第４章　バイオガス関連政策と主体間関係
－デンマークでの取組を事例に－

浅井　真康

１．はじめに

天然資源の枯渇が深刻化し，温室効果ガス排出や水質汚染の緩和が重要視される中，地域資源の効率的な利用・循環は世界共通課題である。そのためには，再生可能資源を所有する主体と，それを再利用する主体との協働パフォーマンス（＝複数の主体間における効率的な資源循環の構築とその成果）の向上を取引コストの節約により実現する必要がある。

そこで本研究は，デンマークにおいて昨年から稼働し始めた２つのバイオガスプラントの活動を先進事例として着目し，以下３つの課題に取り組むことを目的とした。

まず農村地域におけるバイオマス所有主体の発見から再生可能エネルギーの生産に至るまでの諸課題を制度的側面，社会的側面，環境側面等から解明する分析枠組の構築である。そして，その枠組をデンマークの事例にあてはめることでその有用性を検証し，さらに彼らがいかに取引コストを節約する取組を行っているのかを整理する。

有効な結果が得られれば，日本におけるバイオマス関連事業の具体的な評価や新たな資源循環システムの創生へ向けた政策提言を行う上でも活用できるものと考える。

２．分析枠組の構築

（１） 取引コスト理論

より持続可能な農林業生産の実現には，地域に内在するバイオマス所有主体の発見や再評価と，利用主体とのネットワーク構築による主体間のマッチングが不可欠である。本研究では，この主体間マッチングに関して，取引コスト理論からアプローチする。

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，契約履行の監視など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のガバナンス制度が展開されうるというものである。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。さらに Hobbs(1997)や Widmark et al.(2013)の議論によれば，取引コストは主に４つのタイプに分類できる。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，取引条件について交渉にかかる費用，取引の実施にかかる費用（例えば運搬費），そして契約の条項がきちんと守ら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の４つである。探索コストおよび交渉コストは取引決定前に，実施コストおよびモニタリングコストは取引決定後にかかわってくる。

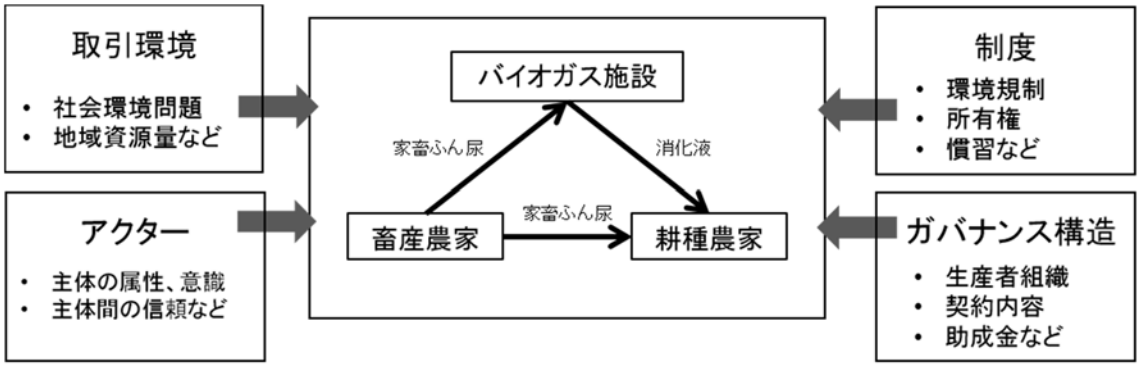
近年では GIS（地理情報システム）を用いて農村地域における効率的なバイオマスの収集・運搬・集荷を評価する研究が増えている。このような研究分野の発達によってバイオマス所有主体の発見や賦存量評価，利用主体への効率的な管理に関するアドバイス等が可能になる。しかしながら，これらの先行研究の多くが，主体の意思決定は輸送距離等の物理的費用に基づくものと仮定している。しかし，デンマーク畜産農家が余剰分の家畜ふん尿を耕種農家へ譲渡する際に結ぶパートナーシップについて調査した Asai et al.(2014)によれば，多くの農家が物理的費用に関する要因だけでなく，地縁や適切な情報交換等によって取引に関する不確実性を低減可能なパートナーを重視することが明らかになった。

Asai et al.(2014)の研究においても取引コスト理論を援用しており，これによりバイオマスを介した主体間のマッチングへの理解には，取引コストの節約という観点からアプローチすることが有効であることが確認された。

（２）Institutions of Sustainability（IoS）分析枠組

主体間のマッチングについて，成功事例，進行事例，あるいは失敗事例から，その理解を深めるためには，バイオマスを取り巻く自然環境，制度・政策，ステークホルダー意識，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，情報を整理する必要がある。このような問題意識から，Hagedorn et al.(2002)は社会・生態システムにおける資源利用を介した主体間のやりとりを分析する新しい枠組みとして Institutions of Sustainability（IoS）分析枠組を提案している。

IoS 分析枠組とは，主体間のバイオマスを介したやりとり（＝取引）が，１）資源量やその収集・運搬・集荷等に影響を与える「取引環境」，２）主体の属性や利用意識，主体間の信頼関係等の「アクター」，３）バイオマスの所有権や環境規制，あるいはインフォーマルな慣習等を含めた「制度」，４）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「ガバナンス構造」の４つの要素から成り立つと捉える分析枠組である（第１図）。



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

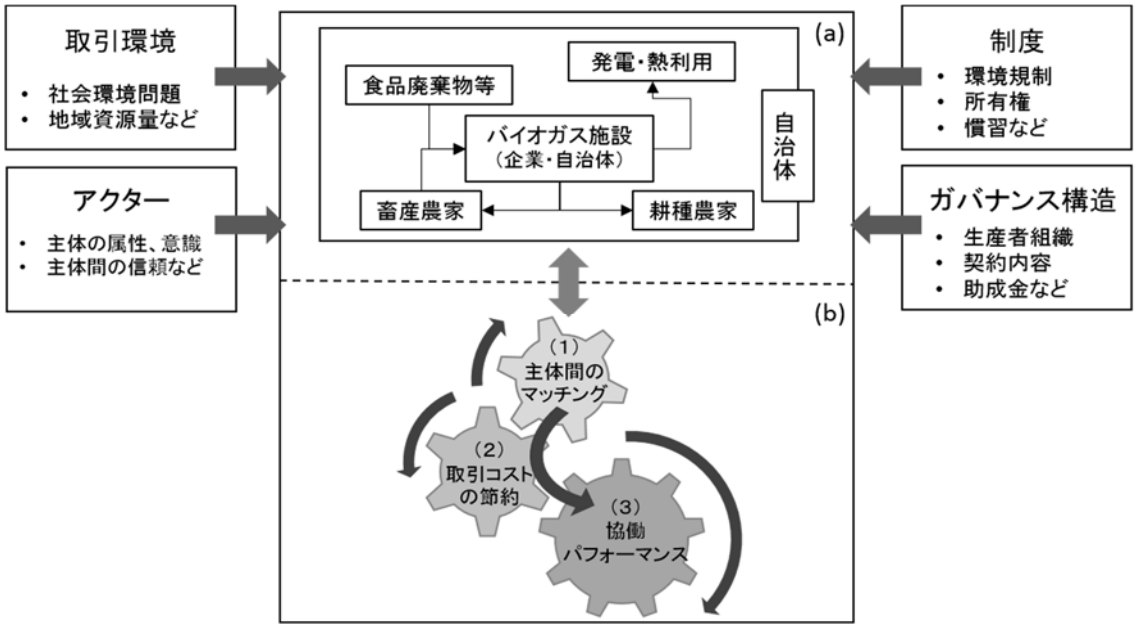
出所：Hagedorn (2008)をもとに著者作成.

IoS 分析枠組を用いれば，第１図が示すように，例えば，畜産農家から耕種農家への家畜ふん尿の譲渡は，ふん尿の排出量や運搬経路，近隣農家との協働経験，施肥に関する規制等の様々な要素間のコーディネーション（調整）を経て実施されることが体系的に理解できる。

他方，この IoS 分析枠組によるマッチングの分析は，取引コストを節約あるいは浪費する要因の抽出を助け，各要素における支援方策の必要性を整理できるというメリットもある(Prager, 2010)。例えば，共同バイオガス施設の設立は，農家の資源アクセスや養分効率性の向上，さらには組織の強化を期待できる。そこで，建設の投資助成による支援という具体的な政策提言まで行うことが可能となる。

（３）本研究への取引コスト理論と IoS 分析枠組の適用

本研究では, デンマーク事例調査から得られた情報を IoS 分析枠組の４要素に分けて整理することで，バイオガス施設を中心とした農家，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（第２図 a)。そして取引コストを節約あるいは浪費する要因の抽出を行う。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減少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）につながるものと考える（第２図 b)。なお IoS 分析枠組はこれまで 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援用しているが，バイオガス生産システムへの理解に IoS 分析枠組を用いた研究は筆者の知る限り本稿が初めてである。



第２図　IoS 分析枠組を用いたバイオガスに関係する主体間の理解（a）と協働パフォーマンス向上のメカニズム（b）

出所：著者作成.

３．デンマークにおけるバイオガス

（１）背景

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、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取り出したバイオガスを燃焼させて発電あるいは発生熱を冬季暖房として利用する農家規模のプラントであった。

他方，1984 年には国内初の集中型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水汚染が表面化しはじめ，厳格な環境規制が実施され始めた頃である。例えば，ha あたりの家畜ふん尿投入量の制限や家畜ふん尿の肥効率向上義務，悪臭問題などをクリアする手段として家畜ふん尿のバイオガス処理が有効であると認識され，複数の畜産農家がイニシアチブを取って組合を設立し，共同の集中型バイオガスプラントが建設された（Raven and Gregersen, 2005）。

集中型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。これら旧来の CHP プラントを核とする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, 2005）。

集中型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資源作物（ビートやとうもろこし）や藁等の植物残渣も投入する場合も増えているが，フードセキュリティの観点から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，デンマーク国内における資源作物の利用は数%ほどである。

（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, 2014a）。全体の 7 割を占める 4 PJ は家畜排せつ物をベースとした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）。

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
農家規模プラント	48	1.150
下水処理施設プラント	53	1.084
ゴミ処理施設	28	0.179
工業プラント	6	0.255
合計		5.533

出所：Energistyrelsen（デンマーク・エネルギー局）（2014b）.

注．バイオガス施設を所有する下水処理施設及び廃棄物処理施設は自治体が所有する第三セクター企業である.

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 基の新たな集中型プラント，あるいは大量の農家規模プラントの建設が必要になると試算されている。

（３）近年のバイオガス関連政策

デンマーク政府もバイオガスセクターの持つポテンシャルに注目しており，バイオガスに関する複数の政策が実施されている。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（Danish Government, 2009）。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・国家議員 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「エネルギー2020 政策」を打ち立て，2020 年までに総エネルギー消費の 30％を再生エネルギーで賄うことを目標としている。これは 2012 年比の２倍以上に相当する。

「エネルギー2020 政策」では，バイオガス施設・設備の建設と改良を目的として，建設・設備費への補助金がこれまでの 20％から 30％に引き上げられた。またバイオマスエネルギーの固定価格買取制度（FIT 制度）が改められ，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へインセンティブを与えている。

特に近年ではバイオガスに含まれるメタン（CH_4）と二酸化炭素（CO_2）を分離させて圧縮することで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 政策」では，天然ガス会社のバイオガス生産事業への参入を認めており，精製バイオガスの FIT 制度に加えて政策的にも北海の天然ガスの代替燃料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。

FIT 制度の具体的な変化とは，これまで（2008 年以降）の基本調達価格に新たに追加補助金 A と B が追加されたものである（第２表）。なお，第２表は 2012 年度の基礎調達価格を示しているが，これ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。

追加補助金 A は前年の平均天然ガス価格と基礎価格（53.2 デンマーククローネ/Nm3）の差に応じて毎年１月１日に調整される。追加補助金 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 減額し，2019 年が最終交付年となる。ただし，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 政策」の合意書には 2018 年にエネルギー政策の再検討を実施することが明記されている（高井，2014）。

第２表　2012 年度における FIT 制度の内容（デンマーククローネ/GJ）

	基本調達価格	追加補助金 A	追加補助金 B	合計
バイオガスを燃料にした電力	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

出所：Energinet.dk (2014a, b)をもとに著者作成.

注．バイオガスを燃料にした電力は主に CHP を通じて発電されるが，kWh に換算した場合の FIT 単価の合計は 1.15 デンマーククローネである.

さらに乾燥工程等の産業生産過程に使用されるエネルギー，あるいは輸送に係るエネルギー，また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 FIT 制度が適用される。

なお，デンマーク国内では 2012 年３月の「エネルギー2020 政策」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 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し，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 2015 年 12 月であった。

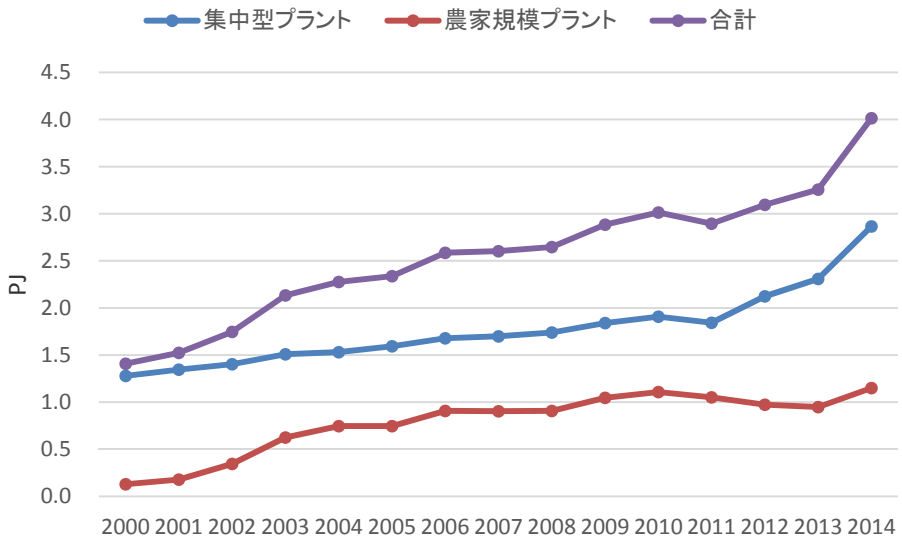
高井（2014）によれば，「エネルギー2020 政策」の国内決議を受けて，多くのバイオガスプラントの建設や既存施設の拡張・改善プロジェクトが補助金を申請し，計 20 あまりのプロジェクトが仮認定を受け，欧州委員会による承認を待ち続けた。大幅な遅れのために「エ

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た。

（４）今後の課題

第３図は 2000 年から 2014 年までの集中型プラントおよび農家規模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 4 PJ 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 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）。



第３図　デンマークにおける家畜排せつ物をベースとしたバイオガス生産量の遷移

出所：Energistyrelsen（デンマーク・エネルギー局）（2014c）.

他方，Lybæk et al. (2014)は，この 10 年間でバイオガス生産技術が進歩しているのにも関わらず，新しいバイオガス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セクターの長所と短所を「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３表）。

第３表　デンマークのバイオガスセクターに関する長所と短所

	長所	短所
環境	● 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	● 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	● 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）	● 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	● 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	● 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	● 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	● 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）

出所：Lybæk et al.(2014)をもとに著者作成.

第３表の「長所」を見てわかるように，バイオガスセクター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

オガスセクターの障壁となりうる「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になりうるものとして以下の４つを挙げている。

産業有機廃棄物の代替バイオマス

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（つまりプラントの経済性を向上する）ためにプロテインを多く含んだ産業有機廃棄物（食肉加工や魚の残さ等）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現存プラントへ供給されてしまっており，新しい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，家庭からの生ゴミが考えられるが，このような代替資源の探索には自治体の積極的な介入が有効である。

市場の拡大

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 プラントでのバイオガス利用を増やし，エネルギーを供給できるエリア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セクターの発展につながる。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。

住民の反対

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。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。

ファイナンスの問題

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ステークホルダー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セクター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 分析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，社会的側面，環境側面等から明らかにしていく。

４．適用事例の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 NGF Nature Energy Holsted（以下 Holsted）およびシェラン島中東部の Solrød Biogas（以下，Solrød）という２つのバイオガスプラントである。いずれもバイオガス増産政策の欧州委員会の承認を待って，ともに 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４表)。以下，それぞれのバイオガスプラントの概況および事例選定の理由を説明する。

第４表　事例となった２つのバイオガスプラントの概要

	NGF Nature Energy Holsted	Solrød Biogas
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%），海藻（0.5%），食品廃棄物（ペクチン）（76.5%），有機廃棄物（カラギーナン）（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＋地域内の耕種農家
株主	Nature Energy（天然ガス販売会社）：65% Borørup-Holsted Biogas（バイオガス協同組合）：26% Xergi（プラント建設会社）：９%	Solrød（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

出所：関係者への聞き取り調査をもとに著者作成.

（１）Nature Energy Holsted の概要

Holsted での取組を選出した理由は次の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，新しいタイプのステークホルダーといえる天然ガス販売会社が 40 戸の畜産農家で構成されるバイオガス協働組合と共同出資を行った点，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。

Holsted 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働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 万トンを処理する。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 m^3 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 Xergi へ９％，バイオガス協働組合へ 26%，残りが Nature Energy 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%まで協働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 2020 などの予算をプールした助成金によって支援を得た。

（２）Solrød Biogas の概要

Solrød での取り組みは以下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)。本研究でもこれらを理由に事例として選定した。

まず，バイオガス生産の原料として海藻を使っている点である。バイオガス生産に利用される海や湖沼で発生する藻類はブルーバイオマスと呼ばれ，食料・飼料としても利用される資源作物とは異なり人間や動物との競合を生み出さないことから，その研究や利用に近年関心が集まっている。Solrød 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藻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プラント設立の発端となった。試算によれば海藻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 Solrød 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。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 Solrød 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つ目の理由は，上記のような地域全体に関わる環境保全を目的として，プラント設立の実行計画イニシアチブを自治体が中心となって行い，さらに複数の利害関係者が協力体制をとった点である。

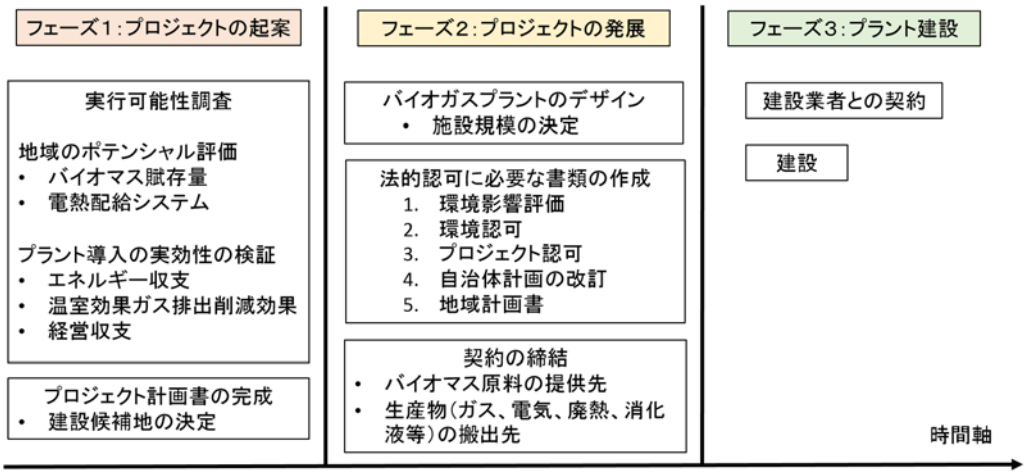
Solrød のプラントでは，年に 7,400 トンの海藻，53,200 トンの家畜ふん尿，14 万トンの有機廃棄物（ペクチンおよびラギーナン製造の残さ）を処理する。年間およそ 600 万 m3 メタンガスを生成し，23 GWh の電力と地域暖房として年間 29 GWh を供給する。消化液に関してはスラリーを提供した養豚農家へ同量分が返却され，各自の農地に施肥される。しかし，プラントから排出される液肥量はこれを上回るため，契約した近隣の耕種農家へも搬入される。

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 人のフルタイム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および関係者，また大学研究者（コペンハーゲン大学，ロスキレ大学，オーフス大学）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 分析枠組の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所有主体の発見や主体間のマッチングのプロセス，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。

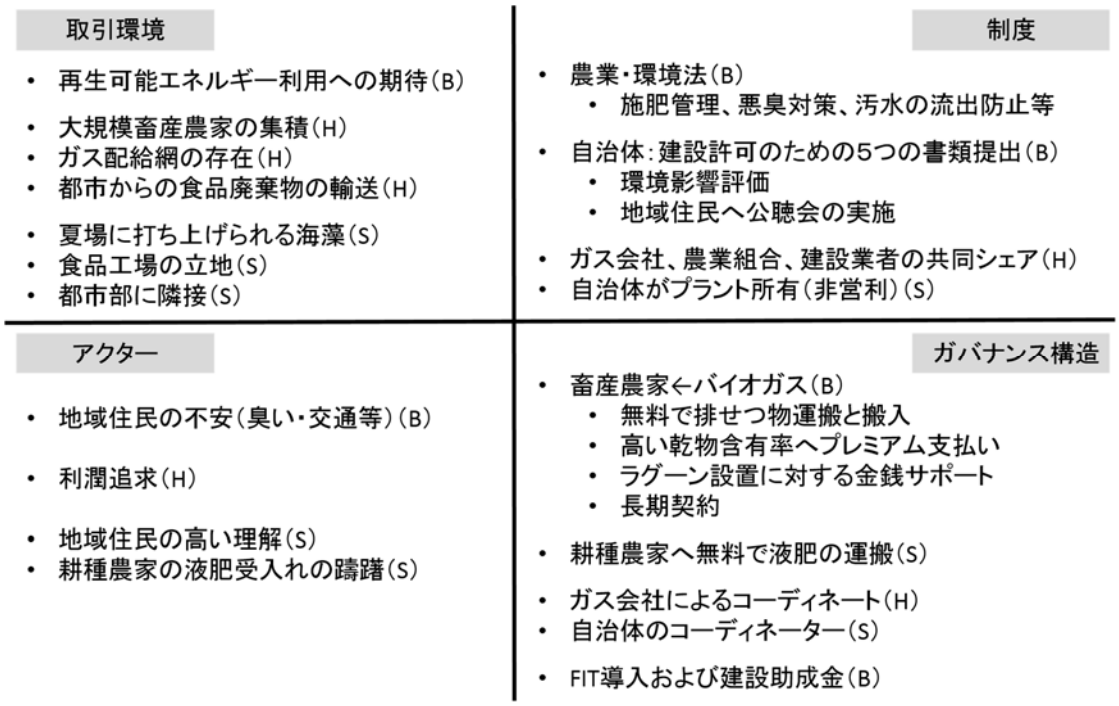
なお，Holsted および Solrød が稼働を開始したのは 2015 年の秋であり，聞き取り調査時にはまだ半年あまりしか経過していなかった。そこで本研究ではバイオガスが起案されて稼働に至るまでのプロセスについて特に着目して整理を行っていく。Lybæk and Kjær（2015）によると，このプロセスは主に３つの段階（フェーズ）に分類できる（第４図）。この時間軸の分類を踏まえた上で，本研究では IoS 分析枠組の４要素を整理していく。しかしながら，関係者への聞き取り調査より「フェーズ３：プラント建設」に関しては重要事項が観察されなかったことから本稿では取り扱わない。



第４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

出所：Lybæk & Kjær(2015)をもとに著者作成.

第５図は４要素に基づいて聞き取り調査の結果を要約したものである。図中において Holsted に特定の事象には H，Solrød については S，共通の場合は B（＝Both）とした。以後，各要素の詳細を説明していく。



第５図　Holsted および Solrød バイオガスの現状を IoS 分析枠組の４要素で整理した結果例

出所：関係者への聞き取り調査をもとに著者作成.

（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動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。Holsted では Nature Energy がイニシアチブを取って，彼らが委託した専門のコンサルティング会社が，Solrød ではプラント設立プロジェクトのメンバーであるロスキレ大学の研究者が事前評価分析を行った。

Holsted では，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 20 キロ圏内に位置していることが重要であった。また Holsted 周辺では天然ガスの供給網が整備されており，効率的に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プラント規模と生産性，そして販売先が必要である。Holsted 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クリアできた。

他方, Solrød では夏場に回収される海藻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 CP Kelco という食品製造工場より，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，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 CP Kelco 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，Solrød はコペンハーゲン中心部から 20km ほどの距離にあり，CPH 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 Solrød 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。そのためプラントのオーナーである自治体は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 Solrød における実行可能性調査では，生産されたバイオガスを CP Kelco 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 VEKS の CPH 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といえる。

これに対して Holsted 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，農家の大規模化がハイペースで進んでおり，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，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 Holsted 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働組合 Borørup-Holsted Biogas 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 Nature Energy 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。

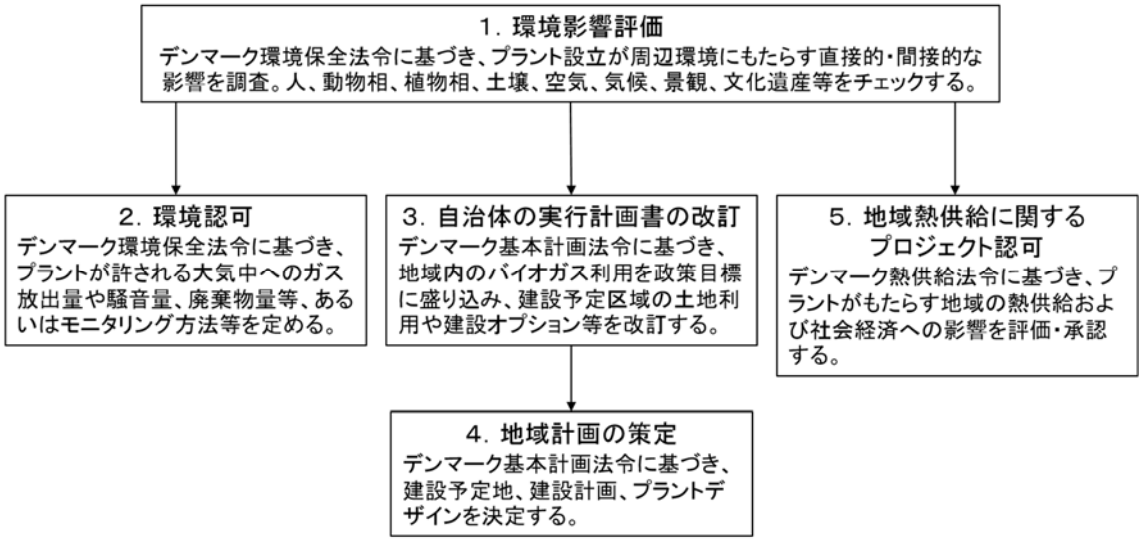
他方，バイオガス計画を阻害する要因もいくつか確認された。まず大きな障害となったのがプラント建設に対する近隣住民の反対の声である。Holsted は国内でも最大規模のプラントであり，毎日大量の運搬トラックの往来等が懸念された。またコペンハーゲンからも近くベットタウンにもなっている Solrød では景観を乱すことや住宅地への近接等の不安が寄せられた。このような近隣住民の不安やコンフリクトを取り除くために幾度も公聴会が開かれ，住民承認を得るまで十分な説明がなされた。例えば Solrød ではプロジェクト発足時からロスキレ大学の研究者が実行委員として参加している。これにより研究機関と自治体とが連携を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 Solrød 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。しかしながら海藻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して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， Holsted および Solrød が置かれている基本的な「制度」条件は同じであった。実現可能性調査を通じたプラント設立案の検討の際にも各法令に従っていることが前提である。

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，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６図）。まず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，以後の審査あるいは実行計画が定められていく。



第６図　新規バイオガスプラントを設立する際に必要な書類と作成フロー

出所：Solrød Kommune(2014)をもとに著者作成.

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

済まないと「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。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 Solrød 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（およそ 6,000 万円）とされ，その多くが環境影響評価等を始めとするアセスメントにかかる費用である。

このような稼動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。Solrød 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。

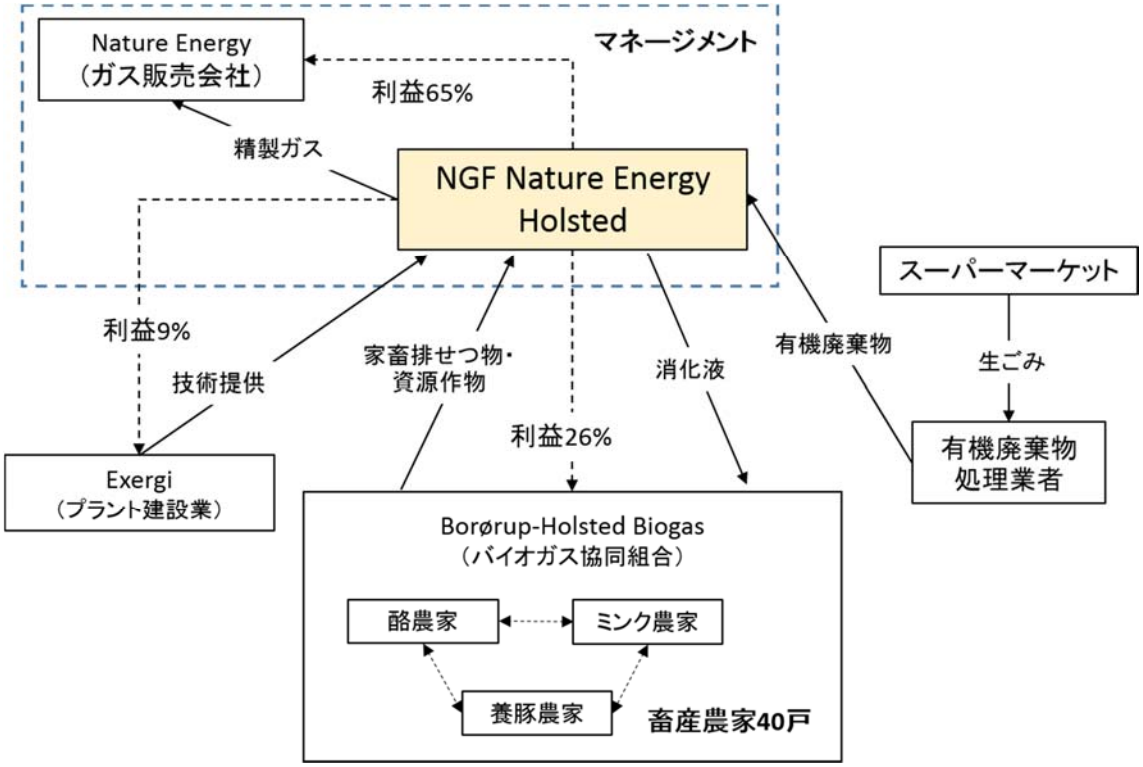
上記で見てきたようにデンマークにおけるバイオガスプラント設立にかかる取引コスト（情報コストおよび交渉コスト）は非常に高額であると考えられる。しかし，その一方で最低でも 10 年以上の稼働を前提に徹底的な多角評価が行われ，これは結果的に稼働後の実施コストやモニタリングコストを引き下げるものと考えられる。

（４）ガバナンス構造

Holsted と Solrød の取り組みにおける「ガバナンス構造」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）Holsted のガバナンス構造

第７図は Holsted における主体間の資源・知識・金銭のやりとりを介したガバナンス構造を簡略図で示したものである。Holsted では天然ガス販売会社である Nature Energy 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。Nature Energy 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 Nature Energy 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。プラント技術に関しては専門業者である Exergi 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。シンプルなガバナンス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。



第７図　Holsted のガバナンス構造

出所：関係者への聞き取り調査をもとに著者作成.

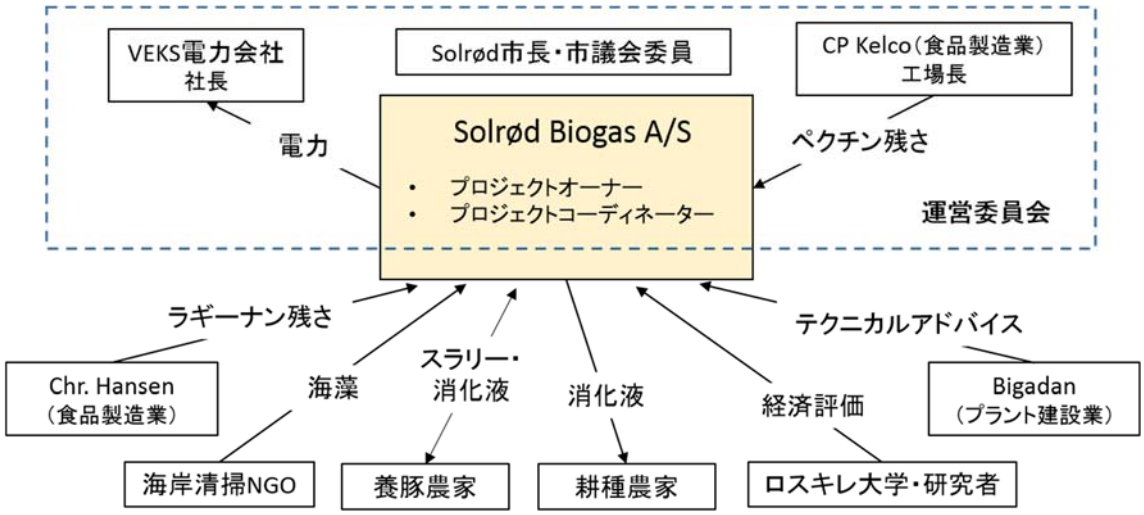
その一方で，Nature Energy の共同出資者でもあるバイオガス共同組合 Borørup-Holsted Biogas も独自のガバナンスを有している。40 戸の畜産農家メンバーの中から選出された組合長を含む３人の幹部が組織を束ね，彼らが代表してプラント会社の運営やコンプライアンス等について Nature Energy と連絡をとりあっている。

組合全体でプラントへ提供する家畜排せつ物の年間総合量が決まっており，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 年に渡る。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 Asai et al.(2014b)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。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農家にとっても大きな利点である。例えば，新しい搬出先を見つけなくて済むことは情報コストを下げるという意味で有利である。

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 Nature Energy 側の介入は行われない。

２）Solrød のガバナンス構造

Solrød では多様な主体が関係していることが特徴である（第８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 CP Kelco の工場長，バイオガスを買い取る VEKS 電力会社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。



第８図　Solrød のガバナンス構造

出所：関係者への聞き取り調査をもとに著者作成.

技術的な運用に関してはプラント建設業者である Bigadan 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。Bigadan 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 Solrød 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海藻を収集し，プラントまで持ってくる作業の指示を出す。また Holsted 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を行っている。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人がその任務を勤めてきた。現在のコーディネーターはロスキレ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）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，プラントと各農家との間で取引が行われる。Holsted と Solrød 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。飼養頭数やラグーン（貯留槽）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（Holsted の場合はプラントから半径 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液肥用のラグーンを２つ所有し，プラント側からラグーン建設の援助金が出る

「取引環境」の章でも述べたように，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。Holsted では 20 キロ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。Holsted 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。これに関して両プラントでは排せつ物自体への支払いは行わないものの（よって農家は無料で提供），一定基準以上の良質のものに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。Solrød 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，逆に支払いを求められる。

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），このようなインセンティブを付けるシステムが構築された。事実，Holsted 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，仮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，この栄養分のロスはプラントからの支払いによって賄われる。Solrød 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出る。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ラグーンとプラントから運び込まれる消化液の受け皿となる２つ目のラグーン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半年間貯蔵できる規模のラグーンを保有していることが法規制で定められている。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，そこでプラント側が畜産農家に援助金を出している。

Solrød 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ラグーン設置援助を行っている。まずトラックが１度に搭載できる 38m^3 分の消化液を貯蔵できるラクーンが最低限必要とされるが，この設置に関して，最初の 5,000 トンまで４デンマーククローネ，5,000 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，家畜排せつ物を科学的な成分分析を行うことで情報の透明性を高め，同じ条件化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インセンティブが与えられていることである。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，つまり協同パフォーマンスの向上につながる。

６．おわりに

本研究では取引コスト理論の観点から IoS 分析枠組を構築し，これを用いてデンマークにおける先進的な取組の整理を行った。このアプローチによって主体間のバイオマスを介したやりとりの総体的な把握が容易になり，IoS 分析枠組の有用性が確認された。

デンマークでのプラント設立に関しては，全国共通の厳格な制度の存在が認められた。環境影響評価や住民との協議等は稼働前における情報コストや交渉コストを大幅に増加させるが，結果的にこれらのプロセスは長期に渡るプラント稼働のためには不可欠であり，実施コストやモニタリングコストの節約に貢献するものと考えられる。これを実証するためには両プラントにおける継続的な観察が必要であり，今後の課題としたい。

また長期契約や排せつ物管理に関するボーナス支払いによるインセンティブ等，ガバナンス面での工夫も多数見られた。今後日本での取組に関しても参考になる点が多いと考える。

［引用文献］

Asai, M., Langer, V., Frederiksen, P., 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., Frederiksen, P., (2014b) “Responding to environmental regulations through collaborative arrangements: The case of Danish manure partnerships” *Livestock Science 167*, pp.370-380.

Coase, R., (1937) “The Nature of the Firm” *Economica 4*, pp.386-405.

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.

Energinet.dk (2014a) “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 (2014b) “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）.

Energistyrelsen, (2014a) “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, (2014b) “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, (2014c) “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）.

Hagedorn. K., Arzt, K., 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.

Lybæk, R., Andersen, J., 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., 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., Gregersen, K.H., (2007) "Biogas plants in Denmark: successes and setbacks" *Renewable and Sustainable Energy Reviews 11(1)*, pp.116-132.

Plieninger, T., Thiel, A., Bens, O. Huttl 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.

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

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。

Widmark, C., Bostedt, G., Andersson, M., 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.