

# 環境防災未来都市の初期設計

## —Ver.1 自然エネルギー発電と医療福祉の都市を中心に—

国の成長戦略にある環境未来都市構想は環境問題の解決に加えて、エネルギー安全保障の改善と産業振興の3つを同時に達成とするものが期待される。いわば3つの方程式を同時に解くことが要請されていると言える。東日本大震災の被災都市では災害からの復興がテーマであるが、これらの都市のうちのいくつかを環境未来都市として復興させるデザインは、地域と日本の両者の繁栄に貢献すると考えられる。

さらに、東北地方の各都市は全国平均に比べて高齢化が進行しており、例えば陸前高田市では年齢構成において65歳以上の割合が34%であり、かつ15歳未満の人口割合は12%、20歳代の割合においては5.4%しかない。そのため、被災した都市の復興プランを高齢者の雇用・医療福祉の充実という観点から考慮する必要がある。

本書では、人口が2万人程度で、高齢化が進行している岩手県陸前高田市(23,164人)、大槌町(15,239人)、宮城県山元町(16,633人)の各地域について、人口構成及び被災状況を分析し、自然エネルギー発電と医療福祉の都市としての、復興素案を導く。

### 1. 陸前高田市

#### 1-1. 陸前高田市の現況

陸前高田市の人口は2011年3月の時点で23,164人であり、30年前の約29,000人から一貫して減少傾向にある。Figure 1をみると、65歳以上の割合は34%、15歳以上64歳以下の割合は54%、14歳以下の割合は12%で、全国平均に比べて20歳代の人口が極端に落ち込み、また団塊の世代の割合が高く、高齢側に偏っていること、そして団塊ジュニア世代のピークが見られないことが特徴である。ゆえに、少子高齢化の傾向は今後も続くと思われる。

Figure 2をみると、沿岸部であるためか、漁業の従事者の割合が高いことが分かる。

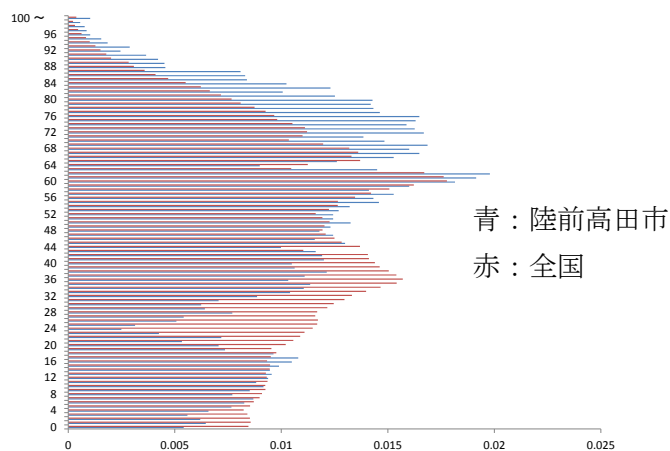


Figure 1 年齢比率比較

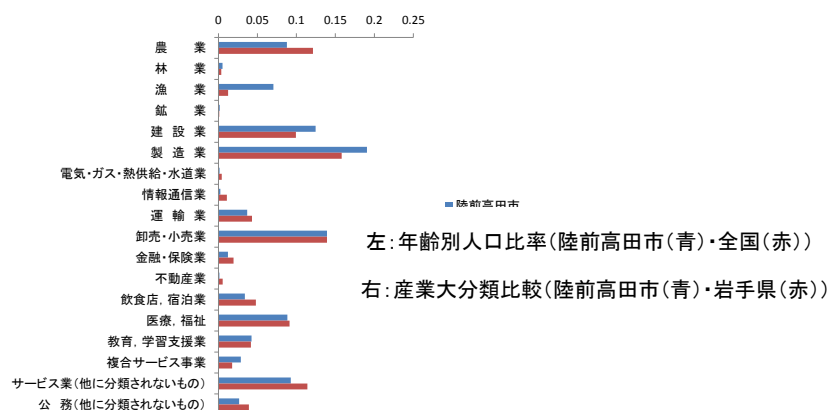


Figure 2 産業分類比較

また、Table 1 をみると、青色部分で示されている人口 10 万人当たりの医師数、病院と一般診療所数、病院と一般診療所における病床数はそれぞれ 91 人、52 ヶ所、1,325 床であり、全国平均(225 人、84 ヶ所、1,141 床)と比べると医師数が少ない。

Table 1 医療・福祉施設及び従事者比較

		陸前高田市	10万人当り	全国10万人当り
医療従事者	医師	21人	91人	225人
	歯科医師	9人	39人	78人
	薬剤師	22人	95人	210人
医療施設	病院	2	9	6.9
	一般診療所	10	43	77.6
	歯科診療所	9	39	53.1
病床数	病院	266	1148	1260
	一般診療所	41	177	114.8

※平成20年医師・歯科医師・薬剤師調査、平成21年医療施設調査

### 1-2. 陸前高田市の被災状況

東日本大震災による陸前高田市の被災状況は5月25日現在で死者1,497名、行方不明者682名、避難者8,720名である。最大で84cmの地盤沈下が観測され、高さ5.5m、全長2kmの防波堤は全壊している。浸水した地域は13km<sup>2</sup>、うち建物、幹線交通用地が3km<sup>2</sup>、田畑、森林等が6km<sup>2</sup>である。Figure 3に浸水範囲を示す。



Figure 3 浸水範囲

### 1-3. 陸前高田市新都市計画案

防災環境都市として、居住区を40m以上の高台に、産業エリアを低地に設置する。さらに、農業等の既存産業と共生しながら、50%以上のエネルギー自給率を目指す自然エネルギー発電産業を創出するものとした。すでに、平均年齢が69歳に達している農業従事者の担う農業の振興よりも、土地の買い上げ、または借り上げにより、自然エネルギー発電所を建設し、発電所の地代収入によって農業収入を上回る所得を実現しながら、資源エネルギーと環境負荷の問題を解決したモデル都市とする。同時に、新しいまちづくりのポイントとしては、医療福祉の充実があげられる。医療・介護施設を集約化してコストダウンを図っていくとともに、新しい機能を充実させたい。

### 1-4. メガソーラー発電所の経済性検討

自然エネルギー源としてメガソーラーを導入するときの試算を以下に示す。そのために時間発展シミュレーションを行うソフトウェアであるCSSD(Computational Social System Dynamics)を用いた。CSSDはその機能として電力の需給や自然エネルギーによる発電を再現することで、太陽電池および二次電池の最適導入量を決定する、時間発展シミュレーションである。

仮定として太陽電池の設置容量を1MW/ha、価格を300,000円/kW、二次電池の価格を30,000円/kWh、売電価格を30円/kWhとした。また、電力需要データとして、東北電力の月次発電推移データ(Figure 4)および、沖縄県汀間変電所の配電データを元に、1日を48ステップに区切って365日の需要データ(Figure 5)を作成した。

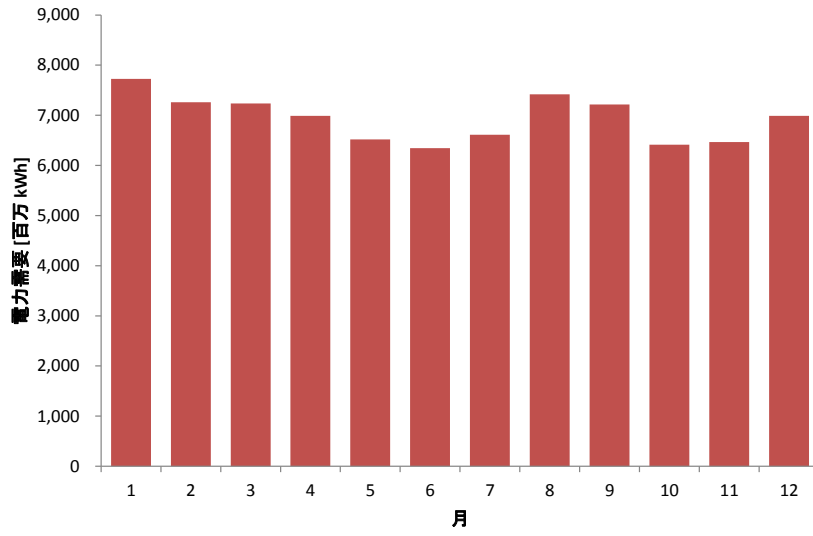


Figure 4 東北電力月次発電推移

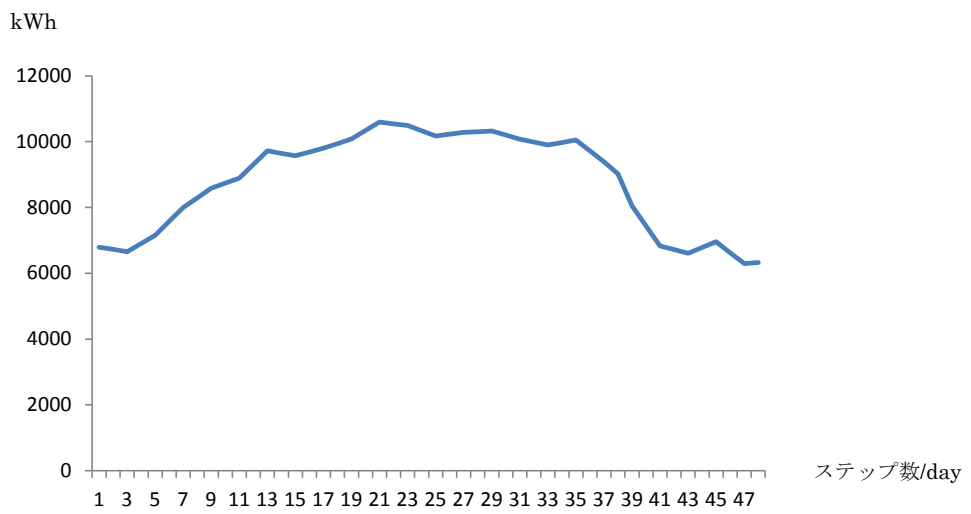


Figure 5 電力需要推移 (7月22日)

以下に、シミュレーション条件として、太陽光発電の規模を 50MW から 10MW 毎に 140MW まで、二次電池の規模を 140MWh から 770MWh まで 70MWh ずつ変化させた 100 パターンのシミュレーションの結果を、初期投資額とエネルギー自給率の関係として Figure 6 に示す。

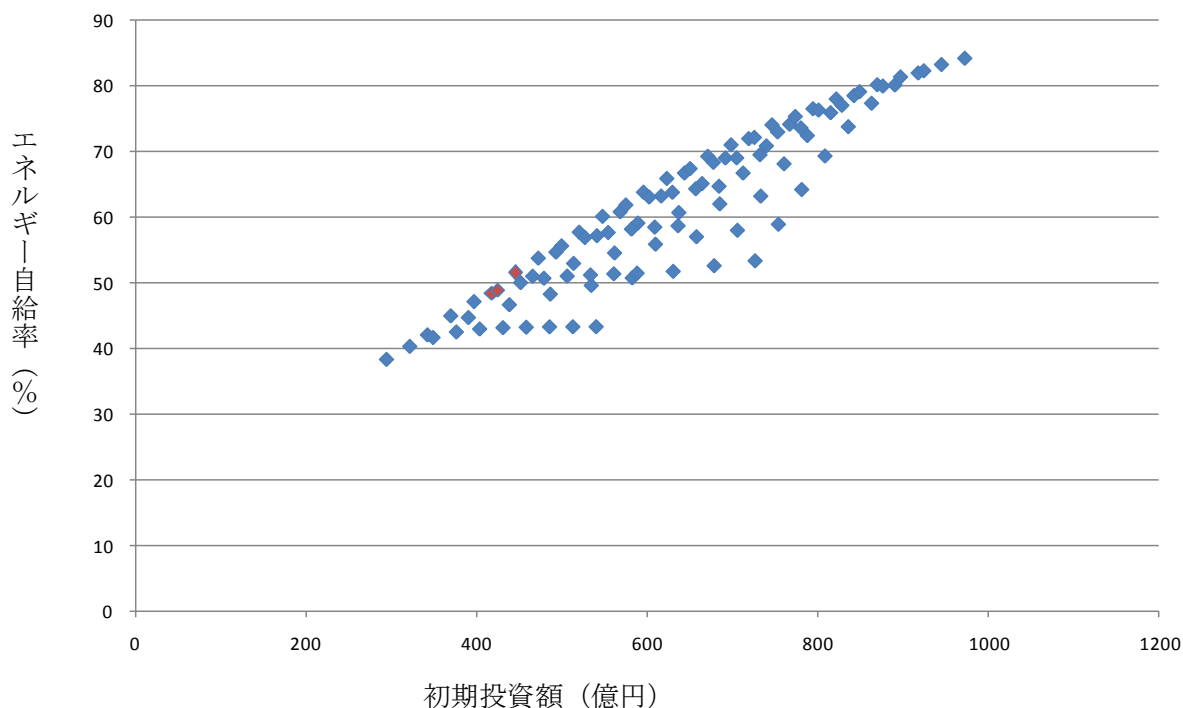


Figure 6 シミュレーションパターン散布図

Figure 6 から、初期投資が最も少なく、エネルギー自給率 50%程度を達成している 3つのシナリオについて、それぞれ設備初期投資と年間の電力収支を求め、以下に記す。

#### シナリオ I

太陽光発電を 70MW、二次電池を 210MWh 導入したシナリオである。初期投資はそれぞれ太陽光発電に 336 億円、二次電池に 82 億円である（設置費用含む。以下同様）。詳細を Table 2 に示す。

Figure 7 は週次の需要・太陽光発電・系統電力量・太陽光発電による逆潮流の年間を通しての各推移であり、Figure 8 は 1 年間の電力供給および消費の収支である。

このシナリオでのメガソーラー設置のための必要面積は Figure 11 のようになる。

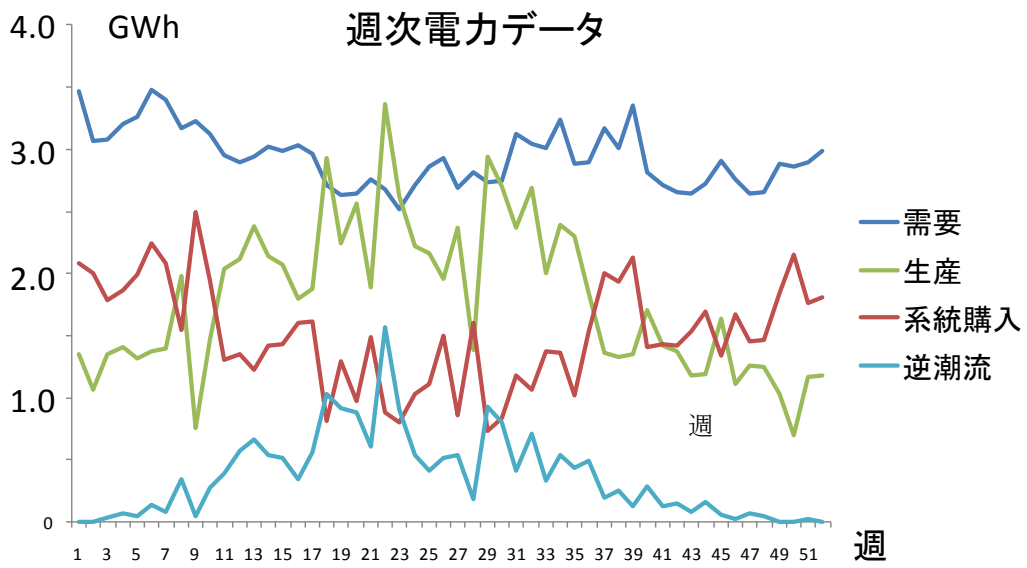


Figure 7 シナリオ I 週次電力需給推移

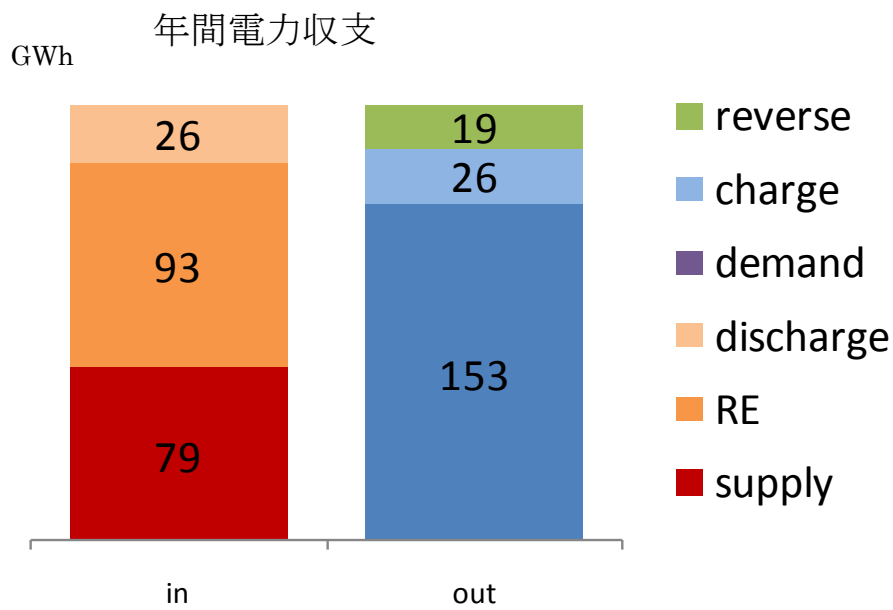


Figure 8 シナリオ I 年間電力収支

Table 2 シナリオ I 設備導入量

総需要	153GWh	二次電池容量	210MWh
太陽光導入量	70MW	二次電池初期投資	8,200(百万円)
太陽光発電面積	0.70km <sup>2</sup>	年間系統購入量	79GWh
RE 年間発電量	93GWh	エネルギー自給率	49%
(うち消費量)	74GWh	ピークカット率	21%
(うち逆潮流量)	19GWh	太陽光発電売上見込	2,790(百万円/年)
太陽光初期投資	33,600(百万円)		

年間総需要 153GWh のうち 74GWh を太陽光発電で賄っており、太陽光発電によって生産されたエネルギーのうち需要および二次電池で吸収しきれず、逆潮流となったものは 19GWh (20%) であった。年間を通して太陽光発電量は夏季に大きくなるために、逆潮流も夏季に大きくなるのが分かる。Figure 9 に 7 月 1 日から 7 日までの電力経営データを記す。

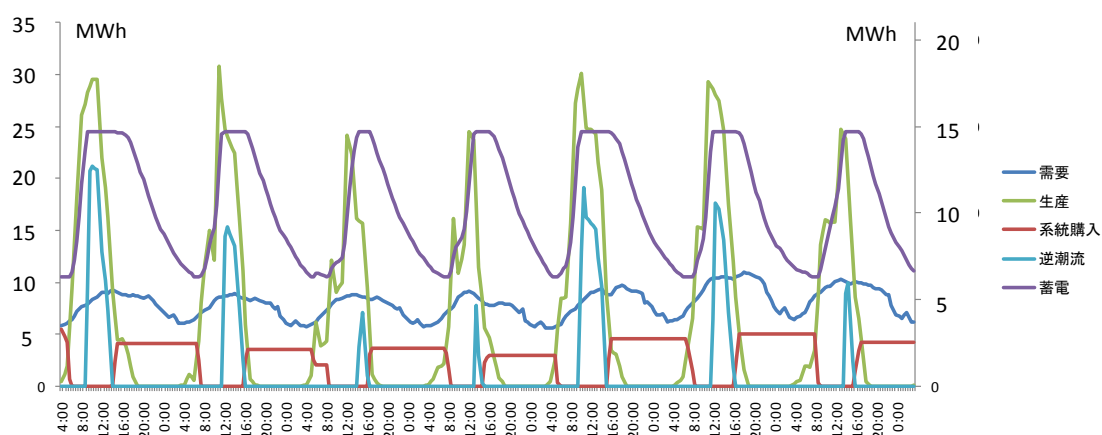


Figure 9 7 月 1 日から 7 月 7 日までの電力需給推移

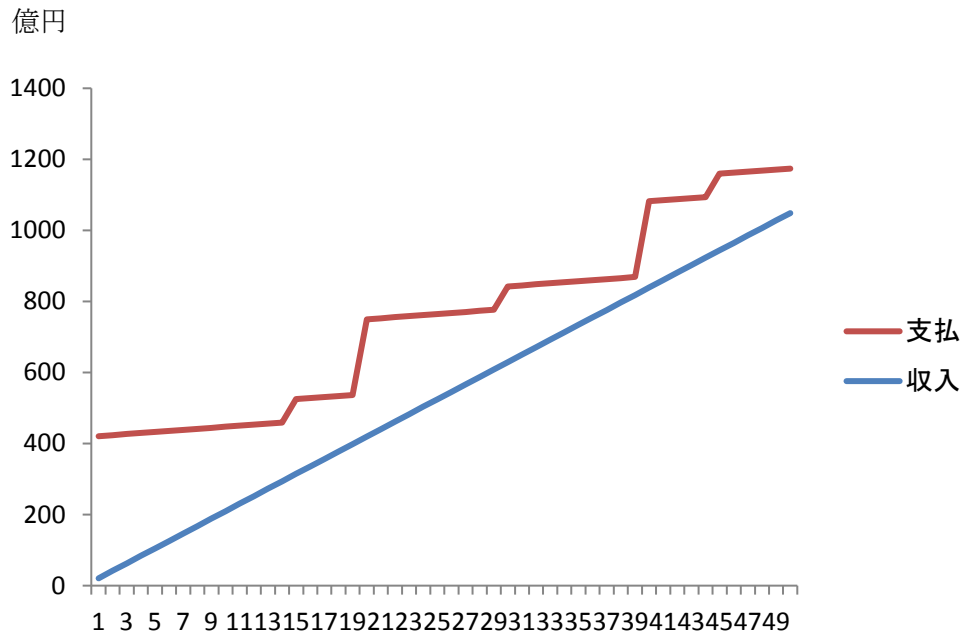


Figure 10 シナリオ I キャッシュフロー

Figure 10 が示すように、売電価格が 30 円/kWh では、初期投資が回収できないので、メガソーラー発電所を実現させるためには何らかの補助が必要である。二次電池を導入することによって売却電力の平滑化を行っており、これは既存発電機の容量削減という効果につながるが、この効果を算入していないので、採算性は向上するはずである。



※mapionより作成

Figure 11 メガソーラー設置概観図

シナリオⅡ

太陽光発電を 60MW、二次電池を 350MWh 導入したシナリオである。初期投資はそれぞれ、太陽光が 288 億円、二次電池が 137 億円である。年間電力収支と計画案の詳細はそれぞれ Figure 12、Table 3 のようになる。また、キャッシュフローを Figure 13 に示す。

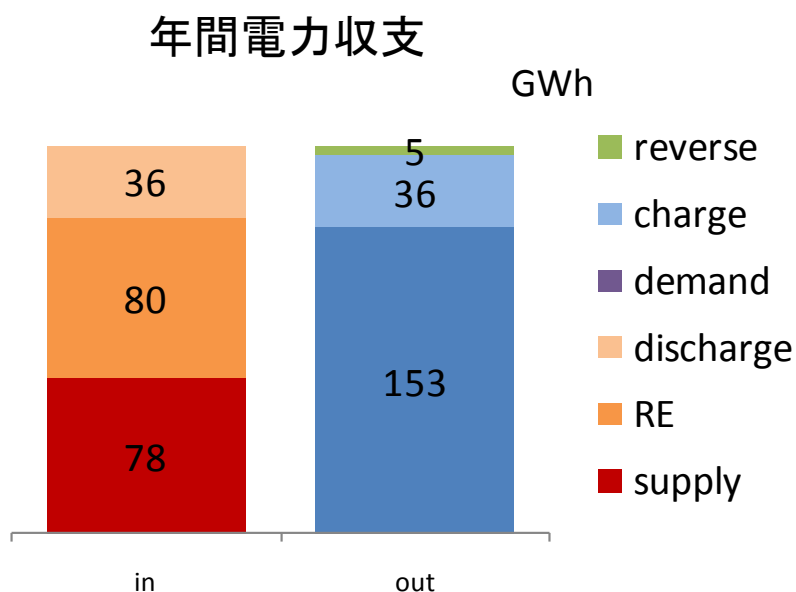


Figure 12 シナリオⅡ年間電力収支

Table 3 新都市計画案

総需要	153GWh	二次電池容量	350MWh
太陽光導入量	60MW	二次電池初期投資	13,700(百万円)
太陽光発電面積	0.60km <sup>2</sup>	年間系統購入量	78GWh
RE 年間発電量	80GWh	エネルギー自給率	49%
(うち消費量)	75GWh	ピークカット率	38%
(うち逆潮流量)	5GWh	太陽光発電売上見込	2,400(百万円/年)
太陽光初期投資	28,800(百万円)		

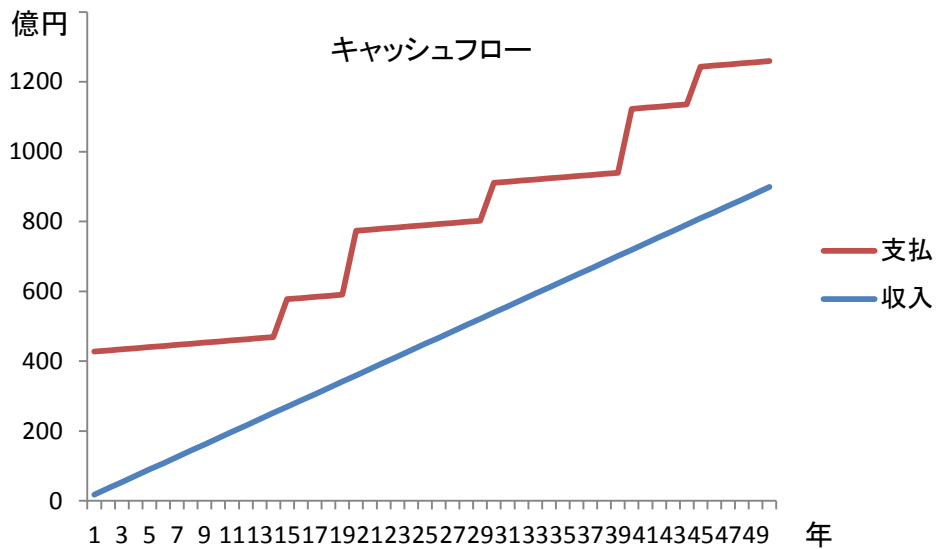


Figure 13 シナリオII キャッシュフロー

二次電池を多く導入した分、ピークカット率が大きく、また逆潮流量が少なくなっている (6.3%)。7月1日から7日までの電力需給推移は以下のようなになる。

シナリオIII

太陽光発電を 70MW、二次電池を 280MWh 導入したシナリオである。初期投資はそれぞれ太陽光発電が 336 億円、二次電池が 109 億円である。

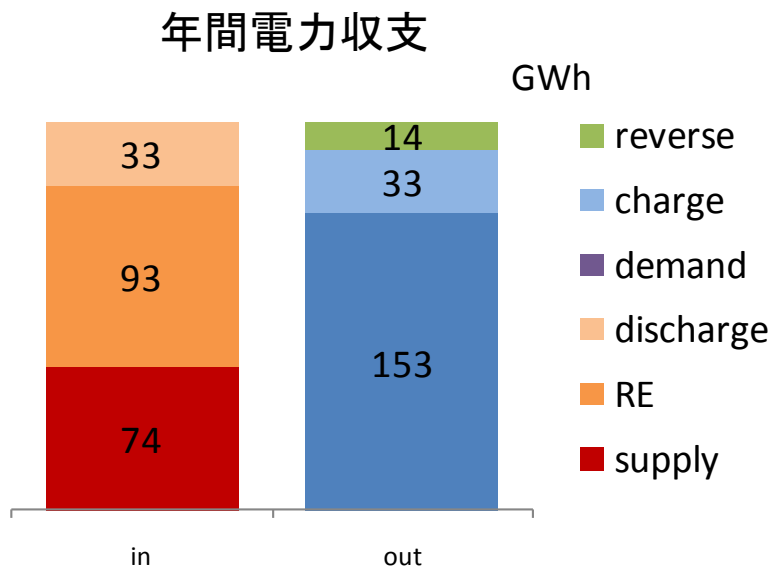


Figure 14 シナリオIII年間電力収支

Table 4 シナリオⅢ設備導入量

総需要	153GWh	二次電池容量	280MWh
太陽光導入量	70MW	二次電池初期投資	10,900(百万円)
太陽光発電面積	0.70km <sup>2</sup>	年間系統購入量	74GWh
RE年間発電量	93GWh	エネルギー自給率	52%
(うち消費量)	78GWh	ピークカット率	28%
(うち逆潮流量)	15GWh	太陽光発電売上見込	2,790(百万円/年)
太陽光初期投資	33,600(百万円)		

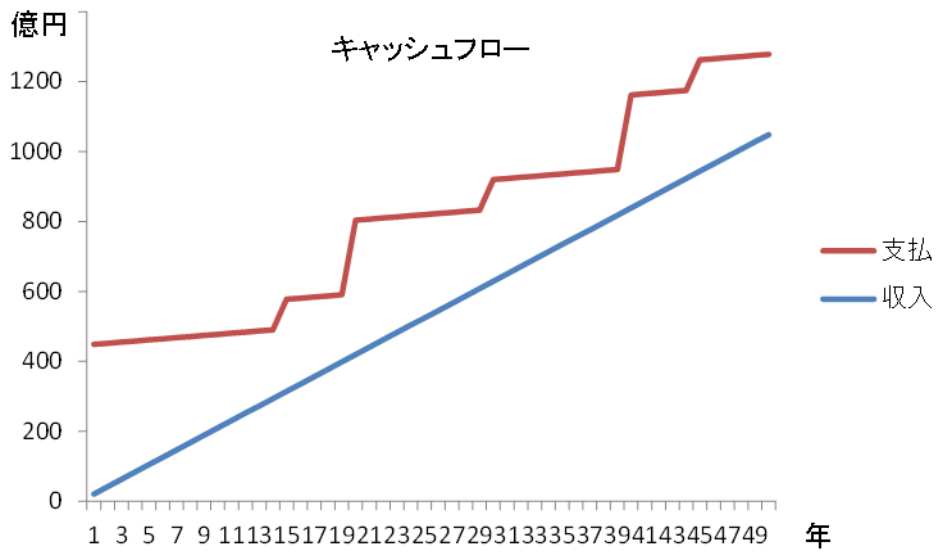


Figure 15 シナリオⅢキャッシュフロー

シナリオIV

陸前高田市に 300MW のメガソーラープラントおよび 630MWh の蓄電基地を設けた場合、電力需給推移と投資回収年数は以下のようになった。

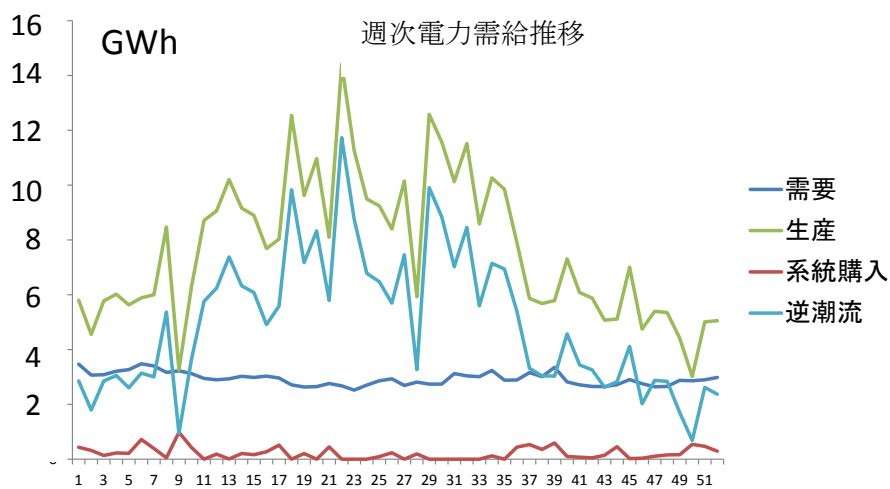


Figure 16 シナリオIV週次電力推移

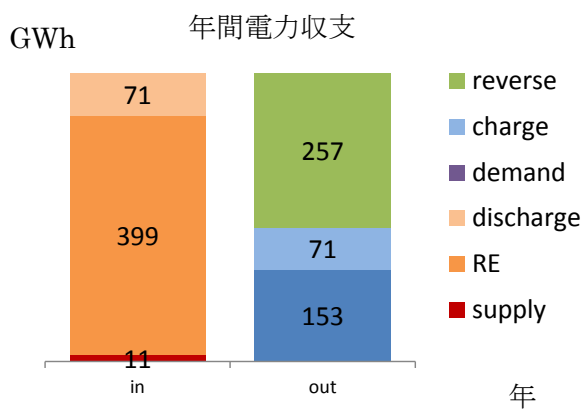


Figure 17 シナリオIV年間電力収支

Table 5 シナリオIV設備導入量

総需要	153GWh	二次電池容量	610MWh
太陽光導入量	300MW	二次電池初期投資	23,790(百万円)
太陽光発電面積	3.0km <sup>2</sup>	年間系統購入量	79GWh
RE 年間発電量	399GWh	エネルギー自給率	93%
(うち消費量)	142GWh	ピークカット率	23%
(うち逆潮流量)	257GWh	太陽光発電売上見込	11,970(百万円/年)
太陽光初期投資	144,000(百万円)		

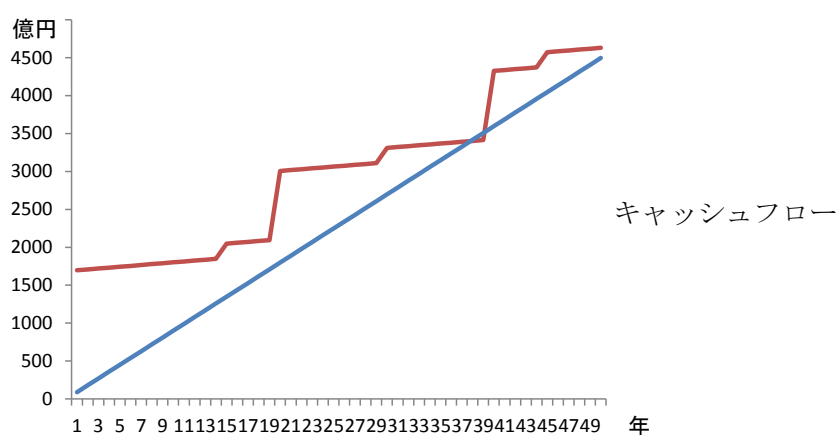


Figure 18 シナリオIVキャッシュフロー

また、300MW のメガソーラーを敷設したときは以下のようなになる。



※mapionより作成

Figure 19 シナリオIV設置概観図

## 2.大槌町

### 2-1.大槌町の現況

大槌町の人口は2011年3月の時点で15,239人であり、30年前の約21,000人から一貫して減少傾向にある。年齢構成をみると、65歳以上の割合は32%、15歳以上64歳以下の割合は56%、14歳以下の割合は12%で、全国平均に比べて20歳代の人口が極端に落ち込み(5.7%)、また団塊の世代の割合が高く、高齢側に偏っていること、そして団塊ジュニア世代のピークが見られないことが特徴である。ゆえに、少子高齢化の傾向は今後も続くと思われる。

産業分類から、農業の割合は低く、製造業の割合が高いことが分かる。

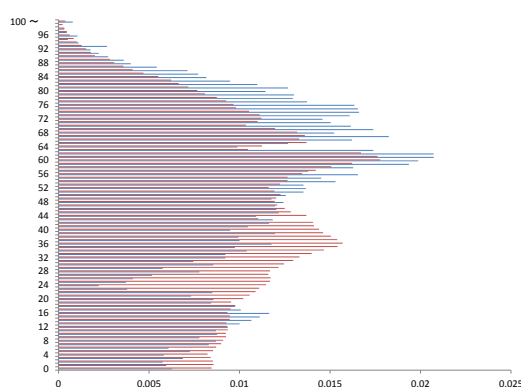


Figure 20 大槌町年齢別比率

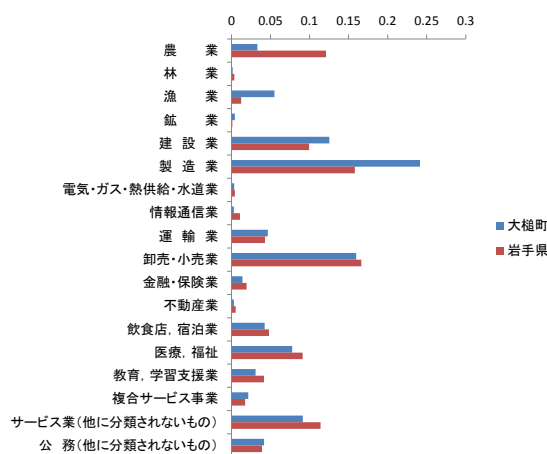


Figure 21 大槌町産業分類

左:年齢別人口比率(大槌町(青)・全国(赤))

右:産業大分類比較(大槌町(青)・岩手県(赤))

人口10万人当たりの医師数、病院と一般診療所数、病院と一般診療所における病床数はそれぞれ59人、59ヶ所、825床であり、全国平均(225人、84ヶ所、1,141床)と比べ診療所一か所あたりの医師数が少なく、また施設、病床数も少ない。

Table 6 医療・福祉施設及び従事者比較

		大槌町	10万人当り	全国10万人当り
医療従事者	医師	9人	59人	225人
	歯科医師	7人	46人	78人
	薬剤師	17人	111人	210人

医療施設	病院	1	7	6.9
	一般診療所	8	52	77.6
	歯科診療所	5	33	53.1

病床数	病院	121	792	1260
	一般診療所	5	33	114.8

## 2-2.大槌町の被災状況

大槌町の被災状況は5月24日現在で死者767名、行方不明者952名、避難者5,307名であり、最大で35cmの地盤沈下が観測されている。浸水した地域は4km<sup>2</sup>、うち建物、幹線交通用地が2km<sup>2</sup>、田畑、森林等が1km<sup>2</sup>である。

## 2-3.大槌町新都市計画案

陸前高田市と同様に、高台に居住区を設置し、低地をメガソーラー用地として使用した場合、必要面積、投資回収年数は次のようになる。

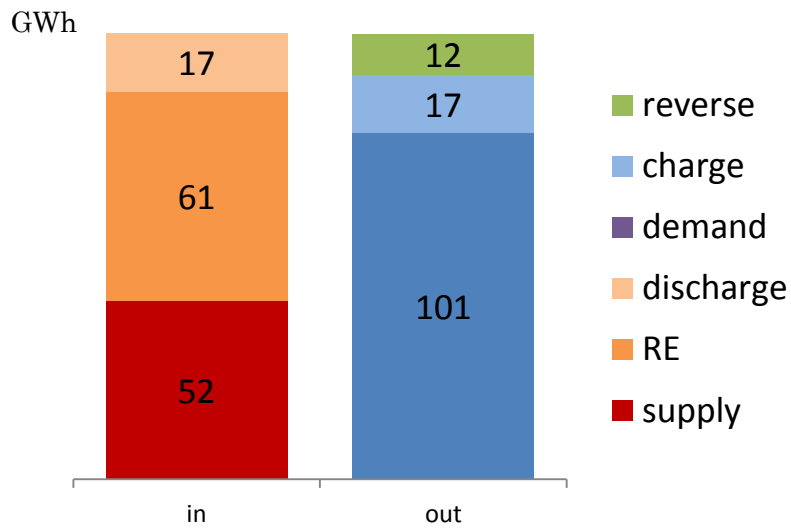


Figure 22 年間電力収支

Table 7 大槌町設備導入量

総需要	101GWh	二次電池容量	140MWh
太陽光導入量	46MW	二次電池初期投資	4,680(百万円)
太陽光発電面積	0.46km <sup>2</sup>	年間系統購入量	52GWh
RE 年間発電量	61GWh	エネルギー自給率	49%
(うち消費量)	49GWh	ピークカット率	21%
(うち逆潮流量)	12GWh	太陽光発電売上見込	1,830(百万円/年)
太陽光初期投資	22,080(百万円)		

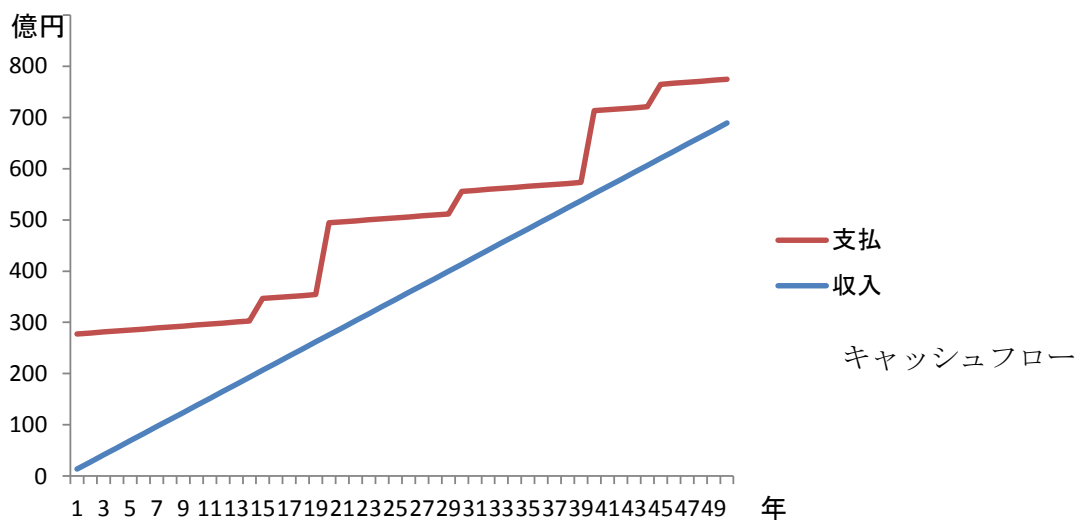


Figure 23 キャッシュフロー



※mapionより作成

7

Figure 24 メガソーラー設置概観図

### 3. 宮城県亶理郡山元町

#### 3-1. 山元町現況

山元町の人口は2011年2月の時点で16,633人であり、平成7年から減少傾向にある。年齢構成をみると、65歳以上の割合は28%、15歳以上64歳以下の割合は61%、14歳以下の割合は11%である。団塊の世代の割合が高く、団塊ジュニア世代のピークが見られないことが特徴である。ゆえに、少子高齢化の傾向は今後も続くと思われる。

産業分類から、宮城県平均と比べて農業・製造業の割合が高いことが分かる。

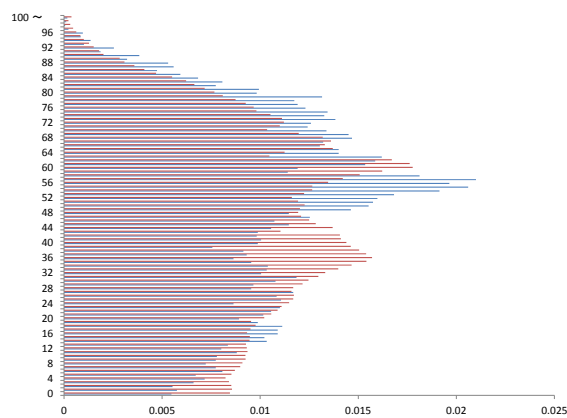


Figure 25 山元町年齢別比率

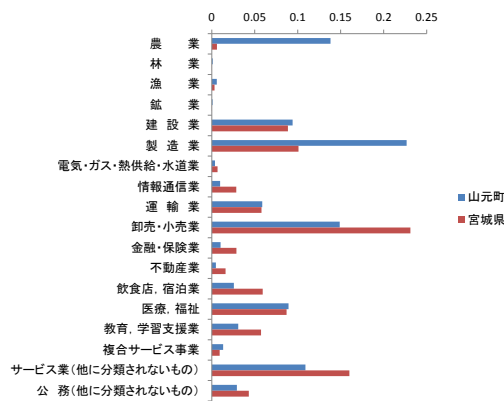


Figure 26 産業分類比較

左：年齢別人口比率(山元町(青)・全国(赤))

右：産業大分類比較(山元町(青)・宮城県(赤))

人口10万人当たりの医師数、病院と一般診療所数、病院と一般診療所における病床数はそれぞれ132人、36ヶ所、2,772床であり、全国平均(225人、84ヶ所、1,141床)と比べ病床数は十分だが、医師数が不足している。

Table 8 医療・福祉従事者比較

		山元町	10万人当り	全国10万人当り
医療従事者	医師	22人	132人	225人
	歯科医師	7人	42人	78人
	薬剤師	20人	120人	210人
医療施設	病院	1	6	6.9
	一般診療所	5	30	77.6
	歯科診療所	5	30	53.1
病床数	病院	442	2657	1260
	一般診療所	19	114	114.8

### 3-2. 山元町の被災状況

山元町の被災状況は5月5日現在で死者669名、行方不明者71名、避難者868名であり、最大で35cmの地盤沈下が観測されている。浸水した地域は24km<sup>2</sup>であり、うち建物、幹線交通用地が3km<sup>2</sup>、田畑、森林等が19km<sup>2</sup>である。

### 3-3. 山元町新都市計画案

山元町にメガソーラーを導入した場合、試算は次のようになる。

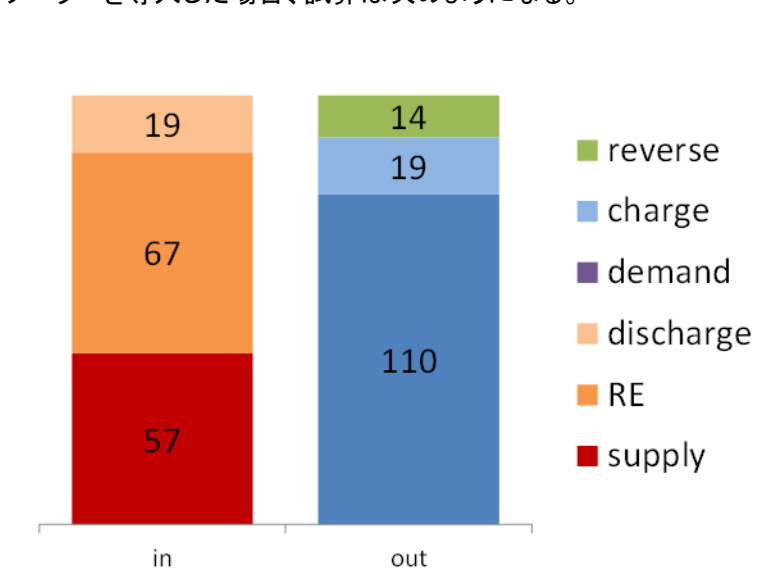


Figure 27 年間電力収支

Table 9 新都市計画案

総需要	110GWh	二次電池容量	150MWh
太陽光導入量	50MW	二次電池初期投資	5,850(百万円)
太陽光発電面積	0.50km <sup>2</sup>	年間系統購入量	57GWh
RE年間発電量	67GWh	エネルギー自給率	49%
(うち消費量)	53GWh	ピークカット率	21%
(うち逆潮流量)	14GWh	太陽光発電売上見込	2,010(百万円/年)
太陽光初期投資	24,000(百万円)		

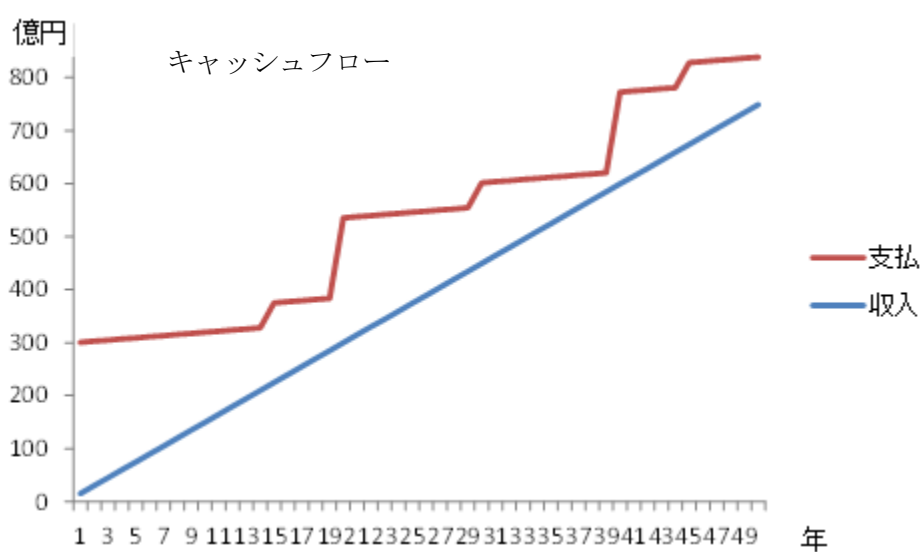


Figure 28 キャッシュフロー



※mapionより作成

Figure 29 メガソーラー設置概観図

#### 4. 宮城県気仙沼市

##### 4-1. 気仙沼市の現況

気仙沼市は宮城県北東部の沿岸に位置する市である。人口は平成 23 年 3 月時点で 73,363 人であり、近年は増加傾向にある。しかし、人口増加の主たる要因は他の市町村との合併であり、基本的には近隣の市町村と同じく人口は減少傾向にあるといえる。事実、平成 18 年に合併した唐桑町、平成 21 年に合併した本吉町を除けば、気仙沼市の人口は昭和 55 年あたりから一貫して減り続けている。気仙沼市の年齢別の人口比率を Figure30 に示す。宮城県全体と比較すると、人口分布が高齢側に偏っており、若い世代が特に少ないことが見て取れる。よって、少子高齢化の傾向は今後も続くと思われる。

気仙沼市の産業分類別の就業者人口の全体に対する比率を Figure31 に示す。気仙沼市においては漁業が主要な産業であり、宮城県全体に比べて、全体に占める漁業就業者の割合が高くなっていることが見て取れる。気仙沼市の漁業については 4-2 章において詳しく述べる。

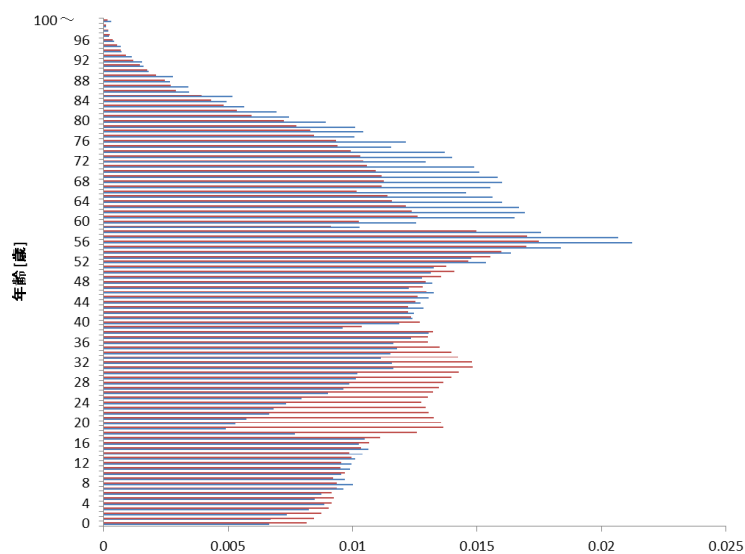


Figure 30 年齢別人口比率（気仙沼市（青）・全国（赤））【出典：平成 17 年国勢調査】

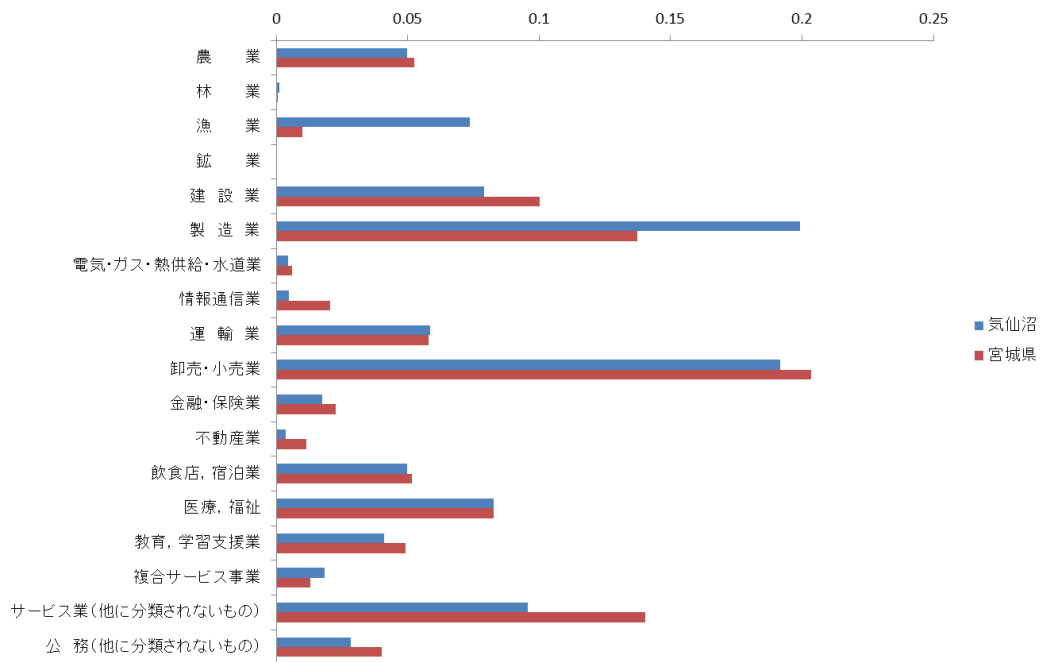


Figure 31 産業大分類別就業者人口比率

#### 4-2. 気仙沼市漁業現状

Figure 31 から気仙沼の産業で最も多いのは卸売り・小売業である。気仙沼は漁業→加工→流通という一つの形で産業を維持している為である。

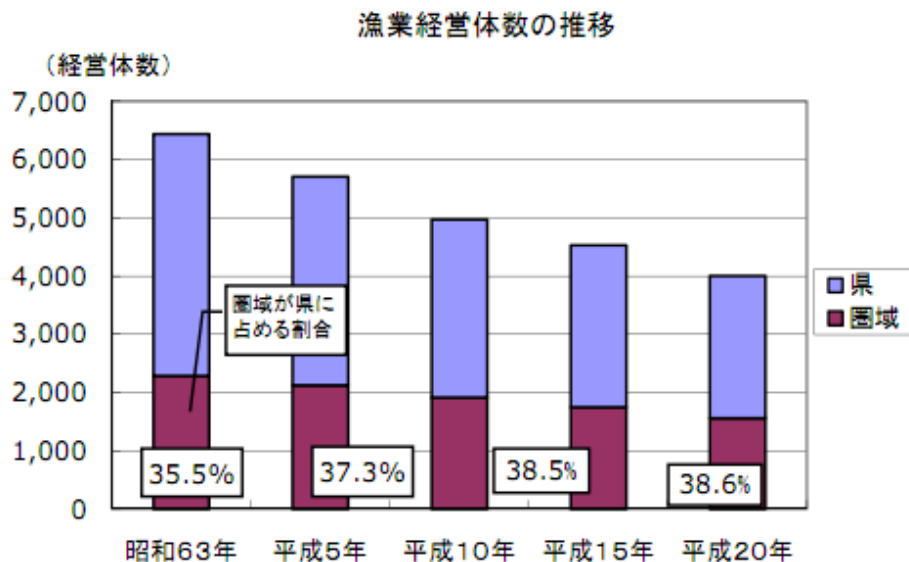


Figure 32 気仙沼と宮城県の漁業経営体数

次に漁業経営体数の推移を見ていくと、東北全体が人口減少しているため、漁業経営体数も減少しているのがわかる。次の漁業の世代を担う人が少ないことも漁業振興の際に気

をつけなければならない。

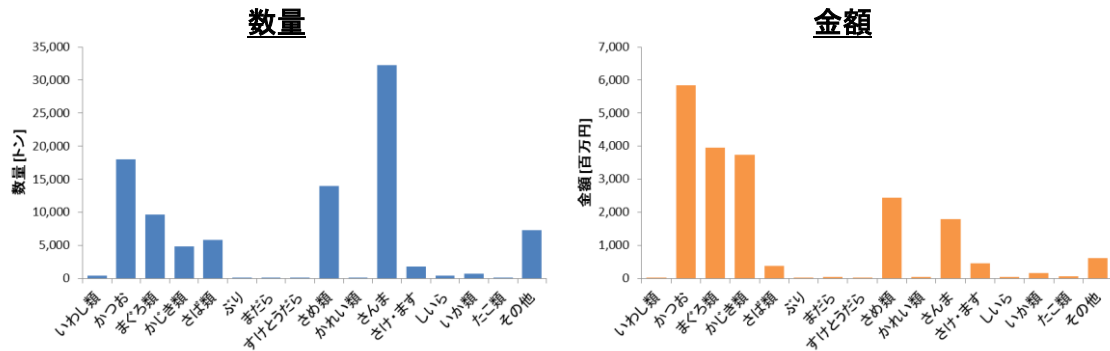


Figure 33 種類別水揚げ高および金額

Figure33 は気仙沼の漁獲量のグラフである。気仙沼は、さんま・かつお・サメの日本国内有数の水揚げ量を誇る。特にさめは、国内における水揚の **90%** が気仙沼港で水揚げされる。加工品としてのフカヒレは生産一位である。そこで Table10 より加工品の生産について見ていく。サメの加工食品が約 **25%** を占める。全体として **42,179,367** 千円の売上で、水揚げ量に比べて二倍以上の売上をあげている。気仙沼は水揚げした魚を加工して付加価値をつけ、流通させているという形を持つ水産業を行っていることがわかる。

品目 区分	21年		20年		比較増減	
	数量	金額	数量	金額	数量	金額
素干品 (さめひれ)	52トン	534,092千円	87トン	778,389千円	△ 35トン	△ 244,297千円
塩干品	53	39,702	117	73,101	△ 64	△ 33,399
煮干品 (さめひれ素むき)	20	444,480	18	555,264	2	△ 110,784
塩蔵品	X	X	X	X	X	X
練製品	71	120,028	71	114,153	0	5,875
すり身	X	X	X	X	X	X
節製品	264	260,616	275	260,707	△ 11	△ 91
調味加工品	12,774	13,265,338	12,503	12,337,045	271	928,293
冷凍加工品	83,919	21,502,775	82,137	23,036,610	1,782	△ 1,533,835
その他	9,727千枚	1,063,550	12,091千枚	673,073	△ 2,364千枚	390,477
	589トン		468トン		121トン	
小計	9,727千枚	38,302,791	12,091千枚	39,736,192	△ 2,364千枚	△ 1,433,401
	101,640トン		101,119トン		521トン	
魚油	Xトン	X	Xトン	X	Xトン	X
飼肥料	X	X	X	X	X	X
計	9,727千枚	38,948,321	12,091千枚	40,450,786	△ 2,364千枚	△ 1,502,465
	110,423トン		111,485トン		△ 1,062トン	
缶詰	767,863 C/S	3,231,046	677,490 C/S	2,757,117	90,373 C/S	473,929
合計	110,423トン	42,179,367	111,485トン	43,207,903	△ 1,062トン	△ 1,028,536
	9,727千枚		12,091千枚		△ 2,364千枚	
	767,863 C/S		677,490 C/S		90,373 C/S	

Table10 加工品生産高

#### 4-3. 気仙沼市の被災状況

気仙沼市は、他の沿岸部の都市と同様、今回の震災で甚大な被害を受けた。5月23日現在で死者は948名、行方不明者は562名、避難者は4,139名となっている。浸水範囲の面積は18 km<sup>2</sup>であり、うち建物、幹線交通用地が6 km<sup>2</sup>、田畑、森林等が8 km<sup>2</sup>である。

#### 4-4. 気仙沼市の新都市計画案

今回の震災で被災した低地をメガソーラー用地として使用した場合、メガソーラーの設置に必要な面積や投資回収年数は Table11 のようになる。また、このときのキャッシュフローを Figure に示す。

Table11 メガソーラー都市計画案

総需要	485 (GWh)	二次電池容量	666 (MWh)
太陽光導入量	222 (MW)	二次電池初期投資	25,959 (百万円)
太陽光発電面積	0.222 (km <sup>2</sup> )	年間系統購入量	250 (GWh)
RE 年間発電量	295 (GWh)	エネルギー自給率	49 %
(うち消費量)	235 (GWh)	ピークカット率	21 %
(うち逆潮流量)	60 (GWh)	太陽光発電売上見込	8,843 (百万円/年)
太陽光発電初期投資	106,498 (百万円)		

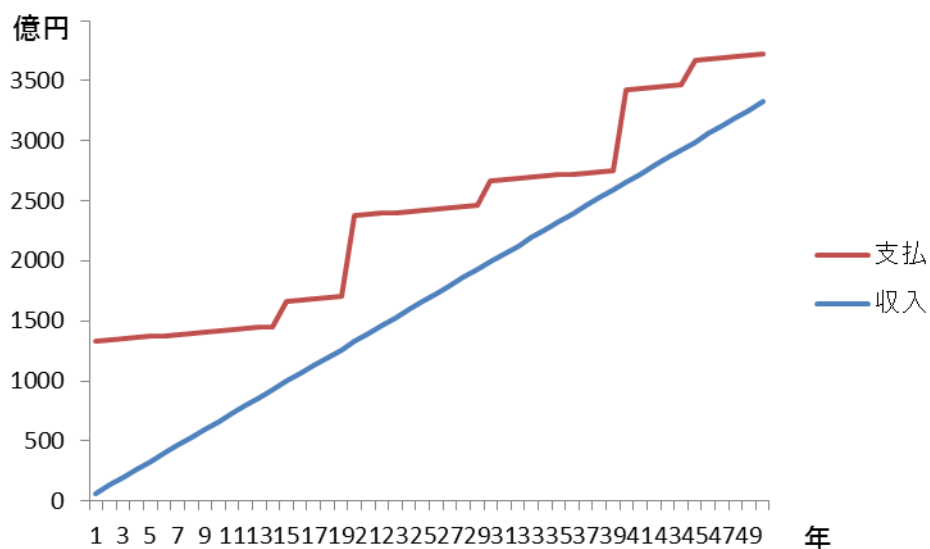


Figure 34 新都市計画案のキャッシュフロー

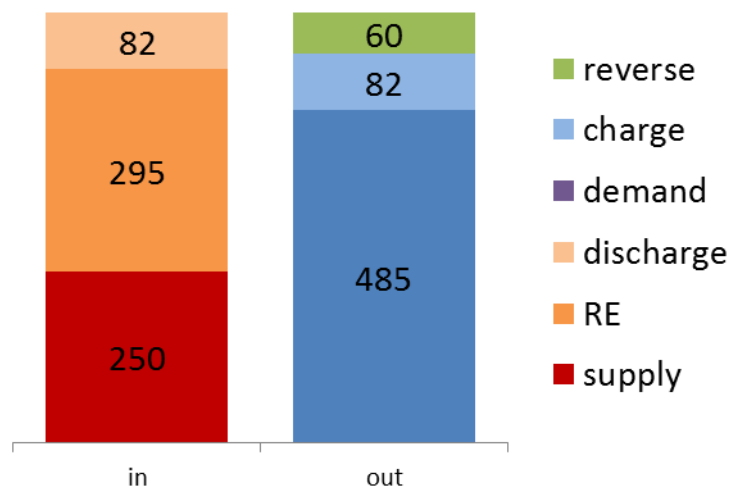


Figure 35 新都市案における年間電力収支

5. 参考

世界のメガソーラー



ドゥルシネア太陽光発電所（クエンカ県）



ドン・キ・ホーテ太陽光発電所（シウダ・レアル県）

Figure 36 世界のメガソーラー例

■大規模太陽光発電施設の概要

名称	ドゥルシネア太陽光発電所 (Planta Solar de Dulcinea)	ドン・キ・ホーテ太陽光発電所 (Planta Solar de Don Quijote)
所在地	スペイン中部 クエンカ県	スペイン中部 シウダ・レアル県
設置容量	京セラ製 28.8 MW (全体 31.8MW)	京セラ製 10.5MW (全体 15.5MW)
京セラ製太陽電池 モジュール枚数	合計 140,426 枚 200W : 71,654 枚 205W : 11,088 枚 210W : 57,684 枚	合計 50,004 枚 200W : 54 枚 210W : 49,950 枚
太陽電池敷設面積 <sup>※3</sup>	230,324 m <sup>2</sup>	108,257 m <sup>2</sup>
年間発電電力量予測 <sup>※3</sup>	47.8 GWh 11,938 戸分に相当 <sup>※2</sup>	23 GWh 5,741 戸分に相当 <sup>※2</sup>

※3…太陽光発電所の総設置容量に対応した数値です。

Figure 34 メガソーラープラント概要

Table12 にシミュレーションの評価用データ詳細を記す。

Table 12 評価用データ

火力発電設備単価	250000[円/kW]	燃料における石油の割合	100[%]
火力発電耐用年数	15[年]	燃料における石炭の割合	0[%]
二次電池価格	30000[円/kWh]	発電単価当の石油の価格	21.1[円/kWh]
太陽電池価格	300000[円/kW]	発電単価当の石炭の価格	4.5[円/kWh]
風力発電価格	300000[円/kW]	石油の CO2 排出量	0.704[kg-CO2/kWh]
二次電池耐用年数	15[年]	石炭の CO2 排出量	0.887[kg-CO2/kWh]
太陽電池耐用年数	20[年]	風力発電耐用年数	20[年]
太陽電池にかかる土地代	15000[円/kW]	風力発電にかかる土地代	10000[円/kW]
排出権取引価格	2500[円/ton-CO2]	火力発電の人件費	2.3[円/kW]