

8 その他の再生可能エネルギー等の技術の現状

8.1 太陽熱冷暖房

8.1.1 技術の俯瞰

太陽熱を利用した熱供給システムとしては、太陽熱給湯システム、太陽熱暖房システム、太陽熱冷房システムの3つが挙げられるが、太陽熱暖房システムは太陽熱給湯システムと、太陽熱冷房システムは太陽熱給湯・暖房システムと組み合わせられるのが一般的である。従って、本章では「太陽熱暖房システム」および「太陽熱冷房システム」を以下のとおり定義する。

太陽熱暖房システム:太陽熱給湯システム + 太陽熱暖房システム

太陽熱冷房システム:太陽熱給湯システム + 太陽熱暖房システム + 太陽熱冷房システム

(1)太陽熱暖房システム

日本における太陽熱利用は、住宅における給湯利用を中心に普及が進み、屋根上に設置したタンクの水を温めて直接給湯に利用する太陽熱温水器が、最も簡易な太陽熱利用機器として第一次石油危機の頃から利用されてきた。また、ポンプを用いて集熱器内で水や不凍液を循環させ、蓄熱槽で熱交換してお湯を蓄える強制循環型ソーラーシステムが商品化され、価格も実用化の域に達している¹。

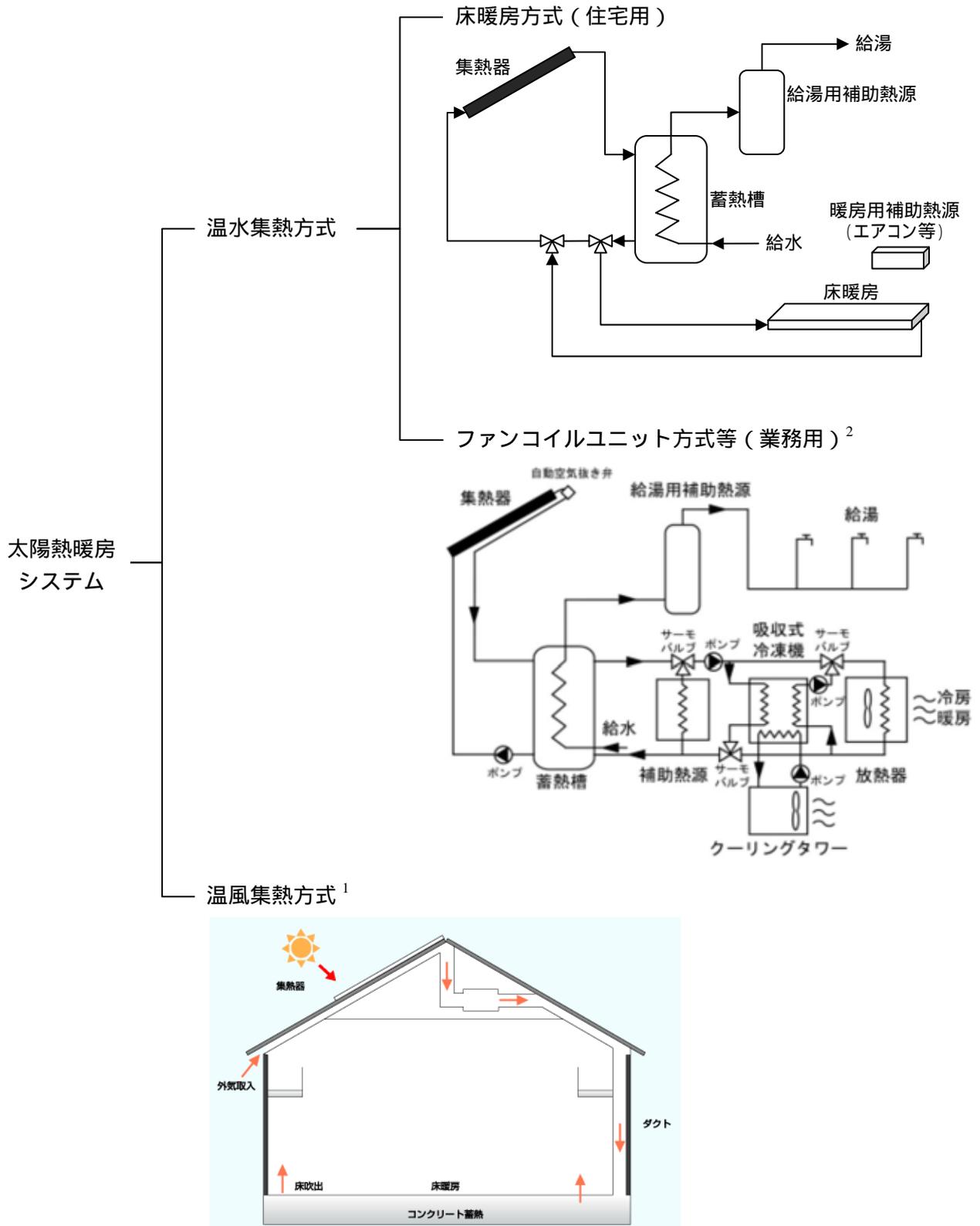
図表 8.1 に太陽熱暖房システムの方式別概略図を示す。太陽熱暖房システムは、集熱器、蓄熱装置、補助熱源等により構成され、熱媒の違いにより、温水集熱方式と温風集熱方式に大別される。温水集熱方式は、通常は太陽熱給湯システムと合わせて設置され、住宅用では、蓄熱槽と放熱器のコストを削減するために床構造を蓄放熱体とした床暖房とすることが多い²。業務用ビル等における温水集熱方式では、ファンコイルユニット方式が一般的に利用されており、ビル屋上等に設置した集熱器により集められた熱を暖房用熱交換器によって暖房に利用する。

一方、熱媒体を空気とした温風集熱方式は、屋根等に集熱器を設置して暖められた空気を屋根裏や建物外壁にファンを用いて循環させ、暖房に利用する仕組みである。また、システム内に熱交換器を組み込んで給湯を行うことも可能である。

¹ 現状のインシヤルコストは、太陽熱温水器が約30万円、太陽熱ソーラーシステムが約90万円(工事費込み)。

² 「新太陽エネルギー利用ハンドブック」(2000, 日本太陽エネルギー学会)

図表 8.1 太陽熱暖房システムの分類



出典 1：NEDO ホームページ（<http://app2.infoc.nedo.go.jp/kaisetsu/>）

出典 2：「太陽エネルギー新利用システム技術研究開発に係る事前調査」（2004, NEDO）

(2) 太陽熱冷房システム

太陽熱冷房システムは、各種熱駆動型冷凍機の熱源に太陽熱を利用し、冷房を行うものである。太陽熱給湯・暖房システムを冬期の熱需要に合わせて設計した場合、夏期に余剰熱が多く発生し、通年の稼働率が落ちる原因となる。年間を通じてより多くの太陽熱を利用し、かつ経済性を高めるためには、夏期余剰熱の冷房利用が有効である。

太陽熱冷房システムの冷熱源には、主に吸収式冷凍機、吸着式冷凍機、デシカント空調が用いられている。

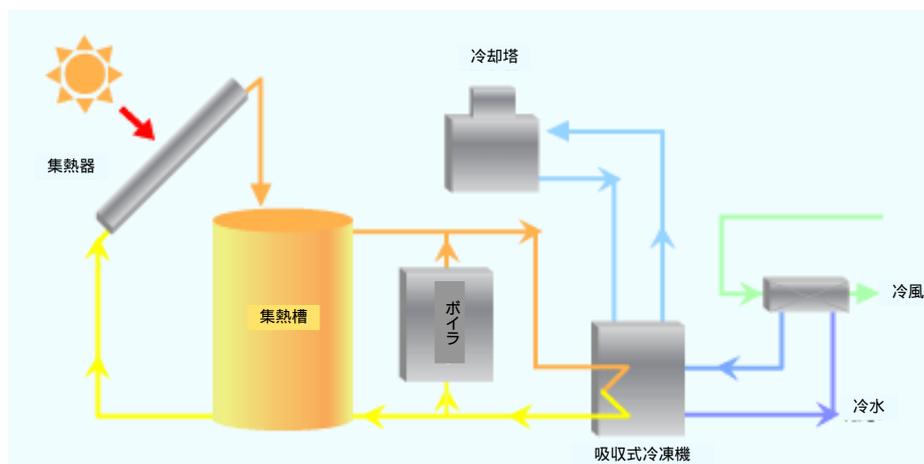
1) 吸収式冷凍機・吸着式冷凍機

日本ではサンシャイン計画において、主に吸収式冷凍機または吸着式冷凍機を用いた太陽熱利用冷房システム（図表 8.2）の研究開発が行われ、現在最も実用例が多いが、ヒートポンプ式空調の高効率化、低コスト化の進展に伴い市場は縮小している。

太陽熱利用の吸収式冷凍機には約 75 ~ 100 程度の温水³を利用する単効用型⁴が用いられる。温水加熱式吸収式冷凍機は温水温度が低下すると成績係数(COP)⁵が急激に低下するため、効率的に運用するためには補助熱源が必要となるが、その場合システムが複雑になり、インシヤルコストが高くなる。また、80 ~ 95 程度の温水による単効用型の場合、COP は 0.7 ~ 0.9 程度となり、一般的なヒートポンプ空調と比較して効率は大幅に落ちる。

吸着式冷凍機は駆動温度が約 70 ~ 90 とより低温の熱を利用できるが、COP は 0.5 ~ 0.7 程度と低いためコスト回収が難しい。

図表 8.2 太陽熱冷房システムの概念図



出典：NEDO ホームページ (<http://app2.infoc.nedo.go.jp/kaisetsu/>)

³ 吸収式冷凍機は、加熱方式により、「蒸気加熱式」、「温水加熱式」、「直焚き式（燃料油または都市ガス利用）」に分けられる。

⁴ 単効用型は、蒸発器・吸収器・再生器・凝縮器が各 1 台で、熱源には温水を用いることができる。二重効用型は単効用型に高温再生器を追加し、その凝縮熱で低温再生器を動作する 2 段階の熱利用を行うもので、蒸気やバーナーの燃焼による直焚き等、より高温の熱源が必要である。

⁵ エアコンが作り出す温冷熱量の、消費する電力量に対する割合。

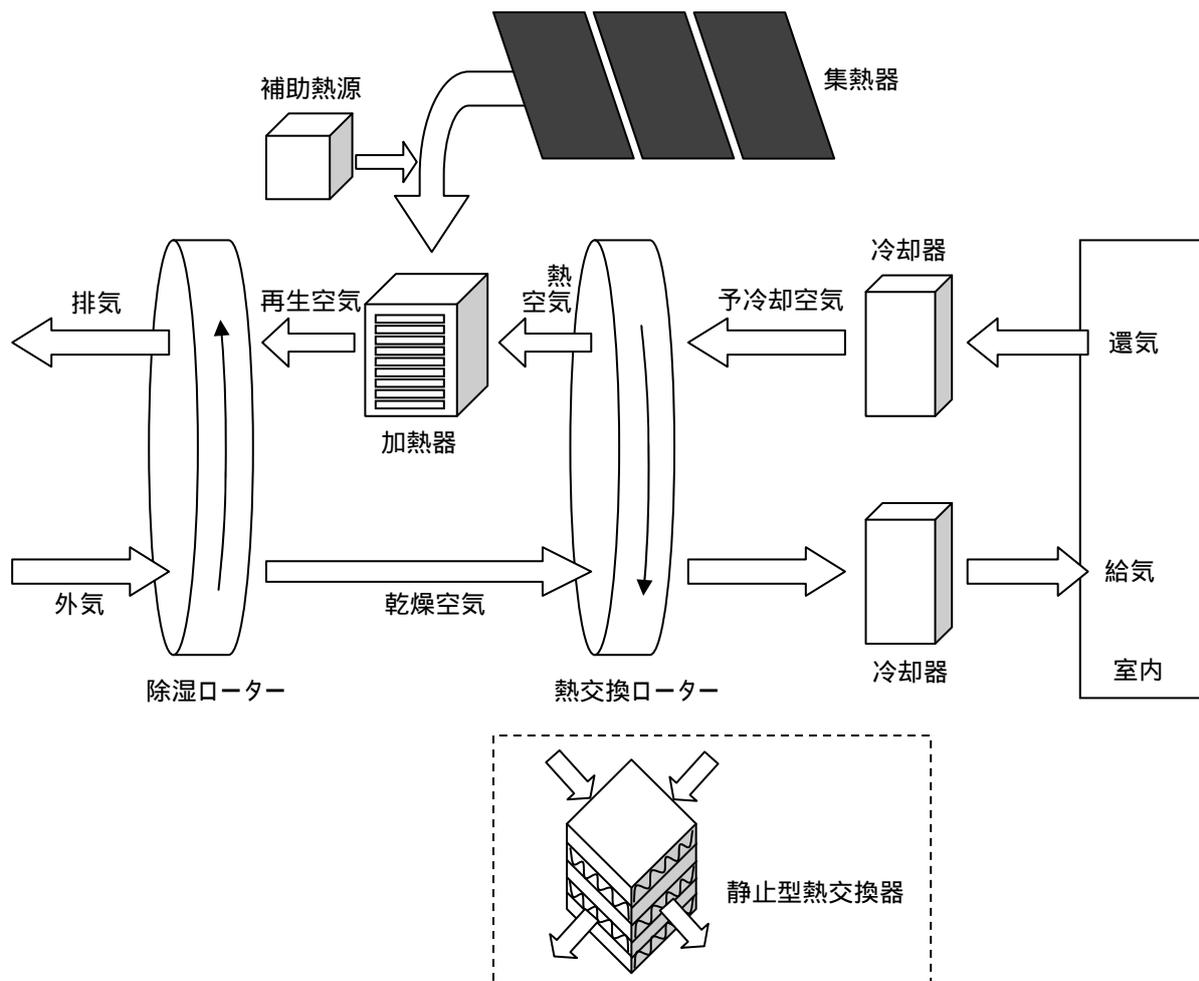
2) デシカント空調

夏期余剰熱の冷房利用としては、日本においては吸収式/吸着式冷凍機の使用が一般的であったが、近年太陽熱を利用したデシカント空調システムの研究開発が進められている。

デシカント空調の仕組みは、まず外気が除湿ローターを通過する際に、空気中の水分が吸着材に吸着されると共に吸着熱により温度が上昇した乾燥空気となる。この高温の乾燥空気は熱交換ローターにより室温近くにまで温度を下げられ、更に必要に応じて冷却器によって冷却された後、室内へと供給される。一方排気側は、冷却された後に熱交換ローターで給気側空気と熱交換を行い、更に加熱器により除湿ローターの吸着材の再生に必要な温度まで昇温され、除湿ローターを通り再生した後、室外に排気される。図表 8.3 に示したデシカント空調システムは、除湿ローターと熱交換ローターのツーローター式で、再生用加熱器の熱源に太陽熱を利用している。熱交換器にはローター型他、静止型が用いられる。

吸着材にはシリカゲル系が多く用いられている他、40 ~ 80 のより低温域の熱を利用することのできるゼオライト系の開発も進んでいる。デシカント空調はヨーロッパで開発され、その後日本でも開発が始まった。

図表 8.3 太陽熱利用デシカント空調システム

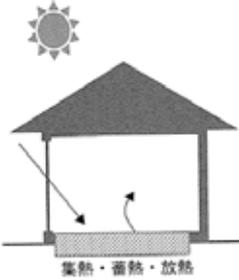
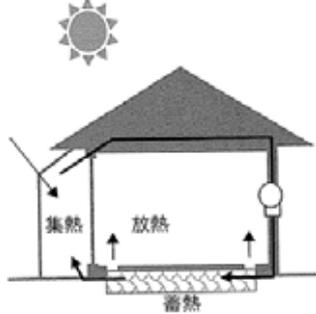


<参考> パッシブソーラーシステム

ポンプ等の機械的動力を使わずに、建物の設計段階で太陽熱利用を考慮した建築構造や建築材料を用いるパッシブソーラーシステムも、太陽熱を利用した空調システムの一つである。

パッシブソーラーの基本的考え方は、南面の開口部から昼間日射の熱を集熱し、その熱を熱容量の大きな壁体等に蓄熱しておき、夜間に対流や放射によって放熱することにより、太陽熱を利用するというものである。

図表 代表的なパッシブソーラーシステムの概念図

<p>ダイレクトゲイン</p>		<p>最も基本的な構造で、建物の床や壁にコンクリートや石等、熱容量の大きい素材を用いて、直接太陽光を当てて蓄熱する。吸熱された日射熱は、室温が下がる夜間に徐々に室内側に放熱されることにより、室内を暖める。</p>
<p>トロンプ壁</p>		<p>建物の南面に、表面を黒色塗装した厚いコンクリートまたは石の壁を設置し、その外側をガラスで覆うことにより集熱・蓄熱するシステム。日中はガラスと黒壁の間で暖まった空気が上方の通気孔から室内に入り、夜間は壁に蓄熱された熱が放射と対流により室内を暖める。</p>
<p>グリーンハウス型</p>		<p>建物の南側にガラスでグリーンハウスを付設し、日中の日射熱を透過させ壁や床に蓄熱し、夜間の放熱により室内を暖める。夜間は熱損失を防ぐため、断熱扉等で閉鎖する。グリーンハウスには植栽を設けて半屋内・半屋外のようにすることも可能。</p>

出典：「ソーラー建築デザインガイド [太陽熱利用建築事例集]」(2007, NEDO)

8.1.2 ポテンシャル

(1) 世界

地球の表面が1時間に受ける太陽光エネルギーは、人類の年間エネルギー消費量に相当すると言われており⁶、太陽熱冷暖房のポテンシャルは非常に大きいと考えられる。

(2) 日本

日本における太陽熱利用（給湯利用を含む）のポテンシャルの試算例を図表 8.4 に示す。物理的な潜在量は約 3,242 万 kL であり、そのうち産業用が 36% を占め最も多い。実際の潜在量は、立地上の制約や建築物に関する規制を考慮して物理的な潜在量の 25% とすると、日本全体で約 810 万 kL となる。これは日本国内の一次エネルギー供給量 587 百万 kL（原油換算、2005 年度⁷）の約 1.4% 分に当たる。

図表 8.4 太陽熱利用システムの潜在導入規模

	物理的潜在量 (原油換算)	実際の潜在量 (原油換算)		2010年の 導入目標量 (原油換算)	物理的潜在量 試算の前提条件
		の50%	の25%		
住宅用	864 万 kL	432 万 kL	216 万 kL	439 万 kL	日当たりの良い戸建住宅（集合住宅を含む）の100%に5m ² の太陽集熱器を導入
公共施設用	388 万 kL	194 万 kL	97 万 kL		全ての公共施設に設置可能な最大限の集熱器を設置
民生・業務用	646 万 kL	323 万 kL	161 万 kL		病院、事務所、ホテル等に100%導入
産業用	1,168 万 kL	584 万 kL	292 万 kL		すべての工場に200 m ² 、理容、浴場業の全てに30 m ² の集熱器を導入
その他	176 万 kL	88 万 kL	44 万 kL		農畜産、水産業等50万ヶ所に50 m ² の集熱器を導入
合計	3,242 万 kL	1,621 万 kL	810 万 kL		

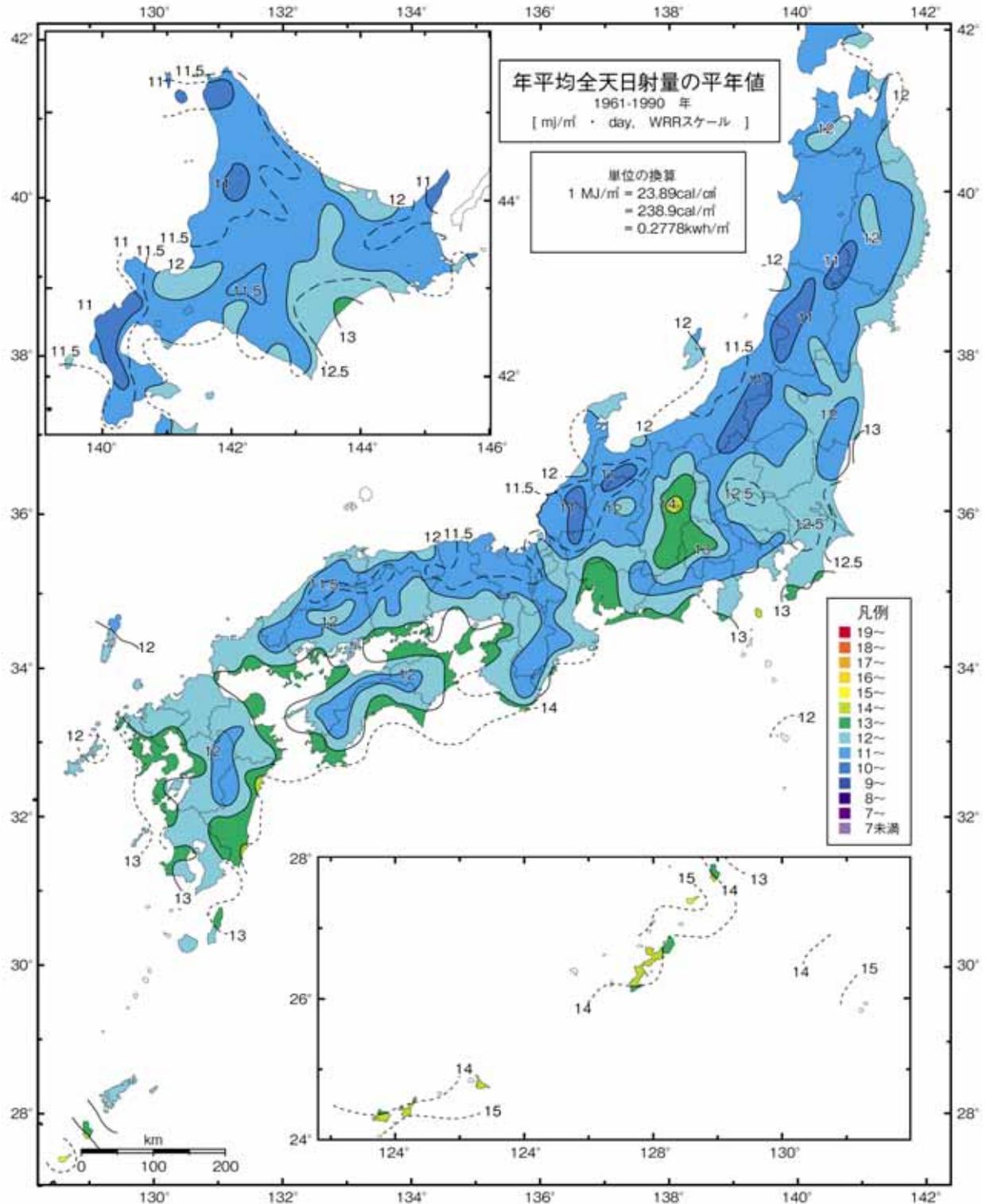
出典：総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会資料（2000年1月）

日本の全天日射量分布図を図表 8.5 に示す。北海道南央部や長野県、太平洋側や瀬戸内海沿岸の地域において比較的日射量が多いことがわかる。

⁶ “ENERGY TECHNOLOGY PERSPECTIVES 2008” (2008, IEA)

⁷ 長期エネルギー需給見通し（平成20年5月、総合資源エネルギー調査会 需給部会）

図表 8.5 日本の全天日射量マップ (MJ/m²・日、平年値)



出典：太陽光発電フィールドテスト事業に関するガイドライン（設計施工・システム編）（2010, NEDO）

8.1.3 導入目標量例

日本では、「新エネルギー利用等の促進に関する基本方針」(2002年12月改訂、資源エネルギー庁)の新エネルギー導入目標のうち、太陽熱利用として、2010年度までに原油換算439万kLの導入目標が掲げられており、これが現行の地球温暖化対策推進大綱の目標(現行大綱目標)になっている。

しかしながら導入は遅れており、「2030年のエネルギー需給展望(答申)」(2005年3月、総合資源エネルギー調査会 需給部会)では、追加対策を行った場合の太陽熱利用の2010年度の導入量は、現行大綱目標を大きく下回る原油換算90万kLと見通されている。

なお、これらの値には太陽熱による給湯利用も含まれる。

図表 8.6 太陽熱利用の供給目標

	2010年度	
	地球温暖化対策推進大綱目標 ¹	2030年のエネルギー需給展望 (追加対策ケース) ²
太陽熱利用 (給湯含む)	439万kL*	90万kL*

*当該エネルギーの導入量を原油の数値に換算

出典1:「新エネルギー利用等の促進に関する基本方針の改訂について」(2002, 資源エネルギー庁)

出典2:「2030年のエネルギー需給展望」(2005, 総合資源エネルギー調査会 需給部会)

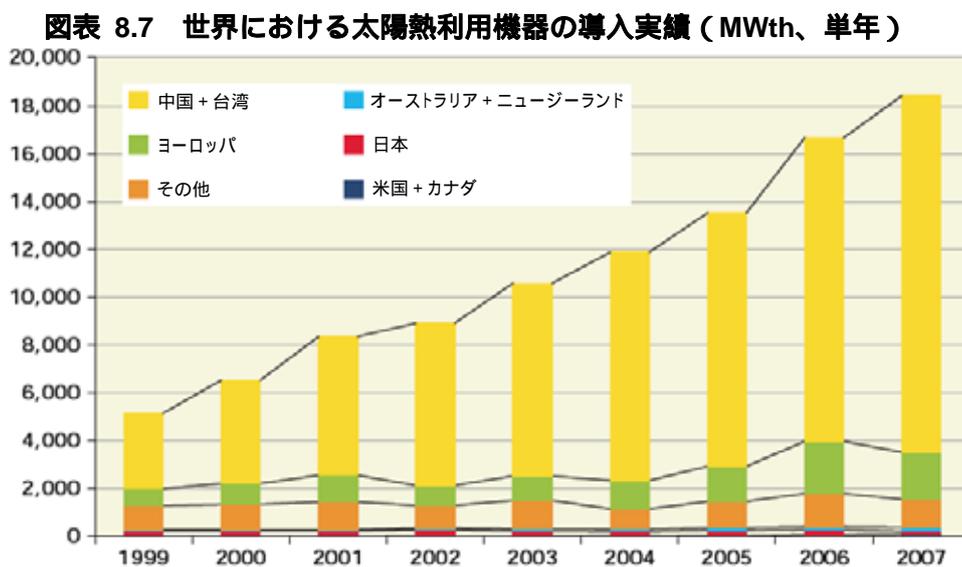
8.1.4 導入実績

太陽熱冷暖房の導入実績についてはデータがないため、ここでは太陽熱利用システムの導入実績を示す。

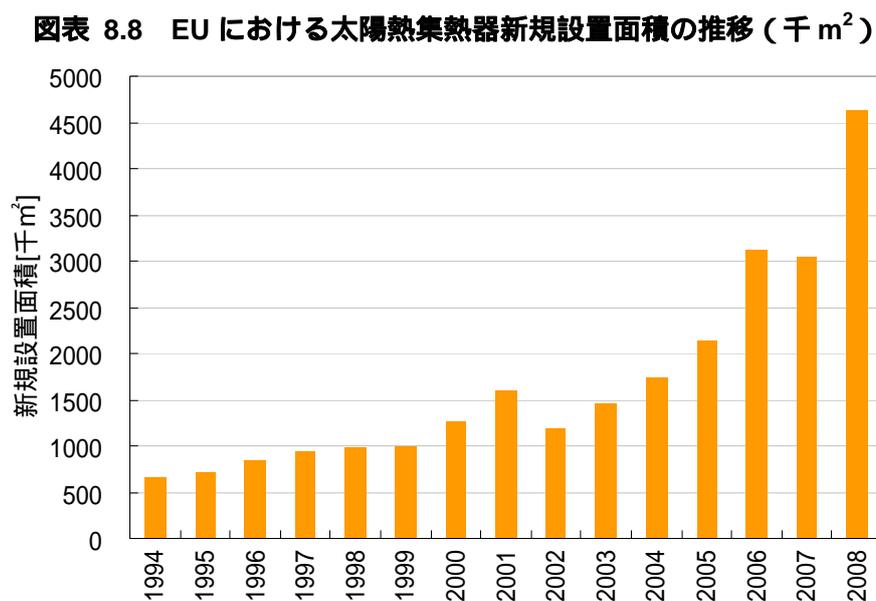
(1) 海外

図表 8.7 に、世界における太陽熱利用機器の導入実績（単年）を示す。特に中国における導入量の伸びが大きく、2007 年末時点で 1999 年比約 5 倍に成長している。

また、図表 8.8 に、EU における太陽熱集熱器新規設置面積の推移を示す。2000 年以降、堅調に導入量が増加していることが分かる。



出典：“Solar Heat Worldwide - Markets and Contribution to the Energy Supply 2007”（2009, IEA）



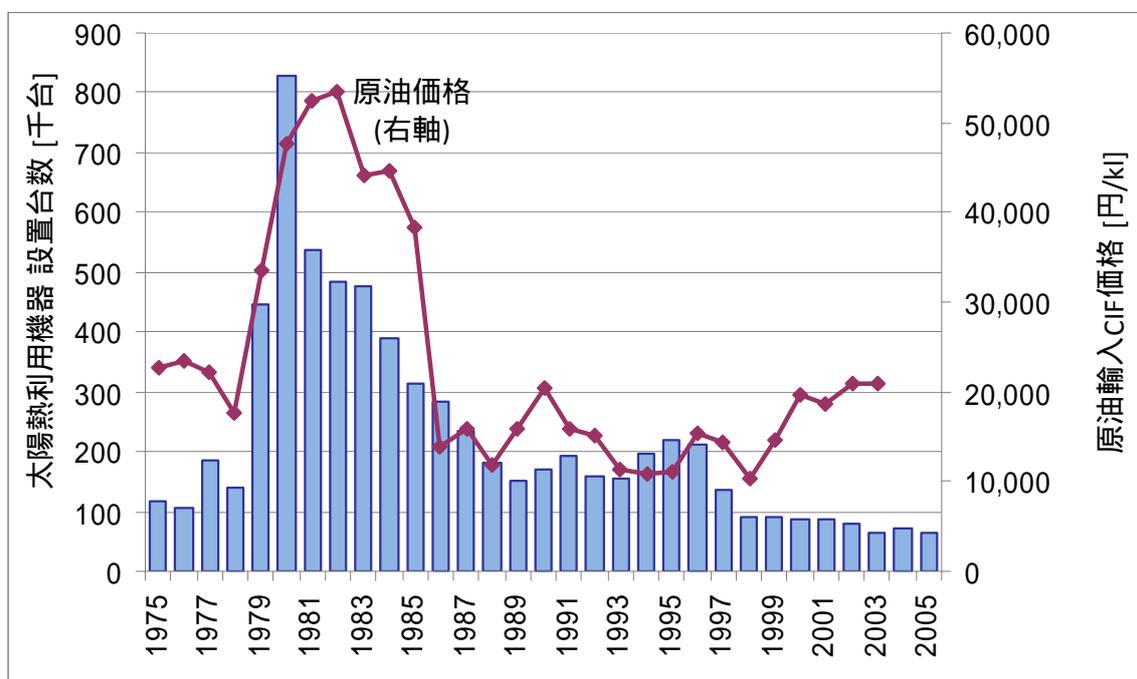
出典：“SOLAR THERMAL BAROMETER 2009”（EUROSERV'ER）

(2) 日本

日本における太陽熱利用機器の導入実績を図表 8.9 に示す。なお導入量の大半は、住宅を対象とした給湯用途の太陽熱温水器およびソーラーシステムが占めている。第二次石油危機と共に急速に導入が進み、1990 年度のピーク時には原油換算 126 万 kL に相当する機器が導入された。

しかしその後は減少傾向にあり、2005 年度における導入量は原油換算 61 万 kL⁸となっている。8.1.3 節で示す通り、2010 年度の導入見通しとして「2030 年のエネルギー需給展望」における追加対策ケースでは、原油換算 90 万 kL とされているが、この傾向が続いた場合目標の達成は困難であると思われる。

図表 8.9 日本における太陽熱利用機器の導入実績（単年）



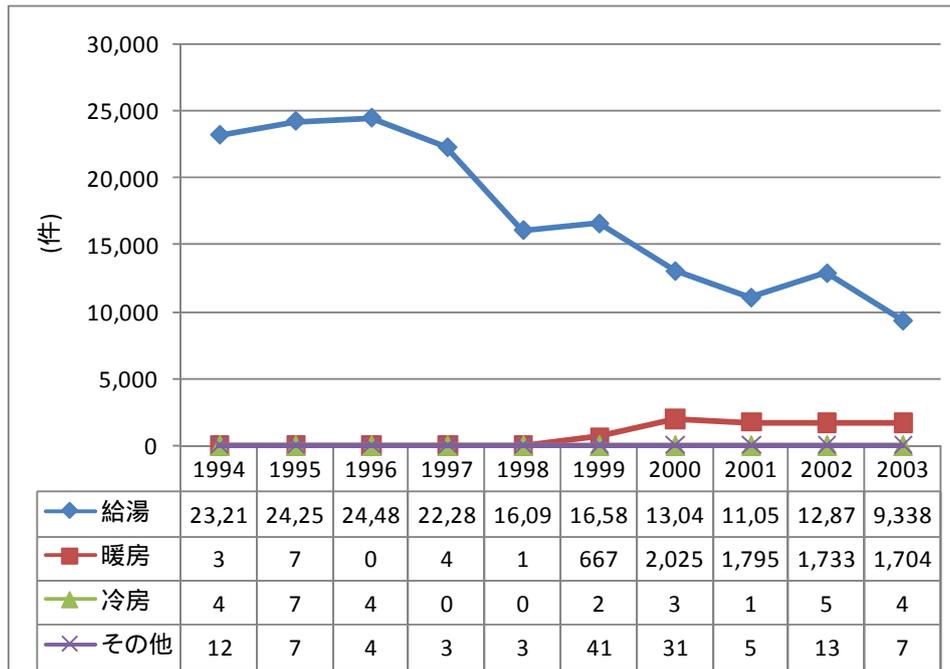
原油輸入 CIF 価格：運賃や船荷保険料を上乗せした価格（CIF：Cost, Insurance, and Freight）

出典：エネルギー白書 2005 年版、NEDO 新エネデータ（<http://www.nedo.go.jp/nedata/index.html>）、
「新エネルギーガイドブック 2008」（NEDO）より作成

また、ソーラーシステムの用途別導入実績を図表 8.10 に示す。国内のソーラーシステムの導入実績全体のうち、給湯用途が件数ベースで 8 割以上を占めており、暖房用途は 15% となっている。給湯用ソーラーシステムは減少の一途をたどっているが、暖房用は 2000 年以降ほぼ横ばいとなっている。冷房用途については導入が進んでおらず、数件にとどまっている。

⁸ 「新エネルギーガイドブック 2008」（NEDO）

図表 8.10 日本におけるソーラーシステムの用途別導入実績（単年）



* 暖房には暖房給湯、冷房には冷房給湯、冷暖房給湯および冷暖房システムを含む

出典：NEDO 新エネデータ（<http://www.nedo.go.jp/nedata/index.html>）

<事例> 介護老人福祉施設「みどり苑」(冷暖房)

富山市の介護老人福祉施設「みどり苑」では、吸収式冷凍機を組み合わせた太陽熱利用システムを利用している。集熱器は真空ガラス管型でガラス管内部に反射鏡が組み込まれているタイプで、春から秋までの集熱量の増大を目的として南向き傾斜角約 20° に設置されている。空調用の吸収式冷凍機 2 台のうち 1 台は温水駆動型で、夏期には余剰となった太陽熱で冷房を行っている。

図表 システム概要

建物	RC 造 2 階建て、延床面積 5,438 m ² (収容人員約 100 名)
用途	給湯、暖房、冷房
太陽集熱器	反射鏡内蔵真空ガラス管型、81 台 486 本
集熱面積	350 m ²
蓄熱槽	14 トン
給湯用貯湯槽	3.7 トン
空調設備	<ul style="list-style-type: none"> ・エンジンヒートポンプシステム 4 台 ・吸収式冷凍機 2 台 (内 1 台は温水駆動型、冷房能力 281kW)

図表 温水駆動型吸収式冷凍機

出典：「太陽熱エネルギー利用システムの先進動向調査」(2006, NEDO)

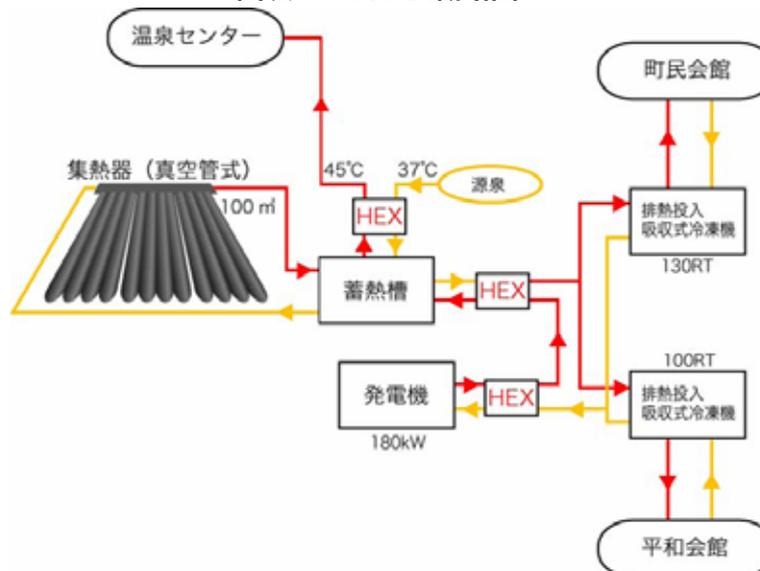
<事例> 知覧平和公園省エネルギー設備（複数施設での利用）

鹿児島県知覧町にある知覧平和公園では、町民会館、温泉センター、スポーツ施設等、複数の施設を結び、太陽熱と重油焚き発電機の排熱を温泉水の加温と空調用に供給する、ハイブリッド型ミニ地域熱供給システムが運用されている。

図表 システム概要

用途	温泉水加温、暖房、冷房
太陽集熱器	真空管型
集熱面積	100 m ²
蓄熱槽	(規模不明)
空調設備	排熱投入型吸収式冷温水機 2台

図表 システム概略図



図表 真空管型集熱器



出典：「太陽熱エネルギー利用システムの先進動向調査」(2006, NEDO)

<事例> Vau Ban 団地 (ドイツ フライブルグ市)

ドイツのフライブルグ市は環境配慮型の都市計画により、太陽熱利用システムを導入した Vau Ban 住宅地区を市の郊外に建設している。敷地内に並んだ低層集合住宅の大部分の屋根には太陽熱利用設備が設置されており、屋上緑化と共に、ドイツの住宅の省エネルギー基準 (75kWh/m²) の大幅なクリアに寄与している。

団地内の住宅は様々な形をした高気密・高断熱住宅であり、熱供給は地域暖房により行われている。住宅建物の形状や間取り等を考慮して省エネルギー設備は入居者が自由に選択できるようになっており、多様な規模やタイプの太陽エネルギー利用機器が設置されている。

また、Vau Ban 団地内では個別の駐車場の設置が禁止されており、カーシェアリングが進んでいる他、近くには太陽光発電を設置し発電量が消費量を上回るため「プラスエネルギー住宅」と呼ばれる住宅もある。

図表 Van Ban 団地の概要

敷地面積	38 ha
世帯数	約 2,000 世帯
人口	約 5,000 人
エネルギー使用量	15kWh/m ²

図表 Vau Ban 団地

出典：NEDO 海外レポート No.995 (2007, NEDO)

8.1.5 技術開発動向

太陽熱冷暖房システムの技術開発は、1970年代からサンシャイン計画において進められてきた。太陽熱冷暖房システムの普及にあたっては更なる低コスト化が必要であるが、現状のコスト水準でも新築を中心に2000年以降は一定の導入がなされている。

一方、太陽熱冷房システムについては、吸収式冷凍機・吸着式冷凍機を用いたシステムは技術的に確立されているが、経済的制約により導入が進んでいないのが現状であり、イニシャルコストを大幅に削減する方策が必要である。また、曇天日には補助ボイラを利用するため、既存のヒートポンプ式空調システムと比較して1次エネルギー消費量が増加する可能性もあり、さらなる高効率化が必要である。

図表 8.11 太陽熱冷暖房システムの主な技術課題

技術課題		解決策・要素技術
イニシャルコストの削減	設備費・施工費の削減	<ul style="list-style-type: none"> 大量生産による量産効果 システムの簡素化・コンパクト化 設計手法の見直し、施工方法の標準化等 システムのパッケージ化 建材一体型集熱器
高効率化	集熱効率の向上	<ul style="list-style-type: none"> 集熱器の効率向上 貯湯タンクの断熱性能向上
	冷凍機効率の向上	<ul style="list-style-type: none"> 機器効率の向上 高性能デシカント材料の開発
	システム効率の向上	<ul style="list-style-type: none"> システムの大規模化 太陽光発電システムとのハイブリッド化
管理・運用	導入効果の見える化	<ul style="list-style-type: none"> 計量・表示システム（ソーラーモニター）

(1)イニシャルコストの削減

太陽熱冷暖房システムは、既存のシステムに加えて集熱器、蓄熱装置、補助熱源等が必要となること、既築建物に導入する場合には大規模な工事が必要となること等から、既存のヒートポンプ空調機と比較してコスト高になる。

太陽熱暖房システムについては、現状のコスト水準においても、新築住宅を中心に導入件数が増加しており⁹、新築時の建設コストに含まれる場合には、既存システムと比較した場合のコスト増分は許容範囲内にあると言える。

太陽熱冷房システムについては、イニシャルコストが非常に大きく、低コスト化が実用化に向けた最も大きな課題となっている。冷房部分について従来システムより複雑になるため、イニシャルコストやランニングコストの増分が大きく、現状ではコスト回収が困難な水準にある¹⁰。

⁹ 「新太陽エネルギー利用ハンドブック」(2000, 日本太陽エネルギー学会)

¹⁰ 「新太陽エネルギー利用ハンドブック」(2000, 日本太陽エネルギー学会)

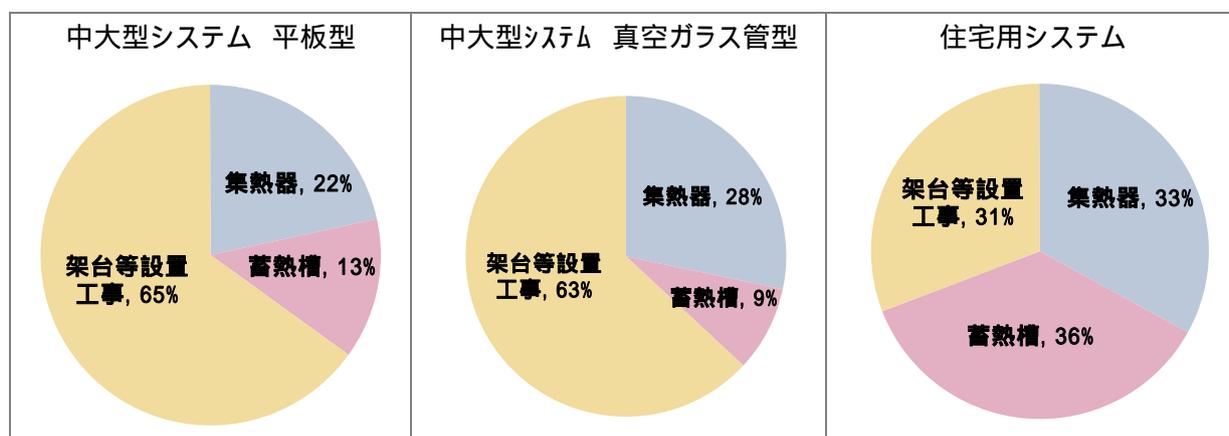
8 その他の再生可能エネルギー等の技術の現状

イニシャルコストの削減にあたっては、大量生産による量産効果、システムのコンパクト化等の他、施工費の削減が重要となる。参考として、太陽熱給湯システムの価格構成を図表 8.12 に示す。内訳を見ると、中・大型システムにおいては架台・設置工事費等の割合が約 60%とイニシャルコストの大半を占めており、施工費の削減が太陽熱利用システムのイニシャルコストに大きく寄与することが分かる。

施工費の削減方策としては、設計手法の見直し、工法の標準化、省人工化、建材一体型集熱器の採用、などが考えられる¹¹。また、システムが個々の建物に合わせたオーダーメイドとなっていることもイニシャルコストを引き上げる大きな原因となっており、システムのパッケージ化も商用化に向けた課題となる。

図表 8.12 太陽熱給湯システムの価格構成

項目	中・大型システム		住宅用システム	
	平板型	真空ガラス管型		
平均集熱面積 (m ²)	117	129	6.9	
設置費合計額 (円)	25,286,000	42,870,000	768,000	
内訳	太陽集熱器 (円)	5,480,000 (22%)	12,110,000(28%)	253,000 (33%)
	蓄熱槽 (円)	3,396,000 (13%)	3,670,000 (9%)	278,000 (36%)
	架台・設置工事等 (円)	16,410,000(65%)	27,090,000(63%)	237,000 (31%)
システム面積単価 (円/m ²)	216,120	332,326	111,304	



注 1：住宅用システム価格は、平成 17 年度新エネルギー財団（NEF）の資料による

注 2：7 事例を元に分析した結果。

出典：「太陽熱エネルギー利用システムの先進動向調査」（2006, NEDO）

¹¹ 「太陽熱エネルギー利用システムの先進動向調査」（2006, NEDO）

(2) 高効率化

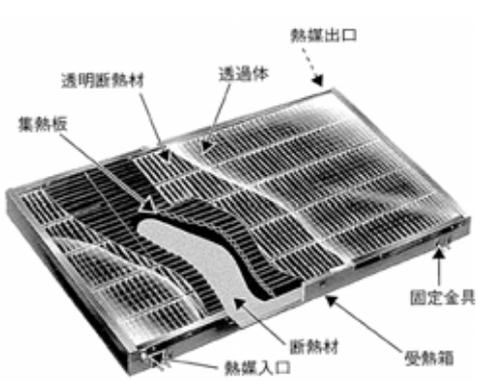
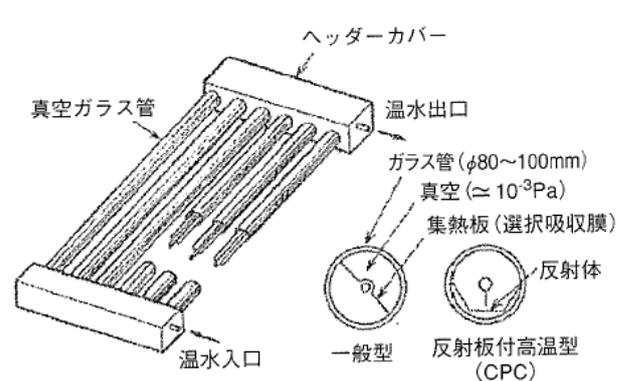
高効率化に向けた取組みとしては、集熱効率の向上、機器効率の向上、システム効率の向上が挙げられる。

1) 集熱効率の向上

集熱効率の向上策として、集熱器の効率向上、貯湯タンクの断熱性能向上等が挙げられる。

集熱器は、現在主に平板型集熱器（水式、空気式）と真空管型集熱器が用いられている（図表 8.13）。平板型集熱器は、低温集熱に適した比較的安価な集熱器で、現在最も導入が進んでいる。真空管型集熱器は高温集熱に適しており平板型より集熱効率が高いが、価格が高く、平板型集熱器と比較した場合に、コストパフォーマンスは必ずしも優位ではない。今後真空型集熱器の低コスト化が進んだ場合は、平板型集熱器に代わり導入量が増える可能性がある。空気式集熱器は建材一体型太陽熱温水器等に用いられる。集熱空気を直接暖房に使用するため効率がよく、住宅や業務ビル等の導入事例が増えている。

図表 8.13 主要な太陽熱集熱器

水式集熱器	
<p>< 平板型集熱器 ></p> 	<p>< 真空管型集熱器 ></p> 
<p>金属または FRP 製のケース内に金属製の集熱板を、表面に強化ガラス、裏面にガラスウール等の断熱材を配置することにより放熱を防いでいる。集熱板は選択吸収膜処理が施されている。</p>	<p>真空にしたガラス管内に、選択吸収膜処理された集熱板を配置し、数本から 10 数本のガラス管で 1 つの集熱器が構成されている。真空にすることで対流による放熱が無くなり、高温集熱に有利となる。</p>
空気式集熱器	
	<p>金属または FRP 製のケースに、鉄やアルミニウム製の波形状やガラリ*形状の集熱板を配置し、表面を強化ガラスでカバーしている。集熱板の裏面と側面に保温剤を使用し、空気を下から取り入れ、背面または上方に出口を設けている。</p> <p>*ブラインド状の羽根板を平行に取り付けた扉のことで、視線を遮り通風が良い。</p>

出典：「ソーラー建築デザインガイド [太陽熱利用建築事例集]」(2007, NEDO)

集熱器の技術開発の歴史は古く、成熟した技術であるが、集熱効率のさらなる向上に向けて、新しい選択吸収膜材料等の開発が行われている。選択吸収膜材料とは、太陽光をよく吸収するとともに放射熱損失を小さくしたもので、集熱体の表面処理に用いられている。図表 8.14 に現在実用化されている主な選択吸収膜を示す。近年ではドイツのブルーテック社が 2005 年より販売を開始した選択吸収膜 “eta plus” が、太陽光吸収率 95% ± 2%、熱放射率 5% ± 2% を実現しており、売り上げを伸ばしている。

図表 8.14 実用化されている選択吸収膜

名称	基材	処理法	太陽光吸収率	熱放射率
酸化銅	銅	化成処理	~ 0.9	~ 0.1
着色ステンレス	ステンレス	化成処理	~ 0.92	~ 0.1
特殊電解皮膜	アルミ	電解法	~ 0.9	~ 0.1
ブラッククロム	銅	電気めっき	~ 0.95	~ 0.1

出典：「新太陽エネルギー利用ハンドブック」(日本太陽エネルギー学会)

2) 機器効率の向上

太陽熱利用の吸収式冷凍機および吸着式冷凍機は、それぞれ COP0.7~0.9、COP0.5~0.7 と、他の冷凍機と比較して効率が低く、曇天日に補助熱源を使用した場合は、ガス等を用いた一般的な吸収式冷凍機と比較して一次エネルギー使用量が増加する可能性がある¹²。また、デシカント空調を用いた太陽熱冷房システムにおいても、夏期冷房時の COP はヒートポンプ空調と同程度(場合によっては下回る)という実証結果が出ており¹³、現状の技術水準ではコストメリットは小さい。省エネルギー性、費用対効果の向上の両面から、機器効率の向上が必要となる。

機器効率向上の取組みとして、吸着材にシリカゲル¹⁴ではなくゼオライト¹⁵系を用いて、50~80 の比較的低い温度領域においても効率よく水を吸脱着できる新しい吸着式冷凍機が開発されている。従来のシリカゲル系と比較して体積当り 2~3 倍の冷水をつくり出すことが可能とされており、機器効率の向上とともに、機器のコンパクト化にも寄与する¹⁶。またデシカント空調についても、同じゼオライト系吸着材を用いた高効率デシカント空調が開発されており、一般的なデシカント空調と比較して約 2 割の省エネルギー化が可能とされている¹⁷。

3) システム効率の向上

システム効率の向上としては、システムの大規模化や、太陽光発電システムとのハイブリッド化等が挙げられる。

¹² 「新太陽エネルギー利用ハンドブック」(2000, 日本太陽エネルギー学会)

¹³ 「太陽エネルギー新利用システム技術研究開発事業 平成 17~19 年度 成果報告書 通年利用型ソーラー給湯・空調換気システムの研究開発」(2008, 北大学・前田建設工業(株)・東京工業大学・足利工業大学・(株)アースクリーン東北)

¹⁴ 一般的に食品の乾燥剤や家庭用除湿剤、工業的には炭酸ガスの除去剤など多様に利用されている。

¹⁵ 結晶中に微細孔を持つアルミノ珪酸塩の総称。

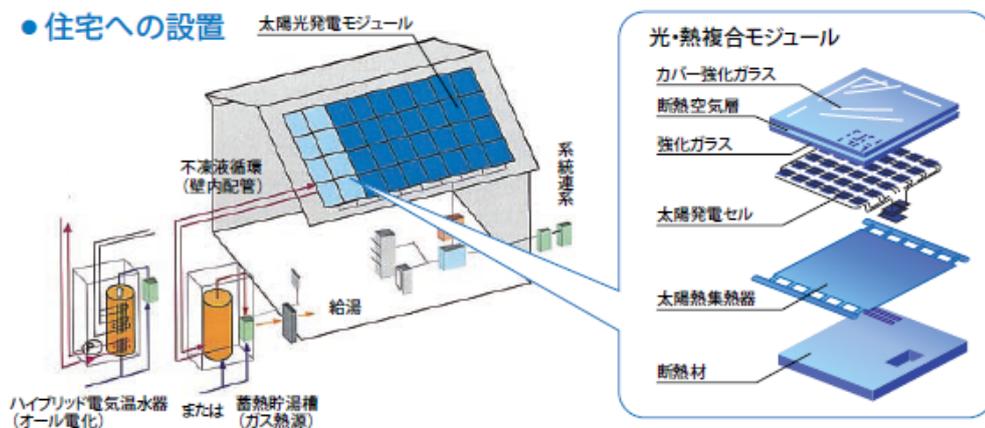
¹⁶ 三菱樹脂株式会社プレスリリース(2008年8月)(<http://www.mpi.co.jp/infopdf/AQUUSOA.pdf>)

¹⁷ 三菱樹脂株式会社プレスリリース(2009年7月)(<http://www.mpi.co.jp/infopdf/dessicant20090728.pdf>)

現在、日本における太陽熱利用は戸建住宅における給湯・暖房システムが主だが、今後は集合住宅や公共施設等向けに大規模システムを導入することにより、スケールメリットによる高効率化が期待される。また、限られた屋根面積でできる限り多くのエネルギーを取り出すことを目的に、光・熱複合ソーラーシステム（図表 8.15）が開発されている。

光・熱複合ソーラーシステムは、太陽光発電システムと太陽熱集熱器を組み合わせたシステムであり、モジュール上部にて太陽電池による発電、下部にて太陽熱集熱器による熱回収を行う。面積あたりに得られるエネルギー量が増加する他、太陽光発電システムとソーラーシステムを併設する場合と比較して、設備費、施工費を削減することができる。

図表 8.15 光・熱複合ソーラーシステム



出典：積水化学工業株式会社 環境レポート 2001

(3) 管理・運用

管理・運用に係る技術開発として、計量・表示システム（ソーラーモニター）の開発が行われている。太陽熱利用システムにおける集熱量や利用量の計量・表示システムは、市場に受け入れられる条件を整える上で、以下のような点から重要とされる¹⁸。また、計量・表示システムには、ユーザーにとって使いやすいシステム設計・デザインと、低コスト化が求められる。

太陽熱利用システムの性能評価および性能保証の裏付けとなるデータを収集する。

セントラルシステムや地域熱供給システムにおいて、課金の前提となる太陽熱利用量を正確に把握する。

システムの異常を把握することでメンテナンスの即応性を高める。

量として把握しづらい太陽熱をモニター上で目に見える形で示すことにより、消費者への普及啓発効果を高める。

¹⁸ 「太陽熱エネルギー利用システムの先進動向調査」(2006, NEDO)

8.2 中小水力発電

8.2.1 技術の俯瞰

中小水力発電は、水の力を利用して発電する水力発電の中でも、一般的に水を貯めることなくそのまま利用する方式で、中小規模のものである。

(1) 水力エネルギーの原理

理論上の水力は、流量と水系の落差の積に比例する。実際の水力発電では、落差を 100% エネルギーに活用することはできない。また、水車や発電機の効率の問題がある。損失分を考慮した利用可能な落差を有効落差といい、水車の効率や発電機の効率を合わせた総合効率を η とおくと、実際の発電電力 P_e (kW) は、有効落差 H_e (m) と Q を用いて次のように表すことができる。総合効率は通常 80~90% 程度である。

$$[\text{実際の発電電力 } P_e \text{ (kWh)}] = 9.8 \times [\text{流量 (m}^3/\text{s)}] \times [\text{有効落差 } H_e \text{ (m)}] \times \eta$$

(2) 発電方式の種類と特徴

水力発電は水の利用面に着目して分類すると、流れ込み式、調整池式、貯水池式および揚水式の 4 種類の方式に分類される。また、落差を得る構造面に着目した分類として、水路式、ダム式、ダム水路式の 3 種類の方式がある。

図表 8.16 水力発電の分類

分類方法	方式	概要	概略図
水の利用面からの分類	流れ込み式	河川を流れる水を貯めることなく、そのまま発電に使用する。水量変化により発電量が変動する。	
	調整池式	夜間や週末の電力消費の少ない時に池に貯水し、消費量の増加に合わせて水量を調整しながら発電する方式。	

分類方法	方式	概要	概略図
水の利用面からの分類 (続き)	貯水池式	水量が豊富で電力の消費量が比較的少ない春や秋に大きな池に貯水し、電力消費の多い夏期や冬期に使用する年間運用の発電方式。	
	揚水式	昼間のピーク時には上池に貯められた水を下池に落として発電し、下池に貯まった水は電力消費の少ない夜間に上池に汲み上げられる。	
構造面より分類	水路式	川の上流に低い堰を設けて水を取入れ、水路により落差が得られる地点まで導水し発電する方式。この方式は、流れ込み式と組合わされることが一般的。	
	ダム式	高いダムを築いて河川をせき止め水量を確保し、落差を利用して発電する方式。貯水池式および調整池式と組合わされることが一般的。	
	ダム水路式	ダム式と水路式を組合わせたもので、ダムに貯えた水を大きな落差を得られる地点まで水路で導いて発電する方式。貯水池式、調整池式および揚水式と組合わされることが一般的。	

出典：「マイクロ水力発電導入ガイドブック」(2003, NEDO) および資源エネルギー庁ホームページ
(<http://www.enecho.meti.go.jp/hydraulic/device/class/index.html>)

(3) 中小水力発電の範囲

前項で示した発電方式のうち、水路式で出力 1,000kW 以下の水力発電が「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法(新エネ法)」により新エネルギーとして位置づけられており、RPS 法¹⁹の対象となっている。しかしながら、中小水力発電としての明確な規模の定義は無い。

「マイクロ水力発電導入ガイドブック」(NEDO)においては、図表 8.17 に示すような分類が提示されている。本報告書においては、ここでの「小水力」を採用し、流れ込み式で出力 10,000kW 程度以下の水力発電を中小水力発電と定義することとする。

図表 8.17 水力発電の規模による分類

分類	規模
大水力 (large hydropower)	100,000kW 程度以上
中水力 (medium hydropower)	10,000kW 程度 ~ 100,000kW 程度
小水力 (small hydropower)	1,000kW 程度 ~ 10,000kW 程度
ミニ水力 (mini hydropower)	100kW 程度 ~ 1,000kW 程度
マイクロ水力 (micro hydropower)	100kW 程度以下

出典：「マイクロ水力発電導入ガイドブック」(2003, NEDO)

なお、2008 年に報告された「水力発電に関する研究会 - 中間報告 - 」(2008 年 7 月、水力発電に関する研究会)によると、今後の水力発電について「開発対象となる新規地点は、奥地化、小規模化してきており、経済性の確保が困難となり、開発が進まなくなっている」とある。また、「近年、河川維持用水や農業用水、上水道および工業用水等の未利用落差を活用した、極めて小規模な水力発電に対する関心が高まっている」とも述べられている。

(4) 利用水資源の種類

中小水力発電では、利用する水の種類として次のものが考えられている。

渓流水利用

河川水を利用する場合は中小水力発電においては、主に渓流が対象と想定される。渓流を流れる水の一部を導水し、流れ込み式の発電を行う利用や、渓流に直接発電装置を設置して発電する利用形態が考えられる。

農業用水利用

農業用水には水田への水供給のため水路に落差工が設けられている。比較的豊富で安定した流量がある用水であれば、落差工の部分に直接発電装置を設置して発電することが可能である。渓流水利用の場合と同様、一定の流量があれば流れ込み式の発電も可能である。

¹⁹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 (Renewable Portfolio Standard)。電気事業者が新エネルギーを利用して得られる電気の一定量以上の利用を義務付ける法律。対象は、風力、太陽光、地熱、水力、バイオマス。

上下水道利用

上水道では原水取水箇所から浄水場または、浄水場から排水場までの間で落差が得られる。通常、送水管路の末端部には水流の圧力を減圧するための減圧バルブが取り付けられており、この減圧分の圧力を有効利用することが可能である。

一方、下水道では最終処理施設を出てから河川・海域へ放水される間の落差が発電に利用できる。

工場内水利用その他

工場においては、下水道と同様、排水を最終的に河川へ放水する際の落差を利用した発電のほか、工場内で循環する過程で生じる落差を利用した発電の事例がある。

ほかにも、道路・鉄道用のトンネルからの湧水を発電利用した報告がなされている。

< 事例 > 那須野ヶ原発電所（農業用水利用）

栃木県那須塩原市の那須野ヶ原発電所は、国営土地改良事業として全国で初めて計画、設置された小水力発電システムである。戸田調整池に流入する、戸田東用水路の有効落差 28m を利用して最大出力 340kW の発電を行っている。発電した電力は系統電力網を利用して地区内の土地改良施設に供給され、維持管理費の軽減が図られており、土地改良施設への農家の負担を軽減することに寄与している。

図表 システムの概要

運転開始	1992 年
最大出力	340kW
最大使用水量	1.6m ³ /s
最大有効落差	28m
水車の形式	横軸フランシス
発電機	三相交流同期発電機
総合効率	78%
発電電力量	2,171MWh/年

図表 発電所概観**図表 水車と発電機**

出典：「新エネルギーガイドブック 2008」（2008, NEDO）

<事例> 港北配水池小水力発電事業（上水道利用）

神奈川県横浜市水道局では、水道施設における未利用エネルギーの有効活用を推進しており、港北配水池において小水力発電を行っている。発電した電力の一部は、隣接する遊歩道の照明や水道局施設の照明等に利用し、その他の電力は売電している。発電所の運営に必要な設計、建設、運営保守の一切は東京発電株式会社が実施し、売電による収益は横浜市と東京発電が分け合っている。

図表 システムの概要

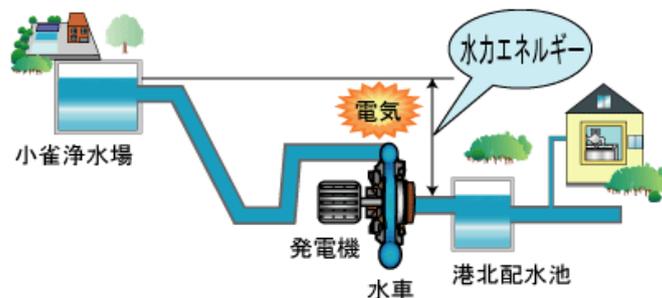
運転開始	2006年3月
最大出力	300kW
最大使用水量	1.35m ³ /s
最大有効落差	29.8m
水車の形式	フランス
発電電力量	約1,100MWh/年
電力用途	照明用および売電

図表 水車概観



出典：東京発電(株)ホームページ（http://www.tgn.or.jp/teg/business/case_micro.html）

図表 システム概要



出典：横浜市水道局ホームページ（<http://www.city.yokohama.jp/me/suidou/kyoku/>）

8.2.2 ポテンシャル

全国小水力利用推進協議会が行った、2050年までの中小水力発電の新設可能量の試算例を図表 8.18 に示す。1,000kW 以上が 4,500MW、1,000kW 未満の渓流利用が 2,800MW、1,000kW 未満の水路利用が 220MW、合計で 7,520MW の中小水力発電が 2050 年までに新設される可能性があるとして試算している。

1,000kW ~ 10,000kW 規模については、資源エネルギー庁の包蔵水力調査を用いて試算されている。包蔵水力調査における未開発・工事中の合計値 469 億 kWh (2007 年末現在) のうち、約 50% 程度であれば、河川環境に過大な負荷をあたえずに開発できるとの想定のもと、469 億 kWh の約半分の年間発電量 230 億 kWh、設備容量にして 4,500MW が導入されるとしている。

1,000kW 未満については、全国小水力利用推進協議会が独自に試算した推計値に基づいている。一級河川の渓流部分での発電可能規模を約 4,000MW (平水量²⁰ベース) と推計し、この 7 割の 2,800MW が開発可能としている。また、農業用水・工業用水・水道用水路については、一級河川の 1 水系当たり 2,000kW が開発可能であると想定し、一級河川数の 109 水系を乗じて約 220MW の新設容量の可能性があるとしている。

図表 8.18 2050 年までの中小水力発電の導入可能量

	設備容量 [MW]	年間発電量 [億 kWh]
1,000kW 以上の新設発電所	4,500	230
1,000kW 未満の新設発電所 (渓流)	2,800	172
1,000kW 未満の新設発電所 (水路)	220	13
新設 計	7,520	415
既存発電所*	20,080	779
新設 + 既存 合計	27,600	1,194

* 既存発電所の発電量としては、国立環境研究所が用いた 2000 年実績値の数値を採用、これが一定に保たれるものと想定している。

出典：「2050 年自然エネルギービジョン」(2008, 環境エネルギー政策研究所)

²⁰ 河川の流量で、1 年を通じて 185 日はその流量を下回らないような流量。

8.2.3 導入目標量例

日本においては、現在中小水力発電の導入目標値はないが、RPS 制度（Renewables Portfolio Standard）において、「新エネルギー等電気」の利用目標量が定められている。RPS 制度とは、「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」に基づき、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の利用を義務付け、新エネルギー等の更なる普及を図るための法制度である。図表 8.19 に新エネルギー等電気の利用目標量を示す。

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」を発電するか、他者から「新エネルギー等電気」を購入、または「新エネルギー等電気相当量（法の規定に従い電気の利用に充てる、もしくは、基準利用量の減少に充てることのできる量）」を取得することとなる。

新エネルギーとして対象となるのは、風力発電、太陽光発電、地熱発電（熱水を著しく減少させないもの）、水力発電（1000kW 以下のものであって、水路式の発電およびダム式の従属発電）、バイオマス（廃棄物発電および燃料電池による発電のうちのバイオマス成分を含む）である。

図表 8.19 新エネルギー等電気の利用目標量

年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
目標量 (億 kWh)	86.7	92.7	103.8	124.3	128.2	142.1	157.3	173.3
電力会社 10 社の 発受電電力量 (2009 年度) ¹ に 対する割合	0.9%	1.0%	1.1%	1.3%	1.4%	1.5%	1.7%	1.8%

1 約 940TWh（電力事業連合会 発受電速報 2009 年度分）

出典：「平成 19 年度以降の 8 年間についての電気事業者による新エネルギー等電気の利用の目標」(2009, 経済産業省)

8.2.4 導入実績

中小水力発電は技術的には既に実用段階にある。資源エネルギー庁の出力別包蔵水力調査によれば、出力区分が10,000kW未満の既開発の合計は3,515MW、1,344地点となっている。但しこれは一般水力全体の値であり、本報告書で対象としている流れ込み式の他に、調整池式と貯水池式が含まれている。

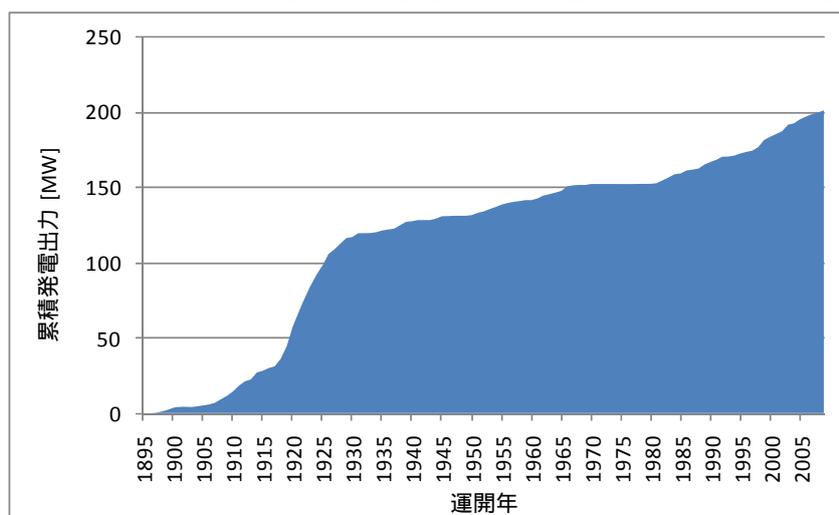
図表 8.20 10,000kW 未満の既開発の水力発電（一般水力）

出力区分	既 開 発		
	地点	出力 [MW]	電力量 [MWh]
1,000kW 未満	474	203	1,268,665
1,000kW 以上 3,000kW 未満	417	745	4,181,420
3,000kW 以上 5,000kW 未満	166	625	3,312,857
5,000kW 以上 10,000kW 未満	287	1,942	10,028,377
10,000kW 未満 計	1,344	3,515	18,791,319

出典：資源エネルギー庁 出力別包蔵水力調査（<http://www.enecho.meti.go.jp/hydraulic/data/index.html>）

1,000kW 未満の小水力については、RPS の認定設備として 2009 年 11 月末現在で 465 件、計 202MW の水力発電設備が報告されている²¹。発電設備の運転開始年別に累積した発電出力の推移を図表 8.21 に示す。最も古い設備は 1897 年に運転開始しており、1920 年代に急激に出力が増えたが、その後は増加の度合いが緩やかになっている。

図表 8.21 RPS 認定対象水力発電設備の運転年別累計発電出力



出典：RPS 法ホームページ設備情報（<http://www.rps.go.jp/RPS/new-contents/top/joholink-dl.html>）より作成

²¹ RPS 法ホームページより

8.2.5 技術開発動向

中小水力発電は、小規模であるがゆえに、水車、発電機等の電気設備に掛かる費用の工事全体に占める割合が大きくなる。つまり、一般的な水力発電に比べて割高とならざるを得ない。徹底した低コスト化の追求が求められる。

図表 8.22 中小水力発電の主な技術課題

技術課題		解決策・要素技術
発電コストの削減	発電効率の向上	<ul style="list-style-type: none"> 水車・発電機の高効率化
	イニシャルコストの削減	<ul style="list-style-type: none"> 標準化による設備費の削減 施工費の削減
	ランニングコストの削減	<ul style="list-style-type: none"> メンテナンスコストの削減
管理・運用	水量の確保	<ul style="list-style-type: none"> 取水口への土砂堆積、ゴミの目詰まり等の防止（金網等の設置等）

(1) 発電効率の向上

発電コストの削減には、発電効率の向上やイニシャルコストの削減等が重要であることは、他のエネルギー変換システムと同様である。ただし、発電効率の向上によりイニシャルコストが過度に膨らまないよう注意が必要である。中小水力発電の場合、電気設備に掛かる費用が割高のため、発電効率に優れた水車、発電機等を導入するよりもむしろ、施工費の削減を狙う方が発電コストの削減には近道となる場合もある。費用対効果のある最適なアプローチが求められる。

(2) イニシャルコストの削減

イニシャルコストについては、設備費、施工費ともに削減対象として検討する必要がある。設備費に関してはシステムの合理化、簡素化、標準化、一定水準の品質の装置を低コストで製造することが重要である。施工費については、発電装置の設置場所が普及の進展とともに山間の深い場所へ移っていくことが予想されるため、同じ施工方法を用いる限りはコストの上昇が懸念される。装置の運搬・設置に極力人手を要さないシステム作りが肝要である。

(3) ランニングコストの削減

発電装置には運用・メンテナンスの人員が必要となるが、中小水力発電は大規模水力発電に比べ、単位出力あたりに必要となる人員数が多くなる可能性がある。メンテナンスフリー化の追求や、操作性の向上を図ることなどによって、特定の技能を持った資格者を必要とせず、地域社会で運用できるシステムを実現することは、ランニングコスト削減の有効な解決策となる。

(4) 水量の確保

安定した水量、発電量を確保するためには、取水口への土砂体積、ゴミの目詰まり等への対応も必要となる。運用時において、発電装置の上流側で土砂体積、あるいは、ゴミの付着があり、計画した水量が発電装置まで及ばず、発生電力が低下する懸念がある。通常、定期巡回し

8 その他の再生可能エネルギー等の技術の現状

たり、取水口に金網等を設置することにより対応するが、小さなゴミが水車にからまると、発電の停止や機器の故障につながることもあり、注意が必要である。

8.3 地熱発電

8.3.1 技術の俯瞰

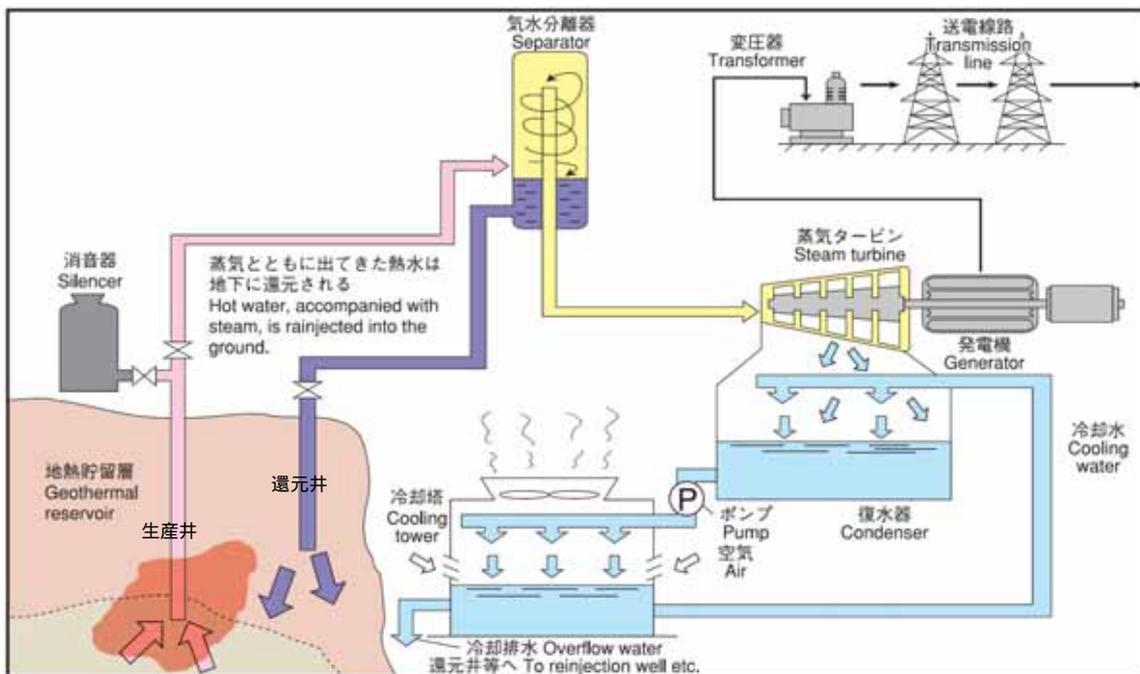
火山帯の地下数 km～数十 km には「マグマ溜まり」があり、約 1,000 の高温で周囲の岩石を熱している。地表からの雨水は数十年かけ岩石の割れ目を通して浸透し、マグマ溜まりの熱によって高温、高圧の熱水となり地熱貯留層が形成される。地熱発電は、この地熱貯留層まで生産井と呼ばれる井戸を掘り、熱水や蒸気を汲み出して利用する発電方式である。地熱発電は天候に左右されることなく安定した電力供給が可能であり、設備利用率は 70% 程度となっている。

実用化されている地熱発電の方式には、広く用いられているフラッシュ方式と、比較的最近実用化されたバイナリー方式がある。

(1) フラッシュ方式

フラッシュ方式（蒸気発電方式）は、地熱貯留層から約 200～350²² の蒸気と熱水を取り出し、気水分離器で分離した後、その蒸気でタービンを回し発電する方式である。気水分離器で分離された熱水は、還元井と呼ばれる井戸を通して再び地下に戻される。日本の地熱発電所のほとんどがこのシングルフラッシュ発電方式である。この他に、分離した熱水をフラッシャー（低圧気水分離器）に導き再度熱水と蒸気に分離して、蒸気は一次蒸気と一緒にタービンに送り、熱水は還元井へと送るダブルフラッシュ方式もある。

図表 8.23 地熱発電（シングルフラッシュ方式）の概念図



出典：「地熱開発の現状」（2008, NEDO）

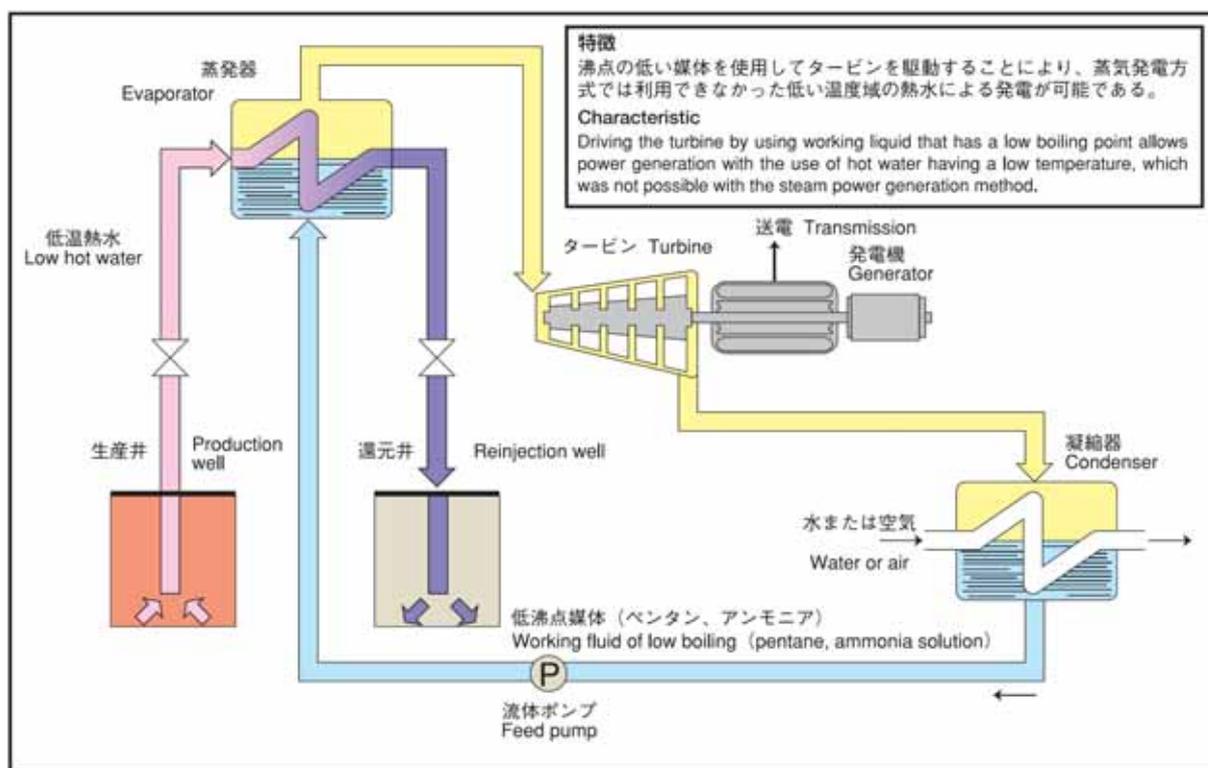
²² 「地熱発電に関する研究会 中間報告（概要紙）」（2009, 総合資源エネルギー調査会第 35 回新エネルギー部会 資料 6-1）

(2) バイナリー方式

バイナリー方式は、一般的に 80～150²³ の中高温熱水や蒸気を熱源として低沸点の媒体を加熱し、蒸発させてタービンを回し発電する方式である。媒体には、ペンタン（沸点 36.07）やアンモニア（沸点-33.34）等の沸点 100 以下の液体が用いられ、タービンを回した後、凝縮器で液化されて反復使用される。このように、熱水と低沸点媒体とがそれぞれ独立した 2 つの熱循環サイクルを用いて発電を行うことから、この方式をバイナリー方式と呼んでいる。本方式により、フラッシュ方式では利用できない低温の熱水や蒸気を活用することが可能となった。

日本では現在、新エネルギーとして定義されている地熱発電はバイナリー方式に限られており、九州電力の八丁原バイナリー発電施設が RPS 法²⁴の認定を受けている。海外では既に多くの実績があり、1980 年代から運転が開始されている。

図表 8.24 地熱発電（バイナリー方式）の概念図



出典：「地熱開発の現状」(2008, NEDO)

²³ 「地熱発電に関する研究会 中間報告」(2009, 地熱発電に関する研究会)

²⁴ 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 (Renewable Portfolio Standard)。電気事業者が新エネルギーを利用して得られる電気の一定量以上の利用を義務付ける法律。対象は、風力、太陽光、地熱、水力、バイオマス。

8.3.2 ポテンシャル

(1)世界

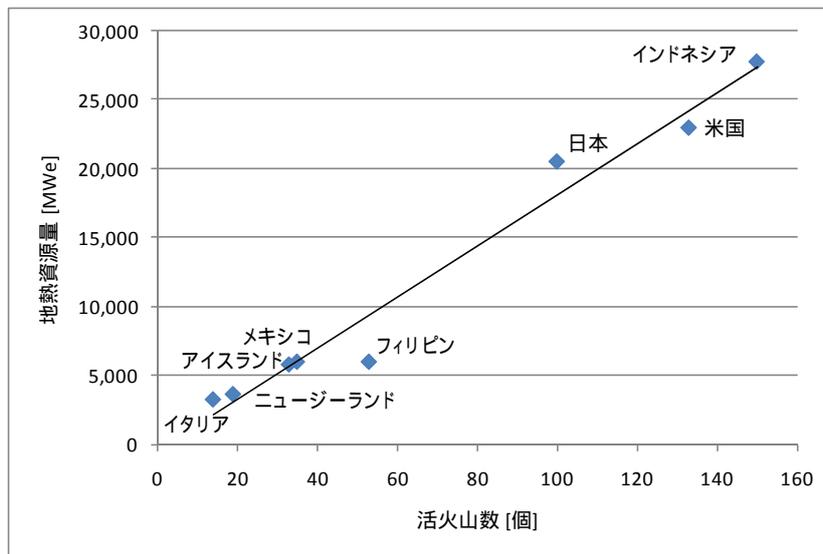
主要国の地熱資源量を図表 8.25 に示す。世界では、インドネシア、米国、日本の3カ国が突出して多く、20GW を超える資源量を誇る。地熱資源量は、活火山数と強い相関があり、火山大国におけるポテンシャルが大きい(図表 8.26)。

図表 8.25 国別地熱資源量

国名	活火山数 [個]	地熱資源量 [MW]	地熱発電導入量(2008) [MW]
インドネシア	150	27,791	992
米国	133	23,000	3,040
日本	100	20,540	535
フィリピン	53	6,000	1,970
メキシコ	35	6,000	958
アイスランド	33	5,800	575
ニュージーランド	19	3,650	632
イタリア	14	3,267	811

出典：「地熱発電の開発可能性」(2008, 地熱発電に関する研究会 第1回資料, 産業技術総合研究所)
および「IEA Geothermal Energy Annual Report 2008」(2009, IEA)

図表 8.26 地熱資源量と活火山数の相関



出典：図表 8.25 より作成

(2) 日本

日本は世界有数の火山国であり、地熱資源量はインドネシア、米国に次いで世界第3位に位置する（図表 8.25）。出力にして 20,540MW のポテンシャルを有しており、これは原子力発電所約 20 基分に相当する。しかし、日本においては、開発地点の多くが国立公園内であること等の制約があり、設備容量では世界第8位に留まっている。

日本における地熱発電の発電原価別の追加的開発可能量について、「地熱発電に関する研究会 中間報告」（2009年6月）が図表 8.27 のとおり試算している。それによると、2020年度の地熱発電の導入量は、発電原価 12 円/kWh のものまで建設できるとすると 670MW、発電原価 15 円/kWh の場合は 930MW、発電原価 20 円/kWh の場合は 1,130MW となっている。これらはそれぞれ、日本の地熱資源量の 3.3%、4.5%、5.5%にあたる。

この試算は、開発リスク、開発コスト低減に向けた環境整備が図られ、地熱発電の開発に関する経済性が向上し、且つ地元調整等を含めて 10 年以内に発電所を建設できることを前提としている。また、導入可能性のある地域として、実際にボーリングを行ったものだけが対象となっており、国立公園の普通地域のポテンシャルは含まれるが特別地域分は含まれていない。

図表 8.27 地熱発電の 2020 年度導入量の試算

前提	導入容量	現在の発電量からの増加分
発電原価 12 円/kWh のものまで建設可能	670MW	41 億 kWh
発電原価 15 円/kWh のものまで建設可能	930MW	57 億 kWh
発電原価 20 円/kWh のものまで建設可能	1,130MW	69 億 kWh

温泉発電および既設地熱発電所の増加分 240MW、15 億 kWh を含む。

発電電力量については、これまでの稼働率実績 70%を用いて試算。

出典：「地熱発電に関する研究会 中間報告」（2009、地熱発電に関する研究会）

8.3.3 導入目標量例

(1) 世界

地熱資源量の多い米国、インドネシア、フィリピン等においては、大規模な開発目標を掲げ、地熱発電の開発に積極的に取り組んでいる。特にインドネシアでは、地熱法を制定し明確な開発目標をロードマップとして定めており、2025年には一次エネルギーの5%に相当する9,500MWを地熱発電で供給するとの目標を掲げている。

図表 8.28 主要地熱資源国の地熱発電開発目標

国	年	目標
米国	2025年	30,000MW
フィリピン	2013年	2,435MW
インドネシア	2016年	5,000MW
	2020年	7,000MW
	2025年	9,500MW

出典：「地熱発電に関する研究会 中間報告」(2009, 地熱発電に関する研究会) および再生可能エネルギー展望会議資料(2008.2.21)

(2) 日本

日本における地熱発電導入量について、「長期エネルギー需給見通し(再計算)」(2009年8月)では、最大導入ケースにおいて、2020年に5.3GW、2030年に12.0GWが導入されると想定している。

図表 8.29 長期エネルギー需給見通し

		2020年	2030年
長期エネルギー需給見通し(再計算)	現状固定ケース・努力継続ケース	530MW	530MW
	最大導入ケース	530MW	1,200MW

現状固定ケース：現状(2005年度)を基準とし、今後新たなエネルギー技術が導入されず、機器の効率が一定のまま推移した場合を想定。耐用年数に応じて古い機器が現状(2005年度)レベルの機器に入れ替わる効果のみを反映したケース。

努力継続ケース：これまで効率改善に取り組んできた機器・設備について、既存技術の延長線上で今後とも継続して効率改善の努力を行い、耐用年数を迎える機器と順次入れ替えていく効果を反映したケース。

最大導入ケース：実用段階にある最先端の技術で、高コストではあるが、省エネ性能の格段の向上が見込まれる機器・設備について、国民や企業に対して更新を法的に強制する一歩手前のギリギリの政策を講じ最大限普及させることにより劇的な改善を実現するケース。

出典：「長期エネルギー需給見通し(再計算)」(2009, 経産省)

8.3.4 導入実績

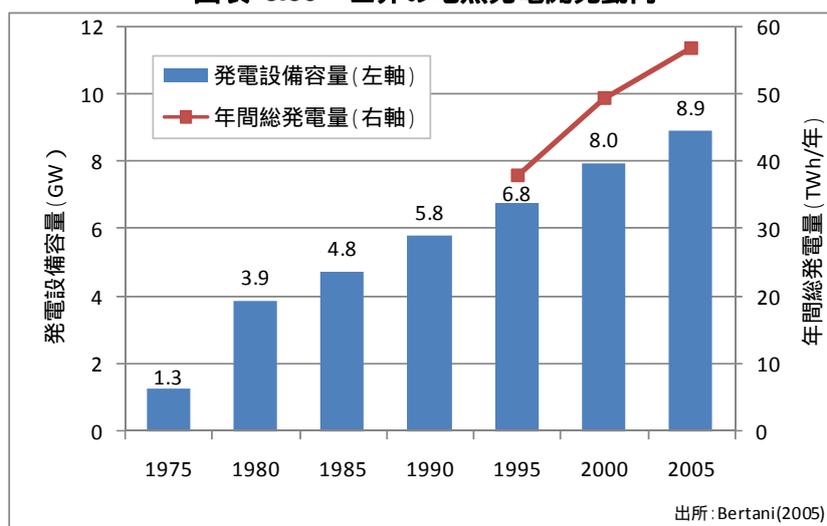
(1) 世界

世界の地熱発電の開発動向を図表 8.30 に示す。世界の地熱発電設備容量は、1980 年以降ほぼ同じペースで順調に伸びており、2005 年には 9GW 近くに達している。また、設備容量の増加に伴い、年間総発電量も増えている。

主要地熱資源国の開発動向を図表 8.31 に示す。世界では米国がトップを走っており、バイナリー方式の地熱発電の開発も積極的で、多くの商用プラントが稼働している(図表 8.33)。2008 年 8 月には、アイスランド、オーストラリアとの 3 カ国間で「International Partnership for Geothermal Technology (IPGT)」を締結しており、国際協力を通じて地熱発電の技術開発を加速させている。

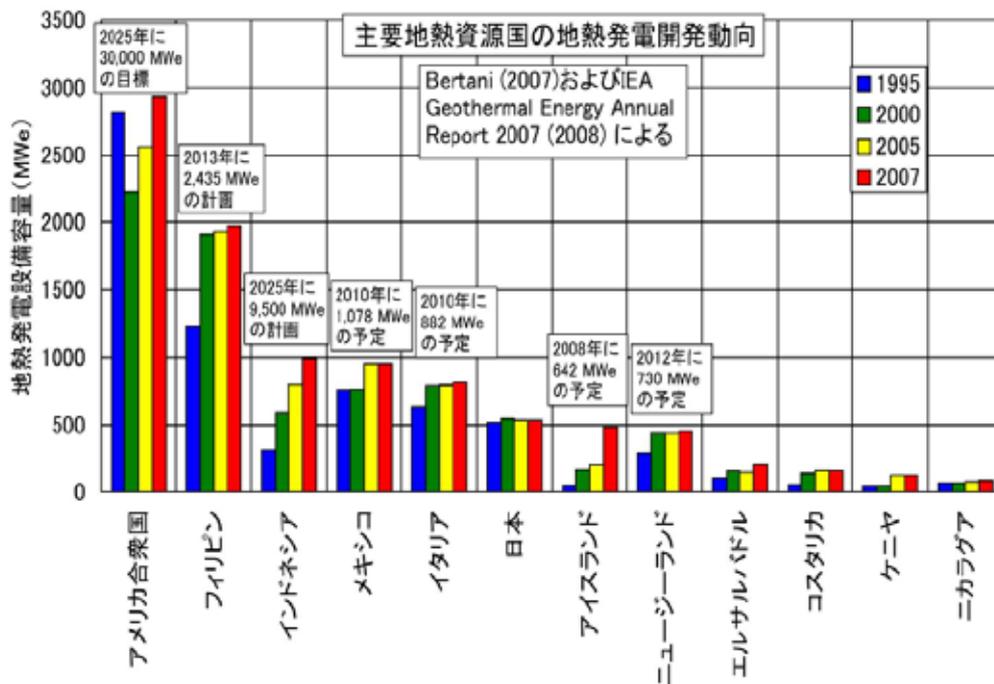
バイナリー方式で多くの実績を持つ ORMAT 社(米)は、1980 年代後半より米国にてバイナリー方式の地熱発電所の建設、運転を行っている。近年では特に、グアテマラ、ケニア、ニュージーランド等の米国以外の地域においても地熱発電プラントを建設している。

図表 8.30 世界の地熱発電開発動向



出典: 「地熱発電の開発可能性」(2008, 地熱発電に関する研究会 第1回資料, 産業技術総合研究所)

図表 8.31 主要地熱資源国の開発動向



出典：「地熱発電の開発可能性」(2008, 地熱発電に関する研究会 第1回資料, 産業技術総合研究所)

図表 8.32 欧州で稼働中のバイナリー発電設備

国名	立地点	運開年	出力
オーストリア	Altheim	2002年	1MW
	Blumau	2001年	0.2MW
ドイツ	Neustadt-Glewe	2003年	0.2MW (パイロットプラント)
	Landau	2007年	3.8MW
	Bruchsal	2007年	1.0MW
	Unterhaching	2007年	3.4MW
フランス	Soultz-sous-Forêts	2008年	1.5MW
ポルトガル	Ribera Grande (サン・ミゲル島)	1998年建設完了	4基(13MW)
ルーマニア	Oradea	-	0.2MW
トルコ	Aydin-Salavatli	2007年	10MW
	Kizildere Binary	-	5.0MW
	Canakkale	-	7.5MW

出典：NEDO 海外レポート NO.1044 (2009.5.20) より作成

図表 8.33 米国で稼働中のバイナリー発電設備

国名	所有者(プラント名)	立地点	開始年	出力[MW]
アラスカ	Chena Hot Springs	Near Fairbanks	2006	0.68
カリフォルニア	Constellation Power and ORMAT (MAMMOTH PACIFIC I)	Sierra Nevada Mountains/Mono	1984	24
	Ormat	North Brawley	2008	50
	その他	-	-	138.6
	カリフォルニア計			212.6
ハワイ	Puna Geothermal Venture* ¹	Pahoa	1993	25~35
アイダホ	U.S.Geothermal(RAFT RIVER UNIT)	southern Idaho	2008	13
ネバダ	Constellation Energy(SODA LAKE I)	Fallon	1987	5.1
	Steamboat Development Corp. (STEAMBOAT II)	Washoe	1992	29
	Ormat (GALENA 3)	Reno	2008	20
	その他	-	-	139.35
	ネバダ計			193.45
ユタ	Enel North America(COVE FORT II)	Cove Fort	1990	(6.5)* ²

*1：シングルフラッシュとバイナリーのハイブリッド方式

*2：再開発および拡張のために運転停止

出典：NEDO 海外レポート NO.1044 (2009.5.20) より作成

(2) 日本

日本でこれまでに開発されている地熱発電所は 18 ヶ所、出力合計は約 535MW である(図表 8.34)。最初の松川発電所は 1966 年に運転を開始して以来、40 年以上の間安定して運転されている。バイナリー方式の地熱発電所は、九州電力の八丁原バイナリー発電設備(2,000kW)と、霧島国際ホテルの地熱バイナリー発電施設(220kW)のみである。

石油危機以降の原油価格高騰期には、火力発電に対するコスト競争力をある程度有していたため本格的調査が行われ、東北・九州地域を中心に地熱開発が進められた。1990 年代には 9 基(約 317MW)が導入されたが、1999 年の八丈島地熱発電所の運転開始以降、新規立地がない状態が続いている。

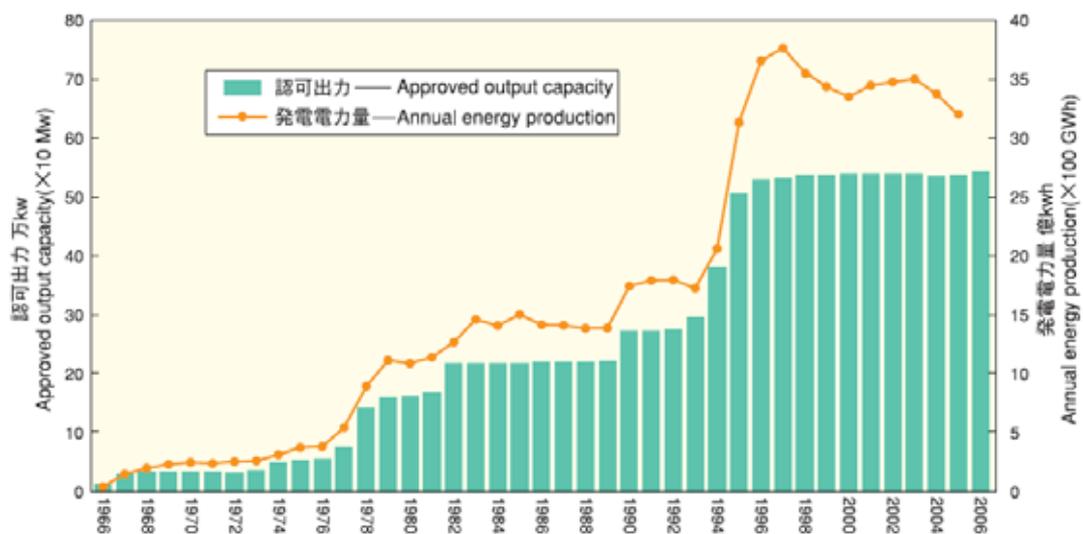
図表 8.34 日本の地熱発電所(平成 19 年 3 月現在)

発電所名		発電部門	蒸気供給部門	認可出力 [kW]	運転開始
電気事業用	松川	東北水力地熱(株)	東北水力地熱(株)	23,500	1966.10.8
	大岳	九州電力(株)	九州電力(株)	12,500	1967.8.12
	鬼首	電源開発(株)	電源開発(株)	12,500	1975.3.19

発電所名		発電部門	蒸気供給部門	認可出力 [kW]	運転開始
	八丁原 1 号、2 号 (バイナリー含む)	九州電力(株)	九州電力(株)	55,000(1号) 55,000(2号) 2,000(バイナリー)	1977.6.24 1990.6.22 2006.4.1
	葛根田 1 号、2 号	東北電力(株)	東北水力地熱(株)	50,000(1号) 30,000(2号)	1978.5.26 1996.3.1
	森	北海道電力(株)	北海道電力(株)	50,000	1982.11.26
	上の岱	東北電力(株)	秋田地熱エネルギー(株)	28,800	1994.3.4
	山川	九州電力(株)	九州電力(株)	30,000	1995.3.1
	澄川	東北電力(株)	三菱マテリアル(株)	50,000	1995.3.2
	柳津西山	東北電力(株)	奥会津地熱(株)	65,000	1995.5.25
	大霧	九州電力(株)	日鉄鹿児島地熱(株)	30,000	1996.3.1
	滝上	九州電力(株)	出光大分地熱(株)	25,000	1996.11.1
	八丈島	東京電力(株)	東京電力(株)	3,300	1999.3.25
自家用	大沼	三菱マテリアル(株)	三菱マテリアル(株)	9,500	1974.6.17
	杉乃井	(株)杉乃井ホテル	(株)杉乃井ホテル	1,900	2006.4.1
	霧島地熱バイナリー	富士電機システムズ(株)	大和紡観光(株)	220(バイナリー)	2006.8.9
	岳の湯地熱	廣瀬商事(株)	廣瀬商事(株)	50	1991.10.19
	九重観光ホテル	九重観光ホテル	九重観光ホテル	990	2000.12.1
合計				535,260	

出典：「地熱開発の現状」(2008, NEDO)

図表 8.35 日本における地熱発電の認可出力と発電電力量の推移



出典：「地熱開発の現状」(2008, NEDO)

<事例> 八丁原バイナリー発電施設

2004年に実証運転を開始した、地熱発電システムとしては国内最初のRPS法対象発電設備である。定格出力2,000kWで、低沸点媒体としては沸点36のペンタンを用いている。長期にわたる蒸気の生産により温度と圧力が減衰した蒸気井を有効利用している。

図表 八丁原バイナリー発電施設の概要

項 目		仕 様
設置台数		1
メーカー		オーマット社(イスラエル製)
定格出力	発電端	2,000kW(2,230kVA、力率0.9)
	送電端	1,720kW
媒体蒸気	圧力/温度/流量	1.09MPa*/133.2 / 105.77t/h
蒸気・熱水	圧力/温度	0.304MPa*/143.1
蒸気流量		17.825t/h
熱水流量		64.14t/h
タービン型式		衝動横置2段復水タービン
発電機型式		横置円筒回転界磁形同期発電機
復水器型式		空冷式
熱交換器型式		横置シェルアンドチューブ型
制御方式		中央制御方式による常時監視自動制御

(* MPa:メガパスカル 圧力の単位)

図表 プラント概観

出典：九州電力ホームページ (<http://o.kyuden.co.jp/view.php?pageId=1584>)

8.3.5 技術開発動向

地熱発電は、フラッシュ・バイナリー両方式のプラントが商用運転しており、技術的には確立されている。地熱のさらなる普及に向けては、地熱探査技術の向上や貯留層管理技術等が重要である。また、現在商用化されている技術に加え、さらに地熱の利用可能範囲を拡大するための技術開発が国内外で進められている。

図表 8.36 地熱発電の主な技術課題と解決の方向性

技術課題		解決策・要素技術
低コスト化	地熱探査技術の向上	<ul style="list-style-type: none"> 地質調査 地化学調査 物理探査（温度、電気・電磁波、地震、重力、磁気）
	スケール対策	<ul style="list-style-type: none"> 地熱熱水からのシリカ除去
高効率化	貯留層管理	<ul style="list-style-type: none"> プラント出力の適正化 地熱井涵養技術 蒸気条件変化への対応（タービン翼のフレキシビリティ）
高耐久化	耐食性	<ul style="list-style-type: none"> 耐食性材料 コーティング
利用可能資源の拡大	未利用温度帯利用	<ul style="list-style-type: none"> バイナリー発電 高温岩体発電
管理・運用	有害物質対策	<ul style="list-style-type: none"> 砒素等除去

(1) 低コスト化

1) 地熱探査技術の向上²⁵

地熱発電の効率的な開発は、地質調査、地化学調査、物理探査等の地熱探査により、調査地域の地熱ポテンシャルをいかに正確に把握できるかが第一歩となる。地熱探査で有望と判断された場合、次にボーリング調査が実施されるが、ボーリング孔の掘削は1本数億円のコストが必要であり、莫大な投資が要求される。開発リスク低減の観点からも、開発初期段階の地熱探査技術の精度向上は非常に重要な課題であり、技術開発が継続的に行われている。

ボーリング調査では、ボーリングコアやカッティングス（掘削した削りかす）により地質構造を明らかにするとともに、ボーリング孔に測定器を下ろし、電気抵抗や温度を測定する物理検層を行い、地熱貯留層の位置を把握する。1本のボーリングで有望性が確認された場合、さらにボーリングを行い、貯留層の三次元的構造をより詳細に推定し、地熱ポテンシャルの把握精度を高める。この時点までの精度が高ければ、次に行う生産井、還元井の掘削は比較的高い

²⁵ 「地熱エネルギー入門」(2008, Mary H. Dickson, Mario Fanelli 著、日本地熱学会 IGA 専門部会 訳・編)

精度で行うことができる。

- 地化学調査

地熱系のタイプ（蒸気卓越型、熱水卓越型など）を確認し、深部では最低限どの程度の温度が期待されるかを推定するとともに、供給される水の同質性を評価し、深部流体の化学性状を推論し、熱水の供給源を決定する手法。物理探査などに比較して低コストで実施可能なため、他の探査に先行して実施される。

- 物理探査

物理探査のパラメータには、図表 8.37 のようなものが含まれる。地質構造中に地熱流体が存在しているかどうかについては、電気探査法や電磁探査法によって調べることが可能である。また、地震探査、重力探査、磁気探査等は、石油探査で採用されていた手法であり、深部にある地熱貯留層を形成する地質構造の形状、規模、深度などの情報を収集することができる。

図表 8.37 物理探査の種類

物理探査	探査項目・内容	
温度調査	温度測定・地温勾配・ 地殻熱流量	貯留層上面の温度推定値
電気探査法または電磁探査法	電気伝導度	地質構造中の地熱流体の有無
地震探査	弾性波の伝達速度	深部にある地熱貯留層を形成する 地質構造の形状、規模、深度等
重力探査	密度	
磁気探査	磁化強度	

出典：「地熱エネルギー入門」（2008, Mary H. Dickson, Mario Fanelli 著、日本地熱学会 IGA 専門部会 訳・編）

2) スケール対策

スケールとは地熱流体から配管等への析出物で、シリカ、炭酸カルシウム、硫化鉱物などがある。流体温度や圧力が急速に変化したり、流体混合があったり、溶存ガスの離脱により、溶存成分が過飽和になるためにスケールが発生する。スケールの付着は熱交換器における熱交換効率の低下や、配管閉塞等の問題を引き起こすため、定期的な除去作業、析出抑制剤の利用などの対策が必要となる²⁶。このスケール除去に多額の経費がかかっており、ランニングコストを押し上げる要因となっているため、低コストスケール対策技術の開発が求められている²⁷。

(2)高効率化 - 貯留層管理 -

地熱発電では、発見した貯留層の特徴を踏まえたプラント規模の決定、生産井や還元井の配置、および運転開始後の貯留層の観測・解析と、貯留層の状況に合わせたプラントの運転が非常に重要となる。例えば地熱貯留層のポテンシャルを超えるプラント出力は、貯留層の減衰を早める原因となる。また、貯留層内の水量が不足した場合もエネルギー取得が困難になる。地

²⁶ 日本地熱学会 地熱用語集

²⁷ 地熱発電に関する研究会 第4回資料（2009）

熱発電を効率的に運用するために、貯留層管理は非常に重要であり、日米欧ともに地熱井涵養システム（EGS：Enhanced Geothermal Systems）に重点を置いた技術開発を進めている。

地熱井涵養システムとは、人工的な水圧刺激を利用して地熱資源を活用するための一連の技術である。通常、地下深いところにある高温の地層で岩石を断裂させる技術を指し、温水または水蒸気の新規地熱貯留層を創出するか、既存の地熱貯留層を拡大、強化するために利用される。EGS技術はまだ成熟しておらず、多くの点で検証を要する²⁸。

また、地熱源の減衰が起きた際に、当初の地熱水の容量で設計された蒸気タービンをそのまま用いることは発電効率の低下を招くことから、地熱水の減衰に応じて形状を変更可能なタイプの蒸気タービンの開発なども行われている。

(3)高耐久化

地熱流体は塩化物や硫化物等の腐食性を有する物質や不純物を含む流体であるため、ケーシングタイプや地上配管設備、タービン等の材料の物理的、電気化学的減耗を生じさせる。材料の減耗は施設の耐用年数に影響するばかりではなく、信頼性にも大きく影響する。耐食性に優れたステンレス材料の使用、タービンのブレード部等へのコーティング材料の溶射、地熱流体への腐食抑制剤の注入等の対策が考えられる。しかし、地熱流体の含有成分、流速等の特性に応じて、最適となるステンレス材料は異なること、過度な対策はコスト上昇につながるなどから、地熱流体の特性に応じた対策が求められる。

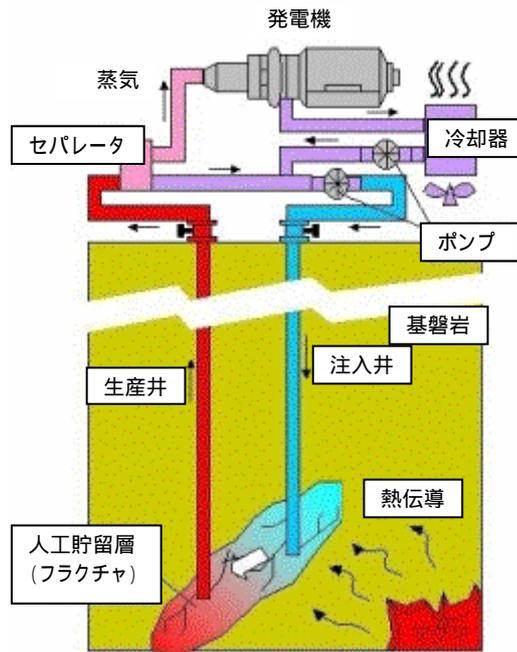
(4)利用可能資源の拡大 - 高温岩体方式 -

現在地熱発電に使われているエネルギーは地熱源の一部であり、利用可能な熱源範囲を拡大するために様々な技術開発が行われている。代表的な技術として、バイナリー発電と高温岩体発電が挙げられる。バイナリー発電（8.3.1 参照）については、近年実用化が進んでいるが、高温岩体発電は実験段階にある。

高温岩体方式とは、高温ではあるが水分に乏しく十分な熱水・蒸気が得られないような高温岩体（hot dry rock：HDR）を地熱発電へ活用する方式で、人工的に岩盤に割れ目（フラクチャ）を作って、2本の坑井の一方から水を注入し、もう一方から高温蒸気を取り出して発電を行うものである。米国および日本において実証試験が行われたが、未だ実験段階であり、オーストラリアやフランスにおいても研究開発が進められている。

²⁸ NEDO 海外レポート NO.1044 (2009.5.20)

図表 8.38 地熱発電（高温岩体方式）の概念図



出典：NEDO 海外レポート NO.1023 (2008.6.4)

(5) 管理・運用

地熱発電において、セパレータにより蒸気と分離した後の熱水中には砒素などの有害物質が含まれている。全ての熱水は、地熱貯留層の圧力維持や地熱貯留層への水の補給のため、あるいは、排水による環境影響を防止するため、全量還元井から地下へ戻されている。したがって、現状では、砒素対策は考慮する必要がないが、将来的に有害物質を低コストで分離し、熱水のエネルギーや成分の有効利用への関心が高まれば、有害物質の適正な管理が必要となる。

8.4 温泉熱発電・熱利用

8.4.1 技術の俯瞰

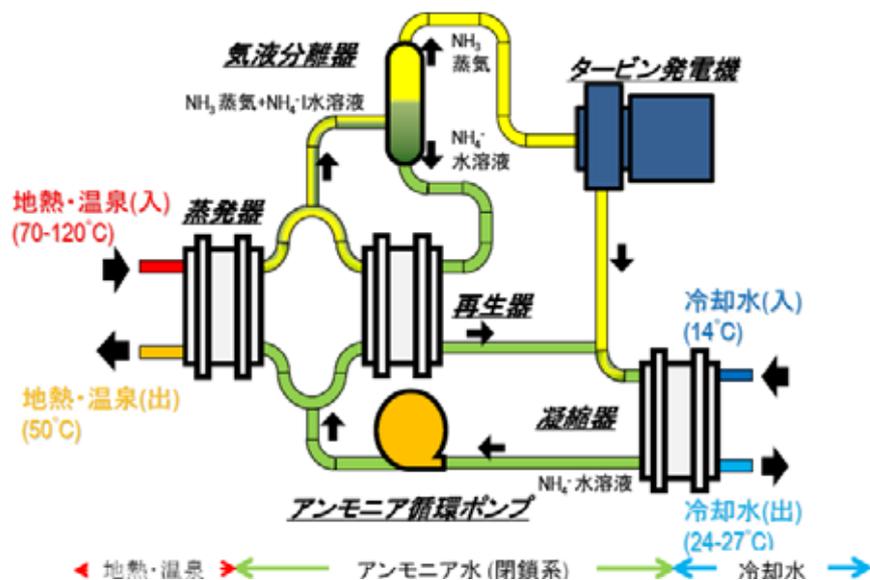
温泉熱の利用方法には、大きく分けて発電に利用する方法と、熱として利用する方法がある。日本に多い 50～100 の温泉は、そのままでは熱すぎて入浴には適さないため、長距離の配管や樋を巡らせて湯を外気に晒すなどして、適温に冷ましてから使用されてきた。最近、この温泉未利用熱の有効利用が検討されている。

(1) 温泉熱発電

温泉熱発電は、地熱発電のバイナリー方式よりも更に低い温度領域の熱を活用した発電で、カーリーナサイクルを用いた発電方式である。

カーリーナサイクルでは、沸点 100 以下のアンモニアと水の混合液を作動媒体として利用する。まず蒸発器（沸騰器ともいう。）において温泉水でアンモニア水を温めて沸騰させる。沸騰したアンモニア水を気液分離器に導いて蒸気を分離し、この蒸気でタービンを回して発電する。一方、気液分離器で分離された液体のアンモニア水は、再生器にて熱回収された後、タービン排気のアンモニア水蒸気を吸収し、更に凝縮器において冷却される。冷却されたアンモニア水は、ポンプにより循環し再度サイクル内を廻る。これがカーリーナサイクルの原理であり、低温熱を有効利用してタービンを駆動する方式である。500kW 以上のものは既に実用化されており、国内多数の温泉に導入するために小型の発電システムが開発されているところである。

図表 8.39 カーリーナサイクル発電



出典：「カーリーナサイクル方式を用いた地熱・温泉発電の原理」(2009, 地熱技術開発(株))

(2) 温泉熱利用

温泉熱を発電ではなく熱として利用するには、様々な機器の組合せによる方式が考えられる。温泉熱利用システムの例を図表 8.40 に示す。この他、イチゴ等の果実栽培や花卉栽培、融雪利用等も行われている。比較的複雑なシステムを導入して積極的に利活用する以外にも、温泉熱をそのまま調理へ利用する等の応用例も見られる。

図表 8.40 温泉熱利用システム例

ケース	概要	システム図
<p>温泉水の熱エネルギーを熱交換器で給湯に利用</p>	<p>給湯に使用している井戸水の加温を、温泉の熱エネルギーで行うことにより、給湯ボイラに使用している灯油分の省エネに貢献する。</p>	
<p>温泉排水の熱エネルギーを熱交換器で冷房&暖房に利用</p>	<p>近隣ホテルからの温泉排湯を一箇所に集約し、その排湯から熱エネルギーを回収し、各ホテルに熱供給する。各ホテルでは冷暖房の熱源として利用する。</p>	
<p>温泉水・温泉排水の熱エネルギーを熱交換器とヒートポンプで冷房&暖房&給湯に利用</p>	<p>現在、重油を暖房・給湯に使用している施設に、熱交換器とヒートポンプを導入し、温泉水・温泉排水の熱源として利用。</p>	

<p>温泉排水の熱エネルギーをヒートポンプで冷房&暖房&給湯&温泉加温に利用</p>	<p>現在、灯油を冷房・暖房・給湯・温泉加温に使用している施設に、温泉排水を利用した電気ヒートポンプを導入する。</p>	
<p>温泉排水の熱エネルギーをヒートポンプで温泉加温に利用</p>	<p>温泉排水専用管から、温泉排水の保有する熱エネルギーを熱交換器で回収し、ヒートポンプで昇温することにより重油ボイラで使用分の重油の省エネに貢献する。</p>	

* 温泉水：源泉から取り出した未利用の温泉水

* 温泉排水：入浴等に利用した後の温泉水

出典：「温泉DEヒーポン！温泉ホテル省エネモデル集」(2008, 経済産業省 北海道経済産業局)

8.4.2 ポテンシャル

温泉熱発電・熱利用に活用される地熱資源は同じものであり、ポテンシャルは同じ地域に賦存している。

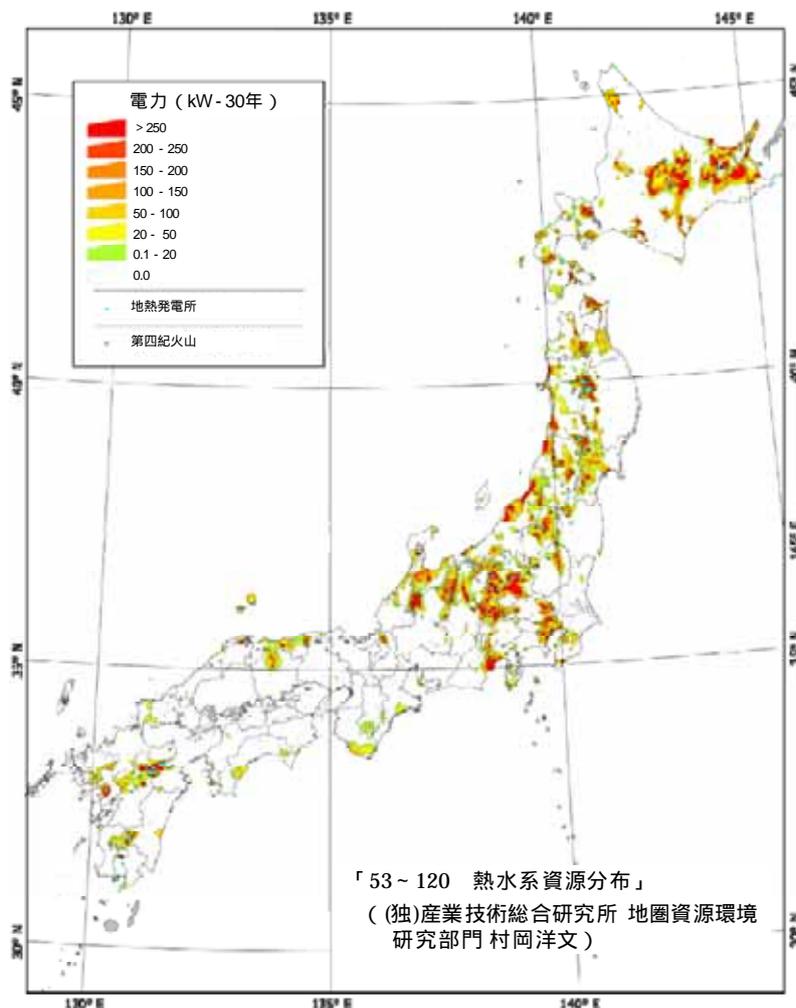
産業技術総合研究所が行った地熱資源量の評価による、低い温度領域での温泉発電の開発に有望な資源量を図表 8.41 に示す。これは新規掘削も想定しており、53 ~ 120 の温度領域に該当する熱水系資源量を評価したものである。120 以上はフラッシュ方式やバイナリー方式の地熱発電の領域として除外されている。結果として、国土の 22.2%が対象となり、温泉熱発電の開発に有望な資源量は 8,330MW と見積もられている。

図表 8.41 日本における温泉熱発電の開発に有望な資源量

温泉熱発電の資源量	8,330MW
-----------	---------

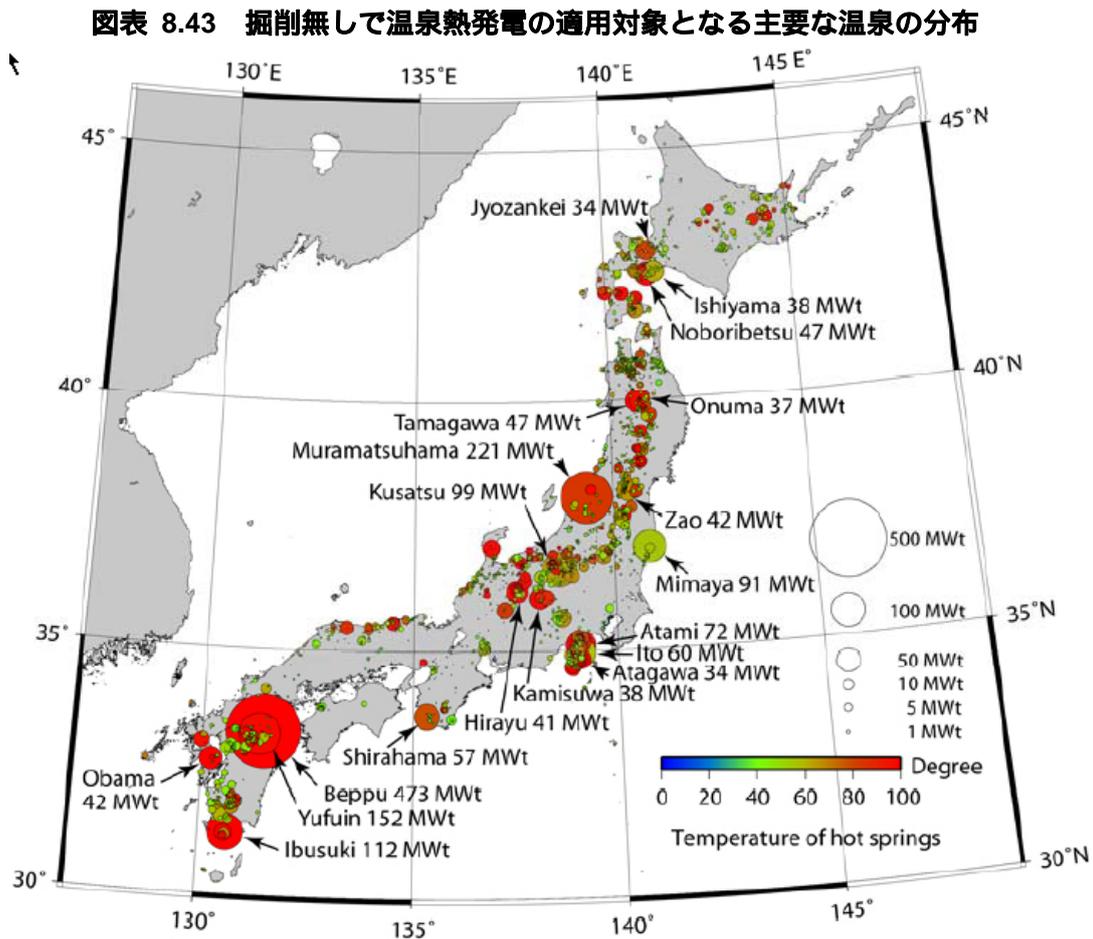
出典：「地熱発電に関する研究会 中間報告」(2009, 地熱発電に関する研究会)

図表 8.42 温泉発電 (53 ~ 120) 資源量の分布



出典：「地熱発電に関する研究会 中間報告」(2009, 地熱発電に関する研究会)

また、掘削無しで温泉熱発電の適用対象となる主要な温泉の分布を図表 8.43 に示す。現在廃棄されている温泉水のみを利用可能な熱源として想定した場合のポテンシャルは、723MW と見積もられている。これは、カーリーナサイクルの 50kW 発電システムを想定し、泉温および湧出量の不足により 30kW 未満となる温泉は対象外として試算されている。



出典：「パラダイム転換としての地熱開発推進」(2009.8, Gate Day Japan シンポジウム資料, 産業技術総合研究所)

8.4.3 導入目標量例

2008年に、日本地熱学会および日本地熱開発企業協議会が発表した「2050年地熱エネルギービジョン」における普及目標を図表 8.44 に示す。

ベースシナリオに基づく、8.4.2 節で述べた温泉熱発電のポテンシャル 8,330MW のうち、現実的な温泉熱発電の導入量は 2020 年で約 171MW、2050 年で 1,070MW となっている（ベースシナリオ）。

図表 8.44 2050 年地熱エネルギービジョンにおける温泉熱発電の導入量

	2005 年	2020 年	2050 年
ベースシナリオ	0MW	171MW	1,070MW
ベストシナリオ	0MW	228MW	1,342MW
ドリームシナリオ	0MW	275MW	1,514MW

ベースシナリオ : 温泉余熱の 53℃ までの 60% を使用可能と想定。設備利用率 70%。

ベストシナリオ : ベースシナリオの温泉余熱に加えて、地熱発電の還元熱水が発電に使用可能と想定。使用可能温度範囲は 100℃ から 53℃ まで。設備利用率 70%。

ドリームシナリオ : ベストシナリオと同様の想定で、設備利用率が 80%。

出典：「2050 年地熱エネルギービジョン」（2008, 日本地熱学会および日本地熱開発企業協議会）

8.4.4 導入実績

国内における温泉熱の発電利用は、まだ実証試験段階にある。実証試験の事例としては、2002年度に(株)前川製作所が福島県にて実施した、ランキンサイクル²⁹で発電機端出力 10kW を目指した実証試験がある³⁰。また、現在長野県においてカーリーナサイクルの 50kW 発電システム実証試験が、地熱技術開発(株)により進められている³¹。

熱源としての利用は、温泉排水からヒートポンプで熱回収して給湯や暖房に利用したり、源泉の温泉熱を浴槽の加温やシャワー等に利用するなど、導入事例が増加している。NPO 法人環境エネルギー政策研究所は、環境省が都道府県より集計している、源泉毎の温泉熱の「浴用・飲用」「多目的利用」に関する 2007 年度の集計データより、浴槽の加温に必要な熱量で温泉が代替している熱量、および温泉熱の多目的利用（ロードヒーティングや融雪等）の利用熱量の推計を行っている。それによると、日本全体の温泉熱の多目的利用量は 2,318TJ³²となっており、特に北海道等で利用が進んでいる。

²⁹ バイナリーサイクル方式の一つ。100 以上の熱水の活用に適している。作動媒体としてブタン、ペンタン等の単相流体を用いて発電する。

³⁰ NEDO「産業技術実用化開発助成事業」

³¹ NEDO「新エネルギーベンチャー技術革新事業」

³² エネルギー永続地帯指標 2008 年版総合集計表より

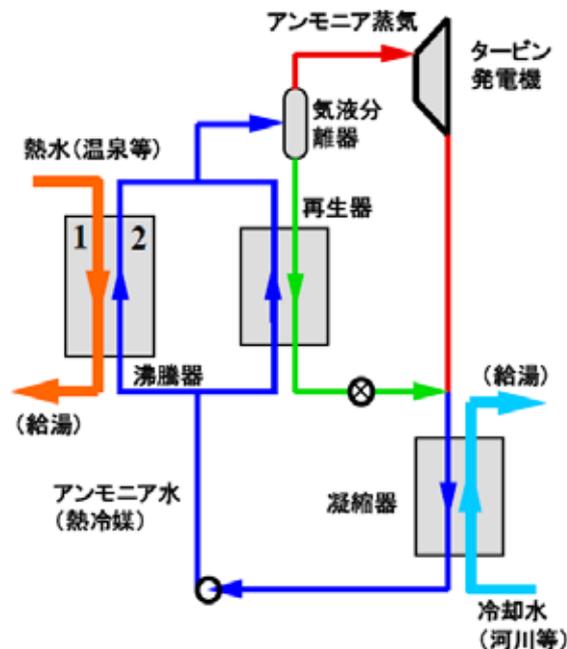
<事例> 地熱技術開発株式会社（発電）

地熱技術開発(株)は、長野県小谷村において温泉熱発電の実証研究を行っている。これは、NEDO の「新エネルギーベンチャー技術革新事業」に採択された「温泉エコジェネシシステムの開発」プロジェクトであり、2007 年度より開始されている。

図表 装置の概念設計

開発仕様項目	空冷式	水冷式
温泉水流量、kg/s	8.104	8.104
温泉水入口温度/出口温度、	85 / 50	85 / 50
冷却媒体温度（年平均）	14	14
入力熱量、kW	1,187.48	1,187.48
出口熱量、kW	1,122.45	1,118.18
発電端電力、kW	60.43	64.44
冷却系統消費電力、kW	10.44	4.79
送電端電力、kW	50.00	59.66
熱効率、%	4.21	5.02
単位温泉水消費量、kg/kW-h	583.5	489.0
単位電力量、watt-h/kg	1.71	2.04

図表 システム概念図



出典：「温泉エコジェネシシステムの開発 中間年報」(2007, NEDO)

<事例> 「滝川ふれ愛の里」(熱利用)

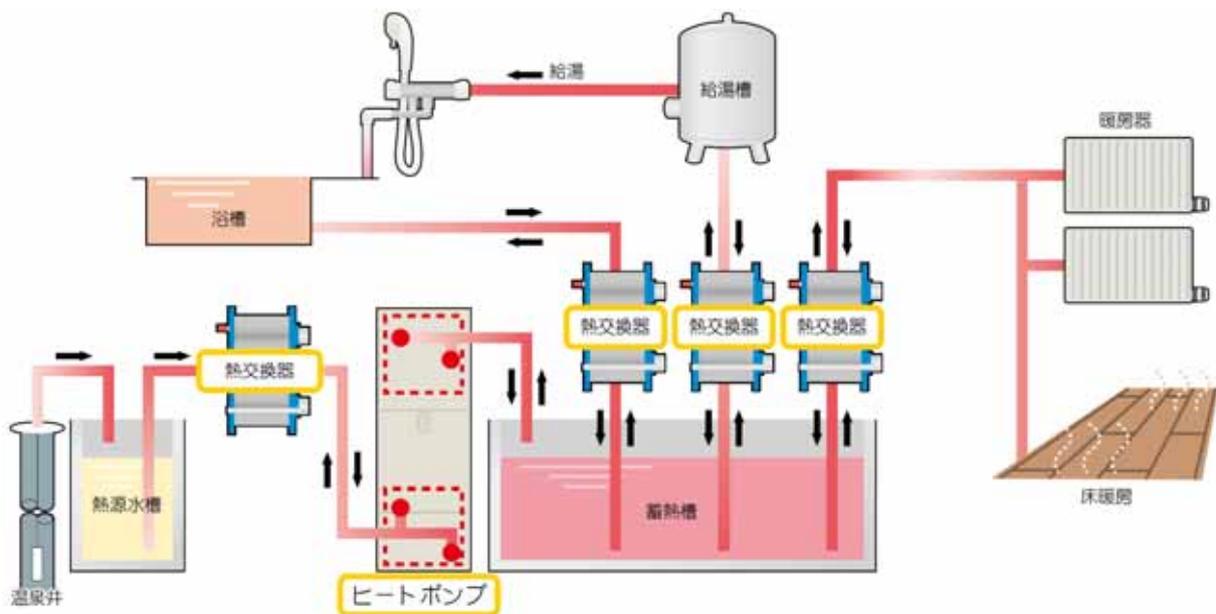
北海道滝川市の天然温泉日帰り入浴施設「滝川ふれ愛の里」では、源泉の温泉熱をヒートポンプで熱回収し、循環ろ過している温泉浴槽の加温に利用すると共に、シャワーや床暖房等の給湯・暖房や、空調用の冷水・温水供給に利用している。

図表 システムの概要

竣工	1997年
延床面積	3,567m ²
源泉温度	31
温泉湯量	500L/分
主要機器	
冷房・床暖房用水熱源ヒートポンプ	2台
加熱能力	1,005MJ/h
冷却能力	720MJ/h
給湯用水熱源ヒートポンプ	2台
加熱能力	1,005MJ/h
補助熱源機：電気温水器	定格 72kW

出典：「温泉DEヒーポン！温泉ホテル省エネモデル集」(2008, 経済産業省 北海道経済産業局)
および NPO 法人 健康と温泉フォーラム ホームページ
(<http://www.onsen-forum.jp/enterprise/webworkshop/group-saving/saving01.html>)

図表 システム概念図



出典：「温泉DEヒーポン！温泉ホテル省エネモデル集」(2008, 経済産業省 北海道経済産業局)

8.4.5 技術開発動向

発電利用に関して、温泉熱発電における利用を拡大するためには、小型発電システムが必要であり、現在技術開発が行われている。

熱利用に関しては、システムを構成する各要素（ヒートポンプ、熱交換器、貯湯槽等）は成熟技術であるが、温泉熱を吸収する蒸発器等でのスケール³³対策、アンモニアが循環する系内の腐食対策に加え、普及に向けてはさらなる低コスト化が重要である。

図表 8.45 温泉熱発電・熱利用の主な技術課題

技術課題		解決策・要素技術
高効率化	発電効率の向上	<ul style="list-style-type: none"> タービンの小型化・高効率化 低沸点媒体の探求
	熱交換効率の改善	<ul style="list-style-type: none"> 蒸発器におけるスケール付着防止対策
低コスト化	イニシャルコストの削減	<ul style="list-style-type: none"> システム設計の最適化 施工費の低減
	ランニングコストの削減	<ul style="list-style-type: none"> メンテナンスコストの削減 熱交換器等の腐食対策 遠隔制御
管理・運用	安全性・防音性の向上	<ul style="list-style-type: none"> 密閉式筐体

(1) 温泉熱発電の技術課題

温泉熱発電に利用されるカーリーナサイクルについては、技術的に確立されており、500kW以上のシステムは既に実用化されている。しかし、温泉熱発電の普及には小型の発電システムの開発が必要であり、現在 NEDO の「新エネルギーベンチャー技術革新事業」に採択された「温泉エコジェネシシステムの開発」(地熱技術開発(株))において、50kW 発電システムの開発が行われているところである³⁴。主な開発要素は、以下の通りである。

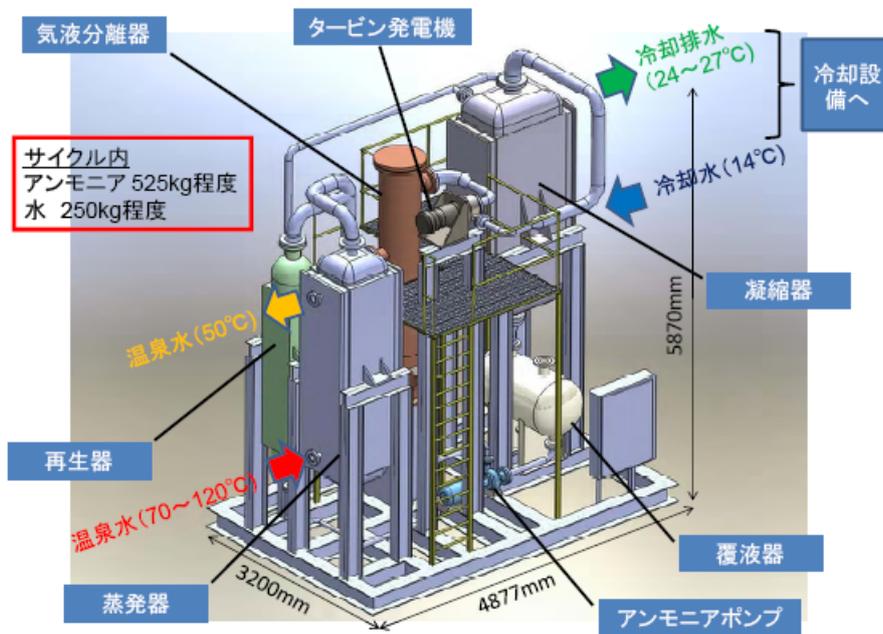
- 50kW 超小型タービン発電機（高効率・低コスト）
- 温泉沈殿物の発生しにくい熱交換器
- 密閉式筐体（安全性・防音性の向上）
- 遠隔制御（取り扱い易さ）

発電効率の向上には、小型タービン発電機の高効率化の他、蒸発器におけるスケールの付着防止対策が重要となる。

³³ 温泉中に溶け込んでいる成分が沈殿・付着した物であり、ポンプや配管、貯湯槽、熱交換器等への付着物。

³⁴ 「新エネルギー技術研究開発 / 新エネルギーベンチャー技術革新事業（風力発電その他未利用エネルギー） / 温泉エコジェネシシステムの開発 平成 19 年度分中間年報」（2007, NEDO）

図表 8.46 50kW 級温泉発電装置



温泉発電装置の外観

出典：「カーリーナサイクル方式を用いた地熱・温泉発電の原理」(2009, 地熱技術開発(株))

(2) 温泉熱利用の技術課題

熱利用システムを構成する各要素(ヒートポンプ、熱交換器、貯湯槽等)は成熟技術であり、温泉熱利用への実用化も進んでいるため、技術開発の必要性は小さい。ただし、温泉水・温泉排水をエネルギー源として利用する場合には、スケール対策が必要となる。温泉水の中に含まれる重炭酸カルシウム ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) はスケール発生の主要な要因とされているため、カルシウム硬度や鉄が多い温泉水質の場合には特に留意する必要がある。産業技術総合研究所では、温度・圧力・ CO_2 分圧・pH・電極等に対する溶解度の基礎的な研究を行っており、この問題の解決を目指している。

普及には低コスト化が重要であるが、温泉熱利用のイニシャルコストは個々の事例により大きく異なる。既存のボイラ、貯湯槽等を活用した場合はイニシャルコストが抑えられ、比較的短期にコスト回収が可能となるが、新たな配管の敷設や設備の導入がかさむとコスト回収が困難な場合もある。個々の導入場所毎に、既存設備の活用も含めて、最も費用対効果の高いシステムの設計が重要である。

8.5 雪氷熱利用

8.5.1 技術の俯瞰

雪氷熱利用技術は、冬期の積雪や、冷たい外気によって凍結した氷等を夏期まで保存し、農作物の低温貯蔵や施設の冷房等の冷熱源として利用するものである。北海道、東北地方の一部においては、古くから雪室・氷室として農作物の貯蔵に利用されてきた技術である。

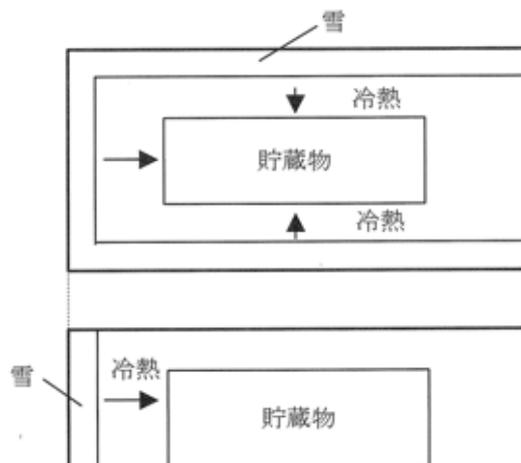
1トンの雪は約 100kWh の冷熱エネルギーに相当する³⁵。また、低温・高湿度の環境を安価にかつ比較的容易に作り出すことができる他、作物等の鮮度保持・糖度増加、建物内の除塵等の効果を有する。豪雪地域の地方自治体を中心に、雪氷熱利用システムの導入事例は増加しており、2002年の新エネルギー利用等の促進に関する基本方針の政令改正では、雪氷熱利用が新エネルギーの項目に追加された³⁶。

雪氷熱利用システムは、主に以下の4つに分類される。

(1) 雪室・氷室

倉庫に蓄えられた雪や氷の冷熱を、特別な機器を用いずに自然対流させるシステム。農作物の貯蔵等に用いられている。

図表 8.47 雪室・氷室の構造例



出典：「雪氷冷熱エネルギー導入ガイドブック」(2002, NEDO)

(2) 雪冷房・冷蔵システム

倉庫等に蓄えられた雪の冷熱を、直接若しくは熱交換して強制循環させ、温度コントロールを可能とする冷房・冷蔵システム。大規模な米の低温貯蔵施設や公共施設、ビル等の冷房に使用されている。また、冷凍機の運転効率を高める冷熱源としても活用されている。

雪冷房・冷蔵システムの熱交換の方法には、大別して以下の2種類の方式がある。

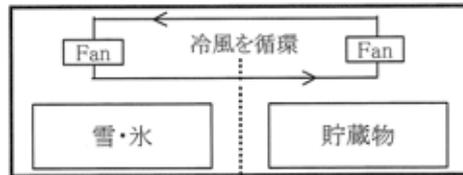
³⁵ 室蘭工業大学 媚山教授の試算値(雪1トンの原油換算量 9.695L/t)を元に試算。

³⁶ 「新エネルギー利用等の促進に関する基本方針の改訂について」(2002, 資源エネルギー庁)

1) 直接熱交換冷風循環方式（全空気循環方式）

送風機を用いて、冷熱を供給する貯雪氷装置と冷房・冷蔵対象である貯蔵物のある貯蔵庫等との間でファンを用いて冷風を循環させる方式。

図表 8.48 直接熱交換冷風循環方式

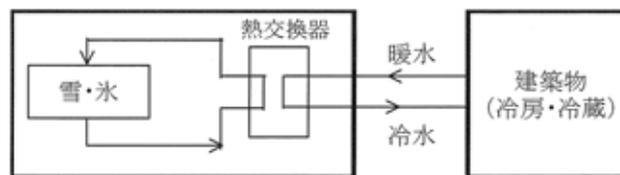


出典：「雪氷冷熱エネルギー導入ガイドブック」(2002, NEDO)

2) 熱交換冷水循環方式（冷水循環方式）

融解水または雪で冷やされた不凍液をポンプで循環し、熱交換器を介して冷房・冷蔵機器の熱媒（不凍液など）を冷却する。本方式では、熱交換器から戻ってきた水を、雪氷を融かすため散水する場合が多い。

図表 8.49 熱交換冷水循環方式



出典：「雪氷冷熱エネルギー導入ガイドブック」(2002, NEDO)

(3) アイスシェルターシステム

冬期に外気を取り入れて内部の水槽を凍結させ、夏期にその冷熱を冷房や冷蔵に利用するシステム。水と氷が共存する状態にして空気を通すと空間が常に 0℃、高湿度に保たれる現象を利用して、農水産物の通年貯蔵、建物の除湿・換気冷房を行う。

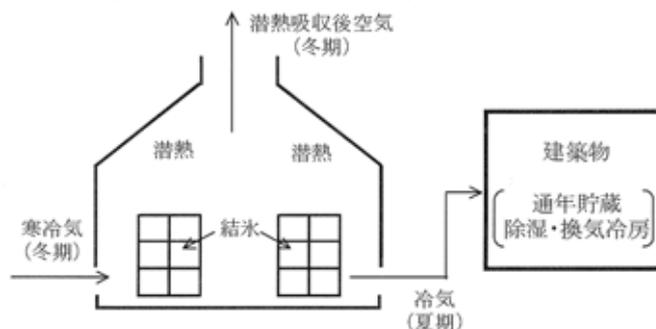
アイスシェルター内では、

初冬～冬期～初春：凍結を開始し氷を蓄積、農産物等の凍結を防ぐ

初春～夏期～初冬：氷を融解し、空間温度を下げる

というサイクルを繰り返すことにより、夏期も冬期も 0℃ の環境を作り出す。

図表 8.50 アイスシェルターシステム

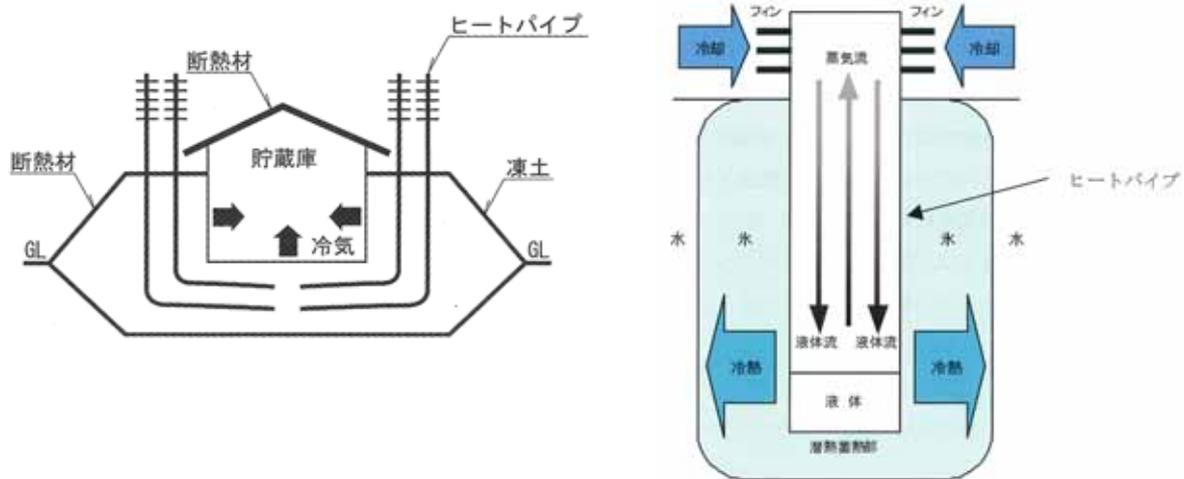


出典：「雪氷冷熱エネルギー導入ガイドブック」(2002, NEDO)

(4)人工凍土システム（ヒートパイプ）

ヒートパイプ³⁷により外気の冷熱を移動させ、土壌を凍らせて人工凍土を生成し、農産物等の長期低温貯蔵に用いるシステム。また、土壌の代わりに蓄熱槽、水槽等を凍らせ、建物の冷房熱源に用いるシステム（冬氷システム）も導入されている。設置可能な地域は、積算寒度³⁸が200・日以上地域（北海道、東北、信州等）に限られる。

図表 8.51 人工凍土システム（左）、ヒートパイプの原理（右）



出典：「雪氷冷熱エネルギー導入ガイドブック」（2002, NEDO）

³⁷ 熱伝導性の高い材質を用いたパイプ中に、揮発性の液体（作動液）を封入したもの。パイプ両端の温度差を利用し、作動液体の蒸発と凝縮のサイクルを発生させ熱を輸送するシステム。

³⁸ 年間の氷点下の日平均気温を加算した指標。

8.5.2 ポテンシャル

図表 8.52、図表 8.53 に雪氷熱利用のポテンシャル試算例を示す。日本におけるポテンシャルは、施設ベースで原油換算約 159 万 kL、貯雪量ベースで原油換算約 50 万 kL との試算されている。

図表 8.52 雪氷熱利用の物理的ポテンシャル（施設ベース）

導入施設	雪使用量の積算内訳	物理的限界潜在量 (原油換算 ³⁹)	
農業施設 (豪雪、特別豪雪地域における、農業倉庫、畜産施設の 100%に導入)	米作倉庫： 2,255 件 × 貯蔵量 600t/件 × 雪量 0.5t/t 米 = 67.7 万 t	0.7 万 kL	27.7 万 kL
	畑作倉庫： 2,671 件 × 貯蔵量 300t/件 × 雪量 1.4t/t 作物 = 112.2 万 t	1.1 万 kL	
	畜産施設： 66,894 戸 × 冷房面積 1,000m ² /戸 × 雪量 0.4t/m ² = 2,675.7 万 t	25.9 万 kL	
公共施設 (豪雪、特別豪雪地域における、公民館、公共図書館、老人福祉施設、病院、小中学校、幼稚園の 100%に導入)	公民館：2,863 件、 公共図書館：393 件、 老人福祉施設：3,443 件、 病院：1,544 件 合計：8,243 件 × 冷房面積 500m ² /件 × 雪量 0.4 t/m ² = 165 万 t	1.7 万 kL	8.8 万 kL
	小中学校： 8,768 校 × 冷房面積 2,000m ² /校 × 雪量 0.4 t/m ² = 701.4 万 t	6.8 万 kL	
	幼稚園： 2,382 校 × 冷房面積 300m ² /校 × 雪量 0.4 t/m ² = 28.6 万 t	0.3 万 kL	
住宅 (豪雪、特別豪雪における、一戸建住宅の 50% (都心部は用地等に制限を受けるものとして、対象数は 1/2 を見込む)、共同住宅(低層、5 階建て)の 100%に導入)	一戸建： 415 万戸 × 0.5 × 冷房面積 50m ² /戸 × 雪量 0.4t/m ² = 4,100 万 t	39.8 万 kL	71.4 万 kL
	共同住宅： 204 万戸 × 冷房面積 40m ² /戸 × 雪量 0.4 t/m ² = 3,264 万 t	31.6 万 kL	
産業施設 (豪雪、特別豪雪における、製造工場(事務所、工場)、スーパーマーケットの 100%に導入)	事務所： 103,230 件 × 冷房面積 250m ² /件 × 雪量 0.4 t/m ² = 1,032.3 万 t	10.0 万 kL	51.3 万 kL
	工場： 103,230 件 × 冷房面積 1,000m ² /件 × 雪量 0.4 t/m ² = 4,129.2 万 t	40.03 万 kL	
	スーパーマーケット： 3,469 件 × 冷房面積 1,000m ² /件 × 雪量 0.4,t/m ² = 138.7 万 t	1.3 万 kL	
合計			約 159 万 kL

出典：総合資源エネルギー調査会 第 2 回新エネルギー部会 資料 6「雪氷冷熱エネルギーについて」
(2001, 室蘭工業大学 媚山)

³⁹ 雪 1t の原油換算量を 9.695L/t として試算している (室蘭工業大学 媚山教授)。

図表 8.53 雪氷熱利用のポテンシャル（貯雪量ベース）

美唄市の 11 年度想定雪堆積場搬入量の試算			
雪堆積場当たり堆積量 (札幌市 H11 実績) (a)	雪密度 (b)	美唄市・雪堆積 占用面積 (c)	美唄市の想定雪 堆積場搬入量 (d)=(a) × (b) × (c)
18,763 千 m ³ (札幌市・実績雪搬入量) / 1,936 千 m ² (札幌市・雪堆積占用面積) = 9.7m ³ /m ²	0.6 t/m ³	18,760 m ²	109,112 t
豪雪地帯における平均雪堆積場搬入量の試算			
美唄市面積 (e)	美唄市全体面積に 対する雪搬入量 (f)=(d)/(e)	美唄市に対する豪雪地帯 の平均人口の割合 (g)	豪雪地帯における平均雪 堆積場搬入量 (h)=(f) × (g)
277km ²	394 t/km ²	21.3 千人(豪雪地帯 1 市町 村当たり平均人口) / 31.3 千人(美唄市人口) = 68%	268.1 t/km ²
全国の利用可能雪堆積量（利用可能潜在量）			
豪雪地帯面積 (i)	豪雪地帯の雪搬入量 (j)=(h) × (i)	原油換算係数 (k)	利用可能潜在量 (原油換算) (j) × (k)
191,989km ²	約 5,100 万 t	9.695L/t 雪	約 50 万 kL

札幌市内の雪堆積実績（H11 年度）による雪堆積場当たりの堆積量から、雪氷熱利用の先進地域である美唄市をモデルとして豪雪地帯面積当たり雪堆積量を算定し、全国における利用可能堆積量を試算。

出典：総合資源エネルギー調査会 第 2 回新エネルギー部会 資料 6「雪氷冷熱エネルギーについて」
(2001, 室蘭工業大学 眉山)

8.5.3 導入目標量例

日本では、「新エネルギー利用等の促進に関する基本方針」(2002年12月改訂、資源エネルギー庁)の新エネルギー導入目標のうち、未利用エネルギー(雪氷熱利用、工場等排熱利用、および温度差熱利用)として、2010年度までに原油換算58万kLの導入目標が掲げられている。これは現行の地球温暖化対策推進大綱の目標になっている。

しかしながら導入は遅れており、「2030年のエネルギー需給展望(答申)」(2005年3月、総合資源エネルギー調査会 需給部会)では、未利用エネルギー(雪氷冷熱を含む)の2010年度の導入見通しは、原油換算5万kLとなっている。

図表 8.54 未利用エネルギーの供給目標

エネルギー種	2010年度	
	地球温暖化対策推進 大綱目標 ¹	2030年のエネルギー 需給展望 ²
雪氷熱利用	58万kL*	5万kL*
工場等排熱利用		
温度差熱利用		

* 当該エネルギーの導入量を原油の数値に換算

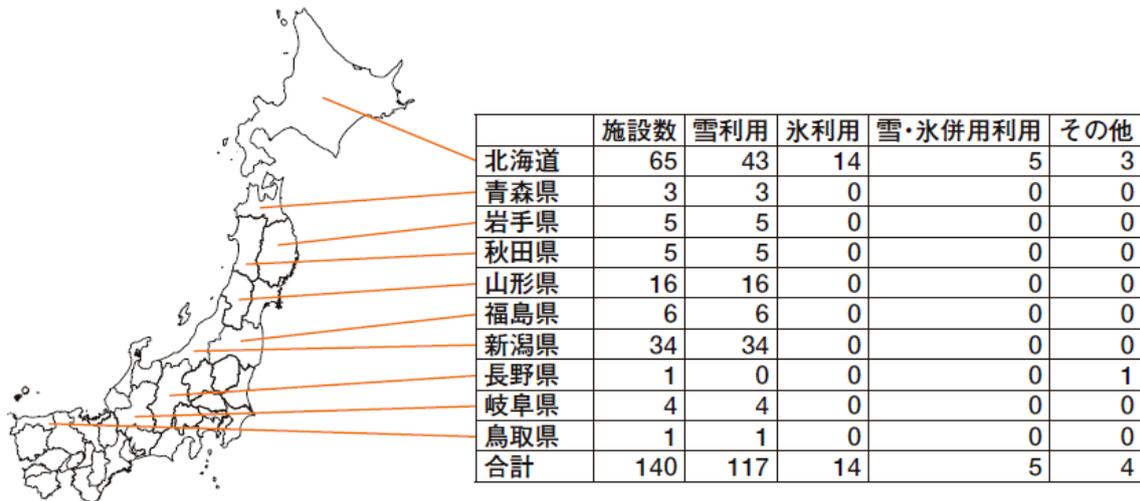
出典1: 「新エネルギー利用等の促進に関する基本方針の改訂について」(2002, 資源エネルギー庁)

出典2: 「2030年のエネルギー需給展望」(2005, 総合資源エネルギー調査会 需給部会)

8.5.4 導入実績

現在日本では、123 の施設において雪氷熱エネルギーが利用されている（2008 年、北海道経済産業局調べ）。都道府県別に見ると、北海道の導入数が最も多く、全体の約半分近くを占めている。次いで新潟、山形県の導入数が多い。

図表 8.55 全国の雪氷熱利用施設の導入状況（2010 年 6 月現在）



出典：「雪氷熱エネルギー活用事例集 4（増補版）」（2010，北海道経済産業局）

図表 8.56 雪氷熱エネルギー導入事例

都道府県	施設名	種類	トン数	自然対流	冷風循環	冷水循環	設置年	都道府県	施設名	種類	トン数	自然対流	冷風循環	冷水循環	設置年
北海道 沼田町	沼田町米穀低温貯蔵乾燥調製施設 (スノークールライスファクトリー)	雪	1500				1996	岩手県 西和賀町	志賀来ドーム	雪	45				2001
北海道 沼田町	利雪型低温貯蔵施設(利雪庫2号)	雪	1000				1998	岩手県 西和賀町	低温貯蔵施設	雪	150				1995
北海道 沼田町	生涯学習センター(併設:雪の科学館)	雪	419				2001	岩手県 西和賀町	農産物集出荷予冷貯蔵施設	雪	250				1989
北海道 沼田町	養護老人ホーム「和風園」	雪	497				2002	岩手県 西和賀町	氷室	雪	140				1989
北海道 沼田町	M 邸	雪	6				2002	秋田県 横手市	交流施設「あさくら館」	雪	236				2002
北海道 沼田町	西尾生花店	雪	6				2005	秋田県 横手市	横手清陵学院中学校・高等学校	雪	900				2003
北海道 沼田町	沼田式雪山センター	雪	10000				2007	秋田県 湯沢市	平地型雪貯蔵冷熱利用施設 (平地型雪ダム)	雪	480				1989
北海道 沼田町	沼田町就農支援実習農場 椎茸発生棟	雪	86				2007	秋田県 羽後町	天馬美術館	雪	400				1999
北海道 美唄市	米穀零温貯蔵施設「雪蔵工房」	雪	3600				2000	秋田県 横手市	増田町雪室	雪	70				1999
北海道 美唄市	氷室貯蔵試験研究所	雪	75				1999	山形県 舟形町	農林漁業体験実習館	雪	60				1994
北海道 美唄市	事務所兼個人住宅 雪冷房実験施設	雪	15				2000	山形県 舟形町	舟形町雪氷室貯蔵庫	雪	200				1989
北海道 美唄市	介護老人保健施設 「コミュニティホーム美唄」	雪	300				2000	山形県 舟形町	エコ環境住宅	雪	24				1998
北海道 美唄市	賃貸マンション「ウエストバレス」	雪	100				1999	山形県 舟形町	穀類等乾燥調製貯蔵施設 「利雪型貯蔵庫」	雪	80				1999
北海道 美唄市	老人福祉施設ケアハウス 「ハーモニー」	雪	121				2002	山形県 新庄市	ゆきむろ新庄かむろ倉庫	雪	1000				1999
北海道 美唄市	美唄市交流拠点施設 ピバの湯 ゆーりん館	雪	306				2003	山形県 新庄市	エネルギー利用実験施設 (もがみゆきっこ)	雪	100				1995
北海道 愛別町	アイスシェルダー	氷	160				1988	山形県 村山市	袖崎式雪室(ダックスフロント型)	雪	40				1992
北海道 浦臼町	植物生産工場	氷	2000				2001	山形県 村山市	村山市雪室施設	雪	400				1997
北海道 旭川市	北方建築総合研究所	雪氷	雪 70 氷 100				2002	山形県 村山市	JA みちのく村山零温雪室倉庫	雪	1523				2003

都道府県	施設名	種類	トン数	自然対流	冷風循環	冷水循環	設置年	都道府県	施設名	種類	トン数	自然対流	冷風循環	冷水循環	設置年
北海道旭川市	宮脇書店旭川豊岡店	雪	390				2004	形県大石田町	次年子雪蔵	雪	97				2001
北海道旭川市	サイバル	雪	660				2005	形県金山町	山町森林交流センター(シェーネスハイム金山)	雪	300				2001
北海道滝川市	零温倉庫アイスタワー	氷	16				2000	形県鶴岡市	あさひの雪蔵	雪	124				1995
北海道士別市	共同貯蔵施設	雪	450				1997	形県飯野町	雪室施設	雪	1100				1997
北海道岩見沢市	畜産冷房施設「雪鶏」	雪	13				2001	形県飯野町	懐いいで雪室研究所	雪	138				2007
北海道岩見沢市	岩見沢市高齢者福祉センター	雪	-				2004	形県飯野町	飯豊型環境共生モデル住宅	雪	16				2005
北海道石狩市	氷室式低温貯蔵施設	雪	302				1994	山形県飯豊町	高畠町立糠野目小学校	雪	125.5				2003
北海道札幌市	氷利用農産物長期貯蔵実験施設	氷	67				2001	福島県喜多市	いいでとそばの里	雪	256				2000
北海道札幌市	単身・独身寮「アミティ工場の森」	雪	40				1997	福島県西会津町	雪室貯蔵施設	雪	216				1996
北海道札幌市	ガラスのピラミッド	雪	1580				2003	福島県北塩原村	裏磐梯ビジターセンター	雪	140				2003
北海道札幌市	都心北殿雪槽活用雪冷熱エネルギー供給システム	雪	1000				2002	福島県昭和村	農林水産物集出荷貯蔵施設	雪	1200				2004
北海道札幌市	山口斎場	雪	2500				2006	福島県南会津町	トマト予冷庫	雪	600				2004
北海道赤井川村	雪氷室貯蔵施設	雪	340				1996	新潟県上越市	雪むろそば屋「小さな空」	外部	-				2004
北海道二セコ町	コンテナ式貯蔵庫(J-BOX)	雪氷	336				2000	新潟県上越市	安塚中学校	雪	660				2004
北海道二セコ町	パイプアーチ型雪氷利用貯蔵庫	雪氷	256				2002	新潟県上越市	やすづか利雪型米穀貯蔵施設	雪	630				2003
北海道苫小牧市	冷房施設	雪	750				2006	新潟県上越市	柿崎雪中貯蔵庫	雪	210				2004
北海道洞爺湖町	潜熱利用型野菜貯蔵実験施設	雪	70				1993	新潟県上越市	吉川区N邸の「ゆきむろ」	雪	75				2003
北海道洞爺湖町	雪蔵野菜貯蔵施設利雪型貯蔵庫	雪	1202				2008	新潟県上越市	雪エネルギー棟	雪	300				2004
北海道洞爺湖町	洞爺湖佐々木ファーム・アイスシェルター	氷	170				2006	新潟県上越市	雪のまぢみらい館	雪	300				1999
北海道せたな町	自然エネルギー開発研究場北植山アイスシェルター実験棟	氷	80				2001	新潟県上越市	ほのぼの荘・やすらぎ荘	雪	800				2000
北海道安平町	雪冷房実験研究施設	雪	90				2000	新潟県上越市	雪だるま物産館	外部	-				1995
北海道名寄市	雪室型もち米低温貯蔵施設(ゆきわらべ雪中蔵)	雪	1300				2002	新潟県上越市	農産物集出荷貯蔵施設	雪	1200				1992
北海道風連町	農産物出荷調整利雪施設	雪	1160				2003	新潟県上越市	安塚小学校	雪	150				2001
北海道清水町	自然エネルギー利用施設(氷室)	雪	300				1993	新潟県上越市	キュービットバレイスキー場雪冷房施設	雪	1500				2007
北海道厚真町	農産物貯蔵施設	氷	25				1988	新潟県十日町市	利雪の家	雪	60				1988
北海道厚真町	農産物貯蔵施設	氷	18				1991	新潟県十日町市	繻工房	雪	300				1996
北海道厚真町	農産物貯蔵施設	氷	25				1990	新潟県十日町市	体験交流施設「NATURA(ナトゥーラ)」	雪	152				1998
北海道むかわ町	野菜貯蔵施設	雪	486				1991	新潟県小千谷市	スノーランド池ヶ原雪室貯蔵施設	雪	4500				2000
北海道むかわ町	玄米低温貯蔵施設	雪	920				1996	新潟県十日町市	仙田体験交流館	雪	505				2000
北海道帯広市	ヒートパイプシステム	凍土	-				1987	新潟県柏崎市	室付貯蔵野菜等販売所兼冬期共同車庫	雪	110				1996
北海道帯広市	モナリスクアイスシェルター	氷	48				2000	新潟県魚沼市	越後ゆきくら館	雪	350				1989
北海道帯広市	カールブレックスおびひろ・アイスシェルター	雪氷	雪75 氷200				2007	新潟県魚沼市	雪利用漬物生産加工施設	雪	5000				1997
北海道帯広市	HP型実用凍土低温貯蔵庫	凍土	-				2006	新潟県南魚沼市	越後ワイナリー	雪	250				2001
北海道池田町	小豆の氷熱利用貯蔵	氷	500				2006	新潟県南魚沼市	米倉庫	雪	700				2007
北海道網走市	網走寒冷エネルギー利用システム	凍土	-				1989	新潟県津南町	農産物集出荷貯蔵施設	雪	600				1993
北海道網走市	自然氷利用長期野菜貯蔵施設	氷	68				1989	新潟県十日町市	切花球根貯蔵出荷施設	雪	390				1994
北海道別海町	苗木低温貯蔵庫	雪	-				988 1990	新潟県湯之谷村	雪中貯蔵施設	雪	1000				1988
北海道釧路市	氷冷熱エネルギー貯蔵実験施設	氷	12				2003	新潟県南魚沼市	新潟県南魚沼地域振興局	雪	650				2003
北海道倶知安町	しゃっこい野菜蔵	雪氷	1.5				2003	新潟県大町市	アルプス搗精工場	蓄熱体	-				2003
北海道倶知安町	六郷馬鈴薯倉庫	雪	270				2003	岐阜県飛騨市河合町	友雪館	雪	300				1999
青森県青森市	雪氷応用実験施設	雪	20				2000	岐阜県飛騨市河合町	河合庁舎雪冷房システム	雪	300				2000
青森県青森市	国際芸術センター青森	雪	212				2001	岐阜県飛騨市河合町	克雷住宅(雪冷房システム)	雪	280				2003
青森県青森市	幸雪館	雪	34				2004	鳥取県鳥取市	奥大山ブナの森工場雪室	雪	260				2007
岩手県西和賀町	雪っこトンネル	雪	500				2000								

出典：「雪氷熱エネルギー活用事例集4」(2008, 北海道経済産業局)

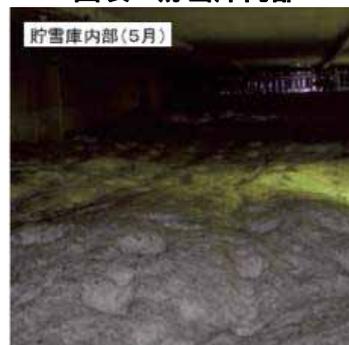
<事例> 米穀低温貯留乾燥調整施設「スノークールライスファクトリー」(沼田町)

沼田町米穀低温貯留乾燥調整施設(通称:スノークールライスファクトリー)は、国内初の利雪型米貯蔵施設で、1996年に運用が開始された。システムには直接熱交換冷風循環方式を採用している。

2~3月に貯雪庫に蓄えた雪の冷熱を利用し、空調混合機により貯蔵庫を適正環境(平均温度5℃、湿度70%)に保ち、貯留ビンに貯蔵された2,500トンの米を出荷する夏期まで低温貯蔵する。本施設で乾燥調製後籾摺りされた米は「ぬまた雪中米」として道内外に出荷されている。

図表 施設概要

完成年度	1996年度
貯蔵量	雪 1,500t
貯雪槽容量	3,696m ³
熱交換方式	直接熱交換冷風循環方式

図表 施設概観**図表 送風機****図表 貯雪庫内部**

出典：NEDO ホームページ、「雪氷熱エネルギー活用事例集4」(2008, 北海道経済産業局)

<事例> 旭川豊岡センタービル(旭川市)

旧旭川東郵便局庁舎を改修し、一般駐車場として利用が難しい地下駐車場の地下空間を雪氷庫として活用、雪氷エネルギーを利用した冷房設備を設置した。既設建物の再利用により低コスト化を図っている。地下雪氷庫への給雪方法として国内では実施例のないシューターを利用して、滑りを良くするための散水装置を設置し、地上から地下に向け雪を滑らして給雪を実施している。

システムには融雪水を貯水槽に貯め、ポンプアップして熱交換器を通じて循環させる熱交換冷水循環方式を採用している。テナント(レストラン・事務所等)に、23℃から25℃の冷風を供給している。

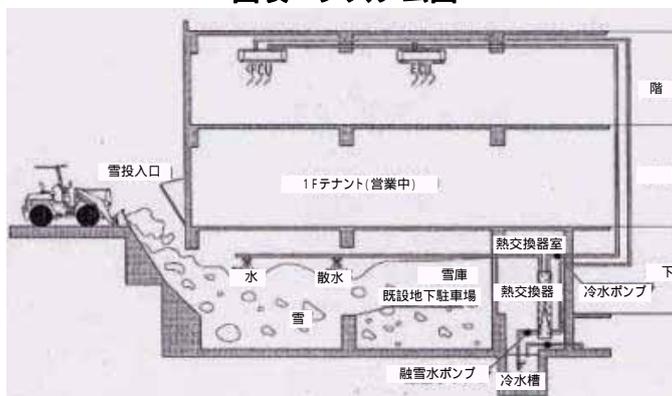
図表 施設概要

完成年度	2004年度
貯蔵量	雪 390t
冷熱供給面積	750m ²
熱交換方式	熱交換冷水循環方式

図表 施設概観



図表 システム図



図表 搬入口



出典：NEDO ホームページ、「雪氷熱エネルギー活用事例集4」(2008, 北海道経済産業局)

<事例> コミュニティホーム美唄（美唄市）

敷地内の雪を貯雪庫に蓄え、国内で初めて直接熱交換冷風循環方式および熱交換冷水循環方式を併用するシステムを取り入れた。貯雪庫からの冷風を戻り空気と混合させ送風温度を 17 に調整し、デイルーム等を冷房している。

貯雪庫を別棟で建てるとコストがかさむため、建物の一部に組み込むよう設計することでコストを縮減している。また、雪冷房には臭気除去、脱塵、有害物質（ホルムアルデヒド等）の除去等の効果があり、利用者に喜ばれている。

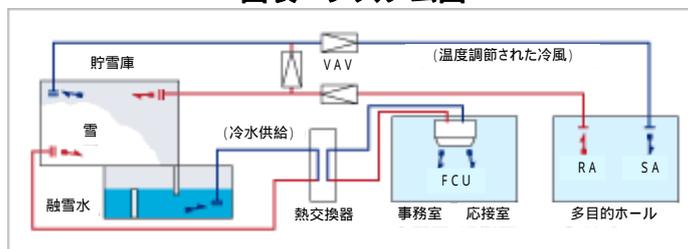
図表 施設概要

完成年度	1999 年度
貯蔵量	雪 300t
冷熱供給面積	全空気方式：348 m ² 冷水循環方式：144 m ²
熱交換方式	直接熱交換冷風循環方式 熱交換冷水循環方式

図表 施設概観



図表 システム図



VAV：可変風量空調システム FCU：ファンコイルユニット
RA：還気口 SA：給気口

図表 貯雪庫



出典：NEDO ホームページ、「雪氷熱エネルギー活用事例集 4」（2008, 北海道経済産業局）
新エネルギー財団ホームページ

8.5.5 技術開発動向

雪氷熱利用システムを構成する個々の空調関連機器については、成熟した技術であり普及のボトルネックとなる大きな課題は残されていないが、貯雪庫のさらなる断熱性能の向上や熱交換効率の向上等に技術課題が残されている。導入普及にあたっての最大の課題は低コスト化であり、初期投資の抑制が鍵となる。

図表 8.57 雪氷熱利用の主な技術課題

技術課題		解決策・要素技術
低コスト化	設備費・施工費の削減	<ul style="list-style-type: none"> 既存建物の転用 建物と貯雪庫の一体化
	収集費・輸送費の削減	<ul style="list-style-type: none"> 地産地消 人工降雪機の活用
	冷熱回収コストの削減	<ul style="list-style-type: none"> システムの大規模化
高効率化	熱貯蔵効率の向上	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵設備の断熱性能の向上 貯蔵設備構造の工夫
	熱交換効率の向上	<ul style="list-style-type: none"> 熱交換器の高効率化

(1) 低コスト化に係る技術課題

雪氷熱利用の低コスト化に係る技術課題は、「設備費の削減」、「輸送費の削減」、「冷熱回収コストの削減」等が挙げられる。

1) 設備費・施工費の削減

雪氷熱利用システムのコストは、事例ごとに異なるが、全般的にランニングコストが低く抑えられる一方、イニシャルコスト（特に貯雪庫整備）が大きく、普及のボトルネックとなっている。イニシャルコストは電気冷房の2倍程度、ランニングコストは電気冷房の4分の1程度、総コストは電気冷房の1割～5割程度割高となる⁴⁰。

初期投資の削減策として既存建物の空きスペースの貯雪庫への転用が提案されており⁴¹、代表的な実施事例として旭川豊岡センタービルが挙げられる（P471 参照）。また、新築建物の場合、貯雪庫を建物本体と別建てにせず、建物内部に組み入れることで施工費を削減する方策も考えられるが、削減幅には限界がある。

2) 収集費・輸送費の削減

雪氷熱利用のコスト削減課題の一つとして、雪の収集コスト・輸送コストの削減が挙げられる。供給地と需要地が離れている場合は輸送コストがかかるため、雪氷熱エネルギーの利用は地産地消が基本であり、雪を取得可能な地域内で利活用せざるを得ないのが実情である。

⁴⁰ 第7回総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会資料

⁴¹ 長田・濱田ら「空間改修型雪氷庫システムに関する研究」(2008、日本冷凍空調学会論文集 Vol.25)

この課題に対し、降雪量の少ない寒冷地における雪氷熱利用促進方策の一つとして、人工降雪機を導入した冷熱供給システムが提案されている⁴²。人工降雪機の雪製造コストが安いこと、安定的な雪供給を実現できる等のメリットに着目したものであり、システム成績係数（＝生成された雪の保有冷熱／電力消費量）10.3～30.9（製雪能力により異なる）が確認されている。

3) 冷熱回収コストの削減

雪氷熱利用は一般的に大規模システムがコスト回収に有利とされている。大規模システムの代表的な導入事例としては、北海道沼田町や美唄市における大規模米穀貯蔵施設等が挙げられる。また、国土交通省東京航空局により、新千歳空港における大規模雪冷房システムの導入が検討されており、2010年以降の運用開始が予定されている⁴³。

新千歳空港では冬期にプロピレングリコールを主成分とする防除雪氷剤・融雪剤を含んだ大量の雪が発生する。この雪が春先に雪解け水として河川に流れ込むと、BOD⁴⁴が上昇し環境汚染を引き起こすため、現在は雪解け水を空港内の調整池に貯え、排出量をコントロールすることで河川への影響を低減している。しかし、調整池の容量には限りがあるため、融雪剤を含む雪氷を雪山として夏期まで蓄蔵することで融解を遅らせ、BODの低減を図るとともに、その雪氷熱を空港ターミナルビルの冷房に利用し、CO₂排出量の削減を図ることを目的とした「クールプロジェクト」が提案された。大量に発生する除排雪の処理対策の一環となるとともに、冷熱を必要とするターミナルが隣接していること、大規模な雪山を造成するスペースがあること等から、雪氷熱利用の導入メリットの大きい事例と考えられる。これまでに遮熱シート実験、BOD低減実験、実システムサイズでの実験が実施されており、2010年度以降の運用に向けて諸設備の設計・整備が行われている。

(2) 高効率化

雪氷熱利用の高効率化に係る技術課題は、「熱貯蔵効率の向上」、「熱交換効率の向上」等が挙げられる。特に熱交換効率の向上が課題であり、個々のシステム設計・規模に合わせた適切な冷熱回収システムを設計する必要がある。

1) 熱貯蔵効率の向上

雪氷熱を夏期に利用するためには、断熱材の利用、貯蔵庫構造の改善等により貯雪庫や貯蔵庫の断熱性を高める必要がある。ただし現状の技術でも一定レベルの貯蔵が可能であることから、この技術が雪氷熱利用促進のボトルネックとなることはない。

沼田町における雪山の実験⁴⁵では、断熱材として雪山の表面をバーク材、籾殻、麦わら等で覆った場合、9月上旬でも高さ方向で1.5mの融雪のみにとどまっており、高い断熱効果が確認されている。

⁴² 長田・濱田ら「人工降雪機を導入した冷熱供給システムの実験と解析」(2009, 寒地技術論文・報告集 Vol.25)

⁴³ 「雪を利用したBOD低減とCO₂削減 新千歳空港クールプロジェクト」(国土交通省東京航空局資料)

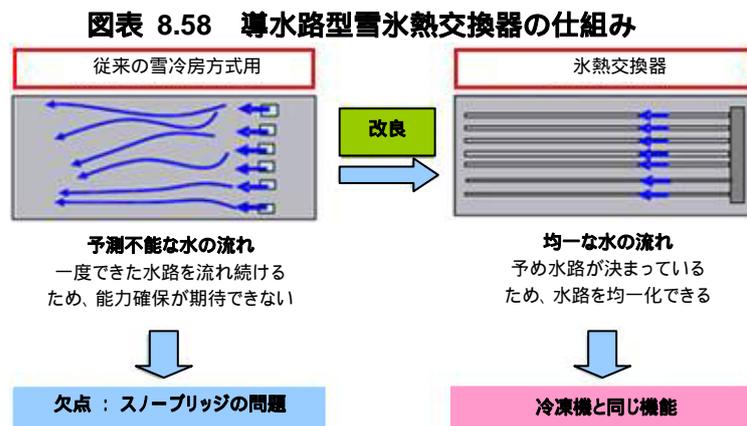
⁴⁴ 生物化学的酸素要求量 (Biochemical Oxygen Demand : BOD)。最も一般的な水質指標の一つ。一般に、BODの値が大きいほど水質が悪いとされる。

⁴⁵ 室蘭工業大学 媚山助教授らによる実験。

2) 熱交換効率の向上

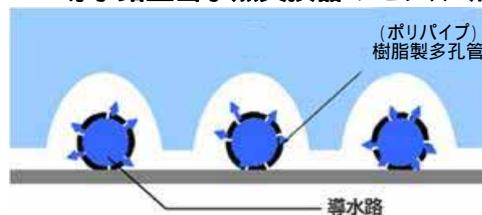
雪の融解冷水で循環冷水を冷やす方式の場合、スノーブリッジ現象⁴⁶等により、雪と循環冷水の接触面積が確保されないため、安定して融解冷水を供給できない場合がある。この問題の解決策として、導水路型雪氷熱交換器等の高效率熱交換方式が提案されている⁴⁷。

適切な冷熱回収方法は、システムの種類や貯雪庫のサイズ等により異なるため、個々のシステムに合わせた工夫が必要とされる。



出典：新菱冷熱工業株式会社ホームページ（<http://www.shinryo.com/>）

図表 8.59 導水路型雪氷熱交換器のモデル断面図



出典：新菱冷熱工業株式会社ホームページ（<http://www.shinryo.com/>）

⁴⁶ 貯めた雪の底部の外辺部分に給水すると不均一な水の流れとなり、循環冷水は一度できたその水路をずっと流れるため、そこに雪の空洞ができ、雪と循環冷水の接触面積が確保できなくなる現象。空洞が大きくなると雪の崩落事故にもつながる可能性がある。（新菱冷熱工業株式会社ホームページより引用・抜粋）

⁴⁷ 長田・濱田ら「導水路型雪氷熱交換器による冷熱供給システムの開発」（2008, 寒地技術論文・報告集 Vol.24）

8.6 海流・潮流発電

8.6.1 技術の俯瞰

海流・潮流発電は、海水の運動エネルギーを利用し、一般的には水車により回転エネルギーに変換させて発電する方式である。1970年代から技術開発が行われてきたが、これまではフィージビリティスタディや小規模の実験段階に留まっていた。しかし近年、地球温暖化問題への対策の必要性から、安定的な再生可能エネルギーとして注目されるようになってきている。

(1) 海流と潮流

1) 海流発電

海流は太陽熱と偏西風等の風により生じる大洋の大循環流であり、地球の自転と地形によりほぼ一定の方向に流れている。流速や流量、および流路は季節等により多少変化はあるが大きくは変わらず、幅 100km、水深数百 m 程度と大規模であり、安定した発電量を得ることが可能である。しかし、流れの強い地点は陸地から数 km 以上離れており、大水深であるため装置の設置や管理が難しいこと、送電距離が長くなること等により、これまであまり開発は行われてこなかった。

2) 潮流発電

潮流は月と太陽の引力で生じる周期的な変動である潮汐によって起こる流れであり、潮の干満によって規則的に流れるため、発電に利用する場合には予測が可能であり信頼性の高いエネルギー源となる。流速に対する地形の影響が大きく、海峡や水道等流路の幅が狭い地点では流速が速くなる。潮流発電に利用できる地点は海流発電と異なり陸地の近くであるため、その点において開発はより容易である。

(2) エネルギー変換

海流・潮流発電システムにおけるエネルギー変換装置には一般的に水車が用いられ、海水の流れる運動エネルギーをタービンの回転を介して電気エネルギーに変換する。タービンは風力発電と同様に、回転軸の方向によって「水平軸型」と「垂直軸型」に分けられる。また、回転ではなく振動により機械的エネルギーに変換する、「振動水中翼型」を用いる方式もある。

1) 水平軸型タービン

海水の流れに対して水平な回転軸に取り付けた、通常は 2 枚もしくは 3 枚の羽根（ブレード）が、海流・潮流の持つ運動エネルギーから生じた揚力により回転して、機械的エネルギーとなり更に発電機で電気エネルギーに変換される。最も代表的な方式はプロペラ式であり、多くのプロジェクトで採用されている。

2) 垂直軸型タービン

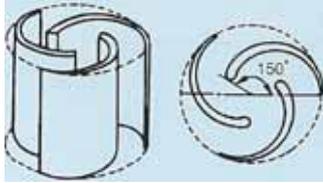
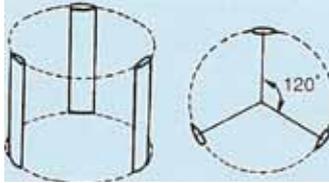
回転軸が海水の流れに対して垂直であるタービンで、ダリウス式やサボニウス式が代表的で

ある。流れの方向に対する依存性が少なく、一般的にブレードの製造がプロペラ式に比べて容易である等の利点を有する。

3) 振動水中翼型

飛行機のヨーイング（左右の揺れ）をコントロールする動きのように、海水の流れにより水中翼の角度が変わり、揚力と抗力が生じて装置に振動を引き起こす。この振動による機械的エネルギーを発電に利用する方式である。

図表 8.60 海流・潮流発電システムの分類

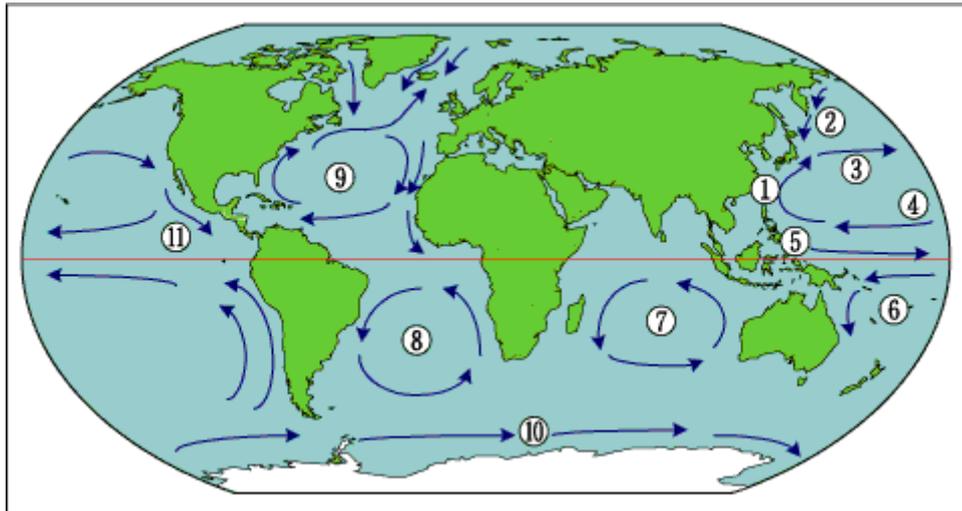
 <p>プロペラ 発電機</p> <p>(1) 水平軸型タービン</p>	 <p>(a) サボニウス式</p>	 <p>(b) ダリウス式</p>	 <p>(3) 振動水中翼</p>
<p>(2) 垂直軸型タービン</p>			

出典：「21世紀の海洋エネルギー開発技術」（2006、（社）日本海洋開発建設協会）

8.6.2 ポテンシャル

世界の海流の代表的なものは黒潮、メキシコ湾流（北大西洋海流）、南インド海流等であり、これらは特に流速が速く流量が多い。日本周辺には黒潮が流れているため、海流エネルギーのポテンシャルは大きい。安定した海流エネルギーが得られる地点としては、八重山諸島、トカラ列島、足摺岬沖、八丈島沖等が挙げられる。

図表 8.61 世界の主な海流



黒潮 親潮 北太平洋海流 北赤道海流 赤道反流 南赤道海流
 南インド海流 南大西洋海流 北大西洋海流 南極海流 カリフォルニア海流

出典：気象庁ホームページ（<http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/db/kaikyo/knowledge/kairyu.html>）

また潮流については、沿岸部の海峡や水道等、潮流の大きくなる水域のポテンシャルが大きいと考えられる。日本では瀬戸内海、九州西岸、五島列島、および津軽海峡等が挙げられる。

IEA-OES⁴⁸の資料によると、世界の潮流エネルギーの理論的な年間の資源量は、800TWhと試算されている。

図表 8.62 世界の潮流エネルギー資源量

潮流エネルギー	800TWh/年
---------	----------

出典：“Annual Report 2007”（2007, IEA-OES）

⁴⁸ IEA（国際エネルギー機関）内の「海洋エネルギーシステムに係る実施協定（Implementing Agreement on Ocean Energy Systems）」に基づき発足した組織。

8.6.3 導入目標量例

日本においては、海流・潮流発電の導入目標値は掲げられていない。日本の海洋エネルギー資源利用推進機構（OEA-J）が作成した、2050年に向けた海洋エネルギー開発ロードマップにおいて、海流・潮流発電については2020年までに130MW、2030年までに760MW、2050年までに7,600MWの発電規模が想定或いは期待されるとしている。

図表 8.63 日本における海流・潮流発電の導入ロードマップ

	2008年	2010年まで	2020年まで	2030年まで	2050年まで
想定或いは期待される発電量	0 kWh/年	175 万 kWh/年	4 億 kWh/年	20 億 kWh/年	200 億 kWh/年
想定或いは期待される発電規模	0 MW	0.6 MW	130MW	760MW	7,600MW
(参考)		(0.01MW: 30基) (0.1MW: 3基)	(1MW: 100基) (5MW: 6基)	(1MW: 310基) (5MW: 50基) (10MW: 20基)	(1MW: 600基) (5MW: 200基) (10MW: 600基)

前提条件) 稼働率: 30%

出典: 「海洋エネルギー資源フォーラム」資料(2008, 海洋エネルギー資源利用推進機構)

8.6.4 導入実績

海流・潮流発電システムは、主に欧米において実証プラントの設置が進んでおり、一部で商用プラントの運転が開始されたところである。

特に英国では波力発電と同様、積極的な取組が行われている。Marine Current Turbines (MCT)社は2003年にプリマスにおいて、直径11mの2翼のプロペラ式タービンを備える発電出力300kWの潮流発電システムを設置、Seaflowと呼ばれる実証プロジェクトを行った。このプロジェクトは現在、SeaGenプロジェクトに引き継がれており、1.2MWの商用プラントが稼働している。同社は更に、RWE npower社と共同で2011～2012年に運用開始予定の10MW潮流発電プロジェクトを進めている。

米国ではニューヨークにおいて、Roosevelt Island Tidal Energy (RITE)プロジェクトと呼ばれる潮流発電プロジェクトがVerdant Power社により実施され、電力供給が開始されている。イーストリバーの水底にパイルを打ち込み、ヨー制御⁴⁹した6基のプロペラ式潮流発電システム(発電出力200kW)が稼働している。現在は2回目の実証段階を終了しており、最終的には10MWに達し8,000世帯分の電力供給を目指している。

アジアでは韓国や台湾において、海流・潮流発電への関心が高まっている。韓国では、2009年に1MWの実証プラントが南西部の珍島郡Uldolmokに竣工されており、このプロジェクトでは2013年までに90MWに拡張する予定である。その他、Hadong、Wando-Heongganなどにおいても潮流発電プロジェクトが計画されている。台湾では、黒潮を利用した海流発電の計画があり、情

⁴⁹ 回転面を変動する流れの向きに追尾させる制御。

報収集、研究段階にある。

日本では、1980年代に日本大学が来島海峡において世界で初めて潮流発電に成功し、その後は日本大学や新日本製鐵(株)において研究が行われた他、2002年に海上保安庁が明石海峡に浮灯標電源用の小型の潮流発電システムを設置したが、電力供給用の海流・潮流発電システムの実用化に至るまでの実証研究は実施されていない。現在では、(財)エンジニアリング振興協会によりMW級海流発電システムの実用化に向けた検討が行われているほか、青森県大間崎における潮流発電の構想がある。

なお、欧州では、図表 8.64 に代表される実証試験サイトが整備されており、企業の海洋エネルギー技術開発推進に大きく貢献している。代表的な実証試験サイトは、スコットランドのオークニー諸島に整備されている European Marine Energy Centre (EMEC)⁵⁰である。EMECは、地元スコットランドの組織をはじめ、英国貿易産業省(DTI)を含む複数の公的機関・組織から約500万ポンドの出資を受け、2004年8月に開設された。波力発電および潮流発電の実海域試験を行うことができる。潮流発電については5つのテストバースを備えている。

図表 8.64 欧州の代表的な実証試験サイト

実証試験サイト	概要
EMEC (スコットランド オークニー諸島)	実機スケールの実証試験が可能。送電線も整備(系統非連系)。近くに新たな実証サイトが整備される予定。
Narec ⁵¹ (北東イングランド)	深さ1~7メートル、幅6mの潮流発電用テストサイトを備えている。波力発電や洋上風力発電用の実験施設もある。

図表 8.65 EMEC (欧州海洋エネルギーセンター)



出典：EMEC ホームページ (<http://www.emec.org.uk/>)

⁵⁰ EMEC (<http://www.emec.org.uk/index.asp>)

⁵¹ Narec (<http://www.narec.co.uk/>)

<事例> SeaGen (潮流発電)

英国の MCT 社は、2008 年より北アイルランドにおいて 1.2MW 潮流発電システムの運転を行っており、SeaGen プロジェクトと呼ばれている。これは世界初の商用規模の系統連系型潮流発電システムであり、発電した電力はアイルランドの ESB Independent 社が購入している。

SeaGen は 1 本の支柱に 2 つの水平軸型タービンを持ち、各タービンの出力は 600kW である。発電時にはタービンが水中に没し、メンテナンス時には海上に浮上する昇降機能を備えている。

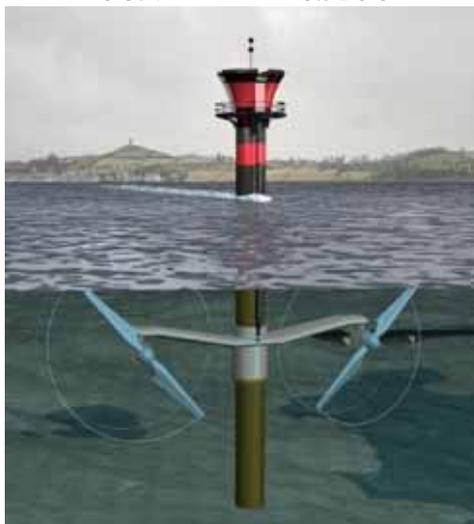
図表 SeaGen の概要

発電出力	1.2MW
タービン直径	16m
タワー高さ	40.7m
流速	2.4m/s

図表 プラント概観



図表 システム概念図



出典：“Oceans of Energy : Marine Renewable Energy Technologies” (2010, World Future Energy Summit, (Marine Current Turbines Ltd))

<事例> 韓国 Uldolmok 潮流発電プロジェクト

韓国南西部の珍島と本土の間にある Uldolmok 水道には、2005 年から 2009 年までの 4 年間にかけて 1MW の実証プラントが建設された。これは韓国で最初の潮流発電プラントであり、このプロジェクトは 2013 年までに 90MW に拡張する予定である。

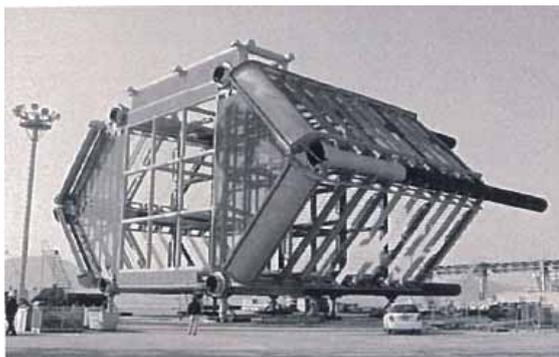
このプラントは、ジャケットフレームの中に、韓国海洋研究所（KORDI：Korea Ocean Research and Development Institute）が研究開発した垂直軸型ヘリカルタービンが設置されている構造となっている。

図表 プラント概観



出典：Korea Times ウェブページ（http://www.koreatimes.co.kr/www/news/biz/2009/05/123_44894.html）

図表 ジャケットフレーム



出典：海洋エネルギー資源フォーラム資料（2008、海洋エネルギー資源利用推進機構）

図表 ヘリカルタービン



出典：“Tidal Energy at the Uldolmok Strait, Korea”（2006, Global Coral Reef Alliance）

8.6.5 技術開発動向

海流・潮流発電の技術開発は欧米を中心に進められている。欧州では EMEC⁵²等で様々な実証試験が行われており、技術レベルは実用化に近い。日本においては 1970 年代中頃から研究開発が進められてきたが、適地が少ないこと、発電コストが高いこと等の理由により、実用化には至っていない。

なお、下記技術課題のうち、波力発電と共通する課題については、適宜、波力発電の項を参照のこと。

図表 8.66 海流・潮流発電の主な技術課題

技術課題		解決策・要素技術	
発電コストの削減	発電効率の向上	<ul style="list-style-type: none"> 発電機の高効率化 適地の選定（海洋環境の調査・モニタリング、マップ化） ヨー角の最適制御 	
	イニシャルコストの削減	設備費の削減	<ul style="list-style-type: none"> 大量生産による量産効果 材料の低コスト化 係留コストの削減 送電線コストの削減
		施工費の削減	<ul style="list-style-type: none"> 低コスト施工技術の確立
	ランニングコストの削減	<ul style="list-style-type: none"> メンテナンスコストの削減 	
高耐久化	海洋環境への対応	<ul style="list-style-type: none"> 海洋生物の付着防止（防汚塗料の塗布、音・超音波システム、オゾンガスの海水混合等） 塩害・さびの防止（防食塗料の塗布等） 漏水防止、密閉技術 	
	機器にかかる負荷の緩和	<ul style="list-style-type: none"> キャビテーションの防止 乱流強度、乱流状況の把握 	
管理・運用	出力の平滑化（主に潮流発電）	<ul style="list-style-type: none"> エネルギー貯蔵（フライホイール、油圧アクチュエータ、圧縮空気タンク、電池、熱エネルギー等） 	
	設備の維持管理・故障の防止	<ul style="list-style-type: none"> モニタリングシステム、遠隔操作システム 海洋環境の予測システム 海水中の浮遊物の除去 	
	環境への影響	<ul style="list-style-type: none"> 実証試験による基礎データの収集 	

⁵² European Marine Energy Centre、P480 参照。

(1) 発電コストの削減

構想段階から実用化の段階へ引き上げていくなかで、低コストの発電システムをいかに構築していくかが大きな技術課題である。

1) 発電効率の向上

海流・潮流発電装置のエネルギー変換効率は20～45%と比較的高いが、発電コストを下げるためには更なる高効率化が必要となる。発電効率を上げるためには、海洋条件（流速）のよい適地を選定することが大前提となるが、海流については黒潮蛇行で知られるように、年ごとに位置が変わる可能性があるため、注意が必要である。高効率化技術としては、海洋条件に恵まれた位置まで移動する係留移動システムや、海流・潮流に対するタービンの向きを調節する最適ヨー角制御システム等が考案されている。

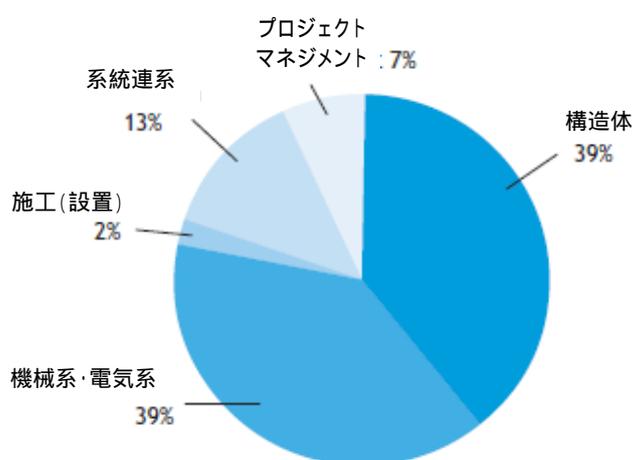
2) イニシャルコストの削減

潮流発電プラントのイニシャルコストの構成例を図表 8.67 に示す。なお、設置場所や導入基数、システム方式等により構成比率は異なることに留意が必要である。この例では、構造体に係る費用と機械・電気関係の機器コストが同程度で、それぞれ約4割を占めている。それに次いで系統連系費用が13%を占めている。電力ケーブル費用や送電ロスを考慮すると、離岸距離をいかに縮めるかがコスト削減の重要な要素の一つである。

機器の製造コストやプラント設置費用は習熟効果により低減するため、コスト全体に占める割合は小さくなると予想されるが、設置場所や採用技術によりサイト毎に差があると思われる。また素材価格の変動は、構造体や機器のコストに影響を及ぼすことから、素材の低コスト化、安定した価格の素材の選択も重要である。

(財)エンジニアリング振興協会のMW級海流発電システムの検討において採用されているループウィング社のループ状のタービンは、その独自形状によって軽量・大型化の実現を目指している。

図表 8.67 潮流発電プラントのイニシャルコスト内訳例



出典：“Future Marine Energy Results of the Marine Energy Challenge: Cost competitiveness and growth of wave and tidal stream energy” (2006, Carbon Trust)

3) ランニングコストの削減

海流・潮流発電装置の主要部分は水中に没している。MCT (Marine Current Turbines) 社の Sea Gen は、水中でのメンテナンス作業をなくすため、タービンを水中から引き出す機能を備えており、メンテナンスコスト削減の工夫が成されている。

(2) 高耐久化

高耐久化に関する課題として、機器（特にタービン部分）にかかる外性負荷の緩和が挙げられる。代表的な課題は、キャビテーション (Cavitation) の防止である。キャビテーションとは、液体の流れの中で圧力差により短時間に泡の発生と消滅が起きる物理現象のことで、スクリューなどが十分な水を押し出せない空回りに近い状態を生み出すため、無駄なエネルギーが消費されて機器の効率を低下させるのに加え、動翼表面のエロージョン (壊食) を引き起こすことがある。

キャビテーションを防止するためには、最適なタービン形状の設計が必要である。また、運用時には機器にかかる乱流強度、乱流状況の把握が必要となる。

(3) 管理・運用

タービンなどは常に海水中に没した状態で運用することになるため、モニタリング、遠隔操作が重要となる。機器の故障により発電出力の低下および停止が起こると、系統電源への悪影響や、稼働率の低下による発電コストの上昇を引き起こす。従って機器の定常的なモニタリングにより、故障の有無や前兆を把握することが重要であるとともに、機器故障時に安全にシステムを管理するための遠隔操作システムが必要となる。また、海洋条件は気象によって大きく変わるため、気象条件に合わせた最適運転制御システム、海洋状況の予測システムの開発等が必要である。

他の再生可能エネルギーと同様、出力の平滑化は重要な技術課題の一つである。

また、海洋環境を利用することによる生態系等の環境への影響については、今後実用化に向けた実証試験を行っていく過程で、問題・課題を抽出する必要がある。2008年度から(独)海上技術安全研究所が東京大学と共同して実施している「日本沿岸域に適した低コスト潮流発電システムの開発」では、海洋生態系への影響を評価するシミュレーションシステムの開発を行っている。また、MCT社は、ストランフォード海峡でSea Genのさらなるテスト・改良を行うプロジェクトにおいて、アザラシやカワウソなどの野生生物が生息する海域にSea Genが及ぼす影響の集中モニタリングを行っている⁵³。

⁵³ NEDO 海外レポート NO.1044, (2009.5.20)

<事例> MW 級海流発電システム

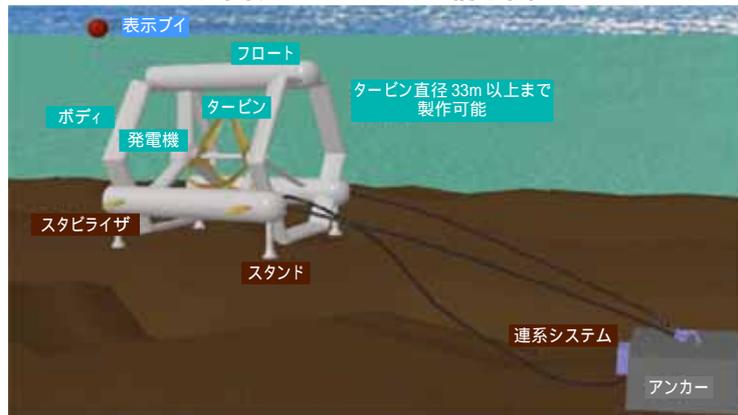
(財)エンジニアリング振興協会は、2MW の海流発電システムの事業化を目指し開発を進めている。新たに開発されたループ型タービンを用いた MW 級の海流発電システムの基本設計等のフェージビリティスタディや 1/50 スケールの水槽試験が行われている。

ループ型タービンは本来、陸上の小型風力発電用に開発されたものであるが、流体力学を応用した特徴的な形状の羽根は、均質の薄板を曲げ加工して製作するため、軽量化かつ大型化が可能である。これらの特徴より高出力化、高効率化が期待できることから、海流発電のタービンへの応用が検討されている。

図表 プラントの概要

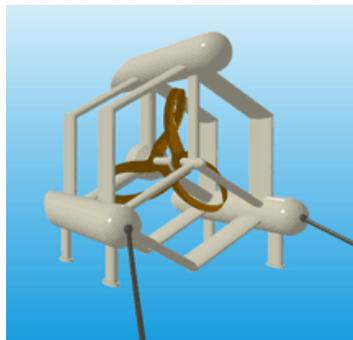
発電出力	2MW
タービン種類	ループ型
タービン直径	33m
全体高さ	約 50m
流速	2.5 m/s

図表 システムの構想図



出典：「メガワット級海流発電システムの実用化に関するフェージビリティスタディ 報告書 - 要旨 - 」
(2009, (財)機械システム振興協会) より作成

図表 ループ型タービン



出典：ループウィング社ホームページ (http://www.loopwing.co.jp/jp/01wind/04sea_2.html)

<事例> 大間崎潮流発電研究委員会

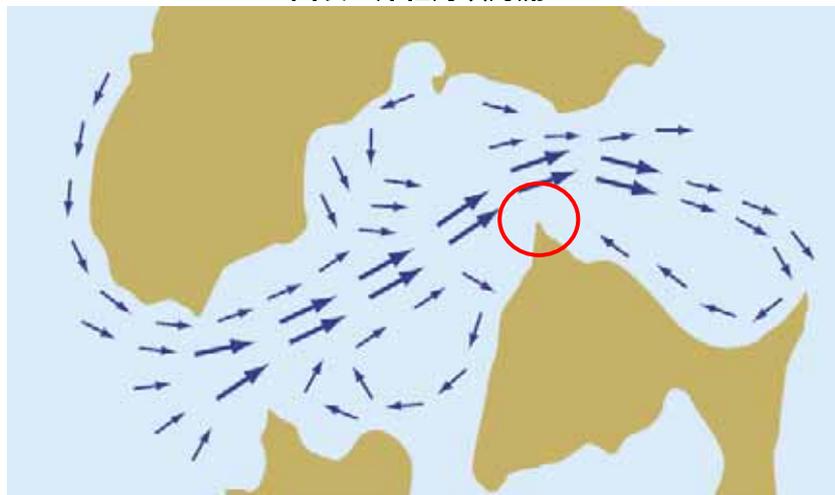
津軽海峡を流れる津軽暖流の流速は、0.5～1.5m/s、最大で 3.6m/s に達する。この速い流れが海岸近くを流れるため、他の海域よりも利用が容易であり、建設費や送電損失を抑えることが可能になると見込まれる。この特長を活かし、青森県、東京大学、弘前大学、(独)海上技術安全研究所、(財)エンジニアリング振興協会、電源開発(株)が共同で、青森県の大間崎において潮流発電を行うための調査研究を進めている。

弘前大学が 2002 年から調査を行ってきた流速測定等の基礎データを活用し、青森県とエネルギー産業振興に関する連携をしている東京大学と共に、潮流発電の適地として大間崎北側に位置する弁天島から北西数 km 沖合という地点を選定した。

図表 潮流発電プラントの設定

発電出力	300kW
タービン種類	プロペラ型
タービン直径	11m
設置水深	26m
流速	2.5m/s

図表 津軽海峡海流



出典：弘前大学広報誌 Vol.1(2003.9)

<事例> (株)ノヴァエネルギーの水流タービン

(株)ノヴァエネルギーは、流体力学を取り入れたマグロ型の水流タービンを開発している。タービン内部は空洞で、海水が自由に出入りするため深海部でも浮力、重力、圧力の影響を受けることなく、流れに対して常に平衡を保つことが可能である。また、海藻やクラゲ等、海中の浮遊物が衝突しても破損しにくいデザインとなっている。2008年、ノヴァエネルギーは、兵庫県淡路市の岩屋港沖で、明石海峡の潮流を利用して小型ボートの船底に取り付けた長さ1.2m、直径65cmの同型タービンの試験運転を韓国海洋大と共同して実施し、約3ノットの潮流で約200Wの出力を得ることに成功している。

図表 水流タービン NT-001 の概要

発電出力	10kW
タービン直径	3m
全長	6m
発電開始流速	1.5 ノット (0.77m/s)

図表 NOVA WATER TUNA 水流タービン

出典：ノヴァエネルギーホームページ (<http://www.nova-ene.co.jp/products/index.html>)

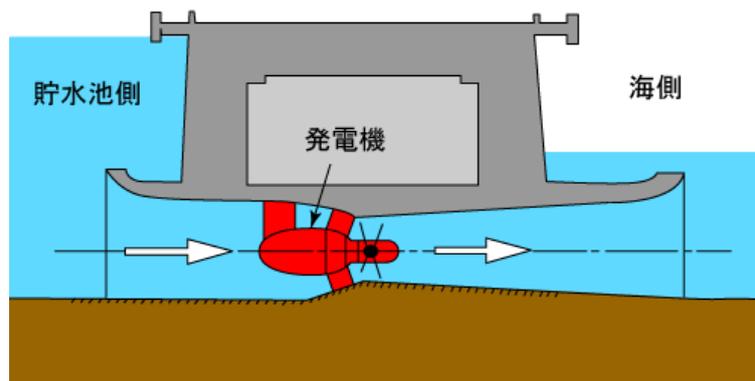
8.7 潮汐力発電

8.7.1 技術の俯瞰

潮汐力発電は、潮汐に伴う潮位差を利用してタービンを回し発電する方式である。水力発電と同様の原理を用いて、潮位差が大きい湾や河口の入り口等にダムと水門を建設して水位差により発電を行う。基本的には満潮時には貯水し、干潮時に水門を開いて水を放出することにより発電機を回して発電を行う。主に干潮時の1方向の流れにのみ発電を行う方式と、タービンが双方向の流れに対し回転し、交互に発電できる2方向方式がある。また、ポンプによる揚水も併せて行い、稼働率を向上させる方式も実施されている。

潮汐は周期的な現象であり時刻の予測もできるため、発電計画が立てやすいという利点がある。ただし、大潮の時と小潮の時では潮位差が異なり、発電出力が変動する。また、大規模なダムを建設することによる周辺海域への影響にも注意が必要である。

図表 8.68 潮汐力発電システムの例



出典：(財)エネルギー総合工学研究所ホームページ
(<http://www.iae.or.jp/energyinfo/energykaisetu/situmon0033.html>)

8.7.2 ポテンシャル

潮汐力発電は満潮時と干潮時の潮位差が大きい程大きな潮汐力エネルギーが得られ、一般に潮位差 5m 以上が実用化の目安となっている。

諸外国には 10m 以上の潮位差が得られる地点が存在するのに対し、日本においては最も好条件の有明海でも最大潮位差 4.9 m であり、国内のポテンシャルは小さいとされている。

図表 8.69 世界各地の最大潮位差

地名	国名	最大潮位差(m)
Moncton	カナダ	16.0
Severn	英国	15.5
Jordan	カナダ	15.4
Fizroy	オーストラリア	14.7
Granvill	フランス	14.5
Rance	フランス	13.5
RioGallegos	アルゼンチン	13.3
仁川	韓国	13.2
Bhaunagar	インド	12.0
Anchorage	米国	12.0
Anadory	ロシア	11.0
住の江（有明海）	日本	4.9

出典：「21 世紀の海洋エネルギー開発技術」（2006、（社）日本海洋開発建設協会）

IEA-OES⁵⁴の資料によると、世界の潮汐力エネルギーの理論的な年間の資源量は、300TWh と試算されている。

図表 8.70 世界の潮汐力エネルギー資源量

潮汐力エネルギー	300TWh/年
----------	----------

出典：“Annual Report 2007”（2007、IEA-OES）

8.7.3 導入目標量例

日本において、現在潮汐力発電の導入目標は設定されていない。

⁵⁴ IEA（国際エネルギー機関）内の「海洋エネルギーシステムに係る実施協定（Implementing Agreement on Ocean Energy Systems）」に基づき発足した組織。

8.7.4 導入実績

図表 8.71 に、海外における主要な潮汐力発電所を示す。潮汐力発電プラントとして最も有名なものは、40年間の運転実績を誇るフランスのランス潮汐力発電所である（図表 8.72）。

ランス潮汐力発電所は、潮位差が最大 13.5 m、平均 8.5 m と潮汐力発電に適した潮位条件を有するランス川河口に位置している。1967 年から発電を開始しており、フランス電力公社により運用されている。長さ 750 メートルの堤防下に出力 10MW の円筒水車（4 枚羽根横軸円筒カプラン水車）24 台が設置されており、最大定格出力は 240MW、年間の発電量は約 600,000MWh、平均出力は約 68MW である。タービンは双方向に機能し、川の流れと潮汐を相互に利用する仕組みとなっている。

図表 8.71 世界の主要な潮汐力発電所

発電所	発電所
ランス潮汐発電所 （フランス）	1967 年からフランスのランス川河口（平均潮位差 8.5 m）にて発電を開始。最大定格出力は 240MW、年間の発電量は約 600,000MWh、平均出力は約 68MW。
アンナポリス発電所 （カナダ）	1984 年にカナダのファンディ湾（最大潮位差 16.4m）で 20MW の潮汐発電所が運転を開始。
キスラヤ潮汐発電所 （ロシア）	1968 年に北極圏のコラ半島ムルマンスク北西 80km の入り江にキスラヤ潮汐発電所を建設。最大出力は 400kW。
江厦潮汐発電所 （中国）	1980 年に運転開始した、中国初の大規模な潮汐発電の実験プラント。平均潮位差 5m の双方向発電方式で、2009 年に改良工事を行い最大出力 3.9MW となっている。

図表 8.72 ランス潮汐力発電所



出典：Tidal Energy ホームページ（<http://www.tidalenergy.eu/index.html>）

8.7.5 技術開発動向

潮汐力発電については、ランス潮汐発電所のように 40 年間にわたり稼動している事例もあり、普及のボトルネックとなる大きな技術課題は残されていない。

なお、下記技術課題のうち、波力発電と共通する課題については、適宜、波力発電の項を参照のこと。

図表 8.73 潮汐力発電の主な技術課題

技術課題		解決策・要素技術
発電コストの削減	発電効率の向上	<ul style="list-style-type: none"> 適地の選定 高効率な水車形状の開発
	イニシャルコストの削減	<ul style="list-style-type: none"> 施工費の削減
	ランニングコストの削減	<ul style="list-style-type: none"> メンテナンスコストの削減
高耐久化	海洋環境への対応	<ul style="list-style-type: none"> 海洋生物の付着防止（防汚塗料の塗布、音・超音波システム、オゾンガスの海水混合等） 塩害・さびの防止（防食塗料の塗布等）
	機器にかかる負荷の緩和	<ul style="list-style-type: none"> キャビテーションの防止 乱流強度、乱流状況の把握
運用・管理	環境への影響	<ul style="list-style-type: none"> 環境アセスメント
	設備の維持管理・故障の防止	<ul style="list-style-type: none"> モニタリングシステム

(1) 発電コストの削減

発電コストの削減に係る課題として、発電効率の向上、イニシャルコストの削減等が挙げられる。発電効率の向上に最も重要となるのは潮位差である。理想的な潮位差が得られ、地理的に発電所建設が可能な地点を選定することが潮汐力発電導入の第一段階となる。また、発電機側の対策としては、高効率な水車形状の開発が挙げられる。

イニシャルコストの削減としては、施工費の削減が挙げられる。しかしながら、既存の橋梁建設技術等を用いるため、大幅なコストダウンは見込めない。

(2) 運用・管理

潮汐力発電を考えると、環境への影響が懸念される大きな要素である。海岸の入り江や河口の一部を締め切るため、水質や生物の生育環境が供用の前後と大きく異なることが予想される。導入にあたっては適切な環境影響評価を行う必要があり、検討が必要な項目に以下が挙げられる⁵⁵。

景観への影響

騒音

海岸堆積・侵食（地形変化）

⁵⁵ 「海洋エネルギーの利用技術に関する現状と課題に関する調査」（平成 20 年、NEDO）

生態系への影響

干潟や浅場の水位・地形等の変化に伴う生態系への影響に注意が必要。

水質への影響

河口域を閉め切る場合、海水の塩分濃度等の水質への影響に注意が必要。

8.8 熱電発電

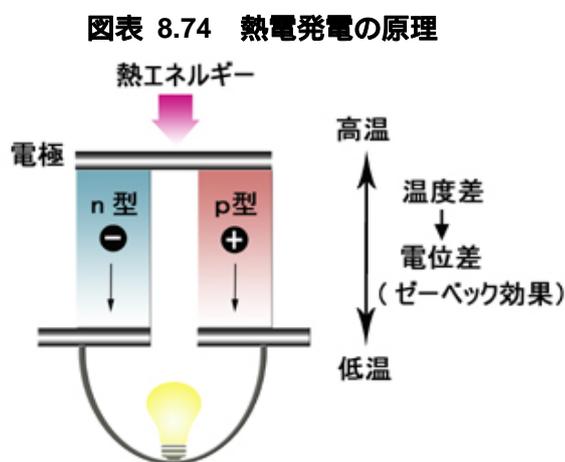
8.8.1 技術の俯瞰

2種類の金属または半導体を接合し両端に温度差を設けると、温度差に比例して熱起電力が発生する。これを「ゼーベック効果」といい、この効果を利用し、熱電変換素子を用いて熱エネルギーを電力に変換する発電方法が熱電発電である。

熱電発電システムは駆動部が無く長期間無保守での運転が可能であるため、宇宙探査機用や軍事用途を中心に開発が進められてきた。例えば、木星探査衛星「ボイジャー」は太陽から離れることにより太陽電池が使用できないため、シリコン・ゲルマニウム系の熱電発電装置が組み込まれた。軍事用途では、旧ソ連において「パルチザンの飯盒」と呼ばれる亜鉛・アンチモン系材料を使用した熱電発電システムが、通信機用電源として利用された。

一般用途については、変換効率が低いことから、僻地用電源や通信機用等の数百 W 以下の小型システムに限られてきた。欧米において、熱源にプロパンガス燃焼器を用いて一体化したビスマス・テルル系の熱電発電ユニット等が僻地用電源として実用化されている。

日本ではサンシャイン計画において、100W 級熱電発電システムの海洋温度差発電への適用が検討された他、ディーゼルエンジン等の分散型電源の排熱を利用した 200W 級熱電発電システム等の研究開発が実施されてきたが、実用化には至らなかった。しかし、近年の化石燃料価格高騰や地球温暖化問題に伴い再び注目が集まっており、さらに材料開発の進展を受けて、用途開発も含め研究が活発化してきている。



出典：産業総合研究所ホームページ（<http://staff.aist.go.jp/funahashi-r/te.htm>）

熱電発電の変換効率は、ある程度までは材料の元素の組合せで決まり、有望なのはビスマス系や鉛系等の材料である。しかしこれらは、毒性や稀少元素である等の問題点を有しているため、その他の材料探索が行われている。図表 8.75 に主な熱電材料とその適用温度域を示す。

図表 8.75 主な熱電発電材料

熱電発電材料	適用温度域
ビスマス・テルル (Bi・Te) 系	室温から約 300 まで
鉛・テルル (Pb・Te) 系	約 600 まで
シリコン・ゲルマニウム (Si・Ge) 系	約 1000 まで
イリジウム・アンチモン (Ir・Sb) 系	約 700 まで
亜鉛・アンチモン (Zn・Sb) 系	約 450 まで
酸化物系化合物	約 800 まで

出典：「パーソナル分散型エネルギーシステム」(2005, 伊藤 義康著, 養賢堂)
「酸化物熱電変換素子の量産技術開発」(2008, 昭和電線レビュー)より作成

8.8.2 ポテンシャル

熱電発電の導入先として、工場や発電所、ごみ焼却場等からの排熱が、高温でまとまったエネルギー源と考えられる。また、数百 の高温でなくても温度差があれば熱起電力が発生するので、体温と外気温の差を利用することもできる。その視点で見ると、熱電発電のポテンシャルは身の回りに広く薄く賦存していると言える。

国内における、高温熱を利用する熱電発電のポテンシャルとして、図表 8.76 に示す試算値が報告されている。これは、日本における自動車や工場、ごみ焼却場等から排出される排熱量の 20% を電力に変換可能と仮定して試算が行われており、中規模原子力発電所 1 基分の電力量に相当するとしている。

図表 8.76 熱電発電のポテンシャル

対象排熱	熱電変換割合	潜在熱電発電量
自動車、 工場、 ごみ焼却場等	20%	3.5 万 GWh/年

出典：「熱電発電を利用した小型コジェネシステムの開発」(2008, 舟橋、浦田)
(原典：大熊謙治他、熱電シンポジウム 99 論文集、96(1999))

また、NEDO の「次世代型熱電変換技術に関する調査」(2007 年度)では、自動車に熱電システムを搭載することにより、どの程度の省エネルギーが可能であるかについて試算している。自動車への導入可能性を想定して試算された熱電システムの量は、2030 年に原油換算約 170 万 kL/年で、これは 2006 年の自動車用ガソリン販売量の 3.1%に相当すると見積もられている⁵⁶。

⁵⁶ 「次世代型熱電変換技術に関する調査」(2008, NEDO)

8.8.3 導入目標量例

日本において、現在熱電発電個別の導入目標は設定されていない。

8.8.4 導入実績

図表 8.77 に示すように、惑星間探査機用電源や無線中継基地局用電源等の一部の用途には製品・実用化がなされているものの、発電用途としては開発・試作あるいは基礎研究段階のものが多。近年は、工業炉や温泉等において実証試験が行われている。

図表 8.77 熱電発電の実用化の現状

熱源	段階*	製品例
燃焼熱		無線中継基地局電源
		パイプライン腐食防止用電源
		被災地緊急電源
		軍用可搬型電源
		モスキートマグネット（LP ガス利用）
		ミニチュア発電器（ろうそくラジオ）
		モバイル機器用マイクロジェネレータ
崩壊熱等		惑星間探査機用電源
燃焼排熱		大型トラック ディーゼルエンジン排ガス発電
		大型高速バス ディーゼルエンジン排ガス発電
		ディーゼルエンジン コージェネ排ガス発電
		小型廃棄物焼却炉煙道発電
		室内空気循環装置（煙突利用）
機器排熱		工業炉（抵抗加熱式など）排熱発電
		変圧器熱回収発電
		プロジェクタ熱回収発電
		コードレスファンヒータ
		風呂釜温度制御装置
体温		熱電腕時計
		心臓ペースメーカー用電源
その他		赤外線センサ
		水素センサ

製品・実用化 開発・試作 基礎研究

出典：熱電発電フォーラム資料（2005, (財)エンジニアリング振興協会）

<事例> 工業炉を利用した酸化物熱電発電（昭和電線、産総研）

昭和電線ホールディングス株式会社は、工業炉の熱を利用した熱電発電モジュールの長期発電実験に成功している。熱電変換素子には、産業技術総合研究所が発見したコバルト系酸化物熱電材料が使用されており、空气中 800℃ で作動させても性能が劣化しないという特長を有している。昭和電線と産業技術総合研究所は2006年より共同研究を行い、低コストで量産性の高い製造プロセスとして、押出成形法と超伝導技術を活用した常圧焼結技術を採用する製法を開発していた。

発電実験では、電線製造工程で使用している工業炉に熱電発電モジュールを取り付けて、長期に亘り安定的に出力を得られることを確認した。発電した電力は、交流 100V に変換し出力、二次電池への充電に成功している。

図表 熱電発電システム概要

実施年	2009年
実施場所	昭和電源三重事業所
稼働時間	3,000時間以上
工業炉	荒引き線製造設備
炉温度	850
熱電発電モジュール 雰囲気	700℃以上
熱電発電モジュール面積	500mm × 500mm
発電出力	最大 17W

図表 酸化物熱電発電モジュール



出典：昭和電源ホールディングス株式会社 プレスリリース（2009年12月18日）

<事例> 草津温泉での熱電発電（東芝）

株式会社東芝と草津町は、温泉熱を熱源として利用した熱電発電システムを共同開発し、実証試験を行っている。これは高温源泉と冷却水の温度差を利用して発電するシステムであり、東芝が開発したビスマス・テルル系の熱電発電モジュールを使用している。東芝は組成開発と結晶構造制御により、温度差 100 において変換効率が市販品と比べて 1.2 倍高い 3.6% のモジュールを開発した。これは NEDO「高効率熱電変換システムの開発」プロジェクトとして実施されたものである。

実用化に向けては、2004 年から試作機で約 9,000 時間の発電を行い、その実績を基に 2005 年に 150W の発電システムを草津町の温泉センターに設置した。2008 年 1 月時点で運転時間は約 2 万時間に達し、問題なく発電を行っている。発電した電力は、温泉センター内にあるテレビや照明に利用されており、発電量の表示も行われている。また、災害等による停電時には非常用電力として利用される。

図表 熱電発電システム概要

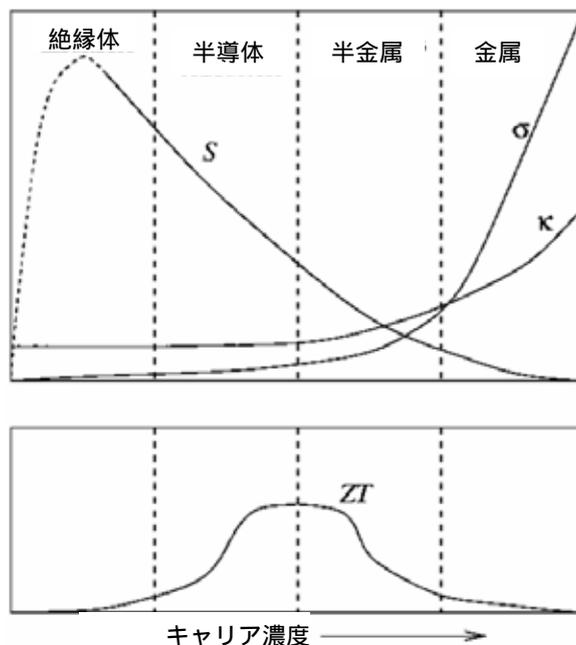
実施年	2005 年 12 月～
実施場所	群馬県草津町
稼働時間	約 20,000 時間（2008 年 1 月現在）
熱源温度	90 以上
発電出力	150W

図表 熱電変換発電システム

出典：群馬県ホームページ（www.pref.gunma.jp/cts/contents?CONTENTS_ID=49312）

ク係数が小さく、半導体のようなキャリア濃度の低い系ではゼーベック係数は大きいが電気伝導率が低い。また、電気伝導率を上げると熱伝導率も高くなる。このように、キャリア濃度は高くても低くても ZT 値は低くなってしまふ。材料探索においては、物質の電気伝導率とゼーベック係数の関係が非常に重要となる。

図表 8.79 ゼーベック係数、電気伝導率、熱伝導率のキャリア濃度依存性



S : ゼーベック係数 (V/K) σ : 電気伝導率 (/m) κ : 熱伝導率 (W / (m·K))

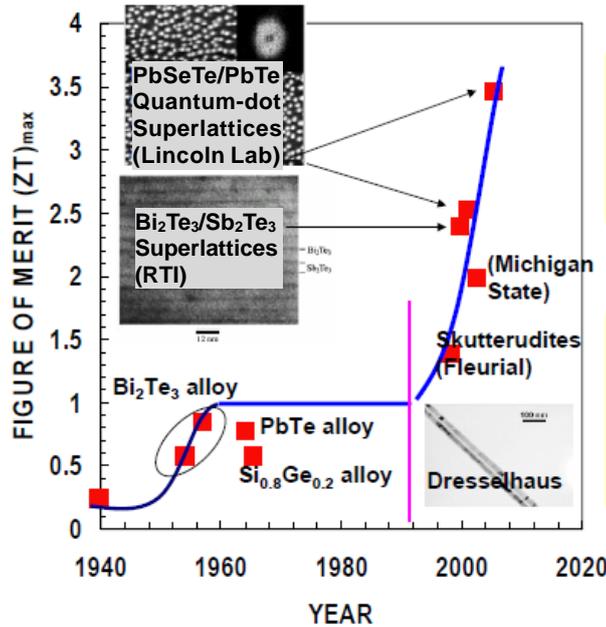
出典：“Vehicular Thermoelectrics Applications Overview”, U.S.Department of Energy, 2007 Diesel Engine-Efficiency and Emissions Research (DEER) Conference

ZT 値は高いほど変換効率が良く、実用化のためには $ZT > 1$ が求められる⁵⁷。近年、3 元系以上の材料探索が進んだことや、薄膜化・超格子構造等ナノスケール⁵⁸での構造制御により、 $ZT > 2$ の性能をもつ材料が、複数発表されている (図表 8.80)。

⁵⁷ $ZT = 1$ の理論発電効率は約 9%。

⁵⁸ 数ナノ～数十ナノのレベルでフォノンと電子を制御できれば、性能指数 (ZT) が 2～3 (変換効率約 30%) を超える可能性があると言われている。

図表 8.80 主な熱電変換材料開発の経緯



出典：“Thermoelectric Developments for Vehicular Applications”, U.S.Department of Energy, 2006 Diesel Engine-Efficiency and Emissions Research (DEER) Conference

2) 伝熱性能の向上

熱源(高温側および低温側)の温度差を最大限利用して熱電変換モジュールで発電するには、熱源と熱電変換モジュール間の熱移動を小さい熱抵抗で効率良く行う必要がある。熱電発電の技術開発は、これまで材料開発に偏っており、実際の導入を想定した伝熱性能や、適切なシステム設計等についてはあまり検討がなされてこなかった。

伝熱性能の向上には、熱源の熱荷体の種類や電力用途および使用環境に適した熱交換形態(ふく射、対流、熱伝導等)の選定が重要となる。また、各々の制約条件や費用対効果を考慮し、各伝熱形態の伝熱促進手法を可能な限り折り込むことが必要となる⁵⁹。

(2) 低コスト化

熱電発電の実用化にあたっては、高効率化と同時に低コスト化が重要な課題となる。熱電発電のコストを左右する要因は、「耐久性」「原料コスト」「製造コスト」等が挙げられる。

耐久性については、高温領域における酸化劣化対策が課題に挙げられる。従来から一部実用化されている熱電変換材料としては、室温から約 300 で使用されるビスマス・テルル系、室温から約 1000 でのシリコン・ゲルマニウム系および、室温から約 600 の鉛・テルル系が挙げられるが、これらの金属系材料は高温領域における酸化劣化が生じやすいという問題がある。例えば、燃焼炉の排熱は約 830 程度あるため利用できない。また、関連部材では電極部分の酸化が特に問題であり、対策が必要とされる。

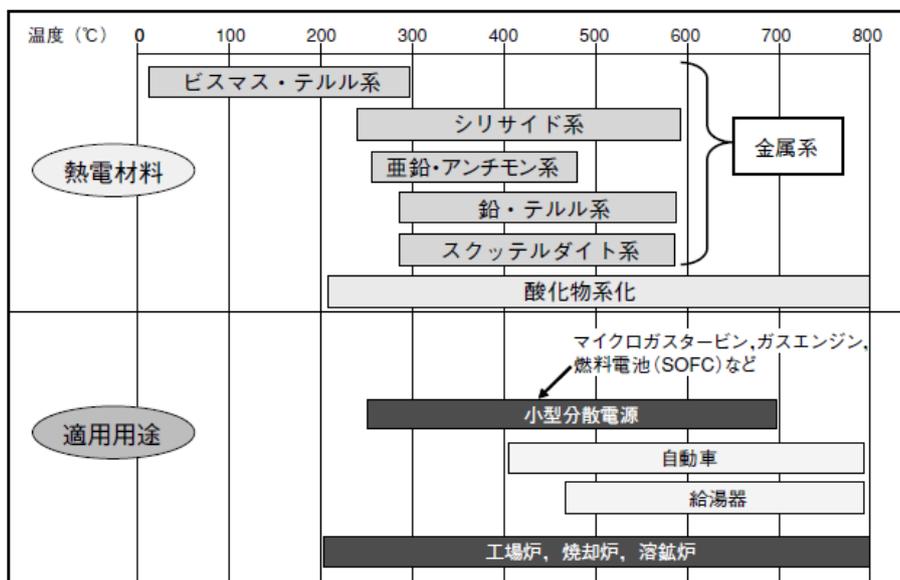
原料コストについては、ビスマスやテルルはレアメタルであり、高コストであることに加え、

⁵⁹ 熱電発電フォーラム資料(2006,(財)エンジニアリング振興協会)

原料供給に問題がある。ライフサイクルアセスメント(LCA)⁶⁰、リサイクルを含めた原料コストの削減、また安価な代替材料開発に取り組む必要がある。また、製造コストについては、熱電材料の特性に合わせて、省エネルギー・高効率な製造プロセスの開発が必要である。

これらの課題に対して、現在セラミックス(金属酸化物)に注目が集まっている。セラミックスは一般に高温大気中でも安定であり、製造プロセスも低コストで⁶¹技術的に確立されている。その中で、性能指数(ZT)が高く、環境に優しい材料としてZn-O系のn型半導体とNa-Co-O系のp型半導体の組み合わせが代表的であるが、これら以外の組み合わせについても急速に研究が進められており、熱電変換材料の実用化はセラミックスを中心に競争が始まっている。

図表 8.81 主な熱電変換材料の適用温度範囲



出典：「酸化物熱電変換素子の量産技術開発」(2008, 昭和電線レビュー Vol.58 No.1)

(3) 製造技術

実用化に向けては、熱電変換素子を多数並べて一体化するモジュール化技術が重要であり、接触抵抗を小さくすると共に、熱応力の緩和、信頼性・耐久性の向上等が求められる。電極接合技術、電気絶縁と良熱伝導の並立技術、熱応力緩和技術、雰囲気封止技術、組立技術などが重要な課題となる⁶²。

⁶⁰ 原料の採取から製造、流通、使用、廃棄までの全過程での環境負荷を定量的に評価する手法のこと。

⁶¹ 昭和電線ホールディングス株式会社は、産業総合研究所と共同で、酸化物熱電変換素子の量産製法を開発している。(昭和電線ホールディングス株式会社 プレスリリース (2007年12月18日))

⁶² 熱電発電フォーラム資料(2006, NEDO)

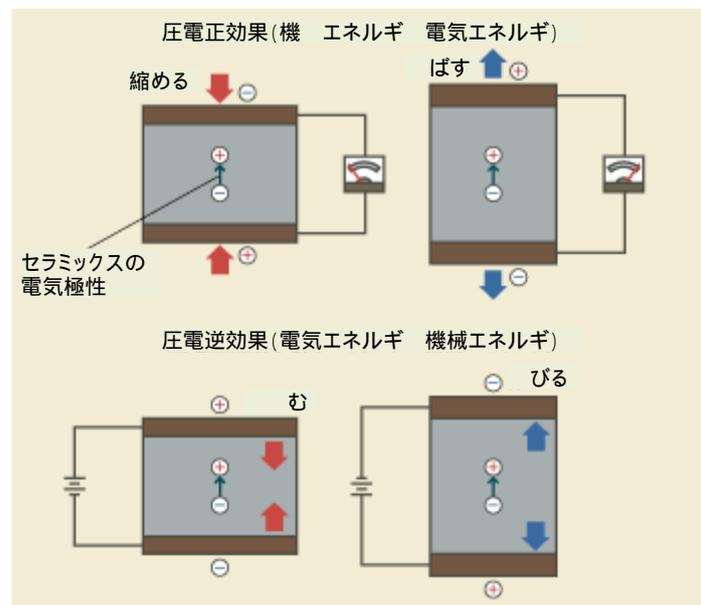
8.9 圧電発電

8.9.1 技術の俯瞰

圧電発電は、機械的振動から発電する振動発電の一種で、圧力により変形する際に電圧を発生する圧電変換素子を用いた発電方式である。なお、逆に圧電素子に電圧をかけると歪みを生じるため、この電気エネルギーと機械エネルギーを相互に変換できる性質を応用して、アクチュエータやセンサ、超音波探知機等が実用化されている。

圧電変換素子の材料には主に強誘電性セラミックスが使用されており、高い直流電圧を印加することにより分極処理が施される。この分極処理によって結晶粒子の電荷の向きが揃えられた圧電変換素子に圧力を加えたり、逆に張力を加えたりすると、図表 8.82 の上図に示すようにそれぞれ電圧が発生する。

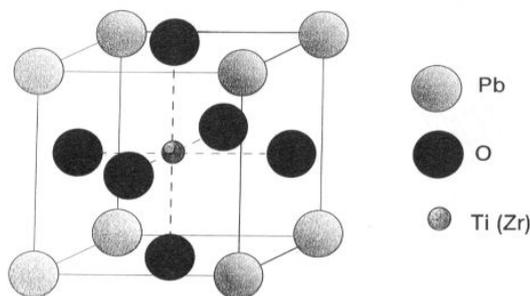
図表 8.82 圧電変換素子のエネルギー変換の原理



出典：本多電子株式会社ホームページ（<http://www.honda-el.co.jp/50th/200702260014.html>）より作成

圧電特性を示す物質として最初に発見・応用されたのは水晶であり、第一次大戦中に潜水艦探知用のソナーが開発された。その後 1940 年代に、チタン酸バリウム (BaTiO_3) が発見される。これは ABO_3 型 (A、B、O は元素記号) ペロブスカイト結晶構造を持つ化合物の代表的なものであり、これより圧電材料としての強誘電性セラミックスの開発が始まった。セラミックスは切断等の機械加工が容易であるため本格的な応用研究が行われ、1955 年にはジルコン酸鉛 (PbZrO_3) とチタン酸鉛 (PbTiO_3) の固溶体であるチタン酸ジルコン酸鉛 (PZT: $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$) セラミックスが発見された。PZT は Zr と Ti がほぼ同比率の組成において圧電特性が最も高くなるが、更に第三成分のペロブスカイト化合物を PZT に加えた 3 成分系 PZT や、Pb を Ca や Ba、Sr、Mg 等で置換した変性 PZT が開発された。

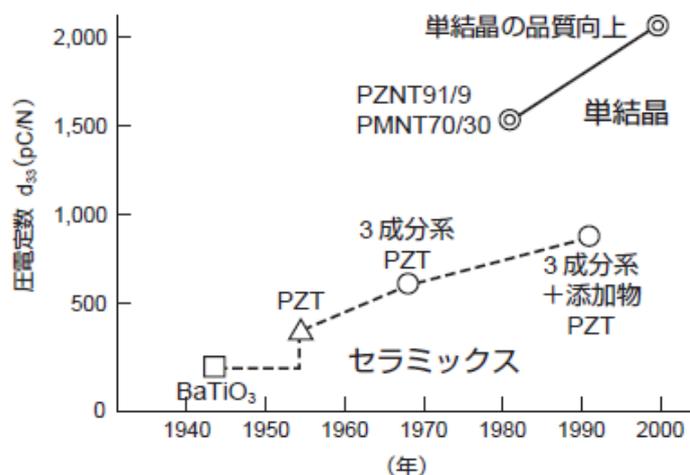
図表 8.83 ペロブスカイト結晶構造 (PZT の例)



出典：産業総合研究所ホームページ (<http://www.aist.go.jp/MEL/soshiki/tokatsu/NEWS-text.html>)

圧電変換素子の性能を評価する重要な指数としては圧電定数 d_{33} がある。これは、与えられた応力によってどれだけの電荷が生じるかを表しており、単位は pC/N で表示される。図表 8.84 に d_{33} の開発トレンドを示す。1980 年代より、亜鉛ニオブ酸鉛 (PZN: $\text{Pb}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$) やマグネシウムニオブ酸鉛 (PMN: $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$) 等のリラクサー⁶³と PbTiO_3 との固溶体単結晶である PZNT や PMNT 等が、ある組成において高い d_{33} を示すことが発見され研究が進んだ。

図表 8.84 圧電材料の d_{33} の推移

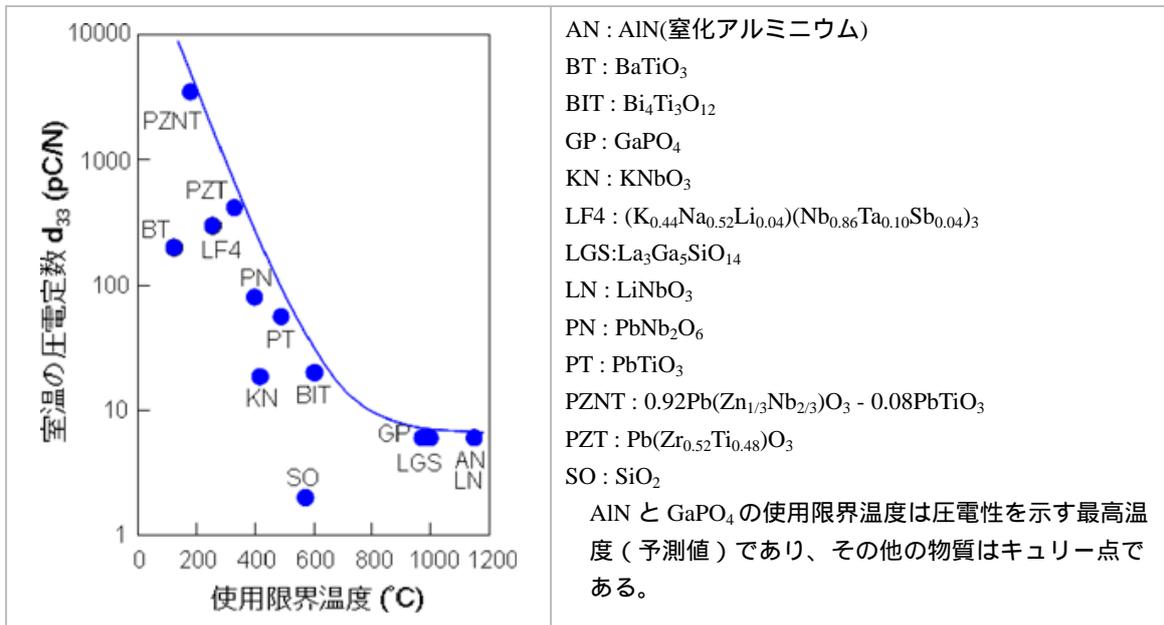


出典：「高効率圧電単結晶材料」(2004, 東芝レビュー Vol.59, No.10)

圧電材料において、結晶構造の変化により圧電特性が失われる温度をキュリー点 (T_c) というが、 BaTiO_3 では約 130、PZT では 350 付近である。但し T_c の約半分の温度を超えると分極量が急激に下がるため、実際に使用可能な温度域は BaTiO_3 で約 80、PZT では 250 程度以下である。 d_{33} の高いリラクサー系単結晶では、圧電特性を示す組成において PZNT は約 175、PMNT は約 155 と PZT に比べて低いため、使用温度範囲が限られる。

⁶³ $\text{Pb}(\text{B}_1\text{B}_2)\text{O}_3$ の一般式で表され、誘電率のピーク温度が測定周波数に依存し、緩慢な (relax した) 誘電率カーブを示す化合物。

図表 8.85 使用限界温度と圧電定数の関係



出典：産業技術総合研究所ホームページ (http://www.aist.go.jp/index_ja.html)

圧電変換素子の用途例としては、携帯電話が身近な事例の一つに挙げられる。携帯電話の送・受話器には薄い圧電変換素子が電極に挟まれて組み込まれており、音声と電気信号を相互に変換する。また、ライターの着火子等で圧電変換素子が利用されており、瞬間的に加えられる衝撃により放電に必要な電圧を得て点火する仕組みとなっている。また、電気エネルギーを機械エネルギーに変換する方法としては、インクジェットプリンタにおいて電圧を加えることによりインクをヘッドに向かって吐出させ印刷する等の用途例がある。

図表 8.86 圧電変換素子の用途例

エネルギー変換形態	用途例
電気から機械へ	スピーカー、アクチュエータ、ブザー、インクジェットプリンタ等
機械から電気へ	着火子、加速度センサ、マイク等
電気と機械の相互変換	携帯電話(バイブレーション)、超音波探知機、ソナー等
電気から機械、また電気へ	フィルタ、トランス

出典：「パーソナル分散型エネルギーシステム」(2005, 養賢堂、伊藤 義康著)より作成

8.9.2 ポテンシャル

圧電発電のエネルギー源となる振動には、建物や橋の振動、自動車の振動、音声等、様々なものがあり、物理的ポテンシャルはほぼ無限大と言える。しかしながら、技術的あるいは経済的な制約を考慮すると導入可能量は限られる。

日本における圧電発電の導入可能量の一部としては、NEDOの「駅・建物等における省エネルギーのためのエネルギー変換技術の研究開発」プロジェクト(JR東日本との共同研究)において、実証結果より、駅等への導入可能量が原油換算約4万kL/年に相当することが見込まれている。これは、ICカード専用自動改札システムや駅改札フロアの照明等に必要とされるエネルギーを代替できるエネルギー量である⁶⁴。また、首都高速道路全体の振動を利用して、東京23区内の家庭への電力供給量の約4割に相当する4GW以上を発電できるという試算もある⁶⁵。

8.9.3 導入目標量例

日本において、現在圧電発電の導入目標は設定されていない。

8.9.4 導入実績

圧電発電システムは、まだ実用化段階にはなく、導入事例は実証実験のみである。

JR東日本は2006年度～2007年度に、東京駅構内において人が歩行する際に生じる振動を利用した床発電システムを設置し、実証実験を行った。

また、(株)音力発電は、首都高速の五色桜大橋において通行する自動車の振動を利用して発電し、イルミネーション用電源として用いる実証研究を実施している。

図表 8.87 圧電発電の主な導入実績（実証実験）

導入場所	導入年	導入規模	発電電力用途
東京駅 (東京都千代田区)	2006 2008	約6m ² (1日最大10kWs) 約90m ² (1日最大500kWs)	自動改札、電光表示器等
八チ公前広場 (東京都渋谷区)	2008	-	パネル表示
コクヨオフィスシステム(株) (東京都千代田区)	2008	1.5m ²	LED誘導灯、避難誘導灯等
藤沢市役所 (神奈川県藤沢市)	2009	約3m ²	LED点灯 (市民の環境啓発)
五色桜大橋 (東京都足立区)	2007	1.8m ² (0.1W×10台)	イルミネーション
リモコン (NECエレクトロニクス(株)研究開発)	2008	-	リモコン操作

出典：JR東日本ホームページ、(株)音力発電ホームページより作成

⁶⁴ 「エネルギー使用合理化技術戦略的開発/エネルギー使用合理化技術実用化開発/駅・建物等における省エネルギーのためのエネルギー変換技術の研究開発」2007年度中間年報(NEDO)

⁶⁵ <http://techon.nikkeibp.co.jp/article/FEATURE/20090415/168796/>より((株)音力発電試算)

<事例> 床発電システム (NEDO・JR 東日本)

人や車等が通過する際に発生する振動エネルギーを利用して、床内部に組み込まれた圧電変換素子により発電を行う床発電システムが開発されており、歩行者の多い駅の改札や駅前広場等における実証実験を通じて、実用化へ向けた技術開発が行われている。

2007 年度に NEDO「エネルギー使用合理化技術戦略的開発」実用化開発フェーズに採択された「駅・建物等における省エネルギーのためのエネルギー変換技術の研究開発」では、JR 東日本により床発電システムが東京駅に設置され、発電効率や耐久性についての確認が行われた。

図表 床発電システムの仕組み



図表 東京駅における実証実験



出典：「社会環境報告書 2009」(2009 年, JR 東日本)

8.9.5 技術開発動向

圧電発電の実用化には、コスト削減と高効率化が必要である。また熱電素子同様、発電効率を向上させるために用いる素材には希少元素が含まれることに加え、有害物質である鉛（Pb）が用いられることから、実用化・商用化にあたっては、これらの材料を使わない材料開発が必要になる可能性がある。

図表 8.88 圧電発電の主な技術課題

技術・課題		解決策・要素技術
高効率化 低コスト化	材料特性の改善	<ul style="list-style-type: none"> 金属元素のドーピング
	新動力源	<ul style="list-style-type: none"> 発電床 橋梁振動発電
安全性	鉛フリー材料	<ul style="list-style-type: none"> セラミックス系材料 ポリマー系材料

(1) 高効率化・低コスト化

圧電素子を発電システムとして機能させるためには、発電に必要な圧力（歪）をできるだけ効率よく回収し、電力に変換する仕組みが必要になる。現状の圧電素子は、個々の素子から得られる電力は必ずしも大きなものではないので、これらの素子を効率的に集積し、エネルギー転換を行うために、振動力発電パネルと称して製品化し発電床や高速道路の橋梁の振動による発電などに適用している例がある（図表 8.87）。

現状では、発電機能を集約し発電設備とするよりも、熱や振動、光、電磁波、人間の動きなどから微弱なエネルギーを収穫（ハーベスト）して、電力に変換する「エネルギー・ハーベスティング技術」あるいは「Power MEMS(Micro electro mechanical systems)⁶⁶」として確立する動きが主体である。

海外ではジョージア工科大学が、酸化亜鉛（ZnO）を用いたナノワイヤの作製に成功しており、服等に織り込んでモバイル機器に給電するという応用も提案されている。また、人工の木の葉柄部分に圧電変換素子を用いて、風で動く葉の動きから発電するというアイデアもある。

(2) 安全性

キュリー点の高さと圧電特性のバランス、製造の容易さや安価であること等より、現在は圧電材料に PZT (Pb(Zr,Ti)O₃) およびその変性物が広く使用されているが、鉛は有害物質であり、欧州の RoHS 指令⁶⁷の規制対象物質となっている。現状では PZT に匹敵する圧電性能を持つ材料が見つかっていないため、圧電材料としての PZT への規制は未だ除外されているものの、非鉛系圧電材料の開発が必要が高まっている。しかしながら、性能・コスト両面において鉛系には及ばないのが現状である。

⁶⁶ MEMS 技術（半導体プロセス技術を利用した小型のメカニカルデバイスや構造体）を利用してエネルギーを蓄え、再利用できるよう抽出する技術。

⁶⁷ 電気・電子機器に含まれる特定有害物質の使用制限に関する欧州指令

8.10 工場等排熱利用

8.10.1 技術の俯瞰

工場や変電所、地下鉄、地下街等からの排熱は、蒸気ボイラや吸収式冷凍機、熱導管等を用いて地域冷暖房に利用することができる。変電所や地下鉄等からの低温熱は、ヒートポンプの熱源として活用することができる。国内外において、これらの排熱を利用した地域熱供給事業が行われている。

(1) 主な排熱源

1) 工場

工場からは、生産プロセスによって高温（数百℃）から低温（数十℃）まで様々な温度レベルの熱が排出される。高温排熱は、プロセス内での再利用や自家発電等に有効利用されているものが多いが、低温になるにつれて用途がなくなり、未利用のままのものも多い。

2) 発電所

日本の火力発電所や原子力発電所では、蒸気タービンからの蒸気を水に戻す復水器の冷却水として海水が使用されている。従来、使用後の温排水はそのまま海に放流され、有効利用の方法も養殖用等の漁業分野がほとんどであったが、近年この温排水を業務用の暖房熱源として利用している例も見られる。

3) 地下鉄・地下街

地下鉄構内や地下街のような閉じられた空間は比較的熱密度が高く、空気の出入り口も限られていることから、地上に比べて排熱を回収しやすい。列車、照明、人体、換気用機器等から熱が発生しており、換気により外部に放出されるか、地中に蓄えられる。これらの排熱はヒートポンプの熱源として利用することができる。

4) 変電所・地中送電線

変電所の変圧器の効率は 99% 以上と非常に高いものの、ロス分は熱となり機器温度を上昇させ絶縁劣化や絶縁破壊等を引き起こすため、通常絶縁油を循環させて熱を吸収させ、冷却している。また、都市部を中心に設置されている地中送電線は、送電効率を高めるため常時冷却されている。これらの排熱はヒートポンプの熱源として利用することができる。

図表 8.89 工場等排熱の種類と特徴

種類	形態	温度レベル	利用方法
工場排熱	高温ガス	200 ~	発電、熱源、直接利用
	温水	~ 50	熱源水、直接利用
	L N G 冷熱	~ 5	発電、冷熱源
発電所	温水（復水器）	~ 50	熱源水、直接利用
地下鉄・地下街	空気	10 ~ 30	ヒートポンプ熱源水
ビル排熱	空気、水	20 ~ 40	ヒートポンプ熱源水
変電所・地中送電線	冷却水・冷却油	20 ~ 40	ヒートポンプ熱源水

出典：「未利用エネルギー面的活用熱供給導入促進ガイド」（2007，経済産業省）

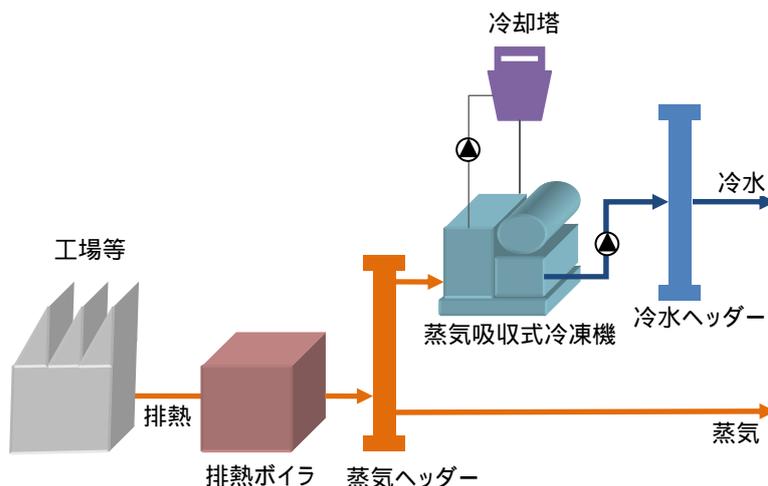
(2) 排熱利用システム

工場等排熱の利用システムは、数百 の高温の場合と数十 の低温の場合とに大きく分けられる。高温排熱の場合は主に蒸気を製造して利用し、低温排熱の場合はヒートポンプの熱源として利用する。

1) 高温排熱利用システム

工場等で発生する高温排熱は、排熱ボイラにて回収したのち蒸気を生成し、給湯や暖房等の温熱供給に使用される。また、さらに蒸気吸収式冷凍機を用いて冷水を作り、冷熱を供給することもできる。

図表 8.90 高温排熱利用システムの例

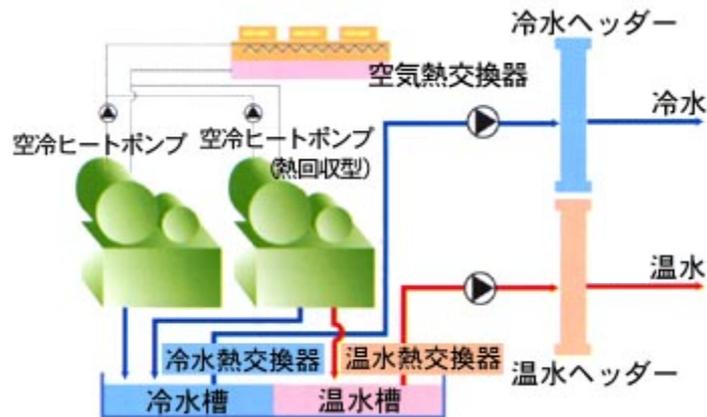


出典：(社)日本熱供給事業協会ホームページ (<http://www.jdhc.or.jp/>) より作成

2) 低温排熱利用システム

変電所や地下鉄などの低温排熱は、ヒートポンプの熱源として利用することができる。また、冷水槽および温水槽の蓄熱槽を設置することにより設備容量を削減することが可能となる。

図表 8.91 低温排熱利用システムの例



出典：(社)日本熱供給事業協会ホームページ (<http://www.jdhc.or.jp/>)

8.10.2 ポテンシャル

日本における工場等排熱のポテンシャルを図表 8.92 に示す。全国の工場等排熱の賦存量の合計は約 4,143PJ（原油換算 10,845 万 kL）、活用可能量⁶⁸は約 3,602PJ（原油換算 9,430 万 kL）となっており、これは 2007 年度の民生部門のエネルギー消費量 4,967PJ（原油換算 13,003 万 kL）⁶⁹の 83%と 73%にそれぞれ相当する。

工場等排熱の内訳では特に発電所からの排熱の割合が高く、約 7 割を占めている。次にポテンシャルの大きい工場排熱は約 3 割近くを占める。

図表 8.92 工場等排熱のポテンシャル

種類	形態	全国の賦存量	全国の活用可能量
工場排熱	高温ガス	1,286,971 TJ/年 (原油換算 3,369 万 kL)	1,024,641 TJ/年 (原油換算 2,682 万 kL)
	温水		4,860 TJ/年 (原油換算 13 万 kL)
発電所	温水（復水器）	2,829,097 TJ/年 (原油換算 7,406 万 kL)	2,546,187 TJ/年 (原油換算 6,665 万 kL)
変電所・地中送電線	冷却水・冷却油	20,389 TJ/年 (原油換算 53 万 kL)	20,389 TJ/年 (原油換算 53 万 kL)
地下鉄・地下街	空気	6,253 TJ/年 (原油換算 16 万 kL)	6,253 TJ/年 (原油換算 16 万 kL)
合計		4,142,710 TJ/年 (原油換算 10,845 万 kL)	3,602,330 TJ/年 (原油換算 9,430 万 kL)

出典：「未利用エネルギー面的活用熱供給導入促進ガイド」（2007、経済産業省）

図表 8.93 工場等排熱の活用可能量と民生部門エネルギー消費量の比較



出典：「未利用エネルギー面的活用熱供給導入促進ガイド」（2007、経済産業省）
「総合エネルギー統計」（2007、資源エネルギー庁）より作成

⁶⁸ 賦存量から現在既に有効利用されている排熱量を除いた値。

⁶⁹ 「総合エネルギー統計」（資源エネルギー庁）

8.10.3 導入目標量例

日本では、「新エネルギー利用等の促進に関する基本方針」(2002年12月改訂、資源エネルギー庁)の新エネルギー導入目標のうち、未利用エネルギー(工場等排熱利用、温度差熱利用、および雪氷冷熱を含む)として、2010年度までに原油換算58万kLの導入目標が掲げられている。これが現行の地球温暖化対策推進大綱の目標になっている。

しかしながら導入は進んでおらず、「2030年のエネルギー需給展望(答申)」(2005年3月、総合資源エネルギー調査会 需給部会)では2010年度の導入見通しとして、レファレンスケース、現行対策推進ケース、追加対策ケース全てのケースにおいて、原油換算5万kLと試算している。

図表 8.94 未利用エネルギーの供給目標

	2010年度	
	地球温暖化対策推進大綱 目標 ¹	2030年のエネルギー 需給展望 ²
工場等排熱利用	58万kL*	5万kL*
温度差熱利用		
雪氷熱利用		

*当該エネルギーの導入量を原油の数値に換算

出典1:「新エネルギー利用等の促進に関する基本方針の改訂について」(2002, 資源エネルギー庁)

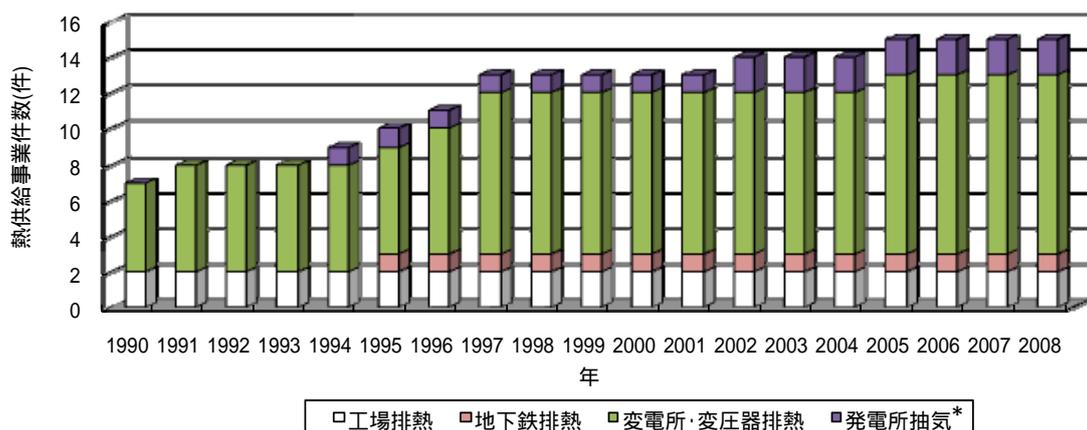
出典2:「2030年のエネルギー需給展望」(2005, 総合資源エネルギー調査会 需給部会)

8.10.4 導入実績

工場等排熱を活用した地域熱供給の実績は、2005 年以降 15 件となっている。そのうち、工場排熱を活用したものは 1990 年以降新規導入例がなく、2009 年まで 2 件に留まっている。また、地下鉄排熱は 1995 年に導入された 1 件のみである。最も主流である、変電所・変圧器排熱については 1990 年代に増加したが、1997 年以降はほぼ横ばいで 2005 年以降 10 件である。発電所の蒸気を利用した地域熱供給は 2002 年以降 2 件に留まっていたが、2010 年 2 月に東京電力川崎火力発電所の発電後の蒸気を周辺の工場に供給する「川崎スチームネット株式会社」が営業を開始している⁷⁰。

排熱利用されている工場の業種は、セメントおよび化学等の、エネルギー多消費型の工場であり、エネルギーの有効利用が特に求められる業種である。また、排熱源の内訳では変電所・変圧器排熱が多く、近くの河川水や下水等、他の温度差熱エネルギー源と合わせて複合的に利用しているケースもある。

図表 8.95 工場等排熱利用の地域熱供給事業件数



* 抽気とは、蒸気タービンで膨張した蒸気を一部取り出すこと
 出典：熱供給事業便覧（(社)日本熱供給事業協会）より作成

⁷⁰ 東京電力株式会社プレスリリース（2010 年 2 月 1 日）

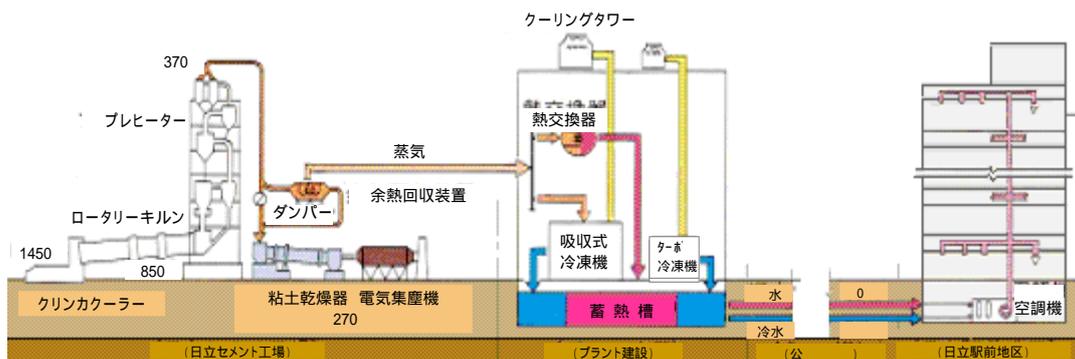
< 事例 > 日立駅前地区熱供給事業（工場排熱）

日立熱エネルギー株式会社は、セメント工場の排熱を利用した熱供給事業を行っている。セメントの粉体原料はロータリーキルン（焼成温度約 1,450℃）に送り込まれる前にプレヒーターを通過する。このプレヒーターからの余熱（約 370℃）を回収し、熱供給プラントの地下に設置した蓄熱槽と組み合わせて安定供給を図った地域冷暖房を実施しており、日立駅前地区の公共、商業、業務施設に熱を供給している。

図表 システム概要

供給開始	1989年12月1日	
供給区域	茨城県日立市幸町	
区域面積	13.2ha（H20.3.31現在）	
供給延床面積	133,798m ² （H20.3.31現在）	
供給建物	オフィスビル、ホテル等	
供給熱媒	冷水（往）	7
	温水（往）	60
熱源機	余熱ボイラ	5,563Mcal/h
	吸収式冷凍機	計 2,000RT
	ターボ冷凍機	計 650RT
蓄熱槽	1,560m ³	

図表 システム概略図



出典：日立セメント株式会社ホームページ（<http://www.hitachi-cement.co.jp/netuene-1.htm>）より作成

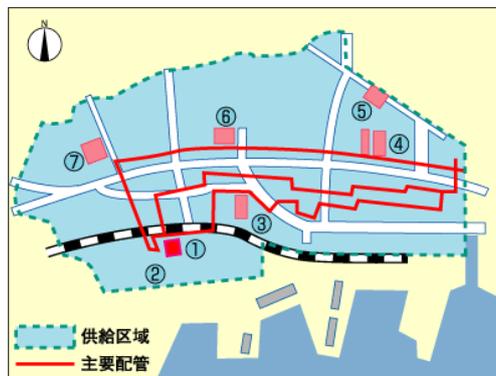
< 事例 > 福島県いわき市熱供給事業（工場排熱）

小名浜配湯株式会社は、いわき市小名浜において地域振興と市民福祉のための給湯計画を受けて設立され、1970年より日本化成株式会社小名浜工場の排熱を利用した地域給湯事業を行っている。熱源は工業薬品の製造設備から発生する排熱であり、工業用水を熱交換することにより原湯を製造している。原湯は濾過された後、貯湯槽より塩素滅菌処理されて、一般家庭を中心に飲食店等の営業用や学校・病院等の公共施設に配湯されている。

図表 事業概要

供給開始	1970年2月1日
供給区域	福島県いわき市小名浜地区
区域面積	90 ha（H20.3.31 現在）
供給延床面積	251,000m ² （H20.3.31 現在）
供給戸数	約 1,200 戸
供給建物	一般住宅、レストラン等
給湯温度	50（最終需要者側）

図表 供給区域



配湯設備(プラント) 工場 病院 ショッピングセンター
市役所支所 小学校 保育所



出典：(社)日本熱供給事業協会ホームページ（<http://www.jdhc.or.jp/area/tohoku/03.html>）

< 事例 > 新宿南口西地区熱供給事業（地下鉄排熱）

新宿南エネルギーサービス株式会社は新宿南口西地区において、旧国鉄跡地における再開発に合わせ地下鉄排熱の活用を取り入れた地域熱供給事業を行っている。隣接する都営地下鉄大江戸線新宿駅に設置した排熱回収ヒートポンプにより、電車や人体から排出される熱、車両冷房による排熱を温水として回収し利用している。

また、電気・ガスを併用して一次エネルギー源を複源化することにより信頼性を向上させ、氷蓄熱・水蓄熱を設置して夜間電力を利用することでエネルギーの平準化を図り、経済性の向上を目指したシステムとなっている。

図表 システム概要

供給開始	1995年10月1日
供給区域	東京都渋谷区代々木2丁目
区域面積	9.4 ha（H21.3.31 現在）
供給延床面積	383,283m ² （H21.3.31 現在）
供給建物	オフィスビル、ホテル、病院等
熱源機	熱回収ターボ冷凍機 1,055kW ターボ冷凍機 3,516kW ブライントーボ冷凍機 2,989kW（製氷時）
蓄熱槽	水蓄熱槽：3,780m ³ 氷蓄熱槽：810m ³

図表 供給区域概観



出典：「新エネルギーガイドブック 2005」（2005, NEDO）

8.10.5 技術開発動向

工場等排熱利用システムを構成する要素（冷凍機、熱交換器、蓄熱槽、ボイラ等）は基本的に既存技術が用いられている。導入にあたり大きな課題となっているのは、熱の発生地と需要地の地理的ギャップ、既存街区への導入の困難さ、高いイニシャルコストであり、物理的、経済的制約等により導入が進んでいないのが実態である。

一般に、高温排熱を得られる工場、発電所等は、需要地から離れた場所に立地していることが多い。また、熱供給配管の断熱性能には限界があり、供給エリアは高温排熱において半径 2km 以内、低温排熱において半径 0.5km 以内が目安となっているため⁷¹、遠方への熱輸送は難しい。

イニシャルコストについては、熱源に未利用エネルギーを利用するシステムは、熱源の不安定さから必ず補助熱源が必要となるため、従来システムと比較してコスト高となることは避けられない。また、配管の敷設など大規模な工事を必要とするため、イニシャルコストは膨大になる。加えて、既存の街区への導入は難しく、大規模な再開発計画等に合わせる必要がある。

システムの導入にあたっては、上記の物理的、経済的制約をクリアすることが必要であり、その上で、さらなる低コスト化、高効率化、供給形態の多様化等の技術的アプローチが重要となる。

図表 8.96 工場等排熱利用の主な技術課題

技術・課題		解決策・要素技術
低コスト化	開発・施工費の削減	<ul style="list-style-type: none"> 開発区域のコンパクト化 配管敷設時の共同溝⁷²の利用
	ランニングコストの削減	<ul style="list-style-type: none"> 機器のメンテナンス費の削減
高効率化	熱源機器の効率化	<ul style="list-style-type: none"> 高効率吸収式冷凍機 高効率ヒートポンプ
	配管熱損失の低減	<ul style="list-style-type: none"> 供給地と需要地のマッチング 配管の断熱性能の向上
供給形態の多様化	蓄熱による熱供給	<ul style="list-style-type: none"> トランスヒートコンテナ
	発電利用	<ul style="list-style-type: none"> 排熱回収スターリングエンジン 小型温度差発電システム

(1) 低コスト化

低コスト化に係る課題として、開発区域のコンパクト化、共同溝の利用等による配管敷設コストの削減が挙げられる。

地域熱供給システムは、配管の熱損失の観点から遠方への熱供給は難しいこと、イニシャルコストに占める配管敷設コストの割合が大きいことから、開発区域のコンパクト化によるイニシャルコストの削減が得策である。また、なるべく熱供給エリア中央に熱源を配置することにより配管からの熱損失を低減し、かつ配管敷設コストを削減する工夫も必要となる。

⁷¹ 「未利用エネルギー面的活用熱供給の実態と次世代に向けた方向性」(2008, 資源エネルギー庁)

⁷² 電気、ガス、上下水道などのライフラインを地下に埋設する設備。

配管の敷設については、既存の共同溝を利用することにより、配管敷設に係る工事費を大幅に削減することが可能となる。しかしながらいずれも、熱源の立地に左右されるため、全ての事例において実施可能な対策ではない。

排熱回収装置の設備費は、回収する排熱源の種類によって異なる。例えば熱源となる排ガス中に粉塵が多く含まれる場合は、熱交換器内に付着した粉塵を定期的に落とす必要があり、設備費がかさむ。また腐食性の強いガスから熱回収する場合は、チタン製の熱交換器等が必要となり、アルミニウム合金やステンレス鋼製の熱交換器と比較して大幅なコストアップになる。

ランニングコストについては、未利用エネルギーを利用するため、既存のシステムと比較して燃料代の削減に寄与するが、排熱回収装置や補助ボイラ等のメンテナンス費が追加負担となる。また、大規模なボイラの取扱いにあたっては、ボイラ取扱作業主任者としてボイラ技士を選任する必要があり、人件費がかかる。

(2) 高効率化

高効率化については、熱源機器の高効率化や、配管熱損失の低減等が挙げられる。

熱源機器は、高温系のシステムにおいて吸収式冷凍機、低温系のシステムにおいてヒートポンプ空調機が主に使用される。吸収式冷凍機については、一般的な二重効用式の COP1.0~1.2 に対し、現在三重効用式において COP1.6 (高位発熱量ベース) を達成している⁷³。ヒートポンプシステムについては、空冷ヒートポンプで COP5 以上、ターボ冷凍機において COP⁶⁷⁴以上を実用化しており、飛躍的に高効率化が進んでいる。数十年前の機器を使用しているプラントにおいては、最新機器の導入により大幅な効率向上が可能となる。しかしながら、経済性の高いビルマルチ方式等の普及に伴い、分散型システムに対する地域熱供給システムの競争力は低下する傾向にあり、特にコスト高となる未利用エネルギー源を用いた地域熱供給システムはコスト競争力を保つのが難しい状況にある。

配管熱損失の低減は、配管の断熱性能の向上が対策として挙げられるが、イニシャルコストを押し上げる要因にもなるため、注意が必要である。また、熱損失の低減には、熱の移動距離を短くする必要があり、供給地と需要地のマッチングが重要となる。

(3) 供給形態の多様化

供給形態の多様化として、蓄熱による熱供給、発電利用等が挙げられる。

蓄熱による熱供給技術として、潜熱蓄熱技術を用いた「トランスヒートコンテナ」が開発されている。トランスヒートコンテナは、これまで低温のため捨てられていた 200 以下の排熱をコンテナ内の潜熱蓄熱材 (PCM: Phase Change Material) に蓄熱し、給湯や冷暖房の熱源として利用する技術である。潜熱蓄熱材とは、固液の相変化に伴って移動する潜熱を利用するもので、一定の温度で蓄放熱できること、顕熱蓄熱よりも高密度で蓄熱できる点が特徴である。本技術はドイツから輸入された。

図表 8.97 にトランスヒートコンテナの概要を示す。熱源側の熱交換器を通して、熱媒油によりコンテナ内の潜熱蓄熱材に蓄熱する。需要側では同様に熱交換器を通して、熱媒油により放

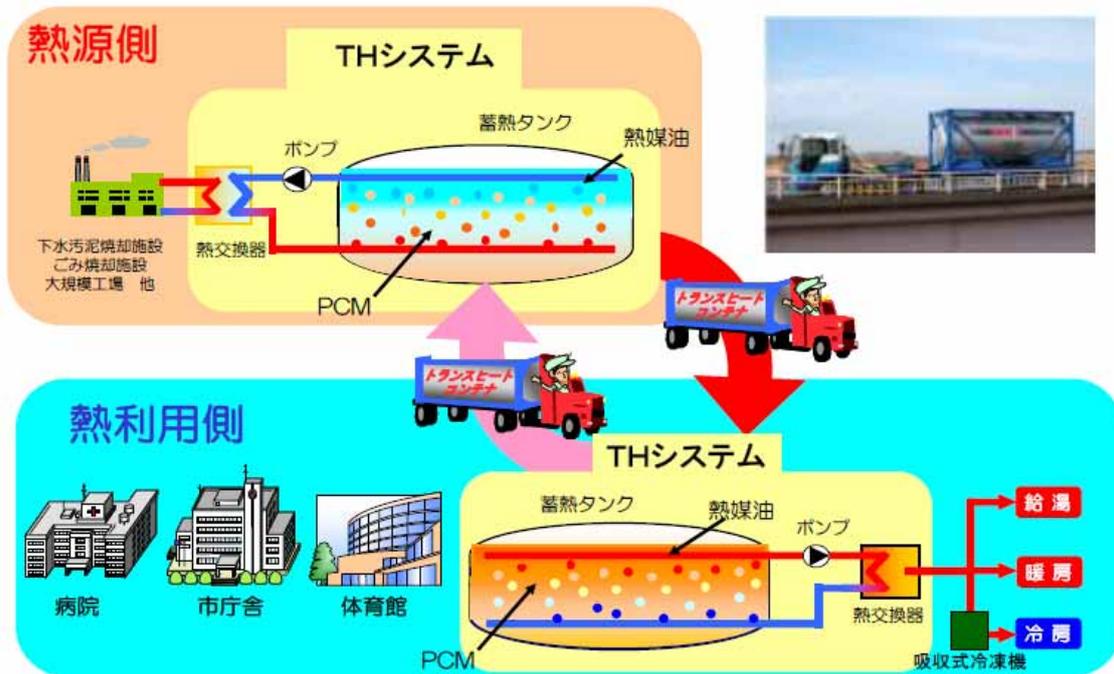
⁷³ 川重冷熱工業株式会社製

⁷⁴ インバーターターボ冷凍機においては、部分負荷運転時の COP は 20 を超えている。

熱し、給湯・暖房・冷房に利用する。

トランスヒートコンテナの利用形態には輸送型と定置型がある。輸送型はトラックで需要地へ輸送する方法で、従来の地域熱供給のエリアが半径 0.5km～2km 程度に限られるのに対し、トランスヒートコンテナの場合輸送距離 10～20km 程度まで経済的な搬送が可能とされている⁷⁵。定置型は、排熱源の近くにトランスヒートコンテナを設置して利用する方法である。蓄熱して利用することにより、熱負荷の時間変動に対応可能であり、工場内建物の熱源として利用できる。トランスヒートコンテナのエネルギー利用効率⁷⁶は高く、輸送型・定置型双方において90%以上を達成している。

図表 8.97 トランスヒートコンテナ システム概要



出典：「熱輸送ネットワークによる低温排熱の地域内利用研究」(2009, EPOC)

⁷⁵ 三機工業株式会社ホームページホームページ (http://www.sanki.co.jp/news/press/contents_59.html)

⁷⁶ 供給熱量 - (熱媒油循環ポンプ動力 + 輸送燃料)

8.11 温度差熱利用

8.11.1 技術の俯瞰

温度差熱利用システムは、河川水や海水、下水、地下水等がもつ温度と外気との温度差（温度差エネルギー）を、ヒートポンプ等を用いて利用するシステムである。年間を通じて温度変化が小さく、大気温度に比べて夏期は低く冬期は高い特性を持つ河川水や海水等の熱を活用することにより、ヒートポンプの効率を向上させることができる。

(1) 温度差熱利用の熱源の種類

1) 河川水

一般に河川水の水温は、大気温と比較して夏期は低く冬期は高いとされており、空気を熱源とするヒートポンプと比較して高効率に運転することができる。国内では1989年より河川水を利用した地域冷暖房が行われている。都市部を貫流する河川等では需要地に近いことから活用の意義は大きく、比較的取水が容易な下流域、河口部付近における利用が見込まれる。

2) 海水

海水は凍結温度が真水よりも低く、より低温で利用できること、量的にほぼ無尽蔵であること等の点から、優れたヒートポンプ熱源であるといえる。国内外における地域熱供給の事例の他、小規模な水産養殖への利用例もある。

3) 地下水

地下水は年間を通して水温が十数度で安定しており、河川水、海水と同様に優れたヒートポンプ熱源といえる。地下水の利用については、工業用水法や、建築物用地下水の採取の規制に関する法律（通称：ビル用水法）等の規制や自治体による条例があり、法への対応、環境への影響には十分な注意が必要である。群馬県高崎市における地下水利用地域冷暖房システムでは、60m以深の地下水脈から揚水し熱利用した地下水は、還水井を通して地下に還元されている。

4) 下水

住宅等の生活排水や尿尿等を集約し一括処理する下水処理場では、住宅で風呂等に利用された給湯等の熱が集約されており、特に冬期の温度が高く、ヒートポンプの熱源として利用することができる。国内外において、下水熱を利用した大規模な地域熱供給事業が行われている他、小規模な事例では下水道局のポンプ場や処理場において場内の建物の冷暖房や給湯に利用されている。

5) 地中熱

深さ3m程度以深の地中の温度は、地上の気温変化に関わりなく、一年を通してその地域の

平均気温（東京では 17 前後）と同じであるため、安定した COP を得られる⁷⁷。公共施設や戸建て住宅の冷暖房・給湯や、消融雪等への利用実績がある。

図表 8.98 温度差熱利用の種類と特徴

種類	形態	温度レベル	利用方法
河川水	水	5～25	ヒートポンプ熱源、冷却水
海水	水	5～25	ヒートポンプ熱源、冷却水
地下水	水	10～20	ヒートポンプ熱源、冷却水
下水	未処理水	5～30	ヒートポンプ熱源、冷却水
	処理水	5～30	ヒートポンプ熱源、冷却水
地中熱	水、空気	10～20	ヒートポンプ熱源、冷却水

出典：「未利用エネルギー面的活用熱供給導入促進ガイド」（2007, 経済産業省）

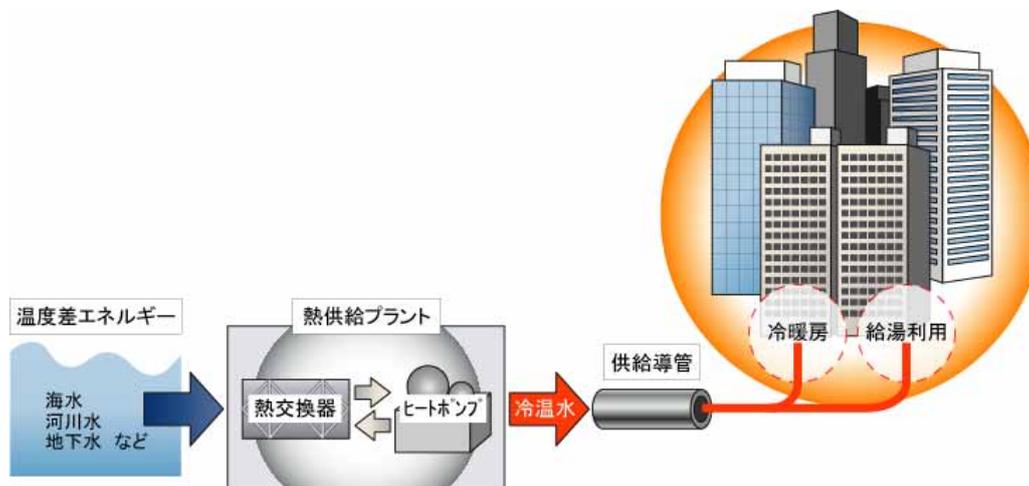
(2) 温度差熱利用システム

1) 河川水、海水、地下水、下水

温度差熱利用システムの要はヒートポンプ技術である。ヒートポンプは近年技術開発が進み、業務用冷凍機の定格 COP は 6 を超える水準に達している⁷⁸。河川水等の持つ熱は、熱交換器を介してヒートポンプに伝えられ冷温水が作られる。

地域熱供給システムの場合は、導管を通して需要家へ冷温水が輸送され、冷暖房や給湯に利用される。また、需要の変動に合わせて熱供給を行うために蓄熱槽も併用されている。

図表 8.99 温度差熱利用システムの例（地域熱供給システム）



出典：「新エネルギーガイドブック 2008」（2008, NEDO）

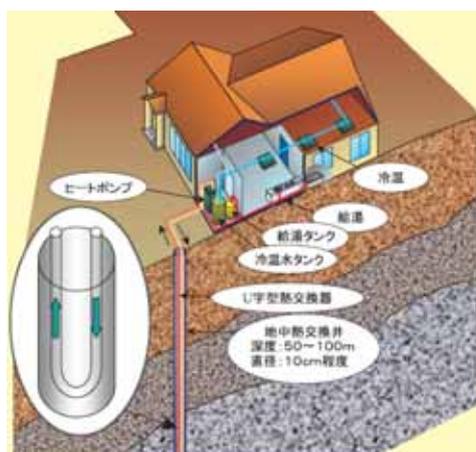
⁷⁷ 地中熱利用促進協会ホームページ（<http://www.geohpaj.org/index.htm>）

⁷⁸ 「ヒートポンプ・蓄熱システムデータブック 2009」（(財)ヒートポンプ・蓄熱センター）

2) 地中熱

地中熱利用ヒートポンプシステムは、地盤に直径 10cm 程度、深さ 50～100m 程度の地中熱交換井を掘削してその中に熱交換器を設置し、地中熱をヒートポンプの熱源として利用して冷暖房や給湯等を行う。

図表 8.100 地中熱利用システムの例



出典：「地球熱利用システム 地中熱利用ヒートポンプシステムの特徴と課題」(2006, NEDO)

8.11.2 ポテンシャル

日本における温度差熱利用のポテンシャル試算例を図表 8.101 に示す。全国の温度差熱利用の賦存量の合計は 15,083PJ(原油換算 39,484 万 kL)、活用可能量⁷⁹⁾は 9,999PJ(原油換算 26,175 万 kL)と試算されている。これは 2007 年度の民生部門のエネルギー消費量 4,967PJ(原油換算 13,003 万 kL)⁸⁰⁾の約 3 倍と 2 倍にそれぞれ相当する。

海水はほぼ無尽蔵に存在するためポテンシャルは非常に大きく、賦存量の半分以上を占める。次いで河川水の賦存量が約 4 割を占めている。

図表 8.101 温度差熱利用のポテンシャル

種類	形態	全国の賦存量	全国の活用可能量
海水	水	8,510,138 TJ/年 (原油換算 22,278 万 kL)	8,510,138 TJ/年 (原油換算 22,278 万 kL)
河川水	水	6,297,806 TJ/年 (原油換算 16,486 万 kL)	1,299,484 TJ/年 (原油換算 3,402 万 kL)
下水	処理水・未処理水	274,891 TJ/年 (原油換算 720 万 kL)	189,358 TJ/年 (原油換算 496 万 kL)
合計		15,082,835TJ/年 (原油換算 39,484 万 kL)	9,998,980 TJ/年 (原油換算 26,175 万 kL)

出典：「未利用エネルギー面的活用熱供給導入促進ガイド」(2007, 経済産業省)

⁷⁹⁾ 賦存量から現在既に有効利用されている排熱量を除いた値。

⁸⁰⁾ 資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」

8.11.3 導入目標量例

日本では、「新エネルギー利用等の促進に関する基本方針」(2002年12月改訂、資源エネルギー庁)の新エネルギー導入目標のうち、未利用エネルギー(温度差熱利用、工場等排熱利用、および雪氷冷熱を含む)として、2010年度までに原油換算58万kLの導入目標が掲げられている。これが現行の地球温暖化対策推進大綱の目標になっている。

しかしながら導入は進んでおらず、「2030年のエネルギー需給展望(答申)」(2005年3月、総合資源エネルギー調査会 需給部会)では2010年度の導入見通しとして、レファレンスケース、現行対策推進ケース、追加対策ケース全てのケースにおいて、原油換算5万kLと試算している。

図表 8.102 未利用エネルギーの供給目標

	2010年度	
	地球温暖化対策推進大綱目標 ¹	2030年のエネルギー需給展望 ²
温度差熱利用	58万kL*	5万kL*
工場等排熱利用		
雪氷熱利用		

*当該エネルギーの導入量を原油の数値に換算

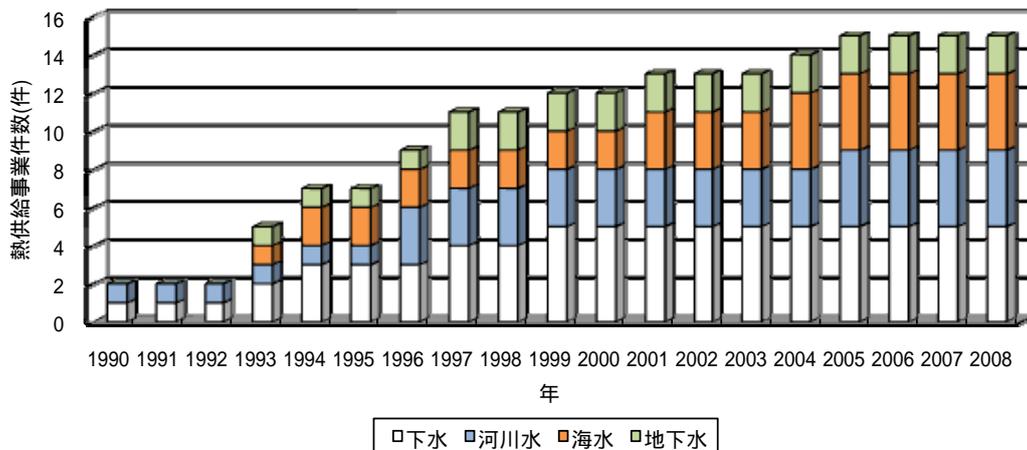
出典1:「新エネルギー利用等の促進に関する基本方針の改訂について」(2002, 資源エネルギー庁)

出典2:「2030年のエネルギー需給展望」(2005, 総合資源エネルギー調査会 需給部会)

8.11.4 導入実績

図表 8.103 に温度差熱利用の地域熱供給事業件数を示す。1990年代中頃に導入件数が増加したが、1990年代後半以降はなだらかな増加傾向となり、2005年以降は15件となっている。内訳としては、下水、河川水、海水の利用事例が多い。

図表 8.103 温度差熱利用の地域熱供給事業件数



出典: 熱供給事業便覧(社)日本熱供給事業協会)より作成

< 事例 > 箱崎地区熱供給センター（河川水）

東京都市サービス株式会社は、日本初の河川水を利用する蓄熱式ヒートポンプシステムを用いた熱供給事業を行っている。東京都の公害防止対策に基づく地域冷暖房の推進地域である箱崎地区において、再開発構想の一環として進められた。隅田川を熱源として水熱源ヒートポンプを運転し、大型蓄熱槽と組み合わせて、オフィスビルや高層住宅等に冷温熱を供給している。

図表 システム概要

供給開始	1989年4月15日			
供給区域	東京都中央区日本橋箱崎1番他			
主要機器（第1プラント）				
熱源設備	水熱源ヒートポンプ （熱回収型）	冷却	1,600 USRT	×2台
		加熱	14,233 MJ/h	
	水熱源ヒートポンプ	加熱	230 MJ/h	×2台
		加熱	180 MJ/h	×2台
	電動冷凍機	冷却	1,600 USRT	×1台
合計	冷却：4,800 USRT 加熱：29,286 MJ/h			
蓄熱槽容量	5,003m ³ （9槽）			
利用温度差	夏期：+5 冬期：-3			
供給区域面積	25.4ha（2009.4.1現在）			
供給延床面積	278,450m ² （2009.4.1現在）			
供給建物	オフィスビル、住宅等			

図表 箱崎地区熱供給区域



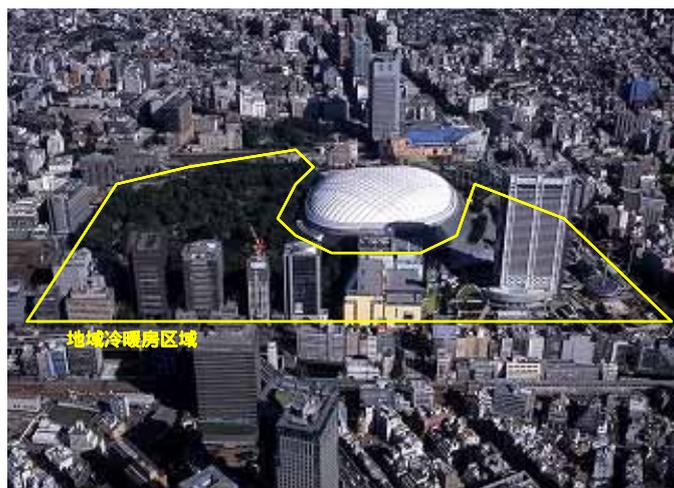
出典：（社）日本熱供給事業協会ホームページ（<http://www.jdhc.or.jp/area/tokyo/25.html>）

< 事例 > 後楽一丁目地区熱供給センター（下水）

東京下水道エネルギー株式会社は、日本初の未処理下水を利用した熱供給事業を行っている。未処理下水を電動ヒートポンプの冷却・熱源水に活用し、蓄熱槽と組み合わせて水道橋駅に隣接する業務商業地区に冷温熱を供給している。

図表 システム概要

供給開始	1994年7月1日
供給区域	東京都文京区後楽一丁目地区
主要設備	
ヒートポンプ	水熱源ヒートポンプ ×2台
	水熱源・熱回収型ヒートポンプ ×2台
	冷却容量 計 約11万MJ/h 加熱容量 計 約13万MJ/h
蓄熱槽容量	3槽
地域導管	温水管・冷水管各約800m
利用温度差	-
供給区域面積	21.6ha（2008.3.31現在）
供給延床面積	294,800m ² （2008.3.31現在）
供給建物	オフィスビル、ホテル、商業施設

図表 後楽一丁目熱供給区域

出典：「新エネルギーガイドブック2008」（2008, NEDO）

8.11.5 技術開発動向

温度差熱利用システムを構成する要素（冷凍機、熱交換器、蓄熱槽、ボイラ等）は基本的に既存技術が用いられている。導入にあたり大きな課題となっているのは、既存街区への導入の困難さや、高いイニシャルコストであり、物理的、経済的制約等により導入が進んでいないのが実状である。

他の未利用エネルギーを利用するシステムと同様に、熱源の不安定さから補助熱源が必要となるため、従来システムと比較してコスト高となることは避けられない。また、河川・海水に係る部分の設備費・メンテナンス費が追加的に必要となる。配管敷設など大規模な工事を必要とするため、既存の街区、建物への導入は困難であり、大規模な再開発計画等に合わせる必要がある。

システムの導入にあたっては、上記の物理的、経済的制約をクリアする必要があり、その上で、さらなる低コスト化、高効率化等の技術的アプローチが重要となる。

図表 8.104 温度差熱利用システムの主な技術課題

技術・課題		解決策・要素技術
低コスト化	開発・施工費の削減	<ul style="list-style-type: none"> 開発区域のコンパクト化 共同溝⁸¹の利用 土壌掘削費の削減（地中熱利用） 建物の支持杭（鋼管杭）の利用
	ランニングコストの削減	<ul style="list-style-type: none"> 機器のメンテナンス費の削減
高効率化	熱源機の高効率化	<ul style="list-style-type: none"> 高効率ヒートポンプ 高効率ターボ冷凍機
	配管熱損失の低減	<ul style="list-style-type: none"> 配管の断熱性能の向上 供給地と需要地のマッチング
	河川・海洋環境への対応	<ul style="list-style-type: none"> スケール・スライム対策
	適地の選定	<ul style="list-style-type: none"> 熱源のモニタリング
高耐久化	河川・海洋環境への対応	<ul style="list-style-type: none"> 熱交換器の腐食防止
運用・管理	生態系への影響	<ul style="list-style-type: none"> 海洋生物の付着防止 河川流況、水温変化、地中温度等のモニタリング

(1) 低コスト化

低コスト化に係る課題として、開発区域のコンパクト化、共同溝の利用、土壌掘削費の削減（地中熱利用）等が挙げられる。

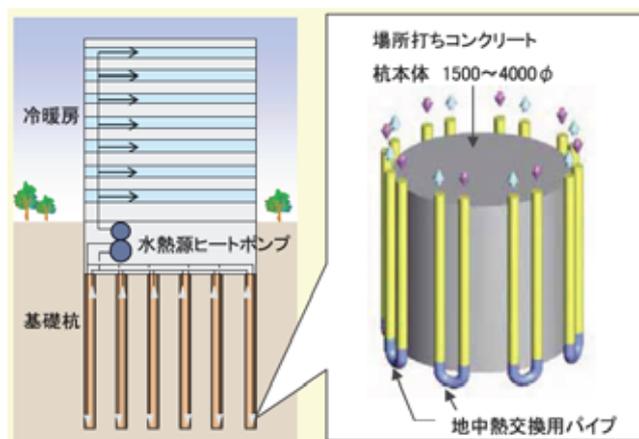
河川、海水等を利用した地域熱供給システムは、補助熱源や河川・海水に係る部分の追加的設備費用、メンテナンス費用が必要であり、従来システムより高コストになることは避けられない。その上でイニシャルコストを削減するためには、開発区域をコンパクトにし、配管

⁸¹ 電気、ガス、上下水道などのライフラインを地下に埋設する設備。

敷設コストの削減等を図る方策も考えられる。また、既存の共同溝内を利用することにより、配管敷設に係る工事費を大幅に削減することも一案である。しかしながらいずれも、熱源の立地に左右されるため、全ての事例において実施可能な対策ではない。

地中熱利用システムは、地中熱交換井の掘削コストが大きく、その削減が課題となっている。特に日本は地質が多様であることに加え、非常に崩壊しやすい地質が多いことから諸外国と比較して掘削コストが高く、欧米 3~5 千円/m に対し、日本においては 1~2 万円/m と、3~4 倍のコストがかかる⁸²。掘削コストを削減する取組みとして、建物の基礎杭を活用したシステムが提案されている（図表 8.105）。

図表 8.105 基礎杭を利用した地中熱空調システム



出典：「地球熱利用システム 地中熱利用ヒートポンプシステムの特徴と課題」（2006, NEDO）

(2) 高効率化

高効率化については、熱源機器の高効率化や、スケール・スライム対策、配管熱損失の低減等が挙げられる。

現在ヒートポンプは近年技術開発が進み、業務用冷凍機の定格 COP は 6 を超える水準に達している⁸³。数十年前の機器を使用しているプラントにおいては、最新機器の導入により大幅な効率向上が可能となる。しかしながら、経済性の高いビルマルチ方式等の普及に伴い、分散型システムに対する地域熱供給システムの競争力は低下する傾向にあり、特にコスト高となる未利用エネルギー源を用いた地域熱供給システムはコスト競争力を保つのが難しい状況にある。

配管熱損失の低減は、配管の断熱性能の向上が対策として挙げられるが、イニシャルコストを押し上げる要因にもなるため、注意が必要である。また、熱損失の低減には、熱の移動距離を短くする必要があり、供給地と需要地のマッチングが重要となる。

河川、海水等を利用するシステムについては、スケール・スライムの付着による熱交換効率の低下防止が重要となる。現在はスポンジボールやブラシなどによる物理的洗浄（図表 8.106、図表 8.107）のほか、薬品洗浄などにより対策が立てられている。

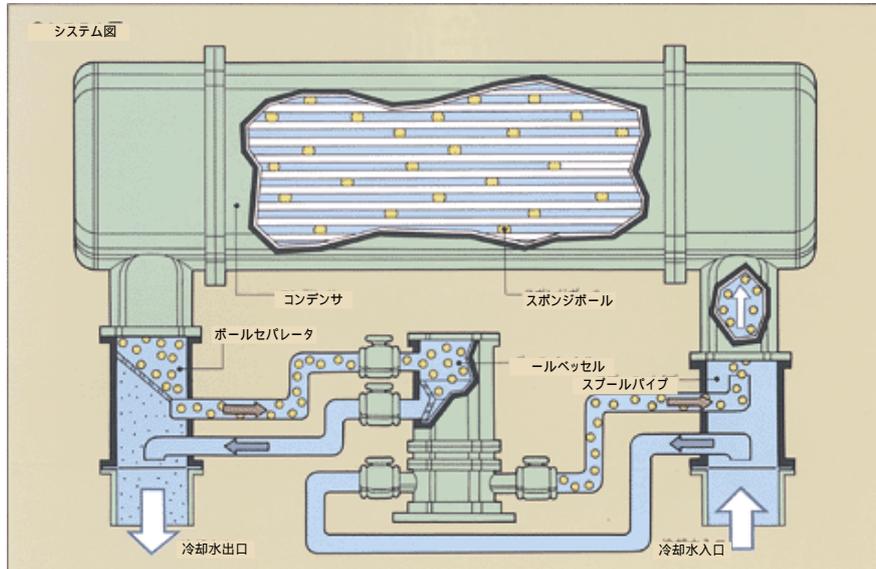
地中熱利用ヒートポンプについては、地中からの採熱量予測に基づき適切なシステム設計（地

⁸² 「地球熱利用システム 地中熱利用ヒートポンプシステムの特徴と課題」（2006, NEDO）

⁸³ 「ヒートポンプ・蓄熱システムデータブック 2009」（(財)ヒートポンプ・蓄熱センター）

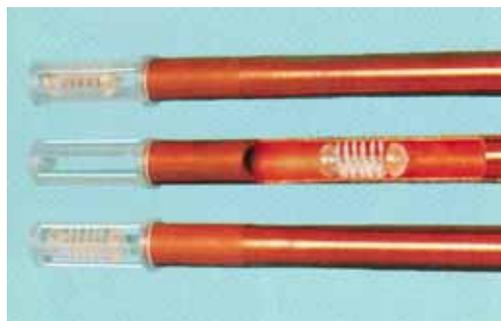
中熱交換井の本数、深さ等)を行うことが重要である。採熱量は、有効熱伝導率、熱抵抗などの特性を把握するサーマルレスポンス試験により予測される。

図表 8.106 スポンジボールによる熱交換器内洗浄の概要



出典：東芝キャリア株式会社ホームページ (<http://www.toshiba-carrier.co.jp/>)

図表 8.107 ブラシ式チューブ自動洗浄装置



出典：荏原冷熱システム株式会社 地中熱利用ヒートポンプシンポジウム資料 (2007)

(3) 高耐久化

河川水、海水等の温度差エネルギー利用システムは、熱交換器等の腐食対策が重要となる。一般的に、腐食対策としてはチタンを用いた熱交換器が用いられている。8.11.4 の事例に挙げたとおり、河川水等を利用した地域熱供給システムは既に 20 年近くの運転実績があることから、熱交換器の耐久性が普及阻害要因となることはない。しかしながら、チタンは非常に高価であり、イニシャルコストを押し上げる要因となっている。

地中熱利用システムについては、熱交換器は半永久的 (耐用年数 50 年レベル) に使用可能であり、耐久性に関しては普及要件を満たしている。

(4) 運用・管理

河川、海水等を利用する場合には、水中の浮遊物や海洋生物の処理が必要となる。河川水を

8 その他の再生可能エネルギー等の技術の現状

利用している東京都の箱崎地区熱供給プラント（P525）では、取水時に大きな浮遊物・海洋生物等を金網等で取り除いた上で、残りをオートストレーナで粉碎し、そのまま熱交換器に通している。熱交換器に直接河川水・海水を接触させるシステムの場合は必ず必要な設備であり、追加的コストとなっている。

その他、環境影響評価についても考慮する必要があるとあり、河川流況や水温変化、地中温度等のモニタリングが必要となる。