

木質バイオマス発電の経済性の分析

40114084

橋口 采和

長崎大学環境科学部 [環境政策コース] 卒業研究

2017 年度

指導教員：松本健一

要旨

近年、世界中でバイオマスエネルギーの利用拡大が進んでいることを受け、我が国ではバイオマスタウンでのバイオマスエネルギー利用拡大を図っている。しかし、バイオマスタウンの運営は採算性や安定稼働に問題があり構想通りに進められない市町村が多数ある。木質バイオマスエネルギーは固定価格買い取り制度での買取価格も高く、他のバイオマス原料と比較して賦存量も多いため、今後、有効利用する価値がある。そこで、本研究では木質バイオマスエネルギーの利用拡大に寄与するために、木質バイオマス発電事業採算性評価ツールを利用し木質バイオマス発電の経済性を明らかにすることを目的とした。

本研究では2つの分析を行った。1つ目は、燃料の購入単価を一定とし、燃料消費量に制約を設けない場合の経済性を、含水率20・30・40・50%それぞれで示した。2つ目は、バイオマスタウンである益田市を例に、益田市のバイオマス賦存量で補える燃料消費量の経済性を、1つ目の分析と同様に含水率20・30・40・50%それぞれの場合で分析し、経済性が確保できる発電規模と燃料購入単価の上限を示した。分析の結果、燃料消費量に制約を設けない場合、含水率が高い方が燃料消費量には大きく差が出ること、含水率が50%の場合含水率20%のときの約2倍の燃料が必要となることが明らかになった。益田市では、林地残材のみを燃料とする場合は含水率20・30%のものを、製材所廃材も同時に利用する場合は含水率20~40%のものを利用し、それぞれ購入単価を設定すると経済性が得られる発電事業が可能だと示された。

本研究により、木質バイオマス発電事業の経済性には、燃料の含水率と購入単価が大きな影響を与えると明らかになった。燃料含水率が高い場合は低い場合よりも燃料消費量が大きくなるが、購入単価を低く設定すれば経済性が得られる発電事業が可能になる。燃料消費量に上限を設定した場合でも、燃料含水率と購入単価を燃料消費量に合わせてそれぞれ設定することによって、経済性の得られる発電事業は可能になる。新たに木質バイオマス発電を導入する際には、燃料となる木質チップの含水率を限りなく低くし、木質バイオマス発電事業への補助金を利用すると経済性が得られやすい。本研究では、益田市の現在のデータとの食い違いがある恐れがあることや、事業主体の有無、林地残材の搬出・調達方法とコストといった発電事業に関連する項目は本研究で利用した評価ツールでは評価できないため、実際に発電事業を開始する場合、本研究での不足部分を補う必要があることが課題として残されている。

目次

第1章 序論	1
1-1 背景	1
1-2 先行研究	4
1-3 目的・意義	7
1-4 論文の構成	7
第2章 研究方法	9
2-1 経済性の分析方法	9
2-2 益田市を対象とした分析	10
2-3 木質バイオマス発電事業性評価ツール	11
第3章 分析結果・考察	17
3-1 経済性の分析	17
3-2 益田市における経済性の分析	19
第4章 結論・課題	23
4-1 本論文のまとめ	23
4-2 結論	24
4-3 今後の課題	24
参考文献	27
謝辞	29

図表目次

図 1-1	世界のバイオマス発電量.....	1
図 1-2	全国のバイオマス賦存量中の利用量と未利用量.....	2
図 2-1	評価ツールの画面.....	15
図 3-1	燃料購入単価が 9,000 円/t の場合の発電規模と内部収益率.....	18
図 3-2	燃料購入単価が 9,000 円/t の場合の発電規模と正味現在価値.....	18
表 1-1	木質バイオマス発電所を所有するバイオマスタウンと発電規模.....	3
表 1-2	木材含水率と発熱量の関係.....	4
表 2-1	湿量基準含水率によるチップ区分.....	9
表 2-2	益田市のバイオマス賦存量と利用方法.....	10
表 2-3	簡易入力項目.....	11
表 2-4	詳細入力項目.....	12
表 2-5	出力項目.....	13
表 3-1	含水率による燃料消費量 (t/年) の比較.....	17
表 3-2	林地残材を燃料とする場合の経済性.....	19
表 3-3	林地残材と製材所廃材を燃料とする場合の経済性.....	20

第1章 序論

1-1 背景

近年、カーボンニュートラルな性質を持つバイオマスエネルギーの利活用が世界各国で進められている（図 1-1）。このエネルギーは再生可能エネルギーであり、地球温暖化や化石燃料枯渇への対策、循環型社会の構築、廃棄物削減への取り組みの有効な手段の1つとして注目が集まっている。

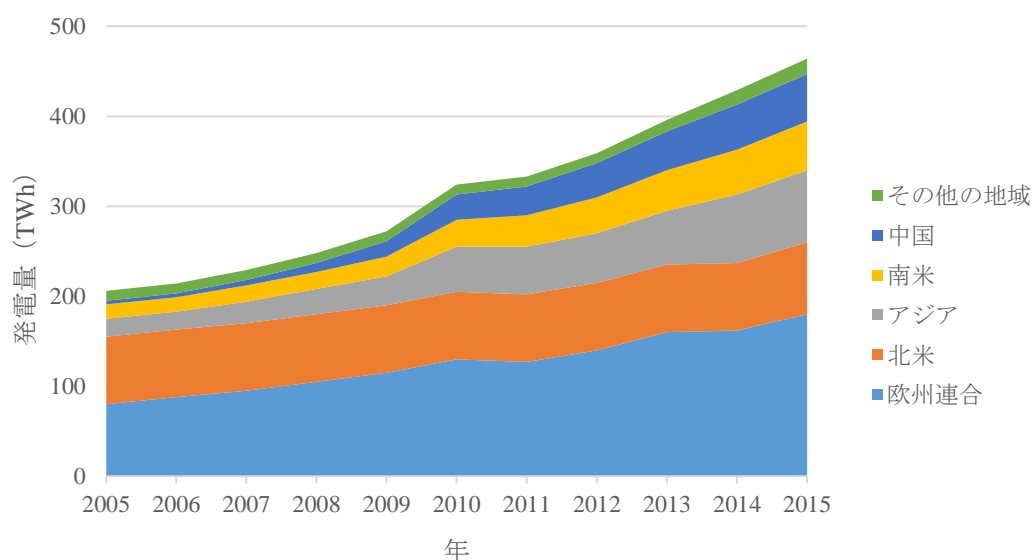


図 1-1 世界のバイオマス発電量（環境エネルギー政策研究所（2016）を元に筆者が作成）

我が国ではバイオマス・ニッポン総合戦略が 2002 年に策定された。同戦略では、京都議定書第一約束期間内の温室効果ガス排出削減目標達成のために、大幅なバイオマスエネルギーの導入が必要であるとし、バイオマスタウンの加速化が図られた。同戦略は同時に、バイオマスタウンの戦略的産業育成や農村漁村活性化を目的としている。最終公表された 2011 年 4 月末までの時点で、318 地区がバイオマスタウン構想を提出している（農林水産省，2011）。

しかし、バイオマスタウンの運営には課題が多く、構想通りに進まない市町村が多数存在している。2009年に総務省が実施したバイオマスタウンの構想に掲げる取り組み項目の進捗や効果の把握状況等の調査・分析では、その進捗が低調であること、構想の実施による効果の発現が十分に見られないことから、政策の実施により期待される効果が薄いことが明らかとなった（総務省，2009）。さらにバイオマス利活用に向けての取り組みの主な失敗理由は、バイオマスの利活用による採算性が取れないこと、収集運搬のコストが高いこと、安定的な稼働に不安要素があること、市町村の財政状況が厳しいこと等であるとの結果が同調査から示された。バイオマスタウンを構想通りに実現するにはこのような課題を包括的に解決する必要がある。

バイオマスエネルギーの1つである木質バイオマスエネルギーには、地域に根ざしている林産業と結びつくことによる地場産業の活性化や、間伐材や林地残材を有効利用することによる森林整備の促進に繋がるといったメリットがあると考えられる。他のバイオマス原料と比較してもその賦存量は十分存在しているが、木質バイオマス事業の運営方法やコスト、収集運搬の課題からその利用量は他のバイオマス原料と比較するとごくわずかである（図 1-2）。製材工場残材や建築発生木材は、紙パルプ・木質ボード原料・木質ペレット等の製造原料としてすでに利用が進んでいる。しかし、未利用の林地残材はその搬出や運搬のコストがかかることから森林内に放置され、年間約 2,000 万立方メートルの林地残材が発生していると推計されている（林野庁，2017）。

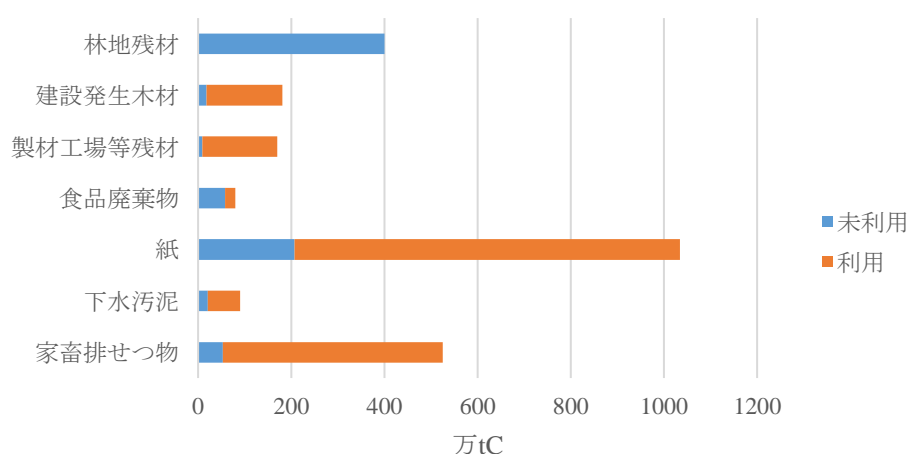


図 1-2 全国のバイオマス賦存量中の利用量と未利用量（農林水産省（2012）を元に筆者が作成）

木質バイオマスのエネルギー変換技術には直接燃焼方式・熱分解・化学分解があるが、ここでは直接燃焼方式のボイラーを変換装置とした木質バイオマス発電について言及する。木質バイオマス発電は、小規模なボイラーによる熱利用に比べてエネルギーの安定生産が可能であり、林業と結びつくことにより新たな雇用や関連産業への波及効果も期待できる（林野庁，2017）。さらに固定価格買取制度（以下、FIT と略す）では、間伐材由来の木質バイオマスの買取価格は他のバイオマスエネルギーに比べ高値であり、特に 2,000kW 未満の小規模な発電の買取価格は、2015 年度より 40 円/kWh である（資源エネルギー庁，2017）。そのため、ほとんどが未利用のままの林地残材は今後、有効活用する価値がある。

バイオマスタウン構想上で直接燃焼方式を掲げる市町村は約 100 である。一方、現在日本で稼働中の木質バイオマス発電所は 68 か所あり、そのうちバイオマスタウン構想で木質バイオマス発電利用を掲げている地域は 14 か所である（表 1-1）。

表 1-1 木質バイオマス発電所を所有するバイオマスタウンと発電規模

市名	事業者名	発電規模 (kW)
南相馬市	東北電力	20,000
常陸大宮市	日立造船	5,800
三条市	SGET 発電グリーン三条	6,250
長野市	いいづなお山の発電所	2,800
射水市	グリーンエネルギー北陸	5,750
米原市	いぶきグリーンエナジー株式会社	3,550
真庭市	真庭バイオマス発電所	10,000
高知市	土佐グリーンパワー株式会社	6,250
高知市	イーレックス株式会社	29,500
伊万里市	中国木材株式会社	9,850
日田市	天瀬発電所	5,700
佐伯市	佐伯発電所	50,000
日向市	中国木材日向工場	18,000
延岡市	旭化成ケミカルズ株式会社	14,000

出典：森のエネルギー研究所（2017）を元に筆者が作成

木質バイオマス発電では、燃料の含水率が発電効率に大きく影響を与える。含水率が低いほど発電効率は良くなるが、それは発熱量が大きくなるためである（表 1-2）。木質バイオマスの燃料となるペレットやチップは、その性質により含水率に大きな違いがある。ペレットはその製造工程でかなり含水率は低くなり、解体材や建築残材由来の木材チップは住宅使用により含水率は 10%前後と低く、十分な燃焼性能を持っている。一方、原木や林地残材由来の木材チップの含水率は高く、燃料として利用するには乾燥工程が必要となる。

表 1-2 木材含水率と発熱量の関係

湿量基準含水率 (%)	発熱量 (kcal/kg)
0	4,562
10	4,020
20	3,476
30	2,937
40	2,395

出典：全国木材チップ工業連絡会（2011）を元に筆者が作成

木材チップの乾燥工程には 2 種類ある。1 つ目はロータリー乾燥機といった乾燥用の機械設備を利用する方法である。この方法では短時間で燃料用チップを生産できるが、機械の燃料使用による温室効果ガス排出や設置・運営費用がかかるといったデメリットがある。2 つ目は自然乾燥である。この方法では乾燥工程に燃料や費用はかからないが、3 か月から半年程度の期間を要することとなる。

1-2 先行研究

これまで、バイオマスタウンの運営や木質バイオマス発電事業は、会計評価やアンケート調査等さまざまなアプローチから分析・評価され、判明した課題の解決に向けての提言が行われてきた。バイオマスタウンの運営やバイオマス事業のシステムに関して、坂本（2015）は可視化ツールを、伊佐他（2013）はバイオマス会計表を用いて、近藤他（2013）や森本他（2010）は実地調査によって研究を行った。さらに、バイオマス事業の中でも木質バイオマスの利用に関して、一重他（2011）や久保山他（2004）、柳田他（2015a）は実地調査や条件設定により、久保山他（2016）は木質バイオマス発電事業採算性評価ツールを用い、分析を行った。

坂本（2015）は、バイオマスタウンにおけるバイオマス施設を取り巻く地域システムと施設運営の連携に関する調査し、その評価手法としての可視化ツールを開発した。可視化ツールの利用可能性を検討するため、各事例から抽出された成功に寄与する項目をもとにバイオマスタウンが成功する確率に関する判定チェックリストを作成し、評価手法の有効性を検討した。これにより、バイオマスタウンにおける地域システムの連携の把握が容易になり、効率的なバイオマス施設の構築と事業評価が可能になった。

伊佐他（2013）は、バイオマスタウン事業の波及効果を定量的に把握することを目的として、バイオマス会計表を用いて岡山県真庭市のバイオマスタウン事業を本体事業と波及

事業に分けて分析した。真庭市の木質系廃材・未利用木材利活用事業における 10 の本体事業と 7 の波及事業へのヒアリング調査によって得られた情報をバイオマス会計表に入力した。その結果、真庭市全体の事業収支・温室効果ガス収支はともに良好であったが、波及事業の経済的・環境的効果は本体事業と比較して小さいことが明らかとなった。バイオマス会計表は、本体事業と波及事業の経済的・環境的・社会的効果を定量的に把握し表示するだけでなく、事業主体が事業情報を正確に把握し、その成果を地域住民や関連企業等の利害関係者に提示することが容易になり、事業主体の説明責任に資するツールになり得ると結論付けた。

近藤他（2013）は、バイオマス利活用の事業性をめぐる課題について、バイオマス資源の収集・転換・利用の各プロセスをトータルのシステムとして検討するために、全国の自治体におけるバイオマス事業の実態調査および地域でのアンケート調査を行った。その結果に基づきバイオマス利活用事業の経済性評価、バイオマス会計による多面的事業性評価、および地域の対応力評価を実施し、それらを総合的に検討することにより地域に合致したシステムを提示した。同研究により、バイオマス導入について、地域が適切な技術選択を含む地域の社会対応システムのパターンを設計し、バイオマス導入と地域の環境改善の同時達成のもとで、持続的な社会の構築を図ることが容易になった。

森本他（2010）は、2007 年にバイオマスタウンに認定された兵庫県宍粟市を事例とし、同市を中心とした地域循環圏の形成による事業採算性や環境への評価を、木質バイオマス利用時の資源循環の現況を含めた複数のケースを設定・定量評価した。さらに評価結果を相互に比較し地域循環の可能性について議論した。同研究により、広域利用を進めるとペレットの販路が拡大し過剰生産を抑えられ、収支はプラス方向に働くが、林地残材の調達費が施設運営費に大きく関与するため、自治体との地域連携が求められることが明らかとなった。

一重他（2011）は、製材残材を製材乾燥の燃料に利用するシナリオを 2 通り、木質バイオマス発電の燃料に利用するシナリオを 2 通り、木質ペレットの原料に利用するシナリオを 3 通りの合計 7 通りのシナリオを設定した上で、文献および工場における調査データを用いてライフサイクルアセスメントを実施し、各シナリオの地球温暖化への影響を評価した。さらに、データ自身の不確実性と結果への影響が共に大きいと考えられる係数について感度分析を実施した。その結果、製材残材を木質バイオマス発電の燃料に用いるより製材乾燥の燃料に用いる方が温室効果ガス排出削減のために効果的であるが、製材残材の燃

焼に流動床ボイラーを用いると温室効果ガス排出を増加させる恐れがあることが明らかとなった。さらに、木質ペレットストーブを灯油ストーブやガスストーブの代替で用いると比較的大きな温室効果ガス排出削減効果が得られることが示された。

久保山他（2004）は、岩手県遠野市を対象に、燃料の生産コストに基づいて林業・林産バイオマスのエネルギー利用について検討した。林業・林産バイオマスは含水率が高く、形態ごとに発生量が異なるため、未利用バイオマス予測表と既存の統計等を用いて含水率を考慮した発生量を求めた。その結果、遠野市のバイオマス発生量は年間 58,000t と推定された。林業と林産の比率が 3:1 であるため、量の確保には林業バイオマスの収集システム整備が重要である。燃料の生産コストは、それぞれ単位重量あたりの加工・輸送コストを熱量で割ることによって推定した。その結果、林業よりも林産バイオマスの利用可能性が高いことが明らかとなった。また、バイオマス供給曲線を導出し、需要が限られる場合にはある程度広域収集を行った方が安い燃料を収集できる可能性が高いことを示した。なお、遠野市における現実的な供給可能量は 6,500t/年であり、小～中規模のエネルギープラントが妥当と判断された。

柳田他（2015a）は、2012 年に FIT が開始されたことを受け、各地に木質バイオマス発電所の計画が相次いでおり、今後、燃料となる間伐材や林地残材の利用促進が期待されているが、間伐材や林地残材の搬出は地域差や条件により費用が大きく異なる現状を踏まえ、発電所の原料受入価格の目安を基に供給費用の目標値を設定し、搬出の可否を判断するのが望ましいとした。そこで、森林における間伐材や林地残材等の未利用木質バイオマスの供給コストの目標値設定に資する情報を提供することを目的とした。まず 500 kW～20,000 kW 規模のバイオマス発電を対象に、内閣官房国家戦略室コスト等検証委員会の発電コスト試算シートをベースにしたモデルを作成し、バイオマス発電に関するデータを組み込み、発電コストを試算した。その上で、発電規模・原料含水率を変数としたときの発電事業の損益分岐点上にある原料コストを整理した。森林の未利用バイオマスの供給コストに関する限界の指標の 1 つを提示した。

久保山他（2016）は、木質バイオマス発電事業採算性評価ツール（森林総合研究所，2015・柳田他，2015a・b）を用いて、発電端出力 1,999kW の木質バイオマス発電事業の経済性を評価した。2015 年の FIT の改定により、発電規模が 2,000kW 未満の未利用バイオマス発電電力の買取価格が 40 円/kWh に引き上げられた。これを受け、電端出力 1,999kW の木質バイオマス発電事業の経済性を評価したところ、燃料チップの価格が 9,000 円/t かつ含水率

が40%以下等の有利な条件に設定した場合には十分な経済性を示したが、チップ価格がわずかに上昇しただけで赤字となるなど、経営の安定性に乏しいことが明らかとなった。

以上のように、バイオスタウンや木質バイオマス発電事業について、さまざまな分析ツールや会計表を用いた分析、ならびにパターン設定や実地調査による先行研究がなされている。しかし、バイオマス事業実施以前に事業の経済性を検討する研究は少なく、本研究で利用する木質バイオマス発電事業採算性評価ツールを当てはめたバイオマス事業の分析報告は久保山他（2016）の2,000kW未満の発電規模の施設の分析のみで十分に見られない。また、現存するバイオスタウンやバイオマス施設の評価分析は数多く行われているが（坂本，2015・森本他，2010・久保山他，2004）、木質バイオマス発電施設を新設するための先行研究は少なく、本研究で扱う益田市を例にした研究も見られない。柳田他（2015a）は木質バイオマス発電事業における発電コストと原料価格の関係性を分析したが、内部収益率や正味現在価値等の指標を用いて経済性を明らかにしてはいない。そのため、バイオスタウンに新たに木質バイオマス施設を導入する際のコストや経済性を詳しく分析し、その導入可能性を明らかにしていくことは、バイオスタウンの更なる発展のために木質バイオマス発電の事業拡大を図る面から重要である。

1-3 目的・意義

本研究の目的は、木質バイオマス発電事業採算性評価ツールを用いた分析により、バイオマス発電所の経済性を明らかにすることである。さらに、分析結果に基づき、バイオスタウン構想で木質バイオマス利用拡大を掲げているものの、木質バイオマス発電施設の導入に未だ至っていない地域への新規施設導入の可能性を、バイオスタウンである益田市を例に検討する。

本研究の意義は、木質バイオマス発電事業の経済性が明らかになり、その利用拡大とバイオスタウンの更なる発展に寄与することである。

1-4 論文の構成

本論文の構成は以下の通りである。

第2章では研究方法を記す。第3章では分析結果と考察を記す。そして第4章では、第3章までのまとめ、本研究の結論と今後の課題について述べる。

第2章 研究方法

本研究では、木質バイオマス発電事業採算性評価ツール（森林総合研究所，2015・柳田他，2015a・b）（以下、評価ツールと略す）を用いて木質バイオマス発電施設の経済性を明らかにする。評価ツールの出力項目のうち、経済性に関連する出力である内部収益率と正味現在価値を経済性の分析に用いる。

本研究では、はじめに燃料価格や年間で使用可能なバイオマス燃料消費量等の制約を設けない場合の経済性を分析する。次に、燃料の消費量を制約とした場合の経済性を、島根県益田市を例に分析する。

2-1 経済性の分析方法

含水率が低いほど発電効率は良くなると第1章では述べたが、燃料の種類と購入単価を一定に設定したうえで、含水率の差によって経済性にどれほど影響が与えられるのか明らかにすることがこの分析での目的である。

湿量基準含水率によるチップ区分（表 2-1）より、それぞれのチップ区分の中から含水率を 20・30・40・50%と 10 ポイントごとに設定する。それぞれの場合における燃料消費量と内部収益率、正味現在価値、経済性が確保できる発電規模の範囲を示す。内部収益率と正味現在価値の 2 つがマイナスとなる場合は十分な経済性が得られず、プラスのときには経済性が確保できると判断できる。

評価ツールの入力項目は含水率を 20~50%とし、その他の項目はすべてデフォルト値のまま入力する。

表 2-1 湿量基準含水率によるチップ区分

区分	湿量基準含水率
乾燥チップ	≤25%
準乾燥チップ	26-35%
湿潤チップ	36-45%
生チップ	45-55%

出典：日本木質バイオマスエネルギー協会（2018）

注：含水率 56%以上のチップは燃料対象外である

2-2 益田市を対象とした分析

本節では、燃料消費量に上限を設定した場合の木質バイオマス発電の事業性を、益田市のバイオマス賦存量を元に分析する方法を示す。

表 2-2 に示す林地残材の賦存量に収まる燃料消費量を本分析での制約とし、その範囲内で事業可能な発電施設の発電規模を出力し、含水率に応じて経済性がプラスになる燃料価格を求める。さらに、林地残材のみならず製材所廃材も同時に利用した場合の経済性と燃料購入単価を求める。このとき、林地残材と製材所廃材の購入単価は 100 円区切りで入力し、経済性が得られる範囲において最も高い購入単価を示す。

表 2-2 益田市のバイオマス賦存量と利用方法

種類	含水率 (%)	賦存量 (t/年)	利用率 (%)	利用方法
製材所廃材	57	22,168	100	堆肥化・粉炭
林地残材	57	15,795	0	林内放置
稲わら	30	6,134	35	堆肥化・敷料
もみ殻	30	1,457	100	堆肥化・敷料

出典：益田市（2010）を元に筆者が作成

燃料とする林地残材や製材所廃材の含水率 57%（表 2-2）を、表 2-1 の区分から 20・30・40・50%まで自然乾燥にて下げると仮定し、それぞれの場合での経済性を明らかにする。

益田市は 2010 年 2 月にバイオマスタウン構想を提出した。急峻な山々に囲まれた土地で島根県の総面積の約 1 割を占め、その 87%を森林が占めており、市の面積は 733.19 平方キロメートルである。世帯数は 2017 年 4 月末で 21,527 世帯である。主要な産業は、農業・水産業や製造業のほかに、県内で最大の 61,113ha の森林面積を活用した林業である。しかし現在は、豊かな森林資源を有しているものの、輸入材の急増等による木材価格の低迷により、厳しい経営状況が続き林業家の数は減少傾向にある。

益田市はバイオマスタウン構想提出時、市内で発生する製材所廃材 22,168t/年を堆肥や粉炭として再利用していた（表 2-2）。しかし、間伐等による多量の林地残材は未利用のままであった。木質バイオマスの利用拡大に向け、近隣 2 町（津和野町・吉賀町）や林業事業体等と連携し市内でのチップ製造施設の整備を推進することとした。益田市の構想における目標は、森林に放置されてほとんどが未利用なままの切捨間伐材や林地残材の有効利用と、その資源の効率的な収集・運搬システムの確立を目指すとともに、バイオマス利用

を行うシステムを構築することにより地域経済の活性化や環境保全型農業を確立し、環境負荷削減を図ることである。

2-3 木質バイオマス発電事業性評価ツール

木質バイオマス発電事業性評価ツールは、森林総合研究所が「木質バイオマスエネルギー事業の評価システムの開発」の一環として開発した MS Excel を利用したものである。既に運転を行っている発電所や文献から得たデータに基づいて項目が設定、定式化されており、FIT における木質バイオマス発電に関して初期条件を様々に変えた場合の多種多様な事業評価が容易に可能である（森林総合研究所，2015・柳田他，2015a・b）。各地域における木質バイオマス発電事業の実施検討の際に活用が期待されている。

評価ツールは、簡易入力と詳細入力からなる入力項目と、入力項目に従い計算される出力項目より構成されている。表 2-3 に簡易入力項目、表 2-4 に詳細入力項目、そして表 2-5 に出力項目の項目名と説明を示す。入力項目には、初期設定としてすべてデフォルト値が設定してあるため、それぞれのデフォルト値についても述べる。また、実際の評価ツールの画面は図 2-1 のとおりである。

表 2-3 簡易入力項目

項目名	説明	デフォルト値
発電規模	発電端出力 500kW から 50,000kW の間で推計が可能	5,000kW
燃料比率	発熱量（低位発熱量）ベースで、バイオマスの種類（未利用木材・一般バイオマス・建築資材廃棄物・一般廃棄物その他のバイオマス・石炭）ごとの燃料比率	未利用木材：100% その他：0%
燃料購入単価	燃料 1 トン当たりの価格	未利用木材：9,000 円/t 一般バイオマス：12,000 円/t その他：10,000 円/t
燃料含水率	湿重量基準の含水率	未利用木材：40% 一般バイオマス：20% 一般廃棄物：30% 石炭：5% その他：20%

出典：森林総合研究所（2015）を元に筆者が作成

表 2-4 詳細入力項目

項目名	説明	デフォルト値
高位発熱量	燃料の乾燥重量 1kg 当たりの発熱量	石炭：26MJ その他：19MJ
灰含有率	燃料の乾燥重量 kg 当たりの灰重量	石炭：15% 一般バイオマス：3% その他：1%
年間価格上昇率	燃料の年間での価格上昇率	0%
発電所稼働日数	年間の稼働日数	330 日
割引率（利率）	今後得られる収益や将来価値を現在価値に換算する値	3%
借入金利	事業開始に伴う借入金の金利	3%
借入金返済期間	借入金の返済期間	15 年
発電効率補正	発電効率を変更したい場合に任意の係数を入力することで補正	0%
所内率補正	所内率を変更したい場合に任意の係数を入力することで補正	0%
建設費補正	建設費を変更したい場合に任意の係数を入力することで補正	0%
人件費補正	人件費を変更したい場合に任意の係数を入力することで補正	0%
保守・点検比率	発電所建設費に対する割合で推算される。保守・点検費を変更したい場合に任意の係数を入力することで補正	3%
保険費率	発電所建設費に対する割合で推算される。保険費を変更したい場合に任意の係数を入力することで補正	0.4%
一般管理費率	人件費に対する割合で推算される。一般管理費を変更したい場合に任意の係数を入力することで補正	25%
ユーティリティー費補正	ユーティリティー費を変更したい場合に任意の係数を入力することで補正	0%
灰処理単価	灰 1t 当たりの処理単価	20,000 円

出典：森林総合研究所（2015）を元に筆者が作成

下の式（1）は発電所建設費、式（2）は発電効率、式（3）は燃料費、式（4）は発電所所内率、式（5）は年間燃料消費量、式（6）は燃料の低位発熱量、式（7）は減価償却費、式（8）は固定資産税、式（9）は人件費、式（10）は保守・点検費、式（11）は保険費、式（12）は一般管理費、式（13）は灰処理費、式（14）はユーティリティー費、式（15）は借入金利子返済費、式（16）は年間総発電量、式（17）は発電コスト、式（18）は正味現在価値、式（19）は内部収益率の推定式を示す。事業年数 n は FIT における木質バイオマス発電の買取期間として 20 年間を想定している（森林総合研究所，2015）。

表 2-5 出力項目

項目名	説明	単位
燃料消費量	1年当たりと1日当たりの燃料消費量	t/年 t/日
燃料発熱量	燃料 1kg 当たりの低位発熱量	MJ kcal
発電規模	発電端出力	kW
発電効率	発電端出力に占める低位発熱量ベースの割合	%
所内率	発電端出力に占める所内電力の割合	%
設備利用率	年間時間に占める発電所の年間稼働時間	%
年間総発電量	年間当たりの送電端発電量	kWh/年
年間灰発生量	年間当たりの灰発生重量	t/年
買取価格	発電した電気の買取単価および平均買取価格	円/kWh
燃料価格	低位発熱量単位当たりの燃料単価	円/GJ
発電所建設費	発電所建設費用	億円
事業期間	事業期間は入力項目の値に左右されず 20 年間	年間
減価償却年数	プラント建設費の減価償却年数	年
割引率	将来得られる収益の価値を現在の価値に換算する割合	%
内部収益率	プロジェクトにおける将来のキャッシュフローの現在価値と投資額の現在価値が等しくなる割引率	%
正味現在価値	プロジェクトが生み出す将来のキャッシュフローを予測して、そのキャッシュフローを割引率で割り引いた現在価値の総和から、投資額の現在価値を引いた金額	円
発電コスト	kWh 当たりの燃料費、減価償却費、固定資産税、借入金利子返済費、人件費、保守・点検費、保険費、一般管理費、ユーティリティー費、灰処理費にかかる発電コスト	円/kWh
発電コスト内訳	発電コストの内訳の割合を表す円グラフ	-
キャッシュフロー	事業期間の収入と支出を表す棒グラフでと収支を表す折れ線グラフ	-
燃料価格変動	事業期間の燃料の価格を表す折れ線グラフ	-

出典：森林総合研究所（2015）を元に筆者が作成

$$ce = 0.0835 \times pg^{0.6763} \quad (1)$$

$$pe = 5.762 \log(pg) - 26.65 \quad (2)$$

$$fc = \sum_{i=1}^n (fu_j \times pp_j)_i \quad (3)$$

$$pl = 01505 \exp(-1.841 \times 10^{-5} \times pg) \quad (4)$$

$$fu_j = (pg \times up \times 3.6 \times \frac{fp_j}{100}) / (\frac{pe}{100}) / (\frac{lv_j}{1000}) \quad (5)$$

$$lh_j = \left(hh_j \times \frac{1 - mc_j}{100} \right) - 2.512(54 + \frac{mc_j}{100}) \quad (6)$$

$$de = \sum_{i=1}^n \left(\frac{ce}{15} \right)_i \quad (7)$$

$$fp = (rv \times 0.014)_i \quad (8)$$

$$lc = (op \times 5000000)_i \quad (9)$$

$$mc = \sum_{i=1}^n (ce \times 0.03)_i \quad (10)$$

$$ic = \sum_{i=1}^n (ce \times 0.004)_i \quad (11)$$

$$gc = \sum_{i=1}^n (ce \times 0.25)_i \quad (12)$$

$$ac = \sum_{i=1}^n (aa \times 20000)_i \quad (13)$$

$$uc = \sum_{i=1}^n (3802 \times pg + 10664586)_i \quad (14)$$

$$di = \sum_{i=1}^n \left((ce - \frac{ce}{15}) \times 19 \times \frac{ri}{100} \right)_i \quad (15)$$

$$ep = \sum_{i=1}^n \left(pg \times \left(1 - \frac{pl}{100} \right) \times 7920 \right)_i \quad (16)$$

$$pc = \frac{fc + de + fp + di + lc + mc + ic + gc + uc + ac}{ep} \quad (17)$$

$$np = \sum_{i=1}^n \frac{ar_i}{(1 + dr)^i} \quad (18)$$

$$0 = \sum_{i=1}^n \frac{ar_i}{(1 + ir)^i} \quad (19)$$

ce : 発電所建設費 (億円)、 pg : 発電規模 (kW)、 pe : 発電効率 (%)、 fc : 燃料費 (円/kWh)、 fu : 年間燃料消費量 (t/年)、 pp : 購入単価 (円)、 pl : 発電所所内率 (%)、 up : 年間稼働時間 (時間)、 fp : 燃料比率 (%)、 lh : 燃料の低位発熱量 (MJ-LHV/kg-wet)、 hh : 燃料の高位

発熱量 (MJ-HHV/kg-dry)、 mc : 燃料含水率 (%)、 de : 減価償却費 (円/kWh)、 fp : 固定資産税 (円/kWh)、 lc : 人件費 (円/kWh)、 op : 運転要員数 (人)、 mc : 保守・点検費 (円/kWh)、 ic : 保険費 (円/kWh)、 gc : 一般管理費 (円/kWh)、 ac : 灰処理費 (円/kWh)、 aa : 年間灰発生量 (t/年)、 uc : ユーティリティフィー (円/kWh)、 di : 借入金利子返済費 (円)、 ri : 利率 (%)、 ep : 年間総発電量 (kWh/年)、 pc : 発電コスト (円/kWh)、 pw : 正味現在価値 (円)、 ir : 内部収益率 (%)、 np : 正味現在価値 (円)、 ar : 年間損益、 dr : 割引率、 ir : 内部収益率 (%)、 i : 事業年 (年)、 j : 各燃料の種類

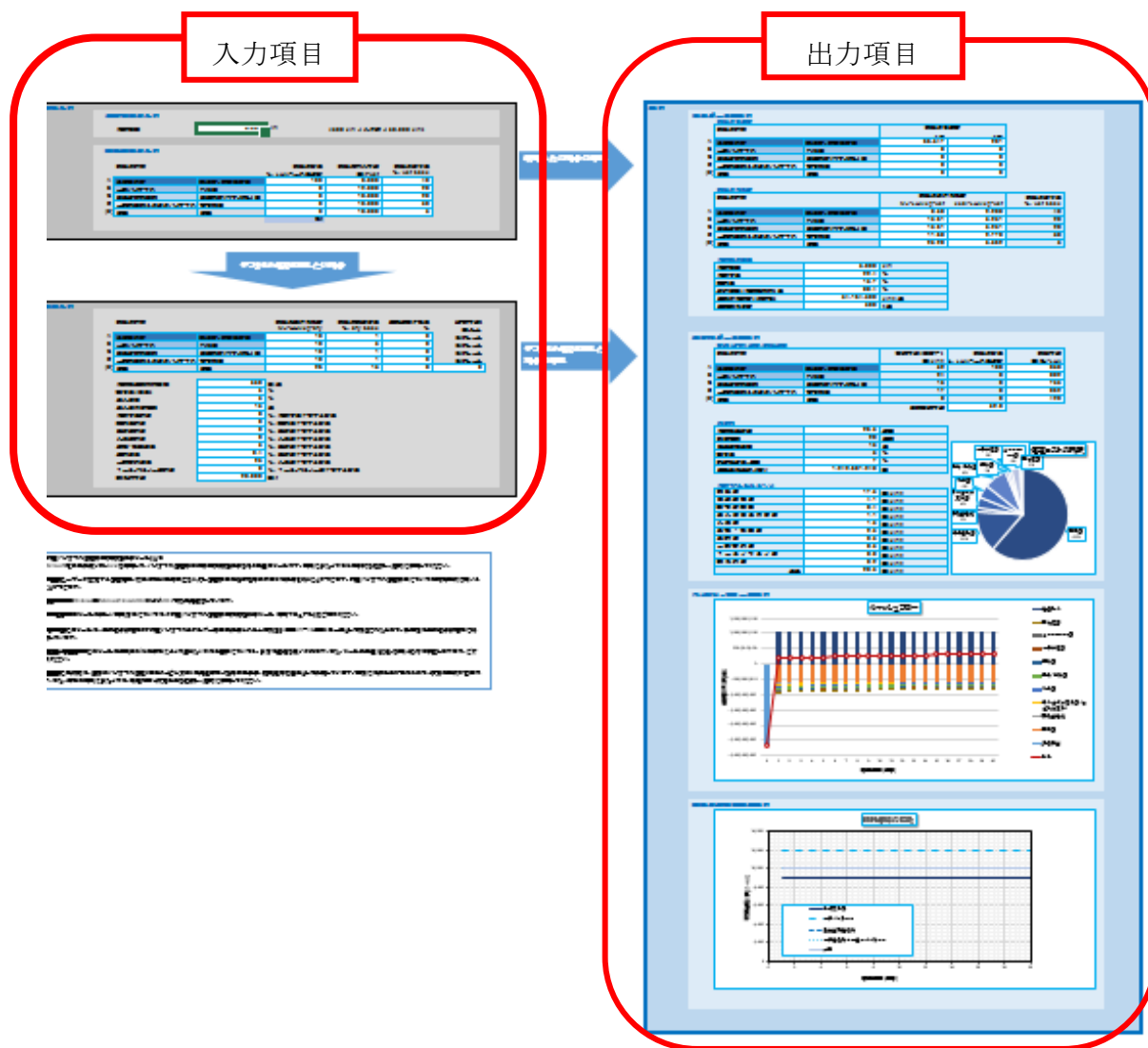


図 2-1 評価ツールの画面 (森林総合研究所 (2015) を元に筆者が作成)

第3章 分析結果・考察

本章では、評価ツールを用いた分析による木質バイオマス発電の経済性の分析結果と考察を示す。はじめに、燃料の種類と購入単価を既定値に設定した場合の経済性の分析を示す。次にバイオマスタウンである益田市を事例として、燃料消費量に上限がある場合の木質バイオマス発電施設の導入可能性について述べる。

なお、FITにおいて2,000kW未満の発電と2,000kW以上の発電の買取価格には差があることから、以下では、2,000kW未満を小規模発電、2,000kW以上は大規模発電とする。

3-1 経済性の分析

ここでは、評価ツールを用い、燃料の種類と購入単価を既定値に設定した場合の経済性の分析結果を示す。表3-1は林地残材を燃料とし、その含水率が20・30・40・50%の場合の、燃料消費量を比較したものである。同じ発電規模でも含水率が高くなるほど燃料消費量の差は増大し、また発電規模が大きくなるにつれその消費量の差はさらに大きくなる。同じ発電規模でも、含水率50%の場合は、含水率20%の場合の約2倍の燃料が必要となる。このように燃料消費量が増大すると、燃料の収集・運搬にかかるコストも増大する。

表3-1 含水率による燃料消費量 (t/年) の比較

発電規模 (kW)	含水率 50%	含水率 40%	含水率 30%	含水率 20%
1,000	28,653	22,625	16,575	14,121
2,000	43,957	34,710	28,678	24,431
3,000	58,029	45,822	37,858	32,253
4,000	71,306	56,306	46,520	39,632
5,000	84,022	66,347	54,816	46,699

次に、燃料が林地残材で購入単価がデフォルト値の9,000円/tの場合の含水率による内部収益率の差と正味現在価値の差をそれぞれ図3-1・3-2に示す。含水率20%の木質バイオマス燃料を利用した場合、1,400~1,999kWの間と2,200kW以上での規模で経済性が確保可能である。含水率30%の場合は、1,600~1,999kWの間と、2,800kW以上で経済性が確保できる。含水率40%の場合、1,800~1,999kWの間では内部収益率はプラスであるが正味現在価値がマイナスであるため小規模発電では十分な経済性が得られない。経済性が得られる

のは3,900kW以上の発電規模であった。含水率50%の場合、経済性が得られるのは6,300kW以上の発電規模であった。

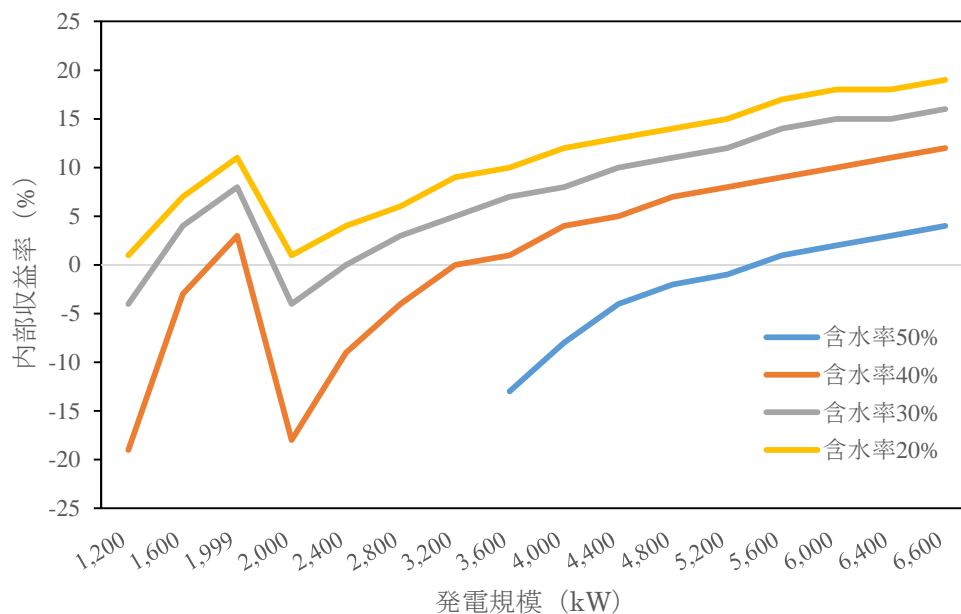


図 3-1 燃料購入単価が 9,000 円/t の場合の発電規模と内部収益率（注：含水率 50% の場合 3,600kW 未満の発電規模では解は得られない）

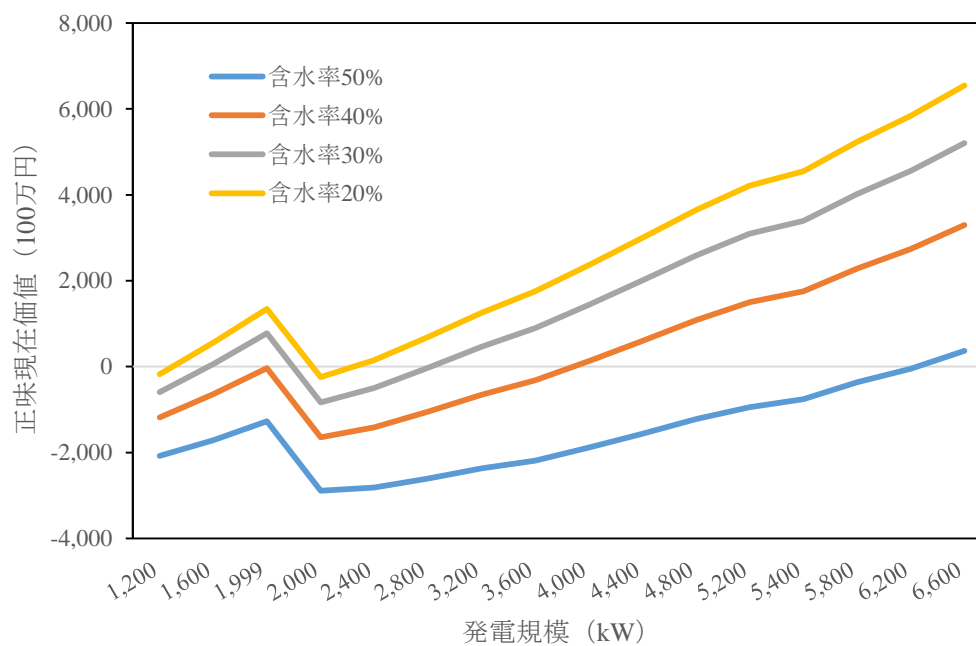


図 3-2 燃料購入単価が 9,000 円/t の場合の発電規模と正味現在価値

3-2 益田市における経済性の分析

次に、益田市での木質バイオマス発電施設の経済性についてここでは分析した。表 2-2 より、益田市の林地残材と製材所廃材の含水率は 57%、賦存量は 15,795t/年である。含水率 56%以上は、燃料として適さないため（日本木質バイオマスエネルギー協会，2018）、燃料として利用するには含水率を下げる必要がある。ここでは、追加的なコストのかからない自然乾燥により含水率を下げることにし、含水率を表 2-1 のチップ区分から 20~50%に低減すると仮定して経済性を分析する。評価ツールにおいて含水率を設定し、益田市のバイオマス賦存量を上限とする燃料消費量で最も経済性が高くなる発電規模を求め、その時経済性が得られる最も高い購入単価を同時に示す。ここでは、コスト削減のために再生可能エネルギー電気・熱自立的普及促進事業による補助金¹を利用し、建設費の 2 分の 1 が助成されることとする。ツールでの計算において、建設費補正（表 2-4）を-50%に設定する。

各含水率における発電規模、その規模での燃料消費量、経済性が確保できる燃料購入単価の最大値、および経済性を表 3-2 に示す。益田市の林地残材賦存量で補える燃料消費量では、どの含水率の場合でも小規模発電しかできないことが示された。含水率が 20%の場合は 900kW の発電規模で燃料購入単価は 9,600 円/t 以下、含水率 30%の場合は 700kW の発電規模で購入単価が 6,800 円/t 以下のときに経済性は確保できる。含水率 40%と 50%の場合は発電規模の入力下限値の 500kW の発電規模でも燃料消費量が不足し、事業は不可能であった。

表 3-2 林地残材を燃料とする場合の経済性

含水率 (%)	発電規模 (kW)	燃料消費量 (t/年)	購入単価 (円/t)	内部収益率 (%)	正味現在価値 (円)
20	900	15,026	9,600	3	14,138,118
30	700	15,508	6,800	3	10,374,727

次に、林地残材の賦存量のみでは燃料消費量の上限により小規模発電しかできないため、現在は堆肥や粉炭として利活用されている製材所廃材の賦存量 22,168t/年も同時に利用し

¹ 資源エネルギー庁が実施する再生可能エネルギー導入事業のうち、地方公共団体等の積極的な参画・関与を通じて各種の課題に適切に対応するものについて、事業化に向けた検討や設備の導入にかかわる費用の一部（定額、2 分の 1、または 3 分の 2）を補助する制度である（環境省，2017）。

た場合の木質バイオマス発電施設について分析した。なお、林地残材:製材所廃材 = 15,795 t/年: 22,168t/年 \approx 0.42:0.58 から、林地残材の割合は 42%、製材所廃材の割合は 58%とした。各含水率における発電規模、その規模での燃料消費量、経済性が確保できる燃料購入単価の最大値、およびそのときの経済性を表 3-3 に示す。表中の燃料消費量と購入単価の網掛けの数值は製材所廃材、網掛けでない数值は林地残材を表す。

含水率 20%の場合は 3,600kW の発電規模で購入単価が林地残材は 8,200 円/t 以下、製材所廃材は 8,400 円/t 以下のときに、含水率 30%の場合は 2,900kW の発電規模で購入単価が林地残材は 6,100 円/t 以下、製材所廃材は 6,400 円/t 以下のときに経済性が得られる。含水率 40%の場合は発電規模 2,200kW まで賦存量分の燃料で発電は可能であるが、2,000kW 未満の小規模発電規模のほうが高い経済性が得られた。したがって、含水率 40%の燃料を使用する場合は、1,900kW の発電規模で購入単価が林地残材は 5,200 円/t 以下、製材所廃材は 5,000 円/t 以下のときに経済性が得られる。含水率 50%の場合は 1,500kW の発電規模で購入単価が林地残材は 3,000 円/t 以下、製材所廃材が 3,400 円/t のときに経済性が得られる。

表 3-3 林地残材と製材所廃材を燃料とする場合の経済性

含水率 (%)	発電規模 (kW)	燃料消費量 (t/年)	購入単価 (円/t)	内部収益率 (%)	正味現在価値 (円)
20	3,600	15,424	8,200	3	10,400,843
		21,299	8,400		
30	2,900	15,526	6,100	3	4,745,614
		21,441	6,400		
40	1,900	14,092	5,200	3	3,118,464
		19,461	5,000		
50	1,500	15,328	3,000	3	11,304,425
		21,168	3,400		

注：燃料消費量・購入単価の網掛け部分は製材所廃材を、網掛けでない部分は林地残材の値を示す

この分析により、益田市は、林地残材のみを燃料とするときは含水率 20・30%のとき、製材所廃材も同時に利用するときには含水率 20~50%のどの場合においても、燃料価格にも依存はするが、経済性が確保できることが明らかとなった。しかし、林地残材の調達コストを円換算した場合、その価格は 5,000~10,000 円/t になると区分している（日本木質バイオマスエネルギー協会、2014）。したがって、5,000 円/t 未満の燃料価格では現実性が伴わない可能性がある。

以上より、益田市で木質バイオマス発電を行う場合には、燃料が林地残材のみの場合、含水率 20%のときは購入単価が 9,600 円/t 以下、含水率 30%のときは 6,800 円/t 以下の燃料を利用すると、経済性が得られる。含水率 20%の方が 30%よりも経済性が高く、経済性を確保できる燃料の購入単価の上限が高い。さらに、製材所廃材も同時に燃料として使う場合には、含水率 20%のときは林地残材の購入単価が 8,200 円/t 以下・製材所廃材が 8,400 円以下、含水率 30%のときは林地残材の購入単価が 6,100 円/t 以下・製材所廃材が 6,400 円/t 以下、含水率 40%のときは林地残材の購入単価が 5,200 円/t 以下・製材所廃材が 5,000 円/t 以下の燃料を利用すると、経済性が得られるが、含水率 50%の場合は経済性を得られる事業は実現できない。製材所廃材も同時に利用した場合も、含水率 20%の場合が最も経済性は高く、かつ経済性を確保できる燃料購入単価の上限が高い。

第4章 結論・課題

本章では、まず第3章までのまとめを記す。そして、本研究の結論と今後の課題を述べる。

4-1 本論文のまとめ

近年、世界中でバイオマスエネルギーの利用拡大が進んでいることを受け、我が国ではバイオマスタウンでのバイオマスエネルギー利用拡大を図っている。しかし、バイオマスタウンの運営は採算性や安定稼働に問題があり構想通りに進められない市町村が多数ある。木質バイオマスエネルギーはFITでの買取価格も高く、他のバイオマス原料と比較して賦存量も多いため、今後、有効利用できる価値がある。そこで、本研究では木質バイオマスエネルギーの利用拡大に寄与するために、評価ツールを利用し木質バイオマス発電の経済性を明らかにすることを目的とした。

本研究では2つの分析を行った。1つ目は、燃料の購入単価を一定とし、燃料消費量に制約を設けない場合の経済性を、含水率20・30・40・50%それぞれで示した。同分析により、含水率が高い方が燃料消費量には大きく差が出ること、含水率が50%の場合含水率20%のときの約2倍の燃料が必要となることが明らかになった。

2つ目は、バイオマスタウンである益田市を例に、益田市のバイオマス賦存量で補える燃料消費量での経済性を、1つ目の分析と同様に含水率20・30・40・50%それぞれの場合で分析した。燃料購入単価の現実性を考慮すると、燃料が林地残材のみの場合、含水率20%のときは購入単価が9,600円/t以下、含水率30%のときは6,800円/t以下の燃料を利用すると、経済性が得られると示された。さらに、製材所廃材も同時に燃料として使う場合には、含水率20%のときは林地残材の購入単価が8,200円/t以下・製材所廃材が8,400円以下、含水率30%のときは林地残材の購入単価が6,100円/t以下・製材所廃材が6,400円/t以下、含水率40%のときは林地残材の購入単価が5,200円/t以下・製材所廃材が5,000円/tの燃料を利用すると、経済性が得られると示された。林地残材と製材所廃材を同時に利用することで、林地残材のみを燃料とする発電よりも大きい発電規模で事業が可能である。含水率20%で林地残材のみを燃料とする場合が、最も高い経済性が確保できる。

4-2 結論

本研究により、木質バイオマス発電事業の経済性には、燃料の含水率と購入単価が大きな影響を与えると明らかになった。燃料の含水率が高い場合は低い場合よりも燃料消費量が大きくなるが、購入単価を低く設定すれば経済性を得られる発電事業が可能になる。燃料消費量に上限を設定した場合でも、燃料の含水率と購入単価を燃料消費量に合わせてそれぞれ設定することによって、経済性の得られる発電事業は可能になる。

本研究を踏まえ、今後の木質バイオマス発電事業のさらなる発展に向け、木質バイオマス発電施設の導入を検討するバイオマスタウンに対して2つの提案を行う。

1 つ目は原料となる木質チップの含水率を限りなく低くすることである。含水率が経済性に与える影響は大きく、燃料消費量が増大するに伴い燃料の調達コストも増大する。安定した自然乾燥が可能な設備もしくは自然乾燥よりも確実に素早く含水率を下げられるロータリー乾燥機の導入が必須である。ただし、ロータリー乾燥機の設置や維持・運転管理にかかるコストに留意する必要がある。

2 つ目は木質バイオマス発電事業に関して積極的に補助金を利用することである。本研究で紹介した再生可能エネルギー電気・熱自立的普及促進事業の他にも国や地方自治体ごとに補助金制度は、地域の特性を生かしたエネルギーの地産地消促進事業費補助金²や地域で自立したバイオマスエネルギーの活用モデルを確立するための実証事業補助金³等、多数存在している。木質バイオマス発電事業において、発電所建設費が導入コストのほとんどを占める。発電事業者の負担を軽減し効率よく経済性を得るために補助金の利用は有効である。

4-3 今後の課題

本研究では評価ツールを用いバイオマス発電施設の経済性分析を行い、益田市を例に含水率 20・30・40・50%それぞれの場合で経済性が得られるような燃料価格や発電規模を示

² 資源エネルギー庁が実施する、分散型エネルギーシステム構築支援事業もしくは再生可能エネルギー熱事業者支援事業に対し、資金補助をする制度である(新電力ネット, 2017)。

³ 資源エネルギー庁が実施する、バイオマスエネルギー導入にあたって必要なシステムと具体的な事業モデルを明確化し、資金の3分の2を補助する制度である(新電力ネット, 2017)。

した。しかし、実際の燃料価格の決定には発電事業主体や林業従事者、チップ加工業者といった多くのステークホルダーが関わる複雑なものとなるため、本研究どおりになるとは限らない。また、本研究で利用した益田市のバイオマス賦存量のデータは2010年のもので古く、最新のデータとの食い違いがある恐れがある。さらに、事業主体の有無や、林地残材の搬出・調達方法とコストといった発電事業に関連する項目は本研究で利用した評価ツールでは評価できないため、実際に木質バイオマス発電事業を開始する場合、本研究での不足部分を補う必要がある。

参考文献

- 伊佐亜希子・美濃輪智朗・柳下立夫（2013）バイオマス会計を用いたバイオマスタウン事業の波及効果分析. 環境科学会誌, 26（2）, pp.42-48.
- 環境エネルギー政策研究所（2016）自然エネルギー白書 2016<http://www.isep.or.jp/wp-content/uploads/2017/03/JSR2016_all.pdf>, 2017-12-5.
- 環境省（2017）再生可能エネルギー電気・熱自立的普及促進事業<<http://www.env.go.jp/guide/budget/h30/h30juten-sesakushu/002.pdf>>, 2017-1-12.
- 久保山裕史・西園朋広・家原敏郎・奥田裕規（2004）林業・林産バイオマスのエネルギー利用の可能性について. 日本林学会誌, 86（2）, p.112-120.
- 久保山裕史・古俣寛隆・柳田高志（2016）中小規模の木質バイオマス発電事業の課題と可能性. 日本森林学会第127回大会<https://www.jstage.jst.go.jp/article/jfsc/127/0/127_678/_article/-char/ja>, 2017-11-20.
- 近藤加代子・堀史郎・大隈修・美濃輪智朗（2013）地域におけるバイオマス利活用の事業、経済性分析シナリオの研究. 2012年度環境研究総合推進費補助金研究事業総合研究報告書<http://www.env.go.jp/policy/kenkyu/suishin/kadai/syuryo_report/pdf/K2417.pdf>, 2017-11-20.
- 坂本晋一郎（2015）バイオマス施設における地域システムとの連携に関する調査及び可視化ツールの開発. 慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科修士論文.
- 資源エネルギー庁（2017）なっとく！再生可能エネルギー<http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/fit_kakaku.html>, 2017-12-8.
- 新電力ネット（2017）2017年度バイオマス補助金一覧<<https://pps-net.org/wp-content/themes/shindenryoku/hojokin/bio29main.pdf>>, 2018-1-26.
- 森林総合研究所（2015）木質バイオマス発電事業採算性評価ツール利用マニュアル Ver.1.1.
- 全国木材チップ工業連絡会（2011）木材チップ等原料転換型事業調査・分析事業報告書<<http://zmchip.com/hyousi23.html>>, 2017-12-10.
- 総務省（2009）バイオマスの利活用に関する政策評価書<http://www.soumu.go.jp/main_content/000102165.pdf>, 2017-12-7.

- 日本木質バイオマスエネルギー協会（2014）気がかりな森林チップの価格動向<<https://www.jwba.or.jp/新規ページ-2/熊崎-実レポート-目次1/チップ価格動向/>>, 2017-1-1.
- 日本木質バイオマスエネルギー協会（2018）燃料用木質チップの品質基準<<https://www.jwba.or.jp/woodbiomass-chip-quality-standard/品質基準/>>, 2018-1-24.
- 農林水産省（2002）バイオマス・ニッポン総合戦略<<http://www.maff.go.jp/j/biomass/index.html>>, 2017-12-7.
- 農林水産省（2011）バイオマスタウン公表状況<http://www.maff.go.jp/j/biomass/b_town/pdf/map318.pdf>, 2017-1-24.
- 農林水産省（2012）バイオマスの賦存量と利用可能量<http://www.maff.go.jp/j/biomass/b_kenntou/01/pdf/1_1.pdf>, 2017-12-7.
- 一重喬一郎・服部順昭（2011）製材残材のエネルギー利用における温室効果ガス排出量の評価. 木材学会誌, 57（2）, pp.63-71.
- 益田市（2010）バイオマスタウン構想<<http://docs.google.com/uc?export=download&id=0B4A1u0OZQGOhYjhhZmM1ZjctMDE1ZC00NWEzLWFIZTMtNTY2MzIxNzJhNTE2>>, 2017-12-23.
- 益田市（2017）市のプロフィール<<http://www.city.masuda.lg.jp/site/introduction/>>, 2017-12-23.
- 森のエネルギー研究所（2012）全国木質バイオマス発電所一覧<<http://www.mori-energy.jp/hatsuden1.html>>, 2017-11-15.
- 森本英嗣・橋本禅・星野敏・九鬼康彰（2010）バイオマスタウンを軸とした木質バイオマスの広域利用に関する評価～兵庫県宍粟市を中心とした地域を対象に～. 農村計画学会誌, 25, pp.191-196.
- 柳田高志・吉田貴紘・久保山裕史・陣川雅樹（2015a）再生可能エネルギー固定価格買取制度を利用した木質バイオマス発電事業における原料調達価格と損益分岐点の関係. 日本エネルギー学会誌, 94（3）, pp.311-320.
- 柳田高志・吉田貴紘・久保山裕史・陣川雅樹（2015b）木質バイオマス発電事業における事業採算性評価ツールの開発. 日本エネルギー学会大会, 24, p.6.
- 林野庁（2017）木質バイオマスの発生量と利用状況<http://www.rinya.maff.go.jp/j/sanson/kassei/pdf/shishin_s2-1.pdf>, 2017-12-7.

謝辞

本研究を進めるにあたり、2年間ご指導を頂いた松本健一先生と、和気あいあいとゼミをともに過ごした松本ゼミの皆様へ深く感謝を申し上げます。振り返るとあっという間の2年間でしたがみなさんと過ごせたことをとても嬉しく思います。

この研究を始めるにあたり、岡山県真庭市のバイオマスツアーに参加し、実際のバイオマスタウンや木質バイオマスの利用・運営方法をこの目で実体験できたことは、この研究と同様に私の大きな財産となりました。

最後に、4年間の学生生活で知り合い私を支えて頂いたすべての方々に心からの感謝の気持ちを表して、謝辞とさせていただきます。ありがとうございました。