

3. 新エネルギーの導入に関する検討

3.1 エネルギー消費構造

須坂市内でどの程度エネルギーが消費されていて、その構造がどうなっているかを調べます。市内で消費されているエネルギー量や構造を厳密に把握することは困難ですが、既存の統計資料等をもとに、可能な範囲で実績値を把握しました。

3.1.1 エネルギー源別の消費実績

市内で実際に消費されているガスや石油製品等のエネルギー消費量について整理します。

(1) 電力消費量

① 消費量の推移

平成16年度の電灯・電力消費量は361,664MWhで平成12年度より約11%減少しています。家庭が中心の電灯消費は3%増加し、事業所が中心の電力消費は15%の減少となっています。全消費量に占める電灯の割合は約28.5%で、電力が71.5%となっています。

表 3-1 電灯・電力需要量の推移 (須坂市) (単位: MWh)

	平成12年度	平成13年度	平成14年度	平成15年度	平成16年度
電灯	100,081	99,074	101,703	100,070	103,102
(対前年比)	(1.02)	(0.99)	(1.03)	(0.98)	(1.03)
電力	304,958	295,210	300,857	278,620	258,562
(対前年比)	(1.12)	(0.97)	(1.02)	(0.93)	(0.93)
電灯電力計	405,039	394,284	402,560	378,690	361,664
(対前年比)	(1.10)	(0.97)	(1.02)	(0.94)	(0.96)

中部電力長野営業所提供資料

単位: MWh

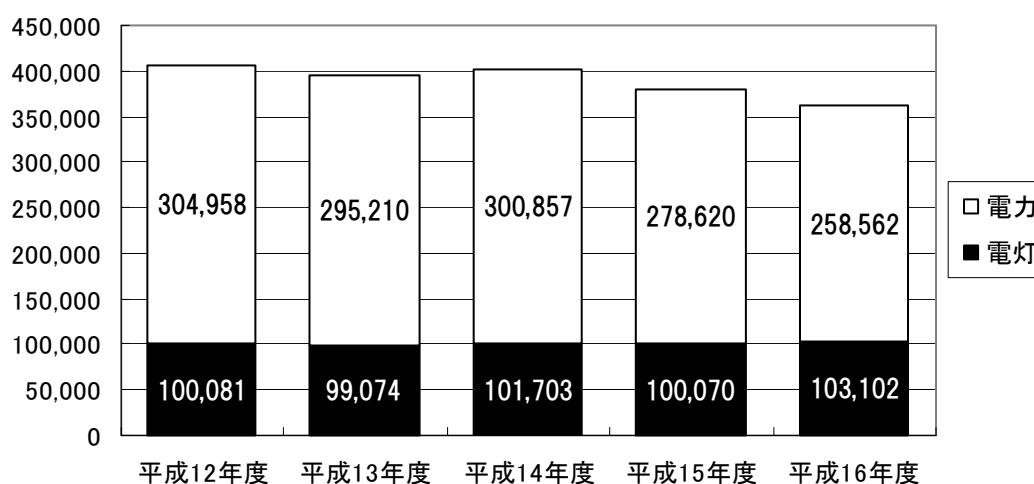


図 3-1 電灯・電力需要量の推移 (須坂市)

出典: 中部電力長野営業所資料

② 月別消費量の変化

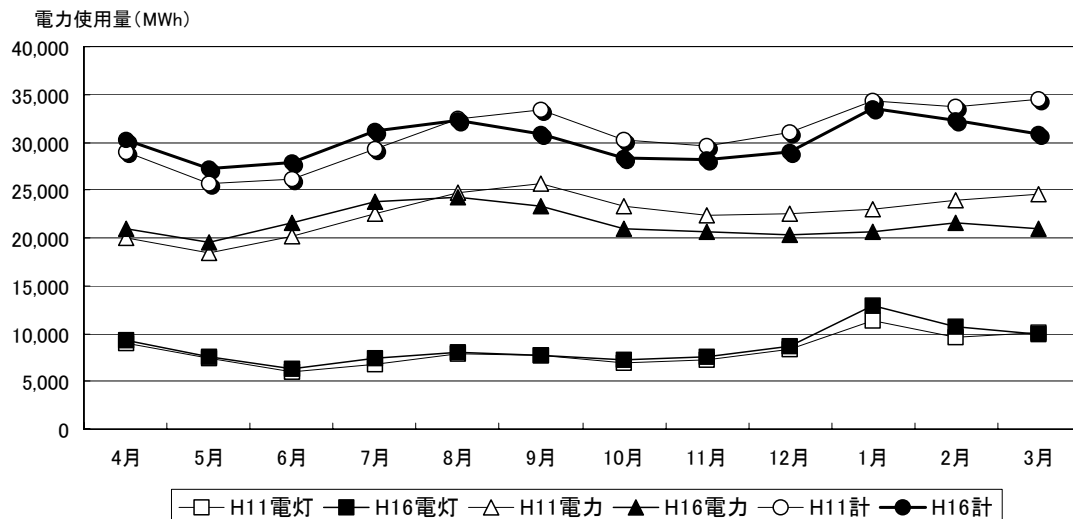
平成 16 年度と 5 年前の平成 11 年度の月別の電力需要量を比較すると、4 月期～8 月期には平成 11 年度に比べ電力使用量は増加している傾向が見られるのに対し、9 月期～3 月期では減少している傾向が見られます。電灯使用量はほぼ変わっていません。

表 3-2 平成 11 年・平成 16 年 月別の電灯・電力需要量（須坂市）

（単位：MWh）

月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	合計
H11 電灯	8,935	7,338	5,994	6,777	7,798	7,734	6,896	7,232	8,386	11,353	9,657	10,011	98,111
H16 電灯	9,230	7,597	6,256	7,467	8,000	7,650	7,278	7,571	8,588	12,894	10,670	9,951	103,152
H11 電力	19,989	18,379	20,149	22,518	24,712	25,615	23,286	22,428	22,596	23,016	24,011	24,501	271,200
H16 電力	20,974	19,587	21,578	23,725	24,263	23,254	21,023	20,629	20,321	20,605	21,637	20,916	258,512
H11 計	28,924	25,717	26,143	29,295	32,510	33,349	30,182	29,660	30,982	34,369	33,668	34,512	369,311
H16 計	30,204	27,184	27,834	31,192	32,263	30,904	28,301	28,200	28,909	33,499	32,307	30,867	361,664

出典：中部電力資料



出典：中部電力資料

総需要電力量は電灯、電力に分けられ、その電力も業務用電力、大口電力等に分類されます。電灯は一般家庭用が主であり、業務用電力はビル、商店等で使用されるものとなります。

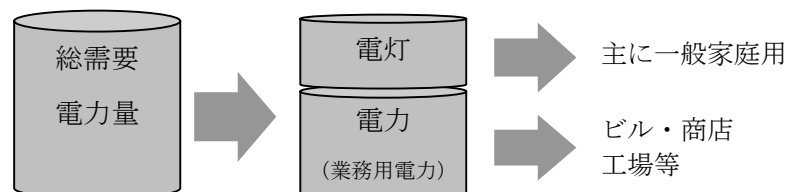


図 3-2 総需要電力量のイメージ

(2) ガス使用量

① 消費量

市内の都市ガスの平成 16 年度の販売量は、約 5,792,000 m³です。そのうち、家庭用の消費構成比は約 59%で、供給世帯数は 7,715 世帯になります。

残りの世帯はプロパンガスを使用していると仮定すると、市内で消費されている都市ガスの総量は 3,430,069 m³、プロパンガスの総量は 776,755 m³と推定されます。

表 3-3 ガス販売量

エネルギー源	都市ガス	プロパンガス
H16 消費量 (m ³)	5,791,598 ^{※1}	776,755
供給世帯数	7,715 ^{※1}	10,334 ^{※2}
H16 家庭向 ガス消費量 (m ³)	3,430,069 ^{※1}	10,334 世帯×75.165 ^{※3} =776,755

表 3-4 都市ガスの分野別内訳^{※1} (単位: m³)

家庭用	商業用	工業用	その他	計
3,430,069	539,384	703,976	1,118,169	5,791,598
59%	9%	12%	20%	100%

※1: 長野都市ガス須坂支社提供資料

※2: 須坂市統計書

※3: H16 家計調査結果

(3) 灯油使用量

① 消費量

市内の燃料販売店では消費データがないため、長野県全体の販売量と須坂市の人口比により推計すると、平成 15 年度の灯油販売量は、約 20,105kl であり、市内で消費されている灯油の総量も同程度であると考えられます。

表 3-5 市内の灯油販売量

県の 灯油販売量 (kl)	須坂市の人口 (人)	長野県の人口 (人)	須坂市の 灯油販売量の 割合 (%)	市内の 灯油販売量 (kl)
876,695 ^{※1}	50,804 ^{※2}	2,215,352 ^{※1}	2.3	20,105

※1: 長野県統計書

※2: 須坂市統計書

3.1.2 エネルギー需給構造推計

(1) エネルギー需給構造推計の考え方

須坂市のエネルギー需給構造は、市の社会・経済状況を考慮して推計する必要があります。そのため、電力やガス等、市内の統計や調査結果が使えるものはそれを使用し、それ以外は県のデータ等を参考にしました。

① エネルギー需給構造の区分

推計は、以下の区分とし、それぞれのエネルギーについて最終エネルギー消費部門別に行いました。

最終エネルギー消費

最終エネルギー消費の区分は、国のエネルギー統計と同様の産業、民生、運輸の3部門です。ただし、民生は家庭と業務に分割しました。

表 3-6 エネルギー最終需要部門の業種分類

産業部門	農林水産業、鉱業、建設業、製造業におけるエネルギー利用（但し、自動車利用を除く）。
民生部門	家庭と業務に区分。一般の家庭と第3次産業の業務（公共施設、ホテル、病院、スーパー等店舗、飲食店、企業の事務所等）におけるエネルギー利用（但し、自動車利用を除く）。
運輸部門	自動車、鉄道によるエネルギー利用。

エネルギーの区分

供給エネルギーの大区分は、国のエネルギー統計に準じ、電力、石油製品、ガスとし、石油製品は、ガソリン、灯油、軽油、A重油に区分しました。（次頁を参照）

表 3-7 エネルギー源別の用途の例

区分		電力	ガス (プロパン 、都市ガス)	灯油	ガソリン	軽油	重油	木炭等 (薪・豆炭等)
民生	家庭	照明、テレビ、 エアコン、冷蔵庫 電子レンジ、洗 濯機、掃除機、 温水器、OA機 器、凍結防止 ヒーター	コンロ、温水 器、風呂	ストーブ、 ファンヒー ター、床暖房、 温水器、風呂	—	除雪機	風呂、 除雪機	煮炊き、風 呂、いろり
	業務	照明、電飾、エ アコン、冷蔵 庫、冷凍庫、O A機器、ストー ブ、凍結防止 ヒーター	コンロ、温水 器	暖房	—	—	—	—
産業	農林業 水産業	照明、ポンプ	—	機械、農器具	機械、農器具	ハウス	ハウス	—
	建設業	—	—	—	機械	機械、重機	—	—
	製造業	照明、モーター	熱源	—	機械	熱源	熱源	—
運輸		電車	タクシー、公 用車	—	乗用車、軽ト ラック、オー トバイ	バン、ト ラック、バ ス	—	—

② 単位

単位は、エネルギー源によって異なるため、標準単位系（J表示系）により変換し、MJ（メガジュール、 10^6J に相当）として表示します。各要素の基本的な単位と要素別発熱量は、以下のとおりです。

表 3-8 エネルギー単位及び発熱量

区分	一般的な単位	発熱量(MJ)	備考
電力	kWh	3.6	消費時
プロパンガス	kg	50.2	L P G
都市ガス	m ³	41.1	
灯油	ℓ	36.7	
ガソリン	ℓ	34.6	
軽油	ℓ	38.2	
重油	ℓ	39.1	A重油
薪	kg	19.0	
豆炭	kg	23.9	

資料：H14 総合エネルギー統計

1 MJ とは・・・

1 MJ は、カロリー換算すると 239kcal となります。ごはん 1 杯分、またはビール大びん 1 本分（633ml）のエネルギーに相当します。

1 kWh とは・・・

1 kWh は、カロリー換算すると 860kcal となり、鰻重と同じエネルギーに相当します。ということは、MWh は鰻重 1,000 杯分のエネルギーということになります。一般的な家庭の使用電力は年間 4,487kWh[※]です。

※（財）省エネルギーセンター「平成 14 年度待機時消費電力調査」

熱量、電力、カロリー間の計算は、下表に基づいて行います。

(例) 1 MJ=0.278kWh=239kcal

1 kWh=3.6MJ=860kcal

表 3-9 単位換算表

メガジュール (MJ=10 ⁶ J)	メガワット時 (MWh)	キロカロリー (kcal)	キロリットル (kl)
1	0.000278	239	0.0000258
3600	1	860,000	0.093
0.00419	0.00000116	1	0.000000108
38700	10.8	9,250,000	1
41900	11.6	10,000,000	1.08
0.00106	0.000000293	0.252	0.0000000272

表 3-10 10の整数倍の表現

10	10 ³	10 ⁶	10 ⁹	10 ¹²	10 ¹⁵
—	k	M	G	T	P
	キロ	メガ	ギガ	テラ	ペタ

③ 電力の推計方法

主に事業所の利用が中心である電力について、長野県の比率を用い業務用と低圧・高圧に分離しました。産業部門の電力は、長野県の低圧・高圧の全体比率を用いました。また、その結果に製造業消費比率を乗じることで、部門別の電力需要量を算出しました。

④ ガス（LPG（プロパンガス）及び都市ガス）の推計方法

合計値

LPG（プロパンガス）については、長野県全体の販売量から長野県と須坂市の世帯数の比率を用いて配分しました。都市ガスについては長野都市ガス㈱提供資料を用いました。

家庭用

LPG（プロパンガス）については、平成16年度家計調査の長野市データから燃料代の平均値を求め、市全体の世帯数と燃料単価より需要量を逆算しました。都市ガスについては、合計販売量と部門別販売構成比率により算出しました。

業務用

LPG（プロパンガス）については、合計値と家庭用の差としました。都市ガスについては、合計販売量と部門別販売構成比率により算出しました。

産業用

LPG（プロパンガス）については、長野県全体の工業用LPGの販売量から長野県と須坂市の工業出荷額の比率を用いて配分しました。都市ガスについては、合計販売量と部門別販売構成比率により算出しました。

運輸用

長野県全体の自動車用LPGの販売量から、長野県と須坂市の営業用乗用車数の比率を用いて配分しました。

⑤ ガソリンの推計方法

合計値

全国の輸送機関別エネルギー消費量から、須坂市の乗用車等保有台数を用いて配分しました。

⑥ 灯油の推計方法

合計値

家庭用需要量と業務・産業需要量の合計値

家庭用

平成16年度家計調査の長野市データから燃料代の平均値を求め、市全体の世帯数と燃料単価より需要量を逆算しました。

業務用と産業部門

全国の業務部門エネルギー消費量から、全国と須坂市の事業所数を用いて算出しました。

⑦ 軽油の推計方法

合計値

産業用需要量と運輸部門需要量の合計値

産業用

全国の産業部門における軽油のエネルギー消費量から、須坂市の工業出荷額を用いて配分しました。

運輸部門

全国の軽油のエネルギー消費量から、須坂市の貨物自動車等保有台数を用いて配分しました。

⑧ A重油の推計方法

合計値

全国のA重油のエネルギー消費量から、須坂市の製造業従業者数と3次産業従業者数の比率を用いて配分しました。

業務用と産業部門

全国の業務・産業部門におけるA重油のエネルギー消費量の比率を用いて配分しました。

次頁に、エネルギー需給構造の推計方法を整理して示します。

表 3-11 需給構造の推計方法

		民生		産業	運輸		合 計
		家庭	業務		旅客	貨物	
電力	電灯	◎H16 家計調査（長野市）採用	○電灯全数－家庭				●須坂市の合計値（中電より入手）
	電力	業務	△合計値を県比で配分（業務用・低圧）				●須坂市の合計値（中電より入手）
		産業		△県比で配分	○産業その他		
ガス	家庭業務	LPG：◎H16 家計調査（長野市）採用 都市ガス：●部門別販売量構成比より算出	LPG：○合計－家庭 都市ガス：●部門別販売量構成比より算出				LPG：△県値を世帯数で配分 都市ガス：●須坂市の合計値（長野都市ガスより入手）
	工業用			LPG：△県値を工業出荷額で配分 都市ガス：●部門別販売量構成比より算出			△県値を配分
	自動車用				△県値を営業用乗車数で配分		△県値を配分
石油	ガソリン				★全国値を乗用車、軽自動車、小型貨物車台数で配分		
	灯油	◎H16 家計調査（長野市）採用	★全国の業務部門消費量を事業所数で配分	★業務部門消費量を業の消費比率で配分			○合計
	軽油			★全国値を工業出荷額で配分	★全国値を普通貨物・バス台数で配分		○合計
	A重油		★合計値を全国の製造業と業務の消費比率で配分				★全国値を製造業＋3次産業従業者数で配分
合計		○合計	○合計	○合計	○合計	○合計	○合計

注）斜線部分は、推計対象外

- ：須坂市のエネルギーに関する統計を基礎資料とするもの
- ◎：家計調査結果を基礎資料とするもの
- △：県のエネルギーに関する統計資料を用いるもの
- ★：国のエネルギーに関する統計資料を用いるもの
- ：単純和（差）

(2) エネルギー需給構造の推計結果

前節のエネルギー消費量と推計方法をもとに、須坂市におけるエネルギー需給構造を推計しました。さらに全国公表値と比較しました。

① 推計結果のまとめ

部門別、エネルギー源別需給構造

須坂市全体が1年間に消費するエネルギーは、推計の結果 $5,214 \times 10^6 \text{MJ}$ となります。

須坂市の部門別エネルギー需要量は、全国と比較して業務部門と運輸部門における需要割合が高いことが特徴です。

また、市内全体のエネルギー消費によるCO₂排出量は、およそ40万t-CO₂/年と推計されます。これは、須坂市の全森林が年間に吸収するCO₂のおよそ11倍の量です。

表 3-12 須坂市のエネルギー需給構造 (単位：10⁶MJ)

		民生		産業	運輸	合計
		家庭	業務			
電力	電灯	296.25	74.9			371.15
	電力		406.69	456.9	67.07	930.66
	計	296.25	481.59	456.9	67.07	1301.81
ガス	家庭	217.95	203.76			421.71
	工業用			47.25		47.25
	自動車用				3.17	3.17
	計	217.95	203.76	47.25	3.17	472.13
石油	ガソリン				1,863.75	1,863.75
	灯油	307.09	179.52	108.63		595.24
	軽油			96.58	420.57	517.15
	A重油		298.82	165.18		464
	計	307.09	478.34	370.39	2,284.32	3,440.14
合計		821.29	1,163.69	874.54	2,354.56	5,214.08

表 3-13 須坂市のエネルギー需給構造の割合 (%)

		民生		産業	運輸	合計
		家庭	業務			
電力	電灯	79.8	20.2			7.1
	電力		43.7	49.1	7.2	17.8
	計	22.8	37.0	35.1	5.2	25.0
ガス	家庭	51.7	48.3			8.1
	工業用			100.0		0.9
	自動車用			0.0	100.0	0.1
	計	46.2	43.2	10.0	0.7	9.1
石油	ガソリン				100.0	35.7
	灯油	51.6	30.2	18.2		11.4
	軽油			18.7	81.3	9.9
	A重油		64.4	35.6		8.9
	計	8.9	13.9	10.8	66.4	66.0
合計		15.8	22.3	16.8	45.2	100.0

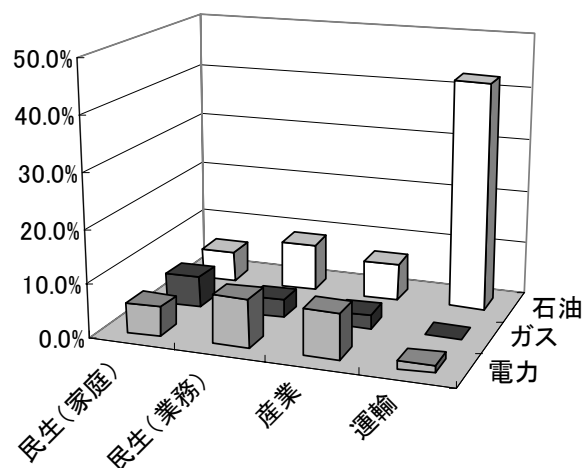


図 3-3 須坂市のエネルギー需給構造

表 3-14 須坂市のエネルギー別CO₂排出量 (単位: t-CO₂/年)

		民生		産業	運輸	合計
		家庭	業務			
電力	電灯	31,106	7,865			38,971
	電力		42,702	47,975	7,042	97,719
	計	31,106	50,567	47,975	7,042	136,690
ガス	家庭	11,568	11,521			23,089
	工業用			2,525		2,525
	自動車用				190	190
	計	11,568	11,521	2,525	190	25,804
石油	ガソリン				125,058	125,058
	灯油	20,851	12,189	7,377		40,417
	軽油			6,635	28,893	35,528
	A重油		20,708	11,447		32,155
	計	20,851	32,898	25,459	153,951	233,158
合計		63,525	94,986	75,957	161,183	395,652

(環境省 事業者からの温室効果ガス排出量算定方法ガイドライン(試案 Ver1.6) H15.7 に基づく試算)

(端数処理のため合計は合わない)

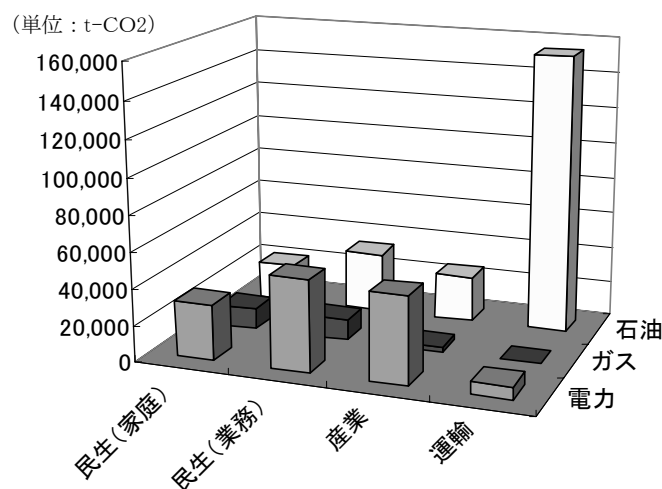


図 3-4 須坂市のエネルギー別CO₂排出量

【参考】全国のエネルギー需給構造

表 3-15 全国のエネルギー需給構造 (単位: 10^{10} kcal)

	民生		産業	運輸	合計
	家庭	業務			
電力	23,507	22,572	35,885	1,880	83,844
都市ガス	9,673	6,492	8,708	0	24,873
石油	20,324	17,236	86,637	89,180	213,377
合計	53,504	46,300	131,230	91,060	322,094

出典: 2004 エネルギー経済統計要覧

表 3-16 全国のエネルギー需給構造の割合 (%)

	民生		産業	運輸	合計
	家庭	業務			
電力	7.3	7.0	11.2	0.6	26.1
都市ガス	3.0	2.0	2.7	0.0	7.7
石油	6.3	5.4	26.9	27.7	66.3
合計	16.6	14.4	40.8	28.3	100.0

出典: 2004 エネルギー経済統計要覧

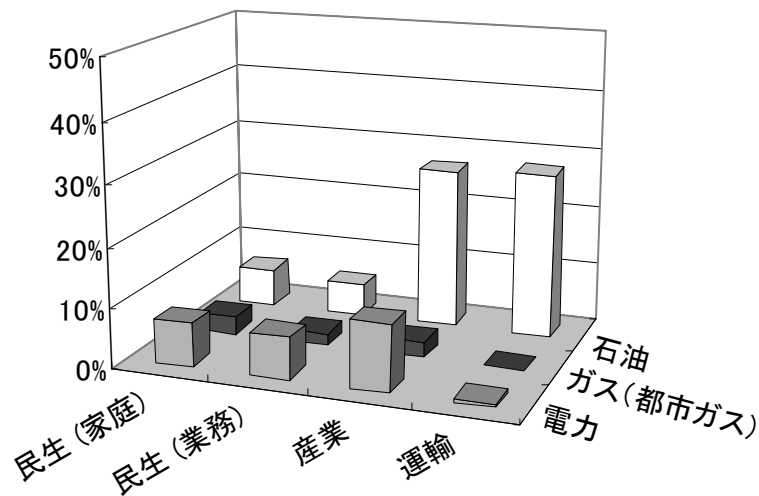


図 3-5 全国のエネルギー需給構造

出典: 2004 エネルギー経済統計要覧

【参考】市民 1 人当たりのエネルギー需給構造

須坂市民一人が 1 年に消費するエネルギー量は 99,651MJ であり、18ℓ の灯油缶に約 140 個分のエネルギー消費に相当します※。 ※18ℓ 灯油缶・・・696.6MJ

市民一人当たりの総エネルギー量は全国とほぼ同程度ですが、エネルギー項目で見ると、石油（ガソリン、灯油、軽油）の運輸部門における需要割合が高いことが特徴です。

これは、須坂市における自動車保有台数が約 2.2 台/世帯と、全国平均の約 1.7 台/世帯の 3 割増であることが要因と推測されます。

表 3-17 須坂市の市民 1 人当たりのエネルギー消費量（単位：MJ）

	民生		産業	運輸	合計
	家庭	業務			
電力	5,506	8,951	8,492	1,247	24,196
都市ガス	5,721	3,273	2,464	59	11,517
石油	5,708	8,890	6,884	42,456	63,938
合計	16,935	21,114	17,840	43,762	99,651

表 3-18 国民 1 人当たりのエネルギー消費量（単位：MJ）

出典：2004 エネルギー経済統計要覧

	民生		産業	運輸	合計
	家庭	業務			
電力	7,760	7,451	11,846	621	27,678
都市ガス	3,193	2,143	2,874	0	8,210
石油	6,709	5,690	28,600	29,440	70,439
合計	17,662	15,284	43,320	30,061	106,327

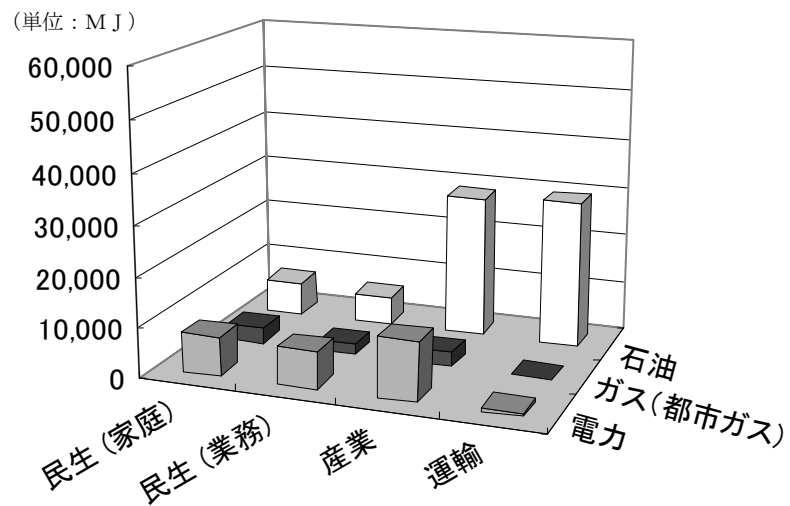
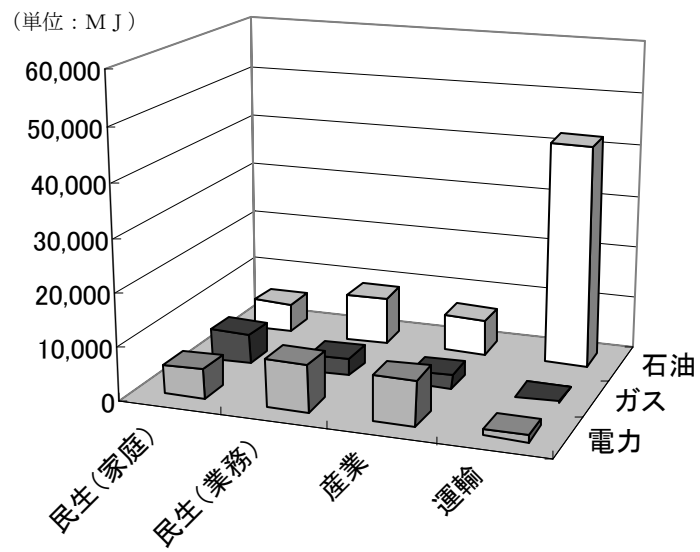


図 3-6 人口1人当たりのエネルギー需給構造（上：須坂市、下：全国平均）

下図 出典：2004 エネルギー経済統計要覧

3.2 新エネルギーの賦存量と利用可能量の推計

3.2.1 新エネルギー等の量の算出の考え方

(1) 「賦存量」「利用可能量」とは

須坂市における各種新エネルギー等の賦存状況を推計します。新エネルギーの量をあらわす指標としては、「賦存量」「利用可能量」の2つがあります。

賦存量とは・・・

市内に理論的に存在するエネルギー資源量。地理的な制約や社会的制約、技術上の変換効率等は考慮せずに算出した量です。

利用可能量とは・・・

発電や熱利用の利用が期待できるエネルギーの量。地理上の制約や、技術上の変換効率、各家庭や事業者の設置可能率等を考慮して算出した量です。ここでは、算定シナリオとして、ある程度利用される状況を仮定して算出しています。但し、算定シナリオ実施のための各種施設整備費用については考慮しないこととします。

使用単位は、標準単位系（J表示系）により変換してMJ（メガジュール）で表示します。

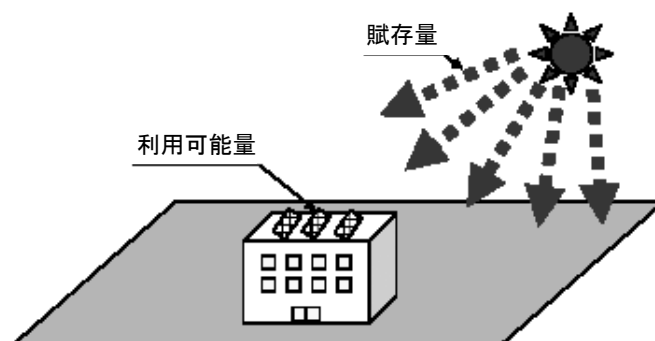


図 3-7 賦存量・利用可能量のイメージ（参考：太陽光エネルギー）

3.2.2 市内における新エネルギー賦存量及び利用可能量のまとめ

須坂市における新エネルギー等の賦存量は、熱量ベースで $998,119 \times 10^6$ (MJ/年) と推計できます。このうち利用可能量は、賦存量の 0.01% にあたるおよそ 144×10^6 (MJ/年) です。

エネルギーの種類別賦存量については、須坂の豊富な自然資源を反映し、太陽光・太陽熱と河川温度差や雪氷熱が多くなっています。

一方、利用可能量については、廃棄物発電・熱利用（ゴミ）や雪氷熱（道路除雪）など現在の回収のしくみの高度化等で資源として活用が想定できるものが多くなっています。

ただし、実際の利用のためには、回収のための経済的負担やエネルギー需要との整合が必要となります。

表 3-19 須坂市のエネルギー賦存量、利用可能量

新エネルギーの種類		賦存量	利用可能量※1	利用可能量で賄える世帯数※1 (利用可能量÷1世帯あたり年間消費電力量) 4,487kwh/年世帯※ 1kWh＝3.6MJ 16,153MJ/年世帯	全世帯に占める割合※1 世帯数:18,049
		(10 ⁶ MJ/年)	(10 ⁶ MJ/年)	(世帯)	(%)
太陽光発電		777,715	26	1,630	9.0
太陽熱利用			14	880	4.8
風力発電		792	1.1	68	0.38
中小水力		7,129	0.58	36	0.20
雪氷熱利用		56,522	41	2,600	14
バイオマス 発電・熱利用	木質バイオマス	414	1.0	63	0.35
	農産バイオマス	27	0.022	1	0.0076
	畜産バイオマス	6	0.039	3	0.014
	下水汚泥	14	0.34	19	0.12
バイオマス 燃料製造	菜の花	29	0.27	19	0.094
廃棄物発電・熱利用		79	53	3,300	18
廃棄物燃料製造		3	0.030	2	0.010
未利用 エネルギー	河川 温度差	155,342	2.6	160	0.90
	温泉 温度差	47	3.8	250	1.3
燃料電池				—	—
天然ガスコージェネレーション				—	—
クリーンエネルギー自動車				—	—
合計※1		およそ 1,000,000	およそ 140	およそ 9,000	およそ 50

※1 賦存量以外は有効数字二桁でまるめて試算。このため縦計と横計が合わない場合がある。

※2 一世帯当たりの年間電力使用量は（財）省エネルギーセンター「平成14年度待機時消費電力調査」より

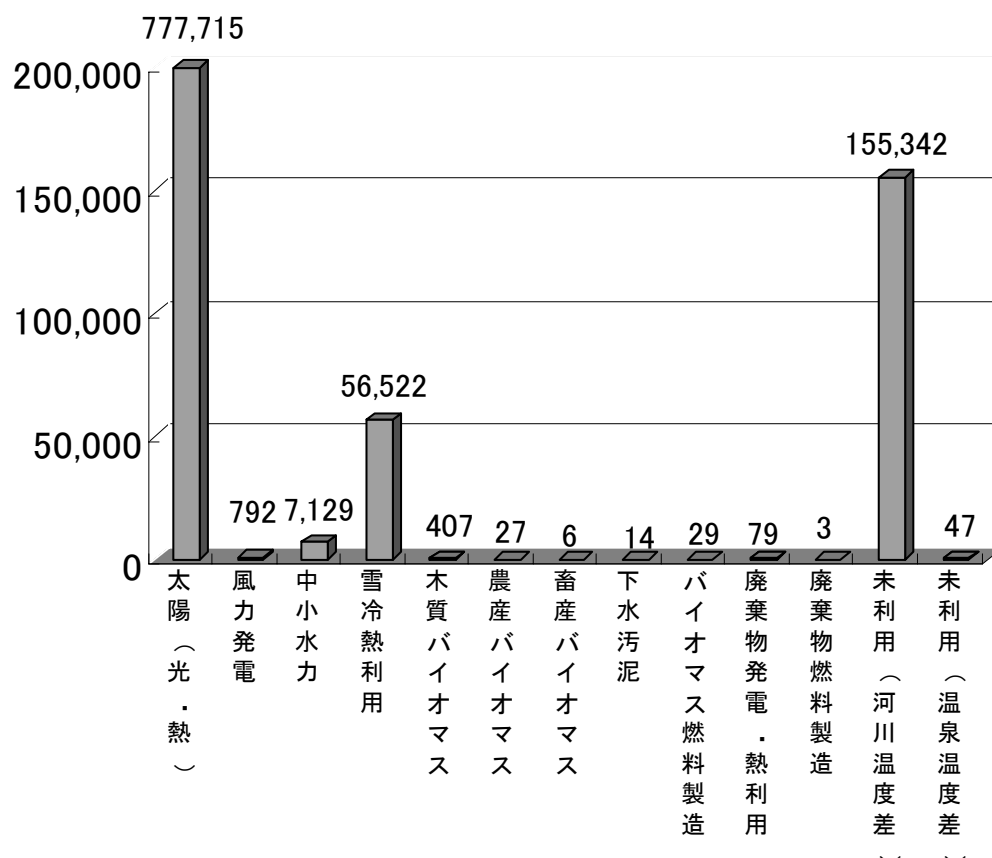


図 3-8 新エネルギーの賦存量

熱利用と発電について

得られたエネルギーは、熱と発電に利用する場合があります。ここでは、エネルギーの種類に応じて、どちらとも算出しています。ただし、利用可能量の合計値には、数値の大きい方を計上しています。

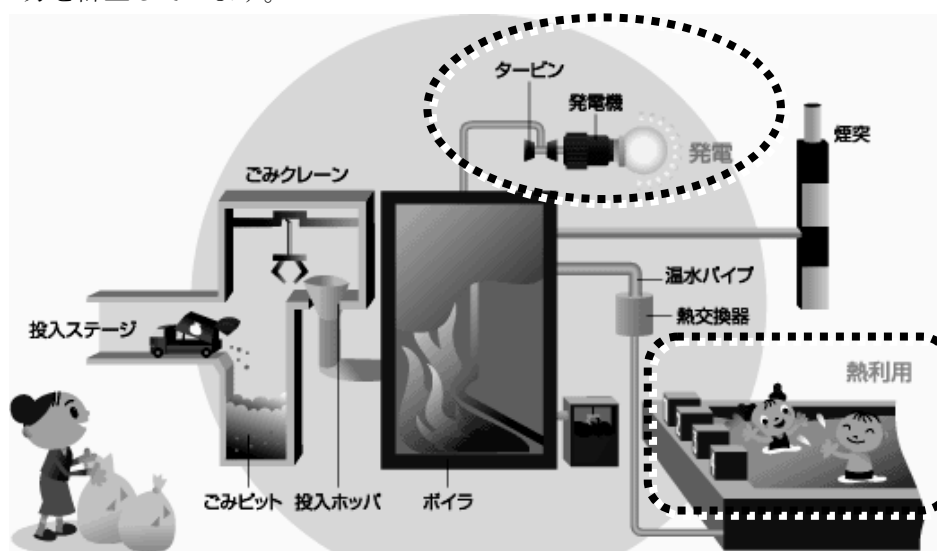


図 3-9 熱利用と発電のイメージ

3.3 エネルギー部門別検討部会の検討

3.3.1 部会検討の概要

本ビジョンの策定においては、市民や地元事業者の意見を踏まえながら実用可能な施策を検討するため、エネルギー部門毎に学識経験者・市民・事業者・行政からなる検討部会を設置して、検討を進めました。

なお、風力発電に関しては、別途、庁内で検討を行いました。

【エネルギー部門別検討部会】

- 太陽光・太陽熱 部会
- 小水力 部会
- バイオマス 部会
- 燃料電池 部会
- 風力発電

【検討事項】

- エネルギーの特徴
- 須坂市における特徴
- 活用のための技術動向
- 須坂市における導入プロジェクト案
- 今後の課題および提言

3.3.2 太陽光・太陽熱部会

(1) 太陽エネルギーの特徴

① 太陽エネルギーのしくみ

太陽の誕生は今から約 46 億年前です。太陽は水素とヘリウムガスのかたまりで、中心部の温度は推定 1,500 万℃、圧力は数千億気圧になっていますので、ちょうど水素爆弾が爆発した時と同じ【熱核融合反応】が連続して起きている状態に等しく、その時に光・ガンマ線等の膨大なエネルギーを発生するのです。

② 太陽エネルギーと地球

地球は太陽とほぼ同時に出来上がったとされています。太陽エネルギーと地殻の変動により生物が生まれました。人類が発生する何億年も前から太陽エネルギーが植物、動物を経由して蓄積され、石炭、石油、ガスが出来ました。200 年前まではこれらの自然のバランスがとれたきれいな地球でしたが、この頃、イギリスで産業革命が始まり、石炭を大量消費したため、地球は汚染され始めました。120 年前電気が発明され、更に石炭を消費し、石油発電に使い、これらを大量消費する時代となりました。さらに、80 年前から自動車が発明され、ガソリンを大量消費するようになりました。そして 40 年前には太陽で行われている核爆発の原理の原子力発電がはじまり、更に地球を汚染するようになりました。このように僅か 200 年で、何億年もかけて蓄えてきた太陽エネルギーを使い果たそうとしています。

このようにエネルギーを消費するだけではいつか終わってしまいます。このため、太陽エネルギーを軸とした新エネルギーの生産が必要となり、世界で研究されています。太陽光を利用した発電、太陽熱を利用した発熱などの直接利用と植物、水、空気、海水などに蓄えられた太陽エネルギーを利用する間接利用、石油、石炭、ガスの高効率利用などの新技術も生まれてきています。

エネルギーを大量消費する時代から、人間の英知によりエネルギーを生産する時代、貯蓄する時代への変貌することが必要です。

③ 太陽エネルギーの特徴

メリット

- クリーン（CO₂、NO_xの排気ガスを出しません）
- 無尽蔵（人類とともに共有するエネルギーです）
- ただ（請求書が来ません）
- 直接使えます（輸送する事無く使えます）

デメリット

- 日中しか使えません
- 季節・天候によって変動します
- 地域、場所によって取得量が異なります

(2) 須坂市における太陽エネルギーの特徴

太陽は季節によって高度が変わります。夏至の 때가最も高く、冬至の 때가最も低くなります。また、同じ高度でも緯度によって水平面に対する入射角が変わって来ます。

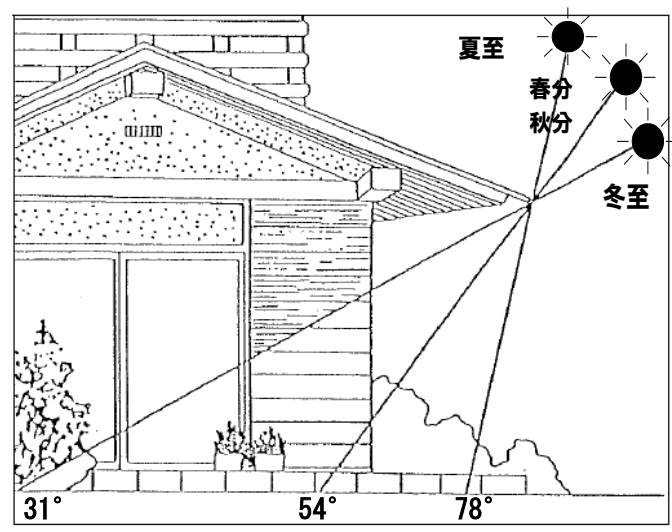


図 3-10 季節による太陽光の入射角の変化

このため各地域で日射量が変わりますので太陽エネルギーの活用には、地元のデータが必要です。全天日射量（乱反射も含めた水平面での日射量）、日照時間、気温、雪、霜、水温などの継続データから特徴を把握することが重要です。

① 日射量と日照時間

- ・須坂市の年間を通した一日当たりの平均日射量（最適傾斜角日射量）は、3.95(kWh/m²・日)となっています。
- ・天候は、春と秋は晴れ間が55%以上と多いが、冬は晴れ間が少なく、雪の日が70%以上となっています。
- ・梅雨の時期を除く3月から8月までの月平均日照時間は概ね200～250時間となっており、11月から2月ころまでは150時間となっています。
- ・このように晴れ日が多い須坂市は太陽エネルギー活用の適地といえるでしょう。

※詳細は「**2.2.2 気象**」を参照

② 霜・積雪

- ・太陽エネルギーは雪や霜を通過することが出来ません。そのほとんどが反射されてしまいます。このため、大量の積雪のある地域では冬期間の利用は難しくなります。
- ・しかしながら須坂市は、太平洋側気候と日本海側気候の境目にあり、積雪も有りますが日射も有りますので、屋根南面の雪や霜を落下もしくは溶かすようになっている寒冷地仕様の平板式の太陽熱・太陽電池パネルにより太陽エネルギーを有効利用できます。
- ・冬季にまとまった量の積雪がある須坂市の年平均の最深積雪は38cm、峰の原高原では107cmです。

※詳細は「**2.2.2 気象**」を参照

③ 気温と降水量

- ・太陽エネルギーは輻射熱ですので気温と関係なく到達します。しかしながら、熱利用の場合は気温が下がると熱ロスが大きくなりますのできちんとした断熱が必要です。
- ・また、水周りの凍結対策は従来の1/4の省エネルギーヒーターと節電サーモとの組み合わせにより、従来の90%以上の省エネルギーが可能です。
- ・須坂市の市街地部では、年平均気温は10.8℃であり、年降水量が878mmと少ないのが特徴です。
- ・一方、標高1,500mの峰の原高原は、年平均気温7.4℃であり、例年11月から3月下旬までは零度以下となっています。

※詳細は「**2.2.2 気象**」を参照

(3) 技術動向

太陽から地球までの距離は約 1 億 4,960 万 km で、太陽エネルギーは電波として 8 分 30 秒後に地球に到達しています。このエネルギー密度は可視光線の領域の 500nm(ナノメートル)前後で最大となり、赤外線領域に大きくはみ出しています。太陽エネルギーは、宇宙の電波の活用で、紫外線、可視光線、赤外線として利用されています。

晴天日の到達エネルギーは 4.8kWh/日・m²に達します。これは 200ℓ のお風呂を適温に沸かす能力です。しかしながら、現在の技術では熱利用で 60%、光発電利用で 15% 程度の有効利用にとどまっています。

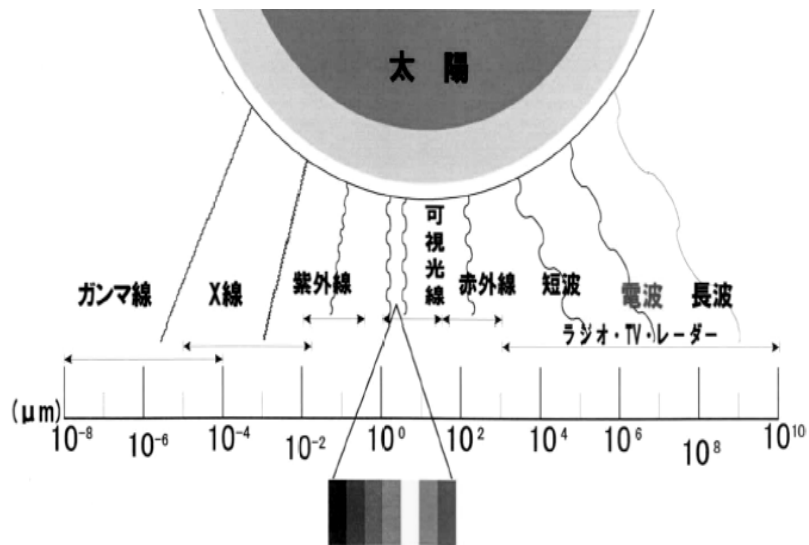


図 3-11 太陽エネルギーの波長

① 太陽熱利用

太陽エネルギーの赤外線を吸収する技術が太陽熱利用の基本です。黒色に近い程、吸収率が高く、吸収した熱を逃がさない選択吸収膜の技術の進歩により性能が大きく改善されました。太陽熱利用の効率は太陽電池システムの4倍の効果があります。このため、太陽熱利用は自然エネルギーを活用する分野では最も効果がある利用法です。

最近の技術では、冬の晴天日には50℃以上の温水を作り出すことも可能です。

①太陽熱の利用は、古代のひなた水から始まりました。

②昭和30年（1955年）ころ、汲み置き式（弁当箱のような容器の表面にガラスを載せ内部をコールドールなどで黒くした商品）でお風呂専用でした。

③昭和45年（1970年）ころから自然循環式（集熱板の上に蓄熱タンク乗せ屋根上に設置したもの）が多く普及しましたが、凍結、衛生、重量などの問題がありました。

④昭和55年（1980年）ころから、ソーラーシステム（屋根の上に集熱器、地上に蓄熱槽を置きボイラーに直接接続できるもの）が開発され、普及しています。

⑤さらに、ソーラーシステムでは、暖房・冷房への利用も可能となり、給湯・暖房・冷房が可能なソーラーハウスとして商品化されています。特に、寒冷地ではこのシステムが有効と期待されます。

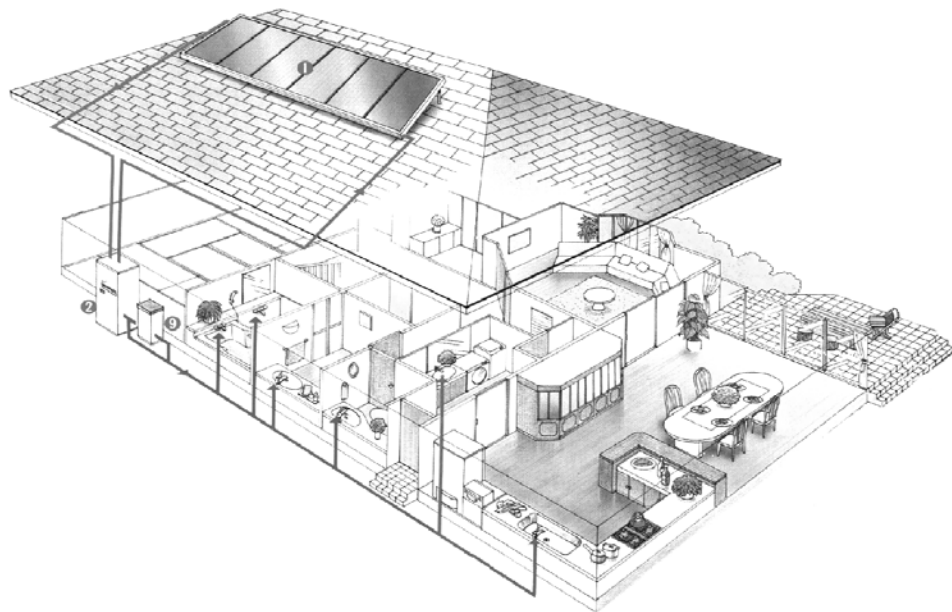


図 3-12 ソーラーシステム

② 発電利用

太陽光発電システム（以下 PV システム）は宇宙開発技術で生まれ、光を電気に換える半導体の開発により進歩してきました。太陽エネルギーの紫外線に近い領域を利用し、半導体に光を与えると自由電子と正孔が新たに生じ、自由電子が外部回路に移動し電気が流れるしくみです。

- ① 当初は人工衛星や灯台の電源のため開発され、昭和 50 年（1975 年）ころから民生用として電卓に使われ、日本の技術革新により進歩しました。
- ② さらに、平成 8 年（1995 年）ころから電力会社に接続のできる PV システムが開発され、これから量産とコストダウンが始まり、普及段階を迎えています。PV システムで発電された電力は直接利用され、余った電力は電力会社に販売できるようになり、さらに政府および自治体からの補助金も受けられる制度が広がりました。これにより一般家庭でも 4kW/h 以上の PV システムを取り付けることにより、経済効果を把握できるようになりました。

③ 光の利用

温室への利用

太陽光の有効利用の代表的なものは温室です。太陽光を直接受けることにより、太陽熱と光のすべてのエネルギーを受けることができます。温室で断熱することにより太陽熱を受けて逃がさないシステムができます。また、光合成を行うことによりエネルギーを植物に保管することができます。

住宅への利用

日本では、ごく自然にひさしにより夏涼しく、冬暖かい住宅が作られてきました。

家自体に太陽熱を受け入れ、逃がさないような設計をすることにより太陽光を生かすことができます。窓の位置と外断熱が有効です。このように建築本体の設計で太陽エネルギーを活用する方法をパッシブソーラーハウスとよんでいます。

照明への利用

太陽光を天窓を通して照明として使う方法と、太陽光を光ファイバーにより導入する方法があります。光ファイバーの方法はスペースと価格の問題で普及していませんが近い将来、量産により商品化が期待されます。

(4) 須坂市における導入プロジェクト案

① 須坂市における太陽エネルギーの普及状況と導入イメージ

太陽エネルギー活用の必要性は地球上の人々は共通の認識として持っています。しかしながら、利便性、経済性において勝る電気、ガス、石油が潤沢にある時代では普及は限られています。地球において限界が見られる化石燃料、また、これを燃やし続けることによる環境破壊について徐々に気がつき始めています。個人、社会でこれを真剣に考え行動する必要があります。

太陽エネルギーとて無限ではありません。特に経済性を追求するのであれば、省エネルギーを最優先ですめる必要があります。消費エネルギーを可能な限り節約し、ここに太陽エネルギーを導入することが一番効果的です。

太陽エネルギーの普及にはコストが高い※という問題があります。一般に消費財（車、住宅等）と混同されそうですが太陽エネルギー機器は生産財（エネルギーを生産できる）です。きちんと管理をしていれば10年、20年とエネルギーを生産し続けることが可能で、これが理解されれば大きく普及することができます。

※新エネルギー活用に必要なおおよその費用については、4章に整理しています。

② 家庭への普及

給湯

給湯は太陽エネルギー利用の一番効果的な利用方法です。須坂地区での従来設置例を検証すると、太陽熱温水器（屋根に水を上げるタイプ）は凍結破損と凍結防止ヒーターの過大電力消費の問題があり、これらを解決するために屋根に集熱板だけを載せ、不凍液を循環するようにし、寒冷地対策をしたソーラーシステムが有効です。

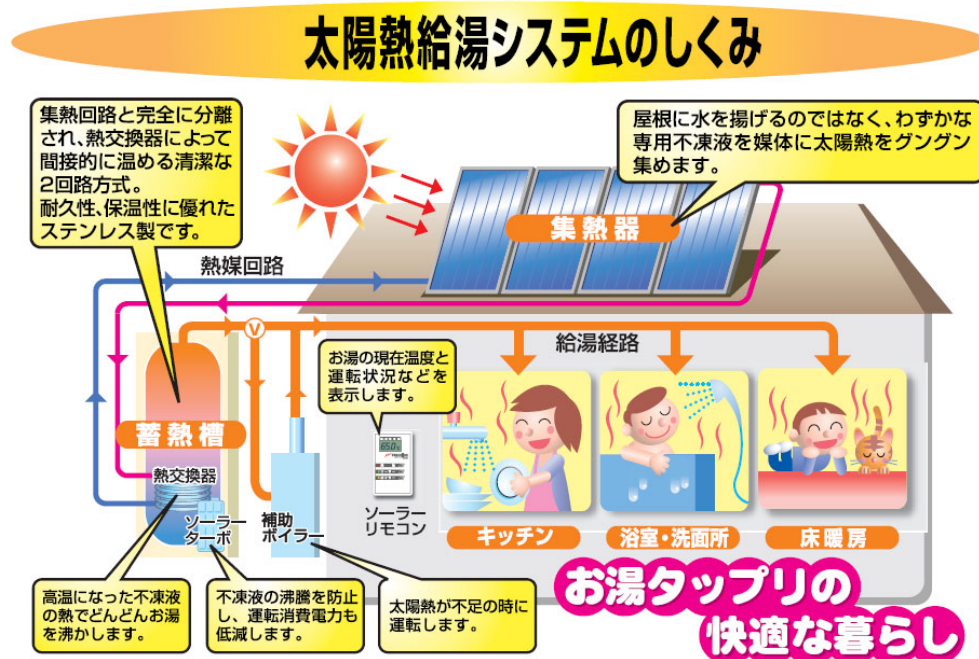


図 3-13 太陽熱給湯システムのしくみ

2 m²（畳1枚程度）の集熱器があれば、家族1名あたり1日分の給湯量を確保できます。通常、4枚（畳4枚程度）で家庭の年間給湯エネルギーの80%を生産することができます。真冬の晴天日に50℃のお湯を沸かすことができ、当然ただ（無料）のお風呂に入ることができます。また、ソーラーシステムは従来の給湯設備に接続するだけで、全自動運転しますのでの不便さはありません。ソーラーシステム設置と同時に凍結防止ヒーターの省エネ装置（節電サーモ）を取り付けることにより冬の電気代を大幅に節約できます。

省エネルギーの方法としては、浴槽へのお湯張りをなるべく少なくしシャワーにしたり、浴槽のお湯を洗濯に使ったりすることにより節水、省エネルギーができます。

暖房

須坂市では暖房は不可欠な要素です。家庭では事業用と異なり夜間の暖房が中心となります。しかしながら、太陽熱は夜間利用できませんので、太陽熱を利用するためには大きな貯湯設備が必要になります。これらを利用して床暖房、輻射パネルなどの低温水暖房で太陽熱を利用することができます。給湯・暖房の両方を太陽熱でまかなうシステムをソーラーハウスといいます。

ソーラーハウスシステムを導入するためには、まず住宅を高断熱にすること等により、昼間の熱を保温でき、逃がさないような省エネルギー住宅にしてから導入したほうが設備費用も含めて効果的です。

夏は太陽熱冷房もできますが、現在開発中の技術です。

電力・照明

家庭用PVシステムは、電力会社が買い取るようになってからコストダウンも進み、普及段階に入っています。発電能力が4kW以上の設備であれば余裕電力が生まれますので、南向きの大型の屋根のある家庭は十分にメリットがあります。償却期間は20年程ですが、CO₂がまったく無いメリットを考慮すれば普及段階に入っていると考えられます。電力会社から購入している電力メーターと電力会社に販売しているメーターが取り付けられるので効果が取り付けられたその日から確認でき、また、電気量の契約方法で昼間の電気を高く契約することにより効果が大きくなり、節約している家庭では電気代收支が0円という家庭もあります。



図 3-14 家庭用 PV システムを設置した家屋

我が家が発電所ということで今後急速に普及するものと思われます。

須坂市内には、10 年も継続して発電しているご家庭もあり、平成 6 年から平成 16 年までの累計は、のべ 192 軒※（うち、平成 13 年度～15 年度の須坂市太陽光発電助成事業を利用している家庭は 101 軒）で家庭用の太陽光発電が導入されています。

（※中部電力調べ）

なお、地域の低圧トランスを共有している範囲では複数の PV システムを取り付けられないなどの技術的課題がありますので事前の調査が必要です。

照明は天井に明り取りを設け、自然光を取り入れることが効果的です。家の間取りも含め太陽エネルギーの効果的な利用法が望まれます。

光エネルギーによる直接照明は今後の技術課題となっています。

③ 産業・公共施設への普及

電力

大型の事業所用電力は家庭の電力料金よりも割安に決められていることなどから、事業用の PV システム利用は進んでいません。しかしながら、事業所の場合、大きな屋根を保有しているので、かなり大型の PV システムの設備を取り付けることができます。ほとんどの事業活動は昼間行われますので、発電と消費のバランスが取れ、非常に効果的です。発電効果、減税と設備償却を計算すれば十分メリットがあります。また、将来にわたり電気代が節約できますので、利益の先送りもできます。したがって、具体的なシミュレーション次第では大きな効果が期待できます。

環境問題を考える企業、公共団体において、PV システムはその経済効果、シンボルとしての効果が期待できる分野です。

公共施設に関して須坂市では、平成 9 年から取り組み始めています。

表 3-20 PV 設置施設

年	施設	導入量(kW)
平成 9 年	湯っ蔵んど	3.2
平成 10 年	くつろぎ荘	20.0
平成 12 年	総合情報センター	10.0
平成 14 年	東中学校体育館	5.0
平成 15 年	旭ヶ丘小学校校舎	5.0
平成 16 年	高甫小学校体育館	3.0
平成 18 年	墨坂中学校体育館	3.0

暖房

須坂では半年間が暖房シーズンです。このため、暖房エネルギーの消費は大きく、太陽熱の有効利用が必要です。ほとんどの事業活動は昼間行われますので、太陽熱の集熱と同時に暖房に使うことができます。床暖房が代表例ですが、輻射パネルなど低温水での暖房に応用したり、室内の暖房を太陽エネルギーの直接暖房にすることによる効果が期待できます。事業用の暖房設備は大型であるので、現有の設備を改善して導入するよりは、新規に太陽熱暖房設備導入を検討したほうが事業活動に混乱を与えず安全です。

事業用の暖房給湯システムは平成 18 年度から実証実験として国の補助金が予定されています。(http://www.nedo.go.jp/)

また、事業所の場合、多く施設の断熱が不完全な例が多いので、こちらの対策と併せて実施する必要があります。

照明

多くの事業所は昼間照明を点灯しています。したがって、PV システムでこれを補うことにより、発電した電力をその場で使用できます。さらに自然光の取入れを検討することにより照明用電力の削減ができます。

(5) 今後の課題および提言

地域活性化、地域の生活安全のため地域における太陽エネルギーの活用は不可欠な課題です。最近の石油価格の上昇、枯渇問題に触れ早急に対策が必要です。

特に寒冷地に属する須坂市においては、地域における太陽熱利用および普及に関し、独自の施策と方向付けが必要になると思われます。雪、凍結、山間地における太陽熱利用の機器の信頼性および省エネルギーと新エネルギーの融合等の研究が不可欠であり、家庭、産業、公共、学術が一体となった総合研究が必要です。

① 太陽光・熱ハイブリッドシステム

須坂市は寒冷地に属することから、冬の間の電気、熱エネルギーの大量消費が課題で、これらを同時に解決するような太陽エネルギーによる電気と熱エネルギーを同時に供給する「太陽光・熱ハイブリッド」システムを開発する必要があります。

市内の個人住宅、公共施設（小中学校、公民館等）に設置することを想定し、寒冷地特有の積雪、凍結、周辺の融雪などの対策のための新しい工夫と装置などを導入する必要があります、小型の蓄電装置も必要と思われます。

太陽電池パネル、太陽熱パネル、蓄電装置、不凍液、空気集熱などを検討し、これらの制御方式などを開発することにより、太陽エネルギーの寒冷地での活用についての大きな役割を担うことが出来ます。

② 寒冷地における実証

須坂市は、峰の原高原という一般生活者が居住する地域としては全国でも最高高所（1,500m）を有しています。特に冬の期間は風雪ともに厳しく過酷な生活環境と言っても過言ではありません。

寒冷地という厳しい環境を利用して、暖房・給湯・融雪等の太陽エネルギー利用システムの有効活用に関する実証フィールド（実験場）としての適地であることをアピールし、本州内における寒冷地研究のメッカとして、新たな産業振興へと展開することが期待されます。

③ 普及促進への啓発

太陽エネルギーの活用にはさまざまな方法がありますが、普及段階にあるのは家庭用PVシステムと家庭用給湯システムのみであり、その他の分野では未だに技術的には可能であっても実証されていない技術、方法が残されています。

研究段階であっても総合普及させるためには、それらの実証による科学的な事例があつてはじめて普及されるものであり、総合PRも含め啓発活動が重要です。

このためには、新エネルギーシステムが市民生活の中で目に留まるように設置することが効果的です。また、これらの技術が小中学校で取り上げられ次の時代の産業の育成につなげることも非常に重要です。

また、普及活動は、行政による支援制度やビジョン等の広報や学校などでの出張講演会に留まらず、市民参加ですぐに実行できるものに取り組むことが重要です。更に、市民をはじめ須坂市を応援する市外の人々も巻き込んで参加できるしくみについて、検討していくことが望まれます。

④ 普及効果の確認

効率的・効果的に新エネルギーの導入を促進するためには、太陽エネルギーに限らず、それぞれのエネルギーがどのように普及してきたか、その効果はどのように出ているか、を確認することが重要です。

そのためには、家庭、産業、公共におけるそれぞれの導入実態、導入後の利用状況等に関して継続的に調査を行い、一部の利用者にはデータの公開に協力していただくモニター制度の創出などが考えられます。

【参考】

ソーラーシステム 1 台の環境効果

	集熱面積 (㎡)	年間集熱量 (kJ)	原油節約 (ℓ)	CO ₂ 削減量 (kg-C)
強制循環型 (標準)	6	1,306	340	246

ソーラーシステムの普及における環境効果

	普及数 (戸)	年間集熱量 (万 kJ)	原油節約 (ℓ)	CO ₂ 削減量 (kg-C)
全戸数	18,000			
現状普及率 (推定 3%)	540	705,240	183,600	132,840
平成 22 年 (推定 20%)	3,600	4,701,600	1,224,000	885,600

太陽電池 1 セットあたりの環境効果

	集熱面積 (㎡)	年間発電量 (kWh)	原油節約 (ℓ)	CO ₂ 削減量 (kg-C)
標準 (3kW/h)	30	3,600	729	540

太陽電池の普及における環境効果

	普及数 (戸)	年間集熱量 (kWh)	原油節約 (ℓ)	CO ₂ 削減量 (kg-C)
全戸数	18,000			
現状普及率 (推定 0.5%)	100	360,000	72,900	54,000
平成 22 年 (推定 10%)	1,800	6,480,000	1,312,200	972,000

3.3.3 小水力部会

(1) 小水力エネルギーの特徴

水力エネルギーは、一般的に発電容量 30,000～10,000kW 以下を中水力、1,000kW 以下を小水力、100kW 以下をマイクロ水力と呼んでいます。マイクロ・小水力は落差と流量が小さな場所で使用されます。マイクロ・小水力には、季節や気候による流量変化に応じた運転許容範囲を持つこと、流量変化に対する効率低下の少ないことが必要です。

なお、RPS 法の認証を受けるためには、1,000kW 以下の小水力で流れ込み式が対象となっています。

※RPS（アールピーエス）法とは

RPS（Renewables Portfolio Standard）法の正式名称は、「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」で、平成 15 年 4 月に施行されました。RPS 法は、エネルギーの安定的かつ適切な供給を確保するため、電気事業者に対して、毎年、その販売電力量に応じた一定割合以上の新エネルギー等から発電される電気（「新エネルギー等電気」）の利用を義務付け、新エネルギー等の更なる普及を図るものです。

電気事業者は、義務を履行するため、自ら「新エネルギー等電気」を発電する、もしくは、他から「新エネルギー等電気」を購入する、または、「新エネルギー等電気相当量」を取得することになります。

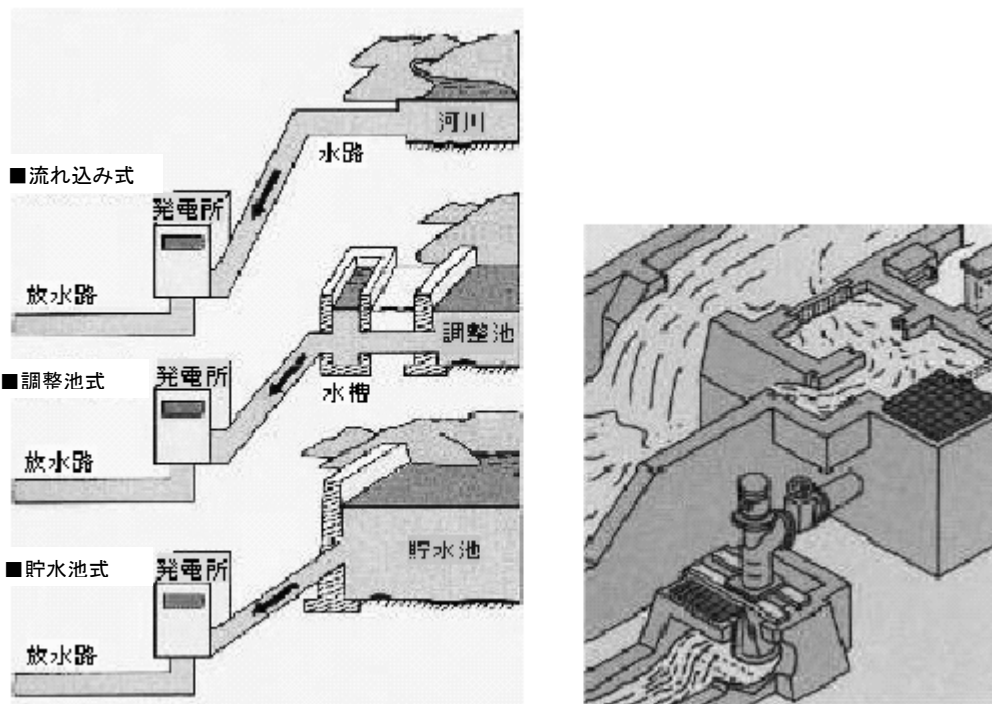


図 3-15 マイクロ・小水力発電のイメージと方式

出典：NEDO HP

マイクロ・小水力の利点は、第一に燃料がいらないことです。タービンやエンジンとは異なり化石燃料を使用しないため燃料費がタダで、当然炭酸ガス排出ありません。

第二に安定した発電規模が期待でき、発電量（kWh）も多いことです。太陽光や風力発電も燃料費不要という点は同じですが、太陽光や風力は天候によって左右されてしまいます。

年間総時間 8,760 時間のうち太陽光では一般に 1,000 時間程度、風力でも 2,000～3,000 時間程度の発電量しか期待できません。ところがマイクロ・小水力であれば、渾水流量に合わせて導入すれば 7,000～8,000 時間といった年間フル稼働に近い発電量が期待できます。同じ kW の設備を入れた場合、マイクロ・小水力では大きな発電量が期待できるため、発電単価を低く抑えることができます。

第三に発電機を導水管や放流管内に埋設して設置できれば、安価で場所をとらず景観に与える影響ありません。その他、メンテナンスがほとんど不要で、シリコン等の資源を大量に使わない、ダム等の大規模構造物の建設が不要、地表面積をとらない、騒音や日照等への影響が無いといった数々の利点があります。そして、操作員不要で天候等にかかわらず安定した電源として扱えることが大きなメリットです。

(2) 須坂市における小水力エネルギーの特徴

① 水車の活用

須坂市は地形的に、水車を回すために必要な、勾配が急で長い坂が市内に多く存在します。

当時の水車の直径は通常 10～12 尺であり、水車の用材は輪棒がケヤキ、輪はマツ材でした。マツ材は、中性水の場合は 15 年程度の寿命であるが、酸性水の場合は極めて堅牢となり、25 年以上の寿命を持ったといわれています。



図 3-16 水車

② 河川等の状況

市域西側の境界には千曲川が流れ、千曲川を含んで8本の一級河川が流れています。
また、仙仁川、山崎川、宇原川などの中小河川や数多くの用水路があり、大きな落差で流れています。

表 3-21 一級河川の名称と河川延長・落差

河 川		全延長 (km)	市内延長 (km)	上流端標高 (m)	下流端標高 (m)	落差＝標高差 (m)
千曲川水系	松 川	26.4	3.8	424	339	85
	八木沢川	15.0	7.0	428	332	96
	百 々 川	18.9	18.9	2,036	335	1,701
	鮎 川	10.6	10.6	1,616	335	1,281
	仙 仁 川	4.7	4.7	1,374	624	750
	灰 野 川	4.0	4.0	1,596	492	1,104
	奈 良 川	3.3	3.3	1,124	492	632

③ マイクロ・小水力発電候補箇所の現状

流速:原則、 PRICE 流速計で計測

(検定式 $V=0.700 \times N-0.013$ 適用範囲 0.26~3.26m/sec V:流速(m/sec)、N:回転/sec)

①宇原川（沿川の農業用水路）

評価：○ 中期（需要の緊急性が不明瞭）

- 並行した農業用水が有望で、本線ではなく水路を計測
- 観測区間 最上流の集水升の流量

			流速計の生データ		計算値	
			回転数	時間sec	回転数 回/sec	流速 m/sec
W	0.6	m	50	14.61	3.42	2.38
h	0.1	m	50	16.66	3.00	2.09
V	2.20	m/s	50	16.41	3.05	2.12
Q	0.13	m ³ /s			平均	2.20

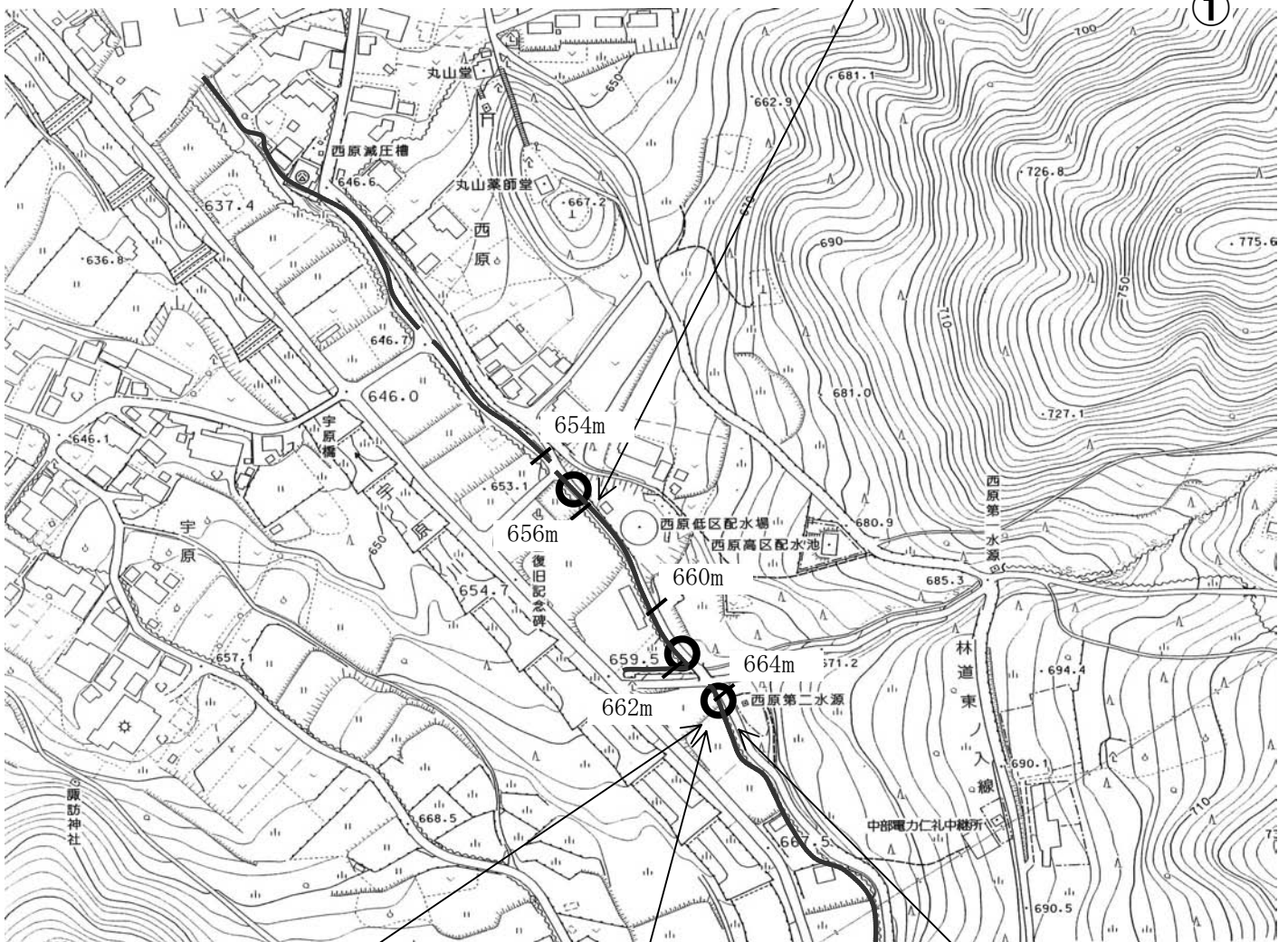
- 上記と同様の集水升が5箇所存在
- 需要施設として、浄水施設があった。

●期待発電量

$$P[kW] = gQF\eta = 9.8 \times 0.13 \times 0.7 \times 0.5 \div 0.446[kW] = 446[W]$$

重力加速度 $g = 9.8[m/s^2]$ 、流量 $Q[m^3/s]$ 、有効落差 $F[m]$ 、水車効率 η

※水車効率は標準的な値として $\eta = 0.5$ と設定

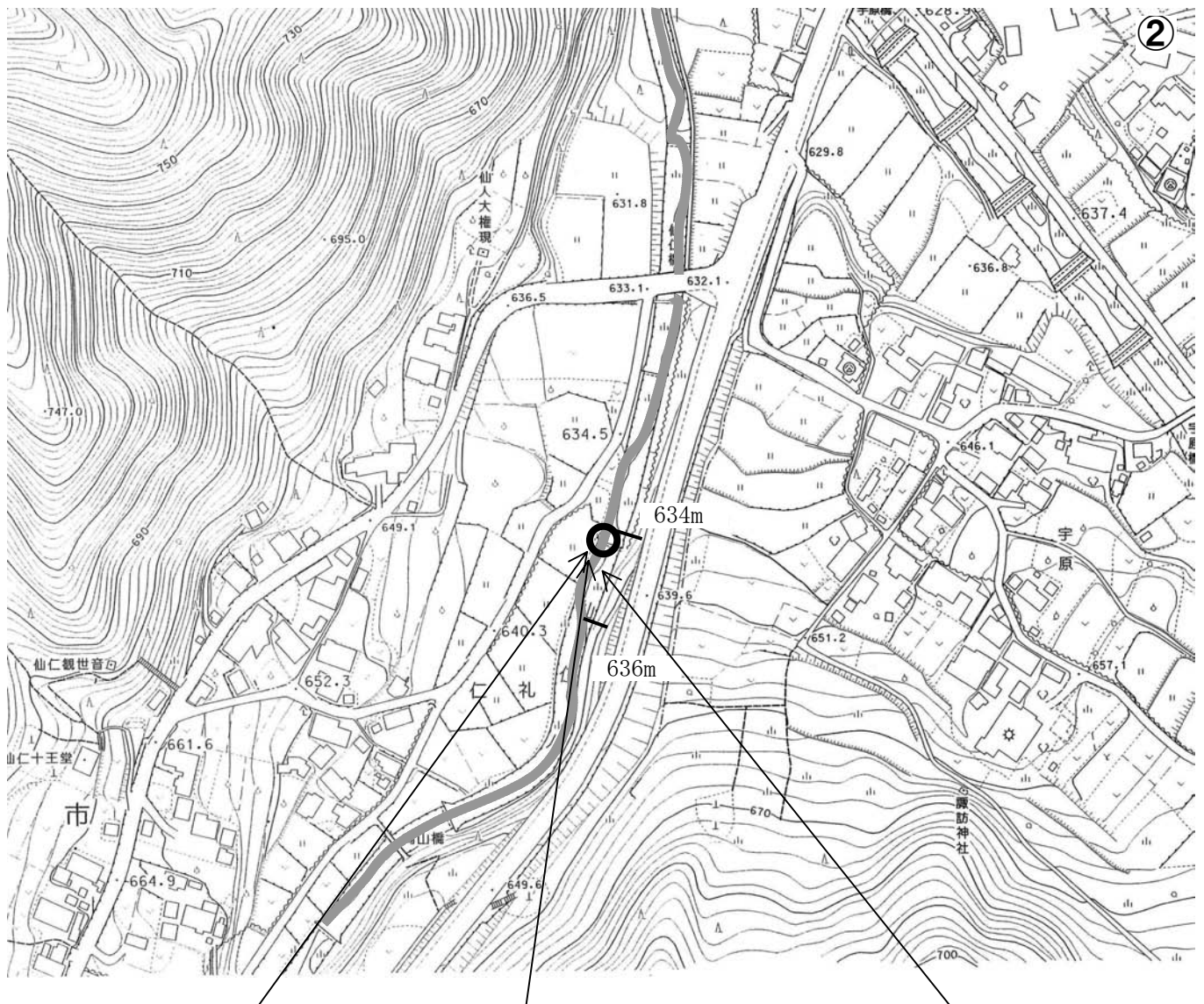


②仙仁川（本川）

評価：△ （需要、管理面の課題）

- 信州大学池田教授が実験済みの堰
- 流量等既知のため計測なし
- 県管理のため、市のプロジェクトになじむか。
- 需要施設は沿川の国道施設があるが、県管理のため市のプロジェクトになじむか。
例) 国道の電光掲示板、照明灯の電源

水車式	500W
-----	------



②仙仁・大根子地籍（果樹園脇の水路）

評価：◎ 短期（市内に類似施設多数。検証の価値大）

●傾斜地の水路で途中での取水がなく、断面は小さいが高低差が確保可能

●観測区間の断面流量

W	0.36 m	距離 m	時間sec		流速 m/sec
h	0.032m	5	1.65		3.03
V	3.25 m/s	5	1.74		2.87
Q	0.04 m ³ /s	5	1.3		3.85
		5	1.4		3.57
		5	1.48		3.38
				平均	3.25

・年間を通じて本日並みの水位

・最大時は3倍程度の水位

●期待発電量

$$P[kW] = gQF\eta = 9.8 \times 0.04 \times 10 \times 0.5 \div 1.96[kW] = 1960[W]$$

重力加速度 $g = 9.8[m/s^2]$ 、流量 $Q[m^3/s]$ 、有効落差 $F[m]$ 、水車効率 η

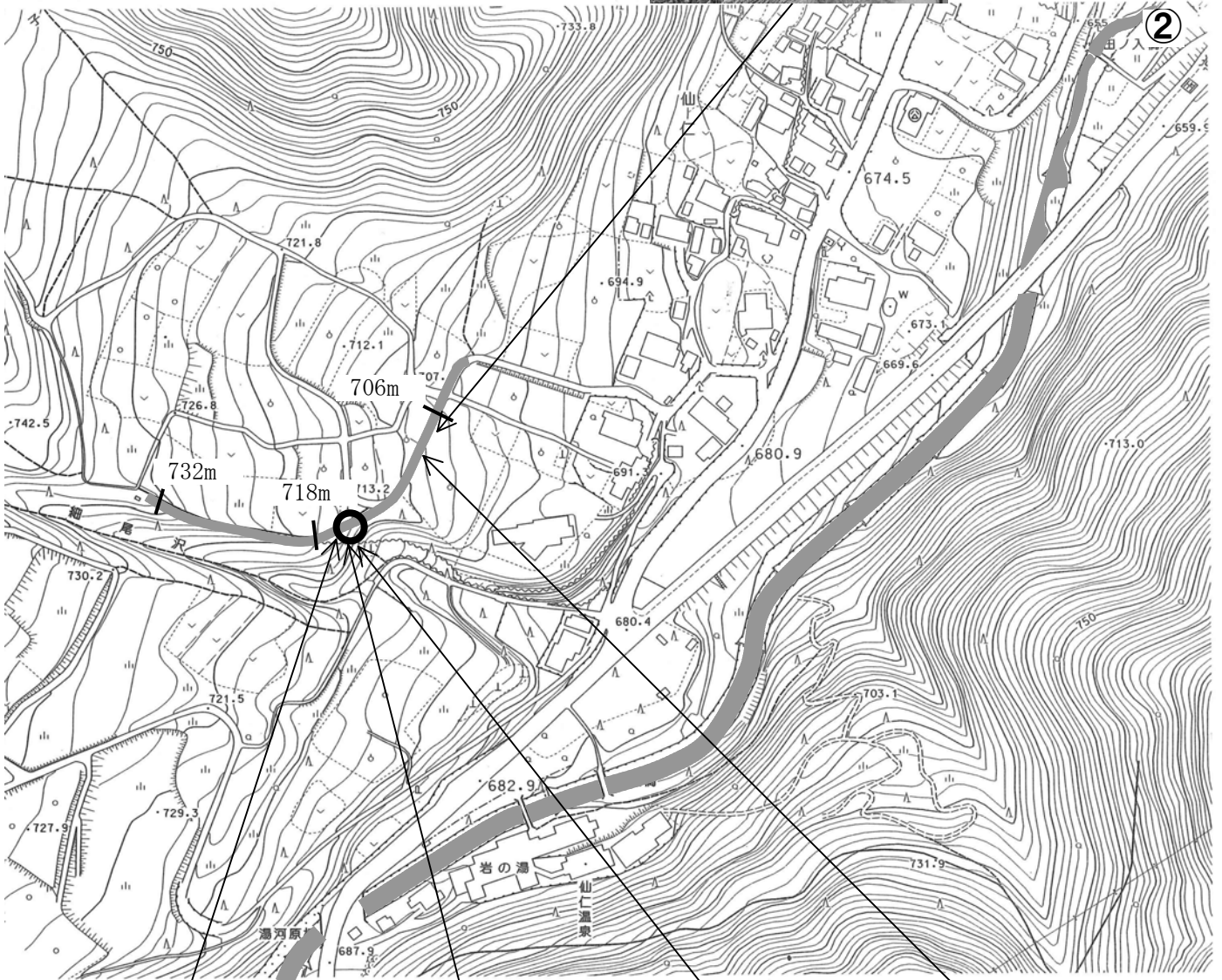
※有効落差は高低差 10m 程度利用と仮定し $F=10[m]$ 、

水車効率は標準的な値として $\eta = 0.5$ と設定

●パイプを使って高水位差を確保し、衝動式水車を導入するイメージ

●需要施設として、果樹園の電気柵があった。プロジェクト提案としては、需要電力に合わせた水位差の確保を想定する

例)りんご園の電気柵の電源



②仙仁川（本川－湯河原橋：仙仁温泉岩の湯付近）

評価：△ （需要、管理面の課題）

- ①'と同等の流量、落差の堰が連続して2つある。
- ②'と同様に県管理施設
- 近くの需要施設も国道の道路施設(LEDの視線誘導標)など

- ・上流側(幅 0.8m、高さ 1.7 m、発電量 150～200W)
- ・下流側(発電量 1.0kW)

③仙仁川－小屋口の沢

評価：× （自然調和などの課題がある）

- 自然の水流であり、需要施設が周辺にない。道路から離れており管理面で課題多い。
- 親水公園的な整備と一体で実施するなど、長期的な位置付けと考えられる。

④樽の沢水源からの導水

評価：△ （施設規模大）

- 減圧槽が3箇所〔市の飲料水として利用〕あり、1箇所の水量は 3,000m³/日
- h=3m、D=150mm

- 発電機を減水用の抵抗として利用し、衝動式で発電。
- 但し、水管への圧力、飲料水のため発電機の油等は許されないなどの課題がある
※飲料用水での発電事例の確認

目視レベルでの期待発電力（D=150mm、高低差 3 m 程度で）

衝動式	100kW
-----	-------

- 需要施設としては、国道のロードヒーティングなどが考えられるが、発電量が多い場合は電線を引くことも想定できる。

⑤太陽光発電住宅等見学（湯本喜久雄宅）

太陽熱利用

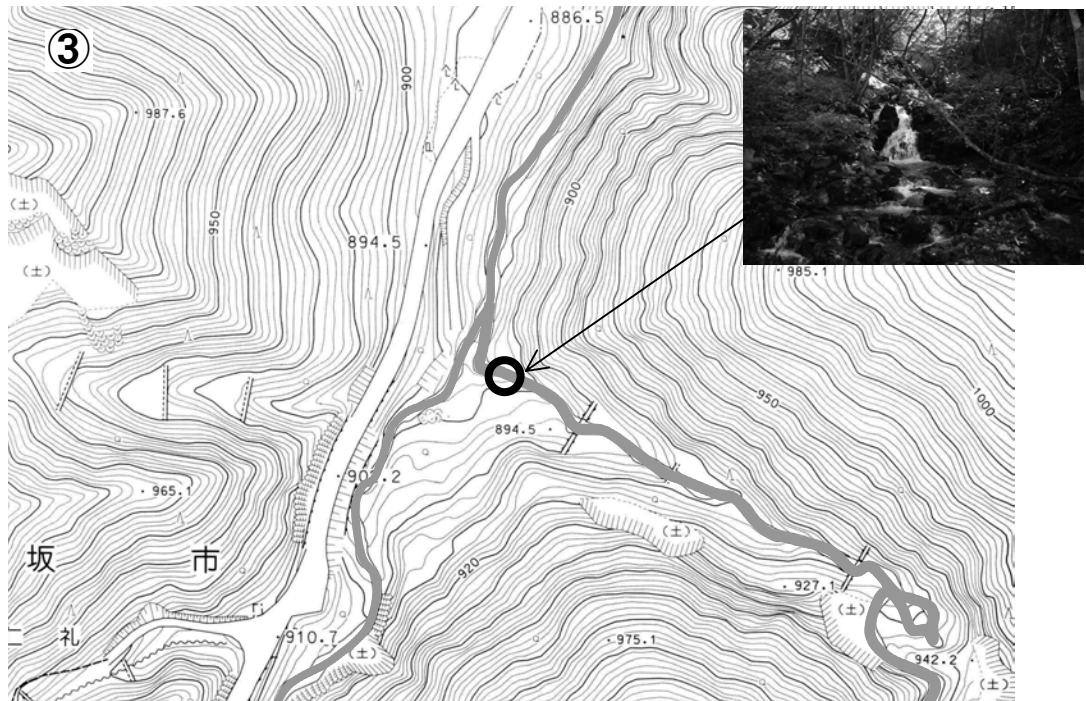
- ・真空管とパネルの併設
- ・真空管は設置 10 年目
- ・設置当時3kW で 600 万円
- ・通常のパネル1枚 15 万円程度
(51 枚設置)

雨水利用

- ・雪を落とさない屋根
- ・トイレの水（風呂の残り湯と併用）

雨水利用

- ・窓（三重サッシ）



⑥北の沢用水路 米子不動里宮付近

評価：◎（地域特性があり、需要先がある）

- 路床に段差を設け水流を抑えるほど流量が豊か
- 用水路が2系統に分かれているが、最上流(A),米子不動側上流(B1),米子不動側下流(B2),市民農園側(C)の4区間の利用が想定できる。
- 需要としては、市民農園の他に B,C 水路間の周辺での電力利用が想定できる。

A 地点

- 観測区間 最上流の水路の流量

	W	0.53	M	流速計の生データ		計算値	
				回転数	時間sec	回転数	回/sec
h	0.1	M		50	8.6		5.81
V	4.39	m/s		50	7.1		7.04
Q	0.23	m ³ /s		50	8.3		6.02
						平均	4.39

- 発電のための最大高低差は地図より読み取る。

B1 区間

- 区間最上流の水路の流量

	W	0.5	M	流速計の生データ		計算値	
				回転数	時間sec	回転数	回/sec
h	0.07	M		50	32.5		1.54
V	1.00	m/s		50	37.7		1.33
Q	0.03	m ³ /s				平均	1.00

- B1 区間には落差 0.8～1.5m の段差が 5 箇所あり、水車式発電機の設置が想定可能（水路間の流量）

	W	0.5	M	流速計の生データ		計算値	
				回転数	時間sec	回転数	回/sec
h	0.072	M		50	28.2		1.77
V	1.23	m/s					
Q	0.04	m ³ /s				平均	1.23
段差	1.5	M	×	1箇所			
	1.3	M	×	3箇所			
	0.8	M	×	1箇所			

B2 区間

- B1 区間の下流側も勾配の大きな水路が続いており、上流側からパイプを使って衝動式水車へ水を送る方法が想定できる。
- 流量は B1 区間と同じ。
- （●発電のための最大高低差は地図より読み取る）

C 区間

- 勾配の大きな水路が続いており、上流側からパイプを使って衝動式水車へ水を送る方法が想定できる。
- 区間最上部の流量

	W	0.46	M	流速計の生データ		計算値	
				回転数	時間sec	回転数	回/sec
h	0.12	M		50	23.7		2.11
V	1.44	m/s		50	23.1		2.16
Q	0.08	m ³ /s		50	25.4		1.97
						平均	1.44



●期待発電量

【A地点】

$$P[kW] = gQF\eta = 9.8 \times 0.23 \times 1.0 \times 0.5 \div 1.127[kW] = 1127[W]$$

重力加速度 $g = 9.8[m/s^2]$ 、流量 $Q[m^3/s]$ 、有効落差 $F[m]$ 、水車効率 η
 ※有効落差は高低差1m程度利用と仮定し $F=1.0[m]$ 、
 水車効率は標準的な値として $\eta = 0.5$ と設定

【B1地点】

$$P[kW] = gQF\eta = 9.8 \times 0.03 \times 0.8 \times 0.5 \div 0.118[kW] = 118[W] \times 5箇所 = 590[W]$$

※有効落差は5箇所の落差のうち最低高低差 0.8m 程度利用と仮定し $F=0.8[m]$

【B2地点】

$$P[kW] = gQF\eta = 9.8 \times 0.04 \times 10 \times 0.5 \div 1.96[kW] = 1960[W]$$

※有効落差は最大高低差 10m 程度利用と仮定し $F=10[m]$

【C地点】

$$P[kW] = gQF\eta = 9.8 \times 0.08 \times 14 \times 0.5 \div 5.49[kW] = 5490[W]$$

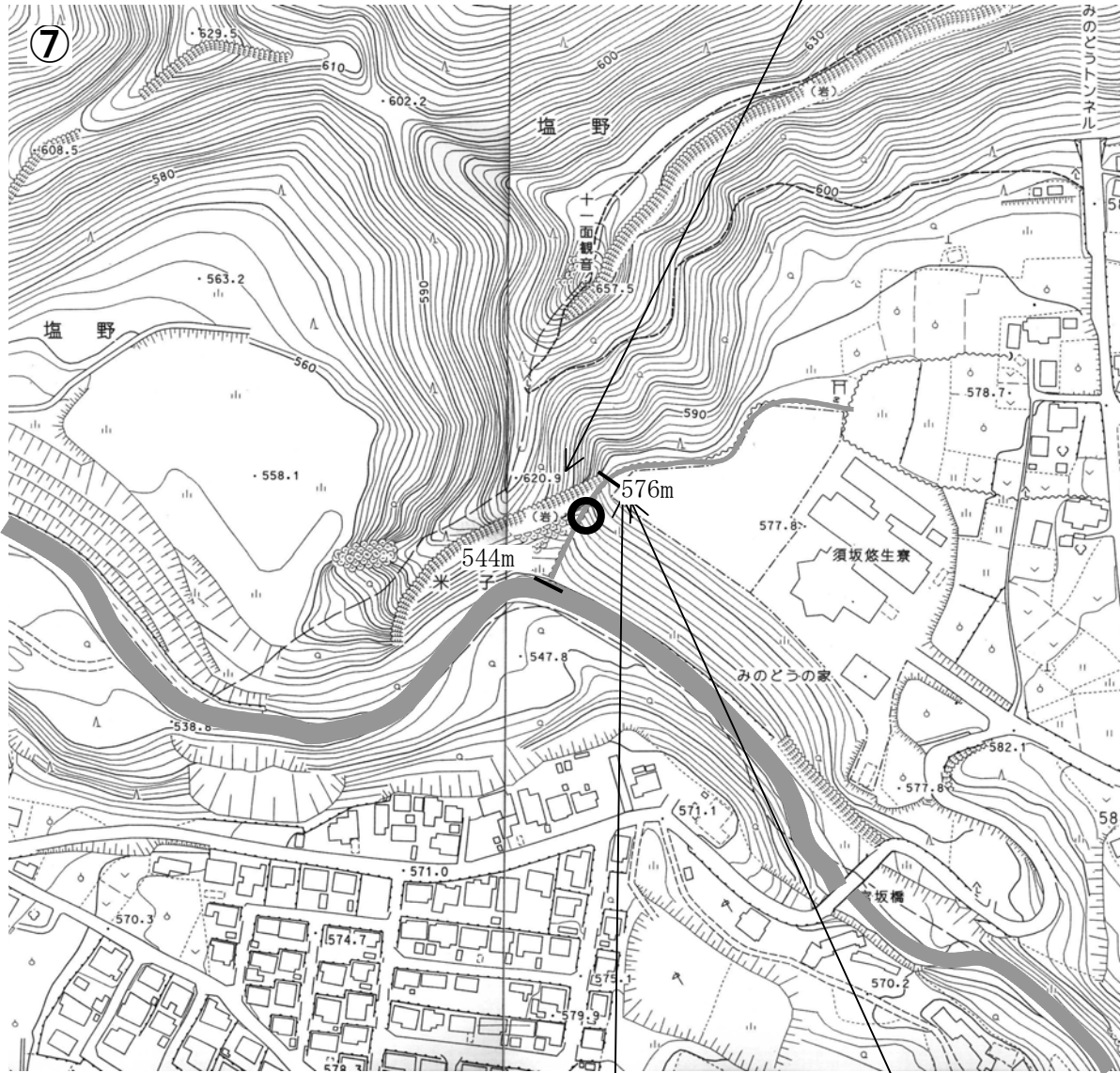
※有効落差は最大高低差 14m 程度利用と仮定し $F=14[m]$

⑦米子発電所跡地(地内)

評価：△ （大規模事業となる）

- 悠生寮敷から米子川までの落差は約 30m であるが、落水式水車の整備には大規模な工事が伴うと想定される。

（現状で落水地点付近は急峻な斜面でありアプローチ道路等なし）

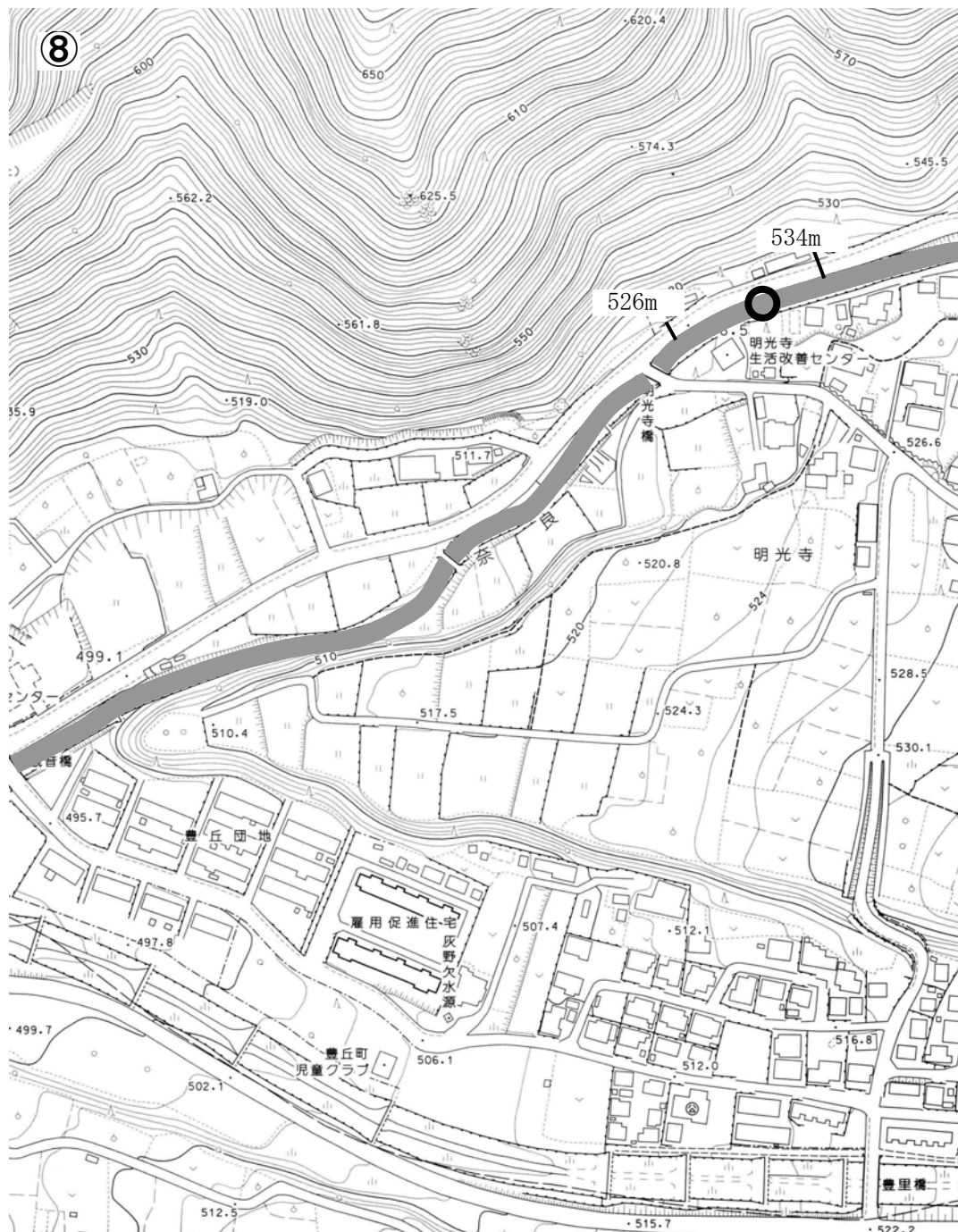


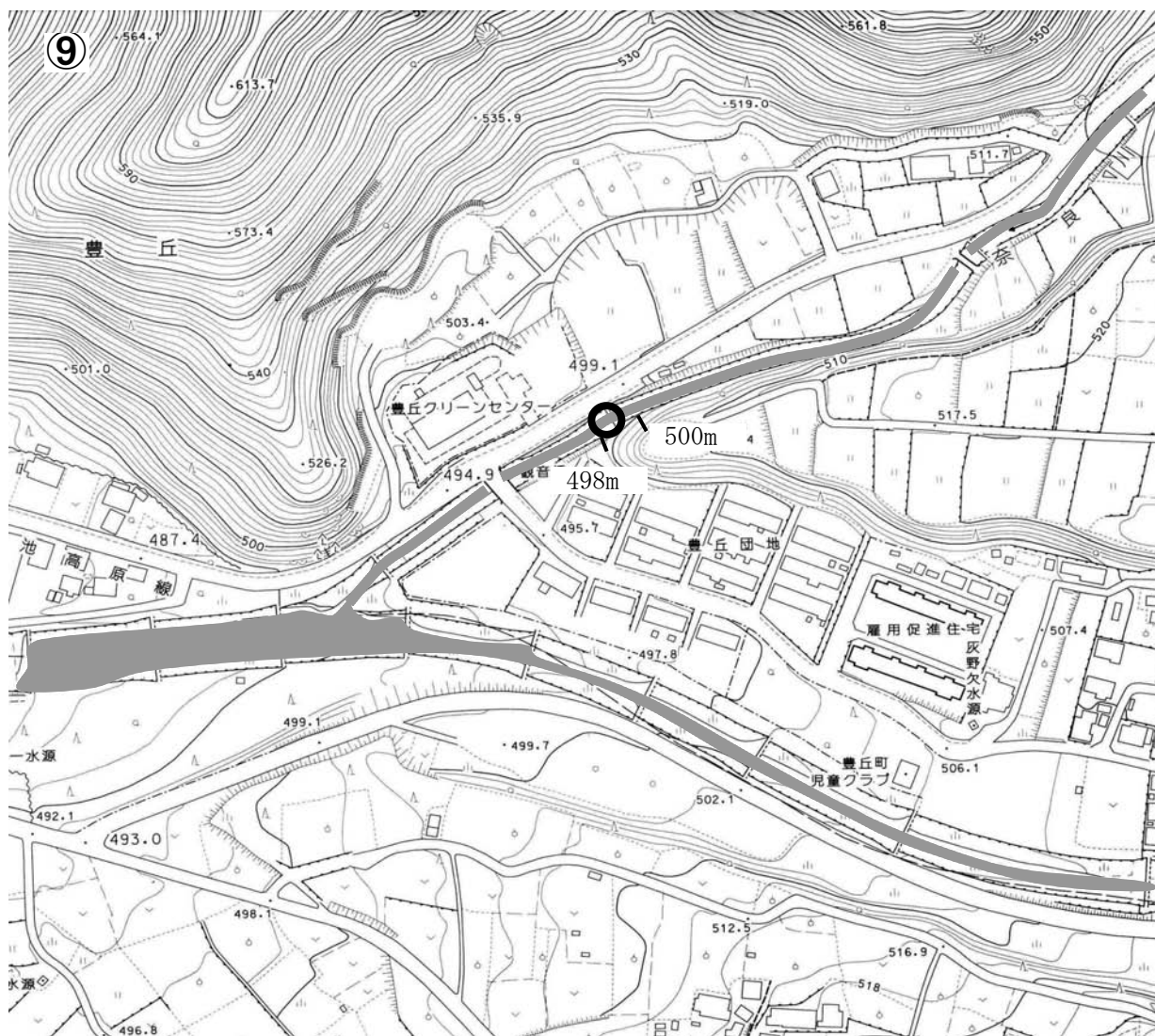
⑧奈良川－豊丘町 明光寺橋付近（未調査）

⑨奈良川－豊丘町 観音橋付近（未調査）

評価：△ （維持、治水上の課題）

●本川部は幅員が広く、発電機等の設置が困難



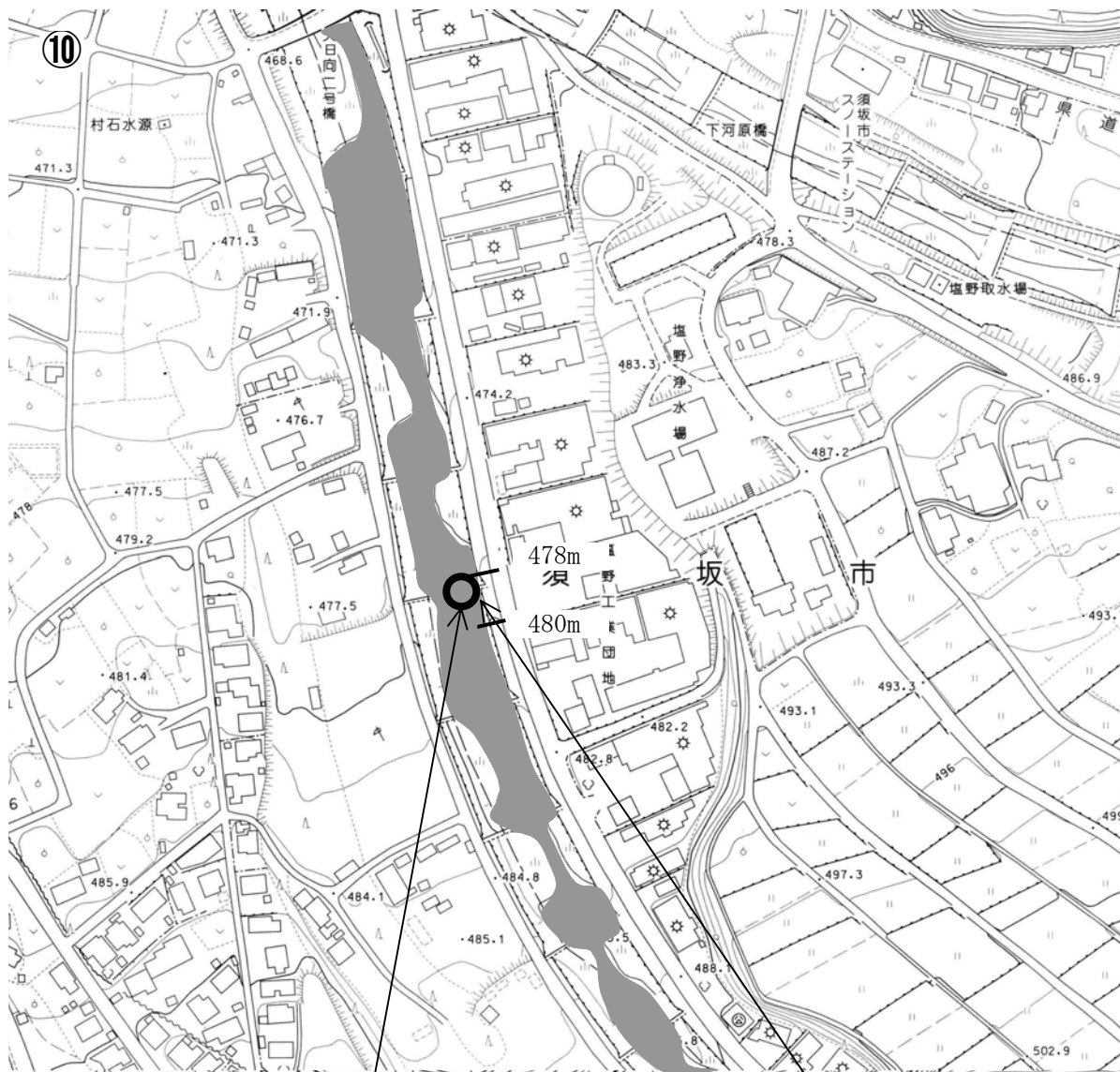


⑩米子川－塩野工場団地付近

⑪灰野川・米子川合流点－大日向町

評価：△ （維持、治水上の課題）

●本川部は幅員が広く、発電機等の設置が困難





（灰野川－上水取水口付近）

評価：△ （維持、治水上の課題）

- 水路の段差（ $W=3\text{m}$ 、段差＝ $1.0\sim 1.5\text{m}$ ）が3箇所あり、落水式水車での発電が想定される。
- 需要施設は、市の上水施設が想定される。

目視レベルでの期待発電力（ $W=3\text{m}$ 、段差＝ $1.0\sim 1.5\text{m}$ ）

落水式水車	500W
-------	------

 × 3箇所

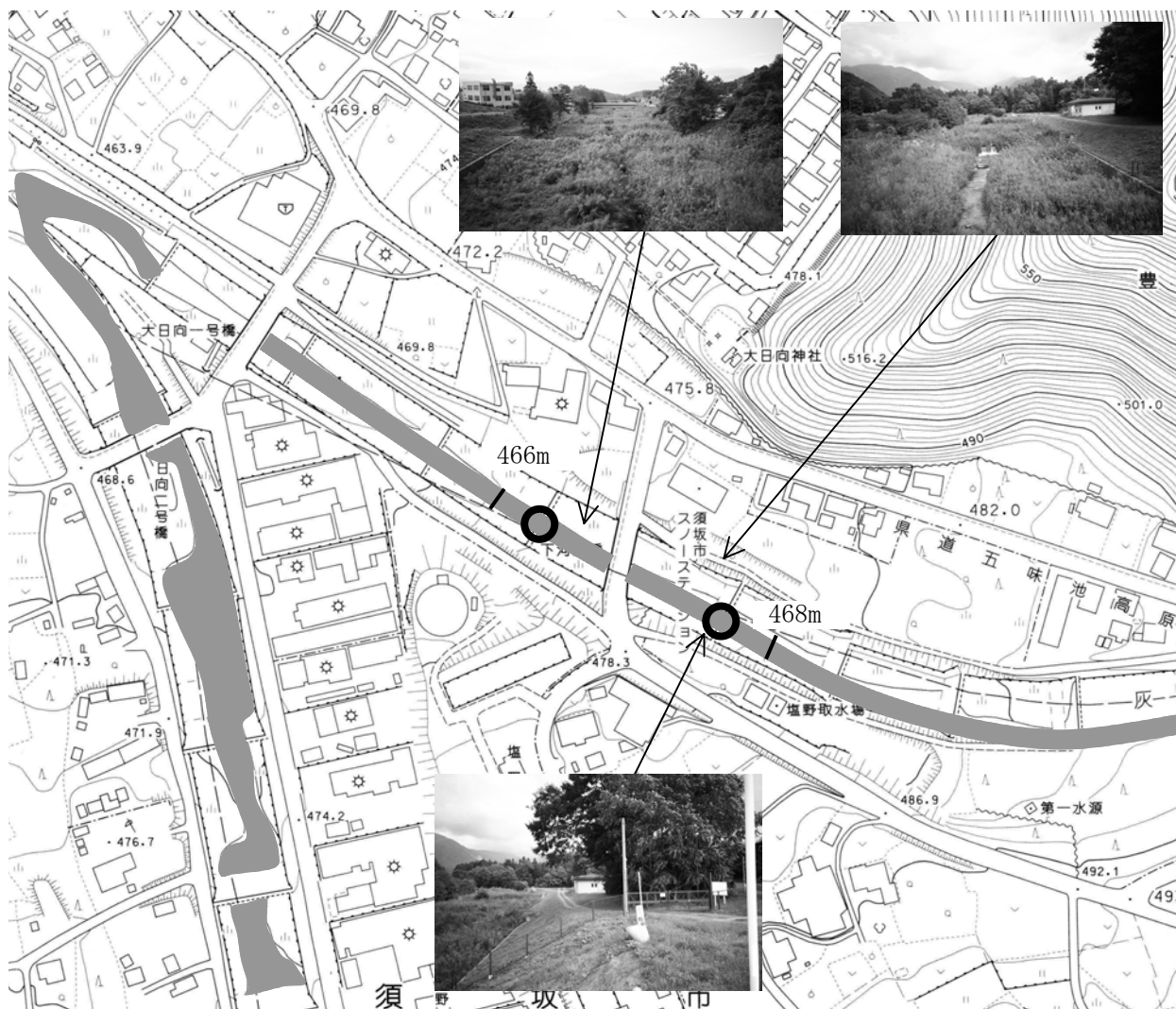
⑫市立博物館・須坂の水車

- まちなかに水路があり、下掛式水車を各所に設置し利用していた。

⑬裏川用水－穀町（市内）

評価：△ （流量不安定）

- 流量がごく微小



⑫



⑬



⑭山崎川・坊主山付近（田中本家駐車場脇）

評価：◎ （街中でのアピール大）

- まちなかにおけるアピール用の発電施設としての利用が想定できる。
- 需要として、電動自転車のバッテリー充電など、他のエコ関係の取り組みとの連動が考えられる。
- 観測区間の上流断面流量

W	1 m	流速計の生データ		計算値	
		回転数	時間sec	回転数 回/sec	流速 m/sec
h	0.06 m	50	22.1	2.26	1.57
V	1.50 m/s	50	24.1	2.07	1.44
Q	0.09 m ³ /s	50	23.4	2.14	1.49
				平均	1.50

- アピール用に駐車場付近で発電する方法として、以下が想定されるため、両者の施工費・発電量などの比較検討を行う。

●期待発電量

（案1）高低差のある上流部よりパイプで水を引き、駐車場付近で落水させて落水式水車で発電

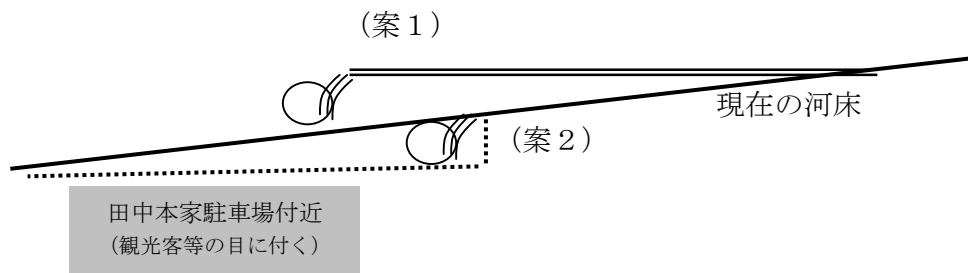
$$P[kW] = gQF\eta = 9.8 \times 0.09 \times 4.0 \times 0.5 \div 1.764[kW] = 1764[W]$$

重力加速度 $g = 9.8[m/s^2]$ 、流量 $Q[m^3/s]$ 、有効落差 $F[m]$ 、水車効率 η
 ※有効落差は高低差4m 程度利用と仮定し $F=4.0[m]$ 、
 水車効率は標準的な値として $\eta = 0.5$ と設定

（案2）山崎川の駐車場付近の河床を掘り下げ、現水路上に段差を設けて落水式水車で発電

$$P[kW] = gQF\eta = 9.8 \times 0.09 \times 1.0 \times 0.5 \div 0.44[kW] = 440[W]$$

※有効落差は高低差1m 程度利用と仮定し $F=1.0[m]$ 、
 水車効率は標準的な値として $\eta = 0.5$ と設定





(3) 技術動向等

水力発電は、水の位置エネルギーを利用して水車を廻し、水車に連結された発電機により電気エネルギーを取り出す方式です。落差が高いほど、水量が多いほどたくさんの電気を作り出すことができます。

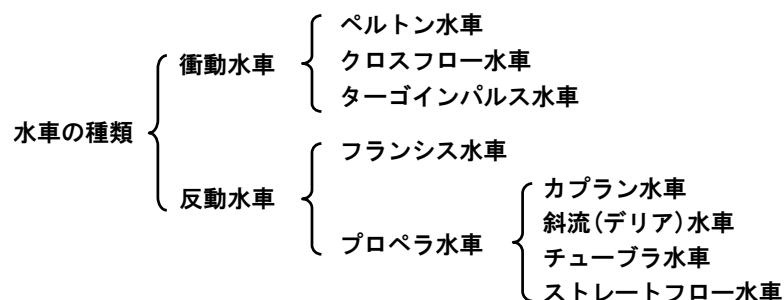
この関係を式で表すと次の様になります。

$$\text{発電出力(kW)} = 9.8 \times \text{落差 (m)} \times \text{流量 (m}^3/\text{s)} \times \text{効率}$$

(発電出力を計算できる式は、水車や発電機の容量、タイプに係わらず、全てこの式で表されます。)

① 水車の形式

水力発電に用いる水車には、水量や落差の違いによって様々な形式があります。

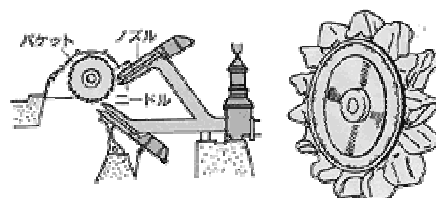


出典：資源エネルギー庁ホームページより

また、最近では小水力発電（出力 100kW 未満）用として、水中発電機一体型水車や横軸プロペラ水車（固定羽根）なども実用化されています。

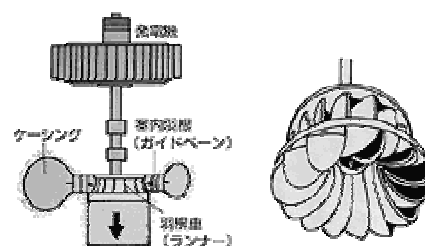
●ペルトン水車

水をノズルから噴出させ、その勢いでバケットを回転させる水車です。ノズルから噴出する水の量を調節することにより、出力を簡単に調整できます。200m 以上の高落差に適しています。



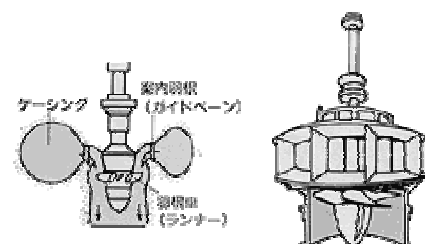
●フランシス水車

水を取り込むケーシングの中に羽根車（ランナー）を設置し、そこを流れる水の圧力により回転させる水車です。最も一般的な水車で、数 10m ～数 100m の落差に広く使われています。



●カプラン水車

フランシス水車と同じタイプですが、水の圧力変化に合わせて羽根を動かすことが可能で、効率的な発電が出来ます。5m～80m 程度の落差に適しています。



② 滝用水車の仕様

水車直径 $D_R=500\text{mm}$ ，長さ $L_R=1,000\text{mm}$ ，周囲に $z=12$ 枚のブレードを配している。ローラーチェーンにより水車の回転を約 4 倍に増速し，14 極の発電機を用いて発電します。発電した電気はインバータを介して AC100V の電源として使用します。

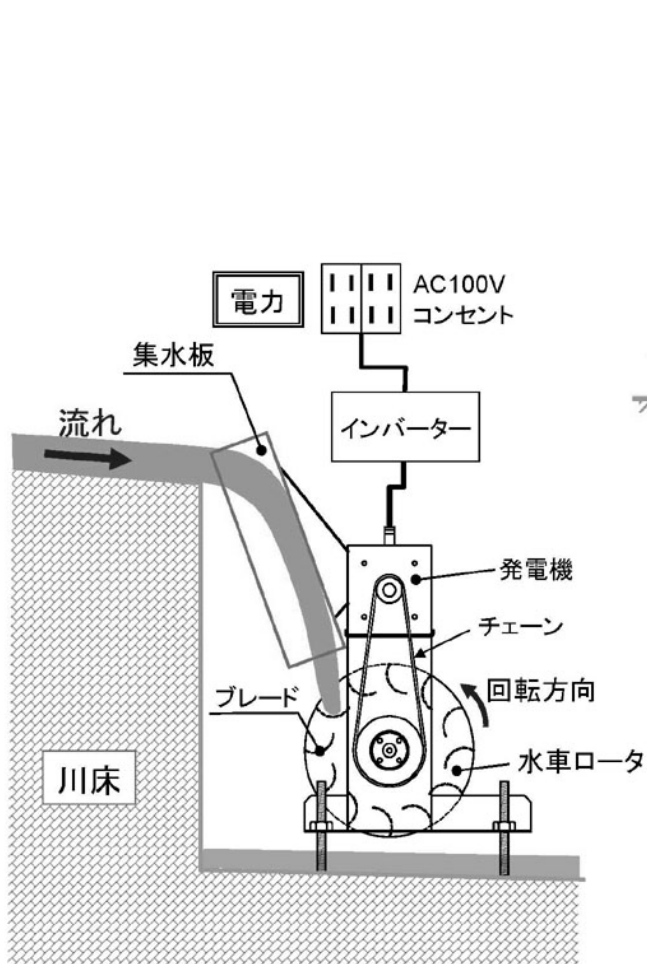


図3 水車設置想定図

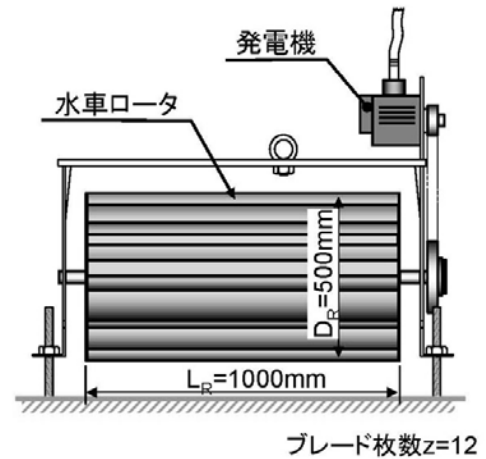


図2 水車図面

出典：信州大学ホームページより

(4) 須坂市における導入プロジェクト案

市内の小水力発電候補地を調査しながら議論をした結果、市内には水量が豊かであるが規模は小さな用水路等が多くあることがわかりました。

これらの資源を活用に向け、まずは、発電のすぐ近くに需要がある場所において小規模で安価なマイクロ水力発電システムについて技術開発も含めた取り組みを導入プロジェクトとして提案します。

① 農業分野における利用可能性～電気柵への適用～

水力発電で発電した電気の利用法として、電気柵への適用が考えられます。電気柵とは、農作物や家畜等を保護するための高圧電線を用いた柵で、動物等が触れると電氣的な衝撃を与えます。

最新の電気柵では、変圧器により 10,000V 近い高電圧にする一方、電流はごくわずかししか流さず、電気柵に触れた動物等に強い退散効果を示すとともに、動物等の生命を保護する仕様となっています。

また、電流が非常に小さいため消費電力も少なく、電池やソーラーパネルにより電力を供給するものも存在し、AC100V を用いる変圧器でも 5～8W 程度の消費電力です。光感知器により、子供が触れる可能性のある昼間には電流を流さないように制御することも可能です。

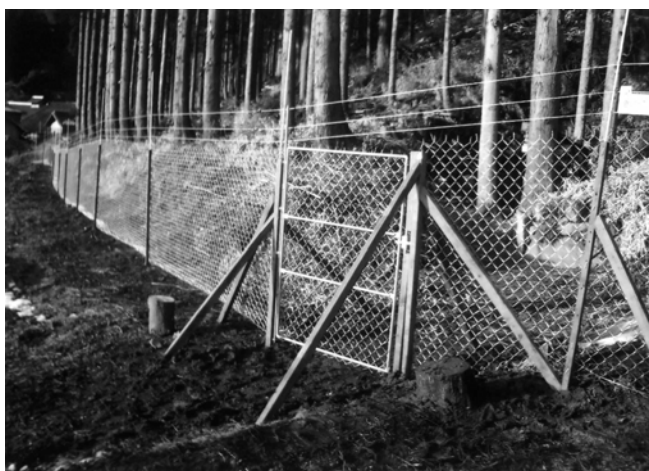


図 3-17 電気柵の導入例（大字米子）

本事例では、電気柵を導入する際に河川に設置する発電設備をどのような形態にするのかを検討しました。検討に用いた電気柵の変圧器の仕様は下記のとおりです。

表 3-22 変圧器の仕様

型番	末松電子 AC-40SP
最大出力電圧	9,000V
電源	AC100V
消費電力	50Hz／6.5W 60Hz／5.4W
総電線長	約 5,000m (使用条件により変動)

仕様より、総電線長 5,000m の場合に必要な消費電力は 6.5W です。よって、電気柵への電気の供給には非常に少ない電力量で済むことがわかります。

以上のことを踏まえ、発電設備の形態を以下の3つの形態に整理しました。

表 3-23 電気柵の発電設備の検討

	名称	長所	短所
1	電気柵専用分散型	非常に小規模な発電設備で運用できる。 用水路等の非常に小規模な河川に対応できる。	設備が分散するため設置・維持コストが高くなる可能性がある。 電気柵を用いない時間帯の電力の使い道が無い。
2	電気柵専用集中型	発電施設を1箇所に集中するため、設置・維持コストが安くなる可能性がある。	電気柵への送電線が長くなる可能性がある。 接続する電気柵の延長・本数によっては、安定した運用のために蓄電設備を設ける必要がある。
3	家庭用電源併用型	家庭用電源（AC100V）を併用するため、他の用途へ電力使用が可能となる。 汎用品で対応しやすい。	電力の変換仮定でロスが生じる。 発電設備の位置によっては、電気柵への送電線が長くなる可能性がある。

② 水車の設置箇所

■仙仁水車の概要

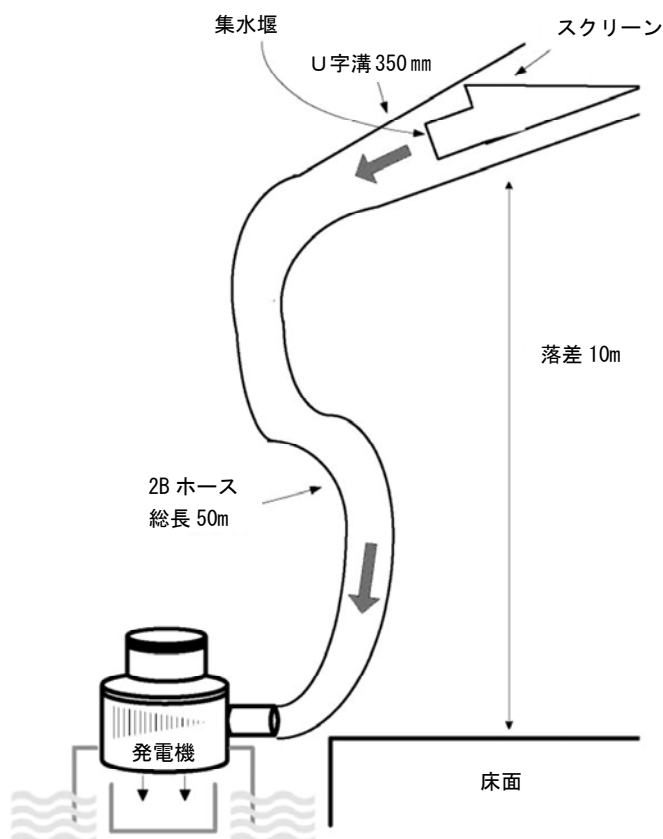
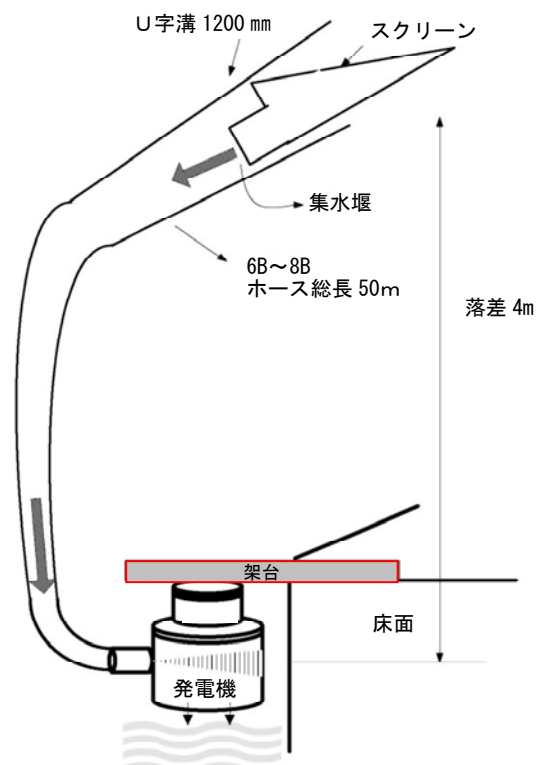


図 3-18 水車の設置概要

■山崎川（田中本家駐車場脇）水車の概要



■北の沢用水路（米子不動里宮付近）水車の概要

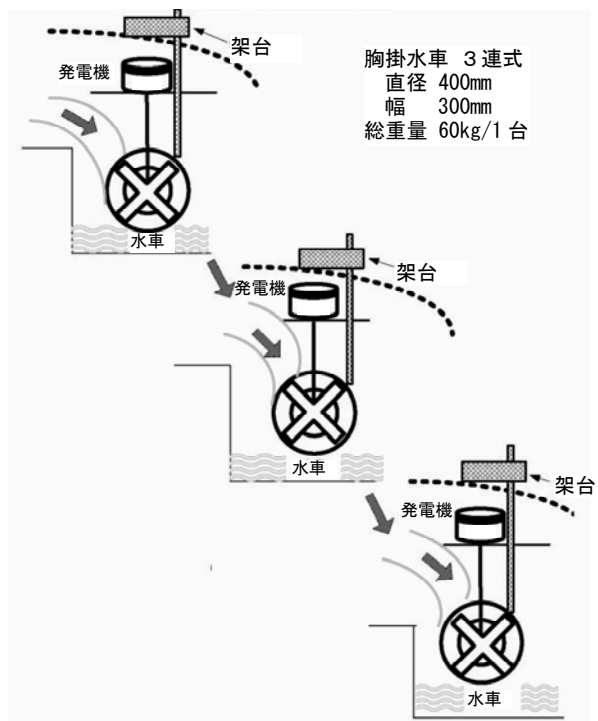


図 3-19 水車の設置概要

③ 補助事業

小水力エネルギーを利用する場合、以下のような補助制度の活用を検討します。

◇NEDOによる補助制度

事業名	補助率、融資額、融資率など	支援要件・内容
中小水力発電 開発事業	出力 5,000kW 以下=2/10 以内 5,000kW 超 30,000kW 以下= 1/10 以内 新技術導入部分=1/2 以内 経済性の低い事業、RPS 法認 定設備に係る事業は 1/10 割 増の特例措置適用	- 揚水式を除く一般水力発電のうち、出力が 30,000kW 以下の水力発電施設の設置、改造及び発電水力の増加を行うもの - 出力が 30,000kW 以下の水力発電所の建設に新技術の導入を伴うもの (補助対象：電気事業者、県企業局、自家発電所設置者)

◇経済産業省による補助制度

事業名	補助率、融資額、融資率など	支援要件・内容
地域エネ ルギー開発利用 発電事業化可 能性調査	補助：1/2 以内	地方公共団体が行う地域エネルギー開発利用発電に関する事業化 FS 調査等に助成。

◇農林水産省による補助制度

事業名	補助率、融資額、融資率など	支援要件・内容
農村振興総合 整備事業	補助率：5.0%	地域自ら考え設定する個性ある農村振興の目標の達成が図られるよう、地域住民の参加の下、関係府省と連携を図りつつ、地域の多様なニーズに応じた農業生産基盤の整備と農村生活環境の整備を総合的に実施（補助対象：都道府県、市町村）

3.3.4 バイオマス部会

(1) バイオマスエネルギーの特徴

① バイオマスエネルギーとは

バイオマスとは、生物資源（bio）の量（mass）を表す概念で、一般的には「再生可能な、生物由来の有機性資源で化石資源を除いたもの」をバイオマスと呼んでおり、バイオマスから得られるエネルギーをバイオマスエネルギーと呼んでいます。

バイオマスの種類は多岐に渡りますが、廃棄物系のもの、未利用のもの及び資源作物（エネルギーや製品の製造を目的に栽培される植物）があります。

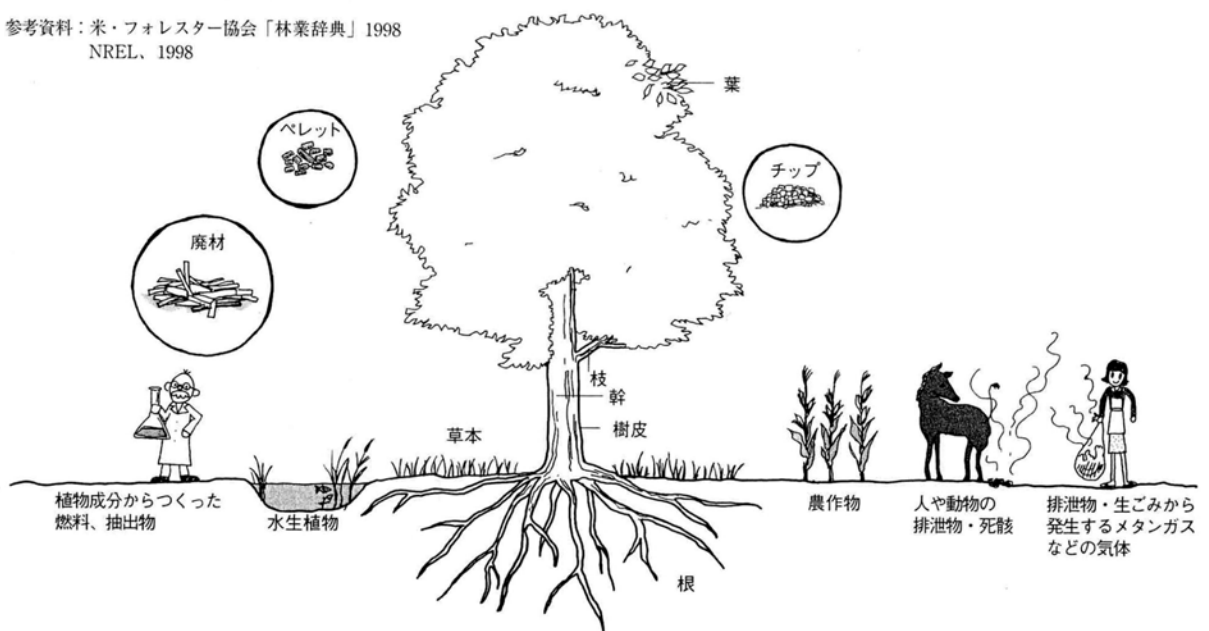
廃棄物系のものとしては、廃棄される紙、家畜排せつ物・食品廃棄物・建設発生木材・製材工場残材・黒液（パルプ工場廃液）・下水汚泥・し尿汚泥 等があげられ、未利用のものとしては、稲わら・麦わら・もみ殻・林地残材（間伐材、被害木等）等が、エネルギー作物としては、さとうきびやトウモロコシなどの糖質系作物や菜種などの油糧作物があげられます。

■主なバイオマス利用

- 燃料としてのバイオマス資源の利用（バイオエタノール、バイオディーゼル（BDF）、バイオメタノール、バイオマス由来の水素等）
- 製材廃材、おが屑、樹皮、間伐材等の木質バイオマスの利用
- 建設廃材、木屑、廃棄紙、農業廃棄物など含水率の低い廃棄物系バイオマスの利用
- 食品廃棄物、生ごみ、下水汚泥、家畜糞尿、漁業廃棄物等の含水率の高い廃棄物系バイオマスの利用
- 建築材、家具等への持続可能な森林管理のもとに採取された木材の利用
- 麻、ケナフ等の繊維強化プラスチック（FRP）等植物繊維の工業利用
- バイオマス・プラスチックの利用
- その他バイオマスのマテリアル利用（竹製品、非木材繊維、非木材林産物、オーガニックコットン、オーガニックウール、絹の工業利用、天然ゴムその他）

いろいろなバイオマス(植物エネルギー)

参考資料：米・フォレスター協会「林業辞典」1998
NREL、1998



出典：「森のバイオマス利用アイデア集」より

■ バイオマスエネルギーの概念

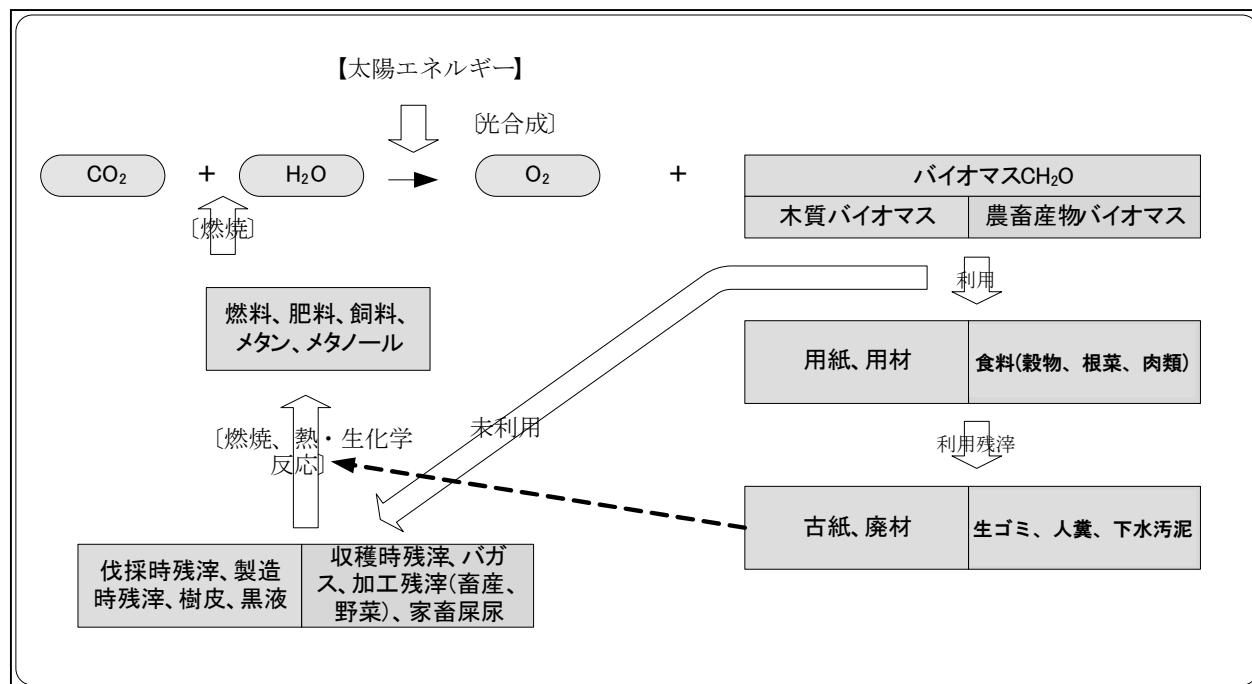


図 3-20 バイオマスフロー（エネルギーフローにおけるバイオマスの位置づけ）

表 3-24 バイオマスのエネルギー変換

変換技術		原料													用途		
		木質系廃材	木材利用	間伐材	とうもろこし・さとうきび	畜産廃棄物・尿尿	農業残滓	食品廃棄物（生ゴミ）	古紙	生活廃棄物・	バガス（とうもろこし皮）	塵芥	生活廃棄物・	都市廃棄物			廃食用油
燃焼	①直接燃焼	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※			発電、燃料	
	②混焼	※	※	※			※						※			発電	
	③固形燃料	※	※	※				※							※	燃料、発電	
熱化学的変換	ガス	④高温ガス化	※	※	※	※					※					合成ガス、燃料、発電	
		⑤低温ガス化（部分酸化）						※	※	※							炭化水素、水素
	液化	⑥熱分解	※	※	※			※									液体燃料、メタノール
		⑦直接液化					※	※	※			※			※		燃料
	その他	⑧炭化	※	※	※												炭
		⑨エステル化													※		バイオディーゼル
生物化学的変換	⑩メタン発酵（嫌気性発酵）	※	※	※		※	※	※	※		※			※		メタン、バイオガス	
	⑪エタノール発酵	※	※	※	※		※		※	※						エタノール	
	⑫二段階発酵							※								アセトン、ブタノール	
	⑬好気性発酵						※									堆肥、肥料	
	⑭乳酸発酵										※					生分解性プラスチック	

② バイオマスエネルギーの特徴

一般的にバイオマスエネルギーの主なメリットとデメリットは下記のようなことが言われています。

a) メリット

- 温暖化の原因とならない
- リサイクルが比較的容易
- 廃棄後の処理が比較的容易
- 地域活性化対策となりうる

b) デメリット

- 化石資源に比べてコスト高
- 商品開発が未発達、コンスタントに一定量確保が困難
- 製品情報が入手しにくい
- 社会的認知度が低い

表 3-25 主なバイオマス利用の種類と課題

種 類			具 体 例	主 な 課 題
都市廃棄物・産業廃棄物	自治体による一般廃棄物処理施設でのごみ発電		エネルギー利用されているのは、処理量の5割程度	発電効率の向上、熱の有効利用、木くずなど産廃の受入等
	産廃処理業者や製造業による廃棄物利用		黒液利用、製紙工場でのバイオマス発電等	安定的な資源調達、小規模の機器・機器情報の不足、住民の反対
木質系	大規模	石炭火力発電に数%程度、間伐材や竹材を入れて混焼。RPS 法対応。	中国電力、四国電力、電源開発等	原料の収集システム確立、コスト高
	中規模	中規模のバイオマス発電・熱供給施設	能代森林資源利用協同組合、銘建工業等	売電価格が低い、送電費用が高い、逆有償資源の運搬
	小規模	チップボイラー、ペレットストーブ、薪ストーブなど	岩手県、長野県、大阪府森林組合、東京ペレット等	灰の処理、輸入ペレットとの競合
エタノール	サトウキビ、トウモロコシからの生産		ブラジル、米国等	作物の可食部分も利用
	建設廃材などからの生産		日揮、月島機械等	原料収集、インフラ整備、免税処置
	廃糖蜜など農業廃棄物などからの生産		沖縄県	
Wet系	食品加工廃棄物		ビール会社、井村屋など	初期投資が高い
	生ごみ		白石市、滝川市、横須賀市	分別収集、生ごみの選別
	下水汚泥		横浜市、山形市、森ヶ崎(東京都)等	汚泥だけでは熱量が少ない
	家畜糞尿		京都府八木町等	液肥の処理
地域おこし	菜の花プロジェクト、バイオ・ディーゼル(BDF)利用		滋賀県、愛東町、横浜町、京都市ほか多数	栽培補助金獲得、回収ルート of 整備、BDF 加工技術向上など
	生ごみのメタン発酵利用		埼玉県小川町	分別収集
JI CD M	温暖化対策としての海外でのバイオマス利用		タイでのもみがら発電等	制度的確立
マテリアル利用	バイオマスプラスチック	カーギル・ダウ社のポリ乳酸利用	EPP(鶏卵パック適正利用協議会)、東レ、ユニチカ、カネボウ、クラレ等	トウモロコシが原料、国産化
		その他	北九州市エコタウン、トヨタ自動車	原料調達、コスト
	植物繊維利用		トヨタ車体	原料調達の国産化?
	農業廃棄物、雑草、ホタテの貝殻、キッチン・キトサンなど		ジーザック社、チャフローズ・コーポレーション等	マーケティング、コスト

出典：NPO法人バイオマス産業社会ネットワーク（BIN）

※主にすでに稼働中のものを取り上げているが、一部、計画・実証試験段階のものを含む。

(2) 須坂市におけるバイオマスエネルギーの特徴

① 森林資源

a) 林野面積

須坂市は総面積 14,984ha の内、森林面積は 10,213ha（68％）を占めています。そのうち約 80％の 8,350ha が民有林であり、スギ、カラマツを主体とした人工林が約 55％となっています。

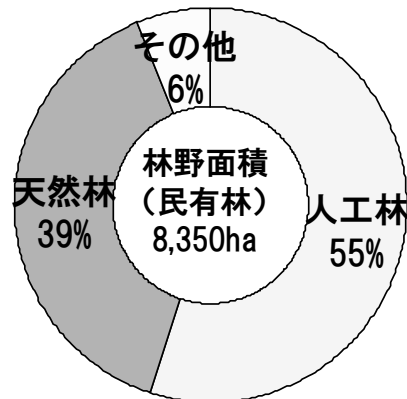


図 3-21 民有林における人工林と天然林の割合

出典：須坂市ホームページより

表 3-26 樹種別樹林地面積

（単位：ha）

人工林	4,702	天然林	4,777
針葉樹	4,689	針葉樹	954
すぎ	1,887	あかまつ・くろまつ	291
ひのき	12	その他	663
あかまつ・くろまつ	88	広葉樹	3,823
からまつ	2,679	くぬぎ・なら	105
えぞまつ・とどまつ	-	ぶな	6
その他	23	その他	3,712
広葉樹	13		
くぬぎ・なら	-		
ぶな	-		
その他	13		

出典：わがマチ・わがムラ～市町村の姿～ホームページより

b) 間伐材・建設廃材

須坂市内の間伐材発生量は、約 1,000 m³ (約 1,400 t) / 年であり、その他工事などで発生する材は、約 360 m³ (約 500 t) / 年となっています。

また、市内の主な製材所の鋸や鉋屑が約 20 m³ (約 30 t) / 日となっています。

表 3-27 木質バイオの利用可能量

名 称	発生する木質の種類と発生量	現状の処理方法	備考
長野森林組合	間伐材（平成 17 年度） 麓まで降ろす：180 m ³ /年 切捨て：815 m ³ /年 工事等による発生材： 360 m ³ /年 計 1,355 m ³ /年(1,900 t) (詳細は次表参照)	・河川工事の材料（沈床材）、ガードレール、杭（建設資材） ・パルプ原料 ・建築用材	・間伐材（切捨て）を麓まで降ろす費用がかかる ・現状、コストが見合わないで降ろさないが、新エネルギーとしての協力は惜しまない。5～10 t / 日の供給は可能（最大 30 t / 日）
山二(株) (一次製品の プレカット 専門)	・端材：10 m ³ /日 のこぎり かんな ・鋸・鉋屑：10～15 m ³ /日	・端材は専門業者が引き取る。処理費用 500 円 / m ³ かかる。屑については、自社内で消却処分	・新エネルギーとしての協力は惜しまない。無料でも結構。ただし、ストックヤードがないので、毎日の引き取りが必要
丸山材木店(有) (原木からの 製材)	・端材：16 t / 月 ・樹皮：8 t / 月 のこぎり かんな ・鋸・鉋屑：8 t / 月	・端材は薪として、樹皮はオガ粉と混ぜた物を土壌改良材として無料提供。処理しきれない屑は専門業者への引き取り	・新エネルギーとしての協力は惜しまない。無料でも結構。ただし、引き取りが必要
岡田産業(株) (建設廃材の リサイクル)	・搬入量：100 m ³ /月（市内、近郊がほとんど）	・木質チップとして販売、1,000 円 / m ³	・市場価格であれば取引成立

※ 1：木材の比重は 0.7、屑の比重は 0.6 程度

※ 2：(株)環興における木質リサイクルは完全な商業ベース（パルプ製造の前処理まで）にのって利用可能量はゼロ

（資料作成：長野森林組合、山二、丸山材木店、岡田産業、生活環境課へのヒアリングによる）

表 3-28 須坂市の間伐材、その他発生材量

	間伐材・発生材		発生量(m ³)
平成 16 年	間伐面積 270ha	利用（搬出）間伐 10ha 建築用材 1,000 m ³	100
		切捨て間伐 260ha×20 m ³ (ha 当り) = 13,000 m ³ ×10% (搬出可能量)	1,300
	他事業（工事等）より発生した材		300
	計		1,700 (2,400 t)
平成 17 年	間伐面積 189ha	利用（搬出）間伐 26ha 建築用材 1,800 m ³	180
		切捨て間伐 163ha×50 m ³ (ha 当り) = 8,150 m ³ ×10% (搬出可能量)	815
	他事業（工事等）より発生した材		360
	計		1,355 (1,900 t)
今後 の見通し	間伐面積 200ha	利用（搬出）間伐 20ha 建築用材 1,400 m ³	140
		切捨て間伐 200ha×50 m ³ (ha 当り) = 10,000 m ³ ×10% (搬出可能量)	1,000
	他事業（工事等）より発生した材		300
	計		1,440 (2,000 t)

出典：長野森林組合作成

② 農産物資源

a) 普通作物・飼料作物・工芸農作物

表 3-29 須坂市の農産物作付面積と収穫量

	作付面積(ha)	収穫量(t)
水稻	227	1,290
陸稻	—	—
麦類		
小麦	2	6
二条大麦	—	—
六条大麦	2	7
裸麦	—	—
豆類		
大豆	23	36
小豆	4	3
いんげん	5	5
らっかせい	1	1
かんしょ	2	40
そば	2	1
飼料作物		
牧草	24	876
青刈りとうもろこし	9	464
ソルゴー	1	50
青刈りえん麦	...	...
工芸農作物	栽培面積	生葉収穫量
茶	—	—
	収穫面積	収穫量
こんにゃくいも	—	—
葉たばこ	3	7

(一部未公表)

出典：農林水産省「平成 15 年（産）作物統計調査」、「平成 15 年工芸農作物調査」

b) 果樹（剪定枝）

須坂市は、県内でも有数の果樹生産地域であり、農業粗生産額においては果樹の割合が全体の 8 割を占めます。

この果樹栽培で発生する剪定枝は、市内だけで年間約 1,900t であり野焼きされているのが現状となっています。

バイオマスエネルギーの可能性としては、近隣の市町村からも相当量の収集を期待できるとともに、果樹の剪定枝は街路樹のそれなどと比較してカロリーが高く、通常の木質以外の利用方法、つまりメタン発酵によるバイオガスの製造も可能と考えます。

表 3-30 須坂市内における剪定枝利用可能量

果樹名	発生源単位 (kg/反)	市内作付面積 (a)	市内発生量 (t)
リンゴ	300	48,259	1,436
ブドウ	100	33,058	328
モモ	100	10,110	100
ナシ	100	1,592	16
合計	—	93,019	1,880

※：1 反=0.992 a

資料作成：農協ヒアリングより

※市内作付面積：「須坂市の農林業」における平成 12 年データ

c) もみ殻、わら等の農作物残滓

有効に自家消費されているため、利用可能量はゼロと見なされます。

(農協ヒアリングより)

③ 畜産資源（糞尿）

市内 22 畜産家のうち 18 畜産家では堆肥センターへ搬出し、100%リサイクルが行われています。残り 4 畜産家は自家消費しています。このため利用可能量はゼロと見なされます。

（農林課ヒアリングより）

表 3-31 家畜の飼養農家数、飼養頭羽数

H12	乳用牛	肉用牛	豚	採卵鶏
飼養農家数（戸）	20	11	2	3
飼養頭数（頭、羽）	525	179	×	1,400

出典：「須坂の農林業（2000 年世界農林業センサス結果）」より

④ 下水汚泥資源（し尿・浄化槽）

表 3-32 し尿などの年間処理状況（単位：kℓ）

	処理総量	し尿	浄化槽汚泥
H16	18,952	17,073	1,879

出典：「須坂市統計書」より

⑤ 燃料・抽出物

a) 菜の花（菜種油）

菜種油の原料となる菜の花の作付け面積は、今年度約 75 a であり、平成 18 年度は 750 a を目指しています。



図 3-22 菜の花畑（大字仁礼）

写真：須坂エコライフネットワークホームページより

b) 廃食用油

須坂市内の事業所から排出される廃食用油は1月当たり約 2,400ℓ（実績ベース）、スーパー等から排出される廃食用油は1月当たり約 12,000ℓ（一部推計値を含む）となっています。

一般家庭からの廃食用油以外の排出量は合計 14,400ℓ /月となることから、年間の利用可能量は約 172,800ℓ（＝14,400ℓ /月×12ヶ月）となります。

また、良質のBDFを作るためには、できるだけきれいな廃食油を収集しなければなりませんと言われています。

最もきれいな廃食油は、個人の家庭で使われたものと言われており、その次は病院や市の施設で使用されたもの、最も質の悪いものは飲食店で使用されたものとなっています。

相対的には、家庭、病院では廃食油の量は少なく、スーパーやファーストフード店の廃食油は多い傾向となっています。

スーパーなどでは廃食油を塗料の添加剤として再利用しているところも少なくありません。

表 3-33 平成 17 年度廃食用油収集量（11 月時点）

（単位：ℓ）

月	廃食用油		収集量計
	須坂市分	事業所分	
4	0	500	500
5	0	900	900
6	0	1,200	1,200
7	666	1,034	1,700
8	684	1,316	2,000
9	702	2,298	3,000
10	504	2,096	2,600
11	468	1,932	2,400
計	3,024	11,276	14,300

出典：須坂市生活環境課

表 3-34 市内スーパー廃食用油（およその量）

（単位：ℓ）

店名	廃食用油（1ヶ月あたり）	備考
マツヤ	3,000	
ツルヤ	2,000	
Aコープ(アグリ)	400～500	夏 500、冬 200
西友	2,000	
(J)	2,000	推計値
(N)	1,500	推計値
(A)	1,000	推計値
合計	12,000	

出典：須坂エコライフネットワーク

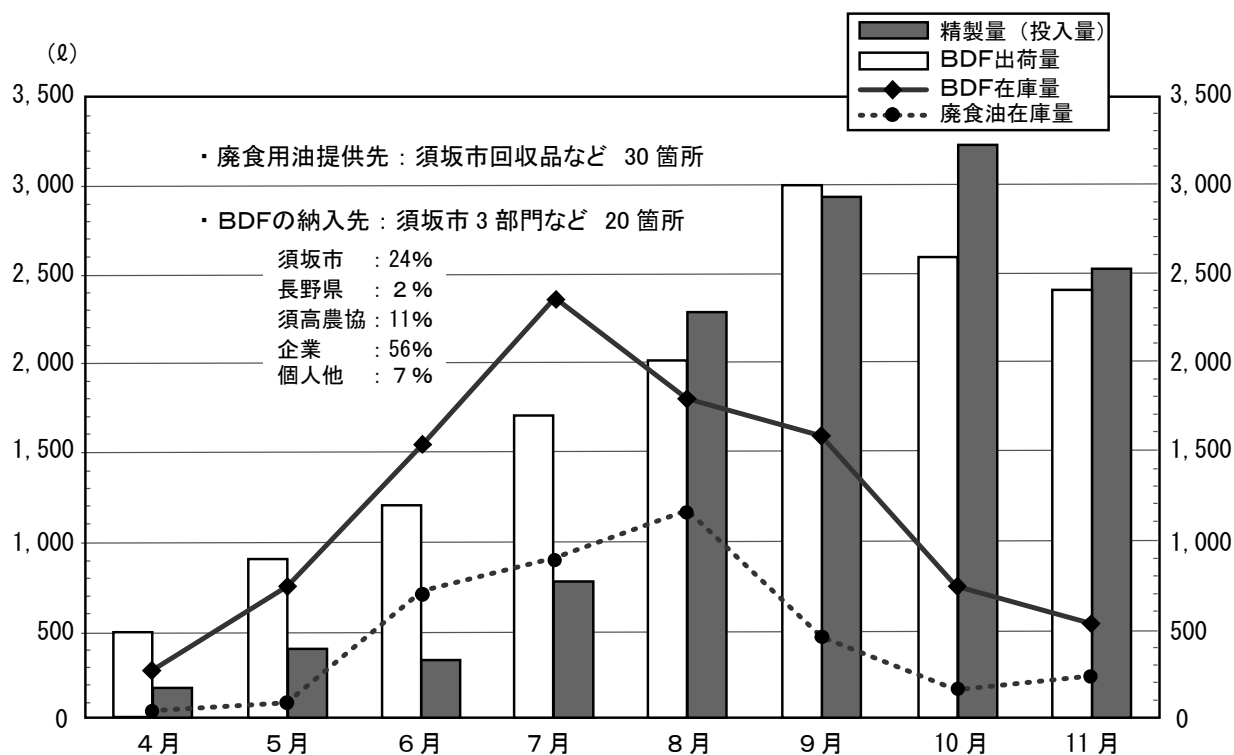


図 3-23 BDF の精製・出荷・在庫の推移

出典：2005 年 須坂エコライフネットワーク作成

⑥ その他

a) キノコ菌床：原料は落葉樹、オガ粉、米糠^{ぬか}、ビール仕込み粕^{かす}など

市内だけで年間約 1,800t もの菌床が処理に困って野積みされている現状となっています。主原料の成分にもよりますが、メタン発酵も可能であると考えます。

表 3-35 須坂市内のキノコ菌床利用可能量

キノコ名	発生量 (t)
エノキ	737
ブナシメジ	986
ナメコ	55
合 計	1,778

出典：農協ヒアリングより

(3) 技術動向等

① 菜種油の食用油化

植物の種子のうち、油分の含有量が多く、植物油脂の原料として利用されるものを“油糧種子”と総称しています。主な油糧種子は、大豆、菜種、ごま、ひまわり、サフラワー（べに花）、綿実、落花生等があります。

なお、種子そのものではありませんが、米ぬか、とうもろこしの胚芽も油分を含み、植物油の原料として用いられています。

ここで、菜種油の特徴としては、酸化が遅く、繰り返し利用が可能ということです。また、加熱に強いオレイン酸を多く含んでいるため、風味が良く、揚げ物がカラッと揚がる効果もあります。さらに、多く含まれるオレイン酸は体に良いとされており、数々の健康上の効能があります。

このような菜種油の精製方法として、以下のような行程が必要となります。

表 3-36 菜種油の精製行程

圧搾及び抽出
油糧種子から油分を取り出す工程で、菜種など油分を多く含む種子は大きい圧力をかけて油分を搾り出します。この絞り粕にはまだ多くの油分が含まれているので溶剤でこれを溶出させます。溶剤は、製油産業では食品添加物として認められているヘキサンという有機溶剤を使用します。この圧搾・抽出を総称して「搾油（法）」と称しています。
精製工程
搾油により得られた粗油から、油以外の不純物を除去する工程です。
脱ガム
・油中にはリン脂質を主成分とするガム質（澱）が含まれています。このガム質を除去するため、粗油に少量の水を加えて攪拌するとガム質は油から分離するので、それを遠心分離して除去します。
脱酸
・主に油中に含まれる遊離脂肪酸を除去する工程です。脱ガムを行った粗油に少量のリン酸、続いてカセイソーダを添加・攪拌し、遊離脂肪酸と反応させてセッケンを生成させて、遠心分離機でセッケン分を除去します。
脱色
・油脂中のカロチノイド系やクロロフィル系等の色素を除去します。油脂を軽度の真空状態で活性白土と接触させ、有色素成分を吸着させた後、油と活性白土をろ過して分離します。 （活性白土）アルミナとシリカを主成分とする物質、酸で処理すると多孔質になり、脱色、吸着する能力を有するようになります。 （廃白土）脱色で使用された使用済み活性白土。セメント原料、有機肥料製造時の発酵促進等に使用されます。
脱 臭
・油脂中の好ましくない臭い成分を除去します。油脂を高温、高真空化で水蒸気を吹き込み、有臭成分を除去します。この工程により油の色調や風味安定性が向上します。
脱ロウ
・油脂を低温で保持した場合に析出する成分（ロウ分）を除去します。サラダ油の製造に必要な工程です。油脂を緩やかに攪拌しながら、徐々に冷却し、固化した成分析出させ、ろ過して除去します。JAS のサラダ油の規格では 0℃で 5.5 時間、清澄な状態を保っていることとされています。

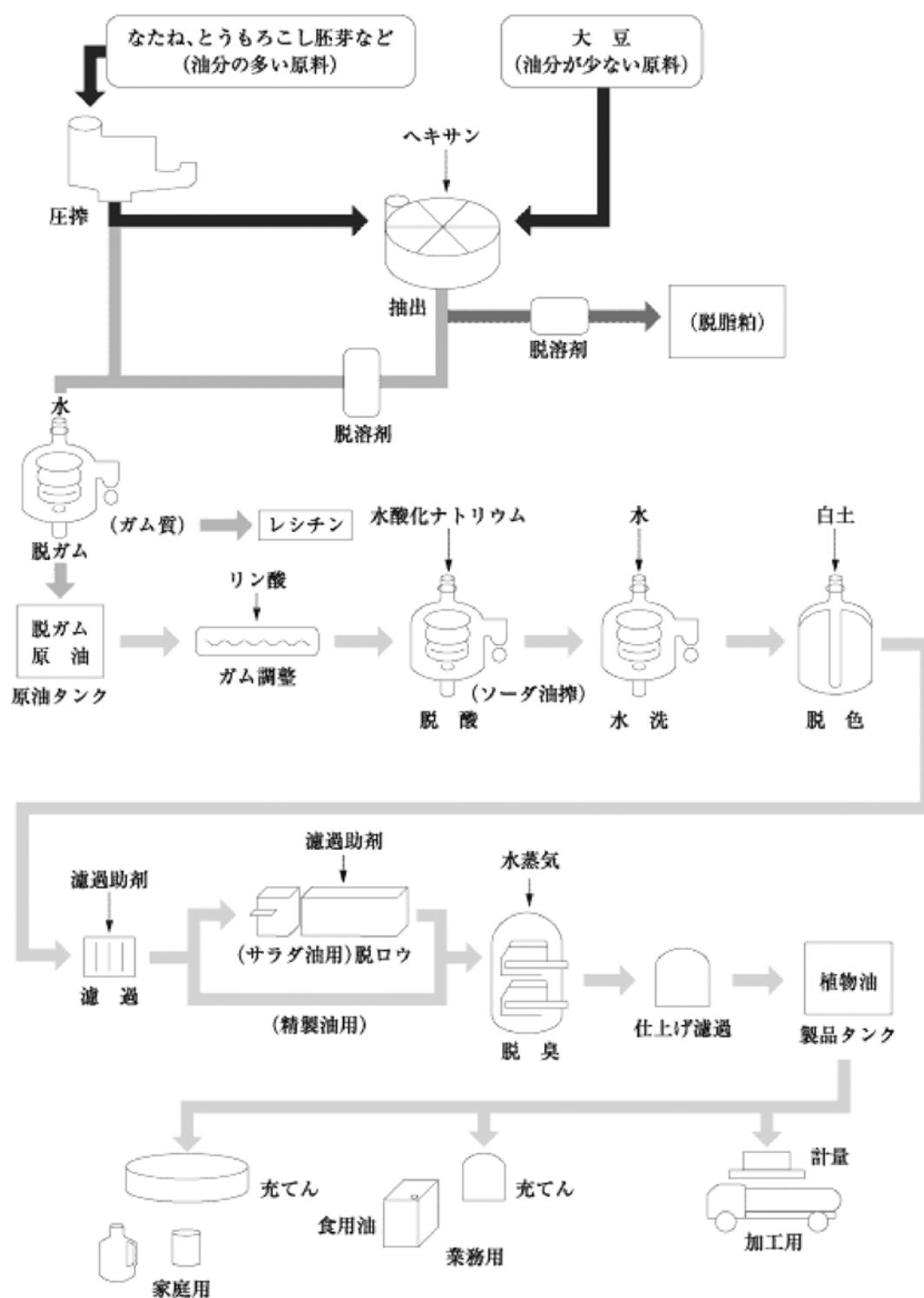


図 3-24 植物油製造行程図

出典：日本植物油協会ホームページより

② BDF（バイオディーゼル燃料）

バイオディーゼル燃料とは、植物性油脂（食用油、廃食用油など）等を加工したディーゼルエンジン用の燃料の総称です。植物性油脂にメタノールを添加し、アルカリ触媒により脂肪酸のメチルエステル変換反応を行い、脂肪酸メチルエステル（軽油に近い性質を持った物質）を製造するのが一般的となっています。この時、グリセリンが副産物として産出します。

バイオディーゼル燃料の原料としては、欧州、とりわけドイツ、フランス、イタリアでは主に菜種油が利用されていますが、米国では主に大豆油が利用されています。日本では現時点では主に廃食用油が利用されています。欧米ではバイオディーゼル燃料の利用が一般化しつつあり、軽油との混合燃料などは広く普及しています。

バイオディーゼルに代表されるバイオマス由来の燃料は、化石燃料由来の軽油（ディーゼル燃料）とは違い、大気中のCO₂を増加させない炭素中立（カーボンニュートラル）というメリットを持っており、その普及が期待されています。



図 3-25 菜の花プロジェクト（須坂エコライフネットワーク）

■廃食油の回収方法

廃食油の回収方法には次の3つがあります。

○自治体を中心になって住民に呼びかけて住民の協力を得ながら進んでいく方法。

菜の花プロジェクトを進めている地域のほとんどがこの方法です。

○行政と民間が明確な役割分担をする方法です。行政は家庭用廃食油を回収します。

それを民間の精製業者に委託し、精製されたBDFを買い取り、公用車やバス等に供給（給油）します。

○民間だけで廃食油回収と精製を行う方法です。

■ B D F 燃料の性能

米国環境保護局（E P A）は軽油と比較した場合、B D F 燃料は、排ガス中の規制物質について以下のような平均効果があると結論付けました。

表 3-37 米国環境保護局（E P A）資料より

	B100	B20
不完全燃焼の全炭化水素(THC)	-67%	-20%
一酸化炭素(CO)	-47%	-12%
粒子状物質(SPM)	-48%	-12%
窒素酸化物(NOx)	+10%	+ 2%

B100=100%バイオディーゼル燃料

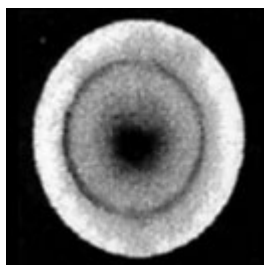
B20=20%バイオディーゼル燃料+80%軽油の場合

表 3-38 京都府の試験結果資料より

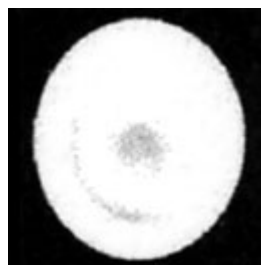
燃料性状	BDF	軽油	削減率
黒煙濃度(%)	6	18	66.7%
CO ₂ (%)	3.2	3.6	11.1%
Sox(ppm)	0.2	22	99.1%
NOx(ppm)	125	135	7.4%

また、呼吸障害の原因になるといわれている黒煙は、軽油の6分の1から3分の1に抑制できます。

〈軽油の黒煙〉



〈B D F の黒煙〉



本項出典：(株)渡部砂利工業所ホームページより

③ 木質バイオ

木質バイオマス資源は、ペレットやチップとすることで、ボイラーやストーブの燃料になります。また、チップ化や炭化することで石炭火力発電所の燃料（石炭との混焼）として、あるいはガス化（熱分解）によりバイオガスコージェネレーションの燃料としての利用可能性も有しています。

さらに熱分解によるガスを改質して水素を生成し、燃料電池の燃料とすることも可能です。

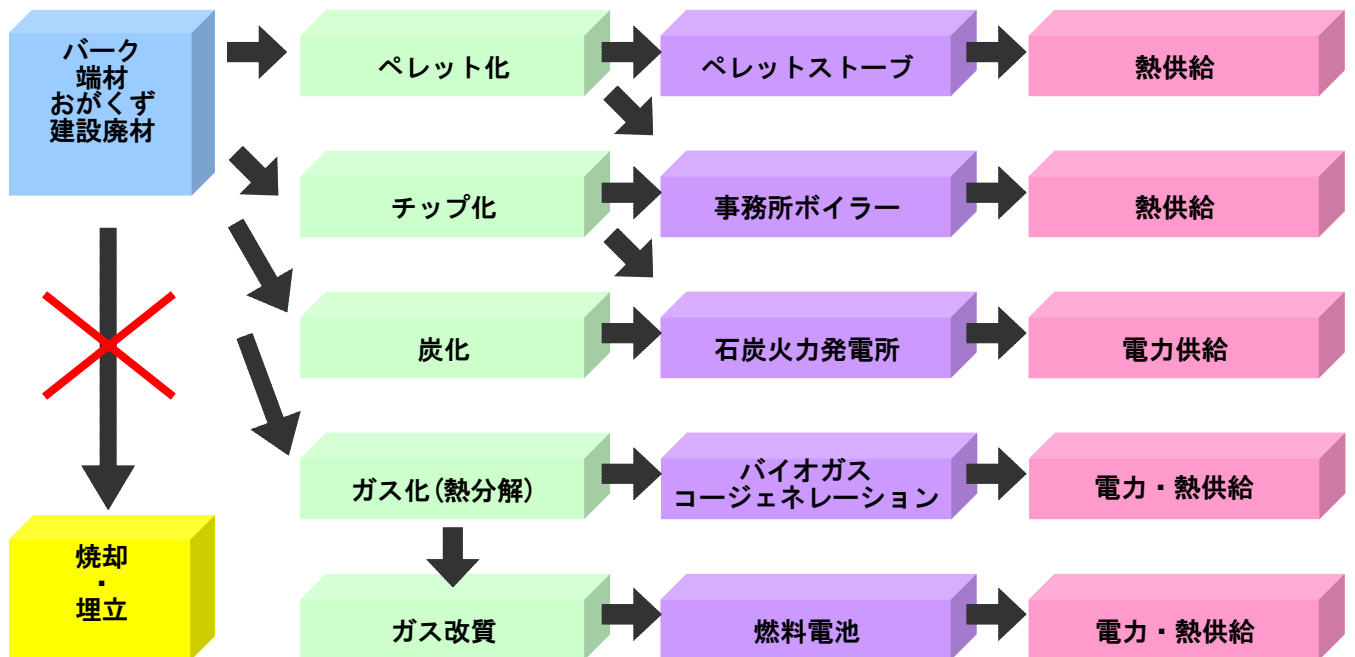


図 3-26 木質バイオマスエネルギー活用のイメージ

a) 熱利用

バイオマスを直接燃焼する方法でエネルギーを取り出すものです。ストーブのような直接暖だけでなく、お湯を沸かして給湯したり、排熱パネルによる輻射熱暖房、床暖房など、快適でおしゃれな方法がヨーロッパなどで普及しています。

伝統的な薪ストーブは、現在燃焼効率の良いストーブに置き換えられています。

近年の循環型社会構築に向けた燃料として、再び見直され始めているのがペレット（木質残材を粉砕し圧縮固定した固形燃料）燃料です。

ペレットは貯蔵や熱交換が容易で、小規模な燃焼システムに適していることから家庭での暖房にも容易に利用ができます。

また、製材・集成材・合板工場では、木材乾燥や接着用室内暖房等として木屑焚きボイラーで燃料利用されています。

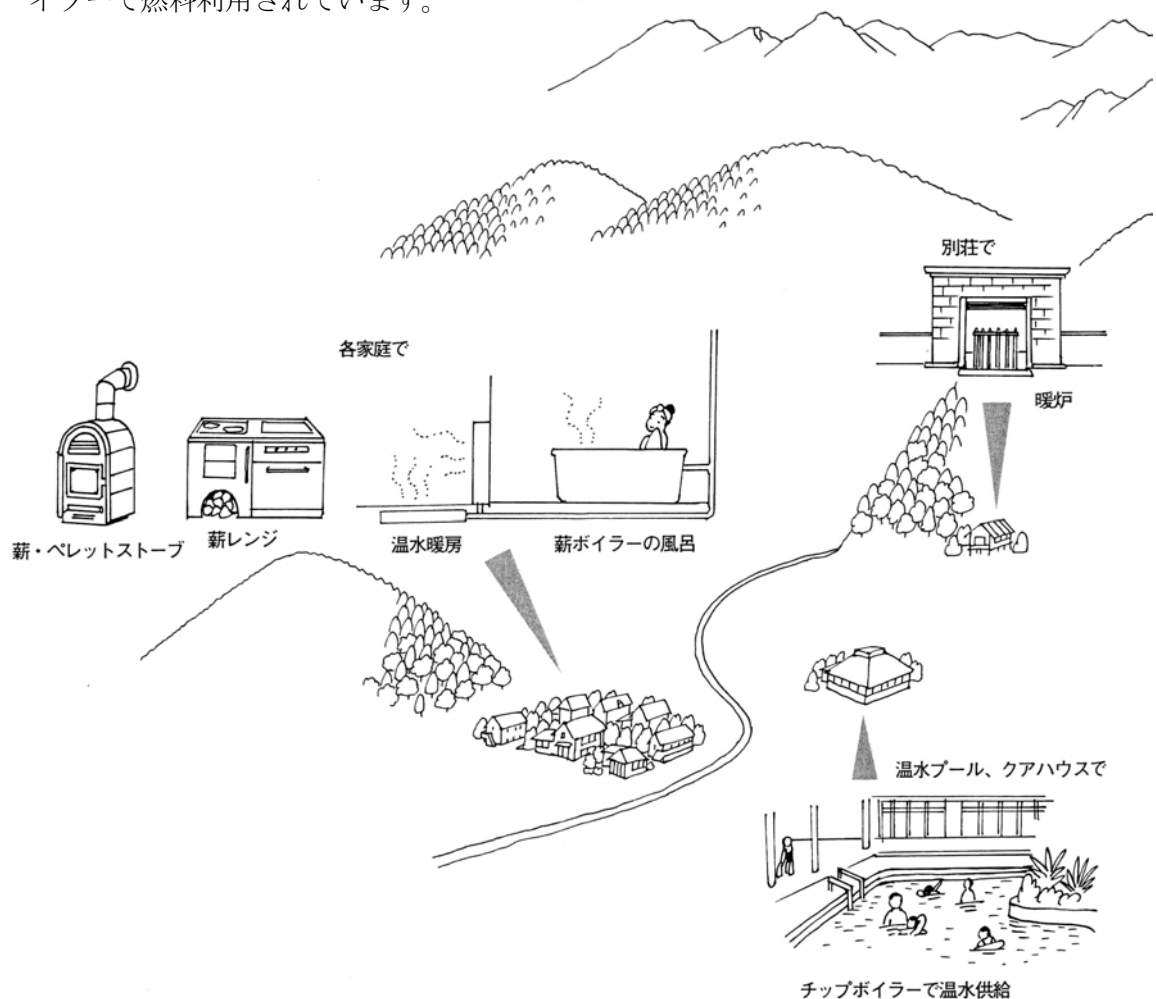


図 3-27 木質バイオマスによる熱供給のイメージ

出典：「森のバイオマスアイデア集」より

現在、長野県では、県産材の利用目標の中で、バイオマス利用の増進を位置づけています。

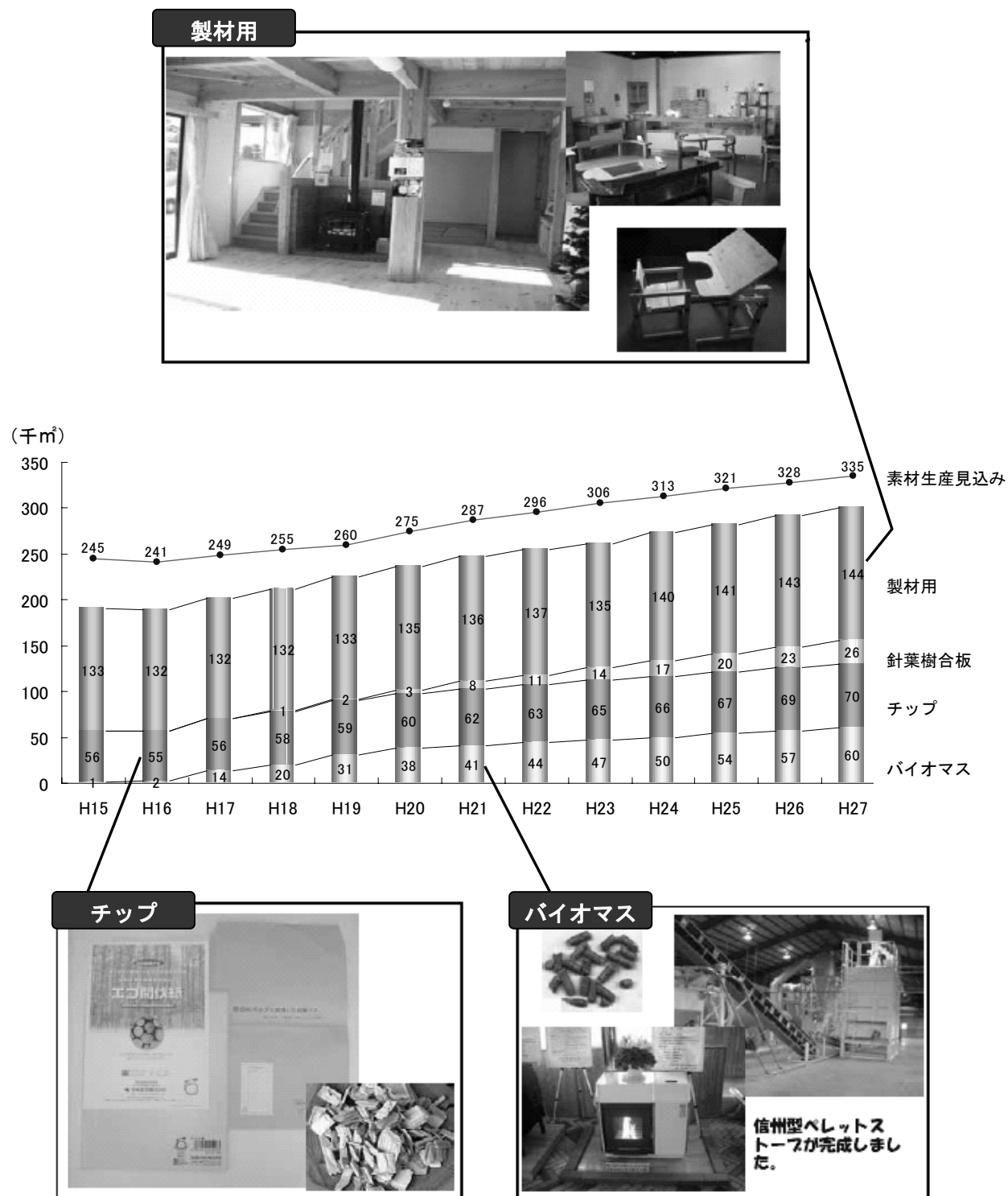


図 3-28 長野県内における県産材の利用目標

b) 発電利用

燃焼して得た熱で蒸気タービンを回すなどして電気に変える発電もごく普通に行われています。バイオマス発電として次のような方法があります。

●直接燃焼（蒸気式タービン発電）

- ・ バイオマスだけを直接燃やして蒸気をつくり発電用のタービンを回す方式で、発電容量は比較的小さく、発電効率は一般火力発電の35%よりかなり低い10～20%台となっています。

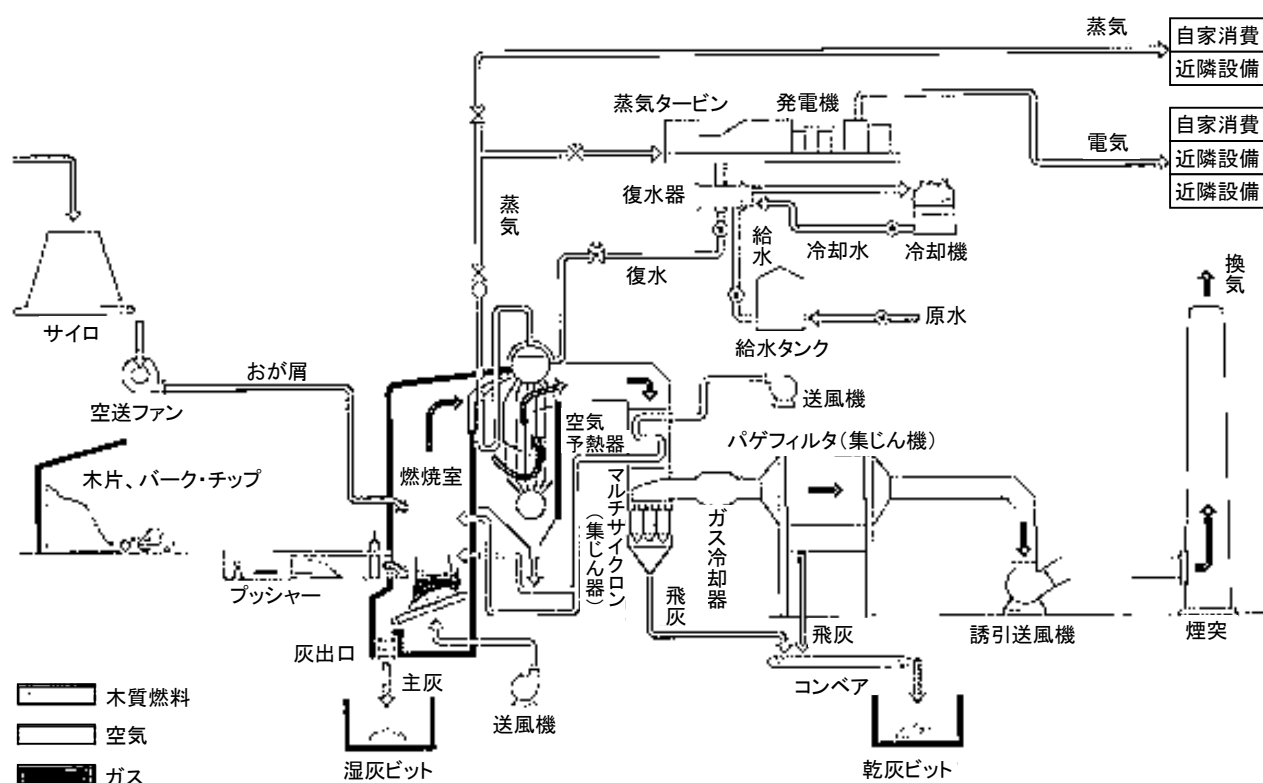


図 3-29 バイオマス発電プラントの流れ

出典：(株)タクマ パンフレットより

●混合燃焼

- ・ 既存の火力発電所で石炭といっしょにバイオマスを燃やすもので、アメリカで普及しており、大気中の硫黄酸化物排出量削減に飛躍的效果があることが注目されています。
- ・ この方式は、規模が小さいと発電量当たりの投資コストが高くなりますが、ほかの燃料と混焼して効率を改善することができ、バイオマスの集荷が安定しない初期の段階では現実的な方法と考えられます。

●コージェネレーション

- エネルギーの無駄が少なく、一番注目される方法で、燃焼エネルギーを発電だけに使うと無駄が多くなるので、発電だけでなく余熱を地域暖房や乾燥などに利用するのがコージェネレーションです。
- 木質バイオマスを用いたコージェネレーションの典型は、製材等で発生する残廃材を利用してエネルギーを生産し、これでその工場が必要とする熱と電気をまかなう方法です
- 規模の大きい林産工場では比較的早くからこの方法が導入されており、中小の工場でも残廃材を木材乾燥の熱源として利用する例が増えてきています。

c) ガス化利用

近年、新しい発電の方法として注目される、バイオマス資源をガス化する方法です。バイオマスを蒸し焼きにするなどの熱化学処理を行うとガス（水素、一酸化炭素、メタンの混合ガス）が発生します。このガスを燃料とするガスタービン（ジェットエンジンのような）を使った発電が、アメリカではすでに実用化されています。

●ガスエンジン発電

- 材料を加熱してガス化し、生成したガスを一部はガス化の熱源として、残りはさらに加熱して改質した後、廃熱回収し、ガスエンジンに送り発電します。
- ガスエンジンは、小規模分散型発電に適し、発電効率が高く、連続運転及びバッチ運転とも可能です。

●ガスタービン発電

- 材料を加熱してガス化し、生成したガスを燃焼器、圧縮機で高温高圧状態にした後、ガスタービンに送り発電します。
- ガスタービンは、発電効率は良いが、小規模分散型発電ではガスエンジンの方が良く、バッチ運転は不向きで、連続運転が基本となっています。

④ バイオガス

嫌気性微生物が有機物を分解する時に発生する可燃性気体のことで、主成分はメタンです。副産物として醗酵液肥があります。

○原料

- 糞尿、鶏糞、乳製品、澱粉かす、野菜屑、葉菜屑、果物の絞り滓、調理屑、残飯、食品屑等で新しいものより古いもの、大きいものより小さいものが良い。
- 原料に向かないものは、ネギ、タマネギ、ニンニク、魚・獣類の腐肉や内臓、落花生、茶殻、大豆、わら、鋸屑、紙等です。
- 毎日 1 m³のガスを得るために必要な糞量は牛 1 頭 (30kg) = 豚 4 頭 (30kg) = 鶏 120 羽 (12kg) = 人間 15~30 人 = 家庭生ゴミ、おから 20ℓ (20 人分相当、17kg) です。

○発生条件

- 温度は 30~35℃が最適。15℃以下ではガスの発生量が急激に落ちます。
- PH は 7.2~7.6 が良く、原料に尿が多いとアルカリ性になりやすいので、糞を入れるか野菜屑、残飯、糠などの酸を生ずるものを入れます。鶏糞は中性です。
- 実績例：10 m³の醗酵槽で 25 度にした場合夏は 4~5 m³、冬は 2 m³のガスが得られます。ちなみに 1 m³のガスで 5~6 人の家族の 1 日分の調理に使えます。

○メタンガスのメリット

- 太陽光発電が昼間の太陽が出ているときにしか利用できないのに対して、原料を投入しさえすれば、365 日 24 時間ガスが発生します。
- 太陽光発電が、電気中心の利用になるのに対して、ガスをそのまま使う他にガスエンジンや燃料電池で発電し、エンジンの排熱（冷却水）でお湯を作ることができます。
- 原料は、畜産廃棄物（牛、豚、鶏糞）から食品産業廃棄物（飲食店の残飯、コンビニの弁当やパン等）など、ほとんどが無料で入手可能です。
- ガスが出た後は一部汚泥になりますが、ほとんどは液化します。この液は液体肥料としては有害なガス成分が抜けているのでとても利用価値のある物になります。

(4) 須坂市における導入プロジェクト案

① 菜の花プロジェクトの展開

a) 植物油の利用

須坂市では、地球温暖化防止のために石油や石炭などの化石燃料を減らし地域循環型エネルギー社会の構築を目指し、廃食用油の再利用や植物油の利用等を称する菜の花プロジェクトが展開されています。

植物油の利用については、現在、菜の花の栽培から菜種の刈取り、菜種油の搾油、精製まで、一連の行程が実践され、イベント時の目玉として製品を販売もしています。

□第2回須坂うまいもん祭（11/20）

にて販売

菜種	66 kg
菜種油	140
400ml	ビン 35 本
販売価格	800 円／400 ml



図 3-30 売出し用のビン詰め菜種油見本

（写真：須坂エコライフネットワークホームページより）

今後も、周辺の農業生産等との調整を図った上で、休耕田などを利用した菜の花栽培の大規模化を図ります。

このような中で、菜種油の利用に関しては、搾油作業にコストがかかり、採算性確保が困難であることが課題となっています。（大手企業の搾油作業の2倍以上のコストがかかります。）

このような状況を踏まえ須坂市では、健康面、癒し的な効果を前提とした、資源循環型社会を体験的に実感できる環境教育、啓発事業として実施していきます。

b) BDFの普及と開発

市内の事業所やスーパー等、一般家庭以外から排出される廃食用油は、約 14,400ℓ / 月となり、年間では約 172,800ℓ となります。

今後、BDFの普及を促進するために、一般家庭からの回収も目指し、家庭系廃食用油と事業系廃食用油の回収システムの構築を図っていきます。

製造されたBDFは、実用化に向けて市の公用車への利用、路線バスや観光周遊バス等の公共交通への利用を促進していきます。

また、これまで「須坂エコライフネットワーク」が主体となり進めてきた現在のプロジェクトを拡大しながら、市内や周辺地域へ普及・展開させていきます。

BDFの製造・利用に関しては、現在さまざまな課題があり、今後も検討していく必要があります。下記に一般的な課題と対応策を示します。

表 3-39 食品バイオマスエネルギーにおける課題と対応策（BDF 製造・利用）

段階	対象	課題	事例における対応策の例
原料調達	主に 家庭系	動物性油が混入すると BDF が精製できない。	◎ 拠点における回収時間を限定して、担当者をおいた上で回収する。
		廃食用油が十分に集まらず、設備の稼働率が低い。	◎ 自治会単位での回収とし市民の協力を得やすくする。 ◎ 常設の拠点回収とし、いつでも廃食用油を持ち込めるようにして回収量を増やす
燃料製造	全般	規模を拡大すると資格者（危険物取扱責任者）が必要となる。	◎ 指定数量の 1/5（400ℓ）未満の貯蔵とすることによって、規制にかからないようにする。
		長期保存により BDF の品質が劣化（固化）する。	◎ BDF 供給量に合わせた需要（車両等）を確保する。
燃料利用	全般・課税	軽油を混ぜて利用すると軽油引取税が課税される。（軽油引取税の対象から外れるためには引火点が 130℃を超える必要があるが、ある例では軽油を 30%混ぜるだけでも引火点は 114℃程度となり課税対象となる。）	◎ BDF のみ（100%）での利用をする。 ◎ 軽油と混合して利用する場合は、事前承認が必要になると考えられ、承認はガソリンスタンド等にて受け、給油客には給油のたびに譲渡証を発行する方法があると考えられる。
	寒冷地	寒冷地では、冬季に BDF の粘性が低下し、BDF そのままでは利用ができなくなる。	◎ 自動車燃料利用の場合は添加剤等を加えている。 ● 軽油を混ぜて利用する。 （軽油引取税が課税される。） ● 定置型利用の場合は、排熱による保温（タンク・配管）を行う。
残さ等の処理	洗浄方式	グリセリン、洗浄排液の処理が必要。	◎ 機器メーカーで処理を行う。 ● 残さ等が少ない製造技術への変更をする。

◎：実際に行われている対策、●：検討されている対策

出典：NEDO バイオマスエネルギー導入ガイドブック

② 木質バイオ導入プロジェクト

a) ペレットストーブ・ボイラーの啓発普及（熱供給）

間伐材、建設廃材など、須坂市の豊富な森林資源を活かし、主に冬季の暖房用燃料として木質バイオによる熱供給システムの啓発普及について検討を行います。

燃料は、ペレット、薪、チップなど樹種や需要にあわせた展開手法とし、暖房機器は、長野県がメーカーと協働で開発し、間伐材から作った木質ペレットを燃料とする「信州型ペレットストーブ・ボイラー」の学校や公共施設、高原地区の宿泊施設等への設置可能性も検討する必要があると考えます。

また、市街地近傍における木質バイオ・ストックヤードの整備も有効と考えます。これによりペレット、チップ等の安定供給が図れるとともに、特に用途を限定しない端材などを広く市民へ提供することにより、森林資源に対する市民意識の醸成及び木質バイオの啓発普及も図ることができます。

b) 木質ガス化発電プラント（熱電併給）

峰の原高原地域には現在約 70 軒のペンションがあり、ホテル等は立地しておりません。この高原は、スポーツリゾートとして有名であり、夏はテニス、冬はスキーと多くのアスリートが訪れております。

このようなリゾート地区において、木質バイオマスエネルギーの活用による電気、熱供給を目指したコージェネレーションシステムの構築は、周辺の恵まれた自然環境に配慮しながら、健康増進を目玉とした観光リゾートへの転換を図っていくためにも非常に有効な手段であると考えます。

表 3-40 峰の原ペンションのエネルギー需要

	電気(kWh)	ガス (Nm ³)	灯油 (ℓ)
11 月	1,190	4.5	450
12 月	1,220	4.0	300
1 月	3,435	12.9	370
2 月	3,106	10.0	550
3 月	3,398	11.4	560
4 月	2,080	8.6	—
5 月	1,058	5.6	—
6 月	978	6.5	—
7 月	1,090	7.1	—
8 月	1,095	15.3	660
9 月	1,255	8.4	280
10 月	1,238	6.3	—
合 計	21,143	100.6	3,170

期間：平成 16 年 11 月～平成 17 年 10 月（ペンションふくながのデータ）

■年間電気需要量：21,143kWh×70 軒＝1,480,010kWh

■年間プロパンガス（LPG）需要量：100.6Nm³×70 軒＝7,042Nm³

■年間灯油需要量：3,170ℓ×70 軒＝221,900ℓ

参考に、山口市におけるコージェネレーションシステムの規模等を示します。

- ・発電出力 176kW（発電端効率 35%）
- ・年間発電量 844,800kWh（発電効率 20.1%）
- ・熱出力 987kW
- ・年間温熱生産量：1,108,482,000kcal（廃熱回収率 31.3%）
- ・木質燃料処理能力 5 t/日

例えば、上記のシステムを導入した場合、峰の原のペンションおよそ 40 軒分の電力がまかなえます。また、1 日あたり約 2.4 杯分の浴槽のお湯を沸かすことができます。

なお、コージェネレーションシステムを導入した場合でも、LPG、灯油は各ペンションで引き続き利用することを前提と考えます。

$$844,800\text{kWh} \div 21,143\text{kWh} \div 40 \text{ 軒}$$

$$1.1 \text{ 億 kcal} \div 365 \text{ 日} \div (50,000 \times (25^\circ\text{C})) = 2.4 \text{ 杯}$$

※10m×10m×50cm の浴槽のお湯が 15℃から 40℃に上昇されると仮定

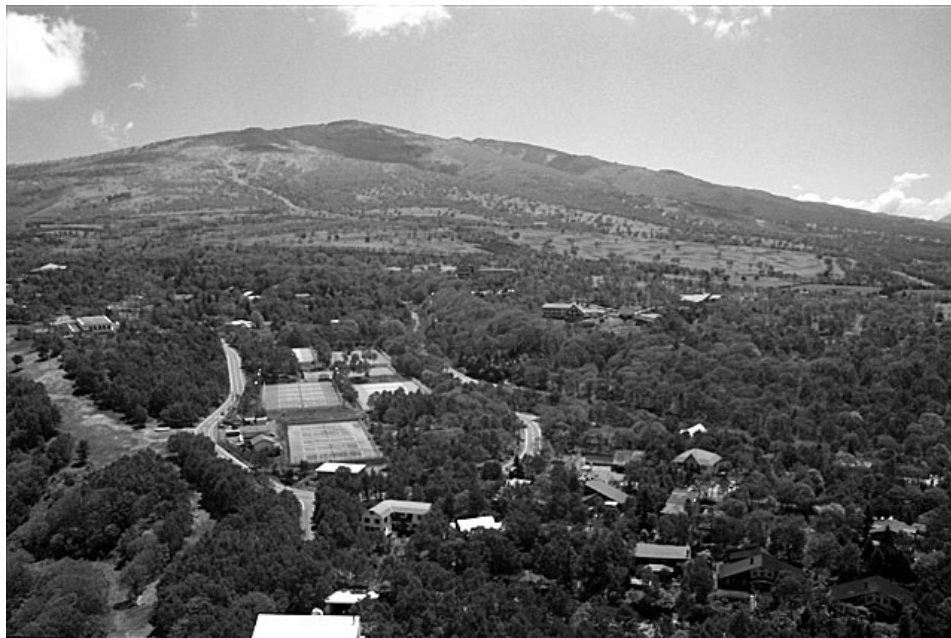
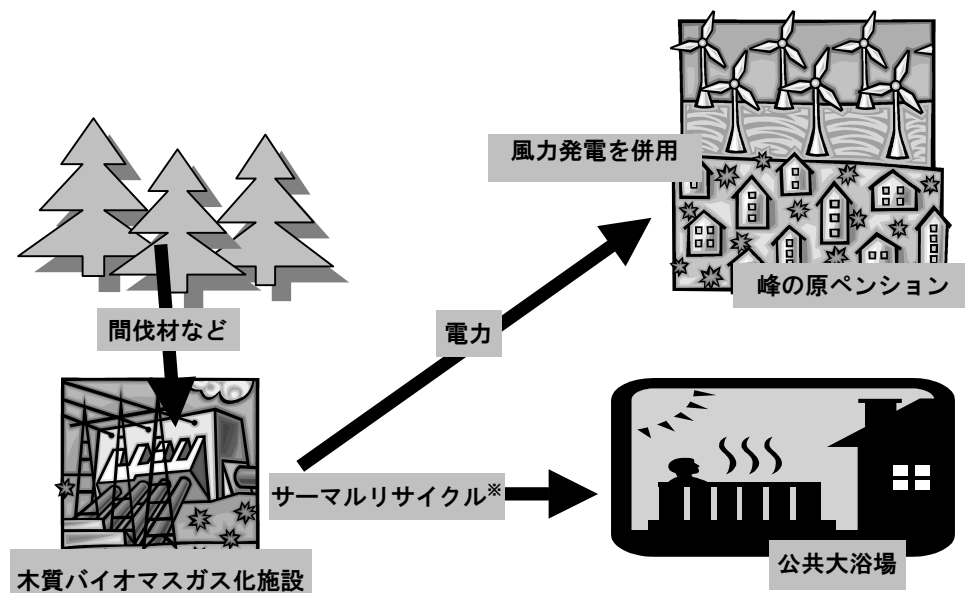


図 3-31 峰の原高原のペンション群

写真：峰の原高原旅館組合ホームページより



※廃棄物を単に焼却処理するだけではなく、焼却の際に発生するエネルギーを回収・利用すること

図 3-32 木質バイオマス発電システムのイメージ

資料提供：諏訪東京理科大学経営情報学部 経営情報学科 古舘信生／宮原智弘

③ 剪定枝とキノコ菌床のバイオガス化プロジェクト

須坂市は、果樹栽培が盛んであり、毎年安定した収穫を得るため、整枝剪定が行われ、切り取られた剪定枝は、従来、主に農地で焼却されています。

また、須坂市は、市内だけで年間約 1,800t ものキノコ菌床が処理に困って野積みされている現状にあります。

これら果樹の剪定枝とキノコの廃菌床については、バイオガスの供給源としての有効性が非常に高く評価されています。

このようなことから、バイオガス化プロジェクトについては、燃料電池部会において、水素製造の際の供給源としてバイオマスの活用を検討しており、「峰の原 SOFC 積雪寒冷地 FC 実証実験（プロジェクト案 2）」にその詳細を整理しています。

なお、バイオガス化プラントには、生ゴミなどの塵芥も投入可能であることから、地域内でのリサイクル活動にも寄与することが想定されます。

3.3.5 燃料電池部会

(1) 燃料電池とは

燃料電池は、「外部より燃料（還元剤）と酸素または空気（酸化剤）を連続的に供給し、電気化学的に反応させて電気エネルギーを取り出す装置」です。この燃料電池の発電システムは、従来の発電システムと比較して、次のような特徴があります。

- ・ 発電効率が高く、エネルギーの有効利用が図れる。
- ・ 電気と熱を同時に利用できるコージェネレーションシステム（熱電併給）が簡単に構築できる。
- ・ 大気汚染物質（NOX、SOX 等）の排出量や騒音が少なく、地球環境にやさしい。
- ・ 多様な燃料が使える（天然ガス、メタノール、ナフサ、石炭、ガソリン等）
- ・ 小規模でも大規模発電に匹敵する効率が得られる。
- ・ 部分負荷においても全負荷（低格負荷）時なみの高い発電効率が得られる。
- ・ モジュール（1つの機能単位）構成であり、建設期間の短縮がはかれ、設置場所の制約を受けない。

下図のように、燃料電池を従来の発電方式（火力発電等）と比べると、いずれの反応も燃料を酸化する反応であるものの、燃料電池の方が、変換効率が極めて高いことが分かります。

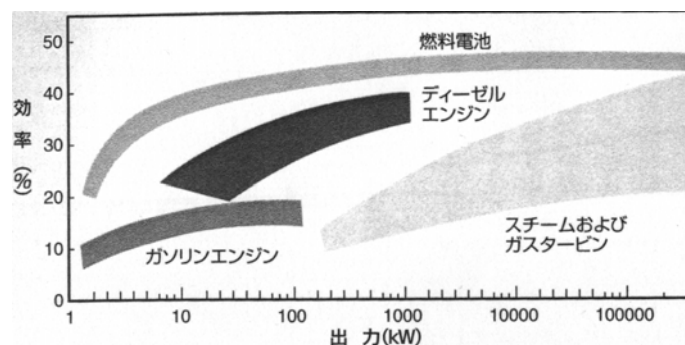


図 3-33 各種発電方式の効率と出力の関係

出典：池田宏之助「電池の進化とエレクトロニクス」

その理由として、代表的な火力発電と比較すると次図のように、発電プロセスがシンプルでエネルギーロスが少ないからです。

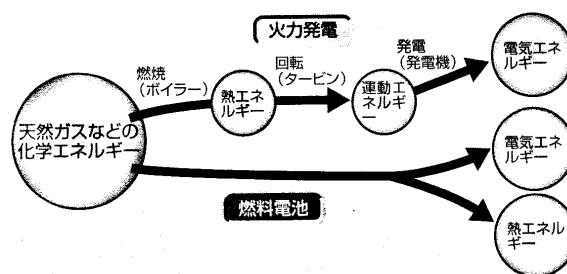


図 3-34 燃料電池と火力発電の違い

出典：池田宏之助「電池の進化とエレクトロニクス」

(2) 燃料電池の種類

燃料電池は、主に使用される電解質の種類によって、以下のように分類されます。

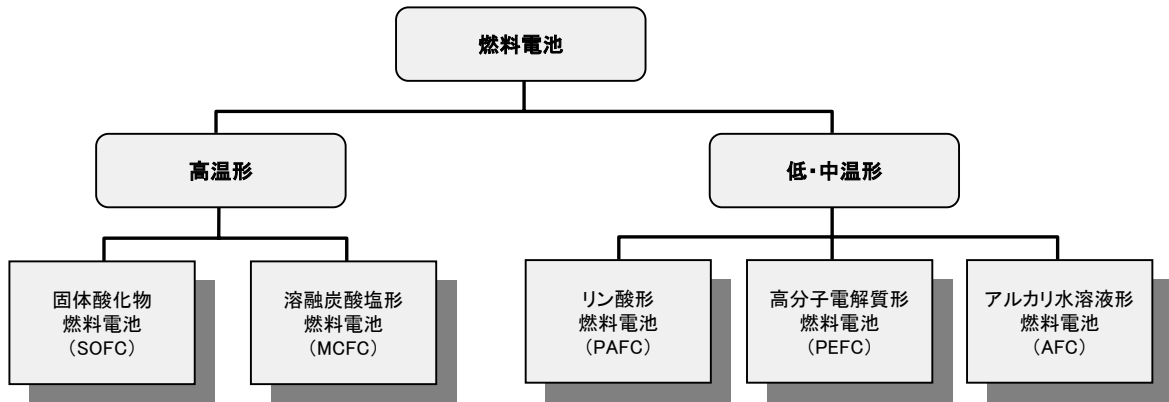


図 3-35 燃料電池の種類

表 3-41 燃料電池の種類と特徴

種類	概要	課題
高温形 固体酸化物 形燃料電池 (SOFC)	- 電解質としてイットリア安定化ジルコニアなどの酸化物イオン伝導性固体電解質を用いる。 - 将来の電気事業用発電方式の有力な候補 - 水素だけでなく一酸化炭素も燃料として使用可能 - 高温で動作するので、電極の反応が早く、白金（プラチナ）等の高価な貴金属を使う触媒を必要としない。 - 高温の排熱を利用できる。 - 電解質が固体なので、こぼれたりすることがない。	- セル構造 - 耐熱材料 - 電解質の薄膜化 - サーマルサイクルに対する耐久性
高温形 熔融炭酸塩 形燃料電池 (MCFC)	- 熔融状態にある炭酸塩を電解質として使い、その中の炭酸イオンの移動を利用して電池反応を行う - 白金などの高価な電極触媒が不要で、貴金属がなくても活発に反応 - 使用可能な燃料の幅が広い。石炭ガス、天然ガスが使える。 - 燃料改質装置がコンパクトで安価 - 内部改質が可能。天然ガス、ナフサ、メタノールなどを燃料に使うと内部改質が可能となる。 - 発電効率が低い。45～55%の発電効率が期待できる。 - 排熱温が高い。高熱の排熱は、暖房などの熱源以外にも、蒸気タービンなどの熱源として利用できる。 - 二酸化炭素の濃縮が可能	- 構成材料の腐食・耐熱化 - CO₂ の循環系など要素技術の開発、熱収支、ボトミングサイクルを考慮したシステム解析

低温形 リン酸形燃料電池 (PCFC)	- リン酸塩水溶液を電解質とする - オンサイト形燃料電池（4万時間以上の運転可能）として、すでに実用段階に入っている。	- 安価な触媒の開発あるいは白金使用量の低減 - 発電システム全般にわたる長寿命化、低コスト化
低温形 高分子電解質形燃料電池 (PEFC)	- 常温で作動し、固体の高分子膜の中をプロトン（陽子）が動く燃料電池 - 自動車のエンジンに代わるものとして期待 - 電解質の散逸の心配がない。 - 常温で起動するため、起動時間が短い - 作動温度が低いため、電池を構成する材料の制約が少ない。 - 小型軽量化が可能 - 電極が非常に薄いため、貴金属の使用量が少なく、コスト的に有利	- 燃料、酸化剤中のCO₂による電解液劣化 - 水・熱収支の制御 - 純水素燃料利用技術の実現

① 固体酸化物形燃料電池（SOFC）

固体酸化物形燃料電池（SOFC:Solid Oxide Fuel Cell）は、電解質としてイットリア安定化ジルコニアなどの酸化物イオン伝導性固体電解質を用いる燃料電池であり、将来の電気事業用発電方式の有力な候補として期待されています。

この燃料電池は、電解質の両面に多孔性電極を取り付け、これを隔壁として一方に酸素等の還元剤、他方に空気などの酸化剤を供給し約 1,000℃で動作します。主な特徴は以下のとおりです。

- 水素だけでなく、一酸化炭素も燃料として使用できる。
- 1,000℃という高温で動作するので、電極の反応が早く、白金（プラチナ）等の高価な貴金属を使う触媒を必要としない。メタンなどを内部で改質することができる。
- 高温の排熱を利用できる。
- 電解質が固体なので、こぼれたりすることがない。
- 全固体であるので、材料の選定によって信頼性が大きくなる。

また、短所としては、

- セラミックが主な材料なので、熱によって破壊されやすい。
- 高温で動作するため、材料の選択の幅が狭い。また、起動・停止に長時間を要する。などが挙げられます。

② 熔融炭酸塩形燃料電池（MCFC）

熔融炭酸塩形燃料電池（MCFC:Molten Carbonate Fuel Cell）は、熔融状態にある炭酸塩を電解質として使い、その中の炭酸イオンの移動を利用して電池反応を行う燃料電池です。電池が作動するためには、炭酸塩を溶かさなければならないため、炭酸塩の融点以上の温度が必要で、運転温度は 600～700℃となります。主な特徴は以下のとおりです。

- 白金などの高価な電極触媒が不要で、貴金属がなくても活発に反応する。
- 使用可能な燃料の幅が広い。石炭ガス、天然ガスが使える。
- 燃料改質装置がコンパクトで安価

- ・ 内部改質が可能。天然ガス、ナフサ、メタノールなどを燃料に使うと内部改質が可能となる。
- ・ 発電効率が低い。45～55%の発電効率が期待できる。
- ・ 排熱温が高い。高熱の排熱は、暖房などの熱源以外にも、蒸気タービンなどの熱源として利用できる。
- ・ 二酸化炭素の濃縮が可能

③ リン酸形燃料電池（PCFC）

リン酸形燃料電池（PCFC:Phosphoric Acid Fuel Cell）は、リン酸塩水溶液を電解質とする燃料電池であり、オンサイト形燃料電池（4万時間以上の運転可能）として、すでに実用段階に入っています。しかし、製造コスト、メンテナンスコスト等の経済性が今後の課題として残されています。

④ 高分子電解質形燃料電池（PEFC）

高分子電解質形燃料電池（PEFC:Polymer Electrolyte Fuel Cell）は、常温（100℃以下）で作動し、固体の高分子膜の中をプロトン（陽子）が動く燃料電池であり、自動車のエンジンに代わるものとして、世界的に盛んに研究開発されています。

主な特徴は以下のとおりです。

- ・ 電解質の散逸の心配がない。
- ・ 常温で起動するため、起動時間が短い。
- ・ 作動温度が低いため、電池を構成する材料の制約が少ない。
- ・ 小型軽量化が可能。
- ・ 電極が非常に薄いため、貴金属の使用量が少なく、コスト的に有利。

また、短所としては、

- ・ 燃料中の一酸化炭素の含有率が10ppm以上だと電池の性能に影響するので改質条件が難しい。
 - ・ プロトンの移動に水分が必要で、電池内の水分管理が難しい。
- などが挙げられます。

⑤ その他

そのほかに、「アルカリ水溶液形燃料電池」もあります。これは室温～100℃で作動する燃料電池で、実用化の域に達しています。

この燃料電池は、比較的低温で起動、運転ができるといった利点を有する反面、電解質としてアルカリ水溶液を使用するため、二酸化炭素（CO₂）を吸収して炭酸イオンが生成し、これが多量になると電池性能が低下するという欠点があります。

このため、改質したガスのようにCO₂を含む燃料を使用した場合や、空気の酸化剤に用いる場合に、CO₂の除去方法が課題となるが、宇宙開発電源のように純酸素を酸化剤として用いる場合には有効な燃料電池です。

(3) 燃料電池の市場規模

① 固体高分子形燃料電池（PEFC）

固体高分子形燃料電池は、前述の家庭用燃料電池市場での1,800億円のうち450億円は、固体酸化物形燃料電池と予測されることから、差し引きで1,350億円、自動車用燃料電池は500億円、また業務用燃料電池は今後もその伸びが期待され、約2,300億円、国内市場では1,640億円と見られます。さらに、次項②のカシオ計算機のマイクロリアクター燃料電池市場である約60億円を加算すれば、平成22年同国内市場は1,700億円と予測されます。

② メタノール直接形燃料電池（DMFC）

ダイレクト・メタノール型燃料電池は、日本では家電メーカーを中心に、5社が開発中であり、各社共に平成18～19年の商品化をメドにしています。

携帯機器用燃料電池市場が、ほぼDMFCとなりますが、カシオ計算機はマイクロリアクターと呼ばれる小型の改質器を利用した小型燃料電池であるため、DMFCとは区分します。

携帯機器用燃料電池は、平成22年の予想は400億円（世界市場）としましたが、DMFC市場に関しては平成22年には、その分を差し引いて、国内市場は180億円と予測されます。

③ 固体酸化物形燃料電池（SOFC）

固体酸化物形燃料電池は、国内では京セラ㈱が家庭用燃料電池を開発していますが、今後も1kWクラスの同タイプが登場し、国内市場は平成22年で250億円と見込みます。

その他は、事業用燃料電池市場となります。同市場は、固体酸化物形燃料電池の試作機も出ていますが、固体高分子形燃料電池市場も参入するため、伸びは著しくなく平成22年では約100億円と推定、合計で350億円と平成22年の世界市場を推測します。

④ 熔融炭酸塩形燃料電池（MCFC）

熔融炭酸塩形燃料電池の参入企業は、国内においては、石川島播磨重工業㈱と丸紅㈱（販売）の2社と見られます。燃料として多様で、工場などに納入実績はあるが、これからの市場であり、事業用燃料電池です。現在1kW当り百万円（工事費込み）程度ですが、平成22年の国内市場は240億円と予測されます。

⑤ リン酸形燃料電池（PAFC）

リン酸形燃料電池の参入企業は、現在のところ国内では、富士電機システムズ㈱と東芝燃料電池システム㈱の2社です。開発時期は古いですが、納入実績はフィールドテストなどによるものが多く、現状では年間10台程度（国内市場）で、業務用燃料電池です。

現在1kW当り70万円程度（工事費込み）ですが、平成22年には、全体で120億円と同国内市場を予測します。

(4) 定置用燃料電池の動向と将来の展望

① 家庭用燃料電池の現状

日本の家庭用固体高分子形燃料電池は、出力 1 kW 程度を基準（欧米は 5 kW 程度が基準）として、東京ガスは平成 17 年 3 月に商品化、大阪ガスは平成 18 年 3 月の商品化を進めています。家庭用固体高分子形燃料電池は電気と熱利用のコージェネレーションシステムが標準仕様であり、家庭用固体高分子形燃料電池システムは改質器、燃料電池本体のスタック熱回収システム（給湯等に利用）から成り立っています。

既存燃料インフラを利用するため燃料として都市部では都市ガス、地方では L P G や灯油等が使用されることになります。

家庭固体高分子形燃料電池の普及で最も恩恵を受けるのが都市ガス会社や L P G 等の石油会社です。東京ガス㈱や大阪ガス㈱等のガス会社は石炭ガス等のガス分解触媒技術の過去の蓄積があり、新日本石油㈱やコスモ石油㈱等の石油会社は石油分解触媒の技術の過去の蓄積があります。燃料販売促進のため、ガス会社は都市ガス改質器、石油会社は L P G や灯油の改質器を開発し、家庭用固体高分子形燃料電池システム開発の推進役となっています。

その一方で、固体高分子形燃料電池本体のメーカーは松下電器産業㈱や三洋電機㈱などの家電メーカーやトヨタ自動車㈱の自動車メーカー、㈱荏原製作所など海外メーカーとの提携や輸入商社、松下電工㈱の住宅機器メーカーなど様々です。

家庭用固体高分子形燃料電池が広く普及するためには規格が必要になってきますが、日本ガス協会は N E D O の要請をうけて規格作成のための家庭用固体高分子形燃料電池の評価試験を平成 13 年度から毎年度区切りで実施し、評価結果は N E D O から報告書が提出されています。

大阪ガス㈱等は、ガス供給区域での家庭用固体高分子形燃料電池システムの平成 18 年 3 月の普及にむけて、各燃料電池メーカーの選定のための実用化試験を各メーカーに依頼・実施しています。

新日本石油㈱は、自社の改質器をもとに家庭用固体高分子形燃料電池システムをメーカーに O E M（委託生産）し、平成 15 年 2 月にモニター試験を開始し、さらに平成 15 年 4 月から 100 件程度のモニター試験を実施しています。

このように家庭用固体高分子形燃料電池システムは燃料メーカー主導で大きく動き始めていますが、やはり高コストが大きな課題です。家庭用固体高分子形燃料電池は、試作段階であるため値段が正確ではありませんが、1 kW 級で 1,000 万円／台や 500 万円／台などと言われています。当面の普及時の目標価格は 50 万円／台とされ、最終的には 30 万円／台との声が強くあります。

家庭用固体高分子形燃料電池の場合でも、多くの部品から構成され 1 社だけですべて開発することは不可能です。このため、官主導で進められてきた家庭用固体高分子形燃料電池システムの目標価格はともかく最終価格の予想は困難です。

家庭用固体高分子形燃料電池は、固体高分子形燃料電池の中で最も実用化が近いと期待されていましたが、固体高分子形燃料電池システムの普及を決めるのは最終的には消費者です。企業の思惑とは別に家庭用固体高分子形燃料電池システムは消費者にどのようなメ

リットがあるかとなると疑問点が多くあります。

一般家庭では平日の昼間は電力消費量が少なく常識的には燃料電池システムは動かしにくい。夕方または夜間の風呂となるとお湯をためる時間がかかり、意外と燃料電池にふりまわされ、面倒が増える可能性があります。しかも節約効果は約2割です。ただ、燃料が残飯・草などでメタンを発生させるなど、燃料がタダの発電や給湯であれば消費者に非常に大きなメリットとなり、リサイクルの点で理想的となります。

いずれにしても今後販売価格と消費者がどのような判断を下すかは今後5年～10年で家庭用固体高分子形燃料電池システムの輪郭がはっきりすると思われます。なお、京セラは、固体酸化物形燃料電池（SOFC）1kW級を、平成17年度を目標として開発を進めています。



図 3-36 東京ガスが平成17年春より販売を開始した家庭用定置式燃料電池

② 家庭用燃料電池の今後と課題

家庭用燃料電池の課題は、耐久性と高コストです。耐久性については、最も長い運転時間に達しているとされる荏原バラードでも数千時間という段階です。コストについては原価に近いとされる日本ガス協会への納入価格がシステム全体で約2,000万円で、一桁違いの飛躍が求められます。その2つの課題を克服できる有望な革新技术は、現状では見当たりません。

商品化競争で先行した企業は、現状の技術の改良を加えることで、少しでも求められる性能に近づけたとしています。これに対して日立製作所や三菱重工業は、先行企業と異なった開発戦略を探っています。両社は商品化競争で出遅れたために、発想を転換した設計思想で逆転を狙っています。

例えば、三菱重工業では現状のタイプの燃料電池で4万時間の耐久性を持たせるのは困難としていますが、平成17年度の発売を予定しています。耐久性の課題は、燃料電池本体を定期的に交換することで、解決しようとしています。また、交換した部分は再生して使

用できるために、保守費用は年間で1万円程度といわれています。

日立製作所では、家庭用燃料電池の開発を始めるにあたり、原材料の原価を洗い出しました。現状の燃料電池材料では、普及価格は下げられないと判断し、最大のコストの要因でもあった燃料電池内のセルを挟む炭素製のセパレータの代わりに、特殊な表面処理を施した金属製のセパレータを開発しています。成型しやすい金属製なら製造コストが1/100になります。また、フッ素などの高価な材料の代わりに、製造工程が簡単で廃棄処理もしやすい芳香族系エンジニアリングプラスチックを原料とする炭化水素系材質を採用した、電解質膜を開発しました。これによって製造コストを大幅に削減できます。

このように、荏原バラードや松下電器などが、既存の燃料電池技術を平成17年3月に照準を合わせているのに対して、三菱重工業や日立製作所は次世代型に照準を合わせています。なお、京セラは固体酸化物形燃料電池（SOFC）で平成17年度の商品化をメドに開発を進めており、上記メーカーとは戦略を異にしています。

(5) 水素製造技術

水素は二次エネルギーであって、その製造には何らかの一次エネルギーが必要です。

① 概説

水素製造方法には、研究開発段階のものも含め、次のようなものがあります。

1)化石資源からの水素製造

炭化水素（石油、天然ガス）の水蒸気改質

メタノール（天然ガスから製造する）の分解

2)水の電気分解

- ・ 水の電気分解
- ・ 太陽電池との組み合わせ

3)水の直接分解

- ・ 光触媒を用いる方法（酸化チタンを用い、水の光分解で水素を発生させる）
- ・ 微生物による水の分解

4)熱化学サイクルによる水の分解

5)未利用有機資源（バイオマス）、有機性廃棄物からの水素製造

- ・ 熱分解、水蒸気分解
- ・ 微生物による分解

上記のうち、水素を供給している主な方法は、化石燃料からの製造と水の電気分解です。そしてこれらに加えて、食塩電解（食塩を塩素と水酸化ナトリウムに分解する）からの副生水素、製鉄副生ガスからも水素が得られます。

現在行われている代表的な水素製造方法による水素コストは40～68円/N^mです。電気分解などに電力が必要であるなど、単純にコストは計算できませんが、将来的には軽減される可能性があります。ただし、現時点では都市ガス（約40円/N^m）等と比べ、まだ高い状況です。

② 天然ガスやガソリンから水素ガスをつくる「改質」について

家庭用や小型ビル用コージェネレーション等の定置型の高分子電解質形燃料電池（PEFC）は、燃料として水素そのものではなく、都市ガスとして多く用いられている天然ガス（メタン主成分）が主に燃料として用いられています。しかし、そのまま使用することはできず、メタノールやメタン、プロパン、ブタン等の燃料から水素ガスを製造しなければ燃料として使うことができません。このことを「改質」といいます。

改質は、排熱を利用できれば、「質」を高めて高い燃焼熱を得ることができます。そこでリン酸形燃料電池（200℃）、熔融炭酸塩形燃料電池（650℃）や固体酸化物形燃料電池（1,000℃）の活躍が期待されています。

また、燃料電池だけでなく、エンジンの排熱を利用したガソリンエンジン等への適用も考えられます。21世紀が「水素エネルギー」の世紀になるとすれば、水素を生み出す「改質」は重要な技術になり、水素エネルギー循環社会構築への第一歩になるものと期待されます。

表 3-42 改質による水素製造の特徴

原料	総合効率	備考
ガソリン	19/14	・ 供給インフラの整備度が高い ・ ガソリン中の硫黄、添加剤の除去が必要 ・ 改質が難しい
メタノール	15/11	・ 改質が比較的容易 ・ 合成時のエネルギー損失が大きい ・ 供給インフラ整備が必要
天然ガス	24/18	・ 都市ではある程度インフラが整備されつつある ・ 改質はメタノールに比較して難しい ・ エネルギー密度が低い
L P G	24/18	・ 自家用供給施設はある程度整備されているが、一般供給用としては整備が必要 ・ 天然ガスと同様の問題点

③ バイオマスからの水素製造

水素は、有機化合物の熱分解／ガス化製法によって、バイオマスからも得ることができます。バイオマスを準備する諸段階の中には、反応器（炉）の中でバイオマス／水の混合液を加圧下で高温に熱する処理があります。この処理によってバイオマスは分解され、部分的に酸化されて、水素、メタン、二酸化炭素、一酸化炭素、窒素からなるガスができます。

全体のシステムは、石炭のガス化施設と非常に良く似ていますが、バイオマスの事前処理と反応炉の形が異なります。バイオマスの単位量当たりのカロリー値は石炭と比べて低いので、バイオマスから水素を生産する処理施設は、それと同じ規模の石炭ガス化工場施設に比べて大きくなります。

④ 水素発酵菌による水素製造

稲わらなどの農産物の残滓、家畜の糞尿、間伐材や木くずなどは有機物の塊であるため、バイオマスとしての利用の動きが進んでいます。とりわけこれらを微生物などで分解して得られるガスを利用するための研究は盛んに行われています。最近では、複数の発酵様式を組み合わせ、メタンや水素などのバイオガスに効率よく転換する試みも始まっています。

特に畜産廃棄物のメタン発酵はプラント化されて稼働している設備も多くあります。しかし、分解率の点では問題が残されています。以下に、わが国で新しく開発された複合的な発酵システムにおける水素産生菌の利用について示します。

平成 16 年、産業技術研究所のエネルギー技術研究部門を中心としたグループは、水素・メタン二段発酵のシステムを開発しました。従来のメタン発酵では、廃液や汚泥中の有機物を分解するにとどまっていたものを、生ゴミや紙ごみのようにセルロースを含むゴミの分解も可能にし、なおかつ処理速度も大幅に向上させたものです。

この方式では、水素発酵の過程を前段に追加して、セルロースやデンプンを多く含む生ゴミ、紙ごみ、食品系廃棄物の分解からスタートしています。このように投入する廃棄物の種類を大幅に拡大しているにも関わらず、有機物のガス化率は従来の 60～65%から 80%へと向上して、最終的な処理残渣が少なくなるという結果が得られています。しかも、処理にかかる時間は、これまでの 25 日から 15 日へ劇的に短縮されました。また、エネルギー回収率の大幅な向上も期待されています。

このシステムの発酵技術上の特徴として注目されることは、単に水素発酵をメタン発酵の前段に置いただけではなく、水素発酵の段階において、多種類の微生物からなるマイクロフローラと呼ばれる微生物群を利用していることです。これによって他の生化学的分解を受け持つ微生物群と協同させることで、廃棄物の分解が促進され、かつ水素産生菌の活動状態が安定に保たれると考えられます。

このように、嫌気性が強いためにコントロールが難しかった水素発酵を安定して行わせて、メタン発酵とリンクした新しい発酵システムを構築する試みが始まっています。



図 3-37 生ゴミ系的高速メタン発酵の実験施設

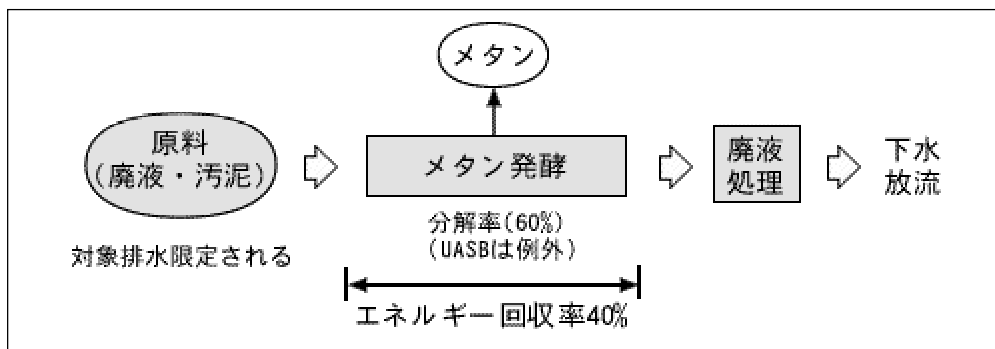


図 3-38 従来型のメタン発酵

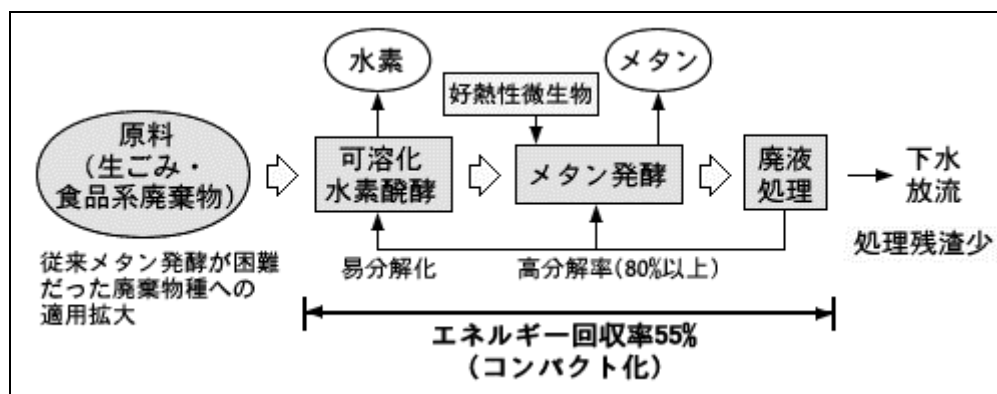


図 3-39 水素発酵を含む高速メタン発酵

⑤ イオン交換膜型水電解式

固体高分子電解質膜の使用で高純度でクリーンなガスが得られます。

- ・ 高圧ガス保安法の適用を受けない

ガス供給圧力は、100～300kPa であるため、高圧ガス保安法の適用を受けません。

- ・ 原料は純水のみ

電源と純水さえあれば、どこでもガスの供給が可能です。そのため、作業者はポンベの運搬や交換から解放されます。

- ・ 高い安全性

装置内での供給ガスの滞留は、ごくわずかであるため、安全性に優れています。ただし、水素ガスが滞留するような使用は避ける必要があります。

- ・ クリーンなガス

本装置内に採用しているイオン交換膜型水電解法は、電解質に固体電解質であるイオン交換膜を用いています。そのため、従来の装置のようにアルカリ性の電解質を用いることなく、純粋の水電解が可能です。そのことにより、クリーンなガスが得られることはもちろん、アルカリ廃液処理等の公害対策が一切不要となります。

- ・ 簡単操作

スイッチを ON するだけで、一定の圧力に制御されたガスがすぐに供給されます。

- ・メンテナンスフリー

クリーンなガスなので、配管やノズルの目詰まりがなく、面倒な電解槽の定期的清掃も不要です。



図 3-40 日本電池(株)の水素発生装置

(6) 水素貯蔵技術

① 概説

燃料電池では、どのエネルギーから水素をつくり、どう供給するかが大きな問題で、とくに、水素貯蔵方式の選択は、燃料電池車（FCEV）などの実用化に大きく影響します。

近い将来では、ガソリンなどの化石エネルギーを改質することが主流になると考えられます。現在これらについては、天然ガスメーカー、石油メーカー、プロパンの販売メーカー等の燃料供給メーカー、改質機器メーカー、燃料電池メーカー等が積極的に研究開発を進めています。

燃料は、エネルギー密度が高ければ、走行距離や運転時間はその密度に比例して長くなりますが、水素のような気体燃料と液体燃料では、一般的に気体燃料の方が、体積密度が低く、水素は気体燃料の中でも最もエネルギー密度が低い燃料です。ゆえに、燃料電池にとって水素は、コンパクトな貯蔵さえできればもっとも理想的な燃料といえます。

水素を貯蔵するための方法は、圧縮水素ガス、液体水素、水素吸蔵合金（MH）、炭素材吸着、化学反応触媒体といったさまざまな方法が考えられています。

さらに、超小型の高圧タンクも出現しており、水素吸蔵合金方式についても、最適なもの開発と、材料の選択が進められています。

② 大規模な地下貯蔵

将来の水素供給システムは、現在の天然ガス供給システムと同じ構造になると考えられます。洞穴、地下の帯水層、枯渇した石油・天然ガスの油田、採掘その他の活動によってできた人工の洞穴の中で水素を地下保存することは、技術的にも経済的にも実行可能です。

ただし、天然ガスの貯蔵システムに比べて、同じタイプ、同じエネルギー量の水素の貯蔵システムは、水素の単位体積当たりの熱発熱量が天然ガスと比較して1：3と低いため、費用が高くなります。また、年あたり1～3％と予想される作業ガスの損失の他に、水素を特に地下貯蔵するための技術的な問題がいまだ検討されていません。フランスやイギリスでは、洞穴等で水素を貯蔵している事例があります。

③ 地上加圧ガス貯蔵システム

加圧ガス貯蔵システムは、現在天然ガス業界でいろいろな規模、圧力範囲で使われています。圧力範囲は、標準圧力タンクから据え置き型高圧コンテナ、低圧球形コンテナまであります。

④ 自動車加圧用水素タンク

超軽量で、しかも強い、新しい合成素材が開発されたことによって、自動車に水素をためておくことができるようになり、200bar^{*}で水素を溜めておく圧力容器が開発されています。ダイムラー・ベンツの NECAR II の車で導入されています。

^{*}圧力の単位

1 バール (bar) = 1,000 ヘクトパスカル (hpa)

⑤ 液体水素の保存

液体水素の生産、すなわち水素の液化とは、エネルギー強化の製法で、液化水素のエネルギー量の約 1/3 に相当するエネルギーを必要とするのが特徴です。最新の液化法の研究は、エネルギーの必要量とコストを減らすことを目指して行われています。

例えば、磁気液化装置は、従来型の装置より小型化され、コストも低くなるのはもちろん、より高い生産効率を上げるものと期待されています。水素の液化と液体水素の使用は、宇宙旅行で使う場合のような、高い貯蔵密度で達成することが絶対に欠かせない場合に限って行われるのが一般的です。

⑥ 金属水素化合物を使った貯蔵

ある種の金属、合金を使えば水素は金属水素化合物を形成することがあり、その間には水素分子は分離して、金属や合金の結晶構造の内側に浸透し、効率的な水素の貯蔵ができます。

水素吸蔵合金は、水素分子は金属や合金と接触するとその金属表面に吸着するという性質を利用したものです。金属原子の間に水素原子が詰まった金属は、金属水酸化物になり、水素を放出するには、反対の過程を経ることになります。水素吸蔵合金には、LaNi₅ 系、Mg₂NiH₅ 系、VtiCr 系 などがありますが、水素充填密度（エネルギー密度）、充填のために必要なエネルギー、安全性、取り扱いの容易さ、経済性の点で、それぞれの方法には一長一短があります。

水素化物を作る物質の中に水素を貯蔵する利点は、安全面にあります。水素化物のタンクに、衝突によって引き起こされることがあるような深刻な損傷が生じた場合、水素は金属原子の結晶の格子構造の中にたまった状態になっているため、火災などを引き起こすような危険はありません。

しかし、水素吸蔵金属の中に水素を貯蔵している間は、熱が放出されていて、この吸蔵反応を継続させるためには、この放出熱をこの反応系から除く必要があります。反対に、これと逆反応の水素を放出している間は、貯蔵タンクに熱を補給しなければなりません。

⑦ その他

「有機ハイドライド（デカリンハイウエー）」、「カーボンナノチューブ」、「錯体系水素化合物」などによる研究が進められています。

○炭素吸蔵剤による貯蔵

マサチューセッツ州、ボストンのノースイースタン大学では、重量比で 75%の水素を貯蔵できる炭素吸蔵剤を開発しました。この素材は、ある種のカーボンナノチューブまたはカーボンウィスカーらしく、目下いくつかの研究所で研究されています。

○ガラスの極小球による貯蔵

水素は、直径約 50 μm のガラスの極小球の中に備えることもできます。ガラスの極小球を熱して水素のガラスの透過性を高めることによりガラス球の中を水素で満たすことができます。水素を放出させるには、ガラス球を再び熱して水素のガラス透過性を高める必要があります。

○多重水素化物配位化合物による貯蔵

ハワイ大学では、多重水素化物配位化合物による水素貯蔵を研究しています。これまでに発見されている配位化合物は、不飽和炭化水素に水素を添加する可逆反応に触媒として働くことが知られています。この触媒反応は、7%以上の水素密度が得られる低音水素貯蔵システムの基礎となる可能性があります。

(7) 水素運搬等のインフラ

① パイプライン

水素のエネルギーシステムでは、水素が生産施設および貯蔵基地から消費者のもとへ、気体の水素の場合には地下を通るパイプラインで、液体水素の場合は超大型タンカーで搬送することを想定しています。

現在のところ、パイプラインを使った水素の輸送は、10km 以内の生産地と利用地をつなぐ手段、あるいは約 200km 範囲のさらに広いネットワークとして、使われています。カナダやヨーロッパでは、水素パイプラインがすでに整備されており、将来、確実に水素の流動率が改善され、パイプラインネットワークの距離が拡大されるように開発が進むと考えられます。

水素用のパイプラインには、特に純度 99.5%の非常に純度の高い水素の輸送管の場合には、加圧された水素による輸送管の脆化の影響を受けにくい鋼材を使わなければなりません。天然ガス用パイプラインで使われている、ピストンの往復運動で加圧しているコンプレッサーは、デザインを大幅に変えなくても、ほぼそのまま利用できます。しかし、水素が漏出しないようにするための管の継ぎ目や亀裂の密封補修、疲弊変形応力を受けやすい部品の材質の選択には特に注意が必要です。水素を送るのに遠心コンプレッサーを使うと、水素が特別に軽い分子であることから、問題の発生が多くなる傾向にあります。

一般に、パイプラインを通して水素を伝送するには、同じエネルギー生産高の天然ガスよりもパイプの直径を大きくし、圧縮圧力を大きくする必要があります。しかし、水素の場合は、圧力損失が低いために、再加圧ステーションまでの距離を2倍にしてもよいというメリットがあります。経済的な観点では、水素を大規模に伝送したときのコストは天然ガス伝送の場合の1.5倍から1.8倍になるという研究成果がほとんどですが、水素を1,000km以上の距離にわたって伝送するとなると、同じ距離を送電線で電気を送るのに比べて経済効率が良くなります。

② 耐圧円筒容器による運搬

水素を地域内に輸送分配するために、気体（および液体）水素の運搬車両は、公共の安全を保証するための厳しい規制を受けます。水素が気体であれ、液体の状態であれ、水素を必要時に使うユーザーや小口のユーザー向けに現在行われている方法は、断続的輸送法（パイプラインではなく、コンテナによる輸送）です。

気体の水素は、一般に道路輸送にあったフレームに合せて作られた耐圧円筒容器に入れて輸送されます。このようなフレーム又は骨材のユニットの容量は、3,000 m³ほどになります。水素ガス分配会社は、このようなフレームをユーザーの側にも設置し、据え置き型貯蔵容器としても使います。

しかし、断続的輸送のコストは非常に高く、生産コストの2～5倍になることもあります。将来のエネルギーシステムでは、水素の断続的輸送方式は、主にエネルギーとして使われない場合に係わる特殊なユーザー向け以外、ほとんど見られなくなるものと考えられます。



図 3-41 水素ポンベのトレーラーによる輸送

③ 液体で水素を輸送する方法

中規模の利用（1日あたり数千 m^3 ）に適しているのは、液体で水素を輸送する方法です。中規模の利用があると、水素を気体で輸送・配達しても、エネルギー量に対する体積が大きすぎるので、実際には見合わないと考えられます。

液体水素は、二重層の真空タンクで輸送されます。タンクの断熱材の材質は、液体水素を数日間断熱保管できるようになっており、タンクの容量が 60 m^3 （気体の水素では 5,000 m^3 に相当）までのものであれば、セミ・トレーラ型タンクローリーあるいは鉄道貨車に設置できます。液体水素は、配達した場所で、ポンプを使わず、気化に必要な温度を調整しながら気体に戻すのが特徴です。



図 3-42 液体水素輸送タンクローリー

ヨーロッパとカナダの共同プロジェクトでは、液体水素を大量に海外輸送することを含め、水素エネルギーシステムの技術的、経済的研究を行っています。水素は、3,000 m^3 のタンクを5基整備し、合計 15,000 m^3 積載する、長さ 180m のタンカーで輸送されることになると予想されています。

④ 水素供給ステーション

国内において、水素供給ステーションとして下記の5箇所で整備が行われています。

このうち、平成15年3月にオープンした横浜市大黒町の水素ステーションは、硫黄分 1 ppm 以下のガソリンを原材料に、水蒸気改質で水素を生成するオンサイト方式であり、CO 除去と水素の高純度には PSA が採用されています。

水素製造能力は 30N m^3/h 、水素の純度は 99.99%、20Mpa 及び 40Mpa の圧縮水素ガスをそれぞれ 936N m^3 、および 1280N m^3 蓄圧器に貯蔵することができます。この水素ステーションは、連続して5台の燃料電池自動車に 35Mpa の圧縮水素ガスを充填する能力を持っています。また、同ステーションには走行実験に使う燃料電池自動車を収納するための車庫が併設されており、JHFC のベース基地としての役割を果たすことになっています。

表 3-43 既設の水素供給ステーション

所在地	水素製造プロセスと原燃料
横浜市鶴見区大黒町	脱硫ガソリン改質型（コスモ石油）
横浜市旭区白根町	ナフサ改質型（新日本石油）
東京都荒川区南千住	L P ガス改質型（東京ガス、日本酸素）
川崎市川崎区小島町	メタノール改質型（ジャパン・エア・ガシズ）
東京都江東区有明	製鉄所の石炭コークス炉ガスからの水素抽出で液体水素貯蔵型



図 3-43 水素ステーション（東京南千住）

(8) 規制等による課題の整理

水素社会を形成していく上で、その実現の障害となる課題には、コストや特許、規制等が挙げられますが、このうち、規制に関する事項を以下に整理しました。

○平成 14 年末

	根拠法	項目	所轄官庁
自動車	道路運送車両法	・燃料電池自動車が公道走行する場合、国土交通大臣の認定が必要であるが、①届出内容の明確化、手続きの明確化・簡素化、②認定を受けた燃料電池自動車の第三者譲渡	国土交通省
	道路法	・水底トンネル等の通行規制に関して、制限の要件が不明確であるが、①通行制限範囲の明確化、②国土交通大臣の認定を受けた燃料電池自動車の通行の可否	国土交通省
	該当法令なし	・燃料電池自動車の①地下駐車場等への進入制限範囲の明確化、②国土交通大臣の認定を受けた燃料電池自動車の通行の可否	—
	高压ガス保安法	・燃料電池自動車を外国から日本に持ち込む際、車体から燃料容器を取り外さないでの検査	経済産業省
水素	高压ガス保安法	・移動式水素供給設備にかかる保安統括者等について敷地所有者側での選任・常駐の要否の明確化	経済産業省

○平成 16 年中

	根拠法	項目	所轄官庁
自動車	道路法	・燃料電池自動車の水底トンネル等の通行制限について、通行制限される積載水素数量の緩和	国土交通省
	高压ガス保安法	・水素燃料用容器の例示基準がなく、容器の形式毎の検査が複雑で、手続き等が負担となっているが、①圧縮天然ガス自動車と同様の容器例示基準化に必要なデータ取得項目の明確化、②例示基準作成事業の円滑化のための協力	経済産業省
		・水素燃料容器用バルブの耐圧試験基準が、諸外国に比べて厳しいが、国際調和の観点を踏まえ、圧縮天然ガス並みの試験圧力への見直し	
		・水素燃料用容器に関する複合容器に関して、①高压化及び容器容量拡大のために必要な試験データ取得項目の明確化、②例示基準策定事業の円滑化のための協力	
		・高压容器の再検査実施期間については、道路運送車両法による自動車の検査周期（車検期間）と異なるが、①再検査の周期を車検期間に合わせることで、②車載状態での検査を可能にすること	
	道路運送車両法	・燃料電池自動車に係る車両適合基準の策定による型式認定制度の整備	国土交通省
	消防法	・燃料電池自動車の地下駐車場等への進入制限について、地下駐車場等の消火設備対応も含め、燃料電池自動車の地下駐車場への進入制限の緩和	総務省

	根拠法	項目	所轄官庁
水素インフラ	高圧ガス保安法	・水素供給スタンド設置に関する保安距離確保のため、用地の制限が大きい。	経済産業省
		・水素供給スタンドにおける保安統括者等の選任・常駐義務について、圧縮天然ガス並みへの見直し	
		・水素供給スタンドの漏れ検知手段について、付臭剤以外の漏れ検知装置による代替手段の採用（付臭剤を必要とする）	
		・移動式水素供給設備から車両への水素の充填は、高圧ガスの製造許可を受けた事業所内及び予め都道府県知事へ届出た場所に限定されているが、燃料切れへの応急措置等が可能となるような充填可能場所の要件の明確化	
		・移動式充填設備の繊維強化プラスチック複合容器について、①高圧化のために必要な試験データ取得項目の明確化、②例示基準作成時業の円滑化のための協力	
		・液化ガス輸送容器の充填率の上限の欧米並みへの見直し	
		・水素供給スタンドの保安検査の検査周期が1年であり、メンテナンスコストが増大することから、検査周期の延長	
定置用	建築基準法	・水素供給スタンド等の可燃性ガス及び圧縮ガスの製造を行う建築物は、工業地域、工業専用地域以外に建設できないが、圧縮天然ガススタンド並みの見直し（準工業地域、商業地域、近隣商業地域、準住居地域、第2種住居地域、第1種住居地域での建設を可能にする）	国土交通省
		・用途地域毎に水素貯蔵量の制限があり、市街地にスタンドを建設する場合、小規模にならざるを得ないが、制限数量の増加見直しの可否	
	道路法	・完成車両運送（トレーラー）について、水底トンネル等の通行制限があるが、①指定トンネルの削減、②搭載水素の制限数量の増加	総務省
	消防法	・水素スタンド等を設置する場合、ガソリンスタンドとの併設は認められていないが、圧縮天然ガススタンドと同等な基準での併設への見直し	
定置用	電気事業法	・家庭用燃料電池は現状自家用電気工作物扱いとなるため、保安規定の届出、電気主任技術者の選任の義務が発生するが、小出力発電設備（一般用電気工作物）に位置付け、保安規定届出及び電気主任技術者の選任の不要化	経済産業省
		・家庭用燃料電池の運転停止時に可燃性ガス滞留防止のため、不活性ガス（窒素等）による可燃性ガスの置換（パージ）義務があるが、窒素パージの不要化	
	消防法	・家庭用燃料電池が発電設備に該当、あるいは内燃機関に準ずるものとされた場合、消防長への設置届出が必要であるが、設置届出の不要化	総務省
		・家庭用燃料電池が発電設備に該当、あるいは内燃機関に準ずるものとされた場合、建築物からの離隔距離を取る必要があるが、必要な離隔距離の縮小	
		・家庭用燃料電池の改質器に逆火防止装置を設置する必要があるが、逆火防止装置の不要化	

(9) 須坂市への燃料電池導入プロジェクト案

① 水素貯蔵・輸送及び副生CO₂封じ込め（プロジェクト案1）

企業を中心とした燃料電池や水素に関する技術開発、行政が主体となったそれらの実証実験のサイト提供は、全国各地で展開中です。これらの中で、比較的疎かになっているのが、水素そのものの貯蔵と運搬、化石燃料（石油、天然ガス等）からの改質によって水素を得る場合に生じる副産物としてのCO₂の処理です。

須坂市は天然ガスパイプラインが貫通し、実証実験のための環境にも恵まれた地域です。

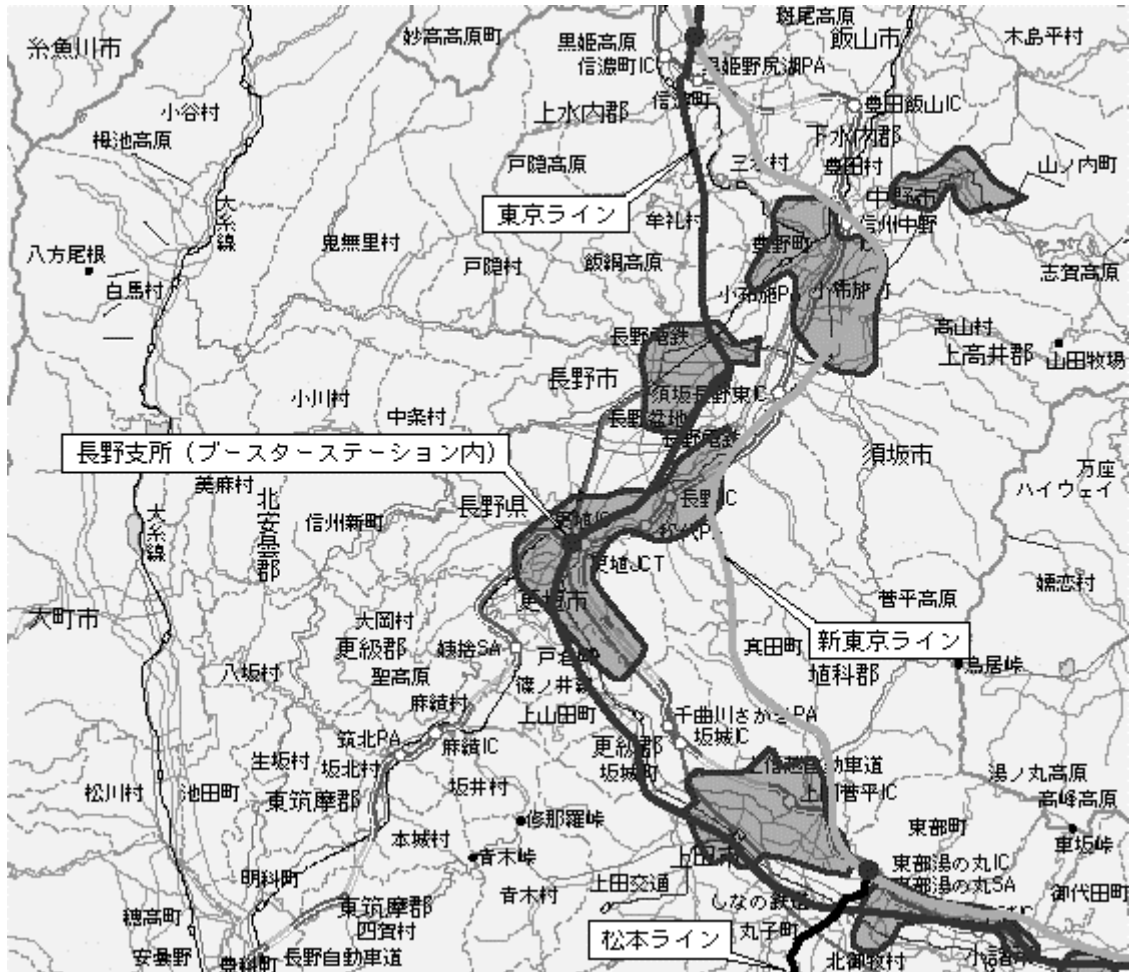


図 3-44 帝国石油(株)の天然ガスパイプラインマップ

天然ガスを改質して得られる水素の貯蔵技術、運搬技術、副生CO₂封じ込め技術を中心とした実証実験と将来的な燃料電池マイクログリッド導入を検討します。

○関連技術及び事業サイトの基礎調査

想定するサイトの自然特性、社会特性、それらの特性に応じた水素製造、燃料電池関連技術、水素貯蔵・運搬技術、CO₂封じ込め技術等の基礎調査を行います。とくに、新規の技術にあたる下記の事項については、詳細な調査を行います。

1) 水素貯蔵技術

水素吸蔵合金、有機ハイドライド、カーボンナノチューブ、錯体系水素化合物、圧縮ガスタンク、液化水素タンクについての動向調査を行う。また、併せて、燃料電池から得られた電力を蓄電する技術 [NaS 電池、キャパシタ、フライホイール（回転エネルギーによる）等] についての動向調査を行う。

2) 水素運搬等のインフラ

高圧タンクボンベ、タンクローリー、パイプライン、水素ステーション、現在の天然ガスパイプラインを利用したハイタン（天然ガスと水素の混合物）などの輸送方法等の動向調査を行う。

3) CO₂ 封じ込め技術

CO₂ の地中封じ込め、化学的回収、生物的固定化技術など。長岡市等で鉱工業的（ガス田、油田跡）な手法が実証実験されているので、植物による生物固定と農業振興についての検討を行う。諏訪東京理科大の谷教授（太陽光部会）らによる太陽光透過光合成促進フィルターなどを温室に使うなどのモデルが想定される。

② 峰の原SOFC積雪寒冷地FC実証実験（プロジェクト案2）

須坂市峰の原高原地区は、住民のほとんどがペンション経営者（約 70 軒）であるという他の地域とは異なる特色があります。もとより冷涼な気象の観光地であり、クリーンなイメージがあります。そこでCO₂ の排出が 30%ほど抑制されると言われる 1kW 級PEFC 燃料電池の多数機の並列もしくは事業用SOFCの導入を検討します。

ペンション群であるため、熱電併給としての熱需要が多いことも導入目的のひとつです。また、冬期に積雪により寸断される事情を考慮しても、非常用電源としての独立したエネルギー供給手段をもつことは大切なことです。

水素の供給源として、市街地のような天然ガスの改質ではなく、市内あるいは近郊で得られるバイオガスからの改質を想定します。バイオマスの利用可能量は以下のとおりです。

○果樹の剪定枝（農協へのヒアリング）

市内ですべて年間約 1,900 t の剪定枝が野焼きされているのが現状です。近隣の市町村からも収集できれば相当量を期待できます。果樹の剪定枝は街路樹のそれなどと比較して、カロリーが高く、通常の木質以外の利用方法、つまりメタン発酵によるバイオガスの製造も可能です。

表 3-44 須坂市内の果樹の剪定枝の利用可能量

果樹名	発生源単位 (kg/反)	市内作付け面積 (a)	市内発生量 (t)
リンゴ	300	48,259	1,436
ブドウ	100	33,058	328
モモ	100	10,110	100
ナシ	100	1,592	16
合計	—	93,019	1,880

※：1 反=0.992 a

○キノコ菌床

原料は、落葉樹、オガ粉、米糠^{ぬか}、ビール仕込み粕などで、市内だけで年間約 1,800 t もの菌床が処理に困って野積みされているのが現状です。主原料の成分にもよるが、メタン発酵も可能です。

表 3-45 須坂市内のキノコ菌床利用可能量

キノコ名	発生量 (t)
エノキ	737
ブナシメジ	986
ナメコ	55
合計	1,778

農協ヒアリング

バイオマス由来のガス利用可能な燃料電池としては、現在のところ、以下の 5 社 4 グループが対応しています。

表 3-46 バイオガスを原料として稼働する燃料電池

企業名【タイプ】	出力	市場参入時期	導入実績
関西電力㈱、 三菱マテリアル㈱ 【SOFC】	1～10kW	平成 19 年度 (予定)	—
石川島播磨重工㈱ 【MCFC】	300kW～7 MW	平成 17 年度	愛・地球博出展 (NEDO 館)
丸紅㈱〔販売〕 【MCFC】	250～2,000kW	平成 13 年度	国内累計 5 台 (福岡市下水道局、キリンビール取手工場など)
東芝燃料電池システム㈱ 【PAFC】	200kW	平成 10 年度	国内累計約 50 台 (横浜市下水道局、サッポロビール千葉工場、広島県にも 2 台実績あり)

とくに P E F C については、新エネルギー財団では平成 17 年度より「定置用燃料電池大規模実証事業」を展開しており、平成 17 年度第一期に 175 台の設置実績があります。

一例を挙げれば東京ガス株式会社は、都市ガスを燃料とする松下電器産業製の P E F C を 40 件設置しており、荏原製作所製の P E F C も 27 件設置していて、この事業の最大の設置事業者となっています。定格発電効率は 31%以上、定格総合効率は 71%以上とされています。設置を希望するものに対しては 2 年間以上のデータ取得に協力することを条件に新エネルギー財団から助成されます。第一期ではシステムメーカーから出る価格は 1 件当たり約 800 万円程度と推測され、そのうち 600 万円程度が助成され、設置事業者の負担分は 200 万円程度と見積られます。設置事業者は例えば東京ガスではこれを 10 年契約で、年

間 10 万円でリースする。750Wクラスのものでは6万円のリース契約を提示する設置業者もあります。

製造コストは今後も継続的に低下することを予想しており、それに伴って1件当たりの助成金も引き下げられます。経済産業省の目標では2008年には価格を120万円として商業ベースに乗せる方針です。この燃料電池大規模実証事業を活用すれば峰の原高原地区に燃料電池を導入することは十分可能であると考えられます。

峰の原高原地区に燃料電池を導入することのメリットは第一に、クリーンなイメージが自然の中にある観光地としてプラスとなることです。第二には、この事業で扱われるP E F Cでは発生する熱で給湯するシステムとなっていて、その有効利用が好ましいことです。貯湯器が湯で満杯となるとそれ以上の発電は停止し、燃料電池は自動的に止まるため、湯の利用が少ない一般家庭での利用では燃料電池が頻繁に停止することになります。現在の燃料電池は起動停止の繰り返しは寿命によくない影響を与えるとされています。

したがって、一般家庭より多めの湯の利用が想定されるペンションのようなところでの利用が好ましいと考えられます。また、1kWの燃料電池を複数台導入して並列運転し、効率の良い運用法を考えることなどは普及に向けて興味深い試みであり、採択される確立が高くなることが期待されます。メリットの第三は峰の原高原地区のペンションが地域的にまとまっていることです。燃料電池は業者のメンテナンスが必要であり、またこの事業を利用するとデータを習得し、提出するなどの作業が伴うので、地域的に設置者がまとまっていることは都合よいことです。

③ 「湯っ蔵んど」へのP A F C導入

須坂市仁礼地区には株式会社須坂健康福祉ランドの経営する「ふれあい健康センター湯っ蔵んど」があります。10種類16の風呂とサウナがある本格的な温泉施設で、燃料電池の導入に当たっては熱の有効利用が不可欠であるため、豊富なお湯に対する大きな熱利用が可能な「湯っ蔵んど」に燃料電池を導入することは魅力ある構想と考えられます。燃料電池としてはP A F C、M C F C、S O F Cなどが考えられますがP A F Cが最も実績があり、信頼性が高いと考えられます。

磷酸形燃料電池の要素技術、すなわちセル、改質器などは1990年代前半には既に確立しており、稼働率98%以上の実績や故障率年間2件以内などの実績があり、最近のシステムは40,000時間以上の耐久性があります。富士電機システムズのF P-100・磷酸形燃料電池は定格出力100kWでその熱出力は101Mcal/hで、定格出力時のガス消費量は21.6N m³/h(250kW)で発電効率は40%とされています。本体価格は4,500万円程度で、導入に際してはN E D O等の助成が期待されます。

他にも新エネルギー導入の助成によって自治体等が実施する場合にはその経費の1/2が補助されます。燃料としては剪定枝等のバイオマスより生じるメタンガスを主とし、都市ガスの配管を延長してバックアップ体制を講じる方式などが資源の有効活用の面から興味深いものとなっています。バイオマスの利用に関しては農水省関連の生物系特定産業技術研究支援センターからの資金援助の可能性もあります。この磷酸形燃料電池は、例えばビ

ール工場でビール製造に伴う有機性排水の嫌気性発酵（メタン発酵）によるバイオガスを燃料として利用された実績もあります。

須坂市には他に須坂温泉、常盤中学校、須坂小学校、臥竜公園、動物園、博物館など鎌田山ろくから臥竜山にかけて須坂市に関連した公共施設があり、太陽光発電などの新エネルギーの活用が期待されます。将来においてはこれらの地域とも結んで分散型の電力網、マイクログリッドの構築も検討します。その際に必要となる総合管理センターの設置場所としても適切と考えられます。

④ 共同開発プロジェクト

燃料電池は関連する技術分野が広く、強い社会的な要請もあるので、各種の用途開発を含め新産業と雇用を創出するものと考えられます。須坂市にもヒーターや圧力容器などの技術を有する会社があります。燃料電池システム全体の開発に関しては大手システムメーカーが既に力を入れていることもあって、参入は困難と考えられますが、補機と称する周辺関連機器、インバーター、ポンプ、水素発生装置等に関してはNEDOの事業の再委託を受ける可能性もあります。

また、PEFC燃料電池スタックの隔壁（セパレーター）は通常カーボンを高温状態で焼成してグラファイト化したものを切削して作られますが、信州大学知的クラスター事業において開発しているカーボンナノファイバー複合体を採用し、ホットプレス成形して安価で高性能の製品の開発計画も考えられます。

ノートパソコンその他の携帯機器に使うことを想定したマイクロ燃料電池DMFCも大手メーカーによって開発されており、25Wクラスまであります。その上となると家庭用の定置型PEFCです。

これら両者の中間はいわばミニ燃料電池とでも称すべきものと考えられますが、比較的未開拓のように思われます。岩谷産業などでは燃料電池自転車、燃料電池車椅子などを試作していますが、他にも開発の余地があるかもしれません。

小型燃料電池のメーカーとしては、ケミックス社があり、電池本体を購入できます。その他、信州大学でも燃料電池に関する照会が増えている状況に鑑み、工学部、繊維学部 of 隣接分野の教員で燃料電池研究会を立ち上げ、対応する構想が地域共同研究センターを中心に進行中です。

3.3.6 風力

(1) 風力の特徴

自然の風のエネルギーを風車により回転エネルギーに変換し、これにより発電機を回して電気エネルギーを取り出す発電システムを風力発電と呼んでいます。

風力発電は、風エネルギーの約 40%を電気エネルギーに変換できる比較的高率の良いシステムです。主要な機器は風を受ける羽（ブレード）、発電機、タワー、制御盤（電圧調整器、インバータ、コンバータなど）で構成されています。

一般に風は地上からの高さが高いほど強いことから、風車の高さもできるだけ高くした方が有利で、現在普及している定格出力が 500kW のプロペラ型でタワーの高さが約 50m、風車の直径は約 40m になります。大規模な風力発電を設置するには、その場所までの搬入道路があることや、近くに高圧送電線が通っているなどの条件を満たす必要があります。

日本では、安定した風力（平均風速 6 m/秒以上）の得られる、北海道・青森・秋田などの海岸部や沖縄の島々などで、440 基以上が稼動しています。

また、小型（20kW 以下）の風車は一般電気工作物の届け出が不要で、太陽光発電を組み合わせたハイブリッド方式もあり、公園などに設置する事で地域のシンボルとして利用でき、環境対策への取組みをアピールできます。

表 3-47 風力発電の特徴

風力発電の長所	風力発電の短所
1 エネルギー源が自然の風であるため、潜在的には広範囲に賦存していて、無尽蔵でクリーン（電気に変えるときにNO _x ・CO ₂ などの有害物質を出さない）なエネルギーです。	1 風向、風速によって発電量が左右されます。
2 大型の場合、新エネルギーの中でも発電単価が比較的安く、太陽光発電と違って一定以上の風速があればいつでも発電するため、風の強い地域であればコスト面でも有利な発電が期待できます。	2 羽の回転で起きる風切り音など騒音の懸念があります。
3 風を受ける羽（ブレード）には水平軸形風車（プロペラ形）、垂直軸形風車（サボニウス形、ダリウス形、ウインドミル形）などがあり、数百 W から数千 kW までの出力で、設置場所のニーズに応じた対応が可能です。公園などに設置する事で地域のシンボルとして利用でき、環境対策への取組みをアピールできます。	
4 建設期間が短期間で可能です。	



山形県立川町で導入されている各種風力発電機



湯っ蔵んどのハイブリッド型街路灯（風力 120W ソーラー85W）



湯っ蔵んどのハイブリッド型街路灯（風力 500W ソーラー106W）

図 3-45 風力発電の事例

ロータ	ブレード…………… 回転羽根、翼 ロータ軸…………… ブレードの回転軸 ハブ…………… ブレードの付け根をロータ軸に連結する部分
伝達系	動力伝達軸…………… ロータ回転を発電機に伝達する 増速機…………… ロータの回転数を発電機に必要な回転数に増速する歯車（ギア）装置
電気系	発電機…………… 回転エネルギーを電気エネルギーに変換する 電力変換装置…………… 直流、交流を変換する装置（インバーク、コンバータ） トランス…………… 系統からの電気、系統への電気の電圧を変換する装置 系統連携保護装置… 発電設備の異常、系統事故時などに発電設備を系統と切り離し、系統側の損傷を防ぐ保護装置
運転・制御系	出力制御…………… 風車出力を制御するピッチ制御あるいはストール制御 ヨー制御…………… ロータの向きを風向に追従させる ブレーキ装置…………… 台風時、点検時などにロータを停止させる
支持・構造系	ナセル…………… 伝達軸、増速機、発電機などを収納する部分 タワー…………… ロータ、ナセルを支える部分 基礎…………… タワーを支える基礎部分

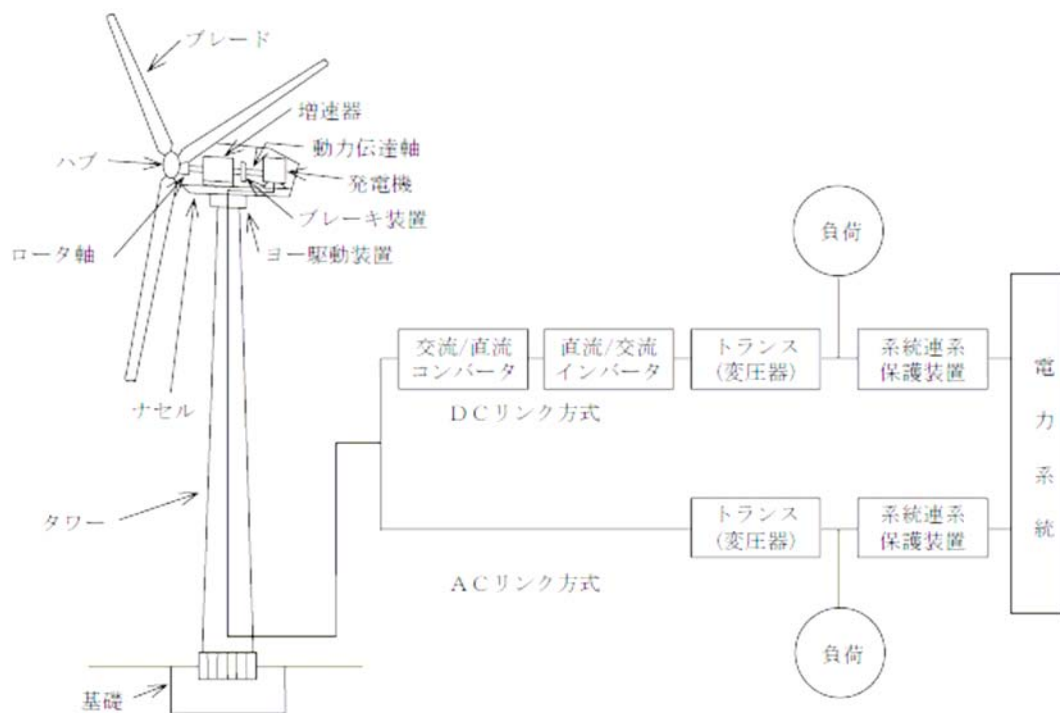


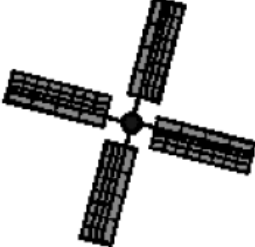
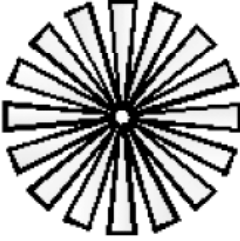
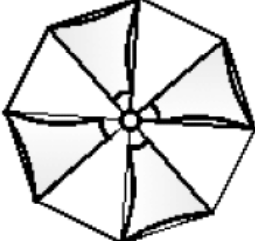
図 3-46 風力発電システムの構成

出典：風力発電導入ガイドブック（NEDO）

表 3-48 風車の種類

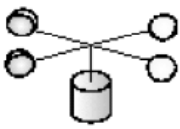
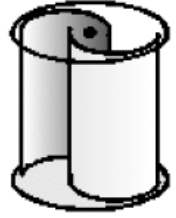
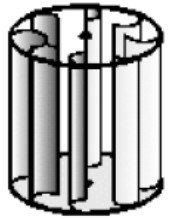
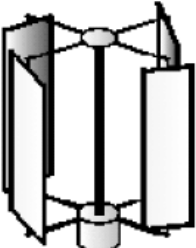
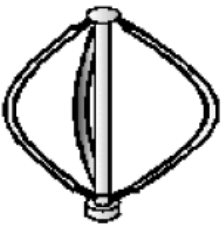
• 水平軸風車の種類

垂直軸風車に比べ一般に高回転ですが、風に対する方向の制御が必要です。

	プロペラ形風車 風車の最も多いタイプで、高速高効率回転のために1枚翼のものもあります。		オランダ形風車 ヨーロッパでよく使用されたタイプで、粉引きなどに利用されていました。
	多翼形風車 低速回転高トルク用で、プロペラ形と比べて羽が風の方向に平行に近くなっています。		セルウィング型風車 地中海地方で昔から使用されてきたタイプです。羽は帆を張って出来ています。

• 垂直軸風車の種類

方向の制御は必要ないですが、水平軸風車に比べ一般に低回転高トルクです。

	パドル形風車 風速計などでよく見られますが、このタイプは風速以上の速度で回転できません。		サボニウス形風車 羽が中心を越えているところが味噌です。起動する力は強いが、低速回転です。
	クロスフロー型風車 羽の形状によって揚力も利用できるタイプです。ただし低速回転用です。		ジャイロミル形風車 羽は翼形をしており、羽の取り付け角度を変えながら揚力を使って回転します。
	ダリウス形風車 羽の断面は翼状です。また羽のカーブは縄跳びをしているときの縄のカーブと同じです。		

出典：電気通信大学HP

(2) 須坂市における風力エネルギーの特徴

① 市域全体

風力発電のための風車を設置するには、風況のよい場所を確保することが前提となります。大型の風力発電の事業採算性を確保するためには、「年平均風速が地上高さ 30m の地点で 6 m/s 以上」がひとつの目安とされています。

下記の図・表は、須坂市全域の風況を示したものです。（500m メッシュごとの地上高 30m の年平均風速）これを見ると、市内の一部で風力発電に可能とされる年平均風速 4 m/s 以上（風力発電に適するのは風速 5 m/s 以上）の地域が見られます。

ここでは、これらの地域を有望地域としてメッシュ数、面積を計測しました。

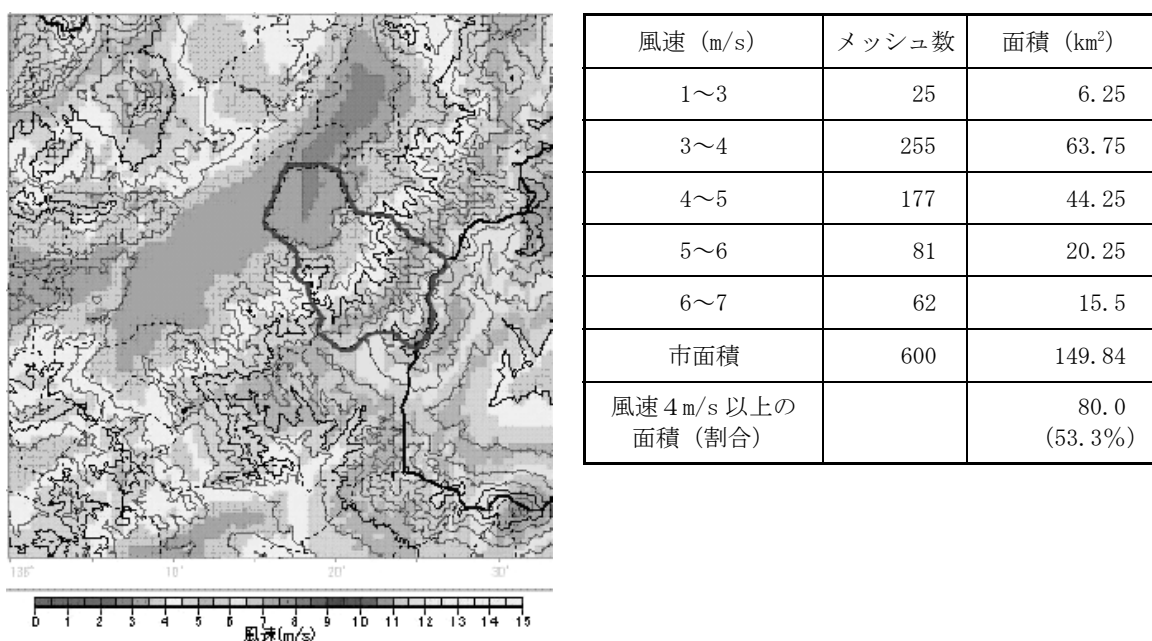


図 3-47 NEDO 風況マップ

表からも分かるように、市内は平均風速が 5 m/s 以下である地域がほとんど（75%以上）です。市内で風力発電を行う場合は、市街地から離れた山間部や高原などを調査して風の強い箇所を設定する必要があります。

② 市街地周辺・「湯っ蔵んど」

NEDOの局所風況マップによると市街地周辺の年平均風速は 3.1m/s 程度です。また、平成6～7年にかけて現在の「湯っ蔵んど」で実施された風況調査では、地上高 30m での推定平均風速は 3.2m/s であり、風力発電機による事業化は厳しい状況のため、小さな風力でも発電が可能な小型の風力発電機の適応が考えられます。

既に湯っ蔵んどの周辺道路などでは、太陽光発電との組み合わせによって安定的に電力を発生させるハイブリッド型の照明が導入されています。

経 度：138° 18' 57"
緯 度：36° 38' 9"
地上高：30m

年平均風速：3.1m/s

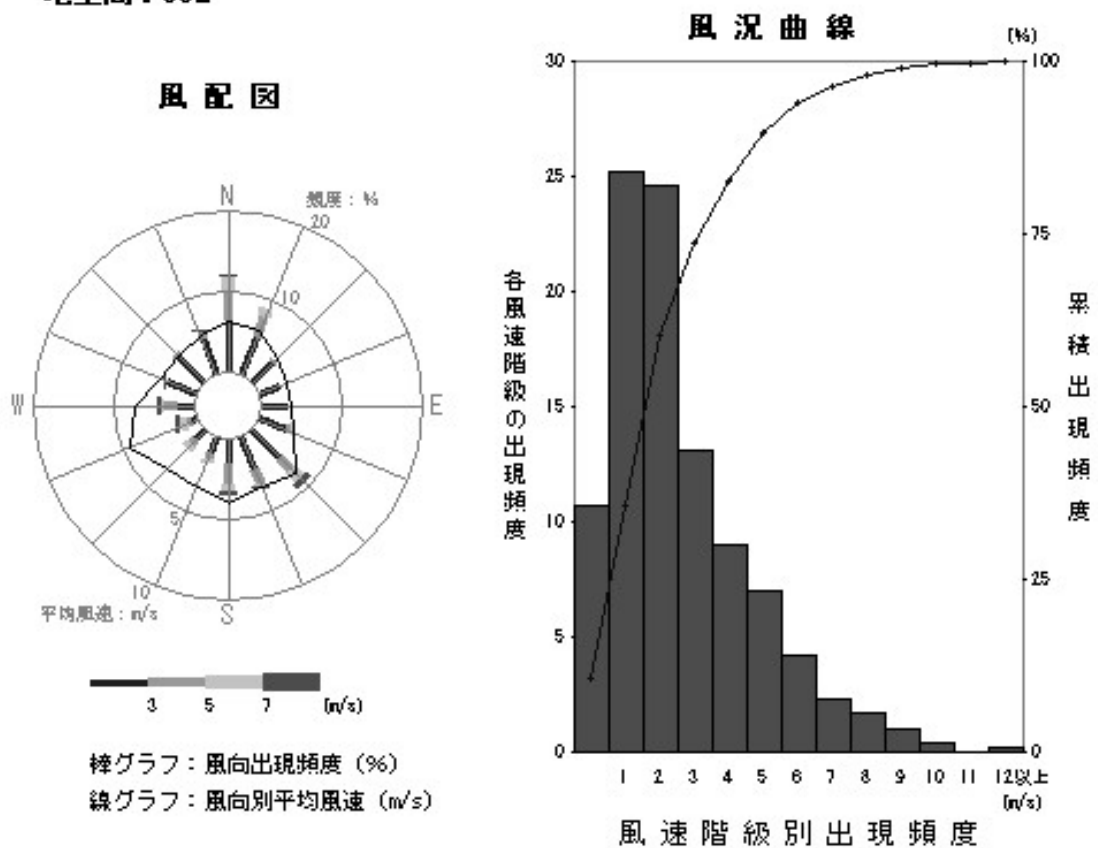


図 3-48 NEDO 市街地周辺の風況

③ 峰の原高原

峰の原高原は、風が強く、発電施設建設のための輸送路も確保できることなど、風力発電事業の適地であることから、平成 16 年より民間事業者による風況観測が実施され、事業化について検討されています。

平成 17 年に報告されたレポートでは、平均風速は 5.1m（地上高さ 30m）でした。

また、安定した発電などのために必要な風向についても、南北方向の風が卓越しており、東西に伸びる稜線の北側斜面に位置していることから、南北方向の風を複数の風車で受けて効率よく発電できる可能性が考えられます。

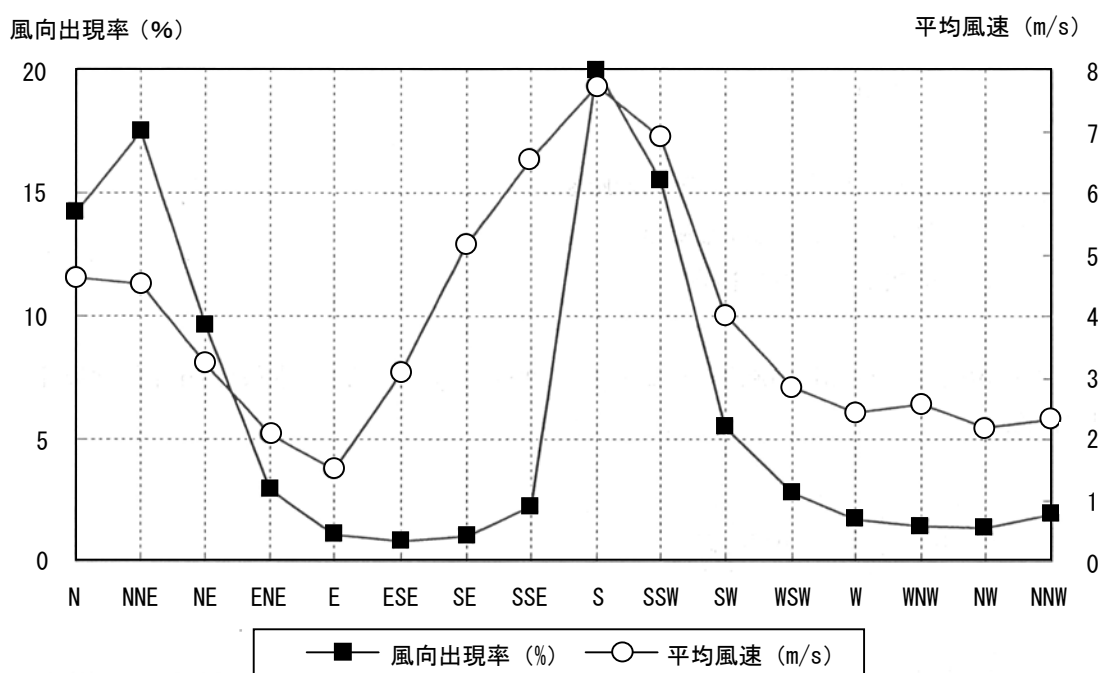


図 3-49 風向別平均風速と風向出現率（年間）

出典：長野県峰の原における風況精査(H17.8)
／株式会社カンエツ IPP ジャパン株式会社

(3) 技術動向等

① 日本の風土に合った風力発電設備の研究開発

国内で運用されている風力発電システムは、国際風力発電機設計基準によって設計製造されていますが、この設計基準は、デンマーク、ドイツ等の平地で変化の少ない土地で運用される風力発電システムを想定して作られたものです。

日本の国土は6割以上が山岳地等の複雑地であり、山岳地や海辺に立てられる事が多く、複雑地形から発生する強い風の乱れ、風向の頻繁な変化があり、それを原因とする風力発電の故障、損傷の例が多く報告されています。また、日本には世界で最も強力な台風の勢力下にあり、平成15年9月には、台風14号によって宮古島の風力発電機が、すべて破損または倒壊し大きな損害を受けました。

この様に日本の風力発電は、台風や複雑地形を原因とする世界でも厳しい自然環境条件下にあるため、欧州の環境条件を背景にした現在の国際設計基準は、日本での運用に不足しているといわれており、日本の環境に適合した風力発電機の設計基準の策定に向けた動きがあります。

② 市民風力発電の動き

市民風力発電は、市民団体、NPOなどが、行政と協力しながら風力発電設備を建設し、自分達の手でクリーンエネルギーをつくりだすものです。

日本では、北海道グリーンファンドによって、平成13年9月に北海道浜頓別町で運転が開始され、総事業費の約8割が市民出資によって賄われています。

北海道、山形、青森、北九州などで盛んですが、最近は千葉県の幕張地域などで発電事業者、風車メーカー、建設会社などと研究会を開いたり、市民風力発電をめざす試みも始まっています。

③ 燃料電池等との組み合わせ

風力発電は風まかせで発電を行うため、系統連携や蓄電池を用いて、必要な電力を安定して供給するシステムになっています。しかし、事業者への売電価格が安価であったり、蓄電池のメンテナンスなどが、事業として維持する際の大きな課題となっています。

そこで、余剰な発電量を蓄電池に貯める代わりに、風力で起こした電気で水を分解して水素を取り出し、その水素を貯蔵して燃料電池として利用するというシステムの開発が進められています。稚内市では環境省からモデル事業の指定を受け、平成17年度から3年間

で進める「環境最先端のまちづくり事業」で、最大で1時間1,600ℓの水素を発生させ、32.5 m³を貯蔵できる装置と、毎時4.8kWの出力を持つ燃料電池などで構成し、公園にある市の風力発電施設を利用して水素を作るシステムの検証を行っています。

(4) 須坂市における導入プロジェクト案

① 山間地域における大規模風力発電

峰の原高原での民間による風力発電については、今年度の風況調査では事業化の可能性があることが確認されたに留まり、今後、より詳細な風況調査や、発電シミュレーションなどの検討が必要です。

このため、この調査の結果や燃料電池や水素製造等に関する技術動向を踏まえ、従来型の地域電力需要への供給を行う発電所としてだけでなく、それ以外の可能性についても検討する必要があると考えられます。

② マイクロ風力発電の活用

風力発電機は、風で風車がまわって電気が起きるしくみであることから、自然エネルギーを活用しているイメージが伝わりやすく、環境問題への取り組みのシンボルとして、テレビコマーシャルなどの場面でも使用されています。

また、太陽光発電と組み合わせたマイクロ風力発電による照明灯などは、製品化も進んでおり、公園や駅前、公共施設などでモニュメント的に設置している例も多くあります。須坂市においても、環境問題に積極的に取り組むまちとして、観光客や市民が多く集まる駅前や公園などの施設において、マイクロ風力発電を導入し、その取り組みをアピールすることが考えられます。ただし、須坂市では、水車の歴史や豊富な水があり水車によっても同様の効果が期待できることから、風力がふさわしい場所を選んで実施する必要があります。

【参考：クリーンエネルギー自動車】

ガソリンと軽油を使用せずCO₂、NO_x、粒子状物質等を大幅に減少させる自動車を総称してクリーンエネルギー自動車と呼びます。

現在、電気自動車、天然ガス自動車、メタノール自動車、ハイブリッド自動車、燃料電池自動車が実用化されています。

ハイブリッド自動車を除く各自動車の今後の普及拡大のためには、航続距離の拡大とともに、燃料等の充填施設等のインフラ設備が課題となります。

また長寿命化や安全性の確保、廃棄の際の環境保全性等に配慮する必要があります。

分類	特徴	課題
電気自動車	電池に蓄えられた電気によりモーターを回転させて走行します。 電気の充填に一般の電力を使うため点では排ガスと全く無縁ではありませんが、大気汚染物質を著しく低減できる効果があります。 走行中に排出ガス（NO _x 等）を全く出しません。モーターで動くため、低騒音で低振動です	電池の性能上、まだ連続走行距離が短く、購入コストが高めです。
天然ガス自動車	燃料の貯蔵形態によって、圧縮天然ガス車（CNG車）、液化天然ガス車（LNG車）等があります。 現在は圧縮した天然ガスをガス容器に貯蔵し、エンジンに供給して走行するCNG自動車が一般的です。 構造が従来のガソリン車やディーゼル車と同じで、異なるのは燃料系統だけです。従って、軽自動車・乗用車からバス・トラックまで幅広い用途で利用できます。 天然ガスは硫黄やその他の不純物を含まないため、SO _x や黒煙を発生せず、ガソリン自動車に比べてCO ₂ の発生が低くなります。	燃料が気体のため車両への搭載量に限界があり、1回のガス充填で走行できる距離はやや短くなります
メタノール自動車	自動車の構造は基本的に在来型の自動車と同じで、走行性能は、従来車と比較して同等またはそれ以上となります。また、メタノール燃料は酸素を50%含む含酸素燃料で、石油燃料と異なり排気ガス中に有害物質であるSPM等がまったく排出されません。性能等のメリットを生かして、トラックを中心とした製品開発が進んでいます。	メタノールの発熱量はガソリン、軽油の約半分のため、ガソリン車等と同じ1充填走行距離を得るためには2倍の容量の燃料タンクが必要になります。

分類	特徴	課題
ハイブリッド自動車	ガソリンやディーゼルエンジンと電池を組み合わせ、制動時のエネルギーをバッテリー等に蓄積し、利用することから高い燃費、省エネルギー効果、更には排出ガス（NOx）やSPMの大幅な削減効果が期待できます。走行距離も従来車と比べて遜色なく、燃料補給用の特別なインフラは不要です。小型車から大型乗用車まで多くの車種が導入され、最も普及しているクリーンエネルギー自動車です。	ガソリン自動車に比べて導入コストがやや高くなっています。
燃料電池自動車	水素と空気中の酸素を化学的に反応させて発電した電気をを用いて走行します。エネルギー変換効率が高く、水蒸気（H ₂ O）のみ排出されるため、きわめてクリーンです。リース販売としてすでに実用化がスタートしましたが、本格的な普及にはまだまだ課題があります。	燃料を供給する水素ステーションの整備や製造に要したコストは1台1億円以上とも言われている購入コスト（現在のリース価格は月80～120万円）が課題です。また、水素と酸素で電気を作るとき同時に水ができるため、寒冷地では停止したあとの燃料電池内部での凍結による始動性向上にも取り組まれています。

須坂市では、公用車におけるクリーンエネルギー自動車の導入が始まっており、今後も順次導入を進めていくことが考えられます。