

令和3年度 経済産業省資源エネルギー庁委託事業
「新エネルギー等の導入促進のための広報等事業委託費における
再エネ導入・運転人材育成支援事業」

木質バイオマス発電における人材育成テキスト

経済産業省 資源エネルギー庁



序論.....	1
序.1 木質バイオマスとは	2
序.2 バイオマスエネルギーへの期待	7
序.3 発電事業と木材の生産・利用との関係.....	10
序.4 主力電源として木質バイオマス発電所に求められる社会的な役割	14
序.5 発電所における技術人材教育のあり方	19
第1章 燃 料.....	22
1. 1 国内における木質バイオマス燃料の安定調達—基本方針と各種取組	23
1. 2 木質バイオマスエネルギー持続可能性の理念	27
1. 3 品質管理の理論と実践・木質・農産物由来燃料の性状	30
1. 4 水分管理・計測	34
1. 5 灰処理と利活用の可能性.....	40
1. 6 燃料サプライチェーンの管理（ロジスティクスの観点で）	44
1. 7 燃料に関する合法性の確保・ガイドラインの順守	47
第2章 安全・法規・技術倫理	50
2. 1 バイオマス発電所における総合的リスクマネジメント（リスク管理）	51
2. 2 木質バイオマス発電所における労働安全管理.....	56
2. 3 木質バイオマス発電所の環境対策	60
2. 4 運営管理上遵守すべき法規・手続き	63
2. 5 技術倫理について	70
第3章 運転監視・制御.....	73
3. 1 安定稼働のための運転技術	74
3. 2 運転制御と電力品質.....	79
3. 3 非常停止時の安全確保	86
3. 4 事件事例から学ぶ制御技術	89
第4章 予防保全・メンテナンス.....	96
4. 1 設備利用率向上のための設備保全	97
4. 2 バイオマス発電所の保守施策の考え方	101
4. 3 統計分析の考え方・データの取り扱い	106
4. 4 運転状況確認・日常点検における留意点.....	112
4. 5 事例研究（事後保全、定期更新による保全、状態診断情報による保全等）	115
4. 6 問題解決の視点	118
第5章 経営改善（エネルギー合理化/経営効率化）	122

5. 1 発電所の経営改善について	123
5. 2 バイオマス発電所採算シミュレーターを用いたコスト最適化の検討	126
5. 3 コスト管理手法	130
5. 4 発電所の“省エネルギー”	133
5. 5 熱利用の方策	135
第6章 地域共生・レジリエンス強化	137
6. 1 地域において期待される機能と役割（地域経済分析）	138
6. 2 電所のBCP対策・地域のレジリエンス	141
6. 3 地域とのコミュニケーション、ステークホルダーとの合意形成の理念と手法	145
事例集	148
DS グリーン米沢南発電所	149
SGET 三条バイオマス発電所	151
グリーン発電大分	153
信州ウッドパワー発電所	155
大仙バイオマスエネルギー	157
中国木材バイオマス発電所(伊万里)	159
中国木材本社工場	161
鶴岡バイオマス発電所	163
日本海水赤穂発電所(第1・第2バイオマス発電設備)	165
枕崎バイオマス発電所	167
ミツウロコ岩国発電所	169
索引	171
巻末	176

序 論

序 論

序.1 木質バイオマスとは

【要旨】

第6次エネルギー基本計画では、2030年に向けた電源構成において、再生可能エネルギーが主力電源化されており、バイオマスエネルギーはそのうち5/38を担っている。日本は国土の65%が森林であり、世界屈指の人工林資源を有している。木質バイオマス発電のサプライチェーンにおいて水管理や品質評価、加工、季節変動などの知識やデータ共有が供給側、需要側双方に求められる。木質バイオマス発電の意義について、市民ヘインタープリテーションすることが重要で不可欠である。

【構成】

- 序.1.1 木質バイオマスの意義と多面的効果
- 序.1.2 日本の森林資源
- 序.1.3 木質燃料の安定供給
- 序.1.4 木質バイオマスの特長と期待
- 序.1.5 インタープリテーションと意識改革が必要

序.1.1 木質バイオマスの意義と多面的効果

2015年のCOP21で採択されたパリ協定では、産業革命前からの気温上昇をできれば1.5℃に抑える努力目標を掲げたが、2021年11月に閉幕したCOP26では世界目標に格上げされ、本気度を示すことが求められた。日本でも2020年10月に2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにすることが宣言されたのは周知のとおりであり、産業界もゼロカーボンに向けて舵を切っているところである。気候変動は、海面上昇が 3.24 ± 0.3 mm/年として、顕在化している(WMO Statements on the State of the Global Climate 2019)。

第6次エネルギー基本計画では、2030年に向けた電源構成において、再生可能エネルギーが現在の約20%に対して36~38%と主力電源化されている。バイオマスエネルギーはそのうち5/38であるが、その意義を整理すると以下ようになる(図-序1-1)。

- ・再生可能エネルギーとして地球温暖化の防止
- ・伐採された木材の経済的な価値の向上
 - 森林所有者に還元=資源の再循環への意欲向上=森林整備
- ・エネルギー購入代金の地域内循環
 - 燃料材の購入→経済の循環→エネルギーを生産するための雇用創出
- ・木質バイオマスエネルギー利用によって新しい社会が始まる!?

木質バイオマスのエネルギー利用に対する関心は古くからある。日本でも第2次大戦中は都内でも緊急自動車を除いてすべて木炭自動車であった。石油が採れない欧州も第一次大戦の頃から木質燃料の研究がさかんに行われたが、社会実装に向けてインフラとして本格的に取り組んだのは1973年のオイルショックを契機としたデンマーク等の北欧であった。社会福祉国家であるデンマークは、国民が健康であることが国民の負担も国の支出も少なくてすむ。冬季は室内にこもる時間が長く、室内の石油ストーブや石炭を燃料とする屋上の林立する煙突は大気を汚染することから、呼吸器疾患をなくすために、集中暖房による床暖房、給湯に取り組んだ。すなわち、健康優先が先にあり、木質バイオマスは日本でいえば厚生省が管轄となっている。集中暖房により、快適な室内温度と給湯はSDGsに則した快適な生活空

間を提供している。



図-序1-1. 木質バイオマス利用の意義

序.1.2 日本の森林資源

日本は国土の65%が森林、しかも人工林が国土の1/4を占めている。この人工林資源は世界屈指で、しかも毎年成熟の割合を増している(表-序1-1)。江戸時代は人口増加に伴い、肥料と燃料のために山林からの収奪が激しく、荒廃山地も増えていったが、明治になり、庶民の炬燵の普及が暖房効率を高め(宮本常一談)、森林法の制定と荒廃地の積極的造林により緑を増やしていった(図-序1-2・1-3)。こうした森林資源は一朝一夕にしてできたものではなく、祖先が営々として育てた大切な贈り物であり、これを後世に伝えていく責務がある。森林の様々な恵みのひとつとして、古来より人類は木材をエネルギーとして利用してきた。ここにきて再生可能エネルギーである木質エネルギーを利用する意義、使命がますます重要になっている。

表-序1-1. 各国の人工林面積¹⁾

国土面積に占める人工林面積の割合(%)		人工林面積(100万ha)	
日本	28.3	中国	45.1
フィンランド	21.4	インド	32.6
ドイツ	15.4	ロシア	17.3
インド	11	米国	16.2
ブルガリア	9	日本	10.7
ニュージーランド	5.6	インドネシア	9.9
インドネシア	5.5	ブラジル	7
中国	4.8	タイ	4.9
スペイン	3.8	ウクライナ	4.4
チリ	2.7	イラン	2.3



図-序1-2. 明治の荒廃した森林の砂防造林(明治 36 年愛知県西加茂郡)

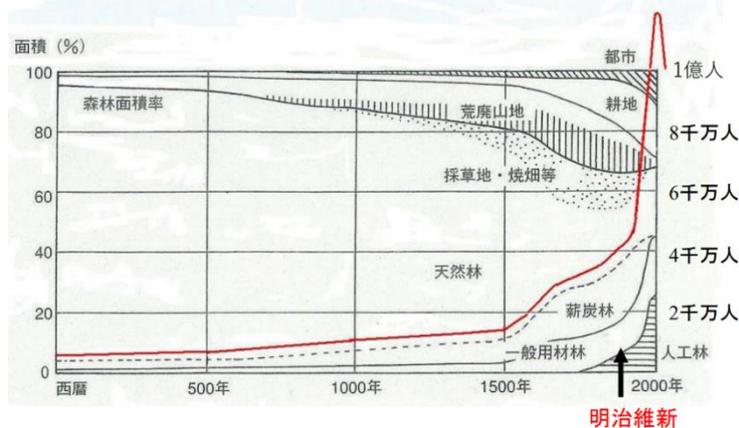


図-序1-3. 人口増加(赤線)と土地利用²

国民 1 人当たりの森林面積は約 0.2ha/人である(図-序1-4)。日本の木材自給率は 2002 年の 18.8%を底に現在 37.8%まで回復しているが、仮に 100%にし、熱エネルギーを森林から得ようとする、前提条件にもよるが 0.3ha/人は必要になるだろうと思われる。しかし、その前に供給するための労働力が必要になる。木質バイオマスエネルギーを森林から安定供給するためには、まずは機械化と路網を活かした作業システムの構築が急務である。

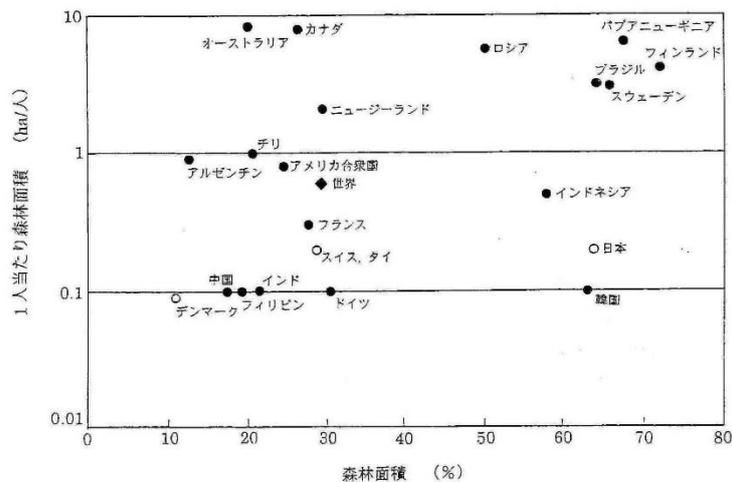


図-序1-4. 各国の国土に占める森林面積の割合と 1 人当たり森林面積(筆者作成)

EUは 2030 年気候とエネルギーの目標として森林からの木質バイオマスを重要資源に位置づけている。世界的にはペレット生産が増加しており、それだけ消費量が増加しており、北米、欧州間ではペレット貿易が盛んである。イタリア、デンマークが年間 300 万トン消費し、英国は 700 万トン消費している。米国からは 500 万トンが輸出されている(Junginger ら 2018 BioFPR)。また、気候変動により、欧州では山火事が頻発し、主要樹種のトウヒはキクイムシが発生し、ブナも枯死が増えている。余剰の枯死材はペレット材料としてロシアや中国に鉄道で運ばれているが、将来日本への影響もシナリオとして想定しなければならない。北米も、今までは石油や天然ガスが安価に入手できることから、木質バイオマスに対する関心は低く未利用材が多く発生していたが、今後は木質バイオマスへの関心も高まっていくものと思われる。これからエネルギー利用の国際化の波の中で、日本の自給体制を固めていかなければならない。とくに林地未利用材の収穫システムの開発と普及が急務である。

序.1.3 木質燃料の安定供給

前述のようにデンマークでは、木質バイオマスの必要性から、すでに 20 年以上前に、国民の健康に対する要求から伐倒された木を直接チップにして集荷するチップハーベスタが開発され、間伐木や風倒木、虫害による被害木をチップにしてエネルギー利用に供している(図-序1-5)。北欧もチップパーを中心に様々なチップピングシステムが展開しているが、共通しているのは、チップが価格の割に熱量が高いことからチップでの発電所受け入れが主流であり、納入は大型トレーラでチップ輸送の効率を高めている。



図-序 1-5.デンマークのプロトタイプ
チップハーベスタ(2002 年)³

木質バイオマス関連の機械は誰が資金提供し、誰が使用するかを明確にして、それぞれの事情にあった供給システムを構築することが日本における喫緊の課題である。

以下にチップ供給システムの例をあげる。

- ・自社完結型:発電所が自社林において自社または請負作業班が燃料チップを生産して発電所に直送するシステム。製材所が発電所を併設することが多い。北米に見られる。
- ・チップ専門業者に外注:燃料材を森林所有者から買取り、燃料材専門の業者または森林組合などの作業班が発電所に納入。欧州に見られる。機動性のあるトラック搭載型チップパーが活躍。
- ・協力事業体との連携:森林所有者の発注を受けて、農家などの協力事業体が所有機械でチップピング。チップパーは森林所有者持ち、協力事業体持ちのレンタル、発電所提供等様々。トラックはチップ輸送専用の 3PL 等。

上記いずれも、燃料材の精算、誰がどの段階で品質評価をするのが重要な課題である。木質バイオマス発電は、燃料供給者としての林業関係者にとって新しいチャレンジであり、燃料品質に関する理解を深めていく必要がある。

序.1.4 木質バイオマスの特長と期待

木質バイオマス発電が、同じ再生可能エネルギーである太陽光や風力発電と大きく違うのは、燃料を集めなければならないことである。資源の持続性や供給の安定性、環境に対する影響も保証しなければならない。また、化石燃料と異なり、生物由来であることから、燃料の品質や

性質が安定しないことが発電所の運転に負荷を与えている。国産材では森林組合や小規模伐採事業者から原料調達しなければならず、サプライチェーンにおいて水分管理や品質評価、加工、ハンドリング、季節変動なども知識やサイエンスとしてのデータが求められる。発電所においても、納入された木質燃料に関して、燃料としての特性等についての知識が求められ、経験の積み重ねとともに、発電所技術者の技術・技能の見える化が図られ、専門性や管理業務も求められていくことになる。

序.1.5 インタープリテーションと意識改革が必要

図-序1-6は、2002年デンマーク Energi E2 開所初日公開日の様子である。バイオマスと化石燃料からそれぞれ発生した蒸気を高出力が得られるように組合わせた当時最新の発電設備で、新聞広告を出しただけで大勢の老若男女が押し掛けた。その市民の関心の高さに圧倒される。地元になぜ木質バイオマス発電所があるのか、熱電併給やレジリエンス、雇用の場、地域内循環経済、林業・林産業の活性化など、地域にとって頼られる存在であると同時に、その存在意義を市民へインタープリテーションすることが不可欠である。



図-序1-6.発電所開所公開日に見学に押し寄せた市民

¹FRA2000 および Plantation Forest in Europe 2019 から筆者作成

² 依光(1984)、太田(2000)原図に筆者加筆

³ 走行しながら伐倒された間伐木をチップングし、積載していくことができる。

序.2 バイオマスエネルギーへの期待

【要旨】

バイオマスエネルギーは、再生可能性に注意すれば再生可能エネルギーとして地球環境保全に貢献し、地域産業にも貢献する。FIT 制度で輸入バイオマスが多く使われているが、エネルギーセキュリティの観点から国産エネルギー拡大を期待する。

【構成】

- 序.2.1 再生可能エネルギーとしてのバイオマス
- 序.2.2 バイオマスエネルギーの特徴
- 序.2.3 固定価格買取制度におけるバイオマス発電

序.2.1 再生可能エネルギーとしてのバイオマス

再生可能エネルギーとは一般に「利用しても自然界から定常的に補充されるエネルギー」を指すが、明確な定義はなく、各国の法令や制度で再生可能エネルギーに該当するエネルギー資源が定められている。日本では再生可能エネルギーの前に新エネルギーという言葉が用いられた。1997年に施行された「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」(通称新エネ法)は、非化石エネルギーの導入を促進するために制定された法律である。新エネ法の施行時点ではバイオマスは含まれていなかったが、2002年に改訂され、バイオマスについては、バイオマス発電、バイオマス熱利用、バイオマス燃料製造が加えられた。ここでバイオマスは「動植物に由来する有機物であってエネルギー源として利用することができるもの」と定義され、バイオマスがエネルギー源として一般に認知されるとともに、エネルギー資源としての側面が重視されるようになった。

その後 2003年に施行された「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」(RPS 法)で、電力会社に一定割合以上の新エネルギーの利用が義務づけられたため、多くのバイオマス発電所が建設されたが、廃木材を燃料とする発電所が多く、景気の悪化も影響して、燃料の廃木材が不足気味になった。このため未利用材も利用されはじめたが、収集・運搬コストが高いので事業性に難があった。

そこで、2012年に施行された「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」(固定価格買取制度)では未利用材による電力の買い取り価格が高く設定され、未利用材の使用が促進されている。固定価格買取制度では太陽光、風力、中小水力、地熱、バイオマスによる発電がその対象となっており、バイオマスは再生可能エネルギー資源として扱われている。

このように日本では現在、法律でバイオマスを再生可能エネルギーと認めているが、前述した通念である「利用しても自然界から定常的に補充されるエネルギー」に照らすと、無条件で再生可能なエネルギーとは言い難い。太陽光や風力は変動があるとはいえ、自然に供給されるのに対し、バイオマスは人為的に供給する必要がある。また、バイオマスは種別により供給のされ方が大きく異なる¹。人工林や草本系の資源作物は人工的に栽培する必要がある。収穫後に土地をそのまま放置すれば同種のバイオマスは再生されず、再生可能エネルギー資源とは言えなくなる。稲わらや PKS は食料の副産物なので、米とパーム油が生産される限りは産出されるが、主たる食料生産物の生産体制の環境に対する負荷が課題になる。廃棄物系バイオマスは人間の活動により排出される。これらのことから、バイオマスの種別により「再生可能」の意味をとらえることが重要である。

序.2.2 バイオマスエネルギーの特徴

次にエネルギー資源としてのバイオマスの特徴を示す²。

(1) カーボンニュートラル

バイオマスはエネルギーとしての使用時(多くの場合燃焼時)に二酸化炭素を排出するが、バイオマスの原料となる植物の生長の過程で空気中の二酸化炭素を固定しているため、実質的に空気中の二酸化炭素濃度を増やさない。これがカーボンニュートラル(温室効果ガスの排出が全体としてゼロ)と言われる根拠である。しかしこれはバイオマスの生産と利用が繰り返される場合に限りて成立する。また、バイオマスをエネルギーとして利用するには、収集、運搬、加工などの工程が必要であり、現状ではこの過程で化石エネルギーが投入されることが多いので、ライフサイクルでの完全なカーボンニュートラルは成立しにくい。この点は他の再生可能エネルギーでも同様で、ライフサイクルでの物質とエネルギーの収支を評価することが重要である。

(2) 化学エネルギー

バイオマスは化学エネルギーであり、この点は他の再生可能エネルギーと比べて有利である。例えば太陽光や風力による発電は出力変動が大きいのが欠点で、ベース電源にはなりにくい。これに対してバイオマス発電では発電量を調整出来る利点がある。また化学エネルギーは貯蔵と運搬が容易である。熱エネルギーや電気エネルギーと比べて低コストで貯蔵でき、また貯蔵中のエネルギー損失が少ない。

(3) 地域産業への貢献

バイオマスは地域に分散する資源である。特に日本は温暖で降水量が多いので、どの地域でもバイオマスが産出される。これにより地域に貢献できる。例えば太陽光発電は、問題なく利用できる土地があればどこにでも設置できるが、それによって地域の雇用が創出されることは少ない。これに対してバイオマス発電では、これは欠点でもあるが、常に燃料としてのバイオマスを供給する必要があり、地域での雇用が創出される。また、他の再生可能エネルギーと異なって、地域産業との関係が深いため、バイオマス利活用事業の推進が地域他産業を相乗的に発展させる可能性がある。

序.2.3 固定価格買取制度におけるバイオマス発電

日本における電力の固定価格買取制度は2011年3月11日の午前に閣議決定され、同日の午後に東日本大震災が発生した。続いて起きた福島第一原子力発電所の事故によって再生可能エネルギーへの期待が急激に高まり、2012年7月1日に施行された。その後、2017年に大きい改正が行われた。また買取価格が頻繁に変更されて現在に至っている。バイオマス発電についても規模別の価格設定や、一部の入札制への移行などの改正が行われた。

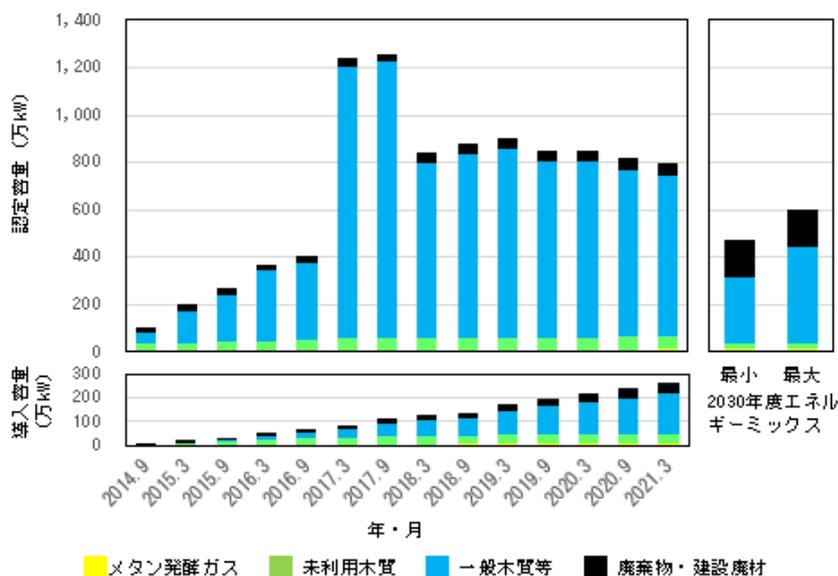
図-序 2-1 に固定価格買取制度におけるバイオマス発電の認定容量と導入容量、および2030年度エネルギーミックスにおけるバイオマス発電の目標容量を示す。これはRPS制度からの移行分を除いた数値である。2021年3月時点で認定されている容量は合計で約796万kWであり、2030年度目標量を上回っている。導入容量は最小目標量の半分程度であり、着実に増加している。2017年に認定容量が急増したのは、買取価格改正前の駆け込み申請による。2018年に減少したのは要件不適合での申請取下などによる結果である。

固定価格買取制度の第一の目的は温室効果ガスの排出削減であるが、バイオマス発電では燃料を継続的に供給する必要があることから、林業、農畜産業、廃棄物の再資源化などの産業とつながりがあり、雇用促進と地域産業に貢献できる。そこで、できれば地域で発生するバイオマスを利用して地域の経済発展に寄与してほしいという期待があるが、現状は輸入バイオマスへの依存が大きい。図からわかるように、認定容量においても導入容量においても、「一般木質等」の割合が多い。そしてこの区分の燃料のほとんどは、パーム油、PKS、木質ペレット、

木質チップ等の輸入バイオマスである。

各国にとって、再生可能エネルギーの利用は温室効果ガス排出削減のみではなく、エネルギーセキュリティの点でも重要である。エネルギー資源の大部分を海外に依存している日本はエネルギーセキュリティが脆弱である。この観点からも、国内のバイオマスを有効に利用することで、国産エネルギーの割合が増えることを期待したい。

図-序 2-1.固定価格買取制度におけるバイオマス発電の認定容量と導入容量



(経済産業省の資料³よりデータを引用)

¹横山伸也, 芋生憲司(2009):『バイオマスエネルギー』. 森北出版, 東京.

²芋生憲司(2015):バイオマスエネルギーの新しい可能性. 月刊「化学経済」2015年12月号, 18-22.

³経済産業省:固定価格買取制度 情報公表用ウェブサイト.

<https://www.fit-portal.go.jp/PublicInfoSummary>(2021年10月26日閲覧)

序.3 発電事業と木材の生産・利用との関係

【要旨】

新たに木質バイオマス発電事業を構築するには、立地する当該地域の原料の生産基盤たる森林の状況と、それを基盤としている既存の木材産業との関係を十分に配慮し、十分利用されていない資源の可能性とその供給の安定性などを見極める必要がある。

【構成】

序.3.1 林業の現状と燃材生産

序.3.2 既存産業との競合

序.3.1 林業の現状と燃材生産

(1) 人工林経営と燃材生産

我が国の人工林経営について、最も一般的なスギを例に見てみよう。丸太価格(図-序 3-1)は、製材用(A材)の中丸太が14,000円/m³前後と最も高く、次いで合単板(B材)が11,000円/m³前後となっている。他方、スギ人工林皆伐の伐出(林内から林道端の山土場まで丸太を出材)・運搬(山土場から工場や市場までの輸送)コストの全国平均値は、7,500円/m³前後であり、これを上回っているA・B材を生産することが、伐採の主な動機であり、それらが林業経営の収入源となっている。

一方、製紙原料となるチップ用(C材)丸太の価格は、6,000円/m³を超えて上昇してきてはいるものの、伐出・運材コストよりも低い。FIT制度のもとで、未利用材として取引されている丸太は、これより高く取引されているものも多いが、概ね伐出・運材コストを下回っており、燃料材のみを目的とした皆伐は一般的でないといっておく。

実際、発電燃料として使われている丸太の多くは、チップ製造に適さない小径材や低質材、近隣にチップ工場がない、あるいは買取り価格が低いためこれまで出材されなかったC材である。

このため、燃材の供給量は、建築材需要の影響を受けて変動するA・B材生産の動向に大きく左右されることに注意が必要である。そして、中長期的に供給量を拡大するためには、近隣のA・B材加工(需要)量を増やすとともに、伐採量(面積)を増加させる必要があるといえる。

ここで、皆伐・再造林を円滑に進めるためには、①森林所有者が立木の伐採・販売を決断するとともに、②皆伐・再造林を効率的に実施できる林業事業者が存在する必要がある。①については、立木価格(丸太価格－伐出・運材コスト－流通コスト)が低すぎるため、再造林すると手元にお金がほとんど残らないので、皆伐しない所有者が多い状況にある。他方、皆伐して再造林しない事例が全体の6～7割に達していることが問題となっている¹。

これを解消するためには、3,000円/m³程度にとどまっている立木代の向上と、再造林コストの引き下げが必要である。前者については、伐出・運材の低コスト化もさることながら、流通コストの削減も大きな課題である。上記の、中丸太価格と伐出・運材コストの差は、6,500円/m³前後あるが、原木市場を経由すると椋積み手数料と工場までの運賃が2,000円/m³以上かかるため、手元に残るのは4,500円/m³となる。B材の場合は、1,500円/m³となり、A・B材の割合が6:4であれば、平均の立木代は3,300円/m³になってしまう。

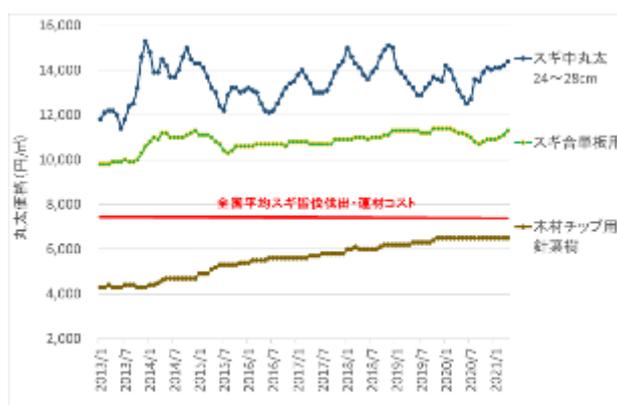


図-序 3-1.スギ丸太価格の推移
出典:農林水産省(2021)木材価格

皆伐によってA・B材が300 m³/ha生産されるとすると²、立木販売代金は単純計算で99万円/haとなるが、再造林経費(地ごしらえ、植栽、下刈5年間)は184万円/haかかることされており³、補助金が8割支給されたとしても、手元に残るのは半分強の62万円/haとなり、皆伐しないか、皆伐して再造林しないかのいずれかになっている。

再造林コストの引き下げについては、伐採に用いた重機を地ごしらえ等に活用する一貫作業や、初期成長に優れる優良苗を用いて下刈回数を削減する、さらには植栽本数を減らす等の取り組みによって大幅な削減が可能であることが示されている⁴。

ところで、伐採量を増やさなくても燃材供給を拡大することは可能である。それは、ほとんど利用されていないが、量的にはC材に匹敵する末木枝条や端材(タンコロ)の活用である(図-序3-2)。現状、燃材として用いられているのは、輸送効率の良い丸太がほとんどである。末木枝条やタンコロは、収集にコストがかかる上に、土砂等の異物が混入しやすく、多くの発電所で受け入れられていないか、買い取り価格が引き下げられている。



図-序3-2.末木枝条(左)とタンコロ(右)

土砂等の混入については、集積時に配慮する、砂を拾わないバイオマス専用のバケットを利用する等が考えられる。低コスト収集については、積み卸し回数や体積を減らすために、集積したバイオマス直接チップ化し、コンテナ投入することが望ましい。これは、山土場であれば、チップトラクター(またはトラック)とフックロールコンテナの活用によって可能であるが、多くの末木枝条・タンコロは作業道沿いに発生しているため、フォワーダで山土場まで搬送する必要がある。残材を集材路上でチップ化できるチップパーフォワーダの開発が待たれる。

(2) 未利用広葉樹林の活用

里山やそれに準ずる天然林の多くは、戦前に薪炭林生産が行われていた旧薪炭林である。それらは、30年前後で皆伐・萌芽更新が繰り返されてきたため、株立ち(根株から数本の幹が成立)しており、単木材積が小さい。このため、伐出効率が悪く、高コストとなっている。また、生産された丸太のほとんどがパルプ材として販売され、その価格は1万円/m³に満たないため、収益がわずかとなり、伐採量は低下を続けてきた。

旧薪炭林の多くは樹齢60年を超えているが、資源的には、予想以上に成長していることも明らかになってきている⁵。また、世界的な優良広葉樹資源の減少から、これまで末口30cm以上でないパルプ材に回されていたものが、末口20cm以上で2.2mの直材であれば、製材等には不向きとされていたコナラであっても2万円/m³以上の価格となる事例が増えてきている。なお、直材にならない部分は、薪製造を行う等の選択肢もあり、材価の問題は改善可能である。



図-序3-3.旧薪炭林における株立ち

しかしながら、伐出コストの削減については、造材をグラップルソーで行うなどの機械化以外は大きな進展は見られていない。伐倒に手間がかかり、危険であることから、ケーブルアシストのハーベスタの活用などの実現が待たれるところである。

旧薪炭林の利用にあたっては、樹齢が 60 年を超えると萌芽再生は困難になることであり⁶、更新確保への配慮が必要である。例えば、側方からの種子供給が見込まれるように、小面積帯状皆伐にすることなどが考えられる。その際、天然更新が不調の場合には、補植等を行う必要がでてこよう。

序.3.2 既存産業との競合

FIT 制度では、木質バイオマス発電事業の認定条件として、同じ原料を利用する既存の産業に著しい影響を及ぼすおそれがないこと⁷をあげている。このことから、燃材集荷にあたっては、近隣の林産業にあたえる影響をできるだけ軽微にする配慮が必要である。そこで以下、関係する業界との関係について見てみよう。

(1) 製材産業

図-序 3-1 の中目材を利用する製材工場は、燃料材よりも大幅に高価な材を使っていることから、あまり影響は受けないと考えられる。一方、スギ小丸太価格は 11,000 円/m³前後で推移しているので、同一地域内ではこれを利用する事業体とは競合しにくい。長距離輸送する場合、原木市場への運材コストと手数料等 3,000 円/m³に加えて、工場までの輸送コストが 3,000 円/m³程度になることがある。このとき、山元の丸太売価は 5,000 円/m³となり、近くに発電所が建設されて、7,000 円/m³で買取りを始めた場合には、小丸太は C・D 材とともに発電所に直送した方が有利になりうる。

こうした状況に対処するには、幅広い地域・業種の事業体によって構成される協議会等において、意見交換を行うことによってニーズ(必要となる丸太の規格と量)を明らかにし、川上の素材生産事業体との連系を図ることによって、山土場選別を行って直送する、あるいは量をまとめることで長距離輸送のコストを削減して棲み分けを図る方法等が考えられる。

(2) 合板産業

合板用丸太は、原木市場を通さないことが多いため、小丸太に比べると燃材との競合は起こりにくいと考えられる。かつての B 材価格は、9,000 円/m³台であったため、小丸太のような競合が起こり得た。現在も、100 km を超える広域集荷が行われているため、長距離輸送となる地域、あるいは原木市場等を経由する地域では、新たに設置されたバイオマス発電所等に供給した方が川上の素材生産事業体にとって有利となる場合が起こりうる。

これに対しては、小丸太と同様の対策が考えられるが、それとは別に、合板工場がその資本力を活かして立木在庫を確保することによって素材生産事業体を育成・強化し、地域の素材生産量を拡大して合板用材とともに、製材用材や燃材の供給を拡大していくことが考えられる。なお、合板産業は、電熱を大量消費しており、本来木質バイオマスエネルギー利用に適していることから、B~D 材をまとめて集荷し、マテリアル利用できる材を選別して加工し、製紙・ボード原料となるものは外販等するとともに、残りを熱電併給利用していけば、山側にとってもメリットがでてこよう。

(3) 紙・パルプ産業

パルプ生産には、かつて、原木を砕いて生産した原木チップを多用していたが、海外からの輸入チップや古紙利用に大きく転換し、原木チップ工場は減少の一途をたどってきた。これとは別に、製材工場の背板から生産される背板チップもパルプ生産に用いられている。

原木チップには、製材や合板・集成材生産に適さない C 材が用いられており、まさに燃料材供給と競合している。この影響は、図-序 3-1 のチップ用材価格からもわかるように、2012 年の FIT 開始以降、傾向的に上昇してきたのは、各地で木質バイオマス発電施設が稼働して、燃

材料需要が拡大してきたことによると考えられる。

チップ工場としては、間伐材等の未利用材に該当する丸太からは、若干高く販売できる発電所向けの未利用材チップを生産し、そうでない一般材からはパルプ用のチップを生産するなど工夫をしているが、マテリアル利用とエネルギー利用を両立させるためには、生産量を大幅に引き上げる必要があり、結果として、チップ用材価格も上昇しているのである。

このように、木質バイオマス発電事業は製紙産業に影響を与えているといえるが、製紙産業は、パルプ原料として国産針葉樹チップを 340 万 t/年(2018 年)消費する一方で、燃料チップを 310 万 t/年(多くは針葉樹材)消費しており、全国の燃料チップの約 1/3 を発電に利用していることから⁸、FIT 制度の受益者といえ、価格上昇は、これまでの倍近い原燃料を集荷しようとした結果であると考えられる。

むしろ注意が必要なのは、昨今のペーパーレス化によって上質紙を中心に紙需要が減少しており、製紙プラントの閉鎖等が起こりつつあることである。製紙プラントのチップ需要は巨大であるため、閉鎖によってチップ供給のサプライチェーンが弱体化した場合、燃材のみならず A・B 材の供給にも影響が出る可能性がでてこよう。

¹林野庁(2021):令和 3 年版森林・林業白書

²A・B 材以外にも、C・D 材が生産されるが、これまでは価格が低いため、立木販売代金の精算時に明示的に評価されないことも多かったようである。

³林野庁(2021):令和 3 年版森林・林業白書

⁴森林総合研究所(2013):低コスト再造林の実用化に向けた研究成果集

⁵林野庁(2021):森林生態系多様性基礎調査

⁶荻原・後藤(2020):コナラの伐採時林齢と伐採株の状態が萌芽枝の発生と成長に及ぼす影響—高齢なコナラ林の萌芽更新の可能性—。日林誌(2020)102: 115-119.

⁷経済産業省(2012):経済産業省令第四十六号

⁸経済産業省・農林水産省(2020)第2回林業・木質バイオマス発電の成長産業化に向けた研究会

序.4 主力電源として木質バイオマス発電所に求められる社会的な役割

【要旨】

木質バイオマス発電は再生可能エネルギーの安定供給電力として重要な役割をもっており第 6 次エネルギー基本計画の 30 年目標で、現行の供給力を倍増することをもとめられている。それに対処するため「経済性を考慮した利用全体の最適化」(コスト面の抜本的改善)が求められている。

【構成】

序.4.1 木質バイオマスエネルギーの重要性

序.4.2 日本における木質バイオマス～普及状況と課題～

序.4.1 木質バイオマスエネルギーの重要性

(1) カーボンニュートラルに向けた木質バイオマス発電の重要性

長期的なカーボンニュートラルの目標に向けて、脱炭素エネルギーの大幅な拡大が必要である。脱炭素エネルギーには、原子力発電、化石エネルギー+CCS(CO₂ 回収貯留)、各種の再生可能エネルギーがある。再生可能エネルギー発電には、水力発電、地熱発電、太陽光発電、風力発電、バイオマス発電などがある。

わが国の総合エネルギー統計¹によれば、事業用バイオマス発電の燃料として、木質バイオマスが約 81%を占めている。事業用バイオマス発電を対象とする固定価格買取制度 (FIT)対象のバイオマス発電としては、2020 年 6 月の FIT 対象導入容量 237 万 kW のうち、未利用材 40 万 kW、一般木材等 150 万 kW、建設廃材約 9 万 kW、合計 199 万 kW が木質系バイオマス燃料であり、FIT 対象導入容量の約 84%が木質バイオマス燃料である²。このように、わが国の事業用バイオマス発電については、木質が主力であり、今後わが国のバイオマス発電を増加するには、木質発電を増加することが重要である。

(2) 木質バイオマス発電の出力安定性の重要性

再生可能エネルギー電気の中で、木質バイオマスに代表されるバイオマス発電は、地熱発電、水力発電とともに、電気出力が安定した安定電源である。これに対して、太陽光発電と風力発電は、出力が不安定であり、自然変動電源と呼ばれる。

自然変動電源である太陽光発電の大量導入により、日中の安定電源が減少するとともに、不安定な自然変動電源をカバーする電力需給調整が必要である(図-序 4-1)。電力システムは瞬時瞬時の電力供給と電力需要を一致させる必要があり、電力供給と電力需要が不一致だと、周波数が変化して電気機器に悪影響を与える。需給の不一致が大きい場合には、火力発電などの電源の停止を引き起こし、大規模停電を招く可能性がある。太陽光発電の出力が急増する朝方には、太陽光発電以外の電気出力を急減して需給を一致させる。太陽光発電の出力の急減する夕方には、太陽光発電以外の電気出力を急増する必要がある。風力発電に関しても、風況により電気出力の増減が発生すれば、それ以外の電源で需給調整をする必要がある。

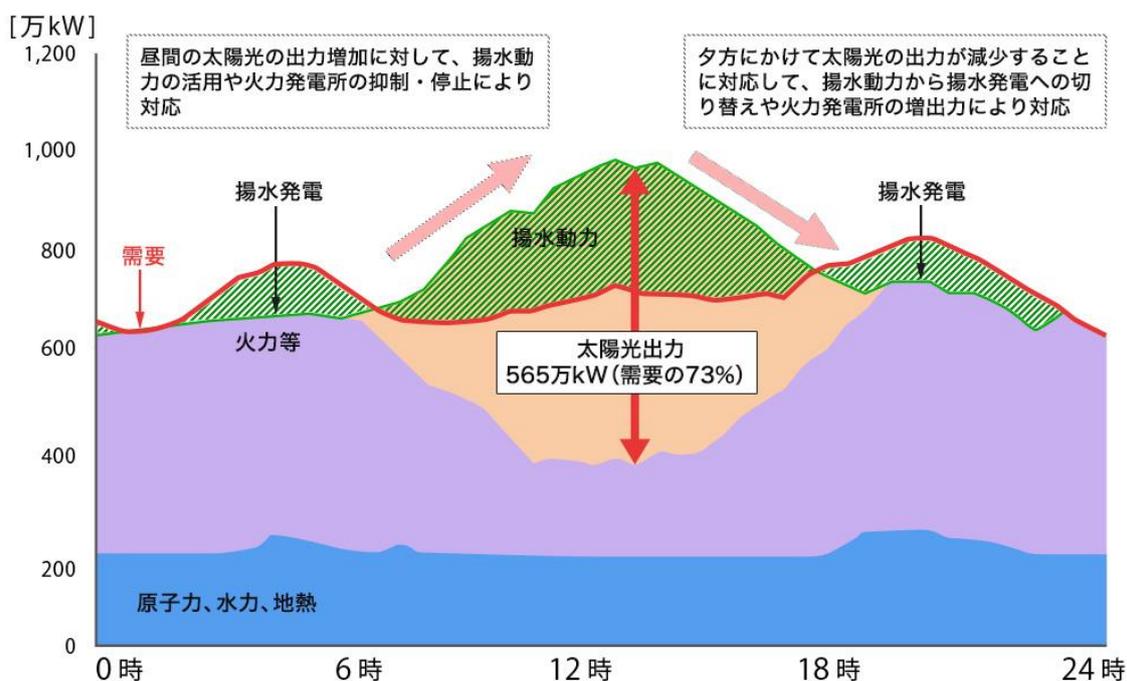


図-序 4-1. 電力需給実績の例 (H29.4.30(日))³

第6次エネルギー基本計画が2021年10月に閣議決定された。同計画の再生可能エネルギー発電の2030年度の野心的水準では、自然変動電源である太陽光発電は1億kW以上、風力発電は2000万kW以上の水準が示されている。安定電源としては、水力発電約5100万kW、地熱発電150万kW、バイオマス発電800万kWの導入水準が示されている(表-序 4-1)。再生可能エネルギー中の安定電源として、伝統的に活用されてきた水力発電に次いで、バイオマス発電の導入水準は大きい。伝統的に活用されてきた大型水力発電はFIT制度の対象外であるため、FIT制度の対象として導入が推進される再生可能エネルギー電気の導入水準としては、木質バイオマス発電を主力とするバイオマス発電が、安定電源中の過半を占める。

表-序 4-1. エネルギー基本計画における再生可能エネルギーの2030年度の野心的水準 4

GW(億kWh)	2030年度の野心的水準	H27策定時
太陽光	103.5~117.6GW (1,290~1,460)	64GW (749)
陸上風力	17.9GW (340)	9.2GW (161)
洋上風力	5.7GW (170)	0.8GW (22)
地熱	1.5GW (110)	1.4~1.6GW (102~113)
水力	50.7GW (980)	48.5~49.3GW (939~981)
バイオマス	8.0GW (470)	6~7GW (394~490)
発電電力量	3,360~3,530億kWh	2,366~2,515億kWh

※2030年度の野心的水準は概数であり、合計は四捨五入の関係で一致しない場合がある

山本ら⁵によれば、自然変動電源とバッテリー・水素によるエネルギー貯蔵システムによりベースロード出力の安定電力供給をするには、自然変動電源単体のコストに比べて、システムの最適化を行っても 2 から 5 倍のコストになる。自然変動電源を用いた安定電力供給は、高コスト化するという問題がある。

木質バイオマス発電は、再生可能エネルギーの中で貴重な安定電源である。木質バイオマス発電の安定した電力供給は、今後も電力システムのために重要である。

序.4.2 日本における木質バイオマス～普及状況と課題～

(1) 新エネ法と FIT 法

1997 年に、「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法(新エネルギー法)」の対象とする新エネルギー等の一つにバイオマスが加えられた。2002 年に新エネルギー特別措置法(RPS 法)が施行され、バイオマス発電が対象の一つとされた。2012 年に再生可能エネルギー特別措置法(FIT 法)による固定価格買取が開始された。FIT 法は 2016 年、2020 年に改正され、2018 年度から大規模バイオマス発電は入札対象へと移行した。

FIT 法の下での木質バイオマス買い取り単価は、2021 年度においても、未利用材(2000kW 未満)が 40 円/kWh で、未利用材(2000kW 以上)と一般木材等(10000kW 未満)が 20 円/kWh を越える(図-序 4-2)。これらの買取単価は、卸電力市場から調達される電気の平均単価から計算される平均回避可能単価の約 14 円/kWh を大きく上回っている。

FIT 法の下での、再生可能エネルギーの買取金額から平均回避可能単価を差し引いた金額は、FIT 賦課金として電力料金に賦課される。FIT 賦課金単価は、2021 年度において、3.36 円/kWh という高い水準にある。FIT 賦課金の抑制と再生可能エネルギーの拡大の両立が課題となっている。



図-序 4-2. FIT 法におけるバイオマス電気の買取単価

ただし、平均回避可能単価(電気の市場価格から計算)約 14 円/kWh。

(2) 近年のバイオマス利活用状況

バイオマスの利活用には、新エネ法の対象へのバイオマスエネルギーの追加(1997 年)、RPS 法の施行(2002 年)、FIT 法の施行(2012 年)が節目となっている。バイオマスの利活用量を 2000 年度(RPS 施行前)、2010 年度(FIT 施行前)、2019 年度(2021 年 7 月時点の最新統計)の時点で確認する(図-序 4-3)。

バイオマスエネルギーの国内生産量は 2000 年度の 201 PJ(10 の 15 乗ジュール)から、2019 年度に 367 PJ へ増加した。ただし、2012 年の FIT 法施行にもかかわらず、2010 年度から 2019 年度にかけて、増加速度は鈍化している。国内のバイオマス資源生産量の拡

大は今後の課題である。

輸入バイオマスは、2000 年度には 5 PJ であったが、FIT 法導入後の 2010 年以降に急増し、2019 年度には 73 PJ に達している。再生可能エネルギーの中で、実際に輸入可能な資源は、バイオマスだけであり、輸入バイオマスはバイオマスの特徴を活かした活用法である。木質バイオマスは、チップ化して バルク船により、長距離輸送できるとともに、長期間保管可能である。バイオマス輸出国と協調した環境調和の持続可能なバイオマス輸入は、長距離輸送可能なバイオマスの特性を活かした。バイオマス利活用の一つと考えられる。

事業用発電用途のバイオマスは、2000 年度には統計上ゼロであったが、FIT の対象となった 2010 年度以降に急増し、2019 年度には 142PJ へ増加した。一方、自家発電自家消費用バイオマスは、FIT の対象外であり、2000 年度から 2019 年度にかけてやや減少傾向である。非電力用バイオマスは、2000 年度から 2010 年度にかけてほぼ倍増した。非電力用バイオマスの主用途は、産業用の蒸気供給である。製紙や廃棄物処理などのバイオマス利活用する業種でのバイオマス蒸気利用が拡大した。

次に、時点別のバイオマス用途を確認する。RPS 法および FIT 法がバイオマス事業用発電を対象とする以前の 2000 年度においては、事業用発電用途はゼロで、5 割弱が自家発電用、5 割強が非電力用（ほとんどが産業用熱利用）であった。2019 年度には、事業用発電用途が約 3 割、自家発電用が約 2 割、非電力用が約 5 割へと変化した。RPS、FIT の制度導入前の事業発電がゼロであるということは、現在の事業用発電用途は FIT 制度下の高額の買取価格により作られた用途と考えられる。FIT の終了後には、FIT 開始前の 2000 年、2010 年のバイオマス利活用が参考になるだろう。事業用発電、自家発電（コージェネレーション）、熱利用の用途を総合的に考慮して、バイオマス利用全体の最適化（経済性を考慮して最も適する用途で利用する）を行う必要がある。

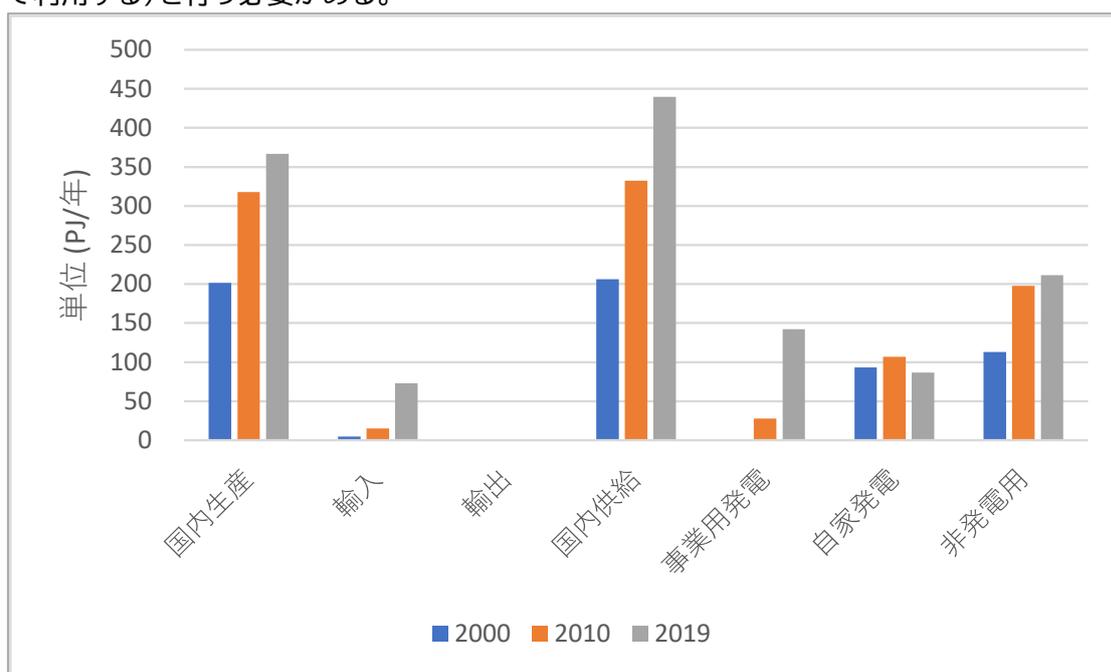


図-序 4-3.わが国のバイオマス資源の供給と用途⁶

(3) 木質バイオマス発電主力電源化に向けた課題

前述のように、2021 年 10 月に閣議決定されたエネルギー基本計画において、2030 年の再生可能エネルギーの導入目標が示された。2030 年度の野心的水準として、バイオマス発電の目標は 800 万 kWh (470 億 kWh) である。FIT 対象の木質系バイオマス発電の設備容量については、現在の約 200 万 kW から、2030 年には2倍以上の 434 万 kW への増加の目標が示された。将来においても、木質バイオマス発電はバイオマス発電の主力を担うことが期待されている。

木質バイオマス発電を、現在の約 200 万 kW から、2030 年に2倍以上の 434 万 kW に増加するには、木質バイオマス供給量を今後 10 年間に 2 倍以上のレベルに増加する必要がある。木質バイオマスを主力とするバイオマス供給量は、過去 20 年間で 2 倍以上になったが、直近の 9 年間では、約 3 割の増加にとどまっている。国内バイオマス供給量は直近の 9 年間では 2 割未満の増加にとどまっている。2030 年目標の達成のためは、木質バイオマス供給量の大幅な拡大という課題を克服する必要がある。しかしながら、前述のように FIT 法の下の木質バイオマス発電の買取単価は高騰しており、FIT 賦課金の抑制が求められている。再生可能の導入拡大とエネルギーシステムの経済性を両立するため、バイオマス利用全体の最適化（経済性を考慮して最も適する用途で利用する）を行いながら、脱炭素で安定電源である木質バイオマス発電を含めた木質バイオマス利活用の拡大が求められる。

¹経済産業省、総合エネルギー統計 2019 年度

²経済産業省、https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/065_04.00.pdf (2022 年 2 月 18 日閲覧)

³電気事業連合会、電気事業連合会資料

https://www.fepec.or.jp/environment/new_energy/dounyuu/index.html (2022 年 2 月 18 日閲覧)

⁴経済産業省、経済産業省、エネルギー基本計画

https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2021/046/046_004.pdf (2022 年 2 月 18 日閲覧)

⁵H. Yamamoto, H. Fujioka, and K. Okano, Cost analysis of stable electric and hydrogen energy supplies derived fm 100% variable renewable resources systems , Renewable Energy (2021)

⁶経済産業省、総合エネルギー統計のデータより作成

序.5 発電所における技術人材教育のあり方

【要旨】

木質バイオマス発電所の人材育成に、火力発電所の蓄積が役に立つ。技術基盤は熱機械工学・電気電子工学など多岐の専門技術の集合体であるが、それを少人数で分担するため、人材育成は、施設の全体像の把握に始まり、長期にわたる設備の運用計画や補修計画を立案し遂行にいたるまで、段階的・総合的に進める必要がある。

【構成】

序.5.1 火力発電における人材育成の基本的考え方

序.5.2 研修体系のポイント

序.5.1 火力発電における人材育成の基本的考え方

2050年のカーボンニュートラル実現に向け、再生可能エネルギーの主力電源化に大きな期待が集まっている。しかし、再エネ拡大の中心となっている太陽光発電や風力発電は、発電量が天候に左右される自然変動電源であり、電力系統の需給バランス維持が大きな課題となっている。

一方木質バイオマス発電は、カーボンニュートラルに寄与する再生可能エネルギーであることに加え、燃料を確保することにより発電出力を自在にコントロールすることができる安定電源であるという特徴を合わせ持っている。また、国産エネルギーの活用でもあり、エネルギーセキュリティおよび地域の活性化への期待も大きい。

バイオマス発電の原理は、燃料種別の違いはあるが、その技術は火力発電そのものである。火力発電は、「火主水従」としてわが国の発電電力量の過半をしめるようになってから60年程が経過しており、戦後のわが国のエネルギーを支え続けてきた。この間、オイルショックや公害問題などの様々な問題に直面し、その都度技術の進歩により課題を克服してきたが、それを支えた火力部門の人材については、各電力会社等において、技術の進歩や社会の変化に合わせて育成されてきた。このように火力部門の人材育成カリキュラムは、長年の試行錯誤により作り上げられてきたが、その考え方はバイオマス発電の人材育成にも相通じるものがあると思われる。

火力発電技術は、熱力学、流体力学、材料工学などの機械工学に加え、電気工学、制御システム工学、水化学、環境保全化学など様々な専門分野の集合体である。かつては、それぞれの専門技術者を要所毎に配置して発電所の運用を行っていたが、昨今の技術の進歩とデジタル化の進展により少人数での運用が可能となっている。このことを踏まえ、近年の火力発電における人材育成のトレンドを以下に纏めた。

序.5.2 研修体系のポイント

(1) 安全教育と設備の全体像の把握

通常運転だけであれば、自動化、遠方制御化により少人数での運転が可能となっている。しかし、発電設備がどのような仕組みで動いているのかを理解していないと、効率的な運用やトラブルなど異常時の対応をすることができない。

また、発電所では大量のエネルギーを扱っていることから、確かな知識と適切な行動が伴わないと、設備事故につながるのみならず運転員自らも被災する恐れがある。

このため、人材育成の第一段階において、安全教育と設備の全体像の把握を最優先に取り組むべきである。

(2) OJTとOff-JTの有機的組合せ(職場内研修と職場外研修の有機的組合せ)

火力発電所の運転員は、運転に必要な技術・技能を自ら磨くことが本旨であり、それは、日常

業務を遂行しながら関連知識を習得する職場内訓練(OJT)を基本としている。

自動化や遠方監視が進んでいる発電設備では、現場へ行かなくても設備の状況を把握することが可能になってきているが、発電設備の全体像の理解が必要な事に加え、実際の設備の温度、駆動音、振動、においなど現場でなければ感じる事ができないものも多く、このようにOJTには、設備と直接触れ合うことが含まれていることが重要である。

一方、現場では習得できない、理論や専門知識、非常事態対応訓練等については、職場外訓練(Off-JT)にて補完する必要がある。

このように、OJTとOff-JTが有機的に結びつくことが有効である。それを実現するためには、経営および人材育成の実務責任者により研修体系が整備されていることが必要となる。

(3) 人材育成はグレード分けを行い段階的に進める。

発電所の技術員に求められる素養は多岐に渡る上に奥が深い。効果的な人材育成のためには、当面目標とするレベルを明確に位置付け、着実に知識や技術を身につけていくことが肝要である。研修の成果については、定期的なレビューを行い次の目標設定につなげる。いわゆるPDCAを回す必要がある。

※人材育成における各ステップ設定例

第1段階：通常の運転操作や日常の管理業務ができる。

火力発電所の概要および仕組みを把握し、運転保守に関する法律・マニュアルを理解し、日常業務に活用できること。

発電業務に関する安全の基礎知識を身につけ、安全基本動作が体得されていること。

第2段階：通常運転に加え、異常の発見、トラブル時の処置が適切にできること。

警報対応操作、故障対応ができ、安定運転への復旧、もしくは必要に応じ設備の安全停止を行うことができること。また、通常の設定点検の内容を理解し、設備の機能を維持できること。

第3段階：設備に関する高度な技術的判断ができる。

トラブルシューティング、性能管理、余寿命評価を行い、長期にわたる設備の運用計画や補修計画を立案し遂行できること。

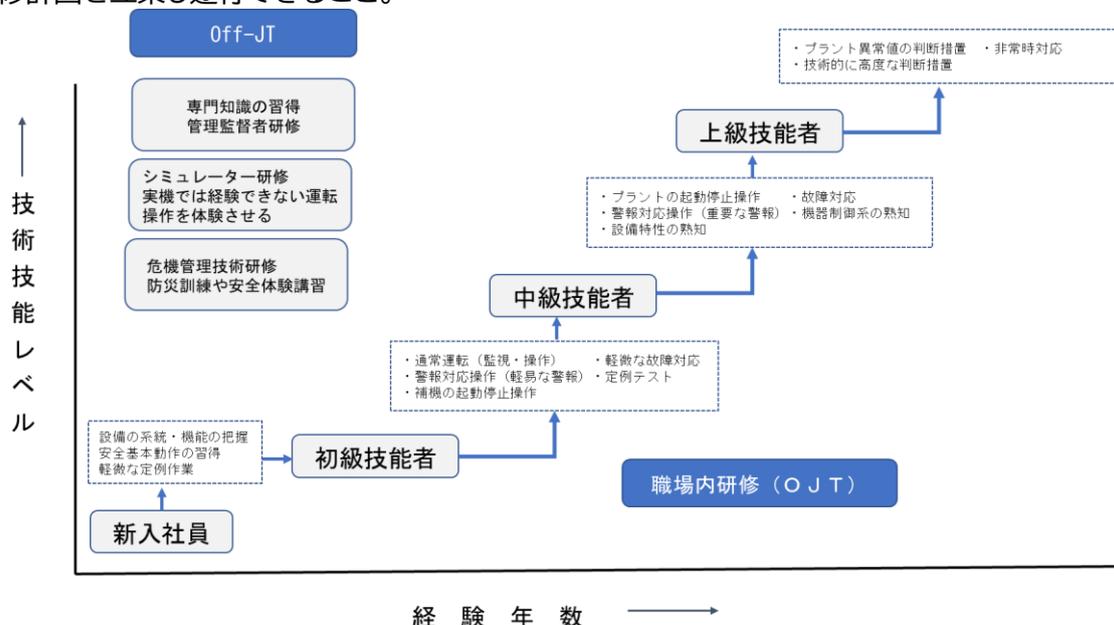


図-序 5-1.火力発電技術者の研修体系

(4) 自動化・デジタル化への対応(要員のマルチスキル化)

発電所の少人数化の進展により運転員のマルチスキル化は今や必須のものとなっている。

DX・AI の活用である程度カバーすることはできるが、デジタル化をするためのノウハウは、長年の経験や実績から得られたものであることを忘れてはならない。また、現段階では、トラブル対応等の重要な判断は人間が行う必要があり、DX・AI の活用は、人間との役割分担であり限定的なものである。

また、判断に窮した時に、より専門的な知識を持つ技術者に“つなぐ”ことができる引出しを多く持つことも重要となる。

(5) 最適な発電所運営のために

国のエネルギー政策などで、「安全性(Safety)を大前提とし、自給率(Energy Security)、経済効率性(Economic Efficiency)、環境適合(Environment)を同時達成する」という取組を進めている(3E+S)。これは、行政や大きな電力会社のものだけではない。

安全の確保、安定運転、経済性、環境保全是、それぞれの設備で実現されなければならない。この4項目は、往々にしてトレードオフの関係となっていることが多く、バランスよく実現するのは容易ではない。S+3E を達成するためには、高度な技術力と業務知識の積み重ねが不可欠であることを忘れてはならない。

第 1 章 燃 料

第1章 燃料

1.1 国内における木質バイオマス燃料の安定調達—基本方針と各種取組

【要旨】

木質バイオマス燃料を安定調達するためには、需要と供給の間をとりもち数量管理の総責任者となる需給調整者および具体的な商流・物流を確保して調達体制を事前に構築するとともに、その体制を維持していくために体制内での密接なコミュニケーションを確保することや地域内の林業・木材産業等との共存共栄を目指すことなどが大切である。

【構成】

- 1.1.1 調達体制の構築に向けた基本方針
- 1.1.2 各種取り組み(参考事例)

1.1.1 調達体制の構築に向けた基本方針

(1) 調達の総責任者となる需給調整者および具体的な商流・物流の確保

調達体制は、発電事業開始前の準備段階で構築されるものであり、発電事業が開始されている地域では既にできあがっているはずである。ただ、それを維持していくため、また、事業開始後の状況の変化により修正・変更させることが必要となったときに備え、その構築における重要ポイントを理解しておくことは重要である。

安定調達は、多くの場合、「必要量の確保」を意味するが、状況によっては「余剰の抑制」にも対処する必要がある。

調達体制の構築に際して検討すべきこととして、「需給調整者」の確保と具体的な「流通ルート」の確保とがあげられる。

「需給調整者」は、調達の総責任者として需要と供給との間を取り持ち、「必要量の確保」と「余剰の抑制」(数量管理)を行う。数量管理は、年間数量だけでなく、毎月・毎週・毎日の数量の調整や、突発的な受入停止あるいは供給停止への対処も含み、需要側および供給側が困らないようにすることが必要である。誰がこうした調達の責任者となるのかを明確にし、交渉や取り決めた約束の実施に関わる権限を集約させることは、原燃料・燃料の確実な調達を実現する上で必須である。需給調整者には、発電事業者自身あるいは、既存の流通構造における集荷者が想定されるが、いずれにしても、調達体制内で関係者からの信頼を得て、影響力を有する者となることが求められる。

「需給調整者」の役割として、数量管理以外にも、燃料品質や要件(含む証明書等)に関して、需要側の要望と供給側での対応可能性とを調整して、品質水準を確保することも重要である。

「流通ルート」は、具体的に原燃料・燃料を流通させるための物流および商流であり、有力な出荷者・集荷者が参画していることや、物流に関しては、運送者や中間集積拠点等を明確にしておくことが求められる。

(2) 地域の状況に応じた調達体制内容

調達体制は、地域の状況に応じたものとするのが重要である。地域の状況の具体的な内容としては、まず、地域の森林資源(樹種別資源量、民有林・国有林別資源量、民有林における森林経営計画樹立状況等)のほか、林業活動(素材生産量、主間伐の実施状況、集材方法、造材方法・残材発生状況、山土場の使い方等)、林業基盤(林業労働者数、高性能林業機械導入状況、森林路網整備状況等)、木材需要(A～D材別需要量、CD材の出荷先が域内か域外か、A～D材別に需給バランスが逼迫しているのか緩いのか等)、木材流通(CD材の商流経路・物流経路、既存の需給調整者の有無)等がある。こうした状況の中で「低質材」(発電事業の原燃料候補)の発生量・搬出量・調達競合状況が定まっており、それらによって発電事業の原燃料となる「資

源の利用可能性」が決まり、それを考慮しながら発電事業で使用する原燃料タイプ(「未利用材」/「一般木質」、主伐材/間伐材、丸太/タンコロ/未木枝条等の別)や原燃料需要量を定めることとなる(図 1-1-1)。

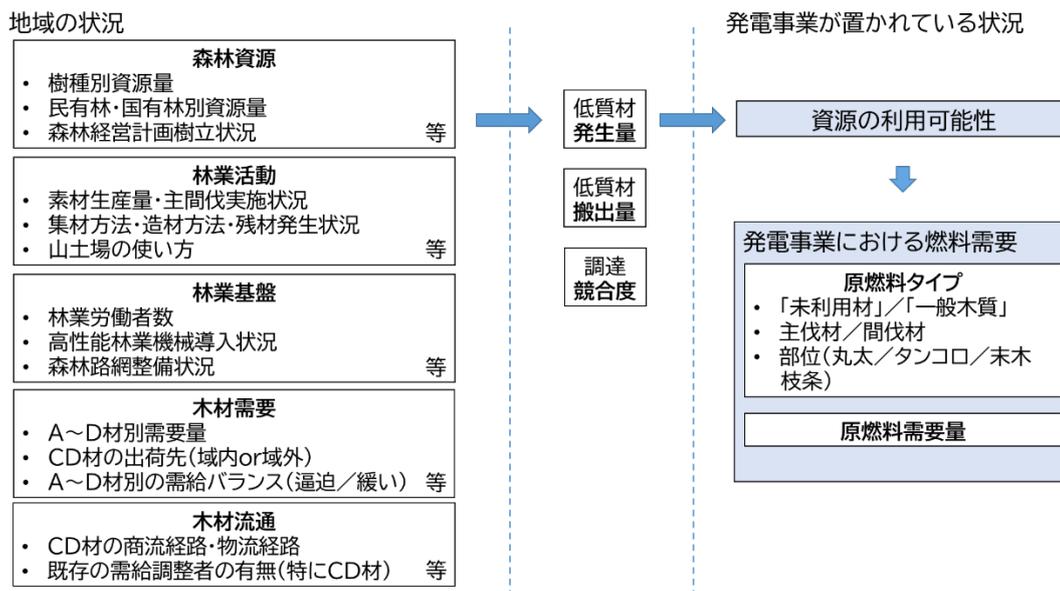


図-1-1-1.地域の状況と資源利用可能性・燃料需要

そして、さらに「既存流通体制の利用可能性」も考慮に加えて調達体制を決めることとなる(図 1-1-2)。「既存流通体制の利用可能性」の程度については、既存体制の「発達度」(D材の取扱量、D材流通への影響力の強さ等)および「供給余力」(D材の最大供給可能量から既存の需要量を引いたもの)が高いほど、また既存体制からの発電事業に対する「信頼」が強いほど、利用可能性が高くなる。既存体制がそのまま利用できるのであれば、それが堅実かつ低費用であり、望ましい。しかし、そのようなことはまれであり、既存流通体制の利用可能性が低くなるにつれ、既存体制の修正・強化、更には新規体制の構築に取り組むことになる。

地域の状況に応じて、複数の流通体制を併用することもありえるが、その場合、それぞれの流通体制に需給調整者が存在することにもなるため、それらを統括する需給調整者が必要となる。

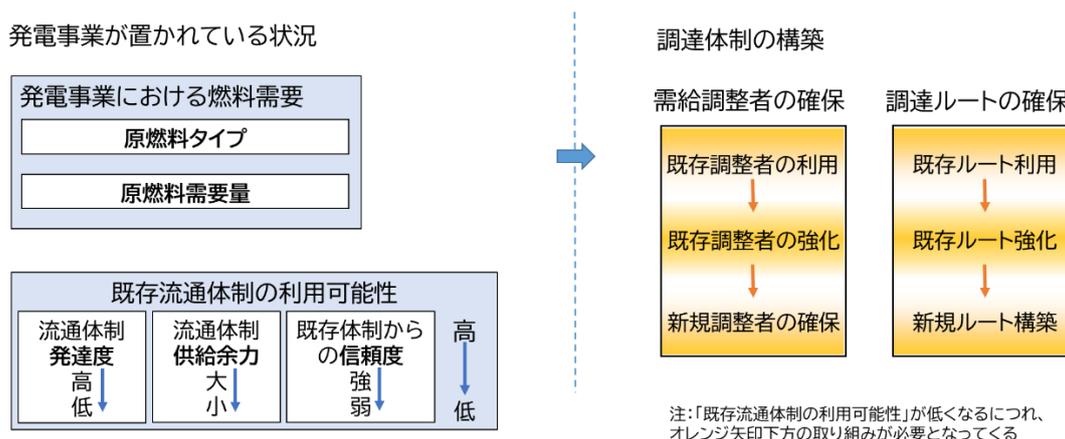


図-1-1-2.発電事業が置かれている状況と調達体制の構築

(3) 出荷者・集荷者・発電事業者間での密接なコミュニケーション

出荷者・集荷者からの信頼を得ることができなければ、長期にわたって原燃料・燃料を安定供給してもらうことが難しくなる。このため、情報・認識の共有、意見交換、双方向での要望提示、win-win な関係構築等の取組が求められる。

発電事業の立ち上げ段階では、燃料需給に関して発電事業者と出荷者・集荷者との間でのコミュニケーションを密にして入念な検討・準備を行っているはずである。長期にわたって原燃料・燃料を安定供給してもらうためには、事業開始後もそれを継続することが重要である。

木質バイオマスは、工業原料のように、均一性や量を確保することが簡単ではない。このため、実現可能な品質管理・数量管理を行うためには、発電事業者には、原燃料・燃料の資源特性やそれらの生産・流通の状況・慣行等を十分に理解することが求められる。

(4) 既存の木材利用や地域社会との密接なコミュニケーション・共存共栄

発電事業者の事業方針として、既存の木材利用や地域社会との共存共栄を目指すことが重要である。地域社会との良好な関係を構築することは、既存の木材利用との競合を回避すること、および地方創生やSDGs等の視点から評価されることの2つの意味から、原燃料・燃料の安定調達への協力を引き出すことにもつながる。逆に、地域の林業・木材産業と、良好な関係を構築できていないと、出荷者・集荷者が原燃料・燃料を供給しづらくなることもある。

このためには、カスケード利用の原則(木材を多段階的に使用すること。この場合、建築部材や家具材など付加価値の高い用途向けから順番に木材を取っていき、最後に残る低質な木材を燃料として利用すること)に立ち既存の利用を妨げないこと、地域内の林業・木材産業等との密接なコミュニケーションをとることが重要である。

発電事業者に上位企業(親会社、出資者等の意思決定権を有する企業)がある場合は、発電事業者が単独で意思決定できない場合もあり、上位企業も方針を共有することが求められる。これは「(2)出荷者・集荷者・発電事業者間での密接なコミュニケーション」についても同様である。

1.1.2 各種取り組み(参考事例)

上記の調達体制の下で、各現場で、状況にあわせて、具体的な取り組みを実施することとなる。ここでは、いくつかの事例で取り組まれている活動を紹介する。

いずれかの活動を単独で実施することはありえず、必要な燃料需要量を確保するために、「資源の利用可能性」に応じて、複数の活動を組み合わせることとなる。資源の利用可能性が低くなるほど、個々の活動の取り組み方を「強化」とするとともに、取り組む活動を「拡充」させることとなる(図1-1-3)。

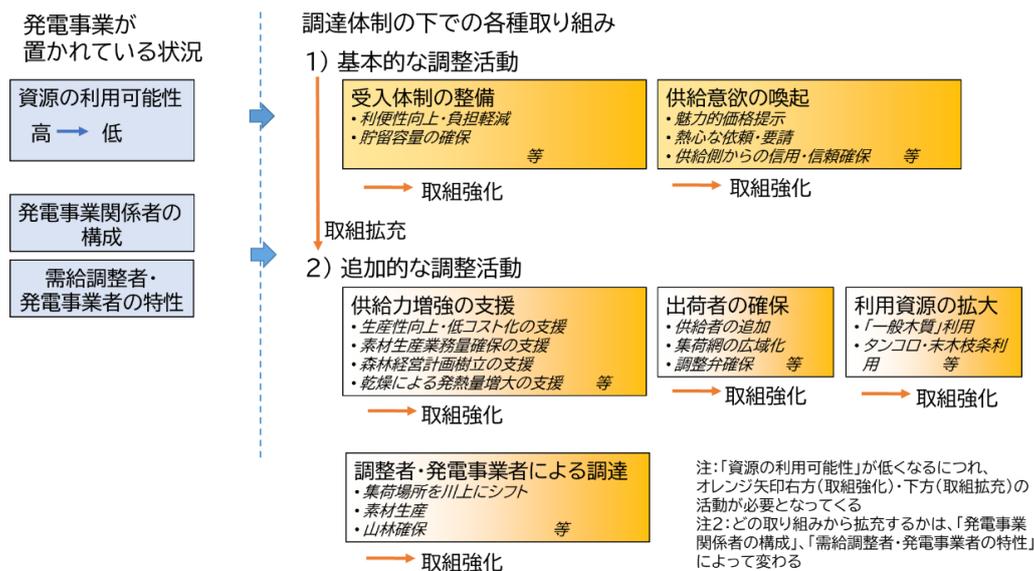


図-1-1-3. 発電事業が置かれている状況と調達体制下での各種取組

「発電事業関係者の構成」(有力出荷者、有力集荷者、有力調整者、行政・業界団体などの協力者等の参加の有無)や「需給調整者の特性」(需給調整者が発電事業者か、需給調整者が出

荷や集荷もおこなっているのか等)によって、どの活動から取り組むのが取り組みやすいかが異なってくる。

(1) 受入体制の整備

まずは最初に取り組むべき活動である。受入体制が不十分で調達に支障をきたすことは避けなければならないし、受入体制を向上することで調達量が増えるのであれば、最も簡便な取り組みといえる。

<事例>

出荷者の出荷時の利便性向上・負担軽減(出荷タイミング指示、受入時間帯の融通、荷下ろし作業の効率化、手続きの簡素化、事務手続きの引き受け等)、調整者・発電事業者の原燃料・燃料貯留容量の確保・強化等

(2) 出荷意欲の喚起

個々の出荷者の出荷意欲を高める活動である。資源の利用可能性が高い場合は、出荷意欲の喚起が調整活動の主体となる。

<事例>

魅力的な買い取り価格の提示、熱心な出荷の依頼・要請(出荷者に対する熱心な営業活動、細やかな数量管理等)、出荷者からの信用・信頼確保(長期安定契約、原燃料の受入制限を可能な限り回避、約束・取決めの確実な履行等)等

(3) 供給力増強の支援

個々の出荷者に出荷意欲があっても供給力が弱いと出荷が伴わないため、個々の出荷者の供給力の増強を支援することが重要となる。

<事例>

生産性向上・低コスト化のための研修実施・機材貸与・補助制度紹介等、立木購入現場の幹旋、森林経営計画樹立支援による原燃料の「未利用材」化、原燃料の乾燥による単位重量当たりの発熱量の増加等

(4) 出荷者の追加確保

個々の出荷者における供給力増強の取り組みには限界があるため、出荷者数を増やすことが重要となる。

<事例>

これまでの集荷圏内での出荷者の追加確保、集荷網を広域化させることによる出荷者の追加確保、出荷者の確保にあたり出荷調整弁となりうる有力出荷者の優先的な確保等。

(5) 利用資源の拡大

「未利用材」の「丸太」といった特定の優良資源だけでは地域で使用できる資源に限りがあるため、利用対象資源を拡大することが重要となる。

<事例>

一般木質の丸太の使用、タンコロ・末木枝条の使用等

(6) 自己調達・調整

出荷者任せでは供給の安定性にリスクが伴うため、調整者自身が木材の安定調達に乗り出すことが重要となる。

<事例>

山土場まで集材に出向く、素材生産、山林確保等

1.2 木質バイオマスエネルギー持続可能性の理念

【要旨】

木質バイオマスのエネルギー利用は、気候変動対策上も重要な役割を果たすが、それは全て「持続可能な利用が実現すれば」という条件付きで成立するもの。バイオマス発電事業者は「持続可能性」の概念について理解を深めておく必要がある。

【構成】

- 1.2.1 海外の取り組みなどの背景
- 1.2.2 国内での課題

1.2.1 海外の取り組みなどの背景

(1) バイオマスエネルギーの持続可能性の概念整理

木質バイオマスのエネルギー利用は、再生可能エネルギーの一つであり、気候変動対策上も重要な役割を果たすと言われている。しかし、それは全て「持続可能な利用が実現すれば」という条件付きで成立するものである。したがって、バイオマス発電事業者としても「持続可能性」という概念についての理解を深めておく必要がある。

そもそも持続可能性という概念は、燃料材を供給するために、16世紀にドイツの林学者が提唱したものと言われている。また、伝統的バイオマス利用(薪炭利用)が中心だった、20世紀半ばまでの日本においては、はげ山が当たり前の景観で、水害も頻発していたと言われる。

写真は、第二次世界大戦直後に、荒廃した山地において緑化を進める国民運動のために始められた第一回植樹祭の写真である。現在では想像することも難しいかもしれないが、当時の人口規模・経済水準で、バイオマスエネルギーを「持続的ではない」方法で利用したことの結果であった。

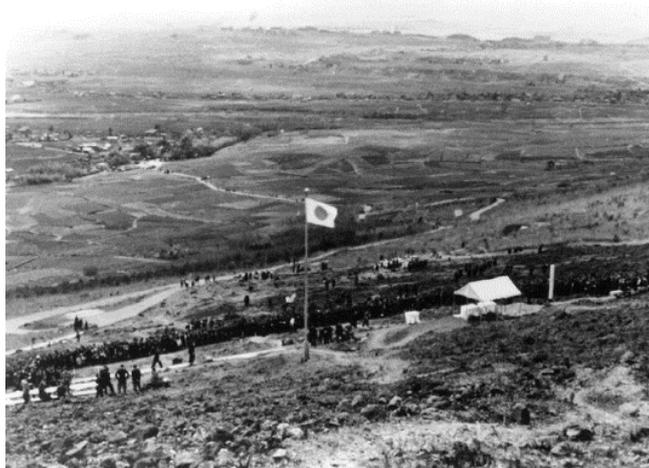


図-1-2-1. 第1回「植樹行事ならびに国土緑化大会」会場の様子(山梨県)¹

(2) 国際的な木質バイオマスエネルギーの持続可能性を巡る議論の動向・気候変動対策上における森林の役割

一方、21世紀の日本は、「森林飽和」と言われるほど、植林された人工林資源が充実し、バイオマス蓄積量もかつてないほど増加しており、むしろ適切に活用していくことが森林生態系の管理のために有用だと考えられている。しかし、残念ながら世界的には森林減少は止まっておらず、森林開発などの土地利用変化からのCO₂排出量は12Gt程度と、化石燃料使用に伴

うエネルギー転換部門の 30Gt 程度に比べても決して小さくない水準が続いている。また、気候変動の主因となっている大気中の CO₂ 濃度は、排出量の累積で決まるため、生態系における炭素の蓄積を減少させ、CO₂ として放出させてしまうことは避けなければならない。

こうしたことから、マテリアル利用も含めて、森林の蓄積を維持しながら、化石燃料や鉄・コンクリートなどのエネルギー多消費素材の代替を進めることによって、いかに森林経営と木材利用が持つ気候変動対策の効果を最大化できるかが大きな課題となっている。

(3) バイオマスエネルギーの持続可能性を巡る世界の議論

このようなバイオマスエネルギーの持続可能性を巡る議論は、2000 年代後半の液体バイオ燃料の利用拡大期から存在した。当時は、トウモロコシや大豆などがエタノールやディーゼルの原料になることから、気候変動対策としての意義に加え、食料利用との競合(価格上昇による貧困層への影響)や、パーム油農園開発に伴う森林減少など土地利用変化の影響が懸念された。そのため、米国、EU、日本のそれぞれにおいて、ライフサイクルアセスメント (LCA) を用いた GHG 排出削減量の評価や土地利用の持続性の確保などの項目からなる持続可能性基準が策定・運用されている。具体的には、伐採や運搬、加工のプロセスでのエネルギー利用に伴って発生する GHG についても LCA の手法で適切に把握し、化石燃料使用時に比べた時に GHG の十分な削減を実現するとともに、可能な限りその排出を削減していくことが求められている。

一方で、木質バイオマスについては、EU 内でも、北欧など、国内において強固な森林規制・ガバナンスの仕組みを構築してきた国が多いことから、EU レベルでの基準策定は見送られた。しかし、イギリスやオランダなど、輸入バイオマスを大量に用いる国において、それぞれ基準が策定され、2018 年に策定された改正再エネ指令では、液体に加えて、固体バイオマスについても持続可能性基準が策定された。さらには、2021 年秋からの運用開始を前にして、対象規模の拡大などのさらなる厳格化の提案が行われている。

1.2.2 国内での課題

(1) 日本国内での議論と制度的対応

日本における木質バイオマス発電の持続性の評価枠組み

日本の FIT 制度では、2019 年 4 月から議論が始まった、バイオマス持続可能性ワーキンググループ(以下、WG)で、持続可能性基準の明確化、基準を満たすことの証明に用いることができる第三者認証の承認などの議論が行われている。木質バイオマスを燃料として利用している発電所の中にも、PKS を補助燃料として使っているところが多い。PKS など農業系バイオマスについては、WG で定められた持続可能性基準を満たすことの証明のために、2023 年春までの第三者認証の取得完了が求められている。

表 1-2-1.FIT 下で農作物残渣に求められる持続可能性基準²

担保すべき事項		評価基準 (RSPO2013を元に作成)
環境	土地利用変化への配慮	<ul style="list-style-type: none"> ■ 農園の開発にあたり、一定時期以降に、原生林又は高い生物多様性保護価値を有する地域に新規植栽されていないこと。 ■ 泥炭地を含む耕作限界の脆弱な土壌で、限定的作付けが提案された場合は、悪影響を招くことなく土壌を保護するための計画が策定され、実施されるものとする。
	温室効果ガス排出削減	<ul style="list-style-type: none"> ■ 温室効果ガス等の排出や汚染の削減の計画を策定し、その量を最小限度に留めるよう実行していること。
	生物多様性の保全	<ul style="list-style-type: none"> ■ 希少種・絶滅危惧種並びに保護価値が高い生息地があれば、その状況を特定し、これらの維持や増加を最大限に確保できるように事業を管理すること。
社会・労働	農園等の土地に関する適切な権原：事業者による土地所有権の確保	<ul style="list-style-type: none"> ■ 事業者が事業実施に必要な土地所有権を確保していることを証明すること。
	児童労働・強制労働の排除	<ul style="list-style-type: none"> ■ 児童労働及び強制労働がないことを証明すること。
	業務上の健康安全の確保	<ul style="list-style-type: none"> ■ 労働者の健康と安全を確保すること。
	労働者の団結権及び団体交渉権の確保	<ul style="list-style-type: none"> ■ 労働者の団結権・団体交渉権が尊重または確保されること。
ガバナンス	法令遵守 (日本国内以外)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 原料もしくは燃料を調達する現地国の法規制が遵守されること。
	情報公開	<ul style="list-style-type: none"> ■ 認証取得事業者が関係者に対し適切に情報提供を行うことが担保されること。
	認証の更新・取消	<ul style="list-style-type: none"> ■ 認証の更新・取消に係る規定が整備されていること。
サプライチェーンの担保	<ul style="list-style-type: none"> ■ 発電事業者が使用する燃料が認証製品であることをサプライチェーンを通じて担保すること。 	
認証における第三者性の担保	<ul style="list-style-type: none"> ■ 認証機関の認定プロセス、及び認証付与の最終意思決定において、第三者性を担保すること。 	

一方で、木質バイオマスの場合、林野庁の「発電利用に供する木質バイオマスの証明のためのガイドライン」に従う必要がある。本ガイドラインは、一義的には適切な識別・証明を求めるものであり、国産材においては森林法などの法律への準拠、輸入木材については「木材・木材製品の合法性、持続可能性の証明のためのガイドライン」に基づく取組が求められているところである。

(2) 発電事業者求められる役割・地域森林資源の保続のために

制度上は、これらのルールの遵守が最低要件になっているが、他方で、国産・輸入を問わず、社会的な要求水準は、より高まっていっていると理解しておいた方がよい。

その一方で、持続可能性の証明に用いる事ができる森林認証については、その森林経営に対する認証(FM 認証)を取得している森林は世界的には決して多くない。国内森林においても、認証取得面積は、FSCで43万ha、SGECで215万haであり、人工林の25%、全森林面積の1割程度である。加えて、国産材にも、伐採届の未提出、伐採後の再造林の未実施などの問題が発生している。

こうした現実を踏まえると、バイオマス発電事業も、まず利用する燃料のサプライチェーンを自ら把握し、そのリスクを洗い出す作業が必要である。更には、国内外を問わず、認証取得支援などを通じて森林管理や林業経営の持続性を高めていくために積極的に貢献していくことが求められていると言える。

¹平成30年度 森林・林業白書

²総合資源エネルギー調査会 バイオマス持続可能性ワーキンググループ 中間整理 (2019年11月)

1.3 品質管理の理論と実践・木質・農産物由来燃料の性状

【要旨】

バイオマス燃料の形状はチップ(小片)あるいはペレットで、それらの性状は発生起源別に類似するためこれに応じて区分される。燃料品質の良否は寸法、水分率などにより決まるので、発電現場では、目視、水分計などによりチェックを行い、品質管理を実施することが好ましい。

【構成】

- 1.3.1 種類
- 1.3.2 特性
- 1.3.3 固形バイオマス燃料として重視される品質
- 1.3.4 発電現場で実施すべき木質燃料の品質管理

1.3.1 種類

発電に使用される固形バイオマス燃料は木質バイオマスがメインで、それに草本植物のパーム椰子殻 PKS とタケが含まれる。形状は自動搬送の容易なチップ(小片)あるいはペレットに限られている。その原料は種類が多く品質も多様であるが、発生起源別に類似性があるため一般に表-1-3-1のように区分されている。

表-1-3-1.バイオマス発電に用いられる木質燃料の区分

起源	種類
森林由来	皮付き樹幹、末木・枝条、林地残材、剪定枝など
工場残材由来	背板、端材、おが粉、鉋屑、樹皮、単板剥き芯など
建築廃棄物(建廃)	住宅解体材、梱包材、パレット、コンパネ、家具など
農産物由来	PKS
その他	タケ

一方、再生可能エネルギーの固定価格買取制度(FIT 制度)では固形バイオマスを「未利用材」、「一般木質」および「建築廃材」に区分している。この区分は森林資源の適正利用、バイオマス燃料の最大限の導入および国民負担の抑制等の観点から政策的に策定されたもので、燃料品質との関連性は少ない。

1.3.2 特性

表-1-3-2 に固形バイオマス燃料の一部性状をまとめた。下記内容の理解に参照されたい。

(1) 森林由来燃料

森林から直接産出される低質材が対象で、一般に寸法が大きく水分も高いため、燃料化に際しては小片化が必須で、乾燥も行うことが好ましい。発熱量は針葉樹に比べて広葉樹は若干低いが、樹体各部位による差は少なく樹体全体が有用な燃料となる。灰分は皮付き樹幹で1%程度、枝条や剪定枝などは収集過程での土砂等の付着も関係して数%にも達することもある。有害物質を含むことが少なく良質な燃料資質を有している。

(2) 工場残材由来

木材加工工場等から産出される残材で、発生現場が利用現場に近く、すでに乾燥の進んだものや細分化されたものなど燃料として好都合なものもある。樹皮を除くと木部由来の燃料で灰分は1%未満と少ない。それに対して樹皮は約3%と高く、土砂付着でさらに高くなるこ

ともある。樹皮は発熱量が木部残材とほぼ同等であるが、水分が高く乾燥しにくいこと、さらにスギやヒノキなどでは細片化が難しいと言った側面を持つ。

他方、接着製品や塗料、防腐・防蟻などの化学的処理材の残材は、灰分の増加に加えて使用薬剤による環境汚染への影響が考えられ、無垢材とは区別した取り扱いが必要となる。

(3) 建築廃棄物(リサイクル材)

使用済みの梱包材や土木用材、建築解体材などが対象で、パレットのように無垢材に近いものから合板、集成材や防腐土台などの化学処理木材を含んだ多種原料が混合されたものである。安価で乾燥も進んでおり魅力的な燃料である。ただし、環境や健康に悪影響を及ぼす化学薬品や重金属、土砂やプラスチック、金属といった炉を傷める異物も混入しており、使用に際しては注意が必要になる。

表-1-3-2.各種固形バイオマス燃料の水分率と灰分、異物、有機物質の含有状況

種類	主要発生地	水分率	灰分	異物		有害物質	
				種類	含有状態	種類	含有状態
主伐材 間伐材	林内	40~60%	~1%程度	土砂	少ない		少ない
林地残材	林地	40~60%	~3%程度(樹幹) ~5%程度(末木・枝条)	土砂、小石、 草本	多い		少ない
支障木 剪定枝など	公園、道路脇 河川敷、果樹園	条件により大きく変動	1~7%程度	土砂、金属、 草本、プラスチック	やや多い		少ない
工場残材	製材・合板工場	40~50%	3~5% (樹皮) ~2%程度	土砂 (樹皮)	少ない		少ない
	合板、集成材、 組立工場	20~40%		金属、 プラスチック		重金属 ^{*1}	やや多い
建築発生 木材	住宅地 土木建築現場	20~40%	~3%程度	土砂、金属、 草本、プラスチック	多い	重金属 ^{*1} 、防 腐剤 (CCA) 塩素・硫黄	やや 多い
PKS ^{*2,*3}	海外	約20%	3%程度	不明		不明	
タケ ^{*4}	竹林	新竹40~90% 古竹30~40%	4%程度	土砂 草本	少ない	塩素 カリウム	多い

*1：接着剤、塗料、防腐剤等に由来

*2：笹内謙一（2018）：バイオマス産業社会ネットワーク第178回研究会資料

*3：大高 円他4名（2009）：電力中央研究所報告、M08018, 1-4

*4：石井 哲（2010）：岡山県農林水産総合センター森林研究所報、26,19-28

(4) 農作物由来

PKS はパーム椰子果実の種からパーム油を搾油した後の殻で、すべてがマレーシアやインドネシアからの輸入バイオマスである。大きさはクルミの殻程度で、水分率は 20%程度と乾燥しており、燃料と同時に木質チップの水分調整用に利用されることがある。発熱量は 16MJ/kg 程度と比較的高く安定している。

(5) タケ資源

タケは繁殖旺盛であるもののその利用が進まず林地への侵入などの竹害が発生しており、その活用が望まれている。タケの燃料としての特徴は、発熱量は樹木に比べて若干低く、灰分が4%程度と高いこと、さらに灰にはカリウムや塩素を比較的多く含み、灰の低温溶融や金属腐食など燃料として好ましくない面も見られる。

1.3.3 固形バイオマス燃料として重視される品質

発電用木質燃料として要求される性能は、搬送性に優れること、高く安定した燃焼性を示すこと、発熱量が高いこと、灰分が少ないこと、ボイラーシステムに損傷を与えないことおよび環境負荷が小さいことなどである。このような観点から木質燃料として求められる品質項目と内容は以下のとおりである。

(1) 寸法

長大な燃料は搬送トラブルを誘引するが、発電施設の大型搬送システムではその懸念は比較的少ない。それよりペレットでの微粉やチップダストが多い場合には、ストーカー炉や流動層炉では燃焼が不安定になり、出力低下や飛灰の増加に結び付く。

(2) 発熱量

出力に直接関係する重要な因子である。バイオマス燃料の種類による差は少ないが、水分率によって大きく変化する。燃料の水分率と固体成分率とは反比例の関係にあり、水分率が高くなるほど固体成分率は低くなるため燃焼熱量も少なくなる。さらにこの燃焼熱は水の蒸発にも使われるが、その量は比較的少ないため、水分率の増加に伴う発熱量の減少は燃料中の固体成分率の減少が主な原因といえる。水分率が低いペレットの発熱量は 16MJ/kg 程度と高いが、木質チップのそれは水分率が高く変動が大きいことを反映して通常 7~12MJ/kg の広い範囲に分布する。

(3) 水分率

出力(発熱量)やボイラー効率、燃料消費量に関係する。ペレットの水分率は 10%程度で安定するが、チップは 20 未満~50%超までと非常に幅が広い。水分率の異なるチップの連続投与は不安定燃焼の原因となる。また高水分率チップの不適切な貯蔵は腐朽の促進と微生物の代謝発酵熱による自然発火につながる。

(4) 灰分

伝熱管付着(ファウリング)による熱交換性能の低下、火炉壁などへのスラッキングによる運転障害、付着灰による伝熱管の腐食、回収灰の量とその処理経費などに関係する。とくに付着灰の固着に関しては灰の低融点化に作用するカリウムが、また腐食については塩素が関係するため、それらを多く含む燃料ではこれら灰に起因するトラブルに注意を要す。

(5) 有害成分

一部の工場残材や産廃からの燃焼灰には環境負荷や健康障害をもたらす多種の重金属や硫黄、塩素などが含まれる。通常発電プラントではそれらの外部飛散を防止するため、主灰以外の微細な飛灰はサイクロンやフィルターで捕集している。その場合、有害性の高い重金属は主灰に少なく飛灰に高濃度で集中する傾向があり¹⁾一種の分別が行われている。したがって回収灰の再資源化を志向するには、第1に燃料の選択、第2に回収灰の分別利用が重要となる。

(6) 異物

ボイラー設備の損傷、運転停止など設備の稼働率低下につながる。

1.3.4 発電現場で実施すべき木質燃料の品質管理

発電稼働を順調に推進するためには、燃料品質が当該発電プラントに適合し、ばらつきや経時的変動の少ないことが条件となる。そのためには使用している燃料の品質等について実態を把握すると同時に、発電出力・効率や運転状況との関連性を見出し、品質の適正化に向けて行動するのが品質管理の常道といえる。

しかし発電現場でチェックできる内容は、水分率および長大物や微細物あるいは異物の混

入状況程度に限られるのが実態である。それ以外の品質内容については発注燃料の種類と調達燃料との適合性を確認し、その上で表-1-3-2から灰分や有害物質の含有状況を類推することが、また発熱量は水分率の測定でその大きさや変動を知ることが可能である。

したがって発電現場では少なくとも表-1-3-3 に例示する検査を行い、実態の把握と同時にバラツキ、変動および異常を検知して、その改善を期すといった行動規律を習慣づけることが重要である。なおこの検査における試料採取方法や測定方法の詳細については、「木質ペレット品質規格(日本木質ペレット協会)」あるいは「燃料用木質チップの品質規格(日本木質バイオマスエネルギー協会)」を参照されたい。

表-1-3-3.燃料の品質管理に必要な検査と方法

検査項目	頻度	試料	要 領
目視観察	1日 複数回	ボイラへの搬送過程にある	色調、形状、粒度、異物の状態を観察記録（写真撮影）
水分率		燃料を採取	全乾法で測定
微細燃料の含有率			ペレット：目開き4mmの篩を通過したものの割合（重量で3%を目標） チップ：目開き8mmの篩を通過したものの割合（重量で10%を目標）

1.4 水管理・計測

【要旨】

木質燃料の水分は、発熱量、貯蔵中のリスクなどに関係する重要な品質指標である。発電所の運用管理、燃料の取引とも関係するので、適切な測定器を利用して計測管理するとともに、燃料の乾燥を合理的にすすめるため、プロセスに応じて自然乾燥・自然乾燥を組み合わせる必要がある。

【構成】

- 1.4.1 水管理の重要性
- 1.4.2 水分の測定方法
- 1.4.3 水分の管理方法

1.4.1 水管理の重要性

木質燃料の品質を決定づける複数の項目の内、水分は重要なものの一つである。本項では、水分を管理することの重要性について説明し、その水分の測定方法及び測定値の扱い方を述べる。さらには、水分の管理方法について説明する。

(1) 木質チップの水分と熱量の関係

木質チップの水分(湿潤重量基準含水率=含有する水分重量を当該チップの重量で除したものを、以下 W.B)と熱量(低位発熱量 Low Heat Value LHV)の関係については、下図のように 2 つの単位で表される。kWh/t などのようにチップの単位重量当たりの場合、水分と熱量は直線的な関係性を示す。これはボイラーへ投入するチップ自体の低位発熱量を表すものであり、運用管理において投入量の把握を重量で行う場合等には重要となる。一方、kWh/m³ などのように見掛容積(トラック輸送容器に満載時のチップ量を容器の容積で表示、以下本セッション(節)では容量という)当たりで表される関係もある。バイオマス発電所の一般的な運用においては重量を用いていると考えられるが、元の木質資源量から得られるエネルギーの総和を理解する上では、容積の関係性も重要となる。

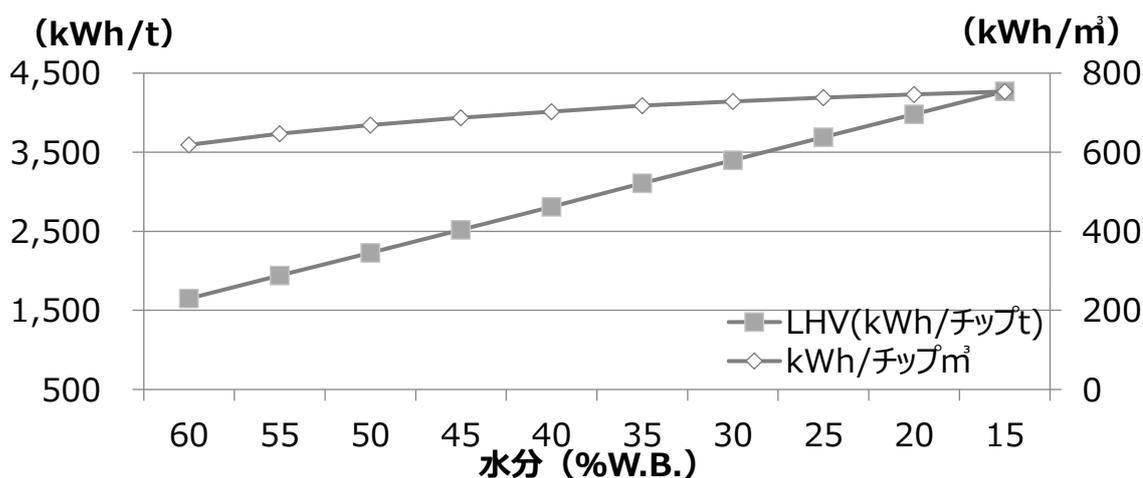


図-1-4-1. 水分別のエネルギー量(低位発熱量)¹

例えば、水分 50%W.B.の木質チップが 25%W.B.まで乾燥する場合、木質チップ 1t当たりの低位発熱量は約 2,230kWh から約 3,690kWh と、65%程増加する。ただし、実際には乾燥することによりチップの重量も 1tから約 0.67tに減少する。したがって、水分の異

なる木質チップの低位発熱量を比較する際に注意すべきこととして、水も含む重量あたりの値をそのまま比較すると、木質部分の重量が異なるために、比較にはならないということがある。そこで、この状況を理解しやすくするためには、チップ量を容積で考えることが有効である。水分 50%W.B.のチップのかさ密度(チップ重量を(見掛)容量で除したもの)を 0.3t/m³とすると、25%W.B.になることで、かさ密度は 0.2t/m³となるが、水分変化による容積には大きな変化は生じない。そこでチップ 1 m³当たりで比較すると、水分 50%W.B.から 25%W.B.までの水分変化により、その低位発熱量は約 669kWh から 738kWh へと約 10%増加することとなる。

この 10%分の熱量増加は、同じ木質チップ量から得られるものであり、言い換えれば、水分の管理次第で、同量の木質チップから得られるエネルギーは増減をするということである。国内で木質バイオマスとして用いられることの多いスギやヒノキは水分が高い樹種であり、50%W.B.を超える場合も多く水分管理の影響は大きなものとなる。有限な木質資源の利用先として多くを占める木質バイオマス発電所において、その有効活用に貢献するという点においても水分を意識した運用は重要となる。

(2) 木質チップの貯蔵中におけるリスク(保管性・安全性・臭気)

木質チップを発電所にて燃料として供するまでには、運用状況により貯蔵期間が設けられる。その期間は、サプライヤーからの流通も含めればより長いものとなる。貯蔵中に木質チップに起こる変化は生物学的、化学的、および物理的反応の複合的な作用によるものとなる。その結果、特に水分が高い場合に現れる影響として大きなものは、有機物の損失(Dry Matter Loss, DML, ドライマターロス)である。木質チップに含まれる有機物が微生物の活性や化学的酸化反応等により分解されることであり、水分が高い場合には、乾物重量のうち一か月間で最大 4%程度が減少するとされている¹⁾。このことは、本来であれば再生可能エネルギーとして利用されるべき有機物が保管工程で失われ、さらに二酸化炭素や一酸化炭素、メタン等の温室効果ガスを大気に放出していると言うこともでき、昨今の脱炭素の流れの中では重要な対策項目となる可能性がある。また、微生物による腐朽に起因する自己発熱(発酵熱)による火災のリスクや、カビの孢子の放出による作業従事者の健康リスク、臭気の発生・拡散というリスクも発生する。

こうしたことから、木質チップの貯蔵の最適化および対応が重要となる。



図-1-4-2. チップに発生するカビ²⁾

(3) 燃焼設備への影響(ボイラー効率・灰の発生量)

木質チップを投入するボイラーのボイラー効率は、一般的には木質チップの水分帯により変化するとされている。ただし、ボイラーの燃焼機構や出力等により、その変化の程度は異なるため、一律での数値を言うことは難しい。そのため、プラントメーカー等から示されるチップの水分とボイラー効率の関係を参照し、チップの持つ発熱量とボイラー効率を乗じることで、チップから得られる真のエネルギーとなる。また、このことを踏まえると、安定的なバイオマス発電所の運転には水分の平準化も重要となる。

他の項目としては、水分の違いによる灰の発生量への影響もある。ボイラーから安定的に同程度の熱量を得るためには、例えば水分 25%W.B.(0.2t/m³)のチップの消費量が 1.0 万m³であれば、ボイラー効率に 10%の違いが生じるとすると、水分 50%W.B.(0.3t/m³)では約

1.3 万m³が必要となる。そこから仮に灰分を 1%とすると、乾燥したチップは 15t の燃焼灰が発生するのに対し、生のチップでは 19t が発生することになる。燃焼灰は現状では廃棄物として逆有償にて処分されることが多いことを考えると、経済性に直接的な影響を与える項目となる。

1.4.2 水分の測定方法

水分の計測は、木質チップの水分状態を把握し、バイオマス発電所の安定稼働のために必要となる。その際には、どのような測定器を用いるかのみではなく、サンプリングを含めた運用方法と、測定に得られたデータをどう用いるかという視点が重要となる。また、チップ調達の取引に影響のある測定の場合には、供給者であるサプライヤーとの共通理解を持つことも、円滑な燃料調達のためには意識する必要がある。

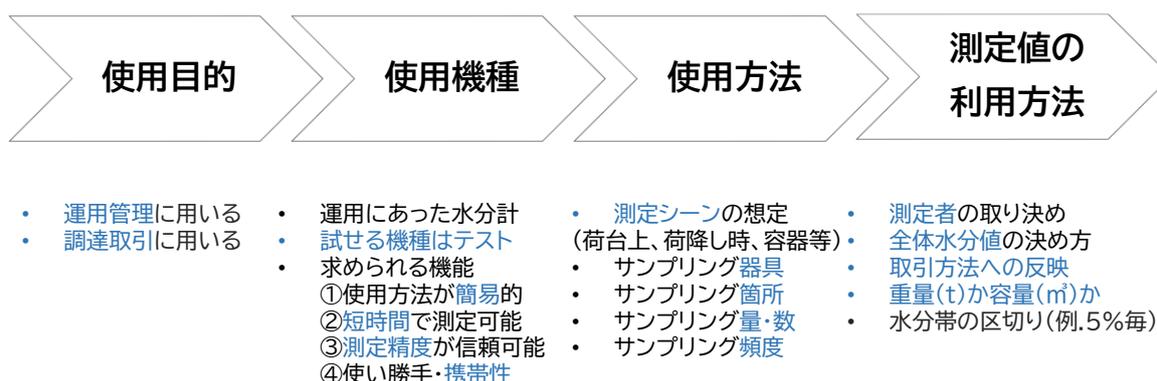


図-1-4-3.水分測定のポイントと要点

(1) 水分測定器の選定

水分測定器には、主には下表のような種類がある。測定方法や精度、費用などもさまざまであるため、バイオマス発電所の運用の中のどの工程でどのような目的で水分測定を行いたいのかを踏まえ、選定を行う必要がある。また、機種によってはかさ密度の測定も可能であり、搬入時の木質チップの水分、かさ密度、運搬車両のチップ容積から重量を算出できるため、トラックスケールを用いない運用に適したものも出てきている。

表-1-4-1.各水分測定器の特徴

測定法	原理	測定時間	製品例	特徴	課題
①全乾法	定温乾燥機により乾燥前後の重量差から算出	6時間～2日間		・JISに規定された測定方法(JIS-Z7302-3) ・200～300g程度のサンプリング	・試験(乾燥)時間が長い(1日)
②加熱式	赤外線ヒーターにより乾燥前後の重量差から算出	数十分		・全乾法に準じる精度 ・全乾法に比べ、試験時間が短い	・サンプル量が少ない(数g程) ・1台で1サンプルしか計測できない
③バケツ重量法	重量と水分の関係(かさ密度)から算出	数分		・バケツ・秤にて測定 ・短時間で簡易に計測	・自的な数値(充填状態、樹種、サイズにより数値が容易に変動)
④電気抵抗式	木材中の電気伝導度(抵抗値)から算出	瞬時		・密度(樹種)による影響を受けない ・使用方法が簡易・瞬時に測定 ・生産ラインに組み込み常時測定が可能な機種もある	・サンプル温度に影響 ・繊維飽和点以上の測定は誤差が大きい
⑤静電容量式	高周波電界中における誘電率(=木材が貯める電気の量)から算出	数十秒		・電極間のサンプルに対して平均水分を測定 ・温度の影響を受けない	・密度(樹種)に影響
⑥近赤外線方式	近赤外光を反射させ、吸収率の変化から相関性を導き算出	瞬時		・生産ラインに組み込み、常時測定が可能	・測定面のチップ表層部分のみの測定になる
⑦マイクロ波式	マイクロ波がどれだけ水分に吸収されたかを計測し算出	瞬時		・中心部を含めた水分を測定可能 ・生産ラインに組み込むことで、全量を測定可能	・比重・厚みの設定が必要 ・装置が大型(固定式)

(2) 水分測定器の使用方法

水分測定を行う上で重要なことは、サンプリングである。水分測定器自体の精度が高いものであったとしても、測定対象となるチップサンプルが、ボイラーに供するチップの全体性を表すものでなければ、測定値の信頼度は担保が難しい。そこで、サンプリング方法に関しては、一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会のWEBサイト³に詳細が掲載されているため、参照を薦める。

(3) 取引方法

測定した木質チップの水分値の利用方法は、バイオマス発電所の運用管理に用いる場合と、調達取引に用いる場合がある。前者はチップの投入量やボイラーの稼働状況の調整に用いられるものであり、発熱所内部のみの利用となるため、設備の稼働状況の最適化のための測定値となる。一方後者については、サプライヤーとの取引に用いるため、測定値の扱いはどういった取引方法を行うかも含めて検討が必要となる。

今までの記述により、水分の低い木質チップは付加価値が高い固形燃料となることを示した。また、木質バイオマスの利用に当たって、燃料代はランニングコストの多くを占めるため、その買取り価格は関連する事業者にとって経済的影響が非常に大きい項目となる。

よって、木質バイオマスのエネルギーの利用に大きな影響を与える水分に着目し、影響を可能な限り定量的に把握した上で、燃料品質と価格の連動が可能となれば、品質の向上や安定的な供給体制構築への動機づけにもなると考えられる。

木質チップの取引形態には下図の 5 パターンがあると想定されるが、国内における取引では①～③の取引がまだ多く、④が徐々に増えて来ているという段階である。ただ④においても、乾燥のメリットが十分に評価されているとは言い切れない。今後は、⑤のように木質燃料の持つ低位発熱量をベースに、複数のメリットを加味したものへと反映されていくことが期待される。

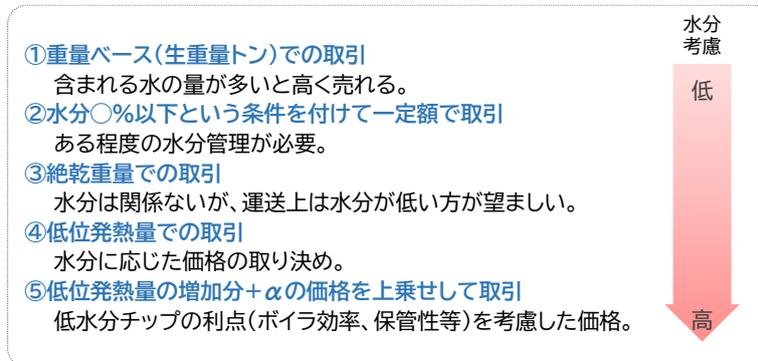


図-1-4-4.木質チップの取引形態

木質バイオマスの導入検討～運用には、供給側(山主やチップ製造及び供給者)、需要側(設備導入者)、そして各設備の取扱い及び設置者等が関係者となる。したがって、それぞれの役割分担と利益配分を考える上で、計画段階から関係者間にて、水分をはじめとした燃料品質を考慮した価格形成に関する検討を行うことが重要である。

1.4.3 水分の管理方法

(1) 木質チップの保管方法

燃料用木質チップの需給バランスを考える場合、需要量と供給量は通年で常に一定ではないために、木質チップは「保管」を行うことがある。その際重要なことは、降雨からの浸水を防ぐことである。対策としては、チップ庫などの屋根付きの建築物が利用できる場合は効果が確実に見込むことができるが、建築コストや保管量の増減を考えると、屋外に保管する際の対策も必要となる。屋外に保管する際の対策としては、透湿防水性のあるシートを用いる

方法がある。透湿シートは、チップからの水蒸気放出を妨げずに降雨の侵入を防ぐという機能をもつが、その効果を最大化するためには、積層するチップの形状を山状にすることが重要であり、より降雨を排水しやすい状態になる。また、保管を行っている最中において、木質チップの水分が高い場合には発酵熱による木質チップの自然乾燥促進の効果もある。木質チップに生じる発酵熱を適切に用いるため、有機物の損失を必要最低限に抑えることも可能となる。



図-1-4-5.透湿防水シートの設置例

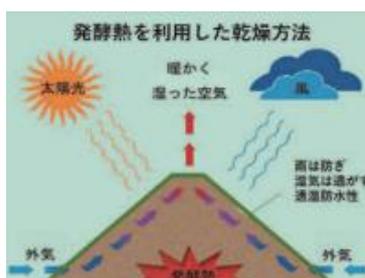


図-1-4-6.乾燥の仕組み

(2) 木質チップの乾燥方法

上述したように、木質チップを乾燥させることで得られるエネルギー量の増加や保管性の向上などがあるが、乾燥の方法は多岐に渡る。乾燥工程の特徴として、樹木を伐るところから燃料として利用されるまでの間に、様々な段階で行うことができることが挙げられる。例えば立ち木状態での樹皮剥き乾燥、伐倒後の葉枯らし乾燥、丸太状態での乾燥、チップ状態での乾燥等である。高水分対応のボイラーも炉内で乾燥させながら燃焼させていると言える。また、乾燥技術は大きくは自然乾燥と人工乾燥に区分される。

自然乾燥は丸太やチップの状態屋外に設置する方法である。気象条件に左右されることや比較的敷地面積が必要となるなどの留意点があるが、風や日射等の自然条件を用いるために最も簡便な方法と言うことができ、まずはこの方法を検討すべきである。丸太での乾燥で重要なこととして、日照条件の良い場所を選ぶこと、風向に対して木口を曝すこと、土壌からの水分吸収を避けるためにコンクリート舗装等に浮かした状態で置くこと等が挙げられる。気象条件や樹種、丸太の太さや長さにもよるが、数ヶ月から1年程で水分は30%W.B.まで低下するとされている報告が多い⁴。一方で、季節や立地条件等で自然乾燥では対応しきれない場合もあり、その場合には人工乾燥が有効となる。人工乾燥は人工的に熱エネルギーを与える方式となるため、規模も大小があり、ドラム・ドライヤー方式、低温ベルト・ドライヤー方式、コンテナやチップ倉庫を用いた固定方式など多様な種類がある。

以上より、木質燃料の乾燥を検討する際には、どの段階でどの乾燥方法を選択するのかを、ケースに応じた選択をすることが重要である。特に、バイオマス発電所の場合には、低温の排熱が豊富にあると想定されるため、乾燥熱源としての利用ができると望ましい。

以上より、木質燃料の水分管理の重要性は多面的に理解することができる。木質バイオマスの有限性を踏まえれば、木質燃料はその熱量を可能な限り引き出し、地域資源として利用されていくことが経済及び環境の両面から合理的である。CO₂ 排出量削減効果という点においては、同量の木質資源で代替できる化石燃料の増加という効果が得られることから、脱炭素に向けた施策においても有効な手段となると考えられる。今後の国内における木質バイオマス利用の進展に合わせて、保管・乾燥もより注目されていくものと考えられる。

¹FAO(FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS)WOOD
FUELS HANDBOOK より作成

注:かさ密度は 0.3t/チップm³(水分 50%W.B.)を想定

²LWF, wissen-21, 1999

³<https://www.jwba.or.jp/woodbiomass-chip-quality-standard/> (2022 年 2 月 18 日閲覧)

⁴福岡県森林林業技術センター, チップ生産の手引き, 2011 等

1.5 灰処理と利活用の可能性

【要旨】

木質バイオマス発電所の運営において燃焼灰の適切な処理・利活用は事業期間を通じて取り組むべき大きな課題である。燃料の性状により燃焼灰の量や成分が異なるが、それにより、取りうる処理方法や利活用用途にも制約がある。また、処理先が近隣にあるかどうかという要素もコスト等に反映する。燃焼灰はそのままの状態では利用しにくく、産業廃棄物として認識されるが、夾雑物の少ない、森林由来の燃料から得られた焼却灰は、肥料原料や土壌改良剤として利用できる可能性がある。

【構成】

1.5.1 木質バイオマス発電所における燃焼灰の取り扱い

1.5.2 木質燃焼灰の適切な処理・利活用

1.5.1 木質バイオマス発電所における燃焼灰の取り扱い

(1) 事業運営上の課題としての灰処理

木質燃料を燃焼させると、重量の1%～5%程度の燃焼灰が発生する。例えば、年間燃料使用量5万tの場合、灰発生量は500t～2,500t程度となるが、産業廃棄物として処理する場合、単価が20,000円の場合で年間1千万円～5千万円のコストが発生する。小規模発電設備におけるランニングコストとしては、負担感もあり、どのような方法で灰を処理・あるいは利活用するか、またコスト感としてどの程度となるのかは事業運営上の大きな課題として認識される。

(2) 燃料性状と燃焼灰

木質バイオマス発電所で発生する燃焼灰は主に2種類あり、フライアッシュ(飛灰、FAなどとも表記される)、ボトムアッシュ、ボトムアッシュ(炉底灰、主灰、BAなどとも表記される)がある。

フライアッシュは、ばいじんをバグフィルターや電気集塵機等で捕捉したもので、非常に粒子が細かく、そのままでは粉体である。

ボトムアッシュは、循環流動層ボイラの場合は炉底から排出された未燃分、金属などの異物(夾雑物)、クリンカなどが混ざっている。

燃焼灰の発生量は燃料の性状によって異なる。樹種によらず樹皮は木部より灰分が多いが、同じ森林由来の材でも、幹と枝葉・根では、木部と樹皮の割合が異なる。また、土砂の付着・混入でも量は増える。

燃焼灰の成分についても当然、燃料の成分に由来するものであるが、特に気を付けたいのは塩化ビニールなど、Cl分を含む夾雑物、重金属類の混入である。それにより灰処理単価が上昇する恐れがある。セメント原料への利用では、Cl濃度が問題となり、引取り拒否、あるいは処理単価が高くなるなどの影響が懸念される。

森林由来の燃料の場合、土壌中の重金属類が検出される場合がある。これは、多分に地域性があるため、事業開始前のサンプルで検出される場合には対応する処理業者の選定や費用面の対策に注意すべき要素である。

灰成分によっては、前処理が必要となる(キレート処理など)場合があるため、多様な燃料を使用する発電所は、灰成分のモニタリングを定期的に行うなどの対応をより慎重に行うことが求められる。

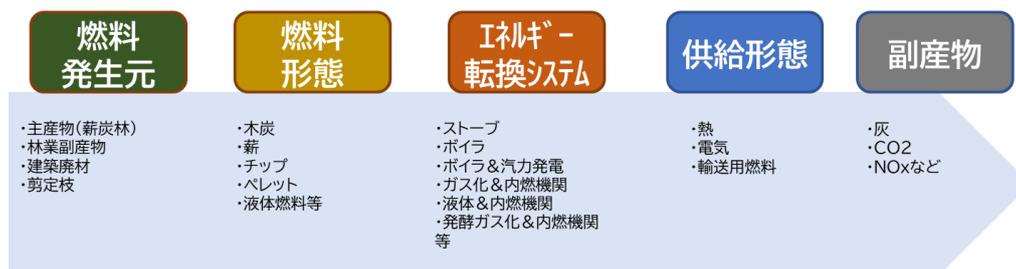


図-1-5-1.バイオマス発電の一連のシステム

1.5.2 木質燃焼灰の適切な処理・利活用

(1) 廃棄物としての取り扱い

事業所から排出された燃焼灰は、基本的には産業廃棄物の範疇で扱われるが、成分によっては管理型の処分場での取り扱いとなる(環境行政では、廃棄物発電が先行する印象があり「焼却灰」と表記されている)。都道府県(あるいは政令市)の担当部局との確認を経て、処理先を選定することになる。

廃棄物としての処理先を選定する際には、発電所からの輸送距離がより短く、処理費がより安いことが望まれるが、なによりマニフェストの管理や廃棄物の取り扱い等について適法処理を確保可能な信頼のおける取引先を選ぶことが重要である。より条件的に望ましい処理先1か所に集中させる、あるいは、複数の処理先と並行して付き合うという形態がとらうる。

また、場内で一時的に保管する場合にも、飛散や流出などが発生しないように留意し、管理することが求められる。また、輸送においても、産業廃棄物収集運搬の許可を得た車両で運搬するなど、取扱に注意する必要がある。



図-1-5-2.区画され、封をした状態で保管されている燃焼灰

(2) 利活用の可能性

現時点では、木質燃焼灰のリサイクル方法としては、路盤材やセメント原料への利活用であるが、その場合も中間処理業者が廃棄物として逆有償で引き取る引するケースがほとんどである。

ただし、性状や排出状況等有価物として判断される場合もあるため、資源利活用の観点から

も、また発電所のコストダウンの観点からも有価物としての利用を検討することは有益である。

環境省では、「規制改革実施計画」(平成 25 年6月 14 日閣議決定)において平成 25 年6 月中に講ずることとされた措置(バイオマス資源の焼却灰関係)について(通知)¹において、 焼却灰(廃棄物の扱いでは「焼却灰」として表記されることが多いが、対象の定義の通り、本稿 で扱う木質バイオマス発電からの焼却灰と同義である)の有価物判断について以下のように整 理している。

◎焼却灰が産業廃棄物に該当しない条件

対象:専焼ボイラーの燃料として活用されている間伐材などを原料として製造された木質ペ レット又は木質チップについて、それらを燃焼させて生じた焼却灰

対象物の状態:

- ①物の性状
- ②排出の状況
- ③通常の手扱い形態
- ④取引価値の有無
- ⑤占有者の意思

対象物の利活用(以下①、②は AND 条件):

- ①有効活用が確実(畑の融雪剤や土地改良材等を例示)
- ②不要物とは判断されない

(詳細は表1-5-1 を参照)

焼却灰の活用にあたっては、以上の判断条件に該当することを以てよしとせず、現実実態に即 して状態や利活用の情報を整理し、利用計画を具体的に作成したうえで、都道府県等の担当者 に事前相談することが望ましい。

表-1-5-1.バイオマス資源の焼却灰の取り扱いについて(環境省通知)

「規制改革実施計画」(平成 25 年6月 14 日閣議決定)において平成 25 年6月中に講ずることとされた措置(バイオマス資源の焼却灰関係)について(通知)

1 木質ペレット又は木質チップを専焼ボイラーで燃焼させて生じた焼却灰について
専焼ボイラーの燃料として活用されている間伐材などを原料として製造された木質ペレット又は木質チップについて、それらを燃焼させて生じた焼却灰の中には、物の性状、排出の状況、通常¹の取扱い形態、取引価値の有無、占有者の意思等を総合的に勘案した結果、不要物とは判断されず畑の融雪剤や土地改良材等として有効活用されている例もある。このような、木質ペレット又は木質チップを専焼ボイラーで燃焼させて生じた焼却灰(塗料や薬剤を含む若しくはそのおそれのある廃木材又は当該廃木材を原料として製造したペレット又はチップと混焼して生じた焼却灰を除く。)のうち、有効活用が確実で、かつ不要物とは判断されない焼却灰は、産業廃棄物に該当しないものである。

2 全国統一相談窓口の設置について

1で述べた焼却灰が産業廃棄物に該当するか否かについて事業者等が行政庁に相談する場合は、許可権者である各都道府県・政令市に相談する必要があるが、必要に応じて事業者等が環境省にも相談できるよう、以下のとおり全国統一相談窓口を設置した。複数の都道府県・政令市が関係する事案であって当該各都道府県・政令市の判断結果が合理的な理由なく異なる可能性がある場合等には、本相談窓口の活用を促されたい。また、全国統一相談窓口¹に相談があった事案について、関係する都道府県・政令市に照会する場合があるので、その際是对応願いたい。

【全国統一相談窓口】

環境省産業廃棄物課規制係

※2021年12月20日閲覧

¹環廃産発第 1306282 号平成25年6月28日 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部産業廃棄物課長「規制改革実施計画」(平成 25 年6月 14 日閣議決定)において平成 25 年6月中に講ずることとされた措置(バイオマス資源の焼却灰関係)について(通知)

1.6 燃料サプライチェーンの管理（ロジスティクスの観点で）

【要旨】

燃料サプライチェーンにおける生産管理工程について、サプライチェーンの目的と、運搬効率に起因する経済的なトレードオフに関する要点に言及する。

木質バイオマスのサプライチェーンについて、生産管理の観点から、特に加工と輸送の費用トレードオフについて重点的に取り上げる。また、情報共有の重要性についても触れる。

【構成】

1.6.1 サプライチェーンについて

1.6.2 チップの選択について

1.6.3 情報共有について

1.6.1 サプライチェーンについて

(1) サプライチェーンとは

サプライチェーンは、ある製品が原料から生産され最終需要者に届けるまでの一連の流れのことを指す。図1-6-1 は一般的なサプライチェーンの工程を示している。各工程をチャンネルと呼び、サプライチェーンはそれらチャンネルを組み合わせて構築される。



図-1-6-1.一般的なサプライチェーンの工程

製品によっては、一直線のサプライチェーンではなく、同じ工程を担当する複数のチャンネルを持つこともある。また、サプライチェーンの各チャンネルが異なる会社ということはよくある。

(2) サプライチェーンの目的

サプライチェーンの目的を考える場合、二つの立場からとらえることが重要である。

一つ目の視点は、各チャンネルの立場から考える場合である。各チャンネルの立場で見ると、サプライチェーンは自身の利益の源泉です。実際に取引が行われ、製品の所有権が移転されるポイントで利益を最大化することが、サプライチェーンの目的となる。

二つ目の視点は、サプライチェーン全体を見る立場から考える場合である。サプライチェーンが各チャンネルにもたらす利益や便利さを損なわないままで、SDGs に代表される地球と人類のより良い未来のために、限りある資源を活用するというのが、この場合のサプライチェーンの目的となる。

このように、サプライチェーンの目的は立場によってことなるが、近年は各チャンネルの立場においても、二つ目の視点で見るものが求められており、サプライチェーンにおける生産・管理手法にも変化が必要とされている。

(3) 燃料サプライチェーンの概要

ここからは、森林に由来する木質バイオマスを電力用燃料として利用するときのサプライチェーン(燃料サプライチェーンとします)に焦点を当てる。

図2は、山から発電所までの典型的な燃料サプライチェーンを示している。伐採により、丸太、根元部、梢端部、枝葉という形状で、木質バイオマスの原料は生産される。形状次第で、そ

こからの最適なサプライチェーンが異なることが知られている。具体的には、丸太とそれ以外とで区別される。

この区別の根拠となっているのは運搬効率で根元、梢端、末木枝条などそれ以外の木質バイオマスはかさ密度が低いため、トラックの容積に対して実際に運ぶことのできる量が少なくなり、運搬時の効率が低くなって、結果、採算を悪化させることになる。

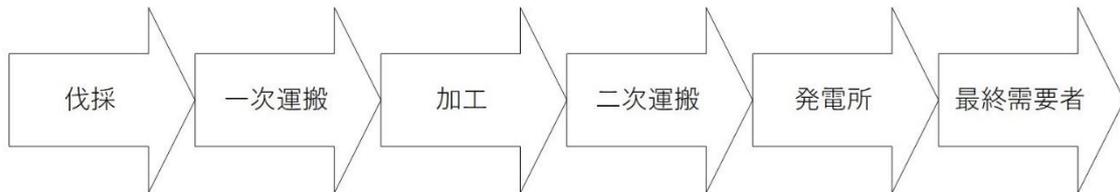


図-1-6-2.典型的な燃料サプライチェーン

(4) 燃料サプライチェーンの生産工程

燃料サプライチェーンの生産工程とは、伐採後、木質チップとして加工され(チップ化)、発電所に運ばれるまでを指す。図1-6-2では、流通加工から小売りまでの間がそれにあたる。

上述した運搬効率の影響で、燃料サプライチェーンの生産工程は、丸太とそれ以外で異なる工程となる。

通直な丸太は、発電所の近くまで持っていき、燃料用にチップ化するのが、運搬効率が高く、扱いやすい。(丸太の容積を1としたとき、木質チップの容積はおよそ2.8倍となる¹)

一方、根元、梢端、末木枝条などそれ以外の部分は、できる限り伐採地に近い場所で、燃料用に加工して、かさ密度を高める工夫が必要となる。伐採地に近い場所での加工には、移動式のチップ(切削機)が有用である。

1.6.2 チップの選択について

(1) チップ

チップは色々な種類があるが、エンジンサイズ(馬力)が生産性に影響を与える最も重要なポイントとなる。燃料の品質は、原材料となる木質バイオマスの種類によって、大半の化学的・物理的に重要な性質が決まるが、チップの刃の種類によってチップ形状が異なることが知られている。



角型のチップが生産できる。薄いため小型のチップはこのタイプが多い。

図-1-6-3. ディスクタイプの刃



角型のチップが生産できる。

図-1-6-4.ドラムタイプの刃



木質の繊維を砕くので、ピン状のチップができる。

図-1-6-5.刃ではなく、ハンマータイプ

(2) 加工と輸送の費用トレードオフ

採算面からは、チップング費用と運搬費用のトレードオフに注意する必要がある。上述したように、根元、梢端、末木枝条などチップ化することにより、かさ密度を高める必要がある場合は、できるだけ山のそばでチップングする方法が良く、チップ化によりかさ密度が減る場合はできるだけ発電所のそばでチップングする方が良いためである。丸太であっても湾曲した部分が多いなど、かさ密度が低くなる場合はチップングした方が良い可能性もある。

したがって、発電所の要求を満たしつつ、採算のとれるチップとチップング場所(原料の集荷場所)を組み合わせることが、燃料サプライチェーンの生産・管理の胆になる。

(3) チッパの選び方

チッパを選ぶ際、注意しなければならないのは、生産性と生産量(稼働時間)の関係である。

チッパのエンジンサイズが大きくなるほど、生産性が上がる。一方で、チッパ価格は高くなる。生産性が高くとも、十分な生産量を確保できなければ、収支は赤字になってしまう。

十分な生産量の確保には、それに見合うだけの木質バイオマスを集める必要がある。エンジンが大形になればなるほど、チッパ自体の移動を最小限にして、生産に集中する必要がある。そのため、木質バイオマスをたかだか数か所に集中して集められるサプライチェーンが望ましいということになる。必然的に、木質バイオマスの収集範囲は広くなり、輸送距離が長くなるため、丸太状の木質バイオマスでなければ、採算が合わなくなる。

このように、チッパを選ぶ際は、生産性と価格だけでなく、生産量と収集範囲の観点からも計算を行い、加工と輸送の費用トレードオフを考慮して選ぶ必要がある。

1.6.3 情報共有について

(1) 情報共有の重要性

さて、チッパを選ぶということに対して、生産量や収集範囲といった、川下、川上の情報が必要になっていることが伺える。すなわち、その意思決定にはサプライチェーンのチャンネルの範囲を超えた情報が必要である。地域の伐採計画の策定や、発電所の容量の設計といった意思決定においても同様のことが言える。

木質バイオマスのサプライチェーンを長期安定的に運営していくためには、各チャンネルの情報をサプライチェーン全体で共有し、合理的な意思決定につなげることが必要である。そのためのシステムとして、様々な情報基盤や媒体の活用が期待される。

¹Helle, S., Falster, H., Gamborg, C., Gundersen, P., Hansen, L., Heding, N., Jakobsen, H.H., Kofman, P., Nikolaisen, L., Thomsen, I.M., 2002: Wood for Energy Production, Technology Environment Economy, Second revised edition. COFORD, Dublin. 69 p.

1.7 燃料に関する合法性の確保・ガイドラインの順守

【要旨】

FIT 制度は需要家が拠出する賦課金によって支えられている。発電所・燃料供給者など関係事業者は、法令で指定された燃料種区分の扱いや、林野庁のガイドラインに基づくトレーサビリティの担保など、慎重・的確に対応することが求められる。

【構成】

- 1.7.1 木質バイオマス燃料に課せられた社会的信用性
- 1.7.2 発電利用に供する木質バイオマスの証明のためのガイドライン
- 1.7.3 合法性を担保するための留意事項
- 1.7.4 (補論)輸入燃料を扱う場合に必要な対応

1.7.1 木質バイオマス燃料に課せられた社会的信用性

FIT 制度は電気需要者が拠出する賦課金によって支えられているものであることから、燃料種区分の扱いや後述するガイドラインの運用について慎重かつ的確に対応することは当然の責務である。また、気候変動対策として脱炭素の取り組みが加速化する今日において、木質バイオマスのエネルギー利用への期待は高まっていることから、木質バイオマス発電そのものの社会的信用を担保する必要がある。これらは、FIT 制度に関連する事業者(発電事業者はもちろん、燃料供給側の素材生産事業者やチップ加工事業者など)自身のコンプライアンスの観点からも重要なテーマといえる。また、FIT 制度を利用しない事業においても資源の適正利用の観点から本稿の内容を理解しておくことが望ましい。

本稿では、木質バイオマス燃料のうち、原料である木材の合法性や取り扱いに関する適格性について説明する。現行 FIT 制度においては、木質バイオマス発電のみ、複数の調達価格が設定されている。一見して同じ木材(燃料)であっても、樹木の生育由来や燃料として供される前段の過程によって売電価格が異なる特殊な発電方式といえる。

本稿では、主に FIT 制度における木質バイオマス発電に求められる燃料(原料)の合法性や燃料種区分の違いによる対応を的確に行うための制度について概説する。なお、紙幅の都合上、制度の詳細や運用例については、2017 年に日本木質バイオマスエネルギー協会が発行した『発電利用に供する木質バイオマスの証明のためのガイドライン運用マニュアル』や提示している文献等を参照戴きたい。

1.7.2 発電利用に供する木質バイオマスの証明のためのガイドライン

(1) 概要

FIT 制度に基づく木質バイオマス発電において、用いる燃料が適合しなければならない基準が、「発電利用に供する木質バイオマスの証明のためのガイドライン」(以下、「ガイドライン」とする)である。ガイドラインは 2012 年に林野庁が FIT 制度の創設に合わせて策定したものであり、木質バイオマス発電事業者が伐採段階から連鎖された証明書を根拠書類として電力会社に売電する仕組みの根拠でもある¹。

ガイドラインは、認定団体による認定を受けた事業者が証明の交付を繰り返し、伐採から発電利用に至るまでのトレーサビリティ(追跡確認)が担保できることが特徴である。また、森林資源を燃料として用いることから、森林としての持続可能性をも担保した内容となっている。

(2) ガイドラインの内容

① 燃料材の定義

FIT 木質バイオマス発電所向け燃料を扱う場合、まずは当該燃料がどの区分に該当するか確認することが必要である(図-1-7-1)。この際、FIT 制度における調達価格区分の名称とガイドラインにおける名称が異なるので、注意が必要である²。

名称		定義	解説	写真
FIT調達区分	ガイドライン			
未利用木材	間伐等由来の木質バイオマス	<ul style="list-style-type: none"> ●間伐材 ●国有林 ●保安林 ●森林経営計画の対象森林 ●公有林野等官行造林地施業計画の対象森林 	<ul style="list-style-type: none"> ●森林法令に定められた手続きに従って伐採・生産され、証明の連鎖が繰り返され、直接燃料に加工されたもの ●「間伐」とは、森林の健全な育成のため、うっ閉し立木間競争が生じ始めた森林において、材積に係る伐採率が35%以下であり、かつ、伐採年度から起算しておおむね5年後において再びうっ閉することが確実であると認められる範囲内で行われる伐採 ●「主伐」とは、林木の収穫および更新を目的として行われる、伐期に達した成熟木の伐採 	 間伐  主伐
一般木材等	一般木質バイオマス	<ul style="list-style-type: none"> ●製材等残材 ●その他由来の証明が可能な木材 	<ul style="list-style-type: none"> ●製材・合板などの製品を生産するための加工工場の残材 ●その他の木材でガイドラインに基づく由来の証明が可能なもの(例えば、経営計画外の主伐や林地開発) ●輸入材はこれに該当 	 製材端材(背板)
リサイクル木材	建設資材廃棄物	●建設資材廃棄物	●建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律(建設リサイクル法)の対象となる廃棄物	 建設資材廃棄物

図-1-7-1.ガイドラインによる燃料材の定義

② 証明方法

FIT 木質バイオマス発電所向け燃料は、原則として、物流に即して、納品の都度、証明を繰り返すことになる(図-1-7-2)。

各段階の取り組み事項をまとめると、①伐採段階においては、森林法に基づく森林である場合、同法に基づく伐採手続きと伐採の根拠となる書類を証明書に添付する必要がある(森林法に基づかない森林の場合、所有者による証明が必要となる)。②加工流通段階においては、伐採段階からの証明書受領と販売先に対する証明書発行が必要となる。③各段階においては、由来の異なる燃料材を扱う場合は分別管理することが求められる。

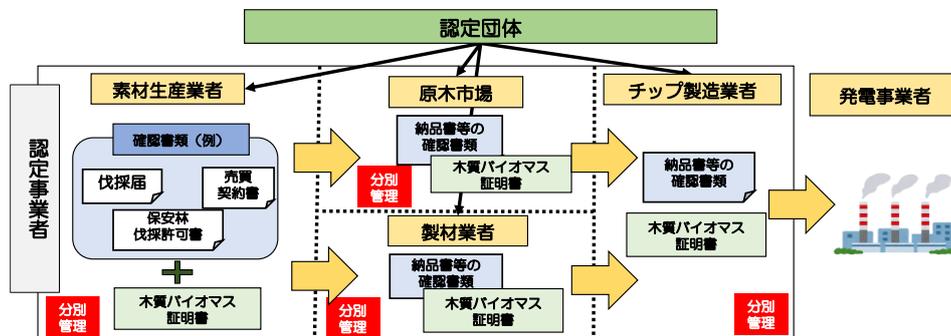


図-1-7-2.ガイドラインの対象となる各主体と由来の証明方法

③ 取り組む主体

この証明書を発行する権利を有するのが「認定事業者」である。認定事業者は、文字どおり燃料材の取り扱いと証明書発行が確実に行える事業者ということであり、このような体制にあることを審査し資格付与すること、認定した事業者を管理することが「認定団体」の役割である。

1.7.3 合法性を担保するための留意事項

このガイドラインの運用については、2017年に総務省から不適格な運用事例の指摘を受けている³。林野庁においても補助事業等を通じた現状把握や、研修会等を通じた的確な運用に向けた取り組みがなされている⁴。なお、総務省による指摘内容や一般論として注意すべき点については、「発電用燃料材の証明ガイドラインの運用実態と課題」(大日本山林会誌)⁵を参照されたい。また、近年では南九州地域を中心に全国各地で誤伐や盗伐が発生しており⁶、木質バイオマス発電所の新規稼働との関連性が懸念されている。

木質バイオマス燃料は伐採から発電利用に至る過程において、多様な主体が関与していることから、サプライチェーン全体を通じた確実な証明の連鎖が必要である。ガイドラインはトレーサビリティを確保する役割だけでなく、森林資源を利用する合法性を担保する役割も有していることから、認定事業者は適切に取り組むことが必要である。

1.7.4 (補論)輸入木質燃料を扱う場合に必要な対応

FIT 制度において輸入木質燃料(チップやペレットが該当)が適用されるのは「一般木質バイオマス」(一般木材等区分)となる。その際は「発電利用に供する木質バイオマスの証明のためのガイドライン」に加え、「木材・木材製品の合法性、持続可能性の証明のためのガイドライン(以下、「合法性証明ガイドライン」という)」にも対応する必要がある。

具体的には、原産国から日本国の輸入は、合法性証明ガイドラインに基づく証明行為が、日本国内の流通については発電利用に供する木質バイオマスの証明のためのガイドラインに基づく証明行為が、それぞれ必要となる。

特に注意が必要なのは、合法性証明ガイドラインに基づく証明が十分であるか確認することである。例えば、木材(原料)の伐採は原産国の法令に基づくものなのか、加工・流通過程における事業者の CoC(Chain Of Custody)認証が有効か、について日本国内に持ち込む者が確認する必要がある⁷。特に諸外国から輸入する燃料については、合法性に関する疑義が環境団体等から発信されている⁸ほか、FIT(FIP)制度について議論している調達価格等算定委員会においても LCA(Life Cycle Assessment)の観点から持続可能性に関する議論がなされているので、引き続き注目する必要がある。

¹資源エネルギー庁が策定・提示している事業計画策定ガイドライン(木質バイオマス発電・2021 年4月改定)において、位置づけが明文化されていないものの、同庁 HP にはガイドラインの参照を求めることが記載されている。

²具体的には、未利用木材＝間伐材等由来の木質バイオマス、一般木材等＝一般木質バイオマス、リサイクル木材＝建設資材廃棄物、となる。

³ 総務省 HP : https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/107317_00005.html (2021.10.13 閲覧)

⁴補助事業による取り組み内容や実施結果については、日本木質バイオマスエネルギー協会の HP より確認できる。

⁵前川(2019)発電用燃料材の証明ガイドラインの運用実態と課題、山林(1620), 大日本山林会, 26-33

⁶林野庁は「民有林の無断伐採に係る都道府県調査結果について」を公表している。

林野庁 HP:<https://www.rinya.maff.go.jp/j/press/keikaku/210903.html>(2021.10.22 閲覧)

⁷この点は、クリーンウッド法において求められるデューデリジェンスとも関連するものであり、日本国内に燃料を供給する者として必要な取り組みといえる。

⁸例えば FoE Japan は関連するセミナー等を開催している。

FoE Japan HP:<https://www.foejapan.org/energy/evt/180513.html>(2021.10.22 閲覧)

第 2 章

安全・法規・技術倫理

第2章 安全・法規・技術倫理

2.1 バイオマス発電所における総合的リスクマネジメント(リスク管理)

【要旨】

バイオマス発電事業は、可燃物を大量に扱い熱源設備を稼働させるなど、高いレベルの安全の維持・管理が必要な事業分野。リスク管理徹底のため、安全文化を背景に、絶えずリスクを探し、リスクの解消対策を迅速・適切に実施する総合的リスクマネジメントが必要

【構成】

- 2.1.1 はじめに
- 2.1.2 リスク管理の総合的体系
- 2.1.3 リスク管理の総合的体系のポイント
- 2.1.4 最後に

2.1.1 はじめに

バイオマス発電事業は、電力を供給するという公益事業であり、温室効果ガスの削減(カーボンニュートラル)に寄与するとともに、木質バイオマスを原料とすることから林業と地域の振興に貢献するものである。従って、事故、トラブルの発生を防止し、安全・安心を第一とし、今後とも国民の期待に応え、地域社会に貢献し、持続発展的な事業とすることが大変に重要なことである。

一方で、バイオマス発電事業は、その性格から、木質チップ等の容量と重量の大きいものを扱うこと、可燃物を大量に扱うこと、ボイラー等の熱源設備を稼働させること、さらには、高圧電源を扱うことから、極めて高いレベルの安全の維持・管理が必要である。バイオマス発電所の事故等の発生による主な影響は、事故等の大きさや性格にもよるが次のとおりである。

一つは、事業所の従業員において、作業能率の低下や士気の低下を招くことである。また、危害が及び健康を害することもある。さらに関係技術の信頼性を著しく低下させる。

二つは、事業所において、労力的、経済的負担が増し生産性が低下し経営に悪影響を与える。また、業界全体としてもイメージダウンにつながるが多い。

三つは、発電停止となれば、電力供給に支障が生じることになる。また、燃料であるチップ等のバイオマス資源の搬入が止まるなど、関連業者へ大きな影響を与えることとなる。

四つは、バイオマス発電事業は、再生可能エネルギーに対する重要な役割を担っているが、その期待と信頼を損なうこととなる。

2.1.2 リスク管理の総合的体系

一般に、「原因のない事故はない」と言われるように、事故には必ず原因があり前兆があるものである。その原因を「リスク」と称するが、事故につながる「危険可能性の要因」のことである。事故を防止するには、このリスクを解消または排除することが必要である。このことを「リスク管理」と一般に称しているが、具体的に効率的、効果的に実行するには、リスク管理の総合的体系に沿って、取り組み体制を組み、それぞれに遂行して行かなければならない。事故が発生してから、あの時こうすれば良かったとか、兆候を見逃していたとか、というのでは遅いのである。

最初に、リスク管理の総合的体系の項目の概念を示すと、以下の表とおりである。一般に、リスク管理は、表の中の「リスク管理」を指すことが多いが、それは狭い意味でのことである。リス

ク管理が適切に機能するには、表の中の各項目が有効に有機的に連携して機能しなければならない。例えば、リスクが認識しなければリスク管理が実施されることはない。その意味で、本表を「リスク管理の総合的体系」と称することにする。

表-2-1-1.リスク管理の総合的体系

リスク管理の総合的体系

① 安全文化(safety culture)

安全を最優先するという行動を、組織全体で個人個人が気風、気質として常に共有している状態のことである。安全文化が定着していることで、リスク管理が実行あるものとなる。安全文化の定着が、リスク管理体系実行の基本、基礎である。

② リスク探索(risk investigation)

リスクを積極的かつ継続的に探し調査し、その所在場所、内容、原因を把握し、認識を共有すること。内在リスク、外在リスクなど幅広いリスクを探索することが必要である。リスク探索は、リスク管理体系実行の出発である。

③ リスク評価(risk assessment)

リスクの大きさ、発生予測確率、悪影響の度合、採られている措置等を科学的、客観的かつ公平に評価し、必要な指示、通知、情報発信すること。リスク評価は、リスク管理を客観的に効果的に実施するために重要である。

④ リスク管理(risk management)

リスク評価の結果を踏まえて、リスクの解消、排除等のために、技術的可能性、費用負担、費用効果などを検討し、適切な対策、措置等を実施すること。リスク管理は、事故等の発生を未然に防ぐためのリスク管理体系実施の要である。

⑤ リスクコミュニケーション(risk communication)

関係者、消費者、関係地域、社会などに対して、広く情報及び意見を相互に交換すること。事故等の原因、発生状況、関連する情報などの提供を含め、速やかで幅広いコミュニケーションが必要である。コミュニケーションは、リスク管理体系を円滑に行うために重要なものとなっている。

⑥ 危機管理(crisis management)

リスクが回避されずに、発生した重大な事故等の拡大を抑えるために対処すること。また、重大な事故等の発生が迫りつつある状況に対処することである。特に重大で深刻な事故等の場合が多い。迅速かつ効果的に対応するためには、適切な管理体制の整備が重要である。

⑦ リスク管理継続(risk management continuance)

リスク管理及び危機管理は、常に継続することが必要である。同じ種類の事故の発生が繰り返されることがある。また、リスクは新たに常に発生するものである。このため、リスク管理体制、危機管理体制を継続的に保持し、いつでも機動的に対応できるようにしておくことが必要である。

2.1.3 リスク管理の総合的体系のポイント

(1) 安全文化の定着が基礎

安全・安心の実現のためのリスク管理を、日頃からの確に実施していくためには、職場において「安全文化」の定着が不可欠である。安全文化(safety culture)とは、IAEA(国際原子力委員会)によれば、安全が最優先に払わなければならないという組織と個人の特性と姿勢の総体である、としている。安全を優先することについて、その場、その場限りで取り組むものではなく、他から言われなくても自律的に自然に意識され取り組む状態である。とくに、この安全文化の欠如が強調されたのは、内外の原子力発電所の事故の時である。

また、安全文化が安全確保に不可欠であることは、2000年の技術士法の改正の時にも既に強調されている。技術士法改正において、第42条の2「技術士等の公益確保の責務」の章で、「公共の安全、環境の保全その他の公益を害することのないよう努めなければならない」という条文が追加された。政府の国会における政府の説明(要旨)で、当時の各種の事故災害の頻発情勢を背景として、「日本の技術基盤の信頼性が著しく低下し、国民の安全や安心の確保の観点からも大変な事態である。このため、事故の再発防止に取り組むとともに、国、地方公共団体、各事業者、労働者、国民一般において、安全を最優先する気風、気質を創造し、社会全体で安全に対するモラルを高めること、いわゆる安全文化を創造して社会に定着することが非常に重要である」と述べている。このように、安全文化の常態としての定着が、リスク管理体系の遂行と事故防止のために最も重要で土台となる基礎として不可欠である、としている。

(2) リスク探索が全ての出発

リスクが探し出されて認識されなければ、リスク管理体系が何も始まらない。リスクの探索は、主にリスクが発生する各現場の大きな役割でもある。さらに、定期的な組織的な検索も重要である。事業実施の現場等ではリスクは常に発生しており、リスクがゼロであることはあり得ないことである。あらゆる場所の、どんな小さなリスクでも見逃さないことが必要である。事業現場で発生するリスクは、その事業所の業態により特有で多種のものがあるが、主に次のものが想定される。

事業現場で発生する主なリスク

- 原材料の搬出入に伴うリスク：運搬車の事故、荷崩れ、フォークリフトの衝突など
- 事業所内の管理の不備に伴うリスク：用具類の保管の不備、可燃物・危険物の放置など
- 機械・施設類の管理不備に伴うリスク：機械・施設類の劣化・陳腐化、点検・保守・修理の不備・不徹底、故障・不具合の放置など
- 作業実施上の人身リスク：転倒・転落・骨折・強打・火傷・感電・熱中症等の発生など
- 人為的なミス(ヒューマンエラー)：不注意、判断力の低下、錯誤、誤操作など

一本のネジの緩み、施設のヒビ割れを見逃したことで、機械・施設の破損の重大事故となった例は多い。また、機械・施設は時間とともに劣化するので、必ず事故につながるリスクが発生してくる。さらに、可燃性のある物質やゴミを放置したことで火災事故となった例もある。また、避けられないのがヒューマンエラーである。人間は、体調や疲労などのコンディションによって、判断力や正確性、的確な行動が劣ることある。ヒューマンエラーも重大なリスクとしてとらえ、事故につながらないように、作業手順の明確化や危険注意表示掲載、機械の異常動作時の自動停止措置などの対策を講じることが必要である。

リスクを探索したら、リスクを共通認識し共有化し共通認識化することが不可欠なことである。これは、次のリスク評価とリスク管理に確実につなげるために極めて重要である。リスクを現場が認識していても共通認識化しなければ何にもならない。共通認識化のレベルは、リスクの種類により異なるが、リスク評価管理者(部門)に報告するのが原則である。これは、リスクの

評価・管理は、組織の最重要事であり、組織全体で客観的に適正に実施しなければならないものであるとともに、予算や人員配置などの準備が必要となることが多いからである。

(3) リスク評価とリスク管理は迅速に実施

リスク評価とリスク管理は、原理的には別々で実施するのが原則である。国レベルにおいては、2001年の牛BSE(牛海綿状脳症)発生と蔓延の事故の教訓として、リスク評価を専門家により公平に行うことが必要であるとされた。このため、事業推進官庁から評価機能部門を分離し食品安全委員会が設置された。同様に、2011年に福島第一原子力発電所の事故を契機にして、原子力規制委員会が設立された。

事業所でも、少なくとも現場等で検索されたリスクについて、無視・放置を避け、勝手に判断しないことである。リスクが、迅速に、客観的かつ公正に評価され、機動的なリスク管理が実施されるよう、常設的な担当部署(評価・管理部門)の体制が不可欠である。あらゆるリスクが、随時かつ定期的に担当部署に報告され、リストを種類・性格ごとに整理し、各リスクについて「危険性度合」、「緊急性度合」などとともに「リスク解消の方策」等を適正かつ迅速に、評価する。この評価を受けて、「リスクの解消・低減・回避」のためのリスク管理対策が、検討され実施することとなる。併せて、リスク評価・管理が不徹底で事故が発生した事例についても、その原因、発生状況、講じた対策等を整理・分析し、記録することも必要である。これは、今後、同種類の事故の再度の発生を防ぐためにも、また、一層の効果的なリスク評価とリスク管理を実施するためにも大変に重要なことである。

(4) 具体的なリスク管理

リスク評価を受けて、各実行担当部門が、適切かつ機動的にリスク管理対策を実行することとなる。リスク管理というと身構えるような感じがするが、リスクの種類によっては区々のものがある。例えば、作業行動様式の変更や、作業手順の変更などで十分対応できるものもある。さらには、生産工程の変更改善が必要な場合もある。また、機械・施設の修理・更新や人員配置の改善が必要な場合もあり、このような場合は、必要な経費や人員のやり繰りなどが必要となるので、組織的なレベルの対応となる。リスクの種類には多種あると説明したが、ここでは、シンプルにリスクの「危険性の大きさ」と「発生頻度」の要素で、概念的に示すと、大きく分けて次の3つのタイプがあると考えられる。

リスクのタイプ(危険性の大きさ×発生頻度)

- A型タイプのリスク: 危険性は小さいが、頻繁に発生するリスク
- B型タイプのリスク: 危険性は中くらいであるが、たまに発生するリスク
- C型タイプのリスク: 危険性が大きい、めったにしか発生しないリスク

各タイプのリスクに応じて、取り組むべきレベルのリスク管理については、次のとおりである。

リスクのタイプに応じたリスク管理

- A型タイプのリスク: 日常的な業務体制で取り組むべきレベルのリスク管理
- B型タイプのリスク: 関係部門が中心となって取り組むべきレベルのリスク管理
- C型タイプのリスク: 組織全体で取り組むべきリスク管理

以上のように、リスクの種類・性格に応じて、リスク管理の取り組みは担当部署と組織全体で連携を取りながら実施することが不可欠である。この際に、肝心なことは、危険性は小さいA型タイプのリスクに対しても、決して無視しないで、そのリスク解消対策を必ず実施することである。小さなリスクが大きなリスクに発展し大きな事故の発生になることが多いからである。例えば、可燃物の放置⇒火災の誘発⇒爆発を誘発⇒建屋・施設の破損消失、と大事故とな

った例は多い。また、機械の不具合の放置⇒ 機械の突然の故障⇒ 人身事故の発生、と重傷な人身事故となった例も多い。このように、最初の小さなリスクが事故の連鎖を生み、大事故に発展する。

もう一つ肝心なことは、リスク管理の総合的体系の表の最後に示したように、リスク管理の継続である。リスク管理や事故処理の対応が終了したとして、そのリスク管理を中止しないことである。同じ業態を続けている限り、同様のリスクが復活し事故が発生することが多いことはよく知られている。例えば、作業手順を改善しても、期間が経過すると元の作業手順に戻ることが多い。不具合な機械を更新・整備しても、経年変化で劣化すれば、リスクの発生となる。年月が経過しても、過去のリスクと事故を忘れずに、教訓としていくことが必要である。

日常の業務の活動においても、業務開始前の全員ミーティングで、リスクの存在を十分に意識して、危険な作業、危険な場所の確認など危険性の注意事項などについて、説明確認することが重要である。また、職場の標語である「5S」(整理、整頓、清潔、清掃、習慣(ルール・モラルの順守))に即した日々の取り組みにおいても、あらゆるリスク(危害となるもの、不具合なもの)を意識して実施することが重要である。このような日常の取り組みの慣習化が、安全文化の定着であり、リスク管理の基本、基礎となるものである。安全文化が定着し、リスク管理を徹底することで、安全・安心で快適な職場となるのである。

2.1.4 最後に

危機管理について、多少説明しておく。リスクの見逃し、リスク管理の不備で、不幸にして事故が発生した時の対応である。ともかく、「早期発見、迅速な対応」ということに尽きる。ボヤのうちに消火することである。そのためには、指揮系統と初動作業と役割分担の体制を決めて置いて、いつでも機能するように危機管理体制を確認しておくことが必要である。この際、適切なリスクコミュニケーションが必要であることを忘れてはいけない。事故の内容や規模に応じて、しかるべきところに、適時、適切に、連絡、説明することが肝要である。

また、事故は、同種の業態の事業所において、同様の事故が発生する。したがって、他の事業所の事故も、自らの事業所の事故の教訓として、リスク管理の一環として活かさなければならぬ。このためにも、各バイオマス発電事業所の間で、事故や不具合の発生状況、リスク管理の取り組みの状況などについて、情報・意見交換することが大変有用である。そのことによって、バイオマス発電事業の業界全体として、リスク管理体系のレベルアップを図ることが極めて重要である。

リスク管理の徹底は、安全文化を背景にして、「リスクは絶えず生まれている」という認識の基に、絶えずリスクを探し、リスクの解消対策を迅速・適切に実施することである。これにより、事故のないバイオマス発電事業所として、持続的な発展が図れるとともに、地域、社会に貢献することとなる。

引用・参考著書： 今井伸治(2021):『生物系産業の倫理的行動を考える ～現場から事故、偽装、不正のリスクをなくし、社会貢献のために～』、農林総計協会、東京。

2.2 木質バイオマス発電所における労働安全管理

【要旨】

労働安全管理は事業者の責務であるが、近年はSDGsの観点でも注目されている。木質バイオマス発電所は、基本的には火力発電所における労働安全管理が適用される。しかし、火力発電所との違いとして、規模が小さい木質バイオマス発電所では、ある時間断面で事業所内において従事する人数が非常に少数である、木質燃料に固有のリスクがある、という点に注意すべきである。また、燃料の搬入トラック等や様々な属性の見学者など、従来の発電所とは異なる安全文化を持つ人が立ち入るケースも増えており、発電所内の人員とは異なる背景・行動を前提として、安全確保に努める必要がある。

【構成】

- 2.2.1 木質バイオマス発電所における労働安全管理
- 2.2.2 外部のツールの利用

2.2.1 木質バイオマス発電所における労働安全管理

事業所内の労働安全衛生を確保することは事業者の責務であるが、近年、企業の社会的責任、SDGsの観点から自社の労働安全衛生管理について積極的に公表する企業も増えている。労働安全上のリスクは事業の安定的な運営においてもリスクとなる。安全を軽視せず、人身の安全を確保しながら事業を営むという姿勢は、事業の安定的な継続性を確保するとともに、働く人が不安なく職務を全うすることのできる環境を整えることにつながる。

木質バイオマス発電所は、基本的には火力発電所における労働安全管理手法が適用可能である。規模の違いはあるが、基本的な設備構成や業務内容に共通点が多い。

(1) 小規模事業所ならではの難しさ

既存の火力発電所と比較して、木質バイオマス発電所に特徴的な要素がある。それは、比較的设备規模が小さいということである。既存火力発電所に比べると、設備規模としては小さいといえる。

これがどのように影響するかというと、まずは経営規模が小さいこと、そして発電所の運営に従事する人員数が少ないということである。発電所はスケールメリットが効く分野であり、基本的に大規模発電所でも、小規模発電所でも運転に必要な最小限の人数は2名2交代でも10名程度であるが、大規模発電所では経営規模が大きいため、人員に余裕を持った体制が構築されており、運転監視要員のほか、事業所を運営するための管理業務従事者等の人員も多い点が指摘されている(2.5 技術倫理について)。

このことは、安全衛生管理上も大きな違いを生じる。大規模発電所において人員に余裕があれば作業的にも余裕のある人員配置が可能である。また、メンテナンス工事等の発注額も大きくなれば関係業者においても同様に余裕を持つことができる。万が一、突発的な事故やいわゆる死傷病事故が発生した場合も、人員に余裕があれば余裕を持った対応が可能という点で、有利であると言える。

そのため、少人数で運営している中小規模発電所では、こうした点を補完するための工夫が求められる。

《事例》

単独で運営される5MWクラスの比較的小規模な発電所の場合、発電所では「入社時の安全教育を行うが、日常的には安全情報の共有(ヒヤリハット事例、事故事例の共有)程度」とい

うところもある。

グループ企業内に複数の発電所を持つケース、特に大規模な生産工場を抱える事業者が発電所を運営しているような場合は、母体となる生産工場における安全衛生管理体系が適用され、定期的な安全大会(管理職員の会議は月一回、全従業員を対象とした大会は年1回など)が実施されるなど、発電所の規模は小さくとも母体となる企業の活動に合わせて実施することが可能である。

小規模であるということは、さらされる労災リスクの種類や頻度が共通するにもかかわらず、万が一の際に、事故当事者以外の対応にあたる人員も限られた中で実施する必要がある、ということである。そのため、木質バイオマス発電所のような小規模な事業所においては、働く人、ひとりひとりが、より高い安全意識を持つことが重要であり、効果的な安全行動を確保するためには、体系的な安全衛生管理が欠かせない。

(2) 入構者の様々な属性

木質バイオマス発電所は、FIT以降急激にその数を増加させたが、環境エネルギー事業という新たな事業形態であり、資源の循環や地域における経済効果、環境価値を実感できる場として、同事業分野に関心のある人や、地域の児童・生徒が学ぶ場として、多くの見学者を受けられている。そうした見学者は、発電所における安全についての教育を受けている人はほとんどなく、興味の赴くまま、思いもかけない行動をとることもある。

また、事業と密接にかかわる木質燃料供給者であっても、事業開始間もない時期には注意が必要である。森林・林業関係者、小規模運送業者等にとって、発電所という事業所は既存の発電所ではほとんど接点がないため、木質バイオマス発電所への供給を行って初めて、発電所という事業形態に接する、という事業者も多いと考えられる。

見学者や燃料供給業者は、それまでの日常では接点が少ない発電所という場での行動規範を持たずに入構することも考えられるため、発電所の管理者が安全行動を促すことが求められる。

《事例》

見学者は受入れ前に、発電所構内においては引率者の指示に従うよう、念書等に署名を求めるとも、リスク軽減には有効である。また、列を乱すことの無いよう、危険な場所に立ち入ることの無いよう、見学の導線を線引きしておくことも、方策の一つである。

20-30人など大勢の見学者を一度に案内しようとする、引率者の近くでその目が行き届く人数には限りがあり、列を離れて興味の赴くままに歩き回る、危険性の高い設備(高温となる機器や回転体)にむやみに近づくような危険が発生する可能性がある。そのため、見学者の列の前後や途中に人を配置して、注意を促す。ただし、見学対応に多くの人数を割くことは難しい面もある。1人の引率者が管理可能な人数を一つの単位とし、交代で場内見学に周るという形態をとることも一つの方策である。



図 2-2-1.見学の動線をラインで示す

《事例2》

燃料や薬剤・消耗品などの納入業者、あるいはメンテナンス工事業者が場内に入る際に場内における行動ルールを確認し、その遵守を求めることが安全確保のために必要である。

例えば、新規に取引を開始する際に、入構ルールを通知する、あるいは入構の手続きを行う事務所棟などの付近に、ルールを掲示して確認できるようにするなど工夫も有効である。

また、異なる産業分野では異なる安全文化を持つことも意識すべき要素である。発電事業では基本的な安全対策である高所作業時の安全帯の使用についても、燃料供給業者の中には

利用する習慣に乏しい場合も見られる。例えば、チップ車など、かさ高の荷台の上で安全帯を身に着けずにチップネットや雨用カバーを外す行為は、他の高所作業と同様に、転落のリスクが高い。納入時に装備することをルール化することが有効であるが、同時に安全帯を固定する場所も必要である。

注意喚起で安全文化を根付かせるソフト対策と、設備を設置するというハード対策の組合せが、安全行動の徹底に有効である。

2.2.2 外部のツールの利用

2.2.1.の事例で見たように、グループ企業で発電事業を複数展開する場合や、親会社が製造工場を有している場合には、安全対策はグループ内で実施することが可能であるが、そうではない小規模バイオマス発電所の場合には、公的組織等が提供する、外部のツールを利用することで補完することが可能である。

(1) 利用可能な外部ツール

①未熟練労働者に対する安全衛生教育マニュアル¹(厚生労働省)

本マニュアルは、経験年数の少ない未熟練労働者が、作業に慣れておらず、危険に対する感受性も低いため、労働者全体に比べ労働災害発生率が高い状況を鑑み、特に製造業、陸上貨物運送事業、商業の中小規模事業場における雇入れ時や作業内容変更時等の安全衛生教育に役立つよう、作成されたものである。発電事業そのものではないが、危険予知や服装など安全行動の基本について学ぶことができる。

②安全衛生情報センター2(中央労働災害防止協会)

中央労働災害防止協会が運営する同労働関連法令、通達や、労災事例、労災関連ニュースアーカイブなどのデータベースを提供している。

ホーム > 災害事例[目次]

平成22年度までの災害事例の情報は、厚生労働省の委託事業で中災防が実施したものです。

平成23年11月25日 ▶ 「交通災害事例・ヒヤリ・ハット事例」を追加しました。

平成23年11月25日 ▶ 「墜落・転落災害・ヒヤリ・ハット事例」を追加しました。

平成23年5月31日 ▶ 「機械災害事例・ヒヤリ・ハット事例」を追加しました。

▶ 第三次産業における災害事例・ヒヤリ・ハット事例
第三次産業において事故の型別で高い発生率となっている「転倒」、「動作の反動・無理な動作」等の労働災害事例とヒヤリ・ハット事例を集めました。

▶ 墜落・転落災害事例・ヒヤリ・ハット事例
2,500例以上ある「労働災害事例」と「ヒヤリ・ハット事例」(厚生労働省委託事業)の中より、墜落・転落災害防止に焦点を絞り、高所からの墜落・転落等「労働災害事例」31件と「ヒヤリ・ハット事例」8件を精選しました。

▶ 機械災害事例・ヒヤリ・ハット事例
機械が起因物となった労働災害事例とヒヤリ・ハット事例を集めました。

▶ 交通災害事例・ヒヤリ・ハット事例
2,500事例以上ある「労働災害事例」と「ヒヤリ・ハット事例」(厚生労働省委託事業)の中より、交通災害防止に焦点を絞り、乗物や運搬機が起因物となった「労働災害事例」12件と「ヒヤリ・ハット事例」22件を精選しました。

図 2-2-2.安全衛生情報センターHP の災害事例データベース³

③(一社)安全衛生マネジメント協会⁴

同協会は、事業所が自社従業員に対して行う安全衛生教育・特別教育を、事業者に代わって実施することを目的として設立された。

安全管理のためのテキストや出張講義、WEB 講義などの委託が可能であるが、新人導入教育や 4S 運動などの「無料 WEB 教材(要:使用申請)」も同協会サイトで提供している。

(2) 木質バイオマス発電所における適用

木質バイオマス発電所という事業形態自体は、RPS 制度時代以来 15 年以上の歴史がある。また FIT 制度以降はその数が飛躍的に増加したが、まだまだその存在はニッチなものである。そのため、いざ、安全衛生に関する既存の資料を活用しようと思っても、まさしく木質バイオマス発電に特化したものは存在していないのが現状であろう。

しかし、発電所に搬入された燃料の受入れでは、運送業における安全情報が、回転体などを有する機械設備は、製造業において類似の要素が、また重機やフォークリフトの取扱いについても同様に、発電事業以外の業種に共通点を見出すことができる。

単独で安全衛生対策を講じなければならない小規模発電所の場合には、このように自社の事業所内の設備や活動内容を整理することで、安価に、かつ効果的に情報を得て、自社の安全衛生管理に活用することが可能である。

¹<https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000118557.html>

²<https://www.jaish.gr.jp/index.html>

³https://www.jaish.gr.jp/anzen/sai/saigaijirei_index.html

⁴<https://www.aemk.or.jp/gaiyo.html>

(いずれも 2022 年 2 月 14 日閲覧)

2.3 木質バイオマス発電所の環境対策

【要旨】

再生可能エネルギーは環境負荷の低い電源として評価されているが、他の産業と同様に事業活動に付随する廃棄物や GHG などエミッションが発生するのは当然のことである。

事業所単位だけでなく、サプライチェーン全体を通じての環境負荷の発生状況を把握し、その低減を目指すことは、更に木質バイオマス発電の価値を高めることにつながる。

【構成】

2.3.1 再エネとしての効果と「排出者」としての側面

2.3.2 サプライチェーン排出量算定

2.3.1 再エネとしての効果と「排出者」としての側面

バイオマス発電所で使用する木質燃料は、カーボンニュートラルであるが、燃焼に伴い NOxなどが発生する。大規模な場合は、環境影響評価が必要になる。クリーンな電気であるとはいえ、環境への影響はゼロではない。

燃焼灰だけでなく事業所から紙ごみなども発生するし、重機の燃料・社用車のガソリンの使用も環境負荷がある。既存の発電事業や他の産業と同様に、事業活動に付随して廃棄物や GHG¹などエミッションが発生するのは当然のことである。

環境価値が高い電気を生み出していることだけでなく、事業そのものの環境負荷を低減していくことで、更に価値を高めることが可能である。

なお、発電所に係るエミッションについては様々な要素があるが、本稿では主に GHG 負荷について取り扱う。大気汚染防止法等の公害規制に関する要素については 2.4 を、灰処理に関しては 1.5を参照されたい。

2.3.2 サプライチェーン排出量算定

(1)事業活動に係るサプライチェーン排出量を計測する手法

事業全体に係る GHG排出量を定量化するためのツールの一つとして、環境省が「サプライチェーン排出量算定ガイドライン」を公開している。

サプライチェーン排出量とは、事業者自らの排出だけでなく、事業活動に関係するあらゆる排出を合計した排出量を指す。つまり、原材料調達・製造・物流・販売・廃棄など、一連の流れ全体から発生する GHG 排出量のことである。

サプライチェーン排出量は、義務ではなく自主的な取組である。算定に取り組むことでサプライチェーン全体の GHG 総排出量の把握や排出源ごとの排出割合を把握することができ、優先すべき排出対象を見える化して、削減対象の特定や自社事業の GHG 排出の特性、将来的な削減目標・削減戦略の策定に役立てることができる。

また、サプライチェーン上の他の事業者と環境活動における連携を強化する中で、共通の認識を持つ事業者と連携していくことも可能である。²



図 2-3-1. グリーン・バリューチェーンプラットフォーム³

「グリーン・バリューチェーンプラットフォーム」は、環境省、経済産業省が共同で公開している環境経営のための情報プラットフォームであり、サプライチェーン排出量算定のためのガイドラインやツール、事例紹介、学習用の資料等がダウンロード可能である。

(2) 3つの Scope

一連のサプライチェーンは以下の基準で3つの Scope に区分される。

Scope1: 事業者自らによる温室効果ガスの直接排出(燃料の燃焼、工業プロセス)

Scope2: 他社から供給された電気、熱・蒸気の使用に伴う間接排出

Scope3: Scope1、Scope2 以外の間接排出(事業者の活動に関連する他社の排出)



Scope1: 事業者自らによる温室効果ガスの直接排出(燃料の燃焼、工業プロセス)
 Scope2: 他社から供給された電気、熱・蒸気の使用に伴う間接排出
 Scope3: Scope1、Scope2以外の間接排出(事業者の活動に関連する他社の排出)

図 2-3-2. サプライチェーンを区分する3つの Scope⁴

木質バイオマス発電所の場合、エネルギーの利用に関するサプライチェーンは以下の Scope で認識される。

木質バイオマス発電所における適応例

Scope1: 発電所(自社)が発電時に使用する燃料・助燃材(A 重油)

Scope2: 定期点検中に他の電力会社から供給される電気

Scope3: チップ工場から調達する燃料の木材生産・加工・輸送

このようにScopeごとに分けた活動について、原単位計算ツール等を用いて計算することで、サプライチェーン排出量の算定を実施することができる。実は、従業員の通勤や出張なども含まれるScope3は最も広範かつ複雑となるため、計算の負担が大きくなる。とはいえ、木質バイオマス発電所は活動の種類・量ともシンプルな構造になっているため、他の産業分野に比べて比較的少ない負担で着手することができる。

(3) 定性的な環境価値を定量化

再生可能エネルギーは「地球にやさしい」「クリーンな」という定性的な言葉で表されがちである。SDGsやESG投資はいまだかつてない勢いで産業界の活動に浸透しており、脱炭素に向けて再エネを活用したいという企業も増えている。一方で、企業活動におけるリスク対策として、よりシビアに調達する電気のGHG排出量を把握したいという情報ニーズも高まると予想される。

FITの買取期間後の電気をどのように販売するかについては、現行制度によるものだけでなく、今後、さまざまな可能性が検討されていくと思われる。FIT制度下においては、環境負荷の計算をしなくても、一定の係数で取り扱われるため、コストや手間がかからないことが利点の一つであるが、発電所の環境負荷がどの程度あるのか把握し、提示可能とすることで、電力市場で新たな価値市場の創造にもつながると期待する。

¹GHG(温室効果ガス):エネルギー起源 CO₂・非エネルギー起源 CO₂・メタン(CH₄)・一酸化二窒素(N₂O)・ハイドロフルオロカーボン類(HFCs)・パーフルオロカーボン類(PFCs)・六ふっ化硫黄(SF₆)・三ふっ化窒素(NF₃) (算定・報告・公表制度における温室効果ガスの種類と同じ)

²環境省「サプライチェーン排出量 概要資料」2021年7月27日

³https://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/gvc/index.html (2022年2月14日閲覧)

⁴ https://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/gvc/index.html (2022年2月14日閲覧)

2.4 運営管理上遵守すべき法規・手続き

【要旨】

バイオマス発電所を新たに建設・運営する場合、固定価格買取制度上の手続き等を国及び当該電力会社へ行ったうえで、電気事業法及び関連規定に基づいた、手続きを、①計画・設計、②建築工事中、③運用の各ステージに応じて実施する必要がある。

【構成】

2.4.1 計画・設計ステージ

2.4.2 建設工事中ステージ

2.4.3 発電所としての運用ステージ

バイオマス発電所を新たな建設する場合は、固定価格買取制度上の手続き等を国及び当該電力会社へ行い、幾多の法律に基づいた許認可を受けてからの工事着工となる。無事に建設工事が竣工すると、設置者による「使用前自主検査」を行い、技術基準に適合していれば、発電所として使用開始となる。その後、国へ「使用前安全管理審査」の申請を行い、「使用前検査」を実施して国による完成検査である「使用前検査」を受審し合否判定され、合格されると発電所としての運用開始となる。

発電所の計画から運用・管理を実施していくのに遵守すべき法律について概説する。

2.4.1 計画・設計ステージ

事業用電気工作物には、公衆の安全の確保や電力系統への影響を防止する観点から①工事計画の届出、②保安規程の作成・届出、③主任技術者の選任等の規制が課されている。

① 工事計画の届出(電気事業法第 48 条)

発電所の設置に当たっては、保安上の問題がないかどうかを工事着手前に審査する為に作成するため、標記を作成する。(発電機出力 300kw 未満等は不要)

円滑な電気の供給が確保できる電気工作物であるか、電気工作物が保安上危険なものでないか等事前届出を行わせ、技術基準に適合した工事計画である事、電気の円滑な供給を確保するため技術上適切なものであること等を工事着手前にあらかじめ確認する手続きである。

更に、所定の条件を満たした場合は、電気事業法で規定している、ばい煙、騒音、振動に関する説明書の作成し提出することもこの手続きの中で求められている。

② 保安規程の作成・届出・遵守(電気事業法第 42 条)

事業者は電気工作物の工事、維持及び運用に関する保安の確保を目的として、電気主任技術者、ボイラー・タービン主任技術者を中心とする発電所電気工作物の保安管理組織、保安業務の分掌、指揮命令系統など、いわゆる社内保安体制と、これら組織によって行う具体的保安業務の基本事項を定めるものである。

③ 主任技術者の選任・届出(電気事業法第 43 条)

事業者は事業用電気工作物の工事、維持及び運用に関する保安の監督をさせるため、主任技術者免状の交付を受けている者のうちから、主任技術者を選任して届出をしなければならない。(発電機出力 300kw 未満等は BT 主任技術者は不要)

④ 工事計画変更命令(電気事業法第 48 条)

経済産業省令で定められている技術基準に適合しない場合には、設置者に対して、その工事の計画変更又は廃止を命じることが出来る。

2.4.2 建設工事中ステージ

① 溶接事業者検査(電気事業法第 52 条)

電気工作物のうち、高温、高圧の容器や、配管など、内包するリスクの高い容器等の電気工作物の溶接部に対しては、その健全性が安全確保に不可欠な事から、設置者に対して法に基づく事業者検査が課されている。

② 溶接安全管理審査(電気関係報告規則第 2 条第 9 号)

同安全管理審査は平成 29 年 4 月 1 日から安全管理審査制度の見直しにより、溶接事業者検査の実施状況及びその結果を「溶接事業者検査年報」として国へ報告しなければならない。但し定期(使用前)安全事業者検査対象となる電気工作物が存在する場合にあって、使用前自主検査又は定期事業者検査を実施する組織が溶接事業者検査を実施する場合には、国に代わって登録安全管理審査機関が使用前安全管理審査及び定期安全管理審査の中で溶接事業者検査の実施状況及びその結果を確認し、その結果を国に報告しなければならない。

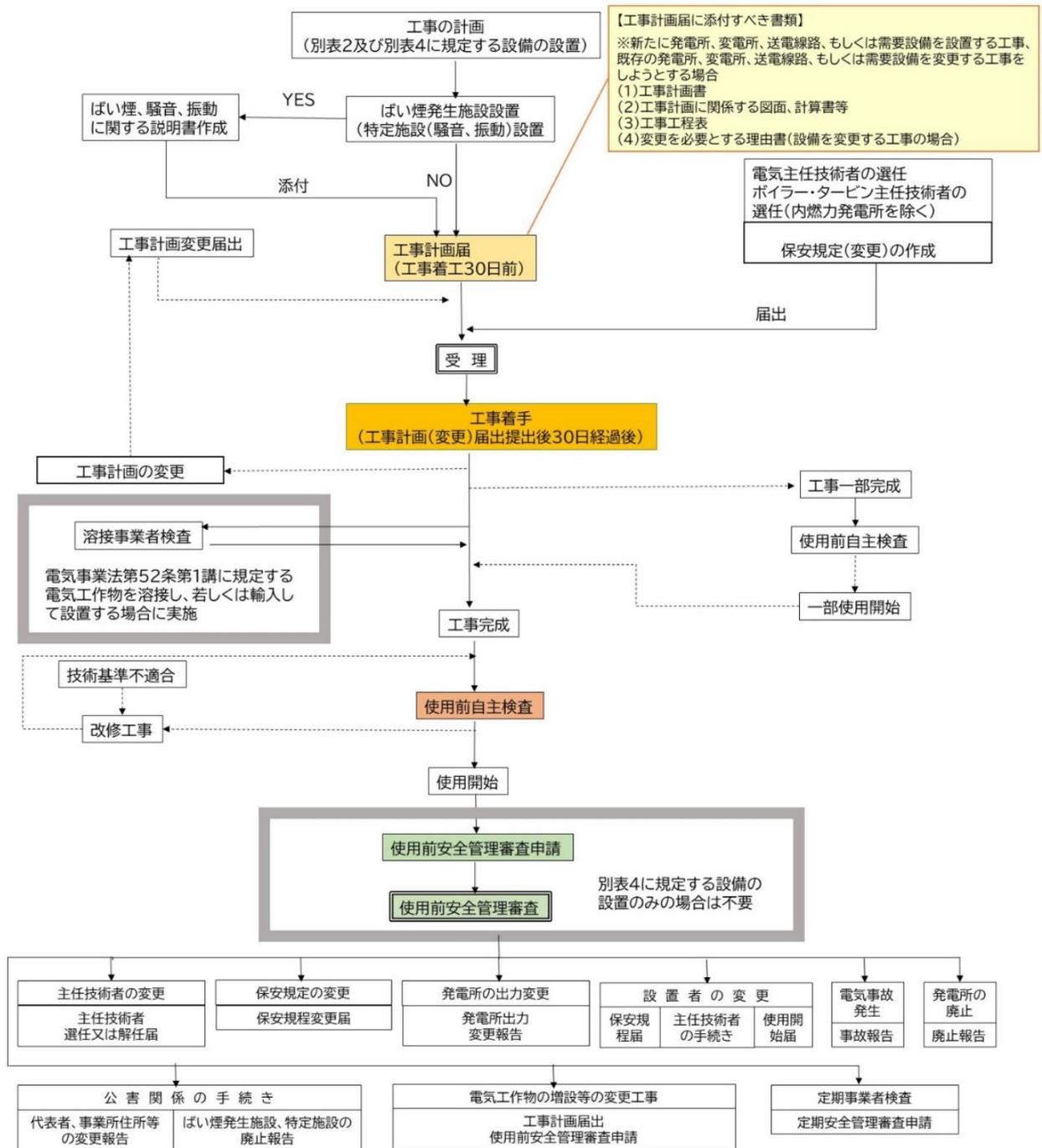
③ 使用前自主検査(電気事業法第 51 条)

電気事業法第 48 条規程による工事計画の届出をした電気工作物に対し、その使用の開始前に当該電気工作物について自主的に検査を行い、当該電気工作物が届け出工事計画に従って完成しているか、技術基準に適合していることを確認するものである。自主検査記録は規定されている。また、その保存も義務化されている。

④ 使用前安全管理審査(電気事業法 51 条)⇒発電所として運用ステージへ

国の審査であり、発電設備を有する設置者は、電気事業法に基づく電気工作物の製作が完了した時点において「使用前安全管理審査」を受審することが義務づけられている。

火力発電所(汽力、ガスタービン及び内燃力)を設置する場合の手続図



工事計画届の時点では、大気汚染防止法、ダイオキシン類対策特措法等に規定する特定施設にあたるかどうかを設備仕様から説明できる状態にあることが必要となる。(特定施設にあたらぬかどうかを確認する際にも必要)

『2019年版 自家用電気工作物必携1 法規手續編』2019.6 文一総合出版 p494 第2図をもとに作成

図-2-4-1.火力発電所(汽力、ガスタービン及び内燃力)を設置する場合の手続図

2.4.3 発電所としての運用ステージ

基本的な考え方としては、技術基準の適合維持義務、保安規程に基づく自主保安、そして、主任技術者による電気工作物の工事、維持及び運用に関する保安の監督をすることにより、公共の安全の確保し、及び環境の保全を図ることとし発電所の運用を行う。

① 定期事業者検査(電気事業法第 55 条)

電気事業法施行規則第 94 条に基づき、ボイラー設備は 1 回/2 年毎、タービン設備は 1 回/4 年毎に点検を実施し保安の確保を行っている。点検・検査記録の保存も義務化されている。

② 定期安全管理審査(電気事業法 55 条)

国の審査であり、定期事業者検査を行った設置者は、検査の実施に係る体制等について国(国が認定した審査機関)による審査を受審することが義務づけられている。

③ 技術基準適合命令(電気事業法第 40 条)

経済産業省令に定める技術基準に適合しない場合と認められたときは、設置者に対して、その技術基準に適合するように事業用電気工作物の修理、改造、移転、使用の一時停止、使用制限を命じる事が出来る。

④ 立入検査(電気事業法第 107 条)

電気事業法の規定により、事業用電気工作物において、自主保安体制が十分に機能しているか否かを確認し、また、必要に応じ改善等を促すことによって電気事業法の目的である公共の安全確保を図る目的として立ち入り検査を実施している。

⑤ 発電所運転実績報告(電気関係報告規則第 2 条)

同上第 5 号で、発電所運転半期報の提出が求められていて、半期毎に発電所運転実績の報告義務が規程されている。また同上第 9 号として、溶接事業者検査年報として、国への提出が求められている。

(建設工事中ステージの溶接安全管理審査(電気関係報告規則第 2 条第 9 号)を参照)

⑥ 報告徴収(電気事業法第 106 条)

自家用電気工作物を設置する者等に対する監督規制のために、経済産業大臣は業務の内容等の報告を提出すべきことを命じる事が出来る旨を規定している。

⑦ 大気汚染防止法

「ばい煙の排出の規制等に関する法律」(1962 年成立)を基礎として 1968 年に大気汚染防止法が成立した。同法は固定発生源(工場及び事業場)における事業活動に伴って発生するばい煙(硫黄酸化物、粉じん、有害物質)の排出など規制するとともに、自動車排出ガスの許容限度を定めることにより大気汚染に関し、国民の健康を保護するとともに、生活環境を保全することを目的として制定された。日常管理として、常設のガス分析計があるものの、透明性、公正性を考慮して第三者にてばい煙測定(硫黄酸化物及び窒素酸化物等)を 1 回/2 ヶ月の間隔で行い、分析結果の記録の確認を行っている。

⑧ 特定工場における公害防止組織の整備に関する法律

製造業、電気供給業、ガス供給業、熱供給業において、大気、水質、騒音、振動、粉じん、ダイオキシン類に関する環境影響が懸念される施設を有する場合には、公害防止管理者等を選出しなければならない。発電所は大気関係有害物質発生施設以外のばい煙発生施設を有し、排ガス量が 4 万 Nm³/時以上であるため、大気関係第 1 種又は第 3 種の資格を有する公害防止管理者を設置する必要がある。

⑨ 消防法

維持管理として

○機器の点検(1回/6ヶ月)

消火設備等の機器の適正な配置、損傷等有無についての外観検査を行う

○総合点検(1回/年)

消火設備等の作動試験を実施し総合的な機能の確認を行う。

等が規定されている。

【参考資料】

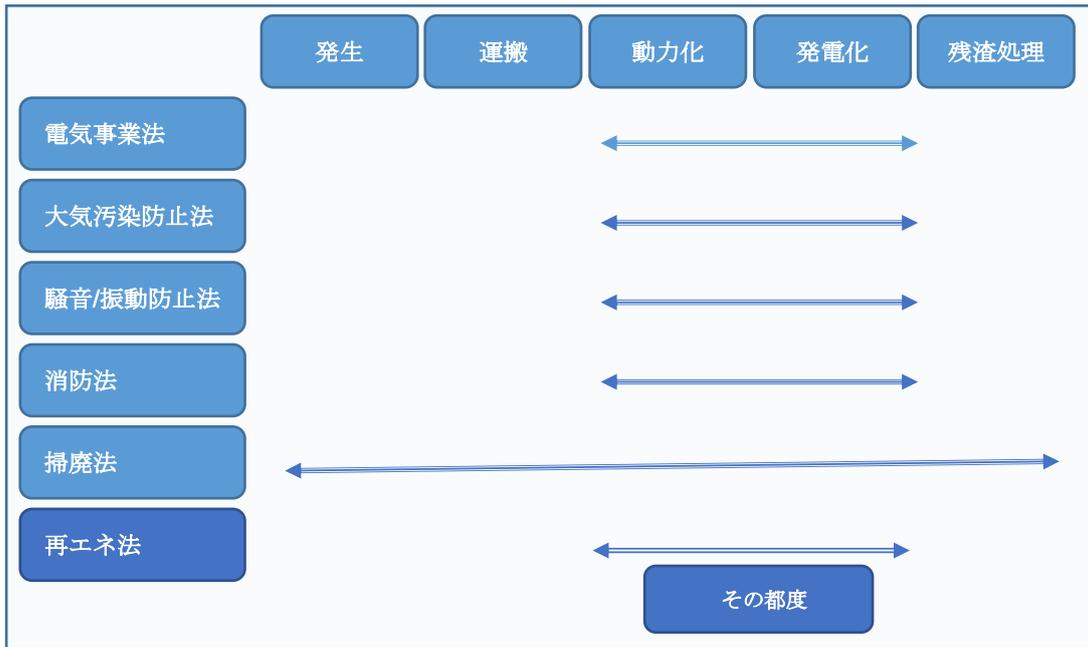


図 2-4-2. 木質バイオマス燃料を発電利用するにあたり、関係する主な法律

表-2-4-1.主なバイオマス発電に係る関係法令(1/2)

	法令	手続き	所管
1	電気事業法 (電気工作物の場合)	工事計画の届出(公害防止に関する説明書も含む) 保安規程の作成・届出 主任技術者の選任・届出 安全管理審査(定期、使用前、溶接)	経済産業省
2	道路法	通路の占用許可	国土交通省
3	道路交通法	道路使用許可	国土交通省
4	大気汚染防止法	大気汚染に関する届出	環境省
5	騒音規制法	騒音規制に関する届出	環境省
6	振動規制法	振動規制に関する届出	環境省
7	水質汚濁防止法	水質汚濁に関する施設設置の届出	環境省
8	建築基準法	建築確認申請	国土交通省
9	工場立地法	工場立地法に基づく届出	経済産業省
10	消防法	消防法に基づく届出	総務省
11	建築リサイクル法	建設リサイクル法に基づく届出	都道府県
12	廃棄物の処理及び清掃に関する法律	一般廃棄物及び産業廃棄物収集運搬業及び処分業の許可 一般廃棄物及び産業廃棄物処理施設の設置許可	環境省
13	都市計画法	開発許可	国土交通省
14	土地区画整理法	土地区画整理事業の施工地域区内における建築行為等の許可	国土交通省
15	海岸法	海岸保全区域等の占用許可等	国土交通省
16	河川法	河川区域占用許可	国土交通省
17	港湾法	臨港地区内における行為の届出 臨港区域内の水域又は港湾隣接地域における占有の許可	国土交通省
18	国土利用計画法	土地売買届出	国土交通省

表-2-4-2.主なバイオマス発電に係る関係法令(2/2)

	法令	手続き	所管
19	砂防法	砂防指定地内行為許可	国土交通省
20	地すべり等防止法	地すべり防止区域の開発前申請	国土交通省
21	航空法	空港における建築等設置の制限 屋間障害標識設置物件の届出	国土交通省
22	急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律	急傾斜地崩壊危険地域内の行為許可	国土交通省
23	ガス事業法	事業の開始等の届出	経済産業省
24	高圧ガス保安法	高圧ガス貯蔵所設置届出	経済産業省
25	環境影響評価法	環境影響評価	経済産業省 環境省
26	森林法	林地開発許可等 伐採及び伐採後の造林の届出	農林水産省
27	農地法	農地転用許可	農林水産省
28	農業振興地域の整備に関する法律	農用地区域からの除外	農林水産省
29	自然環境保全法	自然環境保全地域内での開発許可申請	環境省
30	自然公園法	行為許可申請	環境省
31	絶滅のおそれがある野生動物の種の保存に関する法律	国内希少野生動植物の捕獲等の許可 生息地等保護区の管理地域内等における行為許可	環境省
32	電波法	伝搬障害防止区域における高層建築物等に係る届出	総務省
33	文化財保護法	埋蔵文化財包蔵土木工事等届出	文部科学省

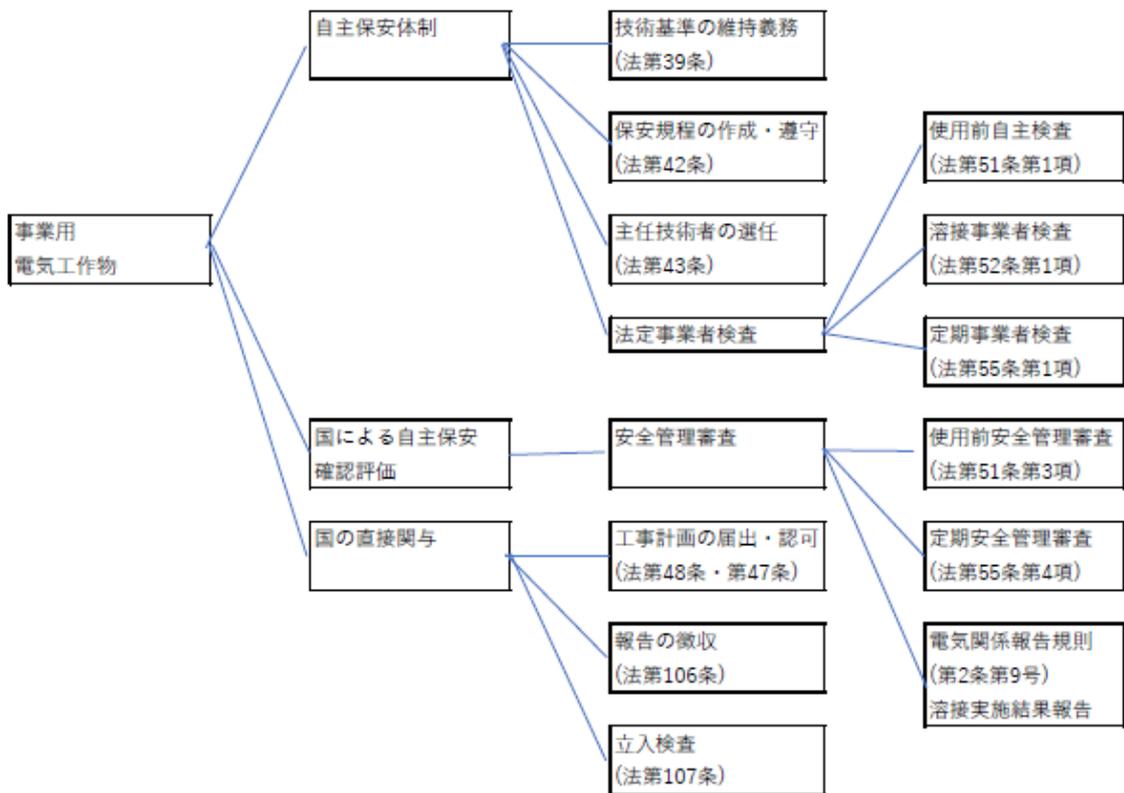


図-2-4-3.事業用電気工作物体系図

2.5 技術倫理について

【要旨】

良質電力の安定供給という社会的責任を担うため、水分の少ない燃料を調達し、発電事業を安全第一に行う必要がある。そのため、「職場教育は教えたではなく、身に着けさせて フォローすること」という視点で体系的な従業員教育が必要

【構成】

- 2.5.1 水分が少ない燃料の安価・安定調達と供給
- 2.5.2 良質電力の安定供給は、安全第一が基本
- 2.5.3 従業員の育成・教育
- 2.5.4 従業員としての意識

我が国の電力は、高品質(電圧・周波数)で、極安定供給と、高く評価されており、全国に張り巡らされた電力ネットワーク下で、発電・給電事業が整然と展開されている。

木質バイオマス発電グループも、この電力ネットワークの一員として、その重責を担っていることを重く自負している。

恵まれた21世紀で、『最大の必需品は“電気”』と誰もが答えるだろう。

その電力が一瞬でも停止したら、その影響は多大であることは、言うまでもない。その良質電力の安定供給を担う 木質バイオマス発電グループの一員として、その重責を知り、認識しなければならない。

更に、木質バイオマス発電事業に参画することにより、森林資源(木質燃料)は、国土を護り、水を貯え、安定した雇用を生む、日本に唯一自給可能なエネルギー資源としての価値を、発電事業という側面だけでは計れない価値(国益や公益性)であると理解すると共に、昨今話題の地球温暖化の脱炭素にも、寄与していることを忘れてはならない。

2.5.1 水分が少ない燃料の安価・安定調達と供給

バイオマス発電所の燃料である『木質燃料』を、山林から四季を問わず、良質の材を選び、バイオマス発電所へ都度安定供給に努め、輸送方法(手段・経路)の改善を図る等、安価供給を旨としたいものである。

発電所内の供給においては、燃料の品質(水分等)の平準化を図り、安定供給に努めたいものである。(水分が多いと発熱量が下がる。更にその水分を蒸発させる熱ロスも大きいことを忘れないでほしい。水分を1%でも低減に努めたいものである)

2.5.2 良質電力の安定供給は、安全第一が基本

我が国の良質電力を安定供給する一員としてプライドを持って、常に木質バイオマス発電所のボイラー・タービン・発電機の安定運転を維持は言うまでもなく、常に安全第一に努めたいものである。

2.5.3 従業員の育成・教育

モットー:職場教育は『教えたではなく、身に着けさせて フォローすること』

(1) 挨拶

始業時・終業時の相互の挨拶は、明るい職場造りの第一歩であり、チームワークの主幹でもある。来訪者に対しても、挨拶・軽く会釈に努めたいものである。『従業員は、会社の鏡である』を、忘れないでほしい。

(2) 安全教育

発電所入社教育の第一歩は、『安全教育』である。バイオマス発電所は、非常に危険なものが、沢山あることを認識させたい。

電気:高電圧	目に見えない	感電
蒸気:高圧・高温	目に見えない蒸気が多い	大やけど
燃料:燃えやすい	ボイラーで多量に燃焼	火災・やけど

(3) ヒューマンエラーの防止(回避)

人間である以上必ず失敗(エラー)を、起こしうる。人間に対する完璧な防止策はない。この観点に基づいた対策を講じる必要がある。

防止策としては、下記の諸点が考えられる。「人間は間違える」ことを前提とした対策が考案されている。

① 知識・技術の研鑽

設備の設置目的、機能、構造、操作方法(手順)等と、安全意識も含め、教育を実施して、十分に理解させ、的確な判断・操作を身に着けさせる。

② 指差呼称

指差を行い、機器名と操作等を声出して、自分に言い聞かせて確認して、間違いなく操作等を行うことである。

③ 二人操作(ダブルチェック)

絶対にミスが許されない重要な操作については、一人の人間に任せるのではなく、必ず二人以上の人間を配備して、二重チェック(チェックリスト活用)あるいは三重チェック(チェックリスト+立会者)と言った厳重なチェック体制を設けて行う。

④ 操作表の活用

操作手順を記されたチェック表で、一操作ごとにチェックしながら、正しい手順で、確実な操作を行う。

⑤ 立会い

立会者の下、確実な操作を行う

- ・立会者がチェックリストで、チェックしながら立ち会う
- ・二人操作に、更に立ち会う場合もある

⑥ 制御装置設置

ヒューマンエラーを完全に防止させることを目的に、人間でなく機械=制御装置(電子制御化、シーケンス化)等を活用する。

⑦ 危険予知訓練(KYT)

その操作に潜む危険を予想し、指摘しあう訓練である。

(4) 良き習慣に

① 報連相

的確な運転管理が強く求められる発電所では、情報の共有が第一。“ほうれんそう(報連相)”が重要視される。

報・『報告』:作業の経過や結果を知らせる

連・『連絡』:運転状況等簡潔に情報を関係者に知らせる

相・『相談』:先輩や同僚から参考意見を聞き、アドバイスをもらう。

コミュニケーションの基本:情報の共有

② 5W1H

会話・報告等で、5W1Hを活用すると、漏れなく・簡潔に行える。
いつ(When)、どこで(Where)、だれが(Who)、なにを(What)、なぜ(Why)、
どのように(How)
5W1Hを、無意識に使えると、日常会話に関わらず、コミュニケーションがスムーズになる。

③ 所在を明確に

シフト2名となると単独行動が多くなる。行き先と時間を明確に告げて、戻ったら報告。
単独行動が長時間となると、中間報告を励行。
原則：トランシーバーを携行・活用

④ 五感の活用

発電所を巡視・点検する際は、常に五感を活用する様、習慣づけたい。
五感：眼(視覚)、耳(聴覚)、鼻(臭覚)、舌(味覚)、皮膚(触覚)
通常時との違いを“五感の活用”で、違った多くの発見が期待出来る。

⑤ 環境値と環境対策設備の概況を理解し記憶 (例：環境維持管理の姿勢)

(例)

・ばい煙(大気汚染防止法)

硫黄酸化物：燃料中の硫黄分が少ない。特段の対策は取っていない。

通常運転時 濃度： ppm

(規制値：k値： 濃度： ppm以下)

窒素酸化物：燃焼用空気の最適化でNO_x生成の抑制を図っている。

通常運転時 濃度：p pm(規制値 350ppm以下)

ばいじん：乾式マルチサイクロンと、乾式電気集塵器を装備して排出量低減

通常運転時 排出濃g /m³N(規制値 0.3g/m³N以下)

・排水(水質汚濁防止法)

排水：適正に処理(PH、水温度)して、下水路へ排出している。

・騒音(騒音規制法)

騒音：蒸気安全弁排出管、送風機入口にサイレンサーを装備している。

※ の値は各設備により値が異なるため要確認

⑥ 省エネ意識の高揚

(例)

・ボイラー排出ガス温度の管理値を記憶して、1℃でも下げる工夫。

・タービン排気圧力の管理値を記憶して、1kPaでも下げる工夫

2.5.4 従業員としての認識

(1) 保安規程を遵守

- ・常に、電気事業法 保安規程を遵守して、常に保安管理値を確認・維持に努める。
- ・保安規程の保安教育：保安に関する必要な知識及び技能の教育を計画的に実施する。
- ・保安規程の保安訓練：事故その他非常災害が発生した時の措置について少なくとも年1回以上実地指導訓練を行う。

(2) 安全・環境保全第一

- ・重大異常(火災・環境異常等)発生時は、通報し、異常を制圧・解消に努める。
- ・異常の拡大が考えられる場合は、速やかに 発電所を安全に停止する。

第 3 章

運転監視・制御

第3章 運転監視・制御

3.1 安定稼働のための運転技術

【要旨】

安定稼働のための運転技術は、複数の体制で実施するため、それぞれの要員のスキル評価を実施しそれに見合った配置が重要である。また、燃料の水分・品質の管理が重要であり、管理手法を例示して紹介する。

【構成】

3.1.1 発電所の運転員の主な業務

3.1.2 運転技術の発揮のための保有スキルを把握する

3.1.3 木質バイオマスの特徴

3.1.4 安定稼働のための対策

3.1.1 発電所の運転員の主な業務

木質バイオマス発電を行うある企業を例にとって、安全稼働のための運転技術の在り方を紹介する。

当直班長をリーダーとするチームが24時間交代制でボイラー・タービン及びユーティリティ設備の運転監視や操作を行っている。運転操作員の大半はボイラー技士の資格を有している者で、その他に、電力保安の業務を司る主任技術者（電気主任技術者、ボイラー・タービン主任技術者）及び設備のメンテナンスを行うグループで発電所の業務運営を営んでいる。

発電所の運転員の主な業務は、①燃料の受入れ、②巡視点検、③運転監視・操作、それらの総合運営体制で業務を実施している。それぞれの持ち場・持ち場での創意、工夫等を講じて安定稼働に努めている。

バイオマス発電設備の自動化が進み、通常運転時は時々燃料の品質低下等による外乱で燃焼状態が刹那的に変化した場合には空気比のバイアス補正操作程度の作業があるが、全て自動運転状態で運転している。

発電事業の運転に必要な条件（要件）は、供給の安定性、高効率運転、そして低環境負荷が求められている。

燃料受け入れ、巡視点検業務は直接的には運転技術には関係はないが、それを下支えして安定運転に間接的に寄与していると考えている。

3つの業務それぞれについて、プラントの安定稼働のための運転技術に留意している事項について記す。

3.1.2 運転技術の発揮のための保有スキルを把握する

(1) 各運転捜査員の保有技術の取得状況

運転技術を発揮すべく各要員が現有しているスキルの把握（前条件の把握）

発電所において、現在各運転操作員がどの位の運転技術を所有しているか、各要員のスキルを把握することが、個人の能力発揮度および班というチームワークで仕事を進めて行くためにも、発電所としての班構成の力量バランス等を参考とするために社として把握する必要がある。要員も毎年・毎年、進化・深化していくために定期的な測定が必要である。

仮に不足分が発生した場合は、上長及び主任技術者の指導の下、一定水準のスキルの習得をはかるようにしなければならない。

(2) スキル測定の方法

スキルを測定する方法は多数あるが、一例を紹介。

評価項目は、現場操作編と中央制御装置(DCS)編の 2 つに分け、現場操作編はプラントの起動/停止に伴う各ステップ毎の手動弁の操作、及び各ポンプの切替操作等 11 項目とし、中央制御装置編はプラントの起動/停止操作と全体の状態把握及び燃料搬送系のトラブル対応操作等 8 項目とした。評価基準は、完全に一人で出来るのを 5 点として、以下手順書を見ても自信がないが 1 点として、自己評価及び上長評価を実施した結果を統計処理を行った。各人の現有の力量(母集団)を把握し(推定、検定迄は未実施)、又班構成のバランス等も把握できた。この結果をもとに、発電所としてのパワーバランスにバラツキのないような構成として、安定・安全運転をする前提条件の確立を図った。(別紙参照)

3.1.3 木質バイオマスの特徴

(1) 燃焼温度が低く、発電効率が低い

木質バイオマスは燃焼温度が低く発電効率が低い。さらには燃料品質に左右される。

これらに対処するため、特に燃料の含水率により燃焼が不安定になることを回避するための運用技術について述べる。

木質バイオマス発電の燃焼炉方式には①ストーカー式、②バブリング流動床(BFB)、③循環流動層(CFB)④バーナ燃焼等々有るが、ここではバブリング流動層について述べる。

発電効率は発生した電力量をボイラー入熱(燃料消費量×燃料発熱量)で除した値である。バイオマス発電では、その値が約 20%程度であり、事業用の大型超臨界圧ボイラーでは 40%弱であり、最新鋭のコンバインドサイクル発電においては 50%である。

バイオマス発電は燃焼温度が低い為に発電効率が低い。更に燃料の品質のバラツキにより燃焼炉内温度が安定しないことがある。

(2) 燃料品質に左右される

燃料(木質チップ)についての水分、形状等の品質規格の定めはあるものの、実運用する中で、トラック輸送時の雨天・降雪時などは水分が 55%以上の状態で荷受けする場合もあり、また、番線等ひどい時にはタイヤなどが混入したりするケースも多々あり発電所では苦慮している。異物はボイラー内部の損傷はもとより、燃料シュート部に引っ掛かり、燃料の円滑な流れを阻害する要因となり、しばしばプラントの停止に至ることもある。燃料の安定的な供給と燃焼管理は安定稼働する上で重要な管理項目となっている。

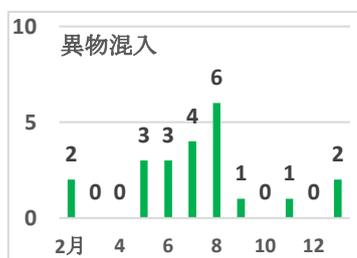


図-3-1-1.年間異物量



図-3-1-2.タイヤ発見



図-3-1-3.鉄棒発見

燃料の含水率が高い場合は、燃料の発熱量が高い常備しているヤシ殻(PKS)を補充して燃焼の改善を図っているが、ヤシ殻(PKS)は高価で経済的でないため、極力使用しないような運用形態としている。

燃料(木質チップ)の品質の中でも水分含有量が高いと発熱量も低下し燃焼状態にも、発電効率にも影響があるため、この木質チップの含水量低減策は極めて重要であります。

3.1.4 安定稼働のための対策

(1) 燃料管理(対策事例)

① 含水率を低減するには

木質チップに外部から熱を加えると、水分の蒸発が始まって 100℃に達する当たりで乾燥状態になる。水分量が多ければ多いほど乾燥に費やすエネルギーが必要になり燃焼させる速度も遅延しボイラーの時間的な熱吸収の変化があり、ボイラー温度静特性値にも変化することとなり不経済である。100℃から温度を上昇させていくと、木質チップは熱分解を始めて水蒸気や二酸化炭素などの不燃性ガスとメタンや水素等の可燃性ガスが発生し、更に温度を上昇させると木質チップは引火する。その後 800～900℃にて可燃性ガスがほとんど無くなり個体炭素となり、これが酸素と燃焼して水素や一酸化炭素が発生し、このガスが燃えることが個体炭素の燃焼となる。

② どの様にして含水量を低減するか

チップトラック輸送してきたチップを燃料の一時的に保管するストックヤードに集荷する。それをボイラーで燃焼させる場合は原則として、先に入荷したものを順に出荷することを原則として運用している。ストックヤードに寝かせて置いて、乾燥させ水分を揮発させることが狙いである。又、乾いたチップと混合ブレンドするなどの運用もしている。

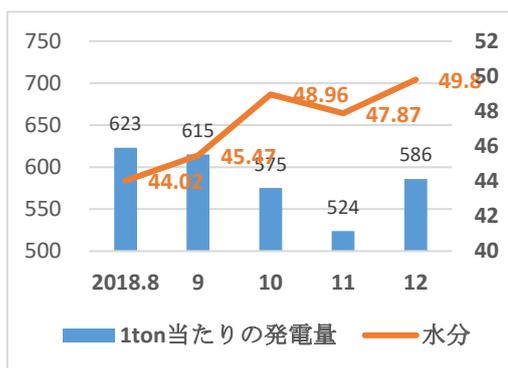


図-3-1-4.対策前

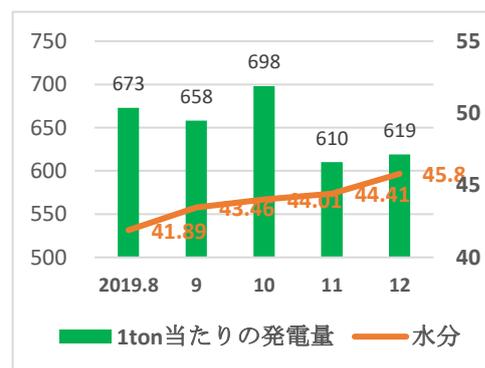


図-3-1-5.対策後

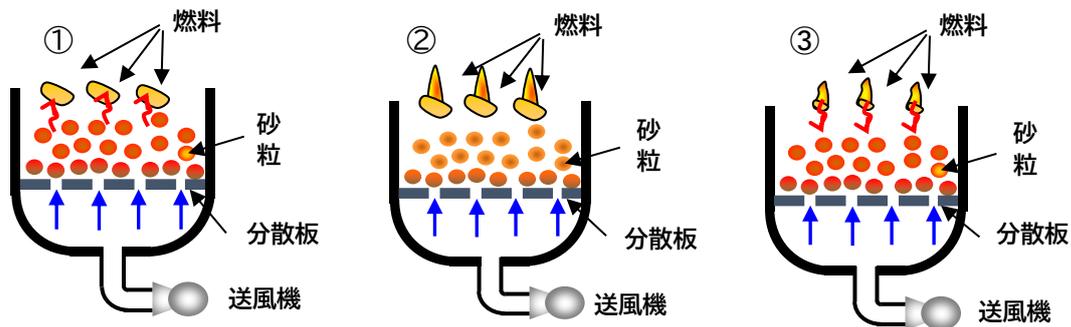
③ 異物の排除

また、異物の排除についてはチップトラックから荷受けする時に、輸送業者と一緒に確認して水際での確認している。燃料納品時チェックシートに「トラック荷台に異物はないか」の確認している。ストックヤードからボイラー燃焼用に重機で運搬する時にバケットに集荷する時に、更に定量フィーダに投入する際にも細心の注意を払って異物がないことを確認している。

(2) 流動層ボイラーの生命線(砂の管理)

流動層ボイラーの生命線である砂の管理

流動層ボイラーは、ボイラー炉内底部に良質な砂をいれ、砂で層を形成している。この層を形成する固定粒子の流動砂を空気等で流動化させて、燃料と空気及び流動砂との接触をさせて燃料(チップ等)を燃焼させ蒸気をつくる仕組みのボイラーである。



- ① 砂粒が持つ熱(保有熱)によって、燃料が乾燥、加熱
 - ↓
 - ② 燃料が着火する温度に達し燃料が燃焼を開始
 - ↓
 - ③ 燃焼により、砂粒が暖められ保有熱量が増加
- 新しい燃料を流動層へ投入

図-3-1-6.流動層ボイラにおける砂の管理

砂粒が持つ保有熱を使って、燃料を乾燥させ、燃焼させ、更にこの熱を使って砂粒を加熱、保有熱を増加する熱サイクルより、他から熱を貰わずに燃焼を継続させる仕組みである。砂粒の保有熱を持っているから、水分の変動にも対応可能となっている。

(3) 異物の排出

流動層の砂の管理は燃料の中に紛れ込んだ異物(釘、番線等)が入ってくるために、砂を決められた時間毎に循環させ異物等を取り除いて品質を保っている。異物と一緒に出た質の悪い砂も放出される為、一日約 0.3ton 程度の新しい砂の補充を行っている。



図 3-1-7.燃焼後に出てきた異物



図 3-1-8.燃焼後に出てきた異物

(4) 操作上の留意

制御については、流動層下部へのバブリング用と全体の燃焼空気量(この流量と 2 次空気量)を制御しているため、炉内の砂のバブリング状態とは直接制御しておらず、砂の補充量が多くなるとバブリングが緩慢となり砂は、ほとんど動かなくなってしまう(固定層)、反対に砂の補充量が少ないと流動砂が炉内から飛び出してしまう(輸送層)ため、流動層の機能不全を起こす可能性がある。このため、運転操作員は流動層の差圧と空塔速度(空気流量/層の水平断面積)を監視しながら砂量を加減した最適値運転を行っている。

例として、燃焼器室出口温度が高値となる事象が発生し分析した結果、砂補充とした。

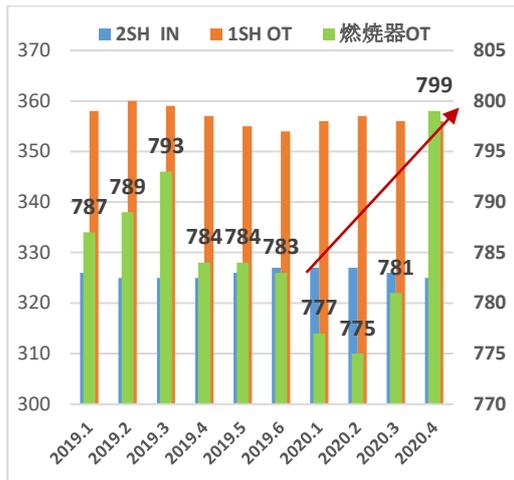


図-3-1-9.ボイラー温度分布

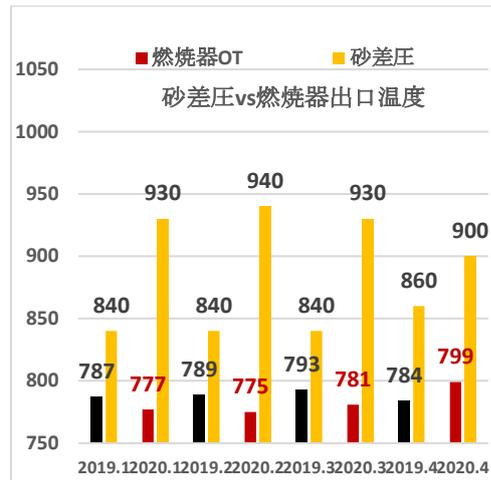


図-3-1-10. 温度 vs 砂差圧

燃焼状態が火炉出口側に移行している傾向で有るため、もっと手前の燃焼室での燃焼させることから、珪砂が飛ばない方向で調整することとして、珪砂の量を増加させ燃焼ゾーンを手前に引き寄せた燃焼とした。運転操作員はこのように燃焼状態の変動を炉内監視モニターやボイラー温度等のパフォーマンスを判断して、最適値運転を心がけている。その他に 30分に一回プラントの主要な項目を指定した様式に記し傾向管理をしながら安定運転に大きく貢献している。

3.2 運転制御と電力品質

【要旨】

一般的に電力の品質とは電圧と周波数の安定であるが、木質バイオマス発電の場合、上記主電源の品質に影響をあたえることはなく、電力品質は電力供給信頼度という視点で、その品質確保とそのための運転制御を考える必要がある。

【構成】

3.2.1 供給信頼度を維持するためには

3.2.2 運転制御の留意点(運転制御)

電力品質として重要な要素は電圧と周波数であり、その他、電圧変動、電圧不平衡、高調波電圧等の電力品質要素がある。電気事業法の第26条、同施行規則38条、39条に規定されており、具体的には電圧は $101V \pm 6V$ 、 $202V \pm 20V$ 、周波数は「その者が供給する電気の標準周波数に等しい値とする」とあり、即ち50Hzか60Hzである。

電圧は維持すべき範囲が定められているが、周波数の範囲はない。周波数を誤差なく50、60Hzにぴったり合わせる続けることは不可能であり電力品質として目標値がしめされているだけであり、品質として維持すべく仕様が定められている。

(参考として、北海道と沖縄は $\pm 0.3\text{Hz}$ とそれ以外の地区については $\pm 0.2\text{Hz}$ を制御目標値としている)

また、電圧においても低圧システムの定めがあるが、高圧、特別高圧は定めされていない状況である。

木質バイオマス発電所の発電容量は基幹系送電容量と比較しても極めて少量であり、加えて発電機の自動電圧装置を具備している発電所もほとんどなく電圧及び周波数への寄与率は極めて少ないと思われる。周波数に対しては、タービンのガバナ(調速機)の調停率に従った発電機自らの周波数変動に対して短周期(～数10秒程度)出力調整を常に行っている(ガバナフリー運転という)

広義の電力品質と運転制御について下記に記す。

電力品質は上記のように法律で規定されているが、電力を供給する側に立って考えると、第一義的なことは、発電設備を停止しないで、安定した運転で電力を販売することである。所謂、発電所の供給信頼度を如何に保つかが事業者としての生命線である。

3.2.1 供給信頼度を維持するためには

自分達に造り込んだ発電所の憲法である「保安規程」の遵守

保安規程は発電所計画する時に国に届出を行うものであり、設備の工事、維持や運用に関する保安の確保を目的として、主任技術者を中心とする保安管理組織、保安業務の分掌、指示命令系統など保安体制と具体的な保安業務の基本事項を定めたものである。

(1) 日常管理

① 工夫を凝らし五感を活用した日々の発電設備の巡視業務の実施

五感を使用した設備パトロールによる設備診断業務を実施しており、設備の正常値を現場の指示計等にマーキングを施し、経験に左右されにくい状態管理を実施している。万一異常値、状態を発見したら無線電話で中央に連絡し、運転操作員とでプラントの状態も含めて確認検討していて、場合によってはメンテグループとの連携を強化している。軽微な事でも異常を発見したら、発電所の運用方・保守方との情報の共有化している。

② 主任技術者の専門的な視点での発電設備の巡視業務の展開

専門的な高い知見を主任技術者が日々設備パトロールを毎日実施して、現物を現実的に診断している。また、定期的(1回/月)に補機類をポータブル計測器にて振動測定を行い瞬時値を把握していると共にそのデータを使用して傾向管理もしている。

機種	項目	規定値	状態
ボイラー-給水ポンプ	音・振動・温度・流量	手動監視	<input checked="" type="checkbox"/> 停止ポンプま回していないか
	給受温度(給込側/吐出側)		(給込側) 36.7 (吐出側) 30.1
	吐出圧力	吐出圧力 7.5 MPa	DOS 流量 27.9 t/h
	外部水チェック(予備機)	予備機	<input checked="" type="checkbox"/> 予備機 <input checked="" type="checkbox"/> 停止ポンプま回していないか
ボイラー-給水循環ポンプ	音・振動・温度		<input checked="" type="checkbox"/> 停止ポンプま回していないか
	吐出圧力	吐出圧力 6.9 MPa	DOS 流量 19.1 t/h
	外部水チェック(予備機)	予備機	<input checked="" type="checkbox"/> 予備機 <input checked="" type="checkbox"/> 停止ポンプま回していないか
	給受温度(M側/F側)		M側 48.0 F側 42.0
冷却水循環機	音・振動・温度・油漏れ	目視	<input checked="" type="checkbox"/> 油漏れ 有り・少々(しみ有り)
	給受温度(M側/F側)		M側 54.0 F側 54.0

図-3-2-1. 例:運転員の巡視記録

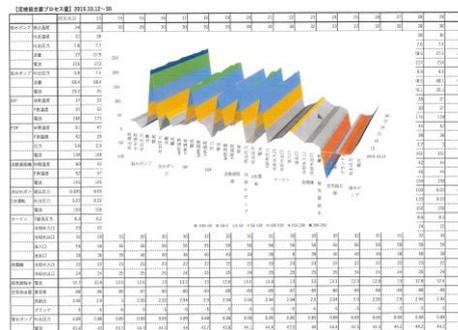


図-3-1-2. データ採取し温度変化特性

特に夏場は外気温度も高くなるため、各補機類の温度の状況も管理している。全神経を尖らせて運転モニターと対話し、プラントの安全運転を目指す運転操作員は、中央操作室にてプラントの運転状況、状態値のモニターを介して監視しており、挙動の異常をトレンドグラフにても監視管理していて、質の高い、効率的な運用監視を交代勤務で行っている。

一定の力量を有するスタッフが、この監視業務のローテーションに参画し、班員全体のスキル向上も図った運用形態でもある。



図-3-2-3. 中央操作室における監視

(2) 定期点検検査による保安全管理

発電所の保安全管理は自主保安でありが、毎年各設備を自主点検してその結果を記録として保管している。これらの記録に基づいて、国の法律ではボイラー設備は2年に一度、タービン設備は4年に一度、国による安全管理審査を行うことで設備の保全性、健全性を担保される。点検する部位は予め国の指針に基づいた要求事項を保安規程に盛り込んで制定しているので、これらの部位に対して点検、測定及び作動試験等を入念に実施している。

点検手入れ整備は直営ではなく、アウトソーシングをしているが、施工仕様書、工程表等は自社で作成し、それに基づいて点検作業を行っている。また、記録の合否判定は当然であるが、自社で実施している。

3.2.2 運転制御の留意点

(1) ユニット諸元

施設の基本的な性能は以下の通り。

○ボイラー設備

- ・型式:流動層ボイラー
- ・蒸発量:28.0t/h 常用圧力:5.98MPa 蒸気温度:425℃

○タービン設備

- ・型式:衝動式外部抽気復水型蒸気タービン
- ・出力:6250kw
- ・蒸気条件:蒸気圧力 5.79MPa 蒸気温度 425℃
- ・定格回転数:①タービン軸 7810rpm ②発電機軸 1500rpm

ボイラー・タービン設備共デジタル制御装置を使用しておりコントローラは2重化構成とし信頼度を保っている。

ボイラー制御装置はボイラーの主蒸気圧力(5.8Mpa)とその圧力を制御するための燃料、空気、給水流量を制御し、タービン制御装置は発電機出力(6250kw)とタービンの回転数制御(1500rpm)を積極的におこなっている。

なお、他のユーティリティ制御はボイラー側の制御装置で担務している。タービン制御装置はタービンの昇速/降速制御と発電量(kw)制御を行っている。

自動化の範囲は通常運転の自動化は進んでいるが、起動停止時は手動で補正しなければならない状況であり、少人数での停止/起動は難儀である。

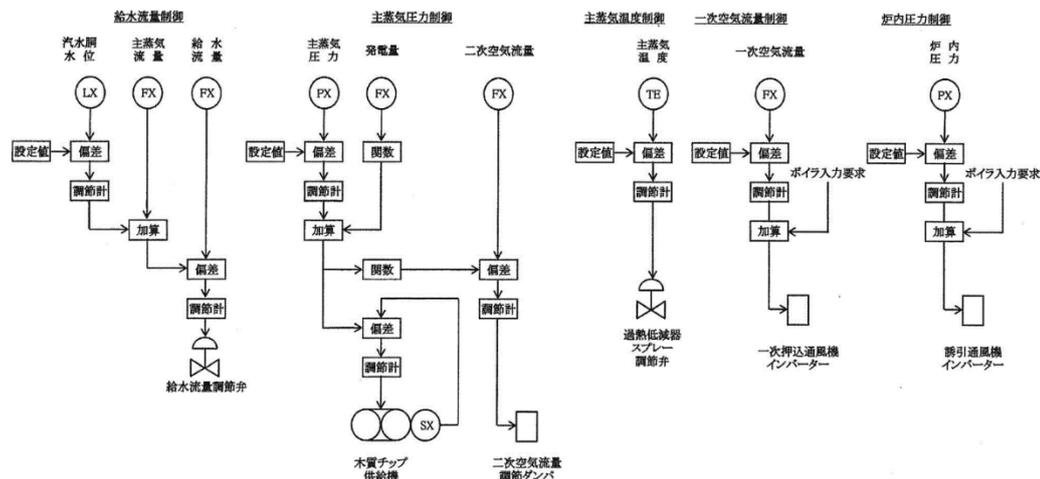


図-3-2-4. 制御系統概念図(現状)

(2) 運転制御の留意点

設備不具合 DATA ベースを解析した結果、運転制御についての留意点について述べる。

- ① 木質バイオマス発電所の設備トラブルの大半は燃料搬送系の詰まりや chip の摩擦による擦れ穴があく事例である。

特に、ボイラの燃料供給口ゾーンでの詰まりもあり、その詰まりを解消するために詰まり部分を取り除く作業があり、往々にして燃料の塊がボイラに一気に供給される事も多い。燃料の塊がボイラに急に供給されると、本来の燃焼量指令値より過多の燃料が一瞬のうちに投入されることにより、空気流量が一次的にプアーとなり、燃焼不安定な状況に至る。その為、空気過剰率のバイアスをプラスとして空気を多く投入する操作が必要とされる。自動制御はフィードバック制御が主であり、空気過剰率の自動修正は煙突入口の O2 制御であり燃焼室から煙突入口までのラグがあるため最適制御が遅くなる。

一方、燃料が一次的に過多となる為、ボイラ主蒸気圧力が上昇します。これによって、ボイラの出口に主蒸気圧力逃し弁が作動し開放することもある。

この逃し弁は大気に蒸気を放出するため、ボイラ圧力と大気圧力との圧力差があるために、

微開での運用は動弁のシート部を舐められる(削られる)ために、低开度での運用を回避するためある程度の開度(10%)とする。クイック開閉動作弁特性を有している。

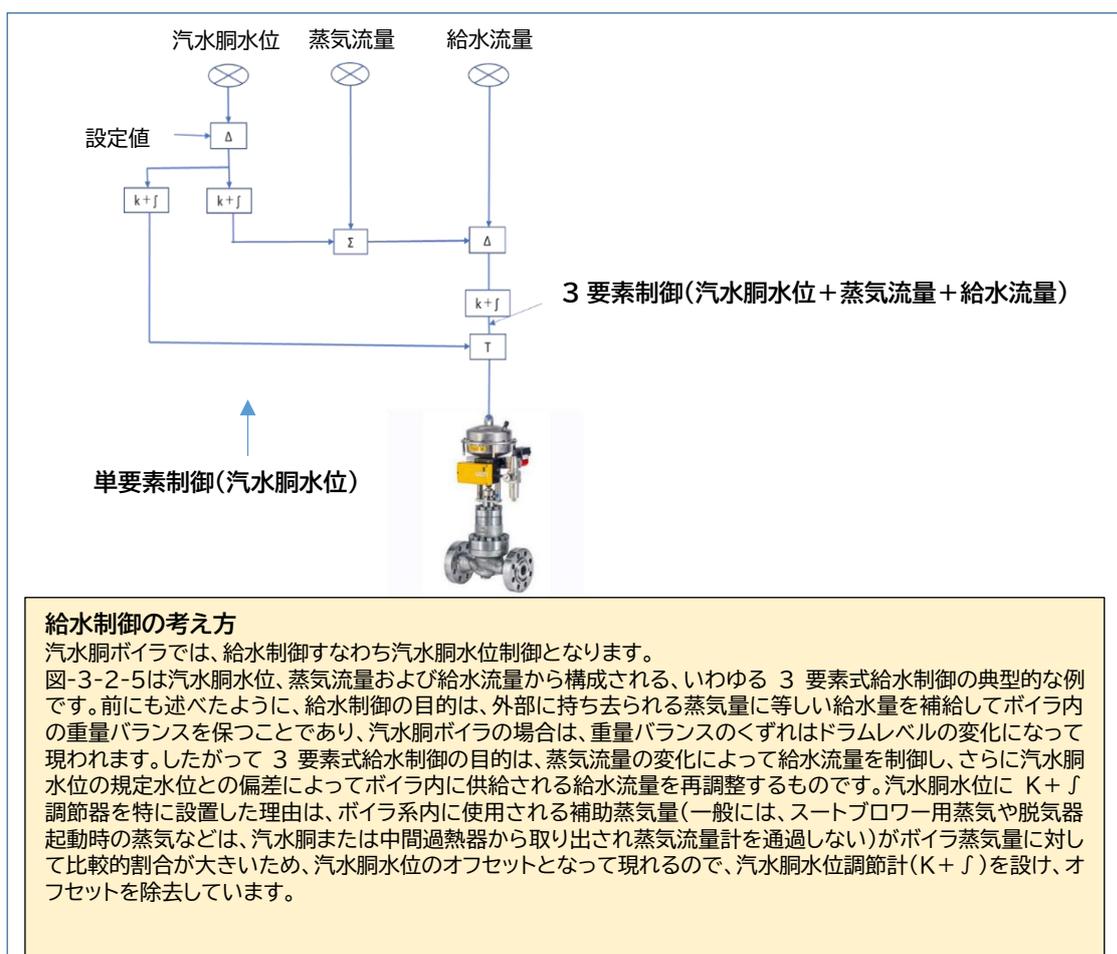
ボイラ蒸気圧力が上昇するとボイラの保護の観点から安全弁が作動して圧力上昇を抑制する設備形態であるが、安全弁が一度開閉すると安全弁のディスクとシート面との座りがずれる傾向が有り、圧力規程圧制定時に蒸気が漏れる状態があるために、主蒸気圧力逃がし弁が設置されていてボイラの主蒸気圧力高に対する安全に制御している。

他方、この逃し弁が作動するとボイラ主蒸気管はもとより、前流のドラム圧力も変動することにより、フラットニング現象及びプロッペン現象によりドラム水位が大きく変動して、ドラム水位極低(空焚き防止)によりボイラが停止する事が有るので、ボイラ水位調節弁の挙動などに注意する必要がある。

主蒸気圧力逃し弁の制御感度は安全上動作させるように、制御感度常数値も高い値であり、更に、クイックオープン動作もあり圧力逃がし系の感度は高くなっている。そのため、ドラム水位にも多大な影響があり、給水制御弁との相互干渉をしないように注意しなければならない。

ここで、ドラム式ボイラの動特性としては、水管、蒸発器で加熱された飽和状態の汽水混合物がドラム内に流入し、飽和蒸気が過熱器へ導かれます。このドラムが発生する飽和蒸気量は、即ちボイラの蒸発量を左右するのはボイラ入熱として燃料投入量となります。燃料投入量が増加すると、それに相当する蒸気が発生します。ボイラのドラム水位は給水ポンプからの水の補給が順調に行われれば水位の変動は有りません。

しかしながら、燃料の過投入や圧力変動によりドラム水位が大幅に変動するので注意が必要である。



給水制御の考え方

汽水胴ボイラでは、給水制御すなわち汽水胴水位制御となります。

図-3-2-5は汽水胴水位、蒸気流量および給水流量から構成される、いわゆる 3 要素式給水制御の典型的な例です。前にも述べたように、給水制御の目的は、外部に持ち去られる蒸気量に等しい給水量を補給してボイラ内の重量バランスを保つことであり、汽水胴ボイラの場合は、重量バランスのくずれはドラムレベルの変化になって現れます。したがって 3 要素式給水制御の目的は、蒸気流量の変化によって給水流量を制御し、さらに汽水胴水位の規定水位との偏差によってボイラ内に供給される給水流量を再調整するものです。汽水胴水位に $K + f$ 調節器を特に設置した理由は、ボイラ系内に使用される補助蒸気量(一般には、スートブロー用蒸気や脱気器起動時の蒸気などは、汽水胴または中間過熱器から取り出され蒸気流量計を通過しない)がボイラ蒸気量に対して比較的割合が大きいため、汽水胴水位のオフセットとなって現れるので、汽水胴水位調節計($K + f$)を設け、オフセットを除去しています。

図-3-2-5. 給水制御¹

② 木質バイオマス発電所の設備トラブルはボイラの燃料である木質 chip の詰まりにより、燃料が供給不能になり、結果してタービン入口主蒸気圧力低下によるボイラ停止が数多く発生していた。

その原因を精査して行くと、タービン・発電機の停止をしないように燃料が搬送系に詰まると同時に発電機出力指令値をミニマム以下(25%程度)下げると同時に補助燃料である重油バーナの点火操作をするが、重油バーナが固着していたり、又、火炎検出器の検出部の汚れ等により上手く点火せず、点火失敗となるケースが散見されたため、日常管理項目としてボイラ正常運転時に点火バーナと火炎検出器の整備および機能試験を実施して発電機停止を回避したものである。

点火バーナ及び火炎検出器はボイラ停止するかしないかの「命綱」であり、有事に備えて日頃から点検整備を怠らないようにすることが肝要である。



図-3-2-6. 設備不具合から得た教訓

(3) 安定した制御方式へ向けた検討

木質バイオマス発電所の発電制御系はほとんどが、発電設備のメーカーや制御装置メーカーの考え方に支配され制御回路等が構築されている。ユーザーとしての知見等も許容できるようにすればより良い方向に展開されると思われる。

上記の場合、ボイラーメーカーとタービンメーカーが異なることにより、各社の考え方に支配されて独自に特化した回路構成となっている。即ち通常運転においては、ボイラー制御とタービン制御との係り合いが無く独自の制御対象を黙々と積極的に制御している。

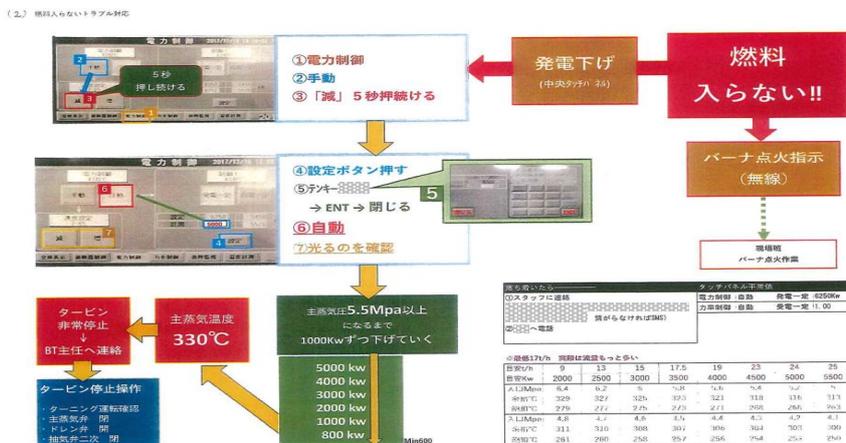


図-3-2-7. 燃料が詰まった時の対応手順書

タービン制御は発電量制御のみであり、ボイラー制御のマスター制御部では、ボイラーの蒸気圧力制御をしている。所謂ボイラー追従方式である。別紙参照これを、大型火力発電所の

マスター制御部の考え方を取り入れて、ボイラーとタービン制御が協力・協調するような制御形態であるボイラー・タービン協調制御方式への対応が望まれる。協調制御方式とは、制御対象のタービンマスタはガバナで発電量とするが、何らかの要因でボイラーの主蒸気圧力が低下した場合はタービンガバナの開度を絞り圧力の復旧制御をさせて、その間は発電量が低下するが、プラントの全体を安定させる制御方式である。又、圧力を制御させる幅は任意に設定するのが可能である。

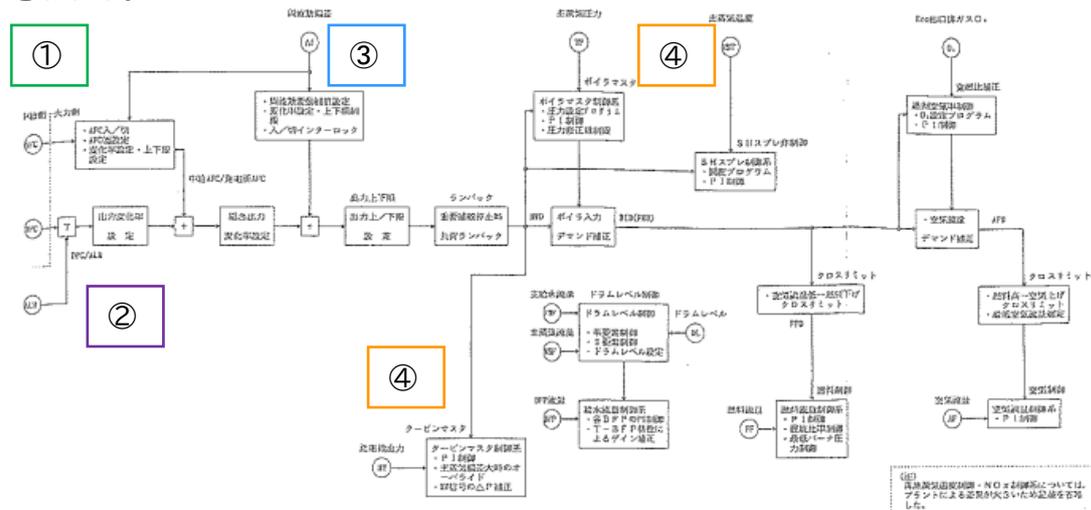
これによって通常運転の安定化及び今後要請されると思われる負荷変化して系統への寄与への改善でもありと思われる。

(4) 今後の再生可能エネルギーの拡大を見据えた制御改善について

再生エネルギーの拡大・主力化において、今後は地域バイオマスであっても需要が少ない夜間・ゴールデンウィーク等、発電所への出力低減とか、周波数運転及び周波数変動補償機能などが要請されると思われる。

出力変化することを考慮した設計でなく、部分負荷帯は起動/停止時に通過する位置づけとしている。現有は発電機の回転数を負荷の変動の如何にかかわ一定の回転速度を保つように、動力である蒸気を自動的に調整する装置である调速機(ガバナ)により、系統周波数の変化に追従して出力を増減させる運転であり、瞬間的な出力変動のみであり、本来の意味での出力変動とは言えない。

また、バイオマス発電所が事業者の重要な事業要素となる場合、定格運転での送電が不可欠であり、このような出力変動機能の要請はトレードオフの関係であり、今後の課題であると思われる。



① ⇒ LFC 回路 ② ⇒ EDC 回路 ③ ⇒ 周波数変動補正回路 ④ ⇒ 協調回路

図-3-2-8. 今後のあるべき姿の制御系統 概念図

※周波数変動補正回路とは、系統の周波数変動により、ガバナで調整した出力を発電所の自動出力制御装置が出力指令値に引き戻すことがないようにガバナによる出力変動相当を出力指令値に加算する機能である。

- 電力系統の運用においては、接続する設備の周波数調整機能を活用しながら、基準周波数を維持。
- 極めて短周期の負荷変動には、同期発電機等が持つ慣性力が働き、周波数変化率（RoCoF：Rate of Change of Frequency）を抑制するとともに、周波数低下最大偏差を縮小。
- GFは、数秒から数分程度の周期の負荷変動に対し、**自端**で周波数（回転数）の変化を検出し、**発電出力を増減**（一次調整力に相当）。
- LFCは、数分から十数分程度の周期の負荷変動に対し、**中央給電指令所**から**発電出力を制御**（二次調整力①に相当）。

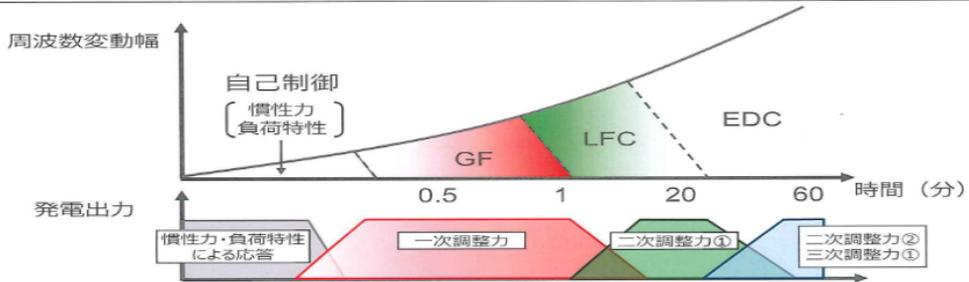


図-3-2-9.ガバナフリー、LFC 及び EDC 機能とは²

¹社内手引書より引用

²「GF および LFC 運用の現状について」第19回需給調整市場検討小委員会資料2-2一般送配電事業者(社)より引用

3.3 非常停止時の安全確保

【要旨】

発電所の安全管理で、問題が起こっても設備事故や人身事故に波及しないで安全な方向での収束するように「停止の原則」に基づいて設計されている。ボイラー、タービン、電気施設において非常停止する可能性と対処方針を示す。

【構成】

3.3.1 発電所の保安の基本

3.3.1 発電所の保安の基本

(1) 停止の原則

発電所の保安は自分達で作成した保安規程に基づいた自主保安、自分達で選出した主任技術者による保安監督、そして技術基準の適合義務を基本として運営をしている。

一般的な設備安全の考え方の基調は、①人間はミスをする②機械は故障する③絶対安全は存在しないことであり、もしも万一、機械が故障しても、ヒューマンエラーしても設備事故や人身事故に波及しないで安全な方向での収束するように設計されている。

(2) 緊急停止パターン

発電所の発電設備の保安は、プロセス値がある一定値以下あるいは以上になると機器類の損傷を与えて大きな事故に繋がる危険性があるために、ボイラー設備であれば燃焼を停止させるべく燃料の供給を遮断する。タービン設備であれば蒸気の流入を遮断するために入口弁を閉止し、電気設備であれば電気の供給を止めるべく遮断器を開放することで安全停止をさせるシステムである。ボイラー、タービン及び電気設備との相互間でも安全に停止するインターロックがある。これらを保護インターロックと称している。これらの考え方はリスク低減の3原則の一つである「停止の原則」であり、エネルギーの供給を遮断し内部の残留エネルギーの放出することで安全確保を行う一つの手法でもある。

この様な設備安全停止の概念は全米防火協会(NFPA)及び日本電気保安協会(JEAC)のルールブックに基づいたインターロックとなっています。

保護インターロックの考え方を大別すると下記の2つのケースがある。

(安全型)

(所内単独運転考慮型)

【緊急停止のパターン-1】

【緊急停止のパターン-2】



図-3-3-1.ユニット保護インターロックの概念図

緊急停止のパターン1

緊急停止のパターン1はタービン故障停止でボイラー及び電気設備も積極的に停止させ、電気故障停止においてもタービンを停止させるとタービン停止を受けてボイラーも連動

して停止させる方式である。

緊急停止のパターン2

一方パターン 2 はタービン故障停止で発電機のみを停止させる方式であり、電力系統の電気異常時は所内単独運転を許容する方式である。

パターン 1 及びパターン 2 の共通項として、ボイラー故障停止時はボイラーのみ停止させる方式でもある。

(3) 「火」と「水」の安全管理～ボイラーの安全管理の基本は火と水の管理～

ボイラー設備においては、汽水胴の水位異常低下時は給水の供給ラインかボイラー設備の水管等の異常により汽水胴の水位が低下したものと恐れられ、水が無いのに燃焼を続けると空焚き状態となり水管等の破損、墳破などに繋がり設備事故となる恐れがあるため、燃料を遮断してエネルギーの供給源を遮断して各補機類を停止し設備安全を確保するシステムとなっている。ボイラー停止を MFT (Master Fuel Trip) と呼び、燃料を遮断することである。このような事象に於いての安全確保としては、ボイラー停止となってもボイラー内部には残留エネルギーである熱が有るために、水を確保して水管等を冷却しなければならないために給水ポンプでの給水することが波及事故の低減対策として必要である。

次に煙・風道系については燃料を遮断したもののボイラー炉内には未燃分ガスなどが滞留しているので、何らかの要因で火点があると滞留ガスが急激に再点火して爆発する可能性も否定できないので滞留ガスを放出しなければならない。そのため誘引通風機の運転して滞留ガス等を放出し新鮮な空気にするのが大事である。ここで注意する点はボイラー停止で誘引通風機をインターロック的に停止させるプラントもあるため留意する事が必要。その時は、現場を確認して、押込通風機のダンパーが全閉でないことも確認して速やかに誘引通風機を再起動するようにする。特に押込通風機のダンパーが全閉であると炉内が急激に負圧になる可能性があるため特に注意が必要である。

なお、誘引通風機を運転しなくても物理現象である「煙突作用」で炉内の残留ガスは滞留して煙突から放出されるが、マス量が異なることからより安全サイドで運転することが重要である。

また、ボイラーを起動する際のバーナ初点火時も同様にボイラー容積の 4 倍以上の風量でパージすることが法制化されているため実施し炉内が新鮮な空気に置換されてから行う。この操作をパージインターロックと言う。

ボイラーを停止する要件としては汽水胴水位低下ら他に火炉内の燃焼ガス圧力が高くなった場合、ボイラー制御装置の重故障、制御空気圧力の低下、誘引通風機の停止等々あり安全停止をはかりボイラー設備を保護しています。

総括的に言えばボイラーは「火」と「水」の安全管理が必要となる。

加えて、直接的にはボイラー停止のトリガーとはならないが、長時間その運転が継続すると、炉内圧力高等によるボイラー停止することが十分に予見されるために対策を必要とする要因として

- ① 灰の排出が出来ない場合はバグフィルター差圧が上昇して炉内圧力高となる
 - ② 砂循環が出来ない場合は砂中の異物が排出できないために燃焼不良が発生する
 - ③ スートブローアが出来ない場合は管類の熱交換が出来ずヒートバラスが崩れる
- があるために運転に十分な注意が必要となる。

(4) 停止のトリガー

火と水(ボイラー)、油と熱(タービン)など停止のトリガーとなる事象をしっかり管理して対処する必要がある。は、タービン入口蒸気圧力極低、タービン振動大、タービン過速度等々によりタービンを安全停止して設備を損壊、破壊等しないよう保護するインターロックがある。

タービン運転中に何らかの要因でタービン停止した場合にはタービン主塞止弁、ガバナが閉止に移行するために流入する蒸気源が無くなる。従って駆動源が無くなるためにタービン回転数が低下して自前の油ポンプの効力が低下することによって、潤滑油等の供給が乏しくなり、油圧力のある一定値低下をキャッチし別置の補助油ポンプが自動起動してタービン各部への潤滑油を送油する仕組みであり、この補助油ポンプが起動することの確認が大切である。万一起動しなかった場合は非常用油ポンプが起動し油を確保するシステムがあり回転体には油を切らさないようにすることが肝要である。

蒸気源は主塞止弁、ガバナが閉止している状況であるが、万弁のシートリーク等により蒸気の質の悪いものが、タービン内部へ流入する恐れがあるためにこれらを阻止する目的で用心のため、タービン入口の蒸気手動弁を人力で閉止させ蒸気源を完全にアイソレしている。

タービンの回転数が低下して停止寸前になると、別置するターニングモータ駆動でタービンを低回転で回転させてタービンロータの熱歪による変形を防止させることが大事である。異常無くスムーズにターニングへ移行することの確認することが運転管理上で必要である。万ターニングモータ等のトラブルでタービンロータが停止したままの時は人力で14回転/15分の加減で約8時間程度継続する必要がある。この操作は停電時も同様なことが必要である。

総括的に言えば、タービンは「油」と「熱」の安全管理が重要である。

加えて、直接的にはタービン停止のトリガーとはならないが、長時間その運転が継続すると、真空低下等によるタービン停止する事が十分に予見されるために対策を必要とする要因として、冷却水冷却層の水位低下が継続すると、復水器の真空低下によるタービン停止並びに各補機類への冷却効果の低減による補機停止によって起因するボイラー停止並びに電気設備停止になる可能性がある。このため運転には十分に注意して行うことが求められる。

(5) 電気設備

発電機過電流、発電機界磁喪失、発電機か電圧および AVR 重故障等である。このような要因で発電機が停止すると、保護インターロックパターン 1 では、ボイラー設備、タービン設備の運転が全て停止となる。各設備の停止従属操作に移行する。

保護インターロックパターン 2 では、発電機のための停止であり、ボイラー並びにタービン設備は所内負荷を持った単独自立運転へ移行して次の系統連携(並列)に備る。

発電機の停止した要因の判明に多くの時間を要する場合は、現行自立運転可能な時間的な制約があるために、タービン停止操作並びにボイラー停止操作へ移行する。

このように従属操作へ移行して、再並列か安全停止かを判断する。

3.4 事故事例から学ぶ制御技術

【要旨】

二つの要員がかさなると大きなトラブルになる可能性がある。木質バイオマス発電の場合、燃料供給過程に不具合が出ると重油ボイラーが稼働して発電を続ける仕組みになっているが、うまくいかないと発電がとまる。

【構成】

- 3.4.1 安全は経営のトッププライオリティ
- 3.4.2 事故事例に学ぶ安全確保の基本
- 3.4.3 トラブル解消の事例

3.4.1 安全は経営のトッププライオリティ

安全は経営のトッププライオリティと位置づけられている中で、全員一丸となって安全性を高めるための取り組みを継続して行かなければならない。

また、従業員自ら考え、自ら行動する文化を醸成していかなければならない。

従業員一人一人が、決められたことを実行することは勿論のこと、取り扱う各機器類の動作原理はどうなっているのか、更には仕事の全体像の中で自分の作業が他者とどのように繋がっているのか、といった自分の「仕事の本質」の理解を深める必要がある。その上で、自ら徹底的にリスクを掘り起こしリスクに対して主体的に臨機応変に的確に対応することで「安全行動」を進化させていくことが大切でもある。加えて、日々の作業の中で作業実態と合わなくなっているルールや安全に作業しにくい設備環境などを自ら発信し、周囲と協調して関係者の協力を得ながらルールや設備の改善を図り、人身安全及び設備安全の安全性を更に向上させることが大切。事例説明をする。

3.4.2 事故事例に学ぶ安全確保の基本

(1) 大規模事故事例と事故のトリガー

大きな事故事例を直視すると、2011.3.11 に発生した福島原子力発電所のメルトダウンについては東日本大震災による津波が発電所の防波堤を超えて構内に海水が流れ込み発電設備に大きな被害を与えた。通常ならスクランブル停止で安定的に停止過程とシャットダウンして、原子炉を冷却する行程に入る予定が津波による影響で冷却水ポンプの電源設備が機能不全となり原子炉を冷却出来ずに最悪の結果であるメルトダウンに移行した。との報道があった。

また、某火力発電所のボイラー破損事故が 1996.6.18 に発生した。事故の内容としては、定期点検終了後の試運転において、定格出力 60 万 kw から給水ポンプ 2 台運転中に 1 台を手動にて停止を行い 発電機出力を 60 万 kw から 30 万 kw に自動的に絞り込む、所謂、負荷ランバック試験の確認を実施した。発電機出力を急激に絞り込み動作時に LNG ガスバーナも 24 本から 12 本を自動的に消火する過程で全バーナ喪失状態が過渡的に発生し、本来なら「全バーナ喪失」でボイラー停止(MFT)に至るロジックであったが、その機能が停止してあったために、生ガスがボイラー炉内に流れ込み、高音部である再熱蒸気ゾーンで再引火して急激な燃焼状態が発生した。との報道があった。

何れの事故事例とも共通事項としては、ファーストヒット(①津波と①バーナ失火)だけでは事故に至ることなく安全停止へと移行するが、更に何らかの要因(②電源装置の不調と②MFTインターロック不全)がアンド(and)条件で加わることにより事故が成立してしまうことがわかる。

(2) 再生可能エネルギー設備における適用

一方、再生可能エネルギーの設備利用率は 80%とのガイドラインがあるが、木質バイオマス発電所では初期設備投資が太陽光、風力と比較して多額であるため、設備利用率 80%では事業採算性は採れないために 90%を目標として事業運営をしている場合があり。このような観点から事故やトラブルによる送電停止は許容されない状況で、送電停止をしないように日々注意をしながら事業展開をする必要がある。



図-3-4-1. 利用率

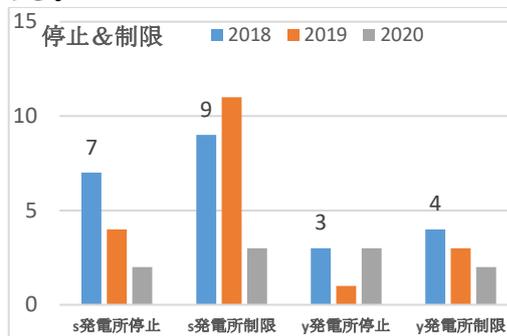


図-3-4-2. 年度別停止件数

年度別の停止内容を分析すると、送電線事故による波及事故は他責であり除外してそれ以外の事故停止はほとんどが事故を発生させた要因であるトリガー(ファーストヒット)と他の新たな要因が and(かつ)条件で揃ったことで事故停止に至るプロセスが分析結果から得られる。

一例をひくと、燃料がシュート部等でブリッチが発生してボイラーに燃料が供給されなくなり、ボイラー入熱が減少する。この不具合事象を受けて運転操作員は発電機出力デマンドを減少させる操作しながら、補助燃料である重油バーナの点火操作を他の運転員に指示をする。並行操作として PKS の供給量を増加させることも重要な要件となる。このような状況下において、ボイラーの燃焼状況やボイラーの実力値(主蒸気圧力、ドラム水位、O₂ 値等)を監視しながら慎重な操作が必要となる。

重油バーナでボイラーの入熱を確保して、その熱量に見合った発電機出力まで低下をさせなければ、タービン入口主蒸気圧力低下による保護インターロックでタービンの安全停止(MTS)に至る。そのため、重油バーナからの熱量確保が出力制限か発電停止かの生命線となる。

加えて、この操作は全て現場での操作となり一刻の猶予もなく迅速かつ安全に行うことが要求される。重油ポンプは一階面にあり、バーナ点火設備はボイラーの中断の高さにあり動線が大変。重油バーナが見事に点火すると、発電機出力抑制のみで発電停止は回避されるが、重油バーナが点火失敗するとほとんどの場合、発電停止となるケースとなる。

重油バーナは発電停止か発電機出力抑制かの分岐点となる。即ち、重油バーナは有事のボイラー設備の「命綱」であり、非常に大事な設備となっている。

いろいろな苦い経験を踏まえて現在は日常点検で①重油バーナを引き出して、バーナチップの点検清掃②火炎検知器の点検清掃を行ない、その後の実機による点火試験を行って機能の確認し、有事の時に具体的に活躍できるように状態を維持する。(定期的を実施する標準作業化を図る)

繰り返しながら、燃料がボイラーに供給されなくなると、発電機出力デマンド低下と並行して重油バーナの点火操作を行う。重油バーナが点火すれば発電機出力制限、重油バーナが点火失敗すると、タービンの保護インターロックにより安全停止となり、発電機出力も停止する。

一番目の条件は燃料供給不能となり、その次の条件としては重油バーナが点火失敗となると発電停止となる。

即ち、

- ① 燃料供給不能
- ② 重油バーナ点火失敗

この、二つの要件が成立すると事故停止(送電停止)に至ることになる。二つの条件がand(かつ)で成立しないように日々点検を計画的に行って発電所の安定運転を行ない、供給信頼度を維持して行くべきである。

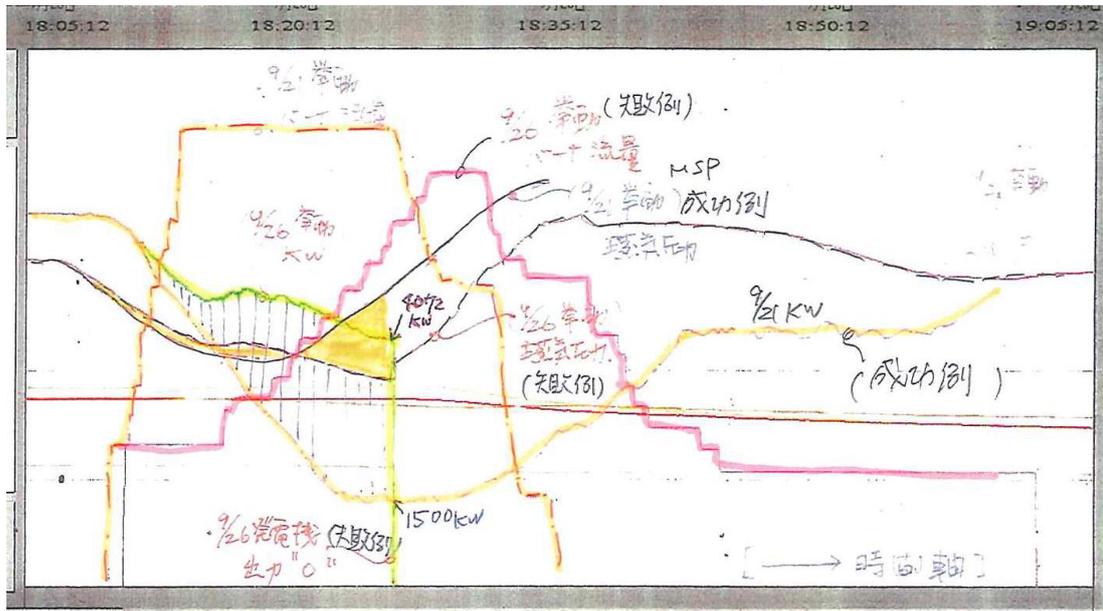


図-3-4-3.成功事例と失敗事例の比較トレンド(検討会ではホワイトボードに書き出し、確認)

3.4.3 トラブル解消の事例

給水流量計、入れ違い取付による歴年の多種トラブルを解消した事例を紹介する。

制御技術者として機械関連技術者とは一味違った現象の捉え方により、発電プラント建設から現在に至る歴年トラブルの解決を果たした事例を分かりやすく説明・紹介するものである。

《トラブルの絶えなかった発電プラントの概要》

ア. 超臨界圧定圧貫流ボイラー発電プラント LNG 専焼 発電定格出力 600MW (給水流量 1,800t/h)

イ. ボイラー給水ポンプ(BFP):タービン駆動 1/2 容量(1,200t/h)×2 台、電動 1/4 容量 (600t/h)×1 台

ウ. 給水流量計 高レンジ給水流量:オリフィスによる差圧計測 ボイラー(ECO)入口に取付
 低レンジ給水流量:フローズルによる差圧計測 BFP 出口ヘッダ後の配管に取付
 電動 BFP 吐出流量: " " " " ポンプ吐出配管に取付

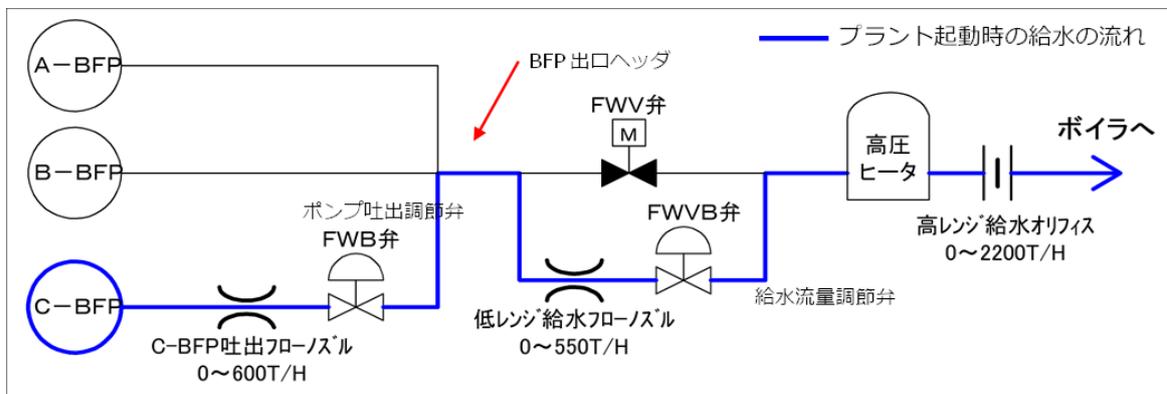


図-3-4-4.BFP周り配管構成図

《起動バイパスシステムの説明》

◎MHI ボイラー入口(ECO)~SH出口~高圧タービン~再熱器~中/低圧タービン~復水/給

水系統

《 給水流量指示不適合によるプラント・トラブルの内容 》

①プラント起動時に、定格 1/4 出力である 150MW 到達直前にて C-BFP 過流量警報が発生し、発電機出力が増ブロックされる。(150MW は最低出力値であり、これ以上の負荷帯を通常出力帯として運用しているが、150MW 以上の出力上昇ができなくなってしまう状態を言う)

②定圧貫流プラントのため、起動過程で起動バイパス系統から主系統に切替え、主蒸気圧力を 60K から 246K まで昇圧すると共に、発電機出力を 150MW まで上昇させる”ランピング”と呼ばれる操作があるが、その操作終了間際の 130MW 付近(給水流量 400t/h)にて、プラント主制御装置の給水流量計が低レンジから高レンジに切替えが行われる。しかし、この時、流量指示が 80t/h 程↑突変するため、主給水流量を調節している FWVB 弁が流量増に伴い急閉し、その結果、発電機出力が 45MW↓変動する。(発電機出力の変動により、不安定な状況が助長されると”ランピング失敗”となってプラント停止もあり得る状況)

③プラント停止時における給水流量の減操作に備え、最低出力 150MW において、タービン駆動の 1/2 容量 BFP から電動の 1/4 容量の C-BFP に切替え、停止に備えるステージがあるが、C-BFP インサースビス(電動 BFP の吐出を増やしつつ、タービン駆動 BFP の吐出を減らしていくこと)において、C-BFP の吐出弁が開いた瞬間、吐出流量が瞬時 100T/H↑高めに指示するため、”インサースビス除外条件”が成立し、C-BFP の吐出を調節している FWB 弁がインターロックにより「自動」→「手動」に移行してしまい BFP 切替渋滞となってしまう。(手動により BFP を切替えるが、低流量で極めて不安定な状態であるためプラントトリップもありうる状況)

このような不安定な状況がずっと続いてきていた。上記トラブルのなかでも、一番深刻であったのが電動 BFP の損壊につながる過流量警報であったことから、各流量計の精度チェックやスケール付着による指示誤差の増大など長年プラントの定期検査ごとに精密点検を行い、色々検査を重ねてきたが原因は特定できない状態であった。自分は他の同クラスの発電所から制御員として赴任してきたわけであるが、このような摩訶不思議なトラブルは経験したことがなかったので、「何か変だな！普通ではないな」という思いと、制御技術者の先輩の言葉として「正しい計測、正しい制御！」という言葉の思い返して、まずは計測データを収集し、構造図面を詳細に調査するなどファクトに捉え展開していく技法をとった。こうした現状分析の結果、下記のようなことがらが明確となった。

《給水流量計指示データ・構造図などから判明したこと》

①ボイラーECO 入口の高レンジ給水流量は、オリフィス計測により給水の温度・圧力補正がなされ精度が高いこと。また、電動の C-BFP 吐出流量及び近くに設置されている低レンジ給水流量はフローノズルであるため、精度的にはオリフィス計測より劣るものの、スケール付着など誤差要因に対しては強い構造であること。(オリフィスは構造上、エッジが高圧給水の乱流によるエロージョンやスケールの付着によるエッジ形状のなまりなどによって発生する誤差が想定される)

②起動時、3つの給水流量計は一連の給水ライン上に存在するため、理論上、同一指示するのが通常であるが、150MW 時に比較すると図-3-4-5 のように、高レンジ給水流量指示に比べ、電動の C-BFP 吐出流量は 50t/h ほど高めを指示しており、低レンジ給水流量は逆に 30t/h ほど低めを指示している。(高レンジ給水流量は 0~2200t/h レンジのため、10%以下流量すなわち 220t/h 以下の指示はあてにならないが、問題のない 150MW 給水流量 450t/h 当りで比較している)

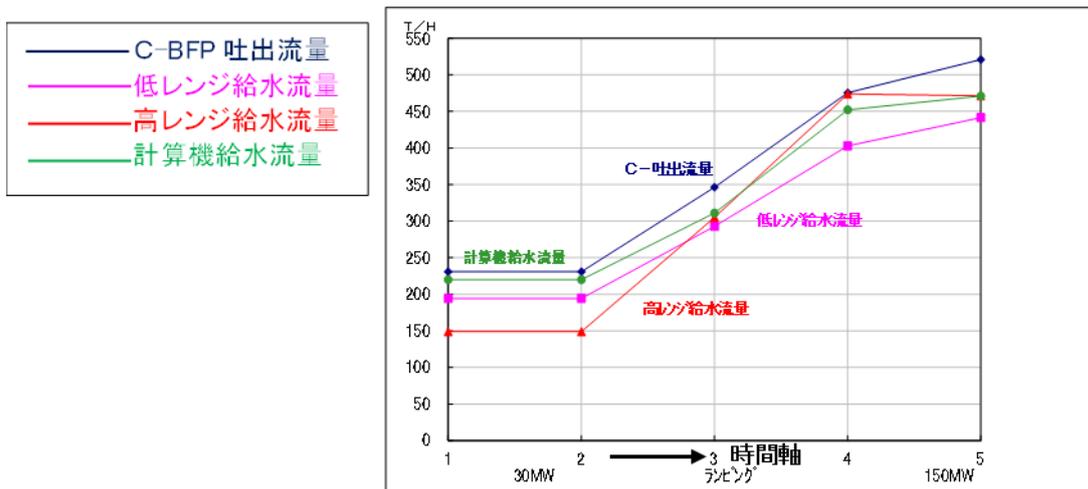


図-3-4-5 各種流量トレンド

③C-BFP 吐出流量及び低レンジ給水流量のフローノズルは、プラント建設時に、ボイラーメーカーが発注し、制御装置メーカーが製作、納入後、タービンメーカーに手渡され、給水配管敷設時に取付けられている。

すなわち、発注形態が3社に渡り、複雑で勘違いが起こりえる。

建設時の取付記録はすでに廃棄されて残っていなかったことから確認することはできなかったが、構造図からしてフローノズルの形状は全く同一あり、絞り径が直径で 120φのところ 5mm 違うだけのため、視覚的には判別困難である。

《上記、現状分析結果から考えられる原因の仮説と検証》

原点に戻り、主たる不具合の現象をまとめてみると、同一ライン上の電動 C-BFP 吐出流量と近くに設置されている低レンジ給水流量は同一指示を示さなければならないはずなのに、C-BFP 吐出流量は高め指示であり、低レンジ給水流量は低め指示である。仮に両流量計とも測定している差圧を信頼できるものとして、流量レンジのみを入れ違えてみるとどうなるだろう？すなわち、フローノズルを入れ違えて測定していたならばどうなるだろう？……早速、試算してみた！



すると、どうだろう！……まったく同一の指示を示した！ しかも、計算機用の給水流量とも同一値で重なった。→これはもう！「電動 C-BFP 吐出流量用フローノズルと低レンジ給水流量用フローノズルが入れ違えて取付けられているしかない！」という結論となった。

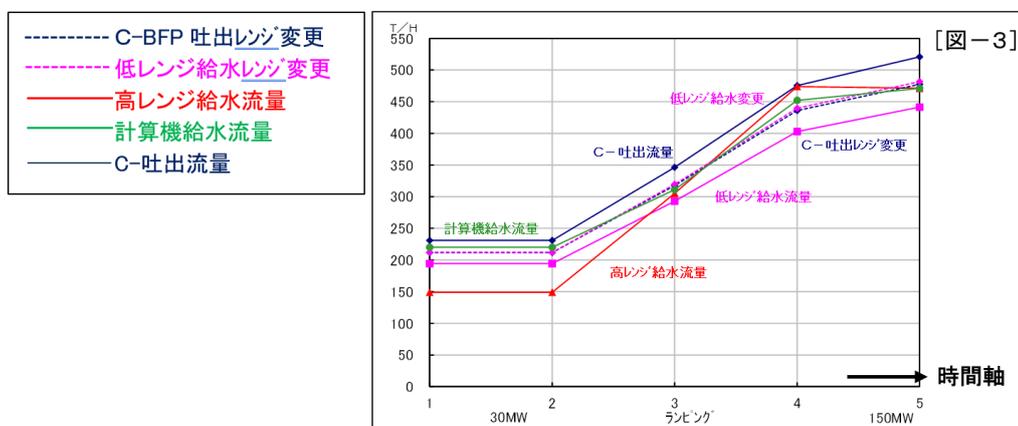
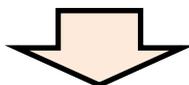


図-3-4-6.各種流量トレンド

《追加検証》

図-3-4-6の点線が流量レンジを入れ換えて計算した流量であり、ピタリと一致しているのが分かると思う。しかも、計算機流量指示ともほぼ重なっているので間違いないと思い、物証を得るため、プラント停止時に差圧検出配管を切断し、内視鏡で刻印などの有無を内部調査した。(フローズルが取付けられているメインの高圧配管は耐圧部のため、むやみに切断できななので、耐圧試験のやり易い検出配管を切断し、内視鏡を挿入して調査した)



その結果、残念ながら刻印を発見することはできなかったため、物理的な確証は得られなかったが、運転員に詳細説明し、電動 C-BFP 吐出流量差圧レンジと低レンジ給水流量差圧レンジとを暫定的に下記のように変更し、起動操作を行って各種データを採取し検証した。

《差圧レンジ変更方法》

変更値

- ・C-BFP 吐出流量発信器 流量レンジ 0~600t/h:差圧 0~10000mmH2O→0~11900mmH2Oに変更
(計算根拠:SQRT(10000/X)*600=550 ∴ X=10000/(550/600)²=11900.82645mmH2O)
- ・低レンジ給水流量発信器 流量レンジ 0~550t/h:差圧 0~10000mmH2O→0~8402.7mmH2Oに変更
(計算根拠:SQRT(10000/X)*550=600 ∴ X=10000/(600/550)²=8402.7777779mmH2O)

《考え方》

各発信器の流量レンジはプラント主制御装置(APC 装置)内で規定されているため、流量レンジの変更は行わず、その流量値に合致するよう発信器の差圧レンジをマッチングさせる。

《変更期日》

次回プラント停止時にて差圧レンジ変更を実施し、プラント起動時データ採取と制御性の確認を行う。

《効果の確認》

発信器差圧レンジを変更して起動操作を行った結果、下図運転トレンドデータのように C-BFP 吐出流量、低レンジ給水流量、高レンジ給水流量のいずれもがピタリと一致した。また、計算機給水流量も一致したため、給水流量計切替時の出力変動が無くなり、スムーズなランピングが可能となった。その他の不具合についても C-BFP 吐出流量指示値が下がったため、全て解消することができ、建設時からの潜在的な不適合を完全に払拭することができた。

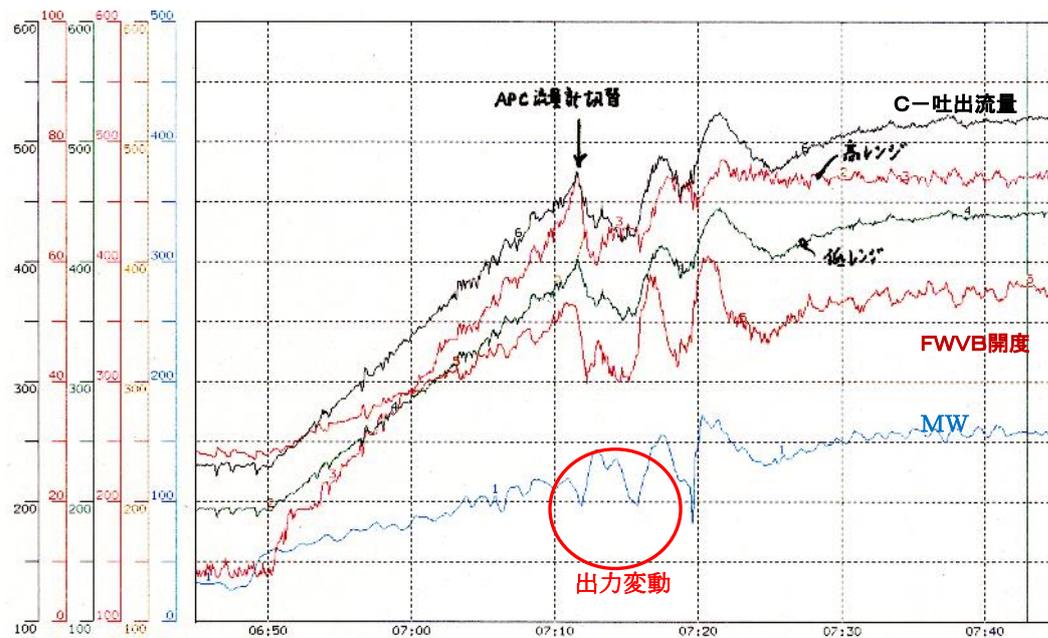


図 3-4-6.改善 前

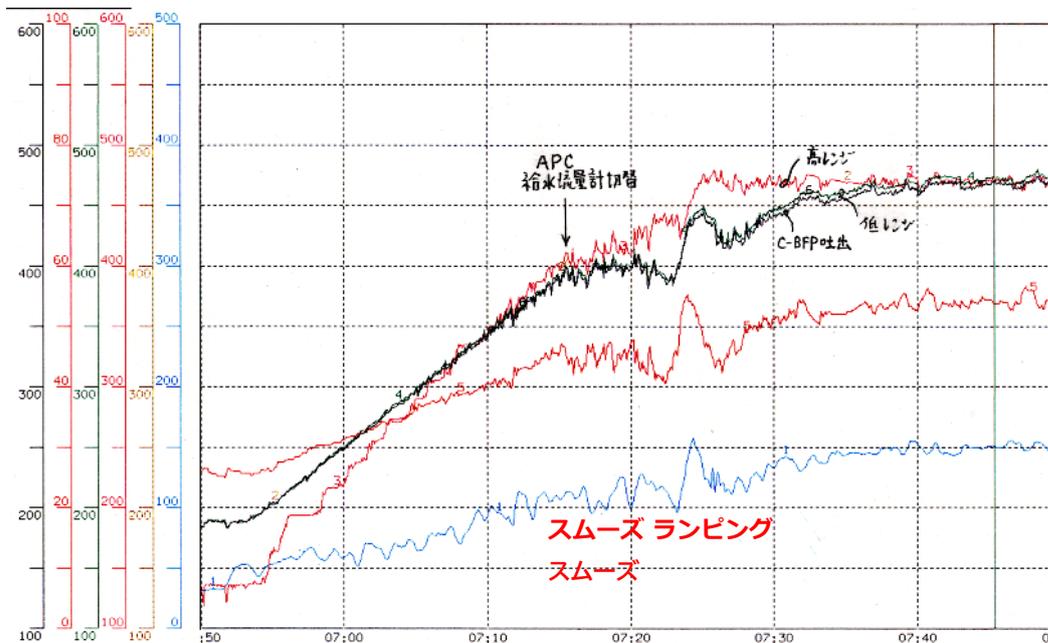


図 3-4-7.改善 後

《おわりに》

フローノズルの入れ違い取付を実証するため、機械技術者と協議し、非破壊検査のコバルト照射による写真撮影も考えたが解像度が低いこと、また、物理的なフローノズルの交換取付まで議論したが、費用対効果を熟慮し、このまま発信器差圧レンジの変更のみで対応していくこととなった。それでも建設時からの数々の不適合を完全に払拭でき、プラントを安定させることができたことは満足のいくものであった。

第 4 章

予防保全・メンテナンス

第4章 予防保全・メンテナンス

4.1 設備利用率向上のための設備保全

【要旨】

設備利用率を高めるためには、設備保全を実施する際に、なるべくプラントを停止なく行うことが有効である。

【構成】

- 4.1.1 発電所の稼働状況を表す設備利用率と設備保全
- 4.1.2 予防保全の取組み

4.1.1 発電所の稼働状況を表す設備利用率と設備保全

発電所の稼働状況を表す指標としては①設備利用率と②設備稼働率がある。企業としては利用率を向上させ売電量を高めることが重要であり希求している。

設備利用率とは発電設備の総供給設備容量に対する実際に発電した発電電力量の比であり、設備がどの位有効に稼働しているかを表した指標である。

$$\text{設備利用率(\%)} = \frac{\text{年間発電電力量(kWh/年)}}{(\text{年間時間数(365日} \times \text{24時間)}) \times \text{設備容量(kW)}} \times 100(\%)$$

2021年度の日本の電源別の設備利用率の推計をみると、バイオマス発電は69.6%であり、風力は19.6%、太陽光は13.1%、地熱は56.3%である。(データ出典は2021年供給計画の取まとめ 電力広域的運営推進機関)

一方、設備稼働率とは、多々あるがここでは時間の概念を取り入れて、発電量の多少にかかわらず発電した時間の割合で示される。

バイオマス発電所の設備利用率の目標としては火力(石炭、LNG)と同様に80%と高い値となっている。一例として某会社の発電所における設備利用率の実績値をバイオマス発電の80%と比較すると高値に推移している。

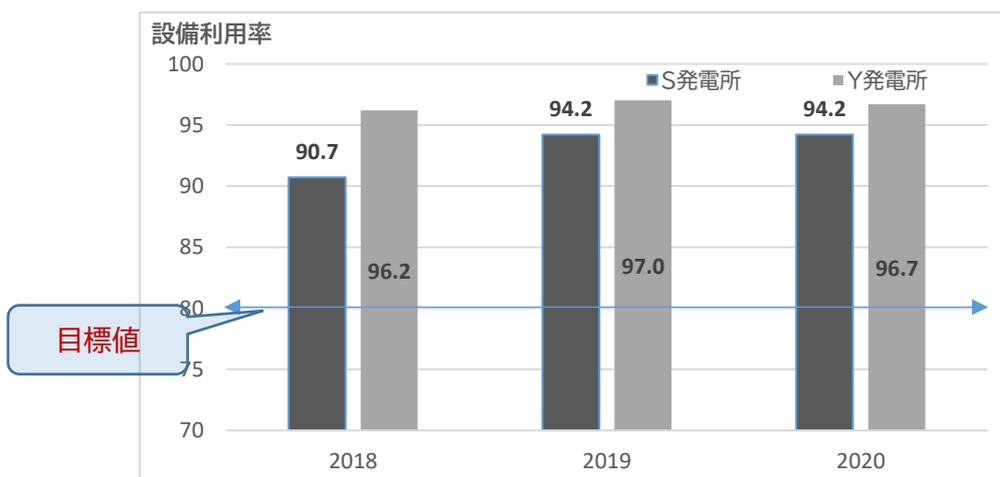


図-4-1-1.設備利用率

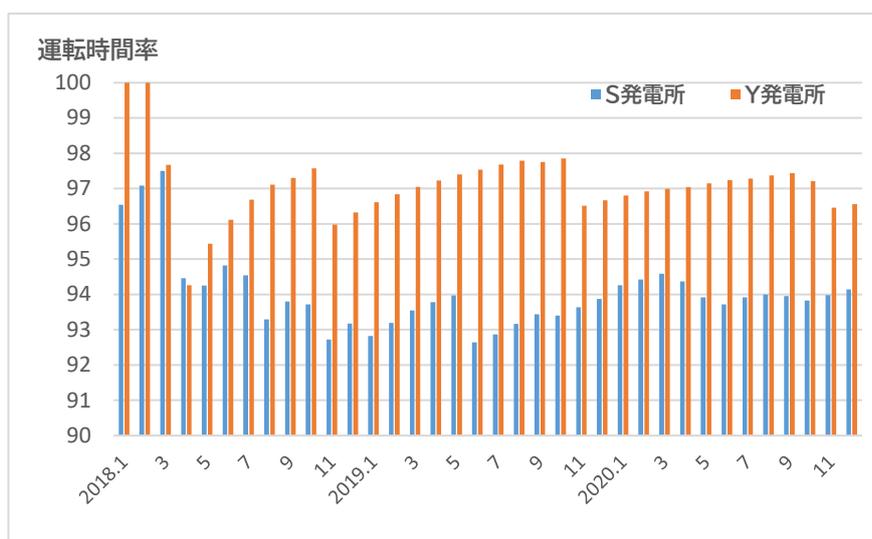


図-4-1-2.運転時間率
 運転時間率=本来運転するべき時間/年間時間 (計画停止も停止に含む)

売電量を高める為には、利用率を向上させる、つまり発電プラントの停止させない事が重要である。従ってプラントを停止させずに設備保全を実施することが必要である。

設備保全の内容は、予防保全、改良保全そして事後保全とあるが、設備利用率を向上する視点としては、軸となるのは予防保全であり、更なる効率的な運転や新たな保全方法である状態監視方式で生産性を上げるため、改良保全がある。

4.1.2 予防保全の取組み

(1) 日常点検による予防保全

① 工夫を凝らし五感を活用した日々の発電設備の巡視業務と少修理作業の実施

五感を使用した設備パトロールによる設備診断業務を実施しており、設備の正常値を現場の指示計等にマーキングを施し、経験に左右されにくい状態管理を実施している。万一異常値、状態を発見したら無線電話で中央に連絡し、運転操作員とプラントの状態も含めて確認検討を行い、場合によってはメンテグループとの連携を強化して処置しなければならない場合もある。軽微な事でも異常を発見したら発電所の運用方、保守方との情報の共有化し重大な設備不具合にならないようにすることが必要である。

② 日常小修理 (劣化を防ぐ&劣化の復元)

日常点検である各部門による設備巡視により、設備の健全度の異常の有無を五感で診断を行っている。設備の異常を発見すると、中央操作室に戻り、設備運用の操作員と設備管理する業務課、主任技師を交えて発電機出力に影響度が高いかとかを協議をし、その結果、影響度の低い比較的簡単な不具合の小さい程度で不具合の復元を行う必要がある。また、発電設備が停止中しなければでない少修理は設備診断書等を作成して、停止時に忘れなく実施するように管理をしなければならない。

例としては、現場巡視で機器のパッキン取替及び降雪による配管損傷防止策等々がある。

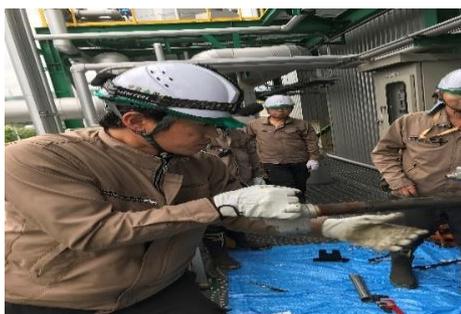


図-4-1-3.シールパッキン取替



図-4-1-4.降雪による配管損傷防止策

③ 日常定例点検 補機の均平化運転による信頼度確保（劣化を防ぐ）

予備機がある場合、補機の運転のローテーションを実施して偏った運転を回避しなければならない。そして運転中の補機が停止した場合は、自動起動となるため、ローテーション時には停止させた補機類が迅速かつ円滑に起動する条件環境の整備をして、ユニット停止へのトリガーとならないように保全する必要がある。

忘れ防止策としては切替予定表など作成して管理のサイクルを廻すようにする。

表-4-1-1.【切替予定表】

	月次切替・点検予定											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
バーナー	点火テスト	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
バーナー	清掃	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
計針 (Aのみ)	校正			○				○				○
駅圧検知装置	清掃	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ボイラ給水ポンプ	切替	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ボイラ給水ポンプ	ST清掃											定
節水循環ポンプ	切替	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
節水循環ポンプ	ST清掃											定
循環ポンプ	切替	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
循環ポンプ	ST清掃											定
冷却水ポンプ	切替	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
冷却水ポンプ	ST清掃	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
冷却水加圧ポンプ	切替	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
冷却水加圧ポンプ	ST清掃	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
節水ポンプ	切替	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
節水ポンプ	ST清掃	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
脱気器給水ポンプ	切替	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
脱気器給水ポンプ	ST清掃	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
コンプレッサー	切替	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

④ 全神経を尖らせて運転モニターと対話しプラントの信頼性の向上を目指す運転操作員

中央操作室にてプラントの運転状況、状態値のモニターを介して監視しており、挙動の異常をトレンドグラフにて監視を行い、質の高い監視を行う必要がある。

運転中の機器の状態をきめ細かく監視、データ採取して設備のトラブルを未然に防ぐことも大切である。



図-4-1-5.運転モニターと対話している操作員

⑤ 設備不具合検討会とデータベース化して情報の共用化（知見向上と再発防止）

発電所のトラブルの共有化と情報の有効活用の視点から、トラブル発生時に当該運転班で行う事は勿論の事、他班でも検討会を実施してそれらの情報等のデータベース化を図り共有化し、再発防止と設備トラブルの低減にも役立つこと出来て肝要である。また、どのような部位で

の不具合が多いか等傾向管理にも役立ち、バイオマス発電設備のウィークポイントも把握ができ計画外停止の短縮にも有用である。計画外停止が少なくなれば、利用率も向上する。

(2) 発電設備の定期点検による予防保全

利用率の算定に当たっては、発電設備の定期点検手入れ期間は織り込まれているためこの期間を短縮することによる利用率向上は十分予見できる。

定期点検期間を短縮した、設備保全を実施して今後の運転中の設備トラブルを減少させることが大切である。

これらのことを視野に入れて検討することが必要であり重要でもある。

① 定期点検手入れ工事の工程の短縮

・フルスペックで点検手入れする場合

機器の点検手入れを行う場合は、作業員の増員等が考えられるが、現場は狭隘スペースであり、危険な上下作業等が発生して最も基本的で安全な作業環境が提供されないケースが発生することは十分に想定でき QC 工程等を採用し検討しても困難である。

更に加えて、日常で発生したトラブル対策として定期点検時に展開する場合も想定されるので、トラブル低減対策も含めて実施するので極めて短縮は困難である。

・点検部位を日常運転時にシフトして実施する場合

例えば、予備機を有する場合は、1 台は定期点検内で実施して機能回復、予備機をプラント運転中の日常での点検にシフトするような事を行い、定期点検手入れの工程短縮には寄与できる。

しかしながら、日常の運転中で点検手入れを行う場合は、もし、運転中の健全な補機が急遽異常停止した場合は予備機のスタンバイ機能が無いため、プラントの供給信頼度が低下する危険性が生じてくる。方法論としては考えられるアイテムであるが、結局は経営判断に委ねるほかないと思われる。

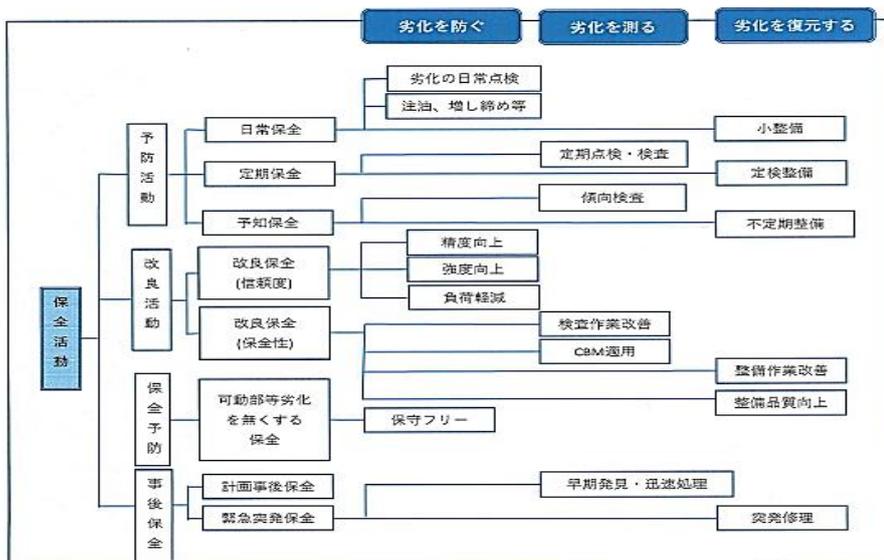
② 機器の点検方法の見直しによる工程短縮

・機器の運転状態監視による異常が無くても予め定めた間隔で点検手入れし機能回復する方法が時間間隔点検(TBM)、機器の運転状態監視して故障の兆候の発見が無い場合は継続して運転させる状態監視点検(CBM)の保全方法がある。

現在は TBM が中心であるが、運転中の機器の状態をきめ細く監視、データを採取して設備の信頼性を向上させれば CBM 保全の導入も可能となり、工程短縮の梃子になると思われる。

(参考) 保全活動の概念図

図-4-1-5. 保全活動の概念



4.2 バイオマス発電所の保守施策の考え方

【要旨】

バイオマス発電所がトラブルを起こすのは燃料輸送系施設のトラブルによることが多い。輸送系異常を低減させるため、日常管理・定期点検時の管理に分けて、組織的に対応する必要がある。

【構成】

- 4.2.1 バイオマス発電所の特徴
- 4.2.2 事故の発生傾向
- 4.2.3 搬送系の異常を低減させるメンテナンス

4.2.1 バイオマス発電所の特徴

バイオマス発電所は燃料を直接燃焼させて、蒸気を発生させて、タービンを廻し発電する仕組みであり、一般の火力発電設備とは基本的には大差はないが、異なる点としては使用する燃料が木質チップであり、更に燃焼方式には珪砂を使用することである。

4.2.2 事故の発生傾向

燃料の木質チップ等は、搬送系及びボイラー摩耗による機器等の劣化について危惧がある。

また、設備事故を発生設備部位毎に分類すると燃料設備の不具合が起因する割合が大半であり、バイオマス発電所の弱点部位であることも下記データにより検証することもできる。

下記のトレンドは某発電所の設備事故と発電停止及び出力制限に及んだ故障部位との関係性を示すものである。

発電停止は燃料搬送系設備の割合が 57%であり、砂設備は 14%となり、合わせて全体の 70%を示している。なお、出力制限においてはほとんどが燃料搬送系設備に起因していることがわかる。

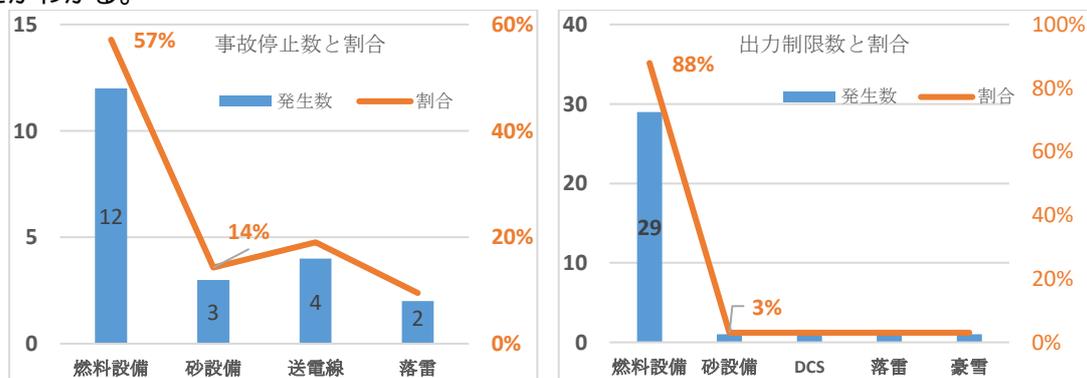


図-4-2-1.事故停止 VS 設備部位

図-4-2-2.出力制限 VS 設備部位

故障のモードとしては、異物(針金、番線、オーバー材等)による、燃料シュート部の詰まりと曲線部の鉄板の摩耗に穴あけ等がある。

燃料設備とは、コンベアを駆動させるチェーン及び駆動部、燃料シュート部に大別される。

4.2.3 搬送系の異常を低減させるメンテナンス

STEP1:日常管理燃料の異物排除

入口戦略としては、木質チップの品質管理を行い、規格はずれであるオーバー材等の水際にて排除して正常である木質チップを投入することが必要である。日常業務としての管理はトラックからの納品管理を輸送会社の運転手さんと荷物に規格外のものがあるかどうかの目視に

て確認を行っている。そして、燃料ヤードから重機を使用してボイラー燃焼用の定量フィーダに燃料投入する際は重機のバケットに積む場合及び投入する時は少量ずつにして、紛れ込んでいる異物、オーバー材が入らないように慎重な操作をしている。バーク材などは篩を使用して、選別作業も実施しており、異物混入防止には細心の注意を払っている。



図-4-2-3.運送会社員と納品品質確認



図-4-2-4.バーク材を篩で選別

STEP2: 日常管理水分異常の排除・破碎形状のチェック

① 受け入れ時の含水量の測定による品質管理による保守

燃料受け入れ時には、ランダムサンプリングで含水量の測定を行い、母集団の含水量を把握して、単味の燃料で使用可能か、あるいは含水量が多い時は、乾いている燃料とブレンドにして使用するかの判断をして運用管理をしている。

含水率の傾向管理を実施していて、水分量が多い納品の製造元への改善依頼を営業部門を介して依頼していて水分を規格値内に抑え込む運動も現場としては行っている。

納品時に運搬業者さんの安全も所としては管理をして、安全な荷卸しを行ってもらうように、トラックの荷台の飛散防止ネットや雨天時のシート外しを安全に行ってもらうための環境整備も積極的に提供し一緒に働いている作業員の安全管理も最優先にして実施している。

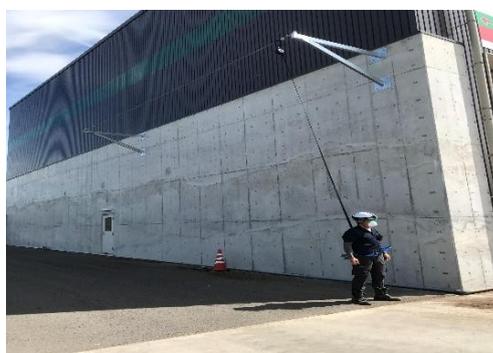


図-4-2-5.荷下ろし作業用安全带



図-4-2-6.安全帯使用の呼びかけ

② 自前の破碎機の仕上がり確認による同機のメンテナンス

燃料チップの形状の管理が燃料搬送系のトラブルの減少に充分に寄与することを視野に入れたメンテナンスを効果的に実施している。

即ち、トラックによる納品が少ない場合(降雪、天候不順時等)は自前でストックしている丸太を構内で破碎機を使用してチップ化している。仕上がり時の形状が規格外時は搬送系のチェーンのつなぎ目に入り込んで、搬送系を停止してしまう不具合が発生する頻度は必然的に多くなりますので、注意をして運用している。

具体的には 1 回/週は破碎機を停止して、破碎刃の劣化状況を入念に点検を実施している。また、破碎時に破碎機の刃を受ける板であるアンビルプレートの摩耗劣化等のメンテナンスを行い、質の良い(規格品)を得るためのメンテナンスを実施している。

その前流においても含水率を低減させるべく、丸太の貯蔵においても置き木方式の標準化を図り、丸太の風通しについても考慮した管理方式へと変更した。

・直置き type から、置き木 type へ、改善と標準化



図-4-2-7.直置き type



図-4-2-8.置き木 type

・破砕機の運用改善



図 4-2-9.破砕機

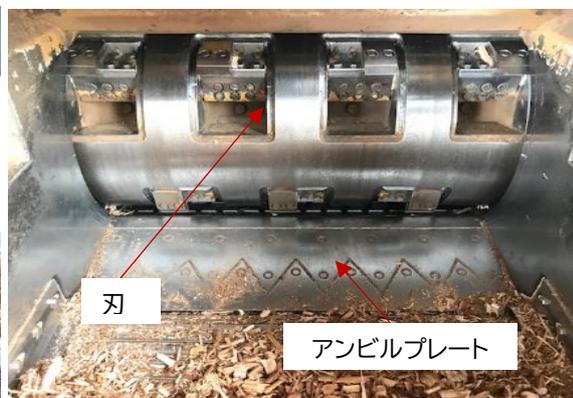


図-4-2-10.刃&アンビルプレート



図-4-2-11.破砕機の運用実態



図-4-2-12.破砕機の運用指示書

STEP3:搬送系の異常を低減させるメンテナンス

定期点検時のメンテナンス&日常管理メンテナンス

燃料であるチップと燃焼用の珪砂を取り扱うためのメンテナンスについて事故例でも分か

るように、燃料の搬送系での詰まりや摩耗によるピンホール等が発生してプラントを停止することが少なくない。

また、流動層であるため珪砂を使用しているため、同砂を空気によりバブリングさせて熱しチップとの接触により燃焼方式を行っている。バブリングにより炉内の水冷壁管や過熱器ゾーンにも砂や燃えかす等が舞うことにより管類を接触し擦れ管の外面をアタックし浸食する事が想定される。

炉内ゾーンはプラントの停止している定期点検手入れ期間に管類の点検や減肉測定等を行い、健全性と傾向管理による余寿命の管理を実施している。

具体的には

- ・コンベアケース底板の摩耗、損傷、腐食、割れ等の点検
- ・底板及びレールの肉厚測定
- ・チェーンの張状況点検及び計測
- ・駆動用電動機、軸受等の点検 等々

を行っている。

例として、燃料供給コンベアチェーンレール肉厚測定

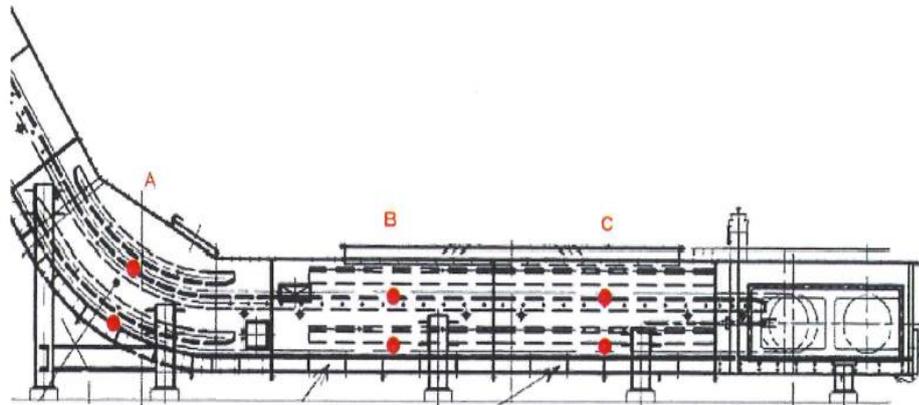


図-4-2-13.搬送系肉厚測定ポイント

表-4-2-1.搬送系肉厚測定結果

測定箇所	測定位置	設計肉厚	測定値(mm)		腐食率 mm/年
			2018年4月	2018年11月	
A	左上	12.0	11.76	11.79	0.23
	右上	12.0	11.72	11.83	0.19
	左下	12.0	12.15	11.77	0.25
	右下	12.0	11.84	11.25	0.82
B	左上	12.0	11.95	10.22	1.94
	右上	12.0	11.75	10.52	1.61
	左下	12.0	11.87	10.73	1.39
	右下	12.0	12.68	9.90	2.29
C	左上	12.0	11.68	10.55	1.58
	右上	12.0	11.90	10.39	1.76
	左下	12.0	11.72	9.52	2.71
	右下	12.0	11.59	10.73	1.39

※材質：S50C 管理値：t3.0mm以上

※従動側スプロケットから見て測定

※運転開始：2017年12月

一方、燃料の搬送系での点検の一部は運転中でも実施可能な処はメンテナンスを行っている。

例えば、定期的に駆動部のモータの温度、異音、振動測定等を実施して管理をしている。その中でもチェーンの緩み状態の管理は運転中での診断であり、正常状態を把握していないと中々判断がつかないものですので、チェーンの緩み状態を判断できる人が特化したメンテナンスを実施している。そしてその人がチェーン設備診断の技を習得させるべく要員の幅を広めて

バラツキの少ないメンテナンスをできるようにしている。やっぱり設備であるチェーンとの日々の会話がメンテナンスにも求められている。自前で出来るホームドクターメンテナンスを目指している。

調整したらそのデータを記録に落とし、共有する。

次に、燃料搬送のシュート部、の詰まり防止等についてのメンテナンスは、燃料が詰まり燃料が供給できない原因を調査した結果として、以下のようなメカニズムがあることが分かった。

- ①異物とかオーバー材がチップの通り道を塞いで詰まるケース
- ②経年結果によりシュート内面が燃料によって削られて、内面の鉄板のバリが部分的に発生し、そのバリの所にチップが積み重なって、通り道を塞ぐという

そのバリが進展して行くと、その部分が減肉して行きピンホールが発生する。ピンホールの近傍の肉厚を測定してみると相当薄くなっていることが分かる。対策としては、

- ①源流管理で異物やオーバー材を排除する
- ②代表点を定めて減肉測定を行い、現状の健全性の確認と今後の余寿命を評価する

これらの方法を用いたメンテナンスを実施している。更に消極的な対応として、シュート部に点検口を新たに設置して、燃料の流れが円滑であるかの日々の点検の実施もして万全を期しているところでもある。

万一詰まりの状況が発生した場合はこの点検口を利用して詰まりを解除する作業用としても活用している。

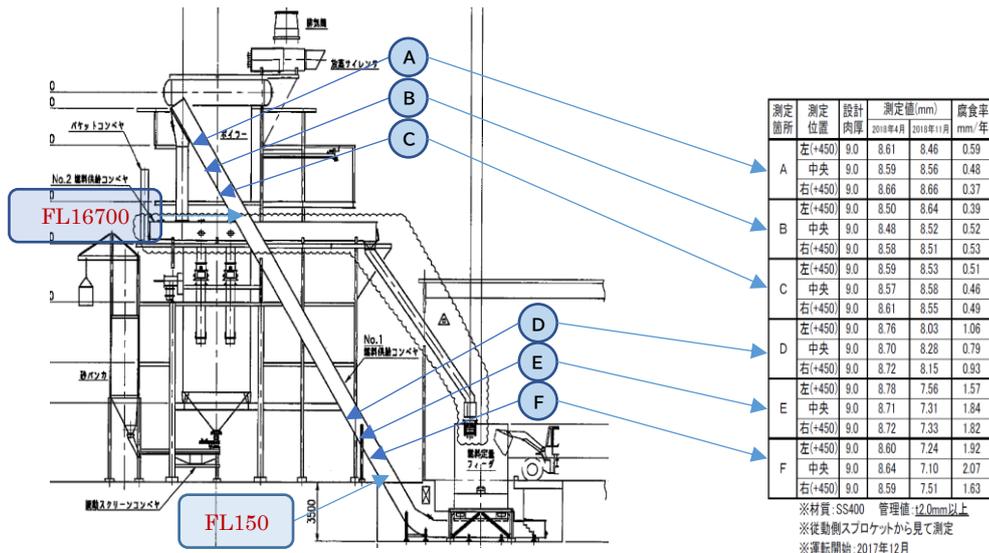


図 4-2-14.搬送系肉厚測定ポイント

STEP4:定期点検珪砂状況のチェック

珪砂についての影響度の検査も、プラント停止時の定期点検手入れ時にボイラーの水管などの肉厚測定を実施して傾向管理と余寿命管理を実施する。

4.3 統計分析の考え方・データの取り扱い

【要旨】

バイオマス発電事業の計画・事業化・運営を適切・的確に進めるためには、事業環境をめぐる情報を的確に収集し、分析する必要がある。その基礎としての統計分析手法を、データの取り扱い、データ収集方法という側面から提示する。

【要約】

4.3.1 統計分析とは

4.3.2 データの取り扱いについて

4.3.3 データのとり方

4.3.1 統計分析とは

(1) 基本的な考え方

大量のデータを収集・検索・分析し、その結果を提示することを通じて、データに含まれているパターンや傾向を明らかにすることが統計分析である。その目的は、重要な意思決定についての科学的な根拠を得ること。

大量のデータを漠然と見ても、そこから何も得ることが出来ない。データの数を数えたり、平均値を出したり、傾向を視たり、分類したりと何らかの手を加えることによって、データの特徴(性質や意味等)を知ることが出来、活用することが出来る。日常生活でも実際に実施している事柄が統計分析にでる。

ある程度以上の数のデータの性質を調べたり、大きなデータ(母集団)から一部を抜き取って、その抜き取ったデータ(標本)の性質を調べることで、元の大きなデータ(母集団)の性質を検定・推測したりするための方法論を体系化したもの。

数理統計分析には、記述式統計分析と推論統計分析に大別され、記述式統計分析はあるデータを集めて、表やグラフを作り、平均や傾向を見ることでデータの特徴(特性)を把握する。

一方、母集団からサンプルを抜き取って、そのサンプルの特性から母集団の特性を推測し、それが有意かどうか検定する統計を「推論統計」とう。

一般的な現場においての日常的な統計としては、大半が記述式統計で連続データの分析や分散(標準偏差や相関関係)までで、問題点(あるべき姿－現状の姿)を解消すべく対策を講じることが出来ると考えている。例外的は、仮説検定や偏り、分散などや線形回帰、判別分析等を駆使して解析したケースも稀であるがある。

補意)特性とは「望ましい状態と現状のズレ」を図る尺度を「特性」と呼ぶ。特性が持つべき性質として、以下の点が挙げられる。

- ①単調性がある。良い場合と悪い場合とが区別できる。
- ② 普遍性(再現性)がある。

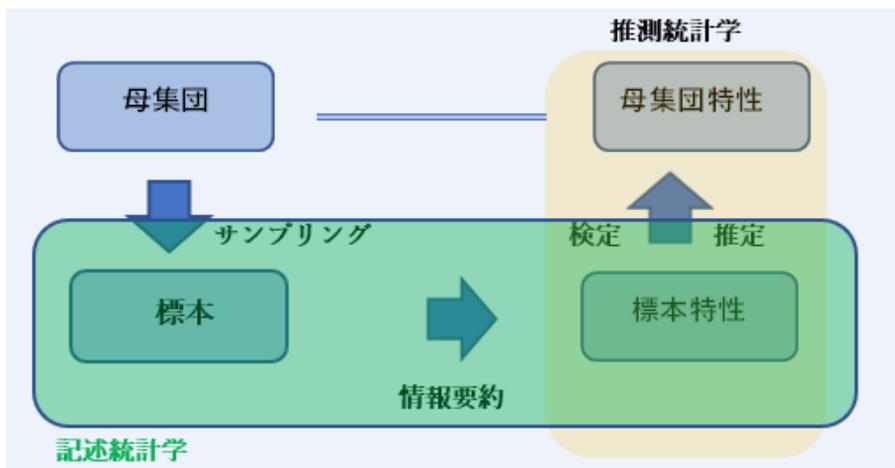


図-4-3-1.例として 発電所の月間使用費用のパレート図

(2) 記述式統計分析としての「QC 七つ道具」

記述式統計分析として用いられる一般的な手法としては、定量的に分析する QC 七つ道具が多く用いられるため、概要について下記に示す。

パレート図：悪さ加減を表す特性値について現象で分類、あるいは原因で層別してデータを取り、これを多い順にならべてその大きさを棒グラフで表し、累計曲線(ローレンツ曲線)を記入した図。重要な問題を絞る(重点指向)ことを目的とするが、原因別に層別してその違いを探すにも使われる。

補遺) 悪さ加減とは・・・望ましい状態と現状とのずれの程度

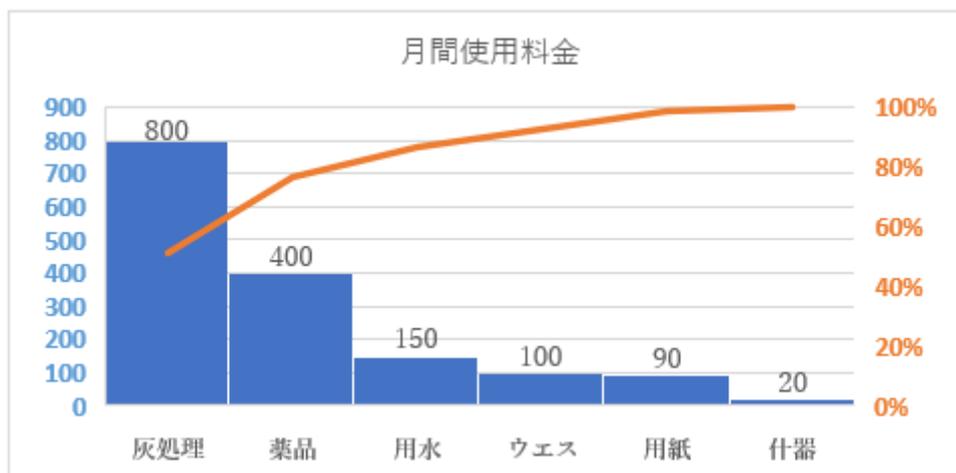


図-4-3-2.例として 発電所の月間使用費用のパレート図

特性要因図：結果(特性)に影響を及ぼすであろう考えられる原因(要因)を系統的に漏れなく整理するための図。言語データを取り扱う手法であり、作る過程が重要である。

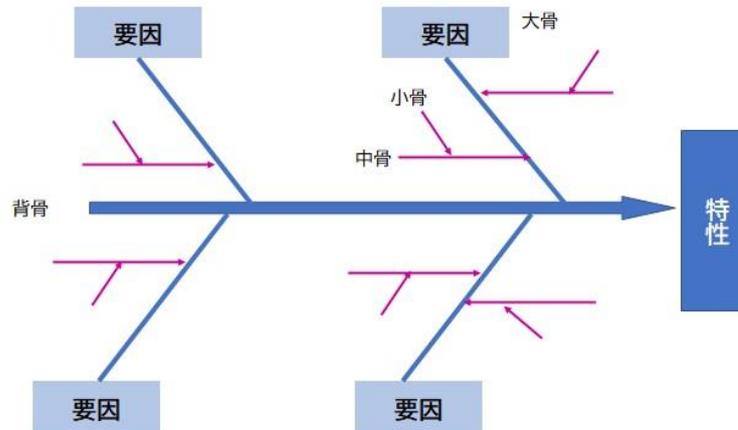


図-4-3-3.特性要因図の各部の名称¹

チェックシート：目的にあったデータが簡単に採取、整理できるように設計されたシート。データシートともいう。

ヒストグラム：計量値のデータが多数ある場合各区間に含まれるデータの度(度数)を数え、それに対応した高さの柱を立てる。ヒストグラムからは、分布の形状、規格の中心と平均値との位置との比較、規格の幅とバラツキの比較、不良の有無などを読み取る。計数値の場合は、棒グラフでよい。

散布図：結果と原因とが対(組)になってとられているときに、この関係の強さを読み取るための図。解析には重要な手法である。

層別：単独では手法とは呼べないが、他の手法と組み合わせて使うと非に有効な考え方である。データの持つ特徴から、幾つかのグループ(層)に分けること。ここで特徴とは、データが生まれてきた履歴(いつ、だれが、どのような方法で、5MET等)を言う。

管理図：統計的品質管理の発想を図にあらわしたものと言って過言ではない。工程が管理状態(好ましい水準での統計的安定状態)かどうかを判断する時に使う。これは無視し得る要因によるバラツキ(群内変動)をもとにして、発見しアクションをとるべき要因による変動(群間変動)を検出することによって実現される。データが計量値か計数値か、群の大きさが複数か単数か、群の大きさが一定かどうかによって、使うべき管理図の種類が変わる。他方、定性的な分析方法は、新QC七つ道具として活用されていて言語データを図に整理することによって、定性的に品質管理における問題解決を目指す手法である。

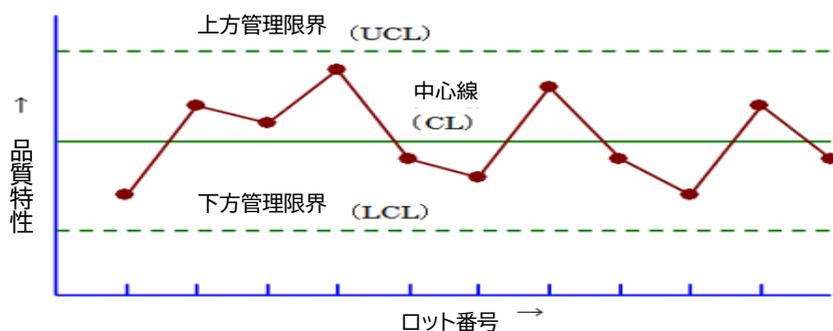


図-4-3-4.例として ロット毎の品質特性の管理値管理図

4.3.2 データの取扱いについて

(1) データとは

有る目的のために集められたサンプリングを意味する。自由形式で書かれた文書もデータであるが、通常は、数値化された情報をさす。

(2) データをとる目的

データをとるのは、そのデータがとられた元の母集団の状態についての情報を得て、その情報に基づいてその母集団に対してどう行動するかを決めるためである。

補意) 母集団とは、

- ① 調査研究の対象となる特性を持つすべてのものの集団
- ② サンプルにより処置をとろうとする集団

(3) データの種類

データには、次の 3 種類の分類が考えられる。

- ① データをとる目的による分類
- ② データの経歴による分類
- ③ データの統計的性質による分類

(4) 目的による分類

この分類によるとデータは次の 5 種類に大別できる。

- ① 現状把握のためのデータ:結果系の特性について、その特徴をいろいろと捕まえ、解析のヒントを得るためのデータ。
- ② 解析のためのデータ: 結果と原因との関係(因果関係)を明らかにするためのデータ。
- ③ 調節のためのデータ: 目標あるいは計画と実際に得られた結果を比較し、ずれがあればあらかじめわかっている確実な方法で目標(計画)にあうように結果系あるいは原因系に処置をとるためのデータ。問題解決には不必要なデータ。
- ④ 管理のためのデータ: 工程(広義の工程)が管理状態(好ましい水準での統計的安定状態)にあるかどうかをチェックし、もし異常があるならば原因を追求し処置をするためのデータ。問題解決には不必要なデータ。
- ⑤ 検査のためのデータ: 個々の品物を測定してその結果と規格とを比較し、その品物に対して良・不良の判定を下すためのデータ。

(5) 経歴による分類

この分類によるとデータは次の 3 種類に大別される。

- ① 過去のデータ:日常とられてきたデータで収集のコストは非常に少なく済む。しかし一般的に結果系のデータしかとられておらず、現状把握には利用できるが解析には不十分である。
- ② 日常のデータ:結果系のデータばかりでなく、必ず原因と結果とを対応させて得られるデータ。過去のデータに比べて収集のコストは高くなるが解析のためには必要なデータ。但し、得られる結論の適用範囲は日常の操業範囲内である。
- ③ 実験から得られるデータ:日常のデータをえるのに費用、時間等が非常にかかる場合、あるいは日常のデータがとれないか、日常操業条件の範囲外の情報が欲しい場合などには実験が必要になる。

(6) 統計的性質による分類

この分類によるとデータは次の 2 種類に大別できる。

- ① 計量値のデータ: 長さ、重さ、時間など連続した値をとるデータ。小数点の意味を持つ。
- ② 計数値のデータ: 不良品の数、欠点の数、事故数など離散した値(数えて得られる値)をとるデータ。小数点は意味を持たない。

4.3.3 データのとり方

(1) 配慮事項

- ① 信頼できるデータをとる。
- ② データをとる目的、何を知りたいのか、データに基づいてどういう行動をとりたいかを明確にしておく。
- ③ 母集団、即ちデータに基づいて行動をとる対象を明確にしておく。
- ④ 母集団に対して誤った推測を犯さないように、母集団を代表するデータをとる。
- ⑤ 目的・結果系(特性、仕事の出来栄)を表すデータだけでなく、そのデータのとり方、データの履歴も含めて、手段・原因系のデータもそれぞれが対応する形でとる。
- ⑥ 目的にかなった特性と要因を選定してデータをとる。
- ⑦ データをとる期間、データ数の妥当性を考える
- ⑧ サンプルング誤差、測定誤差を考慮する。
- ⑨ 知りたい要因どうしが交絡しないようにする。
- ⑩ 要因間に交互作用がある時は、分けるようにする。

(2) サンプルング

サンプルングとは、母集団からサンプルをとることであり、ここでは以下の点が重要となる。

- ① 母集団がはっきりしているか。
- ② サンプルが真に母集団を代表しているか。
- ③ サンプルの抜き取りが正しくおこなわれているか。

(3) サンプルングの種類

サンプルングはランダムサンプルングと有意サンプルングとに大別される。

- ① ランダムサンプルング:母集団を構成している単位体・単位量などいずれも
- ② 同じ確立でサンプルに入るようにサンプルングすること。
- ③ 有意サンプルング: 確立が同じとは言えない。サンプルングをいう。統計的に処理可能なサンプルングはランダムサンプルングである。

(4) 誤差と精度

サンプルングの良しあしは、得られた推定値の精度を基準に判断されることが多い。この精度は誤差の程度を評価する一つの尺度である。通常誤差は、得られたデータと真値(または目標値、標準値といった何らかの基準になる値)との差として定義される。この誤差のうち、バラツキの面を評価する尺度が精度である。得られたデータを X 、その期待値(母平均)を $E(X)$ 、真値を μ とすると

$$\text{誤差} = X - \mu = \{X - E(X)\} + \{E(X) - \mu\}$$

$X - E(X)$:バラツキ(偶然誤差)

$E(X) - \mu$: 偏り(系統誤差)

バラツキ \Rightarrow 個々のデータとその母平均との差(測定値の大きさが不揃い)

かたより \Rightarrow 測定値の母平均から真値を引いた値

正確さ \Rightarrow かたよりの小さい程度 精密さ \Rightarrow バラツキの小さい程度

精度 \Rightarrow 正確さと精密さを含めたもの、または、そのいずれかを精度という。

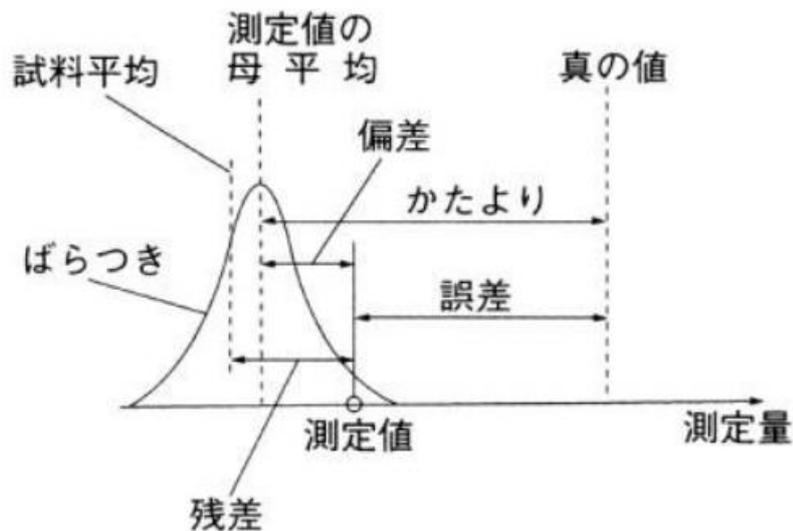


図-4-3-5. バラツキと偏り概念図²

¹特性要因図の作り方と活用ポイント(QC 七つ道具の活用ポイント第 5 回) 恵畑 聡 , JUSE QA-Magazine, 一般財団法人日本科学技術連盟をもとに作成
https://www.juse.or.jp/shanai_rensai_Q7_05 (2022年2月24日閲覧)

²「機械工学事典」一般社団法人 日本機械学会より引用
<https://www.jsme.or.jp/jsme-medwiki/13:1010331> (2022年2月15日閲覧)

4.4 運転状況確認・日常点検における留意点

【要旨】

木質バイオマス発電の運営にあたっては、安全で安定的な運転継続を最優先すべきで、日常の点検作業として、運転監視、巡視点検、燃料の供給、ユーティリティ設備の点検等について、設備の維持管理を主目的として継続的に実施すべき。

【構成】

4.4.1 日常点検の基本的な考え方

4.4.2 日常点検業務体系

4.4.1 日常点検の基本的な考え方

木質バイオマス発電所は安全で安定的な運転継続を最優先として以下のような点に注意して運営すべきである。

- ① 電気主任技術者・ボイラー・タービン主任技術者などの有資格者を発電所に配置し、24時間365日現地で制御システムによる自動運転の監視業務を行う。
- ② 発電の支障が発生しないように、日常点検や制御装置からの監視データの分析等を行い、プラントの異常の早期発見に努め、計画外停止の未然防止などを行う。
- ③ 運転操作員はシフト制を導入して健康で仕事ができるように配慮する。
- ④ 使用する燃料はバイオマス証明書のある未利用材や一般材の比率などを調整することで発電が停止しないで最も効率的(プラント及び利益)に運転出来るようにする。

日常点検の業務としては運転監視、巡視点検、燃料の供給、ユーティリティ設備の点検等有り設備の維持管理を主目的として継続的に実施する。

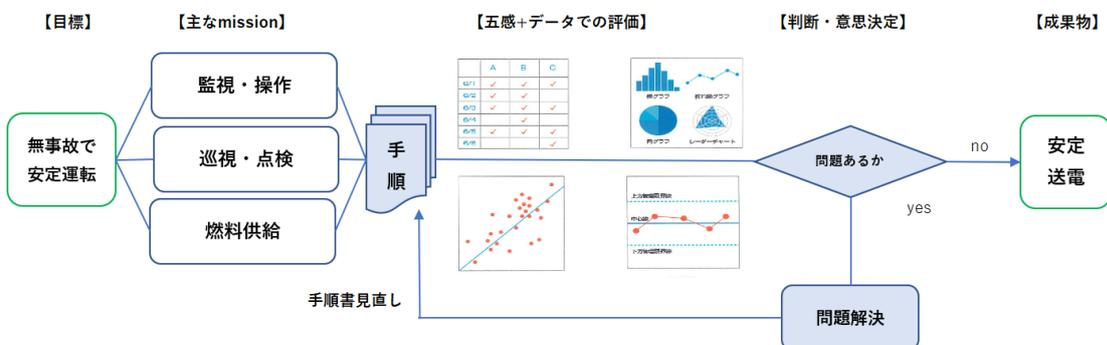


図-4-4-1.主な日常点検業務の概念図

上記の図で「主なミッション」とした三つのプロセスについて、ある発電所を例に順に説明する。

4.4.2 日常点検業務体系

(1) 運転監視操作

ア.運転モニターと対話し、プラントの安全運転を目指す

中央操作室にてプラントの運転状況・状態値を、モニターを介して監視しており、挙動の異常をトレンドグラフにて監視管理している、質の高い、効率的な運用監視を交代勤務で行っている。

また、プラントの挙動と制御の状況を把握するために、この業務に特化した運転日誌を作成

して、この日誌に主要な監視項目を監視業務と並行して 30 分毎に記入する事を実施している。

目的としては経時的な傾向管理と運転状態値の外れ値が無いかどうかをビジュアル化してプラントとの会話をする事により安全性が高まる。加えて、運転操作員のスキルアップへの情報提供し平時の運転状況の全容を把握するためにも有効である。

表 4-4-1.主な監視項目



図-4-4-2.監視風景

【平時】		【異常時】	
監視項目	値	監視項目	値
主蒸気圧	5.9	主蒸気圧	5.9
出口ガス温度	780~810	主蒸気温度	-
空塔速度	1.1~1.25	ドラム水位	±0>-173
流動層温度	780~820	O ₂ 濃度	2<6<9
流動層差圧	7.5~10	空塔速度	1.1~1.25
O ₂ 濃度	2<6<9	流動層温度	780~820
燃焼状況	ITV	流動層差圧	7.5~10
燃料残量	カメラ	燃焼状況	ITV
PKS 残量	カメラ	燃料残量	カメラ
		PKS 残量	カメラ

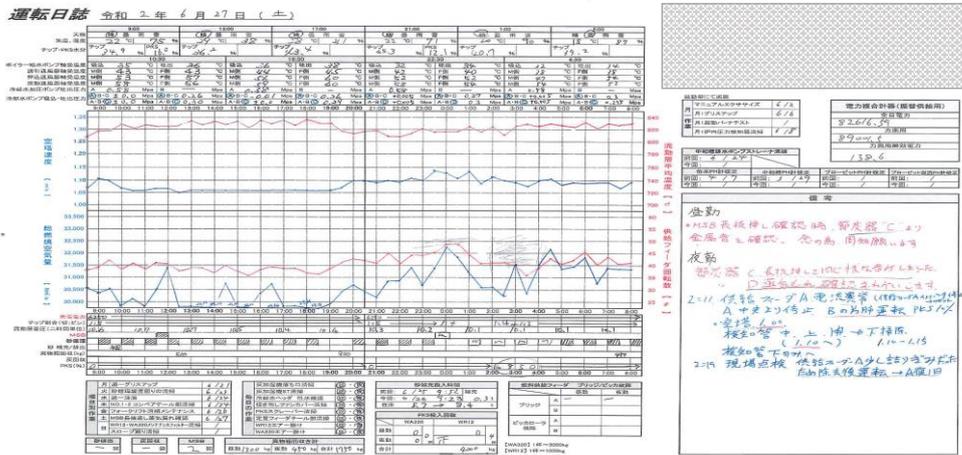


図 4-4-2.監視用に特化した運転日誌

経験を重ね、一定の力量を有すると、この監視業務をローテーションで行い、班員全体のスキル向上も図る。

イ. 有事を想定した模擬シミュレーションによる対応動作の確立へ向けて

木質バイオマス発電の故障トラブル状況を統計的にみて解析すると、燃料搬送系の詰まりを放置し、発電停止に至る状況がみられる。搬送系の詰まりによって、燃料の供給が途絶えると、ボイラー入熱がなくなりボイラー蒸気圧力が低下して蒸気タービンの安全停止インターロックが動作して発電が停止する。それを回避するために、補助燃料である重油バーナを使用して、その熱量に見合った発電機出力を低下させる必要が有る。

重油バーナはボイラーにとっての命綱的な役割であり、このような局面で上手く重油バーナが点火しなく、発電停止に至った事例が少なくない。

そこで、重油バーナの点火操作時の信頼性を高めるため、新たに平時の時に重油バーナと点火したかどうか判定する火災検知器の点検を定期的に行い、更に点火試験も実施し健全性の確認を実施するように標準化を図り、発電停止の回避を図る。

ソフト面での信頼性確保の施策として、搬送系のトラブルを想定して、制御装置の監視操作と現場での操作との合同での対応訓練を仕組みとして立ち上げ、実施することが有効である。

シミュレーターがない場合は、運転中の画面に向かって、指差呼称と声出しを行い、実際の手順通りの操作を実際に模擬的に実施し、並びに現場への適切な指示を行う。

訓練では、実際に操作はできない為、現場で実物を模擬して操作手順と確認項目を指差呼称して進めて行く訓練を行い練度の向上に努める。

・交代勤務明けなどを利用して以下を実施した例がある。

オープニングミーティングを行い、平時の態勢で中央での監視操作員に、主任技術者から「掻き均しコンベアーが停止した」旨、操作員に伝え、訓練開始となる。

中央の操作員は現場で模擬巡視している要員に無線で連絡し、必要な現場操作(重油ポンプ起動して、重油バーナの点火操作)を依頼する。

中央の操作員は状況の確認を大きな声で発し必要な操作(発電機出力低減操作、ボイラーの圧力、温度、空気流量の挙動を把握して)を指差呼称しながら、手順を追って操作監視を続ける。中央の操作員の手順、状況を主任技術者がチェックし、もう一人の主任技術者が現場の操作が適切かどうかの確認チェックを行い評価する。

整定したと仮定して安定運転を継続したことで、訓練は終了する。

その後クロー징ミーティングで、各人の自己申告評価をして貰い、それらについて主任技術者が他己評価することとして、スキルアップと安定供給に資する仕組みの構築を行った。

実際に指差呼称して操作を時系列的に行い、その結果をイメージして全体の挙動について自分なりに把握が出来て好評。この訓練を定期的実施する事で、有事の際の取り組み方について模擬訓練が出来、参考になり、プラント停止の件数も低減をして、利用率並びに稼働率も高位置で運転している状況である。

ウ. 巡視点検～層別できめの細かい発電設備の巡視点検～

計画時に作成した保安規程も基づいた発電設備の巡視とより密接な発電設備の巡視を実施していて、巡視の精度アップによる設備事故の未然防止に努めている。

保安規程に定めた巡視は毎日、1ヶ月、6ヶ月及び必要に応じてという規程があり、これらに基づいてスペシャリストである主任技術者(又は代務者)が実施している。(横の糸)

一方、保安規程の巡視項目を更にブレイクダウンして詳細で実態により合った巡視項目として4回/1日の頻度で実施していて、設備の異常、挙動不審を早期に発見し、プラント停止に至らないように不具合の芽を摘んでいる。(縦の糸)両者とも、巡視に際しては、まず中央制御室で制御装置のモニターをワンストローク確認して、チェックシートを携帯して入念に巡視を行っている。終了後は他の主任技術者(又は代務者)及び上長等に報告すると共にチェックシートでの確認行為を実施していて巡視の質を高めている。

エ. 燃料供給～水分、形状、異物など品質面の確保～

トラックから荷受けを終わると、その燃料チップをストックヤードに搬入する操作とそのストックヤードから燃料チップをボイラー燃焼用の搬送ブーツに積みだす業務を重機を使用して行っている。

ストックヤードに搬入する時はその燃料チップの水分の状況を即時に肌間隔で判断して多ければ既存の燃料チップとのブレンド操作を丁寧に実施すると共にオーバー材などの異物の有無の点検を、神経を使いながら日々実施している。(源流管理)

また、必ず荷受けした燃料チップについてランダムサンプリングを行い、中央制御室に設置している簡易含水量検査器に掛けて水分測定を実施し、操作員への報告とデータをホワイトボードに記入して所員との共有化に努める。

一方ストックヤードからボイラー燃焼用の搬送ブーツに積みだす時は重機のバケットで積みその後振って落としオーバー材や異物がないことを確認してから再度積んで搬送ブーツに搬送することとする。

燃料のオーバー材や異物による発電停止をしないように細心の注意を行って、燃料チップ等の供給業務を日夜実施する。

また、最近重機のトラブルが多発しているため、重機事故撲滅に社を挙げて取り組んでいる。

4.5 事例研究

(事後保全、定期更新による保全、状態診断情報による保全等)

重機は木質バイオマス発電所に於いては無くしてはならないものであり、運転に際しては国の免許性となっている。発電所に入社すると必ずこの免許取得するように支援をしている。

この免許を取得してから発電所の現業職場で実際に運転を行い燃料投入、運搬、丸太積み及び灰処理運搬にダイナミックに活躍している。

近年この重機の運転に於いて重大な設備事故の発生と並びに取り扱いの不適切により重機に損傷を与えている事象が発生したため、安全運転と重機の優しい取り扱いについて過去の事例等を、参考にして検討を行った事例を紹介する。



図 4-5-1 検討に使用した QC 七つ道具¹

STEP1:現状の把握

重機を取り扱う 3 か所の発電所(A, B, C)における、現状の使用状況について確認を行ったものが図 4-5-2 である。それぞれの発電所における1. 重機の所有状況と、2. 使用燃料費用を比較したものである。

A発電所は重機 6 台、B発電所は重機 5 台、C発電所は重機 4 台を使用している。燃料の使用状況を見ると、B 発電所は A 発電所に比べて重機が 1 台少ないにもかかわらず加工燃料費用が1.07~1.27 倍高い。要因としてヤードのレイアウトが異なるため、B 発電所では走行距離が長いことが分かった。また、保全費用についても、B 発電所は A 発電所に比べ、2 倍強の費用が生じている。

はじめに

重機は木質バイオマス発電所に於いては無くしてはならないものであり、運転に際しては国の免許性となっている。

発電所に入社すると必ずこの免許取得するように支援をしている所です。

この免許を取得してから発電所の現業職場で実際に運転を行い燃料投入、運搬、丸太積み及び灰処理運搬にダイナミックに活躍しています。

近年この重機の運転に於いて重大な設備事故の発生と並びに取り扱いの不適切により重機に損傷を与えている事象が発生しましたので安全運転と重機を優しく取り扱うことについて過去の事例等を参考にして検討を行ったものです。

現状把握-1

1. 発電所の重機所有

➤ A発電所 :6台

➤ B発電所 :5台

	品名	型式	所有	品名	型式	所有
①	グラップル	ZX135USK-3	G	グラップル	PC138US	K
②	グラップル	ZX135US-5B	K	グラップル	PC138US	K
③	グラップル	ZX135MH-5B	K	ローダー	WA320	K
④	ローダー	ZW1805B	K	ローダー	WR12	M
⑤	ローダー	WR12-6	N	フォーク	FD40W-7	K
⑥	フォーク	FD25T-17	K	《グラップル》	《ローダー》	

➤ C発電所 :4台

	品名	型式	所有
①	グラップル	PC138US-11	K
②	グラップル	PC138US-11	K
③	ローダー	WA320-8	K
④	フォーク	FH40-2	K



2. 使用燃料費用

➤ BはAと比較して加工燃料費用が1.07～1.27倍高い

(ヤード状況からも見て走行距離が多い)

(実績値は計画の2.1～2.4倍)



・データ出典:役員会報告data

・過去dataから引用 米沢例

図 4-5-2 現状把握

そこで、B 発電所について、過去の事故報告書からその発生状況を確認した。その結果、事故を起こしやすい要因が明らかとなった。①キャリアが少ない人が多く、半年間で事故発生率が 48%であった。②類似する事故が多い。バックミラーやガラス、シャッターの破損など。③バック運転時の事故が全体の35%を占めていた。

そこで、これらの分析から事故発生メカニズムを明らかにし、対策を講じた。

STEP2:対策

《対策》

- ①キャリアの少ない人にはマンツーマンで班長が一定期間指導
- ②事故検討委員会を行い、自分事意識を喚起
- ③「だろー運転」をしない、徐行を心がける

これらの対策により、事故発生率の軽減を図った。

STEP3:効果の検証

結果として、事故発生率は低下したが、重大事故が1件発生した。

STEP4:さらなる改善

さらなる改善策として、「重機の長寿命化」のための機械的ストレスを軽減する運転ルールの策定、「重機取扱マイスター」を社内制度として設け、取るべき行動、規範を守る操作者を評価することでモチベーションの向上、他の操作者への波及効果を得ることで、今後の歯止めとする。

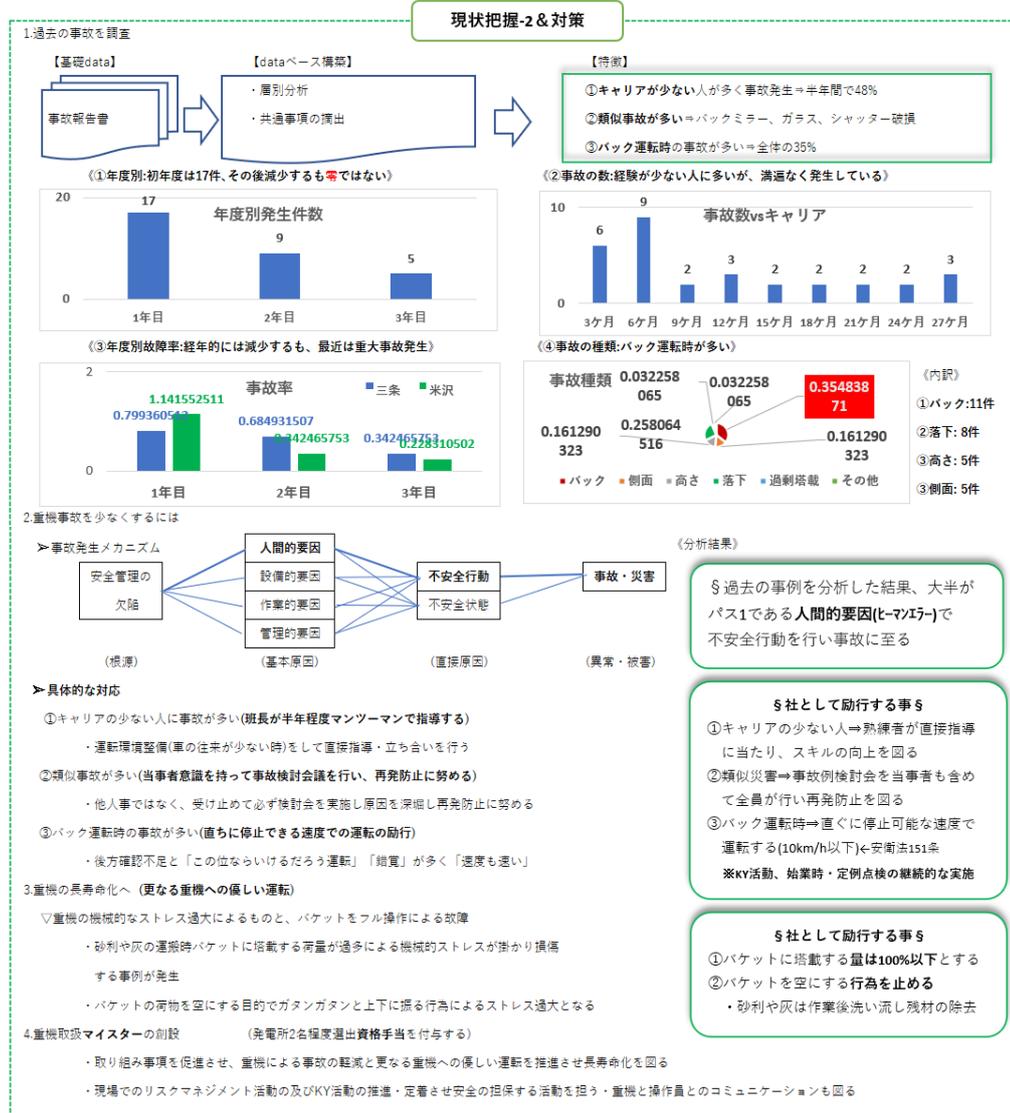


図 4-5-3 現状把握および対策

¹「製造業のための生産管理入門」構造計画研究所 HP より引用

<https://solution.kke.co.jp/adap/news/000850.html> (2022年2月15日閲覧)

4.6 問題解決の視点

【要旨】

発電所の不慮の事故を防ぐため、エンジニアリング力の強化、電子技術の活用、ボイラー給水水質管理充実など体制整備が重要である。的確な予防保全・メンテナンスを、適切な時期に実施することは、コスト面においても大きなポイントである。その為にも適切なデータ、情報について従業員全員に周知(共有)を図り、対応することが肝要である。また、運転シフトが、2名程度の体制であることを、あらゆる面に対応を考慮する必要がある。

【構成】

- 4.6.1 エンジニア 人材の育成
- 4.6.2 的確な設備診断(診断技術の修得)
- 4.6.3 異常事象の探求・解析
- 4.6.4 電子機器の活用
- 4.6.5 ボイラーの余力・排熱で省エネルギー

4.6.1 エンジニア 人材の育成

(1) On The Job(略称:OJT)で

発電所の運転実務で操作の機会を与える。その操作を通して、操作に必要な知識、技術、技能、安全等を、意図的・計画的・継続的に指導して、修得させることによって、全体的な発電所運転能力や力量を育成する。(先輩が、後輩の指導にあたる)

(2) 提案制度の導入を

常に発電設備と向き合っている、第1線運転員を対象として、『改善提案』『小集団活動』制度を積極的に運用して、発電所員の『やる気』の向上を図る。

(3) エキスパート意識

発電所では基本的に運転員は少人数であることから、ボイラー、タービン、電機、用役部門等を、運転員がオールラウンドプレイヤーとして、勤めているのが通常の発電所と思われる。その様な体制の中にあって、『ボイラー担当者』『電機担当者』等を指名する。見学会や講習会へ、参加の機会が生じた場合は、その担当者に優先参加させて、エキスパート意識を強く持たせて、自己研鑽意欲を図る。

(4) 資格取得を奨励

発電所業務に関する、資格(ボイラー技士、ボイラー整備士、電気主任技術者、電気工事士等)取得を、奨励して、資格取得で、基礎知識・技能修得を図る。

表 4-6-1 発電所業務において有用な資格

発電所業務において有用な資格 例:ボイラータービン主任技術者
ボイラー技士
ボイラー整備士
電気主任技術者
電気工事士
公害防止管理者(大気・水質・騒音・振動)
クレーン運転士
劇毒物取扱責任者
玉掛け技能講習修了
フォークリフト運転技能講習修了証
エネルギー管理士
危険物取扱者(甲・乙1~6)
酸素欠乏危険作業主任者

4.6.2 的確な設備診断(診断技術の修得)

(1) 日常点検

日常点検においては、以下の2点を意識して、指導し、修得をさせる。

- ① 各機器の点検項目、点検部位(トラブル事例を加え)

② 各データの確認項目(特にデータの変動傾向。事例)

(2) 定期点検

発電所の健康診断を適宜実施。診断結果で必要な治療を施して、発電所の稼働率の向上、延いてはメンテナンス費の節減に繋いでいきたい。

そのためには、健康診断の診断技術を、発電所員挙って修得に励んでいきたいものである。

《事例 発電所における大規模設備診断技術》

ボイラーで、最も過酷な条件の部位は、蒸発管、過熱管(呼び径:約25A~80A)であり、僅か肉厚が3~5mmで、内部は蒸気圧力3~5MPa、外部は約500℃以上の燃焼ガスに、晒されている。

この蒸発管・過熱管の設備診断は、

- ① 管の肉厚測定
- ② 管内外面の付着物の組成・厚み
- ③ ボイラー内面の化学洗浄の方法・時期
- ④ 管の経年劣化(余寿命)診断

これ等について観察・検査等を実施し、解析を行う。メンテナンスとして、毎年肉厚測定を行い、5~10年毎に蒸発管・過熱管の抜管(管の一部:蒸発の激しい部位。長さ約300mm)を行って、そのサンプル管の内面付着物の厚み測定、付着物の組成分析を行い。ボイラーの水質管理の評価を行う。

ついで、ボイラー内部の化学洗浄の方法・実施時期を決めて、化学洗浄を実施する。

また、抜管の材料機械試験を行って、経年劣化度を確認の上余寿命判断をして、ボイラー蒸発管・過熱管等の更新を計画する。

以上が、発電所における大規模設備診断技術例である。

他の機器の、通常行われる耐圧試験、漏れ試験、設備(回転機等)開放目視検査等も、設備診断である。

これらの設備診断を設備毎に診断方法、インターバル等を定めてその都度的確な設備診断(発電所の特徴ある診断技術を加えることが望ましい)をして必要な処置を行って、「問題なし」を確認して設備運用を再開する。

各機器の設備診断技術を明確にして、設備診断要領書に纏めて活用し、都度要領の改善を加える様に努めたいものである。

これが、予防保全・メンテナンスのポイントである。

4.6.3 異常事象の探求・解析

異常事象を、より早く発見し、的確な原因を究明して、より早く適切な対策実施が、予防保全・メンテナンスの基本である。

(1) データ解析 (データが、全てを教えてくれる)

電子機器で蓄積されたデータを、積極的に活用すること・

- ① 異常事象を関係者から委細に亘り状況を聴取する(経時的に整理)
- ② 1秒間データを活用(4.6.4.(1)項参照)
- ③ グラフ化(多量の数字を並べるよりも、グラフ化(トレンドグラフ))
- ④ 関係者にデータを紹介し、照会に努める

(2) 情報収集・交換

垣根を越えた情報交換 “Give & Take”常に、他社・他発電所、メーカーとの情報交換に努める(当発電所の『情報を明確に紹介しないと、ほしい情報は頂けない』は、当然のこと)。

(3) ヒヤリハットは、忘れてはならない。活用すること。

『ヒヤリハット』は『異常事象』である。

職場での、ヒヤリハットは、話題にはなるが、忘れられていく。その後、そのヒヤリハットが異常事象であったことに、気付くことが多い。

少なくとも、記録に残し、適宜チェック出来る様に努めたいものである。

4.6.4 電子機器の活用

21世紀、電子機器の発展は、目を見張るものがある。この電子機器を、我々は積極的に活用することである。

(1) データの蓄積・活用

発電所の運転データは、現在では100数十点のデータを1秒間毎に採取して、約数年間蓄積されている(1秒間データ:1秒間毎に瞬時値を記録したもの)。

《事例 データの活用により瞬時的な変化を把握する》

機器の異常が発生して、その異常原因の究明に取り組んだが、明白な原因を掌握出来なかった。機器に出入りする、蒸気・水の圧力・温度の1秒間データをグラフ化した瞬間に原因が判明した。機器内で瞬時的(5～10秒間)に圧力温度が変動していた。運転員の目にはその瞬時的な事象は残っていなかった。

1秒間データが“貴重な事実”を、教えてくれたのである。

(2) 電子端末機器(タブレット、スマートフォン等)を活用

運転員が、毎日数回発電所をパトロールして、運転中の機器点検、温度・圧力・流量・モーターの電流等を測定し、巡回記録用紙に記録している。

この巡回にタブレット・スマートフォン等を携行活用して、測定値をタブレット等に入力すると、前回値との関係、管理値の位置付け等を、グラフ等で、巡回者に訴えて、場合によっては必要な処置が直ぐ行なわれる。データは生きたデータとして活用される。

巡回者の能力に関係なく適切な処置が迅速に行われることとなる。



図 4-6-1 巡回点検

(3) 機器メーカーへ、オンラインで運転データを開示

タービンメーカーへ、運転データをオンラインで送って、メーカーはデータをチェックして、運転上改善(要注意点等)や、アドバイス等が報告される。発電所にとって、メーカーのアドバイスは、貴重である。メーカーは、自社製タービンの連続運転データが得られる。双方にとってメリット大である。

(4) 不調機器を集中監視

運転中の補機器で、要注意事象(燃料輸送、炉内燃焼不良、温度高、液位変動、振動大等)が発生した場合、直ぐに現場にカメラ、センサー等を取付けて、制御室に送信し集中監視(燃焼状況、温度値の変動等)に努め、大事に至るのを回避することができる。なお、カメラ、センサー、モニター等は、簡易に取付けて活用可能な設備であることが必要。

(5) ボイラー給水水質分析データ判断における”禁句“

この分析データ判断に、禁句がある。

- ①分析エラーだ
- ②その程度であれば問題無い
- ③そのような値は有り得ない、異常値だ

等である。分析結果＝異常値の場合は、即、再分析が原則。常に心したいものである。



図 4-6-2 分析データ判断における”禁句“

《事例 ボイラー給水水質管理の充実》

ボイラー給水水質管理の不備で、ボイラー蒸気管等の腐食減肉で漏洩事故事例が数多くある。そしてボイラーへのダメージも大きいことも特筆されている。

毎日 ボイラー給水・ボイラー水等の分析(PH、電導度等)を行い、管理値内であることを確認する(加えて、脱気器の正常運転確認:給水の脱酸素も)。この地道な職務ではあるが、その重要性を認識願いたい。

定期点検等で、ボイラー停止時、ドラムを開放してドラム内の『綺麗な黒色』(水質管理良好を証明)を見た時の感激は、ボイラー水質管理者しか味わえない。

4.6.5 ボイラーの余力・排熱で省エネルギー

発電所が所在する地域社会の求める熱エネルギーと、バイオマス発電所が持つ格安エネルギーのマッチングに努めて、バイオマス発電所の持てるエネルギーの余力・排熱活用を図っていきたいものである。

地域社会への、供給可能な熱エネルギーは、

(1) 蒸気又は高温水:農産物ハウス等の暖房用 重油・灯油等に変えて、安価な熱源(タービン抽気(蒸気)供給の場合は、発電所効率向上を伴い効果大)

(2) ボイラー排ガス:農産物ハウスの暖房用熱源に活用(ボイラー排ガスは煙突より

約150℃で放出されており、熱源費ゼロと評価される。熱交換器で温水にして供給)

(3) 地域社会とバイオマス発電所が共同で、受給条件を工夫すれば、必ずや“Good Idea”が誕生する。

(5.5 熱利用の方策参照のこと)

第5章

経営改善

(エネルギー合理化/経営効率化)

第5章 経営改善(エネルギー合理化/経営効率化)

5.1 発電所の経営改善について

【要旨】

燃料生産から発電、電気の供給までを一つのシステムとして考えると、その核となる発電所において、いかにコストダウンを実現できるかという課題は、バイオマス発電所の経営効率の強化、バイオマスサプライチェーン全体への利潤の最適配分という効果だけではなく、国民負担に支えられたシステム全体の最適化につながるものである。

【構成】

5.1.1 木質バイオマス発電所における経営改善の意義

5.1.2 経営上の課題へのアプローチ

5.1.1 木質バイオマス発電所における経営改善の意義

(1) エネルギーシステムにおけるバイオマス発電所の位置づけ

また、木質バイオマスのエネルギーシステムの中で発電所はその単体で存在するわけではない。林業・農業を起点とした燃料サプライチェーンとつながり、汎用性の高い、高次のエネルギーである電気に変換し、電力システムを通じて需要家に供給する。そして得られた利潤を燃料側に再分配していく。一連のシステムのまさに核となるのが木質バイオマス発電所なのである。

発電所が効率的に経営されることは、発電所自身の経営柔軟性を高めるだけでなく、一連のシステム全体の柔軟性を高めることにつながる。木質バイオマス発電所の経営を効率化することは、発電所単体の経営のみならず、利活用システムの最適化につながるものであることを意識して、取り組むことが有効であろう。

(2) FIT 制度とバイオマス発電

FIT 制度のもとでは、木質バイオマス発電所その買取期間に渡り、プレミアムが付加された固定価格での売電が可能となっている。この価格設定は、再生可能エネルギーの導入を促し、再生可能エネルギー由来の電気の供給量を拡大を目指すという目的によるものである。

また、単に導入量を伸ばすだけではなく、それにより技術や運営ノウハウの成熟化を図ること、より高効率で利便性が高く、社会にとって有益な再生可能エネルギー利活用システムとしての機能を発揮することが長期的には求められている。

こうした目的・背景を踏まえ、エネルギー的にも、コスト的にも無駄やムラ、無理のない仕組みとしていくためには、エネルギー変換装置としての技術だけでなく、システムとしての成熟化が求められる。

(3) 木質バイオマス発電所における運営ノウハウが持つ価値

木質バイオマス自体は、自然由来であるがゆえに品質や性状にばらつきが大きい。このような商慣行も複雑な木質燃料を取扱ながら、工学的な仕組みとしての安定性を確保する運営ノウハウの確立が、木質バイオマス利活用システムの成熟化には欠かせないものである。

この運営ノウハウは、まさに稼働している発電所の日々の運営の中で、培われていくものであり、これまで高い品質を誇る日本の火力発電所において経験的に積み上げられてきたものから多くの示唆を得ることができる。

しかし、一方で、木質バイオマス発電所は、設備規模・経営規模、燃料の性質、運営体制など既存の火力発電所と異なる特徴があり、導入が進む各発電所における日々の努力によって、木質バイオマス発電所の固有のノウハウが積み上げられ、運営技術の成熟化が進むことが期待される。

5.1.2 経営上の課題へのアプローチ

(1) 経営改善の必要性

木質バイオマス発電所は FIT 制度の下で、収益性が確保され、リスクが軽減されている、と考えられている。確かに、FIT 制度以前、木質バイオマス発電という事業形態がまだまだ少ない時期においては、事例が少なく、事業の様々な局面において大きなリスクにさらされる状況であったことに比べると、隔世の感がある。

しかし、「20 年間の買取価格が固定されている」とはいえ、発電事業そのものは、時間の経過とともに、様々な変化の波にさらされる。燃料価格や人件費、資材などの市況だけではなく、発電設備そのものも経年的に老朽化していく。その中で発電所の経営を常に良好な状態に保つためには、まるで降りていくエスカレーターを駆け上がるように、日々の事業運営の中で、継続的かつ持続的な経営改善を実施しつづけることが、必要である。



図-5-1-1. 持続的な経営改善を実施

(2) 経営改善の方向性

発電事業の場合、一連のシステムにおいてエネルギー変換部分を担う発電所の効率性、コスト面では経営効率性、エネルギー面では発電効率やEPT(energy payback time)がシステム全体の効果を左右することになる。

特に、発電プラントの運営改善はこの両面に係る有効な方策といえる。

発電コストダウンに関しては、ランニングに占める燃料費の割合が喧伝されがちであるが、燃料費は、特に国産材の場合においては、地域の森林整備や伐採・加工・輸送など地域で燃料材の生産・流通にかかわる主体に還元される性質のものであるため、過度に安価を求めていくのは健全ではない。

そのため、発電所の経営効率を高めるためには、徒に燃料費の削減を目指すのではなく、総合的なコスト対策を実施することが望ましい。

(3) 改善検討の優先順位とターゲットの絞り込み

発電所の運営を支える様々な経費はいずれも、運営のために必要なものばかりあるが、中には習慣的にコストが掛かり増しになっているもの、経験による知見が蓄積されることで削減が可能となるものもある。

改善の検討においては、まずは現状を把握し問題点を抽出、仮説を立て(Plan)試行(Do)

し、検証(Check)して方法論として本格的に実行(Action)していく、いわゆる PDCA サイクルを回していくことが重要である。

また、いくつもの課題に直面している場合には、どれを優先的に着手すべきか評価するプロセスを手前で実行することも限りある経営資源を活用して最大の効果を得るためには有効であろう。

5.2 バイオマス発電所採算シミュレーターを用いたコスト最適化の検討

【要旨】

規模と原料など条件を変えた木質バイオマス発電所の運営コストを模擬想定して、市場の卸売電価格と比べると、最も条件のよい大規模な木質バイオマス発電でも競争電力に位置づけることができない。地域経済波及効果など他の社会的価値を訴求する必要がある。

【構成】

- 5.2.1 FIT 制度の抜本見直し
- 5.2.2 木質バイオマス発電の事業性を予測する
- 5.2.3 シナリオの設定条件、評価結果
- 5.2.4 採算性に影響を及ぼす因子は？

5.2.1 FIT 制度の抜本見直し

2012年7月より固定価格買取制度が始まり、2010年度に9%であった年間発電量に占める再生可能エネルギーの割合は、2019年度に18%となった。一方で、再生可能エネルギーの導入に伴って増加する賦課金が大きな問題となり、2022年度からはFIT制度に加え、市場価格にプレミアムのみを上乗せして交付するFeed in Premium制度（FIP制度）が創設される。経済産業省は、大規模太陽光や風力等市場競争力が高く成長が見込まれる電源については、FIT制度（入札）ならびにFIP制度により「競争電源」として更なる普及を図り、需要地に近接して柔軟に設置できる電源や地域に賦存する資源を活用できる電源（地域活用電源）については、FIT制度の中で中長期的な自立を促す、という電源の特性に応じた支援を目指している。

地域活用電源とされるのは、一定の要件を満たす小規模太陽光、小規模水力、小規模地熱およびバイオマスである。その要件には、電力や熱の自家消費あるいは地域消費、災害時を含む電気または熱の当該地方公共団体内への供給、発電事業に対する地方公共団体の関与（事業主体としてあるいは出資者として）が挙げられている。新たなFIT制度では、各電源に対してエネルギーの地産地消やレジリエンス強化への寄与が求められ、適合しなければこれまでのような高い単価で電力を販売することはできなくなる。

5.2.2 木質バイオマス発電の事業性を予測する

バイオマス発電は他の再生可能エネルギー電源と異なり、発電に際して燃料が必要となるものの、自然条件によって出力が変動しないという特徴がある。中でも、木質バイオマスは他のバイオマス資源と比較して調達、輸送および保管が容易であり、熱電併給（Combined Heat and Power、以下、CHPという）が可能であることから、災害時や工場熱源などにおいて安定したエネルギー源となりうる。また、間伐材等森林バイオマスを適切に利用することによって、二酸化炭素吸収量の増大、土砂災害の防止、林業および関連産業への雇用創出など環境や経済に対する様々な効果も期待されている。

持続的な木質バイオマス発電事業および今後の制度設計を検討するにあたり、発電事業やCHP事業の採算性に関するシミュレーションが不可欠である。そこで、森林総合研究所と北海道立総合研究機構林産試験場は、蒸気タービン方式木質バイオマス発電事業の採算性を簡易に評価できるツール（以下、ツールという）を開発し、2017年に公表した。想定する燃料の調達条件やプラント条件などを入力することで、稼働開始から最大40年間の事業採算性を評価できる。ツールを用いて売電価格を変動させた場合の、木質バイオマス発電およびCHPにおける事業採算性の分析結果について紹介する。

5.2.3 評価シナリオの設定、評価結果

我が国の木質バイオマス発電において最も導入容量の多い蒸気タービン方式のシステムを採用する 5 種類の事業を設定して検討を行った。発電のみの事業が 4 つ、売熱も行う CHP 事業が 1 つである (図-5-2-1)。CHP (No.2) は小規模な事業を想定し、年間の燃料消費量は小規模発電事業の No.1 と同等とした。また、熱利用は、隣接の木材乾燥設備への蒸気の供給を想定した。抽気による加熱蒸気を変換した飽和蒸気は、150℃強、流量 5 トン/h にて供給する。なお、小規模な CHP とはいえ、この蒸気条件で 5 万m³/年程度のラミナ材の乾燥が可能であり、5 万m³/年の乾燥材を生産する製材工場は、我が国では大型に分類される。No.2 では、発電向けの蒸気供給量が減少するため、発電出力は、No.1 の 1,990 kW から 1,443 kW に減少する。No.3 と No.4 における原料の間伐材等の年間消費量は 7.4 万トン (丸太材積に換算すると約 10 万m³) とした。「間伐材等」の消費量にキャップ(上限)をかけたのは、全国各地で近年みられる丸太の競合状態を想定したためである。さらに、No.4 については、間伐材等のみでは不足であると想定し、PKS (Palm Kernel Shell:アブラヤシの核殻) で補うものとした。各原料の購入単価は、調達価格等算定委員会の調査資料を単位換算して用いた。

表-5-2-1. 設定した発電および CHP 事業

No.	発電出力 (kW)	熱出力 (kW)	事業費 (億円)	原料	
				種類	消費量 (万トン/年)
1	1,990	-	20	「間伐材等」	3.2
2	1,443	3,998	20	「間伐材等」	3.2
3	5,700	-	33	「間伐材等」	7.4
4	9,900	-	49	「間伐材等」	7.4
				「一般木質」 (PKS)	2.7
5	30,000	-	121	「一般木質」 (PKS)	18.3

売電価格については、稼働開始から 20 年目までは 2020 年度の調達価格を設定した。10,000kW 以上の「一般木質」区分の入札による売電価格は、2019 年度に実施された入札上限価格 (19.6 円/kWh) を引用した。事業開始から 21 年目以降の売電価格については、ドイツの例を参考に、当初調達価格よりも最大で 30%安価となる価格 (-10%、-20%、-30%) を全事業で一律に設定した。熱の販売単価には、灯油価格を 80 円/L とし、ボイラー効率 85% の灯油ボイラーで製造した蒸気よりも 20%安価となる蒸気単価を設定した。なお、熱は全期間変動せずに販売する。

以上の基本条件をツールに適用し、その他はツールのデフォルト値を用いて採算性評価を実施した。なお、評価指標は、新規設備投資の可能性については、当初 20 年間の税引前内部利益率 (Internal Rate of Return:IRR) と投資回収期間とした。前者は調達価格等算定委員会等の推奨値、後者は汽力発電設備の法定耐用年数比較し、採算性を判断した。稼働中の発電所の事業の持続可能性については、稼働開始 21 年目の売上高対営業利益率 (以下、営業利益率という) にて判断した。

5.2.4 採算性に影響を及ぼす因子は？(結果と考察)

新規設備投資の可能性について、20 年間の税引前 IRR および投資回収期間の評価結果を表-5-2-2 に示した。売電価格が 2020 年度調達価格のとき、税引前 IRR の中で最も高いものは No.2 の 11.0%、最も低いものは No.5 の 0.5% である。ここで、調達価格等算定委員会の推奨値は、間伐材等 (No.1~3) が 8%、一般木質 (No.5) が 4% である。間伐材等と一般木質の混焼 (No.4) については記載がないが、仮にそれらの中間の 6% を推奨値とすると、それを上回る条件は No.2 と No.4 のみである。一方、No.1 および No.5 の投資回収期間は、汽力発電設備の法定耐用年数である 15 年以内で回収不可能と推定された。

売電価格が 2020 年度調達価格のとき、税引前 IRR および投資回収期間から判断して採算性を見込める事業は、No.2 および No.4 のみである。これら 2 つの事業について、さらに

売電価格の引き下げの影響を見ていくと、売電価格が-10%となったとき、No.4 はいずれの評価指標も推奨値をクリアできなくなった。売電価格が-20%になると、No.2 は税引前IRR の推奨値をクリアできなくなり、売電価格が-30%になると投資回収期間の推奨値もクリアできなくなった。

表-5-2-2.当初 20 年間の採算性

No.		税引前IRR (%)					投資回収期間 (年)				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
売電価格	2020年度調達価格	4.3	11.0	7.3	9.9	0.5	18	11	14	12	回収不能
	-10%	-0.4	8.4	1.8	4.5	-7.3	回収不能	13	回収不能	18	回収不能
	-20%	-7.1	5.7	-6.4	-2.5	算出不能	回収不能	15	回収不能	回収不能	回収不能
	-30%	算出不能	2.7	算出不能	算出不能	算出不能	回収不能	20	回収不能	回収不能	回収不能

注) 灰色の網掛け：

税引前IRR；No.1~3が8%未満、No.4が6%未満、No.5が4%未満

投資回収期間；16年以上

次に、現在稼働中の発電所の事業の持続可能性について、売電価格を 2020 年度調達価格から変動させた場合の 21 年目の営業利益率を(図-5-2-2)に示した。売電価格が 2020 年度調達価格および-10%のとき、全ての事業で営業利益率は黒字であった。営業利益率は、売電価格が-10%のときの No.5 が最も低い (6.6%) もの、2019 年度における電気業の平均値 (3.7%) よりも高い。売電価格が-20%になると No.5 が赤字に転落した。さらに、売電価格が-30%になると No.1、No.3 および No.4 も赤字に転落した。しかし、No.2 は、売電価格が-30%になっても 25%という高い営業利益率を確保した。他方、No.2 の営業利益率の直線の傾きが他の条件と比較して緩やかであることから分かるように、売熱収入が売電価格引き下げによる売上高減少の下支えとなっており、売電価格が-30%のとき、No.2 の売上高のうち 47%が売熱収入だった。

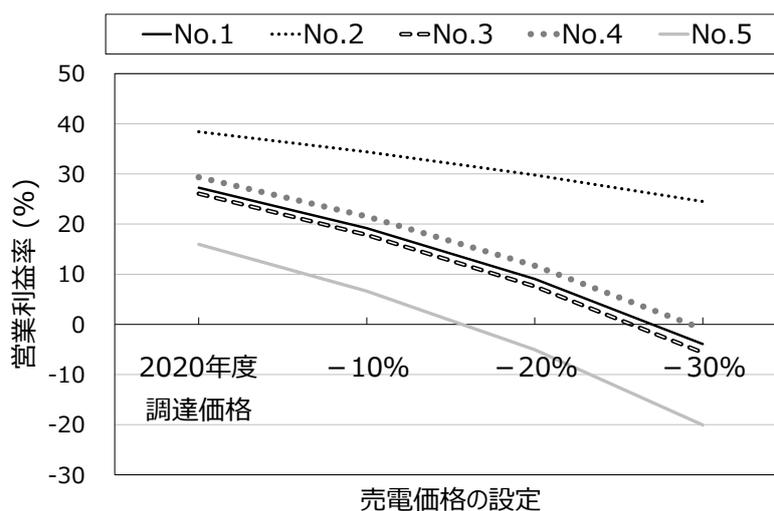
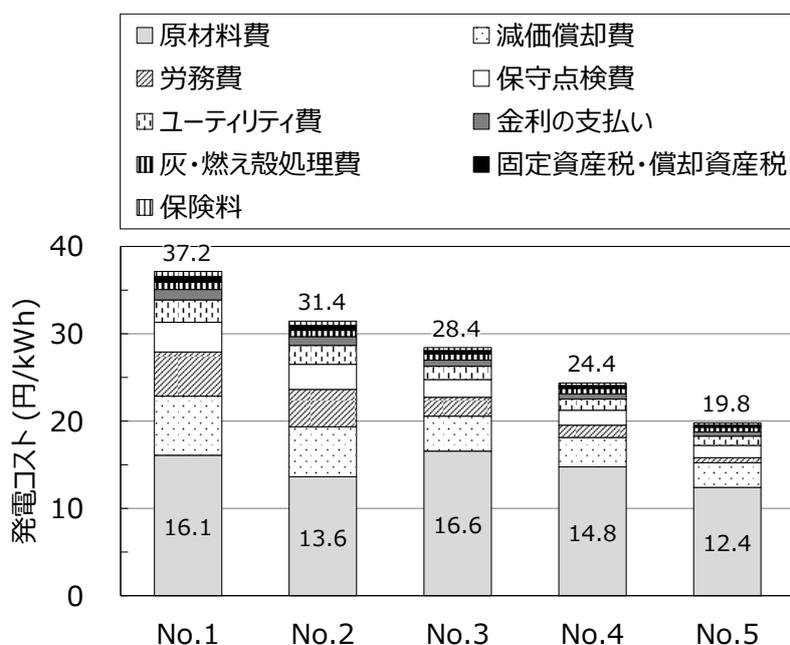


図-5-2-1.売電価格別の 21 年目の営業利益率

ここで、間伐材等を燃料とする 5700 kW の発電所 (No.3) を例として、稼働に係る各種不確実性因子を変動させそれらが税引前 IRR に与える寄与率をモンテカルロシミュレーション (多重確率の模擬実験) により数値化した。変動させる不確実性要素には、①年間稼働日数、②チップ単価、③労務単価、④保守費・点検費率、⑤ユーティリティ費率、⑥保険費率、⑦燃烧灰処理単価の 7 つを設定し、各要素は初期値から一様分布に従って±10%変動 (ただし、年間

稼働日数の上限は 350 日とした) させた。その結果、寄与率は最も高いものがチップ単価 (65%)、次いで年間稼働日数 (32%) となり、この 2 つの因子が全体の寄与率のほとんどを占めることが分かった。年間稼働日数を低下させないためには、突発的な設備停止のリスクの低減、停止からの短時間での復帰が求められ、これには日常のメンテナンス体制や緊急の修理体制をしっかりと構築しておくことが重要である。また、チップ不足、チップのサイズおよび水分など、燃料の量および質に起因するトラブルも起こりうる。十分な量のチップを調達できないために、発電出力を定格値より落として運転した例や、含水率が高いために未利用木材よりもコストメリットの低い PKS を補助燃料として使用した例も確認されている。発電所の採算性確保のために、間伐材等未利用木材の供給量と質の安定化が必要である。一方、チップ単価は、採算性への影響度が大きいものの、一般的に、発電所はチップ原料の価格低減、すなわち、丸太自体の価格低減に積極的に取り組むことが難しい。ただし、寄与率が高いということは、少量、少額であっても、その効果が大きいということである。チップ費の 5 割は丸太およびチップの運搬費が占めているとされることから、これらの低減に注目した取り組みを模索していくことが重要である。

No.1~5 の 20 年間の平均発電コストとその内訳を(図-5-2-2)に示した。発電コストで最も大きな割合を占めるのは原材料費である。最も発電コストの低い No.5 において、仮に原材料費を半減させたとしても約 10 円/kWh という電力卸売市場の取引価格を下回することはできない。すなわち、現在稼働中の 3 万 kW 程度未満の木質バイオマス発電所の経営には、FIT 制度などの何らかの支援が必要であることを示している。



注) No.2の発電コストは、費用を電力と熱の売上高比率で案分して算出した。

図-5-2-2.20 年間の平均発電コストとその内訳

太陽光や風力発電など異なりバイオマス発電を競争電力に位置付けることは現時点では困難であると思われる。そのため、木質バイオマス発電の有する“目に見えるコスト以外の価値”、例えば、地域経済波及効果や温室効果ガス排出量の削減効果等を定量化し、他電源に対する優位性を地域住民、国民へ広く PR していくことが重要である。

5.3 コスト管理手法

【要旨】

どの事業でもコスト管理の手法は、P&L(損益計算)に関して予測と実績の把握をくりかえすこと。FIT 制度により木質バイオマス発電事業売り上げに見通しが得やすいことから、まずはコストの実績評価を繰り返すことがコスト管理の基本となる。

【構成】

- 5.3.1 発電所のコスト項目の整理
- 5.3.2 コスト管理の考え方
- 5.3.3 コスト管理の手順

5.3.1 発電所のコスト項目の整理

一般的な経営管理の分野におけるコスト管理の手法は、数字にて管理できる故、過去から様々な角度から大量に取り上げられており、今更のこの場で言及することは意味がない。それでは、今回のテーマである「木質バイオマス発電におけるコスト管理手法」とは一体何をとり上げればよいか悩んでしまうところである。

極めてオーソドックスであるが、基本は、P&L「予算」と「Projection」(損益計算に関する予算と予測)、それと「前年対比」である。

この手法の何が優れているかというと、常に自分の位置が把握できる。現実を直視できる。ということであろうか。

飛行機を操縦と同じようなことだろうと推測できる。「予算」は飛行計画。離陸前に気象情報を取り込み運行経路や速度、着陸時刻の予測などがこれにあたる。「Projection」は、実際に離陸した後、常に変化する気圧や風向などによって飛行計画と差異が生じるが、その差異を踏まえこれから着陸までの運行経路を修正しながらの飛行となる。「前年対比」は、過去のフライトと何が違うかの確認である。例えば、過去に経験した乱気流や台風と今日は何が違うのか、前はどのように対処したのか、など。それらの状況について、「感」で対処するのではなく、「数値」で管理することが重要なのである。

5.3.2 コスト管理の考え方

ではそれについて、実績と予算の差異分析を例に取り上げて下表に示す。

表-5-3-1.参考 case における PL(通常の表示)

Case:中規模木質バイオマス発電所 (単位:千円)			
	実績	予算	B/(W)
電力売上	1,350,000	1,300,000	50,000
燃料仕入	760,000	700,000	(60,000)
燃料加工費	80,000	70,000	(10,000)
人件費	95,000	90,000	(5,000)
砂・薬品	12,000	15,000	3,000
重油	2,500	3,000	500
購入電力	8,000	10,000	2,000
用水	2,600	3,000	400
灰処理費	50,000	24,000	(26,000)
修繕費	70,000	55,000	(15,000)
減価償却費	150,000	150,000	0
保険	6,000	5,000	(1,000)
その他原価	3,000	5,000	2,000
製造原価合計	1,239,100	1,130,000	(109,100)
粗利	110,900	170,000	(59,100)

この Case では予算において年間 170,000 千円の粗利を計画してたが、実績が 110,900 千円と予算を下回ってしまっている、という場合を扱う。

手法としては、まず、これを表5-3-2のようにコスト項目の差異の大きい(悪い)順に並び変える。

表-5-3-2.参考 case におけるコスト項目を差異の大きい順に並べ替えたもの

コスト分析	(単位:千円)		
	実績	予算	B/(W)
燃料仕入	760,000	700,000	(60,000)
灰処理費	50,000	24,000	(26,000)
修繕費	70,000	55,000	(15,000)
燃料加工費	80,000	70,000	(10,000)
人件費	95,000	90,000	(5,000)
保険	6,000	5,000	(1,000)
減価償却費	150,000	150,000	0
用水	2,600	3,000	400
重油	2,500	3,000	500
購入電力	8,000	10,000	2,000
その他原価	3,000	5,000	2,000
砂・薬品	12,000	15,000	3,000

金額のインパクトが大きい順番に手を付けていくことが基本であるため、1. 燃料仕入、2. 灰処理費、3. 修繕費、4. 燃料加工費、これらを順に改善する方法を検討し、実行に移す。あとは、

トライ&エラーを繰り返しながらそれがノウハウとなって身に付いていくことになる。

ここで重要な点として、金額インパクトの小さな項目に先に手を付け時間を掛けることは、止めるべきである。「切り捨てる」という行為が重要で、それに固執すると成果は得られない。なぜならば会社という組織においては、一人ひとりに与えられている時間は限られているからである。逆に「切り捨てる」ことによって、「対処すべきこと」がより明確に絞られることになり、その結果として「成果」が上がることになる。このことが、頭では理解しても身に付いている人は少ない。得意なことから先にやる人や場合も多いものである。

また日本人は仕事が丁寧である。特に一昔前は、文書の体裁にもとても厳格で、例えば文頭を一文字下げるとか文書1通作成するにもそれなりの時間を掛けていた。

外資系企業を例にとると、アメリカ人のボスに、朝から重要な仕事をやっていないと怒られ、「何で今、その仕事しているのか？」と聞かれる。そして、いつも残業している日本人社員に理解を示さず、むしろ嘲笑な感じを受けることさえ…。

これは一例であり、企業文化などにより多様であろうが、いずれにしても業務上求められるものは何か、優先順位をどのように付けて効果的に動くか、ということが求められるという点では共通している。

5.3.3 コスト管理の手順

仕事の効率化の話とコスト管理の手法とは少し論点が異なるかもしれないが、日本人が得意とする「時間を掛けてより良い製品を作り上げ、その結果として完成度の高い世界で唯一の製品を創る仕事のやり方」と対極にあるのが、“仕事の効率化”であるといえる。会社組織で取組むコスト管理の手法は後者の考え方で取組む必要がある。

最後に、木質バイオマス発電事業の特徴を捉えながらコスト管理について総括すると、

① 木質バイオマス発電が他の製造業と違う点は、「売れ残りがない」こと

電気は作り置きできないので、在庫を持たない。製造した瞬間に都度送電(販売)できる商売は、他にない素晴らしい優位性である。

② 製品の陳腐化がないこと

FIT 制度における電気という商品の特性として、少なくとも20年間、同じ金額での販売が約束されていることは大きな意味を持つ。

この2つの大きな優位性を生かして、つまり販売の心配をする必要がないのであるから、経営者は製造コストのことに集中すればよい。

あまり面白くない結論のようではあるが、近道はなく「決められたことを、手を抜かずに継続すること」がコスト管理手法の答えとなる。

5.4 発電所の”省エネルギー”

【要旨】

木質バイオマス発電所において省エネルギー(エネルギー使用合理化)を実現することは、発電に必要な投入エネルギーを削減し、供給できるエネルギーの量を増加させることにつながり、エネルギー密度の低いバイオマスを燃料とするために発電効率の向上に限界がある木質バイオマス発電において、より効果的なエネルギー資源活用が追加的に実現できる、有効な方策である。

【構成】

5.4.1 木質バイオマス発電所におけるエネルギー管理

5.4.2 所内率の向上がもたらす効果

5.4.3 検討のプロセスとその留意点

5.4.1 木質バイオマス発電所におけるエネルギー管理

発電事業の場合、一連のシステムにおいてエネルギー変換部分を担う発電所の効率性、コスト面では経営効率性、エネルギー面では発電効率やEPT(energy payback time)がシステム全体の効果を左右することになる。

エネルギー的にも、コスト的にも無駄やムラ、無理のない仕組みとしていくために、日々の運営で培った技術力、問題解決能力が役立てていただきたい。

5.4.2 所内率の向上がもたらす効果

発電所内の省エネルギーにおいて、「所内率の向上」を定量的な目標として挙げることができる。

ポンプ、ファン類のインバーター化は、小規模な木質バイオマス発電分野でも比較的、導入が進んでおり、基本仕様としているメーカーも多い。稼働状況を定点的に観察していく中で、設備改修を伴わない、使用方法・使用条件の見直しでも案外、大きな効果を得ることができる。また、事務所棟内のちょっとした省エネ行動も小さな積み上げが効果につながることもある。

ハード面では、設備導入初期では難しいが、数年間の運転実績を積み重ね、改修を実施するというケースが多いようである。

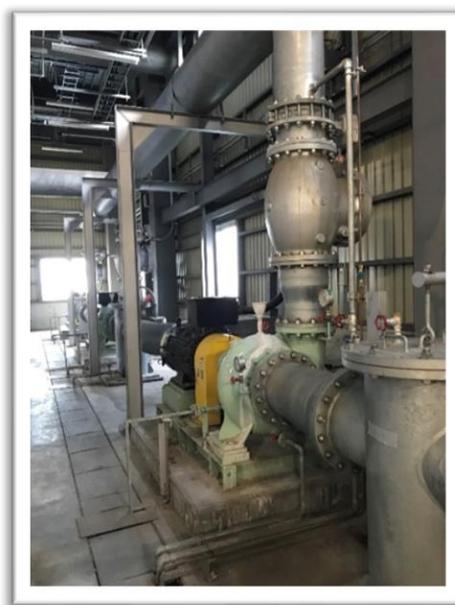


図-5-1-1.DS グリーン米沢南発電所では、冬場は冷却水ポンプを一系統停止している

5.4.3 検討のプロセスとその留意点

目標を設定し、データをにらみつつ、改善方策を検討するプロセスにおいては、所内の検討体制に則って、PDCAサイクルを回していくことが基本となる。

日々の運営の中で、気温・気圧・湿度等の変化や、燃料の状態など、季節ごとに移り変わる変化に対応して、過剰となっているものがないか、エネルギーの無駄を洗い出すことで抽出した課題を、試行していく過程では、運用(ソフト面)の対策だけでなく、設備改修等(ハード面)の対策も俎上に上ってくる。

以下、省エネ対策を進めるプロセス上の留意点について整理する。

① 省エネ方策のコストと効果について説明する

追加コストの投入がそれほど大きくないソフト面に比べ、設備投資を伴うハード面については、当然のことながら事業会社内の意思決定プロセスによる決裁を経て、実行されるため、「どのような設備」を「どの程度の投資」で「どの程度の効果」が得られるのか、方策について説明する必要がある。複数のハード対策のどれを優先して実行すべきか、という比較評価をすることで、限られた経営資源を効果的に配置して最大の効果を得られるため、この評価を定量的に説明することが重要である。

② 関係者との連携

設備運用改善・補修等にあたっては、設備の保証条件への影響がある場合も考えられるため、内部での技術検討と併せて、所掌範囲に応じてメーカー・設備納入者との事前相談を行うことが望ましい。

ソフト面、ハード面のいずれにしても、木質バイオマス発電所において省エネルギー(エネルギー使用合理化)を実現することは、発電に必要な投入エネルギーを削減し、供給できるエネルギーの量を増加させることにつながり、エネルギー密度の低いバイオマス燃料とするために発電効率の向上に限界がある木質バイオマス発電において、より効果的なエネルギー資源活用が追加的に実現できる、有効な方策である。

5.5 熱利用の方策

【要旨】

現在、日本で主流の木質バイオマス発電技術は、燃料を直接燃焼し汽力発電を行う方式であり、多くの発電所はより高い収益が期待できる発電効率を最大とすることを指向してきた。しかし、高いものでも30%を超えない木質専焼の場合、熱利用で総合効率が80%近くなることを考えると、ロスなく利用すべきとの声も大きい。

【構成】

5.5.1 木質バイオマス熱利用の意義

5.5.2 熱利用の検討

5.5.1. 木質バイオマス熱利用の意義

(1) 熱利用の可能性

日本の木質バイオマス発電所は、RPS制度下では、比較的安価な建設資材廃棄物由来のリサイクル燃料を利用し、製紙業、製材業、食品産業等、工場のプロセス蒸気を得るために自家発電として導入されたものも多い。これらの設備では、高圧蒸気をタービン手前で抽気する方式が取られてきたが、FIT制度以降は、電気の買取条件の良い未利用材や一般木質由来の燃料を用いて、より高い収益を求めて発電のみの効率を最大化する設備が選択される傾向が見られる。しかし、木質バイオマス資源の持つ熱量を最大限に生かすならば、高いものでも30%を超えない木質専焼よりも総合エネルギー効率が80%近くなる熱利用を行うべきという声は根強い。

FIT認定発電所でも熱利用を行う事例はいくつかある。

FITの買取価格が高い水準にあるため、電気は外部に供給し蒸気を自社工場で利用するケースにおいては、比較的安価に利用できる燃料を利用できるとしても、売電という収益機会が減じられる分、覚悟が必要であるが、自社工場におけるGHG負荷を軽減する、何らかの理由で化石燃料を軽減しなければならない、など、目的に積極的な利用を目指すという背景があると考えられる。

また、廃温水を地域貢献策としてバス停の床暖房、農業ハウスに無償で供給するケースや¹グループ会社で経営する錦鯉の養殖に利用しているというケースもある。²廃温水を利用する場合には、温度もそれほど高くはないが地域の農業等と結びつき、いわゆる”6次産業化“(1・2・3次産業を組み合わせ、シナジーを生む)で効果を発揮すると期待される。



図 5-5-1 発電所の廃熱を利用する錦鯉の養殖³

(2) 熱利用のリスク

廃熱を有価で販売できれば、収益増を期待できるが、外部へ供給する場合にはリスクにも注意しなければならない。特に、資本関係のない第三者に供給する場合、供給責任を求められる(バックアップを用いても必ず供給する責任を負う)ことや、契約上のリスク(万が一、供給できない場合の補償など)がある。

それだけではなく、熱供給は熱導管など設備投資が必要になるため、それらをどのように分担するのか、もし供給先が途中解約して事業を撤退した場合にどうするか、などのリスクについても洗い出したうえで、契約条件を検討することが必要となる。

また、熱の条件次第では、発電効率が影響を受けることもある。技術上の制約がないかも確認すべき要素である。

5.5.2 熱供給の検討

熱供給を検討する際に以下の点に注意し、事業スキームおよび事業性の検討をおこなう。

① 熱供給先

熱を供給する相手先(自社利用、グループ会社など資本関係にある需要先、資本関係のない第3者、公共セクター、民間企業など)

② 熱需要の条件

熱需要先との関係・熱需要の規模・熱形態(蒸気・温水・低温水)・熱負荷(年間の負荷、日負荷)・代替する燃料の現在のコスト

③ 必要なコスト

必要な設備投資・ランニングコスト(追加的な電力消費など)・考えられるエネルギーロス

④ 事業リスクの有無

※前項参照

必要な設備投資・ランニングコスト(追加的な電力消費など)・考えられるエネルギーロス

⑤ 収益

熱の対価として得られる売上・環境価値などの付加価値・地域貢献など、金銭的には置き換えられないが実施することにより期待できる価値

熱利用を行う場合、またそれを外部に供給する場合には、事前に十分な検討が必要である。特に第3者に熱を供給する場合には、供給責任が伴う。事業を開始してから問題が発生すると、二次損害などの影響も大きくなるため、事業開始前に十分な検討を行う事をお勧めしたい。

¹事例集を参照のこと。

²グリーン発電会津では、グループ会社が隣接地で廃温水を活用し錦鯉の養殖し、インターネットで販売している。

³株式会社鱗 HP より <https://uroko-koi.co.jp/> (2022年2月18日閲覧)

第 6 章

地域共生・レジリエンス強化

第6章 地域共生・レジリエンス強化

6.1 地域において期待される機能と役割(地域経済分析)

【要旨】

バイオマスエネルギー事業は、周辺地域に与える経済的メリットが大きい。地域経済波及効果を評価する方法が確立しており、自治体その他地域関係者からの支持を得て協力体制を構築するために有効であり、事業の持続性・安定性に寄与すると考えられる。

【構成】

- 6.1.1 バイオマスエネルギー利用が地域に与えるメリット
- 6.1.2 地域経済効果の主な手法
- 6.1.3 バイオマス発電における地域経済効果の例

6.1.1 バイオマスエネルギー利用が地域に与えるメリット

バイオマスエネルギー事業は、安定的な原料・燃料調達体制の構築や多様な関係者との合意形成など、他の再生可能エネルギーにはない特有の難しさが存在する。しかし、こうしたサプライチェーンやステークホルダーの課題は、裏を返せば、バイオマス事業が周辺地域に与える経済的メリットが大きいことを意味している。

6.1.2 地域経済効果の主な手法

(1) 地域経済波及効果の評価方法

地域経済波及効果を評価するための代表的な手法として以下の3種類が挙げられる。

① 産業連関分析

産業連関表は、作成対象年次の1年間において、財・サービスが各産業部門間でどのように生産され、販売されたかについて、行列(マトリックス)の形で一覧表にとりまとめたものである。具体的には、他の部門から原材料や燃料などを購入→加工して他の製品を生産→他の部門に販売といった、ある産業部門の生産活動に関与する他の産業部門をマトリックスとして整理している。これをもとに行列計算を行うことで特定事業の新規導入による経済波及効果を試算することができる。

バイオマス事業においても、製品の購入から建設、燃料調達、保守管理等の工程に関連する事業者が多く存在するため、事業の開始に伴う経済波及効果をマクロ的に評価するには適した分析手法であるといえる。一方で、産業連関表は作成に時間を有するため、都道府県レベルの産業連関表で2022年1月時点に入手可能なものは2015年版が最新であり、古いものにならざるを得ない欠点がある。

② LM3

LM3(Local Multiplier 3)はある地域内で事業を開始したことで循環する金銭を3巡目まで追跡し、計測する手法である。1巡目では事業者の収入を、2巡目では事業者が収入から地域内の従業員や関係事業者を支払った金額を、3巡目では地元の従業員と取引事業者が地元で使用した金額を推計する。

2巡目までの推計には開始する事業の経済性評価や実績を用い、3巡目の推計を行う際にはアンケート調査等を実施するのが一般的である。LM3は最終的に「1巡目から3巡目までの合計金額÷1巡目の収入」で求められ、仮に1巡目で得られた収入がすべて地域内で循環をすればLM3は3.0と最大値になる。

このように単一の指標を用いて複数のケースや地域を明快に比較することが可能であり、

既に一部の事業ではバイオマス事業の評価に活用されている。

③ 産業連鎖分析

ドイツのエコロジー経済研究所(IOW)が再生可能エネルギー導入の結果もたらされる地域経済効果を評価する手法として開発したもので、再生可能エネルギー事業の設計から運転・維持、事業マネジメントまでの産業連鎖(サプライチェーン)を明らかにしたうえで、各工程に関与する事業者から創出される①企業の利潤と②従業員の給与、③企業と従業員によって支払われる税収入の3点を合計した地域経済効果を算出するものである。

日本国内においても、本手法を用いた地域経済分析がラウパツハ・スミヤ ヨーク、中山 琢夫(2015)「再生可能エネルギーが日本の地域にもたらす経済効果 — 電源毎の産業連鎖分析を用いた試算モデル —」でなされている。本手法は NEDO「バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業」で導入されており、以下では本手法に基づく地域経済への効果の考え方について記載する。

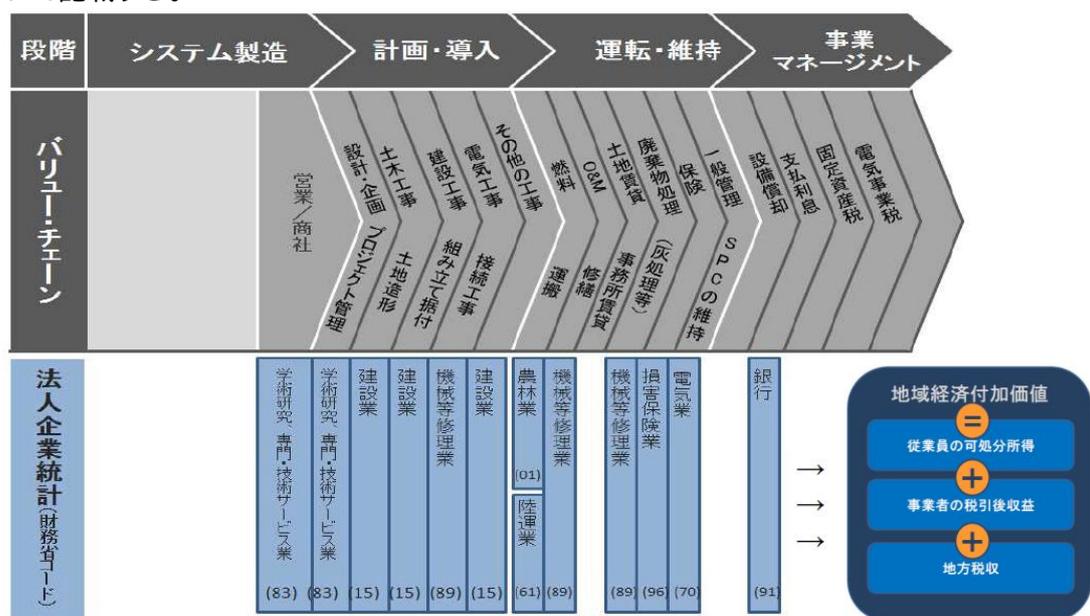


図-6-1-1. IOW の地域経済付加価値モデルの基本概念¹

6.1.3 バイオマス発電における地域経済効果の例

(1) 地域において期待される効果

産業連鎖分析では、バイオマスエネルギー事業が地域へ直接的な経済効果をもたらす主要な要素は、以下の8種類に分類することができる。

- ① プラント運営者自身の利益
- ② 建設関連の地域内事業者利益
- ③ 運転・維持関連の地域内事業者利益
- ④ 雇用効果(従業員可処分所得)
- ⑤ 自治体地方税
- ⑥ 地域内金融機関利息収入
- ⑦ バイオマス資源の売上や製造・流通・処理
- ⑧ バイオマス事業開始後の電気料金・熱料金の削減効果

このうち、①から⑥は太陽光や風力をはじめとするその他の再生可能エネルギー事業と共通する。しかしながら、バイオマスエネルギーの場合は、地域内原料を利用する場合、その原料および燃料サプライヤーの売上や、特に廃棄物系バイオマスの場合は処理費用の削減分についても主要な地域経済波及効果の要素となる。さらに、系統電力への送電ではなく自家消費

や隣接する施設等に電気または熱を既存価格より安価に供給する場合は、それまで当該施設のエネルギーコスト削減分も地域経済波及効果に追加されることになる。

下図は 5,000kW の森林未利用材による FIT 発電所における 20 年間の地域経済波及効果の各要素と関係者間のキャッシュの流れを試算したものである。ここでは国内某事例に基づき発電プラントの地域内出資比率を 20%とした場合、発電所自体の地域内事業者利益は 20 年間で約 15.6 億円であるのに対し、⑦の原料および燃料供給側の売上は約 21 億円となっている。加えて自治体の地方税も約 15.9 億円、関係事業者の雇用効果(可処分所得)についても 8.9 億円分が創出されることになる。

なお、仮に本事業が FIT(売電価格 32 円/kWh)ではなく、15 円/kWh で売電する場合、バイオマス発電所は 20 年間で約 22 億円の赤字となるが、上記①～⑧の地域全体では約 16 億円のプラスの効果が生じられることになる。

民間事業の場合は発電所単体の収益性が実施可否の最重要要素であることは言うまでもないが、地域全体としてのメリットが大きいことを明確に示すことができれば、自治体その他の地域内ステークホルダーにとっても当該事業者を経済的な面その他の面でサポートすることで Win-Win の関係を築くことが可能となる。

このように、地域経済波及効果の評価は、自治体その他地域関係者からの支持を得て協力体制を構築するために有効であり、事業の持続性・安定性に寄与すると考えられる。

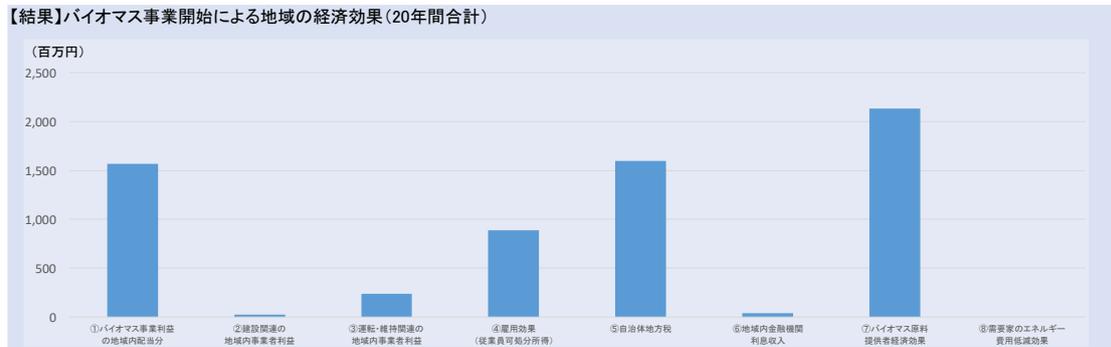


図-6-1-2. 5,000kW の森林未利用材 FIT 発電所における 20 年間の地域経済波及効果

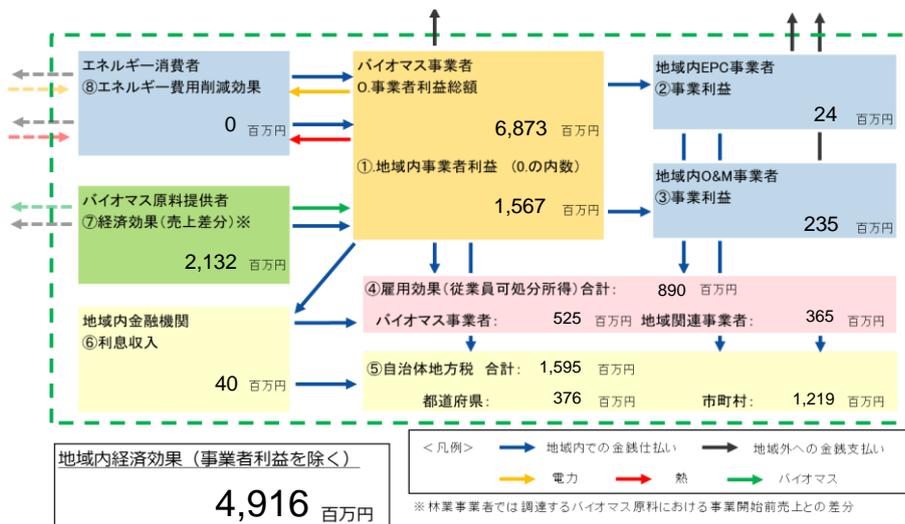


図 6-1-3. 5,000kW の森林未利用材 FIT 発電所における 20 年間の地域内のキャッシュの流れ

¹ラウパツハ・スミヤ ヨーク(2016)「再生可能エネルギーが地域にもたらす経済効果 - ドイツの経験と日本の可能性-」

6.2 電所のBCP対策・地域のレジリエンス

【要旨】

近年、風水害が激甚化し、ライフラインである電力供給が打撃を受け、人々の暮らしに大きな影響を与えるケースが発生している。木質バイオマス発電所にも地域のレジリエンス向上の役割を求める声もある。災害発生時に、それぞれの発電所が効果的に機能していくためには、まずは発電所自身がBCPを備えてレジリエンスを確保し、早期の稼働再開を行うことが求められる。

【構成】

- 6.2.1. 災害発生時に求められること
- 6.2.2. 木質バイオマス発電所のBCP

6.2.1. 災害発生時に求められること

(1) 近年の災害事例とエネルギーインフラへの影響

近年、「10年に一度」と言われる台風が毎年来るなど風水害も激甚化するケースが多く、災害への備えを意識しない日はないほどである。

電気、ガスといったエネルギーインフラが災害発生時に供給停止に至ると、その時間が長いほど、人々の衣食住、衛生や生命の維持に及ぼす影響は大きくなる。

実は、東日本大震災が起きるまで、日本における大規模災害対策は阪神淡路大震災のケースを想定して検討されることが多かった。同震災では、最大停電戸数 約 260 万戸、送配電設備も大きな影響を受けたが、1日目には倒壊家屋を除き停電戸数の約 90%が復旧し、一週間以内に100%が復旧している。

一方ガスは、阪神淡路大震災では全戸復旧まで約3か月時間がかかっている。¹このため、当時「ガスは時間がかかるが電気はすぐに復旧する」といわれていた。

表 6-2-1 大規模震災による停電発生状況と復旧までの期間

	阪神淡路大震災	東日本大震災
災害発生日	1995/1/17	2011/3/11
最大停電戸数	約 260 万戸	約 466 万戸
影響地域	関西電力管内	東北電力管内
停電復旧(発災からの日数)状況	1日：約 90% 6日：約 100%	3日：約 80% 8日：約 94%
停電復旧日	1995/1/23	2011/6/18
停電復旧までの日数	発災から 6 日	発災から約 3 か月

しかし、その認識を塗り替えたのは東日本大震災であった。最大停電戸数も約 466 万戸、東北地方のほぼ全域に及び、3日目でもまだ 20%が復旧せず、最終的に全戸が復旧したのは発災から 3 か月後であった。冬の寒冷地での停電が多くの被災した方に影響を与えたことは非常に辛い教訓となっている。

このような大きな震災の頻度は高くないが、近年、大型台風の上陸は、ほぼ毎年のように発生している。表 6-2-1 は近年発生した大型台風時の停電発生の影響とその復旧の状況をまとめたものである。特に 2018 年の台風 21 号と 2019 年の台風 15 号は大阪、関東の 2 大都市圏で大規模停電をひき起こしたことが記憶に新しい。前者は国際空港や交通網、住宅等の被害が大きく、後者では千葉県という首都圏で 2 週間以上という長期間に渡る停電が発生した。表中の発災から復旧までの日数を見ると、両者は全戸復旧までの期間は同じで

あるが、台風 15 号の方が途中経過として、復旧が遅かったことが分かる。

表 6-2-2 近年の大型台風被害による停電発生状況と復旧までの期間²

	H30・台風 21 号	R 1・台風 15 号	R 1・台風 19 号
災害発生日	2018/9/4	2019/9/8	2019/10/12
最大停電戸数	約 168 万戸	約 93 万戸	約 44 万戸
影響地域	関西電力管内	東京電力管内	東京電力・中部電力・東北電力管内
停電復旧(発災からの日数)状況	1 日：約 81% 3 日：約 95%	1 日：約 32% 4 日：約 78%	—
停電復旧日	2018/9/20	2019/9/24	2019/10/16
停電復旧までの日数	発災から 16 日	発災から 16 日	発災から 4 日

また、2018 年 9 月 6 日には、北海道胆振東部地震を契機とした、国内初のエリア全域におよぶ大規模停電(ブラックアウト)が発生した。その後、様々な検証と対策が行われ、国内でブラックアウトが再度発生する蓋然性は低いといわれているが、地域全体が停電するという現象は社会に大きな衝撃を与えた。発生した時期が冬季であれば、甚大な人的被害が発生したともいわれている。

(2) エネルギー供給者の責務

電気は、日々の生活に必要なだけでなく、衛生維持や医療においても重要な役割を果たす。多くの医療機器は電気が無くては利用できず、地域の拠点病院では非常用発電機を備えているが、停電復旧までの期間がどの程度になるかにより、必要な燃料を確保しなければ稼働できない。

地域の人々の暮らしや健康を守り、早期に災害復興するための力として、エネルギーの役割は大きい。早期に復旧を果たすことがライフラインである電力を供給する事業者全てにとっての責務であることが改めて意識される。

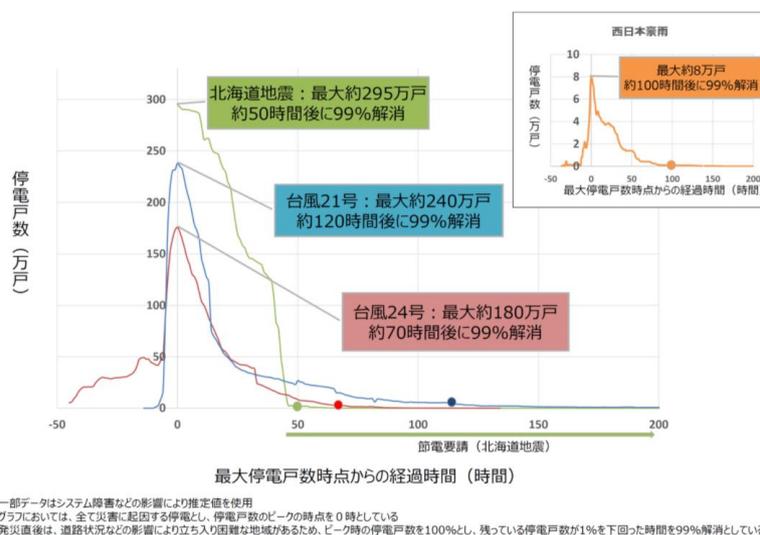


図 6-2-1 北海道で発生したブラックアウト時の停電発生からの経過³

6.2.2. 木質バイオマス発電所の BCP

(1) バイオマス発電所のレジリエンス

木質バイオマス発電所の立地する地域が被災した場合は、どのように対応するか、いざという時の行動について、災害のレベルに応じて、BCP(Business Continuity Plan; 事業継続計画)を策定しておくことが、災害を防ぐ防災、その影響を軽減する減災のいずれにおいても有効である。

レジリエンス(災害等の困難からいち早く立ち上がり復旧する柔軟な力)という言葉が認知されたのは、2018年8月に「事業継続ガイドライン」(内閣府)が策定されたことが大きい。

同ガイドラインは2013年8月に2度目の改定がなされ「事業継続ガイドライン—あらゆる危機的事象を乗り越えるための戦略と対応—」(平成25年8月改定、内閣府防災担当、以下、事業継続ガイドライン)が公表されている。⁴事業継続計画に基づき、その実行を管理することを事業継続マネジメント、BCM(Business Continuity Management)という。

事業継続ガイドラインでは、BCMのプロセスを以下のように整理している。(図6-2-2)

例えば、災害による大規模停電が発生した際の対応として、まずは災害状況下で発電所の人的資源と設備を保全することで、系統回復後に安定的に電気を供給する体制をいち早く回復する。それにより地域全体の電力の供給能力を支える発電所の一つとしての役割を果たす、という方針を立てる災害の程度、影響範囲などの想定をレベルで想定し、事業への影響度、リスク分析・評価を行い、事業継続戦略を立てる。それに対応して、計画を策定し、事前対策や教育を行い、見直し・改善を行う。基本的にはここでもPDCAで計画を成熟化させていく。(詳細は事業継続ガイドラインを参照のこと)

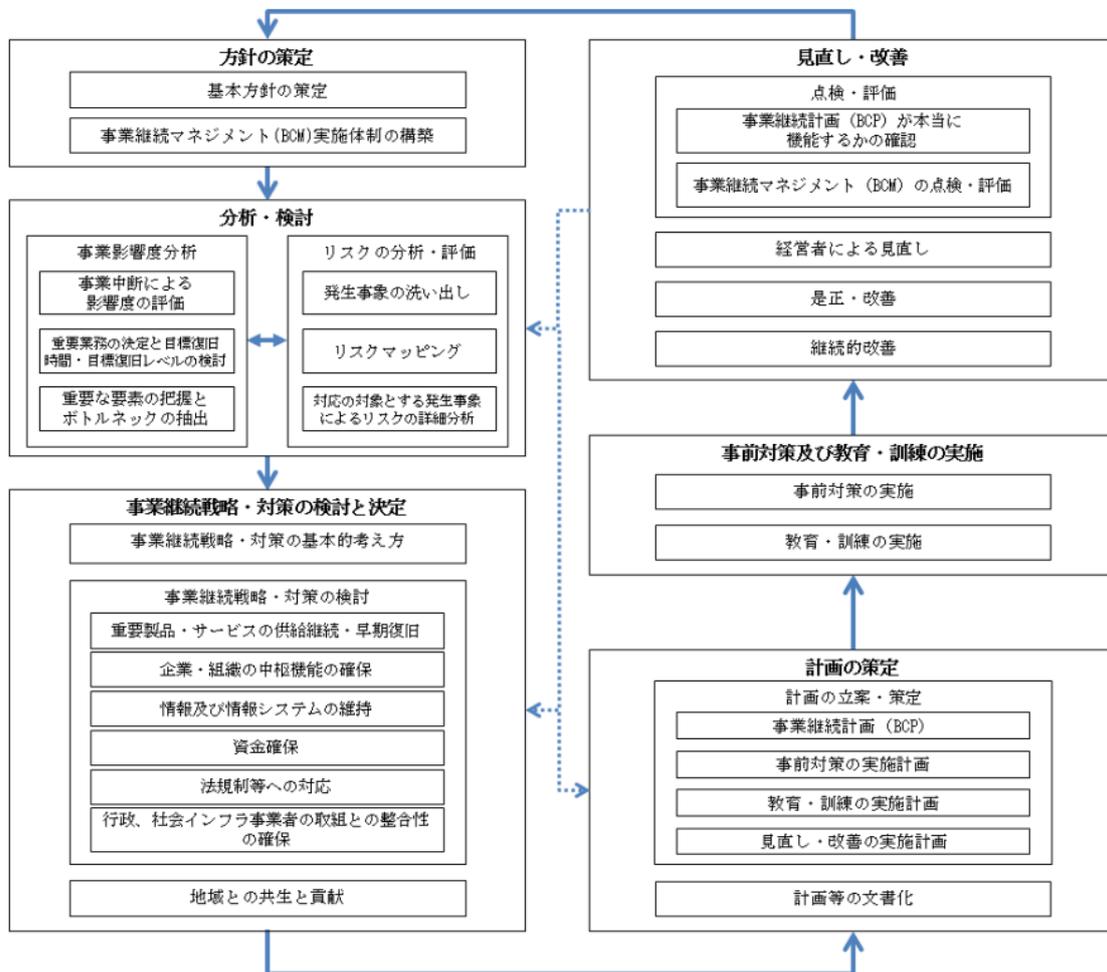


図 6-2-2 BCM の全体プロセス⁵

(2)実現可能な BCP の策定

発災時には、当然、発電所で働く人の安全確保も必要であるし、その家族への対応も必要となる。電力系統が途絶するほどの大規模災害の際に、復旧のどの段階で事業回復し、インフラとしての役割をどの段階で果たしていくのか。発電事業者の社会的責任は広く社会にたいしてだけでなく、当然、自社の従業員に対しても向けられるため、無理のない、バランスのよい BCP が実際には有効であることも忘れてはならない。

¹能島暢呂(2011)東日本大震災におけるライフライン復旧概況(時系列編)土木学会地震工学委員会「ライフラインの地震時相互連関を考慮した都市機能防護戦略に関する研究小委員会」より。

²台風 21 号に関する情報は、台風 21 号対応検証委員会報告 関西電力 2018 年 12 月 13 日より引用 https://www.kepco.co.jp/corporate/pr/souhaiden/2018/pdf/1213_1j_02.pdf (2022 年 2 月 18 日閲覧)

台風 15 号、19 号に関しては、産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会 第 21 回電力安全小委員会資料「令和元年に発生した災害の概要と対応」令和元年 12 月 5 日、経済産業省 産業保安グループ電力安全課 より引用している。

³資源エネルギー庁「日本初の“ブラックアウト”、その時一体何が起きたのか」

<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/blackout.html> (2022 年 2 月 18 日閲覧)

⁴「事業継続ガイドライン—あらゆる危機的事象を乗り越えるための戦略と対応—」(平成 25 年 8 月改定)内閣府防災担当

⁵前掲「事業継続ガイドライン」より、本図では、見直し・改善から方針の策定へ実線の矢印を記しているが、実際には分析・検討以降のプロセスに直接つながる事項も多いため、その部分を破線の矢印で記している。

6.3 地域とのコミュニケーション、ステークホルダーとの合意形成の理念と手法

【要旨】

開発期間・建設期間・営業運転という各ステージに応じて、地域の関係者と丁寧な対応が必要。事業者(or 事業運営者)の誠意と熱意が大切。ステークホルダーとの合意形成は原料の入手可能性をはじめとした事業の経済合理性に加えて事業の社会的な意義が大切。

【構成】

6.3.1 地域とのコミュニケーション(地域とのコミュニケーションの理念と手法)

6.3.2 立地先に応じた対応

6.3.1 地域とのコミュニケーション(地域とのコミュニケーションの理念と手法)

木質バイオマス発電所における「地域」とは何を指すのか、どの範囲なのかを分類してみると、

- (ア) 発電所からおおむね 400m 以内に生活する住民
(400m 以上の離隔距離があれば、音量は 40db 以下であり数値的な影響のない距離、とは言え深夜に耳を澄ませば音は聞こえる)
- (イ) (ア)以外に居住の住民(この場合、(ウ)と区別し住民個々をさす)
- (ウ) (イ)からなる町内会や水利組合
(住民から形成される団体であり、合意形成が必要という意味合い)
- (エ) 自治体などに分けられる

また、燃料集荷の観点からは、もう少し範囲が広がり、所在する自治体、県、国といった行政と整理できるが、今回は燃料集荷の観点は言及しない。①～④のいずれにも共通する「理念」といえるかわからないが、「良好な関係を築き、良好な関係を保つ」ことにつきる。

また、発電所の立地を目指す開発期間と建設期間、営業運転開始後とそれぞれのステージによって手法も多少違う要素がある。従って、地域①～④の分類ごとに期間別分析し手法を論ずる方法が整理しやすい。

(1) 開発期間

① 発電所からおおむね 400m 以内に生活する住民

日常生活居住空間に木質バイオマス発電所が建つとなると、基本的には皆さん反対される。やはり、木質バイオマス発電は再生可能エネルギーであるゆえに世の中に必要なことは理解頂くが、自分の居住空間では止めて欲しい、「他でやって欲しい。」という意見が殆どである。

従って、発電所候補地を選定する時には、400m 以上離隔距離を保つことが重要である。しかしながら、事情により十分な離隔距離を保てないケースにおいては、住民説明の段階において、ご理解を得る必要がある。

では、どの程度理解を得る必要があるのか。

発電所における迷惑(公害源となり得る)とは、騒音、振動、臭気、粉塵、ばい煙、トラックの往来などが考えられるが、法令によって基準値が設定されていることについては、基準値以下に下げることが当然であるが、立地前と比較するならば、立地前は「0」であったことが「プラス」になる。つまり「ない」ときよりは悪化することは事実である。

発電所はそのことについて担保することは不可能なことであるから、やはり「理解頂く」以外に方法はない。ここで、手法があるならば、住民の皆様一人ひとりに納得頂くまで説明を尽くすことである。金銭で解決を図る手段は、後発事象として想定外のケースが生じた場合に限る。

② ①以外の地元住民

①の方々の立場になって①の方々の意見に沿うことになる。しかしながら、本質的には木質バイオマス発電に賛成意見が多いので、①の方々が合意であれば合意を得ることができる。もちろん逆の場合には合意いただけない。

③ 町内会や水利組合

個々の住民と多少立場が違う。特に組織の長および組織の幹部は、たとえ自身が賛成であっても反対意見(この場合①)については尊重する立場をとる。または①の説得に当たるがその場合には、かなりの力(影響のある)を掛けて合意に尽力頂くことになる。地元ではない事業者(事業運営者)が合意形成獲得するその手法があるならば、「それらの有力者に味方になって頂く」ことである。次には、その対象となる地元にとどれだけ貢献できるかのメリットを提供する方法がある。例えば雇用を優先するとか、町内会に寄付するとか、道路をきれいにするとか考えられるが、それらは有力者が①を説得するための道具に過ぎない。

また、場合によっては、その組織への金銭的な協力をするのと引き換えになることもある。なぜならば、組織の長及び幹部は組織における力を組織員に示すことが立場上求められているので、そこを立てなければならぬ。この組織の長および幹部とその組織の合意形成における構造は、発電所を立地する上でのとても高いハードルになっている。発電所の普及促進を促すのであれば、その合意形成の制度を柔軟に変更することを求める。

④ 自治体

当然ながら賛成の意向であるが、やはり①～③にどれだけ気を遣うのか、見極める必要がある。過去の地元自治体と地元住民との間に、自治体に負い目がある出来事やものすごく強烈な反対にあっている経験(例えば処分場建設計画)があると、自治体も「反対」の意向を示す場合もある。

そのような場所では、少なくとも1～3年程度は合意形成は不可能なので、撤退を選択する。

(2) 建設期間

手法として、例えば①～④が構成員に入っている環境対策協議会などを作って、定例会を開催し、建設期間中の注意点の確認、事業者からの情報を発信(建設工程など)し、お互いの理解を深めることがよいコミュニケーションの方法である。

住民からの個々のクレームや意見などは、いったんは協議会で吸収し、事業者が個々と対峙しないメリットがある。

また、定期的にコミュニケーションを図ることができるので、何かに不満足が生じている場合に一気に爆発するような事態を回避できるメリットもある。

(3) 営業運転

営業運転開始してからは、過去の経験上地域との間において大きな問題は生じていない。やはり進出前(開発期間)は住民の皆様へのわからないことによる不安が大きいと分析できる。営業運転開始後は、住民の皆様も発電所がどのような設備かを目でみて体験者になっているので、発電所そのものが媒体となって結果としてコミュニケーションが図られることになる。

経験上、持続的な活動としては、年に1度の地元住民様向けの見学会を実施している。その時に意見交換会や空くじなしのくじ引きとか、工夫しながら、地元の皆様とのコミュニケーションを大切にしている。

雇用においては、採用する時に同じスペックの人材であれば、発電所に近い方を採用するなどしている。

また、一般廃棄物から出る木材について、地元自治体と連携し燃料利用する取り組みなど、積極的に行っている。

最後に最も重要なことは、事業者(または事業運営者)の心(誠意、熱意とか)であって、今回のテーマである「手法」に走れば走るほど、成功する確率は低くなるといった相関性があること

が面白い。そのことが手法である。

6.3.2 立地先に応じた対応(ステークホルダーとの合意形成の理念と手法)

(1) 地域の特徴、ステークホルダーの分類

この場合のステークホルダーとしては、特に出資者と借入先金融機関に限定して述べたい。その他のステークホルダーの合意形成は、出資者と金融機関について述べることにより、特別な場合を除いては結果として容易にできると考える。

ではこの場合の合意形成とは何か。端的に言えば資金拠出や融資を「決定」頂くことと同じといえる。決定後の合意形成は、計画通りに事業が進んでいるのか否かであり、計画通りに進んでいれば合意されると言えるので、この場合の決定に至るプロセスにフォーカスしてそこに手法があるのか探りたい。

(2) 分類ごとの合意形成

出資者と金融機関では、少し立場が異なる。

出資者は、第一に事業が上手くいくか否かが重要であり、第二に事業内容に出資者が惹かれるものがあるか。大きくはその2点に絞られる。金融機関の場合は、第一に出資者の保証力があるか、第二に貸付金が無事に返済されるか。その2点に絞られる。3点目としては両者の共通として、事業内容が世論に反していないか(最近の例でいえば、石炭火力発電事業への融資とか)であるが、その点について木質バイオマス発電は問題とはならずむしろ歓迎される。(これは15年前と比較すると相当な変化であり感慨深いものがある)

木質バイオマス発電においては、他の製造業と比較して、製品である電気が売れないリスクのないことが最大の優位性である。次に設備だが、これについての評価は発電方式により少し異なる。それらを考慮した上での最大リスクは燃料集荷といえる。

木質バイオマスの燃料の代表的なものとしては木質チップなので、それにフォーカスすると、国内全体では100基程度の発電所が稼働しているが、ここで注意が必要なのは、燃料の流通範囲はその地域に限定されているので、あくまでそれぞれの発電所における燃料市場はその地域においては発電所の稼働までは形成されていない、ということである。つまり、事業運営する際に初めて作られていくのであって、そこをいかに作っていくかが、事業が上手くいくか否かの最大ポイントとなる。

それについて深掘りすることは、今回のテーマから外れるので、少し乱暴な結論づけになるが、つまりはそれを上手くできる事業者(または事業運営者)を選ぶまたはさせることがステークホルダーとの合意形成の手法の答えといえる。

事例集

DS グリーン米沢南発電所

SGET 三条バイオマス発電所

グリーン発電大分

信州ウッドパワー発電所

大仙バイオマスエナジー

中国木材バイオマス発電所(伊万里)

中国木材本社工場

鶴岡バイオマス発電所

日本海水赤穂発電所(第1・第2バイオマス発電設備)

枕崎バイオマス発電所

ミツウロコ岩国発電所

DS グリーン米沢南発電所

～データに基づく仮説・検証で効果的な改善～



認定設備情報

設備 ID	0691655B06	事業者名	DS グリーン発電米沢合同会社
設備名称	米沢南発電所	認定日	2015/9/17
設置場所	山形県米沢市直江石堤18701-1	運転開始日	2018/1/1
発電出力(kW)発電端	6,250	熱と電気の比率	電気 100%
発電出力(kW)送電端	5,650	熱の自家消費	無
ボイラ最大蒸発量(t/h)		電気の自家消費	無
電気の需要先	PPS	熱の需要先	無
燃料の種類	(名称)	使用量(t/年間)	バイオマス比率
	木質チップ(未利用材)	29,000	45.18%
	木質チップ(一般材)	55,000	50.58%
	パームヤシ殻	2,000	4.01%
	A 重油	4	0.02%

※設備利用率(%) = $\frac{\text{年間発電量(kWh)} \times \text{発電端}}{\text{定格出力(kW)} \times 8760 \text{ (h)}}$

■対策の優先度を確認し、コストダウンを実施

同発電所では、所内率の向上を目指し、多様な方策を検討している。

検討にあたっては、目標(ゴール)を設定し、目的に応じて、取りうる手段と要素間の関係を確認し、方策の実施優先度を「実現性」×「効果」で評価して、優先順位を定めて実行している。

《評価》

実現性: 実施済 / 一部実施中 / 将来課題

期待される効果: ❀ / ◎ / ○ / △

※実現の現実可能性が高く、効果が期待されるものが優先度高い方策として評価される。

なお、現在実施されている方策としては、ファン、ポンプ類のインバーター化、冷却水ポンプの台数制御などである。インバーター化は、常時フル設定の設備において運転状況に応じた稼働が可能となることで消費電力の削減を実現し、所内率を低減し、売電量の増加、売上高の増加につながる。また、同発電所では、冬場の気温低下に注目し、二台稼働が前提の冷却水ポンプを一台運転とすることで、省エネルギー効果を得ている。

この手法は省エネだけでなく、トラブル対策などにおいても有効である。「どこから着手すべきか?」という優先順位をつけることで限られた経営資源を効果的に配分し、技術検証を重ねたうえで実施することができる。

方策の優先度評価を指標化することで、経営層の意思決定を得やすくする効果も期待できる。

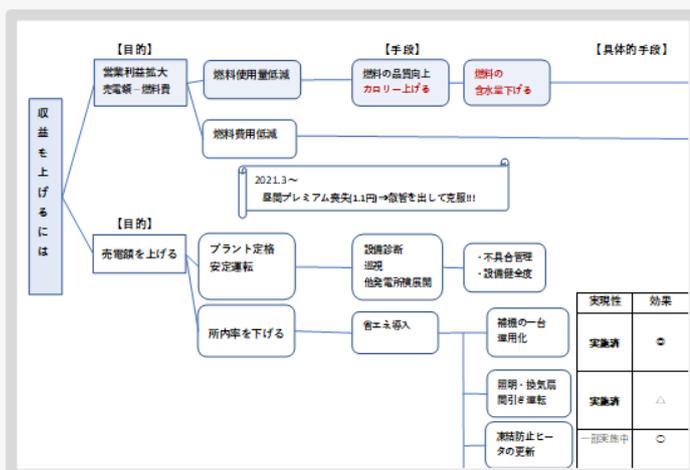


冬場は冷却水ポンプを一系統停止している



DS グリーン米沢南発電所で使用されている熱量計(加熱式)

■燃料状態から、投入バランスと在庫管理を実施



DS グリーン米沢南発電所における検討の例(一部抜粋)

発電所に納入される燃料は、気候条件(冬場の積雪の影響や風水害が多い地域など)や、その地域の取引慣行などにより、水分状態も様々なものが納入されることが多い。同発電所では特に積雪の影響が大きく、付着した雪が凍ると、容易には剥がれず炉内では水分として熱量を低下させる要因になる。

受入れ、投入するときにチップの状態を確認して、水分が高いようだと手前で調整するが、あまりに状態の悪いものは、燃料調達を担うグループ会社を通じて供給者に要求することもある。

受入れ時点での水分に応じて在庫時期や方法を適用する。燃料倉庫があるので、水分が少し高いものはそこで自然乾燥させから使用している。

多様な水分状態・形状の燃料をボイラ投入段階ではなるべく均一化することが、安定的な燃焼のコツとなる。

SGET 三条バイオマス発電所

～立木買いによる燃料確保～



認定設備情報

設備 ID	NG03006C15	事業者名	SGET グリーン発電三条合同会社
設備名称	三条保内発電所	認定日	2015/6/25
設置場所	新潟県三条市 井栗字折戸甲 284-3,4 下保内字坪ノ尾 401 番地 15,18,19,20	運転開始日	2017/9/1
		熱と電気の比率	電気 100%
発電出力(kW)発電端	6,250	熱の自家消費	無
発電出力(kW)送電端	5,650	電気の自家消費	無
ボイラ最大蒸発量 (t/h)	42	直近の設備利用率	94%
燃料の種類	(名称)	使用量(t/年間)	バイオマス比率
	木質チップ(未利用材)	24,698	31.22%
	木材チップ(一般材)	43,966	51.71%
	パームヤシ殻	9,803	16.99%
	A 重油	17	0.07%

※設備利用率(%) = $\frac{\text{年間発電量(kWh)}}{\text{発電端 定格出力(kW)} \times 8760(\text{h})}$

■地域との関係性を重視した資源活用

山元貢献策について検討し、地域との交流会を実施して発電所理解してもらう取組を続けている。木質バイオマス発電による資源利活用の仕組みよく理解してもらい、地域ぐるみで応援してもらえる体制が、欠かせない。

地元4町内会に年1回の内覧会を行っている。その機会を利用して、住民の皆様への会社の考え方や、住民の方々の不安や要望を伺い、対応できる機会としている。

また、発電所運営会社であるグリーン・サーマルでは三条市内を中心に、立木買い(土地は所有移転せず、立木(森林資源)のみを売買の対象とする。同取引形態においては伐採後更地返しであるが、ケースによっては植林して返すこともある。山主はその後再造林や天然林に戻すなど選択)を実施している。

立木の調達、集約化においては、営業社員が直接地域と対話し、関係を築いた上で、施業を林業部門が担い、契約やその後の情報共有などを実施している。

うわもの、土地を含まない立木だけの取引であるため、土地所有者の意向は円滑な伐採・搬出を進めるうえで重要であり、伐採の方針や土場の設営方針などは書面(地図や写真を用いた説明)で所有者に提出するなど、丁寧な説明が必要となる。

地域との密接な関係は、地域資源を活用する会社にとって、事業そのものへの理解と、企業が地域の一員として活動していくために欠かせない要素である。



三条市内の伐採現場。立木(うわもの)だけの取引であるため、山林所有者への丁寧な説明や理解を求めるためのコミュニケーションが重要となる

■発電部門と林業生産部門で新規雇用を生む

発電所の地域貢献として、地域からの雇用を上げる声は多いが、この地域では、人工林面積の割に従来それほど林業生産が盛んではなかったため、地域材の活用には伐採・素材生産体制を強化する必要があった。

そのため、地域内での雇用に加え、地元三条市の民間団体と協力し、移住希望者への就業支援を行うことで、従事者を雇用している。

現在は、募集1期生が研修を終えて、三条地域において生産を開始している。



伐採班はまだ1期生が現場で活動したばかり。育成指導者の元で生産性高く地域に愛される素材生産従事者に育つと期待されている

グリーン発電大分

～地域密着型事業で地域に価値を生み出す～



認定設備情報

設備 ID	N791678H44	事業者名	株式会社グリーン発電大分
設備名称	天瀬発電所	認定日	2013/7/8
設置場所	大分県日田市天瀬町五馬市 245-4	運転開始日	2013/11/1
発電出力(kW)発電端	5,700	熱の自家消費	無
発電出力(kW)送電端	5,000	電気の自家消費	有(所内動力)
ボイラ最大蒸発量(t/h)	25	熱の需要先	イチゴハウス(廃温水)
電気の需要先	地域新電力を通じ、日田市役所・日田市小中学校・その他	直近の設備利用率	約 93%
燃料の種類	(名称)	使用量(t/年間)	バイオマス比率
	間伐材	63,000	89%
	一般木質	7,000	10%
	建築廃材	1,000	1%

※設備利用率(%) = $\frac{\text{年間発電量(kWh)} \times \text{発電端}}{\text{定格出力(kW)} \times 8760 \text{ (h)}}$

■地域の未利用材を利用し地域新電力を通じ供給する、地産地消モデルの草分けに

集材圏の範囲は20kmから25km圏内の集材が最も多く、最長でも50km圏が収集圏であり、日田地域を中心とした地域の未利用資源の大きな需要先となっている。

発電所の運転開始後、同じモリショウグループとして地域新電力「日田グリーン電力株式会社」を設立。2016年4月より日田市役所や小中学校など公共施設に供給開始し、現在では九州内の民間企業にも販路を拡げている。FIT 認定発電所と地域新電力を組み合わせる地産地消をモデルの草分けとなった。

FIT 電源であるため、GHG 削減効果を電気に付加することはできないが、地域材を用いる地域の発電所として、トレーサビリティが確保された電気という価値を提供している。

■発電所の廃熱の農業利用

発電所の余熱は、隣接するいちごのビニールハウス栽培に利用されている。

冬季のハウス内の温度維持に活用し、重油を代替することでCO₂の削減だけでなく、燃料費のカットによるコストダウンも実現する。

地域貢献策の一つとして熱の対価は得ていないとのことだが、捨てる熱を余すことなく利用することで、地域の燃料材の持つ熱量をなるべくロスなく活用することにつなげている。



隣接するいちご農家のハウス
発電所からの廃温水が活用されている

出典:「木質バイオマス発電を核とした”SDGs”への取組」
モリショウグループ



グリーン発電大分とモリショウグループの
地産地消モデル
出典:同社 HP より

■地域の森林づくりへの参加

同グループの社有林だけでなく、日田市市有林の保全活動に、企業の社会貢献活動、社員への環境教育の一環として参加している。

植林、下刈、間伐などの森林整備活動を通じた森林づくりに取り組むことで、日田市の森林の適正な管理と多面的機能の維持・保全に寄与することを目的として、大分県、日田市、日田木質資源有効利用協議会、日田郡森林組合と企業参画の森林づくり協定を締結し、毎年、社員や取引先企業とともに参加し、植樹や森林保全活動を行う。

木質バイオマス発電がカーボンニュートラルであることは伐採と再造林、利用と成長の循環がバランスすることが重要である。

この取り組みは地域内の森林資源を活用してエネルギーを地域に供給し、また森に戻していく、という好循環を地域にもたらす一助となっている。

また、同グループは使用する電気を非化石証書を利用し再エネ100%とし、さらにJ-クレジットを活用して自動車や重機等で使用する化石燃料に関してカーボン・オフセットを行いつている。またグループ内企業において「再エネ100宣言 RE Action(アールイー・アクション)」に加盟するなど、グループを挙げて、環境価値により、地域に価値を生み出す活動を続けている。



信州ウッドパワー発電所

～燃料収集から運転状態までDXに意欲的に取り組む～



認定設備情報

設備 ID	1Z99898C20	事業者名	信州ウッドパワー株式会社
設備名称	信州ウッドパワー発電所	認定日	2018/9/4
設置場所	長野県東御市羽毛山字五輪立519-1	運転開始日	2020/7/15
発電出力(kW)発電端	1,990	熱と電気の比率	電気100% (廃熱利用はあり)
発電出力(kW)送電端	1,730	熱の自家消費の有無	管理棟の床暖房に使用
ボイラ最大蒸発量(t/h)	10.5	電気の自家消費の有無	なし
電気の需要先	中部電力に FIT 販売	熱の需要先	外部への供給無し
燃料の種類	(名称)	使用料(t/年間)	バイオマス比率
	切削チップ(未利用材)	30,000 ※計画値	—

※設備利用率(%) = $\frac{\text{年間発電量(kwh)} \times \text{発電端}}{\text{定格出力(kW)} \times 8760 \text{ (h)}}$

■燃料から運転まで DX 化・合理化により、小規模ながら効果的な事業運営を可能に

小規模発電所は、スケールメリットが効きにくい、少人数体制、地域人材で未経験者が多い人員でも安定稼働が可能となるよう、ICTによるDX化や合理化について信州ウッドパワーが要望とアイデアを出し、プラントメーカーとともに検討・開発し、実証まで行い発電所の運営に加え、地域振興にも貢献。

運転状況はメーカーも遠隔モニタリングしており、状況に応じ、効果的なサポートを受けられるため、商業運転開始して間もないが、比較的早期に安定稼働を実現している。

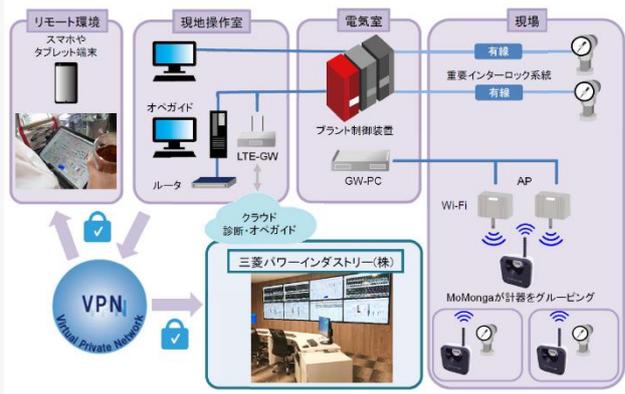
発電所の運営会社はある意味異業種からの参入だが、発電所の“常識”に囚われず、柔軟な発想で課題を設定し改善に取り組むことで、独自のシステム構築にも挑戦している。

■日常点検における記録やセンサーで計測したデータを情報として蓄積、継続的なイノベーションを実践

少人数での運営を長期行うので属人化しすぎないように、データを活用し自動化、システム化している。プラントメーカーとの遠隔支援システムを構築するとともに、監視画面だけでなくデータログも共有。日常点検におけるデータ記録はタブレット等を利用し、データを把握している。それらのデータをメンテナンスに活用できるように蓄積、プラントメーカーとも共有することで、早期の対策が可能になっている。

また、ポンプ、ファン、電動機に振動センサーを取り付けて、故障予測、予防保全に活かすなど、プラントメーカーとも連携し、メンテナンスにおいても意欲的かつ継続的なイノベーションに取り組んでいる。

遠隔監視システムの導入で未経験者でも安心な運転環境を構築

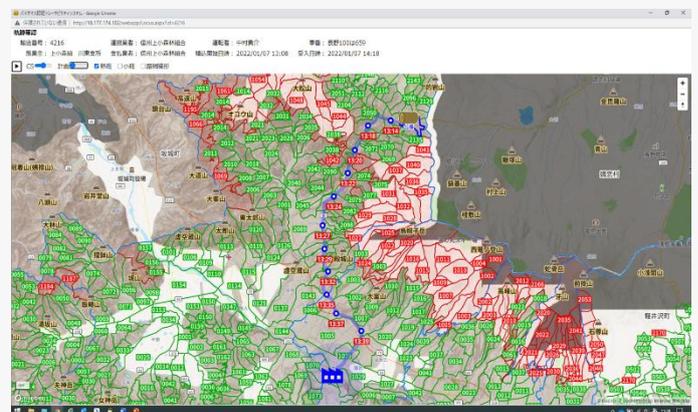


プラントメーカーと開発連携、運営連携し誰でも運転可能な DX システムを構築運営中。

■燃料のトレーサビリティシステムで、輸送ルートを GIS データで把握、由来証明のデジタル化も

主伐期に入った地域の森林資源を活用。発電所30km圏内で森林経営計画を主体にして、伐採地点、由来証明をデジタル化。スマホの専用アプリで納車単位で地点・トラック情報・写真データなどを管理、土場からの輸送トレーサビリティシステムと連携し、GIS で管理している。スマートフォンを端末として利用し、納車単位で木材の由来が GPS によって証明できるシステムを開発導入している。

実際の輸送ルートの電子記録で提示することが可能であり、今後は、ますますニーズが高まる燃料のトレーサビリティ、燃料のGHG負荷についても検証可能なデータを蓄積している。

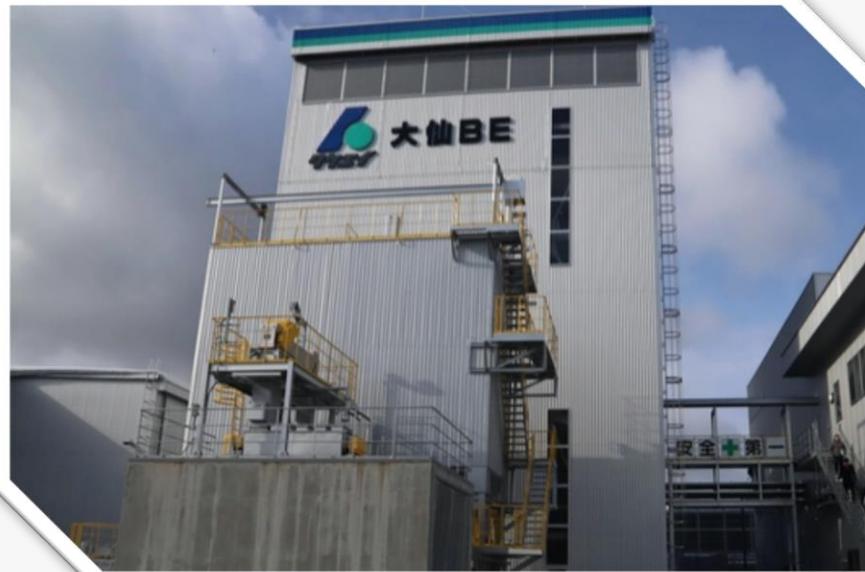


燃料の由来証明のデジタル化、輸送ルートの GIS 管理など林業の DX化を同時に進める



大仙バイオマスエナジー

～細心かつ意欲的な未利用資源利活用～



認定設備情報

設備 ID	N700874B05	事業者名	株式会社大仙バイオマスエナジー
設備名称	大仙バイオマスエナジー	認定日	2016/3/10
設置場所	秋田県大仙市協和稲沢字台林 16-1	運転開始日	2019/2/1
発電出力(kW) 発電端	7,050	熱の自家消費	無
発電出力(kW) 送電端	6,385	電気の自家消費	無
ボイラ蒸発量(t/h)	28	熱の需要先	無
電気の需要先	株式会社大仙こまちパワー	直近の設備利用率	約95%
燃料の種類		使用量(t/年)	バイオマス比率(%)
	間伐材由来チップ	74,650	—
	製材端材由来チップ	8,500	
	一般木材由来チップ	250	
	ペレット	200	
	PKS	500	

※設備利用率(%) = $\frac{\text{年間発電量(kwh)発電端}}{\text{定格出力(kW)} \times 8760(\text{h})}$

■発電所前のバス停へ熱供給と地域へのエネルギー供給

発電所の余熱は、隣接のバス停の床暖房に利用されている。発電所ができる前は、バス停の老朽化が進み、利用する近隣住民は冬の積雪や雨の日には、寒さに耐えながらバスを待っていたが、発電所の建設を契機に、大仙バイオマスエネルギーと門脇木材、瀧神巧業、本社タケエイと タケエイ SDGs財団と共同でバス停を新設し、大仙市へ寄付した。新しいバス停は木造でドアのあり、床暖房用に自営配管を通じ、発電所からの温水を無償で供給している。

同地域はバスが通勤、通学の足として使われており、また寒冷で積雪もあるため、温かいバス停は地域住民に喜ばれている。

電力については地域新電力である大仙こまちパワーを通じ、地域の公共施設等に供給、地産地消に貢献している。

■未利用資源の活用

燃料は隣接する門脇木材から供給される製材端材のほか、河川支障木や末木枝条、タンコロなどについては、チップperを現場に持ち込んで現地破碎も実施している。

従来、これらの材は使用されずに放置されていたが、同社では燃焼温度や投入熱量のばらつきを極力なくし、燃焼の平準化を図るなどさまざまな調整を行うことで、クリンカの発生を抑制し、灰の付着などのトラブルを回避しつつ、利活用を可能としている。



大仙バイオマスエネルギーの安全標語
事務所棟の入り口に大きく掲示されている



新築落合バス停 2020/9/30 大仙市へ寄贈
(同社 HP より)

■ヒヤリハット・事故情報とデータで対策

事業所内では、発電所の運営は本社タケエイとインフラ企業のヴェオリア・ジャパンとの合弁会社であるV・Tエナジーマネジメントに委託しているが、事業全体の運営を行う大仙バイオマスエネルギーも同一敷地内にあるため日常的に連携して業務を遂行している。

タケエイグループ内の各発電所内で起こったヒヤリハット、事故情報は全事業所に共有されているため、それに関しても事故発生の前段階で対応できるよう協議を行う。さらに消防局などの関係機関へ依頼し、救護や火災等対応について講習会を定期的実施している。

発電所内は供給コンベア内部から場内、チップ保管庫など、あらゆる場でカメラが設置されており、映像記録からどこで事故が起こるのか、原因はなにか、改善はできないか、など確認が可能である。こうしたケーススタディは、月次の安全衛生委員会や、年次の安全大会という機会を活用して情報共有、データベースにまとめている。また、グループ内で募集される安全標語に発電所からも必ず応募するように呼びかけており、作成過程を通じて、安全意識の向上を図っている。

出入りの燃料供給業者、工事業者だけでなく、見学者など場内に立ち入る人すべてに、場内でケガなどがあると場内の災害として取り扱われることを周知し、意識づけが行われている。



中国木材バイオマス発電所(伊万里)

～地域材の地産地消を実現し、さらなるシナジーを～



認定設備情報

設備 ID	N954446H41	事業者名	リージョナルパワー株式会社 (中国木材 100%出資)
設備名称	中国木材バイオマス発電所 (伊万里)	認定日	2014/3/31
設置場所	佐賀県伊万里市山代町楠久 字鳴石搦三929-93	運転開始日	2016/4/1
発電出力(kW)発電端	9,850	熱の自家消費	無
発電出力(kW)送電端	8,800	電気の自家消費	無
ボイラ最大蒸発量(t/h)	42	熱の需要先	無
電気の需要先	九州電力・フォレストパワー	直近の設備利用率	91%
燃料の種類	(名称)	使用量(t/年間)	バイオマス比率(重量比率)
	スギバーク	21,647	23.30%
	乾燥オガ	13,511	14.54%
	木端	18,696	20.12%
	未利用材チップ	39,063	42.04%

※設備利用率(%) = $\frac{\text{年間発電量(kWh)}}{\text{発電端定格出力(kW)} \times 8760(\text{h})}$

■九州北部の地域材で地産地消を実現

同グループである中国木材伊万里工場内に立地。製材場で発生するバークや端材などを活用する。それ以外にも自社工場(同敷地)をメインとし、外部より佐賀、長崎、福岡、熊本の4県から調達。中国木材(株)の取引先、または取引先の紹介等で端材を受け入れている。

地域材100%であることから「地域資源バイオマス」の認定を受けている。

電気はフォレストパワー、九州電力に供給しており、電気の地産地消を実現している。

将来的には、立地する中国木材伊万里工場を核にして、工業団地内で自営線による供給も視野に入れ、さらなるシナジーの可能性を探る。



燃料倉庫でローダーから受入れフィーダーに投入する

■出力の安定性を確保する

“負荷率100%”を目指す、という目標を掲げ、出力の安定性確保を心掛けている。

運転管理値を注意深く監視し、燃料系統のトラブルがあれば、自動で调速制御から圧力制御に変更することにより、ボイラーの急変を防ぐ。ストーカークルは蒸気変動しやすいので、安定した燃料を入れるのがバター。2時間おきに受入ホッパーでサンプルを取り、燃料の低発熱量、灰分、水分率を分析して燃料品質の維持管理を行っている。

計画当初は、九州のスギが高水分なことからPKSの利用を検討したが、伊万里地域の場合は平均水分が比較的低いこともあり、現在は使用せず、国産材100%で、安定出力を確保している。



燃料倉庫で分別管理される由来別の燃料

■人材育成方針は“多能工を育てる”

同社では、“多能工化”を人材育成方針としている。発電オペレーター、燃料投入、蒸気ボイラーのオペレーター、破碎設備の運転など、発電所運営に関わる一通りの作業をローテーションで身に着けることで、多能工として育成していく。多能工の場合、万が一、突発的に欠勤が発生した場合の対応も容易であり、兼務も可能であるため、より少ない人員で運営が可能である。

また、ローテーションには“慣れ”を生じさせない効果もある。事故や異常の見落としは慣れによる心理的要因も働くため、担当を交代することは常に新鮮な目で点検を行うことにつながる。

日々の報告では、たとえば異常振動など最初の異常を検知して、担当者から主任技術者や管理職に情報が必ず上がるようにしている。

定期点検(日・月・年)においても、常に違う作業員が巡回することで異常を早期に発見できるように取り組んでいる。

中国木材本社工場

～徹底した木質資源のカスケード利用～



認定設備情報

設備 ID	N656381F34	事業者名	中国木材株式会社
設備名称	中国木材本社工場	認定日	2014/3/10
設置場所	広島県呉市広多賀谷2-3-218	運転開始日	2017/7/1
発電出力(kW)発電端	9,850	熱の自家消費	無
発電出力(kW)送電端	8,800	電気の自家消費	無
ボイラ最大蒸発量(t/h)	42	熱の需要先	無
電気の需要先	送配電事業者	直近の設備利用率	約94%
燃料の種類	(名称)	使用量(t/年間)	バイオマス比率
	米マツバーク	33,000	一般木質80.0% 未利用材20.0% (熱量比)
	生オガ	35,000	
	スギバーク	5,000	
	乾燥オガ	5,850	
	未利用材	9,000	
	外部調達(近隣)	27,300	
	合計(生t)	115,150	

※設備利用率(%) = $\frac{\text{年間発電量(kwh)} \times \text{発電端}}{\text{定格出力(kW)} \times 8760(\text{h})}$

■製材工場隣接という立地を最大限に活かす

隣接する製材工場で利用する木材のバーク(樹皮の部分)や、木端、未利用材チップを燃料としている。

特にユニークなのは、乾燥オガ粉の利用。乾燥された木材、集成材の生産工程で乾燥したオガ粉が大量に発生する。(年間1万t以上)。

粉塵対策のためシールドされた加工設備から直接空気圧送されたオガ粉は、ボイラ上部に設置された専用サイロに貯蔵されており、ここから、炉内の状況を見ながら必要に応じて投入される。水分が多い燃料を投入する際に助燃材代わりに使用できることが燃焼制御上の大きな利点となっている。

製材業という木材を直接取り扱ってきた経験も長く、自社で 7000ha 超の山林も所有しており、森林管理も自ら手掛ける。

製材工場では、製材品を生産する工程で、バークやオガ粉など様々な副産物が発生する。これらをムダにせず資源として有効に使い切る方策としてバイオマス発電を位置づけている。



燃料ピット内は由来別、状態別(主に水分)ごとに区分されており、配分を考えた供給フィーダーに投入する

■国内で複数の発電所を展開し、ノウハウを共有

同社では、現在、国内で複数の発電所を展開しているが、全て、自社製材工場内に設置している。

例えば、ボイラタイプの選定、乾燥オガ粉投入システムの設置や、チェーンコンベアの素材変更など、ある発電所で実施して効果が確認できると、他の発電所においても同設備を導入するなど、ノウハウやスキームの共有など横展開が可能であることも同社の強みとなっている。

また、燃焼灰の農業利用についてもいち早く取り組み、研究機関と共同研究も行っている。実用化までいくつかハードルが存在するものの、今後の利活用が期待される。

隣接工場から空気圧送された乾燥オガが貯蔵されるサイロは2基。各2系統あり、きめ細かな制御が可能

鶴岡バイオマス発電所

～“考える力”を育てる社内教育～



認定設備情報

設備 ID	1673302B06	事業者名	株式会社鶴岡バイオマス
設備名称	鶴岡バイオマス発電所	認定日	2015/1/15
設置場所	山形県鶴岡市下山添字庄南45-3	運転開始日	2016/1/14
発電出力(kW)発電端	1,995	熱の自家消費	無
発電出力(kW)送電端	約 1,695	電気の自家消費	無
ボイラ最大蒸発量(t/h)	17.0(最大)	熱の需要先	無
電気の需要先	株式会社やまがた新電力	直近の設備利用率	約95%
燃料の種類	(名称)	使用量(t/年間)	バイオマス比率
	間伐材等由来	約28,000	88.0%
	製材端材等由来(スギバーク)	約3,660	11.5%
	一般木質バイオマス由来の被害木・病害虫木等	約130	0.5%
	同 河川流木等	0	—
	同 剪定枝	0	—
	同 支障木等	0	—

※設備利用率(%) = $\frac{\text{年間発電量(kWh)発電端}}{\text{定格出力(kW)} \times 8760(\text{h})}$

■小規模発電であるからこその人材育成

2MW 未満と比較的小規模な発電所はスケールメリットが低いことから、利益率や収益規模が小さい傾向にあるが、同発電所では、従事者の技術向上に向けた取り組みに力を入れている。

当然、最低限の人数での発電所運営となるため、トラブル対策や運営上の課題への対応のための人員に余裕が無い。また、工業地帯から距離があるエリアでは経験豊富な技術者、発電事業経験者の確保が難しく、異業種からの転職者を育成していく必要がある。しかし、その点をいち早く認識し、教育体制の強化を実現してきた。

■定期的な勉強会で考える力を育成

運転員も参加できるよう、場所は中央操作室内とし、同じ内容をシフトに対応して2回行っている。年間で開催回数は20回程度である。

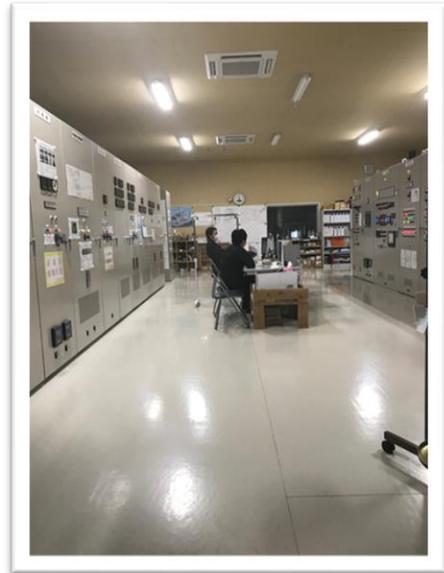
テーマは現状の運営上の課題に応じて設定している。(設備運用、電気関連、機械関係)講師が一方向的にレクチャーするのではなく、たとえば「この警報が出た場合、何が起きているのか?」という課題を与え、参加者から意見を出してもらい、協議する。講師が答えを示すのではなく、あくまでも参加者に議論してもらう。

議論においてまず仮説を立てて検証することを重視しており、自ら問題を見つける能力、問題を解決するための手法を検討し答えを導く、考える力を育てることを目指している。

また、必要に応じ、東北BT会などの研修会に派遣して外部の情報に触れる機会も設けている。

現在、同発電所では初期の小さなトラブルを克服し、傾向管理をしながら、稼働の安定性を確保しながら良好な稼働成績を維持している。

地域の森林から得られる低質材、製材端材、バークを引き受けることで、安定的な木材需要を生み出す



運転監視室内の空きスペースで勉強会を実施
運転員にも参加しやすい環境を整えている

■継続的な燃料調達で地域林業を活性化

同社の親会社である(株)トーセンは栃木県を中心に展開する国産材製材大手である。鶴岡バイオマス発電所で利用される燃料は、隣接するトーセングループの工場で活用される製材用原木の生産の過程で生じる低質材が中心となっている。

同時期に植えられた同じ一つの人工林を伐採しても、その材は製材向けの良質材から燃料向けの低質材まで、品質にはばらつきがある。従来は売れない低質材は林地残材となっていたが、地域に発電所ができたことで低質材が商品として価値を持つようになり、山元への還元もできるようになった。生産量も拡大するなかで木材生産に従事する人材も育つ。

発電所の燃料需要は一般の木材市場ほど需要が変動しないため、地域の林業にとって安定的な収益源となり、好循環に結びついている。



日本海水赤穂発電所(第1・第2バイオマス発電設備)

～燃料の受入規格・管理の徹底で安定稼働を実現～



認定設備情報(第1バイオマス発電設備)

設備ID	N722136E28	事業者名	株式会社日本海水
設備名称	日本海水赤穂バイオマス発電所	認定日	2013/2/13
設置場所	兵庫県赤穂市加里屋字加藤974	運転開始日	2015/4/1
発電出力(kW)発電端	16,530	熱の自家消費	有
発電出力(kW)送電端	およそ14,000	電気の自家消費	無
ボイラ最大蒸発量(t/h)	77	熱の需要先	自社製塩工場
電気の需要先	一般送配電会社	直近の設備利用率	90%超(稼働日数343日)
燃料の種類	(名称)	使用量(t/年)	バイオマス比率(%)
	間伐材	99,000	50.7
	一般木材	17,000	18.8
	パーク	3,000	上記に含む
	PKS	11,000	上記に含む
	建設資材廃棄物	43,000	30.5

認定設備情報(第2バイオマス発電設備)

設備ID	O962618E28	事業者名	株式会社日本海水
設備名称	赤穂西浜バイオマス発電所	認定日	2019/3/17
設置場所	兵庫県赤穂市西浜町997-20、1022-35	運転開始日	2021/1/2
発電出力(kW)発電端	30,000	熱の自家消費	無
発電出力(kW)送電端	およそ27,000	電気の自家消費	無
ボイラ最大蒸発量(t/h)	125	熱の需要先	無
電気の需要先	一般送配電会社	設備利用率	(稼働間もないため通年値なし)
燃料の種類	(名称)	使用量(t)※3か月実績値	バイオマス比率(%)
	間伐材	18,000	22.1
	一般木材	9,000	72.4
	パーク	2,000	上記に含む
	PKS	31,000	上記に含む
	建設資材廃棄物	3,000	5.5

※設備利用率(%) = $\frac{\text{年間発電量(kWh)発電端}}{\text{定格出力(kW)} \times 8760(\text{h})}$

■多様な燃料をさまざまなチャネルから調達し電力の安定供給を実現

比較的大規模の発電所ながら、燃料の5割超を地域の間伐材で賄う。また、建設資材廃棄物や輸入一般木質などの多様な燃料を組み合わせ、2基の発電所の計46,000kW超の出力に必要な熱量を確保、安定稼働を実現している。

近畿地方から集めた間伐材由来の原木は、発電所と同じ工業団地内に設置するチップ工場で燃料チップに加工、2つの発電所に供給される。間伐材等の未利用木材を継続的に使用することで、近隣地域の林業の振興・発展に寄与している。

■合法木材認定を取得。受入規格を設け、水分に応じた価格設定を実施

チップで購入される一般木質などその他の燃料については、長さ5cm以内など形状についての規格と併せ、水分60%を上限とし、水分に応じた価格設定がなされている。

検品は搬入車両の運転手が手順に基づきサンプリングを行い、由来証明と共に納車単位ごとに管理が徹底されている。

同社は合法木材事業者認定も取得済み。兵庫県木材業協同組合連合会主催の講習会に参加するなど、燃料サプライチェーンの核となる発電所として、合法性の確保にも積極的に取り組んでいる。



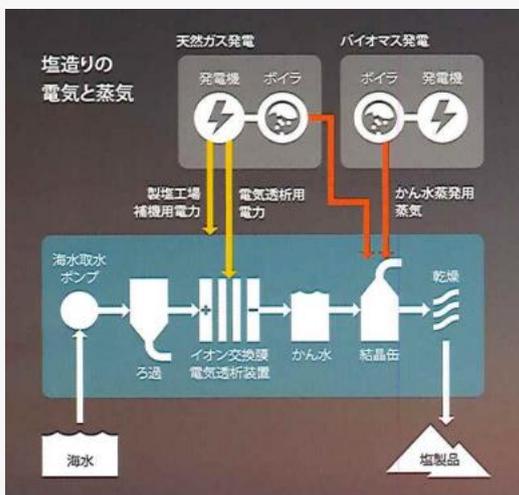
外部から受け入れたチップは投入前に検品用サンプルを採取し、納車単位で管理

■第1バイオマス発電設備は自社製塩工場に蒸気を供給し、生産工程の低炭素化にも寄与

第1バイオマス発電設備では、自社製塩工場の熱需要に対し、蒸気を供給している。これにより、生産工程の低炭素化を実現するとともに、発電のみの場合に比べ、約40%程度総合エネルギー効率を向上させている。

また、発電事業そのものの省エネルギーについても検討、これまでに誘引送風機の動力削減や、運転の挙動に応じたボイラマスタ制御の最適化、GAH伝熱管材質変更等を実施してきた。

同社は食用塩の生産を主業としており、その工場内に設置された発電所の運営についても、ISO経営マネジメントシステムの対象となっており、収益だけでなく、生産工程としての管理、安全衛生、コンプライアンス等も同様に充実した管理体制の下で確保されている。



製塩工程に用いられるエネルギーのフロー。バイオマスからの蒸気は、かん水蒸発用蒸気として使用されている
出典:同社パンフレットより



枕崎バイオマス発電所

～海と山に恵まれた立地を最大限に活かす～



認定設備情報

設備 ID	1A93394H46	事業者名	枕崎バイオマスエナジー合同会社 (発電所) 枕崎バイオマスリソース合同会社 (燃料調達・製造)
設備名称	枕崎バイオマス発電所	認定日	2017/3/16
設置場所	鹿児島県枕崎市仁田浦町195-1	運転開始日	2020/10/9
ボイラー	よしみね水管式ボイラ H-600 型(二胴自然循環式水管ボイラー)	蒸気タービン型式	抽気復水式
発電出力(kW)発電端	1,990	熱と電気の比率	電気 100%
発電出力(kW)送電端	-	熱の自家消費	無
ボイラ最大蒸発量(t/h)	13	電気の自家消費	無
電気の需要先	一般送配電事業者	熱の需要先	無
燃料の種類	(名称)	使用料(t/年間)	バイオマス比率
	未利用(原木、バーク)	-	83%
	一般(バークが多い)	-	17%
※バークの利用比率は燃料全体の 6 割、その他梢端部などを積極活用			

※設備利用率(%) = $\frac{\text{年間発電量(kWh)} \times \text{発電端}}{\text{定格出力(kW)} \times 8760 \text{ (h)}}$



バークの処理では粉碎機を採用
カッターだけだと長物が発生しトラブルにつながりやすい

■地域資源の有効活用と燃料の安定調達を両立

素材生産が盛んな南九州では、従来、製材工程で生じるバーク(樹皮)が大量に発生し、その処理・利活用が課題になっていた。

バークを積極的に収集・利用することで、地域産業である林業・林産業の活力向上に貢献している。また、一部のバークは県内島嶼部から調達している。離島地域は廃棄物処理・中間処分の手段も少なく、余剰資源の処理は地域にとって負担が大きい。枕崎バイオマスエネルギーは、「九州最南端」という立地を最大限活かし、枕崎港を窓口として、島嶼部からの資源活用を実現している。



ストックヤードに積まれた枝葉が付いた梢端部
木材生産が盛んな地域だけに、林地残材の発生も多い

■バーク比率6割、枝付き梢端部を積極収集

当初5割程度とみていたバークの使用比率を6割まで増加。処理効率の高い、大型の粉碎機を導入し、バーク使用時に問題となりやすいオーバーサイズ(リングバーカーで剥いた細長い形状のバークがコンベアなど回転部に絡まり、トラブルになる、バーク同士が絡み合い、塊を作る)を回避。

原木の調達量が減少傾向にあり、梢端部(枝葉がついたもの)の利用に積極的に取り組む。

発電所が立地する地域では、ここ最近中国輸出向け調達が急に進んでおり、低質材の需要が急拡大している。そこで原木供給者である地元森林組合から相談を受け、通常は造材時に林地に残される梢端部を収集して使うという結論に至った。採用しているストーカー炉は幅広い燃料を扱えるのが魅力だが、さらなる安定性の確保のために、燃料状態を見ながら各種燃料を配分してボイラ投入している。

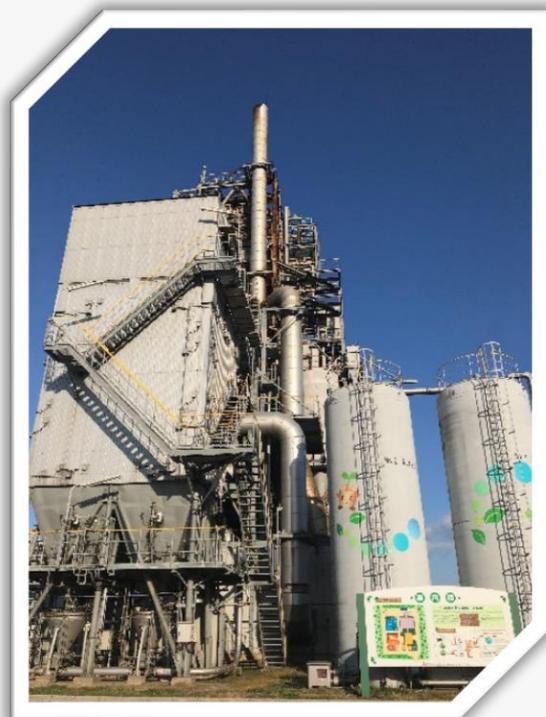
ステークホルダーとの対話を通じ、地域の未活用資源を積極的に収集している、地域材利用の一つのモデルといえる。



バーク、林地残材、丸太など由来の違うチップの配分を考慮しつつ、供給フィーダーに投入する

ミツウロコ岩国発電所

～内部育成による人材確保の好事例～



認定設備情報

設備 ID	O000231F35	事業者名	株式会社ミツウロコ岩国発電所
設備名称	ミツウロコ岩国発電所	認定日	2012/10/26
設置場所	山口県岩国市長野1805-7	運転開始日	2006/1/1
発電出力(kW)発電端	9,500	熱の自家消費	無
発電出力(kW)送電端	8,000	電気の自家消費	無
ボイラ最大蒸発量(t/h)	45	熱の需要先	無
電気の需要先	新電力	直近の設備利用率	84%
燃料使用状況	燃料の種類	使用量(t/年)	バイオマス比率(%)
	未利用	—	40
	一般木材	—	40
	建設資材廃棄物	—	20

※設備利用率(%) = $\frac{\text{年間発電量(kWh)発電端}}{\text{定格出力(kW)} \times 8760 \text{ (h)}}$

■RPS 時代に開業、FIT の移行認定を受けた老舗 木質バイオマス専焼発電所

ミツウロコ岩国発電所は、RPS 法制度下で 2006 年に開業した、全量卸売りの木質バイオマス専焼発電所としては国内初の事業であった。

開業当時は建設資材廃棄物をリサイクルした燃料で稼働していたが、2012 年に FIT 制度の導入間もない同年 10 月に移行認定案件の第 1 号となり、現在では燃料の 7 割を未利用材、一般木材にシフトしている。

移行認定を受けた当時、既に運転開始から 6 年が経過していたため、FIT 移行後の買取期間はその分、短縮される。そのため、現在稼働している FIT 認定発電所の中では比較的早期に卒

■設備の経年変化という経験値

2022 年現在、同発電所は開業して 16 年目を迎える。国内では、自家発電案件を含め、いくつか同世代の木質バイオマス発電所が存在している。

同発電所でも、エコマイザーの腐食など、経年的に発生する故障箇所について、傾向を知ること、緊急停止は発生しにくくなっている。ある意味、木質燃料の性状に起因する現象は先行して事業化している同社で知見が蓄積されており、その経験が共有されることで、その後供給される技術改良に繋がっているケースもある。

経時的な変化の事例としても、卒 FIT 後の最前線としても、今後も多くの示唆が得られると期待される。



ミツウロコ岩国発電所の会議室に掲示された安全標語。安全大会で所内公募したもの



トラックスケール前の検品所。サンプル採取が架台から行えるだけでなく、チップ車上での作業時に安全帯を掛けられる設備も設置されている。

■有資格者の育成に手厚い支援

親会社のミツウロコグループでは風力発電、太陽光発電など複数の発電所を保有していることもあり、運営を主導する有資格者の内部育成には力を入れている。

資格取得のための支援制度があり、資格試験の受験料、働きながら夜間・通信大学で学ぶための支援制度もあり、実際に同発電所所員の中にも夜間の大学を卒業し第 2 種電気主任技術者の資格を取得した事例がある。

現在、所長兼 BT 主任技術者は、同発電所開業当時に入社した一期生が務めている。当時は、最若手の社員としてキャリアをスタートしたが、他社を定年退職後に同社で勤務した歴代の主任技術者の指導を受け、着実に経験を積み、BT 主任技術者の資格を取得、所長に就任している。また、所長の指導の下、新たに BT 主任技術者を育成した。

現在、内部での次世代人材育成を指向している木質バイオマス発電所にとって、人材育成のモデルケースとしても注目される。



索引

	用 語	項目番号		
			移動式チップパー	1.6.1
3	3E+S	序.5.2.5	インバーター化	5.4
5	5S	2.1.3	う 末木枝条	序.3.1
A	A・B 材	序.3.1	売上高対営業利益率	5.2.3
	AI	序.5.2	え 営業運転開始	6.3.1
B	BCP(Business continuity Plan)	6.2.1	エキスパート意識	4.6.1
C	CCS	序.4.1	液体バイオ燃料	1.2.1
	CHP	5.2.2	エネルギー管理	5.4.1
	CoC(Chain Of Custody)認証	1.7.6	エネルギー基本計画	序.4.1
	C 材	序.3.1	エネルギーセキュリティ	序.2
D	DX	序.5.2	エネルギー貯蔵システム	序.4.1
E	EPT(energy payback time)	5.1.2	エネルギー転換部門	1.2.1
F	Feed in Premium 制度(FIP 制度)	5.2.1	エネルギーの地産地消	5.2.1
	Feed in Tariff(FIT 制度)	序.2	エネルギーミックス	序.2.2
	FSC	1.2.2	遠隔制御化	序.5.2
G	GHG(Green House Gas)	1.2.1	塩素分(Cl 分)	2.3.2
L	LCA(Life Cycle Assessment)	1.7.6	お オイルショック	序.5.1
	LM3(Local Multiplier 3)	6.1.2	オーバー材	4.2.3
M	MFT(Maste Fuel Trip)	3.3.1	オープニングミーティング	4.4.2
O	Off-JT	序.5.2	オールラウンドプレーヤー	4.6.1
	OJT	序.5.2	温室効果ガス	序.2.2
	On The Job(略称:OJT)	4.6.1	か カーボンニュートラル	序.2.2
P	P&L(損益計算)	5.3	皆伐	序.3.1
	PDCA	序.5.2	開発期間	6.3.1
	PDCA サイクル	5.2.3	回避可能単価	序.4.2
	PKS	1.2.2	灰分	1.3.2
	Projection	5.3	改良保全	4.1.1
Q	QC 七つ道具	4.3.1	化学エネルギー	序.2.2
	QC 工程	4.1.2	化学処理木材	1.3.2
R	RPS 法	序.2.1	化学的反応	1.4.1
S	SDGs	1.1.1	かさ密度	1.4.1
	SGEC	1.2.2	カスケード利用	1.1.1
W	W.B	1.4.1	環境影響評価	2.3.2
あ	アウトソーシング	3.2.1	乾燥材	5.2.3
	安全衛生管理体系	2.2.1	が ガバナ(調速機)	3.2
	安全衛生管理の教育のための外部ツール	2.2.2	含水率	4.2.3
	安全基本動作	序.5.2	き 基幹系送電容量	3.2
あ	安全文化(safety culture)	2.1.3	き 気候変動対策	1.2
	安定電源	序.4.1	キャッシュ	6.1.3
い	一貫作業	序.3.1	旧薪炭林	序.3.1

	夾雑物	1.5.1		小容量発電所	4.6
	強靱化	6.2.1		商流	1.1
	キレート処理	1.5.1		植栽本数	序.3.1
	金属腐食	1.3.2		所内率	5.4
ぎ	技術基準の適合維持義務	2.4.6		新エネ法	序.2.1
く	空気比のバイアス補正	3.1.1		森林規制・ガバナンス	1.2.1
	クローリングミーティング	4.4.2		森林経営に対する認証(FM 認証)	1.2.2
ぐ	グラップルソー	序.3.1		森林認証	1.2.2
け	経営資源	5.4.3	じ	自家消費	5.2.1
	珪砂	4.2.1		自家発電	序.4.2
	経年劣化(余寿命)診断	4.6.2		時間間隔点検(TBM)	4.1.2
	建設期間	6.3.1		事業採算性	3.4.2
	建設廃材	序.4.1		事業用電気工作物	2.4.1
げ	減肉測定	4.2.3		事後保全	4.1.1
	原燃料	序.3.2		持続可能性	1.2
	原木市場	序.3.1		持続可能性の証明のためのガイドライン	1.2.2
こ	公害問題	序.5.1	じ	自動起動	4.1.2
	工事計画の届出	2.4.1		重金属類	1.5.1
	更新	序.3.1		需給調整者	1.1.1
	コージェネレーション	序.4.2		需給の不一致	序.4.1
	コンテナ	序.3.1		樹体	1.3.2
	コンプライアンス	1.7.1		樹皮	1.3.2
ご	合意形成	6.3.1		樹齢	序.3.1
さ	サイクロン	1.3.3		循環流動層(CFB)	3.1.3
	再造林	序.3.1		巡視点検業務	3.1.1
	サプライチェーン	序.3.2		蒸気利用	序.4.2
	サプライチェーン排出量算定ガイドライン	2.3.2		状態監視点検(CBM)	4.1.2
	サプライヤー	1.4.2		自立運転	3.3.1
	産業連関分析	6.1.2		人工乾燥	1.4
	産業連鎖分析	6.1.2		人工林	序.3.1
	サンプリング	1.4.2	す	水分測定器	1.4.2
し	資源作物	序.2.1		推論統計分析	4.3.1
	自然発火	1.3.3		数理統計分析	4.3.1
	自然変動電源	序.4.1		末口	序.3.1
	湿潤重量基準含水率	1.4.1	す	スタンドバイ機能	4.1.2
	集荷圏	1.1.2		ステーキホルダー	1.1.2
し	集中監視	4.6.4		ストーカー炉	1.3.3
	梢端部	1.6.1		スラッキング	1.3.3
	使用前安全管理審査	2.4.1	せ	背板	序.3.2
	使用前自主検査	2.4.1		性能管理	序.5.2

	設備稼働率	4.1.1	で	ディスク式チップパー	1.6.2
	設備診断業務	3.2.1		デフォルト値	5.2.3
	設備の健全度	4.1.2		電圧周波の安定	3.2
	設備パトロール	3.2.1		電気事業法	2.4.1
	設備利用率	4.1.1		電気集塵機	1.5.1
	剪定枝	1.3.2		電気主任技術者	3.1.1
ぜ	ゼロ・エミッション	2.3.1		伝熱管付着	1.3.3
そ	総合エネルギー効率、総合効率	5.5.1		電力供給信頼度	3.2
	草本植物	1.3.1		電力広域的運営推進機関	4.1.1
	素材生産事業体	序.3.2		電力需給調整	序.4.1
ぞ	造材	序.3.1		電力品質要素	3.2
た	代謝発酵熱	1.3.3	と	投資回収期間	5.2.3
	立木価格	序.3.1		特定工場	2.3.2
	立木購入	1.1.2		土地利用変化	1.2.1
	単木材積	序.3.1		トラックスケール	1.4.2
だ	第三者認証	1.2.2		トラブルシューティング	序.5.2
	脱炭素	序.4.1		トレーサビリティ(追跡確認)	1.6.4
ち	地域活用電源	5.2.1		トレードオフ	序.5.2
	地域経済波及効果	5.2.1	ど	土壌改良剤	1.5
	地域産業	序.2.2		ドラム・ドライヤー方式	1.4.3
	地域内出資比率	6.1.3		ドラム式チップパー(切削式)	1.6.2
	チップトラクター	序.3.1	な	内部利益率 (IRR:Internal Rate of Return)	5.2.3
	チップパーフォワーダ	序.3.1	に	肉厚測定	4.2.3
	チップ	1.3		日常点検	4.4.2
	チャンネル	1.6.1		認定事業者	1.7.3
	中間集積拠点	1.1.1	ね	熱電併給(CHP:Combined Heat and Power)	5.2.2
	中丸太	序.3.1		熱ロス	2.5.1
	調達価格等算定委員会	5.2.3		燃焼灰	1.3.3
	直材	序.3.1		燃料サプライヤー	6.1.3
て	低位発熱量 LHV(Low Heat Value)	1.4.1		燃料搬送系設備	4.2.2
	低温ベルト・ドライヤー方式	1.4.3		燃料ヤード	4.2.3
	定格運転	3.2.2		燃料用木質チップの品質規格	1.3.4
	定期点検期間	4.1.2	の	農業系バイオマス(農作物由来)	1.2.2
	低質材	1.1.2	は	ハーベスタ	序.3.1
て	停止の原則	3.3.1	は	廃棄物系バイオマス	序.2.1
	低循環負荷	3.1.1		排熱活用	4.6.5
	適法処理	1.5.2		灰の低温溶融	1.3.2
	天然乾燥	1.4		桘積み	序.3.1
	天然更新	序.3.1		端材(タンコロ)	序.3.1
	天然林	序.3.1		発達度	1.1.1

発電効率	5.1.2	保安業務の分掌	3.2.1
発電事業関係者	1.1.2	萌芽更新	序.3.1
発電利用に供する木質バイオマスの証明のためのガイドライン	1.2.2	法定耐用年数	5.2.3
ハンマー式チップパー	1.6.2	保護インターロック	3.3.1
ば バーク	4.2.3	ぼ ボイラ・タービン協調制御方式	3.2.2
バイオマス証明書	4.4.1	ボイラー・タービン主任技術者	3.1.1
バイオマス発電所採算シミュレーター	5.2.1	ボイラー温度静特性値	3.1.4
バグフィルター	1.5.1	ボイラー技士	3.1.1
バケット	序.3.1	ボイラ追従方式	3.2.2
伐採届	1.2.2	ま マス量	3.3.1
伐出・運材コスト	序.3.1	マテリアル利用	序.3.2
バブリング流動床(BFB)	3.1.3	マニフェスト	1.5.2
バルク船	序.4.2	マルチスキル化	序.5.2
ぱ パージインターロック	3.3.1	み 見掛容積	1.4.1
パルプ材	序.3.1	未利用材	序.3.1
ひ ヒートバラス	3.3.1	む 無垢材	1.3.2
飛散防止ネット	4.2.3	も 木材・木材製品の合法性	1.2.2
飛灰、フライアッシュ	1.5.1	木材実質割合	1.3.3
ヒヤリハット	4.6.3	木質規格(日本木質ペレット協会)	1.3.4
ヒューマンエラー	2.1.3	木部	1.3.2
標準作業化	3.4.2	モンテカルロシミュレーション(多重確率の模擬実験)	5.2.4
び 微生物による腐朽	1.4.1	や 山土場	序.3.2
ぴ ピンホール	4.2.3	ゆ 有意サンプリング	4.3.3
ふ ファーストヒット	3.4.2	優位性	5.2.4
フィルター	1.3.3	有害物質	1.3.2
フォワーダ	序.3.1	有機物の損失(Dry Matter Loss,DML,ドライマターロス)	1.4.1
賦課金	序.4.2	優良広葉樹資源	序.3.1
フックロールコンテナ	序.3.1	優良苗	序.3.1
篩	4.2.3	ユニット停止	4.1.2
フルスペック	4.1.2	輸入チップ	序.3.2
ぶ 物質収支	序.2.2	よ 余寿命診断・評価	序.5.2
物理的反応	1.4.1	予防保全	4.1.1
ぶ 物流	1.1	ら ライフサイクル	序.2.2
ぷ プレミアム	5.1.1	ランダムサンプリング	4.2.3
プロセス値	3.3.1	ランニングコスト	1.5.1
ベ ベースロード	序.4.1	ランピング失敗	3.4.3
ベッドアッシュ・ボトムアッシュ	1.5.1	り 利益の源泉	1.6.1
ペ ペレット	1.3	離隔距離	6.3.1
ほ 保安管理組織	3.2.1	リスク管理	2.1.2
保安規程	2.4.6	リスクコミュニケーション	2.1.4

	リスク評価管理者	2.1.3
	良質電力の安定供給	2.5
れ	レジリエンス	5.2.1
ろ	老朽化	5.1.2
	労働安全管理	2.2.1
	路盤材	1.5.2

本事業に関する検討委員会

座長	日本木質バイオマスエネルギー協会 会長 名誉教授 東京大学 名誉教授	酒井 秀夫
委員	みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社グローバルイノベーション&エネルギー部 上席主任コンサルタント	石井 伸彦
委員	東京大学大学院農学生命科学研究科 教授	芋生 憲司
委員	グリーン・サーマル株式会社 社長室顧問	河野 義明
委員	国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所 林業経営・政策研究領域長	久保山 裕史
委員	株式会社鶴岡バイオマス発電所 技術顧問(元所長)	佐野 貢
委員	一般社団法人バイオマス発電事業者協会 代表理事(事務局長)	山本 毅嗣
委員	一般財団法人電力中央研究所 エネルギーイノベーション創発センター 上席研究員	山本 博巳

ご協力

- 一般社団法人火力原子力発電技術協会
- 一般社団法人バイオマス発電事業者協会
- 一般社団法人日本有機資源協会(JORA)

本テキストにおける執筆者一覧

序論

(序-1)	日本木質バイオマスエネルギー協会 会長 東京大学 名誉教授	酒井 秀夫
(序-2)	東京大学大学院 農学生命科学研究科 教授	芋生 憲司
(序-3)	国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所 林業経営・政策研究領域長	久保山 裕史
(序-4)	一般財団法人 電力中央研究所 エネルギーイノベーション創発センター 上席研究員	山本 博巳
(序-5)	一般社団法人火力原子力発電技術協会 専務理事	中澤 治久

第1章 安全・法規・技術倫理

(1-1)	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所	横田 康裕
(1-2)	公益財団法人自然エネルギー財団 上級研究員 博士(農学)	相川 高信
(1-3)	岩手大学 名誉教授	沢辺 攻
(1-4)	株式会社日比谷アメニス 環境エネルギー部 課長	大西 竹志
(1-5)	一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会	
(1-6)	博士(農学)	吉田 美佳
(1-7)	北海道立総合研究機構 森林研究本部 林産試験場 研修主任	前川 洋平

第2章 安全・法規・技術倫理

(2-1)	今井技術士事務所	今井 伸治
(2-2、2-3)	一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会	
(2-4)	グリーン・サーマル株式会社 社長室顧問	河野 義明
(2-5)	株式会社鶴岡バイオマス発電所 技術顧問	佐野 貢

第3章 運転監視・制御

(3-1、3-2、3-3、3-4)	グリーン・サーマル株式会社 社長室顧問	河野 義明
-------------------	---------------------	-------

第4章 予防保全・メンテナンス

(4-1、4-2、4-3、4-4、4-5) グリーン・サーマル株式会社 社長室顧問 河野 義明

(4-6) 株式会社鶴岡バイオマス発電所 技術顧問 佐野 貢

第5章 経営改善(エネルギー合理化/経営効率化)

(5-1、5-4、5-5) 一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会

(5-2) 北海道立総合研究機構 森林研究本部 林産試験場 主査 古俣 寛隆

(5-3) グリーン・サーマル株式会社 代表取締役 滝澤 誠

第6章 地域共生・レジリエンス強化

(6-1) みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社グローバルイノベーション&エネルギー部 上席主任コンサルタント 石井 伸彦

(6-2) 一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会

(6-3) グリーン・サーマル株式会社 代表取締役 滝澤 誠

ヒアリング協力事業者一覧(あいうえお順)

DS グリーン発電米沢合同会社

SGET グリーン発電三条合同会社

株式会社 V・T エナジーマネジメント

九州木質バイオマス発電連携協議会

グリーン・サーマル株式会社

株式会社グリーン発電大分

住友重機械工業株式会社

信州ウッドパワー株式会社

株式会社タクマ

株式会社トーセン

中国木材株式会社

株式会社鶴岡バイオマス

株式会社那珂川バイオマス

株式会社日本海水

日本コムシス株式会社

株式会社ミツウロコ岩国発電所

三菱重工パワーインダストリー株式会社

株式会社大仙バイオマスエナジー

枕崎バイオマスエナジー合同会社

枕崎バイオマスリソース合同会社

株式会社よしみね

リージョナルパワー株式会社

飯森木材株式会社

経済産業省 資源エネルギー庁

〒100-8931

東京都千代田区霞が関 1-3-1

TEL 03-3501-4031

【編集協力】

一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会