

# プラズマ化学による 廃棄物処理と材料合成への挑戦

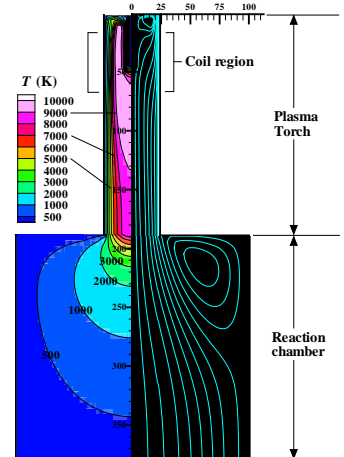
-大気圧プラズマの産業への応用を目的として-

東京工業大学 大学院総合理工学研究科  
化学環境学専攻 渡辺研究室の紹介

渡辺隆行 watanabe@chemenv.titech.ac.jp  
G1 棟 316 号室 <http://www.chemenv.titech.ac.jp/watanabe/>

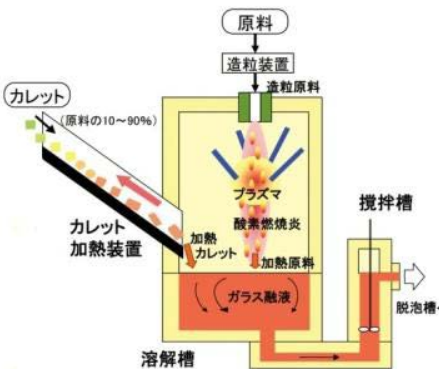


**1. 熱プラズマのモデリング**：材料プロセスにおいて熱プラズマを有効に活用するには、数値シミュレーションを用いて熱プラズマの温度や速度分布を解析することが重要です。特にプラズマ中の化学反応を考慮した数値解析により、新しい誘導結合型プラズマトーチの開発、プラズマ中の化学種の挙動の解明、ナノ粒子やナノチューブ合成システムの開発を行っています。従来は熱平衡状態として扱ってきた熱プラズマですが、我々の数値解析によって熱プラズマ中の化学反応過程の非平衡性の重要性を明確にすることができました。さらに、熱プラズマによるナノ粒子の合成条件から、どのようなナノ粒子が合成されるかをあらかじめ予測できるソフトウェアプログラムを開発しました。プラズマの条件を与えると、ナノ粒子の組成分布や粒径分布などを推定することが可能となりました。従来の手法では、目的の組成や粒径を備えたナノ粒子を得るために実験を繰り返しながら、経験的に合成条件を調整していましたが、我々のモデリングはそのようなプラズマプロセスの欠点を改善することに役立っています。



RF プラズマの温度(左)と流線(右)

- 日経ナノビジネス (2005.12.12) ナノ粒子の合成条件を決めるシステム
- 日刊工業新聞 (2005.9.23) 金属・合金ナノ粒子特性評価システム構築



プラズマによる革新的ガラス製造システム

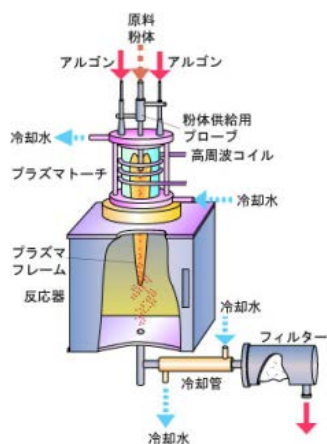
## 2. 熱プラズマによるガラス溶融技術の開発

多相アークを用いて、インフライト溶融によるガラス製造プロセスの実用化を目指して、革新的ガラス溶融プロセスの開発を NEDO のエネルギーイノベーションプログラムとして研究を行っています。プラズマ中に粒子状のガラス原料を供給し、ガラスのインフライト溶融を行うことにより、ガラス製造を高速で行うことが可能であることを明らかにしました。ガラス原料の粒径が 100 $\mu\text{m}$  程度であればほぼ 100% のガラス化反応が数 ms で完了することから、熱プラズマによるインフライト溶融プロセスはガラス製造において有効な方法であることを明らかにしました。



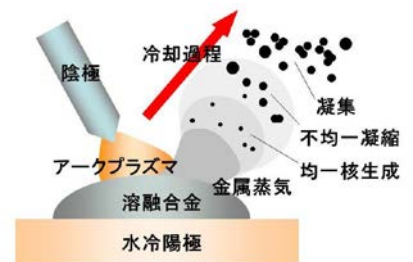
ガラス製造用の多相アーク

- 日本経済新聞 (2008.6.21) 素材各社、資源高で新技术、ガラス生産、燃料費半減
- 日経産業新聞 (2006.12.6) 先端技術未来プロジェクト、ガラスの省エネ製法術、歩留まり・品質向上期待
- 日経産業新聞 (2006.12.5) 先端技術未来プロジェクト、ガラスの省エネ製法術、プラズマで短時間処理



RF プラズマによる  
ナノ粒子合成装置

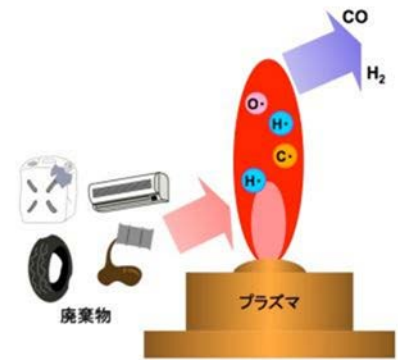
**3. 熱プラズマによるナノ材料合成**：粒径が数 nm～数十 nm のナノ粒子は、粒子を構成する金属やセラミックスの性質を強めたり、新しい機能を備えたりすることから、さまざまな応用が可能になると期待されています。熱プラズマに原料を供給して蒸発させ、下流の低温領域で原料を凝縮させ、ナノ粒子を合成します。この方法はナノ粒子を高速で製造できるため、大量生産が可能です。またアーク中で原子状に解離した水素ラジカルにより、熔融金属からナノ粒子を合成する方法もあります。セラミックスのナノ粒子（窒化物、酸化物、炭化物、ホウ化物等）や合金のナノ粒子を熱プラズマにより作製できます。熱プラズマによるナノ粒子は粒径が小さいこと以外に、準安定相や非平衡組成の生成が可能です。我々は、熱プラズマによって酸化物ナノ粒子、窒化物ナノ粒子、ホウ化物ナノ粒子などを効率よく生成し、ナノ粒子の粒径を制御する方法を確立しました。



DC アークによるナノ粒子合成装置

- 日経産業新聞 (2006.4.4) 立方晶窒化ホウ素薄膜安全に形成

**4. 熱プラズマによる廃棄物処理**：環境問題の解決のための先端基盤技術のひとつとして熱プラズマ技術があります。熱プラズマ技術はPCBやフロンなどの特殊な産業系廃棄物、および灰溶融などの大規模な一般廃棄物処理に適用されています。我々は従来のプロセスでは処理できない難分解物質を熱プラズマによって処理する方法を開発しています。特にオゾン層破壊物質および地球温暖化物質であるフロンやハロンを水蒸気プラズマによって分解するシステムの開発を行っています。熱プラズマの優位性は雰囲気を自由に選べることです。特に、水蒸気を用いたプラズマの生成は、フロン分解において大きな利点となります。フロンは高温にすれば容易に分解できますが、そのままでは分解ガスは下流の低温領域においてCF<sub>4</sub>などの副生成物を合成してしまいます。このような再結合反応を抑制するためには、水素と酸素が分解ガスとともに存在することが望ましいのですが、プラズマ中に水素と酸素を供給するよりも、水蒸気をプラズマガスとして用いるほうが経済上および安全上優位です。



水プラズマによる廃棄物処理の概念



大気圧で発生した水プラズマ

- WIRED (2012.4.1) 陸前高田、1年目の未来図
- 福島民友 (2011.6.10) 植物で土壌きれいに 農村再生モデル目指す
- LANDFALL (2010.1.1) プラズマで循環型社会を拓く
- 日経産業新聞 (2007.9.14) 缶ビール1本で2km走行、低純度アルコールから水素
- 総合技術誌 OHM (2007.8.12) 移動式廃棄物処理装置の開発
- 日刊工業新聞 (2007.2.15) 3万度のプラズマでPCB無害化
- 日経産業新聞 (2005.4.22) 代替フロン類分解装置製造コスト1/10

**5. 大気圧非平衡プラズマによる材料プロセッシング**：大気圧非平衡プラズマは室温近傍で高い化学反応性を示すことから、材料プロセッシング、廃棄物処理プロセッシングなどに広く利用されています。また、大気圧中でのプロセスは産業応用において大きな利点となります。特に大気圧非平衡プラズマの発生法のひとつである誘電体バリア放電を用いて、各種のリサイクルプロセスへの応用に関する研究を行っています。大気圧非平衡プラズマを用いた新しい乾式プロセスとして、廃液晶パネルからのインジウム回収プロセスを開発しました。



大気圧グロー放電

- 日経産業新聞 (2007.10.19) デバイス立国日本、資源高に挑む、代替品や再利用で先行
- 日本経済新聞 (2007.10.12) 液晶テレビからレアメタル回収、プラズマ照射、廃液出さず
- 日経産業新聞 (2005.7.22) 廃プラ塗装、数秒で除去プラズマ使いコスト削減

**6. 月資源利用技術の開発**：月面での活動が宇宙開発のステップアップには欠かせないものであることから、宇宙開発計画において重要な位置を占めている項目の一つに、月面基地建设があります。将来、人類が月面活動を行うときに水、酸素は必要不可欠です。それらを地球から輸送するのは大変コストがかかるので、経済的な月面活動を実現するためには、月資源を利用した水および酸素製造が有効であると考えられています。我々は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ます。特に水素還元反応における反応工学的研究を行っています。月土壌の水素還元により水を生成する反応器を完成させ、月土壌シミュラントを用いて実際に水を製造することに成功しました。



月土壌から水を製造する実験

- 日本経済新聞 (2007.1.24) ニッポン月を拓く水も酸素も資源は砂漠
- 日経産業新聞 (2006.5.9) 月の砂から水製造模擬砂の実験で確認

## テレビ出演



Discovery Channel  
(2012.3.5) 未来への挑戦  
蘇る陸前高田



TBS テレビ (2011.12.10)  
超平凡博士★タナカ



テレビ朝日 (2008.1.27)  
近未来x予測テレビ  
「2028年ゴミで車が走る」



テレビ朝日 (2010.3.14)  
マルミセ！百聞一見録  
「最先端の研究室に潜入」

- ・ 日本テレビ (2011.6.5) つなげよう、ecoハート。～明日へのチカラ～ 地球と生きる100のコト
- ・ テレビ東京 (2010.10.27) モーニングサテライト プラズマで金属を消す？ごみ処理最先端技術
- ・ フジテレビ (2009.8.5) 仰天映像88連発！驚異の水世界～水検定2008「何でも消す!?一万度の水パワー」
- ・ テレビ東京 (2008.5.6) THE MOON～人類の夢・月世界の未来～
- ・ フジテレビ (2003.7.10) 奇跡体験アンビリバーボー「頻発する人体発火！謎の火の玉恐怖の真相」
- ・ フジテレビ (2003.4.19) 世界ゴリッパですわね!!
- ・ 日本テレビ (2002.9.22) 特命リサーチ200X「原因不明の火災を事件を調査せよ」
- ・ NHK 総合放送 (2001.1.4) NHKスペシャル「2001年宇宙の世紀がはじまる」
- ・ NHK ハイビジョンBS (2001.1.1) 新春宇宙スペシャル「銀河をかけ抜けろ」