分野で多用されている⁽³⁾。

資源利用の主体間連携を理解するにあたって、以下に述べる4つの要素における個々あるいはそれぞれの対応関係について捉えようとするのが IoS 枠組である (第1図)。4つの要素とは、まず地域の資源賦存量やその収集運搬等に影響を与える不確実性や競争性といった「取引環境」、主体の属性や利用意識、主体間の信頼関係等といった「アクター」、バイオマスの所有権や環境規制、あるいは慣習等を含めた「制度」、そして利用調整を担う生産者組織や契約内容、あるいは利用を促進する助成金システム等の「連携構造」である。特に「取引環境」と「アクター」は資源を介した主体間のやりとり⁽⁴⁾を創出する基盤要素となり、他方、「制度」と「連携構造」はそのやりとりのパフォーマンスを規定する要素と捉える。

さらに本研究では、この IoS 枠組における各4要素を検討する際に取引コスト理論から接近する。取引コスト理論とは、Coase (1937) が創始し、Williamson (1985) が精緻化した理論である。その骨子は、主体間においてある取引が行われる場合、情報収集や交渉、契約履行の監視等の取引にまつわるコスト (取引コスト) が発生するため、これを節約するために制度的あるいは組織的な工夫がなされうるといものである⁽⁵⁾。取引コストの大きさは取引の資産特殊性、不確実性、頻度といった要因に依存する。つまりバイオマスを介したやりとりの決定および維持に関する主体間の行



第1図 Institutions of Sustainability (IoS) 枠組の概念図

資料：Hagedorn (2008) をもとに筆者作成。

動においては、常に取引コストを節約するための戦略がとられていると仮定する。

取引コスト理論を援用して分析することの有用性はバイオマスを介したやりとりについて調査した先行研究においても確認されている。例えば、筆者らは、デンマーク畜産農家が余剰分の家畜排せつ物を耕種農家へ譲渡する際に結ぶパートナーシップについて調査し、多くの農家がバイオマスの収集運搬といった物理的費用に関する要因だけでなく、地縁や適切な情報交換等によって取引に関する不確実性を低減可能なパートナーを重視することを明らかにしている (Asai et al., 2014a)。また長期継続的な取引を望む傾向にあることも明らかにしており、これは醸成されたパートナーシップによって不確実性を排除し、代替の新しい取引を結ぶ際にかかる諸所のコスト節約につながる戦略と考えられる。このような取引コスト理論を援用した接近は、主体の意思決定が輸送距離等の物理的費用だけに基づくものと仮定する近年のGIS (地理情報システム) を用いた効率的な地域内バイオマス利用配分を考察しようとする手法⁶⁾へ新たな視点を与え、より多角的な評価の達成に

貢献するものとする。

また、取引の締結前後にかかる費用という観点から取引コストの分類を行ったHobbs (1997) やWidmark et al. (2013) の先行研究を参考にして、本研究でもバイオガス生産にかかる取引コストを4つのタイプに分類する。まず最適な取引相手を見つけるための情報を探索する際にかかる費用 (探索コスト)、取引条件について交渉にかかる費用 (交渉コスト)、取引の実施にかかる費用 (例えば運搬費等の実施コスト)、そして契約の条項が遵守されているのかを確かめるためのモニタリングにかかる費用 (モニタリングコスト) の4つである。

本研究では、デンマークのバイオガスプラント2事例への調査から得られた情報をIoS枠組の4要素に分けて整理することで、取組に関わる農家、自治体、エネルギー会社等の主体が地域内のバイオマスを介してどのように関係し、調整を行っているのかを把握する。その際、取引コストを抑える戦略等についても考察を行う。このような理解が取引コストの節約をもたらす政策へのヒントを導き出し、ひいては取引コストの節約が協

働パフォーマンスの向上（例えば、温室効果ガスの排出緩和や地域内エネルギー自給の達成）につながるものとする。

3. デンマークにおけるバイオガス

(1) これまでのあゆみ

現在、デンマークは世界有数の豚肉・乳製品の輸出国であるが、これまで集約的な大規模畜産業へと発展を遂げる一方で、排出される家畜排せつ物の有効利用を目的としたバイオガスプラントの開発と利用が1970年代以降進められてきた。オイルショックに直面していた当時、主に建設されたのは畜産農家が石油の代替燃料として自家農場の家畜糞尿あるいは有機廃棄物から生産したバイオガスを燃焼させて発電として利用、さらに発生熱を冬季暖房として活用する農家規模の個別型バイオガスプラントであった。

他方、1984年には国内初の集中型バイオガスプラントが建設された。集約的な畜産業の発展に平行する形で、農業活動による水質汚濁が表面化しはじめ、厳格な環境規制が実施され始めた頃である。例えば、面積あたりの家畜排せつ物投入量の制限や家畜排せつ物の肥効向上義務、悪臭問題等を改善する手段として家畜排せつ物のバイオガス処理が有効であると認識され、複数の畜産農家が組合を設立し⁽⁷⁾、共同の集中型バイオガスプラントが建設された（Raven and Gregersen, 2007）。

集中型バイオガスプラントで生産されたバイオガスは主に CHP（Combined heat and power plant：熱電併給発電所）の燃料として利用され、電気は電力会社に、余熱は近くの地域暖房会社に販売するのが一般的である。デンマークでは、1970～80年代にかけて北海のガス・油田が開発され、この天然ガスを有効利用するためにおよそ500の分散型 CHP と地域暖房施設、そしてそれらを結ぶガスパイプラインが全国に建設された（高井, 2014）。これら旧来の熱電併給システムをバイオマス併用方式へと転換してきたことが、分散型 CHP や地域暖房を核とするバイオガスプラントの普及につながる一因であったとされる（Raven and Gregersen, 2007）。

集中型バイオガスプラントでは家畜排せつ物以外にも下水処理施設からの汚泥や食品廃棄物等の処理も行う。近年ではガス生産量を増加するためにビートやとうもろこし、また藁等の植物残渣も投入する場合も増えているが、食料や飼料以外の目的で作物を栽培することへの抵抗意識が強く⁽⁸⁾、デンマーク国内におけるビートやとうもろこし等の作物の利用は、例えば2013年で2%ほどである。

これまで畜産農家が主導的にバイオガスプラントの導入を行ってきたが、2007年の経済危機によって融資を受けることが困難な状況に陥り、新たなバイオガスプラントの導入を考えていた多くの農家を足止めする事態となった。そもそもデンマークでは、農場や農地は親子間でも売買されるという制度や風土があり、そのため農地の流動性が高く、農地価格は住宅価格と同じように変動する。また、通常の農家でも所有資産における負債の占める割合が非常に高い（50～60%前後）ことも特徴で、これが新たな融資を受ける際の障壁にもなり得る。このような条件下において、2008年以降の農地価格の暴落は、多くの農家を融資の受けにくい状況に追い込み、高額な建設コストを要するバイオガスプラントの導入機会を妨げる要因となっている。なお、経済危機以降もデンマーク国内における総耕地面積や家畜の総頭数はほとんど変化しておらず、従来から稼働していたバイオガスプラントにおけるバイオガス生産量等への影響はない。

(2) 現状

2014年の時点で、デンマーク国内には158のバイオガスプラントが稼働しており、2014年のエネルギー総生産量は約5.53PJであった（第1表）（Energistyrelsen, Online a）。全体の7割を占める4PJは家畜排せつ物をベースとしたバイオガスプラントから生産されたものであり、これは国内全消費エネルギー約800PJの0.5%ほどである（Lybæk and Kjær, 2015）。

デンマークバイオガス協議会の Bruno Sander Nielsen 氏によれば、2012年の時点でバイオガス生産に利用された家畜排せつ物は全国で排出された家畜排せつ物のおよそ6%にすぎない。仮に

第1表 2014年におけるデンマークのバイオガスプラント数とエネルギー生産量

	施設数	総生産量 (PJ)
集中型プラント	23	2.865
個別型プラント	48	1.150
下水処理施設プラント ⁽¹⁾	53	1.084
ゴミ処理施設 ⁽¹⁾	28	0.179
工業プラント	6	0.255
合計	158	5.533

資料：Energistyrelsen (Online b).

注(1) バイオガス施設を所有する下水処理施設およびゴミ処理施設は、自治体が所有する第三セクター企業である。

第2表 2012年度におけるバイオガス利用別補助金額

(単位：デンマーククローネ/GJ)

	基本額	追加額 A ⁽¹⁾	追加額 B ⁽²⁾	合計
CHP で使われるバイオガス	79	26	10	115
精製バイオガス	79	26	10	115
産業利用	39	26	10	75
輸送利用	39	26	10	75
その他 (暖房等)		26	10	36

資料：Energinet.dk (Online a, b) をもとに筆者作成。

注(1) 天然ガス価格と基礎価格の差に応じて毎年1月1日調整。

(2) 2016年から毎年2デンマーククローネ減額。

全国で排出される家畜排せつ物をすべて有効に利用できたとすると、およそ40PJのエネルギーが生産でき、これは全エネルギー消費量の5%を占める。この値を達成するためにはおよそ50基の新たな集中型バイオガスプラント、あるいは大量の個別型バイオガスプラントの建設が必要になると試算されている。

(3) 近年のバイオガス増産政策

化石燃料依存から脱却し、かつエネルギーの安定供給を目指す点や環境政策あるいは気候変動対策の点からデンマーク政府もバイオガス部門の持つポテンシャルに注目しており、バイオガス増産に向けた複数の政策が実施されてきた⁽⁹⁾。例えば、2009年の「緑の成長戦略」では2020年までに50%の家畜排せつ物を利用し、20PJのエネルギーを生産すると決定した(高井, 2014)。さらに2011年には2050年以後のエネルギー供給のすべて(電力、暖房、給湯、商工業、輸送)を再生可能エネルギーでまかなうという「エネルギー戦略2050」を国民に示した。化石燃料から独立した社会の確立を目指す本政策は、与野党・国会議

員9割以上(179人中170人)からの支持を得て決議された。

その第一歩として2012年3月には、デンマーク政府(与党は社会民主党・急進自由党・社会主義人民党)と野党(保守党等)間で、2020年までに達成すべきエネルギー政策の方向性について合意書が結ばれた(以下「エネルギー2020合意書」)(近藤, 2013)。これによれば2020年までに最終エネルギー消費量の35%以上を再生可能エネルギーでまかない、電力消費量の50%程度を風力発電でまかなうことを数値目標としている(近藤, 2013)。これは2012年比の2倍以上に相当する。

「エネルギー2020合意書」ではバイオガス補助金制度の拡充が図られ、バイオガスを燃料にして発電する電力生産者や精製バイオガス生産者⁽¹⁰⁾へより大きな経済的インセンティブが与えられることになった。この補助金制度の対象となるのは、①バイオガス施設・設備の建設や改良、②バイオガスの利用、そして③バイオガスを燃料として発電した電力の3つである。まず、バイオガス施設・設備の建設促進や改良を目的として、

第3表 2012年度における電力補助金額

(単位：デンマーククローネ /kWh)

	基本額	追加額 A ⁽³⁾	追加額 B ⁽⁴⁾	合計
バイオガス 94%以上利用施設 (FIT) ⁽¹⁾	0.793	0.26	0.10	1.153
バイオガス 93%以下利用施設 (FIP) ⁽²⁾	0.431	0.26	0.10	0.791

資料：Energistyrelsen (Online d) および Lov nr. 1390 (2012) をもとに筆者作成。

注(1) 固定買い取り制度。消費者物価指数に対応して調整。

(2) バイオガスを燃料とした分に上乗せ。消費者物価指数に対応して調整。

(3) 天然ガスの基礎価格と前年の天然ガス価格の差に応じて毎年1月1日調整。

(4) 2016年から毎年0.02kr. 減額。

これまで建設・設備費の20%分の補助金が出されていたものが30%へと引き上げられることになった。

次にバイオガス利用に対する補助金額(2012年度版)を第2表に示す。CHPの燃料として使われるバイオガスと精製して天然ガス網に供給するバイオガスに対しては同額の補助金が支給される。これらに加えて、乾燥工程等の産業生産過程に使用されるエネルギー、輸送に係るエネルギー、あるいは暖房等に係るエネルギーがバイオガス由来のものであった場合、それを最終消費者へ販売したエネルギー生産者に対しても補助金が支給される。

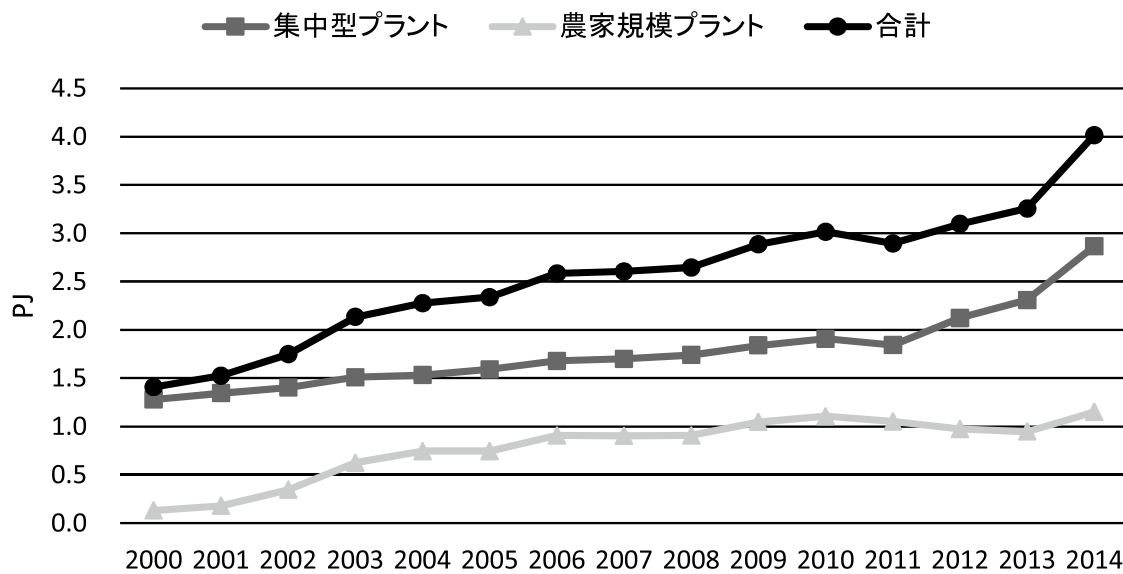
補助金額は、基本額、追加額 A および追加額 B に分けられている。基本額は、消費者物価指数に対応して毎年1回(1月1日)調整される。追加額 A は2012年度の26デンマーククローネ/GJをベースとするが、各年度の単価は、国内で最も重要な燃料である天然ガスの基礎価格(53.2デンマーククローネ/GJ)(熱量換算)を補助金調整基準とし、その基礎価格と前年度の平均天然ガス価格との差に応じて毎年1月1日に調整される。例えば、前年の天然ガス価格が基礎価格(53.2デンマーククローネ/GJ)より1デンマーククローネ高い54.2デンマーククローネだったとすると、追加補助金 A は相当分減額され25デンマーククローネ/GJとなる。前年の天然ガスが基礎価格(熱量換算)より安かった場合には、追加補助金 A は相当額増額される。追加額 B は2016年まで同額だが2016年から毎年2デンマーククローネ/GJずつ減額し、2019年が最終交付年となる。追加補助金 B 以外は期限が定められていない。しかし、「エネルギー2020合意書」には2018年にエネルギー政策の再検討を実施する

と明記されている(高井, 2014)。

特に近年ではバイオガスから二酸化炭素と硫化水素を除去し高濃度のメタンを含む天然ガスと同質の精製ガスを生産する技術が発達している。これに伴い精製バイオガスを天然ガス輸送ラインに供給できれば、バイオガス市場が飛躍的に拡大し、多様なバイオガス利用が可能になることが期待されている。「エネルギー2020合意書」では、天然ガス販売会社のバイオガス生産事業への参入を認めており、政策的にも北海天然ガスの代替燃料⁽¹¹⁾として精製バイオガスの利用を支援する動きが高まっている。

バイオガスを燃料として発電した電力に対する補助金制度は二通りある。まず市場価格に関わりなく固定価格で買い取るFIT(フィード・イン・タリフ)、そして電力卸市場価格に一定の補助金を上乗せして買い取るFIP(フィード・イン・プレミアム)である。発電を行う際の使用燃料の94%以上がバイオガスである施設にはFITが適用され、バイオガスの割合がそれ以下の施設に対してはFIPが適用される(第3表)。

電力への補助金額もバイオガス利用(第2表)と同様に3つに分けられており(基本額および追加額 A と B)、基本額は消費者物価指数に対応して毎年1回(1月1日)調整される。追加額 A は、第2表のバイオガス利用補助金の追加額 A の調整額に連動して調整される。ガス利用追加補助金 A が1デンマーククローネ/GJ調整されるごとに電力追加補助金 A は0.01デンマーククローネ/kWh調整される。つまり、追加補助金 A の調整基準は、バイオガス利用かバイオガス発電かを問わず、前年の天然ガス価格と天然ガス基礎価格との差ということである。追加額 B は2016年まで同額だが2016年から毎年0.02デン



第2図 デンマークにおける家畜排せつ物を主原料としたバイオガス生産量の遷移

資料：Energistyrelsen (Online c)

マーククローネ /kWh 減額し、2019 年が最終交付年となる (Energinet.dk, Online c)。

FIP は、市場卸価格の変動を考慮しながらバイオガス発電を行う技術やノウハウが必要となるため、より成熟した技術と市場に適した制度といえる。デンマークは、近隣国との間に国際連系統を有し、電力の輸出入を行っている⁽¹²⁾。特にノルウェーとスウェーデンとの電力取引には、2000 年よりノルド・プール (Nord Pool) という卸電力市場を通して行っている。総発電量に占める風力発電の割合が大きいデンマークでは、風力発電機の設置された場所における風速や風向きの変わり方、最大瞬間風速といった風況が市場卸価格に大きく影響する。つまり、FIP の導入によって、バイオガスによる発電業者は風力発電量の少ない時間帯、つまり市場卸価格が高い時 (電力需要が高い) に発電を行うことで増益が可能となる。風力発電量の少ない時間帯には電力輸入量を増やす必要のあるデンマークでは、FIP を通じて風力・太陽光発電等のバックアップとしてのバイオガスプラント作動を促進させ、電力輸入量を抑え、自国の電力自給の向上を目指している。バイオガスは貯蔵可能なエネルギーであるがゆえに電力需給バランス調整において重要な役割を担うことが期待されている。これに関連して

「エネルギー2020 合意書」には、バイオガスのみを燃料とする CHP 施設が自主的に FIP 制度に移行するよう規制を調整する旨が明記されている (Energistyrelsen, Online d)。

なお、デンマーク国内では2012年3月の「エネルギー2020 合意書」において上記の支援制度が提案され、同年6月にデンマーク議会によって決議されたが、実際に助成金・FIT・FIP等の実施をするためには欧州委員会による承認を得なければならない。ところが欧州委員会による承認を得るまでに長期を要することになった。施設・設備への30%補助金、電力および精製バイオガスのFITが承認されたのは2014年1月、さらに産業・輸送・暖房等へのFITが承認されたのはおよそ1年後の2014年12月であった。

高井 (2014) によれば、「エネルギー2020 合意書」の国内決議を受けて、多くのバイオガスプラントの建設や既存施設の拡張・改善プロジェクトが補助金を申請し、計20あまりのプロジェクトが仮認定を受け、欧州委員会による承認を待ち続けた。大幅な遅れのために「エネルギー2020 政策」の目標達成自体が危ぶまれることとなったが、2014年1月の承認を受けて、バイオガス増産政策が実施段階に入っている。

第4表 デンマークのバイオガス部門に関する長所と短所

	長所	短所
環境	<ul style="list-style-type: none"> ● 家畜排せつ物の処理によって温室効果ガス排出量の削減 ● 消化液を液肥として利用することで有機廃棄物の再利用 ● 液肥は作物の還元効率が高く、水圏環境への汚染が減少 ● 消化液にすることで臭気の減少 	<ul style="list-style-type: none"> ● タンク貯蔵時のガス漏れリスク ● 家畜排せつ物の貯留槽から環境中への漏れ ● 家畜排せつ物搬入時に発生する騒音、粉じん、交通渋滞等の増加 ● 周辺住民による大規模集中型プラント設立への反対
エネルギー	<ul style="list-style-type: none"> ● バイオガスは高質なエネルギー燃料源となる ● バイオマス由来エネルギーの地産地消によるエネルギーの地域安全保障 ● コールや天然ガスといった化石燃料への依存を減らす ● 交通部門等を含めた多様なエネルギー利用への採用が可能 ● ガスは貯蔵できるため、必要なときに利用することが可能（例：風力発電の供給が低いときのバックアップ等） 	<ul style="list-style-type: none"> ● 天然ガスと同水準の精製バイオガスを生産するコストが高く、かつ交通部門での利用コストも高い ● バイオガスによる発電および地域暖房の市場が限定されている ● 起動力となる高プロテインの産業有機廃棄物へのアクセスが限定されているためエネルギー生産量に限界がある：農業系バイオマスだけに頼ったエネルギー供給は低い
農業	<ul style="list-style-type: none"> ● 環境負荷が減ることで農業部門に対する市民の好感度が向上 ● 化学肥料の利用が減少することで生産コストの削減 ● 消化液にすることで家畜排せつ物よりも肥料としての質が向上 	<ul style="list-style-type: none"> ● 産業有機廃棄物の代替となるような安定かつコスト安の農業系バイオマスがない
ファイナンス	<ul style="list-style-type: none"> ● バイオガスプラントの建設および稼働によって農村部に新たな雇用が創出される ● バイオガス販売によって追加的な収入が得られるため、化石燃料価格および穀物価格の高騰時には、農家経済の堅強性が増す 	<ul style="list-style-type: none"> ● プラント建設への高い投資に対して得られる収益が低い ● 建設ローン体制が整っていない ● 農家の多くが高品質な液肥だけではなく、投資への見返りを期待する ● 集中型プラント設立には長期間かかる（5～10年）

資料：Lybæk et al. (2014) をもとに筆者作成。

(4) 今後の課題

第2図は2000年から2014年までの集中型バイオガスプラントおよび個別型バイオガスプラントのエネルギー総生産量の遷移を示したものである。この14年間で1.4PJから4PJへとおよそ3倍に増加しているものの、このペースでは2009年の「緑の成長戦略」で掲げた2020年までに20PJを達成することは難しいものと考えられる。

しかしながら、前述のFITの価格増額と建設費への補助金が開始されたのは2014年であることからバイオガス増産政策の成果はこれから出るものと思われる。例えば、2013年9月の時点でデンマーク政府エネルギー局が把握しているバイオガス関連のプロジェクト計画あるいは開始されたプロジェクトは全部で41件あり、これらのプロジェクトが100%実施されたと仮定した場合、バイオガス生産は約12PJになると試算され

た(高井, 2014)。

他方、Lybæk et al. (2014) は、この10年間でバイオガスの生産量および生産効率を上げる技術が向上しているのにも関わらず、新しいバイオガス施設の建設数がそこまで伸びていない要因をいくつか説明している。そこで、まずLybæk et al. (2014) の行ったバイオガス部門の長所と短所を「環境」、「エネルギー」、「農業」そして「ファイナンス」という4つの観点から整理を行ったものを見てみよう(第4表)。

第4表の「長所」を見てわかるように、バイオガス部門がもたらす恩恵は多様であり、国内のみならずEU全体が掲げる持続的な発展目標への貢献も大きい。その一方でバイオガス部門の障壁となりうる「短所」も多数指摘された。Lybæk et al. (2014) は、これらの中でも特に重大な障壁となりうるものとして「産業有機廃棄物の代替バ

イオマス」,「市場の拡大」,「住民の反対」,「ファイナンスの問題」の4つを挙げている。

まず「産業有機廃棄物の代替バイオマス」であるが、従来のバイオガスプラントにおいては、ガス排出量を向上させる（つまりバイオガスプラントの経済性を向上する）ためにタンパク質を多く含んだ産業有機廃棄物（食肉加工や魚の残渣等）が利用されてきた。しかし、国内で排出される産業有機廃棄物の多くはすでに稼働中の既存バイオガスプラントへ供給されてしまっており、新しいバイオガスプラントに配給できるものが限られてきている。家畜排せつ物の嫌気性消化によるバイオガス生産を今後も増やしていく上では、起動力となりうる新たなバイオマスの確保が必要である。例えば、麦稈および菜種の茎は毎年大量に産出する資源である。また土壌中の窒素流出を抑えることを目的として栽培が義務付けられているカバー作物も大きなバイオガス資源となり得る。これら農業バイオマスの利用技術開発が求められている。

次にバイオガス市場の拡大には、未開発の地域において地域暖房や大規模 CHP でのバイオガス利用を増やし、エネルギーを供給できる地域を拡大していく必要がある。新たな市場の確立はバイオガス部門の発展につながる。そのためには、例えば、自治体が主導となってバイオガスパイプラインを設置していくことや、天然ガス販売会社が精製したガスを公共交通機関に利用する等の取組が必要である。

他方、大規模な集中型バイオガスプラントを建設する際の障壁となるのが建設場所の決定に関する議論（「住民の反対」）である。悪臭、運搬トラックの集中による粉じんや騒音、また巨大バイオガスプラントの設置による景観が損なわれる等の危惧から、地域住民の反対が多い。バイオガスプラント建設を進める主体と地域住民との双方が納得するまでの話し合い、および調整役の存在（多くの場合が自治体）が必要となる。

最後に「ファイナンスの問題」であるが、従来、バイオガス部門を引率してきたのは個々の農家や農業協同組合等の農業部門であった。しかし、農業部門は2007年の経済危機のあおりを受け、投資能力が大きく損なわれた。そのため、エネル

ギー会社（例えば天然ガス販売会社）のような、高い投資力と最新技術を有し、新しいマーケットを開拓していく新しい主体の参入が必要である。

以上の主な障壁は今後のバイオガス部門の発展を担う上でも乗り越えなくてはならない課題と言える。他方、これらを解決していく上では「農家」,「自治体」,「エネルギー会社」という3つの主体の役割、また主体間のやりとりが重要であることが指摘されている（Lybæk and Kjær, 2015）。そこで以降では、デンマーク国内でも先進的な2つの取り組みをIoS枠組に当てはめることで、バイオガスプラントの設立を介した地域バイオマスに関する「農家」,「自治体」,「エネルギー会社」のやりとりを制度的側面、社会経済的側面、環境側面等から明らかにしていく。

4. 事例紹介と事例選定の理由

本研究で事例として扱うのは、ユトランド半島中西部に位置する「エネルギー会社参入型」のホルステル・バイオガスプラント（正式名称：NGF Nature Energy Holsted, 以下、ホルステル）およびシェラン島中東部の「自治体主導型」のソルロー・バイオガスプラント（正式名称：Solrød Biogas, 以下、ソルロー）という2つのバイオガスプラントである。前述のように、近年のデンマークでは、エネルギー会社や自治体といった新たな主体が従来の農家間レベルでのバイオガス生産に参入することで、エネルギー配給網の拡張や自治体レベルでの未利用資源のエネルギー化等が実施され、より広域的で持続可能なバイオガス生産システムの構築が進められている。そこで、このような最近の潮流を理解するためには、最新の取組を把握する必要があり、事例選定には、農家以外の新しい主体が重要な役割を果たしていること、また最新技術あるいは新しいバイオマスを原料として取り入れていること、という2点をいずれも満たしていることを条件とした。この結果、「エネルギー会社参入型」で精製バイオガスを天然ガス網に配給しているホルステル、「自治体主導型」で海岸に打ち上げられた海藻を原料としているソルローという2つの事例が選定された。いずれもバイオガス増産政策の欧州委員会承

第5表 事例となった2つのバイオガスプラントの概要

	ホルステル・バイオガスプラント	ソルロー・バイオガスプラント
バイオマス (シェア%)	家畜排せつ物 (70%), 資源作物と食品廃棄物 (30%)	家畜排せつ物 (9.5%), 海草 (0.5%), 有機廃棄物 (ペクチン残さ: 76.5%, カラギーナン残さ: 13.5%)
年間処理能力	40万トン	20万トン
年間生産量	1300万 m ³ 精製メタンガス	600万 m ³ メタンガス 23 GWh 電力 28 GWh 熱
納入先	ガス会社	電力送電会社, 地域暖房会社
消化液搬出先	家畜排せつ物を提供した畜産農家	家畜排せつ物を提供した畜産農家および地域内の耕種農家
株主	天然ガス販売会社の N 社: 65% バイオガス協同組合 (畜産農家 40 戸): 26% プラント建設会社の X 社: 9%	自治体: 100%
地域雇用創出	建設時: 150 人 稼働後: 10 人	建設時: 90 人 稼働後: 14 人

資料: 関係者への聞き取り調査をもとに筆者作成。

認を待って 2014 年に株式会社として設立され、2015 年秋に稼働を始めたという点で共通している (第 5 表)。以下、それぞれのバイオガスプラントの概況を説明する。

(1) ホルステル・バイオガスプラントの概要

ホルステルにおける取組の特徴は次の 2 点である。まず家畜排せつ物を主原料とするデンマークの典型的なバイオガスプラントでありながら、新しい主体である天然ガス販売会社の N 社が 40 戸の畜産農家で構成されるバイオガス協同組合と共同で出資をし、株式会社を設立した点、さらに最新の精製バイオガス技術を取り入れている点である。

ホルステルの位置するユトランド半島中西部は砂の多い土壌に覆われているために耕種栽培に適さず、酪農や養豚、ミンク養殖 (毛皮用) 等の畜産業が集積してきた地域である。そのためバイオガス生産の主原料は協同組合の畜産農家が提供する牛、豚、ミンクの排せつ物であり、年間 28 万トン进行处理する。また、これに都市部スーパーマーケットからの食品廃棄物をとうもろこし等の資源作物と混ぜて加えている (合計でおよそ年間 12 万トン)。年間およそ 1300 万 m³ の精製メタンガスが生産され、天然ガス供給網を通じて 2000 戸に販売供給される。収益はバイオガスプラント

建設会社の X 社へ 9%、バイオガス協同組合へ 26%、残りが N 社へ配当される。ただし、今後収益が上がった場合には最大 40% まで協同組合の配当が上がる。消化液は家畜排せつ物を提供した畜産農家へ返却され、農地に施肥される。

地域雇用の創出については、建設時には 150 人の建設関係者、設立後には 10 人のフルタイム雇用者を生み出した。フルタイム雇用のうち 6 人が家畜排せつ物の運搬を担うトラック運転手で、残りの 4 人はバイオガスプラント稼働および事務関係の仕事に従事している。

建設費用の 30% 相当 (およそ 4000 万デンマーククローネ) は EU プロジェクトやデンマーク・エネルギー政策等の予算を合算した助成金によって支援を得た。

(2) ソルロー・バイオガスプラントの概要

ソルローでの取組は以下 3 つの点でデンマーク国内のみならず世界的にも注目を集めている (Kaspersen et al., 2016)。まず、バイオガス生産の原料として海草を使っている点である。ソルロー市および周辺の自治体では、夏場に海岸に打ち上げられる海草のアマモ (*Zostera mariana*) が悪臭を放ち公害問題となっていた。これを改善し、なおかつエネルギー資源として利用しようとしたことがバイオガスプラント設立の発端となっ

た。試算によればアマモを浜辺から取り除くことで海に流出する年間 62 トンの窒素および 9 トンのリンを除去することができる。

続いて温室効果ガス排出緩和における施策の 1 つとしてバイオガスプラントが設立された点である。デンマークの他の多くの自治体と同様にソルロー市は気候とエネルギーに関する EU 市長誓約 (Covenant of Mayors for Climate & Energy) に調停しており、2025 年までに市から排出される温室効果ガスを現レベルの 50% まで減少させることを目的としている。バイオガスプラント稼働によって年間 40,500 トンの二酸化炭素排出が抑制され、これはソルロー市が現在排出している二酸化炭素量の 28% に相当することが試算されている。

3 点目は、上記のような地域全体に関わる環境保全を目的として、バイオガスプラント設立の実行計画を自治体を中心となって開始し、さらに複数の利害関係者が協力体制をとった点である。

ソルロー・バイオガスプラントでは、年に 7,400 トンのアマモ、53,200 トンの家畜排せつ物、14 万トンの有機廃棄物 (ペクチンおよびカラギーナン製造の残さ) を処理する。年間およそ 600 万 m³ メタンガスを生成し、23 GWh の電力と地域暖房として年間 28 GWh を供給する。消化液に関してはスラリーを提供した養豚農家へ同量分が返却され、各自の農地に施肥される。しかし、バイオガスプラントから排出される液肥量はこれを上回るため、契約した近隣の耕種農家へも搬入される。

地域雇用の創出については、建設時には 90 人の建設関係者、設立後には 14 人の常勤雇用者を生み出した。フルタイム雇用者のうち 10 人がバイオマス運搬を担うトラック運転手で、残りの 4 人がバイオガスプラント稼働および事務関係の仕事に従事している。

5. 結果と考察

本研究の分析には 2016 年 2 月に行った両バイオガスプラントの視察と関係者や大学研究者への聞き取り調査の結果を主に用いた。具体的にはこれらの聞き取り調査の結果を IoS 枠組の 4 要素に当てはめることで整理を行った。特に「自治

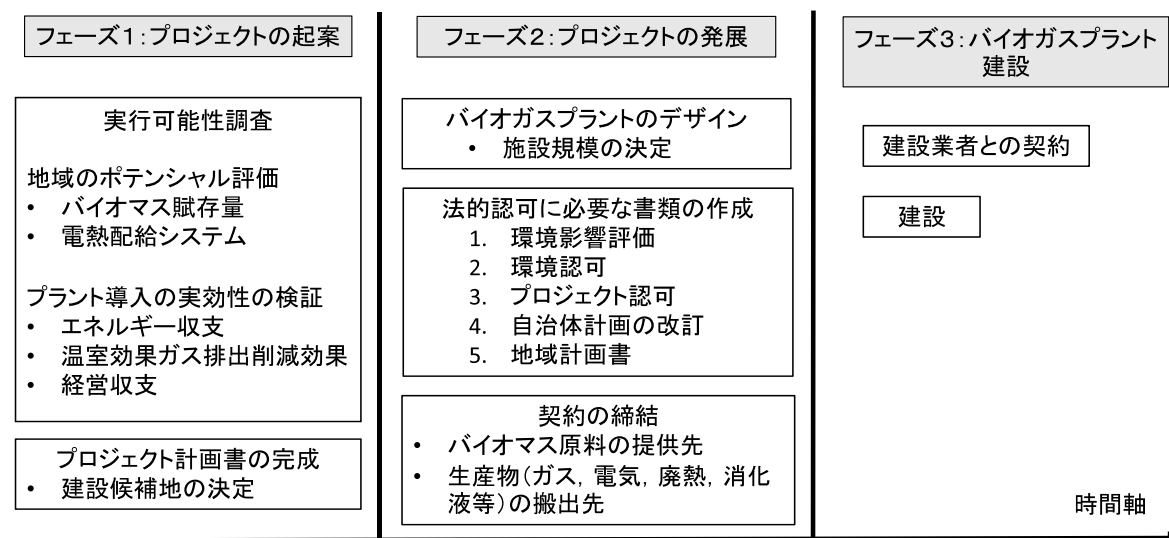
体」、「農家」、「エネルギー会社」という 3 つの主体間のやりとりに注目し、地域内におけるバイオマスの発見から主体間の調整関係、さらには取引コストを抑える戦略等について考察した。なお取引コストに関しては、前述の 4 タイプのコスト (探索コスト、交渉コスト、実施コスト、モニタリングコスト) に関して検討を行う。

なお、ホルステルおよびソルローが稼働を開始したのは 2015 年の秋であり、聞き取り調査を行った際には稼働から半年あまりしか経過していなかった。そこで本研究ではバイオガスが起案されて稼働に至るまでのプロセスについて特に着目して整理を行っていく。Lybæk and Kjær (2015) によると、このプロセスは主に 3 つの段階 (フェーズ) に分類できる (第 3 図)。この時間軸の分類を踏まえた上で、本研究では IoS 分析枠組の 4 要素を整理していく。なお、関係者への聞き取り調査より「フェーズ 3: バイオガスプラント建設」に関しては重要事項が観察されなかったことから、本研究では取り扱わない。

(1) 取引環境

取引コスト理論によれば不確実性をいかに減らしていくかが取引コスト節約戦略の 1 つの鍵となりうる。そこでバイオガスプラント設立のプロジェクトを起案するにあたって、まず、その実行可能性の調査が行われ、不確実な要素を減らしていく。具体的にはバイオマスの収集運搬といった実施コストを抑制するための検討がなされるが、このような事前の徹底的な調査は、以後の取引内容を決定する際の交渉コストや稼働後のモニタリングコストの減少にも貢献する。

実行可能性調査で特に重要となるのが、地域内でバイオマス原料をどれだけ集められるのか (利用可能バイオマスの調査)、どれだけ地域内にエネルギー需要があり効率的に配給できるか、の 2 点である。特にバイオマス収集に関して、デンマークでは一般的にバイオガスプラント稼働にかかる費用のうち実に 30% 近くが家畜排せつ物の運搬費用であるとされている。つまり、バイオガスプラントの建設地ならびに大きさ (つまり処理能力) は隣接地でどれほどのバイオマスを収集できるかに大きく依存する。なおこれらの調査



第3図 バイオガスプロジェクトが起案されてから建設に至るまでのプロセス

資料: Lybæk and Kjær (2015) をもとに筆者作成。

には GIS を用いた地域内の資源量評価やエネルギー需給のシナリオ分析等も含まれる。ホルステルでは N 社主導により、彼らが委託した専門のコンサルティング会社が、ソルローではバイオガスプラント設立プロジェクトのメンバーである R 大学の研究者が事前評価分析を行った。

ホルステルでは、バイオガスプラントの設立場所の検討に際して、家畜排せつ物提供の契約を結んでいる畜産農家の多数が半径 20km 圏内に位置していることが重要であった。またホルステル周辺では天然ガスの供給網が整備されており、効率的にバイオガスプラントで精製されたバイオガスの配給を行える環境にあったことも重要なポイントとなった。第4表の「短所」にもあったようにバイオガスの精製技術は現時点ではコストが高く、それを補えるだけのバイオガスプラント規模と生産性、そして販売先が必要である。ホルステルでは多数の大規模畜産農家が集積している点、供給網が整備されている点でこの要件を満たすことができた。

他方、ソルローでは夏場に回収されるアマモと近隣養豚農家からのスラリーの有効利用がプロジェクトの発端であったが、経済的なバイオガスプラント運用にはこれらのバイオマスだけでは十分なエネルギー生産量を確保できないことが 2009 年の最初の実行可能性調査における試算か

ら明らかになった。このため追加的な原料バイオマスの探索が行われ、2010 年に食品製造業 C 社の工場より、ペクチン製造の残さ（主に柑橘類の皮）を供給してもらう契約を結ぶことになり、バイオガスプラント設立場所も工場に近接する方が経済的であることが示された。この決定はペクチン残さを飼料として養豚農家に依頼して引き取ってもらっていた C 社にとっても残さの搬出費用の削減や環境保全という企業の社会的責任の観点からも好ましく、お互いにとって有益な取引となった。また、ソルローはコペンハーゲン中心部から 20km ほどの距離にあり、CHP を通じてエネルギー需要の高い都市部に電熱を安定的に供給できることもバイオガスプラント設立の実現性を高める上で後押しすることになった。

(2) アクター

バイオガス計画が成功するためには関係する主体それぞれが何らかのかたちの利益を実際に得られる、あるいはそう期待していること（=モチベーション）が重要である。逆にこれらが欠如している場合、計画を実行していく際の障害ともなり、交渉コストの増大につながる。

まずプロジェクトが起案された際の各主体のモチベーションを整理する。「環境保全型」のソルローの取組は地域内においてこれまで未活用ある

いは有害であったバイオマスを有効利用し、水辺環境や気候変動への影響を緩和することであった。そのためバイオガスプラントのオーナーである自治体はバイオガスプラント運営における営利を目的としておらず、当面の目標は10年間の稼働によって初期投資を還元することである。またソルローにおける実行可能性調査では、生産されたバイオガスを食品製造業C社の工場運営エネルギーとして転売する場合、さらに精製させて天然・都市ガス配給網に供給する場合、電力会社V社のCHPへバイオガスを供給し電力および廃熱利用にする場合の3つのケースについて検討された。最終的に採用されたのは3つ目のオプションであったが、これは最も二酸化炭素排出の抑制量が高いことが試算されたためである。経済性と環境インパクトという多面的な指標による具体的な数値をもって検討が進められたことが多様な利害関係者の理解醸成を推進し、合意形成を得られた理由といえる。

これに対してホルステルでの取組はより「利益追求型」と言える。世界有数の豚肉・乳製品輸出国であるデンマークでは、農家の大規模化が急速に進んでおり、国際競争に打ち勝てる優秀な農場経営者だけが生き残れる。このような状況下において、バイオガスプラント建設に投資を行う農家は、家畜排せつ物の処理という環境規制への実質的な対応とは別にして、利益を求める傾向にある。このようなモチベーションを背景にしてホルステルに家畜排せつ物を提供している畜産農家は2008年に独自のバイオガス協同組合を立ち上げた。さらにバイオガス増産政策によって天然ガス販売会社だったN社の参入が可能となり、共同投資案が持ち掛けられた。利益追求という同様のモチベーションを持つバイオマス所有主体と利用主体がうまくマッチングする環境が整ったことが交渉コストを節約しながら計画案を押し進められた要因と考えられる。

他方、バイオガス計画を阻害する要因もいくつか確認された。まず大きな障害となったのがバイオガスプラント建設に対する近隣住民の反対の声である。ホルステルは国内でも最大規模のバイオガスプラントであり、毎日大量の運搬トラックの往来等が懸念された。またコペンハーゲンからも

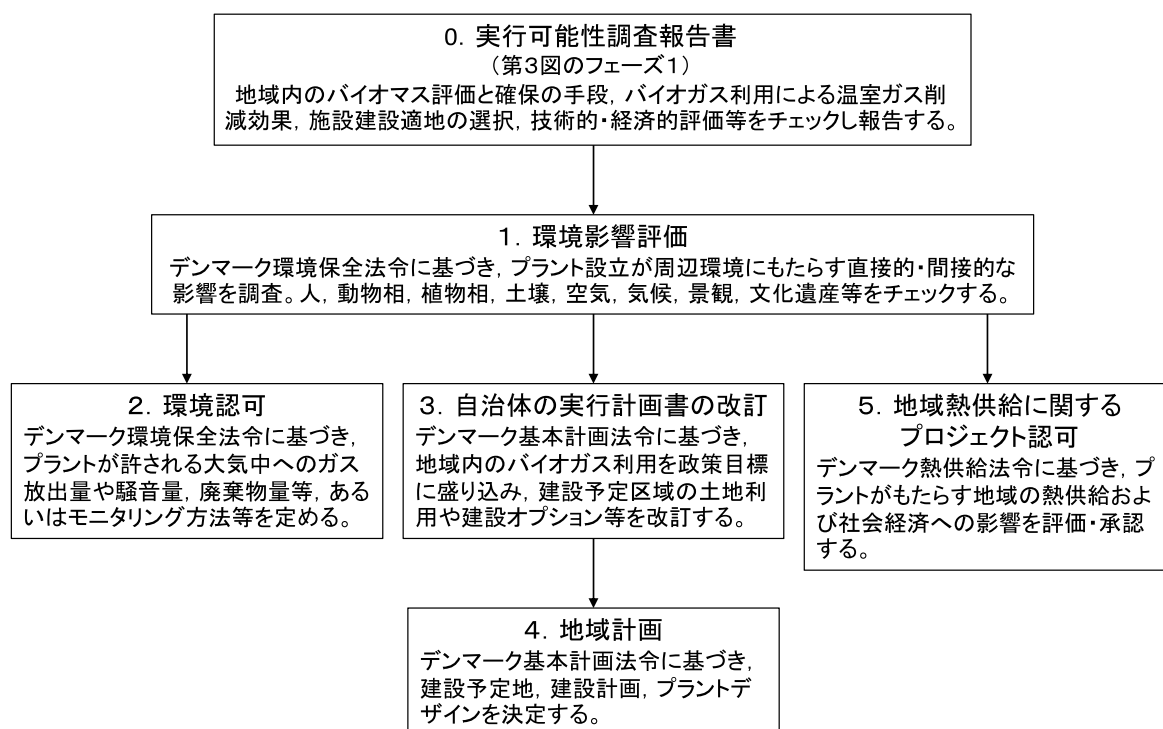
近くベットタウンにもなっているソルローでは景観を乱すことや住宅地への近接等の不安が寄せられた。このような近隣住民の不安や確執を取り除くために幾度も公聴会が開かれ、住民承認を得るまで十分な説明がなされた。例えばソルローではプロジェクト発足時からロスキレ大学の研究者が実行委員として参加している。これにより研究機関と自治体とが連携を図りながらバイオガスプラントがもたらす地域環境や気候変動緩和への貢献について効果的に地域住民へ説明が行われ、最終的な交渉コストの節約につながった。

またソルローでは副産物として排出される消化液の受取先の確保が障害となった。通常、消化液は原料スラリーに比べて、乾物含量が少ないために流動性が高く散布作業性に優れ、即効性窒素としてのアンモニウム態窒素に富む液肥として評価される。しかしながらアマモに含まれる重金属の影響を懸念する噂が拡散したことにより耕種農家の受け入れを妨げる事態に発展した。その後、デンマーク国内でも最大規模の耕作面積を誇る自治体内の耕種農家が年間8万トンの消化液を受け入れる契約を結んだため、これが周辺農家の心配を払拭する機転となった。またバイオガスプラント側も消化液の成分分析を行い、その結果を提示したり、地域内の農家アドバイザー（民間の農業普及員）へ消化液の受け入れを促すよう依頼したりと消化液受け取りの普及推進を行っている。

(3) 制度

デンマークでは農業や環境、エネルギー供給に関する法規制が全国共通で定められており、ホルステルおよびソルローが置かれている基本的な「制度」条件は同じであった。実現可能性調査におけるバイオガスプラント設立案を検討する際にも各法令に従っていることが前提である。

実行可能性調査（フェーズ1）を終えて新規バイオガスプラントの計画書が作成された場合、第3図のフェーズ2で示すように、これ以降の具体的な作業を進めるためには建設予定地を管轄する自治体が5つの重要書類を作成しなくてはならない（第4図）。まずバイオガスプラント設立が周辺環境にもたらす影響を調査する環境影響評価を行う。この影響評価の結果に基づき、以後



第4図 ソルロー・バイオガスプラント建設時に必要となった書類と作成フロー

資料：Solrød Kommune (2014) をもとに筆者作成。

注(1) 実行可能性調査報告書は第3図のフェーズ1で作成され、その他の1から5の書類はフェーズ2にてそれぞれ作成される。

(2) 本図はソルロー・バイオガスプラントを例としているが、バイオガスプラント全般においても同様の手順が必要となる。

の審査あるいは実行計画が定められていく。

これら5つの書類作成はそれぞれ同時並行で行えるが、「自治体の実行計画書の改訂」が済まないで「地域計画」の策定は行えない。それぞれ順に書類を揃えた場合、「地域計画」にたどり着くまでに93週間ほどの行政時間がかかるとされる (Lybæk and Kjær, 2015)。

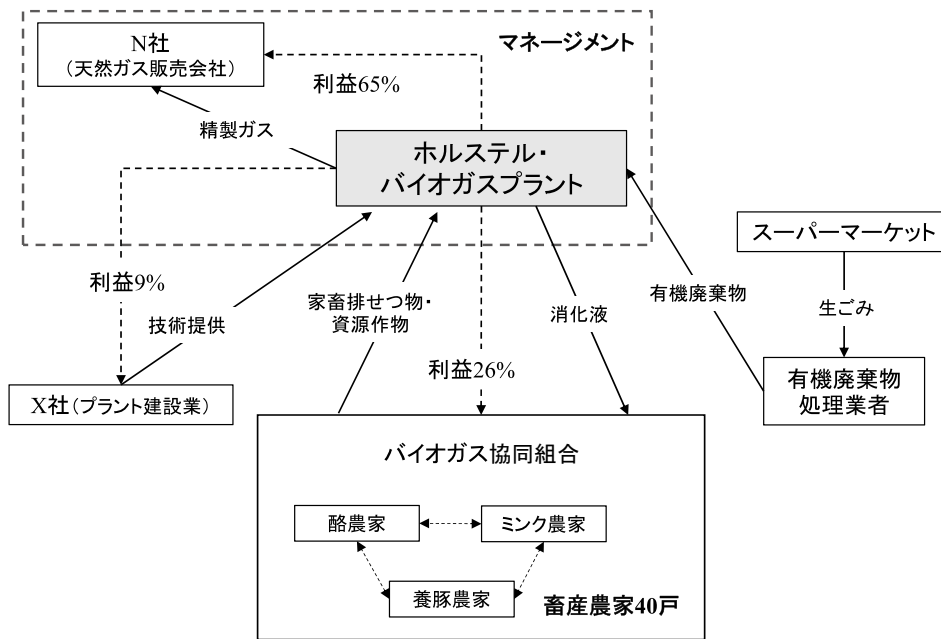
通常最も時間がかかるのは、自治体評議会による承認を得るまでと、建設地の決定である。バイオガスプラント設立の起案から住民の承認を経て建設が完了するまでに平均5～8年ほどかかるとされ (Lybæk and Kjær, 2015)、例えばソルローでは2008年にプロジェクトが起案されてから2015年夏の建設完了までに実に7年以上の月日が費やされた。

Lybæk and Kjær (2015) の報告によれば、フェーズ1とフェーズ2で必要となる書類の作成費用は平均およそ340万デンマーククローネとされ、その多くが環境影響評価等をはじめとする

アセスメントにかかる費用である。

このような稼働までに投入される大量の時間と費用が、特に自治体主導型のバイオガスプラント推進事業の障壁の1つになっている。解決策の1つとしては助成金を獲得して有効に用いていくことであろう。ソルローでは、実行可能性調査を実施する際にはEU構造基金 (Growth Forum Zealand: 全額の36%をEU負担、残りは地域予算) を用い、さらに環境影響評価等のフェーズ2における必要書類の作成にかかった費用はEUプロジェクト助成金 (Mobilising Local Energy Investments) より拠出した。

上記で見てきたようにデンマークにおけるバイオガスプラント設立にかかる取引コスト (情報コストおよび交渉コスト) は非常に高額であると考えられる。しかし、その一方で最低でも10年以上の稼働を前提に徹底的な多角評価が行われ、これは結果的に稼働後の実施コストやモニタリングコストを引き下げるものと考えられる。



第5図 ホルステル・バイオガスプラントの連携構造

資料：関係者への聞き取り調査をもとに筆者作成。

(4) 連携構造

ホルステルとソルローの取り組みにおける「連携構造」はどうなっているのだろうか。全体像の把握と取引コストの節約という観点から主体間の契約内容について整理していく。

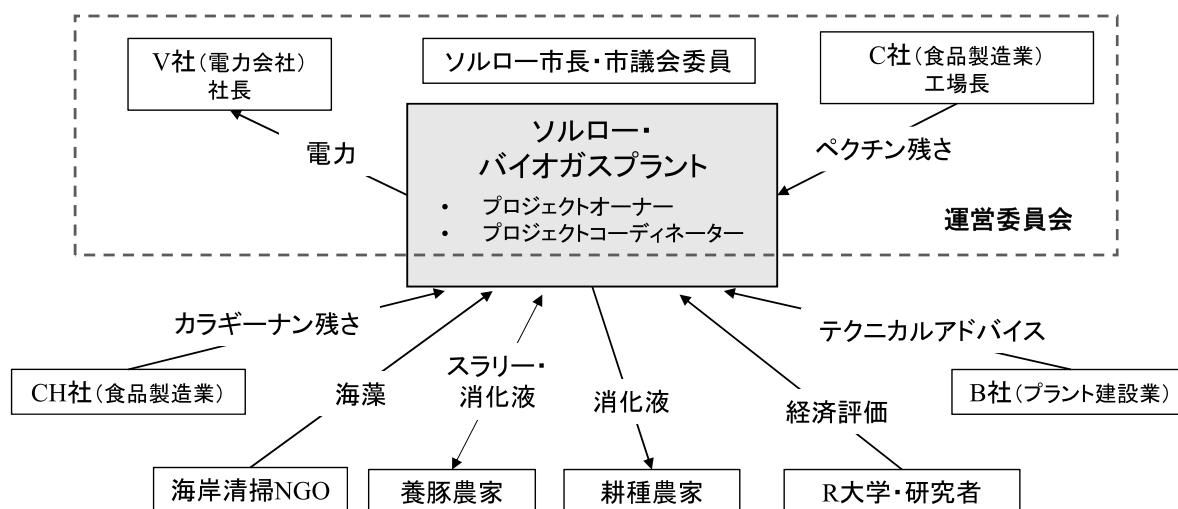
1) ホルステルの連携構造

第5図はホルステルにおける主体間の資源・知識・金銭のやりとりを介した連携構造を簡略図で示したものである。ホルステルでは天然ガス販売会社であるN社が会社全体のマネージメントを行い、必要に応じて他の主体との業務連絡を行うコーディネーターの役割を担っている。N社は4年前まで天然ガスだけを扱う企業であったが、「エネルギー2020政策」における天然ガス販売会社のバイオガス生産事業への参入認可を皮切りにバイオガスプラント事業を積極的に進めている。バイオガス事業をきっかけにN社もこれまで縁のなかった農業部門との連携を強めている。バイオガスプラント技術に関しては専門業者であるX社から技術提供を受けつつ、精製ガスの取り扱いならびに配給に関しては、これまでの天然ガスで積み上げてきたノウハウを活かしている。単純な連携構造によって交渉コストや実施コストを下

げていると考えられる。

その一方で、N社の共同出資者であるバイオガス協同組合も独自の組織構造を有している。40戸の畜産農家メンバーの中から選出された組合長を含む3人の幹部が組織を束ね、彼らが代表してバイオガスプラント会社の運営やコンプライアンス等についてN社と連絡をとっている。

組合全体でバイオガスプラントへ提供する家畜排せつ物の年間総量が決まっており、各メンバー農家は割り当てられた負担量をバイオガスプラントへ搬出することになっている。つまり組合は一定量の排せつ物を必ずバイオガスプラントに提供することが契約で義務づけられおり、契約期間は15年間におよぶ。バイオガスプラントへの搬出ではないものの、デンマークの畜産農家が家畜排せつ物を耕種農家へ譲渡するパートナーシップの機能を調べた筆者らの研究によれば、10年以上も継続して同じ農家に譲渡し続けていると答えた畜産農家は全体の3割（サンプル数は677戸）に満たなかった（Asai et al., 2014b）。今後15年間に渡って家畜排せつ物の処理に煩わされなくなるのは畜産農家にとって大きな利点であり、また新しい搬出先を見つけなくて済むことは探索コストを下げるという意味でも有利となる。



第6図 ソルロー・バイオガスプラントの連携構造

資料：関係者への聞き取り調査をもとに筆者作成。

現在、40戸の畜産農家で十分な量の家畜排せつ物が確保できているが、仮に新規加入を希望する者は組合長に連絡を取り、組合全体で協議にかけられる。このような組合内の取り決めに関してN社側の介入は行われない。

2) ソルローの連携構造

ソルローでは多様な主体が関係していることが特徴である(第6図)。特にプロジェクトが起案されたフェーズ1の時点から市長を中心とする市議会、さらにはペクチン残さを提供するC社の工場長、バイオガスを買取る電力会社V社の社長らが運営委員として参加してきた。このような多様な利害関係者が一堂に会してプロジェクトを推進できたことが自治体主導型のバイオガスプラント稼働に至った成功要因とされる(Solrød Kommune, 2014)。そこには公害問題や温室効果ガスの排出緩和、未開発資源の有効利用といった地域共通の目標があったからである。

技術的な運用に関してはバイオガスプラント建設業者であるB社が行い、同社からの出向という形でエンジニアが4人常勤している。B社との契約は稼働から5年間である。

これらのエンジニアに加えてソルロー市から出向しているプロジェクトオーナーとプロジェクトコーディネーターが1人ずつ常勤している。彼

らの主な業務は関係主体との調整役である。例えば、夏場になると海岸清掃NGOと協力して打ち上げられたアマモを収集し、バイオガスプラントまで持ってくる作業の指示を出す。またホルステルと異なり、スラリーを提供する養豚農家は組合を形成していないため、各農家と個別に契約内容等に関する取り決めも、コーディネーターが行っている。消化液を受け取る耕種農家との交渉も同様である。

このような地域内における多様な関係者間の調整を行って合意形成を図るコーディネーターであるが、2008年のプロジェクト起案から2016年2月現在までに4人がその任務を務めてきた。現在のコーディネーターはR大学において環境計画学の修士号を取得し、その後、市役所で環境関係の仕事を行ってきた経歴を持つ。このような専門的知識を有する優秀な人材の確保は交渉コストを引き下げ、特に自治体主導のバイオガスプラントプロジェクトには重要であろう。

3) バイオガスプラントと農家の家畜排せつ物に関する契約

具体的な家畜排せつ物の搬出入に関しては、バイオガスプラントと各農家との間で取引が行われる。ホルステルとソルローともに同様の取引が行われていたため、以下まとめて整理を行う。

各バイオガスプラントにはトラック運転手が常勤しており、彼らが各農家を訪れ、排せつ物の回収を行う。飼養頭数やスラリータンクの貯蔵量によって異なるが週に1～2度の頻度で各農家を回る。プラントと各農家との取り決めで着目すべきは以下の3点である。

- 家畜排せつ物および消化液の搬出入にかかる運搬費用は無料である（ホルステルの場合はバイオガスプラントから半径20km以内に位置する農家の場合）
- 乾物含有量が高く、窒素含有率が高い家畜排せつ物にはボーナス支払いが行われる
- 農家は家畜排せつ物用と消化液用のスラリータンクを2つ所有し、バイオガスプラント側からスラリータンク建設の援助金が出る

「取引環境」の節でも述べたように、バイオガスプラントの運営においてはバイオマス運搬にかかる費用をいかに抑えるかが重要な鍵となる。ホルステルでは20km以内であればその費用をプラントが全面負担しても経営面での損失はないとの計算結果がなされ、上記の契約が結ばれた。なお、20km以上離れた農家に関しては、1km離れるごとに1トンあたり0.8デンマーククローネを農家自身が負担する仕組みになっている。ホルステルの場合、4戸の農家がこれに該当する。

家畜排せつ物は環境負荷への影響等から問題視されることが多いものの、それ自体は作物栽培において養分となる貴重な資源である。これに関して両バイオガスプラントでは排せつ物自体への支払いは行われず、農家は無料で排せつ物の提供を行っているが、一定基準以上の良質のものに対してはボーナスが支払われる。そのため、回収された排せつ物はバイオガスプラントに到着すると直ちに乾物含有率および窒素、リン、カリウムの含有率が検査される。ソルローの場合、もし運搬されてきた豚スラリーの乾物含有率が定められた基準値よりも高かった場合、1%上回るごとに1トンあたり5デンマーククローネのボーナスがつく。他方、基準値よりも低かった場合には、1%下回るごとに1トンあたり5デンマークク

ローネをバイオガスプラントへ支払わなくてはならない。

特に豚のスラリーは乾物含有量が低く、ともすればバイオガス生成力の低い水分を輸送しているだけになりかねない。そのためにも契約農家の徹底した家畜排せつ物管理が求められ（雨水の進入を防ぐ等）、このような経済的インセンティブを付けるシステムが構築された。事実、ホルステルでは提供される家畜排せつ物の質が日に日に向上してきているという。

他方、複数の農家から家畜排せつ物が持ち込まれているため、畜種や飼料、また排せつ物の管理によって排せつ物の質は異なるという不均一性の問題が生じる。特に消化液に含まれる窒素含有量が提供時のスラリーよりも低くなってしまった場合、作物の養分という観点から排せつ物を提供した農家は損をすることになる。そこで、バイオガスプラント側はこの栄養のロス分を支払いによって補うことが決められている。ソルローでは、運搬されたスラリーおよび消化液の含有窒素量が1トンあたりともに4.1～4.5kgの間であれば補填は発生しないが、この閾値外で差が発生し、消化液の質が下がってしまった場合には1トンあたりの窒素量0.1kgにつき1デンマーククローネの補填費がバイオガスプラントから支給される。他方、持ち込まれたスラリー1トンあたりの窒素量が4.1kg以下であった場合には、逆に支払いを求められる。

バイオガスの副産物である消化液の貯蔵スペースに限りがある点、また運搬費用を抑えることを目的として、トラックが各農家へ家畜排せつ物の回収に行く際には、前回の回収量と同量の消化液が積み込まれバイオガスプラントから搬出される。そこで農家は自家農場で排出される排せつ物を貯めるスラリータンクに加え、バイオガスプラントから運び込まれる消化液の受け皿となる2つ目のスラリータンクを所有している必要がある。デンマークでは畜産農家は排出された排せつ物を最低9ヶ月間貯留できる規模のスラリータンクを保有していることがEU硝酸指令（EU Nitrate Directives）(91/676/EEC)に基づき定められている。しかしこれに加えて2つ目の設備を建設・管理するには農家の負担が大きく、そ

ここでバイオガスプラント側が畜産農家に援助金を出している。

ソルローでは消化液の受け入れのみを行う無家畜の耕種農家にもスラリータンク設置援助を行っている。まずトラックが一度に搭載できる38m³分の消化液を貯蔵できるスラリータンクが最低限必要とされるが、この設置に関して、最初の5千トンまで1トンあたり4デンマーククローネ、5千トンから1万トンには3クローネ、1万トン以上では2クローネの補助が毎年支払われる。

以上のような取組に関して特筆すべき点は、複数の農家から提供される排せつ物は質の不均一性という問題が生じうるが、バイオガスプラント側は家畜排せつ物の科学的な成分分析を行うことによって情報の透明性を高め、同じ条件下におかれた農家同士が排せつ物の質向上をそれぞれ高め合うような経済的インセンティブを与えていることである。結果として運搬の効率性が上がり（実施コストの低下）、さらにはバイオガス全体の生産性を高めること、つまり協働パフォーマンスの向上につながっている。

6. おわりに

本研究では、2014年よりバイオガス増産政策が実施されているデンマークにおいて新たなモデルとなりうる「エネルギー会社参入型」のホルステルと「自治体主導型」のソルローを事例にし、「農家」、「自治体」、「エネルギー会社」という3主体の役割ややりとり注目しながら、持続可能なバイオガス生産システムの構築に向けた関係主体間の連携を理解することを目的とした。具体的には、現地聞き取り調査から得られた情報をIoS枠組の4要素に分けて整理し、取組に関わる各主体が地域内のバイオマスを介してどのように関係し、調整を行っているのかについて、取引コスト節約戦略という観点から把握を行った。

最後に、本研究から得られた結果をもとに、日本へのインプリケーションについて考察を試みたい。日本においては2010年12月にバイオマス活用推進基本計画が閣議決定され、現在に至っては2011年以後の経過を踏襲した新たな基本計画の

審議が行われている。またバイオマス所有主体と利用主体とを調整する主体（主に自治体）、つまりバイオマス循環システムの「担い手」に向けたガイドブック⁽¹³⁾が作成される等、国家レベルおよび地域レベルで活動が盛んになっている。

このような中で、例えば、ホルステルとソルローの取組は、大規模な畜産業が営まれている北海道等の地域へ特に参考になるだろう。事実、十勝平野では大規模酪農がもたらす家畜排せつ物処理の問題を発端にして、2000年代に入るとバイオガスプラントの設置が各所で進められ、それらの多くが経済面・環境面でも成果を上げてきている⁽¹⁴⁾。例えば、鹿追町のように自治体がバイオガス施設を設立し、複数の近隣酪農家から家畜排せつ物を収集してバイオガス発酵を行う取組は、まさにソルローと同様の「自治体主導型」であり、国内の自治体からも高い関心を集めている。一方、士幌町ではJAが大型酪農家の農場内に個別バイオガスプラントを設立し、貸与するという事業を行っているが、排せつ物の適切な処理という利点だけでなくFIT導入下での増収という明確な経済的インセンティブを示すことで、農家側の見方にも大きな変化を与えている。このようなバイオガスプラント導入による経済的インセンティブが地域内で共有されれば、ホルステルのように農家同士がバイオガスの協同組織を作り、集中型バイオガスプラントのようなスケールメリットを重視したバイオガスプラントの設立にもつながるかもしれない。しかしながら、複数の農家が参加するようになると、調整役の必要性や農家間での家畜排せつ物の質の不均一性といった問題も生じる。おそらく日本国内のバイオガスプラントにおいては、デンマークの2事例のように収集してきた家畜排せつ物の成分分析をバイオガスプラントが行い、良質な排せつ物の提供者へボーナス支払いを与えるといったシステムはまだ行われていない。このようなシステムの実行には、調整役となる企業あるいは自治体が家畜排せつ物の成分把握と単価設定といった基盤メカニズムを作り、さらに分析を行える従業員の育成等といった実施面での底上げが必要になる。その一方で、このようなボーナス支払いは農家自身の排せつ物管理に対する興味を持たせ、さらに農家同士が排せつ物の

質向上を高め合い、最終的にはバイオガスプラント全体の生産性向上につながる。つまり今後ビジネスモデルとして生産性・効率性の向上を目指していく上では重要な取組になるだろう。

一方で、ソルローでの取組は必ずしも畜産業に特化した地域でなくとも原料となるバイオマスがあれば実施可能であることを示唆している。その際には、公害や気候変動緩和といった地域全体の問題として意識が共有されていること、多様な利害関係者を調整できる人材の育成と確保が行われること、そして大学等の研究機関が分析に裏付けられたデータを示すことで利害関係者の理解を促進することが重要であることが示された。またどのような地域においても、消化液の利用先を確保することが欠かせない。そのためには成分分析を行い、従来の化学肥料と比べても遜色がないこと、あるいはそれ以上に有効であることを示す必要があり、農業アドバイザー等を通じた普及活動も重要である。また消化液を貯留するタンクへの援助等、受け取り側にとっての物理的な障壁を無くしていく作業も必要である。以上をまとめるとバイオガスプロジェクトに参加する主体それぞれが何らかの利益を得られるような体系を作っていくことが成功の鍵といえる。

他方、多様な背景を持つ主体間の協力を促すには省庁の枠を超えた制度づくりと運営が不可欠である。そして、そのためにはこれを総括する国の中長期目標がなくてはならない。デンマークは2050年の100%再生可能エネルギー社会の実現へ向けた歩みを着実に進めている。この「エネルギー戦略2050」が決定されたのは奇しくも1985年にデンマーク議会によって原発否定の決議がなされたほぼ30年後であった。このようにバイオガスを含む再生可能エネルギー利用拡大に向けた活動が継続されてきたのは、「40年後にどのような社会を実現したいのか」というビジョンとそれにともなう長期目標を国が示し、国民的合意（ナショナルコンセンサス）を得られてきたからである。日本での取組においても、単に技術面あるいは制度面からデンマークの取組を参考にするだけでなく、当国においてバイオマス循環型社会の構築に向けた社会的気運がいかに醸成されてきたのかという視点からも学ぶことは多いように考え

る。

注(1) 2008年前後の世界的な経済危機がいつからスタートしたのかについては様々な解釈があるが、デンマーク商務・成長省の2013年報告によれば、経済危機のスタートは2007年初頭としている。これは米国におけるサブプライムローン市場の動きに対する危惧が広がり始めたのが2007年春ということ根拠にしている。

(2) 詳細については、3節の(1)これまでのあゆみを参照のこと。

(3) IoSフレームを用いた先行研究では、例えばPrager (2010), Deneke et al. (2011), Wang et al. (2013) 等がある。バイオマス関連では、これまでEhlers (2008) とPlieninger et al. (2009) がドイツのバイオ燃料に関する研究においてIoS枠組を援用している。しかし、ドイツ以外の国において、さらにバイオガス生産システムにおける主体間の連携への理解にIoS枠組を用いた研究は筆者の知る限り本研究が初めてである。

(4) 本稿では、「やりとり」を主体間の交流や話し合い、具体的な資源の交換等を包括的に指し示す言葉として用いる。

(5) Williamson (1985) によれば、取引コストを引き上げる要因として、取引における不確実性を挙げているが、例えば昔からよく知っている相手を取引先にあえて選んだり、あるいは公式な取引文書を作成したりすることで不確実性を減じるような工夫が見られる。

(6) GISを用いて家畜排せつ物の効率的な地域内配分を評価した先行研究では、例えばAillery et al. (2009), Paudel et al. (2009), Van der Straeten et al. (2010) 等がある。

(7) これら共同バイオガス施設は、Aktieselskab (A/S: 株式会社), Anpartsselskab (ApS: 有限会社に相当), Interesentskab (I/S: 合名会社に相当), Andelsselskab M.B.A. (A.M.B.A. アンデルス組合) 等の企業形態で運営されているが、最も多いのはアンデルス組合である。デンマーク農家は、アンデルス組合を設立して、共通の課題に対応する伝統を持っている(高井, 2014)。

(8) 懸念材料として、バイオガス原料としてのビートやとうもろこしの栽培が食糧生産のための農地利用と競合すること、また、とうもろこし等の生産が増加することで、硝酸の流出、化学肥料や農薬の使用量の増加、温室効果ガスの排出につながること等が挙げられる。

(9) デンマークのエネルギー政策については、坂内(2012)や近藤(2013)が詳しい。

(10) バイオガス精製施設を所有し、天然ガス網あるいは地域の都市ガス網に精製バイオガスを供給する事業者を指す。

- (11) 北海天然ガスの生産量は過去10年間減少し続けている。これに加えてガス生産施設の更新時期が近づいているため、A.P. ミュラー・マースク社 (A.P.Møller-Mærsk) は国内最大のガス田チュラ・フィールド (Tyra field) の閉鎖を検討中と発表した。このような状況も精製バイオガス利用を後押ししていると考えられる。
- (12) 北欧では、水力発電に依存するノルウェーおよびスウェーデンと、火力に依存するデンマークおよびフィンランドという電源構成の違いから、電源構成のベストミックスを目指し、電力の国際間融通がなされている (近藤, 2013)。
- (13) 国立研究開発法人国立環境研究所とNPO法人環境自治体会議環境政策研究所の作成した「物語で理解するバイオマス活用の進め方～分別・リサイクルから利用まで～」
- (14) 2016年4月に筆者が行った北海道でのバイオガスプラント視察調査の結果に基づく。

〔謝辞〕

本研究はJSPS科研費JP15K18755の助成を受けたものである。また調査に協力して下さったデンマークバイオガス協議会のBruno Sander Nielsen氏、ネイチャー・エナジーのHans Duus氏、ソルロー市役所のMikkel Busck氏、ロスキレ大学のRikke Lybæk准教授、コペンハーゲン大学のBrian Jacobsen准教授、在日デンマーク大使館の田中いずみ氏にそれぞれ感謝を申し上げます。

〔参考文献：英語〕

- Aillery, M., Gollehon, N., Breneman, V. and Bucholtz, S. (2009) "Modeling firm spatial interdependence using national data coverages: a regional application to manure management," *Natural Resource Modelling* 22, pp. 42-66.
- Asai, M., Langer, V., Frederiksen, P. and Jacobsen, B. (2014a) "Livestock farmer perceptions of successful collaborative arrangements for manure exchange: A study in Denmark," *Agricultural Systems* 128, pp. 55-65.
- Asai, M., Langer, V. and Frederiksen, P. (2014) "Responding to environmental regulations through collaborative arrangements: Social aspects of manure partnerships in Denmark," *Livestock Science* 167, pp. 370-380.
- Coase, R. (1937) "The Nature of the Firm," *Economica* 4, pp. 386-405.
- Deneke, T.T., Mapedza, E. and Amede, T. (2011) "Institutional implications of governance of local common pool resources on livestock water productivity in Ethiopia," *Experimental Agriculture*, 47, pp. 99-111.
- Ehlers, M.H. (2008) "Farmers' reasons for engaging in bioenergy utilisation and their institutional context: a case study from Germany" In Glauben, T., Hanf, J.H., Kopsidis, M., Pienadz, A., Reinsberg, K. (eds), *Agri-Food Business: Global Challenges – Innovative Solutions, Studies on the Agricultural and Food Sector in Central and Eastern Europe*, IAMO, pp. 106-117.
- Hagedorn, K., Arzt, K. and Peters, U. (2002) "Institutional arrangements for environmental co-operatives: a conceptual framework. In Hagedorn, K. (ed.), *Environmental Cooperation and Institutional Change*" *Theories and Policies for European Agriculture*, Elgar Cheltenham, pp. 3-25.
- Hagedorn, K. (2008) "Particular requirements for institutional analysis in nature-related sectors," *European Review of Agricultural Economics* 35, pp. 357-384.
- Hobbs, J.E. (1997) "Measuring the importance of transaction costs in cattle marketing," *American Journal of Agricultural Economics* 79, pp. 1083-1095.
- Kaspersen, B.S., Christensen, T.B., Fredenslund, A.M., Møller, H.B., Butts, M.B., Jensen, N.H. and Kjaer, T. (2016) "Linking climate change mitigation and coastal eutrophication management through biogas technology: Evidence from a new Danish bioenergy concept," *Science of The Total Environment* 541, pp. 1124-1131.
- Lybæk, R. (2014) "Development, Operation, and Future Prospects for Implementing Biogas Plants: The Case of Denmark" In Sanz-Bobi, M.A. (ed.), *Use, Operation and Maintenance of Renewable Energy Systems, Green Energy and Technology*, Springer.

- Lybæk, R., Andersen, J. and Christensen T. B. (2014) "The role of municipalities, energy companies and the agricultural sector in Denmark as drivers for biogas: Trends in the current development," *The Journal of Transdisciplinary Environmental Studies* 13 (2) , pp. 24-40.
- Lybæk, R. and Kjær, T. (2015) "Municipalities as facilitators, regulators and energy consumers: enhancing the dissemination of biogas technology in Denmark," *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management* 8, pp. 17-30.
- Raven, R.P.J.M. and Gregersen, K.H. (2007) "Biogas plants in Denmark: successes and setbacks," *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11 (1) , pp. 116-132.
- Paudel, K.P., Bhattarai, K., Gauthier, W.M. and Hall, L.M. (2009) "Geographic information systems (GIS) based model of dairy manure transportation and application with environmental quality consideration," *Waste Management* 29, pp. 1634-1643.
- Plieninger, T., Thiel, A., Bens, O. and Huttel R.F. (2009) "Pathways and pitfalls of implementing the use of woodfuels in Germany's bioenergy sector," *Biomass and Bioenergy* 33, pp. 384-392.
- Prager, K. (2010) "Applying the institutions of sustainability framework to the case of agricultural soil conservation," *Environmental Policy and Governance* 20, pp. 223-238.
- Van der Straeten, B., Buysse, J., Nolte, S., Lauwers, L., Claeys, D. and Van Huylenbroeck, G. (2010) "A multi-agent simulation model for spatial optimisation of manure allocation," *Journal of Environmental Planning and Management* 53, pp. 1011-1030.
- Wang, X., Otto, I.M. and Yu, L. (2013) "How physical and social factors affect village-level irrigation: An institutional analysis of water governance in northern China," *Agricultural Water Management* 119, pp. 10-18.
- Widmark, C., Bostedt, G., Andersson, M. and Sandström, C. (2013) "Measuring transaction costs incurred by landowners in multiple land-use situations," *Land Use Policy* 30, pp. 677-684.
- Williamson, O.E. (1985) *The Economic Institutions of Capitalism: Firms, Markets, Relational Contracting* New York, Macmillan Publishers.

[参考文献：デンマーク語]

- Energinet.dk (Online a) Biogas: Pristillæg til biogas
<http://energinet.dk/DA/El/Vaerker/Sider/Biogas.aspx> (2016年3月7日アクセス)
- Energinet.dk (Online b) Subsidy for upgraded biogas
<http://energinet.dk/EN/GAS/biogas/Stoette-til-biogas/Sider/Biogas-PSO.aspx> (2016年3月7日アクセス)
- Energinet.dk (Online c) Pristillæg til biogas
<http://www.energinet.dk/DA/El/Vaerker/Sider/Biogas.aspx> (2016年4月23日アクセス)
- Energistyrelsen (Online a) Fakta om biogasproduktion i Danmark
<http://www.ens.dk/undergrund-forsyning/vedvarende-energi/bioenergi/biogas> (2016年3月7日アクセス)
- Energistyrelsen (Online b) Eksisterende Biogasanlaeg
http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/dokumenter/side/oversigt_biogasanlaeg.pdf (2016年3月7日アクセス)
- Energistyrelsen (Online c) Biogasproduktion 2000 til 2014
http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/undergrund-forsyning/vedvarende-energi/biogas/biogasproduktion_2000_til_2014.pdf (2016年3月7日アクセス)
- Energistyrelsen (Online d) Tilskud til biogas
<http://www.ens.dk/undergrund-forsyning/vedvarende-energi/bioenergi/tilskud-biogas> (2016年4月23日アクセス)
- Lov nr. 1390 (2012) Lov om ændring af lov om fremme af vedvarende energi, lov om elforsyning, lov om afgift af elektricitet og ligningsloven.

Solrød Kommune (2014) “Solrød Biogas – conception, project development and realization” Teknik of Miljø Solrød Center.

〔参考文献：日本語〕

近藤かおり (2013) 「デンマークのエネルギー政策について－風力発電の導入政策を中心に－」『レファレンス』 9, 103-119 項。

高井久光 (2014) 『デンマークに於けるバイオガス増産への取り組み』, 北海道バイオガス研究会。

坂内久 (2012) 「デンマークの再生可能エネルギーに対する取り組み」『農林金融』 10, 39-51 項。

Danish Biogas Policies and Partnerships among Prominent Actors in the Biogas Sector: Lessons Learnt from Two Newly Developed Biogas Projects

Masayasu ASAI and Hisamitsu TAKAI*

Summary

Denmark, one of the world's largest exporters of pork and dairy products, has been developing biogas technologies for utilization of animal manure since the 1970s. The biogas sector has been linked closely to stakeholders in the agricultural sector, but since the financial crisis of 2007, the investment capacity of the sector has been restricted, leading to development of new types of biogas projects. This study aimed to investigate these newly developed projects. In particular, we focused on the energy company-driven project in Holsted and the municipality-driven project in Solrød as case studies. Through application of the Institutions of Sustainability (IoS) framework to these case studies, we identified the roles of farmers, municipalities and energy companies during the project development, and evaluated the goodness of the strategic choices of these actors from the viewpoint of minimization of transaction costs. During the ex-ante plant construction phases, information and negotiation costs were relatively high in order to concrete project proposals through, for example, environmental impact assessment and public hearing, whereas these processes are essential for long-term project running, which results in lower monitoring costs. It was suggested that the shared-goals of solving local problems such as water pollution and climate change mitigation, and existence of coordinators who establish links among the different types of stakeholders were essential for successful project development. The managers of biogas plants maintain long-term formal manure-supply contracts with livestock farmers and offer a financial incentive to farmers providing high-quality manure through improved manure treatments. These activities were also found to be critical factors for the success of sustainable biogas development.

Key words: Biogas, Livestock manure and slurry, Renewable energy policies, Transaction costs, Denmark

*Department of Engineering, Aarhus University, Denmark