

第 20 章 一般住宅向け太陽光、マイクロ風車、燃料電池 複合発電システム・プランニング実習

演習テーマ

一般住宅向けの「太陽光＋風力＋燃料電池」の
複合発電システムをプランニングする

演習の狙い：太陽光発電＋マイクロ風力発電＋燃料電池（発電）の
いわゆる『W発電』でも高値での買取りが制度化されて
いる。

燃料電池「エネファーム」＋太陽光発電は、これからの
潮流になる可能性があり、この事業の仕組みをソフト
利用ブラックボックスで推計するのではなく、段階
を踏んで推測し、基本的な仕組みを演習で習得する。
演習シリーズでは初の熱収支計算が俎上に上る。

演習の方法：数人一組で設計プランニングにあたる。
ワークシートの空欄を埋める形で進める。
講師によるオリエンテーション 1 時間
（燃料電池の基礎など）
講師はナビゲータ役。

I. 与件の提示（前日配布）

1. 導入プランの思考・模索の経緯

福島県南部に居を構える S さん宅は高校生の長男ほか 3 人の子供がいる親子 5 人ごく一般的な家族構成の家である。S さんは中学校の教諭で理科を教えている。家は築 15 年で郊外の高台に立地しているため自然環境は良好であり、以前から自然エネルギーに関心を持っていたことから、一時は 1 kW クラスの発電用プロペラ型マイクロ風車、あるいは発電用直線翼型風車の導入を考えていたことがあった。ただ直線翼型風車は発電出力がせいぜい数百 W クラスの機種が大半であり、選択肢の幅がないので、関心はプロペラ型マイクロ風車にあった。

しかしマイクロ風車の電気は当時は電力会社の配電線と繋いで、いわゆる「系統連系」運用ができず、発電した電気を無駄にせず有効活用することが困難である上、1 kW のマイクロ風車の価格が工事費込で 170 万円と高かったことから、導入を断念した経緯があった。

断念した理由には価格のほかに、強風時の高速回転による風切り音や故障の心配、家庭用電源として利用する場合の周辺電気機器が高価であったことなどがあったが、現在はこれらの問題は解消されつつあるので、再度導入を考え始めたところであった。

こうした中、2009年の半ば以降、太陽光発電が国の新たな支援のもとで大量導入が始まり、事実2009年11月からは住宅用太陽光発電の余剰電力が48円/kWhという高い価格で電力会社が買い取る仕組みができてきたことから、全国各地で太陽光発電の導入は急速に進み始め、Sさん宅でも太陽光発電の導入の検討に入った。

現時点でシステム価格は当時の65万円/kW前後から45万円/kW前後に下がったものの、余剰電力買い取り価格は42円に高止まりしていて、導入へのインセンティブは一層大きくなっている。

Sさんはまたもう一つの新しいエネルギーシステムにも関心があった。それは家庭用燃料電池「エネファーム」であった。『エネルギーを使う家からつくる家へ』のコミーシャルが気になっていた。Sさん宅は5人家族で電気もお湯もたくさん使う。

燃料電池で1kWの発電をすると、1.4kWの排熱（カロリーにすると約1,200kcal）が出てくるので、太陽光発電と合わせてこれらを総合的に利用できれば、余剰電力として売電できる電力量も多くなり、家のエネルギー経費が差し引きでかなり安くなる点に関心を持っていた。

だが、2009年の8月に国は余剰電力買い取り制度で新たな制限を設けることを決定した。それは太陽光発電と燃料電池を同時に導入するいわゆる「W発電」の場合は、余剰電力の買い取り単価は48円ではなく39円にする、というものであった。

この方式が踏襲され、現時点では買取り単価が34円/kWhにまで下がり、やや水を差された感があったが、34円/kWhという買取り単価はやはり魅力的であり、なりよりも太陽光発電にはない「熱と電気の同時供給システム」にメリットを感じていたので、W発電を導入したらどうなるだろうかを検証してみることにした。

そして関心は更に拡大した。以前から関心をもっていたマイクロ風力発電も併設し、売電量を更に増やしたいという希望が湧いてきた。キーンという風切り音が全くない直線翼型、最大出力300Wクラスの風車である。Sさん宅の敷地は市の高台に位置しているので、比較的風況は良さそうだという点と、何よりも環境問題に関心があったので、風車を加えた「トリプル発電」の実現に意欲を持ち始めた。

こうなると「トリプル発電システム」にいくらかかり、売電収入によって投資額の回収がどの程度までできるかに関心が移ってきた。

Sさんは理科の教諭であったので、この手の計算はお手のものであった。早速太陽電池メーカー、マイクロ風車メーカー、燃料電池メーカーからパンフレットを取り寄せ、自宅へ同時に導入した場合のシミュレーションにとりかかった。

2. 三つの新しいエネルギーシステムの特徴の整理

新しいエネルギーシステムは家族みんなが使うことになるのでSさんはまず、それらの一般的な特徴を整理しておくことにした。

【太陽光発電】

- ・家庭用の標準サイズ太陽電池の発電出力は3～4kWである。太陽電池パネル1枚当たりの発電出力はメーカーにより品型によりまちまちであるので組み合わせ方で合計出力は変わる。
- ・太陽電池パネルを構成しているセルの電力変換効率が話題になっているが、変換効率は太陽電池1㎡にその真上から太陽光が当たった場合に何Wの発電ができるかを%で表したもので、必要面積に関係し、発電電力量の収支計算には関係してこない。
- ・太陽光発電電力は直流であるので家庭用電力(交流)に使うには交流に変換しなければならない。電力会社の配電線に繋ぐ場合の取り決めに基づいた制御機器と一緒に買った「パワーコンディショナ」が商品化されているのでこれとセットで導入することになる。
- ・太陽光の強弱によって発電量は日々、そして季節ごとに変化する。地域別月別の太陽光の強さを表したデータが入手できるので、それを利用すると発電量が簡単に求められる。

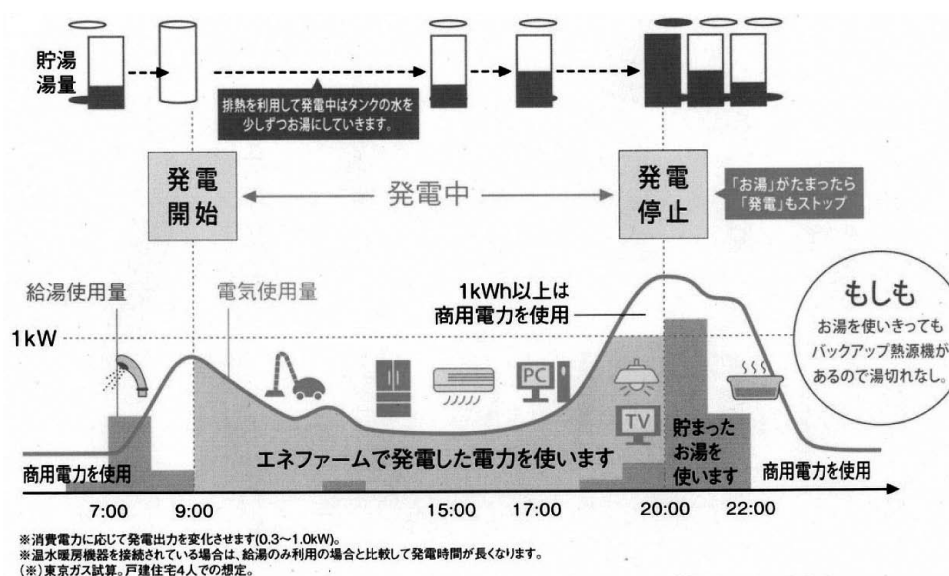
【マイクロ風力発電】

- ・マイクロ風車には様々なタイプのものがあるが、主力はプロペラ型と直線翼型の2機種である。このほかにもタマゴの形をしたブレード(翼)のダリウス型があるが量産には至っていない。
- ・ここで選んだ垂直軸直線翼型は周り灯籠のような形で、風の揚力を利用して回転するが、風の向きには無関係で頻繁な風向きにも対応でき、風速2m前後から回転を始め、設置も簡単という特徴がある。
- ・回転時の騒音がほとんどないので、環境問題を苦にする必要は全くない。
- ・300W級は出力が直流なので、おなじ直流の太陽光発電や燃料電池からの電力と併合しやすい。
- ・問題は価格がかなり高く、単独での事業性はほとんどないので、一般家庭向きではない点である。

【燃料電池・エネファーム】

- ・燃料電池はいわゆる「電池」ではない。「水素酸素発電装置」と考えた方がよい。ここでの燃料電池は水素を都市ガスから、酸素を空気中から得て、電気化学的に反応させて電気を起こす。
- ・燃料電池エネファームは発電と同時に排熱が発生する。この燃料電池はPEFC(固体高分子型)のタイプで、1kW発電時に約60℃のお湯が1.4kW発生する。

- ・お湯は貯湯槽に貯めておいて使うが貯湯槽が満杯になってもお湯は捨てられないので発電は止めなければならない。お湯を捨てることは水素製造の燃料である都市ガスを捨てることにつながるので損である。
- ・お湯の需要量（貯湯を含む）に合わせて発電するが発電電力が1kWを大きく下回った場合（たとえば0.3kW）は技術的理由から燃料電池の運転は止めることになる。
- ・燃料電池はクイックスタートが苦手であるので、頻繁なオン／オフやきめ細かな運転は適当ではない。なるべく長い時間ベースロードにちかい運転を図るのが好ましい。
- ・エネファームによる1日の運転パターンを東京ガスのパンフレットから掲載する。



エネファームによる1日の運転パターン例（イメージ）

II. 演習用参照資料の配布（前日配布）

1. 再生可能エネルギー用語解説資料
2. 一般的プロジェクトエンジニアリングの全工程図
3. 太陽光パネル、代表的製品の性能比較
4. 太陽光パネルメーカー別出力あたりのパネル面積
5. パワーコンディショナ、代表製品の概要
6. 垂直軸直線翼型マイクロ風車、代表製品の概要
7. 風速のレイリー分布
8. 燃料電池エネファーム、代表製品の概要
9. 福島県内の全天日射量データ
10. 再生可能エネルギー全量買上制度

11. 東北電力の一般家庭用電力供給約款メニュー

Ⅲ. 事業プランニングの手順の解説と工程表作成

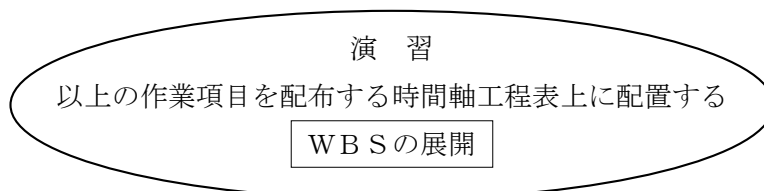
立案から事業性評価までの『前工程』

1. 導入から保守までの全工程

2. 立案から企画設計～事業性評価

- (1) 導入理由、目的の確認
- (2) 構想の立案（WBS 展開の順序）
 - ①設置施設、場所の想定
 - ②エネルギー消費量の整理
 - ③エネルギー需要設備
 - ④電力エネルギーの消費傾向
 - ⑤給湯エネルギーの消費傾向
- (3) 現地調査と確認
 - 【今回省略、コメントのみ】
- (4) 企画設計（WBS 展開の順序）
 - ①設置点の全天日射量の調査
 - ②全天日射量から方位角、傾斜角別パネル 1kW あたりの発電量の計算
 - ③設置方位角、傾斜角の設定
 - ④太陽電池パネルの選定、容量の選定
 - ⑤太陽光月別発電量の計算、有効発電量の計算
 - ⑥設置点の風況調査
 - ⑦直線翼型マイクロ風車による発電量の計算、有効発電量の計算
 - ⑧燃料電池の選定
 - ⑨熱需要からみた燃料電池発電量の計算
 - ⑩Sさん宅の電力、給湯エネルギー収支
 - ⑪複合システム導入のイメージ図
 - ⑫単線結線図の作成
- (5) 事業性の検証，評価
 - ①太陽光発電の事業費
 - ②マイクロ風力発電の事業費
 - ③燃料電池の事業費
 - ④事業費の総計
 - ⑤燃料費の想定
 - ⑥固定価格買取制度の適用

- ⑦導入前後のランニングコストの比較
 - ⑧経済性の検証、評価
 - ⑨「太陽光+燃料電池」の経済性
- (6) 環境効果の検証



IV. プロジェクトエンジニアリングの手順の解説と工程表作成

基本設計から竣工検査までの『後工程』

1. 基本設計、実施設計の段階

(企画設計段階で基本設計まで済ませる場合もあれば、基本設計と実施設計を同時に行う場合もある)

(1) 入札～発注先選定まで (WBS 展開の順序)

- ・ 入札先の選定
- ・ 入札仕様書の作成、入札
- ・ プロポーザル協議 (金額と仕様書との最終調整)
- ・ 発注先の決定

(2) 発注先による基本設計、実施設計

- ・ 太陽電池アレイの設計と施工法
- ・ 架台の設計と施工法
- ・ 基礎の設計と施工法
- ・ 周辺機器の設計と施工法
- ・ マイクロ風車の設計と施工法
- ・ 燃料電池の設計と施工法
- ・ 熱利用システムの設計と施工法
- ・ 全体制御システムの設計と施工法
- ・ プロジェクト全体を俯瞰した単線結線図

(3) 基本設計書、実施計画書の点検、確認

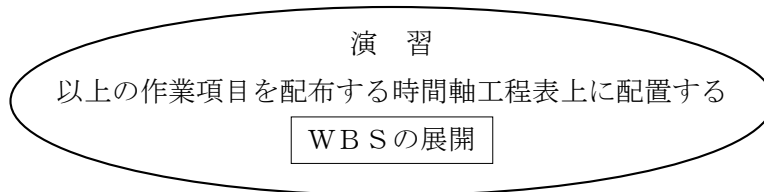
2. 施工監理～竣工検査の段階

- (1) 工事計画書
- (2) 検査実施計画書
- (3) 所管官庁等への届け出

- (4) 電力会社との契約締結

3. 維持管理の段階

- (1) 日常点検実施計画書
- (2) 定期点検実施計画書



V. 事業プランの作成実習

この作成例は、ワークシート方式で、随所が空欄になっており、実習の中で空欄を埋めていく。

1. 導入から保守までの全工程

配布する「プロジェクトプランニングから建設までの全工程図」から、本テーマに係わる領域をマーキングで示すことにより、フロー図作成に代える。

演習参加者がどのような業種に所属しているかにより、関心の置き方が変わるが、ここでは全工程の前半に絞ることで条件を統一する。

2. 立案から企画設計～事業性評価

(1) 導入の理由、目的の確認

Sさんの構想を確認する。

ただし、マイクロ風車の事業性＝経済性はないと判断されるので、それを総合的な事業性評価でどう表現するかは検討課題である。コストをカバーできない部分を『Sさん宅の環境価値』として収支計算上、控除項目とする考え方もある。

(2) 構想の立案

①設置施設、場所の想定

太陽光発電パネルはSさん宅の屋根が切妻屋根で、面積的に問題はなさそうである。

マイクロ風車は庭先の角地に立てることにした。季節的な卓越風が北東風（精査の要あり）なので、北東から南西に延びる地線に建物がないよう考えることにした。

燃料電池は現在の給湯周りの機器が置かれているあたりを想定した。

②エネルギー消費量の整理

太陽光発電の導入に関しては余剰電力を高値で売電できるので、Sさん宅のエ

エネルギー事情によって発電量をコントロールする必要はなく、したがって導入の経済性に大きな影響を与えることはない。しかし燃料電池は発電電力と同時に排出される温水の消費が存在しているかどうかで発電量が制約を受け、導入の経済性が大きく変わる。温水の時間的消費先をコントロールするために貯湯槽を設けるのが一般的であるが、発電量を確保するために貯湯槽を大きくすると設備費やスペース、その他の面で様々なマイナス面が現れる。

このことから、燃料電池の導入効果検証に関しては、導入対象すなわちSさん宅のエネルギー事情がどうなっているかの調査が極めて重要になる。詳しくは月別の傾向を調べる必要があるがここでは冗長を避け季節別に捉えてみることにする。

③エネルギー需要設備

Sさん宅は高校生2人、中学生1人、両親の5人家族で5LDKの一戸建てに住んでいる。オール電化ではないが、家電の普及、利用状況はごく一般的であり生活レベルは中流である。

- ・夏季の冷房はエアコン4台
- ・冬季の暖房はリビングの石油ファンヒーター1台と各部屋エアコンの併用
- ・風呂は都市ガス給湯器（厨房、洗面共用）
- ・厨房は電気、ガス、ガス給湯器の併用
- ・テレビは4台、その他家電製品の普及状況は平均的

④電力エネルギーの消費傾向

Sさん宅の季節別の月間電気料金は次のようになっている。なお契約電力は個人契約でもっとも容量の大きい60Aである。

東北電力の一般家庭用電力供給約款メニュー（参照資料に掲載）を参照してSさん宅の夏季の電気料金（税抜き）を計算しよう。

(i) 夏季(7, 8, 9月) 1カ月の平均

料金段階	電力使用量	電気料金
基本料金	60A	
第1段階料金	120kWh	
第2段階料金	180kWh	
第3段階料金	320kWh	
合計	620kWh	
基本料金込み平均単価		

夏季の時間帯別電力消費の傾向

時間帯	単位	早朝	日中	夕方	夜間	深夜	1日計
		6:00～ 9:00	9:00～ 17:00	17:00 ～19:00	19:00 ～22:00	22:00 ～6:00	
消費割合	%	13	22	28	28	9	100
電力消費量	kWh	80	136	174	174	56	620
夏季月数	月	3	3	3	3	3	3
夏季合計	kWh	240	408	522	522	168	1,860

(ii) 冬季(12, 1, 2月) 1カ月の平均

料金段階	電力使用量	電気料金
基本料金	60A	1,800 円
第1段階料金	120kWh	120kWh×@16.00 円 = 1,920 円
第2段階料金	180kWh	180kWh×@21.50 円 = 3,870 円
第3段階料金	550kWh	550kWh×@23.00 円 = 12,650 円
合計	850kWh	20,240 円
基本料金込み平均単価		20,240÷850=23.81 円/kWh

冬季の時間帯別電力消費の傾向

時間帯	単位	早朝	日中	夕方	夜間	深夜	計
		6:00～ 9:00	9:00～ 17:00	17:00 ～19:00	19:00 ～22:00	22:00 ～6:00	
消費割合	%	18	19	24	29	10	100
電力消費量	kWh	153	161	204	247	85	850
冬季月数	月	3	3	3	3	3	3
冬季合計	kWh	459	483	612	741	255	2,550

(iii) 中間季の1カ月の平均

料金段階	電力使用量	電気料金
基本料金	60A	1,800 円
第1段階料金	120kWh	120kWh×@16.00 円 = 1,920 円
第2段階料金	180kWh	180kWh×@21.50 円 = 3,870 円
第3段階料金	200kWh	200kWh×@23.00 円 = 4,600 円
合計	500kWh	12,190 円
基本料金込み平均単価		12,190÷500=24.38 円/kWh

中間季の時間帯別電力消費の傾向

時間帯	単位	早朝	日中	夕方	夜間	深夜	計
		6:00～ 9:00	9:00～ 17:00	17:00 ～19:00	19:00 ～22:00	22:00 ～6:00	
消費割合	%	17	23	23	26	11	100
電力消費量	kWh	85	115	115	130	55	500
中間季月数	月	6	6	6	6	6	6
中間季合計	kWh	510	690	690	780	330	3,000

(iv) 季節別年間集計

時間帯別電力消費の傾向

時間帯	単位	早朝 6:00～ 9:00	日中 9:00～ 17:00	夕方 17:00 ～19:00	夜間 19:00 ～22:00	深夜 22:00 ～6:00	計
夏季計	kWh	240	408	522	522	168	1,860
冬季計	kWh	459	483	612	741	255	2,550
中間季計	kWh	510	690	690	780	330	3,000
年間合計		1,209	1,581	1,824	2,043	753	7,410

Sさん宅の電力消費量のレベルを公表資料で検証してみよう。

(株)住環境計画研究所編の『家庭用エネルギーハンドブック』2009年度版によれば、関東地区の世帯当たりの年間電力消費量は2007年度で17,487 MJ = 4,858kWhである。世帯員数は2.36人である。一方Sさん宅は5人であるから、消費電力の世帯員数比例部分を1/4として員数調整をすると、

$$4,857\text{kWh} + 4,857 \times 1/4 \times 5 \div 2.36 = 7,430\text{kWh/年}$$

となり、想定データの7,410kWhはほぼ妥当なレベルであることがわかる。

ちなみに年間の電力量料金は次のようになる。

年間の電気料金

料金段階	電力使用量	電気料金
基本料金	60A	1,800円×12カ月 = 21,600円
第1段階料金	120kWh/月	120kWh×12カ月@16.00円 = 23,040円
第2段階料金	180kWh/月	180kWh×12カ月@21.50円 = 46,440円
第3段階料金	上記以外	3,810kWh×@23.00円 = 87,630円
合計		7,410kWh 178,710円
段階料金平均単価		157,110÷7,410=21.20円/kWh
基本料金込み平均単価		178,710÷7,410=24.12円/kWh

⑤給湯エネルギーの消費動向

ここでは燃料電池の排熱の利用先である風呂・給湯・シャワーの消費量を推計する。

Sさん宅の浴槽は270Lである。浴槽へのお湯張り量を含めて家族5人で毎日2時間をかけて43℃（浴槽の湯温は41～42℃）のお湯を600Lほど消費する。

給水温度は夏季17℃、冬季13℃、中間季15℃であるから43℃への加温エネルギー量は以下のようになる。

年間給湯用投入エネルギー（厨房用を除く）

季節	計算基礎	投入エネルギー
夏季	600L×92日×(43-17)×4.19MJ/kcal	MJ
冬季	600L×90日×(43-13)×4.19MJ/kcal	MJ
中間季	600L×183日×(43-15)×4.19MJ/kcal	MJ
年間計		MJ

現在給湯用エネルギーとしては都市ガスを利用している。上記の給湯に使われているのはガス給湯器である。都市ガスは13 A, 熱量 (HHV) は45MJ/ m³、給湯器の熱効率は85%であるから年間のガス消費量は、

$$25,683 \text{ MJ} \div 45\text{MJ}/\text{m}^3 \div 0.85 = 671 \text{ m}^3$$

で、月平均では5 m³になっている。

ガス料金はガス会社により、また時期により異なるが、福島市地域の「一般ガス供給約款」(一般契約)料金の2013年1月の実例単価を用いて56 m³/月の料金を計算してみよう。

年間ガス料金の計算例 (福島市・税抜き)

適用区分	基本料金	単位料金	消費量	流量料金
0～20	700円	198円/m ³		
→ 20～100	860円	190円/m ³	56m ³	10,640円/月
100～350	1,860円	180円/m ³		
350～	5,710円	169円/m ³		
年間ガス料金 = (860 + 10,640) × 12 = 138,000円				

[付記] ガス料金は地域によりガス会社により、そして時期によって変動している。因みに東京ガスの2013年1月の料金は以下ようになっており、その差は年間50,000円を超えていて、決して小さくはないことが分かる。

56 m³使用の場合の年間料金

$$(1,030 + 111 \times 56) \times 12 = 86,952 \text{ 円}$$

電気料金には大きな地域格差は生じていないので、エネルギーを電力で賄うか、都市ガスで賄うかの省エネ採用システム比較選択の際には、この差が大きく影響し、地域によって選択の結果が異なることになる。システム比較選択の結果は決して普遍的ではないことに留意することが大切である。

(3) 現地調査と確認

【今回省略、コメントのみ】

(4) 企画設計

- ①設置点の全天日射量の調査
- ②全天日射量から方位角、傾斜角別パネル1kWあたりの発電量の計算
- ③設置方位角、傾斜角の設定

これら①～③はWBS展開の過程では順次調査、設定に入るのであるが、説明の冗長を避けるため、一括して⑤で展開することにしよう。

④太陽電池パネルの選定、容量の選定

現在市場に出ている太陽電池の種類と特徴を比較してみた。目下技術開発が急速に進んでおり、特に変換効率の向上が目覚ましいが、技術開発レベルではなく、市場の商品レベルでみると大凡以下のようなだろう。

[付記]ただ、随所でコメントしているように、変換効率はパネル面積当たりの発電効率を示し、経済性と直結するのは面積効果=架台節約効果等であって、全体の経済性の良し悪しには必ずしもつながらない。一般に変換効率の高いパネルは価格も高くなる傾向があることは留意しておく必要がある。

太陽電池の種類と特徴

種類	特徴	
単結晶シリコン	利点	変換効率は15～19%で最も高く、信頼性も高い。
	課題	価格は最も高くコスト低減が課題。薄膜シリコン（アモルファス）に比較すると高温下では変換効率が低下する。資源不安がある。
多結晶シリコン	利点	変換効率は13～16%で、単結晶系の次に高い。市場の大半を制して量産化され、工事の習熟化、長寿命化も進んでいる。
	課題	価格は単結晶系について高価。高温下での性能低下は単結晶系と同じ。資源不安がある。
薄膜シリコン（アモルファス）	利点	布のように薄く、大面積での設置ができる。高温下での性能低下が小さく、高温地域での適合性が高い。加工もし易い。量産可能で電池本体は安い。
	課題	変換効率は6～8%で低く、設置面積に制約があると、架台コストが割高になり経済性が悪くなる。耐久性の向上や変換効率の向上が課題。
薄膜シリコン（タンデム型）	利点	アモルファス単独系の低変換効率は6～8%に改善。高温下での性能低下が小さい。
	課題	積層化技術による変換効率の向上とコスト低減。
化合物系	利点	シリコンを使わないので資源不安がない。薄膜化が可能で量産化によるコスト低下の期待が大きい。
	課題	変換効率が9～12%で低く、パネルの軽量化も課題。
色素増感型	利点	カラーバリエーションでインテリアなどへの利用が可能。
	課題	研究段階で変換効率は10%と低い。信頼性向上も課題。
有機薄膜系	利点	印刷技術の応用で量産化が可能。フレキシブル性の利用で用途拡大、コスト低下の可能性大。
	課題	研究段階で現在の変換効率は3～5%。変換効率の向上、利点を生かした用途拡大、事業性の確立などが課題。

各種太陽電池パネルの出力あたりの面積

メーカー	タイプ	モジュール面積	公称最大出力	出力あたり面積
シャープ	多結晶シリコン	1.153 m ²	160 W	7.2 m ² /kW
京セラ	多結晶シリコン	0.467 m ²	62 W	7.5 m ² /kW
三洋電機	単結晶+アモルファス	1.179 m ²	200 W	5.9 m ² /kW
三菱電機	多結晶シリコン	1.422 m ²	185 W	7.7 m ² /kW
カネカ	薄膜多結晶+アモルファス	0.280 m ²	19.5 W	14.4 m ² /kW
昭和シェル	薄膜（CIS系）	0.792 m ²	85 W	9.3 m ² /kW
ホンダ	薄膜（CIGS系）	1.121 m ²	125 W	9.0 m ² /kW
三菱重工	微結晶+アモルファス	1.575 m ²	130 W	12.1 m ² /kW

Sさんは太陽電池の選定にあたっては設置可能な屋根の面積を考慮し、kWあたりの出力が比較的多いシリコン系を取り上げた。屋根の面積は広いものの、太陽光がよく当たる側の面積がそれほど広くないためである。単結晶+アモルファスが5.9 m²/kWで最も面積効率がよいが、やや価格が高いとの情報があったので

最終的には 7.5 m² /kW 前後の多結晶シリコン系に落ち着いた。いくつかのサイズも揃っており、屋根の形状に合わせた配置設計上も問題はなかった。

検討の結果、太陽光発電導入規模を 3.5kW に設定した。

⑤太陽光発電、月別発電量の計算、有効発電量の計算

このプランのサイトは福島県南部である。太陽光発電量を算定する場合の日射量は地域により観測データが整備されているが、データ入手の事情からここでは福島市の全天日射量をデータとして利用することにした。

全天日射量データは、NEDOの全国日射関連データマップ (MONSOLA) に全国約 800 地点ほどの推計データが記載されているので参照資料に掲載した。今回はその中の福島市のデータを利用する。

[付記] 参照資料に掲載したデータは、日射量を「メガジュール / m²・日」で表してあるので、以下では 1 kWh = 3.6MJ で換算して kWh ベースで表示する。

建物のサイトをみると、現在の建物正面の方位角は真南から約 15° 左方向に位置しており、また屋根の角度は約 30° であることから、方位角 15°、傾斜角 30° のケースについて、1kW あたりの年間発電量 (モジュールベース：温度補正係数などは未調整) を算定した結果を以下に示す。

方位角：15° 傾斜角：30°

月平均日の発電量 (モジュール) (MJ / m²・日)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
電力量 (モジュール)	11.4	13.9	16.2	16.9	17.5	14.9	14.5	15.3	12.4	12.2	10.7	10.3	13.9

月別発電量 (モジュール) (kWh)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
発電量 (モジュール)	98	108	140	141	151	124	125	132	103	105	89	89	1,405

夏季、冬季、中間季ごとの合計 (kWh)

	夏季 (7, 8, 9月)	冬季 (12, 1, 2月)	中間季 (それ以外)	合計
発電量 (モジュール)	360	295	750	1,405
各季節の%	25.6%	21.0%	53.4%	100%

この結果、太陽電池パネルの設置角度は方位角 15° 傾斜角 30° で、年間発電量はモジュールベースで 1,405kWh、モジュールでの変換効率は、

$$1,405\text{kWh} \div 8,760 \text{時間} = 16.0\%$$

と計算された。なお、この数値は温度補正係数未調整のものである。

この数値をもとに、定格容量 3.5kW の太陽光発電を推計する。

年間季節別太陽光発電量（モジュール端で温度補正係数未調整）

季節	計算基礎	発電量
夏季	3.5 kW × 360 kWh	1,260 kWh
冬季	3.5 kW × 295 kWh	1,033 kWh
中間季	3.5 kW × 750 kWh	2,625 kWh
年間計		4,918 kWh

この発電量をベースに実際に利用可能な有効発電量を計算する。

■出力の温度補正

太陽電池の出力は、太陽電池を構成するセルの温度が上昇すると低下する傾向がある。いわゆる「セルの変換効率」で計算される発電出力は温度の基準以上の上昇による影響を計算しないレベルの数値であり、システムとしての発電可能量を計算する場合には、設置条件下での温度からセル表面温度を想定し、それを使って「温度補正」をする必要がある。

一般にはセルの表面温度 25°C を基準にして、セルの表面温度との差に 0.004（結晶系）または 0.002（アモルファス系）を掛けた数値を 1 から差し引いた数値を温度補正係数として用いている。

$$\text{温度補正係数} = 1 - 0.004 (\text{または } 0.002) \times (\text{セルの表面温度} - 25^\circ\text{C})$$

温度補正率は季節により変化し、全国の平均値で、大まかに温度補正をする場合の外気温度補正係数は、結晶系、CIS, CIGS 系で夏季 20%、冬季 10%、その他季 15%、薄膜系は上記の半分と仮定し、これらを平均して夏季 17%、冬季 8%、その他季 12% といった簡略法を用いることがある。

上述の「セル」はセルの集合体である「モジュール」に置き換えてもよい。

ここで福島の場合の温度補正係数求めてみることにする。

福島の平均気温は、

夏季 = 23.1°C

冬季 = 3.7°C

中間季 = 12.7°C

であるが、福島大学共生システム理工学類校舎屋上の環境観測場で簡易測定した結果では、平均気温 + 40°C 前後という数値が得られている。この結果から、セルの表面温度を次のように推計した。

夏季 = 75°C

冬季 = 45°C

中間季 = 55°C

パネルはここでは結晶系にし、温度補正係数を計算する。

夏季の温度補正係数＝

冬季の温度補正係数＝

中間季の温度補正係数＝

これらの温度補正係数を用いて、福島市での発電量を再計算する。

福島市での 3.5kW の有効発電量モデル計算値 (kWh)

項 目	夏 季 7, 8, 9 月	冬 季 12, 1, 2 月	中間季 その他	年間計
発 電 量				
発電量 (モジュール)				
外気温温度補正				
補正後の発電量				
インバータ損失				
そ の 他 損 失				
有効発電量計				

インバータ損失：補正後の発電量に対して 8%と仮定

その他損失：補正後の発電量に対して 5%と仮定

以上の結果、理論値の発電量の 75%前後が実際に利用可能な発電量となる。

なお、正確を期す上では、パネルの選定が済み、パネルの仕様書のデータを用い、再度発電量を計算し直すことも必要になる。

⑥設置点の風況調査

マイクロ風車導入にあたっては、一般には特段の風況調査は行わないのが普通であるが、ビルの屋上などに導入する場合には簡易測定方式で風況調査を行うことがある。

ただSさん宅では特段の風況観測は行わず、簡易的な方法で数値を得る方法を考えた。その方法とは次の通り。

ステップ1 設置点の年間平均風速を近隣のアメダスデータから推計し、また高台にあることを考慮して 3.0m/s とした。

(因みに地球環境年表によれば、福島市の地上での年間平均風速は 26 年間の観測データ平均で 2.4m/s と観測されている)

ステップ2 平均風速から風車の発電出力求めるには、平均風速を風速の階級別出現頻度分布を推計しなければならない。理論的にはいろいろな関数が用意されていて、その中の一つ、『レイリー分布』を用いて 3.0m/s の場合を推計したデータを入手したのでこれを利用した。

レイリー分布による 3.0m/s 時の風速階級別出力分布

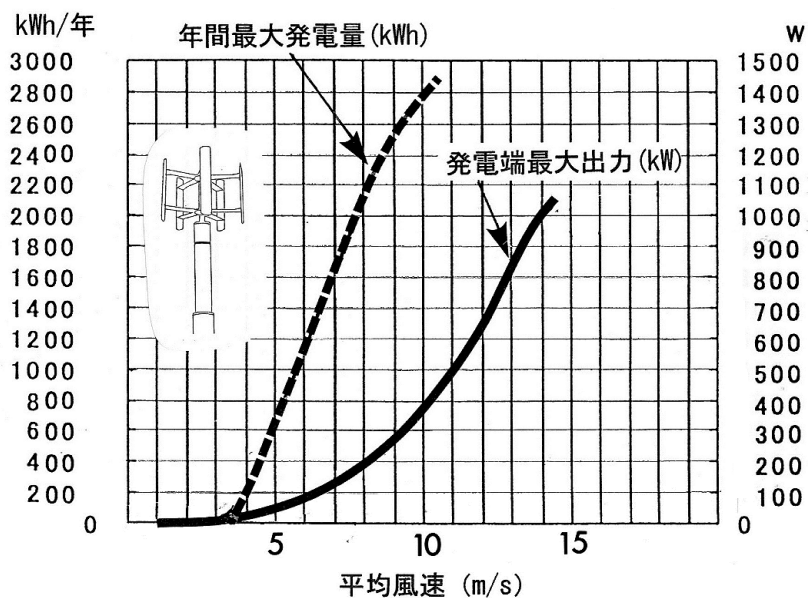
風速階級	0.5m/s	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
出現頻度	0.09	0.21	0.25	0.22	0.13	0.06	0.03	0.01
風速階級	8.5m/s	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5～	合計
出現頻度	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00

レイリー分布については参照資料に掲載した。

⑦直線翼型マイクロ風車の発電量の計算、有効発電量の計算

次は採用する風車のパワーカーブの詳細、すなわち風速階級別出力データの入手である。一般にはパワーカーブとしてラフな曲線が描かれているので、それから階級別出力を読み取った。

利用したものではないがパワーカーブの一例を以下に掲げる。



直線翼・垂直軸型ジャイロミル風車のちパワーカーブの一例
定格出力 1kW

垂直軸直線翼型風車 1 基あたりの発電量

風力発電機	ジャイロミル型 1000W
年間平均風速	3 m/s

風速の階級	階級別出現時間	階級別発電出力	年間発電量
m/s	時間/年	W	W/年
0～1	788	0	
1～2	1,840	0	
2～3	2,180	10	
3～4	1,927	20	
4～5	1,138	80	
5～6	526	120	
6～7	263	170	
7～8	88	220	
8～以上	※10	平均 500	
合計	8,760		
所内率			3%
所内消費			
有効発電量			

設備利用率	%	※別途想定
-------	---	-------

年間平均風速 3m/s 程度の風況のもとでは、設備利用率は 3%程度に止まり、年間発電量は 275kWh に止まる計算である。風車は 2～3m の微風速でも回転し始めるといふ件をよく目にするが、その際の出力は定格出力の 100 分の 1 程度に止まるのが普通である。

⑧燃料電池の選定

燃料電池 (FC) は産業用向けのリン酸型に始まりその歴史古いがこれまでのところ設備価格が高いこともあって普及はあまり進んでいない。しかし、石油やガス会社などが 2009 年 5 月から始めた家庭用の固体高分子型燃料電池『エネファーム』の販売が家庭用燃料電池普及の先兵としてその役割を担っている。

一般に燃料電池には 4 種類※あり、このうち家庭用は固体高分子型と固体酸化物型の二つであるが、固体高分子型が各社統一ブランドの『エネファーム』であり、固体酸化物型はセラミック会社を軸に開発中でまもなく市場に登場してくるとされている。

※このほか DMFC (直接メタノール型) があるが携帯機器向けである。

燃料電池の種類

種類	固体高分子型	リン酸型	固体酸化物型	溶融炭酸塩型
一般的呼称	PEFC	PAFC	SOFC	MCFC
作動温度	80℃	200℃	700℃以上	600～700℃
燃料	LPG、都市ガス、灯油など石油系燃料	主に都市ガス	都市ガスほか石油系燃料、石炭ガス化ガス	都市ガス、バイオガス

発電効率※	35～40%	40～45%	50%以上	45～55%
熱回収効率	50%前後	総合で 80～85%	総合で 80～85%	総合で 80～85%
商品化の現状	0.7～1 kW	100～200 kW	1kW以上	250 kW以上
目下の用途	家庭用、業務用、自動車用	業務用、産業用	家庭用、業務用、産業用	産業用、業務用、発電所用
特徴	量産化。起動停止が容易	実用化したが高コストで普及進まず	発電効率、排熱温度が高く、熱の利用度高い。普及には時間が。	バイオガスなどに対応。大型化が可能。一部で実用化

※発電効率は低位発熱量（LHV）ベースで設計値

エネファームは投入燃料によってLPG仕様、灯油仕様、都市ガス仕様に分かれており、定格発電出力も各ガス会社、石油会社により1kW、700W、750W、900Wなど様々な仕様が登場している。調査の結果、導入する燃料電池はエネファーム、1kWクラスとなった。

⑨熱需要から見た燃料電池発電量の計算

&

⑩Sさん宅の電力、給湯エネルギー収支

この二つを一緒にして展開することにしよう。

(i) エネルギー供給システム稼働の原則

電力の供給システムは太陽電池とマイクロ風車と燃料電池であるが、燃料電池は併給される温水の需要により運転が制約されるので、電力は太陽電池とマイクロ風車をフルに稼働させることになる。また燃料電池は定格出力1kWの仕様を採用する。

(ii) 太陽光発電量

有効発電量はすでに計算した通りである。

(iii) 風力発電量

既に計算した通りである。

(iv) 燃料電池発電量と給湯量

燃料電池の発電量は併給される温水の需要（正確には給湯用投入エネルギー）にリンクするので、まずSさん宅の給湯用エネルギー需要（給湯用熱量）を推計する。本項3.の(3)では給湯用投入エネルギーの季節別需要量を以下のように推計した。

年間給湯用熱量（厨房用を除く）

季節	計算基礎	給湯用熱量
夏季	600L×92日×(43-17)×4.19MJ/kcal	6,013 MJ
冬季	600L×90日×(43-13)×4.19MJ/kcal	6,788 MJ
中間季	600L×183日×(43-15)×4.19MJ/kcal	12,882 MJ
年間計		25,683 MJ

給水温度：ロス分を見込み夏季 17℃、冬季 13℃、中間季 15℃と仮定。

主として入浴用なので季節別の消費量変動があるほか、冬季に洗面や皿洗い等にやや需要が多くなる傾向がある。1日の平均給湯用熱量をみると、

季節	計算基礎	1日平均
夏季	6,013 ÷ 92日	65.36 MJ
冬季	6,788 ÷ 90日	75.42 MJ
中間季	12,882 ÷ 183日	70.39 MJ
平均		70.39 MJ

となり、燃料電池だけで 70.39MJ の給湯用エネルギーを供給するには、燃料電池の電気と温水の併給比率を 1 : 1.4 として、1kW の燃料電池を、

_____時間
 運転しなければならない。

しかし温水需要は夕方から夜間にかけて発生するために、43度の温水 600L を夕方までに貯湯しなければならない。通常の貯湯温度は 60℃なので、600L は 430L で済むが、このクラスの貯湯槽は本体価格でおよそ 70 万円（工事費別）、一般の家庭用貯湯槽 200L に比べて容積も大きく、実用的とは考えにくい。

標準的な貯湯槽 200L をすこし大きくとり 280L とし、運転しながらの給湯分 30 L を加えて夕方までに 60℃の温水を延べ 310 L 貯湯するには、1kW の燃料電池を、

_____時間
 運転する必要がある。

燃料電池はその特性上細かな間歇運転、頻繁な ON/OFF 運転は得意ではないのでベースロード運転が好ましい。1日 10 時間の運転で夕方までに 280L を満タンにした場合でも、平均的な必要量 430 L（43℃では 600 L）は賄えず、入浴条件によっては湯切れの問題が発生するので、既存の給湯機による給湯の必要性は起こる。また、日によっては給湯量 280L/日（年間平均）を上下することもあるが、平均値からの上下乖離分を燃料電池の運転でカバーするのは燃料電池の運転特性からみてやや困難な面があるので、その分は燃料電池の運転を止めたり、湯切れ分を別の給湯機で補うなどの措置が必要になる。

以上の事情を勘案し、年間の燃料電池の運転時間を以下のように推計した。

運転日の区分	運転日数	給湯事情
1日10時間運転の日	70% = 256日	給湯量、給湯時間帯がほぼ想定通りでフル運転（冬季に多い）
1日8時間運転の日	15% = 55日	入浴者が少ないとか、シャワーだけですますなど、前日の残湯が多く、給湯量が想定以下になる日（夏季に多い）
1日6時間運転の日	10% = 36日	家族の外出等で給湯量が大幅に減少
全く運転しない日	5% = 18日	残湯の量が非常に多く、あらたに貯湯するには燃料電池の低負荷運転が必要。運転不適當（夏季に多い）
計	365日	

この想定値から年間の燃料電池運転時間を計算すると、

_____時間

となり、年間8,760時間に対しての実稼働時間率は36.7%程度になる。季節別には次のように想定できる。

燃料電池の季節別運転時間

季節	運転時間	実稼働率想定
夏季	684	上表を勘案し夏季92日の実稼働率を31%と想定
冬季	1,037	上表を勘案し冬季90日の実稼働率を48%と想定
中間季	1,495	上表を勘案し中間季183日の実稼働率を34%と想定
年間計	3,216	

これらの運転時間から計算される季節別燃料電池発電量、給湯量ならびに湯切れによるガス給湯器からの給湯量は次のようになる。

燃料電池の季節別発電量と給湯用熱量

季節	運転時間	発電量	給湯用熱供給量	給湯用熱供給量
夏季	684	684 kWh	958 kWh	3,449 MJ
冬季	1,037	1,037 kWh	1,452 kWh	5,227 MJ
中間季	1,495	1,495 kWh	2,093 kWh	7,535 MJ
年間計	3,216	3,216 kWh	4,503 kWh	16,211 MJ

湯切れによるガス給湯器からの給湯量

(燃料電池運転特性制約によるカバー分を含む)

季節	給湯用熱量	燃料電池から	ガス給湯器から
夏季	6,013 MJ	3,449 MJ	2,564 MJ
冬季	6,788 MJ	5,227 MJ	1,561 MJ
中間季	12,882 MJ	7,535 MJ	5,347 MJ
年間計	25,683 MJ	16,211 MJ	9,472 MJ

ガス給湯器で必要になるガス量は、熱効率を85%として、

_____Nm³/年

になる。

また、燃料電池の時間帯別運転パターンも想定しておくことが必要になる。一般的には夕方までに貯湯槽を満タンにしておくよう、早朝から運転を始め

て日中いっぱいフル運転を行うパターンが考えられ、これは消費電力の比較的少ない日中の余剰電力（売電量）を大きくする上で効果的である。

なお大容量の貯湯槽を設置した場合は深夜～明け方の時間帯の運転も必要になり、燃料電池の稼働率が上昇して経済効果が高まるが、一方で大容量の貯湯槽を特注することによる固定費の増加でマイナス面が現れる。そのバランスはケースバイケースで明確にするのは困難であろう。

時間帯別燃料電池の運転傾向をこのモデルでは以下のように設定した。燃料電池の稼働率が年間平均で21%と低位にとどまることから、日中の時間帯でかなりの部分の貯湯が可能という見方をしてみた。

時間帯別燃料電池の運転傾向

時間帯	早朝 6:00～ 9:00	日中 9:00 ～17:00	夕方 17:00 ～19:00	夜間 19:00 ～22:00	深夜 22:00 ～6:00	計
夏季計	10	90	0	0	0	100
冬季計	10	90	0	0	0	100
中間季計	10	90	0	0	0	100

(iv) Sさん宅の季節別エネルギー収支

以上の諸データをもとにして、Sさん宅の季節別電力収支バランスをまとめてみた。自然現象や生活の不規則な動きを8760時間の詳細な日負荷変動としてとらえシミュレーションすることは困難なので、このバランスは計算可能な一例と見る必要があるであろう。

季節別電力収支バランス

(kWh)

項目	夏季 7, 8, 9月	冬季 12, 1, 2月	中間季 その他	年間計
太陽電池発電量				
発電量 (モジュール)				
外気温温度補正	×80%	×92%	×88%	
補正後の発電量				
インバータ損失				
その他損失				
有効発電量計				
内、日中の発電量				
マイクロ風車発電量	56	82	137	275
内、日中の発電量	18	27	45	90
燃料電池発電量				
FC出力端発電量	684	1,037	1,495	3,216
インバータ損失	55	83	120	258
FC有効発電量計	629	954	1,375	2,958
内、日中の発電量	566	859	1,238	2,663

余剰電力量の計算				
日中				
日中の発電量合計	1,461	1,712	3,292	6,465
日中の電力需要量	408	483	690	1,581
日中の余剰電力量	1,053	1,229	2,602	4,884
日中外				
日中外発電量合計	101	150	229	480
日中外電力需要量	1,452	2,067	2,310	5,829
日中外余剰電力量	—	—	—	—
差引き購入電力量	1,351	1,917	2,081	5,349
【要約】				
電力需要量計	1,860	2,550	3,000	7,410
PV/FC/WT発電量合計	1,562	1,862	3,521	6,945
余剰電力売電量計	▲1,053	▲1,229	▲2,602	▲4,884
差引き購入電力量	1,351	1,917	2,081	5,349
余剰電力発生割合	67.4%	66.0%	73.9%	70.3%

余剰電力発生量の想定は以下のとおりである。

日中の発生量	太陽光発電全量+燃料電池発電量×90%－日中の電力需要量
早朝深夜の発生量	日中の発生量を控除したうえで時間帯別需給バランスから求める

余剰電力発生割合は、年平均で70%以上に達している。太陽光発電のみの場合の余剰電力発生割合は60%弱と想定されるので、W発電を前提とすると、約10ポイント以上発生割合が多くなる傾向が読み取れよう。

季節別電力収支についてグループで討議

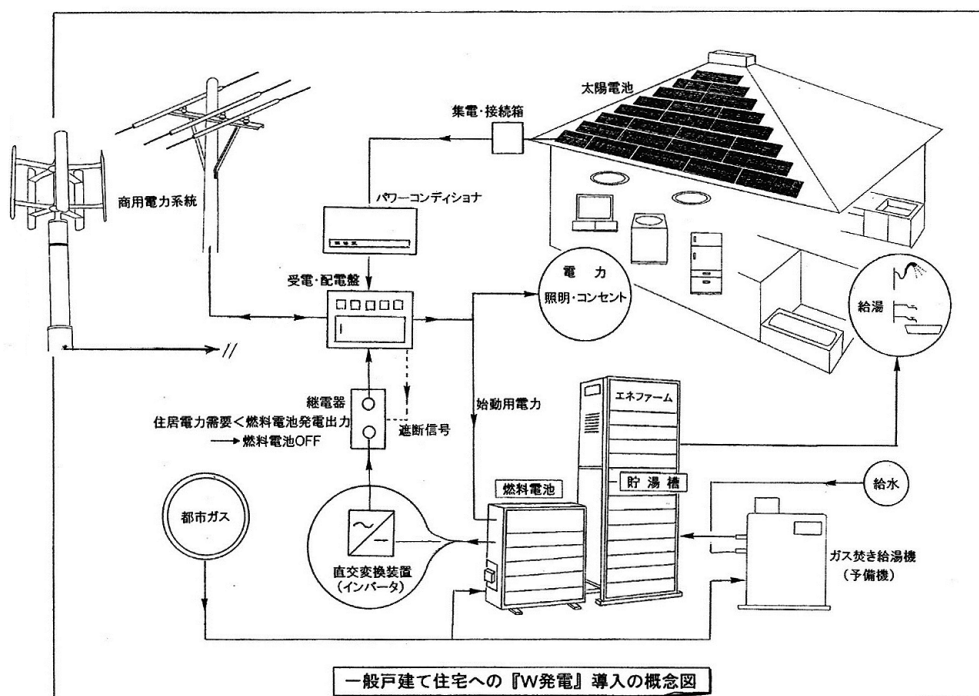
⑪ 複合システム導入のイメージ図

Sさん宅の電力消費量は年間7,410kWh、給湯量はガスにして672m³である。これらの需要量に対して太陽光発電と燃料電池を最適な規模で導入しようとするのは無理である。太陽光発電は標準サイズが3～4kW、屋根の設置面積から最大でも3.6kWが限度であり、また燃料電池は定格出力1kW以下の機種しか商品化されていないからである。

太陽光発電の電力は余剰が出れば売電できるので、日照条件をフルに活用でき

るが燃料電池は同時に排出される温水の消費先がないと発電は止めざるを得ない。貯湯槽で貯めることと、給湯が夕方から宵にかけて2時間しか消費先が確保されないので、エネルギー収支バランスがどうなるかが問題になる。湯切れの問題が起こる可能性があるので、現在のガス給湯器はそのまま予備機として利用することになるだろう。

『W発電』導入の全体像を以下に示す。



(5) 事業性の検証、評価

① 太陽光発電の事業費

価格について太陽光発電の場合は、太陽電池セルの価格、組み合わせたパネルの価格、パネル設置費用、周辺機器の価格の総合になり、それぞれについて様々な価格情報があるが、導入する側はkW当たりの最終価格でみればよい。

現時点では国による助成制度 35,000 円 /kW があるが、先々不透明であるので、ここでは助成制度なしの価格で計算し評価する。

固定価格買取制度設計の中では、10kW 未満の太陽光発電システム価格は 2012 年には 46 万円台に低下したとされている。

各社が公表している kW 最終価格もほぼ 40～45 万円前後に横並びしてきている。一部のメーカーはオープン価格として公表していないが、需要者側からみれば産物は『電気』であり、太陽電池によって『電気』の価値が変わるわけではないので、kW 当たりの最終価格は市場に連動していくであろう。

ただ注意すべきは後付けの場合の工事費である。家庭用の場合、後付け工事費は

標準仕様でkWあたり10万円程度とされているが、屋根の形状、強度、工事の環境等でこの額は大きく振れる。最近新規住宅の場合のkWあたりの最終価格が40万円（内訳は報道なし）を下回る報道もされているが、新規住宅では屋根材一体型が一般であり、この場合は本来の屋根の材料込工事部分とパネル工事部分の仕切りが曖昧で、計算上はいかようにもなる点は注意しなければならない。計画の際に参照すべきはあくまで『後付けベース』の価格である。

太陽光発電の事業費のうち太陽電池パネルやメイン機器のパワーコンディショナーの価格は、急拡大する市場の中で海外品や新規参入者によるシェア争いで価格競争も激化しているが、最終的な事業費は工事費の多少によって大きく振れる。工事費は比較的條件の良い場合でも1kWあたり15万円前後とみられるが、設置条件が悪いと2倍前後に跳ね上がることもある。

以下には様々な事例を基にして、3～4kWクラスの住宅用太陽光発電システム価格モデルを想定してみた。施工に関してはある程度の習熟度が高まっていることを想定の前提条件としている。

3.5 kWクラスの住宅用太陽光発電システム価格モデル

項目	推計基礎	価格
機器費		
太陽電池 3.5kW	3.5kW @300,000	1,050,000
パワーコンディショナ	4kW 標準品	120,000
PV周辺機器		80,000
機器費計		1,250,000
工事費		
陸屋根用架台		100,000
パネル設置工事	4人日@20,000円	80,000
電気工事費	計器類込 3人日@30,000	90,000
運搬費、諸経費		55,000
工事費計		325,000
システム価格合計		1,575,000
kWあたりの価格		450,000

但し燃料電池とのW発電に絡む予測困難な事業費があるが、最終積算段階で見込むことにする。

②マイクロ風車の事業費

マイクロ風車は、経済性を目的に導入することはまずなく、もっぱらモニュメント、シンボルとしての導入が多い上、各社とも仕様を多様化しているため、競争による価格メカニズムが働き難く、市場価格は高止まりしている。市場が小さく量産効果が出にくいことも影響している。

ここでは、固定価格買取制度の設計資料に記載のある、kW当たり125万円を採用することにした。

③燃料電池の事業費

発電出力 1kW の固体高分子型燃料電池（以下「PEFC」と略称）のカタログ価格は 300 万円程度、また 0.75kW 出力のものであれば 270 万円程度である。

2013 年 4 月以降、0.75kW 出力の機種が 200 万円程度で販売されるという情報があるが、実勢価格がどうなるかは不透明である。以下に類似のシステムの比較表を掲げる。

これらはシステムこそ異なるが、省エネルギー性を売り物にしているの、性能面では競争関係にある。

燃料電池の販売は足踏み状態であるが、今後価格は大幅に下がっていくとの見方が一般的であり、この資料でも近未来価格 100 万円を採用することにしたい。

(参考) 主な家庭用エネルギーシステム

名称	エネファーム (家庭用燃料電池)	エコウィル (家庭用ガスコージ エネレーションシ ステム)	エコキュート (二酸化炭素冷媒ヒ ートポンプ給湯機)
事業主体	新日本石油、東京ガス等	東京ガス、大阪ガス 等	東京電力、関西電力等
特徴	LPガスや都市ガス、 灯油から水素をつ くり、空気中の酸素と反 応させて電力と温水を つくる	都市ガスやLPガス で小型ガスエンジ ンを駆動させて発電 し、その排熱で温水 をつくる	空気中の熱を取り込 んで圧縮し冷媒を使 って90℃程度の高温 水をつくる。発電は しない。
発電効率 熱回収効率	100%出力時 38%LHV 100%出力時 55%LHV	20% LHV 57% LHV(一例)	COP: 4~5
出力(一例) (エネルギー 投入量が異 なるので合計 の比較は無 意味)	電力: 700W~1kW 温水: 電力の 1.4 倍 (最大)	電力: 1kW 温水: 2.8kW	加熱能力: 6kW (消費電力: 1.25kW)
発売時期	2009年5月	2005年	2001年
市場価格	1kWで300万円以下	60~70万円	50~80万円

④事業費の総計

事業費は実勢価格のほか近未来的な要素も含まれている。

導入事業費の想定

	太陽光発電	燃料電池	マイクロ風車	合(円)計
	3.5 kW	1.0 kW	1 kW	
本体機器費	1,250,000	800,000	1,150,000	3,200,000
工事費	325,000	200,000	100,000	625,000
計	1,575,000	1,000,000	1,250,000	3,825,000
W発電追加工事				300,000
補助金	未計上	未計上	未計上	
合計	1,575,000	1,000,000	1,250,000	4,125,000

⑤燃料費の想定（燃料電池の燃料費の想定）

(i) 都市ガス原単位

燃料電池の燃料はこの例では都市ガス（13 A）である。燃料電池の発電効率は機種により微妙に異なるが、一般的な傾向値である LHV（低位発熱量）で 100%稼働時 38%とする。これより燃料ガスの消費原単位を計算する。

都市ガスの低位熱量：40.63 MJ/Nm³（東京ガスの場合）

発電効率：38.0%

都市ガス 1 Nm³ = 40.63MJ の 38%が電力に：40.63 × 38% = 15.44 MJ

15.44 MJ は電力に換算すると：15.44MJ ÷ 3.6MJ/kWh = 4.29kWh

従って 1kWh の発電に必要な都市ガス量は：1 ÷ 4.29 = 0.233Nm³/kWh

となる。

しかし実際にはプロセス内の燃料利用機器効率向上などで最新のエネファームでは 0.200 Nm³/kWh 程度にまで改善されている例がある。ここでは 0.200 を用いる。

(ii) FC用都市ガス消費量

FC 発電量 3,216kWh × 0.200 m³/kWh = 643 m³/年

(iii) 都市ガス料金

都市ガス料金は用途（契約）によって、また地域（会社）によってかなりの違いがあり一様ではないが、ここでは福島ガスの料金のうち、「家庭用コージェネレーションシステム契約」の料金を利用する。

家庭用コージェネレーションシステム契約

	年間平均	備考
基本料金（円/月）	3,307 円	45m ³ を超える場合
基準単位料金（円/m ³ ）	97.65 円	45m ³ を超える場合

⑥固定価格買取制度の適用

参照資料により解説する。

⑦導入前後のランニングコストの比較

経済性比較（ランニングコスト・メリット）

項目	計算根拠	金額(千円)	備考
P V ・ F C 導入前			
契約電力基本料金	60A@1,800 円×12 カ月		2 (2)④から
電力量料金	3 段階料金合計		2 (2)④から
都市ガス基本料金	860 円×12 カ月		2 (2)⑤から
都市ガス流量料金	672m ³ ×190 円		2 (2)⑤から
導入前費用計			
P V ・ F C 導入後			

契約電力基本料金	60A@1,800円×12カ月		変わらず
FC用都市ガス料金	基本料金 3,307円×12		
	流量料金 3,216kWh×0.2m ³ ×97.65円/m ³		2(5)⑤(iii)から
給湯用都市ガス料金	基本料金 860円×12		
	流量料金 248m ³ ×190円		2(5)⑤(iv)
不足電力購入料金	5,349kWh @24.12円		平均単価を利用した
余剰電力売電料金	4,884 kWh@34円		
PVメンテナンス経費	注1.		別途
FCメンテナンス経費	注2. 1,000,000×3%		条件付き
導入後費用計			
ランニングコスト・メリット計			
借入金利子	注3.		
年間キャッシュフロー			
投資額回収期間	4,125,000÷111,315	37.1年	

注1. 10年間メーカー保証システムを活用する（最近登場したシステム）

日常の簡単な維持費は個人負担とする

注2. 機器費の2%を年間維持費と仮定する。但し運転時間画40,000時間を限度とし、40,000時間を超えると多額の電池スタックの交換費用が発生する。

注3. 借入金4,125,000円に対する借入金利子率を2.5%とすると、初年度の利子は103,125円になるが、完済までの年平均利子を51,563円とする。

⑧経済性の検証

設備に対する補助金を見込まずに、余剰電力売電価格を34円/kWhにして経済性を試算したが、ランニングコスト削減率は48%という驚異的なレベルに達しているものの、設備投資額が大きく、投資額の回収期間は30年を超えた。燃料電池はその触媒劣化からスタックの耐用年数は40,000時間程度とされており、このモデルでの年間運転時間3,216時間を前提とすると40,000時間は12年であり、12年を超える回収期間は、経済性の面からは実現可能性はないとの判断に結びつく。

都市ガス料金が低い地方都市のケースを取り上げたが、都市ガス料金は導入前後で計上されているので、導入前後での比較上は都市ガス料金の高低の影響は小さい。FC用の都市ガス料金は一般的な料金よりも割安に設定されているものの、FCの経済性はよくない。

全体の採算性を悪くしている最大の要因はマイクロ風車の併設であるので、これを例えばより小型化して「蓄電池併設街路灯や庭園灯」用に別扱いにすると様相はかなり異なってくる。

計算を簡単にするため、マイクロ風車の発電量275kWhを購入電力量に置き換え、投資額125,000万円を削除すると以下ようになる。

マイクロ風車の導入を避けた場合の経済性比較（ランニングコスト・メリット）

項目	計算根拠	金額(千円)	備考
PV・FC導入前			
契約電力基本料金	60A@1,800円×12カ月		2(2)④から
電力量料金	3段階料金合計		2(2)④から
都市ガス基本料金	860円×12カ月		2(2)⑤から
都市ガス流量料金	672m ³ ×190円		2(2)⑤から
導入前費用計			
PV・FC導入後			
契約電力基本料金	60A@1,800円×12カ月		変わらず
FC用都市ガス料金	基本料金 3,307円×12		
	流量料金 3,216kWh×0.2m ³ ×97.65円/m ³		2(5)⑤(iii)から
給湯用都市ガス料金	基本料金 860円×12		
	流量料金 248m ³ ×190円		2(5)⑤(iv)
不足電力購入料金	5,624kWh @24.12円		平均単価を利用した
余剰電力売電料金	4,884 kWh@34円		
PVメンテナンス経費	.	0	別途
FCメンテナンス経費	1,000,000×3%		条件付き
導入後費用計			
ランニングコスト・メリット計			
借入金利子			
	(4,125,000-1,250,000) × 2.5%×1/2		
年間キャッシュフロー			
投資額回収期間	2,875,000÷120,307	23.9年	

投資の資金回収期間は大幅に短縮されたが、このレベルでは家庭用であっても魅力ある投資対象にはならない。いまは公的補助金が利用できるが、不透明であり、現時点では燃料電池の大幅な価格ダウンに期待するしかない。

太陽光と同様に10年程度で投資額が回収できるには、投資額2,750,000円が半分程度にならないと実現は難しい。加えて、太陽電池パネルは年々劣化し、出力低下が不可避である。このほかのリスクもある。

ただ、現状ではまだ技術的な道が不透明であるが、燃料電池からの排熱を極めて安価に貯蔵し再利用できるシステムが登場すれば、燃料電池の理想的な高効率運転パターンが設定でき、ランニングコストメリットが増えて、経済性もギリギリ10年前後に収まる可能性も考えられる。

『W発電』は理想的なCO₂削減プランと謳われているが、自立的な普及へのインセンティブの有無や採算面ではかなり多くの課題を抱えているシステムとみてよく、経済性を重視する一般消費者に対して『導入への自走力』を与えるものにはなりそうにない。

(6) 環境効果の検証

プランから期待される環境効果をCO₂排出削減量と原油換算削減量によって試算

した。電力のCO₂排出係数は平成18年3月発表の環境省「改正地球温暖化対策推進に関する法律施行令」に基づく0.555 kg/kWhを採用した。その他エネルギーの排出係数を含め詳細は用語解説参照。また、CO₂ 1t（年ベース）削減に要する初期投資額をも試算した。但し、設備生産から廃棄にいたるプロジェクトライフサイクルでの温室効果ガス排出の問題（マイナスファクター）はここでは考慮していない。

なお、マイクロ風車の数値は採用していない。

環境効果（年間）

エネルギー消費量		CO ₂ 削減効果		原油換算削減効果	
		排出原単位	CO ₂ 排出量	消費原単位	原油消費量
現状ベース					
電力	7,410 kWh	0.555kg/kWh	4,113 kg	0.254 L/kWh	1,882 L
都市ガス	672 m ³	2.35kg/m ³	1,579 kg	1.20 L/m ³	806 L
計			5,692 kg		2,668 L
PV+FC導入					
都市ガス	891 m ³	2.35kg/m ³	2,094 kg	1.20 L/m ³	1,069 L
購入電力	5,624 kWh	0.555kg/kWh	3,121 kg	0.254 L/kWh	1,428 L
移転電力※	-)4,884 kWh	0.555kg/kWh	-)2,711 kg	0.254 L/kWh	-)1,241 L
計			2,504 kg		1,256 L
差引削減量			3,188 kg		1,412 L
削減率			56.0 %		52.9 %

CO ₂ 削減量	初期投資額	CO ₂ 1t削減に要する投資額
3.188 t/年	2,875 千円	902 千円/t

※移転電力はCO₂を削減した電力を電力会社に移転したものを仮称した。

[演習の最後に再確認]

次の工程表により、演習のプロセスをフォローし確認する
（工程表はコピーを配布）