



研究論文

## 低圧燃焼場を利用したナノ粒子合成

### Nanosized metal particle synthesis at low-pressure combustion field

佐々木 宏二  
(Koji SASAKI)  
大阪大学  
(Osaka Univ.)  
飯野 公夫  
(Kimio INO)  
太陽日酸株式会社  
(Taiyo Nippon Sanso)

小田 智啓  
(Toshiharu Oda)  
大阪大学  
(Osaka Univ.)  
芝原 正彦  
(Masahiko SHIBAHARA)  
大阪大学  
(Osaka Univ.)

林 潤  
(Jun HAYASHI)  
大阪大学  
(Osaka Univ.)  
赤松 史光  
(Fumiteru AKAMATSU)  
大阪大学  
(Osaka Univ.)

The innovative nanosized metal particle synthesis method at low pressure combustion field is proposed. Methane-oxygen premixed flame is utilized as the heat source and precursor water solution is sprayed at low-pressure field. The zinc acetate water solution is used as the precursor to synthesize ZnO nanosized particles. From industrial aspect, the size controllability of nano particle, the inhibition of agglomeration and the inexpensively in large quantity are required to particle synthesis method. Our proposed method is expected to achieve the above-mentioned characteristics. In this paper, the effects of quantity of heat, supply rate of precursor water solution and pressure in the combustion chamber on produced fine particles are investigated. It was found that sufficient heat supply is necessary to produce fine particle. In addition the lower the pressure of combustion chamber became, the smaller the generated particles were.

Keywords: Nanoparticle, Flame assisted spray pyrolysis, Flame synthesis, Zinc oxide, Semi-conducting material, Gas phase synthesis

## 1. 緒言

粉体粒子は、セラミック材料、電気材料、電子材料、触媒材料、焼結材料、等として用いられる基本材料の一つである。その中でも、粒子径が数 100 nm 以下の粒子をナノ粒子と呼ぶ。ナノ粒子は、量子サイズ効果により、バルク体では見られない新たな熱的、光学的、電気的、機械的特性を示す<sup>(1)</sup>ことから、様々な分野への応用が検討されており、ナノテクノロジーの基盤となる材料であり、付加価値が高い。工業的には次に示すような特徴を持つ粒子製造方法が求められている。製造される粒子性状に注目すると、①微細な粒子径（ナノサイズ）、②均一な粒子径分布、③高純度・高結晶性、④凝集が抑制され分散性が良好であること、⑤粒子径の制御が広範囲で可能であることなどが挙げられる。また、工業的には粒子の大量合成が重要であるため、⑥合成装置の連続運転性能や、⑦前駆体物質の大量供給性能などが求められる。

粒子の製造方法を粒子の生成過程により分類すると、粉碎法 (breaking-down process) 成長法 (building-up process) に分類される<sup>(2)</sup>。粉碎法では一般的に機械的粉碎法が使用されるが、ナノ粒子を効率よく製造するのは困難であり、また粉碎工程で不純物が混入する可能性がある。一方、成長法は、ガスや溶液の化学反応や物理的冷却などにより原子もしくは分子状の凝集性物質から核生成と成長により、粒子へと作り上げる方法で、ナノメートルオーダーからマイクロメートルオーダーの粒子を作ることができ、粒度分布の制御も可能である。以上のことから、ナノ粒子の製造法としては、成長法が一般的である。

表 1 に成長法による微粒子製造法の分類を示す。後に粒子となる前駆体の初期状態により、気相プロセス、液相プロセス、固相プロセスに分類される。固相プロセスにより、ナノ粒子を合成するためには、生成された粒子を粉碎によりナノ粒子まで微粒化する操作が必要となるため、ナノ粒子を直接合成することは困難である。

化学蒸着 (Chemical Vapor Deposition : CVD) 法に代表される気相プロセスは、前駆体を気相の状態では導入し、粒子を合成する方法である<sup>(3)</sup>。その特徴として、量子サイズ効果の期待できるナノ粒子の製造が比較的容易、凝集体が形成されるがその構造が制御可能、高純度の微粒子の製造が可能といった利点が挙げられる。一方で、原材料が高価であることや、製造装置壁面上での析出などの問題から、粒子の大量合成能力の面で欠点がある。

液相プロセスは、沈殿析出法と溶媒蒸発法に大別される。沈殿析出法は、易溶性金属化合物の沈殿剤との反応、加水分解、酸化還元などの化学反応により、難溶性化合物に変えて過飽和状態として、それを粒子として析出させる方法である。この手法には、粒子径の制御が広範囲で可能、種々の粒子形

Table 1 Particle synthesis method of building-up process

		代表例
気相プロセス	気相反応析出	電気炉法, 化学炎法 プラズマ法, レーザー法
	物理的凝縮	抵抗加熱法, 高周波加熱法 プラズマ法, 電子ビーム法
液相プロセス	溶液中	沈殿法, 水熱合成法 電解法, 超臨界水熱合成法
	溶媒蒸発を伴う	噴霧熱分解法, 噴霧乾燥法
固相プロセス		固体熱分解法, 固相反応法 還元法, 固相結晶化法

原稿受付: 2008 年 10 月 2 日

態が選択可能などの利点が存在する。一方で、基本的にバッチ処理方式であることや、沈殿物のろ過、乾燥、さらに十分な結晶構造が得られていない場合にはアニリング処理といった後処理プロセスが必要などの欠点があることから、粒子の大量合成に向いているとは言い難い。溶媒蒸発法は、溶媒の蒸発により過飽和状態を実現して微粒子を析出させ、その熱分解によって所定の粒子を得る方法である。溶媒蒸発法の代表例として、噴霧熱分解法 (Spray Pyrolysis : SP 法) が挙げられる<sup>(4)</sup>。この手法は金属塩などを水に溶解し原料溶液として、電気炉内に噴霧し、乾燥・熱分解することで目的の粒子を合成する方法である。この方法は、生成粒子の粒子径の制御性が良く、生成粒子の凝集が抑制可能、組成比が均一な混合材料の連続的な合成が可能などの利点が挙げられる。しかし電気炉では高温場を形成することが難しいため、液滴は緩やかに蒸発し、粒子は噴霧液滴内に析出する。そのため、生成粒子の粒子径は噴霧液滴の液滴径および初期原料溶液濃度によって決定される。以上の理由から、ナノサイズの粒子を合成するためには、液滴径を小さくする、または原料溶液を非常に希薄なものとする必要がある。微細な液滴を噴霧するために静電噴霧を利用した手法が報告されているが<sup>(5)</sup>、噴霧量が極端に少ないという問題がある。また、原料溶液を希薄にした場合、供給溶液あたりの合成粒子量は低下する。以上のように、いずれの手法においてもナノサイズ粒子の大量合成に関しては、課題が多く残されている。

そこで本研究では、上記の課題を解決する手法として、低圧燃焼場を利用した粒子合成法を提案する。本手法は、低圧の炉内に形成した予混合火炎を熱源とし、噴射弁を使用し火炎上に原料水溶液を噴霧し、噴霧を蒸発・熱分解することで目的の粒子を得るものである。燃焼を利用することで、電気炉では難しい高温場(今回の実験条件における断熱火炎温度は約 2800 K と試算できる)を形成することが容易であり、効率よく噴霧液滴を加熱できる。また、反応場を低圧とすることで、噴霧の蒸発を促進することが可能である。以上のことから、気相合成において高速に反応を完了させることができ、ナノサイズの粒子が合成可能になると考えられる。また、噴霧を効果的に蒸発させることが可能であるため、噴射量の大きな噴射弁の適用が可能であり、噴霧量の増加が容易である。

具体的には、一般に噴霧熱分解法で使用されている超音波噴霧器の噴射量が数 10~数 100 mL/h であることと比較した場合、今回使用した噴射弁はおよそ 1000 mL/h と 10 倍程度の噴霧が可能である。

本報では、低圧燃焼場を利用した粒子合成法のために新たに設計した実験装置、および、投入熱量、燃焼場の圧力が ZnO 粒子の合成に与える影響について報告する。

2. 実験装置及び方法・実験条件

2.1 実験装置及び方法

実験装置全体の概略図を図 1 に示す。装置は大きく分けて、ガス供給系、原料水溶液供給系、バーナー部、燃焼炉、粒子回収・ガス排気系の 5 つからなる。実験装置バーナー部、燃焼炉の概略図を図 2 に示す。

燃料には都市ガスの主成分であるメタンを、酸化剤には低圧場での着火性・保炎性を考慮して酸素を採用した。メタンおよび酸素は別々のマスフローコントローラにより流量を制御し、混合部において予混合気を生成する。その後、アルミナボールが充填されたバーナー下部の整流部へ導入する。このとき、メタン-酸素の混合割合により、希薄燃焼では酸化雰囲気、過濃燃焼では還元雰囲気を形成することが可能である。以上のように本実験装置では、雰囲気の状態を自由に選択することが可能であり、希薄燃焼では金属酸化物粒子、過濃燃焼では純金属粒子が得られる可能性を有している。

原料水溶液は圧力容器から窒素ガスにより圧送する。流量は液体マスフローコントローラを用いて制御し、バーナー部に設置した噴射弁に供給する。噴射弁は幅広い流量範囲で良好な微粒化特性を示すことから、戻り式噴射弁 (EVERLOY : BN 2.6-68) を採用した。原料水溶液の噴霧量の制御は液体マスフローコントローラによる供給量の調整と、ニードルバルブの開閉度による戻り流量の調整によって行った。また、純水の供給系を別に設け、実験終了後に純水を流すことで噴射弁の詰まりを防いでいる。

バーナーは直径 75 mm、厚み 10 mm の金属板に、直径 1.5 mm の穴を等間隔に空けた、Vitiated Coflow Burner<sup>(6)</sup>を使用した。バーナーの概略図を図 3 に、燃焼時の写真を図 4 に示

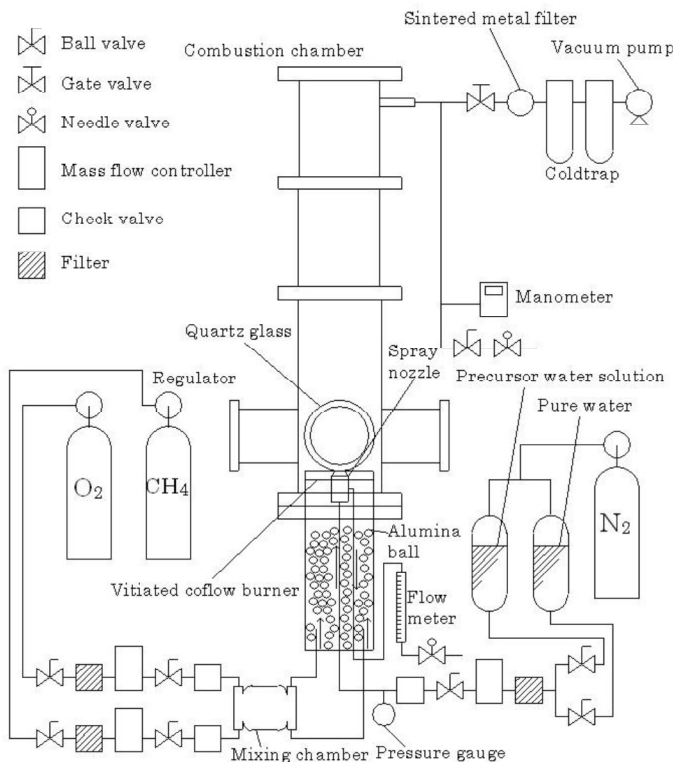


Fig.1 Overall view of experimental apparatus

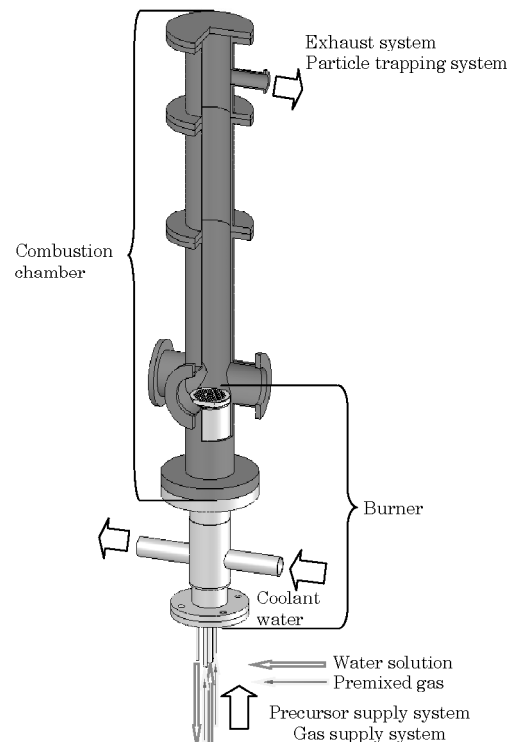


Fig.2 Schematic diagram of the experimental apparatus (Burner, Combustion chamber)

す。Vitiated Coflow Burner は、燃焼時には多数の微小な予混合火炎を形成するため、バーナー上において燃焼炉半径方向に均一な温度場を形成することができる(図4参照)。噴射弁は図3のようにバーナー中央に設置し、バーナー上にホロコーン型に原料水溶液を噴霧する。バーナー部は下部から冷却水を供給することで、シール部分の劣化および熱による変形を抑制している。

燃焼炉は3本のステンレス管を真空フランジにより接続したものであり、下部からバーナー部を差し込む構造となっている。燃焼炉下部から175 mmの位置には3方向に内径65 mmの火炎・噴霧観察用の窓を設置し、残りの1方向に点火プラグを設置した。バーナーの位置はバーナー上部が観察窓下部と同じ高さになるようにした。その状態でバーナーから燃焼炉先端までの長さは622.5 mmである。また、バーナーから202.5 mm, 377.5 mm, 552.5 mmの高さに、管中央と管壁面にそれぞれ2つ、合計6つの熱電対を設置して燃焼室内の温度を計測した。

生成粒子を含む燃焼ガスは燃焼室上部の排気管から排出し、金属焼結フィルタを通過させることにより生成粒子を分離捕集した。その後、排気中の水蒸気をコールドトラップで除去し、真空ポンプによって大気中に排出した。燃焼室内の圧力制御は、捕集フィルタ上流側にあるニードルバルブの開閉度による真空ポンプの吸引量、および外気取り込み口に取り付けられたニードルバルブの開閉度による外気導入量の調整によって行った。また、燃焼室内圧力の測定は、外気取り込み管から分岐して取り付けられたデジタルマノメータによって行った。なお、本装置では粒子回収を一つの金属焼結フィルタによって行ったが、粒子回収系を並列構造にすることや、粒子の堆積による圧力損失の小さい捕集法を用いるなどの工夫により、装置の連続運転が可能となる。

実験は次のような手順で行った。はじめに、バーナー上にメタン-酸素予混合火炎を形成し、酢酸亜鉛水溶液の供給流量と戻り流量を調整しバーナー中央のノズルに供給する。燃焼場圧力を調整しながら、生成粒子を金属焼結フィルタ(光栄モスフィルタ工業株式会社: JMCW-01-002-V)に捕集する。フィルタ上に粒子が堆積し、圧力が調整範囲を逸脱した時点で予混合気の供給を止め消火する。最後にノズルの詰まりを防止するために純水を供給してノズルを洗浄して実験を終了する。生成された粒子はSEMによって観察した。

## 2.2 実験条件

ZnOはITOに替わる液晶パネルディスプレイの透明電極や、発光デバイスなどへの応用が期待される材料である<sup>(7)</sup>。また、噴霧熱分解法によるサブミクロン粒子の合成も報告されている<sup>(8)</sup>ことから、目的の材料として採用した。また、原料水溶液として人体への有毒性などを考慮し、酢酸亜鉛水溶液を採用した。

本研究で提案する手法に影響を及ぼすパラメータとして、燃焼炉圧力、予混合気流量、予混合気の当量比、酢酸亜鉛水溶液濃度、酢酸亜鉛水溶液噴霧量が挙げられる。本研究で行う実験範囲を次のように決定した。原料(酢酸亜鉛)水溶液の濃度に関して、噴霧熱分解法(Spray Pyrolysis: SP法)について0.001~1 mol/L程度の濃度範囲での酸化亜鉛粒子の合成が報告されているため<sup>(9)</sup>、純水100 gに対して試薬である酢酸亜鉛二水和物を20 g溶解し13.9 wt%(0.817 mol/L)とした。次に、予混合気の当量比は酢酸亜鉛水溶液噴霧量が多い条件であっても、供給した亜鉛を十分に酸化可能な酸化雰囲気形成が可能であり、なおかつ、量論当量比に近い条件として $\phi = 0.8$ とした<sup>(10)</sup>。予混合気流量は、当量比0.8において、バーナー上に安定して火炎を形成可能な6~17.5 L/minの範囲で操作した。炉内の圧力は予混合気流量と酢酸亜鉛水溶液供給量、使用した真空ポンプ(ULVAC:VD401)の性能から、5~

25 kPaとした。

以上の条件において、酢酸亜鉛水溶液噴霧量を変化させ、予混合気流量と酢酸亜鉛水溶液噴霧量の関係が粒子生成に与える影響に関して調査した。また、粒子が合成可能な条件において燃焼炉圧力が生成粒子の性状に与える影響に関して調査した。

## 3. 供給熱量と粒子生成の関係性

### 3.1 実験条件

表2に予混合気流量と酢酸亜鉛水溶液噴霧量の関係が粒子生成に与える影響を調査するため行った実験の実験条件を示す。酢酸亜鉛水溶液の噴霧量を500~1000 g/hの範囲とし、それぞれの噴霧量において予混合気流量を変化させた。燃焼炉圧力は10 kPaを基本としたが、水溶液噴霧量と予混合気流量が多い条件では、真空ポンプの吸引力の問題により、低圧を保てない場合があった。また、表2には、酢酸亜鉛水溶液1 gに対する、炉内に供給したメタンの低発熱量を示す。

### 3.2 実験結果

図5に各条件での粒子生成の可否の実験結果を示す。図中の○印は白色の粒子が生成された条件である。酢酸亜鉛水溶液噴霧量が500~800 g/hの比較的低流量の条件では、火炎が形成できる最小の予混合気流量である6 L/minから、最大の17.5 L/minまですべての条件で粒子の生成が確認された。それに対して、酢酸亜鉛水溶液噴霧量が900~1000 g/hの条件では、予混合気流量が15 L/min以上の条件でのみ粒子生成が確認された。図6に条件①で生成された粒子のSEM写真を示す。図より20 nm程度の粒子から、100 nm程度のやや粗大な粒子が存在していることが分かる。

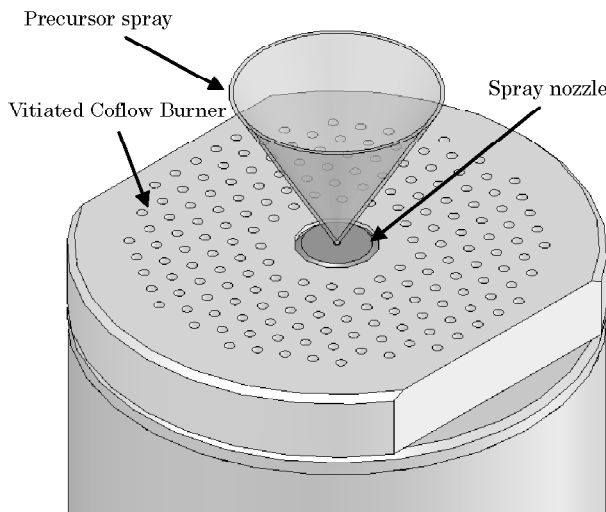


Fig.3 Schematic diagram of Vitiated Coflow Burner

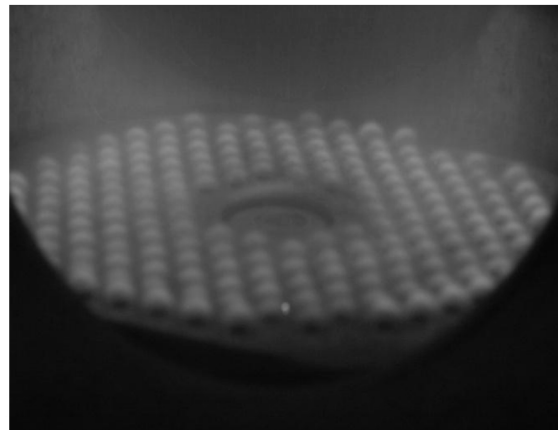


Fig.4 Photograph of methane oxygen premixed flame

Table 2 Experimental conditions

Case number	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
Pressure kPa	13	10	13.5	10	10	10	10	11	10~18	20~24
Premixed gas flow rate L/min	9	6	12	15	6	17.5	12	12	15	17.5
equivalent ratio	0.8									
Concentration of zinc acetate water solution wt%	13.9									
Flow rate of zinc acetate water solution g/h	500	600			800		900	1000		
Ratio of thermal input rate and flow rate of zinc acetate solution kJ/g	11.1	6.1	12.3	15.4	4.6	13.4	8.2	7.4	9.2	10.7

一方、×印は粒子が生成されなかった条件、△印が粒子は生成されたが、粒子が堆積したフィルタ上に一部湿っている個所が観察された条件である。また、この湿っている個所は、酢酸の臭いが残っている場合があった。つまり、供給した水溶液が完全に蒸発していないことを示している。図7に条件⑧でフィルタ上に堆積した物質のSEM写真を示す。図7からフィルタ上に湿った状態で捕集された場合は、板状の凝集体物質が形成されており、粒子の生成がされていないことが分かる。なお、予混合気流量が5 L/minの条件では火炎が形成できなかった。

以上の結果から、本手法では供給熱量が多いほど粒子合成に適していると言える。

次に、図8に酢酸亜鉛水溶液1gに対する、炉内に投入したメタンの低発熱量を示す。図8から、条件②と条件⑤では、条件⑦や条件⑧と比較して、水溶液あたりの投入した発熱量が少ないにもかかわらず、粒子が生成されていることが分かる。このことは、水溶液噴霧量を増加させた場合には、より余剰な熱量を投入する必要があることを示している。そのため、粒子合成が可能な条件は図5中に示すような範囲になると予想できる。

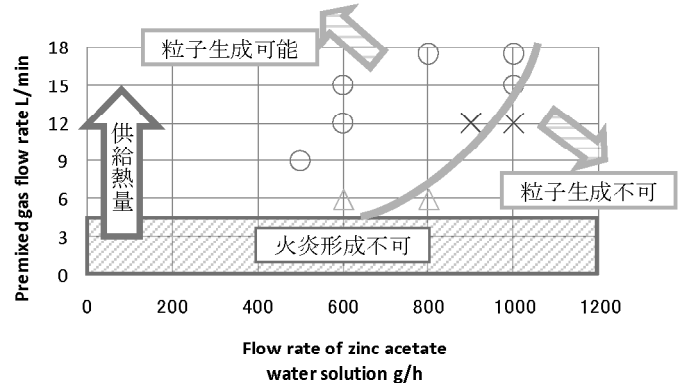


Fig.5 Effect of the premixed gas flow rate and flow rate of zinc acetate water solution on particle synthesis

#### 4. 生成粒子の炉内圧力依存性

##### 4.1 実験条件

上記の予混合気流量と酢酸亜鉛水溶液噴霧量の関係が粒子生成に与える影響の調査結果から、粒子合成が可能である条件が明らかとなった。次に、条件③を基本として、生成粒子の燃焼炉圧力依存性に関して調査を行った。設定した実験条件を表3に示す。条件⑩(燃焼炉圧力5kPa)は真空ポンプの能力などの制約から実験可能な最低の圧力付近である。

##### 4.2 実験結果

燃焼炉圧力が異なる条件⑩(燃焼炉圧力5kPa)、条件②(燃焼炉圧力15kPa)ともに安定した火炎が形成され、白色の粒子が生成された。それぞれの条件下での生成粒子のSEMによる観察結果を図9に示す。図9(a)から、条件⑩では、粒子径が20nm程度の微細な球形粒子が比較的均一な粒度分布で得られていることが分かる。一方、図9(b)、(c)より、条件③と条件②では、条件⑩で得られたような微細な球形粒子の割合が減少し、100nm程度の粗大な棒状粒子が増加していることが分かる。以上のことから、燃焼炉圧力が低い場合に、より微細かつ均一な粒子を合成でき、圧力の上昇に伴い、全体的に粒子径が大きくなり、また粒子径分布が不均一になると言える。粒子径が増加する原因や、一部粗大な粒子が混在する原因については、今後詳細に調査していく必要があるが、圧力の上昇により燃焼炉内の気相速度が減少して、高温場での滞留時間が増加したことや、粒子同士の衝突回数が増加したことが原因の一つと考えられる。

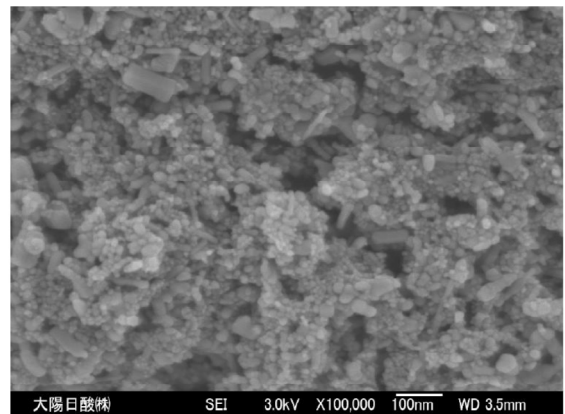


Fig.6 SEM image of zinc oxide (case①)

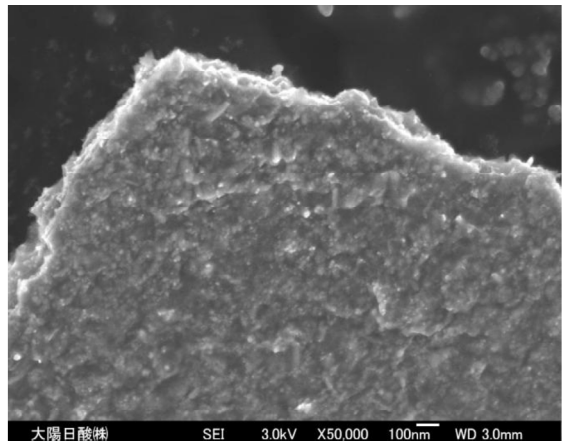


Fig.7 SEM image of product (case⑧)

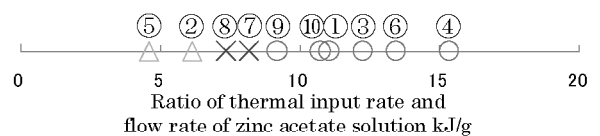


Fig.8 Effect of the Ratio of thermal input rate and flow rate of zinc acetate solution

5. まとめ

ナノサイズ粒子の合成における生産性の問題を解決する手法として、低圧燃焼場を利用した粒子合成法を提案した。本手法を検証するための実験装置を製作し、投入熱量が粒子生成条件に与える影響、および生成粒子の燃焼炉圧力依存性に関して調査を行った結果、次のような結果が得られた。

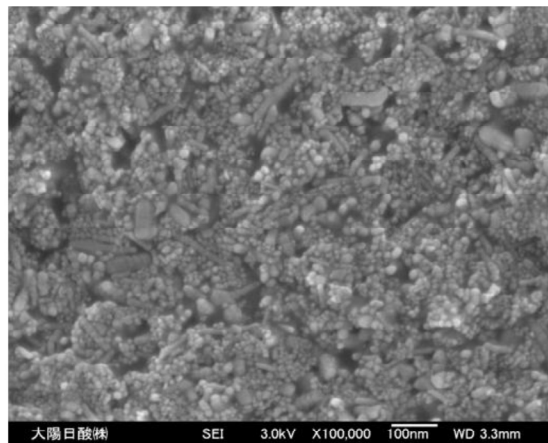
1. 低圧燃焼場を利用した粒子合成法により、約 20~100 nm 程度の粒子径の ZnO ナノ粒子の合成が可能である。
2. 粒子合成条件の探索の結果、粒子合成可能か否かに関して、投入した原料水溶液に対する燃焼の発熱量が十分であることが重要である。
3. 生成粒子の燃焼炉圧力依存性についての実験結果から、燃焼炉圧力が低い (5 kPa) 場合に球形の 20 nm 程度の微細な粒子が比較的均一に形成され、圧力の上昇に伴い粒子が粗大化していく。

文 献

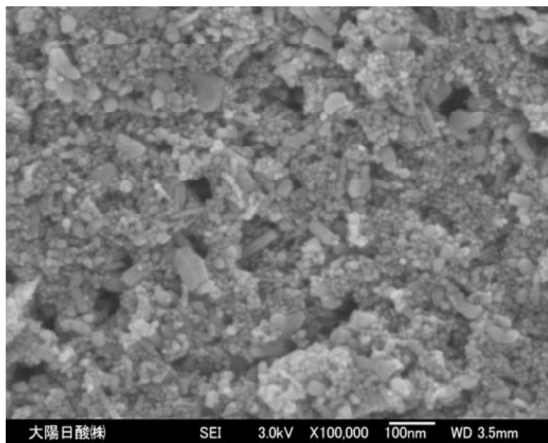
- (1) 細川益男, ナノパーティクルテクノロジーハンドブック, 日刊工業新聞社, (2006).
- (2) 粉体工学会編, 粉体工学叢書第 2 巻 粉体の生成, 日刊工業新聞社, (2005).
- (3) Jin, W., I. K. Lee, et al., Chemical vapor synthesis and characterization of chromium doped zinc oxide nanoparticles, Journal of the European Ceramic Society, 27 (2007), 4333-4337.
- (4) Messing, G. L., S. C. Zhang, et al., CERAMIC POWDER SYNTHESIS BY SPRAY-PYROLYSIS, Journal of the American Ceramic Society, 76 (1993), 2707-2726.
- (5) Wuled Lenggoro, Kikuo Okuyama, Application of Electro spray to Synthesis and Measurement of Nanoparticles, J. Aerosol Res., 20 (2005), 116-122.
- (6) Cabra, R. et al, Simultaneous Laser Raman-Rayleigh-LIF Measurements and Numerical Modeling Results of a Lifted Turbulent H2/N2 Jet Flame in a Vitiated Coflow, Proceeding of the Combustion Institute, 29 (2002), 1881-1888.
- (7) Chen, M., Z. L. Pei, et al., ZAO: an attractive potential substitute for ITO in flat display panels, Materials Science and Engineering B-Solid State Materials for Advanced Technology 85 (2001), 212-217.
- (8) Vanheusden, K., C. H. Seager, et al., Green photoluminescence efficiency and free-carrier density in ZnO phosphor powders prepared by spray pyrolysis, Journal of Luminescence 75 (1997), 11-16.
- (9) 日本国特許庁, 特許公報, 特許第 3167756 号, (2001).
- (10) 小田智啓, 大阪大学大学院修士論文, (2008).

Table 3 Experimental conditions (Effect of the pressure)

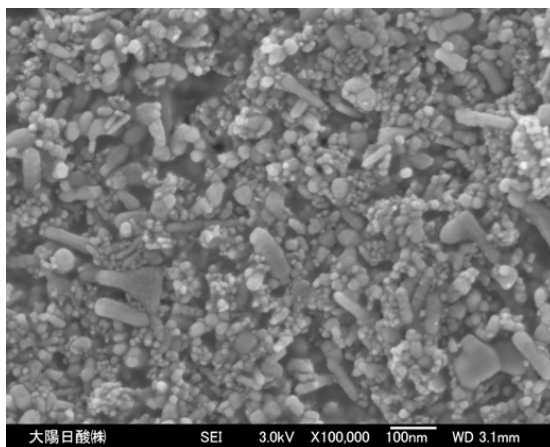
	①	③	⑫
Premixed gas flow rate L/min	12		
Equivalent ratio	0.8		
Pressure kPa	5	13.5	15
Concentration of zinc acetate wt%	13.9		
Flow rate of zinc acetate solution g/h	600		



(a) Case ① (5 kPa)

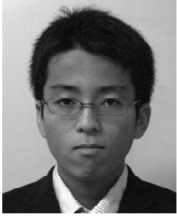


(b) Case ③ (13.5 kPa)



(c) Case ⑫ (15 kPa)

Fig.9 Effect of the pressure on the generated particle



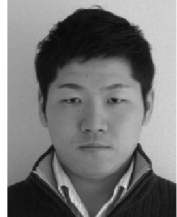
佐々木 宏二  
大阪大学 大学院  
工学研究科 機械工学専攻  
大阪府吹田市山田丘 2-1  
Tel : 06-6879-4489  
Fax :06-6879-7254

略歴：2008年3月大阪大学工学部卒業，2008年より大阪大学大学院工学研究科博士前期課程に在籍。



芝原 正彦  
大阪大学大学院工学研究科  
機械工学専攻，  
原子分子イオン制御理工学センター  
准教授  
〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1  
Tel & Fax: 06-6879-4488

略歴：1997年 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了，博士（工学）。主として，分子熱工学に関する研究に従事。



小田 智啓  
大阪大学 大学院  
工学研究科 機械工学専攻  
大阪府吹田市山田丘 2-1  
Tel : 06-6879-4489  
Fax :06-6879-7254

略歴：2008年3月大阪大学大学院工学研究科博士前期課程修了，2008年4月 三菱重工業株式会社 名古屋航空宇宙システム製作所 入社



赤松 史光  
大阪大学大学院工学研究科  
機械工学専攻 教授  
〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1  
電話：06-879-7252  
Fax : 06-879-7247  
Mail : [akamatsu@mech.eng.osaka-u.ac.jp](mailto:akamatsu@mech.eng.osaka-u.ac.jp)

略歴：1991年 大阪大学大学院工学研究科機械工専攻博士前期課程修了，1996年 博士（工学），主として燃焼流の光学計測，数値解析に関する研究に従事。



林 潤  
大阪大学 大学院  
工学研究科 機械工学専攻  
大阪府吹田市山田丘 2-1  
Tel : 06-6879-4489  
Fax :06-6879-7254

略歴：2004年慶応義塾大学大学院工学研究科修士課程修了，2006年より大阪大学大学院工学研究科後期博士課程に在籍



飯野 公夫  
太陽日酸（株）  
山梨研究所 燃焼技術課 課長  
山梨県北杜市高根町下黒沢 3054-3  
Tel : 0550-42-4553  
Fax : 0551-42-2384

略歴：1989年東京農工大学大学院工学研究科修士課程修了，1992年太陽日酸（株）に入社。2005年，大阪大学大学院工学研究科博士後期課程修了 博士（工学）。これまでに酸素燃焼に関する研究および燃焼装置の開発に従事。