特　集

未利用エネルギーの技術展開

未利用エネルギー利用技術の現状と今後

Current State and the Future on Effective Usage of Unutilized and Recycled Thermal Energy

田 中 耕 太 郎 *

1．はじめに

「未利用エネルギー」という文字は最近あまり新聞ニュースなどのメディアで見かけない．「環境」「再生可能エネルギー」といったより大きなキーワードの影に隠れてしまっている感がある．しかし，未利用エネルギーに分類される，河川水，下水熱，各種焼却熱，工場排熱等の利用技術は着実な進展をみせており，具体的な施設への導入例も数多くでてきている．未利用エネルギーが将来における新エネルギーのなかで重要な柱の一つとして期待されていることは，すでに広く認識されているところである．

最近10年の未利用エネルギーの利用実績は，後述するが大きく進展している状況とはいえない．しかし，将来を見れば環境問題やエネルギー原料価格の高騰などの影響により，未利用エネルギー利用の実績は大きく伸びることが予想できる．さらに新たな技術を導入することにより，未利用エネルギーはその対象とする範囲を変革させ，さらに広がりを見せるエネルギー領域である．

今回の特集では，「未利用エネルギーの技術展開」に注目して，今後の未利用エネルギーの利用に大きく貢献することが期待できる6件の新技術が解説されている．これらの新技術は，いずれもそれ自身だけで次世代エネルギー技術として数多くの応用・実用化技術と結びついているものであるが，ここでは，これらの新技術と未利用エネルギーとの関連性，特に温度差利用と熱輸送・貯蔵の2つの面を考える．これらは未利用エネルギーの将来にとっての大きなブレークスルー技術である．

未利用エネルギーは，そのままではエネルギー価値が低いため使われていないエネルギー源である．エネルギー価値が低い理由は，温度差が小さいことによる低密度性，使用する場所が離れているなどの小規模分散性，時間的な変動性が原因である．本解説では，未利用エネルギーの種類と現状，さらにエネルギー価値を高めるための新技術と問題点などに関して概説する．

2．未利用エネルギー利用の現状

未利用エネルギーに分類される技術は正確に確定していない面もあるが，経済産業省の総合資源エネルギー調査会新エネルギー部門の資料によると最近の動向は表1[1,2]のように報告されている．ここで未利用エネルギーは，例えば河川水や下水道の熱など外気と温度差がある熱エネルギーの利用であり，また季節間の蓄熱を利用する雪氷冷熱の利用等を含んでいる．表1の統計値では雪氷冷熱を含んでいる値で示されている．

表1より未利用エネルギーの実績と目標値は，原油換算で約5万klであることがわかる．他の新エネルギーと比較すると，エネルギー量の実績・目標値ともに小さい値である．

未利用エネルギーに分類されるエネルギー量は基本的に小さいものなのであろうか？将来的にも大き

表1　新エネルギーの実績と導入目標[1,2]

単位：原油換算　万kl

	1999年度実績	2005年度実績	2010年目標
太陽光発電	5.3	35	118
風力発電	3.5	44	134
廃棄物発電＋バイオマス発電	121	252	586
太陽熱利用	98	61	90
廃棄物熱利用	—	149	186
バイオマス熱利用	—	142	308
未利用エネルギー	4.1	4.9	5
黒液・廃材等	457	470	483

2010年目標値は追加対策ケースの値である．
未利用エネルギーには雪氷冷熱を含む．

* 芝浦工業大学機械工学第2学科　教授

なエネルギー量は期待できないのであろうか？未利用エネルギーに分類されるエネルギー量の理論的賦在量が報告されている．その報告[3]による限界潜在量は国内で300万klである．現実的な利用可能量はこの理論的賦在量の50％あるいは30％と条件がつけられているが，未利用エネルギーの潜在的エネルギー量は十分大きいといえる．この賦在量の計算条件は，全国都市再開発事業計画を基に想定される将来の導入潜在地区において，次の基準と統計値[3]の合計として示されている．

①温度差エネルギー　206万kl
　熱量的に輸送可能なすべての需要地半径1km圏内の温度差エネルギー（下水処理場，河川，海）の活用

②排熱利用エネルギー　94万kl
　熱量的に輸送可能なすべての需要地（ごみ焼却場，工場の場合は半径2km圏内）の排熱利用エネルギー（ごみ焼却場，工場等）の活用

3．温度差エネルギー

温度差エネルギーは主に河川水や海水などを熱源とする方法である．河川水や海水の温度は，夏季は大気温度より低く，冬季は逆に高いという性質がある．しかしそのままでは利用価値が低いため，ヒートポンプの冷･温熱源として利用する方法が一般的である．通常の外気空気を熱源とするシステムと比較して，昇温度幅は小さくなり，動作係数が高くなることによる省エネルギー効果が期待できる．

河川水を利用するシステムとして例えば，東京の箱崎地区の施設が1988年の日本最初のシステムとして有名である．この施設では隅田川の河川水を利用している．水熱源を回収するヒートポンプとターボ冷凍機，さらに地域内には13の蓄熱槽があり，その合計容量は8500m³である．温冷熱の供給先はオフィイスビルと集合住宅で，45℃程度の温水と7℃の冷水を供給している．図1はこのような温度差エネルギー施設の一般的な構成例を示している．電動ヒートポンプ＋蓄熱槽に加えて，蒸気ボイラー＋蒸気吸収冷凍機など，地域熱冷供給では幅広い温度出力に対応可能としている例が多い．

このような河川水を熱源とする施設は全国で5ヵ所，海水を熱源とするものは4ヵ所，地下水は2ヵ所が設置されている[4]．下水処理水の利用も特に都市部において潜在的熱量があるといえる．下水処理水は排熱利用エネルギーともいえるが，利用できる温度は温度差エネルギーとほぼ同等である．河川水と比較すると利用可能温度幅は小さく，また下水処理水の温度は20℃から25℃と多少高い．したがって冷房よりヒートポンプ熱供給の熱源として有利である．

その他，排熱利用エネルギーに属するが温度差エネルギーと同様の低温度差で利用されるものは，地下鉄，地下街，地中送電線，変電所などから発生する熱利用がある．

温度差エネルギーをヒートポンプ等の熱源に利用すると，従来の空気を熱源とするヒートポンプシス

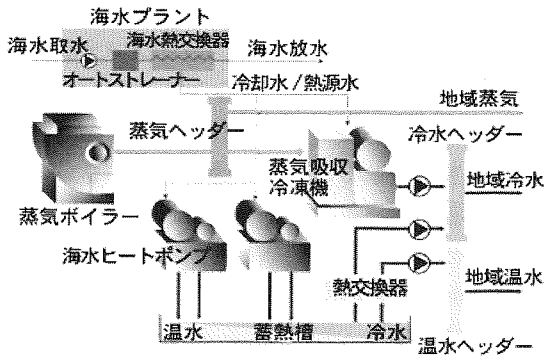

図1　温度差エネルギー利用システムの構成例[4]

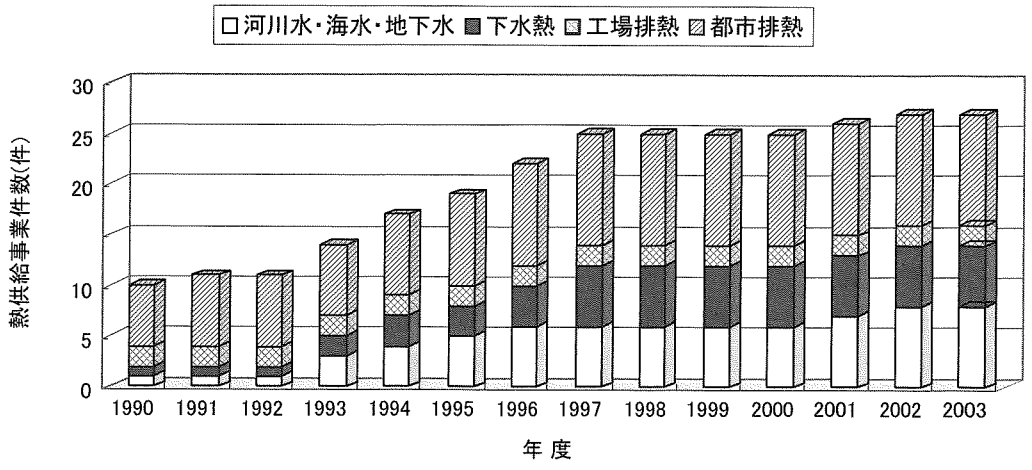

図2　未利用エネルギー活用の熱供給事業件数の推移[3]

テムと比較して一次エネルギー量は10～30％程度，ボイラーシステムと比較すると20～40％程度の削減率が期待できる．同程度のCO_2排出量の削減も期待できる．また冷却塔が不要となり，大気に直接熱を放出しないので都市部ではヒートアイランド低減効果が期待できる点も特徴である．

一方で，図2は1990年以降の熱供給事業の件数の推移を示したものであるが，1997年以降新たな伸びのないことが理解できる．都市部では地域再開発が進み，特にウォーターフロント地域では多くの大規模集合住宅･商用ビルが建設されている．これらの地域では，集中的な地域冷暖房施設が運用されており，その数は東京だけでも現在66ヵ所の施設が稼働している．これらの施設の中には河川水･海水が近くに存在するものもあるが，温度差エネルギーを熱源とする利用は進展していない．

温度差エネルギーの利用が進んでいない理由は，単純にコストにあるといえる．単位熱量あたりのコスト比較に関して，NEDOホームページ[3]よると，冷凍機（容量700ＲＴ）は，熱回収型は通常のターボ冷凍機の1.3倍，温水吸収ヒートポンプは貫流式ボイラーの約3～4倍と報告されている．さらに河川･海水から熱供給施設までの間と，熱供給施設と需要地までの間の熱輸送管コストが加算される．エネルギー熱量あたりのコスト（熱単価）は施設条件によりかなり差があるが6円～10円/MJである．全国で稼働している大小施設の中で約1/3の施設では7～8円/MJである．この熱単価は都市ガス料金約3円/MJと比較すると約2～3倍に相当する．

温度差エネルギーの普及を進めるための技術課題は，高性能で安価な熱交換器の開発，ヒートポンプ･冷凍機の高性能化と蓄熱機能，作動温度の多様化などの付加価値の向上にあるといえる．例えば，熱交換器に関しては，省資源化を意識した製品も開発されてきている．図3に示す熱交換用フィン（右側）は，フィン部を極端に薄くしても性能低下のない省資源タイプの熱交換フィンである．また新たなケミカルヒートポンプ技術の導入による蓄熱機能と温度多様化，また後述の熱輸送技術が温度差エネルギー利用の進展に関係する将来技術といえる．

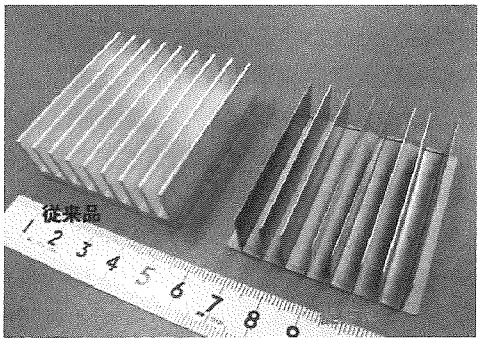

図3　省資源タイプの熱交換フィン[5]

4．排熱利用エネルギー

排熱利用エネルギーの中ではごみ焼却熱の利用が現在もっとも実用化面で進展している．その理由は，比較的高温で大量に発生する熱が利用可能なためである．ごみ焼却熱を地域熱供給や発電に使用すれば，その分は直接的に一次エネルギー削減に寄与できる．温水プールや清掃工場周辺の地域熱供給に利用する方法，ならびに最近導入が進んでいるごみ発電による方法がある．

通常のごみ発電では，焼却排ガスに含まれる腐食性ガスの影響を避けるため，熱交換によるタービン用蒸気温度は300℃以下に押さえられている．そのため発電効率は10～15％が限界である．

最近はスーパーごみ発電と呼ばれる技術が実用化されている．これはガスタービンなどのシステムと組み合わせて蒸気温度をより高温にする方法である．例えば，ガスタービン複合タイプと呼ばれる方法は，ガスタービン高温排熱を利用して350～400℃程度まで加熱して水蒸気タービンに導入するシステムである．発電効率は25～35％まで改善される．その他，蒸気加熱に単純に追いだきを行う方法，蒸気噴射型と呼ばれるガスタービンだけで発電を行う方法，併置ガスタービンとごみボイラーの蒸気を結合させて蒸気タービンに導く方式などがある．ごみ焼却場は全国に数多く存在している．熱需要が近隣(2km)にない場合，現在技術では発電によりエネルギーを輸送する方法が適しているといえる．

5．今後の未利用エネルギーの新技術

温度差エネルギーと排熱利用エネルギーの今後の利用拡大を考えると，新たな開発は次の技術がポイントと考えられる．

1) 熱エネルギー輸送技術：中規模である程度温度差のある熱源は熱回収地から需要地まで移動して熱源として利用する．
2) 小規模で温度差がある熱エネルギーによる発電技術：小型でも効率低下のない低コスト発電方式．
3) 蓄熱・多様な熱入出力機能のヒートポンプ：低温度差の温度差エネルギーは蓄熱・多様な熱出力形態を可能として付加価値を向上させる．自然エネルギーとの複合化等も有望な方策といえる．

現在進展しているごみ焼却場の熱利用以外の未利用エネルギーは，①熱源の規模は大きいが温度差が小さい，あるいは②温度差はある程度あるが熱源規模が小さい，または変動が大きい場合である．これらのブレークスルー新技術は，①には前述の3）の技術が，②には1）と2）の技術が対応する．

①に関してどの程度の温度差があると発電システムとして普及が進む可能性があるのであろうか．極めて小さな温度差を利用して発電する技術として海洋温度差発電がある．深海海洋水の温度と表面温度差は水深1000mの海水温度を5℃，表面温度を約24－30℃程度とすると温度差として最大で25℃程度が得られる．海洋温度差発電の場合，熱源規模は大きく，通常の発電方式と比較して燃料費がかからない装置費だけの場合といえる．温度差25℃は現在技術の発電温度差の限界といえる．

未利用エネルギーに分類される中で25℃以上の温度差が可能であるのはごみ焼却場と工場排熱であり，温泉水利用は少し可能性がある．その他の熱源は発電には向かないといえる．先に述べたヒートポンプによる地域熱供給，雪氷蓄熱による冷熱利用，また今後は都市部だけでなく農業用としての温室栽培，水産養殖などへの熱供給システムが進展するといえる．太陽熱や風力などの自然エネルギーとの複合化システムの可能性は大いに検討の必要がある．

②の熱源規模が小中規模であるもの，変動するものは工場排熱が相当する．省エネルギーセンター調査の結果[6]を表2に引用する．全国排熱量は約27万Tcal/yと大きな可能性を報告している．温度域に関しては，ガス100℃，温水40℃，固体排熱200℃以上の排熱量である．より利用価値の高いガス250℃，温水80℃，固体排熱200℃以上とすると5.7万Tcal/yと全体排熱量の1/5になると報告されている．

表2　各業界からの排熱エネルギーの特徴[6]

電力	150℃以下の低温ガス排熱部分が約95%と圧倒的な割合を占めている.
化学	150～200℃の比較的回収のしにくい低温のガス排熱部分が45%と半分程度を占めている. 排熱は比較的に全温度範囲に分布している. また, 40～60℃の低温排水もかなりある.
鉄鋼	200℃までの比較的回収のしにくい低温ガス排熱が50%弱と大きな割合を占めていると同時に350℃までの回収利用しやすい高温排熱もかなりある. また, 500℃以上の固体排熱がかなりある.
清掃	150～300℃の排熱が多いことおよび蒸気排熱の多いことが特徴である.
窯業	150℃までの低温ガス排熱が40%弱と大部分を占め, 低温排水もかなりある.
紙パ	150℃までの低温ガス排熱が大部分を占める.
石油	150～200℃の比較的回収のしにくい低温排熱部分が多い.

1）の熱輸送用の新技術に関しては，NEDOのエコエネプロジェクト[6]により多くの新技術開発が進展した経緯がある．メタノール系と水素系利用，また今後は吸着系のケミカル長距離輸送技術がどこまで実現可能か進展を見守る必要がある．また本特集にある蓄熱材のタンクローリー輸送，さらにタンカー利用なども今後有望といえる．2）の変換技術に関しては，機械的な熱機関ではなく，熱電発電や熱再生型電池技術などの規模に依存しない直接発電素子の高度化が大きなブレークスルー技術といえる．

以上述べたように，未利用エネルギー利用は身近にあり，今後より大きく活用すべき状況になってきているといえる．コスト的制約を乗り越えて第一段階の温度差エネルギーが活用され，その後の新技術による排熱エネルギー利用が第二段階として進むと予想できる．新エネルギー技術の中でも技術的な飛躍が少なく，着実な進展が今後期待できるといえる．

参考文献

(1) 新エネルギー部会報告書，経済産業省総合資源エネルギー調査会　新エネルギー部門，(2001.6)
(2) 2030年のエネルギー需要展望，経済産業省総合資源エネルギー調査会，需要部会，(2005.3)
(3) NEDO技術情報データベース
http://www.nedo.go.jp/nedata/17fy/index.html
(4) (社) 日本熱供給事業協会ホームページ
http://www.jdhc.or.jp/
(5) 水谷電気工業（株)「エコヒートシンク」カタログより
(6) (財) 省エネルギーセンターホームページ
http://www.eccj.or.jp/index.html

筆者紹介

田中耕太郎（たなか　こうたろう）
慶応義塾大学大学院工学研究科学位取得．工業技術院電子技術総合研究所，（株）荏原総合研究所，静岡理工科大学を経て，現在，芝浦工業大学機械工学第二学科・教授．