

資料編—1

久米島で導入が考えられる風力発電と太陽電池

導入候補となる風力発電と太陽電池について

1. 風力発電の機種選定

(1)大型風力発電機(1,000 kW～)

- ・ 沖縄電力が発電所に併設する事業用発電機としての可能性はあるが、公共あるいは民間事業用向けに、分散型発電機としての導入可能性は久米島では小さい
- ・ 理由は系統連系に関しては連系した場合の一般電力系統の電力の質の維持に課題が多いこと、沖縄電力側のアンシラリーサービスのコストが大きくなること
- ・ 導入コストに関しては、基礎工事や重機調達など工事費やメンテナンスのための時間的損失が巨額になり大型機導入のメリットが得られないこと
- ・ 景観上、大型風車は威圧感があり、久米島の自然環境面で問題視されるおそれがあること
- ・ 複数基大量導入の時代を迎え、ベンダーが1～2基導入に対応するかどうか不明であること
- ・ 仮に導入できた場合でも、解列問題（系統連系切り離し）が潜んでおり、それを回避するための電力貯蔵システムなどを考慮すると、発電コストが必ずしも安くなるとは限らないこと。
- ・ 導入のための事業費（事業利益抜き）は、大規模ウインドファームの場合で17～18万円/kW、上記の厳しい条件下で25～28万円/kW、発電コストは風況次第で非常に大きな落差がある。
- ・ よって久米島での大型機の採用は見送る。

(2)中型風力発電機(500 kW～999 kW)

- ・ 7～8年前までは主力機であったが、土地の有効活用、発電コスト、メーカーの経営資源集中化などの理由から現在はこのクラスの機種の製造から撤退するメーカーが多くなっており、この機種の採用は長期的な観点からはベターな選択とは言い難い状況にある。
- ・ ただしこのクラスの機種が市場にはまだあり、導入が困難なわけではない。スペイン製、ドイツ製など製造は継続されるだろう。
- ・ 国の補助が続くかぎり、発電コストの面では問題は少ない。
- ・ 久米島での事情を考えると機種があれば導入も考えられるが、やはり風車は大きく威圧感があり、景観上好ましくないとの見方が出てくる恐れがある。
- ・ 導入のための事業費（事業利益抜き）は、数基のウインドファームの場合で22～25万円/kW、(1)の厳しい条件下で28～30万円/kW、発電コストは風況次第で非常に大きな落差がある。
- ・ よってこのクラスの風車は、このビジョンでは導入対象には加えない。

(3) 中小型風力発電機(21 kW～499 kW)

- ・風車ラインアップ上からみると、このクラスがいわゆる“空白の領域”にあり、ごく限られて機種が細々と市販されている状況である。
- ・特に 100 kW 前後の機種は旧型を除きほぼ市場から消えつつある。
- ・20～50 kW の機種は研究開発、市場テスト的なものがほとんどで、商品化が確立している機種は一部の例外を除きほとんどない。
- ・導入事業費は、サイトの条件が厳しくないことを前提として、100 kW 以上で 30～40 万円/kW 前後、20 kW クラスで 100～150 万円/kW 程度。機種によっては 100 kW で 100 万円/kW を越すものもある。
発電コストは 100 kW 以上の機種で 20 円/kWh 以上、20 kW クラスでは太陽光発電とほぼ同じ 40～50 円/kWh 程度。
- ・発電コストの面では、電気料金との比較の面で、ランニングコストだけを考えれば経済性ありと判断できるが、減価償却費まで考慮すると経済性はまずない。
- ・NEDO が京都府と開発を進めている直線翼垂直軸型 50 kW の機種は、現在様々な問題を実証的に解決しようとしている段階にあり、研究開発の経過をみないと現時点では取り上げ難い。
- ・このビジョンでは、一般の電気と対峙する形の利用は考えず、バーデハウスの海洋深層水加温用熱源（負荷は抵抗負荷）として検討する。

(4) 小型風車(1～20 kW)

- ・最近このクラスの風力発電機はメーカー乱立の状況にあり、それだけ市場も急拡大している。
- ・機種としては 1～5 kW までが大半を占めており、5 kW 以上は研究開発段階のものが大半だが、10～20 kW のものでも一部機種は市販製品として完成の域にある。
- ・導入事業費は、10～20 kW クラスで 150～200 万円/kW。量産化が進めば 100 万円程度まで下がるといわれている。
- ・発電コストは太陽光発電とほぼ同じレベルとみてよい。メーカーもそれを意識した商品化をねらっている。
- ・導入事例は増えているが、減価償却費まで考慮した経済的なメリットを条件にして導入しているところは皆無であり、導入の根拠は、環境への配慮、モニユメント効果、ランニングコスト削減効果などである。
- ・よってこのビジョンでは技術レベルとして安定化している機種がある 5～10 kW クラスを念頭に導入を検討する。

(5) マイクロ風車(1kW 未満)

- ・100 W～500 W クラスの超小型風車で、多くは太陽電池を組み合わせた街路灯、防犯等の形で商品化されている。
- ・メーカーも非常に多く、また風車のタイプも様々である。
- ・街路灯タイプは 1 本 100 万円～250 万円程度で売られている。

- ・減価償却費を考慮した経済性は全くない。多くは町のモニュメント、環境への配慮をねらって導入している。
- ・プロジェクトの組み方次第で国の補助も受けられるので、公共事業の一環として導入する自治体が多い。
- ・久米島でも街路灯としての導入が考えられるのでビジョンに取り入れたい。ただメーカーが乱立しているので特定機種を選定は行わない。

2. 導入候補として検討すべき中～小型風力発電機

(1)プロペラ型 500 kW 未満中型風力発電機

①商品名：ACSA A-27・225	225 kW (スペイン)
FUHLANDER	100 kW～250 kW (ドイツ)
NORTHERN POWER	100 kW (アメリカ)
SEEWIND	110 kW～132 kW (ドイツ)
ENERCON	330 kW (ドイツ)

②メーカー名：同上

③導入対象プロジェクト候補

- ・バーデハウス熱源用

④風車の仕様

省略

(2)プロペラ型 10 kW 風力発電機

①商品名「風流鯨」(かぜながすくじら)

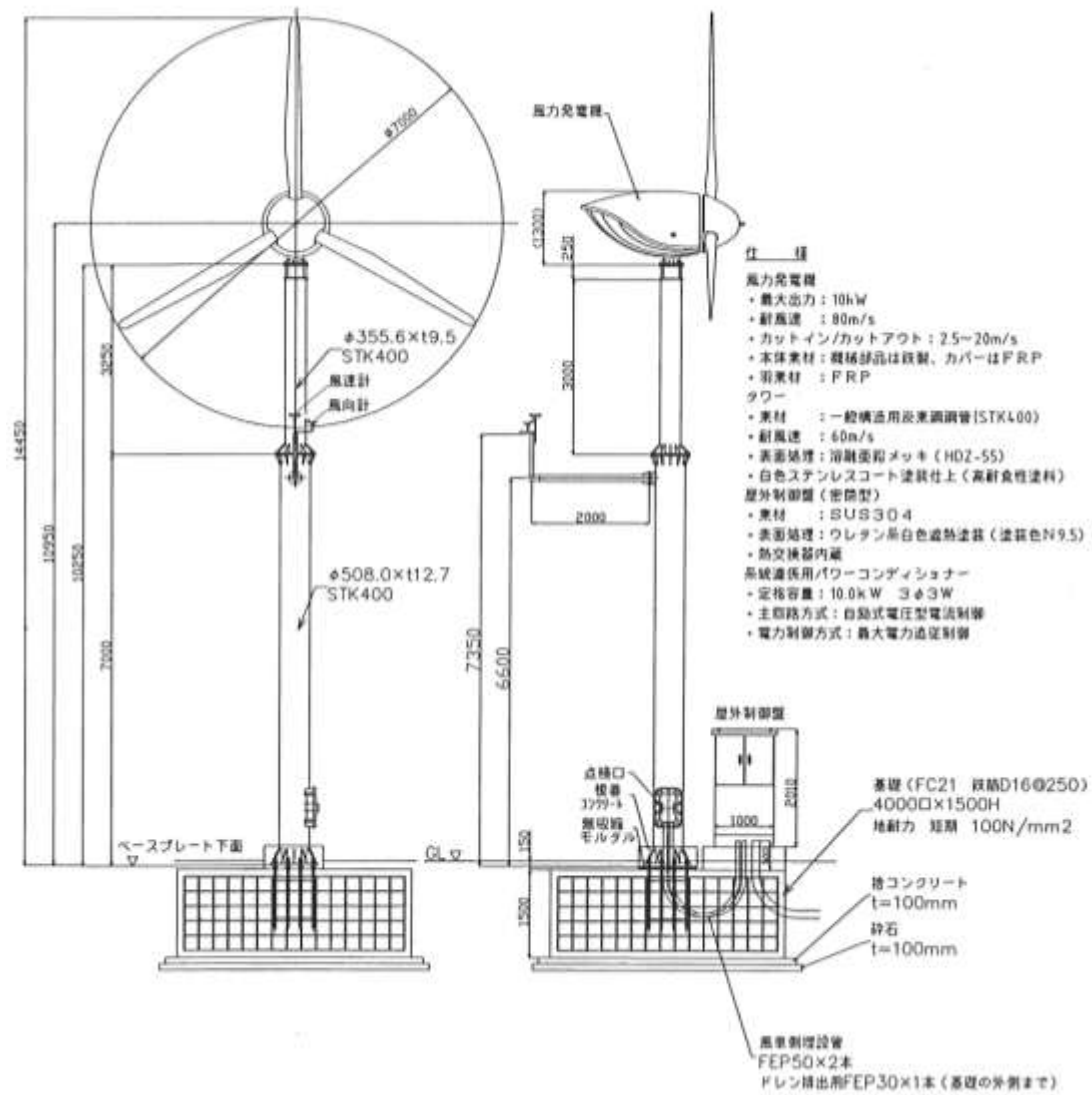
②メーカー：㈱ニッコー (白山市)

③導入対象プロジェクト候補

- ・仲里庁舎モニュメント用 (マイクログリッドで他との連系)
- ・クルマエビ養殖場での太陽電池とのハイブリッド電源用
- ・堆肥センターの自家発電用
- ・奥武島ミニウインドファーム (5台程度。マイクログリッドで他との連系)

④風車の仕様

次ページ



平成 18 年 3 月 千葉市稲毛海浜公園



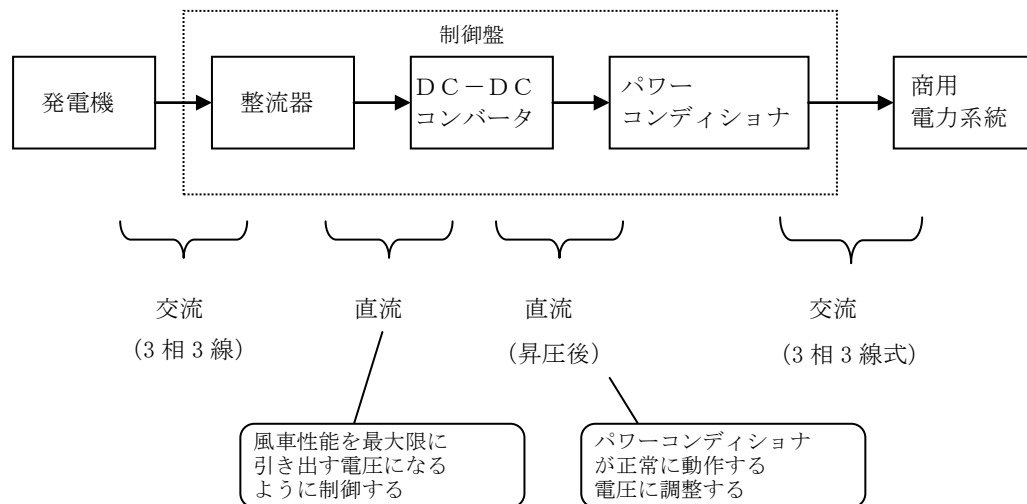
平成 18 年 3 月 大和ハウス工業
栃木二宮工場殿

主要緒元

基本	分類	小型風力発電機		
	型式	NWG-10K		
	定格出力	10.0 kW		
	耐風速	本体	80 m/s	
		タワー・基礎	80 m/s	
性能	カットイン風速	2.5 m/s		
	カットアウト風速	20 m/s		
	始動風速	1.0~1.5 m/s		
	停止風速	20 m/s		
ローター	ローター位置	ダウンウィンド		
	ローター直径	7.0 m		
	最大回転数	200 rpm		
	ブレード枚数	3枚		
	ブレード材質	FRP		
タワー	ハブ高さ	10.95 m		
	表面処理	溶融亜鉛メッキ (HDZ-55) 白色ステンレスコート塗装仕上げ (高耐食性塗料)		
運転制御	ヨー制御	アクティブヨー		
	出力制御	主：ファールリング／副：フェザリング		
	ブレーキ	ドラムブレーキ		
発電機	型式	永久磁石同期		
	極数	30		
	電源	3相3線 定格時 AC164.5V		
	増速機	なし		
DC-DC コンバーター	適用	風力発電機		
	定格入力電圧	210 Vdc		
	主回路動作電圧範囲	85~450 Vdc		
	最大入力電力	10.0 kW		
	最大出力電圧	450 Vdc		
	昇圧コンバーター部	回路方式	非絶縁型昇圧チョッパ	
	制御回路部	回路方式	低電流制御	
系統連係用 パワーコンディショナ	定格容量	10.0 kW		
	出力相数	3相3線式		
	接続	3相3線		
	主回路方式	自励式電圧型電流制御方式		
	電力制御方式	最大電力追従制御 (MPPT 制御)		
	周波数	50/60 Hz		
その他	モニター機能	有 (ディスプレイはオプション)		
	ロギング機能			

発電ラインについて

ローターが風により回転し、ローターシャフトに直結された発電機により電気を生み出す。発電された電気は3相交流で制御盤に送られ、整流器により直流に変換される。その後DC-DCコンバーターによりパワーコンディショナの定格電圧以上まで昇圧される。パワーコンディショナで発電機からの直流電力は3相交流 200 V に変換され、系統連係を行う。

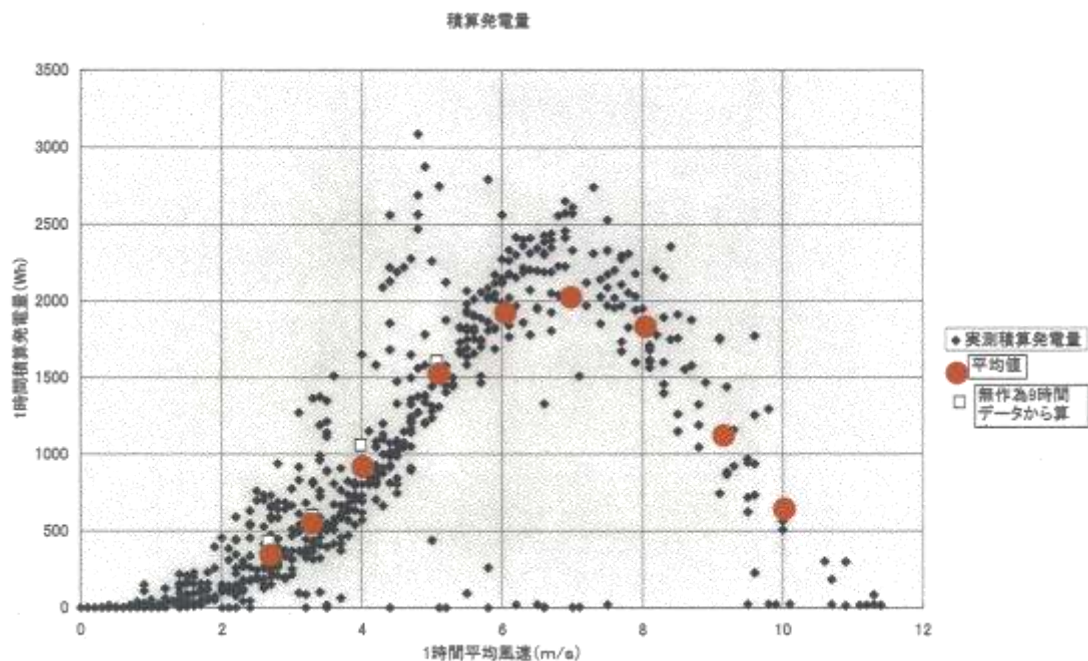


各風速における発電量(カタログデータ)

	2 m/s	2 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s
10 kW 出力 W	75.1	256.7	629.2	1,244.1	2,150.1	3,404	5,034
	9 m/s	10 m/s	11 m/s	12 m/s	13 m/s	14 m/s	
10 kW 出力 W	6,930.6	8,999.5	10,000	10,000	9,500	8,000	

レーレ分布(k=2)の場合の風速出現率

		各風速域の出現率 (%)						
平均風速		1 m/s	2 m/s	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s
4 m/s		9.2	16	18.9	18	14.3	10	6.1
4.5 m/s		7	13.5	16.4	17.1	15	11.2	8
5 m/s		6	11	14.2	15.2	14.3	12	9.4
5.5 m/s		5.1	9.4	12.6	13.7	13.5	12.3	10
		各風速域の出現率 (%)						
平均風速		8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s	12 m/s	13 m/s	14 m/s
4 m/s		3.4	1.6	0.8	0.2	0.1	0	0
4.5 m/s		5	3	1.8	0.9	0.4	0.2	0
5 m/s		6.8	4.3	2.8	1.5	0.8	0.3	0.1
5.5 m/s		7.8	5.7	3.8	2.4	1.3	0.8	0.3



プロペラ型ギアレス 2 kW 風車パワーカーブ

(3)直線翼垂直軸型2～10 kW 風力発電機

①商品名：特になし

②メーカー：エネルギープロダクト(株) (東京都)

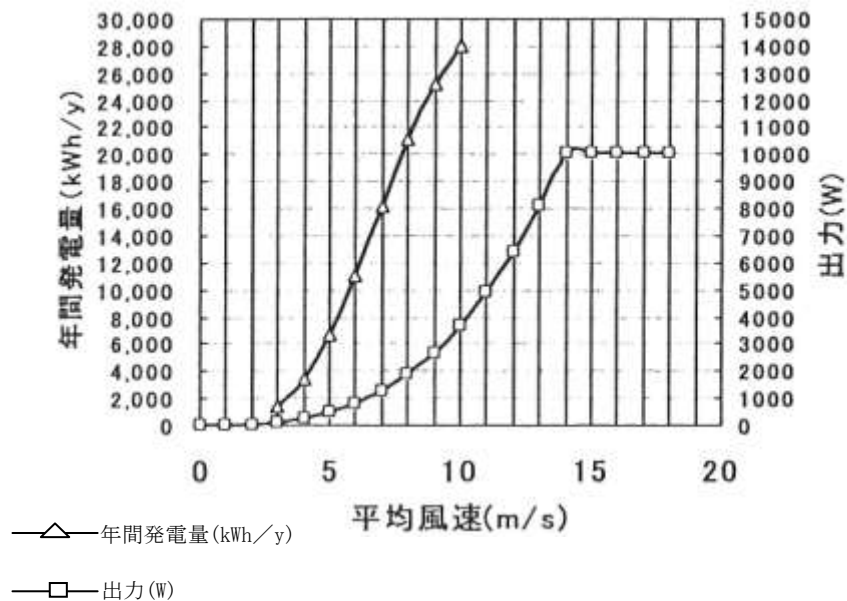
当社以外にもこの風車への参入企業は多々あるが、技術情報公開の面でこの会社の風車が現時点では取り上げるに値する。

③導入対象プロジェクト候補

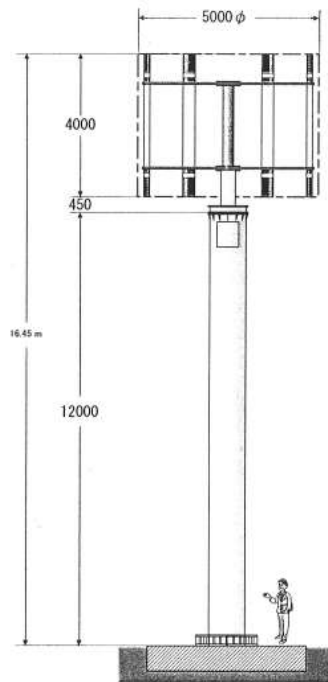
- ・町内学校、環境教育用 (マイクログリッドで他との連系)
- ・クルマエビ養殖場での太陽電池とのハイブリッド電源用

④風車の仕様

項目		仕様
型式		EP-20-03-GC
公称出力		10 kW
推奨用途		系統連係
設計条件	耐風速	最大 60 m/s
	気温	最高 40℃, 最低 -10℃
風速及び出力	カットイン	3 m/s 99 W
	常用	8 m/s 1882 W
	定格	14 m/s 10,000 W
	カットアウト	18 m/s 10,000 W
外形寸法		5,000 φ × 約 16,450 H
受風面積		20 m ²
年間発電量		年平均 6 m/s のとき 11,000 kWh/y
安全装置		エアードライブ式ディスクブレーキ
付属設備	太陽電池	—
概略重量	風車全体	約 7,300 kg
	制御盤	kg



出力と年間発電量

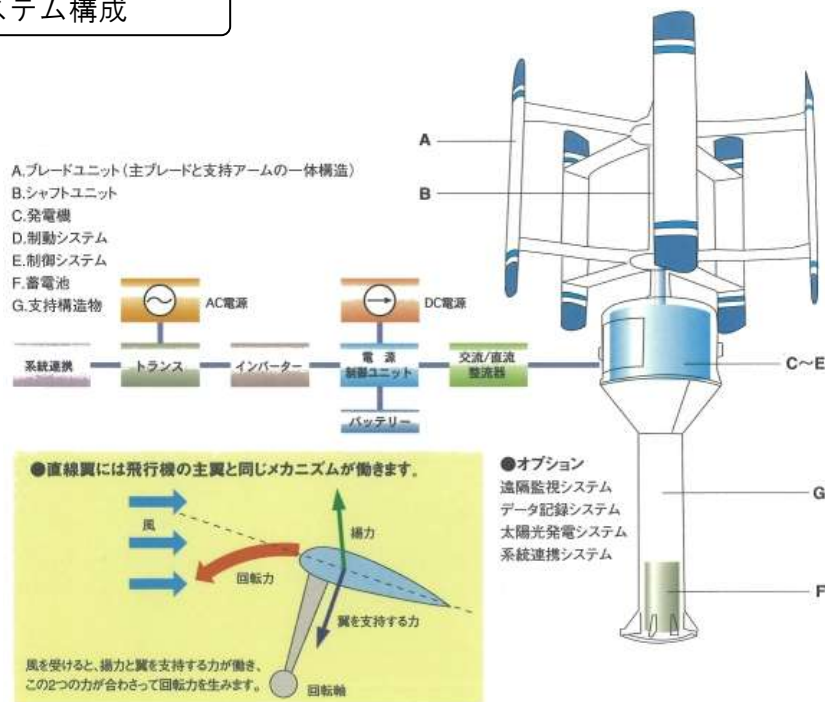


10kW クラス

特徴

- 無指向性のため、風向きに関係なく発電できる
- 騒音、振動が非常に少ないため、市街地への設置が容易
- 多段積が可能で地面からの高さによる、風速変動を受けない
- 固定ピッチ方式であり、構造が極めてシンプルのためメンテナンスが容易
- ユニット化して建物に組み込むなどの施工性に優れている。

システム構成



直線翼垂直軸型風車 V S プロペラ型ギアレス風車

ともに 10 kW

久米島での設備利用率比較

久米島 月別平均風速 (METPV 値)

(測定高さ 9.7 m)

月	平均風速 (m/s)
1月	4.22
2月	3.93
3月	4.00
4月	3.79
5月	3.64
6月	3.47
7月	3.28
8月	4.42
9月	4.35
10月	3.82
11月	3.72
12月	3.58
年間平均	3.90

久米島風速階級別出現頻度分布 (METPV 値)

(測定高さ 9.7 m)

風速階級	出現率 (%)
0~0.9	2.7
1~1.9	8.6
2~2.9	12.2
3~3.9	21.3
4~4.9	21.8
5~5.9	16.2
6~6.9	9.6
7~7.9	4.0
8~8.9	1.8
9~9.9	0.8
10~10.9	0.4
11~11.9	0.2
12~12.9	0.2
13~13.9	0.1
14~14.9	0.1
15~15.9	0.0
16~16.9	0.0
17~17.9	0.0
18~18.9	0.0
19~19.9	0.0
20~20.9	0.0

10 kW 直線翼垂直軸型風車による期待発電量

久米島：高さ 9.7 m

風速階級	出現率 (%)	出現時間 (年間)	発電出力 (kW)	年間発電量 (kWh)
0～0.9	2.7	235	0	0
1～1.9	8.6	753	0	0
2～2.9	12.2	1,069	0.1	107
3～3.9	21.3	1,866	0.3	560
4～4.9	21.8	1,910	0.5	955
5～5.9	16.2	1,419	0.7	993
6～6.9	9.6	841	1.0	841
7～7.9	4.0	350	1.6	560
8～8.9	1.8	158	2.4	379
9～9.9	0.8	70	3.2	224
10～10.9	0.4	35	4.5	158
11～11.9	0.2	18	5.8	104
12～12.9	0.2	18	7.5	135
13～13.9	0.1	9	9.4	85
14～14.9	0.1	9	10.0	90
15～以上	0.0	0	10.0	0
計	100.0	8,760		5,191

- 年間設備利用率：5,191 kWh ÷ 10 kW × 8,760 時間 = 5.9%
- 9.7 m の風速データ (年間平均 3.9 m) の高さ補正した場合
- 粗度 (n) を 5 (= 田園農村地帯の平均) に設定
 $3.9 \times (20/9.7)^{1/5} = 3.9 \times 2.06^{1/5} = 3.9 \times 1.16 = 4.5 \text{ m}$
- 近似値として、年間発電量 × 1.16³ → 1.56 倍に
- 年間発電量は 8,098 kWh に。また設備利用率は 9.2% に。
- 観測データ =9.7 m にて年間平均 3.9 m が 10% 増減しただけで年間発電量は 33% も増加 する点に留意の要あり。
- 風車導入プラン策定の際には立地地点での風況観測が不可欠。

10 kWプロペラ型ギアレス風車による期待発電量※

久米島：高さ 9.7 m

※発電端

風速階級	出現率 (%)	出現時間 (年間)	発電出力 (W)	年間発電量 (kWh)
0～0.9	2.7	235	0	0
1～1.9	8.6	753	0	0
2～2.9	12.2	1,069	0.3	321
3～3.9	21.3	1,866	0.4	746
4～4.9	21.8	1,910	0.9	1,719
5～5.9	16.2	1,419	1.7	2,412
6～6.9	9.6	841	2.8	2,355
7～7.9	4.0	350	4.2	1,470
8～8.9	1.8	158	6.0	948
9～9.9	0.8	70	8.0	560
10～10.9	0.4	35	9.5	333
11～11.9	0.2	18	10.0	180
12～12.9	0.2	18	9.8	176
13～13.9	0.1	9	8.8	79
14～14.9	0.1	9	8.0	72
15～以上	0.0	0	0	0
計	100.0	8,760		11,371

・年間設備利用率：11,371 kWh ÷ 10 kW × 8,760 時間 = 13.0%

・9.7 m の風速データ (年間平均 3.9 m) の高さを 20 m に補正すると、

・粗度 (n) を 5 (= 田園農村地帯の平均) に設定

$$3.9 \times (20/9.7)^{1/5} = 3.9 \times 2.06^{1/5} = 3.9 \times 1.16 = 4.5 \text{ m}$$

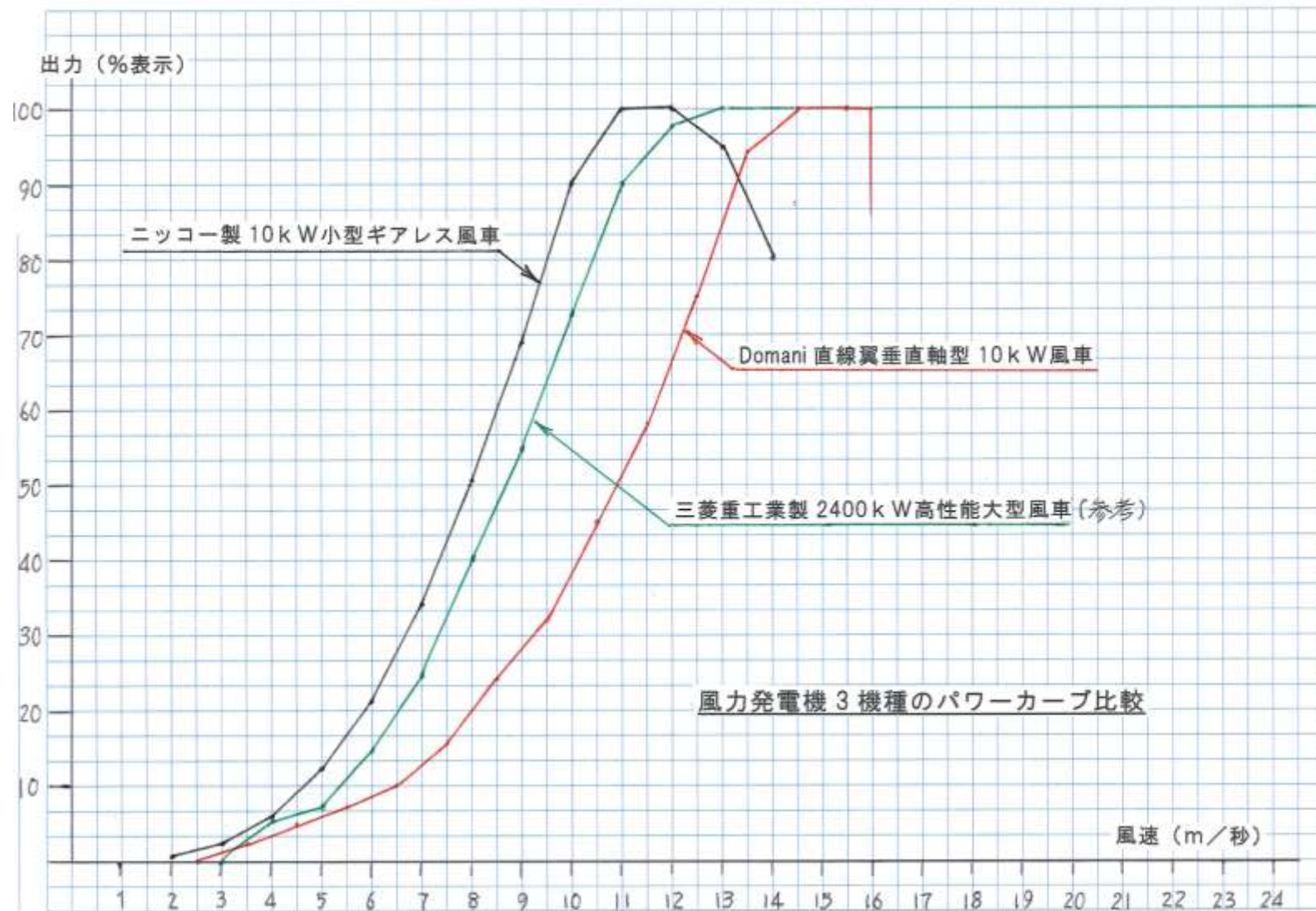
・近似値として、年間発電量 × 1.16³ → 1.56 倍に

小型プロペラ型風車の高さ 20 m に設置した場合の年間発電量

$$11,371 \times 1.56 = 17,739 \text{ kWh/年}$$

$$\text{設備利用率} = 20.2\%$$

・風況の良い立地、たとえば 10 m の高さで 4.5 m の風況が観測された地点を選定すると設備利用率が 30% 台に達すると想定される。



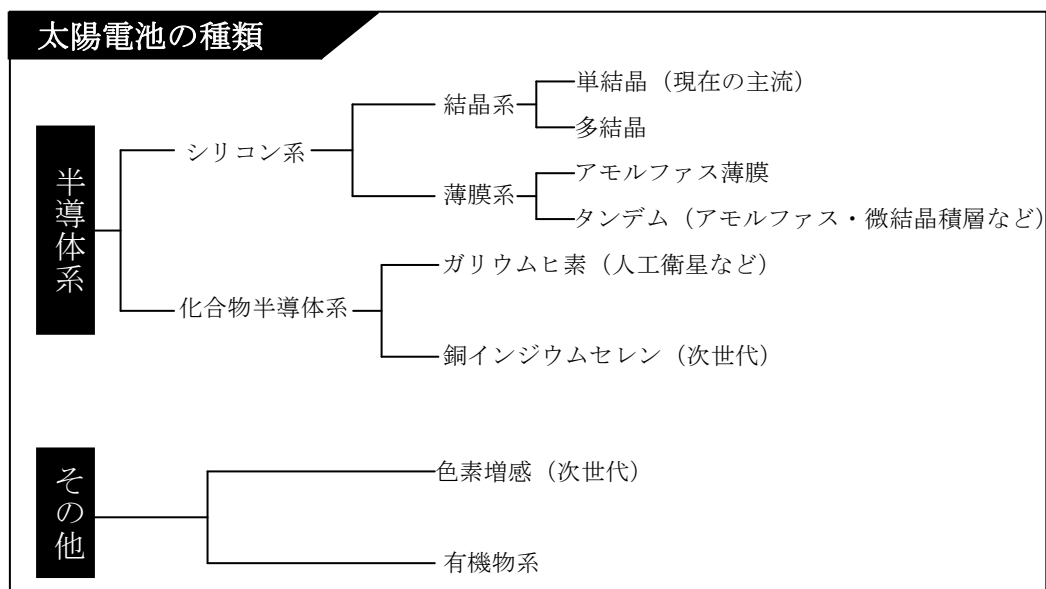
3. 太陽光発電システムの機種選定

(1)太陽光発電導入対象プロジェクト

- ①カンジダム農業かんがい用電力
- ②クルマエビ養殖場の風力太陽光ハイブリッド電源用
- ③学校、庁舎などの公共施設の自家用電源
- ④街路灯などの風力太陽光ハイブリッド電源用

(2)太陽電池の種類

太陽電池の種類を体系的に表わすと以下のようなになる。



- ・ 太陽電池は半導体を用いて光のエネルギーを電気に変換するデバイスで、大きく分けてシリコン系と化合物半導体系がある。
- ・ 化合物半導体系は次世代型太陽電池との位置づけで研究開発が盛んであり、その中でもCIS（銅、インジウム、セレン）系は低コストが強みとされ、商品化も近い。
- ・ シリコン系は結晶系と非結晶＝アモルファス系に分かれ、結晶系には単結晶系と多結晶系がある
- ・ 非結晶＝アモルファス系は薄膜系と、薄膜アモルファス型と微結晶型を重ね合わせたタンデム型とがあり、このタンデム型が最近注目を集めている。
- ・ 薄膜系のアモルファス太陽電池は大面積の膜を容易に作ることが出来るので電卓の電池などに広く使われたが太陽光の電気への変換効率が7%前後と低く、結晶系の半分程度に止まっていた。
- ・ このため一定の面積から得られる電力は結晶系のほうがアモルファスの2倍前後あり、住宅の屋根など面積が限られている場所への設置では、面積効率＝発電効率の優れた結晶系が主流となって今日に至っている。2010年頃までは多結晶系が主流として普及する見込み。
- ・ 結晶系の課題になっているのが原料である結晶シリコンの不足。メーカー各社は薄膜

化などで対策を進めているが、年 10 GW~100 GW の多結晶シリコンを確保するには膨大な設備投資が必要で、このままでは 1W=100 円というコスト目標の達成は困難になる。

- ・こうした背景から、久米島町のビジョンでは、近い将来有望視される薄膜シリコン、薄膜化合物といった新材料の太陽電池の採用を検討する。特に亜熱帯地域の地域特性に適合するとみられる新開発のアモルファス・タンデム型に焦点を当てる。

4. アモルファス・タンデム型太陽電池の特長

- ・アモルファス型は発電効率自体は結晶系に劣るものの、炎天下でも発電効率は落ちにくいという特長がある。
- ・そのため、南の地方では住宅の屋根に設置した場合、アモルファス型の太陽電池の年間発電量は結晶系を上回ることもあり得ると言われる。
- ・更に、アモルファスと微結晶型シリコンを重ね合わせたタンデム型では、アモルファス型が可視光線のみを電力に変換するのに対し、タンデム型は可視光線に加えて赤外線も電力に変換できる。
- ・そのため、アモルファス型の発電効率は 8 %程度だがタンデム型は 11%から 12%を確保できるだろうと見られている。この発電効率は現在の結晶系に匹敵するものでもある。



外形寸法	1.4 m×1.1 m
出力	100 Wp/枚
動作電圧	DC100V
重量	約 21kg

アモルファス太陽電池—仕様—
世界最大サイズのアモルファス太陽電池

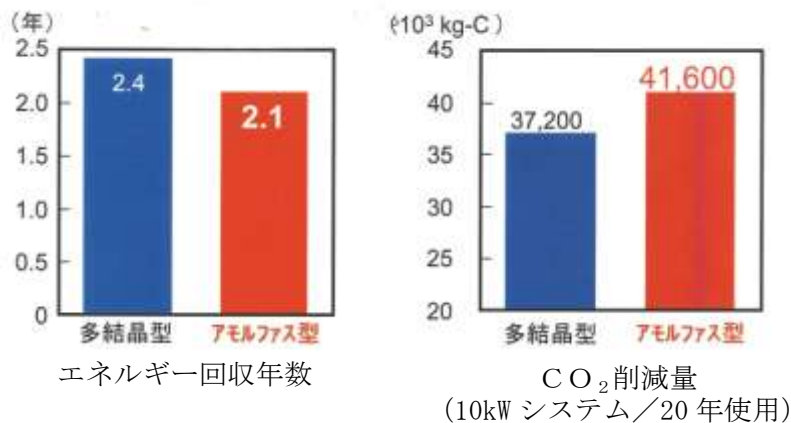
アモルファス太陽電池—特徴(1)—

- ・年間発電量が多い
- ・高温時の発電特性に優れ、電力需要が逼迫する夏場に威力発揮
- ・結晶型と比べ、年間発電量が10%アップ
(東南アジア等の熱帯地域に最適の特性)



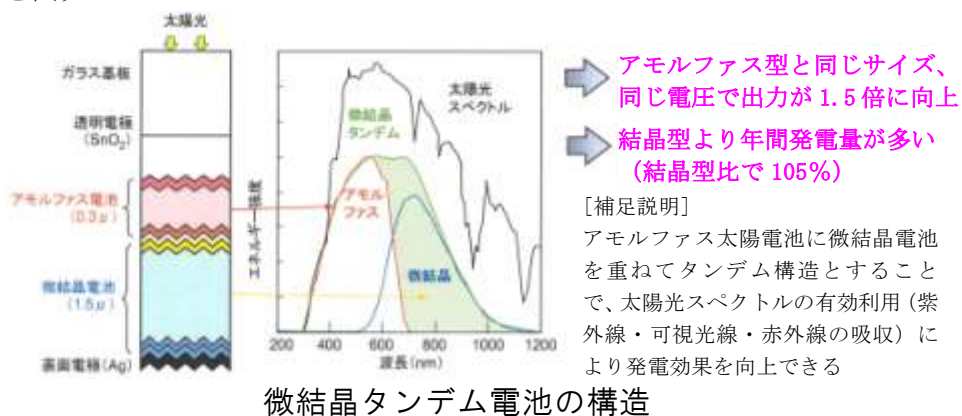
アモルファス太陽電池—特徴(2)—

- ・環境にやさしい
- ・製造時に投入するエネルギー量が少なく、運転時の温室効果ガス (CO₂) の削減効果も大きい



微結晶タンデム電池—開発コンセプト—

効率向上 (現アモルファス 100 kW/枚→150 W/枚) により商品力が大幅にアップした製品を開発



微結晶タンデム電池の構造

5. 太陽電池の変換効率の展望と太陽電池のコスト

(1)変換効率の展望

- ・この20年間で、

研究レベルの小面積の変換効率では

単結晶シリコン系： 18%から 25%

多結晶シリコン系： 12%から 20%

アモルファスシリコン系： 5%から 14%

量産レベルの実用的なモジュールサイズの変換効率では

単結晶シリコン系： 17%前後

多結晶シリコン系： 15%前後

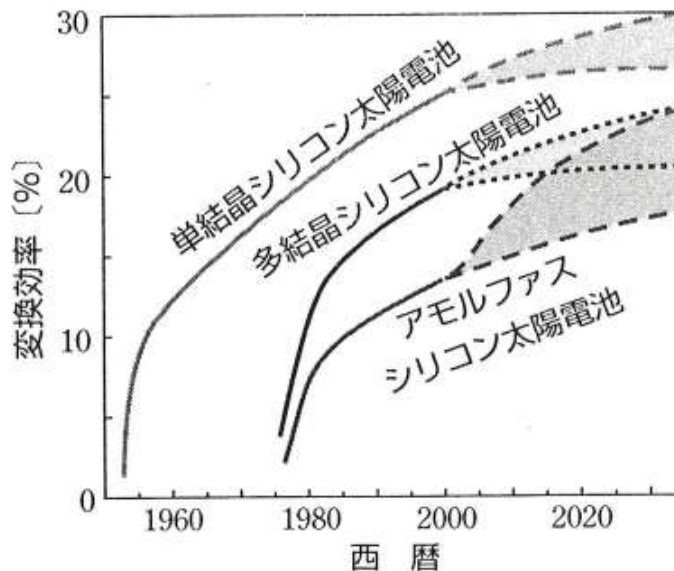
アモルファスシリコン系： 12%前後

となっている。

- ・今後の研究開発により、単結晶シリコン系で27%、多結晶シリコン系で20%、アモルファスシリコン系でも20%程度まで向上していくものと予想されている。

(オーム社太陽エネルギー利用技術 47p より)

- ・しかし、結晶系シリコンには原料である結晶シリコンの調達不安があり、コストを考えると、将来は薄膜系が優位になっていくものと考えられる。



シリコン系太陽電池の変換効率の向上

(2)太陽電池のコスト

- ・太陽電池は現在製造が間に合わないほどの売れ行きを示しており、ヨーロッパ（ドイツなど）向けが急増していて、国内出荷に影響がでている。
- ・様々なタイプの太陽電池が登場し、発電効率の良さを競っているが、価格はかなり戦略的に決められており、品薄状態が続くかぎり大半のタイプは「最終的な発電コストにさほどの差が生じないようなモジュール価格」に収斂していくものと考えられる。
- ・したがって現時点では、市場での競争原理が働かず、どのタイプがコスト的に優位か

は判定できない。売り手市場である場合はコスト削減効果は利益に転化され、価格の低下には結び付かないからである。

- ・参考までに国が策定した太陽電池開発の「ロードマップ」を掲載する。

太陽光発電の技術開発目標

開発目標	経済性の改善：汎用電力並の発電コスト（7円/kWh）の実現 （マイルストーン 2010年：23円/kWh, 2020年：14円/kWh, 2030年<7円/kWh）
	適用性の拡大：インバータ・蓄電装置の低コスト化と太陽光発電の自律度の向上

●2030年に向けた個別技術課題の開発目標

項目	現状	開発目標（達成年）
モジュール製造コスト削減	生産 250 円/W (2003)	100 円/W (2010)
モジュール高性能化	開発 140 円/W (2007 見込)	75 円/W (2020)
		<50 円/W (2030)
モジュール耐久性向上	20 年	寿命
原料需要の安定化	10~13 kg/W	シリコン原単位, 1g/W(2030)
インバータ	~30,000 円/kW	15,000 円/kW(2020)
蓄電装置	~10 円/kW(自動車用)	10 円/Wh(2020), 耐用 10 年

高性能化

●太陽電池モジュール変換効率目標 (%)

()内はセル効率

太陽電池の種類	現状	変換効率目標 (%)		
		2010 年	2020 年	2030 年
結晶シリコン太陽電池	13~14.8(18.4)	16(20)	19(25)	22(25)
薄膜シリコン太陽電池	10(14.7)	12(15)	14(18)	18(20)
C I S 系太陽電池	10~12(18.9)	13(19)	18(25)	22(25)
超高効率太陽電池	集光(38.9)	28(40)	35(45)	40(50)
色素増感太陽電池	(10.5)	6(10)	10(15)	15(18)