

工場排熱等の有効活用による 二酸化炭素排出削減について —PCM（潜熱蓄熱材）を用いた熱輸送—

開発監理部開発調査課 ○渡部成人

夏堀晋治

株式会社日本製鋼所 中村 諭

現在、地球温暖化対策は国際的重要課題であり、国全体で二酸化炭素(CO₂)排出削減に向けた取組の推進が重要となっている。こうした中、北海道は、積雪寒冷の気候特性から冬期の暖房用エネルギー需要が国内他地域と比較して大きく、家庭から排出されるCO₂が多い。他方、工場排熱等低・未利用の熱資源が北海道内各地に賦存しており、こうした熱の有効活用により、CO₂排出量削減に資する可能性がある。

本発表では、工場排熱等を潜熱蓄熱材(PCM: Phase Change Material)に蓄熱し、運搬・供給する際の技術的課題及び普及に向けた課題の抽出、排熱等を有効活用した北国の居住形態の提案までを報告する。

キーワード：省エネルギー、エコロジー、まちづくり、住民参加・産業振興

まえがき

地球温暖化が急速に進んでいる中、2005年には京都議定書が発効し、温室効果ガス削減が国際的に進められている。昨年9月には、国連総会において、鳩山首相が1990年比25%の温室効果ガス排出削減を表明するなど、あらゆる手段を尽くして温室効果ガス排出削減に取り組むことが喫緊の課題となっている。中でも地球温暖化に最も影響を及ぼすCO₂(地球温暖化寄与度60%)の削減が重要な課題となっている。本発表では、産業活動の副産物である排熱の有効活用を通じて北海道の家庭からのCO₂排出削減の可能性を報告するものである。

1. 二酸化炭素排出量の現状

全世界の温室効果ガス排出量はCO₂換算で、273億t-CO₂であり、米国(21.1%)、中国(20.6%)、ロシア(5.7%)、インド(4.6%)に次ぎ、我が国は5番目(4.5%)の排出国となっている(2006年)。我が国の平成20年度の温室効果ガスの総排出量は、12億8,600万トン(CO₂換算)で、その約95%にあたる12億1,600万トンがCO₂である。

表-1のとおり北海道で排出されるCO₂は全国比約5%であるが、一人当たり排出量は11.4t-CO₂であり、全国平均を14%上回っている。この数値は、産業、運輸部門等を含んだ数値であり、図-1のとおり民生(家庭)

部門のみを比較すると、全国平均の約2倍のCO₂を排出している状況にある。

表-1 2006年度における二酸化炭素排出量と一人当たり排出量

区分	北海道	全国
二酸化炭素排出量	6,380 万t-CO ₂	127,400 万t-CO ₂
一人当たり	11.4 t-CO ₂ /人	10.0 t-CO ₂ /人

出典：北海道「2006年度北海道の温室効果ガス排出実態について」

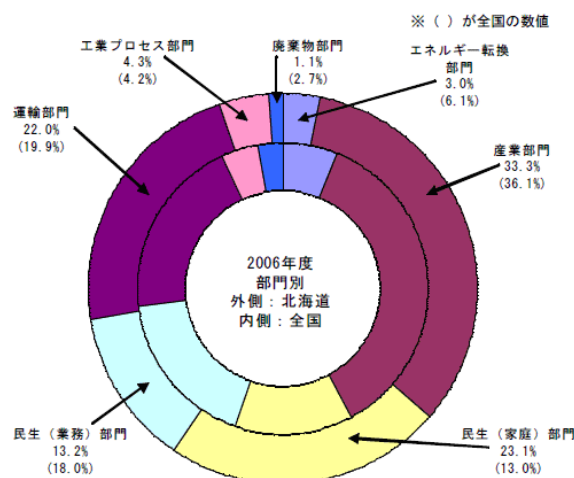


図-1 北海道と全国の部門別二酸化炭素排出量

出典：北海道「2006年度北海道の温室効果ガス排出実態について」

2. 排熱賦存状況とエネルギー政策における位置づけ

(1) 産業排熱の賦存状況

温室効果ガスのうち排出量が圧倒的に多く、地球温暖化寄与度の高い CO₂ 排出削減に向けた取組は、エネルギー効率向上による省エネルギーの推進と、新たな技術を用いた新エネルギー開発による代替の両面で進められている。こうした中、産業活動に伴う工場排熱は、これまで一部が発電等の用途で活用されているに過ぎず、ほとんどが捨てられてきたのが現状である。省エネルギーセンターの資料によると、平成 12 年度の全国の排熱賦存量は、約 1,138PJ (ペタジュール) であり、200°C以下の比較的低温域の熱量は約 809PJ で、7 割以上を占めている。北海道内の産業排熱賦存量は、約 38PJ であり、アンケート調査によると、表-2 に示すとおり苫小牧市、室蘭市、札幌市に比較的多くの産業排熱が賦存している。

表-2 北海道の都市別排熱賦存状況(一部)

都市名	札幌市	苫小牧市	室蘭市	函館市	旭川市	釧路市	別海町
排熱量 (PJ/年)	4.20	5.38	5.00	0.45	0.27	1.60	0.15

(2) 低温排熱活用可能性：カスケード利用

これまで 1,000°C以上の高温域の排熱はコンビナート内でガスタービン用などに活用されてきたが、200°C以下の比較的低温域の排熱は活用価値がなく捨てられてきた。こうした低温域の熱の活用にあたっては、温度を高めて活用する方法と温度帯に応じたカスケード利用が考えられるが、本稿ではエネルギーの追加投入を行わない後者に絞って議論を展開する。

(3) 産業排熱がエネルギーとして成立するための要件

排熱等の余剰エネルギーは、空間 (需要地と供給地の距離)、時間 (需要時期と供給時期の時差)、形態 (需要温度と供給温度) の 3 要素が一致しなければ、活用することができず、エネルギーとしての価値を持たない。この三要素のミスマッチがこれまで産業排熱のエネルギーとしての活用を妨げてきたが、近年は、国全体として、排熱の活用を積極的に進めようとしており、ミスマッチの解消に向けた取組が重要になってきている。

(4) 産業排熱活用にかかる国の重要な意思決定

我が国の産業排熱等の活用に関する重要な意思決定としては、平成 17 年に閣議決定された「京都議定書目標達成計画」においてエネルギーの面的利用の促進及び未利用エネルギー等の有効活用が謳われている。また、平成 18 年 5 月に策定された「新・エネルギー国家戦略」における「省エネルギー技術戦略」の重点技術分野のうち、時空を超えたエネルギー利用技術が掲げられている。また、平成 20 年に閣議決定された「北海道総合開発計画」において、熱のカスケード利用の必要性が謳われている。

3. 排熱利用による CO₂ 削減効果及び技術

(1) 排熱活用の理念と CO₂ 削減効果

排熱活用技術は、産業活動などによって排出される余剰熱を有効活用することを目指しており、あるものを余すことなく使い切るという発想を基としている。当然のことながら、工場の製造過程の効率化による CO₂ の排出削減は別途進める必要はあることは議論の余地はない。

こうした意味で、産業排熱活用は、電力等他のエネルギー源の効率性及び利便性の代替を目的とするものではなく、産業活動等の副産物である余剰熱をカスケード利用によって有効活用することで補完的役割を果たすことを目的としている。CO₂ 削減効果は、最大で需要側での化石燃料使用量の削減を基に机上計算した数値となる。

(2) 導管を活用した排熱利用

ゴミの焼却施設などから排出される余剰熱は、熱供給事業者により、これまで導管を用いて活用されてきたところである。しかしながら、導管を用いた場合には、延長に比例して利用可能な熱量が小さくなっていくという課題があると同時に、導管敷設費が高額なことから、熱源施設と熱需要地との距離は比較的短いものに限られてきた。

(3) PCM を活用した需給ミスマッチの解消

物質の状態変化に伴う潜熱蓄熱に着目した PCM を活用した熱輸送技術は、長距離輸送しても熱の消失がほとんどなく、導管敷設費を必要としないことから、導管による熱輸送では限界のあった長距離での熱輸送を可能とする技術として注目されている。また、熱供給と熱需要の時間差を解消することも可能となる。

4. PCM 潜熱蓄熱輸送の活用と技術的課題

(1) PCM を活用した熱輸送技術の開発状況

PCM を活用した熱輸送技術は、1980 年代にドイツ航空宇宙研究所で開発された技術であり、2001 年にフランクフルト郊外の化学会社で実用化された。2003 年に三機工業(株)と(株)栗本鐵工所が共同で日本に技術導入し、トランスヒートコンテナ (THC) の国内への適用を図っている。(株)神鋼環境ソリューションが開発したサーモウェイも潜熱蓄熱輸送技術であり、実証試験段階での成果が得られている。この他、高効率の蓄熱材の開発が、(独)産業技術総合研究所や大学等の研究機関で進められていることも今後の潜熱蓄熱輸送の可能性を広げるものである。

(2) PCM 潜熱蓄熱輸送活用の利点

PCM を活用した潜熱蓄熱技術の利点は、物質が状態変化する際に熱を吸収または放出するので、より多くの熱を蓄積できることである。低・未利用の温度帯域に融点がある物質を用いることで、潜熱蓄熱技術を活用することが可能となる。80°C以下の低温域の熱を活用するため

の物質として酢酸ナトリウム三水和物($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)が挙げられる。この物質の融点は 58°C であり、給湯及び暖房に活用可能な温度域である 80°C から 50°C までの蓄熱量を比較した場合、質量が同じ水の約 3 倍の熱量を蓄積することが可能である。

(3) PCM 潜熱蓄熱輸送の技術的課題

潜熱蓄熱輸送には課題もある。コストとの関係で、蓄熱容量を大きくして一度に運搬できる熱量を大きくしているため、タンクが大型である。技術面では、タンクを小型化しても熱のロスが少なく、蓄熱量が大きい PCM の開発及び低価格・高性能のタンクの開発が必要である。现阶段では、大口の熱需要家が必要であり、小口の熱需要家に熱供給を行う場合には、熱需要家をネットワーク化しなければ、余剰熱を有効に使い切ることができない。

また、現状では、輸送の際にトラックの燃料として軽油を使うことで CO_2 を排出しているという課題もある。本課題については、バイオガスターゼ、水素自動車、燃料電池車等を導入することにより、運搬時の CO_2 排出を削減することが可能となる。

5. 潜熱蓄熱輸送の北国の家庭での活用と課題

(1) PCM 潜熱蓄熱輸送の国内の産業面での活用事例

PCM を活用した潜熱蓄熱輸送は、4. (3) に示したとおり現状ではスケールメリットが働くことから、安定的かつ比較的まとまった熱需要のある産業面での活用は始められている。PCM を充填した THC を活用して青森県栽培漁業センターのひらめ稚魚、アワビ稚貝の肥育及び八戸西病院への暖房・給湯用熱供給、サントリー天然水(株)奥大山ブナの森工場における生産エリアから事務所エリアへの熱供給の際の定置型活用が挙げられる。また、今後の展開可能性として、沖縄県でのプール及び病院への活用、東海圏や京浜地域における活用に向けた FS などが進んでいる。

(2) PCM 潜熱蓄熱輸送の民生(家庭)部門での活用

a) 積雪寒冷地の気候条件下での活用可能性

上記のとおり東北地域以南における産業面での潜熱蓄熱輸送の活用が始められているものの、北海道の気候条件下で十分な性能が発揮できるかについては検証が必要である。

平成 20 年度に(株)日本製鋼所室蘭製作所の圧延工場から排出される未利用低温排熱(過熱蒸気約 90°C)を約 10km 離れた室蘭工業大学明德寮に暖房用熱源として供給する実証試験を行った。平成 20 年 11 月 27 日から平成 21 年 2 月 27 日までの期間に THC を用いて輸送した熱を熱交換し、温水パイプを通じて寮内 8 部屋及び談話室内(延床面積 250 m^2)のラジエター式暖房機器に供給した。図-2 に試験結果の一部を示す。12 月 18 日 15 時から同 19 日 15 時の 24 時間の熱交換効率は、72.3% で A 重油の使用

削減量から 20.8 kg- CO_2 の削減効果が得られたこととなる。本試験では、熱交換器を通じて加温する液体を凍結防止の観点から不凍液としたことから熱交換効率が水と比較して低い結果となっている。実際の導入にあたっては、屋外に設置された熱交換器に至る配管部の凍結防止対策を施した上で水に直接熱交換することで、北海道の冬期の気候条件下でも活用可能であることが実証できた。

b) 経済的観点からの課題

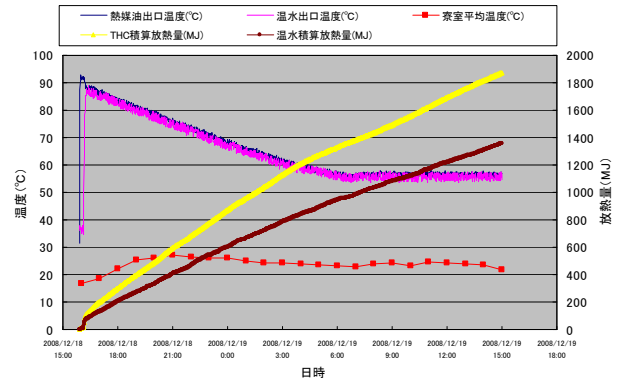


図-2 室蘭工業大学明德寮への熱供給データの一例

普及に向けた背景要素の中で最も大きいのが、燃料単価の変動である。化石燃料価格が上昇することで活用の機運が一気に高まる可能性がある一方で、化石燃料価格が比較的安価で安定している状況下では、普及に向けたインセンティブを働かせる施策が有効となる。

THC を導入した場合の総コストの試算を行った結果を図-3 に示す。平成 20 年の原油価格高騰時には THC15 台を導入して熱供給を効率的に行うことができれば、熱単価が灯油とほぼ同じ 3.9 円/MJ になるという試算結果が得られている。他方、原油が 2.1 円/MJ という低価格の場合には、THC15 台導入という同条件下であっても、 1.8 円/MJ 程度 THC による熱輸送の方が高額になってしまうという試算を得ており、化石燃料価格の動向が潜熱蓄熱輸送の普及に大きく影響を及ぼすことが容易に予想可能である。

環境税の導入も排熱活用の契機となりうるが、平成 20

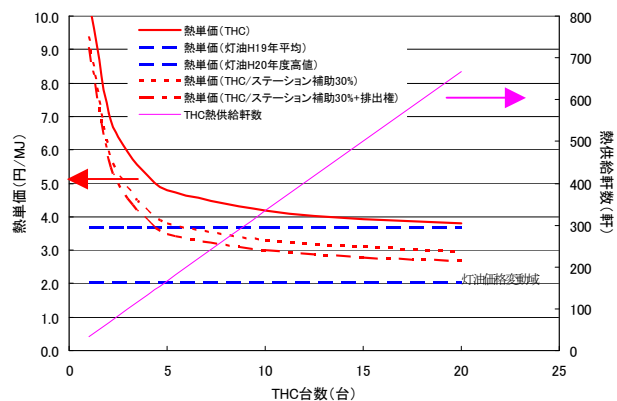


図-3 THC導入総コストと灯油価格との比較

年11月に環境省が公表した地球温暖化対策税案の石油製品に対する税率2,780円/kℓを適用して平成18年度の北海道内1世帯あたりの年間灯油使用量1,734リットルに乗じた場合、北海道の一般家庭の灯油使用に係る税負担増は、年間で4,820円であり、それほど影響は大きくない。

(3) 北海道における潜熱蓄熱輸送の民生導入の優位性

北海道において民生（家庭）部門への潜熱蓄熱輸送の普及には利点もある。北海道の一般住宅における暖房設備には、他地域には余り見られない集中暖房普及率が高いという特徴があるとされている。これは、潜熱蓄熱輸送の普及にとっては有利に働く。すなわち、熱交換器を設置するだけで、家庭内の既存配管を活用して暖房熱供給が可能となるからである。住宅内暖房配管を新規に行うと、平均で100万円～130万円程度の追加の設備投資が必要というデータもある。また、近年普及が進んでいる、家庭用燃料電池、電気温水器、ガス・コージェネレーション等の熱活用も集中暖房システムとなっていることから、熱交換器を設置することで排熱活用との併用も可能である。

6. 産業排熱を活用した北国の低炭素型居住形態の提案

(1) 熱需要の大きい産業活用と家庭の組み合わせ

排熱をエネルギー資源とするためには需要がなくてはならない。しかも年間を通じて比較的変動幅の小さい一定した熱需要があれば、夏期にTHCの稼働率が下がり、採算性を見込めない。潜熱蓄熱輸送を北国の居住空間に普及させるためには、熱需要の多くなる冬期間とそれ以外の期間との熱収支の平準化を図らなければ事業として成立させることは難しい。この課題の解決策の一つとして、季節変動幅が比較的小さく、かつ比較的熱需要が大きい産業施設等と住宅とを組み合わせることが有効と考えられる。この仮説に対しては、水産加工場、病院、ホテル等の施設が比較的熱需要が大きく、年間をとおして比較的安定した熱需要が見込めるとの指摘があることから、住宅との組み合わせとして検討の余地がある。また、融点が118℃のエリスリトール(C₄H₁₀O₄)というPCMを活用し、吸収式冷凍機と組み合わせることにより冷熱供給が可能となり、冷房及び冷蔵・冷凍施設等への活用可能性も広がり、夏期の排熱供給先の拡大が期待できるとの指摘もある。

(2) 導管とTHCの組み合わせによる効率化

THCの運用では、灯油と比較して運搬回数が多いことから、コストのうち人件費が占める割合が高くなるので、近距離では導管によるオンライン熱輸送を行い、遠距離域でTHCを活用する手段が有効であると考えられる。平成15年度の環境省による報告では、熱源と熱需要地との距離2kmを境界として、近い地域には導管による熱供給、遠い地域にはTHCを活用することが経済的であるとされ

ている。また、近距離における導管による熱輸送にあたっては、THCを定置式で活用することにより、熱の発生時間帯と需要時間帯との時間的ギャップを埋めることが可能となる。

(3) 室蘭市における排熱を活用したまちづくりモデル

上記結果を基に、日本製鋼所室蘭製作所を熱源とする室蘭市におけるまちづくりのモデルを提案すると以下のとおりとなる。熱源及び主な熱供給先の位置関係は図-4のとおり。同所内の活用可能排熱190,000GJを表-3

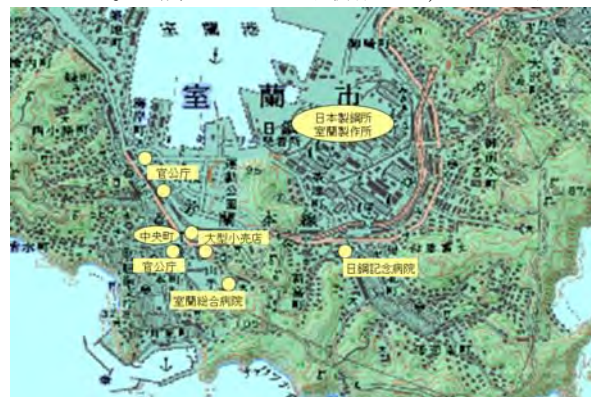


図-4 室蘭市における排熱を活用したモデルの熱源及び主な熱供給先位置関係

に示すように母恋地区の2km圏内に定置式THCを活用して導管を敷設し、日鋼記念病院にオンラインで熱を供給する。室蘭市中央町地域の公共施設、病院並びに住宅（戸建300軒、集合住宅1棟）にはTHCによる熱輸送を行うと、トータルで188,664GJの排熱が活用され、CO₂総排出量の年間削減は12,800t-CO₂という試算結果が得られた。更に室蘭市における比較優位な再生可能エネルギーである風力発電による電力供給と組み合わせることで、一層のCO₂排出削減効果が期待される。

表-3 室蘭市における排熱を活用したまちづくりモデル

導管による熱輸送(2km圏内)		
	熱需要 (GJ/年)	CO2削減量 (トン/年)
日鋼記念病院	60,228.00	4,086.31
小計	60,228.00	4,086.31
THCによる熱輸送(中央町)		
	熱需要 (GJ/年)	CO2削減量 (トン/年)
住宅(300軒)	17,310.00	1,174.43
集合住宅(1棟)	1,788.70	121.35
室蘭総合病院	82,496.00	5,597.14
大型小売店(2店舗)	7,398.00	501.93
官公庁庁舎(3棟)	13,830.00	938.32
公共施設	5,613.00	380.82
小計	128,435.70	8,713.99
総計	188,663.70	12,800.30

住宅の熱需要は、室蘭市内の一般家庭の平均値である、1軒あたり年間57.7GJを基に試算。
病院、大型小売店、官公庁庁舎等の熱需要量については、アンケート調査を基に試算。
CO₂の削減量は、灯油のCO₂排出原単位(環境省)を基に試算。

表一 3 のモデルは、熱源事業者が有する未利用排熱量に着目したものであり、熱需要側に着目した場合には、更に多くの産業排熱の活用も可能であり、この場合には室蘭市内の他の熱源事業者とのネットワーク化を図ることによって熱供給及びCO₂の更なる排出削減が期待される。

7. 排熱活用の事業化に向けた課題等

(1) 排熱供給の事業としての位置づけ

工場排熱等を暖房・給湯用に活用する際に課題となるのが、どのような事業形態とするかである。熱供給事業法（昭和四十七年六月二十二日法律第八十八号）の適用を受ける地域熱供給事業者となるためには、導管を用いること及び加熱能力が21GJ/時以上という要件があり、産業排熱をTHCでオフライン輸送する事業は地域熱供給事業者には該当しない。産業副産物である排熱が発生しないときには熱供給ができないという点も地域熱供給事業者たりえない限界であろう。地域熱供給事業者に該当しないデメリットとしては、地域熱供給事業に係る各種優遇措置を受けられない点である。

(2) 潜熱蓄熱輸送の事業化に関連する支援制度等

産業排熱活用の事業化に係る各種支援制度は大きく分けて、補助事業、税制優遇措置、政府金融制度等が挙げられる。補助事業としては、エネルギー使用合理化事業（NEDO）、先導的都市環境形成促進事業（国土交通省）、低炭素地域づくり面的対策推進事業（環境省）等が挙げられる。税制上の優遇措置は、熱供給事業に該当する場合に施設工事費負担金の圧縮記帳や固定資産税の特例、事業所税の非課税措置等がある。政府金融制度としては、日本政府投資銀行の融資制度、新エネルギー財団の融資制度等が挙げられる。

活用の可能性が期待される制度としては、CO₂ 排出権取引制度が挙げられる。産業排熱の活用によりCO₂削減効果が得られるのは、熱需要家サイドなので、現在国内で試行運用されている制度を活用した場合に排出権取引によるメリットを受けることができるのは、熱需要家側のみになる。しかしながら、熱源側にもインセンティブを与えるような制度としなければ、従前同様に熱を捨てたままにする方が経済的に有利となり、結果として普及が望めないこととなる可能性が高い。排熱活用に関しては、排出権を熱需要家と熱源事業者双方に分配することも含め、熱源サイドにもインセンティブを与える仕組みづくりを検討事項とする必要がある。

(3) 熱仲介事業者と熱源事業者との関係

熱需要側の導入インセンティブは、排熱を活用することにより、化石燃料を使用した場合に比してランニングコストを低く抑えられることで得られる。化石燃料購入単価よりも低めの熱供給単価を変動制で設定することが有効な手法として考えられる。他方、初期の設備投資が

比較的高額なため、初期投資の回収のためには、安定して熱供給を受けられなければ、導入のインセンティブは働かないこととなる。このような背景から、単独の熱源事業者が自ら熱供給事業を行うよりも熱仲介事業者が複数の熱源事業者と契約を結ぶ形態の方が熱の安定的な供給を実現でき、熱需要家サイドの導入促進が期待される。

(4) 関連する行政規制等

熱の授受に用いられている熱媒油は、消防法の適用を受け、第4類第4石油類に該当する。この点に関しては、危険物保安協会の評価を受けている。また、道路法、道路交通法、車両構造令等の規制から、重量や長さの制限があるため、現状よりも大型のTHCへの需要があった場合には、台数を増やして対応することとなる。

潜熱輸送の暖房利用の場合は、供給された温水と人体が直接接触することはないが、給湯の場合は人体が温水と直接接触することとなるので、複数の家庭に単一の系統ループで給湯する場合には衛生管理が必要となる。病院における給湯利用の場合、定期的に貯湯槽内のレジオネラ菌検査などの対応を行っている。

8. 住民及び行政機関の役割と産業創出

PCMを活用した潜熱蓄熱輸送は、現状では初期投資が比較的高額であることから、普及の初期段階の供給先としては、公共施設、公営住宅、熱源事業者の社宅、病院等が想定される。よって、熱源事業者が出資して行政機関が補助をする方式または熱源事業者及び行政機関の出資による第3セクター方式での熱仲介事業が有望である。更に、戸建て住宅への普及を図るためには、宅地造成時にTHC配置場所の確保や共用の熱交換機の設置、個別配管の敷設を行うような計画を宅地造成事業者と行政機関で進めることで導入の可能性が高まる。

上記の前提として、地域経済を支える企業活動の副産物である産業排熱もまた貴重な地域資源であるということに住民が意識し、積極的に活用しようという機運が高まることにより、地域住民、熱源事業者及び行政機関の三者の連携・協働による低炭素型社会実現に向けた素地が整うこととなる。

現状では、こうした仕組みづくりは、産業排熱の活用という特殊な例にしか活用できないように捉えられるかもしれない。しかしながら、現在、戸別に太陽電池や燃料電池の普及が進んでいるが、ある一定規模のコミュニティ単位で、分散型の熱電併給施設としてコージェネシステム等を導入する方がエネルギー効率及び経済性の両側面から有利であると判断される場合には、産業排熱の活用同様にコミュニティ内で合意形成を図ることが重要な要素となることから、こうした場合の参考となり得る。

あとがき

地球温暖化対策として温室効果ガスの排出削減は喫緊の課題であり、これまで以上に各国の努力が求められるところである。こうした中で、再生可能エネルギーの活用拡大のみならず、エネルギーの生産から利用に至るまでの全てのプロセスでの効率化、低・未利用資源の有効活用など、あらゆる手段を尽くしていくことが必要な状況になりつつある。

経済の根幹をなす生産活動に伴う副産物である産業排熱は、エネルギー効率を高めたとしてもゼロにすることは難しい。この排熱を余すことなくカスケード利用することにより、CO₂ 排出削減が可能となる。産業排熱を活用した北国における低炭素型居住形態を構築する際には、安定的かつ比較的熱需要の多い施設である病院、公共施設等と組み合わせることで年間を通じた長い時間軸での平準化への期待が指摘されていることから、公共施設等と住宅が近接したまちづくりを進め、その中で地域特性に応じて、産業排熱や再生可能エネルギーを活用していくことも一案である。地方都市においては、街中居住を積極的に推進するなど、エネルギー効率の高い低炭素型の社会を構築することで、行政コストの低減という効果も期待される。

産業排熱をはじめとして、地域のエネルギーを活用する際には、エネルギー効率及び経済性の両面から総合的に判断し、一定規模のコミュニティ単位で導入した方が有利と判断される場合には、エネルギーの供給主体の運営方法も含め、住民及び関係事業者等との間での合意形成を図ることが重要である。

地域のエネルギー活用のシステムを確立し、更に一歩進んで、環境技術の集積による地域産業の振興につなげ

ることができれば、環境技術及びシステムによる投資の呼び込み及び輸出によって、低炭素型社会の拡大に繋がることが期待される。

参考文献

- 1) 環境パートナーシップ・CLUB 温暖化・省エネ分科会(2009)：「熱輸送ネットワークによる低温排熱の地域内利用研究(その2)」結果報告書<Feasibility Study 編>
- 2) 環境省：平成16年度第3回地球温暖化対策技術検討会配付資料「気候変動問題を念頭においた持続可能社会の実現に向けて(中間とりまとめ案)」
- 3) 経済産業省資源エネルギー庁：「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」平成20年3月
- 4) 岩井良博、定塚徹治、飯島和明、山下植也(2008)：潜熱蓄熱輸送システム「トランスヒートコンテナ」、太陽エネルギーVol. 34, No. 3
- 5) 山田心治(2006)：オフライン熱供給システム普及へ向けて ～都市に賦存する未利用排熱の有効活用へ、Best Value Vol. 13
- 6) 河合篤、釜野博臣、奥山哲史、四方一郎(2006)：潜熱蓄熱搬送システム「トランスヒートコンテナ」による熱輸送実験報告(第1報)、クリモト技報No. 54
- 7) 環境省：「税制のグリーン化について」平成20年11月
- 8) (財)日本エネルギー経済研究所石油情報センター：「平成18年度灯油消費実態調査」
- 9) 省エネルギーセンター：「平成12年度工場群の排熱実態調査研究」