

# 再生可能エネルギーの山形県における活用状況 -太陽光発電およびバイオマス発電-

末永 文厚

## Sutudy on The present situation of utilization of Renewable energy in Yamagata prefecture

- Salor and Baiomass power generation systems -

Fumiatsu SUENAGA

(Received on Dec. 2016)

### Abstract

Annual energy consumption and CO<sub>2</sub> emission of Yamagata prefecture (Tohoku area) in Japan are 72564 TJ and 10.14×10<sup>6</sup> ton respectively. Concerning the energy-local production for local consumption and reduction of CO<sub>2</sub> emission to protect environment, Prefectural Government planned the utilization of renewable energy such as solar, biomass and wind energy in 2013. As of March,2016, 370MW that is 42 % of planned power generation to utilize renewable enery has been achieved. Though Solar and Biomass power generation systems are well developing, several tasks are existing in futher progress. Best combination of power supply sources such as renewable power system and existing thermal power system should be studied in the very near future.

キーワード：再生可能エネルギー、太陽光発電、バイオマス発電

Key Words : Renewable energy, Biomass energy, Solar energy.

### 1. 緒言

地球環境保全あるいは“エネルギー”の地産地消の観点から、太陽光・風力・バイオマスなどの再生可能エネルギーの積極的な活用と有効利用が進められている。本校の位置する山形県では、平成24年3月に“山形県エネルギー戦略<sup>1)</sup>”(以下、県戦略と略記)が策定されて、再生可能エネルギーによる電力・熱供給の拡充の途上にある。本報では、その現状と課題について取り纏めた。

### 2. 目的

山形県の再生エネルギーの活用状況と課題について概説する。

### 3. 分析と特徴

(1) エネルギー消費量(平成25年度)<sup>2)</sup>

山形県の年間最終エネルギー消費量は熱量換算で72564テラジュール(TJ)であり、家庭や

業務用の民生用が66%、産業用と運輸用とがそれぞれ17%を占める。詳細を表1に示す。このうち、消費電力量は24868 TJで6908×10<sup>6</sup> kWhである。なお、年間総CO<sub>2</sub>排出量は1014万ton(平成24年度)<sup>3)</sup>となっている。

表1 山形県の年間最終エネルギー消費量

	2013年度	単位:TJ
最終エネルギー消費合計	72564 (100%)	
	産業	12422 (17%)
内訳	民生	47908 (66%)
	家庭	20396
	業務	27513
	運輸	12234 (17%)
この内、電力量は6908×10 <sup>6</sup> Kwh(24868TJ)		
出典:資源エネルギー庁・各種統計情報・都道府県別エネルギー消費統計		

(2) 再生可能エネルギー期待可採量<sup>1)</sup>

山形県の再生可能エネルギーの期待可採量(活用が期待できる量)を図1に示す。総量は78854 TJで、県内で1年間に消費するエネルギー量に相当する量となっている。このことから再生可能エネルギーの活用可能性が高いとして県戦略が策定された。

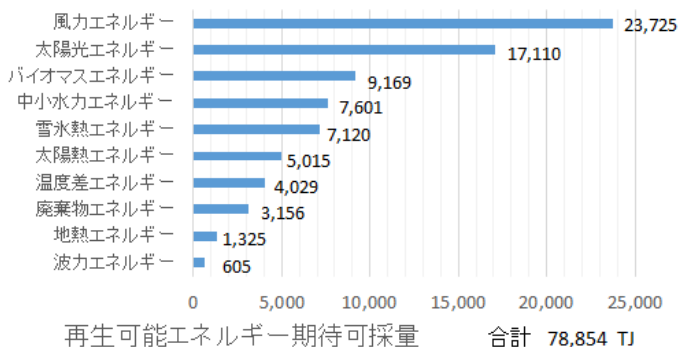


図 1 山形県の再生可能エネルギー期待可採量

(3) 再生可能エネルギー活用計画と進捗度<sup>4)</sup>

県戦略における再生可能エネルギーの活用計画では、電源として、平成 22 年度の実績 6.5 万 kw に対して平成 42(2030) 年度までに 87.7 万 kw の開発を目標としている。この値は県の必要電力最大量 150 万 kw の 58 %に達し高い。この計画量に対し平成 28 年 3 月時点の開発量は 37.0 万 kw となり 42%の進捗度となっている。進捗状況を表 2 に示す。

表 2 山形県エネルギー戦略の目標値と進捗状

山形県エネルギー戦略 (再生可能エネルギー)	目標		開発量				
	平成42年度 (2030年度)	平成32年度 (2020年度)	平成27年度末(2015年度末)		平成26年度末		平成25年度末
			累計	稼働分	計画決定分	累計	累計
電源 合計	87.7万kw	57	37	14.8	22.2	22.6	10.3
風力発電	45.8	31.2	5.5	0.4	5.1	4.1	4.4
太陽光発電	30.5	22.8	22.5	14	8.5	16.2	5.1
バイオマス発電	1.4	1	7.1	0.3	6.8	0.6	0.6
中小水力発電	2	0.6	1.9	0.1	1.8	1.7	0.3
地熱天然ガス発電など	8.1	1.4					
熱源 合計	13.8万kw	10.3	3.2	3.1	0.1	2.8	2.1
バイオマス熱	3.4	2.5	2.3	2.3	0	2	1.6
その他熱利用 (太陽熱・地中熱等)	10.4	7.4	0.9	0.8	0.1	0.7	0.5
合計	101.5万kw	67.3	40.2	17.9	22.3	25.4	12.4

次に各電源種類毎の進捗状況<sup>4)5)</sup>について述べる。

(4) 太陽光発電の状況

稼働中に CO<sub>2</sub> 発生がない太陽光発電では、開発目標 30.5 万 kw に対し平成 28 年 3 月時点で開発量は 22.5 万 kw で 74%の進捗度となっており、開発は順調にみえる。平成 24 年度に始まった電力の

固定価格買取制度(FIT)<sup>6)</sup>の適用に伴い数年来急増したが、買取価格の低下と大型のプロジェクトが一巡したため最近の伸び率は鈍化している。

(5) バイオマス発電の状況

バイオマス発電では、植物系の燃料を燃焼するので CO<sub>2</sub> 発生量がゼロ相当になる(いわゆるカーボンニュートラル)。開発目標 1.4 万 kw に対し平成 28 年 3 月時点で開発量は 7.1 万 kw となり、計画の 5 倍と開発が超過達成されている。FIT制度の適用や大規模事業者の進出に伴い急増している。

(6) その他の再生可能エネルギー利用設備

風力発電では、開発目標45.8万kwに対し平成28年3月時点での開発量は5.5万kwで、12%の進捗度と低い。風況を考慮した事業地の選定、環境影響評価の長期化、送電系統などの問題を有している。海外では1基8000kw級の風車を使用した出力30万kw級の洋上風力発電所が実現している。我国でも洋上風力の活用が求められるが、実用化の緒端に就いたばかりである。

その他、中小水力発電、地熱発電などは元来開発の絶対量が少ない。

4. 課題

以上のような現状を踏まえて、代表的な再生可能エネルギー活用について今後の取り組みに関する課題を整理した。

(1) 太陽光発電

日本国内の太陽光発電所50カ所について、その要目<sup>7)</sup>を表3に示す。地上に降り注ぐ単位面積当たりの太陽エネルギー量(太陽定数:1.37 kw/m<sup>2</sup>)に対する発電効率、出力や敷地面積当たりの投資額などを調査した。発電出力当たりの施設建設費は 34万円/kw、敷地面積当たりの投資額は 2万円/m<sup>2</sup>程度である。

投資額と運転維持費用との合計で発電コストが決まり、それと FIT 制度における電力の買取価格とのバランスで発電所の成否がきまる。表 4 に発電コストと買取価格の例<sup>6)</sup>を示す。最近では太陽光発電では買取価格が毎年低下しており、これが太陽光発電設備の一つの課題である。

表 4 固定価格買取制度 (FIT)

	発電コスト (円/kwh)	買取 価格 (円/kwh)	
		平成24年度	平成28年度
太陽光 (10kw以上)	45. 8~30. 1	40	24
太陽光 (10kw未満)	38. 3~33. 4	42	33
バイオマス	32. 2~17. 4 (木質専焼)	32 (間伐材由来)	32 (2000kw以上) (間伐材由来)
風力	17. 3~9. 9 (陸上)	22 (20kw以上)	22 (20kw以上)
石炭火力	9. 5	-	

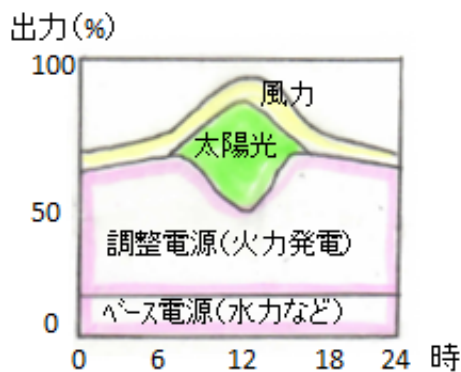
出展：資源エネルギー庁ホームページ

次に太陽光発電の最大の課題は、自然現象により一日のうちの昼夜発電量の差が大きいことである。

必要な電源の総量は、太陽光発電量とその他の発電設備の発電量との合計で確保されなければならないので、太陽光発電量が最大になる昼間はその他の発電設備の発電量が最少となる。一方、夜間は太陽光発電量がゼロになるので、その他の電力が最大となる。例として太陽光発電量が増加した場合の一日の電力使用（発電）パターンを図2に示す。図中の太陽光の部分の形状がアヒルの口先に似ているので、アヒル曲線と呼ばれる。

それ故に、他の発電設備の運用可能な最大・最少発電量を考慮して、総量に占める太陽光発電の割合をある程度以下に抑える必要がある。

開発計画はこれらを考慮したものとすべきである。



変動が大きい電源（昼間最大、夜ゼロ）：太陽光  
調整する電源：LNG、石油、石炭火力  
ベース電源（出力一定）：原子力、水力

図2 太陽光が増加した場合の一日の電力需給曲線

## (2) バイオマス発電

日本国内の10か所のバイオマス発電所の要目<sup>7)</sup>を表5に示す。発電量当たりの施設建設費は4.9万円/MW、敷地面積当たりの出力0.75 kw/m<sup>2</sup>程度となっている。

バイオマス発電でカーボンニュートラルの条件が成立するためには、発電の燃料となり消費されるバイオマスの量が、成長し増加するバイオマスの量より少なくなる必要がある。

例えば、発電量当たりのバイオマス燃料（木材チップ）の必要量が13000 ton/kw・年であり、山形県の現在の木材生産量が30万ton/年とすれば、最大可能発電量は2.3万kwとなる。平成28年3月時点での開発量は7.1万kwなので、既に県内では燃料となる木材の調達に厳しいとの情報があるが得心できる。

エネルギーの地産地用に鑑みて、バイオマス発電の開発計画は、県内の森林資源の有限性を考慮したものである必要がある。

## 4. 考察

電力のFIT制度の適用に伴い山形県内でも再生可能エネルギーの活用が進められており、策定された戦略の目標値に対し42%程度まで進捗している。その中で太陽光発電、バイオマス発電が順調に増加している。

表6<sup>8)</sup>に示すように再生可能エネルギーは単位数地面積当たりで生み出せる電力量すなわち電力密度がきわめて低い。通常の火力発電所に比べて100分の1程度となっている。これが再生可能エネルギーを利用する発電設備の投資・運用額に直接に影響している。FIT制度により再生可能エネルギーによる発電量が最近大きく増加しているが、一方で図3<sup>7)</sup>に示すように、FIT制度の賦課金（買取られた再生可能エネルギーの費用負担分）による影響で、電気料金は高価になっている。

再生可能エネルギーの有する特性や有限な資源量の有効利用について十分に考えたうえで、それを利用しなければならない。

## 5. 結言

山形県における再生可能エネルギーの活用状況について、順調に開発が進捗している太陽光発電とバイオマス発電とは、ともに課題を有している。洋上風力発電などその他の資源の活用を進める必要がある一方で、再生可能エネルギー設備への投資はFIT制度の改定に伴う電力買取価格の低下に直接の影響を受ける。図4<sup>9)</sup>に示す将来の我が国全体の電力源のベストミックスを考慮し、東北地方の中の山形県としての電源・エネルギー源のベストミックスをどのように考えてゆくかが最も重要である。

表6 電力所の電力供給密度

	対象	電力密度 (kWh/m <sup>2</sup> 年)	備考
供給密度	太陽光発電	24	日本(経度35度)、年利用率20%
		74	本研究による、年利用率12%
	バイオマス発電	4500	本研究による
		2	森林面積・直径20kmを加味すると
風力発電	21	USA、ウインドファーム、年利用率20% 275kw×340基 (3mile <sup>2</sup> )	
	火力発電	9600	石炭火力、70万kw×3基 敷地面積134万m <sup>2</sup> 、年利用率75%
消費密度	オフィスビル	400	8階建、延べ床面積3000m <sup>2</sup>
	家庭	35	1戸建2階屋、敷地面積165m <sup>2</sup>

出展：内山・エネルギー工学と社会 に本研究のデータを追記

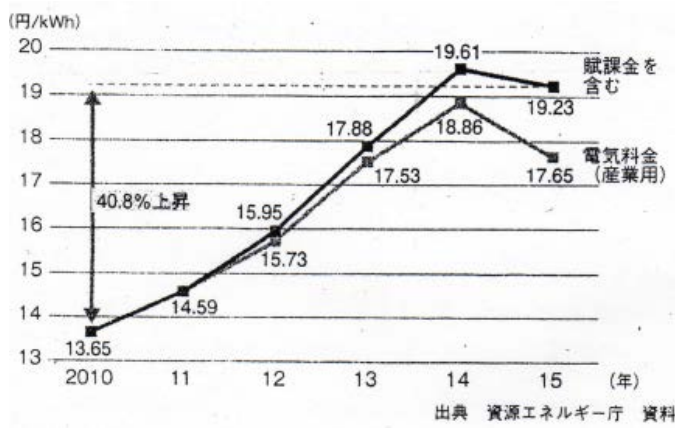


図 3 産業用電気料金の推移



図 4 我が国の 2030 年の電源構成  
(出典：「長期エネルギー需給見通し」経済産業省)

表3 太陽光発電所の要目一覧表

	発電所名	投資額[億円]	出力[kW]	面積[m <sup>2</sup> ]	単位面積[kW/m <sup>2</sup> ]	推定効率[%]	投資/出力[万円/kW]	投資/面積[万円/m <sup>2</sup> ]
1	三菱化学物流 水島	3	1000	6900	0.145	10.58	30.00	4.35
2	ソフトバンク浜松中開ソーラー	200	43400	531000	0.082	5.97	46.08	3.77
3	宇部太陽光発電所	13	3000	40000	0.075	5.47	43.33	3.25
4	遊佐町太陽光発電事業	60	20600	320000	0.064	4.70	29.13	1.88
5	宇久島メガソーラーパーク	1500	430000	6300000	0.068	4.98	34.88	2.38
6	瀬戸内メガソーラーPrj	1100	231440	2650000	0.087	6.37	47.53	4.15
7	亘理町メガソーラー事業	200	49500	749000	0.066	4.82	40.40	2.67
8	鹿屋大崎ソーラーヒルズ	350	92000	2000000	0.046	3.36	38.04	1.75
9	九州メガソーラー	37	11000	250000	0.044	3.21	33.64	1.48
10	一関市金沢太陽光発電所	38	10800	180000	0.060	4.38	35.19	2.11
11	洋野角浜太陽光発電所	43	9300	194000	0.048	3.50	46.24	2.22
12	宇土発電所	6	1788	25000	0.072	5.22	33.56	2.40
13	未来工業熊本工場	3.5	1200	13000	0.092	6.74	29.17	2.69
14	フジボウテキスタイル豊浜工場	31	12500	160000	0.078	5.70	24.80	1.94
15	詫間太陽光発電所	45	10000	154000	0.065	4.74	45.00	2.92
16	山口県下メガソーラー	9.6	2500	31000	0.081	5.89	38.40	3.10
17	SOL de 佐々神田	5.7	1972	27000	0.073	5.33	28.90	2.11
18	エネシード長崎太陽光発電所	4.4	1500	23000	0.065	4.76	29.33	1.91
19	SGET 秋田メガソーラー	9	2667	80000	0.033	2.43	33.75	1.13
20	秋田県大館市太陽光発電設備	2.1	750	13000	0.058	4.21	28.00	1.62
21	eL・メガソーラーパワー事業	7.3	1500	40000	0.038	2.74	48.67	1.83
22	カゴメ和田メガソーラー	5.5	1890	59000	0.032	2.34	29.10	0.93
23	ソシアメガソーラー事業	5.7	1890	11000	0.172	12.54	30.16	5.18
24	青森県八戸市メガソーラー	7	2296	85000	0.027	1.97	30.49	0.82
25	SGET富山メガソーラー	28	7686	204000	0.038	2.75	36.43	1.37
26	シキボウ富山工場メガソーラー	10	2400	46000	0.052	3.81	41.67	2.17
27	神通川浄水太陽光発電所	7.9	1750	29000	0.060	4.40	45.14	2.72
28	高岡太陽光発電所	5	1750	24000	0.073	5.32	28.57	2.08
29	ヨシコン遠洲工場	7	1999	20000	0.100	7.30	35.02	3.50
30	牧之原市中央工業団地	56	18000	420000	0.043	3.13	31.11	1.33
31	藤守太陽光発電所	5.8	1327	19000	0.070	5.10	43.71	3.05
32	サンシャインパーク仁尾	7.4	2500	32000	0.078	5.70	29.60	2.31
33	坂出太陽光発電所	5	1990	24000	0.083	6.05	25.13	2.08
34	日本製紙メガソーラー小松島	70	21000	250000	0.084	6.13	33.33	2.80
35	美馬ソーラーパレイ	3.5	1189	19000	0.063	4.57	29.44	1.84
36	阿波西ソーラーヒルズ発電所	5.3	2000	42000	0.048	3.48	26.50	1.26
37	やすだソーラーパワー	3	1000	17000	0.059	4.29	30.00	1.76
38	サンシャインパーク安芸	7.6	2450	40000	0.061	4.47	31.02	1.90
39	サンライトミタニ電力・発電所	5	1600	23000	0.070	5.08	31.25	2.17
40	土佐くろしおソーラー発電所	8	2100	35000	0.060	4.38	38.10	2.29
41	1Gメガソーラーパーク新居浜	3.4	1000	38000	0.026	1.92	34.00	0.89
42	クラボウ北条工場メガソーラー	25	9400	106000	0.089	6.47	26.60	2.36
43	今治太陽光発電所	1.5	500	6000	0.083	6.08	30.00	2.50
44	PGCソーラー発電所	4.5	3000	25000	0.120	8.76	15.00	1.80
45	SGET芦北メガソーラー発電所	31	8000	90000	0.089	6.49	38.75	3.44
46	八代市メガソーラー発電事業	4.3	1250	20000	0.063	4.56	34.40	2.15
47	八幡ソーラー発電所	7	2600	30000	0.087	6.33	26.92	2.33
48	天草宝島みやびソーラーパワー	6	1999	32000	0.062	4.56	30.02	1.88
49	サンシャインエナジー湧水	92	25800	300000	0.086	6.28	35.66	3.07
50	垂水市高峠太陽光発電所	26	9450	118000	0.080	5.85	27.51	2.20
平均					0.070	5.10	34	2

注記 ① 推定効率は太陽定数に対する割合で示す。 太陽定数： 1.37 kw/m<sup>2</sup>  
推定効率＝敷地面積当たりの出力／太陽定数×100 (%)  
② エネルギー密度は下式にて計算した。 平均利用率：12 %  
エネルギー密度＝敷地面積当たりの出力×365日×24時間×(12/100)  
＝0.070×365×24×0.12＝ 74 (kwh/m<sup>2</sup>)

表 5 バイオマス発電所の要目一覧表

番号	名称	投資額 (億円) Cost	出力 (MW) Poc	発電量(売電) (万KWH/年) Epg	燃料量 (ton/年) Fc	熱効率 (%)	敷地面積 (㎡) Area	地域	運開年	建設単価 (億円/MW) "=C/P"	燃費 (ton/kw・年) "=Fc/P"	出力密度 (kw/㎡) "=1000P/A"	エネルギー密度 (kwh/㎡) "=E*10 <sup>4</sup> /A"	稼働時間 (h) "=10E/P"	利用率 (%)
1	多気バイオパワー /中部フロントサービス ウッドワン	-	6.7	5000	65000	27	8800	三重県	2016/6	4.0	10000	0.76	5700	7460	0.85
2		24	6												
2		26	5.8	4000	50000	-	5000	広島県	2015/4	4.5	9000	1.16	8000	6900	0.79
3	鶴岡バイオマス	16	1.995	1651	40000	-	9000	山形県	2015/11	8.0	20000	0.22	1800	8280	0.95
4	米沢バイオマス	40	6.25	4270	80000	-	34700	山形県	2018/1	6.4	13000	0.18	1200	6830	0.78
5	ザミット酒田パワー	250	50	35000	-	-	44000	山形県	2018/5 予定	5.0	-	1.14	8000	7000	0.80
6	岐阜バイオマスパワー	29	6.25	4100	89000	-	16000	岐阜県	2014/12 予定	4.6	14000	0.39	2600	6560	0.75
7	バイオマス専焼発電	-	13	9000	110000	発電端 29 送電端 24	-	-	-	-	8000	-	-	6920	0.79
8	グリーン発電会津	24	5.7	4050	60000	-	10000	福島県	2012/7	4.2	11000	0.57	4100	7110	0.81
9	ウツテイかわい	28	5.8	4000	90000	発電端 26	-	岩手県	2014/4	4.8	16000	-	-	6900	0.79
10	神之池バイオマス	45	21	(8300) 負荷70%にて	150000 負荷70%にて	-	13000	茨城県	2008/8	2.1	(10000) 負荷70%にて	1.62	(6400) 負荷70%にて	-	(0.7)
	平均	-	-	-	-	-	-	-	-	4.9	13000	0.75	4500	7100	0.81
文 献 値	①大岩徳雄		5.7			送電端 18.7				6.3					
	②JAPIC・森林分科会	30	5							6.0					
	③グリーンサマル(株)	25	5		60000		10000			5.0	12000	0.5			
		25	5		60000		20000			5.0	12000	0.25			
	④渡部喜智		1		10600	高位HV 20					10600				0.85

注記 文献値の出展は参考文献の10)11)12)13)。

### 参考文献

- 1) 山形県：山形県エネルギー戦略，平成24年3月
- 2) 資源エネルギー庁：各種統計情報，都道府県別エネルギー消費統計・山形県，平成27年12月25日
- 3) 山形県環境企画課：平成24年度山形県内の温室効果ガス排出量について，平成26年11月27日
- 4) 山形県：山形県エネルギー戦略の進捗状況について，平成28年6月
- 5) 山形県：エネルギー政策推進プログラム見直し検討委員会（第4回）資料，平成28年10月26日
- 6) 資源エネルギー庁：ホームページ，「なっとく！再生可能エネルギー」固定価格買取制度
- 7) 各社新聞記事および各社ホームページ
- 8) 内山洋司：新訂エネルギー工学と社会，放送大学教育振興会，2003年
- 9) 経済産業省：長期エネルギー需給見通し，平成27年7月
- 10) 大岩徳雄：バイオマス発電の経済性評価，中部電力 技術開発ニュース No.151，2014年8月
- 11) JAPIC 森林再生事業化委員会 森林バイオマス分科会 提言参考資料
- 12) グリーンサマル(株) 資源循環型森林未利用材を用いたバイオマス発電事業計画要約，平成24年
- 13) 渡部喜智：木質バイオマス発電の特性・特徴と課題，農林金融2012・10，農林中金総合研究所，2012年