

3. 帯広市における新エネルギーの賦存量と活用技術の動向

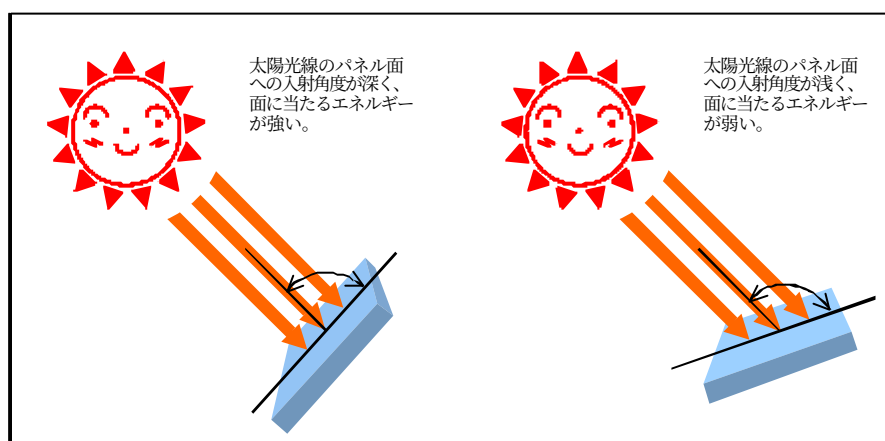
3-1. 新エネルギーの種類と賦存量

① 太陽光エネルギー

太陽光エネルギーは日射量に比例する。地上の各地点に届いた日射量は、気象庁により全天空日射量として観測されている。日射量には、太陽からまっすぐに降り注ぎ日差しとして感じられる直達日射量と、大気中で散乱され空全体の明るさとして感じられる天空日射量に分けられるが、両者を併せたものが全天空日射量である。全天空日射量は、緯度・季節・時刻・地勢・天候により左右される。

太陽光エネルギーは、太陽電池や太陽熱集熱器などのパネル面に太陽光線を当てることで、電気や熱として利用するが、パネル面に当たる太陽光エネルギーの強さは、太陽光線（直達日射）とパネル面の角度（方位角と傾斜角）に左右される。

図表 ー パネル面に当たる太陽光エネルギーの強さ



ある地点での太陽光エネルギーの利用効率が最も高い最適角度（方位角と傾斜角）は、季節と時刻により刻々と変化する。固定されたパネル面の方位角で、最も利用効率が高いのは真南（0°）に面しているときである。帯広市における、年間を通じた最適傾斜角度（最も利用効率の高いパネル面の傾斜角度）は、水平傾斜角が 41.5° のときである。

南向き最適傾斜角度での年間平均日射量は 4.25kWh/m²日であり、道内の他の地域に比べ高い水準にある。年間最適傾斜角度における月毎の平均日射量を他の地域と比べると、10月から4月にかけては高い水準にあるが、5月から9月にかけては低い水準にある。

帯広市における、最適傾斜角度のパネル面が受ける太陽光エネルギーの年間賦存量は、

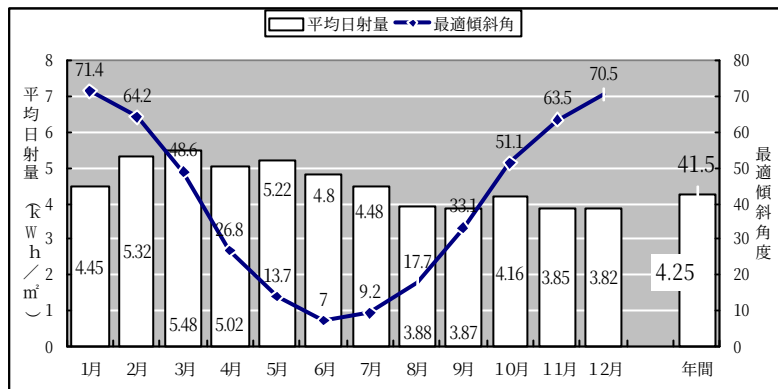
$$4.25\text{kWh/m}^2\text{日} \times 365\text{日} = 1,551\text{kWh/m}^2$$

であり、灯油に換算すると、

$$1,551\text{kWh/m}^2 \times 859.98\text{kcal/kWh} \div 8,900\text{kcal/L} = 150\text{L/m}^2$$

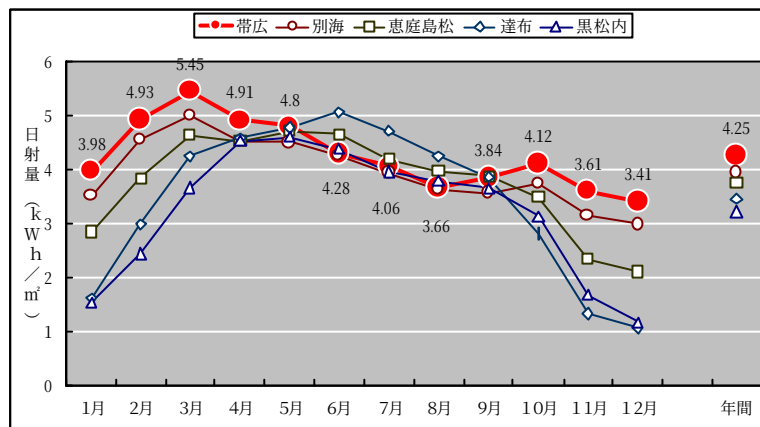
となる。

図表 ー 帯広市における最適傾斜角度とその平均日射量

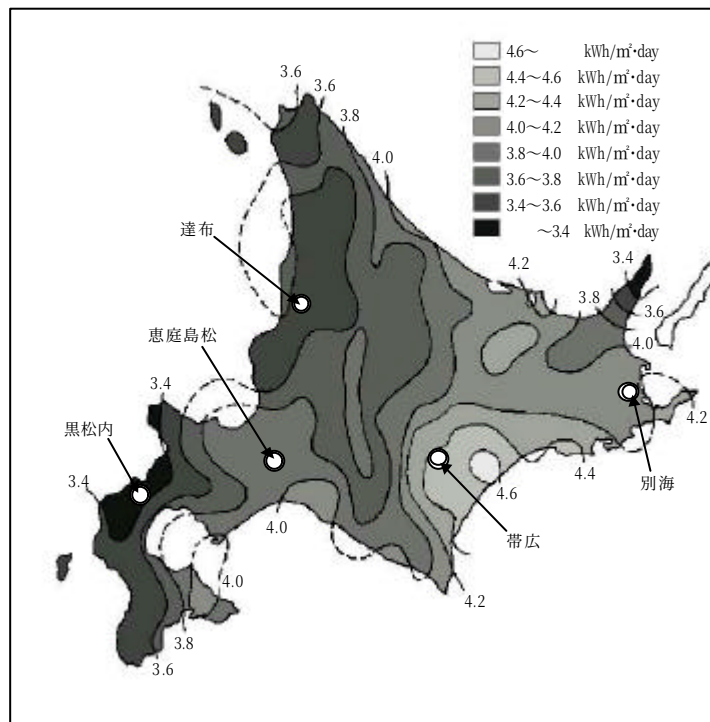


出所：NEDO「全国日射関連データマップ」より作成

図表 ー 道内各地域の年間最適傾斜角度における平均日射量



出所：NEDO「全国日射関連データマップ」より作成



出所：NEDO資料より作成

i) 電力エネルギー

帯広市における太陽光エネルギー年間賦存量 $1,551 \text{ kWh/m}^2$ を、太陽電池で電力に変換すると、変換効率 12% として、 m^2 当たりの発電量は、

$$1,551 \text{ kWh/m}^2 \times 12\% = 186 \text{ kWh/m}^2$$

となり、灯油に換算すると、

$$186 \text{ kWh/m}^2 \times 859.98 \text{ kcal/kWh} \div 8,900 \text{ kcal/L} = 18 \text{ L/m}^2$$

となる。

図表 ー 太陽光発電年間利用可能量

年間平均日射量 ($\text{kWh/m}^2\text{日}$)	4.25	注 1
期間 (日)	365	
年間賦存量 (kWh/m^2)	1,551	
変換効率	12%	
利用可能量 (kWh/m^2)	186	
熱エネルギー換算 (kcal/kWh)	859.98	注 2
灯油発熱量 (kcal/L)	8,900	注 2
灯油換算 (L/m^2)	18	

注 1：NEDO「全国日射量データマップ」

注 2：総合エネルギー統計

ii) 熱エネルギー

帯広市における太陽光エネルギー $1,551 \text{ kWh/m}^2$ を熱エネルギーに換算すると、

$$1,551 \text{ kWh/m}^2 \times 859.98 \text{ kcal/kWh} = 1,333,829 \text{ kcal/m}^2 = 1,334 \text{ M cal/m}^2$$

となる。

これを太陽熱コレクターで集熱すると、集熱効率 30% として、 m^2 当たりの熱取得量は、

$$1,334 \text{ M cal/m}^2 \times 30\% = 400 \text{ M cal/m}^2$$

となり、灯油に換算すると、

$$400,000 \text{ kcal/m}^2 \div 8,900 \text{ kcal/L} = 45 \text{ L/m}^2$$

となる。

図表 ー 太陽熱利用年間利用可能量

年間平均日射量 ($\text{kWh/m}^2\text{日}$)	4.25	注 1
期間 (日)	365	
年間賦存量 (kWh/m^2)	1,551	
熱換算 (kcal/kWh)	859.98	注 2
熱エネルギー賦存量 (kcal/m^2)	1,333,829	
集熱効率	30%	
利用可能量 (kcal/m^2)	400,149	
灯油発熱量 (kcal/L)	8,900	注 2
灯油換算 (L/m^2)	45	

注 1：NEDO「全国日射量データマップ」

注 2：総合エネルギー統計

② 風力エネルギー

風力エネルギーは風速の3乗に比例し、次の式で表される。

$$p = \left(\frac{1}{2} \right) \rho a v^3$$

$$\left\{ \begin{array}{l} p : (\text{W}) \text{ 風力エネルギー} \\ \rho : (\text{kg/m}^3) \text{ 空気密度 (一般に日本の平地で1気圧 15°Cのとき } 1.225 \text{ kg/m}^3) \\ a : (\text{m}^2) \text{ 受風面積} \\ v : (\text{m/s}) \text{ 風速} \end{array} \right.$$

風速は、地上からの高さでと地表面の状況に左右され、次の式で表される。

$$\left\{ \begin{array}{l} V(H) = V(h) \times (H/h)^{1/n} \\ V(H) : (\text{m/s}) \text{ 高さ } H \text{ における風速} \\ V(h) : (\text{m/s}) \text{ 高さ } h \text{ における風速} \\ n : \text{指数法則のべき指数} \\ \text{(地表状況により次表の値を示す)} \end{array} \right.$$

地表状況	n
平坦な地形の草原	7~10
海岸地方	7~10
田園	4~6
市街地	2~4

帯広市の年間平均風速の平年値（1979～1990 年）は 1.9 m/s（観測高さ 14.5m）であるから、高さ 56m（風力発電機 1,000kW 級の風車高）の風速は、地表状況を田園（n = 4）で想定すると、

$$1.9 \text{ m/s} \times \left(\frac{56\text{m}}{14.5\text{m}} \right)^{1/4} = 2.7 \text{ m/s}$$

となる。

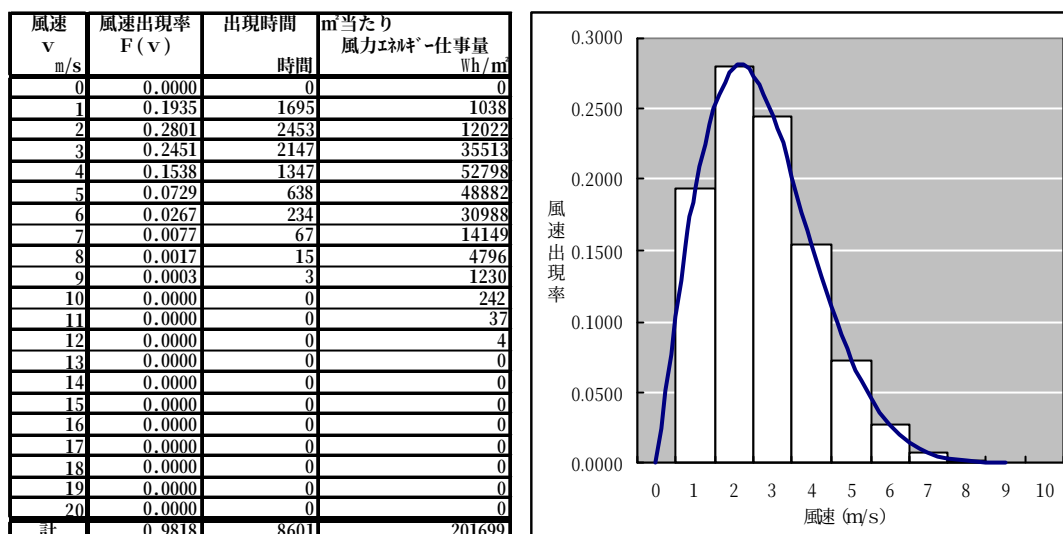
自然現象のなかで発生する風は、様々な風速に刻々と変化しながら吹いているが、平均風速が分かれば、知りたい風速の出現率を次の近似式（レイレ分布）で推計することができる。

$$F(v) = \left(\frac{\pi}{2} \right) \times \left(\frac{v}{V_a} \right)^2 \times \exp \left\{ - \left(\frac{\pi}{4} \right) \times \left(\frac{v}{V_a} \right)^2 \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F(v) : \text{風速 } v \text{ の出現率} \\ V_a : (\text{m/s}) \text{ 平均風速} \end{array} \right.$$

高さ 56m（風力発電機 1,000kW 級の風車高）における風速の出現率と年間の出現時間を算定すると次の図表となり、風速 1～4 m/s の風の出現率が多い。

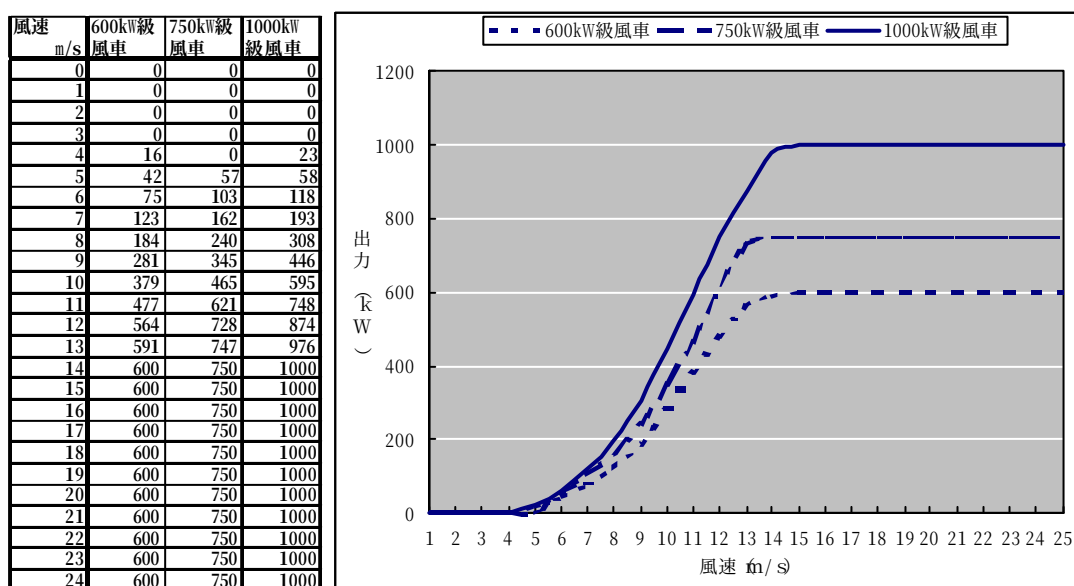
図表 — 年間の風速出現率（高さ 56m）



高さ 56mにおける、年間の風力エネルギーのm²当たりの賦存量は、それぞれの風速（階級別風速）における風力エネルギー（ $p = (1/2) \rho a v^3$ ）に、その風速の出現時間に乗じたものの総和であり、201,699Wh/m²（灯油換算で 20L/m²）となる。

風力発電機における風速と発電出力の関係は機種によって異なるが、そのパターンは次の図表のようになっており、これを性能曲線（パワーカーブ）という。風車の回転に必要な最低風速を「カットイン風速」、風車の破損を防ぐために風車を停止させる風速を「カットアウト風速」といい、一般に「カットイン風速」は3～5 m/s、「カットアウト風速」は20～25m/sである。

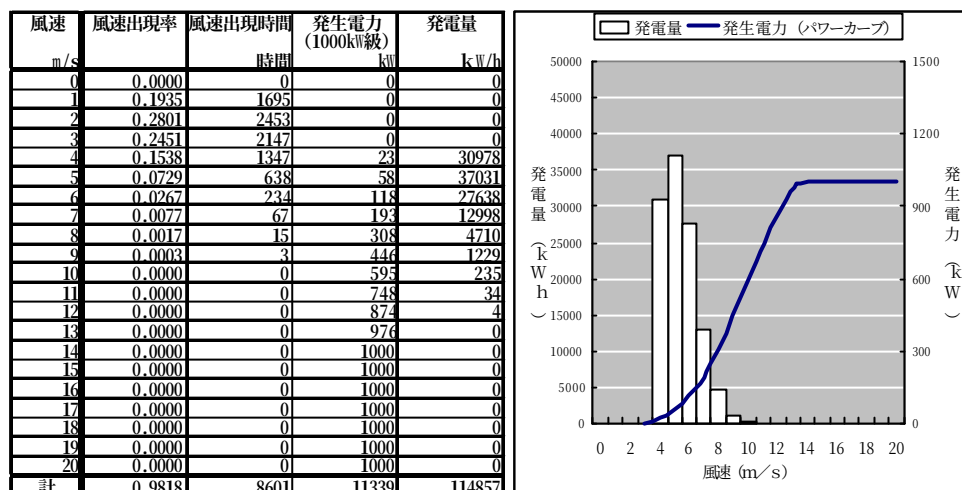
図表 — 風力発電機の性能曲線（パワーカーブ）



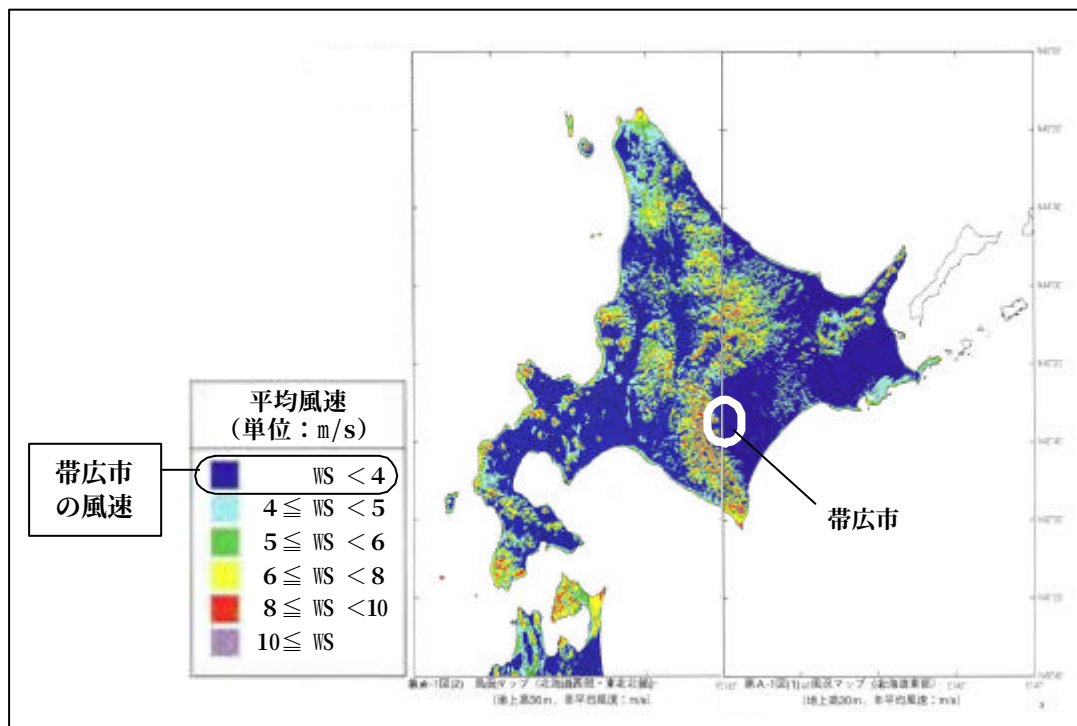
年間の発電量は、それぞれの風速（階級別風速）における発電出力と出現時間の積を合計して求める。帯広市において、1,000kW 級の風力発電機から得られる年間発電量は 114,857kWh となり、灯油に換算すると 11,098L となる。

帯広市では、風力発電機のパワーカーブが小さいところでしか発電できないため、発電効率が悪く年間発電量は少ない。また、NEDOの風況マップでも、帯広市の風力は全道的に見て弱くなっている。

図表 ー 年間発電量（1000kW 級発電機）



図表 ー 北海道の風況マップ



出所：NEDO資料より作成

③ 雪冷熱エネルギー

雪の持つ冷熱エネルギーは、雪が融けるのに必要な融解熱と見ることができる。

帯広市の年間降雪深さ合計は平年値（1971～2000 年）で 222cm であり、雪の比重を 0.27、融解熱を 80Mcal/t とすれば、雪冷熱エネルギーの 1 m²あたりの年間賦存量は、

$$2.22\text{m} \times 1\text{m}^2 \times 0.27 \times 80\text{Mcal/t} = 48\text{Mcal/m}^2$$

となり、灯油に換算すると 5 L/m²となる。

図表 ー 雪冷熱エネルギー賦存量

年間降雪深さ合計 (m)	2.22	注 1
雪の比重	0.27	
氷の融解熱 (Mcal/t)	80	
雪冷熱年間賦存量 (Mcal/m ²)	48	
灯油発熱量 (kca/L)	8,900	注 2
灯油換算 (L/m ²)	5	

注 1：(財)気象業務支援センター「平年値（1971～2000年）」

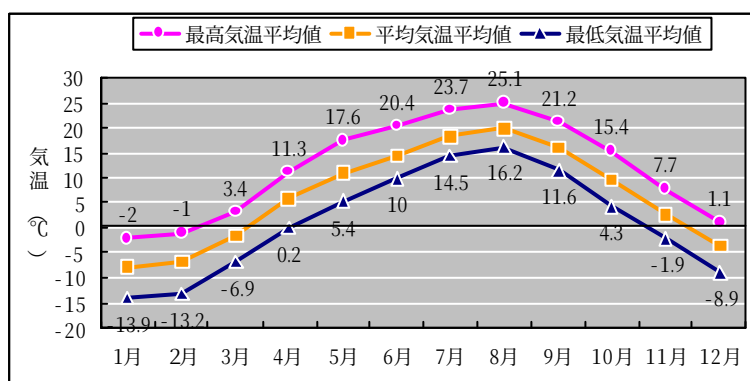
注 2：総合エネルギー統計

④ 氷冷熱エネルギー

冬期の寒気により氷をつくり、蓄えた冷熱を夏期まで保存し使うことができる。

帯広市で気温がマイナスとなるのは、最高気温月平均値（1971～2000 年の平年値）では 1～2 月、平均気温月平均値（同平年値）では 12～3 月である。

図表 ー 月平均気温の平年値（1971～2000 年）

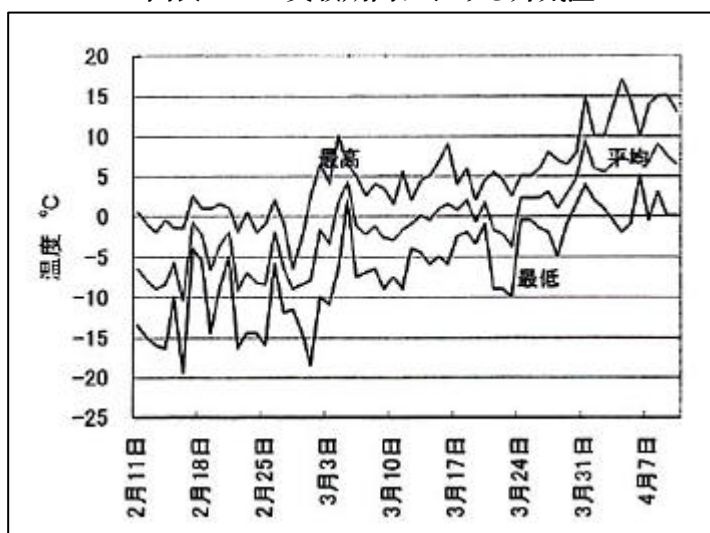


出所：(財)気象業務支援センター「平年値」より作成

帯広市における、冬期の寒冷外気により冷凍した製氷実績として、アイスシェルター実験施設のデータがある。実験施設は、直径 6.1m、高さ 3.6m、容積約 100m³の断熱性能が高いシェルターである。水は、容器が大きすぎるとなかなか凍らないため、実験施設では 48 t の水を約 250 リットルの容器 200 個に小分けし、冷気が満遍なく行き渡るように容器どうしに数 cm の隙間を設けて配置してある。

平成 12 年 2 月 5 日から実験施設に水を入れ、自然換気により冷凍し製氷を行った結果、3 月 10 日までの 29 日間に 50 t の水全てが氷となった。実験期間における外気温の状況は、2 月は最高気温が 0℃前後、最低気温が－5℃から－15℃の範囲で安定した推移を示し、3 月に入ってから徐々に上昇したが、最低気温は 6 日を除き 0℃以下であり、平年値の様相と大きな相違はない。以上の結果から、帯広市では、寒気の厳しい 1～2 月を中心に約 1 ヶ月の期間で、気積 100 m³当たり約 50 t の氷を製造することが可能と推測される。

図表 ー 実験期間における外気温



出所：(財)北海道科学・産業技術振興財団「アイスシェルター技術」

氷の持つ冷熱エネルギーを融解熱と見れば 1 t 当たり 80Mcal であり、50 t の氷では、

$$50 \text{ t} \times 80 \text{ Mcal/t} = 4,000 \text{ Mcal}$$

となり、灯油に換算すると 449L となる。

⑤ 温度差エネルギー（下水処理廃熱）

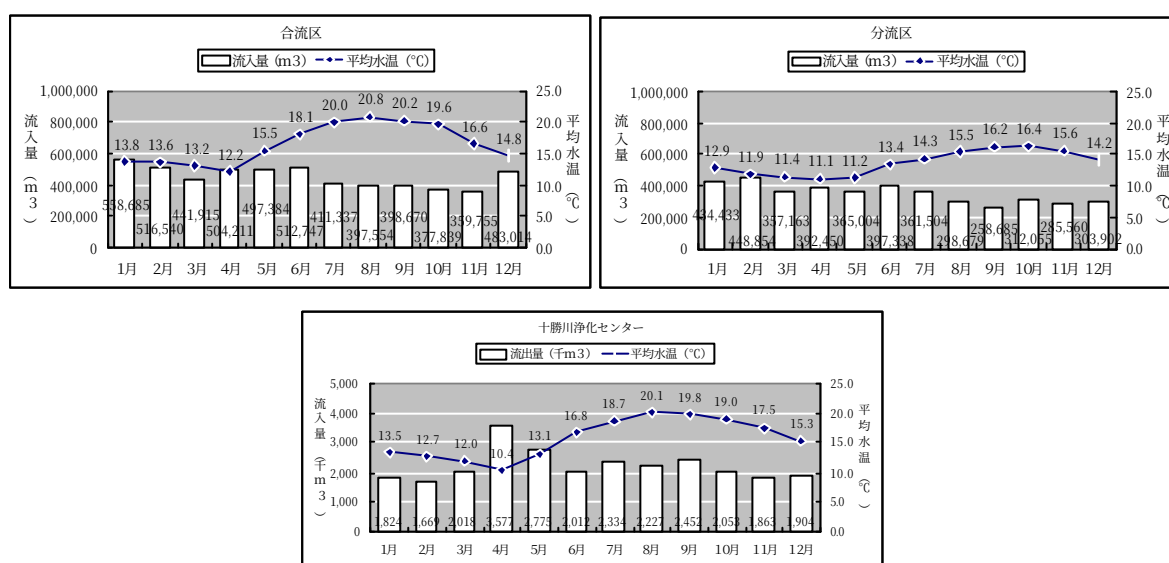
帯広市の2000年度における下水流入量（排水量）は年間当たり、合流区流入量で5,459,651 m^3 、分流区流入量で4,215,627 m^3 、十勝川浄化センターで26,707,130 m^3 、合計36,382,408 m^3 である。平均水温の最低値は、合流区で12.2 $^{\circ}\text{C}$ （4月）、分流区で11.1 $^{\circ}\text{C}$ （4月）、十勝川浄化センターで10.4 $^{\circ}\text{C}$ （4月）であり、熱回収は十分可能である。

ヒートポンプの熱源としての利用温度差を5 $^{\circ}\text{C}$ とすれば、下水排熱の年間賦存量は、

$$36,382,408\text{m}^3 \times 5^{\circ}\text{C} \times 1.0\text{Mcal}/\text{m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C} = 181,912,040\text{Mcal} = 181,912\text{Gcal}$$

となり、灯油に換算すると20,440kLとなる。

図表 — 下水流入量と平均水温（2000年度）



出所：帯広市調べより作成

図表 — 下水排熱賦存量

合流区下水流入量 (m³)	5,459,651	注1
分流区下水流入量 (m³)	4,215,627	注1
十勝川浄化センター流出量 (m³)	26,707,130	注1
下水流入量合計 (m³)	36,382,408	
ヒートポンプ利用温度差 (°C)	5	注2
下水比熱 (Mcal/m³・°C)	1.0	注2
下水排熱賦存量 (Mcal)	181,912,040	
灯油発熱量 (kca/L)	8,900	注3
灯油換算 (L)	20,439,555	

注1：帯広市調べ

注2：NEDO資料

注3：総合エネルギー統計

⑥ 家畜糞尿バイオガス

帯広市における、平成12年の家畜飼養頭羽数は、乳用牛8,652頭、肉用牛1,961頭、豚4,745頭、採卵鶏17,300羽である。家畜の日当たり糞尿量原単位を、乳用牛60kg/頭・日、肉用牛25kg/頭・日、豚8kg/頭・日、採卵鶏0.13kg/羽・日とし、家畜糞尿のバイオガス発生原単位を、乳用牛25m³/t、肉用牛30m³/t、豚50m³/t、採卵鶏30m³/tとする。家畜糞尿から発生するバイオガスのメタン含有率は60%で、メタンの発熱量は8.5Mcal/m³である。家畜種類別のバイオガスエネルギー年間賦存量は、

$$〔頭羽数〕 \times 〔糞尿量原単位〕 \times 365 \text{ 日} \times 〔バイオガス発生原単位〕 \times 〔メタン含有率(60\%)〕 \\ \times 〔メタン発熱量(8.5 \text{ Mcal/m}^3)〕$$

で算出され、合計すると30,544Gcalとなり、灯油に換算すると3,432Lとなる。

プラントで発生するバイオガスの内、4割は醗酵槽の加温に使わなければならないので、利用可能なエネルギー量を60%とすると、エネルギー年間利用可能量は18,326Gcalとなり、灯油に換算すると2,059kLとなる。

図表 ー 家畜糞尿バイオガス賦存量（平成12年）

	乳用牛	肉用牛	豚	採卵鶏	合計	
頭羽数	8,652	1,961	4,745	17,300		注1
糞尿量原単位 kg/頭・日	60	25	8	0.13		注2
糞尿量 t/日	519	49	38	2		
バイオガス発生原単位 m ³ /t	25	30	50	30		
バイオガス日当たり発生量 m ³ /日	12,975	1,470	1,900	60	16,405	
バイオガス年間発生量 t/m ³ /年	4,736	537	694	22	5,989	
メタン含有率	60%					注2
メタン発熱量 Mcal/m ³	8.5					注2
バイオガスエネルギー年間賦存量 Gcal/年	24,154	2,739	3,539	112	30,544	
プラント効率	60%					
エネルギー年間利用可能量 Gcal/年	14,492	1,643	2,124	67	18,326	
灯油発熱量 (kca/L)	8,900					注3
灯油換算 (L)					2,059,101	

注1：「帯広市統計書（北海道農業基本調査及び農林業センサス）」

注2：NEDO「北海道バイオガスエネルギー利用ガイド」

注3：総合エネルギー統計

⑦ 下水汚泥

i) バイオガスエネルギー

一般に、下水処理水 1 m³ 当りに含まれる汚泥は 150 g（乾燥固形物重量）であり、この下水処理水 1 m³ からバイオガス 0.035 m³ が発生すると言われている。この場合、含有汚泥の乾燥重量 1 g から 0.000233 m³ のバイオガスが発生することになる。

図表 — 下水汚泥バイオガス発生原単位

含有汚泥乾燥重量 (g/m ³)	150
下水処理水量 m ³ 当たり、バイオガス発生量 (m ³)	0.035
含有汚泥乾燥重量 (g) 当たり、バイオガス発生量 (m ³)	0.000233

平成 12 年度、帯広川下水終末処理場の下水処理水量は、分流区で 4,215,627 m³、合流区で 5,459,651 m³ である。含有汚泥乾燥重量 m³ 当たりの平均値は、分流区で 156 g/m³、合流区で 141 g/m³ であり、含有汚泥乾燥重量は、分流区で 657,637,812 g、合流区で 769,810,791 g、合計すると 1,427,448,603 g となりバイオガス賦存量は、

$$1,427,448,603 \text{ g} \times 0.000233 \text{ m}^3/\text{g} = 332,596 \text{ m}^3$$

となる。

また、十勝川浄化センターでは 2,305,796 m³、中島処理場では 379,409 m³、帯広川下水終末処理場の 332,596 m³ を合計すると 3,017,801 m³ のバイオガス発生量実績値(平成 12 年度)を示す。

メタン含有率を 60%、メタン発熱量を 8.5 Mcal/m³ とすれば、バイオガスエネルギー年間賦存量は、

$$3,017,801 \text{ m}^3 \times 60\% \times 8.5 \text{ Mcal/m}^3 = 15,391 \text{ Gcal}$$

となり、灯油に換算すると 1,729 kL となる。

プラントでの醗酵槽加温等のエネルギー損失からプラント効率を 60% とすれば、エネルギー年間利用可能量は 9,235 Gcal となり、灯油に換算すると 1,038 kL となる。

図表 — 下水汚泥バイオガス賦存量（平成 12 年度）

分流区	年間下水流入量 (m ³)	4,215,627	注 1
	含有汚泥乾燥重量平均値 (g/m ³)	156	
	含有汚泥乾燥重量 (g)	657,637,812	
合流区	年間下水流入量 (m ³)	5,459,651	注 1
	含有汚泥乾燥重量平均値 (g/m ³)	141	
	含有汚泥乾燥重量 (g)	769,810,791	
含有汚泥乾燥重量合計 (g)		1,427,448,603	
含有汚泥乾燥重量 (g) 当たり、バイオガス発生量 (m ³)		0.000233	
帯広川下水終末処理場分流区・合流区の合計バイオガス発生量 (m ³)		332,596	
十勝川浄化センターでのバイオガス発生量実績値 (m ³)		2,305,796	注 1
中島処理場のバイオガス発生量実績値 (m ³)		379,409	注 1
バイオガス発生量合計		3,017,801	
発生バイオガスのメタン含有率 (%)		60%	注 2
メタン発熱量 (Mcal/m ³)		8.5	注 2
バイオガスエネルギー年間賦存量 (Gcal)		15,391	
灯油発熱量 (kcal/L)		8,900	注 3
灯油換算 (L)		1,729,326	

注 1：帯広市調べ

注 2：NEDO「北海道バイオガスエネルギーガイドブック」

注 3：総合エネルギー統計

ii) 燃焼熱エネルギー

汚泥の乾燥固形物の高位発熱量は 4,000kcal/kg であるから、焼却熱年間賦存量は、

$$4,538,049\text{kg} \times 4,000\text{kcal/kg} = 18,152\text{Gcal}$$

となり、灯油に換算すると 2,040kL となる。

図表 ー 下水汚泥燃焼熱の賦存量 (平成 12 年度)

帯広川下水終末処理場分流区・合流区の含有汚泥乾燥重量合計 (t)	1,427,448.603	注 1
十勝川浄化センターの含有汚泥乾燥重量合計 (t)	2,323,100.000	注 1
中島処理場の含有汚泥乾燥重量合計 (t)	787,500.000	注 1
含有汚泥乾燥重量合計 (kg)	4,538,049	
汚泥固形物の高位発熱量 (kcal/kg)	4,000	
燃焼発熱年間賦存量 (Gcal)	18,152	
灯油発熱量 (kca/L)	8,900	注 2
灯油換算 (L)	2,039,551	

注 1：帯広市調べ

⑧ 生ゴミバイオガス

帯広市の平成 10 年度における、産業廃棄物として発生する動植物性残滓は 5,052 t (食料品製造業から 4,425 t、飲料・飼料製造業から 627 t)、事業所系生ゴミの発生量は 10,777 t (事業所系可燃ゴミ 17,962 t の 60%として)、家庭系生ゴミの発生量は 18,254 t (家庭系可燃ゴミ 30,424 t の 60%として)、合計すると 34,083 t となる。

生ゴミ 1 t 当たりのバイオガス発生原単位を 200m³/t、メタン含有率を 60%、メタン発熱量を 8.5Mcal/m³ とすれば、バイオガスエネルギー年間賦存量は 34,765Gcal となり、灯油に換算すると 3,906kL となる。

また、プラント効率を 60%とすれば、エネルギー年間利用可能量は 20,859Gcal となり、灯油に換算すると 2,344kL となる。

図表 ー 生ゴミバイオガス賦存量 (平成 10 年度)

産業廃棄物残滓発生量 (t)	5,052	注 1
事業系可燃ゴミ発生量 (t)	17,962	注 2
生ゴミ含有率	60%	注 2
事業所系生ゴミ発生量 (t)	10,777	
家庭系可燃ゴミ発生量 (t)	30,424	注 2
生ゴミ含有率	60%	注 2
家庭系生ゴミ発生量 (t)	18,254	
生ゴミ発生量合計 (t)	34,083	
バイオガス発生原単位 (m ³ /t)	200	注 3
バイオガス発生量 (m ³)	6,816,600	
メタン含有率 (%)	60%	
メタン発熱量 (Mcal/m ³)	8.5	
バイオガスエネルギー賦存量 (Gcal)	34,765	
灯油発熱量 (kca/L)	8,900	注 4
灯油換算 (L)	3,906,180	

注 1：北海道「平成 10 年度 北海道産業廃棄物実態調査」

注 2：帯広市調べ

注 3：NEDO「北海道バイオガス利用ガイドブック」

注 4：総合エネルギー統計

⑨ 一般可燃ゴミ燃焼熱

帯広市における平成 10 年度の一般可燃ゴミの年間発生量は、事務系が 17,962 t、家庭系が 30,424 t、合計 48,386 t である。

可燃ゴミの発熱量を 2,000kcal/kg、燃焼効率を 0.8 とすれば、一般可燃ゴミ燃焼熱賦存量は、

$$48,386,000\text{kg} \times 2,000\text{kcal/kg} \times 0.8 = 77,418\text{Gcal}$$

となり、灯油に換算すると 8,699kL となる。

図表 ー 一般可燃ゴミ燃焼エネルギー賦存量

事業系可燃ゴミ発生量 (t)	17,962	注 1
家庭系可燃ゴミ発生量 (t)	30,424	注 1
一般可燃ゴミ発生量合計	48,386	
可燃ゴミ発熱量 (kcal/kg)	2,000	注 2
熱効率	0.8	注 2
燃焼熱賦存量 (Gcal)	77,418	
灯油発熱量 (kca/L)	8,900	注 4
灯油換算 (L)	8,698,652	

注 1：帯広市調べ

注 2：NEDO 資料より

注 3：総合エネルギー統計

⑩ 木屑燃焼熱

「平成 10 年度 北海道産業廃棄物実態調査」を用いた推計によれば、帯広市の木屑の排出量は 31,950 t である。木屑の燃焼発熱量は、一般に 4,500kcal/kg であるが、含水状態を考慮して 2,500 kcal/kg とすれば、帯広市における木屑の燃焼発熱エネルギー賦存量は、

$$31,950,000\text{kg} \times 2,500\text{kcal/kg} = 79,875\text{Gcal}$$

となり、灯油に換算すると 8,975kL となる。

図表 ー 木屑燃焼発エネルギー賦存量

木屑発生量 (t)	31,950	注 1
燃焼発熱量 (kcal/kg)	2,500	注 2
燃焼エネルギー年間賦存量 (Gcal)	79,875	
灯油発熱量 (kca/L)	8,900	注 3
灯油換算 (L)	8,974,719	

注 1：北海道「平成10年度 北海道産業廃棄物実態調査」

注 2：通常含水状態。NEDO「新エネルギー海外情報00-2号」

注 3：総合エネルギー統計

⑪ 廃プラスチック燃焼熱

「平成 10 年度 北海道産業廃棄物実態調査」を用いた推計によれば、帯広市の廃プラスチックの排出量は 3,896t である。廃プラスチックの燃焼発熱量を 8,000 kcal/kg（一般に 5,000～11,000kcal/kg）とすると、燃焼発熱エネルギー賦存量は、

$$3,896,000 \text{ kg} \times 8,000 \text{ kcal/kg} = 31,168\text{Gcal}$$

となり、灯油に換算すると 3,502kL となる。

図表 ー 廃プラスチック燃焼発エネルギー賦存量

廃プラスチック発生量 (t)	3,896	注 1
燃焼発熱量 (kcal/kg)	8,000	注 2
燃焼エネルギー年間賦存量 (Gcal)	31,168	
灯油発熱量 (kca/L)	8,900	注 3
灯油換算 (L)	3,502,022	

注 1：北海道「平成10年度 北海道産業廃棄物実態調査」

注 2：NEDO「寒冷地における廃棄物利用エネルギーシステム構築促進,調査」

注 3：総合エネルギー統計

⑫ 廃タイヤ燃焼熱

「平成 10 年度 北海道産業廃棄物実態調査」を用いた推計によれば、帯広市の廃タイヤの排出量は、3,548 t である。廃タイヤの燃焼発熱量を 7,000 kcal/kg（一般に 6,000～8,000kcal/kg）とすると、燃焼発熱エネルギー賦存量は、

$$3,548,000 \text{ kg} \times 7,000 \text{ kcal/kg} = 24,836\text{Gcal}$$

となり、灯油に換算すると 2,791kL となる。

図表 ー 廃タイヤ燃焼発エネルギー賦存量

廃タイヤ発生量 (t)	3,548	注 1
燃焼発熱量 (kcal/kg)	7,000	注 2
燃焼エネルギー年間賦存量 (Gcal)	24,836	
灯油発熱量 (kca/L)	8,900	注 3
灯油換算 (L)	2,790,562	

注 1：北海道「平成10年度 北海道産業廃棄物実態調査」

注 2：NEDO「寒冷地における廃棄物利用エネルギーシステム構築促進,調査」

注 3：総合エネルギー統計

i) エタノール醗酵

図表 一 甜菜の収穫状況

	平成7年	平成8年	平成9年	平成10年	平成11年	平均値
収穫量 (t)	204,800	176,800	207,800	239,500	230,900	
作付面積 (ha)	3,680	3,630	3,650	3,790	3,800	
作付面積当たり収穫量 (t/ha)	56	49	57	63	61	57

$$216,786 \text{ t} \times 88\text{L/t} = 19,077,168 \text{ L}$$

エタノールの低位発熱量は 5,070kcal/L であるから、賦存量は

$$19,077,168 \text{ L} \times 5,070 \text{ kcal/L} = 96,721 \text{ Gcal}$$

図表 一 エタノール（甜菜）の賦存量と利用可能量

甜菜想定収穫量 θ	216,786		
エタノール生産原単位 L/θ	88	注1	
エタノール生産量 L	19,077,168		
エタノール低位発熱量 kcal/L	5,070	注2	
年間賦存量 Gcal	96,721		
灯油発熱量 kcal/L	8,900	注3	
灯油換算 L	10,867,528		

甜菜の蒸留エネルギー原単位 Mcal/θ	390	注4
蒸留投入エネルギー Gcal	84,547	
年間利用可能量 Gcal	12,174	
灯油発熱量 kcal/L	8,900	注3
灯油換算 L	1,367,917	

注1：NEDO「新エネルギー海外情報 00-2号」

注2：（財）日本エネルギー経済研究所「バイオマス生産利用技術に関するフィージビリティ調査」

注3：資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」

注4：日本大学生物環境情報工学研究室ヒアリング

63

ii) ガス化メタノール製造

ガス化メタノール製造法を用いた場合、甜菜の含水率は 87%、乾燥重量に対するメタノール生成率は 50%であり、年間想定収穫量 216,786 t の甜菜からは、

$$216,786 \text{ t} \times (100-87) \% \times 50\% = 14,091,090 \text{ kg}$$

のメタノールが生成される。

メタノールの低位発熱量は 4,800kcal/kg であるから、賦存量は

$$14,091,090 \text{ kg} \times 4,800 \text{ kcal/kg} = 67,637 \text{ Gcal}$$

となり、灯油に換算すると 7,600kL となる。

図表 — メタノール（甜菜）の賦存量

想定甜菜収穫量 (t)	216,786	
含水率 (%)	87%	注 1
メタノール生成率 (%)	50%	注 2
メタノール生産量 (kg)	14,091,090	
メタノール低位発熱量 (kcal/kg)	4,800	注 3
年間賦存量 (Gcal)	67,637	
灯油発熱量 (kca/L)	8,900	
灯油換算 (L)	7,599,663	

注 1：科学技術庁資源調査会編「646食品成分表」

注 2：三菱重工業資料

注 3：日本鋼管資料

⑭ 深層熱水

帯広市既存調査（地域エネルギー利用実用化モデル調査報告書）によれば、十勝平野の深層熱水資源は約 5,000mの層厚で、面積は約 2,200 km²に及び同平野の大半を占めている。帯広市はこの資源地の南部に位置し、ほぼ全域（618.94 km²）が深層熱水資源地域にあると推定される。

昭和 53 年度の「サンシャイン計画、深層熱水調査」によれば、地温勾配は 5℃/100mで、深さ 1,500mにおいては 60℃程度の熱水が期待できるものと推定されているが、現在の帯広市内に掘られている深井戸、温泉源などの資料から見ると地温勾配は 4℃/100m、少なく見ても 3.5℃/100mと推測される。

図表 ー 帯広市の深層温泉ボーリングデータ

No.	温泉名称	ボーリング深度(m)	ストレーナー(m)	口径(mm)	自噴量(V, ℓ/分)	温泉(T,℃)	摘要
1	水光園 (東10条南5丁目)	1200	1,050 ~ 1,200	80	500	48	貯溜タンク高さ6m, 720 t/日 PH 8.8, 全蒸発残留物 0.34g/ℓ 単純温泉(淡黄褐色モール温泉) 緩和性低張高温泉
2	ホテル大奥 (西1条南3丁目)	950	800 ~ 950	80	500	39	温排水用還元井深さ3mボーリング
3	ラドン温泉 (亀の子温泉) (東2条南12丁目)	1200	1,035 ~ 1,200	80	700	45	PH 8.75, cℓ-53 ppm, 全蒸 発残留物 0.359 g/ℓ, 単純温泉 (淡黄褐色)還元井口径1.2m 深さ5m2井ボーリング
4	ローマの泉 (東9条南12丁目)	1200	—	—	450	45	
5	ホテル愛蘭 (宮更町下宮更北8東4)	1200	1,041 ~ 1,200	80	450	45	

出所：帯広市「地域エネルギー利用実用化モデル調査報告書（昭和55年データ）」

帯広市は深層熱水資源堆積盆地構造のほぼ中央にあるため、深層熱水を包蔵する構造は面積に応じた直方系と考えられる。推定資源賦存量は、層厚約 5,000mと資源地域面積 618.94 km²の積から、所定温度に達しない層厚分を引いた容積に、空隙率を乗じたものであり、下式によって表される。

$$Q = [S \cdot D - S \cdot \{(T_1 - T_0) \cdot 100 / g + d\} \cdot l \cdot h$$

- Q : 推定資源賦存量
 S : 面積（帯広市全域で見れば 617.96 km²）
 D : 堆積構造の深度（5,000mとする）
 T₁ : 直接エネルギー利用に達しない水温（40℃とする）
 T₀ : 地温恒温層の温度（8℃とする）
 g : 地温勾配（3.5℃/100mとする）
 d : 地温恒温層の深度（10mとする）
 l : 有効熱水貯留岩層の比率（30%とする）
 h : 空隙率（深度により異なる）

地温勾配を 3.5℃/100mとした場合、地温が 40℃に達する深度は、

$$(T_1 - T_0) \cdot 100 / g + d = \{(40 - 8) \times 100\} / 3.5 + 10 = 924\text{m}$$

と推測される。

深層熱水堆積層を温度帯により 3 層 (40～80℃、80～100℃、100℃以上) に区分し、帯広市における賦存熱量を推計すると、16,086,000,000Gcal となる。

図表 ー 帯広市の深層熱水賦存熱量

帯広市の深層熱水泡蔵量推定面積 (S)		618.94 km ²
地温勾配 (g)		3.5 °C/100m
層 I 40～80℃	40℃の深度	924 m
	80℃の深度	2,067 m
	層厚 (d)	1,143 m
	有効熱水貯留岩層比率 (φ)	30%
	S・d・l	212.2 km ³
	空隙率 (h)	30%
	S・d・l・h	63.7 km ³
平均60℃としての熱量		3,822,000,000 Gcal
層 II 80～100℃	80℃の深度	2,067 m
	100℃の深度	2,639 m
	層厚 (d)	572 m
	有効熱水貯留岩層比率 (φ)	30%
	S・d・l	106.2 km ³
	空隙率 (h)	25%
	S・d・l・h	26.6 km ³
平均90℃としての熱量		2,394,000,000 Gcal
層 III 100℃～	100℃の深度	2,639 m
	堆積構造の深度	5,000 m
	層厚 (d)	2,361 m
	有効熱水貯留岩層比率 (φ)	30%
	S・d・l	438.4 km ³
	空隙率 (h)	15%
	S・d・l・h	65.8 km ³
平均150℃としての熱量		9,870,000,000 Gcal
層 (I + II + III)	熱水包蔵量	156.1 km ³
	賦存熱量	16,086,000,000 Gcal

出所：帯広市「地域エネルギー利用実用化モデル調査報告書」

経済面から見て、掘削深度は 2,000m程度にとどめるのが妥当と言われており、層 I までを利用するとすれば、利用熱量は 3,822,000,000Gcal と思われる。また、この熱水を使用後地下還元による地殻からの熱補給を考えれば、還元水の加温には十分な余裕があり半永久的に利用が可能である。

既存調査によれば、深度 2,000mの生産井 1 本当たり、80℃の熱水が 150m³/h は期待できるものとされている。温熱を 40℃まで利用するとすれば、生産井 1 本当たりのエネルギー年間賦存量は、

$$(80^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C}) \times 150\text{m}^3/\text{h} \times 24\text{h} \times 365\text{日} = 52,560\text{Gcal}$$

となり、灯油に換算すると 5,906 L となる。

図表 ー 生産井 1 本当たりの年間エネルギー賦存量

生産井水温度 (℃)	80
生産井出水量 (m ³ /h)	150
利用後排水温度 (℃)	40
年間賦存量 (Gcal)	52,560
灯油発熱量 (kca/L)	8,900
灯油換算 (L)	5,905.618

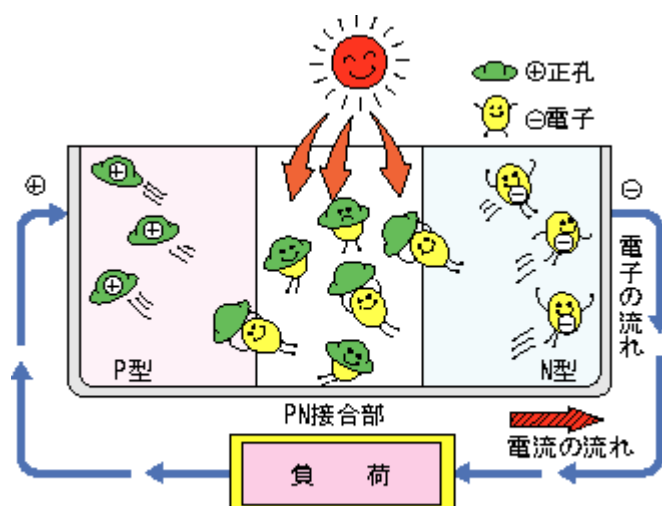
注：深度2,000m

3-2. 新エネルギーの活用技術の状況と課題

① 太陽光発電

太陽光発電は、半導体素子に光があたると直流電流が発生する光電効果を利用したものであり、家電製品等を利用するためには、交流電流への変換が必要である。

図表 ー 太陽電池の原理



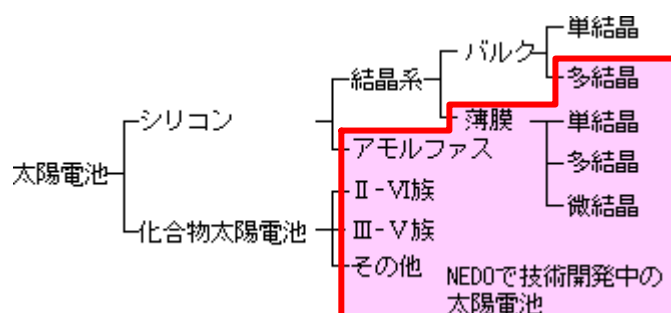
出所：NEDO資料

太陽光発電には以下の特徴がある。

- ① システムが単純で保守が容易。
- ② 利用資源（太陽光）が無尽蔵で、人為的に補給する必要がない。
- ③ 環境に影響を及ぼす排出物（CO₂やNO_xなど）を発生しない。
- ④ 規模に応じた発電が可能。
 - ※ 小規模では道路標識など、大規模では発電所など。
- ⑤ 需要地で発電が可能（独立型の電源）。
- ⑥ 電力は日射量により季節・天候・時刻・日照条件や受光面の方位・傾斜角度に左右される。
 - ※ 電力会社との系統連携や、蓄電池が必要。
- ⑦ 地上に降り注ぐエネルギー密度が1 kW/m²と低い。
 - ※ 太陽電池の受光パネルが大きくなるものになってしまう。

太陽電池の種類は、使用材料としてシリコン半導体と化合物半導体とに大別される。シリコン半導体によるものは、結晶系とアモルファス（非結晶系）に分類される。一般的に、シリコン半導体によるものが広く使われているが、特に、単結晶及び多結晶は、変換効率の高く、実績による信頼性が厚い。また、電卓や時計等で普及しているアモルファス太陽電池も、製造技術が大量生産に適しているとされ、変換効率の向上と共に、将来の低コスト化が期待されている。太陽光エネルギーの電気エネルギーへの変換効率は概ね1割程度である。

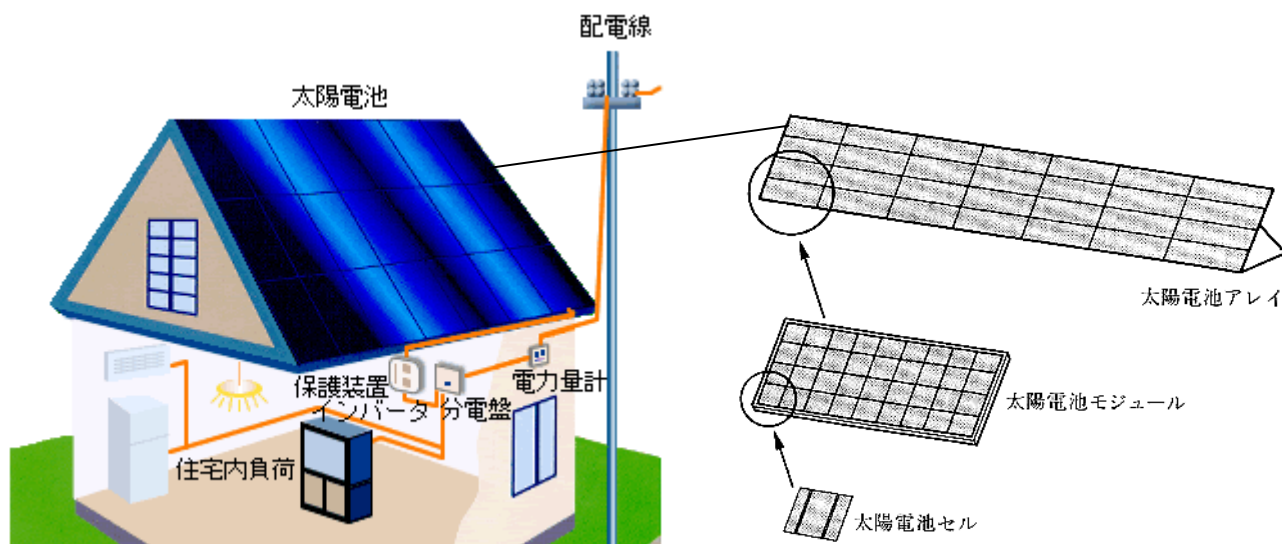
図表 — 太陽電池の種類



出所：NEDO資料

太陽光発電のシステムは、光エネルギーを電力に変換する「太陽電池」、発電された直流電流を交流電流に変換する「インバーター」、電力会社の系統に連携している場合の「系統連携保護装置」から構成されている。

図表 — 太陽光発電のシステム



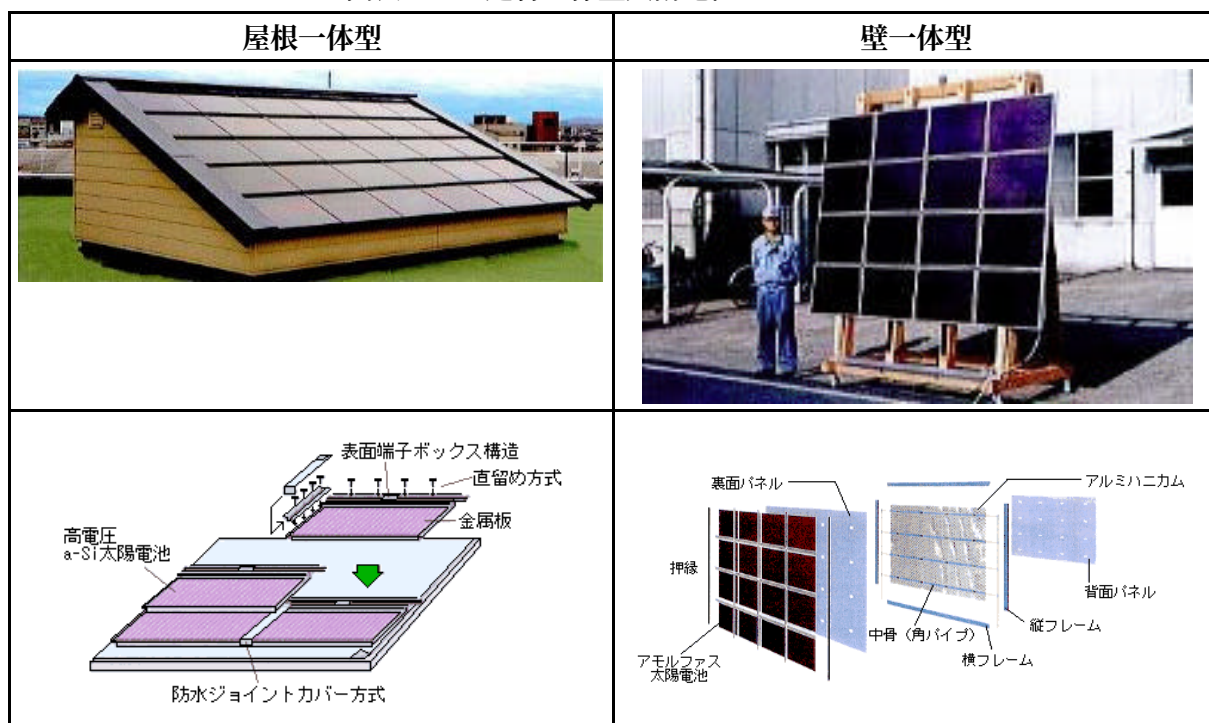
出所：NEDO資料、太陽光発電懇話会編「太陽光発電システムの設計と施工」

「太陽電池」の最小構成単位を「太陽電池セル」(10cm 角程度)、「太陽電池セル」を対候性パッケージに収めたものを「太陽電池モジュール」、「太陽電池モジュール」を組合わせたものを「太陽電池アレイ」と言う。

「インバーター」と「系統連携保護装置」を合わせて「パワーコンディショナー」と言う。また、系統連携しない場合(独立型システム)や防災時の利用のためには、「蓄電池」が必要となる。周辺機器としては、「電力計」や「分電盤」が必要である。

太陽光発電システムのコストは、量産化の効果が出てようになって、現在で約 80 万円/kW まで低下し、一層のコストダウンは可能と見られている。太陽光発電システムのコストダウンを図るために、太陽電池と建材とを一体化して設置工事費を低減した、建材一体型太陽電池モジュールも増えている。

図表 — 建材一体型太陽電池モジュール

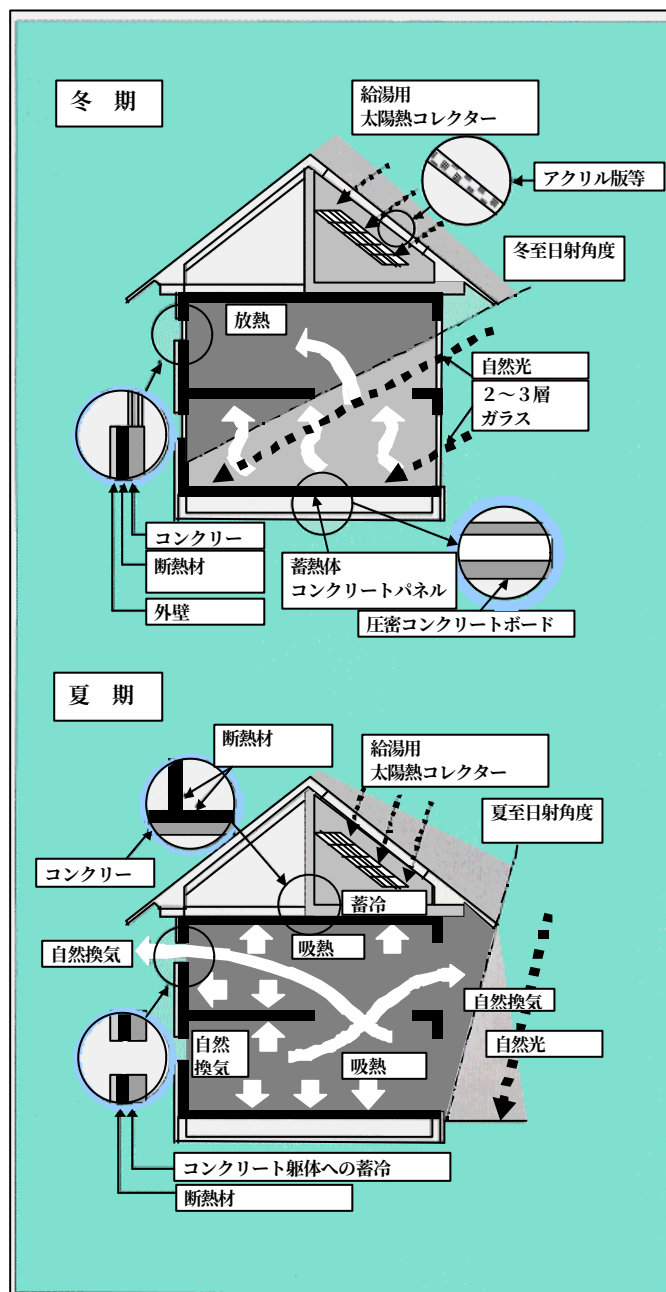


出所：NEDO資料

② 太陽熱利用システム

太陽光エネルギーを熱エネルギーとして利用すると、3割以上の熱取得が可能である。太陽熱利用システムには、「パッシブソーラーシステム」と「アクティブソーラーシステム」がある。パッシブソーラーシステムは、日差しとしての太陽熱を建物内に積極的に取入れ、吸熱・蓄熱し室内の空気を暖めるものであり、省エネ型の建築設計として取入れられている。

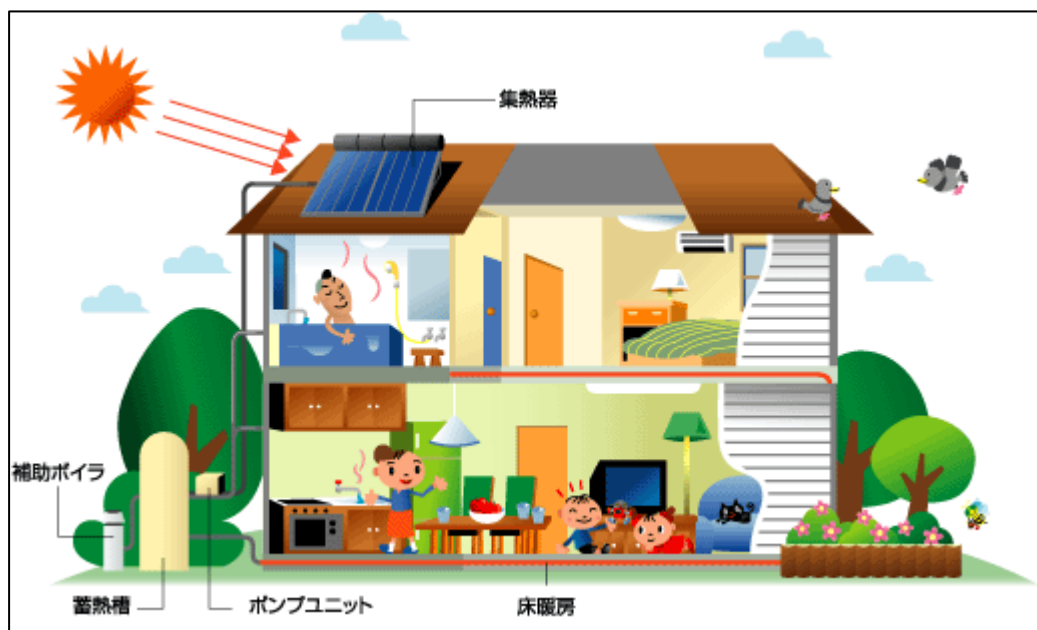
図表 — パッシブソーラーシステム



出所：NEDO資料より作成

アクティブソーラーシステムは、太陽熱給湯システムなどで太陽熱を利用するものである。

図表 — アクティブソーラーシステム



出所：新エネルギー財団資料

アクティブソーラーシステムの太陽熱集熱器（コレクター）には、「平板型」と「真空ガラス管型」「ヒートポンプ式」がある。「平板型」は、集熱器全体が平たい板状になっており、表面は透明なガラス板で覆われ、下部は熱が逃げないように断熱材が使われている。「真空ガラス管型」は、集熱器が真空のガラス管でできており、ガラス管の中の集熱部に熱媒体を通す。真空なので集めた熱が外へ逃げにくい。「ヒートポンプ式」は、集熱器がフィン形状になっており太陽熱と大気熱の両方を効率的に利用できる。

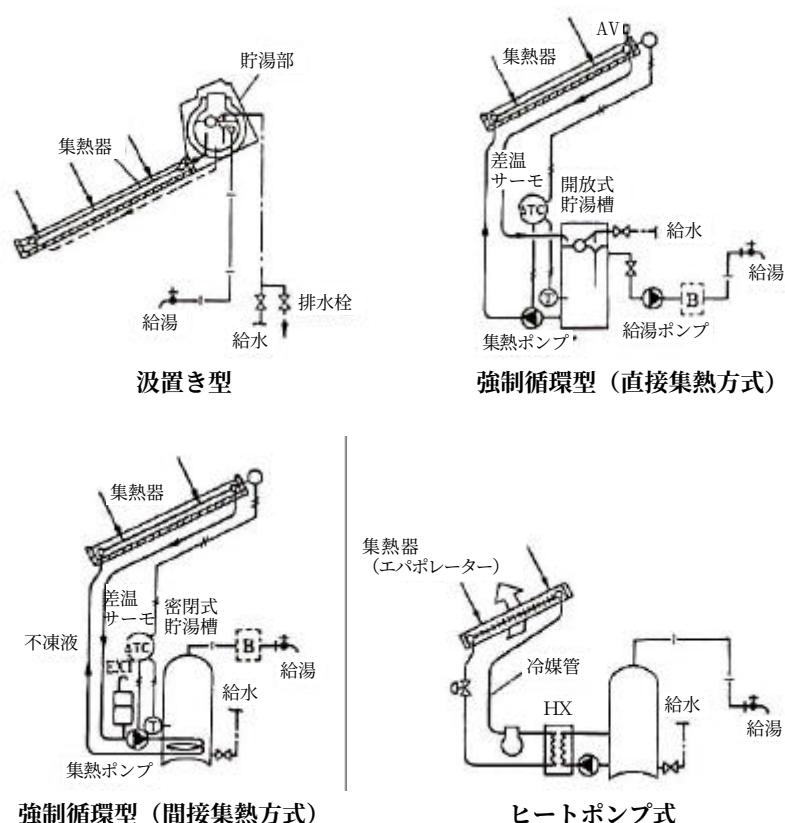
図表 — 太陽熱集熱器（コレクター）



出所：(社)ソーラシステム振興協会資料

アクティブソーラーシステムの種類には、「汲置き型」「強制循環型（直接集熱方式）」「強制循環型（間接集熱方式）」「ヒートポンプ式」がある。「汲置き型」は、太陽集熱器と貯湯槽が一体となった構造で、屋根などに置く。「強制循環型（直接集熱方式）」は、太陽集熱器と貯湯槽を別置きにし、貯湯槽の水を集熱器にポンプで送込み、循環させることで貯湯槽の水温を上げる。「強制循環型（間接集熱方式）」は、太陽集熱器と貯湯槽の間に不凍液の流れるパイプを設置し、集熱器で暖められた不凍液の熱で貯湯槽の水温を上げる。「ヒートポンプ式」は、太陽集熱器で吸収した熱をヒートポンプを使って高い温度で放熱し、貯湯槽の水温を上げる。

図表 — アクティブソーラーシステムの種類



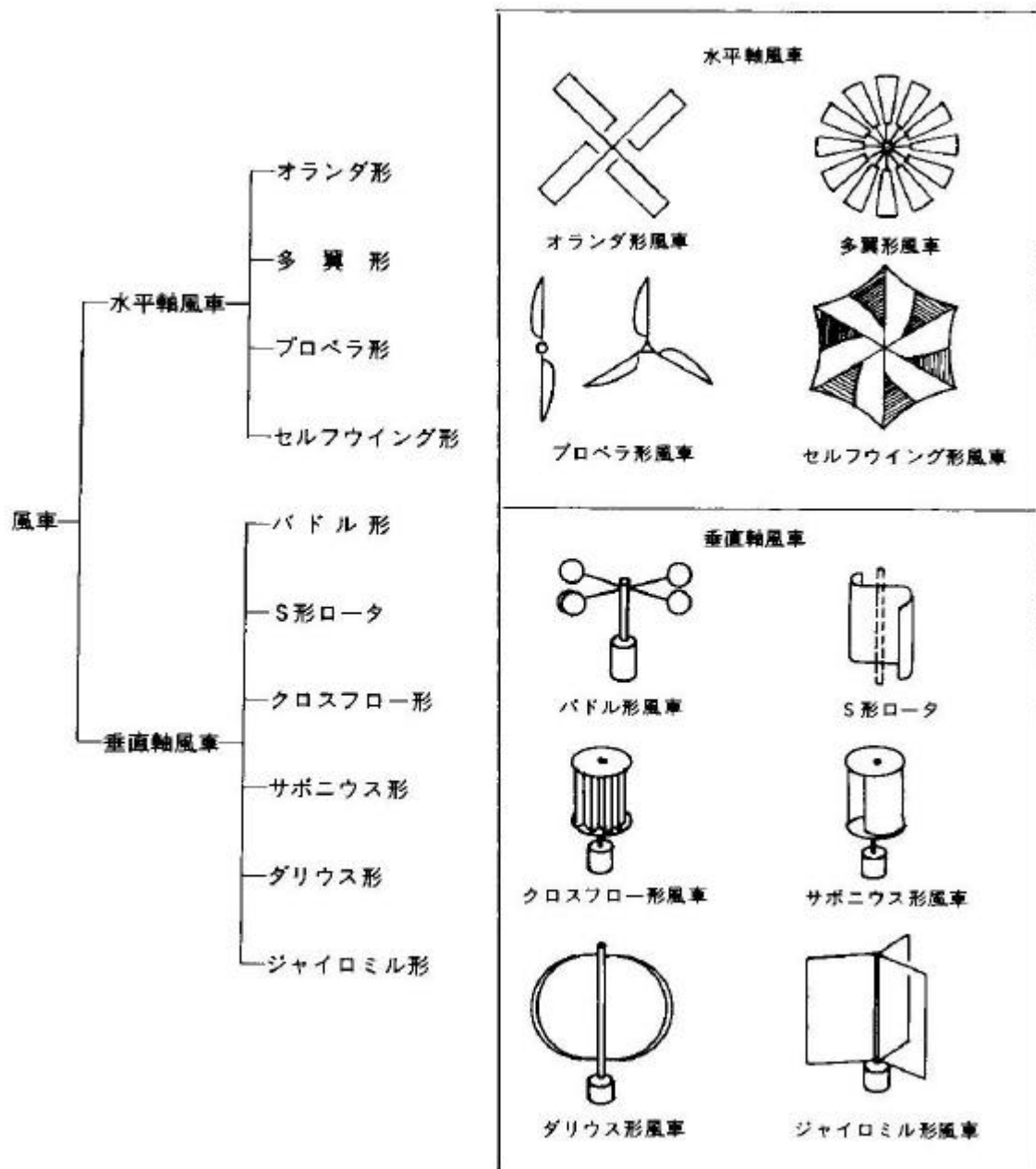
出所：建築設備教科書研究会編「建築設備教科書」

アクティブソーラーシステムは、熱の需要・供給にずれがあり、需要の高い冬は不足し、供給の多い夏は余ってしまうなどの課題がある。特に北海道の場合は、冬期の熱損出が大きい。これを補う方式として、地下水熱等を利用したヒートポンプとのハイブリッド型が有効である。

③ 風力発電

風力エネルギーで風車を回転させるとき、空気力学的に見て風力エネルギーの利用効率は最大59.3%（Bets の理論）であるが、空気の抵抗や粘性、風車の性能などの条件で、実際には20～40%程度である。風車の種類は様々であるが、効率性から現在は水平軸・プロペラ型が主流となっている。

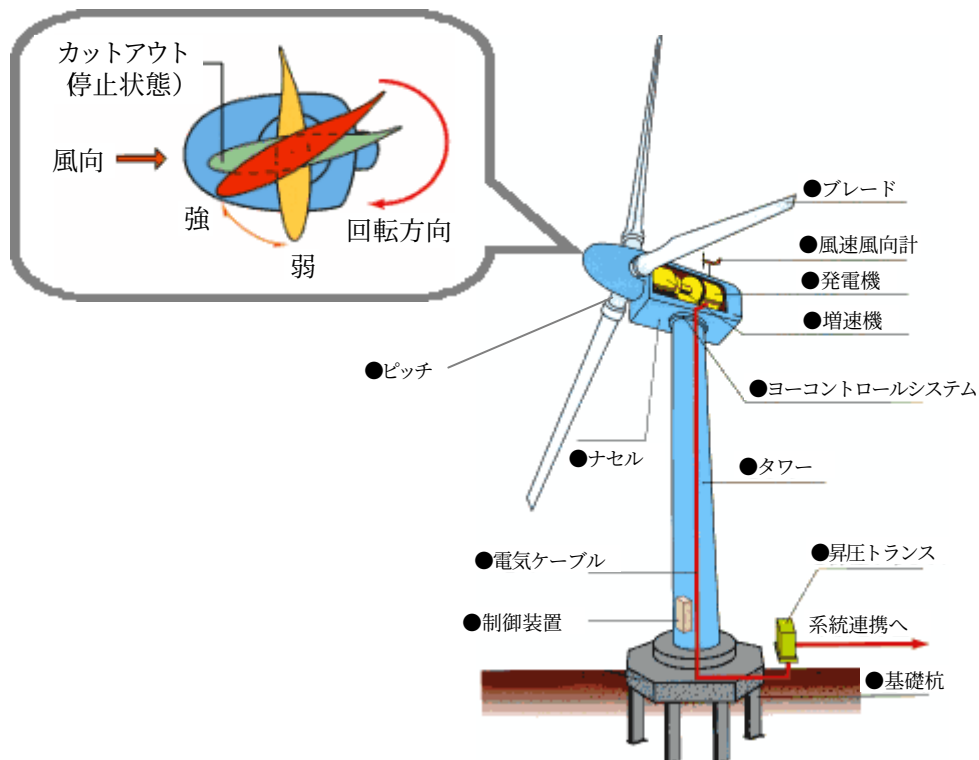
図表 ー 風車の種類



出所：資源エネルギー庁「新エネルギー便覧」

風力発電機の構造は、ブレードが風を受け風車を回し、その回転運動を増速機でギアチェンジにより回転数を上げて発電機を回す。風車はヨー制御で風上に向くよう制御され、可変ピッチ制御によりブレードを最適角度に調整する。台風などで風が強すぎる時には風車の破損を回避するために、ブレードと風の角度を0度とし風車が回らないようする。また、風力発電システムを系統と連携するには連携保護装置が必要となる。

図表 ー 風力発電機の構造



出所：室蘭市資料より作成

風力発電の導入においては、以下の事項がポイントとなる。

- ①風車の設置高さ（30～40m）で年平均風速が6 m/s 以上が期待される地域を選定する。
- ②風が乱流とならず、周辺に風の障害物がない場所を選ぶ。
- ③周辺に電波障害の影響が問題となる施設がない場所。
- ④将来への拡張性（複数台設置）の可能性のある場所。
- ⑤道路等のアクセスが良い場所で、発生電力供給用の送電線・変電設備が近くにある場所。
- ⑥周辺の自然環境、騒音問題などの影響も評価して場所を選定する。

④ 雪氷冷熱利用技術

雪氷冷熱利用技術は、冬期に雪や氷を蓄え、その冷熱を夏期に利用するものである。

雪や氷の貯蔵方法は、高断熱性能（発砲ポリスチレン板にして 100～150 mm 程度）の貯蔵庫に蓄えるが、雪の場合は大量に積み上げると雪自体の断熱性（気泡を含むため）により、パーク材や籾殻などで覆う簡単な断熱方法で保存が可能である。沼田町における実験では、高さ 4 m の雪山を 2 つ築き、ひとつには厚さ 30 cm のパーク材で、もうひとつには厚さ 35 cm の籾殻と飛散防止用に 5 cm 厚の麦藁で覆ったところ、9 月上旬での融雪は 1.5 m 程度であり、10 月上旬でも 2 m 以上融けることはない予想されている。

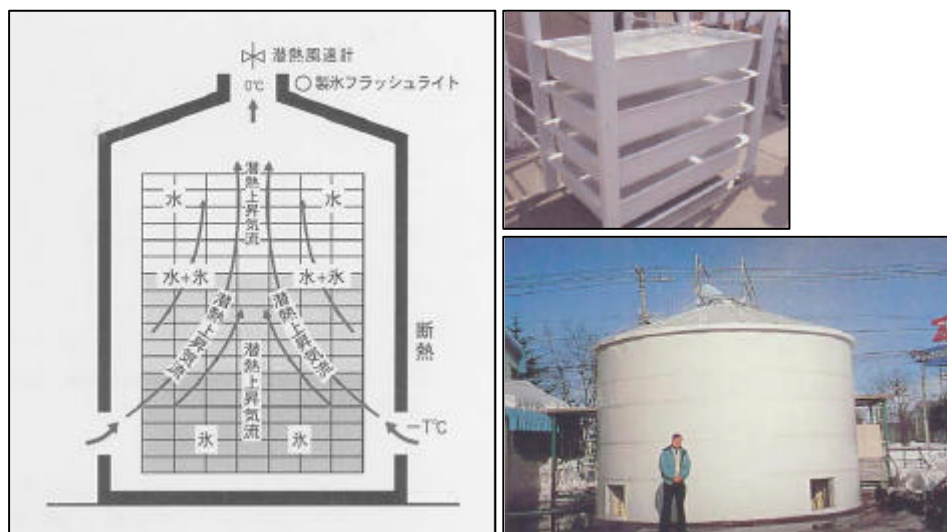
図表 — 沼田町での野積み貯雪実験



出所：「沼田町食料貯蔵流通基地構想」パンフレット

氷の利用は、アイスシェルターと呼ばれる製氷・貯氷庫で寒冷な外気を利用して水を凍結させる。このとき、水の容器が大きすぎるとなかなか凍らないため、小さな容器に小分けし、冷気が満遍なく行き渡るように容器どうしの隙間を設ける。貯氷庫は、水容器の配置スペース及び配置作業スペースを確保した大きさが必要であるが、帯広市内の事例によれば、容積 100 m³ 程度で約 50 t の氷をつくるのが可能である。

図表 — アイスシェルター

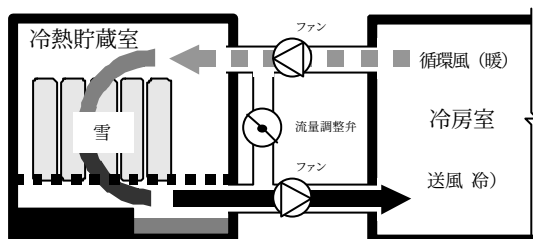


出所：(株)アイスシェルター、北海道立寒地住宅都市研究所資料

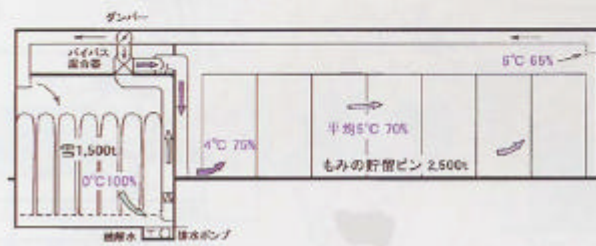
冷熱採取方法は、「全空気方式」と「融解水熱交換方式」に大別することができ、それぞれの方式には以下の特徴がある。

全空気方式

雪や水で直接冷却した空気を冷房室に機械ファンで送り込み暖まった空気を室外排気したり、その空気を冷熱貯蔵室に戻して強制対流させたりする。また、機械ファンを使わず、自然通気とするものもある。冷熱輸送距離 100m以内に有利。

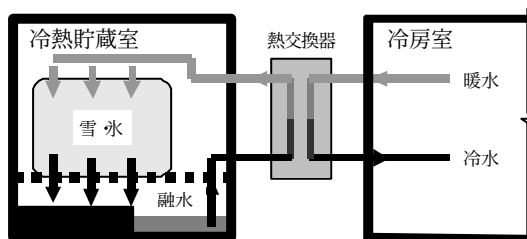


事例 沼田町米穀低温貯留乾燥調整施設

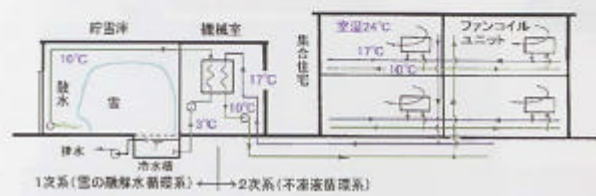


融解水熱交換方式

冷熱貯蔵室の融解水（冷水）を熱交換器に循環させる。熱交換器からの戻り水は、雪や氷にかけて溶かすときに放熱させる。冷熱輸送距離 100m以上に有利。



事例 賃貸マンション（美唄市）



出所：事例は北海道経済産業局「雪氷冷熱エネルギー活用事例集」

雪と氷の冷熱利用において、共通した特徴として以下の点が挙げられる。

- ①冷凍機やクーリングタワーを使用しないため、運転に必要なエネルギーが少なく、騒音や排熱も少ない。
- ②二酸化炭素を排出しないほか、都市において夏期に冷房機使用のために外気温が上昇するヒートアイランド現象の低減など環境面での貢献度が高い。

また、「雪冷熱利用」と「氷冷熱利用」について、冷熱採取方式（全空気方式、融解水熱交換方式）からのそれぞれの特徴をまとめると、以下となる。

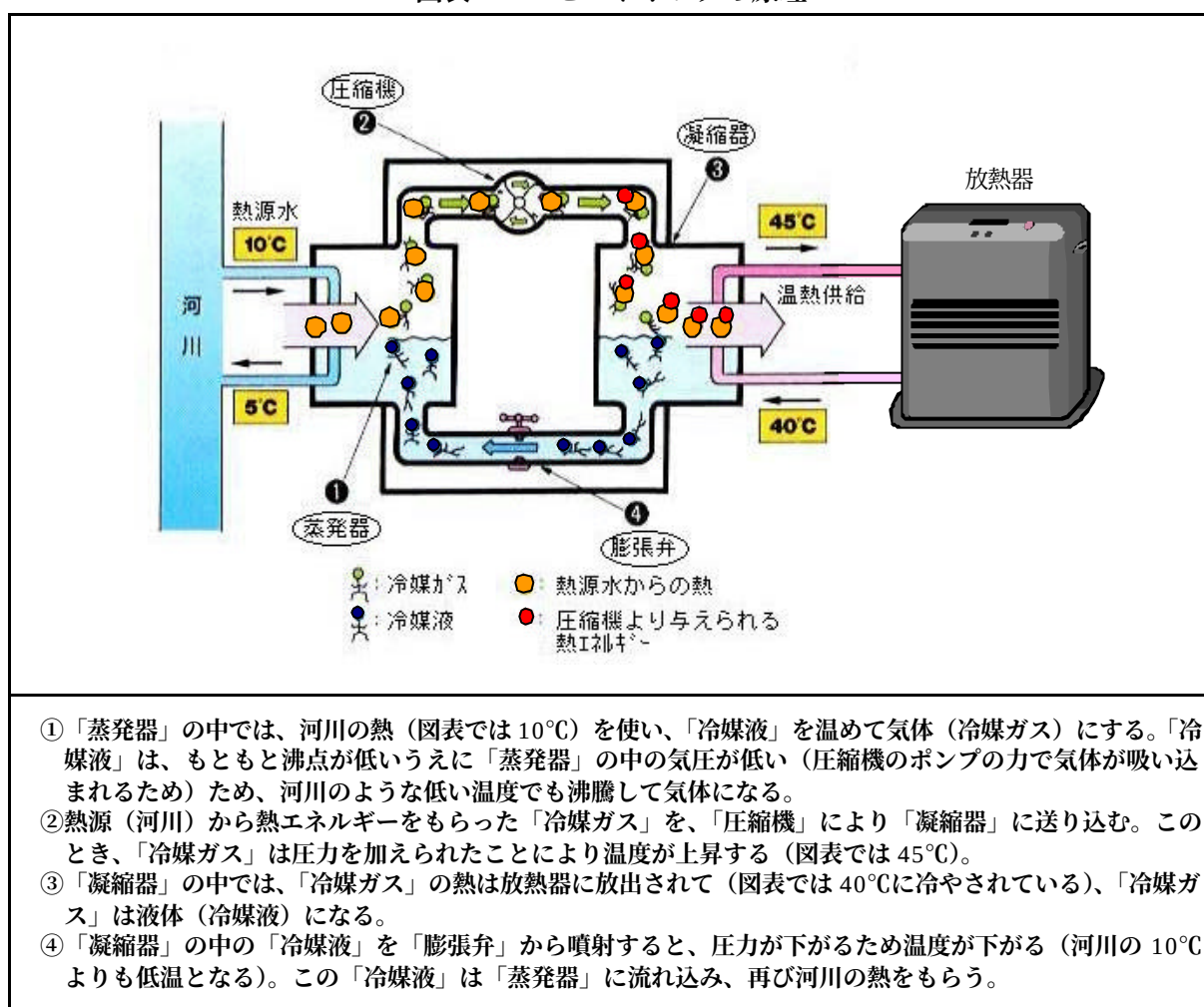
	雪冷熱利用	氷冷熱利用
全空気方式	①0℃に近い低温空気を供給できる。 ②冷熱貯蔵室は0℃に近い場合、取り込み空気に対する除湿効果が高く、これを供給時に高温にすれば乾燥空気として利用できる。 ③冷房室に供給される空気は80%前後の湿度があり、冷房室内での乾燥を防ぐことができる。農産物の保存などに適している。	①熱源の搬入が不要であり、実験では水の補給も必要としていない。
融解水熱交換方式	②雪の融解水は0～4℃と冷熱量が大きいため、熱交換器や配管が小型化できる。	—

⑤ 温度差エネルギー利用技術（ヒートポンプ）

ヒートポンプは、熱源の温度が必要な温度よりも低いときに、熱源から熱エネルギーを汲み上げて必要な温度に昇温して利用する技術である。ルームエアコンなどに使用されているが、地下水・河川水・下水・工場低温度廃熱等の熱源としての有効利用が可能となる。また、寒冷地におけるソーラシステムとの組合も効果的である。

ヒートポンプの原理について、河川を熱源とした例で説明すると以下となる。

図表 — ヒートポンプの原理



出所：NEDO資料より作成

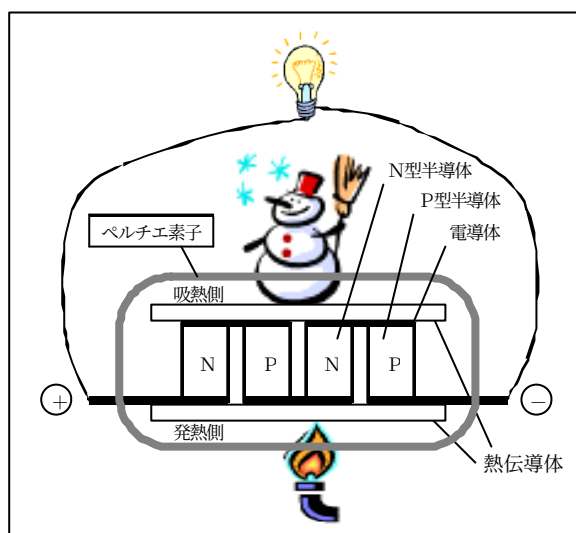
ヒートポンプでは、電力1単位を使用すると通常3～5単位の熱エネルギーを取り出し利用することができる。採取エネルギー量を投入エネルギー量で割ったものを成績係数（COP：Coefficient of Performance）と呼び、ヒートポンプのエネルギー効率の指標とされる。

ヒートポンプは、熱源が冷たすぎるときは利用効率が低下し、本道のような寒冷地における暖房のためには、10℃以上の熱源が必要とされる。

⑥ 温度差発電

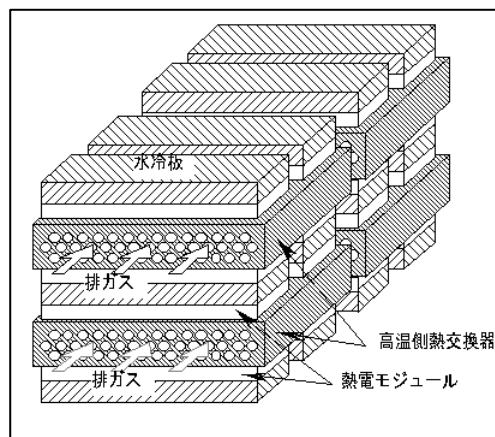
ペルチエ素子（N型とP型の半導体を組み合わせたもの。図を参照）に電気を流すと、素子の表裏に温度差を生じる（ペルチエ効果）。逆に、ペルチエ素子の表裏に温度差を与えると電力が発生する（ゼーベック効果）。この原理を利用し、発電を行うことができる。ゼーベック効果における起電力は、温度差と2つの半導体の特性により決まる。

図表 — ペルチエ素子とゼーベック効果



温度差発電は、近年注目されてきており、NEDOの「高効率熱電変換素子開発先導研究（平成12～13年度）」の委託を受け、(財)省エネルギーセンター等では大学・国立研究所・企業の協力のもと、現状技術では利用困難な、産業・民生・運輸部門から発生する未利用熱エネルギーを、電気エネルギーとして変換するために必要な革新的素子材料の探索・製造、及びこの素子を用いた熱電変換システムの開発に関する調査研究を行うとともに、経済性や導入効果に関する検討を行っている。また、仙台市西田中のゴミ焼却場では、プロトタイプの実験発電が始まっている。

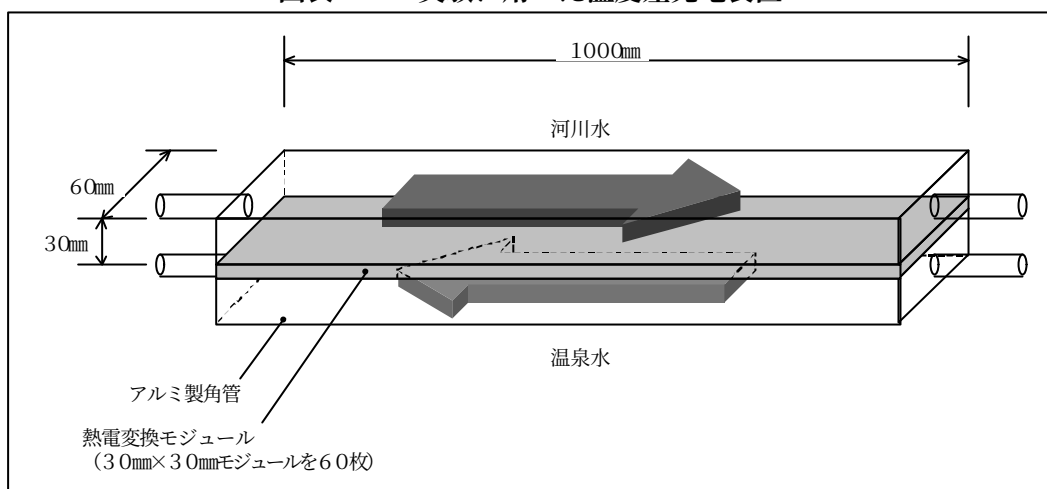
図表 — 熱電変換システムの模式図



出所：(財)省エネルギーセンター資料

釧路工業高等専門学校地域共同テクノセンターでは、次の図の温度差発電装置を羅臼町に設置し、実験を行っている。

図表 ー 実験に用いた温度差発電装置



出所：東藤勇他「温泉や家庭暖房熱による温度差発電の実用化」より作成

実験に用いられている温度差発電装置は、アルミ製角管（60 mm×30 mm×1000 mm）2本の間に熱電変換モジュール（30 mm×30 mmの単位モジュールを60枚使用）を挟み、片方の角管には温泉水（温度 96℃、流量 4.8L/分）を、他方の角管には河川水（温度 13℃、流量 4.3L/分）を逆向きに流す装置である。

角管内部には放熱用のフィンを取付けたが、最も熱効率の良い形状のものでは、25W の発電出力を測定した。この温度差発電装置（25W）を6本直列にし、常時 150W の発電を行うことが可能である。

バイオガスは、家畜糞尿・生ゴミ・下水汚泥などの有機物のメタン醗酵で得ることができる。バイオガスは、メタン 60%、二酸化炭素 40%、硫化水素、水素、窒素による混合ガスであり、発熱水準は都市ガスと同程度である。

北海道では酪農・畜産が盛んであるが、家畜糞尿の処理が課題となっている。家畜糞尿バイオガスプラントは、エネルギー資源としての利用だけではなく、環境問題への対応策としても有望なものとして着目されている。

メタン醗酵は、嫌気性醗酵であり密閉された醗酵槽が必要である。醗酵槽内での滞留日数は 10～30 日程度であり、醗酵菌と投入原料との接触効率の向上や、発生ガスの分離などのために、醗酵槽では攪拌が必要である。攪拌には、機械で混ぜるものと、発生ガスをブローで醗酵液中に送り込むものがある。

メタン醗酵を行う菌（メタン菌）には高温菌（最適温度 50～60℃）と中温菌（最適温度 35～38℃）があり、以下の特徴が見られる。

	高温菌	中温菌
最適温度	50～60℃	35～38℃
特 徴	・ 醗酵時間が短く、大量処理に適している。 ・ 醗酵温度を保つための加温は、中温醗酵より多くのエネルギーが必要。	・ 醗酵時間が長い。 ・ 醗酵槽の加温は高温醗酵より少ない。 ・ 温度変化に対する緩衝性が高い。
導入状況	・ 北海道などの寒冷地では、加温によるエネルギー消費への対応が課題となっていたが、断熱技術等の進歩により導入事例が増えている。	・ 技術的に安定しており、ヨーロッパをはじめ北海道でも主流。

メタン醗酵のプロセスは、最初に投入原料の有機物が「通性嫌気性菌群」による酸醗酵で中間生成物（酢酸・プロピオン酸・アルコール・水素ガス・炭酸ガスなど）となり、それが「絶対嫌気性群」のメタン菌群によりメタン・炭酸ガス・アンモニアなどに分解される。「通性嫌気性菌群」と「絶対嫌気性群」は最適条件が異なるため、醗酵槽を酸醗酵用とメタン醗酵用の2相に分けると効率性は向上する。

醗酵条件の管理としては、固形物濃度・温度・発生アンモニア濃度・PH値などの調整が必要である。また、醗酵菌に有害な物質（抗生物質・消毒剤・重金属など）が混入しないよう注意が必要。

発生したバイオガスには、毒性が強い上に燃焼機器の損傷原因となる硫化水素が含まれるため、脱硫槽で硫化水素を除去してからガスホルダーに貯留する。貯蔵バイオガスは、醗酵槽の加温、発電機やボイラーの燃料として利用できる。

バイオガスプラントには、個々の農家で設置する「個別型」と、地域で設置する「協同集中型」がある。「個別型」の場合、熱や電気を自家用として利用できるほか、電力は統連携により売電が可能である。「協同集中型」の場合、各農家に熱や電気を供給することは、バイオガスや温水の供給インフラに多大な設備投資を要するほか、電気の供給には法的制限もあることから、現実的には困難である。エネルギーを有効に利用するためには、近くに熱エネルギー利用施設（コミュニティセンター、運動施設、ハウス栽培施設など）が必要である。

また、メタン醗酵後の消化液は液肥として利用できるが、耕作地が窒素過多とならないよう、十分な利用先の確保や、成分調整を必要とする。

ii) 下水汚泥バイオガスプラント

下水道終末処理場では、大量の下水を輸送・処理するための動力用の電力消費が極めて大きい。下水1 m³を処理するときの総消費電力(0.2~0.4kWh)の2割程度を、下水1 m³当たりから発生するバイオガスによる発電で賄うことができる。さらに、下水汚泥バイオガスによる発電をコージェネレーションで行えば発電機からの熱も利用できるが、醗酵槽への加温(37℃前後)を必要とするため、北海道の冬期では発生バイオガスのほとんどを加温のために消費してしまう。また、熱エネルギーは、夏期は余ってしまうことが多く、有効な活用が課題となる。

iii) 生ゴミバイオガスプラント

生ゴミは固形状のものが多いため、醗酵の前処理として破碎・溶融化し、タンパク・資質の加水分解などを行い、醗酵効率とハンドリングを高める必要がある。最近では、それほど多くの加水を必要としないドライ型システムの開発が進んでいる。

⑧ 廃棄物燃焼熱利用技術

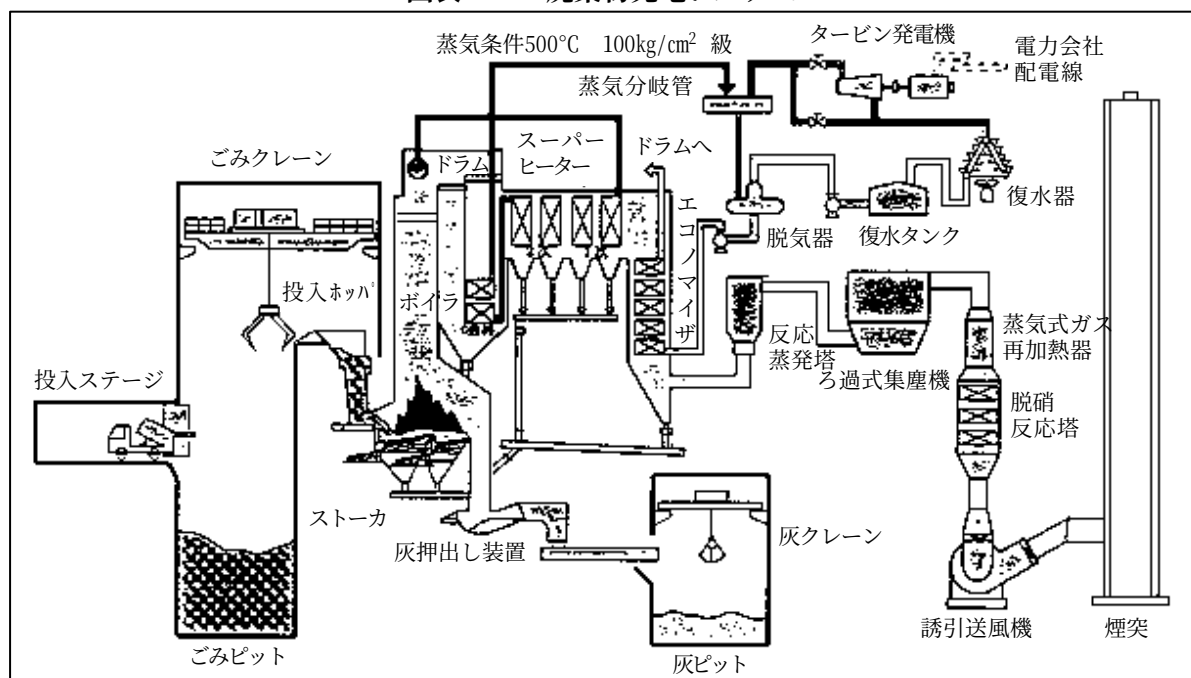
i) 廃棄物発電

廃棄物発電には、以下の特徴がある。

- ①多くの廃棄物は、もともと焼却処理されており、その焼却熱をエネルギー利用するので、化石燃料の使用を削減し、新たなCO₂発生を抑制できる。
- ②安定した電力が連続的に得られ、新エネルギーの中では供給の安定性が高い。発電出力を安定・高効率化させるためには、リパワリング方式（天然ガス等の補助燃料を使用）やRDF方式（可燃性廃棄物を選別・粉碎・粒度調整・成型固化した固形化燃料を使用）がある。
- ③ごみ焼却施設は、都市やその近傍に設置されているため、規模は小さいが、電力需要地に直結した電源となり、送電損失が少ない。
- ④電力とともに地域への熱供給が可能であり、効率の高いエネルギー利用が実現できる。この場合、熱利用の有効な需要先が必要である。
- ⑤ゴミ焼却施設として、ダイオキシン等の環境対策を考慮する必要がある。

基本的なシステムは、廃棄物の受け入れ設備、焼却炉とこれに組み込まれたボイラーと過熱器、蒸気タービンと発電機、排ガス処理装置、灰処理施設などによって構成される。

図表 ー 廃棄物発電システム



出所：NEDO資料

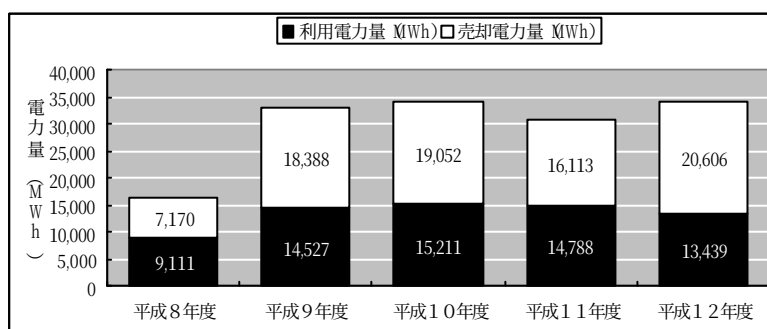
導入に当たっては、以下の事項がポイントとなる。

- ① 棄物処理量の確保が必要。経済性や発電出力安定の面から大規模施設（ごみ処理量 150～200 t/日以上）で行う必要がある。また、ダイオキシンの発生を抑制するためにも、高温の安定した燃焼が必要であり、施設規模の確保が欠かせない。廃棄物の発生量が少ない中小自治体の場合、ゴミの広域収集や、各自治体で製造したRDFの収集が必要。
- ② リサイクル推進に伴う可燃性廃棄物発生量の減少や発熱量の低下等を考慮し、足並みを揃えた導入計画が必要。
- ③ 立地条件として、送電線が近くにあることが基本。熱需要施設が近くにあれば熱エネルギーも有効に利用できるが、季節や利用時間帯などによる熱需要の変動に対し、熱が余らないような電熱需給の計画が必要。

ii) 帯広市「くりりん発電所」

帯広市では、「くりりん発電所」で廃棄物（一般ゴミ）を燃料とした発電を行っている。発電規模は 7000kW（2 万戸分）であり、ゴミ 1 t 当たりの発電量は 763kW、発電効率は 21.9%である。発電した電力は所内や中島処理場（屎尿処理）で利用するほか、余剰電力は北海道電力に売電している。

図表 ー 発電電力量



出所：帯広市調べより作成

図表 ー くりりん発電所

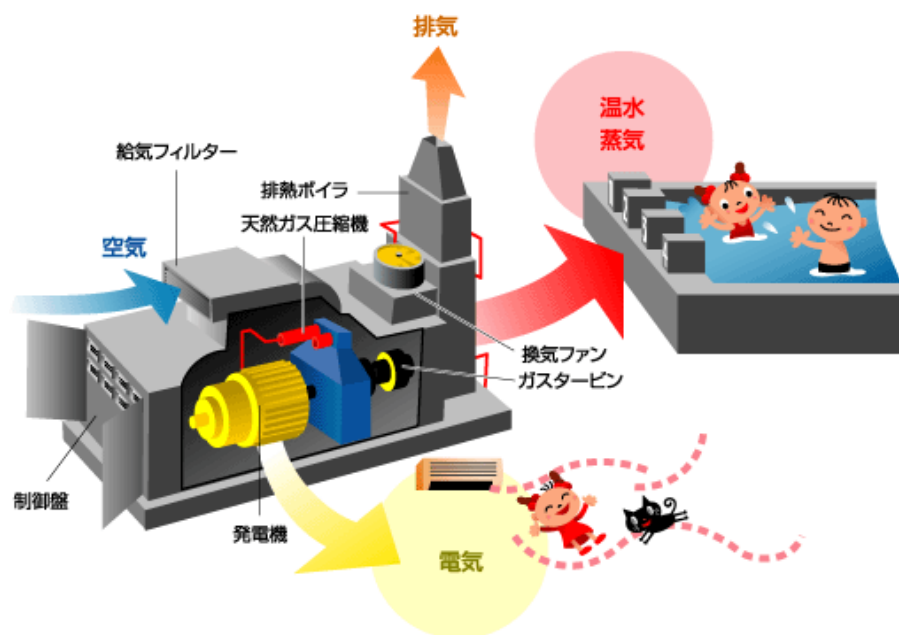


出所：くりりんセンターパンフレット

⑨ コージェネレーションシステム

コージェネレーションシステムとは、発電機で「電気」を作るときに発生する冷却水や排気ガスなどの「熱」を、給湯や暖房などに利用するシステムである。熱は吸収式冷凍機に使うことで、冷房にも利用できる。「電気」と「熱」を有効に利用できるため、燃料が本来持っているエネルギーの利用効率（総合エネルギー効率）は、70%～80%にも高めることができる。発電機としては、ディーゼルエンジン・ガスエンジン・ガスタービンなどが用いられ、今後は燃料電池も有望視されている。

図表 — コージェネレーションシステム



出所：新エネルギー財団資料

以下の条件を満たした建物が、コージェネレーションの導入に適している。

- ①年間を通じて安定した熱負荷、電力負荷が発生する建物
- ②熱負荷と電力負荷の時刻別発生パターンが類似している建物
- ③建物の熱電比（回収熱出力／発電出力）が比較的高い建物
- ④万一に備えて電力・熱源共、予備の設備を持つ必要がある建物

年間を通じた給湯需要が多い、ホテル等宿泊施設・病院・スポーツ施設などに効果的である。

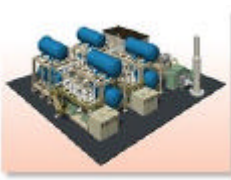
⑩ 燃料電池

燃料電池は、水素と酸素を電気化学的に反応させることによって、電気を発生させる新しい概念の発電装置である。発電効率がよく（40～60%）、また消費地に設置できるため送電損失がなく、コージェネレーション（熱・電気併給）用としても適している。

燃料としては、メタン（天然ガス、バイオガス）、メタノール、石炭ガス化ガス等が使用でき、石油代替エネルギーの利用促進効果も大いに期待できる。SO_xやNO_xの排出が極めて少ない環境低負荷型の発電設備であり、化学反応による発電なので振動や騒音も少ない。

燃料電池は電解質の種類により、リン酸型、溶融炭酸塩型、固体電解質型、固体高分子型などに分類できる。それぞれの型には以下の特徴がある。

図表 ー 燃料電池の種類と特徴

	リン酸型 (PAFC)	溶融炭酸塩型 (MCFC)	固体電解質型 (SOFC)	固体高分子型 (PEFC)
形 態		 ・ 6～7MWプラント予想図 (700kW級モジュール8基、 大型ガスタービン1基)	 ・ 円筒型1kWセルバンドル	
電 解 質	・ リン酸水溶液	・ リチウム-ナトリウム 系炭酸塩 ・ リチウム-カリウム系 炭酸塩	・ ジルコニア系セラミッ クス	・ 高分子膜
作動温度	200℃	650～700℃	900～1000℃	70～90℃
燃 料	・ 天然ガス（改質） ・ メタノール（改質）	・ 天然ガス ・ 石炭ガス化ガス	・ 天然ガス ・ 石炭ガス化ガス	・ 水素 ・ 天然ガス（改質） ・ メタノール（改質）
発電効率 (HHV)	35～42%程度	45%～60%	45%～65%	改質ガスを用いた場合 30%～40%
特 徴	・ 開発が最も進んでおり 実績が多い。	・ 高発電効率、大容量化 に適する。石炭ガスも使 用できるので大規模発電 プラントなどに期待され ている。	・ 高温度の排熱をガスの 改質やガスタービンの駆 動に利用できるため、発 電効率が高い。	・ 高出力でコンパクト。 ・ 低温で作動するため、 家庭用小型コージェネ レーションシステムや自 動車の動力源として期待 されている。
開発段階	・ 50～200kW級で導入実 績多数。	・ 200kW級内部改質方 式、250kW級外部改質方 式の開発に成功。 ・ 1000kW級発電プラント の運転試験・評価を完了。	・ 数百W～数kW級電池ス タックを開発中。 ・ 技術完成度は着実に高 まっており、早期の実用 化が期待できる。	・ 1kW家庭用コージェネ レーションシステムは商 品化済。

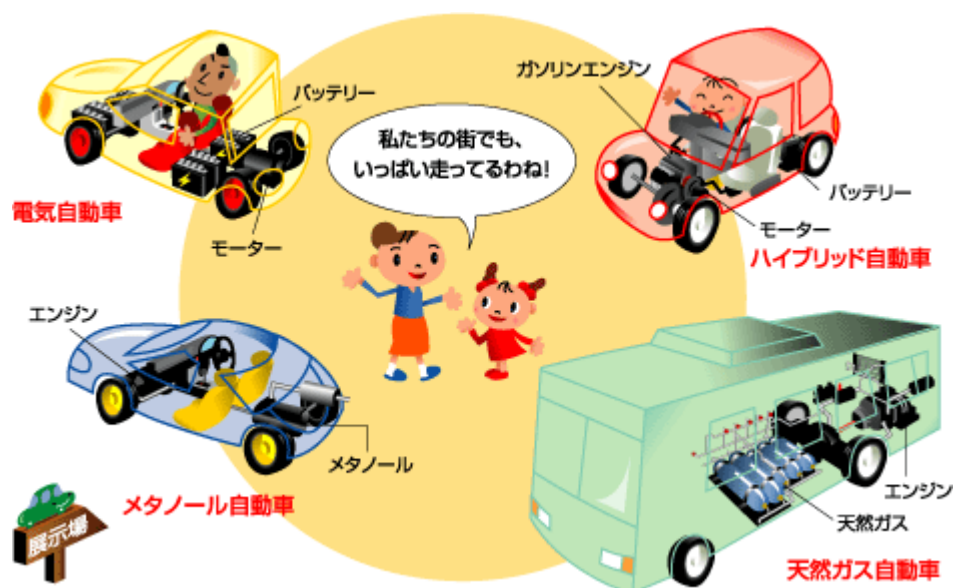
出所：NEDO資料、日本エネルギー学会誌等より作成

⑪ クリーンエネルギー自動車

わが国の二酸化炭素総排出量のうち、運輸部門の占める割合は約2割であり、クリーンエネルギー自動車（排気ガスを全く排出しない、または排出が少ないクリーンな燃料を使用）の利用の必要性は高い。

クリーンエネルギー自動車には、電気自動車、ハイブリッド自動車、天然ガス自動車、アルコールエンジン自動車などがある。電気自動車は、バッテリーからの電気でモーターを動かして走る。ハイブリッド自動車は、ガソリンエンジンと電動モーターの二つの動力を効率良く切りかえて走る。天然ガス自動車は、天然ガスを燃料にする。アルコールエンジン自動車は、エタノールやメタノールを燃料にする。

図表 ― クリーンエネルギー自動車



出所：新エネルギー財団資料

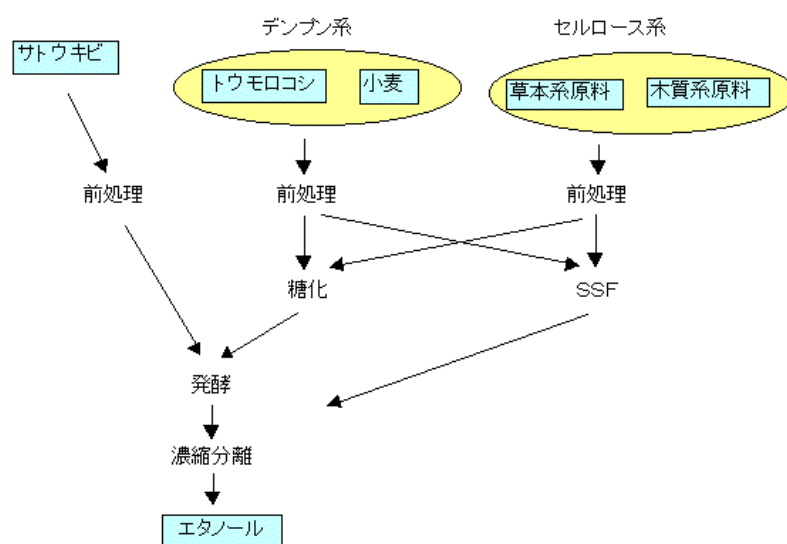
⑫ バイオマス・アルコール製造技術

i) エタノール醗酵法

糖質（単糖類）を醗酵させるとエタノールになる。デンプン質や複雑な炭水化物の場合は、いったん加水分解により単糖類になってからエタノール醗酵する。糖質を 100%エタノールに変換することは技術的に不可能であるが、工業的には 90%の収率で変換することができる。木質系のバイオマスを利用したエタノール醗酵技術もあるが、まだ商業化されていない。

生成したエタノールは水溶液で得られるため、燃料として利用するには分離精製が必要である。蒸留による分離精製は、現在確立されている技術であるが、多量の熱エネルギーを消費する。高分子膜等を使用した分離技術もあり、省エネルギー型の分離技術が期待されているが、大量に分離精製する場合、不純物による膜孔の目詰まりなど、工業技術として普及させるための課題が多いというのがプラントメーカーサイドの見解のようである。

図表 ー エタノール製造工程



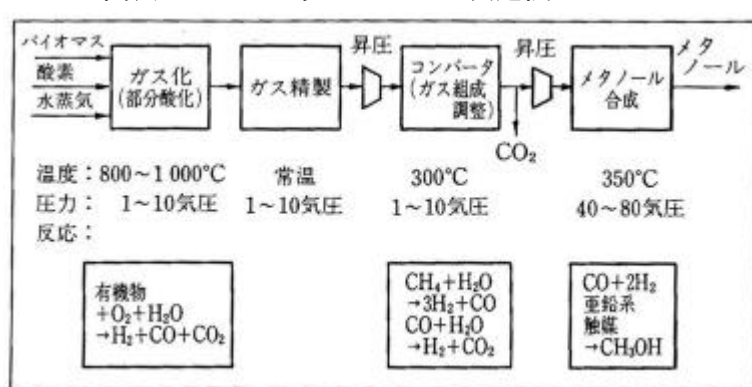
出所：特許庁資料

ii) ガス化メタノール製造法

現在、メタノールの工業的生産では、天然ガスを水蒸気で改質した合成ガス（水素と一酸化炭素の混合ガス）を反応させて製造している。合成ガスからは、ディメチルエーテルやガソリンなども製造できる。合成ガスは、バイオマス（生物体を構成している有機物）を高温でガス化して製造すること（ガス化メタノール製造法）もできる。

現在天然ガスが安価であることや、バイオマスから「有効な（メタノール合成の障害となるタール成分を含まない）合成ガス」を作り出すことに成功しなかったため、工業的にバイオマスからメタノールを製造した実績はなかった。しかし近年、長崎総合科学大学（坂井正康教授）と三菱重工業株式会社長崎研究所との共同により試験プラントが運転されている。

図表 — ガス化メタノール製造法プロセス



出所：坂井正康「バイオマスが拓く21世紀エネルギー」

図表 — バイオマスガス化メタノール製造パイロットプラント



出所：三菱重工業株式会社資料

醗酵法によるエタノールの製造では糖質やでんぷん以外は利用できないが、ガス化メタノール製造法ではすべてのバイオマスを利用できる。ただし、バイオマス素材を十分に乾燥させ（含水率が高いとガス化に要するエネルギー損出が大きくなる）、粉末状（粒径1 mm以下）にするなど、ガス化効率を高める前処理を十分に行う必要がある。

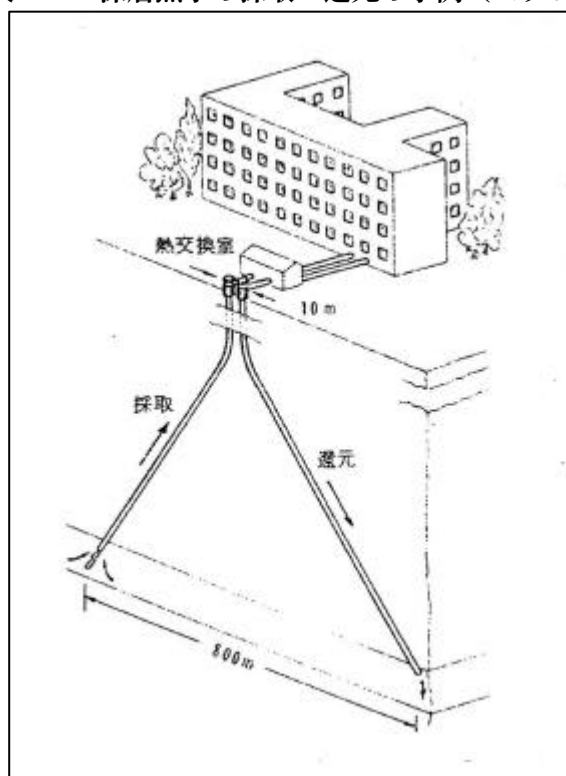
⑬ 深層熱水

深層熱水を相当量汲み上げて利用する場合、長期的に見て生産井周辺の資源量を減少させ、泉井の寿命を縮める。また、深層熱水には地表水の成分とは異なる多くの成分（特に、クロロイオン、ナトリウムイオンが多い）が含有されており、大量の含有成分が地表に放流されることは望ましくない。これらの問題の解決策として、採取した熱水を地上で熱交換し、適当な深度の地中に還元する方法がある。

深層熱水の採取は、事前の地質調査に従い、求められる温度と採取量によって、生産井の深度が設定される。還元井には、生産井と等しい深度の地層に戻す「同層圧入」と、異なる地層に戻す「異層圧入」の方式がある。同層圧入は、資源保存には最適である。自噴圧力の高い地層であれば相当の圧力を必要とするとの報告があるが、取水層に近い所に好条件の透水層があれば、自然圧で注入することも可能である。異層圧入の場合、あまり地表に近い所で還元すると、資源保存の効果が低下するほか、地表水への影響が生じることが考えられる。

同層圧入、異層圧入に係わりなく、還元水の生産井への干渉が予想されるため、採取位置と還元位置とは相当の間隔を保つことが必要である。フランスのムラン市の例では、約 1,800mの深度で採取位置と還元位置とを 800m離している。また、フランス地質調査所の報告によれば、深度 2,000mで最低 500m離すことが望ましいとされている。

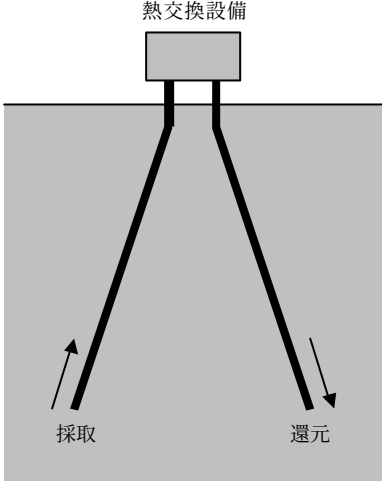
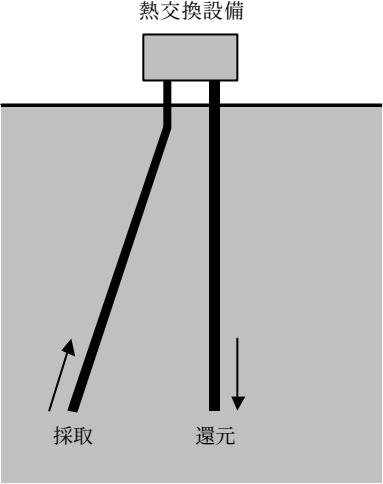
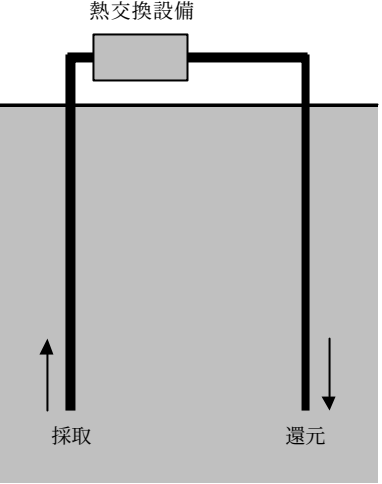
図表 ー 深層熱水の採取・還元の事例（ムラン市）



出所：帯広市「地域エネルギー利用実用化モデル調査報告書」

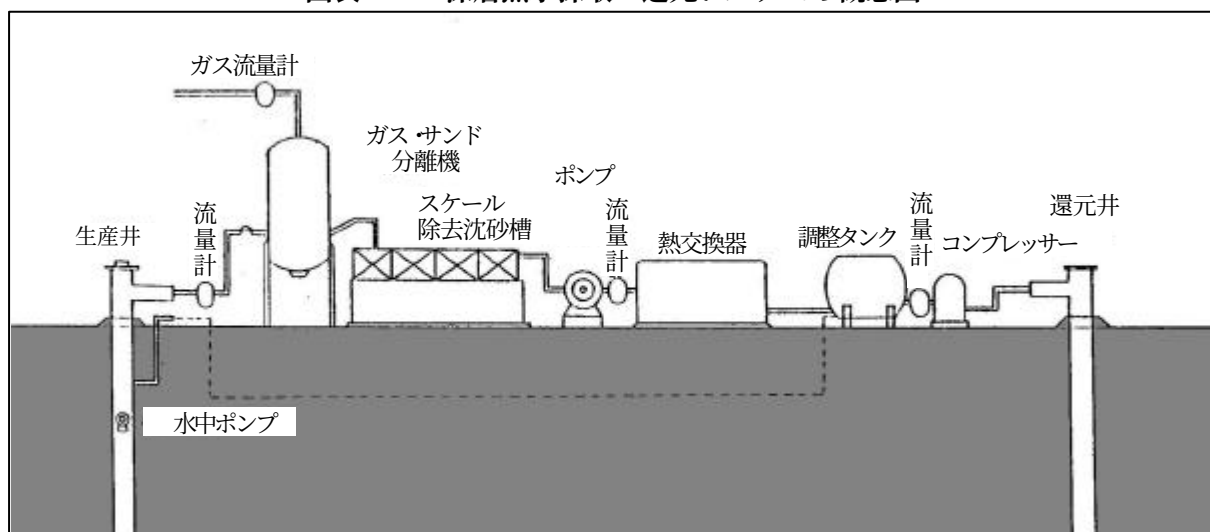
生産井と還元井には、以下の3つの型式がある。

図表 ー 生産井と還元井の型式

型式1（ムラン方式）	型式2	型式3
		
・ 地上から両井を傾斜掘するため、型式3に比べ地上設備の配管が少ない。	・ 生産井は傾斜掘とし、取水層内での孔明管の長さを大きく取っている。還元井は垂直掘。	・ 傾斜掘ができないか、地上に余裕がある場合、もしくは熱交換を必要とせず直接熱利用する場合に採用される。

型式1、2の場合、傾斜掘は資源地の地質構造によっては相当のコスト高となる。掘削費は、型式1、2では大差がないが、型式3は30%以上経済的である。

図表 ー 深層熱水採取・還元システムの概念図



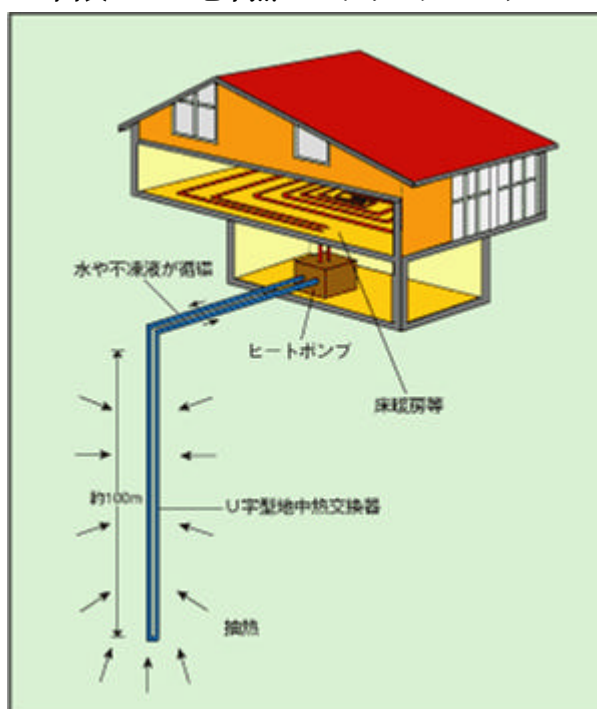
出所：帯広市「地域エネルギー利用実用化モデル調査報告書」

⑭ 地中熱ヒートポンプ

地温は地下深度が増すに従い上昇し、通年常温を保つことは前述の通りであるが、地中熱ヒートポンプは、10～15℃の地熱帯（地下 100m程度）まで掘削し、地温をヒートポンプの熱源に利用するシステムである。掘削により埋め込んだ鉄管に不凍液を循環させ、夏は冷房の放熱源とし、冬は暖房・給湯・ロードヒーティングなどの吸熱源として利用する。深層熱水利用に比べ、掘削深度もさほど必要とせず、熱水を汲み上げる必要もないことから泉源障害も発生しない。

帯広市内の企業で行われている実証実験によれば、市販の熱交換器を使用し、深さ 100mまで鉄管を垂直に埋め込んだシステムの運転費用は、暖房の場合は石油ボイラーと比べて3分の1程度である。また、設備コストは、ロードヒーティング 92 m²と社屋 97 m²を含めて 600 万円程度であるが、半分程度までコストダウンを目指した開発に取り組んでいる。

図表 ー 地中熱ヒートポンプシステム



出所：産業技術総合研究所資料より