総 説

未利用エネルギーの技術課題

(キーワード 未利用エネルギー, 国家研究開発プロジェクト)

— 1990.12.14 受理 —

通商産業省資源エネルギー庁 元 橋 一 之

1. はじめに

わが国の未利用エネルギーを活用した熱供給システムについては、極めて小規模であったり、安定かつ大量の熱源が熱需要密集エリアのごく近傍に存在する等、極めて例外的な場合に限定されているのが現状である。これは、現状の技術レベルでは、大規模な未利用エネルギー源が存在しても近隣に大規模な需要家が存在しない場合や大規模な需要家が存在しても十分に活用できる未利用エネルギーが存在しない場合には、未利用エネルギーを活用した地域熱供給システムが成り立たないケースが多いからである。

本稿では、今後、大規模な未利用エネルギー活用システムの導入推進を図っていくために解決すべき技術的課題およびその1つの解決策として、現状の地域熱供給システムに使用される熱源機器等に関する技術を更に発展させ、低レベルエネルギーである未利用エネルギーを有効に活用する観点から、一層の効率性の向上および利用可能熱源の飛躍的拡大を目途とした次世代の未利用エネルギー活用システム技術開発プロジェクトの紹介を行う。

2. 未利用エネルギー活用のための技術の現状と課題

(1) 排熱回収技術

① 現 状

- 通常のプレート型熱交換器で、電熱効率 (K 値 ($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$)) は $1,000 \sim 1,200$ 程度。イニシャルコストは、 $3 \sim 5$ 万円/ m^2 程度。

- ムーンライト計画で開発中のステンレス製プレートフィン型熱交換器は、K 値が $1,300 \sim 1,350$ 。イニシャルコストは、十数万円/ m^2 程度。

② 課 題

- 河川水、海水等腐食性のある熱源水を使用する場合でも、効率性を損なわない熱交換器の開発が重要。
- コストの低下も重要。

③ 対応方法

- 量産化することによりコストを低減化し導入を促進する。
- また、付着物を削り取ったり、洗浄が容易であるなどの工夫が重要。

(2) 蓄熱技術

① 現 状

- 冷水蓄熱： $5 \sim 10^\circ\text{C}$
 - 熱回収率 $40 \sim 90\%$
(断熱材の有無で変化)
 - 容積 $480 \sim 12,400 \text{ m}^3$
 - 蓄熱能力 1 kcal/kg
 - イニシャルコスト $1.5 \sim 2$ 万円/ m^3
- 熱源水蓄熱： $10 \sim 45^\circ\text{C}$
- 温水蓄熱： $45 \sim 50^\circ\text{C}$
- 氷蓄熱： 0°C (氷充填率 50%)
 - 熱回収率 98% (計算値)
 - 容量 300 m^3
 - 蓄熱能力 45 kcal/kg
 - イニシャルコスト 10 万円/ m^3

- 化学蓄熱槽は、物質の化学反応に伴う熱の出入りを利用して、温熱蓄熱または冷熱蓄熱を行う方式。現在、ムーンライト計画で開発中であり、熱回収率 75% 以上が目標。

② 課 題

- 温水・冷水・熱源水蓄熱は、熱供給を行うだけの大規模なものの開発が必要。
- 氷蓄熱は、潜熱を利用するものであり、水と比較して単位容量当りの蓄熱量が大きく、蓄熱容積を氷蓄熱の場合の1/5～1/10にすることが可能。しかしながら蓄熱する際に $-8 \sim -10^{\circ}\text{C}$ の冷媒を作る必要があり、COPが低下。また、冷媒の通るパイプの回りに氷が付着するため、熱交換率が低く、氷充填率が低くなり、冷熱の回収時の効率が低い。
- 化学蓄熱槽については、まだ、実用化されていない。また、現段階では、容量が小さい。

③ 対応方法

- 氷蓄熱、水蓄熱を行うための、大規模な蓄熱槽の開発。日本では、スペースの観点から、地下に大規模蓄熱槽を設置することが考えられる。そのための、大深度利用技術の開発が必要。
- 氷蓄熱については、熱回収率を向上するため、以下の技術開発が必要。
- 直接接触式冷却蓄熱：ヒートポンプの冷媒に直接水を接触させる方式。スラリー状の水ができ、蓄熱槽の殆どが氷で占められるため、蓄熱容量が大。また、熱交換が不用であるため、冷媒を 0°C にすればよく、現状の水蓄熱に比してヒートポンプのCOPが向上。さらに、スラリー状であるので、融解潜熱を効率的に回収。
- スーパーチャージ：水を過冷却状態にして、蓄熱する方式。液状のままであるので、氷蓄熱に比較して、熱の蓄積、回収が容易。しかし、冷媒を -15°C にする必要があり、ヒートポンプのCOPがさらに低下。
- クラスレート蓄熱：水に少量の有機媒体等を混合した蓄熱材を用いる方式。スラリー状のクラスレートができ、融解熱は氷と同程度であり、蓄熱槽に高濃度で蓄えることができるため蓄熱容量が大。さらに、融解温度が 7°C 付近であるため、ヒートポンプのCOPが向上。
- スラリー状にして蓄熱する方式の場合は、そのまま、輸送することが可能であり、大規模な蓄熱槽を建設せずに、地域配管の中に貯蔵することが可能。そのための技術開発が必要。
- 化学蓄熱については、以下の技術開発が必要。

○ 高温蓄熱：出力温度 $80 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 、蓄熱能力 50kcal/kg 以上

○ 冷熱蓄熱：出力温度 10°C 以下、蓄熱能力 30kcal/kg 以上

これらの技術開発を促進すると共に、実際に使用するためには、大容量の蓄熱槽の開発が必要。コスト低減のため、量産化が必要。

(3) ヒートポンプ技術

① 現 状

• 圧縮式ヒートポンプ：COP 3～5
コスト 10万円/冷凍トン ($3,024\text{kcal/h}$)
(85°C 温水製造用のヒートポンプは約 30万円/冷凍トン)

• 吸収式ヒートポンプ：COP 1.3～1.6
コスト $5 \sim 6\text{万円/冷凍トン}$

② 課 題

- COPを向上させることが必要。
- また、吸収式ヒートポンプについては、より低温で作動するための技術開発が必要。

③ 対応方法

• 圧縮式ヒートポンプのCOP向上のための技術開発

○ 温熱 (45°C) : COP 6

○ 冷熱 (7°C) : COP 7

(ムーンライト計画でこのCOPを目標に開発中。スクリュウ圧縮機、非共沸混合媒体、2段エコノマイザーシステム等の新技術を採用。)

• 温熱 (85°C) : COP 8

(ムーンライト計画でこのCOPを目標に開発中。しかしながら、 50°C からの昇温を設定しており、未利用エネルギーの活用には、 $15 \sim 25^{\circ}\text{C}$ から 85°C まで昇温する必要があるが、この場合、本技術ではCOPは5程度となる。)

• 吸収式ヒートポンプのCOP向上のための技術開発

○ 新サイクル、作動媒体、多重効用化、空気熱源化等の開発による高効率化

• 低温熱源利用吸収式ヒートポンプの開発

○ 作動媒体、新サイクルの開発

• COPを向上させた機器の量産化によるコスト低減

(4) 配管敷設技術

① 現 状

- ・東京23区の場合、配管敷設費が300万円／mになることもある。
- ・一般には、数十万～百数十万円／m

② 課 題

- ・未利用エネルギーの活用は、建築物の密集している都市部がその対象となっており、そのような地域は地価が高く、配管敷設費も割高。
- ・従って、コストが低い配管敷設方法の開発が必要。
- ・熱源水をループ状に都市部に搬送する場合、汚染水等腐食性の強い水を搬送することになるため、耐腐食性の配管が必要。

③ 対応方法

- ・シールド工法等トンネル方式による配管工事の導入。（距離が長くなるほど、トンネル方式の方が有利）
- ・熱源水を搬送する場合は、その量も多いことから、銅製の配管ではなく、コンクリート製のトンネルを使用する技術の開発。

(5) 標準化

- ・共通の蓄熱槽、熱源水を用いる場合は、採取熱、排出熱の温度を揃える必要があり、仕様が似ている機器を用いることとなる。そのため、機器の標準化を行い、コストの低減化を図る。

(6) システムの高効率化

- ・個々の要素技術の開発だけでなく、各種技術を用いたシステム全体としてのデモプラントを製作し、その実証を行うことが必要。

3. 未利用エネルギー高度活用負荷平準化

冷暖房技術開発プロジェクトについて

資源エネルギー庁公益事業部においては、前述した技術課題とその対応策も踏まえ、未利用エネルギー高度活用と電力需要の負荷平準化に資する技術開発プロジェクトを検討しているところである。

地域熱供給システムは、大規模に熱（冷熱を含む）を製造する熱プラント、需要家に対して熱を供給するための熱供給システムおよび全体システムを最適に計画・運転するためのソフトウェアで構成されるが、本技術開発プロジェクトにおけるそれぞれの部分について、技術開発の内容を以下

に示す。

(1) 未利用エネルギー対応熱供給プラント技術開発

未利用エネルギーは、海水、河川水、下水処理水等の比較的低温レベルのものとゴミ焼却場の廃熱等の比較的高温レベルのものに大別することができる。これらの温度レベルによって、技術開発要素が異なるため、低温、高温それぞれの未利用エネルギーを有効に活用するための要素技術開発を行うこととする。

① 低温未利用エネルギー活用熱プラント要素技術

（排水対応高効率熱交換器）

下水処理水等の排水に対応し、高効率に未利用エネルギーを熱交換するために連続的に汚物を除去することが可能なストレーナの開発、間欠オゾンーションによる効率的な殺菌技術の開発、大規模で高効率に熱交換を行うためのプレート型熱交換器の開発を行う。

（高密度熱輸送システム）

熱源と熱プラントおよび熱プラントと需要家の間で遠距離熱輸送を実現する、カプセル状の新型媒体の潜熱を利用した高密度熱輸送システムを実現するために、熱源水の温度等において相変化する新型媒体の研究、新型媒体やスラリー氷のカプセル製造技術の開発、高密度熱交換技術の開発等を行う。

（未利用エネルギー対応高効率スクリュース式ヒートポンプシステム）

低温未利用エネルギーの昼夜間、季節間等における温度変化に対応して、高効率に熱を製造する通年効率のよいヒートポンプシステムを構築するために、スーパーヒートポンププロジェクトの成果であるスラスト相殺型スクリュース式コンプレッサーや非共沸混合冷媒等の技術を有効に活用し、更に、混合冷媒の組成制御や直接接触式熱交換技術等の開発を行う。

② 高温未利用エネルギー活用熱プラント

（未利用エネルギー対応高効率トッピングシステム）

従来より、蒸気タービン駆動ターボ式冷凍機の復水を1重効用吸収式冷凍機の駆動熱源として、利用するトッピングシステムは導入されているが、

図1 未利用エネルギー—高度活用負荷平準化冷暖房技術開発

（システム図）

図2 低温未利用エネルギー活用熱プラント

（システム図）

図3 高温未利用エネルギー活用熱プラント

図4 小流量地域暖冷房・熱回収システムの概念図

ゴミ焼却場におけるゴミ発電の廃蒸気等の低圧（10kgf 程度）でかつ圧力変動がある蒸気を用いて、高効率運転が可能なタービン駆動ターボ式冷凍機と低圧蒸気（2 kgf 程度）で駆動する2重効用吸収式冷凍機を組み合わせた未利用エネルギー対応の高効率トッピングシステムを開発する。また、吸収式冷凍機については、冬場にヒートポンプとして利用するため、冬場の河川水等を熱源水として利用することが可能なヒートポンプの開発を併せて行う。更に、従来型のトッピングシステムが需要側の負荷追従性に欠けていたところを、今回のシステムにおいては、あらたなシステム制御を行うことによって改良する。

（廃熱駆動冷凍機）

60℃程度の温水で駆動する吸収式冷凍機を開発し、未利用エネルギー対応高効率トッピングシステムの温排水の有効活用を図る。

（都市型大規模蓄熱槽）

都市部における大規模地域冷暖房システムに対応した省スペース型で大規模蓄熱を可能とする縦長円柱型の地下蓄熱槽を建設するために必要となる施行技術、保安技術等の開発を行う。

（2）小流量高効率熱供給システム技術開発

現状の地域熱供給システムにおける需要家側への熱供給形態は、温水又は冷水の行き回りの温度

差を7度程度としているが、この温度差を30度程度とすることによって、以下の抜本的な効率性の向上が図られる。

- ・同一熱量を供給するための水量が少なくなることによる送水ポンプ動力の節減
- ・ヒートポンプによって従来より低温から昇温することになることによる温度損失の減少

このような小流量で高効率な熱供給を実現するために熱供給の戻り温度差を大きくするための高性能ファンコイルの開発、需要家側の廃熱を回収するシステム、戻り配管の温度レベルに応じて、システム全体を最適運用するためのシステム制御技術等の開発を行う。

（3）未利用エネルギー活用高度システム技術開発

未利用エネルギーを有効に活用し、電力負荷平準化に資する地域熱供給システムを構築するために必要となる最適設計プログラム、実際にプラントを最適運転するためのプログラムおよび最適性を検証するためのシミュレータの開発を行うとともに、本技術開発の成果のシステム化に関する研究を行う。

（4）研究開発計画

平成3年度から平成9年度まで、7年計画で総額150億円の資金を投資し研究開発を行う。開発スケジュールについては表1のとおり。

図5 プラント最適計画・運転システム

表1 研究開発計画

	3	4	5	6	7	8	9
低温未利用エネルギー活用熱プラント要素技術	調査・設計		開発			実	証
高温未利用エネルギー活用熱プラント要素技術	調査・設計		開発			実	証
小流量高効率熱供給システム	調査・設計		開発			実	証
最適プラント計画・運転システム	設計・開発		開発			実	証

(5) 技術開発の省エネ効果に関する試算

本技術開発プロジェクトの成果物である熱源機器を使用した際の熱供給システム全体としての省エネ効果を試算したところ、表2のとおり。

4. ま と め

この技術開発プロジェクトは、産・官・学が一体となって、次世代の大規模・高効率未利用エネルギー活用システムを目指したものであるが、未利用エネルギーの推進にあたっては、他にも解決すべき技術的課題が山積しているのが現状である。

表2 省エネ効果の試算

(省エネ効果) 44%

	熱供給事業者設備			需要家設備
	熱回収設備	プラント	供給設備	送水ポンプ
動力比(①)	5/100	35/100	10/100	50/100
個別省エネ率	—	37.5%(②)	50%(③)	50%(④)
全体省エネ率 (合計 44%)	—	14%	5%	25%

(注)

- ①：東京電力箱崎地区熱供給における投入エネルギーの比率
 ②：熱源負荷対応ヒートポンプシステムを活用 (COP2.5→4)
 ③：高密度熱輸送システムを活用 (熱媒体の高密度化により送水動力半減)
 ④：新型熱供給システムを活用 (小型量化による送水動力半減)

いずれにしても、当庁としては、今後、未利用エネルギー活用システムの推進を図るために必要となる技術的な問題点に対して、関係各者と一体となって取り組んでいくこととしている。

Technological Needs for Utilizing Unused Energy

Kazuyuki MOTOHASHI

(MITI)

SYNOPSIS : — In order to increase efficiency in utilizing unused energy such as heat from incinerators and subways, it is necessary to develop technology in the field of recovering, storing and carrying thermal energy.

From this viewpoint, MITI is planning national R&D project on high-efficiency system for transforming and supplying thermal energy, deep underground thermal storage technology, improvements in the temperature-boosting technique and so on.

Key Words

Unused energy, National R&D project