

活用が期待される、未利用熱

◆排ガスの熱や温水排熱、高温体からの放熱など、未利用の排熱がある

新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）によると、日本国内で使われる化石燃料などの一次エネルギーのうち、約6割は有効利用されずに排熱として排出されている。例えば、燃料を燃やして物を加熱する場合、燃焼熱はすべて有効利用できるわけではない。その熱量の一部は排ガスと共に大気に散逸している。

製造業であれば、排ガスや排水が持つ熱、高温の設備や製造物からの放熱など、生産設備から直接廃棄される熱、熱回収された後に廃棄される熱、排ガス処理装置から廃棄される熱、冷却機器から廃棄される熱などを称して、未利用熱と呼ぶ。

◆化学工業が使用する熱の約1割は、排ガスとして放散されている

2013年に設立された未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合（TherMAT）は、NEDOの未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発事業の一環で、15業種に分類した製造業の未利用熱の実態とエネルギー利用状況を19年3月に報告した。報告では、全国1,273事業所の未利用熱の排出・活用状況のアンケート結果を業種別にまとめ、例えば、未利用熱の1つである排ガス熱量と電力を除く投入エネルギー量の関係を解析し、日本全体での排ガス熱量を業種毎に推計している。

報告によると、日本国内の電力業を含む製造業で1年間に排出される未利用の排ガス熱量は、約74.3万TJ（ 10^{12} ジュール）と推定される。日本のエネルギー総消費量は、資源エネルギー庁が19年4月に公表した17年度エネルギー需給実績（確報）によると1345.3万TJで、未利用の排ガス熱量はその約6%に当たる。

表1は、国内の製造業が排出した排ガス熱量の業種別推定値である。製造時に投入される電力以外の熱量のデータが開示された13業種のうち、化学工業を含む9業種で、未利用の排ガス熱量が電力を除く投入熱量の1割以上に上っている。

業種毎に見ると、排ガスとして放出されている熱量が最も多いのは電力業で、国内の排ガス熱量全体の35%を占めている。次点は、14%を占める鉄鋼業と化学工業からの排ガス熱量である。このように、電力業、鉄鋼業、化学工業の3業種で、日本の製造業から排出される排ガス熱量の6割以上を占めている。

表1 国内製造業からの排ガス熱量の業種別推定値と投入エネルギー量（電力を除く）

| | 排ガス熱量 [TJ/年] | 投入熱量 (除 電力) [TJ/年] | 投入熱量に占める 排ガス熱量の割合 [%] | |
|-----------------|-----------------|--------------------------|-----------------------------|------|
| ① | 電力業 | 260,621 | 6,244,853 | 4.2 |
| ② | 鉄鋼業 | 104,474 | — | — |
| ③ | 化学工業 | 103,136 | 913,659 | 11.3 |
| ④ | 清掃業(廃棄物処理業) | 57,942 | 374,028 | 15.5 |
| ⑤ | 窯業・土石製品製造業 | 47,080 | 353,186 | 13.3 |
| ⑥ | 石油・石炭 製品製造業 | 44,889 | — | — |
| ⑦ | パルプ・紙 製造業 | 26,240 | 468,149 | 5.6 |
| ⑧ | 食料品製造業 | 21,197 | 180,312 | 11.8 |
| ⑨ | 非鉄金属製造業 | 16,367 | 70,445 | 23.2 |
| ⑩ | 輸送用機械製造業 | 12,648 | 71,082 | 17.8 |
| ⑪ | 繊維業 | 7,937 | 99,802 | 8.0 |
| ⑫ | 電気機械製造業 | 6,621 | 51,612 | 12.8 |
| ⑬ | ガス・熱供給業 | 5,679 | 62,687 | 9.1 |
| ⑭ | 機械製造業 | 4,611 | 29,219 | 15.8 |
| ⑮ | その他の製造業 | 23,763 | 172,820 | 13.8 |
| ①と未計上の②⑥を除く12業種 | 333,221 | 2,847,001 | 11.7 | |
| 合計 | 743,205 | (9,091,854) | — | |

単位のT(テラ)は 10^{12} 。排ガス熱量が、投入熱量の1割以上を占めた業種の数値を赤字とした。
石油製品・石炭製品製造業と鉄鋼業の排ガス熱量は、文献や業界団体ヒアリングの推定値を使用。

(TherMAT 産業分野の排熱実態報告書の掲載データをもとにARCで作成。)

◆多くの製造業で、100～249℃の排ガスが持つ熱量が全体の8割以上を占める

報告では、未利用の排ガス熱量の温度帯別の熱量比率構成も推計している。電力業、鉄鋼業、化学工業の3業種の比率構成を図1に示す。

電力業は15業種で最も排ガス熱量の多い業種だが、その9割が150℃未満で放出される排ガスが持つ熱で、他の業種に比べて低い温度の熱の比率が高い。

一方、鉄鋼業は、100～199℃の排ガスが持つ熱量で全体の6割を占めるが、500℃以上の温度で放出される排ガスの持つ熱量も17%ある。他の業種に比べて高温の排ガス熱が多い業種はほかにも、非鉄金属製造業（500℃以上：39%）や鋳物でエンジンを製造する輸送用機械製造業（500℃以上：24%）がある。

化学工業では、白煙対策などで、150～199℃の温度帯の排ガスの持つ熱量が全体の55%を占め、100～249℃の排ガス熱量が全体の8割以上を占める。15業種の多くは、化学工業と同じく、100～249℃の温度範囲の排ガス熱量の比率が高い。

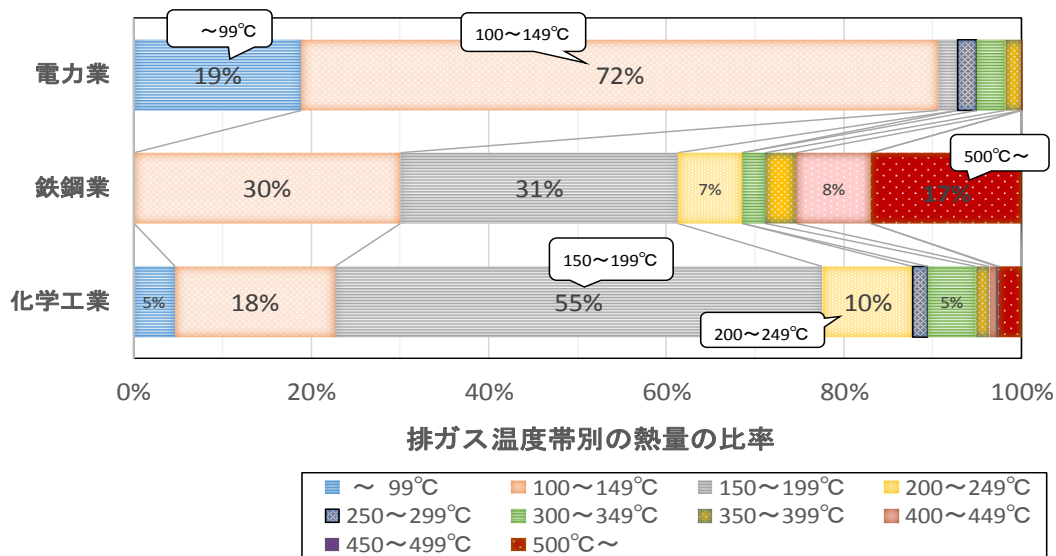


図1 未利用の排ガス熱量が多い3業種の、排ガス温度帯別の熱量構成

(TherMAT 産業分野の排熱実態報告書の掲載データをもとにARCで作成。)

◆従来の排熱利用機器は、350°C以上の排ガス熱回収に強みを発揮

従来から製造業に導入されている排熱利用機器として、蒸気を得るための排熱回収ボイラ、燃焼用空気や燃料ガスの予熱などに用いるレキュペレータ（金属式熱交換器）、ボイラ給水を予熱するエコノマイザ（節炭器）がある。

今回の報告書でアンケートに回答した事業所の排熱回収実績に基づく、温度帯別の各排熱回収機器1基当たりの年間熱回収量を、図2に示す。

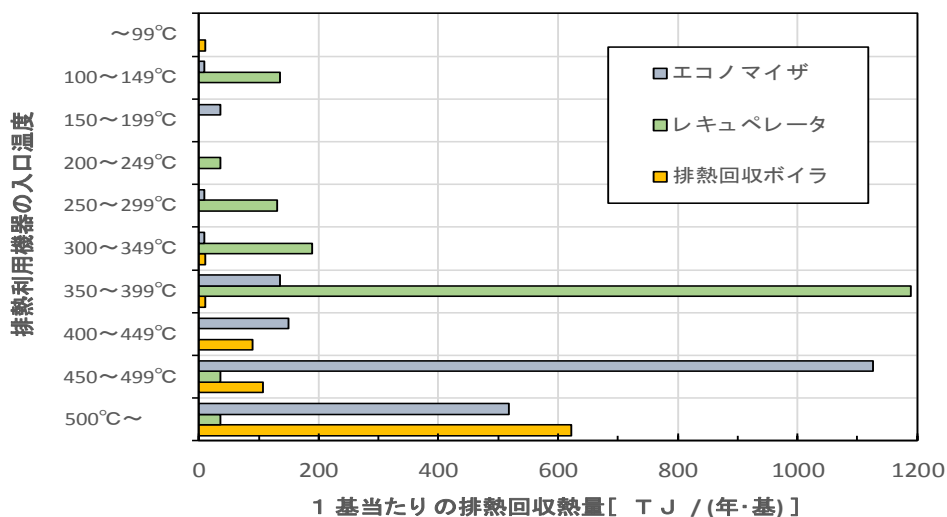


図2 排熱利用機器1基当たりの回収熱量の温度帯別の実績（15業種全体）

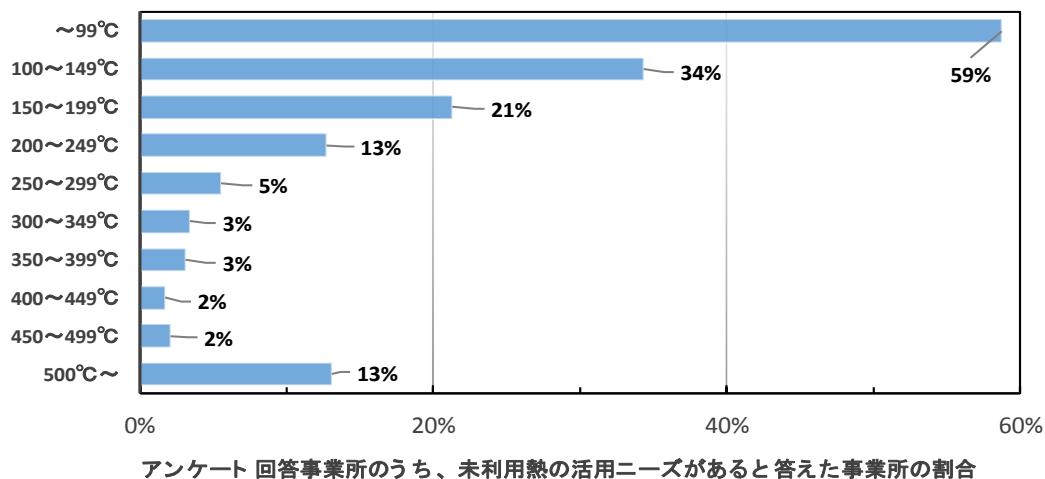
(TherMAT 産業分野の排熱実態報告書の掲載データをもとにARCで作成。)

排熱回収ボイラは500°C以上、レキュペレータは350~399°C、エコノマイザは450°C以上の熱回収に導入された機器で、高い回収性能を示している。その性能

値に比べると、未利用の排ガス熱が多く放出されている100～249℃の温度帯での1基当たりの排ガス熱回収性能は、それほど高い実績が得られていない。このように、排ガスが持つ未利用熱は、従来の排熱利用機器にとって、多くは効率的に熱回収し難いエネルギーである。

従来、製造業では、エネルギー消費量を削減して製造原単位を向上する目的で、排熱利用機器の導入を進めてきた。その際に費用対効果の評価結果から、設備を導入してまで排熱を活用しようという判断がなされなかったものが、現在の未利用熱となっている場合が多い。

今回の報告書のアンケートでも、特に、100℃未満の温度帯の未利用熱を活用したいと回答した事業所が、総数の約6割に上っている（図3）。



アンケート 回答事業所のうち、未利用熱の活用ニーズがあると答えた事業所の割合
図3 事業所が活用したいと考える、未利用熱の温度帯（15業種全体）
（TherMAT 産業分野の排熱実態報告書の掲載データをもとにARCで作成。）

◆NEDOプロジェクトで、新しい未利用熱活用技術の開発が進む

NEDOの未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発事業は、15年に経済産業省から引き継がれたプロジェクトである。熱使用量を削減する技術（断熱、遮熱、蓄熱）、未利用熱を熱として再利用する技術（ヒートポンプ）、未利用熱を電気に変換して利用する技術（熱電変換、排熱発電）の開発などをテーマに掲げ、産業分野、運輸分野、民生分野の更なる省エネルギーに寄与することを目的している。

エネルギー消費を抑えるには、機器の効率を上げ、無駄を省く方法と、未利用のまま捨てられるエネルギーを活用する方法がある。また、活用法としては、上手く使える場所に送って即時に使用する「再利用」と、一旦エネルギーを貯蔵し

てにおいて、必要となった時間・場所で使用する「蓄エネルギー」がある。

製造業では、機器の効率向上や断熱材の強化による放熱抑制、排ガスの熱や冷却過程の排熱を熱源に再利用する技術が多く導入されてきたが、これまで蓄エネルギー技術はあまり活用されていなかった。今後、さらに技術開発が進むことで、製造業から放出される排ガス熱の多くを占める250℃未満の排ガス熱の活用法として、熱電素子やバイナリー発電システムのような熱を電気に変換する技術と共に、蓄熱技術など、新しい熱活用技術のプラント導入が期待される。

◆蓄熱は、需要と供給間の距離と時間の制約を解く、熱の貯留・輸送技術

現在、蓄熱技術は、蓄熱材による熱の貯留・輸送が商業運転に導入され始めた段階に進んでいる。この熱輸送では、蓄熱材を充填したコンテナをトレーラー輸送して、熱供給元と熱需要先を結ぶ、オフライン熱輸送システム（図4）を用いる。この場合、供給元から需要先までを配管でつないで、水や蒸気などの熱媒体を圧送する方法と異なり、熱供給元と熱需要先はそれぞれ分離独立している。そのため、一方の運転変動が他方に直に影響を及ぼすことがなく、相互に、相手の事情が原因となる運転調整を常時求められることがない、という利点がある。

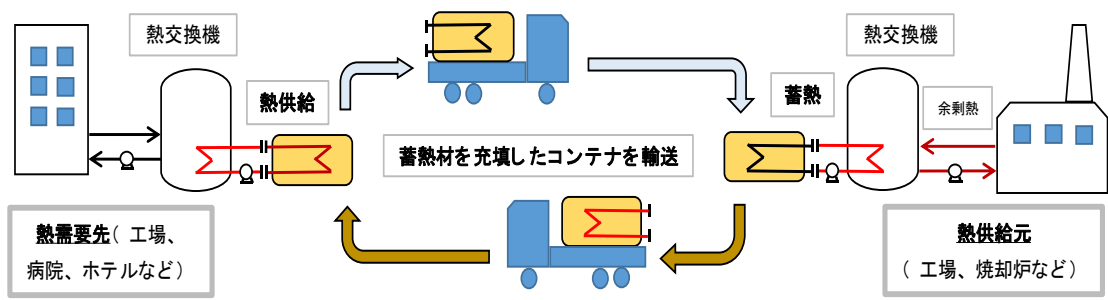


図4 蓄熱材充填コンテナを用いた、オフライン熱輸送システム
(三機工業のホームページの掲載資料をもとにARCで作成。)

エンジニアリング会社の三機工業は、エリスリトール（糖アルコール）と酢酸ナトリウム三水和物（食品添加物）の2種類を潜熱蓄熱材に採用し、200℃以下の未利用排熱をオフライン熱輸送システムで活用する、トランスヒートコンテナ事業を展開している。表2に、コンテナの標準性能を示す。コンテナの蓄放熱時間は、エリスリトールで5～6時間、酢酸ナトリウム三水和物で8～10時間である。コンテナ輸送は、片道1時間程度を目安に、10～30kmの距離で行われている。

表2 三機工業のトランスヒートコンテナの標準性能

| 潜熱蓄熱材 | 融点 融解熱 | 熱供給元 推奨温度 | 熱需要先 供給温度 | コンテナ タイプ | 容積 [L/台] | 蓄熱量 [10 ⁹ J/台] | (A重油換算) | |
|-----------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------|-------------|------------------------------|--------------|--|
| | | | | | | | 重油量 [L/台] | CO ₂ 発生量 [kg-CO ₂ /台] |
| エリスリトール | 118℃ 340 kJ/kg | 定格 150℃ (≥130℃) | 定格 70℃ (≤100℃) | 大容量 | 21,000 | 5.0 | 130 | 350 |
| | | | | 標準 | 4,800 | 1.8 | 46 | 120 |
| 酢酸ナトリウム 三水和物 | 58℃ 230 kJ/kg | 定格 90℃ (≥70℃) | 定格 45℃ (≤50℃) | 大容量 | 21,000 | 4.0 | 100 | 270 |
| | | | | 標準 | 4,800 | 1.3 | 33 | 90 |

(三機工業のホームページの掲載資料をもとにARCで作成。)

NEDOは、潜熱蓄熱材のエリスリトールを超える蓄熱密度を持つ、100～150℃の中低温域用の新規蓄熱材の探索・開発を進めている。委託研究で、高砂熱学工業からは、水の吸着熱を利用する無機多孔質吸湿材ハスクレイ（1,130 kJ/kg）を採用し、トヨタ自動車からは、水と反応して水酸化マグネシウムが生成する際の化学反応熱を利用する酸化マグネシウム（918 kJ/kg）を採用し、オフライン熱輸送システム実証試験を行った。今後、蓄熱輸送事業の普及を目指す予定である。

◆CO₂排出量削減の機運の高まりは、未利用熱活用の動機付けとなる

未利用熱の活用検討は、これまで経済性が優先されてきた。そのため、プラントの主な省エネルギー対策は、費用対効果の高い案件から優先的に取り組まれ、実施済みのものが多い。一方で、採算性の点から熱回収を断念した案件もある。

現在、欧州や米国の一部の州でカーボンプライシングが導入されるなど、企業にとっては、利潤の追求と同時に環境負荷の削減や環境への配慮が、兼ね備えるべき必要条件となりつつある。今後、産業・運輸部門では、地球温暖化防止の観点から、CO₂排出抑制の手立てとなる化石燃料の使用削減策として、これまで以上に未利用熱を活用しようとする機運が高まる可能性がある。

熱の有効活用にはマッチングが重要で、それには幅広い需給ニーズを集めることが好ましい。今回の報告書でアンケートに回答した事業所からも、自社では活用が難しく余剰となっている熱を上手く利用してくれる他社との仲人役を担うプラットフォーム機関を、自治体などで整備してもらいたい、という要望が挙げられている。未利用熱の活用技術の開発と共に、インフラ社会基盤の整備を進め、社会全体として熱の有効利用を図る方法でエネルギー消費量を削減するマネジメントシステムを構築することが望ましい。

【袴家淳雄】