

熱プラズマ化学とエネルギー工学

Thermal Plasma Chemistry and Energy Engineering

渡辺隆行

Takayuki WATANABE

東京工業大学原子炉工学研究所

Tokyo Institute of Technology, Research Laboratory for Nuclear Reactors

研究の概要：熱を扱うことに対する研究テーマは興味あるものが多いが、我々はそのなかで2つのテーマに対して研究を行っている。ひとつは熱（高温）を積極的に利用する研究と、もうひとつは熱をできるだけ使わないための研究である。熱を積極的に利用するための研究は、高温かつ高活性であるプラズマを上手に利用する研究である。各種の材料プロセッシングにおいて、プラズマ中の未知の現象を解明し、そして新しい手法を開発することが我々の課題である。熱をできるだけ使わないための研究は、ヒートポンプや蓄熱の研究である。特に化学反応を利用したケミカルヒートポンプによる冷熱を発生することを目的とし、産業廃熱などの未利用エネルギーを利用した省エネルギーシステムの開発を行っている。なお渡辺研究室は1998年4月に化学工学科熱化学工学講座から原子炉工学研究所システム・安全工学部門に異動した。

1. **熱プラズマの数値解析：**材料プロセッシングにおいて熱プラズマを有効に活用するには、数値シミュレーションを用いて熱プラズマの温度（図1）や速度分布を解析することが重要である。特にプラズマ中の化学反応を考慮した数値解析により、新しい誘導結合型プラズマトーチの開発、プラズマ中の化学種の挙動の解明、材料プロセスの開発を行っている。低周波領域における誘導結合型プラズマは、トーチの大口径化や電源の高効率化が可能なので、魅力あるテーマである。
2. **熱プラズマによる廃棄物処理：**強い反応性および選択性を有する水素プラズマ等を活用することにより、各種の混合物から特定の金属またはセラミックスを分離することができる。放射性廃棄物の処理をはじめとして、石炭飛灰や焼却灰からの有価金属回収や無害化を目的とした物質分離現象の解明に関する研究を行っている。
3. **無声放電による大腸菌の殺菌：**低温条件下での新しい殺菌法として、無声放電を利用することを試み、その機構を調

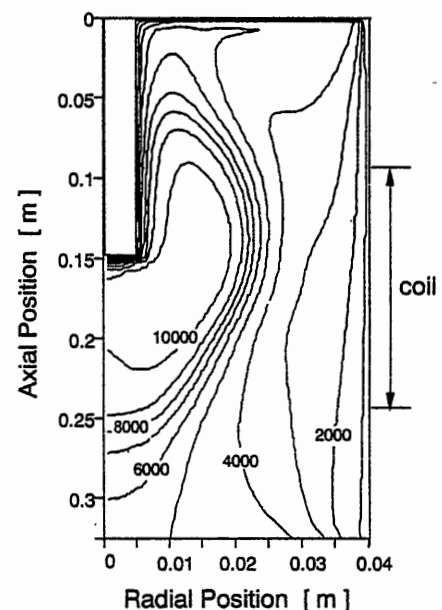


図1 RF熱プラズマの温度分布
(周波数 500 kHz)

べている。空気または酸素雰囲気最大の殺菌効果が得られ、窒素雰囲気ではやや劣るが有意な殺菌効果が得られる。これらの殺菌効果は放電電流による菌体の損傷、および放電により生成したオゾンや窒素酸化物が原因である。

4. アーク溶射を利用した材料合成：ワイヤアーク溶射は連続的に送給される2本のワイヤを電極とし、その先端に直流アークを発生させ、ワイヤを熔融させる溶射方法である（図2）。ワイヤアーク溶射は非常に経済的な溶射方法であるが、多量のヒュームの発生や溶射被膜の特性に問題がある。これらを解決できればワイヤアーク溶射の新しい展開が期待できる。溶射被膜の品質向上を目的とし、ワイヤアーク溶射の電極現象やヒュームの発生機構を解明する。またワイヤアーク溶射を用いて金属間化合物等の新しい材料プロセスの開発に関する研究を行っている。

6. 月資源利用技術の開発：宇宙空間における太陽熱エネルギーの有効利用のひとつとして、月面における月土壌の水素還元による水製造加熱反応炉（図3）およびその製造プロセスの開発を目的とした研究を行っている。特に水素還元反応における反応工学的研究を行う。

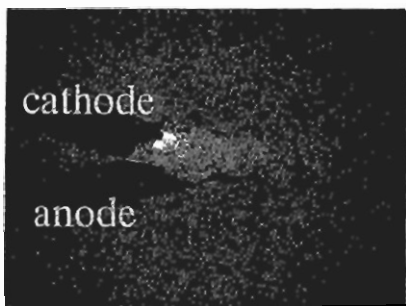


図2 ワイヤアーク溶射の電極近傍の高速写真

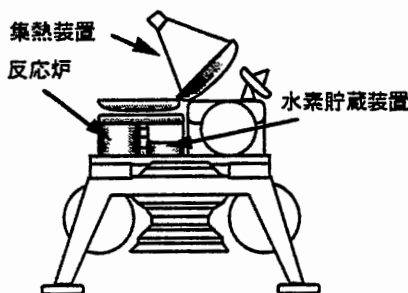


図3 月面における水製造ミッション構想

6. ケミカルヒートポンプの開発：我々は現在までにアセタール加水分解系、パラアルデヒド系、イソブチレン/水/第三ブチルアルコール系の冷熱発生用ケミカルヒートポンプを提案してきた。このうちパラアルデヒド系ヒートポンプは、パラアルデヒドとアセトアルデヒドを作動媒体とし、圧縮式ヒートポンプに化学反応を組み合わせたケミカルヒートポンプである（図4）。本システムは、主に吸熱反応器、圧縮機、発熱反応器、膨張弁で構成される。吸熱反応器では酸触媒存在下で液体パラアルデヒドの解重合反応が低温（10℃程度）で起き、反応により生じたアセトアルデヒドが気化する。このときの蒸発潜熱と化学反応熱を冷熱発生として用いるので、作動媒体質量当たりの冷熱発生量が大きいことが、本ヒートポンプシステムの特徴である。

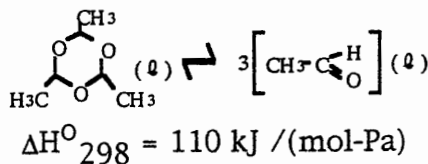
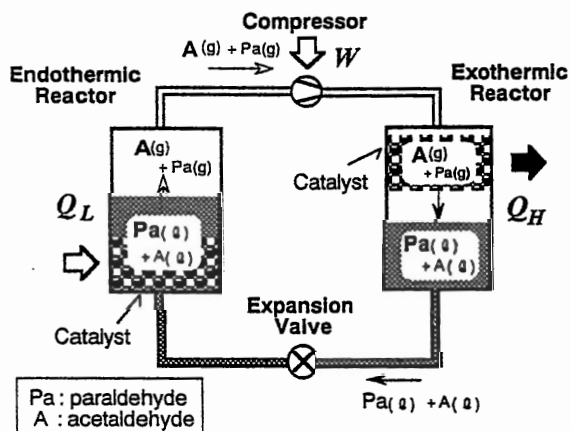


図4 冷熱発生用パラアルデヒド系ケミカルヒートポンプシステム