

産業用高効率加熱技術の開発

中部電力管内は、製造業を中心とした産業構造を有しており、輸送用機械・電機・機械・化学・鉄鋼・食品など、その製造・加工過程でさまざまな加熱処理が行われており、電気や燃焼エネルギーが利用されます。

電気を利用した加熱方式には、誘導加熱、遠赤外線加熱、マイクロ波加熱、抵抗加熱、高周波誘電加熱、プラズマ加熱、ヒートポンプ加熱、レーザー加熱等があります。また、工場では排熱を利用することも重要です。

当社では、これらの産業を支える高効率加熱技術の開発を行ってきました。ここでは、これまで取り組んできた代表的な技術を紹介します。

高温用粉体混合機(ロッキングミキサ)の開発

1 高温加熱ロッキングミキサの特長

粉体混合機とは、医薬品・食品・化学・電子部品材料等の幅広い分野において、大きさや素材の異なった粉体を均一に分散・混合する装置のことです。

加熱温度400℃での粉体の混合、造粒、乾燥を行うことができ、さらにその工程をこの装置1台で行うことができる高温用粉体混合機『ロッキングミキサ』を愛知電機株式会社と共同開発しました。

(1) 高温加熱ロッキングミキサの仕様・構成と外観



第1図 高温加熱ロッキングミキサの構成(上)と外観(下)

第1表 高温加熱ロッキングミキサの仕様

仕込容量	4L 8kg (カプセル容量10L)	
ヒータ容量	6kW (500W x 12)	
カプセル回転数	1.6 ~ 50 rpm	
カプセル揺動数	0.8 ~ 17 rpm	
外形寸法	幅	1300 mm
	奥行	1120 mm
	高さ	1395 mm
本体総質量	370 kg	

(2) 高温加熱ロッキングミキサの特徴

優れた温度制御性

高精度な温度コントロールにより、雰囲気管理が容易で、加熱・乾燥機としても利用できます。

高機能な造粒

400℃まで昇温できることから、溶融混合による高度な造粒が実現できます。

容易な使い勝手

カプセルの脱着が自由で、構造もシンプルなため、洗浄が容易です。しかも、容器は、混合、運搬、貯蔵にそのまま活用でき、持ち運びも容易です。

小さな設置スペース

設置場所の移動が自由で、コンパクトな構造のため、少ない設置スペースですみます。

2 高温加熱ロッキングミキサの適用

(1) 高温加熱ロッキングミキサの適用分野

高温加熱ロッキングミキサによって、金属を使用した電子材料(例えばセレンを使用した半導体素子、インジウムを使用した電池材料、ビスマスを使用した電子冷却素子)等、従来の装置では対応できなかった新たな領域での活用が可能となります。

また、高温加熱ロッキングミキサは、カプセル内部の真空引き、混合粉体への液体添加などの多機能化オプション装置を揃えているため、医薬品や化学分野でも活用できます。

(2) プラスチックペレット乾燥への適用例

第2表 プラスチックペレット乾燥の比較

	Wコーン型(従来)	開発装置
容器容量	10L	10L
ヒータ容量	10kW	6kW
乾燥温度	240	240
乾燥時間	5.5時間	4時間
ランニングコスト	88円(1回)	64円(1回)
設備価格	850万円	600万円

プラスチックの乾燥工程では、従来、Wコーン型といわれる乾燥機が使用されていました。この乾燥機は、カプセル容器がそろばん玉状になっています。高温加熱ロッキングミキサは、これと比較しても設備価格やランニングコストで有利にあることがわかりました。

真空加熱炉用遠赤外線プレートヒータの開発

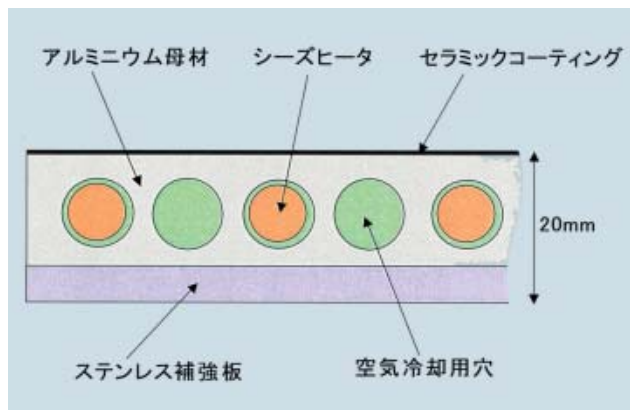
1 遠赤外線プレートヒータの特長

ディスプレイの製造工程で使用される「真空加熱炉用遠赤外線プレートヒータ」を株式会社ノリタケカンパニーリミテドと共同開発しました。遠赤外線プレートヒータとは、遠赤外線を放射するヒータで、平面状の被加熱物を熱するのに適しています。

テレビやコンピュータ用ディスプレイの製造工程の中には、ガラス基板を加熱処理する工程があり、その加熱時の温度ムラが画面の表示斑に繋がるため、製品のどの部分に対しても同じ温度の熱を伝えることが必要でした。

(1) 素材・形状の選定

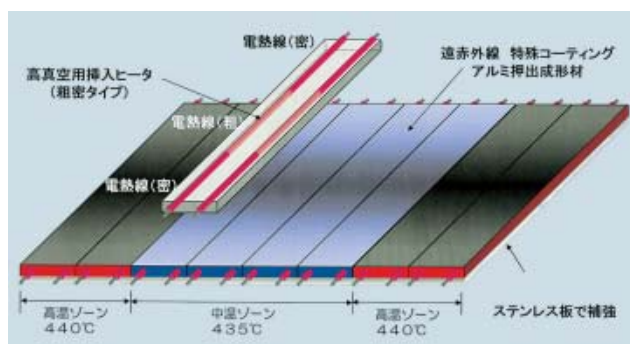
ヒータプレートの素材は、均熱性、耐熱性、低熱容量および押し出し成型により容易に加工できる点から、アルミニウムに選定しました。ただし、300℃以上の高温域においては、アルミの素材強度が極端に低下するため、ステンレス製の補強板を組み合わせた構造(第2図)としました。



第2図 プレートヒータの構造

(2) ヒータモジュールの分割・ゾーン温度制御

ガラス基板のサイズに合わせたアルミプレートにヒータを差し込む方法では、メンテナンス性が悪く、ガラス基板サイズへの対応や標準化が困難でした。そこで、150mm幅をヒータモジュールとして標準化し、ステンレスプレートの上に並べた構成(第3図)としました。



第3図 遠赤外線プレートヒータのゾーン温度制御

また、ゾーン別に個別の温度調節を行うこと、熱の逃げやすいヒータ外側の電熱線を巻き付ける密度を高めることで、ガラス基板の温度分布の均一性を飛躍的に向上させました。

(3) ヒータの真空対応

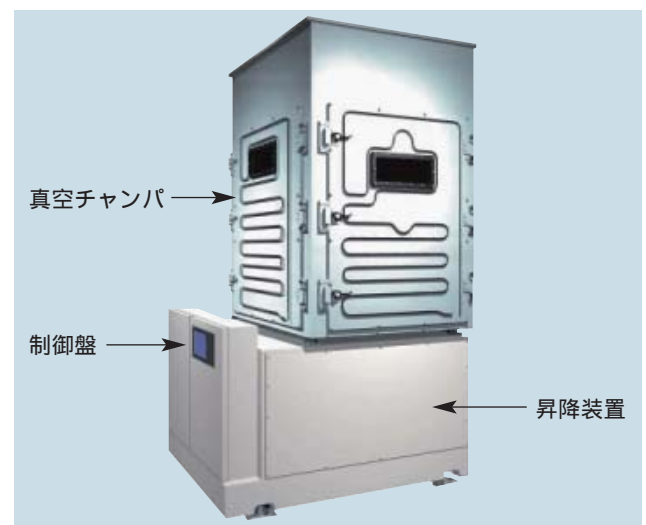
ヒータモジュールに差し込むヒータは、一般的なシーズヒータを参考にし、真空の封じのシール材料としてガラス系を選定しました。また、電源端子部分の放電対策については、パッシェンの法則から使用電圧を下げることと、絶縁碍子の種類・形状を工夫することで対応しました。

2 遠赤外線プレートヒータの適用事例

(1) 多段式真空加熱装置

遠赤外線プレートヒータによる真空加熱炉への応用例を第4図に示します。量産システムでは構想通り、遠赤外線プレートヒータを多段に並べ、段間ピッチ70mmのコンパクトなヒータユニットを実現しました。

真空ロボットによるガラス基板搬送を考慮して、ヒータユニット昇降装置を設置しています。



第4図 多段式真空加熱装置

(2) 多段式真空加熱装置の特徴

真空加熱炉用遠赤外線プレートヒータを多段式真空加熱装置に適用することにより、以下の性能を達成することができました。

ヒータプレート厚みは業界最薄の20mmを達成しました。

多段加熱炉にて段間ピッチ70mmとなり、一度に処理できる容量が2倍に向上しました。

製品1枚あたりの処理費用を大幅に削減できました。

イニシャルコスト 約2分の1

ランニングコスト 約5～10分の1

既存の方法での最大の課題であった真空加熱プロセスにおける量産性を飛躍的に高めることができました。

放電プラズマ焼結技術

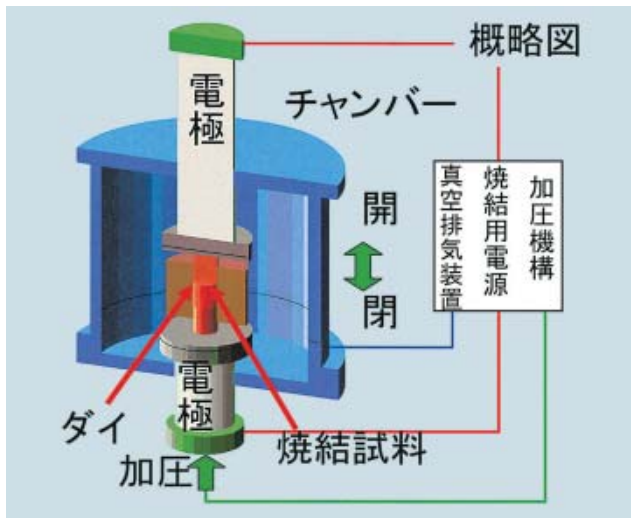
造船、橋梁の建造に使用する鉄板の切断法には、レーザー切断、プラズマ切断、ガス切断があります。プラズマ切断は、レーザー切断より厚板を速く切断でき、ガス切断より切断品質が良い特長があります。プラズマ切断に用いる電極はHf(ハフニウム)が多用されていますが、長寿命化が課題となっています。

今回、電極として選定した材料はHfC(炭化ハフニウム)であり、従来のHfに対して高融点(HfC: 3890、Hf: 2220)で、耐火性に優れており、セラミックスでありながら電気伝導性を有しているため、プラズマ切断用電極としての適用を図る研究を東邦金属株式会社および日酸TANAKA株式会社と研究開発を行っています。

1 難焼結材の焼結

HfCは高融点であるため、通常の焼結炉では緻密に焼結することができません。電気を用いた放電プラズマ焼結法(第5図参照)を用いることで超高融点の材料であるHfCを高緻密に焼結することに成功しました。

得られた焼結体は第6図のような形状をしており、密度は98%以上が得られました。



第5図 放電プラズマ焼結装置の概略



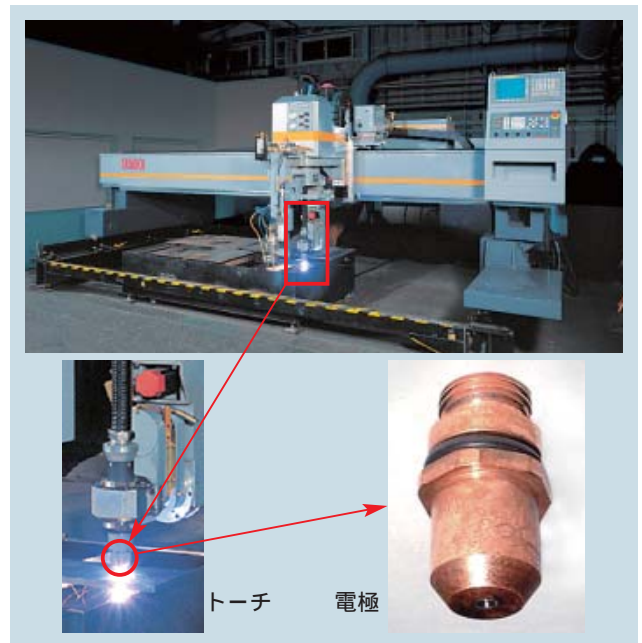
第6図 焼結したHfC

2 焼結材料による消耗試験

放電プラズマ焼結法により作成した電極材料を、第7図の切断装置を用いて第3表の実験条件で電極消耗試験を行いました。この条件は実際に造船所等で使われる条件を再現したものです。

第3表 プラズマ切断条件

出力電流 (A)	300、400
酸素流量 (L/min)	50
酸素圧力 (MPa)	0.5
冷却水圧力 (MPa)	0.5
切断材	SS400 (25mm)
アーク時間 (sec)	約30
切断距離 (mm)	400
切断速度 (mm/min)	800

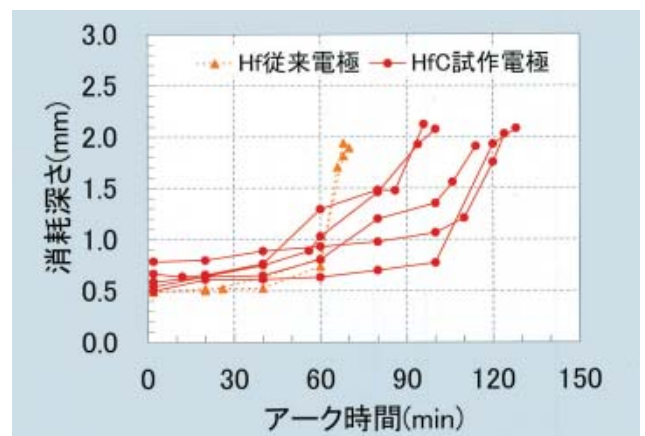


第7図 プラズマ切断装置外観

3 試験結果

消耗試験の結果、従来のHf電極と比較して消耗量が少なく、約1.5~2倍程度長寿命化できることが判りました。

今年度は実用レベルの長寿命化に取り組んでいます。

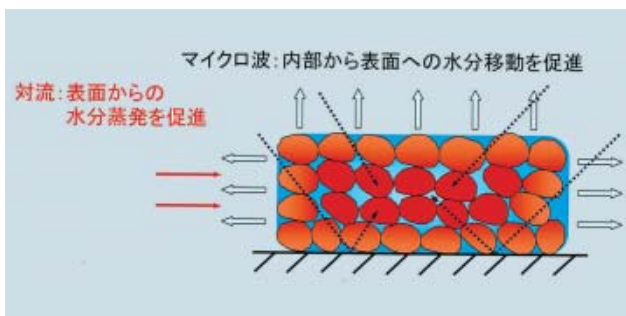


第8図 電極消耗試験結果

マイクロ波併用対流乾燥方式の適用

1 マイクロ波併用対流乾燥の特長

ガス、石油などを熱源とした熱風による対流乾燥は、空気を熱媒体にした間接加熱であり、被乾燥物の表面からの水分蒸発が主体となっています。しかし、表面が先に乾くことにより表面からの熱伝導率が低下し、中心部は乾きにくくなる欠点があります。これに対しマイクロ波乾燥は、被乾燥物の内部の水分を直接加熱し、表面へ拡散させる特長があります。そこで中心部の水分が乾き難く、乾燥に長時間を要している米菓生地の乾燥プロセスへのマイクロ波併用対流乾燥方式の適用を研究しています。



第9図 マイクロ波併用対流乾燥

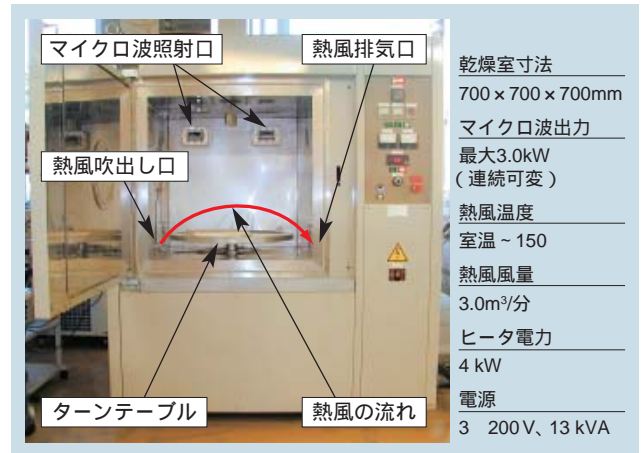
2 米菓生地乾燥への適用

米菓は原料が粳米のものをせんべい、餅米のものをあられと分類されます。米菓生地は非常に堅く、緻密であるため、乾燥が進むに従い乾燥され難くなり、乾燥が最も難しい対象物の1つです。米菓の製造は第10図に示すとおり、乾燥途中に、材内水分分布の均一化を図る「ねかし」工程を必要としています。乾燥には重油などの燃料を熱源とした対流乾燥装置が使われています。

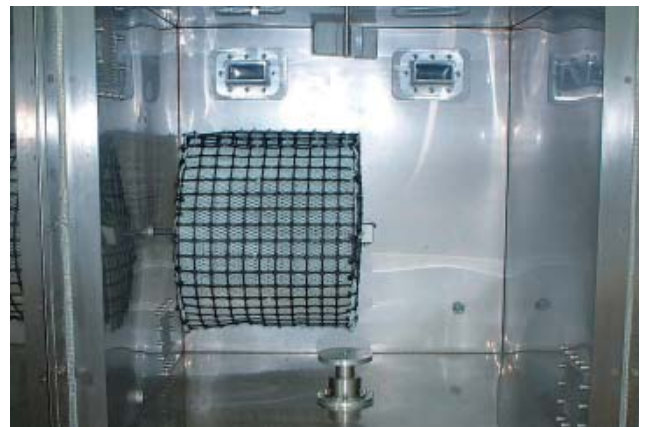
当研究所のマイクロ波併用対流乾燥試験装置(第11図)を利用して、米菓生地を乾燥試験し、適用の効果確認を行いました。試験は、第12図に示すとおり、米菓生地を樹脂製の回転カゴに入れて供試しました。

試験結果の一例を第13図に示します。現状の乾燥途中におけるねかし工程を行わなくても、品質上、問題が無く、ねかし工程を含めた乾燥時間7.5時間が2.5時間に

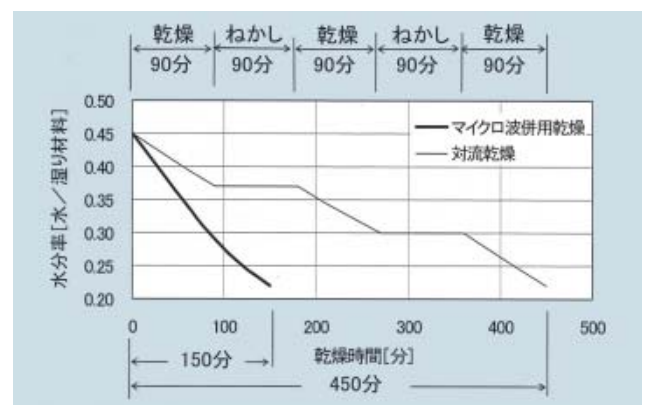
短縮され、乾燥時間が70%削減できることがわかりました。また、乾燥途中の生地の移し替え作業も省力化されます。



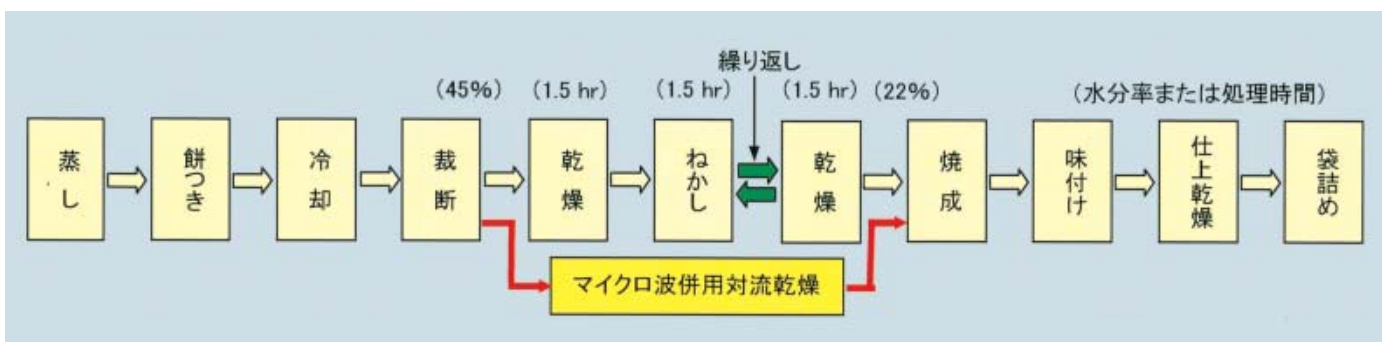
第11図 マイクロ波併用対流乾燥試験装置



第12図 試験状況



第13図 マイクロ波併用対流乾燥適用事例(あられ生地)



第10図 あられの製造工程

排熱回収型汚泥乾燥システム

汚泥は、排水処理後に排出される廃棄物であり、工場の業種や規模を問わず排出されます。汚泥の70～90%は水分ですが、汚泥の処理費用は重量に比例することから(1～5万円/トン程度)、乾燥して減量すれば汚泥処理費用を削減できます。本システムは、工場排熱(排ガス等)を熱源として汚泥を乾燥させるため、今まで無駄に捨てられていた工場排熱を有効活用することができ、お客様の汚泥処理費用の削減に役立てることができるシステムで、株式会社東海テクノロジーと共同開発しました。

1 システムの概要

第14図に示すように、工業炉等の排ガスを熱源として利用する場合は、ダクトを通じて排ガスを吸引して乾燥機に供給します。乾燥機に汚泥を搬入する際には、あらかじめ汚泥をウドン状に成型し、乾燥機内のコンベア上に静置して乾燥します。コンベア上の汚泥に排ガスの熱風を吹き付けて、数十分間かけて乾燥させます。乾燥の際に汚泥を攪拌しないため、粉塵が発生しません。

2 システムの特長

排熱の有効利用

工場では200～400 程度の排ガスや100 程度の温水が、十分な熱量を保有しているにもかかわらず、比較的低温で再利用する用途がないため、無駄に捨てられている場合が多くあります。しかし、大気圧での水分の乾燥温度は100 程度で十分ですので、汚泥乾燥に工場排熱を回収・再利用することができます。

廃棄物の大幅な削減

汚泥処理費用が、1/2～1/3程度に低減できます。

ランニングコストが安い

排熱を利用した乾燥のため、燃料費がほとんどかかりません。

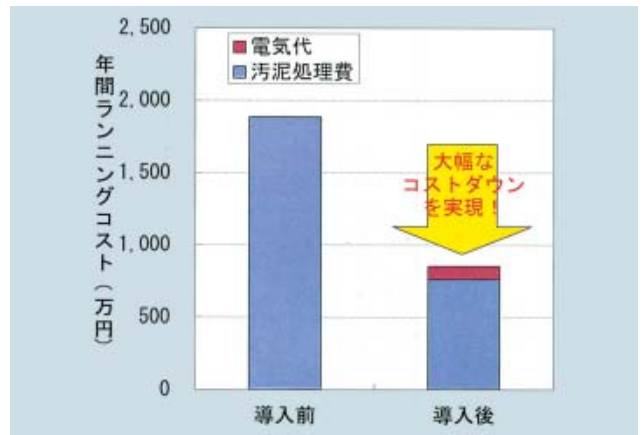
3 実証試験結果

株式会社トーブラ東海工場で、本システムの実証試験を実施しました。焼き入れ炉から排出される排ガスを乾燥機に供給して汚泥を乾燥させました。

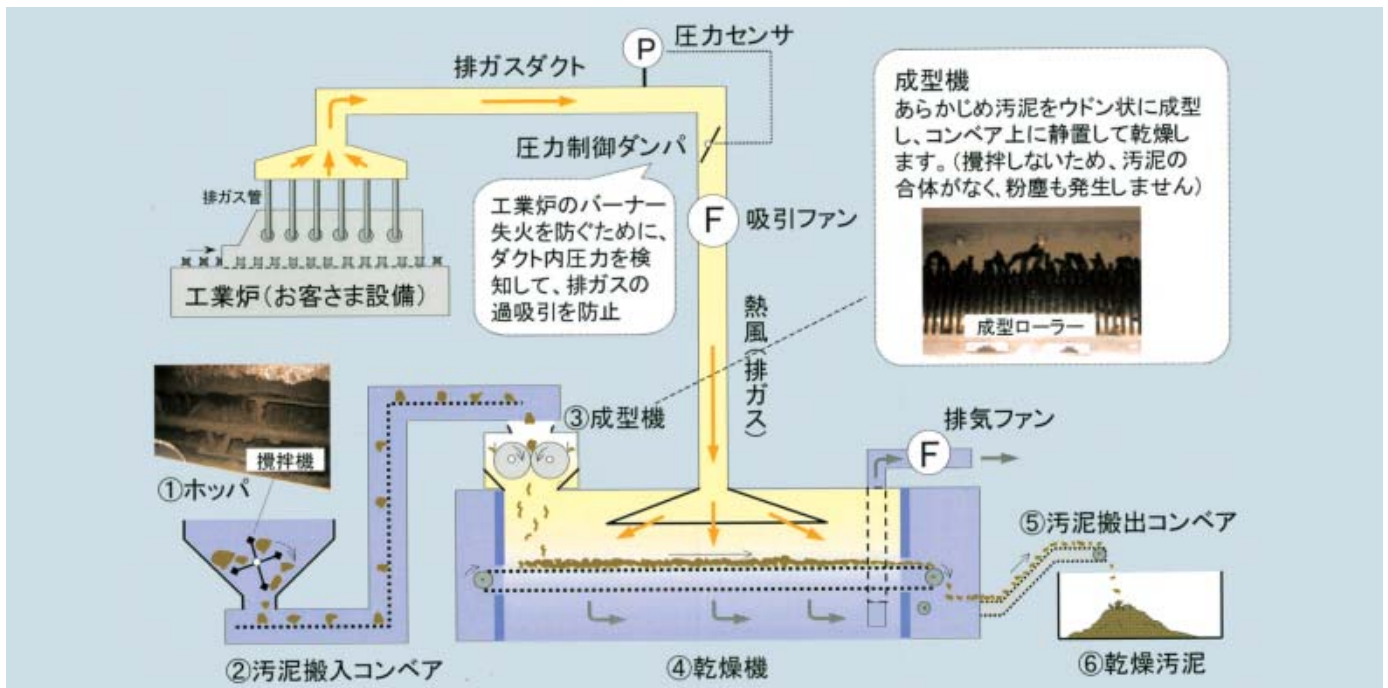
汚泥の含水率を76%から39%まで乾燥により減少させて、汚泥量を約40%に削減することができました(第4表)。これにより、汚泥処理費用を約40%に削減することができました(第15図)。

第4表 実証試験の結果

	システム導入前	導入後
含水率	76%	39%
汚泥量	650トン/年	256トン/年



第15図 ランニングコストの比較



第14図 システムの構成

過熱水蒸気発生システムのためのセラミックヒータの開発

過熱水蒸気は熱量が大きく急速な加温が可能で、食品調理・殺菌、金属製品の洗浄などの工程で産業利用が広がっています。

一般に市販されているシステムは、ヒータに金属(ステンレスなど)を使用しています。誘導加熱方式で100の水蒸気を200~400に過熱して利用します。

過熱水蒸気温度を高温化すれば、蒸気利用範囲を広げることができますが、過熱水蒸気によってヒータが酸化(腐蝕)したり、金属ヒータの電磁特性が変化してヒータが短寿命になるなどの問題点がありました。

そこで、本研究では電磁特性変化の影響を受けず長寿命であるヒータの開発を、財団法人ファインセラミックセンター、株式会社大同と行っています。

1 耐水蒸気酸化性の向上

電磁特性変化の影響を排除するため、非金属で誘導加熱が可能な素材を検討した結果、カーボン基板として利用することを検討しました。

カーボンは高温(1000超)まで発熱が可能ですが、過熱水蒸気により酸化(腐蝕、減肉)してしまうという欠点がありました。

酸化を防ぐために、セラミック($Y-Al-Si-O$)でコーティングすることを試みました。

様々な条件のうち、1500で1時間の熔融被覆コーティングを行うことで、過熱水蒸気に曝露(900、80vol% H_2O - 20vol% O_2)させても、500時間と2,000時間後で0.01wt%しか減量が無く、被覆材表面の組織に変化がないことから、腐蝕されない耐水蒸気酸化性被覆を生成できることが確認できました。

2 耐熱衝撃性の向上

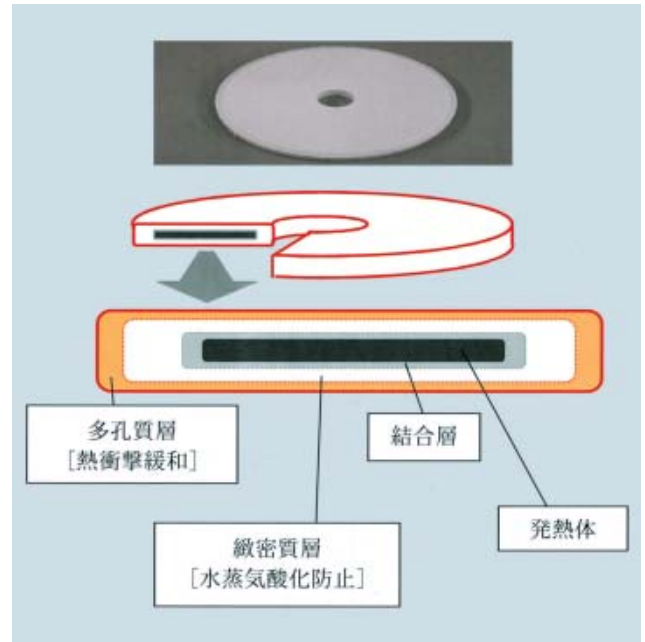
ヒータとして実用化するためには、発熱している(500以上)状態で100の水蒸気が触れても破壊しない耐熱衝撃性が必要です。耐水蒸気酸化性被覆に耐熱衝撃性が無かったため、熱的なバッファとなる層を設けることを検討しました。

コーティング剤の融点である900に制御した過熱水蒸気に O_2 をキャリアーガスとして用いて500h曝露すると数 μm の気孔ができ、多孔質層を形成できることが分かりました。

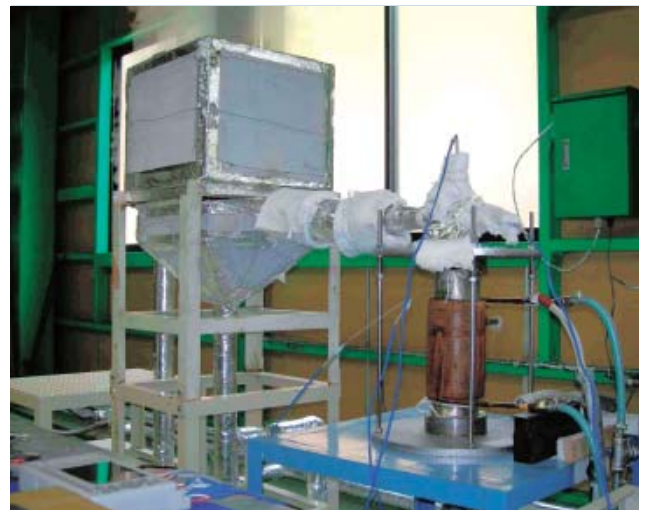
この多孔質層を形成したヒータは、実際の使用条件よりも過酷な900昇温後25の蒸留水中で急冷する熱衝撃テストにおいて、非常に優れた耐熱衝撃性を確認することができました。

3 今後について

このセラミックヒータを使用した過熱水蒸気発生システム(水蒸気温度600)の実用化を目指していきます。



第16図 セラミックヒータの外観と断面図(イメージ)



第17図 システムの外観写真