

## 7.2 材料合成支援エキスパートシステムに関する研究

國枝勝利\* 林茂雄\* 庄山昌志\* 島地昭寿\*\* 濱口純一\*\* 増田峰知

\* 三重県窯業試験場

\*\* 三重県工業技術センター 機械電子部門

### 1 はじめに

粉末を原料とする陶磁器や粉末冶金による焼結品の性質は、粉末の混合割合、処理条件によって大きく変化する。これらのデータや知識は各企業等に蓄積されているものの、大系化がなされているものは少ない。そのため経験の少ない技術者の場合、熟練技術者に比べると目的とするものを製造するまでに膨大な時間と労力がかかることが多い。そこで、この作業の効率化を図るために、材料製造時の重要な要素に関するデータや知識の集約を行う必要がある。そのためには、電子計算機を利用したデータベースの構築を行い、エキスパートシステム技術を応用した支援システムの開発が必要である。

本研究では、熟練者が減少しており、その製造（調合）に時間がかかる場合が多い陶磁器釉薬に焦点を絞り、そのエキスパートシステムに関する研究を行うことを目的とした。

本年度はエキスパートシステム構築の前段階として、(1)釉薬調合データベースの作成と、(2)釉薬調合を支援するための計算機用プログラムの作成を行った。

表1 データベースの項目名

項目名	内容等
グループNo.	一連の試験のグループNo.
グループ内でのNo.	細分類No.
データ作成年月日	データを入力した年月日
釉薬調合年月日	試験体を作成した年月日
試験の区別	試験・研究・その他の区別
塩基組成に基づく釉の分類	長石釉・石灰釉等
上記の細分類	石灰釉の中で石灰亜鉛釉・石灰バリウム釉等
釉性状(外観)による分類	透明釉・失透釉(乳濁釉)・結晶釉等
一般名称	なまこ釉・伊羅保釉・ラスター釉等
大まかな色	青・黒・白等の大まかな色を入力
ゼーゲル式	ゼーゲル式を表形式にて入力
生釉調合(基礎釉)	釉薬用原料の重量%を表形式にて入力
生釉調合(基礎釉以外)	同上
素地の種類	半磁器特白・低火土等
焼成温度	ゼーゲルNo.や焼成温度(焼成条件)
焼成時間	焼成時間
焼成雰囲気	酸化焼成・還元焼成の区別
注意・問題点	欠点防止や問題点を記述する
保管場所	サンプルの保管場所等
参考文献等	参考文献等

## 2 システムの概要

### 2.1 釉薬調合データベース

エキスパートシステムを構築するためには様々な釉薬に関する情報を知識として集積する必要がある。そこで、窯業試験場で行った釉薬の試験結果を基にデータベース化を行った。データベースとは、電子計算機用のソフトウェアの一種であり、情報を項目別に登録することで、キーワード等で検索したり抽出できるものである。データベース化は表1に示した項目に従って作成したデータベースに登録したデータに関しては、各項目のデータをキーワードとして検索・抽出が可能である。

### 2.2 釉薬調合支援プログラム

釉薬を実際に調合するときに必要な調合計算や種々の要因の計算を支援する計算機用プログラムの作成を行った。これらは、①化学組成(釉薬原料の調合割合、または釉薬の化学分析値)をゼーゲル式に変換するプログラムと、②ゼーゲル式から釉薬原料の調合割合を求めるプログラムの2種類から構成される。

①のプログラムは釉薬原料の重量%か釉薬の化学分析値を入力することで、ゼーゲル式を求め、同時にAppenの因子による釉薬の熱膨張係数と屈折率を計算するものである。(図1の(1),(2)参照)

釉薬原料の調合割合

釉薬の化学分析値

釉薬のゼーゲル式

生釉組成	重量% (wt %)
釜戸長石	54.29
鼠石灰石	15.83
亜鉛華	4.63
河東カオリン	12.63
福島珪石	12.62

化学成分	重量% (wt %)
SiO <sub>2</sub>	60.10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.75
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.18
TiO <sub>2</sub>	0.03
CaO	9.52
MgO	0.16
K <sub>2</sub> O	3.00
Na <sub>2</sub> O	2.10
ZnO	4.61

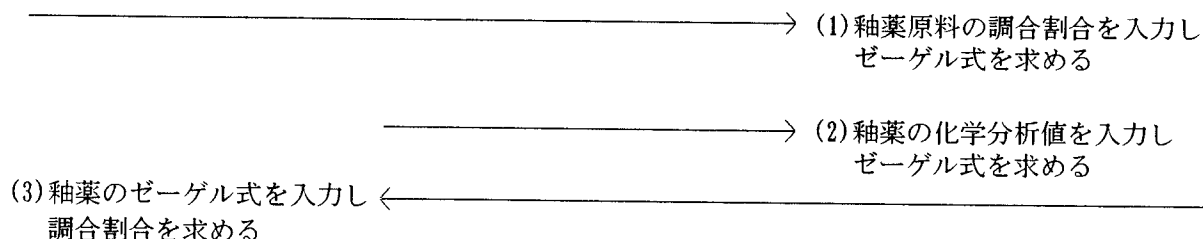
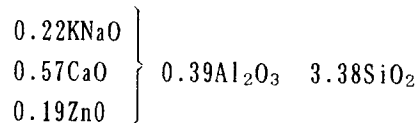


図1 釉薬調合支援プログラムにおける入力と出力の関係

②のプログラムは釉薬のゼーゲル式を入力し、使用する原料を選択することで、釉薬の調合割合を計算するプログラムである。(図1の(3)参照)

### 3 結果と考察

#### 3.1 釉薬調合データベースについて

市販のデータベースソフトに釉薬調合に関する情報を登録した。現在までに登録したデータの数は、十分とはいえないが、順次データを登録していく予定である。

また、表1で設定した項目ごとに条件を設定してデータの検索や抽出も可能である。例として、表2の条件で検索した結果を表3に示す。

しかし、データベースシステムの情報を活用するためには、釉薬に関してある程度知識のある経験者が検索・抽出作業を行う必要がある。また、検索・抽出結果の総合的な判断も検索者が行う必要があり、釉薬の専門家と同じ結論が得られるとは限らない。そこで、今後は、このデータベースシステムの拡張はもちろんのこと、専門家の知識をルールとして扱うエキスパートシステムを構築することで、専門家と同じ結論が得られるようなシステムの開発を目指す。

#### 3.2 釉薬調合支援プログラムについて

作成したプログラムは、処理の実行をメニューから選択する対話形式とした。また、基本的に入力するのは、重量%やゼーゲル式の数値だけで、入力もシート形式となっているため、データの修正も容易となっている。さらに、釉薬用原料の化学分析値の変更も行えるので、原料のロットによる変化にも対応可能である。

この釉薬調合計算プログラムは、一般的な釉薬調合を行う際の支援ツールとして十分に使用できる。しかしながらフリットの取り扱いには対応できていない。

また、現在のゼーゲル式から釉薬原料の調合割合を求めるプログラムにおいて、釉薬原料を複数選択できる場合は、使用者が選択肢を表示して決定するようになっている。この作業を自動化するためには、釉薬原料の最適選択や最適組み合わせの方法についての検討が必要である。なお、操作性の向上や釉薬原料の化学分析値データの複数登録化等の改良も同時に行う予定である。

表2 データベースの検索・抽出条件例

検索・抽出条件	
飴釉かつゼーゲル式のKNaO(カリ・ソーダ分)が0.2以下のものを抽出する。	
↓	
データベースでの設定条件	
項目名	検索・抽出条件
一般名称	飴釉という文字列を含む
KNaO	0.2以下 (<=0.2)

表3 検索・抽出例の結果

グループNo.	細分類No.	釉調合年月日	塩基組成に基づく釉の分類	釉の細分類	釉性状(外観)による分類	
1	2	3-1	1991/5/15	石灰釉(高石灰釉)	石灰バリウム釉	透明釉
2	2	3-2	1991/5/15	石灰釉(高石灰釉)	石灰バリウム釉	透明釉
3	2	3-3	1991/5/15	石灰釉(高石灰釉)	石灰バリウム釉	透明釉
4	2	3-4	1991/5/15	石灰釉(高石灰釉)	石灰バリウム釉	透明釉
5	2	3-4①	1991/5/15	石灰釉(高石灰釉)	石灰バリウム釉	透明釉

一般名称	大まかな色	KNaO	CaO	BaO	ZnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
1 飴釉	黄色	0.2	0.5	0.2	0.1	0.30	3.0
2 飴釉	黄色	0.2	0.5	0.2	0.1	0.30	3.5
3 飴釉	黄色	0.2	0.5	0.2	0.1	0.35	3.0
4 飴釉	黄色	0.2	0.5	0.2	0.1	0.35	3.5
5 飴釉	黄色	0.2	0.5	0.2	0.1	0.35	3.5

	釜戸長石	福島珪石	鼠石灰石	炭酸バリウム	亜鉛華	蛙目粘土
1	46.10	15.32	15.45	11.82	2.46	8.84
2	42.24	22.43	14.15	10.83	2.25	8.10
3	45.07	12.68	15.10	11.56	2.40	13.19
4	41.36	19.86	13.86	10.61	2.20	12.11
5	41.36	19.86	13.86	10.61	2.20	12.11

	酸化鉄	酸化マンガン	素地の種類	焼成温度	焼成雰囲気
1	3.0	1.0	半磁器土	ゼーゲル6a	酸化焼成
2	3.0	1.0	半磁器土	ゼーゲル6a	酸化焼成
3	3.0	1.0	半磁器土	ゼーゲル6a	酸化焼成
4	3.0	1.0	半磁器土	ゼーゲル6a	酸化焼成
5	3.0	1.5	半磁器土	ゼーゲル6a	酸化焼成

※データの無い項目は省略して掲載した。

## 4 まとめ

材料合成支援エキスパートシステム構築の前段階として、釉薬調合データベースと釉薬調合を支援するための計算機用プログラムを作成し、その実行例を示した。システムの動作環境はPC-9801シリーズまたはその互換機で、MS-DOS上で動作可能である。今後の研究開発目標としては、次の3項目である。

### (1) エキスパートシステムの構築と実用化

作成した釉薬調合データベースを基本として、それに専門家から抽出した知識をルール化して付加することでエキスパートシステムを構築する。また、同時にデータベースのデータの追加・拡張を行う。

### (2) 実際の陶磁器釉薬の色を決定するシステムの検討（画像処理技術）

エキスパートシステムで判断する結果に、実際の色というファクターを加えるために、画像処理技術を利用することを検討する。

### (3) 釉薬調合支援プログラムの作成（支援システムの充実化）

エキスパートシステムからの出力結果を円滑に利用・応用するための計算プログラムを開発する。（平成6年度に作成したプログラムを発展・改良する。）

## 参考文献

- 1) 高嶋廣夫, “陶磁器釉の化学” (1994)  
内田老鶴圃
- 2) 加藤悦三, “釉調合の基本” (1970) 窯技社

## 作成したプログラムの使用例

【例1】化学組成をゼーゲル式に変換するプログラムの使用例

入力データ

【調合割合】

釉薬原料	重量%
釜戸長石(特)	35.04
鼠石灰石	17.18
炭酸バリウム	11.97
亜鉛華	2.48
河東カオリン	9.05
福島珪石	24.27

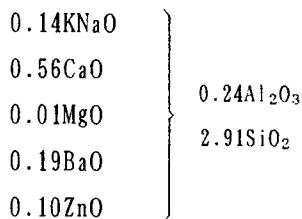
または

【化学分析値】

成分	重量%
SiO <sub>2</sub>	55.27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.92
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.14
TiO <sub>2</sub>	0.02
CaO	10.00
MgO	0.15
K <sub>2</sub> O	1.95
Na <sub>2</sub> O	1.38
BaO	9.30
ZnO	2.48

計算結果

【ゼーゲル式】



【熱膨張係数】

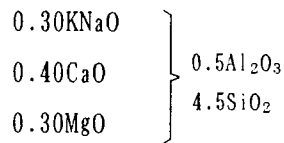
$$6.50 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$$

【屈折率】

1.540

【例2】ゼーゲル式から釉薬原料の調合割合を求めるプログラムの使用例

入力データ



計算結果

【MgO分にマグネサイトを使用した場合】

釉薬原料	重量%
釜戸長石	54.16
鼠石灰石	9.60
マグネサイト	6.02
河東カオリン	14.07
福島珪石	16.14

【MgO分にドロマイトを使用した場合】

釉薬原料	重量%
釜戸長石(特)	54.33
鼠石灰石	0.16
ドロマイト	15.39
河東カオリン	14.07
福島珪石	16.06

【MgO分に焼きタルクを使用した場合】

釉薬原料	重量%
釜戸長石(特)	55.9
鼠石灰石	9.8
焼きタルク	8.9
河東カオリン	14.4
福島珪石	10.8