工業教育への新素材・ファインセラミックスの活用
－生徒実習への導入及び教材化の試み－

田 仲 康 成*　　壽　敦義**

新素材ファインセラミックスの成形・加工の学習活動と人工宝石の結晶体（ルビーやサファイア）の研磨作業などの体験学習を通して,新素材の知識や技能を修得する。このことにより,生徒が物づくりによる自己の意欲を喚起したり,達成感を味わえるような教育活動の実践を図るために新素材･ファインセラミックスを活用した一連の教育内容を教材化し,学習指導案作成について研究をすすめてきた。

1　はじめに

今日の科学技術の進展にはめざましいものがあり,我々の生活に便利さ,快適さをもたらした。一方産業分野では技術革新により工業製品の飛躍的な品質向上をもたらした。

普段利用している工業製品は,鉄,銅,アルミなどの金属材料,ゴム,エポキシなどの有機材料,陶磁器,耐火物,電子材料などのセラミックスの三大材料から作られている。日常の生活と資源エネルギー,環境問題への関心の高まる中,環境にやさしい資源として今,セラミックスが注目を浴びている。

高等学校学習指導要領解説（工業編）より,科目「材料技術基礎」のねらいは「工業製品には様々な工業材料が使用され,それぞれの材料の特性を生かして製品化されていることを理解させるなど,材料の製造,組織,性質及び用途などの基本的知識と技術を習得させ,実際に活用できる能力と態度を育てることである」と解説されている。また,内容の構成及び取り扱いについての留意事項が示されていて,工業材料の加工は工業材料の加工性,主な加工法とあり,「鋳造,成形,機械加工,焼結などの主な加工法の原理と方法を扱うこと」など,実際に活用できるような内容及び取り扱いが示されている。

本研究の目標は新素材ファインセラミックスの焼結,機械加工の原理や方法について研究を深め,それらをもとに学校現場における「実習」や「課題研究」で実践できる教材として適切なものか,実践・展開し,改めて考察を行うことにある。そこで,平成12年度沖縄県立沖縄工業高校工業化学科３年生の人工宝石の生成・加工の実習を試験的に実施し,次年度へのローテーション実習として取り組むための準備を行ってきた。本年度は沖縄工業高校工業化学科３年生の生徒実習を１学期に８週で実施した結果,学習活動の時間や量の適切さや生徒らに物づくりの達成感や意欲喚起に効果的であると考え,試行錯誤しながら,１ローテーションの学習指導案の作成について研究を展開してきた。

そこで,２学期の実習では１学期に実施した学習活動の内容を検討し,目標とする指導計画（案）にまとめ,ローテーション実習の実践及び展開を図った。

冬期休業中（３日間）に生徒実習として「グループ学習」にとりくみ,２学期に実施した学習活動の内容をさらに充実することで,専門的な知識の習得や技術の向上を試みた。

以上,産業教育課における生徒実習において「課題研究」･「ローテーション実習」並びに「グループ実習」等の実践を行い,生徒実習という学習活動の１つの実習形態としての位置づけや定着をねらいとし,研究をすすめてきた。

2　研究内容

当産業教育課においての沖縄工業高校工業化学科３年生の生徒実習のとりくみを通じて,新素材ファインセラミックスの活用（人工宝石の生形・加工）を試み,課題研究やグループ学習,ローテーション実習等で実践活用できることをねらいとしながら指導の工夫・改善に努める。

3　授業実践にあたって

指導計画作成について

新学習指導要領の「セラミックス技術」の内容とその取り扱いで第１にセラミックスの成形と乾

＊沖縄県立教育センター産業教育課＊＊沖縄県立沖縄工業高校

燥の方法に関する基礎的な知識と技術を習得させることをねらいとし,成形法や乾燥法が実際に活用できるようにする。第２に加熱処理と溶融の内容については燃料と燃焼,加熱炉の構造および原理などについて理解させる。第３にセラミックスの加工の内容については研磨剤と工具やセラミックス加工について取り扱い加工に使用されるダイヤモンドなどの研磨剤や研磨装置の構造や操作について理解させる。また,セラミックス材料の切断,研磨などの機械的加工や化学的加工,電気的加工などについて学習できるようにする。

（１）指導計画作成の配慮事項

①指導計画作成にあたっては適切な授業時数を定める。

②本時は３年生の課題研究において８週で実施できるようする。

③実施する対象は５名グループ編成で学期１回で計３回実施する。

（２）指導内容

①ファインセラミックスの成形,乾燥はコイン型の型成形でアルミナかジルコニア材料を用いる。１次成形（機械式）,２次成形（油圧式）をへて,電気炉で焼結する。ここでは成形機や電気炉の操作取り扱いも学習する

②ファインセラミックスの加熱処理と溶融は人工宝石生成装置を用い,ベルヌーイ法により焼結結晶体を生成する。教師が装置の操作にあたる。

③ファインセラミックスの加工については結晶体（インゴット）を機械的加工により切断,研磨する技術を学ぶ。

４　指導の実際

沖縄工業高校工業化学課３年生

１ 題材名：「新素材･ファインセラミックスの活用」

２ 題材設定理由

一般にセラミックスは無機材料としては構成元素の数が多く,大きな可能性を秘めている。化学安定性,耐久性が高く来たる21世紀における重要な資源エネルギーとして,また環境問題の解決を果たす材料として役割が大きい。ここで扱うアルミナやジルコニアなどの人工原料は切削工具（剃刀やナイフ）やIC基盤などのエレクトロニクス用,耐熱強度材料として自動車のエンジンなど身近なものとして広く使われている。その有効利用や知識をより深め,ファインセラミックスの加工技術を習得することを目標にしている。

（１）教材観

日常生活に深く結びついた材料として,また環境にもやさしい資源として新素材ファインセラミックスの活用を試みる。

アルミナの焼結体は切削工具,耐熱・耐食性容器,IC基盤などに,紛体は研磨剤として使われる。また,単結晶は宝石（ルビーやサファイア）高級IC基盤,繊維として耐熱性断熱材がある。シリカはガラス体として耐熱・耐食性容器に,単結晶は水晶発振子（圧電体）に広く利用され,光通信用ファイバーとしても使われている。安定化ジルコニアは焼結体として耐火物,酸素センサー用固体電解質や耐熱強度材料として自動車エンジン,剃刀などにも使われる。その他単結晶体としてはダイヤモンドの模造品に利用されている。

（２）生徒観

沖縄工業高校工業化学科の生徒実習のメンバーは教材であるセラミックスについて予備知識があり,学習の理解もはやい。また,興味や関心も高く,とりくむ姿勢や態度もよい。以上の観点から知識や技術が十分に習得できるようにしたい。

（３）指導観

①ファインセラミックスの活用や用途について基礎知識を深める。

②ファインセラミックスの成形・加工の体験学習により,技能を高めるようにする。

③興味・関心をもたせ,物づくりの楽しさや達成感を味わわせるようにする。

④安全に関する知識や態度を育てる。

３　指導内容及び学習活動

（１）全配当時間（８週×３時間）

①セラミックスのコイン型の成形加工は６時間単位

②人工宝石生成装置を使った結晶体（ルビーやサファイア）生成は３時間単位。

③切断や研磨などの機械加工技術を人工宝石の加工は15時間単位。

ｉ)「ジルコニア及びアルミナのコイン型成形」

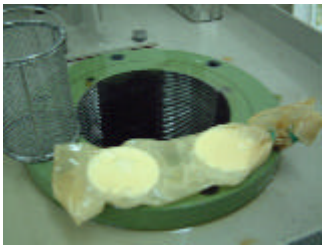
イ．金型プレス成形

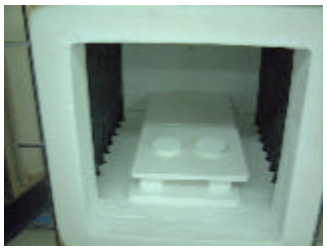
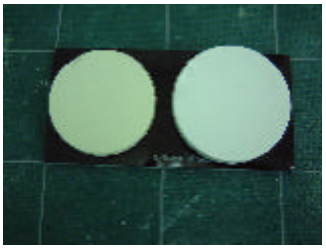
ロ．CIP成形

ハ．焼成

○2～3人１組で行う（所要時間6.0ｈ）

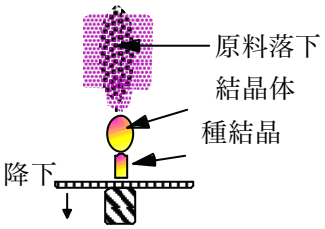
	指　導　内　容	配当時間	学　習　活　動
導入	(1) 生徒の興味・関心を引き出すことを主として,セラミックスに関する形態や特性について触れる。 ①安定化ジルコニアは焼結体として耐火物,酸素センサー用固体電解質や耐熱強度材料として自動車のエンジン,また,剃刀などにも使われる。 単結晶体としてはダイヤモンドの模造品に利用される。 ②インターネットでセラミックについて調べさせる。	分単位 30分 30分	○広く身の回りにあるセラミックス製品をいくつか上げ,どのように利用されているか話し合う。 ○天然に産出する原料と人工原料の比較をしてみる。(価格や品質の違いを考える) ○大部分の原料は海外から輸入していることやファインセラミックスの原料であるジルコニウム鉱やチタニウム鉱などはオーストラリアやアフリカが産出国であることなど,インターネットを利用して調べ学習する。 ○調べた結果をみんなで話し合う。
展開	（２）ジルコニア･アルミナの成形 ① 金型プレス成形 ○金型は２種類から１つを選ばせる。 φ40×８ｔの金型使用の場合：85ｇ φ33×８ｔの金型使用の場合：55ｇ φ40×８ｔの金型使用の場合は大きさはφ60～61に,φ33×８ｔの場合はφ50～51にする。 ○市販の潤滑材を使用してよい。 ○金型がはずれないように型全体を持って紛体上面が平らになるように揺する。 ○一度でなく何回かでジャッキを上下させて加圧していく。 金型に原料をいれる ○メーターの目盛が０kg/cm²になるまで徐々にゆっくり行う。 金型プレス成形	 90分

	○ここで,セラミックス成形品を割らないように細心の注意を払う。 ○金型は錆びないように金型保管場所に保管する。		○金型の枠を分解し,付着している粉をふき取り離型材を塗布する。
	②CIP成形（冷間静水圧成形） 油圧について説明する 「油圧」とは油（工業用油）が物を動かす動力の源であり,そのしくみで身近なものではブルトーザーやパワーショベルの腕を動かす部分に使われていること。	30分	○空気圧を使ったものや油圧を使ったものなどについて,いろいろな例をあげ学習する。 ○空気は圧縮されやすい性質があり,油圧ほど大きな力をだすことができないことを知り,油圧機器のしくみについて学習する。
展	○CIP取扱いについて説明する。 CIP成形機 ・蓋をオープンし,上にもちあげる。 ・蓋を移動 ・成形体をかごに入れ（ステンレス製）,圧力容器に入れる。	30分	＜CIP成形機の操作手順＞ ○ ゴムの袋と輪ゴムを用意する。 ○ゴムの袋に金型プレスで成形した成形体を入れ,真空ポンプで空気抜きを行う。 袋口から油が入らないように硬く輪ゴムで縛る。  ゴム袋に入った試料
開	ここで,空気抜きのためＭ８セットビスをゆるめる。 電源スイッチON。ドレーンから泡がでなくなったら電源スイッチOFF。M8セットビスを閉める。 ・リリーフ弁をゆるめ,シャットオフ弁を閉めてから電源スイッチOFF。 ・圧力計が100MPaになるまで閉める。 ここで,電源スイッチOFF。 ・シャットオフ弁を20MPaまで徐々にバルブを廻す。０MPaまで抜く。(バルブを完全に緩めてから半回転戻す) ・M8セットビスを緩めてから蓋をあけ,持ち上げる。 ・トロリで奥に押し上げる。成形体を取り出す。 ・蓋のロックをする。(60度廻して) M8セットビスを閉める。 ③焼成	45分 15分	○CIP装置の本体内部に油を貯めて,その中に成形体の入ったゴム袋を投入し,蓋をする。 ○油圧ポンプのスイッチを入れ,メーターが1000kg/cm² (100MPa)になるまで荷重をかける。 針が100MPaに達したら１～２分ほど保圧する。次に圧力を(メーターが200kg/cm²)になるまで抜き,１～２分ほど保圧した後,10kg/cm² になるまでゆっくり圧力を抜いていく。 ○CIP装置の蓋を開け,本体からゴムの袋を取り出し,十分に油を拭き取り輪ゴムをはずして,成形体に油がつかないように気をつけながら取り出す。 もし,油がついていたら布で油を拭き取る。 ＜焼成手順＞ ○成形体を接触しないように棚板に並べていく。 ○電気炉内のメインスイッチを入れ,ジルコニアの焼成パターンを選び,スタートスイッチを入れる。

展 開	＜電気炉の操作について＞・メインスイッチとヒータースイッチを0N。 ・２種類の焼成プログラム(アルミナとジルコニア焼成パターン）から選ぶ。  成形品を炉にセット		 完成した成形品（24ｈ後）
まとめ	○製作した成形品の出来具合を観察し,お互いに評価させる。	15分	○完成した成形品をお互いに評価しあう。

ⅱ)「人工宝石の生成」ベルヌーイ法による結晶の育成操作

○グループで１人１人役割を分担して行う。(所要時間3.0ｈ)

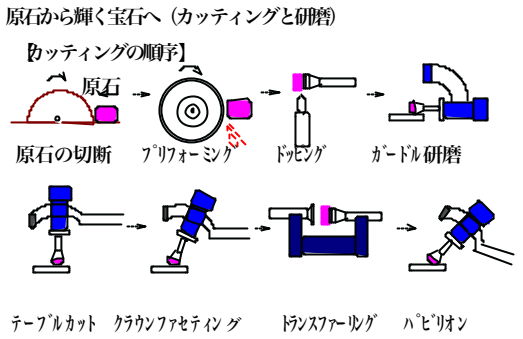
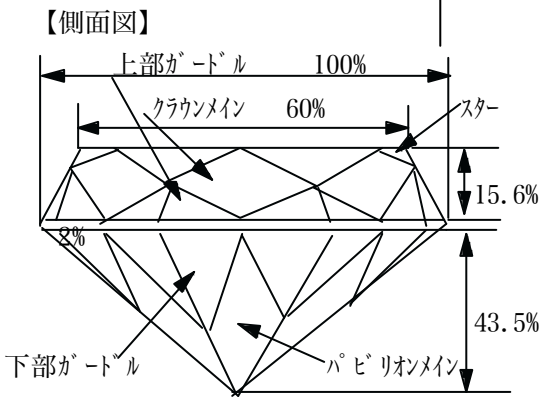
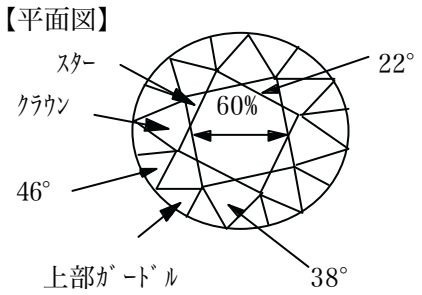
	指　導　内　容	配当時間	学　習　活　動
導入	①単結晶合成について 焼結とは何か。陶磁器などのように,セラミックス原材料粉末の成形体が高温で固まる現象を利用して行う。焼結には普通焼結,加圧焼結,反応焼結などがある。	15分	○粉末の製造条件により,焼結性が違うことや添加物の焼結への影響や結晶欠陥の多い,少ないが単結晶の品質に影響することを学ぶ。 ○普通焼結,加圧焼結,反応焼結について学ぶ。
展 開	○ベルヌーイ法について学ぶ。  ベルヌーイ法 ②結晶の育成操作 ○原料はいつもホッパーの半分以上充填しておく。(500ｇ以上) ○水素・酸素ガスバーナへの点火 ガス調整	20分 10分 90分	○ベルヌーイ法による単結晶合成について学ぶ。 ○原材料粉末の入った容器をハンマーで振動させ,容器の底から原料粉末を落下させる。落下の途中で酸素・水素火炎中を通過する時に原料は溶融し,これが種結晶に堆積して結晶がしだいに成長していく過程,しくみを学ぶ) ○種結晶のついた受け棒をセット（マッフルの中心に)。 ○水素20㍑,酸素２～３㍑程度にニードルバルブを調整。この状態で約20分保持し,マッフルを予熱する。予熱後,酸素量を徐々に増加すると種結晶の頭部が溶けて,まるみを帯びてくる。この状態（メルト）にする。 ○原料落下ハンマーのスイッチを0Nし,原料供給を始める。降下スイッチ0N。ハンマースプリングを中間で固定し,ハンマー目盛で調整。 ○酸素量は５～６㍑/分まで徐々に増やしていく。水素は20㍑/分で固定する。 ○１～２時間で結晶の大きさをみて,原料スイッチ

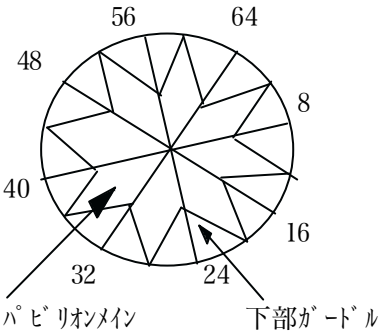
展 開	○溶融部が流れ出た場合の処置 種結晶溶融直後であれば,新しい種結晶と交換する。 ○溶融部に突沸ができた場合 原料落下量が多いか,ガス流量のバランスの崩れ,気泡の入った結晶ができるので,育成を中止する。 ○結晶に面ができる場合 炎が鉛直になっていない場合におこるのでノズルの中心,マッフルの中心等を調整する。 ○溶融部の温度が安定しない場合 ホッパーからのガス漏れを石鹸水で調べる。 原料落下が不安定な場合はハンマー用スプリング調整する。	50分	を0FFにする。 育成炉の様子 ○結晶の降下は結晶頭部がのぞき窓に隠れるまで降下させる。この状態で20分～30分マッフル中でアニールを行う。 ○アニール終了後,酸素,水素のコックを同時に0FFする。 ○消火後,そのまま約10分～20分マッフルを開けて結晶を取り出す。(またはハンドルを廻して,支持台をマッフルの下まで降下させて後,取り出す。
	 人工宝石生成装置（中住式）		 結晶体
まとめ	○協力して作品製作ができるようにさせる。 ○作品を評価させる。	10分	○協力一致して結晶体の製作ができたか,反省する。 ○１人づつ結晶体の評価をする。

iii）人工宝石の加工（切断・研磨）

○１人で１個作る（所要時間15.0ｈ）

	指　導　内　容	配当時間	活　動　内　容
導入	①今回,使用する人口宝石はホワイトスピネルのインゴットで,市販されているもである。人工宝石について興味関心をもたせる。(天然宝石とのちがいを調べる) 人工宝石の加工,特にカッティングは標準ブリリアンカットで指導マニュアルに順じて作業をおこなう。 宝石の大小によって加工の難易があるので,みな等しく同じ大きさに切断したほうがよい。だれが一番輝	30分	○人工宝石には原料の違いによって,サファイア系とスピネル系があり,性質の違うことを理解する。また,加工（切削性）にも影響することを実際に研磨してみる。 ○宝石の加工は集中度を高めてやらないと,削りすぎたりしてやり直さなくてはならないことが多々あることを理解し,慎重にゆっくり丁寧に作業を行えるようにする。 ○みんなで協力しながら技術を習得することに心がける。

	く宝石ができるか競い合わせる。		
展 開 (1)	②標準ブリリアンカット ○スピネルのインゴットをダイヤモンド小型切断機を使って,所定の大きさにする。 ○プリフォーミング（前成形）はグラインダを使ってドップ（宝石を固定する先がロート状の小さい器）にきちんとはまるように削る。 ○ドッピングは宝石をドップに専用の接着剤で固定する。 ○ファセタC（工具）の取り扱いを説明する。(ファセタは宝石の固定や角度調整や割り出しをする工具)	240分 (３時間)	 ○ファセタCでアングル（角度調整）とインデックス（割り出し作業）の取り扱い操作を習得する。
展 開 (2)	○クラウンファセティング ＜カッティング順序＞ ・ガードルの部分をムラなくスムーズにカッティングする。 ・宝石の上面部分を平らにする。強く押しつけると宝石がドップから外れることがあるから注意する。 ・クラウンの部分を８面にカットする。 ・スターの部分を８面にカットする。 ・上部ガードルの部分を16面にカットする。 ・上記の作業をディスクを交換しながら行い,仕上げとして銅ラップ→錫ラップ盤で研磨する。 ・磨きはテーブル→スター→クラウン→上部ガードル部分の順序で行う。  	360分 (６時間)	○ガードルカット90°　(宝石側面部分のカッティング) ○テーブルカット０°　(宝石上面部分のカッティング) ○クラウンメインファセト（38°）アングルを38°にセット,インデックスを８回廻す。 ○スターファセト（22°）アングルを22°にセット,インデックスを８回廻す。 ○上部ガードルファセト（46°）アングルを46°インデックスを16回廻す。 ＊＃260→＃600→＃1500→銅ラップ→錫ラップの順序でカッティング（研磨）していく。 ○磨きは銅ラップにダイヤモンドパウダー（９μmメッシュ）,錫ラップも同様（１μmメッシュ）を使い,オリーブオイルを混ぜてラッピングする。

展開(2)	○パビリオンファセトのカッティング ＜カッティング順序＞ ・パビリオンメインの部分を８面にカットする。 ・下部ガードルを16面にカットする。 ・上記の作業をディスクを交換しながら行い，仕上げとして銅ラップ→錫ラップ盤で研磨する。 ・磨きはパビリオンメイン→下部ガードル部分の順序で行う。  パビリオンの平面図	240分 （３時間）	○パビリオンメインファセト（41°）円錐状にカッティング。インデックスを８回廻す。 ○下部ガードルファセト（43°） インデックスを16回廻す ＊＃260→＃600→＃1500→銅ラップ→錫ラップの順序でカッティング（研磨）していく。 ○磨きは銅ラップにダイヤモンドパウダー（９μmメッシュ）を，錫ラップに（１μmメッシュ）を使い，オリーブオイルを混ぜてラッピングする。 ○ガードルファセﾃｨングではガードル部分はレバーをフリーにしてファセタスピンドルを廻しながら磨く。全作業工程を終了し，作品を完成 生徒実習 完成品
まとめ	○完成した作品の発表を行わせる。 ○評価と反省をさせる。	30分	○お互いの作品の出来具合を反省しながら，自己評価，相互評価をする。

5　まとめと今後の課題

今回，ファインセラミックス原料を使った成形加工について，人工宝石生成装置，焼成炉等を活用し，学校現場の「課題研究」や「実習」で取組める教材づくり，そして本課の生徒実習の１実習形態として位置づけるための教材研究をすすめてきた。

本課で受け入れている生徒実習では沖縄工業高校工業化学科の生徒らを対象に５人の３グループで編成し，学期ごとに８週を期間として実施してきた。ファインセラミックスのコイン型成形と人工宝石生成（ルビー結晶）についての機器操作や技術習得をどう生徒に指導していくか，教材化に努めていく。また，今後は安全指導を強化し，生徒自身の技術習得の活動場面を主とした学習指導案作成の工夫・改善をおこなう。

ホワイトスピネル（インゴット）の加工は生徒１人１人が切磋琢磨し，切断からカット，ラッピング，作品完成までの作業工程を学んだ。作品課題は標準ブリリアントカットをあげ，研磨盤や工具の取り扱いを習得した。個人の技能には多少の差こそあれ，失敗を繰り返しながらも技術習得を達成した。

最後に，ファインセラミックスの活用については人工宝石生成並びにカッティング・研磨の実習を経験することで生徒自身の新素材に関する知識や材料加工においてスキルアップを図り，また自己評価や相互評価によって反省と課題意識をもち，生徒の主体的な学習活動が実践・展開できる指導案づくり，教材研究を今後も継続していきたい。

＜参考文献＞

ヒートシステム株式会社　『セラミックス資料』　1998
ヒートシステム株式会社　『ジルコニアファインセラミックス取り扱い説明書』　1998
中住結晶ラボラトリー　『ルビー合成炉の据え付けと操作マニュアル』　1999