

報告番号 ※ 甲 第 2200号

# 主論文の要旨

題名 C F M層型固気接触装置の粒子流動特性と  
燃焼装置への応用に関する研究

氏名 成瀬 一郎

## 主論文の要旨

報告番号	※甲第	号	氏名	成瀬 一郎
<p>固気接触装置は、現在の化学工業における単位操作として必要かつ欠くべからざるプロセスとなっており、その使用目的もFCC（流動接触分解）プロセスなどの触媒反応操作あるいは微粉炭ボイラーをはじめとする燃焼反応操作などの化学反応装置から、流動層を用いた乾燥操作、移動層を利用した吸着操作などの物質移動操作まで、様々な単位操作に適用されている。現在までに、各種固気接触装置が提案、実用化されており、これらの総体的な分類を固気接触装置のハンドリングの立場から装置内に占める固体の割合を指標として分類を試み、各種固気接触方式（充填層、移動層、流動層、噴霧層）の装置特性を考察した。</p> <p>その結果、各方式には、様々な長所とともに短所を有していることから、プロセスの操作条件（例えば、原料あるいは生成物の相、温度領域、処理量、制御性）によって装置形式を選択するのが、今後も根本的な指針となる。しかし、装置開発の立場では、1つの装置で比較的応用性に富むものが、多品種少量高付加価値生産という社会的状況では必要となろう。つまり、来る固気接触装置の必須条件は、広範な操作条件に対応が可能であること、制御性が良好であるとともに容易であること、装置スケールがコンパクトであることなどが挙げられる。このような装置開発のためには、新たな層の発見、あるいは各層の複合化が装置工学の見地から重要となると考えられる。</p> <p>つぎに、各種固気接触装置を固体燃料の燃焼装置へ適用することを鑑み、先に考察した各方式の装置特性を基にして検討を行った。まず、燃焼装置へ適用する最に重要な因子は、急激な発熱反応を伴うこと、若干の例外を除いて気体や固体を主たる目的生成物とするものではなく、燃焼過程に発生する反応熱が重要な目的生成物となることが挙げられる。従って、燃焼装置の基本的な設計概念は、固気接触を良好にし燃焼効率を高め、より多くの燃焼熱を他の媒体に熱交換することである。しかし、現在では、その他に厳しい環境規制とわが国のエネルギー事情の遷移をも考慮する装置でなくてはならない。</p> <p>これらの現状から、将来の石炭燃焼装置あるいは燃焼方式は、小規模なボイラでしかも炉内において環境対策と熱交換を行うことが可能であること、炭種</p>				

## 主論文の要旨

報告番号	※甲第	号	氏名	成瀬 一郎
<p>(燃料比、水分、N分、S分)および粒径の順応性を有する必要があること、燃焼立ち上げ、停止、負荷変動操作を司る制御性が良好であることなどが必要であると考えられる。これらの条件は、ともすれば操作条件によって相反する要素を有することとなり、この分野について、トータルバランスのとれた燃焼装置の開発研究のブレイクスルーが急務であると考ええる。</p>				
<p>上記の観点から、本研究は、石炭燃焼・ガス化、触媒反応などの化学反応プロセスから乾燥、ガス吸着などの物質移動操作まで各種固気接触プロセスに汎用性があり、しかもスモールスケールに適用可能な装置として、新たにCFM層型(Combined Fast Fluidized Bed and Moving Bed)固気接触装置を提案した。そこで、まず、本装置開発の第1段階として、2次元および3次元非反応系可視化コールドモデルによって、本装置の粒子流動特性の検討を行った。つぎに、本装置を固気接触プロセスの1つである小規模な石炭燃焼装置へ応用することを目的とし、実験室規模の燃焼装置を試作して、本装置の燃焼特性を明らかにした。また、本装置のような石炭燃焼装置の設計として必要となる固体燃料の燃焼速度について、熱天秤により測定を行い、同時にその測定法の評価をも行った。さらに、燃焼装置のみならず他の固気接触装置の設計において必要となる熱ならびに物質移動速度について粒子・流体間の伝熱実験を行って実験的に検討を行った。</p>				
<p>本論文は、下記に示す6章から構成されている。</p>				
<p>(1) CFM層型固気接触装置内の粒子流動特性に関する2次元コールドモデル実験(第1章、第2章)</p>				
<p>(2) CFM層型固気接触装置の3次元コールドモデルにおける内管部粒子流動特性(第3章)</p>				
<p>(3) 熱循環式CFM層型石炭燃焼装置の燃焼特性(第4章)</p>				
<p>(4) 熱天秤による固体燃料の燃焼速度測定ならびにその評価(第5章)</p>				
<p>(5) 高速流動層内の粒子・流体間伝熱特性(第6章)</p>				
<p>第1章では、新しい固気接触装置として、高速流動層と移動層とを組み合わせたCFM層型固気接触装置を提案した。本装置の各種固気接触装置への適用</p>				

## 主論文の要旨

報告番号	※甲第	号	氏名	成瀬 一郎
------	-----	---	----	-------

性を調べるための第1段として、ガラスビーズ粒子を用い、圧力損失、粒子ホールドアップ、粒子速度分布、粒子滞留時間などの粒子ならびにガスの基本的な流動特性を、2次元可視化コールドモデルによって実験、観察した。

本実験結果より、内管において安定した高速流動層を形成する最小ガス流速（最小高速流動化速度）が存在すること、内管内粒子ホールドアップはガス流速の増加とともに指数関数的に減少すること、装置内粒子速度分布は、単一粒子の挙動に基づいて理論解析した結果と比較的良好な一致を示すことおよび粒子滞留時間は塔高の1次にほぼ比例することなどが明らかとなった。

第2章では、CFM層型固気接触装置の各種プロセスへの適用性ならびにスケール効果をより詳細に検討するために、粒子見かけ密度の異なる3種類の粒子（アルミナボール、活性アルミナおよび石炭粒子）を試料として第1章と同様な装置を用い、最小高速流動化速度、粒子ホールドアップ、粒子速度分布および粒子滞留時間などの測定を行った。

その結果、内管部において、最小高速流動化速度は単一粒子の終末速度に総合的に一致したが、一部、内管高さの増大とともに増大する傾向が認められ、その傾向は粒子見かけ密度の大きい粒子ほど顕著であった。また、粒子ホールドアップおよび粒子滞留時間は、第1章で示したガラスビーズの結果とほぼ同様な傾向を示し、ガス流速の増大に伴って指数関数的に減少した。なお、粒子速度分布は、内管部では見かけ密度の違いが現れたが、環状部では単なる自由落下現象であることが明らかになった。

第3章では、CFM層型固気接触装置の各種プロセスへの実用化の可能性を模索するために、2次元モデルよりもより実装置に近い3次元可視化コールドモデルを試作して実験を行った。本章ではとくに、本装置の操作範囲を支配する内管部粒子流動状態、軸方向圧力損失分布、粒子ホールドアップ、内部粒子循環効果などの内管部粒子流動特性に注目して検討を行った。

その結果、内管部の粒子流動状態は、低ガス流速の条件において不規則な運動を呈し内管内で粒子循環が存在したことが観察された。また、高ガス流速では、希薄輸送層のようにほぼガス流れと平行に粒子が運動していることが観察された。また、内管

## 主論文の要旨

報告番号	※甲第	号	氏名	成瀬 一郎
<p>部軸方向圧力損失分布が粒子供給部付近を除きほぼ直線的に減少したことから、内管内は濃厚層、希薄層の区別がない単一層の流動状態であることが認められた。さらに、内管部の粒子ホールドアップの実測値と単一粒子の運動方程式より推算した結果との差（見かけの内部粒子循環量）は、ガス流速の減少および粒子供給量の増加とともに増加することが明らかとなるとともに、ある程度推算可能である知見を得た。</p>				
<p>第4章では、第3章までのコールドモデル実験の結果から、本装置を石炭粒子の燃焼装置に適用し、本装置内における燃焼特性を実験的に検討した。本実験では、比較的低位炭に分類されるLoy Yang炭およびコークスを試料として使い、それらの過濃ならびに希薄燃焼限界範囲の検討を行った。</p>				
<p>その結果、広い空気比条件で連続的に安定着火が可能であること、本装置の着火機構は内管部での粒子循環効果のみならず環状部から内管部への熱循環効果も寄与することが明らかになった。</p>				
<p>第5章では、固体燃焼装置設計の基本データとなる燃焼速度を測定するとともにその測定法の妥当性に関して検討を行った。一般に、固体燃料燃焼装置の設計にあたり、石炭の燃焼速度データの信頼性は重要な因子の一つであるが、得られたデータは装置および実験方法の違いに依存したデータとして解釈する必要がある。そこで、本実験では、コンパクトでしかも操作条件を広範に変化可能な熱天秤を用い、本装置における燃焼速度を求めるための基本的な操作パラメータ（試料ホルダーの形状・材質、保護管の材質、導入ガスの流量、昇温速度、試料充填量および試料粒径）について検討を行った。</p>				
<p>結果として、燃焼速度測定の基本操作条件が確立されるとともに、得られたデータは再現性ならびに精度のあるデータとして評価できることが明らかとなった。</p>				
<p>第6章では、本装置の内管部の粒子流動状態のような高速流動層を用いる固気接触装置の設計における物質移動あるいは熱移動の推算および燃焼過程における揮発分蒸発速度ならびに着火遅れ時間の推算に関し、重要な設計パラメータとなる粒子・流体間の伝熱特性について検討した。本実験では、加熱した固</p>				

## 主論文の要旨

報告番号	※甲第 号	氏名	成瀬 一郎
<p>体粒子と室温のガス間的高速流動層状態における粒子・流体間の伝熱係数を実験的に求めた。</p> <p>その結果、管軸方向の伝熱係数は粒子供給部に近づくにしながら大きくなった。また、管全体の粒子・流体間の伝熱係数は、スリップ速度の増加あるいは固体粒子径の減少とともに増加する傾向が認められた。</p> <p>以上、本論文では、新たな固気接触装置を提案、開発するとともに、本装置をスモールユニットの石炭燃焼装置へ適用した。また、装置設計上重要となる燃焼速度測定ならびに装置内の伝熱特性についても検討した。本研究内容は、装置開発とともに装置工学上の諸問題について検討を行ったが、現在のところ、本CFM層型固気接触装置は、本研究で用いた装置が唯一であり、今後、各種の固気接触プロセスへ適用されることを希望する。</p>			