

デンマークに於けるバイオガス増産への取り組み

高井 久光

コンサルタント、PhD, オーフス大学工学研究所

Department of Engineering, Aarhus University

北海道バイオガス研究会顧問

1985年デンマーク議会が原発否定を決議した時には北海のガス・油田開発が始まっていた。原発に対する不安、廃棄物処理問題、国民的反対運動などの理由もあったが、このガス・油田開発は原発否決の重要な背景であったはずだ。とは言え、1956年にリーシュー(Risø)原子力試験場を設立して以来計3基の実験原子炉を建設するなど30年近く準備してきた原発導入を断念するには大きな決断力を要したであろう。それから再び30年近く経った今、デンマークは脱化石エネルギー、100%再生可能エネルギー社会への道を歩んでいる。本稿の目的は、貯蔵可能な再生可能エネルギーであるバイオガス増産へのデンマークに於ける取り組みの概要を報告することである。

目次

1	要約.....	2
2	「エネルギー2020政策」の概要.....	3
3	バイオガス生産の現状と今後の見通し.....	3
3.1	バイオガス生産量の推移2000～2012年.....	3
3.2	バイオガス施設の企業形態.....	4
3.3	バイオガス関連企業.....	4
3.4	バイオガスの利用.....	5
3.5	バイオガス増産の見通し.....	5
4	補助金制度.....	6
4.1	電力補助金制度 (Energinet.dk、2014b)	6
4.2	「その他のバイオガス利用」への補助金制度 (Energinet.dk、2014b)	7
4.2.1	利用グループ1	7
4.2.2	利用グループ2	8
4.3	施設・設備建設への補助金制度.....	8
5	地方自治体の役割.....	8
5.1	ワークショップ「バイオガス増産に対する自治体の役割」の報告.....	8
5.2	ワークショップ参加自治体域内の農業.....	10
6	既存共同バイオガス施設の経営状況.....	10
6.1	損失計上の要因.....	11
6.2	利益を計上できた要因.....	12
B	施設の事例	12
K	施設の事例	13
7	バイオガス資源.....	13

7.1	家畜ふん尿.....	14
7.2	導入ポテンシャル.....	14
8	再生可能エネルギーと電力需給バランス.....	15
9	資料.....	16

1 要約

100%再生可能エネルギー社会へのビジョン「エネルギー2050」の第一歩である「エネルギー2020政策」は、2020年までに総エネルギー消費の35%を再生可能エネルギーで賄うことを目標としている。バイオガスは貯蔵できるので風力・太陽光発電を補完するエネルギー源として重要であり、エネルギー2020政策の重要な役割を担っている。バイオガス生産2020年目標値は約18PJである。これは、2012年生産量の4倍に相当する。

エネルギー2020政策で決められたバイオガス補助金制度はEU委員会の承認を必要とし、その主要部分が2014年2月に承認された。バイオガス増産政策は実施段階に入ったわけである。2013年9月時点で計画されている、あるいは開始されたバイオガス・プロジェクトは全部で41件ある。これらのプロジェクトが100%実施された場合、バイオガス生産は現在の約3倍12PJになる。中・大型共同バイオガス施設がバイオガス増産の主力となるであろう。バイオガスの利用者は全国に分散するCHPと地域暖房施設であるが、将来的にはバイオガス高度精製（グレードアップ）施設が重要になると思われる。エネルギーシステムの要に位置する機関は電力・ガス広域系統運用機関Energinet.dk（国有）である。同機関は補助金制度の運営も担っている。デンマークの電力・ガス系統は隣国と繋がっており、Energinet.dkが電力・ガス輸出入の管理をしている。

共同バイオガス施設の最も多い企業形態はアンデルス組合である。地域暖房施設の企業形態はアンデルス組合と自治体が係わる第三セクター企業である。家畜ふん尿由来バイオガスを高度精製する施設が2014年1月に北ユトランド半島に位置する都市ヨーリング(Hjørring)で稼動開始した。高度精製したバイオガスの天然ガス・ライン注入はバイオガス市場を拡大し、バイオガス利用の多様化を促進するであろう。分散型バイオガス施設とバイオガス消費地を繋ぐバイオガス・パイプラインを建設するプロジェクトが進行中である。これは、バイオガス生産に参入できる農家数を増やす効果がある。また、販売路の拡大にもつながるので、バイオガス販売の安定化に役立つことが期待される。

バイオガス補助金制度は、バイオガスを燃料として発電した電力、その他のバイオガス利用、施設・設備の建設と改良を対象とする。一部を除き、現行補助金制度の期限は決められていない。ただしエネルギー2020政策合意に基づき、2018年にエネルギー政策の再検討を予定している。バイオガス増産政策において地方自治体が担う役割は、地域計画及び熱供給に関する行政事務、環境アセスメント他の申請プロセスに係わる行政事務などである。また、自治体はバイオガス増産政策のイニシアチブをとる牽引車であると同時に利害関係者を繋ぐジョイントでもある。

12の共同バイオガス施設の2009～2011年公表データをもとに経営分析を行った報告書によると、12施設中5施設が赤字経営であった。バイオガス生産効率を左右する最も重要な要因である原料の質を確保できたかが経営結果に重要な影響を及ぼす。流動性の良い屠場廃棄物などは使い尽くされた。流動性の悪い原料を処理する経済的な技術と代替となる原料の開発が望まれる。

2011年現在の総バイオガス生産量は3.9PJであり、その僅か1/4が家畜ふん尿由来である。有機廃棄物が重要な役割を果たしており、農業外の有機廃棄物はほとんど使い尽くされている。麦稈、カバークロップなどをバイオガス原料或いは副資材として利用する技術の研究開発が進行している。バイオガス資源の導入ポテンシャルは年間40～60PJといわれている。2050年の総エネルギー消費を約550PJとすると、その7～11%になる。バイオガスは貯蔵可能なエネルギーであるゆえ電力需給バランス調整に於いて重要な役割を担う。

2 「エネルギー 2020 政策」の概要

デンマーク政府は、2050年以後はエネルギー補給全て（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ビジョン「エネルギー 2050」を国民に示した。その第一歩であるエネルギー 2020 政策の主な達成目標は下記のとおり（出典：気象・エネルギー・建築省：Klima-, Energi- og Bygningsministeriet、2012）

- 2006年比でエネルギー消費を12%削減する。（これは、総エネルギー消費を864PJから約760PJまで削減することを意味する。）
- 再生可能エネルギー利用率35%を達成する。（再生可能エネルギー生産を倍増する。）
- 電力消費に対する風力電力率50%を達成する。（2012年現在 30.1%）

バイオガスは安定したエネルギー源であるため風力・太陽光発電のバックアップとして重要であり、エネルギー 2020 政策の重要な役割を担っている。バイオガス生産の2020年目標値は約18PJである（Naturgasfakta、2014）これは、2012年生産量の4倍に相当する。バイオガスに関するエネルギー 2020 政策「バイオガス促進のための改善された枠」には、バイオガス利用及びバイオガスを使って発電した電力への補助金に加え幾つかの政策が挙げられている：

- 2012年のバイオガス施設建設への補助率を20%から30%にする。
- バイオガスのみを燃料とする発電施設が、固定価格買取制度（FIT）から補助金制度（FIP）への移行するように促す。
- 地方自治体の天然ガス会社が、その商業活動のひとつとしてバイオガス生産事業へ参入することを可能にする。
- バイオガス増産目標を達成するためにタスクフォースを組織し、新しいバイオガス・プロジェクトを支援する。
- 2012-13年にバイオガス利用に十分な発展が見られない場合は、2014年にバイオガス分野の発展を促進するため、バイオガス買い取り義務を含む具体的な政策を検討する。

3 バイオガス生産の現状と今後の見通し

デンマーク・エネルギー局は2014年2月12日付けのニュースレターで「EU委員会は、バイオガスによる発電と高度精製したバイオガスへの補助金制度及びバイオガス施設への補助金制度を承認した」と発表した（エネルギー局、2014a）。当制度はデンマーク議会在2012年6月に可決した「デンマークエネルギー政策2012-2020年（エネルギー 2020 政策）」に含まれる補助金制度である。この新制度をうけて、多くのバイオガス施設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のプロジェクトが仮認定を受理した。しかし、その多くは、EUの承認が遅れたため、スタンバイ状態にあった。デンマークバイオガス施設協会（2014）は「エネルギー 2020 政策の目標を達成するためにはこれらのプロジェクトを早急にスタートさせる必要がある。時間切れ間際のEU承認だ」と解説している。

3.1 バイオガス生産量の推移2000～2012年

2013年現在のバイオガス施設数は表1に示す通りである（Energinet.dk, 2014a）。2012年の総生産量は約4.4PJであった（エネルギー局、2013a）。2013年データはまだ（2014年4月現在）エネルギー局から発表されていないが、2013年に大型バイオガス施設が本格稼働を開始したので、バイオガス総生産量は4.7PJ前後になる。過去12年間の総生産量の推移ををみると（図1）、年間総生産量が2.9PJ（2000年）から4.4PJ（2012年）へと約50%増えただけである。このような現状を思うと、僅か7年間でバイオガス生産を現在の約4倍にすることがはたして可能か疑問に思われる。成否のカギは、EU委員会の承認を得た新制度が思惑通りに働き、バイオガス施設への投資が加速するかに掛かっている。

表1：カテゴリー別バイオガス施設数と総生産熱量（2013年12月現在）

カテゴリー	2013年 施設数	2012年 総生産量、PJ
共同バイオガス施設	21	2.1233
農家規模バイオガス施設	約45	0.9735
下水処理施設で使われているバイオガス施設	58	0.8984
廃棄物処理施設で使われているバイオガス施設	26	0.2033
工業施設で使われているバイオガス施設	6	0.1843
合計		4.3827 ⁽¹⁾

1) 合計値は小数点6桁までの合計

出典：施設数：Energinet.dk、2014a、総生産量：エネルギー局、2013a

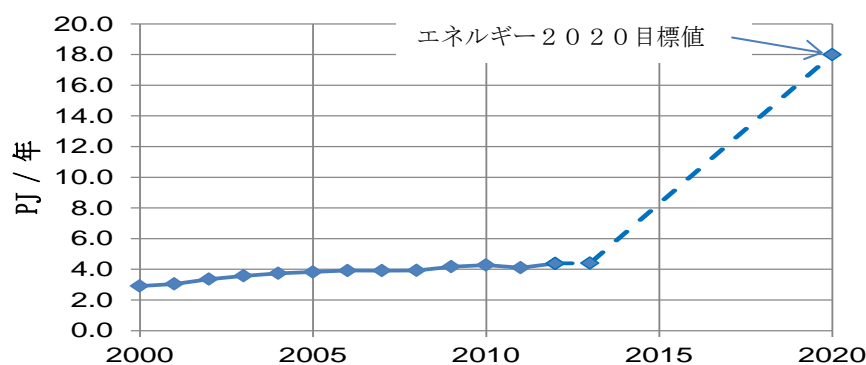


図1：デンマークに於けるバイオガス総生産量（ふん尿、下水、廃棄物及び工業廃棄物利用）

出典：エネルギー局、2013b；Naturgasfakta, 2014

3.2 バイオガス施設の企業形態

表1に見るとおり、共同バイオガス施設が全生産量の約50%を生産しており、最も重要な役割を担っている。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^(a))など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。これは、共同バイオガス施設の大多数が農業者のイニシアチブによって建設されたとことと関係すると思われる。アンデルス組合は、デンマーク農業が農産物の三分の二を輸出する産業に成長した原動力である。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。農地と家畜頭数のバランス規則（ハーモニー・ルール）、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ため、農家がアンデルス組合を設立して共同バイオガス施設を建設したわけである。よって、多くの場合、家畜ふん尿に対する処理料（ゲートフィー）はない。一方、副資材として優れた屠場廃棄物などに対してはゲートフィーを取っている。後述するが、有機廃棄物は既に底をついているので、トウモロコシなど優れた副資材をバイオガス施設が買うようになってきた。

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。農家規模バイオガス施設の所有者は、農家自身あるいは農場を運営する企業（多くの場合、親子で設立したI/S≈合名会社）である。農家規模バイオガス施設の数が比較的少ない理由として、有利な補助金制度がなかったことと、熱を有効利用しきれないことが挙げられる。エネルギー2020政策により、補助金制度は改善されたが、農家規模施設の投資を促進するにはバイオガス販売環境を改善する必要がある。

3.3 バイオガス関連企業

1970年代のオイルショックを機宜に北海のガス・油田が開発された。長距離輸送に適している石油は輸出し、天然ガスはガスパイプラインを建設し国内消費に当てられた。この天然ガスを有効利用するために、約500の分散型CHPと地域暖房施設^(b)が全国に建設された。現在、熱供給のみをする地域暖房施設が100施設、分散型CHPが649施設、中央集中型CHPが16施設稼働している（エネルギー局、2014b）。これらのCHP施設と風車と太陽光発電がデンマーク国内の電源である。また、隣国とも電

力を輸出入している。エネルギーシステムの要に位置する機関は電力・ガス広域系統運用機関である **Energinet.dk** (国有) である。同機関は電力系統の安定を保つ役割を担っている。デンマークの電力・ガス系統は隣国と繋がっており、**Energinet.dk** が電力・ガス輸出入を管理している。**Energinet.dk** はバイオガス補助金制度の運営も担っている。CHPを有する地域暖房会社の幾つかは **Energinet.dk** と契約を結び、CHPを **Energinet.dk** が遠隔操作できるようになっている。これらのCHPの燃料は今のところ天然ガスが主であるが、徐々にバイオマスとバイオガスに置き換えられ、他の再生可能エネルギー源のバックアップとしての役割を担うことになるだろう。

デンマーク地域暖房協会 (**Dansk Fjernvarme**) は地域暖房会社405社が加盟する全国組織である。当協会のHPによると、50社は自治体の地域暖房会社 (第三セクター企業)、残りの355社がアンデルス組合である。同協会に加盟する地域暖房会社が供給する総熱量の約50%が第三セクター企業、残りはアンデルス組合によって供給されている。企業形態を問わず、これらの会社は非営利企業である。より安価で安定した熱を利用者に供給することが使命であり、そのために有利なエネルギーの確保とより有利な電力販売・利用への努力を怠ってはならない。筆者は、地域暖房会社 (アンデルス組合) を何社か訪問したが、使用燃料は天然ガス、バイオガス、廃棄物、バイオマス (間伐材を外国から輸入) など多様であった。大規模な太陽熱温水施設、地下温水貯蔵施設 (夏に生産した温水を冬まで貯蔵)、電気温水器 (電力が安いときに温水生産) などが普及している。ある地域暖房会社の社長は「数千人のアンデルス組合員は、設備投資などへの資金調達において有力なバックボーンになる」と話していた。

自治体リングキューピング・スキャン市で進行するプロジェクト企業 **Bioenergi Vest** 社を紹介する。同市が所有する供給会社 **Ringkøbing-Skjern Forsyning A/S** (第三セクター、株式会社; 業種: 上下水、街灯, バイオエネルギー) は、地元農業組合と共同出資して **Bioenergi Vest** 社を市から買収した。その目的は、それまで市が推進していたバイオガス・パイプライン建設プロジェクトを継続することである。その第一ステップとして、近隣農家から提供されるスラリーを処理する5施設で生産されるバイオガスを51kmのパイプラインで近くの町に輸送し、CHP+地域暖房会社 (アンデルス組合) に供給する計画である。バイオガス施設は既存する2施設に加え新たに3施設建設する。**Bioenergi Vest** 社のビューベアー社長の話しでは「経済環境が農家の資金調達を難しくしているので、**Bioenergi Vest** 社がローンを組み、バイオガス施設を建設し、農家にリースする計画である。バイオガス・パイプラインは **Bioenergi Vest** 社が建設する」とのことである。パイプラインの建設は、バイオガス生産に参入できる農家数を増やす効果がある。また、バイオガス販売路の拡大につながるので、バイオガス販売の安定化に役立つ。

3.4 バイオガスの利用

現在、バイオガスは主にCHPの燃料として利用されている。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。ゆえに、地域暖房施設への距離が重要な立地条件となる。風力発電導入の増加にともない、風況が良いときの電力価格下落が顕著になっている。地域暖房会社では、電力価格が下がったときに熱需要があればCHPの代わりにボイラーを稼働、或いはCHPを稼働し電力は電気温水器での温水生産に使うなどの工夫をしている。北国のデンマークでは暖房への熱需要は大きい。地域暖房会社に有利な価格でバイオガスを販売できれば、冬季のバイオガス需要は十分にあるだろう。しかし、暖房を必要としない夏季は需要が減るので多様なバイオガス利用者を開発する努力が必要である。

バイオガスを高度精製して、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。高度精製したバイオガスに関する制度と補助金制度は既に施行された。天然ガス販売会社 **HMN Naturgas I/S** (57自治体が所有する第三セクター企業) が高度精製施設をユトランド半島の北に在る都市ヨーリング (**Hjørring**) に建設し2014年1月に営業を始めた。**HMN Naturgas I/S** 社 (**HMN Naturgas I/S**, 2014) のニュースレターによると、年間6百万m³の高度精製ガスを生産する見込みである。

3.5 バイオガス増産の見通し

2013年9月の時点でエネルギー局バイオガス・タスクフォース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件ある (表2)。大・中型共同バイオガス施設がバイオガス増産の主力になるだろう。試算によると、これらのプロジェクトが100%実施された場合、バイオガス生産は現在の約3倍12PJになる。なお、表2は、2012年3月以前に実施決定をしたプロ

プロジェクトを含んでいないので、計画されている全てのプロジェクトを網羅していない。今後2～3年間にどのプロジェクトが実施されバイオガス生産がどこまで増えるかは今のところ未知数である。

表2：2013年9月時点でエネルギー局バイオガス・タスクフォースが把握しているプロジェクト計画或いは開始されたプロジェクト

施設への補助金支給を仮認定されたプロジェクト	プロジェクト数
新しく建設する共同施設	9
既存共同施設の拡張	2
新しく建設する農家レベル施設（エコ農業）	4
同上（慣行農業）	1
既存農家レベル施設の拡張（慣行農業）	4
合計	20
その他の施設	
新しく建設する施設	12
既存施設の拡張	9
合計	21

出展：バイオガス・タスクフォース、エネルギー局、2013a

3章付記：

- a) デンマーク語で Andelsselskab（アンデルスセルスカブ）という。この語の前半分 Andel とはシェアとか部分という意味で協同ではない。後ろ半分 selskab はソサエティーとか組合・協会という意味である。M.B.A. とは、組合員が出資金のみに対する有限責任を負うことを意味する。日本の協同組合とは内容・機能ともに多少異なるように思えるので、あえてアンデルス組合と呼ぶことにする。
- b) これらの施設の大多数はアンデルス組合で、地域暖房利用者である住民と企業が組合員である。

4 補助金制度

バイオガス補助金制度は、バイオガスを燃料として発電した電力、その他のバイオガス利用、施設・設備の建設と改良を対象とする。

「その他のバイオガス利用」は2つの利用グループに分かれている：

利用グループ1： ガス供給ネットを通して販売する高度精製したあるいは精製したバイオガス。

利用グループ2： 生産プロセス、暖房、輸送等に利用するバイオガス。

エネルギー局が2014年2月12日付けのニュースメールで「EU委員会の承認を得た」と発表した制度は電力補助金制度と施設・設備への30%補助金制度及びバイオガス利用グループ1を対象とした補助金制度である。バイオガス利用グループ2を対象とした補助金制度はまだEU承認を得ていない。現行の補助金制度の一部以外は（後述）期限が決められていない。ただしエネルギー2020政策の合意書で、エネルギー政策の再検討を2018年に実施することが決められている。

4.1 電力補助金制度（Energinet.dk、2014b）

当補助金はバイオガスを燃料にして発電した電力を対象とし、電力生産者に交付される。その財源は電力消費者に割り当てられる賦課金（電力PSO）で賄われる。

電力生産者はバイオガスの利用割合により2グループに別けられ、異なる補助金制度が適用される（表3）。使用燃料の94%（注：小数点以下四捨五入）以上がバイオガスである施設（バイオガス専用施設）は固定買い取り制度（FIT）の適用を受けられる。バイオガス利用割合が93%（注：小数点以下四捨五入）以下の施設（複燃料施設）に対しては、バイオガスで生産した電力に対し、市場価格に固定額を上乗せする制度（FIP）が適用される。両制度の額は消費者物価指数に対応して毎年一回（1月1日）調整される。

補助金制度のEU承認に伴い、新たに追加補助金AとBが追加された。両追加補助金はFITまたはFIP額に加算される。追加補助金Aは、前年の平均天然ガス価格と基礎価格^(c) (53.2Kr./Nm³) の差を0.26Kr./kWhから差し引いた額で、毎年1月1日に調整される。追加補助額Bは2016年まで同額だが2016年から毎年0.02kr./kWh減額し、2019年が最終交付年となる。

表3：電力補助金の推移

単位：kr./kWh	年	2010	2011	2012	2013	2014
バイオガス94%以上利用施設 (FIT) 固定買い取り制度 (消費者物価指数に対応して調整)		0.772	0.781	0.793	0.802	0.806
バイオガス93%以下利用施設 (FIP) (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。)		0.419	0.424	0.431	0.436	0.438
追加補助金A (天然ガスと基礎価格の差に応じて毎年1月1日調整)				0.26	0.217	0.155
追加補助金B (2016年から毎年0.02kr.減額)				0.10	0.10	0.10
合計	バイオガス94%以上利用施設	0.772	0.781	1.153	1.119	1.061
	バイオガス93%以下利用施設	0.419	0.424	0.791	0.753	0.693

出典：Energinet.dk、2014b

4.2 「その他のバイオガス利用」への補助金制度 (Energinet.dk、2014b)

4.2.1 利用グループ1

高度精製したバイオガスと精製したバイオガスの利用を当報告では利用グループ1と呼ぶこととする。当グループへの補助金制度では、それぞれのガスを次のように定義している (出典：Energinet.dk, 2013, Regler for Støtte til Opgraderet biogas og Renset Biogas)：

- 高度精製したバイオガス (バイオ天然ガス) とは、デンマークのガスシステムに技術的且つ安全に供給でき輸送できるための規定基準を満足できるバイオガス。
- 精製したバイオガスとは、水分や燐などを除去し、地域の都市ガスネットに技術的且つ安全に供給でき輸送できるバイオガス。

当補助金制度の財源は再生エネルギー賦課金としてガス料金とともに徴収されるガスPSO。補助金の交付を受けられるのは：

- バイオガス精製施設を所有し天然ガスネットにバイオガスを供給している事業者
- バイオガス精製施設を所有し地域の都市ガスネットにバイオガスを供給している事業者

補助金は3区分となっている (表4参照)。基礎補助額は、消費者物価指数に対応して毎年一回 (1月1日) 調整される。追加補助金1は、前年の平均天然ガス価格と基礎価格^(c) (53.2Kr./Nm³) の差に応じて毎年1月1日に調整される。追加補助金2は2016年まで同額だが2016年から毎年2kr./GJ減額し、2019年が最終交付年となる。

表4：高度精製バイオガス及び精製バイオガスへの補助額

単位：Kr./GJ (真発熱量)	年	2013	2014
基礎補助金：物価指数の変化に応じて毎年1月1日調整		79.90	80.3
追加補助金1：前年の天然ガス価格と基礎価格53.2 Kr./GJの差に応じて毎年1月1日調整		21.70	15.4
追加補助金2：2016年から毎年2 Kr./GJ減額		10.00	10.00
	合計	111.60	105.8

出典：Energinet.dk、2014b

4.2.2 利用グループ2

プロセス、輸送その他暖房などへのバイオガス利用を当報告では利用グループ2と呼ぶこととする。当制度はエネルギー2020政策に基づくが、EUの承認を待って施行する。

補助金の交付を受けられるのは（出典：Energinet.dk, 2014）：

- 何らかのプロセス、例えば乾燥工程、にバイオガスを利用する企業の所有者。
- バイオガスを輸送に利用する最終消費者にバイオガスを販売する事業者。
- その他、バイオガスをエネルギーとして例えば暖房などに利用する者。

補助金は3区分となっている：

- 1) 基礎補助金： 39 Kr./GJ。
- 2) 追加補助金1： 26 Kr./GJ。
- 3) 追加補助金2： 10 Kr./GJ。

バイオガスを利用するCHP施設への補助金制度は既に施行されており、その基礎補助額79 Kr./GJはそのまま継続されている。

4.3 施設・設備建設への補助金制度

建設・設備費への補助金は30%である。地域開発プログラム、自然と環境と農業の総合政策「緑の成長」、デンマークエネルギー政策2012—2020年などの予算枠から多数のバイオガス施設建設プロジェクトに補助金が支払われた。しかし、新たなプロジェクトを申請できる施設費補助プログラムは未だ発表されていない。

地方自治体が建設資金借款の保証人になることがある。また、地方自治体が所有する供給会社がバイオガス施設を建設するケースもある。例えば、ホルステブローの超大型バイオガス施設を建設し運営している会社Maabjerg Bioenergy Drift A/Sは、二つの地方自治体「ホルステブロー市」と「ストローア市」が所有する供給会社が共同出資して2009年に設立された。

4章付記：

c) 基礎価格は再生可能エネルギー促進法 (Lov om fremme af vedvarende energi) で定められている。どのような過程でこの額が決定されたか、エネルギー局に問い合わせたが、十分な答えは得られなかった。法制定当時の平均的なガス価格に近い額ではないだろうか、ということであった。

5 地方自治体の役割

2013年3月21日、バイオガス・タスクフォース（エネルギー局）と「バイオガス特別捜査班」と呼ばれる環境省・自然局が組織する自治体支援組織及び畜産地帯に在る10の自治体はワークショップ「バイオガス増産策における自治体の役割」を開催した。その議事録に下記のような記述がある：

バイオガス増産政策において地方自治体が担う役割は、地域計画及び熱供給に関する行政事務、環境アセスメント他の申請プロセスに係わる行政事務などである。自治体は、域内のエネルギー供給に係わる大局的な状況を把握し、利害関係者（訳者注：団体、企業、個人）と協議し地元の要望を地域計画と（訳者注：エネルギー・環境政策などに関する）戦略に組み入れる役割を担う。つまり、バイオガス増産政策の牽引車であると同時に利害関係者を繋ぐジョイントでもある。ゆえに、自治体は課題を提唱し、共通のより良い解決策のための協力関係を築く任務を担っている。バイオガス増産計画が成功するためには参加するパートナー全員が何らかのかたちの利益を得られる必要がある。（バイオガス・タスクフォース、エネルギー局、2013b）

5.1 ワークショップ「バイオガス増産に対する自治体の役割」の報告

では、自治体は実際にどのような対応をしているのであろうか？ワークショップは2013年6月25日に開催され、農業地帯に在る10自治体が参加した。これらの自治体の所在地を図2に示す。ワークショップ参加者の報告を見るかぎり、国のエネルギー・環境政策に応じて自治も独自の政策を打ち出している。ま

た、バイオガス施設建設可能地を地域計画へ組み込むなどの政策も実施している。しかし、積極的にリーダーシップをとっている自治体と農業者や企業からの働きかけを待っている比較的受動的な自治体が半々である。積極的な自治体（緑点）は、レンビ(Lemvig), リングキューピング・スキャーン (Ringkøbing-Skjern), チステッド (Thisted), チュナー(Tønder), バーデ(Varde)の5自治体である。一方、比較的受動的な自治体（赤点）は ハーニング(Herning), ヨーリング(Hjørring), オーベンロー(Åbenrå), バイエン(Vejen), ビボー(Viborg)の5自治体である。

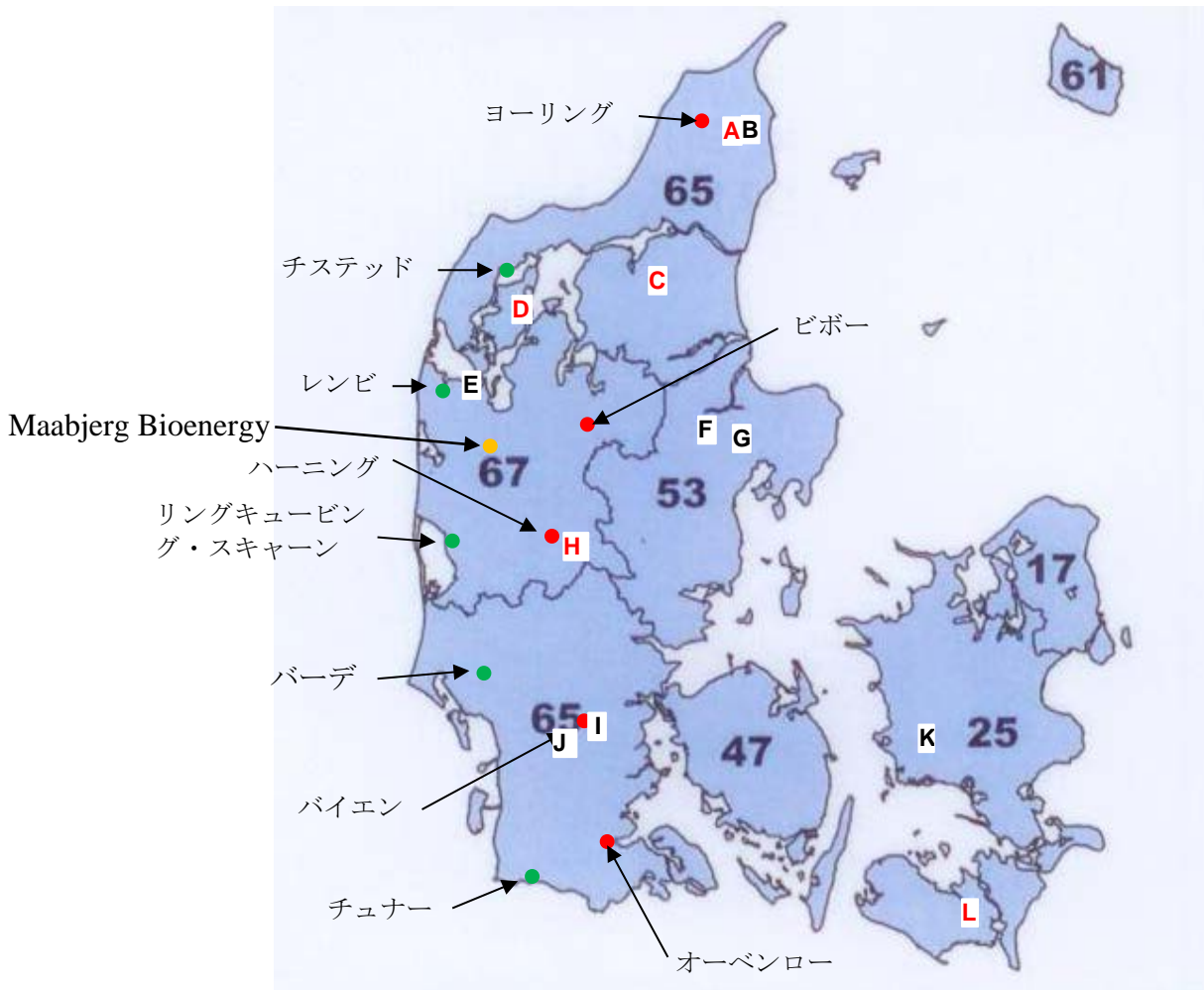


図2：ワークショップ「バイオガス増産策における自治体の役割」（4章）に参加した10自治体の所在地（緑点：バイオガス増産に積極的な自治体；赤点：受動的な自治体）、Maabjerg Bioenergy 所在地（4及び5章）、経営分析（5章）の対象となったバイオガス施設の所在地（利益計上施設：B, E, F, G, I, J, K; 損失計上施設：A, C, D, H, L）、及び農地面積に対するふん尿搬出農地面積の割合（数字、%）

バーデは積極的な自治体であるが、自治体の政策にバイオガスが組み込まれたのは2013年である。同計画にはバイオガス・パイプライン、地域暖房計画等も含まれている。バーデには、1996年にスタートした共同バイオガス施設 Blåbjerg がある。これはアンデルス組合で51の農家が所有する施設である。チュナーはドイツとの国境近くに位置する自治体で、北ドイツ（農業地帯）のバイオガス・プロジェクトの情報が多く入ってくる地域である。住民の多くがドイツ語を話すこともあるが、この地域の農家の多くが北ドイツのバイオガス会社と契約して副資材作物（トウモロコシ）の契約栽培を行っていた。当自治体はバイオガス・プロジェクトに係わる借款の保証人にはなるが、自治体自身はリーダーシップをとっていない。

ハーニング (Herning) はバイオガスに関しては受動的な自治体であるが、自治体主導のプロジェクトとして、1996年に Studsgaard バイオガス、1998年に Sinding バイオガスと2共同バイオガス施設を建設した。しかし同2施設は、2009年に民間企業に移行した。現在、自治体は積極的なバイオガス政策を推進していない。Studsgaard と Sinding バイオガスは、当初家庭ごみ (生ゴミ) を処理していたが、不十分な分別による異物の混入など多くの問題に遭遇した経緯がある。この経験が現在の方針に影響しているのではないと思われる。ハーニングは繊維関連企業が多い地域である。また、展覧会会場やスポーツ施設の充実に早くから取り組み、経済活動の活発な地域であるため、バイオガス・プロジェクトへの注目も薄れるのかもしれない。

ヨーリング (Hjørring) は受動的であったが、独自の再生可能エネルギー政策を打ち出す方針である。バイオガスにも力を入れる方針である。しかし、バイオガス販売の問題が残っている。地図からも察せられるとおり、ヨーリングはユトランド半島の先にあり、大きなバイオガス市場から遠いというハンデキャップを背負っている。天然ガス輸送ネットを使ったバイオガス販売が可能になればこの問題は解消される。よって、バイオガスの高度精製の経済性が改善されればバイオガス生産が増える可能性があると考えられる。

ビボー (Viborg) とバイエン (Vejen) とオーベンロー (Åbenrå) は、収益性があればバイオガス・プロジェクトの提案が来るはず「そうすれば自治体は支援する」というスタンスである。

ワークショップでは、自治体が積極的に取り組むべき課題として下記テーマが挙げられた：

- 自治体で使う自動車や公共バスなどのバイオガス利用を拡大する。
- 環境アセスメントに関する行政事務を統一する。

5.2 ワークショップ参加自治体域内の農業

図2に示す数字は、自治体内の農地面積に対するふん尿搬出農地面積の割合 (%) である。10自治体があるデンマーク西部では農地の三分の二にふん尿を施肥している。デンマークではほとんどの場合スラリーシステムである。その一般的な乾物含有率は3~9%の範囲である (Landbrugsinfo: Biogas, 2011) スラリー輸送は水を運んでいるようなもので、経済的理由から長距離輸送はしないと考えられる。それゆえ、これらの地域でのふん尿施肥面積は限界に近づいていると判断してよいだろう。

ユトランド半島西部の農地は、氷河期の終りに作られた砂の多い土壌である。もともと酪農が盛んな地域であったが、養豚、ミンク農場も多い。農業の構造改革が急テンポで進展しているが、経営規模拡大に際して越えなければならないハードルの一つはふん尿処理である。厳しい環境規制により、ヘクタール当りのふん尿投入量が制限され、高い肥効率が求められている。環境脆弱地域や河川・湖近くでの農業活動の制限なども施行されている。1985年以来続いている窒素肥料に関する制限に加え隣国についても厳しい規制が施行されるようになった。2012年、同地域のある酪農農場を訪問した折、農場主は「ふん尿の農地施肥制限が厳しくなり、バイオガス施設でふん尿を「洗浄」しないかぎり農場を続けられないので、バイオガス・プロジェクトに参画した。」と話していた。

図2に積極的な自治体を緑色、受動的な自治体を赤色の点で示したが、積極的な5自治体すべてが西海岸近くに位置していることに気付く。チステッドとレンビとリングキュービング・スキャーンの農場の多くではフィヨルドや河川の近くの環境脆弱地が経営農地の中に入っている。そのような状況は、バイオガス・プロジェクト推進の大きな動機付けになると考えられる。今回のワークショップには参加していないが、ホルステブロ市近郊に建設された超大型バイオガス施設「Maabjerg Bioenergy」(図2、オレンジ色の点) 建設の発端は、厳しくなる環境規制への対策として農家指導でスタートしたプロジェクトである。

6 既存共同バイオガス施設の経営状況

新たなバイオガス・プロジェクトを立ち上げるとき先ず乗り越えなくてはならないハードルは資金調達であろう。その時、下記の設問に対して適切な判断が求められる：

- 1) バイオガス生産効率が十分か？
- 2) 運転経費を十分に抑えられるか？
- 3) バイオガス納入先の確保は心配ないのか？

- 4) 将来の販売価格は十分なレベルに保たれるか？
 5) 固定買い取り価格は2019年まで段階的に減額するがその後の市場はどうなるのか？

1と2はバイオガス生産技術と施設運営の課題が大きなウェイトを占めるであろう。3は市場の問題であるが、自治体及び国の政策の影響も受ける。また、バイオガス・パイプラインや高度精製したバイオガスの導入など市場変化をもたらす新たな可能性への見極めも必要である。4と5はエネルギー・気象・環境政策に影響されることは明らかであるが、エネルギー価格は国際事情に左右される。

では、既存のバイオガス施設はどのような結果を出しているのだろうか。コンサル・調査会社デロイト社 (Deloitte) とブルー・プラネット・イノベーション (BPI: 農業組織が所有するコンサル会社、農業ノレッジセンターの子会社) は、12の共同バイオガス施設の公表データをもとに2009~2011年の経営分析を行った (Deloitte and BPI, 2013)。図2に、12バイオガス施設の所在地を英字で示す。分析は、利益計上施設 (n=7; 黒い英字で表示) と損失計上施設 (n=5; 赤い英字で表示) の2グループに分けて行われた。表5に各グループの平均値、総計及びプラス・データを計上した企業のグループ内割合を示す。

利益グループの売上げ高は損失グループより約80%多いにもかかわらず、総操業費は損失グループより約10%多いだけである。利益グループの金融費用は損失グループの約半分であった。これらの数字は、損失グループの売上げが過少で金融費用が過大であったことを示唆している。結果として、損失グループの粗利益とEBITDA (税引前利益+特別損失、支払利息+減価償却費) が利益グループの約4分の1にとどまり、5施設全ての営業利益がマイナスであった。損失グループは平均値で約240万クローネの赤字であった。

6.1 損失計上の要因

バランス・データを見ると損失グループの長・短期借入金と利益グループの約倍であることが顕著である。いきおい利子支払い能力が-0.6となり、金利支払いが出来ない状況であることを示している。また、負債利益比率は25.4で、過大な負債を抱えていることを示している。損失グループに属する5施設中3施設の自己資本はマイナスであった。Deloitte and BPI (2013) は、これら施設の経営状態が不調であった原因として以下の指摘を行っている:

- 高効率ガス生産達成のための特別な施設を建設したが、思惑通りの生産を得られず、高額な設備投資の償却を平均的なガス生産効率で支えなくてはならない。(A施設)
- 高ファイバー含有ふん尿を期待し建設されたが、ふん尿納入までに時間が掛かるため原料の質が低下。原料を暖める経費が掛かりすぎる。経費に対して期待通りのガス量を生産できない。スラリーを収める農家にとって固液分離のメリットが少ない。(D施設)
- 原料となる有機廃棄物量が不足。地域暖房ネットに投資をしたが、十分な熱料代金の回収が困難。これらに加え、故障に何回も見舞われ予定外の出費を必要とした。(L施設)
- 有機廃棄物を十分に入手できたときは順調だったが、入手困難になった。(C施設)
- 一般的な問題として言えることは、流動性の良い家畜ふん尿と有機廃棄物を前提として設計された施設は、屠場廃棄物などのポンプ輸送可能な廃棄物が不足したときの対応が不備である。

バイオガス生産効率(設問1)を左右する最も重要な要因である原料の質を十分なレベルに保てるか否かが利益計上グループと損失計上グループの大きな差と思われる。A施設はバイオガス生産技術の先端を走っていた企業Green Farm Energyの施設で操業開始は2002年である。豊富なノウハウを結集して設計し運転したはずなのに期待通りの成果を得られなかった。理由は多々あると思うが、入手可能な原料が期待通りの質でなかったのだろうと思われる。D施設はスラリーの固液分離技術に期待したが、農家にとってメリットになるコンセプトではないため原料の質が低下したのだと考えられる。流動性の悪い原料を処理する経済的な技術と代替となる原料、例えば藁やカバークロップの利用(7章バイオガス資源参照)が実現すれば、B・C施設の状況は向上するのではないだろうか。

表5：共同バイオガス施設の経営分析結果（2009～2011年の公表データを分析）

	利益計上グループ、n=7			損失計上グループ、n=5		
	平均 1,000 Kr.	グループ の合計 1,000 Kr.	+data 施設の 割合 %	平均 1,000 Kr.	グループ の合計 1,000 Kr.	+data 施設の 割合 %
決算結果						
売り上げ高	18,273	n/a		10,259	n/a	
総操業費	-9,576	n/a		-8,613	n/a	
限界利益	7,279	50,953	100	1,941	n/a	75
金利・税金・償却前利益 (EBITDA)	4,502	31,515	100	1,180	5,899	100
減価償却	-2,715	-19,006		-2,256	n/a	
営業利益、事業利益 (EBIT)	1,787	12,509	100	-1,076	-5,381	0
金融費用 (正味)	-782	-5,472		-1,405	n/a	
税金前利益	1,028	7,199	100	-2,399	-11,993	0
利益	924	6,468	100	-2,371	-11,855	0
バランス						
固定資産	21,329	149,305		34,766	173,831	
土地及び建屋	7,964	55,749		8,895	n/a	
流動資産、当座資産	5,385	37,694		9,014	45,071	
自己資本	7,590	45,539	100	1,073	5,364	40
資本金	5,500	n/a		2,412	9,648	
長期借入金	11,822	82,757		26,393	n/a	
短期借入金	8,503	59,518		15,812	79,059	
総資産	27,393	191,754		43,780	218,902	
Rationer (som median) 比率 (中央値)						
金利支払い能力 (EBIT / 金融費用)	2.1			-0.6		
負債利益比率 (負債 / EBITDA)	4.9			25.4		
事業利益売上げ比率 (EBIT / 売上げ) %	9.5			-9.0		
総資産利益率(EBIT / 総資産) %	5.9			-1.8		
自己資本利益率 (利益 / 自己資本) %	13.9			-17.0		
総資産自己資本比率(自己資本 / 総資産)	0.24			0.00		

注：n/aは売上げデータが入手できなかった場合か、自己資本がマイナスであるため不適な「比率」が得られることを示す。

出典：Deloitte and BPI, 2013

6.2 利益を計上できた要因

Deloitte and BPI (2013) は、利益計上グループ2施設をインタビューし、良好な経営結果を示した要因を調査した。事例調査の対象となった施設はB施設 (Grøn Gas) とK施設 (Hashøj Biogas A. m. b. a.)。表6に両施設の主要データを示す。

B施設の事例 (URL: <http://grongas.dk/om-groengas.aspx>) :

ベンシュルス島西部の農業地帯に位置し、オーナーは農家である。企業形態は株式会社。施設建設はオーナーが担当し、検証しながら段階的に建設した。建設費を約30%節減できた。オーナー自信が施設の構造に精通し、日常作業にも参加していることは、メンテ・修理費用を抑える要因であり、施設改良を容易にしている。トウモロコシ投入施設や高効率コージェネ導入など、状況の変化に適時対応することを可能にしている。

周辺の5農場が納めるスラリーに対し乾物含有量が高い場合は農家に支払い、低い場合はゲートフィーをとる。余った消化液は近隣農家に流通させる。乾物含有量をベースとする納入農家との取り決めは原料の質を保証し安定したバイオガス生産の要因となっている。バイオガス・高度精製施設建設を計画している天然ガス会社 HMN I/S（複数の自治体が所有）へのガス納入を見込み新たな施設を建設中である。このプロジェクトに伴い、新たに30農家からバイオマス納入の仮承諾を得ている。

K施設の事例 (URL: <http://www.hashoejbiogas.dk/>)

ジールランド島西部に位置するアンデルス組合である。地域の20農家（畜産・耕種農家）がオーナー。K施設が1994年に操業開始したのと同時にハスホイ電熱供給社（HKV = Hashøj Kraftvarmeforsyning A. m. b. a. , CHP + 地域暖房、アンデルス組合）が操業した。一人の社長が両社の運営責任を兼務し事務所も共同だが、理事会は別。地方金融公庫の融資条件に従い運営は損益ニュートラルである。バイオガス施設は Bigadan A/S 社が建設。問題なく操業開始でき、施設運営の基礎を築けた。

畜産農家はスラリー納入義務を、畜産・耕種農家は消化液受け取り義務を負っている。この取り決めにより、原料供給と消化液排出の安定を図っている。今のところ、有機廃棄物の入手は比較的容易であるが、新しいバイオマスも試験的に導入するなどして副資材入手先の分散を図っている。また、2008年には大規模バイオガスタンクを建設。電力市場に介入するためのバイオガス・CHP 共同事業体を組織するなど、エネルギー市場の変化に対応する努力をしている。HKV社は天然ガスも使っているが、暫時バイオガスに切り替えることをK施設との共同戦略としている。K施設は安定したバイオガス納入先を得、HKV社は安いガスを得、地域暖房利用者は安い給湯・暖房熱を得られる。悪臭が軽減される効果も地域社会と農家の関係において重要であろう。バイオガス施設はいろいろな意味で地域社会に益をもたらしているため農家、自治体、住民の支持が得られ、K施設とHKV社の協力関係が成り立っているのだと思われる。

表6：利益を計上できたB施設とK施設の主要データ

摘要	B施設 (Grøn Gas)	K施設 (Hashøj Biogas A. m. b. a.)
年間処理能力	25,000～30,000 トン	110,000 ～ 120,000 トン
原料(概数)	75%スラリー、20%バイオマス、5%グリセリンまたは有機廃棄物約	75%スラリー、25%有機廃棄物
年間生産量(概数)	3,600,000 m ³ ガス	7,500,000 m ³ ガス
	18,000 MWh 熱, 8,000 MWh 電力	22,000 MWh 熱, 18,000 MWh 電力
納入先	電力送電会社、地域暖房会社	電力送電会社、地域暖房 (約485戸)
限界利益	280 万クローネ	467 万クローネ
営業利益(EBIT)	59 万クローネ	99 万クローネ
税金前利益	8.4 万クローネ	19.1 万クローネ
長期借入金	894 万クローネ	928 万クローネ
短期借入金	990 万クローネ	653 万クローネ
利子支払い能力 (EBIT/金融費用)	1.2	1.2
負債利益比率 (負債/EBITDA)	9.2	4.4

出典：Deloitte and BPI, 2013

7 バイオガス資源

デンマーク政府は、余剰産物と廃棄物を主なバイオガス資源とする方針である（エネルギー局、2012）。このことは、バイオガス増産の主要資源を家畜ふん尿と余剰作物および有機廃棄物に求めることを意味する。現在、総家畜ふん尿量の約6%がバイオガス生産に利用されている（バイオガス業界組合、2014）。2009年に成立した「緑の成長」政策では、2020年までに全家畜ふん尿の50%をバイオガス施設で処理する目標であるが、バイオガス施設の建設が出遅れているので、この目標の達成は困難かもしれない。

7.1 家畜ふん尿

AgroTech 社の調査報告（Birkmose 他、2013）によると畜舎から搬出されるふん尿の年間総量は約 3590 万トンである。ドライマターに換算すると約 300 万トンになる。その内訳はスラリー 88%、ディープリッター（敷料を堆積するシステム、敷料とふん尿が混合）10%、固液分離ふん尿 2%。週一回少なくとも 30 トンのスラリーをバイオガス施設に出荷できることを前提とし農場を選択すると、利用できるスラリー量は年間 2500～2700 万トンになる。スラリーの約 15% は母豚舎のスラリーであるが、乾物含有率が低いいためバイオガス生産に適さない。家畜福祉への考慮から牛床に砂を敷く畜舎があるが、これら畜舎のスラリーもバイオガス施設で使えない。アンモニア気散を防ぐためにスラリーに硫酸溶液を加える技術が普及しつつあるが、硫酸処理されたスラリーをある程度の割合で醗酵槽に投入することは出来るが、この技術の普及は利用できるスラリーの量を制限する要因になる。Birkmose 等は、現在畜舎から搬出されているふん尿の 2/3 程度がバイオガス生産に利用できると推定している。しかし、この数値は農業の構造改革の進展（畜産農家の規模拡大）に伴い増えると予想される。一方、乳量の増加に伴い乳牛が淘汰され頭数が減る可能性がある。また、厳しい環境規制のために養豚農家の経営規模拡大と離農養豚農家のバランスがとれず豚頭数が減少する可能性もある。ドイツに子豚を輸出する農家がふえつつあるが、これもバイオガス資源を減少させる要因である。

7.2 導入ポテンシャル

表 7 にデンマークに於けるバイオガス生産の実現値と賦存量を熱量単位（PJ）で示す。この表は 2011 年に出版された報告書からの引用であるため、2014 年現在のバイオガス生産量と多少異なる値だと推察される。しかし、全体像は把握できるのではないかと思う。先ず気付くことは、農業バイオガス資源は大きなポテンシャルを有するが、農業外バイオガス資源の大きな拡大は期待できそうに無いことである。

表 7：デンマークに於けるバイオガス生産実現値とと賦存量

農業バイオガス資源	既利用熱量 PJ	賦存熱量 PJ
家畜ふん尿	1	22
エネルギー作物	-	42
低湿地農地（放牧・採草）	-	3
カバークロープ（7/8 月～2/3 に栽培する緑肥、慣行農業では窒素固定が目的）	-	14
合計		81
農業外バイオガス資源		
污水处理汚泥	0.9	1～3
工業廃棄物	1	<1
肉・骨粉	0.03	0.5
庭・公園からの廃棄物	0	1
ごみ処理場	0.3	-
合計	2.2	2～5

出典：Jørgen Olesen, 2011

家畜ふん尿から得られたバイオガスは約 1PJ、農業外の原料から 2.2PJ であった。廃棄物はガス生産効率を向上させるメリットに加え、多くの場合、処理料（ゲートフィー）を請求できる。そのため国内の有機廃棄物はほぼ使い尽くされ、約 0.7PJ 相当の有機廃棄物を輸入している。よって、2011 年現在の総バイオガス生産量は 3.9PJ となり、その約 1/4 のみが家畜ふん尿由来である。有機廃棄物が重要な役割を果たしていることが理解できる。

家畜ふん尿の賦存熱量は 22PJ であるが、Torkild Birkmose（AgroTech A/S）は、実際に利用できる家畜ふん尿は約 14PJ だろうとしている（Ingenøren 2013）。エネルギー作物の賦存熱量は 42PJ であるが、実際に利用される燃料作物はずっと少なくなる。エネルギー作物は、トウモロコシ、クローバー、グラス、麦、ビート、ビートトップ・サイレイジなどであるが、政府は「無批判な利用は、バイオガ

スの環境・気象効果を無効にする」とし、2015年から補助金を受けているバイオガス施設に投入できるエネルギー作物の割合は最大25%、2018年から12%、2021年にはさらにこの割合を下げる予定である（エネルギー局、2014d）。

麦稈及び菜種の茎は毎年大量に産出する資源である。麦稈は年間約5.1百万トン、菜種の茎と葉は約0.5百万トン産出する。うち、1.5~1.7百万トンはボイラーの燃料として使われている。約2百万トンは飼料と敷料に使われる。残りは収納されていない（Møller and Raju, Plantekongress 2012）。

Møller等は、少なくとも百万トンの藁（15PJ相当）がバイオガス資源ポテンシャルになると見込んでいる。しかし、藁からのメタン収量にばらつきがあることと、バイオガス施設での取り扱いの問題などを解決する必要があり、今後の研究開発を待たなくてはならない。Møller等は藁の可能性に関して以下の報告をしている：1）メタン収量に影響する主要パラメーターは藁の前処理、藁の種類、醗酵条件である。2）理論上は1kgの藁（ウェット・ベース）から432リットルのメタンを得られる。3）藁をバイオガス資源として利用するためには、メタン収量率が少なくとも250 l/kgで藁の価格が0.5Kr/kg以下でなくてはならない。

低湿地農地は放牧と採草に利用される。多くの場合、低湿地農地は川・湖・フィヨルド等の近くに位置し環境脆弱地として肥料や農薬の投入が許されていない。従来、低湿地農地は洪水等により湿地帯に供給されるミネラルを放牧と採草により農地に循環すると言う意味から重要な意味を持っていた。しかし、近代的な大型集約農業では、低湿地利用のメリットは薄れている。低湿地農地のバイオガス・ポテンシャルは3PJと推定されているが、広域に点在し、アクセス条件の悪い低湿地帯から採草する手間を考えると限られた範囲での利用を期待できるのみだと思われる。ただし、多数の小型ロボット収穫機などで広域に点在する作物を効率よく収穫できるようになれば、低湿地農地もバイオガス資源地として有用になるかも知れない。

カバークロープは土壌中の窒素流出を抑えることを目的として収穫後に作付けされる。環境規制で義務付けられている。主作物（多くの場合麦）の条間に牧草を蒔く栽培法も同じ部類に属する。麦、クローバー、ライグラス、ブラックラディッシュ、白がらし、チコリ、アブラナ科植物などがカバークロープとして使われている。栽培面積は約10万ヘクタールだが、今後拡大する見込みである（Birkmose et al., 2013）。

麦の条間にカバークロープを作付けし、麦の穂のみを収穫する。カバークロープは、麦の茎の間でそのまま1~2ヶ月間栽培する。麦の茎とカバークロープをフォーレージ・チョッパーで収穫しサイレージにし、バイオガス原料として利用するシステムが注目されている（Fog, 2014）。よく知られた技術で出来る作業であり、バイオガス施設での麦わらの取り扱いも改善される見込みである。未だ開発中の技術であるが、カバークロープの経済的な利用が可能になればバイオガス資源の問題は大きく改善されると期待されている。この技術は環境・気象・エネルギーにプラス効果を期待できるゆえに大いに興味ある技術である。

以上から推察すると、実際に利用できるバイオガス資源の導入ポテンシャルは年間40~60PJと推定されている（エネルギー局、2014c）。2050年の総エネルギー消費を約550PJと推定したとすると、バイオガスでその7~11%を賄えることになる。

8 再生可能エネルギーと電力需給バランス

2013年の総電力生産に対する風力発電の比率は32%であった。エネルギー2050ビジョンを実現するには、風力発電比率を2020年約50%、2035年約75%、2050年約140%と段階的に増やす必要がある（Brendstrup, 2013）。不安定電源である風車を主力とする電力系統では需給バランスをいかにして保つのであろうか。2013年、Energinet.dkを訪問したとき、システム計画部長のBrendstrup氏は「柔軟な対応が出来る発電と電力消費及び国際連系を組み合わせることで調整する」と説明してくれた。供給と需給を統一的に管理するスマートグリッドを構築するというわけだ。Brendstrup氏に頂いたグラフを図3に示す。グラフは消費電力（グレー）、風力発電量（緑色）、余剰風力発電量（黄緑色）のシミュレーション結果を示す。2035年と2050年の消費電力は同一と想定。縦軸は電力、横軸は時間（11月の3週間）を示す。（注：2035年と2050年の縦軸スケールは同一ではない。）

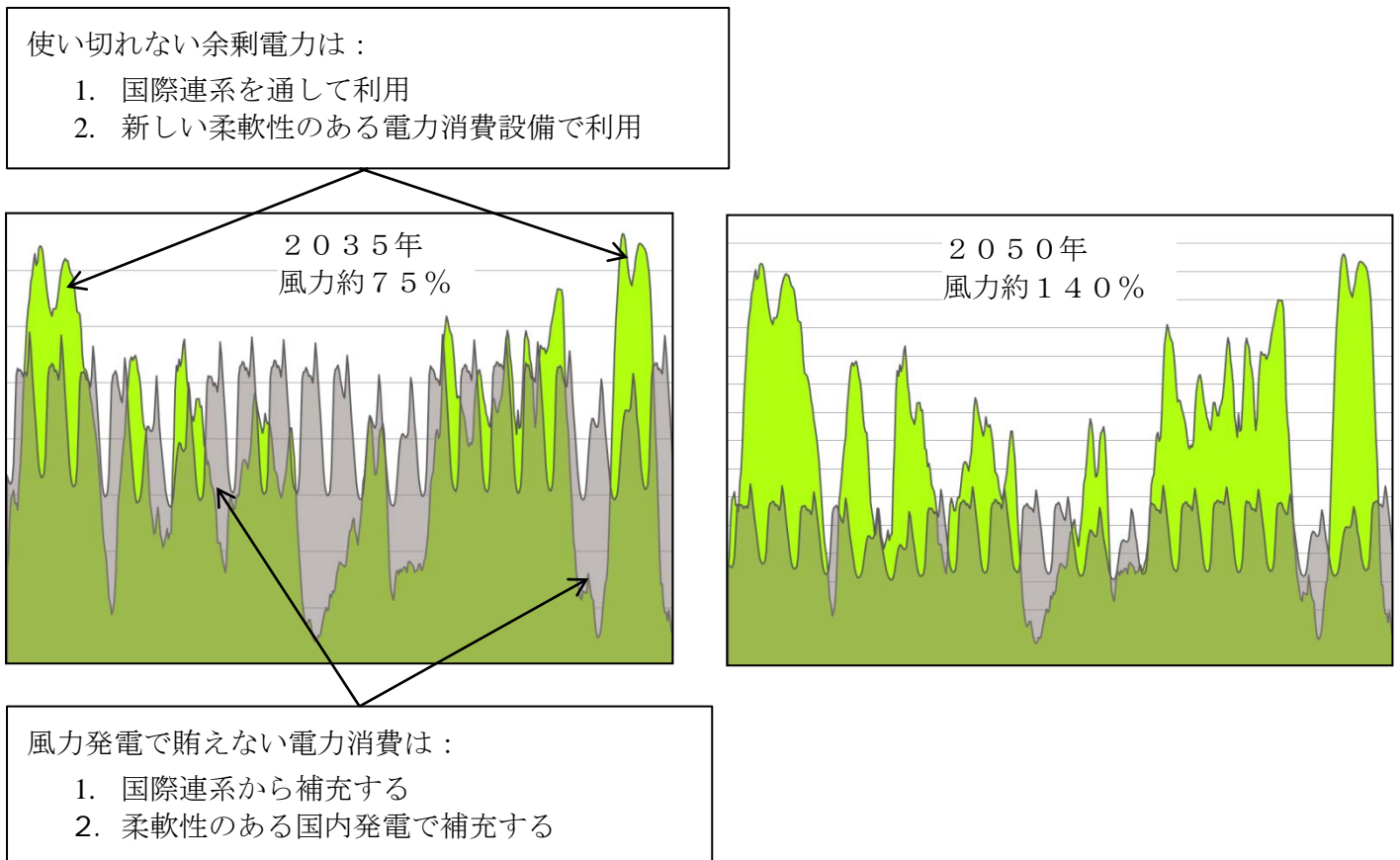


図3：11月3週間の消費電力（グレー）、風力発電量（緑色）、余剰風力発電量（黄緑色）のシュミレーション結果。2035年と2050年の消費電力は同一と想定。縦軸は電力、横軸は時間（11月の3週間）を示す。（注：2035年と2050年の縦軸スケールは同一ではない。）

柔軟性のある電力消費設備としては、熱を使う工業プロセス、電熱器、ヒートポンプ、集中型・分散型電熱併給施設に設置する大型ヒートポンプ、輸送に使う電力、電気分解（2次電池）などを想定している。柔軟性のある国内発電には、集中型CHP、分散型CHP施設などを利用。2035年の段階では、天然ガス、バイオガス、バイオマスなどを燃料として想定している。このように小規模電源を多数有する電力システムの安全性と安定性を確保するにはインテリジェントな自動制御が必要である。システム運営のノウハウの蓄積も必要であろう。その実現には今後の技術開発を待たなければならない。

過剰生産された電力の利用に国際連系は重要なツールであるが、隣国においても不安定電源の比率が増すであろうから、大規模電力・エネルギー貯蔵システムの構築が必須だろう。バイオガスは貯蔵可能なエネルギーであるから電力需給バランス調整に於いて重要な役割を担う。

謝辞

吉田文和先生（環境経済学、元北海道大学経済学部教授、現、同特任教授）と中村友洋氏（北海道電力株式会社、企画部経営企画グループ）から本稿の構成に対する貴重なアドバイスを頂きました。また、用語及び表現に関しても適切なお助言を頂きました。ここに感謝の意を表します。

9 資料

Birkmose, T; Hjort-Gregersen, K.; Stefanek, K., 2013: Biomasse til biogasanlæg i danmark – på kort og lang sigt（デンマーク国内のバイオガス施設へのバイオマス）, AgroTech : http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/undergrund-forsyning/vedvarende-energi/bioenergi/biogas-taskforce/biomasse_til_biogasanlaeg_endelig_version3_2_0.pdf

Brendstrup, B. 2013: An insight into the Danish Power system, Lecture at Eneginet.dk on 5. September 2013

バイオガス業界組合 (Brancheforeningen for biogas) 2014 :

http://www.biogasbranchen.dk/Om_biogas.aspx

Deloitte and BPI, 2013: DeloitteTouche Tohmatsu Limited and Blue Planer Innovation Co., Afdækning af muligheder for at fremme investeringer i biogas – Status muligheder og betingelser i forbindelse med finansiering af biogasanlæg (バイオガス投資促進可能性の分析 – バイオガス施設融資の現状、可能性と条件) Energistyrelsen, ISBN: 978-87-93071-15-5 (Online)

デンマークバイオガス施設協会 (Foreningen for dansk biogasanlæg) 2014 :

(<http://www.biogaskd.dk/nyheder/114-energiforliget-fra-2012-kan-endelig-traede-i-kraft-for-biogas>)

デンマーク地域暖房協会 (Dansk Fjernvarme) 2014 :

<http://www.fjernvarmen.dk/Faneblade/OmOs.aspx>)

エネルギー局(Energistyrelsen) 2014a : Statsstøtten til biogas er afklaret med Kommissionen (国のバイオガス補助金制度に関してEU委員会と合意した) 、

<http://www.ens.dk/info/nyheder/nyhedsarkiv/statsstoetten-biogas-afklaret-kommissionen>

エネルギー局 (Energistyrelsen) 2014b : Large and small scale district heating plants、

<http://www.ens.dk/en/supply/heat-supply-denmark/large-small-scale-district-heating-plants>

エネルギー局 (Energistyrelsen) 2014c : Biomasse til biogas (バイオガスのためのバイオマス) 、

<http://www.ens.dk/undergrund-forsyning/vedvarende-energi/bioenergi/biogas-taskforce/biomasse-biogas>

エネルギー局 (Energistyrelsen) 2014d : Brug af majs og energiafgrøder til biogas falder (バイオガスのためのトウモロコシと燃料作物は減少する) 、 <http://www.ens.dk/info/nyheder/nyhedsarkiv/brug-majs-energiafgroeder-biogas-falder>)

エネルギー局 (Energistyrelsen) 2012 : Notat, 26. september 2012 年 : Begrænsning for brug af majs og andre energiafgrøder til produktion af biogas (トウモロコシと他のエネルギー作物のバイオガス生産への使用制限) <http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/undergrund-forsyning/vedvarende-energi/bioenergi/biogas/Notat%20om%20begr%C3%A6nsning%20af%20brug%20af%20majs%20final%2026092012.pdf> 14.

エネルギー局 (Energistyrelsen), 2013a: Om biogas (バイオガスについて) 、

<http://www.ens.dk/undergrund-forsyning/vedvarende-energi/bioenergi/biogas>

エネルギー局 (Energistyrelsen) 2013b : Dansk klima- og energipolitik (デンマークの気象とエネルギー政策) 、 <http://www.ens.dk/politik/dansk-klima-energi-politik>)

バイオガス・タスクフォース、エネルギー局、2013a : Status over biogasudbygningen (バイオガス増産の現状) 、 http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/undergrund-forsyning/vedvarende-energi/bioenergi/biogas-taskforce/status_til_midtvejsseminar.pdf

バイオガス・タスクフォース、エネルギー局、2013b) : Kommunernes rolle i biogasudbygningen (バイオガス増産に対する自治体の役割) 、 <http://www.ens.dk/undergrund-forsyning/vedvarende-energi/bioenergi/biogas-taskforce/kommunernes-rolle>

Eneginet.dk、2014a: Biogas I tal (数字で示すバイオガス) 、 <http://energinet.dk/DA/GAS/biogas/Om-biogas/Sider/Biogas-i-tal.aspx>

Energinet.dk、2014b: Støtte til biogas (バイオガスへの補助)

<http://energinet.dk/DA/GAS/biogas/Stoette-til-biogas/Sider/Stoette-til-biogas.aspx>

E. Fog, 2014: Halm og efterafgrøde til biogas (バイオガスのための藁とカバー・クロープ) ,
Plantekongres, 2014. p. 246-247

<https://www.landbrugsinfo.dk/oekologi/planteavl/afgroeder/efterafgroeder>)

HMN Naturgas I/S、2014: For første gang i Danmark: Grøn biogas fra gylle sendes ud i naturgasnettet
(デンマーク初: スラリー由来のグリーンなガスが天然ガスネットに送られる) 、

<https://www.naturgas.dk/presserum/pressemeddelelse/080114forfoerstegang/>

Jørgen Olesen, 2011: Biogaspotentiale i danske kommuner (デンマークの自治体におけるバイオガス・ポ
テンシャル) , Udarbejdet for E nerginet.dk

気象・エネルギー・建築省(Klima-, Energi- og Bygningsministeriet), 2012 : Energifaalen i korte træk
(エネルギー合意の概略) 、

<http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/politik/dansk-klima-energipolitik/politiske-aftaler-paa-energiomraadet/energifaalen-22-marts-2012/Faktaark%201%20Energifaalen%20kort%20fortalt.pdf>

Landbrugsinfo: Biogas (2011): Tørstofindholdet i gylle har stor betydning for biogasanlæggenes økonomi (ス
ラリーの乾物含有量はバイオガス施設運営に大きな意味を持つ) ,

https://www.landbrugsinfo.dk/Energi/Biogas/Sider/pl_11_548.aspx

Møller and Raju, Plantekongress 2012 -Produktion, plan og miljø (作物コンGRES 2012ー生産: プ
ランと環境) , s.290-291

Naturgasfakta, 2014: Biogas i Danmark (デンマークに於けるバイオガス)

http://www.naturgasfakta.dk/copy_of_miljoekrav-til-energianlaeg/biogas