



カーボンフリー除害の開発 (水素燃焼式排ガス処理装置：Blisters Burner H₂) Development of abatement system using no fossil fuels (Combustion Abatement System using H₂: Blisters Burner H₂)

大石 祐輔*
OISHI Yusuke

関田 誠*
SEKIDA Makoto

1. はじめに

気候変動に関する取組みとして国際社会では、1995年より毎年、国連気候変動枠組条約締約国会議（COP）が開催され、世界での実効的な温室効果ガス排出量削減の実現に向けて、議論が行われている。日本の排出削減目標として2021年4月22日に地球温暖化対策推進本部の決定を踏まえ、米国主催気候サミットにおいて、2050年カーボンニュートラルと整合的で野心的な目標として、2030年度に温室効果ガスを2013年度から46%削減することを目標とし、さらに50%に向け挑戦を続けることを表明している。

半導体や液晶製造工程のクリーニングやエッチング用途として使用されるC₂F₆等のPFC（Perfluoro Compounds）は地球温暖化係数や大気寿命がCO₂と比較して数千～数万倍と非常に大きい為、それらの排出量削減が必要である。あわせて、産業分野全般に対するエネルギー起源二酸化炭素排出削減が求められている。

日本のエネルギー基本計画においては、エネルギー消費効率の改善に加え、脱炭素化された電力による電化、電化が困難な熱需要や製造プロセスにおいては水素・合成メタン・合成燃料などの利用や革新的技術の実装が不可欠になるとされている。第6次エネルギー基本計画にて、水素社会実現を通じたカーボンニュートラルを達成する為には水素の供給コスト削減と、多様な分野における需要創出を一体に進める必要があると謳われている。

地球温暖化対策としてPFC排出量削減、非化石エネルギー活用という社会課題に対し、電化に限らず、様々な非化石エネルギーを産業活用できる選択肢を市場に提供することが求められている。

2. 水素燃焼式排ガス処理装置の特長及び概要

2.1 当社排ガス処理装置の紹介

排ガス処理装置は、燃焼式、触媒式、ヒーター式、プラズマ式、化学吸着式など様々な方法による技術が開発されており、対象プロセス、処理ガス流量、イニシャルコスト、ランニングコスト、設置スペース等の条件を考慮して最適な方式が採用されている。

当社は1980年代より燃焼式排ガス処理装置を上市しており、1装置当たりのガス使用量が多い液晶の製造や複数台のプラズマCVD装置からの排ガスを一括処理する大流量対応型の処理装置²⁾に対して、多数の納入実績がある。また、小流量対応についても小型の水冷燃焼式排ガス処理装置を提供しており、主に冷却構造に特徴のある新製品Blisters Burnerを2022年7月に上市した。

また、当社はGaN-MOCVD装置の製造メーカーでもあり、その付帯設備となる燃焼式排ガス処理装置Hercules Burner^{®3)}を上市している。その特長としてプロセス排気ガス中のH₂ガスを効率的に燃焼することでSiH₄ガス、NH₃ガス等を無害化する製品となっており、プロセス排気ガス中にH₂ガスが含まれない場合はH₂ガスを燃料として追加する仕組みを有している。また、H₂ガスのみで着火・燃焼を継続することが可能な点火バーナーを搭載しており、H₂ガスのみを熱源利用する燃焼式排ガス処理装置として、10年以上の販売実績を有している。本技術は、MOCVD装置に限らず、プロセス排ガス中にH₂ガスを多量に含むプロセス、特に昨今注目を集めるSiCパワーデバイスのEPI工程用排ガス処理装置として広く使用されている。

* 電子機材ユニット 電子機材機器事業部 環境機器技術部

2.2 水素燃焼式排ガス処理装置の特長及び概要

本装置（製品名：Blister Burner H₂）は、燃焼式排ガス処理装置の燃料源を従来の化石燃料（都市ガス 13A もしくはプロパンガス等）から H₂ ガスへ適応させた製品である。図 1 に水素燃焼式排ガス処理装置の概略図を示す。

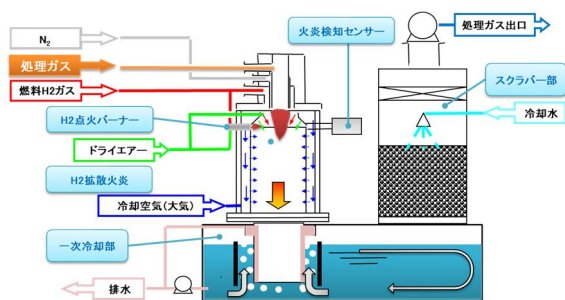


図 1 水素燃焼式排ガス処理装置 概略図

装置構成としてはバーナー部、一次冷却部、スクラバー部より構成されている。半導体製造装置から排出された処理ガスはバーナー部へ導入され、加熱分解される。バーナー内部は部材の腐食防止及び二次生成物である粉体の付着を防止する為のガードエアを供給しており、連続稼働に対する装置安定性を高めている。一次冷却部では高温状態の処理ガスを急速冷却し、スクラバー部にて処理ガスの最終冷却及び二次生成物の HF, HCl 等の水溶性ガスを洗浄除去している。

従来の化石燃料においては、排ガス分解用バーナーの主火炎は予混合燃焼により形成されていたが、水素燃焼においては天然ガスと比較し燃焼速度が 10 倍ほど速い為、逆火現象発生リスクが高い。その為、本装置の水素燃焼バーナーにおいては、水素と支燃性ガス（空気または酸素）を別々に燃焼場に供給し、燃焼場にて両者を混合、燃焼させる先混合燃焼方式とした。さらに着火源として H₂ ガスを燃料源とする点火バーナーを常時点火させる方法を採用した。

また、本装置では従来装置と同様に燃焼場（燃焼筒）の中央部を流れる処理ガスに対し、その周囲から燃料ガス・支燃性ガスを導入する形状を採用している。形成した水素火炎を処理ガスに効果的に接触、混合させることで除害性能を向上させている。燃料 H₂ ガス・支燃性ガス噴出速度、噴出角度の最適化等による、処理ガスと燃焼炎とを適切に混合する構造を開発することで H₂ ガス燃焼の持つポテンシャルを引き出すことができた。バーナー出口における H₂

ガスの濃度を測定し、1000ppm 以下であったので、未燃 H₂ ガスが限りなくゼロであることを確認している。

開発当初、一定の燃料 H₂ ガス・支燃性ガス・処理ガスの流量条件で PFC ガス (CF₄) の分解効率が 25% 程度あったが、バーナー構造・各ガス流速の最適化をおこなうことで分解効率 95% まで引き上げることができた。

3. 装置性能

H₂ を燃料とする本装置のバーナーおよび化石燃料（都市ガス 13A）を使用した従来型のバーナーを用いて、代表的な PFC ガスである CF₄, SF₆ の除害性能試験の評価を実施した。各種 PFC の分解率は、FT-IR により PFC の排ガス濃度を測定し算出した。対象ガス流量は CF₄: 3L/min, 希釈 N₂ 流量は 100L/min, SF₆: 2L/min, 希釈 N₂ 流量 150L/min で固定し、バーナーへの投入熱量を変化させ、対象ガスの分解率データを取得した。図 2, 図 3 に燃料ガス投入熱量（都市ガス 13A 発熱量比）と CF₄, SF₆ の分解率との関係を示す。

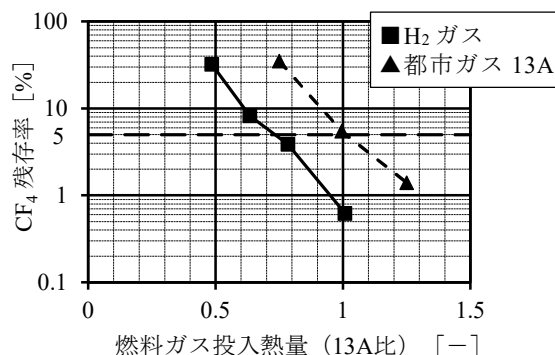


図 2 燃料種による CF₄ 分解性能比較

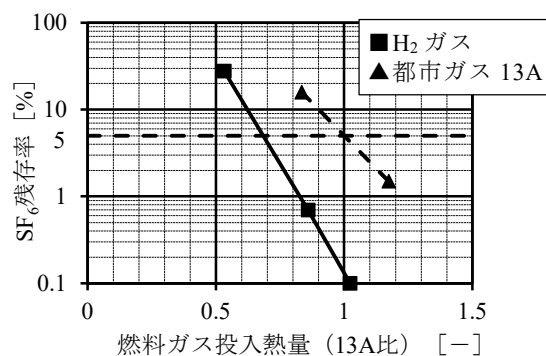


図 3 燃料種による SF₆ 分解性能比較

性能評価試験の結果、CF₄、SF₆の分解効率 95%以上を達成するための投入熱量は、化石燃料を使用した場合と比較し、H₂ガス燃料の場合、発熱量ベースで約 30%の削減が可能であった。

また、その他 PFC においても従来化石燃料バーナーに比べ、H₂ガス燃焼バーナーの方が投入熱量を約 30-50%を低減した状態でも同様の除害性能を得ることが確認ができた。

この結果から本装置性能と従来の化石燃料仕様とを比較し、発熱量ベースでの PFC 分解効率に一定のメリットを有していると判断して製品化を行った。

4. まとめ

水素燃焼式排ガス処理装置においては、酸化膜エッチングプロセスやプラズマ CVD のクリーニングプロセスから排出される PFC 処理、CVD 工程等に対応するガス分解性能評価をすることで、以下特長を有する製品開発を実現した。

- ・ H₂ 燃料を使用することで、従来製品である化石燃料バーナー同条件での PFC ガス分解に対し、投入熱量を約 30-50%削減可能である。
- ・ 投入熱量減に伴い、排ガス処理装置の冷却に使用する給水・排水量も同様に削減可能である。
- ・ 本装置を使用することで、従来の化石燃料仕様の排ガス処理装置で発生する燃料の燃焼による温室効果ガス CO₂ の直接排出をゼロとすることができる。
- ・ 本装置は、バーナーのみの交換で化石燃料仕様から水素対応仕様に変更可能であり、導入時に装置内の燃料供給系統に水素ラインを導入しておくことで、納入後でも容易に燃料種の変更が可能である。

水素燃焼式排ガス処理装置の開発をおこない、2024年4月より製品上市する。本製品は、カーボンニュートラルに貢献し、来るべき水素社会に対応する為、H₂ガスを燃料として使用する製品である。本報告では、装置への投入熱量が化石燃料使用時よりも省力化となることを明らかにした。したがって、単純な化石燃料から水素ガスへの燃料転換という観点だけでなく設備の小型化、省給水、省排水を実現することが可能となった。

本製品をラインナップすることで、顧客のカーボンニュートラルへの要望等、時代に則した種々のニーズに合わせた最適な排ガス処理システムを提案することが可能となった。

参考文献

- 1) 経済産業省 資源エネルギー庁
エネルギー基本計画について
第6次エネルギー基本計画
https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/
- 2) 大陽日酸技報, 2005, No.24
大容量燃焼式排ガス処理装置「SBRN-2K00」シリーズ
- 3) 大陽日酸技報, 2013, No.32
GaN, SiC プロセス用燃焼式排ガス処理装置
Herclues Burner® (ハーキュリーズバーナー)