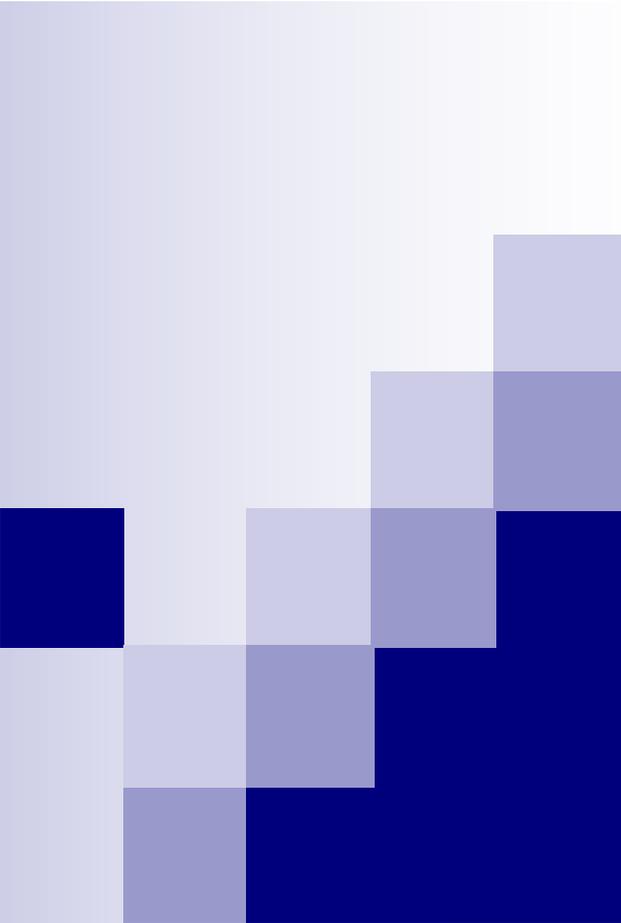


研究開発2018

有限会社エスエスシー

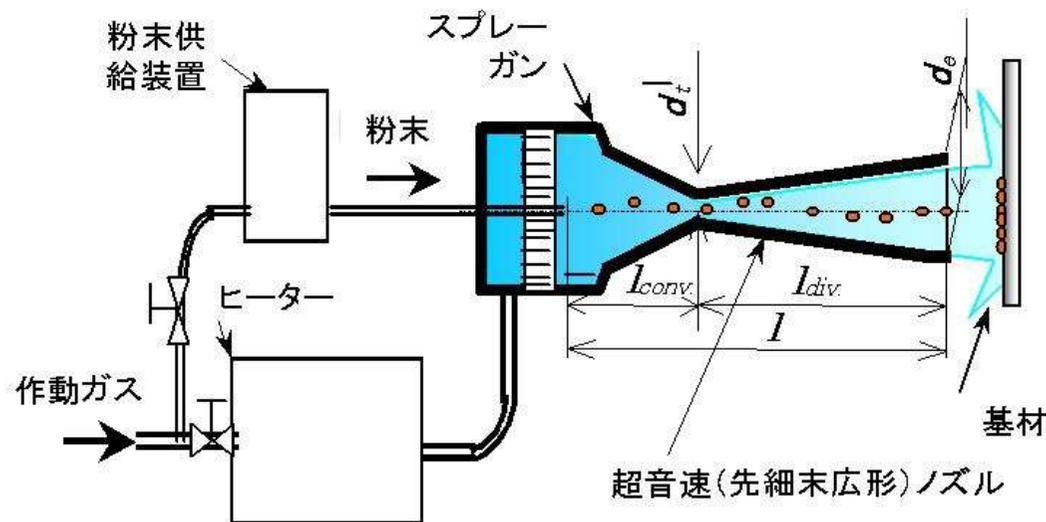
本資料の無断転載・配布は固くお断りいたします



研究開発の動機及び 過去の研究開発

コールドスプレー

数 μm ~50 μm の粒子をヒーターで加熱した $\text{N}_2 \cdot \text{He}$ 等の不活性ガス中に投入される。超音速(CD)ノズルを通過することにより500~m/sに粒子は加速され、固相状態のまま基材に衝突する。運動エネルギーにより粒子は塑性変形し、同時に基材も塑性変形することにより粒子は堆積していく。



長所

- 溶融させることなく皮膜が作製するため、材料の酸化・変質が抑制できる
- 緻密な膜の作製が可能

出典:一般社団法人日本溶射学会ホームページ

コールドスプレーの問題点

工業用ガスの大量消費	ガスはN ₂ を使用。流量は50～150m ³ /h 実用レベルではボンベ使用は非現実的、液体ガス 容器・蒸発器・加圧器の設備が必要
初期投資の負担大	高圧型コールドスプレー装置は高価、 付帯設備(ガス容器・蒸発加圧器・集塵器etc.)を 含めると更なる設備費用が必要
1MPaを超過する 高圧型コールドスプレー	高圧ガス保安法の範囲となり、認可必要
大電力消費	ガスをヒーターで加熱するため、 大電力が必要。(1000℃では70KWh以上)

**溶射装置及び運転コストが高いことは中小企業における
普及実用化への高いハードル**

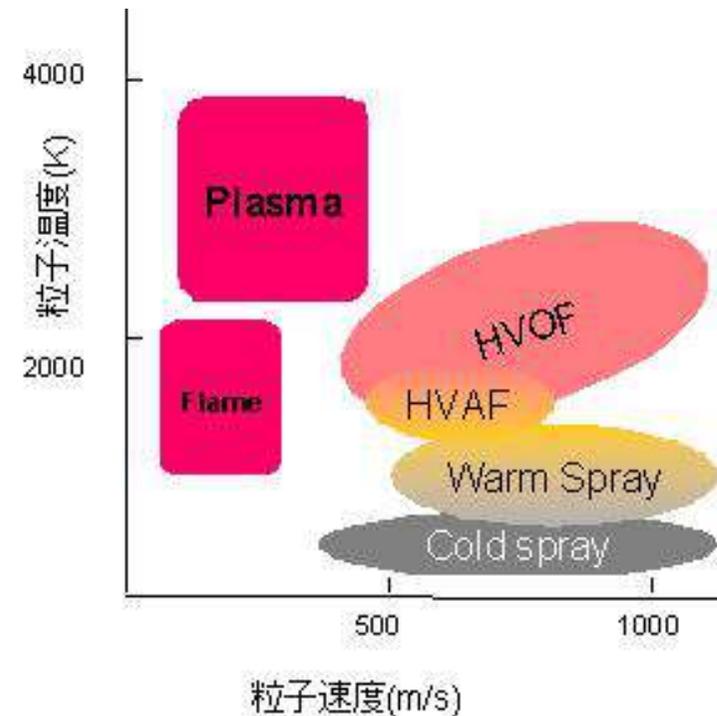
HVAFの概要

- 高速フレイム溶射の1つであり、代表的なHVOFとは異なり、酸化剤に圧縮空気を用い、High Velocity Air Fuelの略称
- 開発年代はHVOFとほぼ同時期の1980年代である。HVOFと同じくJ.A. Browningが発明
- HVOFと同じく炭化水素系燃料を燃焼させる。1990年代までのHVAF装置は灯油などの液体燃料を使用していたが、近年はプロパンなどの気体燃料を使用する装置が殆どである。装置が空冷であることは共通している
- 使用燃料により断熱燃焼温度は異なるが、おおよそ2200K~2400K

HVAFの低温高速化

工業用ガスを使用しないHVAFをウォームスプレーやコールドスプレーまで温度を下げ速度を上昇させることが出来るのであれば、工業用ガスは一切使用しない、コストパフォーマンスに優れた低温高速溶射法となる。

2008年ごろから研究スタート

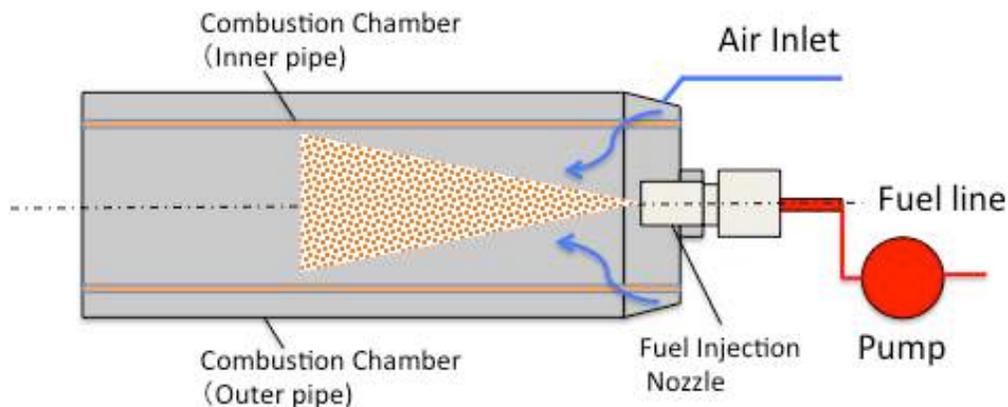


粒子速度温度図

問題解決に向けたアプローチ

灯油などの可燃性液体は、液面から蒸発した可燃性蒸気が空気と混合し、何らかの点火源により着火燃焼

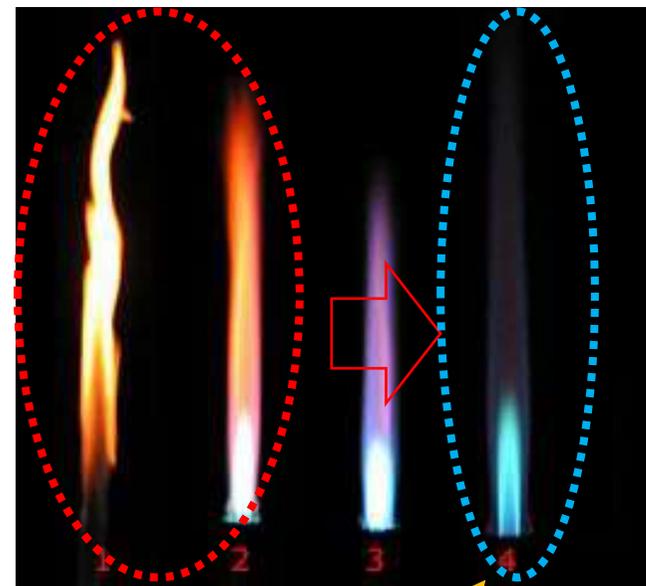
市販HVAFの燃焼室



従来HVAFの燃焼室長さに対する直径の比(L/D)は約2.5であり、この比では如何なる条件でも煤が発生する。完全燃焼のためにはL/D=10程度が望ましい。⁽¹⁾

燃料を噴霧するノズルは渦巻噴射弁や二流体ノズルで構成されているが、燃料と空気の混合も不足していることも要因の一つである。

ブンゼンバーナーの火炎形態



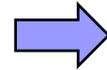
輝炎を不輝炎に

(1) 島田壮平, フレームジェットエンジニアリング—岩石破壊から産廃リサイクリングまで—, 産業図書, 1995, pp.17-18

問題解決に向けたアプローチ

従来HVAF装置の問題点

- 完全燃焼に必要な燃焼室長さの不足
- 燃料と空気の予混合化不足



上記問題解決には
新たな装置開発が必要

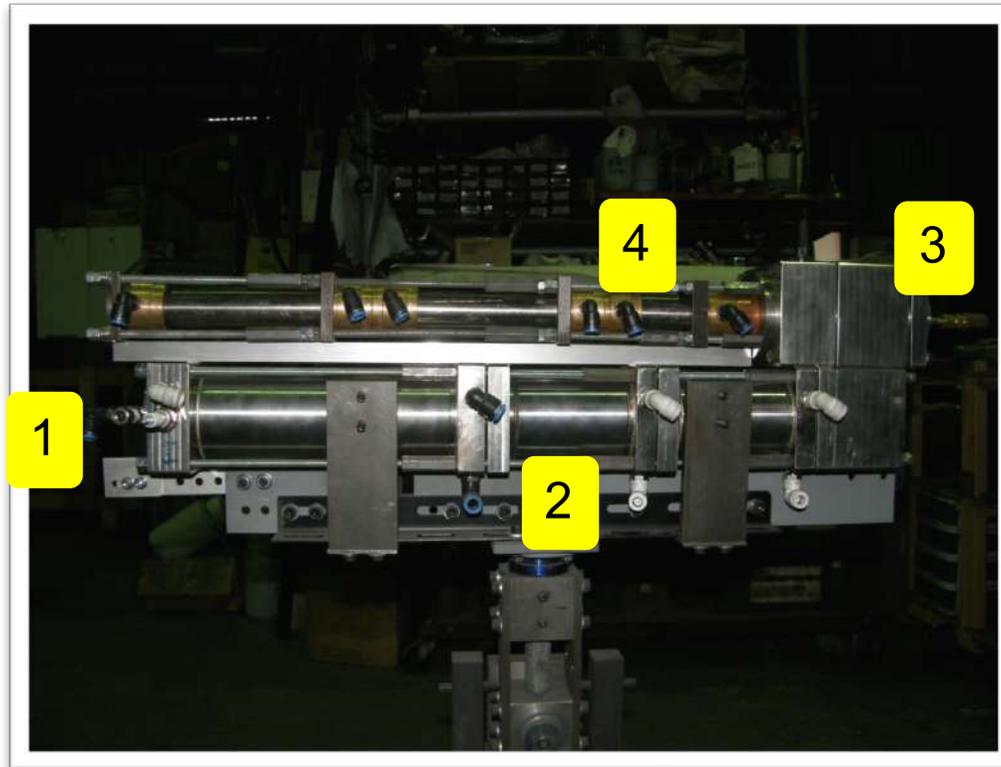
2011年から大島商船高専の川原と
燃焼器の共同研究を開始

平成25年度補正予算「ものづくり補助金」
にて弊社計画案が採択

新規燃焼機に必要なコンセプト

- 火炎安定の実現
- 低価格(市販品メイン)及び低ランニングコスト
- 低環境負荷実現のため、NO_x・煤の排出抑制
- 低圧コールドスプレーと同程度温度域である673K~973K
の間で調整可能なこと

ものづくり補助金を活用した試作機外観

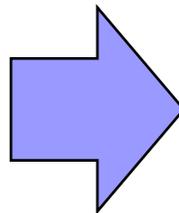


1. 燃料噴霧用2流体ノズル
2. 燃焼ガス冷却用流体入口
3. 粉体供給管
4. バレル冷却水出入口

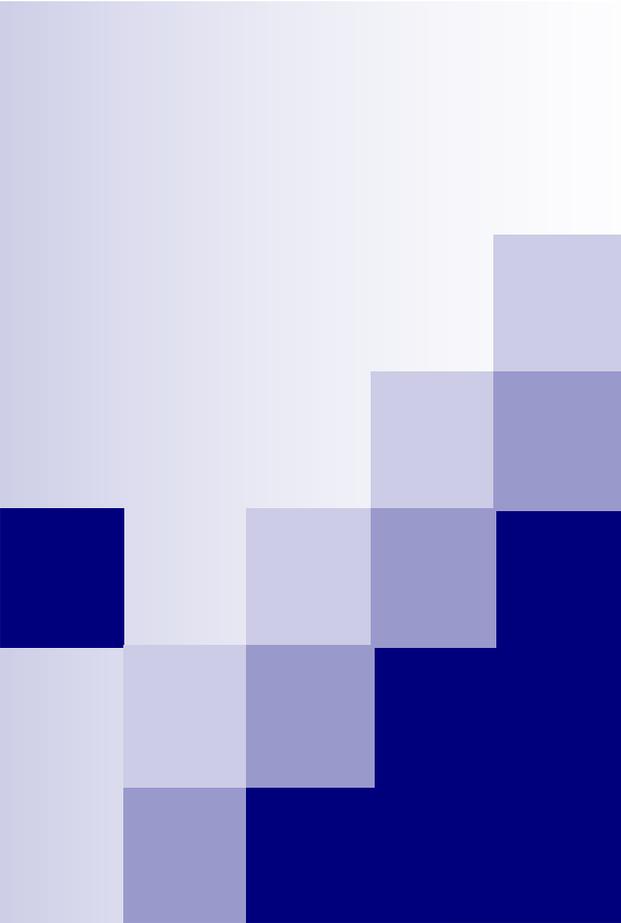
完全燃焼するようL/D=10程度まで燃焼室を延長。燃焼ガスに冷却流体供給量を調整することで目標温度となる。流れを折り曲げ流れの中心軸から粉体を投入して皮膜を形成する。

着火及び火炎維持が困難で皮膜作製まで至らず、解決必要

原因推測



1. 点火源の熱量不足
2. 燃料微細化の不足
3. 流量増加による火炎消失

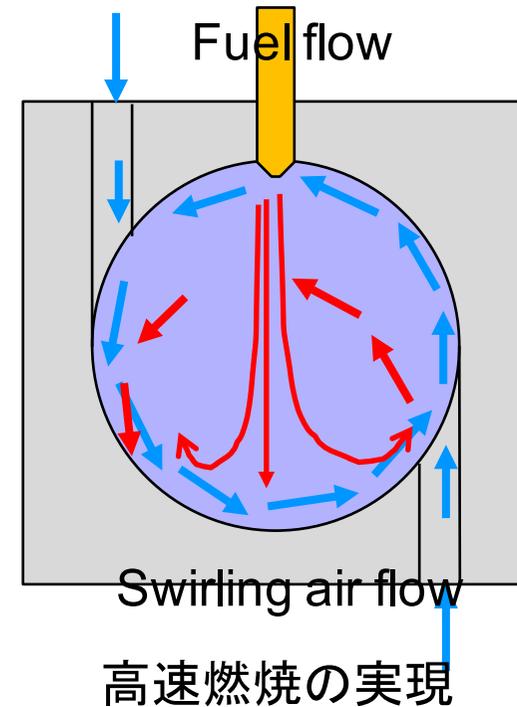
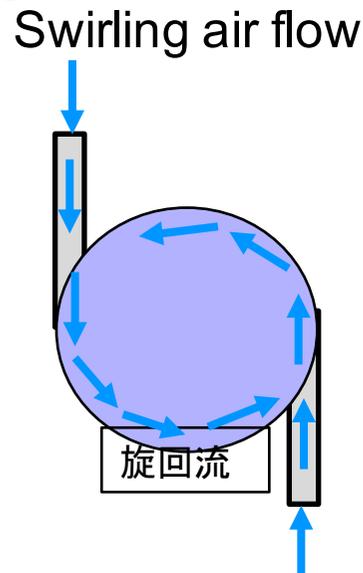
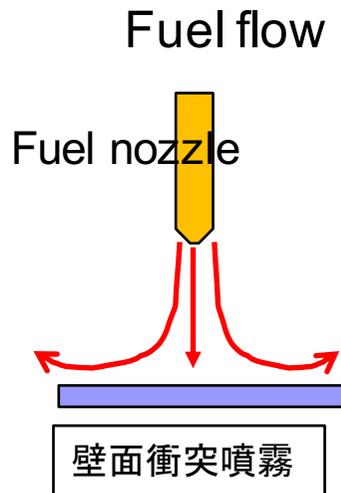
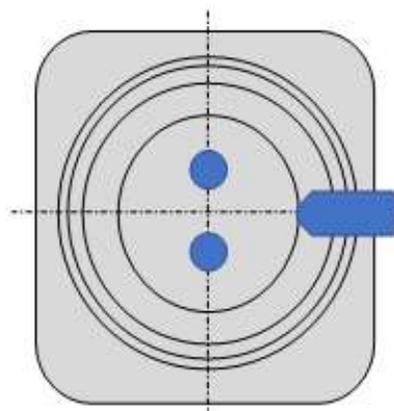
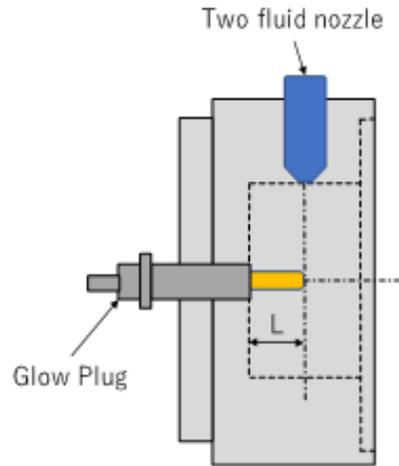


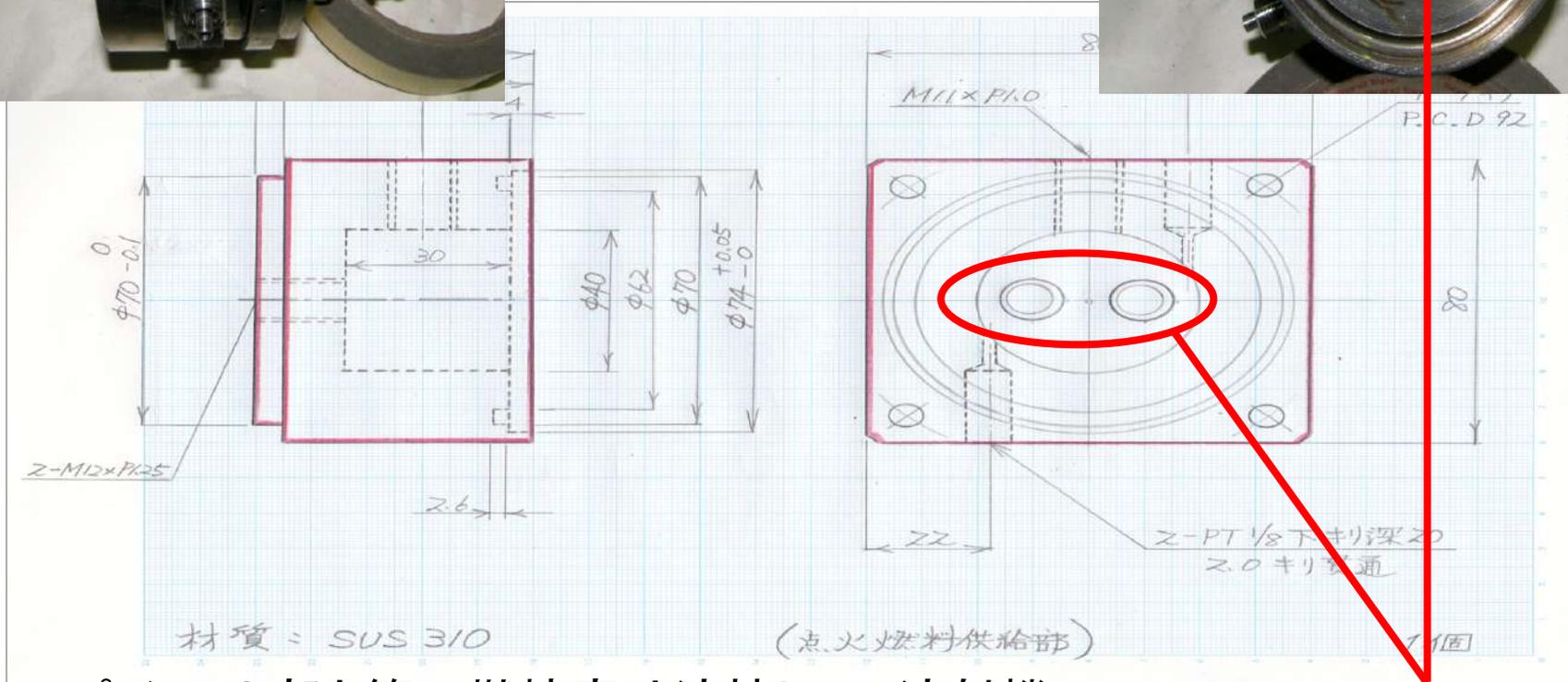
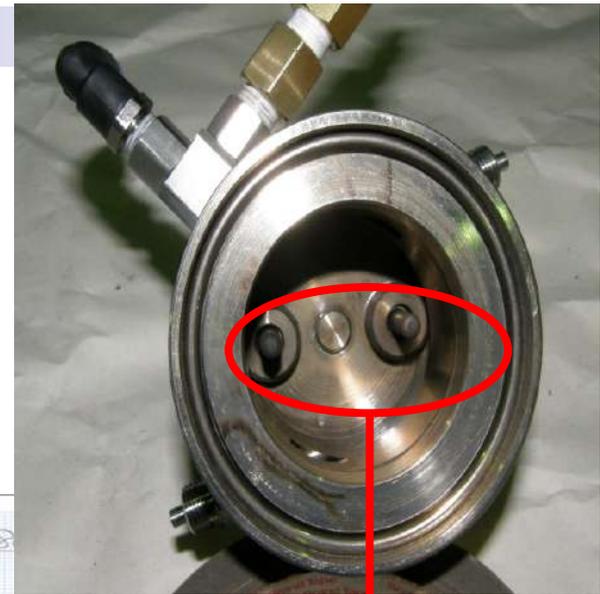
新規燃焼装置の開発

改良燃焼機の概要

パイロット(種火)燃焼部の追加

液体燃料を壁面に衝突噴霧、蒸発を促進
旋回流による火炎の小型化
スパークプラグをグロープラグに変更
点火させてメイン燃焼室の種火とする
メイン燃焼が安定すると、グロープラグは
OFFとなる

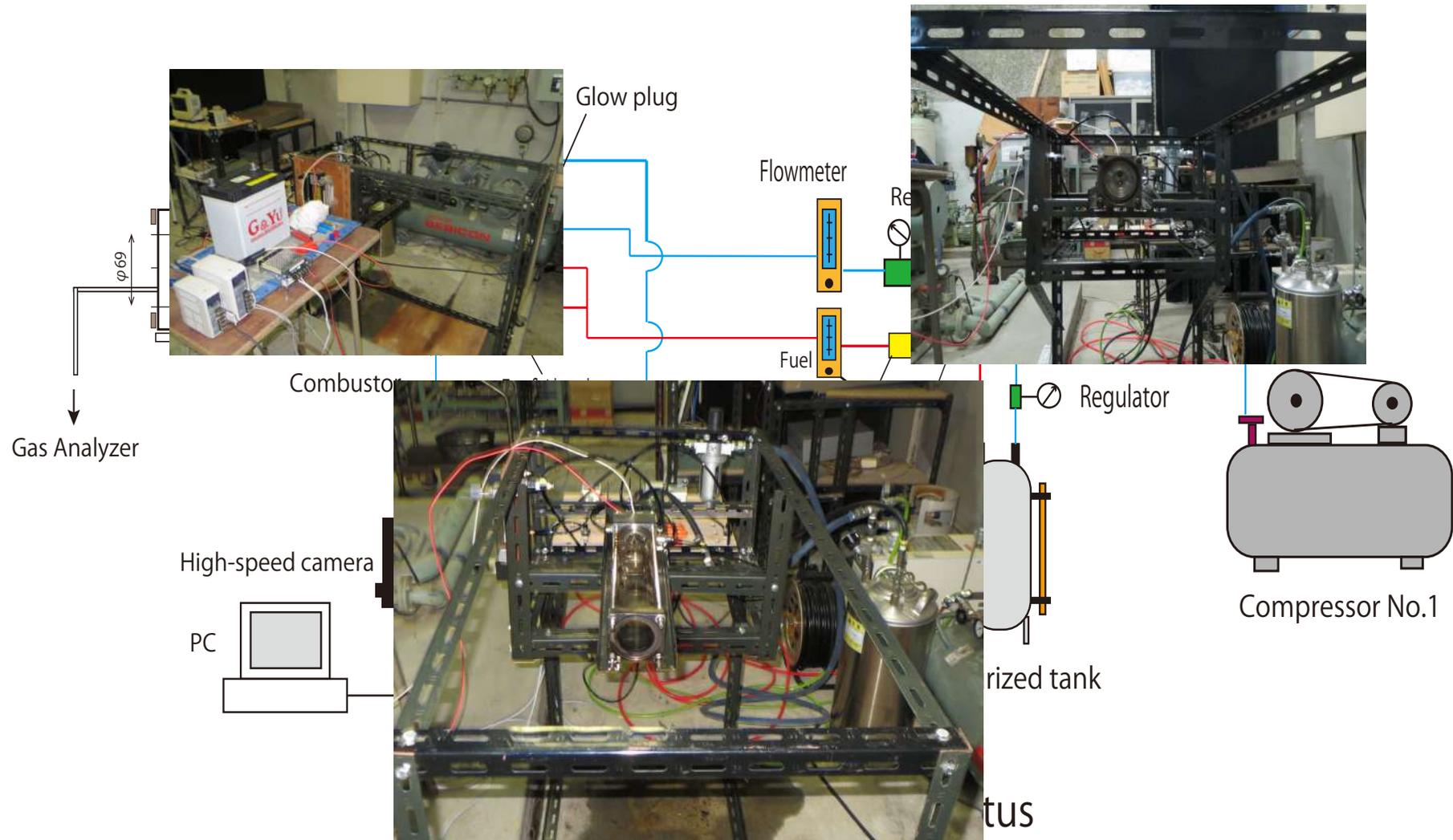




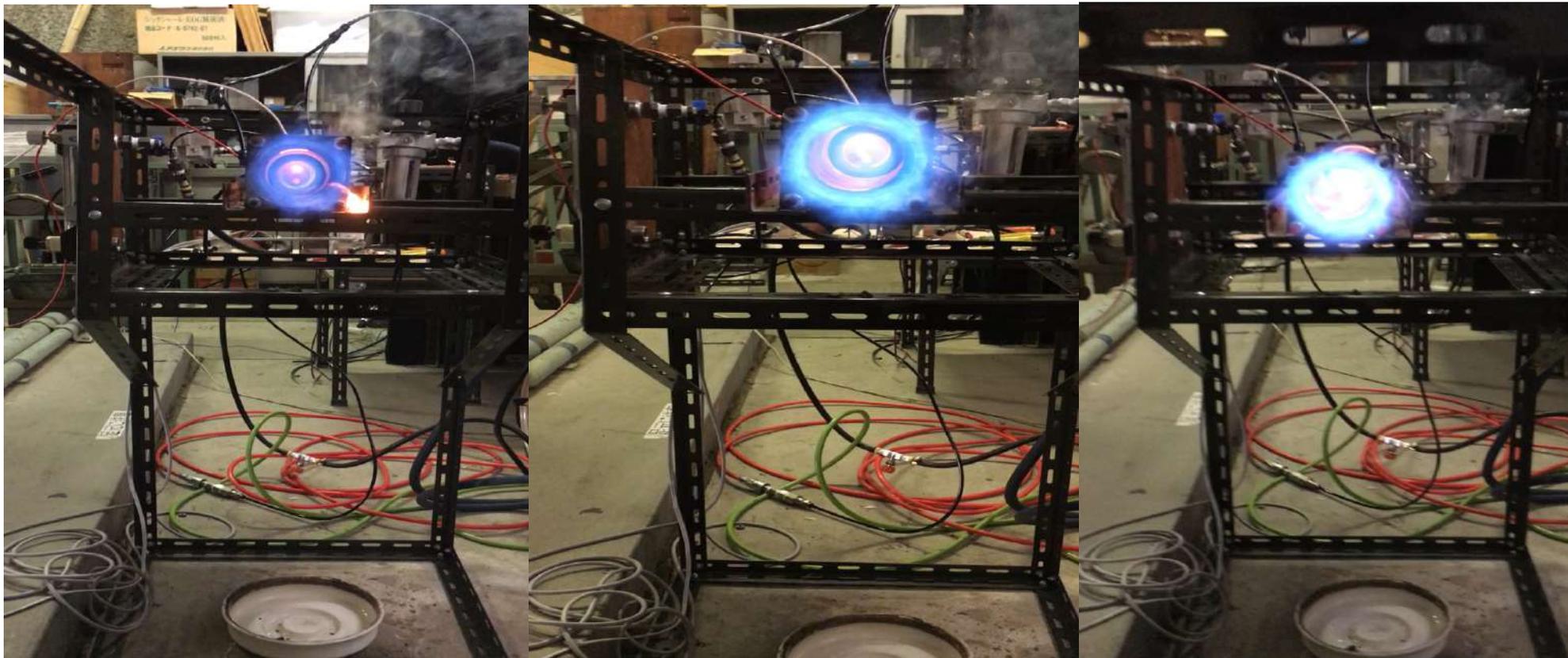
パイロット部と第一燃焼室は溶接して、溶射機
においてはグロープラグ焼失防止のため水冷

グロープラグ
(NGK,Y-204TS-1)

燃焼試験装置(大島商船高専)



当量比変更による火炎形態の変化



$\Phi=0.67$

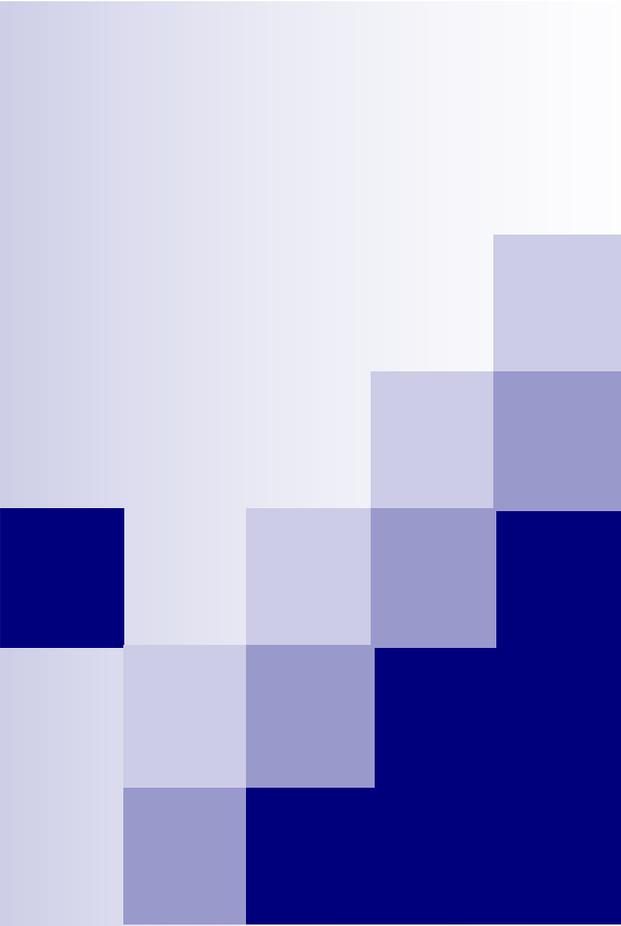
$\Phi=0.49$

$\Phi=0.39$

当量比の値を $\Phi=0.67$ から $\Phi=0.39$ までに変化させた火炎は、濃青から淡青の不輝炎に変化。希薄燃焼状態が強まったため。

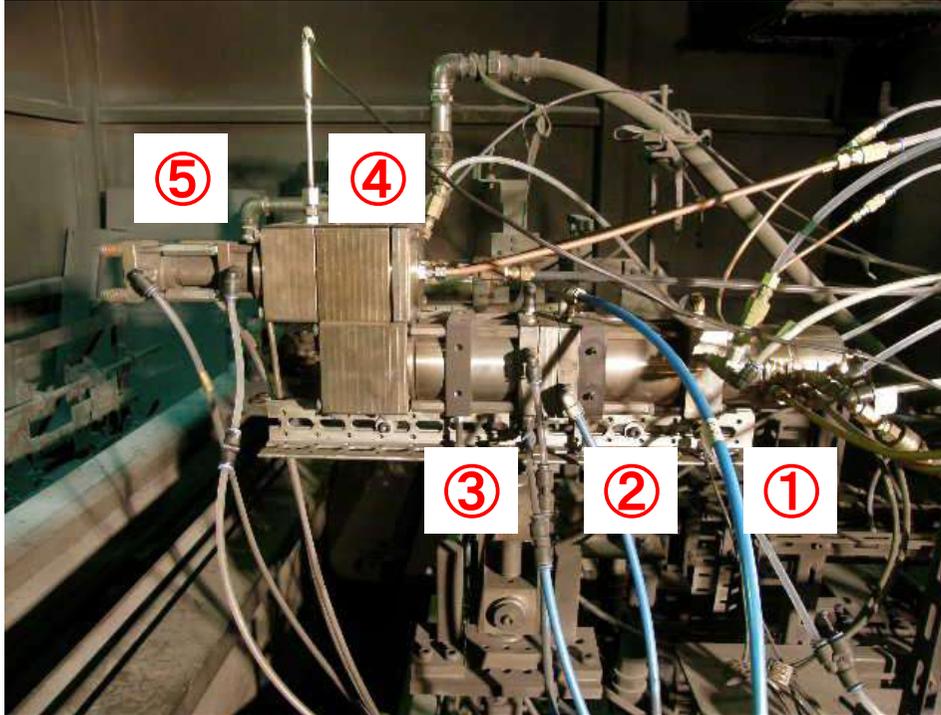


実験結果から、実機においては $\Phi=0.3\sim0.4$ が適していると判断



低温溶射用HVAFの開発及び皮膜作製と評価

低温溶射用HVAFの外観

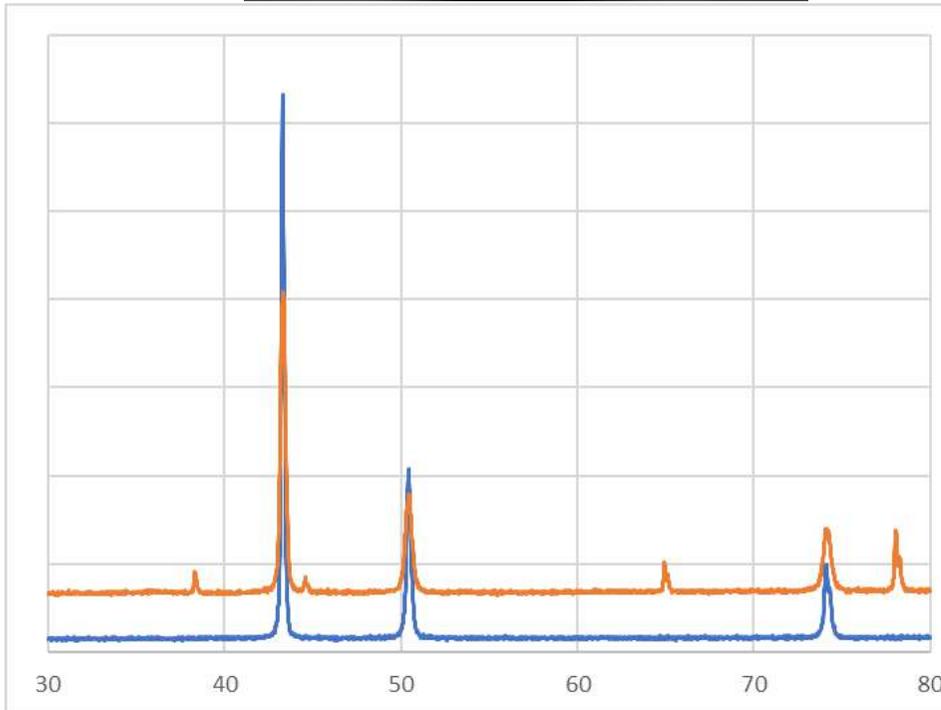
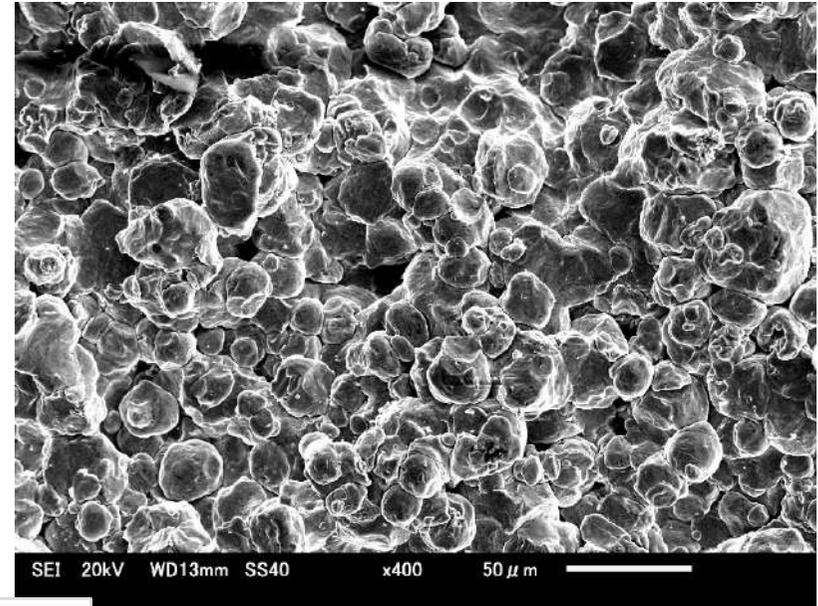


- ① パイロット燃焼部を含む第1燃焼室
- ② 第2燃焼室
- ③ 第3燃焼室
- ④ 粉体混合室
- ⑤ 超音速ノズル及びバレル

皮膜作製及び
燃焼試験の条件

混合室温度	1023K
総圧縮空気量	1.150m ³ /min
メイン燃料供給量	40ml/min
粉体混合室圧力	0.22MPa
湿り排出ガス流量	1.10m ³ /min(66.2m ³ /h)

作製皮膜表面

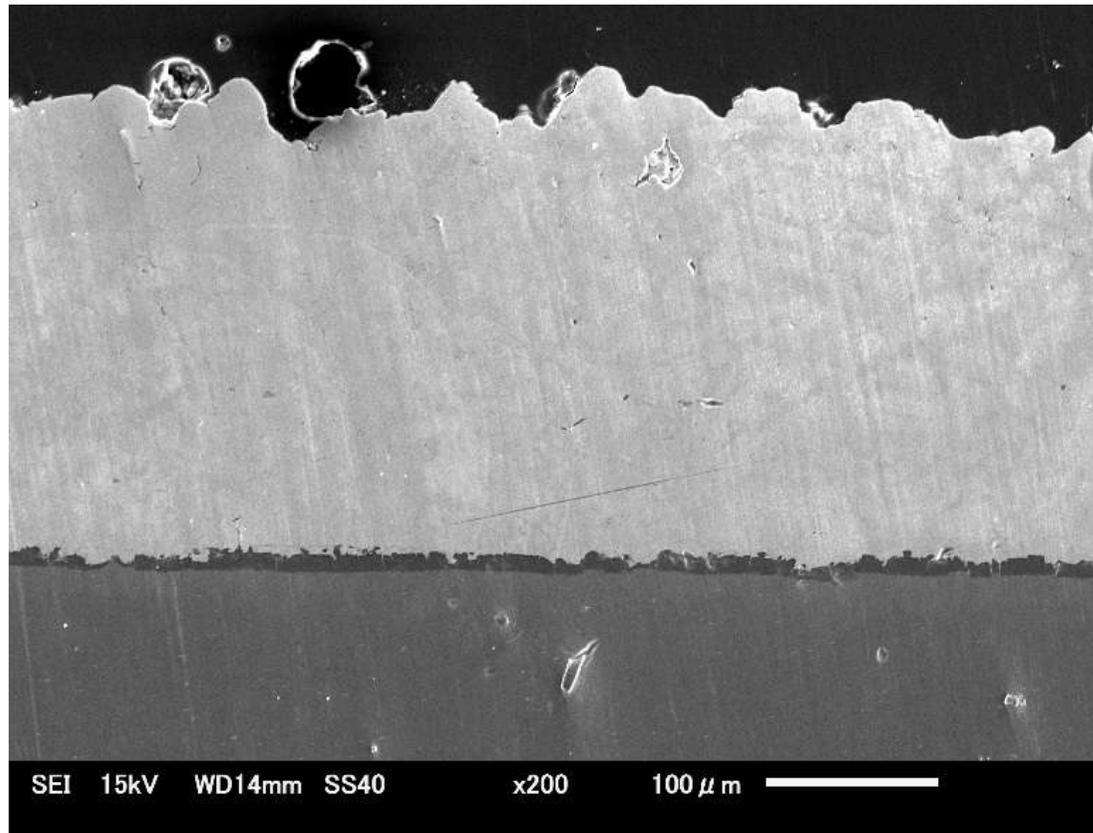


粉体: Cu-HWQ20
(福田金属箔粉工業)

皮膜表面は混合室ガス温度が750°Cと高いため酸化しているが、

XRDの回折パターンからは酸化物の生成は認められず、固相状態のまま成膜

低温溶射用HVAFによる銅皮膜断面



先行技術と遜色ない緻密な皮膜作製が可能なことを確認
低価格・低コストであることも利点の一つ

結論



作製した銅皮膜

- 燃焼機の新規開発によって、少ない燃料供給量でも良好な火炎を維持することが可能となった。安価・低コストの熱源及びガス発生装置として有効であることが判明した。
- XRD結果から酸化物の生成は認められなかった。
- 表面のSEM観察から、粒子は固相のまま塑性変形して皮膜となっていることがわかった。断面観察から、コールドスプレーやウォームスプレーと同じような緻密な皮膜を作製可能なことが判明した。



謝辞

本研究成果の一部は、平成25年度補正「中小企業・小規模事業者ものづくり・商業・サービス革新事業」によるものです。