

大阪ガス・エクセルギーデザイン共同研究講座

大阪ガス・エクセルギーデザイン
共同研究講座 特任教授

久 角 喜 徳

1. はじめに

大阪ガス（エクセルギーデザイン）共同研究講座は、エクセルギーの概念を利用した評価方法によりエネルギーシステムの高効率化を実現するため、大阪大学大学院工学研究科機械工学専攻に平成22年4月開設されました。この共同研究講座は、大阪大学が平成18年4月に設けた制度であり、平成23年8月時点で工学研究科に17講座、その他の部局と共同研究部門を含めて11講座があり、企業から研究者を受け入れ、大阪大学の教員と企業からの研究者が対等の立場で研究を行い、互いの強み・技術を活かして成果を出すことを目的としています。また、この共同研究講座制度は、これまでの寄付講座や共同研究とは異なり、Industry on Campus の名の下に、若手技術者や研究者の育成も目的の一つにしています。

当研究講座の位置づけを図1に示します。大阪ガスの現役および退職した現場経験力などを有する研究者・技術者が、直接、若手研究者や学生を研究開発の

戦力として、また同時に彼らに技術者教育を行いながら、大阪ガスの中長期テーマを支える原理試作やコンセプト検証を行なっています。また当共同研究講座が機械工学専攻の中に組み込まれることで、複合メカニクス、マイクロ機械科学、知能機械学、統合デザイン工学などの分野の学術的知見や研究インフラをもとにした多岐の支援を受けています。特に当講座の運営並びに研究に関しては、機械工学専攻のメンター講座の武石賢一郎教授、赤松史光教授からあたたかいご支援をいただいています。一方、機械工学専攻の協力講座としてその活動に参画し、講座の研究内容をホームページ⁽¹⁾で公開するとともに、エクセルギーデザイン学を普及するためのラボ見学や特別講義、並びにシンポジウムなども実施しています。

本稿では、エクセルギーデザイン学普及に向けた取り組みとエクセルギー評価による新しいガス機器開発について紹介します。

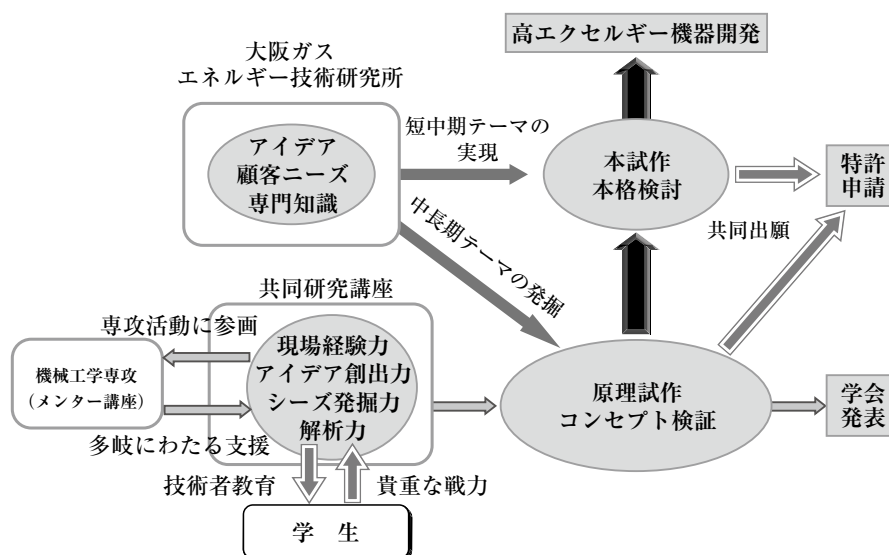


図1 大阪ガスエクセルギーデザイン共同研究講座の位置づけ

2. エクセルギーデザイン学普及に向けた取り組み

近年、エネルギー問題の高まりと共に、エネルギー変換機器の高効率化が望まれています。熱交換器、回転機、燃焼器などの各構成機器の高効率化は勿論、シ

ステム全体としての熱効率を高めることが必要となります。しかし、この熱効率をエンタルピー基準により評価しては、エネルギーの保存則は考慮できますが、エネルギーの質は考慮できません。そこで、エネルギー

の質を考慮できるエクセルギーが今注目されています。エクセルギーは、色々な熱工学関連のテキストには、取り出せる最大の仕事であると定義され、熱源の温度と外界の基準温度との差が大きいほど価値が高く、数式で表すと以下で表されます。

$$A = Q\eta = Q\left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \\ = (H - H_0) - (S - S_0) \times T_0$$

ここで A：エクセルギー
η：カルノー効率
Q：熱量（エンタルピー）
T：絶対温度 [K]
H：エンタルピー
S：エントロピー
添え字 0：基準温度での値を表します。

エクセルギーでは投入した燃料（化学エクセルギー）、および冷温熱、電力並びに圧力などの（物理エクセルギー）から取り出せる最大仕事のうち、取り出した動力（電力）と等価の仕事で効率を定義します。ヒートポンプを例に取れば、投入電力 100% に対して外部からの受熱量が 300% であるとエンタルピー基準の熱効率は 400% となりますが、エクセルギー効率では熱の質を考慮するため基準温度により異なりますが、たとえば 25% 前後となり、さらに一次エネルギー基準に換算すると約 10% に低下します。また燃焼、回転、減圧、伝熱、混合などの構成機器毎において生じるエントロピーの増加による損失を勘定できるので、これらの機器やインプット並びにアウトプットを表したサンキダイアグラム（熱勘定図）により、どの機器で大きな損失が生じているかを「見える化」でき、機器開発の指針を得ることができます。

エクセルギーによるエネルギーの評価と管理の必要性が謳われたのは、1977 年に発行された「熱管理士教本」⁽²⁾ が初めてです。しかし当時は、プロセスシミュレータもなく、プロセスのストリームのエクセルギー値を計算することが煩雑であり、またエクセルギー評価を行うと、大半の機器でエンタルピー評価よりも熱効率が下がることから、産業界への受け入れは進みませんでした。しかし今は IT の時代。情報ネットワークとコンピュータが、プロセスのエクセルギー損失を最小化できる設計手法をサポートできる時代となって

きました。一方、電力・ガス・石油事業者間の家庭用並びに業務用のエネルギー競合は、益々激しさを増してきています。顧客は給湯器、暖房機、空調などの設備を単に性能（快適性）やコストだけではなく、省エネルギーや CO₂ 削減に対して評価をして、導入を決める時代になってきました。例えば給湯・暖房の分野においては、潜熱回収型給湯暖房機「エコジョーズ」、家庭用コージェネレーション「エコウィル」「エネファーム」、および自然冷媒ヒートポンプ「エコキュート」といった商品が高い評価を受けています。顧客に「ガス」の有効性を理解してもらい「ガスエネルギー」を選択してもらうには、さらなる省エネルギー、CO₂ 削減を実現できる商品開発が必須となります。そこで前述のエクセルギーを用いれば、「損失の見える化」ができ、課題を明らかにでき、商品を構成するどの部分・どの部品に改善を加えるべきか、またどのような機能を加えれば良くなるのかを定量的に示すことで、最適化を図ることができます。これはまさに商品の「エクセルギー的デザイン」であり、商品開発の肝となるポイントです。

エクセルギーを用いる有用性の理解を深めていただくために、表 1 にエンタルピーとエクセルギーの 2 つの評価基準の比較を行ないました。この表から両者の差を車で例えると、エンタルピー車はラジオのみがついた仕様で、エクセルギー車はオートエアコン・電動シート・サンルーフなどフルオプションの仕様となります。

また、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。そのため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、エクセルギー効率では、外気 7℃、給水 9℃ の冬期では 61% となりますが、外気 25℃、給水 24℃ の夏期では 2.5% にまで下がってしまいます。一方、これを従来の熱力学第一法則で評価しますと、外気温度の影響をほとんど受けず、熱効率はほぼ 95% となります。寒い冬には、温かいお湯につかりたいですが、暑い夏には、熱いお湯につかりたいとは思いません。エクセルギー評価では、この人間の感覚を定量的に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や湿度の変化を評価に取り入れることで、また大きなエクセルギー損失低減に向けての新しいガス機器開発の発想が生まれます。

表1 エンタルピーとエクセルギーの二つの評価基準の比較

項目	エネルギー変換尺度		備考
	エンタルピー	エクセルギー	
エネルギーの量	○	○	熱量は状態量ではない
エネルギーの質	×	○	エクセルギーは動力と質的に等価
基準温度の概念	×	○	流体の有効エネルギーを表現可能
圧力の評価	×	○	負圧は定義式から違和感あるが負
組成の評価	×	○	純酸素・純窒素の混合で損失発生
排ガス・放熱損失	○	○	常にエクセルギー<エンタルピー
混合損失	×	○	異温度流体の混合で損失発生
燃焼損失	×	○	純酸素燃焼なら損失を大幅に低減できる
回転機損失	×	○	断熱効率100%なら損失ゼロ
伝熱損失	×	○	温度差なしの熱交換なら損失ゼロ
減圧損失	×	○	流れの制御や計測でも損失発生

当講座では、エクセルギーの概念を普及させるために、研究テーマの一つを「損失最小化設計手法の構築と各種エネルギーシステムのエクセルギー解析等に関する研究」として、当講座のホームページにVMGSim⁽³⁾とクラウドコンピューティングを用いて、次のAからEのエネルギーシステムのエクセルギー評価ソフトを構築しました。ただし、()内システムは今後順次掲載を予定しているものです。

- A：都市ガスから電気を取り出すシステム
ガスタービンコージェネ、ガスエンジンコージェネ、燃料電池
- B：熱から電力を取り出すシステム
LNG冷熱利用システム、排熱利用ランキンサイクルシステム
- C：給湯・暖房の熱供給システム
ガス給湯暖房機、自然冷媒ヒートポンプ、(フラッシュ蒸気回収システム)
- D：冷房および除湿システム
エアコン、デシカント空調
- E：自然エネルギー利用
水噴霧冷却、(海洋深層水発電)

また熱物性推算プログラムVMGthermo⁽⁴⁾を用いた都市ガス、蒸気、燃焼排ガスの物性とそのエクセルギー値を計算できるソフトをITS⁽⁵⁾の厚意により実現しました。このソフトを用いれば、天然ガス組成に

加えて水素・酸素・窒素・水・CO・CO₂の混合または単一組成に対する液相や気相の飽和状態の温度や圧力の値の他、熱物性や輸送物性を瞬時に求めることができます。これらのソフトの使い方や計算事例も掲載しました。

平成22年10月にこのホームページを公開しましたが、多くの方々にエクセルギーデザイン学を理解いただくことで、更なるエネルギーシステムの省エネルギー化に貢献できることを期待しています。

3. エクセルギー評価による新しいガス機器開発 3-1 水噴霧外気冷却によるデシカント換気型除湿冷房空調

家庭用のコージェネレーションシステムが省エネ、省CO₂の観点から注目されています。特に最近では、太陽光発電と組み合わせたW発電がゼロエミッション住宅として脚光を浴びています⁽⁶⁾。エクセルギー評価でこのシステムを見ますと、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、都市ガス利用のエクセルギー効率は、30%~50%と前述の給湯器による効率を大幅にアップさせることができます。当講座では、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、水噴霧空気冷却によるデシカントによる換気型除湿冷房システムの開発に取り組んでいます。図2にそのシステムの概要を示します。デシカントでは、簡単に除湿はできますが、冷房を行うには、吸着ロータを通過した後の供給空気温度を何らかの方法で下げる必要があります。当講座では、

フロン冷媒を用いたヒートポンプを利用することなく、供給空気の温度を下げる開発に取り組んでいます。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に着目した水噴霧による冷却（打ち水）効果です。自然がもたらすわずかな状態変化を有効に活用し、外気にわずかに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。現在、夏場の電力使用量を下げべく、研究室に設置した家庭用コージェネ「エコウィル」の温水を利用した換気型除湿冷房、加湿暖房の原理試作に着手しています。

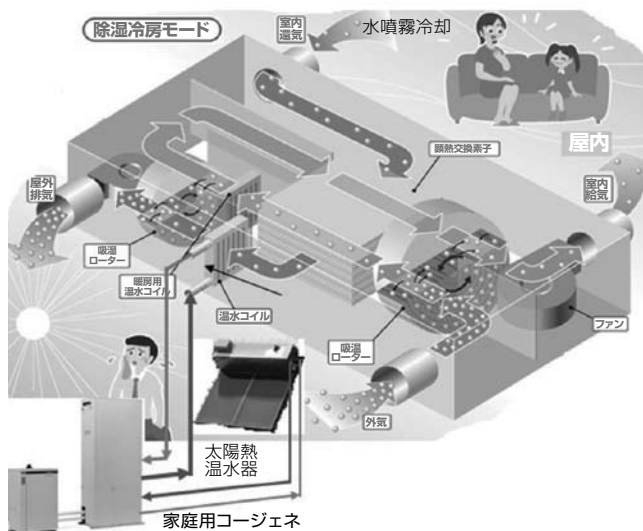


図2 水噴霧空気冷却によるデシカントによる換気型除湿冷房システム

3-2 管状火炎の応用技術開発

開発中の管状火炎バーナのイメージを図3に示します。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、保炎器が不要、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。

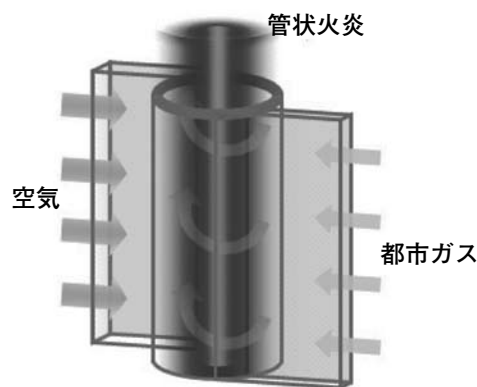


図3 管状火炎バーナのイメージ

4. おわりに

大阪ガス共同研究講座は、開設して既に1年半が経ちますが、まだ学生に対する知名度は高くなく、当講座の位置づけで述べた学生への技術者教育を十分に果たしていない状況にあります。今後は当講座が主催するシンポジウムなどに多くの学生に参加してもらい、講座の研究内容に興味を持ってもらった学生諸君とともに高エクセルギー機器開発に取り組めることが、私の目下の夢であります。

<参考資料>

- (1) エクセルギーデザイン共同研究講座ホームページ
<http://www.ed.jrl.eng.osaka-u.ac.jp/>
- (2) 石谷清幹, 熱管理士教本 エクセルギーによるエネルギーの評価と管理 (1977), 共立出版株式会社.
- (3) VMGSim, <http://www.virtualmaterials.com/vmgsim>
- (4) VMGThermo, <http://www.virtualmaterials.com/node/10>
- (5) ITS, <http://www.its-ykh.co.jp/aboutus.html>
- (6) 大阪ガスプレスリリース 2011年2月1日, http://www.osakagas.co.jp/company/press/pr_2011/1191946_4332.html

(産機 昭和48年卒)