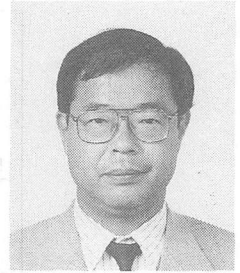


■ 展望・解説 ■

プラズマ化学反応利用

—環境・エネルギー分野への応用—

Application of Plasma Chemical Reactions in the
Field of Environment and Energy

岡崎 健*

Ken Okazaki

1. はじめに

プラズマ化学反応は、気体の分解・合成、半導体製造、薄膜合成、表面改質などにすでに広く応用されているが、さらなる反応制御性の向上、新しい反応プロセスの創成、省エネルギー化などをめざしたプラズマプロセッシング分野の研究開発が広く展開している。このようなプラズマ化学反応の応用は、これまでは材料科学を主とした分野で産業界に広く行き渡っているが、最近の地球環境問題への関心の高まりとともに、燃焼排ガス浄化などの環境科学分野、エネルギー有効利用のための燃料改質などのエネルギー分野への適用が進展している。材料科学へのプラズマ応用については既刊のすぐれた成書等¹⁾を参照していただくことにして、本稿では、後者の環境・エネルギー分野へのプラズマ化学反応利用を中心として、これに適した各種プラズマ(高圧非平衡プラズマ:後述)発生法とその応用について列挙した後、いくつかの具体例を紹介する。

プロセッシングに用いられるプラズマには、大きく分けて平衡プラズマと非平衡プラズマがある。一般にプラズマ中での電子温度とガス温度との関係は図-1のように圧力とともに大きく変化し、圧力が数十Torr(1 Torrは760分の1気圧)以上では、電子温度とガス温度が共に高く等しい熱平衡プラズマとなり、数Torr以下の低圧下では、電子温度のみが数万度以上でガス温度はほぼ常温の非平衡プラズマとなる。これは、放電によりプラズマを発生させる場合、電場からエネルギーを得た高エネルギー電子と中性粒子とのエネルギー交換衝突の頻度が圧力に依存することによる当然の結果である。平衡プラズマではガス温度も1万度以上となるため熱プラズマあるいは高温プラズマと

呼ばれ、アークプラズマ、プラズマトーチなどとして産業界でも広く利用されている。この場合、プラズマの反応活性ばかりでなく高温そのものもプロセスに利用されるが、エネルギー消費が非常に大きいことが欠点となる。これに対し非平衡プラズマは、ガス温度がほぼ常温であるため低温プラズマとも呼ばれ、高エネルギー電子の衝突により効率的に反応活性種(ラジカル)が生成され、常温では通常起こらない反応を促進することができ、半導体製造などに多用されている。これら各種プラズマの発生手法と応用プロセスの圧力範囲²⁾をまとめて図-2に示す。

プラズマプロセッシングを高付加価値や機能を持った材料製造に用いる場合には、たとえエネルギー多消費や複雑な低圧(真空)反応装置であっても許容されるが、これをエネルギー高度有効利用システムや環境対策に応用する場合には、エネルギー消費を最小限に抑えるとともに多量のガスを処理することから装置は減圧のない極力シンプルなものが必要される。このような要求を満たすプラズマは大気圧非平衡プラズマ(高圧・低温プラズマ)ということになるが、図-1から分かるように高圧下では熱化してアークに移行しやすく

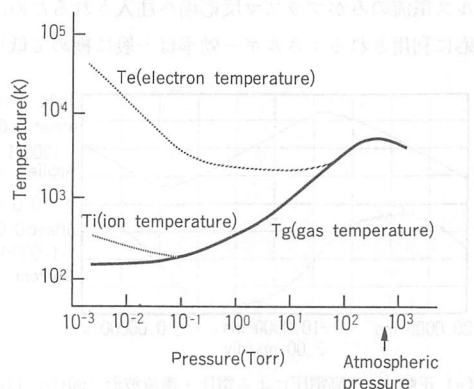


図-1 電子温度とガス温度の圧力依存性

* 東京工業大学炭素循環素材研究センター教授
〒152 東京都目黒区大岡山 2-12-1

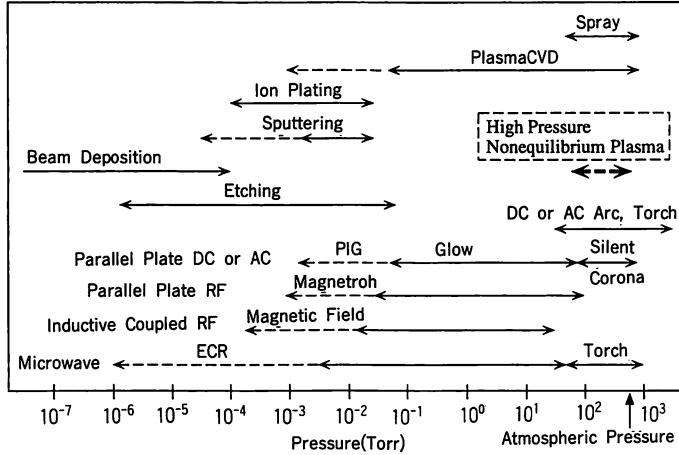


図-2 各種プラズマプロセスの圧力範囲

非平衡状態の維持は通常は難しい。その実現のために、次に示すような種々の工夫が必要となる。

2. 大気圧非平衡プラズマ発生法

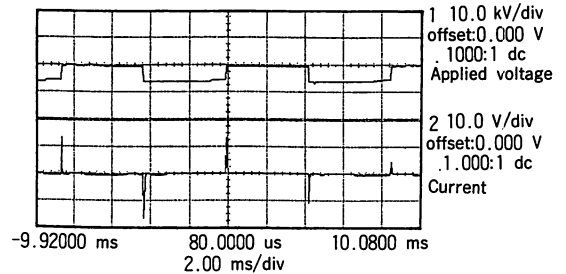
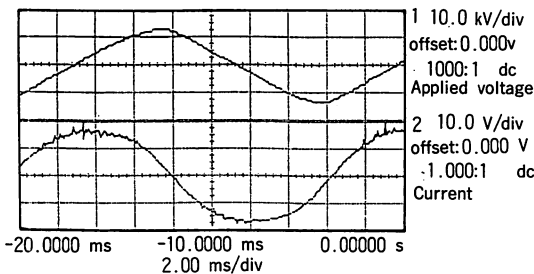
2.1 無声放電（誘電体バリア放電）

大気圧下でプロセッシングに利用できるようなほぼ均一なグロー状のプラズマを発生させる手法として、無声放電が古くから知られており、1850年頃からオゾン発生などへのプラズマ化学反応利用として研究が行われてきた。無声放電とは、電極間にガラスなどの誘電体をはさんで交流高電圧を印加すると、図-3-(a)のように上図の電圧の立ち上がりりと立ち下がり部で下図の電流波形上の多数の極短パルス電流が電極間に流れるものである。誘電体は、荷電粒子の表面堆積による逆電位効果で放電の進展を初期で止めアークへの移行を防ぐとともに、放電を横方向に拡散させる作用をする。電圧波形と位相が90度ずれた無効電流波形上のパルス電流のみがプラズマ反応場へ注入されるため、反応に利用されるエネルギー効率は一般に極めて低い。

これを改善するため電圧を方形波パルスにした場合の電圧・電流波形を図-3-(b)に示す³⁾。急峻な電圧の立ち上がりりと立ち下がり部で効果的にパルス電流（これもパルス幅数百ns程度の極短パルスの集まり）が注入される。これを方形波パルス無声放電といい、各種のプラズマ化学反応への応用に関する研究が行われている。また、急峻な電圧の立ち上がりりと立ち下がり部が重要であることから、高周波（RF）高電圧による無声放電でHeガスの助けのもとで大気圧下非平衡プラズマジェットを発生させ材料製造に応用した例⁴⁾もある。

2.2 高電圧極短パルス放電

前述の無声放電では、誘電体挿入により電流が極短パルス化されアークへの移行が阻止されていた。したがって、印加電圧自体を立ち上がり時間数十nsでパルス幅1 μs以下の極短パルス化すれば、誘電体なしで数kV以上の高電圧印加でもアーク発生のない空間均一性の高い非平衡プラズマの実現が可能となる。これを高電圧極短パルス放電という。パルス波高値、パ



(a) 正弦波AC高電圧による電圧・電流波形 (60Hz, 12kV)

(b) 方形波パルス高電圧による電圧・電流波形 (117Hz, 7kV)

図-3 無声放電の電圧・電流波形の比較

ルス幅、パルス周波数を独立に制御できるため、これらを分子の解離エネルギーや寄与ラジカルの生成・消滅の特性時間に対応させることにより能動的な反応制御⁵⁾の可能性がでてくる。平行平板電極間での高電圧極短パルスプラズマの生成過程に対する理論解析⁶⁾も行われている。

2.3 部分放電

直径数mm程度の強誘電体ペレットの充填層の両側に金属メッシュ電極を置き、これに交流高電圧を印加することにより、充填層内に数十nsパルスの部分放電を発生することができる。これは、ガス流路全体をプラズマ化できるので効果的な気相反応に適している。また、ペレットの誘電率、印加電圧波形により放電や化学反応の制御が可能であること⁷⁾、ペレット表面に触媒の担持が容易であるのでプラズマ化学反応と触媒の組み合わせによる反応選択性の向上や高効率化の可能性が大きいこと、などの特徴を有している。

2.4 沿面放電

セラミックス板の表面にストライプ状の電極を配置し、これと板の内部に埋め込んだ電極との間に交流電圧を印加するとセラミックス表面に沿面放電が発生する。高周波電圧印加の場合を高周波沿面放電という。壁面近傍での反応のため外部からの冷却が容易で、低温で反応が進むオゾンの発生装置として使われている。

2.5 コロナ放電

針と平板電極、細いワイヤと同軸円筒電極の間に直流高電圧を印加すると、針先端やワイヤのごく近傍に不平等高電界が発生し気体の局所的な絶縁破壊が起こり、コロナ放電が発生する。針先端やワイヤのごく近傍のみがプラズマ化し、発生したイオンが電界により外側に移動する。微粒子の荷電、電気集塵に広く実用化されている。化学反応への応用としてはNOの酸化除去に利用した研究例もあったが、反応場が極めて狭い領域に限られるため化学反応に対するエネルギー効率が非常に低く、コロナ放電単独で化学反応へ利用する研究は現在はほとんど行われていない。

2.6 ハイブリッド

上述の各種プラズマを組み合わせることにより、目的にかなった新しい非平衡プラズマを大気圧下で実現することができ、その環境・エネルギー分野への種々の応用に関する研究が広く展開している⁸⁾。例えば、化学反応には適さない通常のコロナ放電でも直流ではなく高電圧極短パルスを印加すると、針先端や細ワイヤの放電電極から多数のストリーマが外側電極に向かっ

て線状に広がるパルスストリーマ放電が発生する。この場合、外側電極内面にガラス等の誘電体を置くと、より高い電圧印加が可能となりラジカル生成が高効率化する。このパルスストリーマ放電は直流コロナ放電よりはるかに広い空間領域をプラズマ化できるため、各種のガス処理への応用研究⁹⁾が行われており、NO_x処理に対する反応シミュレーション¹⁰⁾も報告されている。また、比較的パルス幅が長い方形波パルス高電圧とコロナ放電を組み合わせることにより、パルスストリーマ放電による化学反応と方形波電圧の定常部分による電気集塵を同時に実現し有害ガスと微粒子の同時除去¹¹⁾も可能となる。また、方形波パルス無声放電とコロナ放電を組み合わせた同軸円筒反応器によるオゾンの高効率生成¹²⁾、メタンからメタノールの直接合成¹³⁾や高電圧極短パルス放電によるその高性能化¹⁴⁾、ガラス円筒内面上を水膜にして、微粉炭燃焼排ガスの浄化¹⁵⁾などに関する研究が行われている。

3. 環境対策へのプラズマ化学反応利用

大気圧非平衡プラズマ化学反応の環境対策への応用としては、燃焼排ガス処理、フロン¹⁶⁾の分解、ハロゲン系ガスの分解¹⁷⁾、その他の有害有機ガスの分解などが行われている。詳細は、環境対策への応用全般¹⁸⁾、燃焼排ガス処理への応用¹⁹⁾、これらの反応機構²⁰⁾などに関する解説を参照していただくことにして、ここでは、微粉炭燃焼排ガスからのNO_x、SO_x、フライアッシュの同時除去¹⁵⁾について紹介する。

3.1 石炭燃焼と環境

石油や天然ガスの枯渇の問題から埋蔵量の多い石炭の一次エネルギー源としての重要性が高まっており、我が国でも石炭への依存度はすでに天然ガスや原子力を大きく上回って16%を越えている。我が国の大型石炭火力発電所（ほとんどが微粉炭火力）では、NO_xは燃焼制御と排煙脱硝により、SO_xは排煙脱硫により、灰粒子は電気集塵により、それぞれ大規模な単独装置で高効率除去されており、この関連の技術では世界をリードしている。しかし、今後エネルギー利用率の高度化を目的としたコージェネレーションシステムの中小規模の発電にも石炭が使われるようになったとき、設備投資の少ない単純な装置でNO_x、SO_x、灰粒子を高効率で同時除去できることが望まれる。処理に要する電力がまだ大きすぎる問題は残るが、先に述べた方形波パルスコロナストリーマ放電（無声放電型）と水膜式反応器の組み合わせにより、下記のように実験的

にこれが実現されている。

3.2 微粉炭燃焼排ガスからのNO_x, SO_x, 灰粒子の高効率同時除去¹⁹⁾

微粉炭燃焼におけるNO_x, N₂O, 灰粒子の生成機構解明のために筆者らが長年に渡って使用してきた一次元層流式微粉炭燃焼炉²¹⁾(内径52mm, 加熱燃焼部長さ1.8m, 煙道部長さ2.6m)の後流出口部に、図-4に示すような反応器を取り付けて実験を行った。この反応器は石英ガラス管からなり、管内中心軸上には放電電極として0.2mmのステンレス線をおもりによって垂らしてある。石英ガラス管の内壁面上には上から下へ流れる水膜が張られ、外側には薄い銅板が巻き付けてありこれを接地電極としている。この反応器で発生する大気圧下非平衡プラズマによって、NO(燃焼場で生成するNO_xのほとんどがNO)とSO₂の酸化反応が促進され、水膜へのこれらの吸収が効率的に行なわれる。電源としてはロータリースパークギャップ(R.S.G.)による高電圧方形波パルスを用いている。ダイオードの方向を変えることにより放電電極の正・負を、R.S.G.の有無によりパルスあるいはDC放電と、それぞれ変化させて実験を行ったが、最も性能が良かった正極性方形波パルス(300Hz)の場合の結果のみについて述べる。処理ガスとしては微粉炭燃焼排ガスのほか、メカニズムを検討するために種々の模擬ガスを使用した。微粉炭燃焼排ガス中のNO_xとSO_xの同時除去の結果を図-5に示す。入力電力は電源等での損失を含んでいる。この場合の排ガス組成は空気比が大きい場合のものであり、O₂:15.3%, CO₂:4.5

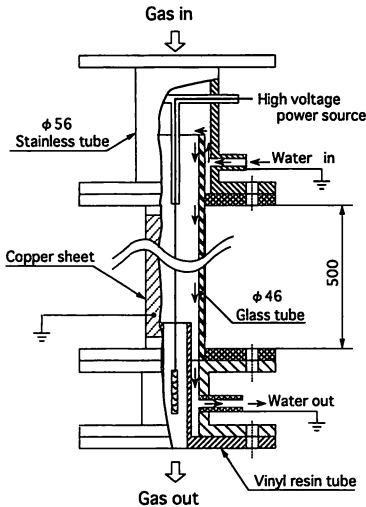


図-4 微粉炭燃焼排ガス処理用水膜式プラズマ反応器

%, CO:10ppm, N₂O:6.4ppm, NO:250ppm, NO_x(=NO+NO₂):253ppm, SO₂:390ppmで、NH₃等のガス添加は行っていない。SO₂は、水膜式であれば放電無しでも滞留時間が2秒で80%, 4秒で95%以上が水膜へ吸収除去され、放電が起るとSO₂への酸化とコロナ風による水膜の乱れのため除去効率は上昇しほぼ100%となる。NO_xの除去効率は、滞留時間が4秒の時で65%であるが、滞留時間を12秒程度に長くすれば92%以上に達することが模擬ガス実験で確かめられている。この模擬ガス実験でのNO, NO₂, NO_xの濃度を入力電力に対して示したのが図-6である。放電入力電力の増大とともにNOは酸化されてNO₂に変わり、このNO₂が水膜へ溶解してNO_xが高効率で除去される。NO_xの場合、灰粒子を含むガスの方が灰粒子を含まない模擬ガスより除去効率が大きくなる結果を得たが、これは燃焼排ガス中の水蒸気と灰粒子の相互作用によりNO₂の吸着が促進されたものと考えられる。

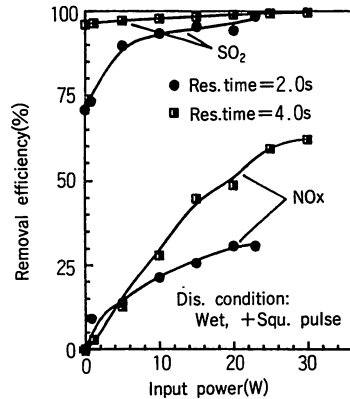


図-5 微粉炭燃焼排ガスからのNO_xとSO₂の同時除去

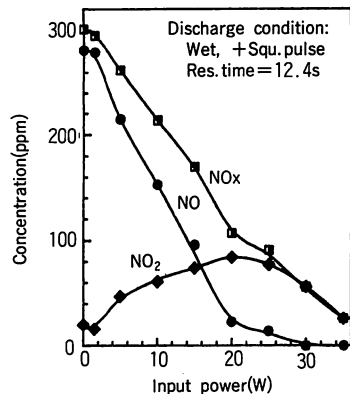


図-6 入力電力に対するNO_xの除去挙動

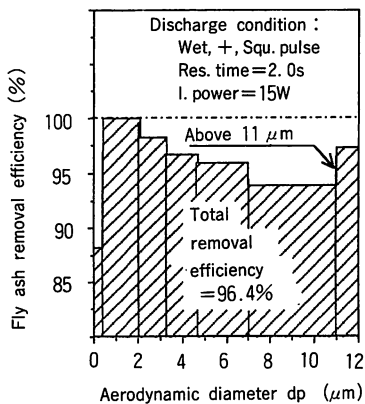


図-7 微粉炭燃焼灰粒子の粒径ごとの捕集効率

アンダーセン型カスケードインパクトによる灰粒子の分級捕集によって、各粒径範囲での粒子除去効率を調べた。その結果を図-7に示す。2秒という比較的短い滞留時間であるにもかかわらず、トータルのフライアッシュ除去効率は96.4%にも達している。また、サブミクロン粒子の粒径範囲でさえも、かなり高い捕集効率を示しているが、これは、方形波パルス放電により粒子への荷電能力が高まり、方形波パルスの定常部分で効果的な電気集塵が行われたためである。

4. エネルギー分野へのプラズマ化学反応利用

4.1 エクセルギー的にみた新しいエネルギー有効利用体系

我々の消費する一次エネルギーの85%以上を石油、石炭、天然ガス等の化石燃料の直接燃焼による熱エネルギーにたよっている以上、このエネルギー利用体系をエネルギーの質という観点から抜本的に見直して必要がある。エネルギーの質は、その保有するエネルギーのうちどのくらいを有効仕事として利用できるかによって決まる。これを考える上で従来から用いられてきた量として、その系が大气環境と平衡するまでになし得る最大仕事、すなわちエクセルギーがある。従って、エネルギー源の持つエクセルギーをそのエネルギー（化石燃料なら発熱量）で割った値、すなわちエクセルギー率がずばりエネルギーの質を表すことになる²²⁾。当然、電気エネルギーでは、エクセルギー率は100%である。いかなるエネルギー利用においてもエネルギーの総量は保存されており、エネルギーが利用によって消滅することはない、エクセルギーを消費していることにほかならない。

図-8²³⁾に示すように、一般に化石燃料は高いエクセルギー率（～95%）を有しているが、これを直接燃焼して例えば高く見積もって2000℃の高温燃焼ガスを得たとしてもそのエクセルギー率は約70%で、この燃焼過程だけで25%ものエクセルギーを損失していることになる。種々の燃料の中でも水素はこのエクセルギー率が83%と最小で、化石燃料を直接燃焼させるのではなく水素に改質するプロセスを取り入れることにより、燃焼に伴うエクセルギー損失を大幅に低減できる可能性がでてくる²²⁾。特にメタノールの水素への吸熱改質反応 ($\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 3\text{H}_2$) は、この反応におけるエンタルピー変化に対するエクセルギー変化が6%であるから、原理的には100℃程度の熱源で起こすことができるため、低温源からの吸熱分をエクセルギー率の高い燃焼熱として再利用できる。すなわちエクセルギーの再生産²⁴⁾が可能となる。メタンの場合だと850℃程度の熱源で水素に改質できる。CO₂はこの段階で高効率で分離回収し、例えば海洋貯留等²⁵⁾により大気中への放出を防止する。本システムでは水素にしてから燃焼させるのでCO₂フリー燃焼が、また酸化剤として空気ではなく純酸素を用いればNO_xフリー燃焼も可能となる。もちろん図-8のような新しいエネルギーの高度有効利用体系を実現させるためには、数々の新しい要素技術の創生が要求される。その一つが、低エネルギー消費での炭化水素系燃料（メタンなど）からのメタノールの直接合成である。メタンからメタノールへの合成法としては、従来のメタン/水を原料

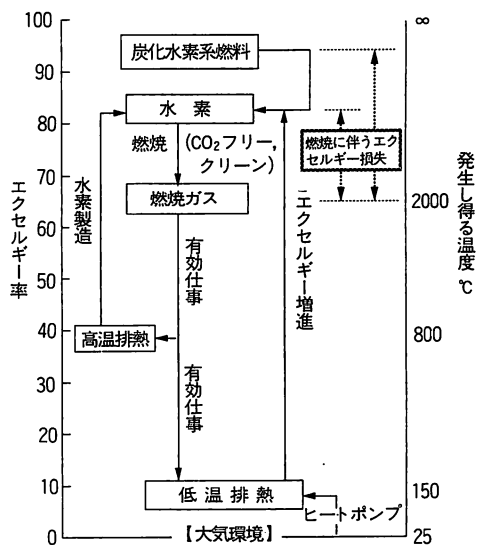


図-8 エクセルギー再生産によるエネルギー有効利用体系

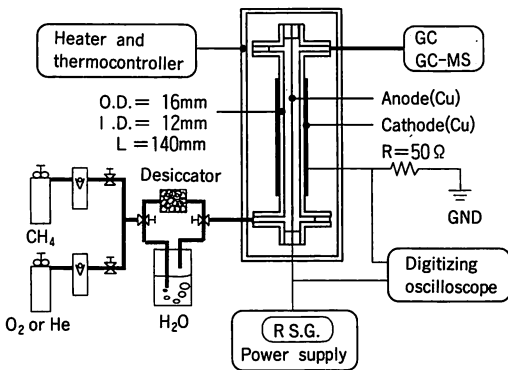


図-9 方形波パルス無声放電によるメタノール直接合成実験

として合成ガス($\text{CO} + \text{H}_2$)を経由する間接合成法がすでに確立され産業界で多用されているが、特に合成ガスへの変換過程でエネルギー消費が非常に大きいことと、合成ガスからメタノールへの変換では200気圧程度もの高圧下での触媒反応を必要とすることから、エネルギー高度有効利用には適用することはできない。通常の化学反応によるならこのような間接合成にならざるを得ないことは、反応の自由エネルギー変化から考えて当然であるが、筆者らは、これとは異なる大気圧非平衡プラズマ化学反応によりメタンからメタノールの直接合成に関する研究を進めている。

4.2 方形波パルス無声放電によるメタンからメタノールの直接合成¹³⁾

方形波パルス無声放電とコロナ放電を組み合わせた図-9のような実験システムにより、メタン/酸素から部分酸化によるメタノールの直接合成を行い、図-10のように、酸素濃度5%のときに高い選択率(32%)でメタノールを直接合成することができた。メタノールの収率としては、反応時間を20秒以上に長くすれば図-11のように2.4%に達している。反応時間とともに収率が頭打ちになるのは、選択率を上げるために濃度を小さめに抑えた酸素が消費されてしまうためであり、途中でメタノール回収を行い新たに少量の酸素を供給するマルチリサイクル反応系にすれば、収率の大幅な向上が期待できる。また、商用のオゾナイザ装置のように多数の細い反応流路から成るシステムにすれば、反応時間の大幅な短縮も可能である。

しかしながら、部分酸化によるメタンからメタノールの直接合成は発熱反応であり、この発熱分の有効利用を組み合わせなくては4.1節で述べたエネルギーシ

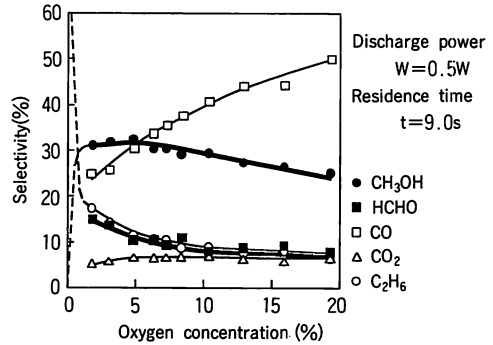


図-10 部分酸化によるメタノール直接合成の選択率

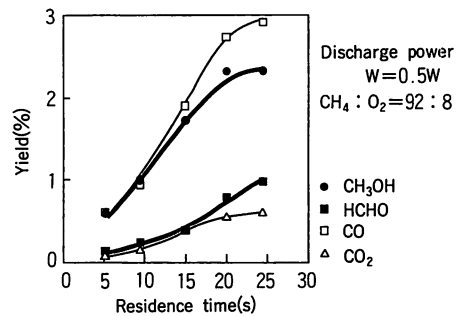


図-11 部分酸化によるメタノール収率と反応時間

ステムへの寄与は出てこない。これに対し、メタン/水からのメタノール直接合成は、吸熱反応であるとともに大きな自由エネルギー増加を伴う反応であるから一般の熱化学反応ではたとえ触媒を併用しても起こすことは化学平衡論的に不可能であるが、もし、非平衡プラズマ化学反応によってこれを実現できれば、エネルギー高度有効利用システムへの寄与が期待される。逆に言えば、エクセルギー率100%である高エネルギー電子の運動エネルギーによるならば、メタン/水からのメタノール直接合成の可能性が出てくる。

4.3 メタン/水からのメタノール直接合成^{14) 20)}

方形波パルス無声放電でもわずかながらメタン/水からのメタノール直接合成が可能であることが確認されているが¹³⁾、ここでは、制御性の高い2.2節で述べた高電圧極短パルスプラズマを利用したメタン/水からのメタノール直接合成について紹介する。実験装置は、図-12に示すように誘電体挿入のない対向平板電極を持つ内径52mmの円筒型反応器であり、これに直接印加される極短パルス電圧は、直流高電圧を同軸ケーブルとMOS-FETスイッチから成る波形成形部を伝送させて作られる。本実験はバッチ式で40Torr程度の減圧下で行われたが、電源の容量があれば原理的に大

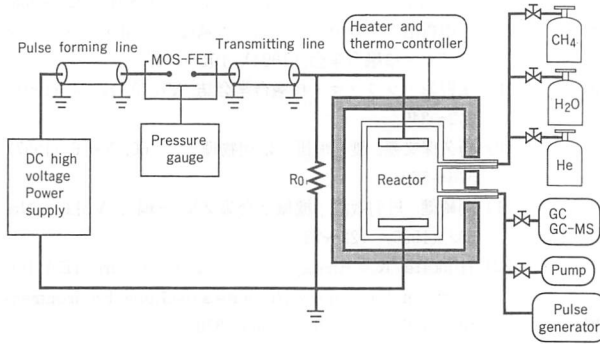


図-12 高電圧極短パルスプラズマによるメタン/水からのメタノール直接合成実験

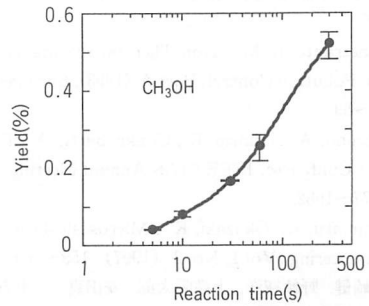


図-13 メタン/水からメタノール直接合成の収率と反応時間

気圧に近づけフロータイプにすることができる。

高電圧極短パルスプラズマは、通常は電極間に広がったグロー状のプラズマとなる。これを用いて、収率0.2%、選択率4%でメタン/水からのメタノール直接合成が実現した。この収率はメタン/水反応系の常温における平衡メタノール濃度より約10桁以上、1000℃でも約5桁以上高く、非平衡プラズマ化学反応のみによって達成される特有な反応である。さらに、高電圧極短パルス放電の持つ優れた反応制御性を生かして、原料ガス圧力、パルス周波数等を変化させたとこ、均一なグロー状放電と局所に電流集中したアーク放電の中間的な状態と考えられる新たな放電形態(多数の細糸状の放電、ここではFilamentary型放電と呼ぶ)が観察され、このFilamentary型放電によるメタノール合成の収率はグロー状の放電の場合の収率に比べて、等しいエネルギー消費で約3倍の0.6%へと大幅に増加した。その結果を図-13(ピーク電圧: 3kV, パルス幅: 150ns, パルス周波数: 100Hz)に示す。この場合のメタノール生成は、解離によって生じた CH_3 とOHの直接反応が主であることが質量分析によって確認されており、収率や選択率の向上には、 CH_3 の C_2H_6 などへの重合よりOHとの結合が卓越する条件の設定が鍵である。

収率や選択率のさらなる向上や反応時間の大幅な短縮を目指して、非平衡電子・イオン反応を含む反応動力学計算および化学種の分光計測による反応機構の解明を行うとともに、大気圧下で図-9の方形波パルスコロナ無声放電と15kHz程度にまで高周波化した高電圧極短パルスを組み合わせた反応系による実験を進めている。

5. むすび

環境・エネルギー分野へプラズマ化学反応を利用する場合、エネルギー消費極小で単純な反応装置という要請から大気圧非平衡プラズマが望ましい。その基本的な各種生成法について説明した後、これらの適切な組み合わせにより、従来は不可能であったさまざまな反応プロセスが実現し得ることをいくつかの具体例によって示した。実用化には要するエネルギー消費の削減が大きな課題であるが、まだまだ独創的なアイデアで新しいブレイクスルーが起きそうな魅力的な分野でもある。そのためには、反応機構解明に基づく反応経路の設計が必要となる。まだ体系的な教科書的書物さえ存在しない大気圧非平衡プラズマ化学反応分野の今後の発展を期待したい。

参考文献

- 1) プラズマ材料科学ハンドブック, 日本学術振興会プラズマ材料科学第153委員会編, (1992), オーム社.
- 2) 板谷良平; プロセスプラズマの基礎と応用テキスト, プラズマ・核融合学会 (1994), 12.
- 3) Okazaki, K., Mizuno, A., Yasuda, S.: Thermal Science and Engineering, Vol. 2, No.1 (1994), 21~29.
- 4) Koinuma, H.; Proc. 12th Int. Symp. on Plasma Chemistry (ISPC-12), Vol.IV (1995), 1918.
- 5) 安田真一, 岡崎健; 機械学会論文集(B編), Vol.62, No. 593 (1996), 304~311.
- 6) 岡崎健, 安田真一, 平井秀一郎; 日本機械学会論文集(B編), Vol.63, No.610 (1997), 2116~2174.
- 7) Mizuno, A., Yamazaki, Y., Obama, S., Suzuki, E., Okazaki, K.; IEEE Trans. on IAS, Vol.29, No. 2 (1993), 262~267.
- 8) Mizuno, A., Chakrabarti, A., Okazaki, K.; Non-Thermal Plasma Technologies for Pollution Control, Part

- A (1993), Springer-Verlag, 165~185.
- 9) 水野彰; 静電気学会誌, Vol.19, No. 4 (1995), 289~295.
- 10) Penetrante, B. M.; Non-Thermal Plasma Technologies for Pollution Control, Part A (1993), Springer-Verlag, 65~89.
- 11) Mizuno, A., Shimizu, K., Chakrabarti, A., Dascalescu, L.; Conf. Rec. IEEE/IAS Annual Meeting, (1993), 1977~1982.
- 12) Ishimaru, K., Okazaki, K.; Microscale Thermophysical Engineering, Vol.1, No. 2 (1997), 159~169.
- 13) 岡崎健, 野崎智洋, 上満陽太郎, 安田真一, 土方邦夫; 機械学会論文集(B編), Vol.61, No.592 (1995), 4471~4476.
- 14) 山田展英, 棚谷悦, 小川邦康, 岡崎健; 第34回日本伝熱シンポジウム, (1997), 395~396.
- 15) Okazaki, K., Mizuno, A., Shimizu, K., Niwa, T.; Proc. JSME-ASME Joint Int. Conf. on Power Engineering (ICOPE-93), Vol.II (1993), 103~108.
- 16) Oda, T., Takahashi, T., Nakano, H., Masuda, S.; IEEE Trans. on IAS, Vol.29 (1993), 787~792.
- 17) Oda, T., Kumada, A., Tanaka, K., Takahashi, T., Masuda, S.; ESA-IEJ Joint Symp., (1994), 227~235.
- 18) 小田哲治; プロセスプラズマの基礎と応用テキスト, プラズマ・核融合学会 (1994), 101~108.
- 19) 水野彰; プラズマ・核融合学会誌, Vo.70, No. 4 (1994), 342~349.
- 20) 朽久保文嘉, 渡辺恒雄; 応用物理, Vol.66, No.6 (1997), 576~579.
- 21) 岡崎健, 丹羽敏治; 機械学会論文集(B編), Vol.61, No. 582 (1995), 722~730.
- 22) Hijikata, K.; Energy System in the Future, IEA Int. Conf. on Technology Responses to Global Environmental Challenges, (1991), 359~370.
- 23) 岡崎健; メカライフ, 日本機械学会 (1994), 14~15.
- 24) 吉田邦夫(代表); 文部省重点領域研究「エクセルギー再生産の学理」, (1994~1997).
- 25) Hirai, S., Okazaki, K., Tabe, Y., Hijikata, K., Mori, Y.; Energy : The Int. Journal, Vol.22, No. 2 / 3 (1997), 285~293.
- 26) 岡崎健, 小川邦康, 山田展英, 棚谷悦; 文部省重点領域研究「エクセルギー再生産の学理」平成8年度報告書, (1997), 10~15.

協賛行事ごあんない

「第38回機械技術研究所研究講演会」について

〔主催〕工業技術院機械技術研究所, (財)日本産業技術振興協会

〔協賛〕(社)日本機械学会, (社)精密工学会他

〔日時〕平成9年10月15日(木) 9:30~16:00

〔会場〕三会堂ビル石垣記念ホール

(〒107 東京都港区赤坂, TEL 03-3582-7451)

〔内容〕

* 「機械技術研究所の最近の10年と今後の展開」

…工業技術院機械技術研究所長 中澤 克紀

* 「機械工学の将来と教育」

…工学院大学学長 大橋 秀雄

* 「地球環境問題と機械技術」

…慶應義塾大学教授 茅 陽一

他3件

〔問い合わせ先〕

工業技術院機械技術研究所 総務部業務課

〒305 茨城県つくば市並木1-2

Tel : 0298-58-7035, Fax : 0298-58-7037