

## 企業の省エネにバツグンの効果をもたらす

# エクセルギー活用入門

第1回 エクセルギーの概念と導入意義

早稲田大学 中垣 隆雄

### ますますの省エネが求められる時代における、エクセルギーの意義

東日本大震災以降に改定されたエネルギー基本計画を基に、2015年7月に経済産業省から出された長期エネルギー需給見通し(いわゆるエネルギーミックス)によると、マクロフレームとして1.7%の経済成長と、それに伴う電力需要の伸びを織り込みながらも、2030年の電力需要を980TWh程度に抑える高い目標が掲げられている。この実現には、約200TWhの省エネ達成が必要であり、その内訳は民生家庭・業務部門と産業部門で3:1程度になっている。

この目標は、「乾いた雑巾を絞る」と評され、実現は厳しいのが現状である。図1に示す通り、製造業のエネルギー消費は長らく横ばいで推移しており、これを削減するには、マクロなエネルギー総量(エンタルピー)では評価できないプロセスごとの損失の棚卸しを徹底して、PDCAサイクルを

回すことが近道の1つである。

工場の現場のプロセスでは、燃料やさまざまな物質、発電・買電による2次エネルギーとしての電力、さらには多様な温度レベルの熱などを発生・消費しながら工程が管理されており、これらを統一的に扱えるのが、エクセルギーである。本連載では、エクセルギーの本質を理解することに主眼を置き、エネルギー損失の見える化のみならず、新たなプロセス設計の評価尺度として大変有用な概念であることを紹介する。

エクセルギーがわが国の企業ではまだまだ普及していないことを踏まえて、連載は2部構成とし、第1部は「エクセルギーの考え方とその活用法」としてエクセルギーの概要をわかりやすく説明する。第2部は「工場・プラントのエクセルギー活用事例」(武田彰夫氏が執筆)をテーマにし、エクセルギーを使用した事例を紹介するという手順を踏むことで、工場管理の現場においてどのように役立つのかを包括的に解説していきたい。

### エンタルピーとエクセルギー

仕事や熱のエネルギーを表すSI単位はジュール(J)であり、熱量を表すcal(カロリー)と1cal=4.18605Jで換算できる。たとえばボイラーの場合、燃料や蒸気の熱量は質量に比例する示量性の変数であり、単位質量当たりの保有エネルギーを比エンタルピー(J/kg)と呼ぶ。

工場管理の現場ではプロセスフローを扱うので、質量流量(kg/s)と比エンタルピーの積として、仕事率のSI単位であるお馴染みのワット(W)を用いて表すことになる。エネルギーが質量流量に比

図1 最終エネルギー消費の推移(エネルギー白書2013)

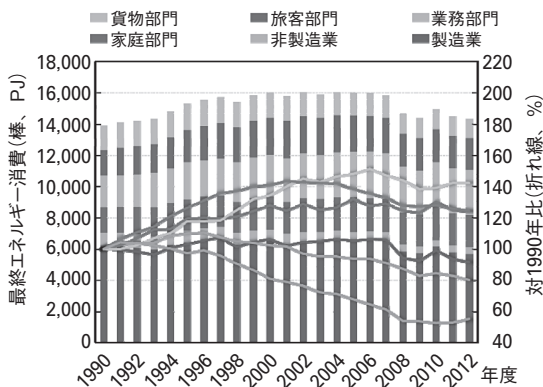
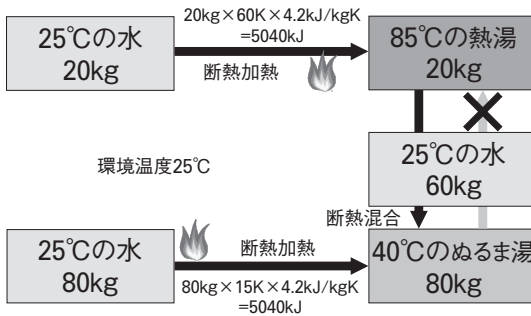


図2 エネルギーの量と不可逆性



例する量であるため、関与する流量を減らすことが省エネの基本である。

一方、本連載で扱うエクセルギーは質の概念であると言われるが、こちらも示量性状態量の関数であり、エンタルピーと同じく比エクセルギーが定義され、質量流量との積でジュールやワットの単位で表されるのも同じである。すなわち、エンタルピー、エクセルギーの基準いかに関わらず、関与する流量を減らすことは結果的には省エネをもたらすのだ。

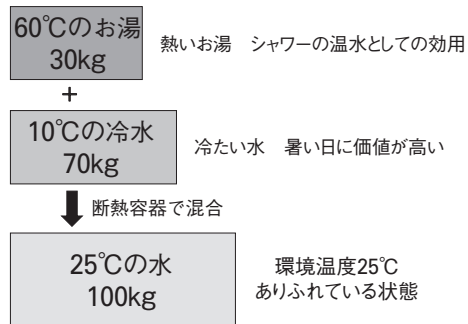
システムの中での燃料や電力などの入力で、希望の出力を得るまでの損失を減らすことで入力流量の削減につなげたい場合、どこでどのような損失があるのかを知るには、単位プロセスごとの分析が必要であり、それはエクセルギーでしか見えてこない。また、化学・熱・動力・電力など異なる形態の物質・エネルギーを統一的な尺度で取り扱うことで、それらの本来のポテンシャルを活かし切る合理的な利用を考える際にも、エクセルギーによる評価が特に有用である。そこで、エクセルギーを使いこなすために例題から理論を学び、現場のプロセス管理で実践的に応用していくこととしよう。

## エネルギーの量と質(価値)

周囲環境の温度が25°Cの状態、25°Cの水がある。この水を20kg入れた完全な断熱容器と80kg入れたものをつくり、それぞれを85°Cの熱湯と40°Cのぬるま湯に加熱することを考える(図2)。

水の比熱は温度に対して一定で、4.2kJ/kgKと近似すれば、加温に必要なエネルギーはいずれの

図3 混合によって失われる効用・価値



ケースも5,040kJと算出され、燃料を焚いて加熱すれば消費量は同じである。しかしながら、消費した燃料(エネルギー量)は同じであり、エンタルピーとしていずれの温水も5,040kJを保有しているが、得られた結果は明らかに同じではない。

85°Cの熱湯20kgを使えば、25°Cの水60kgと断熱混合することで40°Cのぬるま湯80kgが得られるのに対し、40°Cのぬるま湯がたとえどれだけあっても、それから85°Cの熱湯を得ることは不可能だからである。すなわち、得られた結果の量としては同じでも、環境温度に対する隔たりと熱移動の不可逆性(熱力学第2法則)により、熱エネルギーの価値あるいは質が異なることになり、この違いを表すのがエクセルギーである。

別な例を挙げよう。60°Cのお湯30kgと10°Cの冷水70kgがある。これらを断熱容器で混合すると、25°Cの水100kgが得られる。断熱混合であるので、混合の前後でエネルギーは保存(熱力学第1法則)され、エンタルピーは失われていない。とはいえ、周囲環境温度が25°Cであれば、25°Cの水はエネルギーを加えることなく得られるので、有用とは言えない。

一方、混合前の60°Cの熱いお湯はシャワー用の温水源として有用であり、10°Cの冷水も暑い日には価値がある。それらの価値が、混合後には失われてしまっている。この失った効用や価値もエクセルギーの概念である(図3)。

## エネルギーの保存と消費

外気温度が5°Cの寒い日に灯油焚きのストーブを焚き、室内を25°Cに暖房している状況を考える