

低エクセルギー損失社会を実現する 熱交換器開発の最前線

鹿園 直毅 (しかその なおき) 国立大学法人 東京大学 生産技術研究所 教授

要約 我が国の1次エネルギー供給の約2/3が損失となっているが、この損失の本質は、熱で言えば10,000℃以上の価値がある炭化水素燃料を燃焼し、低温で利用してしまうことにある。この損失を削減するためには、熱再生や可逆発熱といったプロセスを普及させる必要があるが、その必要条件として低コストかつ低温度差で大量の熱をやり取りする熱交換技術が不可欠となる。多様な用途や容量の熱交換器のコストを下げるためには、ニーズとシーズを融合させた総合的な取り組みが必要である。熱交換器では気相が主たる熱抵抗となる場合が多く、熱交換器のみならず筐体やシステムの大きさなどが気相側で支配されてしまうことが多い。近年の大規模数値シミュレーション等のデジタル設計技術の進展は目覚しく、熱交換器設計も転換点を迎えている。本稿では、熱交換技術の課題とともに筆者らが取り組んでいる斜交波状面による単相伝熱促進技術について紹介する。

1. はじめに

図1に、我が国のエネルギーフローを示す。一番左が石油や石炭等の1次エネルギー供給であり、これが電気や都市ガス等の2次エネルギーに変換され、需要側で最終エネルギー消費として利用される。1次エネルギーから2次エネルギーの変換過程で約1/3のエネルギーが失われている。ただし、これで終わりではない。我々が真に必要なエネルギー量は、最終エネルギー消費のさらに半分程度だと考えられている。つまり、1次エネルギー供給の約2/3が最終的には損失となっている。ここで、エネルギーは保存するので、エネルギーが無くなっているわけではない、価値の高い化学エネルギーが価値の低い低温の熱に変化してしまったということである。このことを理解するためには、エクセルギーを知っておくと便利である。エクセルギーとは、その系から理論上取り出せる最大の仕事量のことである。我々が実際に使うのは仕事か熱であるが、このうち熱は仕事から100%変換可能であることから、我々が真に必要なエネルギーは仕事、すなわちエクセルギーとみなしても良いであろう。我が国の1次エネルギー供給の91.4%(2015年度)が化石燃料(炭化水素燃料)であり、そのエクセルギー率は100%に

近いので、供給から利用までに膨大なエクセルギー損失が発生していることになる。それでは、なぜこのように大量のエクセルギー損失が発生してしまうのだろうか？

図2に、熱媒体の温度ごとのエクセルギー率を示す。人類が扱うことのできる温度である約2,000℃以下の熱のエクセルギー率は70%以下である。一方、炭化水素燃料のエクセルギー率は90%を超え、熱に換算すると10,000℃以上の温度に相当する。エクセルギー損失の本質は、熱で言えば10,000℃以上の価値がある炭化水素燃料を燃焼し、2,000℃以下の低温にまで降温してしまうことにある。従って、エクセルギー損失を抜本的に削減するためには、まずは熱を逃がさず捨てないことで、燃焼による加熱量を減らすことが重要である(断熱と再生)。エネルギーは保存するので、完全に断熱・熱再生された定常流動系では、仕事を取り出さなければ本来加熱する必要はない。その上で、どうしても熱が必要なときは、高温の燃料電池やヒートポンプ、あるいは再生可能な熱エネルギー等を利用して燃焼させずに熱を得る(可逆発熱)。この熱再生や可逆発熱といったプロセスでは、大量の熱を作動流体や冷媒間でやりとりする必要がある。つまり、エクセルギー損失を削減するためには、低コストかつ低温度差で大量の熱をやり取りする熱交換技術の高度化が