

エクセルギー解析にもとづく新しいガス機器開発をめざして



研究室紹介

久 角 喜 徳*

Challenge to the development of a new gas appliances
based on the exergy analysis

Key Words : Exergy, Entropy, Enthalpy, Desiccant, Gas

我々の研究グループは、本年4月に大学院工学研究科第16番目の共同研究講座として大阪ガスからの資金・研究者により設立されました。主たる研究内容は、「損失最小化設計手法の構築と各種ガスシステムのエクセルギー解析等に関する研究」を行い、その手法を用いた新しいガス機器開発を目指しています。また大阪大学のホームページに各種熱プロセスのエネルギー変換の無駄を定量化できるシステム構築を目指し、一般の企業技術者や学生がこれを利用できる環境を提供することも目的の一つです。

エクセルギーとは

熱などが保有するエネルギーの価値を表す概念です。熱源に保有されるエネルギーは、仕事（力学的エネルギー）として取り出せるエネルギーと取り出せないエネルギーとに区分できます。前者を「エクセルギー」または「有効エネルギー」と呼びます。このエクセルギーは熱源の温度の高低などに影響を受け、外気温度など基準とする温度との差が大きいほどエクセルギーは高くなります。高いエクセルギーの熱源に対してはエクセルギーの損失が小さくなるようなエネルギー変換方法を取り入れたり、また低いエクセルギーの熱源もできる限り活用できるシステムが、省エネ・省CO₂に繋がると考えられます。

エネルギー評価尺度変更の必要性

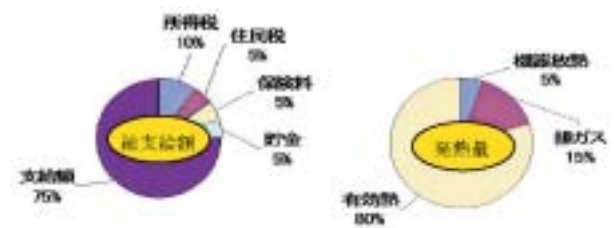
なぜ、エクセルギー評価則が必要なのでしょう。エネルギー倫理の問題として、エントロピーの増大は、再生不可能な環境破壊の後始末を未来世代に押し付けるからです。熱量保存則では、このエントロピー増大の評価ができません。たとえば

- ・ヒートポンプの成績係数は、どこまで上がる？
- ・水温の異なる温水のエネルギー価値は？

これらの疑問は、熱力学第一法則の熱量保存則では、答えることができません。熱力学第二法則すなわちエントロピーの理解が必要になります。

エントロピーを理解する

大学の教育では、エントロピーとは、「不確定性、乱雑さ、無秩序の度合い」、あるいは「受け取った熱をシステムの絶対温度で割ったもの」と教えられています。しかしこのエントロピーをどのように工学に活用するかといった具体的な指導はなされていないのが現状です。私は10年ほど前から、エクセルギー評価則の理解を深めていただくため、エネルギー（エンタルピー）とエクセルギー（エントロピー）の関係を、小遣いと給料の关系到当てはめ、熱力学の第二法則の意味するところを比喻により広めてきました。下図に給料の[支給額]・[控除]と[有効熱]・[燃料の発熱量に占める損失]との類似性を示します。



*Yoshinori HISAZUMI

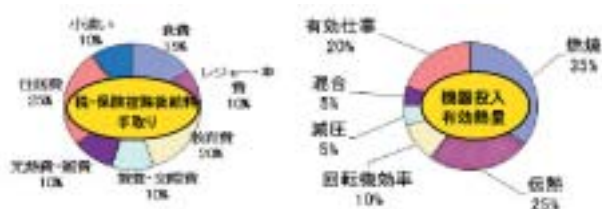
1949年11月生
大阪大学工学部 産業機械科卒（1973年）
大阪ガスを定年退職後、大阪大学大学院
工学研究科機械工学専攻 大阪ガス共同
研究講座 特任教授 工学博士
JSMEフェロー
TEL : 06-6875-8650
FAX : 06-6875-8650
E-mail : hisazumi@ed.jrl.eng.osaka-u.ac.jp
<http://www.ed.jrl.eng.osaka-u.ac.jp/>

支給額（手取り）は、総支給額から税金・保険料などを引いたものです。有効熱は、燃料の発熱量から機器放熱や未利用排ガスを引いたものです。

発熱量と有効熱の熱量保存則による評価は、必要経費や消費税が議論できない単に目に見える一部の経費だけ（機器放熱と排ガス損失）を扱うエネルギー変換尺度です。

一方、エクセルギーは、必要経費や消費税が議論できるエネルギー変換尺度です。下図に小遣いと手取りの関係とエクセルギーと機器投入有効熱量との関係の類似性を示します。すなわち、

小遣い = 手取り - (1 + 消費税) × (必要経費) で表されます。



必要経費には、食費、レジャー・車費、教育費、教養費・交際費、光熱費・雑費、住居費などがあり、サラリーマンの小遣いは、手取りの約10%になってしまいます。一方、エクセルギーは、投入熱Qから外界条件 T_0 を加味した損失を差し引き、

エクセルギー (Work) = $Q - T_0 \times \Delta S$ で表されます。

エクセルギー評価則においては、損失 ΔS は、熱損失とは異なる「エントロピー損失」です。

ここで、有効仕事とは、動力や蒸気・温水・冷水などであり、一方、エントロピー損失とは、燃焼、伝熱、回転機の効率ロス、減圧や混合といったプロセスの操作過程で発生します。これらの損失は、熱量保存則では、現れてきません。すなわち、エクセルギー評価を行うことで、仕事相当の有効エネルギー損失の見える化ができるのです。

エクセルギーをどうやって計算するのか

理想気体の状態方程式 $PV=nRT$ が基本となります。実際には係数補正で精度を上げた実在気体の状態方程式 (Peng Robinson など) を使います。今は、ITの時代、コンピュータがプロセスのエント

ロピー損失を計算してくれます。プロセスシミュレータと Exergy 計算用 Excel ソフトで瞬時にシステムのエクセルギー評価が行えます。

各種ガスシステムのエクセルギー解析

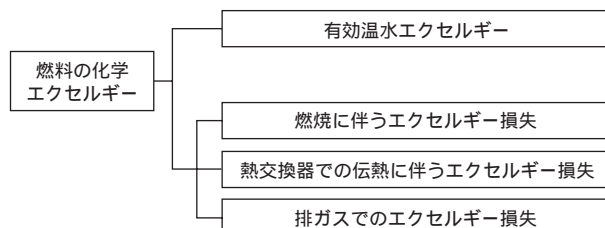
対象とするシステムとしては、ガスエンジン、ガスタービン、スチームタービン、燃料電池などのコージェネレーションの他、給湯器、ヒートポンプ、LNG冷熱利用、吸収式冷暖房機、デシカント加湿・除湿空調、水噴霧冷却などを考えています。これらのシステムを以下の五つの分類に分け、運用条件の変更により研究講座のホームページを訪れた学生や技術者にエクセルギー損失の定量化が体験できるモデルを提供することを目指しています。

- ・都市ガスから動力（電気）を取り出すシステム
- ・温熱や冷熱から動力を取り出すシステム
- ・給湯・暖房などの熱供給システム
- ・冷房および除湿システム
- ・自然エネルギー利用システム

また、このホームページ上で、ライセンス上の制約から取り扱える組成は、都市ガスとその燃焼生成物に限定されますが、温度 / 圧力 / 乾き度のいずれか二つの状態量を指定すれば、その組成の熱物性やエクセルギーを計算することができます。

エクセルギー評価による新しいガス機器開発

エクセルギー評価の基準温度は、通常外界の温度を用います。したがって浴槽に年間を通じて42のお湯をガス給湯器で張った場合、エクセルギー効率は、外気が7、給水9の冬期では6.1%ですが、外気が25、給水24の夏期では、2.5%にまで下がってしまいます。エクセルギーによる給湯器の損失項目を下図に示します。エクセルギー損失の多くは、燃焼および伝熱に伴う損失です。



一方、これを従来の熱力学第一法則で評価しますと、外気温の影響をほとんど受けず、熱効率はほ

ば95%となります。寒い冬には、温かいお湯に付きたいですが、暑い夏には、熱いお湯には付きたいとは思いません。エクセルギー評価では、この人間の感覚を表現することができるのです。関西では、真冬には-5 近く、また真夏には38 を超える場合があります。この季節や日間の温度変化を踏まえたエクセルギー損失の評価を行うことで、新しいガス機器開発の発想が生まれます。ガスエンジンや燃料電池を用いたコージェネレーションシステムは、エクセルギー損失の低減に有効なシステムであり、上記観点に基づくシステム開発が重要となります。

水噴霧外気冷却によるデシカント除湿冷房空調

前記の家庭用のコージェネレーションシステムが省エネ、省CO₂の観点から注目を浴びています。特に最近では、太陽光発電と組み合わせたW発電が脚光を浴びています。エクセルギー評価でこのシステムを見ると、エクセルギー効率、熱源機をガスエンジンにするか燃料電池にするかにより異なりますが、30%～48%となります。我々の研究グループでは、太陽熱の利用も視野に入れ、さらなるコージェネレーション排熱の有効活用を目指して、水噴霧外気冷却によるデシカント除湿冷房空調の要素開発に取り組んでいます。開発のイメージを下图に示します。

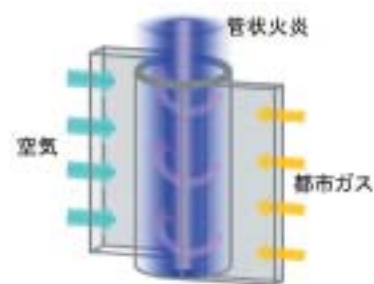


デシカント除湿空調の性能を高めるためには、吸着ローターを通過した後の供給空気の色度を冷却する必要があります。しかし空冷では十分に下げることができず、また水冷式のクーリングタワーの設置

は、家庭用には向きません。そこで注目したのが、外気温度の上昇に合わせて相対湿度が下がることです。自然がもたらすわずかな状態変化を有効に利用し、外気にわずかな水噴霧をすることで相対湿度にもよりますが、外気を10 近く冷却することができます。当然このシステムを評価するにはエクセルギー解析が欠かせません。

管状火炎の応用技術開発

下图に管状火炎バーナのイメージを示します。管状火炎は、これまでの予混合燃焼バーナに比べ、断熱火炎を実現でき、ほぼ希薄、過濃の可燃限界まで燃焼できる熱的優位性の他、外部高密度(低温)、内部低密度(高温)で火炎は層流化しているという空気力学的優位性を持っています。そのため、空気、燃料の圧損が大きいという短所はあるものの、層流燃焼で低騒音、高温の火炎、保安器が不要、予混合から拡散まで燃焼が自在、広い燃焼範囲を有するなど多くの長所があります。そこでこうした特徴を生かすため、管状火炎中心空間の利用を研究のテーマに取り上げています。具体的には、水/蒸気噴射による疑似過熱蒸気の発生、室内空気導入による空気浄化や化学物質導入による燃焼合成(酸化、還元、高温)などが挙げられます。これらの応用技術は、都市ガスの高温燃焼場を有効に活用する技術であり、当然エクセルギー効率の高いシステムとなります。



最後に

大阪ガス共同研究講座では、大阪大学が有する熱工学分野の学術的知見と、大阪ガスが持つエネルギーシステムの技術開発力を融合させ、エクセルギー損失の最小化を実現するシステム設計手法(エクセルギーデザイン)やエクセルギー評価に基づく新しいガス機器開発に取り組み、エネルギーシステムの更なる省エネ・省CO₂化を図り、低炭素社会の実現に貢献する所存です。