

工場廃熱活用から始まる省エネ

— 未利用熱の資源化と産業電化で進める再設計 —

一般社団法人 日本エレクトロヒートセンター企画部長 庄司 崇彦

1. はじめに

わが国の製造業におけるエネルギー利用では、その多くを熱として消費している。ものづくり工場では加熱、乾燥、蒸留、洗浄などの各種プロセスにおいて熱が不可欠であり、その供給のあり方は生産性や品質に直結する重要な要素である。一方で、こうした熱利用はエネルギーの有効活用という観点からいまだ十分に最適化されているとは言い難い状況にある。

特に産業分野における熱利用は、長期にわたる設備投資の積み重ねとともに構築されてきたものであり、その多くはエネルギー効率よりも安定操業や品質確保を優先して設計されてきた経緯もある。その結果、個別工程単位では合理的であっても、工場全体としてみた場合には非効率なエネルギーの流れが形成されているケースが少なくない。設備の更新や増設を繰り返す中で、熱供給の構造が複雑化し、結果として「なぜその温度で供給しているのか」「なぜその方式を維持しているのか」といった根本的な問いに対する見直しがなされないまま現在に至っている例も多く見受けられる。

近年、カーボンニュートラルの実現に向けて、産業分野におけるエネルギー転換の必要性が高まっている。特に化石燃料を直接燃焼して得る熱エネルギーは、温室効果ガス排出の観点からその見直しが強く求められている。しかし、工場の熱利用は単純な電化や燃料転換で代替できるものではなく、設備容量や電力インフラ、初期投資負担、さらには生産プロセスの安定性への影響など、複合的な要因が絡み合うため、導入のハードルは決して低い。

また近年では、中東情勢の緊迫化や国際エネルギー市場の変動により、燃料価格や供給の不確実性が高まっている。こうした外部環境の変化は、従来の化石燃料依存型の熱供給の脆弱性を顕在化させ

つつあり、エネルギーコストの変動リスクや供給安定性の確保といった観点からも、熱利用の在り方そのものを見直す必要性を高めている。

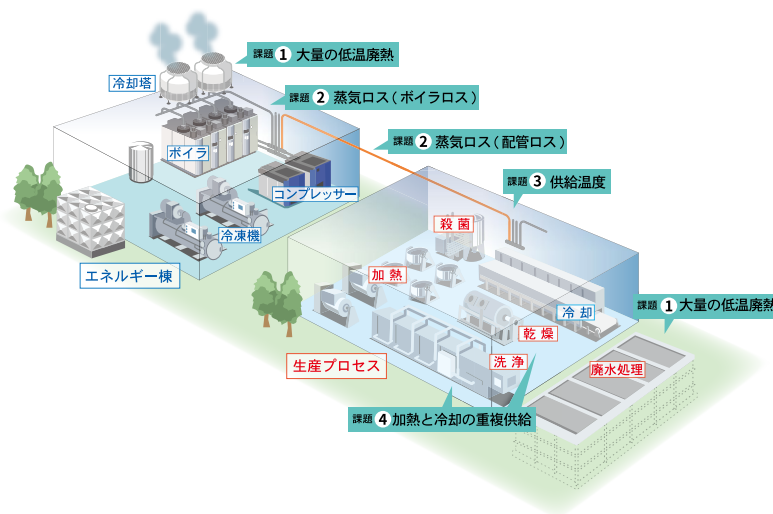
したがって、今後の熱利用において求められるのは、「どのエネルギーを使うか」という議論にとどまらず、「どのように熱をつくり、どのように運び、どのように使うのか」という根本的な設計思想の転換である。本稿では、この視点より、工場廃熱の有効活用を起点とした熱

利用の再構築について論じる。なお、本稿で述べる考え方は、現場での導入検討を体系的に整理する中で得られた知見に基づくものである。

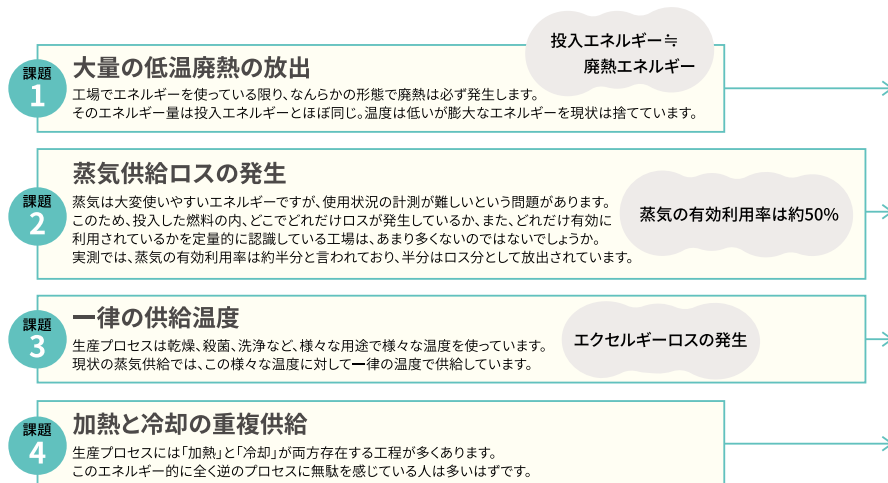
2. 工場における熱利用の現状と課題

工場における熱供給の多くは、ボイラーによる蒸気供給を中心とした集中供給方式によって行われている（図－1）。この方式は設備を集約することで運用管

工場における熱利用の実態



図－1 ボイラーによる集中供給方式



図－2 工場における熱供給の課題

理の効率化を図ることができ、長年にわたり多くの製造業で採用されてきた標準的な仕組みである。しかしながら、その利便性の裏側で、エネルギー利用の観点からは看過できない幾つかの課題が存在する（図－2）。

まず第一に、蒸気供給システムは構造的にロスを伴う。ボイラーにおける燃焼時の排ガス損失、蒸気配管における放熱損失、接続部やバルブからの微細な漏洩、さらにはドレン処理による熱損失など、熱が有効に利用される前の段階で相当量が失われている。これらは個別には小さな損失であっても、全体として積み上げると無視できない規模となる。

第二に、蒸気供給は温度の自由度が低いという特性を持つ。蒸気圧力に依存した供給温度は柔軟な制御が難しく、結果として必要な温度より高い熱を供給することが常態化しやすい。これはエネルギー効率の観点からは明らかに非合理であり、過剰な加熱の温床となる。

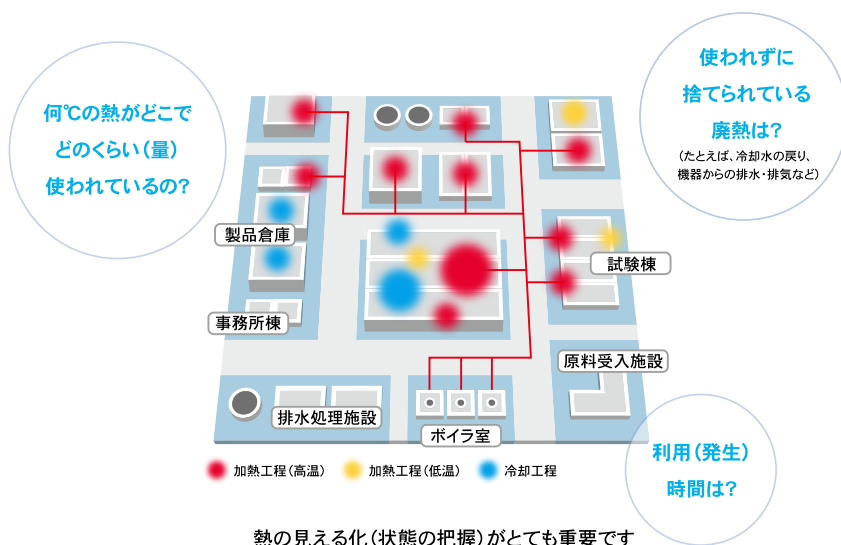
第三に、プロセス間の熱利用の断絶が挙げられる。製造ラインでは、加熱を必要とする工程と冷却を必要とする工程が近接して配置されることが珍しくない。しかしながら、それぞれが独立して設計されているため、熱の融通が図られることなく、一方では加熱エネルギーを投入し、他方では冷却のために別のエネルギーを消費するという非効率な状態が発生している。

これらの結果として、工場全体としてのエネルギー利用効率は低下し、特に低温廃熱が大量に発生する構造となっている。この廃熱は大気中へ放出されることが多く、本来活用可能なエネルギーが失われている点は見逃ごせない課題である。

さらに、近年の国際エネルギー情勢の変化も、この構造的課題を顕在化させている。この状況下において、供給ロスを内包した熱利用構造のままでは、コスト増大と供給リスクの双方に直面することとなる。すなわち、従来の熱利用の延長線上では、もはや持続的な運用が困難になりつつあるといえる。

3. 廃熱という未活用資源

工場において発生する廃熱は、温度レベルの低さや利用の難しさから、従来は十分に活用されてこなかった。しかし、その総量に着目すれば、これは単なる廃棄物ではなく、有用なエネルギー資源であると捉えるべきである。



熱の見える化(状態の把握)がとても重要です

図－3 熱の見える化

例えば、コンプレッサや冷凍機からの廃熱は、年間を通じて安定的に発生する代表的な廃熱源である。また、排水に含まれる熱エネルギーや乾燥工程における排気なども、適切な手法を用いれば再利用が可能である。これらは個別に見れば小規模であっても、工場全体で見れば無視できない規模のエネルギーとなる。

廃熱活用の第一歩は「見える化」である。すなわち、熱がどこで発生し、どのように移動し、どこで失われているのかを定量的に把握することである（図－3）。このためには、温度、流量、運転時間といったデータを収集し、熱量として評価する必要がある。数値として把握することで、初めて改善の余地や優先順位が明確となる。

この見える化により、従来は個別設備の中に埋もれていた廃熱の存在が顕在化し、工場全体のエネルギーフローを俯瞰的に捉えることが可能となる。ここで重要なのは、廃熱を単に「余剰エネルギー」として見るのではなく、「再利用可能な資源」として位置付け直すことである。この認識の転換が、活用の出発点となる。

さらに、廃熱活用において重要なのは、熱源と需要との適切なマッチングであるが、その観点は単に温度だけにとどまらない。すなわち、「温度」「位置」「時間」という三つの条件を同時に満たす必要がある。

まず温度の観点では、廃熱の温度レベルと利用側の要求温度との差が小さいほど効率的であり、直接利用の可能性も高まる。一方で温度差が一定程度広がる場合には、ヒートポンプなどの昇温技術を

活用することで利用可能性が広がる。

次に位置の観点では、廃熱が発生する場所と利用する場所の距離が重要となる。距離が離れるほど廃熱利用も熱損失が増大するだけでなく、配管や設備のコストも増加するため、近接配置や分散配置による供給が有効な場合が多い。結果として、従来の集中供給から分散供給への転換が合理的な選択となるケースが多く見られる。

さらに実務上、見落とされがちであるが重要なのが時間の整合である。すなわち、廃熱の発生タイミングと熱需要の発生タイミングが一致しているかという点である。実際の現場では、廃熱が連続的に発生する場合もあれば、設備の稼働状況に応じて断続的に発生する場合もある。一方で熱需要もまた、作業時間や工程の進行に応じて時間的に変動する。このため、温度や位置が適合していても、時間的に一致しない場合には有効活用が難しいケースが多く見られる。

この時間的ミスマッチに対しては、蓄熱による時間シフトや、複数プロセス間での熱融通などの工夫が必要となる。すなわち、廃熱活用とは単一設備の問題ではなく、工場全体の運用と密接に関係したシステム設計の課題であるといえる。

以上のように、廃熱活用は「単に回収する」段階から、「どのように組み合わせ、適用するか」という段階へと移行する必要がある。そのためには、熱の流れを多面的に捉え、統合的に最適化する視点が不可欠である。

自然界のエネルギーや工場などの廃熱を活用することで投入エネルギー以上の熱エネルギーを生み出すことができるのは「ヒートポンプ」のみです。

エネルギー効率7の場合

熱源から6の熱をもらい1の電力で7の熱エネルギーを作り出します

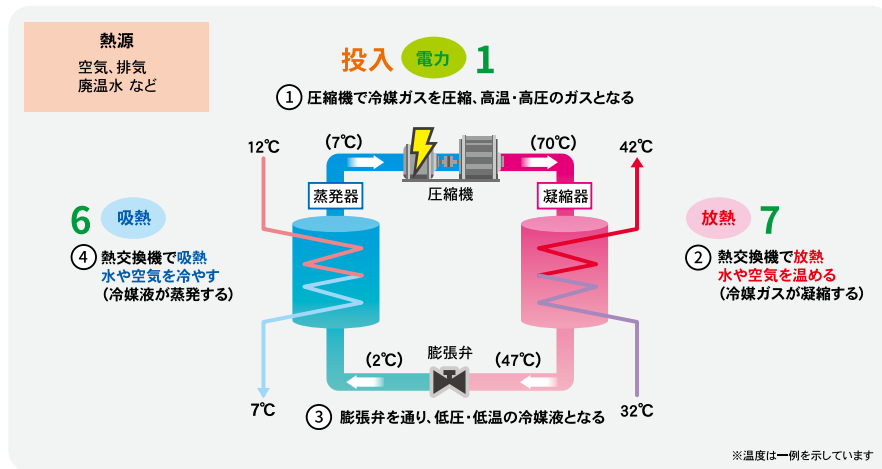


図-4 ヒートポンプの仕組み

冷温同時供給 熱供給の合理化

ヒートポンプを使うと、1台の機器、1つの投入エネルギーで加熱と冷却を同時に行えます。「加熱」と「冷却」が近接している場合には、特に効果的です。

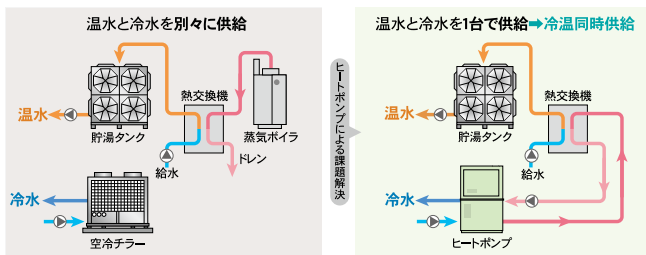
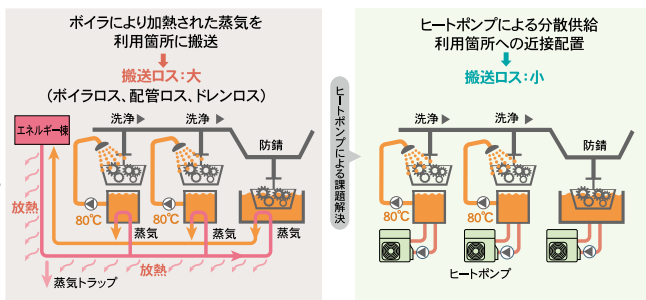


図-5 冷温同時供給

分散配置／分散供給 蒸気ロスの削減

ヒートポンプを生産装置に近接して設置することで、これまで発生していた配管ロスが削減できます。また、生産プロセスの稼働に合わせて、熱を供給できるため、より効率的な加熱ができます。ヒートポンプは容量のラインナップが豊富なため、生産機器に合わせた分散配置が容易にできます。



分散配置／分散供給 個々のプロセスに合わせた熱供給

個々のプロセスの温度が異なるのに、一律の温度、しかも化石燃料を燃焼して発生した高温を供給するのは熱利用面で無駄が多いと言えます。ヒートポンプを使うと、そのプロセスに合った温度で供給できます。

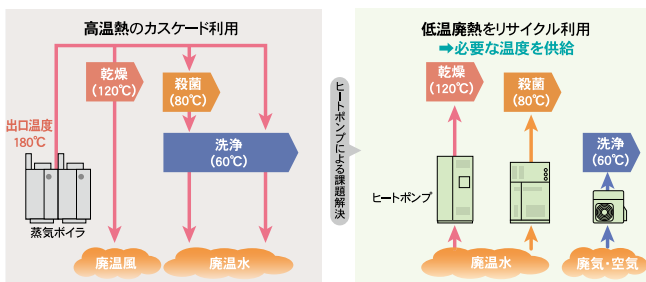


図-6 分散供給

4. 産業電化技術による廃熱活用

廃熱活用を実現する上で重要な役割を果たすのが、産業電化技術、特にヒートポンプである。ヒートポンプは、低温の熱エネルギーを回収し、圧縮機的作用によって高温側へ移動させることで、利用可能な熱として供給する技術であり、その効率性の高さから近年注目が高まっている（図-4）。

工場においては、廃熱をそのまま捨てるのではなく、ヒートポンプによって再生し、必要な用途に供給することでエネルギーの循環が実現される。例えば、冷却工程から得られる熱を加熱工程に転用することで、新たな燃料投入を抑制することが可能となる。

また、ヒートポンプの特長として、冷却と加熱を同時に行うことができる点が挙げられる。これは冷温同時利用と呼ばれ、従来は別々に処理していたエネルギー需要を統合することにより、全体の効率を大幅に向上させることができる（図-5）。

さらに、熱供給の分散化も重要な考え方である。従来の集中供給方式ではなく、各プロセスに近接した位置にヒートポンプを配置し、必要な熱を必要な温度で供給することで、配管ロスや過剰供給を防ぐことができる（図-6）。これは単なる設備配置の変更ではなく、熱利用の設計思想そのものの転換を意味する。

5. ハイブリッド化と導入事例

現実の工場では、あらゆる熱需要を単一の技術で賄うことは困難である。プロセスごとに要求される温度帯や負荷特性が異なることに加え、既存設備との整合性や安定操業の確保といった制約も存在する。このため、ヒートポンプと既存の燃焼系設備を組み合わせたハイブリッド化が、現実的かつ有効な選択肢となる。

例えば、ある工程では、冷却設備から発生する廃熱をヒートポンプで回収し、他の処理工程における加熱用途として再利用する取り組みが進められている。このような構成により、従来ボイラーで賄っていた熱需要の一部を代替し、燃料使用量の削減とエネルギー効率の向上が図られる。一方で、立ち上がり時や高温域の要求、あるいは不測の負荷変動に対しては、既存のボイラー設備を併用する

ベストミックス

◎省エネ性の高いヒートポンプをベース利用 ◎変動負荷を瞬発力のある他の加熱方式

負荷変動吸収

◎立ち上がり時など大きな変動負荷を他の加熱方式でバックアップ

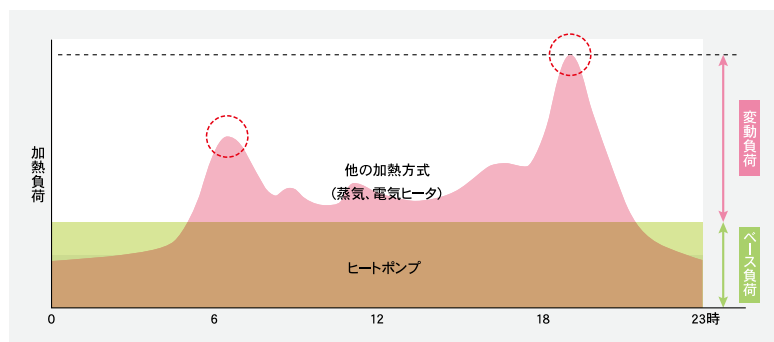


図-7 ハイブリッドシステムのメリット

を図ることが求められる。この際、分散化、適温供給、冷温同時利用といった考え方が重要な設計指針となる。

また、これらを現場で具体化するためには、機器単体の性能にとどまらず、工場全体のエネルギーフローを俯瞰し、最適なシステムとして再構成する視点が不可欠である。すなわち、エネルギー供給事業者、設備メーカー、需要家をつなぎ、複数の技術を統合して設計・提案する「インテグレーター」の役割が今後一層重要となる。

このように、熱利用の再設計とは、技術導入にとどまらず、設計思想と人材の両面に関わる変革であるといえる。

7. おわりに

工場廃熱は、大きな可能性を有する未利用資源である。その有効活用は、エネルギー効率の改善だけでなく、製造業の持続可能性を高める鍵となる。

今後は、技術の進展だけでなく、設計思想の転換が求められる。熱を「設計するもの」として捉え直すことが、新たな価値創出につながる。その第一歩として、工場廃熱の有効活用に取り組む意義は極めて大きい。

【参考資料】

- 1) 一般社団法人日本エレクトロヒートセンター「産業用ヒートポンプ導入ガイド」
<https://jeh-center.org/ihpguide.html>



資料： <https://sangyo-hp.jeh-center.org/>

図-8 産業用ヒートポンプ.COM

ことで、安定した運用を確保している。

このように、定常運転時のベース負荷を高効率な電化技術で担い、ピーク負荷や特殊条件については既存設備で補完するという役割分担により、エネルギー効率と供給信頼性の両立が可能となる。また、温度や容量といった観点で熱源の最適分担を行うことにより、それぞれの設備の特長を最大限に活かした運用が実現される（図-7）。

さらにハイブリッド化の重要な特徴は、既存設備を活かしながら段階的に導入できる点にある。一度に大規模な更新を行うのではなく、適用可能なプロセスから順次導入を進めることで、初期投資の平

準化やリスクの低減が図られる。この点は、現場における実装を進めるうえで大きな利点である。

ハイブリッド化は単なる技術の組み合わせではなく、負荷特性や温度帯に応じてエネルギーを使い分ける設計思想である。したがって、個別機器の性能にとどまらず、工場全体のエネルギーフローを踏まえた最適化が求められる。

なお、実際の導入にあたっては、具体的な適用事例を参照することが有効である。産業用ヒートポンプの活用事例については、（一社）日本エレクトロヒートセンター（JEHC）の「産業用ヒートポンプ.COM」において、多様な業種・用途の導入事例が整理されている。基本的な考え方から具体的な適用例まで体系的にまとめられており、検討の参考となる（図-8）。

6. 熱利用の再設計という視点

廃熱活用および産業電化の本質は、単なる個別技術の導入ではなく、工場における熱利用の再設計にある。これは、エネルギー供給設備の更新にとどまらず、熱の生成から利用に至る一連の流れそのものを再構築する取り組みである。

従来の熱利用は、ボイラーによる蒸気供給を前提とした集中供給方式のもとで、各プロセスが個別に最適化される形で構築されてきた。しかし、このアプローチでは工場全体としてのエネルギー効率には限界があり、結果として熱のロスや非効率な利用が構造的に残存することとなる。

これに対し、熱利用の再設計では、「どこで熱をつくるのか」「どの温度で供給するのか」「どのように運び、どのように使うのか」を一体として捉え、最適化