

研究室紹介

東京大学大学院工学系研究科 堤研究室

化学システム工学専攻 助教授 堤 敦司

1. はじめに

本研究室は、文京区の東京大学本郷キャンパスにあり、大学院工学系研究科の化学システム専攻に属している。本専攻は大学院重点化に伴う組織改革で、従来の工学部化学工学科と反応化学科の大部分が一緒になり平成6年に誕生した専攻である。他に応用化学専攻、化学生命工学専攻と合わせて化学・生命系3専攻として組織されている。工学系研究科全体は24の専攻からなり、学部生が約2,100人、大学院生が修士・博士を合わせて約2,900人という大学院が中心の大学院大学となっている。

2. 研究の対象と目的

化石エネルギーの大量消費による地球環境の劣化と物質およびエネルギーの資源量による制約により、エネルギーシステムとともに生産システムそのものの変革が必要となって来ている。地球環境問題の根本的解決のために、省資源化、省エネルギー化を図り、環境へのインパクトが最小になるような物質とエネルギーのリサイクルを基盤とする生産システムとそれに適したエネルギーシステムの構築が求められている。本研究室では、物質

とエネルギーの流れと変換過程を把握し、リサイクルを基盤とする高度情報化社会に適した新しいエネルギープロセスおよび生産プロセスの開発を行い、これによりエネルギー・環境問題の解決に寄与することを目指し、図1に示される主なエネルギー変換プロセスすべてを研究の対象とし、それらを実現させるための基礎的開発手法も含めて研究を行っている。実際、機械-電気エネルギー変換を除いて、熱-化学エネルギー変換であるヒートポンプ、化学-化学エネルギー変換である燃料転換も含めて、研究の対象としている。

3. 主な研究課題と研究内容

3.1 熱・化学エネルギーの革新的利用技術の開発

従来のエネルギープロセスは燃料の燃焼により化学エネルギーをすべて熱エネルギーに変換し、熱機関によって仕事を取り出している。これに対して熱エネルギーの一部を熱化学変換を利用して化学エネルギーを経由させることによって高効率で仕事を取り出すことができる。さらに、従来のエネルギープロセスに反応の分割による熱化学変換サイクルを導入することにより、エネルギー利用の高度化が可能となる。

(1) 熱化学再生水素製造

バイオマス、石炭などの炭素系エネルギー資源から水素を製造し、熱化学再生燃焼するプロセスの開発を行っている。従来は炭素系資源そのものを部分酸化させ発生した熱によりガス化あるいは液化を行うのに対して、ここでは太陽熱や低レベルのプロセス排熱を利用することにより改質ガス化を行い水素を製造する。これは低レベルの熱エネルギーを炭素系化学エネルギーにより最もエクセルギー率の低い水素エネルギーに変換する熱化学ヒートポンプとなり、このことによりエネルギー有効利用効率の飛躍的向上を図れる。

発電部門への具体的な応用として、天然ガスを直接燃焼させるのではなく、夜間の余剰熱を利用して改質し水素の形で貯蔵し、昼間これを水素燃焼複合サイクルで燃

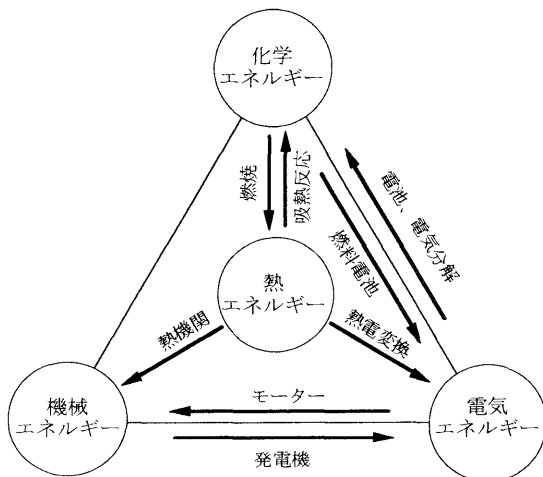


図1 エネルギー変換プロセス

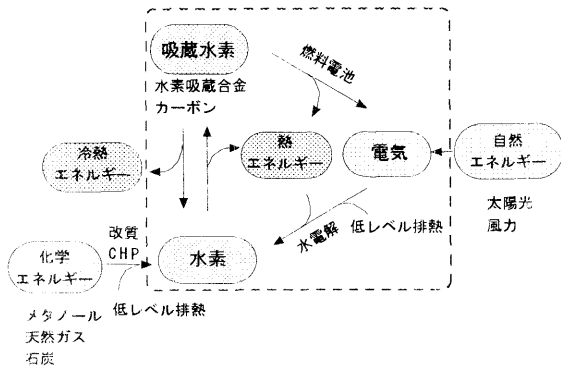


図2 マルチパスエネルギーシステム

焼発電する天然ガス改質燃焼複合サイクル発電のプロセス設計を行っている。これにより効率を低下させることなく負荷変動に対応できる高効率発電システムができる。

(2) マルチパスエネルギーシステム

マルチパスエネルギー貯蔵システムとして、水素の吸蔵・脱蔵反応と電気分解・燃料電池反応とを組み合わせ、発電、熱・冷熱供給、水電解・電力貯蔵が可能な電気-化学-熱エネルギー相互変換システムの開発を行っている。

通常、電気化学反応装置には二次元構造の平板型電極が用いられており、これを集積してスタックとして構成されている。このため構造が複雑で大型化は困難である。そこで、スケールアップが容易な三次元電極である流動層電極を用いた化学反応装置を適用する。電極粒子に水素吸蔵合金あるいはカーボンテンチュープを用いることによって水素を貯蔵するとともに、電気化学反応装置として利用でき、一つのユニットで水素貯蔵水電解-燃料電池の三つの機能を発揮する電気-化学エネルギー相互変換装置となる。

(3) コプロダクション

物質およびエネルギー生産システムを統合・再設計し物質とエネルギーを効率よく併産することによって、大幅な省エネルギー化が達成できる。化学・鉄鋼・セメントなどエネルギー消費型産業を中心に、コプロダクションへのグランドデザインを行っている。

(4) 排熱回収型熱電発電システム

多量に捨てられている排熱からエネルギーを回収する技術として熱電発電がある。焼却炉の排熱を対象として効率よく低レベル熱エネルギーを電気エネルギーとして回収する熱電発電システムの研究を行っている。

3.2 新しいパラダイムに基づくプロセス設計手法の開発

工業的物質生産プロセスの設計・スケールアップにおいて、その流動状態の把握と反応の制御によってプロセスの最適化が図られる。そこでカオス、フラクタルといった複雑系を理解する新しいパラダイムを適用し、非線形流動工学および非平衡反応工学を確立するとともに、従来の単位操作と輸送現象論を基礎とする化学工学とは全く異なる生産プロセスの設計手法を確立することを目的として研究を行っている。(1)ニューラルネットワークを用いたバーチャル実験システムとその応用

時系列反応データを AI に学習させ、これを用いて仮想実験を行い、反応機構を解析する新しい反応工学手法の開発を目指している。

(2) バーチャルリアクタ

任意の条件で流動を完璧に再現できる「バーチャルリアクタ」の概念を提案し、これを用いてラボスケールから大型スケールまで一挙に反応プロセスを設計・スケールアップする手法を開発している。

3.3 基盤技術としての粉体技術とその応用

人間の取り扱う物質の大部分は粉体であり、特に微粒子は新しいプロセスの開発、機能性材料の開発、エネルギー・環境問題などで重要な役割を持つ。ここでは、微粒子の凝集性を制御するハンドリング手法、反応プロセスへの応用、超臨界流体技術による微粒子プロセスの開発を行い、基盤技術としての新しい粉体工学を確立することを目的として研究を行っている。

(1) 遠心流動層による超微粒子の流動化とディーゼル排ガスの同時脱塵脱硝への応用

遠心流動層（高い重力場）による超微粒子の流動化と高効率気固触媒反応装置としての応用を目指して、基礎的研究を行っている。これまでディーゼル排ガスの同時脱塵脱硝への応用を試み、高効率で処理できることを実証してきている。

(2) 超臨界噴出法による微粒子プロセス

超臨界噴出法を用いた微粒子のコーティング・造粒・微粒子の製造などのプロセスは、従来のプロセスの問題点を解決し、医薬・食品・材料の分野を中心に広く展開できる可能性を持つ。本研究室では、初めて本手法を開発するとともに、サブミクロン、ナノ超微粒子のコーティングプロセスの開発を行っている。